

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)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>別紙-6 機器・配管系設備に関する<u>その他手法の相違点</u>について</p> <p>1. はじめに <u>今回工認における機器・配管系設備の耐震評価において既工認から評価手法を変更する予定のものうち,他プラントを含めた認可実績のあるものについて本資料にて整理する。</u></p> <p>2. 手法の相違点 (1) <u>原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用</u> 原子炉建屋クレーンの解析では,より詳細な手法を用いる観点から,<u>脱線防止ラグ等の構造変更を踏まえ,浮き上がり及び滑り条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施する。原子炉建屋クレーンの非線形時刻歴応答解析の適用については,大間1号炉の建設工認において適用実績がある手法である。(添付資料1</u></p>	<p>別紙-5 機器・配管系における手法の<u>変更点</u>について(耐震)</p> <p>1. はじめに <u>今回工認における機器・配管系の耐震評価において,既工認から評価手法を変更するものについて,「別紙1 既工認との手法の相違点の整理について(設置変更許可申請段階での整理)」の整理結果を踏まえ,以下に結果を示すものである。</u></p> <p>2. 手法の相違点 (1) <u>原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用</u> 原子炉建屋クレーンの解析では,より詳細な手法を用いる観点から,<u>すべり及び浮き上りの条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施する。原子炉建屋クレーンの非線形時刻歴応答解析の適用については,他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である(詳細は添付資料1参照)。</u></p>	<p>別紙-7 機器・配管系における手法の<u>変更点</u>について</p> <p>目次 1. はじめに 2. 手法の相違点 3. 手法の変更項目に対する島根2号炉への適用性</p> <p>添付資料-1 <u>原子炉建物天井クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について</u> 添付資料-2 <u>取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について</u> 添付資料-3 <u>ポンプ等の応答解析モデルの精緻化について</u> 添付資料-4 <u>容器等の応力解析へのFEMモデルの適用について</u> 添付資料-5 <u>原子炉建物-大型機器連成解析モデルの変更について</u> 添付資料-6 <u>最新知見として得られた減衰定数の採用について</u> 添付資料-7 <u>水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて</u> 添付資料-8 <u>等価繰返し回数の評価方針について</u> 添付資料-9 <u>多入力の時時刻歴応答解析の適用について</u></p> <p>1. はじめに <u>機器・配管系の耐震評価において既工認から評価手法を変更するものについて,「別紙-1 設置変更許可申請における既許可からの変更点及び既工認との手法の相違点の整理について」の整理結果を踏まえ,手法の相違点及び島根2号炉としての適用性の確認結果を示す。</u></p> <p>2. 手法の相違点 (1) <u>クレーン類への非線形時刻歴応答解析の適用</u> 原子炉建物天井クレーン及び取水槽ガントリクレーンの解析では,より詳細な手法を用いる観点から,<u>すべり及び浮上りの条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施する。クレーン類への非線形時刻歴応答解析の適用は,他プラントを含む既工認あるいは補正工認において適用実績がある手法である(詳細は添</u></p>	<p>備考</p> <p>・記載方針の相違 【柏崎6/7】 柏崎6/7には島根2号炉の別紙1に該当する資料なし</p> <p>・評価方針の相違 【柏崎6/7,東海第二】 島根2号炉では,原子炉建物天井クレーンに加え,取水槽ガントリク</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>参照)</p> <p>(2) <u>立形ポンプの解析モデルの精緻化</u> 既工認において、立形ポンプについては設備の寸法、質量情報に基づき、ケーシング部とローター（軸）部を2軸でモデル化しているが、今回の評価では、JEAG4601-1991追補版に基づき取付フランジ部を回転ばねとして考慮する等のモデルの精緻化を行っている。本解析モデルは、大間1号炉の建設工認において適用実績がある手法である。（添付資料2参照）</p>	<p>(2) <u>ポンプ等の解析モデルの精緻化</u> 最新の工認実績等を踏まえ、ポンプ等の一部設備に対して解析モデルの質点数の変更、設備の支持構造に沿った解析モデルの精緻化を行う。多質点モデルによる地震応答解析モデルの適用は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料2参照）。</p> <p>(3) <u>容器等の応力解析へのFEMモデルの適用</u> 既工認において、公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について、3次元FEMモデル、多質点モデルを適用した耐震評価を実施する。FEMモデルを用いた応力解析を行う手法は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料3参照）。</p> <p>(4) <u>解析コードの変更</u> 今回工認における原子炉格納容器、原子炉圧力容器等の主要設備の耐震評価に適用する解析コードについては、建設時に適用した解析コードから他プラントを含む既工認において適用実績がある解析コードに変更する（詳細は添付資料4参照）。</p>	<p>付資料-1参照)。なお、取水槽ガントリクレーンについては、既工認の実績として参照した大間1号炉建設工認の原子炉建屋天井クレーンと主要構造に差異がある（詳細は添付資料-2参照）。</p> <p>(2) <u>ポンプ等の応答解析モデルの精緻化</u> 最新の工認実績を踏まえ、ポンプ等の一部設備に対して応答解析モデルの変更を行う。応答解析モデルの変更については、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料-3参照）。</p> <p>(3) <u>容器等の応力解析へのFEMモデルの適用</u> 既工認において、公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について、3次元FEMモデル等を適用した耐震評価を実施する。FEMモデルを用いた応力解析手法は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付資料-4参照）。</p> <p>(4) <u>原子炉建物—大型機器連成解析モデルの変更</u> 原子炉本体及び炉内構造物の水平方向応答解析モデルについて、既工認では建設工程の関係上、原子炉格納容器—原子炉圧力容器モデルと原子炉圧力容器—炉内構造物モデルの2種類のモデルを用いていたが、今回工認では、原子炉格納容器—原子炉圧力容器—炉内構造物モデルを用いる。これに合わせて、原子炉圧力容器スタビライザ及び原子炉格納容器スタビライザのばね定数算出方法について、最新の工認実績を踏まえた算出方法に変更する。本手法は、他プラントを含む既工認あるいは補正工認において適</p>	<p>レーンにも非線形時刻歴解析を適用するため記載</p> <p>・評価手法の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉では、公式等による評価からFEMモデル等を適用した耐震評価に変更したため記載</p> <p>・評価手法の相違 【東海第二】 島根2号炉では、原子炉格納容器、原子炉圧力容器等の主要設備に、既工認において適用実績のある解析コードを使用しているため、記載なし（以下①の相違）</p> <p>・評価手法の相違 【柏崎6/7、東海第二】 島根2号炉では、既工認で用いた2種類のモデルから、今回工認では1つに統合したモデルに変更。また、モデル設定に必要なPCV及びRPVスタビライザの</p>

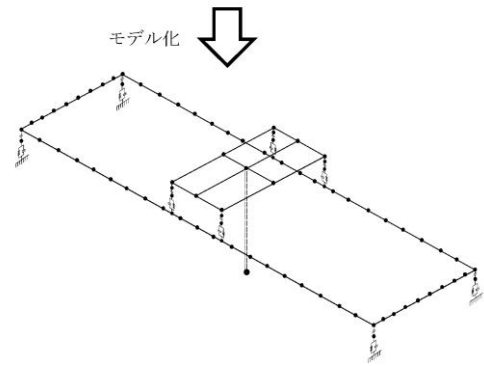
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(3) 最新知見として得られた減衰定数の採用</p> <p>最新知見として得られた減衰定数を採用する設備は以下のとおりであり、その値は、振動試験結果等を踏まえ、設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても新たに設定している。</p> <p>原子炉建屋クレーン、燃料取替機及び配管系の減衰定数並びに鉛直方向の設計用減衰定数は大間1号炉において適用実績がある。(添付資料3 参照)</p> <p>① 原子炉建屋クレーンの減衰定数 ② 燃料取替機の減衰定数 ③ 配管系の減衰定数</p> <p>(4) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根 (SRSS) 法による組み合わせ</p> <p>今回工認の評価では、鉛直方向の動的地震力が導入されたことから、水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせとして、既往の研究等に基づき二乗和平方根 (以下、「SRSS」という。) 法を用いる。SRSS 法による荷重の組み合わせは、大間1号炉の建設工認において適用実績がある手法である。(添付資料4 参照)</p>	<p>(5) 最新知見として得られた減衰定数の採用</p> <p>最新知見として得られた減衰定数を採用する設備は以下のとおりであり、その値は、振動試験結果等を踏まえ、設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。</p> <p>また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても新たに設定している。</p> <p>天井クレーン、燃料取替機及び配管系の減衰定数並びに鉛直方向の設計用減衰定数は他プラントを含む既工認において適用実績がある (詳細は添付資料5参照)。</p> <p>①天井クレーンの減衰定数 ②燃料取替機の減衰定数 ③配管系の減衰定数</p> <p>(6) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せ</p> <p>今回工認の評価では、鉛直方向の動的地震力が導入されたことから、水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせとして、既往の研究等に基づき二乗和平方根 (以下「SRSS」という。) 法を用いる。SRSS法による荷重の組み合わせは、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である (詳細は添付資料6参照)。</p>	<p><u>用実績がある手法である。</u></p> <p>また、鉛直方向に動的地震力が導入されたことから、原子炉本体及び炉内構造物について、鉛直方向の応答を適切に評価する観点で、水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデル (原子炉压力容器-原子炉格納容器-炉内構造物モデル) を新たに採用し、鉛直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である (詳細は添付資料-5参照)。</p> <p>(5) 最新知見として得られた減衰定数の採用</p> <p>配管系、原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機について、最新知見として得られた減衰定数を採用する。その値は、振動試験結果等を踏まえ、設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても新たに設定している。</p> <p>上記の減衰定数の設定は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である (詳細は添付資料-6参照)。</p> <p>(6) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せ</p> <p>鉛直方向の動的地震力が導入されたことから、水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせとして、既往の研究等に基づき二乗和平方根 (以下「SRSS」という。) 法を用いる。SRSS法による荷重の組み合わせは、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である (詳細は添付資料-7参照)。</p>	<p>ばね定数算出方法について最新工認実績を踏まえ変更 (以下②の相違)</p> <p>・記載方針の相違</p> <p>【柏崎6/7、東海第二】鉛直方向の応答解析モデルについて、柏崎6/7は(5)項、東海第二の(7)項に島根2号炉と同等の内容を記載</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>(5) 水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを追加</u></p> <p>今回工認では鉛直動的地震動が導入されたことから、原子炉本体及び炉内構造物について、鉛直方向応答を適切に評価する観点で、水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを新たに採用し鉛直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは大間1号炉にて適用実績があるモデルである。(添付資料5 参照)</p>	<p><u>(7) 鉛直方向応答解析モデルの追加</u></p> <p>今回工認では、鉛直方向に動的地震動が導入されたことから、原子炉本体及び炉内構造物について、鉛直方向の応答を適切に評価する観点で、水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを新たに採用し鉛直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは他プラントを含む既工認にて適用実績があるモデルである。(詳細は添付資料7 参照)。</p> <p><u>(8) 炉内構造物への極限解析による評価の適用</u></p> <p>既工認において、公式等による評価にて耐震計算を実施していた炉内構造物について、3次元FEMモデルを適用した極限解析による評価を実施する。極限解析による評価は、規格基準に基づく手法であり、他プラントでの既工認において適用実績がある手法である(詳細は添付資料8 参照)。</p> <p>3. 手法の変更項目に対する東海第二発電所への適用性</p> <p>手法の変更点について、以下に示す3項目に分別した上で、東海第二発電所としての適用性を示す。</p> <p>(1) 先行プラントの知見反映を基本として変更する手法</p> <p>先行プラントで適用されている知見を反映する目的の変更項目については、<u>従来からの耐震設計手法に基づき、評価対象施設を質点系モデル、有限要素法モデルに置換し、地震応答解析を実施することにより評価は可能であるため、東海第二発電所への適用</u></p>	<p><u>(7) 等価繰返し回数の評価方針</u></p> <p><u>基準地震動の見直しに伴い、耐震評価における疲労評価に適用する等価繰返し回数を見直す。適用する等価繰返し回数の設定法は他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である(詳細は添付資料-8 参照)。</u></p> <p><u>(8) 多入力の時刻歴応答解析手法の適用</u></p> <p><u>三軸粘性ダンバを設置した配管系の地震応答解析において、多入力の時刻歴応答解析手法を適用する。なお、本解析手法は、原子炉建物等の建物・構築物の地震応答解析において、他プラントを含む既工認にて適用実績がある(詳細は添付資料-9 参照)。</u></p> <p>3. 手法の変更項目に対する島根2号炉への適用性</p> <p>手法の変更点について、以下に示す3項目に分別した上で、島根2号炉としての適用性を示す。</p> <p>(1) 先行プラントの知見反映を基本として変更する手法</p> <p>先行プラントで適用されている知見を反映する変更項目については、<u>評価対象施設に応じて質点系モデル、FEMモデル等により適切にモデル化し、適切な解析手法を用いて地震応答解析を実施することから、島根2号炉への適用に際して問題となることは</u></p>	<p>・記載方針の相違</p> <p>【柏崎6/7、東海第二】</p> <p>島根2号炉では、設置許可段階で等価繰返し回数の評価について記載(以下③の相違)</p> <p>・評価手法の相違</p> <p>【柏崎6/7、東海第二】</p> <p>鉛直方向の応答解析モデルについては、島根2号炉では(4)項に同等の内容を記載</p> <p>・評価手法の相違</p> <p>【東海第二】</p> <p>島根2号炉では、極限解析を使用しないため記載なし(以下④の相違)</p> <p>・評価手法の相違</p> <p>【柏崎6/7、東海第二】</p> <p>島根2号炉では、多入力の時刻歴応答解析手法も手法の変更点として記載(以下⑤の相違)</p> <p>・記載方針の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉では、手法の変更項目の適用性まで検討</p>

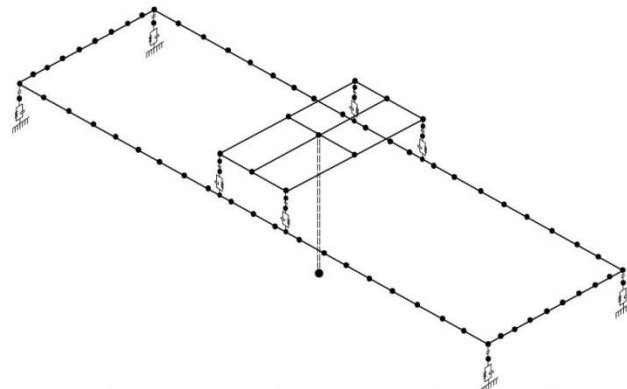
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>に際して問題となることはない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・クレーンの時刻歴応答解析の適用 ・ポンプ等の応答解析モデルの精緻化 ・容器等の応力解析へのFEMモデルの適用 ・<u>解析コードの変更</u> <p>(2) 鉛直方向地震の動的な取扱いを踏まえて適用する手法 平成18年9月の耐震設計審査指針改訂から鉛直方向地震力に対する動的に取扱いがされており、大間1号炉及び新規制基準での工認においてPWRプラントで適用実績があり、東海第二発電所への適用に際して問題となることはない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根による組合せ ・<u>鉛直方向応答解析モデルの追加</u> <p>(3) より現実的な応答を模擬する観点から採用する手法 a. 最新知見として得られた減衰定数の採用 今回工認においては、配管系、天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数は、振動試験結果等を踏まえて設定した減衰定数を採用する。 配管系においては、新規制基準でのPWRプラントでの適用実績があり、また炉型、プラントごとによる設計方針について大きな差はない。また、最新知見として採用する減衰定数の設定の検討に際して、BWRプラントの配管系を踏まえた検討も実施しており、適用に際して問題となることはない。 天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数の設定に際しては、振動試験を用いた検討を実施している。振動試験の試験体は、実機と同等の振動特性である試験体を用いることにより、減衰定数の</p>	<p>ない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・クレーン類への非線形時刻歴応答解析の適用 ・ポンプ等の応答解析モデルの精緻化 ・容器等の応力解析へのFEMモデルの適用 <p>・<u>原子炉建物—大型機器連成解析モデルの変更</u></p> <p>・<u>等価繰返し回数の評価方針</u></p> <p>(2) 鉛直方向地震の動的な取扱いを踏まえて適用する手法 平成18年9月の耐震設計審査指針改訂から鉛直方向地震力に対する動的な取扱いがされており、大間1号炉建設工認及びPWRプラントの新規制基準工認で適用実績があり、島根2号炉への適用に際して問題となることはない。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根による組合せ ・<u>原子炉建物—大型機器連成解析モデルの変更</u> <p>(3) より現実的な応答を模擬する観点から採用する手法 a. 最新知見として得られた減衰定数の採用 配管系、原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数は、振動試験結果等を踏まえて設定した減衰定数を採用する。 配管系については、PWRプラントの新規制基準工認で適用実績があり、また炉型、プラントごとによる設計方針について大きな差はない。また、最新知見として採用する減衰定数の設定の検討に際して、BWRプラントの配管系を踏まえた検討も実施しており、適用に際して問題となることはない。 原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数の設定に際しては、振動試験を用いた検討を実施している。振動試験の試験体は、実機と同様の振動特性である試験体を用いることにより、</p>	<p>・評価手法の相違 【柏崎6/7，東海第二】 ①の相違</p> <p>・評価手法の相違 【柏崎6/7，東海第二】 ②の相違</p> <p>・記載方針の相違 【柏崎6/7，東海第二】 ③の相違</p> <p>・評価手法の相違 【柏崎6/7，東海第二】 ②の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>3. 添付資料</p> <p>添付資料1 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用</p> <p>添付資料2 立形ポンプの解析モデルの精緻化</p> <p>添付資料3 最新知見として得られた減衰定数を採用するもの</p> <p>添付資料4 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根 (SRSS) 法による組み合わせ</p> <p>添付資料5 鉛直方向応答解析モデルを追加したもの</p>	<p>データを採取している。</p> <p><u>東海第二発電所として適用する天井クレーン及び燃料取替機について、振動試験に用いた試験体と同等の構造仕様であることを確認しており、最新知見として得られた減衰定数の適用に際して問題となることはない (試験等の詳細は、添付資料5に記載)。なお、本減衰定数の適用は、大間1号炉及び天井クレーンに対しては新規規制基準での工認においてPWRプラントで適用実績がある。</u></p> <p><u>b. 極限解析による評価の適用</u></p> <p><u>極限解析による評価については、J E A G 4601 及び J S M E 設計・建設規格で規定されており適用に際して問題となることはない。ただし、他の手法に比べて適用実績及び審査実績が少ないことを踏まえて、極限解析による評価の妥当性の確認を行う。</u></p> <p>4. 添付資料</p> <p>(1) 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について</p> <p>(2) ポンプ等の解析モデルの精緻化について</p> <p>(3) 容器等の応力解析へのFEMモデルの適用について</p> <p>(4) 解析コードの変更について</p> <p>(5) 最新知見として得られた減衰定数の採用について</p> <p>(6) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて</p> <p>(7) 鉛直方向応答解析モデルの追加について</p> <p>(8) 炉内構造物への極限解析による評価の適用について</p>	<p>減衰定数のデータを採取している。</p> <p>島根2号炉の原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機は、振動試験に用いた試験体と同様の構造仕様であることを確認しており、最新知見として得られた減衰定数の適用に際して問題となることはない (試験等の詳細は、添付資料6に記載)。なお、本減衰定数の適用は大間1号炉建設工認及びPWRプラントの新規制基準工認において適用実績がある。</p> <p><u>b. 多入力の時刻歴応答解析手法の適用</u></p> <p><u>三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析において、多入力の時刻歴応答解析手法を適用する。本解析手法は、原子炉建物等の建物・構築物の地震応答解析において、他プラントを含む既工認にて適用実績がある。</u></p>	<p>備考</p> <p>・評価手法の相違 【柏崎6/7, 東海第二】 ⑤の相違</p> <p>・評価手法の相違 【東海第二】 ④の相違</p>

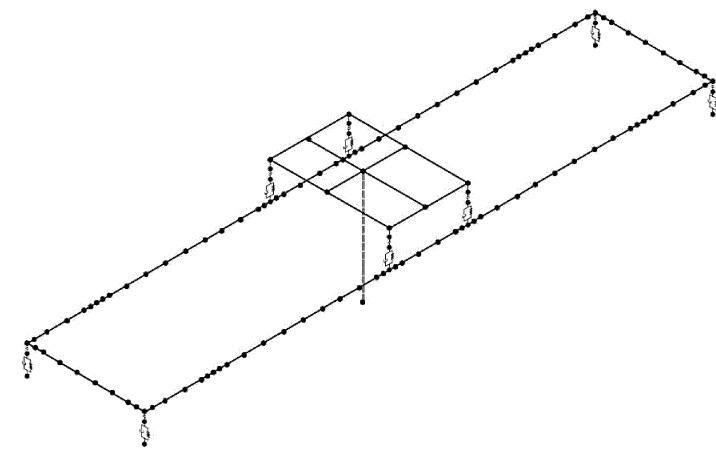
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p data-bbox="172 388 917 464">添付資料1 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用</p> <p data-bbox="163 522 261 552">1. 概要</p> <p data-bbox="163 567 926 688">原子炉建屋クレーン（第1.1 図）の耐震評価は、既工認では鉛直方向は静的地震力のみであったことから簡便に手計算により実施していた。</p> <p data-bbox="163 699 926 913">今回工認では、鉛直動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造変更によりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した解析モデル（第1.2 図）を用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。</p> <p data-bbox="163 924 926 1094">なお、本モデル及び評価手法は大間1号炉の建設工認にて適用例があり、大間1号炉と柏崎刈羽の6号及び7号炉の原子炉建屋クレーンは類似構造であることから、柏崎刈羽6号及び7号炉にも適用可能である。</p>  <p data-bbox="273 1512 813 1541">第1.1 図 原子炉建屋クレーン（7号炉の例）</p>	<p data-bbox="1576 298 1715 327">添付資料1</p> <p data-bbox="961 388 1706 420">原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について</p> <p data-bbox="952 522 1050 552">1. 概要</p> <p data-bbox="952 567 1715 688">原子炉建屋クレーン（第1-1 図）の耐震評価は、既工認では鉛直方向は静的地震力のみであったことから簡便に手計算により実施していた。</p> <p data-bbox="952 699 1715 913">今回工認では、鉛直方向の動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部がレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した解析モデル（第1-2 図）を用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。</p> <p data-bbox="952 924 1715 1094">なお、本モデル及び評価手法は大間1号炉の既工認にて適用例があり、大間1号炉と東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは類似構造であることから、東海第二発電所の原子炉建屋クレーンにも適用可能である。</p>  <p data-bbox="1083 1554 1590 1583">第1-1 図 原子炉建屋クレーン構造概要図</p>	<p data-bbox="2356 298 2496 327">添付資料1</p> <p data-bbox="1757 388 2510 464">原子炉建物天井クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について</p> <p data-bbox="1748 522 1846 552">1. 概要</p> <p data-bbox="1748 567 2510 913">島根2号炉原子炉建物天井クレーン（以下「天井クレーン」という。）（第1-1 図）の耐震評価は、既工認では、鉛直方向について静的地震力のみ考慮していたことから手計算により評価を実施していた。今回工認では、鉛直方向について動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンがレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向地震力に対する車輪の浮き上がり挙動を考慮した解析モデル（第1-2 図）を用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。</p> <p data-bbox="1748 924 2510 999">なお、天井クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用は大間1号炉建設工認、東海第二において適用実績がある。</p>  <p data-bbox="1872 1512 2380 1541">第1-1 図 原子炉建物天井クレーン概要図</p>	



第1.2 図 今回工認の解析モデル



第 1-2 図 今回工認の解析モデル



第 1-2 図 原子炉建物天井クレーンの今回工認における解析モデル

2. 原子炉建屋クレーンの構造

大間 1 号炉と柏崎刈羽の 6 号及び 7 号炉の原子炉建屋クレーンは、第 2.1 図に示すとおり原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドルが走行し、ガーダ上に設置された横行レール上をトロリが横行する構造であり、いずれも同様の構造（添付資料(1)）となっており、地震力に対し以下の挙動を示す。

(1) 走行方向の水平力

- (a) クレーンは走行レール上に乗っているだけで固定されていないため、走行方向の水平力がクレーンに加わっても、クレーンはレール上をすべるだけで、クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- (b) クレーンの走行車輪は、駆動輪又は従動輪である。
- (c) 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。

2. 原子炉建屋クレーンの構造

大間 1 号炉と東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは、第 1-3 図に示すとおり原子炉建屋に設置された走行レール上をガーダ及びサドルが走行し、ガーダ上に設置された横行レールをトロリが横行する構造であり、いずれも同様の構造（別紙 1 参照）となっており、地震力に対し以下の挙動を示す。

(1) 走行方向の水平力

- a. クレーンは走行レール上に乗っているだけで固定されていないため、走行方向の水平力がクレーンに加わっても、クレーンはレール上をすべるだけで、クレーン自身にはレールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。
- b. クレーンの走行車輪は、駆動輪又は従動輪である。
- c. 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。

2. クレーン構造

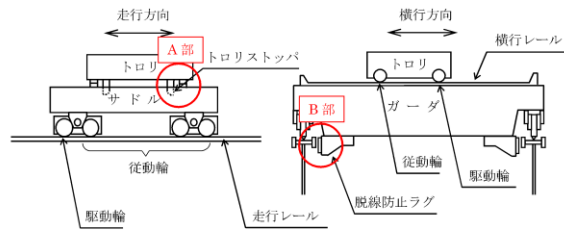
2.1 原子炉建物天井クレーンの構造

島根 2 号炉と大間 1 号炉の天井クレーンは、第 2-1 図に示す通り原子炉建物に設置された走行レール上をガーダ及びサドルが走行し、ガーダ上に設置された横行レール上をトロリが横行する同様の構造となっており地震力に対し以下の挙動を示す。島根 2 号炉原子炉建物天井クレーンの主要諸元については添付資料(1-1)に示す。

(1) 走行方向の水平荷重

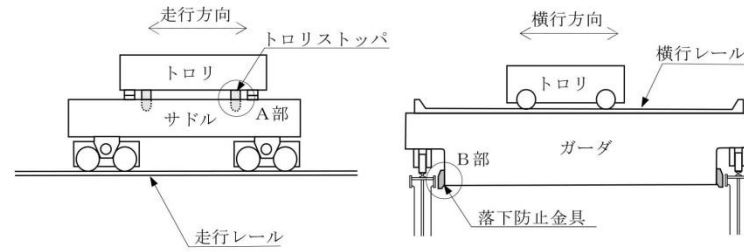
- a. 天井クレーンは走行レール上に乗っており固定されていないため、走行方向の水平荷重が天井クレーンに加わっても、天井クレーンは走行レール上をすべり、天井クレーン自体には走行レール-走行車輪間の最大静止摩擦力以上の荷重は作用しない。
- b. 天井クレーンの走行車輪は、駆動輪及び従動輪である。
- c. 走行車輪の駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、最大静止摩擦力以上の地震慣性力が車輪部に加わった場合、回転部分が追従できず、走行レール上をすべる。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(2) 横行方向の水平力</p> <p>a. ガーダ関係</p> <p>(a) 横行方向は、走行レールに対して直角方向であるため、ガーダは建屋と固定されているものとし、水平力がそのままガーダに作用する。</p> <p>b. トロリ関係</p> <p>(a) トロリはガーダ上の横行レール上に乗っているだけで固定されていないため、水平力がトロリに加わっても、トロリはレール上をすべるだけで、トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。</p> <p>(b) トロリの横行車輪は、駆動輪又は従動輪である。</p> <p>(c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。</p> <p>(3) 鉛直力</p> <p>クレーン及びトロリは、レール上に乗っているだけで固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってレールから浮き上がる可能性がある。</p> <p>また、柏崎刈羽6号及び7号炉の原子炉建屋クレーンは、これまでに実施した耐震強化工事によりトロリストoppa及び脱線防止ラグの構造変更を行っており、車輪まわりのトロリストoppa及び脱線防止ラグとレール間の取り付け構造は、認可実績のある大間1号炉の原子炉建屋クレーンと同様の構造となっていることから、車輪まわりを含めた地震応答解析モデルは大間1号炉と同様にモデル化することができる。(構造変更の概要は添付資料(2)参照。)</p>	<p>(2) 横行方向の水平力</p> <p>a. ガーダ関係</p> <p>(a) 横行方向は、走行レールに対して直角方向であるため、ガーダは建屋と固定されているものとし、水平力がそのままガーダに作用する。</p> <p>b. トロリ関係</p> <p>(a) トロリはガーダの上に乗っているだけでガーダとは固定されていないため、水平力がトロリに加わっても、トロリはレール上をすべるだけで、トロリ自身にはレールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。</p> <p>(b) トロリの横行車輪は、駆動輪又は従動輪である。</p> <p>(c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震の加速度が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる。</p> <p>(3) 鉛直力</p> <p>ガーダ及びトロリは、レールと固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってレールから浮き上がる可能性がある。</p> <p>また、東海第二発電所の原子炉建屋クレーンは、今後実施する耐震補強工事により、大間1号炉のトロリストoppa及び脱線防止ラグと同様な構造変更を行うことにより、車輪まわりのトロリストoppa及び落下防止金具とレール間の取り付け構造は、認可実績のある大間1号炉の原子炉建屋クレーンと同様の構造となることから、車輪まわりを含めた地震応答解析モデルは大間1号炉と同様にモデル化することができる。(構造変更の概要は別紙2参照。)</p>	<p>(2) 横行方向の水平荷重</p> <p>a. ガーダ関係</p> <p>(a) 横行方向は、走行レールに対して直角方向であり、ガーダは横行方向が走行レールにより拘束される。このため横行方向の地震慣性力が、そのままガーダに作用する。</p> <p>b. トロリ関係</p> <p>(a) トロリはガーダの上に乗っており、ガーダとは固定されていないため、横行方向の荷重がトロリに加わっても、トロリは横行レール上をすべり、トロリ自体には横行レール-横行車輪間の最大静止摩擦力以上の荷重は作用しない。</p> <p>(b) トロリの横行車輪は、駆動輪及び従動輪である。</p> <p>(c) トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、最大静止摩擦力以上の地震慣性力が車輪部に加わった場合、回転部分が追従できず、横行レール上をすべる。</p> <p>(3) 鉛直荷重</p> <p>a. 島根2号炉天井クレーンは、トロリストoppa及び落下防止ラグにより浮上りを防止する構造としていたが、鉛直方向に動的な地震動を考慮することにより鉛直方向地震力が大きくなったことから、浮上りを許容することで耐震性を確保する構造に変更した。これにより、トロリ及びガーダは、レールと固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってレールから浮き上がる可能性があるが、車輪周りのトロリストoppa及び落下防止ラグの間の取合い構造は、許認可実績のある大間1号炉の原子炉建屋天井クレーンと同様の構造となっていることから、車輪周りを含めた応答解析モデルは大間1号炉と同様にモデル化することができる。島根2号炉天井クレーンの構造変更の概要を添付資料(1-2)に示す。</p>	



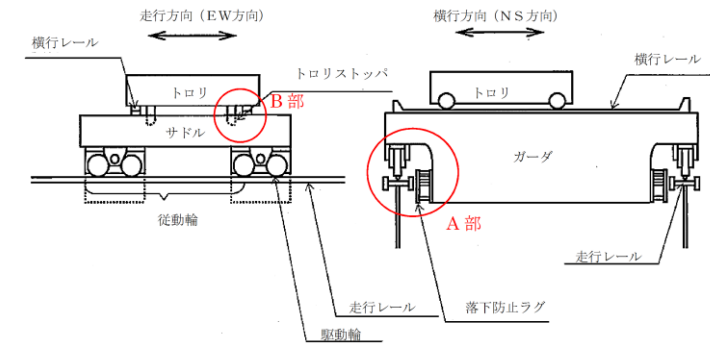
	大間1号炉	柏崎刈羽6号炉	柏崎刈羽7号炉
A部			
B部			

第2.1 図 車輪まわりの構造比較



	大間1号炉	東海第二発電所
A部		
B部		

第1-3 図 車輪まわりの構造比較



	大間1号炉	島根2号炉
A部		
B部		

第2-1 図 車輪周りの構造比較

3. 解析評価方針

(1) 評価方法

既工認、今回工認及び大間1号炉建設工認の評価方法を第3.1表に示す。今回工認では、鉛直動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造を変更しておりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した3次元FEM解析モデルを用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

第3.1表 既工認、今回工認及び大間1号炉建設工認の評価方法の比較

項目	柏崎刈羽6号及び7号炉		大間1号炉 (建設工認)
	既工認	今回工認	
解析手法	手計算による評価	非線形時刻歴応答解析	同左
解析モデル	—	3次元FEM解析モデル	同左
車輪-レール間の境界条件	すべり考慮	すべり、浮き上がり、衝突考慮	同左
地震力	水平	動的地震力	同左
	鉛直	静的地震力	
入力する地震動	原子炉建屋におけるクレーン設置位置の床応答加速度	原子炉建屋におけるクレーン設置位置の床応答加速度時刻歴	同左
減衰定数	水平	1.0% ^{*1}	同左
	鉛直	—	
解析プログラム	—	Abaqus (6号炉: Ver.6.11-1) (7号炉: Ver.6.5-4)	Abaqus (Ver.6.5-4)

※1: 既工認では剛であることを確認した上で動的震度を適用しているため減衰定数は評価に使用していない。

※2: 別紙6の添付資料3にて適用性を説明。

(2) 地震応答解析モデル

クレーンを構成する主要部材をビーム要素でモデル化し、車輪部はレール上に乗っており固定されておらず、すべり及び浮き上がり挙動を考慮する構造であることから、ギャップ要素及びばね、減衰要素でモデル化する。クレーンの解析モデルを第3.1図

3. 解析評価方針

(1) 評価方法

既工認と今回工認の評価方法を第1-1表に示す。今回工認では、鉛直方向の動的地震力を考慮する必要があること及びクレーンの車輪部の構造を変更しておりレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり、衝突の挙動を考慮した3次元FEM解析モデルを用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

第1-1表 既工認と今回工認の評価方法の比較

項目	東海第二発電所		大間1号炉
	既工認	今回工認	
解析手法	公式等による評価	非線形時刻歴応答解析	同左
解析モデル	—	3次元FEM解析モデル	同左
車輪-レール間の境界条件	すべり考慮	すべり、浮き上がり、衝突考慮	同左
地震力	水平	動的地震力	同左
	鉛直	静的地震力	
減衰定数	水平	— ^{*1}	同左
	鉛直	—	
解析プログラム	—	Abaqus (Ver.6.5-4)	同左

※1: 既工認では剛として耐震評価を実施しているため減衰定数は使用していない。

※2: 添付資料5にて適用性を説明。

(2) 地震応答解析モデル

クレーンを構成する主要部材をビーム要素でモデル化し、車輪部はレール上に乗っており固定されておらず、すべり、浮き上がり及び衝突の挙動を示す構造であることから、ギャップ要素、ばね要素及び減衰要素でモデル化する。クレーンの解析モデルを第

3. 解析評価方針

3.1 原子炉建物天井クレーンの評価方針

(1) 評価方法

既工認、今回工認及び大間1号炉建設工認の評価方法を第3-1表に示す。今回工認では、鉛直方向の動的地震力を考慮する必要があること及びレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向の地震力に対する車輪部の浮き上がり挙動を考慮した3次元FEM解析モデルを用いた非線形時刻歴応答解析により評価を実施する。

第3-1表 島根2号炉既工認、今回工認及び大間1号炉建設工認の評価方法の比較

項目	大間1号炉	島根2号炉	
		既工認	今回工認
解析手法	非線形時刻歴応答解析	手計算による評価	非線形時刻歴応答解析
解析モデル	3次元FEM解析モデル	—	3次元FEM解析モデル
車輪-レール間の境界条件	すべり、浮き上がり、衝突考慮	すべり考慮	すべり、浮き上がり、衝突考慮
地震力	水平	動的地震力	動的地震力
	鉛直	動的地震力	静的地震力
入力地震動	原子炉建物におけるクレーン設置位置の床応答加速度	原子炉建物におけるクレーン設置位置の床応答加速度	原子炉建物におけるクレーン設置位置の床応答加速度
減衰定数	水平	2.0%	1.0% ^{*1}
	鉛直	2.0%	—
解析プログラム	ABAQUS (Ver.6.5-4)	—	ABAQUS (Ver.6.11-1)

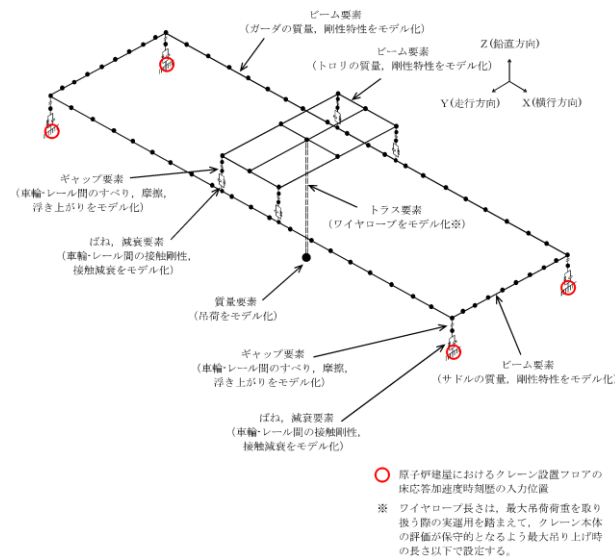
注1: 既工認では剛であることを確認した上で動的震度を適用しているため、減衰定数は評価には使用していない。

注2: 添付資料6「最新知見として得られた減衰定数の採用について」において適用性を説明する。

(2) 地震応答解析モデル

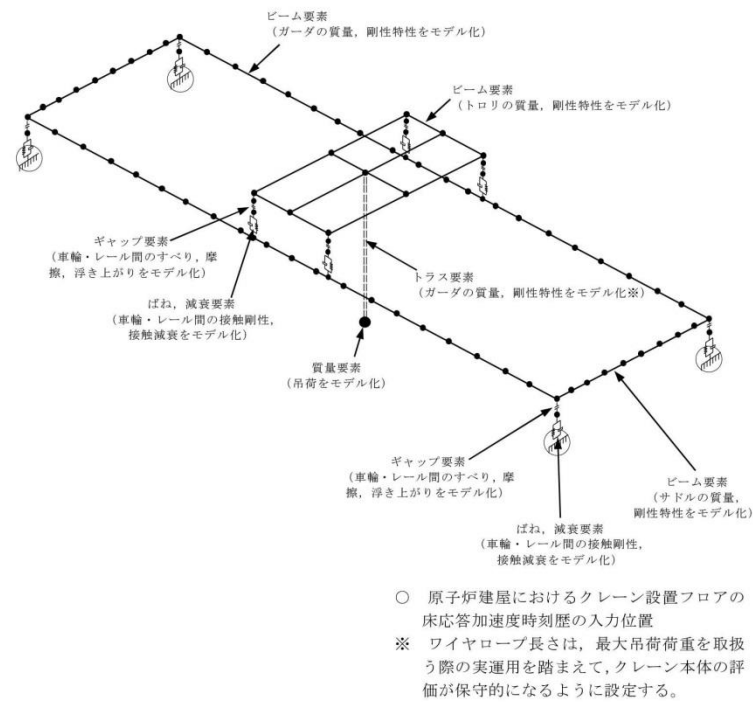
天井クレーンを構成する主要部材はビーム要素でモデル化する。車輪部はレールに乗っており、すべり及び浮き上がり等の非線形挙動が生じる構造であることから、ギャップ要素、ばね要素及び減衰要素でモデル化する。天井クレーンの解析モデルを第3-1

に示す。
 なお、今回工認の原子炉建屋クレーンのモデル化は、大間1号炉と同一の設定方法とする。(車輪部の非線形要素については参考文献(1)参照。)



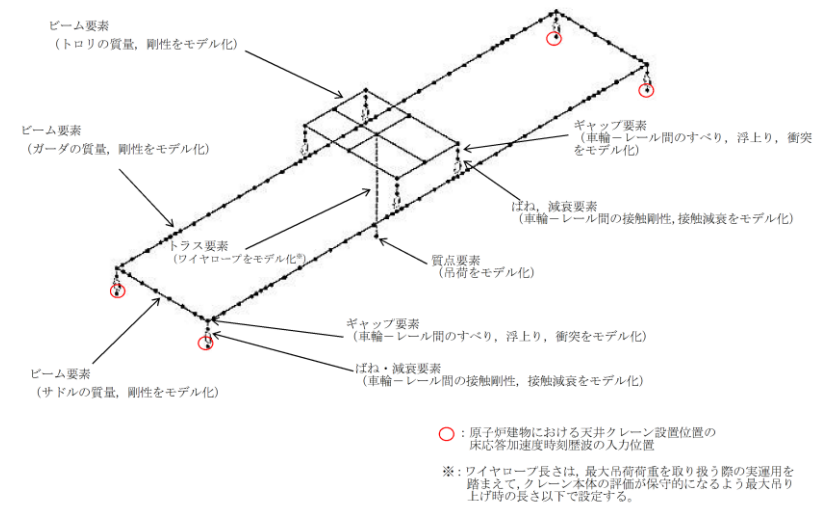
第3.1 図 クレーン解析モデル (7号炉の例)

1-4 図に示す。
 なお、今回工認の原子炉建屋クレーンのモデル化は、大間1号炉と同一の設定方法とする(車輪部の非線形要素については別紙3参照)。



第1-4図 原子炉建屋クレーン地震応答解析モデル

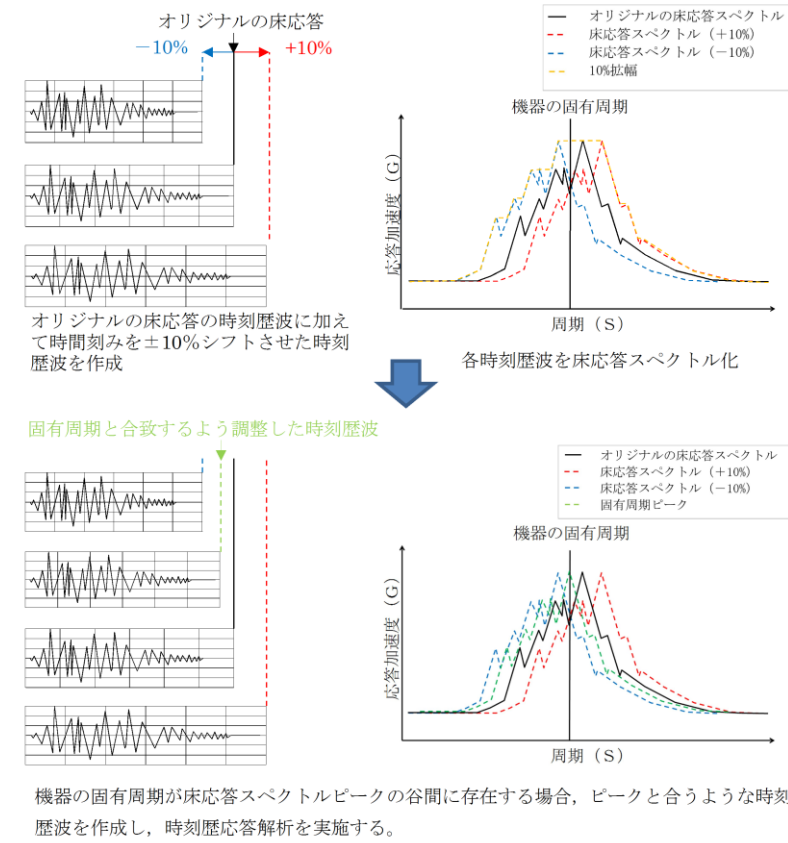
図に示す。なお、今回工認の天井クレーンのモデル化は、大間1号炉建設工認と同様の設定方法である。車輪部の非線形要素については添付資料(1-3)に示す。



第3-1 図 原子炉建物天井クレーン解析モデル

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(3) 地盤物性等の不確かさに対する検討方針</p> <p>スペクトルモーダル解析等では、床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものをを用いている。</p> <p>本評価では設計用床応答スペクトルを用いない時刻歴応答解析を採用することから、今回工認では地盤物性等の不確かさによる建屋固有周期のシフトの影響も考慮し、機器評価への影響が大きい地震動に対しASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION 1-NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) に規定された、設計用床応答スペクトルで考慮されている拡幅±10%に相当する地震入力のゆらぎを仮定する手法等による検討を行う予定である。</p> <p>なお、ゆらぎを考慮した設計用床応答スペクトルの谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は、ASME の規程に基づきピーク位置が固有周期にあたるようにゆらぎを考慮した評価も行う。</p>	<p>(3) 地盤物性等の不確かさに対する検討方針</p> <p>スペクトルモーダル解析等では、床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期のシフトを考慮して周期方向に±10%拡幅したものをを用いている。</p> <p>本評価では設計用床応答スペクトルを用いない時刻歴応答解析を採用することから、地盤物性等の不確かさに対する考慮を適切に考慮した上で、評価を行う。</p> <p>なお、今回工認では地盤物性等の不確かさによる建屋固有周期のシフトの影響も考慮し、機器評価への影響が大きい地震動に対し A S M E Boiler Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N-1222.3 Time History Broadening に規定された設計用床応答スペクトルで考慮されている拡幅±10%に相当するゆらぎを仮定する手法による検討を行う予定である。また、ゆらぎを考慮した設計用床応答スペクトルの谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は、A S M Eの規程に基づきピーク位置が固有周期にあたるようにゆらぎを考慮した評価も行う。本検討方針に対する東海第二発電所の原子炉建屋クレーンへの適用性については詳細設計段階で説明する。</p>	<p>3.2 地盤物性等の不確かさに対する検討方針</p> <p>スペクトルモーダル解析では、床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期の変動を考慮して周期方向に±10%拡幅した設計用床応答曲線を用いている。</p> <p>本評価では、時刻歴応答解析を採用することから、今回工認では地盤物性等の不確かさによる固有周期の変動の影響を考慮し、機器評価への影響が大きい地震動に対し、ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1-NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) に規定された手法等により検討を行う。Time History Broadening の概念を第3-2図に示す。</p> <p>なお、上記変動を考慮した設計用床応答曲線の谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は、A S M Eの規定に基づき、ピーク位置が固有周期にあたる場合の検討も行う。</p>	

ASME B&PV Code Sec. III Appendix-N 2017 より引用

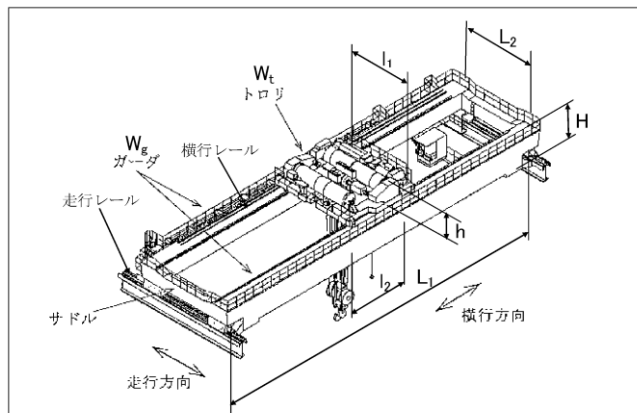


第3-2 図 Time History Broadening の概念図

・記載方針の相違
【柏崎 6/7, 女川 2】
島根 2号炉では Time History Broadening の概念図についても記載

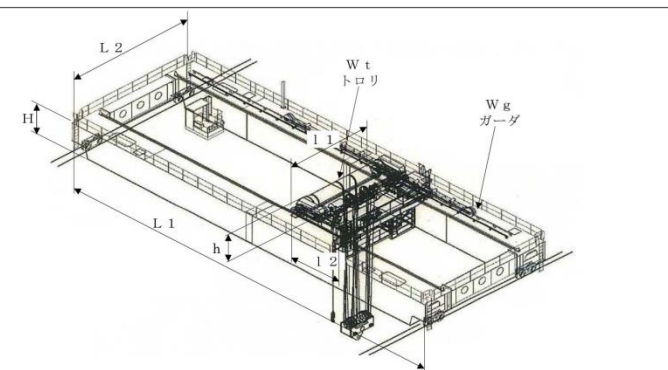
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>4. 添付資料</p> <p>(1) <u>原子炉建屋クレーンの主要諸元</u></p> <p>(2) <u>原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更</u></p> <p>(3) <u>クレーン車輪部の非線形要素 (摩擦・接触・減衰)</u></p> <p>(4) <u>原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明</u></p> <p>5. 参考文献</p> <p>(1) 平成19年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書(08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)</p> <p>(2) 平成20年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書(09 耐部報-0008, (独) 原子力安全基盤機構)</p>	<p>4. 別紙</p> <p>(1) <u>原子炉建屋クレーンの主要諸元</u></p> <p>(2) <u>原子炉建屋クレーンの耐震補強工事による構造変更</u></p> <p>(3) <u>クレーン車輪部の非線形要素 (摩擦・接触・減衰)</u></p> <p>(4) <u>原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明</u></p> <p>5. 参考文献</p> <p>(1) 平成19年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査動的上下動耐震試験(クレーン類)に<u>関わる</u>報告書(08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)</p> <p>(2) 平成20年度原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査動的上下動耐震試験(クレーン類)に<u>関わる</u>報告書(08耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)</p>	<p>4. 添付資料</p> <p>(1-1) <u>島根2号炉原子炉建物天井クレーンの主要諸元</u></p> <p>(1-2) <u>島根2号炉原子炉建物天井クレーンの構造変更</u></p> <p>(1-3) <u>クレーン車輪部の非線形要素 (摩擦、接触、減衰)</u></p> <p>(1-4) <u>クレーンの地震時挙動に関する補足説明</u></p> <p>5. 参考文献</p> <p>(1) 平成19年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に<u>係る</u>報告書(08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)</p> <p>(2) 平成20年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に<u>係る</u>報告書(09 耐部報-0008, (独) 原子力安全基盤機構)</p>	

添付資料(1) 原子炉建屋クレーンの主要諸元



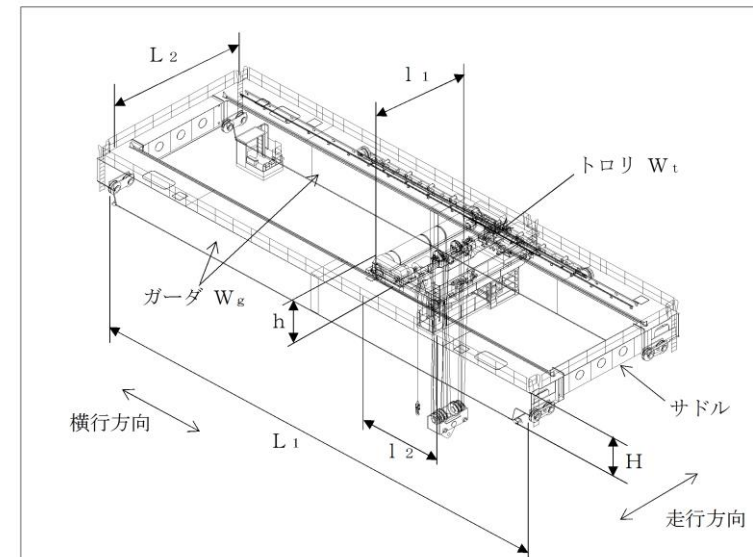
仕様		柏崎刈羽		
		大間 1号炉	6号炉	7号炉
トロリ	質量 Wt(ton)	80.0	86.5	80.0
	高さ h(m)	2.815	2.405	2.515
	スパン l1(m)	7.7	5.8	7.7
	スパン l2(m)	4.6	5.4	4.6
ガーダ	質量 Wg(ton)	190	226	190
	高さ H(m)	2.5	2.6	2.8
	スパン L1(m)	34.9	34.9	34.9
	スパン L2(m)	9.38	6.47	9.38
総質量	W(ton)	270.0	312.5	270.0

別紙1 原子炉建屋クレーンの主要諸元



仕様		大間1号炉	東海第二発電所
トロリ	質量 Wt (ton)	80.0	48.0
	高さ h (m)	2.815	2.280
	スパン l1 (m)	7.7	5.6
	スパン l2 (m)	4.6	4.1
ガーダ	質量 Wg (ton)	190	118.0
	高さ H (m)	2.5	1.915
	スパン L1 (m)	34.9	39.5
	スパン L2 (m)	9.38	6.2
総質量	W (ton)	270.0	166.0

添付資料(1-1) 島根2号炉原子炉建物天井クレーンの主要諸元

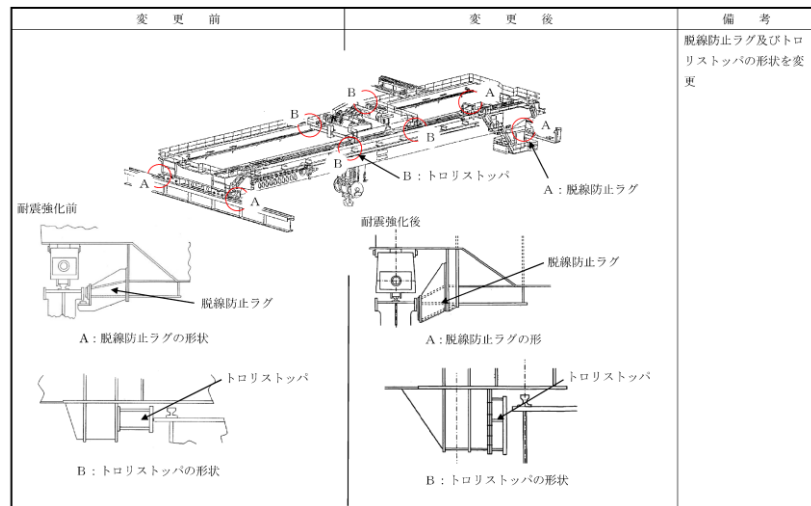


仕様		大間1号炉	島根2号炉
トロリ	質量 Wt (ton)	80	56
	高さ h (m)	2.8	3.4
	スパン l1 (m)	7.7	5.6
ガーダ	スパン l2 (m)	4.6	4.9
	質量 Wg (ton)	190	149
	高さ H (m)	2.5	2.4
	スパン L1 (m)	34.9	34.9
スパン L2 (m)		9.4	7.3
総質量 W (ton)		270	205

構造・仕様の相違

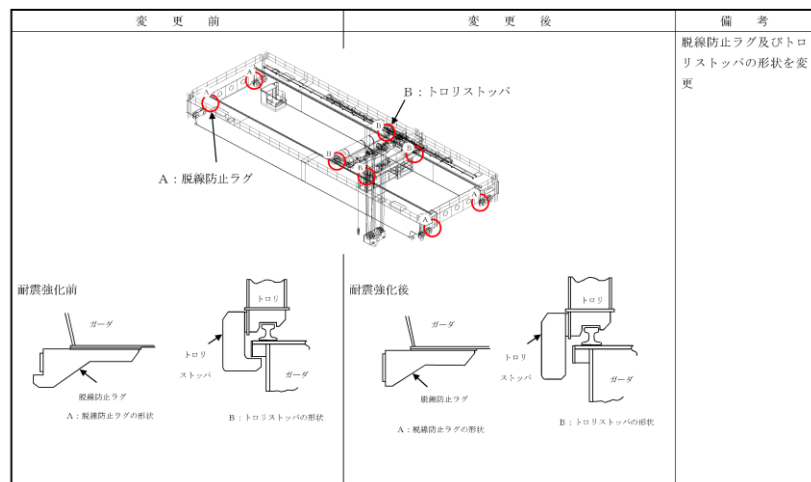
添付資料(2) (2 / 1)

原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更 (6号炉)

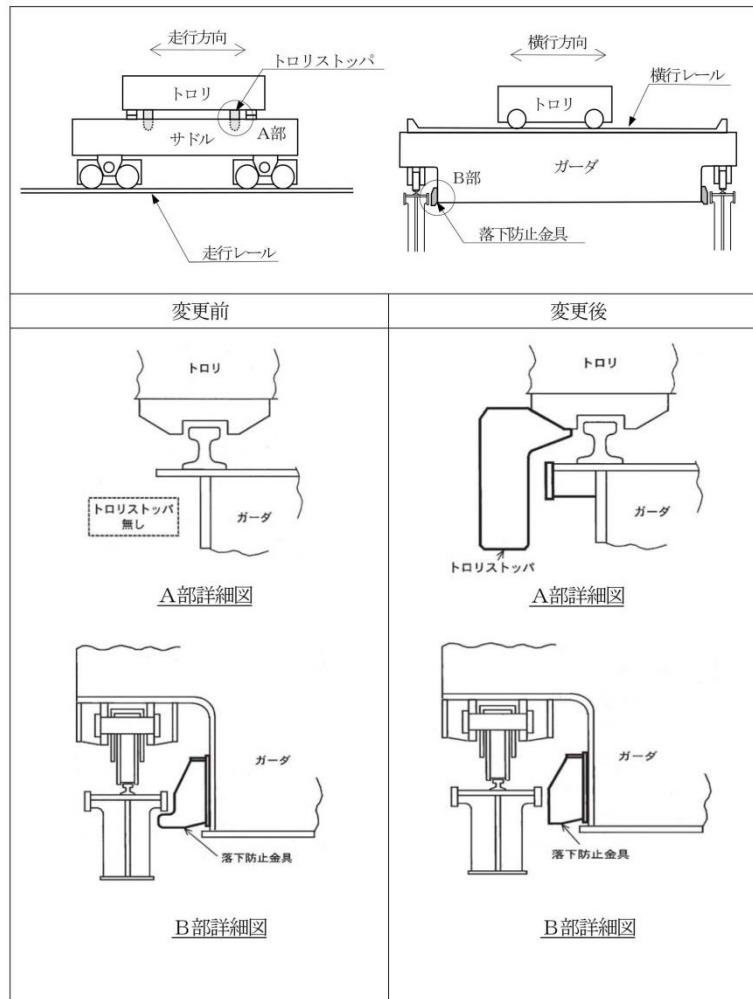


添付資料(2) (2 / 1)

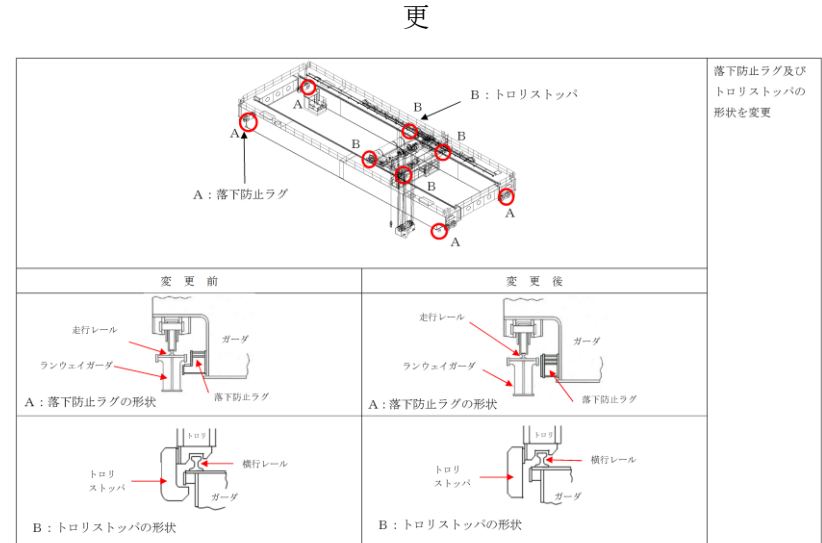
原子炉建屋クレーンの耐震強化工事による構造変更 (7号炉)

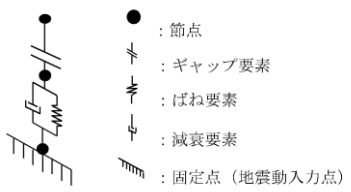
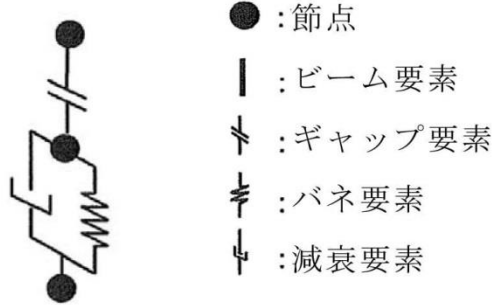
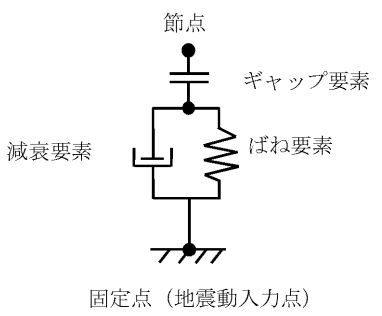


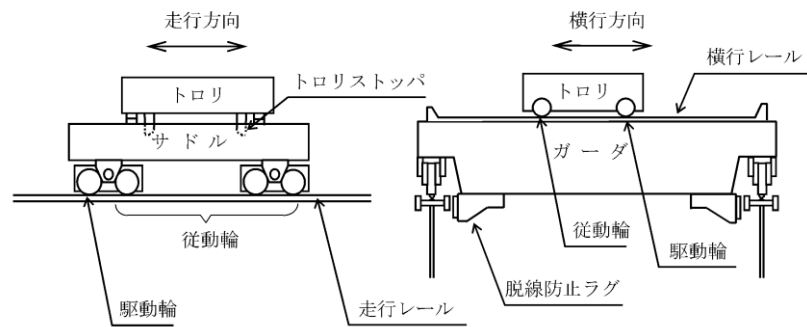
別紙2 原子炉建屋クレーンの耐震補強工事による構造変更



添付資料(1-2) 島根2号炉原子炉建物天井クレーンの構造変更



柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>添付資料(3) クレーン車輪部の非線形要素 (摩擦・接触・減衰)</p> <p>クレーン車輪部のモデル化では、すべり、<u>浮き上がり及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる</u>。また、<u>接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で、衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し、第1.1 図に示すように、ギャップ要素と直列に配置する</u>。</p>  <p>● : 節点 ≡ : ギャップ要素 ≡ : ばね要素 ≡ : 減衰要素 ≡ : 固定点 (地震動入力点)</p> <p>第1.1 図 車輪部の非線形要素</p> <p>a. 車輪とレール間の摩擦特性 クレーンの車輪には電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と、回転部分と連結されていない従動輪の2種類がある (第1.2 図)。このうち駆動輪は回転が拘束されているため、<u>地震の加速度を車輪部に入れると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる</u>。 ここで、摩擦係数は既工認と同様の0.3を用いる。</p>	<p>別紙3 クレーン車輪部の非線形要素 (摩擦・接触・減衰)</p> <p>クレーン車輪部のモデル化では、すべり、<u>浮き上がり及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる</u>。また、<u>接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で、衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し、別図 1-1 に示すように、ギャップ要素と直列に配置する</u>。</p>  <p>● : 節点 : ビーム要素 ≡ : ギャップ要素 ≡ : バネ要素 ≡ : 減衰要素</p> <p>別図 1-1 車輪部の非線形要素</p> <p>1. 車輪とレール間の摩擦特性 クレーンの車輪には電動機、<u>減速機等の回転部分と連結された駆動輪と、回転部分と連結されていない従動輪の2種類がある (別図 1-2 参照)</u>。このうち駆動輪は回転が拘束されているため、<u>地震の加速度が車輪部に入力されると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の力が加わればレール上をすべる</u>。ここで、摩擦係数は既工認と同様の0.3を用いる。<u>天井クレーンの車輪とレール間の摩擦係数0.3を適用し設計震度として算定することについては、クレーン耐震設計指針 (日本クレーン協会規格 JCAS1101-2008) に定められている</u>。また「<u>天井クレーンのすべりを伴う地震時挙動試験 (火力原子力発電 Vol. 40No. 6 1989)</u>」にて、<u>地震波による加振試験において、摩擦係数の平均値として0.14の結果が得られている</u>。</p>	<p>添付資料(1-3) クレーン車輪部の非線形要素 (摩擦、接触、減衰)</p> <p>クレーン車輪部のモデル化では、すべり、<u>浮上り及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる</u>。また、<u>接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で、衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し、第 3-1 添図に示すように、ギャップ要素と直列に配置する</u>。</p>  <p>● 節点 ≡ ギャップ要素 ≡ ばね要素 ≡ 減衰要素 ≡ 固定点 (地震動入力点)</p> <p>第 3-1 添図 車輪部の非線形要素</p> <p>1. 車輪とレール間の摩擦特性 クレーンの車輪には電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と、<u>回転部分と連結されていない従動輪の2種類がある</u>。第 3-2 添図に天井クレーンの概要図を示す。<u>このうち駆動輪は回転が拘束されているため、最大静止摩擦力以上の地震慣性力が加わった場合、レール上をすべる挙動を示す</u>。ここで、摩擦係数は既工認と同様の0.3を用いる。</p>	



第1.2 図 概要図 (7号炉の例)

b. 車輪とレールの接触剛性

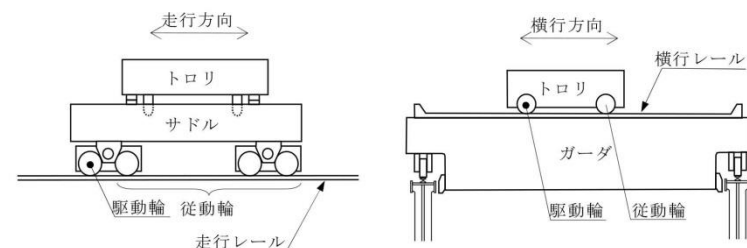
接触剛性は、「平成20年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に係る報告書 (09 耐部報-0008, (独) 原子力安全基盤機構)」を参照し、車輪とレールの衝突時の剛性を模擬するものとして接触剛性を考慮したばね要素とクレーン質量で構成される1自由度系の固有振動数が20Hz相当になるよう設定する。

c. 車輪とレール間の衝突による減衰

衝突による減衰は、「平成19年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に係る報告書 (08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)」にて実施した要素試験のうちの車輪反発係数試験結果から評価した反発係数から換算する。なお、減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。

$$e = \exp\left(-\frac{h \pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

ここで、e は反発係数、h は減衰比である。第1.3 図に、上記の式で表される反発係数と減衰比の関係を示す。



別図 1-2 概要図

2. 車輪とレールの接触剛性

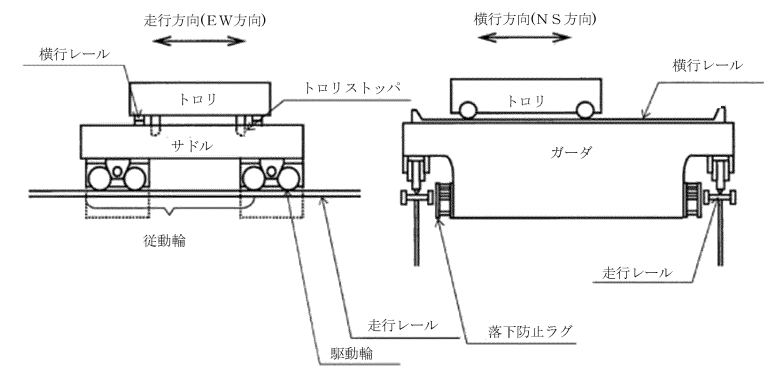
接触剛性は、「平成20年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン試験) に関わる報告書 (09 耐部報-0008, (独) 原子力安全基盤機構)」(参2)を参照し、車輪とレールの衝突時の剛性を模擬するものとして接触剛性を考慮したばね要素とクレーン質量で構成される1自由度系の固有振動数が20Hz相当になるよう設定する。

3. 車輪とレール間の衝突による減衰

衝突による減衰は、「平成19年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に関わる報告書 (08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)」(参2)にて実施した要素試験のうちの車輪反発係数試験結果から評価した反発係数から換算する。なお、減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。

$$e = \exp\left(-\frac{h \pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

ここで、e は反発係数、h は減衰比である。別図 1-3 に、上記の式で表される反発係数と減衰比の関係を示す。



第3-2 添図 天井クレーンの概要図

2. 車輪とレールの接触剛性

接触剛性は「平成20年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に係る報告書 (09 耐部報-0008, (独) 原子力安全基盤機構)」を参照し、車輪とレールの衝突時の剛性を模擬したばね要素を考慮し、クレーン質量で構成される1自由度系の固有振動数が20Hz相当になるように設定する。

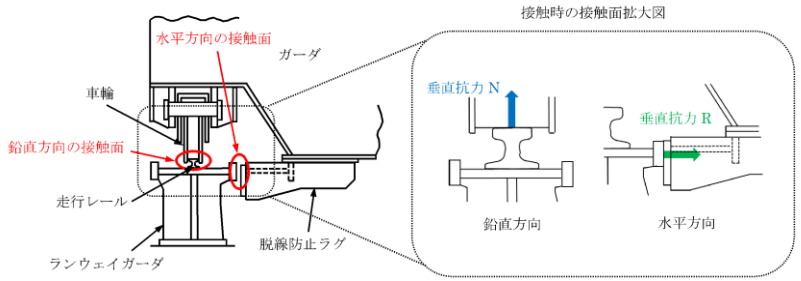
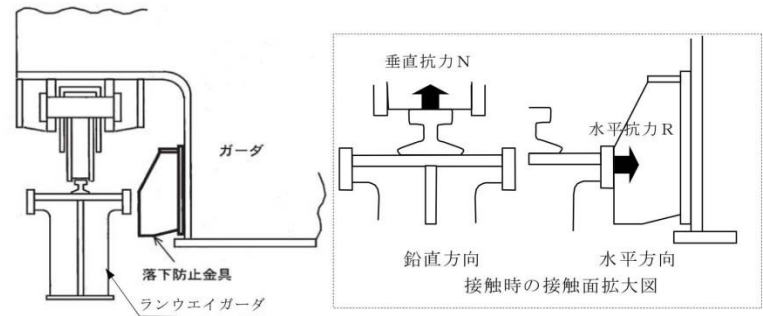
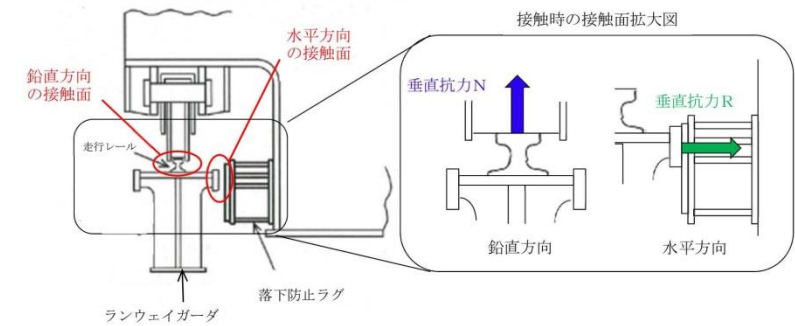
3. 車輪とレール間の衝突による減衰

