

実線・・設備運用又は体制等の相違（設計方針の相違）
 波線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

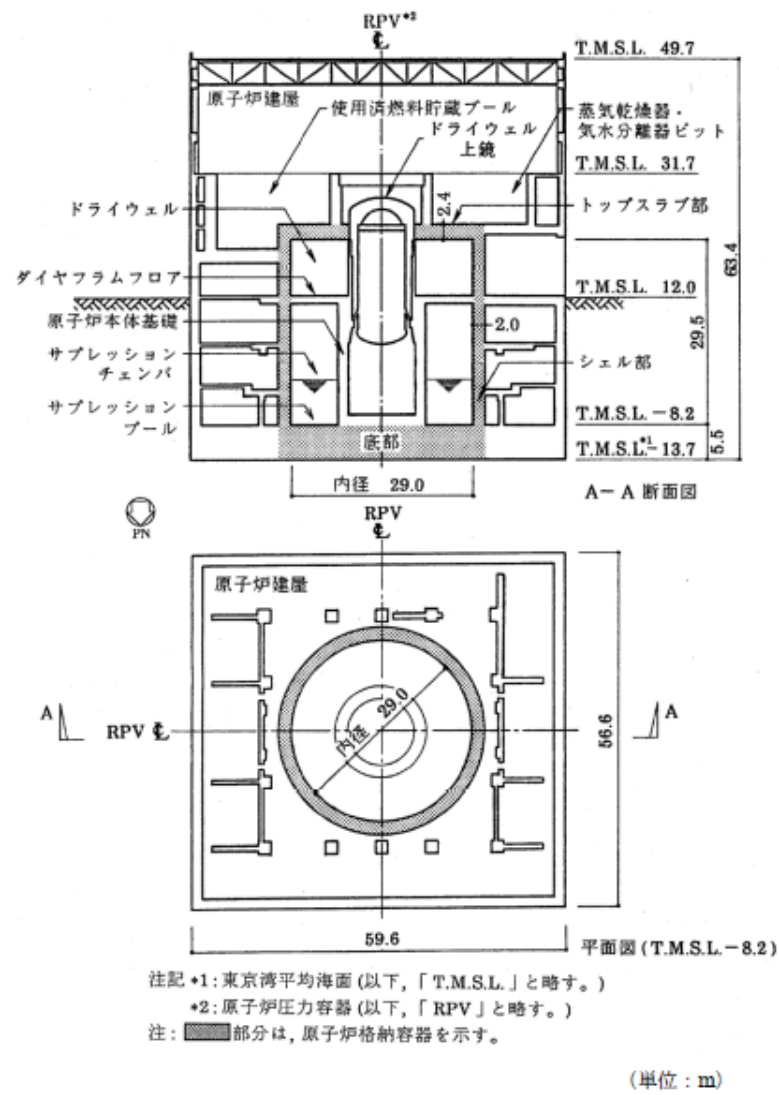
まとめ資料比較表 [第4条 地震による損傷の防止 別紙-3]

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>別紙-2 <u>原子炉格納容器コンクリート部の応力解析における弾塑性解析の採用について(耐震)</u></p> <p style="text-align: center;">目次</p> <p>1. 概要</p> <p>2. 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について</p> <p>2.1 <u>原子炉格納容器の構造概要</u></p> <p>2.2 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について</p> <p>2.3 既工認との差異についての考察</p> <p>3. 弾塑性解析を採用する目的と論点について</p> <p>3.1 弾塑性解析を採用することの目的</p> <p>3.2 弾塑性解析を採用するに当たっての論点</p> <p>4. 材料構成則の適用性・妥当性について</p> <p>4.1 コンクリート(引張側)</p> <p>4.2 コンクリート(圧縮側)</p> <p>4.3 鉄筋(圧縮側, 引張側)</p> <p>5. 既往試験結果に基づく弾塑性解析の<u>妥当性・適用性</u></p> <p>5.1 <u>構造物全体を対象とした既往試験による弾塑性解析の妥当性確認</u></p> <p>5.2 <u>今回工認における弾塑性解析手法の妥当性・適用性の確認</u></p> <p>6. まとめ</p> <p>添付資料-1 <u>有効性評価における RCCV 検討時の評価モデルとの差異について</u></p>	<p>別紙-14 <u>原子炉建屋基礎版の応力解析モデルへの弾塑性解析の適用</u></p> <p style="text-align: center;">目次</p> <p>1. 概要</p> <p>2. <u>原子炉建屋基礎版の概要</u></p> <p>2.1 <u>原子炉建屋基礎版の構造概要</u></p> <p>2.2 <u>基礎版における地震観測</u></p> <p>3. <u>既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異に対する扱い</u></p> <p>3.1 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について</p> <p>3.2 既工認との差異の扱い</p> <p>4. <u>弾塑性解析採用の論点に対する対応について</u></p> <p>4.1 弾塑性解析を採用する目的とその効果</p> <p>4.2 弾塑性解析を採用するに当たっての<u>具体的論点</u></p> <p>5. <u>材料構成則の妥当性・適用性について</u></p> <p>5.1 コンクリート(引張側)</p> <p>5.2 コンクリート(圧縮側)</p> <p>5.3 鉄筋(引張側, 圧縮側)</p> <p>6. <u>既往研究に基づく弾塑性解析の妥当性・適用性</u></p> <p>7. <u>まとめ</u></p>	<p>別紙-3 <u>基礎スラブの応力解析モデルへの弾塑性解析の適用について</u></p> <p style="text-align: center;">目次</p> <p>1. 概要</p> <p>2. <u>既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について</u></p> <p>2.1 <u>原子炉建物の基礎スラブの構造概要</u></p> <p>2.2 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について</p> <p>2.3 既工認との差異についての考察</p> <p>3. <u>弾塑性解析を採用する目的と論点について</u></p> <p>3.1 弾塑性解析を採用する目的</p> <p>3.2 弾塑性解析を採用するに当たっての論点</p> <p>4. <u>材料構成則の適用性・妥当性について</u></p> <p>4.1 コンクリート(引張側)</p> <p>4.2 コンクリート(圧縮側)</p> <p>4.3 鉄筋(引張側, 圧縮側)</p> <p>5. <u>既往研究に基づく弾塑性解析の適用性・妥当性について</u></p> <p>6. <u>まとめ</u></p> <p>7. <u>参考文献</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>柏崎 6/7 は RCCV を弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2 号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・同上</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【女川 2】</p> <p>島根 2 号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため記載なし</p> <p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>格納容器に関する検討であるため島根 2 号炉には記載なし</p> <p>・同上</p> <p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p>

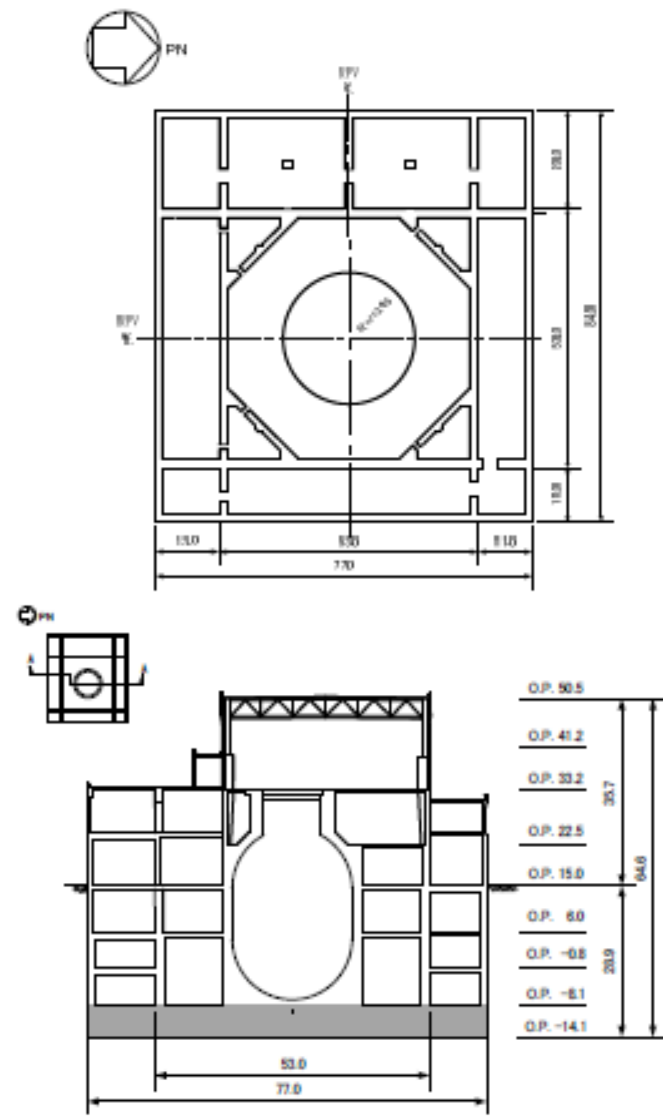
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>添付資料-2 <u>CCV規格における許容限界設定の考え方について</u></p> <p>添付資料-3 <u>コンクリート引張側構成則に関する影響検討</u></p> <p>添付資料-4 <u>コンクリート圧縮側の応力歪み曲線の折れ線近似について</u></p>	<p>添付1 <u>CCV規格等における許容限界設定の考え方について</u></p> <p>添付2 <u>シェル壁内部の構造物から基礎版に伝達される荷重等の考え方について</u></p>	<p>添付資料-1 <u>CCV規格等における許容限界設定の考え方について</u></p> <p>添付資料-2 <u>コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について</u></p> <p>添付資料-3 <u>ドライウェル外側壁内部の構造物から基礎スラブに伝達される荷重等の考え方について</u></p> <p>添付資料-4 <u>耐震壁のシェル要素でのモデル化について</u></p>	<p>柏崎6/7のRCCV特有の内容であるため記載なし</p> <ul style="list-style-type: none"> 許容限界の相違 <p>【柏崎6/7】 鉄筋コンクリートの面外せん断力に対する許容限界について記載</p> <ul style="list-style-type: none"> 影響検討の相違 <p>【柏崎6/7】 コンクリート引張強度の設定は柏崎6/7の方針に基づいているため記載なし</p> <p>(柏崎6/7の検討においてコンクリート引張強度の下限值を採用することの妥当性が示されており、島根2号炉も同様の方針であることから影響検討の記載なし)</p> <ul style="list-style-type: none"> 記載の相違 <p>【女川2】 島根2号炉はコンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について記載しているため相違</p> <ul style="list-style-type: none"> 対象施設の相違 <p>【柏崎6/7】 柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <ul style="list-style-type: none"> 対象施設の相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p data-bbox="958 478 1620 510"><u>添付3 基礎版と耐震壁の剛性の組合せの考え方について</u></p> <p data-bbox="958 703 1501 735"><u>参考資料1 女川2号炉原子炉建屋 地震計配置</u></p> <p data-bbox="958 745 1673 777"><u>参考資料2 弾塑性解析の適用に関する先行プラントとの比較</u></p> <p data-bbox="958 1512 1715 1585"><u>参考資料3 地震観測記録に基づく基礎版の剛性低下に係る試験 討</u></p>	<p data-bbox="1751 745 2502 777"><u>参考資料-1 弾塑性解析の適用に関する先行プラントとの比較</u></p> <p data-bbox="1751 976 2504 1050"><u>参考資料-2 原子炉建物の基礎スラブの耐震重要度分類の考 え方及び耐震評価方針について</u></p>	<p data-bbox="2543 258 2843 510">【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉はタービン 建物及び制御室建物につ いて耐震壁をシェル要素 でモデル化するため相違 ・モデルの相違</p> <p data-bbox="2543 525 2843 777">【女川2】 島根2号炉は地震観測 記録に基づく剛性低下を 考慮しないため記載なし ・同上 ・比較対象の相違</p> <p data-bbox="2543 791 2843 1001">【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は柏崎6/7 及び女川2に対して比較 しているため相違 ・対象施設の相違</p> <p data-bbox="2543 1016 2843 1268">【柏崎6/7】 島根2号炉は原子炉建 物の基礎スラブ等が弾塑 性解析の適用対象である ため相違 ・記載の相違</p> <p data-bbox="2543 1283 2843 1535">【女川2】 島根2号炉は耐震重要 度分類の考え方及び耐震 評価方針について記載し ているため相違 ・モデルの相違</p> <p data-bbox="2543 1549 2843 1717">【女川2】 島根2号炉は地震観測 記録に基づく剛性低下を 考慮しないため記載なし</p>

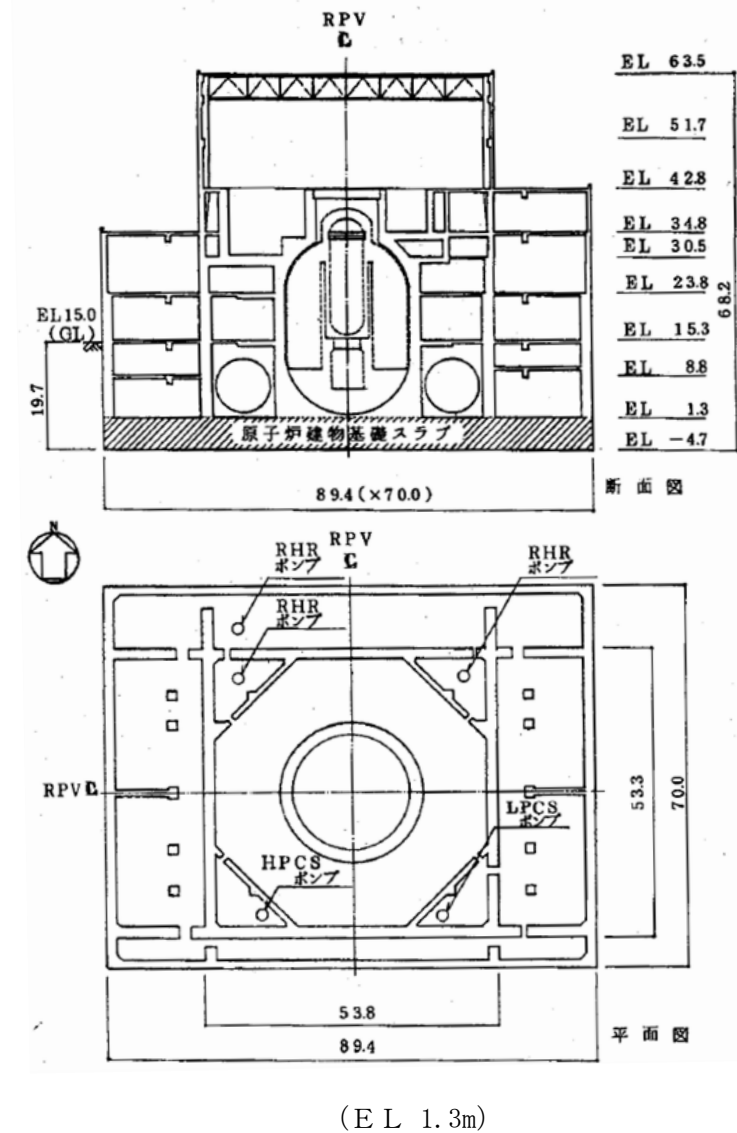
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>1. 概要</p> <p><u>6号及び7号炉原子炉格納容器コンクリート部(以下「RCCV」という。)の応力解析において、荷重状態IVにおける荷重組合せでは基本的に弾塑性解析を採用する予定である。</u></p> <p>本資料は、鉄筋コンクリート構造物の3次元弾塑性解析が先行電力を含めた既工認での採用事例がないことを踏まえ、その妥当性・適用性について説明するものである。</p> <p>本資料では、まず既工認モデルと今回工認モデルの差異について整理・考察し、新手法としての妥当性を確認すべき項目として、弾塑性解析の採用のみが抽出されることを確認する。その上で、弾塑性解析を採用する際の論点を整理する。次に、抽出された論点に対して、既往の研究から得られた知見の整理を通して、その適用性又は妥当性について考察する。</p> <p>2. 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について</p> <p><u>2.1 原子炉格納容器の構造概要</u></p> <p><u>RCCVの構造は6号及び7号炉ではほぼ同じであるため、構造概要については7号炉を代表として説明する。</u></p>	<p>1. 概要</p> <p><u>2号炉原子炉建屋の基礎版等の応力解析においては、既工認では弾塑性解析を採用しているが、今回工認では弾塑性解析を採用する予定である。</u></p> <p>本資料は、<u>基礎版の3次元弾塑性解析の妥当性・適用性について説明するものである。</u></p> <p>2. <u>原子炉建屋基礎版の概要</u></p> <p><u>2.1 原子炉建屋基礎版の構造概要</u></p> <p><u>基礎版は厚さ6.0mの鉄筋コンクリートの平板であり、外部ボックス壁、内部ボックス壁、火打ち壁、シェル壁、RPVペDESTAL</u></p>	<p>1. 概要</p> <p><u>島根原子力発電所の建設時の工事計画認可申請書(以下「既工認」という。)では、原子炉建物の基礎スラブ等の鉄筋コンクリート部材の応力解析において、3次元FEMモデル等を用いた弾塑性解析により評価を実施していた。</u></p> <p><u>今回の工事計画認可申請書(以下「今回工認」という。)では、入力地震動の増大に伴い、鉄筋コンクリート部材の塑性化が想定されることから、鉄筋コンクリートの弾塑性挙動を踏まえた適切な評価を実施するために、基準地震動S_sによる検討においては、基本的に材料(コンクリート、鉄筋)の非線形特性を考慮した弾塑性解析を採用する予定である。</u></p> <p>本資料は、<u>鉄筋コンクリート構造物の3次元弾塑性解析が先行電力を含めた既工認での採用事例がないことを踏まえ、その妥当性・適用性について説明するものである。</u></p> <p><u>本資料では、まず既工認モデルと今回工認モデルの差異について整理・考察し、新手法としての妥当性を確認すべき項目として、弾塑性解析の採用のみが抽出されることを確認する。その上で、弾塑性解析を採用する際の論点を整理する。次に、抽出された論点に対して、既往の研究から得られた知見の整理を通して、その適用性・妥当性について考察する。</u></p> <p>2. <u>既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について</u></p> <p><u>原子炉建物の基礎スラブを代表として既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異を整理し、論点を抽出する。</u></p> <p><u>2.1 原子炉建物の基礎スラブの構造概要</u></p> <p><u>島根原子力発電所2号炉(以下、「島根2号炉」という。)原子炉建物の基礎スラブは、70.0m(NS)×89.4m(EW)の矩形を成</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・弾塑性解析適用ケースの相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7は荷重状態IVにおける荷重組合せに対して弾塑性解析を適用しているが、島根2号炉は基準地震動S_sに対して適用するため相違</p> <p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・同上</p>



第2-1図 RCCV の概要 (7号炉の例)



第2-1図 基礎版の概要 (単位: m)



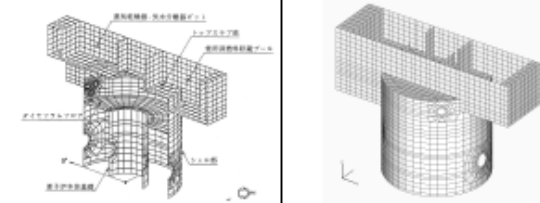
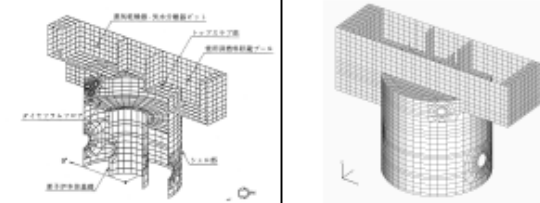
第2-1図 原子炉建物の基礎スラブの概要 (単位: m)

・対象施設の相違
 【柏崎6/7, 女川2】
 島根2号炉原子炉建物の基礎スラブの概要を記載しているため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2. 2 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について</p> <p>まず、既工認で採用した <u>RCCV</u> の解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理し、論点となり得る項目を整理する。</p> <p>既工認における <u>RCCV</u> の解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第 2-1 表に示す。</p> <p><u>また、今回工認で採用予定の解析モデルの境界条件、拘束条件を第 2-2 表に示す。</u></p> <p>第 2-1 表で整理したとおり、既工認と今回工認における解析モデルの差異としては、以下の 4 点が抽出された。</p> <p><u>(1) 既工認時に半割モデルとしていたものを全周モデルとしたこと</u></p> <p><u>(2) 弾塑性解析では事象発生順に荷重を入力すること</u></p> <p><u>(3) 応力解析に弾塑性解析を採用すること</u></p> <p><u>(4) コンクリートの物性値 (ヤング係数, ポアソン比)</u></p>	<p>3. <u>既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異に対する扱い</u></p> <p>3.1 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について</p> <p>既工認で採用した<u>基礎版</u>の解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理し、論点となり得る項目を整理する。</p> <p>既工認における<u>基礎版</u>の解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第 3-1 表に示す。</p> <p><u>また、今回工認で採用予定の解析モデルの境界条件、拘束条件を第 3-2 表、第 3-1 図に示す。</u></p> <p>第 3-1 表で整理したとおり、<u>既工認と今回工認ともシェル要素による FEM モデルを基本としているが、解析モデルとして、今回工認では応力解析に弾塑性解析を採用することに加え、以下の 2 点に差異がある。</u></p> <p><u>(1) 一部耐震壁をシェル要素でモデル化すること</u></p> <p>(2) コンクリートの物性値 (ヤング係数, ポアソン比)</p>	<p>2.2 既工認モデルと今回工認で採用予定のモデルの差異について</p> <p><u>まず、既工認で採用した原子炉建物の基礎スラブ</u>の解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理し、論点となり得る項目を整理する。</p> <p>既工認における<u>原子炉建物の基礎スラブ</u>の解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第 2-1 表に示す。</p> <p>第 2-1 表で整理したとおり、<u>既工認と今回工認における解析モデルの差異としては、以下の 2 点が抽出された。</u></p> <p><u>(1) 応力解析に弾塑性解析を採用すること</u></p> <p><u>(2) コンクリートの物性値 (ヤング係数, ポアソン比)</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>柏崎 6/7 は RCCV を弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2 号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・同上</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【柏崎 6/7, 女川 2】</p> <p>島根 2 号炉原子炉建物のモデルは既工認から変更がないため記載なし</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【女川 2】</p> <p>島根 2 号炉原子炉建物のモデルは既工認から変更がないため記載なし</p> <p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>柏崎 6/7 の RCCV 特有の内容であるため記載なし</p> <p>・同上</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>なお、上記は今回工認の耐震設計で用いる評価モデルと既工認の耐震設計の評価モデルとの差異を整理した結果であるが、今回工認の重大事故評価で採用予定の RCCV の評価モデルについても、既往の有効性評価時の検討 (200℃, 2Pd 条件時の RCCV 構造健全性評価) で用いた RCCV の評価モデルから一部モデルを見直す予定である。そこで、有効性評価時と工認時のモデル化の差異及び差異が既往の有効性評価時の解析結果に与える影響について検討を実施した。その結果を添付資料-1 に示す。</u></p>			<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 の RCCV 特有の内容であるため記載なし</p>

第2-1表 応力解析モデル及び手法の比較 (RCCV)

項目	内容	既工認時	今回工認時
解析手法		・3次元 FEM モデルを用いた応力解析	・同左
解析コード		・ NASTRAN	・ NASTRAN (弾性解析 ^{※1}) ・ ABAQUS (弾塑性解析 ^{※2})
解析手順		・同時に荷重を組合せる (弾性解析)	・同時に荷重を組合せる (弾性解析) ・事象発生時に荷重を入力する (弾塑性解析)
モデル化	モデル化範囲	・構造が東西軸に対してほぼ対称であることを踏まえ北半分の180°のみをモデル化 (半割モデル)	・360° 全周をモデル化
	メッシュサイズ	・モデル全体でおおむね1~2m程度 (開口周辺等は更に細分割)	・同左
	要素タイプ	シェル要素: シェル部, トップスラブ ROD要素, BAR要素: 境界条件の設定に使用	・同左
要素分割	シェル要素: シェル部, トップスラブ ROD要素, BAR要素: 境界条件の設定に使用	・同左	
材料物性		・コンクリートのヤング係数 $E=2.7 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$ ・コンクリートの線膨張係数 $\alpha=1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.88 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ^{※3} ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$ ^{※4} ・コンクリートの線膨張係数 $\alpha=1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ (変更なし)
	評価方法	応力解析: 荷重状態 I ~ IV: 弾性解析 許容限界: ・部材に発生する応力・ひずみが許容限界を超えないことを確認 ^{※5}	荷重状態 IV: 弾塑性解析 荷重状態 I ~ III: 弾性解析 ・同左 ^{※5}
モデル図			

※1, 2: 荷重状態 I ~ III に対しては弾性解析を実施する。荷重状態 IV については、RCCV の挙動を弾性範囲内に収めるといった設計思想に基づき設計が行われており、許容値も弾性範囲内とされていること、並びに、一度荷重により発生する熱応力については日本機械学会「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME

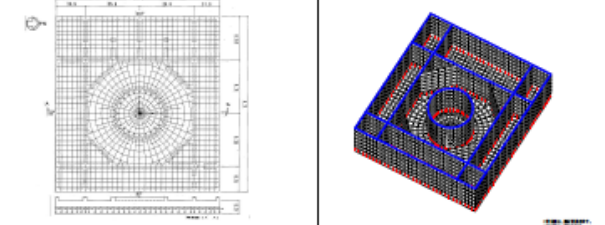
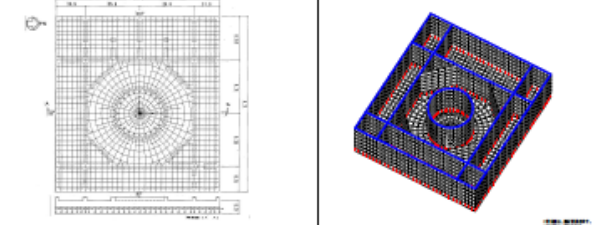
S NEI-2003 (以下「OCV 規格」という。)(解説 CVE-3330) 熱応力の扱い」に基づき、荷重状態 I 及び荷重状態 II においては弾性剛性を 1/2 に、荷重状態 III においては弾性剛性を 1/3 に一律低減して算定することにより考慮することから既工認時と同様に弾性解析を実施することとし、荷重状態 IV については、評価基準値が塑性化を許容した終局強度設計を行っており、許容値も塑性化を考慮した数値となっていることから、弾塑性解析を実施することとした。

※3: コンクリートのヤング係数としては、RCCV が原子炉建物の躯体の一部であることを鑑み、地震応答解析モデルで採用する数値 (実剛性) を準用する方針である。これは設定したコンクリート強度を用いて、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説-許容応力度設計法-1999」による計算式により算定した数値であるが、OCV 規格においても、解析に用いる材料定数として、同計算式を用いることとされており、また、応力評価に用いるコンクリート強度としては、既工認時と同様に設計基準強度を採用する方針である。

※4: 適用規程を日本建築学会「原子炉施設鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説」(2005) に見直ししたことによる。

※5: 許容限界については、既工認時: 通商産業省告示 452 号「コンクリート製原子炉格納容器に関する構造等の技術基準」、今回工認: OCV 規格に基づき設定しているが、数値は同じである。荷重状態 IV (S₀ (既工認時は S₁) を含む荷重組合せ等) の場合は、鉄筋: 6000 μ 、コンクリート: 3000 μ という鉄筋及びコンクリートの容断形化を許容するような許容限界となっているが、この数値が設定された経緯及び考え方について整理した結果を添付資料-2 に示す。

第3-1表 応力解析モデル及び手法の比較 (基礎版)

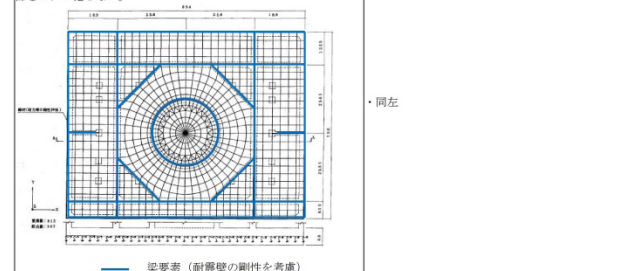
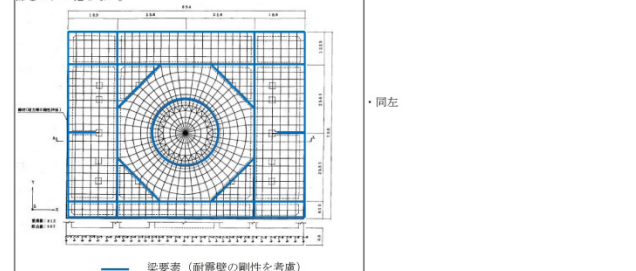
項目	既工認時	今回工認時	
解析手法	・弾性地盤上に支持された厚さ6.0mの一枚の版として有限要素法により解析する。	・同左	
解析コード	・ NASTRAN	・ ABAQUS	
荷重	・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重(S ₂), 土圧等	・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重(S ₂), 土圧等	
モデル化	モデル化範囲	・基礎版全体と剛性の高い一部壁をモデル化する。	・同左
	メッシュサイズ	・モデル全体でおおむね1~3m程度	・同左
	要素タイプ	・基礎版全体をシェル要素でモデル化する。 ・外壁, 内部ボックス壁, 火打り壁, シェル壁等の剛性の高い壁は、等価な剛性を考慮した要素でモデル化する。	・同左 ・地下部分の一部はシェル要素でモデル化し、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する。
材料物性	・コンクリートのヤング係数 $E=2.7 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.51 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ^{※1} ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$ ^{※1}	
評価方法	応力解析 (機能維持) 許容限界: 部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。接地圧が地盤の許容支持力を超えないことを確認する。	・弾塑性解析 ^{※2} (機能維持) 許容限界: 部材に発生する応力・ひずみが許容限界を超えないことを確認する。 接地圧が地盤の許容支持力を超えないことを確認する。	
	モデル		

※1 コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説-許容応力度設計法-1999」による計算式に基づく値を用いる。なお、地震応答解析モデルと同様の初期剛性低下については、地震観測記録の分析等を踏まえて、その影響を考慮することとする。

※2 終局強度設計の許容値に基づく評価を実施することとした。

※3 許容限界については OCV 規格によるものを基本とし、設定の考え方については添付1に示す。

第2-1表 応力解析モデル及び手法の比較 (原子炉建物の基礎スラブ)

項目	既工認時	今回工認時	
解析手法	・弾性地盤上に支持された厚さ6.0mの一枚の版として有限要素法により解析する。	・同左	
解析コード	・ NASTRAN	・ ABAQUS	
荷重	・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重(S ₂), 土圧等	・固定荷重, 機器配管荷重, 積載荷重, 地震荷重(S ₂), 土圧等	
モデル化	モデル化範囲	・基礎スラブ全体と剛性の高い一部壁をモデル化する。従って、モデルの大きさは外壁の最外端までの 70.0m (N-S) × 89.4m (E-W) となる。	・同左
	メッシュサイズ	・モデル全体で概ね1~3m程度	・同左
	要素タイプ	・基礎スラブ全体をシェル要素でモデル化する。 ・基礎スラブより立ち上っている耐震壁 (外部ボックス壁, 内部ボックス壁及びドライウェル外側壁) は、その剛性を考慮した等価な要素でモデル化する。外部ボックス壁及び内部ボックス壁は燃料貯蔵床レベル (E.L. 42.8m) まで、ドライウェル外側壁は E.L. 約 23m までの剛性を考慮する。また、梁要素の剛性算定においては開口部による影響は考慮しない。	・同左 (ただし、基礎スラブのシェル要素は、コンクリート及び鉄筋それぞれに弾塑性特性を設定した積層シェル要素でモデル化)
材料物性	・コンクリートのヤング係数 $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2)$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.25 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2)$ ^{※1} ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$ ^{※1}	
評価方法	応力解析 (機能維持) 許容限界: 部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。接地圧が地盤の許容支持力を超えないことを確認する。	・弾塑性解析 (機能維持) 許容限界: 部材に発生する応力・ひずみが終局強度を超えないことを確認する。 ^{※2} 接地圧が地盤の許容支持力を超えないことを確認する。	
	モデル		

※1: コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説-許容応力度設計法-1999」による計算式に基づく値を用いる。

※2: 許容限界については、日本機械学会「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NEI-2003」等によるものとし、設定の考え方については添付資料-1に示す。

注1: コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の折れ線近似については添付資料-2に示す。

注2: ドライウェル外側壁内部の構造物から基礎スラブに伝達される荷重等の考え方については添付資料-3に示す。

注3: タービン建物及び制御室建物の基礎スラブについては、剛性の高い壁のうち低層部の一部をシェル要素でモデル化し、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する予定であるが、詳細については、詳細設計段階で説明する。モデル化の考え方については添付資料-4に示す。

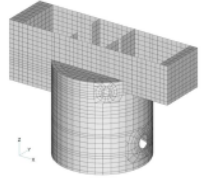
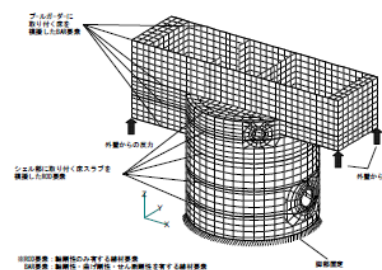
注4: 弾塑性解析の適用に関する先行プラントとの比較を参考資料-1に示す。

注5: 内部ボックス壁は二次格納施設を構成するバウンダリであることから、詳細設計段階において、基礎スラブからの反力の影響を確認する。

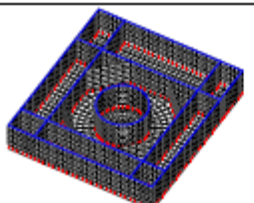
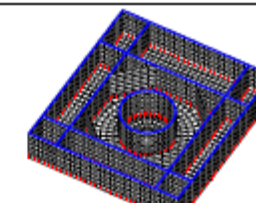
注6: 耐震壁が塑性化することによる影響について、詳細設計段階で建物ごとに確認する。

・対象施設の相違
【柏崎6/7, 女川2】
島根2号炉の原子炉建物基礎スラブの解析モデル及び手法の比較を記載しているため相違

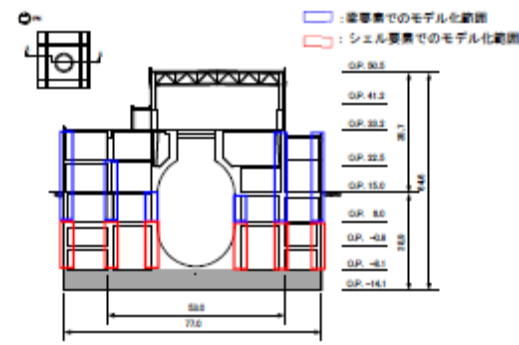
第2-2表 RCCVの応力解析におけるモデル化、境界条件、拘束条件

モデル概要	境界条件、拘束条件
<p>○モデル化範囲 使用済燃料プール、蒸気乾燥器・気水分離器ヒート及びダイヤフラムを含めて360°モデル化</p> <p>○使用要素 シェル要素、RBD要素、BAR要素</p>  <p>応力解析モデル</p>	<p>基礎スラブ及びび球との境界条件</p> <p>基礎スラブとシェル部とは固定とし、シェル部及びプールガードに取り付く床スラブはそれぞれ梁要素 (RBD要素・BAR要素) としてモデル化</p>  <p>モデル化範囲 基礎スラブ及びび球との境界</p>

第3-2表 基礎版の応力解析におけるモデル化、境界条件、拘束条件

モデル概要	境界条件、拘束条件
<p>○モデル化範囲 基礎版、RBF制震壁、R2F制震壁、R1F制震壁、1F制震壁、2F制震壁</p> <p>○使用要素 シェル要素、梁要素</p>  <p>モデル全体図</p>	<p>基礎版モデルではRBFとR2Fの制震壁をシェル要素でモデル化する。それより上部の制震壁の剛性はO.F.S.0m位置に梁要素でモデル化する。</p> <p>基礎版各要素にはラインアワー型の地盤ばねと上りを考慮するためのOGF要素をモデル化する。</p>  <p>地盤ばね</p>

※モデル化については本条件を基本とし、荷重の入力方法を含め詳細設計段階にて検討していく。このうち、シェル壁内部の構造物から基礎版に伝達される荷重等の考え方には図3-1に示す。



第3-1図 耐震壁のモデル化範囲 (単位:m)

・モデルの相違
【柏崎6/7, 女川2】
島根2号炉原子炉建物のモデルは既工認から変更がないため記載なし

・モデルの相違
【女川2】
島根2号炉原子炉建物のモデルは既工認から変更がないため記載なし

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2.3 既工認との差異についての考察</p> <p>(1) 応力解析に弾塑性解析を採用することについて</p> <p>弾塑性解析については、基準地震動 S_s による入力が増大に伴い、原子炉建屋の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が塑性領域に入ると考えられる<u>ことに加えて、CCV規格における許容限界が鉄筋コンクリートの塑性域のひずみであることを踏まえて、その塑性域の挙動を適切に評価するために採用するものである。</u></p> <p>ただし、先行電力を含めた既工認で採用された事例がなく、手法自体の変更となることから解析結果に与える影響も大きいと判断し、以降でその詳細について分析・検討し、今回工認で新手法として採用することの妥当性を確認することとする。</p> <p>なお、弾塑性解析の採用に当たって解析コードとして「ABAQUS」を採用しているが、汎用の有限要素解析コードであり、<u>コンクリート製格納容器を含む鉄筋コンクリート構造物に対する既往知見もあること</u>（詳細は、本資料「4. 材料構成則の適用性・妥当性について (2) 解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例」を参照）から、ここでは論点として取り上げないこととする。なお、今回工認では、添付資料として「<u>計算機プログラム (解析コード) の概要</u>」を添付し、その妥当性を説明する予定である。</p> <p><u>(2) 弾塑性解析で事象発生順に荷重を入力することについて</u> 弾性解析においては、一般に荷重の組合せ順序が解析結果に影響</p>	<p>3.2 既工認との差異の扱い</p> <p>(1) 弾塑性解析の採用</p> <p>a. 採用目的</p> <p>応力解析に弾塑性解析を採用することについては、基準地震動 S_s による入力が増大に伴い、原子炉建屋の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が塑性域に入ると考えられるため、その塑性域の挙動を適切に評価するために採用するものである。</p> <p>b. 準拠する規格・基準</p> <p>女川2号炉原子炉建屋の基礎版に要求される機能は、基準地震動 S_s に対する間接支持構造物としての機能であり、許容限界としては機能維持となる。一方、鉄筋コンクリート造構造物に関する規格である「<u>日本機械学会 発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 (以下「CCV規格」という。)</u>」は、基準地震動 S_s に対して主要施設としての機能確保が必要な施設に対する設計規格であるため、<u>女川2号炉原子炉建屋基礎版の弾塑性解析はCCV規格に基づき実施する。</u></p> <p>c. 主な論点</p> <p><u>コンクリートの弾塑性状態における材料構成則 (応力-ひずみ関係) の設定方法の妥当性、また、女川の場合、建屋の地震応答解析において認められた初期剛性の低下について、応力解析への反映方法の適切性が論点として整理される。</u></p> <p>なお、弾塑性解析の採用に当たって解析コードとして「ABAQUS」を採用しているが、汎用の有限要素解析コードであり、ここでは論点として取り上げないこととする。なお、今回工認では、添付資料として「<u>計算機プログラム (解析コード) の概要</u>」を添付し、その妥当性を説明する予定である。</p>	<p>2.3 既工認との差異についての考察</p> <p>(1) 応力解析に弾塑性解析を採用することについて</p> <p>弾塑性解析については、基準地震動 S_s による入力が増大に伴い、原子炉建物の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が塑性領域に入ると考えられるため、その塑性域の挙動を適切に評価するために採用するものである。</p> <p>島根2号炉原子炉建物の基礎スラブに要求される機能は、<u>基準地震動 S_s に対する間接支持構造物としての機能であり、許容限界としては機能維持となる。原子炉建物の基礎スラブの耐震重要度分類の考え方及び耐震評価方針について参考資料-2 に示す。また、鉄筋コンクリート造構造物に関する規格である日本機械学会「<u>発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格 J-SME S-NEI-2003</u>」(以下「CCV規格」という。)</u>は、基準地震動 S_s に対して主要施設としての機能確保が必要な施設に対する設計規格である。</p> <p><u>以上のことから、基礎スラブの弾塑性解析はCCV規格に基づき実施する。</u></p> <p>ただし、鉄筋コンクリート構造物の弾塑性解析については先行電力を含めた既工認で採用された事例がなく、手法自体の変更となることから解析結果に与える影響も大きいと判断し、以降でその詳細について分析・検討し、今回工認で新手法として採用することの妥当性を確認することとする。</p> <p>なお、弾塑性解析の採用に当たって解析コードとして「ABAQUS」を採用しているが、汎用の有限要素解析コードであり、<u>鉄筋コンクリート構造物に対する既往知見もあること</u>（詳細は、本資料「4. 材料構成則の適用性・妥当性について 4.1 (2) 解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例」を参照）から、ここでは論点として取り上げないこととする。なお、今回工認では、添付資料として「<u>計算機プログラム (解析コード) の概要</u>」を添付し、その妥当性を説明する予定である。</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため記載なし</p> <p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>することは<u>ない</u>。しかし、<u>弾塑性解析についてはコンクリートや鉄筋が塑性領域に入った場合、荷重を入力する順序が解析結果に若干影響する。したがって、今回工認で実施する弾塑性解析においては、実際に事象の発生する順序で荷重を入力することで、実現象を捉える解析を行なう。例えば荷重状態IVの荷重組合せでは、死荷重及び活荷重や、運転時圧力等の常時荷重を先に入力し、次に地震荷重、地震時配管荷重等の地震発生時の荷重を入力する。これは実際の発生事象の順序を正確に評価した解析を実施するためであることから、本変更点については、論点としては扱わないこととする。</u></p> <p><u>(3) 既工認時に半割モデルとしていたものを全周モデルとしたことについて</u></p> <p><u>既工認で使用した半割モデルは、RCCV が東西軸に対してほぼ対称な構造となっていることを踏まえ、建設当時の計算機速度等を考慮して作成したものであり、北半分のみをモデル化している。また、その妥当性については、建設当時実施した構造実験のシミュレーション解析を行うことにより確認しているものである。ただし、RCCV は完全な対称構造ではなく、第2-2 図に示すとおり、シェル部の開口部に差異があり、この開口部周辺の評価を正確に行うためには、全周モデルとし解析することが望ましいと考えられる。</u></p> <p><u>現在の計算機速度等を踏まえると、全周モデルにより解析を実施することが可能であることから、今回工認で採用予定の解析モデルでは、弾性解析、弾塑性解析共に全周モデルを採用することとした。これは非対称条件をより正確に評価するための変更であることから、本変更点については、論点としては扱わないこととする。</u></p>  <p>非対称となる開口部</p> <p>RCCV 外周展開図</p> <p>第2-2 図 RCCV シェル部の開口部の非対称性</p>			<p>柏崎 6/7 のRCCV 特有の内容であるため記載なし</p> <p>・同上</p> <p>・同上</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p><u>(2) 一部耐震壁のシェル要素でのモデル化</u></p> <p><u>既工認時は、ボックス壁、火打ち壁、シェル壁等の剛性の高い壁を等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化している。このうち地下部分の一部をシェル要素でモデル化することは、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮することを目的に採用するものである。概念図を第3-2 図に示す。</u></p> <p><u>この既工認との差異は、より実状に近い構造挙動となるため、本資料における論点としては取り扱わないこととするが、既工認時には梁要素でモデル化している耐震壁について、地下部分の一部をシェル要素でモデル化することによる影響を以下に示す。また、既工認と今回工認の耐震壁の剛性評価及び解析上の影響について第3-3 表に示す。</u></p> <p><u>既工認時はボックス壁、火打ち壁、シェル壁等の剛性の高い壁を等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化しているが、考慮している剛性は基礎版面外方向の剛性のみとしている。本来、基礎版より上階において直交する耐震壁は相互につながっているが、その効果は考慮されない。</u></p> <p><u>一方、今回工認では地下3階、地下2階の壁をシェル要素でモデル化していることから、既工認時に梁要素で考慮していた基礎版に対する面外剛性に加えて、耐震壁の面外剛性、面内剛性も考慮される。これらの壁が全体として基礎版への拘束部材となり、より実状に近い構造挙動となる。例えば、地震荷重時に基礎版が面外に変形しながら浮上りを生ずる挙動に対して、地震方向の耐震壁と直交方向の耐震壁が一体性を保持しつつ、立体的に抵抗することとなる。また、既工認モデルの梁要素は中立軸を耐震壁の図心として評価したものを基礎版中心位置に設定しており偏心が考慮されないのに対し、今回工認モデルではシェル要素を基礎版上端より立ち上げるため、基礎版中心(モデル化位置)と耐震壁の図心の偏心距離が考慮されることにより曲げ剛性が大きく評価される。これらの結果、基礎版の面外変形が既工認モデルに比較して小さくなり、基礎版の応力は低減することとなる。</u></p> <p><u>ただし、実機では基礎版上端から上部全体の耐震壁及び床スラブが一体として拘束効果を発揮するのに対し、今回工認モデルではシェル要素でモデル化するのは基礎版直上の2層分の耐震壁のみであり、拘束効果は実機より小さく保守的である。</u></p> <p><u>なお、耐震壁の地震力算定に用いる地震応答解析では基礎版を剛</u></p>		<p>・モデルの相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉原子炉建物のモデルは既工認から変更がないため記載なし</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>体として扱っているため、基礎版の柔性等の実際の柔らかさを考慮する場合に対し基本的に耐震壁が負担する地震力を保守的に評価している。また、耐震壁の土圧荷重の評価においては一方向版を仮定し、基礎版との接続部で固定とする等の評価を実施していることなどから耐震壁には十分な余裕があるが、シェル要素でモデル化した耐震壁に発生する応力については、念のため詳細設計段階でその影響について確認する。</p> <p>第3-2 図 既工認モデルと今回工認モデルの概念図</p>		<p>・モデルの相違 【女川2】 島根2号炉原子炉建物のモデルは既工認から変更がないため記載なし</p>

第3-3表 一部耐震壁をシェル要素へ変更したことに伴う解析上の影響

項目	変更前	変更後	影響
構造形式	図3-3-1 従来の構造形式	図3-3-2 シェル要素化された構造形式	シェル要素化により、壁の剛性を低下させる。また、壁の非線形挙動をより正確に再現できる。ただし、シェル要素化による剛性の低下は、解析結果に影響を及ぼす可能性がある。
解析手法	従来の解析手法	シェル要素を用いた解析手法	シェル要素を用いた解析手法により、壁の非線形挙動をより正確に再現できる。ただし、シェル要素化による剛性の低下は、解析結果に影響を及ぼす可能性がある。
解析結果	従来の解析結果	シェル要素を用いた解析結果	シェル要素を用いた解析結果により、壁の非線形挙動をより正確に再現できる。ただし、シェル要素化による剛性の低下は、解析結果に影響を及ぼす可能性がある。
解析条件	従来の解析条件	シェル要素を用いた解析条件	シェル要素を用いた解析条件により、壁の非線形挙動をより正確に再現できる。ただし、シェル要素化による剛性の低下は、解析結果に影響を及ぼす可能性がある。
解析結果の検証	従来の解析結果の検証	シェル要素を用いた解析結果の検証	シェル要素を用いた解析結果の検証により、壁の非線形挙動をより正確に再現できる。ただし、シェル要素化による剛性の低下は、解析結果に影響を及ぼす可能性がある。

(4) コンクリートの物性値 (ヤング係数, ポアソン比)
 コンクリートの物性値のうち, ヤング係数については, 原子炉建屋の動解モデルで使用する物性値と整合の取れた値 (実剛性) を採用する予定である。実剛性の設定値の妥当性については, 原子炉建屋の動解モデルにおける論点となっております。審査の中でその妥当性を説明している。また, 応力評価に用いるコンクリート強度としては設計基準強度を採用する方針である。
 一方, ポアソン比の変更については適用規準を日本建築学会「原子炉施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(2005)に見直したことによるものであり, 同様の変更については先行審査でも

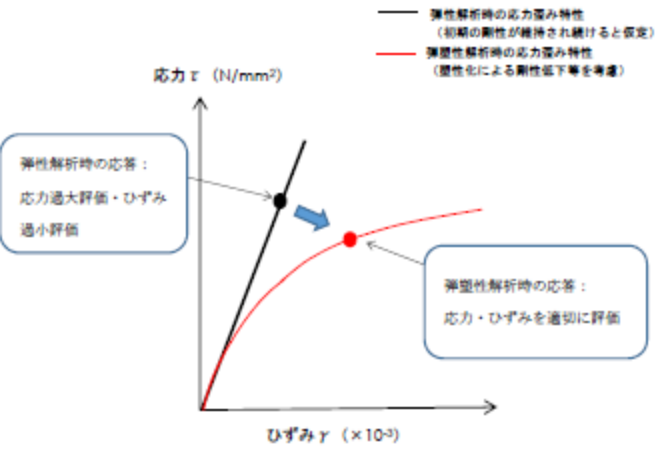
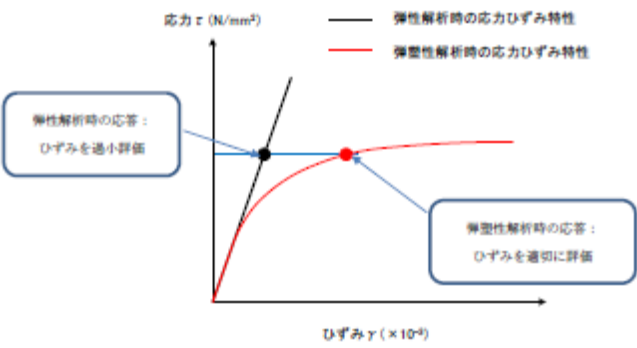
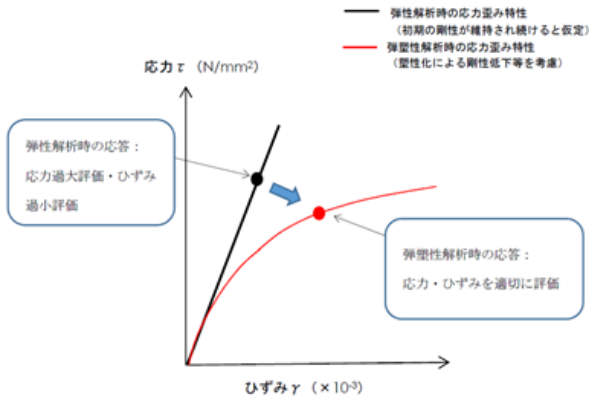
(3) コンクリートの物性値 (ヤング係数, ポアソン比)
 コンクリートの物性値のうち, ヤング係数については, 設計基準強度に基づき算定した値を採用する予定である。なお, 地震応答解析モデルと同様の初期剛性低下については, 地震観測記録の分析等を踏まえて, その影響を考慮することとする。その考え方については4.2にて示す。
 一方, ポアソン比の変更については適用規準を日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説・許容応力度設計法-1999」に見直したことによるものであり, 同様の変更については先行審

(2) コンクリートの物性値 (ヤング係数, ポアソン比)
 コンクリートの物性値のうち, ヤング係数については, 設計基準強度に基づき算定した値を採用する予定である。
 一方, ポアソン比の変更については適用基準を日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 -許容応力度設計法-」(1999) (以下, RC規準という。)に見直したことによるもので

・モデルの相違
【女川2】
 島根2号炉原子炉建物のモデルは既工認から変更がないため記載なし

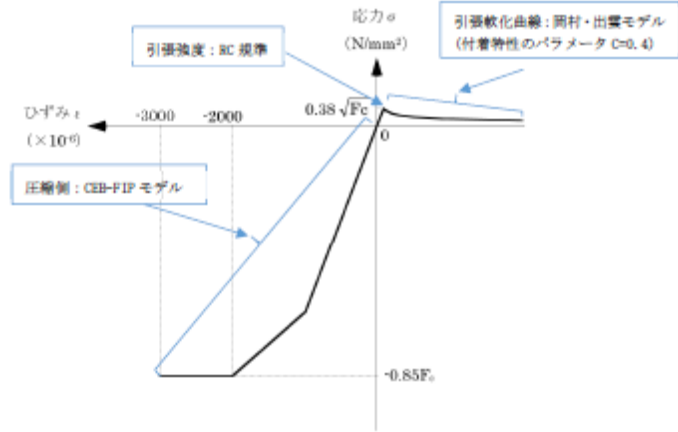
・モデルの相違
【柏崎6/7】
 島根2号炉は動解モデルの剛性を設計剛性とする(既工認から変更なし)ため相違

【女川2】
 島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を

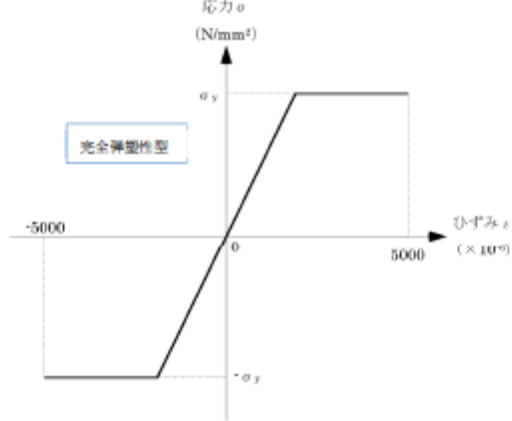
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>認可実績があり、論点とはならないと考えている。</p> <p>以上のことから、コンクリートの物性値の変更については、本資料における論点としては取り扱わないこととする。</p> <p>3. 弾塑性解析を採用する目的と論点について</p> <p>3.1 弾塑性解析を採用する目的</p> <p>弾性解析と弾塑性解析の応答性状の違いを示した概念図を第 3-1 図に示す。弾性解析は、どれだけ入力が大きくなっても初期の剛性が維持され続けるという仮定での解析を実施することとなるので、入力レベルが小さい場合は実現象を精度良く再現することができるが、入力の増大により挙動が塑性領域に入るような場合、部材の塑性化により剛性が低下する現象を模擬できない。そのため、実挙動が塑性領域に入る場合に弾性解析を用いると、応力を過大に評価し、ひずみ(変形量)は過小に評価することとなる。この傾向は入力が大きくなればなるほど、より顕著になると考えられる。</p> <p>今回工認では、基準地震動 S_s による入力の増大に伴い、原子炉建屋の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が塑性領域に入ると考えられることから、入力レベルに応じた構造物の挙動を適切に評価することを目的として弾塑性解析を採用することが必要であると判断した。</p>  <p>第 3-1 図 弾性解析と弾塑性解析の違い (概念図)</p>	<p>査でも認可実績があり、論点とはならないと考えている。</p> <p>4. 弾塑性解析採用の論点に対する対応について</p> <p>4.1 弾塑性解析を採用する目的とその効果</p> <p>弾性解析と弾塑性解析の応答性状の違いを示した概念図を第 4-1 図に示す。弾性解析は、どれだけ入力が大きくなっても初期の剛性が維持され続けるという仮定での解析を実施することとなるため、入力レベルが小さい場合は実現象を精度良く再現することができるが、入力の増大により挙動が塑性領域に入るような場合、部材の塑性化により剛性が低下する現象を模擬できない。そのため、実挙動が塑性領域に入る場合に弾性解析を用いると、応力を過大に評価する場合やひずみ(変形量)を過小に評価する<u>場合がある</u>。第 4-1 図は入力を応力で与える場合の傾向を示しており、<u>入力する応力が大きくなるに従い、ひずみが過小に評価される傾向を示している</u>。</p> <p>今回工認では、基準地震動 S_s による入力の増大に伴い、原子炉建屋の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が塑性領域に入ると考えられることから、入力レベルに応じた構造物の挙動を適切に評価することを目的として弾塑性解析を採用することが必要であると判断した。</p>  <p>第 4-1 図 弾性解析と弾塑性解析の違い (概念図)</p>	<p>あり、同様の変更については先行審査でも認可実績があり、論点とはならないと考えている。</p> <p>以上のことから、コンクリートの物性値の変更については、本資料における論点としては取り扱わないこととする。</p> <p>3. 弾塑性解析を採用する目的と論点について</p> <p>3.1 弾塑性解析を採用する目的</p> <p>弾性解析と弾塑性解析の応答性状の違いを示した概念図を第 3-1 図に示す。弾性解析は、どれだけ入力が大きくなっても初期の剛性が維持され続けるという仮定での解析を実施することとなるので、入力レベルが小さい場合は実現象を精度良く再現することができるが、入力の増大により挙動が塑性領域に入るような場合、部材の塑性化により剛性が低下する現象を模擬できない。そのため、実挙動が塑性領域に入る場合に弾性解析を用いると、応力を過大に評価し、ひずみ(変形量)は過小に評価することとなる。この傾向は入力が大きくなればなるほど、より顕著になると考えられる。</p> <p>今回工認では、基準地震動 S_s による入力の増大に伴い、原子炉建物等の鉄筋コンクリート構造全体としての挙動が塑性領域に入ると考えられることから、入力レベルに応じた構造物の挙動を適切に評価することを目的として弾塑性解析を採用することが必要であると判断した。</p>  <p>第 3-1 図 弾性解析と弾塑性解析の違い (概念図)</p>	<p>考慮しないため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>3. 2 弾塑性解析を採用するに当たっての論点</p> <p>3. 1で説明したとおり、<u>RCCV</u>の応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点としては、既工認で採用していた弾性解析では表現出来ないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。弾塑性挙動を適切に評価するに当たっては、塑性領域を含めた鉄筋及びコンクリートの材料構成則(材料の応力とひずみの関係をモデル化したもの)を適切に設定し解析を実施する必要があると考えられる。</p> <p>今回の工認で採用予定の材料構成則を第3-2図に示す。ここで、コンクリート(圧縮側)はCEBFIP^[1]モデル、コンクリート(引張側)はRC規準^[2](ひび割れ点の評価)と岡村・出雲モデル^[3](ひび割れ点以降の引張軟化曲線)、鉄筋(圧縮・引張側)は完全弾塑性型を用いているが、弾塑性挙動へ与える影響が大きいため、その設定の妥当性・適用性については十分に確認する必要があると判断し、「材料構成則の設定の妥当性」を弾塑性解析採用に当たっての論点として位置づけ、その妥当性・適用性を検討することとした。</p> <p><u>なお、コンクリートの構成則の設定において、初期剛性については実剛性、最大応力を決める際のコンクリート強度(第3-2図における0.38F_c及び-0.85F_cのF_cの値)としては設計基準強度を採用する方針である。</u></p> <p><u>また、材料構成則を適切に設定することに加え、弾塑性解析のもつ不確実性を踏まえ、構造物全体を対象とした実証的な試験データにより、今回工認で採用する弾塑性解析手法の妥当性・適用性についても併せて確認することとした。</u></p>	<p>4.2 弾塑性解析を採用するに当たっての<u>具体的論点</u></p> <p><u>(1) 材料構成則の妥当性</u></p> <p>基礎版の応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点は、既工認で採用していた弾性解析では表現できないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。弾塑性挙動を適切に評価するには、<u>塑性域</u>を含めた鉄筋及びコンクリートの材料構成則(材料の応力とひずみの関係をモデル化したもの)を適切に設定し解析を実施する必要がある。</p> <p>今回工認で採用予定の材料構成則を第4-2図に示す。ここで、コンクリート(圧縮側)はCEB-FIP^[1]モデル、コンクリート(引張側)はRC規準^[2](ひび割れ点の評価)と岡村・出雲モデル^[3](ひび割れ点以降の引張軟化曲線)、鉄筋(圧縮・引張側)は完全弾塑性型を用いているが、弾塑性挙動へ与える影響が大きいため、その設定の妥当性・適用性については十分に確認する必要があると判断し、「材料構成則の設定の妥当性」を弾塑性解析採用に当たっての論点として位置づけ、その妥当性・適用性を検討することとする。</p> <p><u>(2) 鉄筋コンクリート構造物の初期剛性低下</u></p> <p>3.11 地震に対する女川2号炉原子炉建屋の質点系モデルを用いたシミュレーション解析では、耐震壁の初期剛性を低下させるこ</p>	<p>3.2 弾塑性解析を採用するに当たっての論点</p> <p>3.1で説明したとおり、<u>原子炉建物の基礎スラブ等</u>の応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点としては、既工認で採用していた弾性解析では表現出来ないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。弾塑性挙動を適切に評価するに当たっては、<u>塑性領域</u>を含めた鉄筋及びコンクリートの材料構成則(材料の応力とひずみの関係をモデル化したもの)を適切に設定し解析を実施する必要があると考えられる。</p> <p>今回工認で採用予定の材料構成則を第3-2図に示す。ここで、コンクリート(圧縮側)はCEB-FIP^[1]モデル、コンクリート(引張側)はRC規準(ひび割れ点の評価)と岡村・出雲モデル^[2](ひび割れ点以降の引張軟化曲線)、鉄筋(圧縮・引張側)は完全弾塑性型を用いているが、弾塑性挙動へ与える影響が大きいため、その設定の妥当性・適用性については十分に確認する必要があると判断し、「材料構成則の設定の妥当性」を弾塑性解析採用に当たっての論点として位置づけ、その妥当性・適用性を検討することとした。</p> <p><u>また、応力解析においてシェル要素を用いた弾塑性解析を採用することについても、その妥当性・適用性を検討する。</u></p> <p><u>なお、本材料構成則については、柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉の鉄筋コンクリート製原子炉格納容器(以下「RCCV」という。)の設置変更許可段階の審査において採用している手法と同様である。</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉は動解モデルの剛性を設計剛性とする(既工認から変更なし)ため相違</p> <p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は地震観測</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>とにより観測記録との整合性が図られており、その傾向を基礎版の弾塑性解析にも適用する。</p> <p><u>具体的には、以下の解析を実施する。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・基礎版の弾塑性解析では、<u>基礎版の剛性を低下させた解析が、低下させない解析と比較し、必ずしもすべてのメッシュが安全側に評価される訳ではないことから、解析としては基礎版の初期剛性を既工認と同様に設計基準強度ベースで評価したケースと、それから初期剛性低下を考慮したケースの2ケースを実施する。</u> ・3.11地震に関する点検・解析結果では、<u>基礎版には地震によるひび割れは発生していないことを踏まえ、既工認と同様に設計基準強度ベースで剛性を評価したケースを基本ケースとし、初期剛性を低下させるケースは不確かさケースとして扱う。</u> ・<u>不確かさケースに用いる初期剛性の低下量については、参考資料3に示す基礎版上に設置されている地震観測記録の分析等を踏まえ設定する。材料構成則への反映方法は、コンクリートの材料構成則の初期剛性を低下させることとし、圧縮側も引張側も同じ値で低下させることとする。</u> ・<u>壁部分については、質点系モデルの基本ケースにおける耐震壁の初期剛性に整合するよう剛性を補正したものを基本ケースとし、質点系モデルの不確かさケースにおける耐震壁の初期剛性に整合するよう剛性を補正したものを不確かさケースとして扱う。</u> <p><u>シェル要素についてはコンクリートの材料構成則の初期剛性を低下させることとし、圧縮側も引張側も質点系モデルと整合する値で低下させることとする。梁要素については上部耐震壁の質点系モデルの初期剛性低下に整合するように補正する。補正の考え方を第4-3図、第4-4図に示す。また、基礎版と耐震壁の剛性の組合せの考え方を添付3に示す。</u></p>		<p>記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>



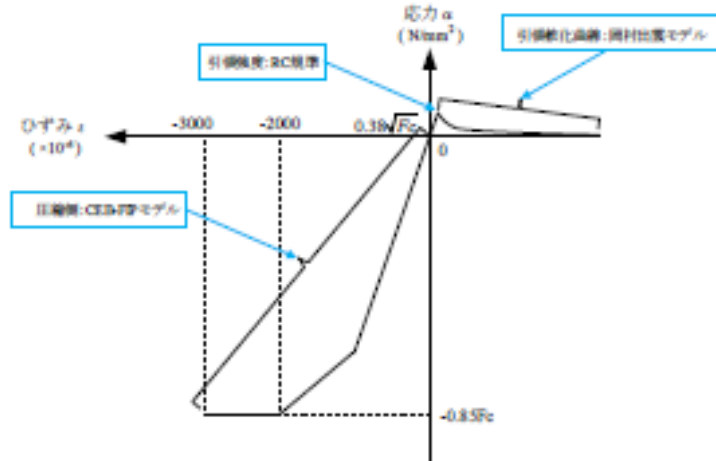
(a) コンクリートの応力-ひずみ関係



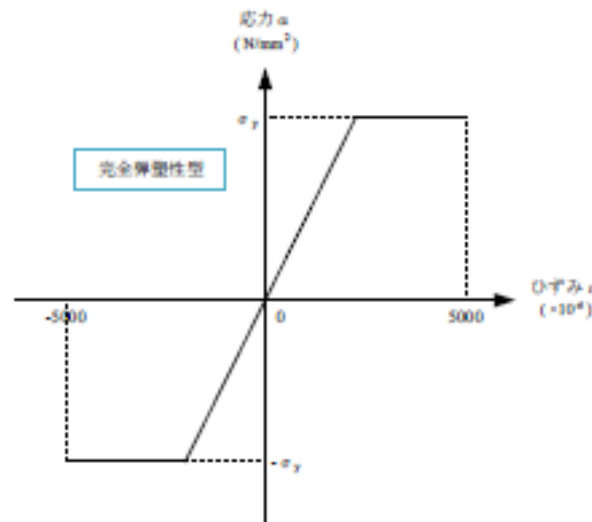
(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

F_c : コンクリートの設計基準強度, σ_y : 鉄筋の降伏強度

第3-2 図 採用予定の材料構成則



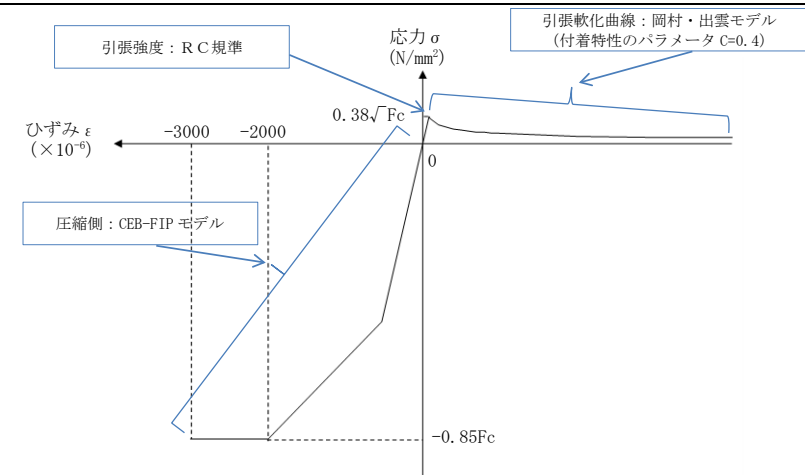
(a) コンクリートの応力-ひずみ関係



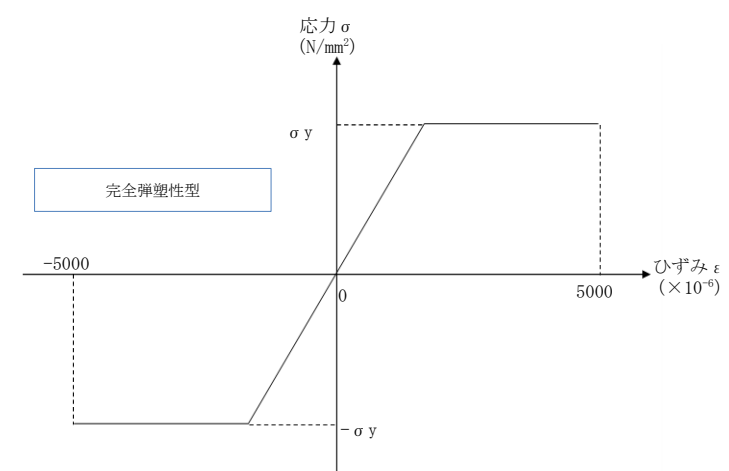
(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

F_c : コンクリートの設計基準強度, σ_y : 鉄筋の降伏強度

第4-2 図 採用予定の材料構成則



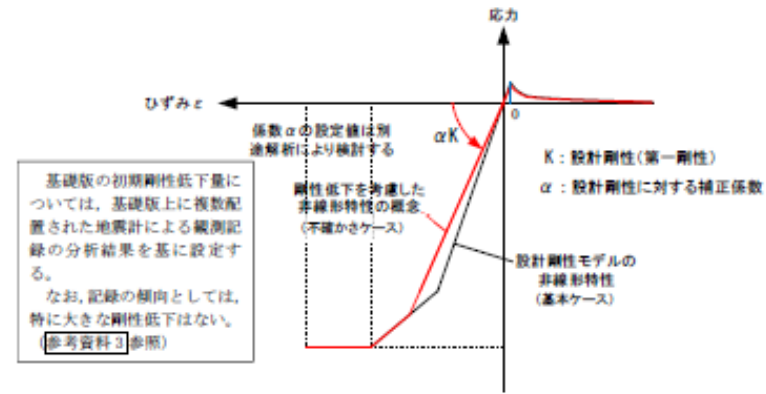
(a) コンクリートの応力-ひずみ関係



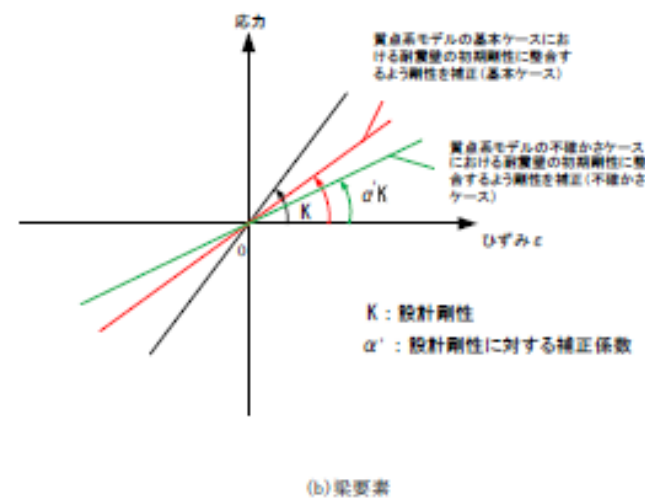
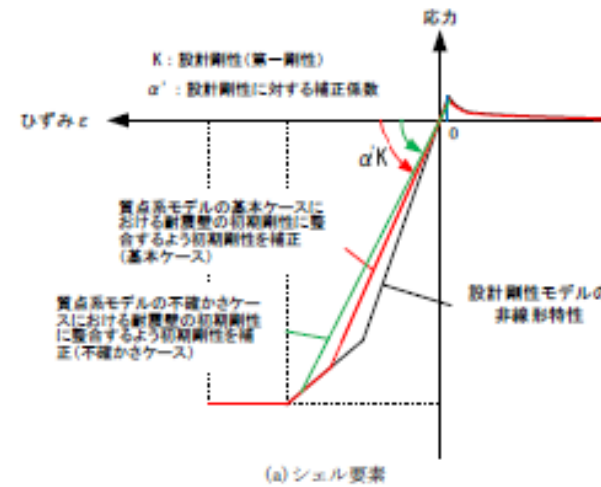
(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

F_c : コンクリートの設計基準強度, σ_y : 鉄筋の降伏強度

第3-2 図 採用予定の材料構成則



第4-3 図 基礎版の剛性低下の考え方



第4-4 図 耐震壁の剛性低下の考え方

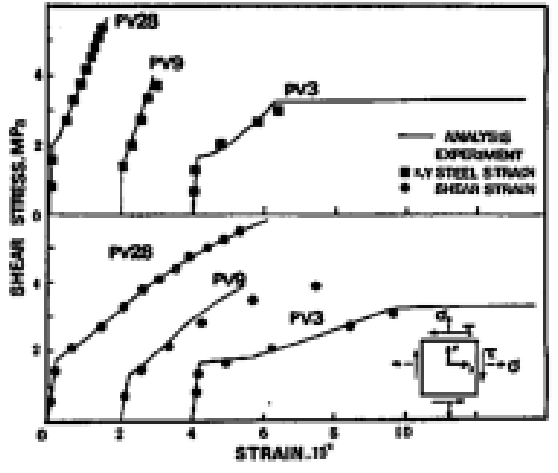
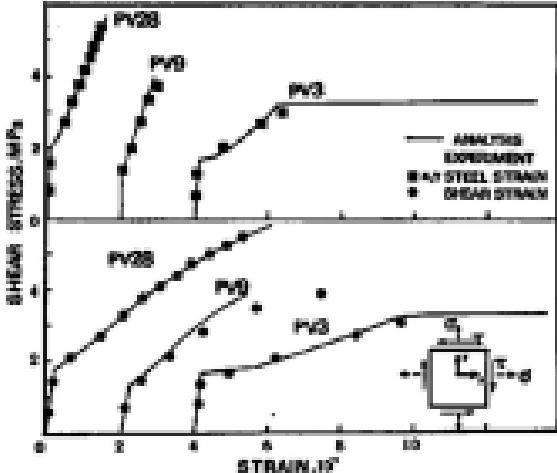
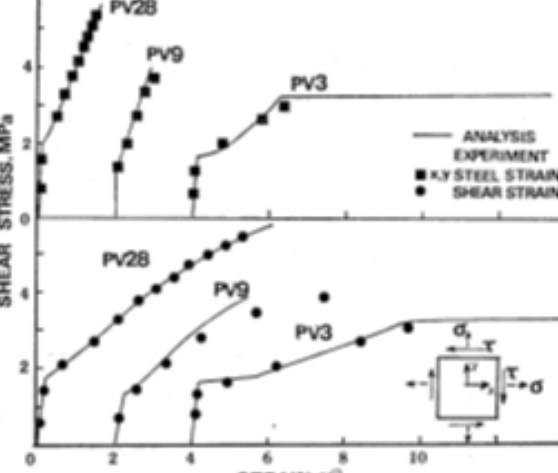
・モデルの相違
【女川2】
島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違

・同上

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>4. 材料構成則の適用性・妥当性について</p> <p>RCCV の応力解析では、基準地震動 S_s による外力の増大に伴い、鉄筋コンクリート部材の塑性化が想定されることから、鉄筋コンクリートの弾塑性挙動を踏まえた適切な評価を実施するために弾塑性解析を採用する予定である。その中でも適用した材料構成則が弾塑性挙動に直結する項目であることから、弾塑性解析を採用する上での論点として位置づけ、以下で設定に当たって適用した文献の内容を整理し、その妥当性・適用性を検討する。</p> <p>4.1 コンクリート (引張側)</p> <p>コンクリートの引張側の材料構成則のうち、ひび割れが発生するまでのコンクリートの剛性は圧縮側の初期剛性と同様の値とし、引張強度については、RC 規準^[2]における曲げひび割れ時のコンクリート引張強度に関する記載である(4.1)式を参考に、その下限値を設定している。なお、RC 規準は、既工認でも適用実績のある規格規準である。また、今回の検討では保守的に引張強度の下限値を参照し、コンクリート引張側のエネルギー消費を低く見積もることにより鉄筋の引張側の負担が増えるように配慮しており、十分に保守的な設定であると考えられる。</p> $\sigma_t = (0.38 \sim 0.75) \sqrt{\sigma_b} \quad (4.1)$ <p>σ_t: コンクリートの引張強度 σ_b: コンクリートの圧縮強度</p> <p>また、ひび割れ発生後は応力再配分により力の大部分は鉄筋が負担することとなるものの、実現象としては、鉄筋とコンクリート間の付着によりひび割れ後のコンクリートも構造全体に生じる応力の一部を負担することから、ひび割れ後の性状を考慮するために、ひび割れ点以降のコンクリートの構成則として引張軟化曲線を定義している。引張軟化曲線としては、弾塑性解析で使用する計算機コード「ABAQUS」で、各種実験結果との対応が良いことが確認されている岡村・出雲モデル^[3]を採用する予定である。</p>	<p>5. 材料構成則の妥当性・適用性について</p> <p>基礎版の応力解析では、基準地震動 S_s による外力の増大に伴い、鉄筋コンクリート部材の塑性化が想定されることから、鉄筋コンクリートの弾塑性挙動を踏まえた適切な評価を実施するために弾塑性解析を採用する予定である。その中でも適用した材料構成則が弾塑性挙動に直結する項目であることから、弾塑性解析を採用する上での論点として位置づけ、以下で設定に当たって適用した文献の内容を整理し、その妥当性・適用性を検討する。</p> <p>5.1 コンクリート (引張側)</p> <p>コンクリートの引張側の材料構成則のうち、ひび割れが発生するまでのコンクリートの剛性は圧縮側の初期剛性と同様の値とし、引張強度については、RC 規準^[2]における曲げひび割れ時のコンクリート引張強度に関する記載である(5.1)式を参考に、その下限値を設定している。なお、RC 規準は、既工認でも適用実績のある規格規準である。</p> $\sigma_t = (0.38 \sim 0.75) \sqrt{\sigma_b} \quad (5.1)$ <p>σ_t: コンクリートの引張強度 σ_b: コンクリートの圧縮強度</p> <p>また、ひび割れ発生後は応力再配分により力の大部分は鉄筋が負担することとなるものの、実現象としては、鉄筋とコンクリート間の付着によりひび割れ後のコンクリートも構造全体に生じる応力の一部を負担することから、ひび割れ後の性状を考慮するために、ひび割れ点以降のコンクリートの構成則として引張軟化曲線を定義している。引張軟化曲線としては、弾塑性解析で使用する計算機コード「ABAQUS」で、各種実験結果との対応が良いことが確認されている岡村・出雲モデル^[3]を採用する予定である。</p>	<p>4. 材料構成則の適用性・妥当性について</p> <p>原子炉建物の基礎スラブ等の応力解析では、基準地震動 S_s による外力の増大に伴い、鉄筋コンクリート部材の塑性化が想定されることから、鉄筋コンクリートの弾塑性挙動を踏まえた適切な評価を実施するために弾塑性解析を採用する予定である。その中でも適用した材料構成則が弾塑性挙動に直結する項目であることから、弾塑性解析を採用する上での論点として位置づけ、以下で設定に当たって適用した文献の内容を整理し、その妥当性・適用性を検討する。</p> <p>4.1 コンクリート (引張側)</p> <p>コンクリートの引張側の材料構成則のうち、ひび割れが発生するまでのコンクリートの剛性は圧縮側の初期剛性と同様の値とし、引張強度については、RC 規準における曲げひび割れ時のコンクリート引張強度に関する記載である(4.1)式を参考に、その下限値を設定している。なお、RC 規準は、既工認でも適用実績のある規格規準である。また、今回の検討では保守的に引張強度の下限値を参照し、コンクリート引張側のエネルギー消費を低く見積もることにより鉄筋の引張側の負担が増えるように配慮しており、十分に保守的な設定であると考えられる。</p> $\sigma_t = (0.38 \sim 0.75) \sqrt{\sigma_b} \quad \dots (4.1)$ <p>σ_t: コンクリートの引張強度 σ_b: コンクリートの圧縮強度</p> <p>また、ひび割れ発生後は応力再配分により力の大部分は鉄筋が負担することとなるものの、実現象としては、鉄筋とコンクリート間の付着によりひび割れ後のコンクリートも構造全体に生じる応力の一部を負担することから、ひび割れ後の性状を考慮するために、ひび割れ点以降のコンクリートの構成則として引張軟化曲線を定義している。引張軟化曲線としては、弾塑性解析で使用する計算機コード「ABAQUS」で、各種実験結果との対応が良いことが確認されている岡村・出雲モデルを採用する予定である。</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>柏崎 6/7 は RCCV を弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>岡村・出雲モデルは、既往文献における知見を参照して設定した項目であり、<u>先行審査を含めた既工認で適用実績がないため</u>、以下で、モデルの概要（モデルが提唱された論文における妥当性検証の内容含む）について整理した上で、既往の検討例を整理することにより <u>RCCV</u> の弾塑性解析への適用性を検討する。</p> <p><u>なお、コンクリートの引張側構成則については、設定値が解析結果に与える影響を確認するための検討を実施している。検討結果については、添付資料-3 に示す。</u></p> <p>(1) 岡村・出雲モデルの概要 岡村・出雲モデルは、<u>文献^[3]に示されるコンクリートの引張軟化曲線</u>であり、ひび割れた鉄筋コンクリートの引張軟化曲線を評価する際に設定する。鉄筋に関係なく、ひびわれ後のコンクリートの平均応力-平均ひずみの関係を与えているのが特徴であり、下記の式により表現される。</p> $\frac{\sigma_t}{f_t} = \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_t} \right)^c \quad (4.2)$ <p> σ_t : ひびわれと直角方向のコンクリートの平均引張応力 f_t : 2軸応力下のコンクリートの引張強度 ε_{cr} : ひびわれ発生時の平均引張ひずみ ε_t : ひびわれと直角方向の平均引張ひずみ c : 付着性状を表すパラメータ</p> <p>本モデルの妥当性については、原論文においても既往の実験結果との比較により検証されているため、以下ではその概要について記載する。</p>	<p>岡村・出雲モデルは、既往文献における知見を参照して設定した項目であり、既工認で適用実績がないため、以下で、モデルの概要（モデルが提唱された論文における妥当性検証の内容含む）について整理した上で、既往の検討例を整理することにより <u>基礎版</u> の弾塑性解析への適用性を検討する。</p> <p>(1) 岡村・出雲モデルの概要 岡村・出雲モデルは、<u>文献^[3]に示されるコンクリートの引張軟化曲線</u>であり、ひび割れた鉄筋コンクリートの引張軟化曲線を評価する際に設定する。鉄筋に関係なく、ひびわれ後のコンクリートの平均応力-平均ひずみの関係を与えているのが特徴であり、<u>(5.2) 式</u>により表現される。</p> $\frac{\sigma_t}{f_t} = \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_t} \right)^c \quad (5.2)$ <p> σ_t : ひび割れと直角方向のコンクリートの平均引張応力 f_t : 2軸応力下のコンクリートの引張強度 ε_{cr} : ひび割れ発生時の平均引張ひずみ ε_t : ひび割れと直角方向の平均引張ひずみ c : 付着性状を表すパラメータ</p> <p>本モデルの妥当性については、原論文においても既往の実験結果との比較により検証されているため、以下ではその概要について記載する。</p>	<p>岡村・出雲モデルは、既往文献における知見を参照して設定した項目であり、既工認で適用実績がないため、以下で、モデルの概要（モデルが提唱された論文における妥当性検証の内容含む）について整理した上で、既往の検討例を整理することにより <u>原子炉建物の基礎スラブ等</u>の弾塑性解析への適用性を検討する。</p> <p>(1) 岡村・出雲モデルの概要 岡村・出雲モデルは、<u>ひび割れた鉄筋コンクリートの引張軟化を評価する際に設定するコンクリートの引張軟化曲線</u>である。鉄筋に関係なく、ひび割れ後のコンクリートの平均応力-平均ひずみの関係を与えているのが特徴であり、<u>下記の式</u>により表現される。</p> $\frac{\sigma_t}{f_t} = \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_t} \right)^c \quad \dots (4.2)$ <p> σ_t : ひび割れと直角方向のコンクリートの平均引張応力 f_t : 2軸応力下のコンクリートの引張強度 ε_{cr} : ひび割れ発生時の平均引張ひずみ ε_t : ひび割れと直角方向の平均引張ひずみ c : 付着性状を表すパラメータ</p> <p>本モデルの妥当性については、原論文においても既往の実験結果との比較により検証されているため、以下ではその概要について記載する。</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・影響検討の相違 【柏崎 6/7】 コンクリート引張強度の設定は柏崎 6/7 の方針に基づいているため記載なし （柏崎 6/7 の検討においてコンクリート引張強度の下限值を採用することの妥当性が示されており、島根 2号炉も同様の方針であることから影響検討の記載なし）</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>原論文では、(4.2)式を用いることで既往の実験(Collins-Vecchioの実験^[4]、森田・角の実験^[5])から求められたコンクリートの平均応力-平均ひずみ曲線をほぼ再現できることを確認している(第4-1図)。ここで、付着性状を表すパラメータ c としては、鉄筋として溶接された金網を用いたCollins-Vecchioの実験^[4]では $c=0.2$、異形鉄筋を用いた森田・角の実験^[5]は $c=0.4$ が採用されている。なお、今回工認のRCCVの応力解析モデルでは、RCCVで用いている鉄筋が異形鉄筋であることを踏まえ、$c=0.4$ を採用している。後述する財団法人原子力発電技術機構の原子炉格納容器信頼性実証事業における解析例でも $c=0.4$ が採用されている。</p> <p>また、ひび割れ後のコンクリートの構成則として(4.2)式を用いた検討を実施し、既往の実験時の挙動を再現できるかを確認している。ここでは、既往の実験(Collins-Vecchioの実験^[4]及び青柳・山田の実験^[6])からコンクリートの引張剛性の影響を受ける供試体を選定し、鉄筋コンクリート部材の挙動(せん断ひずみ、鉄筋のひずみ)が実験値とよく一致する結果となることを確認している(第4-2図)。このことから岡村・出雲モデルがひび割れ後の挙動をよく表現できるモデルであるとしている。</p>	<p>原論文では、(5.2)式を用いることで既往の実験(Collins-Vecchioの実験^[4]、森田・角の実験^[5])から求められたコンクリートの平均応力-平均ひずみ曲線をほぼ再現できることを確認している(第5-1図)。ここで、付着性状を表すパラメータ c としては、鉄筋として溶接された金網を用いたCollins-Vecchioの実験^[4]では $c=0.2$、異形鉄筋を用いた森田・角の実験^[5]は $c=0.4$ が採用されている。</p> <p>また、ひび割れ後のコンクリートの構成則として(5.2)式を用いた検討を実施し、既往の実験時の挙動を再現できるかを確認している。ここでは、既往の実験(Collins-Vecchioの実験^[4]及び青柳・山田の実験^[6])からコンクリートの引張剛性の影響を受ける供試体を選定し、鉄筋コンクリート部材の挙動(せん断ひずみ、鉄筋のひずみ)が実験値とよく一致する結果となることを確認している(第5-2図)。このことから岡村・出雲モデルがひび割れ後の挙動をよく表現できるモデルであるとしている。</p>	<p>原論文では、(4.2)式を用いることで既往の実験(Collins-Vecchioの実験^[3]、森田・角の実験^[4])から求められたコンクリートの平均応力-平均ひずみ曲線をほぼ再現できることを確認している(第4-1図)。ここで、付着性状を表すパラメータ c としては、鉄筋として溶接された金網を用いたCollins-Vecchioの実験では $c=0.2$、異形鉄筋を用いた森田・角の実験は $c=0.4$ が採用されている。なお、今回工認の原子炉建物の基礎スラブ等の応力解析モデルでは、原子炉建物の基礎スラブ等で用いている鉄筋が異形鉄筋であることを踏まえ、$c=0.4$ を採用している。</p> <p>また、ひび割れ後のコンクリートの構成則として(4.2)式を用いた検討を実施し、既往の実験時の挙動を再現できるかを確認している。ここでは、既往の実験(Collins-Vecchioの実験及び青柳・山田の実験^[6])からコンクリートの引張剛性の影響を受ける供試体を選定し、鉄筋コンクリート部材の挙動(せん断ひずみ、鉄筋のひずみ)が実験値とよく一致する結果となることを確認している(第4-2図)。このことから岡村・出雲モデルがひび割れ後の挙動をよく表現できるモデルであるとしている。</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p>
<p>第4-1図 岡村・出雲モデルと他のモデルとの比較 ([3]より引用)</p>	<p>第5-1図 岡村・出雲モデルと他のモデルとの比較 ([3]より引用)</p>	<p>第4-1図 岡村・出雲モデルと他のモデルとの比較 (文献(2)より引用)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p data-bbox="237 745 845 829">第4-2 図 コンクリート引張剛性モデルの検証結果 ([3]より引用)</p> <p data-bbox="163 924 934 1858">(2) 解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例 a) 日本建築学会「コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用」での検討例 日本建築学会「コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用」^[4]には、RCCVの応力解析でも用いる予定の解析プログラム「ABAQUS」を使用した解析例が示されている。 ここでもコンクリートの引張軟化曲線として岡村・出雲モデルを用いた検討例が示されており、既往の試験結果と解析結果との対応が良好であることが確認されている。 本文献においては、簡易要素ベンチマークテスト、梁せん断試験、床曲げ試験の検討例が示されている。以下にその概要を述べる。 梁せん断破壊試験については、既往の文献^[8]に示される試験体を模擬して、試験体中央部に鉛直方向単調荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、「ABAQUS」で用いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである(第4-3 図)。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。 鉄筋コンクリート床の曲げ破壊試験については、既往の文献^[9]に示される試験体を模擬し、荷重積載部に鉛直方向単位荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、「ABAQUS」で用</p>	 <p data-bbox="1038 745 1647 829">第5-2 図 コンクリート引張剛性モデルの検証結果 ([3]より引用)</p> <p data-bbox="964 924 1736 1858">(2) 解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例 日本建築学会「コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用」^[4]には、基礎版の応力解析でも用いる予定の解析プログラム「ABAQUS」を使用した解析例が示されている。 ここでもコンクリートの引張軟化曲線として岡村・出雲モデルを用いた検討例が示されており、既往の試験結果と解析結果との対応が良好であることが確認されている。 本文献においては、簡易要素ベンチマークテスト、梁せん断試験、床曲げ試験の検討例が示されている。以下にその概要を述べる。 梁せん断破壊試験については、既往の文献^[8]に示される試験体を模擬して、試験体中央部に鉛直方向単調荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、「ABAQUS」で用いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである(第5-3 図)。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。 鉄筋コンクリート床の曲げ破壊試験については、既往の文献^[9]に示される試験体を模擬し、荷重積載部に鉛直方向単位荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、「ABAQUS」で用</p>	 <p data-bbox="1810 745 2448 829">第4-2 図 コンクリート引張剛性モデルの検証結果 (文献(2)より引用)</p> <p data-bbox="1751 924 2522 1858">(2) 解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例 a) 日本建築学会「コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用」での検討例 日本建築学会「コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用」^[6]には、鉄筋コンクリート部材の応力解析に用いる予定の解析プログラム「ABAQUS」を使用した解析例が示されている。 ここでもコンクリートの引張軟化曲線として岡村・出雲モデルを用いた検討例が示されており、既往の試験結果と解析結果との対応が良好であることが確認されている。 本文献においては、簡易要素ベンチマークテスト、梁せん断試験、床曲げ試験の検討例が示されている。以下にその概要を述べる。 梁せん断破壊試験については、既往の文献^[8]に示される試験体を模擬して、試験体中央部に鉛直方向単調荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、「ABAQUS」で用いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである(第4-3 図)。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。 鉄筋コンクリート床の曲げ破壊試験については、既往の文献^[8]に示される試験体を模擬し、荷重積載部に鉛直方向単位荷重を変位制御で載荷する静的漸増非線形解析を実施し、「ABAQUS」で用</p>	備考

いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである(第4-4図)。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。

いる塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである(第5-4図)。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。

る塑性損傷モデルに係るパラメータを検討したものである(第4-4図)。ここでの検討の結論としても、コンクリートの引張軟化曲線は、岡村・出雲モデルを用いた検討ケースが文献における実験結果との対応が良好とされている。

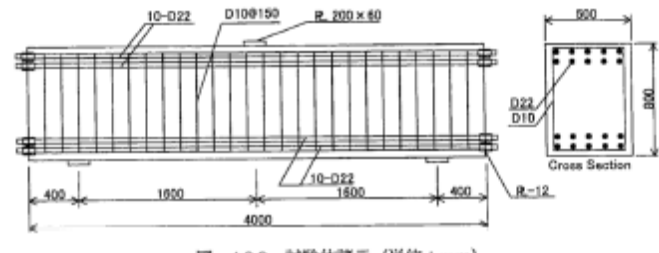


図-4.3.9 試験体諸元 (単位: mm)

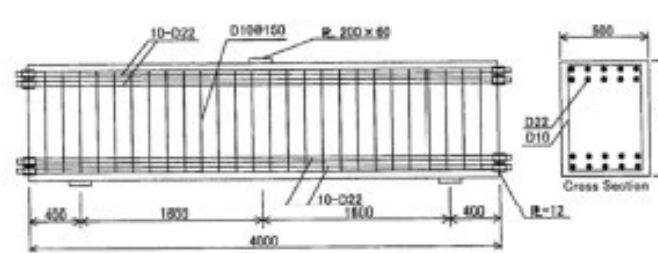


図-4.3.9 試験体諸元 (単位: mm)

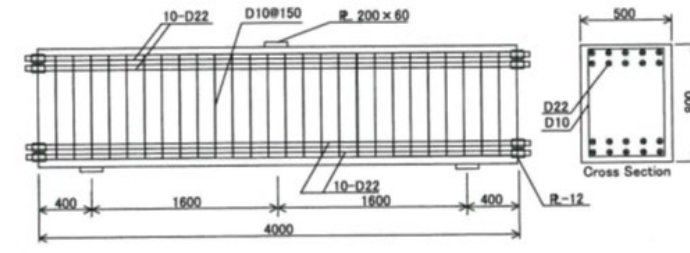


図-4.3.9 試験体諸元 (単位: mm)

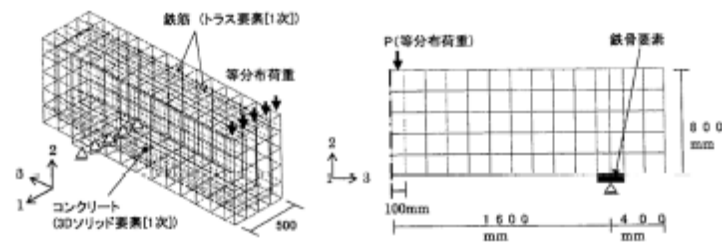


図-4.3.10 解析モデル

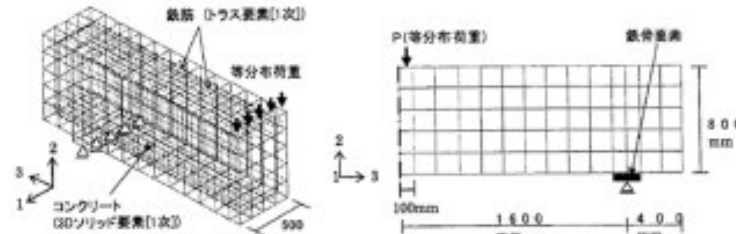


図-4.3.10 解析モデル

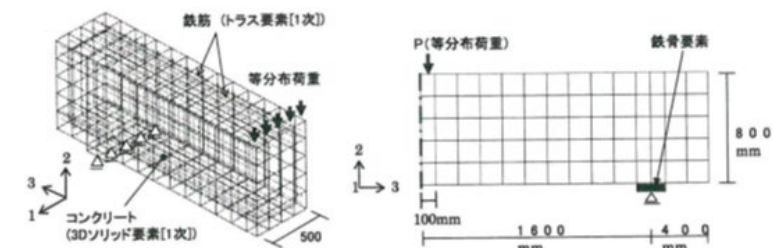


図-4.3.10 解析モデル

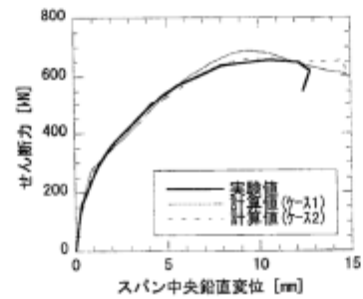


図-4.3.11 せん断力-スパン中央鉛直変位関係

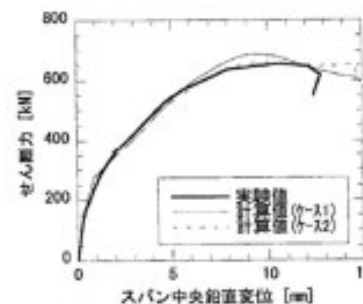


図-4.3.11 せん断力-スパン中央鉛直変位関係

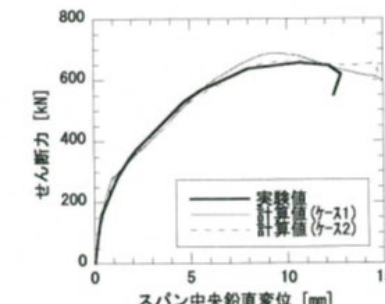


図-4.3.11 せん断力-スパン中央鉛直変位関係

第4-3図 梁せん断破壊試験に基づく検証結果 ([7]より引用)

第5-3図 梁せん断破壊試験に基づく検証結果 ([7]より引用)

第4-3図 梁せん断破壊試験に基づく検証結果 (文献(6)より引用)

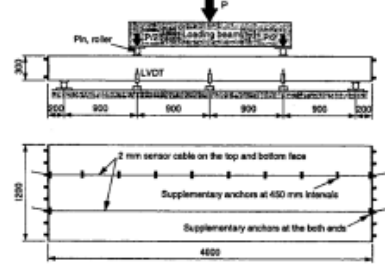


図-4.3.12 試験体諸元

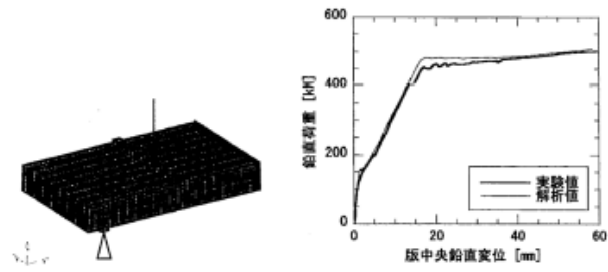


図-4.3.13 解析モデル

図-4.3.14 鉛直荷重—版中央鉛直変位関係

第 4-4 図 鉄筋コンクリートの曲げ破壊試験に基づく検証結果 ([7]より引用)

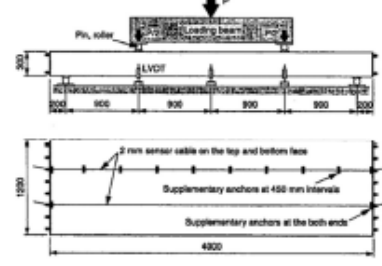


図-4.3.12 試験体諸元

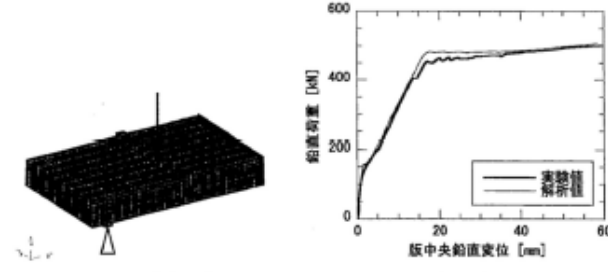


図-4.3.13 解析モデル

図-4.3.14 鉛直荷重—版中央鉛直変位関係

第 5-4 図 鉄筋コンクリートの曲げ破壊試験に基づく検証結果 ([7]より引用)

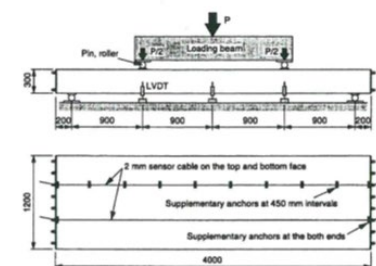


図-4.3.12 試験体諸元

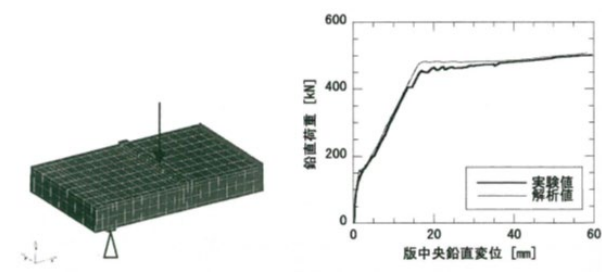
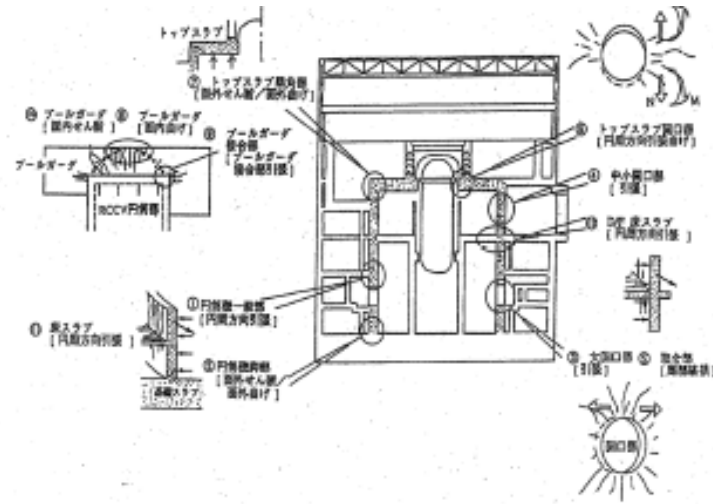


図-4.3.13 解析モデル

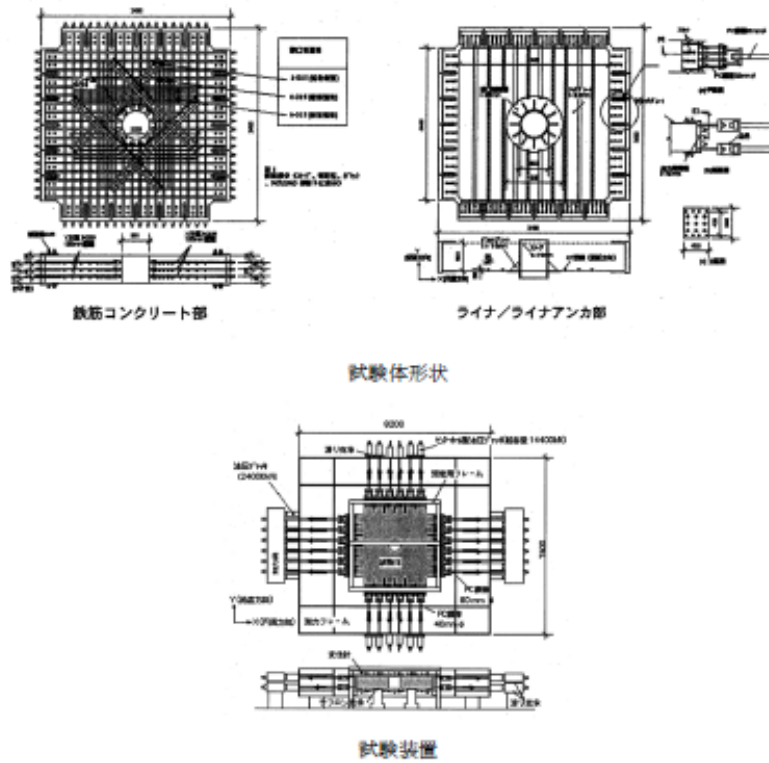
図-4.3.14 鉛直荷重—版中央鉛直変位関係

第 4-4 図 鉄筋コンクリートの曲げ破壊試験に基づく検証結果 (文献(6)より引用)

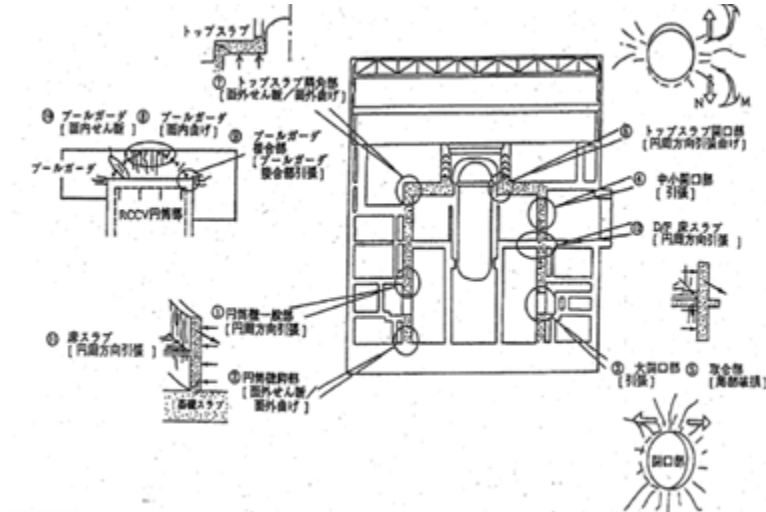
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>b) 原子炉格納容器信頼性実証事業における検討例</p> <p>財団法人 原子力発電技術機構が実施した原子炉格納容器信頼性実証事業^[10]においても、基礎要素特性試験（二軸引張基礎要素特性試験）の結果を用いて、「ABAQUS」による検討を実施しており、そこで得られた知見として、コンクリートの構成則特性については、出雲式が実験との整合が良いと記載されている。試験及び解析の概要を以下に示す。</p> <p>基礎要素特性試験は、RCCV の限界挙動を評価する解析モデルの妥当性検証を主たる目的として実施されたものであり、RCCV において想定される破損部位とモードを踏まえて試験内容が設定されている。RCCV の破壊想定部位及びモードは第 4-5 図に示すとおりとしており、このうち、局所的な損傷が大きくなる領域（円筒壁脚部：面外せん断，面外曲げ，大開口部：引張，トップスラブ開口部：円周方向引張曲げ，トップスラブ隅角部：面外せん断，面外曲げ）に対しては，部分詳細モデルを用いた解析を実施し，特に，円筒壁における大開口部周りでは，開口部周りの厚板部と薄板の接合部等の開口部を構成する補強部材等の影響で，ライナにひずみ集中が発生することが想定された。このため，開口部及び周囲の鉄筋コンクリート／ライナ性状を模擬した 2 軸引張試験が実施されることとなったものである。</p> <p>試験では RCCV の開口部及び周囲の鉄筋コンクリート／ライナ性状を模擬した試験体（ライナあり・なしの 2 種類の試験体）を直角 2 方向に引張加力し，その構造的挙動を確認している。試験体の材料（鉄筋，コンクリート）は実機と同等のものを用いており，配筋についても実機をできる限り忠実にモデル化するとしている。試験体の縮尺は，ライナの破損を評価するためにはできるだけ大きな縮尺が望ましいとして，1/2 倍としている。試験体形状及び加力装置を第 4-6 図に示す。</p>		<p>b. 原子炉格納容器信頼性実証事業における検討例</p> <p>財団法人原子力発電技術機構が実施した原子炉格納容器信頼性実証事業^⑨においても、基礎要素特性試験（二軸引張基礎要素特性試験）の結果を用いて、「ABAQUS」による検討を実施しており、そこで得られた知見として、コンクリートの構成則特性については、出雲式が実験との整合が良いと記載されている。試験及び解析の概要を以下に示す。</p> <p>基礎要素特性試験は、RCCV の限界挙動を評価する解析モデルの妥当性検証を主たる目的として実施されたものであり、RCCV において想定される破損部位とモードを踏まえて試験内容が設定されている。RCCV の破壊想定部位及びモードは第 4-5 図に示すとおりとしており、このうち、局所的な損傷が大きくなる領域（円筒壁脚部：面外せん断，面外曲げ，大開口部：引張，トップスラブ開口部：円周方向引張曲げ，トップスラブ隅角部：面外せん断，面外曲げ）に対しては，部分詳細モデルを用いた解析を実施し，特に，円筒壁における大開口部周りでは，開口部周りの厚板部と薄板の接合部等の開口部を構成する補強部材等の影響で，ライナにひずみ集中が発生することが想定された。このため，開口部及び周囲の鉄筋コンクリート／ライナ性状を模擬した 2 軸引張試験が実施されることとなったものである。</p> <p>試験では RCCV の開口部及び周囲の鉄筋コンクリート／ライナ性状を模擬した試験体（ライナあり・なしの 2 種類の試験体）を直角 2 方向に引張加力し，その構造的挙動を確認している。試験体の材料（鉄筋，コンクリート）は実機と同等のものを用いており，配筋についても実機をできる限り忠実にモデル化するとしている。試験体の縮尺は，ライナの破損を評価するためにはできるだけ大きな縮尺が望ましいとして，1 / 2 倍としている。試験体形状及び加力装置を第 4-6 図に示す。</p>	



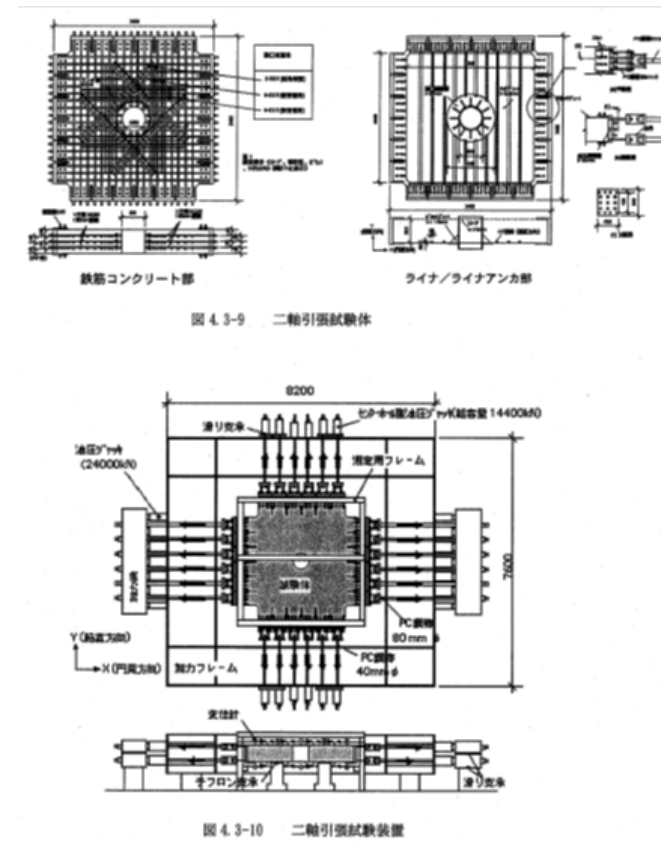
第4-5 図 RCCV の破損想定部位とモード
([10]より抜粋)



第4-6 図 二軸引張基礎要素特性試験の試験体及び試験装置
([10]より抜粋)

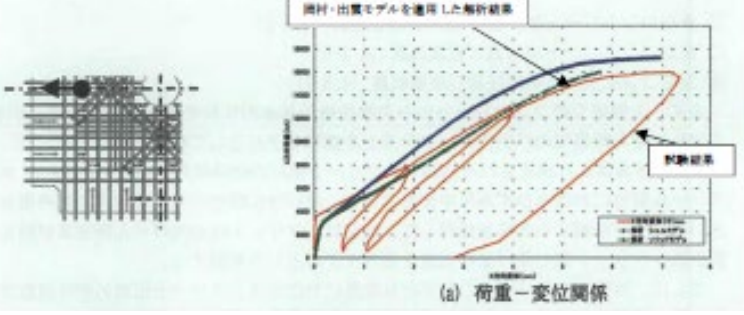
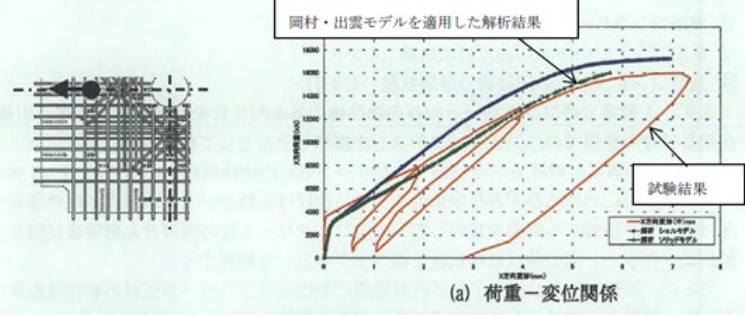


第4-5 図 RCCVの破損想定部位とモード
(文献(9)より引用)



第4-6 図 二軸引張基礎要素特性試験の試験体及び試験装置
(文献(9)より引用)

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>実験結果を踏まえた解析としては、荷重分布・材料物性・構成則・要素の種類（シェル要素，ソリッド要素）・ライナアンカのモデル化が及ぼす影響について検討が行われている。シェル要素での検討は、解析コード「LASHET」（清水建設（株）所有），ソリッド要素での検討では、解析コードとして「ABAQUS」が使用されている。</p> <p>ソリッド要素モデルは、開口部周りや円筒部脚部，トップスラブ隅角部を対象とする解析に用いられており，検討に当たっては，第4-7図に示すとおり，ライナなしのRCのみのモデルとライナありのモデルが作成されている。ライナなしのモデルはコンクリートの引張強度とテンションスティフニング特性（引張軟化曲線）をパラメータとして解析し，シェル要素モデルと解析精度の比較が行われている。</p> <p>解析結果を第4-8図に示す。この解析から得られた知見のうち，コンクリート構成則特性については，出雲式(岡村・出雲モデル)が実験との整合が良いとされている。</p> <p>なお，NUPECによる解析において，岡村・出雲モデル適用時の付着性状を表すパラメータは，岡村・出雲モデルの原論文で異形鉄筋に対する適用性が確認されている $c=0.4$ が使用されている。</p> <div data-bbox="172 1199 914 1486" data-label="Image"> </div> <p>第4-7図 ソリッド要素による解析モデル（[10]より抜粋）</p>		<p>実験結果を踏まえた解析としては、荷重分布・材料物性・構成則・要素の種類（シェル要素，ソリッド要素）・ライナアンカのモデル化が及ぼす影響について検討が行われている。シェル要素での検討は、解析コード「LASHET」（清水建設（株）所有），ソリッド要素での検討では、解析コードとして「ABAQUS」が使用されている。</p> <p>ソリッド要素モデルは、開口部周りや円筒部脚部，トップスラブ隅角部を対象とする解析に用いられており，検討に当たっては，第4-7図に示すとおり，ライナなしのRCのみのモデルとライナありのモデルが作成されている。ライナなしのモデルはコンクリートの引張強度とテンションスティフニング特性（引張軟化曲線）をパラメータとして解析し，シェル要素モデルと解析精度の比較が行われている。</p> <p>解析結果を第4-8図に示す。この解析から得られた知見のうち，コンクリート構成則特性については，出雲式(岡村・出雲モデル)が実験との整合が良いとされている。</p> <p>なお，NUPECによる解析において，岡村・出雲モデル適用時の付着性状を表すパラメータは，岡村・出雲モデルの原論文で異形鉄筋に対する適用性が確認されている $c=0.4$ が使用されている。</p> <div data-bbox="1745 1209 2504 1528" data-label="Image"> </div> <p>第4-7図 ソリッド要素による解析モデル（文献(9)より引用）</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p data-bbox="290 613 786 646">第4-8図 解析結果 ([10]より抜粋、加筆)</p>	<p data-bbox="955 793 1715 1050">また、弾塑性解析による既往の検討^{[10][11]}では、基礎版をシェル要素でモデル化した場合の面外せん断変形時の応力分布性状に関する比較検討を行っており、AIJ指針、道路橋示方書、鉄道構造物等設計標準、Eurocodeに記述されている柱・梁部材の塑性ヒンジ領域の長さや部材せいの関係におおむね整合する解析結果が得られることを示している(第5-5図)。</p>	 <p data-bbox="1846 613 2410 646">第4-8図 解析結果 (文献(9)より引用、加筆)</p> <p data-bbox="1757 751 2516 1050">c. 基礎スラブをシェル要素でモデル化した場合の検討例 弾塑性解析による既往の検討⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾では、基礎スラブをシェル要素でモデル化した場合の面外変形時の応力分布性状に関する比較検討を行っており、AIJ指針、道路橋示方書、鉄道構造物等設計標準、Eurocodeに記述されている柱・梁部材の塑性ヒンジ領域の長さや部材せいの関係におおむね整合する解析結果が得られることを示している。(第4-9図)</p>	<p data-bbox="2546 751 2843 1092">・対象施設の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p>

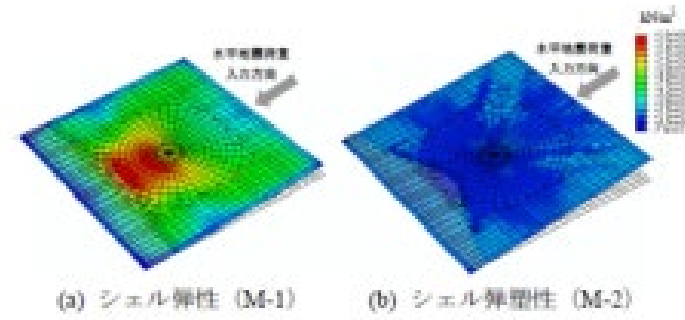
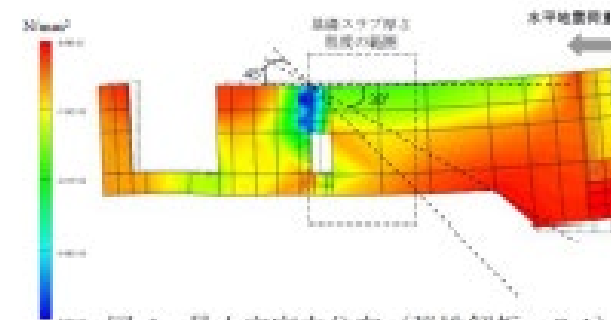
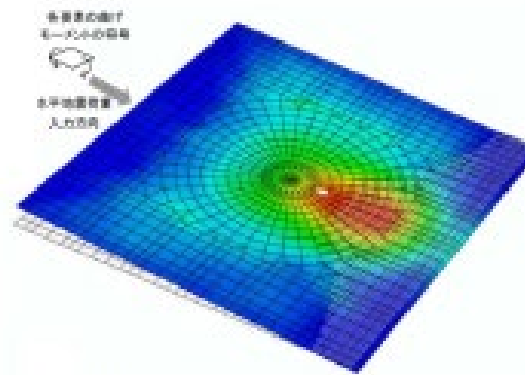


図-5 基礎スラブコンクリート部の最大主応力分布



第 5-5 図 弾塑性解析による既往の検討例 ([10], [11]より引用)

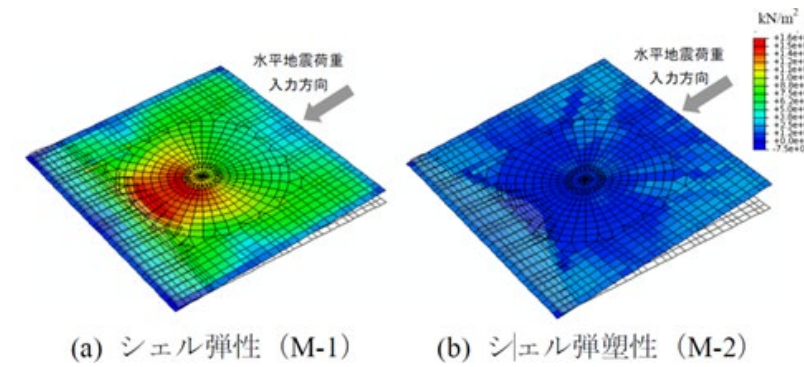
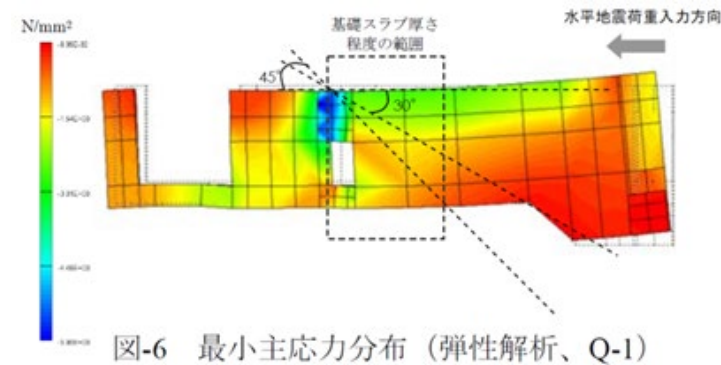
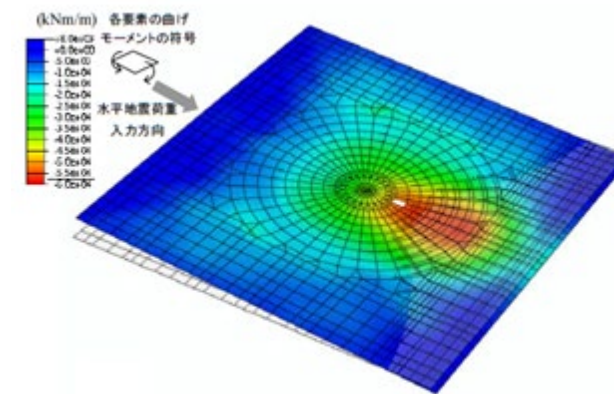


図-5 基礎スラブコンクリート部の最大主応力分布



第 4-9 図 弾塑性解析による既往の検討例 (文献(10), (11)より引用)

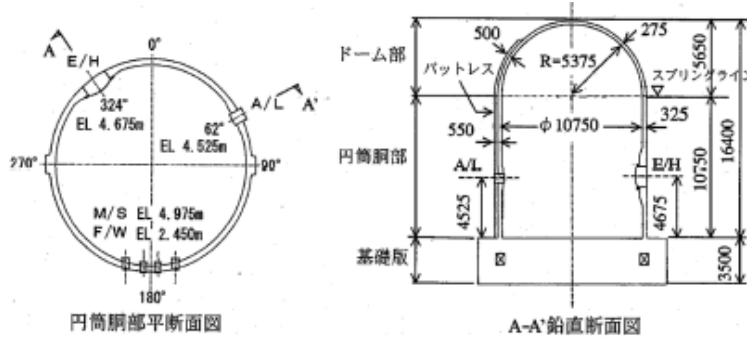
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
柏崎 6/7 はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(3) 岡村・出雲モデルのRCCV 応力解析への適用性について</p> <p>岡村・出雲モデルは、提案時より既往の複数の実験結果を用いて妥当性が十分に検証されていること、また、今回使用する解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例でもRCCV 実機を想定した試験体を含めた各種実験結果との対応が良好とされていることから、3次元FEMモデルによる弾塑性解析を実施する際のコンクリート（引張側）の構成則（引張軟化曲線）として、採用することは妥当であると考えている。</p> <p>4.2 コンクリート(圧縮側)</p> <p>コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、CCV規格の図CVE3511.2-1を参考にした上で、パラボラ型の応力歪み曲線を想定するに当たって標準的なCEB-FIP Model Code^[1]に基づき設定している。</p> <p>CEB-FIP Model Codeにおけるコンクリート（圧縮側）の構成則は以下の(4.3)式により規定されている。なお、(4.3)式に基づく場合、6号及び7号炉のコンクリート圧縮強度は50MPa(N/mm²)以下であるため、終局ひずみは0.0035となるが、CCV規格における終局ひずみは0.003であるためRCCVの応力解析で用いるのは0.003までの範囲内とする。</p> $\left. \begin{aligned} \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right)^2 \right] && (\epsilon_c < \epsilon_{c1} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} && (\epsilon_{c1} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0 && (\epsilon_{cu} < \epsilon_c \text{ の場合}) \end{aligned} \right\} (4.3)$ <p>ここで、$\epsilon_{c1} = 0.002$、$\epsilon_{cu} = 0.0035$ ($f_{ck} \leq 50\text{MPa}$ の場合)、$\epsilon_{cu} = 0.0035 \left(\frac{50}{f_{ck}} \right)$ ($50\text{MPa} \leq f_{ck} \leq 80\text{MPa}$ の場合) とする。</p> <p>σ_{cd}:コンクリートの応力、ϵ_c:コンクリートのひずみ、ϵ_{cu}:コンクリートの終局ひずみ、f_{cd}, f_{ck}:コンクリート圧縮強度</p>	<p>(3) 岡村・出雲モデルの基礎版応力解析への適用性について</p> <p>岡村・出雲モデルは、提案時より既往の複数の実験結果を用いて妥当性が十分に検証されていることから、3次元FEMモデルによる弾塑性解析を実施する際のコンクリート（引張側）の構成則（引張軟化曲線）として、採用することは妥当であると考えられる。</p> <p>5.2 コンクリート(圧縮側)</p> <p>コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、CCV規格の図CVE3511.2-1を参考にした上で、パラボラ型の応力ひずみ曲線を想定するに当たって標準的なCEB-FIP Model Code^[1]に基づき設定している。</p> <p>CEB-FIP Model Codeにおけるコンクリート（圧縮側）の構成則は以下の(5.3)式により規定されている。なお、(5.3)式に基づく場合、女川2号炉のコンクリート圧縮強度は50MPa(N/mm²)以下であるため、終局ひずみは0.0035となるが、CCV規格における終局ひずみは0.003であるため基礎版の応力解析で用いるのは0.003までの範囲内とする。</p> $\left. \begin{aligned} \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right)^2 \right] && (\epsilon_c < \epsilon_{c1} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} && (\epsilon_{c1} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0 && (\epsilon_{cu} < \epsilon_c \text{ の場合}) \end{aligned} \right\} (5.3)$ <p>ここで$\epsilon_{c1} = 0.002$</p> <p>$\epsilon_{cu} = 0.0035$ ($f_{ck} \leq 50\text{MPa}$ の場合)</p> <p>$\epsilon_{cu} = 0.0035 \left(\frac{50}{f_{ck}} \right)$ ($50\text{MPa} \leq f_{ck} \leq 80\text{MPa}$ の場合)</p> <p>σ_{cd}:コンクリートの応力 ϵ_c:コンクリートのひずみ ϵ_{cu}:コンクリートの終局ひずみ f_{cd}, f_{ck}:コンクリート圧縮強度</p>	<p>(3) 岡村・出雲モデルの鉄筋コンクリート部材の応力解析への適用性について</p> <p>岡村・出雲モデルは、提案時より既往の複数の実験結果を用いて妥当性が十分に検証されていること、また、今回使用する解析プログラム「ABAQUS」を用いた検討例でも鉄筋コンクリート部材の各種実験結果との対応が良好とされていることから、3次元FEMモデルによる弾塑性解析を実施する際のコンクリート（引張側）の構成則（引張軟化曲線）として、採用することは妥当であると考えている。</p> <p>4.2 コンクリート（圧縮側）</p> <p>コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、CCV規格の図CVE3511.2-1を参考にした上で、パラボラ型の応力ひずみ曲線を想定するに当たって標準的なCEB-FIP Model Codeに基づき設定している。</p> <p>CEB-FIP Model Codeにおけるコンクリート（圧縮側）の構成則は以下の(4.3)式により規定されている。なお、(4.3)式に基づく場合、島根2号炉のコンクリート強度は50MPa(N/mm²)以下であるため、終局ひずみは0.0035となるが、CCV規格における終局ひずみは0.003であるため、鉄筋コンクリート部材の応力解析で用いるのは0.003までの範囲内とする。</p> $\left. \begin{aligned} \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right)^2 \right] && (\epsilon_c < \epsilon_{c1} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} && (\epsilon_{c1} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0 && (\epsilon_{cu} < \epsilon_c \text{ の場合}) \end{aligned} \right\} \dots (4.3)$ <p>ここで、$\epsilon_{c1} = 0.002$、$\epsilon_{cu} = 0.0035$ ($f_{ck} \leq 50\text{MPa}$ の場合)、$\epsilon_{cu} = 0.0035 \left(\frac{50}{f_{ck}} \right)$ ($50\text{MPa} < f_{ck} \leq 80\text{MPa}$ の場合)</p> <p>σ_{cd}:コンクリートの応力 ϵ_c:コンクリートのひずみ</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・同上</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>既工認において、荷重状態IVに対する RCCV の応力解析は弾性解析であったが、応力解析から求まる応力（膜力、曲げモーメント等）をもとにコンクリートの圧縮ひずみを算定する際、パラボラ型の応力歪み曲線を仮定している。既工認「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」から関連箇所の抜粋を第4-9 図及び第 4-10 図に示す。ここで設定したパラボラ型の応力歪み曲線は、今回と同様に CEB-FIP Model Code に基づき設定している。なお、既工認と今回工認で参照した CEB FIP Model Code は同じものであるものの、前掲した第 3-2 図に示したとおり、今回工認では折れ線近似している。</p> <p>折れ線近似することの考え方は添付資料-4 に示す。</p> <p>以上のことから、コンクリートの圧縮側の弾塑性特性については、CEB-FIP Model Code に基づき設定することは妥当であると考えている。</p> <p>4. 3 鉄筋（引張側，圧縮側） 鉄筋の非線形特性については、CCV 規格（CVE-3511.2 の記載）に基づき完全弾塑性型として設定している。</p> <p>既工認において、荷重状態IVに対する RCCV の応力解析は弾性解</p>	<p>5.3 鉄筋（引張側，圧縮側） 鉄筋の非線形特性については、CCV 規格（CVE-3511.2 の記載）に基づき完全弾塑性型として設定している。</p>	<p>ϵ_{cu} : コンクリートの終局ひずみ f_{cd}, f_{ck} : コンクリート圧縮強度</p> <p>CCV規格では、鉄筋コンクリート部材から構成されるRCCVにおいて、荷重状態IVに対する応力解析から求まる応力（膜力、曲げモーメント等）をもとにコンクリートの圧縮ひずみを算定する際、パラボラ型の応力ひずみ曲線を仮定している。CCV規格に示されるコンクリートの応力度・ひずみ関係を第4-10 図に示す。なお、今回工認で参照した CEB-FIP Model Code はパラボラ型であるものの、前掲した第3-2 図に示したとおり、今回工認では折れ線近似している。</p> <p>今回工認で適用するコンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について添付資料-2 に示す。</p> <p>以上のことから、コンクリートの圧縮側の弾塑性特性については、CEB-FIP Model Code に基づき設定することは妥当であると考えている。</p> <div data-bbox="1751 1050 2300 1533" data-label="Figure"> </div> <p>第4-10 図 コンクリートの応力度・ひずみ関係（CCV規格より引用）</p> <p>4.3 鉄筋（引張側，圧縮側） 鉄筋の非線形特性については、CCV規格（CVE-3511.2 の記載）に基づき完全弾塑性型として設定している。</p> <p>CCV規格では、鉄筋コンクリート部材から構成されるRCCV</p>	<p>・引用文献の相違 【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 のRCCVは既工認に基づき設定しているが、島根 2号炉はCCV規格を引用するため相違</p> <p>・同上</p> <p>・同上</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>析であったが、応力解析から求まる応力をもとに鉄筋の圧縮及び引張ひずみを算定する際、完全弾塑性型を仮定している。既工認「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」から関連箇所の抜粋を第4-9図及び第4-10図に示す。</p> <p>以上のことから、3次元FEMモデルによる弾塑性解析を実施する際の鉄筋(引張側、圧縮側)の材料構成則として、採用することは妥当であると考えている。</p> <div data-bbox="184 632 694 1207" data-label="Text"> <p>(b) 荷重状態Ⅳ</p> <p>荷重状態Ⅳにおいて生ずる鋼力及び曲げ応力によるひずみは次による。</p> <ul style="list-style-type: none"> コンクリートの圧縮ひずみが、0.003を超えないことを確認する。 鉄筋の引張ひずみ及び圧縮ひずみが、0.005を超えないことを確認する。 コンクリート及び鉄筋のひずみは、次により算定する。 イ. ひずみは、中立軸からの距離に比例する。 ロ. <u>コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は放物線とし、</u>コンクリートの最大圧縮応力度は、コンクリートの設計基準強度の0.85倍の値(280kg/cm²)とする。 ハ. コンクリートの引張強度は無視する。 ニ. <u>鉄筋の応力度とひずみの関係は完全弾塑性型とし、</u>鉄筋の最大引張応力度及び最大圧縮応力度は、表2-3に示す鉄筋の許容応力度であって荷重状態Ⅱの値とする。 <p>この場合、鋼力は、荷重状態Ⅰ、荷重状態Ⅱ及び荷重状態Ⅲと同様に等価鋼力を用いる。</p> <p>図5-9に断面内応力度分布の概念図を示す。</p> </div> <p>第4-9図 既工認からの抜粋 (RCCV シェル部の検討を例示)</p> <div data-bbox="184 1333 866 1696" data-label="Diagram"> <p>D: 断面の全せい d: 断面の有効せい b: 断面の幅</p> <p>εc: コンクリートの圧縮ひずみ εsc: 鉄筋の圧縮ひずみ εst: 鉄筋の引張ひずみ</p> <p>σc: コンクリートの圧縮応力度 σsc: 鉄筋の圧縮応力度 σst: 鉄筋の引張応力度</p> <p>M: 曲げ応力 N*: 等価鋼力</p> <p>断面形状 断面内ひずみ分布 断面内応力度分布 作用応力</p> </div> <p>図5-9 シェル部断面内応力度分布概念図(荷重状態Ⅳ)</p> <p>第4-10図 既工認からの抜粋 (RCCV シェル部断面内応力度分布概念図を例示)</p>	<p>このことから、第4-2図(b)に示した鉄筋の非線形特性を採用することは妥当であると考えられる。</p>	<p>において、荷重状態Ⅳに対する応力解析から求まる応力をもとに鉄筋の圧縮及び引張ひずみを算定する際、完全弾塑性型を仮定している。CCV規格に示される鉄筋の応力度・ひずみ関係を第4-11図に示す。</p> <p>以上のことから、3次元FEMモデルによる弾塑性応力解析を実施する際の鉄筋(引張側、圧縮側)の材料構成則として、完全弾塑性型を採用することは妥当であると考えている。</p> <div data-bbox="1765 667 2291 1165" data-label="Figure"> <p>図 CVE3511.2-2 鉄筋の応力度・ひずみ関係</p> </div> <p>第4-11図 鉄筋の応力度・ひずみ関係 (CCV規格より引用)</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> 引用文献の相違【柏崎6/7】 柏崎6/7のRCCVは既工認に基づき設定しているが、島根2号炉はCCV規格を引用するため相違 同上

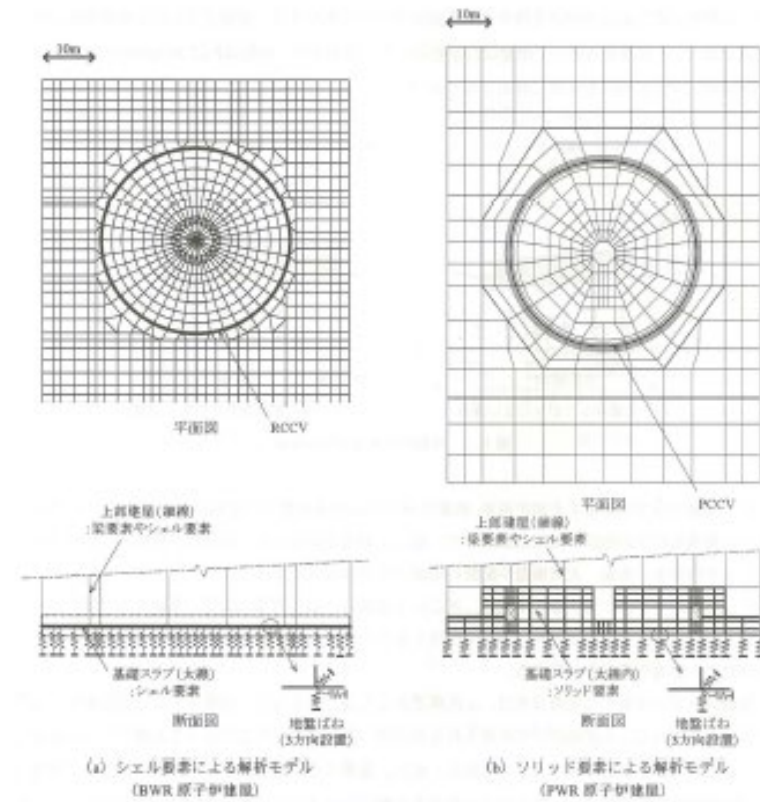
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>5. <u>既往試験結果に基づく弾塑性解析の妥当性・適用性</u> <u>弾塑性解析手法が有する不確実さを踏まえ、既往知見（試験及びシミュレーション解析）について整理した上で、これらの試験における解析結果と今回工認で採用予定の RCCV の解析条件について比較することにより、RCCV に対して弾塑性解析を適用することの妥当性・適用性を確認する。</u> <u>検討に用いる既往知見としては、財団法人 原子力発電技術機構の原子炉格納容器信頼性実証事業において実施された、プレストレストコンクリート製格納容器（以下「PCCV」という。）の耐圧実証試験[10]を選定した。</u> <u>本章の検討は、弾塑性解析手法が有する不確実さを踏まえた上で、構造物全体を対象とした解析に弾塑性解析手法を適用することの妥当性を実証的なデータに基づき確認することであるため、PCCV 耐圧実証試験は、対象が PCCV であるものの、1 / 4 縮小の格納容器全体を対象とした試験であり、試験体を終局状態まで載荷し弾塑性挙動を確認していること、また、今回工認で採用予定の解析コード「ABAQUS」によるシミュレーション解析を実施していることから、弾塑性解析の妥当性・適用性を確認するために参照する解析例としては適切な事例であると判断した。</u></p> <p>5. 1 <u>構造物全体を対象とした既往試験による弾塑性解析の妥当性確認</u> <u>財団法人 原子力発電技術機構の原子炉格納容器信頼性実証事業において行なわれた構造挙動試験のうち、PCCV に関して、試験及び解析評価の概要について以下で整理する。本試験では PCCV プラント構造を対象にシビアアクシデント時のアクシデントマネジメント（以下「AM」という。）条件下での格納容器の躯体限界圧挙動及び漏えい挙動を評価するために実験的実証及び構造限界圧挙動解析モデル化技術の精度向上が検討されている。</u> <u>試験に当たっては、PCCV 構造の 1 / 4 縮尺モデルを制作し、常温で高圧窒素ガスを準静的に注入することにより、躯体限界圧挙動及びライナの限界圧時の漏えい挙動を実験的に把握することを目的として試験が行われている。試験体の形状及び主要諸元を第 5-1 図に示す。縮尺 1 / 4 の本試験体は、基礎板、円筒胴部、ドーム部より構成されている。</u></p>	<p>6. <u>既往研究に基づく弾塑性解析の妥当性・適用性</u></p>	<p>5. <u>既往研究に基づく弾塑性解析の適用性・妥当性について</u></p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 格納容器に関する検討であるため島根 2 号炉には記載なし</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>第5-1 図 試験体外形図と主要諸元 ([10]より引用)</p> <p>限界圧構造挙動試験 (LST) では、SA 時の AM 条件下での格納容器の躯体限界圧挙動を評価することを目的として、最大で 3.3Pd まで加圧されている。限界圧構造挙動試験 (LST) に対しては、格納容器の半径方向及び頂部鉛直方向の変形に着目して試験結果と解析結果の比較を行っており、解析モデルとしては、第 5-2 図に示すようなシェル要素モデルが使用されている。構造物全体に対する解析で使用する解析コードとしては、「ABAQUS」と「FINAL」が使用されているが、以下では「ABAQUS」に着目する。コンクリート・ライナは積層シェル要素、鉄筋は積層シェル内に鉄筋層、テンドンについては要素軸方向の剛性のみ有する梁要素としてモデル化されている。第 5-3 図にシミュレーション解析結果 (内圧-変位関係) を示す。実験と解析による载荷挙動を比較すると、「ABAQUS」による解析で対象範囲としている最大圧力に至るまでの試験結果の変位挙動が良好に模擬されており、適正な材料構成則を使う限りはほぼ妥当な評価ができ、実機の評価において「ABAQUS」を適用することは妥当であるとされている。以上より、解析条件を適切に設定することで弾塑性解析で妥当な結果が得られることが確認できる。</p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>格納容器に関する検討であるため島根 2号炉には記載なし</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="201 279 540 682" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="270 699 804 737" data-label="Caption"> <p>第5-2 図 全体解析モデル ([10] より引用)</p> </div> <div data-bbox="172 798 789 1203" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="216 1236 857 1274" data-label="Caption"> <p>第5-3 図 内圧-半径方向変位関係 ([10] より引用)</p> </div> <div data-bbox="160 1327 931 1409" data-label="Section-Header"> <p>5. 2 <u>今回工認における弾塑性解析手法の妥当性・適用性の確認</u></p> </div> <div data-bbox="160 1415 931 1631" data-label="Text"> <p><u>今回工認と5.1で整理した限界圧構造挙動試験(LST)における弾塑性解析手法の比較結果を第5-1表に示す。これより、モデル化、解析手法、解析コード、材料構成則について今回工認と限界圧構造挙動試験(LST)の解析手法に大きな差異は無く、同様の弾塑性解析手法であることが確認できる。</u></p> </div> <div data-bbox="160 1638 931 1856" data-label="Text"> <p><u>構造物全体を対象とした試験のシミュレーション解析により妥当性が確認されている弾塑性解析の諸条件と今回工認で採用する予定の解析条件について比較した結果、設定条件や手法に有意な差が無いことが確認出来たことから、今回工認で採用する予定の弾塑性解析手法は妥当であり、また、参照した試験が構造物全</u></p> </div>			<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 格納容器に関する検討であるため島根2号炉には記載なし</p>

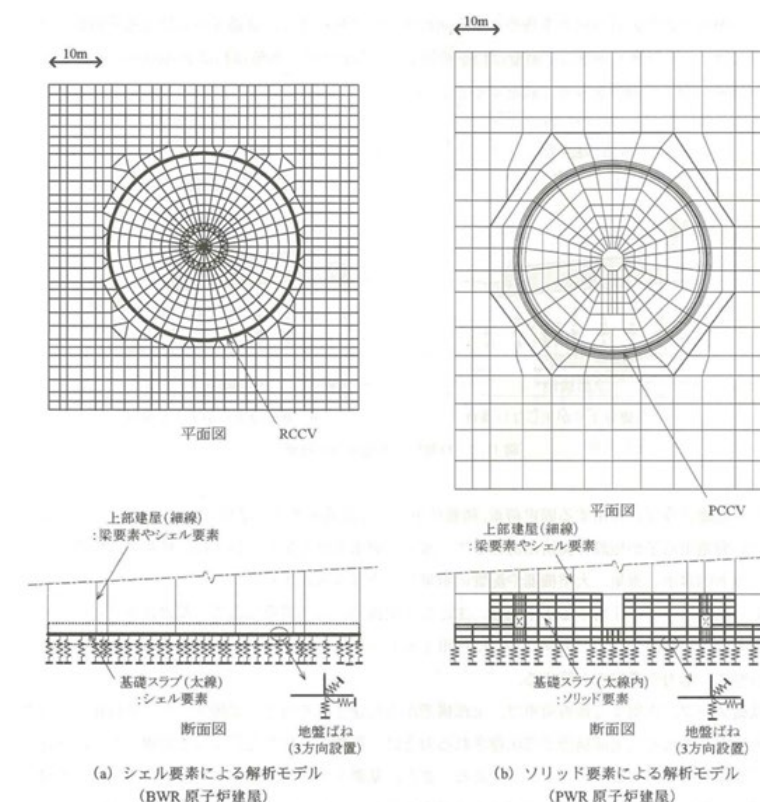
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																		
<p><u>体を模擬した縮小試験体によるものであることから、同様の弾塑性解析手法を RCCV 全体を対象とした弾塑性解析に適用することは可能であると考えられる。</u></p> <p><u>以上より、RCCV に対して弾塑性解析を適用することの妥当性・適用性を確認した。</u></p> <p>第 5-1 表 今回工認と限界圧構造挙動試験 (LST) における弾塑性解析手法の差異</p> <table border="1" data-bbox="186 703 905 1039"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>6号及び7号炉 RCCV(今回工認)</th> <th>限界圧構造挙動試験 (LST)</th> <th>差異の考察</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">モデル化</td> <td>メッシュサイズ</td> <td>モデル全体でおおむね 1~2m 程度 (開口周辺等は更に細分割)</td> <td>モデル全体でおおむね 0.38m 程度 (開口周辺等は更に細分割)</td> <td>LST 試験体は 1 / 4 縮尺であり、円周方向の分割数としては同等</td> </tr> <tr> <td>要素タイプ</td> <td>シェル要素：シェル部、トップスラブ部 ROD 要素、BAR 要素：境界条件の設定に使用</td> <td>シェル要素：円筒胴部、ドーム部 梁要素：テンドン</td> <td>格納容器構造の違いによる差異であり、論点として扱う必要なし</td> </tr> <tr> <td>解析手法</td> <td>・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析</td> <td>同左</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>解析コード</td> <td>・ ABAQUS (弾塑性解析)</td> <td>同左</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">構成則</td> <td>コンクリート 圧縮側 応力-ひずみ</td> <td>折れ線近似 (CEB-FIP Model Code1990)</td> <td>折れ線近似 (修正 Kent&Park)</td> <td>両者とも折れ線近似しており、条件としては同等</td> </tr> <tr> <td>引張側 応力-ひずみ</td> <td>岡村出雲モデル (ε=0.4) (テンションスティッピング特性)</td> <td>同左</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>鉄筋 応力-ひずみ</td> <td>完全弾塑性型</td> <td>同左</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	項目	6号及び7号炉 RCCV(今回工認)	限界圧構造挙動試験 (LST)	差異の考察	モデル化	メッシュサイズ	モデル全体でおおむね 1~2m 程度 (開口周辺等は更に細分割)	モデル全体でおおむね 0.38m 程度 (開口周辺等は更に細分割)	LST 試験体は 1 / 4 縮尺であり、円周方向の分割数としては同等	要素タイプ	シェル要素：シェル部、トップスラブ部 ROD 要素、BAR 要素：境界条件の設定に使用	シェル要素：円筒胴部、ドーム部 梁要素：テンドン	格納容器構造の違いによる差異であり、論点として扱う必要なし	解析手法	・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析	同左	-	解析コード	・ ABAQUS (弾塑性解析)	同左	-	構成則	コンクリート 圧縮側 応力-ひずみ	折れ線近似 (CEB-FIP Model Code1990)	折れ線近似 (修正 Kent&Park)	両者とも折れ線近似しており、条件としては同等	引張側 応力-ひずみ	岡村出雲モデル (ε=0.4) (テンションスティッピング特性)	同左	-	鉄筋 応力-ひずみ	完全弾塑性型	同左	-			<p>・ 対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>格納容器に関する検討であるため島根 2号炉には記載なし</p>
項目	6号及び7号炉 RCCV(今回工認)	限界圧構造挙動試験 (LST)	差異の考察																																		
モデル化	メッシュサイズ	モデル全体でおおむね 1~2m 程度 (開口周辺等は更に細分割)	モデル全体でおおむね 0.38m 程度 (開口周辺等は更に細分割)	LST 試験体は 1 / 4 縮尺であり、円周方向の分割数としては同等																																	
	要素タイプ	シェル要素：シェル部、トップスラブ部 ROD 要素、BAR 要素：境界条件の設定に使用	シェル要素：円筒胴部、ドーム部 梁要素：テンドン	格納容器構造の違いによる差異であり、論点として扱う必要なし																																	
解析手法	・ 3次元 FEM モデルを用いた応力解析	同左	-																																		
解析コード	・ ABAQUS (弾塑性解析)	同左	-																																		
構成則	コンクリート 圧縮側 応力-ひずみ	折れ線近似 (CEB-FIP Model Code1990)	折れ線近似 (修正 Kent&Park)	両者とも折れ線近似しており、条件としては同等																																	
	引張側 応力-ひずみ	岡村出雲モデル (ε=0.4) (テンションスティッピング特性)	同左	-																																	
	鉄筋 応力-ひずみ	完全弾塑性型	同左	-																																	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>(1) <u>基礎版</u>の応力解析における適用要素の規基準類上の扱い</p> <p>「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (社)日本電気協会」の「5.3.2 応力解析」には、「格納施設の基礎マット等の厚いコンクリート構造のFEM 解析のモデル化については、基礎の幾何学的形状、上部構造及び基礎の解析モデル作成上の整合性を考慮して適切な要素を選択しなければならない。一般的に、原子炉建屋の基礎マットのようにマット厚の厚い部位の3次元FEM 解析にはソリッド要素、又は面外せん断を考慮した平板要素を採用するのが良い。」と記載されている。ここで、面外せん断を考慮した平板要素とは、今回適用するシェル要素に該当する。</p> <p>「原子炉施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2005 (社)日本建築学会」の「8 条 構造解析の基本事項」の解説には、「基礎スラブは荷重状態が複雑なため、弾性地盤に支持された板としてFEM でモデル化する場合が多い。要素としてはシェル要素またはソリッド要素が用いられる。」とされており、また、「11 条 基礎スラブ」の解説には、「原子炉建屋の基礎スラブの解析モデルは図 11.1 に示すように基礎スラブの形状に応じて、シェル要素やソリッド要素によりモデル化する。また、ボックス壁やボックス壁に接合する上層の床スラブによる全体変形の拘束効果を適切に反映する。」として、シェル要素を用いた<u>基礎版</u>のモデル化例 (第 6-1 図) が記載されている。</p>	<p>(1) <u>基礎スラブ</u>の応力解析における適用要素の規基準類上の扱い</p> <p>「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」の「5.3.2 応力解析」には、「格納施設の基礎マット等の厚いコンクリート構造のFEM解析のモデル化については、<u>基礎の幾何学的形状、上部構造及び基礎の解析モデル作成上の整合性を考慮して適切な要素を選択しなければならない。一般的に、原子炉建屋の基礎マットのようにマット厚の厚い部位の3次元FEM解析にはソリッド要素、又は面外せん断を考慮した平板要素を採用するのが良い。</u>」と記載されている。ここで、面外せん断を考慮した平板要素とは、今回適用するシェル要素に該当する。</p> <p>日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(2005)の「8 条 構造解析の基本事項」の解説には、「<u>基礎スラブは荷重状態が複雑なため、弾性地盤に支持された板としてFEMでモデル化する場合が多い。要素としてはシェル要素またはソリッド要素が用いられる。</u>」とされており、また、「11 条 基礎スラブ」の解説には、「原子炉建屋の基礎スラブの解析モデルは図 11.1 に示すように基礎スラブの形状に応じて、シェル要素やソリッド要素によりモデル化する。また、ボックス壁やボックス壁に接合する上層の床スラブによる全体変形の拘束効果を適切に反映する。」として、シェル要素を用いた<u>基礎スラブ</u>のモデル化例 (第 5-1 図) が記載されている。</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>柏崎 6/7 はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p>



第 6-1 図 FEM による解析モデルの例
(文献 [12] より引用)

(2) 弾塑性解析を用いた解析的検討
小柳他が実施した「原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討」^{[10][11]}においては、基礎版をシェル要素でモデル化した場合とソリッド要素でモデル化した場合の弾性解析及び弾塑性解析を実施し、曲げモーメント及びせん断力の応力性状について比較検討することにより、合理的な応力評価法について検討している。
検討に当たっては、曲げモーメントについては、厚さ 5.5m 程度の基礎版を対象に積層シェル要素を、面外せん断力に対しては厚さ 8m 程度の基礎版を対象にソリッド要素をそれぞれ用いて検討を実施している。解析結果の概要を第 6-2 図及び第 6-3 図に示す。
第 6-2 図に示したシェル要素によるモデルでは、弾塑性解析結果の各要素の曲げモーメントと弾性解析結果の曲げモーメントの



第 5-1 図 FEMによる解析モデルの例
(文献(12)より引用)

(2) 弾塑性解析を用いた解析的検討
小柳他、小林他が実施した「原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討」⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾においては、基礎スラブをシェル要素でモデル化した場合とソリッド要素でモデル化した場合の弾性解析及び弾塑性解析を実施し、曲げモーメント及びせん断力の応力性状について比較検討することにより、合理的な応力評価法について検討している。
検討に当たっては、曲げモーメントについては、厚さ 5.5m 程度の基礎スラブを対象に積層シェル要素を、面外せん断力に対しては厚さ 8m 程度の基礎スラブを対象にソリッド要素をそれぞれ用いて検討を実施している。解析結果の概要を第 5-2 図及び第 5-3 図に示す。
第 5-2 図に示したシェル要素によるモデルでは、弾塑性解析結果の各要素の曲げモーメントと弾性解析結果の曲げモーメント

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
柏崎 6/7 はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>比率の分析から、これらの比率が一定とみなせる範囲を評価している。この結果、基礎版程度の厚さの範囲では応力比率がほぼ一定であり、弾塑性モデルにおいてコンクリートのひび割れ等により応力が平均化されていると評価している。また、この結果は既往知見に基づく柱・梁接合部の塑性ヒンジ領域と同等であるとしている。</p> <p>第6-3図に示したソリッド要素によるモデルの場合は、基礎版の断面内の応力分布から圧縮ストラット角度を30～45°と評価し、柱・梁部材に関する既往知見とおおむね対応することを示している。圧縮ストラット角度から面外せん断力に関する平均化応力の範囲を基礎版厚さの0.8倍～1.4倍、平均的には1.0倍程度と想定できると評価している。また、この結果は実験等による既往知見ともおおむね対応しているとしている。</p> <p>本文献は、塑性化が生じる応力レベルの基礎版の部位についての合理的な応力評価法について検討した文献であり、検討の過程において厚さ5.5m程度の基礎版の曲げモーメントに対してはシェル要素の弾性解析及び弾塑性解析を、厚さ8m程度の基礎版の面外せん断力に対してはソリッド要素を用いて検討を実施している。これらより、曲げモーメントに関しては、弾性解析結果と弾塑性解析結果の比較により平均化応力の範囲を検討し、既往知見の塑性ヒンジ領域と同等であることが確認された。また、検討に用いているモデルは違うものの、シェル要素とソリッド要素を用いた検討では同程度の平均化応力の範囲を示していることが確認された。</p>	<p><u>の比率の分析から、これらの比率が一定とみなせる範囲を評価している。この結果、基礎スラブ程度の厚さの範囲では応力比率がほぼ一定であり、弾塑性モデルにおいてコンクリートのひび割れ等により応力が平均化されていると評価している。また、この結果は既往知見に基づく柱・梁接合部の塑性ヒンジ領域と同等であるとしている。</u></p> <p><u>第5-3図に示したソリッド要素によるモデルの場合は、基礎スラブの断面内の応力分布から圧縮ストラット角度を30～45°と評価し、柱・梁部材に関する既往知見とおおむね対応することを示している。圧縮ストラット角度から面外せん断力に関する平均化応力の範囲を基礎スラブ厚さの0.8倍～1.4倍、平均的には1.0倍程度と想定できると評価している。また、この結果は実験等による既往知見ともおおむね対応しているとしている。</u></p> <p><u>本文献は、塑性化が生じる応力レベルの基礎スラブの部位についての合理的な応力評価法について検討した文献であり、検討の過程において厚さ5.5m程度の基礎スラブの曲げモーメントに対してはシェル要素の弾性解析及び弾塑性解析を、厚さ8m程度の基礎スラブの面外せん断力に対してはソリッド要素を用いて検討を実施している。これらより、曲げモーメントに関しては、弾性解析結果と弾塑性解析結果の比較により平均化応力の範囲を検討し、既往知見の塑性ヒンジ領域と同等であることが確認された。また、検討に用いているモデルは違うものの、シェル要素とソリッド要素を用いた検討では同程度の平均化応力の範囲を示していることが確認された。</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p>

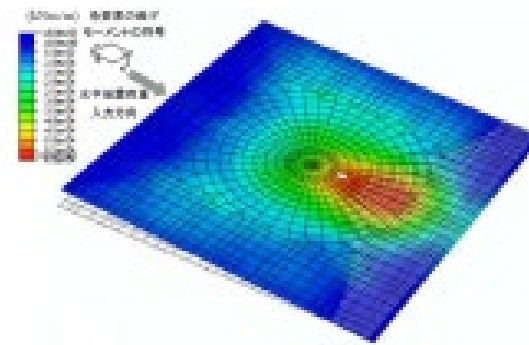


図-3 弾塑性解析 (M-2) による曲げモーメント分布

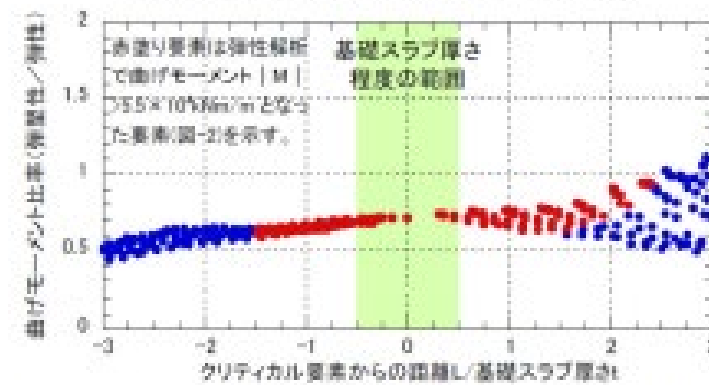


図-4 白塗り要素中心からの距離と曲げモーメント比率

第 6-2 図 シェル要素を用いた基礎版の弾塑性解析結果の概要 (文献 [11] より引用)

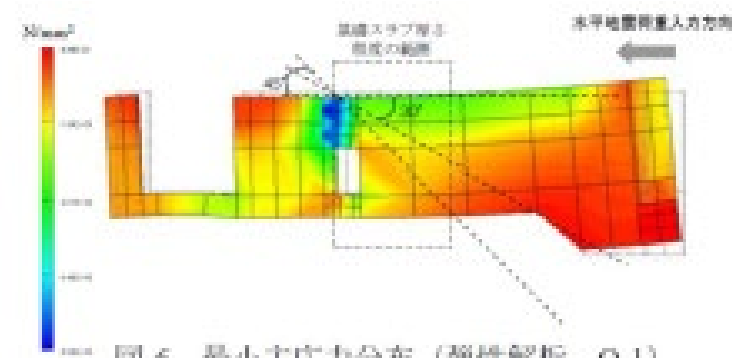


図-6 最小主応力分布 (弾性解析、Q-1)

第 6-3 図 ソリッド要素を用いた基礎版の弾塑性解析結果の概要 (文献 [11] より引用)

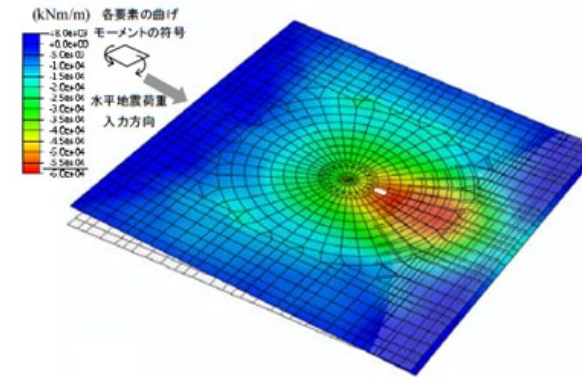
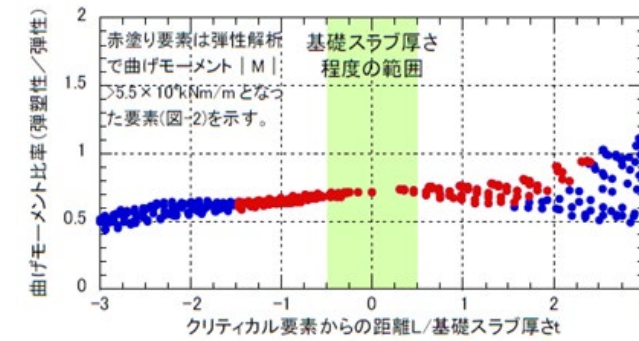


図-3 弾塑性解析 (M-2) による曲げモーメント分布



第 5-2 図 シェル要素を用いた基礎スラブの弾塑性解析結果の概要 (文献(11)より引用)

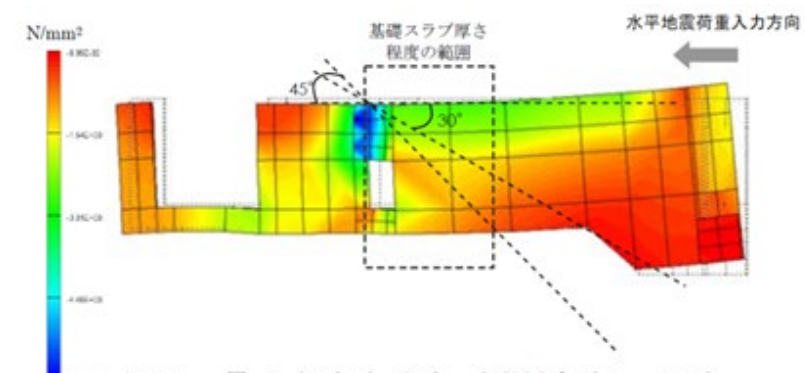


図-6 最小主応力分布 (弾性解析、Q-1)

第 5-3 図 ソリッド要素を用いた基礎スラブの弾塑性解析結果の概要 (文献(11)より引用)

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
柏崎 6/7 はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>(3) ソリッド要素と梁要素及びシェル要素の比較検討</p> <p>山田が実施した「FEMにおける構造モデリングーソリッド要素と構造要素（はり，シェル）の選択ー」⁽¹³⁾においては、「コンピュータ性能の飛躍的な進歩により，非常に大規模な連続体の数値シミュレーションが可能となっている現状では，はり要素やシェル要素によってモデル化されてきた対象を，連続体としてソリッド要素によってモデル化し，大規模問題として複雑な構造物の応力解析を行うことが可能となっている。しかしながら，工学的観点で計算の精度や効率を考えたとき，すべてをソリッド要素でモデル化することは必ずしも適切ではない」との観点に基づき，モデル化の選択について考察を加えている。本文献では，はり要素やシェル要素の構造要素とソリッド要素とした場合について，片持ちはりを対象とした解析を行い，たわみの理論値との比較から要素選定に関する検討を行っている。</p> <p>第 6-1 表及び第 6-4 図は，せん断変形の影響が表れる問題として，片持ちはりの長さが比較的短い場合の結果であり，たわみの数値をソリッド要素（双1次四辺形要素）とティモシェンコはり要素で比較したものである。表中の値は，ソリッド要素を用いた詳細な分割（1000×2000）による結果を参照解として正規化したものである。局所的な応力集中がなく曲げとほぼ様なせん断変形が支配的な状況においては，はり要素が適用可能であること，また，ある程度詳細な要素分割を行うことで，ソリッド要素についても適用可能であることが分かる。「以上では，はりにより議論を進めてきたが，シェル要素についても基本的には同様である」とされている。</p> <p>なお，基礎版に支配的な地震時においては，ほぼ同様な応力状態にあると考えられる。</p> <p>本論文では，はり，シェルの構造要素について，「一般に構造要素が適用可能な場合には，連続体としてソリッド要素によりモデル化するよりも効率的で精度の高いシミュレーションが可能となる」としている。</p>	<p>(3) <u>ソリッド要素と梁要素及びシェル要素の比較検討</u></p> <p><u>山田が実施した「FEMにおける構造モデリングーソリッド要素と構造要素（はり，シェル）の選択ー」⁽¹²⁾においては，「コンピュータ性能の飛躍的な進歩により，非常に大規模な連続体の数値シミュレーションが可能となっている現状では，はり要素やシェル要素によってモデル化されてきた対象を，連続体としてソリッド要素によってモデル化し，大規模問題として複雑な構造物の応力解析を行うことが可能となっている。しかしながら，工学的観点で計算の精度や効率を考えたとき，すべてをソリッド要素でモデル化することは必ずしも適切ではない」との観点に基づき，モデル化の選択について考察を加えている。本文献では，はり要素やシェル要素の構造要素とソリッド要素とした場合について，片持ちはりを対象とした解析を行い，たわみの理論値との比較から要素選定に関する検討を行っている。</u></p> <p><u>第 5-1 表及び第 5-4 図は，せん断変形の影響が表れる問題として，片持ちはりの長さが比較的短い場合の結果であり，たわみの数値をソリッド要素（双1次四辺形要素）とティモシェンコはり要素で比較したものである。表中の値は，ソリッド要素を用いた詳細な分割（1000×2000）による結果を参照解として正規化したものである。局所的な応力集中が無く曲げとほぼ様なせん断変形が支配的な状況においては，はり要素が適用可能であること，また，ある程度詳細な要素分割を行うことで，ソリッド要素についても適用可能であることが分かる。「以上では，はりにより議論を進めてきたが，シェル要素についても基本的には同様である」とされている。</u></p> <p><u>なお，基礎スラブに支配的な地震時においては，ほぼ同様な応力状態にあると考えられる。</u></p> <p><u>本論文では，はり，シェルの構造要素について，「一般に構造要素が適用可能な場合には，連続体としてソリッド要素によりモデル化するよりも効率的で精度の高いシミュレーションが可能となる」としている。</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>柏崎 6/7 はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが，島根 2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p>

第6-1表 梁モデルを用いたソリッド要素と梁要素の解析結果の概要

(文献[13]より引用)

表3 短い片持ちはりに対するたわみ

L	双1次四辺形要素			ティモシェンコはり要素	
	分割	変位型	改良型	分割	1次要素
3	3×2	0.697	0.952	5	0.995
	6×4	0.898	0.984	10	1.002
	12×8	0.971	0.995	20	1.004
5	5×2	0.703	0.978	5	0.993
	10×4	0.902	0.992	10	1.000
	20×8	0.973	0.997	20	1.002

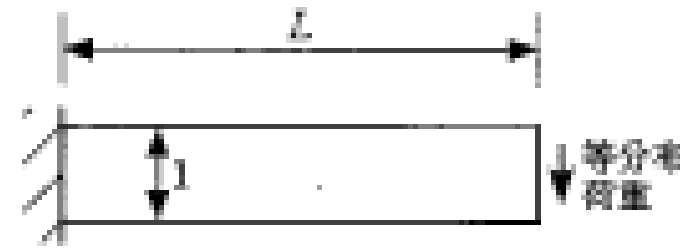


図7 一定断面片持ちはりの問題

第6-4図 梁モデルを用いたソリッド要素と梁要素の解析検討モデル概要図

(文献[13]より引用)

(4) まとめ

既往研究に基づき、弾塑性解析の妥当性・適用性についての検討を行った結果、シェル要素を用いた基礎版の応力解析については規基準類上採用できること、また既往文献における適用実績があることを確認した。

以上より、原子炉建屋の基礎版の応力解析において、シェル要素を用いた弾塑性解析による手法を採用することは妥当であると考えられる。

また、シェル要素を用いた応力解析の検証の観点から、面外せん断応力が大きい場合には、詳細設計段階において代表ケースを選定してソリッド要素で基礎版をモデル化した解析を行い、モデル化手法による比較を行うこととする。

第5-1表 梁モデルを用いたソリッド要素と梁要素の解析結果の概要

(文献(12)より引用)

表3 短い片持ちはりに対するたわみ

L	双1次四辺形要素			ティモシェンコはり要素	
	分割	変位型	改良型	分割	1次要素
3	3×2	0.697	0.952	5	0.995
	6×4	0.898	0.984	10	1.002
	12×8	0.971	0.995	20	1.004
5	5×2	0.703	0.978	5	0.993
	10×4	0.902	0.992	10	1.000
	20×8	0.973	0.997	20	1.002

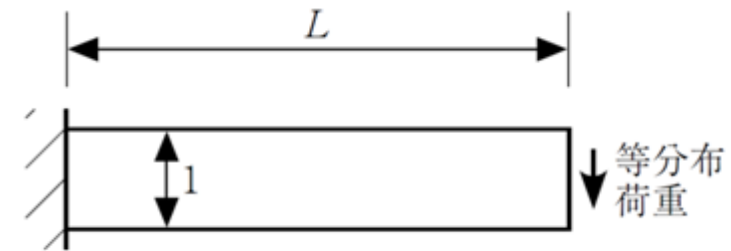


図7 一定断面片持ちはりの問題

第5-4図 梁モデルを用いたソリッド要素と梁要素の解析検討モデル概要図

(文献(12)より引用)

(4) まとめ

既往研究に基づき、弾塑性解析の妥当性・適用性についての検討を行った結果、シェル要素を用いた基礎スラブの応力解析については規基準類上採用できること、また既往文献における適用実績があることを確認した。

以上より、原子炉建物の基礎スラブ等の応力解析において、シェル要素を用いた弾塑性解析による手法を採用することは妥当であると考えられる。

また、シェル要素を用いた応力解析の検証の観点から、面外せん断応力が大きい場合には、詳細設計段階において代表ケースを選定してソリッド要素で基礎スラブをモデル化した解析を行い、モデル化手法による比較を行うこととする。