衝突による減衰は「平成19年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に係る報告書 (08 耐部報-0021, (独) 原子力安全基盤機構)」にて実施した要素試験のうち、車輪反発係数試験結果より評価した反発係数から換算する。なお、減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。

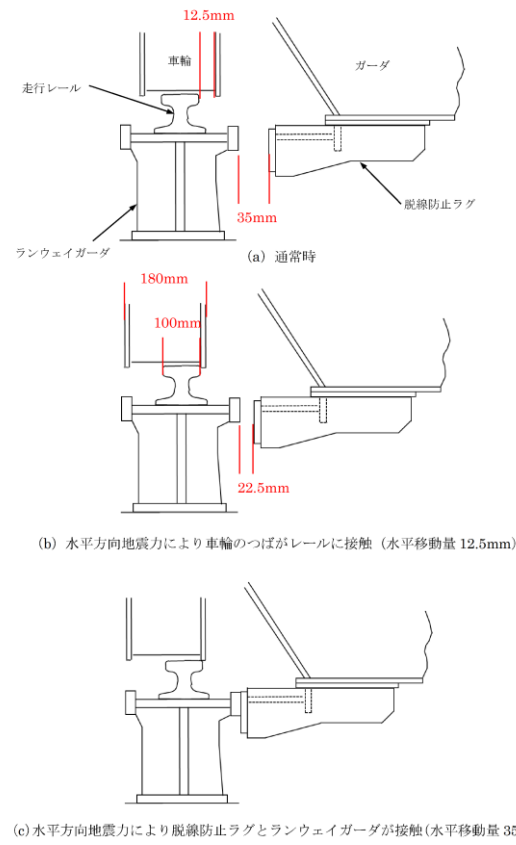
$$e = \exp\left(-\frac{h \pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

ここで、e は反発係数、h は減衰比である。
上記の式で表される反発係数と減衰比との関係を第3-3 添図に示す。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<div data-bbox="231 275 836 804" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="341 835 750 867" data-label="Caption"> <p>第1.3 図 反発係数と減衰比の関係</p> </div> <div data-bbox="166 926 902 999" data-label="Text"> <p>添付資料(4) 原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明</p> </div> <div data-bbox="166 1014 926 1087" data-label="Text"> <p>1. 車輪とレールとの摩擦力及び落下防止部材との接触による摩擦力の考慮について</p> </div> <div data-bbox="166 1102 926 1224" data-label="Text"> <p>クレーンはレール上を車輪で移動する構造であるため、建屋に固定されておらず、地震時にはレールに沿う方向にはすべりが発生し、摩擦力以上の荷重を受けない構造である。</p> </div> <div data-bbox="166 1239 926 1402" data-label="Text"> <p>クレーン本体とランウェイガード間の<u>取り合い部</u>を例とすると、すべりを想定する面としては、鉛直方向（車輪～レール間）と水平方向（<u>脱線防止ラグ～ランウェイガード間</u>）が挙げられる。（第1 図）</p> </div> <div data-bbox="166 1417 926 1675" data-label="Text"> <p>鉛直方向には、自重が常時下向きに加わっており、地震による鉛直方向加速度が1Gを上回りクレーン本体が<u>浮き上がりの挙動を示すごく僅かな時間帯を除き</u>、常に車輪はレール上面に接触し垂直抗力Nが発生する状態であることから、摩擦係数μ ($=0.30$)一定の条件の下、垂直抗力Nを時々刻々変化させた摩擦力f ($=\mu N$)を考慮している。</p> </div> <div data-bbox="166 1690 926 1854" data-label="Text"> <p>これに対して、水平方向には常時作用する荷重が無く、水平方向（横行方向）の地震力が作用し<u>脱線防止ラグ</u>がランウェイガード側面に接触する際にのみ垂直抗力Rが発生する。しかしながら、地震力は交番荷重であること及び、接触後も部材間の跳ね返りが</p> </div>	<div data-bbox="1092 289 1519 674" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="1130 747 1546 779" data-label="Caption"> <p>別図 1-3 反発係数と減衰比の関係</p> </div> <div data-bbox="958 926 1665 957" data-label="Text"> <p>別紙 4 原子炉建屋クレーンの地震時挙動に関する補足説明</p> </div> <div data-bbox="958 1014 1718 1087" data-label="Text"> <p>1. 車輪とレールとの摩擦力及び落下防止部材との接触による摩擦力の考慮について</p> </div> <div data-bbox="958 1102 1718 1224" data-label="Text"> <p>クレーンは、レール上を車輪で移動する構造であるため、建屋に固定されておらず、地震時にはレールに沿う方向にはすべりが発生し、摩擦力以上の荷重を受けない構造である。</p> </div> <div data-bbox="958 1239 1718 1402" data-label="Text"> <p>クレーン本体とランウェイガード間の<u>取り合い部</u>を例とすると、すべりを想定する面としては、鉛直方向（車輪からレール間）と水平方向（<u>落下防止金具からランウェイガード間</u>）が挙げられる（別図 1-4 参照）。</p> </div> <div data-bbox="958 1417 1718 1675" data-label="Text"> <p>鉛直方向には、自重が常時下向きに加わっており、地震による鉛直方向加速度が 1G を上回りクレーン本体が<u>浮き上がりの挙動を示すごく僅かな時間帯を除き</u>、常に車輪はレール上面に接触し垂直抗力Nが発生する状態であることから、摩擦係数μ ($=0.30$)一定の条件の下、垂直抗力Nを時々刻々変化させた摩擦力f ($=\mu N$)を考慮している。</p> </div> <div data-bbox="958 1690 1718 1854" data-label="Text"> <p>これに対して、水平方向には常時作用する荷重が無く、水平方向（横行方向）の地震力が作用し<u>落下防止金具</u>がランウェイガード側面に接触する際にのみ水平抗力Rが発生する。しかしながら、地震力は交番荷重であること及び接触後も部材間の跳ね返りが</p> </div>	<div data-bbox="1863 283 2398 768" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="1902 793 2362 825" data-label="Caption"> <p>第 3-3 添図 反発係数と減衰比の関係</p> </div> <div data-bbox="1783 926 2472 957" data-label="Text"> <p>添付資料(1-4) クレーンの地震時挙動に関する補足説明</p> </div> <div data-bbox="1748 1014 2507 1087" data-label="Text"> <p>1. 車輪とレールとの摩擦力及び落下防止部材との接触による摩擦力の考慮について</p> </div> <div data-bbox="1748 1102 2507 1224" data-label="Text"> <p>クレーンはレール上を車輪で移動する構造であるため、地震時にはレールに沿う方向にすべりが発生し、<u>最大静止摩擦力以上の荷重を受けない構造である。</u></p> </div> <div data-bbox="1748 1239 2507 1402" data-label="Text"> <p>天井クレーン本体とランウェイガード間の<u>取合い部</u>を例とすると、すべりを想定する面としては、鉛直方向（車輪～レール間）及び水平方向（<u>落下防止ラグ～ランウェイガード間</u>）が挙げられる（第 4-1 添図）。</p> </div> <div data-bbox="1748 1417 2507 1633" data-label="Text"> <p>鉛直方向には、自重が常時下向きに作用し、地震による応答加速度が 1 G を上回りクレーン本体が<u>浮き上がるわずかな時間帯を除き</u>、常に車輪はレール上面に接触し垂直抗力Nが発生する。したがって、摩擦係数μ ($=0.30$)一定の条件の下、垂直抗力Nを時々刻々変化させた摩擦力f ($=\mu N$)を考慮している。</p> </div> <div data-bbox="1748 1690 2507 1854" data-label="Text"> <p>これに対し、水平方向には常時作用する荷重はなく、水平方向（横行方向）の地震力が作用し<u>落下防止ラグ</u>がランウェイガード側面に接触する際にのみ垂直抗力Rが発生する。しかし、地震力は交番荷重であり、接触後も部材間の跳ね返りが発生することか</p> </div>	

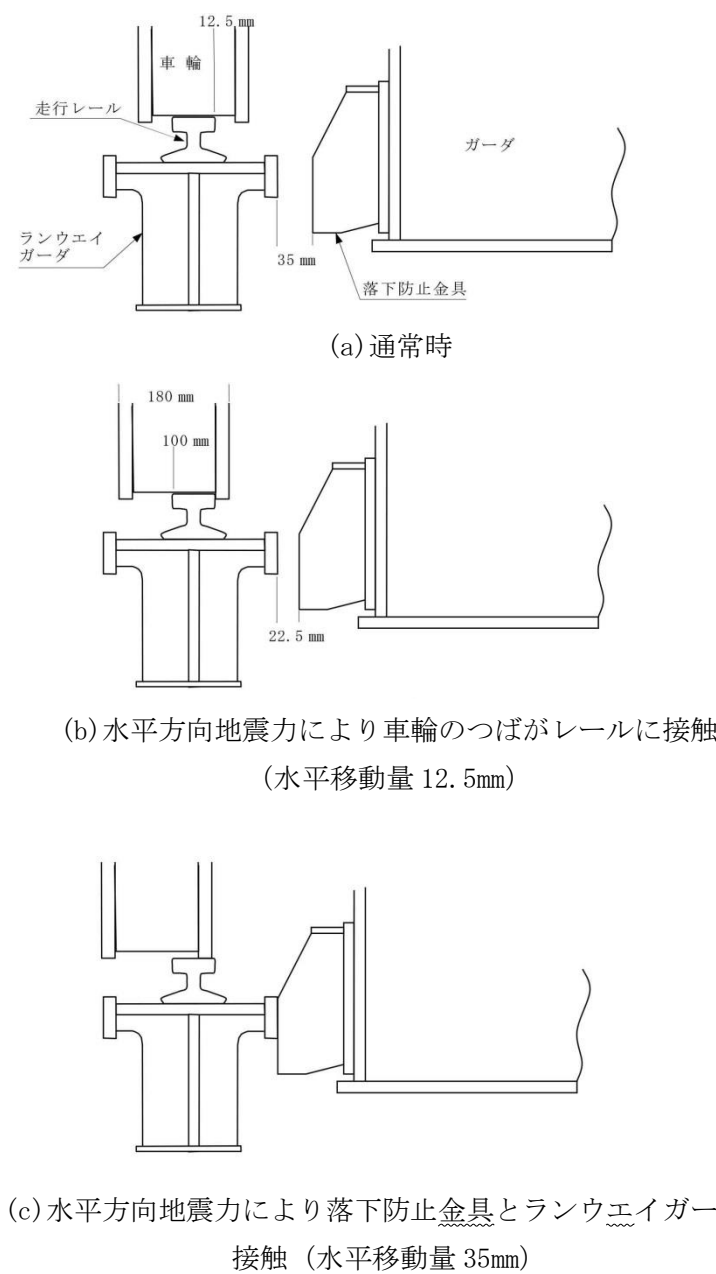
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>発生することから、側面の接触時間はごく<u>僅かな時間</u>となる。また、大きな摩擦力が発生するためには、横行方向の地震力により瞬間的に垂直抗力Rが発生する間に、走行方向の大きな地震力が同時に作用することが必要であることから、各方向地震動の非同時性を考慮し、側面の接触による摩擦力は<u>考慮していない</u>。側面の接触による摩擦力の影響を<u>小さいと判断している妥当性</u>については詳細設計段階にて念のため確認を行う。</p> <p>なお、基準地震動S_sによる地震力に対して、駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部分が破損し駆動輪が自由に回転する可能性も考えられるが、その場合は駆動輪が回転することにより摩擦力は低減することから、上記のように摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価となる<u>と言える</u>。</p>  <p>第1図 鉛直方向と水平方向の接触面</p> <p>2. レール等の破損による解析条件への影響について クレーンのモデル化にあたっては、車輪がレール上にあり、レール直角方向に対しては脱線防止ラグ又はトロリストoppaが接触して機能することを前提としている。</p> <p>ここでは、地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪が乗っていること」が、脱線防止ラグ又はトロリストoppaの健全性を確認することで満足されることを、クレーン本体とランウェイガード間の取り合い部を例として示す。</p> <p>クレーン横行方向に地震力が作用する際は、車輪がレール上に乗り上がる挙動が想定されるが、脱線防止ラグがランウェイガードに接触することで、横行方向の移動量は制限される。脱線防止ラグは構造強度部材として基準地震動S_sによって生じる地震力に対して、許容応力を満足する設計としており、地震で破損する</p>	<p>が発生することから、側面の接触時間はごく<u>僅かな時間</u>となる。また、大きな摩擦力が発生するためには、横行方向の地震力により瞬間的に水平抗力Rが発生する間に、走行方向の大きな地震力が同時に作用することが必要であることから、各方向地震動の非同時性を考慮し、側面の接触による摩擦力は<u>考慮していない</u>。</p> <p>なお、基準地震動S_sによる地震力に対して、駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部分が破損し駆動輪が自由に回転する可能性も考えられるが、その場合は駆動輪が回転することにより摩擦力は低減することから、上記のように摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価となる<u>と言える</u>。</p>  <p>別図1-4 鉛直方向と水平方向との接触面</p> <p>2. レール等の破損による解析条件への影響について クレーンのモデル化にあたっては、車輪がレール上にあり、レール直角方向に対しては落下防止金具又はトロリストoppaが接触して機能することを前提としている。</p> <p>ここでは、地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪が乗っていること」が落下防止金具又はトロリストoppaの健全性を確認することで満足されることを、クレーン本体とランウェイガード間の取り合い部を例として示す。</p> <p>クレーン横行方向に地震力が作用する際は、車輪がレール上に乗り上がる挙動が想定されるが、落下防止金具がランウェイガードに接触することで、横行方向の移動量は制限される。落下防止金具は構造強度部材として基準地震動S_sによって生じる地震力に対して、許容応力を満足する設計としており、地震で破損する</p>	<p>ら、側面の接触時間はごく<u>わずかな時間</u>となる。また、大きな摩擦力が発生するためには、横行方向の地震力により瞬間的に垂直抗力Rが発生する間に、走行方向に大きな地震力が同時に発生することが必要であることから、各方向地震動の非同時性を考慮し、側面の接触による摩擦力は<u>考慮しない</u>。側面の接触による摩擦力の影響については詳細設計段階で確認を行う。</p> <p>なお、基準地震動S_sによる地震力に対して、駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部分が破損し、駆動輪が自由に回転する可能性も考えられるが、その場合は駆動輪が回転することにより摩擦力は低減する。したがって、上記のような摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価になる。</p>  <p>第4-1添図 鉛直方向と水平方向の接触面</p> <p>2. レール等の破損による解析条件への影響について クレーンのモデル化に<u>当たり</u>、車輪がレール上にあり、レール直角方向に対し<u>落下防止ラグあるいはトロリストoppaの支持機能が維持されている</u>ことを前提としている。</p> <p>本項では、地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪がある」ことが、<u>落下防止ラグあるいはトロリストoppaの健全性を確認することで満足されることを天井クレーン本体とランウェイガード間の取合い部を例として示す。</u></p> <p>天井クレーン横行方向に地震力が作用するときは、車輪がレール上に乗り上がる挙動が想定されるが、<u>落下防止ラグがランウェイガードに接触することにより横行方向の移動量は制限される。</u>落下防止ラグは構造強度部材として基準地震動S_sにより生じる地震力に対して耐震性が成立する設計としており、地震で破損</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>ことは無い<u>ため</u>、<u>脱線防止ラグとランウェイガード間のギャップ量に相当する移動量となった場合であっても</u>、<u>構造上車輪はレール上から落ちることは無い</u>。(第2 図)</p> <p><u>クレーン本体ガードとトロリストoppaの寸法も同様の関係となっている。</u></p> <p>また、<u>脱線防止ラグとランウェイガードが接触するより前に</u>、車輪からレールに荷重が伝わることとなるが、車輪のつばとレールが接触(移動量12.5mm)してから<u>脱線防止ラグとランウェイガードが接触(移動量35mm)し移動が制限されるまでの移動量は22.5mm (=35mm-12.5mm)程度</u>であることから、<u>脱線防止ラグが接触して機能する前に鋼製部材であるレールが大きく破損することは無い</u>と考えられる。</p> <p>以上より、地震時に<u>脱線防止ラグがランウェイガードに接触して機能する前に</u>、車輪がすべり面であるレールから落下することや、<u>レールが大きく破損することが無い</u>ことから、<u>脱線防止ラグが機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれは無いと判断しているが</u>、地震時に<u>脱線防止ラグがランウェイガードに接触して機能する前の車輪とレールの接触による影響については</u>、詳細設計段階にて念のため確認を行う。</p>	<p>ことは無い<u>ため</u>、<u>落下防止金具とランウェイガード間のギャップ量に相当する移動量となった場合であっても</u>、<u>構造上車輪はレール上から落ちることは無い</u>(別図1-5参照)。</p> <p><u>本体ガードとトロリストoppaの寸法も同様の関係となっている。</u></p> <p>また、<u>落下防止金具とランウェイガードが接触するより前に</u>、車輪からレールに荷重が伝わることとなるが、車輪のつばとレールが接触(移動量12.5mm)してから<u>落下防止金具とランウェイガードが接触(移動量35mm)し移動が制限されるまでの移動量は22.5mm (=35mm-12.5mm)程度</u>であることから、<u>落下防止金具が接触して機能する前に鋼製部材であるレールが大きく破損することは無い</u>と考えられる。<u>このように、車輪のつばの有無によらず構造強度部材である落下防止金具が機能することで車輪がレール上にとどまる設計であることから、車輪のつばは地震応答解析の前提条件に影響するものでは無い。</u></p> <p>以上より、地震時に<u>落下防止金具がランウェイガードに接触して機能する前に</u>、車輪がすべり面であるレールから落下することや、<u>レールが大きく破損することが無い</u>ことから、<u>落下防止金具が機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれは無いと言える。</u></p>	<p>することは<u>ない</u>ため、<u>落下防止ラグとランウェイガード間のギャップに相当する移動量となった場合でも</u>構造上車輪がレールから落下することは<u>ない</u>(第4-2添図参照)。</p> <p>また、<u>落下防止ラグとランウェイガードが接触する前に</u>車輪からレールに荷重が伝わることとなるが、車輪のつばとレールが接触(移動量12.5mm)してから<u>落下防止ラグとランウェイガードが接触(移動量35mm)し移動が制限されるまでの移動量は22.5mm程度</u>であることから、<u>落下防止ラグが接触して機能する前に鋼製部材であるレールが大きく破損することはない</u>と考えられる。</p> <p>以上より、地震時に<u>落下防止ラグがランウェイガードに接触して機能する前に</u>、車輪がすべり面であるレールから落下することやレールが大きく破損することが<u>ない</u>ことから、<u>落下防止ラグが機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれは無いと考えられるが</u>、地震時に<u>落下防止ラグがランウェイガードに接触して機能する前の車輪とレールの接触による影響については</u>、詳細設計段階にて念のため確認を行う。</p>	



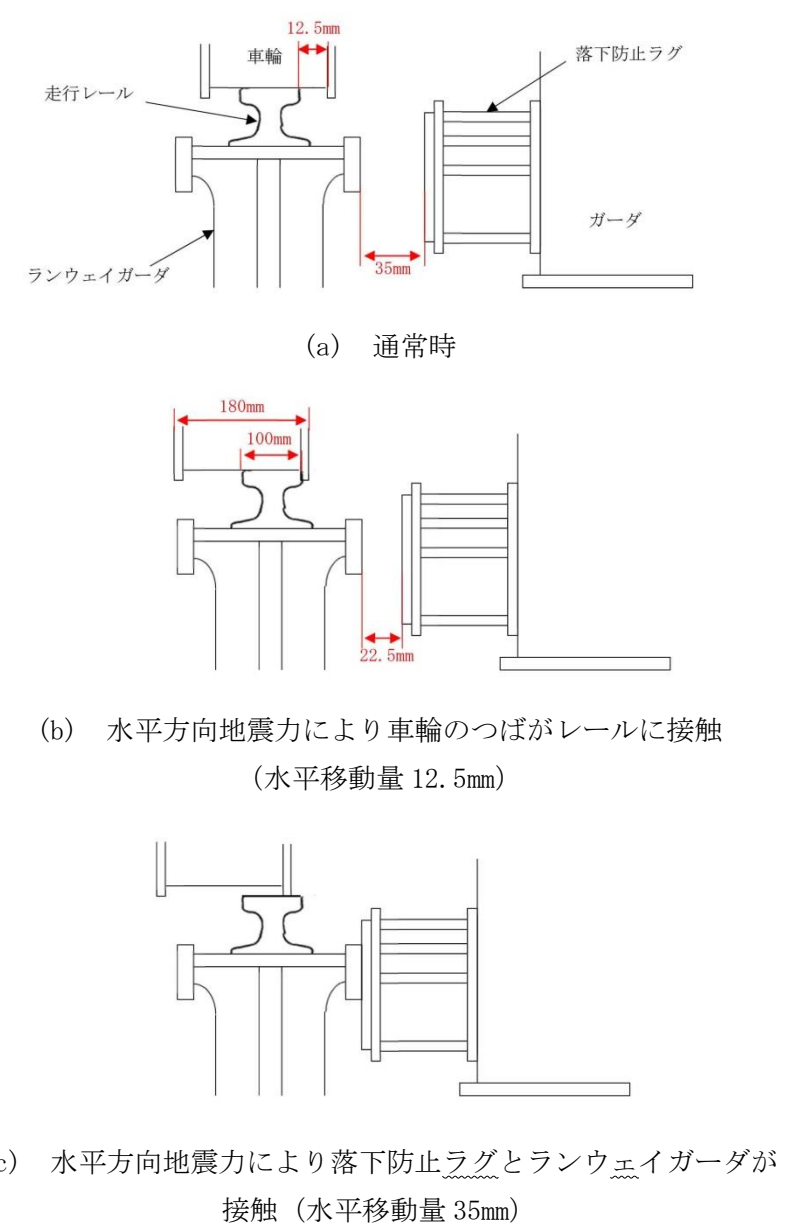
第2 図 概念図 (7号炉の例)

(本図は車輪がレールから外れないことを示すための概念図であり、構造物の大きさや間隙については実物とは異なる。)



(本図は車輪がレールから外されないことを示すための概念図であり、構造物の大きさや間隙については実物とは異なる。)

別図1-5 概念図



第4-2 添図 天井クレーンの落下防止の概念図^{注1}

注1 本図は車輪がレールから外れないことを示すための概念図であり、構造物の大きさや間隙については実物とは異なる。

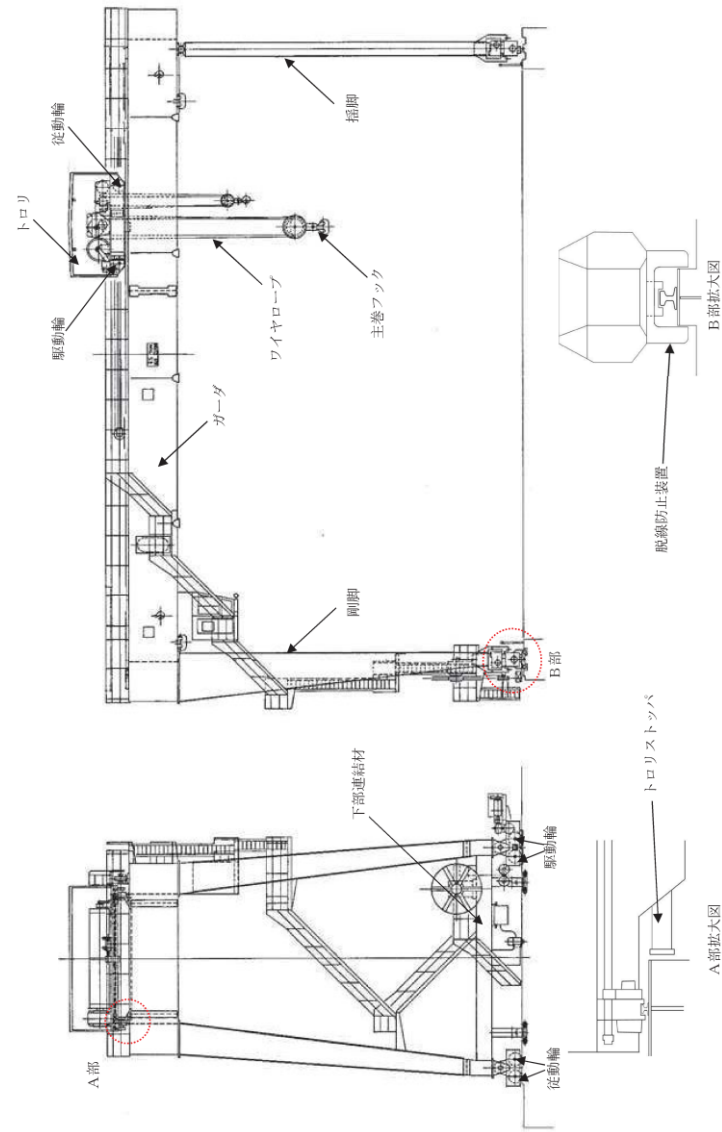
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;">別紙-9</p> <p style="text-align: center;"><u>女川原子力発電所2号炉</u></p> <p style="text-align: center;"><u>海水ポンプ室門型クレーンへの</u> <u>非線形時刻歴応答解析の適用</u></p> <p style="text-align: center;">目次</p> <p>1. はじめに…………… 1</p> <p>2. 基本方針…………… 2</p> <p>2.1 要求事項…………… 2</p> <p>2.2 構造の概要…………… 3</p> <p>2.3 評価方針…………… 5</p> <p>2.4 適用規格…………… 6</p> <p>3. <u>耐震評価方法</u>…………… 7</p> <p>3.1 解析方法及び解析モデル…………… 7</p> <p>3.1.1 解析方法の詳細…………… 7</p> <p>3.1.2 解析モデル及び諸元…………… 8</p> <p>3.1.3 解析モデルの境界条件…………… 9</p> <p><u>3.2 評価対象部位</u>…………… 11</p> <p><u>3.3 入力地震動</u>…………… 12</p> <p>4. <u>評価方法</u>…………… 19</p> <p>4.1 評価方針…………… 19</p> <p>4.2 荷重の組合せ…………… 19</p>	<p style="text-align: right;">添付資料-2</p> <p style="text-align: center;"><u>取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用につい</u> <u>て</u></p> <p style="text-align: center;">目次</p> <p>1. はじめに</p> <p>2. 基本方針</p> <p>2.1 要求事項</p> <p>2.2 構造の概要</p> <p><u>2.2.1 取水槽ガントリクレーンの主要構造</u></p> <p><u>2.2.2 単軸粘性ダンパ</u></p> <p><u>2.2.3 転倒防止装置の構造</u></p> <p><u>2.2.4 トロリストッパ</u></p> <p><u>2.2.5 ホイストレール・車輪</u></p> <p>2.3 評価方針</p> <p>2.4 適用規格</p> <p>3. <u>応答解析の方法</u></p> <p>3.1 解析方法及び解析モデル</p> <p>3.1.1 解析方法の詳細</p> <p>3.1.2 解析モデル及び諸元</p> <p>3.1.3 解析モデルの境界条件</p> <p><u>3.2 入力地震動</u></p> <p>4. <u>耐震評価の方法</u></p> <p>4.1 評価方針</p> <p>4.2 荷重の組合せ</p> <p><u>4.3 評価対象部位</u></p>	<p>・設備構成の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉の取水槽ガントリクレーンは、脱線防止装置ではなく転倒防止装置により転倒を防止する点、吊上げ装置としてホイストが存在する点、単軸粘性ダンパを設置している点が異なる</p> <p>(以下、①の相違)</p> <p>・記載方針の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉では、同様の内容を4.3に記載</p> <p>・記載方針の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>女川2では、同様の内容を3.2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>4.3 許容限界 19</p> <p>4.4 各部の評価方法 20</p> <p>4.4.1 クレーン本体, <u>脱線防止装置及びトロリストッパの応力評価方法</u> 20</p> <p>4.4.2 <u>脱線防止装置及びトロリストッパの浮上がり評価方法</u> 22</p> <p>4.4.3 吊具の荷重評価方法 22</p> <p>5. 評価結果 23</p> <p>添付資料</p> <p>添付資料1 <u>改造工事の概要</u></p> <p>添付資料2 <u>評価ケース選定の考え方について</u></p> <p>添付資料3 <u>海水ポンプ室門型クレーンへの非線形時刻歴解析の適用性</u></p> <p>添付資料4 <u>海水ポンプ室門型クレーンの地震時挙動に関する補足</u></p>	<p>4.4 許容限界</p> <p>4.4.1 許容応力</p> <p>4.4.2 許容浮上り量</p> <p>4.4.3 吊具の許容荷重</p> <p>4.4.4 <u>単軸粘性ダンパの許容限界</u></p> <p>4.5 各部の評価方法</p> <p>4.5.1 <u>取水槽ガントリクレーン本体, 転倒防止装置, 走行レール, 単軸粘性ダンパブレース及び単軸粘性ダンパクレビス部の応力評価方法</u></p> <p>4.5.2 トロリの浮上り評価方法</p> <p>4.5.3 吊具の荷重評価方法</p> <p>4.5.4 <u>単軸粘性ダンパの変位及び荷重評価方法</u></p> <p>5. 評価条件・評価結果</p> <p>5.1 <u>評価条件</u></p> <p>5.2 <u>評価結果</u></p> <p>添付資料</p> <p>(2-1) <u>取水槽ガントリクレーンの改造箇所</u></p> <p>(2-2) <u>取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用性</u></p> <p>(2-3) <u>取水槽ガントリクレーンの解析ケースの設定</u></p>	<p>・設備構成の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>①の相違</p> <p>・設備構成の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>①の相違</p> <p>・設備構成の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>①の相違</p> <p>・記載方針の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉では, 評価結果に加えて, 評価条件についても記載する(以下, ②の相違)</p> <p>・記載方針の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉では(9-3)で記載している</p> <p>・記載方針の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>女川2では添付資料2で記載している</p>

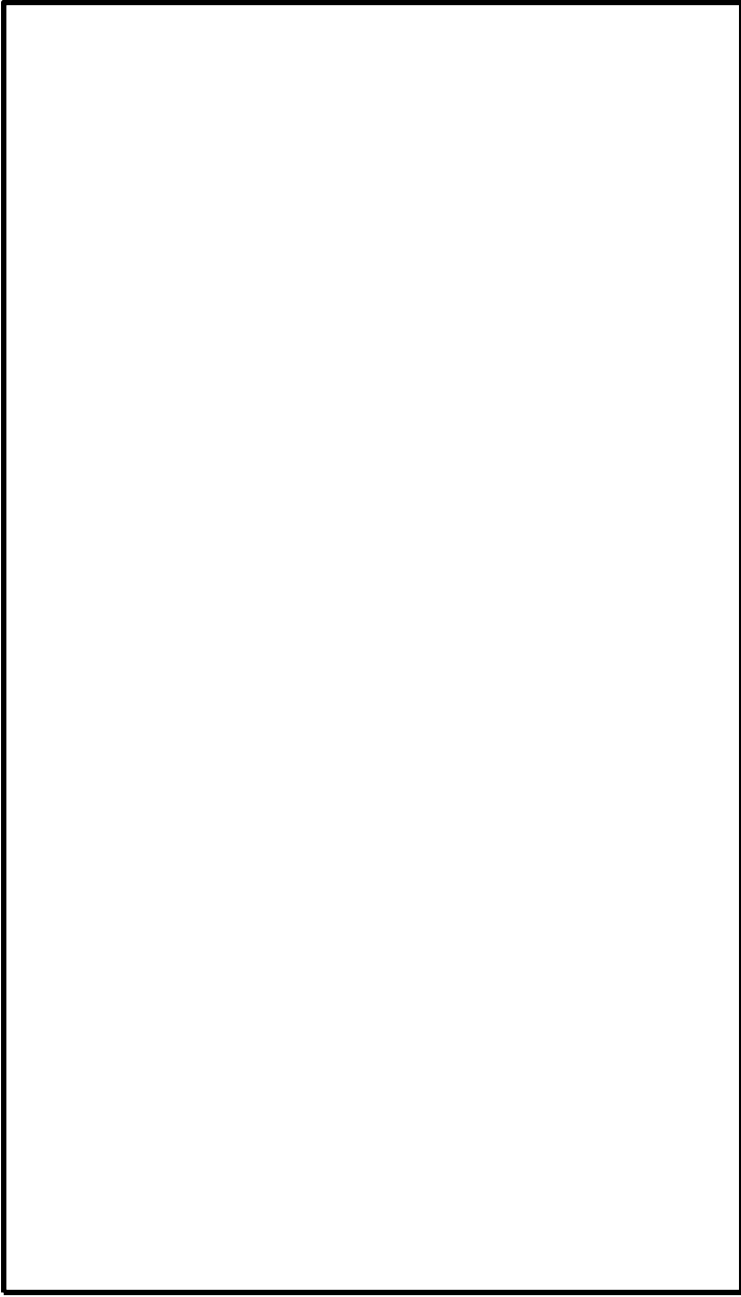
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p><u>説明</u></p> <p>1. はじめに 設計基準対象施設のうち耐震重要度分類Sクラスに属する施設、その間接支持構造物及び屋外重要土木構造物（以下「Sクラス施設等」という。）が下位クラス施設の波及的影響によってその安全機能を損なわないこと、また、重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「重要SA施設」という。）が下位クラス施設の波及的影響によって重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないことについては、「<u>上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討</u>」（以下「波及的影響検討」という。）の適合性評価において確認している。 波及的影響検討において抽出された下位クラス施設のうち、<u>女川2号炉の海水ポンプ室門型クレーン</u>については、<u>基準地震動Ss</u>に対して十分な構造強度を有することを確認することでSクラス施設等及び重要SA施設（以下「上位クラス施設」という。）へ地震時に影響を及ぼさないことを説明する。</p> <p>2. 基本方針 2.1 要求事項 <u>海水ポンプ室門型クレーン</u>は海水ポンプ室を跨ぐ形で設置されており、<u>海水ポンプ室補機ポンプエリア</u>に設置している非常用海水ポンプ等のメンテナンスに使用される設備である。<u>海水ポンプ室門型クレーンの設置位置</u>について第2.1-1図に示す。 発電所の運転中など非常用海水ポンプ等のメンテナンスを実施しない期間は、<u>海水ポンプ室門型クレーン</u>は図中に示す通常待機位置に待機しているため、周辺の上位クラス施設とは十分な離隔</p>	<p>(2-4) <u>取水槽ガントリクレーン車輪部の非線形要素（摩擦、接触、減衰）</u> (2-5) <u>取水槽ガントリクレーン本体及びトロリのすべりの影響</u> <u>について</u></p> <p>1. はじめに 設計基準対象施設のうちSクラスに属する施設、その間接支持構造物及び屋外重要土木構造物（以下「Sクラス施設等」という。）が下位クラス施設の波及的影響によってその安全機能を損なわないこと、また、重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「重要SA施設」という。）が下位クラス施設の波及的影響によって重大事故等に対処するために必要な機能を損なわないことについては、「<u>別紙-9 下位クラス施設の波及的影響の検討について</u>」（以下「波及的影響検討」という。）において確認している。 波及的影響検討において抽出された下位クラス施設のうち、<u>島根2号炉の取水槽ガントリクレーンの耐震評価</u>について、<u>取水槽ガントリクレーンがレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、鉛直方向地震力に対する車輪の浮上り等の挙動を考慮した応答解析の方法及び耐震評価の方法</u>について示す。また、<u>耐震評価を実施し、構造成立性</u>の見通しを示す。なお、<u>取水槽ガントリクレーンに設置する単軸粘性ダンパの詳細</u>については、「<u>別紙-18 機器・配管系への制震装置の適用について</u>」に示す。</p> <p>2. 基本方針 2.1 要求事項 <u>取水槽ガントリクレーン</u>は、<u>取水槽海水ポンプエリア及び取水槽循環水ポンプエリア</u>を跨いで設置されており、<u>原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンス</u>に使用される設備である。<u>取水槽ガントリクレーンの設置位置</u>について第2-1図に示す。 発電所の運転中など原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンスを実施しない期間は、<u>取水槽ガントリクレーン</u>は待機位置に待機しており、周辺の上位クラス施設とは十分な離隔距離があることか</p>	<p>・記載方針の相違 【女川2】 女川2では、参考資料1, 参考資料3に記載</p> <p>・設備構成の相違 【女川2】 ①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>距離があることから波及的影響を及ぼすおそれはない。一方で、定期検査中など非常用海水ポンプ等のメンテナンスを実施する期間には、上位クラス施設が設置されている補機ポンプエリア付近に位置することとなる。そのため、海水ポンプ室門型クレーンが地震に伴う損傷・落下によって補機ポンプエリアに設置されている上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことが要求される。</p> <div data-bbox="973 569 1679 1096" style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">第 2.1-1 図 海水ポンプ室門型クレーンの設置位置概要</p> <p>2.2 構造の概要</p> <p>海水ポンプ室門型クレーンは剛脚、揺脚、ガーダ及びトロリなどの構造体で構成されている。全体構造図を第 2.2-1 図に示す。</p> <p>剛脚、揺脚はその上部にあるガーダを支持し、下部には走行装置が設置されている。剛脚はガーダと剛接合、揺脚はクレーン走行方向の軸回りに摺動回転可能な継手でガーダと接合されている。</p>	<p>ら波及的影響を及ぼすおそれはない。一方で、定期検査中など原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンスを実施する期間には、上位クラス施設が設置されている取水槽海水ポンプエリア付近に位置することとなるため、取水槽ガントリクレーンが地震に伴う損傷、落下によって上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことが要求される。</p> <div data-bbox="1804 548 2457 1121"> </div> <p style="text-align: center;">第 2-1 図 取水槽ガントリクレーンの設置位置及び 取水槽周辺の上位クラス施設概要</p> <p>2.2 構造の概要</p> <p>2.2.1 取水槽ガントリクレーンの主要構造</p> <p>取水槽ガントリクレーンの主要な構造部材としては、脚、ガーダ、トロリ、ホイスト、単軸粘性ダンパがある。構造を第 2-2 図に示す。</p> <p>脚はガーダを支持し、下部には走行車輪が設置されている。</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設備構成の相違【女川 2】①の相違 ・設備構成の相違【女川 2】女川 2 号炉では脚に剛脚、揺脚の 2 種があるが、島根 2 号炉取水槽ガントリクレーンには揺脚はない

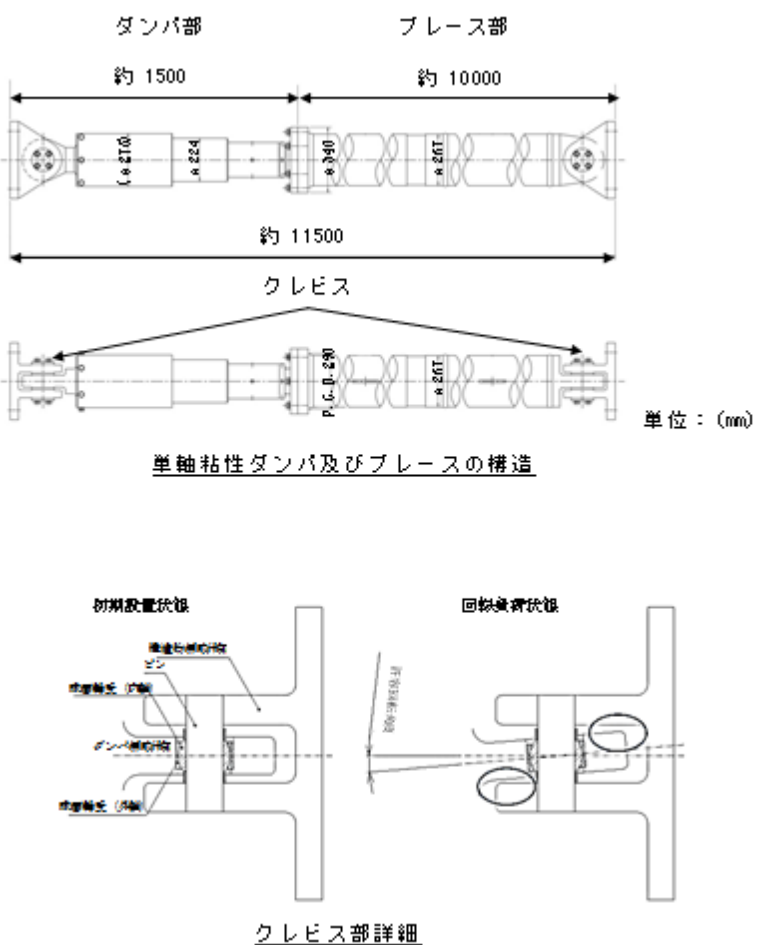
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>ガーダは剛脚、揺脚の上部に設置されており、その上面にトロリが移動するための横行レールが設置されている。トロリは横行レール上に位置しており、非常用海水ポンプ等のメンテナンス時等に吊荷を巻き上げるための巻上げ装置を有している。非常用海水ポンプ等のメンテナンス時には、トロリに設置された巻上げ装置とワイヤロープ及び主巻フックを介し、吊荷の吊上げ、吊下げ、移動等の作業を実施する。</p> <p>また、クレーン本体は海水ポンプ室の東側と西側に敷設された走行レール上を剛脚、揺脚下部にある走行装置並びに車輪によって移動する。トロリについてはガーダ上面の横行レール上をトロリ下部にある走行装置並びに車輪によって移動する。</p> <p>さらに、クレーン本体、トロリの脱輪による転倒もしくは落下を防止するため、それぞれ脱線防止装置、トロリストoppaが設置されており、地震発生時に浮上りが起こった場合でも脱輪による転倒もしくは落下を生じない構造となっている。</p> <p>なお、本資料で示す評価結果は、改造工事实施後の状態に対するものである。改造工事の概要を添付資料 1 に示す。</p>	<p>ガーダは脚の上部にあり、その上面にトロリが移動するための横行レールが設置されており、下部にはホイストレールが設置されている。原子炉補機海水ポンプ等のメンテナンス時には、トロリに設置された巻上げ装置(主巻)、又はホイストを使用して、ワイヤロープ及びフックを介し、吊荷の吊上げ、吊下げ、移動等の作業を実施する。</p> <p>取水槽ガントリクレーンは大型の構造物であり、制震装置の設置による地震荷重の低減が耐震性向上に有効である。取水槽ガントリクレーンの応答は、走行レールの直交方向に脚が変形する振動モードが支配的であり、ガーダと脚の間にブレースを介して単軸粘性ダンパを制震装置として設置する。</p> <p>単軸粘性ダンパ取付部の構造を第 2-3 図に示す。ダンパ本体の長さは標準設計の約 1.5m とし、これに約 10m のブレースを接続している。単軸粘性ダンパとガーダの接続、ブレースと脚の接続部にはクレビスと呼ぶ回転部を設けている。このクレビスは単軸粘性ダンパの伸縮方向と直交する一方向にはピンを軸として自由に回転可能となっている。また、ピンの軸受部は球面軸受となっており、クレビスの回転方向以外の方向にも約 3 度の許容回転角度を有することで、単軸粘性ダンパに伸縮方向以外の荷重が加わらない構造としている。</p> <p>単軸粘性ダンパ及び取付部材の質量は適切に地震応答解析モデルに反映する。</p> <p>取水槽ガントリクレーン本体は、取水槽海水ポンプエリアの北側と取水槽循環水ポンプエリア南寄りに敷設された走行レール上を脚下部にある走行装置及び車輪によって東西方向に移動する。トロリは、ガーダ上面の横行レール上を横行装置及び横行車輪によって南北方向に移動する。ホイストは、ガーダ下に設置されたホイストレールに沿って、南北方向に移動する。</p> <p>また、取水槽ガントリクレーン本体の地震による転倒を防止するため、本体下部に転倒防止装置が設置されており、地震時に浮上りが生じた場合でも転倒しない構造となっている。トロリにはトロリストoppaを設置しており、浮上りによる脱線・落下を防止する構造となっている。</p> <p>なお、本資料で示す取水槽ガントリクレーンの構造は、改造後の状態のものである。改造箇所の概要を添付資料 (2-1) に示す。</p>	<p>(以下、③の相違)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設備構成の相違【女川 2】①の相違 ・設備構成の相違【女川 2】①の相違 ・設備構成の相違【女川 2】①の相違 ・設備構成の相違【女川 2】①の相違

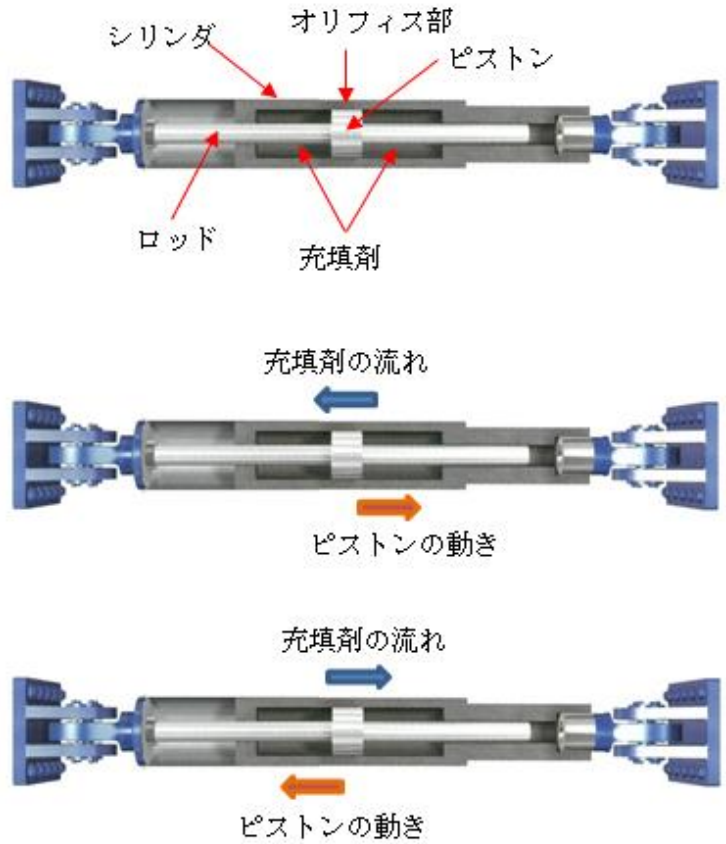


第2.2-1図 海水ポンプ室門型クレーン全体構造図

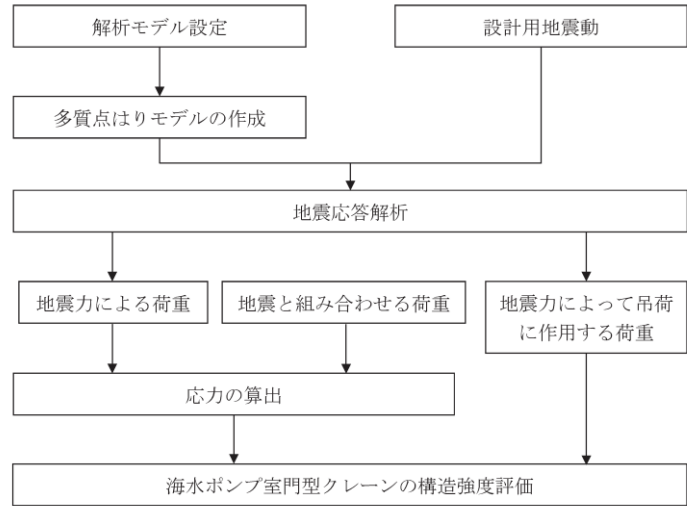
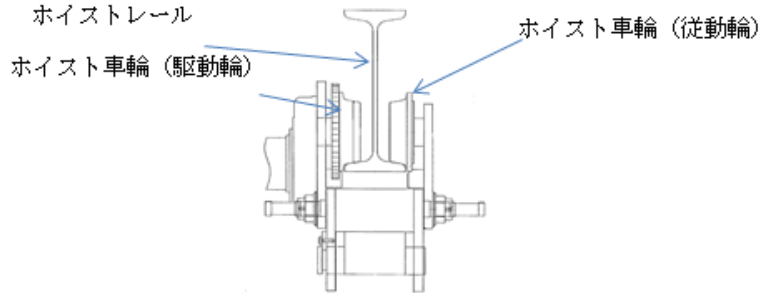
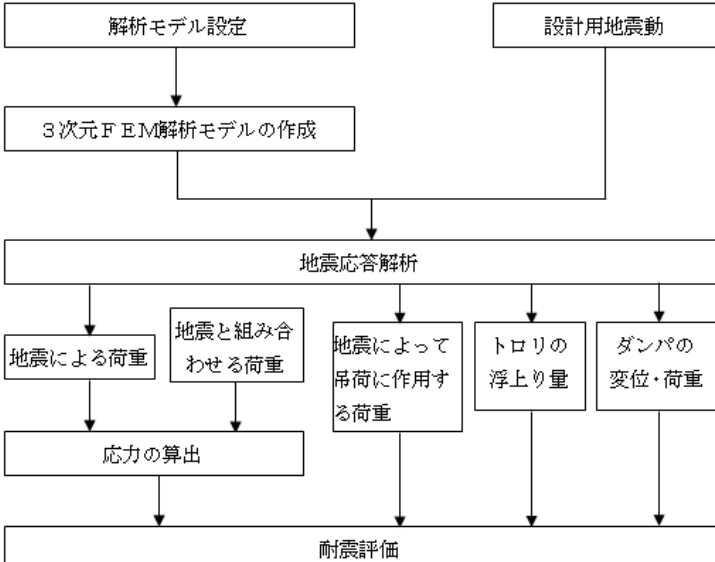


第2-2図 取水槽ガントリクレーンの構造

柏崎刈羽原子力発電所 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="1884 934 2270 955">単軸粘性ダンパ及びブレースの構造</p> <p data-bbox="2003 1375 2151 1396">クレビス部詳細</p> <p data-bbox="1884 1417 2359 1438">第2-3図 単軸粘性ダンパ取付部の構造</p> <p data-bbox="1736 1606 2033 1627">2.2.2 単軸粘性ダンパ</p> <p data-bbox="1736 1648 2507 1900">単軸粘性ダンパの仕様を第2-1表に示す。単軸粘性ダンパの基本構成、動作を第2-4図に示す。単軸粘性ダンパは、ピストン、ロッドが軸方向に移動することにより、シリンダ内面とピストンの外面の間に形成されるオリフィス部を粘性流体が流れ、その抵抗力により減衰性能を発揮するものである。単軸粘性ダンパの粘性体は化学的に安定であり、消防法で定められている危険物に該</p>	<p data-bbox="2537 1417 2745 1543">・設備構成の相違 【女川2】 ①の相違</p> <p data-bbox="2537 1606 2745 1732">・設備構成の相違 【女川2】 ①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>当しない。</p> <p style="text-align: center;">第 2-1 表 単軸粘性ダンパの仕様</p> <table border="1" data-bbox="1745 569 2487 678"> <thead> <tr> <th>定格荷重 (kN)</th> <th>全長 (mm)</th> <th>外径 (mm)</th> <th>質量 (kg)</th> <th>許容荷重 (kN)</th> <th>許容変位 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>220</td> <td>1535</td> <td>224</td> <td>533</td> <td>300</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">第 2-4 図 単軸粘性ダンパの動作原理</p> </div> <p>2.2.3 転倒防止装置の構造</p> <p>取水槽ガントリクレーン本体車輪部には、地震によって浮上りが発生した場合でも転倒しないように転倒防止装置が取り付けら</p>	定格荷重 (kN)	全長 (mm)	外径 (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)	許容変位 (mm)	220	1535	224	533	300	100	<p>備考</p> <p>・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違</p> <p>・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違</p> <p>・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違</p>
定格荷重 (kN)	全長 (mm)	外径 (mm)	質量 (kg)	許容荷重 (kN)	許容変位 (mm)										
220	1535	224	533	300	100										

柏崎刈羽原子力発電所 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>れており、浮上りによる脱線・転倒を防止する構造となっている。転倒防止装置の構造を第2-5図に示す。</p> <p style="text-align: center;">第2-5図 転倒防止装置の構造</p> <p><u>2.2.4 トロリストoppa</u></p> <p>トロリの車輪部には、地震によって浮上りが発生した場合でも落下しないようにトロリストoppaを設置し、浮上りによる脱線・落下を防止する構造とする。トロリストoppaの概略構造を第2-6図に示す。</p> <p style="text-align: center;">第2-6図 トロリストoppaの概略構造</p> <p><u>2.2.5 ホイストレール・車輪</u></p> <p>ホイストは、ホイスト車輪がホイストレールを挟み込むことにより懸架されている。ホイストレール及びホイスト車輪の構造を第2-7図に示す。</p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設備構成の相違 【女川2】 ①の相違 ・記載方針の相違 【女川2】 女川2では、3.1にトロリストoppaを記載 ・記載方針の相違 【女川2】 女川2では、第3.1-2図にトロリストoppaを記載 ・設備構成の相違 【女川2】 ①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>2.3 評価方針</p> <p>海水ポンプ室門型クレーンの評価については、「2.2 構造の概要」にて示した海水ポンプ室門型クレーンの構造を踏まえ作成した「3.1 解析方法及び解析モデル」に示す解析モデルを用いて解析を行う。解析によって得られた結果を用いて「3.2 評価対象部位」に示す構造部位について発生する応力を算出し、許容限界以内であることを確認する。応力評価の方法と評価結果については、それぞれ「4. 評価方法」と「5. 評価結果」に示す。</p> <p>海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価方法のフローを第2.3-1図に示す。</p>  <p>第2.3-1 図 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価フロー</p>	 <p>第2-7 図 ホイストレール及び車輪の構造</p> <p>2.3 評価方針</p> <p>取水槽ガントリクレーンの耐震評価にあたっては、「2.2 構造の概要」にて示した取水槽ガントリクレーンの構造を踏まえ作成した「3.1 解析方法及び解析モデル」に示す解析モデルを用いて地震応答解析を行う。解析によって得られた結果を用いて「4. 耐震評価方法」に示す方法により応力、荷重等が許容限界以内であることを確認する。</p> <p>取水槽ガントリクレーンの耐震評価フローを第2-8図に示す。</p>  <p>第2-8 図 取水槽ガントリクレーンの耐震評価フロー</p>	<p>備考</p> <p>・設備構成の相違 【女川2】 ①の相違</p> <p>・設備構成の相違 【女川2】 ①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>2.4 適用規格</p> <p>・「<u>発電用原子力設備規格 設計・建設規格 JSME S NC 1-2005/2007</u>」(社) 日本機械学会</p> <p>・「<u>原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984</u>」(社) 日本電気協会</p> <p>・「<u>原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987</u>」(社) 日本電気協会</p> <p>・「<u>原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版</u>」(社) 日本電気協会</p> <p>3. 耐震評価方法</p> <p>3.1 解析方法及び解析モデル</p> <p><u>海水ポンプ室門型クレーンの応力評価に用いる地震荷重及び荷重評価に用いる加速度を算定するための地震応答解析について以下に示す。</u></p> <p>3.1.1 解析方法の詳細</p> <p>(1) <u>海水ポンプ室門型クレーンは、地震加速度によって浮上りが発生する可能性があるため、その浮上り状況を適切に評価するために、多質点はりモデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。海水ポンプ室門型クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用性については添付資料 3 に示す。</u></p> <p>(2) <u>クレーン本体及びトロリの車輪部はレール上に乗っており固定されていないため、すべりが発生する構造であることから、解析に当たっては車輪、レールのすべり状況を考慮する。</u></p> <p>(3) 吊具の評価を行う場合は、トロリにワイヤロープを模擬したトラス要素と吊荷を模擬した質点を設けて地震応答解析を実施し、吊具に発生する<u>加速度</u>を算出し、これを用いて評価を行う。また、ワイヤロープについては、引張方向(鉛直下向き)にのみ荷重を受け、圧縮方向(鉛直上向き)の荷重を受けない設定とする。</p>	<p>2.4 適用規格</p> <p><u>取水槽ガントリクレーンの設計には、以下の規格(以下「JEAG 4601等」という。)を適用する。</u></p> <p>・「<u>原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987</u>」(社) 日本電気協会</p> <p>・「<u>原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984</u>」(社) 日本電気協会</p> <p>・「<u>原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版</u>」(社) 日本電気協会</p> <p>・「<u>発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版を含む)) <第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007</u>」(日本機械学会)</p> <p>3. 応答解析の方法</p> <p>3.1 解析方法及び解析モデル</p> <p><u>取水槽ガントリクレーンの地震応答解析方法及び解析モデルについて以下に示す。</u></p> <p>3.1.1 解析方法の詳細</p> <p>(1) <u>取水槽ガントリクレーンは、地震時に浮上りが発生する可能性があり、浮上り状況を適切に評価するために3次元FEM解析モデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用性については添付資料(2-2)に示す。</u></p> <p>(2) <u>取水槽ガントリクレーン本体及びトロリの車輪部はレール上に乗っており固定されていないため、すべりが発生する構造であることから、解析にあたっては車輪、レールのすべり状況を考慮する。</u></p> <p>(3) 吊具の評価を行う場合は、トロリに設置された<u>主巻、ホイスト</u> <u>トレールに設置されたホイスト</u>にワイヤロープを模擬したトラス要素と吊荷を模擬した質点を設けて地震応答解析を実施し、吊具に発生する<u>張力</u>を算出し、これを用いて評価を行う。また、ワイヤロープについては、引張方向(鉛直下向き)にのみ荷重を受け、圧縮方向(鉛直上向き)の荷重を受けない</p>	<p>備考</p> <p>・設備構成の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>①の相違</p>

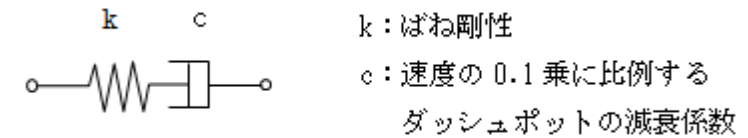
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>設定とする。</p> <p>(4) <u>単軸粘性ダンパの減衰性能は、抵抗力が速度の 0.1 乗に比例するダッシュポットとばねを直列に接続した Maxwell モデルでモデル化する。単軸粘性ダンパの Maxwell モデルを第 3-1 図に示す。なお、単軸粘性ダンパの減衰性能とモデル化の詳細については、別紙-18「機器・配管系への制震装置の適用について」に示す。</u></p> <p>(5) <u>減衰定数については、既往の研究等によって妥当性が確認され、クレーン類に適用実績のある値として水平、鉛直方向ともに 2.0%とし、</u></p> <p><u>レイリー減衰を設定する。レイリー減衰は、質量マトリクス及び剛性マトリクスの線形結合により、以下の式で表される。</u></p> $[C] = \alpha[M] + \beta[K]$ <p><u>[C] : 減衰マトリクス</u> <u>[M] : 質量マトリクス</u> <u>[K] : 剛性マトリクス</u> <u>α, β : 係数</u></p> <p><u>係数α, βは、取水槽ガントリクレーンの固有振動数において、適用する減衰定数とレイリー減衰が一致するように以下の式で求める。</u></p> $h = \frac{\alpha}{2\omega_n} + \frac{\beta\omega_n}{2}$ <p><u>h : 減衰比</u> <u>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</u></p> <p><u>具体的には、取水槽ガントリクレーンの固有値解析の結果から、NS方向の 1 次固有振動数 (1.97Hz) 及び鉛直方向の 1 次固有振動数 (4.48Hz) において減衰比が 2.0%となるように係数α, βを設定する。設定したレイリー減衰の各固有振動数における減衰比を第 3-2 図に示す。</u></p>	<p>・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違</p> <p>・記載方針の相違 【女川 2】 女川 2 では、3.3(1)に記載</p> <p>・記載方針の相違 【女川 2】 島根 2 号炉ではレイリー減衰についても詳細に記載 (以下、⑤の相違)</p>

- (4) 解析コードは「ABAQUS Ver6. 11」を使用する。
- (5) 耐震評価については、トロリ位置及び吊荷有無によって地震時の挙動が変化する可能性があるため、第3.1-1表に示すとおり、トロリ位置3パターン（剛脚側、揺脚側、中央）、吊荷有無2パターン（吊荷有、吊荷無）を考慮し、全6ケースの評価を実施する。
- (6) 耐震評価に用いる寸法は公称値を使用する。

第3.1-1表 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価ケース

評価対象	クレーン本体、車輪部、浮上がり、及び吊具	
	吊荷有	吊荷無
トロリ位置		
剛脚側	ケース1	ケース4
揺脚側	ケース2	ケース5
中央	ケース3	ケース6

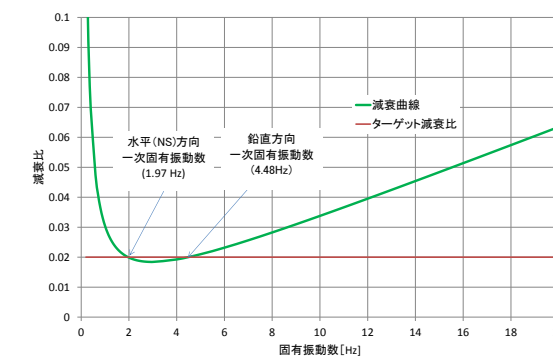
- (6) 解析コードはABAQUS (Ver. 6. 11-1)を使用する。
- (7) 地震応答解析にあたっては、トロリ及びホイストの位置や吊荷の有無によって地震時の応答が変化する可能性があるため、トロリ及びホイストの位置並びに吊荷の有無を考慮し解析ケースを設定する（添付資料(2-3)）。トロリとホイストを同時に使用することはないため、いずれかが吊荷有りの場合は、もう一方は待機位置で吊荷なしとする。なお、吊荷の質量はそれぞれの最大質量を設定する。解析ケースを第3-1表に示す。
- (8) 耐震評価に用いる寸法は公称値を使用する。



第3-1図 単軸粘性ダンパのMaxwellモデル

第3-1表 取水槽ガントリクレーンの解析ケース

ケース	トロリ		ホイスト	
	位置	吊荷有無 (質量)	位置	吊荷有無 (質量)
1	待機位置	なし	待機位置	なし
2	中央	有り (50t)	待機位置	なし
3	待機位置	なし	中央	有り (17t)



第3-2図 設定したレイリー減衰の各固有振動数における減衰比

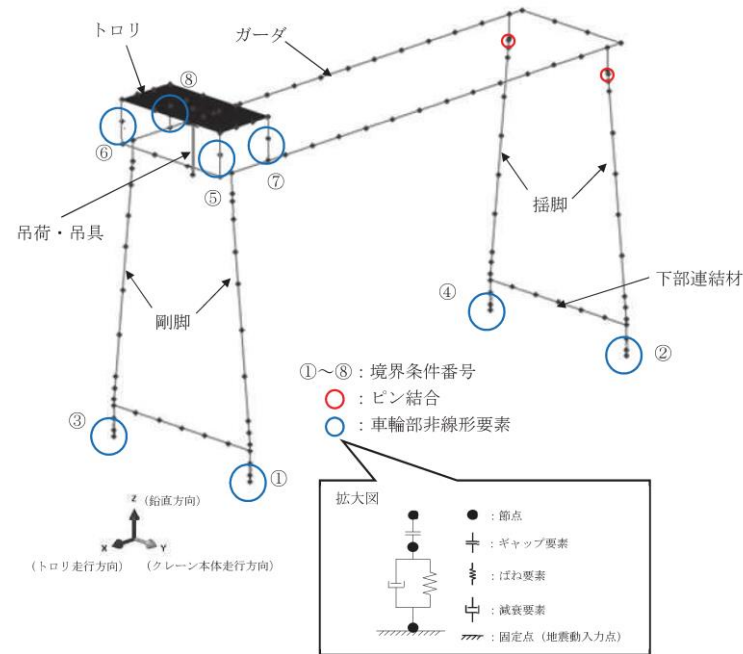
・設備構成の相違
【女川2】
①の相違

・設備構成の相違
【女川2】
①の相違

・記載方針の相違
【女川2】
⑤の相違

3.1.2 解析モデル及び諸元

解析モデルはクレーン本体をはり要素でモデル化した多質点はりモデルとする。解析モデル概要図を第3.1-1 図に示す。クレーン諸元及び解析モデル諸元を第3.1-2 表及び第3.1-3 表に示す。



第3.1-1 図 海水ポンプ室門型クレーンの解析モデル概要図
 (トロリ位置：剛脚側、吊荷有無：吊荷有(ケース1))

第3.1-2 表 クレーン諸元

部位	質量 (t)
クレーン本体 (脚, ガーダ等含む)	150.9
トロリ	28.8
吊具	2.0
吊荷 (定格荷重)	95.0
合計	276.7

第3.1-3 表 解析モデル諸元

部材	縦弾性係数 (MPa)	断面二次モーメント (cm ⁴)		断面積 (cm ²)
		強軸廻り	弱軸廻り	
剛脚 (代表断面*)	201000			
揺脚 (代表断面*)	201000			
下部連結材 (剛脚側)	201000			
下部連結材 (揺脚側)	201000			
ガーダ	201000			

* 剛脚及び揺脚における中央位置における断面

3.1.2 解析モデル及び諸元

取水槽ガントリクレーンの解析モデルは、取水槽ガントリクレーン本体を質点及びはり要素でモデル化した3次元FEM解析モデルとする。取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデルの概要を第3-3 図に示す。取水槽ガントリクレーン諸元及び解析モデル諸元を第3-2 表及び第3-3 表に示す。



第3-3 図 取水槽ガントリクレーンの地震応答解析モデル

第3-2 表 取水槽ガントリクレーン諸元

部位	質量 (t)
取水槽ガントリクレーン本体 (脚, ガーダ等含む)	162.5
トロリ	17.8
吊具 (主巻ワイヤ, フック)	2.0
ホイスト	3.5
吊具 (ホイストワイヤ, フック)	0.7
吊荷 (最大荷重)	50
合計	236.5

第3-3 表 取水槽ガントリクレーン解析モデル諸元

部材	縦弾性係数 (MPa)	断面二次モーメント (mm ⁴)		断面積 (mm ²)
		Iz	Iy	
ガーダ	202000			
脚	202000			
ガーダ継ぎ	202000			
脚下部継ぎ	202000			

柏崎刈羽原子力発電所 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>3.1.3 解析モデルの境界条件</p> <p><u>クレーン本体車輪部</u> (駆動輪, 従動輪) と走行レール, <u>トロリ車輪部</u> (駆動輪, 従動輪) と横行レールにおける解析モデルの境界条件をそれぞれ第3.1-4表, 第3.1-5表に示す。</p> <p><u>クレーン本体車輪部</u>においては, <u>Y方向</u> (クレーン本体走行方向) 及び<u>Z方向</u> (鉛直方向) について, それぞれすべり, <u>浮上がり</u>を考慮しているため, 非拘束条件としている。また, <u>X方向</u> (クレーン本体走行方向の直交方向) については<u>クレーン本体車輪部</u>と走行レールとの間隙 (片側約17.5mm) 及び<u>脱線防止装置</u>と<u>躯体の間隙</u> (片側約20mm) は非常に狭く, 地震時には, <u>クレーン本体車輪部</u>と走行レールが接触して荷重が伝達されるため, 拘束条件としている。</p> <p>一方, <u>トロリ車輪部</u>においては, <u>X方向</u> (トロリ走行方向) 及び<u>Z方向</u> (鉛直方向) について, それぞれすべり, <u>浮上がり</u>を考慮して非拘束条件としている。また, <u>Y方向</u> (トロリ走行方向の直交方向) については, <u>トロリ車輪部</u>と横行レールの間隙 (片側約9mm), <u>トロリストッパ</u>と<u>躯体の間隙</u> (片側約32mm) が非常に狭く, 地震時には, <u>トロリ車輪部</u>と横行レールが接触し, 荷重が伝達されることから, すべりを生じない拘束条件としている。</p> <p><u>クレーン本体車輪部</u>及び<u>トロリ車輪部</u>の概要図について, 第3.1-2図に示す。</p>	<p>3.1.3 解析モデルの境界条件</p> <p><u>走行車輪</u> (駆動輪, 従動輪) と走行レール, <u>横行車輪</u> (駆動輪, 従動輪) と横行レール, <u>ホイスト車輪</u> (駆動輪, 従動輪) と<u>ホイストレール</u>における解析モデルの境界条件をそれぞれ第3-4表, 第3-5表, 第3-6表に示す。</p> <p><u>走行車輪</u>においては, <u>EW方向</u> (クレーン本体走行方向) 及び鉛直方向について, それぞれすべり, <u>浮上り</u>を考慮しているため, 非拘束条件としている。また, <u>NS方向</u> (クレーン本体走行方向に直交する方向) については, <u>走行車輪</u>と走行レールとの間隙 (片側約13mm) が小さく, 地震時には<u>走行車輪</u>と走行レールが接触して荷重が伝達されるため, すべりを生じない拘束条件としている。</p> <p><u>横行車輪</u>においては, <u>NS方向</u> (トロリ横行方向) 及び鉛直方向について, それぞれすべり, <u>浮上り</u>を考慮して非拘束条件としている。また, <u>EW方向</u> (トロリ横行方向に直交する方向) については, <u>横行車輪</u>と横行レールの間隙 (片側約9mm) が小さく, 地震時には<u>横行車輪</u>と横行レールが接触して荷重が伝達されるため, すべりを生じない拘束条件としている。</p> <p><u>ホイスト車輪</u>においては, <u>NS方向</u> (ホイスト横行方向) 及び鉛直方向について, それぞれすべり, <u>浮上り</u>を考慮して非拘束条件としている。また, <u>EW方向</u> (ホイスト横行方向に直交する方向) については, <u>ホイスト車輪</u>と<u>ホイストレール</u>の間隙 (片側約5mm) が小さく, 地震時には<u>ホイスト車輪</u>と<u>ホイストレール</u>が接触して荷重が伝達されるため, すべりを生じない拘束条件としている。</p> <p><u>走行車輪</u>, <u>横行車輪</u>及び<u>ホイスト車輪</u>の構造概要を第3-4図に示す。</p>	<p>・設備構成の相違 【女川2】 ①の相違</p> <p>・設備構成の相違 【女川2】 ①の相違</p> <p>・設備構成の相違 【女川2】 ①の相違</p>