なお、基礎スラブとドライウェル外側壁の接合部のモデル化によ

・対象施設の相違
【柏崎6/7】
柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違

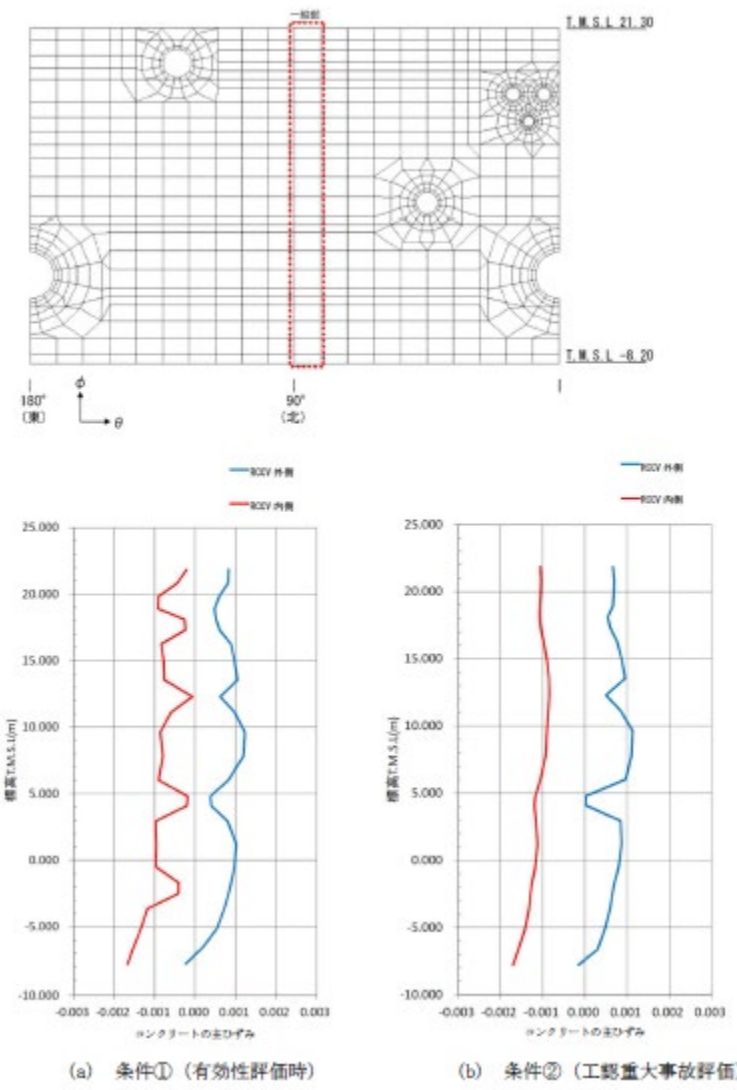
・影響検討の相違

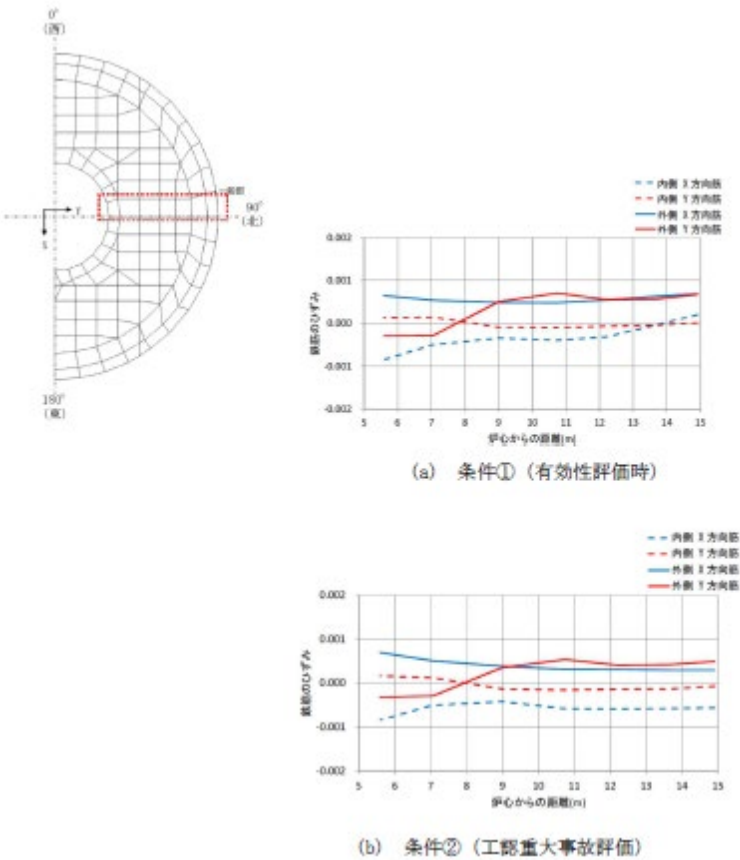
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>6. まとめ</p> <p><u>原子炉格納容器コンクリート部の応力解析で採用予定の解析モデルについて、既工認との手法の差異を整理した。論点として、弾塑性挙動に与える影響が大きい材料構成則（鉄筋、コンクリート）を抽出した。その上で適用文献の内容を整理し、その適用性・妥当性を確認した。</u></p> <p><u>また、弾塑性解析手法の不確かさを踏まえ、構造物全体を対象とした試験のシミュレーション解析により妥当性が確認されている弾塑性解析の諸条件と今回工認で採用する予定の解析条件について比較し、弾塑性解析手法としての妥当性・適用性を確認した。</u></p> <p>以上より、今回採用予定の応力解析モデルの妥当性を確認した。</p> <p><参考文献></p> <p>[1] Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993</p> <p>[2] <u>日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-1999, 1999年</u></p> <p>[3] <u>出雲, 島, 岡村：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, Vol. 25, No. 9. 1987. 9</u></p> <p>[4] M.P.Collins, F.J. Vecchio: The response of reinforced concrete to in-planeshear and normal stresses, University of Toronto, March 1982</p> <p>[5] <u>森田司郎・角徹三：鉄筋コンクリート部材の引張試験によ</u></p>	<p>7. まとめ</p> <p><u>基礎版の応力解析で採用予定の解析モデルについて、既工認との手法の差異を整理した。論点として、弾塑性挙動に与える影響が大きい材料構成則（鉄筋、コンクリート）を抽出した。その上で適用文献の内容を整理し、その妥当性・適用性を確認した。</u></p> <p><u>また、女川2号炉原子炉建屋で確認されている初期剛性低下について、材料構成則への反映方法を確認した。</u></p> <p>以上より、今回採用予定の応力解析モデルの妥当性を確認した。</p> <p><参考文献></p> <p>[1] Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGNCODE), 1993</p> <p>[2] <u>日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-1999, 1999年</u></p> <p>[3] <u>出雲, 島, 岡村：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, Vol. 25, No. 9. 1987. 9</u></p> <p>[4] M.P.Collins, F.J. Vecchio: The response of reinforced concrete to inplaneshear and normal stresses, University of Toronto, March 1982</p> <p>[5] <u>森田司郎・角徹三：鉄筋コンクリート部材の引張試験によ</u></p>	<p><u>る影響について、ソリッド要素でモデル化し確認する。</u></p> <p>6. まとめ</p> <p><u>原子炉建物の基礎スラブ等</u>の応力解析で採用予定の解析モデルについて、既工認との手法の差異を整理した。論点として、弾塑性挙動に与える影響が大きい材料構成則（鉄筋、コンクリート）を抽出した。<u>今回工認で採用する材料構成則について、適用文献の内容を整理し、その適用性・妥当性を確認した。</u></p> <p><u>また、応力解析においてシェル要素を用いた弾塑性解析を採用することについても、既往研究に基づき適用性・妥当性を確認した。</u></p> <p>以上より、今回採用予定の応力解析モデルの妥当性を確認した。</p> <p>7. 参考文献</p> <p>(1) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993</p> <p>(2) <u>出雲 淳一, 島 弘, 岡村 甫：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, Vol. 25, No. 9, pp. 107-120, 1987. 9</u></p> <p>(3) M.P.Collins, F.J. Vecchio: The response of reinforced concrete to in-plane shear and normal stresses, University of Toronto, March 1982</p> <p>(4) <u>森田司郎・角徹三：鉄筋コンクリート部材の引張試験によ</u></p>	<p>備考</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は基礎スラブとドライウエル外側壁の接合部のモデル化の影響を確認するため相違</p> <p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・同上</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>る付着効果の研究, セメント技術年報, Vol.18, pp.426-430, 昭39</p> <p>[6] 山田一字・青柳征夫: ひび割れ面におけるせん断伝達, 第2回 鉄筋コンクリート構造物のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, pp.19-26, 1983.10</p> <p>[7] 日本建築学会: コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用, 2008年</p> <p>[8] Saito, H et al.: Ultimate strength of reinforced concrete members subjected to transient high temperature distribution, Transactions of the 12th international conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT), Volume H, pp.31-36, Aug. 1993</p> <p>[9] Kumagai, H. et al.: Fiber optic distributed sensor for concrete structures, Proceeding of the 1st fib Congress, Session 15, pp.179-184, 2002</p> <p>[10] 財団法人 原子力発電技術機構: 重要構造物安全評価(原子炉格納容器信頼性実証事業)に関する総括報告書, 平成15年3月</p>	<p>る付着効果の研究, セメント技術年報, Vol.18, pp.426-430, 昭39</p> <p>[6] 山田一字・青柳征夫: ひび割れ面におけるせん断伝達, 第2回 鉄筋コンクリート構造物のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, pp.19-26, 1983.10</p> <p>[7] 日本建築学会: コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用, 2008年</p> <p>[8] Saito, H et al.: Ultimate strength of reinforced concrete members subjected to transient high temperature distribution, Transactions of the 12th international conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT), Volume H, pp.31-36, Aug. 1993</p> <p>[9] Kumagai, H. et al.: Fiber optic distributed sensor for concrete structures, Proceeding of the 1st fib Congress, Session 15, pp.179-184, 2002</p> <p>[10] 小柳他: 原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討(その1) 基礎スラブの試解析, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造II, pp.1039-1040, 2009</p> <p>[11] 小林他: 原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討(その2) 合理的応力評価法(案), 日本建築学会学術講演梗概集, 構造II, pp.1041-1042, 2009</p> <p>[12] 日本建築学会: 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2005年</p> <p>[13] 山田貴博: FEMにおける構造モデリング—ソリッド要素と構造要素(はり, シェル)の選択—, 精密工学会誌 Vol.77, No.9, 2011</p>	<p>る付着効果の研究, セメント技術年報, Vol.18, pp.426-430, 昭39</p> <p>(5) 山田一字, 青柳征夫: ひび割れ面におけるせん断伝達, 第2回 R C 構造物のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集, pp.19-26, 1983.10</p> <p>(6) 日本建築学会: コンクリート系構造の部材解析モデルと設計への応用, 2008</p> <p>(7) Saito, H et al.: Ultimate strength of reinforced concrete members subjected to transient high temperature distribution, Transactions of the 12th international conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT), Volume H, pp.31-36, Aug. 1993</p> <p>(8) Kumagai, H. et al.: Fiber optic distributed sensor for concrete structures, Proceeding of the 1st fib Congress, Session 15, pp.179-184, 2002</p> <p>(9) 財団法人 原子力発電技術機構: 重要構造物安全評価(原子炉格納容器信頼性実証事業)に関する総括報告書, 平成15年3月</p> <p>(10) 小柳他: 原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討(その1) 基礎スラブの試解析, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造II, pp.1039-1040, 2009</p> <p>(11) 小林他: 原子炉建屋基礎スラブの合理的応力評価方法に関する解析的検討(その2) 合理的応力評価法(案), 日本建築学会学術講演梗概集, 構造II, pp.1041-1042, 2009</p> <p>(12) 山田貴博: FEMにおける構造モデリング—ソリッド要素と構造要素(はり, シェル)の選択—, 精密工学会誌 Vol.77, No9, 2011</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが, 島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																							
<p style="text-align: right;">添付資料-1</p> <p><u>有効性評価における RCCV 検討時の評価モデルとの差異について</u></p> <p>1. <u>有効性評価における RCCV 検討時の評価モデルとの差異について</u></p> <p><u>有効性評価で説明した 200℃, 2Pd 条件の解析モデルと今回申請の耐震設計で用いる解析モデル、加えて、工認段階の重大事故評価で用いる解析モデルについて、主な差異を第 1-1 表に示す。主な差異として、構成則設定時のコンクリート強度を実強度から設計基準強度に見直すこと以外にも、重大事故評価用の解析モデルで RCCV と基礎版とを一体化させることやライナプレートの弾塑性特性を考慮することが挙げられる。</u></p> <p style="text-align: center;"><u>第 1-1 表 解析モデルの差異</u></p> <table border="1" data-bbox="195 968 899 1245"> <thead> <tr> <th rowspan="2">条件</th> <th>設置許可</th> <th colspan="2">今回工認</th> </tr> <tr> <th>① 有効性評価 (200℃, 2Pd 評価)</th> <th>② 重大事故 評価条件</th> <th>③ 設計基準 耐震設計条件</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>コンクリート剛性</td> <td>実剛性</td> <td>実剛性</td> <td>実剛性</td> </tr> <tr> <td>コンクリート強度</td> <td>実強度</td> <td>設計基準強度</td> <td>設計基準強度</td> </tr> <tr> <td>境界条件</td> <td>RCCV 脚部固定</td> <td>基礎版と一体化</td> <td>RCCV 脚部固定</td> </tr> <tr> <td>ライナプレート</td> <td>弾性 (温度依存性非考慮)</td> <td>弾塑性 (温度依存性考慮)</td> <td>なし*</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>※温度荷重モデルでは、ライナを弾性 (温度依存なし) でモデル化</small></p> <p>2. <u>条件の違いが既往の評価結果に与える影響について</u></p> <p><u>今回工認における重大事故評価については、第 1-1 表の条件②を用いて実施する予定であるが、一方で有効性評価時に RCCV の 200℃, 2Pd 条件時の構造健全性について、条件①で実施した解析結果を元に説明している。そこで仮に条件②を採用した場合でも、有効性評価で説明した 200℃, 2Pd 時の RCCV の評価結果へ与える影響がないことを確認するために、条件②による 200℃, 2Pd 時の評価を実施することとした。</u></p> <p><u>条件① (有効性評価時) と条件②について、シェル部及びトップスラブ部の一般部での鉄筋のひずみ分布及びコンクリートの最小主ひずみ分布を比較した結果を第 2-1 図～第 2-4 図に示す。</u></p>	条件	設置許可	今回工認		① 有効性評価 (200℃, 2Pd 評価)	② 重大事故 評価条件	③ 設計基準 耐震設計条件	コンクリート剛性	実剛性	実剛性	実剛性	コンクリート強度	実強度	設計基準強度	設計基準強度	境界条件	RCCV 脚部固定	基礎版と一体化	RCCV 脚部固定	ライナプレート	弾性 (温度依存性非考慮)	弾塑性 (温度依存性考慮)	なし*			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>柏崎 6/7 の RCCV 特有の内容であるため記載なし</p>
条件		設置許可	今回工認																							
	① 有効性評価 (200℃, 2Pd 評価)	② 重大事故 評価条件	③ 設計基準 耐震設計条件																							
コンクリート剛性	実剛性	実剛性	実剛性																							
コンクリート強度	実強度	設計基準強度	設計基準強度																							
境界条件	RCCV 脚部固定	基礎版と一体化	RCCV 脚部固定																							
ライナプレート	弾性 (温度依存性非考慮)	弾塑性 (温度依存性考慮)	なし*																							

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>条件②による評価の場合、有効性評価時と若干傾向が異なる部分はあるものの、鉄筋の大部分は降伏ひずみに達しておらず、一部の要素で局所的に降伏ひずみに達している程度であり、破断までには十分な余裕があり、コンクリートは、ひび割れは発生しているものの、圧縮ひずみは2000μよりも小さく、破壊までには十分な余裕があることが評価できる。また、条件①による評価の場合も同様の考察となる。</p> <p>以上より、仮に条件②を採用して200$^{\circ}$C、2Pd条件による解析を実施した場合でも、既往の有効性評価時と同様の結論が得られることが確認できることから、有効性評価時のRCCVの限界温度・圧力として200$^{\circ}$C、2Pdを用いることを妥当と判断した解析結果には与える影響がないことを確認した。</p> <p>第2-1 図 シェル部の一般部での変形状態 (鉄筋のひずみ)</p>			<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7のRCCV特有の内容であるため記載なし</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>(a) 条件① (有効性評価時)</p> <p>(b) 条件② (工総重大事故評価)</p> <p>第2-2 図 シェル部の一般部での変形状態 (コンクリートの収み)</p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>柏崎 6/7 のRCCV特有の内容であるため記載なし</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>第2-3 図 トップスラブ部の一般部での変形状態(鉄筋のひずみ)</p>			<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7のRCCV特有の内容であるため記載なし</p>

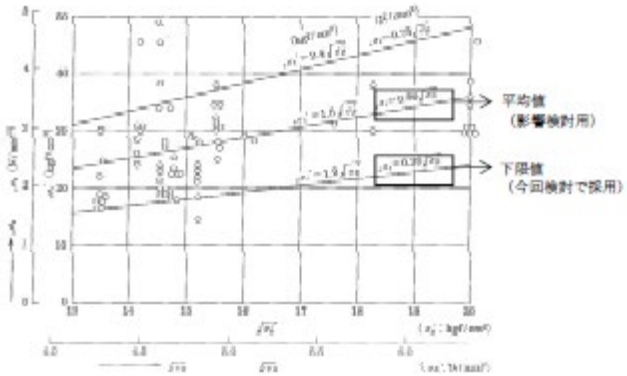
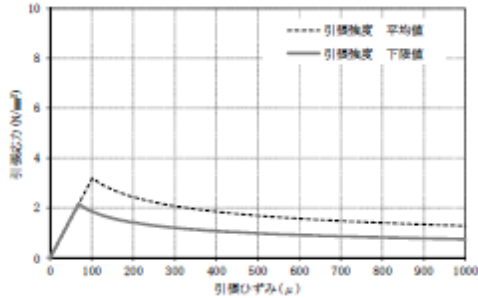
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>第2-4図 <u>トップスラブ部の一般部での変形状態（コンクリートの主ひずみ）</u></p>			<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7のRCCV特有の内容であるため記載なし</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">添付資料-2</p> <p style="text-align: center;">CCV 規格における許容限界設定の考え方について</p> <p>CCV 規格における荷重状態Ⅳのコンクリート及び鉄筋のせん断ひずみの許容限界設定の考え方について以下に示す。</p> <p>1. コンクリート</p> <p>CCV 規格において荷重状態Ⅳのコンクリートのひずみの許容値としては、0.003(3000μ)が採用されている。</p> <p>これは、American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02)」の Chapter 10 Flexural and axial loads の記載に基づき設定されている。</p> <p>コンクリートのひずみが3000μに達した状態は、最大圧縮強度時のひずみ(2000μ程度)を超えた応力下降域(軟化域)の状態にあり、若干のひび割れが入っているものの、ある程度の強度を有している状態である。また、一般的に、コンクリートのひび割れは、スリット状ではなく、複雑な形状で生じるため、放射線の低減効果が期待でき、遮蔽性能に与える影響は無い。</p> <p>なお、コンクリートの最大圧縮強度については、American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02)」の Chapter 10 Flexural and axial loads の記載に基づき、0.85F_c(設計基準強度の0.85倍)に制限しており、実際のコンクリートの最大圧縮強度に対して余裕を見込んだ数値が設定されている。</p> <p>2. 鉄筋</p> <p>CCV 規格において荷重状態Ⅳの鉄筋のひずみの許容値としては、0.005(5000μ)が採用されている。</p> <p>鉄筋のひずみを5000μとした理由について、CCV 規格の解説に「部材の変形が過大にならないように配慮して定めた」とし、「一般的に多く使用されているSD345及びSD390の降伏ひずみ(中略)は0.0017及び0.0019であり、鉄筋の最大ひずみはこれら降伏ひずみの2から3倍程度とした」と記載されている。</p> <p>一般に、鉄筋のひずみが5000μに達した状態は、降伏ひずみの2</p>	<p style="text-align: right;">添付1</p> <p style="text-align: center;">CCV 規格等における許容限界設定の考え方について</p> <p>CCV 規格等におけるコンクリート及び鉄筋のひずみ、面外せん断力の許容限界設定の考え方について以下に示す。</p> <p>1. コンクリート</p> <p>CCV 規格においてコンクリートのひずみの許容値としては、0.003(3000μ)が採用されている。</p> <p>これは、American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-02)」の Chapter 10 Flexural and axial loads の記載に基づき設定されている。</p> <p>コンクリートのひずみが3000μに達した状態は、最大圧縮強度時のひずみ(2000μ程度)を超えた応力下降域(軟化域)の状態にあり、若干のひび割れが入っているものの、ある程度の強度を有している状態である。また、一般的に、コンクリートのひび割れは、スリット状ではなく、複雑な形状で生じるため、放射線の低減効果が期待でき、遮蔽性能に与える影響は無い。</p> <p>なお、コンクリートの最大圧縮強度については、American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02)」の Chapter 10 Flexural and axial loads の記載に基づき、0.85F_c(設計基準強度の0.85倍)に制限しており、実際のコンクリートの最大圧縮強度に対して余裕を見込んだ数値が設定されている。</p> <p>2. 鉄筋</p> <p>CCV 規格において鉄筋のひずみの許容値としては、0.005(5000μ)が採用されている。</p> <p>鉄筋のひずみを5000μとした理由について、CCV 規格の解説に「部材の変形が過大にならないように配慮して定めた」とし、「一般的に多く使用されているSD345及びSD390の降伏ひずみ(中略)は0.0017及び0.0019であり、鉄筋の最大ひずみはこれら降伏ひずみの2から3倍程度とした」と記載されている。</p> <p>一般に、鉄筋のひずみが5000μに達した状態は、降伏ひずみの2</p>	<p style="text-align: right;">添付資料-1</p> <p style="text-align: center;">CCV規格等における許容限界設定の考え方について</p> <p>CCV規格等における荷重状態Ⅳのコンクリート及び鉄筋のひずみ、面外せん断力の許容限界設定の考え方について以下に示す。</p> <p>1. コンクリート</p> <p>CCV規格において荷重状態Ⅳのコンクリートのひずみの許容値としては、0.003(3000μ)が採用されている。</p> <p>これは、American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-02)」の Chapter 10 Flexural and axial loads の記載に基づき設定されている。</p> <p>コンクリートのひずみが3000μに達した状態は、最大圧縮強度時のひずみ(2000μ程度)を超えた応力下降域(軟化域)の状態にあり、若干のひび割れが入っているものの、ある程度の強度を有している状態である。また、一般的に、コンクリートのひび割れは、スリット状ではなく、複雑な形状で生じるため、放射線の低減効果が期待でき、遮蔽性能に与える影響は無い。</p> <p>なお、コンクリートの最大圧縮強度については、American Concrete Institute「Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-02)」の Chapter 10 Flexural and axial loads の記載に基づき、0.85F_c(設計基準強度の0.85倍)に制限しており、実際のコンクリートの最大圧縮強度に対して余裕を見込んだ数値が設定されている。</p> <p>2. 鉄筋</p> <p>CCV規格において荷重状態Ⅳの鉄筋のひずみの許容値としては、0.005(5000μ)が採用されている。</p> <p>鉄筋のひずみを5000μとした理由について、CCV規格の解説に「部材の変形が過大にならないように配慮して定めた」とし、「一般的に多く使用されているSD345及びSD390の降伏ひずみ(中略)は0.0017及び0.0019であり、鉄筋の最大ひずみはこれら降伏ひずみの2から3倍程度とした」と記載されている。</p> <p>一般に、鉄筋のひずみが5000μに達した状態は、降伏ひずみの2</p>	<p>・許容限界設定の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>鉄筋コンクリートの面外せん断力に対する許容限界について記載</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>～3 倍程度であり，最大引張強度に至るまでには程遠い状態である。また，JIS に示される鉄筋の機械的性質としては，SD345 及びSD390 の場合，伸びが 16～19%(160000～190000μ)以上とされており，5000μ は破断に対しても十分余裕のある状態にあるといえる。</p> <p>3. 気密性について <u>原子炉格納容器内部の機器から放出される放射性物質等の有害な物質の漏えいを防止するために，RCCV には鋼製のライナプレートが内張りされており，気密性はライナプレートにより担保されている。なお，柏崎の6号及び7号炉の場合，材質はSGV49及びSUS304Lである。</u> <u>CCV 規格によれば，ライナプレートは，「鉄筋コンクリート部の変形およびコンクリートとの温度差により強制されるような自己制御的ひずみ」に対して，「漏えいを生じることなく追従できる変形性能を有していればよいことから，ひずみを制限すること」としており，米国機械学会：「ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section III Div.2」(2001)に基づき，ひずみについての許容値（第3-1表）が設定されている。</u> <u>第3-1表に示される許容値は，鋼材の降伏ひずみの数倍程度であり，破断に対しては十分余裕のある状態にあると言え，CCV 規格におけるライナプレートの許容ひずみは，耐漏えい性能を十分に確保することができる数値であると考えられる。</u></p>	<p>～3 倍程度であり，最大引張強度に至るまでには程遠い状態である。また，JIS に示される鉄筋の機械的性質としては，SD345 及びSD390 の場合，伸びが 16～19%(160000～190000μ)以上とされており，5000μ は破断に対しても十分余裕のある状態にあるといえる。</p> <p>3. 鉄筋コンクリートの面外せん断力 <u>面外せん断力の許容値は，短期許容応力度を基本とし，発生値が短期許容応力度を上回る場合には RC-N 規準（2005）に記載の荒川平均式等の適用を検討する。</u></p> <p>なお，荒川平均式等を適用した場合における設備の支持性能については，地震によってコンクリートにひび割れが発生した場合の設備への影響を詳細設計段階で説明を行う。</p>	<p>～3 倍程度であり，最大引張強度に至るまでには程遠い状態である。また，JIS に示される鉄筋の機械的性質としては，SD345 及びSD390 の場合，伸びが 16～19%(160000～190000μ)以上とされており，5000μ は破断に対しても十分余裕のある状態にあるといえる。</p> <p>3. 鉄筋コンクリートの面外せん断力 <u>面外せん断力の許容値は短期許容応力度を基本とし，発生値が短期許容応力度を上回る場合には，日本建築学会「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(2005)に記載の荒川平均式等の適用を検討する。</u> <u>なお，荒川平均式等を適用した場合における設備の支持性能については，地震によってコンクリートにひび割れが発生した場合の設備への影響を詳細設計段階で説明を行う。</u> <u>また，既往研究に基づく応力平均化の適用範囲は基礎スラブが厚い原子炉建物を対象としたものであるため，タービン建物及び制御室建物を含む各建物の基礎スラブに対して応力平均化を適用する場合は，詳細設計段階でその適用性を確認する。</u></p>	<p>・許容限界設定の相違 【柏崎6/7】 鉄筋コンクリートの面外せん断力に対する許容限界について記載</p> <p>・対象施設の相違 【柏崎6/7，女川2】 島根2号炉はスラブ厚の薄い建物も対象としているため相違</p> <p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7のRCCV特有の内容であるため記載なし</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考															
<p>なお、JIS に示される SGV49 (現在の SGV480 に相当) の伸びは 17~21% (170000~210000 μ), SUS304L の伸びは 40% (400000 μ) 以上であり、第 3-1 表で規定された値は破断に対しても十分余裕のある状態にあるといえる。</p> <p>第 3-1 表 ライナプレートの許容ひずみ (CCV 規格)</p> <table border="1" data-bbox="181 537 792 659"> <thead> <tr> <th colspan="2">ひずみの種類</th> <th colspan="2">許容ひずみ</th> </tr> <tr> <th>荷重状態</th> <th>ひずみの種別</th> <th>膜</th> <th>膜と曲げの和</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Ⅲ及びⅣ</td> <td>圧縮ひずみ</td> <td>0.005</td> <td>0.014</td> </tr> <tr> <td>引張ひずみ</td> <td>0.003</td> <td>0.010</td> </tr> </tbody> </table>	ひずみの種類		許容ひずみ		荷重状態	ひずみの種別	膜	膜と曲げの和	Ⅲ及びⅣ	圧縮ひずみ	0.005	0.014	引張ひずみ	0.003	0.010			<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 の R C C V 特有の内容であるため記載なし</p>
ひずみの種類		許容ひずみ																
荷重状態	ひずみの種別	膜	膜と曲げの和															
Ⅲ及びⅣ	圧縮ひずみ	0.005	0.014															
	引張ひずみ	0.003	0.010															

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">添付資料-3</p> <p style="text-align: center;"><u>コンクリートの引張側構成則に関する影響検討</u></p> <p><u>1. 検討概要</u> <u>引張側構成則の影響検討に当たって、まずは引張側構成則を無視する検討を試みたが、解の収束性が悪く、解析結果を得ることが出来なかった。そのため、コンクリートの引張強度が解析結果に与える影響に着目し、引張強度の変動に応じて、解がどの程度増減するかを検討を試みることにした。</u> <u>今回の工認の解析モデルでは、コンクリートの引張強度として、RC 規準に記載されている引張強度のうち、下限値を採用している (第 1-1 図)。</u> <u>ここでは、コンクリートの引張強度として、RC 規準に平均値として記載されている値を用い、引張強度の設定値が解析評価に与える影響を検討する。</u> <u>今回検討と影響検討時のコンクリートの引張強度 $c\sigma$ を以下に示す。</u></p> <p><u>今回工認：RC 規準に記載されているコンクリートの引張強度の下限値</u></p> $c\sigma_t = 0.38\sqrt{\sigma_g}$ $= 2.15(\text{N/mm}^2)$ <p><u>影響検討：RC 規準に記載されているコンクリートの引張強度の平均値</u></p> $c\sigma_t = 0.56\sqrt{\sigma_g}$ $= 3.18(\text{N/mm}^2)$ <p>ここで、$c\sigma_t$：コンクリート引張強度 σ_g：コンクリート圧縮強度 (設計基準強度 $330\text{kg/cm}^2(32.3\text{N/mm}^2)$)</p> <p><u>影響検討では、代表例として、Ss 地震時 (N→S 方向) の結果 (暫定条件に基づく概算値) を示す。なお、引張側軟化特性については、下限値を用いた場合と同様に岡村・出雲モデルとし、付着特性を示すパラメータ c は 0.4 とする。第 1-2 図にコンクリートの引張側応力-ひずみ関係を示す。</u></p>			<p>・影響検討の相違</p> <p>【柏崎 6/7】 コンクリート引張強度の設定は柏崎 6/7 の方針に基づいているため記載なし</p> <p>(柏崎 6/7 の検討においてコンクリート引張強度の下限値を採用することの妥当性が示されており、島根 2号炉も同様の方針であることから影響検討の記載なし)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>なお、コンクリートの引張強度については、上記の RC 規準以外に、コンクリート標準示方書「構造性能照査編」(2002年制定、土木学会)においても定義されているが、下記のとおり、RC 規準の下限値と平均値の中間的な値であるため、このケースについては検討不要と判断した。</p> $f_{tk} = 0.23 f'_{ck} \frac{2}{3}$ $= 2.33(\text{N/mm}^2)$ <p>ここで、f_{tk} : コンクリート引張強度 f'_{ck} : コンクリート圧縮強度 (設計基準強度 330kg/cm²(32.3N/mm²))</p>  <p>図 1-1 図 コンクリートの引張強度 (RC 規準から抜粋)</p>  <p>第 1-2 図 コンクリートの引張側応力-ひずみ関係</p> <p>2. 検討結果</p> <p>今回工認モデル (以下「下限値モデル」という。) と、影響検討用のモデル (以下「平均値モデル」という。) のシェル部一般部</p>			<p>・影響検討の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>コンクリート引張強度の設定は柏崎 6/7 の方針に基づいているため記載なし</p> <p>(柏崎 6/7 の検討においてコンクリート引張強度の下限値を採用することの妥当性が示されており、島根 2号炉も同様の方針であることから影響検討の記載なし)</p>

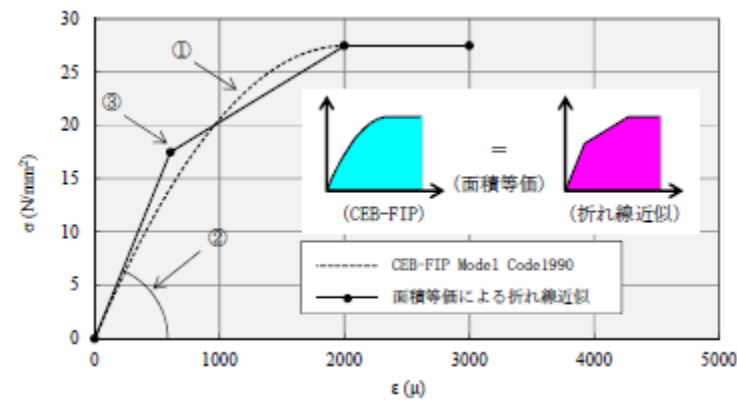
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p data-bbox="166 254 923 331"><u>の子午線方向鉄筋のひずみを第2-1図に、コンクリート最小主ひずみ分布を第2-2図に示す。</u></p> <p data-bbox="166 344 923 510"><u>第2-1図及び第2-2図からコンクリート引張強度として、RC規準による下限値を用いた場合は、平均値を用いた場合に比べ、コンクリート、鉄筋ともひずみが大きくなった。これは、コンクリートの引張軟化により剛性が低下するためである。</u></p> <div data-bbox="201 573 890 856"> </div> <div data-bbox="201 947 468 1402"> </div> <p data-bbox="338 1419 753 1451">第2-1図 子午線方向鉄筋のひずみ</p>			<p data-bbox="2540 254 2763 285">・影響検討の相違</p> <p data-bbox="2540 298 2683 329">【柏崎6/7】</p> <p data-bbox="2540 342 2849 508">コンクリート引張強度の設定は柏崎6/7の方針に基づいているため記載なし</p> <p data-bbox="2540 520 2849 825">(柏崎6/7の検討においてコンクリート引張強度の下限値を採用することの妥当性が示されており、島根2号炉も同様の方針であることから影響検討の記載なし)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p data-bbox="311 745 786 787">第2-2 図 コンクリートの最小主ひずみ</p> <p data-bbox="163 882 311 913">3. まとめ</p> <p data-bbox="163 924 934 1050"><u>コンクリートの引張強度として、RC 規準に記載されている平均値と下限値を用いた場合の解析結果を比較して、コンクリートの引張強度の設定値が解析評価に与える影響を検討した。</u></p> <p data-bbox="163 1060 934 1270"><u>その結果、下限値を用いた場合は、平均値を用いた場合に比べ、コンクリートと鉄筋のひずみが大きくなる傾向となることがわかった。このことからコンクリートの引張強度として、RC 規準に下限値として記載されている値を用いることは、躯体健全性評価に対して保守的な評価を与える設定であるといえる。</u></p>			<p data-bbox="2537 252 2775 283">・影響検討の相違</p> <p data-bbox="2537 294 2700 325">【柏崎 6/7】</p> <p data-bbox="2537 336 2864 514">コンクリート引張強度の設定は柏崎 6/7 の方針に基づいているため記載なし</p> <p data-bbox="2537 525 2864 829">(柏崎 6/7 の検討においてコンクリート引張強度の下限値を採用することの妥当性が示されており、島根 2号炉も同様の方針であることから影響検討の記載なし)</p>

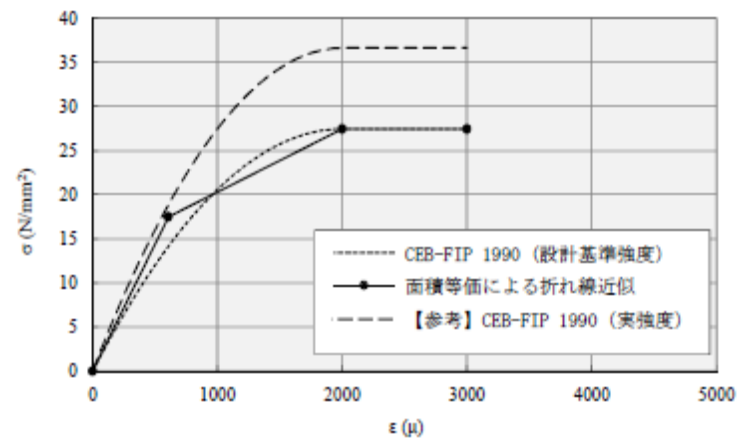
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">添付資料-4</p> <p>コンクリート圧縮側の応力歪み曲線の折れ線近似について</p>		<p style="text-align: right;">添付資料-2</p> <p style="text-align: center;"><u>コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について</u></p> <p><u>コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定の考え方について、以下に示す。</u></p> <p>1. <u>CEB-FIP Model Code の適用について</u> <u>CCV規格では、鉄筋コンクリート部材から構成されるRCCVにおいて、荷重状態IVに対する応力解析から求まる応力（膜力、曲げモーメント等）をもとにコンクリートの圧縮ひずみを算定する際、パラボラ型の応力ひずみ曲線を仮定している。また、CCV規格（CVE-3511.2）では、「コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、矩形、放物線または実験で妥当なことが確認された形に設定してよい。」とされていることから、今回工認では、放物線であるCEB-FIP Model Codeを採用する。なお、CEB-FIP Model Codeによる応力ひずみ曲線はCCV規格の放物線による応力ひずみ曲線と同じであると考えている。</u></p> <p>2. <u>CEB-FIP Model Code の概要について</u> <u>コンクリートの圧縮応力度とひずみの関係は、CCV規格の図CVE3511.2-1を参考にした上で、パラボラ型の応力ひずみ曲線を想定するに当たって標準的なCEB-FIP Model Codeに基づき設定している。CEB-FIP Model Codeにおけるコンクリート（圧縮側）の構成則は本編で示した以下の(4.3)式により規定されている。なお、(4.3)式に基づく場合、島根2号炉のコンクリート強度は50MPa(N/mm²)以下であるため、終局ひずみは0.0035となるが、CCV規格における終局ひずみは0.003であるため、鉄筋コンクリート部材の応力解析に用いる範囲は0.003までとする。</u></p> $\left. \begin{aligned} \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right)^2 \right] && (\epsilon_c < \epsilon_{c1} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0.85f_{cd} && (\epsilon_{c1} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu} \text{ の場合}) \\ \sigma_{cd} &= 0 && (\epsilon_{cu} < \epsilon_c \text{ の場合}) \end{aligned} \right\} \dots (4.3)$ <p>ここで、</p>	<p>・記載の相違 【女川2】 島根2号炉はコンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について記載しているため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>コンクリート圧縮側の構成則の設定に当たって参照している CEB-FIP Model Code 1990 では、コンクリートの応力歪み関係はパラボラ型として定義されている。一方、今回工認の RCCV の解析に当たっては、<u>原子炉建屋の地震応答解析における解析条件と整合させる観点から、コンクリート実剛性を考慮した上で、CEB-FIP Model Code 1990 に基づくパラボラ型を折れ線近似した応力ひずみ関係を用いて解析を実施する予定である。</u></p> <p>今回工認で用いる予定の材料構成則について、折れ線近似を用いるに当たっての考え方を下記の①～③及び第 1 図に示す。</p> <p>① CEB-FIP Model Code 1990 に基づくパラボラ型の応力ひずみ曲線（図中破線）を算定する。算定式については、本編で示した (4.3) 式を用いることとし、<u>式に入力するコンクリート強度としては設計基準強度を用いる。</u></p> <p>② 初期剛性（ヤング係数）については、<u>原子炉建屋等の地震応答解析モデルと同様に実剛性を用いる方針であることから、「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—(1999)」</u>に基づく算定式により、<u>コンクリート実強度に基づく実剛性を算定する。</u>なお、CCV 規格 (CVE-3320) においても解析に用いる材料定数は本算定式を用いて設定することとされている。</p> <p>③ CEB-FIP Model Code1990 によるパラボラ型の曲線が包絡する面積と、折れ線近似の応力ひずみ関係が包絡する面積が等価となる初期剛性上の折れ点を算出し、解析に用いる折れ線近似の応力ひずみ関係とする。</p>		<p>$\epsilon_{c1}=0.002$ $\epsilon_{cu}=0.0035$ ($f_{ck} \leq 50\text{MPa}$ の場合) $\epsilon_{cu}=0.0035 \left(\frac{50}{f_{ck}}\right)$ ($50\text{MPa} < f_{ck} \leq 80\text{MPa}$ の場合)</p> <p>σ_{cd} : コンクリートの応力 ϵ_c : コンクリートのひずみ ϵ_{cu} : コンクリートの終局ひずみ f_{cd}, f_{ck} : コンクリート圧縮強度</p> <p>3. <u>コンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の折れ線近似について</u> <u>コンクリート圧縮側の構成則の設定に当たって参照している CEB-FIP Model Code では、コンクリートの応力ひずみ関係はパラボラ型として定義されている。一方、今回工認の鉄筋コンクリート部材の応力解析に当たっては、CEB-FIP Model Code に基づくパラボラ型を折れ線近似した応力ひずみ関係を用いて解析を実施する予定である。</u></p> <p><u>今回工認で用いる予定の材料構成則について、折れ線近似を用いるに当たっての考え方を下記の①～③及び第 2-1 図に示す。</u></p> <p>① <u>CEB-FIP Model Code に基づくパラボラ型の応力ひずみ曲線（図中破線）を算定する。算定式については、本編で示した (4.3) 式を用いることとする。</u></p> <p>② 初期剛性（ヤング係数）については、RC 規準に基づく算定式により算定する。なお、CCV 規格 (CVE-3320) においても解析に用いる材料定数は本算定式を用いて設定することとされている。</p> <p>③ <u>CEB-FIP Model Code によるパラボラ型の曲線が包絡する面積と、折れ線近似の応力ひずみ関係が包絡する面積が等価となる初期剛性上の折れ点を算出し、解析に用いる折れ線近似の応力ひずみ関係とする。</u></p>	<p>・記載の相違 【女川 2】 島根 2 号炉はコンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について記載しているため相違</p> <p>・モデルの相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は動解モデルの剛性を設計剛性とする（既工認から変更なし）ため記載なし</p> <p>・同上</p> <p>・同上</p> <p>・同上</p>

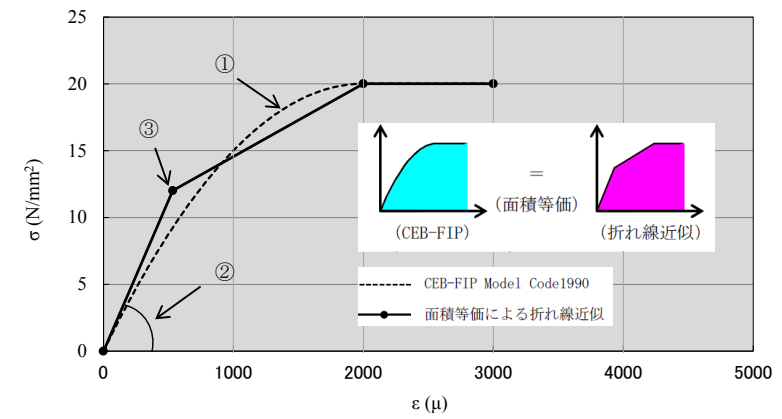
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>また、参考として、コンクリート強度に実強度を用いて CEB-FIP Model Code1990 によるパラボラ型の曲線を算定し、設計基準強度を用いたパラボラ型の曲線及び折れ線近似したものと比較した結果を第2図に示す。これより、今回工認で使用する折れ線近似した応力歪み関係における初期剛性が、CEB-FIP Model Code の式に実強度を入力した場合の曲線の初期剛性とおおむね整合していることが確認できる。</p> <p>以上で示したとおり、今回工認で採用予定のコンクリート圧縮側の応力歪み関係は、<u>初期剛性を実剛性と整合させる観点から折れ線近似しているものの、包絡面積は CEB-FIP Model Code1990 に基づくパラボラ型(設計基準強度)と等価としており、保守性を損なうような近似方法ではないと考えられる。</u></p>		<p>以上で示したとおり、今回工認で採用予定のコンクリート圧縮側の応力歪み関係は、<u>折れ線近似しているものの、包絡面積は CEB-FIP Model Code に基づくパラボラ型と等価としており、保守性を損なうような近似方法ではないと考えられる。</u></p> <p>また、RC規準において、初期剛性は第2-2図に示すとおりセカントモジュラス(応力度-ひずみ度曲線におけるコンクリート強度の1/4または1/3の応力度の点と原点を結んだ直線の傾斜)から設定しており、初期剛性からある一定範囲について剛性を一定とすることを示していることから、直線により初期剛性を設定することは妥当であると考えている。</p> <p>なお、CEB-FIP Model Code に対する折れ線近似の考え方は、<u>柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉RC CVの設置変更許可段階の審査において採用している手法と同様である。</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> ・記載の相違 【女川2】 島根2号炉はコンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について記載しているため相違 ・モデルの相違 【柏崎6/7】 島根2号炉は動解モデルの剛性を設計剛性とする(既工認から変更なし)ため記載なし ・同上 ・同上



第1図 CCV規格に基づくパラボラ型と折れ線近似の応力ひずみ関係



第2図 パラボラ型の曲線算定時に実強度を用いた場合との比較



第2-1図 CEB-FIP Model Codeに基づくパラボラ型と折れ線近似の応力ひずみ関係

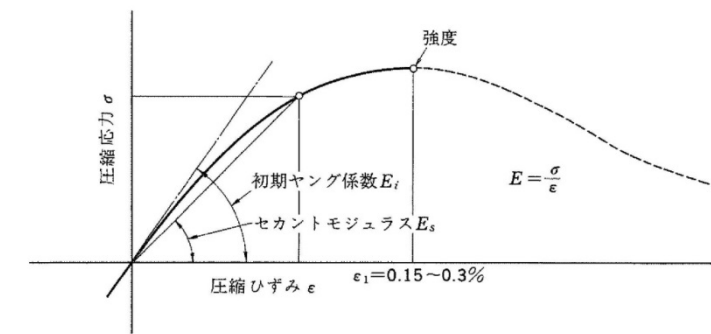


図5.1 コンクリートの応力度-ひずみ度曲線

第2-2図 セカントモジュラスによる初期剛性の設定 (RC規準より引用)

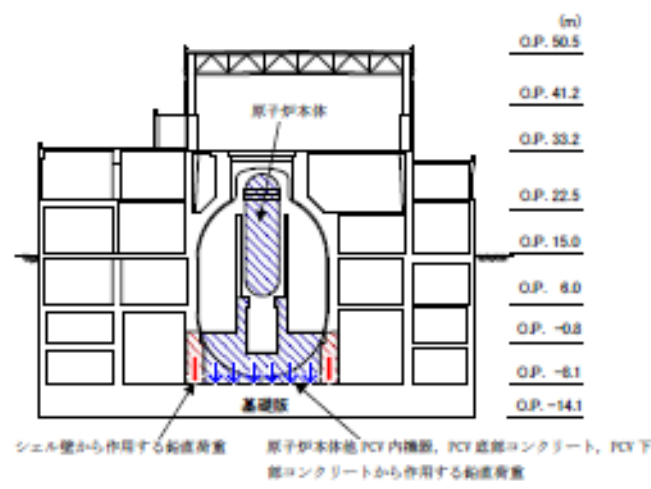
・記載の相違
【女川2】
島根2号炉はコンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について記載しているため相違

・モデルの相違
【柏崎6/7】
島根2号炉は動解モデルの剛性を設計剛性とする(既工認から変更なし)ため相違

・モデルの相違
【柏崎6/7】
島根2号炉は動解モデルの剛性を設計剛性とする(既工認から変更なし)ため相違

・記載の相違
【女川2】
島根2号炉はコンクリート圧縮側の応力ひずみ曲線の設定について記載しているため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;"><u>添付2</u></p> <p style="text-align: center;"><u>シェル壁内部の構造物から基礎版に伝達される荷重等の考え方について</u></p> <p>1. はじめに 原子炉建屋基礎版の応力解析において、<u>シェル壁内部の構造物に関するモデル化</u>、<u>及び基礎版へ伝達する荷重の考え方</u>を以下に示す。</p> <p>2. <u>基礎版モデルの考え方</u> <u>基礎版の解析モデルでは、基礎版は一律 6m の厚さとしてモデル化しており、原子炉本体他 PCV 内機器や PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの剛性についてはモデル化上は考慮せず、これらの常時荷重、地震時の慣性力は考慮している。これは既工認と同様の考え方である。</u></p> <p>3. <u>基礎版へ伝達する荷重の考え方</u> (1) <u>鉛直荷重の考え方</u> <u>シェル壁内部の鉛直荷重については、基礎に作用する荷重を当該作用位置に応じて入力する。シェル壁から作用する鉛直荷重については、当該壁位置に入力している。原子炉本体他 PCV 内機器、PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの自重および鉛直地震荷重（質点系モデルによる応答結果に基づき設定）は、基礎版に直接作用する荷重として入力しており、添付 2-1 図に鉛直荷重の考え方を示す。また、シェル壁内部以外の荷重についても考え方は同様である。</u></p>	<p style="text-align: right;"><u>添付資料-3</u></p> <p style="text-align: center;"><u>ドライウエル外側壁内部の構造物から基礎スラブに伝達される荷重等の考え方について</u></p> <p>1. はじめに <u>原子炉建物の基礎スラブの応力解析において、ドライウエル外側壁内部の構造物に関するモデル化及び基礎スラブへ伝達する荷重の考え方を以下に示す。</u></p> <p>2. <u>基礎スラブのモデル化の考え方</u> <u>基礎スラブの解析モデルでは、基礎スラブは一律 6m の厚さとしてモデル化しており、原子炉本体他 PCV 内機器や PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの剛性についてはモデル化上考慮せず、これらの常時荷重、地震時の慣性力は考慮している。これは既工認と同様の考え方である。</u></p> <p>3. <u>基礎スラブへ伝達する荷重の考え方</u> (1) <u>鉛直荷重の考え方</u> <u>ドライウエル外側壁内部の鉛直荷重については、基礎に作用する荷重を当該作用位置に応じて入力する。ドライウエル外側壁から作用する鉛直荷重については、当該壁位置に入力している。原子炉本体他 PCV 内機器、PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの自重及び鉛直地震荷重（質点系モデルによる応答結果に基づき設定）は、基礎スラブに直接作用する荷重として入力しており、第 3-1 図に鉛直荷重の考え方を示す。また、ドライウエル外側壁内部以外の荷重についても考え方は同様である。</u></p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 は R C C V を弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2 号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p>



添付 2-1 図 シェル壁内部の鉛直荷重の考え方

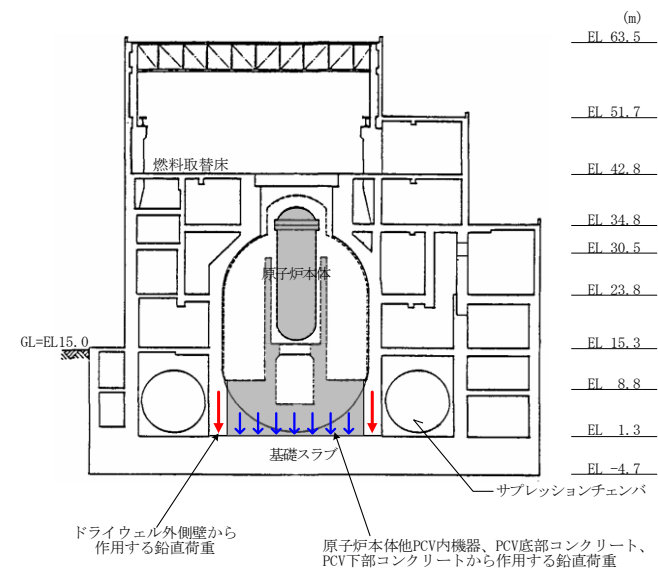
具体的な鉛直地震荷重の設定方法は次のとおり。

① 壁から作用する鉛直地震荷重

壁から作用する鉛直地震荷重は、基礎版の解析モデルにおいて当該部分が支える重量（原子炉本体他 PCV 内機器、PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートは含まない）に係数を乗じて算定する。算定に用いる係数は、一軸の質点系モデルによる鉛直方向の地震応答解析より算定される基礎版直上の軸力を、質点系モデルにおいて当該部分が支える重量で除して求める。ここで、鉛直方向の質点系モデルの質点重量は水平方向の質点系モデルの質点重量と整合した値としている。

② 基礎版に直接作用する鉛直地震荷重

基礎版に直接作用する鉛直地震荷重は、質点系モデルによる鉛直方向の地震応答解析より算定される基礎底面地盤ばねの軸力から、壁から作用する鉛直地震荷重を差し引いた値を、基礎版各部に直接作用する重量（原子炉本体他 PCV 内機器、PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの他、基礎版の自重を含む）に応じて分配する。すなわち、基礎版の解析モデルにおける鉛直方向地盤ばねの反力の総和と、質点系モデルの基礎底面ばねの軸力が等価になるように設定する。添付 2-2 図に基礎版に直接作用する鉛直地震荷重の算定の考え方を示す。



第 3-1 図 ドライウェル外側壁内部の鉛直荷重の考え方

具体的な鉛直地震荷重の設定方法は次のとおり。

① 壁から作用する鉛直地震荷重

壁から作用する鉛直地震荷重は、基礎スラブの解析モデルにおいて当該部分が支える重量（原子炉本体他 PCV 内機器、PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートは含まない）に係数を乗じて算定する。算定に用いる係数は、質点系モデルによる鉛直方向の地震応答解析により算定される基礎スラブ直上の軸力を、質点系モデルにおいて当該部分が支える重量で除して求める。ここで、鉛直方向の質点系モデルの質点重量は水平方向の質点系モデルの質点重量と整合した値としている。

② 基礎スラブに直接作用する鉛直地震荷重

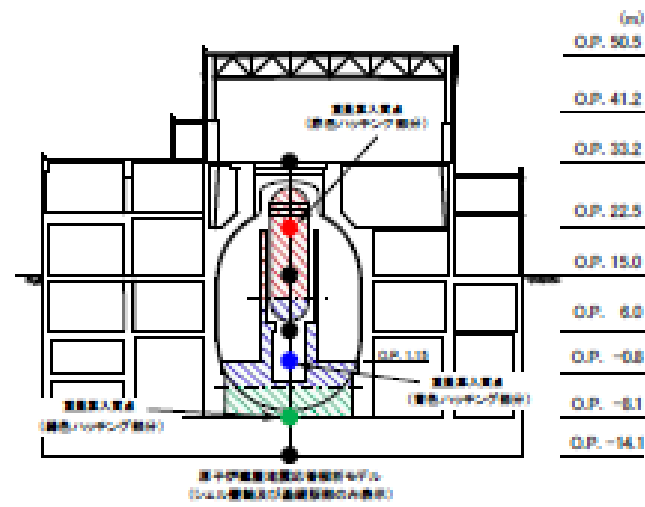
基礎スラブに直接作用する鉛直地震荷重は、質点系モデルによる鉛直方向の地震応答解析より算定される基礎底面地盤ばねの軸力から、壁から作用する鉛直地震荷重を差し引いた値を、基礎スラブ各部に直接作用する重量（原子炉本体他 PCV 内機器、PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの他、基礎スラブの自重を含む）に応じて分配する。すなわち、基礎スラブの解析モデルにおける鉛直方向地盤ばねの反力の総和と、質点系モデルの基礎底面ばねの軸力が等価になるように設定する。第 3-2 図に基礎スラブに直接作用する鉛直地震荷重の算定の考え方を示す。

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
柏崎 6/7 は RCCV を弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2 号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違

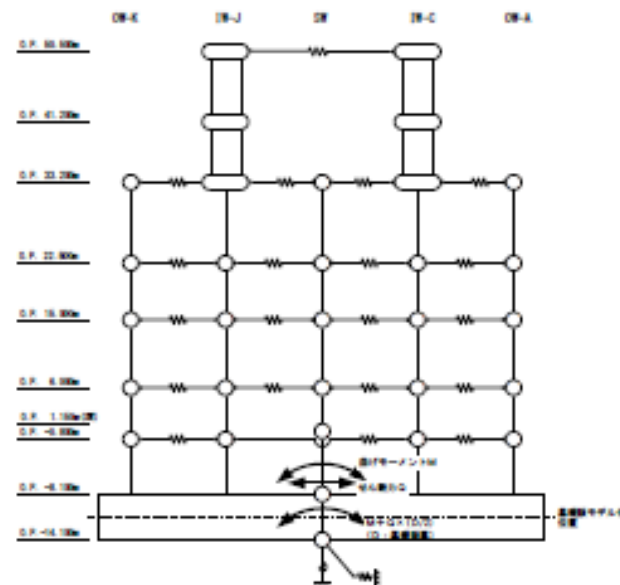
・構造・仕様の相違
【女川 2】
建物形状の相違
・対象施設の相違

【柏崎 6/7】
柏崎 6/7 は RCCV を弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2 号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違

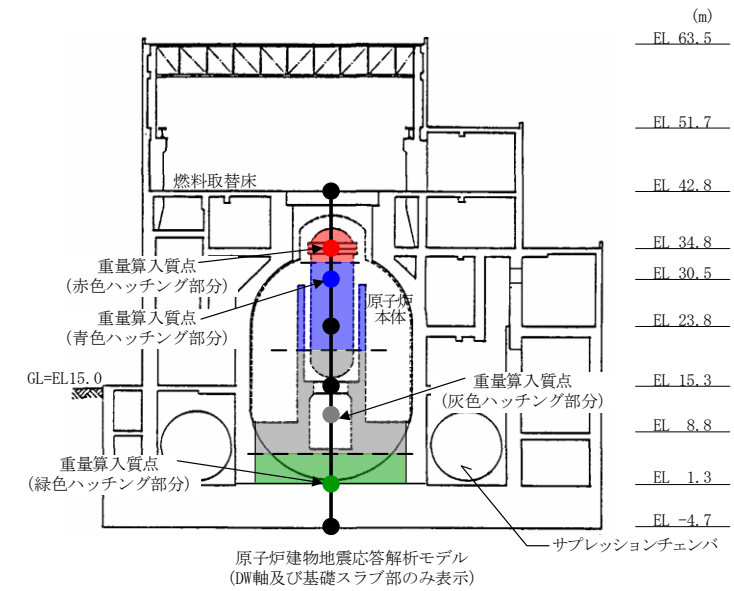
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="979 262 1573 525" data-label="Diagram"> <p>N_1: 壁から作用する鉛直地震荷重(①) N_2: 基礎版に直接作用する鉛直地震荷重(②) N_3: 地震応答解析より算定される基礎底面に生じる軸力 $N_2 = N_3 - N_1$</p> </div> <p>添付 2-2 図 基礎版に直接作用する鉛直地震荷重の算定の考え方</p> <p>(2) 水平荷重の考え方 シエル壁内部の水平荷重については、質点系モデルによる地震応答解析結果より得られるシエル壁脚部のせん断力、曲げモーメントを用い、基礎上端(0.P. -8.1m)と基礎版のモデル化位置である基礎版中心(0.P. -11.1m)との離間距離により付加される曲げモーメント分についても考慮のうえ、シエル壁位置に入力*する。</p> <p>質点系モデルでは、原子炉本体他 PCV 内機器、PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの重量は、シエル壁軸の質点重量に集約している。重量を算入する質点レベルは、RPV スタビライザや原子炉本体基礎脚部の位置を考慮して、添付 2-3 図に示すように算入している。</p> <p>このため、シエル壁内部の構造物に作用する水平地震時慣性力は、原子炉建屋地震応答解析により得られるシエル壁軸の応答(せん断力、曲げモーメント)に含まれ、曲げモーメントは各重量算入質点の高さを考慮した値として得られる。</p> <p>曲げモーメントの補正方法を添付 2-4 図に、シエル壁から伝達する水平地震荷重の基礎版解析における入力イメージを添付 2-5 図に示す。また、シエル壁内部以外の荷重についても考え方は同様である。</p> <p>※耐震設計上、当該レベルの耐震要素として評価しているシエル壁部で地震力を負担することとしているが、原子炉本体基礎からの反力等についてはその影響に応じて詳細設計段階で検討していく。</p>	<div data-bbox="1751 262 2344 525" data-label="Diagram"> <p>N_1: 壁から作用する鉛直地震荷重(①) N_2: 基礎版に直接作用する鉛直地震荷重(②) N_3: 地震応答解析より算定される基礎底面に生じる軸力 $N_2 = N_3 - N_1$</p> </div> <p>第 3-2 図 基礎スラブに直接作用する鉛直地震荷重の算定の考え方</p> <p>(2) 水平荷重の考え方 ドライウエル外側壁内部の水平荷重については、質点系モデルによる地震応答解析結果より得られるドライウエル外側壁脚部のせん断力、曲げモーメントを用い、基礎上端(EL 1.3m)と基礎スラブのモデル化位置である基礎スラブ中心(EL -1.7m)との離間距離により付加される曲げモーメント分についても考慮のうえ、ドライウエル外側壁位置に入力*する。</p> <p>質点系モデルでは、原子炉本体他 PCV 内機器、PCV 底部コンクリート、PCV 下部コンクリートの重量は、DW 軸の質点重量に集約している。重量を算入する質点レベルは RPV スタビライザや原子炉本体基礎脚部の位置を考慮して、第 3-3 図に示すように算入している。</p> <p>このため、ドライウエル外側壁内部の構造物に作用する水平地震時慣性力は、原子炉建物地震応答解析により得られる DW 軸の応答(せん断力、曲げモーメント)に含まれ、曲げモーメントは各重量算入質点の高さを考慮した値として得られる。</p> <p>曲げモーメントの補正方法を第 3-4 図に、ドライウエル外側壁から伝達する水平地震荷重の基礎スラブ解析における入力イメージを第 3-5 図に示す。なお、ドライウエル外側壁内部以外の荷重についても考え方は同様である。</p> <p>※: 耐震設計上、当該レベルの耐震要素として評価しているドライウエル外側壁部で地震力を負担することとしているが、原子炉本体基礎からの反力等についてはその影響に応じて詳細設計段階で検討していく。</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 柏崎 6/7 は RCCV を弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2 号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p>



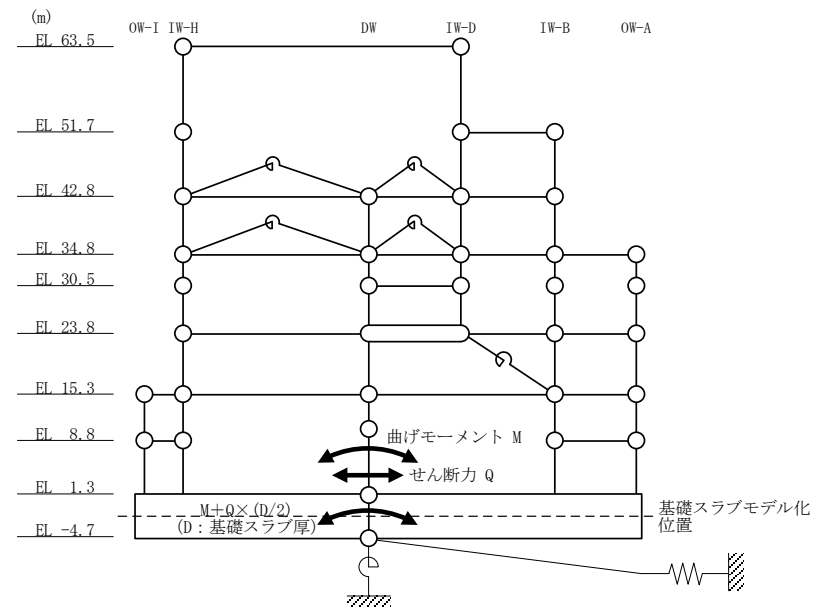
添付 2-3 図 原子炉本体他 PCV 内機器, PCV 底部コンクリート, PCV 下部コンクリートの重量算入質点の考え方



添付 2-4 図 基礎版の解析モデルに用いる曲げモーメントの補正方法



第 3-3 図 原子炉本体他 PCV 内機器, PCV 底部コンクリート, PCV 下部コンクリートの重量算入質点の考え方

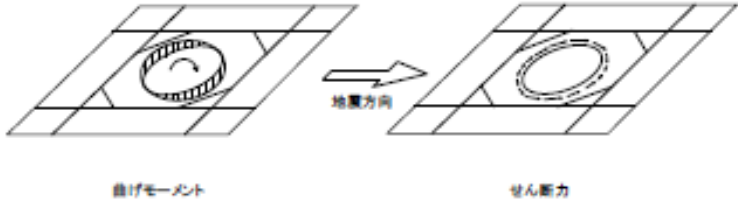
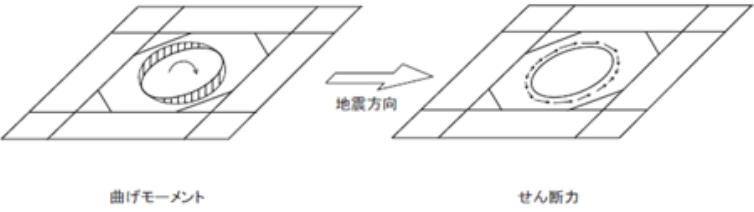


第 3-4 図 基礎スラブの解析モデルに用いる曲げモーメントの補正方法

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
柏崎 6/7 は RCCV を弾塑性解析の適用対象とするが、島根 2 号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違

・構造・仕様の相違
【女川 2】
建物形状及びモデルの相違

・同上


柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p data-bbox="1032 520 1635 598">添付2-5図 シェル壁から伝達する水平地震荷重の基礎版の解析モデルにおける入力イメージ</p>	 <p data-bbox="1754 520 2504 598">第3-5図 ドライウエル外側壁から伝達する水平地震荷重の基礎スラブの解析モデルにおける入力イメージ</p>	<p data-bbox="2546 254 2843 598"> ・対象施設の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違 </p>

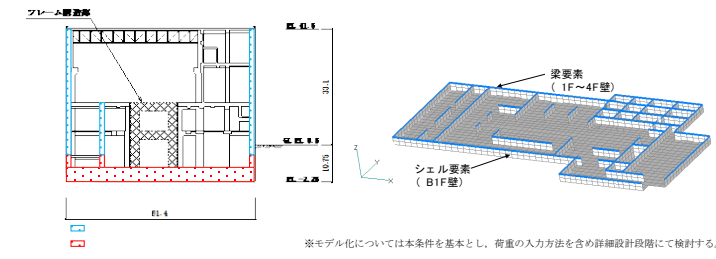
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考													
	<p style="text-align: right;">添付3</p> <p style="text-align: center;"><u>基礎版と耐震壁の剛性の組合せの考え方について</u></p> <p><u>基礎版の評価を主体として考えた場合、定性的には基礎版の剛性が低くかつ耐震壁の剛性が低い場合が基礎版の変形が大きく評価される。従って基礎版の評価を主体とする検討においては、基礎版の剛性低下を考慮する不確かさケースと組み合わせる耐震壁の剛性は、質点系モデルの不確かさケースに合わせ低下させた値を採用する。</u></p> <p><u>耐震壁の評価を主体として考えた場合、定性的には基礎版の剛性が低くかつ耐震壁の剛性が高い方が、耐震壁が負担する応力は大きく評価される。しかし、剛性低下の傾向は耐震壁は顕著であるものの基礎版は小さいもしくは認めにくいこと、また、もともと耐震壁の設計は保守性を有していることから、耐震壁の評価を主体とする検討においては、基礎版の剛性としては設計剛性を採用する基本ケースを用い、それと組み合わせる耐震壁の剛性は、質点系モデルの基本ケースに合わせ低下させた値を採用する。検討の結果、耐震壁の拘束効果が耐震壁の評価に及ぼす影響が大きい場合は、基礎版の剛性を低下させたケースとの組み合わせについても検討する。</u></p> <p style="text-align: center;"><u>添付3-1 表 基礎版と耐震壁の剛性の組合せの考え方</u></p> <table border="1" data-bbox="982 1289 1682 1610"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2"></th> <th colspan="2">耐震壁</th> </tr> <tr> <th>【基本ケース】 質点系モデルの基本ケースにおける耐震壁の初期剛性に整合</th> <th>【不確かさケース】 質点系モデルの不確かさケースにおける耐震壁の初期剛性に整合</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">基礎版</td> <td>【基本ケース】 設計基準強度による剛性</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>【不確かさケース】 地震観測記録の分析等を踏まえ初期剛性を低下</td> <td style="text-align: center;">-^{※1}</td> <td style="text-align: center;">○</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 検討の結果、耐震壁の拘束効果が耐震壁の評価に及ぼす影響が大きい場合は、基礎版の剛性を低下させたケースとの組み合わせについても検討する。</p>			耐震壁		【基本ケース】 質点系モデルの基本ケースにおける耐震壁の初期剛性に整合	【不確かさケース】 質点系モデルの不確かさケースにおける耐震壁の初期剛性に整合	基礎版	【基本ケース】 設計基準強度による剛性	○	-	【不確かさケース】 地震観測記録の分析等を踏まえ初期剛性を低下	- ^{※1}	○		<p>・モデルの相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>
				耐震壁												
		【基本ケース】 質点系モデルの基本ケースにおける耐震壁の初期剛性に整合	【不確かさケース】 質点系モデルの不確かさケースにおける耐震壁の初期剛性に整合													
基礎版	【基本ケース】 設計基準強度による剛性	○	-													
	【不確かさケース】 地震観測記録の分析等を踏まえ初期剛性を低下	- ^{※1}	○													

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;"><u>添付資料-4</u></p> <p style="text-align: center;"><u>耐震壁のシェル要素でのモデル化について</u> <u>(タービン建物及び制御室建物)</u></p> <p>1. <u>タービン建物</u> タービン建物の既工認における基礎スラブの応力解析は、原子炉建物と同様に3次元FEMモデルによる評価を行い、剛性の高い壁を等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化している。今回工認では、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮することを目的に、耐震壁の一部をシェル要素でモデル化することとする。既工認におけるタービン建物の基礎スラブの解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第4-1表に、概念図を第4-1図に示す。</p> <p><u>この既工認とのモデル化の差異は、より実状に近い構造挙動となるため、本資料における論点としては取り扱わないこととするが、既工認時には梁要素でモデル化している耐震壁について、低層部の壁の一部をシェル要素でモデル化することによる影響を以下に示す。</u></p> <p><u>既工認時は剛性の高い壁を等価な剛性を考慮した梁要素でモデル化しているが、考慮している剛性は基礎スラブ面外方向の剛性のみとしている。本来、基礎スラブより上階において直交する耐震壁は相互につながっているが、その効果は考慮されない。</u></p> <p><u>一方、今回工認では低層部の壁の一部をシェル要素でモデル化することから、既工認時に梁要素で考慮していた基礎スラブに対する面外剛性に加えて、耐震壁の面外剛性、面内剛性も考慮される。これらの壁が全体として基礎スラブへの拘束部材となり、より実状に近い構造挙動となる。例えば、地震荷重時に基礎スラブが面外に変形しながら浮き上がりを生ずる挙動に対して、地震方向の耐震壁と直交方向の耐震壁が一体性を保持しつつ、立体的に抵抗することとなる。また、既工認モデルの梁要素は中立軸を耐震壁の図心として評価したものを基礎スラブ中心位置に設定しており偏心が考慮されないのに対し、今回工認モデルではシェル要素を基礎スラブ上端より立ち上げるため、基礎スラブ中心(モデル化位置)と耐震壁の図心の偏心距離が考慮されることにより曲げ剛性が大きく評価される。これらの結果、基礎スラブの面外変形</u></p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉はタービン建物及び制御室建物について耐震壁をシェル要素でモデル化するため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p><u>が既工認モデルに比較して小さくなり、基礎スラブの応力は低減することとなる。</u></p> <p><u>ただし、実機では基礎スラブ上端から上部全体の耐震壁及び床スラブが一体として拘束効果を発揮するのに対し、今回工認モデルではシェル要素でモデル化するのは低層部の壁の一部のみであり、拘束効果は実機より小さく保守的である。</u></p> <p><u>なお、耐震壁の地震力算定に用いる地震応答解析では基礎スラブを剛体として扱っているため、基礎スラブの柔性を考慮する場合に対し基本的に耐震壁が負担する地震力を保守的に評価している。また、耐震壁の土圧荷重の評価においては一方向版を仮定し、基礎スラブとの接続部で固定とした評価を実施していること等から耐震壁には十分な余裕があるが、シェル要素でモデル化した耐震壁に発生する応力については、念のため詳細設計段階でその影響について確認する。</u></p> <p><u>なお、耐震壁のシェル要素でのモデル化については、女川原子力発電所2号炉の原子炉建屋基礎版の設置変更許可段階の審査において採用している手法と同様である。</u></p> <p><u>2. 制御室建物</u></p> <p><u>制御室建物の既工認における基礎スラブの応力解析は、公式等による応力計算を実施しているが、今回工認では3次元FEMモデルによる評価を行う。この既工認との差異については、島根2号炉を含む先行プラントの既工認等において多数の適用実績があること、より実状に近い構造挙動となることから本資料における論点としては取り扱わないこととする。</u></p> <p><u>なお、制御室建物の今回工認で用いる3次元FEMモデルではタービン建物と同様の考え方により、剛性の高い壁のうち低層部の一部をシェル要素でモデル化する。既工認における制御室建物の基礎スラブの解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第4-2表に、概念図を第4-2図に示す。</u></p> <p><u>タービン建物や制御室建物のように基礎スラブ厚が薄い建物に弾塑性解析を適用した実績は無く、また、タービン建物は耐震壁が偏在していることから、解析結果に対する基礎スラブ及び耐震壁の評価・分析を詳細設計段階で行う。</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7, 女川2】</p> <p>島根2号炉はタービン建物及び制御室建物について耐震壁をシェル要素でモデル化するため相違</p>

第4-1表 応力解析モデル及び手法の比較 (タービン建物の基礎スラブ)

項目	既工認時	今回工認時
解析手法	・弾性地盤上に支持された厚さ2.0~2.5mの一枚の版として有限要素法により解析する。	・同左
解析コード	・NASTRAN	・ABAQUS
荷重	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重 (S2)、土圧等	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重 (Ss)、土圧等
モデル化範囲	・基礎スラブ全体と剛性の高い一部壁をモデル化する。	・同左
	・モデル全体で概ね1~3m程度	・同左
メッシュサイズ	・基礎スラブ全体をシェル要素でモデル化する。 ・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は、その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化する。耐震壁はRFL (E L 41.6m) までの剛性を考慮する。また、タービン建物は開口部が多いことから、梁要素の剛性算定においては開口部による影響を考慮する。	・基礎スラブ全体を積層シェル要素でモデル化する。 ・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は、その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化することを基本とするが、低層部の壁の一部はシェル要素でモデル化し、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する。耐震壁はRFL (E L 41.6m) までの剛性を考慮する。また、既工認時と同様に梁要素の剛性算定においては開口部による影響を考慮する。
	・コンクリートのヤング係数 $E=2.1 \times 10^4$ (t/m ²) ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.25 \times 10^4$ (N/mm ²) ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$
材料物性	・弾性解析	・弾塑性解析
評価方法	・弾性解析 (機能維持) 部材に発生する応力が終局強度を超えないことを確認する。 接地圧が地盤の許容支持力度を超えないことを確認する。	・弾塑性解析 (機能維持) 部材に発生する応力、ひずみが終局強度を超えないことを確認する。 接地圧が地盤の極限支持力度を超えないことを確認する。
	・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は、その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化、底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化。 ・基礎スラブより立ち上がっている独立柱及び蒸気タービンの基礎は、その剛性を考慮しない。 ・B1F壁の開口のうち比較的小さいものは影響がないと判断し、梁要素には大開口をモデル化する。	・基礎スラブより立ち上がっている耐震壁は、その剛性を考慮した等価な梁要素及びシェル要素でモデル化、底面には支持地盤と等価な弾性ばねをモデル化。 ・基礎スラブより立ち上がっている独立柱及び蒸気タービンの基礎は、その剛性を考慮しない。 ・シェル要素部は主要な開口部をモデル化する。 ・モデル図は第4-1図参照
モデル	 <p>梁要素 (耐震壁の剛性を考慮)</p>	



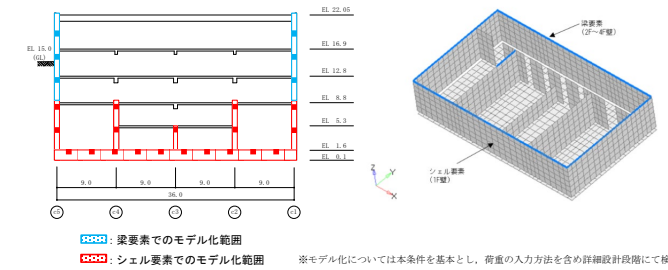
第4-1図 基礎スラブの3次元FEMモデルの概念図 (タービン建物)

・対象施設の相違
【柏崎6/7, 女川2】
島根2号炉はタービン建物及び制御室建物について耐震壁をシェル要素でモデル化するため相違

第4-2表 応力解析モデル及び手法の比較 (制御室建物の基礎スラブ)

項目	既工認時	今回工認時
解析手法	・公式等による応力計算による。	・弾性地盤上に支持された厚さ1.5mの一枚の版として有限要素法により解析する。
解析コード	—	・ABAQUS
荷重	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重 (Ss)
モデル化	範囲	・基礎スラブ全体と剛性の高い一部壁をモデル化する。
	メッシュサイズ	・モデル全体で概ね1~3m程度
	要素タイプ	・基礎スラブ全体を精細シェル要素でモデル化する。 ・基礎スラブより立ち上っている耐震壁は、その剛性を考慮した等価な梁要素でモデル化することを基本とするが、低層部の壁の一部はシェル要素でモデル化し、壁の立体的な形状による剛性への寄与を考慮する。耐震壁はRFL (E.L.22.05m)までの剛性を考慮する。また、タービン建物の基礎スラブと同様に、梁要素の剛性算定においては開口部による影響を考慮する。
材料物性	—	・コンクリートのヤング係数 E=2.20×10 ⁴ (N/mm ²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.2
評価方法	応力解析	・公式等による応力計算による。
	許容限界	(短期許容応力度) 部材に発生する応力が短期許容応力度を超えないことを確認する。 ・鋼地圧が地盤の極限支持力を超えないことを確認する。
モデル	—	・基礎スラブより立ち上っている耐震壁は、その剛性を考慮した等価な梁要素及びシェル要素でモデル化。底面には支持地盤と等価な弾性はねをモデル化。 ・基礎スラブより立ち上っている独立柱はない。 ・シェル要素部は主要な開口部をモデル化する。 ・モデル図は第4-2図参照

・対象施設の相違
【柏崎6/7, 女川2】
島根2号炉はタービン建物及び制御室建物について耐震壁をシェル要素でモデル化するため相違



第4-2図 基礎スラブの3次元FEMモデルの概念図 (制御室建物)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: center;">参考資料1</p> <p style="text-align: center;">女川2号炉原子炉建屋 地震計配置</p> <p>The diagrams show the following sensor configurations:</p> <ul style="list-style-type: none"> 基礎版上 (O.P.-8.1m): 2RB-6 [NS,EW,UD], 2RB-15 [NS,UD], 2RB-14 [EW,UD], 2RB-1 [EW,UD], 2RB-5 [UD], 2RB-4 [UD], 2RB-2 [UD], 2RB-3 [UD], 2RB-13 [NS,UD] 地下2階 (O.P.-0.8m): 2RB-16 [NS,EW,UD] 地下1階 (O.P.6.0m): 2RB-17 [NS,EW,UD] 地上1階 (O.P.15.0m): 2RB-7 [NS,EW,UD] 地上2階 (O.P.22.5m): 2RB-18 [NS,EW,UD] 地上3階 (O.P.33.2m): 2RB-8 [NS,EW,UD], 2RB-9 [NS,UD], 2RB-10 [EW,UD], 2RB-11 [NS,UD] 屋根トラス (O.P.46.95m): 2RB-19 [UD] 屋上階 (O.P.50.5m): 2RB-12 [NS,EW,UD] <p>A north arrow and a 'PH' symbol are also present.</p>		<p>・モデルの相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>

参考資料2

弾塑性解析の適用に関する先行プラントとの比較

プラント	女川2号炉	柏崎刈羽6号及び7号炉(参考)※
部位	原子炉建屋の基礎	
項目	既工工種時	今回工種時
分類	間接支持構造物 (核計用地震動: S2)	間接支持構造物 (核計用地震動: Ss)
解析手法	弾性地震上に支持された厚さ6.0mの一板の板として有限要素法により解析する。	弾性地震上に支持された厚さ6.0mの一板の板として有限要素法により解析する。
解析コード	・NASTRAN	・ABAQUS
考慮する荷重	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重(S2)、土圧等	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重(Ss)、土圧等
モデル化範囲	・基礎版全体と剛性の高い一部壁をモデル化	・基礎版全体と剛性の高い一部壁をモデル化
メッシュサイズ	・モデル全体で概ね1~3m程度	・モデル全体で概ね1~3m程度
要素タイプ	・基礎版全体をシェル要素でモデル化する。 ・外部、内部ボックス壁、天井等、等価剛性を考慮した要素でモデル化する。	・基礎版全体をシェル要素でモデル化する。 ・外部、内部ボックス壁、天井等、等価剛性を考慮した要素でモデル化する。
材料物性	・コンクリートのヤング係数 $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$
応力解析	・弾性解析 (線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性)	・弾性解析 (線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性)
評価方法	・弾性解析 (線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性)	・弾性解析 (線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性)
境界条件及びモデル図		
備考	注1: コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.167$ とする。注2: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注3: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注4: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。	注1: コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注2: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注3: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注4: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。

※他サイトの情報に係る記載内容については、公開資料を基に弊社の責任において独自解釈したものです。

参考資料-1

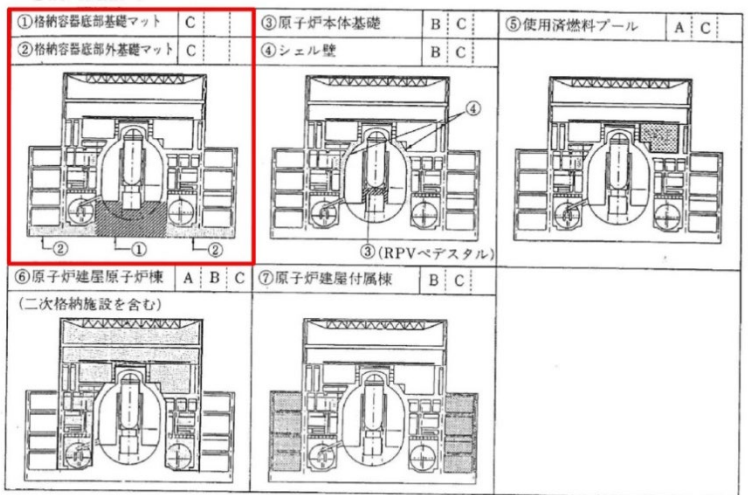
弾塑性解析の適用に関する先行プラントとの比較

プラント	島根2号炉	女川2号炉(参考)※	柏崎刈羽6号及び7号炉(参考)※
部位	原子炉建屋の基礎		
項目	既工工種時	今回工種時	今回工種時
分類	間接支持構造物 (核計用地震動: S2)	間接支持構造物 (核計用地震動: Ss)	間接支持構造物 (核計用地震動: Ss)
解析手法	弾性地震上に支持された厚さ6.0mの一板の板として有限要素法により解析する。	弾性地震上に支持された厚さ6.0mの一板の板として有限要素法により解析する。	弾性地震上に支持された厚さ6.0mの一板の板として有限要素法により解析する。
解析コード	・NASTRAN	・ABAQUS	・NASTRAN ・ABAQUS
考慮する荷重	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重(S2)、土圧等	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重(Ss)、土圧等	・固定荷重、機器配管荷重、積載荷重、地震荷重(Ss)、土圧等
モデル化範囲	・基礎版全体と剛性の高い一部壁をモデル化	・基礎版全体と剛性の高い一部壁をモデル化	・基礎版全体と剛性の高い一部壁をモデル化
メッシュサイズ	・モデル全体で概ね1~3m程度	・モデル全体で概ね1~3m程度	・モデル全体で概ね1~3m程度
要素タイプ	・基礎版全体をシェル要素でモデル化する。 ・外部、内部ボックス壁、天井等、等価剛性を考慮した要素でモデル化する。	・基礎版全体をシェル要素でモデル化する。 ・外部、内部ボックス壁、天井等、等価剛性を考慮した要素でモデル化する。	・基礎版全体をシェル要素でモデル化する。 ・外部、内部ボックス壁、天井等、等価剛性を考慮した要素でモデル化する。
材料物性	・コンクリートのヤング係数 $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.167$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$	・コンクリートのヤング係数 $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$
応力解析	・弾性解析 (線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性)	・弾性解析 (線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性)	・弾性解析 (線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性)
評価方法	・弾性解析 (線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性)	・弾性解析 (線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性)	・弾性解析 (線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性) ・弾性解析 (非線形弾性)
境界条件及びモデル図			
備考	注1: コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.167$ とする。注2: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注3: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注4: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。	注1: コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注2: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注3: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注4: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。	注1: コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注2: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注3: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。注4: 弾性係数は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造設計規程」(平成25年)に基づき、弾性係数は $E=2.1 \times 10^4 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 、ポアソン比は $\nu=0.2$ とする。

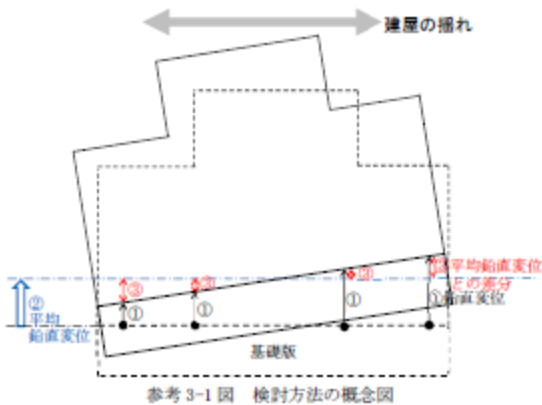
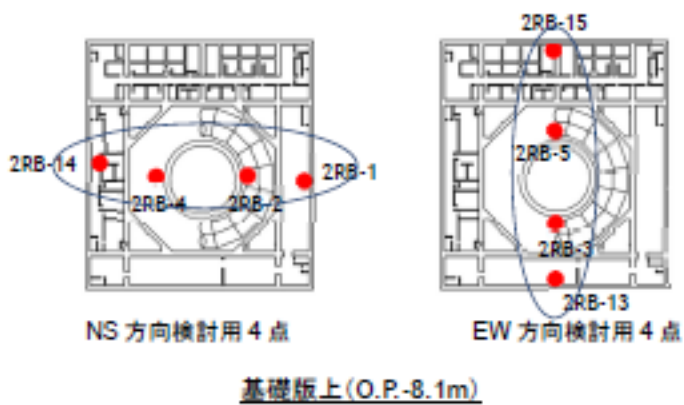
注: 他サイトの情報に係る記載内容については、公開資料を基に弊社の責任において独自解釈したものです。

・比較対象の相違
【柏崎6/7, 女川2】
島根2号炉は柏崎6/7及び女川2に対して比較しているため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;"><u>参考資料-2</u></p> <p style="text-align: center;"><u>原子炉建物の基礎スラブの耐震重要度分類の考え方及び耐震評価方針について</u></p> <p><u>既工認時において原子炉建物は原子炉棟を含む建物全体の耐震重要度分類をAクラス（S2機能維持）として設計しており、基礎スラブについては基準地震動S2及び基準地震動S1に対する荷重組合せによる耐震評価を実施していた。</u></p> <p><u>一方、今回工認において、耐震重要度分類は、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度（耐震重要度）に応じて分類することとされている。BWR MARK-Iである島根2号炉原子炉建物の基礎スラブについては、JEAG 4601-1987において、第2-1図に示すように、「格納容器底部基礎マット」及び「格納容器底部外基礎マット」は耐漏洩機能は求められておらず、支持機能のみが要求されている。従って、原子炉建物の基礎スラブはSクラス設備ではなく、Sクラス設備の間接支持構造物として分類される。</u></p> <p><u>以上を踏まえ、今回工認における原子炉建物の基礎スラブの評価においては、基準地震動Ssに対する評価を実施する。</u></p> <p><u>ただし、既工認時にAクラスとして設計していること及び二次格納施設バウンダリである原子炉棟との連続性を踏まえ、詳細設計段階において弾性設計用地震動Sdに対する荷重組合せについて影響を確認することとする。なお、解析は弾性解析とし、基準地震動Ssの評価に用いる今回工認モデルにより実施する。</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・記載の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は耐震重要度分類の考え方及び耐震評価方針について記載しているため相違</p>

<p>柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)</p>	<p>女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)</p>	<p>島根原子力発電所 2号炉</p>	<p>備考</p>
		<p>BWR MARK-I</p>  <p>①格納容器底部基礎マット C ②格納容器底部外基礎マット C ③原子炉本体基礎 B C ④シェル壁 B C ⑤使用済燃料プール A C ⑥原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設を含む) A B C ⑦原子炉建屋付属棟 B C</p> <p>A: 耐漏洩機能 B: 波及事故防止機能 C: 支持機能</p> <p>第2-1図 原子炉建物に要求される機能 (JEAG4601-1987より引用, 加筆)</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7はRCCVを弾塑性解析の適用対象とするが、島根2号炉は原子炉建物の基礎スラブ等を適用対象とするため相違</p> <p>・記載の相違 【女川2】 島根2号炉は耐震重要度分類の考え方及び耐震評価方針について記載しているため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;"><u>参考資料 3</u></p> <p style="text-align: center;"><u>地震観測記録に基づく基礎版の剛性低下に係る試検討</u></p> <p>1. はじめに <u>基礎版の応力解析モデルについては、既工認と同様に設計基準強度ベースで剛性を評価したケースを基本ケースとし、更に初期剛性を低下させるケースは不確かさケースとして扱う方針としている。不確かさケースに用いる初期剛性の低下量については、基礎版上に設置されている地震観測記録の分析を踏まえ設定する方針としており、ここではその検討例を示す。</u></p> <p>2. 検討方法 <u>基礎版上には鉛直方向の地震動を観測する地震計が NS 方向、EW 方向に各 4 箇所配置されており、3.11 地震を含めた複数地震に対して、鉛直方向の平均変位に対する相対変位量と、基礎版に作用した地震力の大きさの相関性について、以下の手順にて検討する。</u> <u>検討方法の概念図を参考 3-1 図に、地震観測位置を参考 3-2 図に示す。</u></p> <p>① <u>鉛直方向の加速度記録を積分して変位波形を算定する。</u> ② <u>直線上に並ぶ 4 点の変位波形から平均変位波形を時刻歴上で算定する。</u> ③ <u>平均変位波形と各観測点の変位波形の差分の最大値（絶対値）を算定する。</u> ④ <u>算定した各観測点の変位差分の最大値と建屋への入力地震動の大きさ（例えば質点系モデルを用いたシミュレーション解析より算定されるベースシャー係数（最下層の層せん断力係数））の関係をプロットする。</u> ⑤ <u>プロットしたベースシャー係数と鉛直変位の関係より基礎版の剛性を分析する。（おおむね比例関係であれば、特に大きな剛性低下はないと考えられる。）</u></p>		<p>・モデルの相違</p> <p>【女川 2】</p> <p>島根 2 号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>

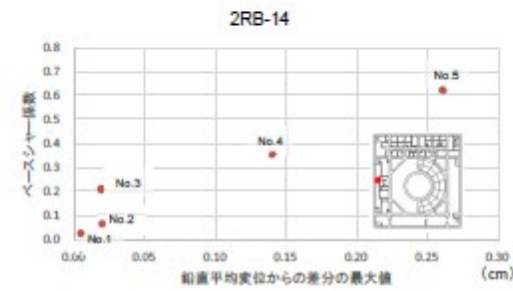
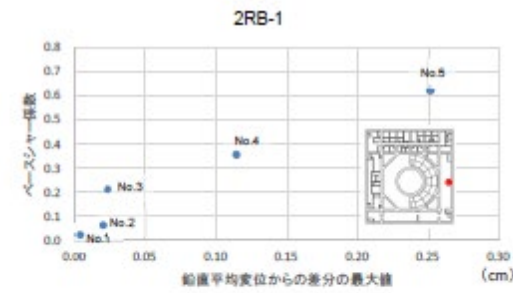
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p>参考 3-1 図 検討方法の概念図</p>  <p>参考 3-2 図 地震観測位置 (2号炉原子炉建屋基礎版, 鉛直方向)</p> <p>3. 検討結果</p> <p>参考 3-1 表に示す過去の代表地震について、前述の方法により算定した鉛直変位とベースシャー係数の関係を参考 3-3 図～参考 3-6 図に示す。また、3.11 地震前後の中小地震に対する検討結果を参考 3-7 図～参考 3-10 図に示す。</p> <p>ここで、過去の代表地震は、比較的大きな地震観測記録として、基礎版上の最大加速度を更新した地震を選定した。3.11 地震前後の検討においては、M5 以上かつ基礎版上で 20cm/s² 以上の観測記録を条件に、3.11 地震前については 2005 年 8 月 16 日宮城県沖の地震以降の 7 地震を選定し、3.11 地震後については、4.7 地震以降の発生順に 7 地震を選定した。</p>		<p>・モデルの相違</p> <p>【女川 2】</p> <p>島根 2 号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>

検討の結果、代表地震の比較では鉛直変位とベースシャー係数の関係が比例関係となっており、3.11 地震前後の比較でも大きな傾向の違いは認められなかった。

なお、他の地震記録を含めた影響等については、詳細設計段階において検討する。

参考 3-1 表 過去の代表地震

No.	日時	検討用地震	ベースシャー係数	
			NS 方向	EW 方向
1	1994/10/4 22:22	北海道東方沖の地震	0.03	0.02
2	1996/2/17 0:22	福島県沖の地震	0.06	0.05
3	2003/5/26 18:24	宮城県沖の地震	0.21	0.20
4	2005/8/16 11:46	宮城県沖の地震	0.36	0.20
5	2011/3/11 14:46	東北地方太平洋沖地震	0.63	0.74



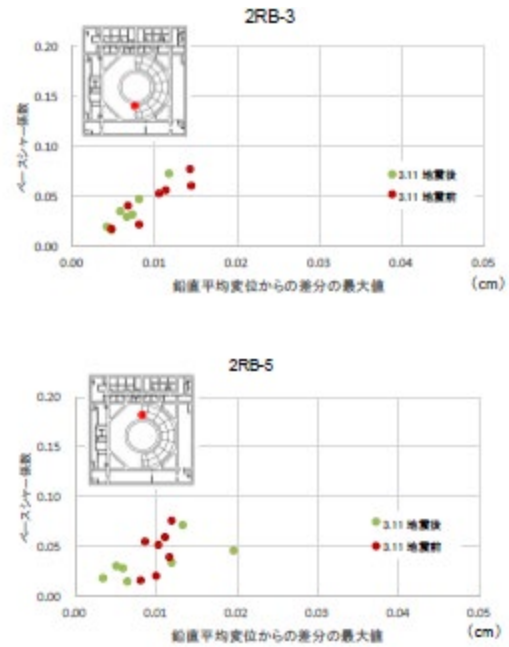
参考 3-3 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (NS 方向)
(代表地震) (1)

・モデルの相違
【女川2】
島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p data-bbox="994 252 1469 514"> 2RB-2 </p> <p data-bbox="994 577 1469 850"> 2RB-4 </p> <p data-bbox="979 882 1691 955"> <u>参考 3-4 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (NS 方向)</u> <u>(代表地震) (2)</u> </p> <p data-bbox="979 1071 1454 1344"> 2RB-13 </p> <p data-bbox="979 1386 1454 1659"> 2RB-15 </p> <p data-bbox="979 1690 1691 1764"> <u>参考 3-5 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (EW 方向)</u> <u>(代表地震) (1)</u> </p>		<p data-bbox="2537 252 2834 462"> ・モデルの相違 【女川2】 島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違 </p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p data-bbox="973 247 1439 514"> </p> <p data-bbox="973 525 1439 791"> </p> <p data-bbox="973 835 1694 913"> <u>参考 3-6 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (EW 方向)</u> <u>(代表地震) (2)</u> </p> <p data-bbox="988 1024 1463 1291"> </p> <p data-bbox="988 1386 1463 1652"> </p> <p data-bbox="973 1686 1694 1764"> <u>参考 3-7 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (NS 方向)</u> <u>(3.11 地震前後の中小地震) (1)</u> </p>		<p data-bbox="2546 254 2846 464"> ・モデルの相違 【女川2】 島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違 </p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p data-bbox="982 268 1439 541"> </p> <p data-bbox="982 611 1439 884"> </p> <p data-bbox="982 926 1685 1003"> <u>参考 3-8 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (NS 方向)</u> <u>(3.11 地震前後の中小地震) (2)</u> </p> <p data-bbox="982 1115 1439 1388"> </p> <p data-bbox="982 1465 1439 1738"> </p> <p data-bbox="982 1780 1685 1858"> <u>参考 3-9 図 ベースシャー係数と鉛直変位の比較 (EW 方向)</u> <u>(3.11 地震前後の中小地震) (1)</u> </p>		<p data-bbox="2546 258 2843 468"> ・モデルの相違 【女川2】 島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違 </p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p data-bbox="952 926 1685 1003">参考 3-10 図 ベースシヤ-係数と鉛直変位の比較 (EW 方向) (3.11 地震前後の中小地震) (2)</p>		<p data-bbox="2546 254 2733 281">・モデルの相違</p> <p data-bbox="2546 300 2653 327">【女川2】</p> <p data-bbox="2546 346 2843 464">島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>

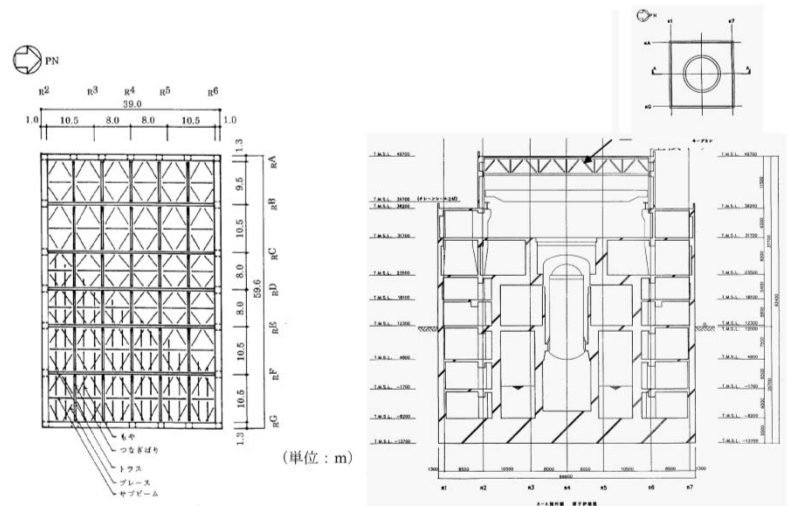
実線・・設備運用又は体制等の相違（設計方針の相違）
 波線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

まとめ資料比較表 [第4条 地震による損傷の防止 別紙-4]

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>別紙-5 <u>原子炉建屋屋根トラス及び主排気筒の評価モデルについて(耐震)</u></p> <p>目次</p> <p>1. 概要</p> <p>2. <u>原子炉建屋屋根トラスについて</u></p> <p>2.1 <u>原子炉建屋屋根トラスの概要</u></p> <p>2.2 <u>原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析モデル</u></p> <p>2.3 <u>既工認と今回工認における原子炉建屋屋根トラスの解析モデルの比較</u></p> <p>2.4 <u>弾塑性解析の採用について</u></p> <p>2.5 <u>原子炉建屋屋根トラスの評価に関するまとめ</u></p> <p>3. <u>主排気筒について</u></p> <p>3.1 <u>主排気筒の概要</u></p> <p>3.2 <u>主排気筒の地震応答解析モデル</u></p> <p>3.3 <u>既工認と今回工認における主排気筒の解析モデルの比較</u></p> <p>3.4 <u>主排気筒の評価のまとめ</u></p> <p>4. <u>まとめ</u></p> <p>添付資料1 <u>原子炉建屋屋根トラスの耐震補強について</u></p> <p>参考資料1 <u>剛性比例型減衰の妥当性について</u></p>	<p>別紙-13 <u>原子炉建屋屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用</u></p> <p>目次</p> <p>1. 概要</p> <p>2. <u>原子炉建屋屋根トラスについて</u></p> <p>2.1 <u>原子炉建屋屋根トラスの概要</u></p> <p>2.2 <u>原子炉建屋屋根スラブの概要</u></p> <p>2.3 <u>原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析モデルと設計クライテリア</u></p> <p>2.4 <u>既工認と今回工認における原子炉建屋屋根トラスの解析モデルの比較</u></p> <p>2.5 <u>弾塑性解析の採用について</u></p> <p>2.6 <u>原子炉建屋屋根トラスの評価に関するまとめ</u></p> <p>3. <u>まとめ</u></p> <p>参考資料1 <u>原子炉建屋屋根トラスの特徴</u></p> <p>参考資料2 <u>原子炉建屋屋根トラスの地震時シミュレーション</u></p> <p>参考資料3 <u>剛性比例型減衰の妥当性について</u></p>	<p>別紙-4 <u>原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用について</u></p> <p>目次</p> <p>1. 概要</p> <p>2. <u>原子炉建物屋根トラスについて</u></p> <p>2.1 <u>原子炉建物屋根トラスの概要</u></p> <p>2.2 <u>原子炉建物屋根スラブの概要</u></p> <p>2.3 <u>原子炉建物屋根トラスの地震応答解析モデルと設計クライテリア</u></p> <p>2.4 <u>既工認と今回工認における原子炉建物屋根トラスの解析モデルの比較</u></p> <p>2.5 <u>弾塑性解析の採用について</u></p> <p>2.5.1 <u>弾塑性解析を採用することの目的</u></p> <p>2.5.2 <u>弾塑性特性の設定の妥当性・適用性について</u></p> <p>2.5.3 <u>各部材のクライテリアについて</u></p> <p>2.6 <u>原子炉建物屋根トラスの評価に関するまとめ</u></p> <p>3. <u>まとめ</u></p> <p>4. <u>参考文献</u></p> <p>添付資料-1 <u>原子炉建物屋根トラスの耐震補強について</u></p> <p>参考資料-1 <u>剛性比例型減衰の妥当性について</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p> <p>・同上</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>

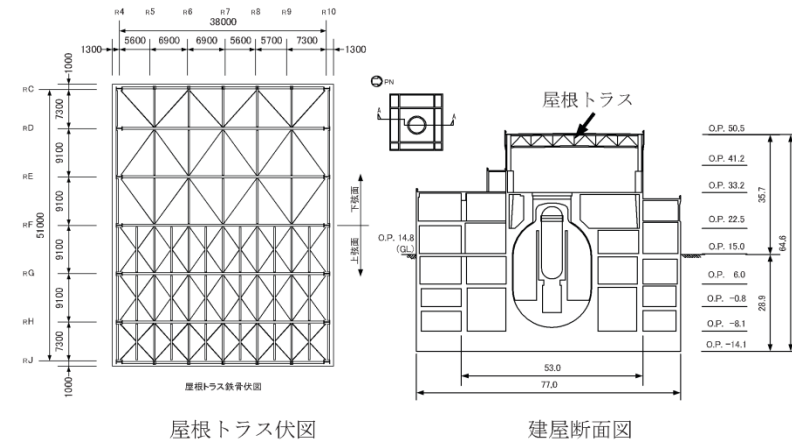
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>参考資料2 主排気筒の基礎部の評価について</u></p> <p><u>参考資料3 主排気筒の入力地震動及び固有振動数・固有モードについて</u></p> <p><u>参考資料4 主排気筒の想定破損箇所及び破損モード, 溶接箇所と筒身支持位置の関係について</u></p> <p><u>参考資料5 屋根トラスの入力地震動及び固有振動数・固有モードについて</u></p>	<p><u>参考資料4 屋根トラスの入力地震動及び固有振動数・固有モードについて</u></p> <p><u>参考資料5 屋根トラスの入力地震動に係る影響検討について</u></p> <p><u>参考資料6 二次格納施設のバウンダリを形成するオペフロ上部の耐震壁に係る気密性評価の整理</u></p>	<p><u>参考資料-2 屋根トラスの入力地震動及び固有振動数・固有モードについて</u></p> <p><u>参考資料-3 屋根トラスの入力地震動に係る影響検討について</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】 島根 2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p> <p>・同上</p> <p>・同上</p> <p>・影響検討の相違</p> <p>【柏崎 6/7】 島根 2号炉は屋根トラスの入力地震動に係る影響検討結果について詳細に説明</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【女川 2】 島根 2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>1. 概要</p> <p>本資料は、<u>柏崎刈羽原子力発電所第6号及び7号炉の建物・構築物のうち、鉄骨構造部の詳細評価モデルを構築して評価を実施している原子炉建屋屋根トラス及び主排気筒の地震応答解析モデルの内容について説明し、既工認時のモデルとの差異及びモデル変更の目的について説明するものである。なお、6号及び7号炉とも同様の構造であり、モデル化の考え方も共通であるため、ここでは7号炉を例として説明する。</u></p> <p>2. 原子炉建屋屋根トラスについて</p> <p>2.1 原子炉建屋屋根トラスの概要</p> <p>原子炉建屋の上部構造は、<u>鉄骨造陸屋根をもつ屋根トラスで構成されている。屋根トラスの平面は、39.0m(南北)×59.6m(東西)の長方形をなしており、燃料取替床レベル(T.M.S.L. 31.7m)からの高さは18.0mである。屋根トラスの概要を第2.1.1図に示す。第2.1.1表にトラス部材の諸元のうち、RB通りの主トラス材について例示する。</u></p>	<p>1. 概要</p> <p>2号炉の建物・構築物のうち、鉄骨構造部の詳細評価モデルを構築して評価を実施している原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析モデルについては、既工認では弾性解析を採用しているが、今回工認では弾塑性解析を採用する予定である。</p> <p>本資料では、<u>屋根トラスが二次格納施設のバウンダリを構成する屋根スラブの間接支持構造物であることから、屋根トラスの3次元弾塑性解析の妥当性・適用性について確認し、屋根スラブの二次格納施設としての機能維持評価について説明する。</u></p> <p>2. 原子炉建屋屋根トラスについて</p> <p>2.1 原子炉建屋屋根トラスの概要</p> <p>原子炉建屋の上部構造は、<u>鉄筋コンクリート造陸屋根をもつ屋根トラスで構成されている。屋根トラスの平面は、38.0m(南北)×51.0m(東西)の長方形をなしており、燃料取替床レベル(O.P. 33.2m)からの高さは17.3mである。屋根トラスの概要を第2.1-1図に示す。第2.1-1表にトラス部材の諸元のうち、F通りの主トラス材について例示する。なお、屋根トラスについては3.11地震後に補強工事を実施している。</u></p> <p>第2.1-2表に屋根トラスの各部材の要求機能を示す。</p>	<p>1. 概要</p> <p>本資料は、<u>島根原子力発電所2号炉の建物・構築物のうち、鉄骨構造部の詳細評価モデルを構築して評価を実施している原子炉建物屋根トラスの地震応答解析モデルの内容について説明し、既工認時のモデルとの差異及びモデル変更の目的について説明するものである。</u></p> <p><u>原子炉建物屋根トラスの地震応答解析モデルについては、既工認では弾性解析を採用しているが、今回工認では弾塑性解析を採用する予定である。</u></p> <p>また、<u>屋根トラスが二次格納施設のバウンダリを構成する屋根スラブの間接支持構造物であることから、屋根トラスの3次元弾塑性解析の妥当性・適用性について確認し、屋根スラブの二次格納施設としての機能維持評価について説明する。</u></p> <p>2. 原子炉建物屋根トラスについて</p> <p>2.1 原子炉建物屋根トラスの概要</p> <p>原子炉建物の上部構造は、<u>鉄筋コンクリート造陸屋根をもつ鉄骨造の屋根トラスで構成されている。屋根トラスの平面は、38.5m(南北)×51.6m(東西)の長方形をなしており、燃料取替床レベル(E.L. 42.8m)からの高さは20.7mである。屋根トラスの概要を第2.1-1図に示す。第2.1-1表にトラス部材の諸元のうち、主トラス材について例示する。</u></p> <p><u>屋根トラス各部材の主な要求機能は、屋根スラブからの鉛直荷重の支持機能であり、主トラスについては、既工認と同様に水平地震荷重及びクレーン荷重についても支持する設計とし、水平ブレースについては、既工認と同様に水平地震荷重の伝達が可能な設計としている。</u></p> <p>第2.1-2表に屋根トラスの各部材の要求機能を示す。</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・対象施設の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違 ・評価方針を詳細に説明 【柏崎6/7】 島根2号炉は屋根トラス及び屋根スラブの評価方針について詳細に記載 ・要求機能を詳細に説明 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は屋根トラス各部材の要求機能について詳細に説明



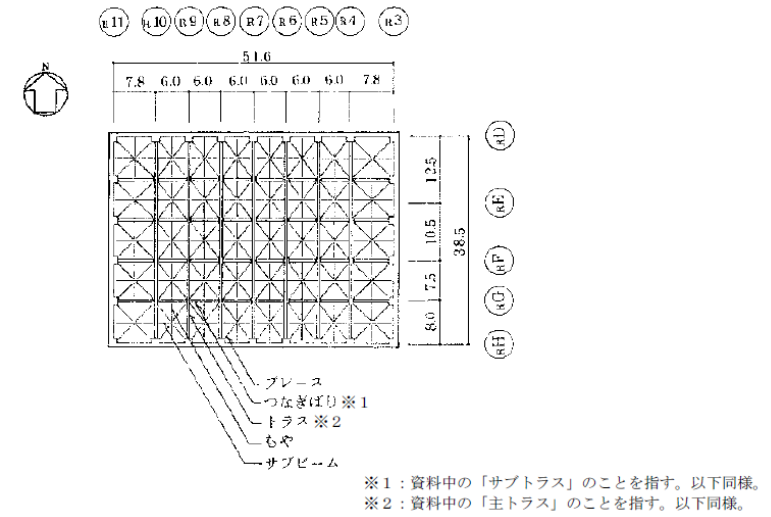
屋根伏図 (T.M.S.L. 49.7m) 断面図 (単位:m)

第 2.1.1 図 原子炉建屋屋根トラスの概要



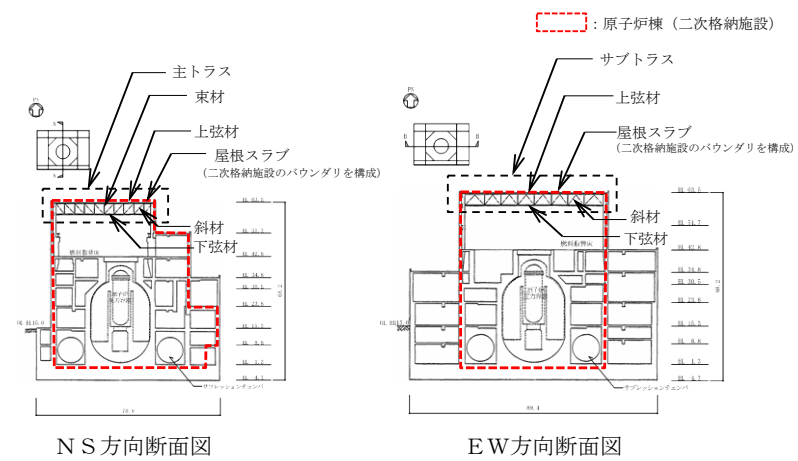
屋根トラス伏図 建屋断面図

第 2.1-1 図 原子炉建屋屋根トラスの概要



屋根伏図 (E L 63.5m)

第 2.1-1 図(1) 原子炉建物屋根トラスの概要 (単位:m)

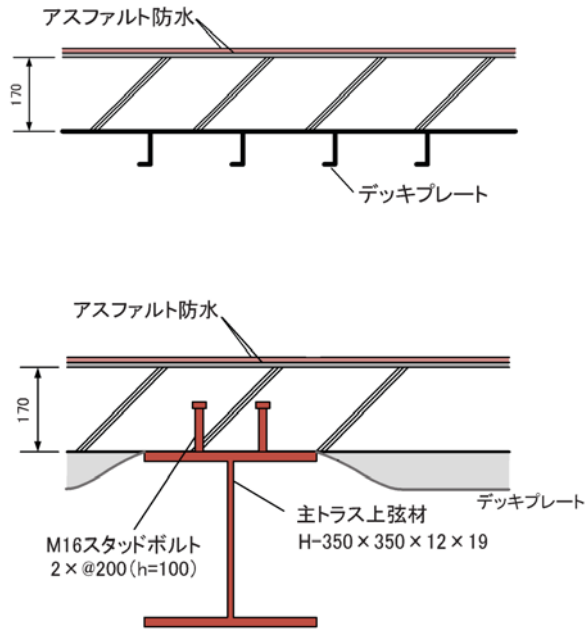
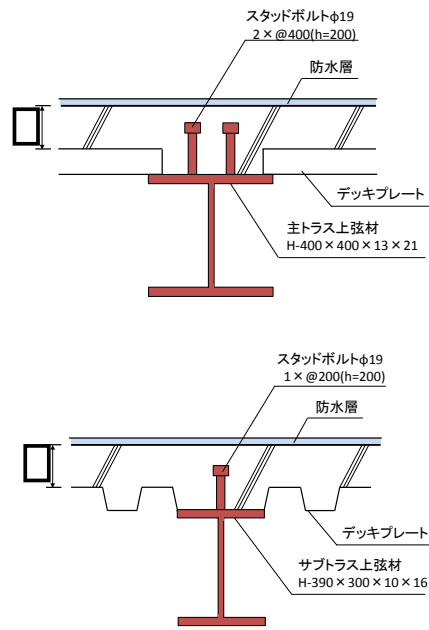


第 2.1-1 図(2) 原子炉建物屋根トラスの概要 (単位:m)

・構造・仕様の相違
【柏崎6/7, 女川2】
 トラスの形式 (柏崎6/7及び女川2はワーレン形, 島根2号炉はプラット形) の相違

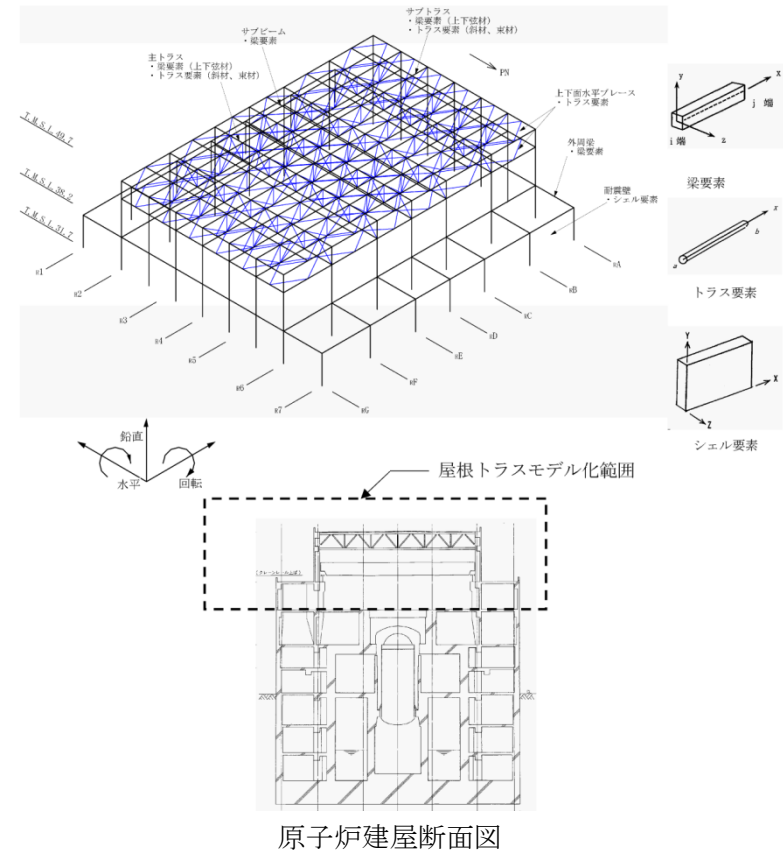
・同上

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																											
<p align="center"><u>第 2.1.1 表 RB 通り主トラスの部材諸元</u></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>使用部材</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上弦材</td> <td>H-428×407×20×35</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> <td>H-400×408×21×21</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">斜材</td> <td>H-400×400×13×21</td> </tr> <tr> <td>H-350×350×12×19</td> </tr> <tr> <td>H-244×252×11×11</td> </tr> <tr> <td>束材</td> <td>2Cs-200×90×8×13.5</td> </tr> </tbody> </table>	部位	使用部材	上弦材	H-428×407×20×35	下弦材	H-400×408×21×21	斜材	H-400×400×13×21	H-350×350×12×19	H-244×252×11×11	束材	2Cs-200×90×8×13.5	<p align="center"><u>第 2.1-1 表 F 通り主トラスの部材諸元</u></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>使用部材</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上弦材</td> <td>H-350×350×12×19</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> <td>H-350×350×12×19</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">斜材</td> <td>2CTs-175×350×12×19</td> </tr> <tr> <td>2CTs-150×300×10×15</td> </tr> <tr> <td>束材</td> <td>2CTs-100×200×8×12</td> </tr> </tbody> </table>	部位	使用部材	上弦材	H-350×350×12×19	下弦材	H-350×350×12×19	斜材	2CTs-175×350×12×19	2CTs-150×300×10×15	束材	2CTs-100×200×8×12	<p align="center"><u>第 2.1-1 表 主トラスの部材諸元</u></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部材</th> <th>使用部材</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上弦材</td> <td>H-400×400×13×21</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">下弦材</td> <td>BH-400×400×19×35</td> </tr> <tr> <td>H-400×400×13×21</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">斜材</td> <td>2CTs-175×350×12×19</td> </tr> <tr> <td>2CTs-150×300×10×15</td> </tr> <tr> <td>2CTs-125×250×9×14</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">束材</td> <td>2CTs-175×350×12×19</td> </tr> <tr> <td>2CTs-150×300×10×15</td> </tr> <tr> <td>2CTs-125×250×9×14</td> </tr> </tbody> </table>	部材	使用部材	上弦材	H-400×400×13×21	下弦材	BH-400×400×19×35	H-400×400×13×21	斜材	2CTs-175×350×12×19	2CTs-150×300×10×15	2CTs-125×250×9×14	束材	2CTs-175×350×12×19	2CTs-150×300×10×15	2CTs-125×250×9×14	<p>・構造・仕様の相違 【柏崎 6/7, 女川 2】 主トラスを構成する部材の相違</p>					
部位	使用部材																																													
上弦材	H-428×407×20×35																																													
下弦材	H-400×408×21×21																																													
斜材	H-400×400×13×21																																													
	H-350×350×12×19																																													
	H-244×252×11×11																																													
束材	2Cs-200×90×8×13.5																																													
部位	使用部材																																													
上弦材	H-350×350×12×19																																													
下弦材	H-350×350×12×19																																													
斜材	2CTs-175×350×12×19																																													
	2CTs-150×300×10×15																																													
束材	2CTs-100×200×8×12																																													
部材	使用部材																																													
上弦材	H-400×400×13×21																																													
下弦材	BH-400×400×19×35																																													
	H-400×400×13×21																																													
斜材	2CTs-175×350×12×19																																													
	2CTs-150×300×10×15																																													
	2CTs-125×250×9×14																																													
束材	2CTs-175×350×12×19																																													
	2CTs-150×300×10×15																																													
	2CTs-125×250×9×14																																													
	<p align="center"><u>第 2.1-2 表 屋根トラスの各部材の要求機能</u></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>部材</th> <th>要求機能^{※1}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">主トラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="4">鉛直荷重の支持 フレームを構成する部材として 水平地震荷重, クレーン荷重の支持</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">サブトラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="3">鉛直荷重の支持</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> </tr> <tr> <td>母屋</td> <td></td> <td>鉛直荷重の支持</td> </tr> <tr> <td>水平ブレース</td> <td></td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 主な機能を示しており基準地震動 S_s に対する発生応力の負担も考慮する。また, 水平ブレースは本設材とする。</p>	部位	部材	要求機能 ^{※1}	主トラス	上弦材	鉛直荷重の支持 フレームを構成する部材として 水平地震荷重, クレーン荷重の支持	下弦材	束材	斜材	サブトラス	上弦材	鉛直荷重の支持	下弦材	斜材	母屋		鉛直荷重の支持	水平ブレース		-	<p align="center"><u>第 2.1-2 表 屋根トラスの各部材の要求機能</u></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>部材</th> <th>要求機能^{注1}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">主トラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="4">鉛直荷重の支持 フレームを構成する部材として 水平地震荷重, クレーン荷重の支持</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">サブトラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="3">鉛直荷重の支持</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> </tr> <tr> <td>母屋</td> <td></td> <td>鉛直荷重の支持</td> </tr> <tr> <td>サブビーム</td> <td></td> <td>鉛直荷重の支持</td> </tr> <tr> <td>水平ブレース</td> <td></td> <td>水平地震荷重の伝達</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 1 : 主な機能を示しており基準地震動 S_s に対する発生応力の負担も考慮する。</p>	部位	部材	要求機能 ^{注1}	主トラス	上弦材	鉛直荷重の支持 フレームを構成する部材として 水平地震荷重, クレーン荷重の支持	下弦材	斜材	束材	サブトラス	上弦材	鉛直荷重の支持	下弦材	斜材	母屋		鉛直荷重の支持	サブビーム		鉛直荷重の支持	水平ブレース		水平地震荷重の伝達	<p>・構造・仕様の相違及び 評価方針を詳細に説明 【柏崎 6/7】 島根 2号炉は屋根トラス各部材の要求機能について詳細に説明 【女川 2】 島根 2号炉は水平ブレースについて, 建設工認時より地震水平力の伝達を担う構造部材であることを踏まえ, 要求機能を記載 島根 2号炉はサブビームをモデル化するため相違</p>
部位	部材	要求機能 ^{※1}																																												
主トラス	上弦材	鉛直荷重の支持 フレームを構成する部材として 水平地震荷重, クレーン荷重の支持																																												
	下弦材																																													
	束材																																													
	斜材																																													
サブトラス	上弦材	鉛直荷重の支持																																												
	下弦材																																													
	斜材																																													
母屋		鉛直荷重の支持																																												
水平ブレース		-																																												
部位	部材	要求機能 ^{注1}																																												
主トラス	上弦材	鉛直荷重の支持 フレームを構成する部材として 水平地震荷重, クレーン荷重の支持																																												
	下弦材																																													
	斜材																																													
	束材																																													
サブトラス	上弦材	鉛直荷重の支持																																												
	下弦材																																													
	斜材																																													
母屋		鉛直荷重の支持																																												
サブビーム		鉛直荷重の支持																																												
水平ブレース		水平地震荷重の伝達																																												

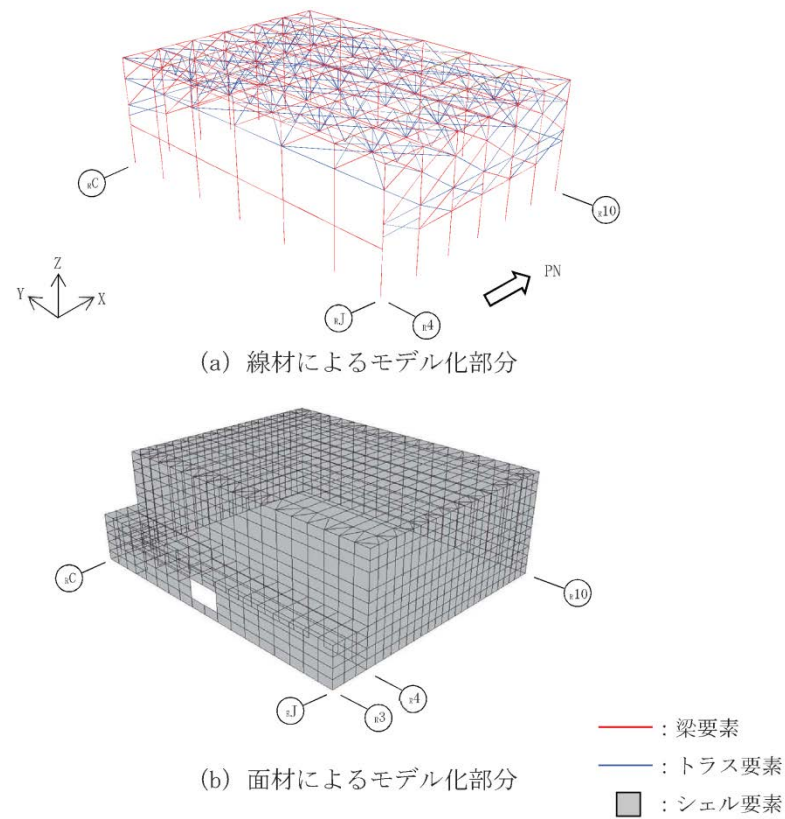
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>2.2 原子炉建屋屋根スラブの概要</p> <p>原子炉建屋の屋根スラブは南北方向 40.6m×東西方向 53.0mの平面寸法、厚さ 17cmの鉄筋コンクリート構造である。外周部は厚さ 25cmの鉄筋コンクリート造の耐震壁で支持されており、南北方向に配置された 5 構面の主トラス、東西方向の 5 構面のサブトラスとサブトラスの中間の母屋で支持されている。屋根スラブ下面に取りつく主トラス上弦材、サブトラス上弦材及び母屋は H 型断面の鋼材であり、スタッドで屋根スラブと一体化することにより面内及び面外に高い剛性を確保している。屋根スラブの断面図を第 2.2-1 図に示す。</p> <p>屋根スラブには気密性の維持機能が要求されるため、換気性能とあいまって維持する方針である。なお、屋上面には防水材を施すことにより、防水性を確保している。</p>  <p>第 2.2-1 図 屋根スラブ断面図</p>	<p>2.2 原子炉建物屋根スラブの概要</p> <p>原子炉建物の屋根スラブは南北方向 39.9m×東西方向 53.8mの平面寸法、厚さ [] の鉄筋コンクリート構造である。外周部は厚さ [] (南北方向) 及び [] (東西方向) の鉄筋コンクリート造の耐震壁並びに鉄骨鉄筋コンクリート造の柱で支持されており、南北方向に配置された 7 構面の主トラスと主トラスの中間の母屋、東西方向の 4 構面のサブトラスとサブトラスの中間のサブビームで支持されている。屋根スラブ下面に取りつく主トラス上弦材及びサブトラス上弦材は H 型断面の鋼材であり、スタッドボルトで屋根スラブと一体化することにより面内及び面外に高い剛性を確保している。屋根スラブの断面図を第 2.2-1 図に示す。</p> <p>屋根スラブには気密性の機能維持が要求されるため、換気性能とあいまって機能維持する方針である。なお、屋上面には防水材を施すことにより、防水性を確保している。</p>  <p>第 2.2-1 図 屋根スラブ断面図</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造概要を詳細に説明【柏崎 6/7】 島根 2 号炉は屋根スラブの構造概要について詳細に説明 ・構造・仕様の相違【女川 2】 スタッドの配置が異なることによる相違 <p>・構造・仕様の相違【女川 2】</p> <p>トラス部材及び屋根スラブの断面寸法の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2.2 原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析モデル</p> <p>原子炉建屋屋根トラスは、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられるため、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を行うために3次元モデルによる地震応答解析を採用する。</p> <p>地震応答解析モデルは、燃料取替床レベル (T.M.S.L. 31.7m) より上部の鉄骨鉄筋コンクリート造の柱、梁、壁、鉄骨造の屋根トラス及び屋根面水平ブレース等を線材、面材により立体的にモデル化した3次元フレームモデルとし、部材に発生する応力を地震応答解析によって直接評価できるモデルとしている。解析モデルの概要を第2.2.1図に示す。</p> <p>屋根トラス部は、主トラス、サブトラス (つなぎばり)、<u>屋根上下面</u>水平ブレース、サブビームをモデル化する。</p> <p>各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮した梁要素 (トラスの上下弦材) と軸変形のみを考慮したトラス要素 (<u>屋根面</u>水平ブレース、トラスの斜材及び束材等) としてモデル化する。</p>	<p>2.3 原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析モデルと設計クライテリア</p> <p>(1) 解析モデルの概要</p> <p>原子炉建屋屋根トラスは、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられるため、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を行うために3次元モデルによる地震応答解析を採用する。</p> <p>地震応答解析モデルは、燃料取替床レベル (O.P. 33.2m) より上部の躯体 (屋根鉄骨、柱、梁、耐震壁、屋根スラブ、下屋部屋根スラブ) をモデル化した立体フレームモデルとし、部材に発生する応力を地震応答解析によって直接評価できるモデルとしている。解析モデルの概要を第2.3-1図に示す。</p> <p>屋根トラス部は、主トラス (<u>上下弦材、斜材、束材</u>)、サブトラス (<u>上下弦材、斜材等</u>)、母屋、水平ブレース (<u>上下弦面</u>)、<u>外周鉄骨梁</u>をモデル化する。</p> <p>各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮した梁要素 (トラスの上下弦材) と軸変形のみを考慮したトラス要素 (<u>屋根面</u>水平ブレース、トラスの斜材及び束材等) としてモデル化する。</p>	<p>2.3 原子炉建物屋根トラスの地震応答解析モデルと設計クライテリア</p> <p>(1) 解析モデルの概要</p> <p>原子炉建物屋根トラスは、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられるため、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を行うために3次元モデルによる地震応答解析を採用する。</p> <p>地震応答解析モデルは、燃料取替床レベル (E.L. 42.8m) より上部の鉄筋コンクリート造 (一部鉄骨鉄筋コンクリート造) の柱、梁、壁、鉄骨造の屋根トラス及び屋根面水平ブレース等を線材、<u>面材により立体的にモデル化した3次元</u>フレームモデルとし、部材に発生する応力を地震応答解析によって直接評価できるモデルとしている。解析モデルの概要を第2.3-1図に示す。</p> <p>屋根トラス部は、主トラス、サブトラス (<u>つなぎばり</u>)、水平ブレース (<u>屋根上弦面</u>)、<u>サブビーム及び母屋</u>をモデル化する。</p> <p>各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮した梁要素 (トラスの上下弦材及びサブビーム等) と軸変形のみを考慮したトラス要素 (水平ブレース、トラスの斜材及び束材等) としてモデル化する。</p>	<p>備考</p> <p>・構造・仕様の相違及びモデル化対象部位の相違</p> <p>【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は下弦面に水平ブレースが無いため相違</p> <p>【柏崎6/7】 島根2号炉は母屋をモデル化するため相違</p> <p>【女川2】 島根2号炉はサブビームをモデル化するため相違</p> <p>・評価方針を詳細に説明</p> <p>【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉はサブビーム等を梁要素でモデル化していることを明記</p>

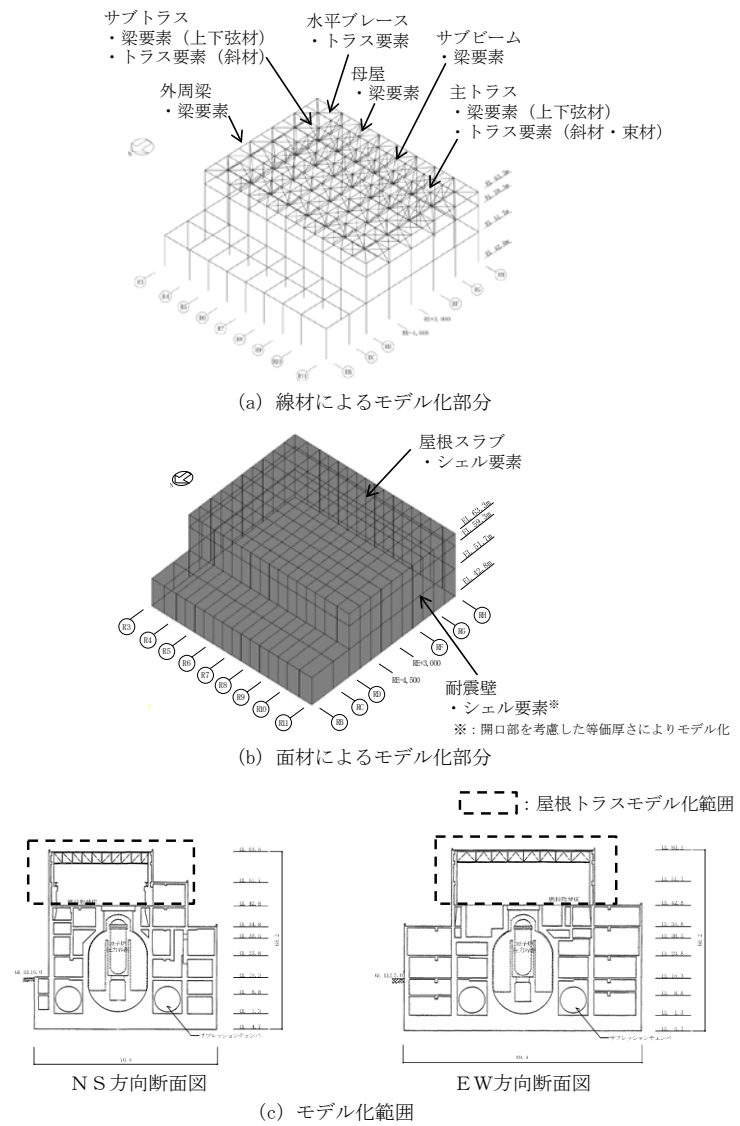
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>また、耐震壁及び外周梁は各々シェル要素及び軸、曲げ変形を考慮した梁要素としてモデル化し、耐震壁の開口部についても考慮する。なお、柱脚の条件は固定とする。また、解析に用いる材料の物性値を第2.2.1表に示す。</p> <p>なお、基準地震動 S_s に対する評価を実施する際、トラス材としてモデル化した部材の一部については、<u>弾性範囲を超えることが確認されたため</u>、部材座屈後の挙動を模擬できる手法（修正若林モデル）に基づく弾塑性特性を考慮している。考慮した弾塑性特性の詳細については、「<u>2.4 弾塑性解析の採用について</u>」で示すこととする。</p> <p>解析モデルへの入力地震動は、原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる燃料取替床レベル（<u>T.M.S.L. 31.7m</u>）の応答結果（水平、鉛直及び回転成分）を用いることとし、燃料取替床位置を固定として、同時入力による地震応答解析を実施する。また、地震応答解析における減衰評価は、水平材の応答に影響の大きい鉛直方向1次固有振動数（<u>5.19Hz</u>）に対して減衰定数が $h=2\%$ となる剛性比例型減衰を与えている。</p>	<p>また、耐震壁及び外周梁は各々シェル要素及び軸、曲げ変形を考慮した梁要素としてモデル化し、耐震壁の開口部についても考慮する。なお、柱脚の条件は固定とする。また、解析に用いる材料の物性値を第2.3-1表に示す。</p> <p>また、屋根トラスは屋根スラブとスタッドで一体化されていることにより高い剛性を確保しているため、屋根トラスの地震応答解析モデルにおいても屋根スラブの面内剛性を考慮することとする。なお、屋根トラス部材の応力評価に対する保守性を考慮し、屋根スラブの面外剛性は考慮しないこととする。屋根スラブのシェル要素は主トラス、サブトラス、母屋の各交点で節点を共有するようにモデル化する。</p>	<p>また、耐震壁及び屋根スラブはシェル要素、外周梁は軸、曲げ変形を考慮した梁要素としてモデル化し、耐震壁の開口部についても考慮する。なお、柱脚の条件は固定とする。また、解析に用いる材料の物性値を第2.3-1表に示す。</p> <p>また、屋根トラスは屋根スラブとスタッドボルトで一体化されていることにより、高い剛性を確保しているため、屋根トラスの地震応答解析モデルにおいても屋根スラブの面内剛性を考慮することとする。なお、屋根トラス部材の応力評価に対する保守性を考慮し、屋根スラブの面外剛性は考慮しないこととする。屋根スラブのシェル要素は主トラス及びサブトラスの各交点、並びに主トラス及びサブトラスと母屋、サブビームの各交点で節点を共有するようにモデル化する。</p>	<p>・モデル化対象部位の相違</p> <p>【柏崎6/7】 島根2号炉は屋根スラブをモデル化するため相違</p> <p>・同上</p> <p>・モデル化対象部位が異なるため相違</p> <p>【女川2】 島根2号炉はサブビームをモデル化するため相違</p> <p>（対応箇所：島根2号炉「(2) 鉄骨部材の弾塑性評価」）</p> <p>（対応箇所：島根2号炉「(3) 入力地震動，材料減衰」）</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【柏崎6/7】 解析モデルが異なるため、1次固有振動数が相違</p>



第 2.2.1 図 屋根トラスの解析モデルの概要



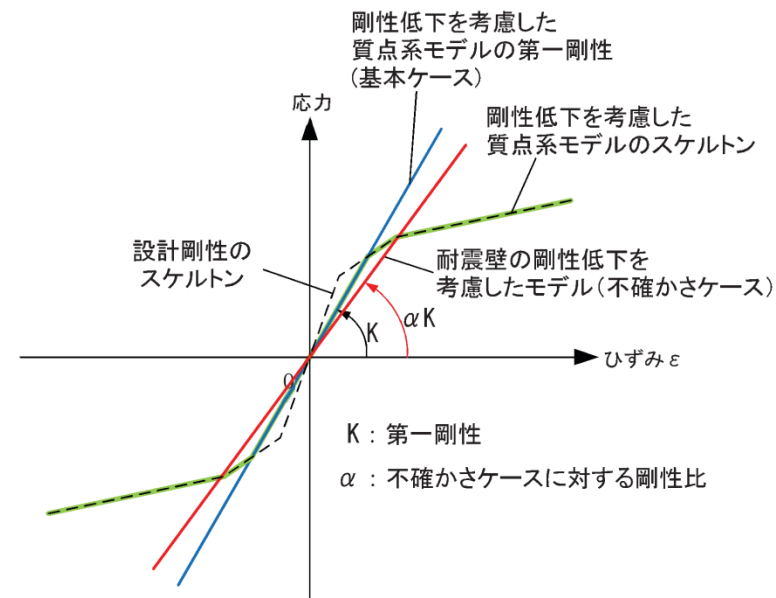
第 2.3-1 図 屋根トラスの解析モデルの概要



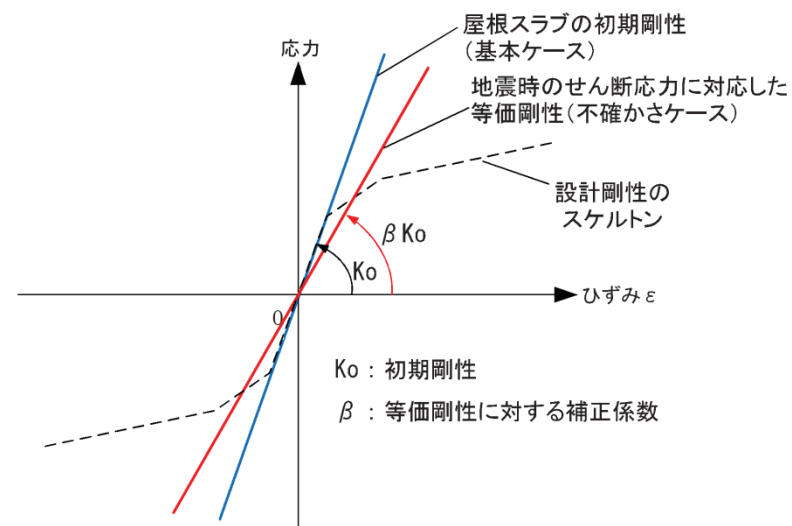
第 2.3-1 図 屋根トラスの解析モデルの概要

・構造・仕様の相違
【柏崎 6/7】
 島根 2号炉は屋根スラブをモデル化するため相違
【女川 2】
 島根 2号炉の耐震壁のシェル要素は開口を考慮した等価厚さによりモデル化するため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																													
<p align="center">第 2.2.1 表 解析に用いる材料定数</p> <table border="1" data-bbox="172 300 893 420"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>材料</th> <th>ヤング係数 (N/mm²)</th> <th>ポアソン比</th> <th>減衰定数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>屋根トラス</td> <td>鉄骨</td> <td>2.05×10⁵</td> <td>0.3</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>躯体</td> <td>コンクリート</td> <td>2.88×10⁴</td> <td>0.2</td> <td>0.05</td> </tr> </tbody> </table>	部位	材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数	屋根トラス	鉄骨	2.05×10 ⁵	0.3	0.02	躯体	コンクリート	2.88×10 ⁴	0.2	0.05	<p align="center">第 2.3-1 表 解析に用いる材料定数</p> <table border="1" data-bbox="967 310 1703 443"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>材料</th> <th>ヤング係数 (N/mm²)</th> <th>ポアソン比</th> <th>減衰定数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>屋根トラス</td> <td>鉄骨</td> <td>2.05×10⁵</td> <td>0.3</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>躯体</td> <td>コンクリート</td> <td>2.51×10⁴*1</td> <td>0.2</td> <td>0.05</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：地震応答解析モデルと同様の初期剛性低下については、地震観測記録の分析等を踏まえて、その影響を考慮することとする。その考え方については第 2.3-3 図に示す。</p> <p>(2) 鉄骨部材の弾塑性評価 基準地震動 S_s に対する評価を実施する際、トラス材としてモデル化した部材の一部については塑性域に入ると考えられるため、部材座屈後の挙動を模擬できる手法（修正若林モデル）に基づく弾塑性特性を考慮している。考慮した弾塑性特性の詳細については、「2.5 弾塑性解析の採用について」で示すこととする。</p> <p>(3) 耐震壁、屋根スラブの剛性補正 <u>耐震壁及びスラブのシェル要素については、解析コード上の制限により弾性モデルとなっている。</u> <u>耐震壁のモデル化に当たっては、質点系モデルにおける上部耐震壁の初期剛性低下に整合するよう剛性を補正する方針とする。</u> <u>また、基準地震動 S_s に対しては、質点系モデルにおける耐震壁の復元力特性モデルに基づく剛性低下（非線形化）が生じることから、質点系モデルの非線形化後と同等の剛性低下も考慮する。壁剛性の補正の考え方を第 2.3-2 図に示す。</u> <u>屋根スラブについては面内剛性のみ考慮するものとするが、耐震壁に比べて生じる面内せん断ひずみは小さい（別紙 11 添付 3-3 参照）ことから設計剛性を基本ケースとする。なお、地震時の応答を踏まえて剛性低減を等価剛性（不健全かさケース）として考慮したモデルについても検討する。屋根スラブの剛性の考え方を第 2.3-3 図に示す。</u></p>	部位	材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数	屋根トラス	鉄骨	2.05×10 ⁵	0.3	0.02	躯体	コンクリート	2.51×10 ⁴ *1	0.2	0.05	<p align="center">第 2.3-1 表 解析に用いる材料定数</p> <table border="1" data-bbox="1760 300 2496 426"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>材料</th> <th>ヤング係数 (N/mm²)</th> <th>ポアソン比</th> <th>減衰定数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>屋根トラス</td> <td>鉄骨</td> <td>2.05×10⁵</td> <td>0.3</td> <td>0.02</td> </tr> <tr> <td>躯体</td> <td>コンクリート</td> <td>2.25×10⁴</td> <td>0.2</td> <td>0.05</td> </tr> </tbody> </table> <p>(2) 鉄骨部材の弾塑性評価 基準地震動 S_s に対する評価を実施する際、トラス材としてモデル化した部材の一部については、<u>塑性領域に入ると考えられるため</u>、部材座屈後の挙動を模擬できる手法（修正若林モデル）に基づく弾塑性特性を考慮している。考慮した弾塑性特性の詳細については、「<u>2.5 弾塑性解析の採用について</u>」で示すこととする。</p>	部位	材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数	屋根トラス	鉄骨	2.05×10 ⁵	0.3	0.02	躯体	コンクリート	2.25×10 ⁴	0.2	0.05	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造・仕様の相違 【柏崎 6/7, 女川 2】 コンクリートの材料物性値の相違 ・モデルの相違 【女川 2】 島根 2 号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違
部位	材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数																																												
屋根トラス	鉄骨	2.05×10 ⁵	0.3	0.02																																												
躯体	コンクリート	2.88×10 ⁴	0.2	0.05																																												
部位	材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数																																												
屋根トラス	鉄骨	2.05×10 ⁵	0.3	0.02																																												
躯体	コンクリート	2.51×10 ⁴ *1	0.2	0.05																																												
部位	材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数																																												
屋根トラス	鉄骨	2.05×10 ⁵	0.3	0.02																																												
躯体	コンクリート	2.25×10 ⁴	0.2	0.05																																												



第 2.3-2 図 耐震壁の剛性の考え方



第 2.3-3 図 屋根スラブの剛性の考え方

・モデルの相違
【女川2】
島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違

・同上

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>(4) <u>入力地震動, 材料減衰</u></p> <p>解析モデルへの入力地震動は, 原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる燃料取替床レベル (0.P.33.2m) の応答結果 (水平, 鉛直及び回転成分) を用いることとし, 燃料取替床位置を固定として, 同時入力による地震応答解析を実施する。原子炉建屋水平方向の質点系モデルは床ばねモデルを採用しているため, 入力波はモデル脚部の2質点の平均波を入力する。</p> <p>また, 地震応答解析における減衰評価は, 水平材の応答に影響の大きい鉛直方向1次固有振動数 (3.01Hz) に対して, 鉄骨造部分の減衰定数が2%, 鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造部分の減衰定数は5%とし, NS, EW方向の短い方の1次周期に対して減衰係数を設定する剛性比例型内部粘性減衰 (各部別) とする。</p>	<p>(3) <u>入力地震動, 材料減衰</u></p> <p>解析モデルへの入力地震動は, 原子炉建物の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる燃料取替床レベル (E.L.42.8m) の応答結果 (水平, 鉛直及び回転成分) を用いることとし, 燃料取替床位置を固定として, 同時入力による地震応答解析を実施する。原子炉建物水平方向の質点系モデルは床剛モデルを採用しているため, 加速度並進成分は燃料取替床レベルの各質点で同一応答となるが, 回転成分は各質点で応答が異なるため, 回転成分の入力波は, モデル脚部の2質点の平均波を入力する。入力地震動の取り出し位置を第2.3-2図に示す。</p> <p>また, 地震応答解析における減衰評価について, 鉄骨造部分については, 水平材の応答に影響の大きい鉛直方向1次固有振動数 (4.60Hz) に対して減衰定数を2%とし, 鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造部分については, NS, EW方向の短い方の1次周期に対して減衰定数を5%とした減衰係数を設定する剛性比例型減衰 (各部別) とする。</p> <p>なお, 剛性比例型減衰については, 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の屋根トラスの設置変更許可段階の審査において採用している手法と同様である。</p>	<p>備考</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【女川2】 島根2号炉の質点系モデルは床剛モデルを採用しているため相違</p> <p>・モデルの相違</p> <p>【柏崎6/7, 女川2】 解析モデルが異なるため, 1次固有振動数が相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>(a) NS方向</p> <p>(b) EW方向</p> <p>(c) 鉛直方向</p> <p>第2.3-2図 入力地震動の取り出し位置</p>	<p>・評価方針を詳細に説明 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉の3次元フレームモデルへの入力地震動の取り出し位置について詳細に記載</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>(5) 要求機能に対する設計方針 (設計クライテリア)</p> <p>屋根トラスの要求機能は屋根スラブの間接支持構造物であり、基準地震動 S_s に対し二次格納施設のバウンダリを構成する屋根スラブの要求機能である気密性が確保されるように屋根トラスの設計を行う。</p> <p>屋根スラブの評価方針は、面内方向については屋根トラスの地震応答解析モデルにおいて屋根スラブの面内剛性を考慮しているため、屋根スラブに発生する面内応力を対象に機能維持評価を実施する。面外方向については、質点系モデルの屋根面に対応する鉛直方向震度を用いて、<u>サブトラス上弦材と母屋に支持される一方向版</u>として評価する。また、屋根トラスの地震応答解析モデルにおいては屋根スラブの面外剛性は考慮していないが、詳細設計段階では面外剛性を考慮した解析により、屋根スラブの応答性状や応力分布などを確認のうえ機能維持評価を実施する。</p> <p>屋根トラスの評価方針については、基準地震動 S_s に対して屋根スラブを支持できることを確認する。</p> <p>また、屋根トラスの解析モデルのうち、二次格納施設のバウンダリを構成する耐震壁の気密性については、質点系モデルによる算定結果を採用するが、<u>屋根トラスのモデルによる応答性状と比較した上で、必要に応じオペフロ上部の耐震壁のせん断ひずみ等の評価に反映する。</u></p> <p>第 2.3-2 表に屋根トラスの解析モデルのうち二次格納施設のバウンダリを構成する屋根スラブ、<u>屋根トラスの機能維持の評価方針を示す。</u></p> <p>なお、屋根スラブにはひび割れに対して追従性のある防水材を全面に施工することにより、防水性を確保している。また、屋根スラブには防水材の他に下部の全面にデッキプレート¹⁾を敷設してあり、<u>クレーン階より上部の耐震壁にも、建屋内部側にデッキプレートが存在する。</u>これらは気密性に対し有効な機能を有すると考えられるが、今回の気密性の検討においては、特にその性能は考慮しない。</p>	<p>(4) 要求機能に対する設計方針 (設計クライテリア)</p> <p><u>屋根トラスの要求機能は屋根スラブの間接支持構造物であり、Sクラスである原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) のバウンダリを構成する屋根スラブの要求機能である気密性が確保されるように基準地震動 S_s に対し屋根トラスの設計を行う。</u></p> <p><u>屋根スラブの評価方針は、面内方向については屋根トラスの地震応答解析モデルにおいて屋根スラブの面内剛性を考慮しているため、屋根スラブに発生する面内応力を対象に機能維持評価を実施する。面外方向については、質点系モデルの屋根面に対応する鉛直方向震度を用いて、主トラス上弦材、サブトラス上弦材、サブビーム及び母屋に支持されるスラブとして評価する。また、屋根トラスの地震応答解析モデルにおいては屋根スラブの面外剛性は考慮していないが、詳細設計段階では面外剛性を考慮した解析により、屋根スラブの応答性状や応力分布などを確認のうえ機能維持評価を実施する。</u></p> <p><u>屋根トラスの評価方針については、基準地震動 S_s に対して屋根スラブを支持できることを確認する。</u></p> <p><u>また、屋根トラスの解析モデルのうち、二次格納施設のバウンダリを構成する耐震壁の気密性については、質点系モデルによる算定結果を採用する。</u></p> <p>第 2.3-2 表に屋根トラスの解析モデルのうち二次格納施設のバウンダリを構成する屋根スラブ及び屋根トラスの機能維持の評価方針を示す。</p> <p><u>なお、屋根スラブにはひび割れに対して追従性のある防水材を全面に施工することにより、防水性を確保している。また、屋根スラブには防水材の他に下部の全面にデッキプレートを敷設してある。これらは気密性に対し有効な機能を有すると考えられるが、今回の気密性の検討においては、特にその性能は考慮しない。</u></p>	<p>・評価方針を詳細に説明【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2 号炉は屋根トラス及び屋根スラブの評価方針について詳細に説明</p> <p>・構造・仕様の相違【女川 2】</p> <p>島根 2 号炉はスラブの支持状況に応じて四辺固定のスラブ式により評価するため相違</p> <p>・モデルの相違【女川 2】</p> <p>島根 2 号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p> <p>・評価方針を詳細に説明【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2 号炉は屋根トラス及び屋根スラブの評価方針について詳細に説明</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																		
	<p style="text-align: center;">第 2.3-2 表 機能維持の評価方針</p> <table border="1" data-bbox="964 289 1712 596"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>要求機能</th> <th>評価方針</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>屋根スラブ</td> <td>気密性</td> <td>(面内) おおむね弾性状態であることを要素毎に算定される応力度より確認する。おおむね弾性状態を超える場合は、要素毎の面内せん断ひずみを踏まえて漏えい量を算定し換気能力を下回ることを確認する^{※1}。 (面外) 面外曲げに対して、鉄筋が降伏しないこと^{※2}を確認する^{※3}。(鉄筋が降伏する場合は別途詳細検討)</td> </tr> <tr> <td>屋根トラス</td> <td>間接支持構造物</td> <td>基準地震動 S_s に対して屋根スラブを支持できること。(各部材のクライテリアは第 2.5-2 表参照)</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 漏えい量の算定にあたっては、別途算定する耐震壁の漏えい量を考慮する。</p> <p>※2 鋼材の基準強度 1.1 倍を超えないこと</p> <p>※3 屋根スラブについては、辺長比を考慮して、サブトラス上弦材と母屋に支持される一方向版として鉛直方向の震度を考慮する。</p>	部位	要求機能	評価方針	屋根スラブ	気密性	(面内) おおむね弾性状態であることを要素毎に算定される応力度より確認する。おおむね弾性状態を超える場合は、要素毎の面内せん断ひずみを踏まえて漏えい量を算定し換気能力を下回ることを確認する ^{※1} 。 (面外) 面外曲げに対して、鉄筋が降伏しないこと ^{※2} を確認する ^{※3} 。(鉄筋が降伏する場合は別途詳細検討)	屋根トラス	間接支持構造物	基準地震動 S _s に対して屋根スラブを支持できること。(各部材のクライテリアは第 2.5-2 表参照)	<p style="text-align: center;">第 2.3-2 表 機能維持の評価方針</p> <table border="1" data-bbox="1834 296 2421 569"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>要求機能</th> <th>評価方針</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>屋根スラブ</td> <td>気密性^{※4}</td> <td>(面内) 概ね弾性状態であることを要素毎に算定される応力度より確認する。概ね弾性状態を超える場合は、要素毎の面内せん断ひずみを踏まえて漏えい量を算定し換気能力を下回ることを確認する^{※1}。 (面外) 面外曲げに対して、鉄筋が降伏しないこと^{※2}を確認する^{※3}。(鉄筋が降伏する場合は別途詳細検討)</td> </tr> <tr> <td>屋根トラス</td> <td>間接支持構造物</td> <td>基準地震動 S_s に対して屋根スラブを支持できること。(各部材のクライテリアは第 2.5.3-1 表参照)</td> </tr> </tbody> </table> <p>注 1 : 漏えい量の算定にあたっては、別途算定する耐震壁の漏えい量を考慮する。</p> <p>注 2 : 「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (日本建築学会, 2005) (以下, 「RC-N 規準」という。)」の短期許容応力度の鋼材の基準強度 F を「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所, 2015) (以下, 「技術基準解説書」という。)」に基づき 1.1 倍した耐力を超えないこと。</p> <p>注 3 : 屋根スラブについては、主トラス上弦材, サブトラス上弦材, サブビーム及び母屋に支持されるスラブとして鉛直方向の震度を考慮する。</p> <p>注 4 : 構造強度については、気密性に対する評価方針を満足していることを確認することにより、構造強度を確保する方針とする。</p>	部位	要求機能	評価方針	屋根スラブ	気密性 ^{※4}	(面内) 概ね弾性状態であることを要素毎に算定される応力度より確認する。概ね弾性状態を超える場合は、要素毎の面内せん断ひずみを踏まえて漏えい量を算定し換気能力を下回ることを確認する ^{※1} 。 (面外) 面外曲げに対して、鉄筋が降伏しないこと ^{※2} を確認する ^{※3} 。(鉄筋が降伏する場合は別途詳細検討)	屋根トラス	間接支持構造物	基準地震動 S _s に対して屋根スラブを支持できること。(各部材のクライテリアは第 2.5.3-1 表参照)	<p>・評価方針を詳細に説明【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2 号炉は屋根トラス及び屋根スラブの評価方針について詳細に説明</p> <p>【女川 2】</p> <p>島根 2 号炉は屋根スラブの構造強度の確認に関する方針を記載</p>
部位	要求機能	評価方針																			
屋根スラブ	気密性	(面内) おおむね弾性状態であることを要素毎に算定される応力度より確認する。おおむね弾性状態を超える場合は、要素毎の面内せん断ひずみを踏まえて漏えい量を算定し換気能力を下回ることを確認する ^{※1} 。 (面外) 面外曲げに対して、鉄筋が降伏しないこと ^{※2} を確認する ^{※3} 。(鉄筋が降伏する場合は別途詳細検討)																			
屋根トラス	間接支持構造物	基準地震動 S _s に対して屋根スラブを支持できること。(各部材のクライテリアは第 2.5-2 表参照)																			
部位	要求機能	評価方針																			
屋根スラブ	気密性 ^{※4}	(面内) 概ね弾性状態であることを要素毎に算定される応力度より確認する。概ね弾性状態を超える場合は、要素毎の面内せん断ひずみを踏まえて漏えい量を算定し換気能力を下回ることを確認する ^{※1} 。 (面外) 面外曲げに対して、鉄筋が降伏しないこと ^{※2} を確認する ^{※3} 。(鉄筋が降伏する場合は別途詳細検討)																			
屋根トラス	間接支持構造物	基準地震動 S _s に対して屋根スラブを支持できること。(各部材のクライテリアは第 2.5.3-1 表参照)																			

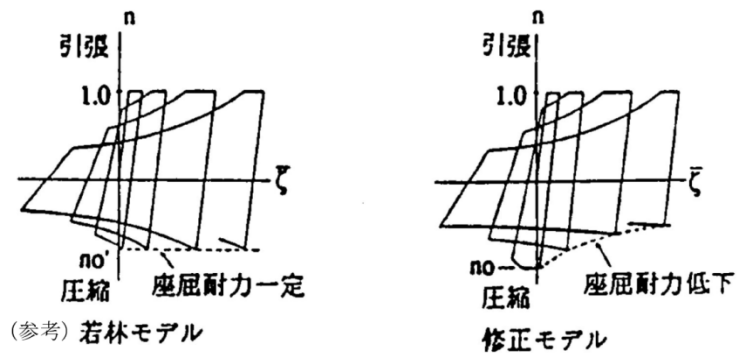
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2.3 既工認と今回工認における原子炉建屋屋根トラスの解析モデルの比較</p> <p>原子炉建屋屋根トラスの解析モデルについて、既工認で採用した解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理する。既工認における屋根トラスの解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第2.3.1表に示す。</p> <p>第2.3.1表のうち、解析コード、要素分割及び地震荷重の差異については、解析手法を変更したことに伴う変更である。また、モデル化については、原子炉建屋屋根トラスが鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられるため、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を適切に行うことを目的として3次元フレームモデルによる弾塑性時刻歴応力解析を採用している。コンクリートのヤング係数及びポアソン比については、別資料(「別紙-1 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化について」の「別紙1-1 建屋の地震応答解析におけるコンクリート実剛性の採用について」)にて考察しているため、ここでは差異として取り上げないこととする。</p> <p>以上を踏まえると、既工認と今回工認における主要な差異として、「原子炉建屋屋根トラスに対する弾塑性時刻歴応力解析の採用」を抽出し、以下で検討を行うこととした。</p>	<p>2.4 既工認と今回工認における原子炉建屋屋根トラスの解析モデルの比較</p> <p>原子炉建屋屋根トラスの解析モデルについて、既工認で採用した解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理する。既工認における屋根トラスの解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第2.4-1表に示す。</p> <p>第2.4-1表のうち、解析コード、要素分割及び地震荷重の差異については、解析手法を変更したことに伴う変更である。また、モデル化については、原子炉建屋屋根トラスが鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられるため、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を適切に行うことを目的として3次元フレームモデルによる弾塑性時刻歴応力解析を採用している。</p> <p>以上を踏まえると、既工認と今回工認における主要な差異として、「原子炉建屋屋根トラスに対する弾塑性時刻歴応力解析の採用」を抽出し、以下で検討を行うこととした。</p> <p>なお、今回工認の弾塑性時刻歴応力解析では、解析モデル全体の自重による変形及び地震時挙動を精度良く評価するために、屋根スラブも含めてモデル化している。屋根トラスは鉛直荷重を支持する部材として設計されており、主トラスについてはフレームを構成する部材として地震時の荷重も負担する設計としている。従って、屋根トラスの各部材に生じる応力としては、鉛直方向の自重による初期応力のほか、屋根スラブと一体となった屋根トラスの鉛直方向の面外振動による応力が加わる。また、主トラス方向の地震荷重に対しては主トラスの上下弦材やトラス材に応力が発生する。このように動的な地震応答解析では、屋根スラブをモデル化することにより、地震時の挙動が適切に評価される。</p>	<p>2.4 既工認と今回工認における原子炉建物屋根トラスの解析モデルの比較</p> <p>原子炉建物屋根トラスの解析モデルについて、既工認で採用した解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理する。既工認における屋根トラスの解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第2.4-1表に示す。</p> <p>第2.4-1表のうち、解析コード、要素分割及び地震荷重の差異については、解析手法を変更したことに伴う変更である。また、モデル化については、原子炉建物屋根トラスが鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられるため、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を適切に行うことを目的として3次元フレームモデルによる弾塑性時刻歴応力解析を採用している。コンクリートのヤング係数及びポアソン比については、適用基準を日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法一」(1999)に見直したことによるものである。</p> <p>以上を踏まえると、既工認と今回工認における主要な差異として、「原子炉建物屋根トラスに対する弾塑性時刻歴応力解析の採用」を抽出し、以下で検討を行うこととした。</p> <p>なお、今回工認の弾塑性時刻歴応力解析では、解析モデル全体の自重による変形及び地震時挙動を精度良く評価するために、屋根スラブも含めてモデル化している。屋根トラスは鉛直荷重を支持する部材として設計されており、主トラスについてはフレームを構成する部材として地震時の荷重も負担する設計としている。従って、屋根トラスの各部材に生じる応力としては、鉛直方向の自重による初期応力のほか、屋根スラブと一体となった屋根トラスの鉛直方向の面外振動による応力が加わる。また、主トラス方向の地震荷重に対しては主トラスの上下弦材やトラス材に応力が発生する。このように動的な地震応答解析では、屋根スラブをモデル化することにより、地震時の挙動が適切に評価されることから、今回工認では、燃料取替床レベルより上部を立体的なモデルとして動的な地震応答解析を実施する。</p>	<p>備考</p> <p>・モデル化対象部位の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉では屋根スラブをモデル化するため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																											
<p>第2.3.1表 原子炉建屋屋根トラスの解析モデルの比較</p> <table border="1" data-bbox="172 604 917 1270"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>既工認</th> <th>今回工認</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>解析手法</td> <td>・静的応力解析 (弾性解析)</td> <td>・時刻歴応力解析 (弾塑性解析)</td> </tr> <tr> <td>解析コード</td> <td>・NASTRAN</td> <td>・DYNA2E</td> </tr> <tr> <td>モデル化</td> <td>・2次元フレームモデル</td> <td>・3次元フレームモデル (屋根トラス部の耐震補強工事の内容を反映^{※1})</td> </tr> <tr> <td>要素分割</td> <td>梁要素：トラスの上下弦材 トラス要素：トラスの斜材，東材</td> <td>梁要素：トラスの上下弦材，外周梁 トラス要素：屋根面水平ブレース，トラスの斜材，東材 シェル要素：耐震壁</td> </tr> <tr> <td>材料物性</td> <td>・鉄骨のヤング係数： E=2.1×10⁷(t/m²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.7×10⁶(t/m²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.167</td> <td>・鉄骨のヤング係数： E=2.05×10⁶(N/mm²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.88×10⁴kN/mm² ・コンクリートのポアソン比 ν=0.2</td> </tr> <tr> <td>評価方法</td> <td>・S2地震及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認</td> <td>・Ss地震に対し，主トラスの各部材に発生する応力が，許容限界を超えないことを確認 ・弾塑性特性 (修正若林モデル) を適用する部材 (つなぎ梁 (東材・斜材)，下面水平ブレース)^{※2}が破断しないことを確認</td> </tr> <tr> <td>地震荷重</td> <td>・水平：原子炉建屋の地震応答解析結果に基づく地震荷重を静的に考慮 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力</td> <td>・水平及び鉛直：モデル脚部に原子炉建屋の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1：耐震補強工事の概要については，添付資料1に示す。 ※2：弾塑性特性を考慮する部材は，既工認時には地震力を負担する部材としては取り扱われていなかったが，3次元挙動を適切に評価するという観点から今回工認で採用予定の3次元フレームモデルではモデル化することとした部材である。</p>	項目	既工認	今回工認	解析手法	・静的応力解析 (弾性解析)	・時刻歴応力解析 (弾塑性解析)	解析コード	・NASTRAN	・DYNA2E	モデル化	・2次元フレームモデル	・3次元フレームモデル (屋根トラス部の耐震補強工事の内容を反映 ^{※1})	要素分割	梁要素：トラスの上下弦材 トラス要素：トラスの斜材，東材	梁要素：トラスの上下弦材，外周梁 トラス要素：屋根面水平ブレース，トラスの斜材，東材 シェル要素：耐震壁	材料物性	・鉄骨のヤング係数： E=2.1×10 ⁷ (t/m ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.7×10 ⁶ (t/m ²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.167	・鉄骨のヤング係数： E=2.05×10 ⁶ (N/mm ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.88×10 ⁴ kN/mm ² ・コンクリートのポアソン比 ν=0.2	評価方法	・S2地震及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認	・Ss地震に対し，主トラスの各部材に発生する応力が，許容限界を超えないことを確認 ・弾塑性特性 (修正若林モデル) を適用する部材 (つなぎ梁 (東材・斜材)，下面水平ブレース) ^{※2} が破断しないことを確認	地震荷重	・水平：原子炉建屋の地震応答解析結果に基づく地震荷重を静的に考慮 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力	・水平及び鉛直：モデル脚部に原子炉建屋の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力	<p>以上のように，今回工認では，オペフロ上部を立体的なモデルとして動的な地震応答解析を実施しているが，<u>解析手法の妥当性については3.11地震のシミュレーション解析により確認している。</u></p> <p>第2.4-1表 原子炉建屋屋根トラスの解析モデルの比較</p> <table border="1" data-bbox="973 604 1703 1491"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>既工認</th> <th>今回工認</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>解析手法</td> <td>・静的応力解析</td> <td>・時刻歴応力解析 (弾塑性解析)</td> </tr> <tr> <td>解析コード</td> <td>・SD (鹿島建設所有)</td> <td>・fappase (鹿島建設所有)</td> </tr> <tr> <td>モデル化</td> <td>・2次元フレームモデル</td> <td>・3次元フレームモデル</td> </tr> <tr> <td>要素分割</td> <td>梁要素： 主トラスの上下弦材，鉄骨柱，RC柱 トラス要素： 主トラスの斜材，東材</td> <td>梁要素： 主トラス及びサブトラスの上下弦材，母屋，外周鉄骨梁，鉄骨柱，RC柱 トラス要素： 主トラスの斜材，東材，サブトラスの斜材，水平ブレース シェル要素： 耐震壁，屋根スラブ</td> </tr> <tr> <td>材料物性</td> <td>・鉄骨のヤング係数 E=2.1×10⁷ (t/m²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.7×10⁶ (t/m²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.167</td> <td>・鉄骨のヤング係数 E=2.05×10⁶ (N/mm²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.51×10⁴ (N/mm²)^{※1} ・コンクリートのポアソン比 ν=0.2^{※2}</td> </tr> <tr> <td>評価方法</td> <td>・基準地震動S1による地震力及び静的地震力に対して短期許容応力度設計</td> <td>・基準地震動Ssによる地震力に対し主トラスの各部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認 ・弾塑性特性 (修正若林モデル) を適用する部材^{※3}が過度な塑性化はしないことを確認</td> </tr> <tr> <td>地震荷重</td> <td>・水平：原子炉建屋の質点系モデルの地震応答解析結果に基づく荷重 (変位) を静的に考慮 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力</td> <td>・水平及び鉛直：モデル脚部に原子炉建屋の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 コンクリートのヤング係数としては，日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説・許容応力度設計法」(1999)による計算式により算定した数値を用いる。 ※2 適用基準を日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説・許容応力度設計法」(1999)に見直したことによる。 ※3 軸力のみを負担するトラス要素でモデル化した部材に弾塑性特性を考慮する。</p>	項目	既工認	今回工認	解析手法	・静的応力解析	・時刻歴応力解析 (弾塑性解析)	解析コード	・SD (鹿島建設所有)	・fappase (鹿島建設所有)	モデル化	・2次元フレームモデル	・3次元フレームモデル	要素分割	梁要素： 主トラスの上下弦材，鉄骨柱，RC柱 トラス要素： 主トラスの斜材，東材	梁要素： 主トラス及びサブトラスの上下弦材，母屋，外周鉄骨梁，鉄骨柱，RC柱 トラス要素： 主トラスの斜材，東材，サブトラスの斜材，水平ブレース シェル要素： 耐震壁，屋根スラブ	材料物性	・鉄骨のヤング係数 E=2.1×10 ⁷ (t/m ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.7×10 ⁶ (t/m ²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.167	・鉄骨のヤング係数 E=2.05×10 ⁶ (N/mm ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.51×10 ⁴ (N/mm ²) ^{※1} ・コンクリートのポアソン比 ν=0.2 ^{※2}	評価方法	・基準地震動S1による地震力及び静的地震力に対して短期許容応力度設計	・基準地震動Ssによる地震力に対し主トラスの各部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認 ・弾塑性特性 (修正若林モデル) を適用する部材 ^{※3} が過度な塑性化はしないことを確認	地震荷重	・水平：原子炉建屋の質点系モデルの地震応答解析結果に基づく荷重 (変位) を静的に考慮 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力	・水平及び鉛直：モデル脚部に原子炉建屋の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力	<p>第2.4-1表 原子炉建物屋根トラスの解析モデルの比較</p> <table border="1" data-bbox="1765 615 2493 1591"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>既工認</th> <th>今回工認</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>解析手法</td> <td>・静的応力解析 (弾性解析)</td> <td>・時刻歴応力解析 (弾塑性解析)</td> </tr> <tr> <td>解析コード</td> <td>・SD</td> <td>・fappase</td> </tr> <tr> <td>モデル化</td> <td>・2次元フレームモデル</td> <td>・3次元フレームモデル (屋根トラス部の耐震補強工事の内容を反映^{※1})</td> </tr> <tr> <td>要素分割</td> <td>梁要素：トラスの上下弦材等 トラス要素：トラスの斜材，東材</td> <td>梁要素：トラスの上下弦材，外周梁等 トラス要素：水平ブレース，トラス斜材，東材等 シェル要素：耐震壁，屋根スラブ</td> </tr> <tr> <td>材料物性</td> <td>・鉄骨のヤング係数： E=2.1×10⁷ (t/m²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.1×10⁶ (t/m²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.167</td> <td>・鉄骨のヤング係数： E=2.05×10⁶ (N/mm²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.25×10⁴ (N/mm²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.2</td> </tr> <tr> <td>評価方法</td> <td>・Aクラス施設として，基準地震動S1による地震力及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認^{※2}</td> <td>・Sクラスである原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) のバウンダリを構成する屋根スラブの間接支持構造物として，基準地震動Ssによる地震力に対し，主トラスの各部材に発生する応力が，許容限界を超えないことを確認 ・弾塑性特性 (修正若林モデル) を適用する部材が過度な塑性化はしないこと (破断の可能性がないこと) を確認^{※3}</td> </tr> <tr> <td>地震荷重</td> <td>・水平：原子炉建物の地震応答解析結果に基づく地震荷重を静的に考慮 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力</td> <td>・水平及び鉛直：モデル脚部に原子炉建物の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力</td> </tr> <tr> <td>その他</td> <td>・水平ブレース，屋根スラブ等の部材は重量として考慮し，剛性は考慮しない</td> <td>・水平ブレース，屋根スラブ[※]等の部材は3次元フレームモデルを構成する部材としてモデル化 ※屋根スラブはシェル要素としてモデル化し，面内剛性を考慮 (保守性を考慮し，面外剛性は考慮しない)</td> </tr> </tbody> </table> <p>注1：耐震補強工事の概要については，添付資料-1に示す。 注2：主トラスの耐震性を確認することにより，屋根スラブの要求機能は維持できると考え評価を実施。 注3：軸力のみを負担するトラス要素でモデル化した部材に弾塑性特性を考慮する。</p>	項目	既工認	今回工認	解析手法	・静的応力解析 (弾性解析)	・時刻歴応力解析 (弾塑性解析)	解析コード	・SD	・fappase	モデル化	・2次元フレームモデル	・3次元フレームモデル (屋根トラス部の耐震補強工事の内容を反映 ^{※1})	要素分割	梁要素：トラスの上下弦材等 トラス要素：トラスの斜材，東材	梁要素：トラスの上下弦材，外周梁等 トラス要素：水平ブレース，トラス斜材，東材等 シェル要素：耐震壁，屋根スラブ	材料物性	・鉄骨のヤング係数： E=2.1×10 ⁷ (t/m ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.1×10 ⁶ (t/m ²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.167	・鉄骨のヤング係数： E=2.05×10 ⁶ (N/mm ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.25×10 ⁴ (N/mm ²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.2	評価方法	・Aクラス施設として，基準地震動S1による地震力及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認 ^{※2}	・Sクラスである原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) のバウンダリを構成する屋根スラブの間接支持構造物として，基準地震動Ssによる地震力に対し，主トラスの各部材に発生する応力が，許容限界を超えないことを確認 ・弾塑性特性 (修正若林モデル) を適用する部材が過度な塑性化はしないこと (破断の可能性がないこと) を確認 ^{※3}	地震荷重	・水平：原子炉建物の地震応答解析結果に基づく地震荷重を静的に考慮 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力	・水平及び鉛直：モデル脚部に原子炉建物の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力	その他	・水平ブレース，屋根スラブ等の部材は重量として考慮し，剛性は考慮しない	・水平ブレース，屋根スラブ [※] 等の部材は3次元フレームモデルを構成する部材としてモデル化 ※屋根スラブはシェル要素としてモデル化し，面内剛性を考慮 (保守性を考慮し，面外剛性は考慮しない)	<p>・モデルの相違 【女川2】 島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違 ・構造・仕様の相違 【柏崎6/7，女川2】 コンクリートの材料物性値の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉は屋根スラブをモデル化しているため相違</p>
項目	既工認	今回工認																																																																												
解析手法	・静的応力解析 (弾性解析)	・時刻歴応力解析 (弾塑性解析)																																																																												
解析コード	・NASTRAN	・DYNA2E																																																																												
モデル化	・2次元フレームモデル	・3次元フレームモデル (屋根トラス部の耐震補強工事の内容を反映 ^{※1})																																																																												
要素分割	梁要素：トラスの上下弦材 トラス要素：トラスの斜材，東材	梁要素：トラスの上下弦材，外周梁 トラス要素：屋根面水平ブレース，トラスの斜材，東材 シェル要素：耐震壁																																																																												
材料物性	・鉄骨のヤング係数： E=2.1×10 ⁷ (t/m ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.7×10 ⁶ (t/m ²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.167	・鉄骨のヤング係数： E=2.05×10 ⁶ (N/mm ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.88×10 ⁴ kN/mm ² ・コンクリートのポアソン比 ν=0.2																																																																												
評価方法	・S2地震及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認	・Ss地震に対し，主トラスの各部材に発生する応力が，許容限界を超えないことを確認 ・弾塑性特性 (修正若林モデル) を適用する部材 (つなぎ梁 (東材・斜材)，下面水平ブレース) ^{※2} が破断しないことを確認																																																																												
地震荷重	・水平：原子炉建屋の地震応答解析結果に基づく地震荷重を静的に考慮 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力	・水平及び鉛直：モデル脚部に原子炉建屋の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力																																																																												
項目	既工認	今回工認																																																																												
解析手法	・静的応力解析	・時刻歴応力解析 (弾塑性解析)																																																																												
解析コード	・SD (鹿島建設所有)	・fappase (鹿島建設所有)																																																																												
モデル化	・2次元フレームモデル	・3次元フレームモデル																																																																												
要素分割	梁要素： 主トラスの上下弦材，鉄骨柱，RC柱 トラス要素： 主トラスの斜材，東材	梁要素： 主トラス及びサブトラスの上下弦材，母屋，外周鉄骨梁，鉄骨柱，RC柱 トラス要素： 主トラスの斜材，東材，サブトラスの斜材，水平ブレース シェル要素： 耐震壁，屋根スラブ																																																																												
材料物性	・鉄骨のヤング係数 E=2.1×10 ⁷ (t/m ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.7×10 ⁶ (t/m ²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.167	・鉄骨のヤング係数 E=2.05×10 ⁶ (N/mm ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.51×10 ⁴ (N/mm ²) ^{※1} ・コンクリートのポアソン比 ν=0.2 ^{※2}																																																																												
評価方法	・基準地震動S1による地震力及び静的地震力に対して短期許容応力度設計	・基準地震動Ssによる地震力に対し主トラスの各部材に発生する応力が許容限界を超えないことを確認 ・弾塑性特性 (修正若林モデル) を適用する部材 ^{※3} が過度な塑性化はしないことを確認																																																																												
地震荷重	・水平：原子炉建屋の質点系モデルの地震応答解析結果に基づく荷重 (変位) を静的に考慮 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力	・水平及び鉛直：モデル脚部に原子炉建屋の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力																																																																												
項目	既工認	今回工認																																																																												
解析手法	・静的応力解析 (弾性解析)	・時刻歴応力解析 (弾塑性解析)																																																																												
解析コード	・SD	・fappase																																																																												
モデル化	・2次元フレームモデル	・3次元フレームモデル (屋根トラス部の耐震補強工事の内容を反映 ^{※1})																																																																												
要素分割	梁要素：トラスの上下弦材等 トラス要素：トラスの斜材，東材	梁要素：トラスの上下弦材，外周梁等 トラス要素：水平ブレース，トラス斜材，東材等 シェル要素：耐震壁，屋根スラブ																																																																												
材料物性	・鉄骨のヤング係数： E=2.1×10 ⁷ (t/m ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.1×10 ⁶ (t/m ²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.167	・鉄骨のヤング係数： E=2.05×10 ⁶ (N/mm ²) ・コンクリートのヤング係数 E=2.25×10 ⁴ (N/mm ²) ・コンクリートのポアソン比 ν=0.2																																																																												
評価方法	・Aクラス施設として，基準地震動S1による地震力及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認 ^{※2}	・Sクラスである原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) のバウンダリを構成する屋根スラブの間接支持構造物として，基準地震動Ssによる地震力に対し，主トラスの各部材に発生する応力が，許容限界を超えないことを確認 ・弾塑性特性 (修正若林モデル) を適用する部材が過度な塑性化はしないこと (破断の可能性がないこと) を確認 ^{※3}																																																																												
地震荷重	・水平：原子炉建物の地震応答解析結果に基づく地震荷重を静的に考慮 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力	・水平及び鉛直：モデル脚部に原子炉建物の質点系モデルの地震応答解析による応答を同時入力																																																																												
その他	・水平ブレース，屋根スラブ等の部材は重量として考慮し，剛性は考慮しない	・水平ブレース，屋根スラブ [※] 等の部材は3次元フレームモデルを構成する部材としてモデル化 ※屋根スラブはシェル要素としてモデル化し，面内剛性を考慮 (保守性を考慮し，面外剛性は考慮しない)																																																																												