第3.1-4表 境界条件 (クレーン本体車輪部と走行レール)

部位*		X方向 (クレーン本体走行方向 の直交方向)	Y方向 (クレーン本体 走行方向)	Z方向 (鉛直方向)
クレーン本体 車輪部と走行 レール	①(駆動輪)	拘束 ・走行レール及び 脱線防止装置に よる拘束	非拘束 ・すべり考慮 $\mu=0.3$	非拘束 ・浮上がり考慮
	②(駆動輪)			
	③(従動輪)		非拘束 ・追従移動 $\mu=0$	
	④(従動輪)			

* 部位欄の番号①～④は、図3.1-1中の①～④に対応。
 μ : 摩擦係数

第3.1-5表 境界条件 (トロリ車輪部と横行レール)

部位*		X方向 (トロリ走行方向)	Y方向 (トロリ走行方向の 直交方向)	Z方向 (鉛直方向)
トロリ車輪部 と横行レール	⑤(駆動輪)	非拘束 ・すべり考慮 $\mu=0.3$	拘束 ・横行レール及び トロリストップパ による拘束	非拘束 ・浮上がり考慮
	⑥(駆動輪)			
	⑦(従動輪)		非拘束 ・追従移動 $\mu=0$	
	⑧(従動輪)			

* 部位欄の番号⑤～⑧は、図3.1-1中の⑤～⑧に対応。
 μ : 摩擦係数

第3-4表 境界条件 (走行車輪 (クレーン本体車輪) と走行レール)

部位 ^{注1}	NS方向 (クレーン本体走行方向の 直交方向)	EW方向 (クレーン本体走行方向)	鉛直方向
駆動輪	【拘束】 走行レールによる 拘束	【非拘束】 すべり考慮 $\mu=0.3$	【非拘束】 浮上り考慮
従動輪		【非拘束】 追従による移動 $\mu=0$	

注1 : 部位については、第2-3添図参照
 μ : 摩擦係数

第3-5表 境界条件 (横行車輪 (トロリ車輪) と横行レール)

部位 ^{注1}	NS方向 (トロリの横行方向)	EW方向 (トロリ横行方向の 直交方向)	鉛直方向
駆動輪	【非拘束】 すべり考慮 $\mu=0.3$	【拘束】 横行レールによる 拘束	【非拘束】 浮上り考慮
従動輪	【非拘束】 追従による移動 $\mu=0$		

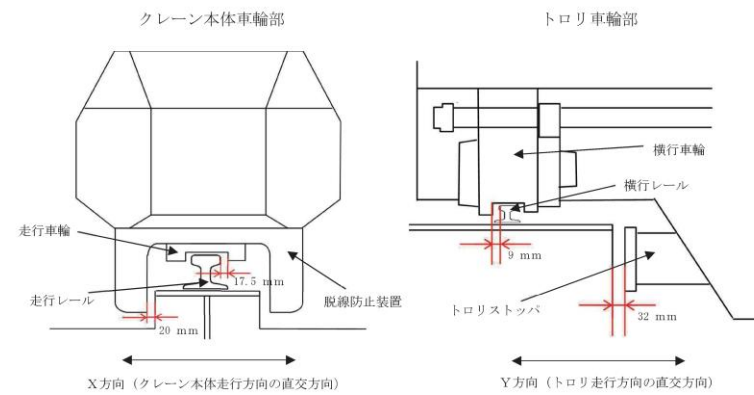
注1 : 部位については、第2-3添図参照
 μ : 摩擦係数

第3-6表 境界条件 (ホイスト車輪とホイストレール)

部位 ^{注1}	NS方向 (ホイストの横行方向)	EW方向 (ホイスト横行方向の 直交方向)	鉛直方向
駆動輪	【非拘束】 すべり考慮 $\mu=0.3$	【拘束】 ホイストレール による拘束	【非拘束】 浮上り考慮
従動輪	【非拘束】 追従による移動 $\mu=0$		

注1 : 部位については、第2-7図参照
 μ : 摩擦係数

・設備構成の相違
【女川2】
①の相違



第 3.1-2 図 クレーン本体車輪部及びトロリ車輪部概要図

3.2 評価対象部位

海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価は、クレーン運転時においてクレーン本体の損傷、転倒及び吊荷の落下により、海水ポンプ等が損傷することを防止するため、以下を評価対象部位として選定し、評価を実施する。

(1) クレーン本体

クレーン本体については、剛脚、揺脚、下部連結材及びガーダの応力評価を実施する。

(2) 脱線防止装置、トロリストップ

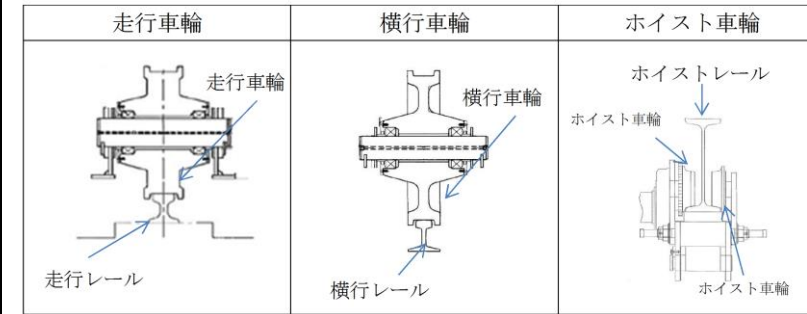
クレーン本体走行軸直交方向の荷重を負担するクレーン本体の脱線防止装置及びトロリ走行軸直交方向の荷重を負担するトロリストップについて応力評価を実施する。

また、脱線防止の観点から浮上りの評価を実施する。浮上りの評価では、クレーン本体の浮上り量と脱線防止装置の許容浮上り高さを比較する。トロリも同様に浮上り量とトロリストップの許容浮上り高さを比較する。

(3) 吊具

吊具については、ワイヤロープ及び主巻フックの荷重評価を実施する。

なお、海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価部位については、第 2.2-1 図中に示している。



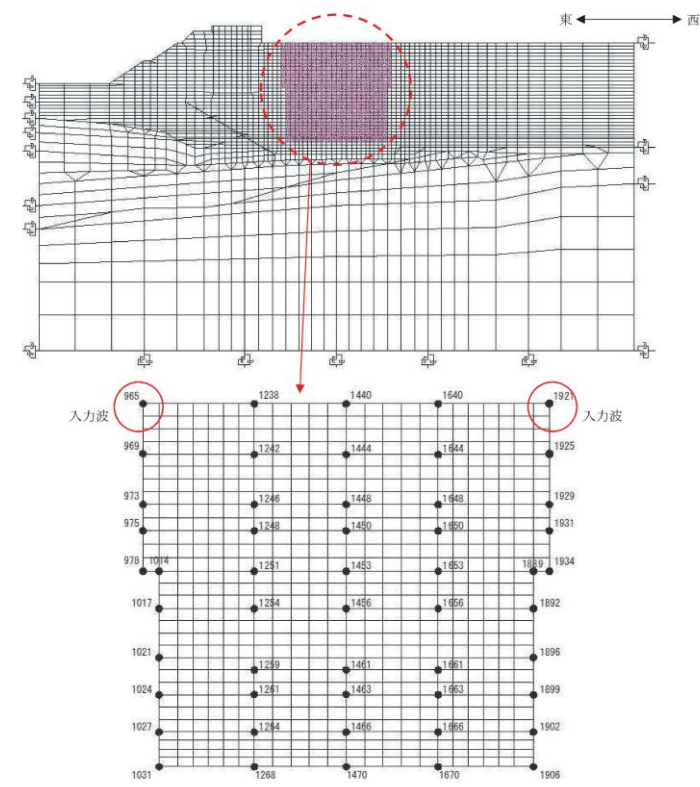
第 3-4 図 走行車輪、横行車輪及びホイスト車輪の構造概要図

・設備構成の相違
【女川 2】
①の相違

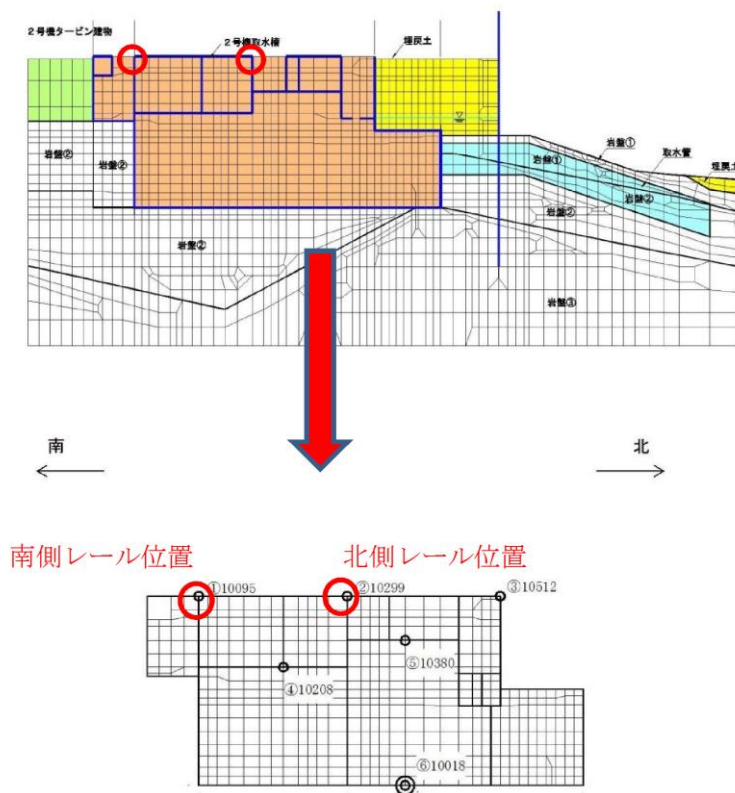
・記載方針の相違
【女川 2】
島根 2号炉では、同様の内容を 4.3 に記載

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 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>3.3 入力地震動</p> <p><u>海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価に適用する地震動に係る事項を以下に示す。</u></p> <p>(1) <u>適用する地震動について</u></p> <p><u>耐震評価に用いる地震動は、上位クラス施設の設計に適用する基準地震動 S_s とする。本検討では、女川2号炉の基準地震動 S_s 相当*による評価結果（暫定値）を示す。</u></p> <p><u>評価に用いる入力地震波は、海水ポンプ室門型クレーン走行レールの設置位置を考慮して海水ポンプ室の最上部の節点 (965, 1921) より求められる応答加速度時刻歴を適用する。海水ポンプ室の地震応答解析モデル図を第3.3-1 図に、入力加速度時刻歴波形を第3.3-2~5 図に示す。</u></p> <p><u>減衰定数については、既往の研究等によって妥当性が確認され、先行のクレーン類に適用実績のある値として水平、鉛直方向ともに2.0%を適用する。</u></p> <p><u>なお、工認段階では、女川2号炉の基準地震動 $S_s - D1 \sim N1$ (全7波) に対して評価を実施する。また、審査結果を踏まえて設定する海水ポンプ室の地震応答解析モデルの解析結果を適用すると</u></p>	<p>3.2 入力地震動</p> <p><u>取水槽ガントリクレーンの地震応答解析に適用する地震動に係る事項を以下に示す。</u></p> <p>(1) <u>適用する地震動</u></p> <p><u>取水槽ガントリクレーンの地震応答解析に適用する地震動は基準地震動 S_s とし、取水槽ガントリクレーン走行レールの設置位置を考慮して取水槽最上部の節点より求められる応答加速度時刻歴を適用する。取水槽のNS断面の地震応答解析モデルを第3-5 図に示す。この解析モデルより求めた基準地震動 $S_s - D$ のNS方向、鉛直方向の入力加速度時刻歴波形を第3-6 図、第3-7 図に、床応答スペクトルを第3-8 図に示す。なお、地震応答解析においては、南北レール位置の床応答スペクトルがほぼ同等のため、<u>取水槽ガントリクレーンの固有周期における応答加速度が大きい南側レール位置（節点10095）の加速度時刻歴を用いる。</u></u></p> <p><u>また、取水槽EW断面の地震応答解析モデルにより求めたEW方向の入力加速度時刻歴波形を第3-9 図に示す。</u></p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地震動の相違 【女川2】 女川2では、暫定の地震動を使用しているが、島根2号炉では、おおむね妥当と認められた基準地震動 S_s を使用する（以下、④の相違） ・記載方針の相違 【女川2】 島根2号炉では、時刻歴波に加え、床応答スペクトルを記載 ・記載方針の相違 【女川2】 島根2号炉では、EW方向の応答加速度時刻歴も記載 ・記載方針の相違 【女川2】 島根2号炉では同様の内容を3.1.1に記載 ・地震動の相違 【女川2】 ④の相違

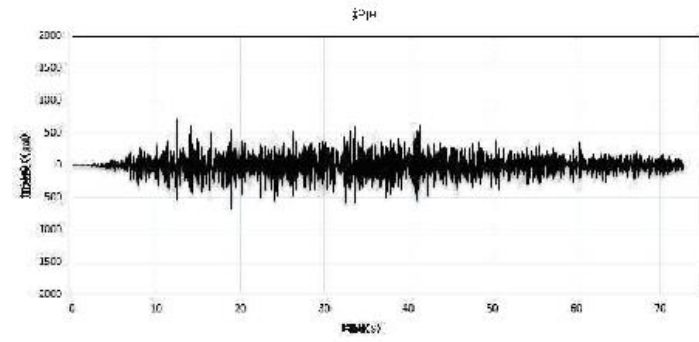
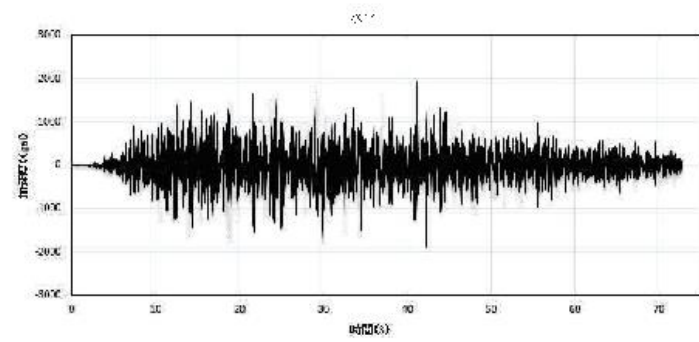
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>ともに、<u>地盤の不確かさ等の影響についても検討する。</u> <u>*平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss - 1, 2</u></p> <p>(2) <u>地震動の入力方向について</u> <u>水平方向及び鉛直方向の 3 方向同時入力 (X 方向 (トロッコ走行方向), Y 方向 (クレーン本体走行方向), Z 方向 (鉛直方向)) により評価を実施する。</u> <u>なお, クレーン本体の走行車輪と走行レールは固定されていないため, 走行方向においては, 各時刻における最大静止摩擦力以上の水平力が加わった場合, クレーン本体は走行レール上を滑る。</u></p> <p>(3) <u>時刻歴応答解析の保守性について</u> <u>床応答スペクトルを適用して評価する設備においては, 地盤物性等の不確かさを考慮して, 評価に用いる床応答スペクトルを±10%拡幅したものをを用いている。このため, 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価に時刻歴応答解析手法を適用するに当たっては, 海水ポンプ室門型クレーン評価への影響が大きい地震動に対し, ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION 1-NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) の規定を参照し, 床応答スペクトルの拡幅分の考慮分として, 時刻歴加速度波を時間軸方向に±10%シフトさせた時刻歴加速度波による解析で評価する。</u> <u>なお, ±10%シフトさせた床応答スペクトルの谷間にクレーンの固有周期が存在する場合は, ASME の規定に基づきピーク位置が固有周期にあたるように考慮した評価も行うなど, 時刻歴応答解析の保守性に配慮した詳細な検討を工認段階で実施する。</u> <u>参考として, 上記 ASME 規格の抜粋, 第 3.3-6 図に Time History Broadening の概念図を示す。</u></p>	<p>(2) <u>地震動の入力方向</u> <u>水平 2 方向及び鉛直方向の 3 方向同時入力 (NS 方向, EW 方向, 鉛直方向) により評価を実施する。</u></p> <p><u>なお, クレーン本体の走行車輪と走行レールは固定されていないため, 走行方向においては, 各時刻における最大静止摩擦力以上の地震慣性力が加わった場合, クレーン本体は走行レール上をすべる。</u></p> <p>(3) <u>地盤物性等の不確かさに対する検討方針</u> <u>スペクトルモーダル解析では, 床応答加速度は地盤物性等の不確かさによる固有周期の変動を考慮して周期方向に±10%拡幅した設計用床応答曲線を用いる。取水槽ガントリクレーンの地震応答解析では, 設計用床応答曲線を用いない時刻歴応答解析を採用するが, 制震装置により取水槽ガントリクレーンに付与される減衰が大きくなるため, 地盤物性等の不確かさによる固有周期の変動の影響は軽微であると考えられる。詳細設計段階において, ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION 1-NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) に規定された手法を踏まえ, 影響を確認する。</u></p> <p><u>Time History Broadening の概念を第 3-10 図に示す。</u></p>	<p>備考</p> <p>・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違</p>



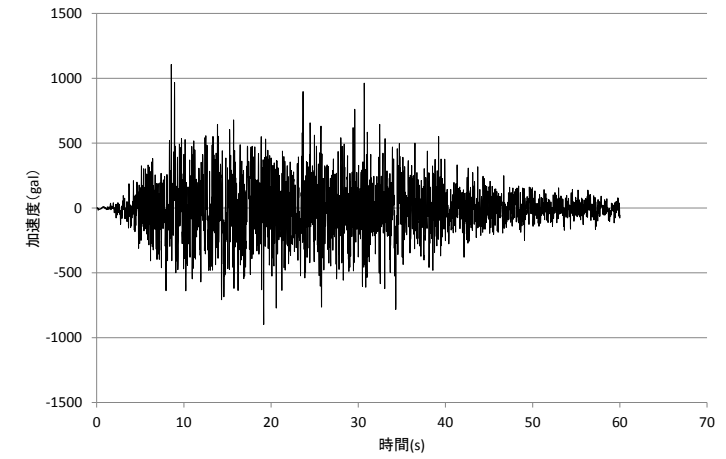
第 3.3-1 図 海水ポンプ室地震応答解析モデル図



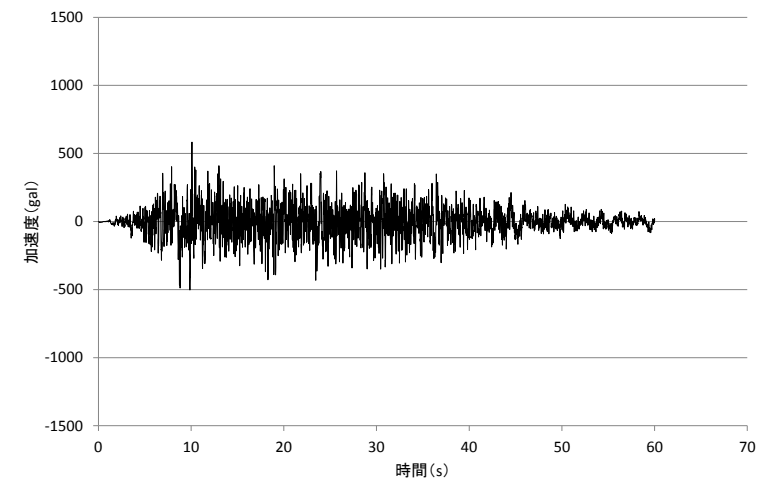
第 3-5 図 取水槽の地震応答解析モデル図 (N.S 断面)



第 3.3-2 図 入力加速度時刻歴波形 (S_s-1* 節点 965)
*平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 S_s

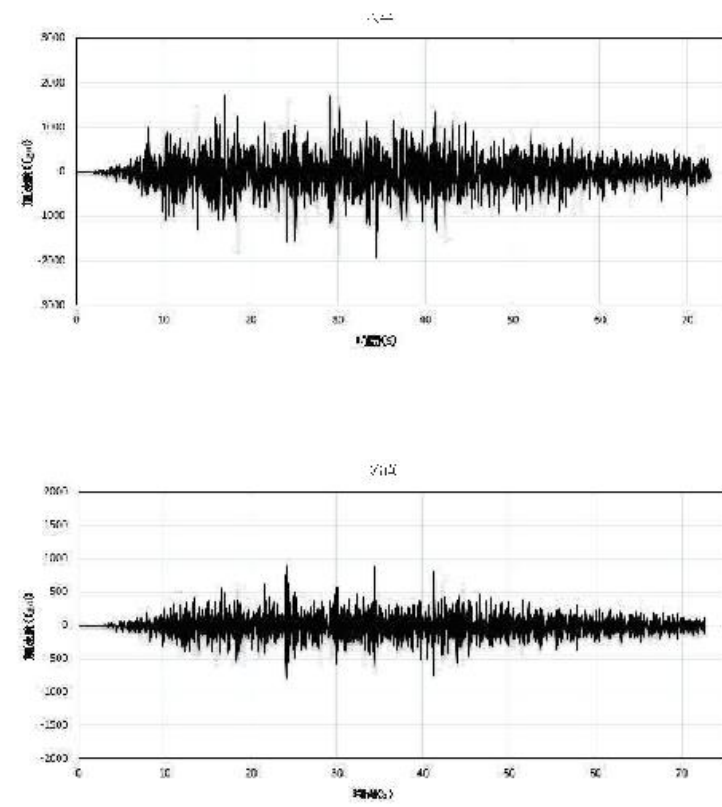


水平方向 (NS)

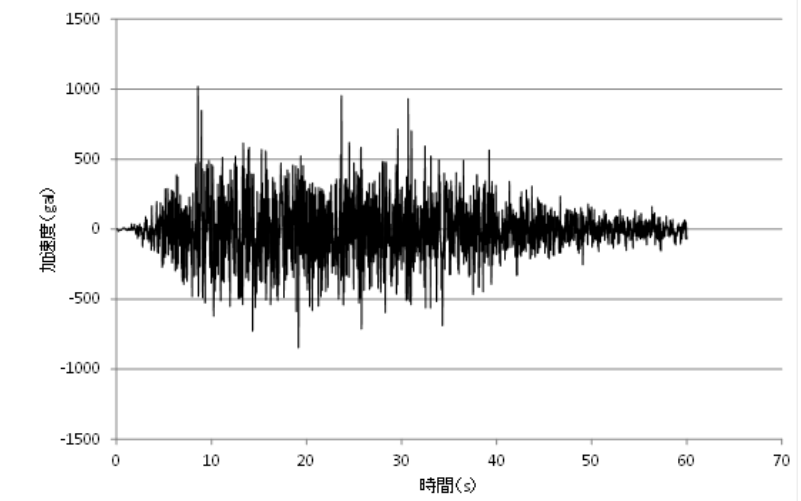


鉛直方向

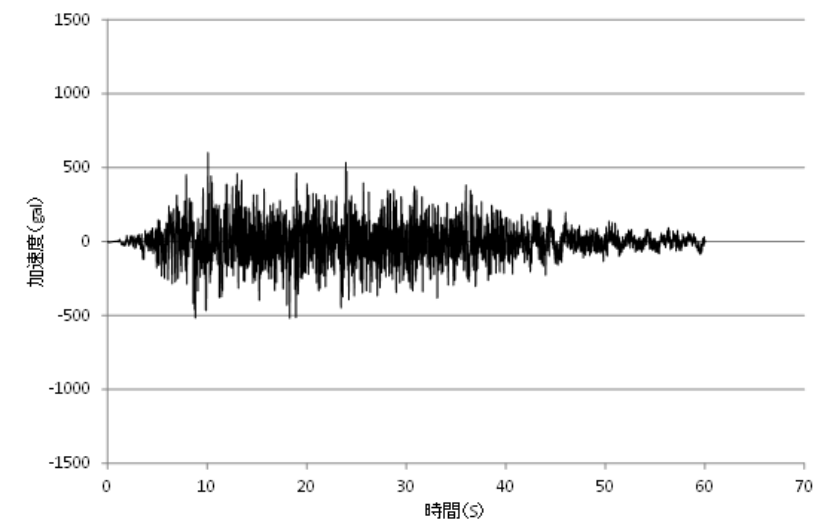
第 3-6 図 入力加速度時刻歴波形
(S_s-D 南側レール位置 (節点 10095))



第 3.3-3 図 入力加速度時刻歴波形 (S_s-1* 節点 1921)
*平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 S_s



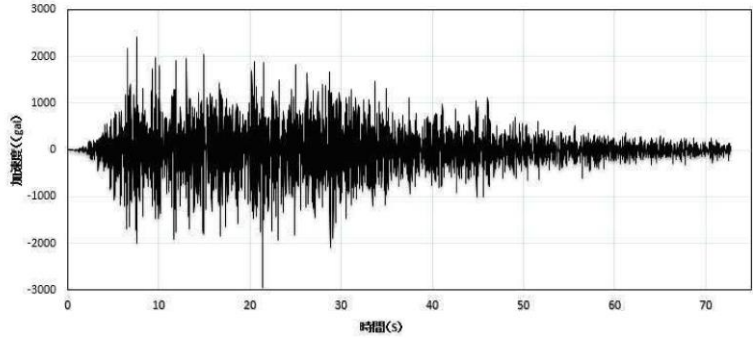
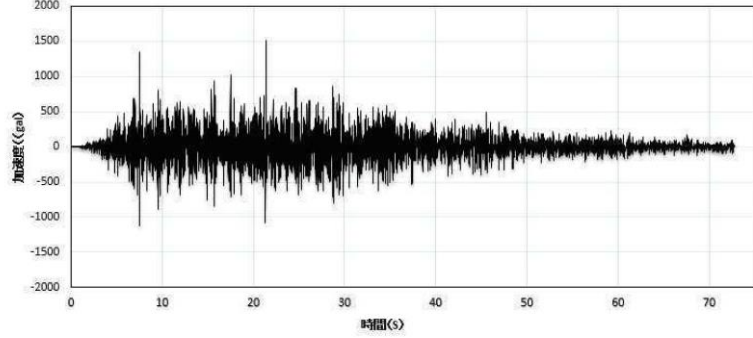
水平方向 (N S)



鉛直方向

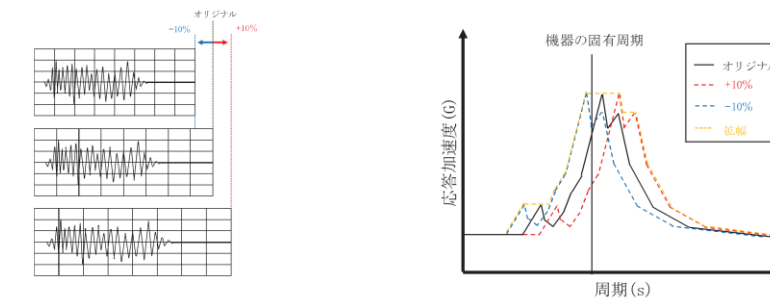
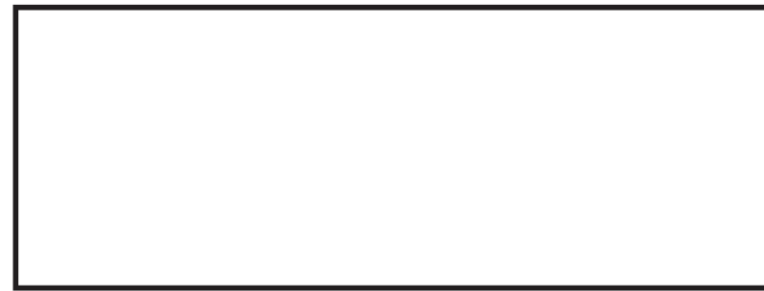
第 3-7 図 入力加速度時刻歴波形
(S_s-D 北側レール位置 (節点 10299))

柏崎刈羽原子力発電所 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="973 260 1656 596" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="973 697 1656 1033" data-label="Figure"> </div> <div data-bbox="979 1058 1668 1146" data-label="Caption"> <p>第 3.3-4 図 入力加速度時刻歴波形 (S_s - 2* 节点 965) *平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 S_s</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 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p data-bbox="1320 241 1380 262">水平</p>  <p data-bbox="1320 682 1380 703">鉛直</p>  <p data-bbox="994 1060 1662 1102">第 3.3-5 図 入力加速度時刻歴波形 (S_s - 2* 節点 1921)</p> <p data-bbox="1053 1102 1602 1144">*平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 S_s</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="1855 210 2389 556"> <p>北側レール位置(節点番号10299) 南側レール位置(節点番号10095) 一次固有周期: 0.509[s]</p> <p>減衰定数: 2.0%</p> <p>水平方向 (NS)</p> </div> <div data-bbox="1855 609 2389 955"> <p>北側レール位置(節点番号10299) 南側レール位置(節点番号10095) 一次固有周期: 0.223[s]</p> <p>減衰定数: 2.0%</p> <p>鉛直方向</p> </div> <p data-bbox="1795 1018 2448 1050">第3-8 図 南北レール位置における床応答スペクトル</p> <div data-bbox="1780 1186 2463 1627"> <p>加速度 (g)</p> <p>時間 (s)</p> </div> <p data-bbox="1884 1690 2448 1722">第3-9 図 入力加速度時刻歴波形 (S s - D)</p>	<p data-bbox="2537 1018 2745 1050">・記載方針の相違</p> <p data-bbox="2537 1060 2656 1092">【女川 2】</p> <p data-bbox="2537 1102 2819 1228">島根 2号炉では, 床応答スペクトルについても記載</p> <p data-bbox="2537 1690 2745 1722">・記載方針の相違</p> <p data-bbox="2537 1732 2656 1764">【女川 2】</p> <p data-bbox="2537 1774 2819 1900">島根 2号炉では, EW方向の応答加速度時刻歴も記載</p>

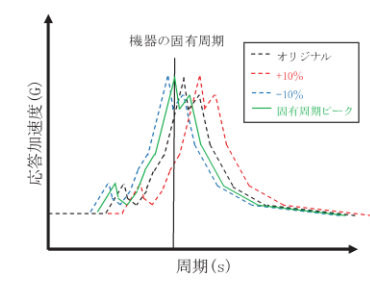
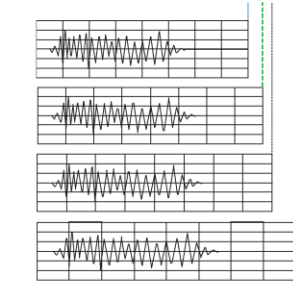
ASME B&PV Code Sec. III Appendix-N 2017 より引用



・オリジナルの時刻歴波に加えて時刻刻みを±10%シフトさせた時刻歴波を作成

・各時刻歴波を床応答スペクトル化

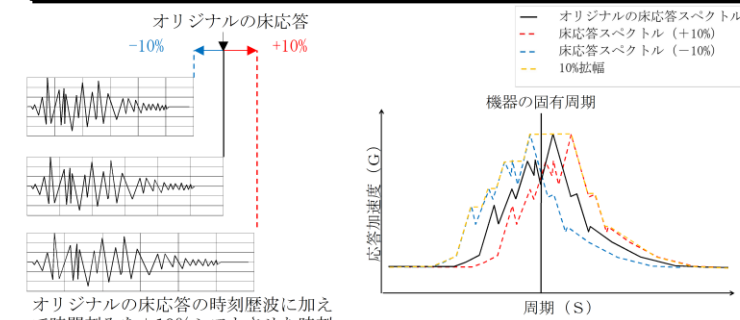
固有周期と合致するよう調整した時刻歴波



・機器の固有周期が床応答スペクトルピークの谷間に存在する場合、ピークと合うような時刻歴波を作成し、時刻歴応答解析を実施

第3.3-6 図 Time History Broadening 概念図

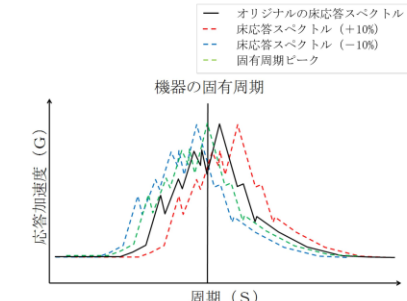
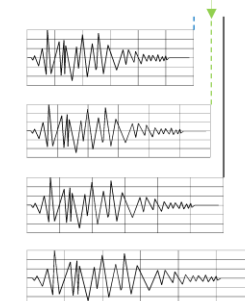
ASME Boiler and Pressure Vessel Code SECTION III, DIVISION1—NONMANDATORY APPENDIX N (ARTICLE N-1222.3 Time History Broadening) より引用



オリジナルの床応答の時刻歴波に加えて時刻刻みを±10%シフトさせた時刻歴波を作成

各時刻歴波を床応答スペクトル化

固有周期と合致するよう調整した時刻歴波



機器の固有周期が床応答スペクトルピークの谷間に存在する場合、ピークと合うような時刻歴波を作成し、時刻歴応答解析を実施する。

第3-10 図 Time History Broadening の概念図

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 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>4. 評価方法</p> <p>4.1 評価方針</p> <p><u>海水ポンプ室門型クレーン</u>については、「3. 耐震評価方法」に記載の地震応答解析によって得られた各部位の荷重を用いて<u>公式による応力評価を実施する。</u></p> <p>また、許容限界については JSME S NC1-2005/2007 及び JEAG4601 を参照し、その他の支持構造物の許容応力を適用する。</p> <p>評価に適用する温度条件は、設備の使用環境を考慮して設定する。</p> <p>4.2 荷重の組合せ</p> <p><u>海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価にあたっては地震荷重と組み合わせる荷重として以下を考慮する。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・自重 ・積雪荷重 	<p>4. <u>耐震評価の方法</u></p> <p>4.1 評価方針</p> <p><u>取水槽ガントリクレーン</u>は、「3. 応答解析の方法」に記載の地震応答解析によって得られた各部位の荷重及び浮上り量を用いて評価する。<u>各部位の応力は荷重を用いて公式により計算する。</u></p> <p><u>応力の許容限界</u>については JSME S NC1-2005/2007 及び JEAG4601 を参照し、その他の支持構造物の許容応力を適用する。</p> <p>評価に適用する温度条件は、設備の使用環境を考慮して設定する。<u>また、地震応答解析により算出したトロリの浮上り量、単軸粘性ダンパの変位及び荷重、並びに吊具の荷重がそれぞれの許容限界以下であることを確認する。</u></p> <p>4.2 荷重の組合せ</p> <p><u>取水槽ガントリクレーンの耐震評価にあたっては、地震荷重と組み合わせる荷重として以下を考慮する。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・自重 ・積雪荷重 <p>4.3 <u>評価対象部位</u></p> <p>取水槽ガントリクレーンの耐震評価は、取水槽ガントリクレーン運転時において本体の損傷、転倒及び吊荷の落下により原子炉補機海水ポンプ等の上位クラス施設が損傷することを防止するため、以下を評価対象部位として選定し、評価を実施する。</p> <p>(1) 取水槽ガントリクレーン本体</p> <p>取水槽ガントリクレーン本体については、ガード、脚、ガード継ぎ、下部脚継ぎの応力評価を実施する。</p> <p>(2) <u>転倒防止装置</u>、走行レール、トロリ</p> <p>クレーンの本体の転倒を防止する転倒防止装置の応力評価を実施する。また、走行車輪からクレーン走行方向と直交する方向の荷重並びに転倒防止装置から上方向の荷重を受ける走行レールの応力評価を実施する。なお、トロリストoppaとホイストレールについては、詳細設計中のため、詳細設計段階において評価を実施する。</p> <p>トロリの落下防止の観点から、トロリの浮上り量を算出し、許容浮上り量と比較する。</p>	<p>備考</p> <p>・設備構成の相違 【女川2】 ①の相違</p> <p>・記載方針の相違 【女川2】 女川2では、同様の内容を3.2に記載</p> <p>・設備構成の相違 【女川2】 ①の相違</p>

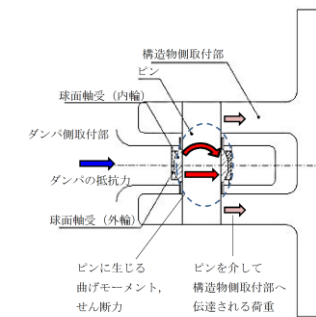
(3) 吊具

吊具については、トロリ主巻のワイヤ及びフックの荷重評価を実施する。なお、ホイストワイヤ及びフックについては詳細設計中のため、詳細設計段階において評価を実施する。

(4) 単軸粘性ダンパ

単軸粘性ダンパについては、ダンパに生じる最大荷重、最大変位を許容限界と比較する。

また、取付部であるブレースとクレビス部の応力評価を実施する。クレビス部については、断面積が小さくダンパの抵抗力により曲げモーメントとせん断力を受けるピンを評価部位とする(第4-1図)。



第4-1図 クレビス部の荷重伝達

4.4 許容限界

4.4.1 許容応力

取水槽ガントリクレーンの各部位の評価に用いる許容応力を第4-1表に示す。

第4-1表 許容応力(その他の支持構造物)

許容応力状態	許容応力 (ボルト以外)				
	一次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧
IV _A S	1.5 · f _t [*]	1.5 · f _c [*]	1.5 · f _c [*]	1.5 · f _b [*]	1.5 · f _p [*]

注記: 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

f_t, f_s, f_c, f_b, f_pは、F値を $F = \min[S_y, 0.7S_u]$ として、F値より算出した値

f_t^{*}, f_s^{*}, f_c^{*}, f_b^{*}, f_p^{*}は、上記F値のS_yを1.2S_yと読み替え算出した値

S_y: 材料の設計降伏点

S_u: 材料の設計引張強さ

4.3 許容限界

海水ポンプ室門型クレーンの各部位の評価に用いる許容応力を第4.3-1表に示す。また、浮上がり許容限界としてクレーン本体及びトロリの許容浮上がり高さを第4.3-2表に示す。

第4.3-1表 許容応力(その他の支持構造物)

許容応力状態	許容応力* (ボルト以外)			
	一次応力			
	引張	せん断	圧縮	曲げ
IV _S	1.5f _t	1.5f _s	1.5f _c	1.5f _b

* 応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

・設備構成の相違
【女川2】
①の相違

・設備構成の相違
【女川2】
①の相違

・設備構成の相違
【女川2】
①の相違

第4.3-2表 許容浮上がり高さ

	許容浮上がり高さ (mm)
クレーン本体	
トロリ	

* 形状検討中のため暫定値

海水ポンプ室門型クレーンの吊具(ワイヤロープ、主巻フック)の許容限界は、建設時に定格荷重に対して設けられた安全率を考慮して設定する。許容荷重を第4.3-3表に示す。

第4.3-3表 吊具の許容荷重

評価部位	定格荷重 (t)	安全率	許容荷重 (kN)
ワイヤロープ	97t (吊荷定格 95t + 主巻フック 2t)	6.37	6.059×10^3
主巻フック	95t	5.55	5.170×10^3

4.4.2 許容浮上り量

トロリ(横行車輪)の許容浮上り量を第4-2表に示す。

第4-2表 トロリの許容浮上り量

	許容浮上り量 (mm)
トロリ(横行車輪)	150 ^{注1}

注1: トロリストップの形状設計中のため暫定値

4.4.3 吊具の許容荷重

トロリ主巻のワイヤ及びフックの許容荷重を第4-3表に示す。

第4-3表 吊具の許容荷重

	許容荷重 (kN)
主巻ワイヤ	4.08×10^3
主巻フック	4.98×10^3

4.4.4 単軸粘性ダンパの許容限界

単軸粘性ダンパの許容限界を第4-4表に示す。

第4-4表 単軸粘性ダンパの許容限界

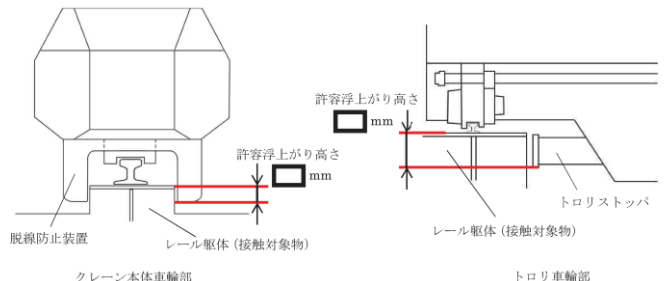
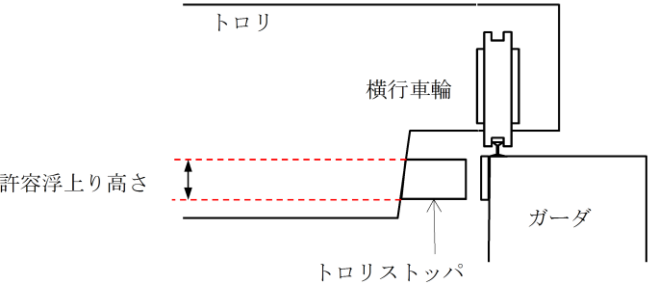
許容変位	許容荷重
100mm	300kN

・設備構成の相違
【女川2】
①の相違

・設備構成の相違
【女川2】
①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>(3) 曲げ応力</p> $\sigma_b = \frac{M}{Z}$ $\sigma_b \leq f_b$	<p><u>i : 座屈軸についての断面二次半径</u> <u>Λ : 限界細長比</u></p> $\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$ <p><u>F : 材料の設計降伏点, 設計引張強さにより定まる値</u> <u>E : 材料の縦弾性係数</u> <u>ν : 以下の式により計算した値</u></p> $\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$ <p>b. <u>圧縮材の細長比が限界細長比を超える場合の場合</u></p> $f_c = 0.277F \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2$ <p><u>λ 及び Λ : a. と同様</u></p> <p><u>許容圧縮応力の算定諸元を第4-5表に示す。</u></p> <p><u>第4-5表 許容圧縮応力の算出諸元</u></p> <table border="1" data-bbox="1774 1146 2466 1509"> <thead> <tr> <th rowspan="2">評価部位</th> <th colspan="3">座屈長さ</th> <th rowspan="2">断面二次半径 選定断面</th> </tr> <tr> <th>対象長さ l</th> <th>回転に対する 条件*</th> <th>座屈長さ l_k</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ブレース</td> <td>ダンバと ブレースの 合計長さ</td> <td>両端自由</td> <td>l</td> <td>ブレース部の 断面</td> </tr> <tr> <td>脚</td> <td>脚長さ</td> <td>1端自由 他端拘束</td> <td>$0.8l$</td> <td>脚断面 (最小断面)</td> </tr> <tr> <td>ガード継ぎ</td> <td>ガード継ぎ長さ</td> <td>両端拘束</td> <td>$0.65l$</td> <td>ガード継ぎ 断面</td> </tr> <tr> <td>脚下部継ぎ</td> <td>脚下部継ぎ長さ</td> <td>両端拘束</td> <td>$0.65l$</td> <td>脚下部継ぎ 断面</td> </tr> </tbody> </table> <p>※移動に対する条件は全て拘束とした。</p> <p>(3) 曲げ応力</p> $\sigma_b = \frac{M}{Z}$ $\sigma_b \leq f_b$ <p>M : 部材に発生する曲げモーメント Z : 曲げモーメントが作用する断面の断面係数</p>	評価部位	座屈長さ			断面二次半径 選定断面	対象長さ l	回転に対する 条件*	座屈長さ l_k	ブレース	ダンバと ブレースの 合計長さ	両端自由	l	ブレース部の 断面	脚	脚長さ	1端自由 他端拘束	$0.8l$	脚断面 (最小断面)	ガード継ぎ	ガード継ぎ長さ	両端拘束	$0.65l$	ガード継ぎ 断面	脚下部継ぎ	脚下部継ぎ長さ	両端拘束	$0.65l$	脚下部継ぎ 断面	
評価部位	座屈長さ			断面二次半径 選定断面																											
	対象長さ l	回転に対する 条件*	座屈長さ l_k																												
ブレース	ダンバと ブレースの 合計長さ	両端自由	l	ブレース部の 断面																											
脚	脚長さ	1端自由 他端拘束	$0.8l$	脚断面 (最小断面)																											
ガード継ぎ	ガード継ぎ長さ	両端拘束	$0.65l$	ガード継ぎ 断面																											
脚下部継ぎ	脚下部継ぎ長さ	両端拘束	$0.65l$	脚下部継ぎ 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 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>M : 部材に発生する曲げモーメント Z : 曲げモーメントが作用する断面の断面係数 σ_b : 部材に発生する曲げ応力 f_b : 部材の許容曲げ応力</p> <p>(4) せん断応力</p> $\tau = \frac{Q}{A_s}$ $\tau \leq f_s$ <p>Q : 部材に発生するせん断荷重 A_s : せん断荷重が作用する断面積 τ : 部材に発生するせん断応力 f_s : 部材の許容せん断応力</p> <p>(5) 組合せ応力</p> <p>引張応力と曲げ応力の組合せ応力</p> $\frac{\sigma_t}{1.5f_t} + \frac{\sigma_b}{1.5f_t} \leq 1$ <p>圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力</p> $\frac{\sigma_c}{1.5f_c} + \frac{\sigma_b}{1.5f_t} \leq 1$ <p>垂直応力とせん断応力の組合せ応力</p> $\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq f_t$ <p>σ_x, σ_y : 互いに直交する垂直応力 τ_{xy} : σ_x, σ_yの作用する面内のせん断応力</p> <p>(6) 支圧応力</p>	<p>σ_b : 部材に発生する曲げ応力 f_b : 部材の許容曲げ応力 $(=1.5 \cdot f_b^*)$</p> <p>(4) せん断応力</p> $\tau = \frac{Q}{A_s}$ $\tau \leq f_s$ <p>Q : 部材に発生するせん断荷重 A_s : せん断荷重が作用する断面積 τ : 部材に発生するせん断応力 f_s : 部材の許容せん断応力 $(=1.5 \cdot f_s^*)$</p> <p>(5) 組合せ応力</p> <p>引張応力と曲げ応力の組合せ応力</p> $\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} \leq 1$ <p>圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力</p> $\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$ <p>垂直応力とせん断応力の組合せ応力</p> $\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \leq f_t$ <p>σ_x, σ_y : 互いに直交する垂直応力 τ_{xy} : σ_x, σ_yの作用する面内のせん断応力</p> <p>(6) 支圧応力</p> $\sigma_p = \frac{F_p}{A_p}$ $\sigma_p \leq f_p$ <p>F_p : 部材に発生する支圧荷重</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 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p> $\sigma_p = \frac{F_s}{A_p}$ $\sigma_p \leq f_p$ </p> <p> F_s: 部材に発生する支圧荷重 A_p: 支圧荷重が作用する断面積 σ_p: 部材に発生する支圧応力 f_p: 部材の許容支圧応力 </p> <p> 4.4.2 脱線防止装置及びトロリストoppaの浮上がり評価方法 クレーン本体車輪部及びトロリ車輪部には、地震によって浮上がりが発生した場合でも脱線しないように、脱線防止装置もしくはトロリストoppaが取り付けられており、レール直交方向への移動、脱線を防止する構造となっている。 浮上がりの評価では、クレーン本体及びトロリそれぞれが脱線しないことを確認するため、地震応答解析結果によって算出された各車輪部の浮上がり量が許容浮上がり高さ（脱線防止装置もしくはトロリストoppaと接触する対象物との鉛直方向の重なり高さ）を上回らないことを確認する。 許容浮上がり高さの概念図を第4.4-1 図に示す。 </p>  <p>第4.4-1 図 許容浮上がり高さ概念図</p> <p> 4.4.3 吊具の荷重評価方法 吊具の荷重評価では地震応答解析によって得られる吊具部分の最大荷重が許容荷重を上回らないことを確認する。 ワイヤロープに作用する荷重は、ロープに取り付けられたエコライザ（平衡装置）とロープシーブ（滑車）の回転により、自動的に荷重を釣り合い状態に保つため、12 本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして評価する。 </p>	<p> A_p: 支圧荷重が作用する断面積 σ_p: 部材に発生する支圧応力 f_p: 部材の許容支圧応力 ($=1.5 \cdot f_p^*$) </p> <p> 4.5.2 トロリの浮上り評価方法 トロリに浮上りが生じて落下しないことを評価するため、地震応答解析にて算出したトロリの浮上がり量が許容浮上り量以下であることを確認する。許容浮上り量の概念図を第4-2 図に示す。 </p>  <p>第4-2 図 許容浮上り量の概念図</p> <p> 4.5.3 吊具の荷重評価方法 吊具の荷重評価では、地震応答解析によって得られる吊具部分の最大荷重が許容荷重以下であることを確認する。 主巻のワイヤロープに作用する荷重は、ロープに取り付けられたエコライザシーブ（平衡装置）とクラブシーブ（滑車）の回転により自動的に荷重を釣り合い状態に保つため、12 本掛けのワイヤロープに均等に荷重が作用するものとして評価する。ホイストのワイヤロープについても同様に評価する。 </p>	<p>備考</p> <p>・設備構成の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>①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>ワイヤロープは長さを長く設定すると固有周期が大きくなり、短く設定すると固有周期が小さくなるという特徴を踏まえ、地震応答との関係から、吊具に対して応答が厳しくなる最大吊り上げ時のワイヤロープ長さ(ワイヤロープ短)での地震応答解析結果を用いて荷重評価を実施する。</p> <p>5. 評価結果</p> <p>海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価結果を第5-1表に示す。女川2号炉の基準地震動S_s相当*に対して各部材の発生応力が許容応力を下回ること、浮上がり高さが許容浮上がり高さを下回ること及び吊具の発生荷重が許容荷重を下回ることを確認した。</p>	<p>ワイヤロープは長さを長く設定すると固有周期が大きくなり、短く設定すると固有周期が小さくなるという特徴を踏まえ、地震応答との関係から、吊具に対して応答が厳しくなる最大吊り上げ時のワイヤロープ長さでの地震応答解析結果を用いて荷重評価を実施する。</p> <p>4.5.4 単軸粘性ダンパの変位及び荷重評価方法 単軸粘性ダンパの変位及び荷重評価は、地震応答解析によって得られる最大変位及び最大荷重が許容限界以下であることを確認する。</p> <p>5. 評価条件・評価結果 5.1 評価条件 地震応答解析の条件を第5-1表に示す。入力地震波として、取水槽ガントリクレーンの固有振動数において床応答加速度の大きい基準地震動S_s-Dを用い、解析ケースは吊荷荷重が最大となる第3-1表のケース2とした。また、ダンパ性能のばらつきとして±20%を考慮し、ダンパ性能標準、+20%、-20%の3ケースを実施した。</p> <p style="text-align: center;">第5-1表 応答解析の条件</p> <table border="1" data-bbox="1774 1262 2475 1472"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>入力地震波</td> <td>基準地震動S_s-D</td> </tr> <tr> <td>取水槽ガントリクレーンの解析ケース</td> <td>トロリ位置中央 吊荷あり (50t) ホイスト待機位置 吊荷なし (第3-1表のケース2)</td> </tr> <tr> <td>ダンパ性能</td> <td>ダンパ性能標準、±20% (3ケース)</td> </tr> </tbody> </table> <p>5.2 評価結果 固有値解析の結果を第5-2表に、振動モードを第5-1図に示す。なお、固有値解析は、単軸粘性ダンパを初期剛性と等しいばねに置き換えて実施した。</p> <p>耐震評価の結果を第5-3表に示す。各評価部位の発生値が許容限界を下回っていることから、取水槽ガントリクレーンは、島根2号炉の基準地震動S_sに対して損傷・落下せず上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことの見通しを得た。</p>	項目	内容	入力地震波	基準地震動 S_s-D	取水槽ガントリクレーンの解析ケース	トロリ位置中央 吊荷あり (50t) ホイスト待機位置 吊荷なし (第3-1表のケース2)	ダンパ性能	ダンパ性能標準、±20% (3ケース)	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設備構成の相違 【女川2】 ①の相違 ・記載方針の相違 【女川2】 ②の相違 ・記載方針の相違 【女川2】 ②の相違 ・記載方針の相違 【女川2】 女川2は、固有値解析の結果の記載なし
項目	内容										
入力地震波	基準地震動 S_s-D										
取水槽ガントリクレーンの解析ケース	トロリ位置中央 吊荷あり (50t) ホイスト待機位置 吊荷なし (第3-1表のケース2)										
ダンパ性能	ダンパ性能標準、±20% (3ケース)										

柏崎刈羽原子力発電所 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、<u>揺脚とガーダ接続部の揺動可能な構造（ピン結合でモデル化）によって、クレーン全体が倒壊するなどの不安定な挙動を示していないことを確認した。</u></p> <p>以上より、<u>海水ポンプ室門型クレーンは、女川2号炉の基準地震動 Ss に対して損傷・落下せず上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことの見通しを得た。</u></p> <p>今後は工認段階で、<u>基準地震動 Ss - D1～N1（全7波）に対する耐震評価を実施して、地震による波及的影響を及ぼさないことを説明する。評価の際には、審査結果を踏まえて設定する海水ポンプ室の地震応答解析モデルによる解析結果を適用するとともに、地盤の不確かさ等についても検討する。また、時刻歴応答解析の保守性に配慮した詳細な検討を行う。</u></p> <p><u>* 平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss - 1, 2</u></p>	<p>なお脚において<u>裕度が比較的小さい部位が存在するが、当該部位は断面の補強を計画しており、詳細設計を反映して、追加の補強を検討する。裕度が小さい脚下部の補強について、第 5-2 図に示す。</u></p> <p>詳細設計段階においては、<u>第 3-1 表のすべてのケースについて、基準地震動 Ss の 5 波に対する耐震評価を実施して、地震による波及的影響を及ぼさないことを確認する。評価の際には、地盤の不確かさも考慮し、時刻歴応答解析の保守性に配慮した詳細な検討を行う。</u></p> <p>第 5-2 表 取水槽ガントリクレーンの一次固有周期</p> <table border="1" data-bbox="1789 1297 2475 1394"> <thead> <tr> <th>水平方向</th> <th>鉛直方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.509s (1.97Hz)</td> <td>0.223s (4.48Hz)</td> </tr> </tbody> </table> <div data-bbox="1765 1415 2487 1755" style="border: 1px solid black; height: 160px; width: 100%;"></div> <p>水平一次モード 鉛直一次モード</p> <p>第 5-1 図 振動モード図</p>	水平方向	鉛直方向	0.509s (1.97Hz)	0.223s (4.48Hz)	<p>・設備構成の相違【女川 2】 ③の相違</p> <p>・記載方針の相違【女川 2】 島根 2 号炉では裕度が小さい部位を記載</p> <p>・地震動の相違【女川 2】 ④の相違</p> <p>・地震動の相違【女川 2】 ④の相違</p> <p>・記載方針の相違【女川 2】 女川 2 は、固有周期の記載なし</p> <p>・記載方針の相違【女川 2】</p>
水平方向	鉛直方向						
0.509s (1.97Hz)	0.223s (4.48Hz)						

女川2は、振動モード図の記載なし

第5-1表 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価結果*

評価部位		評価項目	発生値	許容限界
クレーン 本体	ガーダ	曲げ	238 (MPa)	276 (MPa)
		せん断	47 (MPa)	159 (MPa)
	剛脚	引張	7 (MPa)	276 (MPa)
		圧縮	81 (MPa)	259 (MPa)
		曲げ	172 (MPa)	276 (MPa)
		組合せ	0.72 (-)	1 (-)
	揺脚	引張	9 (MPa)	276 (MPa)
		圧縮	109 (MPa)	207 (MPa)
		曲げ	139 (MPa)	276 (MPa)
		組合せ	0.82 (-)	1 (-)
	下部連結材 (剛脚側)	引張	20 (MPa)	276 (MPa)
		圧縮	12 (MPa)	246 (MPa)
		曲げ	151 (MPa)	276 (MPa)
		組合せ	0.59 (-)	1 (-)
	下部連結材 (揺脚側)	引張	19 (MPa)	276 (MPa)
圧縮		10 (MPa)	242 (MPa)	
曲げ		141 (MPa)	276 (MPa)	
組合せ		0.52 (-)	1 (-)	
車輪部	脱線防止装置	曲げ	218 (MPa)	336 (MPa)
		せん断	8 (MPa)	194 (MPa)
	トロリストッパ	圧縮	37 (MPa)	276 (MPa)
クレーン本体		浮上がり	12 (mm)	
トロリ		浮上がり	22 (mm)	
吊具	ワイヤロープ	荷重	3.276×10 ³ (kN)	6.059×10 ³ (kN)
	主巻フック	荷重	3.209×10 ³ (kN)	5.170×10 ³ (kN)

* 平成25年12月27日申請時の基準地震動 Ss - 1, 2 による暫定評価

第5-3表 取水槽ガントリクレーンの耐震評価結果

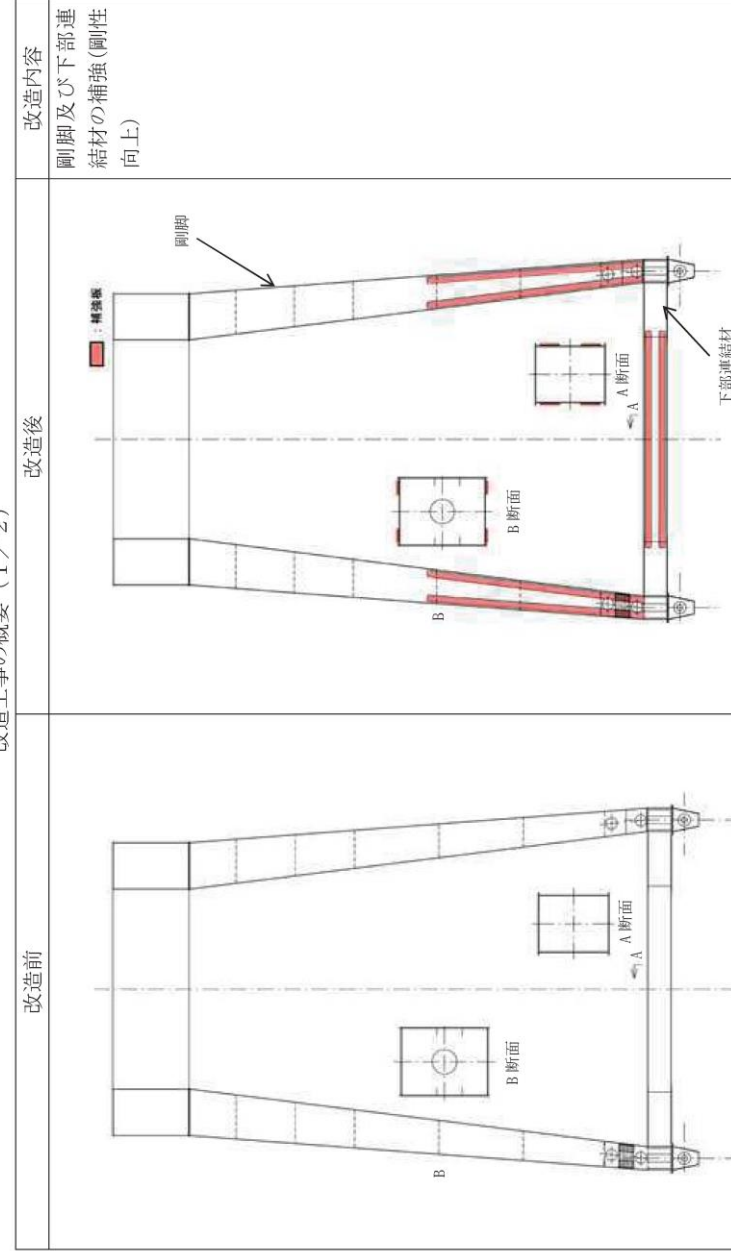
評価部位		評価項目	発生値	許容限界	
取水槽ガ ントリク レーン本 体	ガーダ	曲げ応力	111 (MPa)	280 (MPa)	
		せん断応力	29 (MPa)	161 (MPa)	
	脚	引張応力	4 (MPa)	280 (MPa)	
		圧縮応力	43 (MPa)	226 (MPa) *	
		曲げ応力	214 (MPa)	280 (MPa)	
		せん断応力	61 (MPa)	161 (MPa)	
		組合せ応力 (垂直+せん断)	253 (MPa)	280 (MPa)	
		組合せ応力 (曲げ+圧縮)	0.93 (-)	1 (-)	
	ガーダ継ぎ	引張応力	4 (MPa)	280 (MPa)	
		圧縮応力	5 (MPa)	279 (MPa) *	
		曲げ応力	101 (MPa)	280 (MPa)	
	脚下部継ぎ	組合せ応力 (曲げ+圧縮)	0.36 (-)	1 (-)	
		引張応力	11 (MPa)	280 (MPa)	
		圧縮応力	22 (MPa)	263 (MPa) *	
		曲げ応力	219 (MPa)	280 (MPa)	
		せん断応力	36 (MPa)	161 (MPa)	
	転倒防止装置	組合せ応力 (垂直+せん断)	229 (MPa)	280 (MPa)	
		組合せ応力 (曲げ+圧縮)	0.81 (-)	1 (-)	
	走行レール		組合せ応力	360 (MPa)	546 (MPa)
	トロリ		浮上り	2.8 (mm)	150 (mm)
吊具	ワイヤロープ	荷重	1.35×10 ³ (kN)	4.08×10 ³ (kN)	
	主巻フック	荷重	1.35×10 ³ (kN)	4.98×10 ³ (kN)	
単軸粘性 ダンバ	本体	変位	41 (mm)	100 (mm)	
		荷重	261 (kN)	300 (kN)	
	ブレース	圧縮応力	18 (MPa)	74 (MPa) *	
	クレビス部 (ピン)	曲げ応力	264 (MPa)	651 (MPa)	
		せん断応力	93 (MPa)	375 (MPa)	
		組合せ応力 (垂直+せん断)	309 (MPa)	651 (MPa)	

※座屈評価

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 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div data-bbox="1745 262 2504 907" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1863 926 2377 957" data-label="Caption"> <p>第5-2図 裕度が小さい脚下部の補強計画</p> </div>	<p>・記載方針の相違 【女川2】 島根2号炉では裕度が小さい部位を記載</p>

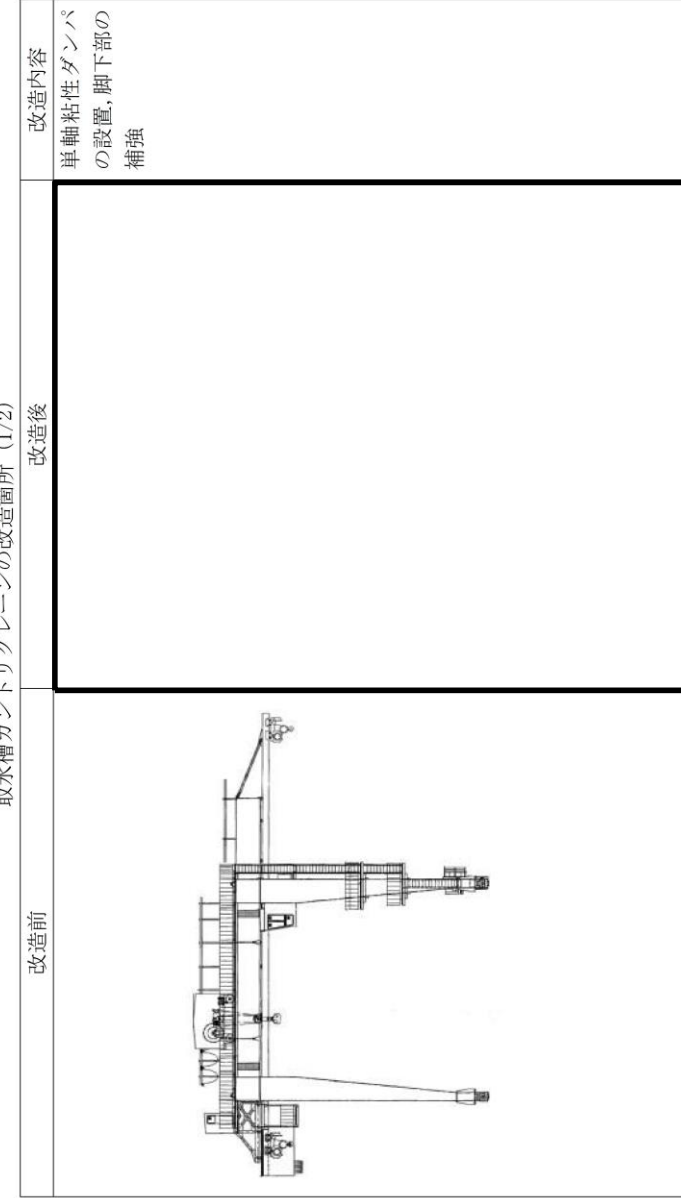
添付資料1

改造工事の概要 (1 / 2)

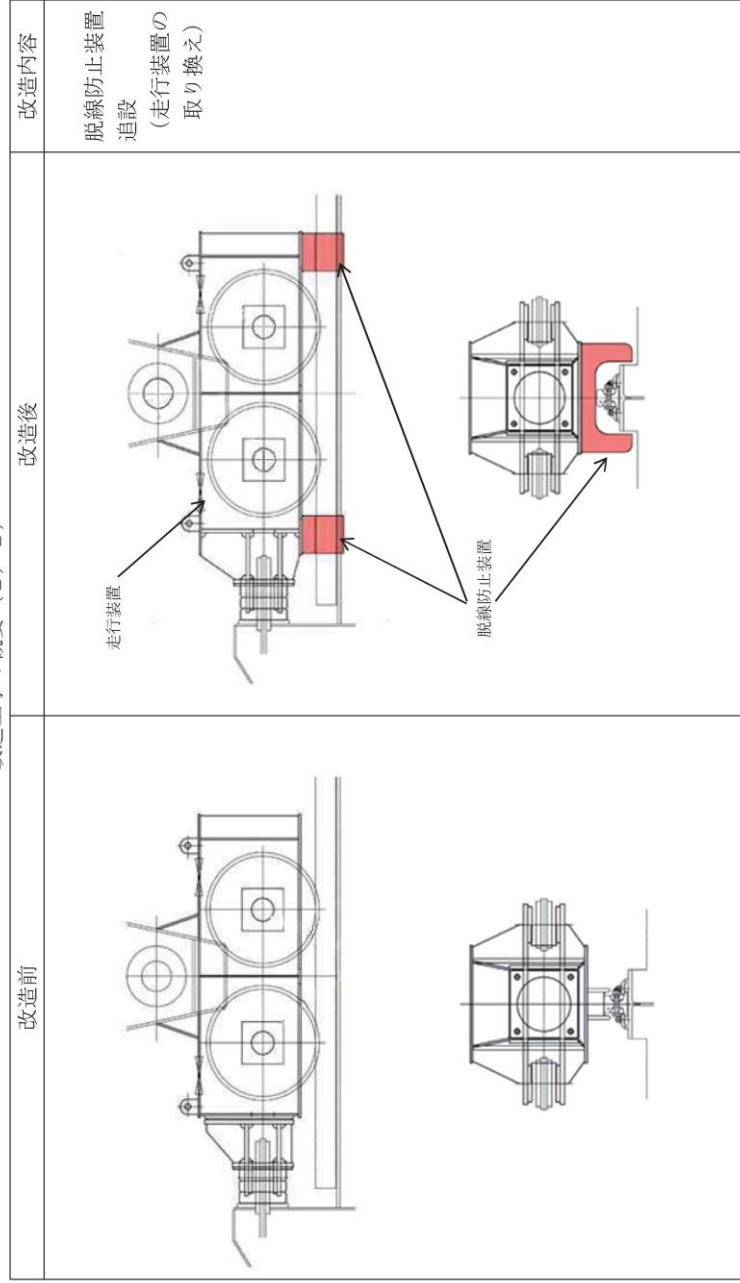


添付資料(2-1) 取水槽ガントリクレーンの改造箇所

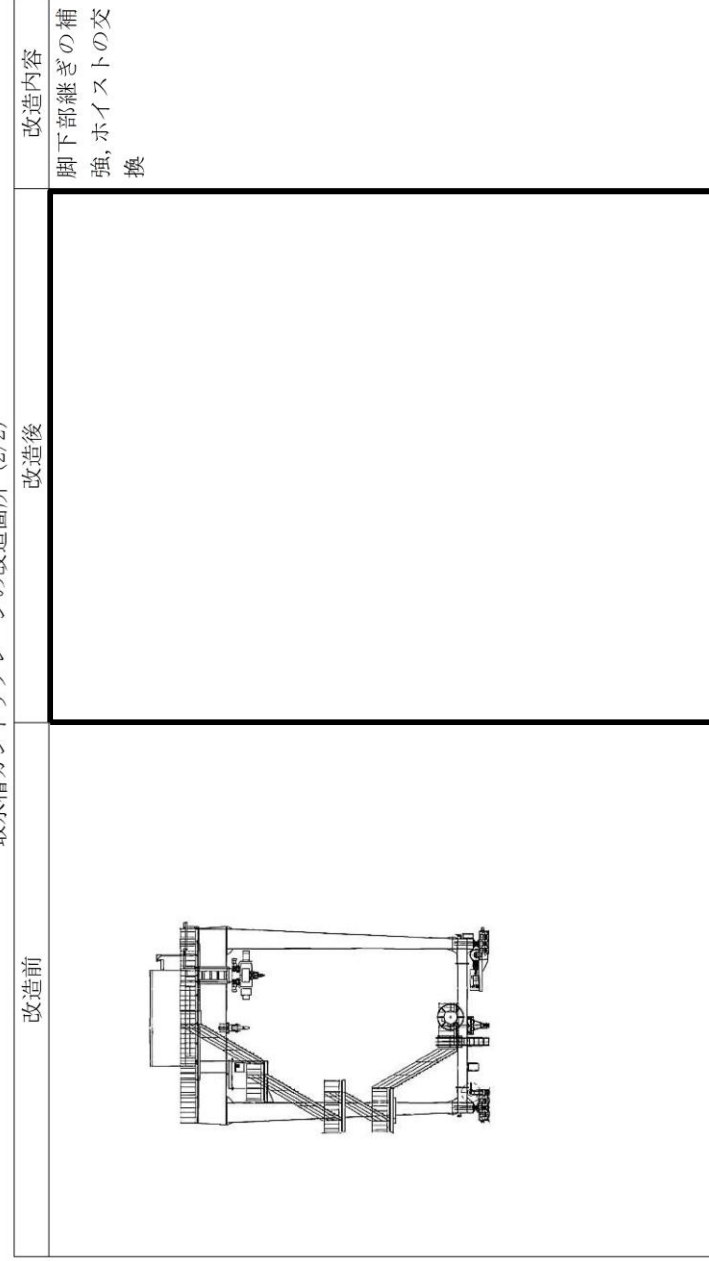
取水槽ガントリクレーンの改造箇所 (1/2)