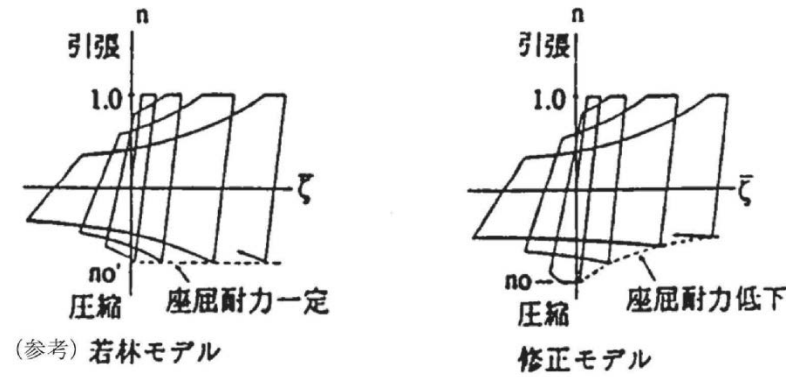
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2.4 弾塑性解析の採用について</p> <p>2.4.1 弾塑性解析を採用することの目的</p> <p>原子炉建屋屋根トラスについては、基準地震動 S_s による地震動の増大に伴い、トラスを構成する部材の一部が弾塑性領域に入ると考えられるが、弾性解析では当該部材の塑性化による影響を考慮できないため、解析と実現象に乖離が生じることになる。そこで今回工認では、屋根トラスの弾塑性挙動を適切に評価することを目的として、部材の弾塑性特性を考慮した地震応答解析を採用する予定としている。</p> <p>原子炉建屋屋根トラスの応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点としては、既工認で採用していた弾性解析では表現出来ないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。弾塑性挙動を適切に評価するに当たっては、部材の弾塑性特性を適切に設定し解析を実施する必要があると考えられる。</p> <p>今回工認で採用予定の屋根トラス部材の弾塑性特性について、第2.4.1表に示す。第2.4.1表に示すとおり、軸力のみを負担するトラス要素に対してのみ弾塑性特性として修正若林モデルを採用する予定である。当該モデルについては、先行電力の審査にて採用実績があり、モデルの妥当性自体に大きな論点はないと考えられるものの、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉原子炉建屋屋根トラス部材の評価への適用性については、十分に確認する必要があると考えられる。</p> <p>以下では、修正若林モデルの概要を確認した上で、原子炉建屋屋根トラス部材への適用性を検討する。また、修正若林モデルを用いた弾塑性解析を実施することにより、一部部材の塑性化を考慮することとなるため、当該部材のクライテリアについても検討する。</p>	<p>2.5 弾塑性解析の採用について</p> <p>2.5.1 弾塑性解析を採用することの目的</p> <p>原子炉建屋屋根トラスについては、基準地震動 S_s による地震動の増大に伴い、トラスを構成する部材の一部が塑性域に入ると考えられるが、弾性解析では当該部材の塑性化による影響を考慮できないため、解析と実現象に乖離が生じることになる。そこで今回工認では、屋根トラスの弾塑性挙動を適切に評価することを目的として、部材の弾塑性特性を考慮した地震応答解析を採用する予定としている。</p> <p>原子炉建屋屋根トラスの応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点としては、既工認で採用していた弾性解析では表現できないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。弾塑性挙動の適切な評価に当たっては、部材の弾塑性特性を適切に設定し解析を実施する必要があると考えられる。</p> <p>今回工認で採用予定の屋根トラス部材の弾塑性特性を第2.5-1表に示す。第2.5-1表に示すとおり、軸力のみを負担するトラス要素に対してのみ弾塑性特性として修正若林モデルを採用する予定である。当該モデルについては、先行審査にて採用実績があり、モデルの妥当性自体に大きな論点はないと考えられるものの、原子炉建屋屋根トラス部材の評価への適用性については、十分に確認する必要があると考えられる。</p> <p>以下では、修正若林モデルの概要を確認した上で、原子炉建屋屋根トラス部材への適用性を検討する。また、修正若林モデルを用いた弾塑性解析を実施することにより、一部部材の塑性化を考慮することとなるため、当該部材のクライテリアについても検討する。</p>	<p>2.5 弾塑性解析の採用について</p> <p>2.5.1 弾塑性解析を採用することの目的</p> <p>原子炉建物屋根トラスについては、基準地震動 S_s による地震動の増大に伴い、トラスを構成する部材の一部が塑性領域に入ると考えられるが、弾性解析では当該部材の塑性化による影響を考慮できないため、解析と実現象に乖離が生じることになる。そこで今回工認では、屋根トラスの弾塑性挙動を適切に評価することを目的として、部材の弾塑性特性を考慮した地震応答解析を採用する予定としている。</p> <p>原子炉建物屋根トラスの応力解析に弾塑性解析を取り入れることによる利点としては、既工認で採用していた弾性解析では表現できないような大入力時の弾塑性挙動を評価できることにある。弾塑性挙動を適切に評価するに当たっては、部材の弾塑性特性を適切に設定し解析を実施する必要があると考えられる。</p> <p>今回工認で採用予定の屋根トラス部材の弾塑性特性について、第2.5.1-1表に示す。第2.5.1-1表に示すとおり、軸力のみを負担するトラス要素に対してのみ弾塑性特性として修正若林モデルを採用する予定である。当該モデルについては、先行電力の審査にて採用実績があり、モデルの妥当性自体に大きな論点はないと考えられるものの、島根原子力発電所2号炉原子炉建物屋根トラス部材の評価への適用性については、十分に確認する必要があると考えられる。</p> <p>以下では、修正若林モデルの概要を確認した上で、原子炉建物屋根トラス部材への適用性を検討する。また、修正若林モデルを用いた弾塑性解析を実施することにより、一部部材の塑性化を考慮することとなるため、当該部材のクライテリアについても検討する。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																							
<p align="center">第2.4.1表 屋根トラス部材の弾塑性特性について</p> <table border="1" data-bbox="172 300 890 672"> <thead> <tr> <th>評価部位</th> <th>モデル要素</th> <th>弾塑性特性</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">主トラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="2">梁要素</td> <td rowspan="2">考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> <td rowspan="2">トラス要素</td> <td rowspan="2">考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">サブトラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="2">梁要素</td> <td rowspan="2">考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> <td rowspan="2">トラス要素</td> <td rowspan="2">弾塑性(修正若林モデル)</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">水平ブレース</td> <td>上弦面</td> <td rowspan="2">トラス要素</td> <td rowspan="2">考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>水平ブレース</td> </tr> <tr> <td>下弦面</td> <td rowspan="2">トラス要素</td> <td rowspan="2">弾塑性(修正若林モデル)</td> </tr> <tr> <td>水平ブレース</td> </tr> </tbody> </table>	評価部位	モデル要素	弾塑性特性	主トラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)	下弦材	斜材	トラス要素	考慮しない(弾性)	束材	サブトラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)	下弦材	斜材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)	束材	水平ブレース	上弦面	トラス要素	考慮しない(弾性)	水平ブレース	下弦面	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)	水平ブレース	<p align="center">第2.5-1表 屋根トラス部材の弾塑性特性について</p> <table border="1" data-bbox="988 289 1685 688"> <thead> <tr> <th>評価部位</th> <th>モデル要素</th> <th>弾塑性特性</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">主トラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="2">梁要素</td> <td rowspan="2">考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> <td rowspan="2">トラス要素</td> <td rowspan="2">弾塑性(修正若林モデル)</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">サブトラス</td> <td>上弦材</td> <td>梁要素</td> <td>考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> <td>トラス要素</td> <td>弾塑性(修正若林モデル)</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> <td>トラス要素</td> <td>弾塑性(修正若林モデル)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">母屋</td> <td>梁要素</td> <td>考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">水平ブレース</td> <td>上弦面</td> <td rowspan="2">トラス要素</td> <td rowspan="2">弾塑性(修正若林モデル)※1</td> </tr> <tr> <td>下弦面</td> </tr> <tr> <td colspan="2">外周鉄骨梁</td> <td>梁要素</td> <td>考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">鉄骨柱</td> <td>梁要素</td> <td>考慮しない(弾性)</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 水平ブレースの細長比は修正若林モデルの適用範囲より大きいですが、部材剛性と部材重量を考慮するため解析モデルに考慮する。ただし、水平ブレースの部材断面は小さいため、剛性と部材重量の影響は軽微であると考えられる。</p>	評価部位	モデル要素	弾塑性特性	主トラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)	下弦材	斜材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)	束材	サブトラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)	下弦材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)	斜材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)	母屋		梁要素	考慮しない(弾性)	水平ブレース	上弦面	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)※1	下弦面	外周鉄骨梁		梁要素	考慮しない(弾性)	鉄骨柱		梁要素	考慮しない(弾性)	<p align="center">第2.5.1-1表 屋根トラス部材の弾塑性特性について</p> <table border="1" data-bbox="1771 289 2487 661"> <thead> <tr> <th>評価部位</th> <th>モデル要素</th> <th>弾塑性特性</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">主トラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="2">梁要素</td> <td rowspan="2">考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> <td rowspan="2">トラス要素</td> <td rowspan="2">弾塑性(修正若林モデル)注1</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">サブトラス</td> <td>上弦材</td> <td>梁要素</td> <td>考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> <td>トラス要素</td> <td>弾塑性(修正若林モデル)注1</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> <td>トラス要素</td> <td>弾塑性(修正若林モデル)注1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">母屋</td> <td>梁要素</td> <td>考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">サブビーム</td> <td>梁要素</td> <td>考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">水平ブレース</td> <td>トラス要素</td> <td>弾塑性(修正若林モデル)</td> </tr> </tbody> </table> <p>注1：主トラス斜材，束材及びサブトラス斜材の細長比は修正若林モデルの適用範囲より大きいですが，修正若林モデルによる弾塑性特性を考慮しており，その適用性については詳細設計段階で説明する。</p>	評価部位	モデル要素	弾塑性特性	主トラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)	下弦材	斜材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)注1	束材	サブトラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)	下弦材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)注1	斜材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)注1	母屋		梁要素	考慮しない(弾性)	サブビーム		梁要素	考慮しない(弾性)	水平ブレース		トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造・仕様の相違及び弾塑性特性を考慮する部材が異なるため相違 【柏崎6/7，女川2】 島根2号炉は下弦面に水平ブレースが無いため相違 島根2号炉はサブビームについて記載 【柏崎6/7】 島根2号炉はトラス要素としてモデル化した部材に弾塑性特性を考慮しているため相違 島根2号炉は母屋をモデル化するため相違
評価部位	モデル要素	弾塑性特性																																																																																																								
主トラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
	下弦材																																																																																																									
	斜材	トラス要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
	束材																																																																																																									
サブトラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
	下弦材																																																																																																									
	斜材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)																																																																																																							
	束材																																																																																																									
水平ブレース	上弦面	トラス要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
	水平ブレース																																																																																																									
	下弦面	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)																																																																																																							
	水平ブレース																																																																																																									
評価部位	モデル要素	弾塑性特性																																																																																																								
主トラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
	下弦材																																																																																																									
	斜材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)																																																																																																							
	束材																																																																																																									
サブトラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
	下弦材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)																																																																																																							
	斜材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)																																																																																																							
母屋		梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
水平ブレース	上弦面	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)※1																																																																																																							
	下弦面																																																																																																									
外周鉄骨梁		梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
鉄骨柱		梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
評価部位	モデル要素	弾塑性特性																																																																																																								
主トラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
	下弦材																																																																																																									
	斜材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)注1																																																																																																							
	束材																																																																																																									
サブトラス	上弦材	梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
	下弦材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)注1																																																																																																							
	斜材	トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)注1																																																																																																							
母屋		梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
サブビーム		梁要素	考慮しない(弾性)																																																																																																							
水平ブレース		トラス要素	弾塑性(修正若林モデル)																																																																																																							

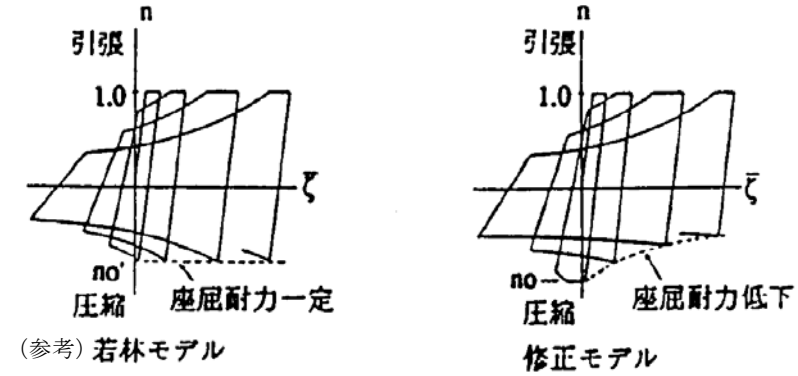
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2.4.2 弾塑性特性の設定の妥当性・適用性について</p> <p>(1) 今回工認で採用予定の弾塑性特性(修正若林モデル)の概要 原子炉建屋屋根トラスを構成する部材のうち、軸力のみを負担するトラス要素としてモデル化した部材については、弾塑性特性として修正若林モデルを使用している。</p> <p>修正若林モデルは、原子力発電所建屋(実機)を対象として実施された谷口らの研究^[1]に示される部材レベルの弾塑性特性である。修正若林モデルは、若林モデル^[2]を基本としているが、谷口らの研究^[1]で実施された実験のシミュレーション解析を踏まえて、繰返し载荷による初期座屈以降の耐力低下を累積塑性歪の関数で表現し、実験との対応度を向上させた手法であり、式(1)により評価される。</p> $n/n_0 = 1/(\bar{\zeta} - Pn)^{1/6} \leq 1 \quad (1)$ <p>$n = N/N_y$ N:軸力 N_y:降伏軸力 n_0:無次元化初期座屈耐力 $\bar{\zeta}$:無次元化圧縮側累積塑性歪 $Pn = (n_E/4) - 5$ $n_E = \pi^2 E/(\lambda e^2 \sigma_y)$ λe:有効細長比</p> <p>修正若林モデルの弾塑性特性を第2.4.1図に示す。</p> <p>谷口らの研究^[1]においては、実機の特徴を反映したX型ブレース架構の静的繰返し実験を実施している。また、修正若林モデルの妥当性を確認するに当たって、ブレース部材の弾塑性特性として修正モデルを適用した解析モデルによる実験のシミュレーション解析を実施しており、解析結果は実験結果をおおむねよくとらえているとしている。試験体の概要を第2.4.2図、解析モデルを第2.4.3図、解析結果と実験結果の比較を第2.4.4図に示す。</p> <p>なお、本復元力特性については、前述のとおり、川内原子力発電所タービン建屋の解析で考慮したブレースの弾塑性特性として採用されており、認可実績がある。</p>	<p>2.5.2 弾塑性特性の設定の妥当性・適用性について</p> <p>(1) 今回工認で採用予定の弾塑性特性(修正若林モデル)の概要 原子炉建屋屋根トラスを構成する部材のうち、軸力のみを負担するトラス要素としてモデル化した部材については、弾塑性特性として修正若林モデルを使用している。</p> <p>修正若林モデルは、原子力発電所建屋(実機)を対象として実施された谷口らの研究^[1]に示される部材レベルの弾塑性特性である。修正若林モデルは、若林モデル^[2]を基本としているが、谷口らの研究^[1]で実施された実験のシミュレーション解析を踏まえて、繰返し载荷による初期座屈以降の耐力低下を累積塑性歪の関数で表現し、実験との対応度を向上させた手法であり、式(1)により評価される。</p> $n/n_0 = 1/(\bar{\zeta} - Pn)^{1/6} \leq 1 \quad (1)$ <p>$n = N/N_y$ N:軸力 N_y:降伏軸力 n_0:無次元化初期座屈耐力 $\bar{\zeta}$:無次元化圧縮側累積塑性歪 $Pn = (n_E/4) - 5$ $n_E = \pi^2 E/(\lambda e^2 \sigma_y)$ λe:有効細長比</p> <p>修正若林モデルの弾塑性特性を第2.5-1図に示す。</p> <p>谷口らの研究^[1]においては、実機の特徴を反映したX型ブレース架構の静的繰返し実験を実施している。また、修正若林モデルの妥当性を確認するに当たって、ブレース部材の弾塑性特性として修正モデルを適用した解析モデルによる実験のシミュレーション解析を実施しており、解析結果は実験結果をおおむねよく捉えているとしている。試験体の概要を第2.5-2図、解析モデルを第2.5-3図、解析結果と実験結果の比較を第2.5-4図に示す。</p> <p>なお、本弾塑性特性については、前述のとおり、川内原子力発電所タービン建屋の解析で考慮したブレースの弾塑性特性として採用されており、認可実績がある。</p>	<p>2.5.2 弾塑性特性の設定の妥当性・適用性について</p> <p>(1) 今回工認で採用予定の弾塑性特性(修正若林モデル)の概要 原子炉建物屋根トラスを構成する部材のうち、軸力のみを負担するトラス要素としてモデル化した部材については、弾塑性特性として修正若林モデルを使用している。</p> <p>修正若林モデルは、原子力発電所建物(実機)を対象として実施された谷口らの研究^[1]に示される部材レベルの弾塑性特性である。修正若林モデルは、若林モデル^[2]を基本としているが、谷口らの研究^[1]で実施された実験のシミュレーション解析を踏まえて、繰返し载荷による初期座屈以降の耐力低下を累積塑性歪の関数で表現し、実験との対応度を向上させた手法であり、式(1)により評価される。</p> $n/n_0 = 1/(\bar{\zeta} - Pn)^{1/6} \leq 1 \quad (1)$ <p>$n = N/N_y$ N:軸力 N_y:降伏軸力 n_0:無次元化初期座屈耐力 $\bar{\zeta}$:無次元化圧縮側累積塑性歪 $Pn = (n_E/4) - 5$ $n_E = \pi^2 E/(\lambda e^2 \sigma_y)$ λe:有効細長比</p> <p>修正若林モデルの弾塑性特性を第2.5.2-1図に示す。</p> <p>谷口らの研究^[1]においては、実機の特徴を反映したX型ブレース架構の静的繰返し実験を実施している。また、修正若林モデルの妥当性を確認するに当たって、ブレース部材の弾塑性特性として修正モデルを適用した解析モデルによる実験のシミュレーション解析を実施しており、解析結果は実験結果を概ねよくとらえているとしている。試験体の概要を第2.5.2-2図、解析モデルを第2.5.2-3図、解析結果と実験結果の比較を第2.5.2-4図に示す。</p> <p>なお、本復元力特性については、前述のとおり、川内原子力発電所タービン建屋の解析で考慮したブレースの弾塑性特性及び東海第二発電所原子炉建屋の解析で考慮したトラス部材の弾塑性特性として採用されており、認可実績がある。</p>	



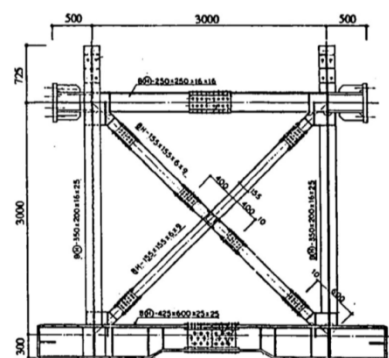
第2.4.1 図 修正若林モデルの弾塑性特性 ([1]より引用, 一部加筆)



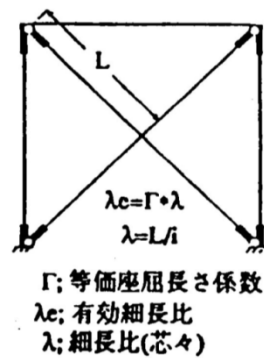
第2.5-1 図 修正若林モデルの弾塑性特性 ([1]より引用, 一部加筆)



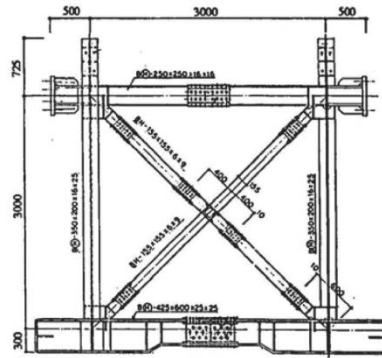
第2.5.2-1 図 修正若林モデルの弾塑性特性 ((1)より引用, 一部加筆)



第2.4.2 図 試験体の概要 ([1]より引用)



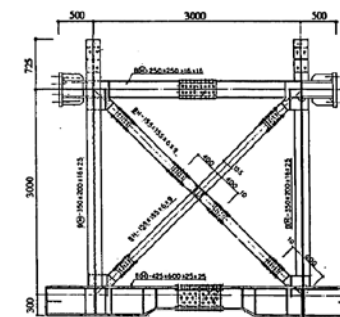
第2.4.3 図 解析モデル ([1]より引用)



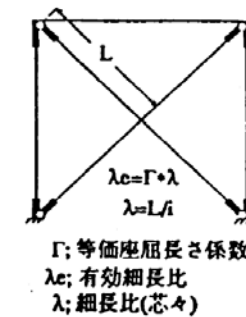
第2.5-2 図 試験体の概要 ([1]より引用)



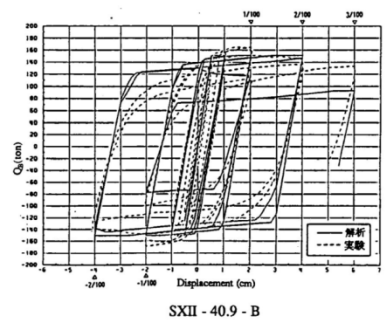
第2.5-3 図 解析モデル ([1]より引用)



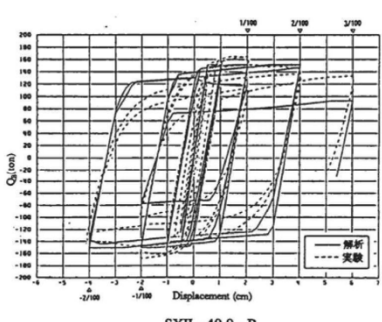
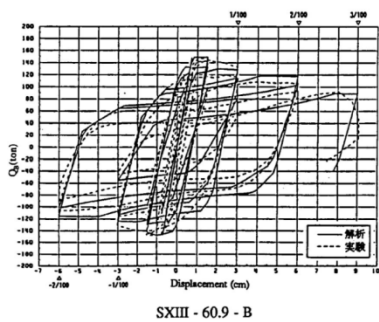
第2.5.2-2 図 試験体の概要 ((1)より引用)



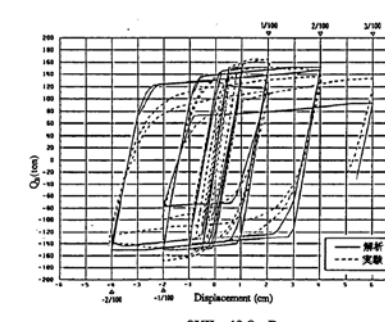
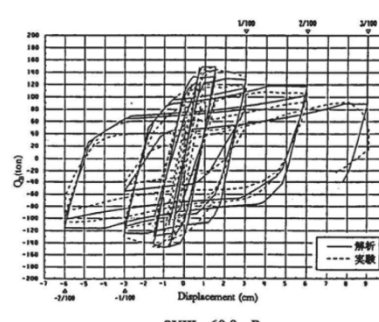
第2.5.2-3 図 解析モデル ((1)より引用)



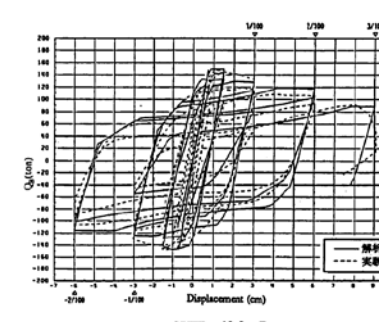
第2.4.4 図 解析結果と実験結果の比較 ([1]より引用)



第2.5-4 図 解析結果と実験結果の比較 ([1]より引用)



第2.5.2-4 図 解析結果と実験結果の比較 ((1)より引用)

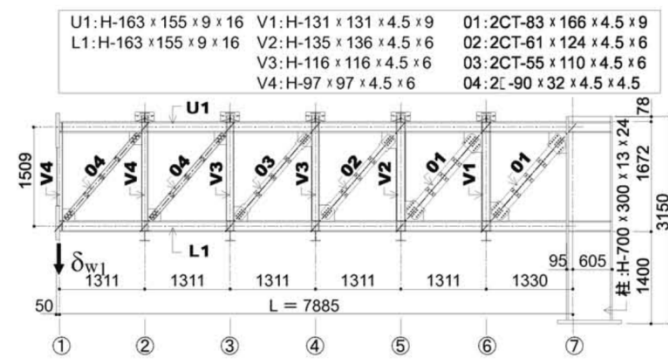


(2) 原子炉建屋屋根トラスに対する検証例
 谷口らの研究^[1]は, X型ブレース架構を対象としたものであったが, 原子炉建屋屋根トラスに対して本弾塑性特性を適用した検討例として, 鈴木らの研究^[2]がある。

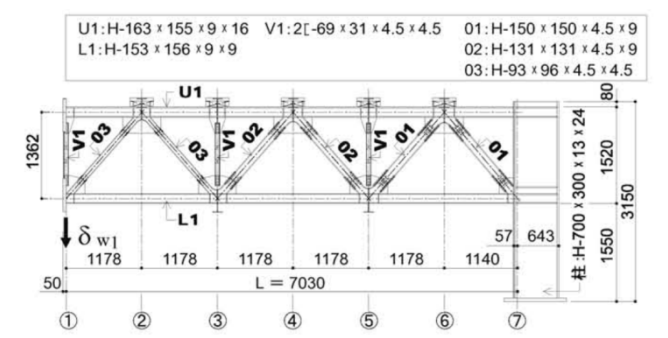
(2) 原子炉建屋屋根トラスに対する検証例
 谷口らの研究^[1]は, X型ブレース架構を対象としたものであったが, 原子炉建屋屋根トラスに対して本弾塑性特性を適用した検討例として, 鈴木らの研究^[3]がある。

(2) 原子炉建物屋根トラスに対する検証例
 谷口らの研究⁽¹⁾は, X型ブレース架構を対象としたものであったが, 原子炉建物屋根トラスに対して本弾塑性特性を適用した検討例として, 鈴木らの研究⁽³⁾がある。

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>この研究は、原子炉建屋屋根トラスの終局耐力について検討したものであるが、実験結果を高精度にシミュレーションするために構築したモデルの中で本弾塑性特性が適用されている。</p> <p>鈴木らの研究^[3]では、終局耐力を検討するにあたり原子炉建屋屋根トラスを模擬した縮小試験体を製作し、トラスの崩壊挙動に与える影響が大きい鉛直動的荷重を模擬した静的載荷試験により、その弾塑性挙動を確認している。なお、試験に当たっては、原子力発電所鉄骨屋根トラスがプラット形とワーレン形の2種類に分類されることを踏まえ、この2種類のトラス形式についての試験体を製作している。6号及び7号炉の原子炉建屋屋根トラスはこのうち、<u>ワーレン形</u>に該当する。試験体の概要を第2.4.5図に示す。</p> <p>実験のシミュレーション解析においては、トラス要素としてモデル化した部材の弾塑性特性として修正若林モデルが適用されており、実験結果とシミュレーション解析を比較し、精度良く実験結果を追跡できているとしている。結果の比較を第2.4.6図に示す。</p> <p>以上のように修正若林モデルは、提案当初のX型ブレース材に加えて、ワーレン形、プラット形の鉄骨トラスでも実験結果を精度良く追跡できているとされている。結果の比較を第2.4.6図に示す。</p>	<p>この研究は、原子炉建屋屋根トラスの終局耐力について検討したものであるが、実験結果を高精度にシミュレーションするために構築したモデルの中で本弾塑性特性が適用されている。</p> <p>鈴木らの研究^[3]では、終局耐力を検討するにあたり原子炉建屋屋根トラスを模擬した縮小試験体を製作し、トラスの崩壊挙動に与える影響が大きい鉛直動的荷重を模擬した静的載荷試験により、その弾塑性挙動を確認している。なお、試験に当たっては、原子力発電所鉄骨屋根トラスがプラット形とワーレン形の2種類に分類されることを踏まえ、この2種類のトラス形式についての試験体を製作している。原子炉建屋屋根トラスはこのうち、<u>ワーレン形</u>に該当する。試験体の概要を第2.5-5図に示す。</p> <p>実験のシミュレーション解析においては、トラス要素としてモデル化した部材の弾塑性特性として修正若林モデルが適用されており、実験結果とシミュレーション解析を比較し、精度良く実験結果を追跡できているとしている。結果の比較を第2.5-6図に示す。</p> <p>以上のように修正若林モデルは、提案当初のX型ブレース材に加えて、ワーレン形、プラット形の鉄骨トラスでも実験結果を精度良く追跡できているとされている。結果の比較を第2.5-6図に示す。</p>	<p>この研究は、原子炉建物屋根トラスの終局耐力について検討したものであるが、実験結果を高精度にシミュレーションするために構築したモデルの中で本弾塑性特性が適用されている。</p> <p>鈴木らの研究⁽³⁾では、終局耐力を検討するにあたり原子炉建物屋根トラスを模擬した縮小試験体を製作し、トラスの崩壊挙動に与える影響が大きい鉛直動的荷重を模擬した静的載荷試験により、その弾塑性挙動を確認している。なお、試験に当たっては、原子力発電所鉄骨屋根トラスがプラット形とワーレン形の2種類に分類されることを踏まえ、この2種類のトラス形式についての試験体を製作している。島根原子力発電所2号炉の原子炉建物屋根トラスはこのうち、<u>プラット形</u>に該当する。試験体の概要を第2.5.2-5図に示す。</p> <p>実験のシミュレーション解析においては、トラス要素としてモデル化した部材の弾塑性特性として修正若林モデルが適用されており、実験結果とシミュレーション解析を比較し、精度良く実験結果を追跡できているとしている。結果の比較を第2.5.2-6図に示す。</p> <p>以上のように修正若林モデルは、提案当初のX型ブレース材に加えて、ワーレン形、プラット形の鉄骨トラスでも実験結果を精度良く追跡できているとされている。結果の比較を第2.5.2-6図に示す。</p>	<p>備考</p> <p>・構造・仕様の相違 【柏崎6/7, 女川2】 トラス形式(柏崎6/7及び女川2はワーレン形, 島根2号炉はプラット形)の相違</p>

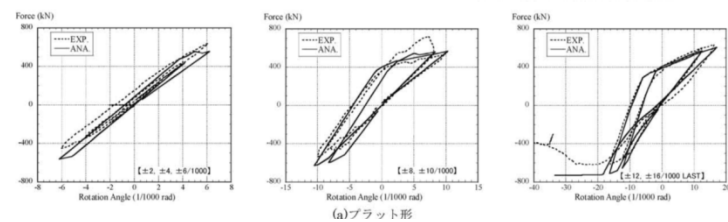


(a)プラット形試験体

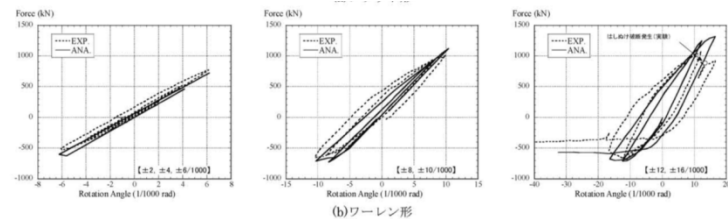


(b)ワーレン形試験体

第2.4.5図 試験体の概要 ([3]より引用)

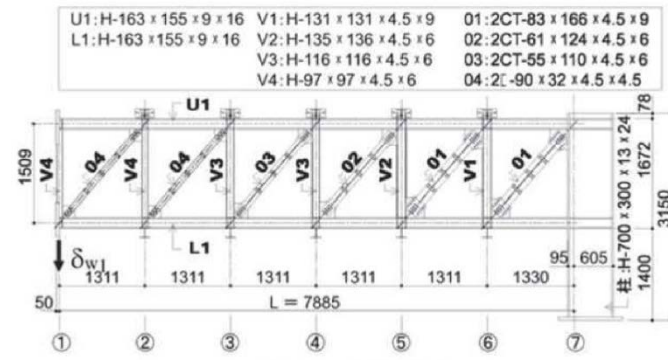


(a)プラット形

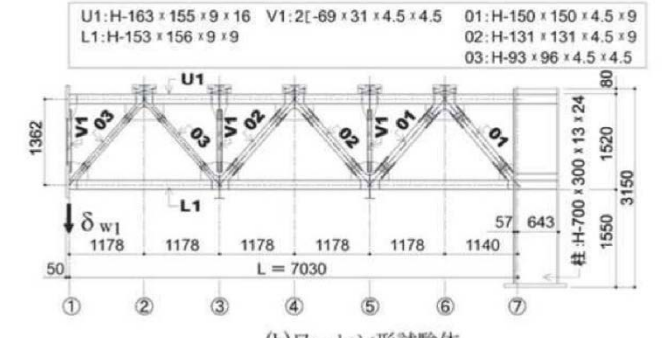


(b)ワーレン形

第2.4.6図 実験のシミュレーション解析結果 ([3]より引用)

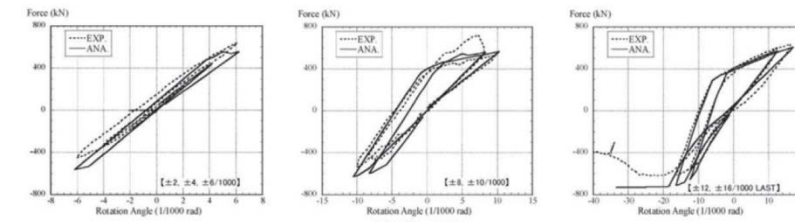


(a)プラット形試験体

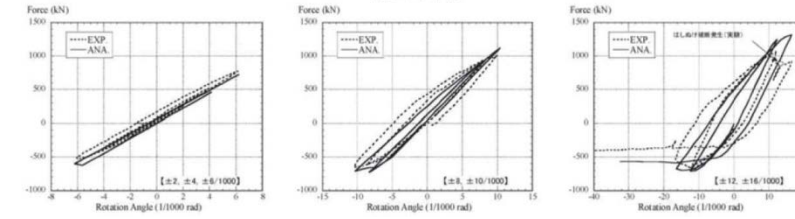


(b)ワーレン形試験体

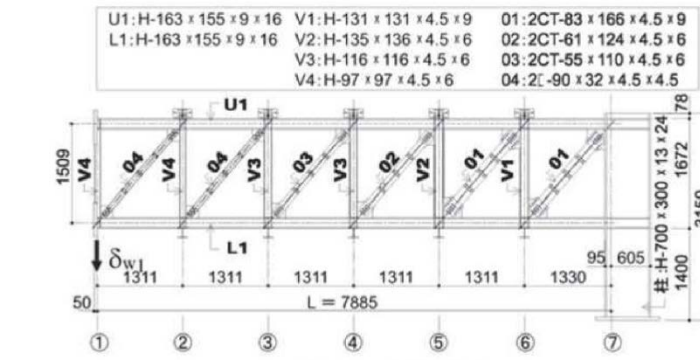
第2.5-5図 試験体の概要 ([3]より引用)



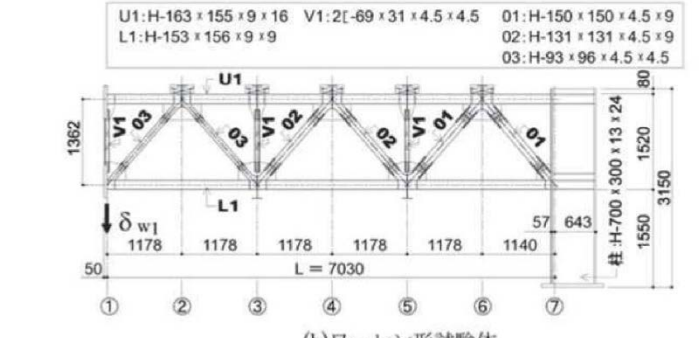
(a)プラット形



第2.5-6図 実験のシミュレーション解析結果 ([3]より引用)

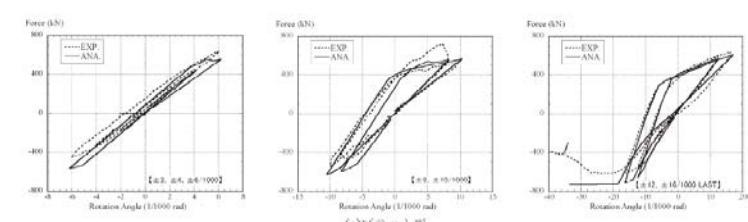


(a)プラット形試験体

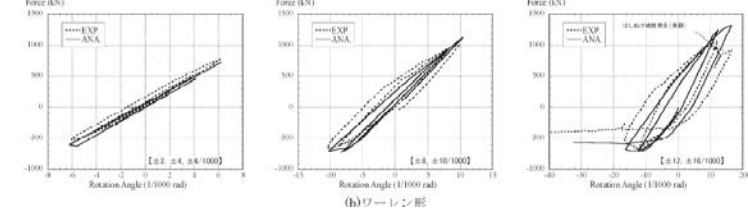


(b)ワーレン形試験体

第2.5.2-5図 試験体の概要 ((3)より引用)



(a)プラット形



(b)ワーレン形

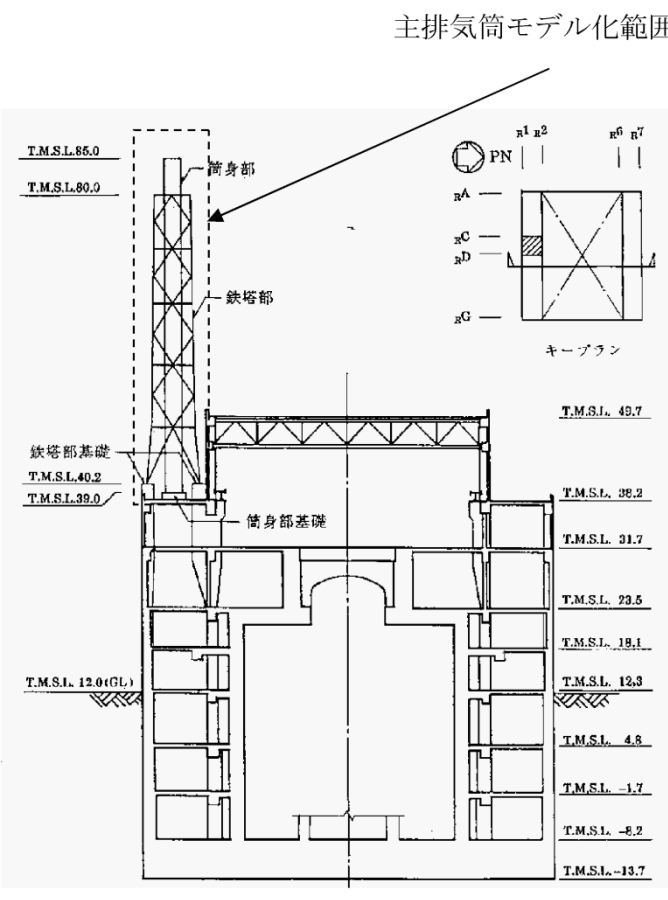
第2.5.2-6図 実験のシミュレーション解析結果 ((3)より引用)

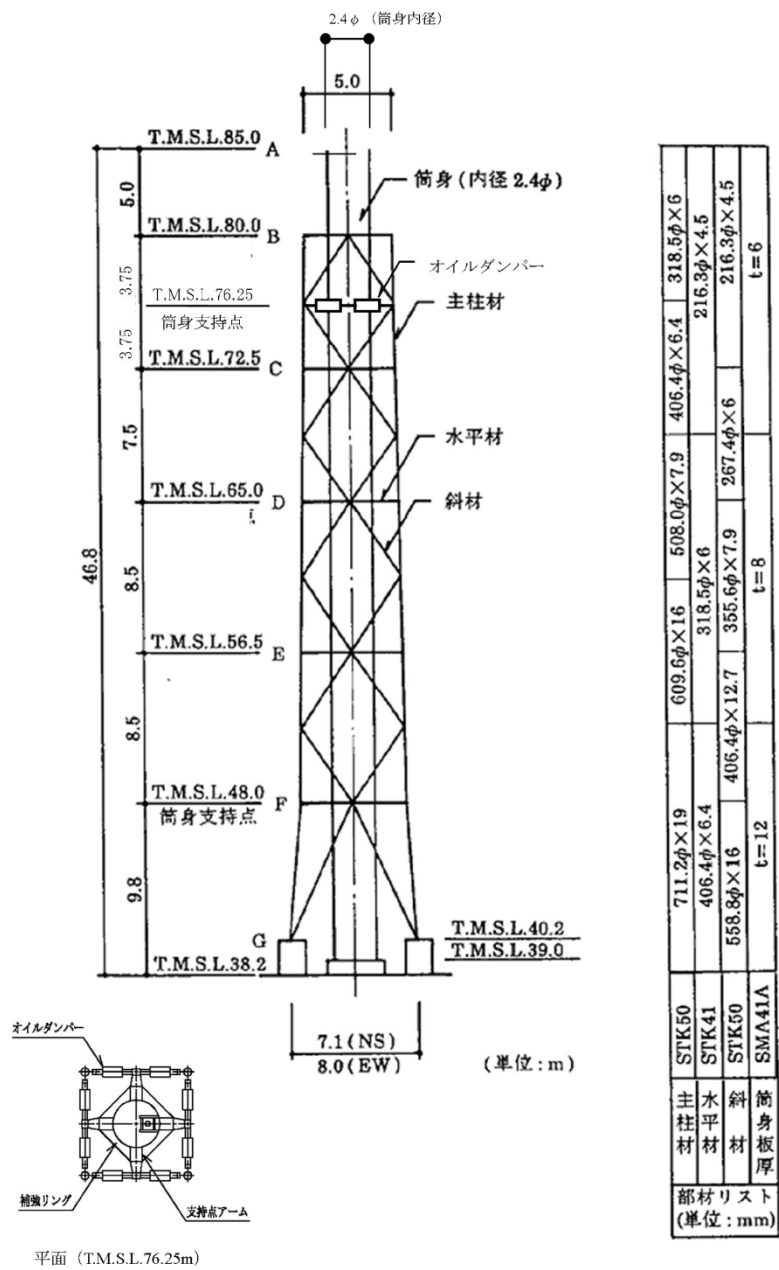
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(3) 原子力発電所鉄骨屋根トラスへの適用性</p> <p>今回採用を予定している修正若林モデルについては、提案当初より、原子力発電所（実機）を対象として実施された実験により妥当性が検証されており、また、原子炉建屋鉄骨屋根トラスを模擬した加力実験のシミュレーション解析においてもその適用性・妥当性が検証されている。これより、原子炉建屋屋根トラスの鉄骨部材のうち、トラス要素としてモデル化した部材の弾塑性特性として、修正若林モデルを採用することは妥当であると考えられる。</p>	<p>(3) 原子力発電所鉄骨屋根トラスへの適用性</p> <p>今回採用を予定している修正若林モデルについては、提案当初より、原子力発電所（実機）を対象として実施された実験により妥当性が検証されており、また、原子炉建屋鉄骨屋根トラスを模擬した加力実験のシミュレーション解析においてもその適用性・妥当性が検証されている。これより、原子炉建屋屋根トラスの鉄骨部材のうち、トラス要素としてモデル化した部材の弾塑性特性として、修正若林モデルを採用することは妥当であると考えられる。</p>	<p>(3) 原子力発電所鉄骨屋根トラスへの適用性</p> <p>今回採用を予定している修正若林モデルについては、提案当初より、原子力発電所（実機）を対象として実施された実験により妥当性が検証されており、また、原子炉建物鉄骨屋根トラスを模擬した加力実験のシミュレーション解析においてもその適用性・妥当性が検証されている。これより、原子炉建物屋根トラスの鉄骨部材のうち、トラス要素としてモデル化した部材の弾塑性特性として、修正若林モデルを採用することは妥当であると考えられる。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2.4.3 各部材のクライテリアについて</p> <p>入力地震動の増大に伴い鉄骨部材の一部が弾塑性領域に入ると考えられることから、今回工認においては、弾塑性解析による評価を実施し、<u>弾塑性特性を適用した部材が破断しないことを確認する予定である。これらの塑性化を許容する部材は、既工認時には地震力を負担しない部材として取り扱われていたが、3次元挙動を適切に評価するという観点からモデルに取り入れた部材である。なお、主トラス等の主要構造部材については、既工認時から地震力を負担する部材として取り扱われており、今回工認においても既工認と同様に弾性範囲内にあることを確認する。</u></p> <p>第2.4.2表に各部材のクライテリアを示す。</p> <p>塑性化する鉄骨部材が破断しないことの確認に当たっては、各部材の累積塑性変形倍率を整理した上で、累積塑性変形倍率が最も大きい部材について検討を実施する。検討は、当該部材の履歴ループを参照し、局部集中ひずみの繰返し回数が、中込ほか(1995)^[4]に基づき算定される。当該部材の最大ひずみ度に対する破断寿命(繰返し回数)を下回っていることを確認する。この手法は先行審査(川内原子力発電所タービン建屋)でも認可実績のある手法であることから、手法自体に技術的な論点はないものと考えられる。</p>	<p>2.5.3 各部材のクライテリアについて</p> <p>入力地震動の増大に伴い鉄骨部材の一部が塑性域に入ると考えられることから、今回工認においては、弾塑性解析による評価を実施する。</p> <p>第2.5-2表に各部材のクライテリアを示す。</p> <p>評価方法としては、主要部材が弾性範囲であることを確認する方針とし、弾性範囲を上回る応答が生じた場合は別途詳細な検討^{※1}を行う。</p> <p>※1 弾塑性特性を考慮してモデル化している部材については、各部材の累積塑性変形倍率を整理した上で、累積塑性変形倍率が最も大きい部材について、破断の可能性がないことを検討する。検討は、当該部材の履歴ループを参照し、局部集中ひずみの繰返し回数が、中込ほか(1995)^[4]に基づき算定される。当該部材の最大ひずみ度に対する破断寿命(繰返し回数)を十分に下回っていることを確認する。この手法は先行審査(川内原子力発電所タービン建屋)でも認可実績のある手法であることから、手法自体に技術的な論点はないものと考えられる。</p>	<p>2.5.3 各部材のクライテリアについて</p> <p>入力地震動の増大に伴い鉄骨部材の一部が塑性領域に入ると考えられることから、今回工認においては、弾塑性解析による評価を実施する。</p> <p>第2.5.3-1表に各部材のクライテリアを示す。</p> <p>評価方法としては、<u>主要部材が弾性範囲であることを確認する方針とし、弾性範囲を上回る応答が生じた場合は別途詳細な検討^{※1}を行う。</u></p> <p>注1：弾塑性特性を考慮してモデル化している部材については、各部材の累積塑性変形倍率を整理した上で、累積塑性変形倍率が最も大きい部材について破断の可能性がないことを検討する。検討は、当該部材の履歴ループを参照し、局部集中ひずみの繰返し回数が、中込ほか(1995)^[4]に基づき算定される当該部材の最大ひずみ度に対する破断寿命(繰返し回数)を十分に下回っていることを確認する。この手法は先行審査(川内原子力発電所タービン建屋)でも認可実績のある手法であることから、手法自体に技術的な論点はないものと考えられる。</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・評価方針の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉は主要部材が弾性範囲内であることを基本とするため相違 ・同上

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																	
<p>第2.4.2表 今回工認における屋根トラス各部材のクライテリア</p> <table border="1" data-bbox="181 310 902 709"> <thead> <tr> <th>評価部位</th> <th>評価方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">主トラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="4">弾性範囲内であることを確認</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">サブトラス</td> <td>上弦材</td> <td>弾性範囲内であることを確認</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> <td rowspan="3">破断しないことを確認</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">水平 ブレース</td> <td>屋根面 水平ブレース</td> <td>弾性範囲内であることを確認</td> </tr> <tr> <td>下弦面 水平ブレース</td> <td>破断しないことを確認</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	評価部位	評価方法	主トラス	上弦材	弾性範囲内であることを確認	下弦材	斜材	束材	サブトラス	上弦材	弾性範囲内であることを確認	下弦材	破断しないことを確認	斜材	束材	水平 ブレース	屋根面 水平ブレース	弾性範囲内であることを確認	下弦面 水平ブレース	破断しないことを確認			<p>第2.5-2表 今回工認における屋根トラス各部材のクライテリア</p> <table border="1" data-bbox="973 296 1703 858"> <thead> <tr> <th>評価部位</th> <th>要求機能^{※1}</th> <th>弾塑性特性</th> <th>評価方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">主トラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="4">鉛直荷重の支持, フレームを構成する部材として水平地震荷重, クレーン荷重の支持</td> <td rowspan="4">考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">サブトラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="4">鉛直荷重の支持</td> <td rowspan="4">考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td>母屋</td> <td>鉛直荷重の支持</td> <td>考慮しない(弾性)</td> <td rowspan="4">主要部材が弾性範囲であることを確認^{※2} (弾性範囲を上回る場合は別途詳細検討)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">水平 ブレース</td> <td>上弦面</td> <td rowspan="2">弾塑性(修正若林モデル)</td> </tr> <tr> <td>下弦面</td> </tr> <tr> <td></td> <td>— (水平ブレースは建設時には仮設材であるが、今回工認においては本設材として評価する)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>※1 主な機能を示しており基準地震動 S_s に対する発生応力の負担も考慮する。</p> <p>※2 鋼材の基準強度 1.1 倍を超えないこと。</p>	評価部位	要求機能 ^{※1}	弾塑性特性	評価方法	主トラス	上弦材	鉛直荷重の支持, フレームを構成する部材として水平地震荷重, クレーン荷重の支持	考慮しない(弾性)	下弦材	斜材	束材	サブトラス	上弦材	鉛直荷重の支持	考慮しない(弾性)	下弦材	斜材	束材	母屋	鉛直荷重の支持	考慮しない(弾性)	主要部材が弾性範囲であることを確認 ^{※2} (弾性範囲を上回る場合は別途詳細検討)	水平 ブレース	上弦面	弾塑性(修正若林モデル)	下弦面		— (水平ブレースは建設時には仮設材であるが、今回工認においては本設材として評価する)		<p>第2.5.3-1表 今回工認における屋根トラス各部材のクライテリア</p> <p style="text-align: center;">ア</p> <table border="1" data-bbox="1754 331 2504 835"> <thead> <tr> <th>評価部位</th> <th>要求機能^{※1}</th> <th>弾塑性特性</th> <th>評価方法^{※3}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">主トラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="4">鉛直荷重の支持, フレームを構成する部材として水平地震荷重, クレーン荷重の支持</td> <td rowspan="4">考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> </tr> <tr> <td>束材</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">サブトラス</td> <td>上弦材</td> <td rowspan="3">鉛直荷重の支持</td> <td rowspan="3">考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> </tr> <tr> <td>母屋</td> <td>鉛直荷重の支持</td> <td>考慮しない(弾性)</td> <td rowspan="4">主要部材が弾性範囲であることを確認^{※2} (弾性範囲を上回る場合は別途詳細検討)</td> </tr> <tr> <td>サブビーム</td> <td>鉛直荷重の支持</td> <td>考慮しない(弾性)</td> </tr> <tr> <td>水平ブレース</td> <td>水平地震荷重の伝達</td> <td>弾塑性(修正若林モデル)</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>注1：主な機能を示しており基準地震動 S_s に対する発生応力の負担も考慮する。</p> <p>注2：「RC-N 規準」の短期許容応力度の鋼材の基準強度 F を「技術基準解説書」に基づき 1.1 倍した耐力を超えないこと。</p> <p>注3：接合部はボルト接合としており、保有耐力接合を基本とする。</p>	評価部位	要求機能 ^{※1}	弾塑性特性	評価方法 ^{※3}	主トラス	上弦材	鉛直荷重の支持, フレームを構成する部材として水平地震荷重, クレーン荷重の支持	考慮しない(弾性)	下弦材	斜材	束材	サブトラス	上弦材	鉛直荷重の支持	考慮しない(弾性)	下弦材	斜材	母屋	鉛直荷重の支持	考慮しない(弾性)	主要部材が弾性範囲であることを確認 ^{※2} (弾性範囲を上回る場合は別途詳細検討)	サブビーム	鉛直荷重の支持	考慮しない(弾性)	水平ブレース	水平地震荷重の伝達	弾塑性(修正若林モデル)				<p>・構造・仕様の相違及び評価方針の相違</p> <p>【柏崎 6/7, 女川 2】</p> <p>島根 2 号炉は下弦面に水平ブレースが無いため相違</p> <p>島根 2 号炉はサブビームについて記載</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2 号炉は母屋をモデル化するため相違</p> <p>島根 2 号炉は主要部材が弾性範囲内であることを基本とするため相違</p> <p>【女川 2】</p> <p>島根 2 号炉は水平ブレースについて、建設工認時より地震水平力の伝達を担う構造部材であることを踏まえ、要求機能を記載</p>
評価部位	評価方法																																																																																			
主トラス	上弦材	弾性範囲内であることを確認																																																																																		
	下弦材																																																																																			
	斜材																																																																																			
	束材																																																																																			
サブトラス	上弦材	弾性範囲内であることを確認																																																																																		
	下弦材	破断しないことを確認																																																																																		
	斜材																																																																																			
	束材																																																																																			
水平 ブレース	屋根面 水平ブレース	弾性範囲内であることを確認																																																																																		
	下弦面 水平ブレース	破断しないことを確認																																																																																		
評価部位	要求機能 ^{※1}	弾塑性特性	評価方法																																																																																	
主トラス	上弦材	鉛直荷重の支持, フレームを構成する部材として水平地震荷重, クレーン荷重の支持	考慮しない(弾性)																																																																																	
	下弦材																																																																																			
	斜材																																																																																			
	束材																																																																																			
サブトラス	上弦材	鉛直荷重の支持	考慮しない(弾性)																																																																																	
	下弦材																																																																																			
	斜材																																																																																			
	束材																																																																																			
母屋	鉛直荷重の支持	考慮しない(弾性)	主要部材が弾性範囲であることを確認 ^{※2} (弾性範囲を上回る場合は別途詳細検討)																																																																																	
水平 ブレース	上弦面	弾塑性(修正若林モデル)																																																																																		
	下弦面																																																																																			
	— (水平ブレースは建設時には仮設材であるが、今回工認においては本設材として評価する)																																																																																			
評価部位	要求機能 ^{※1}	弾塑性特性	評価方法 ^{※3}																																																																																	
主トラス	上弦材	鉛直荷重の支持, フレームを構成する部材として水平地震荷重, クレーン荷重の支持	考慮しない(弾性)																																																																																	
	下弦材																																																																																			
	斜材																																																																																			
	束材																																																																																			
サブトラス	上弦材	鉛直荷重の支持	考慮しない(弾性)																																																																																	
	下弦材																																																																																			
	斜材																																																																																			
母屋	鉛直荷重の支持	考慮しない(弾性)	主要部材が弾性範囲であることを確認 ^{※2} (弾性範囲を上回る場合は別途詳細検討)																																																																																	
サブビーム	鉛直荷重の支持	考慮しない(弾性)																																																																																		
水平ブレース	水平地震荷重の伝達	弾塑性(修正若林モデル)																																																																																		

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2.5 原子炉建屋屋根トラスの評価に関するまとめ</p> <p>今回工認では、原子炉建屋屋根トラスの評価に当たって、3次元フレームモデルによる弾塑性解析（弾塑性特性としては修正若林モデルを考慮）を採用する予定である。修正若林モデルは先行審査で採用実績のある弾塑性特性であるが、X型ブレースを対象として検討されたものであったため、本検討においては、修正若林モデルの原子炉建屋屋根トラスへの適用性を検討する必要があると判断した。既往文献（原子炉建屋鉄骨屋根トラスを模擬した加力実験のシミュレーション解析）を参照し、その適用性・妥当性が検証されていることを確認した。また、弾塑性特性を考慮する部材のクライテリアについても検討し、妥当性を確認した。</p> <p>以上より、今回工認において原子炉建屋屋根トラスの評価に弾塑性解析を採用することは妥当であると考ええる。</p> <p>なお、原子炉建屋屋根トラスは、原子炉建屋の地震応答解析結果に基づく燃料取替床レベルの応答を入力動として評価を実施しており、<u>入力動の不確かさ（建屋応答の不確かさ）をふまえた場合でも許容値を満足することを確認することにより保守性に配慮した設計とする予定である。</u></p>	<p>2.6 原子炉建屋屋根トラスの評価に関するまとめ</p> <p>今回工認では、原子炉建屋屋根トラスの評価に当たって、3次元フレームモデルによる弾塑性解析（弾塑性特性としては修正若林モデルを考慮）を採用する予定である。修正若林モデルは先行審査で採用実績のある弾塑性特性であるが、X型ブレースを対象として検討されたものであったため、既往文献（原子炉建屋鉄骨屋根トラスを模擬した加力実験のシミュレーション解析）を参照し、その適用性・妥当性が検証されていることを確認した。また、屋根スラブの要求機能と評価方針を踏まえ、弾塑性特性を考慮する鉄骨部材のクライテリアについて整理した。</p> <p>以上より、今回工認において原子炉建屋屋根トラスの評価に弾塑性解析を採用することは妥当であると考ええる。また、<u>弾塑性解析の結果を踏まえ、屋根トラスの評価及び屋根スラブの検討により、屋根スラブの二次格納施設としての機能維持の評価方針を整理した。</u></p> <p>なお、原子炉建屋屋根トラスは、原子炉建屋の地震応答解析結果に基づく燃料取替床（<u>地上3階</u>）レベルの応答を入力地震動として評価を実施しており、<u>入力地震動の不確かさ（建屋応答の不確かさ）を踏まえた場合でも許容値を満足することを確認することにより保守性に配慮した設計とする予定である。</u></p>	<p>2.6 原子炉建物屋根トラスの評価に関するまとめ</p> <p>今回工認では、原子炉建物屋根トラスの評価に当たって、3次元フレームモデルによる弾塑性解析（弾塑性特性としては修正若林モデルを考慮）を採用する予定である。修正若林モデルは先行審査で採用実績のある弾塑性特性であるが、X型ブレースを対象として検討されたものであったため、<u>本検討においては、修正若林モデルの原子炉建物屋根トラスへの適用性を検討する必要があると判断した。</u>既往文献（原子炉建物鉄骨屋根トラスを模擬した加力実験のシミュレーション解析）を参照し、その適用性・妥当性が検証されていることを確認した。また、<u>屋根スラブの要求機能と評価方針を踏まえ、弾塑性特性を考慮する部材のクライテリアについても検討し、妥当性を確認した。</u></p> <p>以上より、今回工認において原子炉建物屋根トラスの評価に弾塑性解析を採用することは妥当であると考ええる。また、<u>弾塑性特性を採用した屋根トラスの評価及び屋根スラブの検討により、屋根スラブの二次格納施設としての機能維持の評価方針を整理した。</u></p> <p>なお、原子炉建物屋根トラスは、原子炉建物の地震応答解析結果に基づく燃料取替床レベルの応答を入力地震動として評価を実施しており、<u>入力地震動の不確かさ（建物応答の不確かさ）を踏まえた場合でも許容値を満足することを確認することにより保守性に配慮した設計とする予定である。</u></p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>3. 主排気筒について</p> <p>3.1 主排気筒の概要</p> <p>主排気筒は、原子炉建屋の屋上 (T.M.S.L. 38.2m) に位置し、内径 2.4m の鋼板製筒身 (換気空調系用排気筒) を鋼管四角形鉄塔 (制震装置付) で支えた鉄塔支持形主排気筒である。また、筒身内部には、耐震 S クラス設備である非常用ガス処理系用排気筒が筒身に支持されている。主排気筒の概要を第 3.1.1 図及び第 3.1.2 図に示す。第 3.1.1 表に主排気筒部材の諸元を示す。</p> <p style="text-align: center;">主排気筒モデル化範囲</p>  <p style="text-align: center;">第 3.1.1 図 主排気筒の概要 (その 1)</p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>



第 3.1.2 図 主排気筒の概要 (その 2)

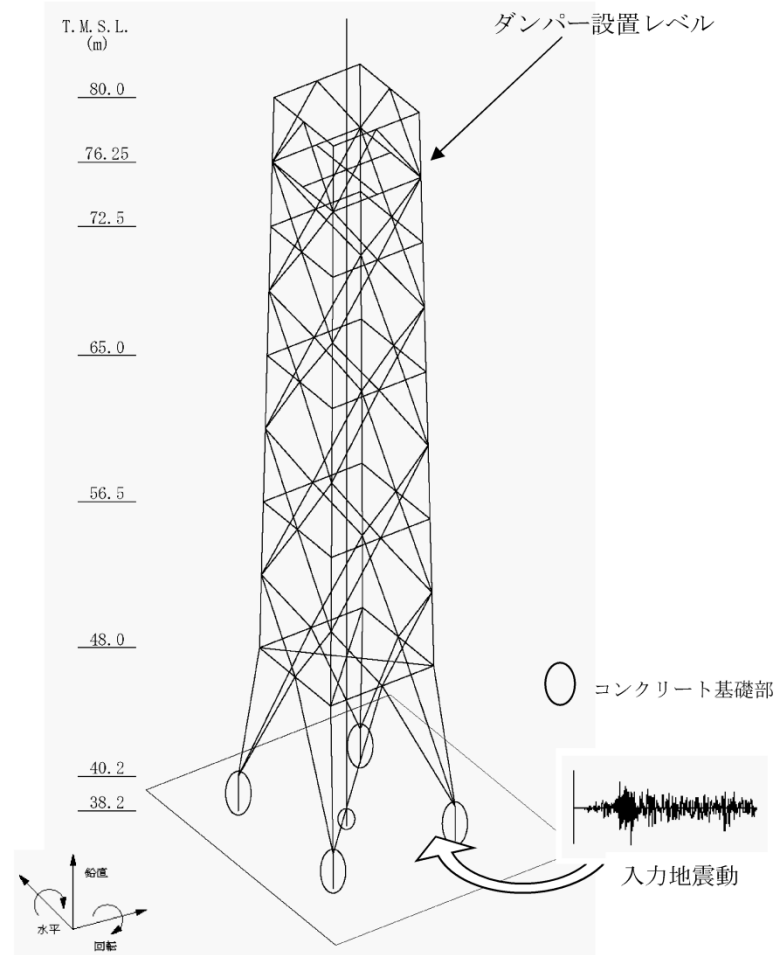
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
島根 2号炉の排気筒は
既工認から変更なしの
ため相違

第3.1.1表 主排気筒の部材諸元一覧

部位	部材間	寸法 (mm)
支柱材	B-C	318.5φ×6
	C-D	406.4φ×6.4
	D-E	508.0φ×7.9
	E-F	609.6φ×16
	F-G	711.2φ×19
斜材	B-C	216.3φ×4.5
	C-D	267.4φ×6
	D-E	355.6φ×7.9
	E-F	406.4φ×12.7
	F-G	558.8φ×16
水平材	B	216.3φ×4.5
	C	216.3φ×4.5
	D	318.5φ×6
	E	318.5φ×6
	F	406.4φ×6.4
筒身部	A-B	2412φ×6
	B-C	2412φ×6
	C-D	2412φ×6
	D-E	2416φ×8
	E-F	2416φ×8
	F-G	2424φ×12

・対象施設の相違
【柏崎6/7】
 島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>3.2 主排気筒の地震応答解析モデル</u></p> <p><u>主排気筒は塔状構造物であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力の影響を受ける可能性があることから、3次元モデルによる地震応答解析を実施する。</u></p> <p><u>主排気筒の地震応答解析モデルは、屋上 (T.M.S.L.38.2m) より上部を立体的にモデル化した立体架構モデルとし、部材に発生する応力を地震応答解析によって直接評価できるモデルとしている。解析モデルの概要を第3.2.1図に、解析に用いる材料の物性値を第3.2.1表に示す。</u></p> <p><u>モデルの作成に当たっては、主排気筒を構成する全ての構造部材をモデル化することを基本方針とする。構成部材のうち、筒身、鉄塔部の支柱及び鉄骨鉄筋コンクリート造の基礎部については軸、曲げ変形を考慮した梁要素として、鉄塔斜材、水平材についてはトラス要素としてモデル化する。なお、全部材が基準地震動Ssに対して弾性範囲内となるように設計する方針であることから、弾塑性特性は考慮していない。</u></p> <p><u>制振装置 (オイルダンパー) の概要を第3.2.2図に、諸元を第3.2.2表に示す。オイルダンパーは、地震応答解析より求まる速度及び変位が許容値※の範囲内であることを確認することにより、その適用性を確認することとする。第3.2.3表に基準地震動Ssによる応答 (暫定条件に基づく試算値) を用いた確認結果を示す。ダンパーの最大応答は、許容値を下回っており、基準地震動Ssレベルの入力に対しても適用可能であることが確認できる。</u></p> <p><u>解析モデルへの入力は、原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる屋上レベル (T.M.S.L.38.2m) における応答結果 (水平、鉛直及び回転成分) を用いることとし、主排気筒の基礎位置を固定として同時入力による地震応答解析を実施する。</u></p> <p><u>また、地震応答解析における減衰評価は、剛性比例型減衰を用いており、水平方向の応答が主排気筒の応答性状に支配的であることを踏まえて、水平方向 (NS方向) の鉄塔の1次固有周期 (3.69Hz) に対して減衰定数がh=2%となる減衰を与えることとしている。</u></p> <p><u>※設計時に定めた許容値であり、既工認の耐震計算書においても同じ許容値を用いてダンパーの適用性を確認している。</u></p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>

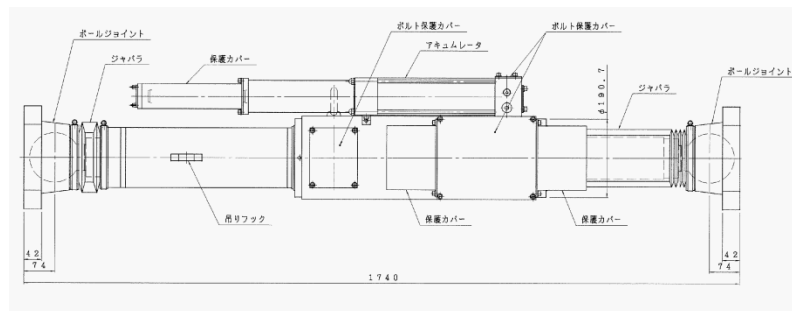
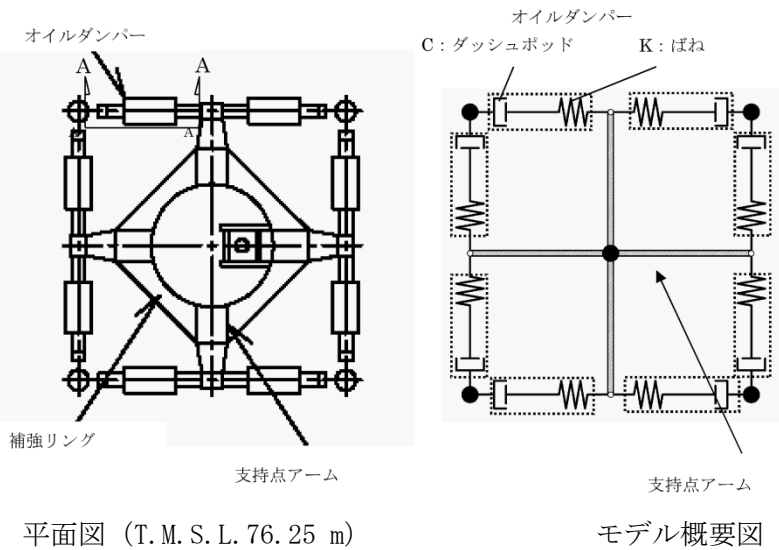


第 3.2.1 図 主排気筒の地震応答解析モデルの概要

第 3.2.1 表 解析に用いる材料定数

部位	材料	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数
鉄塔, 筒身	鉄骨	2.05×10 ⁵	0.3	0.02
基礎	コンクリート	2.88×10 ⁴	0.2	0.05

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
 島根 2号炉の排気筒は
 既工認から変更なしの
 ため相違



A-A オイルダンパー詳細図 (単位: mm)

第 3. 2. 2 図 オイルダンパーの概要

第 3. 2. 2 表 オイルダンパー諸元

重量	6.0	(kN/台)
ばね定数	$K=0.3 \times 10^8$	(N/m)
減衰係数	$C=1.2 \times 10^5$	(N · s/m)

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
島根 2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違

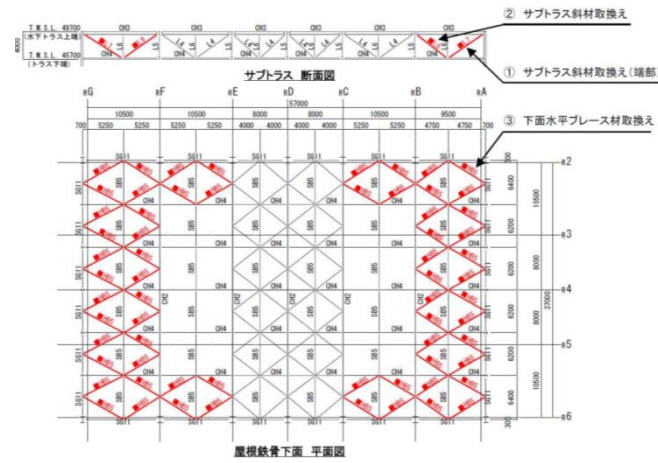
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考									
<p data-bbox="320 254 771 283">第3.2.3表 オイルダンパーの適用性</p> <table border="1" data-bbox="216 310 881 560"> <thead> <tr> <th data-bbox="216 310 403 411"></th> <th data-bbox="403 310 617 411">Ss 最大応答値 (暫定値)</th> <th data-bbox="617 310 881 411">許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="216 411 403 464">速度(m/s)</td> <td data-bbox="403 411 617 464">1.88</td> <td data-bbox="617 411 881 464">2.60</td> </tr> <tr> <td data-bbox="216 464 403 560">変位 (mm)</td> <td data-bbox="403 464 617 560">131</td> <td data-bbox="617 464 881 560">175</td> </tr> </tbody> </table>		Ss 最大応答値 (暫定値)	許容値	速度(m/s)	1.88	2.60	変位 (mm)	131	175			<p data-bbox="2546 254 2822 457">・対象施設の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉の排気筒は 既工認から変更なしの ため相違</p>
	Ss 最大応答値 (暫定値)	許容値										
速度(m/s)	1.88	2.60										
変位 (mm)	131	175										

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>3.3 既工認と今回工認における主排気筒の解析モデルの比較</u></p> <p><u>主排気筒の解析モデルについて、既工認で採用した解析モデルと今回工認で採用する予定の解析モデルとの差異を整理する。新潟県中越沖地震後に実施した主排気筒の耐震補強工事に係る工事計画（以下、「改造工認」という。）における主排気筒の解析モデルと今回工認で採用予定の解析モデルの比較表を第3.3.1表に示す。</u></p> <p><u>第3.3.1表のうち、要素分割及び地震荷重、解析コードの差異については、解析手法を変更したことに伴う変更である。また、既工認では、鉄塔部と筒身部を質点系でモデル化して地震応答解析（水平）を実施し、地震荷重を算定している。筒身部の評価は地震応答解析結果から求まる応力及び静的な鉛直荷重を用いた構造検討を実施し、鉄塔部については地震応答解析結果から求まる地震荷重及び静的な鉛直荷重を3次元フレームモデルに入力することにより構造検討を実施している。今回工認では、3次元フレームモデルによる時刻歴応力解析（水平及び鉛直）を実施し、鉄塔部の各部材も含めて時刻歴解析で直接応力を算定することにより構造検討を実施する方針である。3次元フレームモデルによる時刻歴応力解析は先行審査（高浜3号炉燃料取扱建屋等）でも適用されている手法である。</u></p> <p><u>また、コンクリートのヤング係数及びポアソン比については、別資料（「別紙-1 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化について」の「別紙1-1 建屋の地震応答解析におけるコンクリート実剛性の採用について」）にて考察しているため、ここでは差異として取り上げないこととする。</u></p> <p><u>以上を踏まえると、既工認と今回工認における解析モデルの主要な論点となる項目はないと考えられる。</u></p> <p><u>3.4 主排気筒の評価のまとめ</u></p> <p><u>柏崎刈羽原子力発電所第6号及び7号炉の主排気筒について、既工認と今回工認における解析モデル及び解析手法を比較し、差異を抽出した結果、先行電力を含む既工認で採用実績がある手法であり、主要な論点となる項目はないことを確認した。</u></p> <p><u>なお、主排気筒は、原子炉建屋の地震応答解析結果に基づく屋上レベルの応答を入力動として評価を実施しており、入力動の不</u></p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>

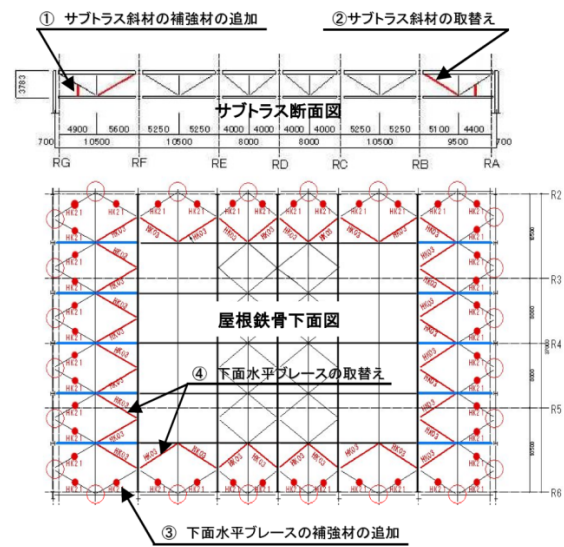
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																								
<p><u>確かさ(建屋応答の不確かさ)をふまえた場合でも許容値を満足することを確認することにより保守性に配慮した設計とする予定である。</u></p> <p>第3.3.1表 主排気筒の解析モデルの比較</p> <table border="1" data-bbox="181 520 896 1528"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>既工認(改造工認)</th> <th>今回工認</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>解析手法</td> <td>・地震応答解析(弾性解析) ・静的応力解析(弾性解析)</td> <td>・時刻歴応力解析(弾性解析)</td> </tr> <tr> <td>解析コード</td> <td>・DYNA2E(地震応答解析) ・NASTRAN(静的応力解析)</td> <td>・DYNA2E</td> </tr> <tr> <td>モデル化</td> <td>・質点系モデル(地震応答解析) ・3次元フレームモデル(静的応力解析)</td> <td>・3次元フレームモデル</td> </tr> <tr> <td>要素分割</td> <td>【地震応答解析】 ・鉄塔部・筒身部を質点系でモデル化、ダンパー部はダッシュボット要素とバネ要素でモデル化 【応力解析】 梁要素：鉄塔部(主柱材) トラス要素：鉄塔部(水平材、斜材)</td> <td>梁要素：鉄塔部(主柱材)、筒身部、基礎部 トラス要素：鉄塔部(水平材、斜材) ダッシュボット要素、ばね要素：ダンパー</td> </tr> <tr> <td>材料物性</td> <td>・鋼材のヤング係数： $E=2.05 \times 10^4 (N/mm^2)$ ・鉄骨のポアソン比：0.3</td> <td>・鉄骨のヤング係数： $E=2.05 \times 10^4 (N/mm^2)$ ・鉄骨のポアソン比：0.3 ・コンクリートのヤング係数 $E=2.88 \times 10^4 kN/mm^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$</td> </tr> <tr> <td>評価方法</td> <td>・S₁地震及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認</td> <td>・S₈地震に対し、発生応力が許容限界を超えないことを確認</td> </tr> <tr> <td>地震荷重</td> <td>【地震応答解析】 ・水平：モデル脚部に質点系モデルの地震応答解析による水平方向の動的応答を入力 ・鉛直：実施せず 【応力解析】 ・水平：地震応答解析から求まる地震荷重を入力 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力</td> <td>・水平及び鉛直： モデル脚部に質点系モデルの地震応答解析による水平及び鉛直方向の動的応答を同時入力</td> </tr> </tbody> </table>	項目	既工認(改造工認)	今回工認	解析手法	・地震応答解析(弾性解析) ・静的応力解析(弾性解析)	・時刻歴応力解析(弾性解析)	解析コード	・DYNA2E(地震応答解析) ・NASTRAN(静的応力解析)	・DYNA2E	モデル化	・質点系モデル(地震応答解析) ・3次元フレームモデル(静的応力解析)	・3次元フレームモデル	要素分割	【地震応答解析】 ・鉄塔部・筒身部を質点系でモデル化、ダンパー部はダッシュボット要素とバネ要素でモデル化 【応力解析】 梁要素：鉄塔部(主柱材) トラス要素：鉄塔部(水平材、斜材)	梁要素：鉄塔部(主柱材)、筒身部、基礎部 トラス要素：鉄塔部(水平材、斜材) ダッシュボット要素、ばね要素：ダンパー	材料物性	・鋼材のヤング係数： $E=2.05 \times 10^4 (N/mm^2)$ ・鉄骨のポアソン比：0.3	・鉄骨のヤング係数： $E=2.05 \times 10^4 (N/mm^2)$ ・鉄骨のポアソン比：0.3 ・コンクリートのヤング係数 $E=2.88 \times 10^4 kN/mm^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$	評価方法	・S ₁ 地震及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認	・S ₈ 地震に対し、発生応力が許容限界を超えないことを確認	地震荷重	【地震応答解析】 ・水平：モデル脚部に質点系モデルの地震応答解析による水平方向の動的応答を入力 ・鉛直：実施せず 【応力解析】 ・水平：地震応答解析から求まる地震荷重を入力 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力	・水平及び鉛直： モデル脚部に質点系モデルの地震応答解析による水平及び鉛直方向の動的応答を同時入力	<p>3. まとめ</p> <p>2号炉原子炉建屋の屋根トラスについて、既工認と今回工認における解析モデル及び解析手法を比較した。その結果、既工認と差異が認められる部分についてはその妥当性・適用性について検討を行い、今回工認で使用する解析モデルとして妥当であることを確認した。</p>	<p>3. まとめ</p> <p>島根原子力発電所2号炉原子炉建物の屋根トラスについて、既工認と今回工認における解析モデル及び解析手法を比較した。その結果、既工認と差異が認められる部分についてはその妥当性・適用性について検討を行い、今回工認で使用する解析モデルとして妥当であることを確認した。</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違 ・同上</p>
項目	既工認(改造工認)	今回工認																									
解析手法	・地震応答解析(弾性解析) ・静的応力解析(弾性解析)	・時刻歴応力解析(弾性解析)																									
解析コード	・DYNA2E(地震応答解析) ・NASTRAN(静的応力解析)	・DYNA2E																									
モデル化	・質点系モデル(地震応答解析) ・3次元フレームモデル(静的応力解析)	・3次元フレームモデル																									
要素分割	【地震応答解析】 ・鉄塔部・筒身部を質点系でモデル化、ダンパー部はダッシュボット要素とバネ要素でモデル化 【応力解析】 梁要素：鉄塔部(主柱材) トラス要素：鉄塔部(水平材、斜材)	梁要素：鉄塔部(主柱材)、筒身部、基礎部 トラス要素：鉄塔部(水平材、斜材) ダッシュボット要素、ばね要素：ダンパー																									
材料物性	・鋼材のヤング係数： $E=2.05 \times 10^4 (N/mm^2)$ ・鉄骨のポアソン比：0.3	・鉄骨のヤング係数： $E=2.05 \times 10^4 (N/mm^2)$ ・鉄骨のポアソン比：0.3 ・コンクリートのヤング係数 $E=2.88 \times 10^4 kN/mm^2$ ・コンクリートのポアソン比 $\nu=0.2$																									
評価方法	・S ₁ 地震及び静的地震力に対して発生応力が許容限界を超えないことを確認	・S ₈ 地震に対し、発生応力が許容限界を超えないことを確認																									
地震荷重	【地震応答解析】 ・水平：モデル脚部に質点系モデルの地震応答解析による水平方向の動的応答を入力 ・鉛直：実施せず 【応力解析】 ・水平：地震応答解析から求まる地震荷重を入力 ・鉛直：静的震度を鉛直力として入力	・水平及び鉛直： モデル脚部に質点系モデルの地震応答解析による水平及び鉛直方向の動的応答を同時入力																									
<p>4. まとめ</p> <p>柏崎刈羽原子力発電所第6号及び7号炉の原子炉建屋屋根トラス及び主排気筒について、既工認と今回工認における解析モデル及び解析手法を比較した。その結果、既工認と差異が認められる部分についてはその妥当性・適用性について検討を行い、今回工認で使用する解析モデルとして妥当であることを確認した。</p>	<p>3. まとめ</p> <p>2号炉原子炉建屋の屋根トラスについて、既工認と今回工認における解析モデル及び解析手法を比較した。その結果、既工認と差異が認められる部分についてはその妥当性・適用性について検討を行い、今回工認で使用する解析モデルとして妥当であることを確認した。</p>	<p>3. まとめ</p> <p>島根原子力発電所2号炉原子炉建物の屋根トラスについて、既工認と今回工認における解析モデル及び解析手法を比較した。その結果、既工認と差異が認められる部分についてはその妥当性・適用性について検討を行い、今回工認で使用する解析モデルとして妥当であることを確認した。</p>	<p>・同上</p>																								

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>【参考文献】</u></p> <p>[1] 谷口ほか：鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol. 37B 号，1991 年 3 月，pp303-316</p> <p>[2] 柴田ほか：鉄骨筋違の履歴特性の定式化，日本建築学会構造工学論文集第 316 号，昭和 57 年 6 月，pp18-24</p> <p>[3] 鈴木ほか：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 Vol. 76 No. 661，2011 年 3 月，P571-580</p> <p>[4] 中込ほか（1995）：繰返し力を受ける SM490 鋼の疲労性に関する研究 日本建築学会構造系論文集 No. 469, 127-136, 1995.3</p>	<p><u>【参考文献】</u></p> <p>[1] 谷口ほか：鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol. 37B 号，1991 年 3 月，pp303-316</p> <p>[2] 柴田ほか：鉄骨筋違の履歴特性の定式化，日本建築学会構造系論文集第 316 号，昭和 57 年 6 月，pp18-24</p> <p>[3] 鈴木ほか：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 Vol. 76No. 661, 2011 年 3 月，P571-580</p> <p>[4] 中込ほか（1995）：繰返し力を受ける SM490 鋼の疲労性に関する研究 日本建築学会構造系論文集 No. 469, 127-136, 1995.3</p>	<p>4. 参考文献</p> <p>(1) 谷口ほか：鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol. 37B 号，1991 年 3 月，pp. 303-316</p> <p>(2) 柴田ほか：鉄骨筋違の履歴特性の定式化，日本建築学会論文報告集第 316 号，昭和 57 年 6 月，pp. 18-24</p> <p>(3) 鈴木ほか：原子力発電所鉄骨屋根トラスの終局限界に関する研究，日本建築学会構造系論文集 Vol. 76 No. 661，2011 年 3 月，pp. 571-580</p> <p>(4) 中込ほか（1995）：繰返し力を受ける SM490 鋼の疲労性に関する研究，日本建築学会構造系論文集 No. 469，1995 年 3 月，pp. 127-136</p>	

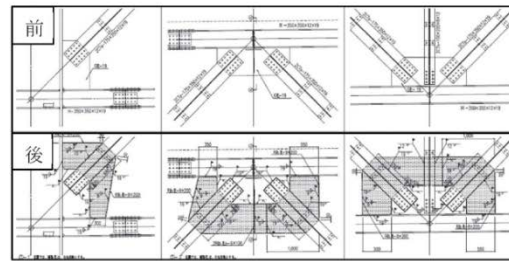
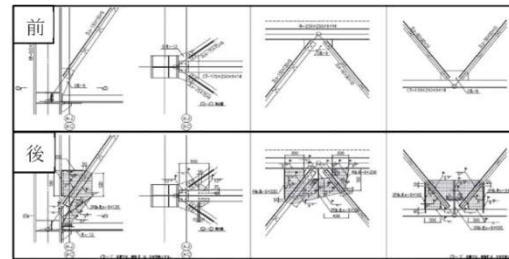
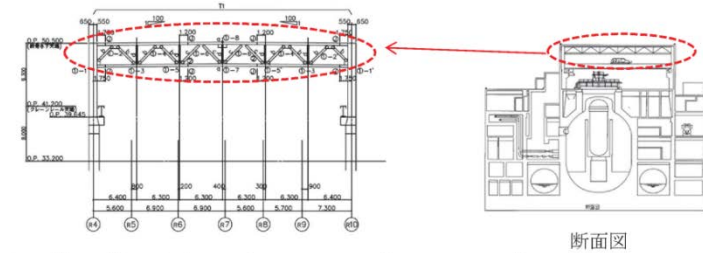
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7 号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2 号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2 号炉	備考
<p style="text-align: right;"><u>添付資料 1</u></p> <p style="text-align: center;">原子炉建屋屋根トラスの耐震補強について</p> <p>柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋屋根トラスについては耐震補強工事を実施しており、本資料では、当該工事における補強の内容について説明する。</p> <p>屋根トラスの補強については、<u>主トラスについては余裕があることが確認されたものの、それと直交するサブトラスの一部や下面水平ブレース等の余裕の少ない部材については、部材取替え及び補強材の追加による耐震補強工事を実施している。耐震補強の補強箇所を第 1 図に、補強部材の詳細を第 1 表に示す。</u></p>	<p style="text-align: right;"><u>別紙 13 参考資料 1</u></p> <p style="text-align: center;">原子炉建屋屋根トラスの特徴</p> <p><u>1. 原子炉建屋屋根トラスの特徴</u></p> <p>原子炉建屋屋根トラスについては、<u>3. 11 地震後に接合部の補強を実施している。補強状況を参考 1-1 図に示す。</u></p>	<p style="text-align: right;"><u>添付資料-1</u></p> <p style="text-align: center;">原子炉建物屋根トラスの耐震補強について</p> <p>島根原子力発電所 2 号炉の原子炉建物屋根トラスについては耐震補強工事を実施しており、本資料では、当該工事における補強の内容について説明する。</p> <p>屋根トラスの補強については、<u>主トラスやサブトラスの余裕の少ない部材に対して、補強材の追加等による耐震補強工事を実施している。耐震補強箇所を第 1-1 図に、補強部材の詳細を第 1-1 表に示す。</u></p>	<p>備考</p> <p>・補強内容の相違 【柏崎 6/7, 女川 2】 島根 2 号炉は主に、主トラス及びサブトラスに対して補強を実施しているため相違</p>



第1図 (a) 屋根トラスの補強箇所 (6号炉)

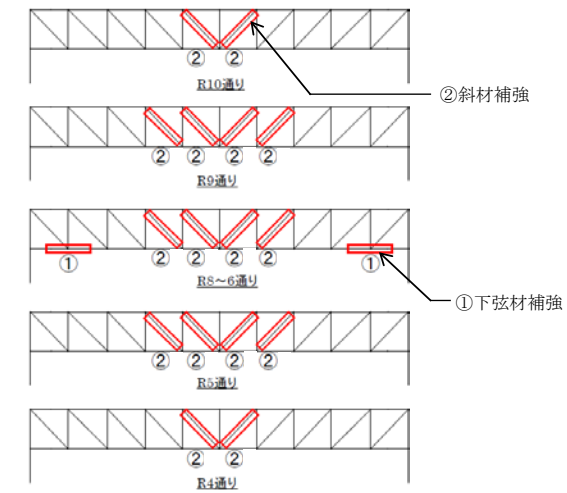


第1図 (b) 屋根トラスの補強箇所 (7号炉)

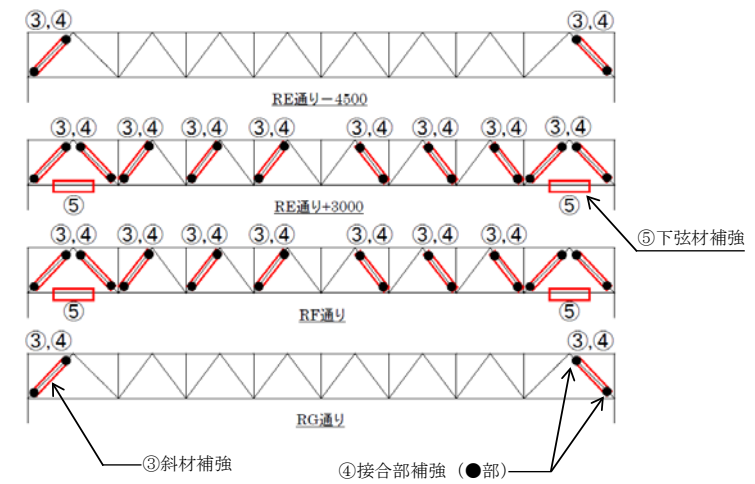


屋根トラス接合部の補強状況写真

参考1-1図 原子炉建屋屋根トラスの補強状況



主トラス断面図



サブトラス断面図

第1-1図 屋根トラスの補強箇所

・補強内容の相違
【柏崎6/7, 女川2】
 島根2号炉は主に、主トラス及びサブトラスに対して補強を実施しているため相違

第1表 (a) 補強部材の詳細 (6号炉)

No	箇所及び補強方法		
①	サブトラス斜材 取換え(端部)	補強前 2Ls-90×90×10 ↓ 補強後 2Ls-120×120×8	
②	サブトラス斜材 取換え	補強前 2Ls-90×90×10 ↓ 補強後 2Ls-130×130×9	
③	下面水平ブレース材 取換え	補強前 CT-150×300×10×15 ↓ 補強後 CT-175×350×12×19	

第1表 (b) 補強部材の詳細 (7号炉)

No.	箇所及び補強方法		
①	サブトラス斜材 補強材の追加	斜材 2Ls-90×90×10 補強材 L-75×75×6	
②	サブトラス斜材 取替え	補強前 2Ls-90×90×10 補強後 2Ls-130×130×9	
③	下面水平 ブレース材 補強材の追加	ブレース材 CT-150×300×10×15 補強材 [-150×75×6.5×10	
④	下面水平 ブレース材 取替え	補強前 CT-150×300×10×15 補強後 CT-175×350×12×19	

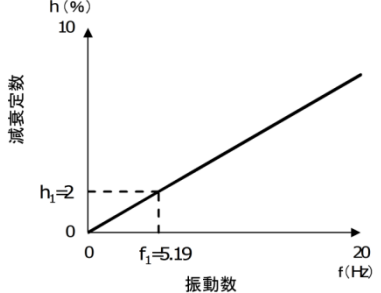
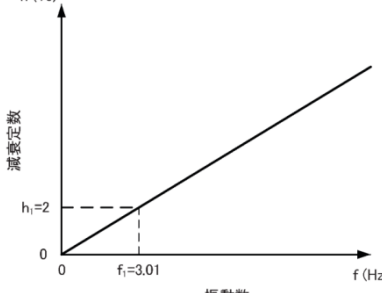
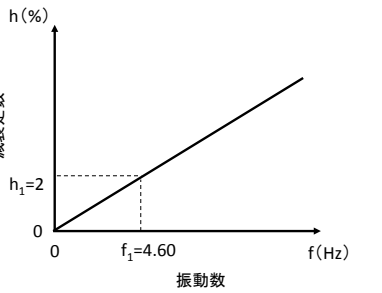
第1-1表 補強部材の詳細

No	箇所及び補強方法	
①	主トラス下弦材 補強材追加	 補強前 補強後 補強材 PL-16
②	主トラス斜材 補強材追加	 補強前 補強後 補強材 4Ls-90×90×10
③	サブトラス斜材 補強材追加	 補強前 補強後 補強材 4Ls-65×65×6
④	サブトラス斜材 接合部補強	 補強前 補強後 接合部補強 (PL-19, ボルト)
⑤	サブトラス下弦材 補強材追加	 補強前 補強後 補強材 2Cs-150x75x9x12.5

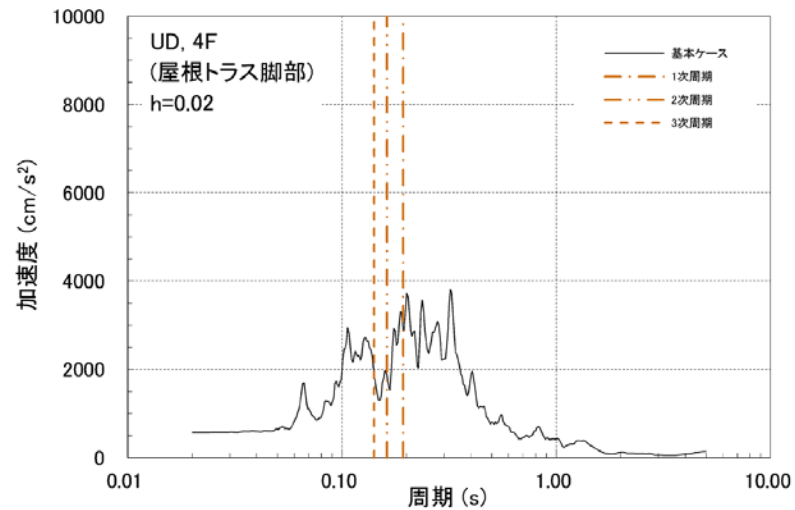
・補強内容の相違
【柏崎6/7, 女川2】
島根2号炉は主に、主トラス及びサブトラスに対して補強を実施しているため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																					
	<p style="text-align: right;">別紙13 参考資料2</p> <p style="text-align: center;"><u>原子炉建屋屋根トラスの地震時シミュレーション</u></p> <p>1. <u>屋根トラスの地震時シミュレーション</u></p> <p><u>2号炉原子炉建屋の屋根トラスのモデル化の妥当性を確認するために、地震観測記録を用いてシミュレーション解析を実施している。検討対象地震は、3.11地震の観測記録とし、燃料取替床（地上3階）の観測記録を入力地震動として、屋上の地震観測記録のシミュレーション解析を実施している。解析結果は別紙11 添付3-5に示す。</u></p> <p><u>屋上位置のシミュレーション解析と観測記録の加速度応答スペクトルを比較すると、各方向ともおおむね整合する結果となっている。</u></p> <p><u>このことから、オペフロ上部の耐震壁に対する補強工事（鉄骨ブレースの設置や鉄筋コンクリート壁の増設等）前において屋根トラスのモデルについては妥当と考えられる。</u></p> <p><u>なお、今回工認の屋根トラスの解析モデルにおいては、屋根トラスに対する保守性を考慮した設計的観点及び3.11地震後に実施した補強工事等を考慮して、参考2-1表に示す項目を、このシミュレーションモデルから変更している。</u></p> <p style="text-align: center;"><u>参考2-1表 シミュレーション解析モデルと今回工認モデルの比較</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 15%;">項目</th> <th style="width: 30%;">シミュレーション解析モデル</th> <th style="width: 45%;">今回工認モデル</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>目的</td> <td>地震観測記録の再現</td> <td>保守性を考慮した設計</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: mixed;">モデル化</td> <td>合成梁</td> <td>主トラス上弦材, サブトラス上弦材, 母屋, 外周鉄骨梁を合成梁として考慮</td> <td>考慮しない</td> </tr> <tr> <td>屋根面のシェル要素</td> <td>面内剛性, 面外剛性を考慮</td> <td>面内剛性のみ考慮</td> </tr> <tr> <td>オペフロ上部耐震補強工事</td> <td>工事前の状態（補強なし）</td> <td>工事後の追設部材をモデル化</td> </tr> <tr> <td>積載荷重</td> <td>実状を勘案し, 屋根面の積載荷重は考慮しない</td> <td>設計として屋根面の積載荷重を考慮</td> </tr> </tbody> </table>		項目	シミュレーション解析モデル	今回工認モデル		目的	地震観測記録の再現	保守性を考慮した設計	モデル化	合成梁	主トラス上弦材, サブトラス上弦材, 母屋, 外周鉄骨梁を合成梁として考慮	考慮しない	屋根面のシェル要素	面内剛性, 面外剛性を考慮	面内剛性のみ考慮	オペフロ上部耐震補強工事	工事前の状態（補強なし）	工事後の追設部材をモデル化	積載荷重	実状を勘案し, 屋根面の積載荷重は考慮しない	設計として屋根面の積載荷重を考慮		<p>・モデルの相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>
	項目	シミュレーション解析モデル	今回工認モデル																					
	目的	地震観測記録の再現	保守性を考慮した設計																					
モデル化	合成梁	主トラス上弦材, サブトラス上弦材, 母屋, 外周鉄骨梁を合成梁として考慮	考慮しない																					
	屋根面のシェル要素	面内剛性, 面外剛性を考慮	面内剛性のみ考慮																					
	オペフロ上部耐震補強工事	工事前の状態（補強なし）	工事後の追設部材をモデル化																					
	積載荷重	実状を勘案し, 屋根面の積載荷重は考慮しない	設計として屋根面の積載荷重を考慮																					

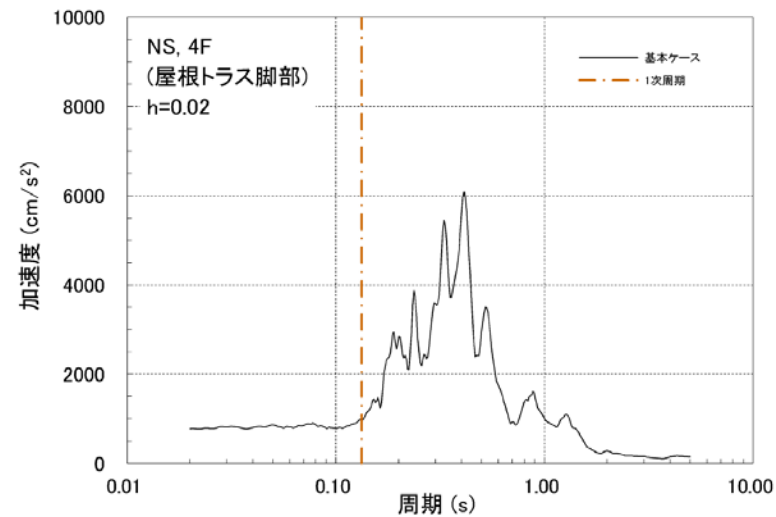
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																								
<p style="text-align: right;">参考資料1</p> <p style="text-align: center;">剛性比例型減衰の妥当性について</p> <p>1. はじめに 今回工認では、原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析における減衰評価について、鉄骨造の構造物に対して一般的に適用している剛性比例型としている。</p> <p>第1表に7号炉原子炉建屋屋根トラスの固有値解析結果を、第1図に剛性比例型減衰による減衰定数と振動数の関係を示す。</p> <p>鉄骨造の屋根トラスは、水平材として鉛直方向の挙動が卓越すると考えられるため、水平材の応答に影響の大きい鉛直方向1次固有振動数(5.19Hz)に対して減衰定数がh=2%となる剛性比例型減衰を与えている。第1図より、剛性比例型減衰の特徴として高次モードの減衰を大きくとることになるが、高次モードが屋根トラスの応答へ及ぼす影響は小さいため、剛性比例型減衰の採用が屋根トラスの応答へ与える影響は小さいと考える。</p> <p>以下では、振動数、周期に加えて、刺激係数、有効質量比についても高次モードまで確認し、剛性比例型減衰の設定の妥当性を検討する。</p> <p style="text-align: center;">第1表 固有値解析結果</p> <table border="1" data-bbox="284 1465 813 1749"> <thead> <tr> <th>次数</th> <th>振動数 (Hz)</th> <th>周期 (sec)</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5.19</td><td>0.193</td><td>鉛直方向1次</td></tr> <tr><td>2</td><td>6.16</td><td>0.162</td><td>鉛直方向2次</td></tr> <tr><td>3</td><td>7.07</td><td>0.141</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>7.51</td><td>0.133</td><td>NS方向1次</td></tr> <tr><td>5</td><td>8.10</td><td>0.123</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>9.22</td><td>0.108</td><td>EW方向1次</td></tr> </tbody> </table>	次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	備考	1	5.19	0.193	鉛直方向1次	2	6.16	0.162	鉛直方向2次	3	7.07	0.141		4	7.51	0.133	NS方向1次	5	8.10	0.123		6	9.22	0.108	EW方向1次	<p style="text-align: right;">別紙13 参考資料3</p> <p style="text-align: center;">剛性比例型減衰の妥当性について</p> <p>1. はじめに 今回工認では、原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析における減衰評価について、鉄骨造の構造物に対して一般的に適用している剛性比例型としている。</p> <p>参考3-1表に原子炉建屋屋根トラスの暫定の固有値解析結果を、参考3-1図に剛性比例型減衰による減衰定数と振動数の関係を示す。</p> <p>鉄骨造の屋根トラスは、水平材として鉛直方向の挙動が卓越すると考えられるため、水平材の応答に影響の大きい鉛直方向1次固有振動数(3.01Hz)に対して減衰定数がh=2%となる剛性比例型減衰を与えている。参考3-1図より、剛性比例型減衰の特徴として高次モードの減衰を大きくとることになるが、高次モードが屋根トラスの応答へ及ぼす影響は小さいため、剛性比例型減衰の採用が屋根トラスの応答へ与える影響は小さいと考える。</p> <p style="text-align: center;">参考3-1表 原子炉建屋屋根トラスの固有値解析結果</p> <table border="1" data-bbox="961 1465 1709 1711"> <thead> <tr> <th rowspan="2">次数</th> <th rowspan="2">固有振動数 (Hz)</th> <th rowspan="2">固有周期 (sec)</th> <th colspan="3">刺激係数</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>NS方向 (X)</th> <th>EW方向 (Y)</th> <th>鉛直方向 (Z)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3.01</td><td>0.332</td><td>0.036</td><td>0.008</td><td>2.272</td><td>鉛直方向1次</td></tr> <tr><td>46</td><td>5.19</td><td>0.193</td><td>-0.010</td><td>0.140</td><td>1.350</td><td>鉛直方向2次</td></tr> <tr><td>78</td><td>6.80</td><td>0.147</td><td>2.802</td><td>0.417</td><td>0.039</td><td>NS方向1次</td></tr> <tr><td>102</td><td>8.34</td><td>0.120</td><td>0.759</td><td>-7.982</td><td>0.320</td><td>EW方向1次</td></tr> </tbody> </table>	次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			備考	NS方向 (X)	EW方向 (Y)	鉛直方向 (Z)	1	3.01	0.332	0.036	0.008	2.272	鉛直方向1次	46	5.19	0.193	-0.010	0.140	1.350	鉛直方向2次	78	6.80	0.147	2.802	0.417	0.039	NS方向1次	102	8.34	0.120	0.759	-7.982	0.320	EW方向1次	<p style="text-align: right;">参考資料-1</p> <p style="text-align: center;">剛性比例型減衰の妥当性について</p> <p>1. はじめに 今回工認では、原子炉建物屋根トラスの地震応答解析における減衰評価について、鉄骨造の構造物に対して一般的に適用している剛性比例型としている⁽¹⁾⁽²⁾。</p> <p>第1-1表に原子炉建物屋根トラスの暫定の固有値解析結果を、第1-1図に剛性比例型減衰による減衰定数と振動数の関係を示す。</p> <p>鉄骨造の屋根トラスは、水平材として鉛直方向の挙動が卓越すると考えられるため、水平材の応答に影響の大きい鉛直方向1次固有振動数(4.60Hz)に対して減衰定数がh=2%となる剛性比例型減衰を与えている。第1-1図より、剛性比例型減衰の特徴として高次モードの減衰を大きくとることになるが、高次モードが屋根トラスの応答へ及ぼす影響は小さいため、剛性比例型減衰の採用が屋根トラスの応答へ与える影響は小さいと考える。</p> <p style="text-align: center;">第1-1表 原子炉建物屋根トラスの固有値解析結果</p> <table border="1" data-bbox="1745 1465 2510 1686"> <thead> <tr> <th rowspan="2">次数</th> <th rowspan="2">固有振動数 (Hz)</th> <th rowspan="2">固有周期 (秒)</th> <th colspan="3">刺激係数</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>NS方向 (Y)</th> <th>EW方向 (X)</th> <th>鉛直方向 (Z)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>4.60</td><td>0.217</td><td>0.085</td><td>-0.003</td><td>1.748</td><td>鉛直方向1次</td></tr> <tr><td>2</td><td>6.23</td><td>0.160</td><td>-0.004</td><td>-0.040</td><td>-0.001</td><td>鉛直方向2次</td></tr> <tr><td>3</td><td>7.87</td><td>0.127</td><td>-1.717</td><td>0.016</td><td>-0.002</td><td>NS方向1次</td></tr> <tr><td>4</td><td>8.12</td><td>0.123</td><td>-0.014</td><td>-1.988</td><td>0.006</td><td>EW方向1次</td></tr> </tbody> </table>	次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (秒)	刺激係数			備考	NS方向 (Y)	EW方向 (X)	鉛直方向 (Z)	1	4.60	0.217	0.085	-0.003	1.748	鉛直方向1次	2	6.23	0.160	-0.004	-0.040	-0.001	鉛直方向2次	3	7.87	0.127	-1.717	0.016	-0.002	NS方向1次	4	8.12	0.123	-0.014	-1.988	0.006	EW方向1次	<p style="text-align: center;">備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・モデルの相違 【柏崎6/7, 女川2】 解析モデルが異なるため、固有振動数が相違 ・影響検討の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉における高次モードの影響については詳細設計段階において、レイリー減衰等を用いて実施するため相違 ・モデルの相違 【柏崎6/7, 女川2】 解析モデルが異なるため、固有振動数が相違
次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	備考																																																																																																								
1	5.19	0.193	鉛直方向1次																																																																																																								
2	6.16	0.162	鉛直方向2次																																																																																																								
3	7.07	0.141																																																																																																									
4	7.51	0.133	NS方向1次																																																																																																								
5	8.10	0.123																																																																																																									
6	9.22	0.108	EW方向1次																																																																																																								
次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			備考																																																																																																					
			NS方向 (X)	EW方向 (Y)	鉛直方向 (Z)																																																																																																						
1	3.01	0.332	0.036	0.008	2.272	鉛直方向1次																																																																																																					
46	5.19	0.193	-0.010	0.140	1.350	鉛直方向2次																																																																																																					
78	6.80	0.147	2.802	0.417	0.039	NS方向1次																																																																																																					
102	8.34	0.120	0.759	-7.982	0.320	EW方向1次																																																																																																					
次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (秒)	刺激係数			備考																																																																																																					
			NS方向 (Y)	EW方向 (X)	鉛直方向 (Z)																																																																																																						
1	4.60	0.217	0.085	-0.003	1.748	鉛直方向1次																																																																																																					
2	6.23	0.160	-0.004	-0.040	-0.001	鉛直方向2次																																																																																																					
3	7.87	0.127	-1.717	0.016	-0.002	NS方向1次																																																																																																					
4	8.12	0.123	-0.014	-1.988	0.006	EW方向1次																																																																																																					

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>第1 図 剛性比例型減衰による減衰定数と振動数の関係</p> <p>2. 剛性比例型減衰設定の妥当性の確認</p> <p><u>屋根トラスについて、剛性比例型減衰の設定の妥当性を確認するために、振動数、周期に加えて、刺激係数、有効質量比を追加の上、固有値解析結果を高次モードまで確認した結果を第2 表に示す。</u></p> <p>屋根トラスの水平方向の1 次固有振動数は、NS 方向：<u>7.51Hz</u>、EW 方向：<u>9.22Hz</u>であり、<u>原子炉建屋の地盤-建屋連成系の水平方向の1 次固有振動数 (NS, EW 方向共に2.3Hz 程度) と開きがあることから、屋根トラスの評価においては、水平方向の入力による影響は小さいと考えられる。</u></p> <p><u>一方、屋根トラスの鉛直方向の1 次固有振動数は、5.19Hz であり、原子炉建屋鉛直方向の地盤-建屋連成系の1 次固有振動数(4Hz 程度) と近接しており、また構造面から考えても、屋根トラスの評価においては鉛直動の影響が大きいと考えられる。なお、鉛直方向については、固有振動数が近接している2 次モード、3 次モードの影響も考えられるが、1 次モードが他の高次モードに対して刺激係数、有効質量比とも大きく、1 次モードが全体応答に与える影響が大きいと考えられる。</u></p>	 <p>参考 3-1 図 剛性比例型減衰による減衰定数と振動数の関係</p> <p>2. 剛性比例型減衰設定の妥当性の確認</p> <p>参考 3-1 表に示すとおり屋根トラスの水平方向の1 次固有振動数 (固有周期) は、NS 方向：<u>6.80Hz (0.147sec)</u>、EW 方向：<u>8.34Hz (0.120sec)</u> であり、鉛直方向の1 次固有振動数は、<u>3.01Hz (0.332sec)</u> である。剛性比例型減衰の採用にあたっては、上記の振動数のいずれかの振動数を基準に設定することとする。</p> <p>原子炉建屋の地盤-建屋連成系の水平方向の1 次固有振動数は NS 方向 <u>4.21Hz (0.237sec)</u>、EW 方向 <u>4.36Hz (0.230sec)</u> である。鉛直方向については、<u>地盤-建屋相互作用系の1 次固有振動数は 9.96Hz (0.100sec)</u> である。これらの1 次固有振動数から屋根トラスの応答に影響が大きい成分を判断することは難しい。屋根トラスの構造面からは、鉛直方向の振動の影響が大きいと判断されるため、剛性比例型減衰の設定は鉛直方向の1 次固有振動数に対して設定することとする。</p>	 <p>第1-1 図 剛性比例型減衰による減衰定数と振動数の関係</p> <p>2. 剛性比例型減衰設定の妥当性の確認</p> <p>第1-1 表に示すとおり屋根トラスの水平方向の1 次固有振動数 (固有周期) は、NS 方向：<u>7.87Hz (0.127 秒)</u>、EW 方向：<u>8.12Hz (0.123 秒)</u> であり、鉛直方向の1 次固有振動数は、<u>4.60Hz (0.217 秒)</u> である。剛性比例型減衰の採用にあたっては、上記の振動数のいずれかの振動数を基準に設定することとする。</p> <p>原子炉建物の地盤-建物連成系の水平方向の1 次固有振動数は NS 方向 <u>4.55Hz (0.220 秒)</u>、EW 方向 <u>4.94Hz (0.203 秒)</u> である。鉛直方向については、<u>地盤-建物連成系の1 次固有振動数は 9.48Hz (0.105 秒)</u> である。これらの1 次固有振動数から屋根トラスの応答に影響が大きい成分を判断することは難しい。屋根トラスの構造面からは、鉛直方向の振動の影響が大きいと判断されるため、剛性比例型減衰の設定は鉛直方向の1 次固有振動数に対して設定することとする。</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> モデルの相違 【柏崎 6/7, 女川 2】 解析モデルが異なるため、1 次固有振動数が相違 影響検討の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉における高次モードの影響については詳細設計段階において、レイリー減衰等を用いて実施するため相違 モデルの相違 【柏崎 6/7, 女川 2】 解析モデルが異なるため、1 次固有振動数が相違 同上 【柏崎 6/7】 解析モデルが異なるため、屋根トラスの解析モデルと地盤-建物連成系の1 次固有振動数との関係性が相違

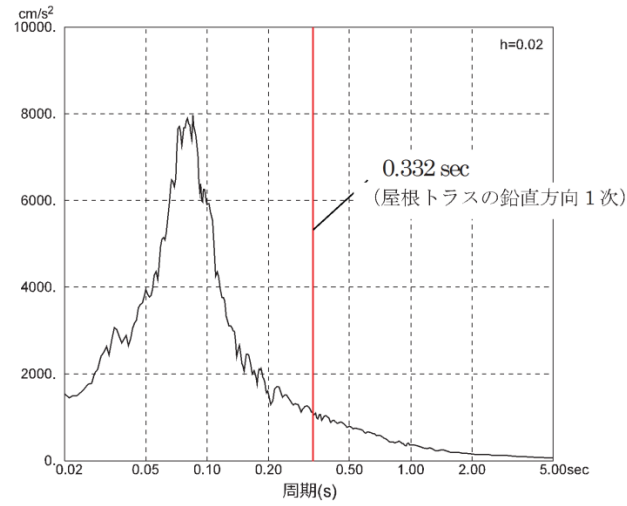
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																																																																																																								
<p>また、参考として屋根トラスの各方向の固有振動数と解析モデルへの入力地震動の加速度応答スペクトルの関係を第2図に示す。これより、<u>入力動の応答スペクトルにおけるピークと屋根トラスの固有振動数については、上記の考察と整合した関係になっていることが確認できる。</u></p> <p>以上のことから、屋根トラスは、<u>刺激係数、有効質量比とも他のモードに比較して大きく、固有振動数が建屋地盤連成系の1次固有振動数と近接している鉛直方向の1次モードが応答性に支配的と考えられることから、鉛直方向1次固有振動数(5.19Hz)に対して減衰定数がh=2%となる剛性比例型減衰を設定することは妥当であると考えられる。</u></p> <p>なお、詳細設計においては、<u>必要に応じて剛性比例型以外の減衰を用いて、高次モードの影響を確認することとする。</u></p> <p style="text-align: center;">第2表 固有値解析結果</p> <p>固有周期、振動数、刺激係数、有効質量比(屋根トラス)</p> <table border="1" data-bbox="181 1213 908 1797"> <thead> <tr> <th rowspan="2">次数</th> <th rowspan="2">振動数 (Hz)</th> <th rowspan="2">周期 (sec)</th> <th colspan="3">刺激係数</th> <th colspan="3">有効質量比</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>X方向</th> <th>Y方向</th> <th>Z方向</th> <th>X方向</th> <th>Y方向</th> <th>Z方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5.19</td><td>0.193</td><td>0.000</td><td>-0.001</td><td>1.596</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.065</td><td>鉛直方向一次</td></tr> <tr><td>2</td><td>6.16</td><td>0.162</td><td>-0.004</td><td>-0.089</td><td>-0.073</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>鉛直方向二次</td></tr> <tr><td>3</td><td>7.07</td><td>0.141</td><td>-0.002</td><td>0.004</td><td>0.416</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.003</td><td>鉛直方向三次</td></tr> <tr><td>4</td><td>7.51</td><td>0.133</td><td>1.220</td><td>-0.004</td><td>-0.003</td><td>0.298</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>NS方向一次</td></tr> <tr><td>5</td><td>8.10</td><td>0.123</td><td>-0.013</td><td>-0.473</td><td>-0.055</td><td>0.000</td><td>0.004</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>9.22</td><td>0.108</td><td>0.003</td><td>1.811</td><td>-0.003</td><td>0.000</td><td>0.396</td><td>0.000</td><td>EW方向一次</td></tr> <tr><td>7</td><td>10.16</td><td>0.098</td><td>1.414</td><td>0.011</td><td>0.007</td><td>0.032</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>10.43</td><td>0.096</td><td>0.738</td><td>-0.011</td><td>-0.006</td><td>0.010</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>10.44</td><td>0.096</td><td>-0.031</td><td>0.009</td><td>0.067</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>11.08</td><td>0.090</td><td>-0.199</td><td>-0.007</td><td>-0.002</td><td>0.001</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>11.81</td><td>0.085</td><td>0.010</td><td>0.027</td><td>0.008</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>11.94</td><td>0.084</td><td>0.009</td><td>0.004</td><td>0.009</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>13.58</td><td>0.074</td><td>0.017</td><td>-0.027</td><td>-0.069</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>14.07</td><td>0.071</td><td>0.063</td><td>0.005</td><td>-0.003</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>14.55</td><td>0.069</td><td>-0.011</td><td>0.024</td><td>-0.846</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.005</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>14.90</td><td>0.067</td><td>-0.027</td><td>0.033</td><td>-0.935</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.007</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>15.57</td><td>0.064</td><td>-0.007</td><td>-0.054</td><td>-0.301</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.002</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>15.60</td><td>0.064</td><td>0.008</td><td>0.038</td><td>-0.050</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>16.29</td><td>0.061</td><td>-0.004</td><td>0.289</td><td>0.040</td><td>0.000</td><td>0.001</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>16.95</td><td>0.059</td><td>0.015</td><td>-0.264</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.010</td><td>0.000</td><td></td></tr> </tbody> </table>	次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			有効質量比			備考	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向	1	5.19	0.193	0.000	-0.001	1.596	0.000	0.000	0.065	鉛直方向一次	2	6.16	0.162	-0.004	-0.089	-0.073	0.000	0.000	0.000	鉛直方向二次	3	7.07	0.141	-0.002	0.004	0.416	0.000	0.000	0.003	鉛直方向三次	4	7.51	0.133	1.220	-0.004	-0.003	0.298	0.000	0.000	NS方向一次	5	8.10	0.123	-0.013	-0.473	-0.055	0.000	0.004	0.000		6	9.22	0.108	0.003	1.811	-0.003	0.000	0.396	0.000	EW方向一次	7	10.16	0.098	1.414	0.011	0.007	0.032	0.000	0.000		8	10.43	0.096	0.738	-0.011	-0.006	0.010	0.000	0.000		9	10.44	0.096	-0.031	0.009	0.067	0.000	0.000	0.000		10	11.08	0.090	-0.199	-0.007	-0.002	0.001	0.000	0.000		11	11.81	0.085	0.010	0.027	0.008	0.000	0.000	0.000		12	11.94	0.084	0.009	0.004	0.009	0.000	0.000	0.000		13	13.58	0.074	0.017	-0.027	-0.069	0.000	0.000	0.000		14	14.07	0.071	0.063	0.005	-0.003	0.000	0.000	0.000		15	14.55	0.069	-0.011	0.024	-0.846	0.000	0.000	0.005		16	14.90	0.067	-0.027	0.033	-0.935	0.000	0.000	0.007		17	15.57	0.064	-0.007	-0.054	-0.301	0.000	0.000	0.002		18	15.60	0.064	0.008	0.038	-0.050	0.000	0.000	0.000		19	16.29	0.061	-0.004	0.289	0.040	0.000	0.001	0.000		20	16.95	0.059	0.015	-0.264	0.000	0.000	0.010	0.000		<p>また、参考として屋根トラスの各方向の固有周期と解析モデルへの入力地震動の加速度応答スペクトルの関係を参考3-2図に示す。入力地震動の応答スペクトルの卓越周期は原子炉建屋の地盤-建屋連成系の各方向の1次周期におおむね対応しており、いずれの方向についても赤線で示す屋根トラスの1次固有周期とは離れた周期となっている。</p> <p>以上のことから、屋根トラスの応答は、<u>建屋の各方向の1次固有振動数(固有周期)との関連性が小さいため減衰を過大に評価することが無く、屋根トラスモデルの固有振動数のうち、応答性に支配的と考えられる鉛直の1次固有振動数(3.01Hz)に対して減衰定数がh=2%となる剛性比例型減衰を設定することは妥当であると考えられる。</u></p> <p>なお、詳細設計においては、<u>必要に応じて剛性比例型以外の減衰(例えば鉛直1次と2次で規定したレイリー減衰)を用いて、高次モードの影響を確認することとする。</u></p>	<p>また、参考として屋根トラスの各方向の固有周期と解析モデルへの入力地震動の加速度応答スペクトル(基準地震動S_s-D)の関係を第1-2図に示す。<u>入力地震動の応答スペクトルの卓越周期は原子炉建物の地盤-建物連成系の各方向の1次周期に概ね対応しており、いずれの方向についても赤線で示す屋根トラスの1次固有周期とは離れた周期となっている。</u></p> <p>以上のことから、屋根トラスの応答は、<u>建物の各方向の1次固有振動数(固有周期)との関連性が小さく、また、高次モードが屋根トラスの応答へ及ぼす影響は小さいと考えられるため、屋根トラスの構造面から応答に影響が大きいと判断される屋根トラスモデルの鉛直方向の1次固有振動数(4.60Hz)に対して減衰定数がh=2%となる剛性比例型減衰を設定することは妥当であると考えられる。</u></p> <p>なお、詳細設計段階においては、<u>代表ケースを選定して剛性比例型以外の減衰(例えば鉛直1次と2次で規定したレイリー減衰)を用いて、高次モードの影響を確認することとする。</u></p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> モデルの相違【柏崎6/7】 解析モデルが異なるため、屋根トラスの解析モデルと地盤-建物連成系の1次固有振動数との関係性が相違 同上 モデルの相違【柏崎6/7, 女川2】 解析モデルが異なるため、1次固有振動数が相違 影響検討の相違【柏崎6/7】 島根2号炉における高次モードの影響については詳細設計段階において、レイリー減衰等を用いて実施するため相違
次数				振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			有効質量比			備考																																																																																																																																																																																																															
	X方向	Y方向	Z方向			X方向	Y方向	Z方向																																																																																																																																																																																																																			
1	5.19	0.193	0.000	-0.001	1.596	0.000	0.000	0.065	鉛直方向一次																																																																																																																																																																																																																		
2	6.16	0.162	-0.004	-0.089	-0.073	0.000	0.000	0.000	鉛直方向二次																																																																																																																																																																																																																		
3	7.07	0.141	-0.002	0.004	0.416	0.000	0.000	0.003	鉛直方向三次																																																																																																																																																																																																																		
4	7.51	0.133	1.220	-0.004	-0.003	0.298	0.000	0.000	NS方向一次																																																																																																																																																																																																																		
5	8.10	0.123	-0.013	-0.473	-0.055	0.000	0.004	0.000																																																																																																																																																																																																																			
6	9.22	0.108	0.003	1.811	-0.003	0.000	0.396	0.000	EW方向一次																																																																																																																																																																																																																		
7	10.16	0.098	1.414	0.011	0.007	0.032	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																			
8	10.43	0.096	0.738	-0.011	-0.006	0.010	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																			
9	10.44	0.096	-0.031	0.009	0.067	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																			
10	11.08	0.090	-0.199	-0.007	-0.002	0.001	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																			
11	11.81	0.085	0.010	0.027	0.008	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																			
12	11.94	0.084	0.009	0.004	0.009	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																			
13	13.58	0.074	0.017	-0.027	-0.069	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																			
14	14.07	0.071	0.063	0.005	-0.003	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																			
15	14.55	0.069	-0.011	0.024	-0.846	0.000	0.000	0.005																																																																																																																																																																																																																			
16	14.90	0.067	-0.027	0.033	-0.935	0.000	0.000	0.007																																																																																																																																																																																																																			
17	15.57	0.064	-0.007	-0.054	-0.301	0.000	0.000	0.002																																																																																																																																																																																																																			
18	15.60	0.064	0.008	0.038	-0.050	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																			
19	16.29	0.061	-0.004	0.289	0.040	0.000	0.001	0.000																																																																																																																																																																																																																			
20	16.95	0.059	0.015	-0.264	0.000	0.000	0.010	0.000																																																																																																																																																																																																																			



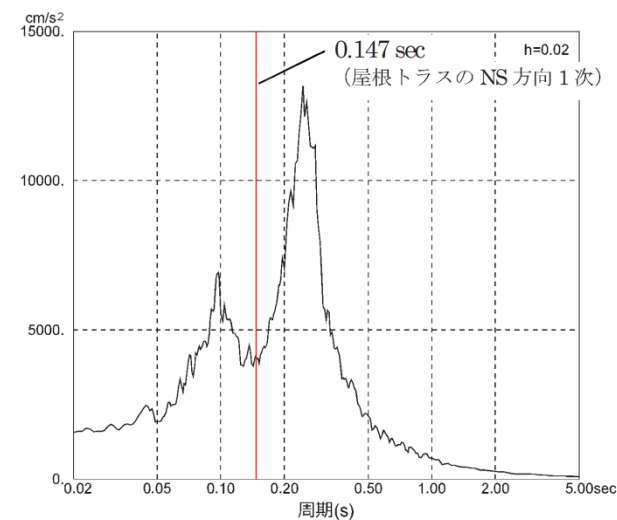
第2図 (a) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係
鉛直方向



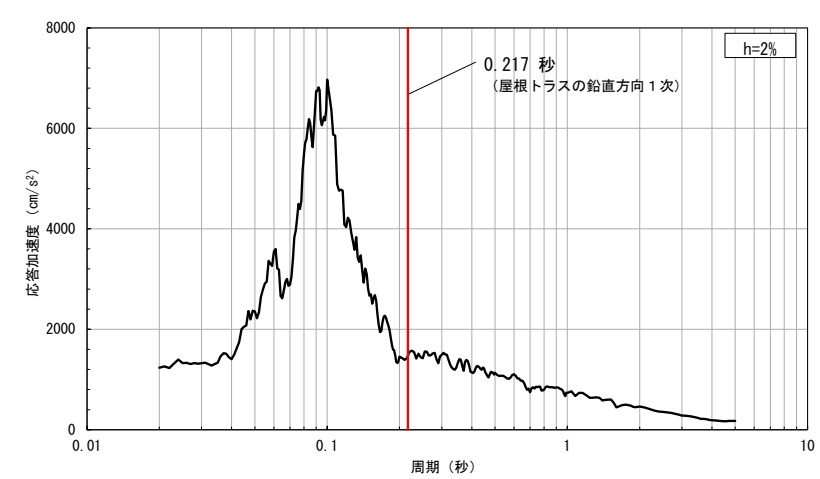
第2図 (b) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係
NS 方向



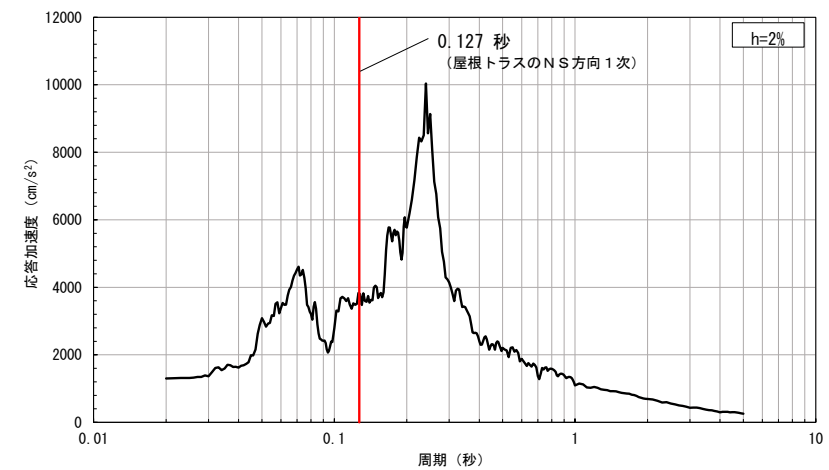
参考3-2図 (a) 屋根トラスの固有周期と入力地震動の加速度応答スペクトルの関係 鉛直方向



参考3-2 (b) 屋根トラスの固有周期と入力地震動の加速度応答スペクトルの関係 NS 方向



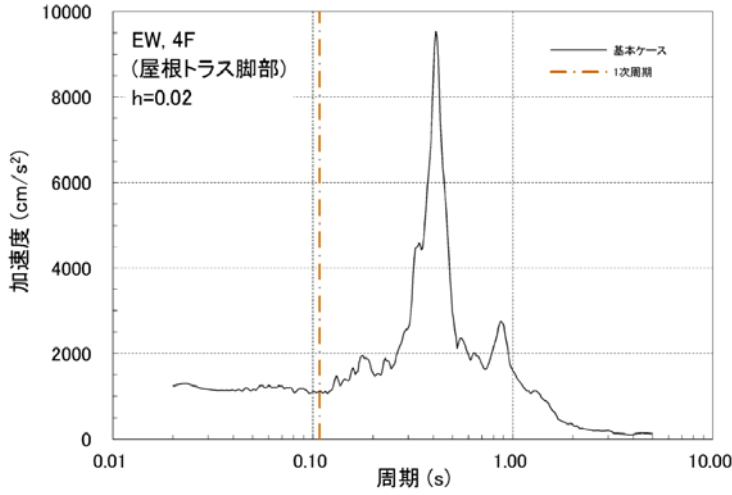
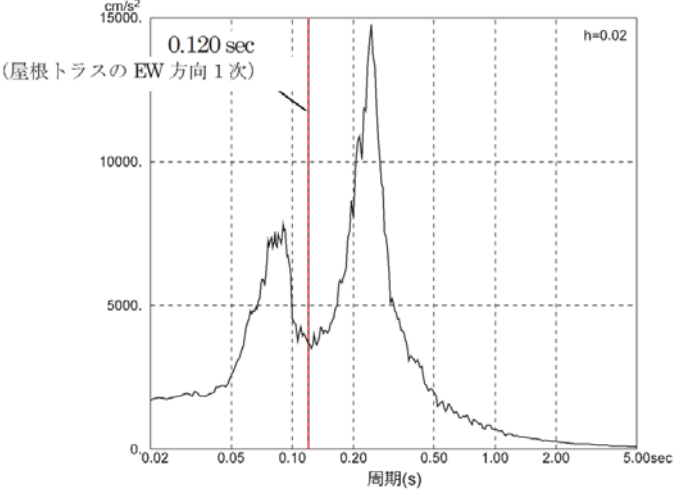
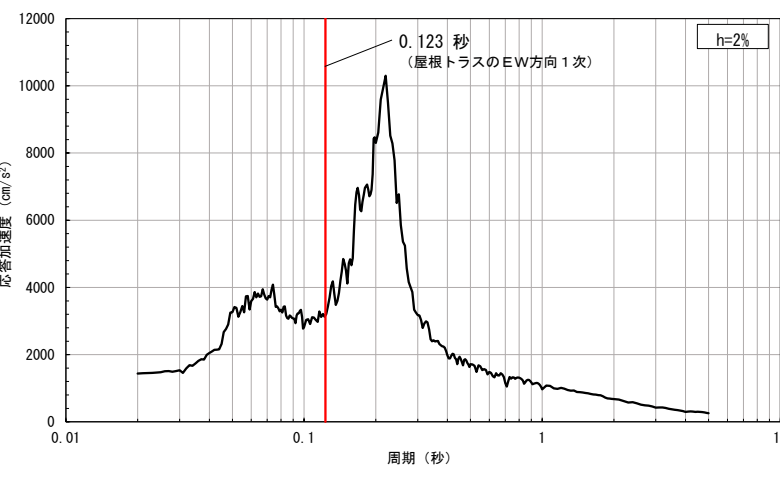
第1-2図 (1) 屋根トラスの固有周期と入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s-D) の関係 鉛直方向



第1-2図 (2) 屋根トラスの固有周期と入力地震動の加速度応答スペクトル (基準地震動 S_s-D) の関係 NS 方向

・モデルの相違
【柏崎6/7, 女川2】
解析モデルが異なるため、加速度応答スペクトル及び1次固有振動数が相違

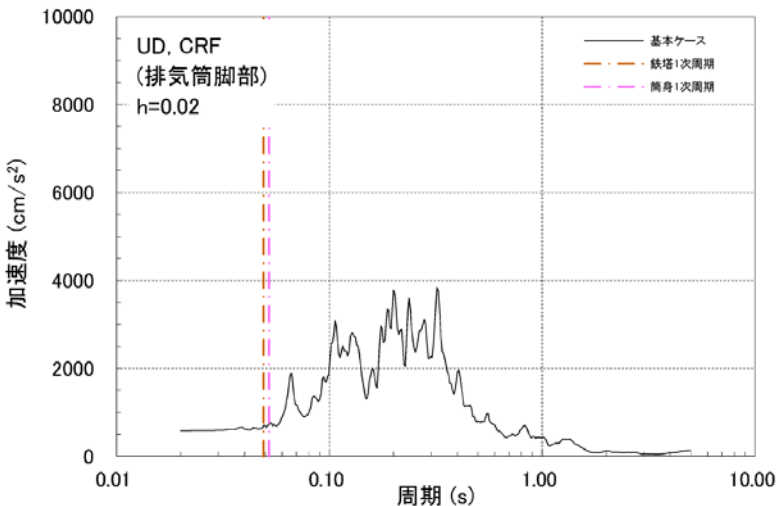
・同上

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
			
<p>第2図(c) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係 EW 方向</p>	<p>参考3-2図(c) 屋根トラスの固有周期と入力地震動の加速度応答スペクトルの関係 EW 方向</p>	<p>第1-2図(3) 屋根トラスの固有周期と入力地震動の加速度応答スペクトル(基準地震動S_s-D)の関係 EW 方向</p> <p>3. 参考文献</p> <p>(1) 日本建築センター：性能評価を踏まえた超高層建築物の構造設計実務—超高層・免震建築物の構造設計者が実際に行ってきた検討と判断を集大成—, 2019</p> <p>(2) 日本建築学会：建築物の減衰, 2000</p>	<p>・モデルの相違</p> <p>【柏崎6/7, 女川2】</p> <p>解析モデルが異なるため、加速度応答スペクトル及び1次固有振動数が相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>3. 主排気筒の減衰の設定について</u></p> <p><u>原子炉建屋屋根トラスと同様に、主排気筒の地震応答解析における減衰評価についても、鉄骨造の構造物に対して一般的に適用している剛性比例型としている。</u></p> <p><u>鉄骨造の主排気筒は、塔状構造物であることから水平方向の挙動が卓越すると考えられるため、筒身部よりも応答に影響の大きい鉄塔部の水平 (NS) 方向 1 次固有振動数 (3.69Hz) に対して減衰定数が h=2%となる剛性比例型減衰を与えている。</u></p> <p><u>主排気筒について、剛性比例型減衰の設定の妥当性を確認するために、振動数、周期に加え、刺激係数、有効質量比を追加の上、固有値解析結果を高次モードまで確認した結果を第3表に示す。</u></p> <p><u>主排気筒の水平方向の1次固有振動数は、筒身部ではNS方向：0.98Hz、EW方向：0.98Hz、鉄塔部ではNS方向：3.69Hz、EW方向：3.71Hzとなっており、原子炉建屋の地盤-建屋連成系の水平方向の一次固有振動数 (NS、EW方向共に2.3Hz程度)と比較すると、両者とも近接しており、筒身部、鉄塔部それぞれの1次モードの影響が大きいと考えられる。刺激係数、有効質量比についても、鉄塔部、筒身部の1次モードは共に大きいため、筒身部、鉄塔部それぞれの1次モードの影響は大きいと考えられる。</u></p> <p><u>また、1次モード以外に刺激係数・有効質量比が比較的大きいモードとしては、筒身のNS方向2次 (固有振動数6.63Hz)、筒身のEW方向2次 (固有振動数6.67Hz)、鉄塔のNS方向2次 (10.74Hz)、鉄塔のEW方向2次 (11.15Hz) が挙げられるが、原子炉建屋の地盤-建屋連成系の水平方向の一次固有振動数 (NS、EW方向共に2.3Hz程度)とは開きがあることから、これらのモードの影響は小さいと考えられる。</u></p> <p><u>一方、主排気筒の鉛直方向の1次固有振動数は、筒身部19.06Hz、鉄塔部20.43Hzであり、原子炉建屋鉛直方向の地盤-建屋連成系の1次固有振動数 (4Hz程度)と開きがあることから、主排気筒の評価においては、鉛直方向の入力による影響は小さいと考えられる。</u></p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
<p>また、参考として主排気筒の各方向の固有振動数と解析モデルへの入力地震動の加速度応答スペクトルの関係を第3図に示す。これより、入力動の応答スペクトルにおけるピークと主排気筒の固有振動数については、上記の考察と整合した関係になっていることが確認できる。</p> <p>以上のことから、主排気筒は、刺激係数、有効質量比とも他のモードに比較して大きく、固有振動数が建屋地盤連成系の1次固有振動数と近接している筒身部及び鉄塔部の水平方向の1次モードが応答性状に支配的と考えられるが、より保守的な評価となる鉄塔部の水平方向1次固有振動数(3.69Hz)に対して減衰定数がh=2%となる剛性比例型減衰を設定しており、主排気筒の評価で採用予定の剛性比例型減衰の設定は妥当であると考えられる。</p>			<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
<p style="text-align: center;">第3表 固有値解析結果</p> <p>固有周期、振動数、刺激係数、有効質量比(排気筒)</p> <table border="1" data-bbox="172 1039 908 1833"> <thead> <tr> <th rowspan="2">次数</th> <th rowspan="2">振動数 (Hz)</th> <th rowspan="2">周期 (sec)</th> <th colspan="3">刺激係数</th> <th colspan="3">有効質量比</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>X方向</th> <th>Y方向</th> <th>Z方向</th> <th>X方向</th> <th>Y方向</th> <th>Z方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.98</td><td>1.021</td><td>1.528</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.139</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>筒身NS方向1次</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.98</td><td>1.018</td><td>0.000</td><td>1.511</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.136</td><td>0.000</td><td>筒身EW方向1次</td></tr> <tr><td>3</td><td>2.75</td><td>0.364</td><td>0.000</td><td>0.001</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>3.69</td><td>0.271</td><td>-1.616</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.214</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>鉄塔NS方向1次</td></tr> <tr><td>5</td><td>3.71</td><td>0.269</td><td>0.000</td><td>-1.538</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.197</td><td>0.000</td><td>鉄塔EW方向1次</td></tr> <tr><td>6</td><td>6.63</td><td>0.151</td><td>-1.201</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.064</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>筒身NS方向2次</td></tr> <tr><td>7</td><td>6.67</td><td>0.150</td><td>0.000</td><td>-1.186</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.061</td><td>0.000</td><td>筒身EW方向2次</td></tr> <tr><td>8</td><td>7.73</td><td>0.129</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>9.71</td><td>0.103</td><td>0.000</td><td>0.002</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>10.74</td><td>0.093</td><td>1.067</td><td>0.000</td><td>0.001</td><td>0.191</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>鉄塔NS方向2次</td></tr> <tr><td>11</td><td>11.15</td><td>0.090</td><td>0.000</td><td>1.035</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.181</td><td>0.000</td><td>鉄塔EW方向2次</td></tr> <tr><td>12</td><td>11.51</td><td>0.087</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.010</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>12.24</td><td>0.082</td><td>0.000</td><td>-0.369</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.007</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>12.27</td><td>0.081</td><td>-0.290</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.004</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>13.31</td><td>0.075</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>-0.010</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>14.57</td><td>0.069</td><td>0.708</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.034</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>14.58</td><td>0.069</td><td>0.000</td><td>0.843</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.046</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>15.34</td><td>0.065</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>18.04</td><td>0.055</td><td>-0.661</td><td>0.000</td><td>-0.001</td><td>0.061</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>18.24</td><td>0.055</td><td>0.000</td><td>-0.721</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.079</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td>18.55</td><td>0.054</td><td>0.000</td><td>-0.007</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td>19.06</td><td>0.052</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>1.251</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.172</td><td>筒身鉛直方向1次</td></tr> <tr><td>23</td><td>20.43</td><td>0.049</td><td>-0.001</td><td>0.000</td><td>1.615</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.324</td><td>鉄塔鉛直方向1次</td></tr> <tr><td>24</td><td>22.68</td><td>0.044</td><td>0.000</td><td>-0.209</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.008</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>22.76</td><td>0.044</td><td>-0.195</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.008</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td>23.45</td><td>0.043</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td>24.63</td><td>0.041</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td>26.13</td><td>0.038</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td>28.48</td><td>0.035</td><td>0.000</td><td>0.012</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>28.49</td><td>0.035</td><td>0.011</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td></td></tr> </tbody> </table>	次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			有効質量比			備考	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向	1	0.98	1.021	1.528	0.000	0.000	0.139	0.000	0.000	筒身NS方向1次	2	0.98	1.018	0.000	1.511	0.000	0.000	0.136	0.000	筒身EW方向1次	3	2.75	0.364	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000		4	3.69	0.271	-1.616	0.000	0.000	0.214	0.000	0.000	鉄塔NS方向1次	5	3.71	0.269	0.000	-1.538	0.000	0.000	0.197	0.000	鉄塔EW方向1次	6	6.63	0.151	-1.201	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000	筒身NS方向2次	7	6.67	0.150	0.000	-1.186	0.000	0.000	0.061	0.000	筒身EW方向2次	8	7.73	0.129	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		9	9.71	0.103	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000		10	10.74	0.093	1.067	0.000	0.001	0.191	0.000	0.000	鉄塔NS方向2次	11	11.15	0.090	0.000	1.035	0.000	0.000	0.181	0.000	鉄塔EW方向2次	12	11.51	0.087	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000		13	12.24	0.082	0.000	-0.369	0.000	0.000	0.007	0.000		14	12.27	0.081	-0.290	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000		15	13.31	0.075	0.000	0.000	-0.010	0.000	0.000	0.000		16	14.57	0.069	0.708	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000		17	14.58	0.069	0.000	0.843	0.000	0.000	0.046	0.000		18	15.34	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		19	18.04	0.055	-0.661	0.000	-0.001	0.061	0.000	0.000		20	18.24	0.055	0.000	-0.721	0.000	0.000	0.079	0.000		21	18.55	0.054	0.000	-0.007	0.000	0.000	0.000	0.000		22	19.06	0.052	0.000	0.000	1.251	0.000	0.000	0.172	筒身鉛直方向1次	23	20.43	0.049	-0.001	0.000	1.615	0.000	0.000	0.324	鉄塔鉛直方向1次	24	22.68	0.044	0.000	-0.209	0.000	0.000	0.008	0.000		25	22.76	0.044	-0.195	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000		26	23.45	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		27	24.63	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		28	26.13	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		29	28.48	0.035	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000		30	28.49	0.035	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000				
次数				振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			有効質量比			備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	X方向	Y方向	Z方向			X方向	Y方向	Z方向																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1	0.98	1.021	1.528	0.000	0.000	0.139	0.000	0.000	筒身NS方向1次																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
2	0.98	1.018	0.000	1.511	0.000	0.000	0.136	0.000	筒身EW方向1次																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
3	2.75	0.364	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
4	3.69	0.271	-1.616	0.000	0.000	0.214	0.000	0.000	鉄塔NS方向1次																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
5	3.71	0.269	0.000	-1.538	0.000	0.000	0.197	0.000	鉄塔EW方向1次																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
6	6.63	0.151	-1.201	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000	筒身NS方向2次																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
7	6.67	0.150	0.000	-1.186	0.000	0.000	0.061	0.000	筒身EW方向2次																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
8	7.73	0.129	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
9	9.71	0.103	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
10	10.74	0.093	1.067	0.000	0.001	0.191	0.000	0.000	鉄塔NS方向2次																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
11	11.15	0.090	0.000	1.035	0.000	0.000	0.181	0.000	鉄塔EW方向2次																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
12	11.51	0.087	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
13	12.24	0.082	0.000	-0.369	0.000	0.000	0.007	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
14	12.27	0.081	-0.290	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
15	13.31	0.075	0.000	0.000	-0.010	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
16	14.57	0.069	0.708	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
17	14.58	0.069	0.000	0.843	0.000	0.000	0.046	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
18	15.34	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
19	18.04	0.055	-0.661	0.000	-0.001	0.061	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
20	18.24	0.055	0.000	-0.721	0.000	0.000	0.079	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
21	18.55	0.054	0.000	-0.007	0.000	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
22	19.06	0.052	0.000	0.000	1.251	0.000	0.000	0.172	筒身鉛直方向1次																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
23	20.43	0.049	-0.001	0.000	1.615	0.000	0.000	0.324	鉄塔鉛直方向1次																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
24	22.68	0.044	0.000	-0.209	0.000	0.000	0.008	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
25	22.76	0.044	-0.195	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
26	23.45	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
27	24.63	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
28	26.13	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
29	28.48	0.035	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
30	28.49	0.035	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="172 317 908 808" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="157 831 931 865">第3図 (a) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係</p> <p data-bbox="492 877 596 911">NS 方向</p> <div data-bbox="172 1003 908 1495" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="157 1507 931 1541">第3図 (b) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係</p> <p data-bbox="492 1554 596 1587">EW 方向</p>			<p data-bbox="2540 254 2822 464"> ・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違 </p>

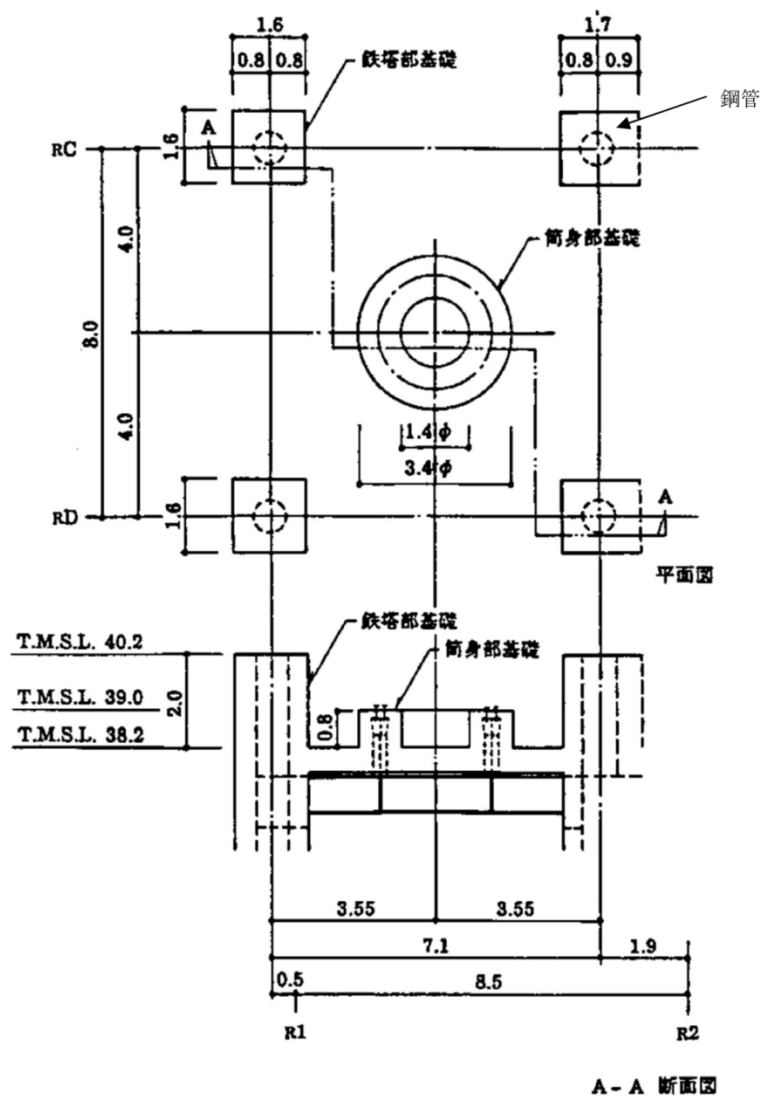
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p data-bbox="163 787 934 871">第3 図 (c) 固有振動数と入力動の加速度応答スペクトルの関係 鉛直方向</p>			<p data-bbox="2537 252 2819 462">・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号炉の排気筒は 既工認から変更なしの ため相違</p>

参考資料2

主排気筒の基礎部の評価について

1. 基礎の概要

主排気筒の基礎は、原子炉建屋と一体となった鉄骨鉄筋コンクリート造の立ち上がり部である。主排気筒基礎の概要を第1図に示す。

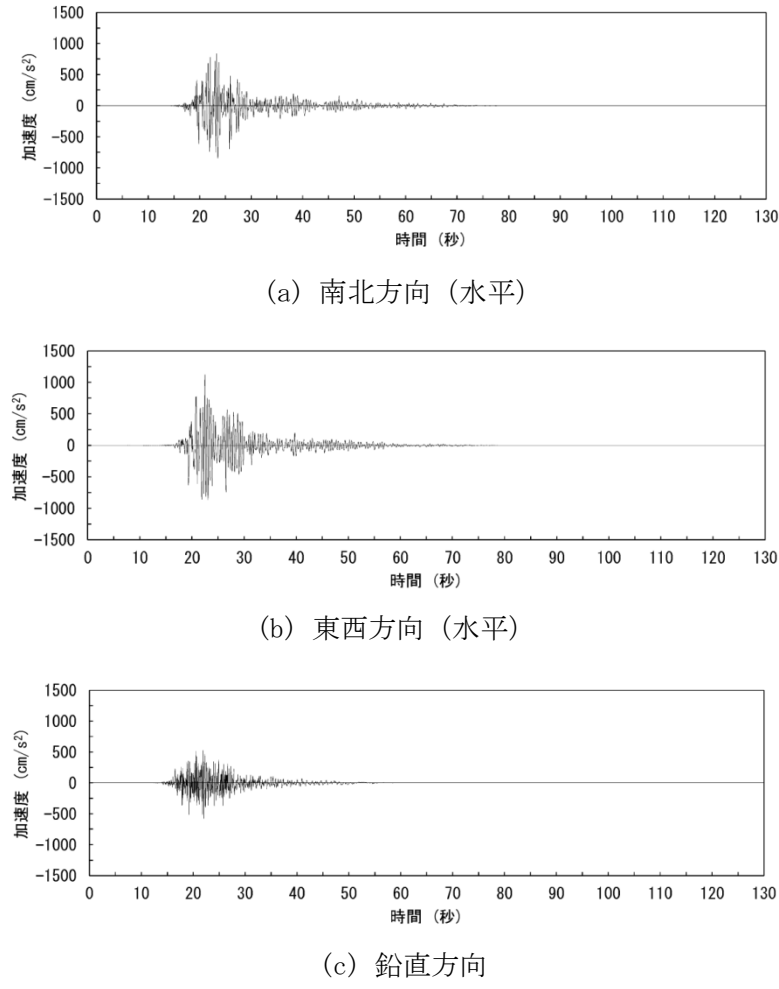


第1図 主排気筒基礎の概要

・対象施設の相違
【柏崎6/7】
島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違

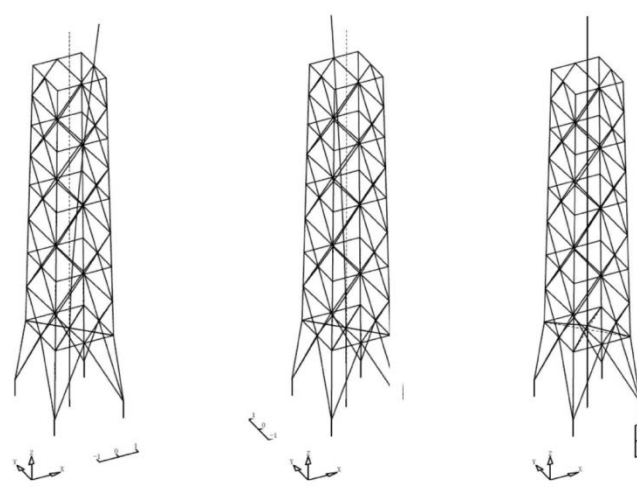
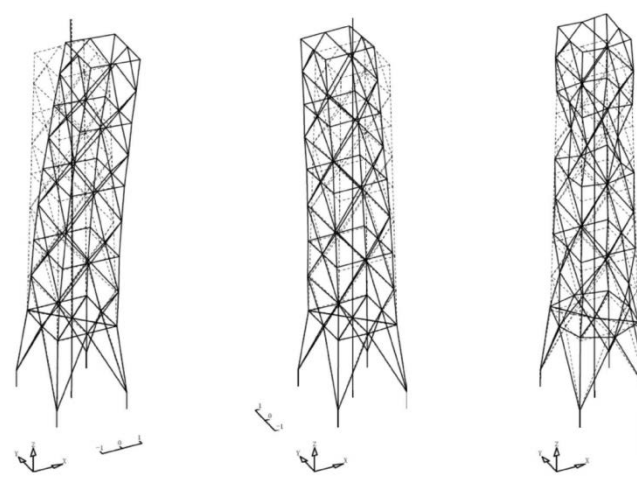
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>2. 基礎部の評価について</u></p> <p><u>今回工認における基礎部の評価は、既工認と同様に、鉄塔部基礎ボルト、鉄塔部基礎、筒身部基礎ボルトを対象として、実施する予定である。</u></p> <p><u>(1) 鉄塔部基礎ボルト</u></p> <p><u>鉄塔部基礎ボルトについては、基礎ボルト1本当たりに発生する応力を評価し、基礎ボルトの諸元から求まる短期許容応力度との比較を行うことにより評価を実施する。</u></p> <p><u>(2) 鉄塔基礎部</u></p> <p><u>鉄塔基礎部については、曲げモーメント、せん断力、軸力に対する評価を実施する。</u></p> <p><u>曲げモーメントについては、鉄筋コンクリート部の鉄筋のみが負担すると仮定し、発生する応力が鉄筋の短期許容応力度を下回っていることを確認する。</u></p> <p><u>せん断力については、コンクリートで負担すると仮定し、発生する応力がコンクリートの短期許容応力度を下回っていることを確認する。なお、評価に用いるコンクリート強度は既工認と同様に設計基準強度を用いるものとする。</u></p> <p><u>軸力については鋼管のみが負担するものとして、発生する応力が鋼材の短期許容応力度を下回っていることを確認する。</u></p> <p><u>(3) 筒身部基礎ボルト</u></p> <p><u>筒身部基礎ボルトについては、基礎ボルト1本当たりに発生する応力を評価し、基礎ボルトの諸元から求まる短期許容応力度との比較を行うことにより評価を実施する。</u></p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;"><u>参考資料3</u></p> <p><u>主排気筒の入力地震動及び固有振動数・固有モードについて</u></p> <p><u>主排気筒は、原子炉建屋の屋上 (T.M.S.L. 38.2m) に位置し、内径 2.4m の鋼板製筒身(換気空調系用排気筒)を鋼管四角形鉄塔(制震装置付)で支えた鉄塔支持形排気筒である。</u></p> <p><u>主排気筒は塔状構造物であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の同時入力の影響を受ける可能性がある構造物であることから、3次元モデルによる地震応答解析を実施する。解析モデルへの入力地震動は、原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる屋上レベル (T.M.S.L. 38.2m) における応答結果 (水平、鉛直及び回転成分) を用いている。</u></p> <p><u>主排気筒への入力として用いている入力動の時刻歴波形を Ss-2 を例として第 1 図に示す。地震応答解析を実施する際には、水平、鉛直成分は加速度時刻歴波形を、回転成分は回転変位時刻歴波形を入力している。</u></p> <p><u>回転変位から求まる脚部鉛直変位は、鉄塔部支柱材の脚部において、最大で NS 方向 1.7mm 程度、EW 方向 2.9mm 程度となる。</u></p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>

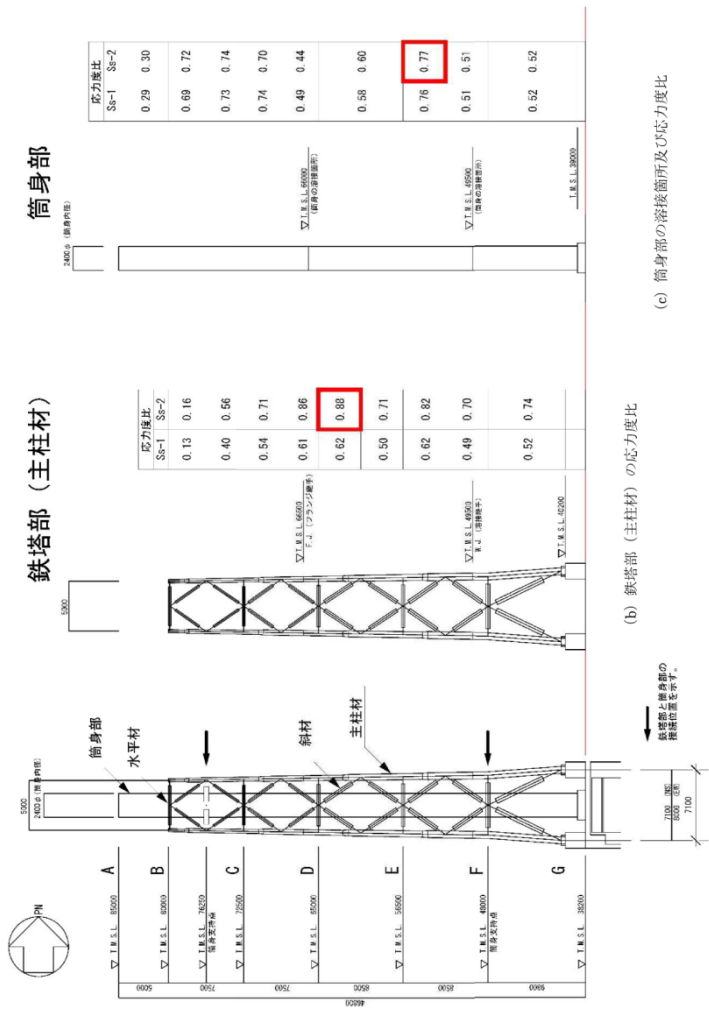
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>(a) 南北方向 (水平)</p> <p>(b) 東西方向 (水平)</p> <p>(c) 鉛直方向</p> <p><u>第1図(1) 入力動の時刻歴波形</u> <u>(加速度, 水平, 鉛直成分)</u></p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>(d) 南北方向 (回転)</p>  <p>(e) 東西方向 (回転)</p> <p><u>第1図(2) 入力動の時刻歴波形</u> (加速度, 回転成分)</p>  <p>(f) 南北方向 (回転)</p>  <p>(g) 東西方向 (回転)</p> <p><u>第1図(3) 入力動の時刻歴波形</u> (変位, 回転成分)</p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																				
<p><u>主排気筒のモデル化に当たっては、鋼製材のうち、筒身、鉄塔部及びコンクリート造の基礎部については軸、曲げ変形を考慮した梁要素、鉄塔斜材、水平材についてはトラス要素としてモデル化する。固有値解析結果を第1表及び第2図に示す。</u></p> <p><u>筒身部の1次固有振動数は水平方向で1Hz、鉛直方向で19Hzとなり、鉄塔部の1次固有振動数は水平方向で3.7Hz、鉛直方向で20Hzとなる。</u></p> <p style="text-align: center;">第1表 固有値解析結果</p> <table border="1" data-bbox="186 667 908 898"> <thead> <tr> <th rowspan="2">次数</th> <th rowspan="2">振動数 (Hz)</th> <th rowspan="2">周期 (sec)</th> <th colspan="3">刺激係数</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.98</td> <td>1.021</td> <td>1.528</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>筒身NS方向1次</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0.98</td> <td>1.018</td> <td>0.000</td> <td>1.511</td> <td>0.000</td> <td>筒身EW方向1次</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>3.69</td> <td>0.271</td> <td>-1.616</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>鉄塔NS方向1次</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>3.71</td> <td>0.269</td> <td>0.000</td> <td>-1.538</td> <td>0.000</td> <td>鉄塔EW方向1次</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>19.06</td> <td>0.052</td> <td>0.000</td> <td>0.000</td> <td>1.251</td> <td>筒身鉛直方向1次</td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>20.43</td> <td>0.049</td> <td>-0.001</td> <td>0.000</td> <td>1.615</td> <td>鉄塔鉛直方向1次</td> </tr> </tbody> </table>	次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			備考	X	Y	Z	1	0.98	1.021	1.528	0.000	0.000	筒身NS方向1次	2	0.98	1.018	0.000	1.511	0.000	筒身EW方向1次	4	3.69	0.271	-1.616	0.000	0.000	鉄塔NS方向1次	5	3.71	0.269	0.000	-1.538	0.000	鉄塔EW方向1次	22	19.06	0.052	0.000	0.000	1.251	筒身鉛直方向1次	23	20.43	0.049	-0.001	0.000	1.615	鉄塔鉛直方向1次			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>
次数				振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			備考																																														
	X	Y	Z																																																				
1	0.98	1.021	1.528	0.000	0.000	筒身NS方向1次																																																	
2	0.98	1.018	0.000	1.511	0.000	筒身EW方向1次																																																	
4	3.69	0.271	-1.616	0.000	0.000	鉄塔NS方向1次																																																	
5	3.71	0.269	0.000	-1.538	0.000	鉄塔EW方向1次																																																	
22	19.06	0.052	0.000	0.000	1.251	筒身鉛直方向1次																																																	
23	20.43	0.049	-0.001	0.000	1.615	鉄塔鉛直方向1次																																																	