改造工事の概要 (2 / 2)



取水槽ガントリクレーンの改造箇所 (2/2)



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 (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;">評価ケース選定の考え方について</p> <p>海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価においては、トロリ位置、吊荷有無及びワイヤロープ長さによって地震時の挙動が変化する可能性があるため、添付 2-1 表に示す 12 通りの評価ケースについて、評価の可否を検討した。</p> <p>ワイヤロープ短の場合は吊荷定格質量（約 100t）がガーダの振動と一体化（ガーダ及び吊荷固有振動数*：2.9Hz）して付加質量として働き、ガーダの振動質量が約 160t となるのに対し、ワイヤロープ長の場合はガーダの振動モードと吊荷振動モードが別々に現れ（ガーダ側固有振動数*：5.5Hz，吊荷側固有振動数*：1.5Hz），ガーダの振動質量は約 60t となるため、ワイヤロープ短の方が保守的な設定となる。</p> <p>したがって、今回の評価対象はワイヤロープ短の場合の 6 ケースとし、ワイヤロープ長の場合の評価ケースについては評価対象外とした。</p> <p>* 固有振動数はトロリ位置中央のケース</p> <p style="text-align: center;">添付 2-1 表 海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価ケース</p> <table border="1" data-bbox="958 1157 1685 1549"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2"></th> <th colspan="2">ワイヤロープ短</th> <th colspan="2">ワイヤロープ長</th> </tr> <tr> <th>吊荷有</th> <th>吊荷無</th> <th>吊荷有</th> <th>吊荷無</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">トロリ位置</td> <td>剛脚側</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">—</td> </tr> <tr> <td>揺脚側</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">—</td> </tr> <tr> <td>中央</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">○</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">—</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">○：評価対象，—：評価対象外</p>			ワイヤロープ短		ワイヤロープ長		吊荷有	吊荷無	吊荷有	吊荷無	トロリ位置	剛脚側	○	○	—	—	揺脚側	○	○	—	—	中央	○	○	—	—		<p>・記載方針の相違 【女川 2】 島根 2 号炉では、同様の内容を添付資料 (2-3) に記載</p> <p>・記載方針の相違 【女川 2】 島根 2 号炉では、同様の内容を第 3-1 添表に記載</p>
				ワイヤロープ短		ワイヤロープ長																							
		吊荷有	吊荷無	吊荷有	吊荷無																								
トロリ位置	剛脚側	○	○	—	—																								
	揺脚側	○	○	—	—																								
	中央	○	○	—	—																								

柏崎刈羽原子力発電所 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><u>海水ポンプ室門型クレーンへの非線形時刻歴解析の適用性</u></p> <p>1. 概要</p> <p><u>女川2号炉海水ポンプ室門型クレーン（以下「門型クレーン」という。）が上位クラス施設へ波及的影響を及ぼさないことを確認するため、基準地震動 Ss に対して十分な構造強度を有することを確認する必要がある。構造図を添付 3-1 図に示す。</u></p> <p><u>門型クレーンがレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、水平方向へのすべりと鉛直方向の車輪部の浮上りを考慮した解析モデルによる非線形時刻歴解析を適用する。解析モデル概要図を添付 3-2 図に示す。</u></p> <div data-bbox="952 1188 1688 1514" data-label="Image"> <p>This diagram shows the structural details of a door-type crane in a seawater pump room. It includes a side view on the left and a top-down view on the right, illustrating the crane's frame, wheels, and lifting mechanism.</p> </div> <p style="text-align: center;">添付 3-1 図 海水ポンプ室門型クレーン構造図</p>	<p>添付資料(2-2) <u>取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用性</u></p> <p>1. 概要</p> <p><u>取水槽ガントリクレーンの耐震評価にあたっては、当該クレーンがレール上に固定されていないという構造上の特徴を踏まえ、水平方向へのすべりと鉛直方向の車輪部の浮上りを考慮した解析モデルによる非線形時刻歴応答解析を適用する。構造図を第 2-1 添図に、解析モデルの概要を第 2-2 添図に示す。</u></p> <p><u>本資料では、先行審査実績のあるクレーン類と構造、評価方法等の比較を行い、取水槽ガントリクレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用性を示す。</u></p> <div data-bbox="1739 999 2496 1541" data-label="Image"> <p>This diagram shows the structural details of a gantry crane in a water tank. It is a top-down view showing the horizontal beam, vertical supports, and the crane's travel mechanism along the rails.</p> </div> <p style="text-align: center;">第 2-1 添図 取水槽ガントリクレーン構造図</p>	

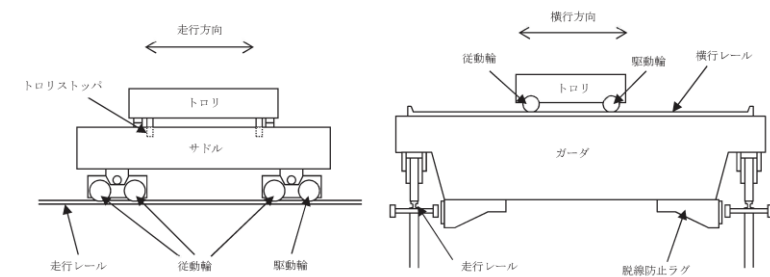
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="1080 226 1561 646" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="961 659 1694 695">添付 3-2 図 非線形時刻歴応答解析に用いる解析モデル概要図</p> <p data-bbox="943 884 1715 1094">2. 先行実績(大間1号炉原子炉建屋クレーン)との構造比較 門型クレーンに非線形時刻歴解析を適用するにあたって、先行実績として大間1号炉原子炉建屋クレーン(以下「原子炉建屋クレーン」という。)で適用実績があるため、それぞれの構造や特徴を比較し、適用性について確認する。</p> <p data-bbox="943 1289 1210 1318">2.1 全体構造について</p> <p data-bbox="943 1335 1110 1365">(1) 構造概要</p> <p data-bbox="943 1381 1715 1633">原子炉建屋クレーンは、トロリ式天井クレーンに分類されるものであり、2本のレール上を走行する方式である。走行レール間はガーダと呼ばれる部材が渡された桁構造で、ガーダ下部に設けられている車輪を介して走行レール上に設置されている。また、ガーダ上部には横行レールとトロリが設置され、吊荷の吊上げ、吊下げ及び移動が行われる。</p> <p data-bbox="943 1650 1715 1902">門型クレーンは、トロリ式橋型クレーンに分類されるものであり、2本のレール上を走行する方式である。走行レール間はトロリ式天井クレーンと同様にガーダが渡された桁構造となっている。ガーダ下部には脚が設けられており、この脚の下部の車輪を介して走行レール上に設置されている。ガーダ上部にはトロリ式天井クレーンと同じく横行レールとトロリが設置され、吊荷の吊</p>	<div data-bbox="1745 210 2504 655" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="1754 659 2487 695">第2-2添図 非線形時刻歴応答解析に用いる解析モデル概要図</p> <p data-bbox="1736 884 2507 1230">2. 先行審査実績のあるクレーン類との構造比較 取水槽ガントリクレーンに非線形時刻歴応答解析を適用するにあたって、クレーン類に非線形時刻歴応答解析を適用した先行審査実績として大間1号炉原子炉建屋天井クレーン(以下「原子炉建屋天井クレーン」という。)及び設置変更許可審査中である女川2号炉海水ポンプ室門型クレーン(以下「海水ポンプ室門型クレーン」という。))があるため、それぞれの構造や特徴を比較し、適用性について確認する。</p> <p data-bbox="1736 1289 2003 1318">2.1 全体構造について</p> <p data-bbox="1736 1335 1902 1365">(1) 構造概要</p> <p data-bbox="1736 1381 2507 1633">原子炉建屋天井クレーンは、トロリ式天井クレーンに分類されるものであり、2本のレール上を走行する方式である。走行レール間はガーダと呼ばれる部材が渡された桁構造で、ガーダ下部に設けられている車輪を介して走行レール上に設置されている。また、ガーダ上部には横行レールとトロリが設置され、吊荷の吊上げ、吊下げ及び移動が行われる。</p> <p data-bbox="1736 1650 2507 1902">海水ポンプ室門型クレーン及び取水槽ガントリクレーンは、トロリ式橋型クレーンに分類されるものであり、2本のレール上を走行する方式である。走行レール間はトロリ式天井クレーンと同様にガーダが渡された桁構造となっている。ガーダ下部には脚が設けられており、この脚の下部の車輪を介して走行レール上に設置されている。ガーダ上部にはトロリ式天井クレーンと同じく横</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>上げ、吊下げ及び移動が行われる。</p> <p>両設備の概要図について添付 3-3 図に示す。</p> <p>(2) 全体構造</p> <p>原子炉建屋クレーンの本体構造はガーダ、サドルと呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。ガーダは走行レール上に、トロリは横行レール上にも4箇所にある車輪を介して固定されずに設置されていることから地震時には水平方向にすべり、鉛直方向に浮上りが発生する。</p> <p>門型クレーンの本体構造はガーダ、サドル及び脚と呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。脚は走行レール上に、トロリは横行レール上にも4箇所にある車輪を介して固定されずに設置されていることから地震時には、原子炉建屋クレーンと同様、水平方向にすべり、鉛直方向に浮上りが発生する。</p> <p>(3) 構造の特徴比較</p> <p>原子炉建屋クレーンと門型クレーンの構造について特徴を比較した結果を添付 3-1 表に示す。</p> <p>両設備の違いは脚の有無だけであり、それ以外の構造物としての特徴は類似している。また、レールと4箇所の車輪が固定されずに接触し、水平方向にすべり、鉛直方向に浮上りが発生する挙動は両クレーンで類似している。</p>	<p>行レールとトロリが設置され、吊荷の吊上げ、吊下げ及び移動が行われる。</p> <p>これらの設備の概要図について第 2-3 添図に示す。</p> <p>(2) 全体構造</p> <p>原子炉建屋天井クレーンの本体構造はガーダ、サドルと呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。ガーダは走行レール上に、トロリは横行レール上にも4箇所にある車輪を介して固定されずに設置されており、地震時には水平方向にすべり、鉛直方向に浮上りが発生する可能性がある。</p> <p>海水ポンプ室門型クレーンの本体構造はガーダ及び脚と呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。脚は走行レール上に、トロリは横行レール上にも4箇所にある車輪を介して固定されずに設置されており、地震時には水平方向にすべり、鉛直方向に浮上りが発生する可能性がある。</p> <p>取水槽ガントリクレーンの本体構造はガーダ及び脚と呼ばれる鋼構造物が主体となっている。トロリ本体も同様に鋼構造物で構成されている。脚は走行レール上に、トロリは横行レール上にも4箇所にある車輪を介して固定されずに設置されている。取水槽ガントリクレーンは、走行方向の駆動輪、従動輪の間に転倒防止装置が設置されているが、地震時には原子炉建屋天井クレーンと同様、車輪は水平方向にすべり、鉛直方向に浮上りが発生する可能性がある。</p> <p>(3) 構造の特徴比較</p> <p>原子炉建屋天井クレーン、海水ポンプ室門型クレーン及び取水槽ガントリクレーンの構造について特徴を比較した結果を第 2-1 添表に示す。</p> <p>原子炉建屋天井クレーンと取水槽ガントリクレーンの違いは脚及び単軸粘性ダンパの有無が挙げられる。また、原子炉建屋天井クレーンでは、レールが破損した場合でも脱線防止ラグがガーダに当たって脱線を防ぐ構造であるのに対し、取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置では、レールを掴むことで転倒を防止する構造になっている点が異なっている。なお、取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置の構造は、伊方3号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置と同等の構造である。それ以外の構造物としての特徴は類似しており、レールと4箇所の車輪が固定されずに接触し、</p>	<p>備考</p> <p>・設備構成の相違 【女川2】 ①の相違</p>

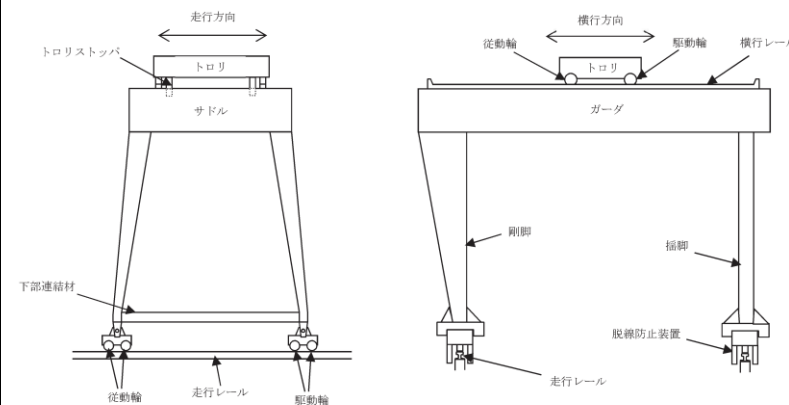
水平方向にすべり、鉛直方向に浮上りが発生する挙動も両クレーンで類似している。

海水ポンプ室門型クレーンと取水槽ガントリクレーンの違いは単軸粘性ダンパの有無が挙げられる。また、海水ポンプ室門型クレーンは、原子炉建屋天井クレーンの脱線防止ラグと同等の構造の脱線防止装置を設置しており、取水槽ガントリクレーンとは構造が異なっている。それ以外の構造物としての特徴は類似しており、ともに鉛直方向に浮上る可能性がある。

- ・設備構成の相違
- 【女川2】
- ①の相違

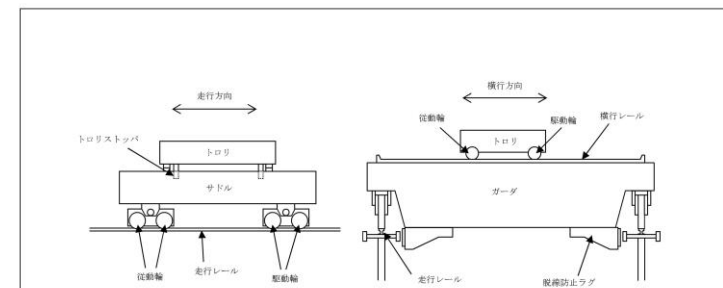


(a) 大間1号炉原子炉建屋クレーン

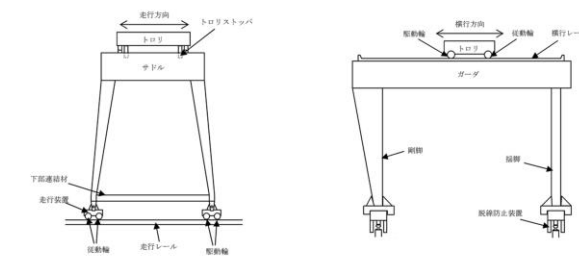


(b) 女川2号炉海水ポンプ室門型クレーン

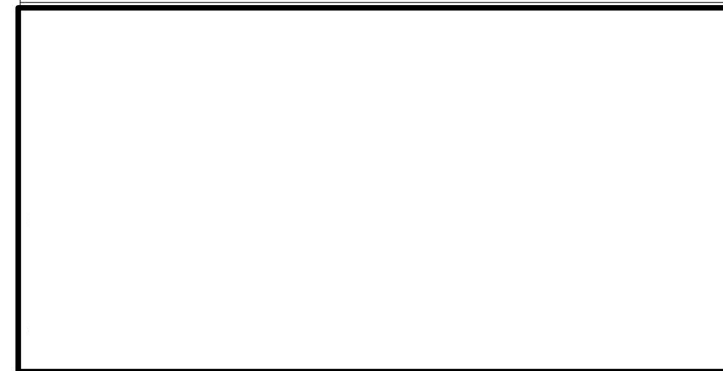
添付3-3 図 大間1号炉原子炉建屋クレーン及び女川2号炉海水ポンプ室 門型クレーンの構造概要図



大間1号炉 原子炉建屋天井クレーン



女川2号炉 海水ポンプ室門型クレーン



島根2号炉 取水槽ガントリクレーン

第2-3添図 大間1号炉原子炉建屋天井クレーン、女川2号炉海水ポンプ室門型クレーン及び島根2号炉取水槽ガントリクレーンの構造概要図

添付 3-1 表 構造の特徴比較

	原子炉建屋クレーン	門型クレーン
構造概要	<ul style="list-style-type: none"> ・2本のレール間を跨ぐ桁構造 ・ガーダ上にトロリを設置 ・車輪を介してレール上に設置 	同左
主要構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・ガーダ ・サドル ・トロリ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガーダ ・サドル ・トロリ ・脚
構造形状	鋼構造物 (炭素鋼) 溶接構造物	同左 同左

* 下線は相違点を示す。

2.2 荷重伝達について

原子炉建屋クレーンと門型クレーンの本体及びトロリはいずれも固定されずにレール上に車輪を介して設置されており、以下に示す荷重伝達機能も同様であると考えられる。

(1) クレーン本体走行方向の水平力

a. クレーン本体

(a) クレーン本体は走行レール上に乗っているだけで固定されていないため、走行方向の水平力が加わっても、クレーン本体は走行レール上を滑るだけで、クレーン本体には走行レールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。

(b) クレーン本体の走行車輪は、駆動輪又は従動輪である。

(c) 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震力が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の水平力が加われば走行レール上を滑る。

(d) 従動輪は回転が拘束されていないため、クレーン本体の動きに合わせて自由に回転することからクレーン本体走行方向の水平力をクレーン本体に伝達しない。

b. トロリ

(a) トロリはクレーン本体の走行レールに対して直交方向に設置された横行レール上に設置していることから、クレーン本体

第 2-1 添表 構造の特徴比較

	大間1号炉 原子炉建屋天井 クレーン	女川2号炉 海水ポンプ室門型 クレーン	島根2号炉 取水槽ガントリー クレーン
構造概要	<ul style="list-style-type: none"> ・2本のレール間を跨ぐ桁構造 ・ガーダ上にトロリを設置 ・車輪を介してレールに設置 	同左	同左
主要構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・ガーダ ・サドル ・トロリ ・脱線防止ラグ ・トロリストoppa 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガーダ ・サドル ・トロリ ・脚 ・脱線防止装置 ・トロリストoppa 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガーダ ・トロリ ・ホイスト ・脚 ・単軸粘性ダンパ ・転倒防止装置 ・トロリストoppa
構造形状	鋼構造物 (炭素鋼) 溶接構造物	同左 同左	同左 同左

2.2 荷重伝達について

原子炉建屋天井クレーンと取水槽ガントリークレーンの本体及びトロリは、いずれも固定されずにレール上に車輪を介して設置されており、以下に示す荷重伝達機構も同様である。

(1) 走行方向 (EW方向) の水平力

a. クレーン本体

(a) クレーン本体は走行レール上に乗っており、固定されていないため、走行方向 (EW方向) の水平力が加わっても、クレーン本体は走行レール上をすべり、クレーン本体には走行レールと走行車輪間の最大静止摩擦力以上の荷重は作用しない。

(b) クレーン本体の走行車輪は、駆動輪及び従動輪である。

(c) 駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、最大静止摩擦力以上の地震慣性力が車輪部に加わった場合、回転部分が追従できず、走行レール上をすべる。

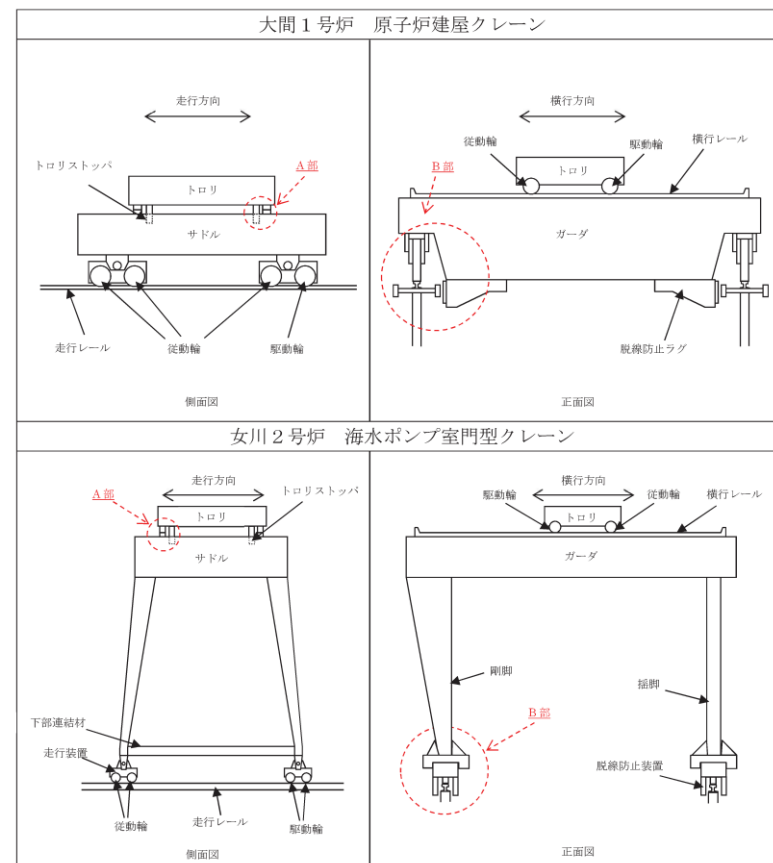
(d) 従動輪は回転が拘束されていないため、クレーン本体の動きに合わせて自由に回転することからクレーン本体走行方向の水平力をクレーン本体に伝達しない。

b. トロリ

(a) トロリはクレーン本体の走行レールに対して直交方向に設置された横行レール上に設置していることから、走行方向 (E

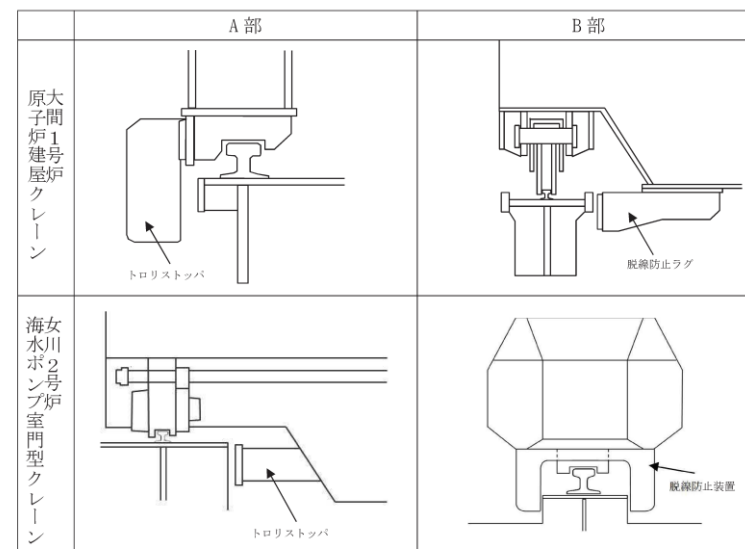
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>の走行方向の地震力はガーダ本体・横行レールを介してトロリへ作用する。</p> <p>(2) <u>トロリ走行方向の水平力</u></p> <p>a. クレーン本体</p> <p>(a) クレーン本体は横行レールに対して直交方向に設置された走行レール上に設置していることから、<u>トロリ走行方向の地震力は走行レールを介してクレーン本体へ作用する。</u></p> <p>b. トロリ</p> <p>(a) <u>トロリはガーダ上の横行レール上に乗っているだけで横行レールとは固定されていないため、水平力がトロリに加わっても、トロリは横行レール上を滑るだけで、トロリ本体には横行レールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の水平力は加わらない。</u></p> <p>(b) <u>トロリの横行車輪は、駆動輪又は従動輪である。</u></p> <p>(c) <u>トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、地震力が車輪部に加わると回転部分が追従できず、最大静止摩擦力以上の水平力が加われば横行レール上を滑る。</u></p> <p>(d) <u>従動輪は回転が拘束されていないため、トロリの動きに合わせて自由に回転することから、トロリ走行方向の水平力をトロリ本体に伝達しない。</u></p> <p>(3) <u>鉛直力</u></p> <p>クレーン本体及びトロリは、レールと固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってはレールから<u>浮上る</u>可能性がある。</p> <p>2.3 <u>車輪まわりの構造比較</u></p> <p>本解析手法は車輪まわりのすべりや<u>浮上がり</u>を考慮した非線形解析であり、車輪まわりの特徴を踏まえたモデル化が必要であることから、<u>車輪とレールの接触部分について、原子炉建屋クレーンと門型クレーンについて詳細に構造比較を行う。原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの車輪まわりの模式図を添付3-4 図に示す。</u></p> <p>(1) <u>原子炉建屋クレーン</u></p> <p>原子炉建屋クレーンの車輪まわりは、走行装置が前後左右の4隅に配置された構造であり、各走行装置は2輪ずつの車輪で構成されている。車輪と走行レール間には鉛直上向きの拘束がなく<u>浮上がり</u>が発生する構造となっており、クレーンと走行レールの接</p>	<p><u>W方向</u>)の地震力はガーダ本体・横行レールを介してトロリへ作用する。</p> <p>(2) <u>横行方向 (NS方向) の水平力</u></p> <p>a. クレーン本体</p> <p>(a) クレーン本体は横行レールに対して直交方向に設置された走行レール上に設置していることから、<u>横行方向 (NS方向) の地震力は走行レールを介してクレーン本体へ作用する。</u></p> <p>b. トロリ</p> <p>(a) <u>トロリは横行レール上に乗っており、横行レールとは固定されていないため、横行方向 (NS方向) の水平力がトロリに加わっても、トロリは横行レール上をすべり、トロリ本体には横行レールと横行車輪間の最大静止摩擦力以上の荷重は作用しない。</u></p> <p>(b) <u>トロリの横行車輪は、駆動輪及び従動輪である。</u></p> <p>(c) <u>トロリの駆動輪は、電動機及び減速機等の回転部分と連結されているため、最大静止摩擦力以上の地震慣性力が車輪部に加わった場合、回転部分が追従できず、横行レール上をすべる。</u></p> <p>(d) <u>従動輪は回転が拘束されていないため、トロリの動きに合わせて自由に回転することからトロリ横行方向の水平力をトロリ本体に伝達しない。</u></p> <p>(3) <u>鉛直力</u></p> <p>クレーン本体及びトロリは、レールと固定されていないことから、鉛直方向の地震力によってレールから<u>浮上る</u>可能性がある。</p> <p>2.3 <u>車輪まわりの構造比較</u></p> <p>本解析手法は車輪まわりのすべりや<u>浮上り</u>を考慮した非線形解析であり、車輪まわりの特徴を踏まえたモデル化が必要であることから、<u>車輪とレールの接触部分を対象として、原子炉建屋天井クレーンと取水槽ガントリクレーンについて詳細に構造比較を行う。</u></p> <p>(1) <u>原子炉建屋天井クレーン</u></p> <p>原子炉建屋天井クレーンの車輪まわりは、走行装置が前後左右の4隅に配置された構造であり、各走行装置は2輪ずつの車輪で構成されている。車輪と走行レール間には鉛直上向きの拘束がなく<u>浮上り</u>が発生する<u>可能性がある</u>構造となっており、クレーンと</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>触点は、ともに鋼製部材である車輪と走行レールの接触となる。</p> <p>また、車輪については、駆動装置が設置された駆動輪（2輪分）とクレーンの動きに追随して回転する従動輪（6輪分）があり、全体の1/4の車輪で駆動力を伝達する機構となっている。</p> <p>トロリの車輪まわりは、前後左右で1輪ずつ配置された構造となっており、クレーン本体の車輪と同様に鉛直方向の拘束がないため<u>浮上がり</u>が発生する構造となっている。駆動輪と従動輪についてもクレーン本体の車輪と同様に前後で役割の異なる車輪が配置されている。</p> <p>クレーン本体車輪まわり及びトロリ車輪まわりには、脱線防止装置もしくはトロリストoppaが設置されているため、車輪がレールから<u>浮上がる</u>現象が発生した場合でも、脱線を防止する構造となっている。</p> <p>(2) <u>門型クレーン</u></p> <p><u>門型クレーンの本体車輪まわりは、添付3-4図に示すとおり走行装置が前後左右の4隅に配置された構造であり、各走行装置は2輪ずつの車輪で構成されている。車輪とレール間は鋼製部材同士の接触で上向きの拘束がなく、<u>浮上がり</u>が発生する点や駆動輪と従動輪で車輪が構成されている点など、原子炉建屋クレーンと同一の構造となっている。トロリの車輪まわりについても車輪（駆動輪、従動輪）配置や接触状況などについて同一構造となっている。</u></p> <p><u>門型クレーン本体車輪まわり及びトロリ車輪まわりについては、改造工事として脱線防止装置を設置するため、原子炉建屋クレーンと同様に、車輪がレールから浮上がる現象が発生した場合でも、脱線を防止する構造である。</u></p>	<p>走行レールの接触点は、ともに鋼製部材である車輪と走行レールの接触となる。</p> <p>また、車輪については、駆動装置が設置された駆動輪（2隅分）とクレーンの動きに追随して回転する従動輪（2隅分）があり、全体の半分の車輪で駆動力を伝達する機構となっている。</p> <p>トロリの車輪まわりは、前後左右で1輪ずつ配置された構造となっており、クレーン本体の車輪と同様に鉛直方向の拘束がないため<u>浮上り</u>が発生する<u>可能性がある</u>構造となっている。駆動輪と従動輪についてもクレーン本体の車輪と同様に前後で役割の異なる車輪が配置されている。</p> <p>クレーン本体車輪まわり及びトロリ車輪まわりには、脱線防止装置若しくはトロリストoppaが設置されているため、車輪がレールから<u>浮上る</u>現象が発生した場合でも、脱線を防止する構造となっている。</p> <p>(2) <u>取水槽ガントリクレーン</u></p> <p><u>取水槽ガントリクレーンの本体車輪まわりは、第2-3添図に示すとおり走行装置が前後左右の4隅に配置された構造であり、各走行装置は2輪ずつの車輪で構成されている。車輪とレール間は鋼製部材同士の接触で上向きの拘束がなく<u>浮上り</u>が発生する<u>可能性がある</u>点や駆動輪と従動輪が<u>半数ずつ</u>で車輪が構成されている点など、原子炉建屋天井クレーンと同様の構造である。トロリの車輪まわりについても車輪（駆動輪、従動輪）配置や接触状況等について同様の構造である。</u></p> <p><u>取水槽ガントリクレーン本体車輪の間には転倒防止装置が設置されており、走行レールを掴むことで、転倒・脱線を防止する構造となっている。この構造は原子炉建屋天井クレーンと異なっているが、伊方3号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置と同様の構造である。取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置と伊方3号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置の構造を第2-4添図に示す。</u></p>	<p>備考</p> <p>・設備構成の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>①の相違</p>



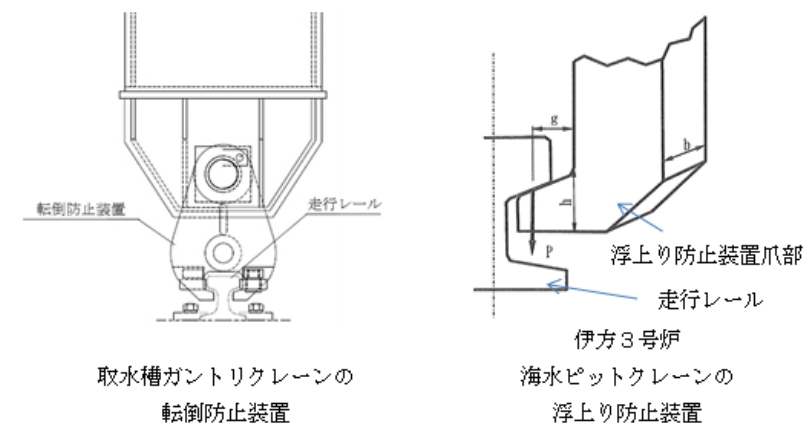
(a) 概略構造比較

添付 3-4 図 原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの構造比較 (1/2)



(b) 車輪まわり構造詳細比較

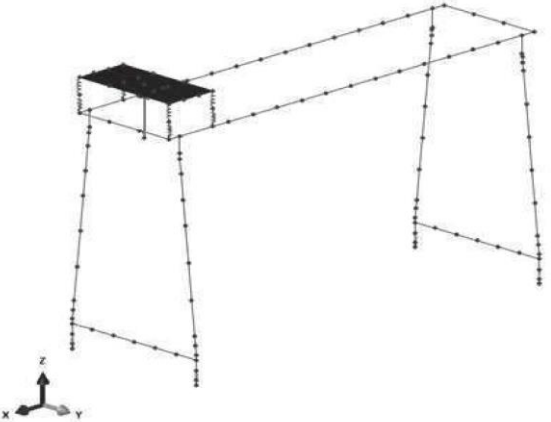
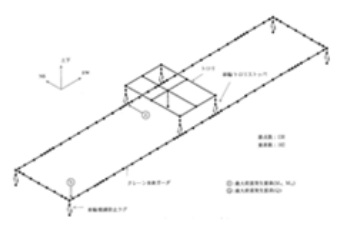
添付 3-4 図 原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの構造比較 (2/2)



第 2-4 添図 取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置及び伊方 3 号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置の構造

・設備構成の相違
【女川 2】
①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>3. 先行実績（大間1号炉原子炉建屋クレーン）との評価方法の比較</p> <p>3.1 評価方法の比較</p> <p>原子炉建屋クレーンと門型クレーンの評価方法の比較を添付3-2表に示す。門型クレーンの解析手法や解析モデル、境界条件などの解析評価の基本となる設定は原子炉建屋クレーンと同一の評価方法である。</p> <p>入力地震動はそれぞれの設備を設置している箇所の地震動を適用するため、評価方法の差異にはあたらない。</p> <p>添付3-2表 原子炉建屋クレーンと門型クレーンの評価方法比較</p> <table border="1" data-bbox="967 1073 1691 1430"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>原子炉建屋クレーン</th> <th>門型クレーン</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>解析手法</td> <td>非線形時刻歴応答解析</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>解析モデル</td> <td>3次元FEM解析モデル</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>車輪-レール間の境界条件</td> <td>すべり，浮上がり，衝突考慮</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>地震力</td> <td>動的地震力</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>入力地震動</td> <td>原子炉建屋におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴</td> <td>海水ポンプ室におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴</td> </tr> <tr> <td>減衰定数</td> <td>2.0%</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS Ver. 6.5-4</td> <td>ABAQUS Ver6.11-1</td> </tr> </tbody> </table> <p>3.2 地震応答解析モデルの比較</p> <p>原子炉建屋クレーン及び門型クレーンの解析モデル概要を添付3-5図に示す。</p> <p>門型クレーンは原子炉建屋クレーンと同様に、クレーンの主要構成部材をはり要素でモデル化している。また、車輪部について</p>	項目	原子炉建屋クレーン	門型クレーン	解析手法	非線形時刻歴応答解析	同左	解析モデル	3次元FEM解析モデル	同左	車輪-レール間の境界条件	すべり，浮上がり，衝突考慮	同左	地震力	動的地震力	同左	入力地震動	原子炉建屋におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴	海水ポンプ室におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴	減衰定数	2.0%	同左	解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.5-4	ABAQUS Ver6.11-1	<p>3. 先行審査実績（大間1号炉原子炉建屋天井クレーン，女川2号炉海水ポンプ室門型クレーン）との評価方法の比較</p> <p>3.1 評価方法の比較</p> <p>原子炉建屋天井クレーン，海水ポンプ室門型クレーン，取水槽ガントリクレーンの評価方法の比較を第2-2添表に示す。車輪部のすべり，浮上り，衝突を考慮した取水槽ガントリクレーンの解析手法，解析モデル，境界条件等は，原子炉建屋天井クレーン及び海水ポンプ室門型クレーンと同一の評価方法である。なお，原子炉建屋天井クレーンの脱線防止ラグ及び海水ポンプ室門型クレーンの脱線防止装置と取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置は構造が異なるが，転倒防止装置のレールと爪部のギャップ要素を含めたモデル化は，伊方3号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置と同様である。</p> <p>入力地震動はそれぞれの設備を設置している箇所の地震動を適用するため，評価方法の差異にはあたらない。</p> <p>第2-2添表 先行審査実績のあるクレーン類の評価方法との比較</p> <table border="1" data-bbox="1754 1073 2487 1604"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>大間1号炉 原子炉建屋 天井クレーン</th> <th>女川2号炉 海水ポンプ室門型クレーン</th> <th>島根2号炉 取水槽ガントリ クレーン</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>解析手法</td> <td>非線形時刻歴応答解析</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>解析モデル</td> <td>3次元FEM解析モデル</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>車輪-レール間の境界条件</td> <td>すべり，浮上り，衝突考慮</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>地震力</td> <td>動的地震力</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>入力地震動</td> <td>原子炉建屋におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴</td> <td>海水ポンプ室におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴</td> <td>取水槽におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴</td> </tr> <tr> <td>減衰定数</td> <td>2.0%</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ABAQUS (Ver.6.5-4)</td> <td>ABAQUS (Ver.6.11-1)</td> <td>同左</td> </tr> </tbody> </table> <p>3.2 地震応答解析モデルの比較</p> <p>原子炉建屋天井クレーン及び取水槽ガントリクレーンの解析モデルの概要を第2-5添図に示す。</p> <p>取水槽ガントリクレーンは原子炉建屋天井クレーンと同様に、クレーンの主要構成部材をはり要素でモデル化している。また、車</p>	項目	大間1号炉 原子炉建屋 天井クレーン	女川2号炉 海水ポンプ室門型クレーン	島根2号炉 取水槽ガントリ クレーン	解析手法	非線形時刻歴応答解析	同左	同左	解析モデル	3次元FEM解析モデル	同左	同左	車輪-レール間の境界条件	すべり，浮上り，衝突考慮	同左	同左	地震力	動的地震力	同左	同左	入力地震動	原子炉建屋におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴	海水ポンプ室におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴	取水槽におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴	減衰定数	2.0%	同左	同左	解析プログラム	ABAQUS (Ver.6.5-4)	ABAQUS (Ver.6.11-1)	同左	<p>備考</p> <p>・設備構成の相違【女川2】 ①の相違</p>
項目	原子炉建屋クレーン	門型クレーン																																																									
解析手法	非線形時刻歴応答解析	同左																																																									
解析モデル	3次元FEM解析モデル	同左																																																									
車輪-レール間の境界条件	すべり，浮上がり，衝突考慮	同左																																																									
地震力	動的地震力	同左																																																									
入力地震動	原子炉建屋におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴	海水ポンプ室におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴																																																									
減衰定数	2.0%	同左																																																									
解析プログラム	ABAQUS Ver. 6.5-4	ABAQUS Ver6.11-1																																																									
項目	大間1号炉 原子炉建屋 天井クレーン	女川2号炉 海水ポンプ室門型クレーン	島根2号炉 取水槽ガントリ クレーン																																																								
解析手法	非線形時刻歴応答解析	同左	同左																																																								
解析モデル	3次元FEM解析モデル	同左	同左																																																								
車輪-レール間の境界条件	すべり，浮上り，衝突考慮	同左	同左																																																								
地震力	動的地震力	同左	同左																																																								
入力地震動	原子炉建屋におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴	海水ポンプ室におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴	取水槽におけるクレーン設置位置の加速度時刻歴																																																								
減衰定数	2.0%	同左	同左																																																								
解析プログラム	ABAQUS (Ver.6.5-4)	ABAQUS (Ver.6.11-1)	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>も原子炉建屋クレーンと同様に水平方向のすべり及び鉛直方向の<u>浮上がり</u>を考慮するため、ギャップ要素及びばね、減衰要素でモデル化している。なお、車輪部の非線形要素については<u>参考資料1</u>に詳細を示す。</p> <div data-bbox="961 436 1665 787" style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">(a)大間1号炉 原子炉建屋クレーン</p> <div data-bbox="1032 890 1546 1283" style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">(b)女川2号炉 海水ポンプ室門型クレーン</p> <p style="text-align: center;">添付3-5 図 解析モデル概要図</p> <p>4. 非線形時刻歴解析の適用性 (まとめ) <u>女川2号炉海水ポンプ室門型クレーン</u>に対して非線形時刻歴解析を適用するにあたり、先行実績(大間1号炉原子炉建屋クレーン)との構造及び評価方法の比較を行った。</p> <p><u>前述の2項</u>のとおり、全体構造、荷重伝達及び車輪まわりの構</p>	<p>輪部についても原子炉建屋天井クレーンと同様に水平方向のすべり及び鉛直方向の<u>浮上り</u>を考慮するため、ギャップ要素、ばね及び減衰要素でモデル化している。なお、車輪部の非線形要素については<u>添付資料(2-4)</u>に詳細を示す。</p> <div data-bbox="1754 485 2487 762" style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; width: 45%; height: 100%; text-align: center;">  <p>大間1号炉原子炉建屋天井クレーン</p> </div> <div style="border: 1px solid black; width: 45%; height: 100%;"></div> </div> <p style="text-align: center;">第2-5添図 解析モデル概要図</p> <p>4. 非線形時刻歴応答解析の適用性 (まとめ) <u>島根2号炉取水槽ガントリークレーン</u>に対して非線形時刻歴応答解析を適用するにあたり、先行審査実績(大間1号炉原子炉建屋天井クレーン、<u>女川2号炉海水ポンプ室門型クレーン</u>)との構造及び評価方法の比較を行った。</p> <p>全体構造、荷重伝達及び車輪まわりの構造について比較した結</p>	

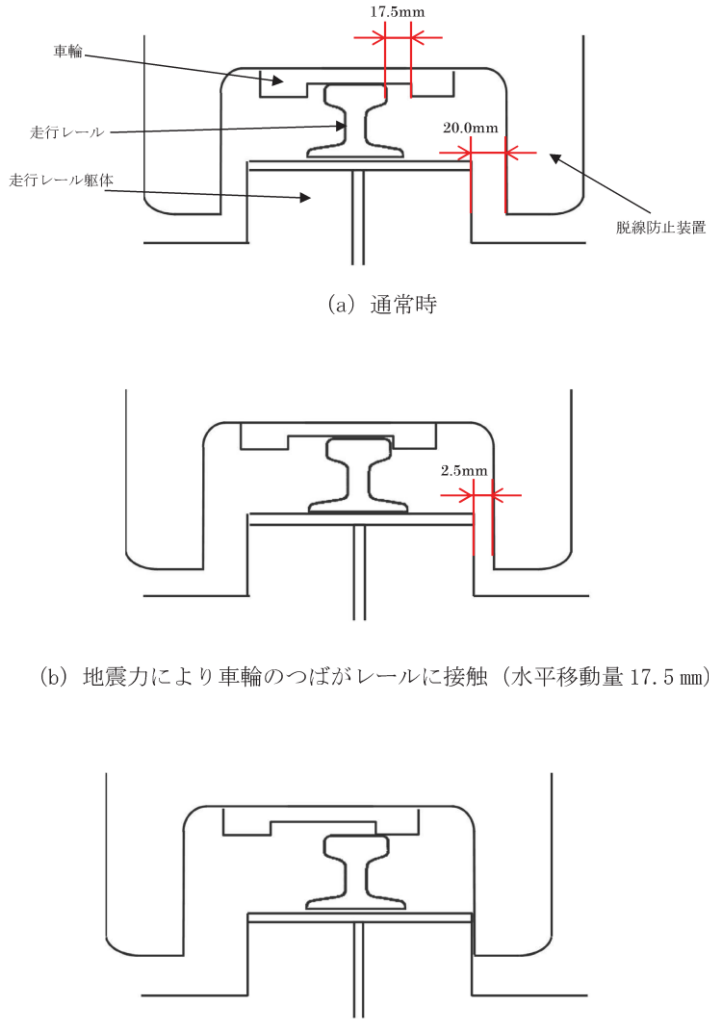
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>造について比較した結果、先行実績のある原子炉建屋クレーンに対して、<u>門型クレーン</u>は、クレーン本体の鋼構造物として脚が存在することのみが差異であり、これ以外の全体構造、荷重伝達及び車輪まわり構造が同様であることを確認した。なお、<u>クレーン本体の鋼構造物として脚が存在することについては、適切に解析モデルに反映することで問題はない。</u></p> <p>また、<u>前述の3項のとおり、評価方法及び解析モデルについて比較した結果、解析モデルの設定方法として、3次元はり要素によるモデル化、水平方向のすべり、鉛直方向の浮上がり</u>の挙動を考慮する非線形要素の考え方が同様であることを確認した。</p> <p><u>したがって、女川2号炉海水ポンプ室門型クレーンの耐震評価として、先行実績のある非線形時刻歴解析を適用することは妥当であると考えられる。</u></p> <p>5. 参考文献</p> <p>(1) <u>平成19年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（08耐部報-0021, (独)原子力安全基盤機構）</u></p> <p>(2) <u>平成20年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験（クレーン類）に係る報告書（09耐部報-0008, (独)原子力安全基盤機構）</u></p> <p>(3) <u>天井クレーンのすべりを伴う地震時挙動（火力原子力発電. Vo140 No.6 小森ほか）</u></p>	<p>果、先行審査実績のある原子炉建屋天井クレーンに対して、<u>取水槽ガントリクレーン</u>は、クレーン本体の鋼構造物として脚が存在し<u>単軸粘性ダンパを有する点及び脱線防止ラグと転倒防止装置の構造が異なる点において差異があるが、</u>これ以外の全体構造、荷重伝達及び車輪まわりの構造が同等であることを確認した。なお、<u>脚及び単軸粘性ダンパが存在することについては、適切に解析モデルに反映することとし、単軸粘性ダンパを有する構造物の解析手法については、別紙-18「機器・配管系への制震装置の適用について」に示す。</u></p> <p>また、評価方法及び解析モデルについて比較した結果、解析モデルの設定方法として、はり要素によるモデル化、水平方向のすべり、鉛直方向の浮上り等の挙動を考慮する非線形要素の考え方が同様であることを確認した。</p> <p><u>なお、原子炉建屋天井クレーンの脱線防止ラグ及び海水ポンプ室門型クレーンの脱線防止装置と取水槽ガントリクレーンの転倒防止装置は構造が異なるが、転倒防止装置は伊方3号炉海水ピットクレーンの浮上り防止装置と同等の構造となっており、浮上りが発生し、浮上り防止装置の爪部とレールが接触しない限りは、応力が発生しない構造であり、モデル化が適切であることを確認した。</u></p> <p><u>以上のことから、島根2号炉取水槽ガントリクレーンの耐震評価として、先行審査実績のある非線形時刻歴応答解析を適用することは妥当であると考ええる。</u></p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設備構成の相違【女川2】 ①の相違 ・設備構成の相違【女川2】 ①の相違 ・設備構成の相違【女川2】 ①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><u>添付資料(2-3) 取水槽ガントリクレーンの解析ケースの設定</u></p> <p>取水槽ガントリクレーンの地震応答解析にあたっては、トロリ及びホイストの位置や吊荷の有無によって地震時の挙動が変化する可能性があるため、トロリ及びホイストの位置並びに吊荷の有無に応じた解析ケースを設定する必要がある。設定した解析ケースを第3-1添表に示す。取水槽ガントリクレーン使用時の状況を踏まえて解析ケースについて検討した内容を以下に示す。</p> <p>取水槽ガントリクレーンを使用する場合、まずクレーン本体が待機位置から吊り上げ対象物に向けて走行方向（EW方向）に移動する。クレーン本体の移動中は、トロリ及びホイストはそれぞれの待機位置にある。このような状態を踏まえた解析ケースとして、トロリ及びホイストがいずれも待機位置で吊荷なしの条件を設定する。（ケース1）</p> <p>トロリにより吊荷を吊り上げる場合は、トロリを横行方向（NS方向）に対象物の直上まで移動させ、対象物を吊り上げた後、トロリ位置はそのままクレーン本体が走行方向（EW方向）に点検等の作業エリアへ移動する。また、ホイストにより吊荷を吊り上げる場合もトロリの場合と同様に、ホイストを横行方向（NS方向）に対象物の直上まで移動させ、対象物を吊り上げた後、ホイスト位置はそのままクレーン本体が走行方向（EW方向）に点検等の作業エリアへ移動する。トロリとホイストを同時に使用することはないため、トロリを使用する場合にはホイストは待機位置、ホイストを使用する場合にはトロリは待機位置から移動しない。トロリ及びホイストの待機位置について第3-1添図に示す。以上のトロリ及びホイストの使用状態を踏まえた解析ケースとして、トロリ及びホイストのいずれかは最大質量の吊荷有りとし、もう一方は待機位置で吊荷なしの条件を設定する。なお、吊荷有りの場合のトロリ及びホイストの位置は中央付近であるためガーダの中央とする。（ケース2，3）</p> <p><u>第3-1添表 取水槽ガントリクレーンの耐震評価ケース</u></p> <table border="1" data-bbox="1754 1707 2487 1871"> <thead> <tr> <th rowspan="2">ケース</th> <th colspan="2">トロリ</th> <th colspan="2">ホイスト</th> </tr> <tr> <th>位置</th> <th>吊荷有無（質量）</th> <th>位置</th> <th>吊荷有無（質量）</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>待機位置</td> <td>なし</td> <td>待機位置</td> <td>なし</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>中央</td> <td>有り（50t）</td> <td>待機位置</td> <td>なし</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>待機位置</td> <td>なし</td> <td>中央</td> <td>有り（17t）</td> </tr> </tbody> </table>	ケース	トロリ		ホイスト		位置	吊荷有無（質量）	位置	吊荷有無（質量）	1	待機位置	なし	待機位置	なし	2	中央	有り（50t）	待機位置	なし	3	待機位置	なし	中央	有り（17t）	<p>・記載方針の相違 【女川2】 女川2は同様の内容を添付資料2に記載</p> <p>・記載方針の相違 【女川2】 女川2では、同様の内容を添付2-1表に記載</p>
ケース	トロリ			ホイスト																							
	位置	吊荷有無（質量）	位置	吊荷有無（質量）																							
1	待機位置	なし	待機位置	なし																							
2	中央	有り（50t）	待機位置	なし																							
3	待機位置	なし	中央	有り（17t）																							

柏崎刈羽原子力発電所 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;">添付資料 4</p> <p style="text-align: center;"><u>海水ポンプ室門型クレーンの地震時挙動に関する補足説明</u></p> <p>1. 車輪とレールとの摩擦力及び脱線防止部材との接触による摩擦力の考慮について</p> <p>門型クレーンはレール上を車輪で移動する構造であり、レールと車輪は固定されていないため、地震時には走行方向（レール長手方向）にはすべりが発生し、摩擦力以上の荷重を受けない構造である。</p> <p>門型クレーン本体車輪部とレール間の取り合い部を例とすると、すべりを想定する面としては、鉛直方向（本体車輪～レール間）と水平方向（脱線防止装置～レール躯体間）が挙げられる。</p> <p>（添付 4-1 図）</p> <p>鉛直方向には自重が常時下向きに加わっており、地震による鉛直方向加速度が 1G を上回りクレーン本体が浮上がり挙動を示すごく僅かな時間帯を除き、常に車輪はレール上面に接触し垂直抗力 N が発生する状態であることから、摩擦係数 μ ($=0.3$) 一定の条件の下、垂直抗力 N を時々刻々変化させた摩擦力 f ($=\mu N$) を考慮している。</p> <p>これに対して、水平方向には常時作用する荷重が無く、水平方向（横行方向）の地震力が作用し、脱線防止装置がレール躯体に</p>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; margin-bottom: 10px;"></div> <p style="text-align: center;">第 3-1 添図 取水槽ガントリクレーンのトロリ、ホイスト待機位置</p>	<p>・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違</p> <p>・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違</p>

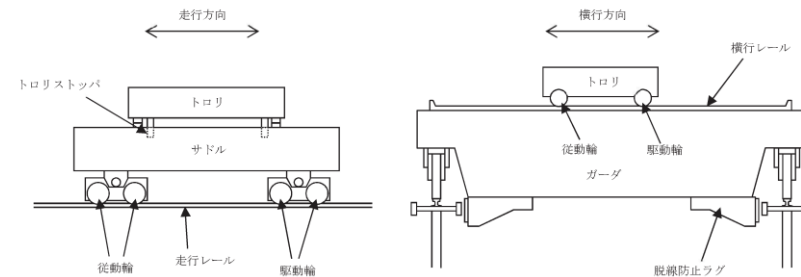
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>接触する場合に垂直抗力 R が発生する。</p> <p>しかしながら、地震力は交番荷重であること及び、接触後も部材間の跳ね返りが発生することから、側面の接触時間はごく僅かな時間となる。また、大きな摩擦力が発生するためには、横行方向の地震力により瞬間的に垂直抗力 R が発生する間に、走行方向の大きな地震力が同時に作用する必要があることから、各方向地震力の非同時性を考慮し、側面の接触による摩擦力は考慮していない。</p> <p>なお、基準地震動 S_s による地震力に対して、駆動輪に接続される電動機及び減速機等の回転部が破損し駆動輪が自由に回転する可能性も考えられるが、その場合、摩擦力は低減することから、上記のように摩擦力を考慮した評価を行うことで保守的な評価となっていると考える。</p> <div data-bbox="952 842 1676 1163" data-label="Diagram"> </div> <p style="text-align: center;">添付 4-1 図 鉛直方向と水平方向の接触面</p> <p>2. レール等の破損による解析条件への影響について</p> <p>門型クレーンのモデル化にあたっては、車輪がレール上にあり、レール直角方向に対しては脱線防止装置またはトロリストッパが接触して機能することを前提としている。</p> <p>ここでは、地震応答解析モデルの前提としている「レール上に車輪が乗っていること」が、脱線防止装置またはトロリストッパの健全性を確認することで満足されることを、門型クレーン本体車輪部を例に示す。</p> <p>門型クレーンに地震力が作用する際は、車輪がレール上に乗り上がる挙動が想定されるが、脱線防止装置がレール躯体に接触することで横行方向の移動量は制限される。脱線防止装置は、構造強度部材として基準地震動 S_s によって生じる地震力に対して許容応力を満足する設計としており、地震で破損することは無い</p>		<p>・設備構成の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>①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>め、脱線防止装置とレール躯体間のギャップ量に相当する移動量となった場合でも車輪がレール上から落ちることは無い。(添付4-2 図)</p> <p>上記については、トロリ車輪部についても同様である。</p> <p>また、脱線防止装置とレール躯体が接触する前に車輪からレールに荷重が伝わることになるが、車輪のつばとレールが接触（移動量 17.5 mm）してから脱線防止装置とレール躯体が接触（移動量 20 mm）し、移動量が制限されるまでの移動量は 2.5 mm (=20.0 mm-17.5 mm) 程度であることから、脱線防止装置が接触して機能する前に鋼製部材であるレールが大きく破損することは無いと考える。このように、車輪のつばの有無によらず構造強度部材である脱線防止装置が機能することで車輪がレールにとどまる設計であることから、車輪のつばは地震応答解析の前提条件に影響するものではない。</p> <p>以上より、地震時に脱線防止装置がレール躯体に接触して機能する前に車輪がすべり面であるレールから落下することや、レールが大きく破損することが無いことから脱線防止装置が機能する前に地震応答解析モデルの前提を満足しなくなるおそれは無いと考える。</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>(a) 通常時</p> <p>(b) 地震力により車輪のつばがレールに接触 (水平移動量 17.5 mm)</p> <p>(c) 地震力により脱線防止装置とレール躯体が接触 (水平移動量 20.0 mm)</p> <p>添付 4-2 図 本体車輪部概念図 (本図は車輪がレールから外れないことを示すための概念図であり、構造物の大きさや間隙については実物と異なる。)</p> <p>参考資料 1 クレーン車輪部の非線形要素の設定について</p> <p>1. 車輪部の非線形要素の考え方 クレーン車輪部のモデル化では、すべり、鉛直方向の浮上がり及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。また、接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で、衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し、参考 1-1 図に示すようにギャップ要素</p>	<p>添付資料(2-4) 取水槽ガントリクレーン車輪部の非線形要素 (摩擦, 接触, 減衰)</p> <p>取水槽ガントリクレーン車輪部のモデル化では、すべり、浮上り及び衝突の挙動を模擬するためギャップ要素を用いる。また、接触部位の局所変形による接触剛性をばね要素で、衝突による減衰効果を減衰要素で模擬し、第 4-1 添図に示すように、ギャップ</p>	<p>・設備構成の相違 【女川 2】 ①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>と直列に配置する。</p> <p>クレーン車輪部の接触形態は、車輪（曲面形状）とレール（平面形状）による鋼材同士の接触であり、先行実績（大間1号炉原子炉建屋クレーン）と同様であることから、非線形要素設定については先行実績と同様の考え方を適用している。</p> <p>なお、各要素（ギャップ要素、ばね要素、減衰要素）の詳細設定については2. 以降に記載する。</p> <div data-bbox="1121 619 1537 856" data-label="Diagram"> </div> <p>参考1-1 図 クレーン車輪部の非線形要素図</p> <p>2. 車輪とレール間の摩擦特性 (ギャップ要素)</p> <p>クレーンの車輪には、電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と回転部分と連結されていない従動輪の2種類がある。このうち駆動輪は回転が拘束されているため、地震力が車輪部に加わると回転部分が追従できず最大静止摩擦力以上の水平力が加わればレール上をすべる。</p> <p>摩擦係数は実機の縮小試験体を用いて加振試験を行った既往研究⁽¹⁾を踏まえ、0.3 と設定した。既往研究においては、摩擦係数として0.11~0.19 の値が確認されているが、摩擦係数の大きい方がクレーン本体へ加わる水平力が大きくなるため、保守的に0.3 とした。</p> <p>既往研究における試験体（原子炉建屋クレーンタイプ）と門型クレーンの構造上の差異（門型クレーンには脚が存在）から門型クレーンは地震動に対して多少のロッキング挙動を示す可能性はあるが、接触形態（車輪（曲面形状）とレール（平面形状）による鋼材同士の接触）は変わらないことから摩擦係数への影響は軽微であると考えられる。</p> <p>なお、摩擦係数0.3 は、女川2号炉原子炉建屋クレーンの既工認（静的解析*）及び先行実績（大間1号炉（動的解析））においても同様に適用されている。</p> <p>* すべり方向の水平力として最大静止摩擦力（鉛直方向荷重×摩</p>	<p>要素と直列に配置する。</p> <div data-bbox="1944 577 2300 850" data-label="Diagram"> </div> <p>第4-1 添図 車輪部の非線形要素</p> <p>1. 車輪とレール間の摩擦特性</p> <p>取水槽ガントリクレーンの車輪には電動機及び減速機等の回転部分と連結された駆動輪と、回転部分と連結されていない従動輪の2種類がある。第4-2 添図に取水槽ガントリクレーンの概要図を示す。このうち駆動輪は回転が拘束されているため、最大静止摩擦力以上の地震慣性力が加わった場合、レール上をすべる挙動を示す。</p> <p>ここで、摩擦係数は原子炉建物天井クレーンと同様の0.3 を用いる。</p>	

擦係数 (0.3) を用いてクレーン本体及びトロリを評価



参考 1-2 図 女川 2号炉原子炉建屋クレーン概要図

3. 車輪とレールの接触剛性 (ばね要素)

接触剛性はクレーン類の非線形応答挙動を検討した既往研究⁽²⁾を踏まえ、接触剛性を考慮したばね要素とクレーン質量で構成される1自由度系の固有振動数が20Hzになるように設定した。既往研究においては、今回の設定方法のほか、ヘルツの接触理論により荷重に着目して設定する方法、荷重やトロリ浮上がり量等の試験結果と同等になるようにパラメータスタディを行って設定する方法などを検討しているが、いずれの設定方法でも接触剛性(ばね要素)の差異がほとんどないことが確認されている。

なお、今回の接触剛性(ばね要素)の設定方法は、先行実績(大間1号炉)においても同様に適用されている。

4. 車輪とレール間の衝突による減衰 (減衰要素)

減衰は、クレーン類の非線形応答挙動を検討した既往研究⁽³⁾を踏まえ、車輪の反発係数から換算される減衰比を設定した。既往研究においては、車輪及びレールを模擬した試験体を用いて、重力加速度を利用した反発試験(参考 1-3 図)を実施し、車輪とレール間の反発係数から減衰比を確認している。

なお、反発係数と減衰比の関係式は次式のとおり。また、反発係数と減衰比の関係を参考 1-4 図に示す。

$$e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

e: 反発係数, h: 減衰比



第 4-2 添図 取水槽ガントリクレーンの概要図

2. 車輪とレールの接触剛性

接触剛性は「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書(09 耐部報-0008, (独)原子力安全基盤機構)」を参照し、車輪とレールの衝突時の剛性を模擬したばね要素を考慮し、クレーン質量で構成される1自由度系の固有振動数が20Hz相当になるように設定する。

3. 車輪とレール間の衝突による減衰

衝突による減衰は「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書(08 耐部報-0021, (独)原子力安全基盤機構)」にて実施した要素試験のうち、車輪反発係数試験結果より評価した反発係数から算出する。

なお、減衰比と反発係数の関係式には次式を用いる。

$$e = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right)$$

ここで、e は反発係数, h は減衰比である。

上記の式で表される反発係数と減衰比との関係を第 4-3 添図

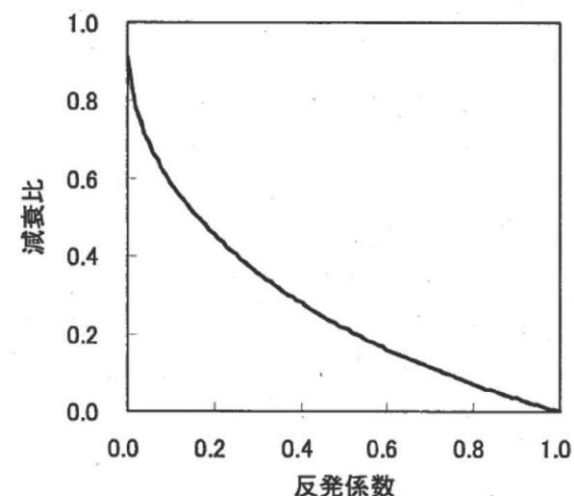
既往研究の反発係数試験から得られた反発係数は、0.62~0.65であり、減衰比に換算すると0.12~0.13となる。

ここで、反発係数と減衰比の関係は、反発係数が大きいほど衝突時のエネルギー消散が小さく、減衰比が小さくなるため、車輪とレール間の衝突による減衰は、保守的に反発係数0.7(減衰比0.113)を適用する。

なお、今回の減衰の設定方法は、先行実績(大間1号炉)においても同様に適用されている。

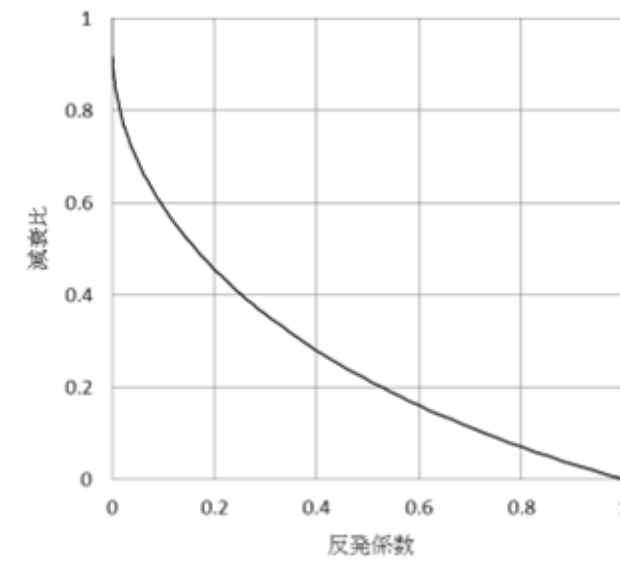


参考 1-3 図 車輪反発係数試験体*



参考 1-4 図 反発係数と減衰比の関係*

に示す。



第 4-3 添図 反発係数と減衰比の関係

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 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>*『平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に係る報告書 (08 耐部報-0021, (独)原子力安全基盤機構)』より一部引用</p> <p>5. 参考文献</p> <p>(1) 天井クレーンのすべりを伴う地震時挙動 (火力原子力発電. Vol140 No.6 小森ほか)</p> <p>(2) 「平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に係る報告書 (09 耐部報-0008, (独)原子力安全基盤機構)」</p> <p>(3) 「平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動耐震試験 (クレーン類) に係る報告書 (08 耐部報-0021, (独)原子力安全基盤機構)」</p>	<p>4. 転倒防止装置の構造・モデル化について</p> <p>転倒防止装置は、第 4-4 添図に示すように、レールの上部からレール頭部をアームで挟み込む構造である。通常運転時、アームの先端の爪部とレールの間には間隙がある。クレーンに浮上りが発生してレール頭部と転倒防止装置のアーム先端の爪部が接触すると鉛直方向の荷重が伝達される。</p> <p>水平方向については、レール直交方向には転倒防止装置が取付軸により回転する構造となっており、レールに沿った方向 (クレーン走行方向) にはガイドローラによって滑る構造のため、水平荷重は発生しない。</p> <p>以上より、転倒防止装置については、鉛直方向の爪部とレール頭部の間隙を考慮して、第 4-4 添図に示すギャップ要素によりモデル化を行う。</p> <div data-bbox="1822 1461 2436 1682" data-label="Image"> </div> <p>第 4-4 添図 転倒防止装置の構造及びモデル図</p>	<p>・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違</p> <p>・設備構成の相違 【女川 2】 ①の相違</p>

参考資料 2

地震時の本体車輪部及び脱線防止装置が衝突する躯体側の評価について

門型クレーンに地震力が作用した際は、まず走行車輪とレールが接触し、さらには車輪がレールに乗り上がって脱線防止装置がレール躯体に衝突する挙動が考えられる。門型クレーンは、構造強度部材である脱線防止装置が健全であることでレールからの脱輪による転倒もしくは落下を生じない構造であることを確認しているが、地震時に本体車輪部各部位及び脱線防止装置が衝突する躯体側に発生する応力について評価を行った。

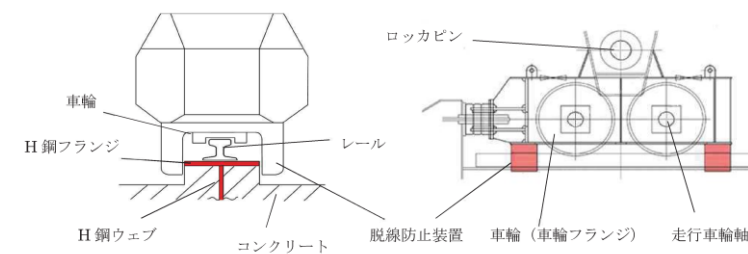
(1) 本体車輪部の評価について

評価の結果、本体車輪部は地震時に健全であることを確認した。

(2) 脱線防止装置が衝突する躯体側の評価について

レール躯体は、H鋼とコンクリートで構成されており、脱線防止装置衝突時にはH鋼とコンクリート両者に荷重が作用するが、保守的にレール躯体上部のH鋼フランジ端部のみに荷重が作用するものとして、H鋼のフランジとウェブの境界部のせん断、H鋼フランジの面内の圧縮の評価を行った。

評価の結果、レール躯体が脱線防止装置の衝突に対して健全であることを確認した。

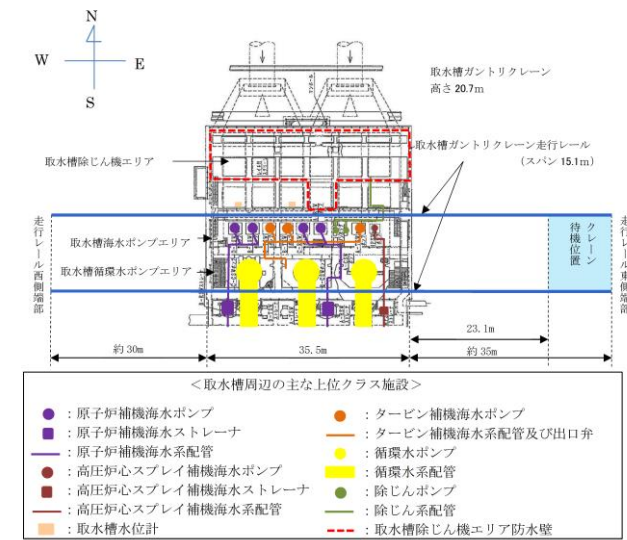


評価部位	評価項目	発生値*	許容限界	裕度	
本体車輪部	車輪フランジ	組合せ	194 (MPa)	539 (MPa)	2.77
	走行車輪軸	組合せ	289 (MPa)	571 (MPa)	1.97
	ロックカビン	組合せ	241 (MPa)	571 (MPa)	2.36
脱線防止装置衝突部躯体	せん断	51 (MPa)	146 (MPa)	2.86	
	圧縮	96 (MPa)	253 (MPa)	2.63	

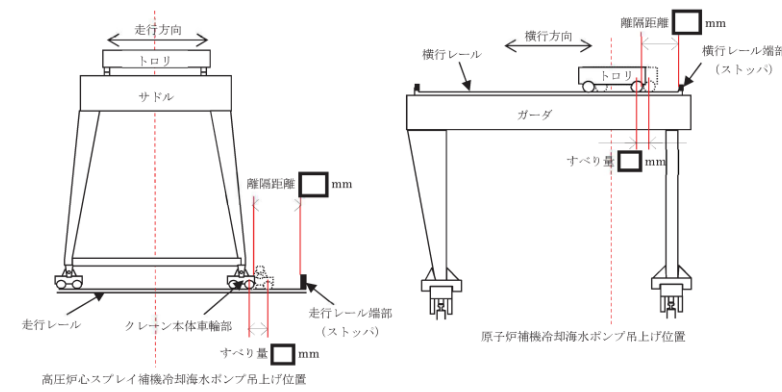
* 平成 25 年 12 月 27 日申請時の基準地震動 Ss - 1, 2 による暫定評価