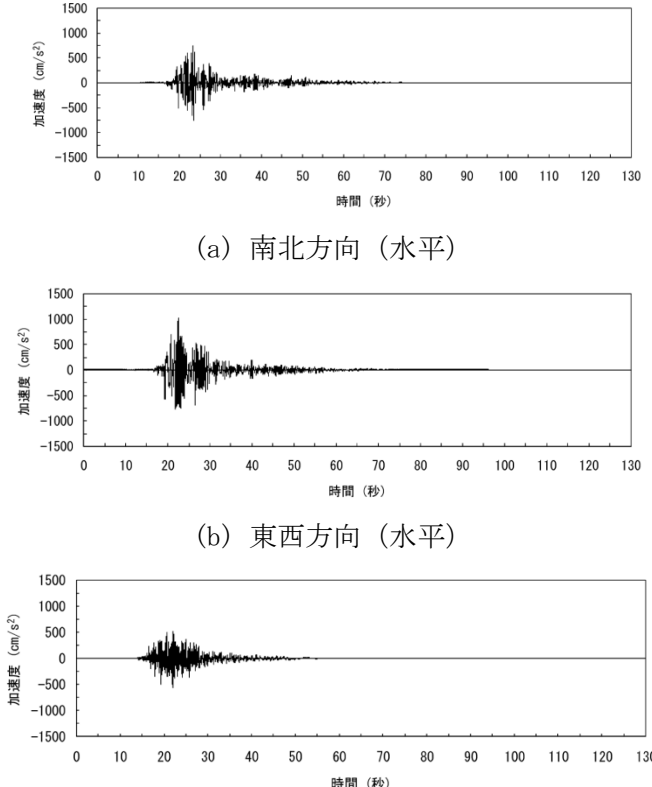
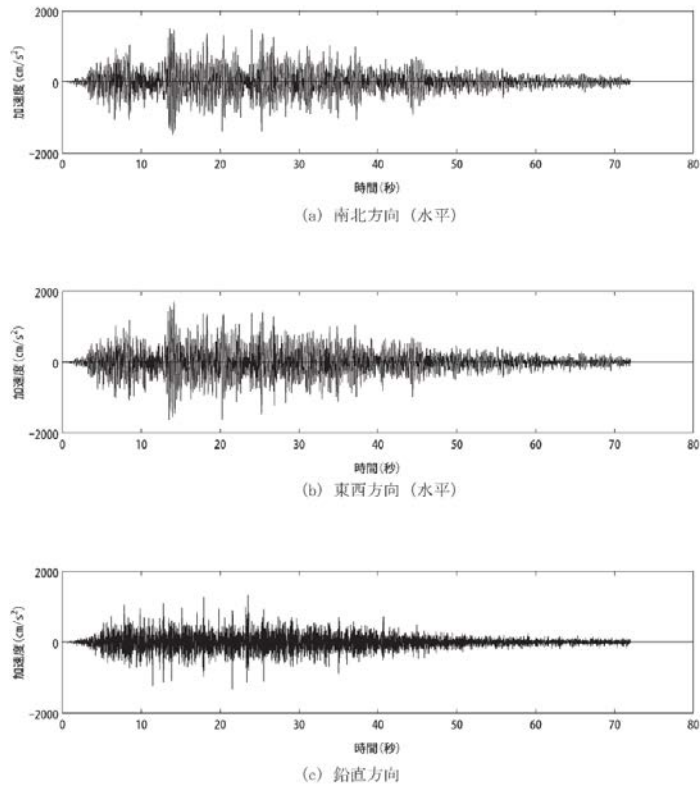
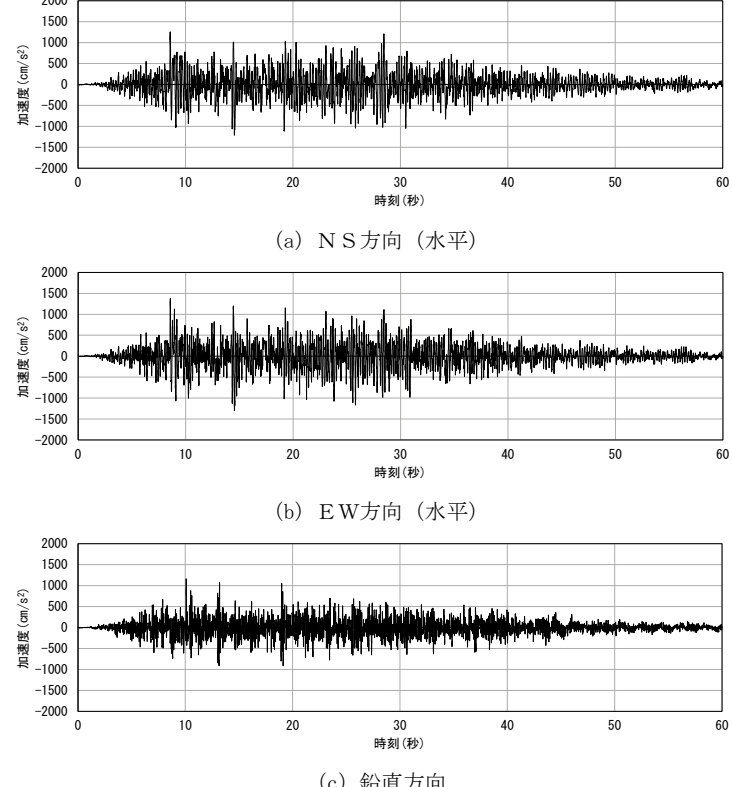
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(筒身部)</p>  <p>筒身南北方向1次 筒身東西方向1次 筒身鉛直方向1次</p> <p>(鉄塔部)</p>  <p>鉄塔南北方向1次 鉄塔東西方向1次 鉄塔鉛直方向1次</p> <p><u>第2図 固有値解析結果 (刺激係数)</u></p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>

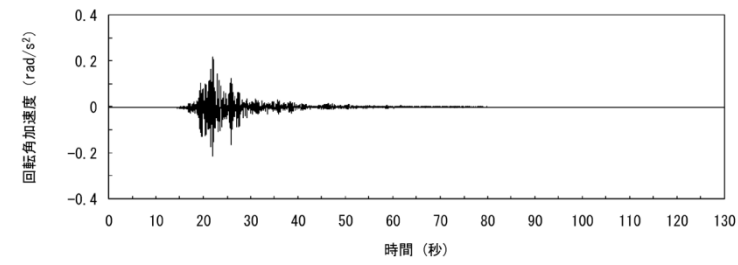
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;"><u>参考資料 4</u></p> <p><u>主排気筒の想定破損箇所及び破損モード、溶接箇所と筒身支持位置の関係について</u></p> <p><u>主排気筒の地震応答解析モデルは、屋上 (T.M.S.L. 38.2m) より上部を立体的にモデル化した立体架構モデルとしている。解析モデルの作成に当たっては、主排気筒を構成する全ての構造部材をモデル化することを基本方針としている。</u></p> <p><u>主要な基準地震動 (Ss-1 及び Ss-2) に対して、各部材の発生応力度と評価基準値に対する比率を第 1 図に示す。基準地震動 Ss に対して、各部材は弾性範囲内におさまる。また、第 1 図には鉄塔部と筒身部の接続位置や、鉄塔部及び筒身部の溶接箇所も併せて示す。最大応力は、鉄塔部、筒身部とも構造物の高さ方向のおおむね中間部で発生し、かつ、溶接箇所とは異なる位置で発生しているため、主排気筒脚部や溶接部での破断により崩壊する状態にはならない。</u></p> <p><u>主排気筒の破損モードとしては、第 1 図に示す応力度比をみると、脚部の曲げヒンジより先に、鉄塔部の支柱材や筒身の局部座屈又は支柱材端部に曲げヒンジが形成されることが想定されるため、倒壊に至るようなモードとはならないと考えられる。</u></p> <p><u>また、鉄塔部と筒身部の接続部近傍での応力度比は中間部に比べて小さく、鉄塔部及び筒身部の応力度比が大きい位置と一致していないことから、どちらかの破損から連鎖的な破壊が進行することはないと考えられる。</u></p>			<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2 号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違</p>



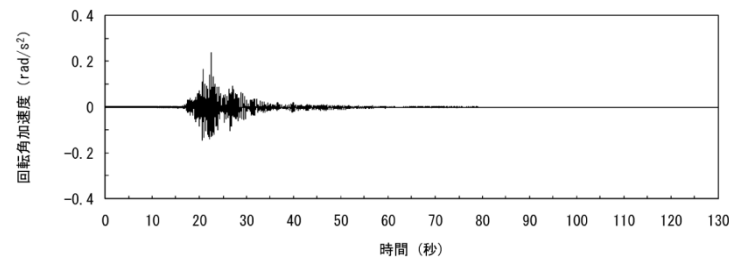
第1図 主排気筒の評価結果(暫定値)と溶接箇所

・対象施設の相違
【柏崎6/7】
 島根2号炉の排気筒は既工認から変更なしのため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">参考資料5</p> <p>屋根トラスの入力地震動及び固有振動数・固有モードについて</p> <p>1. 屋根トラスの入力地震動</p> <p>屋根トラスへの入力として用いている入力地震動（原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる燃料取替床レベル（T.M.S.L. 31.7m）の応答結果）の時刻歴波形（暫定応答）について、Ss-2を例として第1図に示す。地震応答解析を実施する際には、水平、鉛直成分は加速度時刻歴波形を、回転成分は回転変位時刻歴波形を入力している。</p>  <p style="text-align: center;">(a) 南北方向（水平）</p> <p style="text-align: center;">(b) 東西方向（水平）</p> <p style="text-align: center;">(c) 鉛直方向</p> <p style="text-align: center;">第1図(1) 入力動の時刻歴波形 (加速度、水平、鉛直成分)</p>	<p style="text-align: right;">別紙13 参考資料4</p> <p>屋根トラスの入力地震動及び固有振動数・固有モードについて</p> <p>1. 屋根トラスの入力地震動</p> <p>屋根トラスへの入力として用いている入力地震動（原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる燃料取替床（地上3階）レベルの応答結果）の時刻歴波形（暫定応答）について、Ss-D2を例として参考4-1図に示す。地震応答解析を実施する際には、水平、鉛直成分は加速度時刻歴波形を、回転成分は回転角加速度時刻歴波形を入力している。</p>  <p style="text-align: center;">(a) 南北方向（水平）</p> <p style="text-align: center;">(b) 東西方向（水平）</p> <p style="text-align: center;">(c) 鉛直方向</p> <p style="text-align: center;">参考4-1図(1) 入力地震動の時刻歴波形 (加速度、水平、鉛直成分)</p>	<p style="text-align: right;">参考資料-2</p> <p>屋根トラスの入力地震動及び固有振動数・固有モードについて</p> <p>1. 屋根トラスの入力地震動</p> <p>屋根トラスへの入力として用いている入力地震動（原子炉建物の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる燃料取替床レベル（E.L. 42.8m）の応答結果）の時刻歴波形（暫定応答）について、基準地震動Ss-Dを例として第2-1図に示す。地震応答解析を実施する際には、水平、鉛直成分は加速度時刻歴波形を、回転成分は回転角加速度時刻歴波形を入力している。</p>  <p style="text-align: center;">(a) NS方向（水平）</p> <p style="text-align: center;">(b) EW方向（水平）</p> <p style="text-align: center;">(c) 鉛直方向</p> <p style="text-align: center;">第2-1図(1) 入力地震動の時刻歴波形 (加速度、水平、鉛直成分)</p>	<p>備考</p> <p>・モデルの相違 【柏崎6/7, 女川2】 解析モデルが異なるため、入力地震動が相違</p>



(d) 南北方向 (回転)



(e) 東西方向 (回転)

第1図(2) 入力動の時刻歴波形
(加速度, 回転成分)

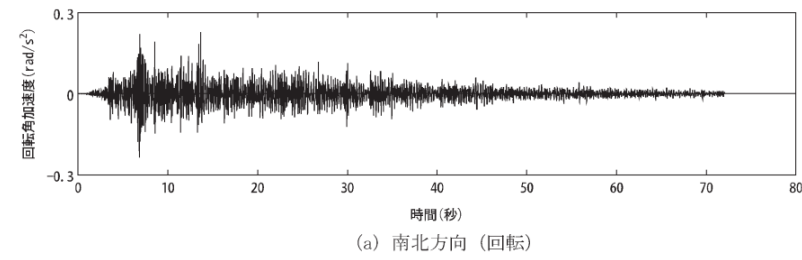
2. 屋根トラスの固有値解析結果

屋根トラスの固有値解析結果を第1表及び第2図に示す。

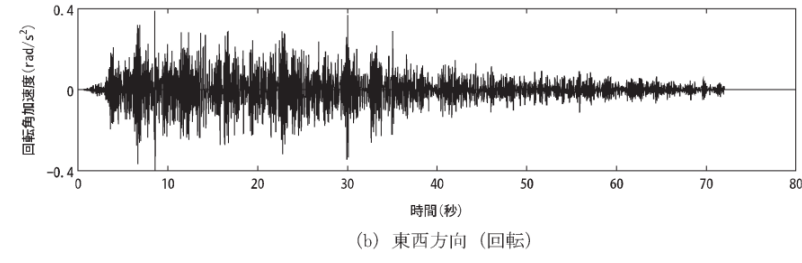
1次固有振動数は鉛直方向で 5.19Hz, 水平方向で 7.51Hz (NS方向), 9.22Hz (EW方向) となる。

第1表 固有値解析結果

次数	振動数 (Hz)	周期 (sec)	刺激係数			備考
			水平方向(X)	水平方向(Y)	鉛直方向(Z)	
1	5.19	0.193	0.000	-0.001	1.596	鉛直方向1次
2	6.16	0.162	-0.004	-0.089	-0.073	鉛直方向2次
3	7.07	0.141	-0.002	0.004	0.416	
4	7.51	0.133	1.220	-0.004	-0.003	NS方向1次
5	8.10	0.123	-0.013	-0.473	-0.055	
6	9.22	0.108	0.003	1.811	-0.003	EW方向1次



(a) 南北方向 (回転)



(b) 東西方向 (回転)

参考4-1図(2) 入力地震動の時刻歴波形
(加速度, 回転成分)

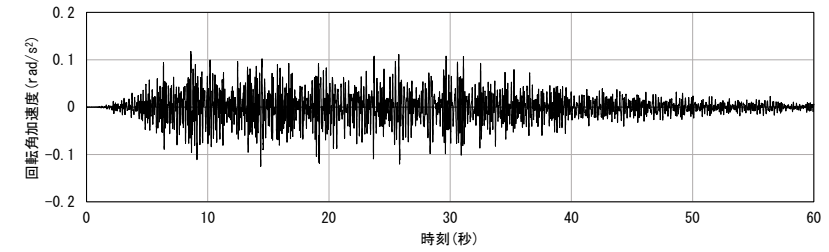
2. 屋根トラスの固有値解析結果

屋根トラスの暫定の固有値解析結果を参考4-1表及び参考4-2図に示す。

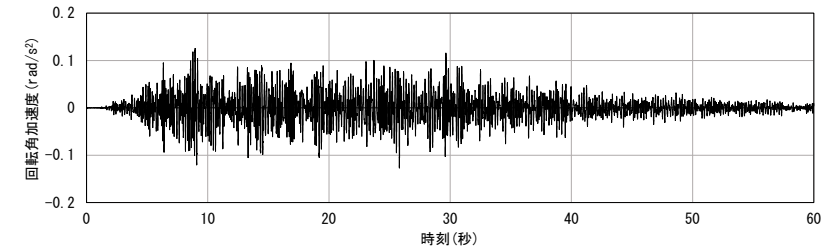
1次固有振動数は鉛直方向で 3.01Hz, 水平方向で 6.80Hz (NS方向), 8.34Hz (EW方向) となる。

参考4-1表 固有値解析結果

次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			備考
			NS方向 (X)	EW方向 (Y)	鉛直方向 (Z)	
1	3.01	0.332	0.036	0.008	2.272	鉛直方向1次
46	5.19	0.193	-0.010	0.140	1.350	鉛直方向2次
78	6.80	0.147	2.802	0.417	0.039	NS方向1次
102	8.34	0.120	0.759	-7.982	0.320	EW方向1次



(a) NS方向 (回転)



(b) EW方向 (回転)

第2-1図(2) 入力地震動の時刻歴波形 (加速度, 回転成分)

2. 屋根トラスの固有値解析結果

屋根トラスの暫定の固有値解析結果を第2-1表及び第2-2図に示す。

1次固有振動数は鉛直方向で 4.60Hz, 水平方向で 7.87Hz (NS方向), 8.12Hz (EW方向) となる。

第2-1表 固有値解析結果

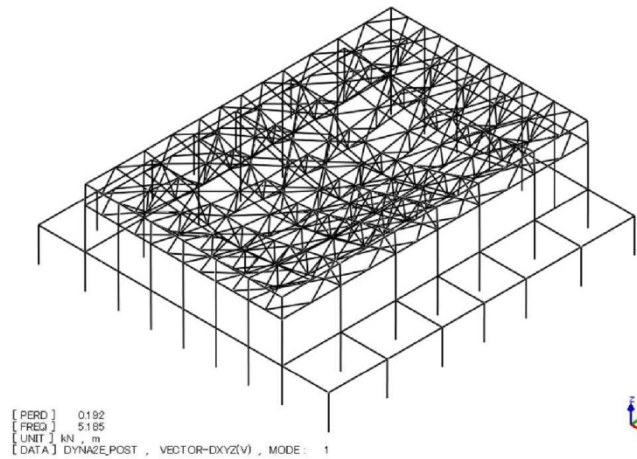
次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (秒)	刺激係数			備考
			NS方向 (Y)	EW方向 (X)	鉛直方向 (Z)	
1	4.60	0.217	0.085	-0.003	1.748	鉛直方向1次
2	6.23	0.160	-0.004	-0.040	-0.001	鉛直方向2次
3	7.87	0.127	-1.717	0.016	-0.002	NS方向1次
4	8.12	0.123	-0.014	-1.988	0.006	EW方向1次

・モデルの相違
【柏崎6/7, 女川2】
解析モデルが異なるため, 入力地震動が相違

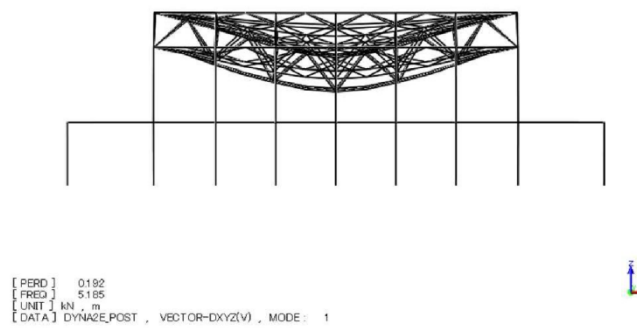
・モデルの相違
【柏崎6/7, 女川2】
解析モデルが異なるため, 固有振動数が相違

・同上

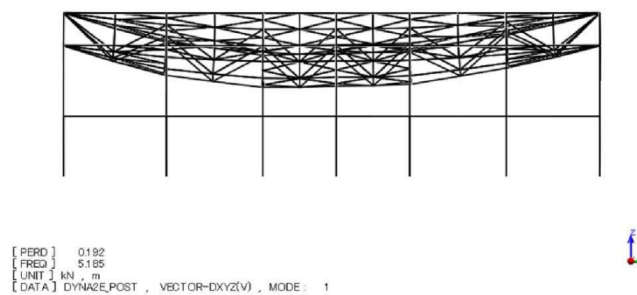
・モデルの相違
【柏崎6/7, 女川2】
 解析モデルが異なるため、固有振動数が相違



(a) 鳥瞰図

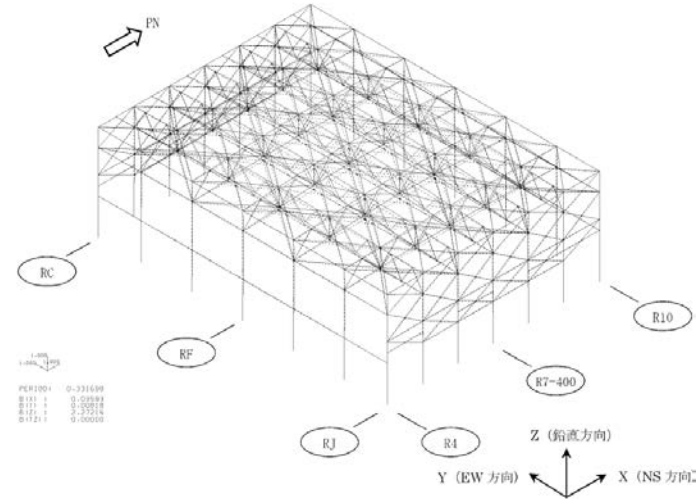


(b) ZX面

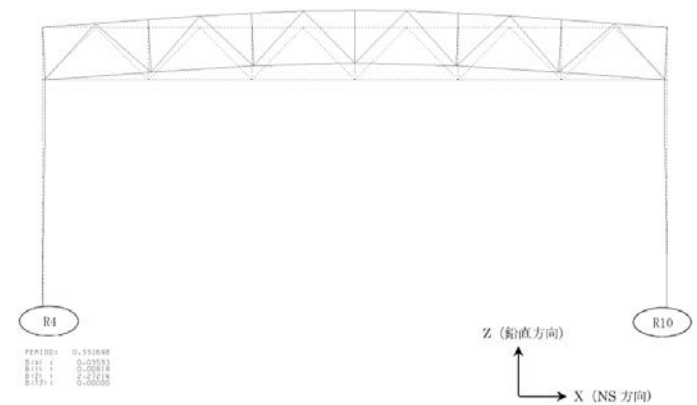


(c) YZ面

第2図(1) 固有値解析結果(刺激係数), UD方向1次モード

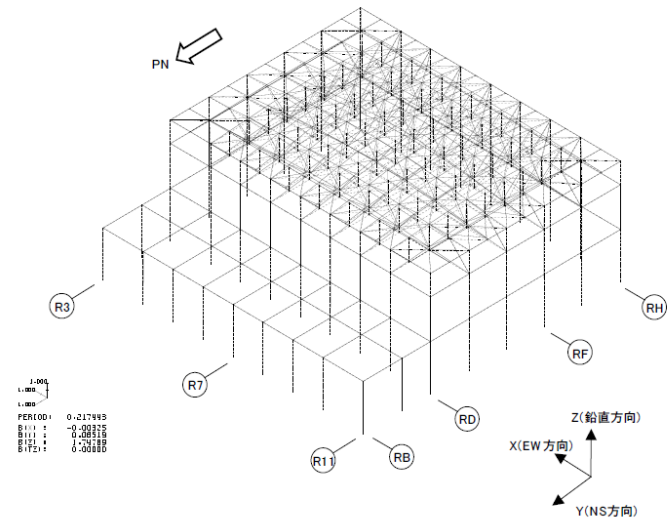


(a) 全体

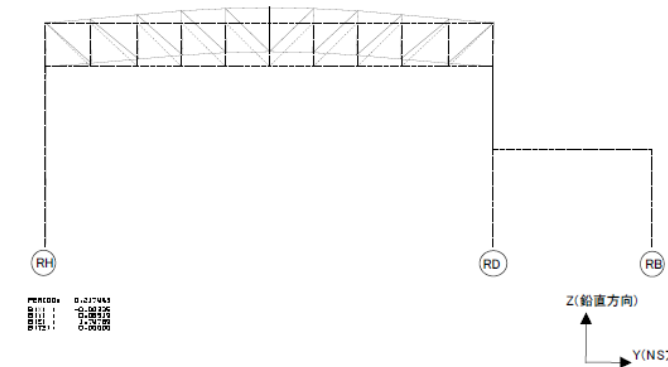


(b) 主トラス構面(RF通り)

参考4-2図(1) 固有モード図(全体1次:屋根の鉛直1次)

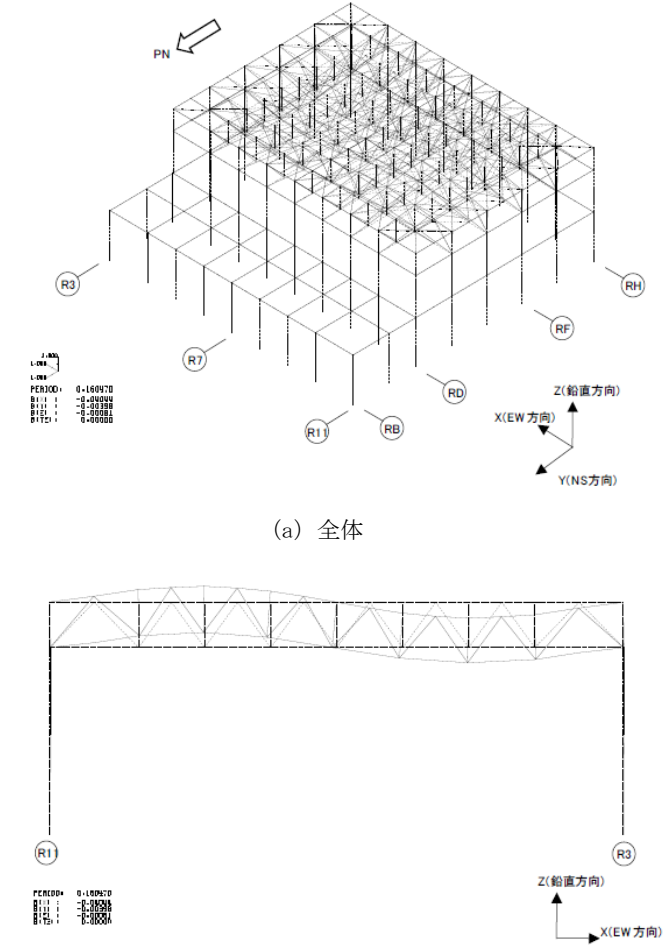


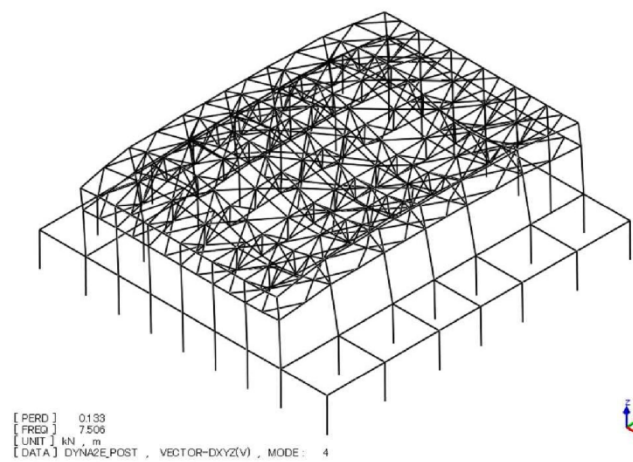
(a) 全体



(b) 主トラス構面(R7通り)

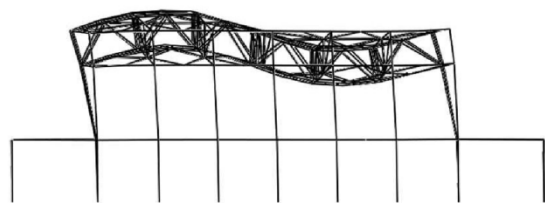
第2-2図(1) 固有モード図(全体1次:屋根の鉛直1次)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>(a) 全体</p> <p>(b) サブトラス構面 (RF 通り)</p> <p>第2-2図(2) 固有モード図 (全体2次：屋根の鉛直2次)</p>	<p>・モデルの相違 【柏崎6/7, 女川2】 解析モデルが異なるため、固有振動数が相違</p>



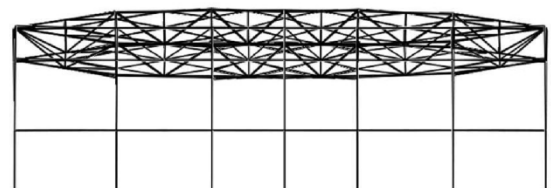
(a) 鳥瞰図

[PERD] 0.133
[FREQ] 7.506
[UNIT] MN, m
[DATA] DYNAGE_POST, VECTOR-DXYZ(V), MODE: 4



(b) ZX面

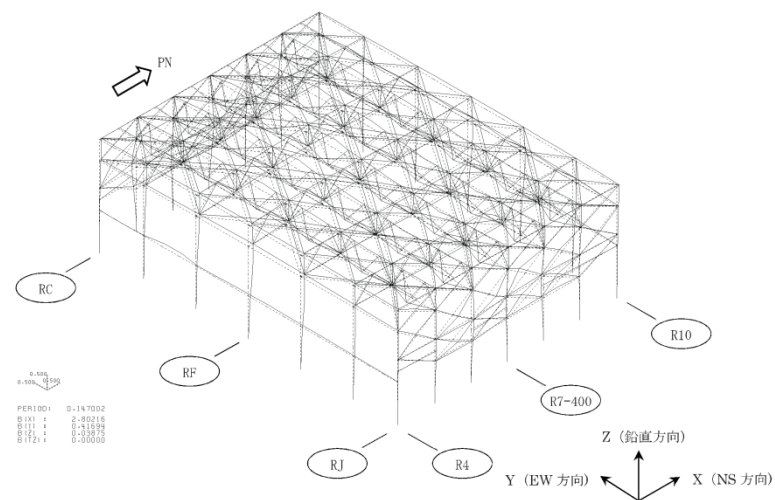
[PERD] 0.133
[FREQ] 7.506
[UNIT] MN, m
[DATA] DYNAGE_POST, VECTOR-DXYZ(V), MODE: 4



(c) YZ面

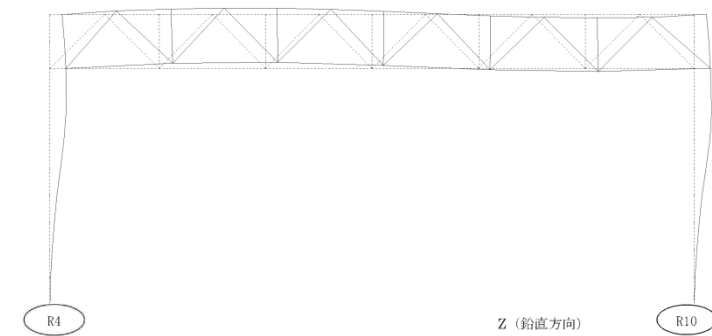
[PERD] 0.133
[FREQ] 7.506
[UNIT] MN, m
[DATA] DYNAGE_POST, VECTOR-DXYZ(V), MODE: 4

第2図(2) 固有値解析結果(刺激係数), NS方向1次モード



(a) 全体

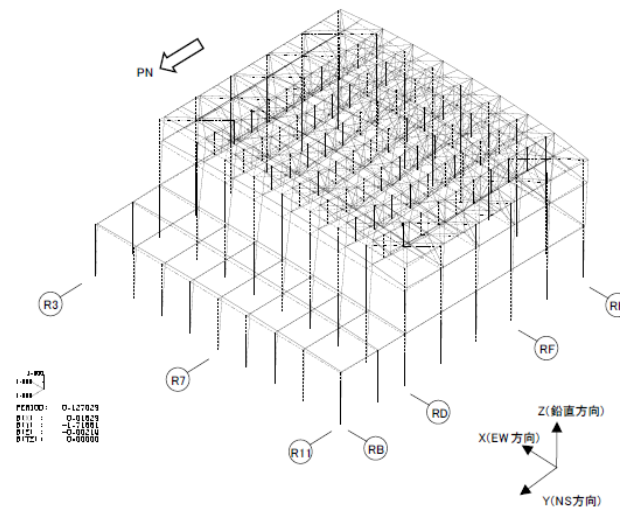
PERIOD: 0.147002
R(1): 0.20216
R(2): 0.13196
R(3): 0.00000



(b) 主トラス構面 (RF 通り)

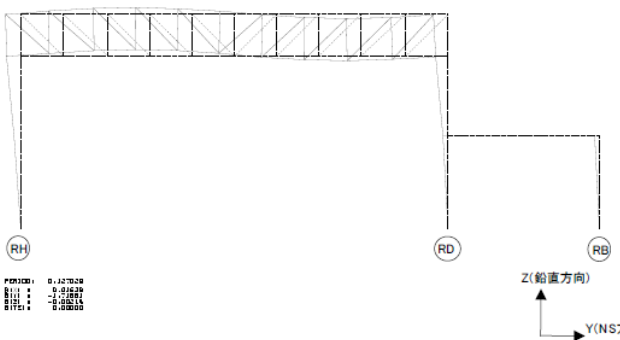
PERIOD: 0.147002
R(1): 0.20216
R(2): 0.13196
R(3): 0.00000

参考4-2図(2) 固有モード図(全体78次: NS方向水平1次)



(a) 全体

PERIOD: 0.127029
R(1): 0.41629
R(2): 0.21611
R(3): 0.00000



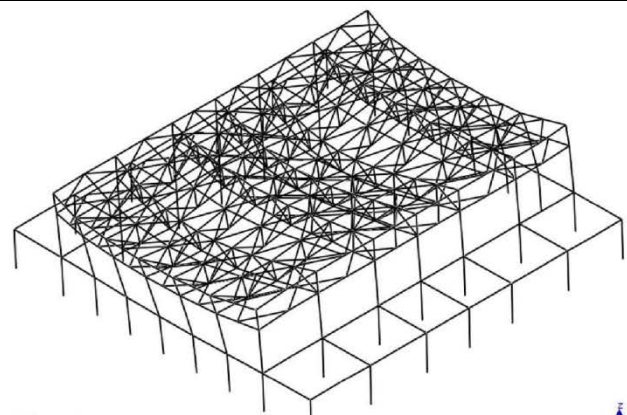
(b) 主トラス構面 (R7 通り)

PERIOD: 0.127029
R(1): 0.41629
R(2): 0.21611
R(3): 0.00000

第2-2図(3) 固有モード図(全体3次: NS方向水平1次)

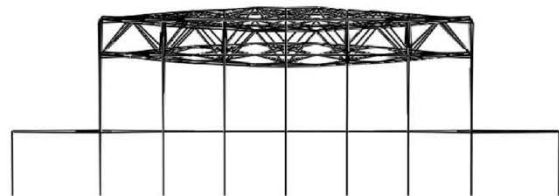
・モデルの相違
【柏崎6/7, 女川2】
解析モデルが異なるため、固有振動数が相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)



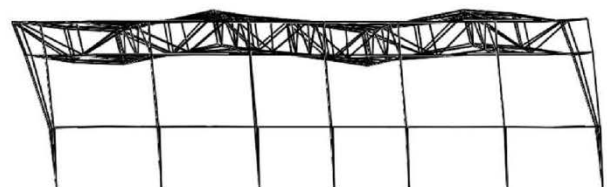
[PERD] 0.108
[FREQ] 9.220
[UNIT] KN, m
[DATA] DYNAGE,POST, VECTOR-DXYZ(V), MODE: 6

(a) 鳥瞰図



[PERD] 0.108
[FREQ] 9.220
[UNIT] KN, m
[DATA] DYNAGE,POST, VECTOR-DXYZ(V), MODE: 6

(b) ZX面

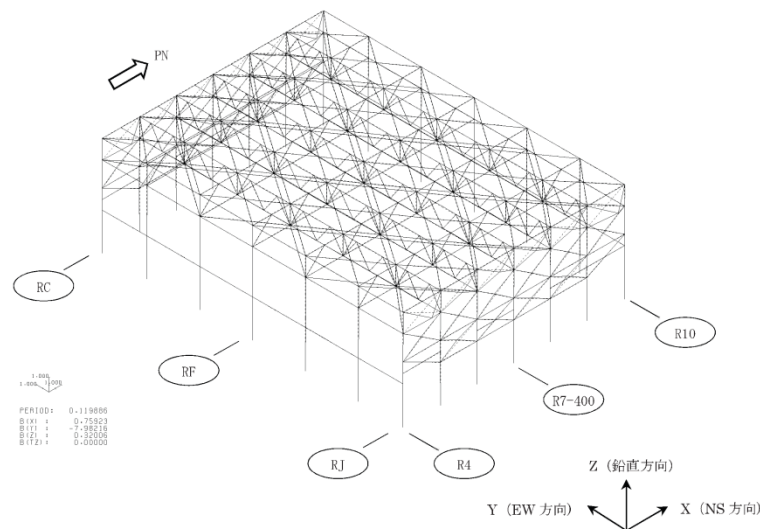


[PERD] 0.108
[FREQ] 9.220
[UNIT] KN, m
[DATA] DYNAGE,POST, VECTOR-DXYZ(V), MODE: 6

(c) YZ面

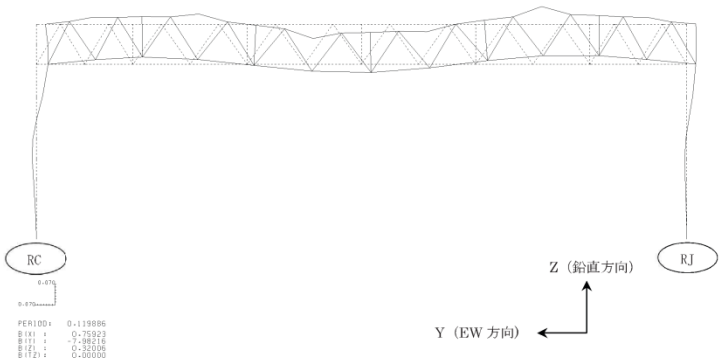
第2図(3) 固有値解析結果(刺激係数), EW方向1次モード

女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)



[PERD] 0.119896
[FREQ] 9.25923
[UNIT] KN, m
[DATA] 0.00000

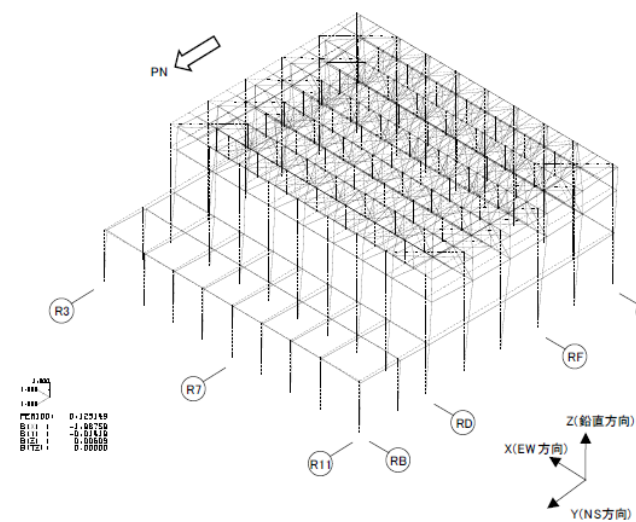
(a) 全体



(b) サブトラス構面 (R7-400 通り)

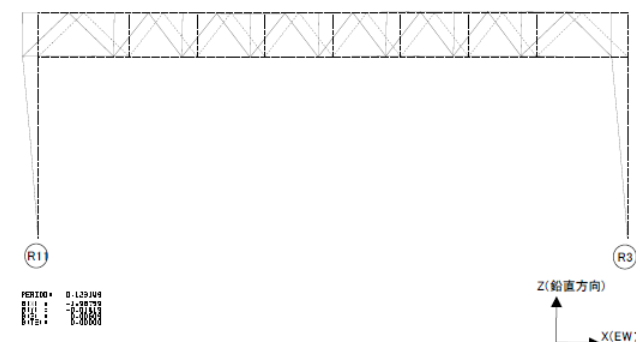
参考4-2図(3) 固有モード図(全体102次:EW方向水平1次)

島根原子力発電所 2号炉



[PERD] 0.122149
[FREQ] 9.28759
[UNIT] KN, m
[DATA] 0.00000

(a) 全体

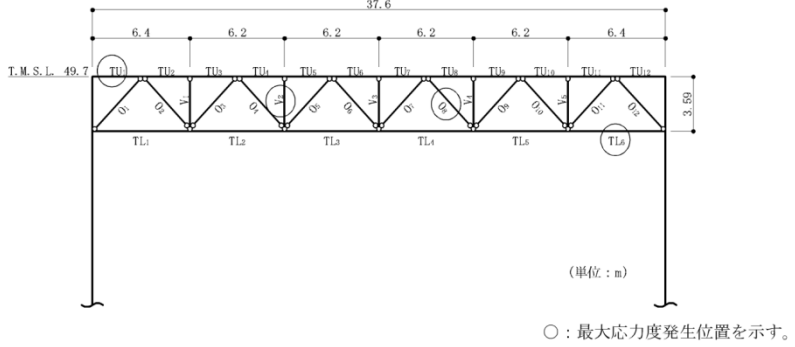


(b) サブトラス構面 (RF 通り)

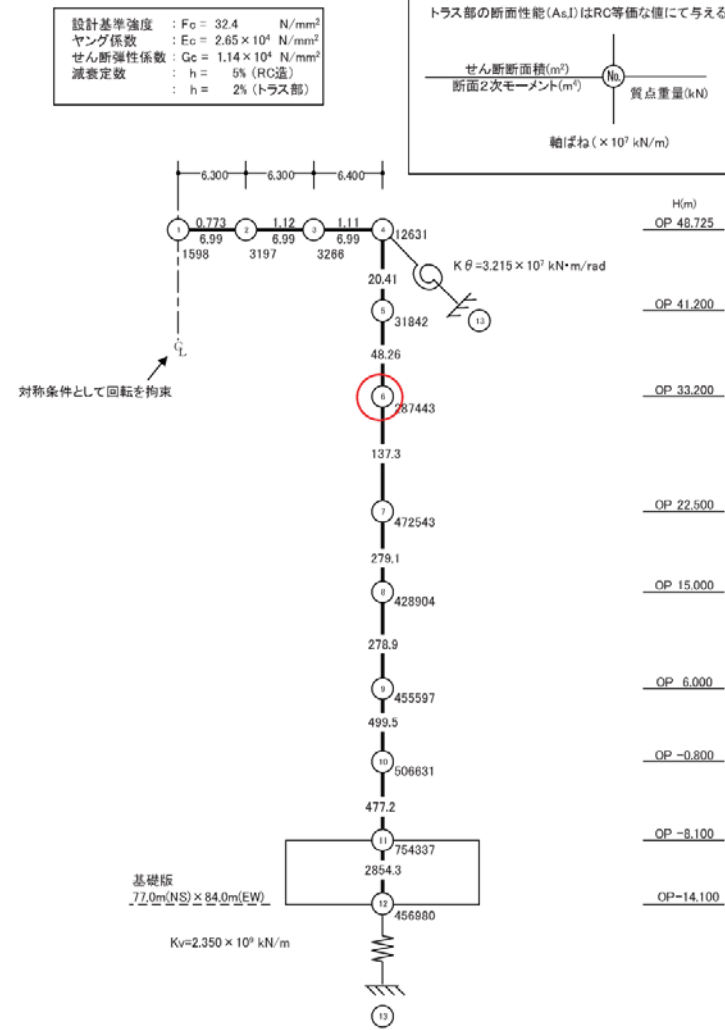
第2-2図(4) 固有モード図(全体4次:EW方向水平1次)

備考

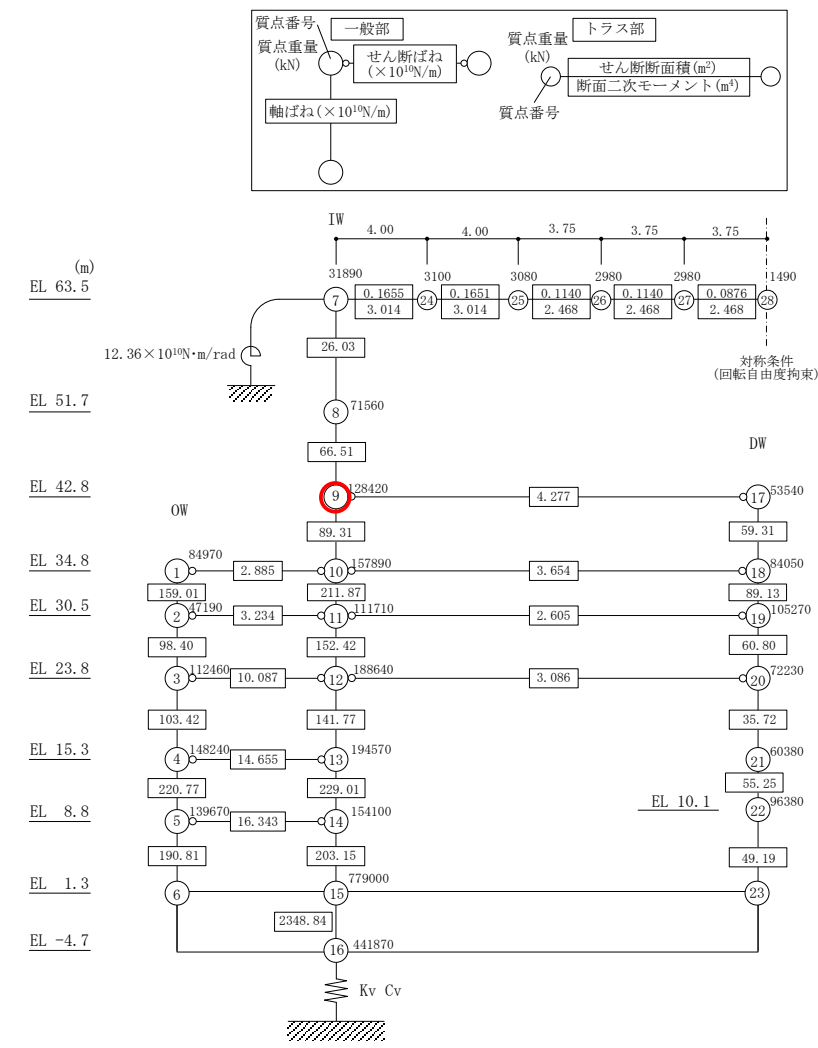
・モデルの相違
【柏崎6/7, 女川2】
解析モデルが異なるため、固有振動数が相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																				
<p>3. 屋根トラスの耐震評価の見直し</p> <p><u>基準地震動 Ss による暫定応答を用いた評価結果のうち、屋根トラスを構成する主トラス方向の発生応力と評価基準値の比(発生応力/評価基準値)が最も大きい部材を含む RE 通りについて、評価部位を第3図に、評価結果を第2表に示す。屋根トラスについて各部材の発生応力は、評価基準値以下となっている。詳細な評価結果は、今回工認の時点で示す予定であるが、暫定応答による評価結果からは重大な課題が存在するとは考えられない。</u></p>  <p>○：最大応力度発生位置を示す。</p> <p>第3図 評価部位</p> <p>第2表 主トラスの評価結果(暫定値)</p> <table border="1" data-bbox="181 1192 905 1398"> <thead> <tr> <th>部材</th> <th>評価結果 (発生応力/評価基準値)</th> <th>位置</th> <th>使用部材</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上弦材</td> <td>0.59</td> <td>TU1</td> <td>H-428×407×20×35</td> </tr> <tr> <td>下弦材</td> <td>0.66</td> <td>TL6</td> <td>H-400×408×21×21</td> </tr> <tr> <td>斜材</td> <td>0.62</td> <td>08</td> <td>H-244×252×11×11</td> </tr> <tr> <td>束材</td> <td>0.42</td> <td>V2</td> <td>2[s-200×90×8×13.5</td> </tr> </tbody> </table>	部材	評価結果 (発生応力/評価基準値)	位置	使用部材	上弦材	0.59	TU1	H-428×407×20×35	下弦材	0.66	TL6	H-400×408×21×21	斜材	0.62	08	H-244×252×11×11	束材	0.42	V2	2[s-200×90×8×13.5	<p>3. 屋根トラスの耐震評価の見直し</p> <p>屋根トラスの主要部材については、<u>おおむね弾性範囲となる見込みであるが、一部の部材が弾性範囲を超える場合については、詳細設計段階で別途詳細な検討をしていく。</u></p>	<p>3. 屋根トラスの耐震評価の見直し</p> <p>屋根トラスの主要部材については、<u>概ね弾性範囲となる見込みであるが、一部の部材が弾性範囲を超える場合については、詳細設計段階で別途詳細な検討をしていく。</u></p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・記載の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉の屋根トラスの評価は、詳細設計段階で検討を実施するため相違
部材	評価結果 (発生応力/評価基準値)	位置	使用部材																				
上弦材	0.59	TU1	H-428×407×20×35																				
下弦材	0.66	TL6	H-400×408×21×21																				
斜材	0.62	08	H-244×252×11×11																				
束材	0.42	V2	2[s-200×90×8×13.5																				

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">別紙13 参考資料5</p> <p style="text-align: center;">屋根トラスの入力地震動に係る影響検討について</p> <p>1. 概要 原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析モデルへの入力地震動は、原子炉建屋の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる燃料取替床（地上3階）レベルの応答時刻歴波形を用いるが、鉛直動に対する質点系モデルでは、屋根スラブの剛性は考慮していない。 鉛直動に対する質点系モデルにおいて、屋根スラブの剛性を考慮した場合についても解析を実施し、原子炉建屋屋根トラスの地震応答解析モデルへの入力地震動に与える影響を確認する。</p> <p>2. 検討結果 鉛直動に対する質点系モデルを参考5-1図に、屋根スラブの面外剛性を屋根部分の剛性に考慮したモデルを参考5-2図に示す。 上記2つのモデルによる燃料取替床（地上3階）レベルの応答スペクトル（h=2%）の比較を、S_s-D1、S_s-D2を例に参考5-3図に示す。 全周期帯にわたり、2つのモデルによる応答値の差はほとんど無く、屋根トラスの評価において無視できる範囲である。</p>	<p style="text-align: right;">参考資料-3</p> <p style="text-align: center;">屋根トラスの入力地震動に係る影響検討について</p> <p>1. 概要 原子炉建物屋根トラスの地震応答解析モデルへの入力地震動は、原子炉建物の質点系モデルによる地震応答解析結果から得られる燃料取替床レベル（E L 42.8m）の応答時刻歴波形を用いるが、鉛直動に対する質点系モデルでは、屋根スラブの剛性は考慮していない。 鉛直動に対する質点系モデルにおいて、屋根スラブの剛性を考慮した場合についても解析を実施し、原子炉建物屋根トラスの地震応答解析モデルへの入力地震動に与える影響を確認する。</p> <p>2. 検討結果 鉛直動に対する質点系モデルを第3-1図に、屋根スラブの面外剛性を屋根部分の剛性に考慮したモデルを第3-2図に示す。 上記2つのモデルによる燃料取替床レベル（E L 42.8m）の応答スペクトル（h=2%）の比較を、基準地震動S_s-Dを例に第3-3図に示す。 全周期帯にわたり、2つのモデルによる応答値の差はほとんど無く、屋根トラスの評価において無視できる範囲である。</p>	<p>・影響検討の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉は屋根トラスの入力地震動に係る影響検討結果について詳細に説明</p>

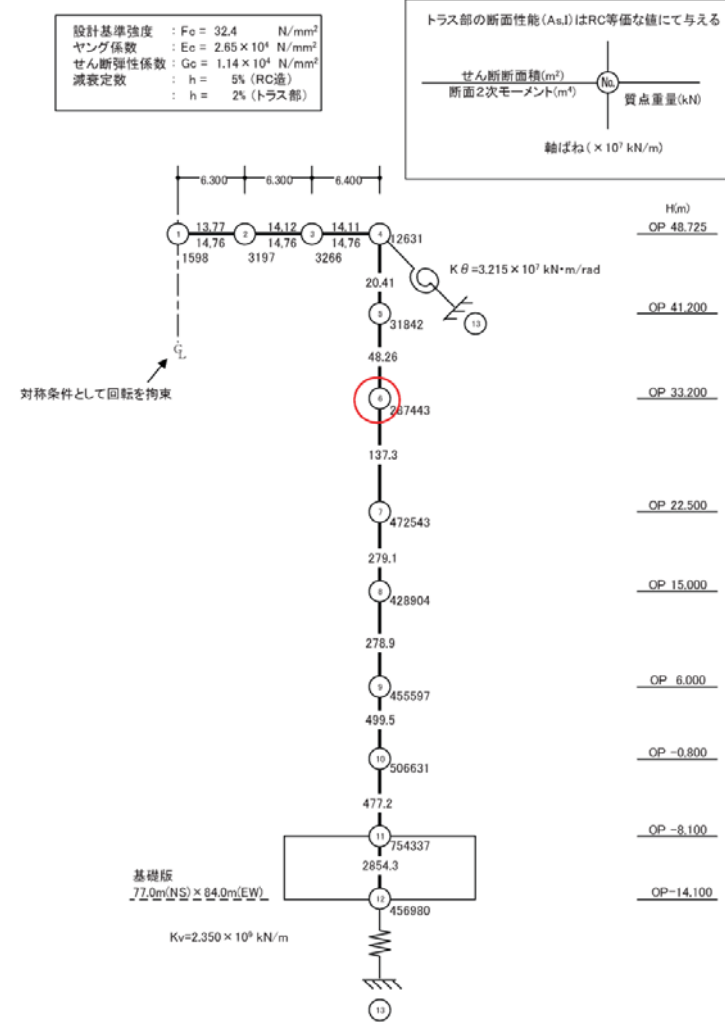


参考 5-1 図 鉛直動に対する質点系モデル
(屋根の面外剛性非考慮)

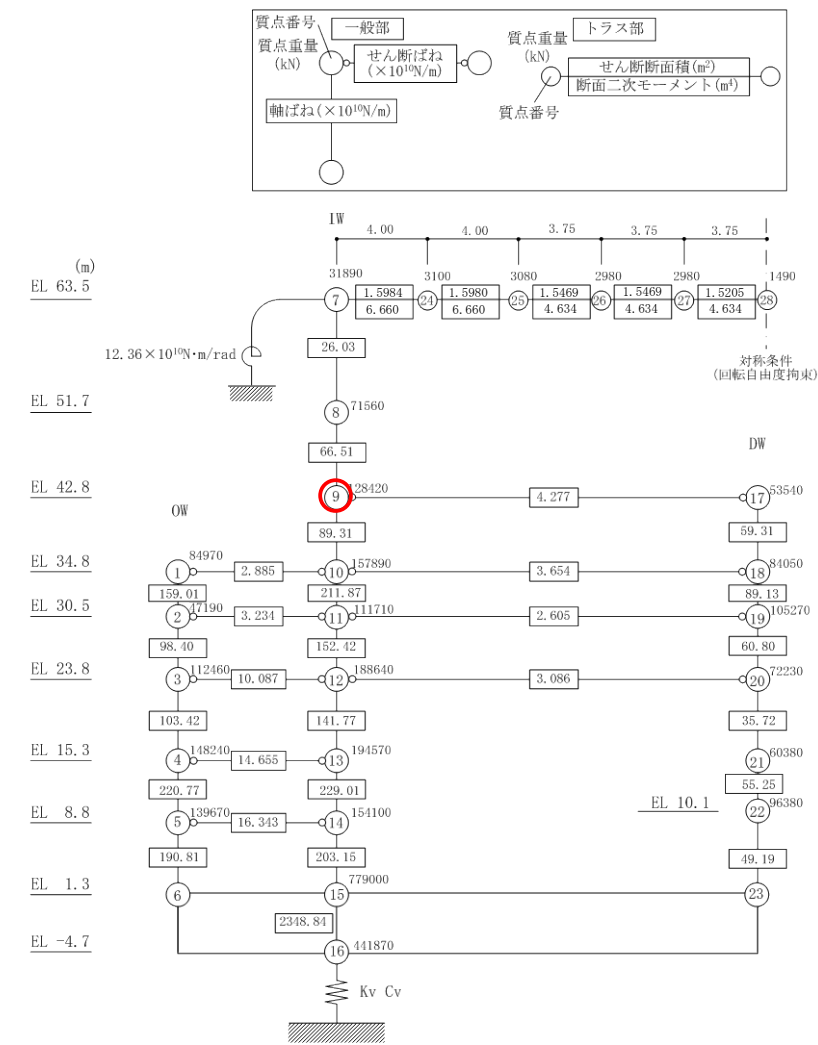


第 3-1 図 鉛直動に対する質点系モデル
(屋根の面外剛性非考慮)

・影響検討の相違
【柏崎 6/7】
島根 2号炉は屋根トラスの入力地震動に係る影響検討結果について詳細に説明
・モデルの相違
【女川 2】
解析モデルが異なるため相違

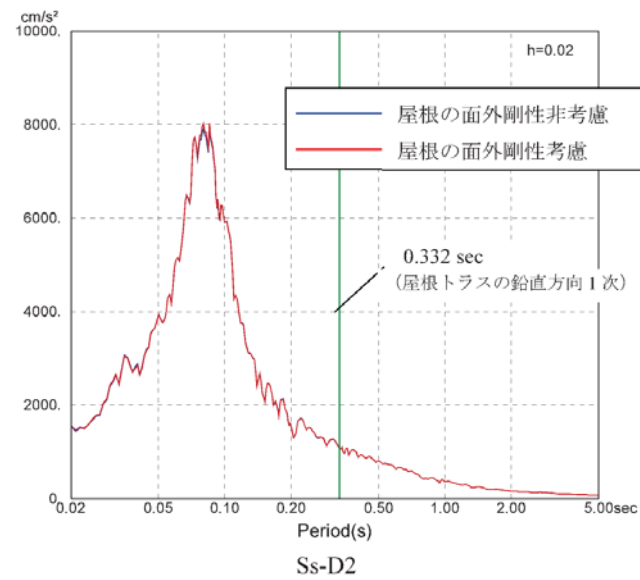
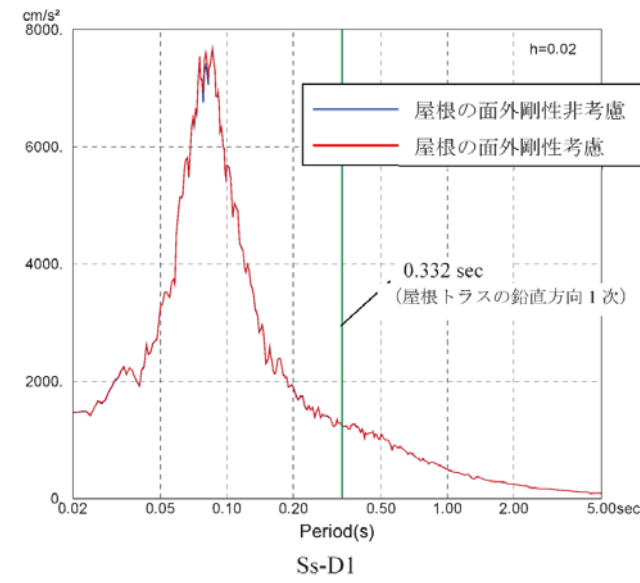


参考 5-2 図 鉛直動に対する質点系モデル
(屋根の面外剛性を考慮した場合)

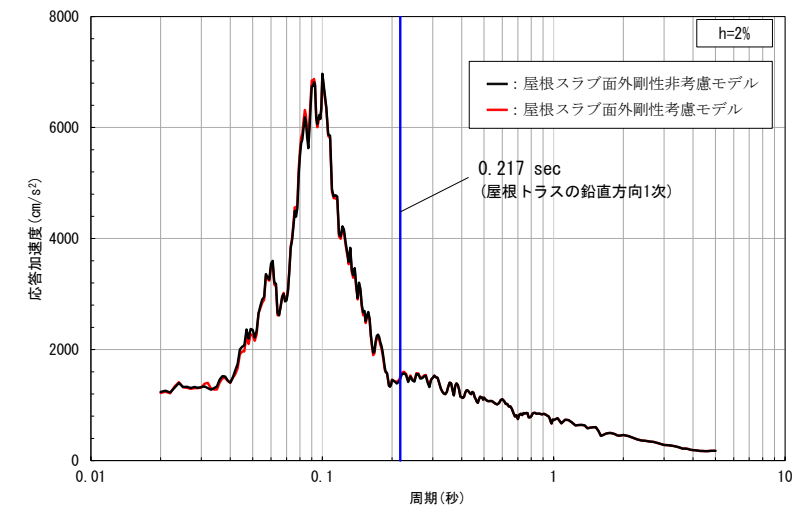


第 3-2 図 鉛直動に対する質点系モデル
(屋根の面外剛性を考慮した場合)

・影響検討の相違
【柏崎 6/7】
島根 2号炉は屋根トラスの入力地震動に係る影響検討結果について詳細に説明
・モデルの相違
【女川 2】
解析モデルが異なるため相違



参考 5-3 図 燃料取替床 (地上3階) レベルの応答スペクトル (h=2%) の比較



第 3-3 図 燃料取替床レベル (E L 42.8m) の応答スペクトル (基準地震動 S s - D, h=2%) の比較

・影響検討の相違
【柏崎 6/7】
 島根 2号炉は屋根トラスの入力地震動に係る影響検討結果について詳細に説明
 ・モデルの相違
【女川 2】
 解析モデルが異なるため相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">別紙13 参考資料6</p> <p style="text-align: center;"><u>二次格納施設のバウンダリを形成するオペフロ上部の耐震壁に係る気密性評価の整理</u></p> <p>鉄筋コンクリート構造の耐震壁の気密性の維持については、耐震壁のせん断ひずみがおおむね弾性状態にとどまることを基本とする。おおむね弾性状態を超える場合は、地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が、設置する換気設備の性能を下回ることで必要な気密性を維持する設計とする。その場合、基準地震動 S_s による気密性を要求される鉄筋コンクリート造の施設に対し、許容限界を最大せん断ひずみ 2.0×10^{-3} とし、その適用性を確認する。</p> <p>オペフロ上部の耐震壁のせん断ひずみは、建屋全体の水平動を主体とした弾塑性応答を表す質点系モデルによる算定結果を採用するが、オペフロ上部については初期剛性の低下量が大きいこと、水平2方向入力の影響検討として、初期剛性低下を考慮した3次元FEM等価線形モデル(建屋全体モデル)による解析を行うこと、屋根トラスの耐震性評価として、トラスの弾塑性特性の反映、および耐震壁の初期剛性低下を考慮した屋根トラス解析モデルによる解析を行うことから、これらのモデルによる応答性状と質点系の応答性状を比較した上で、必要に応じオペフロ上部の耐震壁のせん断ひずみ等の評価に反映する。</p> <div data-bbox="973 1346 1700 1696" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">東北地方太平洋沖地震による応答性状(初期剛性の低下)</p> <p>※1: 3.11地震による影響を踏まえた初期剛性の低下等を考慮してモデル化 ※2: 屋根トラスの解析モデルはオペフロ上部の立体的な振動性状を考慮できる特徴がある。また、3次元FEM等価線形モデルは建屋全体の立体的な振動性状を考慮できる特徴がある。これらのモデルにおいて、局所的に大きな応答が表れる等の特異な応答性状が認められた場合は、その影響を適切に考慮する。(例えばオペフロ上部の耐震壁のせん断ひずみを算出し評価に反映する等)</p> </div> <p style="text-align: center;">参考 6-1 図 オペフロ上部の耐震壁に係る気密性評価の整理</p>		<p>・モデルの相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は地震観測記録に基づく剛性低下を考慮しないため相違</p>

実線・・設備運用又は体制等の相違（設計方針の相違）
 波線・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

まとめ資料比較表 〔第4条 地震による損傷の防止 別紙-5〕

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>別紙-3 土木建造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について</p> <p>1. 屋外重要土木建造物の評価手法の概要</p> <p>屋外重要土木建造物の耐震安全性評価について、<u>柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の今回の工事計画認可申請書</u>（以下「<u>今回工認</u>」という。）では、屋外重要土木建造物の変位や変形をより実状に近い応答に<u>適正化</u>することを目的に、評価手法の高度化として、解析手法と減衰定数の変更を予定している。<u>柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の建設時の工事計画認可申請書</u>（1991年8月）（以下「<u>既工認</u>」という。）と今回工認との手法の比較を第3-1-1表に示す。</p> <p>既工認との相違点のうち、解析手法として適用している「時刻歴応答解析、限界状態設計法」は、新規制基準施行後の工事計画認可にて適用例がある手法である。</p> <p>なお、<u>土木建造物の地震時の挙動は、地盤の影響を受けることを踏まえると、地盤特性を適切にモデル化することにより、実応答に近い形で評価できるものと考えられる。このため、コンクリート強度は、既工認と同じく設計基準強度を採用する方針とする。</u></p>	<p>別紙-1.5 土木建造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について</p> <p><u>第I編 土木建造物の解析手法及び解析モデルの精緻化</u></p> <p><u>本編では、線状建造物の解析手法及び解析モデルの精緻化（時刻歴応答解析及び限界状態設計法の適用、減衰定数の変更）について説明する。</u></p> <p><u>海水ポンプ室等の箱型建造物の構造解析に用いる三次元静的材料非線形解析の適用性については「第II編 三次元静的材料非線形解析の適用性」にて説明する。</u></p> <p>1. 屋外重要土木建造物の評価手法の概要</p> <p>屋外重要土木建造物の耐震評価について、<u>今回申請では、屋外重要土木建造物の変位や変形をより実状に近い応答に適正化することを目的に、評価手法の高度化として、解析手法と減衰定数の変更を予定している。女川原子力発電所2号炉の工事計画認可</u>（平成3年6月19日及び平成4年1月13日）（以下「<u>建設工認</u>」という。）と今回工認との手法の比較を第I.1-1表に示す。</p> <p><u>建設工認との相違点のうち、解析手法として適用している「時刻歴応答解析、限界状態設計法」は、新規制基準対応工認にて適用例がある手法である。</u></p> <p>なお、<u>土木建造物の地震時の挙動は、地盤の影響を受けることを踏まえると、地盤特性を適切にモデル化することにより、実応答に近い形で評価できるものと考えられる。このため、コンクリート強度は、建設工認と同じく設計基準強度を採用する方針とする。</u></p>	<p>別紙-5 土木建造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について</p> <p>1. 屋外重要土木建造物等[*]の評価手法の概要</p> <p>屋外重要土木建造物等の耐震安全性評価について、<u>島根原子力発電所2号炉の今回の工事計画認可申請書</u>（以下「<u>今回工認</u>」という。）では、屋外重要土木建造物等の変位や変形をより実状に近い応答に<u>精緻化</u>することを目的に、評価手法の高度化として、解析手法と減衰定数の変更及び隣接建造物のモデル化を予定している。<u>島根原子力発電所2号炉の建設時の工事計画認可申請書</u>（1984年2月）（以下「<u>既工認</u>」という。）と今回工認との手法の比較を第5-1-1表に示す。</p> <p><u>※設計基準対象施設のうち屋外重要土木建造物、重大事故等対処施設のうち土木建造物及び波及的影響を及ぼすおそれのある施設のうち土木建造物を「屋外重要土木建造物等」という。</u></p> <p><u>既工認との相違点のうち、解析手法として適用している「時刻歴応答解析、限界状態設計法」は、新規制基準施行後の工事計画認可にて適用例がある手法である。</u></p> <p>なお、コンクリート強度は、<u>既工認と同じく設計基準強度を採用する方針とする。</u></p> <p><u>評価対象設備について、要求性能、解析手法、解析モデル及び許容限界を整理した。既工認の整理結果を第5-1-2表に、今回工認の整理結果を第5-1-3表に示す。また、評価対象設備の配置図を第5-1-1図に示す。</u></p>	<p>備考</p> <p>・設計方針の相違</p> <p>【女川2】 女川2号炉は第II編で三次元静的材料非線形解析について説明</p> <p>・設計方針の相違</p> <p>【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は隣接建造物のモデル化を検討（以下、①の相違）</p> <p>・設計方針の相違</p> <p>【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は評価対象設備ごとの要求性能等について整理（以下、②の相違）</p>

第3-1-1 表 既工認と今回工認との手法の比較

	解析手法	解析モデル	減衰定数	コンクリート強度
既工認	周波数応答解析 許容応力度法	地質データに基づく FEM モデル	構造物の減衰 5%	設計基準強度
今回工認	時刻歴応答解析 限界状態設計法	地質データに基づく FEM モデル	構造物の減衰 1% +履歴減衰	設計基準強度
比較結果	●異なる	○同じ	●異なる	○同じ
適用例	○あり	○あり	×なし	○あり

第 I. 1-1 表 建設工認と今回工認の手法との比較

	解析手法	解析モデル	減衰定数	コンクリート強度
建設工認	周波数応答解析 許容応力度法	地質データに基づく FEM モデル	構造物の減衰 5%	設計基準強度
今回工認	時刻歴応答解析 限界状態設計法又は 許容応力度法	地質データに基づく FEM モデル	構造物の履歴減衰 [※] +Rayleigh 減衰	設計基準強度
比較結果	●異なる	○同じ	●異なる	○同じ
適用例	○あり	○あり	○あり	○あり

※：構造物を線形でモデル化する場合は、Rayleigh 減衰のみとする。

既工認では、各評価対象施設に求められる要求性能（支持性能、通水性能）を考慮し、終構造部材の曲げについては終局強度、せん断については許容せん断力に対して妥当な裕度を持つことを確認することを基本としていた。

今回工認では、各評価対象施設に求められる要求性能（支持性能、通水性能、貯水性能、止水性能及び遮蔽性能）を考慮し、構造部材の曲げにおいては「限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ」、「圧縮ひずみ：コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ、主筋ひずみ：鉄筋の降伏強度に対応するひずみ」、「曲げ耐力」、「許容応力度」又は「全塑性モーメント」から、せん断においては「せん断耐力」又は「許容応力度」から適切に選定する。

第5-1-1表 既工認と今回工認との手法の比較

	解析手法	解析モデル	減衰定数	コンクリート強度	隣接構造物
既工認	時刻歴応答解析 及び周波数応答 許容応力度法等	ばね質点系モデル 及び地質データ に基づく水平 成層地盤モデル	構造物の減衰 5%	設計基準強度	地盤としてモデル 化
今回工認	時刻歴応答解析 限界状態設計法	地質データに基 づく FEM モデ ル	構造物の減衰 2% +履歴減衰	設計基準強度	等価剛性でモデル 化
比較結果	●異なる	●異なる	●異なる	○同じ	●異なる
適用例	○あり	○あり	○あり	○あり	○あり

第5-1-2表 耐震評価条件整理一覧表（既工認）

分類	設備名称	要求性能	要求性能に対する 目標性能	許容限界		解析手法	解析モデル
				曲げ	せん断		
設計基準対象施設のうち 屋外重要土木構造物	取水槽	通水性能 耐震支持性能	終局状態に支らない 鉄筋が降伏しない 発生せん断力がせん 断耐力以下	終局強度	許容せん断力	時刻歴応答解析	ばね質点系モデル
	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	耐震支持性能	終局状態に支らない	終局強度	許容せん断力	周波数応答解析	地質データに基づく水平成層地盤モデル（1次元波動論による）

第5-1-3表 耐震評価条件整理一覧表（今回工認）

分類	設備名称	要求性能	要求性能に対する 目標性能	許容限界		解析手法	解析モデル	
				曲げ	せん断			
設計基準対象施設のうち 屋外重要土木構造物	取水槽	通水性能 止水性能 支持性能	終局状態に支らない 鉄筋が降伏しない 発生せん断力がせん 断耐力以下	終局強度 せん断耐力 せん断耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	支持性能	終局状態に支らない	終局強度 せん断耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）	支持性能	終局状態に支らない	終局強度 せん断耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
	B-デーゼル燃料貯蔵タンク基礎	支持性能	終局状態に支らない	終局強度 せん断耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
	屋外配管ダクト（B-デーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	支持性能	終局状態に支らない	終局強度 せん断耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
	取水管	通水性能 支持性能	終局状態に支らない	許容応力度 せん断耐力	許容応力度 せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
	取水口	通水性能 支持性能 遮蔽性能	終局状態に支らない	許容応力度 せん断耐力 せん断耐力	許容応力度 せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
	第1ベトフルタ格納槽	支持性能	終局状態に支らない	終局強度 せん断耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
	低圧原子炉冷却注水ポンプ格納槽	止水性能	鉄筋が降伏しない 発生せん断力がせん 断耐力以下	圧縮ひずみ：コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ：鉄筋の降伏強度に対応するひずみ	せん断耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
	緊急時対策用燃料地下タンク	非常用発電機稼働に係る燃料の貯蔵 ^{※2}	鉄筋が降伏しない 発生せん断力がせん 断耐力以下	圧縮ひずみ：コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ：鉄筋の降伏強度に対応するひずみ	せん断耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル
波及的影響も及ぼすお それのある施設のうち土木 構造物	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	支持性能	終局状態に支らない	曲げ耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	支持性能	終局状態に支らない	限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	
	免震重要棟基礎	波及的影響	終局状態に支らない	せん断耐力	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	

※1 設計基準対象施設と兼用する重要 S A 施設のうち、設計基準対象施設の許容手法と相違がない場合は設計基準対象施設の一覧表に代表して記載。
※2 コンクリート躯体内側のライナ（鋼製タンク）においても要求性能も確保する設計とする（許容限界は許容応力度とする）。

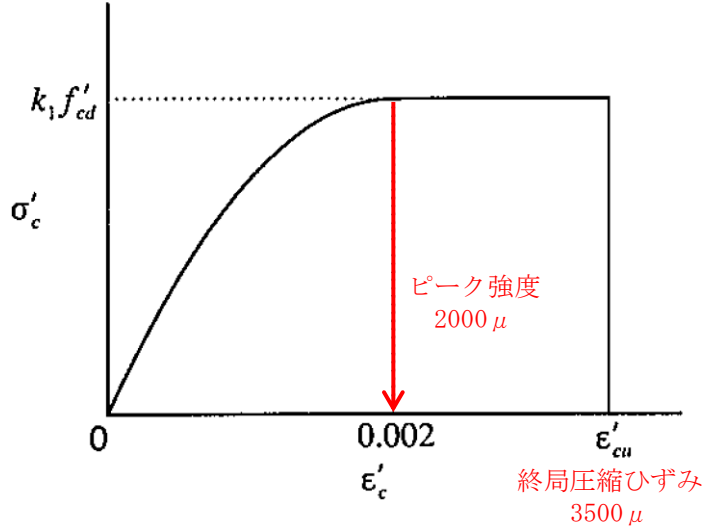
・設計方針の相違
【柏崎 6/7, 女川 2】
島根 2 号炉は各評価対象施設に求められる要求性能及び目標性能を整理した上で、許容限界の選定方針を整理

・設計方針の相違
【柏崎 6/7, 女川 2】
①の相違
既工認及び今回工認における手法の相違

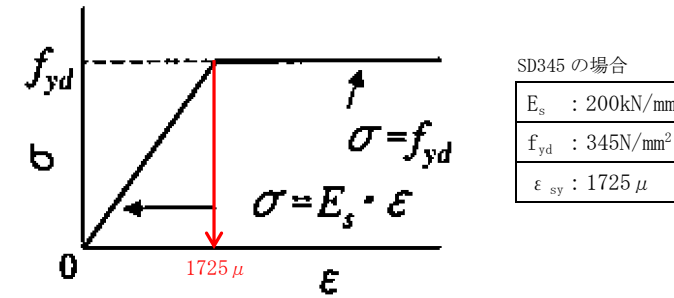
・設計方針の相違
【柏崎 6/7, 女川 2】
②の相違

・設計方針の相違
【柏崎 6/7, 女川 2】
②の相違

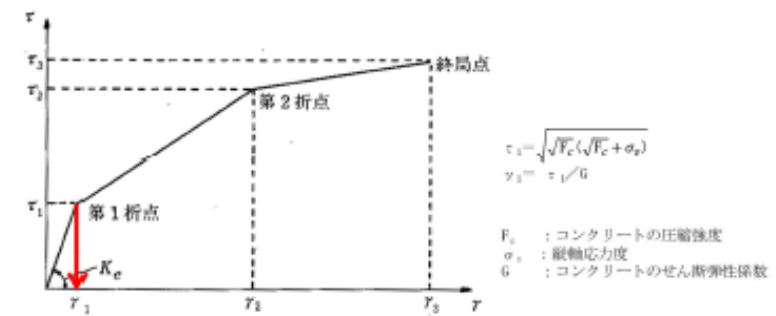
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1899 840 2344 871">第5-1-1図 評価対象設備 配置図</p> <p data-bbox="1736 924 2507 1501"> <u>貯水性能及び止水性能が要求される構造部材については、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れが発生しないよう、目標性能としては鉄筋が降伏しないこと及びせん断力がせん断耐力以下になることが求められるため、構造部材の曲げ照査においてはコンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）において応力ひずみ関係として示された「圧縮ひずみ：コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ（2000μ），主筋ひずみ：鉄筋の降伏強度に対応するひずみ（1725μ（SD345の場合）」に対して十分な安全余裕を持つことを確認する。また、せん断照査においては原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）に規定された「せん断耐力」に対して妥当な安全余裕を持つことを確認する。</u> </p> <p data-bbox="1736 1512 2507 1722"> <u>面内変形に対しては、JEAG4601-1991に規定されている層間変形角がスケルトンカーブの第1折れ点以下であることを許容限界とした耐震評価を行うこととし、これについても、耐震壁のせん断変形に対する水密性評価の許容限界として既工認実績がある（第5-1-4表参照）。</u> </p> <p data-bbox="1736 1732 2507 1900"> <u>支持性能、通水性能及び遮蔽性能が要求される構造部材については、目標性能としては部材が終局状態に至らないことが求められるため、構造部材の曲げ照査においては「限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ」、「曲げ耐力」、「許容応力度」又</u> </p>	<p data-bbox="2537 924 2789 1050"> ・設計方針の相違 【柏崎 6/7，女川 2】 ②の相違 </p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																			
		<p>は「全塑性モーメント」、せん断照査においては「せん断耐力」又は「許容応力度」に対して適切な安全余裕を持つことを確認する。</p> <p>第5-1-4表 貯水性能及び止水性能の許容限界</p> <table border="1" data-bbox="1754 386 2499 976"> <thead> <tr> <th rowspan="2">変形モード</th> <th colspan="2">許容限界</th> <th rowspan="2">既工認実績</th> </tr> <tr> <th>指標</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">曲げ</td> <td>圧縮ひずみ</td> <td>2000 μ</td> <td rowspan="2">本許容値はコンクリート標準示方書 2002 において、応力-ひずみ関係として示されており、概ね弾性範囲の状態である(第5-1-2~3 図参照)。概ね弾性範囲の状態は止水機能に対する許容限界として既工認実績がある。なお、この許容限界は水道施設耐震工法指針・解説 2009 に規定されている照査基準と同じレベルの許容値である(第5-1-5 表参照)。</td> </tr> <tr> <td>主筋ひずみ</td> <td>1725 μ (SD345 の場合)</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">せん断</td> <td>層間変形角 (面内)</td> <td>第1折点 (γ_1) 以下</td> <td>JEAG4601-1991 に規定されており、耐震壁のせん断変形に対する水密性評価の許容限界として既工認実績がある。</td> </tr> <tr> <td>発生せん断力</td> <td>せん断耐力</td> <td>土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の貯水機能の許容限界として既工認実績がある。</td> </tr> </tbody> </table>	変形モード	許容限界		既工認実績	指標	許容値	曲げ	圧縮ひずみ	2000 μ	本許容値はコンクリート標準示方書 2002 において、応力-ひずみ関係として示されており、概ね弾性範囲の状態である(第5-1-2~3 図参照)。概ね弾性範囲の状態は止水機能に対する許容限界として既工認実績がある。なお、この許容限界は水道施設耐震工法指針・解説 2009 に規定されている照査基準と同じレベルの許容値である(第5-1-5 表参照)。	主筋ひずみ	1725 μ (SD345 の場合)	せん断	層間変形角 (面内)	第1折点 (γ_1) 以下	JEAG4601-1991 に規定されており、耐震壁のせん断変形に対する水密性評価の許容限界として既工認実績がある。	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の貯水機能の許容限界として既工認実績がある。	<p>・設計方針の相違 【柏崎 6/7, 女川 2】 ②の相違</p>
変形モード	許容限界			既工認実績																		
	指標	許容値																				
曲げ	圧縮ひずみ	2000 μ	本許容値はコンクリート標準示方書 2002 において、応力-ひずみ関係として示されており、概ね弾性範囲の状態である(第5-1-2~3 図参照)。概ね弾性範囲の状態は止水機能に対する許容限界として既工認実績がある。なお、この許容限界は水道施設耐震工法指針・解説 2009 に規定されている照査基準と同じレベルの許容値である(第5-1-5 表参照)。																			
	主筋ひずみ	1725 μ (SD345 の場合)																				
せん断	層間変形角 (面内)	第1折点 (γ_1) 以下	JEAG4601-1991 に規定されており、耐震壁のせん断変形に対する水密性評価の許容限界として既工認実績がある。																			
	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の貯水機能の許容限界として既工認実績がある。																			
		 <p>The graph plots concrete stress (σ'_c) on the vertical axis against concrete strain (ϵ'_c) on the horizontal axis. The curve starts at the origin (0,0), rises to a peak at a strain of 0.002 (2000 μ), and then remains constant until the ultimate strain of 0.0035 (3500 μ). The peak stress is labeled as $k_1 f'_{cd}$. A red arrow points to the peak with the label 'ピーク強度 2000 μ'. Another red arrow points to the end of the constant stress region with the label '終局圧縮ひずみ 3500 μ'.</p>																				
		<p>第5-1-2図 コンクリートの応力-ひずみ曲線</p>																				

・設計方針の相違
【柏崎 6/7, 女川 2】
②の相違



第5-1-3図 鉄筋及び構造用鋼材の応力-ひずみ曲線



第5-1-4図 トリリニア・スケルトンカーブと評価式

第5-1-5表 池状構造物 (RC構造物) の耐震性能と照査基準

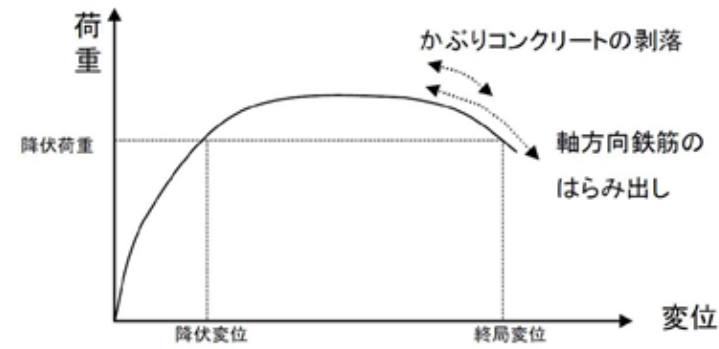
耐震性能	耐震性能1	耐震性能2	耐震性能3
限界状態 ^①	限界状態1 (降伏耐力以下)	限界状態2 (最大耐力以下)	限界状態3 (終局変位以下、せん断耐力以下)
損傷状態	 無被害又はひび割れは生じるが漏水は生じない。修復の必要ない。	 軽微なひび割れから漏水は生じるが地震後に早期に修復可能である。	 ひび割れ幅が拡大し、漏水が生じるが施設全体が崩壊しない。修復可能。
照査項目例 ^②	断面力 (曲げ、せん断)、応力度	断面力 (曲げ、せん断)、塑性率	変位量、曲率、断面力 (せん断)
照査用限界値例 ^③	断面力 (曲げ) ≤ 降伏曲げ耐力 断面力 (せん断) ≤ せん断耐力 応力度 ≤ 許容応力度	断面力 (曲げ) ≤ 最大曲げ耐力 断面力 (せん断) ≤ せん断耐力 塑性率 ≤ 許容塑性率	変位量 ≤ 終局変位量 曲率 ≤ 終局曲率 断面力 (せん断) ≤ せん断耐力

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2. 解析手法</p> <p>屋外重要土木建造物の耐震安全性評価について、既工認では、地震応答解析手法として周波数応答解析を採用し、<u>許容応力度法による設計として、構造部材の曲げ及びせん断について許容応力度に対して妥当な裕度を持つことを確認することを基本としていた。</u></p> <p>今回工認では、屋外重要土木建造物の地震応答解析手法に時刻歴応答解析を適用した限界状態設計法による設計を採用する。減衰定数は、構造物の減衰1%及び履歴減衰とする。構造部材の曲げについては<u>限界層間変形角、曲げ耐力、圧縮縁コンクリート限界ひずみ又は許容応力度</u>に対して十分な安全余裕を持つこと、せん断についてはせん断耐力又は許容応力度に対して妥当な安全余裕を持つことを確認することを基本とし、各設備の要求性能（支持性能、通水性能、貯水性能）を踏まえて照査項目・内容を追加する。</p> <p>以下では、<u>今回工認で採用する限界状態設計法のうち、構造部材の曲げ照査及びせん断照査に係る「原子力発電所屋外重要土木建造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会、2005）」</u>（以下「土木学会マニュアル」という。）の適用性について検討を行う。</p>	<p>2. 解析手法</p> <p>屋外重要土木建造物の耐震安全性評価については、<u>建設工認では、地震応答解析手法として周波数応答解析を採用し、許容応力度法による設計として、構造部材の曲げ及びせん断について許容応力度に対して妥当な裕度を持つことを確認することを基本としていた。</u></p> <p>今回工認では、屋外重要土木建造物の地震応答解析手法に時刻歴応答解析を適用した限界状態設計法による設計を採用する。減衰定数は、構造物の履歴減衰及びRayleigh 減衰とする。<u>なお、構造物を線形でモデル化する場合は、Rayleigh 減衰のみとする。</u>構造部材の曲げについては<u>限界層間変形角又は許容応力度</u>に対して十分な安全余裕を持つこと、せん断についてはせん断耐力又は許容応力度に対して妥当な安全余裕を持つことを確認する。<u>また、各設備の要求機能（支持機能、通水機能、貯水機能）及び構造物が間接支持する機器・配管の機能維持のための与条件（変位や傾斜等）</u>を踏まえて照査項目・内容を追加する。</p> <p>以下では、<u>今回工認で採用する限界状態設計法のうち、構造部材の曲げ照査に係る「原子力発電所屋外重要土木建造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会、2005）」</u>（以下「土木学会マニュアル」という。）の適用性及び<u>せん断照査に係る土木学会マニュアルの適用性</u>について検討を行う。</p>	<p>2. 解析手法</p> <p>屋外重要土木建造物等の耐震安全性評価について、既工認では、地震応答解析手法として<u>時刻歴応答解析及び周波数応答解析を採用し、構造部材の曲げについては終局強度、せん断については許容せん断力に対して妥当な裕度を持つことを確認することを基本としていた。</u></p> <p>今回工認では、屋外重要土木建造物等の地震応答解析手法として時刻歴応答解析を適用した限界状態設計法による設計を採用する。減衰定数は、構造物の減衰2%及び履歴減衰とする。構造部材の曲げについては「<u>限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ</u>」、「<u>圧縮ひずみ：コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ</u>」、「<u>主筋ひずみ：鉄筋の降伏強度に対応するひずみ</u>」、「<u>曲げ耐力</u>」、「<u>許容応力度</u>」又は「<u>全塑性モーメント</u>」に対して十分な安全余裕を持つこと、せん断については「せん断耐力」又は「許容応力度」に対して妥当な安全余裕を持つことを確認することを基本とし、各設備の要求性能（支持性能、通水性能、貯水性能、<u>止水性能、遮蔽性能</u>）を踏まえて照査項目・内容を追加する。</p> <p><u>貯水性能及び止水性能が要求される構造部材については、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れが発生しないよう、目標性能としては鉄筋が降伏しないこと及び発生せん断力がせん断耐力以下になることが求められるため、構造部材の曲げ照査においては「圧縮ひずみ：コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ、主筋ひずみ：鉄筋の降伏強度に対応するひずみ」、せん断照査においては「せん断耐力」に対して妥当な安全余裕を持つことを確認する。</u></p> <p><u>支持性能、通水性能及び遮蔽性能が要求される構造部材については、目標性能としては部材が終局状態に至らないことが求められるため、構造部材の曲げ照査においては「限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみ」、「曲げ耐力」、「許容応力度」又は「全塑性モーメント」、せん断照査においては「せん断耐力」又は「許容応力度」に対して妥当な安全余裕を持つことを確認する。</u></p> <p>以下では、「<u>耐震設計に係る工認審査ガイド</u>」において、<u>適用実績のある耐震設計に関連した規格及び基準等で示されていないが、先行サイトの審査で実績のある「原子力発電所屋外重要土木建造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会、2005）」</u>（以下「土木学会マニュアル」という。）の適用性について検討を行う。</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計方針の相違【柏崎 6/7, 女川 2】 既工認における設計方針の相違（以下、③の相違） ・設計方針の相違【柏崎 6/7, 女川 2】 島根 2号炉は減衰を2%に設定 ・設計方針の相違 島根 2号炉は第 5-1-3 表に対応する許容限界（曲げ）について説明 ・設計方針の相違【柏崎 6/7, 女川 2】 島根 2号炉は止水性能及び遮蔽性能を考慮

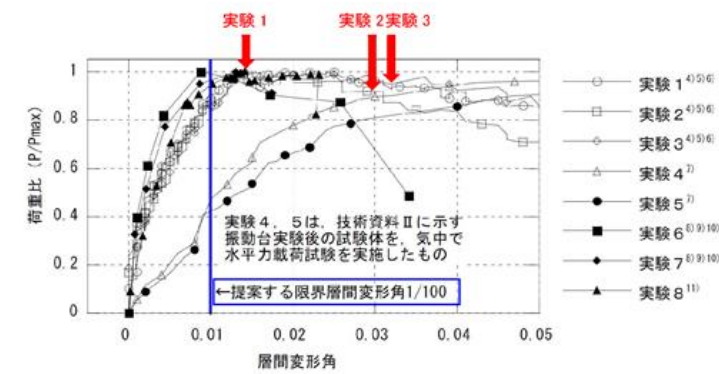
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2.1 曲げ照査に係る土木学会マニュアルの適用性について 今回工認における曲げに対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、<u>照査用層間変形角が限界層間変形角を超えないことを確認する。</u></p> <p>「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定)」(以下「コンクリート標準示方書2002」という。)では、構造部材の終局変位は、部材の荷重-変位関係の骨格曲線において、荷重が降伏荷重を下回らない最大の変位として求めてよいとしている。コンクリート標準示方書2002による構造部材の終局変位の考え方を第3-2-1 図に示す。</p> <p>一方、土木学会マニュアルでは、以下の考え方に基づいている。 屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験の結果より、かぶりコンクリートが剥落すると荷重が低下し始める。<u>層間変形角1/100</u>に至る状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることを確認しており¹⁾²⁾、荷重が低下しない範囲にある。当該限界値を限界状態とすることで、構造全体としての安定性が確保できるものとして設定されたものである。<u>ラーメン構造の破壊実験</u>の例を第3-2-2 図に示す。</p> <p>したがって、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書2002による照査よりも安全側の評価を与えるため、適用性を有している。</p> <p>さらに、土木学会マニュアルでは、「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説(日本建築学会, 1997)」(以下「日本建築学会」という。)にて記載されている設計限界変形1/100, 終局限界変形1/80等を基準値として参照している。</p> <p>対象は同じラーメン構造であり、軸力比(軸応力度/コンクリート圧縮強度比)は建築物よりも屋外重要土木構造物の方が小さいと考えられることから、変形性能がより大きくなる傾向にあり、層間変形角1/100は限界値として安全側であると考えられる。機能維持確保の観点からも耐荷性能が確保されることが担保できるため限界値として適切である。</p> <p>参考に、日本建築学会における曲げ降伏先行型の部材について、</p>	<p>2.1 曲げ照査に係る土木学会マニュアルの適用性について 今回工認申請における曲げに対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、<u>照査用層間変形角が限界層間変形角を超えないことを確認する。</u></p> <p>「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定)」(以下「コンクリート標準示方書2002」という。)では、構造部材の終局変位は、部材の荷重-変位関係の骨格曲線において、荷重が降伏荷重を下回らない最大の変位として求めてよいとしている。コンクリート標準示方書2002による構造部材の終局変位の考え方を第I.2.1-1 図に示す。</p> <p>一方、土木学会マニュアルでは、以下の考え方に基づいている。 屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験の結果より、かぶりコンクリートが剥落すると荷重が低下し始める。<u>層間変形角1/100</u>に至る状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることを確認しており^{(1),(2)}、荷重が低下しない範囲にある。当該限界値を限界状態とすることで、構造全体としての安定性が確保できるものとして設定されたものである。<u>ラーメン構造の破壊実験</u>の例を第I.2.1-2 図に示す。</p> <p>したがって、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書2002による照査よりも安全側の評価を与えるため、適用性を有している。</p> <p>さらに、土木学会マニュアルでは、<u>日本建築学会</u>「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説(1997)」にて記載されている設計限界変形1/100, 終局限界変形1/80等を基準値として参照している。</p> <p>対象は同じラーメン構造であり、軸力比(軸応力度/コンクリート圧縮強度比)は建築物よりも屋外重要土木構造物の方が小さいと考えられることから、変形性能がより大きくなる傾向にあり、層間変形角1/100は安全側であると考えられる。機能維持確保の観点からも耐荷性能が確保されることが担保できるため限界値として適切である。</p> <p>参考に、<u>建築学会</u>における曲げ降伏先行型の部材について、復</p>	<p>2.1 曲げ照査に係る土木学会マニュアルの適用性について <u>土木学会マニュアルでは、構造物の曲げ系の破壊については限界層間変形角又は圧縮縁コンクリート限界ひずみに対して妥当な裕度を持つことを確認することを基本としており、今回工認における曲げに対する照査は、<u>圧縮縁コンクリート限界ひずみによる方法を採用し、照査用圧縮縁コンクリートひずみが、限界圧縮縁コンクリートひずみを超えないことを確認する。</u></u></p> <p>「コンクリート標準示方書【構造性能照査編】(土木学会, 2002)」(以下「コンクリート標準示方書2002」という。)では、構造部材の終局変位は、部材の荷重-変位関係の骨格曲線において、荷重が降伏荷重を下回らない最大の変位として求めてよいとしている。コンクリート標準示方書2002による構造部材の終局変位の考え方を第5-2-1 図に示す。</p> <p>一方、土木学会マニュアルでは、以下の考え方に基づいている。 屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験の結果より、かぶりコンクリートが剥落すると荷重が低下し始める。<u>圧縮縁コンクリートひずみが1%</u>に至る状態は、<u>まだ応力を負担することができ、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることを確認しており¹⁾²⁾、荷重が低下しない範囲にある。当該限界値を限界状態とすることで、構造全体としての安定性が確保できるものとして設定されたものである。<u>コンクリートの圧縮試験</u>の例を第5-2-2 図に示す。</u></p> <p>したがって、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書2002による照査よりも安全側の評価を与えるため、適用性を有している。</p> <p>さらに、土木学会マニュアルでは「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説(日本建築学会, 1997)」(以下「日本建築学会」という。)にて記載されている設計限界変形1/100, 終局限界変形1/80等を基準値として参照している。</p> <p>対象は同じラーメン構造であり、軸力比(軸応力度/コンクリート圧縮強度比)は建築物よりも屋外重要土木構造物の方が小さいと考えられることから、変形性能がより大きくなる傾向にあり、層間変形角1/100は限界値として安全側であると考えられる。<u>土木学会マニュアルでは、層間変形角が1/100以下であれば、<u>圧縮縁コンクリートひずみ1%の基準を保証したものとみなすと示されており、機能維持確保の観点からも耐荷性能が確保されることが担保できるため限界値として適切である。</u></u></p> <p>参考に、<u>日本建築学会</u>における曲げ降伏先行型の部材について、</p>	<p>・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は土木学会マニュアルの方法のうち圧縮縁コンクリート限界ひずみによる方法を採用(以下④の相違)</p> <p>・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 ④の相違</p> <p>・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 ④の相違</p> <p>・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 ④の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>復元力特性と限界状態(損傷度)の関係の概念図を第3-2-3 図に、土木学会マニュアルにおける鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図を第3-2-4 図に示す。建築学会と土木学会マニュアルにおいておおむね対応が取れており、土木学会マニュアルの各損傷状態の設定は妥当であると考えられる。第3-2-4 図において層間変形角1/100 は第4 折れ点よりも手前にあり、屋外重要土木構造物の限界状態に至っていないと考えられる。また、第3 折れ点は層間変形角1/100 よりも更に手前にある。</p> <p>耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、十分な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第3-2-5 図に示す。また、地盤物性のばらつきを考慮として、周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値±1.0×標準偏差(σ)のケースにおける影響の程度を安全係数として考慮した照査を、工事計画認可段階において実施する。</p> <p>曲げに対する照査において考慮している安全係数は第3-2-1 表に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。</p> <p>(1) 材料係数 コンクリート強度の特性値は、製造において、その値を下回る強度が発現する確率が5%以内となるように設定する。また、鉄筋の機械的性質の特性値に関しても、日本工業規格(JIS)の規格範</p>	<p>元力特性と限界状態(損傷度)の関係の概念図を第I.2.1-3 図に、土木学会マニュアルにおける鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図を第I.2.1-4 図に示す。建築学会と土木学会マニュアルにおいて概ね対応が取れており、土木学会マニュアルの各損傷状態の設定は妥当であると考えられる。第I.2.1-4 図において層間変形角1/100 は第4 折れ点よりも手前にあり、屋外重要土木構造物の限界状態に至っていないと考えられる。また、第3 折れ点は層間変形角1/100 よりも更に手前にある。</p> <p>耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、<u>妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数と、地盤物性及び材料物性のばらつきの影響を考慮する。</u>安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5 種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第I.2.1-5 図に示す。また、<u>地盤物性及び材料物性のばらつきについては、これらの影響を見込んだ照査を、工事計画認可段階において実施する。</u>地盤物性のばらつきは、<u>周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値±1.0×標準偏差(σ)のケースについて確認を行う。</u></p> <p><u>材料物性のばらつきについては、構造物のせん断変形量を定義するコンクリート部材の変形特性であるヤング係数が、コンクリートの設計基準強度に対応して定まることを踏まえ、コンクリートの設計基準強度を基本ケースとし、コンクリートの実強度に対応して定めたケースについて確認を行う。</u></p> <p>耐震安全性評価において、基準地震動S_s 全波(7 波)を用いて基本ケースでの評価を実施し、基本ケースにおいて、曲げに対する照査が厳しい(許容限界に対する余裕が小さい)地震動を用い、地盤物性及び材料物性のばらつきを考慮した確認を行う。</p> <p>曲げに対する照査において考慮している安全係数は第I.2.1-1 表に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。</p> <p>(1) 材料係数 コンクリート強度の特性値は、製造において、その値を下回る強度が発現する確率が5%以内となるように設定する。また、鉄筋の機械的性質の特性値に関しても、日本工業規格(JIS)の規格範</p>	<p>復元力特性と限界状態(損傷度)の関係の概念図を第5-2-3図に、土木学会マニュアルにおける鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図を第5-2-4図に示す。日本建築学会と土木学会マニュアルにおいて概ね対応が取れており、土木学会マニュアルの各損傷状態の設定は妥当であると考えられる。第5-2-4図において圧縮縁コンクリートひずみ1%は第4折れ点よりも手前にあり、屋外重要土木構造物の限界状態に至っていないと考えられる。また、第3折れ点は<u>圧縮縁コンクリートひずみ1%よりもさらに手前にある。</u></p> <p>耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、十分な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を第5-2-5図に示す。また、<u>地盤物性のばらつきについては、これらの影響を見込んだ照査を、詳細設計段階において実施する。</u>地盤物性のばらつきは、<u>周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値±1.0×標準偏差(σ)のケースについて確認を行う。</u></p> <p>耐震安全性評価において、基準地震動S_s 全波(6 波)を用いて基本ケースでの評価を実施し、基本ケースにおいて、曲げに対する照査が厳しい(許容限界に対する余裕が小さい)地震動を用い、地盤物性のばらつきを考慮した確認を行う。</p> <p>曲げに対する照査において考慮している安全係数は第5-2-1 表に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。</p> <p>(1) 材料係数 コンクリート強度の特性値は、製造において、その値を下回る強度が発現する確率が5%以内となるように設定する。また、鉄筋の機械的性質の特性値に関しても、日本工業規格(J I S)の</p>	<p>・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 ④の相違</p> <p>・設計方針の相違 【女川2】 女川2号炉は材料物性のばらつきを考慮(以下、⑤の相違) ・設計方針の相違 【女川2】 ⑤の相違</p>

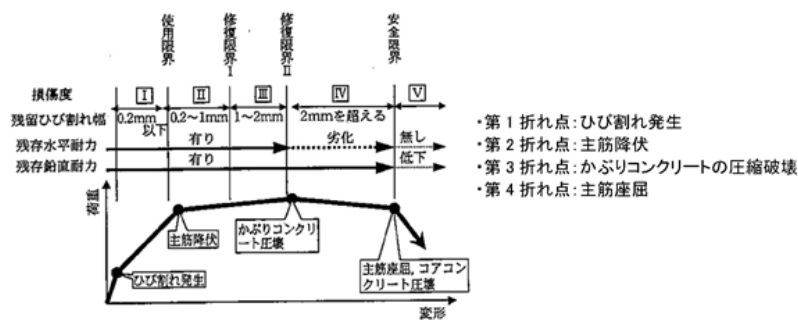
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																
<p>囲の下限値を設定してよいとしている。このように、双方とも特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定しており、応答値・限界値ともに安全側の照査がなされているため、材料係数は1.0としている。</p> <p>(2) 部材係数 安全側に配慮した設定を行っていることから、部材係数は1.0としている。</p> <p>(3) 荷重係数 地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は1.0としている。</p> <p>(4) 構造解析係数 限られた条件での実験であること、地盤パラメータの設定が応答解析結果に及ぼす影響等を考え併せて、構造解析係数は1.2以上を標準としている。</p> <p>(5) 構造物係数 屋外重要土木構造物は重要度ごとに適切な地震動が設定される。したがって、構造物係数により更に構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造物係数は1.0としている。</p> <p>以上のことから、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書2002による照査よりも安全側の評価を与えるため、技術的妥当性及び適用性を有するとともに適切な余裕が確保されていると判断できる。</p>	<p>囲の下限値を設定してよいとしている。このように、双方とも特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定しており、応答値・限界値ともに安全側の照査がなされているため、材料係数は1.0としている。</p> <p>(2) 部材係数 安全側に配慮した設定を行っていることから、部材係数は1.0としている。</p> <p>(3) 荷重係数 地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は1.0としている。</p> <p>(4) 構造解析係数 限られた条件での実験であること、地盤パラメータの設定が応答解析結果に及ぼす影響などを考え併せて、構造解析係数は1.2以上を標準としている。</p> <p>(5) 構造物係数 屋外重要土木構造物は重要度ごとに適切な地震動が設定される。したがって、構造物係数により更に構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造物係数は1.0としている。</p> <p>以上のことから、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書2002による照査よりも安全側の評価を与えるため、技術的妥当性及び適用性を有するとともに適切な余裕が確保されていると判断できる。</p>	<p>規格範囲の下限値を設定してよいとしている。このように、双方とも特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定しており、応答値・限界値ともに安全側の照査がなされているため、材料係数は1.0としている。</p> <p>(2) 部材係数 安全側に配慮した設定を行っていることから、部材係数は1.0としている。</p> <p>(3) 荷重係数 地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は1.0としている。</p> <p>(4) 構造解析係数 限られた条件での実験であること、地盤パラメータの設定が応答解析結果に及ぼす影響などを考え併せて、構造解析係数は1.2以上を標準としている。</p> <p>(5) 構造物係数 屋外重要土木構造物は重要度毎に適切な地震動が設定される。従って、構造物係数によりさらに構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造物係数は1.0としている。</p> <p>以上のことから、土木学会マニュアルによる曲げ照査手法は、コンクリート標準示方書2002による照査よりも安全側の評価を与えるため、技術的妥当性及び適用性を有するとともに適切な余裕が確保されていると判断できる。</p>																																																																																																	
<p>第3-2-1表 曲げ評価において考慮している安全係数</p>	<p>第I.2.1-1表 曲げ評価において考慮している安全係数</p>	<p>第5-2-1表 曲げ評価において考慮している安全係数</p>																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">安全係数</th> <th colspan="2">曲げ照査</th> </tr> <tr> <th>応答値算定</th> <th>限界値算定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">材料係数</td> <td>コンクリート</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>鉄筋</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>地盤</td> <td>1.0</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td colspan="2">部材係数</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">荷重係数</td> <td>1.0</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td colspan="2">構造解析係数</td> <td>1.2</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td colspan="2">構造物係数</td> <td colspan="2">1.0</td> </tr> </tbody> </table>	安全係数		曲げ照査		応答値算定	限界値算定	材料係数	コンクリート	1.0	1.0	鉄筋	1.0	1.0	地盤	1.0	—	部材係数		—	1.0	荷重係数		1.0	—	構造解析係数		1.2	—	構造物係数		1.0		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">安全係数</th> <th colspan="2">曲げ照査</th> </tr> <tr> <th>応答値算定</th> <th>限界値算定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">材料係数</td> <td>コンクリート</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>鉄筋</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>地盤</td> <td>1.0</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td colspan="2">部材係数</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">荷重係数</td> <td>1.0</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td colspan="2">構造解析係数</td> <td>1.2</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td colspan="2">構造物係数</td> <td colspan="2">1.0</td> </tr> </tbody> </table>	安全係数		曲げ照査		応答値算定	限界値算定	材料係数	コンクリート	1.0	1.0	鉄筋	1.0	1.0	地盤	1.0	—	部材係数		—	1.0	荷重係数		1.0	—	構造解析係数		1.2	—	構造物係数		1.0		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">安全係数</th> <th colspan="2">曲げ照査</th> </tr> <tr> <th>応答値算定</th> <th>限界値算定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">材料係数</td> <td>コンクリート</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>鉄筋</td> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>地盤</td> <td>1.0</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td colspan="2">部材係数</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">荷重係数</td> <td>1.0</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td colspan="2">構造解析係数</td> <td>1.2</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td colspan="2">構造物係数</td> <td colspan="2">1.0</td> </tr> </tbody> </table>	安全係数		曲げ照査		応答値算定	限界値算定	材料係数	コンクリート	1.0	1.0	鉄筋	1.0	1.0	地盤	1.0	—	部材係数		—	1.0	荷重係数		1.0	—	構造解析係数		1.2	—	構造物係数		1.0		
安全係数			曲げ照査																																																																																																
		応答値算定	限界値算定																																																																																																
材料係数	コンクリート	1.0	1.0																																																																																																
	鉄筋	1.0	1.0																																																																																																
	地盤	1.0	—																																																																																																
部材係数		—	1.0																																																																																																
荷重係数		1.0	—																																																																																																
構造解析係数		1.2	—																																																																																																
構造物係数		1.0																																																																																																	
安全係数		曲げ照査																																																																																																	
		応答値算定	限界値算定																																																																																																
材料係数	コンクリート	1.0	1.0																																																																																																
	鉄筋	1.0	1.0																																																																																																
	地盤	1.0	—																																																																																																
部材係数		—	1.0																																																																																																
荷重係数		1.0	—																																																																																																
構造解析係数		1.2	—																																																																																																
構造物係数		1.0																																																																																																	
安全係数		曲げ照査																																																																																																	
		応答値算定	限界値算定																																																																																																
材料係数	コンクリート	1.0	1.0																																																																																																
	鉄筋	1.0	1.0																																																																																																
	地盤	1.0	—																																																																																																
部材係数		—	1.0																																																																																																
荷重係数		1.0	—																																																																																																
構造解析係数		1.2	—																																																																																																
構造物係数		1.0																																																																																																	



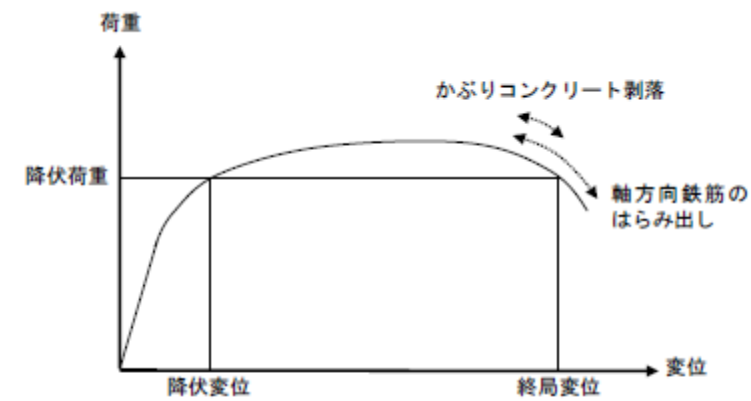
第3-2-1 図 コンクリート標準示方書2002 による構造部材の終局変位の考え方



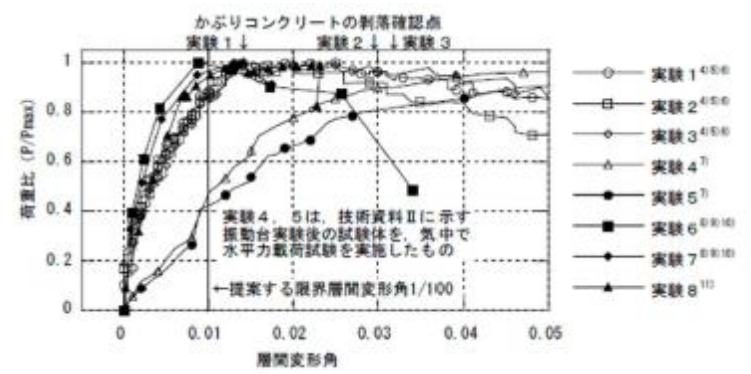
第3-2-2 図 鉄筋コンクリート製ラーメン構造の破壊実験例^{(4) (5)}
(土木学会マニュアルに加筆)



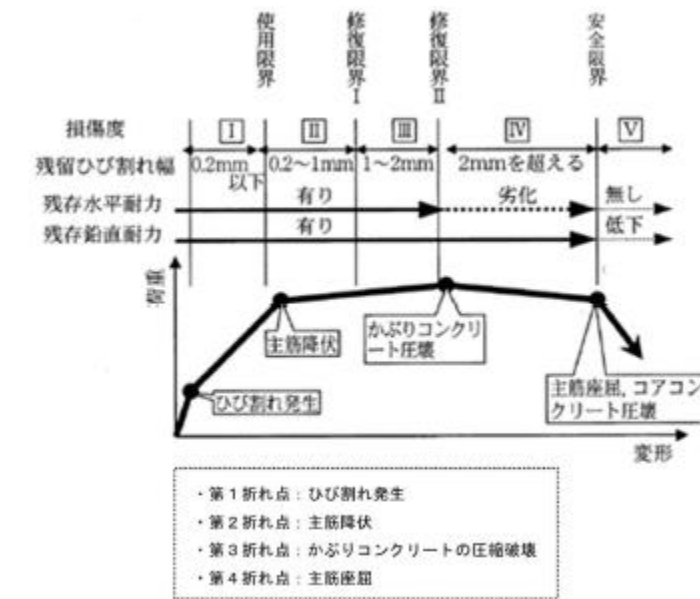
第3-2-3 図 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態 (損傷度) の関係の概念図 (日本建築学会)



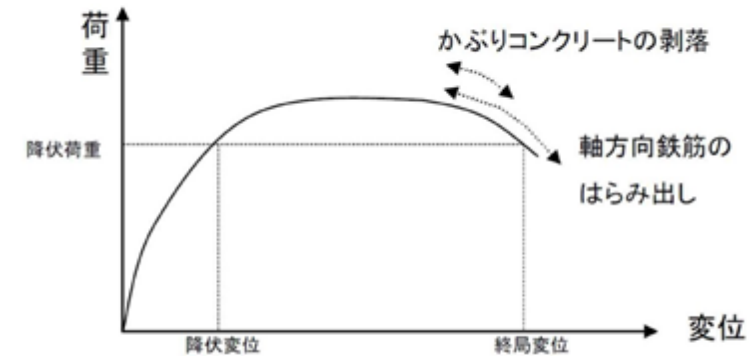
第I.2.1-1 図 コンクリート標準示方書2002 による構造部材の終局変位の考え方



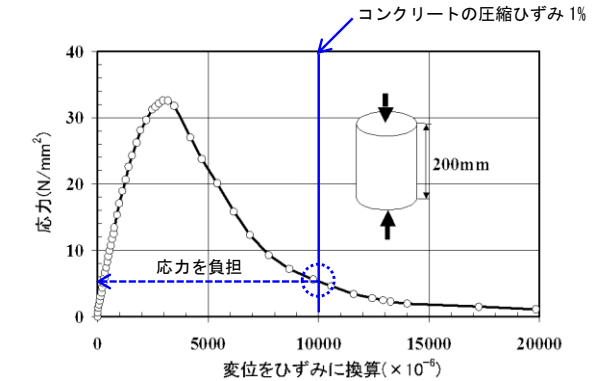
第I.2.1-2 図 鉄筋コンクリート製ラーメン構造の破壊実験^{(1), (2)}
(土木学会マニュアル)



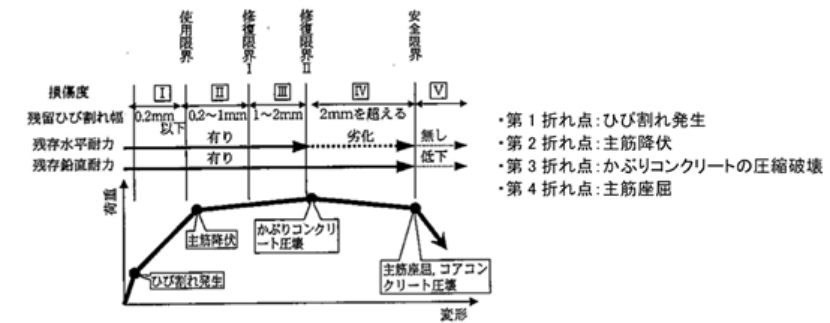
第I.2.1-3 図 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態 (損傷度) の関係の概念図 (建築学会に加筆)



第5-2-1 図 コンクリート標準示方書2002による構造部材の終局変位の考え方

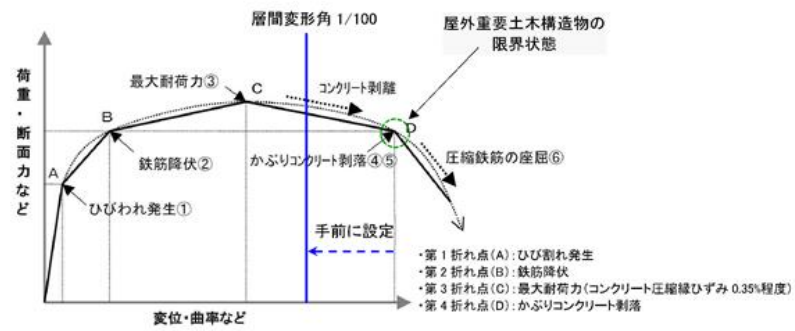


第5-2-2 図 コンクリートの圧縮試験例⁽³⁾

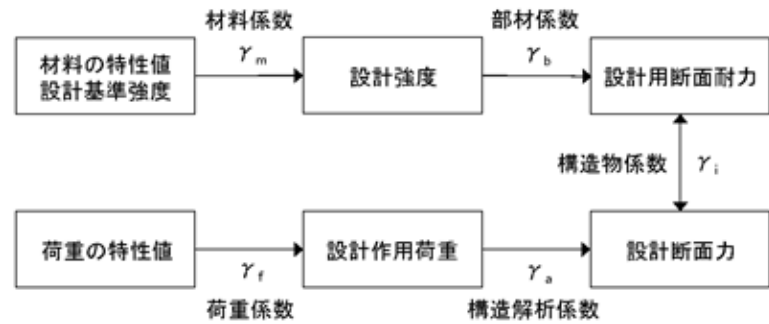


第5-2-3 図 曲げ降伏先行型の部材の復元力特性と限界状態 (損傷度) の関係の概念図 (日本建築学会)

・設計方針の相違
【柏崎 6/7, 女川 2】
④の相違



第3-2-4 図 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図 (土木学会マニュアル)

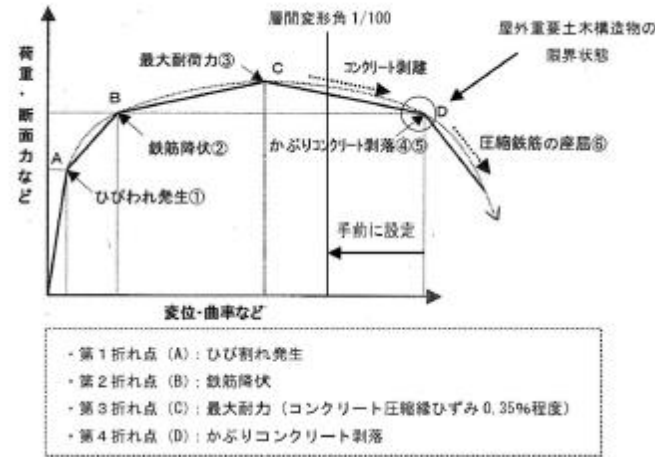


※上記に加えて、地盤物性のばらつきに関する安全係数を考慮する

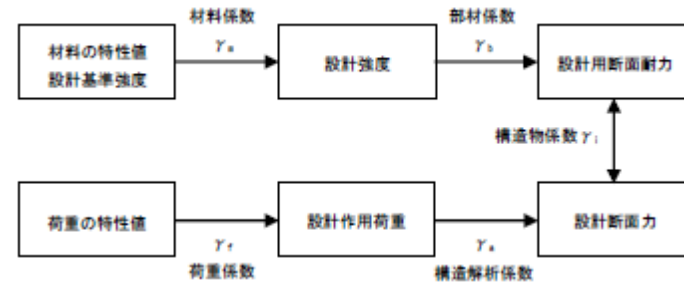
第3-2-5 図 安全係数の考え方

【参考文献】

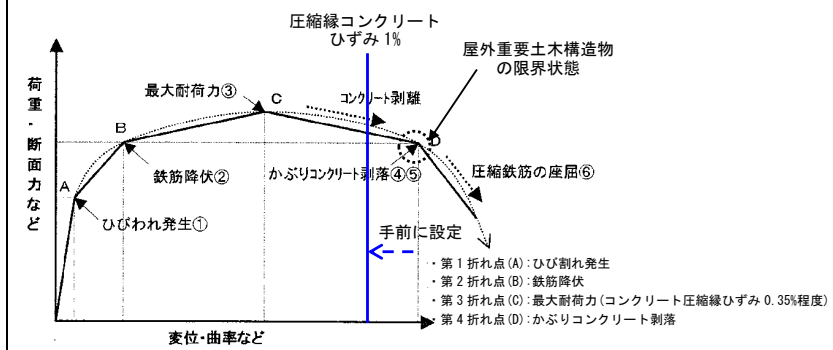
- 1) 土木学会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，2005
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，2002
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針 (案)・同解説，1997
- 4) 松尾豊史・金津努・大友敬三・福本彦吉：コンクリート製地中構造物の合理的な耐震性能評価指標に関する検討，土木学会地震工学論文集，2003
- 5) 石川博之・末広俊夫・金津努・遠藤達巳・松本敏克：鉄筋コンクリート製地中構造物の変形性状と損傷状態に関わる実験的考察，第26 回地震工学研究発表会講演論文集，pp885-888，2001



第 I. 2. 1-4 図 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図 (土木学会マニュアルに加筆)



第 I. 2. 1-5 図 安全係数の考え方



第5-2-4図 鉄筋コンクリートはり部材の荷重-変位関係と損傷状態に対する概念図 (土木学会マニュアル)



第5-2-5図 安全係数の考え方

【参考文献】

- 1) 土木学会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，2005
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書【構造性能照査編】，2002
- 3) 松尾豊史・金津努・大友敬三・福本彦吉：コンクリート製地中構造物の合理的な耐震性能評価指標に関する検討，土木学会地震工学論文集，2003

・参考文献の相違【柏崎 6/7, 女川 2】

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2.2 せん断照査に係る土木学会マニュアルの適用性について 今回工認におけるせん断に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、照査用せん断力が、せん断耐力を下回ることを確認する。</p> <p><u>2.2.1 せん断耐力評価式</u> コンクリート標準示方書2002では、棒部材及びディープビームについて第3-2-2表に示すとおり¹のせん断耐力式を定義している。このうち、ディープビームについては、コンクリート標準示方書2002及び土木学会マニュアルにおいて同様の評価式となっている。</p> <p>土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書2002におけるせん断耐力式のうち棒部材式において、等価せん断スパンにより設定可能な係数β_aを考慮している。これは屋外重要土木構造物が地中に埋設されたラーメン構造で、土圧、水圧、地震時慣性力等の多数の分布荷重が作用していることによる分布荷重が卓越し、スパン内に反曲点が存在する等の載荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、コンクリート標準示方書2002のせん断耐力式を精緻化したものである。当該セ</p>	<p>2.2 せん断照査に係る土木学会マニュアルの適用性について 今回工認申請におけるせん断に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、照査用せん断力が、せん断耐力を下回ることを確認する。</p> <p><u>なお、せん断耐力は、せん断耐力評価式（分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法を含む）及び材料非線形解析を用いる方法のいずれかを用いて評価する。</u></p> <p><u>2.2.1 せん断耐力評価式</u> コンクリート標準示方書2002では、棒部材及びディープビームについて第I.2.2-1表に示すとおり¹のせん断耐力式を定義している。このうち、ディープビームについては、コンクリート標準示方書2002及び土木学会マニュアルにおいて同様の評価式となっている。</p> <p>土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書2002におけるせん断耐力式のうち棒部材式において、等価せん断スパンにより設定可能な係数β_aを考慮している。これは屋外重要土木構造物が地中に埋設されたラーメン構造で、土圧、水圧、地震時慣性力等の多数の分布荷重が作用していることによる分布荷重が卓越し、スパン内に反曲点が存在する等の載荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、<u>より合理的なせん断耐力を与えるよう</u>、コンクリート標準示方書2002のせん断</p>	<p>2.2 せん断照査に係る土木学会マニュアルの適用性について 今回工認におけるせん断に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、照査用せん断力が、せん断耐力を下回ることを確認する。</p> <p><u>2.2.1 せん断破壊に対する照査</u> 応答せん断力とせん断耐力の比に構造物係数を乗じた数値が、<u>1.0を下回ることの確認をもってせん断破壊に対する照査とする。</u> <u>せん断耐力は、以下の3つの選択肢のいずれかを用いて評価する。</u></p> <p><u>(1)せん断耐力評価式</u> <u>(2)分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法[*]</u> 分布荷重を受ける部材については、せん断耐力評価式を応用して、より合理的な評価を行うことができる。土木学会マニュアルでは、「<u>等価せん断スパン比を用いた方法（第5-2-6図）</u>」と「<u>線形被害則を用いた方法（第5-2-7図）</u>」の2法を示す。</p> <p><u>(3)材料非線形解析を用いる方法</u> ここでいう材料非線形解析とは、せん断耐力を求めるために用いる解析法を指し、応答解析で用いる解析とは区別している。部材が複雑な形状を有するなどの場合、これを選択できる。</p> <p><u>(1)で全部材の照査を行った後、不合格と判定される部材だけを取り出して(2)や(3)で再照査を行う。</u></p> <p><u>※(2)の中の「等価せん断スパン比を用いた方法」と「線形被害則を用いた方法」を同一構造物の異なる部材に対して使い分けることはできない。</u></p> <p><u>2.2.2 せん断耐力評価式</u> コンクリート標準示方書2002では、棒部材及びディープビームについて第5-2-2表に示すとおり¹のせん断耐力式を定義している。このうち、ディープビームについては、コンクリート標準示方書2002及び土木学会マニュアルにおいて同様の評価式となっている。</p> <p>土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書2002におけるせん断耐力式のうち棒部材式において、等価せん断スパンにより設定可能な係数β_aを考慮している。これは屋外重要土木構造物が地中に埋設されたラーメン構造で、土圧、水圧、地震時慣性力等の多数の分布荷重が作用していることによる分布荷重が卓越し、スパン内に反曲点が存在する等の載荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、コンクリート標準示方書2002のせん断耐力式を精緻化したものである。当該セ</p>	<p>・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉はせん断耐力評価式, 分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法又は材料非線形解析を用いる方法のいずれかを用いて評価</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>ん断耐力式は、<u>第3-2-7 図</u>に示すとおり、屋外重要土木構造物を模した破壊試験より得られるせん断耐力と整合的であり、合理的な評価が可能であることが確認されている¹⁾²⁾。</p> <p>また、これら多数の荷重の複合作用を個々に分解することは困難であることから、せん断耐力の算定時に個々の荷重作用を区別せず最終的な設計用断面力分布を用いてせん断耐力を算定することとしている¹⁾。</p> <p>耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を<u>第3-2-6 図</u>に示す。また、地盤物性のばらつきの考慮として、周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値±1.0×標準偏差(σ)のケースにおける影響の程度を安全係数として考慮した照査を、工事計画認可段階において実施する。</p> <p>せん断に対する照査において考慮している安全係数は<u>第3-2-3 表</u>に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。</p> <p>(1) 材料係数 応答値算定時に適用する材料係数は、コンクリートと鉄筋の物性値が、特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定していることから安全側の照査がなされているため1.0としている。限界値算定時に適用する材料係数はコンクリート標準示方書2002に準</p>	<p>耐力式を精緻化したものである。当該せん断耐力式は、<u>第I.2.2-2 図</u>に示すとおり、屋外重要土木構造物を模した破壊試験より得られるせん断耐力と整合的であり、合理的な評価が可能であることを確認されている^{(3),(4)}。</p> <p>また、これら多数の荷重の複合作用を個々に分解することは困難であることから、せん断耐力の算定時に個々の荷重作用を区別せず最終的な設計用断面力分布を用いて合理的なせん断耐力を算定することとしている⁽³⁾。</p> <p>耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数と、<u>地盤物性及び材料物性のばらつきの影響</u>を考慮する。安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を<u>第I.2.2-1 図</u>に示す。また、<u>地盤物性及び材料物性のばらつきについては、これらの影響を見込んだ照査を、工事計画認可段階において実施する。地盤物性のばらつきは、周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値±1.0×標準偏差(σ)のケースについて確認を行う。材料物性のばらつきについては、構造物のせん断変形量を定義するコンクリート部材の変形特性であるヤング係数が、コンクリートの設計基準強度に対応して定まることを踏まえ、コンクリートの設計基準強度を基本ケースとし、コンクリートの実強度に対応して定めたケースについて確認を行う。</u></p> <p>耐震安全性評価において、基準地震動Ss 全波(7波)を用いて基本ケースでの評価を実施し、基本ケースにおいて、せん断に対する照査が厳しい(許容限界に対する余裕が小さい)地震動を用い、地盤物性及び材料物性のばらつきを考慮した確認を行う。</p> <p>せん断に対する照査において考慮している安全係数は<u>第.2.2-2 表</u>に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。</p> <p>(1) 材料係数 <u>限界値算定時に適用する材料係数はコンクリート標準示方書2002に準拠して、コンクリートに対して1.3*</u>、鉄筋に対して1.0としている。応答値算定時に適用する材料係数は、コンクリートと鉄筋の物性値が、特性値の段階で実強度に対して小さい値を設</p>	<p>ん断耐力式は、<u>第5-2-6図</u>に示すとおり、屋外重要土木構造物を模した破壊試験より得られるせん断耐力と整合的であり、合理的な評価が可能であることが確認されている¹⁾²⁾。</p> <p>また、これら多数の荷重の複合作用を個々に分解することは困難であることから、せん断耐力の算定時に個々の荷重作用を区別せず最終的な設計用断面力分布を用いてせん断耐力を算定することとしている¹⁾。</p> <p>耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して、妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を<u>第5-2-8図</u>に示す。また、<u>地盤物性のばらつきについては、これらの影響を見込んだ照査を、詳細設計段階において実施する。地盤物性のばらつきは、周辺地盤の変形特性について、平均値を基本ケースとした場合に、平均値±1.0×標準偏差(σ)のケースについて確認を行う。</u></p> <p>耐震安全性評価において、基準地震動S s全波(6波)を用いて基本ケースでの評価を実施し、基本ケースにおいて、せん断に対する照査が厳しい(許容限界に対する余裕が小さい)地震動を用い、地盤物性のばらつきを考慮した確認を行う。</p> <p>せん断に対する照査において考慮している安全係数は<u>第5-2-3表</u>に示すとおり、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数、構造物係数がある。これらの安全係数は土木学会マニュアルにおいて以下の考えにより定められている。</p> <p>(1) 材料係数 応答値算定時に適用する材料係数は、<u>コンクリートと鉄筋の物性値が、特性値の段階で実強度に対して小さい値を設定していることから安全側の照査がなされているため1.0としている。限界値算定時に適用する材料係数はコンクリート標準示方書2002に準拠</u></p>	<p>備考</p> <p>・設計方針の相違 【女川2】 ⑤の相違</p> <p>・設計方針の相違 【女川2】 ⑤の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>扱して、コンクリートに対して1.3, 鉄筋に対して1.0としている。</p> <p>(2) 部材係数 コンクリート標準示方書2002に準拠して、コンクリート寄与分に対して1.3, 鉄筋寄与分に対して1.1としている。</p> <p>(3) 荷重係数 地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は1.0としている。</p> <p>(4) 構造解析係数 変形に関する応答値の評価精度に比較して、断面力に関する応答値の評価精度は高いと考えられることから、変形照査の場合より低減させて1.05としている。</p> <p>(5) 構造物係数 基準地震動は地点ごとにサイト特性を考慮して設定され、重要度分類に対応して入力地震動が選定される。したがって、構造物係数より更に構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造物係数は1.0としている。</p> <p>以上のことから、土木学会マニュアルによるせん断照査手法は、屋外重要土木構造物の構造的特徴を踏まえ設定された手法であるため、技術的妥当性及び適用性を有すると判断できる。</p>	<p>定していることから安全側の照査がなされているため、材料係数は1.0としている</p> <p>※：材料係数は1.3を標準とするが、既設構造物において、強度等の材料特性のばらつきを考慮して特性値が設定されていることを実測値により確認した場合は1.0~1.3の間で低減する。</p> <p>(2) 部材係数 コンクリート標準示方書2002に準拠して、コンクリート寄与分に対して1.3, 鉄筋寄与分に対して1.1としている。</p> <p>(3) 荷重係数 地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は1.0としている。</p> <p>(4) 構造解析係数 変形に関する応答値の評価精度に比較して、断面力に関する応答値の評価精度は高いと考えられることから、変形照査の場合より低減させて1.05としている。</p> <p>(5) 構造物係数 基準地震動は地点ごとにサイト特性を考慮して設定され、重要度分類に対応して入力地震動が選定される。したがって、構造物係数より更に構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造物係数は1.0としている。</p> <p>以上のことから、土木学会マニュアルによるせん断照査手法は、屋外重要土木構造物の構造的特徴を踏まえ設定された手法であるため、技術的妥当性及び適用性を有すると判断できる。</p>	<p>して、コンクリートに対して1.3, 鉄筋に対して1.0としている。</p> <p>(2) 部材係数 コンクリート標準示方書2002に準拠して、コンクリート寄与分に対して1.3, 鉄筋寄与分に対して1.1としている。</p> <p>(3) 荷重係数 地震の影響以外の荷重の評価精度は、かなり高いものと考えられ、地震の影響については入力地震動そのものが最近の研究成果に基づいて設定されるため、荷重係数は1.0としている。</p> <p>(4) 構造解析係数 変形に関する応答値の評価精度に比較して、断面力に関する応答値の評価精度は高いと考えられることから、変形照査の場合より低減させて1.05としている。</p> <p>(5) 構造物係数 基準地震動は地点毎にサイト特性を考慮して設定され、重要度分類に対応して入力地震動が選定される。したがって、構造物係数により更に構造物の重要性を考慮する必要はなく、耐震性能照査における構造物係数は1.0としている。</p> <p>以上のことから、土木学会マニュアルによるせん断照査手法は、屋外重要土木構造物の構造的特徴を踏まえ設定された手法であるため、技術的妥当性及び適用性を有すると判断できる。</p>	

第3-2-2 表 せん断耐力式の比較表

	コンクリート標準示方書 2002	土木学会マニュアル
棒部材	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ V_{yd} : せん断耐力 V_{cd} : コンクリート負担 V_{sd} : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ β_d, β_p : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 β_n : 発生曲げモーメントで決まる係数 f_{vcd} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる b_w : 腹部の幅 d : 有効高さ γ_b : 安全係数	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ V_{yd} : せん断耐力 V_{cd} : コンクリート負担 V_{sd} : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ β_d, β_p : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 β_n : 発生曲げモーメントで決まる係数 $\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$ f_{vcd} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる b_w : 腹部の幅 d : 有効高さ γ_b : 安全係数
	せん断スパンより設定される係数 β_a を考慮し コンクリート標準示方書 2002 のせん断耐力式を精緻化	
ディープビーム	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ V_{yda} : せん断耐力 V_{cda} : コンクリート負担 V_{sda} : せん断補強筋負担 $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{ada} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 f_{ada} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ V_{yda} : せん断耐力 V_{cda} : コンクリート負担 V_{sda} : せん断補強筋負担 $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{ada} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 f_{ada} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる
	同一の評価式	

第 I . 2 . 2 - 1 表 せん断耐力式の比較表

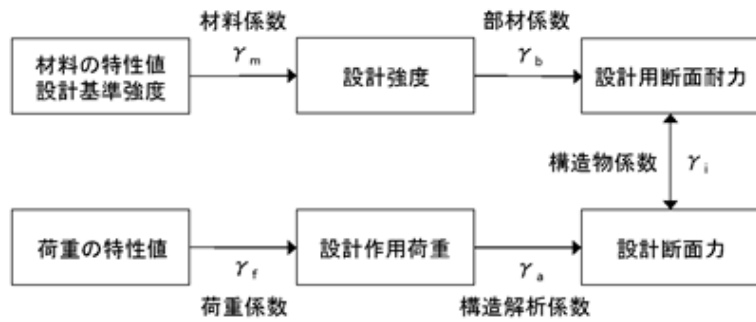
	コンクリート標準示方書 2002	土木学会マニュアル
棒部材	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ V_{yd} : せん断耐力 V_{cd} : コンクリート負担 V_{sd} : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ β_d, β_p : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 β_n : 発生曲げモーメントで決まる係数 f_{vcd} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる b_w : 腹部の幅 d : 有効高さ γ_b : 安全係数	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ V_{yd} : せん断耐力 V_{cd} : コンクリート負担 V_{sd} : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ β_d, β_p : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 β_n : 発生曲げモーメントで決まる係数 $\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$ f_{vcd} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる a : せん断スパン長 b_w : 腹部の幅 d : 有効高さ γ_b : 安全係数
	せん断スパンより設定される係数を考慮し, コンクリート標準示方書 2002 のせん断耐力式を精緻化	
ディープビーム	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ V_{yda} : せん断耐力 V_{cda} : コンクリート負担 V_{sda} : せん断補強筋負担 $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{ada} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 f_{ada} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ V_{yda} : せん断耐力 V_{cda} : コンクリート負担 V_{sda} : せん断補強筋負担 $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{ada} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 f_{ada} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる
	コンクリート標準示方書 2002 と土木学会マニュアルにおいて同一の評価式となっている	

第5-2-2表 せん断耐力式の比較表

	コンクリート標準示方書2002	土木学会マニュアル
棒部材	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ V_{yd} : せん断耐力 V_{cd} : コンクリート負担 V_{sd} : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ β_d, β_p : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 β_n : 発生曲げモーメントで決まる係数 f_{vcd} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる b_w : 腹部の幅 d : 有効高さ γ_b : 安全係数	$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$ V_{yd} : せん断耐力 V_{cd} : コンクリート負担 V_{sd} : せん断補強筋負担 $V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ β_d, β_p : 構造寸法や鉄筋量で決まる係数 β_n : 発生曲げモーメントで決まる係数 $\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$ f_{vcd} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる b_w : 腹部の幅 d : 有効高さ γ_b : 安全係数
	せん断スパンより設定される係数 β_a を考慮し コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化	
ディープビーム	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ V_{yda} : せん断耐力 V_{cda} : コンクリート負担 V_{sda} : せん断補強筋負担 $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{ada} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 f_{ada} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる	$V_{yda} = V_{cda} + V_{sda}$ V_{yda} : せん断耐力 V_{cda} : コンクリート負担 V_{sda} : せん断補強筋負担 $V_{cda} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{ada} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$ $\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$ a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離 f_{ada} : 設計基準強度, 安全係数等で決まる
	同一の評価式	

第3-2-3 表 せん断耐力評価において考慮している安全係数

安全係数		せん断照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.3
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	—
部材係数	コンクリート	—	1.3
	鉄筋	—	1.1
荷重係数		1.0	—
構造解析係数		1.05	—
構造物係数		1.0	



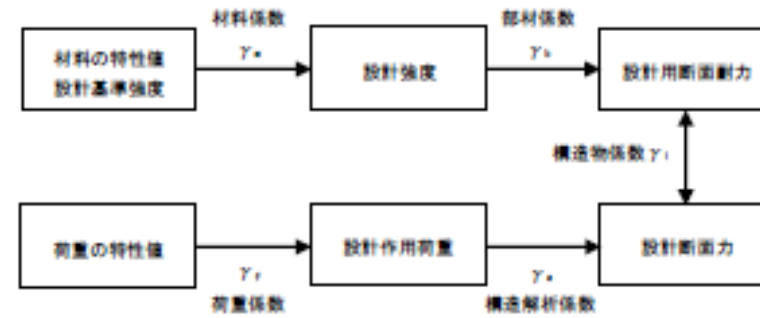
※上記に加えて、地盤物性のばらつきに関する安全係数を考慮する

第3-2-6 図 安全係数の考え方
(第3-2-5 図の再掲)

第I.2.2-2 表 せん断耐力評価において考慮している安全係数

安全係数		せん断照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.3*
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	—
部材係数	コンクリート	—	1.3
	鉄筋	—	1.1
荷重係数		1.0	—
構造解析係数		1.05	—
構造物係数		1.0	

※：材料係数は1.3を標準とするが、既設構造物において、強度等の材料特性のばらつきを考慮して特性値が設定されていることを実測値により確認した場合は1.0～1.3の間で低減する。



第I.2.2-1 図 安全係数の考え方
(第I.2.1-5 図の再掲)

・資料構成の相違
【柏崎6/7, 女川2】
島根2号炉は第5-2-3表に記載

・資料構成の相違
【柏崎6/7, 女川2】
島根2号炉は第5-2-8図に記載

○コンクリート標準示方書におけるせん断耐力評価式 $V_{yd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$
 2点載荷の単純はりの実験結果に基づいた単純な載荷形態あるいは単純な断面力分布は精度良くせん断耐力を過小評価する。
 <問題点>
 ・分布荷重が卓越する場合、支点付近に大きな荷重が加わる場合および支点反力が大きい場合において、せん断耐力を過小評価する。
 ○地中構造物を模擬した実験によるせん断耐力評価式
 地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に反曲点が存在する等複雑な載荷形態を考慮してせん断耐力を評価する。

合理的なせん断耐力評価式の提案(土木学会マニュアル)
 $V_{yd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$
 $\beta_a = 0.75 + 1.4 / (a/d)$
 a: 等価せん断スパン長

連続はり実験結果(分布荷重の影響)
 示方書が対象とした載荷形態 地中構造物を模擬した載荷形態
 終局耐力: 10.3tf 終局耐力: 17.1tf
 約70%増加

連続はり実験結果(反曲点の影響)¹⁾
 支点の曲げモーメントが大きい場合、耐力が上昇
 支点の曲げモーメントが小さい場合、耐力が低下

連続はりの実験結果による検証¹⁾
 示方書と比較して実験結果に整合する合理的な評価

第3-2-7 図 土木学会マニュアルによるせん断耐力式評価の設定経緯

○コンクリート標準示方書2002におけるせん断耐力評価式 $V_{yd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$
 2点載荷の単純はりの実験結果に基づいた単純な載荷形態あるいは単純な断面力分布は精度良くせん断耐力を過小評価する。
 <問題点>
 ・分布荷重が卓越する場合、支点付近に大きな荷重が加わる場合および支点反力が大きい場合において、せん断耐力を過小評価する。
 ○地中構造物を模擬した実験によるせん断耐力評価式
 地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に反曲点が存在する等複雑な載荷形態を考慮してせん断耐力を評価する。

合理的なせん断耐力評価式の提案(土木学会マニュアル)
 $V_{yd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$
 $\beta_a = 0.75 + 1.4 / (a/d)$
 a: 等価せん断スパン長

連続はり実験結果(分布荷重の影響)
 示方書が対象とした載荷形態 地中構造物を模擬した載荷形態
 終局耐力: 10.3tf 終局耐力: 17.1tf
 約70%増加

連続はり実験結果(反曲点の影響)²⁾
 支点の曲げモーメントが大きい場合、耐力が上昇
 支点の曲げモーメントが小さい場合、耐力が低下

連続はりの実験結果による検証²⁾
 示方書と比較して実験結果に整合する合理的な評価

第1.2.2-2 図 土木学会マニュアルによるせん断耐力式評価の設定経緯

○コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式
 $V_{yd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$
 2点載荷の単純はりの実験結果に基づいた単純な載荷形態あるいは単純な断面力分布は精度良くせん断耐力を評価する。
 <問題点>
 ・分布荷重が卓越する場合、支点付近に大きな荷重が加わる場合および支点反力が大きい場合において、せん断耐力を過小評価する。
 ○地中構造物を模擬した実験によるせん断耐力評価式
 地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に反曲点が存在する等複雑な載荷形態を考慮してせん断耐力を評価する。

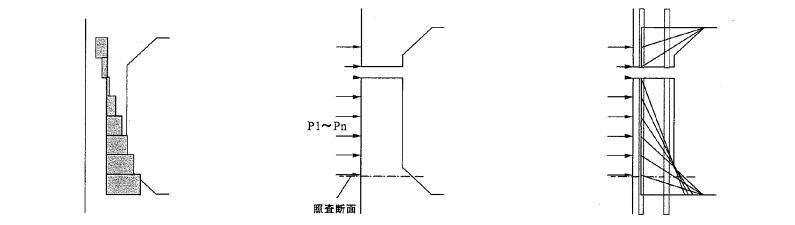
合理的なせん断耐力評価式の提案(土木学会マニュアル)¹⁾
 $V_{yd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$
 $\beta_a = 0.75 + 1.4 / (a/d)$
 a: 等価せん断スパン長

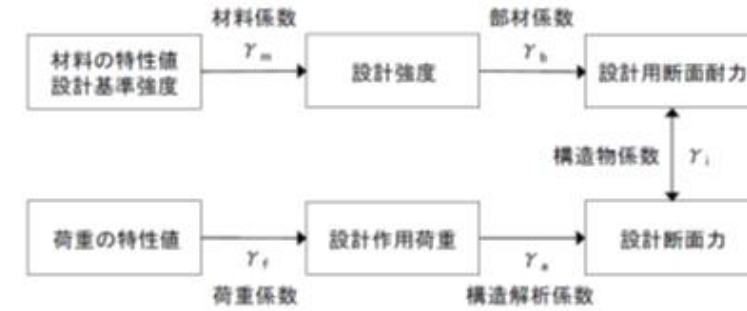
連続はり実験結果(分布荷重の影響)²⁾
 示方書が対象とした載荷形態 地中構造物を模擬した載荷形態
 終局耐力: 10.3tf 終局耐力: 17.1tf
 約70%増加

連続はり実験結果(反曲点の影響)³⁾
 支点の曲げモーメントが大きい場合、耐力が上昇
 支点の曲げモーメントが小さい場合、耐力が低下

連続はりの実験結果による検証¹⁾
 示方書と比較して実験結果に整合する合理的な評価

第5-2-6 図 土木学会マニュアルによるせん断耐力式評価の設定経緯

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>○応答解析の結果得られた断面力分布を基に耐力を算定する。</p> <p><u>a. 部材の分割</u> 応答せん断力分布を見て、部材中にせん断力の反転する点がある場合は、その点で領域分割する。照査は双方の領域に対して行う。</p> <p><u>b. 荷重分布の設定</u> 応答せん断力分布から、それと同じ状況を再現できる荷重分布を求める。部材非線形解析で応答を求めると、節点位置で階段状にせん断力が変化する。この変化分を着目節点位置に作用する荷重とすればよい。a. の操作による分割点における変化分は両側の領域に配分する。</p> <p><u>c. 照査断面の設定</u> 照査断面は、せん断応力度（応答せん断力を断面積で除した値）が最大となる断面とする。</p> <p><u>d. 線形被害則の適用</u> 個々の作用P_j（応答値側の安全係数を含む）に対するせん断耐力V_j（限界値側の安全係数を含む）を評価し、作用力とせん断耐力の比の総和に構造物係数を乗じた値が1.0以内であることを確認を行う。</p> $n_i \cdot \sum_j \frac{P_j}{V_j} \leq 1.0$  <p>(a) 応答せん断力分布 (b) 外力分布の設定 (c) 作用点毎のa/dの設定</p> <p>第5-2-7図 線形被害則を用いたせん断耐力評価法</p>	<p>・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法のうち線形被害則を用いた方法について検討</p>



第5-2-8図 安全係数の考え方
(第5-2-5図の再掲)

第5-2-3表 せん断耐力評価において考慮している安全係数

安全係数		せん断照査	
		応答値算定	限界値算定
材料係数	コンクリート	1.0	1.3
	鉄筋	1.0	1.0
	地盤	1.0	—
部材係数	コンクリート	—	1.3
	鉄筋	—	1.1
荷重係数		1.0	—
構造解析係数		1.05	—
構造物係数		1.0	

・資料構成の相違
【柏崎 6/7, 女川 2】
柏崎は第 3-2-6 図に, 女川は第 I.2.2-1 図に記載

・資料構成の相違
【柏崎 6/7, 女川 2】
柏崎は第 3-2-3 表に, 女川は第 I.2.2-2 表に記載

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(6) 安全上適切と認められる規格及び基準を用いた評価について</p> <p>屋外重要土木建造物の耐震安全性については、屋外重要土木建造物の構造上の特徴を踏まえ、土木学会マニュアルに基づき評価を実施しているが、当該マニュアルについては「耐震設計に係る工認審査ガイド(原子力規制委員会, 2013)」(以下「工認審査ガイド」という。)において「安全上適切と認められる規格及び基準等」として取り扱われていない。このため代表建造物について、工認審査ガイドにおいて「安全上適切と認められる規格及び基準等」として適用可能な規格及び基準等に準拠した評価を実施し、土木学会マニュアルの評価結果と比較することで、現在の評価が妥当であることを確認する。</p> <p>評価項目のうち、構造部材の曲げについては、工認審査ガイドにおいて「安全上適切と認められる規格及び基準等」として取り扱われているコンクリート標準示方書2002よりも保守的な手法を用いていることから、今回工認では、耐震裕度が厳しい構造部材のせん断に対して検討を実施する。</p> <p>検討では、基準地震動S_sによる地震応答解析により得られた応答値を用い、「安全上適切と認められる規格及び基準等」として、工認審査ガイド記載の「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説(日本建築学会, 2005 制定)」(以下「建築学会基準」という。)によるせん断照査結果と比較を行うことで、土木学会マニュアルによるせん断照査が妥当であることを確認する。</p> <p>【参考文献】</p> <p>1) 原子力土木委員会・限界状態設計部会：原子力発電所・鉄筋コンクリート製屋外重要土木建造物への限界状態設計法の適用-安全性照査マニュアルの提案-, 土木学会論文集 No. 442/V-16, 1992</p> <p>2) 遠藤達巳・青柳征夫・松村卓郎：鉄筋コンクリート製地中建造物の限界状態に用いるせん断耐力評価法, 電力中央研究所報告, 1992</p> <p>3) 日本建築学会：原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, 2005</p>		<p>(6) 安全上適切と認められる規格及び基準を用いた評価について</p> <p><u>屋外重要土木建造物の耐震安全性については、屋外重要土木建造物の構造上の特徴を踏まえ、土木学会マニュアルに基づき評価を実施しているが、当該マニュアルについては「耐震設計に係る工認審査ガイド(原子力規制委員会, 2013)」(以下「工認審査ガイド」という。)において「安全上適切と認められる規格及び基準等」として取り扱われていない。このため代表建造物について、工認審査ガイドにおいて「安全上適切と認められる規格及び基準等」として適用可能な規格及び基準等に準拠した評価を実施し、土木学会マニュアルの評価結果と比較することで、現在の評価が妥当であることを確認する。</u></p> <p><u>評価項目のうち、構造部材の曲げについては、工認審査ガイドにおいて「安全上適切と認められる規格及び基準等」として取り扱われているコンクリート標準示方書2002よりも保守的な手法を用いていることから、今回工認では、耐震裕度が厳しい構造部材のせん断に対して検討を実施する。</u></p> <p><u>検討では、基準地震動S_sによる地震応答解析により得られた応答値を用い、「安全上適切と認められる規格及び基準等」として、工認審査ガイド記載の「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説(日本建築学会, 2005 制定)」(以下「建築学会基準」という。)によるせん断照査結果と比較を行うことで、土木学会マニュアルによるせん断照査が妥当であることを確認する。</u></p> <p>【参考文献】</p> <p>1) 原子力土木委員会・限界状態設計部会：原子力発電所・鉄筋コンクリート製屋外重要土木建造物への限界状態設計法の適用-安全性照査マニュアルの提案-, 土木学会論文集No. 442/V-16, pp23-33, 1992.2</p> <p>2) 遠藤達巳・青柳征夫・松村卓郎：鉄筋コンクリート製地中建造物の限界状態設計に用いるせん断耐力評価法, 電力中央研究所報告, 平成4年3月</p> <p>3) 日本建築学会：原子力施設鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, 2005</p>	<p>・設計方針の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は土木学会マニュアルによるせん断照査の妥当性について検討</p> <p>・参考文献の相違</p> <p>【女川2】</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>2.2.2</u> 材料非線形解析を用いたせん断耐力評価</p> <p>構造部材の照査において発生するせん断力が、せん断耐力式によるせん断耐力を上回る部材については、以下で示す材料非線形解析を用いたせん断耐力評価を実施する。</p> <p>(1) 評価条件</p> <p><u>2.2.1</u>で示したせん断耐力式は、既往の実験等から一般化されたものであることから、構造部材の形状、作用荷重及び鉄筋コンクリートの非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより、より高い精度でせん断耐力を求め、構造部材のせん断照査を行う。</p> <p><u>第3-2-4表及び第3-2-5表に材料非線形解析の概要を示す。</u></p> <p>材料非線形解析は、90年代までに、ひび割れの進展モデルや破壊エネルギーの概念等、基本となるモデルが提示され、様々な問題に適用されながら有効性と信頼性を高めており、「コンクリート標準示方書 設計編(土木学会, 2012)」(以下「コンクリート標準示方書2012」という。)や土木学会マニュアル等で取り扱われている。</p> <p>材料非線形解析にて用いる鉄筋コンクリートの構成則については種々あるが、ここでは、現在までに実務でも使用され、適用性と信頼性が確認されており、コンクリート標準示方書2012において標準とされる以下の手法とする。</p> <p>① 鉄筋とコンクリートとの一体性を前提とする分散ひび割れモデルにてモデル化する。</p> <p>② 鉄筋との複合作用が支配的な鉄筋周辺のコンクリートについては、平均化構成則を用いる。</p> <p>③ 鉄筋との複合作用が及ばない領域では、コンクリートの破壊力学の概念を導入する。</p> <p>なお、材料非線形解析の適用に当たっては、当該構造物の構造的な特徴や荷重条件が類似する既往の実験等から得られたせん断耐力と、材料非線形解析によるせん断耐力を比較し、その適用性を判断した上で、モデル化や各種パラメータの設定に係る解析者の差を考慮した安全係数を設定する。</p>	<p><u>2.2.2</u> 材料非線形解析を用いたせん断耐力評価</p> <p>構造部材の照査において発生するせん断力が、せん断耐力式によるせん断耐力を上回る部材については、以下で示す材料非線形解析を用いたせん断耐力評価を実施する。</p> <p>(1) 評価条件</p> <p><u>2.2.1</u>で示したせん断耐力式は、既往の実験等から一般化されたものであることから、構造部材の形状、作用荷重及び鉄筋コンクリートの非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより、より高い精度でせん断耐力を求め、構造部材のせん断照査を行う。</p> <p><u>第I.2.2-3表及び第I.2.2-4表に材料非線形解析の概要を示す。</u></p> <p>材料非線形解析は、90年代までに、ひび割れの進展モデルや破壊エネルギーの概念等、基本となるモデルが提示され、様々な問題に適用されながら有効性と信頼性を高めており、「コンクリート標準示方書 設計編(土木学会, 2012)」(以下「コンクリート標準示方書2012」という。)や土木学会マニュアル等で取り扱われている。</p> <p>材料非線形解析にて用いる鉄筋コンクリートの構成則については種々あるが、ここでは、現在までに実務でも使用され、適用性と信頼性が確認されており、コンクリート標準示方書2012において標準とされる以下の手法とする。</p> <p>① 鉄筋とコンクリートとの一体性を前提とする分散ひび割れモデルにてモデル化する。</p> <p>② 鉄筋との複合作用が支配的な鉄筋周辺のコンクリートについては、平均化構成則を用いる。</p> <p>③ 鉄筋との複合作用が及ばない領域では、コンクリートの破壊力学の概念を導入する。</p> <p>なお、材料非線形解析の適用に当たっては、当該構造物の構造的な特徴や荷重条件が類似する既往の実験等から得られたせん断耐力と、材料非線形解析によるせん断耐力を比較し、その適用性を判断した上で、モデル化や各種パラメータの設定に係る解析者の差を考慮した安全係数を設定する。</p>	<p><u>2.2.3</u> 材料非線形解析を用いたせん断耐力評価</p> <p>構造部材の照査において発生するせん断力が、(1)せん断耐力評価式及び(2)分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法によるせん断耐力を上回る部材については、以下で示す材料非線形解析を用いたせん断耐力評価を実施する。</p> <p>(1) 評価条件</p> <p><u>2.2.2</u>で示したせん断耐力式は、既往の実験等から一般化されたものであることから、構造部材の形状、作用荷重及び鉄筋コンクリートの非線形特性を踏まえた材料非線形解析を実施することにより、より高い精度でせん断耐力を求め、構造部材のせん断照査を行う。</p> <p>材料非線形解析は、90年代までに、ひび割れの進展モデルや破壊エネルギーの概念等、基本となるモデルが提示され、様々な問題に適用されながら有効性と信頼性を高めており、「コンクリート標準示方書 設計編(土木学会, 2012)」(以下「コンクリート標準示方書2012」という。)や土木学会マニュアル等で取り扱われている。</p> <p>材料非線形解析にて用いる鉄筋コンクリートの構成則については種々あるが、ここでは、現在までに実務でも使用され、適用性と信頼性が確認されており、コンクリート標準示方書2012において標準とされる以下の手法とする。</p> <p>①鉄筋とコンクリートとの一体性を前提とする分散ひび割れモデルにてモデル化する。</p> <p>②鉄筋との複合作用が支配的な鉄筋周辺のコンクリートについては、平均化構成則を用いる。</p> <p>③鉄筋との複合作用が及ばない領域では、コンクリートの破壊力学の概念を導入する。</p> <p>なお、材料非線形解析の適用にあたっては、当該構造物の構造的な特徴や荷重条件が類似する既往の実験等から得られたせん断耐力と、材料非線形解析によるせん断耐力を比較し、その適用性を判断したうえで、モデル化や各種パラメータの設定に係る解析者の差を考慮した安全係数を設定する。</p> <p><u>参考として、耐震性能照査における応答値の評価に用いる解析手法を第5-2-4表及び第5-2-5表に示す。</u></p>	<p>・設計方針の相違</p> <p>【柏崎6/7, 女川2】</p> <p>島根2号炉は分布荷重を受ける部材のせん断耐力評価法について検討</p>

第3-2-4表 材料非線形解析の位置付け

区分	限界状態	選択される標準的な解析手法と耐震性能に用いる物理量
1	構造物の部材が降伏に至らない	① 線形解析 ・鉄筋及びコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力
2	構造物が最大耐力に至らない	② 等価線形解析 ・鉄筋及びコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力、最大せん断力 ・最大曲げモーメント
3	構造物が崩壊しない	③ 部材非線形解析 ・最大曲げモーメント ・最大曲率、最大変位 ・最大層間変形角、最大せん断力
		④ 材料非線形解析 ・最大変位 ・最大層間変形角 ・最大ひずみ、最大せん断力

第I.2.2-3表 材料非線形解析の位置付け(土木学会マニュアル)

区分	限界状態	選択される標準的な解析手法と耐震性能の測定に用いる物理量
1	構造物の構成部材が降伏に至らない	手法①:線形解析 ・鉄筋およびコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力
2	構造物が最大耐力に至らない	手法②:等価線形解析 ・鉄筋およびコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力 ・最大せん断力 ・最大曲げモーメント
3	構造物が崩壊しない	手法③:部材非線形解析 ・最大曲げモーメント ・最大曲率 ・最大変位 ・最大層間変形角
		手法④:材料非線形解析 ・最大変位 ・最大層間変形角 ・最大ひずみ

第5-2-4表 耐震性能と地震応答解析手法との対応

区分	限界状態	選択される標準的な解析手法と耐震性能に用いる物理量
1	構造物の部材が降伏に至らない	① 線形解析 ・鉄筋及びコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力
2	構造物が最大耐力に至らない	② 等価線形解析 ・鉄筋及びコンクリートの最大応力 ・最大せん断応力、最大せん断力 ・最大曲げモーメント
3	構造物が崩壊しない	③ 部材非線形解析 ・最大曲げモーメント ・最大曲率、最大変位 ・最大層間変形角、最大せん断力
		④ 材料非線形解析 ・最大変位 ・最大層間変形角 ・最大ひずみ、最大せん断力

- ・地震応答解析手法の使用に当たっては、新設土木構造物は、①線形解析を基本とする。
- ・また、既設構造物は、③部材非線形解析の使用を基本とするが、部材によっては、④材料非線形解析を用いる場合もある。

第3-2-5表 部材非線形解析と材料非線形解析の特徴

	部材非線形解析		材料非線形解析	
モデル化	骨組モデル		有限要素	
解析次元	1次元		2次元	3次元
構成則	M-φ, M-θ 等	応力-ひずみ関係		
要素	はり要素	ファイバー要素	平面ひずみ要素	立体要素
特徴	(汎用性)	狭い ← → 広い		
	(解析時間)	短い ← → 長い		

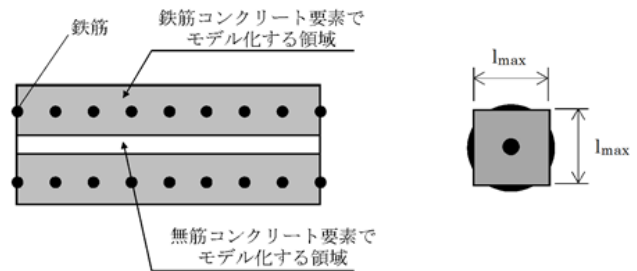
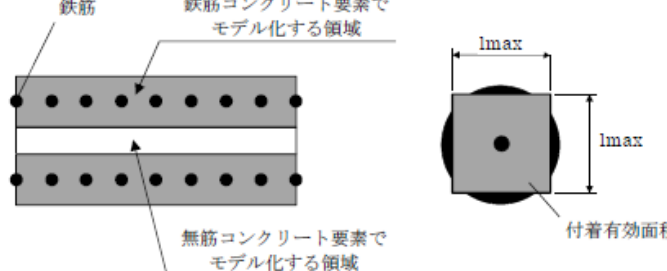
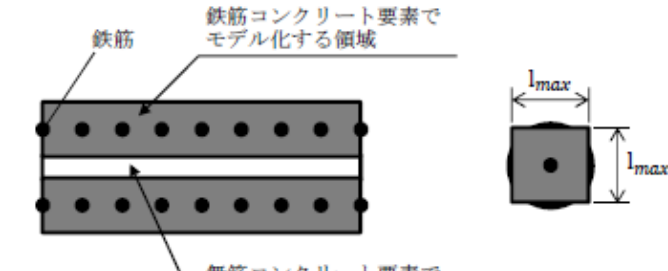
第I.2.2-4表 部材非線形解析と材料非線形解析の特徴

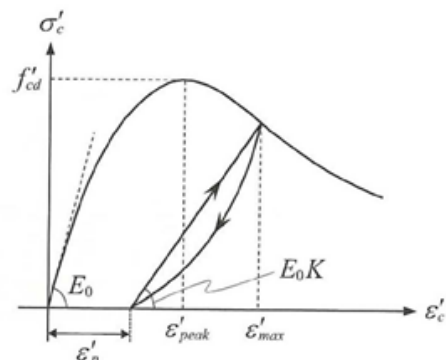
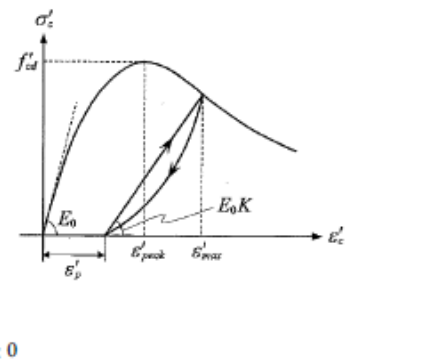
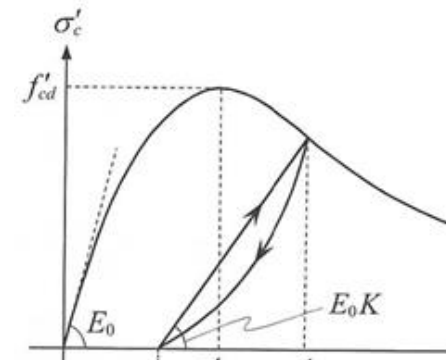
	部材非線形解析		材料非線形解析	
モデル化	骨組モデル		有限要素	
解析次元	1次元		2次元	3次元
構成則	M-φ, M-θ 等	応力-ひずみ関係		
要素	はり要素	ファイバー要素	平面ひずみ要素	立体要素
特徴	(汎用性)	狭い ← → 広い		
	(解析時間)	短い ← → 長い		

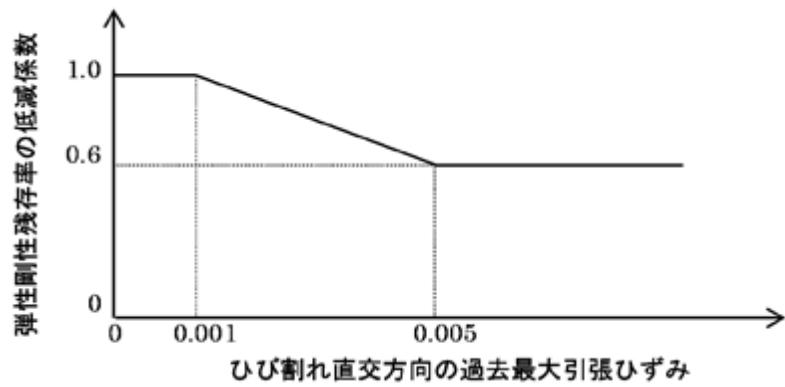
第5-2-5表 解析モデルの分類

	部材非線形解析		材料非線形解析	
モデル化	骨組モデル		有限要素	
解析次元	1次元		2次元	3次元
構成則	M-φ, M-θ 等	応力-ひずみ関係		
要素	はり要素	ファイバー要素	平面ひずみ要素	立体要素
特徴	(汎用性)	狭い ← → 広い		
	(解析時間)	短い ← → 長い		

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																								
<p>1) 適用基準 材料非線形解析については、土木学会マニュアル、コンクリート標準示方書2012等に基づき実施する。<u>基準と異なる設定を用いる場合には、設定根拠の妥当性を確認する。</u> 第3-2-6表に参考とする主な基準・文献を示す。</p> <p style="text-align: center;">第3-2-6表 参考とする主な基準等</p> <table border="1" data-bbox="157 541 911 802"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>参考とする主な基準等</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>材料定数・材料特性</td> <td>・コンクリート標準示方書2012 ・土木学会マニュアル</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>許容限界</td> <td>—</td> <td>・既往文献等より設定した許容限界(破壊基準)が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果と整合的であることを確認。</td> </tr> </tbody> </table>	項目	参考とする主な基準等	備考	材料定数・材料特性	・コンクリート標準示方書2012 ・土木学会マニュアル	—	許容限界	—	・既往文献等より設定した許容限界(破壊基準)が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果と整合的であることを確認。	<p>a. 適用基準 材料非線形解析については、土木学会マニュアル、コンクリート標準示方書2012等に基づき実施する。<u>基準と異なる設定を用いる場合には、設定根拠の妥当性を確認する。</u> 第I.2.2-5表に参考とする主な基準・文献を示す。</p> <p style="text-align: center;">第I.2.2-5表 参考とする主な基準等</p> <table border="1" data-bbox="952 541 1700 758"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>参考とする主な基準等</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>材料定数・材料特性</td> <td>・コンクリート標準示方書2012 ・土木学会マニュアル</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>許容限界</td> <td>—</td> <td>・せん断力-相対変位関係より設定した許容限界(破壊基準)が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果と概ね整合的であることを確認。</td> </tr> </tbody> </table>	項目	参考とする主な基準等	備考	材料定数・材料特性	・コンクリート標準示方書2012 ・土木学会マニュアル	—	許容限界	—	・せん断力-相対変位関係より設定した許容限界(破壊基準)が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果と概ね整合的であることを確認。	<p>1) 適用基準 材料非線形解析については、土木学会マニュアル、コンクリート標準示方書2012等に基づき実施する。 第5-2-6表に参考とする主な基準・文献を示す。</p> <p style="text-align: center;">第5-2-6表 参考とする主な基準等</p> <table border="1" data-bbox="1742 541 2490 808"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>参考とする主な基準等</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>材料定数・材料特性</td> <td>・コンクリート標準示方書2012 ・土木学会マニュアル</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>許容限界</td> <td>—</td> <td>・既往文献等により設定した許容限界(破壊基準)が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果と整合的であることを確認。</td> </tr> </tbody> </table>	項目	参考とする主な基準等	備考	材料定数・材料特性	・コンクリート標準示方書2012 ・土木学会マニュアル	—	許容限界	—	・既往文献等により設定した許容限界(破壊基準)が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果と整合的であることを確認。																																																																																														
項目	参考とする主な基準等	備考																																																																																																																									
材料定数・材料特性	・コンクリート標準示方書2012 ・土木学会マニュアル	—																																																																																																																									
許容限界	—	・既往文献等より設定した許容限界(破壊基準)が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果と整合的であることを確認。																																																																																																																									
項目	参考とする主な基準等	備考																																																																																																																									
材料定数・材料特性	・コンクリート標準示方書2012 ・土木学会マニュアル	—																																																																																																																									
許容限界	—	・せん断力-相対変位関係より設定した許容限界(破壊基準)が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果と概ね整合的であることを確認。																																																																																																																									
項目	参考とする主な基準等	備考																																																																																																																									
材料定数・材料特性	・コンクリート標準示方書2012 ・土木学会マニュアル	—																																																																																																																									
許容限界	—	・既往文献等により設定した許容限界(破壊基準)が、部材係数の設定における材料非線形解析にて、実験結果と整合的であることを確認。																																																																																																																									
<p>2) 材料定数 耐震安全性評価に用いる材料定数は、設計図書及び文献等を基に設定する。コンクリート及び鉄筋の材料定数を第3-2-7表及び第3-2-8表に示す。</p> <p style="text-align: center;">第3-2-7表 コンクリートの材料定数</p> <table border="1" data-bbox="157 1165 911 1522"> <thead> <tr> <th></th> <th>設定値</th> <th>諸元</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>単位体積重量</td> <td>0.0kN/m³</td> <td>材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度</td> <td>18.1 N/mm²</td> <td>設計基準強度(設計図書23.5N/mm²) / 材料係数(γ_{mc}=1.3)</td> </tr> <tr> <td>引張強度</td> <td>1.45N/mm²</td> <td>引張強度 / 材料係数</td> </tr> <tr> <td>圧縮ピークひずみ</td> <td>0.2%</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> <tr> <td>ひび割れ-せん断伝達係数</td> <td>1.0</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> <tr> <td>破壊エネルギー</td> <td>0.0768N/mm</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">第3-2-8表 鉄筋の材料定数</p> <table border="1" data-bbox="169 1654 899 1927"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>設定値</th> <th>諸元</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">単位体積重量</td> <td>0.0kN/m³</td> <td>材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ヤング係数</td> <td>200kN/mm²</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">降伏強度</td> <td>主鉄筋</td> <td>2000N/mm²</td> <td>せん断破壊先行型の破壊形態となるよう、曲げ耐力が増大するように設定</td> </tr> <tr> <td>せん断補強筋</td> <td>345 N/mm²</td> <td>設計図書</td> </tr> </tbody> </table>		設定値	諸元	単位体積重量	0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない	圧縮強度	18.1 N/mm ²	設計基準強度(設計図書23.5N/mm ²) / 材料係数(γ _{mc} =1.3)	引張強度	1.45N/mm ²	引張強度 / 材料係数	圧縮ピークひずみ	0.2%	コンクリート標準示方書2012	ひび割れ-せん断伝達係数	1.0	コンクリート標準示方書2012	破壊エネルギー	0.0768N/mm	コンクリート標準示方書2012			設定値	諸元	単位体積重量		0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない	ヤング係数		200kN/mm ²	コンクリート標準示方書2012	降伏強度	主鉄筋	2000N/mm ²	せん断破壊先行型の破壊形態となるよう、曲げ耐力が増大するように設定	せん断補強筋	345 N/mm ²	設計図書	<p>b. 材料定数 耐震安全性評価に用いる材料定数は、設計図書及び文献等を基に設定する。コンクリート及び鉄筋の材料定数を第I.2.2-6表及び第I.2.2-7表に示す。</p> <p style="text-align: center;">第I.2.2-6表 コンクリートの材料定数</p> <table border="1" data-bbox="982 1165 1670 1493"> <thead> <tr> <th></th> <th>設定値</th> <th>諸元</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>単位体積重量</td> <td>0.0 kN/m³</td> <td>材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度</td> <td>15.8 N/mm²</td> <td>設計基準強度(設計図書20.5N/mm²) / 材料係数*</td> </tr> <tr> <td>引張強度</td> <td>1.33 N/mm²</td> <td>引張強度 / 材料係数*</td> </tr> <tr> <td>圧縮ピークひずみ</td> <td>0.2%</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> <tr> <td>ひび割れ-せん断伝達係数</td> <td>1.0</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> <tr> <td>破壊エネルギー</td> <td>0.0681 N/mm</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> </tbody> </table> <p>※：材料係数を1.3として算出</p> <p style="text-align: center;">第I.2.2-7表 鉄筋の材料定数</p> <table border="1" data-bbox="991 1663 1662 1927"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>設定値</th> <th>諸元</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">単位体積重量</td> <td>0.0 kN/m³</td> <td>材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ヤング係数</td> <td>200 kN/mm²</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">降伏強度</td> <td>主鉄筋</td> <td>2000 N/mm²</td> <td>せん断破壊先行型の破壊形態となるよう曲げ耐力が増大するように設定</td> </tr> <tr> <td>せん断補強筋</td> <td>345 N/mm²</td> <td>設計図書(SD345)</td> </tr> </tbody> </table>		設定値	諸元	単位体積重量	0.0 kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない	圧縮強度	15.8 N/mm ²	設計基準強度(設計図書20.5N/mm ²) / 材料係数*	引張強度	1.33 N/mm ²	引張強度 / 材料係数*	圧縮ピークひずみ	0.2%	コンクリート標準示方書2012	ひび割れ-せん断伝達係数	1.0	コンクリート標準示方書2012	破壊エネルギー	0.0681 N/mm	コンクリート標準示方書2012			設定値	諸元	単位体積重量		0.0 kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない	ヤング係数		200 kN/mm ²	コンクリート標準示方書2012	降伏強度	主鉄筋	2000 N/mm ²	せん断破壊先行型の破壊形態となるよう曲げ耐力が増大するように設定	せん断補強筋	345 N/mm ²	設計図書(SD345)	<p>2) 材料定数 耐震安全性評価に用いる材料定数は、設計図書及び文献等を基に設定する。コンクリート及び鉄筋の材料定数を第5-2-7表及び第5-2-8表に示す。</p> <p style="text-align: center;">第5-2-7表 コンクリートの材料定数</p> <table border="1" data-bbox="1765 1150 2466 1543"> <thead> <tr> <th></th> <th>設定値</th> <th>諸元</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>単位体積重量</td> <td>0.0kN/m³</td> <td>材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない</td> </tr> <tr> <td>圧縮強度</td> <td>18.1N/mm²</td> <td>設計基準強度(設計図書23.5N/mm²) / 材料係数(γ_{mc}=1.3)</td> </tr> <tr> <td>引張強度</td> <td>1.45N/mm²</td> <td>引張強度 / 材料係数</td> </tr> <tr> <td>圧縮ピークひずみ</td> <td>0.15%</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> <tr> <td>ひび割れ-せん断伝達係数</td> <td>1.0</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> <tr> <td>破壊エネルギー</td> <td>0.0754N/mm</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">第5-2-8表 鉄筋の材料定数</p> <table border="1" data-bbox="1742 1663 2490 1927"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>設定値</th> <th>諸元</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">単位体積重量</td> <td>0.0kN/m³</td> <td>材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ヤング係数</td> <td>200kN/mm²</td> <td>コンクリート標準示方書2012</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">降伏強度</td> <td>主鉄筋</td> <td>1000N/mm²</td> <td>せん断破壊先行型の破壊形態となるよう、曲げ耐力が増大するように設定</td> </tr> <tr> <td>せん断補強筋</td> <td>345N/mm²</td> <td>設計図書</td> </tr> </tbody> </table>		設定値	諸元	単位体積重量	0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない	圧縮強度	18.1N/mm ²	設計基準強度(設計図書23.5N/mm ²) / 材料係数(γ _{mc} =1.3)	引張強度	1.45N/mm ²	引張強度 / 材料係数	圧縮ピークひずみ	0.15%	コンクリート標準示方書2012	ひび割れ-せん断伝達係数	1.0	コンクリート標準示方書2012	破壊エネルギー	0.0754N/mm	コンクリート標準示方書2012			設定値	諸元	単位体積重量		0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない	ヤング係数		200kN/mm ²	コンクリート標準示方書2012	降伏強度	主鉄筋	1000N/mm ²	せん断破壊先行型の破壊形態となるよう、曲げ耐力が増大するように設定	せん断補強筋	345N/mm ²	設計図書	
	設定値	諸元																																																																																																																									
単位体積重量	0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない																																																																																																																									
圧縮強度	18.1 N/mm ²	設計基準強度(設計図書23.5N/mm ²) / 材料係数(γ _{mc} =1.3)																																																																																																																									
引張強度	1.45N/mm ²	引張強度 / 材料係数																																																																																																																									
圧縮ピークひずみ	0.2%	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																									
ひび割れ-せん断伝達係数	1.0	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																									
破壊エネルギー	0.0768N/mm	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																									
		設定値	諸元																																																																																																																								
単位体積重量		0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない																																																																																																																								
ヤング係数		200kN/mm ²	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																								
降伏強度	主鉄筋	2000N/mm ²	せん断破壊先行型の破壊形態となるよう、曲げ耐力が増大するように設定																																																																																																																								
	せん断補強筋	345 N/mm ²	設計図書																																																																																																																								
	設定値	諸元																																																																																																																									
単位体積重量	0.0 kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない																																																																																																																									
圧縮強度	15.8 N/mm ²	設計基準強度(設計図書20.5N/mm ²) / 材料係数*																																																																																																																									
引張強度	1.33 N/mm ²	引張強度 / 材料係数*																																																																																																																									
圧縮ピークひずみ	0.2%	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																									
ひび割れ-せん断伝達係数	1.0	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																									
破壊エネルギー	0.0681 N/mm	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																									
		設定値	諸元																																																																																																																								
単位体積重量		0.0 kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない																																																																																																																								
ヤング係数		200 kN/mm ²	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																								
降伏強度	主鉄筋	2000 N/mm ²	せん断破壊先行型の破壊形態となるよう曲げ耐力が増大するように設定																																																																																																																								
	せん断補強筋	345 N/mm ²	設計図書(SD345)																																																																																																																								
	設定値	諸元																																																																																																																									
単位体積重量	0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない																																																																																																																									
圧縮強度	18.1N/mm ²	設計基準強度(設計図書23.5N/mm ²) / 材料係数(γ _{mc} =1.3)																																																																																																																									
引張強度	1.45N/mm ²	引張強度 / 材料係数																																																																																																																									
圧縮ピークひずみ	0.15%	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																									
ひび割れ-せん断伝達係数	1.0	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																									
破壊エネルギー	0.0754N/mm	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																									
		設定値	諸元																																																																																																																								
単位体積重量		0.0kN/m ³	材料非線形解析による荷重に含まれることから考慮しない																																																																																																																								
ヤング係数		200kN/mm ²	コンクリート標準示方書2012																																																																																																																								
降伏強度	主鉄筋	1000N/mm ²	せん断破壊先行型の破壊形態となるよう、曲げ耐力が増大するように設定																																																																																																																								
	せん断補強筋	345N/mm ²	設計図書																																																																																																																								

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>3) 解析モデルの要素分割</p> <p>材料非線形解析の対象とする構造部材を平面ひずみ要素でモデル化する。構造部材のモデル化に当たっては、第3-2-8 図に示すとおり、鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し、付着の影響が及ばない領域を無筋コンクリート要素としてモデル化する。</p> <p>部材厚方向の要素分割数については、鉄筋を含む要素と無筋要素を明確に指定できる分割数が望ましいこと及び3層以上の分割数をとる場合、解析結果に大きな差異が生じないことから3層以上に設定することとする。</p> <p>具体的には、鉄筋を含む要素は、鉄筋を中心としてかぶり厚さの2倍とし、無筋領域については、要素形状が極端に扁平とならないように分割する。</p> <p>なお、対象とする構造部材に接合する部材は、弾性要素でモデル化し、モデル下端を固定境界とする。</p>  $l_{max} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D_b \sqrt{\frac{f_y}{f_t}}$ <p>ここに、l_{max} : 鉄筋一本当たりの付着有効面積を正方形で考えた場合の一辺の長さ D_b : 鉄筋の直径 f_y : 鉄筋の降伏強度 f_t : コンクリートの引張強度</p> <p>第3-2-8 図 鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割の概要</p>	<p>c. 解析モデルの要素分割</p> <p>材料非線形解析の対象とする構造部材を平面ひずみ要素でモデル化する。構造部材のモデル化に当たっては、第 I. 2. 2-3 図に示すとおり、鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し、付着の影響が及ばない領域を無筋コンクリート要素としてモデル化する。</p> <p>部材厚方向の要素分割数については、鉄筋を含む要素と無筋要素を明確に指定できる分割数が望ましいこと、及び3層以上の分割数をとる場合、解析結果に大きな差異が生じないことから3層以上に設定することとする。</p> <p>具体的には、鉄筋を含む要素は、鉄筋を中心としてかぶり厚さの2倍とし、無筋領域については、要素形状が極端に扁平とならないように分割する。</p> <p>なお、対象とする構造部材に接合する部材は、弾性要素でモデル化し、モデル下端を固定境界とする。</p>  $l_{max} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D_b \sqrt{\frac{f_y}{f_t}}$ <p>ここに、 l_{max} : 鉄筋一本当たりの付着有効面積を正方形で考えた場合の一辺の長さ D_b : 鉄筋の直径 f_y : 鉄筋の降伏強度 f_t : コンクリートの引張強度</p> <p>第 I. 2. 2-3 図 鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割の概要</p>	<p>3) 解析モデルの要素分割</p> <p>材料非線形解析の対象とする構造部材を平面ひずみ要素でモデル化する。構造部材のモデル化にあたっては、第5-2-9図に示すとおり、鉄筋の付着が有効な領域を鉄筋コンクリート要素としてモデル化し、付着の影響が及ばない領域を無筋コンクリート要素としてモデル化する。</p> <p>部材厚方向の要素分割数については、鉄筋を含む要素と無筋要素を明確に指定できる分割数が望ましいこと及び3層以上の分割数をとる場合、解析結果に大きな差異が生じないことから3層以上に設定することとする。</p> <p>具体的には、鉄筋を含む要素は、鉄筋を中心としてかぶり厚さの2倍とし、無筋領域については、要素形状が極端に扁平とならないように分割する。</p> <p>なお、対象とする構造部材に接合する部材は、弾性要素でモデル化し、モデル端部を固定境界とする。</p>  $l_{max} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D_b \sqrt{\frac{f_y}{f_t}}$ <p>ここに、l_{max} : 鉄筋一本当たりの付着有効面積を正方形で考えた場合の一辺の長さ D_b : 鉄筋の直径 f_y : 鉄筋の降伏強度 f_t : コンクリートの引張強度</p> <p>第5-2-9図 鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割の概要</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>4) コンクリートの非線形特性</p> <p>耐震安全性評価に用いる要素は鉄筋コンクリート要素及び無筋コンクリート要素に分類されるが、それぞれの非線形特性は同一の考え方で表される。</p> <p>・圧縮応力下における応力-ひずみ関係</p> <p>第3-2-9 図に一軸圧縮応力下における応力-ひずみ関係を示す。</p> <p>圧縮応力下の応力-ひずみの骨格曲線は、最大応力点までの硬化域と、最大応力点を越えた軟化域で表され、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。</p> <p>また、ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度については、第3-2-10 図に示す、低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。</p>  $\sigma'_c = E_0 K (\epsilon'_c - \epsilon'_p) \geq 0$ $E_0 = \frac{2 \cdot f'_{cd}}{\epsilon'_{peak}}$ $K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \left(1 - \exp \left(-1.25 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \right) \right) \right\}$ $\epsilon'_p = \epsilon'_{max} - 2.86 \cdot \epsilon'_{peak} \left\{ 1 - \exp \left(-0.35 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \right) \right\}$ <p>ここに、$f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$</p> <ul style="list-style-type: none"> ϵ'_{peak} : 圧縮強度に対応するひずみ (一般に、0.002 としてもよい) ϵ'_{max} : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値 ϵ'_p : 塑性ひずみ K : 弾性剛性残存率 <p>第3-2-9 図 圧縮応力下におけるコンクリートの非線形特性</p>	<p>d. コンクリートの非線形特性</p> <p>耐震安全性評価に用いる要素は鉄筋コンクリート要素及び無筋コンクリート要素に分類されるが、それぞれの非線形特性は同一の考え方で表される。</p> <p>・圧縮応力下における応力-ひずみ関係</p> <p>第 I.2.2-4 図に一軸圧縮応力下における応力-ひずみ関係を示す。</p> <p>圧縮応力下の応力-ひずみの骨格曲線は、最大応力点までの硬化域と、最大応力点を越えた軟化域で表され、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。</p> <p>また、ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度については、第 I.2.2-5 図に示す、低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。</p>  $\sigma'_c = E_0 K (\epsilon'_c - \epsilon'_p) \geq 0$ $E_0 = \frac{2 \cdot f'_{cd}}{\epsilon'_{peak}}$ $K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \left(1 - \exp \left(-1.25 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \right) \right) \right\}$ $\epsilon'_p = \epsilon'_{max} - 2.86 \cdot \epsilon'_{peak} \left\{ 1 - \exp \left(-0.35 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \right) \right\}$ $f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_c$ <p>ここに、</p> <ul style="list-style-type: none"> ϵ'_{peak} : 圧縮強度に対応するひずみ (一般に、0.002 としてもよい) ϵ'_{max} : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値 ϵ'_p : 塑性ひずみ K : 弾性剛性残存率 <p>第 I.2.2-4 図 圧縮応力下におけるコンクリートの非線形特性</p>	<p>4) コンクリートの非線形特性</p> <p>耐震安全性評価に用いる要素は鉄筋コンクリート要素及び無筋コンクリート要素に分類されるが、それぞれの非線形特性は同一の考え方で表される。</p> <p>・圧縮応力下における応力-ひずみ関係</p> <p>第5-2-10図における一軸圧縮応力下における応力-ひずみ関係を示す。</p> <p>圧縮応力下の応力-ひずみの骨格曲線は、最大応力点までの硬化域と、最大応力点を越えた軟化域で表され、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。</p> <p>また、ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度については、第5-2-11図に示す、低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。</p>  $\sigma'_c = E_0 K (\epsilon'_c - \epsilon'_p) \geq 0$ $E_0 = \frac{2 \cdot f'_{cd}}{\epsilon'_{peak}}$ $K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \left(1 - \exp \left(-1.25 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \right) \right) \right\}$ $\epsilon'_p = \epsilon'_{max} - 2.86 \cdot \epsilon'_{peak} \left\{ 1 - \exp \left(-0.35 \frac{\epsilon'_{max}}{\epsilon'_{peak}} \right) \right\}$ <p>ここに、$f'_{cd} = f'_{ck} / \gamma_{mc}$</p> <ul style="list-style-type: none"> ϵ'_{peak} : 圧縮強度に対応するひずみ (一般に、0.002 としてもよい) ϵ'_{max} : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値 ϵ'_p : 塑性ひずみ K : 弾性剛性残存率 <p>第5-2-10図 圧縮応力下におけるコンクリートの非線形特性</p>	

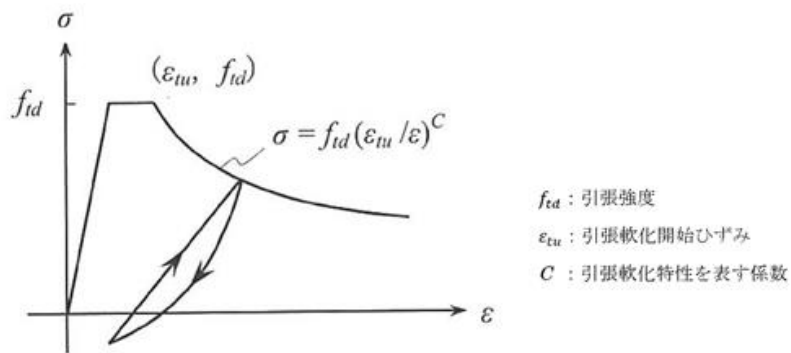


第3-2-10 図 弾性剛性残存率の低減係数

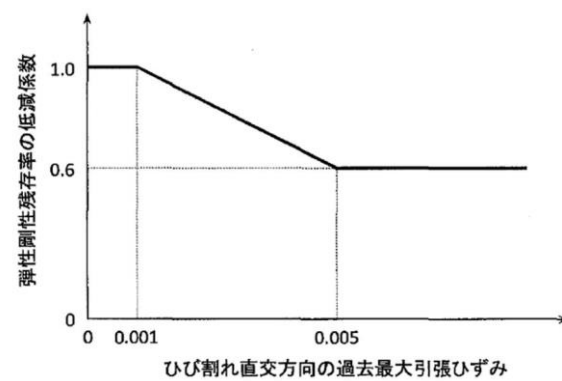
・引張応力下における応力-ひずみ関係

引張応力下における応力-ひずみ関係は、ひび割れ発生までは線形弾性とし、ひび割れ強度以降は、鉄筋とコンクリートの付着の影響等を考慮し、第3-2-11 図に示す骨格曲線を用いて、ひび割れ間のコンクリートに引張応力分担を考慮する。

引張力を受ける無筋コンクリート要素では、引張軟化挙動は、破壊エネルギー (Gf) によって定義する。引張軟化挙動の考慮に当たっては、第3-2-12 図に示すひび割れ発生後の軟化曲線とひび割れ発生点からの除荷曲線とで囲まれる面積が Gf/Le (要素寸法) に一致するように、軟化特性を表す係数 C を用いる。



第3-2-11 図 引張応力下における鉄筋とコンクリートの付着効果を考慮した応力-ひずみ関係

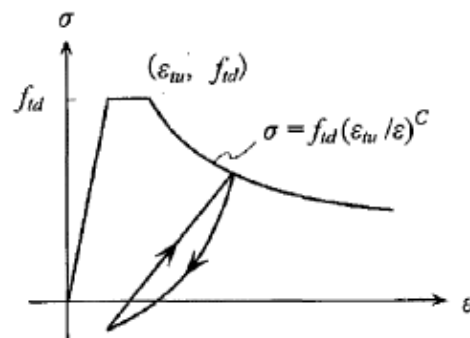


第 I. 2. 2-5 図 弾性剛性残存率の低減係数

・引張応力下における応力-ひずみ関係

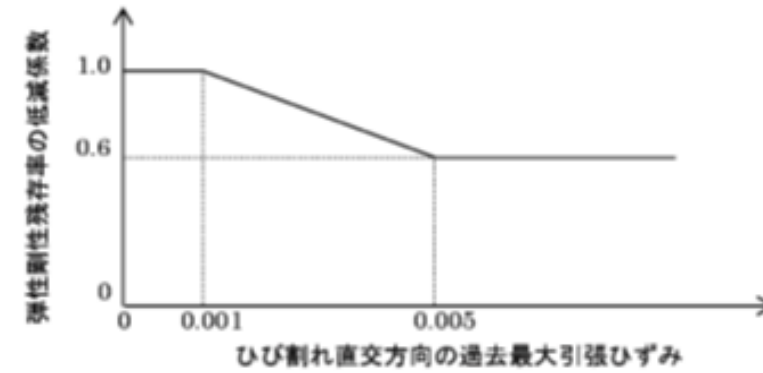
引張応力下における応力-ひずみ関係は、ひび割れ発生までは線形弾性とし、ひび割れ強度以降は、鉄筋とコンクリートの付着の影響等を考慮し、第 I. 2. 2-6 図に示す骨格曲線を用いて、ひび割れ間のコンクリートに引張応力分担を考慮する。

引張力を受ける無筋コンクリート要素では、引張軟化挙動は、破壊エネルギー (Gf) によって定義する。引張軟化挙動の考慮に当たっては、第 I. 2. 2-7 図に示すひび割れ発生後の軟化曲線とひび割れ発生点からの除荷曲線とで囲まれる面積が Gf/Le (要素寸法) に一致するように、軟化特性を表す係数 C を用いる。



f_{td} : 設計引張強度
 ϵ_{tu} : 引張軟化開始ひずみ
 C : 引張軟化特性を表す係数

第 I. 2. 2-6 図 引張応力下における鉄筋とコンクリートの付着効果を考慮した応力-ひずみ関係

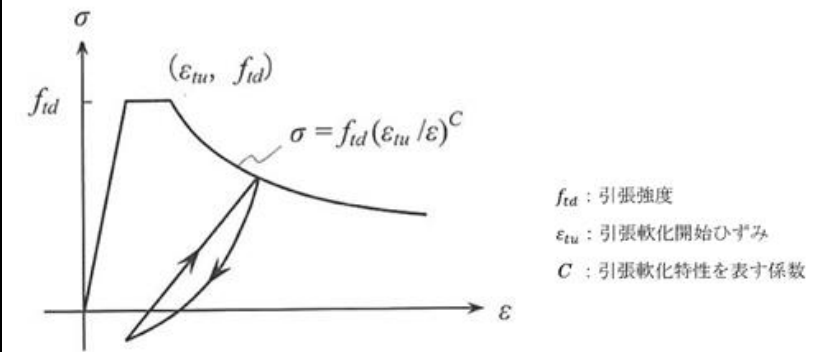


第5-2-11 図 弾性剛性残存率の低減係数

・引張応力下における応力-ひずみ関係

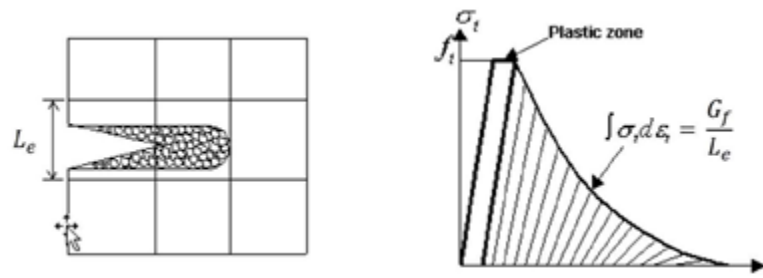
引張応力下における応力-ひずみ関係は、ひび割れ発生までは線形弾性とし、ひび割れ強度以降は、鉄筋とコンクリートの付着の影響等を考慮し、第5-2-12 図に示す骨格曲線を用いて、ひび割れ間のコンクリートに引張応力分担を考慮する。

引張力を受ける無筋コンクリート要素では、引張軟化挙動は、破壊エネルギー Gf によって定義する。引張軟化挙動の考慮にあたっては、第5-2-13 図に示すひび割れ発生後の軟化曲線とひび割れ発生点からの除荷曲線とで囲まれる面積が Gf/Le (要素寸法) に一致するように、軟化特性を表す係数 C を用いる。



f_{td} : 引張強度
 ϵ_{tu} : 引張軟化開始ひずみ
 C : 引張軟化特性を表す係数

第5-2-12 図 引張応力下における鉄筋とコンクリートの付着効果を考慮した応力-ひずみ関係

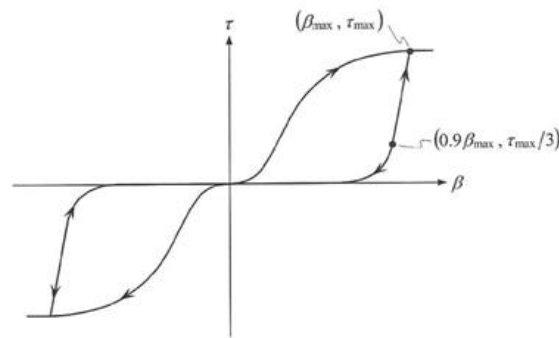


第3-2-12 図 応力-ひずみ曲線と破壊エネルギーGf の関係

・ひび割れ面でのせん断伝達関係

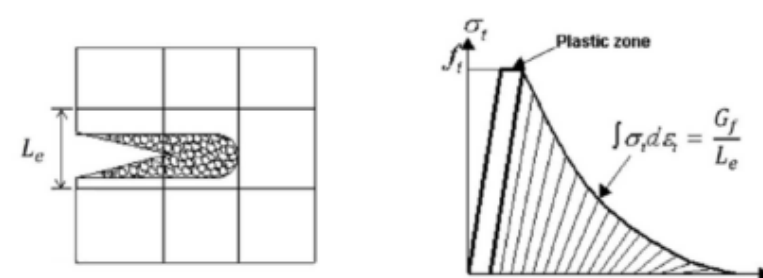
コンクリートのひび割れ発生後にひび割れ角度を固定する固定ひび割れモデルでは、ひび割れ面のずれによるせん断応力伝達特性を考慮する必要がある。

ひび割れ面でのせん断伝達挙動は、斜めひび割れの発生に伴う剛性低下や破壊を評価するため、第3-2-13 図に示すとおり、ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比をパラメータとし、コンクリートの剛性低下を考慮するモデルを用いる。



- β : ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比(γ/ε)
- τ : ひび割れ面でのせん断応力
- τ_{max} : 除荷開始時せん断応力
- β_{max} : 除荷開始時せん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比

第3-2-13 図 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

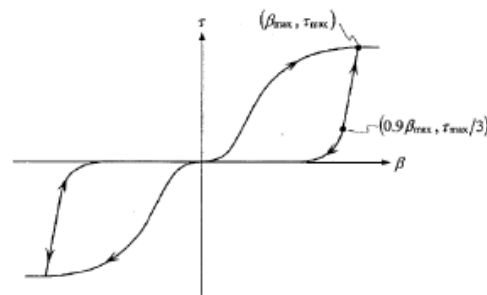


第 I.2.2-7 図 応力-ひずみ曲線と破壊エネルギーGf の関係

・ひび割れ面でのせん断伝達関係

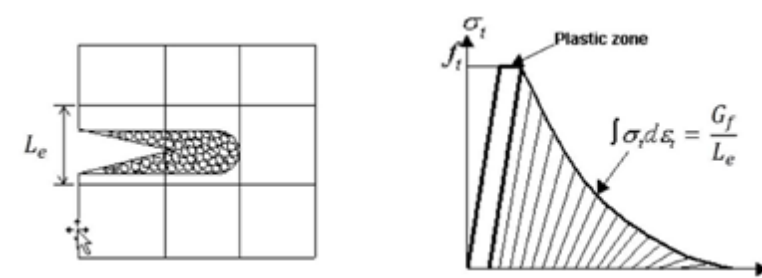
コンクリートのひび割れ発生後にひび割れ角度を固定する固定ひび割れモデルでは、ひび割れ面のずれによるせん断応力伝達特性を考慮する必要がある。

ひび割れ面でのせん断伝達挙動は、斜めひび割れの発生に伴う剛性低下や破壊を評価するため、第 I.2.2-8 図に示すとおり、ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比をパラメータとし、コンクリートの剛性低下を考慮するモデルを用いる。



- β : ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比 (γ/ε)
- τ : ひび割れ面でのせん断応力
- τ_{max} : 除荷開始時せん断応力
- β_{max} : 除荷開始時せん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比

第 I.2.2-8 図 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

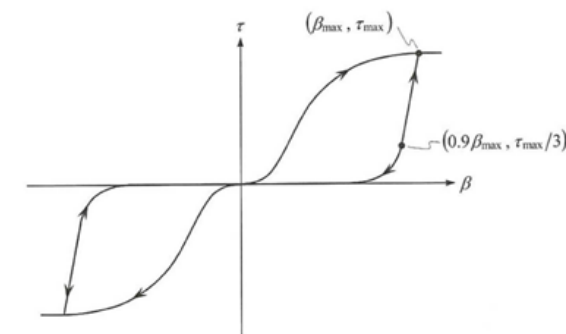


第5-2-13図 応力-ひずみ曲線と破壊エネルギーGfの関係

・ひび割れ面でのせん断伝達関係

コンクリートのひび割れ発生後にひび割れ角度を固定する固定ひび割れモデルでは、ひび割れ面のずれによるせん断応力伝達特性を考慮する必要がある。

ひび割れ面でのせん断伝達挙動は、斜めひび割れの発生に伴う剛性低下や破壊を評価するため、第5-2-14図に示すとおり、ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比 β をパラメータとし、コンクリートの剛性低下を考慮するモデルを用いる。

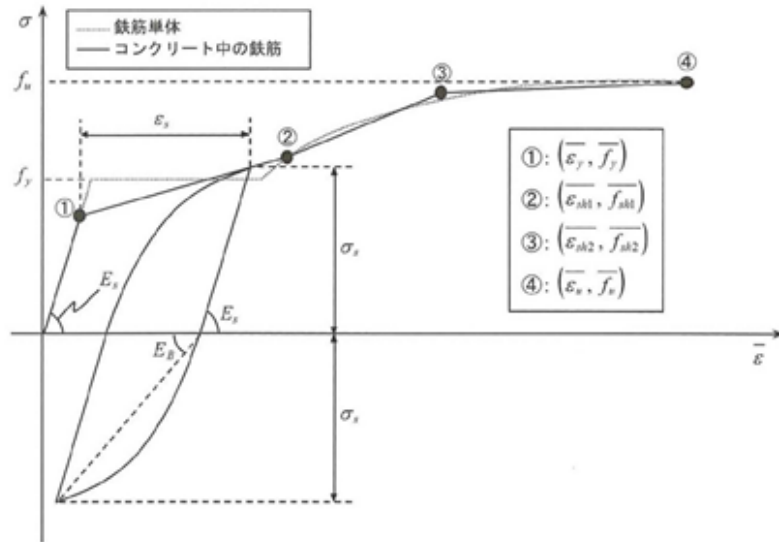


- β : ひび割れ面におけるせん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比(γ/ε)
- τ : ひび割れ面でのせん断応力
- τ_{max} : 除荷開始時せん断応力
- β_{max} : 除荷開始時せん断ひずみ γ とひび割れ開口ひずみ ε の比

第5-2-14図 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

5) 鉄筋の非線形特性

ひび割れを複数含む領域におけるコンクリート中の鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係は、単体鉄筋の応力-ひずみ関係と異なり、第3-2-14 図に示すひずみ硬化特性を考慮する。



第3-2-14 図 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係

6) 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

コンクリートと鉄筋の界面の付着特性をテンションスティフニング効果（引張特性が硬化する現象）として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより、鉄筋コンクリートの構成則を直接与える。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、以下の式で表される。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

ここに、 $\bar{\sigma}_{RC}$ 、 $\bar{\sigma}_c$: それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

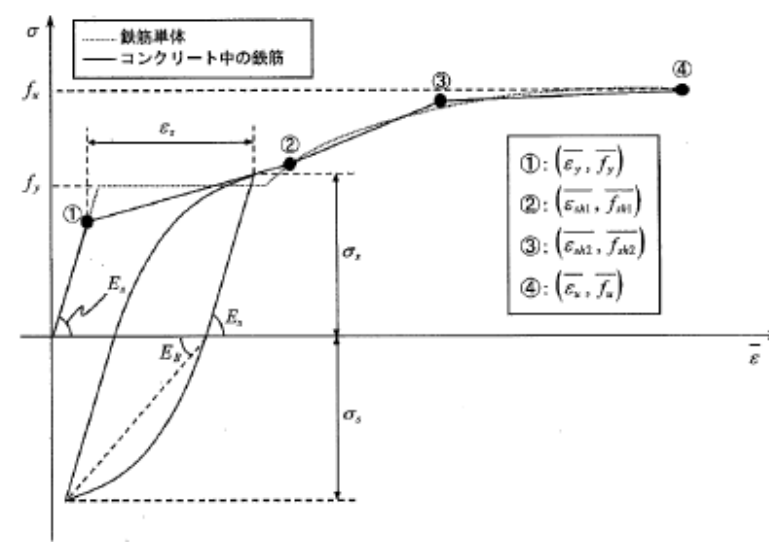
A_s 、 A_c : それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積、 $A_{RC} = A_s + A_c$

7) 荷重の組合せ

材料非線形解析においては、地震応答解析（部材非線形解析）により得られた荷重を用いることから、荷重の組み合わせは、地震応答解析と同様である。

e. 鉄筋の非線形特性

ひび割れを複数含む領域におけるコンクリート中の鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係は、単体鉄筋の応力-ひずみ関係と異なり、第 I.2.2-9 図に示すひずみ硬化特性を考慮する。



第 I.2.2-9 図 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係

f. 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

コンクリートと鉄筋の界面の付着特性をテンションスティフニング効果（引張特性が硬化する現象）として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより、鉄筋コンクリートの構成則を直接与える。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、以下の式で表される。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

ここに、 $\bar{\sigma}_s$ 、 $\bar{\sigma}_c$: それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

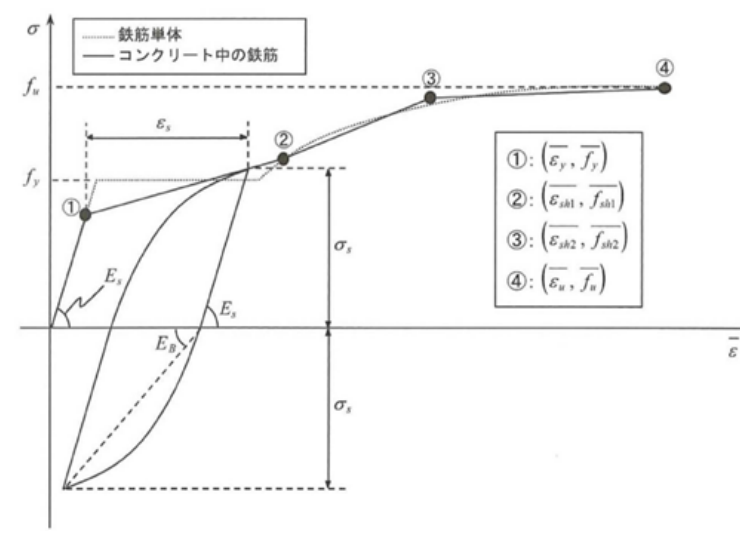
A_s 、 A_c : それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積、 $A_{RC} = A_s + A_c$

g. 荷重の組合せ

材料非線形解析においては、地震応答解析（部材非線形解析）により得られた荷重を用いることから、荷重の組み合わせは、地震応答解析と同様である。

5) 鉄筋の非線形特性

ひび割れを複数含む領域におけるコンクリート中の鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係は、単体鉄筋の応力-ひずみ関係と異なり、第5-2-15図に示すひずみ硬化特性を考慮する。



第5-2-15図 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係

6) 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

コンクリートと鉄筋の界面の付着特性をテンションスティフニング効果（引張特性が硬化する現象）として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより、鉄筋コンクリートの構成則を直接与える。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、以下の式で表される。

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

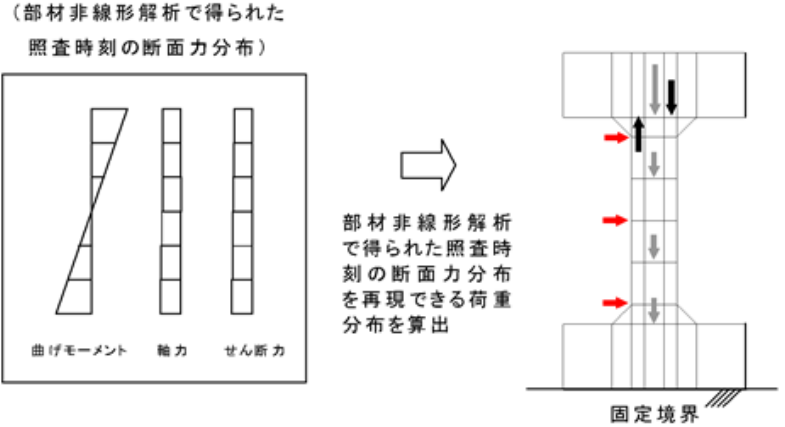
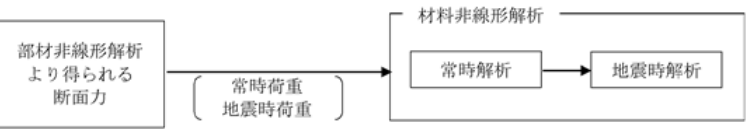
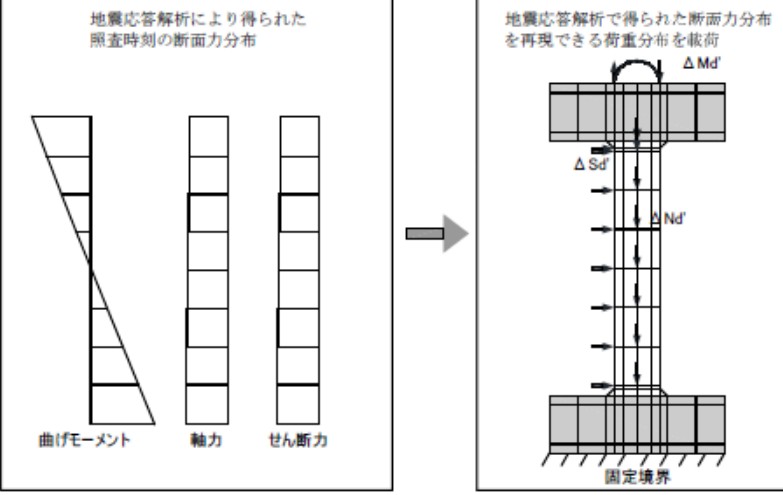

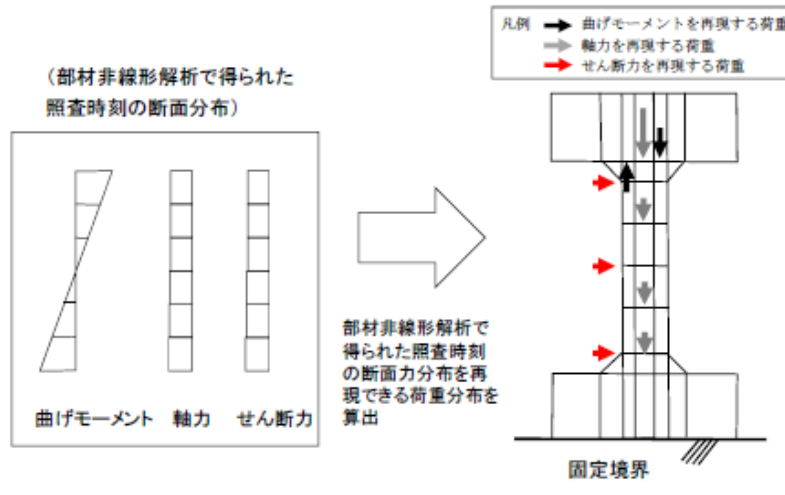
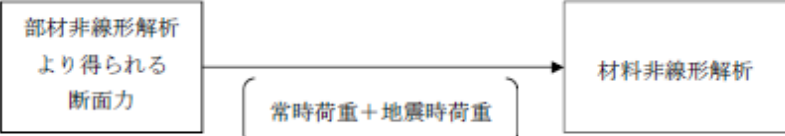
ここに、 $\bar{\sigma}_s$ 、 $\bar{\sigma}_c$: それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

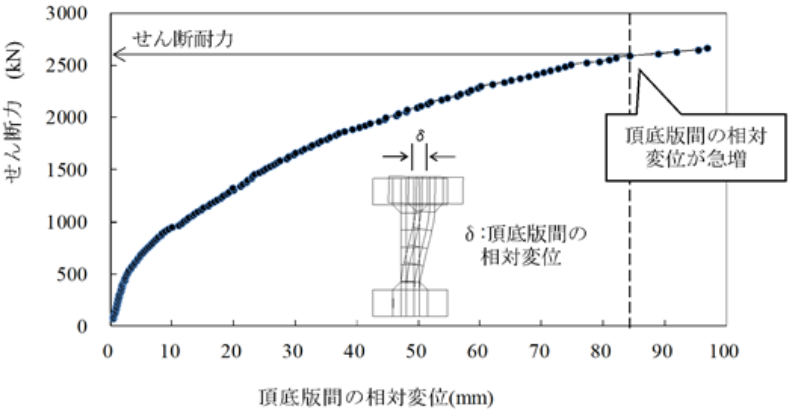
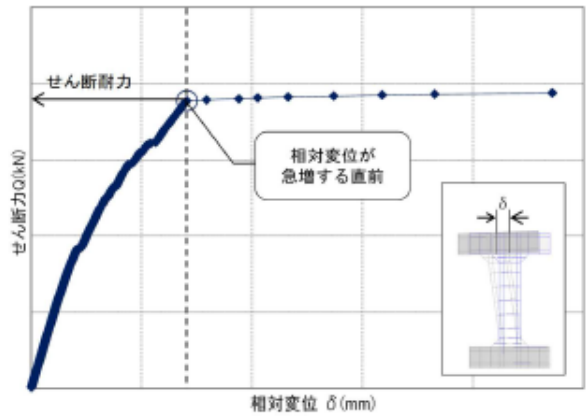
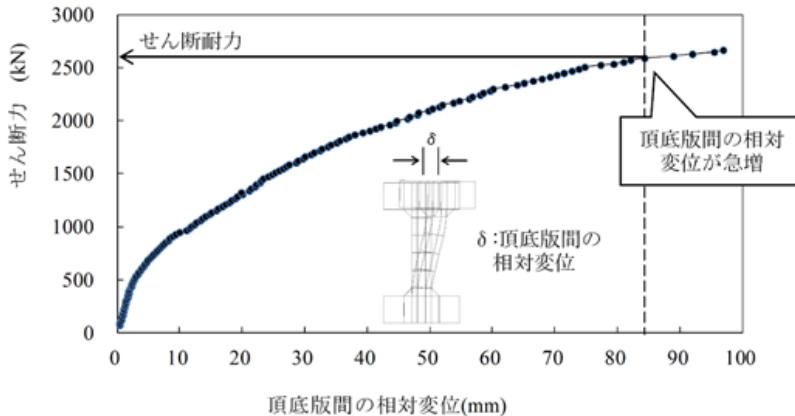
A_s 、 A_c : それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積、 $A_{RC} = A_s + A_c$

7) 荷重の組合せ

材料非線形解析においては、地震応答解析（部材非線形解析）により得られた荷重を用いることから、荷重の組み合わせは、地震応答解析と同様である。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(2) 評価方法</p> <p>1) 耐震安全性評価フロー</p> <p>材料非線形解析を用いたせん断耐力評価の評価フローを第3-2-15 図に示す。</p> <p>※層間変形角が最大となる時刻と、せん断力が最大となる時刻の整合性は、補足確認する。</p> <p>第3-2-15 図 材料非線形解析の耐震安全性評価フロー</p>	<p>(2) 評価方法</p> <p>a. 耐震安全性評価フロー</p> <p>材料非線形解析を用いたせん断耐力評価の評価フローを第I. 2. 2-10 図に示す。</p> <p>※：層間変形角が最大となる時刻と、せん断力が最大となる時刻の整合性は、補足確認する。</p> <p>第I. 2. 2-10 図 材料非線形解析の耐震安全性評価フロー</p>	<p>(2) 評価方法</p> <p>1) 耐震安全性評価フロー</p> <p>材料非線形解析を用いたせん断耐力評価の評価フローを第5-2-16図に示す。</p> <p>第5-2-16図 材料非線形解析の耐震安全性評価フロー</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>2) 荷重の設定</p> <p>材料非線形解析にて考慮する荷重は、地震応答解析（部材非線形解析）から得られる荷重を考慮する。具体的には、地震応答解析（部材非線形解析）で評価対象部材のせん断照査結果が厳しくなる時刻（層間変形角最大時）における断面力（曲げモーメント、軸力、せん断力）を材料非線形解析モデルに第3-2-16 図に示すとおり作用させる。</p> <p>材料非線形解析では、部材非線形解析で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、この荷重比率を維持しながら漸増载荷する。</p> <p>作用荷重は、<u>常時荷重及び地震時荷重に分けて、第3-2-17 図に示すとおり常時解析と地震時解析に分けて実施する。</u></p>  <p>第3-2-16 図 材料非線形解析における载荷状況</p>  <p>第3-2-17 図 荷重の作用手順</p>	<p>b. 荷重の設定</p> <p>材料非線形解析にて考慮する荷重は、地震応答解析（部材非線形解析）から得られる荷重を考慮する。具体的には、地震応答解析（部材非線形解析）で評価対象部材のせん断照査結果が厳しくなる時刻（層間変形角最大時）における断面力（曲げモーメント、軸力、せん断力）を材料非線形解析モデルに第 I.2.2-11 図に示すとおり作用させる。</p> <p>材料非線形解析では、部材非線形解析で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、この荷重比率を維持しながら漸増载荷する。</p> <p>作用荷重は、<u>常時荷重及び地震時荷重に分けて、第 I.2.2-12 図に示すとおり常時解析と地震時解析に分けて実施する。</u></p>  <p>第 I.2.2-11 図 材料非線形解析における载荷状況</p>  <p>第 I.2.2-12 図 荷重の作用手順</p>	<p>2) 荷重の設定</p> <p>材料非線形解析にて考慮する荷重は、地震応答解析（部材非線形解析）から得られる荷重を考慮する。具体的には、地震応答解析（部材非線形解析）で評価対象部材のせん断照査結果が厳しくなる時刻における断面力（曲げモーメント、軸力、せん断力）を材料非線形解析モデルに第5-2-17図に示すとおり作用させる。</p> <p>材料非線形解析では、<u>地震応答解析（部材非線形解析）</u>で得られた照査時刻の断面力分布を再現できる荷重分布を算出し、この荷重比率を維持しながら漸増载荷する。</p> <p>作用荷重は第5-2-18図に示すとおり、<u>常時荷重と地震時荷重を足し合わせ、材料非線形解析を実施する。</u></p>  <p>第5-2-17図 材料非線形解析における载荷状況</p>  <p>第5-2-18図 荷重の作用手順</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計方針の相違 【柏崎 6/7, 女川 2】 ④の相違 ・設計方針の相違 【柏崎 6/7, 女川 2】 島根 2号炉は常時荷重と地震時荷重を足し合わせ、材料非線形解析を実施 ・設計方針の相違 【柏崎 6/7, 女川 2】 島根 2号炉は常時荷重と地震時荷重を足し合わせ、材料非線形解析を実施

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>3) せん断耐力</p> <p>材料非線形解析を用いたせん断耐力は、材料非線形解析におけるせん断力-相対変位関係や要素ひずみの応答から設定する。具体的には、<u>第3-2-18図</u>に示す例のとおり、せん断力-相対変位関係においてせん断力の増分に対して相対変位が急増する点又はせん断力が最大となる点を部材のせん断耐力と判断する。</p>  <p>第3-2-18 図 材料非線形解析を用いたせん断耐力の設定例</p>	<p>c. せん断耐力</p> <p>材料非線形解析を用いたせん断耐力は、材料非線形解析におけるせん断力-相対変位関係から設定する。具体的には、<u>第 I.2.2-13 図</u>に示す例のとおり、せん断力-相対変位関係においてせん断力の増分に対して相対変位が急増する直前の点又はせん断力が最大となる点を部材のせん断耐力と判断する。</p>  <p>第 I.2.2-13 図 材料非線形解析を用いたせん断耐力の設定例</p>	<p>3) せん断耐力</p> <p>材料非線形解析を用いたせん断耐力は、材料非線形解析におけるせん断力-相対変位関係や要素ひずみの応答から設定する。具体的には、<u>第5-2-19図</u>に示す例のとおり、せん断力-相対変位関係においてせん断力の増分に対して相対変位が急増する点又はせん断力が最大となる点を部材のせん断耐力と判断する。</p>  <p>第5-2-19図 材料非線形解析を用いたせん断耐力の設定例</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																													
<p>4) 安全係数の設定</p> <p>材料非線形解析では、地震応答解析（部材非線形解析）で得られる断面力P_0（曲げモーメント、軸力、せん断力）を材料非線形解析に作用させた時のせん断力Vと材料非線形解析で得られるせん断耐力V_yに、下記のとおり部材係数γ_{b1}、γ_{b2}、構造解析係数γ_a、構造物係数γ_iを考慮し、照査用せん断力V_d、設計せん断耐力V_{yd}を算定する。</p> $V_d = \gamma_i \cdot \gamma_a \cdot V$ $V_{yd} = V_y / (\gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2})$ <p>考慮した安全係数を第3-2-9表に示す。ここで、部材係数γ_{b1}については、実験又はせん断耐力式により得られるせん断耐力と材料非線形解析により得られるせん断耐力との比率により設定することとし、解析における構成則の相違や、要素の種類、要素分割、材料物性の設定、入力増分等、多岐にわたる解析者間の差を考慮する。</p> <p>具体的には、土木学会マニュアルに示される17ケースの材料非線形解析を実施し、実験又はせん断耐力との差が最も大きいCase No. 12の部材係数1.24を設定する（第3-2-10表）。</p> <p style="text-align: center;">第3-2-9表 考慮した安全係数</p> <table border="1" data-bbox="163 1339 905 1711"> <thead> <tr> <th colspan="2">安全係数</th> <th>値</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">部材係数</td> <td>γ_{b1}</td> <td>1.24</td> <td>別途実施する材料非線形解析により設定</td> </tr> <tr> <td>γ_{b2}</td> <td>1.00</td> <td>地震応答解析による層間変形角より設定</td> </tr> <tr> <td>構造物係数</td> <td>γ_i</td> <td>1.00</td> <td>構造物の重要度は、基準地震動S_sにより評価することで包絡されていると判断</td> </tr> <tr> <td>構造解析係数</td> <td>γ_a</td> <td>1.05</td> <td>各種文献より保守的に設定</td> </tr> </tbody> </table>	安全係数		値	設定根拠	部材係数	γ_{b1}	1.24	別途実施する材料非線形解析により設定	γ_{b2}	1.00	地震応答解析による層間変形角より設定	構造物係数	γ_i	1.00	構造物の重要度は、基準地震動 S_s により評価することで包絡されていると判断	構造解析係数	γ_a	1.05	各種文献より保守的に設定	<p>d. 安全係数の設定</p> <p>材料非線形解析では、地震応答解析（部材非線形解析）で得られる断面力（曲げモーメント、軸力、せん断力）を材料非線形解析に作用させた時のせん断力Vと材料非線形解析で得られるせん断耐力V_yに、以下のとおり部材係数γ_{b1}、γ_{b2}、構造解析係数γ_a、構造物係数γ_iを考慮し、照査用せん断力V_d、設計せん断耐力V_{yd}を算定する。</p> $V_d = \gamma_i \cdot \gamma_a \cdot V$ $V_{yd} = V_y / (\gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2})$ <p>考慮する安全係数の設定例を第I.2.2-8表に示す。ここで、部材係数γ_{b1}については、実験又はせん断耐力式により得られるせん断耐力と材料非線形解析により得られるせん断耐力との比率により設定することとし、解析における構成則の相違や、要素の種類、要素分割、材料物性の設定、入力増分等、多岐にわたる解析者間の差を考慮する。</p> <p>具体的には、土木学会マニュアルに示される17ケースの材料非線形解析を実施し、実験又はせん断耐力との差が最も大きいCase No. 7の部材係数1.13を設定する（第I.2.2-9表）。</p> <p style="text-align: center;">第I.2.2-8表 考慮する安全係数の設定例</p> <table border="1" data-bbox="955 1350 1697 1654"> <thead> <tr> <th colspan="2">安全係数</th> <th>値</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">部材係数</td> <td>γ_{b1}</td> <td>1.13</td> <td>別途実施する材料非線形解析により設定</td> </tr> <tr> <td>γ_{b2}</td> <td>1.0</td> <td>地震応答解析による層間変形角より設定</td> </tr> <tr> <td>構造物係数</td> <td>γ_i</td> <td>1.0</td> <td>構造物の重要度は、基準地震動S_sにより評価することで包絡されていると判断</td> </tr> <tr> <td>構造解析係数</td> <td>γ_a</td> <td>1.05</td> <td>各種文献より保守的に設定</td> </tr> </tbody> </table>	安全係数		値	設定根拠	部材係数	γ_{b1}	1.13	別途実施する材料非線形解析により設定	γ_{b2}	1.0	地震応答解析による層間変形角より設定	構造物係数	γ_i	1.0	構造物の重要度は、基準地震動 S_s により評価することで包絡されていると判断	構造解析係数	γ_a	1.05	各種文献より保守的に設定	<p>4) 安全係数の設定</p> <p>材料非線形解析では、地震応答解析（部材非線形解析）で得られる断面力P_0（曲げモーメント、軸力、せん断力）を材料非線形解析に作用させた時のせん断力Vと材料非線形解析で得られるせん断耐力V_yに、下記の通り部材係数γ_{b1}、γ_{b2}、構造解析係数γ_a、構造物係数γ_iを考慮し、照査用せん断力V_d、設計せん断耐力V_{yd}を算定する。</p> $V_d = \gamma_i \cdot \gamma_a \cdot V$ $V_{yd} = V_y / (\gamma_{b1} \cdot \gamma_{b2})$ <p>考慮した安全係数を第5-2-9表に示す。ここで、部材係数γ_{b1}については、実験又はせん断耐力式により得られるせん断耐力と材料非線形解析により得られるせん断耐力との比率により設定することとし、解析における構成則の相違や、要素の種類、要素分割、材料物性の設定、入力増分等、多岐にわたる解析者間の差を考慮する。</p> <p>具体的には、土木学会マニュアルに示される17ケースの材料非線形解析を実施し、実験又はせん断耐力との差が最も大きいCase No. 8の部材係数1.15を設定する（第5-2-10表）。</p> <p style="text-align: center;">第5-2-9表 考慮した安全係数</p> <table border="1" data-bbox="1816 1329 2427 1696"> <thead> <tr> <th colspan="2">安全係数</th> <th>値</th> <th>設定根拠</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">部材係数</td> <td>γ_{b1}</td> <td>1.15</td> <td>別途実施する材料非線形解析により設定</td> </tr> <tr> <td>γ_{b2}</td> <td>1.00</td> <td>地震応答解析による層間変形角より設定</td> </tr> <tr> <td>構造物係数</td> <td>γ_i</td> <td>1.00</td> <td>構造物の重要度は、基準地震動S_sにより評価することで包絡されていると判断</td> </tr> <tr> <td>構造解析係数</td> <td>γ_a</td> <td>1.05</td> <td>各種文献より保守的に設定</td> </tr> <tr> <td>材料係数</td> <td>γ_{mc}</td> <td>1.3</td> <td>各種文献より設定</td> </tr> </tbody> </table>	安全係数		値	設定根拠	部材係数	γ_{b1}	1.15	別途実施する材料非線形解析により設定	γ_{b2}	1.00	地震応答解析による層間変形角より設定	構造物係数	γ_i	1.00	構造物の重要度は、基準地震動 S_s により評価することで包絡されていると判断	構造解析係数	γ_a	1.05	各種文献より保守的に設定	材料係数	γ_{mc}	1.3	各種文献より設定	<p>・設計方針の相違</p> <p>【柏崎6/7, 女川2】 土木学会マニュアルに基づく材料非線形解析結果の相違</p> <p>・設計方針の相違</p> <p>【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は材料係数について説明</p>
安全係数		値	設定根拠																																																													
部材係数	γ_{b1}	1.24	別途実施する材料非線形解析により設定																																																													
	γ_{b2}	1.00	地震応答解析による層間変形角より設定																																																													
構造物係数	γ_i	1.00	構造物の重要度は、基準地震動 S_s により評価することで包絡されていると判断																																																													
構造解析係数	γ_a	1.05	各種文献より保守的に設定																																																													
安全係数		値	設定根拠																																																													
部材係数	γ_{b1}	1.13	別途実施する材料非線形解析により設定																																																													
	γ_{b2}	1.0	地震応答解析による層間変形角より設定																																																													
構造物係数	γ_i	1.0	構造物の重要度は、基準地震動 S_s により評価することで包絡されていると判断																																																													
構造解析係数	γ_a	1.05	各種文献より保守的に設定																																																													
安全係数		値	設定根拠																																																													
部材係数	γ_{b1}	1.15	別途実施する材料非線形解析により設定																																																													
	γ_{b2}	1.00	地震応答解析による層間変形角より設定																																																													
構造物係数	γ_i	1.00	構造物の重要度は、基準地震動 S_s により評価することで包絡されていると判断																																																													
構造解析係数	γ_a	1.05	各種文献より保守的に設定																																																													
材料係数	γ_{mc}	1.3	各種文献より設定																																																													

第3-2-10表 部材係数 γ_{b1} の設定

Case No.	実験結果	解析結果	部材係数 (解析結果/ 実験結果)
	せん断耐力 (kN)	せん断耐力 (kN)	
1	475	437	0.92
2	1,187	1,234	1.04
3	324	343	1.06
4	294	306	1.04
5	581	529	0.91
6	329	359	1.09
7	1,587	1,904	1.20
8	350	399	1.14
9	855	855	1.00
10	165	168	1.02
11	333	403	1.21
12	127	157	1.24
13	188	165	0.88
14	163	156	0.96
15	273	172	0.63
16	356	235	0.66
17	432	324	0.75
平均	—	—	0.99
標準偏差	—	—	0.18

第I.2.2-9表 部材係数 γ_{b1} の設定例

Case No.	試験結果	解析結果	部材係数 (解析結果/ 実験結果) (②/①)	備考
	せん断耐力 (kN) ①	せん断耐力 (kN) ②		
1	475	422.8	0.89	
2	1187	1258.2	1.06	
3	324	356.4	1.10	
4	294	308.7	1.05	
5	581	511.3	0.88	
6	329	335.6	1.02	
7	1587	1793.3	1.13	最大値
8	350	392.0	1.12	
9	855	880.7	1.03	
10	165	102.3	0.62	
11	333	316.4	0.95	
12	127	100.3	0.79	
13	188	118.4	0.63	
14	163	117.4	0.72	
15	273	177.5	0.65	
16	356	291.9	0.82	
17	432	246.2	0.57	

(3) 適用範囲

二次元時刻歴応答解析により断面力等を算出して耐震安全性評価を行う線状構造物とし、線状構造物のうち後施工せん断補強筋(CCb)により耐震補強を行っている部材は適用範囲外とする。

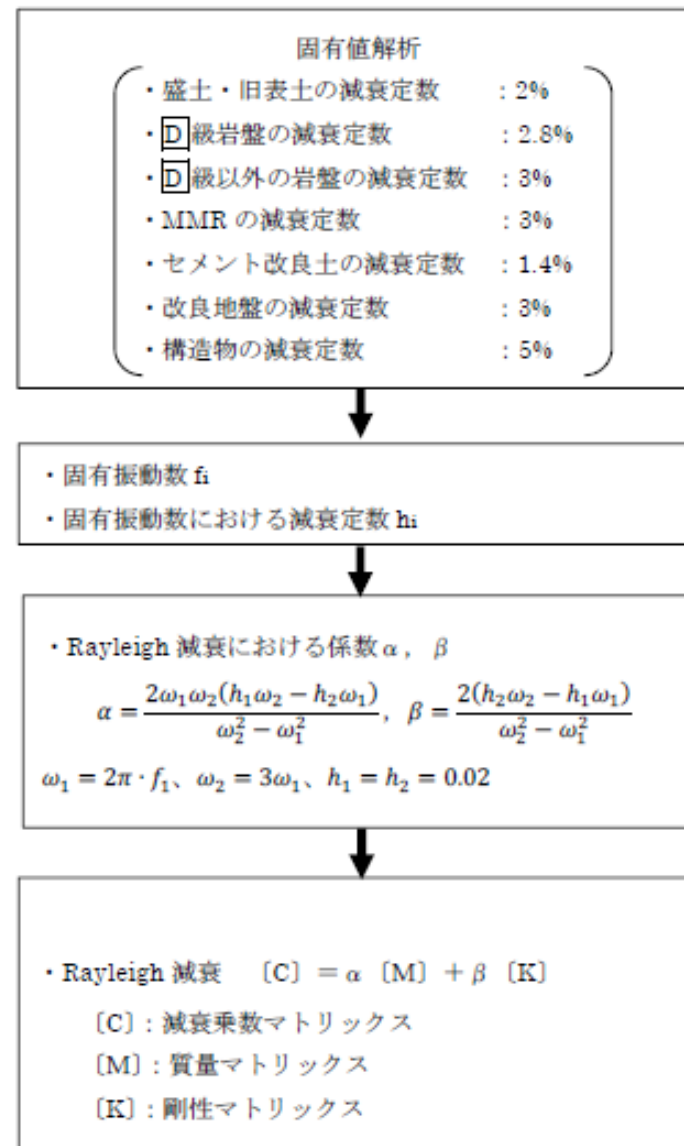
第5-2-10表 部材係数 γ_{b1} の設定

Case No.	実験結果	解析結果	部材係数 (解析結果/ 実験結果)
	せん断耐力 (kN)	せん断耐力 (kN)	
1	475	461	0.97
2	1,187	1,167	0.98
3	324	363	1.12
4	294	314	1.07
5	581	510	0.88
6	329	343	1.04
7	1,587	1,716	1.08
8	350	402	1.15
9	855	863	1.01
10	165	108	0.65
11	333	346	1.04
12	127	105	0.83
13	188	128	0.68
14	163	120	0.74
15	273	188	0.69
16	356	324	0.91
17	432	252	0.58
平均	—	—	0.91
標準偏差	—	—	0.18

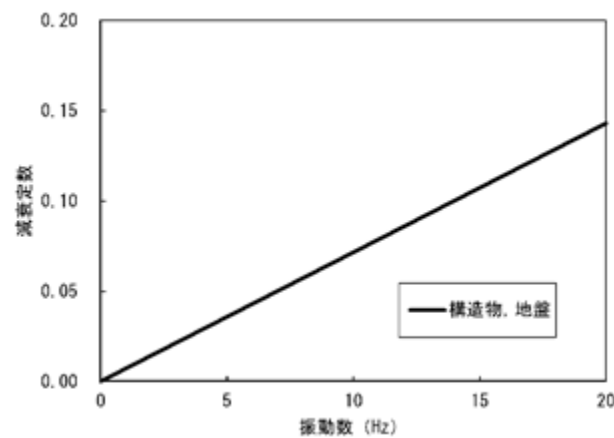
・設計方針の相違
【柏崎6/7, 女川2】
土木学会マニュアルに基づく材料非線形解析結果の相違

・設計方針の相違
【女川2】
女川2号炉は適用範囲について説明

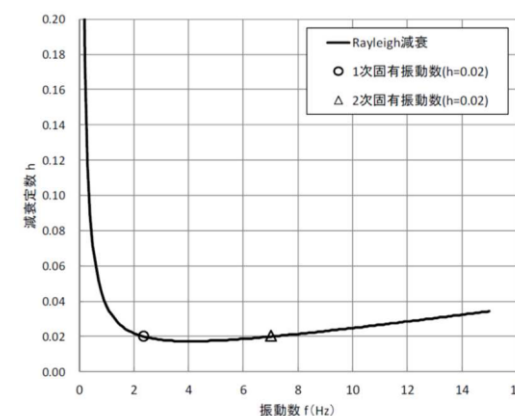
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>3. 屋外重要土木構造物の減衰定数</p> <p>(1) 減衰の設定について</p> <p>今回工認で採用している時刻歴応答解析において、地盤及び構造物の減衰は、粘性減衰と履歴減衰とで考慮している。</p> <p>粘性減衰による減衰は、固有値解析にて求まる固有周期及び減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh 減衰にて与える。<u>土木学会マニュアルに従いRayleigh 減衰を$\alpha=0$となる剛性比例型減衰とする。材料ごとに減衰を設定するために要素剛性比例型としている。なお、一次の基準モードについては構造系全体がせん断変形しているモードを選定している。</u></p> $[C] = \alpha [M] + \beta [K]$ <p>[C]: 減衰係数マトリックス, [M]: 質量マトリックス, [K]: 剛性マトリックス, α, β: 係数</p> <p>係数 α, β は以下のように求めている。</p> $\alpha = 0$ $\beta = h / \pi f$ <p>h: 各材料の減衰定数, f: 固有値解析により求められた一次固有振動数</p> <p><u>設定したRayleigh 減衰を第3-3-1 図に示す。</u></p>	<p>3. 屋外重要土木構造物の減衰定数</p> <p>3.1 減衰定数の設定について</p> <p>今回工認で採用している時刻歴応答解析において、地盤及び構造物の減衰定数は、粘性減衰と履歴減衰とで考慮している。</p> <p>粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。</p> $[C] = \alpha [M] + \beta [K]$ <p>[C]: 減衰係数マトリックス, [M]: 質量マトリックス, [K]: 剛性マトリックス, α, β: 係数</p> <p>係数 α, β を定めるにあたり、<u>水平成層地盤の二次固有振動数が一次固有振動数の3 倍であることから、二次モードの固有円振動数ω_2 は一次モードの固有円振動数ω_1 の3 倍としている。地中構造物を対象としていることから地震応答解析の解析モデルに占める割合の大きい盛土及び旧表土の挙動に支配されるため、一次固有振動数は、解析モデルの固有値解析結果より得られる一次モードの振動数とし、減衰定数は2% (0.02) としている。</u></p> <p><u>なお、構造部材を線形でモデル化する場合も非線形でモデル化する場合も、係数α, βの設定方法は同一である。</u></p> <p><u>Rayleigh 減衰の設定フローを第I.3.1-1 図に、Rayleigh 減衰の設定イメージを第I.3.1-2 図に示す。</u></p>	<p>3. 屋外重要土木構造物の減衰定数</p> <p>(1) 減衰の設定について</p> <p>今回工認で採用している時刻歴応答解析において、地盤及び構造物の減衰は、粘性減衰と履歴減衰とで考慮している。</p> <p>粘性減衰による減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh減衰を解析モデル全体に与える。<u>なお、卓越する基準モードについては解析モデル全体の固有値解析において、卓越するモードを選定している。</u></p> $[C] = \alpha [M] + \beta [K]$ <p>[C]: 減衰係数マトリックス, [M]: 質量マトリックス [K]: 剛性マトリックス, α, β: 係数</p> <p>係数 α, β は、<u>解析モデル全体系の固有値解析において、卓越するモードの減衰とRayleigh減衰が一致するように、以下の式により決定する。</u></p> $h_n = \alpha / 2 \omega_n + \beta \omega_n / 2$ <p>h_n: 固有値解析により求められたn次モードの減衰定数 ω_n: 固有値解析により求められたn次モードの固有円振動数</p> <p><u>卓越するモードは、全体系の固有値解析における刺激係数及びモード図にて決定する。</u></p> <p><u>設定したRayleigh減衰の一例(取水槽)を第5-3-1図に、Rayleigh減衰の設定のために実施した固有値解析結果を第5-3-1表に、固有値解析のモード図を第5-3-2図に示す。</u></p> <p><u>取水槽の固有値解析結果によると、各モード次数の減衰定数は0~2%程度となっている。これは取水槽周辺の表層地盤に埋戻土(減衰定数0%)が分布していることが影響していると判断した。</u></p> <p><u>Rayleigh減衰の設定に際しては、加振方向に振動するモードの刺激係数の大きさ及びモード図を選定の指標とした。</u></p> <p><u>取水槽の場合、刺激係数の値及びモード図より1次モード及び10次モードを選定した。</u></p> <p><u>1次及び10次モードは全体系で大きく振動しており、その他のモードは表層地盤(埋戻土)が局所的に振動していることから、モード図からも主要なモードは1次及び10次モードであると判断した。</u></p>	<p>備考</p> <p>・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は固有値解析結果(例)及びモード図(添付資料1)を示し、卓越するモードを選定</p> <p>・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は土木マニュアルを踏まえた係数の算出方法を説明。また、島根2号炉は選定された卓越するモードによりRayleigh減衰を設定</p>



第 I. 3. 1-1 図 Rayleigh 減衰の設定フロー

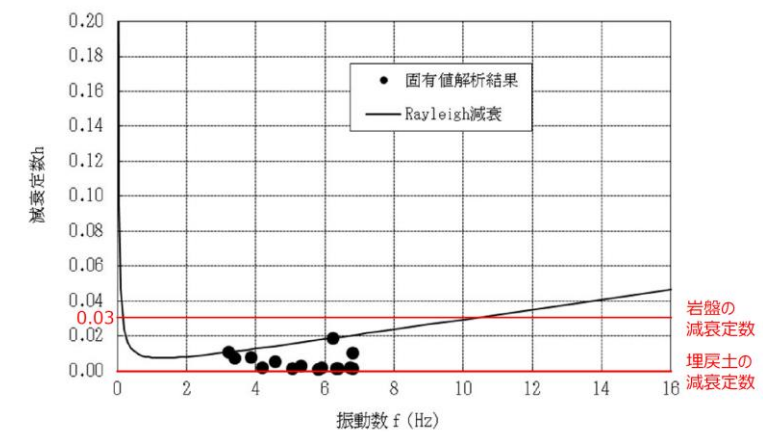


第3-3-1 図 設定したRayleigh 減衰 (7号炉取水路一般部の例)



第 I. 3. 1-2 図 Rayleigh 減衰の設定イメージ

履歴減衰による減衰は、構造部材の部材非線形性 (ファイバーモデルのコンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ関係) における非線形の程度に応じた値となる。

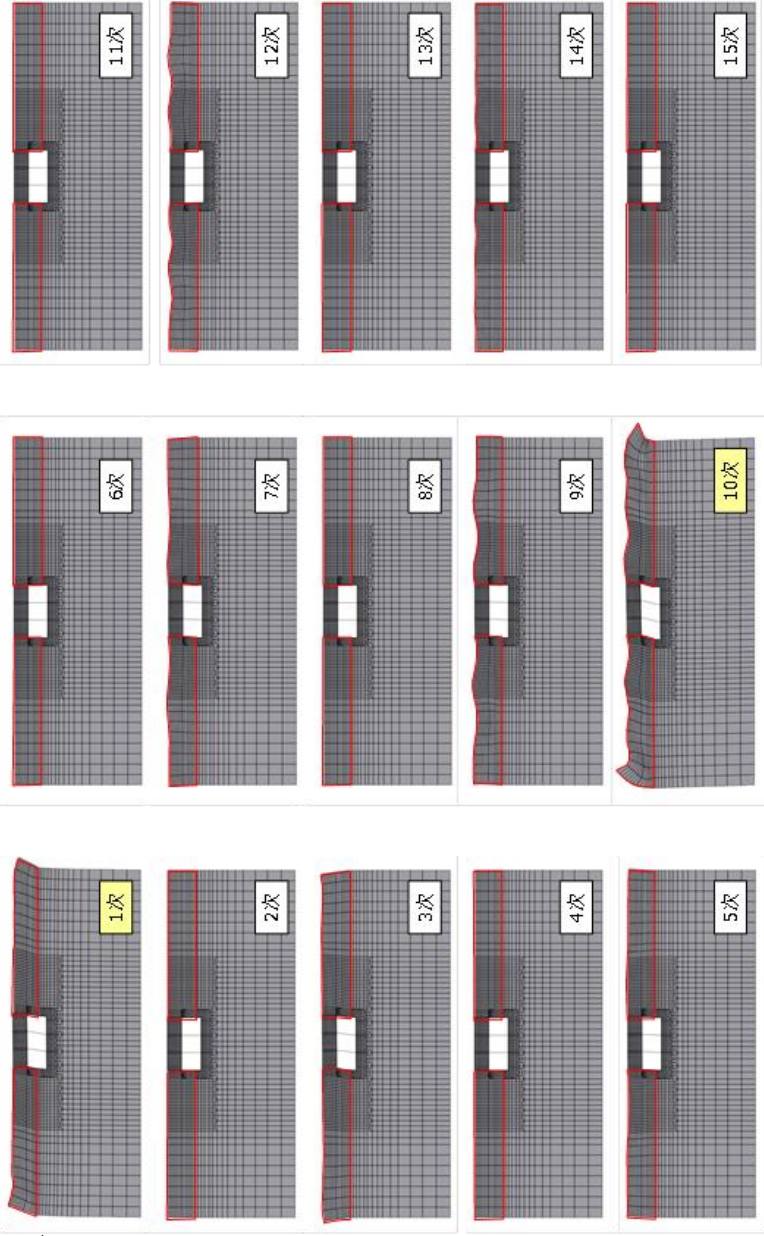


第5-3-1図 設定したRayleigh減衰 (取水槽の例)

• 設計方針の相違
 【柏崎 6/7, 女川 2】
 島根 2号炉は構造部材の部材非線形性 (ファイバーモデルのコンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ関係) により履歴減衰を検討

• 設計方針の相違
 【柏崎 6/7, 女川 2】
 島根 2号炉は選定された卓越するモードにより Rayleigh 減衰を設定

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																
<p>今回工認における剛性比例型減衰は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のためなるべく小さい値として一次固有振動数に対して減衰1%を採用している。</p> <p>履歴減衰による減衰は、構造部材の部材非線形性（<u>曲げモーメント-曲率関係</u>）における非線形の程度に応じた値となる。</p>	<p>履歴減衰による減衰は、構造部材の部材非線形性（<u>曲げモーメント-曲率関係又はコンクリート、鉄筋の応力-ひずみ関係</u>）における非線形の程度に応じた値となる。<u>なお、構造物を線形でモデル化する場合は、Rayleigh 減衰のみ設定する。</u></p>	<p>第5-3-1表 固有値解析結果（取水槽の例）</p> <table border="1" data-bbox="1795 310 2448 751"> <thead> <tr> <th>モード 次数</th> <th>固有円振動数 ω (rad/s)</th> <th>固有振動数 F(Hz)</th> <th>固有周期 T(s)</th> <th>減衰定数 h</th> <th>制振係数(水平) β</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>20.275</td><td>3.227</td><td>0.310</td><td>0.0108</td><td>3159.600</td></tr> <tr><td>2</td><td>21.257</td><td>3.383</td><td>0.296</td><td>0.0072</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>3</td><td>24.272</td><td>3.863</td><td>0.259</td><td>0.0079</td><td>922.350</td></tr> <tr><td>4</td><td>26.316</td><td>4.188</td><td>0.239</td><td>0.0021</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>5</td><td>28.729</td><td>4.572</td><td>0.219</td><td>0.0051</td><td>348.170</td></tr> <tr><td>6</td><td>31.765</td><td>5.036</td><td>0.198</td><td>0.0012</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>7</td><td>33.307</td><td>5.301</td><td>0.189</td><td>0.0028</td><td>383.250</td></tr> <tr><td>8</td><td>36.410</td><td>5.795</td><td>0.173</td><td>0.0011</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>9</td><td>37.161</td><td>5.914</td><td>0.169</td><td>0.0020</td><td>603.040</td></tr> <tr><td>10</td><td>39.201</td><td>6.239</td><td>0.160</td><td>0.0188</td><td>-3412.700</td></tr> <tr><td>11</td><td>39.702</td><td>6.319</td><td>0.158</td><td>0.0013</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>12</td><td>40.138</td><td>6.388</td><td>0.157</td><td>0.0014</td><td>-423.950</td></tr> <tr><td>13</td><td>42.302</td><td>6.733</td><td>0.149</td><td>0.0017</td><td>0.000</td></tr> <tr><td>14</td><td>42.692</td><td>6.795</td><td>0.147</td><td>0.0012</td><td>-150.580</td></tr> <tr><td>15</td><td>42.748</td><td>6.804</td><td>0.147</td><td>0.0103</td><td>0.000</td></tr> </tbody> </table> <p>■ : Rayleigh 減衰のフィッティングに用いた次数</p>	モード 次数	固有円振動数 ω (rad/s)	固有振動数 F(Hz)	固有周期 T(s)	減衰定数 h	制振係数(水平) β	1	20.275	3.227	0.310	0.0108	3159.600	2	21.257	3.383	0.296	0.0072	0.000	3	24.272	3.863	0.259	0.0079	922.350	4	26.316	4.188	0.239	0.0021	0.000	5	28.729	4.572	0.219	0.0051	348.170	6	31.765	5.036	0.198	0.0012	0.000	7	33.307	5.301	0.189	0.0028	383.250	8	36.410	5.795	0.173	0.0011	0.000	9	37.161	5.914	0.169	0.0020	603.040	10	39.201	6.239	0.160	0.0188	-3412.700	11	39.702	6.319	0.158	0.0013	0.000	12	40.138	6.388	0.157	0.0014	-423.950	13	42.302	6.733	0.149	0.0017	0.000	14	42.692	6.795	0.147	0.0012	-150.580	15	42.748	6.804	0.147	0.0103	0.000	<p>・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は固有値解析結果(例)及びモード図を示し、卓越するモードを選定</p>
モード 次数	固有円振動数 ω (rad/s)	固有振動数 F(Hz)	固有周期 T(s)	減衰定数 h	制振係数(水平) β																																																																																														
1	20.275	3.227	0.310	0.0108	3159.600																																																																																														
2	21.257	3.383	0.296	0.0072	0.000																																																																																														
3	24.272	3.863	0.259	0.0079	922.350																																																																																														
4	26.316	4.188	0.239	0.0021	0.000																																																																																														
5	28.729	4.572	0.219	0.0051	348.170																																																																																														
6	31.765	5.036	0.198	0.0012	0.000																																																																																														
7	33.307	5.301	0.189	0.0028	383.250																																																																																														
8	36.410	5.795	0.173	0.0011	0.000																																																																																														
9	37.161	5.914	0.169	0.0020	603.040																																																																																														
10	39.201	6.239	0.160	0.0188	-3412.700																																																																																														
11	39.702	6.319	0.158	0.0013	0.000																																																																																														
12	40.138	6.388	0.157	0.0014	-423.950																																																																																														
13	42.302	6.733	0.149	0.0017	0.000																																																																																														
14	42.692	6.795	0.147	0.0012	-150.580																																																																																														
15	42.748	6.804	0.147	0.0103	0.000																																																																																														

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1751 1417 1810 1522">凡例 埋戻し</p> <p data-bbox="1899 1554 2344 1585">第5-3-2図 固有値解析のモード図</p>	<p data-bbox="2537 1375 2804 1627"> ・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉は固有値解析結果(例)及びモード図を示し, 卓越するモードを選定 </p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(2) 既工認と今回工認との相違について</p> <p><u>今回工認における構造物の粘性減衰定数は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のためになるべく小さい値として一次固有振動数に対して減衰1%となる剛性比例型減衰を採用している。</u></p> <p>既工認では、周波数応答解析における<u>構造物の減衰定数は5%を用いた</u> (JEAG4601-1987 記載)。</p> <p>非線形解析における粘性減衰による減衰の値は、道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 (平成14年3月) において、構造部材の非線形性を非線形履歴モデルで表した場合には、この部材の履歴減衰は履歴モデルによって自動的に解析に取り入れられるため、非線形履歴モデルを用いて表した部材の減衰定数は、コンクリート部材は2% (0.02) 程度、鋼部材は1% (0.01) 程度とするのがよいとされている。</p> <p>最新の道路橋示方書・同解説 (平成24年3月) においても、構造部材の非線形性を非線形履歴モデルで表した場合の減衰定数について、鉄筋コンクリート橋脚は2% (0.02) とされている。</p> <p>以上のように、粘性減衰の減衰定数は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のために設定される値であるため、<u>構造物の減衰について、なるべく小さい値として減衰1%を採用していることは、技術的妥当性を有するものと判断した。</u></p>	<p>3.2 建設工認と今回工認の相違について</p> <p><u>今回工認における構造物の粘性減衰は、履歴モデルにより構造物の履歴減衰を用いる場合は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のためになるべく小さい値として一次固有振動数及び二次固有振動数に対して減衰2%となるRayleigh 減衰を採用している。</u></p> <p>建設工認では、周波数応答解析における<u>構造物の減衰定数は5%を用いた</u> (JEAG4601-1987 記載)。</p> <p>時刻歴非線形解析における粘性減衰の値は、道路橋示方書・同解説V耐震設計編 (平成14年)⁽⁵⁾において、構造部材の非線形性として履歴モデルを用いる場合には、この部材の履歴減衰は履歴モデルによって自動的に解析に取り入れられるため、<u>履歴モデルにより構造物の履歴減衰を用いる場合には、コンクリート部材は2% (0.02) 程度、鋼構造部材は1% (0.01) 程度とするのがよいとされている。</u></p> <p>最新の道路橋示方書・同解説 (平成29年)⁽⁶⁾においても、履歴モデルにより構造物の履歴減衰を用いる場合の粘性減衰について、鉄筋コンクリート橋脚は2% (0.02) とされている。</p> <p>以上のように、粘性減衰は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のために設定される値であるため、<u>履歴減衰を用いる場合においては、なるべく小さい値として2%を採用している。</u></p>	<p>(2) 既工認と今回工認との相違について</p> <p><u>今回工認において、固有値解析における減衰定数は、岩盤は減衰3%、埋戻土は減衰0%、構造部材は減衰2%とした。</u></p> <p>既工認では、<u>時刻歴応答解析及び周波数応答解析における構造部材の減衰定数は5%を用いた</u> (JEAG4601-1987記載)。</p> <p>非線形解析における粘性減衰による減衰の値は、道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 (平成14年3月)⁽¹⁾において、構造部材の非線形性を非線形履歴モデルで表した場合には、この部材の履歴減衰は履歴モデルによって自動的に解析に取り入れられるため、<u>非線形履歴モデルを用いて表した部材の減衰定数は、コンクリート部材は2% (0.02) 程度、鋼部材は1% (0.01) 程度とするのがよいとされている。</u></p> <p>最新の道路橋示方書・同解説 (平成29年11月)⁽²⁾においても、<u>構造部材の非線形性を非線形履歴モデルで表した場合の減衰定数について、鉄筋コンクリート橋脚は2% (0.02) とされている。</u></p> <p>以上のように、粘性減衰の減衰定数は、履歴減衰が生じない状態等における解析上の安定のために設定される値であるため、<u>構造物の減衰について減衰2%を採用していることは、技術的妥当性を有するものと判断した。</u></p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設計方針の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉は固有値解析によりRayleigh減衰を設定 ・設計方針の相違 【柏崎6/7, 女川2】 島根2号炉の既工認では時刻歴応答解析及び周波数応答解析を使用

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(3) 構造物の減衰定数の影響</p> <p>解析モデルの中で構造物の占める割合は小さいため、構造物の減衰の影響は小さいと考えられる。</p> <p>地盤の減衰定数は1%のまま、構造物の減衰定数を5%とした場合の解析モデル全体の一次モード減衰を確認したところ1.03%であった。</p> <p>以上のことから、地盤の減衰の影響が支配的であり、構造物の減衰の影響は小さいと考えられる。</p> <p>【参考文献】</p> <p>1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2002</p> <p>2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，2012</p>	<p>4. 参考文献</p> <p>(1) 松尾ら：コンクリート製地中構造物の合理的な耐震性能評価指標に関する検討，土木学会地震工学論文集，2003</p> <p>(2) 石川ら：鉄筋コンクリート製地中構造物の変形性状と損傷状態に関わる実験的考察，第26回地震工学研究発表会講演論文集，pp885-888</p> <p>(3) 原子力土木委員会・限界状態設計部会：原子力発電所・鉄筋コンクリート製屋外重要土木構造物への限界状態設計法の適用・安全性照査マニュアルの提案，土木学会論文集No.442/V-16</p> <p>(4) 遠藤ら：鉄筋コンクリート製地中構造物の限界状態に用いるせん断耐力評価法，電力中央研究所報告</p> <p>(5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成14年3月</p> <p>(6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成29年11月</p>	<p>(3) 構造物の減衰定数の影響</p> <p>解析モデルの例を第5-3-3図に示す。解析モデルの中で構造物の占める割合は小さいため、構造物の減衰の影響は小さいと考えられる。</p> <p>既工認と同様に、岩盤は減衰3%、埋戻土は減衰0%、構造部材は減衰5%に設定した固有値解析における解析モデル全体の一次モード減衰を確認したところ、比率(既工認/今回工認)は1.06であった。</p> <p>以上のことから、地盤の減衰の影響が支配的であり、構造物の減衰の影響は小さいと考えられる。</p>  <p>第5-3-3図 解析モデル(取水槽の例)</p> <p>【参考文献】</p> <p>1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成14年3月</p> <p>2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 平成29年11月</p>	<p>・設計方針の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉は粘性減衰2%を採用</p> <p>・設計方針の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は構造物の減衰定数の影響について検討</p> <p>・設計方針の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉は既工認と同様の減衰を設定</p> <p>・設計方針の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉は解析モデルの例を踏まえて解析モデルの中で構造物の占める割合について検討</p> <p>・参考文献の相違</p> <p>【柏崎6/7，女川2】</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考												
<p>4. 耐震性能照査の手順</p> <p>機器・配管を支持する屋外重要土木構造物の照査では、想定される荷重条件に対して機器・配管の機能を維持することが主たる目的となる。このため、土木学会マニュアルでは、機器・配管を支持する屋外重要土木構造物の耐震性能評価においては、機器・配管の機能維持のために屋外重要土木構造物に求められる制約条件を与条件としている。</p> <p>屋外重要土木構造物の耐震性能の照査に当たっては、地盤と構造物の連成解析を行い、床応答や変位を算定する。機器・配管の耐震安全性は、当該構造物を支持する屋外重要土木構造物の床応答や変位を用いて、別途確認を行う。第3-4-1表に対象構造物の例を示す。</p> <p style="text-align: center;">第3-4-1表 検討対象構造物の例</p> <table border="1" data-bbox="163 835 911 1045"> <thead> <tr> <th>屋外重要土木構造物</th> <th>機器・配管</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>軽油タンク基礎</td> <td>軽油タンク 燃料移送ポンプ 燃料移送ポンプ出口逆止弁</td> </tr> <tr> <td>燃料移送系配管ダクト</td> <td>燃料油系配管</td> </tr> </tbody> </table>	屋外重要土木構造物	機器・配管	軽油タンク基礎	軽油タンク 燃料移送ポンプ 燃料移送ポンプ出口逆止弁	燃料移送系配管ダクト	燃料油系配管		<p>4. 耐震性能照査の手順</p> <p><u>機器・配管を支持する屋外重要土木構造物の照査では、想定される荷重条件に対して機器・配管の機能を維持することが主たる目的となる。このため、土木学会マニュアルでは、機器・配管を支持する屋外重要土木構造物の耐震性能評価においては、機器・配管の機能維持のために屋外重要土木構造物に求められる制約条件を与条件としている。</u></p> <p><u>屋外重要土木構造物の耐震性能の照査に当たっては、地盤と構造物の連成解析を行い、床応答や変位を算定する。機器・配管の耐震安全性は、当該構造物を支持する屋外重要土木構造物の床応答や変位を用いて、別途確認を行う。第5-4-1表に対象構造物の例を示す。</u></p> <p style="text-align: center;">第5-4-1表 検討対象構造物の例</p> <table border="1" data-bbox="1810 844 2457 1100"> <thead> <tr> <th>屋外重要土木構造物</th> <th>機器・配管</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>取水槽</td> <td>原子炉補機海水ポンプ 原子炉補機海水ストレーナ 原子炉補機海水系配管</td> </tr> <tr> <td>屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）</td> <td>非常用ガス処理系配管 A-ディーゼル燃料移送系配管 高圧炉心スプレイ系ディーゼル燃料移送系配管</td> </tr> </tbody> </table>	屋外重要土木構造物	機器・配管	取水槽	原子炉補機海水ポンプ 原子炉補機海水ストレーナ 原子炉補機海水系配管	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	非常用ガス処理系配管 A-ディーゼル燃料移送系配管 高圧炉心スプレイ系ディーゼル燃料移送系配管	<p>・設計方針の相違 【女川2】 島根2号炉は耐震性能照査の手順について説明</p> <p>・対象設備の相違 【柏崎6/7】</p>
屋外重要土木構造物	機器・配管														
軽油タンク基礎	軽油タンク 燃料移送ポンプ 燃料移送ポンプ出口逆止弁														
燃料移送系配管ダクト	燃料油系配管														
屋外重要土木構造物	機器・配管														
取水槽	原子炉補機海水ポンプ 原子炉補機海水ストレーナ 原子炉補機海水系配管														
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	非常用ガス処理系配管 A-ディーゼル燃料移送系配管 高圧炉心スプレイ系ディーゼル燃料移送系配管														

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>5. 隣接構造物のモデル化</p> <p>既工認では、簡便かつ保守的に評価する観点から、評価対象構造物に隣接する建物等（以下「隣接構造物」という。）は地震応答解析モデルでは地盤としてモデル化していた。今回工認では、評価対象構造物に隣接する構造物の影響を考慮した現実的な挙動特性を把握する必要がある場合について、隣接する構造物を等価剛性でモデル化する。</p> <p>5.1 隣接構造物のモデル化方針</p> <p>評価対象構造物と隣接する構造物が接している場合、又は評価対象構造物と隣接する構造物が近接している場合においては、隣接する構造物の挙動を含めた応答を正しく評価する必要がある。したがって、隣接構造物の種類、規模及び設置箇所における地盤状況を考慮し、隣接構造物が評価対象構造物の地震時応答に与える影響及び間接支持する設備がある場合はその設備（以下、「収納設備」とする。）の地震時応答に与える影響を踏まえ、モデル化要否を検討する。</p> <p>隣接構造物をモデル化する場合には、隣接構造物を等価剛性でモデル化する。モデル化対象は、岩盤上に設置されており、評価対象構造物と同等以上の大きさで耐震性を有する建物・構築物（原子炉建物等）とする。なお、隣接構造物のモデル化に当たっては、評価対象構造物と隣接構造物との相互影響について別途確認する。なお、評価対象構造物が隣接構造物へ及ぼす影響については、評価対象構造物の規模、構造及び応答特性等を踏まえ、詳細設計段階において影響検討を実施する。</p> <p>隣接構造物のモデル化方針を以下に示す。</p> <p>① 評価対象構造物と隣接構造物が接している場合</p> <p>評価対象構造物及び収納設備の地震時応答に与える影響が大きいことから、隣接構造物をモデル化するとともに、評価対象構造物と隣接構造物との相互影響について別途確認する。評価対象構造物と隣接構造物が接している場合の概略図を第5-5-1図に示す。</p>	<p>・設計方針の相違 【柏崎 6/7, 女川 2】 ①の相違(5. 隣接構造物の相違については以下同様の相違理由)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div data-bbox="1825 247 2418 472" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="1757 478 2487 556">第5-5-1図 評価対象構造物と隣接構造物が接している場合 概略図</p> <p data-bbox="1733 569 2389 604">② 評価対象構造物と隣接構造物との間が埋戻土の場合</p> <p data-bbox="1733 615 2513 961">評価対象構造物と隣接構造物の間が埋戻土を介しており、評価対象構造物と隣接構造物が近接している場合は、埋戻土よりも剛性の大きい隣接構造物をモデル化することにより、解析モデルの固有周期が短くなる等、評価対象構造物及び収納設備の地震時応答に与える影響が大きいことから、隣接構造物をモデル化するとともに、評価対象構造物と隣接構造物との相互影響について別途確認する。評価対象構造物と隣接構造物との間が埋戻土の場合の概略図を第5-5-2図に示す。</p> <div data-bbox="1774 1018 2448 1270" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="1745 1285 2499 1365">第5-5-2図 評価対象構造物と隣接構造物との間が埋戻土の場合 概略図</p> <p data-bbox="1733 1423 2389 1459">③ 評価対象構造物と隣接構造物との間がMMRの場合</p> <p data-bbox="1733 1470 2513 1768">評価対象構造物と隣接構造物の間がMMRを介している場合は、隣接構造物をモデル化することにより、解析モデルの固有周期が短くなる等、評価対象構造物及び収納設備の地震時応答に与える影響が大きいことから、隣接構造物をモデル化するとともに、評価対象構造物と隣接構造物との相互影響について別途確認する。評価対象構造物と隣接構造物との間がMMRの場合の概略図を第5-5-3図に示す。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div data-bbox="1774 254 2451 506" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="1813 522 2430 600">第5-5-3図 評価対象構造物と隣接構造物との間が MMR (マンメイドロック) の場合 概略図</p> <p data-bbox="1736 659 2510 779">④-1 評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合又は十分な離隔を有する場合 (隣接構造物が評価対象構造物の解析モデル範囲外にある場合)</p> <p data-bbox="1736 793 2510 1050">評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合、又は評価対象構造物と隣接構造物の間が十分な離隔を有する場合、隣接構造物の応答が評価対象構造物の地震時応答に与える影響は小さいことから、隣接構造物をモデル化しない。評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合又は十分な離隔を有する場合の概略図を第5-5-4図に示す。</p> <div data-bbox="1765 1066 2475 1409" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="1745 1423 2496 1501">第5-5-4図 評価対象構造物の周辺に隣接構造物が存在しない場合又は十分な離隔を有する場合 概略図</p> <p data-bbox="1736 1556 2510 1633">④-2 評価対象構造物の周辺にモデル化対象の建物・構築物以外の構造物が隣接する場合</p> <p data-bbox="1736 1648 2510 1768">評価対象構造物の周辺に、モデル化対象の建物・構築物 (原子炉建物等) 以外の構造物が隣接する場合、隣接構造物をモデル化しない。概略図を第5-5-5図に示す。</p>	

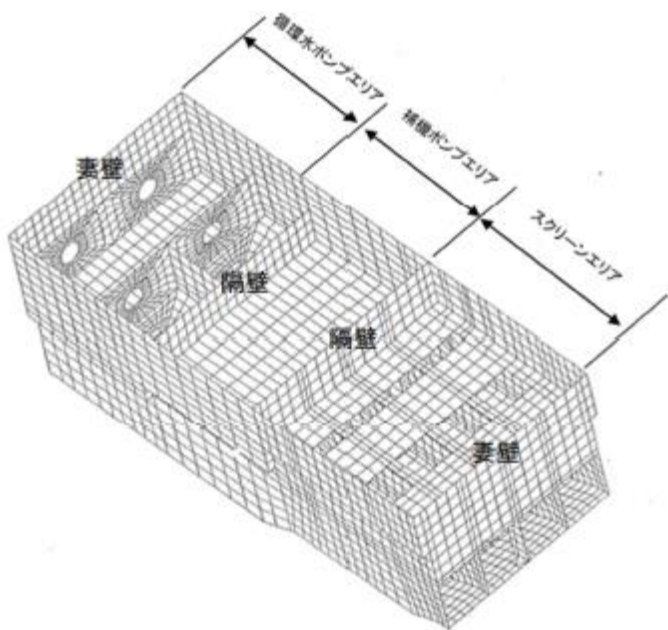
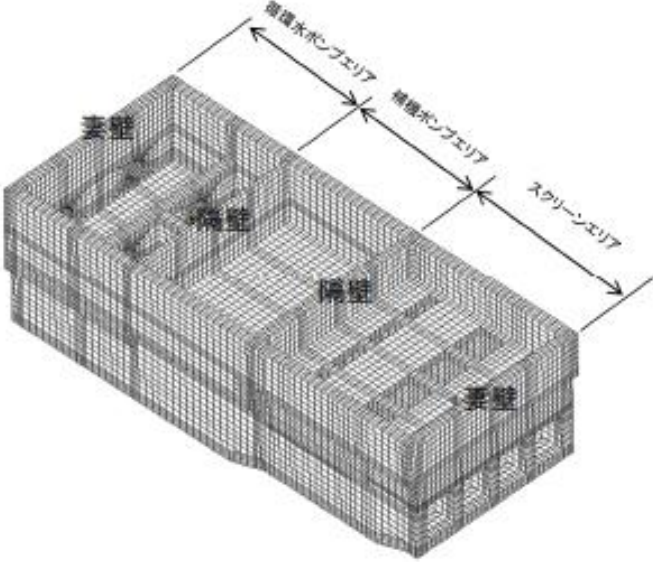
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div data-bbox="1774 275 2451 583" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="1733 615 2513 688">第5-5-5図 評価対象構造物の周辺にモデル化対象の建物・構築物以外の構造物が隣接する場合 概略図</p> <p data-bbox="1733 793 2065 825">5.2 隣接構造物のモデル化</p> <p data-bbox="1762 842 2288 873">評価対象設備の配置図を第5-5-6図に示す。</p> <p data-bbox="1733 888 2513 1003">隣接構造物のモデル化方針を踏まえ、各評価対象設備について隣接構造物のモデル化を検討した。隣接構造物のモデル化(例)を第5-5-1表に示す。</p> <div data-bbox="1792 1083 2451 1675" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="1902 1692 2338 1724">第5-5-6図 評価対象設備 配置図</p>	

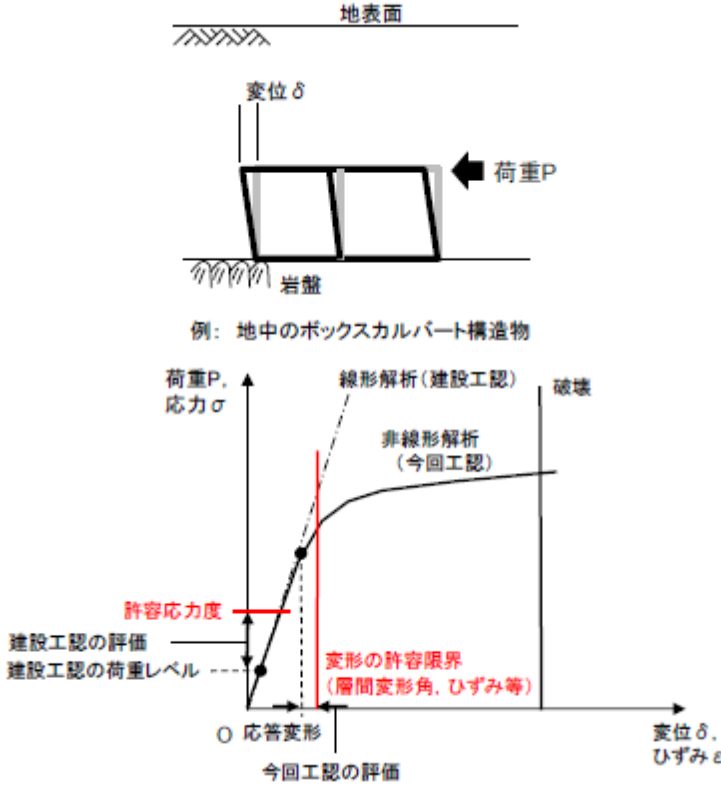
第5-5-1表 隣接構造物のモデル化 (例)

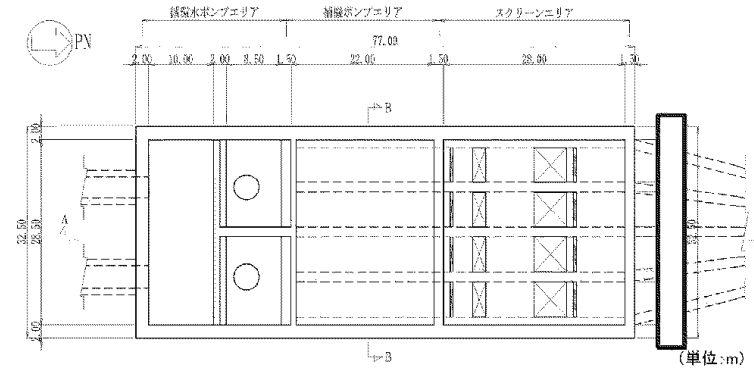
分類	設備名称	隣接構造物のモデル化方針 ^{※1}	モデル化方針選定の理由	隣接構造物のモデル化	
設計基準対象施設のうち 屋外重要土木構造物	取水槽	①	南側にタービン建物が隣接している。	する	
	屋外配管ダクト (タービン建物→排気筒)	②	南側に埋戻土を介してタービン建物が隣接している。	する	
	屋外配管ダクト (タービン建物→放水槽)	④	南側に排気筒が隣接している。	する	
		③	西側にMMRを介して排気筒が隣接している。	する	
	B-タービンセル燃料貯蔵タンク基礎 屋外配管ダクト (B-タービンセル燃料貯蔵タンク→原 子炉建物)	④-2	北側に放水槽が隣接しているが、耐震性を有しないことから、モデル化しない。	しない	
		③	東側にMMRを介して原子炉建物が隣接している。	する	
	重大事故等対処施設のうち 土木構造物 ^{※1}	屋外配管ダクト (B-タービンセル燃料貯蔵タンク→原 子炉建物)	②	東側に埋戻土を介して原子炉建物が隣接している。	する
		取水槽	④-1	解析モデル範囲内に隣接構造物がない。	しない
		取水口	④-1	取水口上の南側、取水口上の西側に取水管が隣接しているが、取水口 と取水管は別個の構造物として設計されている。取水管の形を有しないこと から、隣接構造物がない場合として整理した。	しない
		第1ベンチフィルタ格納槽	③	北側にMMRを介して原子炉建物が隣接している。また、西側にMMR を介して補助消火水槽が、東側にMMRを介して低圧原子炉代注水 ポンプ格納槽が隣接している。	する
波及的影響を及ぼすおそれの ある施設のうち土木構造物	低圧原子炉代注水ポンプ格納槽	③	西側にMMRを介して第1ベンチフィルタ格納槽が隣接している。また、北 側にMMRを介して原子炉建物が隣接している。	する	
	緊急時対策用燃料地下タンク	④-2	北側に免震重要棟が隣接するが、免震重要棟は免震装置を有しており、 その影響を及ぼさないことから、モデル化しない。	しない	
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	④-1	解析モデル範囲に屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク→ガ スタービン発電機) 及びガスタービン発電機建物が存在するが、他表面付 近の岩盤上に設置され、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 へ与える影響が小さいことから隣接構造物がない場合として整理した。	しない	
	屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク→ガ スタービン発電機)	④-1	解析モデル範囲にガスタービン発電機建物が存在するが、他表面付近の 岩盤上に設置され、屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク→ ガスタービン発電機) へ与える影響が小さいことから、隣接構造物が存在 しない場合として整理した。	しない	
	免震重要棟通風壁	④-1	解析モデル範囲に緊急時対策用燃料地下タンクが存在するが、他表面付近の岩盤上に 設置され、免震重要棟通風壁へ与える影響が小さいことから隣接構造物 が存在しない場合として整理した。	しない	

※ ① 評価対象構造物と隣接構造物が接している場合
 ② 評価対象構造物と隣接構造物の間が埋戻土の場合
 ③ 評価対象構造物の周辺に隣接構造物がない場合又は十分な距離を有する場合 (隣接構造物が別個対象構造物のFEMモデル化範囲外にある場合)
 ④-1 評価対象構造物の周辺に隣接構造物がない場合又は十分な距離を有する場合 (隣接構造物が別個対象構造物のFEMモデル化範囲外にある場合)
 ④-2 評価対象構造物の周辺にモデル化対象の建物・構造物以外の構造物が隣接する場合

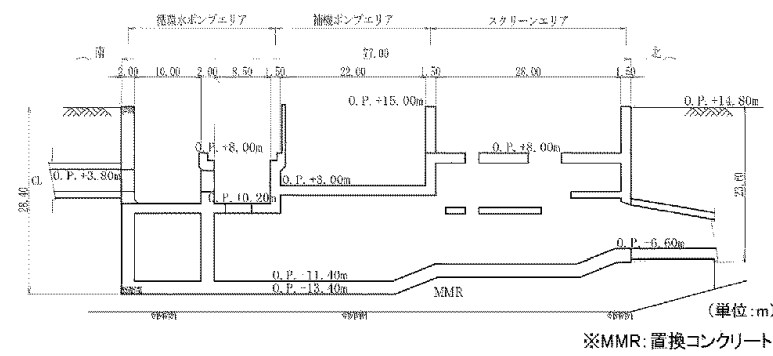
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p><u>第Ⅱ編 三次元静的材料非線形解析の適用性</u></p> <p>本編では、海水ポンプ室等の箱型建造物の構造解析に用いる、建設工認、並びに先行プラントも含めた旧規制及び新規制下における工認実績（以下「既工認実績」という。）のない三次元静的材料非線形解析の評価方法及び適用性について説明する。</p> <p>1. はじめに</p> <p>1.1 三次元静的材料非線形解析を用いる目的</p> <p>女川原子力発電所2号炉の土木建造物のうち、海水ポンプ室、取水口及び復水貯蔵タンク基礎については、女川原子力発電所2号炉の建設工認時より加振方向に配置される妻壁や隔壁等の面部材が耐震部材として機能する効果、つまり、構造の三次元性が地震時の応答に与える影響を考慮するため、線形シェル要素による三次元モデルを採用し、許容応力度法により設計していた。軽油タンク室については、新規制対応として、地下式に構造を変更しているが、旧規制では耐震Cクラスであり、工認対象外であった。例として、海水ポンプ室における建設工認の解析モデルを第Ⅱ.1.1-1 図に示す。</p> <p>また、女川原子力発電所2号炉の適合性審査において浸水防止設備の間接支持建造物となる3号炉海水ポンプ室についても、女川原子力発電所3号炉の建設工認時より、2号炉の海水ポンプ室同様、線形シェル要素による三次元モデルを採用し、許容応力度法により設計していた。</p> <p>今回工認では、基準地震動Ssが大加速度化したことにより、建造物の挙動が非線形性を示すレベルとなることから、建造物の地震時挙動を精緻に評価するため、新規に非線形性を考慮できる解析モデルを取り入れ、三次元静的有限要素法による材料非線形解析（以下「三次元静的材料非線形解析」という。）により耐震安全性を評価している。例として、海水ポンプ室における今回工認の解析モデルを第Ⅱ.1.1-2 図に示す。</p> <p>三次元静的材料非線形解析は既工認実績はないが、特に非線形ソリッド要素を用いると建造物の形状を詳細にモデル化でき、複雑な構造の鉄筋コンクリート建造物の非線形挙動を考慮した変形や断面力を評価することができるため、鉄筋やコンクリートのひずみ、せん断力を用いた精緻な評価が可能である。なお、許容限界は既工認実績のある許容限界、又はそれと同等の許容限界（おおむね弾性範囲に相当するコンクリートの圧縮ひずみ及び鉄筋の引張ひずみ）を、その妥当性を説明した上で採用することとしている（第Ⅱ.1.1-3 図）。</p>	<p><u>6. 三次元静的材料非線形解析の適用性</u></p> <p>島根原子力発電所2号炉の屋外重要土木建造物等のうち取水槽の構造解析に用いる、既工認、並びに先行プラントも含めた旧規制及び規制下における工認実績のない三次元静的材料非線形解析を採用する。</p> <p>三次元静的材料非線形解析の評価方法及び適用性については、「別添－6 島根原子力発電所2号炉 屋外重要土木建造物等の耐震評価における断面選定について」において説明する。</p>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>三次元静的材料非線形解析の適用性について、島根2号炉は別添－6にて説明</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p data-bbox="943 882 1706 913">第Ⅱ. 1. 1-1 図 海水ポンプ室の建設工認モデル (線形シェル要素)</p>  <p data-bbox="943 1554 1706 1627">第Ⅱ. 1. 1-2 図 海水ポンプ室の今回工認モデル (非線形ソリッド要素)</p>		

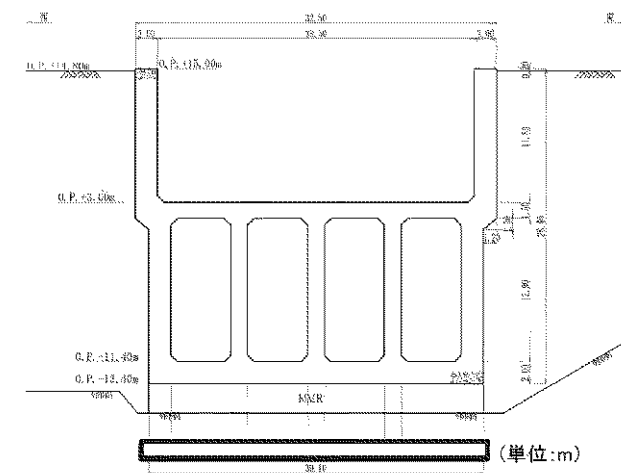
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p>第Ⅱ. 1. 1-3 図 大加速度化による非線形性の考慮（曲げ・軸力系の破壊について）</p> <p>1. 2 対象構造物</p> <p>女川原子力発電所2号炉の新規制審査において、三次元静的材料非線形解析により耐震安全性を評価する構造物は海水ポンプ室、取水口、軽油タンク室、復水貯蔵タンク基礎及び3号炉海水ポンプ室である。各構造物の特徴を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ室 <p>幅32.5m、延長77m、高さ約28m と大規模であり、地下2階構造で上部は開放された3部屋、下部は延長方向に4連又は2連のカルバート構造の複雑な形状である。地震時に揺れやすい弱軸は横断方向で、横断方向加振に対し耐震壁として機能する壁部材は、上部に4枚、下部に2枚と多く、複雑な構造である。耐震クラスはCクラス（Ss 機能維持）、また重大事故等対処施設であり、要求機能として通水機能、支持機能、貯水機能及び止水機能がある。海水ポンプ室の構造図を第Ⅱ. 1. 2-1 図～第Ⅱ. 1. 2-3 図に示す。</p>		



第II.1.2-1 図 海水ポンプ室平面図

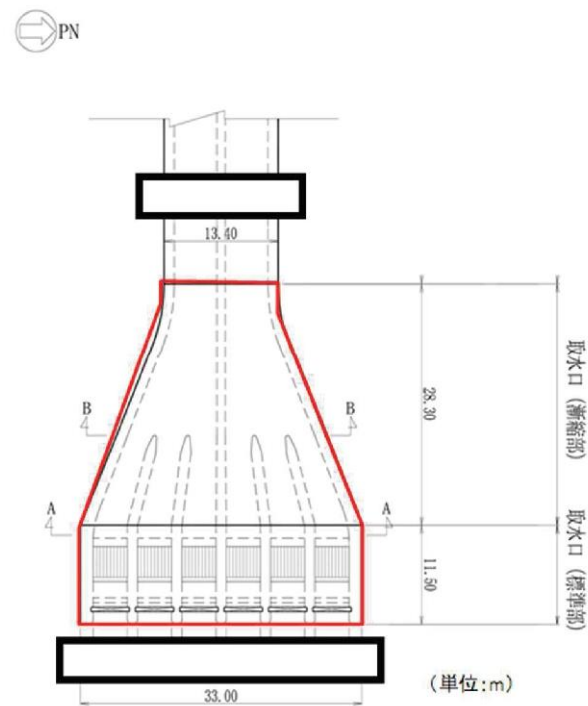


第II.1.2-2 図 海水ポンプ室断面図 (A-A 断面)

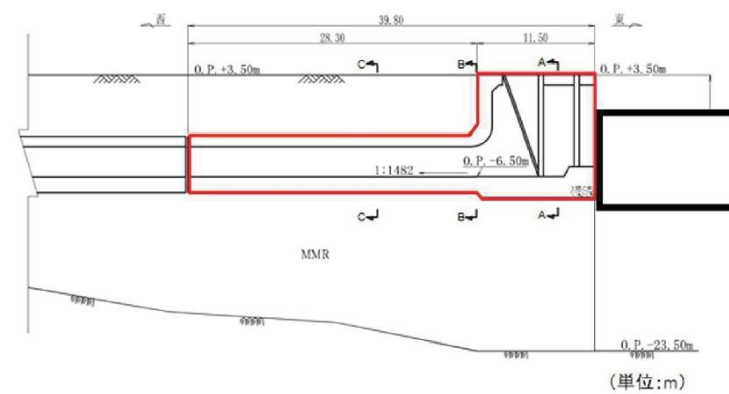


第II.1.2-3 図 海水ポンプ室断面図 (B-B 断面)

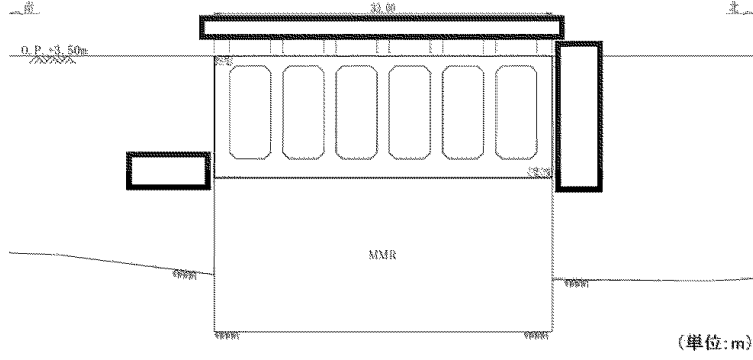
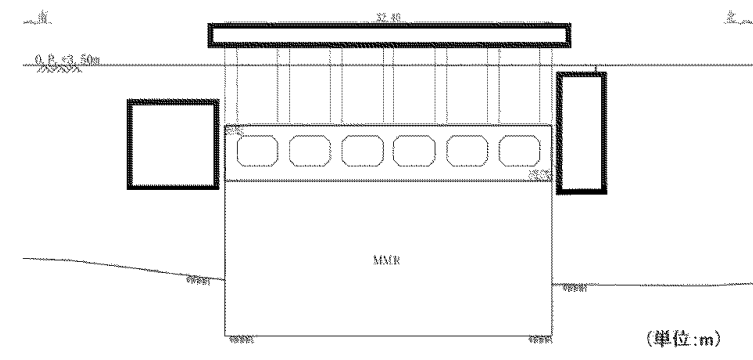
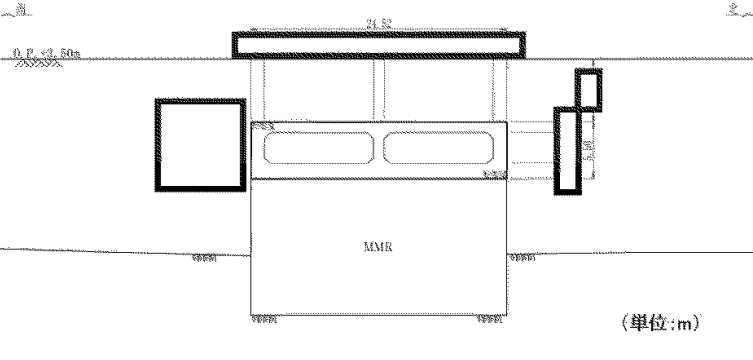
・取水口
 幅33m, 延長11.5m, 高さ12m の標準部 (6連カルバート) の背面に幅32.4m~13.4m, 延長28.3m, 高さ5.5m の地中カルバート構造である漸縮部 (6連又は2連) が接続しており, 高さの異なる構造が一体化された複雑な形状である。地震時に揺れやすい弱軸は横断方向で, 横断方向に設置される壁は, 標準部の背面の1枚である。耐震クラスはCクラス (Ss 機能維持), また重大事故等対処施設であり, 要求機能として通水機能及び貯水機能がある。取水口の構造図を第II.1.2-4 図~第II.1.2-8 図に示す。

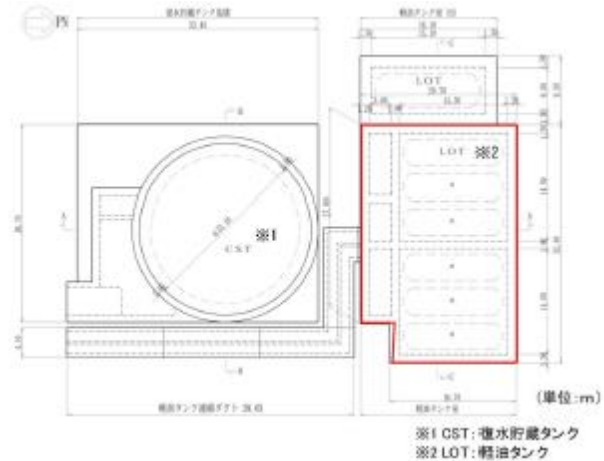
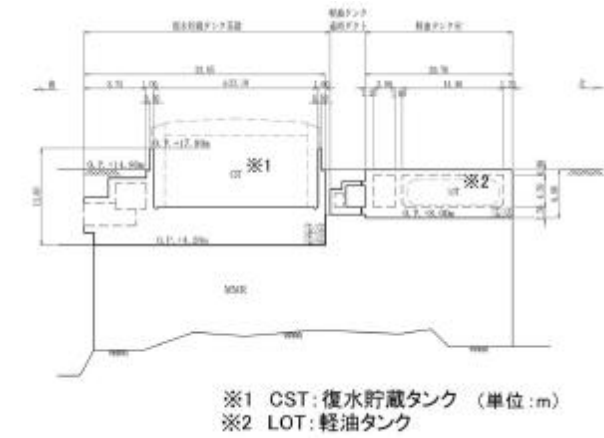


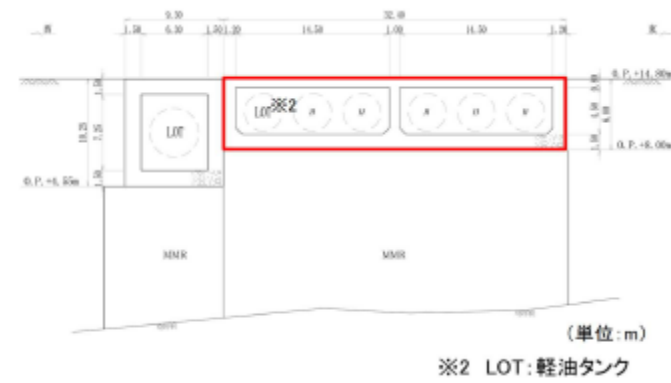
第II.1.2-4 図 取水口平面図



第II.1.2-5 図 取水口縦断図

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p>第Ⅱ.1.2-6 図 取水口（標準部）断面図（A-A 断面）</p>  <p>第Ⅱ.1.2-7 図 取水口（漸縮部）断面図（B-B 断面）</p>  <p>第Ⅱ.1.2-8 図 取水口（漸縮部）断面図（C-C 断面）</p>		

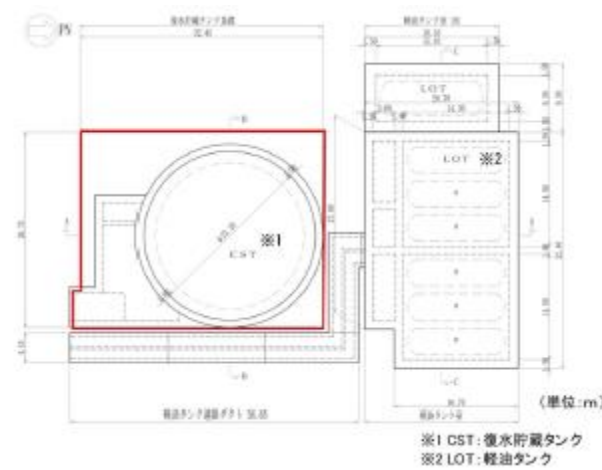
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>• 軽油タンク室</p> <p>南北16.70m～20.70m, 東西27.00m～32.40m, 高さ6.80m の箱型構造物であり, 軽油タンク室と燃料移送ポンプ室からなる比較的単純な形状である。東西方向と南北方向で耐震壁として機能する部材数に大きな差異はなく, 明確な弱軸方向及び強軸方向を有しない。耐震クラスはC クラス (Ss 機能維持), また重大事故等対処施設の間接支持構造物であり, 要求機能として支持機能がある。軽油タンク室の構造図を第Ⅱ.1.2-9 図～第Ⅱ.1.2-11 図に示す。</p>  <p>第Ⅱ.1.2-9 図 軽油タンク室平面図</p>  <p>第Ⅱ.1.2-10 図 軽油タンク室断面図 (A-A 断面)</p>		



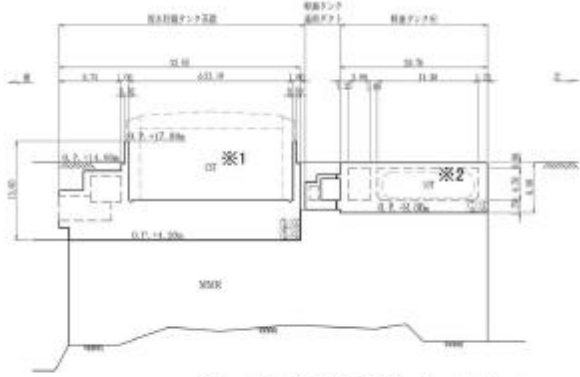
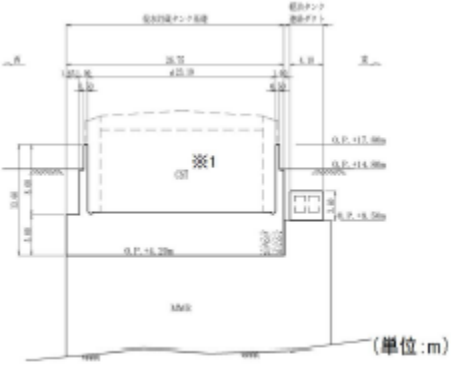
第Ⅱ.1.2-11 図 軽油タンク室断面図 (C-C 断面)

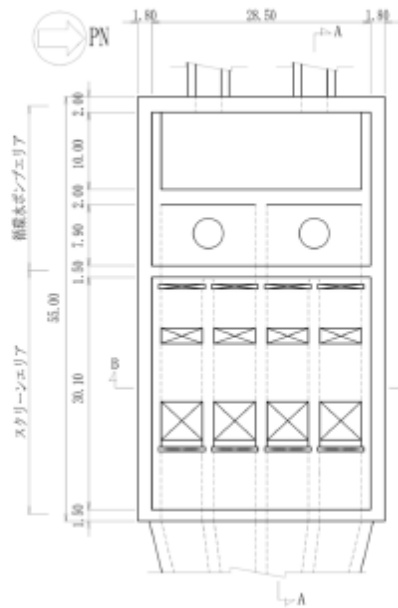
・復水貯蔵タンク基礎

タンクを支持する基礎版及び基礎版上に固定された遮蔽壁他から構成されており、基礎版は、南北32.45m、東西26.75m、厚さ5.00m、遮蔽壁は内径23.10mの円筒形で、壁厚1.00m(地上部は0.50m)であり、複雑な形状である。遮蔽壁は円筒形で、明確な弱軸方向及び強軸方向を有しない。重大事故等対処施設の間接支持構造物であり、要求機能として支持機能がある。復水貯蔵タンク基礎の構造図を第Ⅱ.1.2-12 図～第Ⅱ.1.2-14 図に示す。

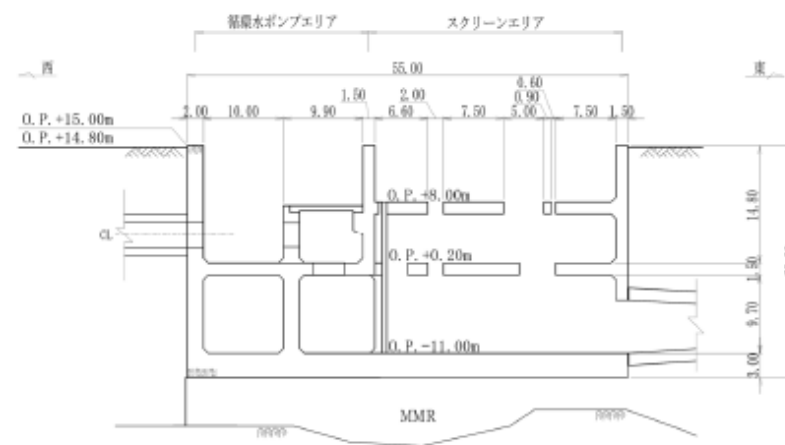


第Ⅱ.1.2-12 図 復水貯蔵タンク基礎平面図

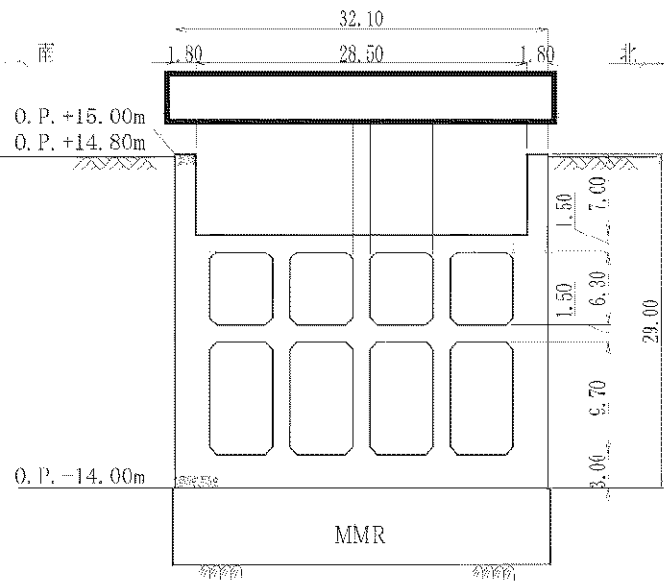
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p>※1 CST:復水貯蔵タンク (単位:m) ※2 LOT:軽油タンク</p> <p>第II.1.2-13 図 復水貯蔵タンク基礎断面図 (A-A 断面)</p>  <p>※1 CST:復水貯蔵タンク (単位:m)</p> <p>第II.1.2-14 図 復水貯蔵タンク基礎断面図 (B-B 断面)</p> <p>・ 3号炉海水ポンプ室</p> <p>幅32.1m, 延長55m, 高さ29m であり, 地下3階構造で上部は開放された2部屋, 下部は延長方向に4連又は2連のカルバート構造の複雑な形状である。地震時に揺れやすい弱軸は横断方向で, 横断方向加振に対し耐震壁として機能する壁部材は, 上部に3枚, 下部に2枚と多く, 複雑な構造である。耐震クラスはCクラス (Ss機能維持) であり, 2号炉の新規制審査において必要な要求機能として支持機能及び止水機能がある。3号炉海水ポンプ室の構造図を第II.1.2-15 図～第II.1.2-17 図に示す。</p>		

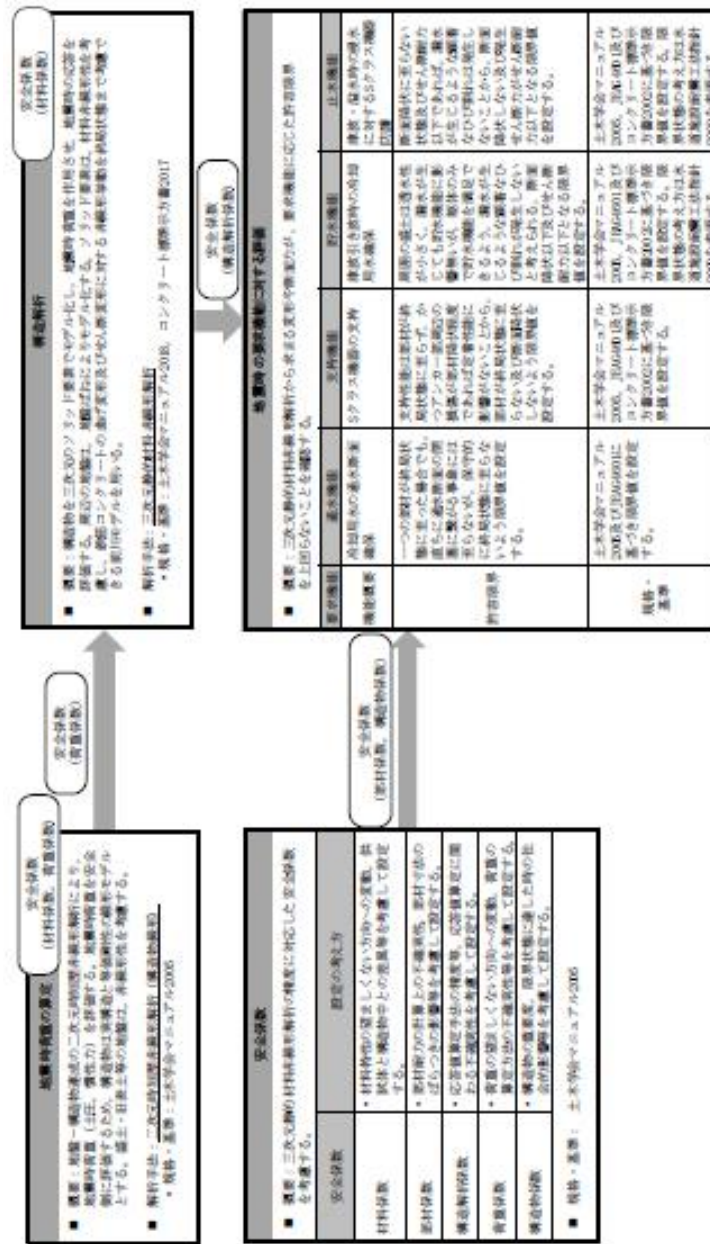


第II. 1. 2-15 図 3号炉海水ポンプ室平面図



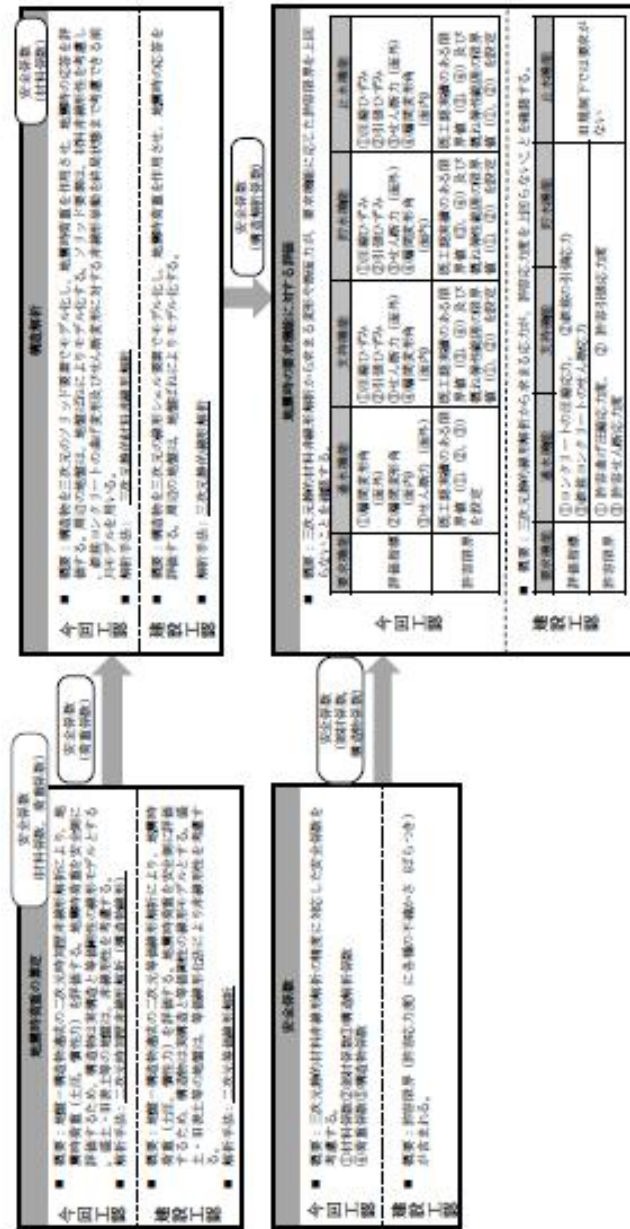
第II. 1. 2-16 図 3号炉海水ポンプ室断面図 (A-A 断面)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p data-bbox="994 787 1647 829">第II. 1. 2-17 図 3号炉海水ポンプ室断面図 (B-B 断面)</p> <p data-bbox="943 882 1706 1050">本編の以降の説明において、海水ポンプ室と3号炉海水ポンプ室については、既工認及び今回工認ともに耐震性評価手法が同様であることから、規模が大きく、構造も複雑であり、要求機能が多岐にわたる海水ポンプ室で代表することとする。</p> <p data-bbox="943 1060 1706 1228">また、前述の対象構造物を含めても、海水ポンプ室の構造が最も複雑で規模が大きいこと、要求機能が充実している状況は同様であることから、海水ポンプ室を代表として、三次元静的材料非線形解析を用いた評価方法について説明する。</p> <p data-bbox="943 1281 1113 1323">1. 3 照査体系</p> <p data-bbox="943 1333 1706 1680">三次元静的材料非線形解析を用いた耐震性評価方法の評価体系と各評価の概要を第II. 1. 3-1 図に示す。安全係数の設定等にあたり準拠する規格・基準については、既工認実績のある土木学会マニュアル2005 を適用することを基本とし、三次元材料非線形解析に係る照査法を示しているコンクリート標準示方書2017 や土木学会マニュアル2018 を参照する。また、限界状態の考え方として、「水道施設耐震工法指針・解説 (日本水道協会, 2009) (以下「水道施設耐震工法指針2009」という。) を一部参照する。</p>		



第Ⅱ.1.3-1 図 三次元静的材料非線形解析を用いた耐震性評価方法の評価体系








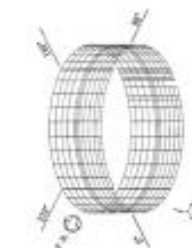
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>2. 建設工認からの変更点</p> <p>2.1 照査体系の変更点</p> <p>二次元地震応答解析により算定した地震時荷重を三次元モデルへ作用させて生じる変形や断面力と許容限界を比較する照査体系は、今回工認と建設工認で変わりはない。</p> <p>建設工認では、構造物の応答が線形レベルだったことから線形解析を用いた許容応力度法により照査していたが、今回工認は、非線形解析を用いた限界状態設計法により、要求性能に応じた許容限界に対して照査する（第Ⅱ.2.1-1 図）。</p> <p>建設工認及び今回工認における照査体系の比較を第Ⅱ.2.1-2 図に示す。</p> <div data-bbox="1032 751 1626 955" data-label="Figure"> </div> <p>第Ⅱ.2.1-1 図 今回工認と建設工認の許容限界イメージ（曲げ・軸力系）</p>		



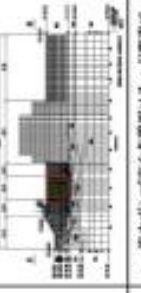
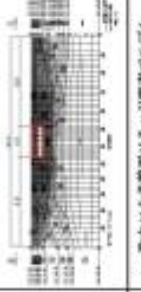
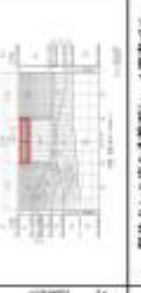


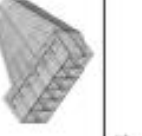
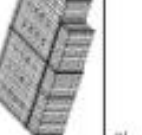





第Ⅱ. 2. 1-2 図 照査体系の比較

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>2.2 耐震性評価手法の変更点</p> <p>建設工認における耐震性評価は、妻壁や隔壁の耐震機能を設計で考慮できるよう、線形シェル要素による三次元モデルで構造解析を行っている。また、二次元地震応答解析は、構造物を実構造と等価な剛性とした線形モデルとして、地盤-構造物連成の周波数応答解析（線形解析）により評価している。</p> <p>今回工認における耐震性評価は、妻壁や隔壁の耐震機能に加え非線形性も考慮できるよう、非線形要素（ソリッド要素及びシェル要素）による三次元モデルで構造解析を行う。三次元モデルは、貯水機能や止水機能が要求される構造物については、部材のひび割れ状況の評価できるソリッド要素を採用し、支持機能のみ要求される構造物についてはシェル要素を採用する。</p> <p>また、二次元地震応答解析は、構造物を実構造と等価な剛性とした線形モデルとし、地盤-構造物連成の二次元動的解析により評価しており、地盤の非線形性に応じて、時刻歴非線形解析（構造物線形）により評価している構造物（海水ポンプ室、取水口）と、周波数応答解析により評価している構造物（軽油タンク室、復水貯蔵タンク基礎）がある。なお、三次元解析を採用する予定のすべての構造物について、二次元地震応答解析手法は地下水位等の地盤の状況や、解析手法の適用範囲を勘案して適切に選定することとしている。</p> <p>各構造物における建設工認の耐震性評価手法の概要を第Ⅱ.2.2-1 表に、今回工認の耐震性評価手法の概要を第Ⅱ.2.2-2 表に、耐震性評価手法の変更点を第Ⅱ.2.2-3 表に示す。第Ⅱ.2.2-3 表に示すとおり、今回工認のうち、既工認実績のない手法は、三次元静的材料非線形解析（ソリッド要素及びシェル要素）と、限界状態設計法のうち圧縮ひずみ/引張ひずみであり、本資料で説明する海水ポンプ室は、時刻歴非線形解析とソリッド要素を採用しており、新規に採用する方法を網羅している。</p>		

第Ⅱ.2.2-1 表 建設工認の耐震性評価手法

評価方法	海水ポンプ室	取水口	軽油タンク室	海水貯蔵タンク基礎
二次変 増強工事検討				
三次変モデル				
主要な 損傷モード	<ul style="list-style-type: none"> • 構造方向位相に對し、上面の桁梁と下部のバルコニーと間の部分変形し損傷する。(部外変形) 	<ul style="list-style-type: none"> • 構造方向位相に對し、構造部材の隅の隅角部において部分変形し損傷する。(部外変形) 	<ul style="list-style-type: none"> • 構造方向に重なる鋼材が重なり損傷し損傷する。(部外変形) 	<ul style="list-style-type: none"> • 構造方向に重なる鋼材が重なり損傷し損傷する。(部外変形)
耐震安全性 評価	<ul style="list-style-type: none"> • 緊急制振力に對して、既設耐力壁により評価 			

第Ⅱ. 2. 2-2 表 今回工認の耐震性評価手法

	海水ポンプ室	取水口	軽油タンク室	復水貯蔵タンク基礎
二次系 機器設置層	<ul style="list-style-type: none"> 延長方向のx-3アキ毎に3分割し、其の意之等部の剛性を2式2式等価剛性をモデルを作成し、エリア毎の荷重支持構造物を等価剛性モデルとし、地震応答解析を行う。 地震応答解析結果を、剛性マトリクスを用いて評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 延長方向に3分割し、其の意之等部の剛性を2式2式等価剛性をモデルを作成し、エリア毎の荷重支持構造物を等価剛性モデルとし、地震応答解析を行う。 地震応答解析結果を、剛性マトリクスを用いて評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 延長方向に3分割し、其の意之等部の剛性を2式2式等価剛性をモデルを作成し、エリア毎の荷重支持構造物を等価剛性モデルとし、地震応答解析を行う。 地震応答解析結果を、剛性マトリクスを用いて評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 復水貯蔵タンク、ヘルプ室及び燃料タンク等重量部をモデルとし、地震応答解析を行う。 地震応答解析結果を、剛性マトリクスを用いて評価する。 
三次系セグメント	<ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプ室も非線形モデルでモデル化 (剛性数: 約1.5倍、剛性数: 約0.5倍)。 剛性マトリクスを用いて評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 取水口も非線形モデルでモデル化 (剛性数: 約1.5倍、剛性数: 約0.5倍)。 剛性マトリクスを用いて評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 軽油タンク室も非線形モデルでモデル化 (剛性数: 約1.5倍、剛性数: 約0.5倍)。 剛性マトリクスを用いて評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 復水貯蔵タンク基礎の非線形モデルでモデル化 (剛性数: 約1.5倍、剛性数: 約0.5倍)。 剛性マトリクスを用いて評価する。 
耐震安全性評価	<ul style="list-style-type: none"> 機器等の安全確保として、構造物の破壊は同様の安全確保に比して許容限 (ひびき) に対し、許容限を、セグメントに付与する。 セグメントに付与する耐震性、セグメントの剛性数により評価。 	<ul style="list-style-type: none"> 同左。 	<ul style="list-style-type: none"> 同左。 	<ul style="list-style-type: none"> 同左。 

第II.2.2-3 表 耐震性評価手法の変更点

	建設工設 (海水ポンプ室、取水口、復水貯蔵タンク基礎)	今回工設 (海水ポンプ室、取水口)	今回工設 (船舶タンク室、復水貯蔵タンク基礎)
二次元地盤応答解析	二次元有限要素法による地盤応答解析 [周波数応答解析]	二次元有限要素法による地盤応答解析 [二次元時空間有限要素法(構造物線形)]	二次元有限要素法による地盤応答解析 [周波数応答解析]
地盤時域応答	地盤時域応答 (土圧、加速度) を抽出	地盤時域応答 (土圧、加速度) を抽出	地盤時域応答 (土圧、加速度) を抽出
三次元モデル	三次元有限要素法による構造解析 [線形シェルモデル]	三次元有限要素法による構造解析 [三次元動的有限要素法] (ソリッド要素)	三次元有限要素法による構造解析 [三次元動的有限要素法] (シェル要素)
応答値 (断面力) を算出	応答値 (断面力) を算出	応答値 (変形、断面力) を算出	応答値 (変形、断面力) を算出
耐震安全性評価	耐震 [許容応力度法] 【おけあしの破壊】 ・ 許容応力度 【せん断破壊】 ・ 許容応力度	耐震 【限界状態設計法】 【おけあしの破壊】 ・ 層間変形角 (面内、面外) ・ 柱端ひびき/引張ひびき (面内、面外) 【せん断破壊】 ・ せん断耐力	耐震 【限界状態設計法】 【おけあしの破壊】 ・ 層間変形角 (面内、面外) ・ 柱端ひびき/引張ひびき (面内、面外) 【せん断破壊】 ・ せん断耐力 (せん断耐力評価式)

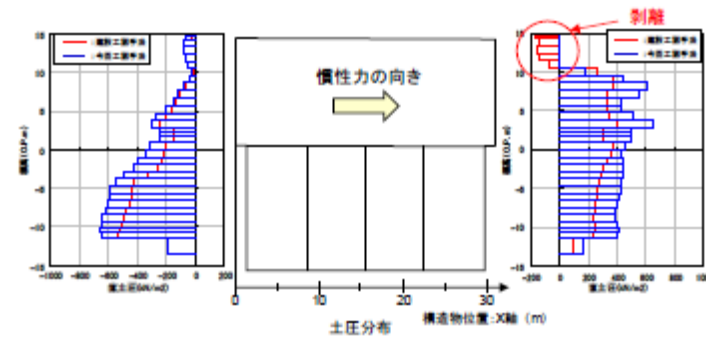
【精緻化】は、建設工設と比較して、精緻化している項目を示す。□は、既工設実績のない項目を示す。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>2.3 新規採用手法の概要</p> <p>今回新規に採用する手法は、地震時荷重算定のために実施する二次元時刻歴非線形解析（構造物線形）と三次元静的材料非線形解析である。二次元時刻歴非線形解析（構造物線形）と三次元静的材料非線形解析の概要を以下に示す。</p> <p>①二次元時刻歴非線形解析（構造物線形）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・解析モデル <p>地盤－構造物連成の二次元FEM 解析において、地盤の非線形性を考慮した地震応答解析を行う。</p> <p>構造物は、地震時荷重（地震時土圧、慣性力）を安全側に評価するため線形モデルとし、地盤の材料特性として、H-D モデルやR-0 モデル等に基づく骨格曲線とメイシング則に基づく履歴曲線により、非線形挙動を表現する。また、地盤－構造物間の剥離、再接触を考慮する。</p> <p>妻壁等の剛性を考慮した平面応力要素を用いることで、地盤と構造物の動的相互作用を正しく評価する。</p> ・照査（利用）方法 <p>三次元静的材料非線形解析で作用させる地震時土圧や慣性力を、地震時荷重として算出する。</p> ・既工認実績 <p>構造物も非線形とした手法について、川内1号の取水ピット、玄海3・4号の取水ピット、高浜3・4号の海水ポンプ室、美浜3号の海水ポンプ室等の地中構造物などで既工認実績が多数ある。</p> ・規格・基準 <p>土木学会マニュアル2005 において、地盤－構造物連成系の時刻歴地震応答解析において、地盤及び構造物の非線形性を考慮した解析手法が規定されている。また、コンクリート標準示方書2017 において、部材及び地盤の非線形性を考慮した、構造物と地盤の連成解析手法が規定されている。</p> <p>②三次元静的材料非線形解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・解析モデル <p>三次元の構造モデルに、慣性力や土圧等の地震時荷重を静的に</p> 		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>載荷し、構造解析を行う。</p> <p>地盤は、地震時の解析では、底面と妻壁にばねとしてモデル化する。側壁への土圧等の作用は、構造物に直接作用させるため、地盤ばねは用いない。</p> <p>構造物の材料特性として、材料非線形性を有するソリッド要素やシェル要素により非線形挙動を表現する。ソリッド要素は、曲げ変形に加えてせん断に対する非線形挙動を表現可能であり、要素のせん断破壊に伴う非線形挙動も精緻に表現できる。シェル要素は、曲げ変形に対する非線形挙動を表現可能であり、部材非線形性を有する梁モデルを二次元平面に拡張した要素である。</p> <p>・ 照査方法</p> <p>材料非線形を考慮した要素に発生する断面力や変形に対して照査を行う。おおむね弾性範囲に対し、コンクリートの圧縮ひずみと鉄筋の引張ひずみを限界値としている。</p> <p>・ 既工認実績</p> <p>既工認実績として、川内1号の取水路、玄海3・4号の海水管ダクト堅坑などで、部材のせん断耐力を二次元材料非線形解析により評価している実績はあるが、構造物全体を対象とした実績はなく、曲げ系の破壊の照査において、非線形解析から得られる鉄筋やコンクリートのひずみを用いた実績はない。</p> <p>・ 規格・基準</p> <p>コンクリート標準示方書2017 において、三次元の構造モデルに対する材料非線形解析による評価方法が規定されている。また、土木学会マニュアル2018 において、構造物全体を三次元ソリッド要素でモデル化し、耐震性評価を行う方法が規定されている。</p> <p>2.4 三次元静的材料非線形解析の得失</p> <p>新規手法を採用することによる影響を確認するため、新規制の適合性審査において実績のある二次元地震応答解析（部材非線形）と三次元静的材料非線形解析の得失を第Ⅱ.2.4-1 表のとおり整理した。</p> <p>二次元地震応答解析は線状構造物に適した解析手法で、加振方向に設置される部材の評価ができないのに対し、三次元静的材料非線形解析は箱型構造物に適した解析手法で、三次元的な挙動、隅角部等における応力伝達の実態に近く再現できる。</p>		

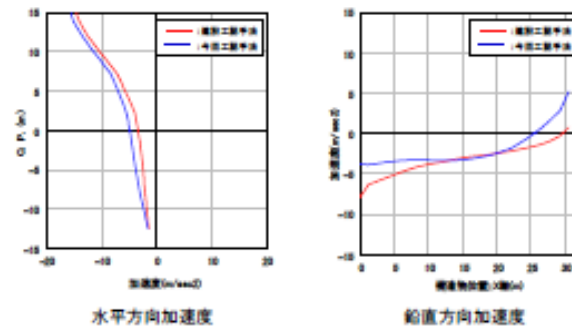
<p>柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)</p>	<p>女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)</p> <p>海水ポンプ室のように複雑な部材から構成され、ひび割れの発生状態から貯水・止水機能の評価が必要な構造物は、解析モデルの作成に労力を要するものの、ソリッド要素を用いた三次元静的材料非線形解析が適している。</p> <p>第II.2.4-1 表 三次元静的材料非線形解析の得失</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="1012 1623 1190 1782"></th> <th data-bbox="1012 1251 1190 1623">二次元静的解析 (部材非線形解析：取水路 他)</th> <th data-bbox="1012 879 1190 1251">三次元静的材料非線形解析 (ソリッド要素：海水ポンプ室 他)</th> <th data-bbox="1012 508 1190 879">三次元静的材料非線形解析 (シェル要素：薪油タンク室 他)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1190 1623 1368 1782">解析モデル作成</td> <td data-bbox="1190 1251 1368 1623"> <ul style="list-style-type: none"> ○ 異種材料に適用しにくい。特に、溶接は考慮されず、溶接部は剛性を低下させる。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 × 上記の理由で、非線形解析に適用しにくい。非線形解析の適用範囲は限定的である。 </td> <td data-bbox="1190 879 1368 1251"> <ul style="list-style-type: none"> ○ 複雑な形状の構造物に適用する。非線形変位でモデル化する。 × 上記の理由で、非線形解析に適用しにくい。非線形解析の適用範囲は限定的である。 </td> <td data-bbox="1190 508 1368 879"> <ul style="list-style-type: none"> ○ 異種材料 (鋼やスチール) から構成される構造物の解析に適用する。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1368 1623 1525 1782">構成モデル</td> <td data-bbox="1368 1251 1525 1623"> <ul style="list-style-type: none"> ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 </td> <td data-bbox="1368 879 1525 1251"> <ul style="list-style-type: none"> △ 構造物に適用する。非線形変位でモデル化する。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 </td> <td data-bbox="1368 508 1525 879"> <ul style="list-style-type: none"> ○ 一つの層でも非線形変位でモデル化する。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1525 1623 1644 1782">解 析</td> <td data-bbox="1525 1251 1644 1623"> <ul style="list-style-type: none"> ○ 計算負荷が比較的小さく、時間的・経済的に有利である。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 </td> <td data-bbox="1525 879 1644 1251"> <ul style="list-style-type: none"> △ 計算負荷が大きく、大規模構造物に対しては、非線形解析が困難。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 </td> <td data-bbox="1525 508 1644 879"> <ul style="list-style-type: none"> △ 計算負荷が大きく、大規模構造物に対しては、非線形解析が困難。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1644 1623 1721 1782">用 途</td> <td data-bbox="1644 1251 1721 1623"> <ul style="list-style-type: none"> ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 </td> <td data-bbox="1644 879 1721 1251"> <ul style="list-style-type: none"> △ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 </td> <td data-bbox="1644 508 1721 879"> <ul style="list-style-type: none"> ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 </td> </tr> </tbody> </table>		二次元静的解析 (部材非線形解析：取水路 他)	三次元静的材料非線形解析 (ソリッド要素：海水ポンプ室 他)	三次元静的材料非線形解析 (シェル要素：薪油タンク室 他)	解析モデル作成	<ul style="list-style-type: none"> ○ 異種材料に適用しにくい。特に、溶接は考慮されず、溶接部は剛性を低下させる。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 × 上記の理由で、非線形解析に適用しにくい。非線形解析の適用範囲は限定的である。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 複雑な形状の構造物に適用する。非線形変位でモデル化する。 × 上記の理由で、非線形解析に適用しにくい。非線形解析の適用範囲は限定的である。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 異種材料 (鋼やスチール) から構成される構造物の解析に適用する。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	構成モデル	<ul style="list-style-type: none"> ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> △ 構造物に適用する。非線形変位でモデル化する。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 一つの層でも非線形変位でモデル化する。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	解 析	<ul style="list-style-type: none"> ○ 計算負荷が比較的小さく、時間的・経済的に有利である。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> △ 計算負荷が大きく、大規模構造物に対しては、非線形解析が困難。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> △ 計算負荷が大きく、大規模構造物に対しては、非線形解析が困難。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	用 途	<ul style="list-style-type: none"> ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> △ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<p>島根原子力発電所 2号炉</p>	<p>備考</p>
	二次元静的解析 (部材非線形解析：取水路 他)	三次元静的材料非線形解析 (ソリッド要素：海水ポンプ室 他)	三次元静的材料非線形解析 (シェル要素：薪油タンク室 他)																				
解析モデル作成	<ul style="list-style-type: none"> ○ 異種材料に適用しにくい。特に、溶接は考慮されず、溶接部は剛性を低下させる。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 × 上記の理由で、非線形解析に適用しにくい。非線形解析の適用範囲は限定的である。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 複雑な形状の構造物に適用する。非線形変位でモデル化する。 × 上記の理由で、非線形解析に適用しにくい。非線形解析の適用範囲は限定的である。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 異種材料 (鋼やスチール) から構成される構造物の解析に適用する。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 																				
構成モデル	<ul style="list-style-type: none"> ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> △ 構造物に適用する。非線形変位でモデル化する。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 一つの層でも非線形変位でモデル化する。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 																				
解 析	<ul style="list-style-type: none"> ○ 計算負荷が比較的小さく、時間的・経済的に有利である。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> △ 計算負荷が大きく、大規模構造物に対しては、非線形解析が困難。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> △ 計算負荷が大きく、大規模構造物に対しては、非線形解析が困難。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 																				
用 途	<ul style="list-style-type: none"> ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> △ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 ○ 非線形変位でモデル化する。モデル化が容易。 																				

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>2.5 二次元地震応答解析手法の変更による影響</p> <p>二次元地震応答解析について、建設工認では周波数応答解析（線形解析）を行っているが、今回工認では、基準地震動S_sが大加速度化することにより、周辺地盤の非線形性を考慮する必要があることから、時刻歴非線形解析（構造物線形）を採用している。</p> <p>今回工認手法を採用する影響を確認するため、建設工認手法と今回工認手法における地震時荷重を比較する。地震時荷重は、女川では基準地震動S_sがS_s-D1, S_s-D2, S_s-D3, S_s-F1, S_s-F2, S_s-F3, S_s-N1 と7波あるため、これらの中で海水ポンプ室全体の層間変位が大きい基準地震動S_s-D2 において、海水ポンプ室全体の層間変位が最大となる時刻の、海水ポンプ室の中心付近である補機ポンプエリアの地震時荷重で代表する。</p> <p>建設工認手法と今回工認手法の土圧分布を第Ⅱ.2.5-1 図に、水平方向及び鉛直方向加速度を第Ⅱ.2.5-2 図に示す。</p> <p>今回工認手法では周辺地盤の非線形性を考慮し、時刻歴非線形解析による結果では、地盤のひずみレベルが大きくなり、海水ポンプ室に作用する土圧は今回工認手法の方が全体的に大きくなっている。また、地盤と構造物間のジョイント要素により、剥離－再接触を考慮しているため、建設工認手法において解析上側壁を地盤が引張るような荷重は、剥離として考慮されている。</p> <p>加速度においては、底面のジョイント要素の影響により、構造物が地盤から離れ、回転変形するような挙動が再現され、鉛直加速度に差異が生じている。</p> <p>このように土圧及び加速度のいずれについても、今回工認手法は建設工認手法と比較して、地盤と構造物の相互作用が実現象に近い結果となっている。</p> <p>今回工認手法と建設工認手法の差異が構造物に与える影響として、今回工認手法の土圧が大きいことから、土圧が直接作用する側壁等において、一部の要素が非線形領域となることが考えられる。また、回転変形により、底版のせん断力や右側壁の軸力に影響が出ると考えられる。</p> <p>以上のことから、一部の要素が非線形化し、荷重の負担が部材間で配分されることや、地盤と構造物間との剥離－再接触が考慮されることにより、断面力や床応答が実現象に近い応答となる。</p>		



※：土圧の向きは図の右から左への土圧が正側、
図の左から右への土圧が負側を示す

第Ⅱ.2.5-1 図 建設工認手法及び今回工認手法の土圧分布



※：加速度の向きは右向き及び上向きが正側、
左向き及び下向きが負側を示す

第Ⅱ.2.5-2 図 建設工認手法及び今回工認手法の加速度

2.6 三次元モデルの変更による影響

三次元モデルについて、建設工認では線形シェルモデルを採用し、許容応力度法により照査を行っているが、今回工認では非線形ソリッド要素によりモデル化し、限界状態設計法により照査を行っている。

今回工認で採用した方法では、曲げ系の破壊をひずみで評価することで、より精緻に部材の応答を把握することができる。

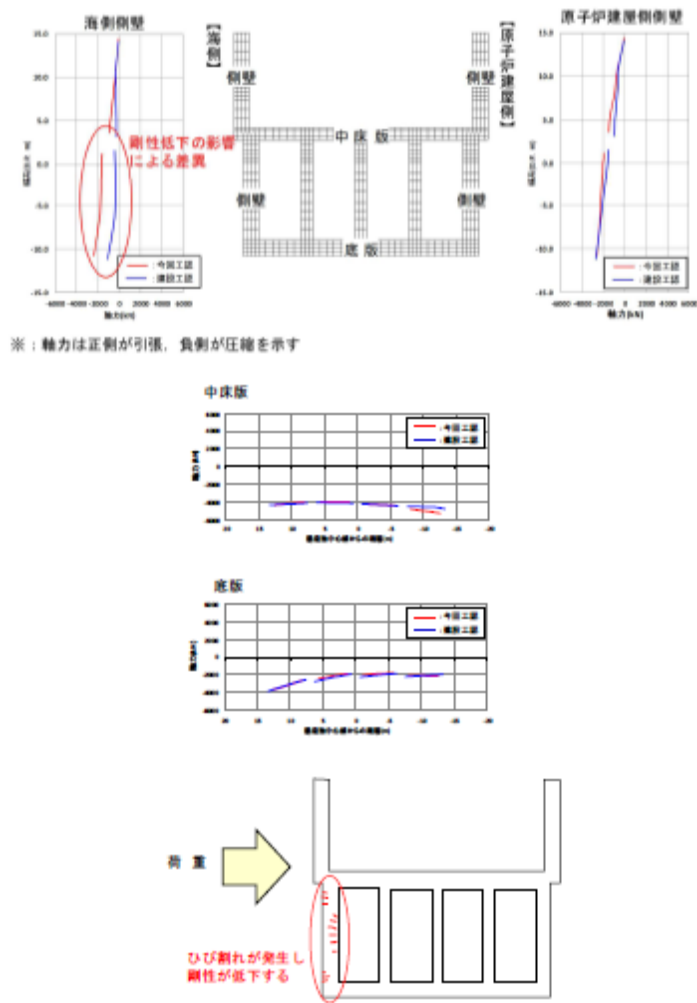
例として、2.5 項に示す今回工認手法の地震時荷重を非線形ソリッド要素による三次元モデルに載荷させた場合における要素の応力-ひずみ関係を第Ⅱ.2.6-1 図及び第Ⅱ.2.6-2 図に示す。

図中の線形解析応答値及び非線形解析応答値は、同一の荷重を建設工認の三次元モデル（線形シェル要素）及び今回工認の三次元モデル（非線形ソリッド要素）に載荷させた応答値である。

曲げ系の破壊に対して、コンクリートの圧縮ひずみはおおむね弾性範囲内で用いることとし、鉄筋の引張についてはコンクリートと鉄筋の付着性能を考慮した鉄筋コンクリート要素としてひず

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p data-bbox="943 210 1706 283">みを取り扱い，鉄筋のひずみを精緻かつ合理的に算定することが可能である。</p> <div data-bbox="994 378 1632 903"> </div> <div data-bbox="1113 934 1513 1207"> </div> <p data-bbox="964 1239 1676 1312">第Ⅱ. 2. 6-1 図 主圧縮応力－主圧縮ひずみ関係（圧縮側要素 31069）</p> <div data-bbox="1053 1386 1484 1711"> </div> <p data-bbox="943 1732 1706 1806">第Ⅱ. 2. 6-2 図 鉄筋コンクリートの応力－ひずみ関係（引張側要素31072）</p>		

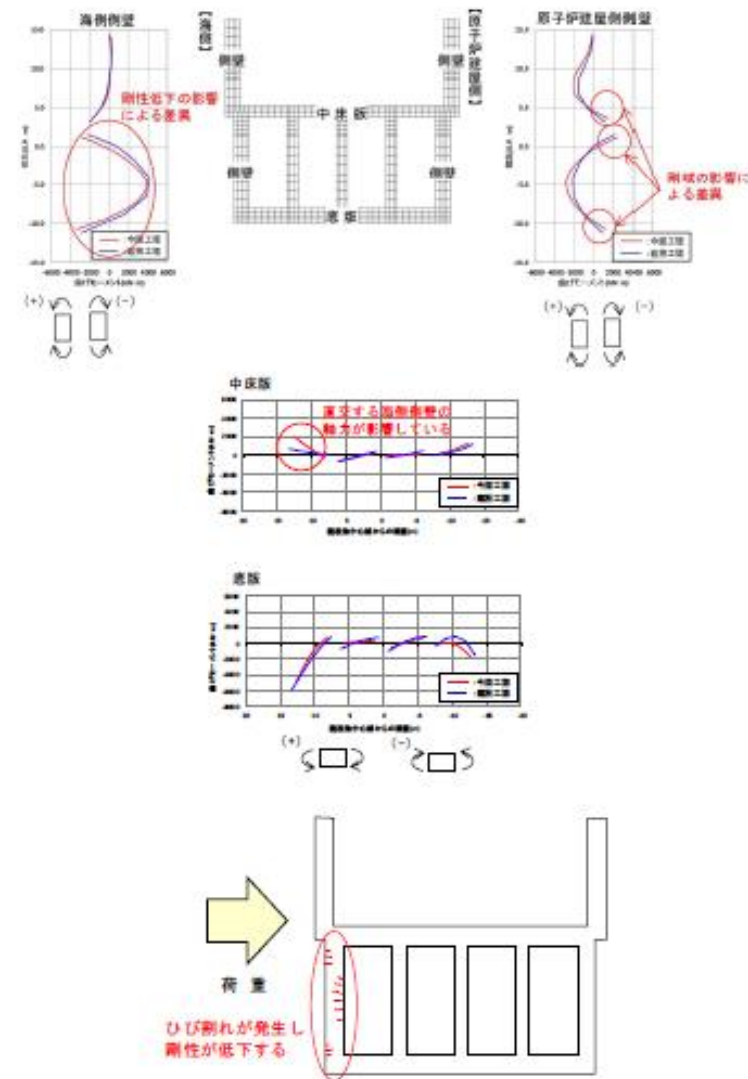
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>また、今回工認の三次元モデル（非線形ソリッド要素）及び建設工認の三次元モデル（線形シェル要素）に2.5 項に示す今回工認手法における地震時荷重を載荷させた場合の軸力、せん断力及び曲げモーメントについて比較を行った。比較結果を以下に示す。</p> <p>・軸力</p> <p>今回工認の三次元モデル（非線形ソリッド要素）及び建設工認の三次元モデル（線形シェル要素）の軸力図を第Ⅱ. 2. 6-3 図に示す。</p> <p>今回工認と建設工認の軸力はおおむね同等となっているが、海側側壁で差異が出ている。差異が出ている箇所は、後に示す曲げモーメントによりひび割れが発生し剛性低下が生じている箇所である。</p> <p>今回工認では非線形性を考慮しており、剛性低下の影響により、地震時の引張軸力が負担できなくなることから、常時の圧縮軸力が多く残留することが、差異が出ている原因である。</p>		



第II.2.6-3 図 軸力図

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>・せん断力</p> <p>今回工認の三次元モデル（非線形ソリッド要素）及び建設工認の三次元モデル（線形シェル要素）のせん断力図を第Ⅱ.2.6-4 図に示す。</p> <p>今回工認と建設工認のせん断力はおおむね同等となっているが、中床版及び底版の海側で差異が出ている。</p> <p>前頁で示したとおり海側側壁に剛性低下の影響により軸力の差異が出ており、直交部材の軸力とせん断力の関係から、海側側壁と直交する中床版及び底版のせん断力に差異が出たものである。</p> <p>第Ⅱ.2.6-4 図 せん断力図</p>		

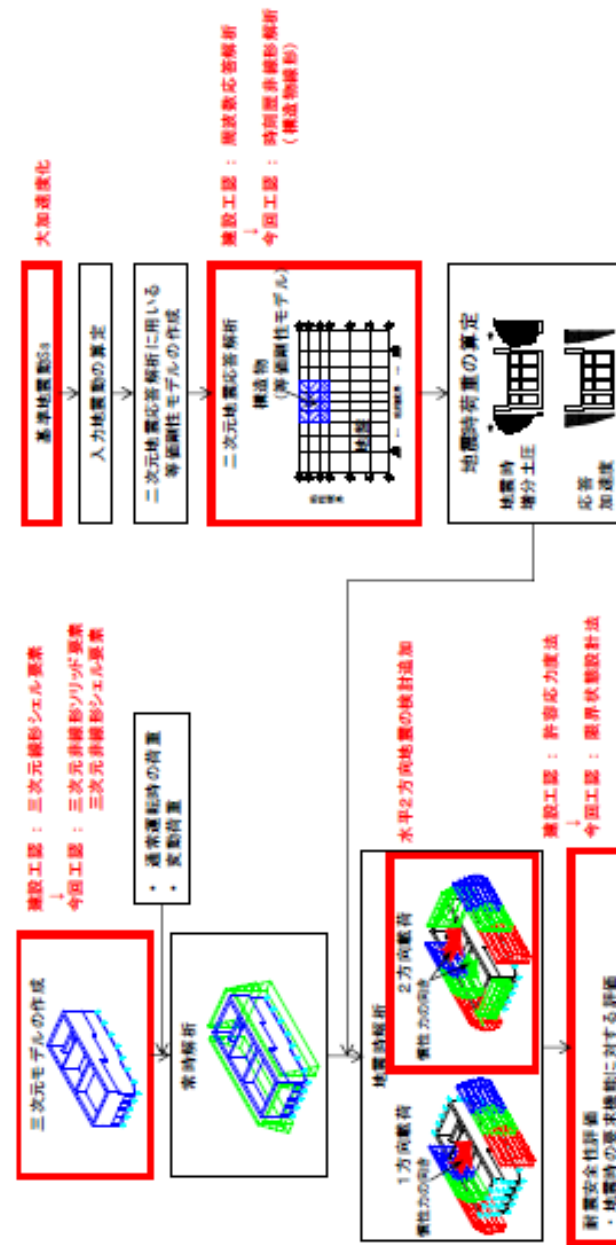
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>・ 曲げモーメント</p> <p>今回工認の三次元モデル（非線形ソリッド要素）及び建設工認の三次元モデル（線形シェル要素）の曲げモーメント図を第II. 2. 6-5 図に示す。</p> <p>今回工認と建設工認の曲げモーメントについても、海側側壁や中床版の海側で差異が出ている。軸力及びせん断力の比較で示したとおり、海側側壁下部における曲げモーメントによる曲げひび割れの発生により剛性が低下し、海側側壁下部の軸力や、中床版及び底版のせん断力に差異が出ている。</p> <p>また、部材端部の曲げモーメントの差異は、建設工認は剛域なしの線形シェルモデルであるが、今回工認はソリッド要素でモデル化したことにより接合部の剛域が考慮され、断面力算定スパンに差異が生じていることが原因である。</p>		



第Ⅱ.2.6-5 図 曲げモーメント図

以上のように、一部の要素が非線形化するような大加速度下においては、材料非線形による解析により部材の剛性低下に伴う力の配分の変化を表現することができ、精緻な評価が可能となる。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>3. 三次元静的材料非線形解析の評価手順</p> <p>3.1 耐震性の評価フロー</p> <p>三次元静的材料非線形解析による耐震性の評価フローは、建設工認と同様に、基準地震動S_sによる二次元地震応答解析により評価される地震時荷重（土圧，加速度）を三次元モデルへ作用させて、耐震安全性評価を行う。評価フローを第Ⅱ. 3. 1-1 図に示す。新規制基準により、基準地震動の大加速度化，新たな要求機能（津波に対する止水機能）の追加，水平2方向地震の検討の追加などが変更となっている。それらの変更に伴い解析手法を変更しており，解析手法の建設工認からの主な変更点は，二次元地震応答解析を線形解析である周波数応答解析から時刻歴非線形解析へ変更した点と，三次元モデルを線形シェル要素から非線形ソリッド要素又は非線形シェル要素へ変更し，耐震安全性評価を許容応力度法から限界状態設計法に変更した点である。</p>		