・設備構成の相違
【女川 2】
①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 style="text-align: right;">参考資料 3</p> <p><u>クレーン本体及びトロリのすべり量評価について</u></p> <p>クレーン本体及びトロリがすべりによって走行レール端部及び横行レール端部に衝突した場合、クレーン本体の転倒、トロリの落下により上位クラス設備へ波及的影響を及ぼすおそれがある。</p> <p><u>そこで、地震応答解析におけるクレーン本体及びトロリのすべり量がクレーン本体及びトロリがレール端部に最も接近した作業状態における走行レール端部及び横行レール端部までの離隔距離(許容基準値)を上回らないことを確認する。</u></p> <p><u>クレーン本体の場合は、走行レール端部に最も接近する作業状態として、高圧炉心スプレイ補機冷却海水ポンプ(西側)の吊上時を想定する。また、トロリの場合は、横行レール端部に最も接近する作業状態として、原子炉補機冷却海水ポンプ吊上げ時を想定する。</u></p> <p><u>評価の結果、クレーン本体及びトロリともに許容基準値を満足しており、すべりにより上位クラス設備への波及的影響を及ぼすおそれがないことを確認した。</u></p> <p><u>なお、本検討では基準地震動 Ss - D1~N1(全7波)のうち設備評価の観点で選定した基準地震動 Ss - D2 により評価を行っているが、工認段階においては、基準地震動 Ss - D1~N1(全7波)におけるすべり量評価を実施する。すべり量が増大し、現状の許容基準値を満足できない場合は走行装置の構造変更等による対策を実施する。</u></p>	<p><u>添付資料(2-5) 取水槽ガントリクレーン本体及びトロリのすべりの影響について</u></p> <p>取水槽ガントリクレーン本体及びトロリがすべりによって走行レール端部及び横行レール端部に衝突した場合、取水槽ガントリクレーン本体の転倒、トロリの落下により上位クラス施設へ波及的影響を及ぼすおそれがあることから、<u>取水槽ガントリクレーン本体及びトロリのすべりによるレール端部への衝突の有無を確認する。取水槽ガントリクレーンの走行範囲を第5-1添図に示す。</u></p> <p><u>取水槽から走行レール端部までの距離は最小で約 30m であり、取水槽ガントリクレーンがすべりによって走行レール端部に衝突することはない。</u></p> <p><u>トロリについては、詳細設計段階においてすべり量を算出し、レール端部との適切な離隔距離を確保する。</u></p>	<p>備考</p> <p>・方針の相違 【女川 2】 女川 2 は、すべり量の評価を実施しているが、島根 2 号炉取水槽ガントリクレーンは走行レール端部までの距離が大きいことから、レール端部について衝突することはない。トロリについては、詳細設計段階ですべり量を評価する(以下、⑥の相違)</p> <p>・方針の相違 【女川 2】 ⑥の相違</p> <p>・地震動の相違 【女川 2】 ④の相違</p> <p>・方針の相違 【女川 2】 ⑥の相違</p>



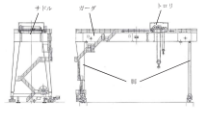
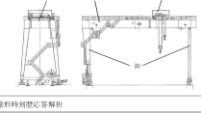
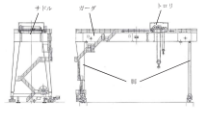
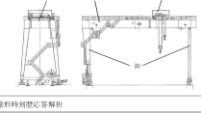
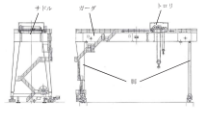
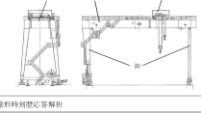
第5-1添図 取水槽ガントリクレーンの走行範囲



評価部位	発生値* (すべり量)	許容基準値 (離隔距離)
クレーン本体		
トロリ		

* 基準地震動 Ss - D1~N1 (全7波) のうち Ss - D2 による暫定評価

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 (2020. 2. 7 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<div data-bbox="973 273 1656 682" style="border: 1px solid black; height: 195px; margin-bottom: 10px;"></div> <div data-bbox="1121 699 1534 741" style="text-align: center;"><u>クレーン本体すべり量時刻歴波形</u></div> <div data-bbox="1003 861 1679 1270" style="border: 1px solid black; height: 195px; margin-top: 10px;"></div> <div data-bbox="1163 1283 1492 1325" style="text-align: center;"><u>トロリすべり量時刻歴波形</u></div>		<p data-bbox="2534 703 2689 827">・方針の相違 【女川2】 ⑤の相違</p> <p data-bbox="2534 1287 2689 1411">・方針の相違 【女川2】 ⑤の相違</p>

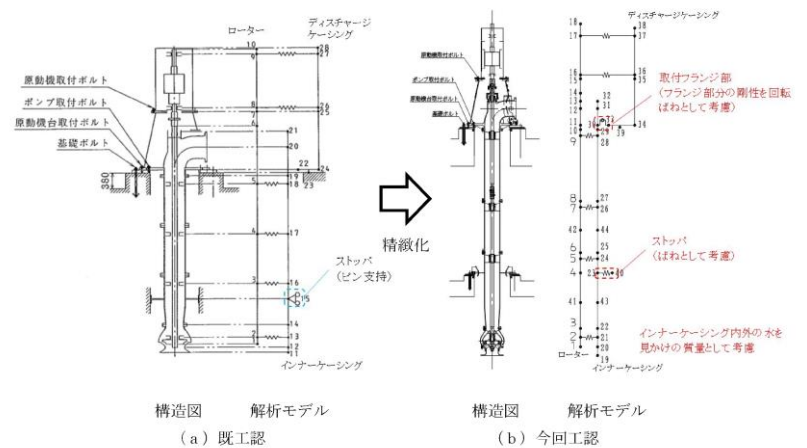
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020. 2. 7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																
	<p style="text-align: center;"><u>参考資料 4</u></p> <p style="text-align: center;"><u>先行実績との構造/評価手法比較 (BWR プラント)</u></p> <table border="1" data-bbox="958 394 1709 846"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>大間1号炉 原子炉建屋クレーン</th> <th>船橋利根6号及び7号炉 原子炉建屋クレーン</th> <th>高川2号炉 高水圧型クレーン</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>構造概要</td> <td>・主梁のレール間を跨ぐ形構造 ・ゴード上にトロリを設置 ・車輪を介してレール上に設置</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>主要構造物</td> <td>・ゴード ・サドル ・トロリ</td> <td>同左</td> <td>・ゴード ・サドル ・トロリ</td> </tr> <tr> <td>構造形式</td> <td>鋼構造物 (直形鋼)</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>構造形式</td> <td>直形鋼構造物</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>構造詳細図</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>解析手法</td> <td>非線形時系列応答解析</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>解析モデル</td> <td>3次元有限要素モデル</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>車輪・レール間の摩擦係数</td> <td>テベリ、球上がり、摩擦考慮</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>地盤力</td> <td>動的地盤力</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>入力地震動</td> <td>クレーン設置位置の加速度時系列</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>減衰定数</td> <td>2.0%</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ANSYS Ver. 6.3-4</td> <td>ANSYS Ver. 11-1 (6号炉) ANSYS Ver. 6.3-4 (7号炉)</td> <td>ANSYS Ver. 11-1</td> </tr> <tr> <td>時刻歴の保守性検討</td> <td>-</td> <td>考慮 ASME Time History Broadening</td> <td>考慮 ASME Time History Broadening</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><u>先行実績との構造/評価手法比較 (PWR プラント)</u></p> <table border="1" data-bbox="958 968 1709 1430"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>高川2号炉 高水圧型クレーン</th> <th>伊勢3号炉 高水圧型クレーン</th> <th>高川2号炉 高水圧型クレーン</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>構造概要</td> <td>・主梁のレール間を跨ぐ形構造 ・ゴード上にトロリを設置 ・車輪を介してレール上に設置</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>主要構造物</td> <td>・ゴード ・サドル ・トロリ</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>構造形式</td> <td>鋼構造物 (直形鋼)</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>構造形式</td> <td>直形鋼構造物</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>構造詳細図</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>解析手法</td> <td>非線形時系列応答解析</td> <td>非線形時系列応答解析 (一部スプレッドシートモデル解析を併用)</td> <td>非線形時系列応答解析</td> </tr> <tr> <td>解析モデル</td> <td>3次元有限要素モデル</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>車輪・レール間の摩擦係数</td> <td>テベリ、球上がり、摩擦考慮</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>地盤力</td> <td>動的地盤力</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>入力地震動</td> <td>クレーン設置位置の加速度時系列</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>減衰定数</td> <td>2.0%</td> <td>同左</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>解析プログラム</td> <td>ANSYS</td> <td>同左</td> <td>ANSYS Ver. 11-1 ANSYS (直形鋼) において、(図)参照中車輪摩擦係数に対して動的応答解析結果と振動試験結果を比較した検証が実施されており、適用性に問題ないと考えらる。</td> </tr> <tr> <td>時刻歴の保守性検討</td> <td>考慮 シープスバケットと鋼製スバケットでベクトルモデル解析を行い、耐力力の比を考慮して考慮 ・本プラント及び製造時の地震力に於てクレーンの車輪を考慮し、本プラントは、クレーンがレール上を走行する際の水平方向の加速度の影響は小さいものが高水圧型クレーンに比べて発生する可能性があること、及び、地震力方向は制振性能を低下させる考慮し、地震力方向の加速度の影響として健全性を検証。</td> <td>-</td> <td>考慮 ASME Time History Broadening ・高川2号炉クレーンは、クレーンがレール上を走行するため、本プラントに対しては車輪摩擦係数を考慮していることに加え、球上がり車輪を考慮しているため、地震力方向等に対しては非線形時系列を考慮していることから、ASMEの手法を厳に保守性を検証。</td> </tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small;">* : 『平成 19 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動振動試験 (クレーン類)』に関する報告書 (08 報告書-002)、(09)原子力安全基盤機構編 『平成 20 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 動的上下動振動試験 (クレーン類)』に関する報告書 (09 報告書-006)、(09)原子力安全基盤機構編</p>	項目	大間1号炉 原子炉建屋クレーン	船橋利根6号及び7号炉 原子炉建屋クレーン	高川2号炉 高水圧型クレーン	構造概要	・主梁のレール間を跨ぐ形構造 ・ゴード上にトロリを設置 ・車輪を介してレール上に設置	同左	同左	主要構造物	・ゴード ・サドル ・トロリ	同左	・ゴード ・サドル ・トロリ	構造形式	鋼構造物 (直形鋼)	同左	同左	構造形式	直形鋼構造物	同左	同左	構造詳細図				解析手法	非線形時系列応答解析	同左	同左	解析モデル	3次元有限要素モデル	同左	同左	車輪・レール間の摩擦係数	テベリ、球上がり、摩擦考慮	同左	同左	地盤力	動的地盤力	同左	同左	入力地震動	クレーン設置位置の加速度時系列	同左	同左	減衰定数	2.0%	同左	同左	解析プログラム	ANSYS Ver. 6.3-4	ANSYS Ver. 11-1 (6号炉) ANSYS Ver. 6.3-4 (7号炉)	ANSYS Ver. 11-1	時刻歴の保守性検討	-	考慮 ASME Time History Broadening	考慮 ASME Time History Broadening	項目	高川2号炉 高水圧型クレーン	伊勢3号炉 高水圧型クレーン	高川2号炉 高水圧型クレーン	構造概要	・主梁のレール間を跨ぐ形構造 ・ゴード上にトロリを設置 ・車輪を介してレール上に設置	同左	同左	主要構造物	・ゴード ・サドル ・トロリ	同左	同左	構造形式	鋼構造物 (直形鋼)	同左	同左	構造形式	直形鋼構造物	同左	同左	構造詳細図				解析手法	非線形時系列応答解析	非線形時系列応答解析 (一部スプレッドシートモデル解析を併用)	非線形時系列応答解析	解析モデル	3次元有限要素モデル	同左	同左	車輪・レール間の摩擦係数	テベリ、球上がり、摩擦考慮	同左	同左	地盤力	動的地盤力	同左	同左	入力地震動	クレーン設置位置の加速度時系列	同左	同左	減衰定数	2.0%	同左	同左	解析プログラム	ANSYS	同左	ANSYS Ver. 11-1 ANSYS (直形鋼) において、(図)参照中車輪摩擦係数に対して動的応答解析結果と振動試験結果を比較した検証が実施されており、適用性に問題ないと考えらる。	時刻歴の保守性検討	考慮 シープスバケットと鋼製スバケットでベクトルモデル解析を行い、耐力力の比を考慮して考慮 ・本プラント及び製造時の地震力に於てクレーンの車輪を考慮し、本プラントは、クレーンがレール上を走行する際の水平方向の加速度の影響は小さいものが高水圧型クレーンに比べて発生する可能性があること、及び、地震力方向は制振性能を低下させる考慮し、地震力方向の加速度の影響として健全性を検証。	-	考慮 ASME Time History Broadening ・高川2号炉クレーンは、クレーンがレール上を走行するため、本プラントに対しては車輪摩擦係数を考慮していることに加え、球上がり車輪を考慮しているため、地震力方向等に対しては非線形時系列を考慮していることから、ASMEの手法を厳に保守性を検証。		<p>・記載方針の相違 【女川 2】 島根 2 号炉では、同様の内容を添付資料 (2-2) に記載</p>
項目	大間1号炉 原子炉建屋クレーン	船橋利根6号及び7号炉 原子炉建屋クレーン	高川2号炉 高水圧型クレーン																																																																																																																
構造概要	・主梁のレール間を跨ぐ形構造 ・ゴード上にトロリを設置 ・車輪を介してレール上に設置	同左	同左																																																																																																																
主要構造物	・ゴード ・サドル ・トロリ	同左	・ゴード ・サドル ・トロリ																																																																																																																
構造形式	鋼構造物 (直形鋼)	同左	同左																																																																																																																
構造形式	直形鋼構造物	同左	同左																																																																																																																
構造詳細図																																																																																																																			
解析手法	非線形時系列応答解析	同左	同左																																																																																																																
解析モデル	3次元有限要素モデル	同左	同左																																																																																																																
車輪・レール間の摩擦係数	テベリ、球上がり、摩擦考慮	同左	同左																																																																																																																
地盤力	動的地盤力	同左	同左																																																																																																																
入力地震動	クレーン設置位置の加速度時系列	同左	同左																																																																																																																
減衰定数	2.0%	同左	同左																																																																																																																
解析プログラム	ANSYS Ver. 6.3-4	ANSYS Ver. 11-1 (6号炉) ANSYS Ver. 6.3-4 (7号炉)	ANSYS Ver. 11-1																																																																																																																
時刻歴の保守性検討	-	考慮 ASME Time History Broadening	考慮 ASME Time History Broadening																																																																																																																
項目	高川2号炉 高水圧型クレーン	伊勢3号炉 高水圧型クレーン	高川2号炉 高水圧型クレーン																																																																																																																
構造概要	・主梁のレール間を跨ぐ形構造 ・ゴード上にトロリを設置 ・車輪を介してレール上に設置	同左	同左																																																																																																																
主要構造物	・ゴード ・サドル ・トロリ	同左	同左																																																																																																																
構造形式	鋼構造物 (直形鋼)	同左	同左																																																																																																																
構造形式	直形鋼構造物	同左	同左																																																																																																																
構造詳細図																																																																																																																			
解析手法	非線形時系列応答解析	非線形時系列応答解析 (一部スプレッドシートモデル解析を併用)	非線形時系列応答解析																																																																																																																
解析モデル	3次元有限要素モデル	同左	同左																																																																																																																
車輪・レール間の摩擦係数	テベリ、球上がり、摩擦考慮	同左	同左																																																																																																																
地盤力	動的地盤力	同左	同左																																																																																																																
入力地震動	クレーン設置位置の加速度時系列	同左	同左																																																																																																																
減衰定数	2.0%	同左	同左																																																																																																																
解析プログラム	ANSYS	同左	ANSYS Ver. 11-1 ANSYS (直形鋼) において、(図)参照中車輪摩擦係数に対して動的応答解析結果と振動試験結果を比較した検証が実施されており、適用性に問題ないと考えらる。																																																																																																																
時刻歴の保守性検討	考慮 シープスバケットと鋼製スバケットでベクトルモデル解析を行い、耐力力の比を考慮して考慮 ・本プラント及び製造時の地震力に於てクレーンの車輪を考慮し、本プラントは、クレーンがレール上を走行する際の水平方向の加速度の影響は小さいものが高水圧型クレーンに比べて発生する可能性があること、及び、地震力方向は制振性能を低下させる考慮し、地震力方向の加速度の影響として健全性を検証。	-	考慮 ASME Time History Broadening ・高川2号炉クレーンは、クレーンがレール上を走行するため、本プラントに対しては車輪摩擦係数を考慮していることに加え、球上がり車輪を考慮しているため、地震力方向等に対しては非線形時系列を考慮していることから、ASMEの手法を厳に保守性を検証。																																																																																																																

添付資料2 立形ポンプの解析モデルの精緻化

既工認における立形ポンプの解析モデルは、実機構造を踏まえた振動特性とするため、設備の寸法、質量情報に基づき、主要部であるローター、インナーケーシング及びディスチャージケーシングを相互にばね等で接続した多質点系モデルとして構築していた。

今回工認では、最新の知見に基づくモデル化を行う観点から、既工認モデルに対してJEAG4601-1991 追補版に基づくモデルの精緻化を行う。(第1図参照)

なお、本解析モデルは大間1号炉の建設工認にて適用実績がある。



第1図 原子炉補機冷却海水ポンプ解析モデル図 (7号炉の例)

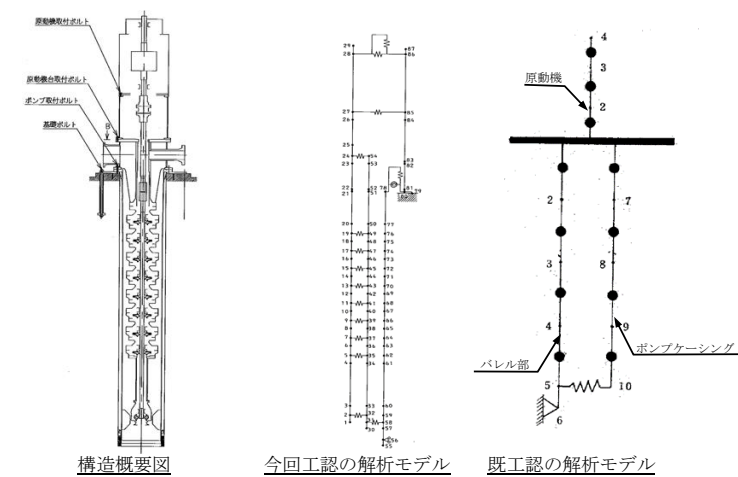
添付資料2 ポンプ等の解析モデルの精緻化について

1. 立形ポンプの解析モデルの精緻化

既工認における高圧炉心スプレイポンプ、低圧炉心スプレイポンプ及び残留熱除去系ポンプの解析モデルは、立形ポンプの構造を模擬したバレル部及びポンプケーシングによる質点系モデルを構築していた。

今回工認では、最新の知見によるモデル化を行う観点から、JEAG4601-1981 追補版に基づき、モデルの精緻化を行う(第2-1図参照)。

なお、本解析モデルは大間1号炉の既工認及び東海第二発電所の立形ポンプのうち、非常用ディーゼル発電機海水ポンプ及び残留熱除去系海水ポンプの既工認にて適用実績がある(第2-2図参照)。



第2-1図 立形ポンプの解析モデル図 (高圧炉心スプレイポンプ解析モデルの例)

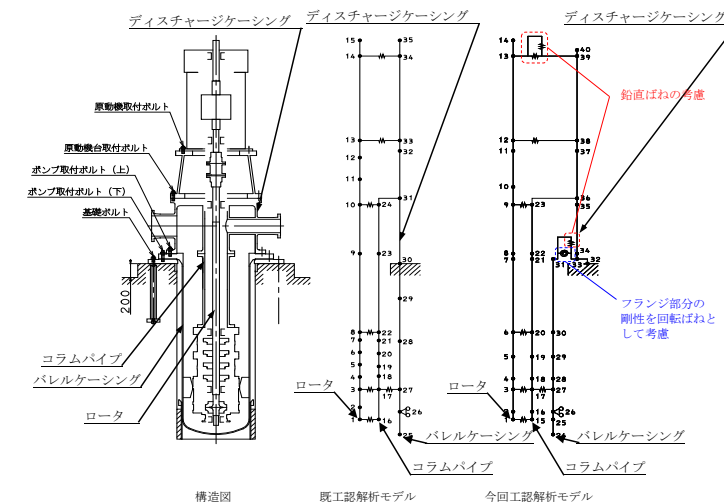
添付資料-3 ポンプ等の応答解析モデルの精緻化について

1. 立形ポンプの応答解析モデルの精緻化

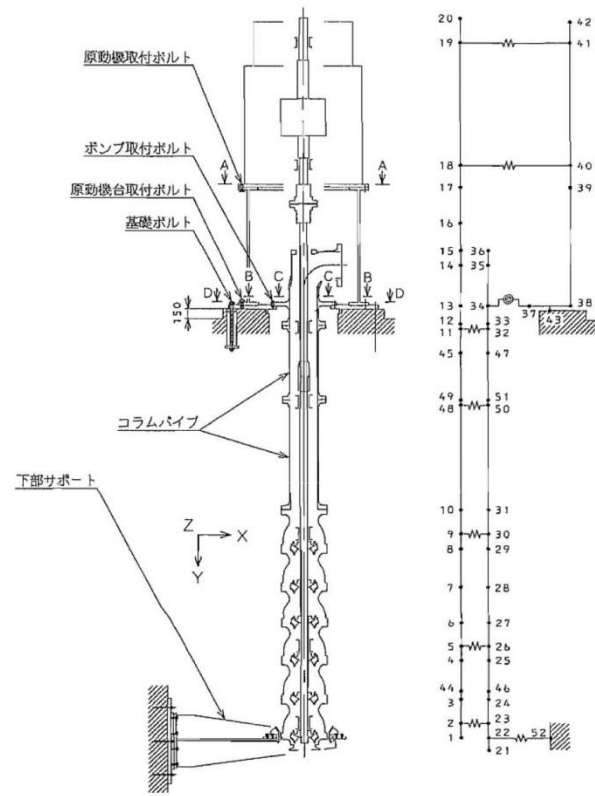
既工認における立形ポンプの応答解析モデルは、実機構造を踏まえた振動特性とするため、設備の寸法、質量情報に基づき、主要部であるロータ、インナーケーシング及びディスチャージケーシングを相互にばね等で接続した多質点モデルとして構築していた。

今回工認では、最新の知見に基づくモデル化を行う観点から、既工認モデルに対してJEAG4601-1991 追補版に基づき、フランジ部分の剛性を回転ばねとして考慮する。また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の固有周期を算出する為、新たに鉛直ばねを考慮している(第1-1図参照)。なお、解析結果より、鉛直方向は十分な剛性を有している。

本解析モデルは、大間1号炉建設工認及び東海第二にて適用実績がある。



第1-1図 残留熱除去ポンプ応答解析モデル図



構造概要図 既工認の解析モデル

第 2-2 図 残留熱除去系海水系ポンプ解析モデル

2. 残留熱除去系熱交換器の解析モデルの精緻化

残留熱除去系熱交換器の支持構造概要図を第 2-3 図に示す。残留熱除去系熱交換器は、原子炉建屋床面に設置された架台を介して支持する構造である。既工認における応力評価は、架台部の 1 次固有周期に対して設計用床応答スペクトルから算出される加速度を入力として、規格計算式によって熱交換器本体の評価を実施していた。

今回工認においては、架台及び熱交換器本体との相互影響を精緻に評価する観点から、第 2-4 図に示す多質点系のはりモデルを用いた地震応答解析により評価を行う。

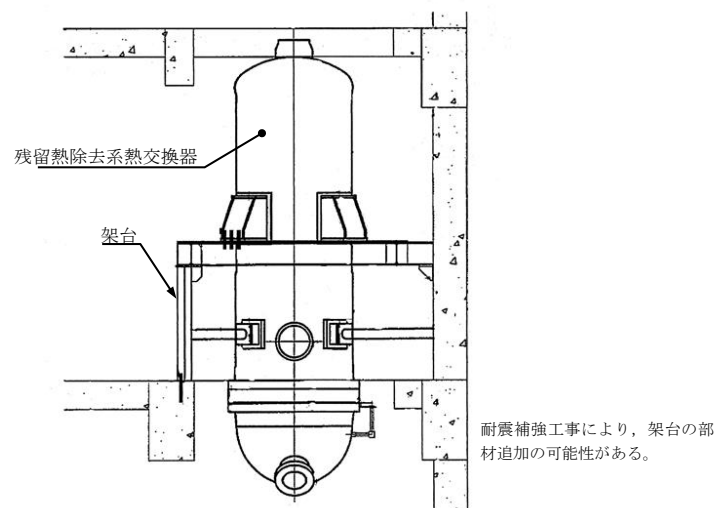
なお、多質点系のはりモデルを用いた地震応答解析については、大間 1 号炉においての既工認にて適用実績がある。

・資料構成の相違

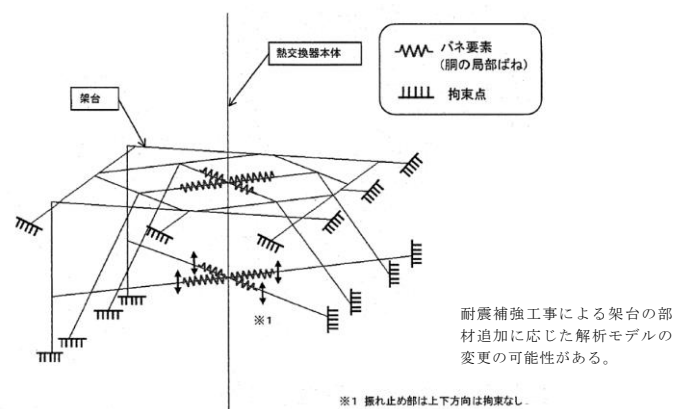
【東海第二】

島根 2 号炉では、立形ポンプにおける解析モデルの精緻化を代表して記載している（以下、①の相違）

・資料構成の相違
【東海第二】
①の相違

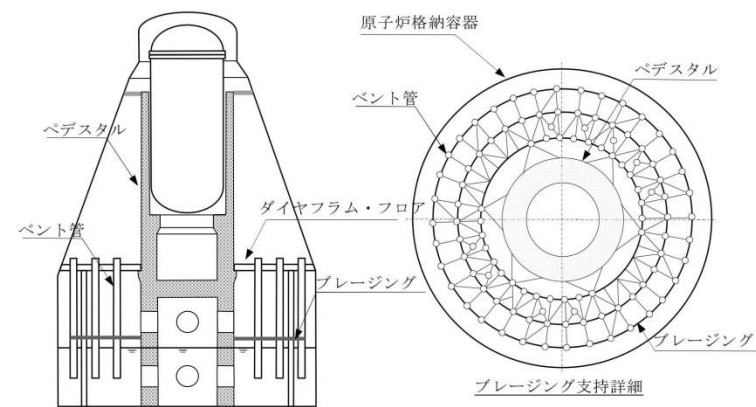


第2-3図 残留熱除去系熱交換器支持構造概要図

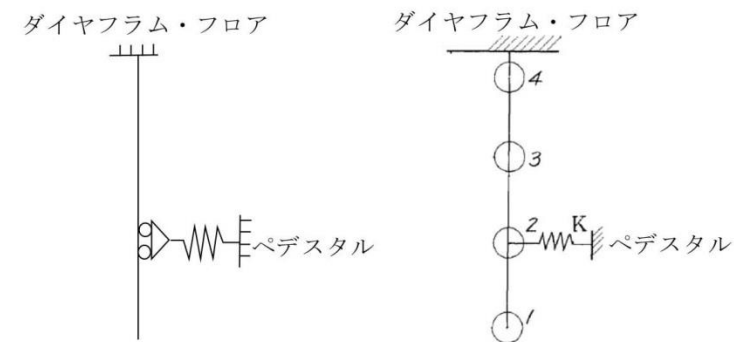


第2-4図 残留熱除去系熱交換器解析モデル図

3. 原子炉格納容器ベント管の解析モデルの精緻化
原子炉格納容器のベント管の支持構造図を第2-5図に示す。ベント管はダイヤフラム・フロアにより支持され、ブレイジングにて水平方向を拘束されている。
第2-6図にベント管の解析モデル図を示す。今回工認においては、柏崎刈羽5号の既工認実績を踏まえて、集中質量を用いる質点モデルから等分布質量としたビーム要素に変更した解析モデルを用いた地震応答解析により評価を行う。



第2-5図 ベント管概要図



今回工認の解析モデル 既工認の解析モデル

第2-6図 ベント管解析モデル図

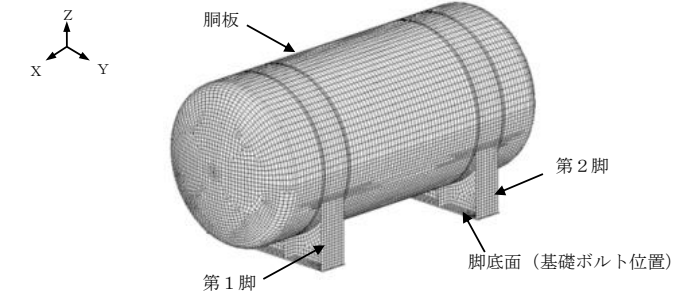
・資料構成の相違
 【東海第二】
 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18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;">容器等の応力解析へのFEMモデルの適用について</p> <p>既工認において、公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について、至近の既工認の適用実績を踏まえて、3次元FEMモデル、<u>多質点モデル</u>を適用した耐震評価を実施する。FEMモデルを用いる手法等は、大間1号炉を含めて他BWRでの適用実績がある手法である。</p> <p>1. 容器へのFEMモデルの適用</p> <p><u>パーソナルエアロック、サプレッション・チェンバ、アクセスハッチ等の原子炉格納容器本体に取付く各構造物並びにディーゼル発電機の付属設備である始動用空気だめ及び燃料油デイトンクについて、実機の形状をシェル要素にて模擬し、JSME等に基づく材料諸元を与えてモデル化することにより、応答解析を行う。応答解析に用いる解析モデル図の例を第3-1図に示すとともに第3-1表及び第3-2表に解析概要を示す。</u></p> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;">  </div> <p style="text-align: center;"><u>第3-1図 原子炉格納容器のFEMモデル図 (パーソナルエアロックのFEMモデルの例)</u></p>	<p style="text-align: right;">添付資料4</p> <p style="text-align: center;">容器等の応力解析へのFEMモデルの適用について</p> <p>既工認において、公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について、至近の既工認の適用実績を踏まえて、3次元FEMモデルを適用した耐震評価を実施する。FEMモデルを用いる手法は、大間1号炉建設工認及び東海第二において適用実績がある手法である。</p> <p>1. 容器へのFEMモデルの適用</p> <p><u>ディーゼル発電機の付属設備であるディーゼル燃料デイトンク及びディーゼル燃料貯蔵タンク並びに原子炉補機冷却系熱交換器について、公式等による計算では許容値を超える見込みであることから、精緻な評価を行うためにFEMモデルを適用する。</u></p> <p><u>胴板及び脚部の実機形状をシェル要素にて模擬し、「発電用原子力設備規格 設計・建設規格 (2005年版 (2007年追補版) <第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007)」等に基づく材料諸元を与えてモデル化することにより、応力解析を行う。応力解析に用いる解析モデル図を第1-1図～第1-3図に示すとともに、第1-1表～第1-3表に解析概要を示す。</u></p>	<p>備考</p> <p>・適用設備の相違 【東海第二】 3次元FEMモデルを適用する設備が異なる (以下、①の相違)</p> <p>・適用設備の相違 【東海第二】 ①の相違</p>

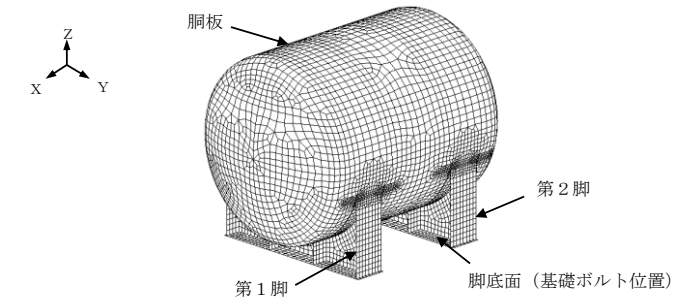
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考								
	<p style="text-align: center;"><u>第3-1表 原子炉格納容器のFEM解析概要</u></p> <table border="1" data-bbox="988 352 1691 974"> <thead> <tr> <th data-bbox="988 352 1285 401">項目</th> <th data-bbox="1285 352 1691 401">内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="988 401 1285 783">適用部位</td> <td data-bbox="1285 401 1691 783"> パーソナルエアロック取付部 サプレッション・チェンバアクセスハッチ取付部 イクイプメントハッチ取付部 配管貫通部取付部 電気配線貫通部取付部 上部シアラグ取付部 下部シアラグ取付部 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="988 783 1285 831">解析コード</td> <td data-bbox="1285 783 1691 831">NASTRAN</td> </tr> <tr> <td data-bbox="988 831 1285 974">地震条件</td> <td data-bbox="1285 831 1691 974"> 別途実施する地震応答解析から得られる地震力（荷重，加速度）を入力とする。 </td> </tr> </tbody> </table>	項目	内容	適用部位	パーソナルエアロック取付部 サプレッション・チェンバアクセスハッチ取付部 イクイプメントハッチ取付部 配管貫通部取付部 電気配線貫通部取付部 上部シアラグ取付部 下部シアラグ取付部	解析コード	NASTRAN	地震条件	別途実施する地震応答解析から得られる地震力（荷重，加速度）を入力とする。		<ul style="list-style-type: none"> ・適用設備の相違 【東海第二】 ①の相違
項目	内容										
適用部位	パーソナルエアロック取付部 サプレッション・チェンバアクセスハッチ取付部 イクイプメントハッチ取付部 配管貫通部取付部 電気配線貫通部取付部 上部シアラグ取付部 下部シアラグ取付部										
解析コード	NASTRAN										
地震条件	別途実施する地震応答解析から得られる地震力（荷重，加速度）を入力とする。										

第3-2表 DG用補機類容器のFEM解析概要

項目	内容
適用部位	非常用ディーゼル発電機用始動空気だめ及び燃料油デイトンク 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用始動空気だめ及び燃料油デイトンク
解析コード	Abaqus
地震条件	別途実施する原子炉建屋地震応答解析から得られる加速度を入力とする。



(1) 非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク

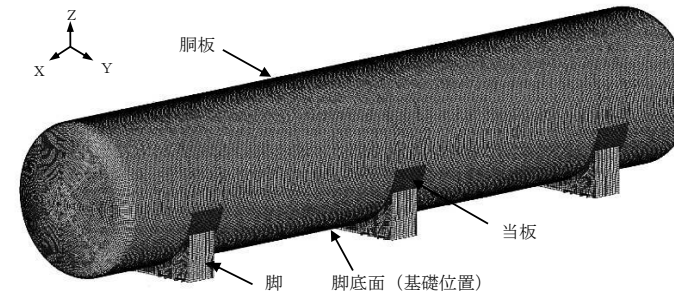


(2) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク

第1-1図 解析モデル (ディーゼル燃料デイトンク)

第1-1表 解析概要 (ディーゼル燃料デイトンク)

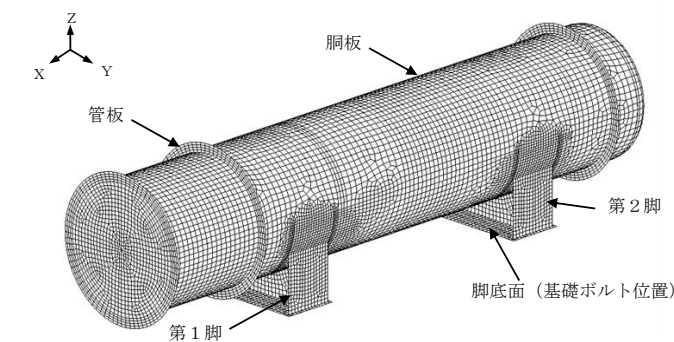
項目	内容
適用部位	銅板 (脚取付部)
解析コード	ABAQUS (Ver. 6.5-4)
地震条件	別途実施する原子炉建物地震応答解析から得られる加速度を入力する。



第1-2図 解析モデル (A, H-ディーゼル燃料貯蔵タンク)

第1-2表 解析概要 (A, H-ディーゼル燃料貯蔵タンク)

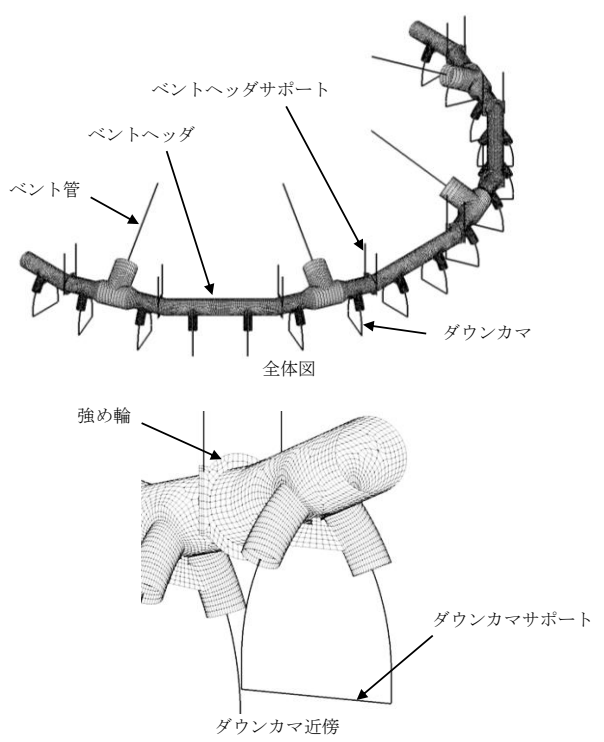
項目	内容
適用部位	胴板 (脚取付部)
解析コード	ABAQUS (Ver. 6.5-4)
地震条件	別途実施する排気筒基礎地震応答解析から得られる加速度を入力する。

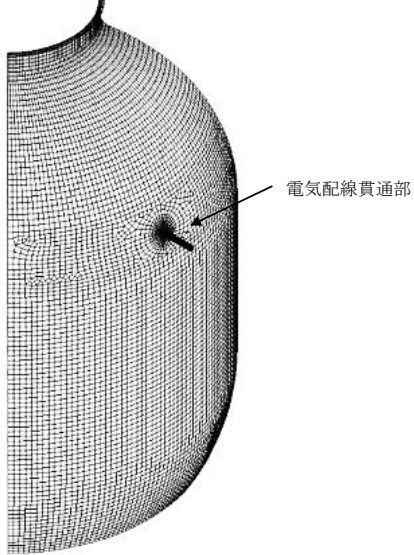


第1-3図 解析モデル (原子炉補機冷却系熱交換器)

第1-3表 解析概要 (原子炉補機冷却系熱交換器)

項目	内容
適用部位	胴板 (脚取付部)
解析コード	ABAQUS (Ver. 6.5-4)
地震条件	別途実施する原子炉建物地震応答解析から得られる加速度を入力する。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>2. <u>ベントヘッド及びダウンカマへのFEMモデルの適用</u> <u>ベント系の評価において、公式等による計算では許容値を超える見込みであることから、精緻な評価を行うため、原子炉格納容器ベント管、ベントヘッド、ダウンカマ、ベントヘッドサポート及びダウンカマサポートを模擬したFEMモデルを適用する。</u> <u>モデル化範囲は構造の対称性を考慮して180°とし、形状不連続部であるベント管とベントヘッドの結合部、ベントヘッドとダウンカマの結合部及びベントヘッドの実機形状をシェル要素でモデル化し、ベント管、ダウンカマ、ベントヘッドサポート及びダウンカマサポートはビーム要素でモデル化する。</u> <u>応答解析及び応力解析に用いる解析モデル図を第2-1図に示すとともに、第2-1表に解析概要を示す。</u></p>  <p>第2-1図 <u>解析モデル (ベントヘッド及びダウンカマ)</u></p>	<p>・適用設備の相違 【東海第二】 ①の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考								
		<p style="text-align: center;"><u>第2-1表 解析概要</u></p> <table border="1" data-bbox="1807 302 2448 564"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>適用部位</td> <td>ベントヘッド (ベント管結合部) ベントヘッド強め輪取付部 ベントヘッドとダウンカマの結合部</td> </tr> <tr> <td>解析コード</td> <td>NASTRAN (Ver.2013)</td> </tr> <tr> <td>地震条件</td> <td>別途実施する原子炉建物-大型機器連成解析から得られる加速度を入力する。</td> </tr> </tbody> </table> <p>3. <u>原子炉格納容器電気配線貫通部へのFEMモデルの適用</u> <u>原子炉格納容器における電気配線貫通部の評価において、公式等による計算では許容値を超える見込みであることから、原子炉格納容器胴部とスリーブとの取付部を精緻に評価するため、実機形状をシェル要素により模擬したFEMモデルを適用する。</u> <u>モデル化範囲は、モデルの境界条件が応力評価点の応力に影響しない範囲とする。応力解析に用いる解析モデル図を第3-1図に示すとともに、第3-1表に解析概要を示す。</u></p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><u>第3-1図 解析モデル (原子炉格納容器電気配線貫通部)</u></p>	項目	内容	適用部位	ベントヘッド (ベント管結合部) ベントヘッド強め輪取付部 ベントヘッドとダウンカマの結合部	解析コード	NASTRAN (Ver.2013)	地震条件	別途実施する原子炉建物-大型機器連成解析から得られる加速度を入力する。	<p>・適用設備の相違 【東海第二】 ①の相違</p>
項目	内容										
適用部位	ベントヘッド (ベント管結合部) ベントヘッド強め輪取付部 ベントヘッドとダウンカマの結合部										
解析コード	NASTRAN (Ver.2013)										
地震条件	別途実施する原子炉建物-大型機器連成解析から得られる加速度を入力する。										

第3-1表 解析概要

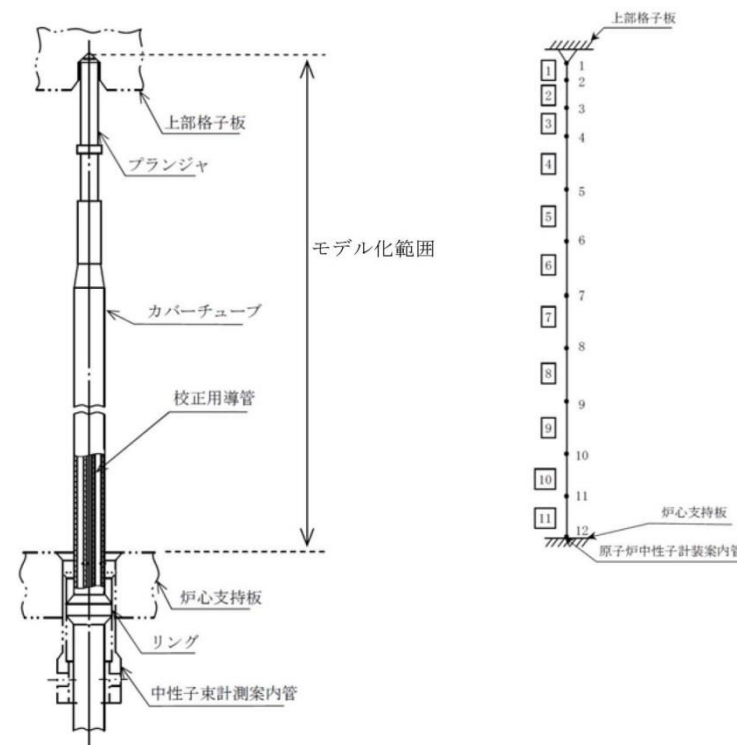
項目	内容
適用部位	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部（胴側）
解析コード	NASTRAN (Ver.2005)
地震条件	別途実施する原子炉建物-大型機器連成解析から得られる加速度を入力する。

・適用設備の相違
【東海第二】
①の相違

・資料構成の相違
【東海第二】
島根2号炉における原子炉圧力容器内部構造物の解析モデルについては、既工認から多質点モデルであり、今回工認と既工認でモデルの変更はないため本資料には含まない（以下、②の相違）

2. 原子炉圧力容器内構造物への多質点モデルの適用

原子炉圧力容器内構造物であるジェットポンプ、炉心スプレイスパージャ及び出力領域計装検出器（LPRM）について、実機形状を質点とより要素に置き換えた多質点モデルにて応答解析を行う。応答解析に用いる解析モデル図の例を第3-2図に示すとともに第3-3表に解析概要を示す。



(構造概要図)

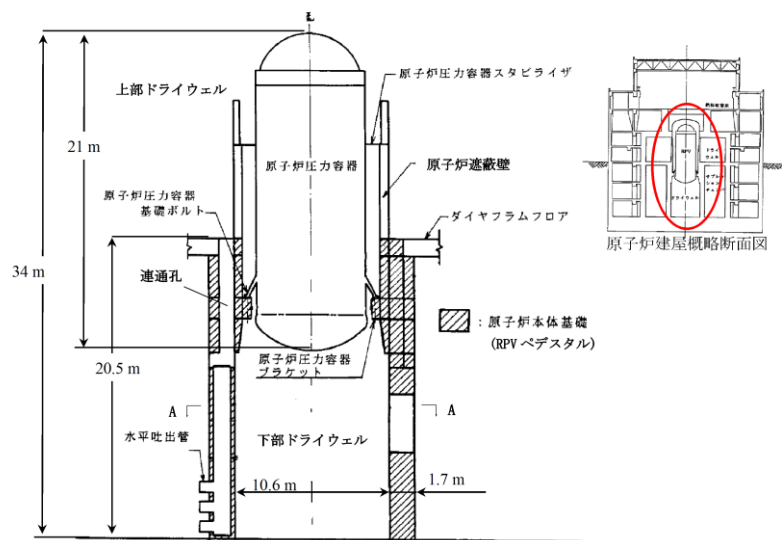
(解析モデル)

第3-2図 原子炉圧力容器内構造物の多質点モデル図
(出力領域計装検出器の多質点モデルの例)

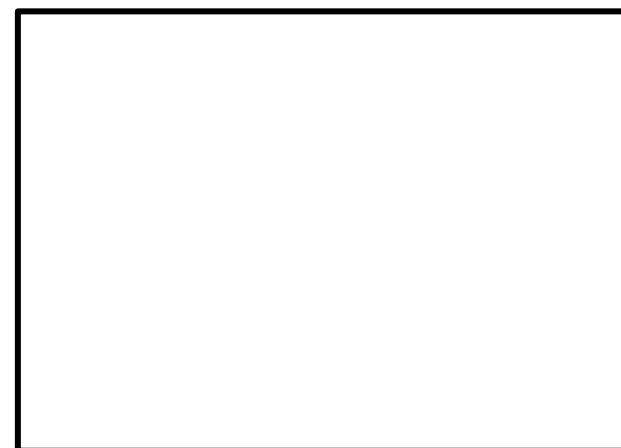
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考								
	<p align="center"><u>第3-3表 原子炉压力容器内構造物解析概要</u></p> <table border="1" data-bbox="988 317 1685 747"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>内容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>適用部位</td> <td>ジェットポンプ*¹ 高圧炉心スプレイスパージャ*¹ 低圧炉心スプレイスパージャ*¹ 出力領域計装検出器*²</td> </tr> <tr> <td>解析コード</td> <td>NASTRAN (*1に適用) SAP-IV (*2に適用)</td> </tr> <tr> <td>地震条件</td> <td>別途実施する地震応答解析から得られる加速度を入力とする。</td> </tr> </tbody> </table>	項目	内容	適用部位	ジェットポンプ* ¹ 高圧炉心スプレイスパージャ* ¹ 低圧炉心スプレイスパージャ* ¹ 出力領域計装検出器* ²	解析コード	NASTRAN (*1に適用) SAP-IV (*2に適用)	地震条件	別途実施する地震応答解析から得られる加速度を入力とする。		<p>・資料構成の相違 【東海第二】 ②の相違</p>
項目	内容										
適用部位	ジェットポンプ* ¹ 高圧炉心スプレイスパージャ* ¹ 低圧炉心スプレイスパージャ* ¹ 出力領域計装検出器* ²										
解析コード	NASTRAN (*1に適用) SAP-IV (*2に適用)										
地震条件	別途実施する地震応答解析から得られる加速度を入力とする。										

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: center;"><u>添付資料5 鉛直方向応答解析モデルを追加したもの</u></p> <p><u>1. 原子炉建屋一炉内構造物系連成 鉛直方向地震応答解析モデルの追加について</u></p> <p><u>1.1 概要</u></p> <p>原子炉格納容器内の原子炉压力容器等の大型機器は、一般機器や配管等に比べて質量が大きく、原子炉建屋との相互作用を考慮した地震応答の算定が必要である。そのため、既工認において、原子炉压力容器（炉心支持構造物及び炉内構造物等含む）、原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等の大型機器・構造物の耐震設計では、水平方向の動的地震力については原子炉建屋と大型機器を連成させた多質点モデルによる時刻歴応答解析を行うことで動的地震力を算定し、鉛直方向については静的震度による地震荷重を算定していた。</p> <p>今回工認においては、耐震設計審査指針が改訂され、鉛直方向の動的地震力に対する考慮が必要となったことから、鉛直方向についても水平方向と同様に動的地震力の算定を行う。鉛直方向の地震応答解析モデルについては、鉛直方向の各応力評価点における軸力を算定するため、従来の水平方向モデルをベースに新たに多質点モデルを作成する。</p>	<p style="text-align: center;"><u>添付資料7</u></p> <p><u>鉛直方向応答解析モデルの追加について</u></p> <p>1. <u>概要</u></p> <p>今回工認では、鉛直方向の地震動及び地震力に対して動的な取扱いが必要となるため、鉛直方向の応答に対して動的な取扱いが必要となる設備については、応答を適切に模擬できる解析モデルを適用したうえで評価を行う。</p> <p>また、鉛直方向の応答解析モデルの代表例として、原子炉建屋一炉内構造物系連成の地震応答解析モデルの適用方針を示す。</p> <p>2. <u>原子炉建屋一炉内構造物系連成の地震応答解析モデルの適用方針</u></p> <p>原子炉格納容器内の原子炉压力容器等の大型機器は、一般機器や配管等に比べて質量が大きく、原子炉建屋との相互作用を考慮した地震応答の算定が必要である。そのため、既工認において、原子炉压力容器（炉心支持構造物及び炉内構造物含む）、原子炉遮蔽壁及び原子炉本体基礎等の大型機器・構造物の耐震設計では、水平方向の動的地震力については原子炉建屋と大型機器を連成させた多質点モデルによる時刻歴応答解析を行うことで動的地震力を算定し、鉛直方向については静的震度による地震荷重を算定していた。</p> <p>今回工認においては、新たに鉛直方向の動的地震力に対する考慮が必要となったことから、鉛直方向についても水平方向と同様に動的地震力の算定を行う。鉛直方向の地震応答解析モデルについては、鉛直方向の各応力評価点における軸力を算定するため、従来の水平方向モデルをベースに新たに多質点モデルを作成する。</p>	<p style="text-align: center;"><u>添付資料-5</u></p> <p><u>原子炉建物一大型機器連成解析モデルの変更について</u></p> <p>1. <u>はじめに</u></p> <p>原子炉建物内の原子炉格納容器（以下「PCV」という。）、原子炉压力容器（以下「RPV」という。）及びガンマ線遮蔽壁等の大型機器は、建物質量に対しその質量が比較的大きく、また、支持構造上からも建物との連成が無視できないため、原子炉建物との連成系で解析するためのモデル（以下「大型機器連成解析モデル」という。）を設定し、地震応答解析を行う。</p>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎6/7, 東海第二】</p> <p>島根2号炉では、PCV及びRPVスタビライザのばね定数の変更を含め、水平方向の大型機器連成解析モデルを変更することから、鉛直方向の大型機器連成解析モデルの追加と合わせて記載する（以下、①の差異）</p>

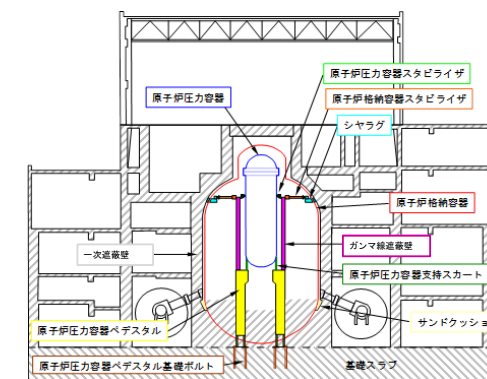
柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>1.2 地震応答解析モデルについて</p> <p>原子炉建屋，原子炉压力容器及び原子炉本体基礎の概略断面図を第1図，原子炉压力容器内部構造物の構造図を第2図に示す。</p> <p>水平方向の解析モデルにおいては，原子炉压力容器，原子炉遮蔽壁，原子炉本体基礎は第3図，第4図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉压力容器は原子炉压力容器スタビライザと等価なばねで原子炉遮蔽壁と結ばれ，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎はその下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され，更にダイヤフラムフロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介して原子炉建屋に支持される。</p> <p>鉛直方向モデルの解析モデルにおいても水平方向の解析モデルと同様に第5図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉压力容器は，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は，その下端において原子炉建屋基礎スラブ上端と剛に結合され，原子炉建屋に支持される。</p> <p>なお，鉛直方向の地震応答解析モデルは，大間1号炉の建設工認において適用例がある。</p> <p>2. その他機器・配管系の鉛直方向地震応答解析モデルについて</p> <p>その他機器・配管系の設備については，設備の構造上の特徴を踏まえ必要に応じて鉛直方向の地震応答解析モデルを作成する。</p>	<p>3. 地震応答解析モデルについて</p> <p>原子炉建屋，原子炉格納容器の概略断面図を第7-1図，原子炉压力容器内部構造物の構造図を第7-2図に示す。</p> <p>水平方向の解析モデルにおいては，原子炉压力容器，原子炉遮蔽壁，原子炉本体基礎は第7-3図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉压力容器は原子炉压力容器スタビライザと等価なばねで原子炉遮蔽壁と結ばれ，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は，その下端において原子炉建屋基礎版上端と剛に結合され，さらにダイヤフラム・フロアの剛性と等価なばねにより原子炉格納容器を介して原子炉建屋に支持される。</p> <p>鉛直方向の解析モデルにおいても水平方向の解析モデルと同様に第7-4図に示すような多質点モデルにてモデル化する。原子炉压力容器は，原子炉本体基礎と剛に結合される。原子炉本体基礎は，その下端において原子炉建屋基礎版上端と剛に結合され，原子炉建屋に支持される。</p>	<p>原子炉建物，PCV，RPV及びRPVペDESTALの概略断面図を第1-1図に，RPV内部構造物の構造図を第1-2図に示す。また，原子炉建物－大型機器連成解析に係る手順を第1-3図に示す。</p> <p>原子炉本体及び炉内構造物の水平方向の地震応答解析モデルについて，既工認では建設工程の関係上，原子炉格納容器－原子炉压力容器モデル（以下「PCV-RPVモデル」という。）と原子炉压力容器－炉内構造物モデル（以下「RPV-Rinモデル」という。）の2種類のモデルを用いていたが，今回工認では，<u>原子炉格納容器－原子炉压力容器－炉内構造物モデル（以下「PCV-RPV-Rinモデル」という。）を用いる。</u>これに合わせて，<u>原子炉压力容器スタビライザ（以下「RPVスタビライザ」という。）及び原子炉格納容器スタビライザ（以下「PCVスタビライザ」という。）のばね定数算出方法について，最新の工認実績を踏まえた算出方法に変更する。</u>本手法は，他プラントを含む既工認あるいは補正工認において適用実績がある手法である。</p> <p>また，鉛直方向に動的地震力が導入されたことから，原子炉本体及び炉内構造物について，鉛直方向の応答を適切に評価する観点で，水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向の地震応答解析モデル（PCV-RPV-Rinモデル）を新たに採用し，鉛直地震動に対する評価を実施する。鉛直方向応答解析モデルは，他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である。</p>	<p>備考</p> <p>・資料構成の相違 【柏崎6/7，東海第二】 ①の相違</p> <p>・島根2号炉における「2.2 鉛直方向の大型機器連成モデルの概要」と対応</p> <p>・資料構成の相違 【柏崎6/7】 島根2号炉では，鉛直方向の大型機器連成解析モデルの追加について説明する。その他の機器・配管系についても設備の構造上の特徴を踏まえて必要に応じて鉛直方向の地震応答解析モデル作成する</p>



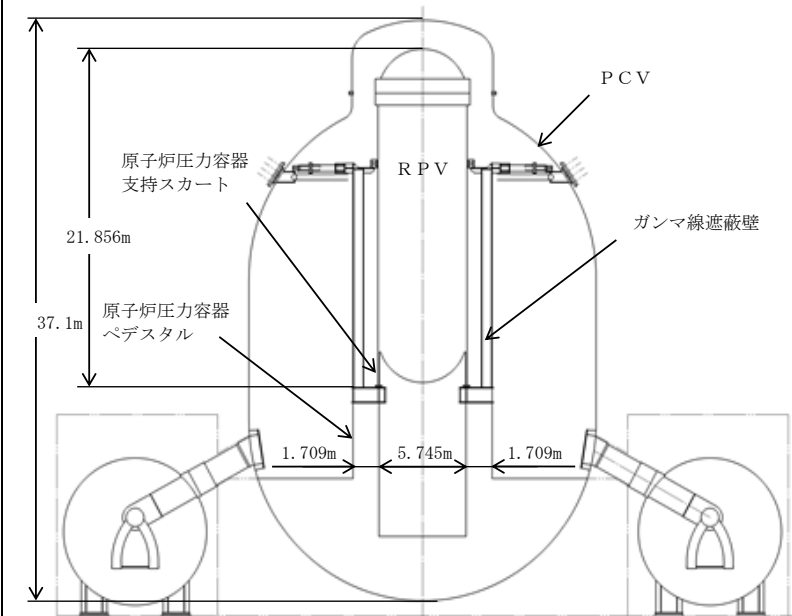
第 1 図 原子炉圧力容器及び原子炉本体の基礎 概略断面図



第 7-1 図 原子炉建屋, 原子炉格納容器 概略断面図



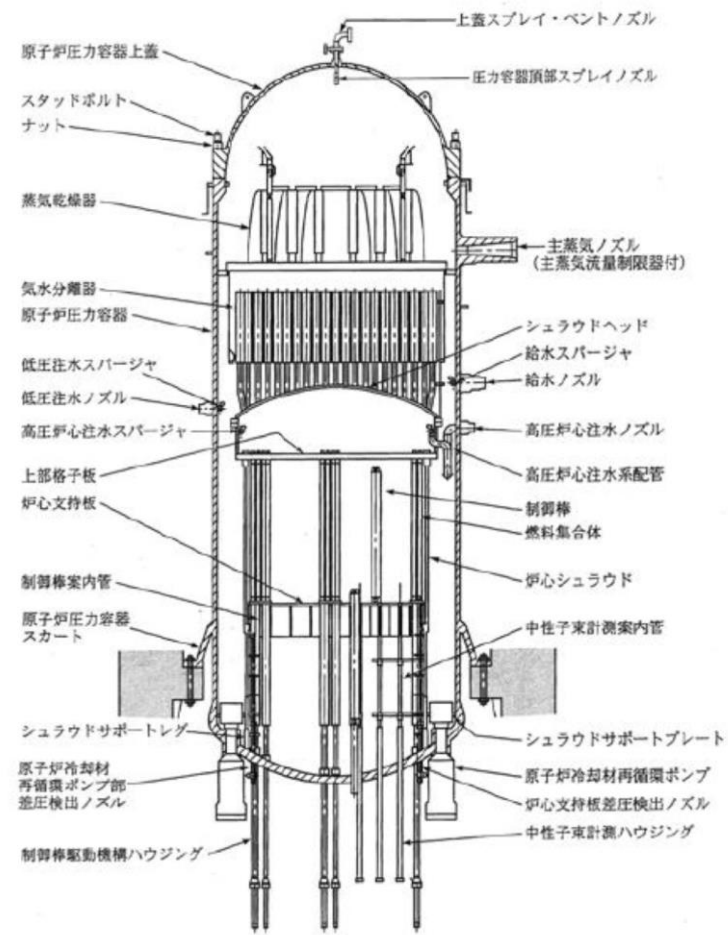
原子炉建物概略断面図



第 1-1 図 PCV, RPV及びRPVベダスタル概略断面図

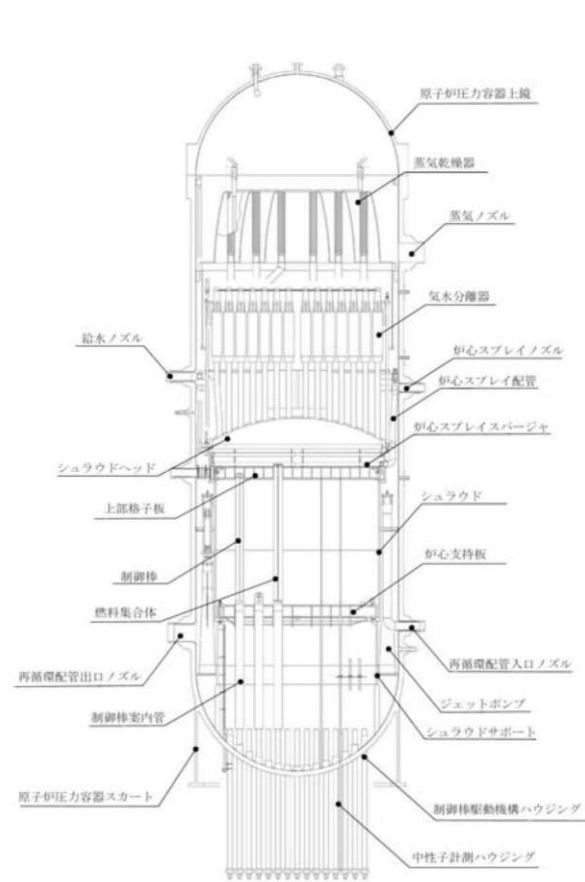
・構造・仕様の相違
【柏崎 6/7, 東海第二】

柏崎刈羽原子力発電所 6/7号炉 (2017.12.20版)



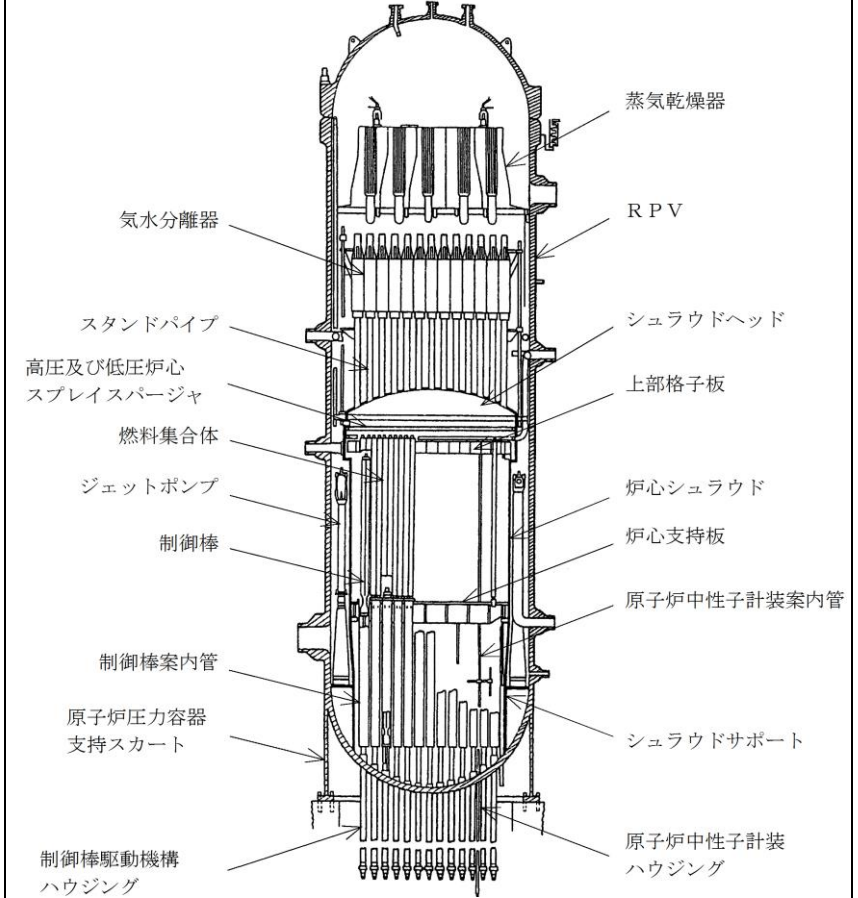
第2図 原子炉压力容器内部構造物 構造図

東海第二発電所 (2018.9.18版)



第7-2図 原子炉压力容器内部構造物 構造図

島根原子力発電所 2号炉



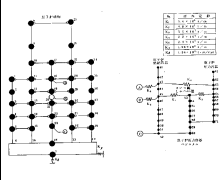
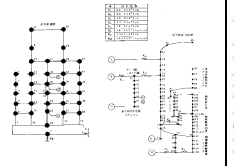
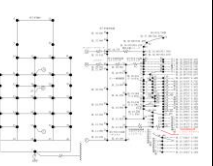
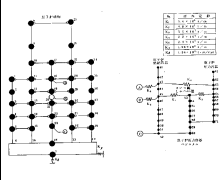
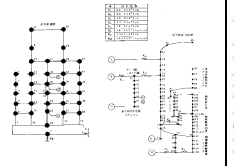
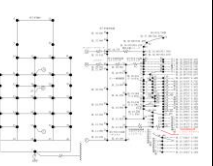
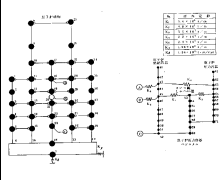
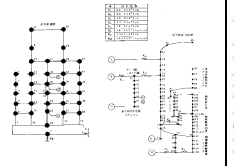
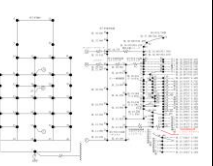
第1-2図 RPV内部構造物構造図

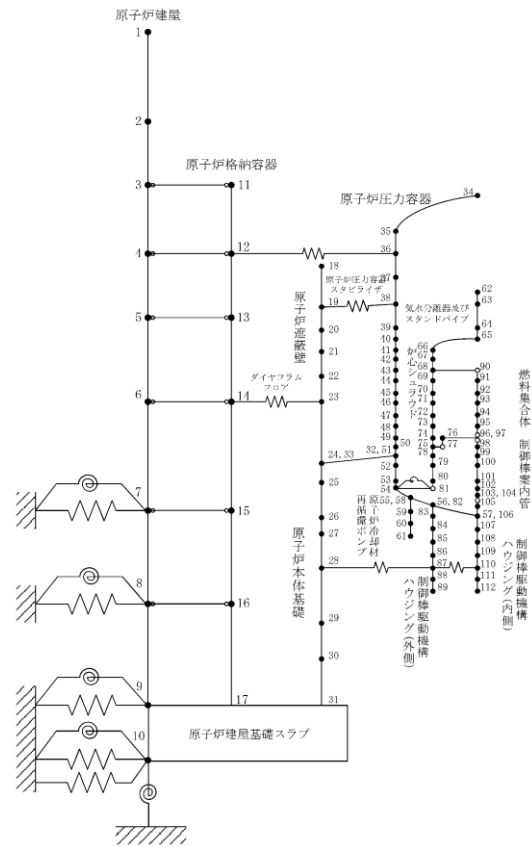
備考

・構造・仕様の相違
【柏崎6/7, 東海第二】

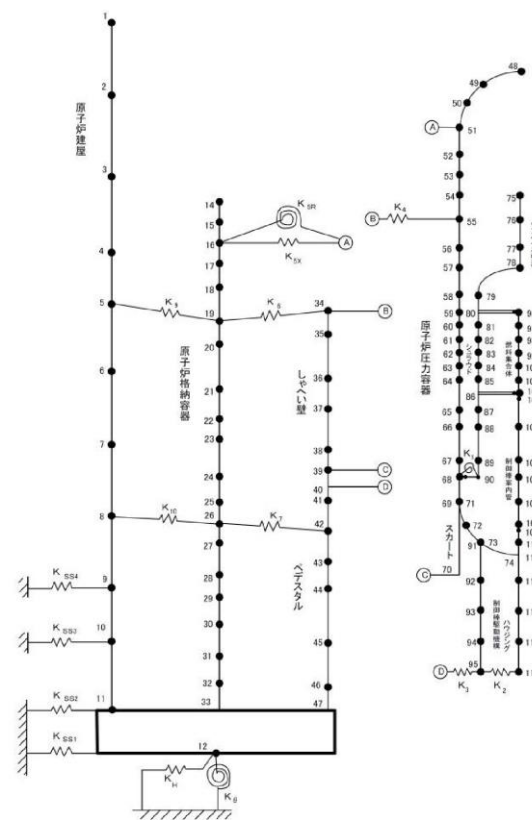
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>第1-3図 原子炉建物-大型機器連成解析の手順</p>	<p>・資料構成の相違 【柏崎6/7, 東海第二】 島根2号炉では、水平方向の大型機器連成解析モデルを変更の説明にあたり、モデル設定から各機器・配管系までの評価手順を記載する</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p><u>2. 水平及び鉛直方向における大型機器連成解析モデル</u></p> <p><u>2.1 水平方向の大型機器連成解析モデルの概要及び既工認からの変更</u></p> <p>水平方向の大型機器連成解析モデルを第2.1-1図及び第2.1-2図に示す。水平方向の大型機器連成解析モデルは、PCV、RPV、ガンマ線遮蔽壁、RPVペDESTALをモデル化し、RPV内の燃料集合体、制御棒案内管、制御棒駆動機構ハウジング、気水分離器、スタンドパイプ及び炉心シュラウドについてもモデル化する。これらをシュラウドサポートと等価な回転ばねを介してRPVと結合する。PCVはシヤラグ及びウェルシールベローズと等価なばねにより建物と結合され、下端は原子炉建物と剛に結合される。RPVは、RPVスタビライザと等価なばねによりガンマ線遮蔽壁上端と結合され、RPVスタビライザ及びPCVスタビライザと等価なばねによりPCVに結合される。また、RPVは燃料交換ベローズと等価なばねによりPCVに直接結合される。RPVの下端は、RPVペDESTAL上端に剛に結合されており、RPVペDESTALは、その下端において原子炉建物と剛に結合される。また、制御棒駆動機構ハウジングは制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームによりRPVペDESTALと結合される。</p> <p>建設工認において、原子炉建物-大型機器連成解析モデルを用いた水平方向の地震応答解析は、工認申請の進捗に合わせて、PCV-RPVモデル、RPV-Rinモデルの2種類の応答解析モデルを用いて実施していた。しかし、今回工認では建設工認のように設計進捗に応じたモデルの使い分けの必要がないこと及び実機に合わせて構造体をモデル化できることから、RPV-RinモデルにPCVを追加したPCV-RPV-Rinモデルを水平方向の大型機器連成解析モデルとする。建設工認及び今回工認の原子炉建物-大型機器連成解析モデルを第2.1-1表に示す。今回工認で用いるPCV-RPV-Rinモデルの質点位置、質量、断面特性は、既工認のPCV-RPVモデル（炉内構造物はRPVの付加質量として考慮）及びRPV-Rinモデル（PCVは原子炉建物の付加質量として考慮）と同等であるため、PCV-RPV-Rinモデルを採用することによる地震応答への影響は十分小さい。なお、水平方向の大型機器連成解析モデルとしてのPCV-RPV-Rinモデルの適用は、東海第二の新規制工認において適用実績がある。</p> <p>大型機器連成解析モデルを設定する場合には、既工認のモデル</p>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎6/7, 東海第二】</p> <p>本項2.1では、水平方向の大型機器連成解析モデルの変更について記載する</p>