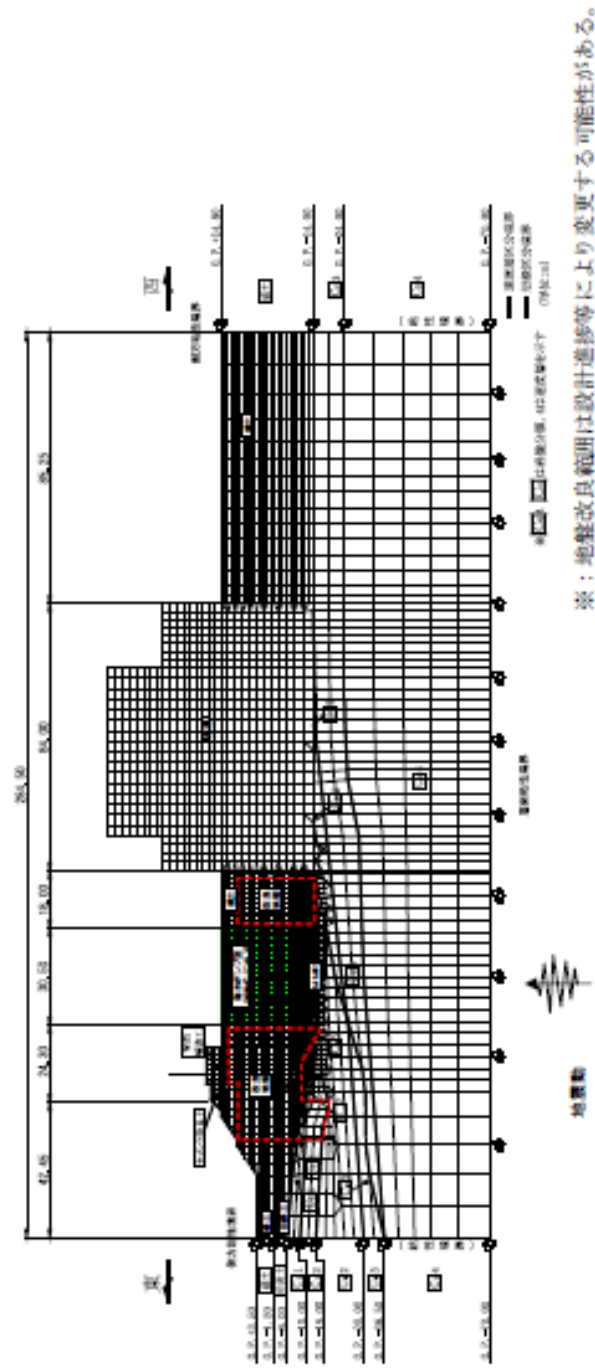


第II.3.1-1 図 評価フロー

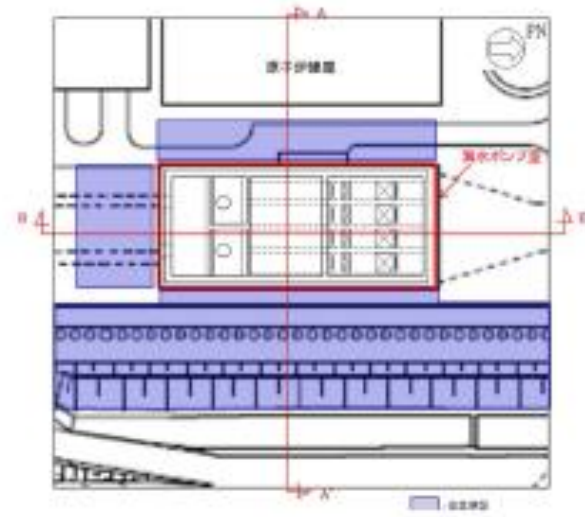
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>3.2 三次元モデルの作成</p> <p>三次元モデルは、構造物を非線形ソリッド要素、地盤をばね要素でモデル化し作成する。常時解析及び地震時解析の三次元モデル図を第II.3.2-1 図に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 構造物のモデル <p>8 節点 6 面体と 6 節点 5 面体のソリッド要素を用いて立体的にモデル化する。モデル化にあたり大きな開口部は考慮する。</p> ・ 材料非線形のモデル <p>材料の物性値は、「コンクリート標準示方書2017 5章材料の設計値」に準拠する。コンクリートの圧縮領域及び引張領域の構成則には、前川モデルを用いる。</p> ・ 支持地盤のモデル <p>本編の目的に鑑み、支持地盤は弾性ばねでモデル化し、構造物の健全性（断面保持）の観点から鉛直部材の応答が厳しく評価され、より非線形性が明確に表れるよう底面の水平 2 方向及び鉛直方向の線形ばねでモデル化する。</p> <p>ただし、二次元地震応答解析で構造物と地盤の剥離—再接触を考慮した荷重を三次元モデルに載荷することから、工認段階では二次元地震応答解析における支持地盤と構造物底面の剥離の状況を確認し、支持地盤と構造物底面の剥離が構造物の安全性に影響を及ぼすことが考えられる場合には剥離を考慮できる非線形ばねを用いる。</p> ・ 妻壁の側方地盤のモデル <p>側方地盤は、弾性ばねでモデル化し、妻壁の法線方向に取り付ける。このばねは、1 方向荷重の地震時解析の際に考慮し、2 方向荷重の際は土圧を直接作用させる。</p> 		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="973 233 1668 548" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1151 569 1501 600" data-label="Caption"> <p>第II.3.2-1 図 三次元モデル</p> </div> <div data-bbox="943 659 1101 690" data-label="Section-Header"> <p>3.3 常時解析</p> </div> <div data-bbox="943 703 1715 915" data-label="Text"> <p>構造物を非線形ソリッド要素でモデル化し、支持地盤を地盤ばねでモデル化した三次元モデルに、通常運転時の荷重及び変動荷重を載荷して常時の応力状態を再現する。常時解析における底面の支持地盤ばねは、「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」に基づきばねを設定する。</p> </div> <div data-bbox="943 928 1715 1140" data-label="Text"> <p>通常運転時の荷重として、躯体の自重、機器・配管荷重、静止土圧、内水圧を考慮し節点に与える。静止土圧は二次元地震応答解析における常時応力解析により設定し、分布荷重として側壁及び妻壁に載荷する。静止土圧荷重イメージ図を第II.3.3-1 図に示す。内水圧は水路部の海水の静水圧として設定する。</p> </div> <div data-bbox="973 1152 1665 1184" data-label="Text"> <p>また、積雪荷重、火山灰荷重等を上載荷重として考慮する。</p> </div> <div data-bbox="991 1268 1546 1598" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1101 1646 1555 1677" data-label="Caption"> <p>第II.3.3-1 図 静止土圧荷重イメージ</p> </div>		

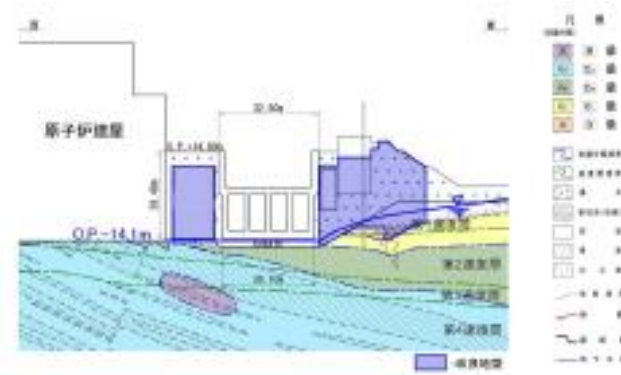
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>3.4 二次元地震応答解析</p> <p>二次元地震応答解析は、地盤の非線形性を考慮した地盤-構造物連成の時刻歴非線形解析により行う。等価剛性の構造物モデルは、線形モデルとしており、盛土、旧表土、D級岩盤、セメント改良土及び改良地盤については、非線形性を考慮している。地盤条件は、防潮堤下部、海水ポンプ室東側及び西側は地盤改良する予定であり、延長方向で変わらない。二次元地震応答解析の解析モデル図を第II.3.4-1 図に、海水ポンプ室周辺の地盤改良範囲図を第II.3.4-2 図～第II.3.4-4図に示す。</p> <p>海水ポンプ室と原子炉建屋の間及び海水ポンプ室と防潮堤の間には剛性の大きい地盤改良体が存在しており、地盤改良の効果を適切に評価するため、原子炉建屋及び防潮堤を線形でモデル化する。原子炉建屋のFEM モデルは、「原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>」(土木学会原子力土木委員会, 2009)を参考に作成する。原子炉建屋及び防潮堤のモデル化方法を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋のモデル化 <p>建屋の水平方向応答及び鉛直方向応答の両者に着目し、建屋モデルである多質点系モデルと等価な水平及び鉛直方向振動特性を有するFEM モデルに変換して作成する。質点系モデルと1次の水平方向の固有周期、固有モードが同等であり、かつ、1次の鉛直方向の固有周期、固有モードが同等となるよう作成し、単位奥行き当たりの剛性及び質量に換算してモデル化する。なお、スクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリア全て同一のモデルとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・防潮堤のモデル化 <p>鋼管式鉛直壁を構成する鋼管杭は、海水ポンプ室の延長方向(77m)に相当する本数の剛性・重量を考慮したはり要素及び質点でモデル化する。背面補強工及びセメント改良土は、地盤と同様に平面ひずみ要素でモデル化する。いずれも単位奥行き当たりの剛性及び質量に換算してモデル化する。なお、スクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリア全て同一のモデルとする。</p> <p>機器・配管荷重は、はり要素や節点の付加重量として考慮しており、機器・配管の設計に用いる床応答は、当該節点の応答を用いる。</p>		



第II.3.4-1 図 二次元地震応答解析の解析モデル (補機ポンプエリア)



第II.3.4-2 図 改良範囲平面図



第II.3.4-3 図 改良範囲断面図 (A-A' 断面)



第II.3.4-4 図 改良範囲断面図 (B-B' 断面)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>3.5 地震時荷重の算定</p> <p>二次元地震応答解析において要求機能に対応する着目部位の変位や断面力が大きくなり、照査上厳しくなる時刻を選定し、地震時増分土圧と応答加速度を算定する。照査時刻の選定方法は5.3項に示す。慣性力は、応答加速度を基に応答震度を算定する。地震時増分土圧分布及び応答加速度分布の例を第Ⅱ.3.5-1 図及び第Ⅱ.3.5-2 図に示す。</p> <div data-bbox="973 583 1676 850" data-label="Figure"> </div> <p>第Ⅱ.3.5-1 図 地震時増分土圧分布例</p> <div data-bbox="973 982 1676 1260" data-label="Figure"> </div> <p>第Ⅱ.3.5-2 図 応答加速度分布例</p> <p>3.6 地震時解析</p> <p>3.6.1 1方向載荷</p> <p>二次元地震応答解析より算定した慣性力及び地震時増分土圧等を地震時荷重として三次元静的材料非線形モデルに載荷する。地震時荷重として、慣性力、地震時増分土圧、動水圧及び内水圧を考慮する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・慣性力 <p>躯体及び機器・配管類等の慣性力を考慮する。二次元地震応答解析により求めた応答震度（水平震度、鉛直震度）より慣性力を算定する。竜巻防護ネットの荷重は接続部の反力として作用させる。周辺地盤等の物性のばらつきを考慮した海水ポンプ室の床応</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>答に対し、竜巻防護ネットの地震応答解析を行い、算定された最大反力を海水ポンプ室の設計用荷重とする。</p> <p>・地震時増分土圧及び動水圧 二次元地震応答解析により求めた地震時増分土圧(直土圧, 周面せん断力)を作用させる。海水ポンプ室には地下水位低下設備が配置されており、構造物近傍は地下水位が低下しているため水圧は直接作用しない。構造物より離れた位置における地下水の影響は地震時増分土圧に含めて考慮する。</p> <p>・内水圧 内水の動水圧は、自由水面の無い閉水路部分については水の重量に応答震度を乗じた付加荷重として考慮し、自由水面のある開水路部分については応答震度を用いてWestergaard 式から算定する。</p> <p>慣性力及び地震時増分土圧は、エリアごとに奥行き方向に一律な荷重として作用させる。地震時荷重の荷重イメージ図を第II.3.6-1 図に示す。</p> <p>底面の支持地盤ばねは「田治見の振動アドミッタンス理論」に基づき設定し、妻壁の法線方向に取り付ける側方地盤ばねは「道路橋示方書・同解説V耐震設計編」に基づき設定する。</p> <p>照査値が最も厳しくなる地震動に対しては、地盤剛性等の不確かさを考慮した、設計用荷重を荷重し、評価を行う。</p> <div data-bbox="1101 1339 1552 1667" data-label="Image"> </div> <p>第II.3.6-1 図 地震時荷重荷重イメージ (1方向荷重)</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>3.6.2 水平2方向載荷</p> <p>水平2方向載荷に対する検討として、1方向載荷に、縦断方向の地震時荷重を同時に載荷する。地震時荷重の載荷イメージ図を第II.3.6-2 図に示す。</p> <p>縦断方向の土圧は妻壁と地盤の相互作用により発生するが、横断方向と異なり妻壁は構造物全体の挙動ではなく、1部材として応答するため、縦断方向の地震時荷重を算定するための二次元モデルは等価剛性とはせず鉄筋コンクリート部材の剛性を考慮する。</p> <p>縦断方向の地震時荷重は、水平2方向載荷の影響が大きい部材のうち、1方向載荷時の照査値が最も厳しい部材・時刻に対し、同時刻の縦断方向の地震時荷重を、位相が異なる地震動により算出して用いる。1方向載荷時において、耐震要素として考慮される横断方向に平行な壁部材が非線形化する可能性があるため、評価時刻に至るまでの荷重により受ける影響を考慮して、水平2方向同時入力の影響を評価する。</p> <p>地盤ばねは、底面の支持地盤ばねを設定し、設定方法は、1方向載荷時と同様である。</p> <div data-bbox="1080 1094 1576 1423" data-label="Image"> </div> <p>第II.3.6-2 図 地震時荷重載荷イメージ (水平2方向載荷)</p> <p>3.7 耐震安全性評価</p> <p>三次元静的材料非線形解析で建設工認に比べ新規性の高い点は、変形に基づく指標を用いて耐震安全性を評価する点であり、地震時荷重に対し、既工認実績のある層間変形角、せん断力の他、既工認実績のない指標としておおむね弾性の許容限界についてコンクリートの圧縮ひずみと主筋のひずみが許容限界に収まっていることを確認する。</p> <p>海水ポンプ室では部材ごとに要求機能が異なることから、それ</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>ぞれの要求機能に着目し、耐震安全性評価を行う。</p> <p>海水ポンプ室は、Sクラスの機器・配管等の間接支持構造物及び非常用取水設備であること等を考慮し、その要求機能については以下のとおり設定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・通水機能 <p>非常用取水設備のうち、通水断面を構成する部材について、その崩壊により通水断面を閉塞しないこと。</p> <p><評価方針></p> <p>一つの部材が終局状態に至った場合でも、直ちに通水断面の閉塞に繋がる事象には至らないが、保守的に、終局状態に至らないことを目標性能とし、部材の層間変形角及びせん断力が許容限界に至らないことで確認する。なお、支持機能、貯水機能及び止水機能が要求される部材についても、構造部材が終局状態に至らないことが前提となるため、通水機能に対する要求機能は構造物全体に対して適用する。</p> <p><許容限界></p> <ul style="list-style-type: none"> 【面外変形】 層間変形角：1/100 せん断力：せん断耐力以下 【面内変形】 層間変形角：2/1000 <p><対象部材></p> <ul style="list-style-type: none"> ・海水の通水部分（下部カルバート部） ・構造物全体 ・支持機能 <p>Sクラスの機器及び配管等を安全に支持できること。</p> <p><評価方針></p> <p>Sクラス機器及び配管等を安全に支持することは、耐荷性能を維持することと同義であり、部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。この目標性能は、通水機能の確認を、構造物全体に対し行うことで確認できる。</p> <p>加えて、Sクラス機器及び配管等のアンカー定着部周辺の損傷が部材降伏程度であれば、定着性能に影響を及ぼさないことから、アンカー定着部周辺においては、鉄筋が降伏しないことを目標性能とし、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋のひずみが許容限界</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>に至らないことで確認する。</p> <p>また、面内変形に対しては、部材の層間変形角がJEAC4601-2015で規定されている支持性能の許容限界に至らないことで確認する。</p> <p><許容限界></p> <p>【面外変形】 圧縮ひずみ：圧縮強度に対応するひずみ ϵ'_{peak} 2000 μ</p> <p>主筋ひずみ：降伏強度に対応するひずみ ϵ_y 1725 μ</p> <p>せん断力：せん断耐力以下</p> <p>【面内変形】 層間変形角：2/1000</p> <p><対象部材></p> <ul style="list-style-type: none"> ・S クラス機器及び配管等の支持部分（補機ポンプエリア隔壁，側壁，中床版，循環水ポンプエリア中床版，妻壁，スクリーンエリア側壁） ・貯水機能 <p>津波の引き波時に、部材の損傷により著しい漏水がなく、海水を取水できない時間に必要となる冷却用水を安全に貯留できること。</p> <p><評価方針></p> <p>ひび割れが発生したとしても、底面はMMR と接しているため顕著な漏水は無く、側面の盛土は透水性が小さく漏水量は貯留量と比べて微量であることから、引き波時に必要となる冷却用水を安全に貯留できる。</p> <p>一方、盛土の止水性にすべてを期待し、ひび割れに伴う漏水を許容したうえで貯水機能を適切に評価することは困難である。そのため、保守的に躯体の評価により貯水機能を満足できるよう、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れが発生しないと考えられる、鉄筋が降伏しないこと及び発生せん断力がせん断耐力以下であることを目標性能とし、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみが許容限界に至らないことと、せん断力がせん断耐力以下であることで確認する。</p> <p>また、面内変形に対しては、層間変形角がJEAG4601-1991 で規定されているスケルトンカーブの第1折点 (γ_1) 以下であれば面</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>内せん断ひび割れは発生せず水密性はあると考えられ、$\gamma 1$ を超過する場合については、漏水量を算定し、安全機能を損なうおそれがないことを評価する。</p> <p><許容限界></p> <p>【面外変形】 圧縮ひずみ：圧縮強度に対応するひずみ ε'_{peak} 2000 μ</p> <p>主筋ひずみ：降伏強度に対応するひずみ ε_y 1725 μ</p> <p>せん断力：せん断耐力以下</p> <p>【面内変形】 層間変形角：第1折点 ($\gamma 1$) 以下 ただし、$\gamma 1$ を超過する場合は、漏水量を算定し、安全機能へ影響しないことを確認</p> <p><対象部材></p> <ul style="list-style-type: none"> ・津波引波時の海水貯水部分で、取水口敷高以下の部分（下部カルバートのうちO.P. -5.3m 以下の部分） ・止水機能 <p>以下の3つの観点に対し、部材からの漏水により、Sクラスの機器及び配管等の安全機能を損なうことがないよう止水できること。</p> <p>(観点1) 津波の押し波時における外郭防護 (観点2) 屋外タンク損傷時における内郭防護 (観点3) 循環水管単一破損時における内部溢水</p> <p><評価方針></p> <p>断面が降伏に至らない状態及びせん断耐力以下であれば、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れは発生しないことから、鉄筋が降伏しないこと及び発生せん断力がせん断耐力以下であることを目標性能とし、コンクリートの圧縮ひずみ及び主筋ひずみが許容限界に至らないことと、せん断力がせん断耐力以下であることで確認する。そのうえで、顕著なひび割れが発生していないことを解析等により確認又は妥当な裕度を持たせることとする。</p> <p>また、面内変形に対しては、層間変形角がJEAG4601-1991 で規定されているスケルトンカーブの第1折点 ($\gamma 1$) 以下であれば面内せん断ひび割れは発生せず水密性はあると考えられ、$\gamma 1$ を超</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>過する場合については、漏水量を算定し、安全機能を損なうおそれがないことを評価する。</p> <p><許容限界></p> <p>【面外変形】 圧縮ひずみ：圧縮強度に対応するひずみ ϵ'_{peak} 2000 μ</p> <p>主筋ひずみ：降伏強度に対応するひずみ ϵ_y 1725 μ</p> <p>せん断力：せん断耐力以下</p> <p>【面内変形】 層間変形角：第1折点 (γ_1) 以下 ただし、γ_1 を超過する場合は、漏水量を算定し、安全機能へ影響しないことを確認</p> <p><対象部材></p> <p>・ 補機ポンプエリア隔壁，地上部側壁，中床版，循環水ポンプエリア地上部側壁，地上部妻壁，中床版，下部カルバート部妻壁，スクリーンエリア側壁</p> <p>4. 評価方法に係る課題の抽出</p> <p>評価方法に係る課題を抽出するため、評価手順における建設工認からの変更点，変更することによる設計体系への影響の有無及び今回工認手法における既工認実績の有無を確認する。確認結果を第Ⅱ. 4-1 表に示す。</p> <p>また，抽出された課題と課題に対する検討の概要を第Ⅱ. 4-2 表に示す。</p>		

第Ⅱ. 4-1 表 建設工認からの変更点及び設計体系への影響の有無 (1/2)

評価事項	建設工認からの変更点	設計体系への影響の有無	既工認実績・取組
基準地震動 Sa	<ul style="list-style-type: none"> 基準地震動 Sa が建設工認（基準地震動 S1）から大加速度化している。 	<ul style="list-style-type: none"> 設計において、非線形性を考慮した適切な手法を決定する必要がある。 部材が非線形化する可能性があるため、部材の剛性低下に伴う力の配分の変化を考慮できる、詳細な評価が必要となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 【既工認実績】 あり 【取組】 なし
入力地震動の選定	<ul style="list-style-type: none"> 建設工認、今回工認いずれも一次元運動により選定しており、変更点はない。 	<ul style="list-style-type: none"> 二次元地震応答解析の入力地震動は、線形の状態中の上限値であり、非線形化の影響は小さい。 	<ul style="list-style-type: none"> 【既工認実績】 あり 【取組】 なし
二次元地震応答解析に用いる等価剛性モデルの作成	<ul style="list-style-type: none"> 建設工認では、構造物全体（構造体・非構造体を含む）を1体とし、単位質量あたりの等価剛性モデルを作成している。 今回工認において、新たに非線形に依存する止水機構の追加となり、部材ごとに剛性減衰が異なることから、部材ごとの評価が必要となったため、断面方向を3エリアに分割し、各エリアを対象に、単位質量あたりの等価剛性モデルを作成している。 	<ul style="list-style-type: none"> 二次元地震応答解析において、三次元構造を考慮した応答を決定するため、適切に等価剛性モデルを作成する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 【既工認実績】 あり 【取組】 二次元地震応答解析に用いる等価剛性モデルは、断面積の異なる三次元構造が適切に考慮されているか？ 二次元地震応答解析に用いる等価剛性モデルは、断面方向の剛性を等価としていないか？ 断面方向の非線形性は考慮しているか？
二次元地震応答解析	<ul style="list-style-type: none"> 建設工認では、周波数応答解析（線形解析）を採用し、盛土・目土等と等価剛性化により非線形性を考慮している。 今回工認では、時刻依存剛性解析（非線形解析）を採用し、盛土・目土の非線形性を同一程度で考慮している。また、構造物・地盤間の摩擦・再接触を考慮している。 	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の非線形性を考慮することにより、構造物と地盤との相互作用や加速度分布に差異が出るため、差異による構造物への影響を考慮する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 【既工認実績】 あり 【取組】 構造物への影響として、一部の部材が非線形化する可能性があるが、非線形解析により、詳細な評価が可能である。
地震時荷重の選定	<ul style="list-style-type: none"> 建設工認では、全方向の最大荷重を1体とした荷重としている。 今回工認では、部材ごとに要求荷重が異なるため、部材ごとの評価が必要であるため、各部位の選定される損傷モードに応じた代表荷重における荷重を抽出している。 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細な評価が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> 【既工認実績】 なし 【取組】 地震時荷重の選定方法は、詳細な評価が必要である項目（損傷モード）に応じて適切に選定されているか？

第Ⅱ. 4-1 表 建設工認からの変更点及び設計体系への影響の有無
(2/2)

評価手続	建設工認からの変更点	設計体系への影響の有無	既工認実績・課題
三水モデルの作成	<ul style="list-style-type: none"> 建設工認では、構造物を三水モデルの最終シミュレーションでモデル化している。 今回工認では、基幹地盤の応答特性を考慮し、設計が非線形化する可能性があることから、構造物全体の挙動を信頼に評価するため、構造物を三水モデルの最終シミュレーションでモデル化している。 止水構造や貯水構造が要求される構造物は、要素のひずみから設計方向のひび割れを評価できるソリッド要素でモデル化し、それ以外の構造物はシミュレーションでモデル化している。 建設工認、今回工認いずれも三水モデルに構造物間の荷重及び支反荷重を考慮しており変更点はない。 	<ul style="list-style-type: none"> 解析コードのDIMEが耐震安全性評価に用いる応答を適切に評価できることを確認する必要がある。 非線形性を考慮した応答を適切に評価できる要素分割とすることがある。 	<p>【既工認実績】</p> <ul style="list-style-type: none"> なし <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 三水モデルの最終シミュレーションに用いる解析コードは、三水モデルの応答を適切に評価することが可能か？ 構造物の応答レベルは、おおむね弾性範囲に収まるか？ <p>【既工認実績】</p> <ul style="list-style-type: none"> あり <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> なし
地盤評価	<ul style="list-style-type: none"> 建設工認では、構造物方向の地盤荷重を横行方向に考慮せず、地盤荷重の評価している。 今回工認では、構造物方向の地盤荷重を横行方向に考慮し、設計が非線形化する可能性があることから、設計が非線形化する必要がある。 新地盤基盤により、水平方向の地盤荷重の設計が追加されている。 新たに地盤荷重を考慮して設計される。 	<ul style="list-style-type: none"> 水平方向の地盤荷重による耐震安全性評価において、設計が非線形化することを考慮した評価が必要となる。 地盤荷重の設計が適切に考慮される必要がある。 	<p>【既工認実績】</p> <ul style="list-style-type: none"> あり <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 水平方向の地盤荷重を横行方向に考慮することを考慮して荷重を設計することとしている。 荷重をエリアごとに横行方向に考慮することによる設計が適切か？ 地盤・地盤及び地盤荷重の設計が適切に考慮されているか？ <p>【既工認実績】</p> <ul style="list-style-type: none"> あり <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 水平方向の地盤荷重を横行方向に考慮することによる設計が適切に考慮されているか？
耐震安全性評価	<ul style="list-style-type: none"> 止水構造が耐震設計として追加されている。 建設工認では、許容応力度法により評価をしており、設計及びコンクリートの応力を耐震指標としている。 今回工認では、許容応力度法により評価をしており、耐震設計、せん断力及びひずみを耐震指標としている。 	<ul style="list-style-type: none"> 止水構造を含む各要素の耐震設計に耐震設計を適切に設計する必要がある。 建設工認では許容応力度法により評価がなされていたが、今回工認では各要素に対して許容応力度法により評価がなされていることから、安全係数の適切な設計が必要となる。 	<p>【既工認実績】</p> <ul style="list-style-type: none"> ひずみを耐震指標とした既工認実績はない。 <p>【課題】</p> <ul style="list-style-type: none"> 許容応力度法、耐震設計に適切に設計されているか？ 耐震設計が適切に設計されているか？

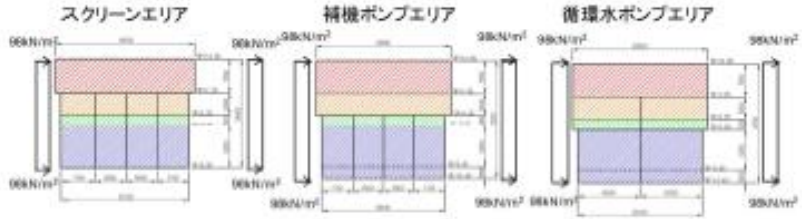
第Ⅱ. 4-2 表 主な課題と検討の概要 (1/2)

主な課題	検討の概要
<p>1. 地震応答解析に係る課題</p> <p>【課題1-1】二次元地震応答解析に用いる等価剛性モデルは、海水ポンプ室の三次元構造が適切に考慮されているか？</p> <p>【課題1-2】二次元地震応答解析に用いる等価剛性モデルは、水平方向の剛性を等価としており、鉛直方向の剛性比の影響はないか？</p> <p>【課題1-3】地震時荷重の適用時刻は、評価部材や荷重項目（損傷モード）に応じて適切に設定されているか？</p> <p>2. 構造解析に係る課題</p> <p>【課題2-1】三次元的動的解析に用いる解析コードは、三次元構造の応答を適切に評価することが可能か？</p> <p>【課題2-2】構造物の応答レベルは、おおむね弾性範囲に収まるか？</p> <p>【課題2-3】三次元モデルにおける非線形性は適切か？</p> <p>【課題2-4】補強・配置及び電磁的接続ネットの影響が適切に考慮されているか？</p>	<p>海水ポンプ室は、3エリアに分かれており、各エリアの構造の相違に起因する地震時荷重を正しく算定するため、エリアごとに等価剛性モデルを作成している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・初期剛性に対する等価剛性モデルは、土圧と加振度を適切に算定している。 ・等価剛性モデルは、剛性の影響を保守的に算定している。 <p>三次元 FEM モデルを用いた等価剛性モデルにより、構造の設置される構造物の固有振動数を算出した結果、1次元等価剛性モデルを上回っているため、十分に剛であると考え、中程度の鉛直方向の応答剛性の影響がないことを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平方向の剛性を等価剛性とした場合と、しない場合の固有振動数を比較し、剛性の違いによる固有振動数への影響を確認している。 <p>海水ポンプ室は、剛性比に応じて、解析ごとに荷重項目が異なることから、解析ごとかつ損傷モードごとに評価を適切に行う必要がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・損傷モードとして、おび・耐力力の減衰、せん断破壊を想定し、それぞれの損傷モードに応じた時刻を設定している。 <p>今回用いる解析コードは、東の大学コンクリート研究所が開発され、早期に訂正して基本剛性、剛性の算定後、D/E割れの発生及び各サイズにおける履歴ループの面積を精度よく再現していることが十分検証された実績がある。三次元モデルに拡張したロードであり、三次元構造物の非線形挙動で解析可能なコードである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・構造物はコンクリート構造の非線形挙動を適切に再現している。 ・海水ポンプ室の剛性比は、建設時から構成される三次元構造物による剛性比を再評価した結果により、再評価結果で精度よく再現している。 ・上記再評価におけるモデル化の非線形挙動が、海水ポンプ室の剛性比におけるモデル化の非線形挙動と同等であることを、海水ポンプ室の剛性比において、再評価結果と剛性の精度を比較している。 <p>海水ポンプ室以外の取水口、駆動タンク及び配管の剛性を考慮し、剛性比が最大となる基準は、剛性比が最大となる基準及びコンクリートひびきを考慮し、おおむね弾性範囲に収まっていることを確認している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・非線形解析は、土木学会マニキュアル 2015 に準拠し、分離し、分離している。 ・非線形解析は、バスマスターとした感度解析を実施し、非線形性の違いによる影響を考慮した上で分離性を検証している。 <p>剛性比については、地震時荷重により算出した応答剛性を基礎としたものを構造の剛性とし、三次元構造解析モデルに剛性比として作用させている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・配置については、各エリアのストラップに一律に分布質量として作用させており、実際の配置質量に可及的に近づけた設計としている。 <p>電磁的接続ネットについては、地震の剛性等のばらつきを考慮した地震応答解析から得られる剛性比に対する最大反力を用いて設計を行っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海水ポンプ室の電磁的接続ネットの主要部材である大径及びフレームの固有周期、海水ポンプ室の重量と電磁的接続ネットの重量を比較し、海水ポンプ室と電磁的接続ネットの重量を考慮する必要があることを確認している。

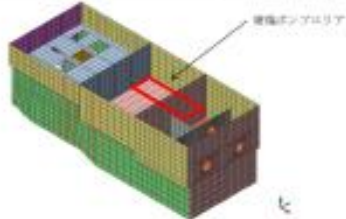
第Ⅱ. 4-2 表 主な課題と検討の概要 (2/2)

主な課題	検討の概要
<p>【課題2-5】 荷重をエリアごとに異行き一様に載荷させることは適切か？</p> <p>3. 許容限界に係る課題</p> <p>【課題3】 許容限界は、重荷側部に応じて適切に設定されているか？</p>	<p>・各エリアごとに異行き一様の荷重を載荷させた場合と、構造物の形状に伴う応力再配分を考慮した荷重を載荷させた場合の検討を行っている。 ・検討の結果、隅部に発生するひずみ（面内）は同等であり、異型に発生するひずみ（面外）は異行き一様の荷重を載荷させた方が大きくなり、仮定的な載荷方法であることを確認している。</p> <p>・重荷側部に対して、鋼材の上げ・軸力系の破壊及び圧入断壊に対して、既往の文献や一般的に許容されている値として、許容限界を設定している。 ・面外変位時の上げ・軸力系の破壊に対しては、過水機部においては終局状態に対する許容限界として既工事実績のある鋼材形状角1/100（圧縮線コンタリートひずみ1%に相当）、支持機部、貯水機部及び止水機部においては鉄筋・コンクリートのおおむね塑性範囲のひずみ（圧縮ひずみ175μ、コンタリートの圧縮ひずみ300μ）を許容限界として設定している。 ・面内せん断に対しては、過水機部及び支持機部においては前掲の終局耐力として規定されている許容限界としても既工事実績のある鋼材形状角（2/1000）、貯水機部及び止水機部においてはJIS6601-1991に規定されているスケルトンカープの第1種スリットを許容限界として設定している。 ・面内せん断に対しては、過水機部・支持機部・貯水機部に対する許容限界として既工事実績のあるせん断耐力を許容限界として設定している。</p>
<p>4. 安全状態に係る課題</p> <p>【課題4】 耐震安全地盤に用いる安全状態は三次元静的材料非線形解析に見合う設定がされているか？</p>	<p>・安全状態は、材料非線形解析による評価に対する各プロセスごとに評価手法に適合する安全係数を設定している。 ・既工事実績のある土木学会マニュアル2005や、本評価手法と同様の三次元材料非線形静的解析による評価手法が規定されている土木学会マニュアル2011等を参照して、妥当性を確認している。</p>

※：規格・基準類に許容値そのものは規定されていないが、コンタリート側溝の断面2017等におおむね塑性範囲のひずみとしてコンタリートのせん断強度に相当するひずみ300μ、鉄筋の降伏に相当するひずみ175μ（S335の場合）が示されており、この値を採用している。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>5. 地震応答解析に係る課題の検討</p> <p>地震応答解析に係る課題として抽出した、第Ⅱ. 4-2 表中の【課題1-1】～【課題1-3】に対する検討を行う。</p> <p>5.1 【課題1-1】に対する検討</p> <p>【課題1-1】「二次元地震応答解析に用いる等価剛性モデルは、海水ポンプ室の三次元構造が適切に考慮されているか？」に対する検討として、二次元地震応答解析に用いる等価剛性モデルの作成方法を以下に示す。</p> <p>・等価剛性モデルの作成方法</p> <p>地震時荷重の算定に用いる二次元地震応答解析の構造物モデルは、構造物と地盤の相互作用により発生する土圧を正しく評価するため、妻壁や隔壁の剛性を考慮し、初期剛性の実構造と等価な剛性を持つ二次元等価剛性モデルとする。</p> <p>各エリアの構造の相違に起因する地震時荷重を正しく算定するため、エリアごとに等価剛性モデルを作成する。(第Ⅱ. 5. 1-1 図)</p> <p>初期剛性の三次元構造モデルに単位荷重 (98kN/m²) を作用させた際のエリアごとの奥行き方向の平均的な変位と、等価剛性モデルに同じ単位荷重を作用させた際の変位が等しくなるように剛性を設定する。(第Ⅱ. 5. 1-2 図)</p> <p>等価剛性モデルは、地震時荷重を保守的に評価するよう線形のモデルとする。</p>  <p>※：等価剛性モデルの色分けは、材料物性の違いを示している。</p> <p>第Ⅱ. 5. 1-1 図 各エリアの等価剛性モデル</p>		

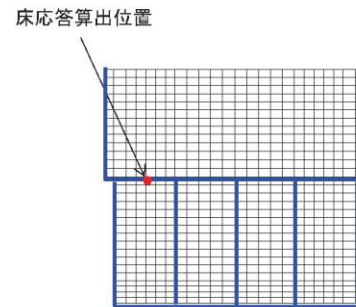
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="973 241 1676 535" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="943 567 1142 598">剛性の調整方法</p> $E = E_c \times \alpha \times \beta$ <p data-bbox="943 661 1320 693">E : 等価剛性モデルの弾性係数</p> <p data-bbox="943 703 1291 735">E_c : コンクリートの弾性係数</p> <p data-bbox="943 745 1706 829">α : 海水ポンプ室の奥行き長さに対する部材の奥行き長さの比率 = L_e/L</p> <p data-bbox="943 840 1231 871">L_e : 部材の奥行き長さ</p> <p data-bbox="943 882 1305 913">L : 海水ポンプ室の奥行き長さ</p> <p data-bbox="943 924 1498 955">β : 変位を合わせるための弾性係数の補正係数</p> <p data-bbox="1142 1018 1528 1050" style="text-align: center;">第Ⅱ.5.1-2 図 剛性の調整方法</p> <p data-bbox="943 1102 1706 1270">各エリアごとに等価剛性モデルを作成することや、初期剛性に対する等価剛性モデルとし、土圧や加速度を保守的に算定することにより、海水ポンプ室の延長方向の構造の変化を考慮して、地震時荷重を適切に評価できている。</p> <p data-bbox="943 1281 1706 1407">上記は海水ポンプ室の等価剛性モデルの作成方法であるが、他の箱型構造物についても上記の内容を参照して等価剛性モデルを作成する。</p> <p data-bbox="943 1459 1305 1491">5.2 【課題1-2】に対する検討</p> <p data-bbox="943 1501 1706 1627">【課題1-2】「二次元地震応答解析に用いる等価剛性モデルは、水平方向の剛性を等価としているが、鉛直方向の床応答に影響はないか？」に対する検討として、以下のことを確認する。</p> <ul data-bbox="943 1680 1706 1858" style="list-style-type: none"> ・ 機器が設置される4辺固定の中床版の固有振動数を算定し、中床版の位置により増幅の影響がないこと。 ・ 水平方向の剛性を等価としない場合の鉛直方向の床応答を算定し、剛性調整の影響の有無。 		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考														
	<p>まず、三次元FEM モデルを用いた固有値解析を行い、補機ポンプエリアの中床版の固有振動数を算定し、中床版の位置により増幅の影響がないことを確認する。</p> <p>固有値解析の結果を第Ⅱ.5.2-1 表に、モード図を第Ⅱ.5.2-1 図に示す。補機ポンプエリアの1次固有振動数は20Hz を上回っており、機器・配管類の耐震設計においては、十分に剛であると扱え、中床版の鉛直方向の応答増幅の影響はないことを確認した。</p> <p>第Ⅱ.5.2-1 表 補機ポンプエリア中床版の固有振動数</p> <table border="1" data-bbox="1062 638 1584 842"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>固有振動数(Hz)</th> <th>制振係数</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">補機ポンプエリア 中床版</td> <td>61.1</td> <td>17.0</td> <td>1次</td> </tr> <tr> <td>71.3</td> <td>12.1</td> <td>2次</td> </tr> <tr> <td>75.6</td> <td>9.5</td> <td>3次</td> </tr> </tbody> </table>  <p data-bbox="1163 1066 1469 1102">中床版の下部は4連のボックスフレームになっており、中床版のスペンは図示されている。</p>	部位	固有振動数(Hz)	制振係数	備考	補機ポンプエリア 中床版	61.1	17.0	1次	71.3	12.1	2次	75.6	9.5	3次		
部位	固有振動数(Hz)	制振係数	備考														
補機ポンプエリア 中床版	61.1	17.0	1次														
	71.3	12.1	2次														
	75.6	9.5	3次														

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="1003 235 1635 674" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1080 701 1552 737" data-label="Caption"> <p>第II.5.2-1 図 モード図 (1次～3次)</p> </div> <div data-bbox="931 791 1712 1005" data-label="Text"> <p>次に、二次元等価剛性モデルの平面応力要素は、水平・鉛直方向で等方のため、方向に応じて剛性を変更することはできないことから、水平方向の剛性を等価としない場合の鉛直方向の床応答を算定し、剛性調整による鉛直方向床応答への影響について確認する。</p> </div> <div data-bbox="931 1014 1712 1142" data-label="Text"> <p>確認方法として、現状の地盤改良(案)をモデル化した二次元地震応答解析により、水平方向の剛性を合わせた場合(β調整)と、合わせない場合($\beta = 1$)の床応答について比較を行う。</p> </div> <div data-bbox="931 1150 1712 1365" data-label="Text"> <p>鉛直方向加速度応答スペクトルの比較結果を第II.5.2-2 図に示す。加速度応答スペクトルで比較すると、おおむね同等のスペクトルとなっているが、主な機器の固有周期で見ると、β調整の応答が小さい周期帯もあることから、$\beta = 1$とした場合についても機器への影響を確認することとする。</p> </div> <div data-bbox="931 1373 1712 1499" data-label="Text"> <p>なお、ここでは海水ポンプ室を例に結果を示しているが、他の箱型構造物についても、$\beta = 1$とした場合の機器への影響を確認する。</p> </div>		

主な機器の固有周期	
機器名	1次固有周期 (s)
RSW系配管	
HPSW系配管	

※：応答スペクトルは現状の地盤改良範囲をモデル化して算定したものであり、改良範囲等が確定後清算予定。



第Ⅱ.5.2-2 図 鉛直方向加速度応答スペクトルの比較結果

5.3 【課題1-3】に対する検討

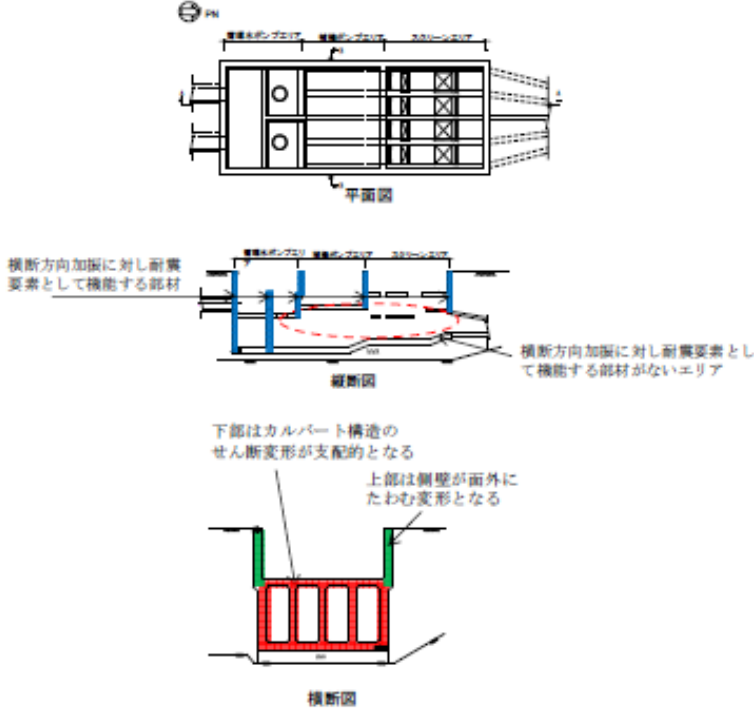
【課題1-3】「地震時荷重の選定時刻は、評価部材や照査項目（損傷モード）に応じて適切に選定されているか？」に対しては、要求機能に応じて、部材ごとに照査項目が異なることから、以下に示す構造的特徴や損傷モードを踏まえ、部材ごとかつ損傷モードごとに評価が厳しくなる時刻を選定していることを確認する。

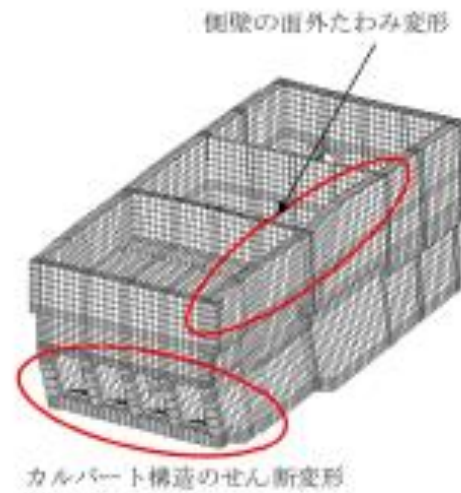
・海水ポンプ室の構造的特徴

海水ポンプ室は、地下2階構造となっており、上部はスクリーンエリア、補機ポンプエリア、循環水ポンプエリアに分かれている。下部は水路となっており、スクリーンエリア及び補機ポンプエリアの下部は4連の、循環水ポンプエリアの下部は2連又は1連のカルバート構造となっている。

加振方向に平行に配置される面部材は耐震要素として機能するため、延長方向加振に対しては、側壁に加え、水路部の隔壁が耐震要素として機能する。一方、横断方向加振に対しては、妻壁と上部の隔壁等しか耐震要素として機能する面部材はないことから、横断方向が弱軸方向となる。

横断方向加振に対し、側壁や隔壁などの構造物延長方向に配置された部材は、部材の面外変形により抵抗する。一方、妻壁や隔壁などの構造物横断方向に配置された部材は、部材の面内変形に

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>より抵抗する。海水ポンプ室の部材は、地震力に対し、面外変形により抵抗する部材と面内変形により抵抗する部材より構成される。海水ポンプ室の構造を第Ⅱ.5.3-1 図に示す。</p>  <p>第Ⅱ.5.3-1 図 海水ポンプ室の構造</p> <p>・ 損傷モード</p> <p>横断方向に地震時荷重が作用した場合、耐震要素として機能する面部材は、スクリーンエリアと補機ポンプエリアの下部には存在しない。したがって、横断方向加振の際、海水ポンプ室の下部については第Ⅱ.5.3-2 図に示すとおりカルバート構造のせん断変形が支配的な変形モードとなる。また、上部については、各エリアの側壁のスパン中央部分が面外にたわむ変形となり、下部同様に面外荷重に対する変形が支配的となる。</p>		



第II.5.3-2 図 海水ポンプ室の変形イメージ

地震時荷重の抽出は、要求機能を有する各部位の想定される損傷モード（曲げ・軸力系の破壊，せん断破壊）に応じた時刻の荷重を抽出する。


要求機能を有する部位は、各エリアの下部カルバート部，側壁，隔壁・妻壁がある。各部位に対する，地震時荷重抽出時刻を以下に示す。

・下部カルバート部

下部カルバート部については，曲げ・軸力系の破壊に対する荷重として，下部カルバート部の層間変位が最大となる時刻の荷重を抽出する。

せん断破壊に対する荷重として，総水平荷重が最大となる時刻の荷重を抽出する。(第II.5.3-1 表)


第II.5.3-1 表 下部カルバート部に対する地震時荷重抽出時刻

対象部位	損傷モード	荷重抽出時刻	スクリーンエリア	機械ポンプエリア	循環水ポンプエリア
下部カルバート部 	曲げ・軸力系の破壊	下部カルバートの床版・区画壁の層間変位が最大となる時刻	t ₁	第1	第1
			t ₂	t _a	第2
			t ₃	第3	t _b
	せん断破壊	総水平荷重が最大となる時刻	t ₄	第1	第1
			t ₅	t _b	第2
			t ₆	第3	t _c

※1：スクリーンエリアと同時刻
 ※2：機械ポンプエリアと同時刻
 ※3：循環水ポンプエリアと同時刻

・側壁
 側壁については、曲げ・軸力系の破壊に対する荷重として、側壁の転倒モーメントが最大となる時刻の荷重を抽出する。変位を指標としないのは、耐震壁として考慮される隔壁等の影響を除くためである。
 せん断破壊に対する荷重として、側壁の水平荷重が最大となる時刻の荷重を抽出する。
 また、側壁の面外たわみ変形に対する時刻として、拘束の小さい側壁上部の荷重が最大となる時刻の荷重を抽出する。(第II.5.3-2表)

第II.5.3-2表 側壁に対する地震時荷重抽出時刻

項目部位	破壊モード	荷重抽出時刻	スタブレス エリア	橋脚ポンプ エリア	循環水ポンプ エリア
	曲げ・軸力系の破壊	側壁部材の転倒モーメントが最大となる時刻	時刻: t1	時刻: t1	時刻: t1
			時刻: t2	時刻: t2	時刻: t2
			時刻: t3	時刻: t3	時刻: t3
	せん断破壊	側壁の水平荷重が最大となる時刻	時刻: t1	時刻: t1	時刻: t1
			時刻: t2	時刻: t2	時刻: t2
			時刻: t3	時刻: t3	時刻: t3
	側壁の面外たわみ変形が最大となる時刻	拘束の小さい側壁上部の荷重が最大となる時刻	時刻: t1	時刻: t1	時刻: t1
			時刻: t2	時刻: t2	時刻: t2
			時刻: t3	時刻: t3	時刻: t3

※1:スタブレスエリアと同時刻 ※2:橋脚ポンプエリアと同時刻 ※3:循環水ポンプエリアと同時刻

・隔壁・妻壁
 隔壁・妻壁については、主として面内せん断破壊が想定されることから、面内せん断変形が最大となる時刻として、面部材の層間変位が最大となる時刻の荷重を抽出する。(第II.5.3-3表)

第II.5.3-3表 隔壁・妻壁に対する地震時荷重抽出時刻

項目部位	破壊モード	荷重抽出時刻	スタブレス エリア	橋脚ポンプ エリア	循環水ポンプ エリア
	せん断破壊(面内)	面部材の層間変位が最大となる時刻	時刻: t1	時刻: t1	時刻: t1
			時刻: t2	時刻: t2	時刻: t2
			時刻: t3	時刻: t3	時刻: t3

※1:スタブレスエリアと同時刻 ※2:橋脚ポンプエリアと同時刻 ※3:循環水ポンプエリアと同時刻

上記のとおり、地震時荷重は、要求機能を有する部位の損傷モードに応じて、各エリアごとに時刻を選定し抽出することとしているが、各エリアの選定時刻の差がほぼ同時刻(前後0.1秒以内)の場合については、各エリアで選定された時刻の荷重分布を確認し、分布形状が大きく変わらないことを確認した上で、各エリア

の荷重を組み合わせるにより、各時刻に対する個別評価を代表させることとする。荷重の組み合わせ方を、下部カルバート部の曲げ・軸力系の破壊に対する荷重抽出時刻を例に第II.5.3-3 図に示す。

スクリーンエリアの時刻 t_1 、補機ポンプエリアの時刻 t_2 及び循環水ポンプエリアの時刻 t_3 の差が前後0.1 秒以内である場合は、スクリーンエリアには t_1 の荷重を、補機ポンプエリアには t_2 の荷重を、循環水ポンプエリアには t_3 の荷重をそれぞれ載荷させ評価を行う。

また、荷重が類似している場合などは、時刻が大きく異なる場合でも包絡させた荷重を用いる場合がある。

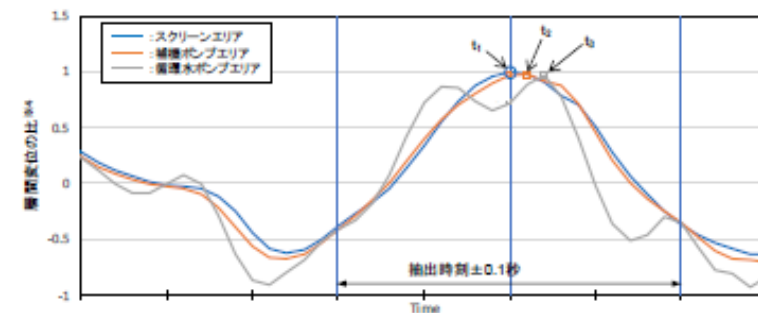
なお、ここでは海水ポンプ室を例に荷重抽出時刻を示したが、他の箱型構造物においても、同様の方針で、各部位の想定される損傷モードに応じた時刻の荷重を抽出する。

着目部位	荷重抽出時刻		
	スクリーン エリア	補機ポンプ エリア	循環水ポンプ エリア
下部カルバート部 (曲げ・軸力系の破壊)	t_1	※1	※1
	※2	t_2	※2
	※3	※3	t_3

↓ t_1 、 t_2 及び t_3 がほぼ同時刻の場合、組み合わせて代表させる。

着目部位	荷重抽出時刻		
	スクリーン エリア	補機ポンプ エリア	循環水ポンプ エリア
下部カルバート部 (曲げ・軸力系の破壊)	t_1	t_2	t_3

- ※1：スクリーンエリアと同時刻
- ※2：補機ポンプエリアと同時刻
- ※3：循環水ポンプエリアと同時刻

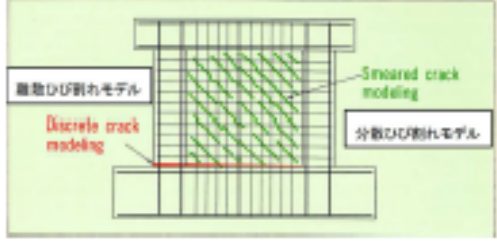


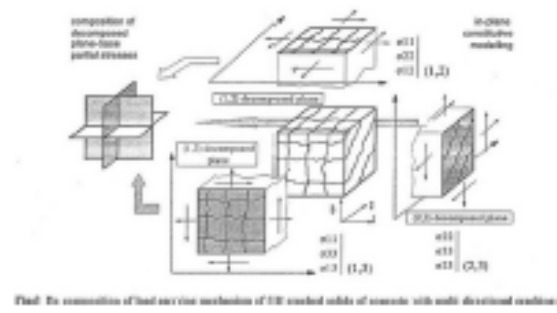
※4：最大層間変位と各時刻の層間変位の比（最大層間変位のととき1となる）。

第II.5.3-3 図 組み合わせ荷重となる時刻の例

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>6. 構造解析に係る課題の検討</p> <p>構造解析に係る課題として抽出した，第Ⅱ. 4-2 表中の【課題2-1】～【課題2-5】に対する検討を行う。</p> <p>6.1 【課題2-1】に対する検討</p> <p>【課題2-1】「三次元静的材料非線形解析に用いる解析コードは，三次元構造の応答を適切に評価することが可能か？」に対する検討として，今回用いる解析コードは，三次元構造物の終局状態まで解析可能なコードであり，海水ポンプ室同様に，壁部材から構成される三次元構造物による載荷実験を再現解析した事例により，終局状態まで精度良く実験結果を再現できていることを確認する。</p> <p>6.1.1 解析コードの概要</p> <p>解析コードは，東京大学コンクリート研究室で開発され，実績の多いCOM3 を用いる。構成式は，三次元まで拡張された前川モデルを採用しており，三次元構造物の終局状態を再現する解析が可能である。</p> <p>前川モデルの構成式は，非線形解析の代表モデルとして，コンクリート標準示方書2017 に記載されている。前川モデルは，鉄筋コンクリート部材の中で有限要素解析に適用するのに最も適しているのは壁であるとし，壁構造の正負交番載荷における力学的性状を表現できる非線形解析モデルとして開発された経緯があり，海水ポンプ室など壁（スラブ）で構成されている構造物に対する適用性は高い。</p> <p>・解析コードCOM3 の概要</p> <p>COM3 は，東京大学コンクリート研究室で開発された，有限要素法（FEM）による鉄筋コンクリート構造物の動的/静的非線形解析プログラムである。非線形材料に関する構成則には，すべて実験結果を忠実に再現した経路依存型の履歴モデルである前川モデルを採用している。</p> <p>第Ⅱ. 6. 1-1 図に示すとおり，最大耐力，部材の変形角，ひび割れの角度及び各サイクルにおける履歴ループの面積を精度よく再現している。</p> <p>本解析で用いるCOM3 は，平面部材の挙動を精度よく追跡できる構成則を，投影型モデルにより三次元に拡張したものである。</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="1092 226 1552 800" data-label="Figure"> </div> <p data-bbox="973 842 1685 869">第Ⅱ.6.1-1 図 壁部材の繰返しせん断実験に対する検証解析</p> <p data-bbox="943 930 1715 1094">本解析コードは、第Ⅱ.6.1-2 図に示すように、鉄筋が水平・鉛直に分散して配置されている鉄筋コンクリート要素には分散ひび割れモデルを、異なる部材の境界面などに用いる接合要素には離散ひび割れモデルを採用している。</p> <p data-bbox="943 1108 1715 1360">分散ひび割れモデルとは、ある有限の領域の鉄筋コンクリート板における挙動を、「平均応力-平均ひずみ」の関係で与える平均化構成モデルである。ひび割れの発生や進展が、有限要素内で平均的に考慮され、部材の全体的な挙動を総合的に把握するのに適している。このため、鉄筋が分散して配置されている壁やシェル構造等に適した方法である。</p> <p data-bbox="943 1375 1715 1717">離散ひび割れモデルとは、鉄筋コンクリートに発生した個々のひび割れをモデル化する方法であり、鉄筋とコンクリートの付着、ひび割れ界面での力の伝達など、鉄筋コンクリート特有の現象を、本質的に捉える有効な方法である。本解析コードでは、異なる部材の境界面などで生じる鉄筋の引き抜け、接合面のズレ、めり込みなどのような局所的な不連続な変形が生じる部位には接合要素を用いることが可能で、接合要素に離散ひび割れモデルを採用している。</p> <p data-bbox="943 1732 1715 1900">これらのモデルの妥当性については、開発者は、前出の検証用壁試験体及び日本コンクリート工学協会の「鉄筋コンクリート構造のせん断強度研究委員会」によって選定された解析モデル検証用試験体(1983)を用いて十分に検証を行っている。</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>荷重－変位曲線における包絡線及び内部曲線，破壊モード，最大耐力時のひび割れ状況などの力学的特性すべてにおいて実験結果とよく対応していると評価できる。</p>  <p>第Ⅱ. 6. 1-2 図 分散ひび割れモデル及び離散ひび割れモデル</p> <p>本解析で用いるCOM3 の構成則は，十分な検証がおこなわれた構成則を，投影型モデルにより三次元に拡張したものである。投影型モデルの概念図を第Ⅱ. 6. 1-3 図に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・投影型モデルの概要 <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートと鉄筋の応力はそれぞれ別に算定して足し合わせる。 ・コンクリートについては，固定したひび割れ座標系（1-2-3）上で算定する。 ・1-2 面，2-3 面，1-3 面の各面上で二次元のひび割れたコンクリートモデルを適用する。 ・各面で算定されたコンクリート応力を重ね合わせる。その際，σ_{11}，σ_{22}，σ_{33} については，それぞれ2 つの面上で算定された値を平均する。 ・1 方向は最初のひび割れ面直角方向に設定する。1, 2, 3 軸は最初に設定されたものが固定されその後変更はされない。 <p>COM3 の三次元構造物に対する適用事例を6. 1. 2 項に示すが，水平荷重－水平変位関係，損傷の状況や損傷部位などにおいて解析は実験と整合しており，COM3 は立体構造物の終局状態まで解析が可能な解析コードである。</p>		



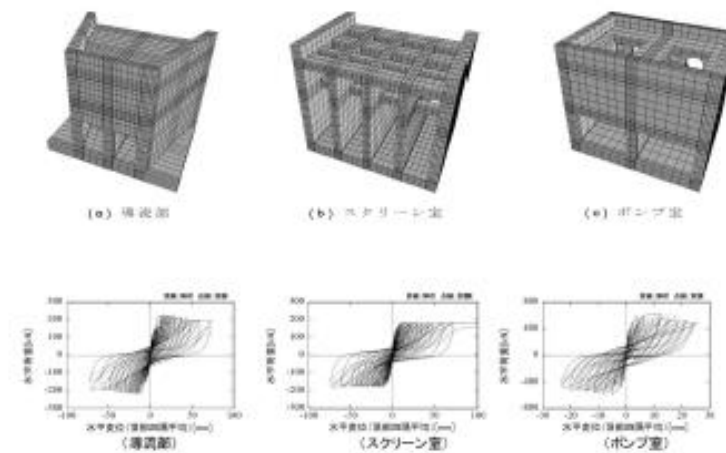
第Ⅱ.6.1-3 図 平面構成則の三次元拡張に用いる投影型モデルの概念図

6.1.2 解析コードの適用性

三次元静的材料非線形解析に用いる解析コードCOM3 が、女川2号炉の海水ポンプ室同様に、壁部材から構成される三次元構造物の地震時荷重に対し、終局状態まで再現可能であることを、三次元模型による載荷実験に対する再現解析事例により確認する。

三次元構造物の終局状態に対する載荷実験を再現解析した適用例を第Ⅱ.6.1-4

図及び第Ⅱ.6.1-5 図に示す。いずれも終局状態まで良く再現できている。



第Ⅱ.6.1-4 図 適用例1

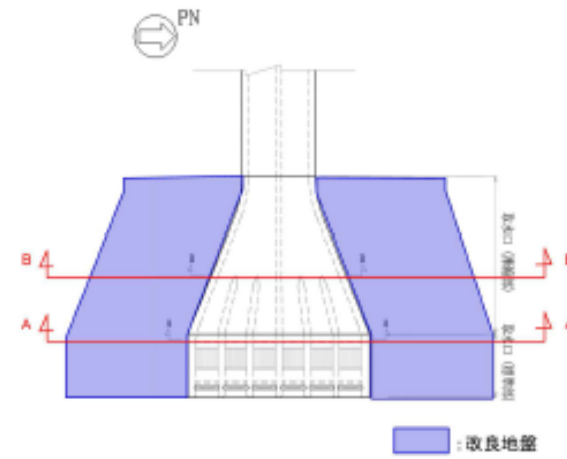
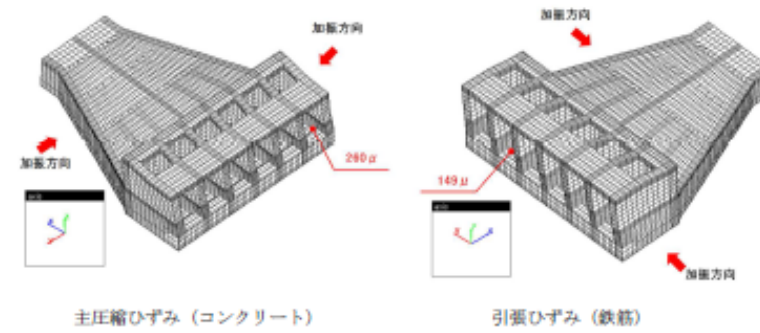
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="1074 216 1578 777" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1172 789 1475 827" data-label="Caption"> <p>第Ⅱ.6.1-5 図 適用例 2</p> </div> <div data-bbox="928 877 1721 1005" data-label="Text"> <p>第Ⅱ.6.1-5 図を代表に層間変形角－水平荷重関係を見ると、変形により照査するおおむね弾性に相当する範囲は、初期勾配がとも良く再現されている。</p> </div> <div data-bbox="928 1012 1721 1140" data-label="Text"> <p>また、海水ポンプ室の設計で用いる層間変形角1/100 の範囲は良く再現されており、保守的な評価となっている。第Ⅱ.6.1-5 図の層間変形角－水平荷重関係の拡大図を第Ⅱ.6.1-6 図に示す。</p> </div> <div data-bbox="928 1146 1715 1230" data-label="Text"> <p>なお、再現解析における要素分割等の考え方は、海水ポンプ室と同様であることを確認している。</p> </div> <div data-bbox="1003 1302 1653 1703" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="1012 1728 1635 1768" data-label="Caption"> <p>第Ⅱ.6.1-6 図 層間変形角－水平荷重関係の拡大図</p> </div>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>6.2 【課題2-2】に対する検討</p> <p>【課題2-2】「建造物の応答レベルは、おおむね弾性範囲に収まるか？」に対する検討として、三次元静的材料非線形解析の適用範囲を明確化するため、海水ポンプ室以外の建造物（取水口、軽油タンク室、復水貯蔵タンク基礎）について、層間変位が最大となる基準地震動に対する鉄筋及びコンクリートひずみを確認し、おおむね弾性範囲に収まることを確認する。なお、通水機能として設定している許容限界（層間変形角1/100）は、一部の要素ではおおむね弾性範囲を超えるものの、建造物全体としてはおおむね弾性範囲に収まることを確認する。</p> <p>代表例として、層間変位が最大となる基準地震動に対する各建造物の鉄筋及びコンクリートひずみを示す。</p> <p>ここに示す結果は、二次元地震応答解析に時刻歴非線形解析（取水口）及び周波数応答解析（軽油タンク室、復水貯蔵タンク基礎）を採用した結果であり、非線形レベルを示すための暫定的な結果であり、今後、地震応答解析等の手法の変更により、工事計画認可段階で変更となる可能性がある。工事計画認可段階での詳細な検討の結果、要素のひずみがおおむね弾性範囲を超える範囲が広がるなど、今回適用性を確認した範囲を超える場合は、耐震補強を施すことを基本とする。耐震補強による対応が難しい場合は、工事計画認可段階で許容限界、設計手法の妥当性及び適用性を改めて説明したうえで、新しい手法を用いる可能性がある。</p>		

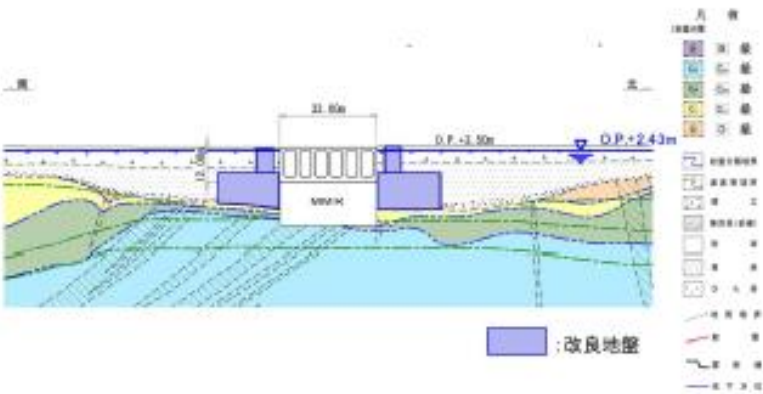
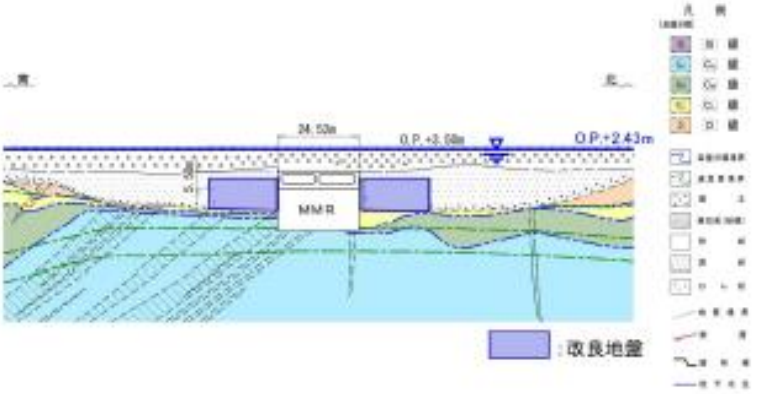
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考												
	<p>・取水口</p> <p>取水口は、標準部（高さ12m）の背面に漸縮部（高さ5.5m）が接続された、高さの異なる構造が一体となっている箱型構造物であり、横断方向が弱軸方向となる。</p> <p>標準部の部材高さは漸縮部の2倍程度と大きく、構造物の全体変形へ与える影響が大きいと考えられることから、標準部に着目し、標準部の層間変位が最大となる基準地震動について見通しを示す。</p> <p>第Ⅱ.6.2-1 表に示すとおり、コンクリートの主圧縮ひずみ及び鉄筋の引張ひずみは、おおむね弾性範囲として整理する許容値と比較して十分に小さい値となっている。</p> <p>また、標準部と漸縮部で形状が異なることによるねじれの影響が生じるが、第Ⅱ.6.2-2 表に示すとおり、標準部と漸縮部の層間変位差が最大となる時刻においてもおおむね弾性範囲に収まっており、ねじれの変形モードは厳しい時刻ではないことが確認できる。</p> <p>なお、取水口の周辺地盤は、第Ⅱ.6.2-1 図～第Ⅱ.6.2-3 図に示すように地盤改良することにより変形を抑制する計画としている。</p> <p>第Ⅱ.6.2-1 表 層間変位最大時刻に対する評価</p> <table border="1" data-bbox="1020 1157 1650 1310"> <thead> <tr> <th>確認項目</th> <th>確認結果</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>基準地震動</td> <td>Sa-D2</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>主圧縮ひずみ（コンクリート）</td> <td>748μ</td> <td>2000μ</td> </tr> <tr> <td>引張ひずみ（鉄筋）</td> <td>1594μ</td> <td>1725μ</td> </tr> </tbody> </table> <div data-bbox="991 1331 1668 1625"> <p>主圧縮ひずみ（コンクリート）</p> <p>引張ひずみ（鉄筋）</p> </div>	確認項目	確認結果	許容値	基準地震動	Sa-D2	—	主圧縮ひずみ（コンクリート）	748 μ	2000 μ	引張ひずみ（鉄筋）	1594 μ	1725 μ		
確認項目	確認結果	許容値													
基準地震動	Sa-D2	—													
主圧縮ひずみ（コンクリート）	748 μ	2000 μ													
引張ひずみ（鉄筋）	1594 μ	1725 μ													

第Ⅱ. 6. 2-2 表 ねじり変形最大時に対する評価

確認項目	確認結果	許容値
基準地変動	5 μ m	—
主圧縮ひずみ (コンクリート)	260 μ	2000 μ
引張ひずみ (鉄筋)	149 μ	1725 μ

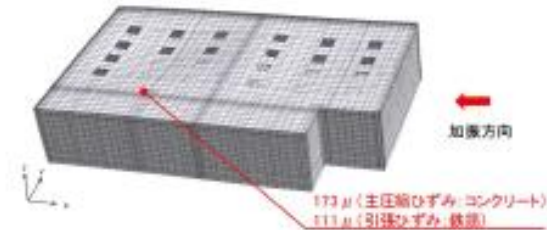


第Ⅱ. 6. 2-1 図 改良範囲平面図

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p data-bbox="1023 609 1617 640">第II.6.2-2 図 改良範囲断面図 (標準部A-A' 断面)</p>  <p data-bbox="1023 1102 1617 1134">第II.6.2-3 図 改良範囲断面図 (漸縮部B-B' 断面)</p> <p data-bbox="949 1197 1706 1627"> <ul style="list-style-type: none"> ・軽油タンク室 <p>軽油タンク室は、隔壁にて仕切られた複数の部屋からなる箱型構造物であり、耐震設計上見込むことができる側壁や隔壁の部材寸法に大きな差異は無く、弱軸・強軸の方向が明確ではないが、応答ひずみが大きい東西方向加振の結果について見通しを示す。</p> <p>東西方向の二次元地震応答解析より得られる層間変位が最大となる基準地震動について見通しを示す。</p> <p>第II.6.2-3 表に示すとおり、コンクリートの主圧縮ひずみ及び鉄筋の引張ひずみは、おおむね弾性範囲として整理する許容値と比較して十分に小さい値になっている。</p> </p>		

第Ⅱ.6.2-3 表 層間変位最大時刻に対する評価

確認項目	確認結果	許容値
基準地震動	Sa-F2	—
主圧縮ひずみ (コンクリート)	173 μ	2000 μ
引張ひずみ (鉄筋)	111 μ	1725 μ



・復水貯蔵タンク基礎

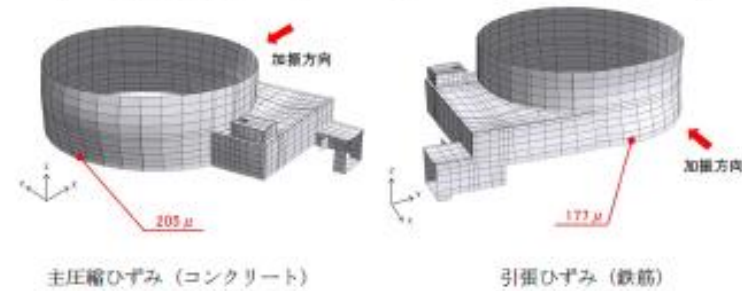
復水貯蔵タンク基礎は、遮蔽壁、バルブ室及び連絡トレンチからなる箱型構造物であり、円筒形の遮蔽壁を有するという構造的な特徴から弱軸・強軸の方向が明確ではないが、応答ひずみが大きい東西方向加振の結果について見通しを示す。

部材高さ及び重量が大きく、構造物の全体変形へ与える影響が大きい遮蔽壁の層間変位が最大となる基準地震動について見通しを示す。

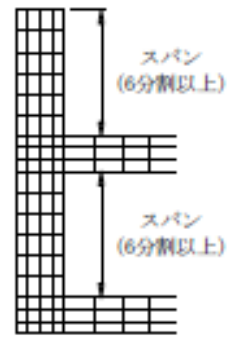
第Ⅱ.6.2-4 表に示すとおり、コンクリートの主圧縮ひずみ及び鉄筋の引張ひずみは、おおむね弾性範囲として整理する許容値と比較して十分に小さい値となっている。

第Ⅱ.6.2-4 表 層間変位最大時刻に対する評価

確認項目	確認結果	許容値
基準地震動	Sa-B2	—
主圧縮ひずみ (コンクリート)	205 μ	2000 μ
引張ひずみ (鉄筋)	177 μ	1725 μ



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>6.3 【課題2-3】に対する検討</p> <p>【課題2-3】「三次元モデルにおける要素分割は適切か？」に対する検討として、要素分割をパラメータとした感度解析を実施し、要素分割の違いによる影響を確認する。</p> <p>三次元静的材料非線形解析を行う場合のモデル化は、土木学会マニュアル2005に準拠し、以下に示すモデル化方針に基づき実施している。</p> <p>・モデル化方針</p> <p>部材厚方向の分割は、上端筋と下端筋を鉄筋付着有効領域（RCゾーン）とし、部材厚に応じて無筋領域（PLゾーン）を分割し、3分割以上とする。部材厚方向分割の概略図を第Ⅱ.6.3-1 図に、鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割例を第Ⅱ.6.3-2 図に示す。</p> <p>高さ方向のスパンの分割は、解析コードの節点数に対する制限を考慮し、6分割以上とする。スパン分割の概略図を第Ⅱ.6.3-3 図に示す。</p> <p>延長方向のスパンの分割は、要素のアスペクト比を考慮し、分割する。</p> <div data-bbox="1113 1081 1439 1354" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">第Ⅱ.6.3-1 図 部材厚方向分割の概略図</p> $l_{m} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} D_b \sqrt{\frac{f_c}{f_s}}$ <p>ここに、l_{m} : 鉄筋一本当たりの付着有効距離を正方形で考えた場合の一边の長さ D_b : 鉄筋の直径 f_c : 鉄筋の降伏強度 f_s : コンクリートの引張強度</p> <div data-bbox="1113 1606 1528 1753" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">第Ⅱ.6.3-2 図 鉄筋付着有効領域と無筋領域の分割例</p>		



第II.6.3-3 図 スパン分割の概略図

解析モデルの要素分割数を決定するため、要素分割をパラメータとした感度解析を実施した。検討概要を第II.6.3-1 表に示す。

感度解析に用いる解析モデルは、床版と隔壁に拘束された海水ポンプ室の側壁を想定しており、側壁と同等規模のスパン長や部材厚とした。解析モデルを第II.6.3-4 図に示す。また、解析モデルの要素分割例を第II.6.3-5 図に示す。

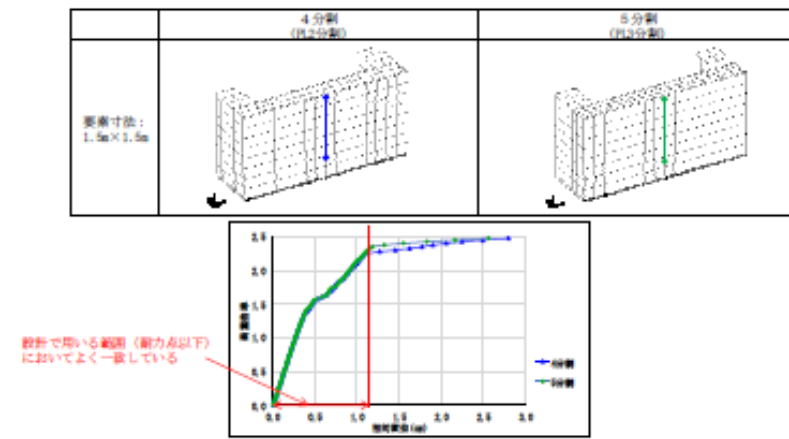
側壁にかかる主たる荷重は面外荷重であることから、荷重は面外に等分布荷重を漸増載荷する。

また、6.1.2 項に示す再現解析と同等の要素寸法とした場合の影響を確認するため、モデル寸法を縮小したケースについても検討を行った。

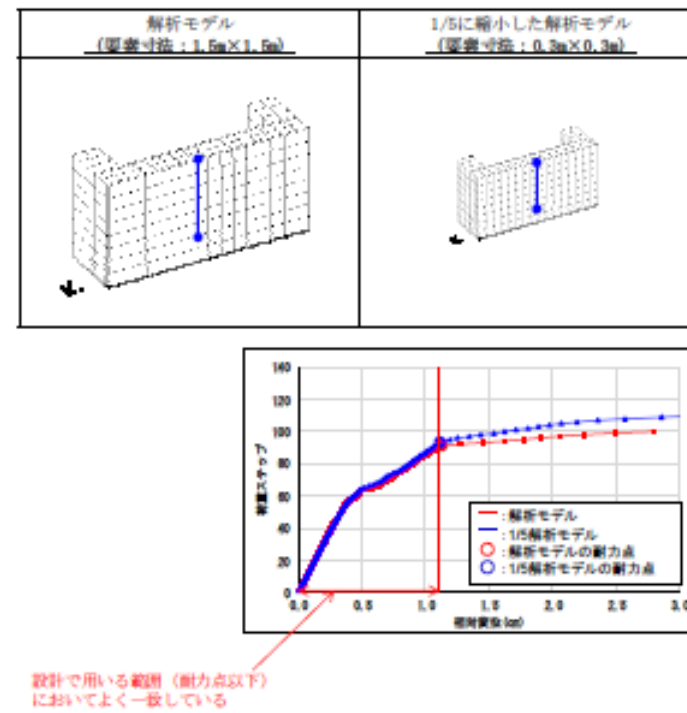
第II.6.3-1 表 検討概要

解析モデル	<ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプ室でスパンが大きな部材となる側壁を想定した規模のモデルで検討を行う。 側壁や隔壁を想定し、頂部以外の3辺を弾性要素としてモデル化する。 (境界条件) 底面及び側面を固定条件。 荷重は面外に等分布荷重を漸増載荷する。
板厚方向の分割数検討	<ul style="list-style-type: none"> PLゾーンを2分割、3分割としてパラスタを行う。 PLゾーン1分割は、RCゾーンとの割合が極端に異なるため、除外する。 スパン方向の分割は6分割で固定する。
スパン方向の分割数検討	<ul style="list-style-type: none"> 土木学会マニュアル2005において、モデルの要素分割は断面厚さ又は有効高さの1.0倍程度とするのがよいとされている。 また、要素分割を過度に細かくすることは、解析結果が力学的に意味を持たなかったり、計算時間が長くなるなど問題点が多いとされている。 部材厚さの1.0倍だと3分割となるが、地震応答挙動をより適切に評価するため、アスペクト比等も観察し、更に細かく6分割とした。
モデル寸法の影響検討	<ul style="list-style-type: none"> 板厚方向及びスパン方向の分割数検討の結果を踏まえた分割数に対し、モデルの寸法を要素寸法が載荷実験の再現解析と同等となるよう、1/5に縮小して影響を確認する。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="1121 220 1519 493" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1172 520 1498 556">第Ⅱ.6.3-4 図 解析モデル</p> <div data-bbox="1038 625 1617 913" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="943 928 1715 961">第Ⅱ.6.3-5 図 要素分割例 (板厚方向4分割, スパン方向6分割)</p> <p data-bbox="943 1018 1715 1096">第Ⅱ.6.3-6 図に, PL ゾーンを2分割, 3分割した場合の荷重漸増解析における荷重-変位関係を示す。</p> <p data-bbox="943 1108 1715 1318">PL ゾーン2分割 (板厚方向に4分割) とPL ゾーン3分割 (板厚方向に5分割) で, 荷重-変位関係に終局状態の変形まで大きな差はなく, 設計に用いる範囲においてよく一致していることから, 解析コードの節点数の制限を考慮し, 板厚方向の分割数を4分割とすることとした。</p> <p data-bbox="943 1333 1715 1501">また, 第Ⅱ.6.3-7 図に, 板厚方向4分割, スパン方向6分割とし, モデルの寸法を6.1.2 項に示す再現解析の要素寸法と同等となるよう, 1/5 に縮小 (要素寸法0.3m×0.3m) した場合の荷重漸増解析における荷重ステップ-変位関係を示す。</p> <p data-bbox="943 1516 1715 1642">縮小前の解析モデルと1/5 に縮小した解析モデルを比較すると, 終局状態まで大きな差は無く, 設計に用いる範囲においてよく一致しており, ほぼ同等の荷重ステップで耐力点となっている。</p> <p data-bbox="943 1654 1715 1780">以上より, 荷重漸増解析において算出される荷重-変位関係は, 要素分割の考え方が同じであれば, モデル寸法 (要素寸法) による影響は無いことを確認した。</p>		



第II.6.3-6 図 荷重-変位関係 (PL ゾーン2分割, 3分割)



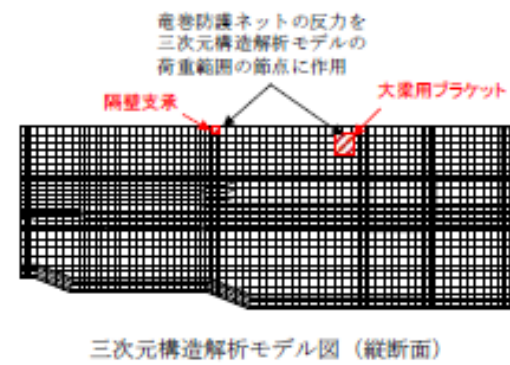
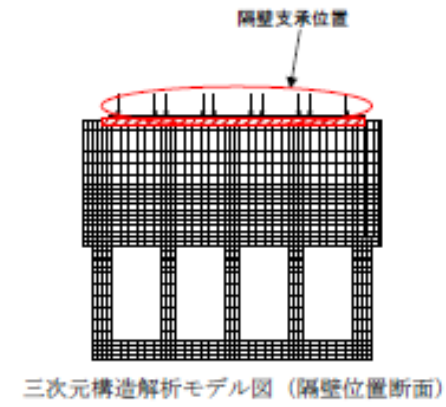
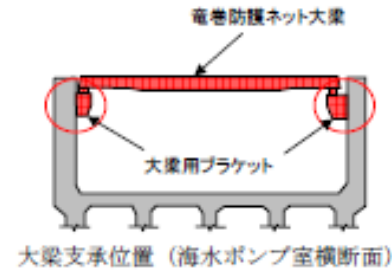
第II.6.3-7 図 荷重ステップ-変位関係 (1/5 縮小モデル)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>6.4 【課題2-4】に対する検討</p> <p>【課題2-4】「機器・配管及び竜巻防護ネットの影響が適切に考慮されているか？」に対して、既設の機器・配管等の考慮方法及び竜巻防護ネット荷重の評価手順を示し、適切に評価できていることを確認する。また、竜巻防護ネットについては、動的相互作用の影響についても確認する。</p> <p>6.4.1 既設の機器・配管等の考慮方法</p> <p>機器・配管の質量を地震応答解析モデルにはり要素の付加質量として反映し、地震応答解析を行う。</p> <p>地震応答解析により算定した応答震度（水平震度，鉛直震度）に機器の質量を乗じたものを，機器の慣性力とし，三次元構造解析モデルに節点荷重として作用させる。例として，補機ポンプエリアに設置された機器の考慮方法を第Ⅱ.6.4-1図に示す。</p> <p>配管荷重については，各エリアのスラブに一様に分布荷重として作用させており，実際の配管質量に対し十分に余裕を持った設計とする。</p> <div data-bbox="973 1039 1685 1711" data-label="Diagram"> <p>機器配置図</p> <p>機器の質量をはり要素の付加質量として考慮</p> <p>地震応答解析モデル</p> <p>慣性力を三次元構造解析モデルの荷重範囲の節点に作用</p> <p>三次元構造解析モデル図</p> <p>の荷重範囲</p> <p>の荷重範囲</p> <p>の荷重範囲</p> </div>		

第Ⅱ.6.4-1 図 補機ポンプエリアに設置された機器の考慮方法イメージ

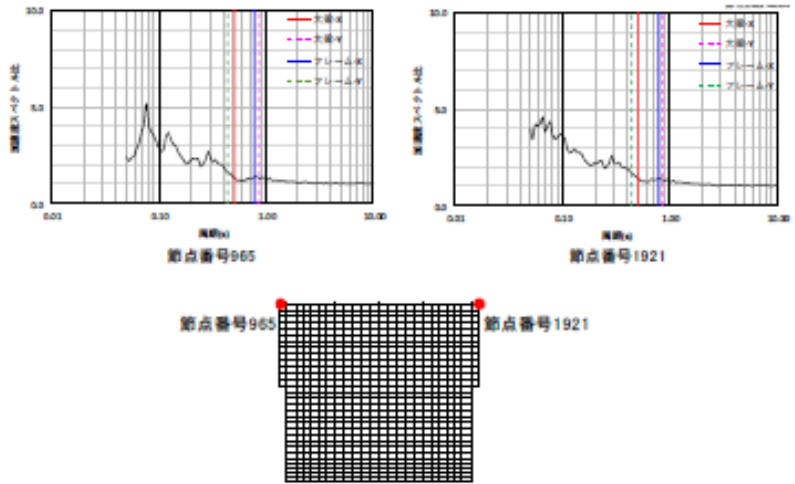
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>6. 4. 2 竜巻防護ネットの評価手順</p> <p>竜巻防護ネットの荷重を考慮した耐震性評価フローを第Ⅱ. 6. 4-2 図に示す。</p> <p>竜巻防護ネットの質量は、節点の付加質量として地震応答解析モデルに反映させ、地震応答解析により算出された床応答により、設計用床応答スペクトルを作成し竜巻防護ネットの設計を行う。竜巻防護ネットの設計により算出された最大反力を海水ポンプ室の三次元構造解析モデルへ反映し、耐震性評価を行う。竜巻防護ネットの荷重作用イメージを第Ⅱ. 6. 4-3 図に示す。</p> <p>竜巻防護ネットの荷重は、地盤の剛性等のばらつきを考慮した地震応答解析から得られる床応答に対する最大反力を用いて設計を行う。</p> <p>なお、竜巻防護ネットの形状、設置位置は工事計画認可段階で変わる可能性があり、竜巻防護ネットの反力を入力した照査結果は、工事計画認可段階で示す。</p> <div data-bbox="997 892 1665 1495" data-label="Diagram"> <pre> graph TD subgraph "海水ポンプ室側" A[竜巻防護ネットの質量を海水ポンプ室の地震応答解析モデルに反映] --> B[地震応答解析] B --> C[床応答を算出
(加速度等)] C --> D[反力を海水ポンプ室の三次元構造解析モデルの竜巻防護ネット支持部へ作用] D --> E[耐震性評価] end subgraph "竜巻防護ネット側" F[竜巻防護ネットの質量] --> G[設計用床応答スペクトルを作成] G --> H[スペクトルモデル解析] H --> I[竜巻防護ネットの最大反力を算出] end A --> F C --> G I --> D </pre> </div>		

第Ⅱ. 6. 4-2 図 竜巻防護ネットの荷重を考慮した耐震性評価フロー

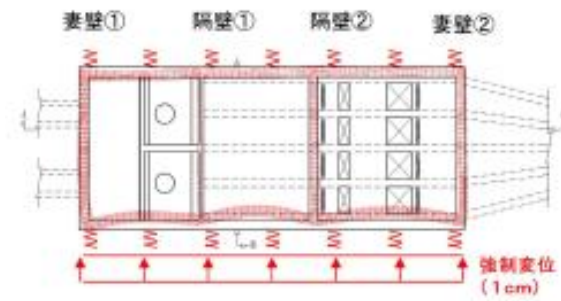


第II.6.4-3 図 竜巻防護ネットの荷重作用イメージ

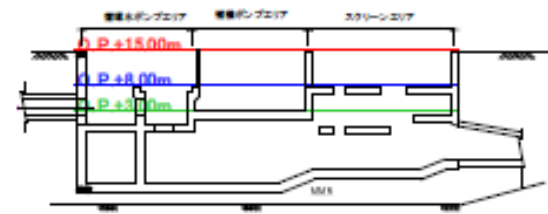
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>6. 4. 3 動的相互作用の影響</p> <p>竜巻防護ネットは補機ポンプエリア南側の東西側壁に大梁用ブラケットをそれぞれ設け、その間を渡す形で大梁を設置する。大梁の上部にネット付きのフレームを設置し、大梁と補機ポンプエリア北側隔壁で支持する構造となっている。竜巻防護ネットの概要図を第Ⅱ. 6. 4-4 図に示す。</p> <p>動的相互作用の影響を確認するため、海水ポンプ室の入力地震動に対する加速度応答スペクトル比と竜巻防護ネットの主要部材である大梁及びフレームの固有周期 (X 方向及びY 方向の1次周期) を第Ⅱ. 6. 4-5 図に示す。大梁用ブラケットが設置される、側壁上部の節点のスペクトル比を代表として示す。</p> <p>海水ポンプ室の増幅周期と竜巻防護ネットの主要部材である大梁及びフレームの固有周期は異なっており、双方の応答が互いに影響を与えるような共振等は考えられない。</p> <p>また、竜巻防護ネットの重量は約500 tで、海水ポンプ室 (約80,000 t) の1%未満であり、竜巻防護ネットの振動が海水ポンプ室の振動へ及ぼす影響は小さい。</p> <p>以上のことから、海水ポンプ室と竜巻防護ネットの連成を考慮する必要はなく、海水ポンプ室から得られる床応答に対する竜巻防護ネットの最大反力を用いた設計は適切である。</p> <div data-bbox="1053 1113 1602 1606" data-label="Image"> </div> <p>第Ⅱ. 6. 4-4 図 竜巻防護ネット概要図</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p data-bbox="994 703 1647 787">第Ⅱ. 6. 4-5 図 海水ポンプ室の加速度応答スペクトル比 (大梁及びフレームの1次周期との比較)</p> <p data-bbox="934 840 1305 871">6. 5 【課題2-5】に対する検討</p> <p data-bbox="934 882 1706 1092">【課題2-5】「荷重をエリアごとに奥行き一様に荷重させることは適切か？」に対して、各エリアごとに奥行き一様の荷重を荷重させた場合と、構造物の変形に伴う応力再配分を考慮した荷重を荷重させた場合の解析結果を比較し、奥行き一様の荷重を荷重させることが保守的であることを確認する。</p> <p data-bbox="934 1102 1706 1270">海水ポンプ室の三次元モデル側面へ地盤ばねを設置し、周辺地盤が一様に変形した場合の、地盤ばね反力の分布形状を算定し、算定した地盤反力を土圧として三次元モデルへ作用させることにより、延長方向に一様な土圧と比較検討する。</p> <p data-bbox="934 1281 1365 1312">検討フローを第Ⅱ. 6. 5-1 図に示す。</p>		

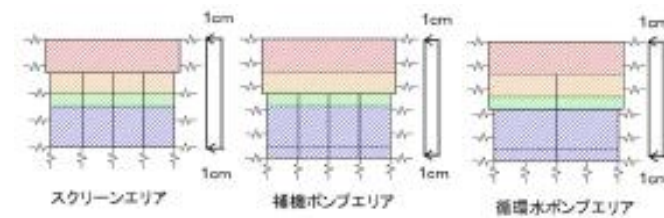
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>【STEP 1】 側壁のたわみを考慮した土圧分布の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> 海水ポンプ室周囲の地盤は一律に地盤改良されており、延長方向において、周辺地盤の挙動はほぼ同様である。 海水ポンプ室側壁に、等間隔に地盤ばねを設置し、周辺地盤の変位として一律な強制変位 δ を作用させる。 得られる地盤ばね反力の分布形状により、側壁の土圧分布（荷重分布1）として評価する。 工認で採用する予定のエリアごとに延長方向に一律に作用させる土圧分布（荷重分布2）との比較を行う。 <p style="text-align: center;">↓</p> <p>【STEP 2】 三次元材料非線形解析による土圧分布の違いに対する影響評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ばね反力により評価した土圧分布（荷重分布1）と工認で採用する予定の土圧分布（荷重分布2）を用いて、三次元材料非線形解析を実施し、照査値の比較を行い、土圧分布の違いによる影響評価を行う。 土圧分布の算定にあたっては、荷重分布1と荷重分布2において、総荷重がおおむね基準地震動 S_s の荷重と同レベルで、等しくなるよう算定した。 <div style="text-align: center;">  <p>荷重分布1イメージ 荷重分布2イメージ</p> </div> <p style="text-align: center;">第Ⅱ.6.5-1 図 検討フロー</p> <p>【STEP 1】 側壁のたわみを考慮した土圧分布の評価</p> <p>構造物の側壁へ等分布に地盤ばねを設置し、その地盤ばねに一律な強制変位を入力し、土圧分布を算定した（第Ⅱ.6.5-2 図）。高さ方向における分布の違いを確認するため、中床版がある O.P. +3m, +8m, 及び中床版がない構造物天端の O.P. +15m の位置で土圧分布を算定した（第Ⅱ.6.5-3 図）。</p> <p>土圧分布の妥当性を確認するため、各エリアの二次元等価剛性モデルに地盤ばねを介して一律な強制変位を与えた場合の土圧を算定した（第Ⅱ.6.5-4 図）。</p>		



第Ⅱ.6.5-2 図 強制変位の入力



第Ⅱ.6.5-3 図 土圧分布算定位置



第Ⅱ.6.5-4 図 二次元等価剛性モデルへの強制変位

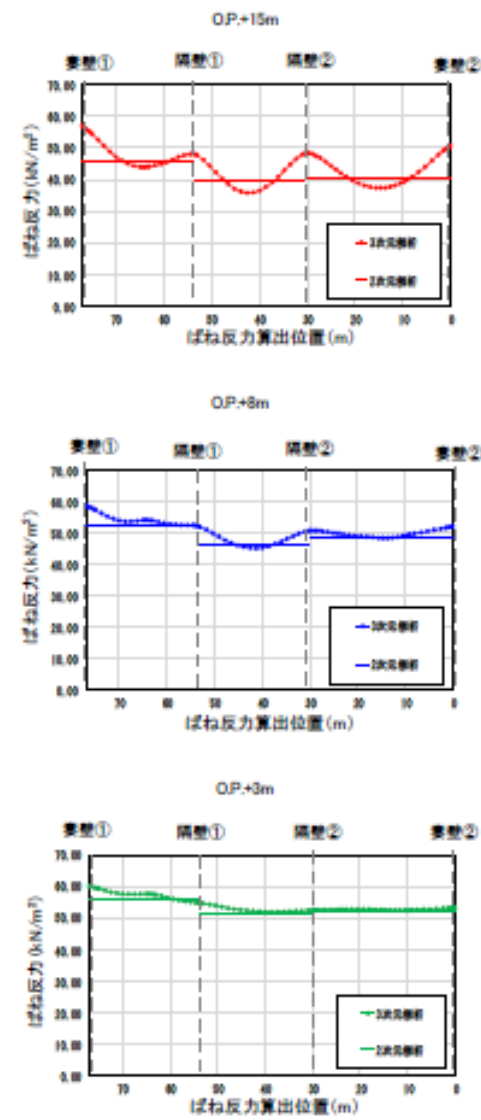
土圧分布の評価結果を第Ⅱ.6.5-5 図に示す。

O.P. +3m の深さでは、中床版に近く、延長方向の挙動がほぼ同一となるため、土圧分布はほぼ一様であるが、循環水ポンプエリア内にある隔壁の影響により、他のエリアより剛性が大きく、土圧も大きくなっている。

O.P. +15m の深さでは、側壁のたわみの影響により、隔壁間中央や隔壁と側壁間の中央において土圧が低減されており、平均土圧より小さくなっている（延長方向一様土圧を載荷することは、安全側の評価となっている）。

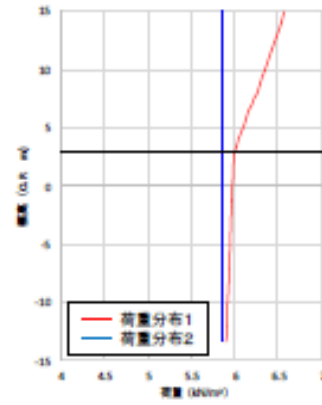
一方、妻壁や隔壁付近においては、土圧が大きくなっており、一様土圧は過小評価となっている。

二次元等価剛性モデルにより算定した土圧は、三次元モデルにより算定した土圧分布のおおむね平均となっている。



第Ⅱ. 6. 5-5 図 土圧分布の評価結果

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>次に、第Ⅱ.6.5-6 図に示す補機ポンプエリアの隔壁間中央位置と、南側隔壁位置における土圧の鉛直分布を第Ⅱ.6.5-7 図及び第Ⅱ.6.5-8 図に示す。</p> <p>地盤ばね反力で評価した荷重分布 1 では、隔壁間中央位置では側壁の面外方向へのたわみにより、O.P.+3m 以浅の荷重は大きく低減されている。</p> <p>一方、隔壁位置では、隔壁が耐震機能を発揮し、荷重を支持するため、荷重分布 1 の荷重が大きくなっている。</p> <p>隔壁間中央位置で、側壁が面外方向へたわむことにより低減された土圧は、隔壁位置へ再配分され、結局、隔壁が耐震壁として機能し、荷重を支持することから、隔壁が荷重を分担する領域（エリア①とエリア②）の荷重の合計値について、荷重分布 1 と 2 で比較した。比較結果を第Ⅱ.6.5-1 表に示す。</p> <p>荷重合計は、いずれの隔壁においても、荷重分布 1 と 2 でほぼ同等となっている。</p> <div data-bbox="1074 898 1558 1165" data-label="Diagram"> </div> <p>第Ⅱ.6.5-6 図 荷重評価位置図</p> <div data-bbox="1181 1297 1469 1663" data-label="Figure"> </div> <p>第Ⅱ.6.5-7 図 補機ポンプエリア隔壁中央位置に作用する土圧鉛直分布</p>		



第II.6.5-8 図 補機ポンプエリア南側隔壁位置に作用する土圧鉛直分布

第II.6.5-1 表 エリア①及びエリア②の荷重合計値

隔壁位置	荷重合計(kN)	
	荷重分布1	荷重分布2
北側 (エリア①)	90430	91274
南側 (エリア②)	75982	76930

【STEP 2】三次元材料非線形解析による土圧分布の違いに対する影響評価

荷重分布1（地盤ばね反力分布）と荷重分布2（一様分布）の解析結果を第II.6.5-2 表に示す。

側壁に発生するひずみは、側壁への荷重が大きい荷重分布2のほうが大きくなっており、隔壁に発生する面内せん断ひずみは、荷重の大きさが荷重分布1と荷重分布2で同等であるため、ひずみも同等となっている。

荷重分布1と荷重分布2において、解析結果に大きな差はなく、エリアごとに延長方向一様な土圧を載荷しても、耐震壁として機能する妻壁や隔壁の耐震性を過大評価することはない。

なお、ここでは海水ポンプ室を代表例に示しているが、他の箱型構造物についても同様の考え方で、延長方向一様な土圧を載荷する。

第Ⅱ. 6. 5-2 表 荷重分布 1 及び荷重分布 2 の解析結果

要求機能	ひずみ線は位置	評価指標	要求ひずみ	
			荷重分布1	荷重分布2
過水機能 (OP: +143mm以下)		圧縮ひずみ	4012μ	4052μ
		圧縮ひずみ	687μ	699μ
		せん断ひずみ	4070μ	4146μ
貯水機能 (OP: +4.3m以下)		圧縮ひずみ	596μ	599μ
		主軸ひずみ	669μ	669μ
		せん断ひずみ	1524μ	1546μ
止水機能 (補機ポンプエリア) (循環ポンプエリア)		圧縮ひずみ	734μ	802μ
		主軸ひずみ	669μ	616μ
		せん断ひずみ	6258μ	4146μ
支持機能 (補機ポンプエリア)		圧縮ひずみ	836μ	909μ
		主軸ひずみ	1019μ	1262μ
		箇所せん断ひずみ	176μ	165μ

7. 許容限界に係る課題の検討

許容限界に係る課題として抽出した、第Ⅱ. 4-2 表中の【課題 3】
「許容限界は、要求機能に応じて適切に設定されているか？」に
対して、要求機能に応じて、部材の曲げ・軸力系の破壊及びせん
断破壊に対し、既工認実績のある許容限界を設定しており、一部
既工認実績のない許容限界については、既工認実績がある限界状
態を想定し、許容限界を設定していることを確認する。

要求機能に応じて第Ⅱ. 7-1 表に示すとおり許容限界を設定し
ている。

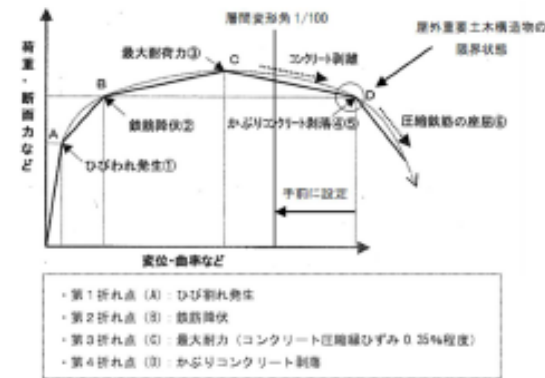
第II.7-1 表 要求機能に応じた許容限界

要求機能	土木構造物に求められる機能			
	①通水機能	②支持機能*	③貯水機能*	④止水機能*
目標性能	<p>漏水の通水断面を把握しない</p> <ul style="list-style-type: none"> ・部材が終局状態に至らない 	<p>Sクラスの機器及び配管等を安全に支持できる</p> <ul style="list-style-type: none"> ・部材が終局状態に至らない ・アンカー定着部周辺において破断が発生しない 	<p>津波引き越時に必要となる貯留水を完全に貯留できる</p> <ul style="list-style-type: none"> ・破断が発生しない ・発生せん断力がせん断耐力以下 	<p>Sクラスの機器及び配管等の存在機能を損なうことがないよう止水できる</p> <ul style="list-style-type: none"> ・破断が発生しない ・発生せん断力がせん断耐力以下
設定理由	<p>構造物は高次の不特定構造であり、一つの部材が終局状態に至ったと見られる事象には至らないが、保守的に部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。</p>	<p>機軸・配管の支持性能は、部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。 アンカー定着部周辺においては、構造物が部材降伏程度であれば定着性能に影響を及ぼさないことから、破断が発生しないことを目標性能とする。</p>	<p>構造物の周辺環境を考慮すると、周囲の土質の透水性は十分に小さく、津波は貯水機能に影響を及ぼさないが、躯体のみで貯水機能を満足できないよう、漏水が生じるような顕著な部材を通過するようなひび割れが発生しないことを要される。破断がせん断耐力以下であることを目標性能とする。</p>	<p>破断が発生しない状態及びせん断耐力以下であることを要する。破断がせん断耐力以下であることを目標性能とする。</p>
限界状態	終局耐力以下	終局耐力以下 アンカー定着部周辺においては降伏耐力以下	降伏耐力以下	降伏耐力以下
主な照査指標・許容限界	曲げ	層間変形角 < 層間変形角 1/100	圧縮ひずみ < 圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ < 降伏強度に対応するひずみ	圧縮ひずみ < 圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ < 降伏強度に対応するひずみ
	せん断	発生せん断力 < せん断耐力	発生せん断力 < せん断耐力	発生せん断力 < せん断耐力
	部内	層間変形角 < 層間変形角 2/1000	層間変形角 < 層間変形角 2/1000	層間変形角 < 第1折点 (γ1) 又は層間変形角

※：支持・貯水・止水機能においても構造物全体が終局状態に至らないことが前提であることから、終局耐力以下であることを確認する。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																	
	<p>7.1 通水機能</p> <p>通水機能は、部材が破壊し通水断面を閉塞しないことにより満足され、終局状態に至らない部材状態を想定している。</p> <p>部材状態に応じた許容限界として、面外変形に対する層間変形角は1/100 (圧縮縁コンクリートひずみ1%に相当)、面内変形に対する層間変形角は2/1000 とし、せん断破壊に対してはせん断耐力とする (第II.7.1-1 表)。</p> <p>層間変形角 (面外)、層間変形角 (面内) 及びせん断耐力は、既工認実績のある許容限界である。</p> <p>通水機能が要求される箱型構造物は、海水ポンプ室以外に取水口があるが、取水口についても同様の部材状態を想定し、本許容限界を適用する。</p> <p style="text-align: center;">第II.7.1-1 表 通水機能の許容限界</p> <table border="1" data-bbox="961 852 1691 1346"> <thead> <tr> <th rowspan="2">変形モード</th> <th colspan="2">許容限界</th> <th rowspan="2">既工認実績</th> </tr> <tr> <th>指標</th> <th>許容値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>曲げ</td> <td>層間変形角 (面外)</td> <td>1/100</td> <td>土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の通水機能の許容限界として既工認実績がある。</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">せん断</td> <td>層間変形角 (面内)</td> <td>2/1000</td> <td>JEAG4601-1987において、耐震壁の終局耐力に相当する層間変形角 4/1000 に余裕を見込んだ許容限界として規定されており、耐震壁の終局耐力に対する許容限界として既工認実績がある。</td> </tr> <tr> <td>発生せん断力</td> <td>せん断耐力</td> <td>土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の通水機能の許容限界として既工認実績がある。</td> </tr> </tbody> </table> <p>曲げ系の破壊に対する許容限界として、層間変形角1/100 を設定している。</p> <p>圧縮縁コンクリートひずみ1%の状態及び層間変形角1/100 に至る状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。これらの状態を限界値とすることで構造物全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図を第II.7.1-1 図に示す。</p>	変形モード	許容限界		既工認実績	指標	許容値	曲げ	層間変形角 (面外)	1/100	土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の通水機能の許容限界として既工認実績がある。	せん断	層間変形角 (面内)	2/1000	JEAG4601-1987において、耐震壁の終局耐力に相当する層間変形角 4/1000 に余裕を見込んだ許容限界として規定されており、耐震壁の終局耐力に対する許容限界として既工認実績がある。	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の通水機能の許容限界として既工認実績がある。		
変形モード	許容限界		既工認実績																	
	指標	許容値																		
曲げ	層間変形角 (面外)	1/100	土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の通水機能の許容限界として既工認実績がある。																	
せん断	層間変形角 (面内)	2/1000	JEAG4601-1987において、耐震壁の終局耐力に相当する層間変形角 4/1000 に余裕を見込んだ許容限界として規定されており、耐震壁の終局耐力に対する許容限界として既工認実績がある。																	
	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の通水機能の許容限界として既工認実績がある。																	

当該限界値は、土木学会マニュアル2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の通水機能の許容限界として既工認実績がある限界値である。

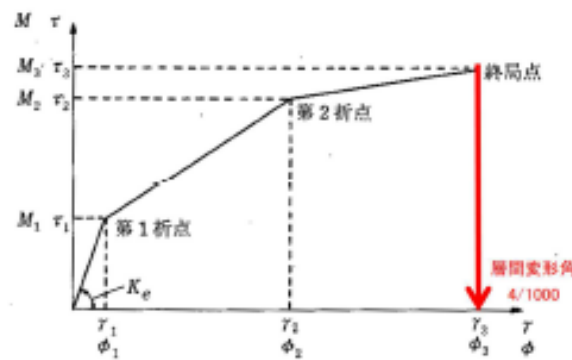


第II.7.1-1 図 鉄筋コンクリートはり部材の荷重変位関係と損傷状態に対する概念図 (土木学会マニュアルに加筆)

面内せん断に対する許容限界として、層間変形角2/1000 を設定している。

JEAG4601 において、第II.7.1-2 図に示すとおり、耐震壁の終局時の変形として層間変形角4/1000 と規定されており、許容限界として、終局状態の層間変形角4/1000 に安全率2を有するように層間変形角2/1000 と設定している。

当該限界値は、耐震壁の支持機能の許容限界として既工認実績がある限界値である。



第II.7.1-2 図 トリリニア・スケルトンカーブ

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>面外せん断に対する照査は、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることにより確認する。</p> <p>せん断耐力式には、複数の安全係数が見込まれていることから、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価となっている。</p> <p>当該限界値は、土木学会マニュアル2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の通水機能、支持機能及び貯水機能の許容限界として既工認実績がある限界値である。</p> <p>7.2 支持機能</p> <p>支持機能は、部材が終局状態に至らない状態を想定している。また、アンカー定着部周辺においては、損傷が部材降伏程度であれば定着性能に影響を及ぼさないことから、断面降伏以下の部材状態を想定している。</p> <p>部材状態に応じた許容限界として、通水機能で設定した終局状態に対する許容限界に加え、主鉄筋のひずみが降伏強度に対応するひずみ以下等の許容限界を追加する（第Ⅱ.7.2-1 表）。</p> <p>支持機能が要求される箱型構造物は、海水ポンプ室以外に軽油タンク室及び復水貯蔵タンク基礎があるが、いずれも同様の部材状態を想定し、本許容限界を適用する。</p>		

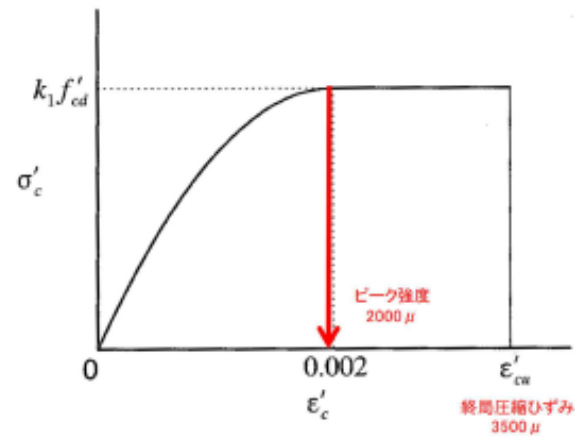
第Ⅱ. 7. 2-1 表 支持機能の許容限界

変形モード	許容限界		既工認実績
	指標	許容値	
曲げ	圧縮ひずみ	2000 μ	本許容値を許容限界とした既工認実績は無いが、本許容値はコンクリート標準示方書2002において、応力-ひずみ関係として示されている。
	主筋ひずみ	1725 μ (SD345 相当)	本許容限界における状態はおおむね弾性範囲であり、おおむね弾性範囲の状態は浸水防護施設の支持機能に対する許容限界として既工認実績がある。
せん断	層間変形角 (面内)	2/1000	JEAG4601-1987において、耐震壁の支持機能に対する許容限界として規定されており、耐震壁の支持機能の許容限界として既工認実績がある。
	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の支持機能の許容限界として既工認実績がある。

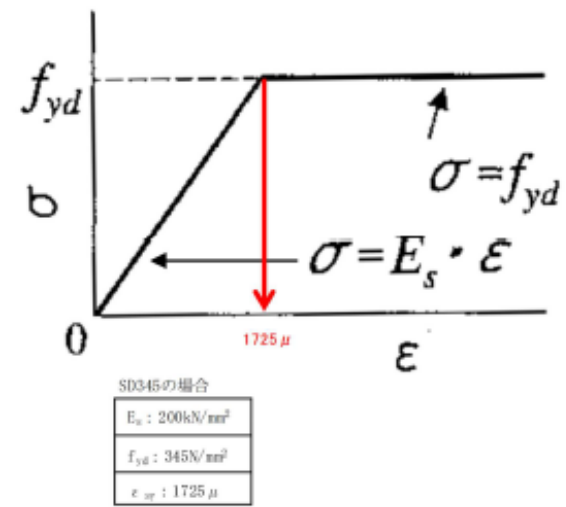
支持機能は、部材が断面降伏しないことにより満足され、許容限界は、コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ2000 μ と、鉄筋の降伏に対応するひずみ1725 μ としている。

許容限界として設定した値をコンクリートの応力-ひずみ曲線、鉄筋及び構造用鋼材の応力-ひずみ曲線で示すと第Ⅱ. 7. 2-1 図及び第Ⅱ. 7. 2-2 図のとおりとなる。

本許容限界における状態は、既工認実績のあるおおむね弾性範囲と同等の状態である。



第Ⅱ.7.2-1 図 コンクリートの応力-ひずみ曲線



第Ⅱ.7.2-2 図 鉄筋及び構造用鋼材の応力-ひずみ曲線

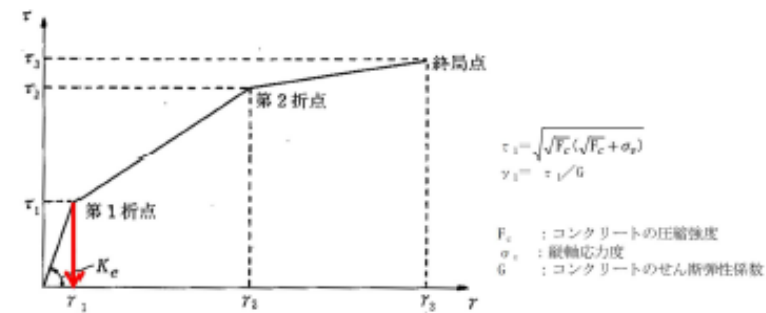
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>7.3 貯水機能</p> <p>貯水機能は、津波の引き波時に必要となる冷却用水を安全に貯留できることが要求機能である。</p> <p>海水ポンプ室の周辺環境を考慮すると、構造物底面はMMR と、側面は透水性の小さい盛土と接しており、部材を貫通するようなひび割れが生じて、ひび割れからの漏えい量は少なく、貯水機能は満足されることを確認している。</p> <p>しかし、盛土の止水性にすべてを期待し、ひび割れに伴う漏水を許容したうえで貯水機能を適切に評価することは困難であることから、保守的に部材を貫通するようなひび割れが発生しない状態を想定し、許容限界を断面降伏及びせん断耐力とする（第Ⅱ.7.3-1 表）。この許容限界は、第Ⅱ.7.3-2 表に示すとおり、「水道施設耐震工法指針・解説2009」に規定されている照査基準と同じレベルの許容値である。</p> <p>面内変形に対しては、層間変形角が第Ⅱ.7.3-1 図に示す JEAG4601-1991 に規定されているスケルトンカーブの第1折点（$\gamma 1$）以下であることを許容限界と設定する。</p> <p>第1折点（$\gamma 1$）の評価式は、壁板の面内せん断実験における中央斜めひび割れ発生時の平均せん断応力度に対応するよう定められていることから、せん断変形が第1折点（$\gamma 1$）以下の場合、水密性に影響のあるせん断ひび割れは生じないと考えられる。本許容限界は、耐震壁の水密性に対する許容限界として既工認実績がある。</p> <p>第1折点（$\gamma 1$）を超過する場合においては、漏水量を算定し、安全機能を損なうおそれがないことを評価する。</p> <p>貯水機能が要求される箱型構造物は、海水ポンプ室以外に取水口（貯留堰を含む）があり、取水口についても、構造物底面はMMR、側面は透水性の小さい盛土や改良地盤となっており、海水ポンプ室と同じ周辺環境にあるが、同様の部材状態を想定し、本許容限界を適用する。</p>		

第II.7.3-1 表 貯水機能の許容限界

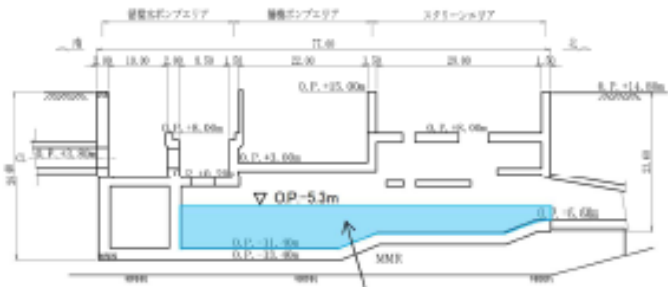
変形モード	許容限界		既工認実績
	指標	許容値	
曲げ	圧縮ひずみ	2000 μ	本許容値を許容限界とした既工認実績は無いが、本許容値はコンクリート標準示方書2002において、応力-ひずみ関係として示されている。
	主筋ひずみ	1725 μ (SD345相当)	本許容限界における状態はおおむね弾性範囲であり、おおむね弾性範囲の状態は止水機能に対する許容限界として既工認実績がある。
せん断	層間変形角 (面内)	第1折点 (γ_1) 以下 ただし、第1折点 (γ_1) を超過する場合は、漏水量を算定し、安全機能へ影響しないことを確認	JEAG4601-1991 に規定されており、耐震壁のせん断変形に対する水密性評価の許容限界として既工認実績がある。
	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の貯水機能の許容限界として既工認実績がある。

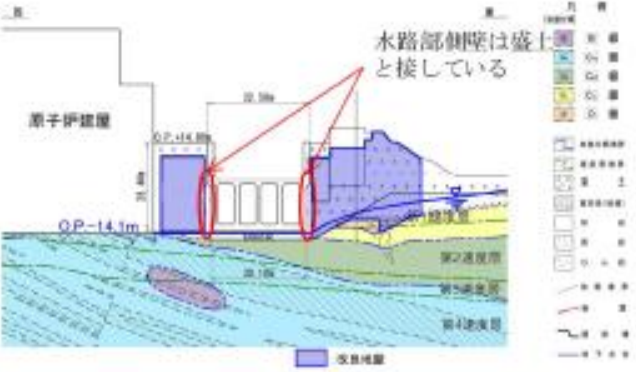
第II.7.3-2 表 池状構造物 (RC 構造物) の耐震性能と照査基準

耐震性能	耐震性能1	耐震性能2	耐震性能3
限界状態 ^{*)1}	限界状態1 (降伏耐力以下)	限界状態2 (最大耐力以下)	限界状態3 (終局変位以下、せん断耐力以下)
損傷状態	 無被害又はひび割れは生じるが漏水は生じない。修復の必要ない。	 軽微なひび割れから漏水は生じるが地震後に早期に移復可能である。	 ひび割れ幅が拡大し、漏水が生じるが施設全体が崩壊しない。修復可能。
照査項目例 ^{*)2}	断面力 (曲げ、せん断)、応力度	断面力 (曲げ、せん断)、塑性率	変位量、曲率、断面力 (せん断)
照査用限界値例 ^{*)3}	断面力 (曲げ) ≤ 降伏耐力 断面力 (せん断) ≤ せん断耐力 応力度 ≤ 許容応力度	断面力 (曲げ) ≤ 最大耐力 断面力 (せん断) ≤ せん断耐力 塑性率 ≤ 許容塑性率	変位量 ≤ 終局変位量 曲率 ≤ 終局曲率 断面力 (せん断) ≤ せん断耐力



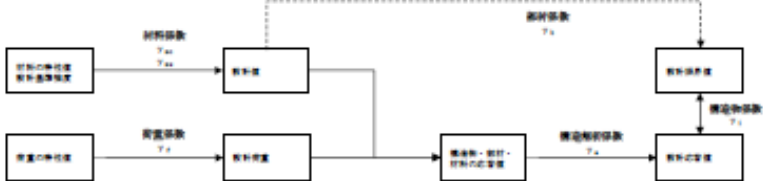
第II.7.3-1 図 トリリニア・スケルトンカーブと評価式

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考												
	<p>参考に、部材を貫通するようなひび割れが生じても、ひび割れからの漏水量は少なく、貯水機能は満足されることの確認結果を以下に示す。海水ポンプ室を例に示すが、取水口についても構造物底面はMMR、側面は透水性の小さい盛土や改良地盤となっており、海水ポンプ室と同じ周辺環境にある。</p> <p>・周辺環境を考慮した漏水量の確認</p> <p>漏水量の計算に用いる各諸元及び計算結果を第Ⅱ.7.3-2 図に示す。</p> <p>部材を貫通するようなひび割れが発生したとしても、第Ⅱ.7.3-3 図に示すとおり底面はMMR と接しているため顕著な漏水は無く、津波の引き波時に取水口敷高を下回る時間183 秒間の間に、盛土と接している側壁から漏れ出す水量は23.7m³ で、貯留量の1%未満であり、引き波時に必要となる冷却用水を十分に確保できることから、貯水機能に影響は無いことを確認している。</p> <table border="1" data-bbox="1121 940 1495 1203"> <tr><td>取水口敷高</td><td>0. P. -5.3m</td></tr> <tr><td>引き波時に取水口敷高を下回る時間</td><td>183秒間</td></tr> <tr><td>盛土の透水係数</td><td>$3.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$</td></tr> <tr><td>動水勾配</td><td>$\Delta h/L=7.5^{\#}$</td></tr> <tr><td>貯水機能が要求される側壁の面積</td><td>287.6m² (片側)</td></tr> <tr><td>海水ポンプ室貯留量</td><td>約3,324m³</td></tr> </table> <p>※：hは貯留水位 (0. P. -5.3m) とドレーン (0. P. -14.2m) の水頭差 Lはドレーンまでの水平距離 (1.2m)</p>  <p>・183 秒間における側壁から盛土への漏水量 $\Rightarrow 3.0 \times 10^{-5} \times 7.5 \times 183 \times 287.6 \times 2 = 23.7 \text{m}^3$</p> <p>第Ⅱ.7.3-2 図 漏水量計算諸元</p>	取水口敷高	0. P. -5.3m	引き波時に取水口敷高を下回る時間	183秒間	盛土の透水係数	$3.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$	動水勾配	$\Delta h/L=7.5^{\#}$	貯水機能が要求される側壁の面積	287.6m ² (片側)	海水ポンプ室貯留量	約3,324m ³		
取水口敷高	0. P. -5.3m														
引き波時に取水口敷高を下回る時間	183秒間														
盛土の透水係数	$3.0 \times 10^{-5} \text{m/s}$														
動水勾配	$\Delta h/L=7.5^{\#}$														
貯水機能が要求される側壁の面積	287.6m ² (片側)														
海水ポンプ室貯留量	約3,324m ³														

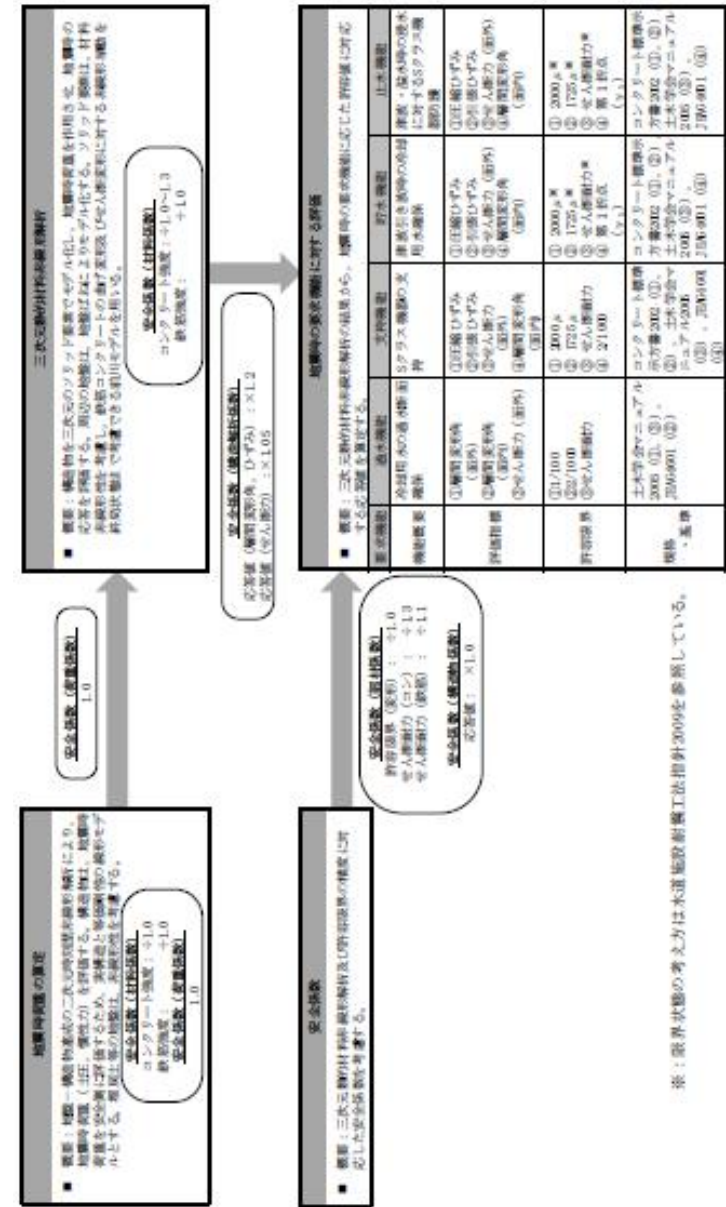
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	 <p data-bbox="1092 661 1567 693">第II.7.3-3 図 補機ポンプエリア断面図</p> <p data-bbox="943 745 1113 777">7.4 止水機能</p> <p data-bbox="943 793 1706 1003">止水機能は、以下に示す3つの観点に対し、部材からの漏水により、Sクラスの機器及び配管等の安全機能を損なうことがないよう止水できることが要求機能であり、漏水が生じるような顕著な（部材を貫通するような）ひび割れが発生しない状態を想定している。</p> <p data-bbox="955 1060 1537 1186"> (観点1) 津波の押し波時における外郭防護 (観点2) 屋外タンク損傷時における内郭防護 (観点3) 循環水管単一破損時における内部溢水 </p> <p data-bbox="943 1243 1706 1411">部材状態に応じた許容限界として、断面降伏及びせん断耐力とし、そのうえで、地震終了後の除荷時において顕著なひび割れが発生していないことを解析等により確認又は妥当な裕度を持たせることとする（第II.7.4-1表）。</p> <p data-bbox="943 1423 1706 1591">面内変形に対しては、貯水機能と同様に層間変形角がスケルトンカーブの第1折点（γ_1）以下であることを許容限界と設定し、第1折点（γ_1）を超過する場合には、漏水量を算定し、安全機能を損なうおそれがないことを評価する。</p>		

第Ⅱ. 7. 4-1 表 止水機能の許容限界

変形モード	許容限界		既工認実績
	指標	許容値	
曲げ	圧縮ひずみ	2000 μ	本許容値を許容限界とした既工認実績は無いが、本許容値はコンクリート標準示方書2002において、応力-ひずみ関係として示されている。 本許容限界における状態はおおむね弾性範囲であり、おおむね弾性範囲の状態は止水機能に対する許容限界として既工認実績がある。
	主筋ひずみ	1725 μ (SD345 相当)	
せん断	層間変形角 (面内)	第1折点 (γ_1) 以下 ただし、第1折点 (γ_1) を超過する場合は、漏水量を算定し、安全機能へ影響しないことを確認	JEAG4601-1991 に規定されており、耐震壁のせん断変形に対する水密性評価の許容限界として既工認実績がある。
	発生せん断力	せん断耐力	土木学会マニュアル 2005 に規定されており、屋外重要土木構造物の貯水機能の許容限界として既工認実績がある。

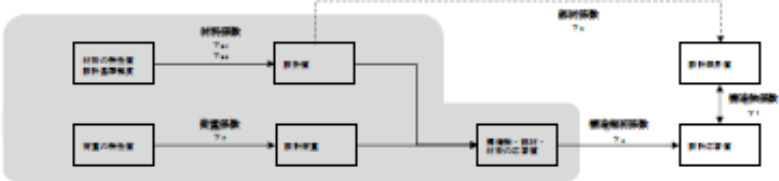
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>8. 安全係数に係る課題の検討</p> <p>安全係数に係る課題として抽出した, 第Ⅱ. 4-2 表中の【課題 4】「耐震安全性評価に用いる安全係数は三次元静的材料非線形解析に見合う設定がされているか?」に対して, 既工認実績のある土木学会マニュアル2005 や, 本評価手法と同様の三次元材料非線形解析による照査手法が規定されている土木学会マニュアル2018等を参照して, 妥当性を確認する。</p> <p>8.1 安全係数の考え方</p> <p>安全係数は, 評価に係る要因の不確かさを第Ⅱ. 8. 1-1 図に示す5つの安全係数(材料係数, 部材係数, 荷重係数, 構造解析係数, 構造物係数)で考慮する。</p> <p>土木学会マニュアル2005 に記載されている, 耐震性照査の基本的な考え方を式で表すと以下となる。</p> $\gamma_1 \cdot S_d / R_d \leq 1.0$ <p>ここに, S_d: 照査用応答値 $S_d = S(\gamma_f, \gamma_m) \cdot \gamma_a$ γ_1: 構造物係数 R_d: 照査用限界値 $R_d = R(\gamma_m) / \gamma_b$ γ_m: 材料係数 S: 応答値の特性値 γ_f: 荷重係数 R: 限界値の特性値 γ_a: 構造解析係数 γ_b: 部材係数</p> <p>また, コンクリート標準示方書2017 では, 「非線形有限要素解析を用いた照査では, 解析結果の精度に関する安全係数を設定する。(中略)安全側に考慮された限界値が別途定められている場合には, 限界値に対する解析係数を1.0 としてよい。」とされている。なお, この考え方はコンクリート標準示方書2002 でも同様である。</p> <p>女川2号炉では, 応答値に係る不確か性は応答値側で構造解析係数として考慮し, 限界値に係る不確か性は限界値側で部材係数として考慮することを基本とする。一方, 材料非線形解析により得られたひずみ等に基づいて照査を行う場合には, 限界値に係る不確か性は限界値を安全側に設定することで考慮する。</p> <p>また, 変形指標で表された応答値は, 係数1.2 で割り増す。これは, 主として地盤や地盤と構造物の境界に関する不確か性に配慮するためのものである。</p>  <p>第Ⅱ. 8. 1-1 図 考慮する安全係数</p>		

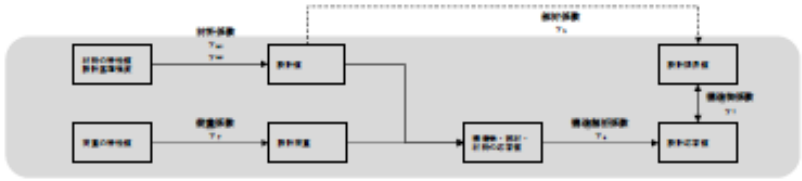
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>各安全係数の基本的な考え方を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料係数 材料特性の望ましくない方向への変動，供試体と構造物中との差異，限界状態に及ぼす影響，経時変化等を考慮して定めるものとする。 ・部材係数 部材耐力の計算上の不確実性，部材寸法のばらつきの影響，部材の重要度，すなわち対象とする部材がある限界状態に達したときに，構造物全体に与える影響等を考慮して定めるものとする。 ・構造解析係数 応答値算定手法の精度や，実物と解析モデルとの差異ほか，応答値算定に関わる不確実性を考慮して定めるものとする。 ・荷重係数 荷重の望ましくない方向への変動，荷重の算定方法の不確実性，設計耐用期間中の荷重の変化，荷重特性が限界状態に及ぼす影響，環境作用の変動を考慮して定めるものとする。 ・構造物係数 構造物の重要度，限界状態に達したときの社会的影響等を考慮して定めるものとする。 <p>各安全係数の基本的な考え方を踏まえ，地震応答解析における安全係数，変形による照査における安全係数及び断面力による照査における安全係数を設定する。</p> <p>女川2号炉で採用する三次元静的材料非線形解析を用いた耐震性評価方法の評価体系と安全係数の関係を第II. 8. 1-2 図に示す。</p>		

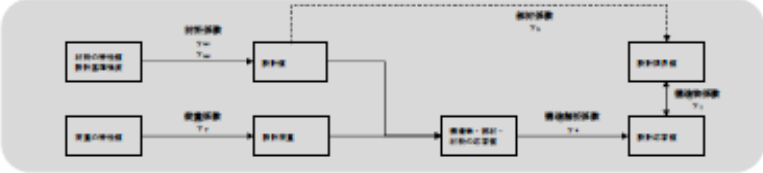


第II.8.1-2 図 評価体系と安全係数の関係

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>8.1.1 地震応答解析における安全係数</p> <p>地震応答解析は、三次元材料非線形解析における「荷重の特性値」を算定するために実施することを勘案し、第Ⅱ.8.1-3 図に示す安全係数を考慮する。</p> <p>物性のばらつきに対しては、対象構造物が地中構造物であり、支配的な地震時荷重が土圧であることから、土圧に影響を及ぼす地盤及び鉄筋コンクリートの物性のばらつきとして、剛性のばらつきを考慮する。</p> <p>三次元構造のねじれの影響については、損傷モードに応じて複数時刻の荷重を抽出することで、影響を考慮する。</p> <p>乾燥収縮による剛性低下については、剛性低下すると土圧が小さくなることから、初期剛性とすることで荷重を保守的に評価している。</p> <p>地震応答解析における安全係数を以下に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・材料係数 <p>応答値算定時に適用する材料係数は、コンクリートと鉄筋の物性値が断面力の算定精度に与える影響は小さいこと、材料物性の特性値の設定において照査における応答値算定が安全側となるように配慮が行われることを踏まえ1.0 とする。</p> <p>地盤物性値のばらつきは別途ばらつきを考慮したパラメータスタディを実施する。</p> ・部材係数 <p>地震応答解析の結果は、三次元静的材料非線形解析の作用の特性値として扱うことから、部材係数は考慮しない。</p> ・構造解析係数 <p>地震応答解析の結果は、三次元静的材料非線形解析の作用の特性値として扱うことから、構造解析係数は考慮しない。</p> ・荷重係数 <p>地震の影響以外の荷重の評価精度は高いと考えられ、地震の影響については入力地震動が最新の研究成果に基づいて合理性をもって設定されており、十分に不確かさやばらつきが考慮されていることから荷重係数は1.0とする。</p> 		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>・ 構造物係数</p> <p>地震応答解析の結果は、三次元静的材料非線形解析の作用の特性値として扱うことから、構造物係数は考慮しない。</p>  <p>第Ⅱ. 8. 1-3 図 地震応答解析における安全係数</p> <p>8. 1. 2 変形による照査における安全係数</p> <p>変形による照査における安全係数は、第Ⅱ. 8. 1-4 図に示す安全係数を考慮する。変形による照査を行う限界値は、層間変形角（面外：1/100，面内：2/1000，第1折点）とひずみ（圧縮ひずみ：2000 μ，主筋ひずみ：1725 μ）である。</p> <p>変形による照査における安全係数を以下に示す。</p> <p>・ 材料係数</p> <p>コンクリート強度の特性値及び鉄筋の機械的性質の特性値は、実強度に対して小さい値を設定している。</p> <p>コンクリートの圧縮強度が小さくなれば、構造物の応答変位は大きくなると考えられることから、応答値の算定は1.0 とする。</p> <p>鉄筋降伏強度を小さく設定したとき、構造物の応答変位は少なくとも小さくならないと考えられることから、応答値の算定は1.0 とする。</p> <p>・ 部材係数</p> <p>安全側に考慮された限界値が別途定められていることから、1.0 とする。</p> <p>・ 構造解析係数</p> <p>二次元解析において、地盤パラメータの設定（拘束圧依存性、地盤の剛性-ひずみ関係や履歴減衰-ひずみ関係のモデル化精度、地盤と構造物の境界部の特性）が応答解析結果に及ぼす影響を考え併せ、一般的に1.2 とされており、三次元特有の面内変形による挙動は、面外変形よりも評価精度がよく、面外変形による挙動については、三次元も二次元も大差はないと考えられる。</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>6.1.2 項に示す再現解析により、今回の評価対象範囲においては、構造物の変形を精度よく評価できている。また、地震時荷重は若干非線形領域に入るものの、大部分の部材はおおむね弾性範囲である。</p> <p>以上より、構造解析係数は1.2 とする。</p> <p>・荷重係数 地震応答解析による荷重の算定において構造物を線形として荷重を保守的に評価していること、荷重の載荷方法を奥行き一様として保守的に作用させていること、地震時増分荷重は部材の三次元的変形を踏まえ適切に複数の代表時刻を選定すること等から、1.0 とする。</p> <p>・構造物係数 原子力施設の場合、別途重要度分類がなされ、それに基づいて入力地震動の選定が行われているので、1.0 とする。</p>  <p>第Ⅱ.8.1-4 図 変形による照査における安全係数</p> <p>8.1.3 断面力による照査における安全係数 断面力による照査における安全係数は、第Ⅱ.8.1-5 図に示す安全係数を考慮する。断面力による照査を行う限界値は、せん断耐力である。</p> <p>断面力による照査における安全係数を以下に示す。</p> <p>・材料係数 コンクリート強度の特性値及び鉄筋の機械的性質の特性値は、実強度に対して小さい値を設定している。</p> <p>応答値算定時に適用する材料係数は、コンクリートと鉄筋の物性値が断面力の算定精度に与える影響は小さいこと、材料物性の特性値の設定において照査における応答値算定が安全側となるように配慮されていることを踏まえて1.0 とする。</p> <p>限界値算定時に適用する材料係数は1.3 を標準とするが、既設構造物において、強度等の材料特性のばらつきを考慮して特性値が設定されていることを実測値により確認した場合は材料係数を</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>1.0~1.3 の間で低減する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・部材係数 せん断耐力評価式に基づいてせん断耐力を求める場合、コンクリート寄与分に対して1.3, 鉄筋寄与分に対して1.1 とする。 ・構造解析係数 変形に関する応答値の評価精度に比較して、断面力に関する応答値の評価精度は高いと考えられることから、変形照査の場合より低減させて1.05とする。 ・荷重係数 地震応答解析による荷重の算定において構造物を線形として荷重を保守的に評価していること、荷重の載荷方法を奥行き一様として保守的に作用させていること、地震時増分荷重は部材の三次元的変形を踏まえ適切に複数の代表時刻を選定すること等から、1.0 とする。 ・構造物係数 原子力施設の場合、別途重要度分類がなされ、それに基づいて入力地震動の選定が行われているので、1.0 とする。  <p>第Ⅱ. 8. 1-5 図 断面力による照査における安全係数</p> <p>8.2 規格・基準類との比較 安全係数が適切に設定されていることを既工認実績があり、変形照査や断面力による照査手法について規定されている土木学会マニュアル2005 との比較により確認する。また、土木学会マニュアル2005 同様、二次元部材非線形解析による照査手法が規定されている鉄道構造物等設計標準2012, 本評価手法と同様の三次元材料非線形解析による照査手法が規定されている土木学会マニュアル2018 及びコンクリート標準示方書2017 を参照し、妥当性を確認する。比較に用いる規格・基準類の適用性を第Ⅱ. 8. 2-1 表に示す。</p> <p>地震時の要求機能確保に対する評価のうち、層間変形角やひず</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>みなど変形による照査については、規格・基準類の変形に対する照査の際に考慮する安全係数と、断面力による照査については、規格・基準類のせん断に対する照査の際に考慮する安全係数と比較し、妥当性を確認する。変形による照査における安全係数の比較を第Ⅱ. 8. 2-2 表に、断面力による照査における安全係数の比較を第Ⅱ. 8. 2-3 表に示す。</p> <p>断面力による照査におけるコンクリートの材料係数以外は、既工認実績のある土木学会マニュアル2005 の安全係数と同様の安全係数を設定している。断面力による照査におけるコンクリートの材料係数の考え方については8. 3 項に示す。</p>		

第Ⅱ.8.2-1 表 比較に用いる規格・基準類とその適用性

解析手法	参考とした規格・基準	規格・基準の適用範囲・対象構造物	適用性
二次元材料非線形解析	①土木学会マニキュアル2005	原子力発電所屋外重要土木構造物 (Sクラスの機器・配管を支持する鉄筋コンクリート構造物又は、同等の耐震安全性が要求される鉄筋コンクリート構造物)	<ul style="list-style-type: none"> 原子力発電所屋外重要土木構造物に特化した規格・基準であり、屋外重要土木構造物の特徴 (開設された鉄筋コンクリート構造) を十分に考慮されたものであり、適用性がある。 部材に対する調査方法として二次元材料非線形解析を用いた限界値の算定方法が規定されている。
	②鉄道構造物等設計基準2012	鉄道の橋梁、高架橋、橋台、橋脚、特殊な条件下のトンネル等の鉄道構造物	<ul style="list-style-type: none"> 対象とする構造物には地下構造物があり、土圧が直接作用する構造物であるなど、構造上の特徴が、屋外重要土木構造物と比較的類似しており適用性がある。
三次元材料非線形解析	③土木学会マニキュアル2018	原子力発電所屋外重要土木構造物及び同等の耐震安全性が要求される鉄筋コンクリート構造物 (Sクラスの機器・配管の照準支持構造物が求められる鉄筋コンクリート構造物及び、非常時における海水の過水機能が求められる鉄筋コンクリート構造物) 「第3章 材料非線形解析を用いた耐震性能評価」及び「第4章 アクシユオパーレーションを用いた耐震性能評価」がある。	<ul style="list-style-type: none"> 原子力発電所屋外重要土木構造物に特化した規格・基準であり、屋外重要土木構造物の特徴 (開設された鉄筋コンクリート構造) を十分に考慮されたものであり、適用性がある。 面材で構成された三次元構造物の載荷実験を踏まえ、三次元材料非線形解析を用いた調査方法が規定されている。 土圧等の荷重を想定した静的地盤力を設定し、構造物全体のアクシユオパーレーションに基づき構造物全体の挙動に対する調査方法が規定されている。
	④コンクリート標準示方書2017	一般の鉄筋コンクリート構造及びプレストレストコンクリート構造で構成される構造物 (圧縮強度の特性値 80N/cm ² 以下) 「設計編 標準10編」に非線形有要素解析による性能評価がある。	<ul style="list-style-type: none"> 土木学会マニキュアル2017の設計から継持管理に至るまで幅広く活用されており、適用性がある。 非線形有要素解析による性能評価として、三次元材料非線形有要素解析を用いた性能評価が示されている。

第II. 8. 2-2 表 地震時の要求機能確保に対する評価において考慮する安全係数 (変形による照査)

安全係数	評価の概要・設定に至る経緯	考慮の方法	各種規格・基準に基づく標準的な値			三次元解析材料中層形解析による照査評価で採用した値及び設定の妥当性		
			① ^{注1}	② ^{注2}	③ ^{注3}			
材料係数 γ _m	<ul style="list-style-type: none"> 変形評価に用いる材料の設計用値の評価 物性のばらつきや試験体と構造物中との材料特性の差異、材料特性の経時的変化を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する 鋼材の降伏強度を当該値で除する 	1.0	1.3	1.3 ^{注4}	1.0	1.0	文庫に基づく標準的な値を設定している。
部材係数 γ _e	<ul style="list-style-type: none"> 照査計算上の不確かさ、部材寸法のばらつきの影響、部材の重要性を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 変形に対する照査値を当該値で除する 	1.0	1.0~1.15	1.0	併せて1.1~1.5	1.0	文庫に基づく標準的な値を設定している。
構造解析係数 γ _s	<ul style="list-style-type: none"> 構造解析手法自体の精度や不確かさを考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 現生ひずみに当該値を乗じる 	1.2	1.0	1.2	1.5	1.2	解析精度は高いと考えられることから1.2としている。
荷重係数 γ _f	<ul style="list-style-type: none"> 設計荷重評価 荷重の変動、荷重の算定方法の不確かさ、設計耐用期間中の荷重の変化、荷重特性が境界状態に及ぼす影響、環境作用の変動等を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 永久荷重、変動荷重、偶発荷重(地震荷重)の特性値に当該荷重を乗じる 	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	文庫に基づく標準的な値を設定している。
構造物係数 γ _r	<ul style="list-style-type: none"> 構造物の総合的な安全性評価 構造物の重要性、照査状態に達した時の社会的影響を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 応答値と照査値の比に当該値を乗じる 	1.0	1.0	1.0	1.0~1.2	1.0	構造物の重要性及び照査状態に達した時の社会的影響については、屋外重要土木構造物として基準地震動Ssによる照査力を用いることで十分に考慮されているとして1.0としている。

注1：①は土木学会マニュアル2006、②は鉄道構造物設計規程2012、③は土木学会マニュアル2006、④はコンクリート標準示方書2017に記載の値。
 注2：既設構造物において、材料特性のばらつきを考慮して特性値が設定されていることを確認した場合は1.0として良い。

第II. 8. 2-3 表 地震時の要求機能確保に対する評価において考慮する安全係数 (断面力による照査)

安全係数	評価の概要・設定に至る経緯	考慮の方法	各種規格・基準に基づく標準的な値				三次元的材料非線形解析による影響評価で採用した値及び設定の妥当性
			① ¹⁾	② ²⁾	③ ³⁾	④ ⁴⁾	
材料係数 γ_m	<ul style="list-style-type: none"> 断面力評価に用いる材料の設計用値の評価 物性のばらつきや部材と構造物との材料特性の差異、材料特性の経時的変化を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する 鋼筋の張力強度を当該値で除する 	1.3 ¹⁾	1.3	1.3 ³⁾	1.0	1.0~1.3 応答係数 ¹⁾ を用い、文庫に基づく標準的な値を設定している。限界係数 ²⁾ を用い、8.3項に示す考え方がより1.3から低減する場合はあり、文庫に基づく標準的な値を設定している。
部材係数 $\gamma_{1.1}$ ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> 部材耐力の計算上の不確定性、部材寸法のばらつきの影響、部材の重要性を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートが分担するせん断耐力を当該値で除する せん断補強筋が分担するせん断耐力を当該値で除する 	1.3	1.1~1.3	1.3又ははきやリブレインにより設定	1.0	1.0 せん断耐力評価式に用いる標準的な値を設定している。
構造解析係数 γ_1	<ul style="list-style-type: none"> 断面力の評価 断面力算定時の構造解析の不確定性を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 現在断面力に当該値を乗じる 	1.05	1.0	1.05 ¹⁾	1.0	1.05 文庫に基づく標準的な値を設定している。
荷重係数 γ_f	<ul style="list-style-type: none"> 設計荷重評価 荷重の変動、荷重の算定方法の不確実性、設計期間中の荷重の変化、荷重特性が境界状態に及ぼす影響、隣接作用の変動等を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 永久荷重、変動荷重、偶発荷重(地震荷重)の特性値に当該荷重を乗じる 	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0 文庫に基づく標準的な値を設定している。
構造物係数 γ_1	<ul style="list-style-type: none"> 構造物の総合的な安全性評価 構造物の重要度、境界状態に達した時の社会的影響を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> 構造物断面力に当該値を乗じる 	1.0	1.0	1.0	1.0~1.2	1.0 構造物の重要度及び境界状態に達した時の社会的影響については、屋外重要土木構造物として基準地震動Ssによる地震力を適用することで十分に考慮されているとして1.0としている。

※1：①は土木学会マニュアル2005、②は鉄道構造物等設計標準2012、③は土木学会マニュアル2018、④はコンクリート標準示方書2017に記載の値。
 ※2：応答係数¹⁾は1.0を設定。
 ※3：設計構造物において、材料特性のばらつきを考慮して特性値が設定されていることを確認した場合は1.0として良い。
 ※4： $\gamma_{1.1} = \gamma_A \times \gamma_B$ 、 $\gamma_m = \gamma_A \times \gamma_B$ 、表中の値は γ_m の値であり、 γ_A は層間変形角が1/100以下であることを確認のうえ1.0を設定。
 ※5：地震時荷重を適切に設定することを前提に1.0として良い。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>8.3 コンクリートの材料係数の考え方</p> <p>断面力による照査におけるコンクリートの材料係数は、既工認実績がある1.3を標準とするが、対象構造物は既設であることに鑑みて、コンクリート標準示方書2002 等に記載されている安全係数の主旨を確認のうえ、第Ⅱ.8.3-1 表に示す事項をすべて確認できる場合は、材料強度の特性値を設計基準強度 (20.5N/mm²) とし、材料係数を低減する。</p> <p>低減する場合は、一軸圧縮試験結果から算定される5%超過特性値を既工認実績がある材料係数1.3 で除した値が、設計基準強度 (20.5N/mm²) を低減した材料係数で除した値を上回るように材料係数を1.0~1.3 の間で低減する。</p> <p>各構造物ごとに第Ⅱ.8.3-1 表に示す事項を確認しコンクリートの材料係数を設定するが、例として、海水ポンプ室の場合は、第Ⅱ.8.3-2 表に示すとおり確認事項をすべて満足することから、材料係数γ_c を低減する。一軸圧縮試験結果から算定される5%超過特性値が23.4N/mm² であり、材料係数γ_c が1.2 であれば、5%超過特性値を既工認実績がある材料係数1.3 で除した値が、設計基準強度 (20.5N/mm²) を材料係数 (1.2) で除した値を上回ることから、$\gamma_c=1.2$ とする。</p>		

第Ⅱ.8.3-1 表 コンクリートの材料係数における確認事項

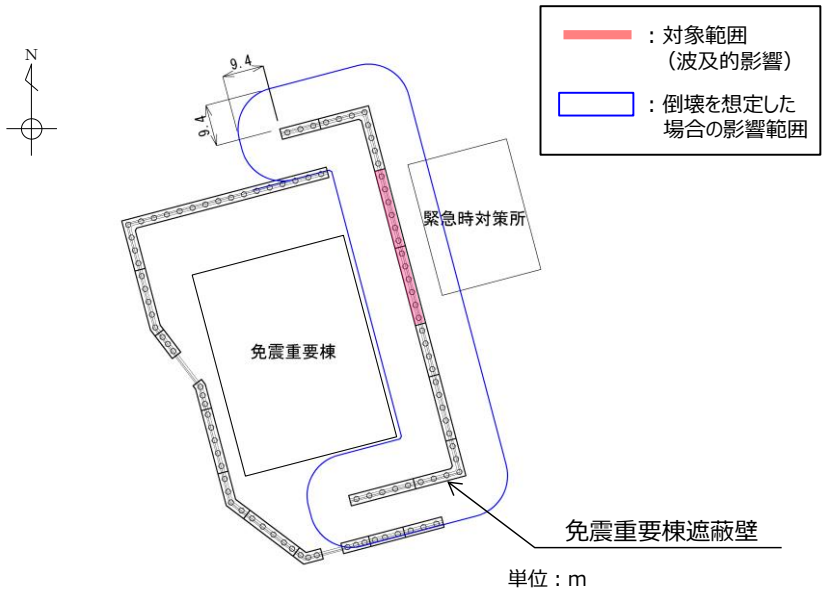
考慮すべき要因	要因の概要	確認事項
1 材料強度の特性値からの算出値と設計値との差が大きい方向への変動	材料強度データの不足や偏り、品質管理の精度等の原因により、強度が特性値を下回る可能性	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート打設時に、社内基準に基づき100mm²に1回の頻度で試験体を作成し、28日強度を計測している。 一般圧縮試験により以下の方が確認できれば、材料強度が特性値を下回る可能性は小さいと考えられるため材料係数を低減する。 <ul style="list-style-type: none"> 建設時の一般圧縮試験における最低値が、材料強度の特性値である20.5N/mm²を上回る。 建設時の一般圧縮試験結果から算出される試験値の平均値、標準偏差に基づき、5%超過特性値が、材料強度の特性値である20.5N/mm²を上回る。 構造物構築後、社内基準に基づき、定期的にコンクリートの品質確認を実施しており、一般圧縮試験を実施している。 一般圧縮試験により以下の方が確認できれば、構造物中においても材料特性が異なる可能性は小さいと考えられるため材料係数を低減する。 <ul style="list-style-type: none"> 構造物構築後の一般圧縮試験における最低値が、材料強度の特性値である20.5N/mm²を上回る。
2 供試体と構造物中との材料特性の差	施工時の品質管理、供試体と構造物の強度や養生状態の差等により、強度が特性値を下回る可能性	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート標準示方書2002によると、せん断耐力における材料係数γ_cは、高強度コンクリートではコンクリートのせん断耐力f_{ctd}がf_{ctd}がf_{ctd}に等しいことによりγ_cを考慮することによりせん断耐力を過大評価しないことにより定められている。 女川2号炉の屋外重要土本構造物で用いるコンクリートは高強度コンクリートではなく、一般圧縮試験により以下のことが確認できれば、最終状態に対して危険側の評価とならないため、材料係数を低減する。 <ul style="list-style-type: none"> 女川2号炉で定める設計基準強度20.5N/mm²に低減したγ_cを考慮したf_{ctd}がf_{ctd}がf_{ctd}を上回る。
3 材料特性が境界状態に及ぼす影響	材料強度の変動により、不明な影響を受ける可能性 (せん断破壊に対する配筋)	<ul style="list-style-type: none"> 構造物構築後、社内基準に基づき、定期的にコンクリートの品質管理を実施しており、一般圧縮試験を実施している。 一般圧縮試験により以下の方が確認できれば、経年劣化により強度が低下する可能性は小さいと考えられるため材料係数を低減する。
4 材料特性の経年変化	コンクリートが経年変化により、強度が低下する可能性	<ul style="list-style-type: none"> 構造物構築後の直近の一般圧縮試験において、試験値の最低値が材料の特性値である20.5N/mm²を上回る。

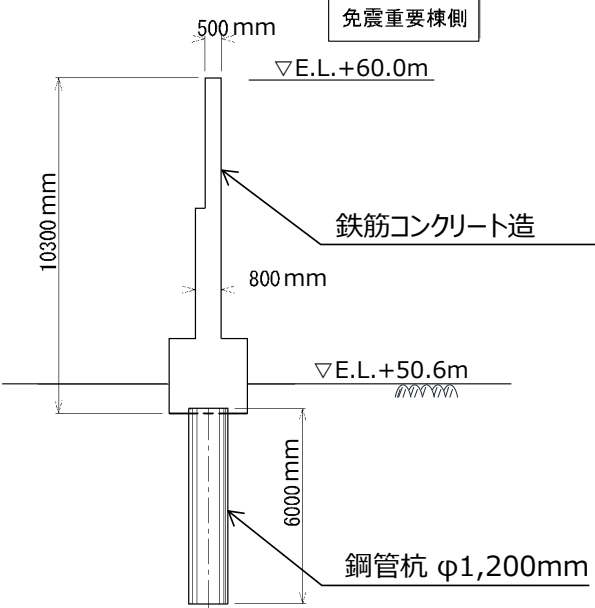
第Ⅱ.8.3-2 表 海水ポンプ室における確認結果

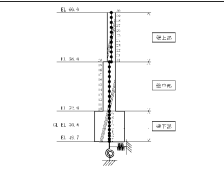
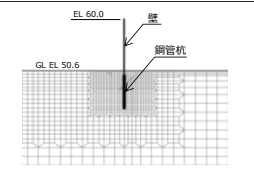
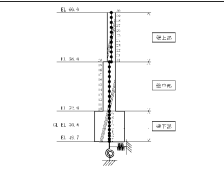
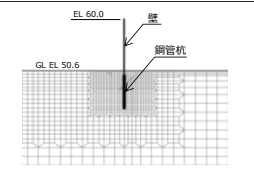
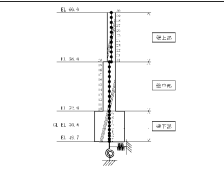
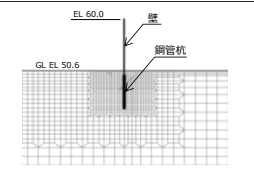
考慮すべき要因	確認事項	確認結果
1 材料強度の特性値からのばらつき(方向への変動)	<ul style="list-style-type: none"> 建設時の一軸圧縮試験における最低値が、材料強度の特性値である20.5N/mm²を上回る。 建設時の一軸圧縮試験結果から算定される試験値の平均値、標準偏差に基づく、5%超過特性値が、材料強度の特性値である20.5N/mm²を上回る。 	建設時の一軸圧縮試験結果 (28日強度) <ul style="list-style-type: none"> 試験本数: 558本 平均値: 29.0N/mm² 最低値: 21.4N/mm² > 20.5N/mm² 5%超過特性値: 23.4N/mm² > 20.5N/mm²
2 供試体と構造物中との材料特性の差異	<ul style="list-style-type: none"> 構造物構築後の一軸圧縮試験における最低値が、材料強度の特性値である20.5N/mm²を上回る。 	構造物構築後に構造物より採取したコアによる一軸圧縮試験結果 <ul style="list-style-type: none"> 試験本数: 9本 平均値: 39.1N/mm² 最低値: 27.4N/mm² > 20.5N/mm²
3 材料特性が限界状態に及ぼす影響	<ul style="list-style-type: none"> 女川2号炉で定める設計基準強度20.5N/mm²に低減したγ_sを考慮した$f'_{s,red}$が0.72N/mm²を下回る。 	$\gamma_s = 1.0$ と仮定した場合の $f'_{s,red}$ <ul style="list-style-type: none"> $f'_{s,red}$: 0.65N/mm² < 0.72N/mm²
4 材料特性の経時変化	<ul style="list-style-type: none"> 構造物構築後の直近の一軸圧縮試験において、試験値の最低値が材料の特性値である20.5N/mm²を上回る。 	構造物構築後の直近の一軸圧縮試験結果 (平成29年度) <ul style="list-style-type: none"> 試験本数: 3本 平均値: 31.7N/mm² 最低値: 27.4N/mm² > 20.5N/mm²

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>9. まとめ</p> <p>海水ポンプ室，取水口，軽油タンク室，復水貯蔵タンク基礎は三次元静的材料非線形解析により耐震安全性評価を行うこととしており，構造が複雑で，要求機能が多岐にわたる海水ポンプ室を代表として，評価方法の妥当性を検討した。</p> <p>二次元地震応答解析により算定した地震時荷重を，三次元モデルへ载荷して耐震安全性評価を行っていること，二次元地震応答解析により算定した床応答を用いて機器・配管類の耐震設計を行っていることから，地震応答解析に係る課題として，以下の3項目について検討し，適切に評価できていることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震時荷重は，海水ポンプ室の延長方向の構造の変化を考慮して，適切に評価できている。 ・地震時荷重の選定時刻は，要求機能を有する部材ごとに損傷モードに応じて適切に選定されている。 ・水平方向の剛性を等価とした等価剛性モデルが鉛直方向の床応答に及ぼす影響はない。 <p>次に，既工認実績のない三次元静的材料非線形解析により構造解析を行っていることから，構造解析に係る課題として以下の5項目について検討し，適切に応答を評価できることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・三次元静的材料非線形解析に用いる解析コードCOM3 は，三次元構造物の終局状態まで評価可能であり，海水ポンプ室と同様のモデル化方法や解析条件で精度よく再現解析が可能である。 ・三次元静的材料非線形解析を適用する構造物の非線形レベルは，おおむね弾性範囲に収まる状態で適用する。 ・三次元モデルは要素分割を適切にモデル化し，応答を評価できる。 ・機器・配管及び竜巻防護ネットの影響を適切に評価できている。 ・荷重の载荷方法は，奥行き一様に载荷させており，保守的な载荷方法である。 <p>最後に，材料非線形解析を用いた限界状態設計法で照査を行うことから，許容限界及び安全係数について検討し，許容限界及び安全係数を適切に設定できていることを確認した。</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既工認実績のある許容限界を採用することを基本としており、一部おおむね弾性範囲に対する許容限界は既工認実績が無いひずみを採用しているが、既工認実績のある限界状態と同様の許容限界である。 ・ 安全係数は三次元材料非線形解析による評価に対するプロセスごとに適切な安全係数を設定しており、規格・基準類と比較しても同等の安全係数である。 <p style="margin-left: 40px;">以上の検討により、三次元静的非線形解析による評価手法は、構造物の耐震安全性を安全側に評価できることを確認した。</p>		

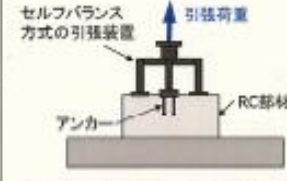
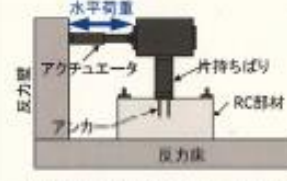
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">参考 1</p> <p style="text-align: center;"><u>免震重要棟遮蔽壁のモデル化方針</u></p> <p>屋外の上位クラス施設である緊急時対策所の周辺には、波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設である免震重要棟遮蔽壁が位置する。</p> <p>免震重要棟遮蔽壁は、免震重要棟廻りに延長約300mに亘り、岩盤上に設置される鉄筋コンクリート造の遮蔽壁であり、このうち緊急時対策所に影響を及ぼすおそれのある範囲は直線状の区間(36m)である。また、免震重要棟遮蔽壁は、地盤面からの高さが9.4m、厚さは50cm以上であり、杭基礎(鋼管杭)構造である。</p> <p>平面図を図1に、断面図を図2に示す。</p> <div style="text-align: center;">  <p>図1 免震重要棟遮蔽壁の平面図</p> </div>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉は免震重要棟遮蔽壁のモデル化方針について説明</p>

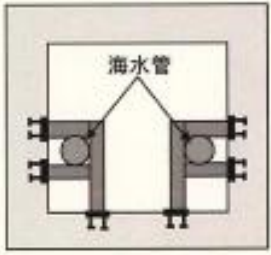
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1923 840 2320 871">図2 免震重要棟遮蔽壁の断面図</p> <p data-bbox="1736 934 2507 1186">免震重要棟遮蔽壁は、地盤～杭基礎のモデルをSRモデル、遮蔽壁を質点系モデルとした地盤～杭基礎～遮蔽壁の連成系モデルにより地震応答解析を行う方針とし、「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程JEAC4616-2009」に準拠し、杭基礎と地盤の相互作用を考慮できる薄層要素法で地盤ばねを評価することとしていた。</p> <p data-bbox="1736 1197 2507 1449">免震重要棟遮蔽壁の底面は解放基盤相当の岩盤が出現していることから、SRモデルに適合する地盤である。また、免震重要棟遮蔽壁は、基礎幅に比べて壁の高さが高く、構造物下端のモーメントが大きいため、基礎の安定性を考慮して杭基礎を採用し、基礎幅は狭いものの、奥行き方向に杭が複数存在する構造としている。</p> <p data-bbox="1736 1459 2507 1669">目地間の標準的な1ブロックは、奥行き方向に5本の杭で構成されている。SRモデルでは地盤ばねを設定する必要があるが、薄層要素法による地盤ばねの算出方法は、群杭と地盤の相互作用が評価可能であることから、本構造物基礎の1×5の杭配置についても適用可能と判断していた。</p> <p data-bbox="1736 1680 2507 1890">しかしながら、薄層要素法は杭と地盤の相互作用や群杭の影響を考慮するために用いられる一般的な手法（入門・建物と地盤と動的相互作用 日本建築学会1996）であるが、準拠した「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程JEAC4616-2009」を用いて、免震重要棟遮蔽壁のように</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考												
		<p>基礎幅に比べて壁の高さが高く、岩盤に杭を設置する構造物の既工認実績はない。</p> <p>したがって、「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程JEAC4616-2009」の適用に関して、本構造物の設置環境及び構造的特徴を踏まえ、先行炉審査実績を有する2次元FEMモデルによる地震応答解析に見直す。</p> <p style="text-align: center;">表1 免震重要棟遮蔽壁のモデル化方針の比較</p> <table border="1" data-bbox="1736 573 2487 947"> <tr> <td data-bbox="1736 573 1872 730">解析モデル(例)</td> <td data-bbox="1872 573 2169 730">  </td> <td data-bbox="2169 573 2487 730">  </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1736 730 1872 779">モデル化方針</td> <td data-bbox="1872 730 2169 779"> 地盤～杭：SRモデル 壁：質点系モデル </td> <td data-bbox="2169 730 2487 779"> 2次元FEMモデル (鋼管杭及び壁：梁要素，地盤：平面ひずみ要素) </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1736 779 1872 915">設計概要</td> <td colspan="2" data-bbox="1872 779 2487 915"> <ul style="list-style-type: none"> ・「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程JEAC4616-2009」に記載の「地盤～杭基礎～建屋連成系の地震応答解析モデル」に準拠して設計する。 ・地盤ばね(水平・回転)は、薄層要素法に基づく評価を実施したうえで、「原子力発電所耐震設計審査指針 JEAG601-1991追補版」の近似法により設定する。 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="1736 915 1872 947">評価</td> <td data-bbox="1872 915 2169 947" style="text-align: center;">○</td> <td data-bbox="2169 915 2487 947" style="text-align: center;">◎</td> </tr> </table>	解析モデル(例)			モデル化方針	地盤～杭：SRモデル 壁：質点系モデル	2次元FEMモデル (鋼管杭及び壁：梁要素，地盤：平面ひずみ要素)	設計概要	<ul style="list-style-type: none"> ・「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程JEAC4616-2009」に記載の「地盤～杭基礎～建屋連成系の地震応答解析モデル」に準拠して設計する。 ・地盤ばね(水平・回転)は、薄層要素法に基づく評価を実施したうえで、「原子力発電所耐震設計審査指針 JEAG601-1991追補版」の近似法により設定する。 		評価	○	◎	
解析モデル(例)															
モデル化方針	地盤～杭：SRモデル 壁：質点系モデル	2次元FEMモデル (鋼管杭及び壁：梁要素，地盤：平面ひずみ要素)													
設計概要	<ul style="list-style-type: none"> ・「乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程JEAC4616-2009」に記載の「地盤～杭基礎～建屋連成系の地震応答解析モデル」に準拠して設計する。 ・地盤ばね(水平・回転)は、薄層要素法に基づく評価を実施したうえで、「原子力発電所耐震設計審査指針 JEAG601-1991追補版」の近似法により設定する。 														
評価	○	◎													

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 1</p> <p style="text-align: center;">支持機能に関する実験</p> <p>1. はじめに</p> <p>支持機能に対する許容限界として、鉄筋が降伏しないこと（鉄筋の降伏強度に対応するひずみ：1725μ）としており、本許容限界は既工認実績のある許容限界であるが、最新の知見として、部材を曲げ降伏させた状態でアンカーの耐力を評価する実験を行っている事例を示す（1）。</p> <p>本実験は、新たな知見取得のために、土木構造物の面外曲げひび割れがアンカー耐力に及ぼす影響を確認する目的で行われた実験であり、JEAG4601 に記載されている面内せん断に対する引張荷重載荷による既往の実験とは異なるものである（添付1-1 表）。</p> <p>実験の結果、アンカー定着部周辺におけるRC 部材の損傷が曲げ降伏程度であれば、アンカーは本来の定着性能を保持できることが確認されている。</p> <p>本実験は以下の理由により、女川2号炉への適用性が高いと考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実験に用いる試験体は、アンカーを定着させた鉄筋コンクリート部材であり、アンカーは主筋よりも深い位置で定着しており、女川2号炉のアンカーと主筋の位置関係と同様である。 ・実験の条件として、鉄筋コンクリート部材が曲げ降伏に達するまで曲げひび割れを与えているのに対し、女川2号炉では鉄筋が降伏しないことを許容限界としており、実験よりも部材が健全な状態を想定している。 ・実験の結果、アンカー降伏が先行する破壊モードであるのに対し、女川2号炉におけるアンカー設計は、基本的にアンカー降伏が先行するように設計されていることから、破壊モードが整合している。 		

添付1-1 表 既往検討におけるアンカー耐力評価のための代表的な実験と主な特徴

実験方法	(a) 引張荷重による方法	(b) 水平荷重による方法
実験イメージ		
主な特徴	<ul style="list-style-type: none"> 単純化した荷重作用下での耐力評価が可能であり、基礎データの取得に適している。 荷重条件としては厳しく、評価結果が保守的な傾向となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 引張とせん断が作用することで、より実態に近い荷重条件下での耐力評価が可能である。 同様な形式で振動台実験などを行うことで動的応答と併せて評価できる。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 1</p> <p>2. 実験概要</p> <p>Sクラスの機器・配管は、添付1-1 図に示すとおり基本的に構造物隅角部を避けて設置され、アンカーの長さはコンクリートのかぶりよりも十分深く設定されている。</p> <p>本実験では、上記の条件を満たす海水管を想定し、アンカー定着部周辺で発生し得る構造物の地震時損傷として、構造物の部材降伏程度のひび割れを想定している。</p> <p>主な流れとして、添付1-2 図に示すとおり、アンカーの定着部付近に2点支持2点载荷の曲げ実験（以下「初期損傷実験」という。）によって初期損傷（曲げ降伏）を与えた後、アンカープレート上の鋼製サポートを模擬した片持ちばりと配管を模擬した錘を設置し、静的な繰返し载荷実験（以下「静的実験」という。）、及び振動台実験（以下「動的実験」という。）を行い、結果に基づいてアンカーの耐力評価を行う。</p> <div style="text-align: center;">  <p>添付1-1 図 機器・配管設置イメージ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>添付1-2 図 構造物の損傷を考慮したアンカーの定着性能評価のための実験概要</p> </div>		