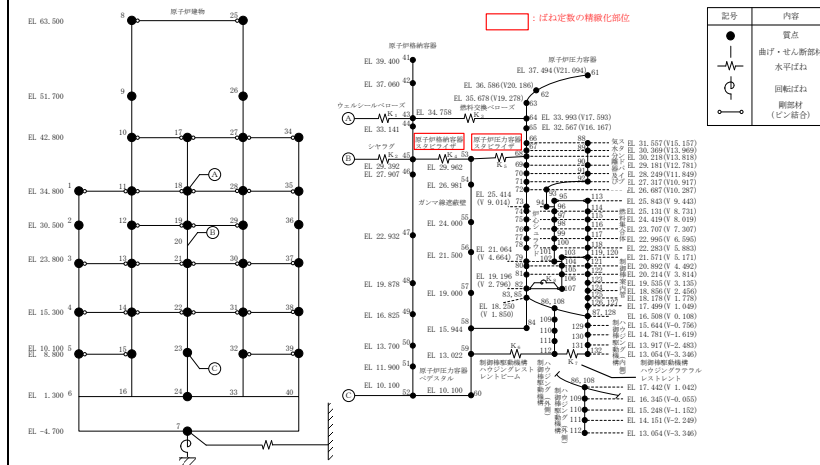
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考															
		<p>諸元を適用することを基本とするが、解析モデルを最新化するため先行プラントにおいて適用実績のあるモデル化手法を参照し、今回工認では、RPVスタビライザ及びPCVスタビライザのばね定数を精緻化する。</p> <p>なお、今回工認においてPCV-RPV-Rinモデル（スタビライザのばね定数変更を含む）を適用するにあたり、機器・配管系への影響を検討し、地震応答への影響が十分小さいことを確認した。（参考資料5-1）</p> <p>第2.1-1表 建設工認及び今回工認における原子炉建物—大型機器連成解析モデル</p> <table border="1" data-bbox="1745 699 2516 1150"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="2">建設工認</th> <th>今回工認</th> </tr> <tr> <th>PCV-RPVモデル</th> <th>RPV-Rinモデル</th> <th>PCV-RPV-Rinモデル</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>モデル化範囲</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 PCV ガンマ線遮蔽壁 RPVベDESTAL RPV（炉内構造物を付加質量として考慮） </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物（PCVを付加質量として考慮） ガンマ線遮蔽壁 RPVベDESTAL RPV 炉内構造物（気水分離器及びスタンドパイプ、炉心シュラウド、燃料集合体、制御棒案内管） 制御棒駆動機構ハウジング </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 PCV ガンマ線遮蔽壁 RPVベDESTAL RPV 炉内構造物（気水分離器及びスタンドパイプ、炉心シュラウド、燃料集合体、制御棒案内管） 制御棒駆動機構ハウジング </td> </tr> <tr> <td>解析モデル図（NS方向）</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		建設工認		今回工認	PCV-RPVモデル	RPV-Rinモデル	PCV-RPV-Rinモデル	モデル化範囲	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 PCV ガンマ線遮蔽壁 RPVベDESTAL RPV（炉内構造物を付加質量として考慮） 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物（PCVを付加質量として考慮） ガンマ線遮蔽壁 RPVベDESTAL RPV 炉内構造物（気水分離器及びスタンドパイプ、炉心シュラウド、燃料集合体、制御棒案内管） 制御棒駆動機構ハウジング 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 PCV ガンマ線遮蔽壁 RPVベDESTAL RPV 炉内構造物（気水分離器及びスタンドパイプ、炉心シュラウド、燃料集合体、制御棒案内管） 制御棒駆動機構ハウジング 	解析モデル図（NS方向）				
	建設工認			今回工認														
	PCV-RPVモデル	RPV-Rinモデル	PCV-RPV-Rinモデル															
モデル化範囲	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 PCV ガンマ線遮蔽壁 RPVベDESTAL RPV（炉内構造物を付加質量として考慮） 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物（PCVを付加質量として考慮） ガンマ線遮蔽壁 RPVベDESTAL RPV 炉内構造物（気水分離器及びスタンドパイプ、炉心シュラウド、燃料集合体、制御棒案内管） 制御棒駆動機構ハウジング 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 PCV ガンマ線遮蔽壁 RPVベDESTAL RPV 炉内構造物（気水分離器及びスタンドパイプ、炉心シュラウド、燃料集合体、制御棒案内管） 制御棒駆動機構ハウジング 															
解析モデル図（NS方向）																		



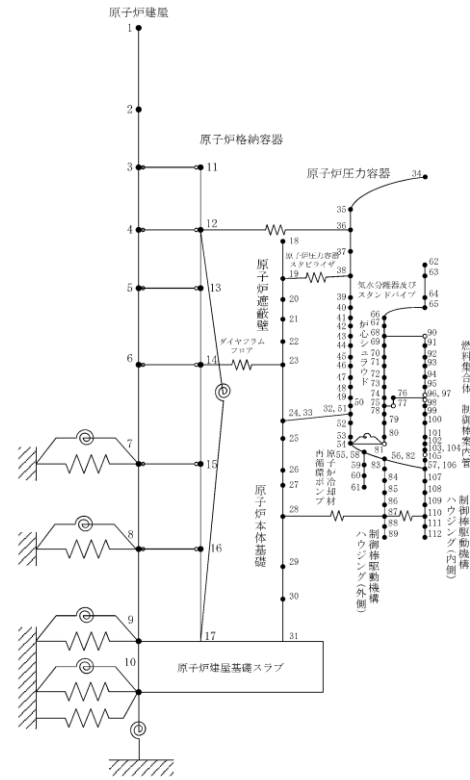
第3 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル (水平方向(NS)) (7号炉の例)



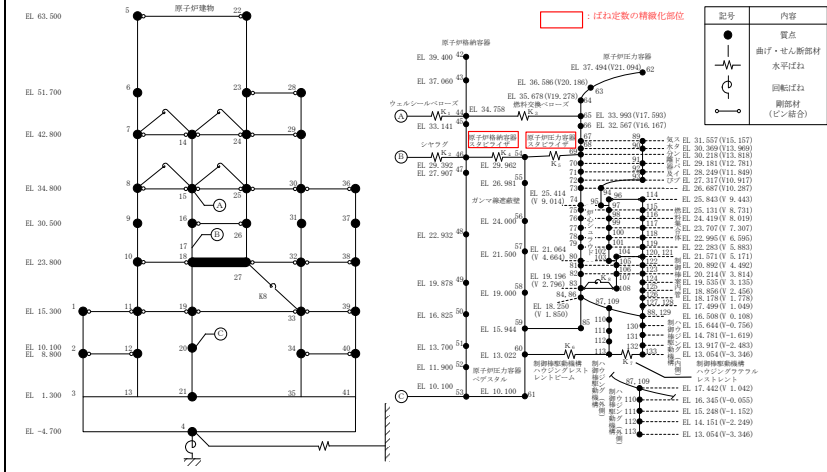
第7-3 図 原子炉建屋－炉内構造物系連成 地震応答解析モデル (水平方向)



第2.1-1 図 大型機器連成系応答解析モデル (NS方向)



第4 図 原子炉建屋-炉内構造物系連成 地震応答解析モデル (水平方向(EW)) (7号炉の例)



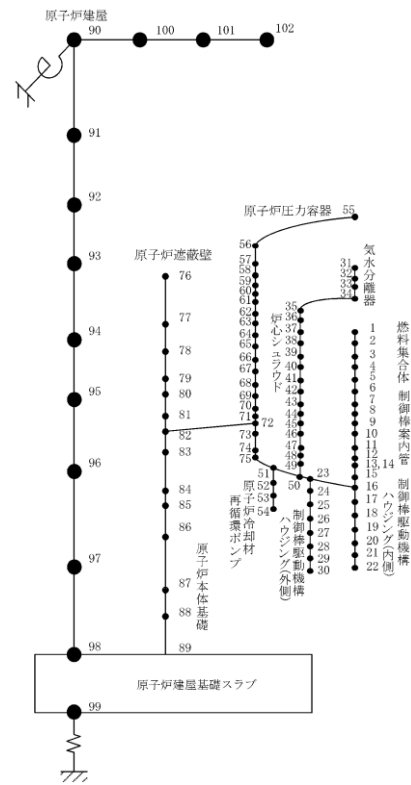
第 2. 1-2 図 大型機器連成系応答解析モデル (EW方向)

2.2 鉛直方向の大型機器連成解析モデルの概要

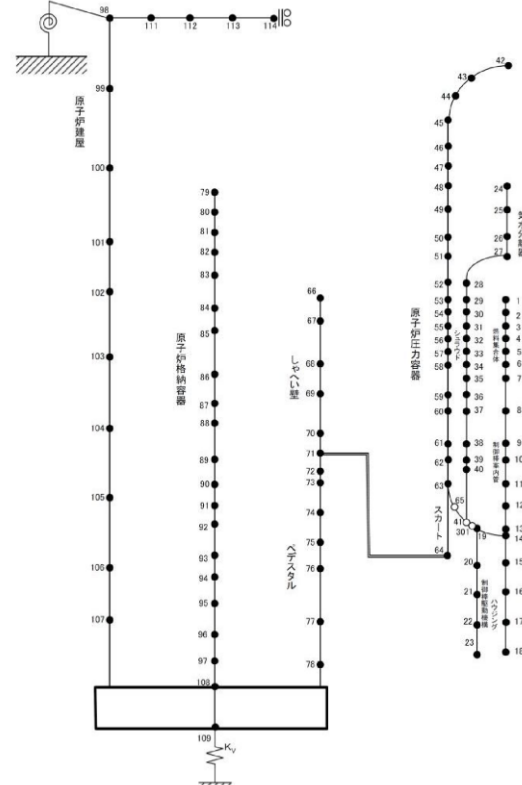
既工認では、鉛直方向については静的震度による地震荷重を算定していたが、今回工認においては、新たに鉛直方向の動的地震力に対する考慮が必要となったことから、鉛直方向についても水平方向と同様に動的地震力の算定を行う。鉛直方向の大型機器連成解析モデルを第 2. 2-1 図に示す。鉛直方向の大型機器連成解析モデルについては、鉛直方向の各応力評価点における軸力を算定するため、水平方向モデルをベースに新たに多質点モデルを作成し、水平方向と同様のPCV-RPV-Rinモデルとする。PCVの下端は、原子炉建物と剛に結合される。RPV支持スカートの下端は、RPVペデスタルの上端に剛に結合されており、RPVペデスタルの下端は、原子炉建物と剛に結合される。

なお、鉛直方向の大型機器連成解析モデルは、大間1号炉の建設工認及び東海第二の新規制工認において適用実績がある。

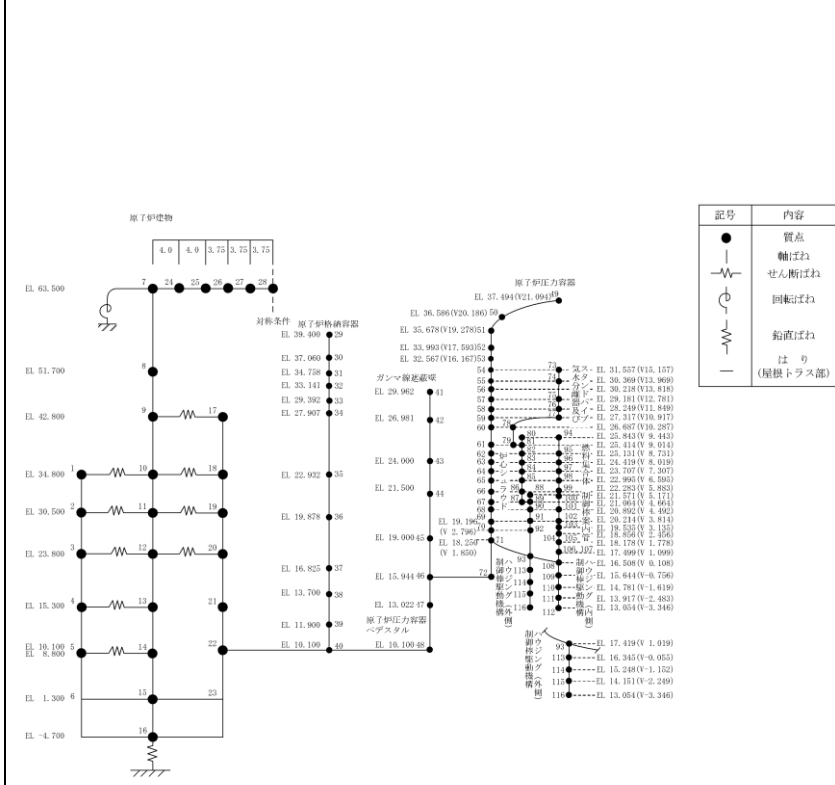
・柏崎6/7号炉における「1.1概要」及び「1.2地震応答解析モデルについて」並びに東海第二における「2.原子炉建屋-炉内構造物系連成の地震応答解析モデルの適用方針」及び「3.地震応答解析モデルについて」と対応



第5 図 原子炉建屋一炉内構造物系連成 地震応答解析モデル (鉛直方向) (7号炉の例)



第7-4 図 原子炉建屋一炉内構造物系連成 地震応答解析モデル (鉛直方向)

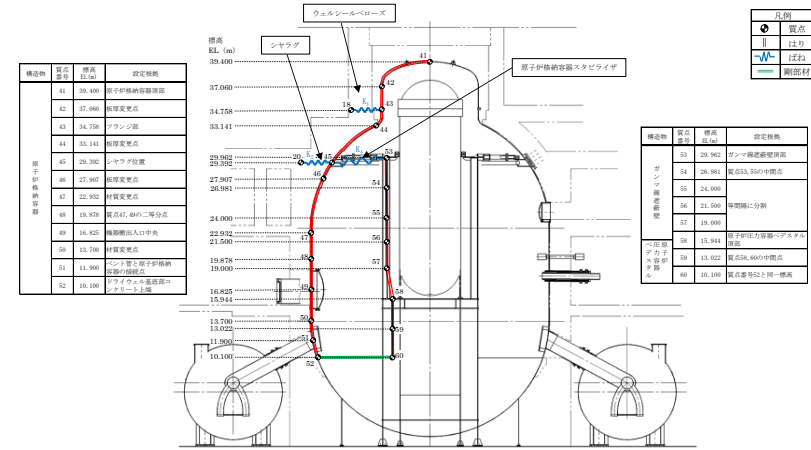


第2.2-1 図 大型機器連成系地震応答解析モデル (鉛直方向)

3. 質点位置の設定

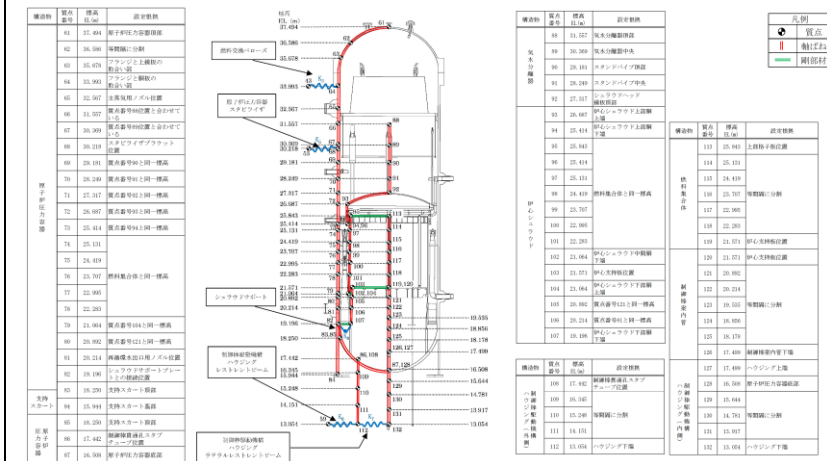
大型機器連成解析モデルの質点位置は、各構造物の地震応答を把握できるように、モデル化する各構造物の形状を踏まえて設定する。PCV、ガンマ線遮蔽壁及びRPVペDESTALの質点位置を第3-1 図(1)及び第3-2 図(1)に、RPV、炉心シュラウド、燃料集合体、制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等の質点位置を第3-1 図(2) 及び第3-2 図(2)に示す。炉内構造物の質点位置は、その振動性状を適切に評価出来るように配慮する他、部材の剛性の変化する点、構造的に不連続な点、応力評価点等を考慮して定める。

・資料構成の相違
【柏崎6/7、東海第二】
島根2号炉では、水平方向の大型機器連成解析モデルの変更を説明するため、モデル質点位置の詳細を記載する (以下、②の相違)



第3-1図 水平方向の大型機器連成解析モデルにおける質点位置の設定

(1) PCV, ガンマ線遮蔽壁及びRPVペDESTAL

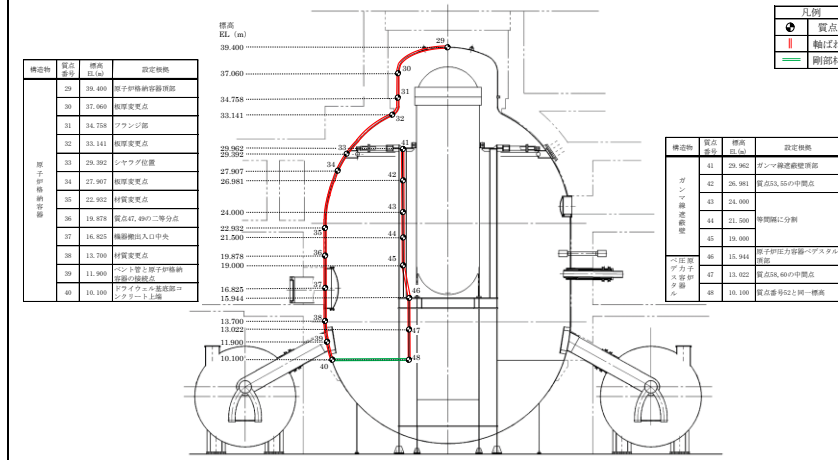


第3-1図 水平方向の大型機器連成解析モデルにおける質点位置の設定

(2) RPV, 炉心シヤラウド, 燃料集合体, 制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等

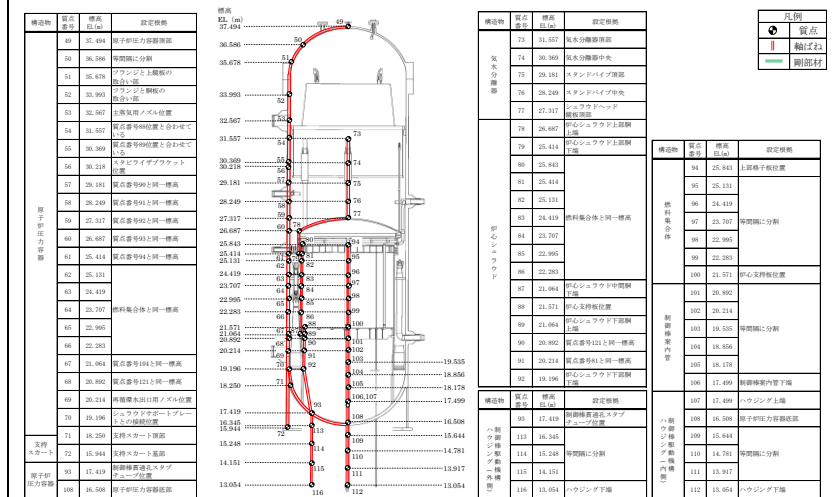
・資料構成の相違
【柏崎6/7, 東海第二】
②の相違

・資料構成の相違
【柏崎6/7, 東海第二】
②の相違



第3-2図 鉛直方向の大型機器連成解析モデルにおける質点位置の設定

(1) PCV, ガンマ線遮蔽壁及びRPVペデスタル



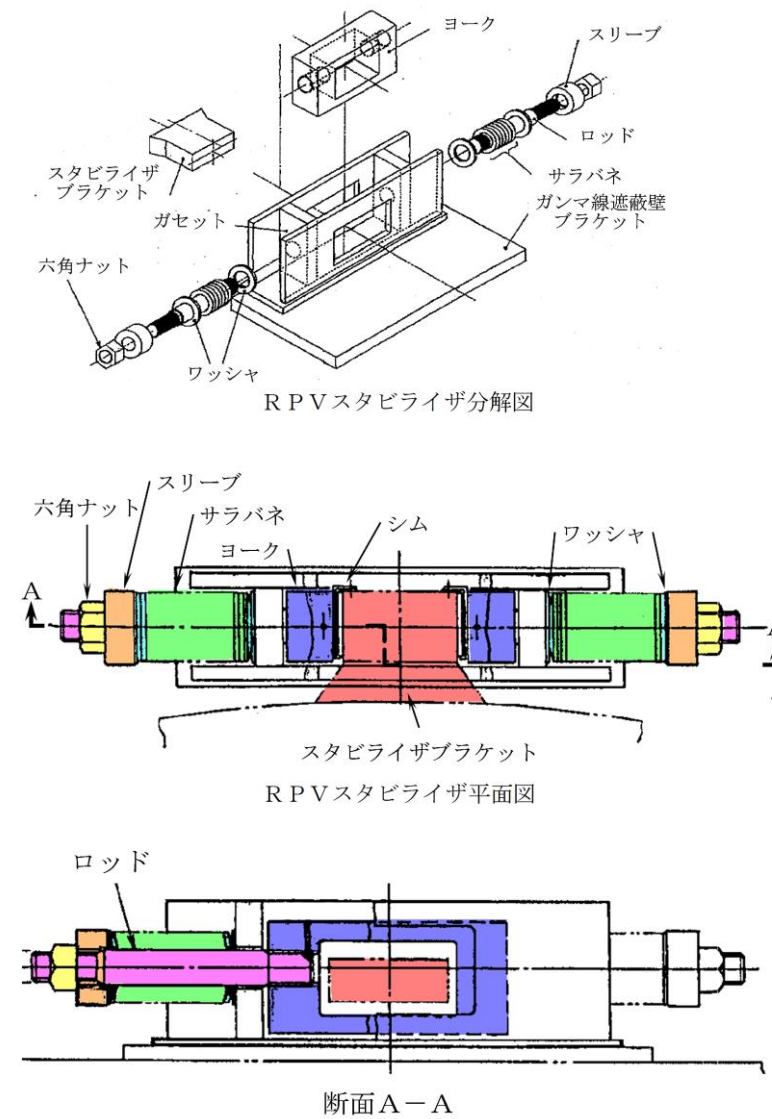
第3-2図 鉛直方向の大型機器連成解析モデルにおける質点位置の設定

(2) RPV, 炉心シュラウド, 燃料集束体, 制御棒案内管及び制御棒駆動機構ハウジング等

・資料構成の相違
【柏崎6/7, 東海第二】
②の相違

・資料構成の相違
【柏崎6/7, 東海第二】
②の相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>4. 構造物間ばね定数の設定 (既工認から変更ある部位)</p> <p>4.1 RPVスタビライザ</p> <p>4.1.1 RPVスタビライザの構造</p> <p>RPVスタビライザは、ガンマ線遮蔽壁頂部に円周状に8箇所設置され、RPV付属構造物であるスタビライザブラケットをあらかじめ初期締付荷重を与えたサラバネを介して両側から挟み込む構造であり、サラバネを介して地震時の水平方向荷重をガンマ線遮蔽壁へ伝達させる機能を有する。RPVスタビライザの概略図を第4.1.1-1図に、構造図を第4.1.1-2図に示す。</p> <div data-bbox="1923 667 2347 1003" data-label="Diagram"> <p>This diagram shows a cross-section of the reactor building. Key components labeled include: 原子炉圧力容器 (Reactor pressure vessel), 原子炉格納容器スタビライザ (Reactor containment vessel stabilizer), シヤラダグ (Shiradag), 高圧格納容器 (High pressure containment vessel), ガンマ線遮蔽壁 (Gamma radiation shielding wall), 原子炉圧力容器支持スカート (Reactor pressure vessel support skirt), サンドクッション (Sand cushion), 基礎スラブ (Foundation slab), 一次遮蔽壁 (Primary containment wall), and 原子炉圧力容器ベアリング (Reactor pressure vessel bearing).</p> </div> <div data-bbox="2041 1014 2258 1041" data-label="Caption"> <p>原子炉建物全体模式図</p> </div> <div data-bbox="1941 1077 2496 1430" data-label="Diagram"> <p>This is a plan view of the PCV (Primary Containment Vessel) showing the arrangement of stabilizers. The diagram includes labels for: PCV (Primary Containment Vessel), RPVスタビライザ (RPV stabilizer), PCVスタビライザ (PCV stabilizer), and ガンマ線遮蔽壁 (Gamma radiation shielding wall). The diagram shows a circular structure with radial supports and angular markings (0°, 31.5°, 45°, 90°, 113°, 135°, 180°, 225°, 270°).</p> </div> <div data-bbox="2071 1451 2199 1478" data-label="Caption"> <p>PCV平面図</p> </div> <p>第4.1.1-1図 RPVスタビライザ概略図</p>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎6/7, 東海第二】</p> <p>本項4.1では、RPVスタビライザのばね定数について、既工認からの変更を踏まえ、ばね定数算出方法を記載する</p>



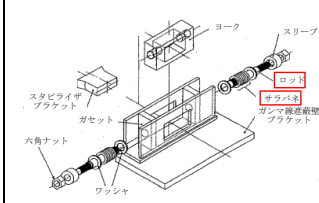
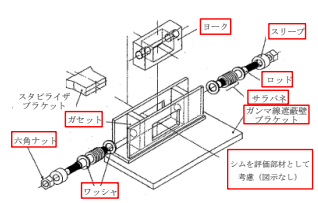
第 4.1.1-2 図 RPVスタビライザ構造図

4.1.2 既工認と今回工認での変更点

RPVスタビライザのばね定数について、既工認からの変更点を第 4.1.2-1 表に示す。既工認では、RPVスタビライザの剛性に大きく寄与するロッド、サラバネのみ剛性を考慮しているが、今回工認ではガンマ線遮蔽壁ブラケット、スリーブ等の剛性を追加で考慮する。

なお、上記ばね定数算出方法は大間 1 号炉建設工認、島根 3 号炉建設工認及び東海第二の新規制工認において適用実績がある。

第4.1.2-1表 R P Vスタビライザばね定数の変更点

	既工認	今回工認
計算方法	理論式による (各部材の剛性を直列ばねとして合成)	同左
評価部材 (赤枠部)		
ばね定数	9.6×10^6 [kN/m]	6.8×10^6 [kN/m]

4.1.3 既工認におけるばね定数算出方法

既工認では、サラバネ及びロッドを主たる支持部材と考え、第4.1.3-1図に示すようなばね定数算出モデルを設定している。

サラバネ(K_S)及びロッド(K_R)について、R P Vスタビライザ1基の片側分のばね定数(K_{1half})を直列ばねで定義して以下となる。

$$K_{1half} = \frac{K_S \cdot K_R}{K_S + K_R}$$

R P Vスタビライザ1基の両側分のばね定数(K_1)を片側分のばね定数(K_{1half})の並列ばねで定義して以下となる。

$$K_1 = K_{1half} + K_{1half} = \frac{2 \cdot K_S \cdot K_R}{K_S + K_R}$$

R P Vスタビライザ8基分の全体でのばね定数 (K) を荷重-変位の関係から算出する。第4.1.3-2図のとおりR P Vスタビライザに強制変位 x を負荷した場合に強制変位と同じ方向に生じる全体荷重 W を算出する。

90° 及び 270° の位置に設置されたR P Vスタビライザに生じる荷重を W_1 、 45° 、 135° 、 225° 及び 315° の位置に設置されたR P Vスタビライザに生じる荷重を W_2' とし、荷重 W_2' の強制変位 x と同じ方向の分力を W_2 とする。

強制変位 x を負荷したときの 45° 、 135° 、 225° 及び 315° の位置に設置されたR P Vスタビライザに生じる接線方向の変位は $x \cdot \cos \alpha$ であることから、荷重 W_2' は以下のとおりとなる。

$$W_2' = K_1 \cdot x \cdot \cos \alpha$$

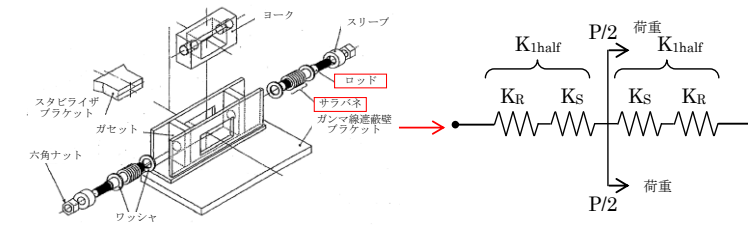
第4.1.3-2図内の拡大図の関係から強制変位 x と同じ方向の分力 W_2 は以下のとおりとなる。

$$W_2 = W_2' \cos \alpha = K_1 \cdot x \cdot \cos^2 \alpha$$

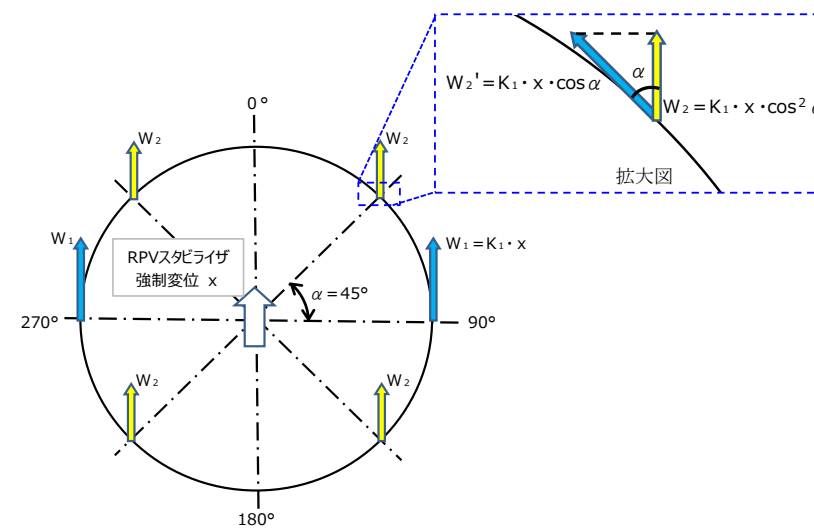
従って、RPVスタビライザ全体のばね定数 (K) は以下のとおりとなる。

$$W = 2 \cdot W_1 + 4 \cdot W_2 = 2 \cdot (K_1 \cdot x) + 4 \cdot (K_1 \cdot x \cdot \cos^2 \alpha) = 4 \cdot K_1 \cdot x$$

$$K = \frac{W}{x} = 4 K_1 = 4 \cdot \frac{2 \cdot K_S \cdot K_R}{K_S + K_R} = \frac{8 \cdot K_S \cdot K_R}{K_S + K_R}$$



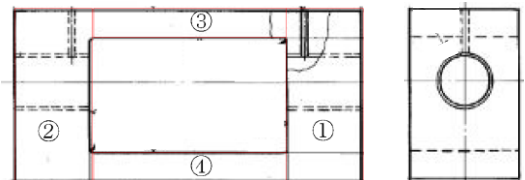
第 4. 1. 3-1 図 既工認におけるばね定数算出モデル



第 4. 1. 3-2 図 水平荷重の分配

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>4.1.4 今回工認におけるばね定数算出方法</p> <p>(1) RPVスタビライザのばね定数算出方法</p> <p>今回工認においては、サラバネ及びロッドの他にRPVからの外力の支持に寄与する部材を評価対象範囲に追加する。今回工認におけるばね定数算出モデルを第4.1.4-4図に示す。サラバネ(K_S)及びロッド(K_R)に加え、ガセット(K_G)、ヨーク(引張方向K_{YT}、圧縮方向K_{YC})、スリーブ(K_{SL})、六角ナット(K_H)、ワッシャ(K_W)について、RPVスタビライザ1基の片側分のばね定数(K_{half})を直列ばねで定義して以下のように表す。(2)にて各評価部材のばね定数の算出方法を示し、算出結果を第4.1.4-1表に示す。なお、縦弾性係数は「発電用原子力設備規格設計・建設規格(2005年版(2007年追補版を含む)) (以下「JSME2005/2007年版」という。)の値を用いる。</p> $K_{half(T)} = \frac{1}{\frac{1}{K_H} + \frac{1}{K_{SL}} + \frac{1}{K_W} + \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_R} + \frac{1}{K_G} + \frac{1}{K_{YT}}} \quad (\text{引張側})$ $K_{half(C)} = \frac{1}{\frac{1}{K_H} + \frac{1}{K_{SL}} + \frac{1}{K_W} + \frac{1}{K_S} + \frac{1}{K_R} + \frac{1}{K_G} + \frac{1}{K_{YC}}} \quad (\text{圧縮側})$ <p>また、RPVスタビライザ1基の両側分のばね定数(K_1)を片側分のばね定数の並列ばね及びガンマ線遮蔽壁ブラケット(K_B)、シム(K_{SM})の直列ばねで定義して以下のように表す。</p> $K_1 = \frac{1}{\frac{1}{K_{half(T)} + K_{half(C)}} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_{SM}}}$ <p>8基分全体でのばね定数は次式のように表される。</p> $K = 4K_1 = \frac{4}{\frac{1}{K_{half(T)} + K_{half(C)}} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_{SM}}}$ <p>ここで、</p> <ul style="list-style-type: none"> K : RPVスタビライザ8基分のばね定数 K_1 : RPVスタビライザ1基分のばね定数 K_{half} : RPVスタビライザ1基分(片側分)のばね定数 K_S : サラバネのばね定数 K_R : ロッドのばね定数 K_G : ガセットのばね定数 K_{YT} : ヨークのばね定数(引張方向) K_{YC} : ヨークのばね定数(圧縮方向) K_{SL} : スリーブのばね定数 	

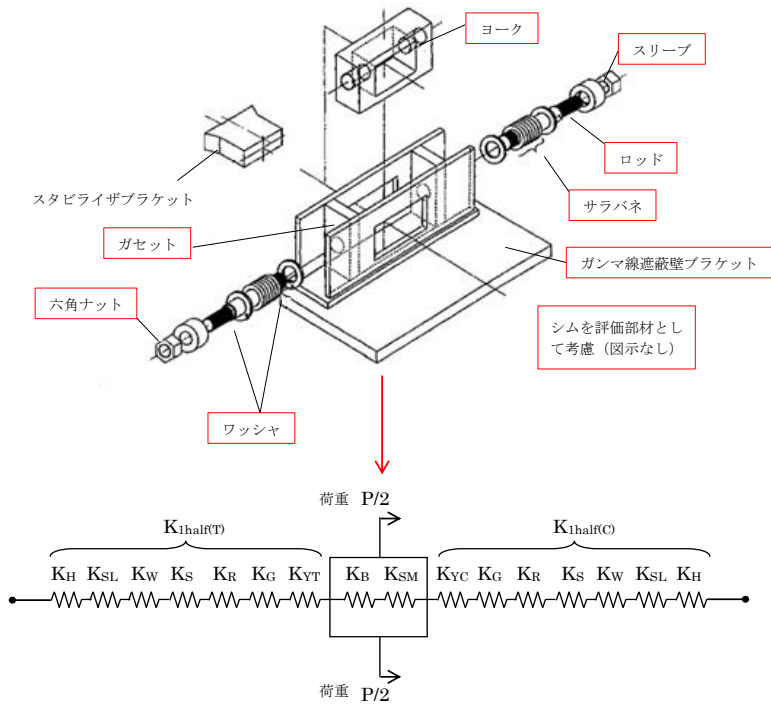
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p> K_H : 六角ナットのばね定数 K_W : ワッシャのばね定数 K_B : ガンマ線遮蔽壁ブラケットのばね定数 K_{SM} : シムのばね定数 である。 </p> <p> (2) 評価部材のばね定数算出方法 a. サラバネ メーカー試験結果よりサラバネ一枚あたりのばね定数は、 \square [kg/mm]である。 RPVスタビライザの片側にサラバネは並列ばねになるよう に \square 枚重ねているので、片側全体のばね定数はこれらの積で算 出する。 </p> <p> b. ロッド ロッドの軸方向ばね定数は、以下の式に基づき算出する。 </p> $K_R = \frac{E}{\frac{L_{R1}}{A_{R1}} + \frac{L_{R2}}{A_{R2}}}$ <p> ここで、 A_{R1} : 丸棒部断面積 A_{R2} : ねじ部断面積 L_{R1} : 丸棒部長さ L_{R2} : 丸棒部先端～スリーブの六角ナット側端面の距離 E : 縦弾性係数 </p> <p> c. ガセット ガセットは、第 4.1.4-1 図に示す計算モデルを用いてFEM 解析による荷重-変位関係から算出する。 </p> <div data-bbox="1893 1514 2338 1816" data-label="Diagram"> </div> <p> 第 4.1.4-1 図 ガセットの構造 </p>	

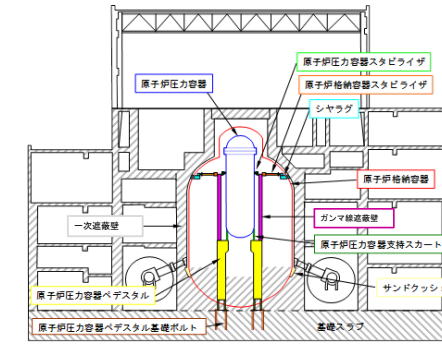
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>d. ヨーク</p> <p>ヨークのばね定数は、第 4.1.4-2 図のとおり分割した①～④のそれぞれのばね定数を計算し、直列ばねとして引張ばね定数 (K_{YT}) と圧縮ばね定数 (K_{YC}) を算出する。</p>  <p>第 4.1.4-2 図 ヨークのばね定数算出のための計算モデル分割</p> <p>i) 引張</p> <p>ヨークの引張によるばね定数は、以下の式に基づき算出する。</p> $K_{YT} = \frac{1}{\frac{1}{K_{YS1}} + \frac{1}{K_{YTE}} + \frac{2}{K_{YB}} + \frac{2}{K_{YS2}}}$ <p>ここで、</p> <p>K_{YS1} : ①及び②のねじ部のせん断によるばね定数 $(= \frac{A_{YS1} \cdot G_Y}{R_Y})$</p> <p>$A_{YS2}$: ①及び②のねじ穴側面積</p> <p>R_Y : ねじ穴半径</p> <p>G_Y : せん断弾性係数</p> <p>K_{YTE} : ③及び④の引張りによるばね定数 $(= \frac{A_{YTE} \cdot E}{L_{YTE}})$</p> <p>$A_{YTE}$: ③及び④の断面積</p> <p>L_{YTE} : ③及び④の長さ</p> <p>K_{YB} : ①及び②の曲げによるばね定数</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div> <p>I : 断面二次モーメント</p> <p>E : 縦弾性係数</p> <p>以下は、第 4.1.4-3 図を参照。</p> <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<div data-bbox="1745 205 2516 562" style="border: 1px solid black; height: 170px; width: 260px;"></div> <p data-bbox="1745 571 2318 604">K_{YS2} : ①及び②の板部のせん断によるばね定数</p> <div data-bbox="1745 615 2021 741" style="border: 1px solid black; height: 60px; width: 93px;"></div> <p data-bbox="1745 751 2080 785">t_y : ①及び②の板部の長さ</p> <p data-bbox="1745 795 2006 829">G_y : せん断弾性係数</p> <p data-bbox="1745 840 2041 873">I : 断面二次モーメント</p> <div data-bbox="1745 884 2516 1360" style="border: 1px solid black; height: 227px; width: 260px;"></div> <p data-bbox="1774 1375 2487 1409">第4.1.4-3図 ①及び②の曲げによるばね定数計算モデル</p> <p data-bbox="1745 1465 1863 1499">ii) 圧縮</p> <p data-bbox="1774 1512 2496 1545">ヨークの圧縮によるばね定数は、以下の式に基づき算出する。</p> <p data-bbox="1774 1558 1941 1591">K_{YC} = K_{YS1}</p> <p data-bbox="1745 1648 1911 1682">e. スリーブ</p> <p data-bbox="1804 1694 2496 1728">スリーブの軸方向ばね定数は、以下の式に基づき算出する。</p> $K_{SL} = \frac{E}{\frac{L_{SL1}}{A_{SL1}} + \frac{L_{SL2}}{A_{SL2}}}$ <p data-bbox="1745 1871 1843 1904">ここで、</p>	

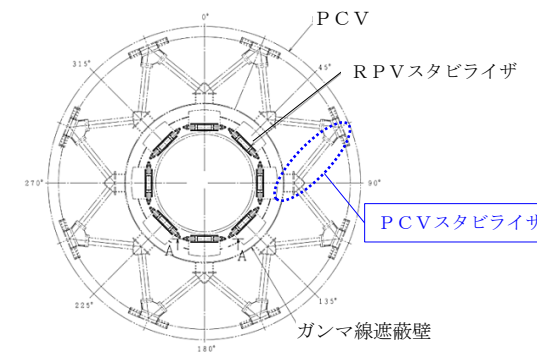
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>A_{SL1} : 座繰り穴側断面積 A_{SL2} : 貫通穴側断面積 L_{SL1} : 座繰り穴深さ L_{SL2} : 貫通穴深さ E : 縦弾性係数</p> <p>f. 六角ナット 六角ナットのせん断によるばね定数は、以下の式に基づき算出する。</p> $K_H = \frac{A_H \cdot G_H}{R_H}$ <p>ここで、 A_H : ねじ穴側面積 R_H : 穴の半径 G_H : せん断弾性係数</p> <p>g. ワッシャ ワッシャの軸方向ばね定数は、以下の式に基づき算出する。</p> $K_W = \frac{A_W \cdot E}{L_W}$ <p>ここで、 A_W : 断面積 L_W : 板厚 E : 縦弾性係数</p> <p>h. ガンマ線遮蔽壁ブラケット ガンマ線遮蔽壁ブラケットによるばね定数は、以下の式に基づき算出する。</p> $K_B = \frac{A_B \cdot G_B}{L_B}$ <p>ここで、 A_B : 断面積 L_B : ガンマ線遮蔽壁～RPVスタビライザ端部の距離 G_B : せん断弾性係数</p> <p>i. シム</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																							
		<p>シムの軸方向ばね定数は、以下の式に基づき算出する。</p> $K_{SM} = \frac{A_{SM} \cdot E}{t_{SM}}$ <p>ここで、 A_{SM} : 断面積 t_{SM} : 厚さ E : 縦弾性係数</p> <p>(3) R P Vスタビライザのばね定数算出結果 (2)で算出した各部材のばね定数並びに(1)で算出したR P Vスタビライザ1基及び全体のばね定数の算出結果を下表に示す。</p> <p style="text-align: center;">第4.1.4-1表 各部材のばね定数</p> <p style="text-align: right;">[単位 : kN/m]</p> <table border="1" data-bbox="1757 814 2502 1192"> <thead> <tr> <th>R P Vスタビライザの部材</th> <th>既工認</th> <th>今回工認</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>サラバネ (K_s)</td> <td>2.3×10^6</td> <td>同左</td> </tr> <tr> <td>ロッド (K_R)</td> <td>3.7×10^6</td> <td>3.3×10^6</td> </tr> <tr> <td>ガセット (K_G)</td> <td>—</td> <td>3.3×10^7</td> </tr> <tr> <td>ヨークのばね定数(引張方向) (K_{Yt})</td> <td>—</td> <td>4.3×10^6</td> </tr> <tr> <td>ヨークのばね定数(圧縮方向) (K_{Yc})</td> <td>—</td> <td>6.7×10^7</td> </tr> <tr> <td>スリーブのばね定数 (K_{SL})</td> <td>—</td> <td>7.1×10^7</td> </tr> <tr> <td>六角ナットのばね定数 (K_H)</td> <td>—</td> <td>4.0×10^7</td> </tr> <tr> <td>ワシヤのばね定数 (K_W)</td> <td>—</td> <td>5.8×10^8</td> </tr> <tr> <td>ガンマ線遮蔽壁ブラケット (K_B)</td> <td>—</td> <td>8.8×10^6</td> </tr> <tr> <td>シムのばね定数 (K_{SM})</td> <td>—</td> <td>2.8×10^8</td> </tr> <tr> <td>R P Vスタビライザ1基分のばね定数</td> <td>2.4×10^6</td> <td>1.7×10^6</td> </tr> <tr> <td>R P Vスタビライザ全体のばね定数</td> <td>9.6×10^6</td> <td>6.8×10^6</td> </tr> </tbody> </table> <p>前述の計算結果に基づき、R P Vスタビライザのばね定数を 6.8×10^6 [kN/m]と設定する。なお、既工認と比べて今回工認のばね定数が小さくなっているが、今回工認ではガセット、ヨーク、スリーブ、六角ナット、ワシヤ、ガンマ線遮蔽壁ブラケット、シムの剛性を考慮して、直列ばね成分が増えたことにより全体のばね定数が低下した。</p>	R P Vスタビライザの部材	既工認	今回工認	サラバネ (K_s)	2.3×10^6	同左	ロッド (K_R)	3.7×10^6	3.3×10^6	ガセット (K_G)	—	3.3×10^7	ヨークのばね定数(引張方向) (K_{Yt})	—	4.3×10^6	ヨークのばね定数(圧縮方向) (K_{Yc})	—	6.7×10^7	スリーブのばね定数 (K_{SL})	—	7.1×10^7	六角ナットのばね定数 (K_H)	—	4.0×10^7	ワシヤのばね定数 (K_W)	—	5.8×10^8	ガンマ線遮蔽壁ブラケット (K_B)	—	8.8×10^6	シムのばね定数 (K_{SM})	—	2.8×10^8	R P Vスタビライザ1基分のばね定数	2.4×10^6	1.7×10^6	R P Vスタビライザ全体のばね定数	9.6×10^6	6.8×10^6	
R P Vスタビライザの部材	既工認	今回工認																																								
サラバネ (K_s)	2.3×10^6	同左																																								
ロッド (K_R)	3.7×10^6	3.3×10^6																																								
ガセット (K_G)	—	3.3×10^7																																								
ヨークのばね定数(引張方向) (K_{Yt})	—	4.3×10^6																																								
ヨークのばね定数(圧縮方向) (K_{Yc})	—	6.7×10^7																																								
スリーブのばね定数 (K_{SL})	—	7.1×10^7																																								
六角ナットのばね定数 (K_H)	—	4.0×10^7																																								
ワシヤのばね定数 (K_W)	—	5.8×10^8																																								
ガンマ線遮蔽壁ブラケット (K_B)	—	8.8×10^6																																								
シムのばね定数 (K_{SM})	—	2.8×10^8																																								
R P Vスタビライザ1基分のばね定数	2.4×10^6	1.7×10^6																																								
R P Vスタビライザ全体のばね定数	9.6×10^6	6.8×10^6																																								

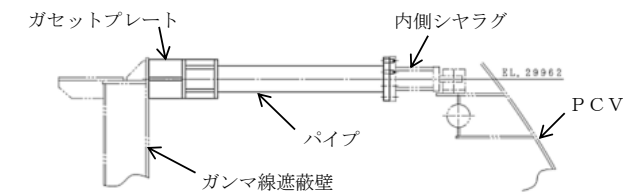
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		 <p data-bbox="1804 924 2463 955">第 4.1.4-4 図 今回工認におけるばね定数算出モデル</p> <p data-bbox="1745 1018 2062 1050"><u>4.2 PCVスタビライザ</u></p> <p data-bbox="1745 1060 2166 1092"><u>4.2.1 PCVスタビライザの構造</u></p> <p data-bbox="1745 1102 2507 1501">PCVスタビライザはガンマ線遮蔽壁外側上部に溶接で固定されたトラス状の構造物であり、多角形配置のシヤラグを介してガンマ線遮蔽壁に作用する水平地震荷重をPCVに伝達する機能を有する。PCVスタビライザの概略図を第 4.2.1-1 図に示す。PCVスタビライザの構成部材としては、円筒形状のパイプ、ガンマ線遮蔽壁との取り付け部であるガゼットプレート、PCVとの取り付け部である内側シヤラグからなる。ガゼットプレートとガンマ線遮蔽壁の取り付け部及び内側シヤラグの構造を第 4.2.1-2 図に示す。</p>	<p data-bbox="2537 1018 2804 1365">・資料構成の相違 【柏崎 6/7, 東海第二】 本項 4.2 では、PCVスタビライザのばね定数について、既工認からの変更を踏まえ、ばね定数算出方法を記載する</p>



原子炉建物全体模式図

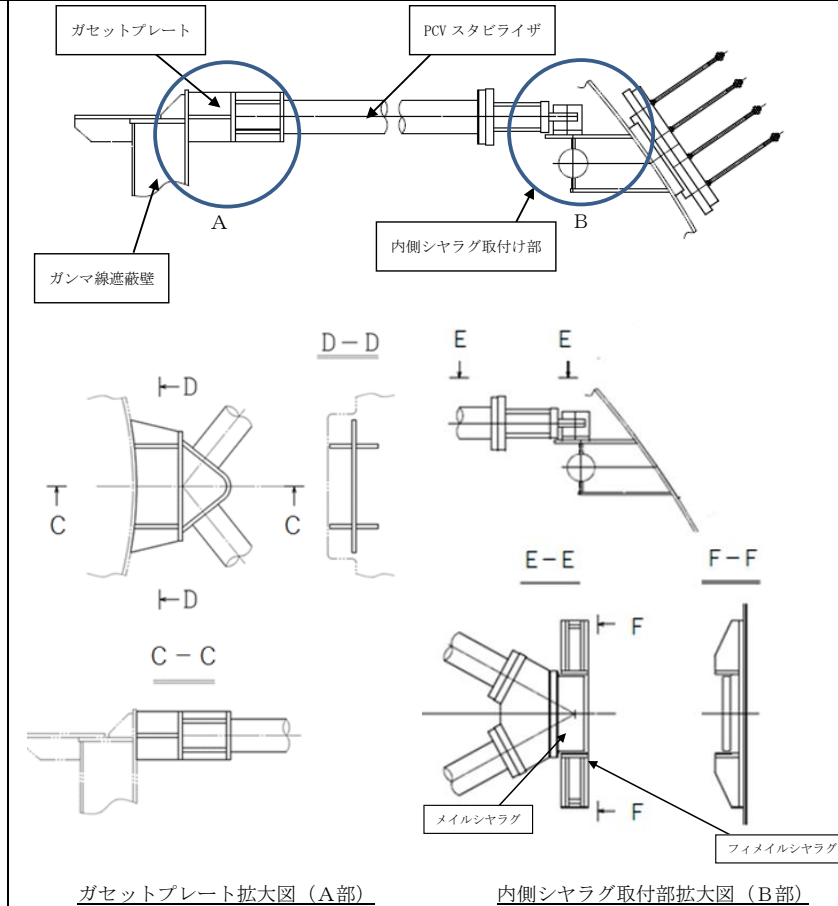


PCV平面図



PCVスタビライザ構造図

第4.2.1-1図 PCVスタビライザ概略図



ガセットプレート拡大図 (A部) 内側シヤラグ取付部拡大図 (B部)

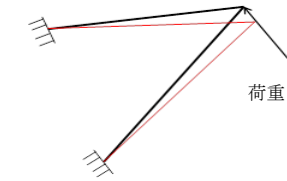
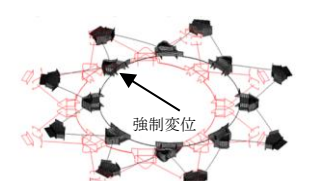
第4.2.1-2図 ガセットプレートとガンマ線遮蔽壁の取付け部及び内側シヤラグ構造

4.2.2 既工認と今回工認での変更点

PCVスタビライザばね定数について、既工認からの変更点を第4.2.2-1表に示す。既工認では、PCVスタビライザの剛性に最も大きく寄与するパイプをモデル化対象として、1対のトラス(パイプ2本)の荷重-変位関係によりばね定数を算定している。今回工認では、取り付け部であるガセットプレート及び内側シヤラグについてもモデル化対象に含め、最新の許認可手法に合わせて全体系モデルによるFEM解析を適用し、より実現象に即したばね定数を算定する。

全体系モデルによるFEM解析手法は、東海第二の新規制工認にてPCVスタビライザのばね定数算出にて適用実績があり、また、大間1号炉建設工認にて同様な多角形配置の構造物である制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームのばね定数算出にて適用実績がある。

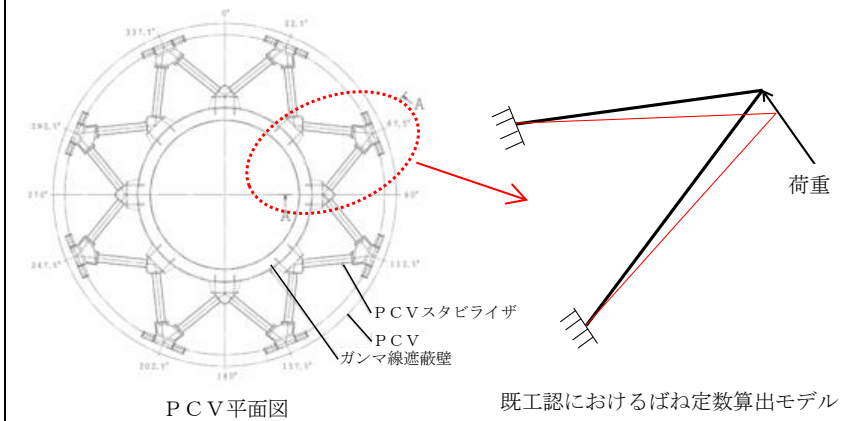
第 4.2.2-1 表 PCVスタビライザの変更点

	既工認	今回工認
計算方法	手計算 (1対のトラス(パイプ2本)の荷重-変位関係により算出)	FEM解析 (固定部のガセットプレート及び内側シヤラグをモデル化した全体モデルの荷重-変位関係により算出)
評価モデル		
ばね定数	5.3×10^6 (kN/m)	3.5×10^6 (kN/m)

4.2.3 既工認におけるばね定数算出方法

4.2.3.1 計算モデルの範囲

既工認におけるばね定数算出のモデル化範囲を第 4.2.3.1-1 図に示す。PCVスタビライザのうち、1対のトラス(パイプ2本)についてモデル化し、パイプの断面剛性を設定したトラスでの荷重-変位関係からばね定数を算出する。



第 4.2.3.1-1 図 既工認におけるばね定数算出のモデル化範囲

4.2.3.2 算出方法

既工認におけるばね定数算出モデルを第 4.2.3.2-1 図に示す。1対のトラス(パイプ2本)において、水平方向荷重による変位量 δ が生じた際の荷重及び変位の算出式は以下となる。

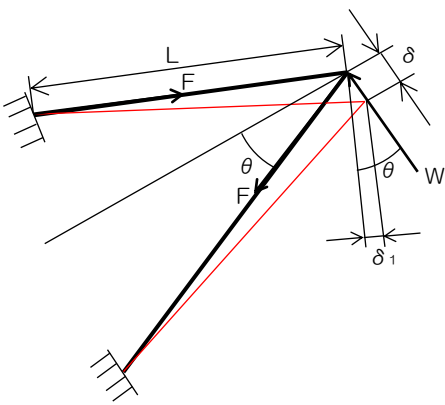
$$\delta_1 = \delta \sin \theta$$

$$F = \sigma \cdot A = E \cdot \frac{\delta_1}{L} \cdot A$$

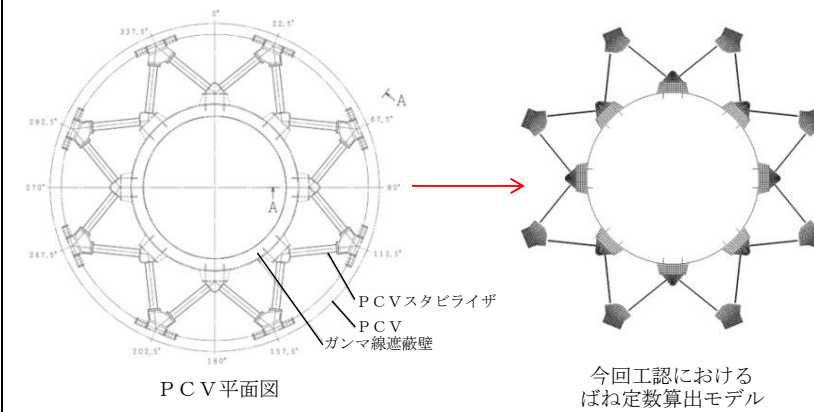
$$W = 2 \cdot F \cdot \sin \theta$$

ここで、

δ : トラスの荷重方向の変位

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p> $\delta 1$: トラスの長さ方向の変位 θ : パイプ角度 W : 1対のトラスに生じる荷重 F : パイプに生じる荷重 E : 縦弾性係数 L : パイプの長さ A : パイプの断面積 </p> <p>上記の式より, 1対のトラス (パイプ2本) における荷重-変位関係の式は以下となる。</p> $W = 2 \cdot E \cdot \frac{\delta 1}{L} \cdot A \cdot \sin \theta = 2 \cdot \frac{EA}{L} \cdot \sin^2 \theta \cdot \delta$ <p>よって, 1対のトラス (パイプ2本) におけるばね定数(K_1)は以下となる。</p> $K_1 = \frac{W}{\delta} = 2 \cdot \frac{EA}{L} \cdot \sin^2 \theta$ <p>以上より, PCVスタビライザ全体でのばね定数(K)は以下となる。</p> $K = 4K_1 = 4 \cdot 2 \cdot \frac{EA}{L} \cdot \sin^2 \theta = 8 \cdot \frac{EA}{L} \cdot \sin^2 \theta$  <div data-bbox="2166 1312 2507 1585" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p> δ : トラスの荷重方向の変位 $\delta 1$: トラスの長さ方向の変位 θ : パイプ角度 W : 1対のトラスに生じる荷重 F : パイプに生じる荷重 E : 縦弾性係数 L : パイプの長さ A : パイプの断面積 </p> </div> <p style="text-align: center;"><u>第4.2.3.2-1図 既工認におけるばね定数算出モデル</u></p> <p>4.2.4 <u>今回工認におけるばね定数算出方法</u></p> <p>4.2.4.1 <u>解析モデルの範囲</u></p> <p>今回工認におけるばね定数算出モデルを第4.2.4.1-1図に示す。PCVスタビライザの構成部材であるパイプ, ガセットプレート及び内側シヤラグを360°全体でモデル化する。</p>	

なお、今回評価に用いるFEM解析には「NASTRAN Ver. 2005」を使用する。



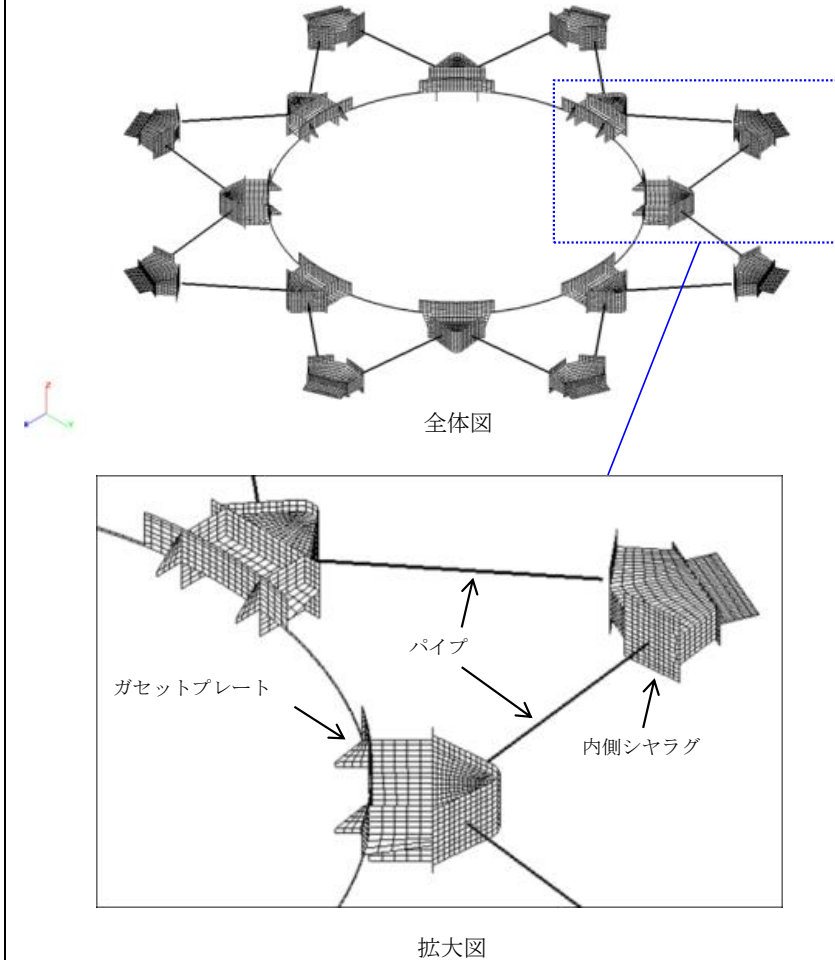
第4.2.4.1-1 図 今回工認におけるばね定数算出のモデル化範囲

4.2.4.2 解析モデル

解析モデルの諸元を第4.2.4.2-1表に、解析モデル図を第4.2.4.2-1図に示す。パイプは断面特性を考慮したビーム要素、ガセットプレート及び内側シヤラグはシェル要素によりモデル化する。

第4.2.4.2-1表 FEM解析モデルの諸元

節点数	要素数	使用要素タイプ	
		パイプ	ビーム要素
19,336	18,768	ガセットプレート	シェル要素
		内側シヤラグ	



第 4. 2. 4. 2-1 図 PCVスタビライザ解析モデル

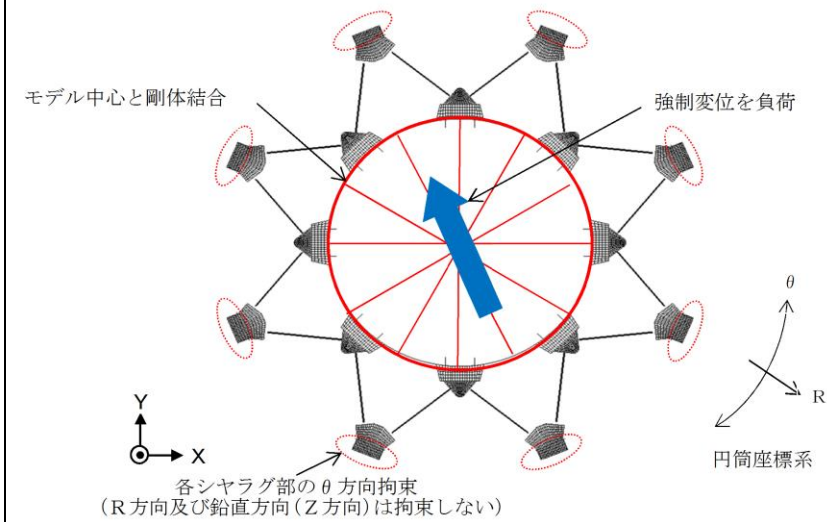
4. 2. 4. 3 解析条件

解析モデルの境界条件及び負荷条件を第 4. 2. 4. 3-1 図に示す。ガンマ線遮蔽壁とガセットプレートの境界条件はモデル中心と剛体結合として定義し、剛体結合されたモデル中心に強制変位を対角の位置にある内側シヤラグを結んだ線上に負荷する。なお、周方向に等間隔で設置された PCVスタビライザ 8 基で荷重を負担するため、ばね定数は強制変位を負荷する方向によらず一定の値となる。内側シヤラグと PCVとの境界条件は、メイルシヤラグがフィメールシヤラグと嵌め合い構造となっていることから、円筒座標系の R 方向及び鉛直方向 (Z 方向) は拘束せず、 θ 方向を拘束する。

PCVスタビライザの各構成部材の材質及び材料物性を第 4. 2. 4. 3-1 表に示す。縦弾性係数は、JSME2005/2007 年版の値を用いる。

第 4. 2. 4. 3-1 表 各構成部材の材質及び材料物性

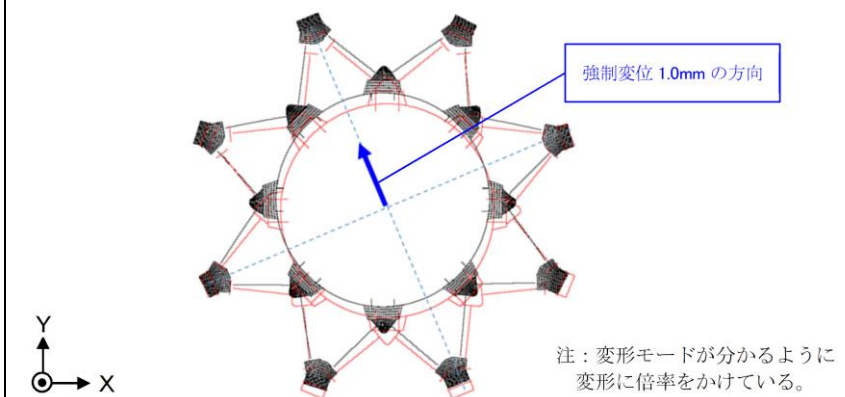
構成部材	材質	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
パイプ	STS410 (STS42)	2.01×10^5	0.3
ガセットプレート	SM400B (SM41B)	2.01×10^5	0.3
内側シヤラグ	SGV480 (SGV49)	2.01×10^5	0.3



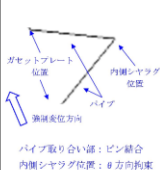
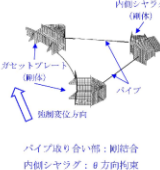
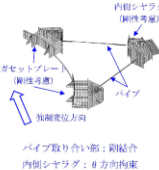
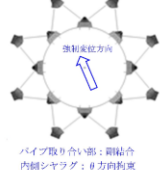
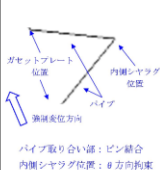
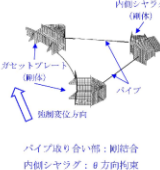
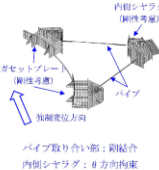
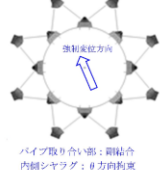
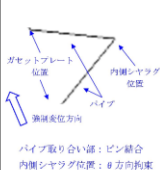
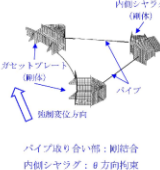
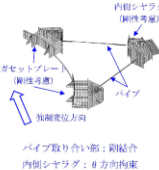
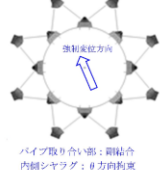
第 4. 2. 4. 3-1 図 境界条件及び負荷条件

4. 2. 4. 4 解析結果

強制変位を負荷させた際の変形図を第 4. 2. 4. 4-1 図に示す。この図では変形前の形状を赤線、変形後の形状を黒線で示す。荷重は、剛体結合されたモデル中心の反力として算出する。この解析結果から得た荷重-変位関係から、PCVスタビライザのばね定数を 3.5×10^6 [kN/m] と設定する。



第 4. 2. 4. 4-1 図 変形図

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																														
		<p>4.2.4.5 <u>ばね定数低下に係る要因の考察</u></p> <p>4.2.4.5.1 <u>要因考察</u></p> <p>既工認と比べて今回工認（FEM解析）のばね定数が低下した要因を考察するため、部材の剛性の考慮有無や結合方法等を変更した参考モデル（I-1、2及びII）を用いてばね定数を算出した。</p> <p>要因の考察に用いた解析モデルの概要を第4.2.4.5.1-1表に示す。また、各解析モデルにより算出されたばね定数を第4.2.4.5.1-1図に示す。</p> <p style="text-align: center;">第4.2.4.5.1-1表 解析モデルの概要</p> <table border="1" data-bbox="1739 720 2516 1165"> <thead> <tr> <th>モデル名称</th> <th>参考モデルI-1</th> <th>参考モデルI-2</th> <th>参考モデルII</th> <th>今回工認モデル</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>モデル概要</td> <td>既工認のトラス1対モデルをFEMモデルで再現したモデル</td> <td>トラス1対について、ガセットプレート及び内側シヤラグを剛体として考慮し、パイプの曲げ及びせん断剛性を考慮したモデル</td> <td>トラス1対について、パイプの曲げ及びせん断剛性に加え、ガセットプレート及び内側シヤラグの剛性を考慮したモデル</td> <td>全トラスについて、パイプの曲げ及びせん断剛性と、ガセットプレート及び内側シヤラグの剛性を考慮したモデル</td> </tr> <tr> <td>ガセットプレート / 内側シヤラグ</td> <td>-</td> <td>剛体</td> <td>剛性考慮</td> <td>剛性考慮</td> </tr> <tr> <td>パイプとの取り付け部</td> <td>ピン結合</td> <td>剛結合</td> <td>剛結合</td> <td>剛結合</td> </tr> <tr> <td>パイプ</td> <td>軸変形を考慮 (長さ L=3749mm)</td> <td>軸変形、曲げ、せん断を考慮 (長さ L=2574.1mm)</td> <td>軸変形、曲げ、せん断を考慮 (長さ L=2574.1mm)</td> <td>軸変形、曲げ、せん断を考慮 (長さ L=2574.1mm)</td> </tr> <tr> <td>解析モデル図</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>《解析結果の考察》</p> <p>① 既工認と参考モデルI-1の比較・考察</p> <p>参考モデルI-1により算出されたばね定数は既工認と同値であるため、FEM解析モデルは既工認の計算モデルと同等である。</p> <p>② 参考モデルI-1と参考モデルI-2の比較・考察</p> <p>参考モデルI-2では、ガセットプレート及び内側シヤラグを剛体としてモデル化したことによりパイプ長が短くなったため、ばね定数の値が参考モデルI-1より大きくなる。</p> <p>③ 参考モデルI-2と参考モデルIIの比較・考察</p> <p>参考モデルIIでは、ガセットプレート及び内側シヤラグに剛性を考慮することにより、ばね定数の値が参考モデルI-2より小さくなる。</p> <p>④ 参考モデルIIと今回工認モデルの比較・考察</p> <p>本来ガセットプレートは隣り合うパイプの荷重を受け持つこととなるが（第4.2.4.5.1-2図（b）参照）、参考モデルIIで</p>	モデル名称	参考モデルI-1	参考モデルI-2	参考モデルII	今回工認モデル	モデル概要	既工認のトラス1対モデルをFEMモデルで再現したモデル	トラス1対について、ガセットプレート及び内側シヤラグを剛体として考慮し、パイプの曲げ及びせん断剛性を考慮したモデル	トラス1対について、パイプの曲げ及びせん断剛性に加え、ガセットプレート及び内側シヤラグの剛性を考慮したモデル	全トラスについて、パイプの曲げ及びせん断剛性と、ガセットプレート及び内側シヤラグの剛性を考慮したモデル	ガセットプレート / 内側シヤラグ	-	剛体	剛性考慮	剛性考慮	パイプとの取り付け部	ピン結合	剛結合	剛結合	剛結合	パイプ	軸変形を考慮 (長さ L=3749mm)	軸変形、曲げ、せん断を考慮 (長さ L=2574.1mm)	軸変形、曲げ、せん断を考慮 (長さ L=2574.1mm)	軸変形、曲げ、せん断を考慮 (長さ L=2574.1mm)	解析モデル図					
モデル名称	参考モデルI-1	参考モデルI-2	参考モデルII	今回工認モデル																													
モデル概要	既工認のトラス1対モデルをFEMモデルで再現したモデル	トラス1対について、ガセットプレート及び内側シヤラグを剛体として考慮し、パイプの曲げ及びせん断剛性を考慮したモデル	トラス1対について、パイプの曲げ及びせん断剛性に加え、ガセットプレート及び内側シヤラグの剛性を考慮したモデル	全トラスについて、パイプの曲げ及びせん断剛性と、ガセットプレート及び内側シヤラグの剛性を考慮したモデル																													
ガセットプレート / 内側シヤラグ	-	剛体	剛性考慮	剛性考慮																													
パイプとの取り付け部	ピン結合	剛結合	剛結合	剛結合																													
パイプ	軸変形を考慮 (長さ L=3749mm)	軸変形、曲げ、せん断を考慮 (長さ L=2574.1mm)	軸変形、曲げ、せん断を考慮 (長さ L=2574.1mm)	軸変形、曲げ、せん断を考慮 (長さ L=2574.1mm)																													
解析モデル図																																	

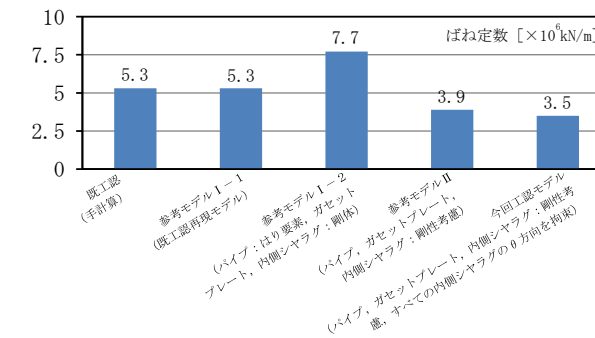
は、1対のトラスのみの荷重を受け持つモデル化を行っており(第4.2.4.5.1-2図(a)参照)、隣り合うパイプからの荷重を考慮していない。このためガセットプレートの変形が小さくなり、ばね定数の値が今回工認モデルより大きくなる。

PCVスタビライザを構成する各部材の剛性を考慮することにより、現実的なばね定数を算出した。その中でも、ガセットプレート及び内側シヤラグの剛性を考慮したことが、ばね定数低下に大きく寄与している。

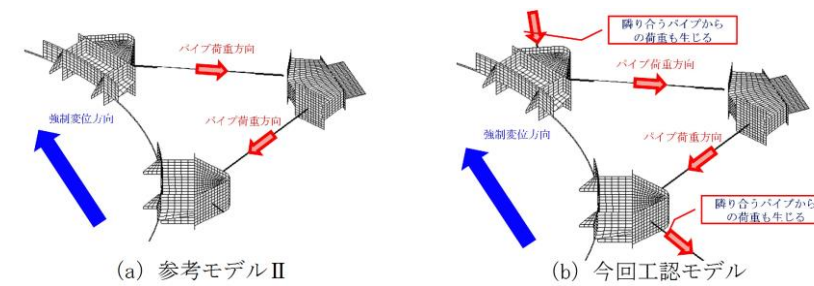
以上の考察より、今回工認のばね定数は妥当なものであることを確認した。

[単位: $\times 10^6 \text{kN/m}$]

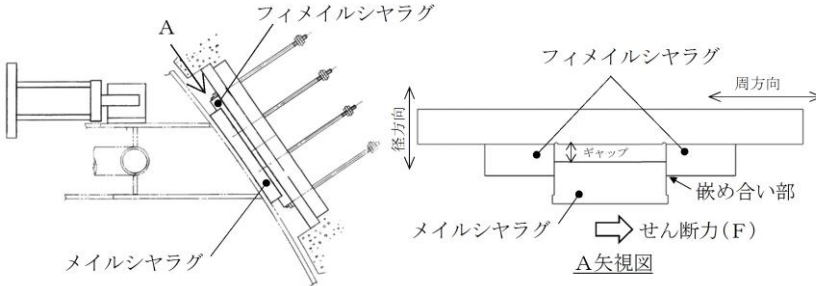
項目	既工認	参考モデル I-1	参考モデル I-2	参考モデル II	今回工認モデル
トラス1対	1.3	1.3	1.9	1.0	—
全体 (トラス8対)	5.3	5.3	7.7	3.9	3.5

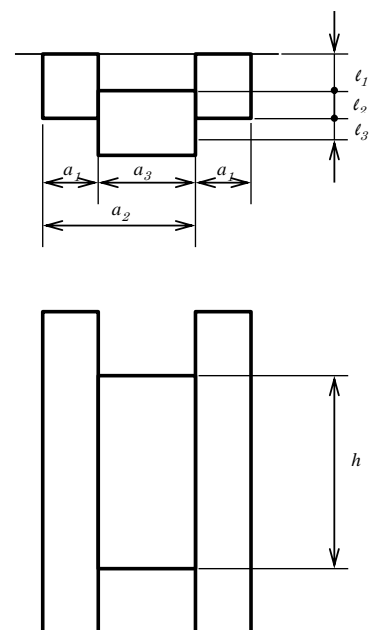


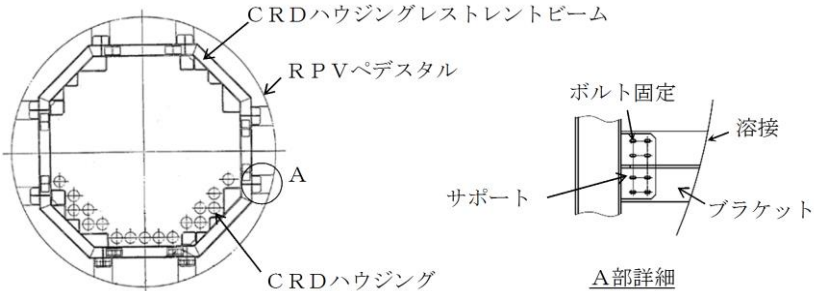
第4.2.4.5.1-1図 各解析モデルのばね定数



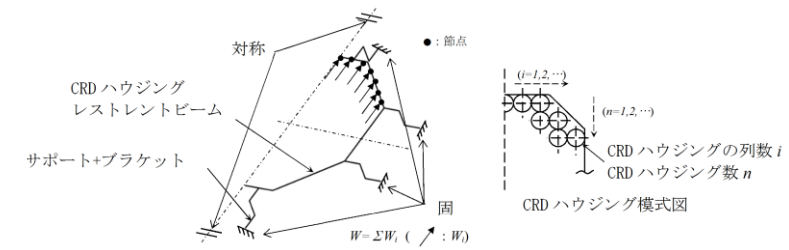
第4.2.4.5.1-2図 参考モデル II と今回工認モデルの荷重伝達

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>5. <u>構造物間ばね定数の設定 (既工認から変更ない部位)</u></p> <p>既工認からばね定数の算出方法に変更がない部位のうち、主要部位であるシヤラグ及び制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームを代表としてばね定数の算出方法を説明する。</p> <p>なお、縦弾性係数は建設時の適用基準 (昭和 55 年通商産業省告示第 501 号) の値を用いる。</p> <p>5.1 <u>シヤラグ</u></p> <p>5.1.1 <u>シヤラグの構造</u></p> <p>シヤラグは、ドライウェル上部に周方向に 8 箇所設置され、PCV 外側のメイルシヤラグが原子炉建物側のフィメイルシヤラグと嵌め合い構造となっており、水平方向のうち PCV 周方向の変位を拘束し、径方向変位は拘束されない構造である。(第 5.1.1-1 図参照)</p>  <p>第 5.1.1-1 図 シヤラグ概要図</p> <p>5.1.2 <u>ばね定数の算出方法</u></p> <p>シヤラグのばね定数は、せん断荷重から求めた荷重-変位の関係により算出する。なお、シヤラグのばね定数算出方法について、既工認から変更はない。</p> <p>せん断力 (F) を受ける際のせん断変形の式から求める荷重-変位関係より、第 5.1.2-1 図に示すメイルシヤラグ及びフィメイルシヤラグの各部に対するシヤラグ 1 基分のばね定数 (k) を算出する。</p> $v = \frac{1}{G} \int_0^x \left(\frac{\kappa \cdot F}{A} \right) dx = \frac{\kappa \cdot F}{G} \left(\frac{l_1}{A_1} + \frac{l_2}{A_2} + \frac{l_3}{A_3} \right)$ $k = \frac{F}{v} = \frac{G}{\kappa} \left(\frac{l_1}{A_1} + \frac{l_2}{A_2} + \frac{l_3}{A_3} \right)^{-1}$ <p>よって、シヤラグ 8 基全体のばね定数 (K) は円周状にシヤラ</p>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎 6/7, 東海第二】</p> <p>本項 5. では、既工認から変更がないばね定数の算出方法を記載する</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>グが配置されていることから、次のとおりとなる。</p> <p>$K = 4 \cdot k$</p> <p>ここで、</p> <p>ν : せん断ひずみ</p> <p>G : せん断弾性係数</p> <p>κ : 断面の形状係数</p> <p>a_1 : フィメールシヤラグの幅</p> <p>$a_2 : a_1 + a_3$</p> <p>a_3 : メールシヤラグの幅</p> <p>l_1 : フィメールシヤラグの長さ</p> <p>l_2 : シヤラグ接触面の長さ</p> <p>l_3 : メールシヤラグの長さ</p> <p>h : シヤラグ接触面の長さ</p> <p>A_1 : フィメールシヤラグの断面積 ($= a_1 h$)</p> <p>$A_2 : A_1 + A_3 (= a_2 h)$</p> <p>$A_3$: メールシヤラグの断面積 ($= a_3 h$)</p>  <p>第 5.1.2-1 図 シヤラグばね定数算出概念図</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>5.2 制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム</p> <p>5.2.1 制御棒駆動機構ハウジングレストレントビームの構造</p> <p>制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム（以下「CRDハウジングレストレントビーム」という。）は、8箇所のブラケットでRPVペダスタルと溶接により固定された構造物であり、構成部材としてはCRDハウジングレストレントビーム、サポート、ブラケットからなる。</p> <p>CRDハウジングレストレントビームは、CRDハウジングの水平方向地震荷重を受けるが、CRDハウジングレストレントビームはCRDハウジングを接触のみで支持しているため、圧縮方向の荷重は伝達するが引張方向の荷重は伝達しない構造である。</p> <p>CRDハウジングレストレントビームの構造を第5.2.1-1図に示す。</p>  <p>第5.2.1-1図 CRDハウジングレストレントビームの構造</p> <p>5.2.2 CRDハウジングレストレントビームのばね定数算出方法</p> <p>CRDハウジングレストレントビームのばね定数は、FEM解析により算出する。なお、CRDハウジングレストレントビームのばね定数算出方法について、既工認から変更はない。</p> <p>5.2.3 計算方法</p> <p>計算機コード「SAP-IV」により、各部材ごとに断面積、断面二次モーメント、重量等を与えるビーム要素モデルで解析する。</p> <p>5.2.4 計算条件</p> <p>5.2.4.1 解析モデル</p> <p>解析モデルの概要を第5.2.4.1-1図に示す。</p> <p>解析モデルはCRDハウジングレストレントビームの対称性</p>	

を考慮し、180° の範囲をモデル化する。



第 5.2.4.1-1 図 解析モデルの概要

5.2.4.2 各構成部材の材質及び材料物性

解析に用いる各構成部材の材質及び材料定数を第 5.2.4.2-1 表に示す。

第 5.2.4.2-1 表 各構成部材の材質及び材料定数

構成部材	材質	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
CRDハウジング レストレントビーム	SS400	1.92×10 ⁵	0.3
サポート	SM400A	1.92×10 ⁵	0.3
ブラケット	SM400A	1.92×10 ⁵	0.3

5.2.4.3 荷重条件

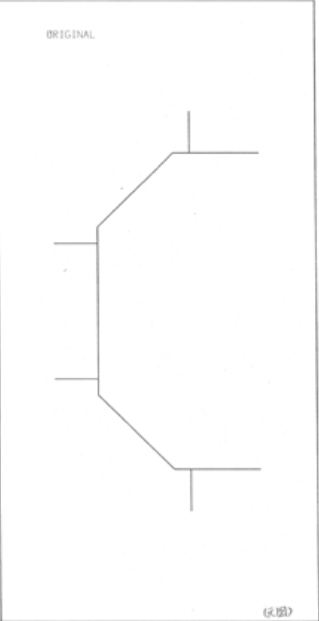
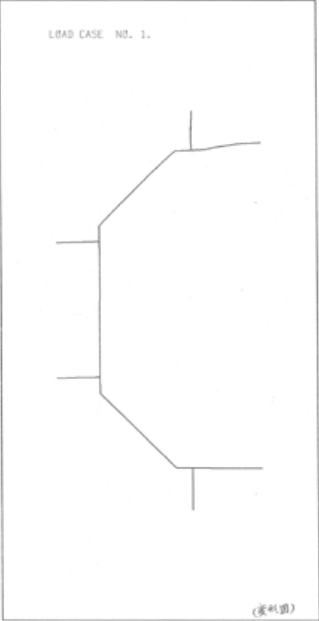
CRDハウジング全水平荷重Wを分配して、CRDハウジングの列ごとの荷重W_iを設定し、それらの荷重W_iをCRDハウジングレストレントビーム列上の最も近い接点に負荷する。

荷重W_iは列ごとのCRDハウジング本数に応じた比例配分により、次のとおり算出する。

$$W_i = \frac{W \cdot n_i}{\sum n_i} \quad (n: \text{本数}, i: \text{列数})$$

5.2.4.4 境界条件

CRDハウジングレストレントビームとRPVペデスタルは溶接にて固定されていることから境界条件は固定する。また、180° の範囲をモデル化していることから、対称性を考慮した拘束条件とする。

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>5.2.5 解析結果</p> <p>ばね定数は、全水平荷重Wを最大変位量δで割ることにより求める。ばね定数を以下に示す。</p> <p>また、変形前(荷重付与前)及び変形後のモデル形状を第5.2.5-1図に示す。</p> <p>ばね定数：$K = \frac{W}{\delta} = 7.16 \times 10^5 [\text{kN/m}]$</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>変形前</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>変形後</p> </div> </div> <p>第5.2.5-1図 変形前後のモデル形状</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;"><u>参考資料 (5-1)</u></p> <p style="text-align: center;"><u>原子炉建物-大型機器連成解析モデルの変更に伴う地震応答への影響について</u></p> <p>1. <u>はじめに</u> 原子炉建物-大型機器連成解析モデルを既工認から変更することに伴い、地震応答への影響を確認する。</p> <p>2. <u>入力地震動</u> 基準地震動 S s のうち、応答加速度が全周期帯において概ね支配的である S s -D を代表波として選定する。</p> <p>3. <u>影響検討方法</u> 原子炉建物-大型機器連成解析モデルを既工認から変更することに伴う地震応答の影響を確認するため、表 1 に示す影響検討モデル 1 及び 2 を用いた固有値解析及び地震応答解析を行い、表 2 に示す影響検討ケースで各影響検討モデルの解析結果を今回工認モデルと比較することにより、地震応答への影響について検討した。</p> <p>影響検討ケース 1 は、PCV-RPV モデルを PCV-RPV-Rin モデルに変更したことによる地震応答への影響を検討することを目的として、表 1 に示す影響検討モデル 1 と今回工認モデルを比較する。ばね定数は、どちらのモデルも精緻化した値を適用する。</p> <p>影響検討ケース 2 は、PCV 及び RPV スタビライザのばね定数を変更したことによる地震応答への影響を検討することを目的として、表 1 に示す影響検討モデル 2 と今回工認モデルを比較する。解析モデルは、どちらも PCV-RPV-Rin モデルとし、影響検討モデル 2 では、スタビライザのばね定数として既工認の値を適用し、今回工認モデルでは、スタビライザのばね定数として精緻化した値を適用する。</p> <p>表 1 の解析モデルのモデル図については、第 1-1-1~2 図にて PCV-RPV モデルを示し、第 1-2-1~2 図にて PCV-RPV-Rin モデルを示す。</p>	<p>・資料構成の相違</p> <p>【柏崎 6/7, 東海第二】</p> <p>参考資料(5-1)では、水平方向の大型機器連成解析モデルの変更に伴う地震応答への影響について記載する</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																						
		表1 影響検討モデル <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">影響検討モデル</th> <th rowspan="2">解析モデル</th> <th colspan="2">モデル緒元</th> <th rowspan="2">備考</th> </tr> <tr> <th>スタビライザばね定数</th> <th>その他</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>PCV-RPVモデル</td> <td>精緻化値</td> <td>既工認と同じ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>PCV-RPV-Rinモデル</td> <td>既工認と同じ</td> <td>既工認と同じ</td> <td></td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>PCV-RPV-Rinモデル</td> <td>精緻化値</td> <td>既工認と同じ</td> <td>今回工認モデル</td> </tr> </tbody> </table>		影響検討モデル	解析モデル	モデル緒元		備考	スタビライザばね定数	その他	1	PCV-RPVモデル	精緻化値	既工認と同じ		2	PCV-RPV-Rinモデル	既工認と同じ	既工認と同じ		-	PCV-RPV-Rinモデル	精緻化値	既工認と同じ	今回工認モデル
影響検討モデル	解析モデル	モデル緒元				備考																			
		スタビライザばね定数	その他																						
1	PCV-RPVモデル	精緻化値	既工認と同じ																						
2	PCV-RPV-Rinモデル	既工認と同じ	既工認と同じ																						
-	PCV-RPV-Rinモデル	精緻化値	既工認と同じ	今回工認モデル																					
		表2 影響検討ケース <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">影響検討ケース</th> <th rowspan="2">比較対象モデル</th> <th rowspan="2">比較目的</th> <th colspan="2">検討結果</th> </tr> <tr> <th>固有値解析</th> <th>地震応答解析</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>影響検討モデル1と今回工認モデル</td> <td>PCV-RPVモデルをPCV-RPV-Rinモデルに変更にしたことによる地震応答への影響を検討</td> <td>第1-1-1～第1-1-2表 第2-1-1～第2-1-12図</td> <td>第2-1-1～第2-1-2表</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>影響検討モデル2と今回工認モデル</td> <td>PCV及びRPVスタビライザのばね定数を変更したことによる地震応答への影響を検討</td> <td>第1-2-1～第1-2-2表 第2-2-1～第2-2-20図</td> <td>第2-2-1～第2-2-2表</td> </tr> </tbody> </table>		影響検討ケース	比較対象モデル	比較目的	検討結果		固有値解析	地震応答解析	1	影響検討モデル1と今回工認モデル	PCV-RPVモデルをPCV-RPV-Rinモデルに変更にしたことによる地震応答への影響を検討	第1-1-1～第1-1-2表 第2-1-1～第2-1-12図	第2-1-1～第2-1-2表	2	影響検討モデル2と今回工認モデル	PCV及びRPVスタビライザのばね定数を変更したことによる地震応答への影響を検討	第1-2-1～第1-2-2表 第2-2-1～第2-2-20図	第2-2-1～第2-2-2表					
影響検討ケース	比較対象モデル	比較目的	検討結果																						
			固有値解析	地震応答解析																					
1	影響検討モデル1と今回工認モデル	PCV-RPVモデルをPCV-RPV-Rinモデルに変更にしたことによる地震応答への影響を検討	第1-1-1～第1-1-2表 第2-1-1～第2-1-12図	第2-1-1～第2-1-2表																					
2	影響検討モデル2と今回工認モデル	PCV及びRPVスタビライザのばね定数を変更したことによる地震応答への影響を検討	第1-2-1～第1-2-2表 第2-2-1～第2-2-20図	第2-2-1～第2-2-2表																					
		<p>4. 検討結果</p> <p>(1) 影響検討ケース1</p> <p>第1-1-1～第1-1-2表並びに第2-1-1～第2-1-12図に示す固有値解析結果から、影響検討モデル1と今回工認モデルにおける各振動モードの変形状態は一致しており、固有周期の変動も小さい(最大4%変動)ことがわかる。</p> <p>また、第2-1-1～第2-1-2表に示す地震応答解析結果から、各部位の荷重が概ね一致している(最大10%変動)ことがわかる。したがって、PCV-RPVモデルをPCV-RPV-Rinモデルに変更したことによる地震応答への影響は軽微である。</p> <p>(2) 影響検討ケース2</p> <p>第1-2-1～第1-2-2表並びに第2-2-1～第2-2-20図に示す固有値解析結果から、PCV及びRPVスタビライザのばね定数を変更した結果、各振動モードの変形状態は一致することがわかる。また、各振動モードのうち原子炉圧力容器の応答が卓越する振動モードで固有周期が長くなる(最大9%)が、その他の振動モードの固有周期の変動は小さいことがわかる。</p> <p>また、第2-2-1～第2-2-2表に示す地震応答解析結果から、PCV及びRPVスタビライザのばね定数を変更したことにより、PCV、RPV及びシヤラグの荷重等が変動するが、最大でも36%(PCVスタビライザ)であることがわかる。</p> <p>地震応答解析結果に示す荷重のうち、RPV支持スカート基部、ガンマ線遮蔽壁基部、RPVペデスタル基部、シヤラグでは、影</p>																							

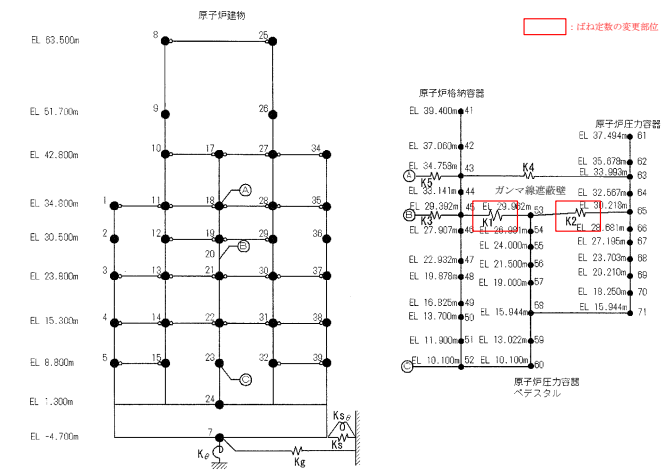
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>響検討モデル2 (①) と今回工認モデル (②) の荷重の比率 (② / ①) がNS方向とEW方向で異なり、NS方向の荷重は大きくなる (比率 (② / ①) が1より大きい) のに対し、EW方向の荷重は小さくなる (比率 (② / ①) が1より小さい)。</p> <p>また、今回工認モデルにおけるRPVスタビライザとPCVスタビライザでは、NS方向とEW方向のいずれでも荷重が小さくなり (比率 (② / ①) が1より小さい)、NS方向よりEW方向の荷重が小さい (比率 (② / ①) がNS方向よりEW方向のほうが小さい)。</p> <p>これらの要因として、ばね定数変更により固有周期と床応答スペクトルが変化し、固有周期と床応答スペクトルとの関係により、NS方向とEW方向で荷重の変化の傾向に違いが生じていることや、RPV及びPCVスタビライザのばね定数が低下したことにより、これらが分担する荷重が小さくなることが考えられる。</p> <p>第2-3-1 図にRPVスタビライザとPCVスタビライザが接続するガンマ線遮蔽壁頂部 (質点番号53) における影響検討モデル2及び今回工認モデルの基準地震動S_s-Dの床応答スペクトルを示す。また、第2-3-1 表に、影響検討モデル2 (①) と今回工認モデル (②) における、RPVの振動が卓越する最も低い振動数の第4次モードの固有周期と床応答加速度及びその比率 (② / ①) を示す。NS方向はスタビライザばね定数の変更に伴い応答加速度が大きくなるが、EW方向は小さくなっており、このような違いが荷重の変化の傾向に影響したものと考えられる。</p> <p>以上の考察のとおり、ばね定数の変更に対して妥当な結果が得られている。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20版)

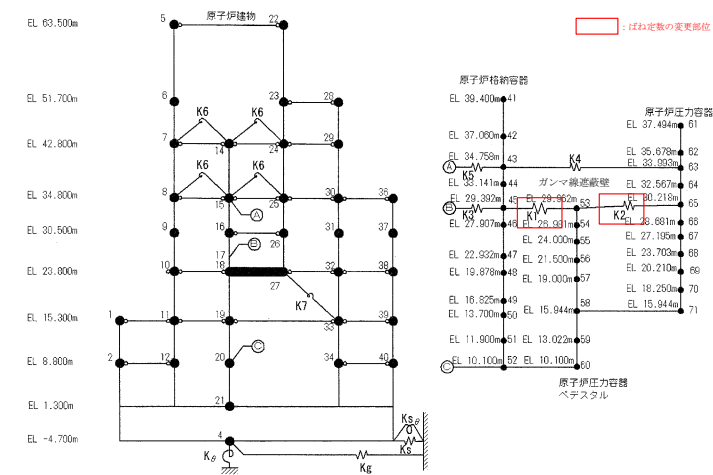
東海第二発電所 (2018. 9. 18版)

島根原子力発電所 2号炉

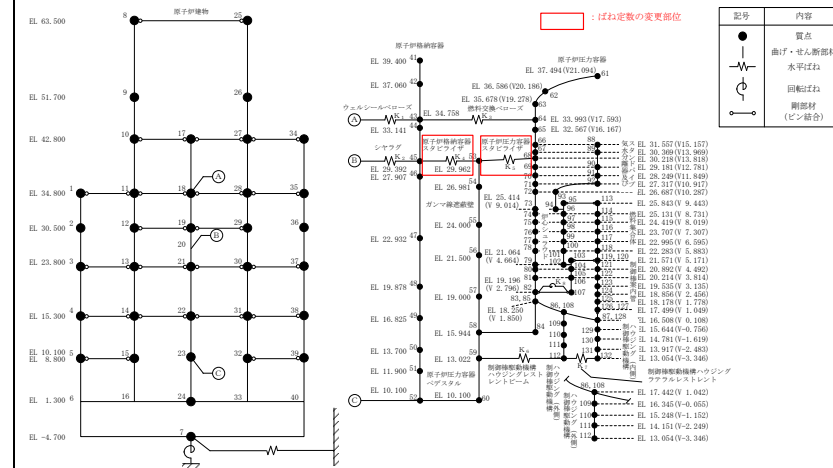
備考



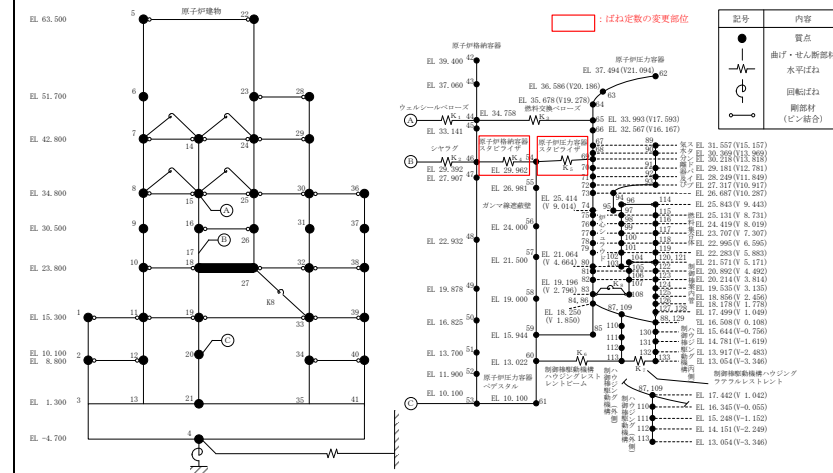
第1-1-1図 PCV-RPVモデル (NS方向)



第1-1-2図 PCV-RPVモデル (EW方向)



第1-2-1図 PCV-RPV-Rinモデル (NS方向)



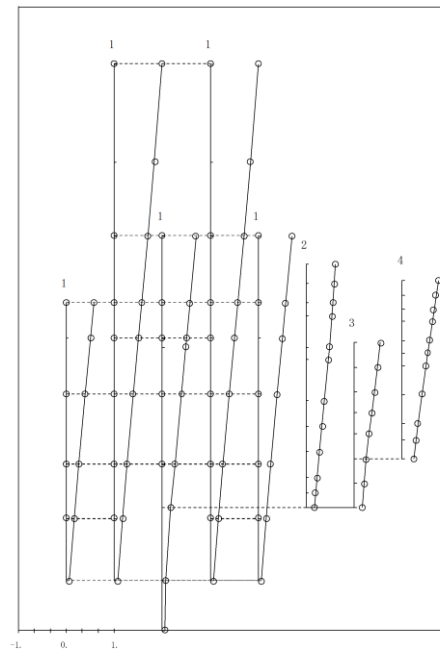
第1-2-2図 PCV-RPV-Rinモデル (EW方向)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																						
		<p>第1-1-1表 固有値解析結果 (影響検討ケース1, NS方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">次数</th> <th>①影響検討モデル1</th> <th>②今回工認モデル</th> <th rowspan="2">固有周期の比率 (②/①)</th> <th rowspan="2">卓越部位</th> </tr> <tr> <th>①</th> <th>②</th> <th>固有周期[秒]</th> <th>固有周期[秒]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0.219</td><td>0.219</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>-</td><td>2</td><td>-</td><td>0.202</td><td>-</td><td>燃料集合体</td></tr> <tr><td>-</td><td>3</td><td>-</td><td>0.135</td><td>-</td><td>炉心シュラウド</td></tr> <tr><td>2</td><td>4</td><td>0.113</td><td>0.110</td><td>0.97</td><td>R P V</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td><td>0.098</td><td>0.098</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>4</td><td>6</td><td>0.069</td><td>0.069</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>-</td><td>7</td><td>-</td><td>0.066</td><td>-</td><td>制御棒案内管</td></tr> <tr><td>5</td><td>8</td><td>0.058</td><td>0.057</td><td>0.98</td><td>R P V</td></tr> <tr><td>6</td><td>9</td><td>0.052</td><td>0.052</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>-</td><td>10</td><td>-</td><td>0.050</td><td>-</td><td>燃料集合体</td></tr> </tbody> </table>	次数		①影響検討モデル1	②今回工認モデル	固有周期の比率 (②/①)	卓越部位	①	②	固有周期[秒]	固有周期[秒]	1	1	0.219	0.219	1.00	原子炉建物	-	2	-	0.202	-	燃料集合体	-	3	-	0.135	-	炉心シュラウド	2	4	0.113	0.110	0.97	R P V	3	5	0.098	0.098	1.00	原子炉建物	4	6	0.069	0.069	1.00	原子炉建物	-	7	-	0.066	-	制御棒案内管	5	8	0.058	0.057	0.98	R P V	6	9	0.052	0.052	1.00	原子炉建物	-	10	-	0.050	-	燃料集合体	
次数		①影響検討モデル1	②今回工認モデル	固有周期の比率 (②/①)	卓越部位																																																																				
①	②	固有周期[秒]	固有周期[秒]																																																																						
1	1	0.219	0.219	1.00	原子炉建物																																																																				
-	2	-	0.202	-	燃料集合体																																																																				
-	3	-	0.135	-	炉心シュラウド																																																																				
2	4	0.113	0.110	0.97	R P V																																																																				
3	5	0.098	0.098	1.00	原子炉建物																																																																				
4	6	0.069	0.069	1.00	原子炉建物																																																																				
-	7	-	0.066	-	制御棒案内管																																																																				
5	8	0.058	0.057	0.98	R P V																																																																				
6	9	0.052	0.052	1.00	原子炉建物																																																																				
-	10	-	0.050	-	燃料集合体																																																																				
		<p>第1-1-2表 固有値解析結果 (影響検討ケース1, EW方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">次数</th> <th>①影響検討モデル1</th> <th>②今回工認モデル</th> <th rowspan="2">固有周期の比率 (②/①)</th> <th rowspan="2">卓越部位</th> </tr> <tr> <th>①</th> <th>②</th> <th>固有周期[秒]</th> <th>固有周期[秒]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-</td><td>1</td><td>-</td><td>0.204</td><td>-</td><td>燃料集合体</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>0.202</td><td>0.200</td><td>0.99</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>-</td><td>3</td><td>-</td><td>0.135</td><td>-</td><td>炉心シュラウド</td></tr> <tr><td>2</td><td>4</td><td>0.113</td><td>0.109</td><td>0.96</td><td>R P V</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td><td>0.093</td><td>0.093</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>4</td><td>6</td><td>0.067</td><td>0.067</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>-</td><td>7</td><td>-</td><td>0.066</td><td>-</td><td>制御棒案内管</td></tr> <tr><td>5</td><td>8</td><td>0.058</td><td>0.057</td><td>0.98</td><td>R P V</td></tr> <tr><td>6</td><td>9</td><td>0.051</td><td>0.051</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>-</td><td>10</td><td>-</td><td>0.050</td><td>-</td><td>燃料集合体</td></tr> </tbody> </table>	次数		①影響検討モデル1	②今回工認モデル	固有周期の比率 (②/①)	卓越部位	①	②	固有周期[秒]	固有周期[秒]	-	1	-	0.204	-	燃料集合体	1	2	0.202	0.200	0.99	原子炉建物	-	3	-	0.135	-	炉心シュラウド	2	4	0.113	0.109	0.96	R P V	3	5	0.093	0.093	1.00	原子炉建物	4	6	0.067	0.067	1.00	原子炉建物	-	7	-	0.066	-	制御棒案内管	5	8	0.058	0.057	0.98	R P V	6	9	0.051	0.051	1.00	原子炉建物	-	10	-	0.050	-	燃料集合体	
次数		①影響検討モデル1	②今回工認モデル	固有周期の比率 (②/①)	卓越部位																																																																				
①	②	固有周期[秒]	固有周期[秒]																																																																						
-	1	-	0.204	-	燃料集合体																																																																				
1	2	0.202	0.200	0.99	原子炉建物																																																																				
-	3	-	0.135	-	炉心シュラウド																																																																				
2	4	0.113	0.109	0.96	R P V																																																																				
3	5	0.093	0.093	1.00	原子炉建物																																																																				
4	6	0.067	0.067	1.00	原子炉建物																																																																				
-	7	-	0.066	-	制御棒案内管																																																																				
5	8	0.058	0.057	0.98	R P V																																																																				
6	9	0.051	0.051	1.00	原子炉建物																																																																				
-	10	-	0.050	-	燃料集合体																																																																				

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																									
		<p>第1-2-1表 固有値解析結果 (影響検討ケース2, NS方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">次数</th> <th>①影響検討モデル2</th> <th>②今回工認モデル</th> <th rowspan="2">固有周期の比率 (②/①)</th> <th rowspan="2">卓越部位</th> </tr> <tr> <th>固有周期[秒]</th> <th>固有周期[秒]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.219</td><td>0.219</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.202</td><td>0.202</td><td>1.00</td><td>燃料集合体</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.135</td><td>0.135</td><td>1.00</td><td>炉心シュラウド</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.102</td><td>0.110</td><td>1.08</td><td>R P V</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.095</td><td>0.098</td><td>1.03</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.069</td><td>0.069</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.066</td><td>0.066</td><td>1.00</td><td>制御棒案内管</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.056</td><td>0.057</td><td>1.02</td><td>R P V</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.052</td><td>0.052</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.050</td><td>0.050</td><td>1.00</td><td>燃料集合体</td></tr> </tbody> </table>	次数	①影響検討モデル2	②今回工認モデル	固有周期の比率 (②/①)	卓越部位	固有周期[秒]	固有周期[秒]	1	0.219	0.219	1.00	原子炉建物	2	0.202	0.202	1.00	燃料集合体	3	0.135	0.135	1.00	炉心シュラウド	4	0.102	0.110	1.08	R P V	5	0.095	0.098	1.03	原子炉建物	6	0.069	0.069	1.00	原子炉建物	7	0.066	0.066	1.00	制御棒案内管	8	0.056	0.057	1.02	R P V	9	0.052	0.052	1.00	原子炉建物	10	0.050	0.050	1.00	燃料集合体	
次数	①影響検討モデル2	②今回工認モデル		固有周期の比率 (②/①)	卓越部位																																																							
	固有周期[秒]	固有周期[秒]																																																										
1	0.219	0.219	1.00	原子炉建物																																																								
2	0.202	0.202	1.00	燃料集合体																																																								
3	0.135	0.135	1.00	炉心シュラウド																																																								
4	0.102	0.110	1.08	R P V																																																								
5	0.095	0.098	1.03	原子炉建物																																																								
6	0.069	0.069	1.00	原子炉建物																																																								
7	0.066	0.066	1.00	制御棒案内管																																																								
8	0.056	0.057	1.02	R P V																																																								
9	0.052	0.052	1.00	原子炉建物																																																								
10	0.050	0.050	1.00	燃料集合体																																																								
		<p>第1-2-2表 固有値解析結果 (影響検討ケース2, EW方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">次数</th> <th>①影響検討モデル2</th> <th>②今回工認モデル</th> <th rowspan="2">固有周期の比率 (②/①)</th> <th rowspan="2">卓越部位</th> </tr> <tr> <th>固有周期[秒]</th> <th>固有周期[秒]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.204</td><td>0.204</td><td>1.00</td><td>燃料集合体</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.200</td><td>0.200</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.135</td><td>0.135</td><td>1.00</td><td>炉心シュラウド</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.100</td><td>0.109</td><td>1.09</td><td>R P V</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.091</td><td>0.093</td><td>1.02</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.067</td><td>0.067</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.066</td><td>0.066</td><td>1.00</td><td>制御棒案内管</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.055</td><td>0.057</td><td>1.04</td><td>R P V</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.051</td><td>0.051</td><td>1.00</td><td>原子炉建物</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.050</td><td>0.050</td><td>1.00</td><td>燃料集合体</td></tr> </tbody> </table>	次数	①影響検討モデル2	②今回工認モデル	固有周期の比率 (②/①)	卓越部位	固有周期[秒]	固有周期[秒]	1	0.204	0.204	1.00	燃料集合体	2	0.200	0.200	1.00	原子炉建物	3	0.135	0.135	1.00	炉心シュラウド	4	0.100	0.109	1.09	R P V	5	0.091	0.093	1.02	原子炉建物	6	0.067	0.067	1.00	原子炉建物	7	0.066	0.066	1.00	制御棒案内管	8	0.055	0.057	1.04	R P V	9	0.051	0.051	1.00	原子炉建物	10	0.050	0.050	1.00	燃料集合体	
次数	①影響検討モデル2	②今回工認モデル		固有周期の比率 (②/①)	卓越部位																																																							
	固有周期[秒]	固有周期[秒]																																																										
1	0.204	0.204	1.00	燃料集合体																																																								
2	0.200	0.200	1.00	原子炉建物																																																								
3	0.135	0.135	1.00	炉心シュラウド																																																								
4	0.100	0.109	1.09	R P V																																																								
5	0.091	0.093	1.02	原子炉建物																																																								
6	0.067	0.067	1.00	原子炉建物																																																								
7	0.066	0.066	1.00	制御棒案内管																																																								
8	0.055	0.057	1.04	R P V																																																								
9	0.051	0.051	1.00	原子炉建物																																																								
10	0.050	0.050	1.00	燃料集合体																																																								

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器へダクト
- 4 原子炉圧力容器

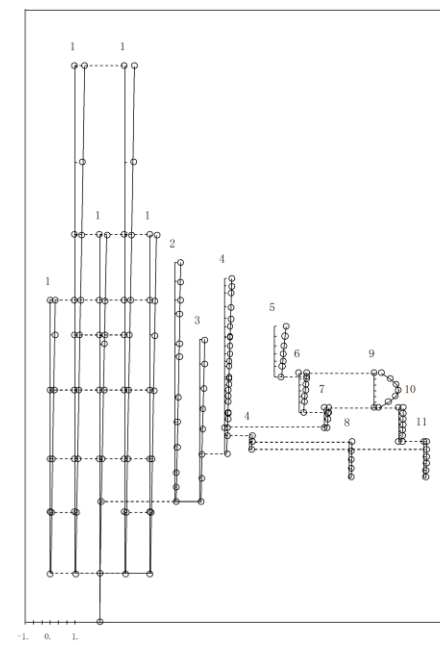
固有周期 (s) ; 0.219



第2-1-1 図 (a) 影響検討モデル1 第1次振動モード図
(NS方向)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器へダクト
- 4 原子炉圧力容器
- 5 気水分離器、スタンバイ、シュワッドヘッド及び炉心シュワッド上蓋
- 6 炉心シュワッド中間層
- 7 炉心シュワッド下蓋
- 8 燃料棒駆動機構ハウジング(外部)
- 9 燃料集合体
- 10 燃料棒案内管
- 11 燃料棒駆動機構ハウジング(内部)

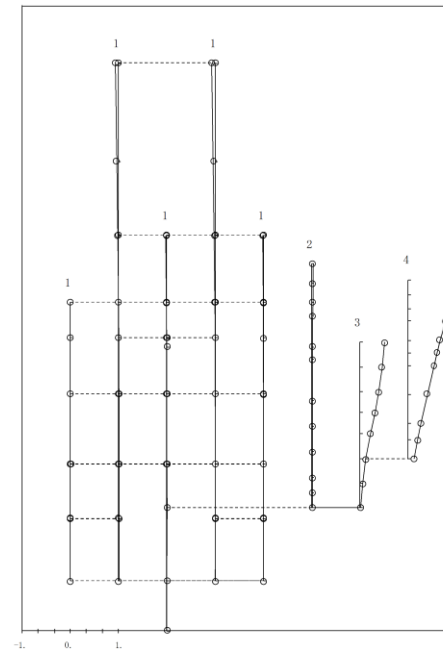
固有周期 (s) ; 0.219



第2-1-1 図 (b) 今回工認モデル 第1次振動モード図
(NS方向)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグメタル
- 4 原子炉圧力容器

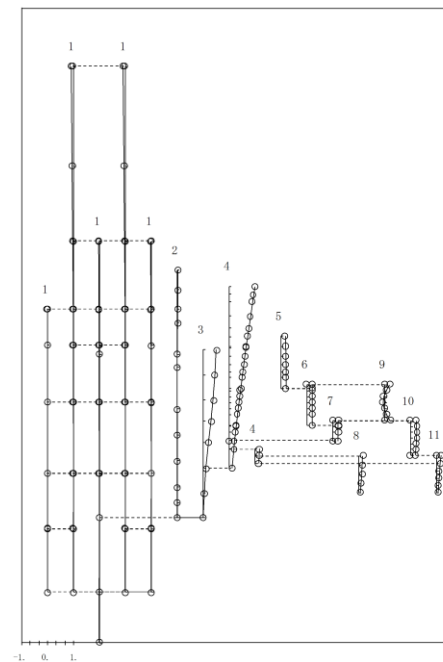
固有周期 (s) : 0.113



第2-1-2 図 (a) 影響検討モデル1 第2次振動モード図
(NS方向)

- 1 原子炉建屋
- 6 炉心シールド中間層
- 2 原子炉格納容器
- 7 炉心シールド下部層
- 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグメタル
- 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 4 原子炉圧力容器
- 9 燃料集合体
- 5 気水分離器、スタンバイシールドヘッド及び炉心シールド上部層
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)
- 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

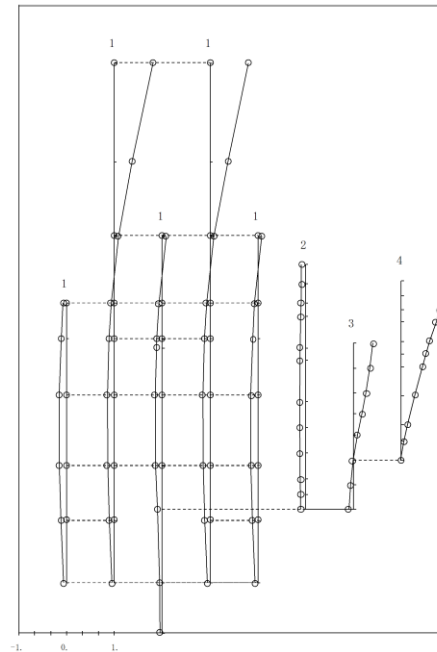
固有周期 (s) : 0.110



第2-1-2 図 (b) 今回工認モデル 第4次振動モード図
(NS方向)

- 1 原子炉建物
- 2 原子炉格納容器
- 3 シェラード蒸気発生炉及び原子炉圧力容器-ベスタル
- 4 原子炉圧力容器

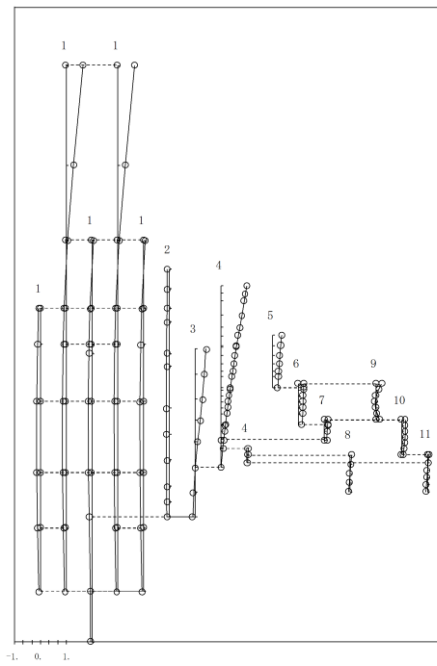
固有周期 (s) ; 0.098



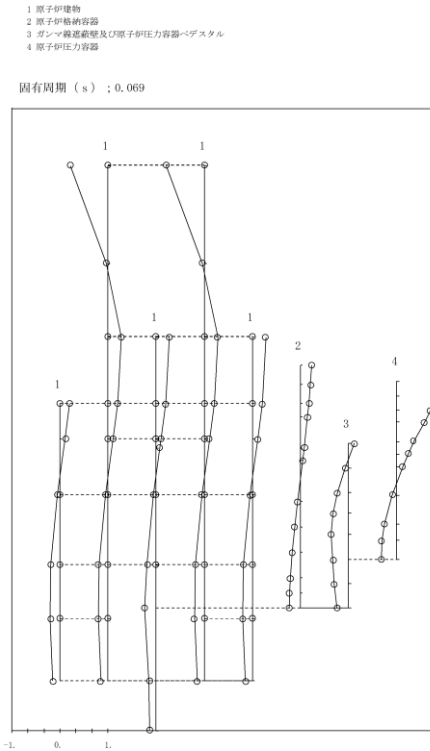
第2-1-3 図 (a) 影響検討モデル1 第3次振動モード図
(NS方向)

- 1 原子炉建物
- 2 原子炉格納容器
- 3 シェラード蒸気発生炉及び原子炉圧力容器-ベスタル
- 4 原子炉圧力容器
- 5 気水の凝縮、スタンバイ、シェラードヘッド及び炉心シェラード上部網
- 6 炉心シェラード中間網
- 7 炉心シェラード下部網
- 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 9 燃料集合体
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)
- 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

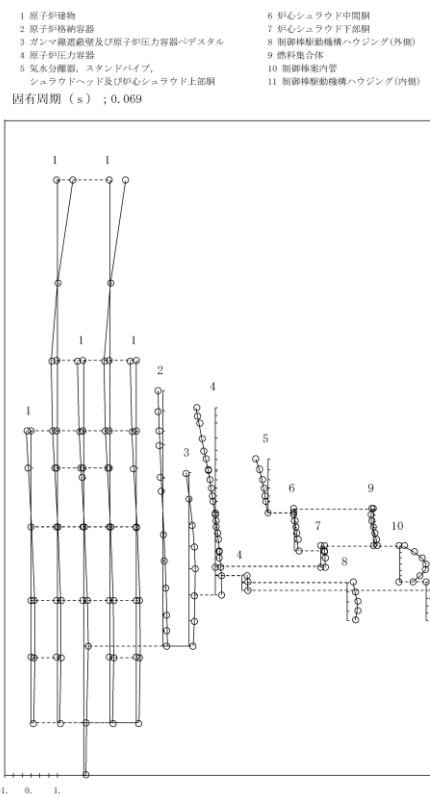
固有周期 (s) ; 0.098



第2-1-3 図 (b) 今回工認モデル 第5次振動モード図
(NS方向)



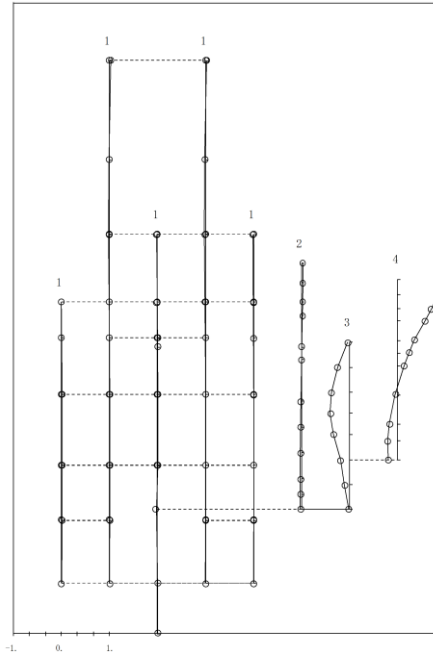
第2-1-4 図 (a) 影響検討モデル1 第4次振動モード図
(NS方向)



第2-1-4 図 (b) 今回工認モデル 第6次振動モード図
(NS方向)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 プランケット吊り架け及び原子炉圧力容器ベダスタル
- 4 原子炉圧力容器

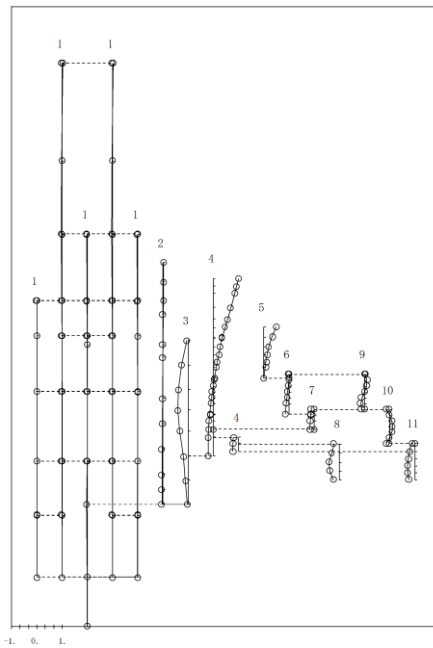
固有周期 (s) ; 0.058



第2-1-5 図 (a) 影響検討モデル1 第5次振動モード図
(NS方向)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 プランケット吊り架け及び原子炉圧力容器ベダスタル
- 4 原子炉圧力容器
- 5 気水分離器、スタンバイ、シュワッドヘッド及び中心シュワッド上部胴
- 6 中心シュワッド中間胴
- 7 中心シュワッド下部胴
- 8 燃料集束体吊り上げ機構ハウジング(内側)
- 9 燃料集束体
- 10 燃料集束体内管
- 11 燃料集束体吊り上げ機構ハウジング(内側)

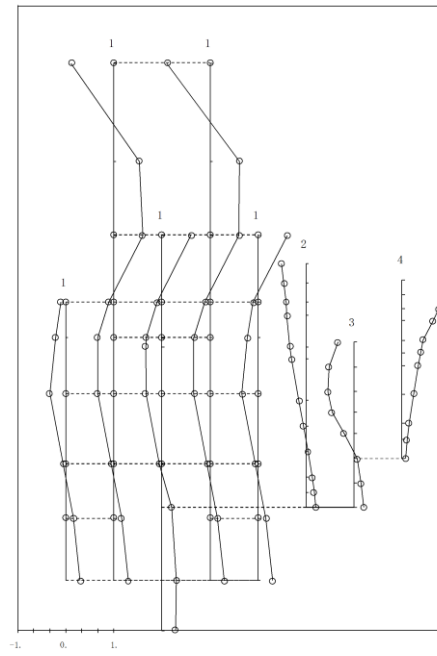
固有周期 (s) ; 0.057



第2-1-5 図 (b) 今回工認モデル 第8次振動モード図
(NS方向)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器-ベジスタル
- 4 原子炉圧力容器

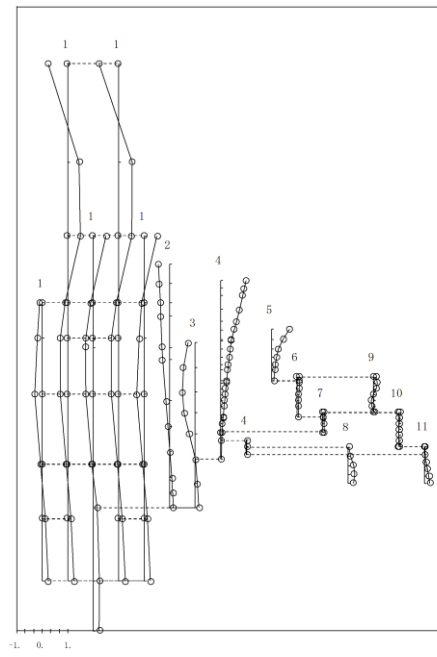
固有周期 (s) ; 0.052



第2-1-6 図 (a) 影響検討モデル1 第6次振動モード図
(NS方向)

- 1 原子炉建屋
- 6 炉心シールド中間層
- 2 原子炉格納容器
- 7 炉心シールド下置層
- 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器-ベジスタル
- 8 新幹線振動機構ハウジング(外側)
- 4 原子炉圧力容器
- 9 燃料集合体
- 5 気水分離器、スタンプパイプ、シールドドーム及び炉心シールド上置層
- 10 副幹線内管
- 11 副幹線振動機構ハウジング(内側)

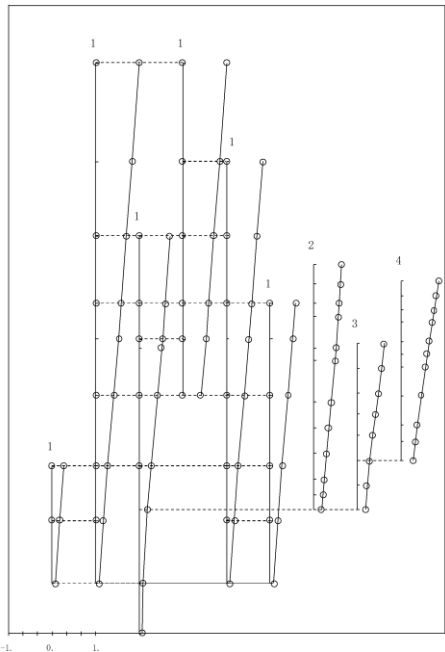
固有周期 (s) ; 0.052



第2-1-6 図 (b) 今回工認モデル 第9次振動モード図
(NS方向)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器へダクト
- 4 原子炉圧力容器

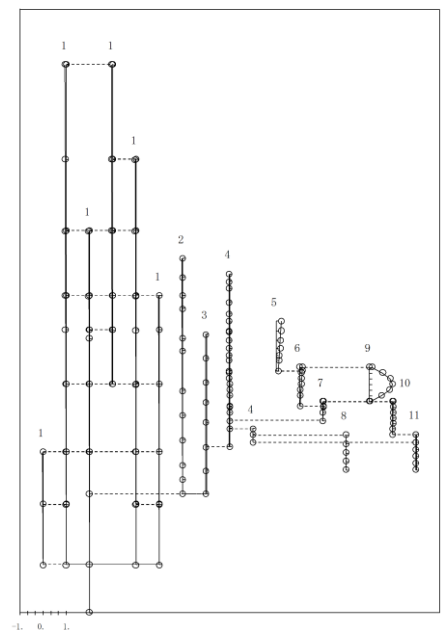
固有周期 (s) : 0.202



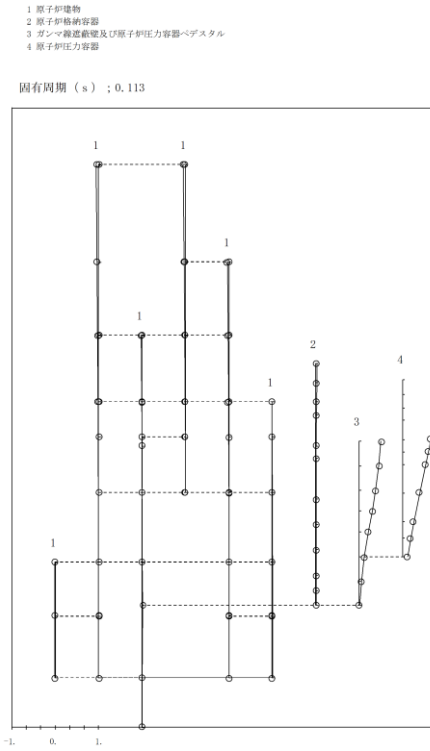
第2-1-7 図 (a) 影響検討モデル1 第1次振動モード図
(EW方向)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器へダクト
- 4 原子炉圧力容器
- 5 炉心シールド及び炉心シールド上配線
- 6 炉心シールド中配線
- 7 炉心シールド下配線
- 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側)
- 9 燃料集合体
- 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側)
- 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側)

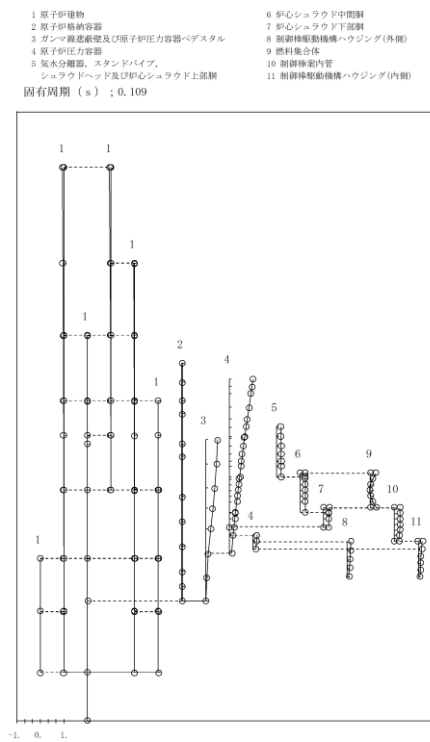
固有周期 (s) : 0.200



第2-1-7 図 (b) 今回工認モデル 第2次振動モード図
(EW方向)



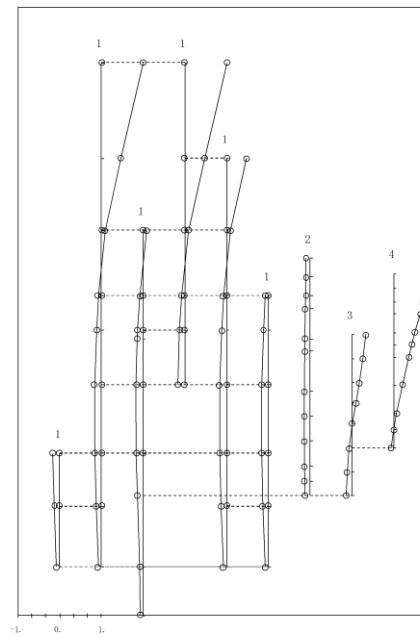
第2-1-8 図 (a) 影響検討モデル1 第2次振動モード図
(EW方向)



第2-1-8 図 (b) 今回工認モデル 第4次振動モード図
(EW方向)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベダスタル
- 4 原子炉圧力容器

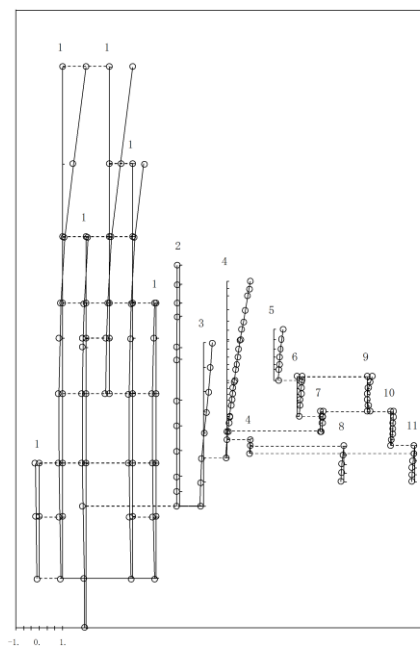
固有周期 (s) : 0.093



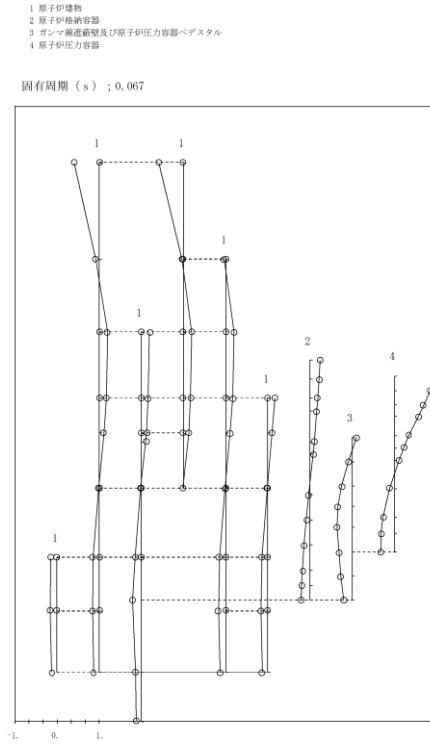
第2-1-9 図 (a) 影響検討モデル1 第3次振動モード図
(EW方向)

- 1 原子炉建屋
- 2 原子炉格納容器
- 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベダスタル
- 4 原子炉圧力容器
- 5 気水分離器、スタンドパイプ、シュワッドヘッド及び原子炉圧力容器上部胴
- 6 原子炉建屋中層部
- 7 原子炉建屋下部胴
- 8 原子炉建屋格納ドーム(外側)
- 9 燃料集合体
- 10 燃料棒案内管
- 11 燃料棒駆動機構ハウジング(内側)

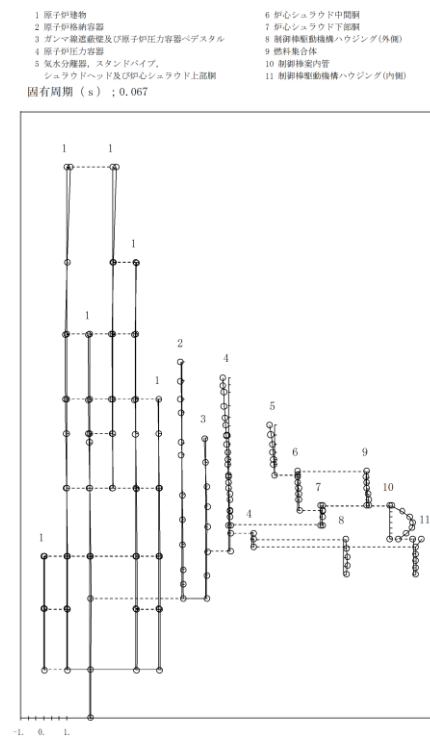
固有周期 (s) : 0.093



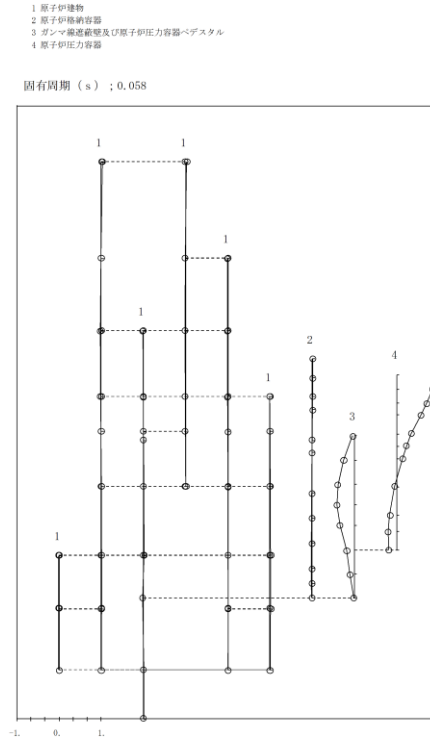
第2-1-9 図 (b) 今回工認モデル 第5次振動モード図
(EW方向)



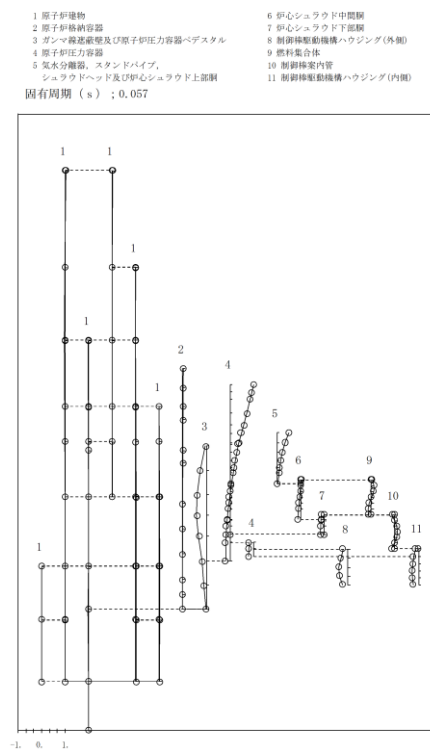
第2-1-10 図 (a) 影響検討モデル1 第4次振動モード図
(EW方向)



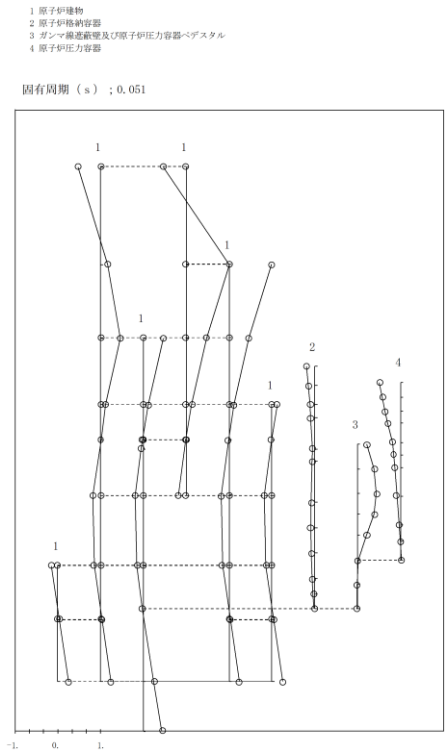
第2-1-10 図 (b) 今回工認モデル 第6次振動モード図
(EW方向)



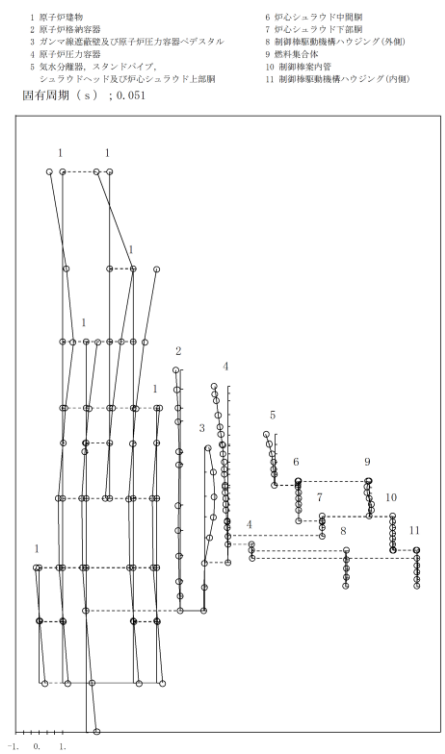
第2-1-11 図 (a) 影響検討モデル1 第5次振動モード図
(EW方向)



第2-1-11 図 (b) 今回工認モデル 第8次振動モード図
(EW方向)

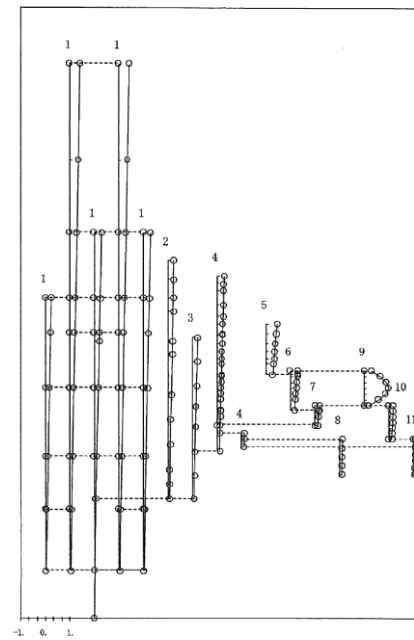


第2-1-12 図 (a) 影響検討モデル1 第6次振動モード図
(EW方向)