添付資料 1

2.1 試験体及び実験ケース

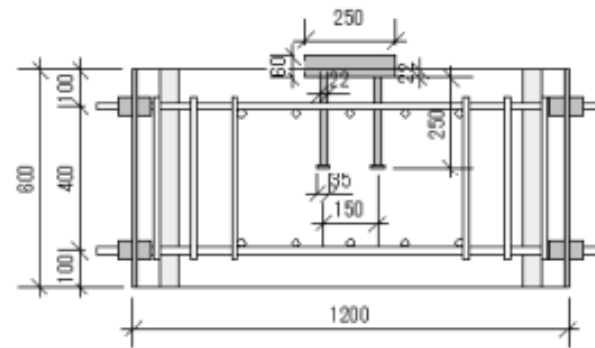
試験体は、アンカーを定着させたRC 部材であり、構造物と機器の境界部を模擬している。試験体を添付1-3 図に示す。

アンカーは4本の頭付きアンカーボルト (JIS B 1198, 軸部直径22mm, 頭部直径35mm) と、幅250mm×奥行き250mm×厚さ60mm のアンカープレート (材質はSS400) で構成されている。女川2号炉においては、厚さ12~36mm のアンカープレートを使用しているが、本実験においては、実験時にプレートに塑性変形が生じてアンカーや周辺コンクリートに荷重が伝達できず、評価できなくなることを避けるために厚さ60mm と実機より厚いアンカープレートを使用している。

アンカー長は一般的な配管等のアンカー長を想定して250mm としている。女川2号炉においては、アンカー長が130~300mm のアンカーを使用しており、250mmは平均的な長さとなっている。また、試験体と女川2号炉のアンカーはいずれも主筋位置より十分深い位置で定着しており、類似している。

試験体外形は、幅1.2m, 奥行き0.9m, 高さ0.6m であり、主筋は、D19 (SD345) のネジ鉄筋とし、5本×2列で計10本配置している。

同一仕様の試験体4体に対して、添付1-2 表のとおり初期損傷が無い場合と有る場合の静的実験 (S-0, S-1) 及び動的实验 (D-0, D-1) を実施する。



添付1-3 図 試験体の形状と寸法

添付1-2 表 実験ケース

実験ケース	初期損傷	実験方法
S-0	無し	静的実験
S-1	有り	
D-0	無し	動的实验
D-1	有り	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																				
	<p style="text-align: right;">添付資料 1</p> <p>2.2 アンカーの許容耐力</p> <p>添付1-3 表に示す材料試験の結果から、「各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010）」（以下「構造設計指針2010」という。）に基づき算定した，許容引張力，許容せん断力及び水平力作用位置における許容耐力を添付1-4 表に示す。</p> <p>本試験体における許容引張力及び許容せん断力はアンカーの降伏で決まっており，許容引張力及び許容せん断力を用いて水平力作用位置における許容耐力を算定している。</p> <p>なお，構造設計指針2010 とJEAG4601 の許容引張力及び許容せん断力の算定式は基本的に同一で，一部係数のみ異なっており，JEAG4601 に基づき算定する許容耐力が安全側（許容耐力が小さい）となっている。構造設計指針2010 により算定した本許容耐力は，JEAG4601 に基づき算定した許容耐力よりも大きくなるが，後述するとおり最大耐力は本許容耐力を上回っており，実験結果に影響を及ぼすことはない。</p> <p style="text-align: center;">添付1-3 表 材料試験の結果</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">アンカー (JIS 1198)</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">設計基準</th> <th style="text-align: center;">材料試験</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>降伏強度 (MPa)</td> <td style="text-align: center;">235</td> <td style="text-align: center;">330.2</td> </tr> <tr> <td>引張強度 (MPa)</td> <td style="text-align: center;">400</td> <td style="text-align: center;">464.1</td> </tr> </tbody> </table> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">コンクリート (24MPa)</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">設計基準</th> <th style="text-align: center;">材料試験</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>圧縮強度 (MPa)</td> <td style="text-align: center;">24</td> <td style="text-align: center;">40.9</td> </tr> <tr> <td>引張強度 (MPa)</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">3.2</td> </tr> </tbody> </table> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">主筋 (D19 SD345)</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">設計基準</th> <th style="text-align: center;">材料試験</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>降伏強度 (MPa)</td> <td style="text-align: center;">345</td> <td style="text-align: center;">401.9</td> </tr> <tr> <td>引張強度 (MPa)</td> <td style="text-align: center;">490</td> <td style="text-align: center;">582.9</td> </tr> </tbody> </table>	アンカー (JIS 1198)				設計基準	材料試験	降伏強度 (MPa)	235	330.2	引張強度 (MPa)	400	464.1	コンクリート (24MPa)				設計基準	材料試験	圧縮強度 (MPa)	24	40.9	引張強度 (MPa)	-	3.2	主筋 (D19 SD345)				設計基準	材料試験	降伏強度 (MPa)	345	401.9	引張強度 (MPa)	490	582.9		
アンカー (JIS 1198)																																							
	設計基準	材料試験																																					
降伏強度 (MPa)	235	330.2																																					
引張強度 (MPa)	400	464.1																																					
コンクリート (24MPa)																																							
	設計基準	材料試験																																					
圧縮強度 (MPa)	24	40.9																																					
引張強度 (MPa)	-	3.2																																					
主筋 (D19 SD345)																																							
	設計基準	材料試験																																					
降伏強度 (MPa)	345	401.9																																					
引張強度 (MPa)	490	582.9																																					

添付資料 1

添付1-4 表 許容耐力算定結果

項目	単位	許容耐力 (材料試験値ベース)
許容引張力 (コンクリートの破壊)	kN	142.0
許容引張力 (アンカーの降伏)	kN	125.5
許容引張力 (上記のうち小さい方)	kN	125.5
許容せん断力 (コンクリートの破壊)	kN	136.3
許容せん断力 (アンカーの降伏)	kN	87.9
許容せん断力 (上記のうち小さい方)	kN	87.9
水平力作用位置における許容耐力	kN	43.0

2.3 実験の条件

静的実験及び動的实验の条件を以下に示す。

・初期損傷の導入

鉄筋コンクリート部材の両端にスパン延長治具を設置し、鉛直方向の500kN アクチュエータを2本取り付けて、2点支持2載荷によって、試験体中央のアンカー定着部付近に鉄筋コンクリート部材が曲げ降伏に達するまで曲げひび割れを与える。

・静的実験の条件

アンカープレート上に片持ちはり形式の鋼製サポートと錘（重量20kN）を取り付け、水平力を錘重心位置に変位制御で与える。水平力作用位置における変位を、サポート基部からの高さ（1,000mm）で除した値をサポートの変形角と定義し、変形角を0.5%刻みで3.0%まで漸増させ、それ以降は1.0%刻みで漸増させる。

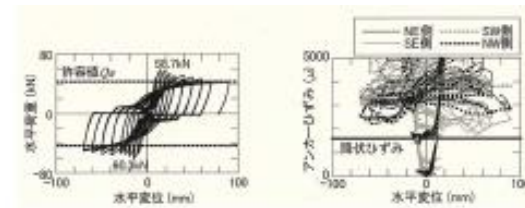
・動的实验の条件

静的実験と同様の鋼製サポートと錘（質量2t）をアンカープレート上に取り付けた状態で水平一軸の振動台実験を行う。

加振に際しては、入力倍率20%を初期値として、40%、60%、80%と、20%ずつ増加させていき、振動台の加振限界（入力倍率200%）まで加振を行う。入力倍率200%まで上げて損傷が顕著でない場合には、入力倍率100%と200%の加振を再度行う。動的实验における入力加速度の時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 1</p> <p>を添付1-4 図に示す。</p> <div data-bbox="982 386 1665 646" data-label="Figure"> </div> <p style="text-align: center;">添付1-4 図 動的実験における入力地震動</p> <p>3. 実験結果</p> <p>3.1 静的実験の結果</p> <p>初期損傷無し（実験ケース S-0）の実験結果を添付1-5 図に示す。</p> <p>初期損傷無しのケースにおいては、アンカーの降伏で決まる許容耐力を上回る最大耐力を発揮しており、ポストピークにおいても安定したねばり強い履歴特性が得られている。また、载荷に伴っていずれのアンカーも引張側に降伏し、その後も载荷変位の増大に伴ってひずみのレベルは著しく進展している。鉄筋コンクリート部材の損傷は、アンカープレート周辺のみ留まっており、アンカープレートの支圧などによるコンクリート表面の剥離と考えられる。</p> <p>次に初期損傷有り（実験ケース S-1）の実験結果を添付1-6 図に示す。</p> <p>初期損傷有りのケースにおいても、アンカーの降伏で決まる許容耐力を上回る最大耐力を発揮しており、初期損傷が無い場合と遜色ない耐力やねばり強さを発揮している。また、载荷に伴っていずれのアンカーも引張側に降伏し、その後も载荷変位の増大に伴ってひずみのレベルは著しく進展している。鉄筋コンクリート部材の損傷は、初期損傷実験によるひび割れの進展は認められず、新たな損傷はアンカープレートの周辺のコンクリート表面の剥離のみに留まっている。</p> <p>初期損傷の有無による結果の違いは見られず、いずれもアンカーの定着性能は保持されていると言える。</p>		

添付資料 1

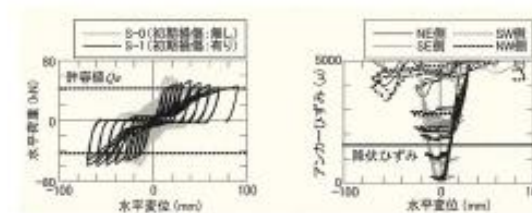


荷重-変位関係 アンカーひずみ

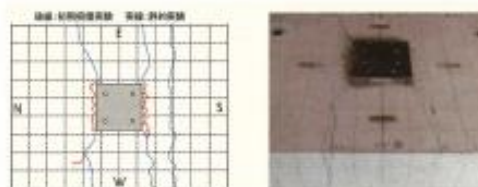


損傷状況

添付 1-5 図 実験ケース S-0 の実験結果

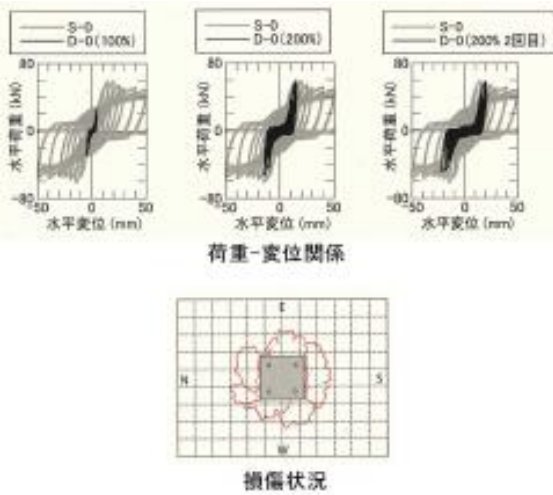


荷重-変位関係 アンカーひずみ



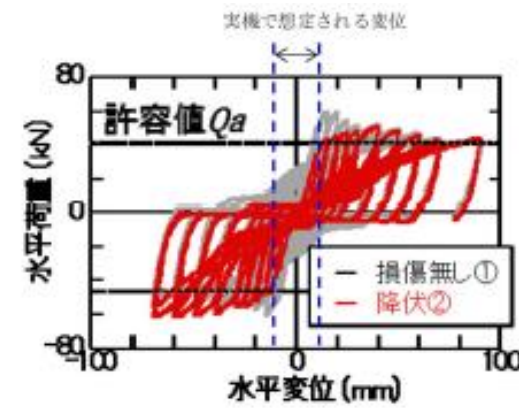
損傷状況

添付1-6 図 実験ケースS-1 の実験結果

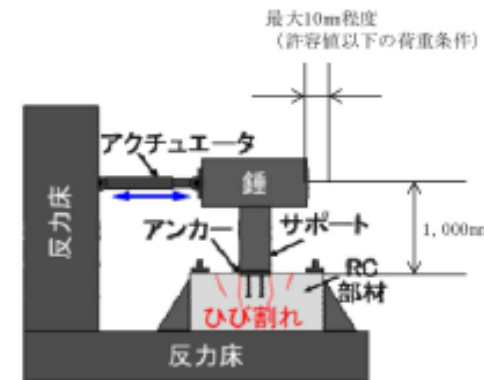
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 1</p> <p>3.2 動的実験の結果</p> <p>初期損傷無し（実験ケース D-0）の実験結果を添付1-7 図に示す。</p> <p>初期損傷無しのケースにおいて、耐力や履歴特性は、静的実験（S-0）の結果と全体的によく対応しており、損傷入力地震動の増大と加振の繰返しによって応答変位が増大しても粘り強さを発揮している。また、鉄筋コンクリート部材の損傷は、アンカープレートの支圧などによるコンクリート表面の剥離のみに留まっている。</p> <p>初期損傷有り（実験ケース D-1）の実験結果を添付1-8 図に示す。</p> <p>初期損傷有りのケースにおいても、耐力や履歴特性は、静的実験（S-1）の結果と全体的によく対応しており、損傷入力地震動の増大と加振の繰返しによって応答変位が増大しても粘り強さを発揮している。また、鉄筋コンクリート部材の損傷は、初期損傷実験によるひび割れの進展は認められず、新たな損傷はアンカープレートの周辺のコンクリート表面の剥離のみに留まっている。</p> <p>静的実験と同様に、初期損傷の有無による結果の違いは見られず、いずれもアンカーの定着性能は保持されていると言える。</p> <p>静的実験及び動的実験の結果から、アンカーが主筋位置より深い位置で定着しており、かつ、アンカー定着部周辺における構造物の損傷が曲げ降伏程度であれば、初期損傷の有無はアンカーの定着性能に影響を及ぼさないと考えられる。</p> <div style="text-align: center;">  <p>添付1-7 図 実験ケースD-0 の実験結果</p> </div>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 1</p>  <p style="text-align: center;">添付1-8 図 実験ケースD-1 の実験結果</p> <p>3.3 剛性低下の実機への影響</p> <p>本試験は、アンカーの耐力試験として、耐力の低下が確認されるまで荷重を増加させているが、実機で想定される機器の荷重条件は、試験初期の数サイクルに該当し、添付1-9 図に示すとおり、この範囲においては、剛性低下は極僅かであり、耐力の低下も認められない。また、添付1-10 図に示すとおり水平力作用位置（アンカー部から上方に1m の位置）における水平変位は、最大10mm 程度と微小である。</p> <p>実機のアンカーは、壁又は床に設置し、鋼材を介して配管を支持しており、鋼材と配管の間には適切なクリアランスを設けていることから、変位による影響は小さく、機器側の設計に反映する事項はないと考えられる。</p>		

添付資料 1



添付1-9 図 静的実験の荷重－変位関係



添付1-10 図 試験装置の概略図

4. 参考文献

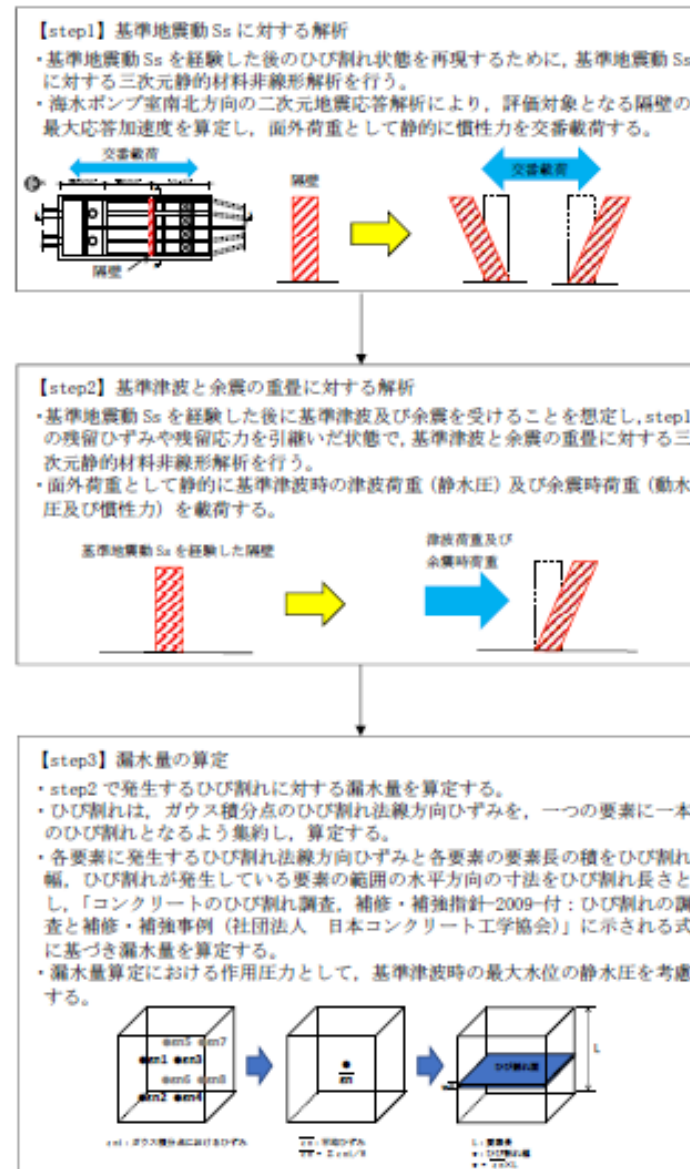
- (1) 土木学会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針<技術資料>2018，平成30年10月，pp33—44

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 2</p> <p style="text-align: center;">止水機能が要求される部材のひび割れ影響評価方法</p> <p>1. はじめに</p> <p>止水機能に対する面外変形の許容限界として、おおむね弾性範囲（コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ：2000μ，鉄筋の降伏強度に対応するひずみ：1725μ）であること，発生せん断力がせん断耐力以下であることを許容限界として設定し，海水ポンプ室隔壁等のRC 部材のみで止水性が必要とされる部材については，止水機能に影響を及ぼすような顕著なひび割れが発生していないことを解析等により確認する方針としている。</p> <p>本資料は，解析より得られる応答から止水性を評価する方法は先行プラントでの実績が無いことから，評価方針として面外荷重を受ける止水機能が要求される部材の止水性の評価方法を示すと共に，解析から得られる応答に保守性を見込んだうえでの試算の結果を例示し，部材のおおむね弾性範囲下における面外荷重に対する止水機能の見通しを示すものである。</p> <p>本資料では，津波時（押波）に止水機能が要求される部材の代表として，添付2-1 図に示す海水ポンプ室のスクリーンエリアー補機ポンプエリア間の隔壁（以下，隔壁という。）を例に，止水機能に影響を及ぼすような顕著なひび割れが発生していないことの評価方法を示す。また，評価方法に基づき保守的に評価した試算の結果を合わせて示す。</p>		

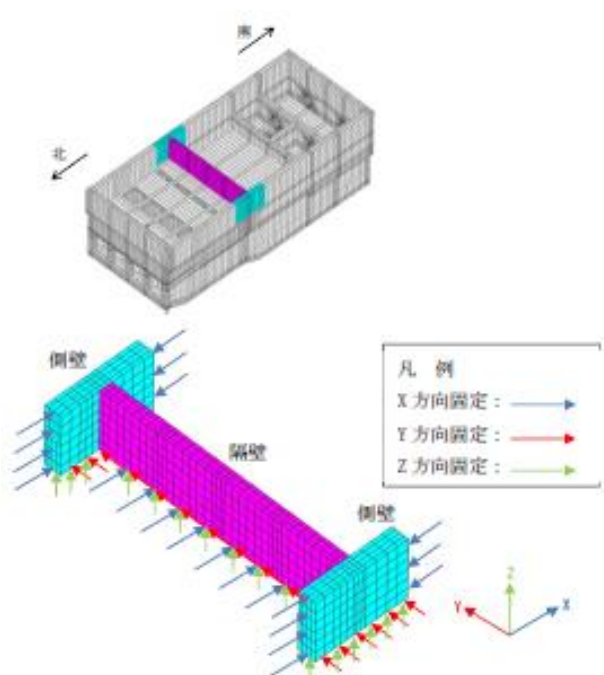
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 2</p> <p style="text-align: center;">添付2-1 図 評価対象部材</p> <p>2. 評価方法</p> <p>2.1 評価フロー</p> <p>評価の方法として、基準地震動Ss を経験した後に基準津波が襲来し、海水ポンプ室スクリーンエリアの水位が上昇し、水位が最高水位 (0. P. +19. 00m) となった状態に余震が重畳することを想定する。</p> <p>評価フローを添付2-2 図に示す。</p> <p>step1 として基準地震動Ss を経験した後のひび割れ状態を再現するために、基準地震動Ss に対する三次元静的材料非線形解析を行う。</p> <p>次にstep2 として基準地震動Ss を経験した後に基準津波及び余震を受けることを想定し、step1 の残留ひずみや残留応力を引継いだ状態で、基準津波と余震の重畳に対する三次元静的材料非線形解析を行う。</p> <p>最後にstep3 としてstep2 で発生する Gauss 積分点でのひび割れ面に直交するひずみ (以下、ひび割れ法線方向ひずみという。) より、ひび割れ幅及びひび割れ長さを算定し、ひび割れに対する</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 2</p> <p>漏水量を算定する。</p> <p>添付2-2 図に示す評価フローに従った評価方法による試算の結果を「3. 評価例」に示す。</p> <p>なお、ここでは、先行プラントで実績の無い面外荷重を受ける部材の止水性評価方法を示すため面外荷重のみを考慮しているが、工事計画認可段階では水平2方向同時入力の影響検討において、面内荷重も考慮して評価する。</p>		

添付資料 2



添付2-2 図 評価フロー図

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 2</p> <p>2.2 解析モデル</p> <p>三次元静的材料非線形解析の解析モデルは、評価対象である隔壁及び隔壁と直交する壁（以下、側壁という。）の一部をモデル化する。三次元静的材料非線形解析により、隔壁のひび割れ法線方向ひずみを算出し、ひび割れ法線方向ひずみからひび割れ幅を算定することが目的であるため、隔壁を材料非線形要素でモデル化する。境界条件は、底面固定とし、側壁側面は延長方向（X 方向）のみ固定とする。解析モデルを添付2-3 図に示す。</p> <p>ここでは、試計算のため隔壁と側壁の一部をモデル化して評価するが、工事計画認可段階では、海水ポンプ室全体の三次元モデルにより評価する。</p>  <p style="text-align: center;">添付2-3 図 解析モデル</p> <p>3. 評価例</p> <p>評価例として、海水ポンプ室縦断方向の応答が大きくなると考えられる基準地震動Ss-D2 を検討地震動とした試計算の結果を示す。ここに示す結果は、試計算であるため、算定した荷重を保守的に簡略化して載荷させるなどして評価を行っている。</p> <p>解析モデルは「2.2 解析モデル」に記載のとおりモデル化した。なお、側壁については照査対象ではなく、隔壁の面外方向荷重に対して非線形化することは無いと考えられるため、線形要素でモ</p>		

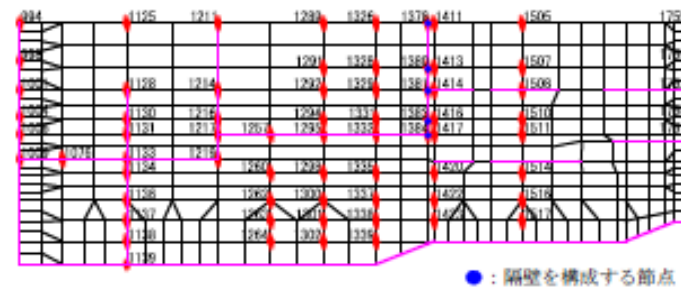
添付資料 2

デル化した。

評価フローに従い、step1 として基準地震動Ss に対する解析を行った。海水ポンプ室の縦断方向について、基準地震動Ss を入力した二次元地震応答解析により、評価対象となる隔壁の応答加速度を算出した。隔壁を構成する節点の応答加速度を添付2-1 表及び添付2-4 図に示す。隔壁の上部に行くほど応答加速度は大きくなり、最大応答加速度は隔壁天端の節点で737gal であった。今回の試算では、737gal を保守的に丸めて最大加速度1000gal として交番载荷を行った。

添付2-1 表 隔壁の応答加速度

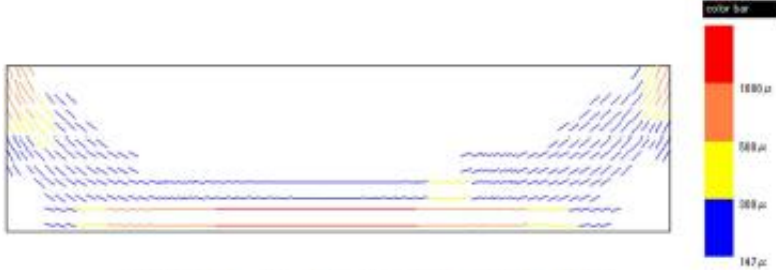
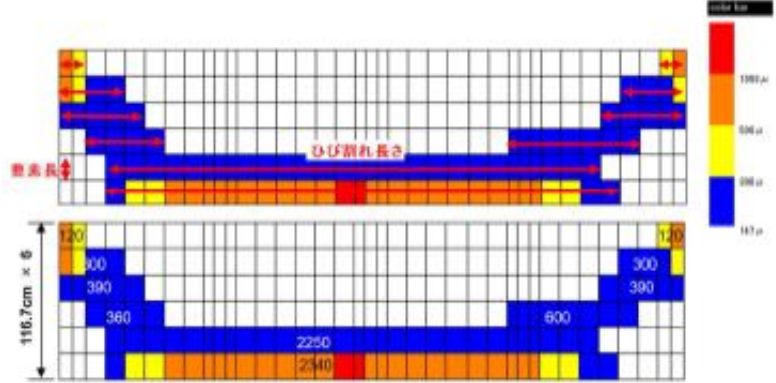
節点番号	水平方向 最大加速度 (gal)
1378	737.8
1380	684.3
1381	657.0
1383	620.7
1384	601.5



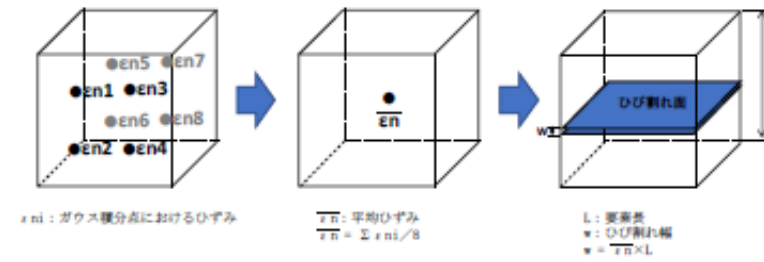
添付2-4 図 応答加速度算出節点

評価フローのstep2 として、交番载荷による残留ひずみや残留応力を引継いだ状態で、基準津波と余震の重畳に対する解析を行った。津波荷重として、基準津波の最高水位 (O.P. +19.00m) における静水圧を考慮した。静水圧は荷重の入力を簡略化するため、隔壁に作用する総荷重が等しくなるような一様荷重とした。また、余震時荷重として、基準津波の最高水位 (O.P. +19.00m) における動水圧と余震時の慣性力を考慮した。動水圧は下式のWestergaard 式から算定することとし、保守的に隔壁下端深度で算定した荷重を一様に载荷した。静水圧及び動水圧の载荷イメージを添付2-5

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 2</p> <p>図に示す。慣性力は、基準地震動Ss-D2 に係数0.58 を乗じた地震動が弾性設計用地震動であることから、保守的に水平加速度を600gal (1000gal×0.6) として算定し、一様に载荷した。</p> <p>(Westergaard 式)</p> $p_w = \frac{7}{8} \times c \times \gamma_w \times \sqrt{(h \times y)} \times Kh$ <p>ここに、</p> <ul style="list-style-type: none"> p_w : 動水圧 (tf/m²) Kh : 水平震度 c : 補正係数 $L/h < 1.5$ の場合: $c=L/(1.5h)$ $L/h \geq 1.5$ の場合: $c=1.0$ L : 水路幅 (m) γ_w : 内水の単位体積重量 (tf/m³) h : 水深 (m) y : 水面から動水圧を求める点までの深さ (m) <div style="text-align: center;"> </div> <p>静水圧は隔壁上端で 42.42kN/m²、隔壁下端で 111.11kN/m²であるが、荷重の入力を簡略化するため、総荷重が等しい一様荷重となるよう 76.77 kN/m² の一様荷重として载荷した。</p> <p>動水圧は保守的に隔壁下端深度で算定した 58.33kN/m² の一様荷重として载荷した。</p> <p style="text-align: center;">添付2-5 図 静水圧及び動水圧の载荷イメージ</p> <p>評価フローのstep3 として、基準津波と余震の重畳に対する解析により発生したひび割れに対する漏水量の算定を行った。基準津波と余震の重畳に対する解析結果を添付2-6 図に示す。添付2-6 図はガウス積分点で算出したひび割れ法線方向ひずみを示している。ひび割れ幅やひび割れ長さを算定するために、ガウス積分点で算出したひび割れ法線方向ひずみを、1要素につき1本のひび割れとなるよう集約した。要素ごとのひび割れ法線方向ひずみに集約したコンター図を添付2-7 図に示す。添付2-7 図における各要素のひび割れ法線方向ひずみは、ガウス積分点で算出したひび割れ法線方向ひずみの平均値を示している。</p>		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 2</p> <p>添付2-7 図における各要素の鉛直方向の寸法を要素長とし、各要素に発生するひび割れ法線方向ひずみと要素長の積としてひび割れ幅を算定した。ひび割れ幅の算定方法を添付2-8 図に示す。また、ひび割れが発生している要素の範囲の水平方向の寸法をひび割れ長さとした。ここでは、全てのひび割れが水平方向に発生しているものと仮定した。ひび割れ幅を算定する際は、添付2-7 図の横方向1段ごとに一樣なひずみを想定して算定した。例えば、添付2-7 図の最下段は500μのコンターが主体的であるため、保守的に1000μで一樣なひずみと想定した。ひび割れ幅及びひび割れ長さの算定結果を添付2-2 表に示す。ここに示す結果は、隔壁表面の要素に発生するひび割れ幅及びひび割れ長さであるが、保守的に壁厚方向全ての要素に同じひび割れ幅及びひび割れ長さが発生しているものと仮定した。</p> <div style="text-align: center;">  <p>添付 2-6 図 ガウス積分点のひび割れ法線方向ひずみ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>添付2-7 図 要素ごとのひび割れ法線方向ひずみ</p> </div>		

添付資料 2



添付2-2 表 ひび割れ幅及びひび割れ長さ算定結果

ひび割れひずみ (μ)	1000	500	300
要素長 (mm)	1167	1167	1167
ひび割れ幅 (mm)	1.167	0.584	0.350
ひび割れ延長 (m)	25.80	6.00	39.90

算定したひび割れ幅及びひび割れ長さから、「コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2009-付：ひび割れの調査と補修・補強事例（社団法人 日本コンクリート工学協会）」に示される下式に基づき漏水量を算定した。

(漏水量算定式)

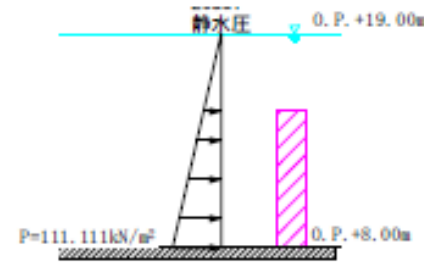
$$Q = C_w \frac{L \cdot w^3 \cdot \Delta p}{12\nu \cdot t}$$

ここに、

- Q : 漏水量 (mm³/s)
- C_w : 低減係数
- L : ひび割れ長さ (mm)
- w : ひび割れ幅 (mm)
- Δp : 作用圧力 (N/mm²)
- ν : 水の粘性係数 (Ns/mm²)
- t : 部材の厚さ (ひび割れ深さ) (mm)

添付資料 2

漏水量算定時の作用圧力は、作用時間の短い動水圧は考慮せず、基準津波の最高水位 (O.P. +19.00m) の静水圧 (添付2-9 図) とした。単位時間当たりの漏水量を算定すると添付2-3 表のとおりとなった。



添付2-9 図 漏水量算定時の作用圧力

添付2-3 表 単位時間当たりの漏水量

ひび割れひずみ(μ)		1000	500	300
w	ひび割れ幅(mm)	1.167	0.584	0.350
L	ひび割れ延長(m)	25.80	6.00	39.90
Cw	紙減係数	0.010	0.016	0.031
ν	水の粘性係数(N・s/mm ²)	1.14E-09		
Δp	作用圧力(N/mm ²)	0.111	0.111	0.111
t	部材の厚さ(ひび割れ深さ)(mm)	1500	1500	1500
Q	単位時間当たりの漏水量(m ³ /s)	0.00213	0.00010	0.00029
	単位時間当たりの総漏水量(m ³ /s)	0.00252		

作用圧力の継続時間を設定するため、津波時の海水ポンプ室における水位の時刻歴波形を添付2-10 図に示す。なお、添付2-10 図に示す水位は、平成23 年3 月11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による地殻変動に伴い、牡鹿半島全体で約1m の沈降が発生していることを考慮した記載となっている。基準津波が最高水位となるのは一瞬であるが、保守的に水位が隔壁下端を超える時間(7分間)を作用圧力の継続時間と設定した。漏水量を算定すると総漏水量は1.059m³ となる。

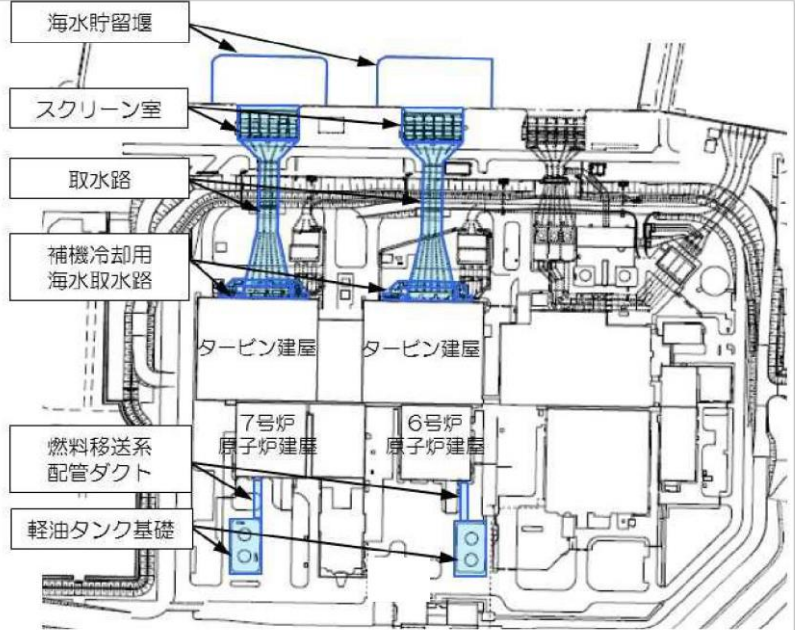
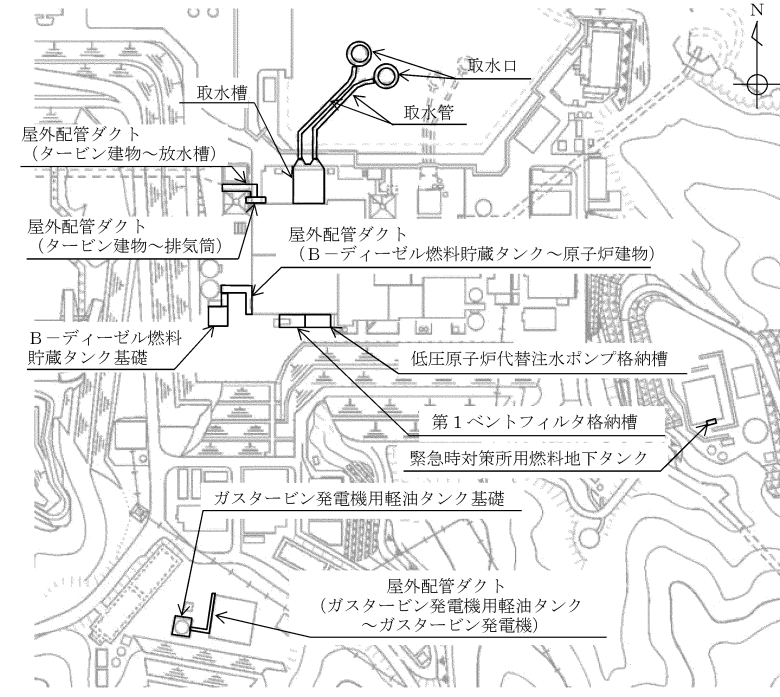
仮に隔壁からの漏水が補機ポンプエリアに浸水した場合、補機ポンプエリアの面積は約604m² であり、浸水高さは0.002m となる。浸水範囲に設置される原子炉補機冷却海水ポンプのコンクリート基礎高さは0.275m であるため、試算からは漏水による影響は無いものと判断できる。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">添付資料 2</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">添付2-10 図 海水ポンプ室における水位の時刻歴波形</p> <p>4. まとめ</p> <p>解析による止水性評価方針として、津波時に止水機能が要求される海水ポンプ室のスクリーンエリアー補機ポンプエリア間の隔壁を例に、具体的な評価方法と試算の結果を示した。このように三次元材料非線形解析より得られる応答に基づき、既工認実績のある評価式で漏水量を評価することにより、止水性に影響を及ぼすような顕著なひび割れの有無を確認できると考えられる。</p> <p>なお、ここで示した試算の結果は、以下に示す保守的な条件に基づくものであり、工事計画認可段階ではより精緻に評価することとしている。</p> <p>試算で考慮した保守性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ step1 における応答加速度を保守的に丸めている。(737gal を保守的に丸めて1000gal として評価) ・ step2 における動水圧を隔壁下端深度で算定した荷重を一様に载荷している。 ・ step2 における慣性力を保守的に算定し载荷している。 ・ step3 におけるひび割れ幅算定時に、コンター図の横方向1 段ごとに一様なひずみを保守的に想定している。(例：500μ～1000μのコンターが主体的である場合は1000μで一様なひずみと想定) ・ step3 において隔壁表面に発生するひび割れを貫通しているものとして評価している。 ・ step3 における漏水量算定時に、最高水位の継続時間を、水位が隔壁下端を超える時間としている。 		

実線・・・設備運用又は体制等の相違（設計方針の相違）
 波線・・・記載表現、設備名称の相違（実質的な相違なし）

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																							
<p>別紙-1.2 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定について</p> <p>1. 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方</p> <p>1.1 方針</p> <p><u>屋外重要土木構造物の評価対象断面については、構造物の配置、荷重条件及び地盤条件を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。</u></p> <p><u>柏崎刈羽発電所6号及び7号炉での対象構造物は、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰である。各施設の平面配置図を第12-1-1図に示す。</u></p>		<p>別紙-6 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定について</p> <p>屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方</p> <p>1. 方針</p> <p><u>本資料では、屋外重要土木構造物等^{※1}の耐震評価における断面選定の考え方について示す。なお、津波防護施設については「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止」に示す。</u></p> <p><u>※1 屋外重要土木構造物及び重大事故等対処施設のうち土木構造物を「屋外重要土木構造物等」という。</u></p> <p><u>本資料で記載する屋外重要土木構造物等の一覧を第6-1-1表に、屋外重要土木構造物等に設置される主要な設備一覧を第6-1-2表に、全体配置図を第6-1-1図に示す。</u></p> <p style="text-align: center;">第6-1-1表 評価対象構造物一覧</p> <table border="1" data-bbox="1765 1029 2502 1375"> <thead> <tr> <th>分類</th> <th>設備名称</th> <th>構造形式</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">屋外重要土木構造物等</td> <td>・取水槽</td> <td rowspan="4">箱型構造物</td> </tr> <tr> <td>・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎</td> </tr> <tr> <td>・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽</td> </tr> <tr> <td>・第1ベンチフィルタ格納槽</td> </tr> <tr> <td>・緊急時対策用燃料地下タンク</td> <td rowspan="6">線状構造物</td> </tr> <tr> <td>・屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)</td> </tr> <tr> <td>・屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)</td> </tr> <tr> <td>・屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)[※]</td> </tr> <tr> <td>・屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)</td> </tr> <tr> <td>・取水口</td> </tr> <tr> <td>・ガスタービン発電機用軽油タンク基礎</td> <td>円筒状構造物</td> </tr> <tr> <td>・取水管</td> <td>直接基礎</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>管路構造物</td> </tr> </tbody> </table> <p><small>※ 燃料移送系配管ダクトと屋外配管ダクト(復水貯蔵タンク～原子炉建物)を屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)に統一</small></p>	分類	設備名称	構造形式	屋外重要土木構造物等	・取水槽	箱型構造物	・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	・第1ベンチフィルタ格納槽	・緊急時対策用燃料地下タンク	線状構造物	・屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)	・屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)	・屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) [※]	・屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)	・取水口	・ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	円筒状構造物	・取水管	直接基礎			管路構造物	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎6/7】 島根2号炉では津波防護施設の断面選定の考え方を「津波による損傷の防止」で示すこととしている</p> <p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p> <p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎6/7】 島根2号炉では評価対象構造物を5つの構造形式に分類し、それぞれの構造上の特徴を示し、断面の選定方針を示している</p>
分類	設備名称	構造形式																								
屋外重要土木構造物等	・取水槽	箱型構造物																								
	・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎																									
	・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽																									
	・第1ベンチフィルタ格納槽																									
	・緊急時対策用燃料地下タンク	線状構造物																								
	・屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)																									
	・屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)																									
	・屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) [※]																									
	・屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)																									
	・取水口																									
・ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	円筒状構造物																									
・取水管	直接基礎																									
		管路構造物																								

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		<p align="center">第6-1-2表 評価対象構造物に設置される設備一覧</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">設備名称</th> <th rowspan="2">屋外重要土木構造物</th> <th rowspan="2">常設重大事故等対処施設</th> <th rowspan="2">常設重大事故等対処施設</th> <th colspan="4">設置される設備</th> </tr> <tr> <th>名称</th> <th>耐震</th> <th colspan="2">耐津波</th> <th rowspan="2">常設重大事故等対処施設</th> </tr> <tr> <th colspan="4"></th> <th></th> <th>浸水防止設備</th> <th>津波監視設備</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="15">取水槽</td><td rowspan="15">○</td><td rowspan="15">○^{※1}</td><td rowspan="15">○</td><td>原子伊補機海水ポンプ</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>原子伊補機海水ストレーナ</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>原子伊補機海水系 配管・弁</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>高圧伊心スプレイ補機海水ポンプ</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>高圧伊心スプレイ補機海水ストレーナ</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>高圧伊心スプレイ補機海水系 配管・弁</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>タービン補機海水ポンプ</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>タービン補機海水系 配管・弁(ポンプ出口~第二出口弁)</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>循環水ポンプ</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>循環水系 配管・弁(ポンプ出口~タービン建物外壁)</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>除じんポンプ</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>除じん系 配管・弁(ポンプ入口配管、ポンプ出口~取水槽海水ポンプエリア経路)</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>異速部止水処置</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>取水槽除じん機エリア防水壁</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>取水槽除じん機エリア水密扉</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>取水槽床トレンド止弁</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>取水槽水位計</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td><td>—^{※2}</td></tr> </tbody> </table> <p>屋外重要土木構造物: 耐震上重要な機器・配管系の間接支持機能。若しくは非常用における海水の過水機能を求められる土木構造物 常設重大事故等対処施設: 常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張) 常設重大事故等対処施設: 常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)が設置される重大事故等対処施設 (特定重大事故等対処施設を除く) 耐震: 耐震重要施設(浸水防止設備、津波監視設備を除く) ※1: 非常用取水設備 ※2: 常設重大事故等対処設備に対する浸水防止設備、津波監視設備</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">設備名称</th> <th rowspan="2">屋外重要土木構造物</th> <th rowspan="2">常設重大事故等対処施設</th> <th rowspan="2">常設重大事故等対処施設</th> <th colspan="4">設置される設備</th> </tr> <tr> <th>名称</th> <th>耐震</th> <th colspan="2">耐津波</th> <th rowspan="2">常設重大事故等対処施設</th> </tr> <tr> <th colspan="4"></th> <th></th> <th>浸水防止設備</th> <th>津波監視設備</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="3">B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎</td><td rowspan="3">○</td><td rowspan="3">—</td><td rowspan="3">○</td><td>B-ディーゼル燃料移送ポンプ</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td rowspan="2">低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">○^{※3}</td><td rowspan="2">○</td><td>低圧原子炉代替注水ポンプ</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>低圧原子炉代替注水系 配管・弁</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td rowspan="3">第1ベントフィルタ格納槽</td><td rowspan="3">—</td><td rowspan="3">—</td><td rowspan="3">○</td><td>第1ベントフィルタスクラバ容器</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>第1ベントフィルタスクラバ容器</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>圧力開放板</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>緊急時対策用燃料地下タンク</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> </tbody> </table> <p>屋外重要土木構造物: 耐震上重要な機器・配管系の間接支持機能。若しくは非常用における海水の過水機能を求められる土木構造物 常設重大事故等対処施設: 常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張) 常設重大事故等対処施設: 常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)が設置される重大事故等対処施設 (特定重大事故等対処施設を除く) 耐震: 耐震重要施設(浸水防止設備、津波監視設備を除く) ※3: 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽のうち低圧原子炉代替注水槽</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">設備名称</th> <th rowspan="2">屋外重要土木構造物</th> <th rowspan="2">常設重大事故等対処施設</th> <th rowspan="2">常設重大事故等対処施設</th> <th colspan="4">設置される設備</th> </tr> <tr> <th>名称</th> <th>耐震</th> <th colspan="2">耐津波</th> <th rowspan="2">常設重大事故等対処施設</th> </tr> <tr> <th colspan="4"></th> <th></th> <th>浸水防止設備</th> <th>津波監視設備</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="3">屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)</td><td rowspan="3">○</td><td rowspan="3">—</td><td rowspan="3">○</td><td>非常用ガス処理系 配管・弁</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>A-ディーゼル燃料移送系 配管・弁</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>高圧伊心スプレイ系ディーゼル燃料移送系 配管・弁</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td rowspan="4">屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)</td><td rowspan="4">○</td><td rowspan="4">—</td><td rowspan="4">○</td><td>原子伊補機海水系 配管(放水配管)</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>タービン補機海水系 配管・弁(逆止弁下流)</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>液体廃棄物処理系 配管・弁(逆止弁下流)</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>異速部止水処置</td><td>—</td><td>○</td><td>—</td><td>—^{※2}</td></tr> <tr><td>屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子伊建物)</td><td>○</td><td>—</td><td>○</td><td>B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁</td><td>○</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td><td>ガスタービン発電機用燃料移送系 配管・弁</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>取水口</td><td>○</td><td>○^{※1}</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td><td>ガスタービン発電機用軽油タンク</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> <tr><td>取水管</td><td>○</td><td>○^{※1}</td><td>—</td><td>ガスタービン発電機用燃料移送系 配管・弁</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>○</td></tr> </tbody> </table> <p>屋外重要土木構造物: 耐震上重要な機器・配管系の間接支持機能。若しくは非常用における海水の過水機能を求められる土木構造物 常設重大事故等対処施設: 常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張) 常設重大事故等対処施設: 常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)が設置される重大事故等対処施設 (特定重大事故等対処施設を除く) 耐震: 耐震重要施設(浸水防止設備、津波監視設備を除く) ※1: 非常用取水設備 ※2: 常設重大事故等対処設備に対する浸水防止設備</p>	設備名称	屋外重要土木構造物	常設重大事故等対処施設	常設重大事故等対処施設	設置される設備				名称	耐震	耐津波		常設重大事故等対処施設						浸水防止設備	津波監視設備		取水槽	○	○ ^{※1}	○	原子伊補機海水ポンプ	○	—	—	○	原子伊補機海水ストレーナ	○	—	—	○	原子伊補機海水系 配管・弁	○	—	—	○	高圧伊心スプレイ補機海水ポンプ	○	—	—	○	高圧伊心スプレイ補機海水ストレーナ	○	—	—	○	高圧伊心スプレイ補機海水系 配管・弁	○	—	—	○	タービン補機海水ポンプ	—	○	—	— ^{※2}	タービン補機海水系 配管・弁(ポンプ出口~第二出口弁)	—	○	—	— ^{※2}	循環水ポンプ	—	○	—	— ^{※2}	循環水系 配管・弁(ポンプ出口~タービン建物外壁)	—	○	—	— ^{※2}	除じんポンプ	—	○	—	— ^{※2}	除じん系 配管・弁(ポンプ入口配管、ポンプ出口~取水槽海水ポンプエリア経路)	—	○	—	— ^{※2}	異速部止水処置	—	○	—	— ^{※2}	取水槽除じん機エリア防水壁	—	○	—	— ^{※2}	取水槽除じん機エリア水密扉	—	○	—	— ^{※2}	取水槽床トレンド止弁	—	○	—	— ^{※2}	取水槽水位計	—	—	○	— ^{※2}	設備名称	屋外重要土木構造物	常設重大事故等対処施設	常設重大事故等対処施設	設置される設備				名称	耐震	耐津波		常設重大事故等対処施設						浸水防止設備	津波監視設備		B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	○	—	○	B-ディーゼル燃料移送ポンプ	○	—	—	○	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク	○	—	—	○	B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁	○	—	—	○	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	—	○ ^{※3}	○	低圧原子炉代替注水ポンプ	—	—	—	○	低圧原子炉代替注水系 配管・弁	—	—	—	○	第1ベントフィルタ格納槽	—	—	○	第1ベントフィルタスクラバ容器	—	—	—	○	第1ベントフィルタスクラバ容器	—	—	—	○	圧力開放板	—	—	—	○	緊急時対策用燃料地下タンク	—	○	—	—	—	—	○	設備名称	屋外重要土木構造物	常設重大事故等対処施設	常設重大事故等対処施設	設置される設備				名称	耐震	耐津波		常設重大事故等対処施設						浸水防止設備	津波監視設備		屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)	○	—	○	非常用ガス処理系 配管・弁	○	—	—	○	A-ディーゼル燃料移送系 配管・弁	○	—	—	○	高圧伊心スプレイ系ディーゼル燃料移送系 配管・弁	○	—	—	○	屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)	○	—	○	原子伊補機海水系 配管(放水配管)	—	○	—	— ^{※2}	タービン補機海水系 配管・弁(逆止弁下流)	—	○	—	— ^{※2}	液体廃棄物処理系 配管・弁(逆止弁下流)	—	○	—	— ^{※2}	異速部止水処置	—	○	—	— ^{※2}	屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子伊建物)	○	—	○	B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁	○	—	—	○	屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)	—	—	○	ガスタービン発電機用燃料移送系 配管・弁	—	—	—	○	取水口	○	○ ^{※1}	—	—	—	—	—	○	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	—	—	○	ガスタービン発電機用軽油タンク	—	—	—	○	取水管	○	○ ^{※1}	—	ガスタービン発電機用燃料移送系 配管・弁	—	—	—	○	<p>・資料構成の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉では評価対象構造物を5つの構造形式に分類し、それぞれの構造上の特徴を示し、断面の選定方針を示している</p>
設備名称	屋外重要土木構造物	常設重大事故等対処施設					常設重大事故等対処施設	設置される設備																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
			名称	耐震	耐津波			常設重大事故等対処施設																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
					浸水防止設備	津波監視設備																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
取水槽	○	○ ^{※1}	○	原子伊補機海水ポンプ	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				原子伊補機海水ストレーナ	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				原子伊補機海水系 配管・弁	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				高圧伊心スプレイ補機海水ポンプ	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				高圧伊心スプレイ補機海水ストレーナ	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				高圧伊心スプレイ補機海水系 配管・弁	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				タービン補機海水ポンプ	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				タービン補機海水系 配管・弁(ポンプ出口~第二出口弁)	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				循環水ポンプ	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				循環水系 配管・弁(ポンプ出口~タービン建物外壁)	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				除じんポンプ	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				除じん系 配管・弁(ポンプ入口配管、ポンプ出口~取水槽海水ポンプエリア経路)	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				異速部止水処置	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				取水槽除じん機エリア防水壁	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				取水槽除じん機エリア水密扉	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
取水槽床トレンド止弁	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
取水槽水位計	—	—	○	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
設備名称	屋外重要土木構造物	常設重大事故等対処施設	常設重大事故等対処施設	設置される設備																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				名称	耐震	耐津波		常設重大事故等対処施設																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
					浸水防止設備	津波監視設備																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	○	—	○	B-ディーゼル燃料移送ポンプ	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				B-ディーゼル燃料貯蔵タンク	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	—	○ ^{※3}	○	低圧原子炉代替注水ポンプ	—	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				低圧原子炉代替注水系 配管・弁	—	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
第1ベントフィルタ格納槽	—	—	○	第1ベントフィルタスクラバ容器	—	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				第1ベントフィルタスクラバ容器	—	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				圧力開放板	—	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
緊急時対策用燃料地下タンク	—	○	—	—	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
設備名称	屋外重要土木構造物	常設重大事故等対処施設	常設重大事故等対処施設	設置される設備																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				名称	耐震	耐津波		常設重大事故等対処施設																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
					浸水防止設備	津波監視設備																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)	○	—	○	非常用ガス処理系 配管・弁	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				A-ディーゼル燃料移送系 配管・弁	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				高圧伊心スプレイ系ディーゼル燃料移送系 配管・弁	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)	○	—	○	原子伊補機海水系 配管(放水配管)	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				タービン補機海水系 配管・弁(逆止弁下流)	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				液体廃棄物処理系 配管・弁(逆止弁下流)	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				異速部止水処置	—	○	—	— ^{※2}																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子伊建物)	○	—	○	B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁	○	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)	—	—	○	ガスタービン発電機用燃料移送系 配管・弁	—	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
取水口	○	○ ^{※1}	—	—	—	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	—	—	○	ガスタービン発電機用軽油タンク	—	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
取水管	○	○ ^{※1}	—	ガスタービン発電機用燃料移送系 配管・弁	—	—	—	○																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p data-bbox="385 976 682 1008">第12-1-1 図 平面配置図</p>		 <p data-bbox="1855 882 2374 913">第6-1-1 図 評価対象構造物 全体配置図</p>	<p data-bbox="2537 210 2789 556"> ・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉では評価対象構造物を 5 つの構造形式に分類し、それぞれの構造上の特徴を示し、断面の選定方針を示している </p>
		<p data-bbox="1736 1018 2493 1312"> <u>島根原子力発電所の屋外重要土木構造物等は、箱型構造物、線状構造物、円筒状構造物、直接基礎及び管路構造物の 5 つの構造形式に分類され、構造上の特徴として、明確な強軸及び弱軸を有するものと、強軸及び弱軸が明確でないものが存在することから、構造的特徴を踏まえて、2次元地震応答解析により耐震評価を行う構造物と、3次元モデルにより耐震評価を行う構造物に分けられる。</u> </p> <p data-bbox="1736 1333 2493 1627"> <u>通水方向及び配管の管軸方向と直交する断面に構造部材の配置が少なく、明確に通水方向及び配管の管軸方向と直交する断面が弱軸となる構造物は、2次元地震応答解析により耐震評価を行う。よって、耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、弱軸方向断面と強軸方向断面が明確な線状構造物については、弱軸方向断面を耐震評価候補断面とするが、床応答の観点において強軸方向断面も含めて選定する。</u> </p> <p data-bbox="1736 1648 2493 1858"> <u>また、以下に示す構造的特徴を有する構造物は、3次元モデルを用いて水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を考慮して耐震評価を行う。よって、3次元モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する 2 方向から評価対象断面として選定する。</u> </p> <p data-bbox="1765 1869 2181 1900"> <u>①強軸及び弱軸が明確でない構造物</u> </p>	<p data-bbox="2537 1018 2789 1449"> ・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根 2 号炉では 2 次元地震応答解析と 3 次元モデルによる耐震評価を行う構造物について分類し、それぞれの構造上の特徴を示し、断面の選定方針を示している </p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																								
		<p>②複雑な構造を有する構造物</p> <ul style="list-style-type: none"> ・弱軸方向断面において加振方向と平行に配置される壁（以降、<u>妻壁と呼ぶ</u>）を複数有する構造物 ・複数の構造物が一体化している構造物 <p>第6-1-3表に示すとおり、屋外重要土木構造物等の耐震設計における解析手法は、既工認実績を有する手法を用いるが、取水槽における3次元静的非線形解析は既工認実績がないことから、<u>審査実績を有する先行サイト（女川2号炉）との比較を行い、適用性について確認する。</u></p> <p>第6-1-3表 屋外重要土木構造物等の構造物的特徴及び解析手法の整理</p> <table border="1" data-bbox="1745 758 2496 1247"> <thead> <tr> <th rowspan="2">構造形式</th> <th rowspan="2">設備名称</th> <th rowspan="2">耐震評価候補断面</th> <th colspan="2">構造的特徴</th> <th rowspan="2">妻壁のモデル化の有無</th> <th colspan="2">解析手法</th> <th rowspan="2">既工認実績</th> </tr> <tr> <th>弱軸-強軸の有無</th> <th>複雑な構造の有無</th> <th>地震応答解析</th> <th>構造解析</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">箱型構造物</td> <td>取水槽</td> <td>弱軸方向 強軸方向</td> <td rowspan="6">明確な強軸及び弱軸断面を有する。</td> <td>有り (増設の妻壁を有する)</td> <td>有り</td> <td>2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td>3次元FEMモデルによる静的非線形解析</td> <td>無</td> </tr> <tr> <td>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎</td> <td>弱軸方向 強軸方向 (地中部-半地下部)</td> <td>無し</td> <td>無し</td> <td colspan="2">2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td></td> </tr> <tr> <td>低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽</td> <td>弱軸方向 強軸方向</td> <td>無し</td> <td>無し</td> <td colspan="2">2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td></td> </tr> <tr> <td>第1ベントフィルタ格納槽</td> <td>弱軸方向 強軸方向</td> <td>無し</td> <td>無し</td> <td colspan="2">2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td></td> </tr> <tr> <td>緊急時対策用燃料地下タンク</td> <td>弱軸方向 強軸方向</td> <td>無し</td> <td>無し</td> <td colspan="2">2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td></td> </tr> <tr> <td>屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)</td> <td>屋外配管ダクト (タービン建物~取水槽) との一体化部 弱軸方向</td> <td>有り (他ダクトと一体化)</td> <td>無し</td> <td>2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td>3次元FEMモデルによる静的線形解析</td> <td>有</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">線状構造物</td> <td>屋外配管ダクト (タービン建物~取水槽)</td> <td>弱軸方向</td> <td>無し</td> <td>無し</td> <td colspan="2">2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td></td> </tr> <tr> <td>屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)</td> <td>弱軸方向</td> <td>無し</td> <td>無し</td> <td colspan="2">2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td></td> </tr> <tr> <td>屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)</td> <td>弱軸方向</td> <td>無し</td> <td>無し</td> <td colspan="2">2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td></td> </tr> <tr> <td>円筒状構造物 取水口</td> <td>構造物中央を通る断面 上記の直交方向</td> <td>明確な強軸及び弱軸断面を有さない。</td> <td>無し</td> <td>無し</td> <td>2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td>2次元FEMモデルによる静的線形解析</td> <td></td> </tr> <tr> <td>直線基礎</td> <td>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎</td> <td>構造物中央を通る断面 上記の直交方向</td> <td>無し</td> <td>無し</td> <td>SFモデルによる時刻歴応答解析</td> <td>2次元FEMモデルによる静的線形解析</td> <td></td> </tr> <tr> <td>管路構造物</td> <td>取水管</td> <td>管軸方向 管軸直交方向</td> <td>明確な強軸及び弱軸断面を有する。</td> <td>無し</td> <td>無し</td> <td colspan="2">2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>※ 弱軸方向断面において加振方向と平行に配置される壁</p>	構造形式	設備名称	耐震評価候補断面	構造的特徴		妻壁のモデル化の有無	解析手法		既工認実績	弱軸-強軸の有無	複雑な構造の有無	地震応答解析	構造解析	箱型構造物	取水槽	弱軸方向 強軸方向	明確な強軸及び弱軸断面を有する。	有り (増設の妻壁を有する)	有り	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析	3次元FEMモデルによる静的非線形解析	無	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	弱軸方向 強軸方向 (地中部-半地下部)	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析			低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	弱軸方向 強軸方向	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析			第1ベントフィルタ格納槽	弱軸方向 強軸方向	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析			緊急時対策用燃料地下タンク	弱軸方向 強軸方向	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析			屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	屋外配管ダクト (タービン建物~取水槽) との一体化部 弱軸方向	有り (他ダクトと一体化)	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析	3次元FEMモデルによる静的線形解析	有	線状構造物	屋外配管ダクト (タービン建物~取水槽)	弱軸方向	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析			屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)	弱軸方向	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析			屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)	弱軸方向	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析			円筒状構造物 取水口	構造物中央を通る断面 上記の直交方向	明確な強軸及び弱軸断面を有さない。	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析	2次元FEMモデルによる静的線形解析		直線基礎	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	構造物中央を通る断面 上記の直交方向	無し	無し	SFモデルによる時刻歴応答解析	2次元FEMモデルによる静的線形解析		管路構造物	取水管	管軸方向 管軸直交方向	明確な強軸及び弱軸断面を有する。	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析			<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根2号炉では2次元地震応答解析と3次元モデルによる耐震評価を行う構造物について分類し、それぞれの構造上の特徴を示し、断面の選定方針を示している</p>
構造形式	設備名称	耐震評価候補断面				構造的特徴			妻壁のモデル化の有無	解析手法		既工認実績																																																																																															
			弱軸-強軸の有無	複雑な構造の有無	地震応答解析	構造解析																																																																																																					
箱型構造物	取水槽	弱軸方向 強軸方向	明確な強軸及び弱軸断面を有する。	有り (増設の妻壁を有する)	有り	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析	3次元FEMモデルによる静的非線形解析	無																																																																																																			
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	弱軸方向 強軸方向 (地中部-半地下部)		無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析																																																																																																					
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	弱軸方向 強軸方向		無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析																																																																																																					
	第1ベントフィルタ格納槽	弱軸方向 強軸方向		無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析																																																																																																					
	緊急時対策用燃料地下タンク	弱軸方向 強軸方向		無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析																																																																																																					
	屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	屋外配管ダクト (タービン建物~取水槽) との一体化部 弱軸方向		有り (他ダクトと一体化)	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析	3次元FEMモデルによる静的線形解析	有																																																																																																			
線状構造物	屋外配管ダクト (タービン建物~取水槽)	弱軸方向	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析																																																																																																						
	屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)	弱軸方向	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析																																																																																																						
	屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)	弱軸方向	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析																																																																																																						
	円筒状構造物 取水口	構造物中央を通る断面 上記の直交方向	明確な強軸及び弱軸断面を有さない。	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析	2次元FEMモデルによる静的線形解析																																																																																																				
直線基礎	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	構造物中央を通る断面 上記の直交方向	無し	無し	SFモデルによる時刻歴応答解析	2次元FEMモデルによる静的線形解析																																																																																																					
管路構造物	取水管	管軸方向 管軸直交方向	明確な強軸及び弱軸断面を有する。	無し	無し	2次元FEMモデルによる時刻歴応答解析																																																																																																					
		<p>箱型構造物に分類される評価対象構造物は、鉄筋コンクリート造で構成されており、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や間接支持する配管の管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されている。通水方向や配管の管軸方向と直交する方向には構造部材の配置が少ないことから、<u>構造上の特徴として、明確に通水方向や配管の管軸方向が強軸に、通水方向や配管の管軸方向と直交する方向が弱軸となる。</u>通水以外の要求機能が求められる箱型構造物は、<u>加振方向と直交する方向の構造物の長さに対する加振方向に平行に配置される壁の厚さの割合が小さい方が弱軸となり、大きい方が強軸となる。</u>箱型構造物の設計方針として、<u>強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないが、強軸方向断面についても、弱軸方向と同じように要求機能があり、間接支持する機</u></p>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根2号炉では評価対象構造物を5つの構造形式に分類し、それぞれの構造上の特徴を示し、断面の選定方針を示している</p>																																																																																																								

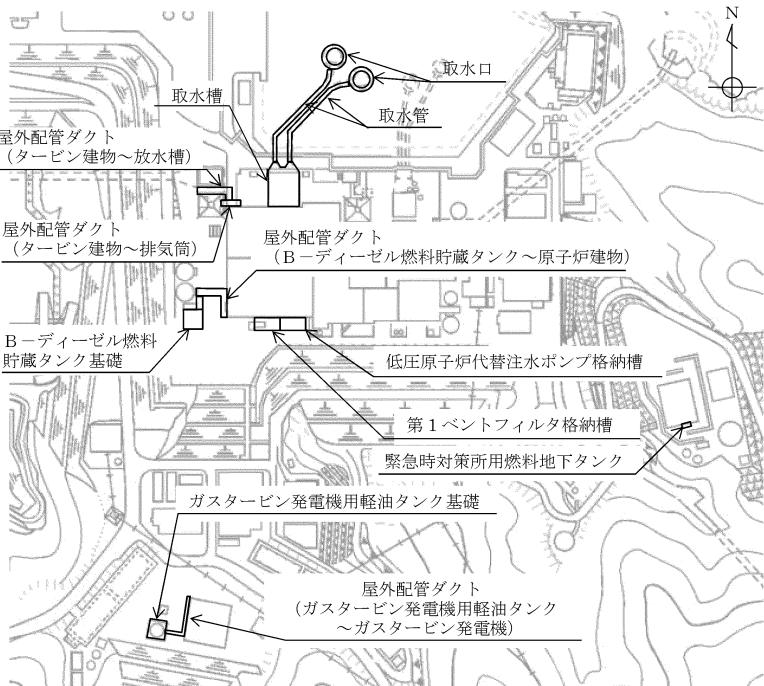
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p><u>器・配管の有無や浸水防護壁等の応答影響評価の必要性があることから、耐震評価候補断面に追加する。弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。ただし、加振方向と平行に配置される壁が多数ある構造物については、加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、必要により壁間の幅を耐震評価候補断面とする。また、強軸方向断面では、加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため、構造物の奥行幅を耐震評価候補断面とする。箱型構造物の評価対象断面は、以上の理由により構造的安全性に支配的な弱軸方向及び強軸方向から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。取水槽は、複数の妻壁を有する複雑な構造となっていることから3次元モデルで耐震評価を実施する。3次元モデルに入力する地震時荷重は、2次元地震応答解析により算定することとし、2次元地震応答解析を実施する断面を、構造的特徴等を踏まえて選定する。</u></p> <p><u>線状構造物に分類される評価対象構造物は、鉄筋コンクリート造で構成されており、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や間接支持する配管の管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されている。通水方向や配管の管軸方向と直交する方向には構造部材の配置が少ないことから、構造上の特徴として、明確に通水方向や配管の管軸方向が強軸に、通水方向や配管の管軸方向と直交する方向が弱軸となる。線状構造物は、加振方向と平行に配置される壁部材が少ない方が弱軸となり、多い方が強軸となる。強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさない。弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。線状構造物の評価対象断面は、以上の理由により構造的安全性に支配的な弱軸方向から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)は、部位の一部が他の構造物の部位の一部と一体化している複雑な構造を有していることから3次元モデルで耐震評価を実施する。3次元モデルに入力する地震時荷重は、2次元地震応答解析により算定することとし、2次元地震応答解析を実施する断面を、構造的特徴等を踏まえて選定する。</u></p> <p><u>円筒状構造物及び直接基礎に分類される評価対象構造物は、鋼製及び鉄筋コンクリート造の構造物であり、円筒状及び正方形であるため、箱型構造物や線状構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確ではない。評価対象断面の選定においては、構造物中央を通</u></p>	<p>・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では評価対象断面の選定の流れを示している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p><u>る断面及びその直交方向断面から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。円筒状構造物である取水口及び直接基礎であるガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、強軸及び弱軸が明確でないことから3次元モデルで耐震評価を実施する。3次元モデルに入力する地震時荷重は、取水口は構造物を質点系モデルとした2次元地震応答解析により算定、またガスタービン発電機用軽油タンク基礎はSRモデルによる地震応答解析により算定することとし、地震応答解析を実施する断面を、構造的特徴等を踏まえて選定する。</u></p> <p><u>管路構造物に分類される評価対象構造物は、海水の通水機能を維持するため、通水方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されていることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。評価対象構造物は、鋼製部材で構成されており、管軸方向が強軸方向となり、管軸直交方向が弱軸方向となる。強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさない。弱軸方向断面では、延長方向の構造的特徴が一様であることから、代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。管路構造物の評価対象断面は、構造の安全性に支配的な弱軸方向から、後述する評価対象断面の選定の流れに基づき選定する。なお、「水道施設耐震工法指針・解説（日本水道協会，1997）」に基づき、一般的な地中埋設管路の設計で考慮される管軸方向断面についても検討する。</u></p> <p><u>また、評価対象断面の選定の流れを以下に示す。</u></p> <p><u>(1) 耐震評価候補断面の整理</u></p> <p><u>評価対象構造物の以下の観点から耐震評価候補断面を整理する。</u></p> <p><u>①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況・要求機能に各候補断面で差異がある場合、要求機能に応じた許容限界が異なり、評価対象構造物の耐震評価に影響することから、要求機能の差異の有無により候補断面を整理する。</u></p> <p><u>・間接支持する機器・配管系の種類及び設置状況に各候補断面で差異がある場合は、構造物に作用する荷重及び床応答特性が異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから、間接支持する機器・配管系の種類や設置状況に係る差異の有無により候補断面を整理する。</u></p> <p><u>②構造的特徴（部材厚、内空断面、断面急変部、構造物間の連結部等）</u></p> <p><u>・構造的特徴に各候補断面で差異がある場合は、構造物に作用</u></p>	<p>・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では評価対象断面の選定の流れを示している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>する土圧等の荷重及び床応答特性が各断面で異なり、評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから、<u>構造的特徴の差異の有無により候補断面を整理する。</u></p> <p>③周辺状況（上載荷重，土被り厚，周辺地質，周辺地質変化部，隣接構造物，地下水位※）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・周辺地質や周辺地質変化部に各候補断面で差異がある場合は，<u>構造物に作用する土圧等の荷重，地震波の伝搬特性及び床応答特性が異なり，評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから，周辺地質の差異の有無により候補断面を整理する。</u> ・MMR（マンメイドロック）は，<u>構造物を支持する又は構造物の周囲を埋め戻すコンクリートである。MMRの分布により，構造物に作用する土圧等の荷重，地震波の伝搬特性及び床応答特性に影響を与えることから，周辺地質の中で整理する。なお，MMRは直下の岩盤の物性値を設定することを基本とする。</u> ・隣接構造物による影響については，<u>2次元FEMにてモデル化する隣接構造物の有無や種類に各断面で差異がある場合，構造物に作用する土圧等の荷重及び床応答特性が異なり，評価対象構造物及び機器・配管系の耐震評価に影響することから，モデル化する隣接構造物の差異の有無により候補断面を整理する。</u> <p>※ 地下水位は解析等による地下水位に係る検討結果を踏まえて詳細設計段階で設定する。</p> <p>④地震波の伝搬特性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震波の伝搬特性は，<u>周辺状況のうち評価対象構造物下部の岩盤やMMR等の周辺地質の状況により異なることから，観点③の整理を踏まえ，地震波の伝搬特性に係る差異の有無により候補断面を整理する。</u> <p>⑤床応答特性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>観点①～③の整理を踏まえ，床応答特性の差異の有無及び間接支持する機器・配管系の設置状況により候補断面を整理する。</u> <p>(2) 評価対象断面の選定</p> <p>⑥ 耐震評価候補断面の選定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・(1)にて整理した耐震評価候補断面に対して，<u>①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況，②構造的</u> 	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2号炉では評価対象断面の選定の流れを示している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p><u>特徴, ③周辺状況を考慮し, 耐震評価上厳しいと考えられる断面を選定する。</u></p> <p>⑦ <u>耐震評価候補断面の絞り込み</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>複数の観点から異なる耐震評価候補断面が複数抽出される場合は, 詳細設計段階で実施する浸透流解析結果を踏まえ, 地震応答解析を実施して耐震評価候補断面の絞り込みを行う場合もある。</u> <p>⑧ <u>床応答算出用の断面の選定</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・<u>耐震評価上の観点以外に機器・配管系の応答加速度及び応答変位の観点から, 床応答算出用の断面を選定する。</u> ・<u>線状構造物については, 強軸方向断面も含めて選定する。</u> <p><u>評価対象断面のモデル化範囲 (2次元FEM解析モデル) については, 以下に考え方を示す。</u></p> <p><u>2次元FEMによる地震応答解析モデルの範囲が, 地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう, 十分広い領域とする。具体的には, 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」を適用し, 以下に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の5倍以上, 地盤モデルの入力基盤深さを構造物基礎幅の1.5~2倍確保する。</u></p> <p><u>2次元FEMにおけるモデル化範囲の考え方を第6-1-2図に示す。</u></p> <div data-bbox="1745 1199 2475 1493" data-label="Diagram"> </div> <p>第6-1-2図 2次元FEMにおけるモデル化範囲の考え方</p> <p><u>屋外重要土木構造物等について, 耐震評価候補断面の整理及び評価対象断面の選定フローを第6-1-3図に示す。</u></p>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2号炉では評価対象断面の選定の流れを示している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>第6-1-3図 耐震評価候補断面の整理及び評価対象断面の選定フロー</p>	<p>・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では評価対象断面の選定の流れを示している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>2. 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方</p> <p>2.1 各施設の配置</p> <p>本章では屋外重要土木構造物等である、取水槽、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽、緊急時対策所用燃料地下タンク、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）、屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）、取水口、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎及び取水管の断面選定の考え方を示す。</p> <p>第6-2-1-1図に屋外重要土木構造物等の全体配置図を示す。</p>  <p>第6-2-1-1図 屋外重要土木構造物等 全体配置図</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>1.2 スクリーン室の断面選定の考え方</p> <p>第12-1-2 図, 第12-1-3 図及び第12-1-4 図にスクリーン室の平面図, 断面図及び縦断面図を示す。</p> <p>スクリーン室は, 6号及び7号炉ともに, 延長約23mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり, 取水方向に対して内空寸法が一樣で, 頂版には取水方向におおむね規則的に開口が存在する。また, スクリーン室は, 古安田層洪積粘性土層に直接設置されている。</p> <p>今回の工事計画認可申請書(以下「今回工認」という。)では, スクリーン室の取水方向全長で開口を含めた平均的な剛性及び上載荷重を考慮し, 基準地震動S_sによる耐震評価を実施する。</p> <p>スクリーン室の検討断面では, 地下水位以下に, 液状化層(埋戻土層)及び液状化影響評価対象層(古安田層洪積砂質土層)が分布することから, 耐震評価では有効応力解析を実施する。</p>		<p>2.2 取水槽</p> <p>取水槽の配置図を第6-2-2-1図に, 設置される浸水防止設備や津波監視設備の配置図を第6-2-2-2図～第6-2-2-3図に, 平面図を第6-2-2-4図に, 縦断面図を第6-2-2-5図に, 断面図を第6-2-2-6図～第6-2-2-9図に, 地質断面図を第6-2-2-10図～第6-2-2-11図に, 岩級断面図を第6-2-2-12図～第6-2-2-13図にそれぞれ示す。</p> <p>取水槽は, Sクラス設備である原子炉補機海水ポンプ等の間接支持機能と, 非常用取水設備としての通水機能及び浸水防護重点化範囲の保持及び内部溢水影響評価から止水機能が要求される。</p> <p>浸水防護重点化範囲を保持するために止水機能が求められる部位は, ポンプ室に設置される中床版(EL. +1.1m), スクリーン室に設置される中床版(EL. +4.0m)及びスクリーン室南側の取水槽除じん機エリア防水壁の位置に設置される中壁(EL. +1.1m～EL. +8.8m)である。また, 内部溢水影響評価から止水機能が求められる部位は, ポンプ室の取水槽海水ポンプエリア水密扉を設置する中壁(EL. +1.1m～EL. +8.8m)である。</p> <p>取水槽はストレーナ室, ポンプ室, スクリーン室及び漸拡ダクト部に大別される, 延長47.25m, 幅34.95m, 高さ20.5mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。</p> <p>取水槽はC_M級以上の岩盤に直接支持されている。</p> <p>取水槽は, 通水方向と平行に配置される壁部材が多いため, 通水方向が強軸となり, 通水直交方向が弱軸となる。</p> <p>取水槽の弱軸方向断面では, 配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲を踏まえ, 加振方向と平行に配置される壁の影響を考慮するため, 壁間の幅を耐震評価候補断面とする。</p> <div data-bbox="1869 1386 2374 1848"> </div> <p>第6-2-2-1図 取水槽 配置図</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

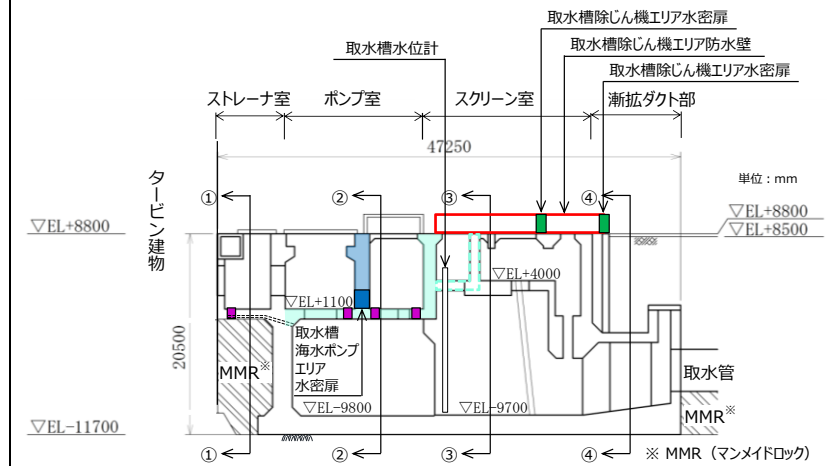
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

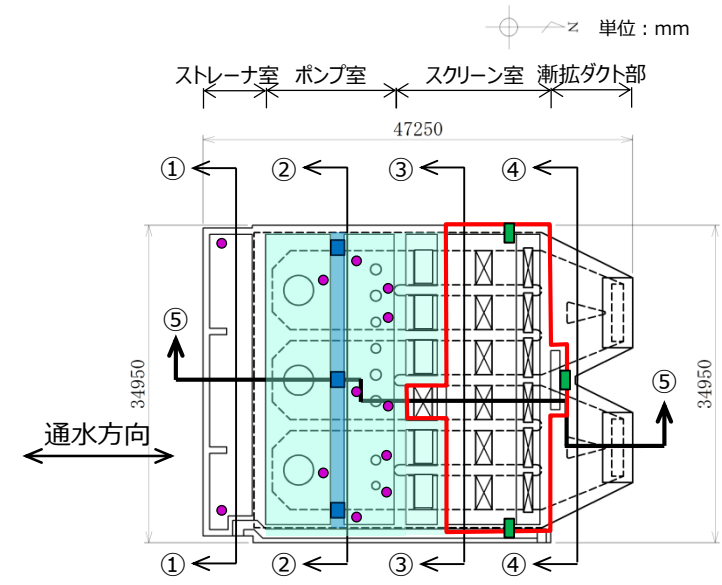
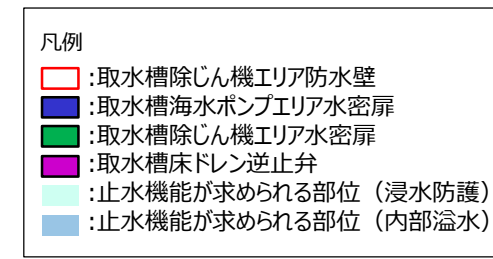
島根原子力発電所 2号炉

備考

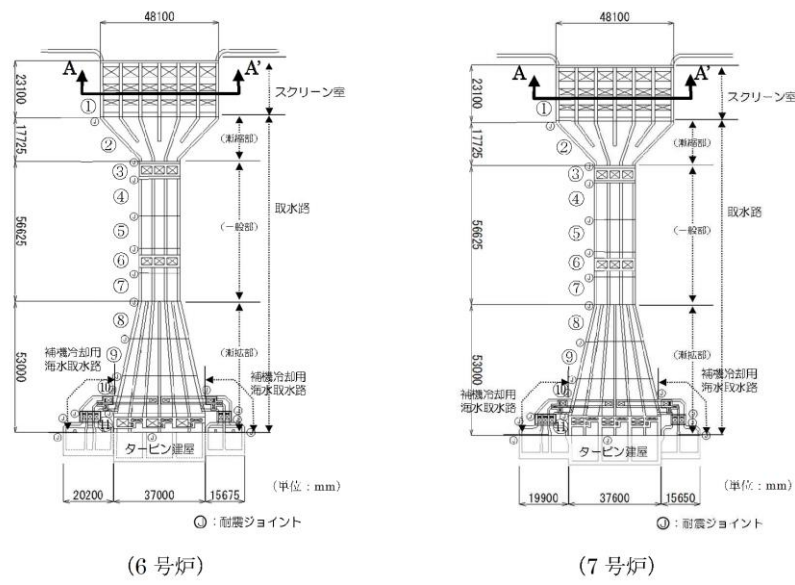
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違



第6-2-2-2図 取水槽 設置される設備の配置図 (縦断面図)



第6-2-2-3図 取水槽 設置される設備の配置図 (平面図)



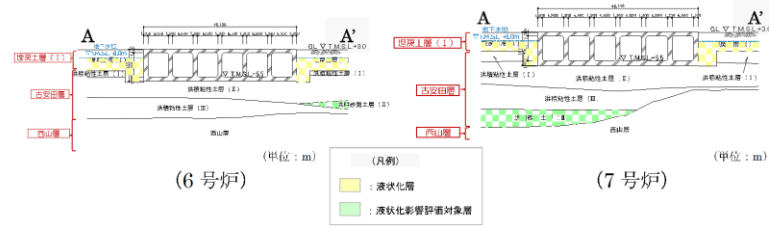
第12-1-2 図 6号及び7号炉スクリーン室 平面図

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

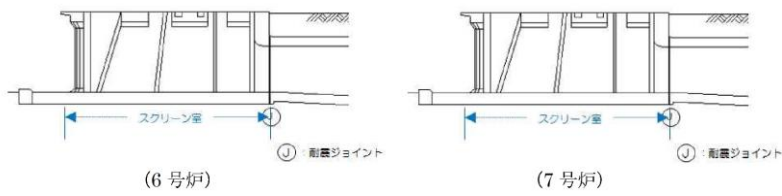
女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

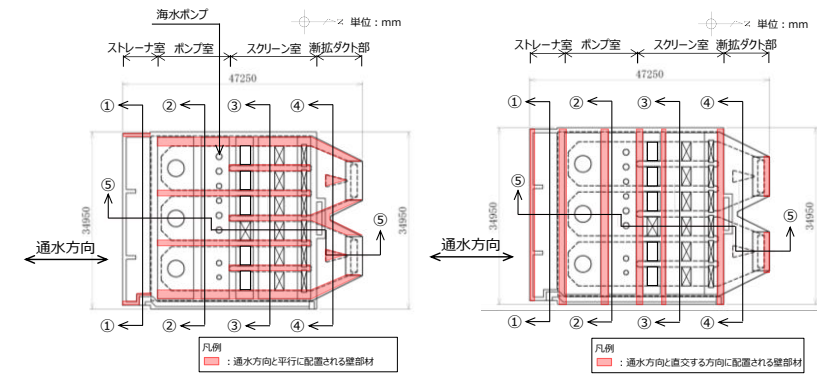
備考



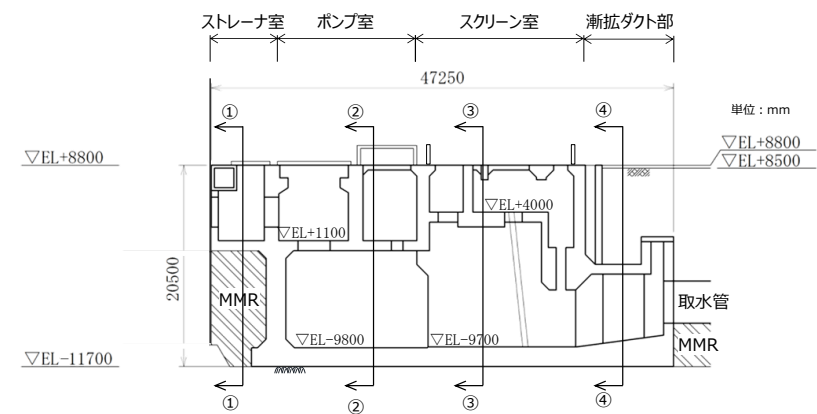
第12-1-3 図 6号及び7号炉スクリーン室 断面図



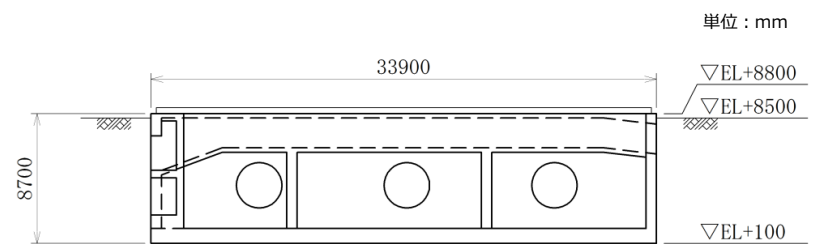
第12-1-4 図 6号及び7号炉スクリーン室 縦断面図



第6-2-2-4図 取水槽 平面図

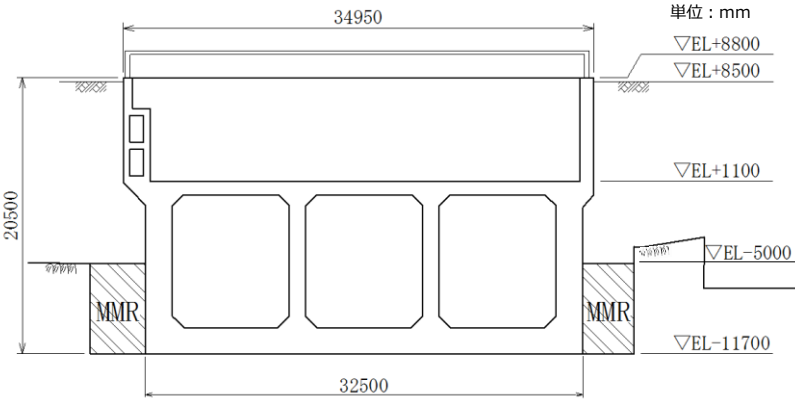
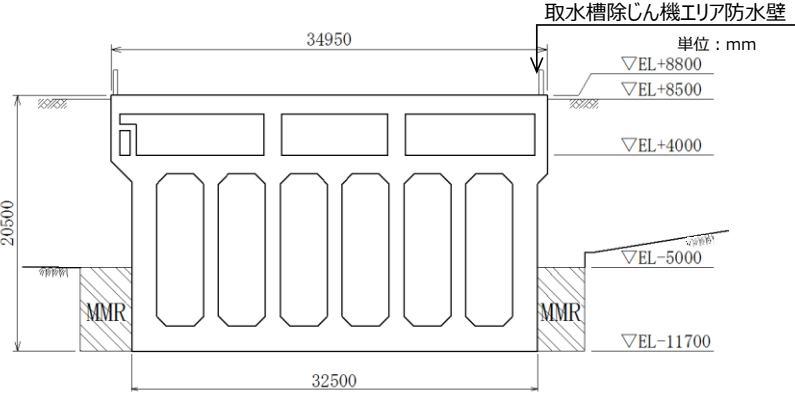
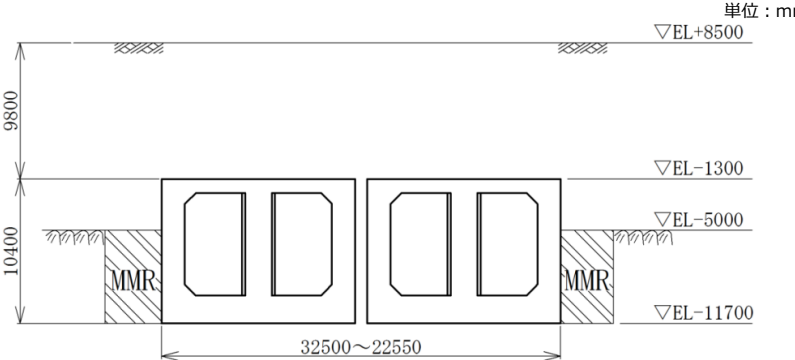


第6-2-2-5図 取水槽 縦断面図 (5-5断面)



第6-2-2-6図 取水槽 断面図 (1-1断面)

・対象施設の相違
【柏崎6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: center;">島根原子力発電所 2号炉</p>  <p style="text-align: center;">第6-2-2-7図 取水槽 断面図 (②-②断面)</p>  <p style="text-align: center;">第6-2-2-8図 取水槽 断面図 (③-③断面)</p>  <p style="text-align: center;">第6-2-2-9図 取水槽 断面図 (④-④断面)</p>	<p style="text-align: center;">備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違

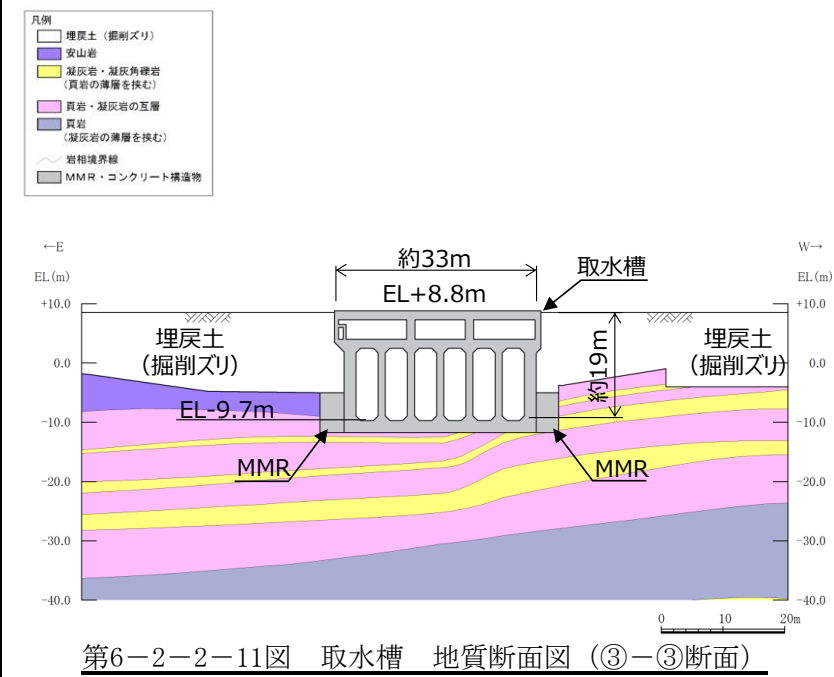
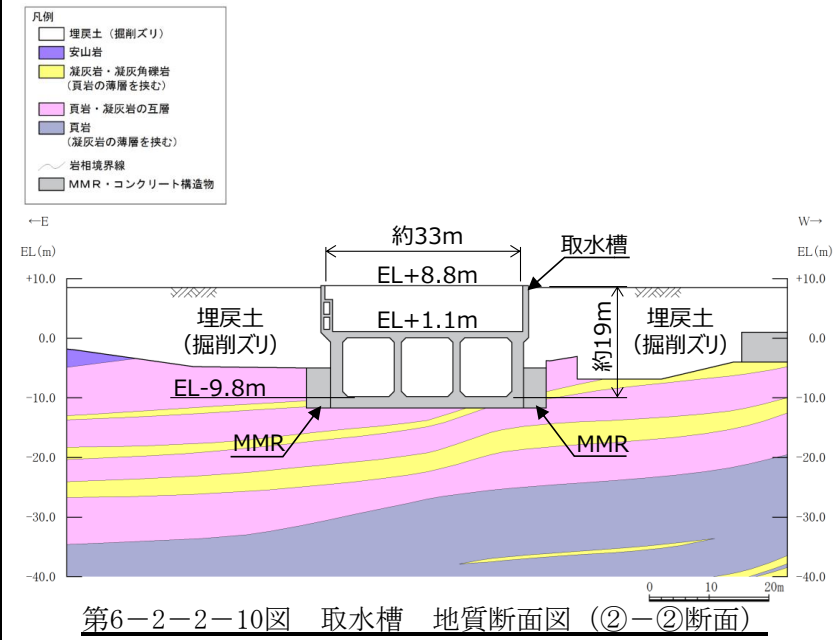
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

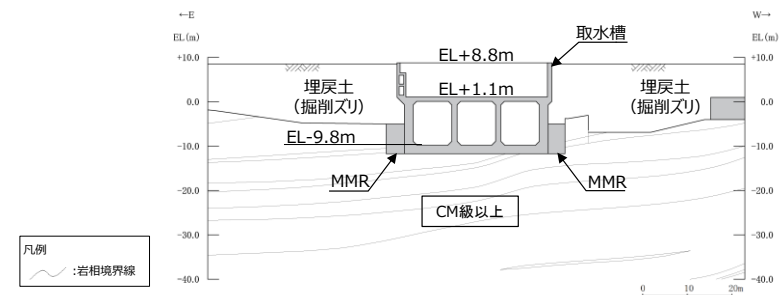
女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

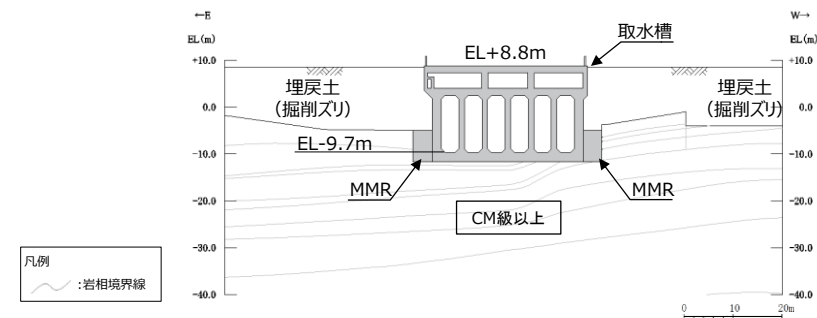
備考

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
 対象施設の相違による記載内容の相違





第6-2-2-12図 取水槽 岩級断面図 (②-②断面)



第6-2-2-13図 取水槽 岩級断面図 (③-③断面)

取水槽について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した(第6-2-2-1表)。

第6-2-2-1表 耐震評価候補断面の整理(取水槽)(1/3)

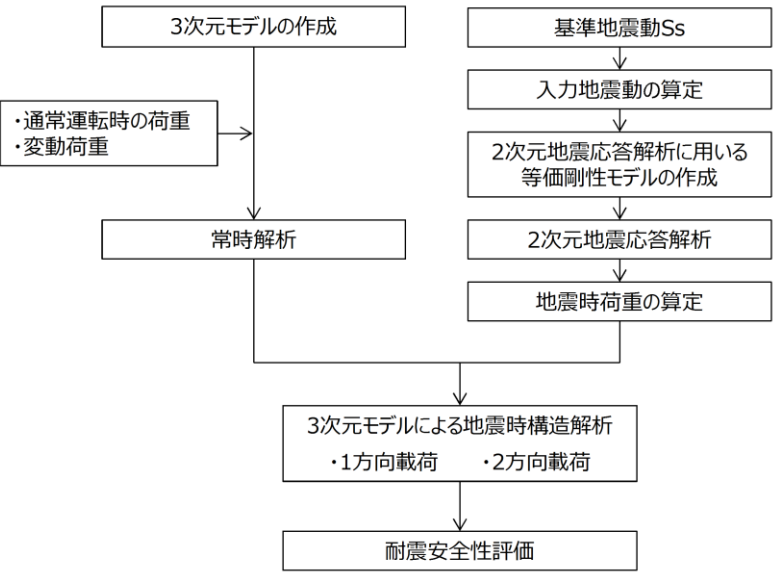
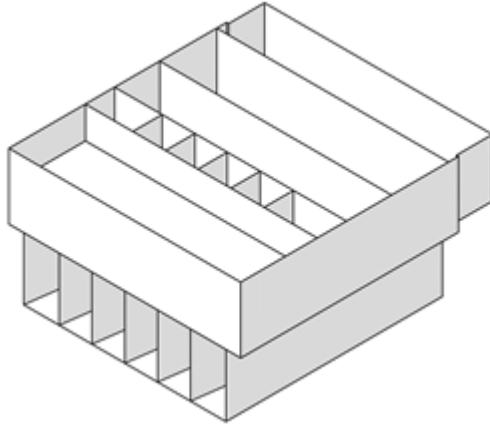
観点	取水槽				
	①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	⑤-⑤断面
要求機能	・間接支持	・通水 ・間接支持 ・止水	・通水 ・間接支持	・通水	・通水 ・間接支持 ・止水
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	間接支持する設備 ・原子炉補機海水ストレーナ ・高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ ・原子炉補機海水系配管・弁 ・高圧炉心スプレイ補機海水系配管・弁 他	・高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ ・原子炉補機海水ポンプ ・原子炉補機海水系配管・弁 ・高圧炉心スプレイ補機海水系配管・弁 ・取水槽海水ポンプエリア水密扉 他	・取水槽水位計 ・取水槽除じん機エリア防水壁 ・取水槽除じん機エリア水密扉 他	・なし	・①-①断面～③-③断面において間接支持する設備
設置状況	・設備毎に異なる			-	・設備毎に異なる

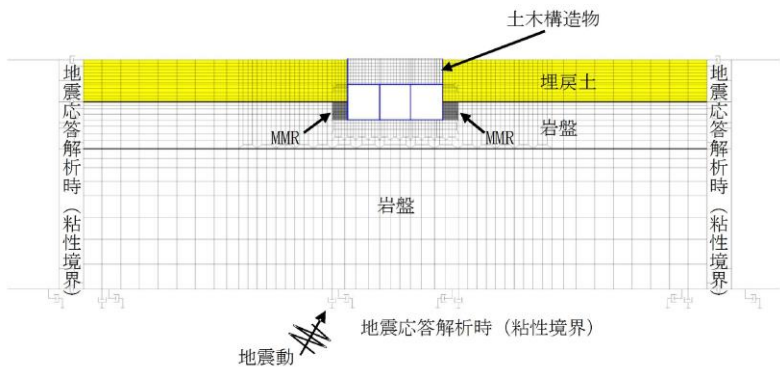
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違

・記載の充実
【柏崎 6/7】
島根 2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																
		<p align="center">第6-2-2-1表 耐震評価候補断面の整理 (取水槽) (2/3)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="5">取水槽</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> <th>④-④断面</th> <th>⑤-⑤断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">②構造的 特徴</td> <td rowspan="2">形式</td> <td colspan="5">・弱軸方向断面 ・鉄筋コンクリート造の地中構造物</td> </tr> <tr> <td>・ストレーナ室により構成される</td> <td>・上部のポンプ室及び下部の3連のボックスカルバートにより構成される</td> <td>・上部のスクリーン室及び下部の6連のボックスカルバートにより構成される</td> <td>・2連のボックスカルバートにより構成される</td> <td>・ストレーナ室、ポンプ室、スクリーン室及び取水管取合部により構成される</td> </tr> <tr> <td>・中床版に開口部が存在しない</td> <td>・中床版に開口部が存在する</td> <td>・中床版に開口部が存在する</td> <td>・開口部が存在しない</td> <td>・中床版に開口部が存在する</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td>・幅33.90m, 高さ8.70m</td> <td>・幅32.50~34.95m, 高さ20.50m</td> <td>・幅22.55~32.50m, 高さ10.40m</td> <td>・幅47.25m, 高さ20.50m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>震害[※]のモデル化の有無</td> <td>有り</td> <td>有り</td> <td>有り</td> <td>有り</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p align="center">※ 弱軸方向断面において加振方向と平行に配置される壁</p> <p align="center">第6-2-2-1表 耐震評価候補断面の整理 (取水槽) (3/3)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="5">取水槽</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> <th>④-④断面</th> <th>⑤-⑤断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">③周辺 状況</td> <td>構造物下部</td> <td colspan="5">・CM級以上の岩盤に直接支持されている ・①-①断面はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されているが、MMRの周辺地質が岩盤であり、②-②~⑤-⑤断面との差異は小さいと判断する</td> </tr> <tr> <td>周辺地質 側面及び上部</td> <td>・埋戻土（掘削スリ）が分布している</td> <td>・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している ・MMRは高さ約6.7mで、矩形である</td> <td></td> <td>・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している ・MMRは高さ約4.4m及び11.8mで台形状である</td> <td></td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td colspan="5">・なし</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td colspan="5">・解析結果等を踏まえて整理する。</td> </tr> <tr> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td colspan="4">・なし</td> <td>・タービン建物</td> </tr> <tr> <td>④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="5">・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質は各断面で概ね同様であり、地震波の伝搬特性は概ね同様である</td> </tr> <tr> <td>⑤床応答特性</td> <td colspan="5">・観点①での整理のとおり、①-①~③-③及び⑤-⑤断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴並びに周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる</td> </tr> </tbody> </table> <p>以上の整理を踏まえ、<u>詳細設計段階において、構造的特徴、周辺状況、地震波の伝搬特性等を考慮して、3次元モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する2方向から評価対象断面として選定する。</u>なお、<u>詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</u></p>	観点		取水槽					①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	⑤-⑤断面	②構造的 特徴	形式	・弱軸方向断面 ・鉄筋コンクリート造の地中構造物					・ストレーナ室により構成される	・上部のポンプ室及び下部の3連のボックスカルバートにより構成される	・上部のスクリーン室及び下部の6連のボックスカルバートにより構成される	・2連のボックスカルバートにより構成される	・ストレーナ室、ポンプ室、スクリーン室及び取水管取合部により構成される	・中床版に開口部が存在しない	・中床版に開口部が存在する	・中床版に開口部が存在する	・開口部が存在しない	・中床版に開口部が存在する	寸法	・幅33.90m, 高さ8.70m	・幅32.50~34.95m, 高さ20.50m	・幅22.55~32.50m, 高さ10.40m	・幅47.25m, 高さ20.50m		震害 [※] のモデル化の有無	有り	有り	有り	有り	-	観点		取水槽					①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	⑤-⑤断面	③周辺 状況	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている ・①-①断面はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されているが、MMRの周辺地質が岩盤であり、②-②~⑤-⑤断面との差異は小さいと判断する					周辺地質 側面及び上部	・埋戻土（掘削スリ）が分布している	・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している ・MMRは高さ約6.7mで、矩形である		・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している ・MMRは高さ約4.4m及び11.8mで台形状である		地質変化部	・なし					地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。					モデル化する隣接構造物	・なし				・タービン建物	④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質は各断面で概ね同様であり、地震波の伝搬特性は概ね同様である					⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、①-①~③-③及び⑤-⑤断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴並びに周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる					<p>・記載の充実 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>
観点		取水槽																																																																																																	
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	⑤-⑤断面																																																																																													
②構造的 特徴	形式	・弱軸方向断面 ・鉄筋コンクリート造の地中構造物																																																																																																	
		・ストレーナ室により構成される	・上部のポンプ室及び下部の3連のボックスカルバートにより構成される	・上部のスクリーン室及び下部の6連のボックスカルバートにより構成される	・2連のボックスカルバートにより構成される	・ストレーナ室、ポンプ室、スクリーン室及び取水管取合部により構成される																																																																																													
	・中床版に開口部が存在しない	・中床版に開口部が存在する	・中床版に開口部が存在する	・開口部が存在しない	・中床版に開口部が存在する																																																																																														
	寸法	・幅33.90m, 高さ8.70m	・幅32.50~34.95m, 高さ20.50m	・幅22.55~32.50m, 高さ10.40m	・幅47.25m, 高さ20.50m																																																																																														
	震害 [※] のモデル化の有無	有り	有り	有り	有り	-																																																																																													
観点		取水槽																																																																																																	
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	⑤-⑤断面																																																																																													
③周辺 状況	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている ・①-①断面はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されているが、MMRの周辺地質が岩盤であり、②-②~⑤-⑤断面との差異は小さいと判断する																																																																																																	
	周辺地質 側面及び上部	・埋戻土（掘削スリ）が分布している	・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している ・MMRは高さ約6.7mで、矩形である		・埋戻土（掘削スリ）及びMMRが分布している ・MMRは高さ約4.4m及び11.8mで台形状である																																																																																														
	地質変化部	・なし																																																																																																	
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。																																																																																																	
	モデル化する隣接構造物	・なし				・タービン建物																																																																																													
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質は各断面で概ね同様であり、地震波の伝搬特性は概ね同様である																																																																																																		
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、①-①~③-③及び⑤-⑤断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴並びに周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる																																																																																																		

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																				
		<p>【取水槽の3次元モデルによる耐震評価の目的と適用性】 取水槽は複数の妻壁を有する構造物であることから、妻壁による拘束効果が距離や非線形性に応じて減少すること、妻壁と接合する部位への応力集中及び支持される設備への影響評価や要求機能に応じた耐震評価について精緻に評価するため、3次元モデルによる耐震評価を実施する。</p> <p>取水槽における3次元モデルによる耐震評価の適用性について、審査実績を有する先行サイト（女川2号炉）の海水ポンプ室等との比較を行った結果、第6-2-2-2表に示すとおり、構造的特徴や3次元モデルによる耐震評価に差異はないことから、適用性があると判断する。</p> <p style="text-align: center;">第6-2-2-2表 先行サイトとの比較結果</p> <table border="1" data-bbox="1745 798 2496 1129"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>女川2号炉（海水ポンプ室等）</th> <th>島根2号炉（取水槽）</th> <th>女川2号炉と島根2号炉の差異の有無及び差異が有る場合の島根2号炉への適用性</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>構造的特徴</td> <td>【海水ポンプ室】 ・箱型構造物 ・高さ5m、延長77m、高さ約28m ・地下2階構造で上部は開放された3部屋、下部は延長方向に4連又は2連のバルコニー構造</td> <td>・箱型構造物 ・幅約33m、延長約47m、高さ20.5m ・地下2階構造で上部は開放された3部屋、下部は3連、6連又は2連のバルコニー構造</td> <td>・構造形式が同一で、構造物の寸法や形状が類似していることから、構造的特徴に差異はないと判断する。</td> </tr> <tr> <td>2次元有限要素法による地震応答解析</td> <td>【海水ポンプ室】 ・延長方向の工字断面に3分割し、実構造物と等価な剛性を有する2次元等価剛性モデルを作成し、工字断面の剛性を考慮 ・構造物を等価剛性モデル（線形）とし、地震-構造物連成（地震は非線形）の2次元時刻歴非線形解析（構造物線形）により評価</td> <td>・同左</td> <td>・延長方向の工字断面の考え方が同様で、構造物のモデル及び解析方法が同一であることから、2次元有限要素法による地震応答解析に差異はないと判断する。</td> </tr> <tr> <td>3次元非線形要素法による構造解析</td> <td>【共通】 ・鉄筋コンクリートの非線形性を評価可能な前川モデルを用いた材料非線形モデル 【海水ポンプ室】 ・非線形シムが不要でモデル化した静的解析を行い、応答（変形、断面力）を算出 ・非線形シムが不要でモデル化した静的解析を行い、応答（変形、断面力）を算出</td> <td>・取水槽を非線形シムまたはリフト要素でモデル化した静的解析を行い、応答（変形、断面力）を算出</td> <td>・非線形シムまたはリフト要素を用いた解析は、構造物のモデル及び解析方法が同一であることから、3次元有限要素法による構造解析に差異はないと判断する。 ・非線形解析におけるシム要素に対するリフト要素の差異は、部材のひび割れ状況を精緻に評価可能なため、差を評価することができると判断する。 ・取水槽は非線形シム要素で解析を行うが、止水機能等を考慮したひび割れが卓越し、漏水が懸念される場合には、非線形シム要素にて解析を行うこととし、詳細な解析方法については、詳細設計段階において決定する。</td> </tr> <tr> <td>耐震安全性評価</td> <td>【共通】 ・地震時の安全性評価として、曲げ系の破壊は部材の要求機能に応じた許容損傷（曲げ変形角、鉄筋コンクリート中のひび割れ）に対して審査 ・せん断耐力評価式により審査</td> <td>・同左</td> <td>・部材の要求機能に応じた許容損傷による審査は同様であることから、耐震安全性評価に差異はないと判断する。</td> </tr> </tbody> </table>	項目	女川2号炉（海水ポンプ室等）	島根2号炉（取水槽）	女川2号炉と島根2号炉の差異の有無及び差異が有る場合の島根2号炉への適用性	構造的特徴	【海水ポンプ室】 ・箱型構造物 ・高さ5m、延長77m、高さ約28m ・地下2階構造で上部は開放された3部屋、下部は延長方向に4連又は2連のバルコニー構造	・箱型構造物 ・幅約33m、延長約47m、高さ20.5m ・地下2階構造で上部は開放された3部屋、下部は3連、6連又は2連のバルコニー構造	・構造形式が同一で、構造物の寸法や形状が類似していることから、構造的特徴に差異はないと判断する。	2次元有限要素法による地震応答解析	【海水ポンプ室】 ・延長方向の工字断面に3分割し、実構造物と等価な剛性を有する2次元等価剛性モデルを作成し、工字断面の剛性を考慮 ・構造物を等価剛性モデル（線形）とし、地震-構造物連成（地震は非線形）の2次元時刻歴非線形解析（構造物線形）により評価	・同左	・延長方向の工字断面の考え方が同様で、構造物のモデル及び解析方法が同一であることから、2次元有限要素法による地震応答解析に差異はないと判断する。	3次元非線形要素法による構造解析	【共通】 ・鉄筋コンクリートの非線形性を評価可能な前川モデルを用いた材料非線形モデル 【海水ポンプ室】 ・非線形シムが不要でモデル化した静的解析を行い、応答（変形、断面力）を算出 ・非線形シムが不要でモデル化した静的解析を行い、応答（変形、断面力）を算出	・取水槽を非線形シムまたはリフト要素でモデル化した静的解析を行い、応答（変形、断面力）を算出	・非線形シムまたはリフト要素を用いた解析は、構造物のモデル及び解析方法が同一であることから、3次元有限要素法による構造解析に差異はないと判断する。 ・非線形解析におけるシム要素に対するリフト要素の差異は、部材のひび割れ状況を精緻に評価可能なため、差を評価することができると判断する。 ・取水槽は非線形シム要素で解析を行うが、止水機能等を考慮したひび割れが卓越し、漏水が懸念される場合には、非線形シム要素にて解析を行うこととし、詳細な解析方法については、詳細設計段階において決定する。	耐震安全性評価	【共通】 ・地震時の安全性評価として、曲げ系の破壊は部材の要求機能に応じた許容損傷（曲げ変形角、鉄筋コンクリート中のひび割れ）に対して審査 ・せん断耐力評価式により審査	・同左	・部材の要求機能に応じた許容損傷による審査は同様であることから、耐震安全性評価に差異はないと判断する。	<p>・記載の充実 【柏崎6/7】 島根2号炉では取水槽の3次元モデルによる耐震評価の目的と適用性について記載している</p>
項目	女川2号炉（海水ポンプ室等）	島根2号炉（取水槽）	女川2号炉と島根2号炉の差異の有無及び差異が有る場合の島根2号炉への適用性																				
構造的特徴	【海水ポンプ室】 ・箱型構造物 ・高さ5m、延長77m、高さ約28m ・地下2階構造で上部は開放された3部屋、下部は延長方向に4連又は2連のバルコニー構造	・箱型構造物 ・幅約33m、延長約47m、高さ20.5m ・地下2階構造で上部は開放された3部屋、下部は3連、6連又は2連のバルコニー構造	・構造形式が同一で、構造物の寸法や形状が類似していることから、構造的特徴に差異はないと判断する。																				
2次元有限要素法による地震応答解析	【海水ポンプ室】 ・延長方向の工字断面に3分割し、実構造物と等価な剛性を有する2次元等価剛性モデルを作成し、工字断面の剛性を考慮 ・構造物を等価剛性モデル（線形）とし、地震-構造物連成（地震は非線形）の2次元時刻歴非線形解析（構造物線形）により評価	・同左	・延長方向の工字断面の考え方が同様で、構造物のモデル及び解析方法が同一であることから、2次元有限要素法による地震応答解析に差異はないと判断する。																				
3次元非線形要素法による構造解析	【共通】 ・鉄筋コンクリートの非線形性を評価可能な前川モデルを用いた材料非線形モデル 【海水ポンプ室】 ・非線形シムが不要でモデル化した静的解析を行い、応答（変形、断面力）を算出 ・非線形シムが不要でモデル化した静的解析を行い、応答（変形、断面力）を算出	・取水槽を非線形シムまたはリフト要素でモデル化した静的解析を行い、応答（変形、断面力）を算出	・非線形シムまたはリフト要素を用いた解析は、構造物のモデル及び解析方法が同一であることから、3次元有限要素法による構造解析に差異はないと判断する。 ・非線形解析におけるシム要素に対するリフト要素の差異は、部材のひび割れ状況を精緻に評価可能なため、差を評価することができると判断する。 ・取水槽は非線形シム要素で解析を行うが、止水機能等を考慮したひび割れが卓越し、漏水が懸念される場合には、非線形シム要素にて解析を行うこととし、詳細な解析方法については、詳細設計段階において決定する。																				
耐震安全性評価	【共通】 ・地震時の安全性評価として、曲げ系の破壊は部材の要求機能に応じた許容損傷（曲げ変形角、鉄筋コンクリート中のひび割れ）に対して審査 ・せん断耐力評価式により審査	・同左	・部材の要求機能に応じた許容損傷による審査は同様であることから、耐震安全性評価に差異はないと判断する。																				

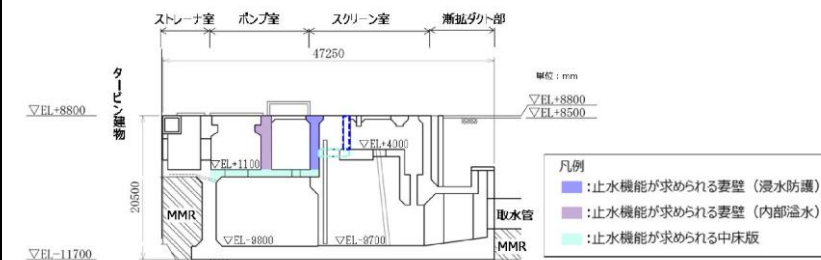
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>【取水槽の3次元モデルによる耐震評価フローと照査体系】</p> <p>取水槽の3次元モデルによる耐震評価は第6-2-2-14図に示すフローのとおり、基準地震動S_sによる2次元地震応答解析により得られる地震時荷重（土圧，加速度）を3次元モデルへ作用させて、耐震安全性評価を行う。以降、評価フローにおける内容を記載するが、詳細については詳細設計段階にて検討する。</p>  <p>第6-2-2-14図 3次元モデルによる耐震評価フロー</p> <p>(1) 3次元モデルの作成</p> <p>・構造物をシェル又はソリッド要素，地盤をばね要素でモデル化し，3次元モデルを作成する。参考として，取水槽のイメージ図を第6-2-2-15図に示す。</p>  <p>第6-2-2-15図 取水槽イメージ図</p>	<p>・記載の充実</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2号炉では取水槽の3次元モデルによる耐震評価フローと照査体系について記載している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>(2) 常時解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 3次元モデルに通常運転時の荷重及び変動荷重を載荷して常時の応力状態を再現する。 ・ 静止土圧は2次元地震応答解析における常時応力解析により設定し、分布荷重として載荷する。 <p>(3) 2次元地震応答解析に用いる等価剛性モデルの作成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 地震時荷重の算定に用いる2次元地震応答解析の構造物モデルは、構造物と地盤の相互作用により発生する土圧を正しく評価するため、妻壁の剛性を考慮し、実構造と等価な剛性を持つ2次元等価剛性モデルとする。 ・ 各エリアの構造の相違に起因する地震時荷重を正しく算定するため、エリアごとに等価剛性モデルを作成する。 ・ 2次元等価剛性モデルと3次元モデルに同じ荷重を作用させ、2次元等価剛性モデルの変位が3次元モデルの変位と等しくなるように剛性を設定する。 ・ 等価剛性モデルは、地震時荷重を保守的に評価するよう線形モデルとする。 <p>(4) 2次元地震応答解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 2次元地震応答解析は、地盤の非線形性を考慮した地盤-構造物連成の時刻歴非線形解析により行う。2次元地震応答解析のモデル図を第6-2-2-16図に示す。 ・ 等価剛性モデルの構造物モデルは、線形モデルとする。 ・ 埋戻土については、非線形性を考慮する。  <p>第6-2-2-16図 2次元地震応答解析 (解析モデル図: ポンプ室エリア)</p>	<p>・ 記載の充実 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では取水槽の3次元モデルによる耐震評価フローと照査体系について記載している</p>

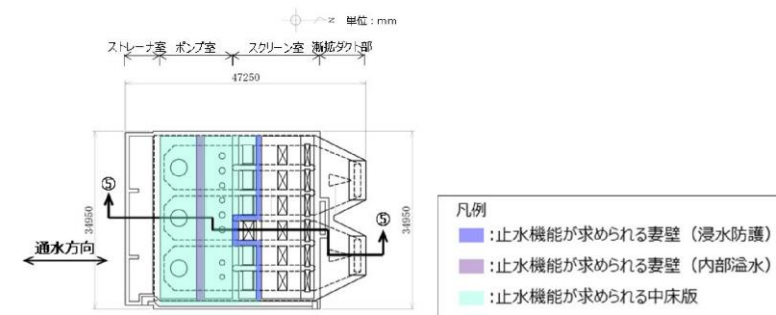
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>(5) <u>地震時荷重の算定</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>2次元地震応答解析において要求機能に対応する着目部位の変位や断面力が大きくなり、照査上厳しくなる時刻を選定し、地震時増分土圧と応答加速度を算定する。</u> ・ <u>慣性力は、応答加速度を基に応答震度を算定する。</u> ・ <u>地震時荷重の抽出は、要求機能を有する各部位の想定される損傷モード（曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊）に応じた時刻の荷重を抽出する。</u> <p>(6) <u>3次元モデルによる地震時構造解析（1方向荷重）</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>2次元地震応答解析において選定した時刻の慣性力及び地震時増分土圧等を地震時荷重として3次元モデルに載荷する。</u> ・ <u>慣性力及び地震時増分土圧は、エリア毎に奥行方向に一様な荷重として作用させる。</u> <p>(7) <u>3次元モデルによる地震時構造解析（2方向荷重）</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>水平2方向荷重に対する検討として、地震時解析（1方向荷重）に、縦断方向の地震時荷重を同時に載荷する。</u> ・ <u>縦断方向の土圧は妻壁と地盤の相互作用により発生するが、妻壁の挙動は構造物全体の挙動とは異なり、部材としての応答となるため、等価剛性とはせず鉄筋コンクリート部材の剛性を考慮する。</u> ・ <u>縦断方向の地震時荷重は、水平2方向荷重の影響が大きい部材のうち、1方向荷重時の照査値が最も厳しい部材・時刻に対し、同時刻の縦断方向の地震時荷重を、位相を変えた地震動により算出して用いる。</u> <p>(8) <u>耐震安全性評価</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ <u>地震時荷重を載荷した構造物の変形が、部材ごとに要求される機能に応じた許容限界を上回らないことを確認する。</u> ・ <u>各部位の許容限界について、取水槽には第6-2-2-17, 18図に示すとおり止水機能が求められる部位があり、その他の部位では通水機能や支持機能が求められ、部位ごとに要求機能が異なる。したがって、各要求機能に対する目標性能を第6-2-2-3表のとおり整理し、目標性能毎に許容限界を設定する。</u> ・ <u>なお、妻壁を耐震壁とみなし、JEAG4601-1987に基づいた耐震評価を行う。同基準において、耐震壁の終局時の変形として層間変形角4/1000が規定されており、これに安全率2を有する層間変形角2/1000は、耐震壁の通水機能や支持機能の許容限界として既工認実績がある。なお、止水機能が要求される</u> 	<p>・ 記載の充実 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では取水槽の 3次元モデルによる耐震評価フローと照査体系について記載している</p>

部位については、JEAG4601-1991に規定されている層間変形角がスケルトンカーブの第1折れ点以下であることを許容限界とした耐震評価を行うこととし、これについても、耐震壁のせん断変形に対する水密性評価の許容限界として既工認実績がある。

・記載の充実
【柏崎 6/7】
島根 2号炉では取水槽の3次元モデルによる耐震評価フローと照査体系について記載している



第6-2-2-17図 取水槽 止水機能が求められる部位 (縦断面 (⑤-⑤断面))



第6-2-2-18図 取水槽 止水機能が求められる部位 (平面図)

第6-2-2-3表 要求機能に応じた許容限界

要求機能	要求機能に対する目標性能	許容限界	
		曲げ	せん断
通水機能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮線コンクリート限界ひずみ	せん断耐力 (面外) / 層間変形角2/1000' (面内)
止水機能	鉄筋が降伏しない 発生せん断力がせん断耐力以下	圧縮ひずみ: コンクリートの圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ: 鉄筋の降伏強度に対応するひずみ	せん断耐力 (面外) / 層間変形角第1折れ点 (面内)
支持機能	終局状態に至らない	限界層間変形角又は圧縮線コンクリート限界ひずみ	せん断耐力 (面外) / 層間変形角2/1000' (面内)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>1.3 取水路の断面選定の考え方</u></p> <p><u>第12-1-5 図に取水路の平面図を示す。</u></p> <p><u>取水路は、6号及び7号炉ともに、延長約127mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に対して複数の断面形状を示し、海側から大きく漸縮部、一般部、漸拡部に分けられる。また、取水路は、古安田層洪積粘性土層に直接設置若しくはマンメイドロックを介して西山層に設置されている。</u></p> <p><u>今回工認では、構造物の構造的特徴や地盤条件等を考慮した上で断面を選定し、基準地震動Ssによる耐震評価を実施する。</u></p> <p><u>第12-1-6 図～第12-1-8 図及び第12-1-1 表、第12-1-2 表に取水路の縦断図、断面図及び構造諸元を示す。</u></p> <p><u>取水路漸縮部は、一体の構造物であるが、取水方向に幅が漸縮するとともに、6連のボックスカルバート形状から3連のボックスカルバート形状に変わる構造となっている。また、縦断方向で土被り厚は同じであり、その他の設置地盤条件もほぼ一様となっている。</u></p> <p><u>以上のことから、スクリーン室とほぼ同等の設置条件にあるものの、構造的特徴として6連から3連のボックスカルバート形状に変わることを踏まえ、構造物の幅に対する鉛直部材の割合が少なく耐震上厳しいと判断されるA-A'断面を耐震評価の対象として選定する。</u></p> <p><u>取水路一般部は、取水方向に幅が一様な3連のボックスカルバート形状の構造となっていることから、耐震評価の対象は、設置地盤条件に着目し、西山層の上限面の高さが深い区間で最も土被り厚が大きく耐震上厳しいと判断されるブロック⑤のB-B'断面を選定する。</u></p> <p><u>取水路漸拡部は、取水方向に幅が漸拡する6連のボックスカルバート形状の構造となっている。また、縦断方向で土被り厚はほぼ同等であり、その他の設置地盤条件もほぼ一様となっている。以上のことから、耐震評価の対象は、構造的特徴を踏まえ、構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少なく耐震上厳しいと判断されるブロック⑩のタービン建屋側のC-C'断面を選定する。</u></p> <p><u>取水路の検討断面では、地下水位以下に、液状化層（埋戻土層）及び液状化影響評価対象層（古安田層洪積砂質土層）が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。</u></p>		<p><u>2.3 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎</u></p> <p><u>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎（地中部及び半地下部）の配置図を第6-2-3-1図に、平面図を第6-2-3-2図に、縦断図を第6-2-3-3図に、断面図を第6-2-3-4図～第6-2-3-5図に、地質断面図を第6-2-3-6図に、岩級断面図を第6-2-3-7図にそれぞれ示す。</u></p> <p><u>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、Sクラス設備であるB-ディーゼル燃料貯蔵タンク等の間接支持機能が要求される。</u></p> <p><u>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、延長約20m、幅約19m、高さ約7mの鉄筋コンクリート造の地中及び半地下構造物である。</u></p> <p><u>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は、C_M級以上の岩盤に直接支持されている。</u></p> <p><u>長辺方向（地中部は南北方向、半地下部は東西方向）に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に配置される壁の厚さの割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（地中部は東西方向、半地下部は南北方向）が弱軸となる。</u></p> <p><u>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>対象施設の相違による記載内容の相違</p>

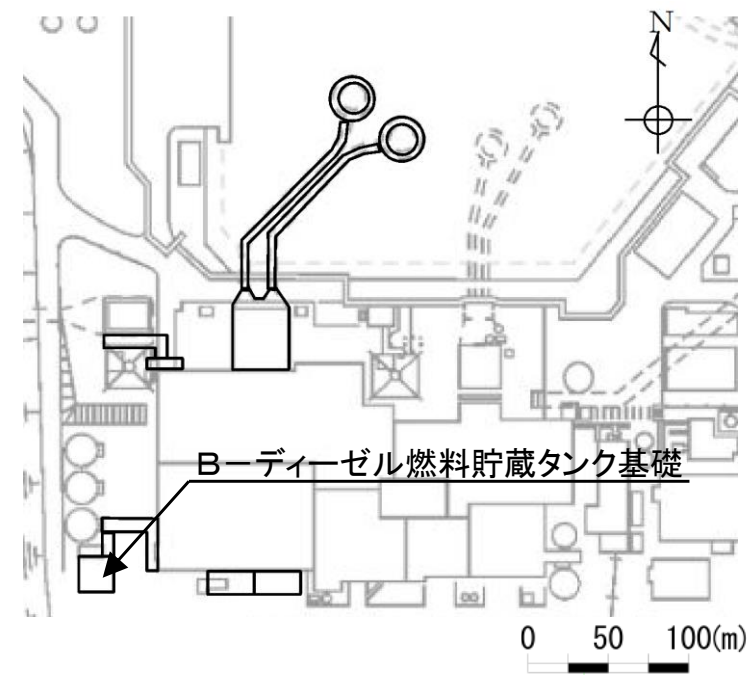
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

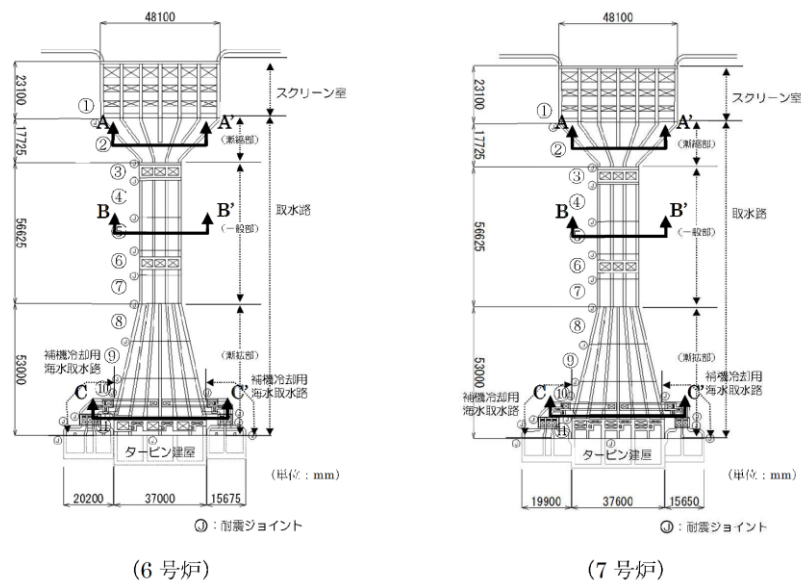
島根原子力発電所 2号炉

備考

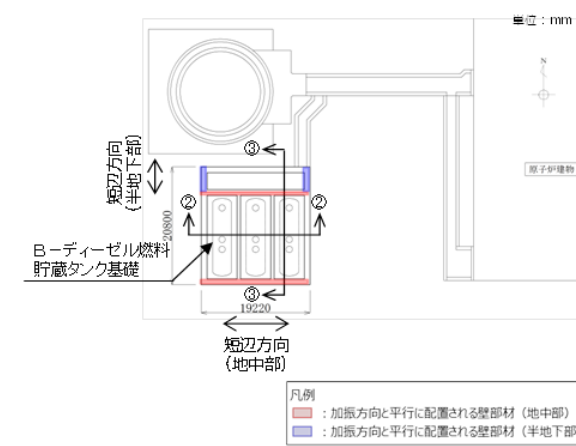
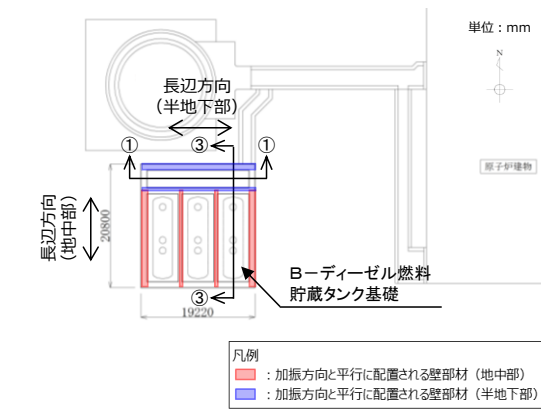
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
 対象施設の相違による記載内容の相違



第6-2-3-1図 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 配置図



第12-1-5 図 6号及び7号炉取水路 平面図



第6-2-3-2図 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 平面図

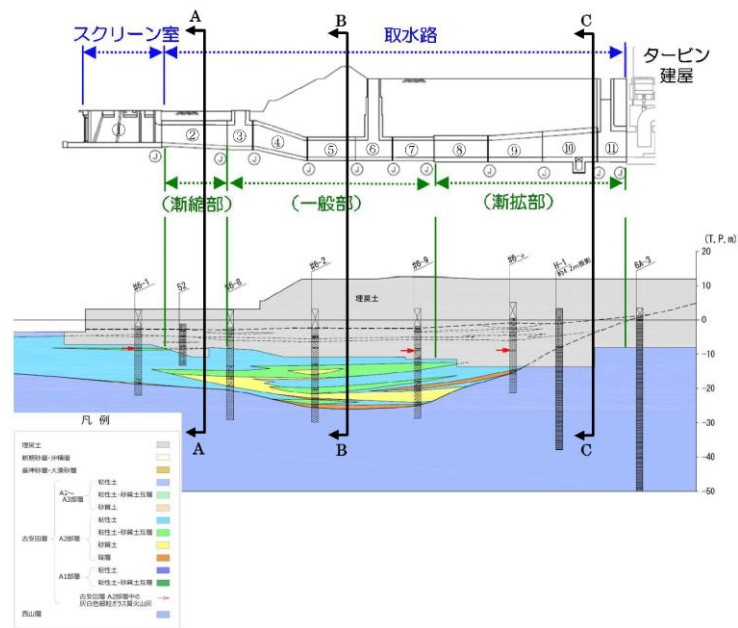
第12-1-1 表 6号炉取水路 構造諸元

ブロック番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
設備区分	スクリーン室	取水塔 (漸縮部)	取水塔 (一般部)				取水塔 (漸拡部)				
幅 (m)	48.1	48.1~16.6	16.6	16.6	16.6	17.3~23.9	24.0~30.5	30.5~37.0			
高さ (m)	10.0	7.0~8.0	8.0~6.6	6.6	6.6	7.2	7.2~8.3	8.3~9.5			
壁厚 (mm)	0.19	0.20	0.24	0.24	0.24	0.37	0.28	0.23			
壁開口	有	無	立坑	無	無	立坑	無	無	無	無	立坑
機器付置	有	無	無	無	無	無	無	無			
土被り厚 (m)	0	2.5	2.5~14.7	14.7~19.2	15.8	15.6	15.6~14.5	14.5~13.3			

※ここで壁厚標準は、壁厚部の平均厚さを指し、壁厚部の標準偏差は、壁厚部の標準偏差を指す。壁厚部の標準偏差は、壁厚部の標準偏差を指す。壁厚部の標準偏差は、壁厚部の標準偏差を指す。



壁面構造 (例:ブロック⑤)

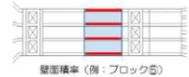


第12-1-6 図 6号炉取水路 縦断面図

第12-1-2 表 7号炉取水路 構造諸元

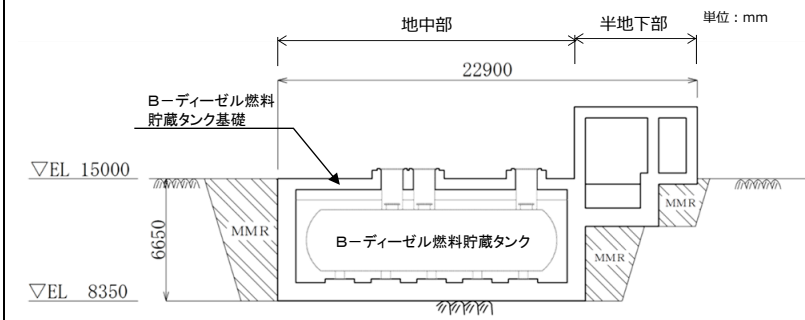
ブロック番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
設備区分	スクリーン室	取水塔 (漸縮部)	取水塔 (一般部)				取水塔 (漸拡部)				
幅 (m)	48.1	48.1~16.6	16.6	16.6	16.6	17.3~24.0	24.0~30.9	30.9~37.6			
高さ (m)	10.0	7.0~8.0	8.0~6.6	6.6	6.6	7.2	7.2~8.3	8.3~9.5			
壁厚 (mm)	0.19	0.20	0.24	0.24	0.24	0.37	0.28	0.22			
壁開口	有	無	立坑	無	無	立坑	無	無	無	無	立坑
機器付置	有	無	無	無	無	無	無	無			
土被り厚 (m)	0	2.5	2.5~13.8	13.8~19.2	15.8	15.6	15.6~14.5	14.5~13.3			

※ここで壁厚標準は、壁厚部の平均厚さを指し、壁厚部の標準偏差は、壁厚部の標準偏差を指す。壁厚部の標準偏差は、壁厚部の標準偏差を指す。壁厚部の標準偏差は、壁厚部の標準偏差を指す。

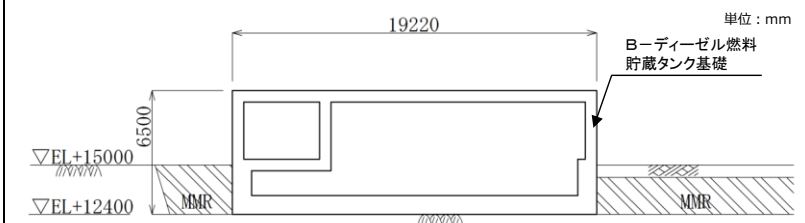


壁面構造 (例:ブロック⑤)

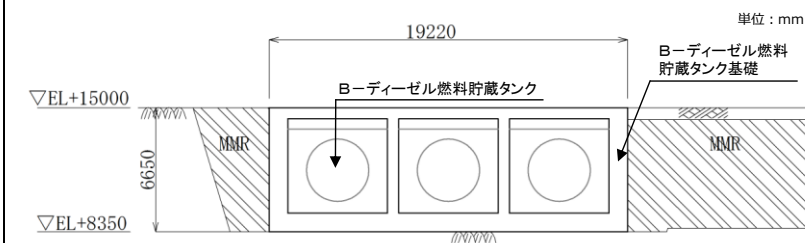
・対象施設の相違
【柏崎6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違



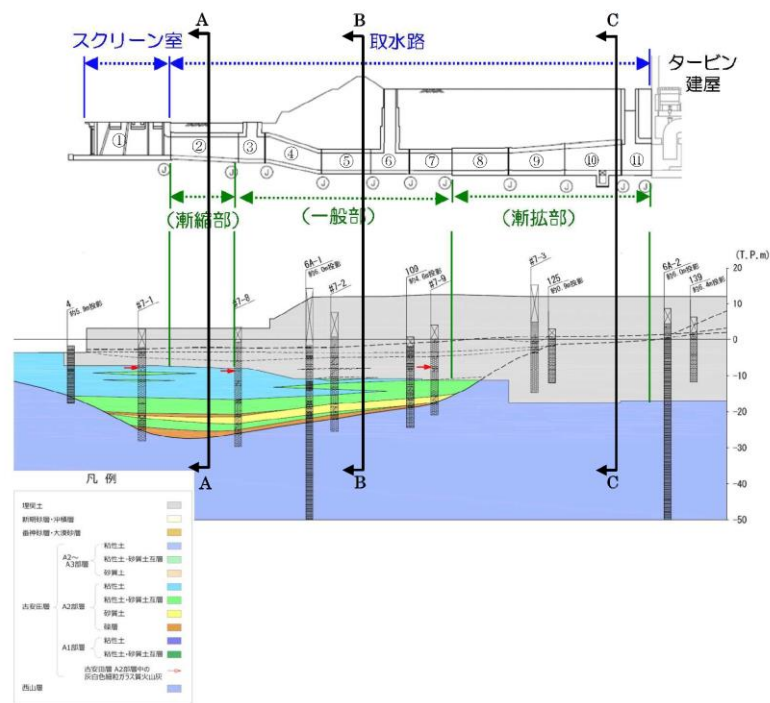
第6-2-3-3図 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎
縦断面図 (③-③断面)



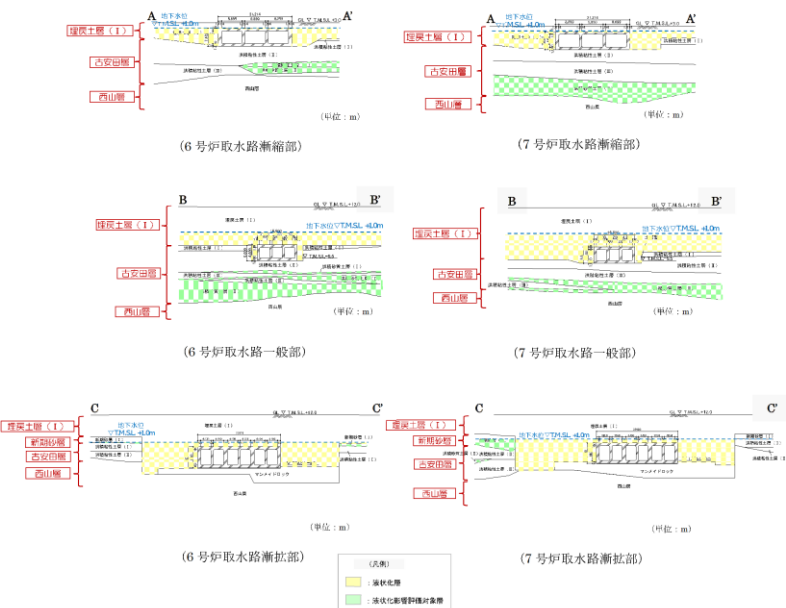
第6-2-3-4図 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎
断面図 (①-①断面)



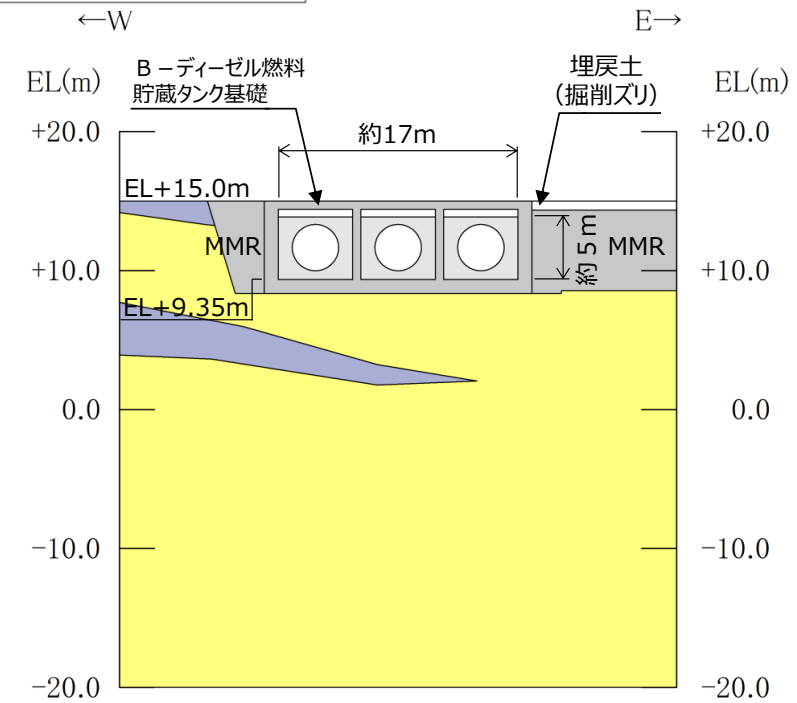
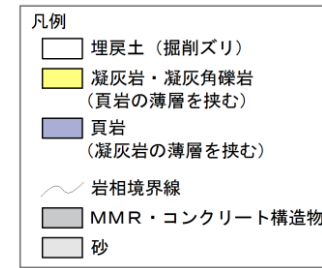
第6-2-3-5図 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎
断面図 (②-②断面)



第12-1-7 図 7号炉取水路 縦断面図

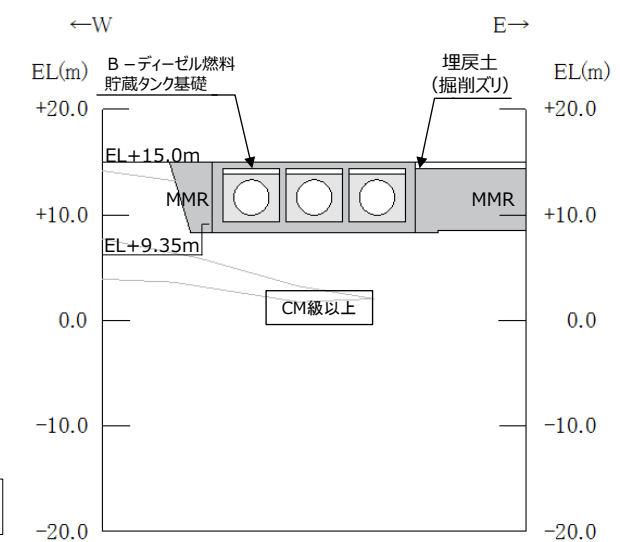


第12-1-8 図 6号及び7号炉取水路 断面図



第6-2-3-6図 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎

地質断面図 (②-②断面)

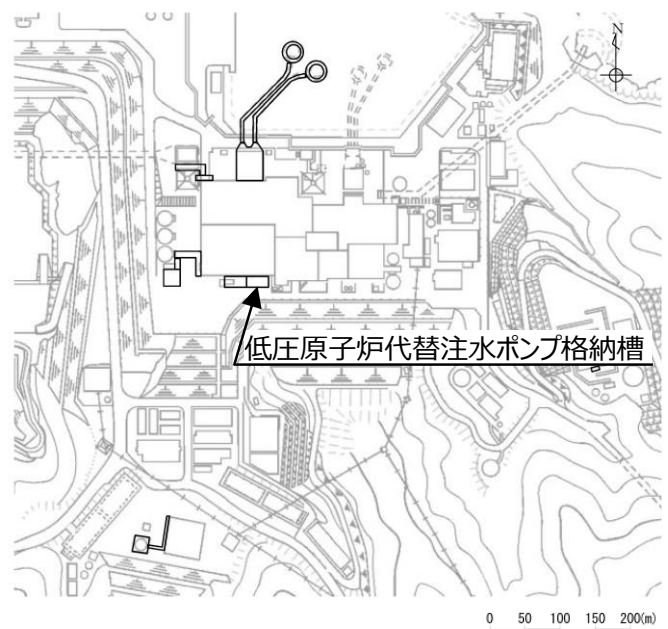


第6-2-3-7図 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎

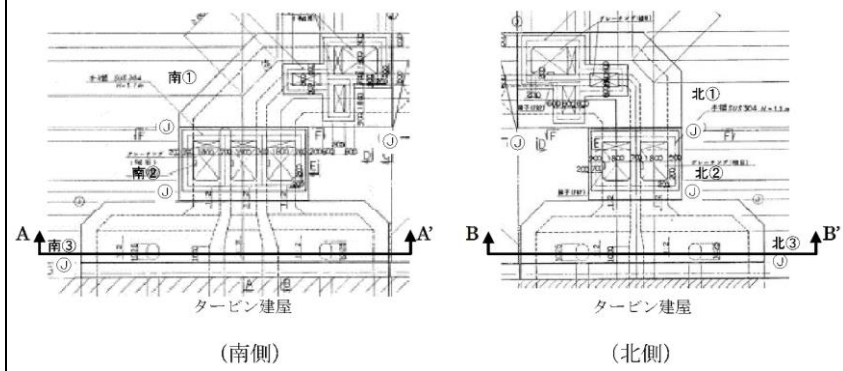
岩級断面図 (②-②断面)

・対象施設の相違
【柏崎6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違

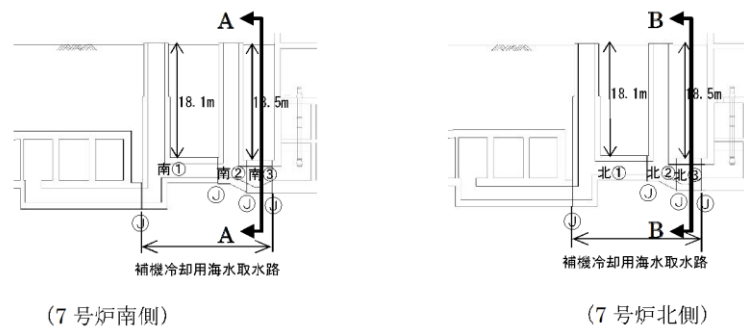
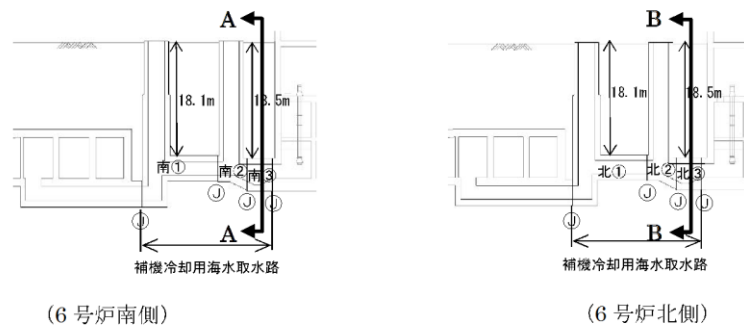
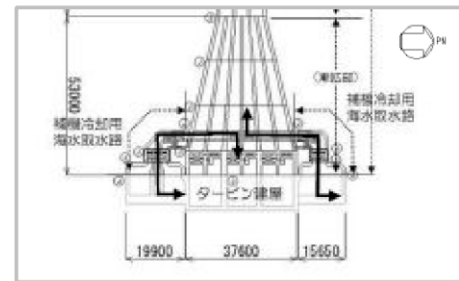
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																										
		<p><u>B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した(第6-2-3-1表)。</u></p> <p style="text-align: center;"><u>第6-2-3-1表 耐震評価候補断面の整理</u> <u>(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎) (1/2)</u></p> <table border="1" data-bbox="1736 493 2496 898"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="3">B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>要求機能</td> <td colspan="3">・間接支持</td> </tr> <tr> <td>間接支持する設備</td> <td>・B-ディーゼル燃料移送ポンプ ・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁他</td> <td>・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク ・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁他</td> <td>・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク ・B-ディーゼル燃料移送ポンプ ・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁他</td> </tr> <tr> <td></td> <td>設置状況</td> <td colspan="3">・設備毎に異なる</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">②構造的特徴</td> <td rowspan="2">形式</td> <td>・強軸方向断面(半地下部)</td> <td>・弱軸方向断面(地中部)</td> <td>・強軸方向断面(地中部) ・弱軸方向断面(半地下部)</td> </tr> <tr> <td>・鉄筋コンクリート造の半地下構造物</td> <td>・鉄筋コンクリート造の地中構造物</td> <td>・鉄筋コンクリート造の地中構造物及び半地下構造物</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td>・幅19.22m, 高さ6.50m</td> <td>・幅19.22m, 高さ6.65m</td> <td>・地中部及び半地下部により構成される ・幅22.90m, 高さ4.20m, 6.50m及び6.65m</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><u>第6-2-3-1表 耐震評価候補断面の整理</u> <u>(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎) (2/2)</u></p> <table border="1" data-bbox="1736 1056 2496 1409"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="3">B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">③周辺状況</td> <td>周辺地質</td> <td colspan="3">・CM級以上の岩盤に直接支持されている ・③-③断面はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されているが、MMRの周辺地質が岩盤であり、①-①~②-②断面との差異は小さいと判断する</td> </tr> <tr> <td>構造物側部及び上部</td> <td colspan="3">・埋戻土(掘削スリ)及びMMRが分布している ・MMRの周辺地質が岩盤であり、各断面で差異は小さいと判断する</td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td colspan="3">・なし</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td colspan="3">・解析結果等を踏まえて整理する。</td> </tr> <tr> <td></td> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td>・原子炉建物</td> <td colspan="2">・なし</td> </tr> <tr> <td>④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="4">・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は一律である</td> </tr> <tr> <td>⑤床応答特性</td> <td colspan="4">・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行ううえで、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</u></p>	観点		B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎			①-①断面	②-②断面	③-③断面	①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持			間接支持する設備	・B-ディーゼル燃料移送ポンプ ・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁他	・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク ・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁他	・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク ・B-ディーゼル燃料移送ポンプ ・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁他		設置状況	・設備毎に異なる			②構造的特徴	形式	・強軸方向断面(半地下部)	・弱軸方向断面(地中部)	・強軸方向断面(地中部) ・弱軸方向断面(半地下部)	・鉄筋コンクリート造の半地下構造物	・鉄筋コンクリート造の地中構造物	・鉄筋コンクリート造の地中構造物及び半地下構造物	寸法	・幅19.22m, 高さ6.50m	・幅19.22m, 高さ6.65m	・地中部及び半地下部により構成される ・幅22.90m, 高さ4.20m, 6.50m及び6.65m	観点		B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎			①-①断面	②-②断面	③-③断面	③周辺状況	周辺地質	・CM級以上の岩盤に直接支持されている ・③-③断面はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されているが、MMRの周辺地質が岩盤であり、①-①~②-②断面との差異は小さいと判断する			構造物側部及び上部	・埋戻土(掘削スリ)及びMMRが分布している ・MMRの周辺地質が岩盤であり、各断面で差異は小さいと判断する			地質変化部	・なし			地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。				モデル化する隣接構造物	・原子炉建物	・なし		④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は一律である				⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる				<p>・記載の充実【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>
観点		B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎																																																																											
		①-①断面	②-②断面	③-③断面																																																																									
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持																																																																											
	間接支持する設備	・B-ディーゼル燃料移送ポンプ ・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁他	・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク ・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁他	・B-ディーゼル燃料貯蔵タンク ・B-ディーゼル燃料移送ポンプ ・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁他																																																																									
	設置状況	・設備毎に異なる																																																																											
②構造的特徴	形式	・強軸方向断面(半地下部)	・弱軸方向断面(地中部)	・強軸方向断面(地中部) ・弱軸方向断面(半地下部)																																																																									
		・鉄筋コンクリート造の半地下構造物	・鉄筋コンクリート造の地中構造物	・鉄筋コンクリート造の地中構造物及び半地下構造物																																																																									
	寸法	・幅19.22m, 高さ6.50m	・幅19.22m, 高さ6.65m	・地中部及び半地下部により構成される ・幅22.90m, 高さ4.20m, 6.50m及び6.65m																																																																									
観点		B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎																																																																											
		①-①断面	②-②断面	③-③断面																																																																									
③周辺状況	周辺地質	・CM級以上の岩盤に直接支持されている ・③-③断面はMMRを介してCM級以上の岩盤に支持されているが、MMRの周辺地質が岩盤であり、①-①~②-②断面との差異は小さいと判断する																																																																											
	構造物側部及び上部	・埋戻土(掘削スリ)及びMMRが分布している ・MMRの周辺地質が岩盤であり、各断面で差異は小さいと判断する																																																																											
	地質変化部	・なし																																																																											
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。																																																																											
	モデル化する隣接構造物	・原子炉建物	・なし																																																																										
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は一律である																																																																												
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる																																																																												

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>1.4 補機冷却用海水取水路の断面選定の考え方</p> <p>第12-1-9 図～第12-1-11 図に補機冷却用海水取水路の平面図、縦断面図及び断面図を示す。</p> <p>補機冷却用海水取水路は、6号及び7号炉ともに、取水路漸拡部からそれぞれ北側、南側に分岐した鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水方向に対して複数の断面形状を示し、直接若しくはマンメイドロックを介して西山層に設置されている。</p> <p>今回工認では、構造物の構造的特徴や地盤条件等を考慮した上で断面を選定し、基準地震動S_sによる耐震評価を実施する。</p> <p>補機冷却用海水取水路（北側）は、取水路漸拡部から2連のボックスカルバート形状で分岐し、2連から4連（柱部2本）のボックスカルバート形状に変わるとともに、タービン建屋近傍で幅が大きくなる構造である。また、補機冷却用海水取水路（南側）は、取水路漸拡部から2連のボックスカルバート形状で分岐し、2連から5連（柱部2本）のボックスカルバート形状に変わるとともに、タービン建屋近傍で幅が大きくなる構造である。</p> <p>以上のことから、耐震評価の対象は、構造的特徴を踏まえ、構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少なく耐震上厳しいと判断されるタービン建屋接続位置を選定し、北側4連（柱部2本）ボックスカルバート部のブロック北③及び南側5連（柱部2本）ボックスカルバート部のブロック南③を選定する。モデル化においては、ブロック全体の妻壁及び柱部を含めた平均的な剛性を考慮し、基準地震動S_sによる耐震評価を実施する。</p> <p>補機冷却用海水取水路の検討断面では、地下水位以下に、液状化層（埋戻土層）が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。</p>		<p>2.4 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽</p> <p>低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の配置図を第6-2-4-1図に、平面図を第6-2-4-2図に、縦断面図を第6-2-4-3図に、断面図を第6-2-4-4図～第6-2-4-5図に、地質断面図を第6-2-4-6図～第6-2-4-7図に、岩級断面図を第6-2-4-8図～第6-2-4-9図にそれぞれ示す。</p> <p>低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽のうち低圧原子炉代替注水槽は、常設重大事故等対処設備であり、貯水機能が要求される。また、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は常設重大事故等対処設備である低圧原子炉代替注水ポンプ等の間接支持機能が要求される。</p> <p>低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、延長26.6m、幅13.4m、高さ16.0m又は19.6mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。</p> <p>低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、C_M級以上の岩盤に直接支持されている。</p> <p>長辺方向（東西方向）に加振した場合は、加振方向に直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に設置される壁の厚さの割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（南北方向）が弱軸となる。</p> <p>低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。</p>  <p>第6-2-4-1図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 配置図</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)



第12-1-9 図 補機冷却用海水取水路 平面図 (例: 7号炉)



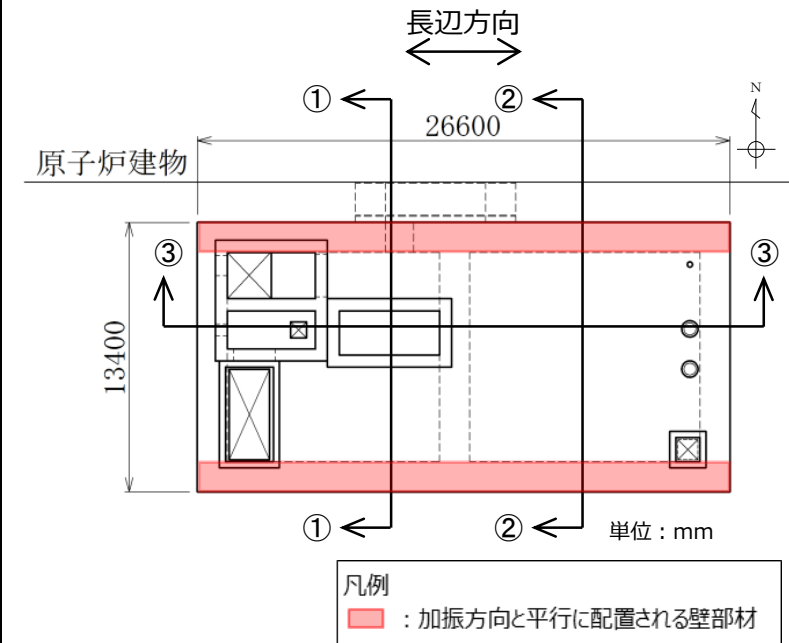
第12-1-10 図 6号及び7号炉補機冷却用海水取水路 縦断面図

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

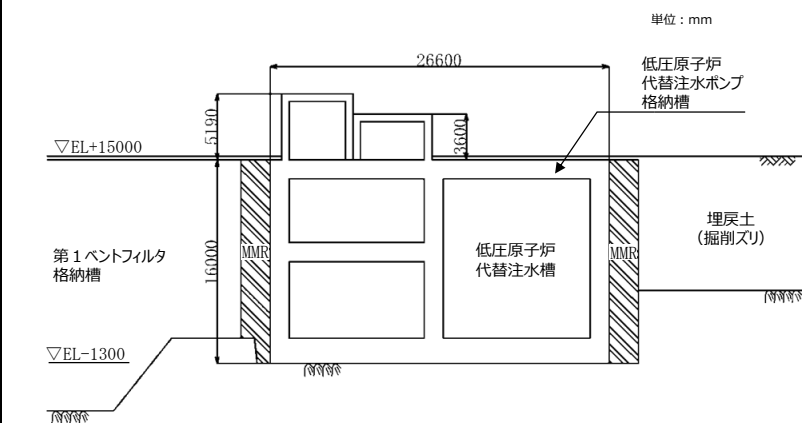
島根原子力発電所 2号炉

備考

・対象施設の相違
【柏崎6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違

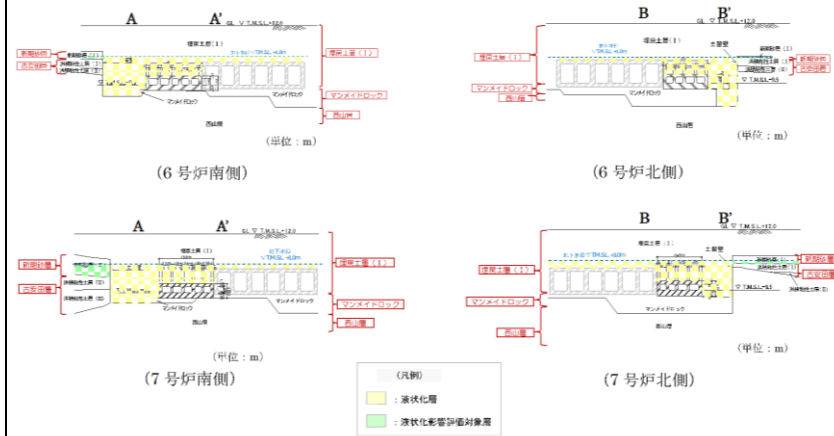


第6-2-4-2図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図



第6-2-4-3図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 縦断面図 (③断面)

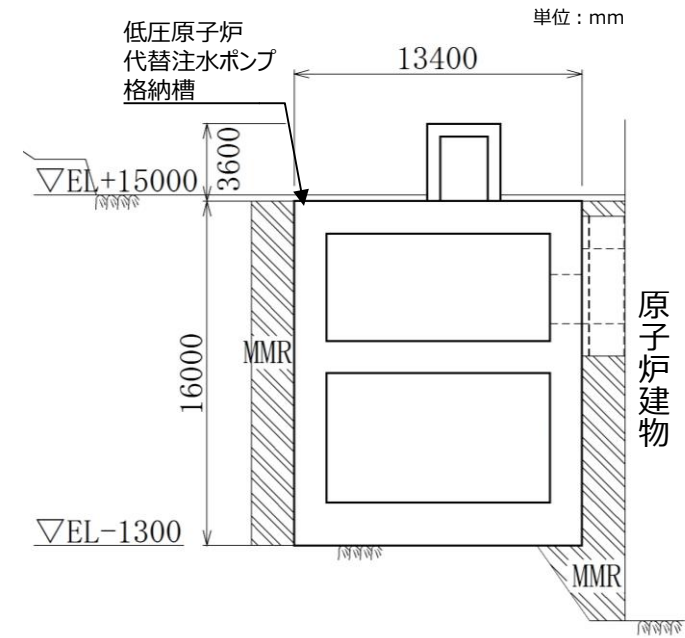
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)



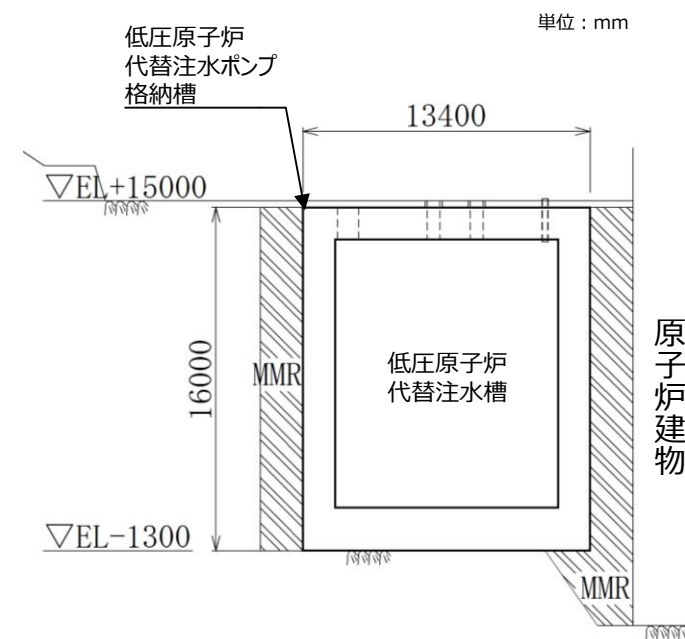
第12-1-11 図 6号及び7号炉補機冷却用海水取水路 断面図

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉



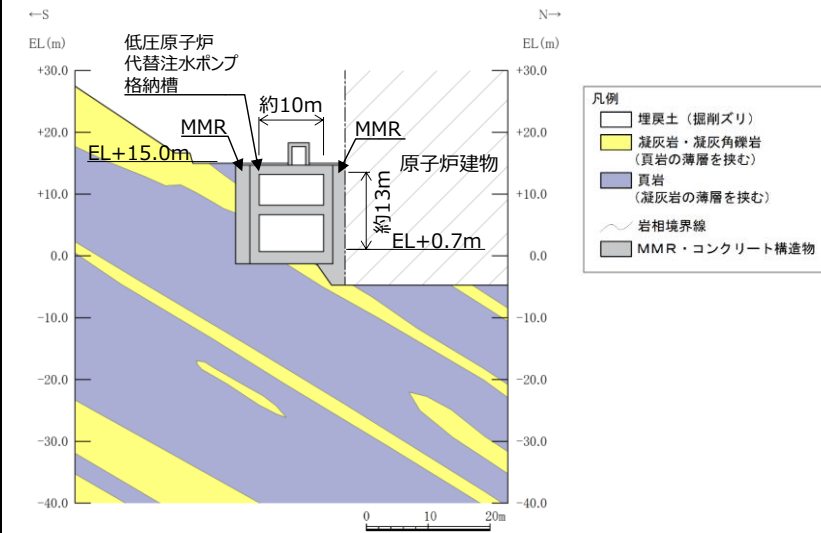
第6-2-4-4図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (①)
-①断面-



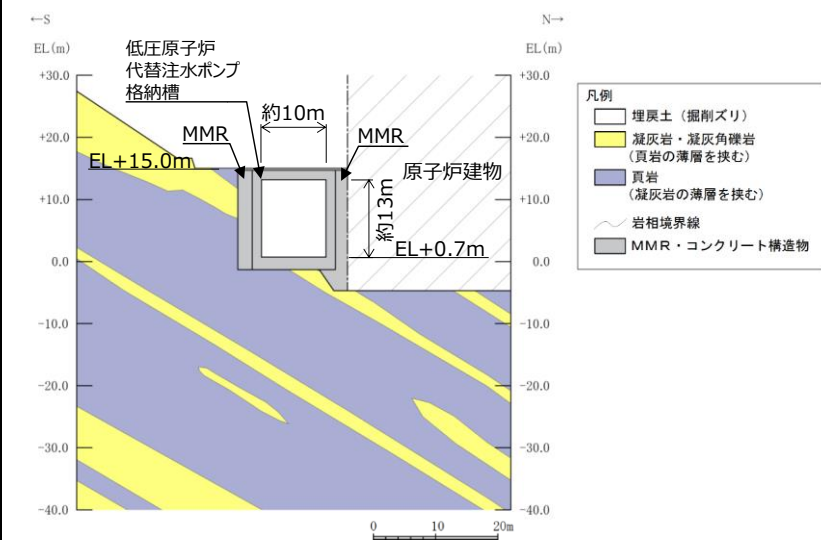
第6-2-4-5図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (②)
-②断面-

備考
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
 対象施設の相違による記載内容の相違



第6-2-4-6図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図
 (①-①断面)

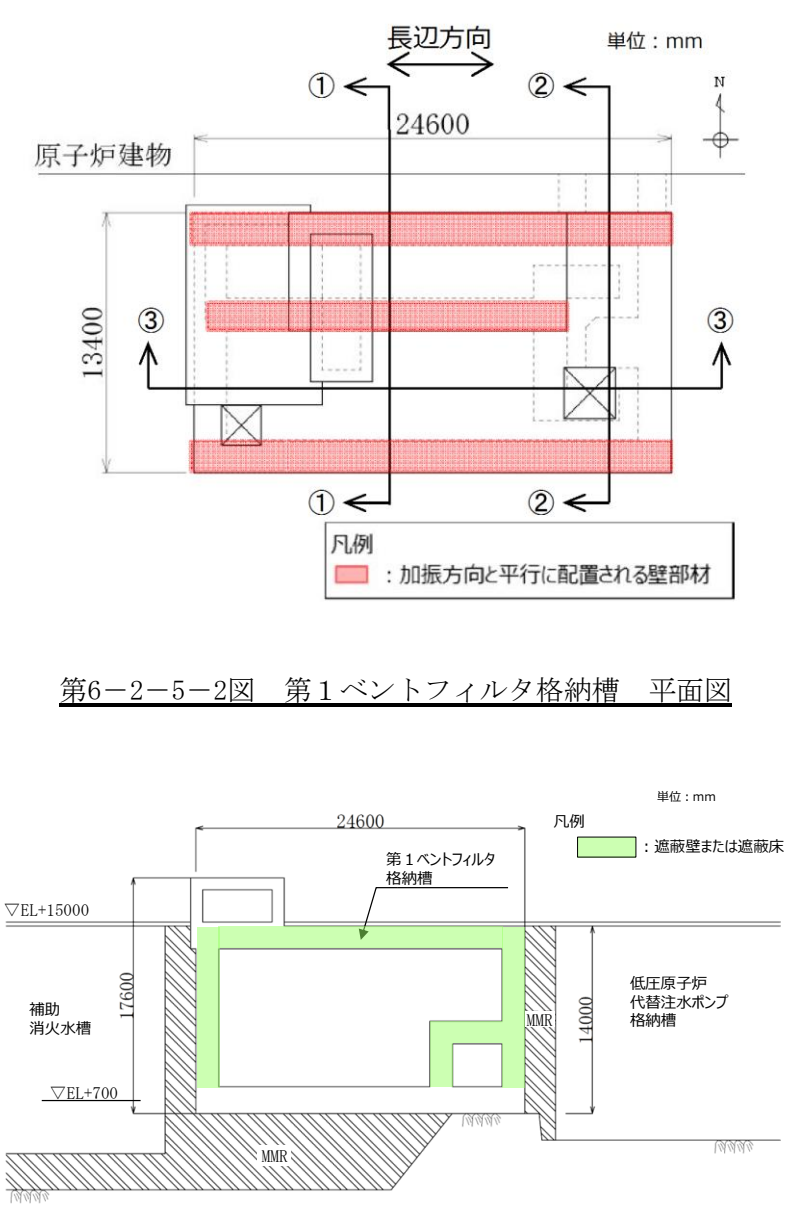


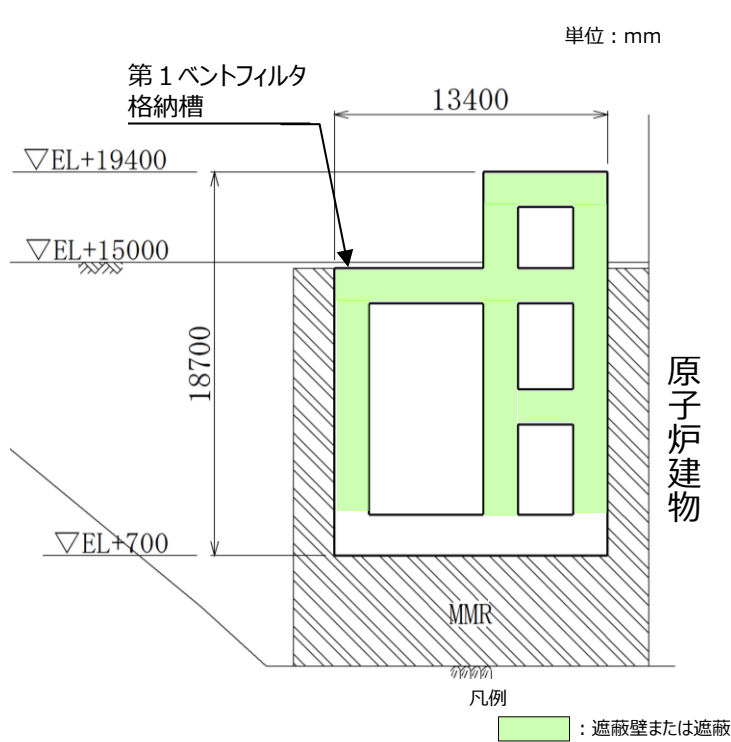
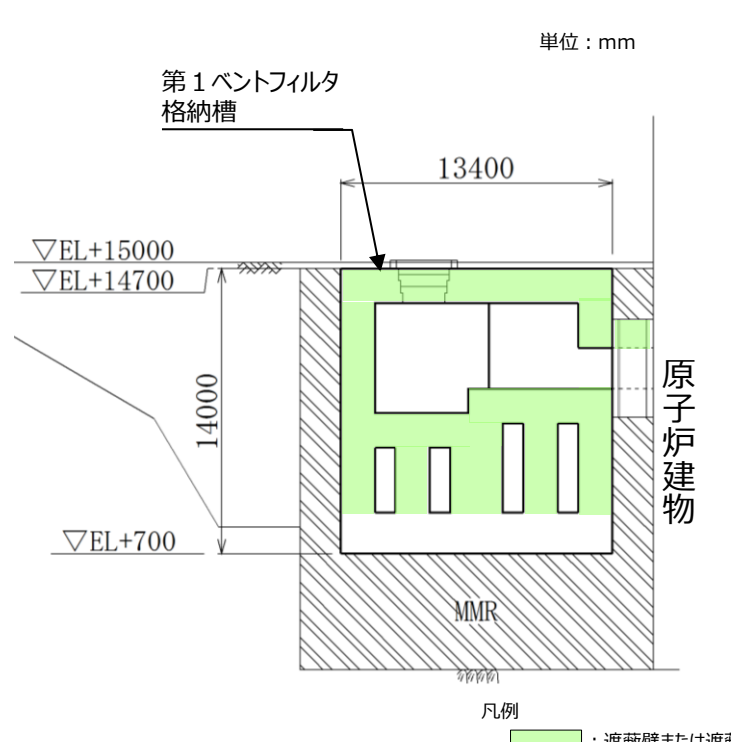
第6-2-4-7図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地質断面図
 (②-②断面)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>第6-2-4-8図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 岩級断面図 (①-①断面)</p> <p>第6-2-4-9図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 岩級断面図 (②-②断面)</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																				
<p><u>1.5 軽油タンク基礎の断面選定の考え方</u></p> <p><u>第12-1-12 図及び第12-1-13 図に軽油タンク基礎の平面図及び断面図を示す。</u></p> <p><u>軽油タンク基礎は、6号及び7号炉ともに、鉄筋コンクリート造の基礎版が杭を介して西山層に支持される地中構造物で、幅約18m(NS方向)×約35m(EW方向)、高さ約1.4mの基礎版を等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎構造物であり、評価対象断面方向に一様な構造となっている。また、基礎版及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施しているため周辺の地盤が構造物に与える影響はどの断面も大きな差はないと考えられる。</u></p> <p><u>今回工認では、基礎版の長軸方向及び短軸方向の2断面を選定し、基準地震動Ssによる耐震評価を実施する。</u></p> <p><u>6号炉軽油タンク基礎の検討断面では、地下水位以下に、液状化影響評価対象層(古安田層洪積砂質土層)が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。埋戻土層(Ⅱ)は、建設時に掘削した西山層泥岩を材料として埋め戻した粘性土であり、性状の確認を目的とした物理試験を実施した上で、非液状化層として扱う。</u></p> <p><u>7号炉軽油タンク基礎の検討断面では、地下水位以下に、液状化影響評価対象層(新期砂層・沖積層、古安田層洪積砂質土層)が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する</u></p>		<p><u>低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点で踏まえた耐震評価候補断面を整理した(第6-2-4-1表)。</u></p> <p><u>第6-2-4-1表 耐震評価候補断面の整理(低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽)(1/2)</u></p> <table border="1" data-bbox="1733 472 2507 787"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="3">低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>要求機能</td> <td>・間接支持</td> <td>・貯水</td> <td>・間接支持 ・貯水</td> </tr> <tr> <td>間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>・低圧原子炉代替注水ポンプ ・低圧原子炉代替注水系 配管 井 他</td> <td>・なし</td> <td>・低圧原子炉代替注水ポンプ ・低圧原子炉代替注水系 配管 井 他</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">②構造的特徴</td> <td>形式</td> <td colspan="2">・鉄筋コンクリート造の地中構造物</td> <td>・隔壁及び中床版を有する</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">寸法</td> <td colspan="2">・中床版を有する</td> <td>・水槽により構成される</td> </tr> <tr> <td>・幅13.40m, 高さ16.00~19.60m</td> <td>・幅13.40m, 高さ16.00m</td> <td>・幅26.60m, 高さ16.00~21.19m</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>第6-2-4-1表 耐震評価候補断面の整理(低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽)(2/2)</u></p> <table border="1" data-bbox="1733 924 2507 1270"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="3">低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">③周辺状況</td> <td>構造物下部</td> <td colspan="3">・CM級以上の岩盤に直接支持されている</td> </tr> <tr> <td>周辺地質</td> <td colspan="3">・周辺に埋戻土(掘削スリ)及びMMRが分布している</td> </tr> <tr> <td>構造物側面及び上部</td> <td colspan="3">・MMRは高さ約16.0mで、概ね矩形である</td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td colspan="3">・なし</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">④地震波の伝搬特性</td> <td>地下水位</td> <td colspan="3">・解析結果等を踏まえて整理する。</td> </tr> <tr> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td>・原子炉建物</td> <td colspan="2">・第1ベントフィルタ格納槽</td> </tr> <tr> <td>⑤床応答特性</td> <td colspan="4">・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は同様である ・観点①での整理のとおり、①-①及び③-③断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は同様であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行ううえで、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</u></p>	観点		低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽			①-①断面	②-②断面	③-③断面	①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持	・貯水	・間接支持 ・貯水	間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	・低圧原子炉代替注水ポンプ ・低圧原子炉代替注水系 配管 井 他	・なし	・低圧原子炉代替注水ポンプ ・低圧原子炉代替注水系 配管 井 他	②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物		・隔壁及び中床版を有する	寸法	・中床版を有する		・水槽により構成される	・幅13.40m, 高さ16.00~19.60m	・幅13.40m, 高さ16.00m	・幅26.60m, 高さ16.00~21.19m	観点		低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽			①-①断面	②-②断面	③-③断面	③周辺状況	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている			周辺地質	・周辺に埋戻土(掘削スリ)及びMMRが分布している			構造物側面及び上部	・MMRは高さ約16.0mで、概ね矩形である			地質変化部	・なし			④地震波の伝搬特性	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。			モデル化する隣接構造物	・原子炉建物	・第1ベントフィルタ格納槽		⑤床応答特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は同様である ・観点①での整理のとおり、①-①及び③-③断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は同様であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる				<p>・記載の充実【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>
観点		低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽																																																																					
		①-①断面	②-②断面	③-③断面																																																																			
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持	・貯水	・間接支持 ・貯水																																																																			
	間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	・低圧原子炉代替注水ポンプ ・低圧原子炉代替注水系 配管 井 他	・なし	・低圧原子炉代替注水ポンプ ・低圧原子炉代替注水系 配管 井 他																																																																			
②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物		・隔壁及び中床版を有する																																																																			
	寸法	・中床版を有する		・水槽により構成される																																																																			
		・幅13.40m, 高さ16.00~19.60m	・幅13.40m, 高さ16.00m	・幅26.60m, 高さ16.00~21.19m																																																																			
観点		低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽																																																																					
		①-①断面	②-②断面	③-③断面																																																																			
③周辺状況	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている																																																																					
	周辺地質	・周辺に埋戻土(掘削スリ)及びMMRが分布している																																																																					
	構造物側面及び上部	・MMRは高さ約16.0mで、概ね矩形である																																																																					
	地質変化部	・なし																																																																					
④地震波の伝搬特性	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。																																																																					
	モデル化する隣接構造物	・原子炉建物	・第1ベントフィルタ格納槽																																																																				
⑤床応答特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は同様である ・観点①での整理のとおり、①-①及び③-③断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は同様であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる																																																																						

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>2.5 第1ベントフィルタ格納槽</p> <p>第1ベントフィルタ格納槽の配置図を第6-2-5-1図に、平面図を第6-2-5-2図に、縦断面図を第6-2-5-3図に、断面図を第6-2-5-4図～第6-2-5-5図に、地質断面図を第6-2-5-6図～第6-2-5-7図に、岩級断面図を第6-2-5-8図～第6-2-5-9図にそれぞれ示す。</p> <p>第1ベントフィルタ格納槽は、常設重大事故等対処設備である第1ベントフィルタスクラバ容器等の間接支持機能及び遮蔽機能が要求される。</p> <p>第1ベントフィルタ格納槽は、延長24.6m、幅13.4m、高さ14.0m～18.7mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。</p> <p>第1ベントフィルタ格納槽はMMRを介してC_M級以上の岩盤に支持されている。</p> <p>長辺方向（東西方向）に加振した場合は、加振方向と直交する方向の構造物の長さに対する加振方向に平行に配置される壁の割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向（南北方向）が弱軸となる。</p> <p>第1ベントフィルタ格納槽の弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>
<p>第12-1-12 図 6号炉軽油タンク基礎 平面図・断面図</p>	<p>第12-1-13 図 7号炉軽油タンク基礎 平面図・断面図</p>		
<p>第12-1-12 図 6号炉軽油タンク基礎 平面図・断面図</p>	<p>第12-1-13 図 7号炉軽油タンク基礎 平面図・断面図</p>	<p>第6-2-5-1図 第1ベントフィルタ格納槽 配置図</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>第6-2-5-2図 第1ベントフィルタ格納槽 平面図</p> <p>第6-2-5-3図 第1ベントフィルタ格納槽 縦断図 (③-③断面)</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> 対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">単位：mm</p>  <p>第1ベントフィルタ格納槽 断面図 (①-①断面)</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>
		<p style="text-align: right;">単位：mm</p>  <p>第1ベントフィルタ格納槽 断面図 (②-②断面)</p>	

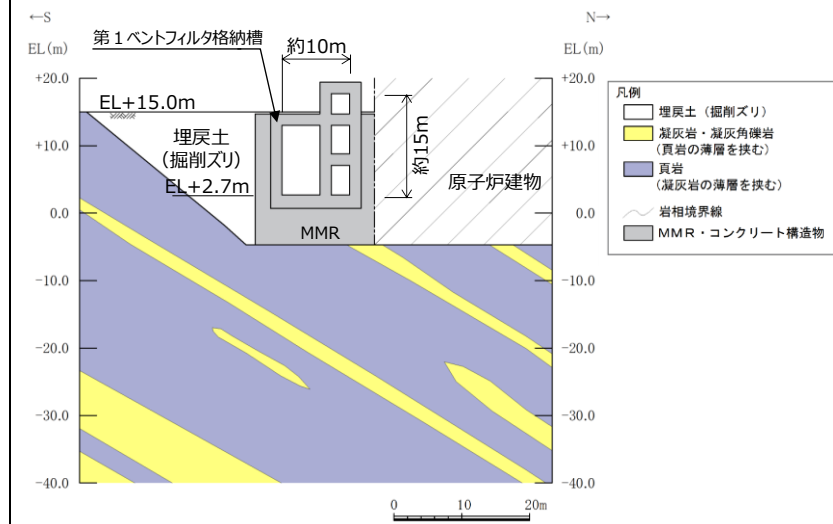
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

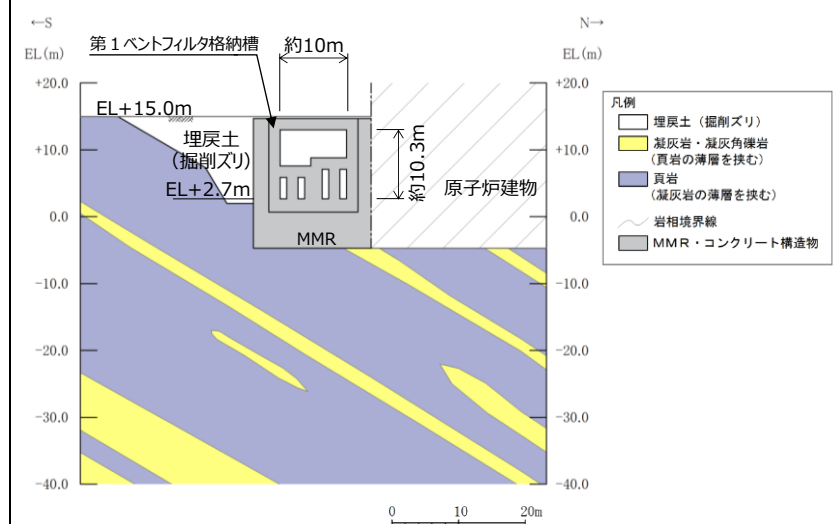
備考

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違



第6-2-5-6図 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (①-

①断面)




第6-2-5-7図 第1ベントフィルタ格納槽 地質断面図 (②-

②断面)

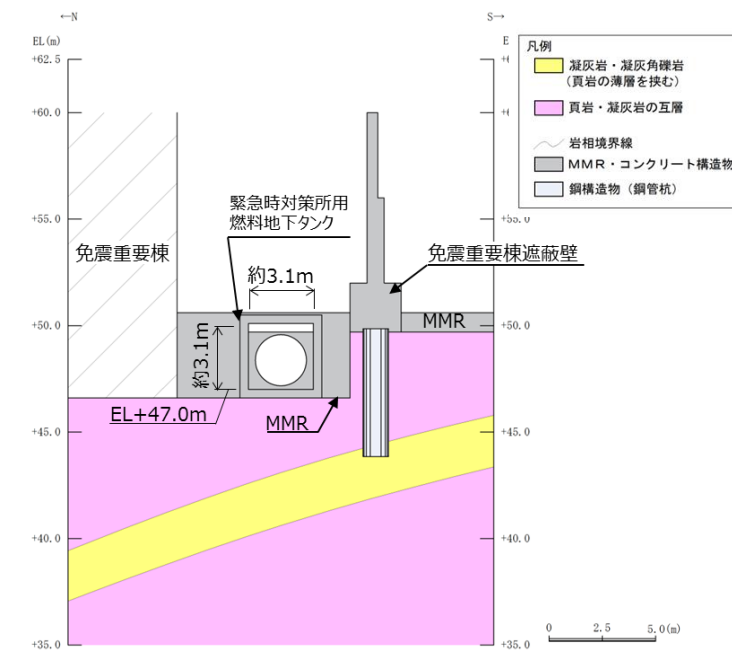
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>第6-2-5-8図 第1ベントフィルタ格納槽 岩級断面図 (①断面)</p> <p>第6-2-5-9図 第1ベントフィルタ格納槽 岩級断面図 (②断面)</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																												
		<p><u>第1ベントフィルタ格納槽について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した(第6-2-5-1表)。</u></p> <p>第6-2-5-1表 耐震評価候補断面の整理(第1ベントフィルタ格納槽)(1/2)</p> <table border="1" data-bbox="1736 478 2496 821"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="3">第1ベントフィルタ格納槽</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>要求機能</td> <td colspan="3">・間接支持 ・遮蔽</td> </tr> <tr> <td>間接支持する設備</td> <td>・第1ベントフィルタスクラバ容器 ・圧力開放板 ・格納容器フィルタベント系配管・弁 ・他</td> <td>・第1ベントフィルタ銀ゼオライト容器 ・格納容器フィルタベント系配管・弁 ・他</td> <td>・第1ベントフィルタスクラバ容器 ・圧力開放板 ・格納容器フィルタベント系配管・弁 ・第1ベントフィルタ銀ゼオライト容器 ・他</td> </tr> <tr> <td>設置状況</td> <td colspan="3">・設備毎に異なる。</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">②構造的特徴</td> <td rowspan="2">形式</td> <td colspan="2">・弱軸方向断面</td> <td>・強軸方向断面</td> </tr> <tr> <td colspan="3">・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・隔壁及び中床版を有する</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td>・幅13.40m, 高さ14.00~18.70m</td> <td>・幅13.40m, 高さ14.00m</td> <td>・幅24.60m, 高さ14.00~17.60m</td> </tr> </tbody> </table> <p>第6-2-5-1表 耐震評価候補断面の整理(第1ベントフィルタ格納槽)(2/2)</p> <table border="1" data-bbox="1736 974 2496 1354"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="3">第1ベントフィルタ格納槽</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">③周辺状況</td> <td rowspan="2">構造物下部</td> <td colspan="3">・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている</td> </tr> <tr> <td colspan="3">・MMRは高さ約5.7mで矩形及び台形状である</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">周辺地質</td> <td colspan="3">・埋戻土(掘削スリ)及びMMRが分布している</td> </tr> <tr> <td colspan="3">・MMRは高さ約14.0m~19.7mで矩形である</td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td colspan="3">・なし</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td colspan="3">・解析結果等を踏まえて整理する。</td> </tr> <tr> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td colspan="2">・原子炉建物</td> <td>・補助消火水槽 ・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽</td> </tr> <tr> <td>④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="3">・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は一律である</td> </tr> <tr> <td>⑤床応答特性</td> <td colspan="3">・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴並びに周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行ううえで、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</u></p>	観点		第1ベントフィルタ格納槽			①-①断面	②-②断面	③-③断面	①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持 ・遮蔽			間接支持する設備	・第1ベントフィルタスクラバ容器 ・圧力開放板 ・格納容器フィルタベント系配管・弁 ・他	・第1ベントフィルタ銀ゼオライト容器 ・格納容器フィルタベント系配管・弁 ・他	・第1ベントフィルタスクラバ容器 ・圧力開放板 ・格納容器フィルタベント系配管・弁 ・第1ベントフィルタ銀ゼオライト容器 ・他	設置状況	・設備毎に異なる。			②構造的特徴	形式	・弱軸方向断面		・強軸方向断面	・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・隔壁及び中床版を有する			寸法	・幅13.40m, 高さ14.00~18.70m	・幅13.40m, 高さ14.00m	・幅24.60m, 高さ14.00~17.60m	観点		第1ベントフィルタ格納槽			①-①断面	②-②断面	③-③断面	③周辺状況	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている			・MMRは高さ約5.7mで矩形及び台形状である			周辺地質	・埋戻土(掘削スリ)及びMMRが分布している			・MMRは高さ約14.0m~19.7mで矩形である			地質変化部	・なし			地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。			モデル化する隣接構造物	・原子炉建物		・補助消火水槽 ・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は一律である			⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴並びに周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる			<p>・記載の充実【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>
観点		第1ベントフィルタ格納槽																																																																													
		①-①断面	②-②断面	③-③断面																																																																											
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持 ・遮蔽																																																																													
	間接支持する設備	・第1ベントフィルタスクラバ容器 ・圧力開放板 ・格納容器フィルタベント系配管・弁 ・他	・第1ベントフィルタ銀ゼオライト容器 ・格納容器フィルタベント系配管・弁 ・他	・第1ベントフィルタスクラバ容器 ・圧力開放板 ・格納容器フィルタベント系配管・弁 ・第1ベントフィルタ銀ゼオライト容器 ・他																																																																											
	設置状況	・設備毎に異なる。																																																																													
②構造的特徴	形式	・弱軸方向断面		・強軸方向断面																																																																											
		・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・隔壁及び中床版を有する																																																																													
	寸法	・幅13.40m, 高さ14.00~18.70m	・幅13.40m, 高さ14.00m	・幅24.60m, 高さ14.00~17.60m																																																																											
観点		第1ベントフィルタ格納槽																																																																													
		①-①断面	②-②断面	③-③断面																																																																											
③周辺状況	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている																																																																													
		・MMRは高さ約5.7mで矩形及び台形状である																																																																													
	周辺地質	・埋戻土(掘削スリ)及びMMRが分布している																																																																													
		・MMRは高さ約14.0m~19.7mで矩形である																																																																													
	地質変化部	・なし																																																																													
地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。																																																																														
モデル化する隣接構造物	・原子炉建物		・補助消火水槽 ・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽																																																																												
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は一律である																																																																														
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況、構造的特徴並びに周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる																																																																														

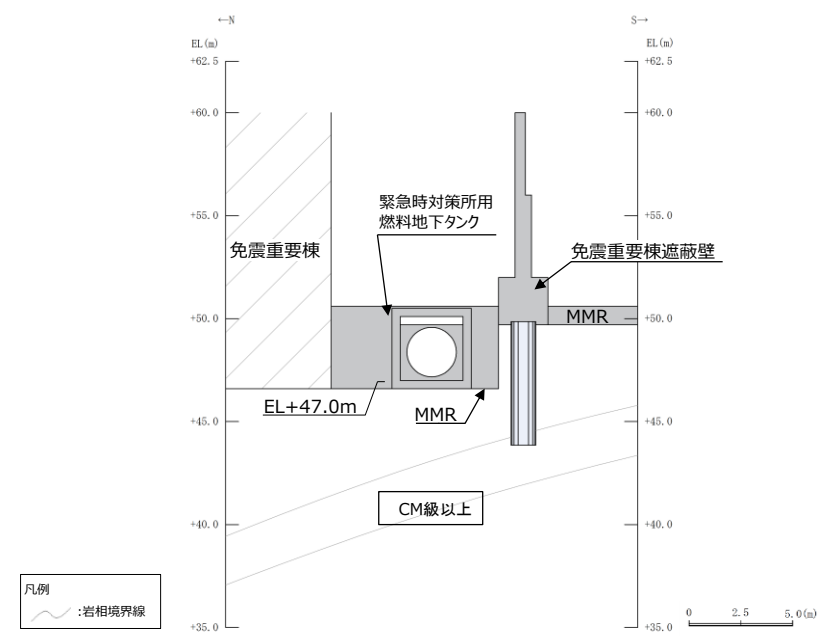
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019.11.6版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>1.6 燃料移送系配管ダクトの断面選定の考え方</u></p> <p><u>第12-1-14 図及び第12-1-15 図に燃料移送系配管ダクトの平面図、断面図及び縦断図を示す。</u></p> <p><u>6号炉燃料移送系配管ダクトは、軽油タンク側は鉄筋コンクリート造のダクトが杭を介して、6号炉原子炉建屋側はマンメイドロックを介して西山層に支持される地中構造物である。</u></p> <p><u>7号炉燃料移送系配管ダクトは、鉄筋コンクリート造のダクトが杭を介して西山層に支持される地中構造物である。また、6号及び7号炉ともにダクト及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施している。</u></p> <p><u>今回工認では、6号炉は、軸方向に一樣なダクト形状を示すことから、支持構造に着目し、杭基礎部とマンメイドロックに直接設置するダクトのうち、より曲げ変形が大きくなると考えられる杭基礎部の断面を選定し、基準地震動S_sによる耐震評価を実施する。7号炉は、</u></p> <p><u>軸方向に一樣な杭支持構造のダクト形状を示しており、ダクトが接する側方及び下方の地盤は軸方向にほぼ同じ条件であることから、杭部分の曲げ変形がより大きくなると考えられる最も杭長が長い断面を選定し、基準地震動S_sによる耐震評価を実施する。</u></p> <p><u>6号炉燃料移送系配管ダクトの検討断面では、地下水位以下に、液状化層及び液状化影響評価対象層は分布しない。埋戻土層(Ⅱ)は、建設時に掘削した西山層泥岩を材料として埋め戻した粘性土であり、性状の確認を目的とした物理試験を実施した上で、非液状化層として扱う。</u></p> <p><u>7号炉燃料移送系配管ダクトの検討断面では、地下水位以下に、液状化影響評価対象層(新期砂層・沖積層、古安田層洪積砂質土層)が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。</u></p>		<p><u>2.6 緊急時対策所用燃料地下タンク</u></p> <p><u>緊急時対策所用燃料地下タンクの配置図を第6-2-6-1図に、平面図を第6-2-6-2図に、縦断図を第6-2-6-3図に、断面図を第6-2-6-4図に、地質断面図を第6-2-6-5図に、岩級断面図を第6-2-6-6図にそれぞれ示す。</u></p> <p><u>緊急時対策所用燃料地下タンクは、常設重大事故緩和設備であり、鉄筋コンクリート躯体及びライナ(鋼製タンク)で構成され、非常用発電装置に係る燃料の貯蔵が要求される構造物である。なお、要求性能を期待する部位は、鉄筋コンクリート躯体及びライナ(鋼製タンク)である。</u></p> <p><u>緊急時対策所用燃料地下タンクは、延長12.8m、幅3.85m、高さ3.9mの鉄筋コンクリート造の地中構造物である。</u></p> <p><u>緊急時対策所用燃料地下タンクは、C_M級以上の岩盤に直接支持されている。</u></p> <p><u>長辺方向(東西断面)に加振した場合は、加振方向と直交する方向の構造物の長さに対する加振方向と平行に配置される壁の割合が大きくなるので、長辺方向が強軸となり、短辺方向(南北方向)が弱軸となる。</u></p> <p><u>緊急時対策所用燃料地下タンクの弱軸方向断面では、配筋を含め構造的特徴が概ね同様である範囲から代表となる範囲を耐震評価候補断面とする。</u></p>  <p>第6-2-6-1図 緊急時対策所用燃料地下タンク 配置図</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
			<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>
<p>第12-1-14 図 6号炉燃料移送系配管ダクト 平面図・断面図・縦断面図</p>		<p>第6-2-6-2図 緊急時対策所用燃料地下タンク 平面図</p>	
			<p>第6-2-6-3図 緊急時対策所用燃料地下タンク 縦断面図 (②-②断面)</p>
<p>第12-1-15 図 7号炉燃料移送系配管ダクト 平面図・断面図・縦断面図</p>			<p>第6-2-6-4図 緊急時対策所用燃料地下タンク 断面図 (①-①断面)</p>

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
 対象施設の相違による記載内容の相違

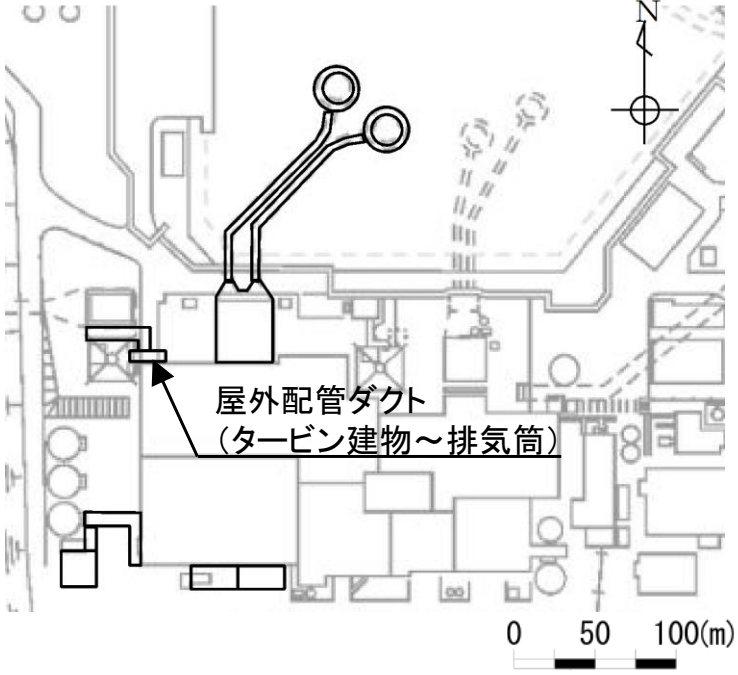


第6-2-6-5図 緊急時対策所用燃料地下タンク 地質断面図
 (①-①断面)



第6-2-6-6図 緊急時対策所用燃料地下タンク
 岩級断面図 (①-①断面)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																											
		<p>緊急時対策所用燃料地下タンクについて、<u>間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点</u>を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-6-1表）。</p> <p>第6-2-6-1表 耐震評価候補断面の整理（緊急時対策所用燃料地下タンク）(1/2)</p> <table border="1" data-bbox="1733 491 2499 764"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="2">緊急時対策所用燃料地下タンク</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>要求機能</td> <td colspan="2">・非常用発電装置に係る燃料の貯蔵</td> </tr> <tr> <td>間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>設備</td> <td>・なし</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>設置状況</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">②構造的特徴</td> <td rowspan="2">形式</td> <td colspan="2">・弱軸方向断面</td> </tr> <tr> <td colspan="2">・強軸方向断面</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td>・鉄筋コンクリート造の地中構造物</td> <td>・幅3.85m, 高さ3.90m</td> <td>・幅12.80m, 高さ3.90m</td> </tr> </tbody> </table> <p>第6-2-6-1表 耐震評価候補断面の整理（緊急時対策所用燃料地下タンク）(2/2)</p> <table border="1" data-bbox="1733 978 2499 1310"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="2">緊急時対策所用燃料地下タンク</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">③周辺状況</td> <td rowspan="3">周辺地質</td> <td>構造物下部</td> <td>・CM級以上の岩盤に直接支持されている</td> </tr> <tr> <td>構造物側部及び上部</td> <td>・MMRが分布している</td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td>・MMRは高さ約4.0mで、矩形である</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td colspan="2">・なし</td> </tr> <tr> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td colspan="2">・解析結果等を踏まえて整理する。</td> </tr> <tr> <td>④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="3">・なし</td> </tr> <tr> <td>⑤機器・配管系の振動特性</td> <td colspan="3">・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質は概ね一様であり、地震波の伝搬特性は一様である</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="3">・観点①での整理のとおり、間接支持する設備がない</td> </tr> </tbody> </table> <p>以上の整理を踏まえ、<u>詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行ううえで、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</u></p>	観点		緊急時対策所用燃料地下タンク		①-①断面	②-②断面	①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・非常用発電装置に係る燃料の貯蔵		間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	設備	・なし			設置状況	-	②構造的特徴	形式	・弱軸方向断面		・強軸方向断面		寸法	・鉄筋コンクリート造の地中構造物	・幅3.85m, 高さ3.90m	・幅12.80m, 高さ3.90m	観点		緊急時対策所用燃料地下タンク		①-①断面	②-②断面	③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている	構造物側部及び上部	・MMRが分布している	地質変化部	・MMRは高さ約4.0mで、矩形である	地下水位	・なし		モデル化する隣接構造物	・解析結果等を踏まえて整理する。		④地震波の伝搬特性	・なし			⑤機器・配管系の振動特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質は概ね一様であり、地震波の伝搬特性は一様である				・観点①での整理のとおり、間接支持する設備がない			<p>・記載の充実【柏崎 6/7】</p> <p>島根 2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>
観点		緊急時対策所用燃料地下タンク																																																												
		①-①断面	②-②断面																																																											
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・非常用発電装置に係る燃料の貯蔵																																																												
	間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	設備	・なし																																																											
		設置状況	-																																																											
②構造的特徴	形式	・弱軸方向断面																																																												
		・強軸方向断面																																																												
	寸法	・鉄筋コンクリート造の地中構造物	・幅3.85m, 高さ3.90m	・幅12.80m, 高さ3.90m																																																										
観点		緊急時対策所用燃料地下タンク																																																												
		①-①断面	②-②断面																																																											
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている																																																											
		構造物側部及び上部	・MMRが分布している																																																											
		地質変化部	・MMRは高さ約4.0mで、矩形である																																																											
	地下水位	・なし																																																												
	モデル化する隣接構造物	・解析結果等を踏まえて整理する。																																																												
④地震波の伝搬特性	・なし																																																													
⑤機器・配管系の振動特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質は概ね一様であり、地震波の伝搬特性は一様である																																																													
	・観点①での整理のとおり、間接支持する設備がない																																																													

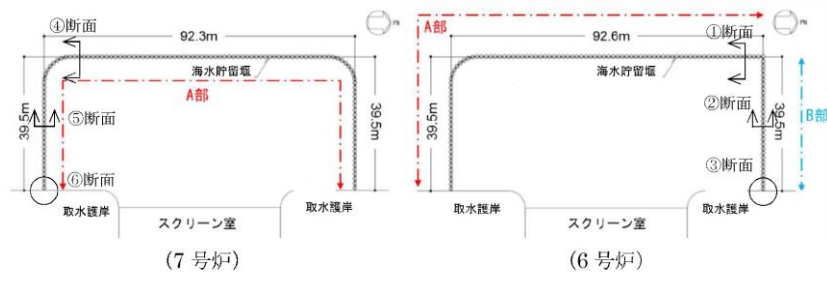
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>1.7 海水貯留堰の断面選定の考え方</u></p> <p><u>第12-1-16 図に海水貯留堰の平面図, 第12-1-17 図に海水貯留堰の断面図, 第12-1-18 図に古安田層基底面図を示す。</u></p> <p><u>海水貯留堰は, 取水口前面の海中に設置する鋼管矢板を連結した構造物であり, 取水護岸に接続している。鋼管矢板の根入れは8m であり, 西山層若しくは古安田層洪積粘性土層に直接設置される。鋼管矢板は, 海水を貯留するために海底面からA 部で2.0m, B 部で2.5m 突出している。</u></p> <p><u>海水貯留堰の断面選定においては, 海水貯留堰の配置を考慮して鋼管矢板が汀線直交方向に連結した部分, 汀線平行方向に連結した部分及び取水護岸との接続部から選定する。</u></p> <p><u>また, 地震時の影響を考慮して海底面から突出した部分が長いB 部を優先する。地盤条件としては, 地震時の応答が大きくなると考えられる古安田層の基底面が深い位置を選定する。</u></p> <p><u>選定した断面位置を第12-1-16 図に示す。6 号炉海水貯留堰においては汀線平行方向で古安田層の基底面が深い①断面を, 汀線直交方向で古安田層の基底面が深く突出長が長い②断面を, 取水護岸部との接続部として③断面を選定する。7 号炉海水貯留堰においては, 汀線平行方向及び汀線直交方向において古安田層の基底面が深い④断面及び⑤断面を, 取水護岸部との接続部として⑥断面を選定する。</u></p>		<p><u>2.7 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)</u></p> <p><u>屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) の配置図を第6-2-7-1図に, 平面図を第6-2-7-2図に, 縦断図を第6-2-7-3図に, 断面図を第6-2-7-4図～第6-2-7-7図に, 地質断面図を第6-2-7-8図に, 地質縦断図を第6-2-7-9図に, 岩級縦断図を第6-2-7-10図にそれぞれ示す。</u></p> <p><u>屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) は, Sクラス設備である非常用ガス処理系配管・弁等の間接支持機能が要求される。</u></p> <p><u>屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) は, 延長約20mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり, 幅6.7m, 高さ3.1mの2連のボックスカルバート構造, 幅6.2m, 高さ3.6mのボックスカルバート構造に大別される延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である (第6-2-7-4図～第6-2-7-7図)。</u></p> <p><u>間接支持する配管の管軸方向と平行に配置される壁部材が多いので, 間接支持する配管の管軸方向が強軸となる。</u></p> <p><u>屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) はMMRを介してC_M級以上の岩盤に支持されている。</u></p>  <p>第6-2-7-1図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 配置図</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

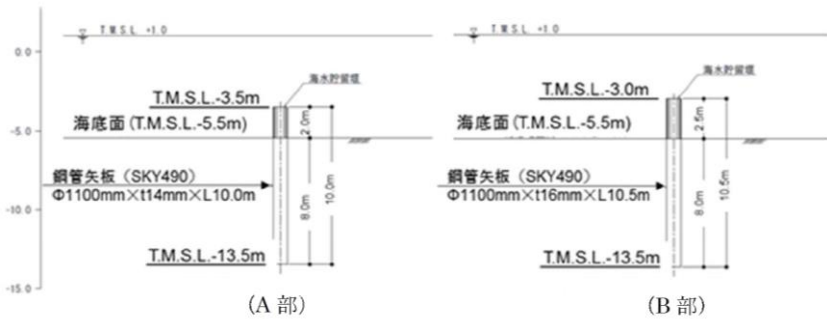
女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

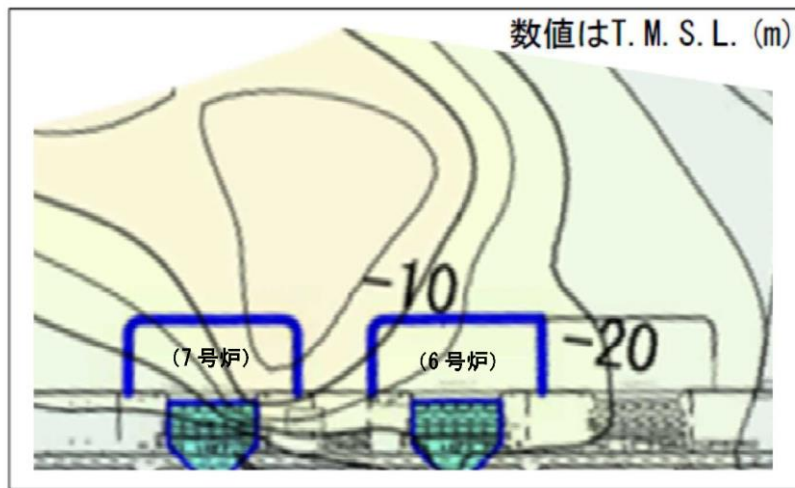
備考



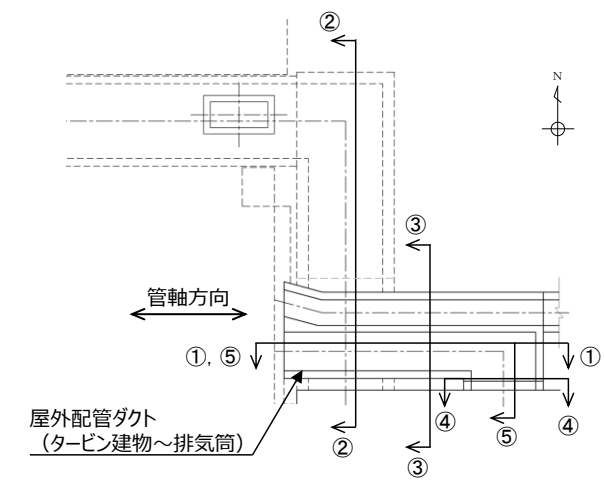
第12-1-16 図 6号及び7号炉海水貯留堰 平面図



第12-1-17 図 6号及び7号炉海水貯留堰 断面図

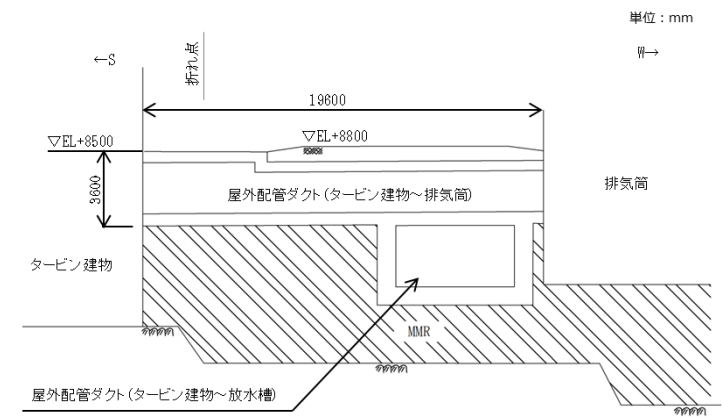


第12-1-18 図 古安田層基底面図



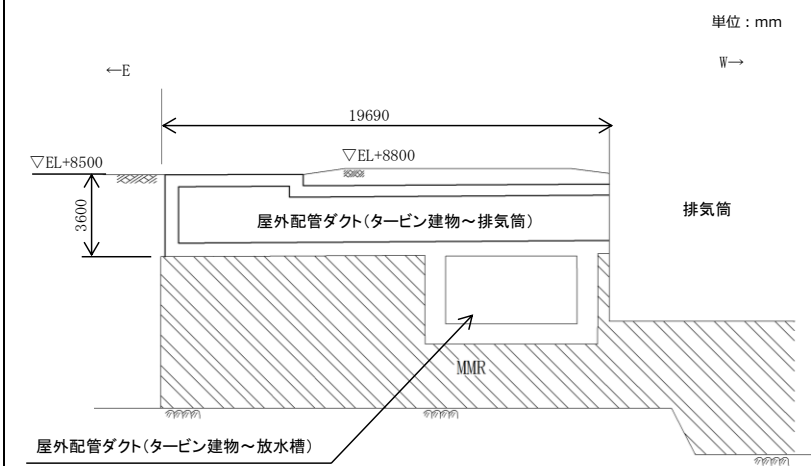
第6-2-7-2図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 平

面図



第6-2-7-3図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 縦

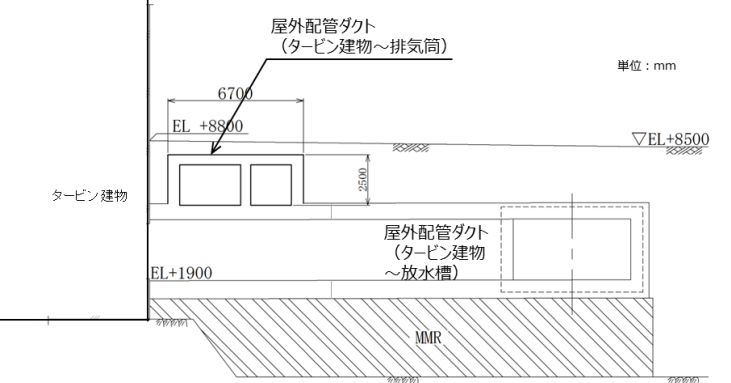
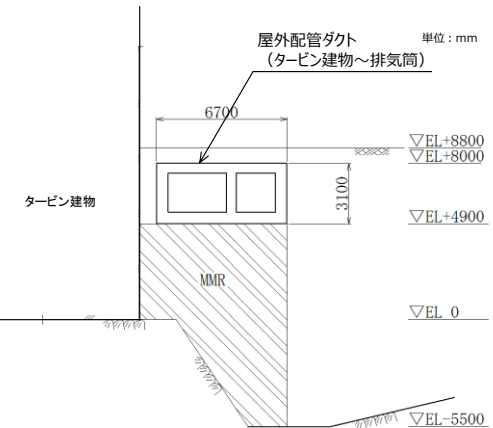
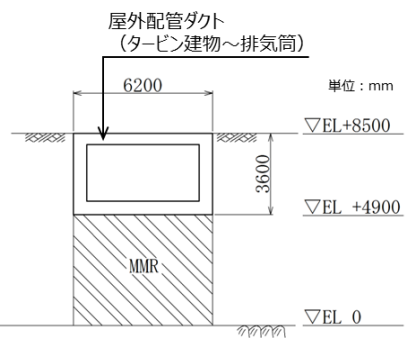
断面図 (⑤-⑤断面)



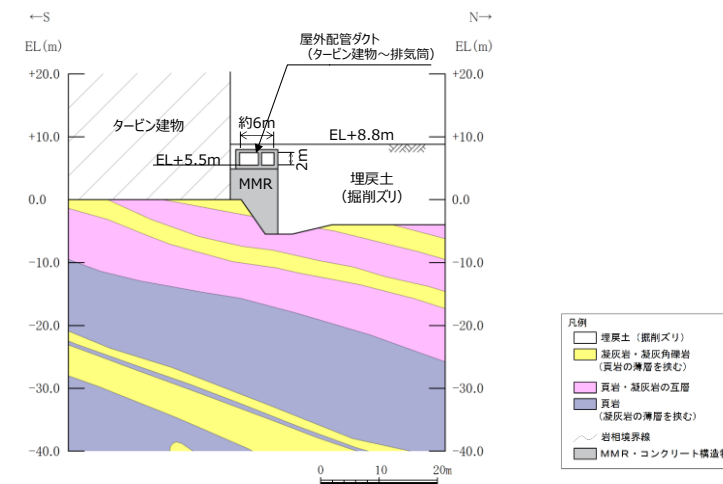
第6-2-7-4図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 縦

断面図 (①-①断面)

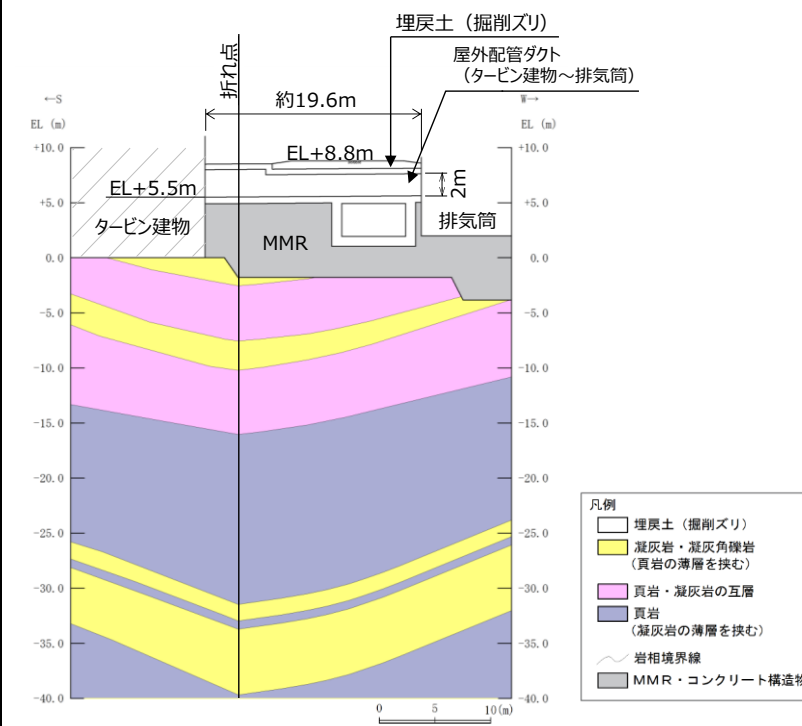
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>第6-2-7-5図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面 図 (②-②断面)</p>  <p>第6-2-7-6図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面 図 (③-③断面)</p>  <p>第6-2-7-7図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 断面 図 (④-④断面)</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

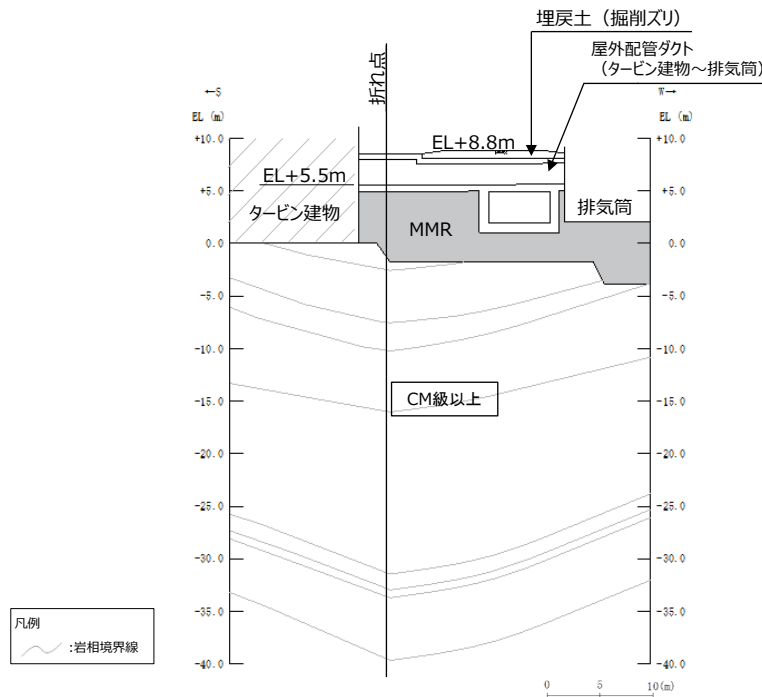
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
 対象施設の相違による記載内容の相違



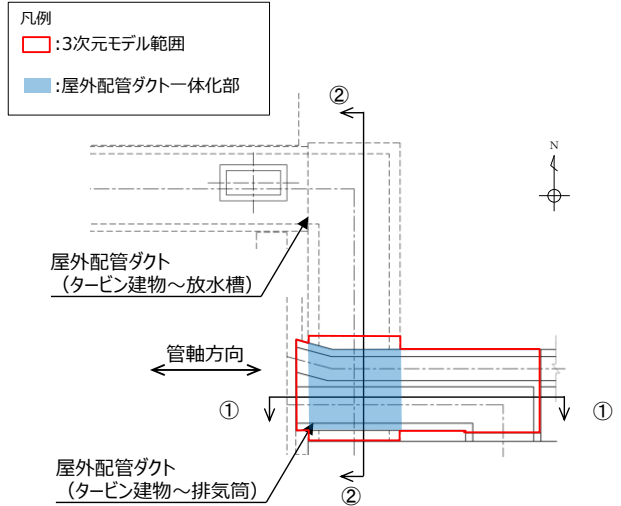
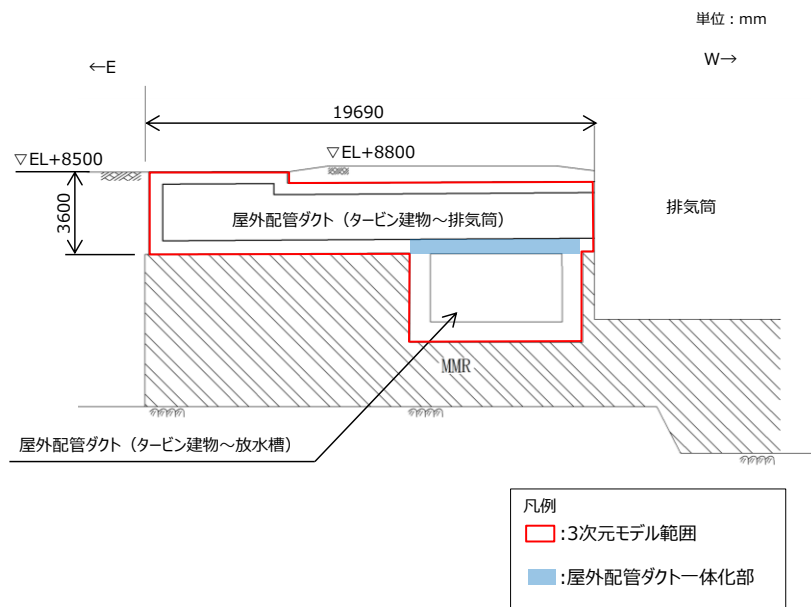
第6-2-7-8図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）地質断面図（③-③断面）



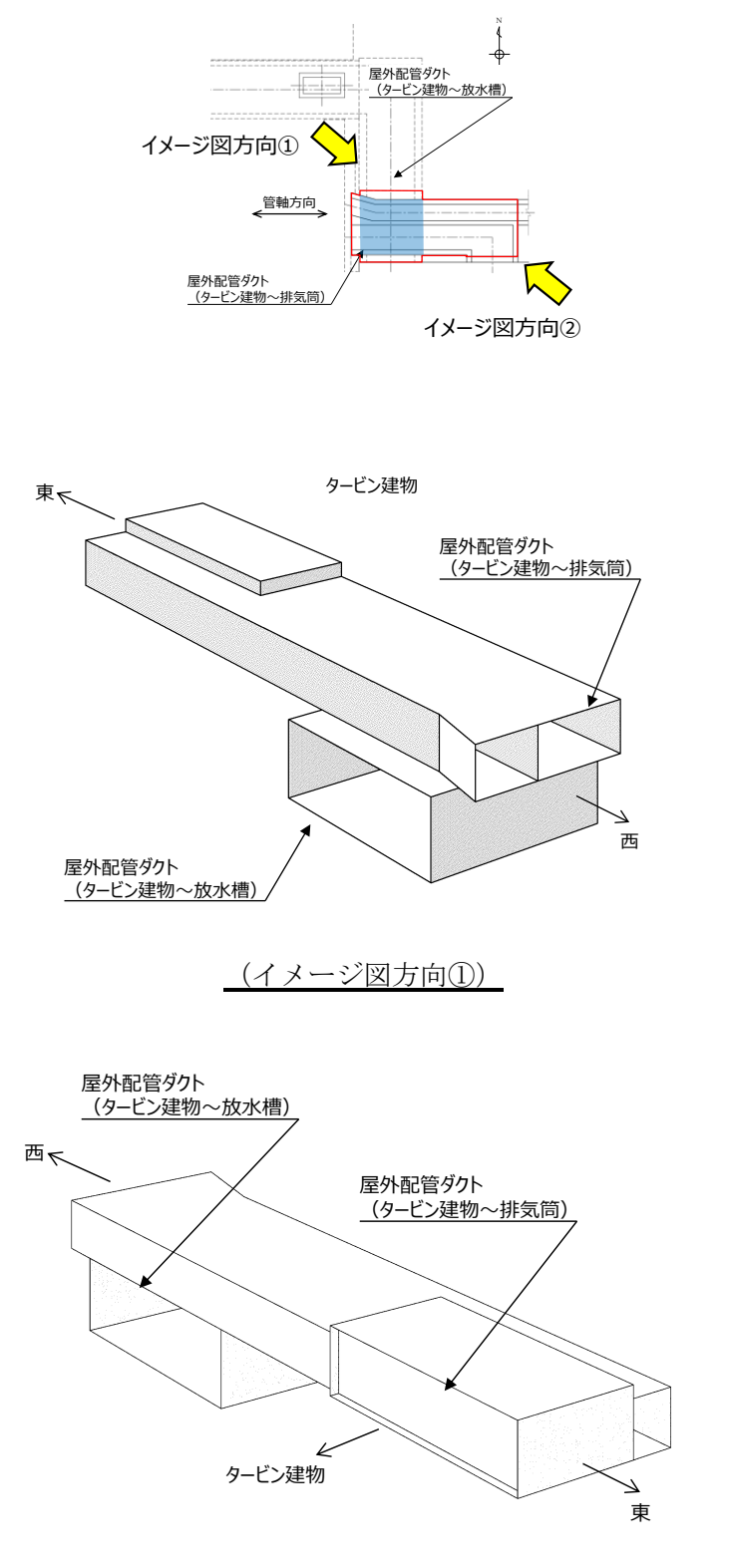
第6-2-7-9図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）地質縦断面図（⑤-⑤断面）

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1736 924 2507 1008">第6-2-7-10図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）岩級 縦断面図（⑤-⑤断面）</p>	<p data-bbox="2522 210 2819 378">・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																												
		<p><u>屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した（第6-2-7-1表）。</u></p> <p>第6-2-7-1表 耐震評価候補断面の整理（屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒））（1/2）</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">観点</th> <th colspan="4">屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> <th>④-④断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>要求機能</td> <td colspan="4">・間接支持</td> </tr> <tr> <td>間接支持する設備</td> <td colspan="4">・非常用ガス処理系 配管・弁 ・A-タービゼル燃料移送系 配管・弁 ・高圧炉心スプレイセル燃料移送系 配管・弁</td> </tr> <tr> <td></td> <td>設置状況</td> <td colspan="4">・延長方向に一律に配置されている</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">②構造的特徴</td> <td rowspan="2">形式</td> <td>強軸方向断面</td> <td colspan="3">弱軸方向断面</td> </tr> <tr> <td colspan="5">・鉄筋コンクリート造の地中構造物</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ボックスカルバート</td> <td colspan="2">2連のボックスカルバート</td> <td>ボックスカルバート</td> </tr> <tr> <td></td> <td>底板が、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）弱軸方向断面の頂板の一部と一体化している</td> <td colspan="2">底板が、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）強軸方向断面の頂板の一部と一体化している</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td></td> <td>寸法</td> <td>幅19.60m, 高さ3.60m</td> <td>幅6.70m, 高さ2.50m</td> <td>幅6.70m, 高さ3.10m</td> <td>幅6.20m, 高さ3.60m</td> </tr> </tbody> </table> <p>第6-2-7-1表 耐震評価候補断面の整理（屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒））（2/2）</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">観点</th> <th colspan="4">屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> <th>④-④断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">③周辺状況</td> <td rowspan="2">周辺地質</td> <td>構造物下部</td> <td colspan="4">・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている</td> </tr> <tr> <td>構造物側部及び上部</td> <td>・MMRは高さ約3.9～6.8mで、断面方向に一律に分布している</td> <td>・MMRは高さ約1.0～3.9mで、断面方向に一律に分布している</td> <td>・MMRは高さ約4.9m～10.4mで、構造物直下に分布している</td> <td>・MMRは高さ約4.9mで、構造物直下に分布している</td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td colspan="4">・埋戻土（掘削土）が分布している</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td colspan="4">・なし</td> </tr> <tr> <td></td> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td colspan="2">・屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は排気筒と構造自地で接続されており、排気筒の影響を受けないことから、モデル化する隣接構造物はない</td> <td>・タービン建物</td> <td>・なし</td> </tr> <tr> <td></td> <td>④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="4">・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質が各断面で異なり、地震波の伝搬特性が異なる</td> </tr> <tr> <td></td> <td>⑤床応答特性</td> <td colspan="4">・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一律であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、構造的特徴、周辺状況、地震波の伝搬特性等を考慮して、3次元モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する2方向から断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</u></p>	観点		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）						①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持				間接支持する設備	・非常用ガス処理系 配管・弁 ・A-タービゼル燃料移送系 配管・弁 ・高圧炉心スプレイセル燃料移送系 配管・弁					設置状況	・延長方向に一律に配置されている				②構造的特徴	形式	強軸方向断面	弱軸方向断面			・鉄筋コンクリート造の地中構造物						ボックスカルバート	2連のボックスカルバート		ボックスカルバート		底板が、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）弱軸方向断面の頂板の一部と一体化している	底板が、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）強軸方向断面の頂板の一部と一体化している		—		寸法	幅19.60m, 高さ3.60m	幅6.70m, 高さ2.50m	幅6.70m, 高さ3.10m	幅6.20m, 高さ3.60m	観点		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）						①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている				構造物側部及び上部	・MMRは高さ約3.9～6.8mで、断面方向に一律に分布している	・MMRは高さ約1.0～3.9mで、断面方向に一律に分布している	・MMRは高さ約4.9m～10.4mで、構造物直下に分布している	・MMRは高さ約4.9mで、構造物直下に分布している	地質変化部	・埋戻土（掘削土）が分布している				地下水位	・なし					モデル化する隣接構造物	・屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は排気筒と構造自地で接続されており、排気筒の影響を受けないことから、モデル化する隣接構造物はない		・タービン建物	・なし		④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質が各断面で異なり、地震波の伝搬特性が異なる					⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一律であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる				<p>・記載の充実【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>
観点		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）																																																																																																													
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面																																																																																																										
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持																																																																																																													
	間接支持する設備	・非常用ガス処理系 配管・弁 ・A-タービゼル燃料移送系 配管・弁 ・高圧炉心スプレイセル燃料移送系 配管・弁																																																																																																													
	設置状況	・延長方向に一律に配置されている																																																																																																													
②構造的特徴	形式	強軸方向断面	弱軸方向断面																																																																																																												
		・鉄筋コンクリート造の地中構造物																																																																																																													
		ボックスカルバート	2連のボックスカルバート		ボックスカルバート																																																																																																										
		底板が、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）弱軸方向断面の頂板の一部と一体化している	底板が、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）強軸方向断面の頂板の一部と一体化している		—																																																																																																										
	寸法	幅19.60m, 高さ3.60m	幅6.70m, 高さ2.50m	幅6.70m, 高さ3.10m	幅6.20m, 高さ3.60m																																																																																																										
観点		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）																																																																																																													
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面																																																																																																										
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている																																																																																																												
		構造物側部及び上部	・MMRは高さ約3.9～6.8mで、断面方向に一律に分布している	・MMRは高さ約1.0～3.9mで、断面方向に一律に分布している	・MMRは高さ約4.9m～10.4mで、構造物直下に分布している	・MMRは高さ約4.9mで、構造物直下に分布している																																																																																																									
	地質変化部	・埋戻土（掘削土）が分布している																																																																																																													
	地下水位	・なし																																																																																																													
	モデル化する隣接構造物	・屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）は排気筒と構造自地で接続されており、排気筒の影響を受けないことから、モデル化する隣接構造物はない		・タービン建物	・なし																																																																																																										
	④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質が各断面で異なり、地震波の伝搬特性が異なる																																																																																																													
	⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一律であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる																																																																																																													

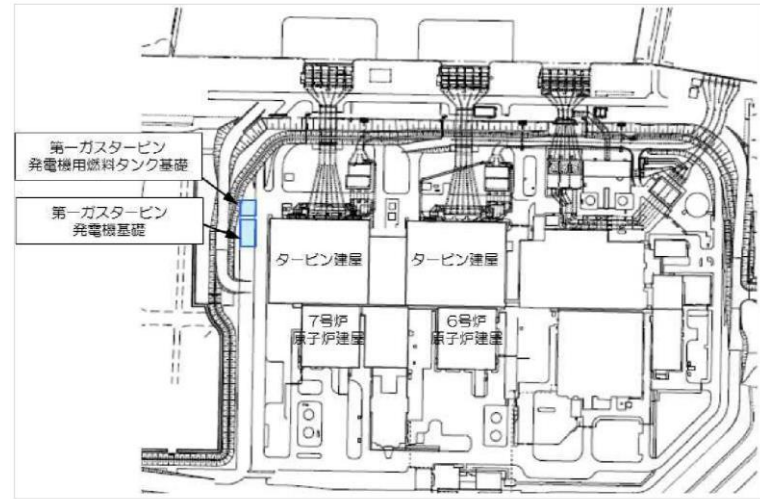
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>【屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の3次元モデルによる耐震評価】</p> <p>第6-2-7-11図～第6-2-7-13図に示すように、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の底版の一部が、屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の頂版の一部と一体化している範囲があることから、当該部位のような複雑な構造における立体的な作用荷重を精緻に評価するため、3次元モデルによる耐震評価を実施する。</p>  <p>第6-2-7-11図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）平面図</p>  <p>第6-2-7-12図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）断面図（①-①断面）</p>	<p>・記載の充実 【柏崎6/7】 島根2号炉では、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）におけるモデル化を含めた耐震評価の考え方を記載している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考														
		<p>第6-2-7-13図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）断面 図（②-②断面）</p> <p>屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の一体化部は、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）を間接支持する構造物であることから、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と同じ要求機能を満足することを確認する。屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の一体化部の要求機能、目標性能、許容限界等を第6-2-7-2表に示す。</p> <p>第6-2-7-2表 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）の一体化部における耐震評価条件</p> <table border="1" data-bbox="1733 1373 2499 1457"> <thead> <tr> <th rowspan="2">要求機能</th> <th rowspan="2">要求機能に対する目標性能</th> <th colspan="2">許容限界</th> <th rowspan="2">解析手法</th> <th rowspan="2">解析モデル</th> </tr> <tr> <th>曲げ</th> <th>せん断</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>支持機能</td> <td>終局状態に至らない</td> <td>限界層間変形角 又は圧縮線コンクリート限界ひずみ</td> <td>せん断耐力</td> <td>時刻歴応答解析</td> <td>地質データに基づくFEMモデル</td> </tr> </tbody> </table> <p>3次元モデル範囲は、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）と屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）のそれぞれの構造目地間とし、イメージを第6-2-7-14図に示す。なお、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）における耐震評価は、3次元FEMモデルによる静的線形解析により評価を行う。</p>	要求機能	要求機能に対する目標性能	許容限界		解析手法	解析モデル	曲げ	せん断	支持機能	終局状態に至らない	限界層間変形角 又は圧縮線コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル	<p>・記載の充実 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）におけるモデル化を含めた耐震評価の考え方を記載している</p>
要求機能	要求機能に対する目標性能	許容限界			解析手法	解析モデル											
		曲げ	せん断														
支持機能	終局状態に至らない	限界層間変形角 又は圧縮線コンクリート限界ひずみ	せん断耐力	時刻歴応答解析	地質データに基づくFEMモデル												

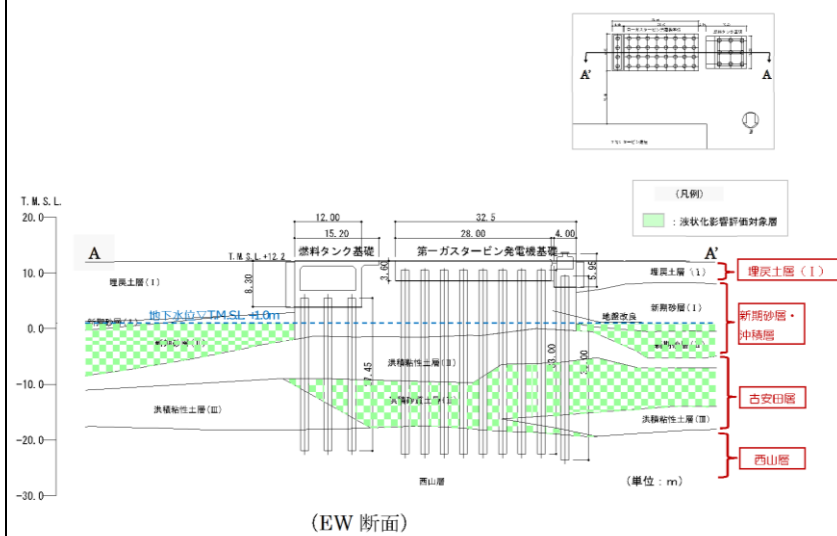
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1751 1722 2463 1764">第6-2-7-14図 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)</p> <p data-bbox="2018 1774 2196 1816">イメージ図</p>	<p data-bbox="2522 210 2819 546">・記載の充実 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では、屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)におけるモデル化を含めた耐震評価の考え方を記載している</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>2. 重大事故等対処施設の土木建造物の耐震評価における断面選定の考え方</u></p> <p><u>2.1 方針</u></p> <p><u>重大事故等対処施設の土木建造物の評価対象断面については、建造物の配置や荷重条件及び地盤条件を考慮し、耐震評価上最も厳しくなると考えられる位置を評価対象断面とする。</u></p> <p><u>柏崎刈羽発電所6号及び7号炉での対象建造物は、第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎である。各施設の平面配置図を第12-2-1図に示す。</u></p> <p><u>2.2 第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の断面選定の考え方</u></p> <p><u>第12-2-2図に第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の断面図を示す。</u></p> <p><u>第一ガスタービン発電機基礎は、鉄筋コンクリート造の基礎版が杭を介して西山層に支持される地中埋設建造物で、幅約14m (NS方向) ×約33m (EW方向)、高さ約3.6~6.0mの基礎版を等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎建造物であり、評価対象断面方向に一樣な構造となっている。また、基礎版及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施しているため周辺の地盤が建造物に与える影響はどの断面も大きな差はないと考えられる。</u></p> <p><u>第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は、鉄筋コンクリート造のピットが杭を介して西山層に支持される地中建造物で、幅約12m (NS方向) ×約12m (EW方向)、高さ約8.3mのピットを等間隔に配置した杭で支持する比較的単純な基礎建造物であり、評価対象断面方向に一樣な構造となっている。また、ピット及び杭の周辺には地震時における変形抑制対策として地盤改良を実施しているため周辺の地盤が建造物に与える影響はどの断面も大きな差はないと考えられる。</u></p> <p><u>今回工認では、基礎版及びピットの長軸方向及び短軸方向の2断面を選定し、基準地震動Ssによる耐震評価を実施する。</u></p> <p><u>第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の検討断面では、地下水位以下に、液状化影響評価対象層(新期砂層・沖積層、古安田層洪積砂質土層)が分布することから、耐震評価では有効応力解析を実施する。</u></p>		<p><u>2.8 屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)</u></p> <p><u>屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)の配置図を第6-2-8-1図に、平面図を第6-2-8-2図に、縦断図を第6-2-8-3図に、断面図を第6-2-8-4図~第6-2-8-5図に、地質断面図を第6-2-8-6図に、地質縦断図を第6-2-8-7図に、岩級縦断図を第6-2-8-8図にそれぞれ示す。</u></p> <p><u>屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)は、Sクラス設備である原子炉補機海水系配管等の間接支持機能が要求される。</u></p> <p><u>屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)は、延長約49mの鉄筋コンクリート造の地中建造物であり、幅7.6m、高さ4.7mのボックスカルバート構造、幅7.0m、高さ4.2mのボックスカルバート構造に大別される延長方向に断面の変化が小さい線状建造物である(第6-2-8-4図~第6-2-8-5図)。</u></p> <p><u>間接支持する配管の管軸方向と平行に配置される壁部材が多いので、間接支持する配管の管軸方向が強軸となる。</u></p> <p><u>屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽)はMMRを介してC_M級以上の岩盤に支持されている。</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)



第12-2-1 図 平面配置図



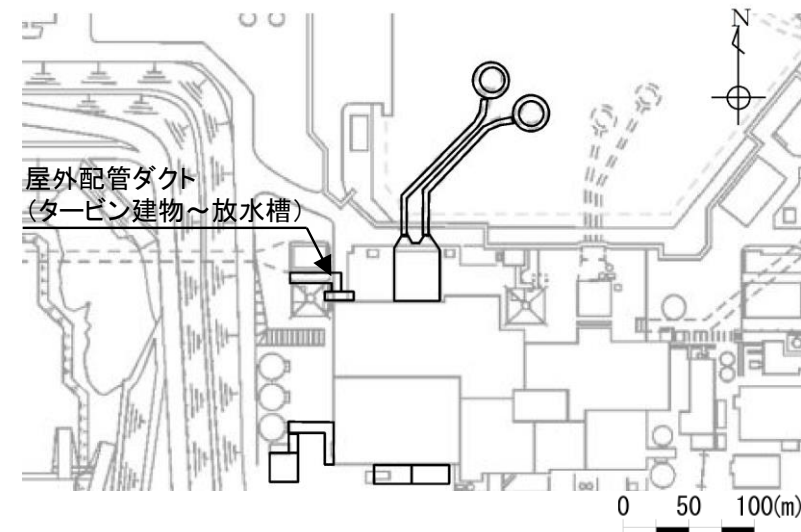
第12-2-2 図 第一ガスタービン発電機及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎断面図 (1/3)

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

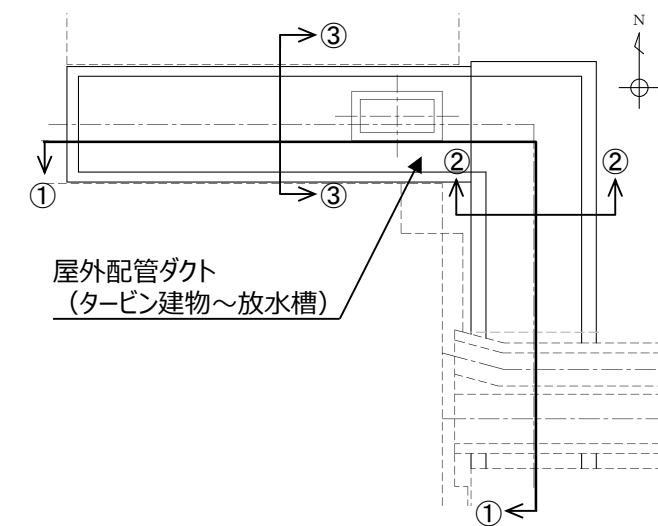
島根原子力発電所 2号炉

備考

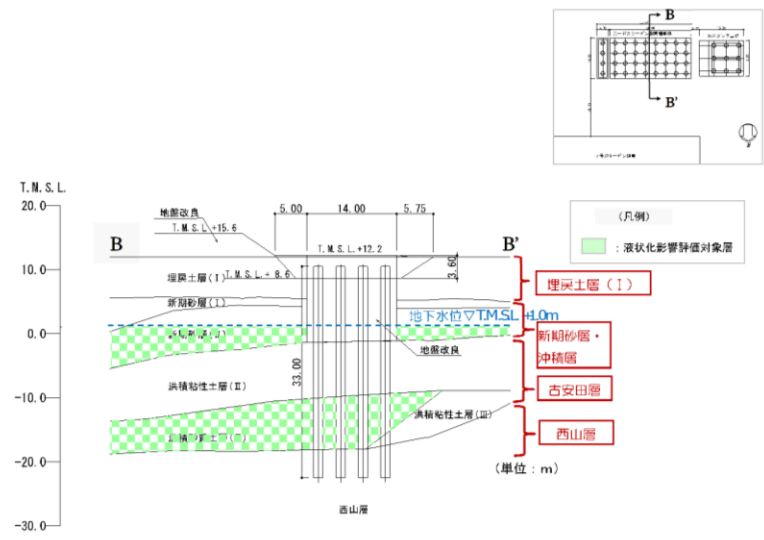
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違



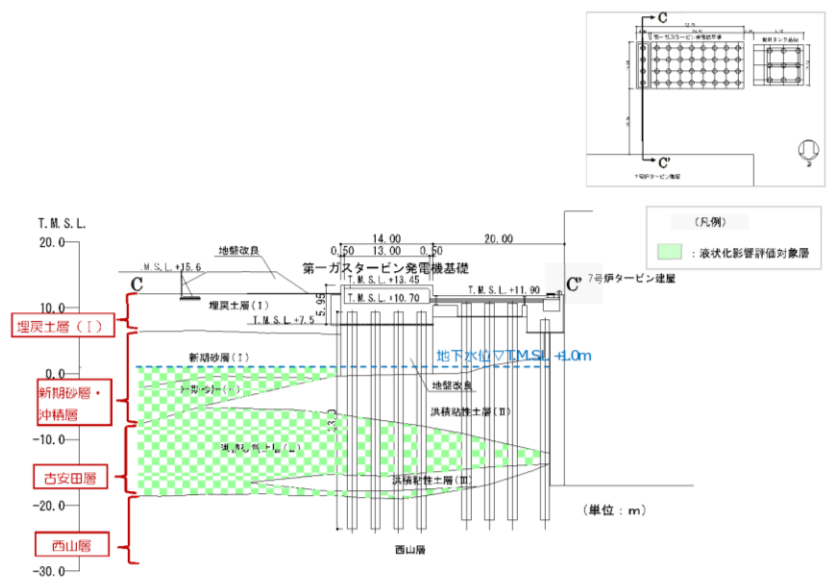
第6-2-8-1 図 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 配置図



第6-2-8-2 図 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 平面図

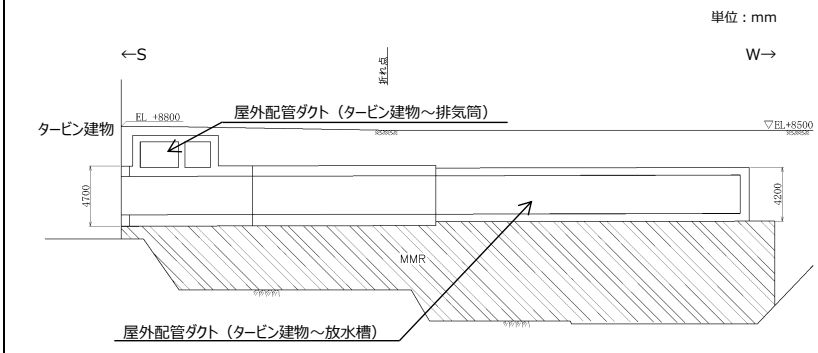


(第一ガスタービン発電機基礎 NS断面①)

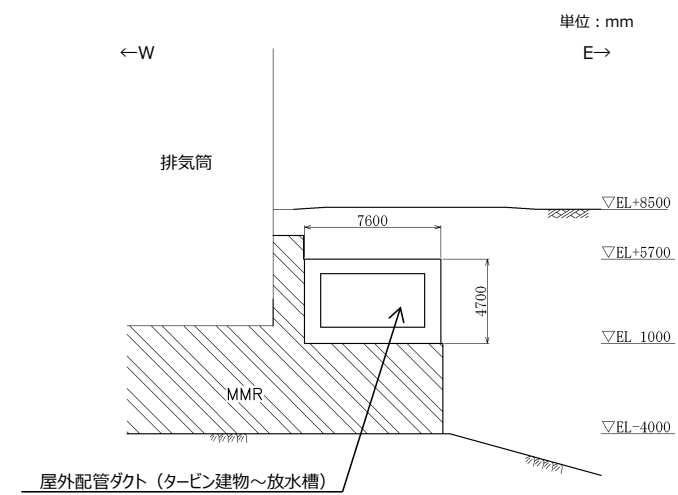


(第一ガスタービン発電機基礎 NS断面②)

第12-2-2 図 第一ガスタービン発電機及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎断面図 (2/3)

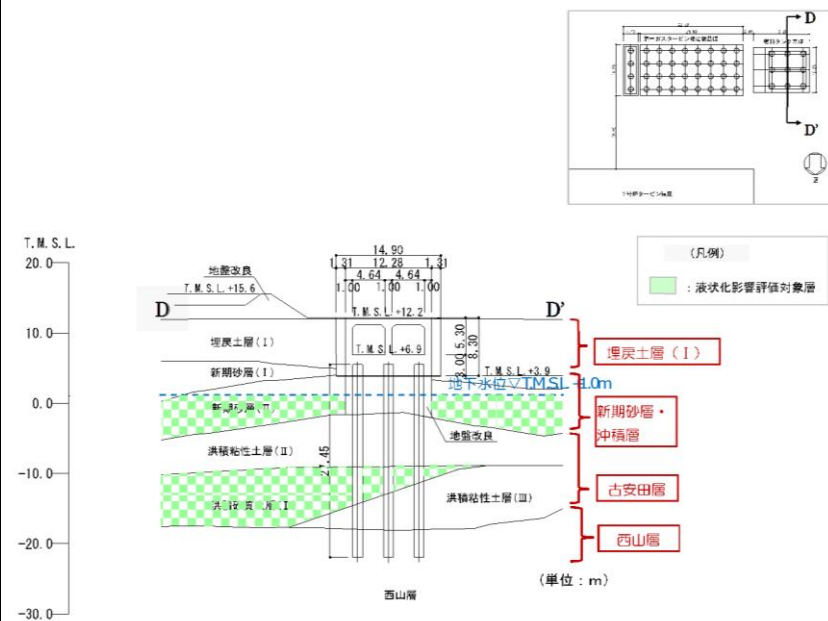


第6-2-8-3図 屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽) 縦断面図(①-①断面)



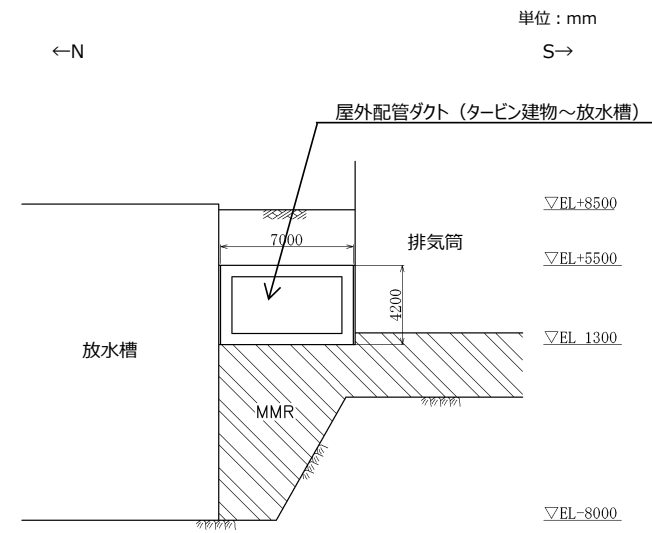
第6-2-8-4図 屋外配管ダクト(タービン建物~放水槽) 断面図(②-②断面)

・対象施設の相違
【柏崎6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違

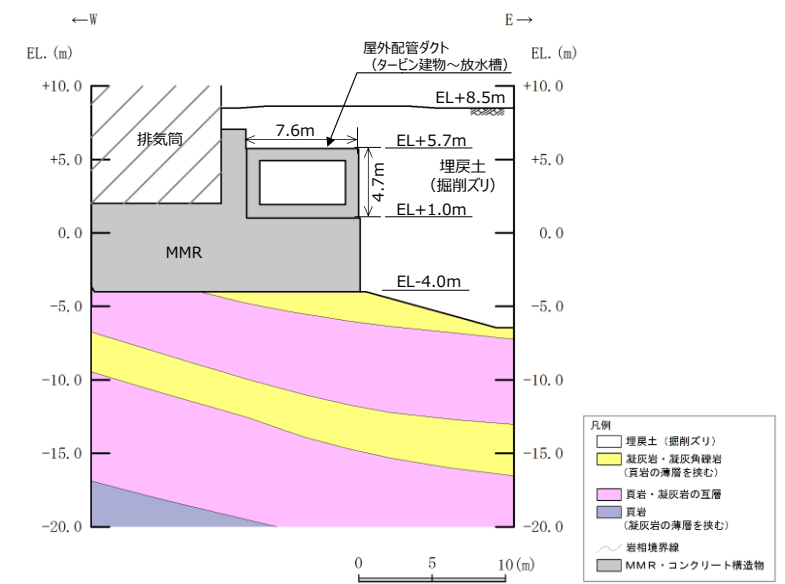


(第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 NS 断面)

第12-2-2 図 第一ガスタービン発電機及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎断面図 (3/3)

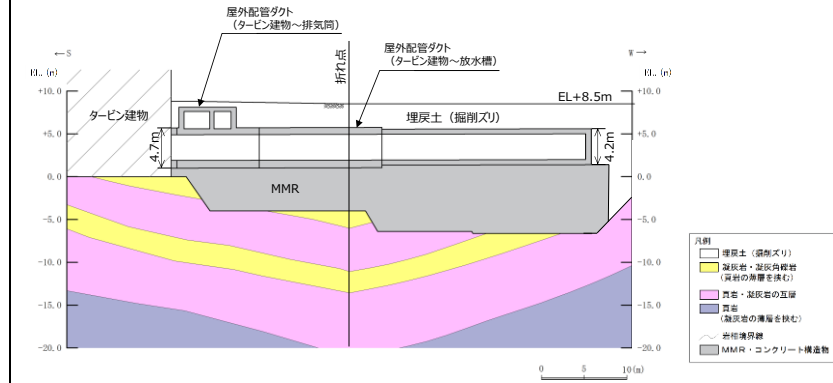


第6-2-8-5図 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 断面図 (③-③断面)

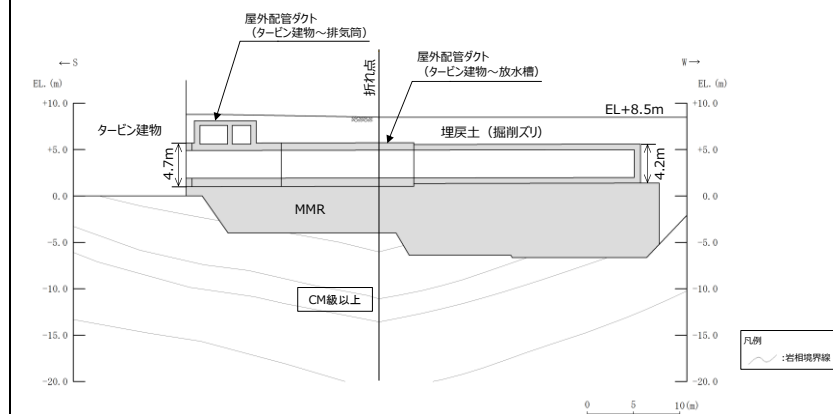


第6-2-8-6図 屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽) 地質断面図 (②-②断面)

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違



第6-2-8-7図 屋外配管ダクト (タービン建物～排水槽) 地質
縦断面図 (①-①断面)



第6-2-8-8図 屋外配管ダクト (タービン建物～排水槽) 岩級
縦断面図 (①-①断面)

屋外配管ダクト (タービン建物～排水槽) について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した (第6-2-8-1表)。なお、①-①断面のうち屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) との一体化部については、屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) における評価対象候補断面として整理する。


第6-2-8-1表 耐震評価候補断面の整理
(屋外配管ダクト (タービン建物～排水槽)) (1/2)

観点		屋外配管ダクト (タービン建物～排水槽)	
		②-②断面	③-③断面
①要求機能並びに 間接支持する機 器・配管の有無及 び設置状況	要求機能	・間接支持	
	間接支持する 設備	・原子炉補機海水系 配管 ・タービン補機海水系 配管, 弁 ・液体廃棄物処理系 配管, 弁	
②構造的特徴	設置 状況	・延長方向に一樣に配置されている	
	形式	・弱軸方向断面 ・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・ボックスカルバート	
	寸法	・幅7.60m, 高さ4.70m	・幅7.00m, 高さ4.20m

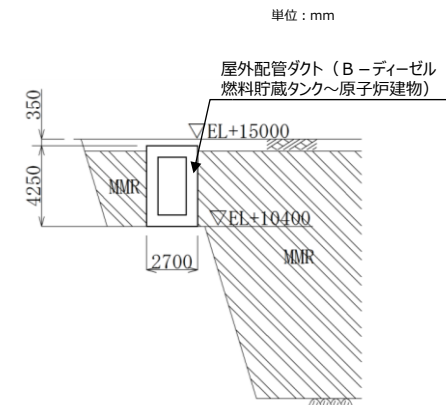
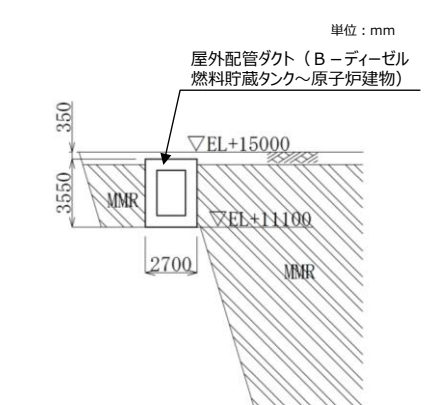
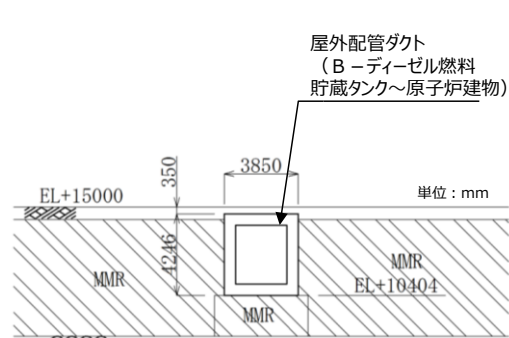
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違

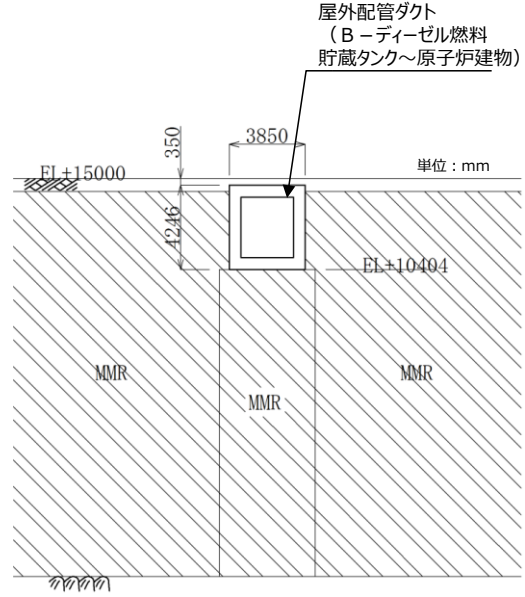
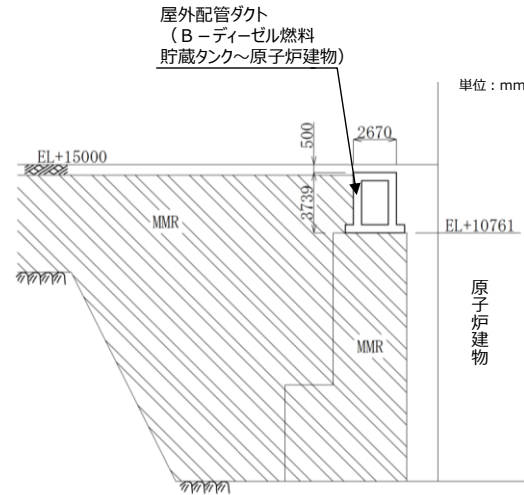
・記載の充実
【柏崎 6/7】
島根 2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																
		<p style="text-align: center;">第6-2-8-1表 耐震評価候補断面の整理 (屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)) (2/2)</p> <table border="1" data-bbox="1736 304 2496 630"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="2">屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)</th> </tr> <tr> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">③周辺状況</td> <td rowspan="2">構造物 下部</td> <td colspan="2">・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている</td> </tr> <tr> <td colspan="2">・MMRは高さ約5.0mで、構造物直下に分布している</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">周辺地質 構造物側部及び 上部</td> <td colspan="2">・埋戻土 (掘削スリ) が分布している</td> </tr> <tr> <td colspan="2">・なし</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td colspan="2">・解析結果等を踏まえて整理する。</td> </tr> <tr> <td>モデル化する 隣接構造物</td> <td>・排気筒</td> <td colspan="2">・排気筒</td> </tr> <tr> <td colspan="2">④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="2">・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質が各断面で異なり、地震波の伝搬特性が異なる (MMR高さ確認)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">⑤床応答特性</td> <td colspan="2">・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一律であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる</td> </tr> </tbody> </table> <p>以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行ううえで、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</p> <p>2.9 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)</p> <p>屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) の配置図を第6-2-9-1図に、平面図を第6-2-9-2図に、縦断面図を第6-2-9-3図～第6-2-9-4図に、断面図を第6-2-9-5図～第6-2-9-10図に、地質断面図を第6-2-9-11図～第6-2-9-13図に、地質縦断面図を第6-2-9-14図～第6-2-9-15図に、岩級縦断面図を第6-2-9-16図～第6-2-9-17図にそれぞれ示す。</p> <p>屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) は、Sクラス設備であるB-ディーゼル燃料移送系配管・弁の間接支持機能が要求される。</p> <p>屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) は、延長約75mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、幅2.67m～3.85m、高さ3.55～4.25mのボックスカルバート構造の延長方向に断面の変化が小さい線状構造物である (第6-2-9-5図～第6</p>	観点		屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)		②-②断面	③-③断面	③周辺状況	構造物 下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている		・MMRは高さ約5.0mで、構造物直下に分布している		周辺地質 構造物側部及び 上部	・埋戻土 (掘削スリ) が分布している		・なし		地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。		モデル化する 隣接構造物	・排気筒	・排気筒		④地震波の伝搬特性		・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質が各断面で異なり、地震波の伝搬特性が異なる (MMR高さ確認)		⑤床応答特性		・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一律であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる		<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p> <p>・資料構成の相違 【柏崎 6/7】 島根 2号では屋外重要土木構造物及び重大事故等対処施設のうち土木構造物を「屋外重要土木構造物等」として示している</p> <p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>
観点		屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)																																	
		②-②断面	③-③断面																																
③周辺状況	構造物 下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている																																	
		・MMRは高さ約5.0mで、構造物直下に分布している																																	
	周辺地質 構造物側部及び 上部	・埋戻土 (掘削スリ) が分布している																																	
		・なし																																	
地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。																																		
モデル化する 隣接構造物	・排気筒	・排気筒																																	
④地震波の伝搬特性		・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質が各断面で異なり、地震波の伝搬特性が異なる (MMR高さ確認)																																	
⑤床応答特性		・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一律であるが、構造的特徴及び周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる																																	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p data-bbox="1733 214 1932 243">-2-9-10図)。</p> <p data-bbox="1733 254 2502 331"><u>屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)</u>は、一部MMRを介してC_M級以上の岩盤に支持されている。</p> <p data-bbox="1733 342 2502 468"><u>間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないので、間接支持する配管の管軸方向が強軸となり、管軸直交方向が弱軸となる。</u></p>  <p data-bbox="1733 1150 2502 1228">第6-2-9-1図 <u>屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 配置図</u></p>	<p data-bbox="2534 214 2807 375">・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

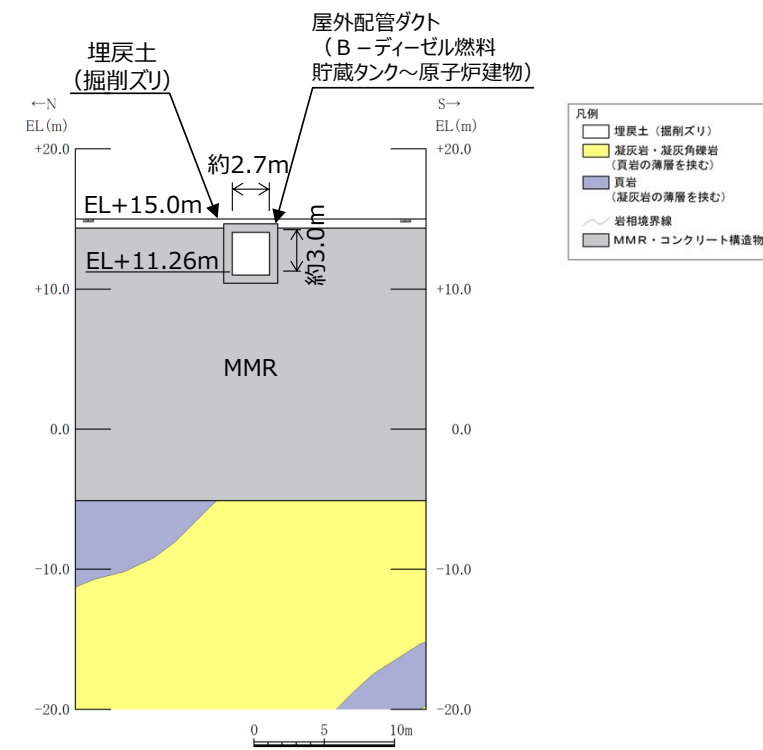
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p data-bbox="1765 231 2478 724"> </p> <p data-bbox="1736 745 2493 829"> 第6-2-9-2図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 平面図 </p> <p data-bbox="1765 892 2478 1218"> </p> <p data-bbox="1736 1239 2493 1323"> 第6-2-9-3図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 縦断図 (③-③断面) </p> <p data-bbox="1765 1386 2478 1753"> </p> <p data-bbox="1736 1774 2493 1858"> 第6-2-9-4図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 縦断図 (⑧-⑧断面) </p>	<p data-bbox="2537 210 2804 378"> ・対象施設の相違 【柏崎6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違 </p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: center;">単位 : mm</p>  <p style="text-align: center;">第6-2-9-5図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図 (①-①断面)</p> <p style="text-align: center;">単位 : mm</p>  <p style="text-align: center;">第6-2-9-6図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図 (②-②断面)</p> <p style="text-align: center;">単位 : mm</p>  <p style="text-align: center;">第6-2-9-7図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図 (④-④断面)</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

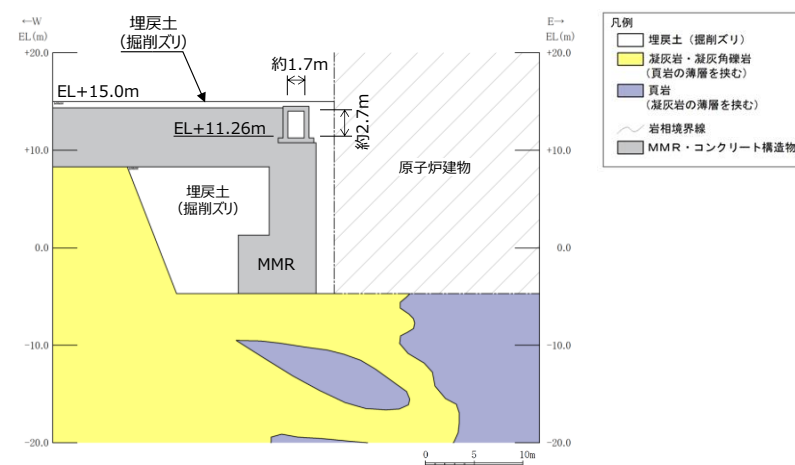
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1736 793 2499 871">第6-2-9-8図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物) 断面図 (⑤-⑤断面)</p>  <p data-bbox="1736 1417 2499 1495">第6-2-9-9図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物) 断面図 (⑥-⑥断面)</p>	<p data-bbox="2537 210 2804 378">・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク～原子炉建物)</p> <p>単位: mm</p> <p>EL+15000</p> <p>500</p> <p>2670</p> <p>EL+10761</p> <p>原子炉建物</p> <p>MMR</p> <p>第6-2-9-10図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図 (⑦-⑦断面)</p> <p>←W</p> <p>EL(m)</p> <p>+20.0</p> <p>+15.0</p> <p>+10.0</p> <p>+5.0</p> <p>0.0</p> <p>-5.0</p> <p>埋戻土 (埋戻スリ)</p> <p>1.5m</p> <p>EL+15.0m</p> <p>EL+11.0m</p> <p>約3.1m</p> <p>屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)</p> <p>MMR</p> <p>MMR</p> <p>MMR・コンクリート構造物</p> <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> 埋戻土 (埋戻スリ) 凝灰岩・凝灰角礫岩 (真岩の薄層を挟む) 頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む) 岩相境界線 MMR・コンクリート構造物 <p>0 5 10(m)</p> <p>第6-2-9-11図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 地質断面図 (①-①断面)</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>対象施設の相違による記載内容の相違</p>

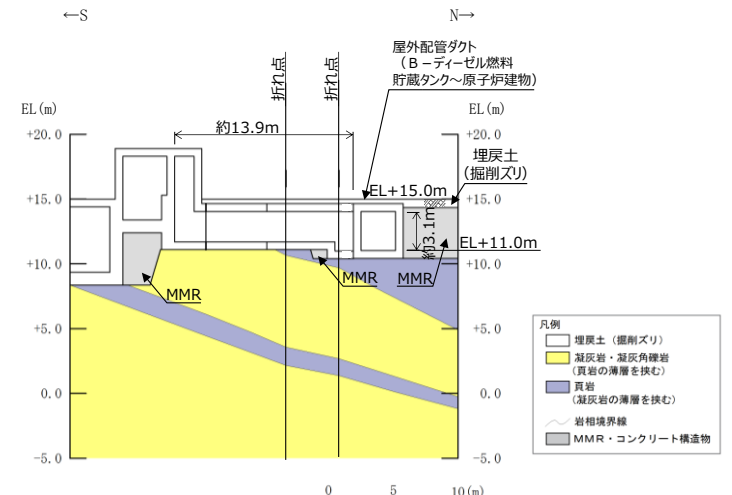
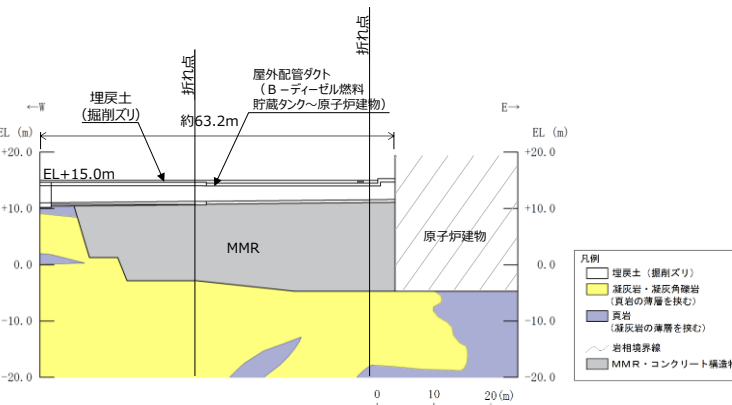
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
 対象施設の相違による記載内容の相違



第6-2-9-12図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 地質断面図 (⑤-⑤断面)



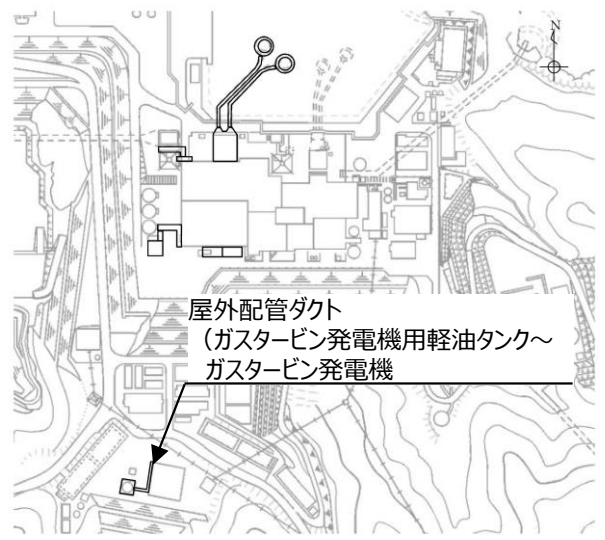
第6-2-9-13図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 地質断面図 (⑦-⑦断面)

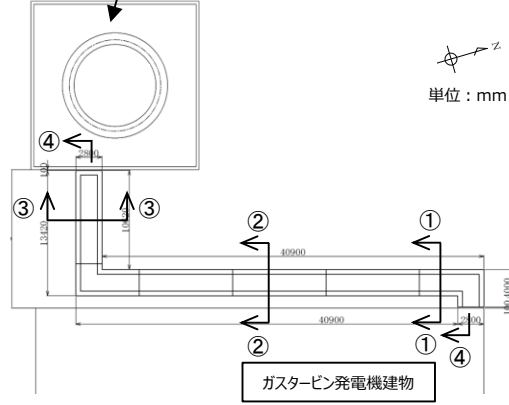
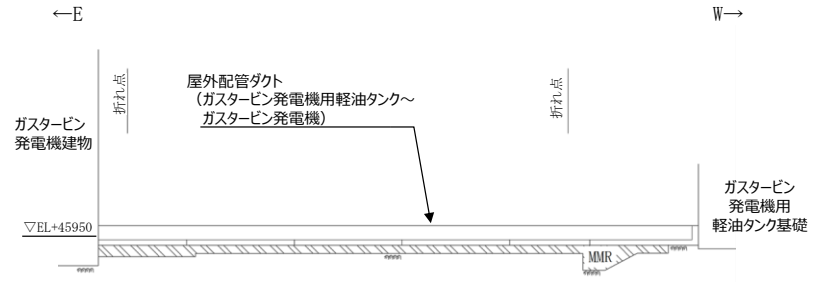
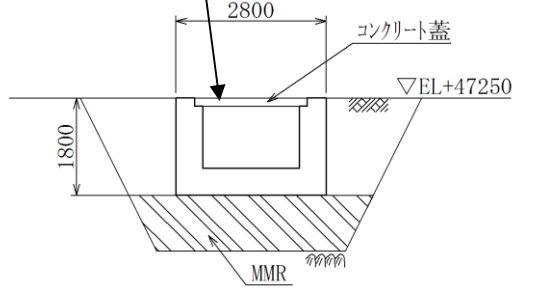
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1736 703 2507 787">第6-2-9-14図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 地質縦断図 (③-③断面)</p>  <p data-bbox="1736 1239 2507 1323">第6-2-9-15図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 地質縦断図 (⑧-⑧断面)</p>	<p data-bbox="2537 210 2789 378">・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

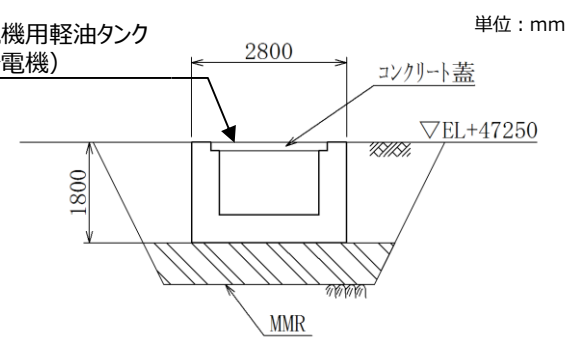
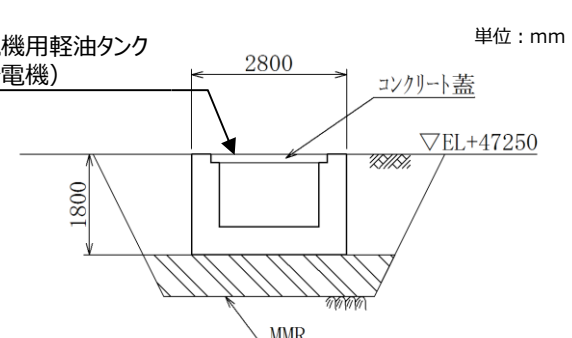
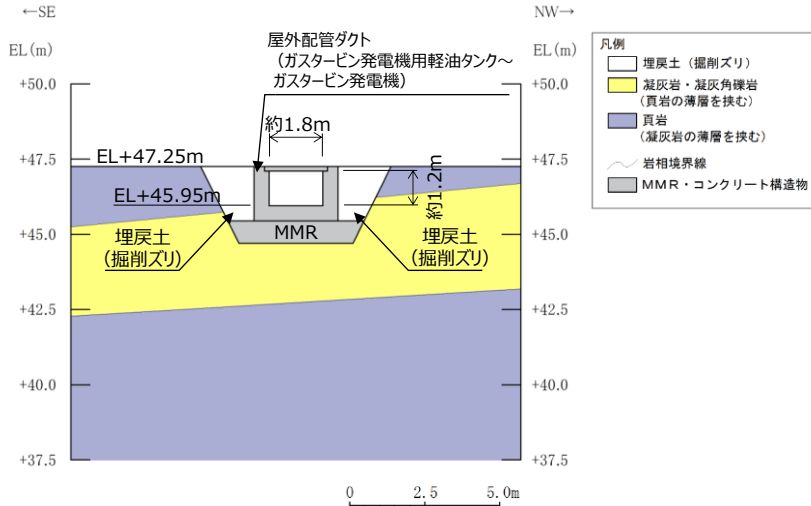
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>第6-2-9-16図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 岩級縦断面図 (③-③断面)</p> <p>第6-2-9-17図 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 岩級縦断面図 (⑧-⑧断面)</p> <p><u>屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点から踏まえた耐震評価候補断面を整理した (第6-2-9-1表)。</u></p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p> <p>・記載の充実 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>

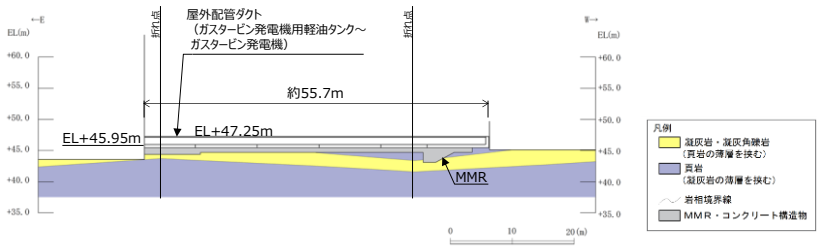
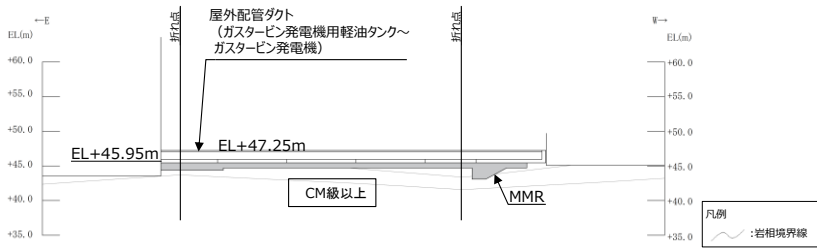
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																											
		<p>第6-2-9-1表 耐震評価候補断面の整理 (屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)) (1/3)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">観点</th> <th colspan="2">屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>要求機能</td> <td colspan="2">・間接支持</td> </tr> <tr> <td>間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>設備</td> <td>・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁</td> </tr> <tr> <td></td> <td>設置状況</td> <td colspan="2">・延長方向に一樣に配置されている</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">②構造的特徴</td> <td>形式</td> <td colspan="2">・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・ボックスカルバート</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td>・幅2.70m, 高さ4.25m</td> <td>・幅2.70m, 高さ3.55m</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">③周辺状況</td> <td rowspan="2">周辺地質</td> <td>構造物下部</td> <td>・一部MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている</td> </tr> <tr> <td>構造物側部及び上部</td> <td>・周辺に埋戻土 (掘削スリ) 及びMMRが分布している ・MMRは高さ約3.6m~13.1mで, 台形状である</td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td>・なし</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td colspan="2">・解析結果等を踏まえて整理する。</td> </tr> <tr> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td colspan="3">・なし</td> </tr> <tr> <td>④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="3">・観点③での整理のとおり, 構造物下部の周辺地質に差異はなく, 地震波の伝搬特性は一樣である</td> </tr> <tr> <td>⑤床応答特性</td> <td colspan="3">・観点①での整理のとおり, 各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり, 間接支持する設備の種類及び設置状況並びに周辺状況は一樣であるが, 構造的特徴に差異があることから, 各断面の床応答特性が異なる</td> </tr> </tbody> </table> <p>第6-2-9-1表 耐震評価候補断面の整理 (屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)) (2/3)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">観点</th> <th colspan="4">屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>④-④断面</th> <th>⑤-⑤断面</th> <th>⑥-⑥断面</th> <th>⑦-⑦断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>要求機能</td> <td colspan="4">・間接支持</td> </tr> <tr> <td>間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>設備</td> <td colspan="3">・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁</td> </tr> <tr> <td></td> <td>設置状況</td> <td colspan="4">・延長方向に一樣に配置されている</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">②構造的特徴</td> <td>形式</td> <td colspan="4">・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・ボックスカルバート</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td colspan="2">・幅3.85m, 高さ4.25m</td> <td colspan="2">・幅2.67m, 高さ3.74m</td> </tr> </tbody> </table> <p>第6-2-9-1表 耐震評価候補断面の整理 (屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)) (3/3)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">観点</th> <th colspan="4">屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th>④-④断面</th> <th>⑤-⑤断面</th> <th>⑥-⑥断面</th> <th>⑦-⑦断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">③周辺状況</td> <td rowspan="2">周辺地質</td> <td>構造物下部</td> <td>・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている ・MMRは高さ約2.1m及び15.5mで一樣に分布している</td> <td>・MMRは高さ約15.5mで西側に一樣に分布している</td> <td>・MMRは高さ約15.5mでL字形である</td> </tr> <tr> <td>構造物側部及び上部</td> <td>・埋戻土 (掘削スリ) 及びMMRが分布している ・MMRは高さ約6.1m及び19.5mで一樣に分布している</td> <td>・埋戻土 (掘削スリ) 及びMMRが分布している ・MMRは高さ約19.1mで西側に一樣に分布している</td> <td>・MMRは高さ約3.6mで西側に一樣に分布している</td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td colspan="4">・なし</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td colspan="4">・解析結果等を踏まえて整理する。</td> </tr> <tr> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td colspan="2">・なし</td> <td colspan="3">・原子炉建物</td> </tr> <tr> <td>④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="5">・観点③での整理のとおり, 構造物下部の周辺地質が各断面で異なり, 地震波の伝搬特性が異なる</td> </tr> <tr> <td>⑤床応答特性</td> <td colspan="5">・観点①での整理のとおり, 各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり, 間接支持する設備の種類及び設置状況は一樣であるが, 構造的特徴及び周辺状況に差異があることから, 各断面の床応答特性が異なる</td> </tr> </tbody> </table>	観点		屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)				①-①断面	②-②断面	①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持		間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	設備	・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁		設置状況	・延長方向に一樣に配置されている		②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・ボックスカルバート		寸法	・幅2.70m, 高さ4.25m	・幅2.70m, 高さ3.55m	③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・一部MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている	構造物側部及び上部	・周辺に埋戻土 (掘削スリ) 及びMMRが分布している ・MMRは高さ約3.6m~13.1mで, 台形状である	地質変化部	・なし	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。		モデル化する隣接構造物	・なし			④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり, 構造物下部の周辺地質に差異はなく, 地震波の伝搬特性は一樣である			⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり, 各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり, 間接支持する設備の種類及び設置状況並びに周辺状況は一樣であるが, 構造的特徴に差異があることから, 各断面の床応答特性が異なる			観点		屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)						④-④断面	⑤-⑤断面	⑥-⑥断面	⑦-⑦断面	①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持				間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	設備	・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁				設置状況	・延長方向に一樣に配置されている				②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・ボックスカルバート				寸法	・幅3.85m, 高さ4.25m		・幅2.67m, 高さ3.74m		観点		屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)						④-④断面	⑤-⑤断面	⑥-⑥断面	⑦-⑦断面	③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている ・MMRは高さ約2.1m及び15.5mで一樣に分布している	・MMRは高さ約15.5mで西側に一樣に分布している	・MMRは高さ約15.5mでL字形である	構造物側部及び上部	・埋戻土 (掘削スリ) 及びMMRが分布している ・MMRは高さ約6.1m及び19.5mで一樣に分布している	・埋戻土 (掘削スリ) 及びMMRが分布している ・MMRは高さ約19.1mで西側に一樣に分布している	・MMRは高さ約3.6mで西側に一樣に分布している	地質変化部	・なし				地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。				モデル化する隣接構造物	・なし		・原子炉建物			④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり, 構造物下部の周辺地質が各断面で異なり, 地震波の伝搬特性が異なる					⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり, 各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり, 間接支持する設備の種類及び設置状況は一樣であるが, 構造的特徴及び周辺状況に差異があることから, 各断面の床応答特性が異なる					<p>・記載の充実 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では, 屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>
観点		屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)																																																																																																																																												
		①-①断面	②-②断面																																																																																																																																											
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持																																																																																																																																												
	間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	設備	・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁																																																																																																																																											
	設置状況	・延長方向に一樣に配置されている																																																																																																																																												
②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・ボックスカルバート																																																																																																																																												
	寸法	・幅2.70m, 高さ4.25m	・幅2.70m, 高さ3.55m																																																																																																																																											
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・一部MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている																																																																																																																																											
		構造物側部及び上部	・周辺に埋戻土 (掘削スリ) 及びMMRが分布している ・MMRは高さ約3.6m~13.1mで, 台形状である																																																																																																																																											
	地質変化部	・なし																																																																																																																																												
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。																																																																																																																																												
モデル化する隣接構造物	・なし																																																																																																																																													
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり, 構造物下部の周辺地質に差異はなく, 地震波の伝搬特性は一樣である																																																																																																																																													
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり, 各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり, 間接支持する設備の種類及び設置状況並びに周辺状況は一樣であるが, 構造的特徴に差異があることから, 各断面の床応答特性が異なる																																																																																																																																													
観点		屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)																																																																																																																																												
		④-④断面	⑤-⑤断面	⑥-⑥断面	⑦-⑦断面																																																																																																																																									
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持																																																																																																																																												
	間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	設備	・B-ディーゼル燃料移送系 配管・弁																																																																																																																																											
	設置状況	・延長方向に一樣に配置されている																																																																																																																																												
②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・ボックスカルバート																																																																																																																																												
	寸法	・幅3.85m, 高さ4.25m		・幅2.67m, 高さ3.74m																																																																																																																																										
観点		屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)																																																																																																																																												
		④-④断面	⑤-⑤断面	⑥-⑥断面	⑦-⑦断面																																																																																																																																									
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている ・MMRは高さ約2.1m及び15.5mで一樣に分布している	・MMRは高さ約15.5mで西側に一樣に分布している	・MMRは高さ約15.5mでL字形である																																																																																																																																									
		構造物側部及び上部	・埋戻土 (掘削スリ) 及びMMRが分布している ・MMRは高さ約6.1m及び19.5mで一樣に分布している	・埋戻土 (掘削スリ) 及びMMRが分布している ・MMRは高さ約19.1mで西側に一樣に分布している	・MMRは高さ約3.6mで西側に一樣に分布している																																																																																																																																									
	地質変化部	・なし																																																																																																																																												
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。																																																																																																																																												
モデル化する隣接構造物	・なし		・原子炉建物																																																																																																																																											
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり, 構造物下部の周辺地質が各断面で異なり, 地震波の伝搬特性が異なる																																																																																																																																													
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり, 各断面に間接支持する設備がある ・観点①~③での整理のとおり, 間接支持する設備の種類及び設置状況は一樣であるが, 構造的特徴及び周辺状況に差異があることから, 各断面の床応答特性が異なる																																																																																																																																													

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p><u>以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行ううえで、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</u></p>	<p>・記載の充実 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>

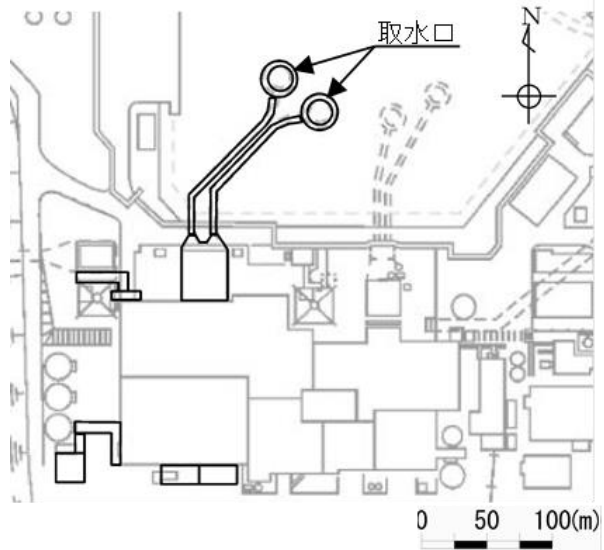
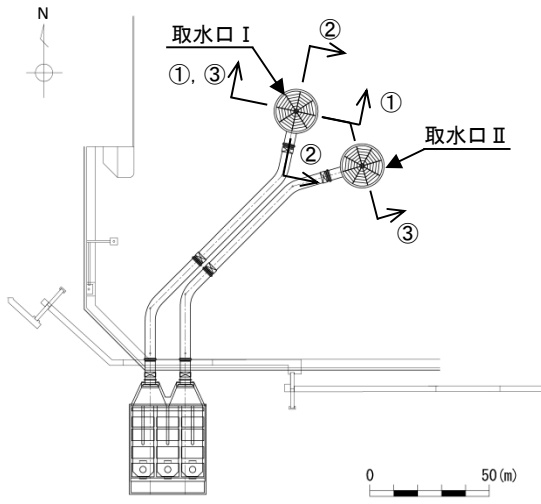
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>2.10 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)</p> <p><u>屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) の配置図を第6-2-10-1図に、平面図を第6-2-10-2図に、縦断図を第6-2-10-3図に、断面図を第6-2-10-4図～第6-2-10-6図に、地質断面図を第6-2-10-7図に、地質縦断図を第6-2-10-8図に、岩級縦断図を第6-2-10-9図にそれぞれ示す。</u></p> <p><u>屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) は、常設重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用燃料移送配管・弁の間接支持機能が要求される。</u></p> <p><u>屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) は、延長58.32m、幅2.8m、高さ1.8mの鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、延長方向に断面の変化がない線状構造物である (第6-2-10-4～第6-2-10-6図)。</u></p> <p><u>屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) は、MMRを介してC_M級以上の岩盤に支持されている。</u></p> <p><u>間接支持する配管の管軸方向と直交する方向に配置される壁部材が少ないので、間接支持する配管の管軸方向が強軸となり、管軸直交方向が弱軸となる。</u></p>  <p>第6-2-10-1図 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 配置図</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>対象施設の相違による記載内容の相違</p>

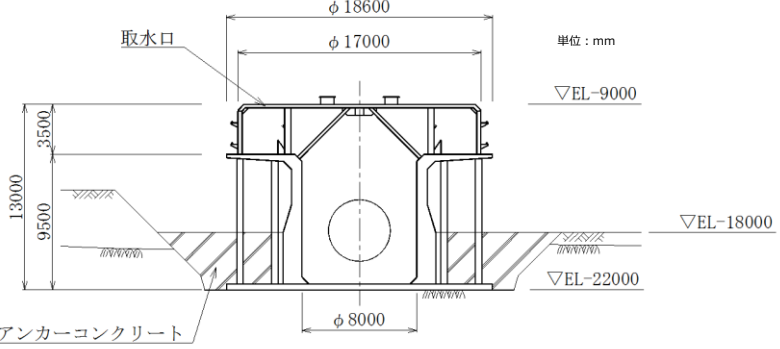
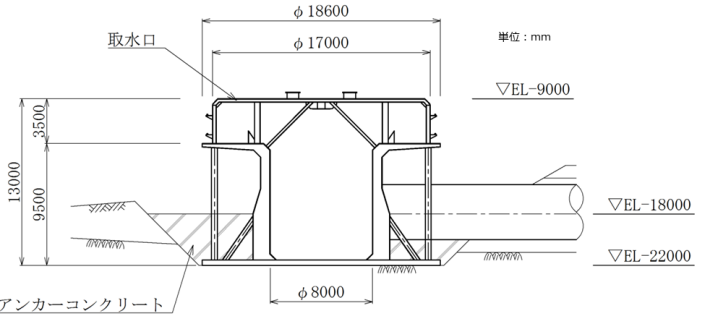
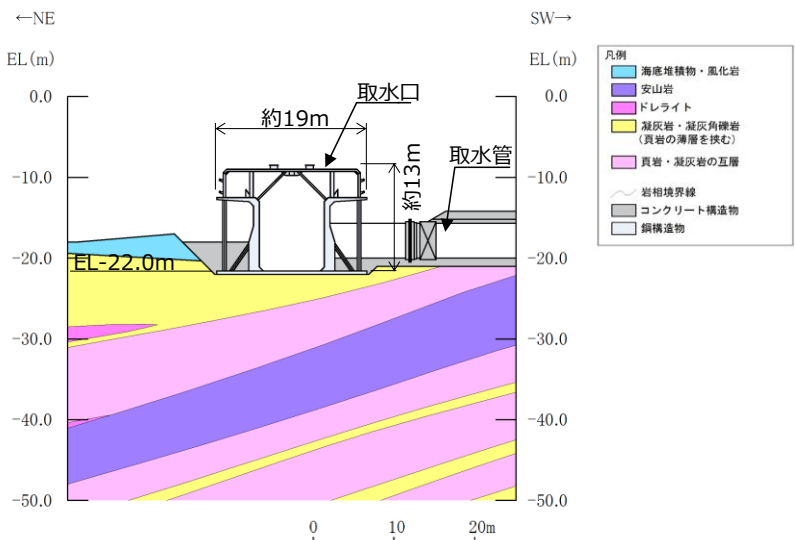
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p data-bbox="1952 226 2160 289">ガスタービン発電機用 軽油タンク基礎</p>  <p data-bbox="2255 336 2329 409">単位: mm</p> <p data-bbox="2092 640 2270 682">ガスタービン発電機建物</p> <p data-bbox="1736 703 2499 787">第6-2-10-2図 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 平面図</p> <p data-bbox="2389 840 2448 892">単位: mm</p>  <p data-bbox="1736 976 1825 1081">ガスタービン 発電機建物</p> <p data-bbox="1914 934 2122 997">屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ ガスタービン発電機)</p> <p data-bbox="2389 1039 2499 1102">ガスタービン 発電機用 軽油タンク基礎</p> <p data-bbox="1736 1155 2499 1239">第6-2-10-3図 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 縦断面図 (④-④断面)</p> <p data-bbox="1795 1302 2122 1386">屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク ～ガスタービン発電機)</p> <p data-bbox="2329 1365 2418 1396">単位: mm</p>  <p data-bbox="2240 1417 2359 1449">コンクリート蓋</p> <p data-bbox="2270 1470 2418 1501">▽EL+47250</p> <p data-bbox="1944 1501 2003 1543">1800</p> <p data-bbox="2122 1396 2211 1428">2800</p> <p data-bbox="1884 1627 1973 1659">MMR</p> <p data-bbox="1736 1690 2499 1774">第6-2-10-4図 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 断面図 (①-①断面)</p>	<p data-bbox="2537 210 2804 378">・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク ～ガスタービン発電機) 単位: mm</p>  <p>第6-2-10-5図 屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 断面図(②-②断面)</p> <p>屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク ～ガスタービン発電機) 単位: mm</p>  <p>第6-2-10-6図 屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 断面図(③-③断面)</p> <p>←SE NW→</p>  <p>第6-2-10-7図 屋外配管ダクト(ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 地質断面図(②-②断面)</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p>第6-2-10-8図 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 地質縦断図 (④-④断面)</p>  <p>第6-2-10-9図 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) 岩級縦断図 (④-④断面)</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																											
		<p><u>屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した (第6-2-10-1表)。</u></p> <p>第6-2-10-1表 耐震評価候補断面の整理 (屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機))</p> <table border="1" data-bbox="1736 569 2496 999"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="3">屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> <th>③-③断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>要求機能</td> <td colspan="3">・間接支持</td> </tr> <tr> <td>間接支持する設備</td> <td colspan="3">・ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁 ・延長方向に一律に配置されている。</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">②構造的特徴</td> <td>形式</td> <td colspan="3">・鉄筋コンクリート造の地中構造物</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td colspan="3">・幅2.80m, 高さ1.80m</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">③周辺状況</td> <td rowspan="2">構造物下部</td> <td>周辺地質</td> <td colspan="2">・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている</td> </tr> <tr> <td>構造物側面及び上部</td> <td colspan="2">・MMRは高さ約0.8～1.0m程度で台形状である。</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">地質変化部</td> <td>周辺地質</td> <td colspan="2">・埋戻土 (掘削スリ) が分布している。</td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td colspan="2">・なし</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td colspan="3">・解析結果等を踏まえて整理する。</td> </tr> <tr> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td colspan="3">・なし</td> </tr> <tr> <td>④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="4">・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異はなく、地震波の伝搬特性は一律である</td> </tr> <tr> <td>⑤床応答特性</td> <td colspan="4">・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一律であり、構造的特徴及び周辺状況も一律であることから、各断面の床応答特性に差異はない</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行ううえで、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</u></p>	観点		屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)			①-①断面	②-②断面	③-③断面	①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持			間接支持する設備	・ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁 ・延長方向に一律に配置されている。			②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物			寸法	・幅2.80m, 高さ1.80m			③周辺状況	構造物下部	周辺地質	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている		構造物側面及び上部	・MMRは高さ約0.8～1.0m程度で台形状である。		地質変化部	周辺地質	・埋戻土 (掘削スリ) が分布している。		地質変化部	・なし		地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。			モデル化する隣接構造物	・なし			④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異はなく、地震波の伝搬特性は一律である				⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一律であり、構造的特徴及び周辺状況も一律であることから、各断面の床応答特性に差異はない				<p>・記載の充実 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>
観点		屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)																																																												
		①-①断面	②-②断面	③-③断面																																																										
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持																																																												
	間接支持する設備	・ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁 ・延長方向に一律に配置されている。																																																												
②構造的特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物																																																												
	寸法	・幅2.80m, 高さ1.80m																																																												
③周辺状況	構造物下部	周辺地質	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている																																																											
		構造物側面及び上部	・MMRは高さ約0.8～1.0m程度で台形状である。																																																											
	地質変化部	周辺地質	・埋戻土 (掘削スリ) が分布している。																																																											
		地質変化部	・なし																																																											
地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。																																																													
モデル化する隣接構造物	・なし																																																													
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異はなく、地震波の伝搬特性は一律である																																																													
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況は一律であり、構造的特徴及び周辺状況も一律であることから、各断面の床応答特性に差異はない																																																													

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>2.11 取水口</p> <p><u>取水口の配置図を第6-2-11-1図に、平面図を第6-2-11-2図に、断面図を第6-2-11-3図～第6-2-11-4図に、地質断面図を第6-2-11-5図～第6-2-11-6図に、岩級断面図を第6-2-11-7図～第6-2-11-8図にそれぞれ示す。</u></p> <p><u>取水口は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。</u></p> <p><u>取水口は、直径18.6m、高さ13mの基部をアンカーコンクリートで巻き立てられた鋼製の構造物である。</u></p> <p><u>取水口はC_M級以上の岩盤に直接支持されている。</u></p> <p><u>取水口は円筒状構造物であるため、強軸及び弱軸が明確ではない。</u></p>  <p>第6-2-11-1図 取水口 配置図</p>  <p>第6-2-11-2図 取水口 平面図</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: center;">島根原子力発電所 2号炉</p>  <p style="text-align: center;">第6-2-11-3図 取水口 I 断面図 (①-①断面)</p>  <p style="text-align: center;">第6-2-11-4図 取水口 I 断面図 (②-②断面)</p>  <p style="text-align: center;">第6-2-11-5図 取水口 地質断面図 (②-②断面)</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

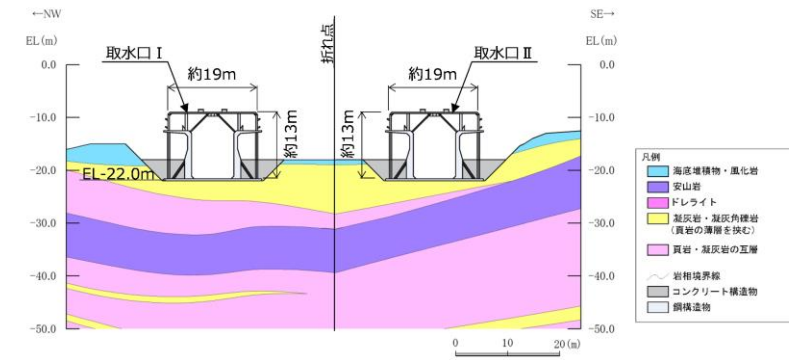
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

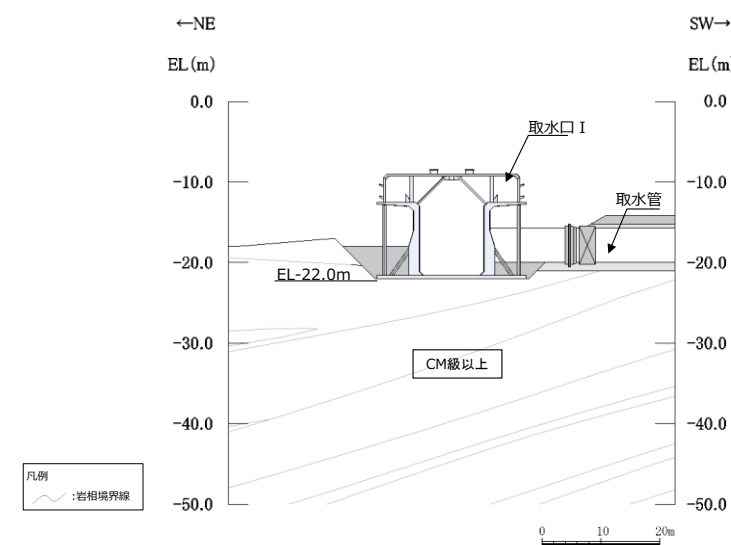
島根原子力発電所 2号炉

備考

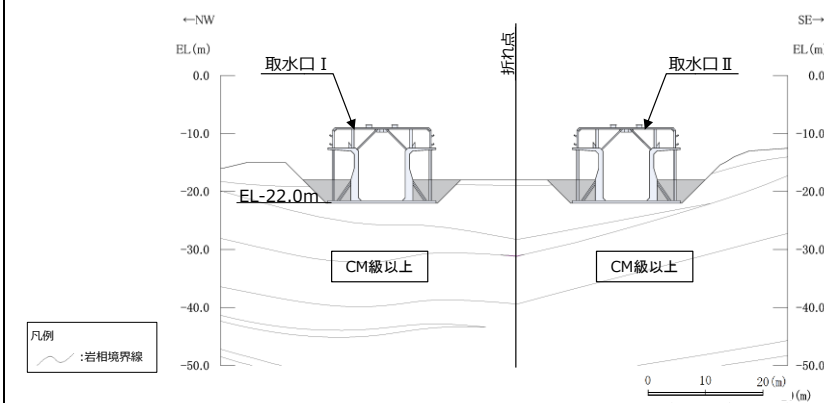
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
 対象施設の相違による記載内容の相違



第6-2-11-6図 取水口 地質断面図 (③-③断面)

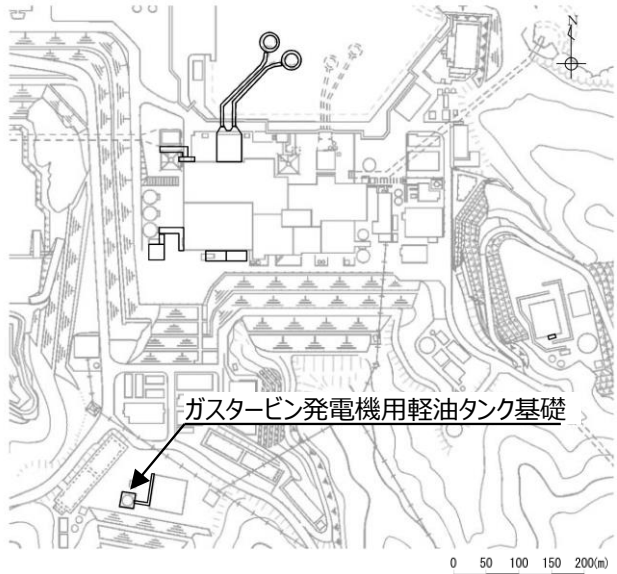


第6-2-11-7図 取水口 岩級断面図 (②-②断面)



第6-2-11-8図 取水口 岩級断面図 (③-③断面)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																						
		<p>取水口について、<u>間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した</u> (第6-2-11-1表)。</p> <p>第6-2-11-1表 耐震評価候補断面の整理 (取水口)</p> <table border="1" data-bbox="1736 441 2496 997"> <thead> <tr> <th rowspan="2">観点</th> <th colspan="2">取水口</th> </tr> <tr> <th>①-①断面, ③-③断面</th> <th>②-②断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>要求機能</td> <td>・通水</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">間接支持する設備</td> <td>設備</td> <td>・なし</td> </tr> <tr> <td>設置状況</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">②構造的特徴</td> <td>形式</td> <td>・鋼製の円筒状構造物</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td>・Φ18.60m, 高さ13.00m</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">③周辺状況</td> <td rowspan="3">周辺地質</td> <td>構造物下部</td> <td>・CM級以上の岩盤に直接支持されている</td> </tr> <tr> <td>構造物側部及び上部</td> <td>・アンカーコンクリート及び海底堆積物・風化岩が分布している</td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td>・なし</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td>- (水中構造物)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td>・なし</td> <td>・取水口は取水管と可撓ジョイントで接続されており、取水管の影響を受けないことから、モデル化する隣接構造物はない</td> </tr> <tr> <td>④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="2">・観点③での整理のとおり、断面位置により周辺状況に差異がなく、地震波の伝搬特性は一樣である</td> </tr> <tr> <td>⑤床応答特性</td> <td colspan="2">・観点①での整理のとおり、間接支持する設備がない</td> </tr> </tbody> </table> <p>以上の整理を踏まえ、<u>詳細設計段階において、構造的特徴、周辺状況、地震波の伝搬特性等を考慮して、3次元モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する2方向から評価対象断面として選定する。</u>なお、<u>詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</u></p>	観点	取水口		①-①断面, ③-③断面	②-②断面	①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・通水	間接支持する設備	設備	・なし	設置状況	-	②構造的特徴	形式	・鋼製の円筒状構造物	寸法	・Φ18.60m, 高さ13.00m	③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている	構造物側部及び上部	・アンカーコンクリート及び海底堆積物・風化岩が分布している	地質変化部	・なし	地下水位	- (水中構造物)		モデル化する隣接構造物	・なし	・取水口は取水管と可撓ジョイントで接続されており、取水管の影響を受けないことから、モデル化する隣接構造物はない	④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、断面位置により周辺状況に差異がなく、地震波の伝搬特性は一樣である		⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、間接支持する設備がない		<p>・記載の充実 【柏崎 6/7】 島根 2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>
観点	取水口																																								
	①-①断面, ③-③断面	②-②断面																																							
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・通水																																							
	間接支持する設備	設備	・なし																																						
		設置状況	-																																						
②構造的特徴	形式	・鋼製の円筒状構造物																																							
	寸法	・Φ18.60m, 高さ13.00m																																							
③周辺状況	周辺地質	構造物下部	・CM級以上の岩盤に直接支持されている																																						
		構造物側部及び上部	・アンカーコンクリート及び海底堆積物・風化岩が分布している																																						
		地質変化部	・なし																																						
	地下水位	- (水中構造物)																																							
	モデル化する隣接構造物	・なし	・取水口は取水管と可撓ジョイントで接続されており、取水管の影響を受けないことから、モデル化する隣接構造物はない																																						
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、断面位置により周辺状況に差異がなく、地震波の伝搬特性は一樣である																																								
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、間接支持する設備がない																																								

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>2.12 <u>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎</u></p> <p><u>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の配置図を第6-2-12-1図に、平面図を第6-2-12-2図に、断面図を第6-2-12-3～第6-2-12-4図に、地質断面図を第6-2-12-5図に、岩級断面図を第6-2-12-6図にそれぞれ示す。</u></p> <p><u>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、常設重大事故等対処設備であるガスタービン発電機用軽油タンク等の間接支持機能が要求される。</u></p> <p><u>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、幅18m×18mの鉄筋コンクリート造の構造物である。</u></p> <p><u>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、MMRを介してC_M級以上の岩盤に支持されている。</u></p> <p><u>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は正方形の直接基礎であるため、強軸及び弱軸が明確ではない。</u></p>  <p>第6-2-12-1図 <u>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎配置図</u></p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: center;">島根原子力発電所 2号炉</p> <p style="text-align: center;">第6-2-12-2図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図</p> <p style="text-align: center;">第6-2-12-3図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (①-①断面)</p> <p style="text-align: center;">第6-2-12-4図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 断面図 (②-②断面)</p>	<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

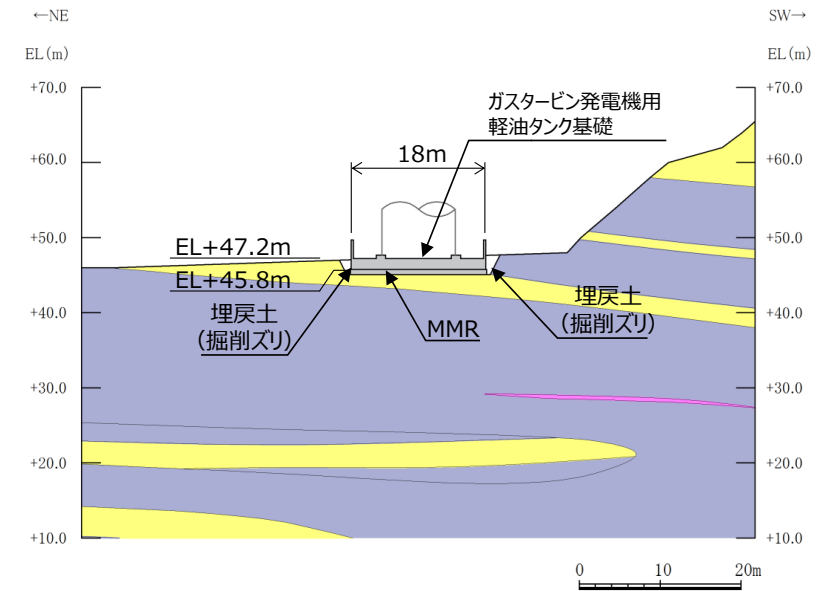
女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

島根原子力発電所 2号炉

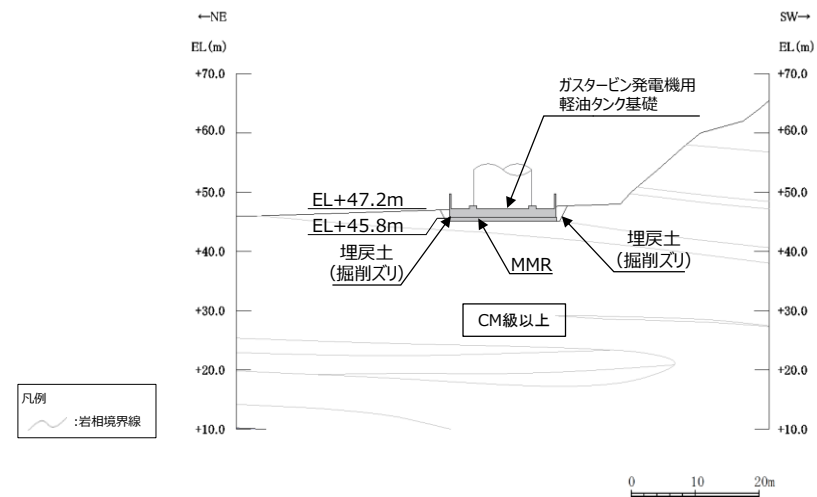
備考

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違

- 凡例
- 埋戻土 (掘削スリ)
 - ドレライト
 - 凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)
 - 頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)
 - 岩相境界線
 - MMR・コンクリート構造物

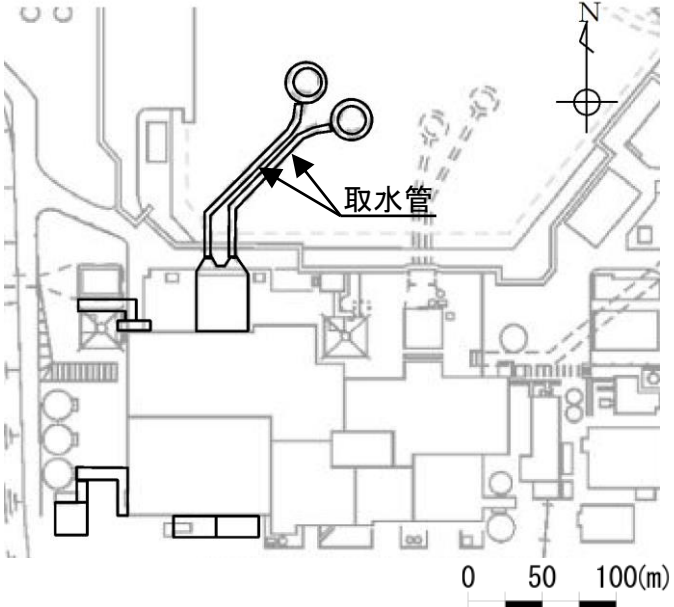


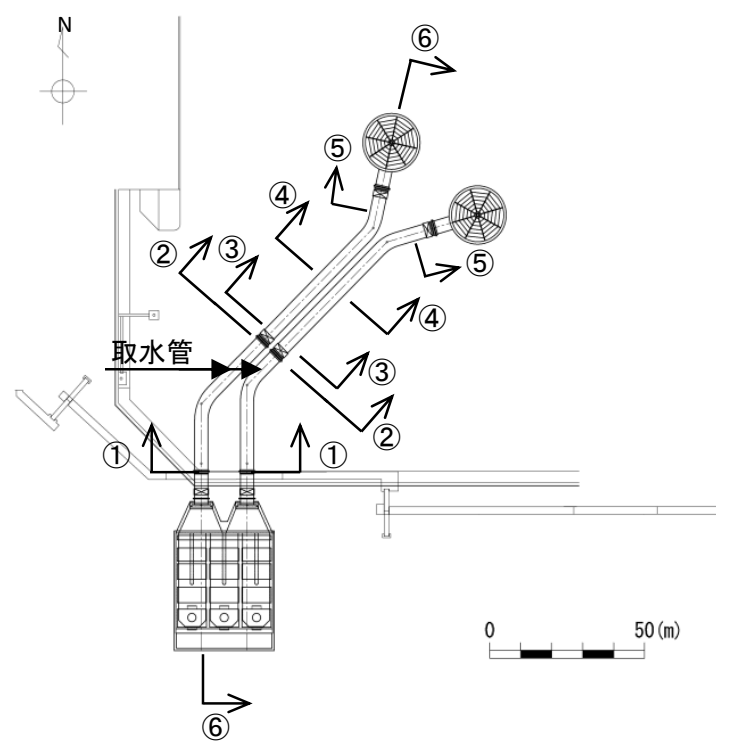
第6-2-12-5図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎
地質断面図 (①-①断面)

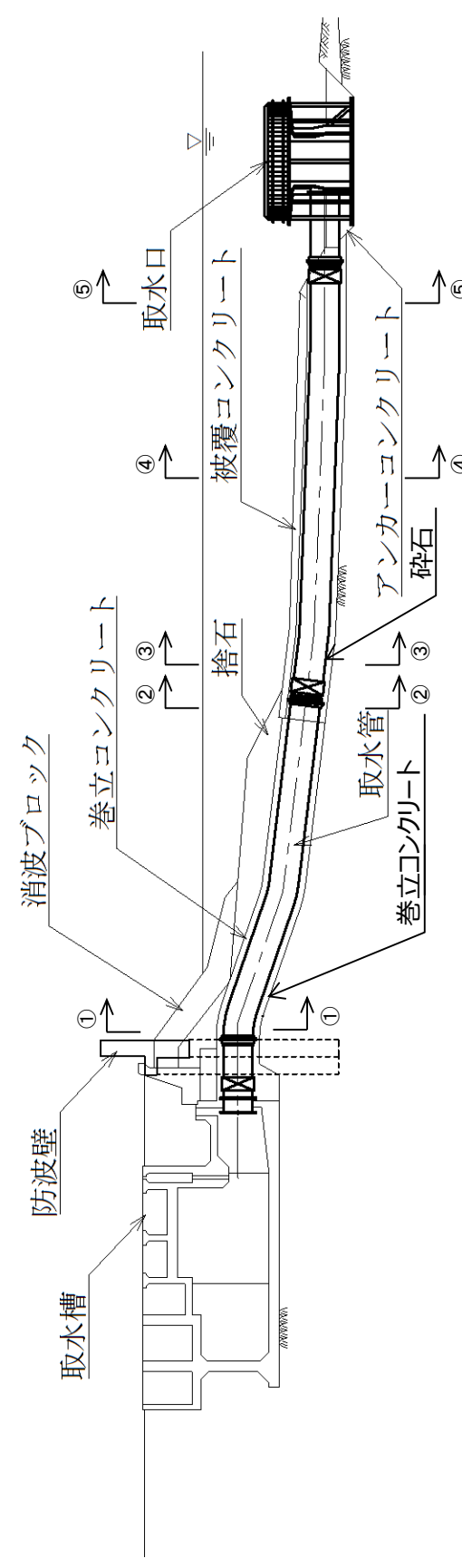


第6-2-12-6図 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎
岩級断面図 (①-①断面)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																												
		<p><u>ガスタービン発電機用軽油タンク基礎</u>について、<u>間接支持する設備、構造的な特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した(第6-2-12-1表)。</u></p> <p style="text-align: center;"><u>第6-2-12-1表 耐震評価候補断面の整理</u> <u>(ガスタービン発電機用軽油タンク基礎)</u></p> <table border="1" data-bbox="1736 525 2496 955"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">観点</th> <th colspan="2">ガスタービン発電機用軽油タンク基礎</th> </tr> <tr> <th>①-①断面</th> <th>②-②断面</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況</td> <td>要求機能</td> <td colspan="2">・間接支持</td> </tr> <tr> <td>間接支持する設備</td> <td>設備 ・ガスタービン発電機用軽油タンク ・ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁</td> <td>設置状況 ・一様に設置されている</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">②構造的な特徴</td> <td>形式</td> <td colspan="2">・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・断面急変部は存在しない</td> </tr> <tr> <td>寸法</td> <td colspan="2">・幅18.00×18.00m</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">③周辺状況</td> <td>構造物下部</td> <td colspan="2">・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている ・MMRは高さ約0.7mで、矩形である</td> </tr> <tr> <td>構造物側面及び上部</td> <td colspan="2">・岩盤及び一部に埋戻土(掘削スリ)が分布している</td> </tr> <tr> <td>地質変化部</td> <td>・南側に岩盤斜面が存在する</td> <td>・なし</td> </tr> <tr> <td>地下水位</td> <td colspan="2">・解析結果等を踏まえて整理する。</td> </tr> <tr> <td>モデル化する隣接構造物</td> <td colspan="2">・なし</td> </tr> <tr> <td colspan="2">④地震波の伝搬特性</td> <td colspan="2">・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は同様である</td> </tr> <tr> <td colspan="2">⑤床応答特性</td> <td colspan="2">・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況並びに構造的な特徴は同様であるが、周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる</td> </tr> </tbody> </table> <p><u>以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、構造的な特徴、周辺状況、地震波の伝搬特性等を考慮して、3次元モデルに作用させる荷重を適切に評価することが可能な断面を直交する2方向から評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。</u></p>	観点		ガスタービン発電機用軽油タンク基礎		①-①断面	②-②断面	①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持		間接支持する設備	設備 ・ガスタービン発電機用軽油タンク ・ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁	設置状況 ・一様に設置されている	②構造的な特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・断面急変部は存在しない		寸法	・幅18.00×18.00m		③周辺状況	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている ・MMRは高さ約0.7mで、矩形である		構造物側面及び上部	・岩盤及び一部に埋戻土(掘削スリ)が分布している		地質変化部	・南側に岩盤斜面が存在する	・なし	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。		モデル化する隣接構造物	・なし		④地震波の伝搬特性		・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は同様である		⑤床応答特性		・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況並びに構造的な特徴は同様であるが、周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる		<p>・記載の充実 【柏崎6/7】 島根2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している</p>
観点		ガスタービン発電機用軽油タンク基礎																																													
		①-①断面	②-②断面																																												
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・間接支持																																													
	間接支持する設備	設備 ・ガスタービン発電機用軽油タンク ・ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁	設置状況 ・一様に設置されている																																												
②構造的な特徴	形式	・鉄筋コンクリート造の地中構造物 ・断面急変部は存在しない																																													
	寸法	・幅18.00×18.00m																																													
③周辺状況	構造物下部	・MMRを介してCM級以上の岩盤に支持されている ・MMRは高さ約0.7mで、矩形である																																													
	構造物側面及び上部	・岩盤及び一部に埋戻土(掘削スリ)が分布している																																													
	地質変化部	・南側に岩盤斜面が存在する	・なし																																												
	地下水位	・解析結果等を踏まえて整理する。																																													
モデル化する隣接構造物	・なし																																														
④地震波の伝搬特性		・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質に差異がなく、地震波の伝搬特性は同様である																																													
⑤床応答特性		・観点①での整理のとおり、各断面に間接支持する設備がある ・観点①～③での整理のとおり、間接支持する設備の種類及び設置状況並びに構造的な特徴は同様であるが、周辺状況に差異があることから、各断面の床応答特性が異なる																																													

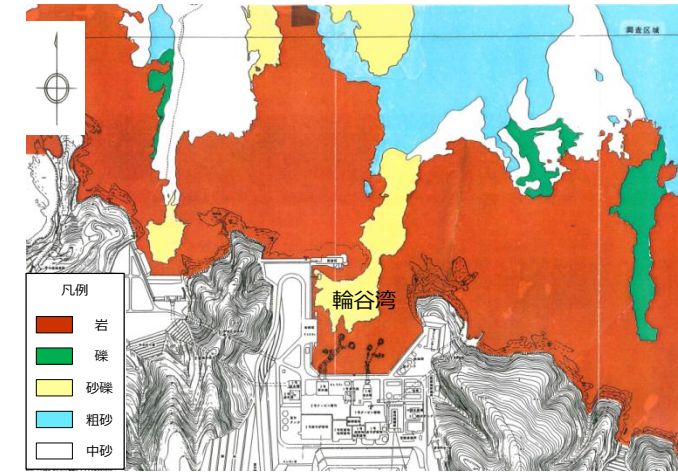
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>2.13 取水管</p> <p><u>取水管の配置図を第6-2-13-1図に、平面図を第6-2-13-2図に、縦断図を第6-2-13-3図に、輪谷湾周辺の底質分布を第6-2-13-4図に、平面図(詳細図)を第6-2-13-5図に、断面図を第6-2-13-6図～第6-2-13-7図に、地質断面図を第6-2-13-8～第6-2-13-11図に、地質縦断図を第6-2-13-12図に、岩級縦断図を第6-2-13-13図にそれぞれ示す。</u></p> <p><u>取水管は、非常用取水設備であり、通水機能が要求される。</u></p> <p><u>取水管は、取水口と取水槽を結ぶ、管径φ4,300mmの鋼製の構造物であり、北側より、③-③断面(砕石埋戻部)、①-①断面(コンクリート巻立部)により構成され、通水方向に対して一様の断面形状を示す管路構造物である(第6-2-13-6図～第6-2-13-7図)。</u></p> <p><u>取水管の縦断方向(通水方向)は、通水方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されていることから強軸となり、横断方向(通水方向に対する直交方向)が弱軸となる。</u></p> <p><u>輪谷湾の底質土砂は、岩及び砂礫で構成されているが、取水口・取水管が設置される周辺は、岩が分布している(第6-2-13-4図)。</u></p> <p><u>取水管は、岩盤掘削した中に砕石または巻立コンクリートを介してC_M級以上の岩盤に支持されている。</u></p>  <p>第6-2-13-1図 取水管 配置図</p>	<p>・対象施設の相違</p> <p>【柏崎 6/7】</p> <p>対象施設の相違による記載内容の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1899 924 2315 966">第6-2-13-2図 取水管 平面図</p>	<p data-bbox="2522 210 2789 378">・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

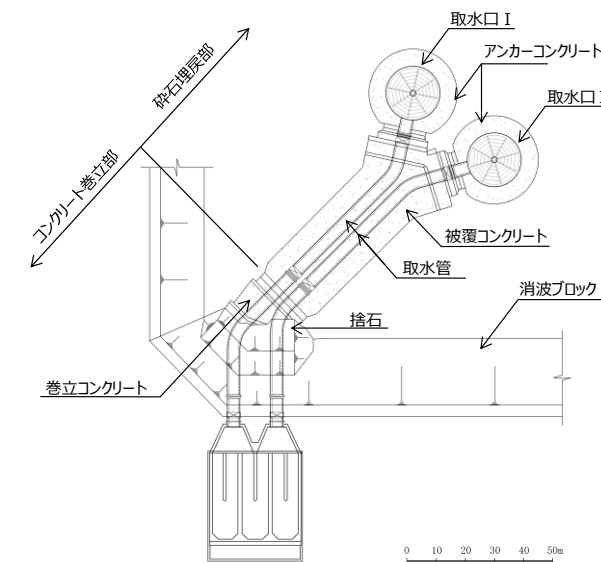
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
			<p>・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

第6-2-13-3図 取水管 縦断図 (⑥-⑥断面)

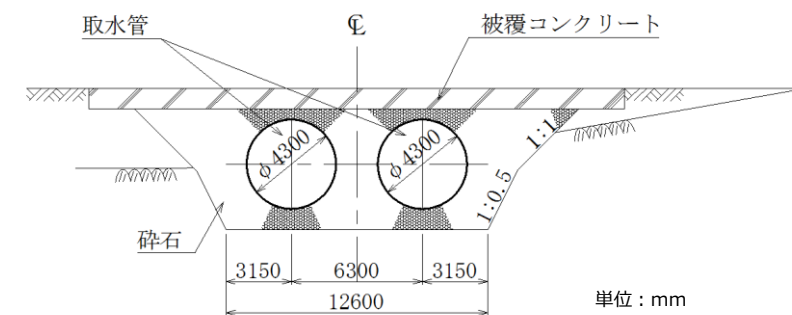
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
 対象施設の相違による記載内容の相違



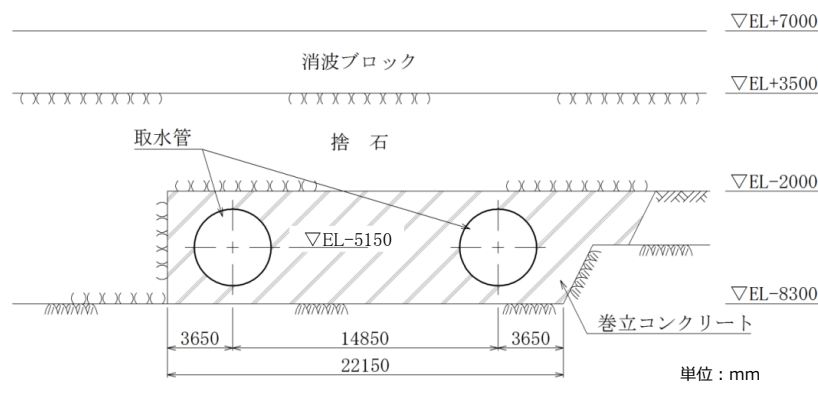
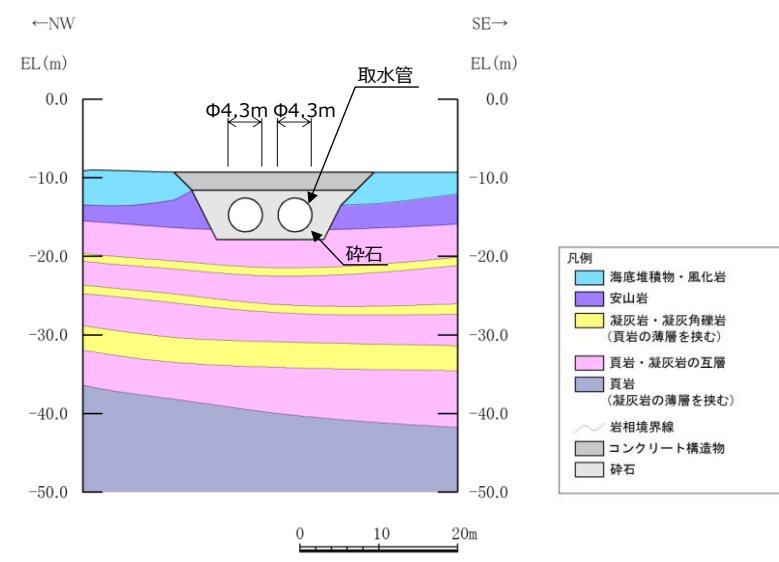
第6-2-13-4図 輪谷湾周辺の底質分布 (自社調査 (1995))



第6-2-13-5図 取水管 平面図 (詳細図)



第6-2-13-6図 取水管 断面図 (③-③断面)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1810 609 2418 651">第6-2-13-7図 取水管 断面図 (①-①断面)</p>  <p data-bbox="1795 1281 2433 1323">第6-2-13-8図 取水管 地質断面図 (②-②断面)</p>	<p data-bbox="2522 210 2819 378">・対象施設の相違 【柏崎 6/7】 対象施設の相違による記載内容の相違</p>

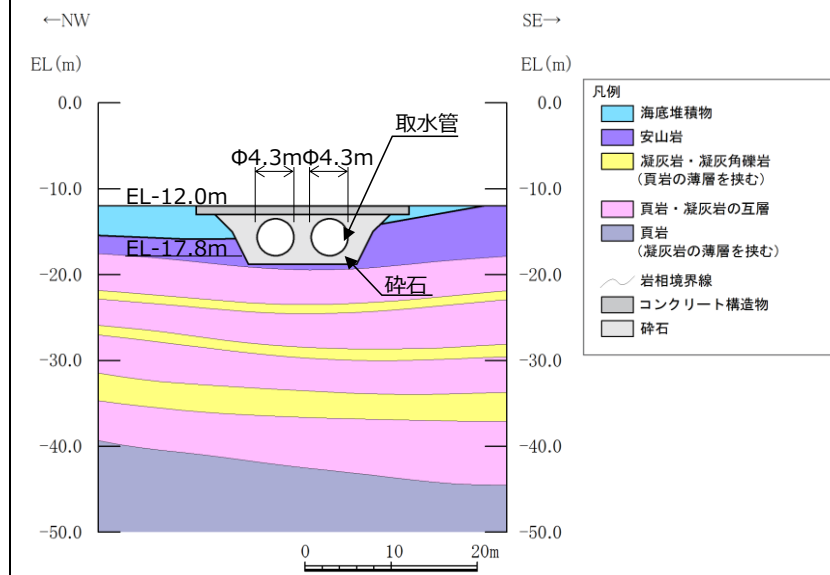
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

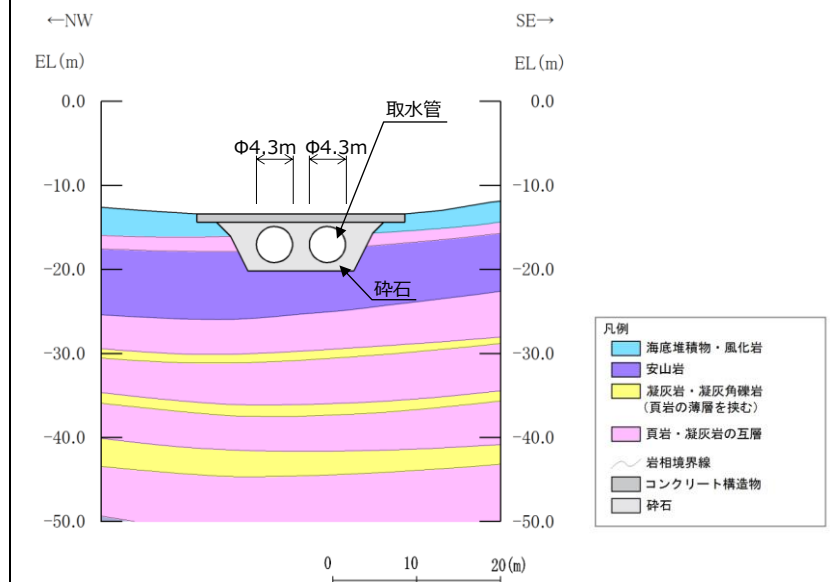
島根原子力発電所 2号炉

備考

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違



第6-2-13-9図 取水管 地質断面図 (③-③断面)



第6-2-13-10図 取水管 地質断面図 (④-④断面)

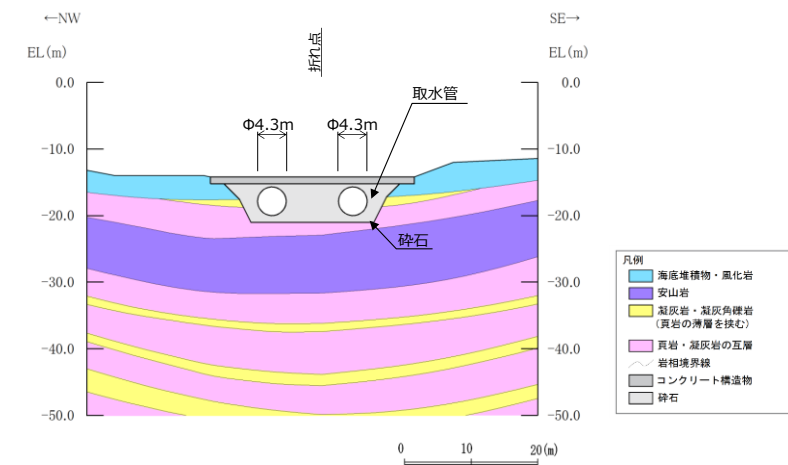
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

女川原子力発電所 2号炉 (2019. 11. 6 版)

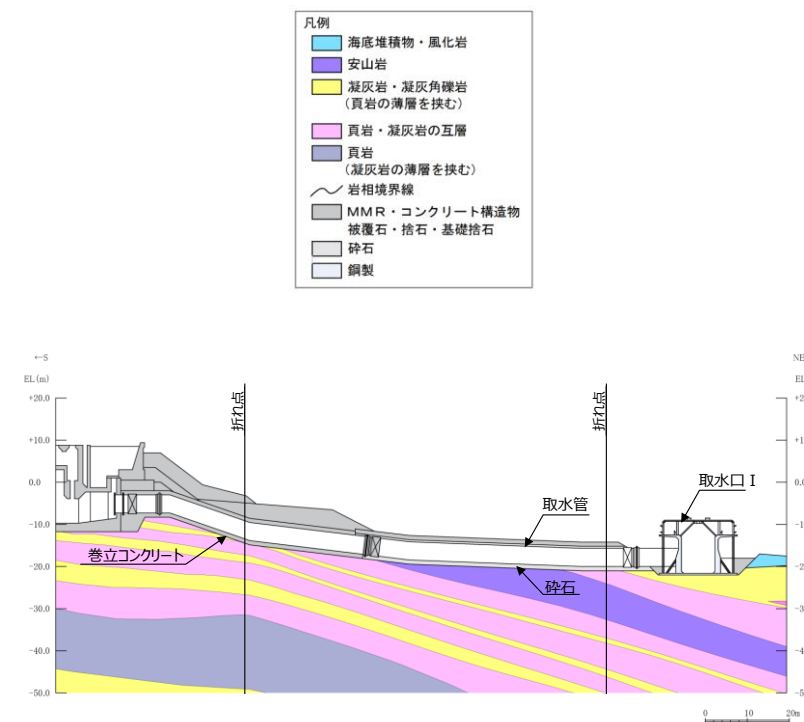
島根原子力発電所 2号炉

備考

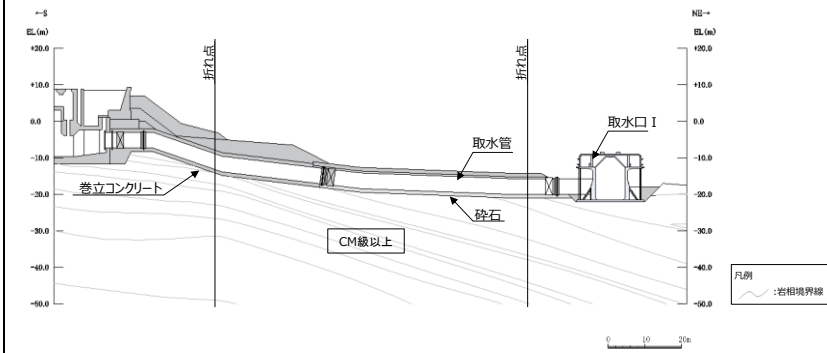
・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
 対象施設の相違による記載内容の相違



第6-2-13-11図 取水管 地質断面図 (⑤-⑤断面)



第6-2-13-12図 取水管 地質縦断面図 (⑥-⑥断面)



第6-2-13-13図 取水管 岩級縦断面図 (⑥-⑥断面)

取水管について、間接支持する設備、構造的特徴、周辺状況及び地震力特性等の観点を踏まえた耐震評価候補断面を整理した(第6-2-13-1表)。

第6-2-13-1表 耐震評価候補断面の整理 (取水管)

観点		取水管					
		①-①断面	②-②断面	③-③断面	④-④断面	⑤-⑤断面	⑥-⑥断面
①要求機能並びに間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	要求機能	・通水					
	間接支持する機器・配管の有無及び設置状況	設備	・なし				
②構造的特徴	形式	・弱軸方向断面 ・通水方向に対して一様の断面形状を示す鋼製の構造物				・強軸方向断面	
	寸法	・管径φ4.30m (2連)					
	周辺地質	構造物下部	・コンクリートを介してCM級以上の岩盤に支持されている			・砕石を介してCM級以上の岩盤に支持されている	
③周辺状況	周辺地質	構造物側部及び上部	・コンクリートが分布している			・砕石が分布している	
	地質変化部	・なし					
	地下水位	- (水中構造物)					
	モデル化する隣接構造物	・なし					
④地震波の伝搬特性	・観点③での整理のとおり、構造物下部の周辺地質が①-①断面と②-②~⑤-⑤断面で異なり、地震波の伝搬特性が異なる						
⑤床応答特性	・観点①での整理のとおり、間接支持する設備がない						

以上の整理を踏まえ、詳細設計段階において、地震応答解析により耐震評価を行ううえで、構造物の応答が耐震評価上厳しくなると考えられる断面を評価対象断面として選定する。なお、詳細設計段階において設定する地下水位等、各断面で異なる要因があれば、その観点で整理を行い、評価対象断面を選定する。

・対象施設の相違
【柏崎 6/7】
対象施設の相違による記載内容の相違

・記載の充実
【柏崎 6/7】
島根 2号炉では、屋外重要土木構造物等における耐震評価候補断面の整理結果を記載している