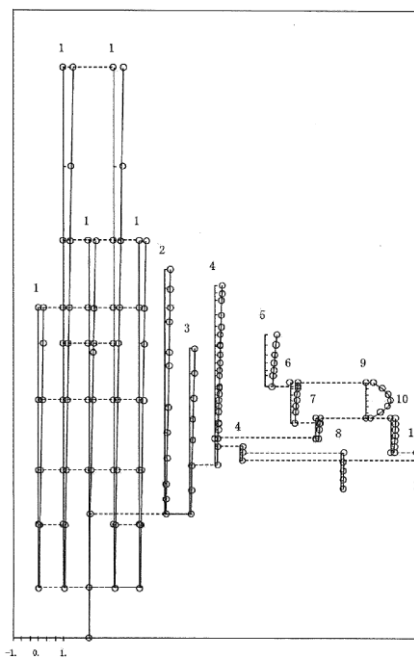
第2-1-12 図 (b) 今回工認モデル 第9次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 4 炉心シムラウド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シムラウド下配線 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器-ガスケット | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 炉心分岐箱、スタンバイパイプ | 10 制御棒室内壁 |
| シムラウドヘッド及び炉心シムラウド上配線 | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) : 0.219



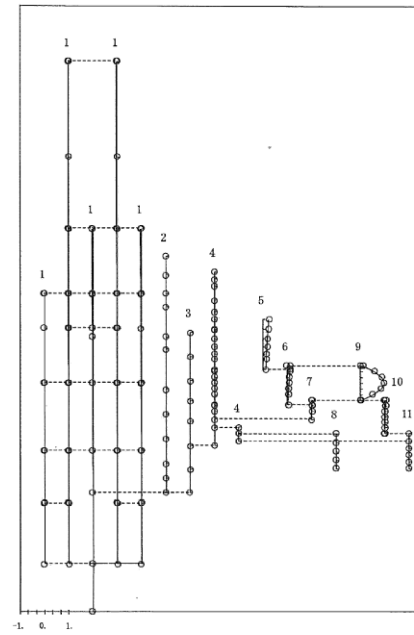
第2-2-1 図 (a) 影響検討モデル2 第1次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 4 炉心シムラウド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シムラウド下配線 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器-ガスケット | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 炉心分岐箱、スタンバイパイプ | 10 制御棒室内壁 |
| シムラウドヘッド及び炉心シムラウド上配線 | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) : 0.219



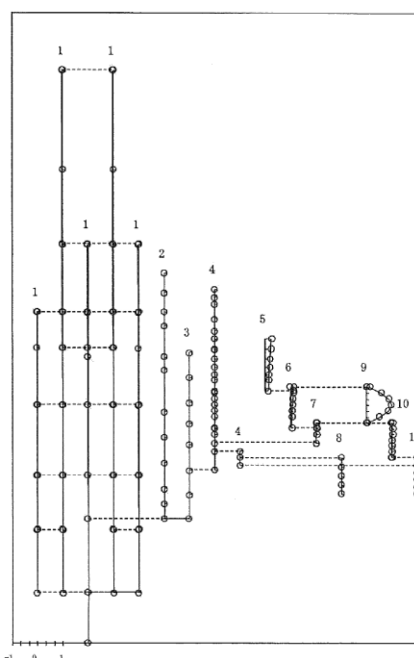
第2-2-1 図 (b) 今回工認モデル 第1次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シユワウ下中殻 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シユワウ下下殻 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグステル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイブ、シユワウヘッド及び炉心シユワウ上殻 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.202



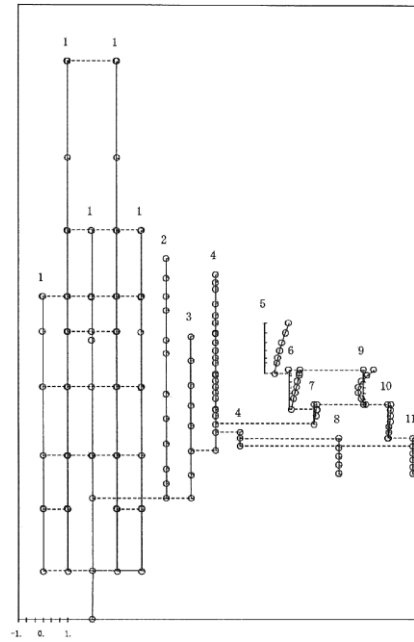
第2-2-2 図 (a) 影響検討モデル2 第2次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シユワウ下中殻 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シユワウ下下殻 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグステル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイブ、シユワウヘッド及び炉心シユワウ上殻 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.202



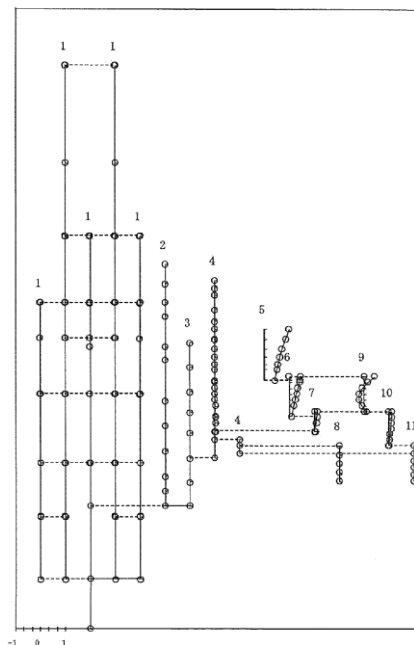
第2-2-2 図 (b) 今回工認モデル 第2次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下段層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベダスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイ、シールドヘッド及び炉心シールド上段層 | 10 制御棒室内壁 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) : 0.135



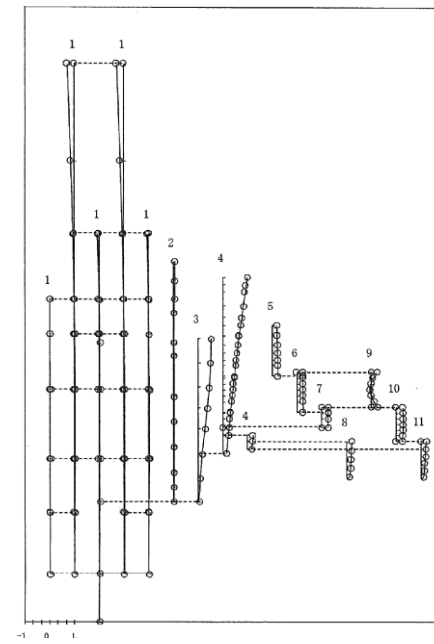
第2-2-3 図 (a) 影響検討モデル2 第3次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下段層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベダスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイ、シールドヘッド及び炉心シールド上段層 | 10 制御棒室内壁 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) : 0.135



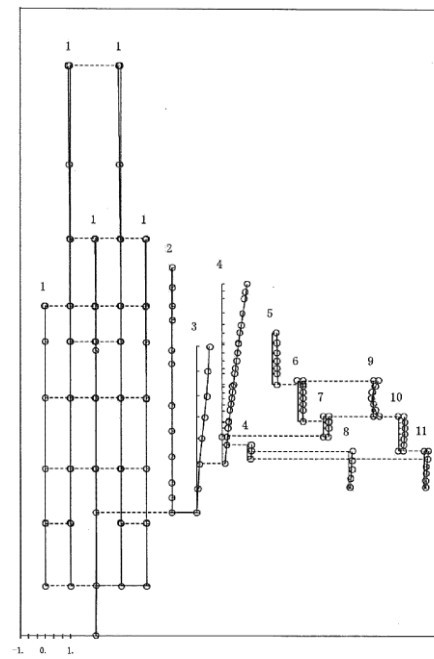
第2-2-3 図 (b) 今回工認モデル 第3次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 4 炉心シールド中層部 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部部 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器-ペグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 圧水分解熱交換器、スタンバイ管、シールドヘッド及び炉心シールド上部部 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) ; 0.102



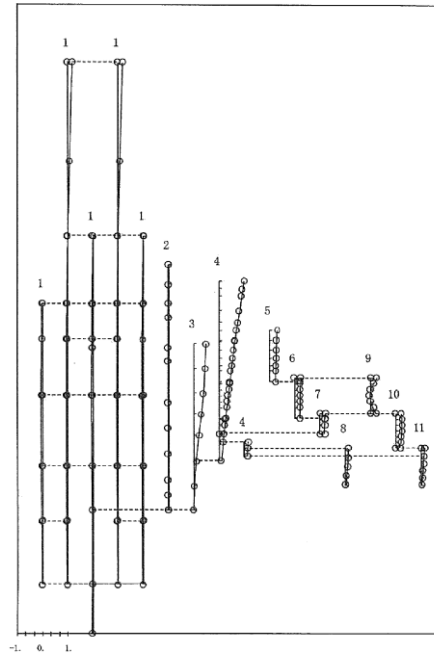
第2-2-4 図 (a) 影響検討モデル2 第4次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中層部 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部部 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器-ペグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 圧水分解熱交換器、スタンバイ管、シールドヘッド及び炉心シールド上部部 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) ; 0.110



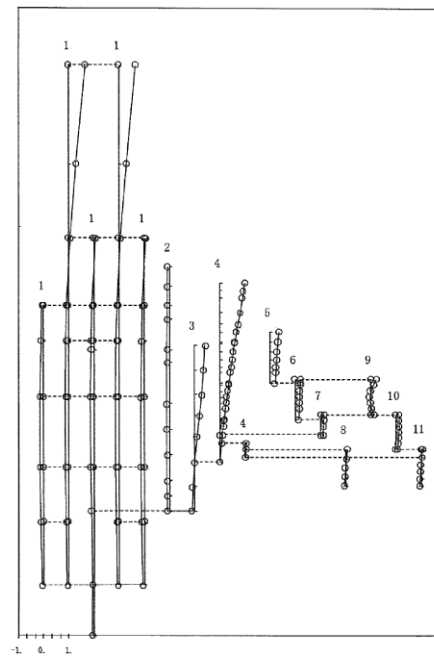
第2-2-4 図 (b) 今回工認モデル 第4次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器-ベジスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイブ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.095



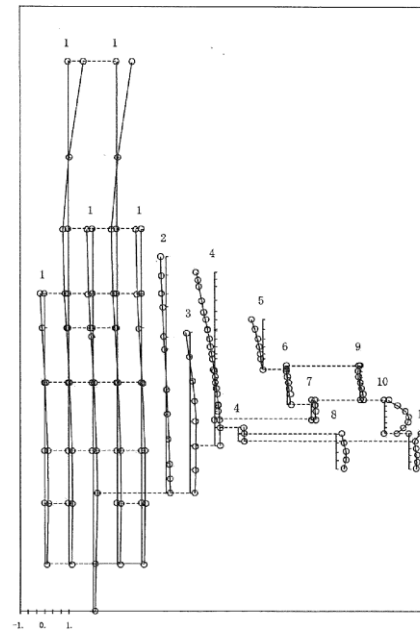
第2-2-5 図 (a) 影響検討モデル2 第5次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器-ベジスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイブ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.098



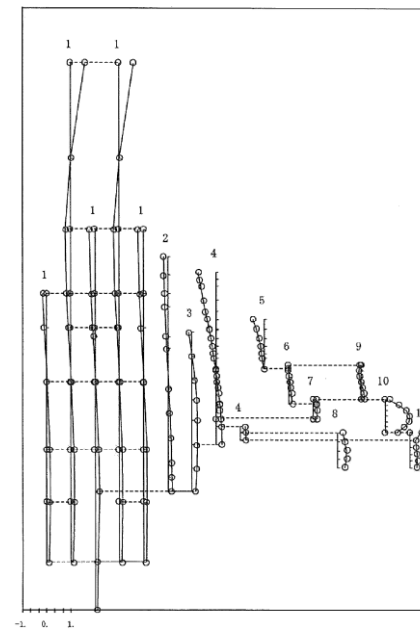
第2-2-5 図 (b) 今回工認モデル 第5次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シュワッド中取組 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シュワッド下取組 |
| 3 ガンマ線遮蔽体及び原子炉圧力容器-ボススタム | 8 制振器駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 電気分電盤、スタンバイ、シュワッドヘッド及び炉心シュワッド上取組 | 10 制振器案内管 |
| | 11 制振器駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) : 0.069



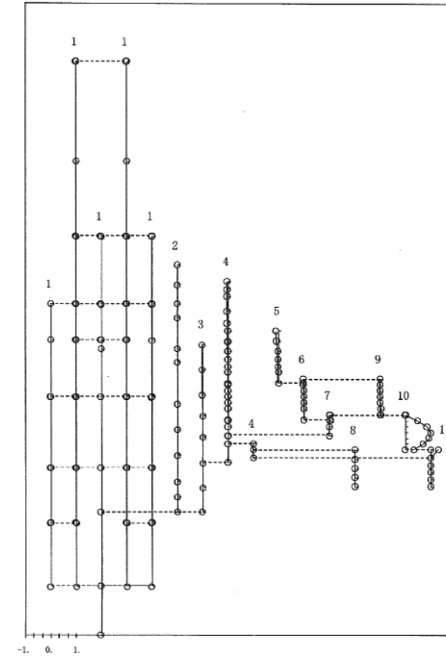
第2-2-6 図 (a) 影響検討モデル2 第6次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シュワッド中取組 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シュワッド下取組 |
| 3 ガンマ線遮蔽体及び原子炉圧力容器-ボススタム | 8 制振器駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 電気分電盤、スタンバイ、シュワッドヘッド及び炉心シュワッド上取組 | 10 制振器案内管 |
| | 11 制振器駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) : 0.069



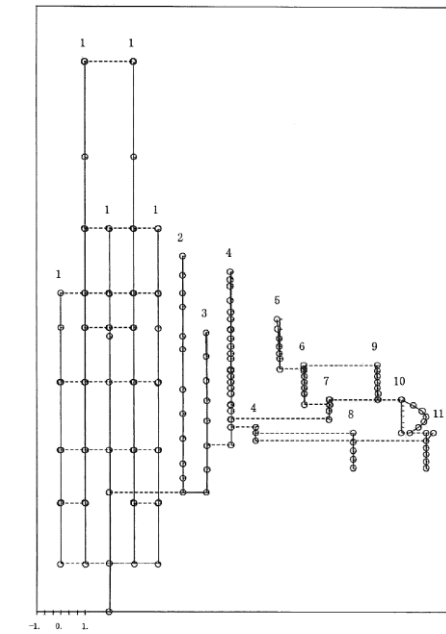
第2-2-6 図 (b) 今回工認モデル 第6次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中筒部 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下筒部 |
| 3 ガンマ線遮蔽層及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上筒部 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) : 0.066



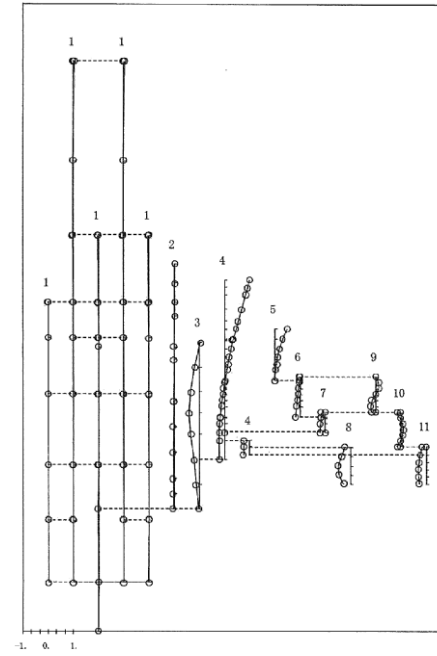
第2-2-7 図 (a) 影響検討モデル2 第7次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中筒部 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下筒部 |
| 3 ガンマ線遮蔽層及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上筒部 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) : 0.066



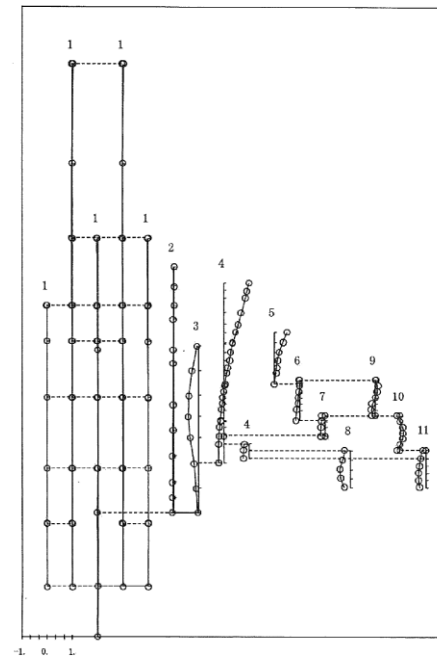
第2-2-7 図 (b) 今回工認モデル 第7次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シュワウド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シュワウド下層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器→ダクト | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンドパイプ、シュワウドヘッド及び炉心シュワウド上層 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) : 0.056



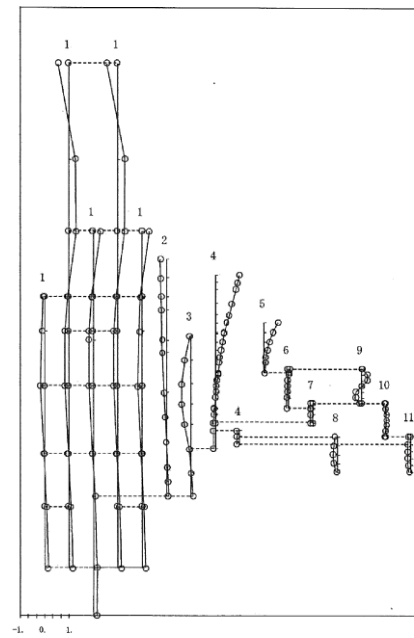
第2-2-8 図 (a) 影響検討モデル2 第8次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シュワウド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シュワウド下層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器→ダクト | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンドパイプ、シュワウドヘッド及び炉心シュワウド上層 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) : 0.057



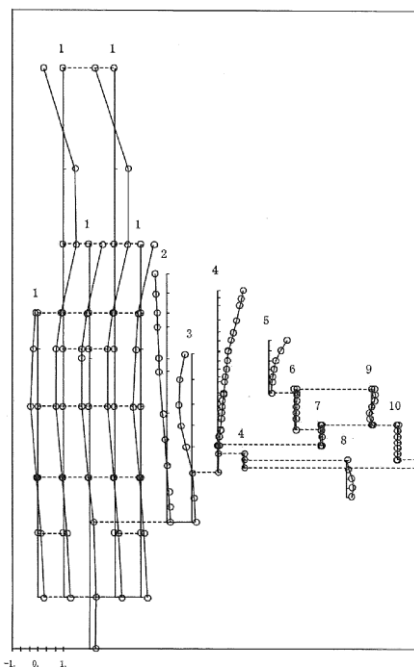
第2-2-8 図 (b) 今回工認モデル 第8次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シュワウド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シュワウド下段層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグステル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 熱水分離器、スタンドパイプ、シュワウドヘッド及び炉心シュワウド上段層 | 10 制御棒室内壁 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) ; 0.052



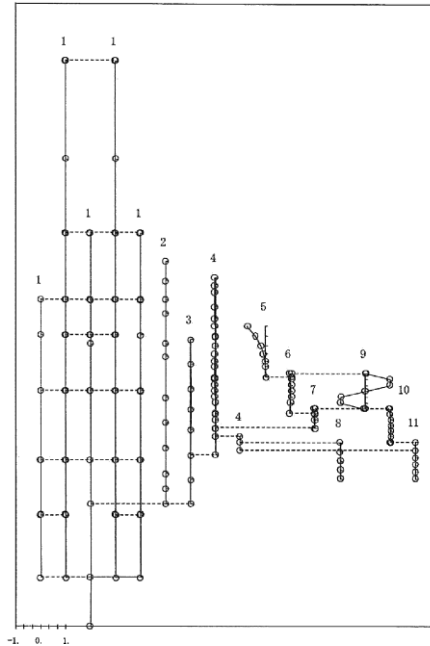
第2-2-9 図 (a) 影響検討モデル2 第9次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シュワウド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シュワウド下段層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグステル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 熱水分離器、スタンドパイプ、シュワウドヘッド及び炉心シュワウド上段層 | 10 制御棒室内壁 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) ; 0.052



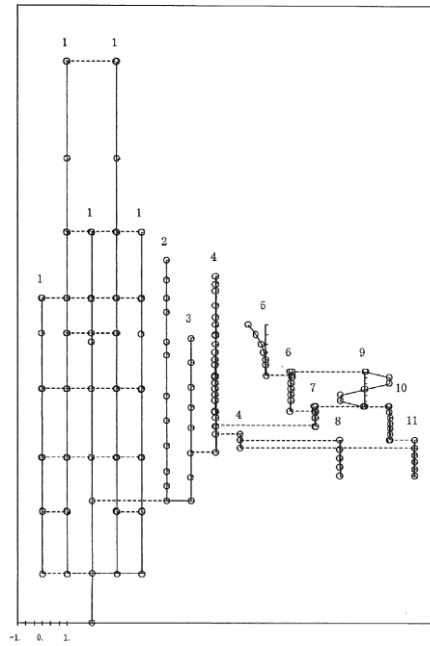
第2-2-9 図 (b) 今回工認モデル 第9次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下層 |
| 3 ガンマ線遮蔽及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ヘウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイ、シールドヘッド及び炉心シールド上層 | 10 制御棒室内 |
| | 11 制御棒駆動機構ヘウジング(内部) |
- 固有周期 (s) : 0.050



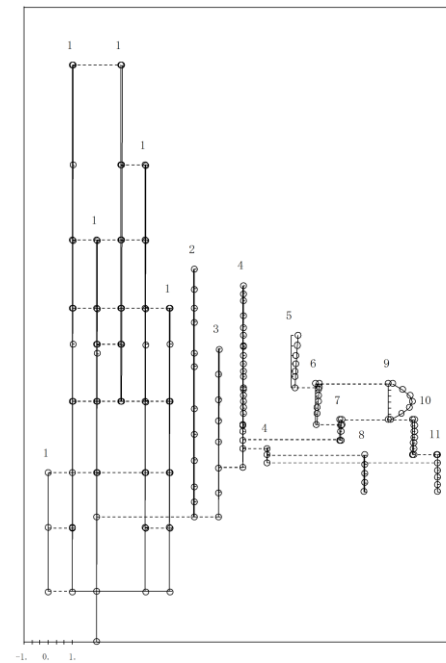
第2-2-10 図 (a) 影響検討モデル2 第10次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|---------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下層 |
| 3 ガンマ線遮蔽及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ヘウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイ、シールドヘッド及び炉心シールド上層 | 10 制御棒室内 |
| | 11 制御棒駆動機構ヘウジング(内部) |
- 固有周期 (s) : 0.050



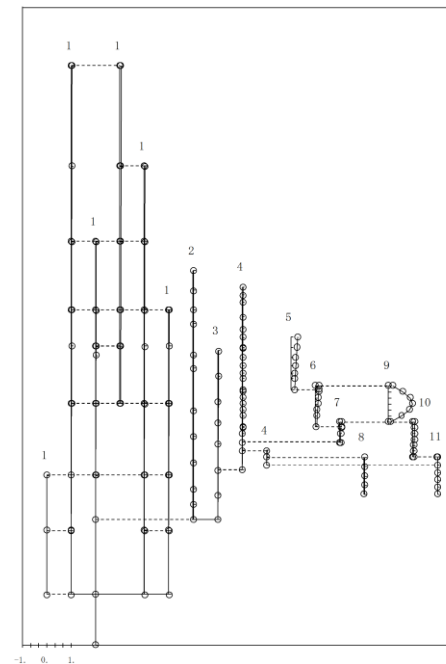
第2-2-10 図 (b) 今回工認モデル 第10次振動モード図
(NS方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建物は | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 シンチ線検出器及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.204



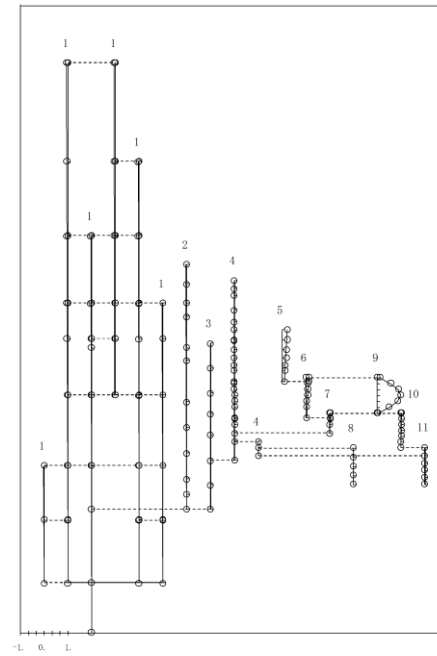
第2-2-11 図 (a) 影響検討モデル2 第1次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建物は | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 シンチ線検出器及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.204



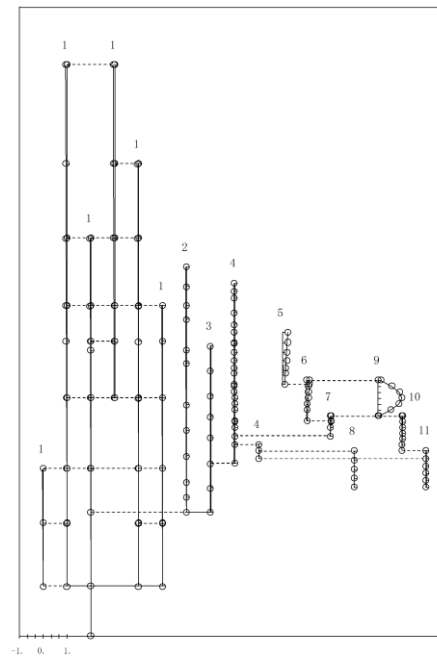
第2-2-11 図 (b) 今回工認モデル 第1次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベドスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイズ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒室内壁 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.200



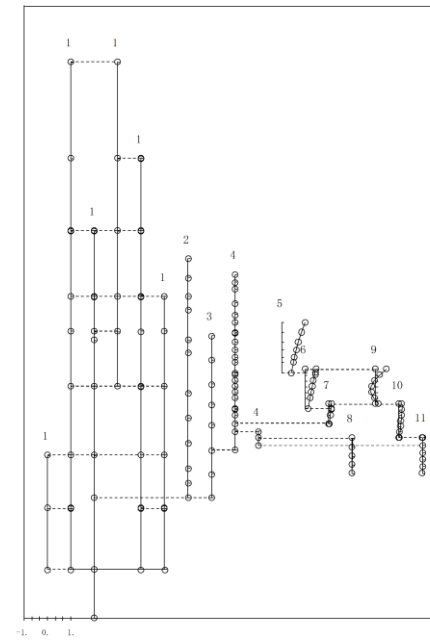
第2-2-12 図 (a) 影響検討モデル2 第2次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベドスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイズ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒室内壁 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.200



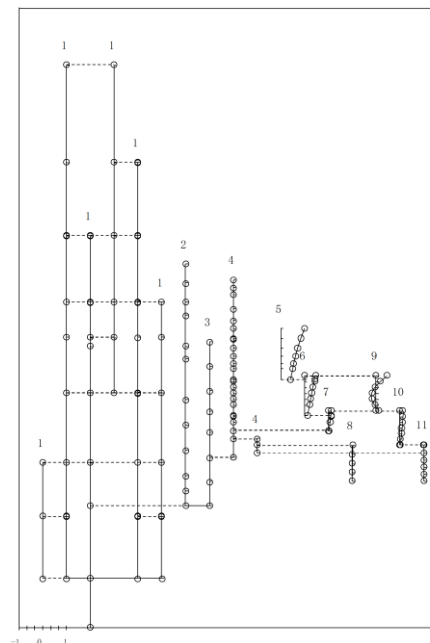
第2-2-12 図 (b) 今回工認モデル 第2次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|----------------------------------|--------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベダスタル | 8 前部排気動機ハウジング(外側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上蓋 | 10 前部排気内室 |
| | 11 前部排気動機ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.135



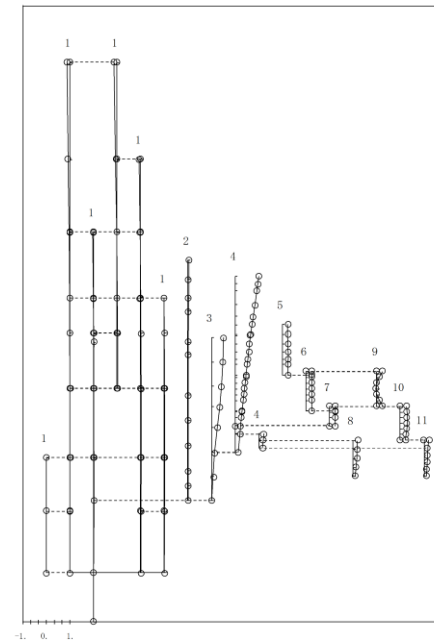
第2-2-13 図 (a) 影響検討モデル2 第3次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|----------------------------------|--------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベダスタル | 8 前部排気動機ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上蓋 | 10 前部排気内室 |
| | 11 前部排気動機ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.135



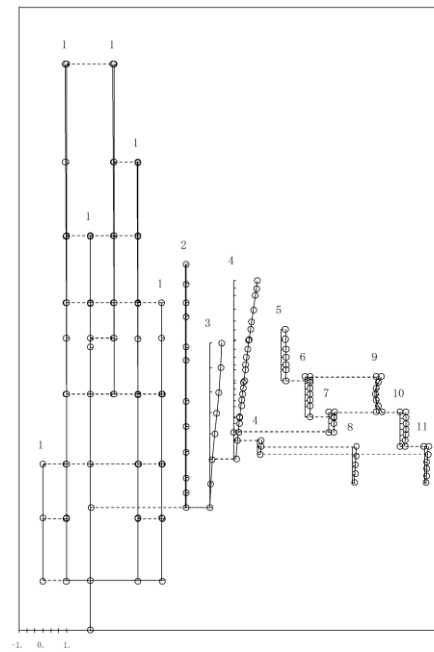
第2-2-13 図 (b) 今回工認モデル 第3次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-------------------------------------|--------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 副幹線動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 副幹線内管 |
| | 11 副幹線動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.100



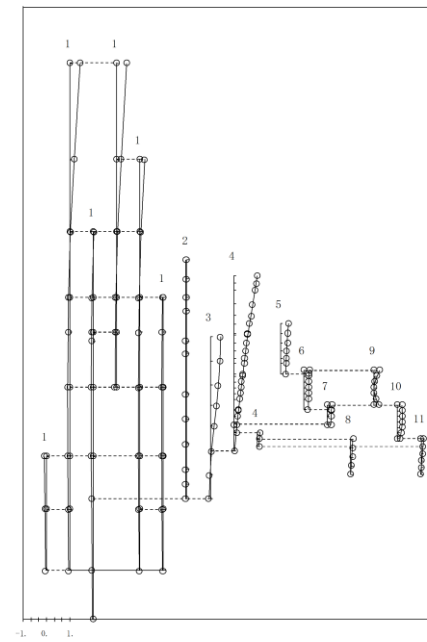
第2-2-14 図 (a) 影響検討モデル2 第4次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-------------------------------------|--------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 副幹線動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 副幹線内管 |
| | 11 副幹線動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.109



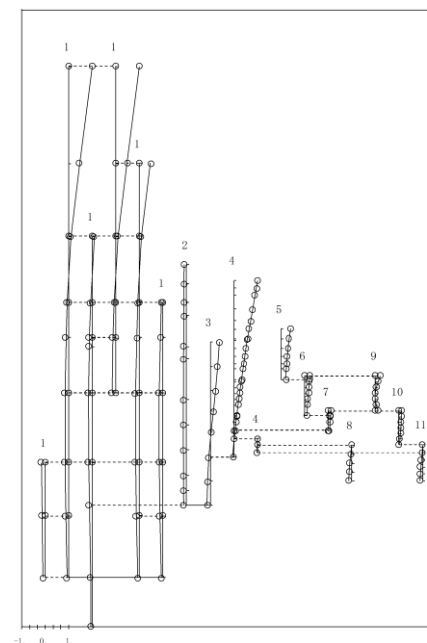
第2-2-14 図 (b) 今回工認モデル 第4次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 4 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下段層 |
| 3 ガンマ遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイズ、シールドヘッド及び炉心シールド上段層 | 10 制御棒室内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) : 0.091



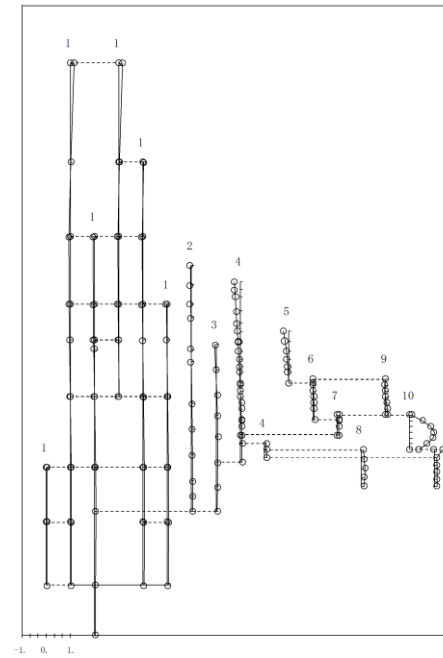
第2-2-15 図 (a) 影響検討モデル2 第5次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下段層 |
| 3 ガンマ遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイズ、シールドヘッド及び炉心シールド上段層 | 10 制御棒室内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) : 0.093



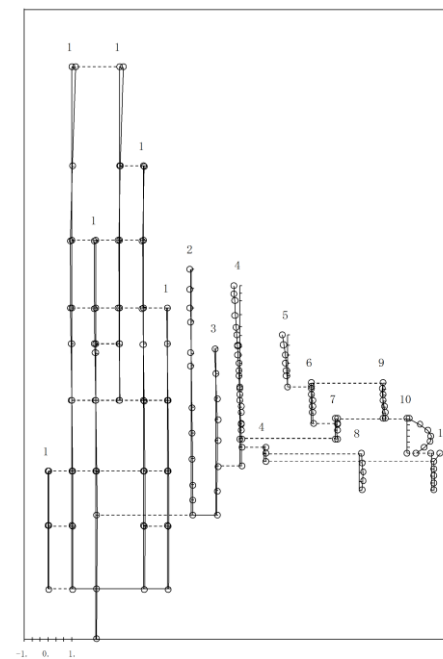
第2-2-15 図 (b) 今回工認モデル 第5次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ遮蔽壁及び原子炉圧力容器-ベスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒室内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.067



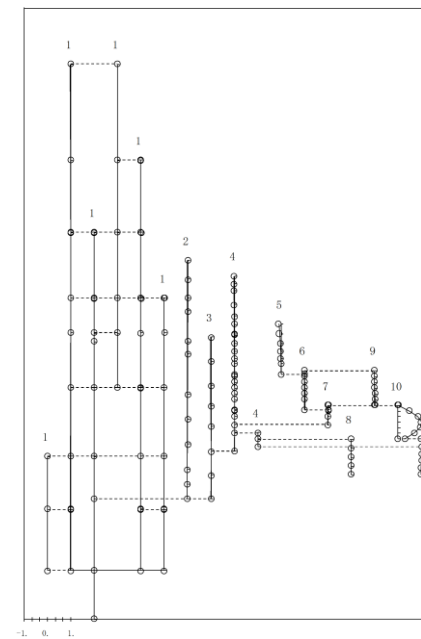
第2-2-16 図 (a) 影響検討モデル2 第6次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ遮蔽壁及び原子炉圧力容器-ベスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒室内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) ; 0.067



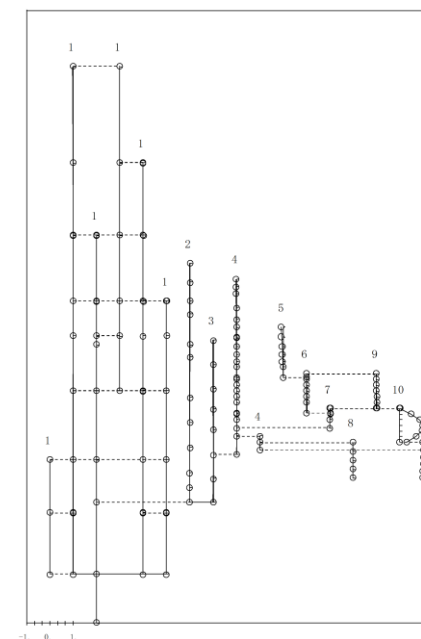
第2-2-16 図 (b) 今回工認モデル 第6次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 4 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベドスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒室内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) ; 0.066



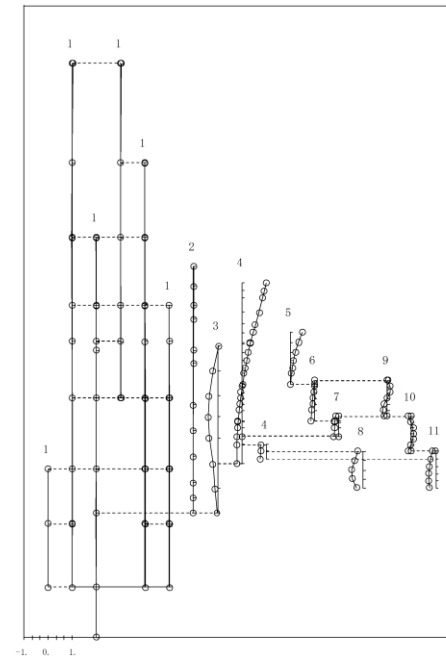
第2-2-17 図 (a) 影響検討モデル2 第7次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベドスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒室内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) ; 0.066



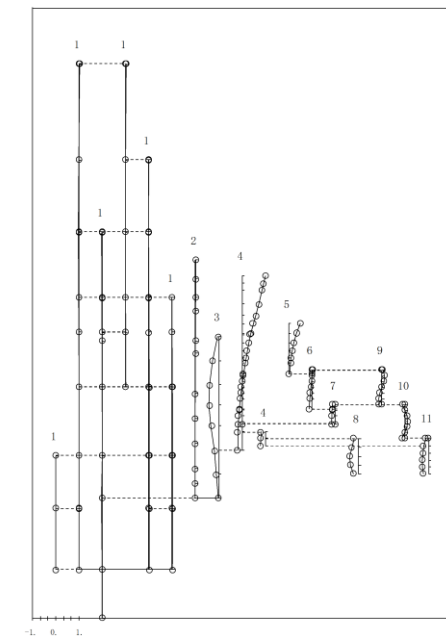
第2-2-17 図 (b) 今回工認モデル 第7次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽層及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) : 0.055



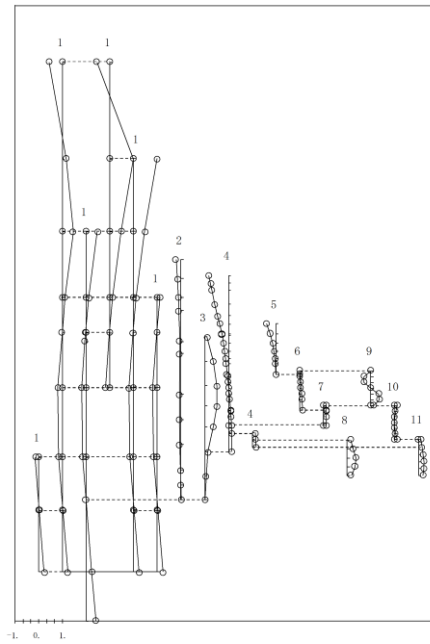
第2-2-18 図 (a) 影響検討モデル2 第8次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽層及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒案内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内側) |
- 固有周期 (s) : 0.057



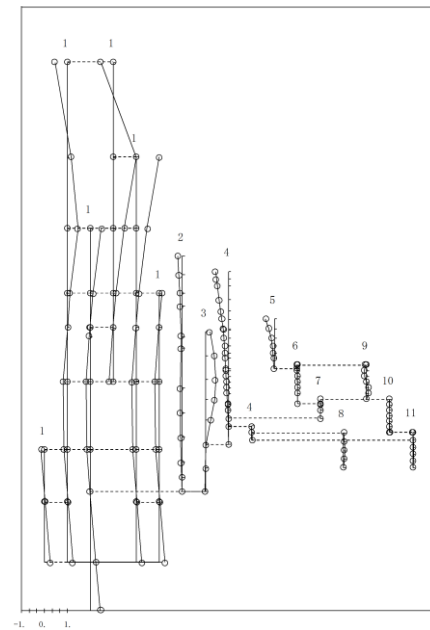
第2-2-18 図 (b) 今回工認モデル 第8次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器へダクト | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンドパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒室内壁 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) : 0.051



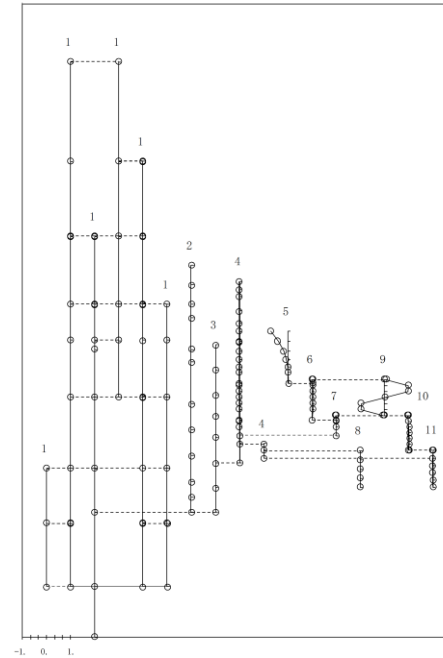
第2-2-19 図 (a) 影響検討モデル2 第9次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器へダクト | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンドパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒室内壁 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) : 0.051



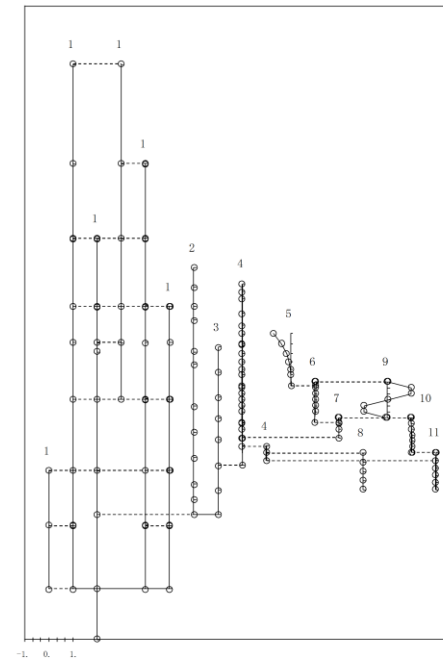
第2-2-19 図 (b) 今回工認モデル 第9次振動モード図
(EW方向)

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒室内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) ; 0.050



第2-2-20 図 (a) 影響検討モデル2 第10次振動モード図
(EW方向)

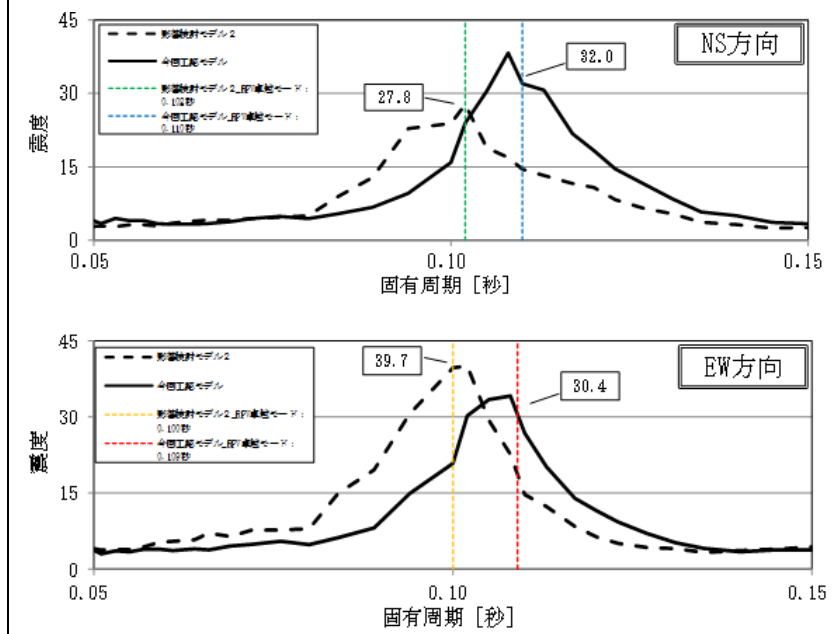
- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1 原子炉建屋 | 6 炉心シールド中間層 |
| 2 原子炉格納容器 | 7 炉心シールド下部層 |
| 3 ガンマ線遮蔽壁及び原子炉圧力容器ベグスタル | 8 制御棒駆動機構ハウジング(外部) |
| 4 原子炉圧力容器 | 9 燃料集合体 |
| 5 気水分離器、スタンバイパイプ、シールドヘッド及び炉心シールド上部層 | 10 制御棒室内管 |
| | 11 制御棒駆動機構ハウジング(内部) |
- 固有周期 (s) ; 0.050



第2-2-20 図 (b) 今回工認モデル 第10次振動モード図
(EW方向)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																								
		<p>第2-1-1表 主要設備の地震応答解析結果(影響検討ケース1, NS方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>主要設備・部位</th> <th>荷重</th> <th>①影響検討モデル1</th> <th>②今回工認モデル</th> <th>比率 (②/①)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">RPV支持スカート 基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>12200</td> <td>11500</td> <td>0.94</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>120000</td> <td>112000</td> <td>0.93</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">PCV基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>23400</td> <td>23200</td> <td>0.99</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>428000</td> <td>426000</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ガンマ線遮蔽壁基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>35300</td> <td>33600</td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>140000</td> <td>134000</td> <td>0.96</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">RPVベDESTAL 基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>40400</td> <td>38600</td> <td>0.96</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>459000</td> <td>435000</td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td>RPVスタビライザ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>12000</td> <td>10800</td> <td>0.90</td> </tr> <tr> <td>PCVスタビライザ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>19300</td> <td>18100</td> <td>0.94</td> </tr> <tr> <td>シヤラグ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>28900</td> <td>28400</td> <td>0.98</td> </tr> </tbody> </table> <p>応答値は有効数字4桁目を四捨五入</p>	主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル1	②今回工認モデル	比率 (②/①)	RPV支持スカート 基部	せん断力 (kN)	12200	11500	0.94	モーメント (kN・m)	120000	112000	0.93	PCV基部	せん断力 (kN)	23400	23200	0.99	モーメント (kN・m)	428000	426000	1.00	ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力 (kN)	35300	33600	0.95	モーメント (kN・m)	140000	134000	0.96	RPVベDESTAL 基部	せん断力 (kN)	40400	38600	0.96	モーメント (kN・m)	459000	435000	0.95	RPVスタビライザ	反力 (kN)	12000	10800	0.90	PCVスタビライザ	反力 (kN)	19300	18100	0.94	シヤラグ	反力 (kN)	28900	28400	0.98	
主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル1	②今回工認モデル	比率 (②/①)																																																							
RPV支持スカート 基部	せん断力 (kN)	12200	11500	0.94																																																							
	モーメント (kN・m)	120000	112000	0.93																																																							
PCV基部	せん断力 (kN)	23400	23200	0.99																																																							
	モーメント (kN・m)	428000	426000	1.00																																																							
ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力 (kN)	35300	33600	0.95																																																							
	モーメント (kN・m)	140000	134000	0.96																																																							
RPVベDESTAL 基部	せん断力 (kN)	40400	38600	0.96																																																							
	モーメント (kN・m)	459000	435000	0.95																																																							
RPVスタビライザ	反力 (kN)	12000	10800	0.90																																																							
PCVスタビライザ	反力 (kN)	19300	18100	0.94																																																							
シヤラグ	反力 (kN)	28900	28400	0.98																																																							
		<p>第2-1-2表 主要設備の地震応答解析結果(影響検討ケース1, EW方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>主要設備・部位</th> <th>荷重</th> <th>①影響検討モデル1</th> <th>②今回工認モデル</th> <th>比率 (②/①)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">RPV支持スカート 基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>11800</td> <td>11100</td> <td>0.94</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>112000</td> <td>102000</td> <td>0.91</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">PCV基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>26700</td> <td>24900</td> <td>0.93</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>465000</td> <td>428000</td> <td>0.92</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ガンマ線遮蔽壁基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>36300</td> <td>33600</td> <td>0.93</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>143000</td> <td>133000</td> <td>0.93</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">RPVベDESTAL 基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>39500</td> <td>37100</td> <td>0.94</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>464000</td> <td>439000</td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td>RPVスタビライザ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>11200</td> <td>10900</td> <td>0.97</td> </tr> <tr> <td>PCVスタビライザ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>17300</td> <td>18100</td> <td>1.05</td> </tr> <tr> <td>シヤラグ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>24800</td> <td>25300</td> <td>1.02</td> </tr> </tbody> </table> <p>応答値は有効数字4桁目を四捨五入</p>	主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル1	②今回工認モデル	比率 (②/①)	RPV支持スカート 基部	せん断力 (kN)	11800	11100	0.94	モーメント (kN・m)	112000	102000	0.91	PCV基部	せん断力 (kN)	26700	24900	0.93	モーメント (kN・m)	465000	428000	0.92	ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力 (kN)	36300	33600	0.93	モーメント (kN・m)	143000	133000	0.93	RPVベDESTAL 基部	せん断力 (kN)	39500	37100	0.94	モーメント (kN・m)	464000	439000	0.95	RPVスタビライザ	反力 (kN)	11200	10900	0.97	PCVスタビライザ	反力 (kN)	17300	18100	1.05	シヤラグ	反力 (kN)	24800	25300	1.02	
主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル1	②今回工認モデル	比率 (②/①)																																																							
RPV支持スカート 基部	せん断力 (kN)	11800	11100	0.94																																																							
	モーメント (kN・m)	112000	102000	0.91																																																							
PCV基部	せん断力 (kN)	26700	24900	0.93																																																							
	モーメント (kN・m)	465000	428000	0.92																																																							
ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力 (kN)	36300	33600	0.93																																																							
	モーメント (kN・m)	143000	133000	0.93																																																							
RPVベDESTAL 基部	せん断力 (kN)	39500	37100	0.94																																																							
	モーメント (kN・m)	464000	439000	0.95																																																							
RPVスタビライザ	反力 (kN)	11200	10900	0.97																																																							
PCVスタビライザ	反力 (kN)	17300	18100	1.05																																																							
シヤラグ	反力 (kN)	24800	25300	1.02																																																							

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																												
		<p>第2-2-1表 主要設備の地震応答解析結果(影響検討ケース2, NS方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>主要設備・部位</th> <th>荷重</th> <th>①影響検討モデル2</th> <th>②今回工認モデル</th> <th>比率 (②/①)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">炉心シュラウド 下部胴下端</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>5500</td> <td>5780</td> <td>1.05</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>31300</td> <td>33700</td> <td>1.08</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">R P V支持スカート 基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>9610</td> <td>11500</td> <td>1.20</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>93800</td> <td>112000</td> <td>1.19</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">P C V基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>23500</td> <td>23200</td> <td>0.99</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>426000</td> <td>426000</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ガンマ線遮蔽壁基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>28200</td> <td>33600</td> <td>1.19</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>106000</td> <td>134000</td> <td>1.26</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">R P Vベデスタル 基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>32600</td> <td>38600</td> <td>1.18</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>369000</td> <td>435000</td> <td>1.18</td> </tr> <tr> <td>R P Vスタビライザ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>11900</td> <td>10800</td> <td>0.91</td> </tr> <tr> <td>P C Vスタビライザ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>19200</td> <td>18100</td> <td>0.94</td> </tr> <tr> <td>シヤラグ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>21600</td> <td>28400</td> <td>1.31</td> </tr> <tr> <td>燃料集合体</td> <td>変位 (mm)</td> <td>21.9</td> <td>22.6</td> <td>1.03</td> </tr> </tbody> </table> <p>応答値は有効数字4桁目を四捨五入</p> <p>第2-2-2表 主要設備の地震応答解析結果(影響検討ケース2, EW方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>主要設備・部位</th> <th>荷重</th> <th>①影響検討モデル2</th> <th>②今回工認モデル</th> <th>比率 (②/①)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">炉心シュラウド 下部胴下端</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>5270</td> <td>5700</td> <td>1.08</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>31900</td> <td>30400</td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">R P V支持スカート 基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>11600</td> <td>11100</td> <td>0.96</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>107000</td> <td>102000</td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">P C V基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>24800</td> <td>24900</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>431000</td> <td>428000</td> <td>0.99</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ガンマ線遮蔽壁基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>39400</td> <td>33600</td> <td>0.85</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>137000</td> <td>133000</td> <td>0.97</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">R P Vベデスタル 基部</td> <td>せん断力 (kN)</td> <td>42900</td> <td>37100</td> <td>0.86</td> </tr> <tr> <td>モーメント (kN・m)</td> <td>462000</td> <td>439000</td> <td>0.95</td> </tr> <tr> <td>R P Vスタビライザ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>16000</td> <td>10900</td> <td>0.68</td> </tr> <tr> <td>P C Vスタビライザ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>28100</td> <td>18100</td> <td>0.64</td> </tr> <tr> <td>シヤラグ</td> <td>反力 (kN)</td> <td>33700</td> <td>25300</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>燃料集合体</td> <td>変位 (mm)</td> <td>25.1</td> <td>26.9</td> <td>1.07</td> </tr> </tbody> </table> <p>応答値は有効数字4桁目を四捨五入</p>	主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル2	②今回工認モデル	比率 (②/①)	炉心シュラウド 下部胴下端	せん断力 (kN)	5500	5780	1.05	モーメント (kN・m)	31300	33700	1.08	R P V支持スカート 基部	せん断力 (kN)	9610	11500	1.20	モーメント (kN・m)	93800	112000	1.19	P C V基部	せん断力 (kN)	23500	23200	0.99	モーメント (kN・m)	426000	426000	1.00	ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力 (kN)	28200	33600	1.19	モーメント (kN・m)	106000	134000	1.26	R P Vベデスタル 基部	せん断力 (kN)	32600	38600	1.18	モーメント (kN・m)	369000	435000	1.18	R P Vスタビライザ	反力 (kN)	11900	10800	0.91	P C Vスタビライザ	反力 (kN)	19200	18100	0.94	シヤラグ	反力 (kN)	21600	28400	1.31	燃料集合体	変位 (mm)	21.9	22.6	1.03	主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル2	②今回工認モデル	比率 (②/①)	炉心シュラウド 下部胴下端	せん断力 (kN)	5270	5700	1.08	モーメント (kN・m)	31900	30400	0.95	R P V支持スカート 基部	せん断力 (kN)	11600	11100	0.96	モーメント (kN・m)	107000	102000	0.95	P C V基部	せん断力 (kN)	24800	24900	1.00	モーメント (kN・m)	431000	428000	0.99	ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力 (kN)	39400	33600	0.85	モーメント (kN・m)	137000	133000	0.97	R P Vベデスタル 基部	せん断力 (kN)	42900	37100	0.86	モーメント (kN・m)	462000	439000	0.95	R P Vスタビライザ	反力 (kN)	16000	10900	0.68	P C Vスタビライザ	反力 (kN)	28100	18100	0.64	シヤラグ	反力 (kN)	33700	25300	0.75	燃料集合体	変位 (mm)	25.1	26.9	1.07	
主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル2	②今回工認モデル	比率 (②/①)																																																																																																																																											
炉心シュラウド 下部胴下端	せん断力 (kN)	5500	5780	1.05																																																																																																																																											
	モーメント (kN・m)	31300	33700	1.08																																																																																																																																											
R P V支持スカート 基部	せん断力 (kN)	9610	11500	1.20																																																																																																																																											
	モーメント (kN・m)	93800	112000	1.19																																																																																																																																											
P C V基部	せん断力 (kN)	23500	23200	0.99																																																																																																																																											
	モーメント (kN・m)	426000	426000	1.00																																																																																																																																											
ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力 (kN)	28200	33600	1.19																																																																																																																																											
	モーメント (kN・m)	106000	134000	1.26																																																																																																																																											
R P Vベデスタル 基部	せん断力 (kN)	32600	38600	1.18																																																																																																																																											
	モーメント (kN・m)	369000	435000	1.18																																																																																																																																											
R P Vスタビライザ	反力 (kN)	11900	10800	0.91																																																																																																																																											
P C Vスタビライザ	反力 (kN)	19200	18100	0.94																																																																																																																																											
シヤラグ	反力 (kN)	21600	28400	1.31																																																																																																																																											
燃料集合体	変位 (mm)	21.9	22.6	1.03																																																																																																																																											
主要設備・部位	荷重	①影響検討モデル2	②今回工認モデル	比率 (②/①)																																																																																																																																											
炉心シュラウド 下部胴下端	せん断力 (kN)	5270	5700	1.08																																																																																																																																											
	モーメント (kN・m)	31900	30400	0.95																																																																																																																																											
R P V支持スカート 基部	せん断力 (kN)	11600	11100	0.96																																																																																																																																											
	モーメント (kN・m)	107000	102000	0.95																																																																																																																																											
P C V基部	せん断力 (kN)	24800	24900	1.00																																																																																																																																											
	モーメント (kN・m)	431000	428000	0.99																																																																																																																																											
ガンマ線遮蔽壁基部	せん断力 (kN)	39400	33600	0.85																																																																																																																																											
	モーメント (kN・m)	137000	133000	0.97																																																																																																																																											
R P Vベデスタル 基部	せん断力 (kN)	42900	37100	0.86																																																																																																																																											
	モーメント (kN・m)	462000	439000	0.95																																																																																																																																											
R P Vスタビライザ	反力 (kN)	16000	10900	0.68																																																																																																																																											
P C Vスタビライザ	反力 (kN)	28100	18100	0.64																																																																																																																																											
シヤラグ	反力 (kN)	33700	25300	0.75																																																																																																																																											
燃料集合体	変位 (mm)	25.1	26.9	1.07																																																																																																																																											



第2-3-1図 ガンマ線遮蔽壁頂部(質点番号53)における床応答スペクトル(減衰1%)

第2-3-1表 ガンマ線遮蔽壁頂部(質点番号53)におけるRPVが卓越する第4次振動モードの固有周期と床応答加速度

	NS方向		EW方向	
	影響検討モデル2(①)	今回工認モデル(②)	影響検討モデル2(①)	今回工認モデル(②)
固有周期(秒)	0.102	0.110	0.100	0.109
加速度(G)	27.8	32.0	39.7	30.4
加速度の比率(②/①)	1.15		0.77	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: right;">添付資料3 <u>最新知見として得られた減衰定数を採用するもの</u></p> <p>1. 概要 今回工認では、以下の設備について最新知見として得られた減衰定数を採用する。これらの変更は、振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を最新知見として反映したものであり、大間1号炉の建設工認において適用実績がある。</p> <p>① 原子炉建屋クレーンの減衰定数^{※1} ② 燃料取替機の減衰定数^{※1} ③ 配管系の減衰定数^{※2}</p> <p>※1 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究 (H7～H10)」 ※2 電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究 (H12～H13)」</p> <p>なお、本資料に記載する①～③の内容については、「大間原子力発電所1号機の工事計画認可申請に関わる意見聴取会」において聴取されたものである。 また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても大間1号炉と同様に新たに設定している。</p> <p>2. 今回工認で用いる設計用減衰定数 最新知見として反映した原子炉建屋クレーン、燃料取替機及び配管系の設計用減衰定数を第1表及び第2表に示す。</p>	<p style="text-align: right;">添付資料5</p> <p style="text-align: center;"><u>最新知見として得られた減衰定数の採用について</u></p> <p>1. 概要 今回工認では、以下の設備について最新知見として得られた減衰定数を採用する。これらの変更は、振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を最新知見として反映したものであり、大間1号炉の建設工認並びに配管及び建屋クレーンについては新規工認におけるPWRプラントでの適用実績がある。</p> <p>① 原子炉建屋クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーン(以下「建屋クレーン」という。)の減衰定数^{※1} ② 燃料取替機の減衰定数^{※1} ③ 配管系の減衰定数^{※1, ※2}</p> <p>※1 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究 (H7～H10)」 ※2 電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価手法に関する研究 (H12～H13)」</p> <p>なお、本資料に記載する①～③の内容については、「大間原子力発電所1号機の工事計画認可申請に関わる意見聴取会」において聴取されたものである。 また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても大間1号炉と同様に新たに設定している。</p> <p>2. 今回の評価で用いた設計用減衰定数 最新知見として反映した建屋クレーン、燃料取替機及び配管系の設計用減衰定数を第5-1表及び第5-2表に示す。</p>	<p style="text-align: right;">添付資料-6</p> <p style="text-align: center;"><u>最新知見として得られた減衰定数の採用について</u></p> <p>1. 概要 今回工認では、以下の設備について最新知見として得られた減衰定数を採用する。これらの変更は、振動試験結果を踏まえ設計評価用として安全側に設定した減衰定数を最新知見として反映したものであり、大間1号炉の建設工認及び東海第二において適用実績がある。</p> <p>①原子炉建物天井クレーンの減衰定数^{注1} ②燃料取替機の減衰定数^{注1} ③配管系の減衰定数^{注2注3}</p> <p>注1：電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究 (H7～H10)」 注2：電力共通研究「機器・配管系に対する合理的耐震評価法の研究 (H12～H13)」 注3：(財)原子力工学試験センター「BWR再循環系配管耐震実証試験 (S55～S60)」</p> <p>なお、本資料に記載する①～③の内容については、「大間原子力発電所1号機の工事計画認可申請に関わる意見聴取会」において聴取されたものである。 また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても大間1号炉と同様に新たに設定している。</p> <p>2. 今回工認で用いた設計用減衰定数 最新知見として反映した原子炉建物天井クレーン、燃料取替機及び配管系の設計用減衰定数を第2-1表及び第2-2表に示す。</p>	<p>備考</p> <p>・資料構成の相違 【柏崎6/7, 東海第二】 島根2号炉では、金属保温材に対する試験の内容を、本資料に含む(以下、①の相違)</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																					
<p>第1表 原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数</p> <table border="1" data-bbox="172 363 920 535"> <thead> <tr> <th rowspan="3">設 備</th> <th colspan="4">設計用減衰定数 (%)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">水平方向</th> <th colspan="2">鉛直方向</th> </tr> <tr> <th>JEAG4601*1</th> <th>柏崎刈羽*2</th> <th>JEAG4601*1</th> <th>柏崎刈羽*2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原子炉建屋クレーン</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>燃料取替機</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>1.5(2.0)*3</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記 *1 : 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版 (社団法人日本電気協会)</p> <p>*2 : 柏崎刈羽原子力発電所 6 号及び 7 号炉</p> <p>*3 : () 外は, 燃料取替機のトリ位置が端部にある場合 () 内は, 燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合</p>	設 備	設計用減衰定数 (%)				水平方向		鉛直方向		JEAG4601*1	柏崎刈羽*2	JEAG4601*1	柏崎刈羽*2	原子炉建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0	燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)*3	<p>第5-1表 建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数</p> <table border="1" data-bbox="988 346 1682 598"> <thead> <tr> <th rowspan="3">設 備</th> <th colspan="4">設計用減衰定数 (%)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">水平方向</th> <th colspan="2">鉛直方向</th> </tr> <tr> <th>JEAG4601*1</th> <th>東海第二*2</th> <th>JEAG4601*1</th> <th>東海第二*2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>建屋クレーン</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>燃料取替機</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>1.5 (2.0) *3</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記 *1 : 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版 (社団法人日本電気協会) に定まる設計用減衰定数</p> <p>*2 : 東海第二発電所にて適用する設計用減衰定数</p> <p>*3 : () 外は, 燃料取替機のトリ位置が端部にある場合 () 内は, 燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合</p> <p>□ : 新たに設定したもの □ : JEAG4601 から見直したもの</p>	設 備	設計用減衰定数 (%)				水平方向		鉛直方向		JEAG4601*1	東海第二*2	JEAG4601*1	東海第二*2	建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0	燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5 (2.0) *3	<p>第2-1表 原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数</p> <table border="1" data-bbox="1771 342 2490 552"> <thead> <tr> <th rowspan="3">設 備</th> <th colspan="4">設計用減衰定数 (%)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">水平方向</th> <th colspan="2">鉛直方向</th> </tr> <tr> <th>JEAG 4601*1</th> <th>島根2号炉</th> <th>JEAG 4601注1</th> <th>島根2号炉</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>原子炉建物天井クレーン</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>燃料取替機</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>1.5(2.0)注2</td> </tr> </tbody> </table> <p>□ : 新たに設定したもの □ : JEAG4601 から見直したもの</p> <p>注1 : 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版 (社団法人日本電気協会)</p> <p>注2 : 括弧外は, 燃料取替機のトリ位置が端部にある場合 括弧内は, 燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合</p>	設 備	設計用減衰定数 (%)				水平方向		鉛直方向		JEAG 4601*1	島根2号炉	JEAG 4601注1	島根2号炉	原子炉建物天井クレーン	1.0	2.0	—	2.0	燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)注2	
設 備		設計用減衰定数 (%)																																																																						
		水平方向		鉛直方向																																																																				
	JEAG4601*1	柏崎刈羽*2	JEAG4601*1	柏崎刈羽*2																																																																				
原子炉建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0																																																																				
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)*3																																																																				
設 備	設計用減衰定数 (%)																																																																							
	水平方向		鉛直方向																																																																					
	JEAG4601*1	東海第二*2	JEAG4601*1	東海第二*2																																																																				
建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0																																																																				
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5 (2.0) *3																																																																				
設 備	設計用減衰定数 (%)																																																																							
	水平方向		鉛直方向																																																																					
	JEAG 4601*1	島根2号炉	JEAG 4601注1	島根2号炉																																																																				
原子炉建物天井クレーン	1.0	2.0	—	2.0																																																																				
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)注2																																																																				

第2表 配管系の設計用減衰定数

配管区分	設計用減衰定数 ^(注1) (%)				
	保温材無		保温材有 ^(注2)		
	JEAG 4601 ^{*1}	柏崎刈羽 ^{*2}	JEAG 4601 ^{*1}	柏崎刈羽 ^{*2}	
I	支持具がスナッパ及び架構レストレイント主体の配管系で、その数が4個以上のもの	2.0	同左	2.5	3.0
II	スナッパ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり、配管区分Iに属さないもの	1.0	同左	1.5	2.0
III ^{*3}	Uボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上のもの	—	2.0	—	3.0
IV	配管区分I、II及びIIIに属さないもの	0.5	同左	1.0	1.5

注記 *1 : 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版 (社団法人 日本電気協会)

*2 : 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉

*3 : 区分III (Uボルトを有する配管系) については、新たに設定したものであり、現行 JEAG4601 では区分IVに含まれている。

 : 新たに設定したもの

 : JEAG4601 から見直したもの

(注1) 水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用

(注2) 保温材による付加減衰定数は、配管全長に対する金属保温材使用割合が40%以下の場合1.0%を適用するが、金属保温材使用割合が40%を超える場合は0.5%とする。

第5-2表 配管系の設計用減衰定数

	設計用減衰定数 ^{*1} (%)	設計用減衰定数 ^{*1} (%)			
		保温材無		保温材有 ^{*2}	
		JEAG 4601 ^{*3}	東海第二 ^{*4}	JEAG 4601 ^{*3}	東海第二 ^{*4}
I	スナッパ及び架構レストレイント支持主体の配管系で、支持具(スナッパ又は架構レストレイント)の数が4個以上のもの	2.0	同左	2.5	3.0
II	スナッパ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり、配管区分Iに属さないもの	1.0	同左	1.5	2.0
III	Uボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上のもの ^{*5}	—	2.0	—	3.0
IV	配管区分I、II及びIIIに属さないもの	0.5	同左	1.0	1.5

 : 新たに設定したもの

 : JEAG4601 から見直したもの

*1 : 水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用。

*2 : 保温材による付加減衰定数は、配管全長に対する金属保温材使用割合が40%以下の場合1.0%を適用するが、金属保温材使用割合が40%を超える場合は、0.5%とする。

*3 : 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版 (社団法人 日本電気協会) に定まる設計用減衰定数。

*4 : 東海第二発電所にて適用する設計用減衰定数。

*5 : 区分III (Uボルトを有する配管系) については、新たに設定したものであり、現状 JEAG4601 では区分IVに含まれる。

第2-2表 配管系の設計用減衰定数

配管区分	設計用減衰定数 ^(注3) (%)				
	保温材無		保温材有 ^(注4)		
	JEAG 4601 ^(注1)	島根2号炉	JEAG 4601 ^(注1)	島根2号炉	
I	支持具がスナッパ及び架構レストレイント主体の配管系で、その数が4個以上のもの	2.0	同左	2.5	3.0
II	スナッパ、架構レストレイント、ロッドレストレイント、ハンガ等を有する配管系で、アンカ及びUボルトを除いた支持具の数が4個以上であり、配管区分Iに属さないもの	1.0	同左	1.5	2.0
III ^(注2)	Uボルトを有する配管系で、架構で水平配管の自重を受けるUボルトの数が4個以上のもの	—	2.0	—	3.0
IV	配管区分I、II及びIIIに属さないもの	0.5	同左	1.0	1.5

 : 新たに設定したもの

 : JEAG4601 から見直したもの

注1 : 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版 (社団法人 日本電気協会)

注2 : 区分IIIについては新たに設定されたものであり、現行 JEAG4601 では区分IVに含まれる。

注3 : 水平方向及び鉛直方向の設計用減衰定数は同じ値を使用。

注4 : 保温材有の設計用減衰定数は、無機多孔質保温材による付加減衰定数として、1.0%を考慮したものである。金属保温材による付加減衰定数は、配管ブロック全長に対する金属保温材使用割合が40%以下の場合1.0%を適用

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(適用条件)</p> <p>a) 適用対象がアンカからアンカまでの独立した振動系であること。 大口径管から分岐する小口径管は、その口径が大口径管の口径の1/2倍以下である場合、その分岐部をアンカ相当とする独立の振動系とみなしてよい。</p> <p>b) 配管系全体として、配管系支持具の位置及び方向が局所的に集中していないこと。</p> <p>c) 配管系の支持点間の間隔が次の条件を満たすこと。 配管系全長 / (配管区分ごとに定められた支持具の支持点数) ≤ 15 (m / 支持点) ここで、支持点とは、支持具が取り付けられている配管節点をいい、複数の支持具が取り付けられている場合も1支持点とする。</p> <p>d) 配管と支持構造物間のガタの状態等が施工管理規程に基づき管理されていること。ここで、施工管理規程とは、支持装置の設計仕様に要求される内容を反映した施工要領等をいう。</p>	<p>(適用条件)</p> <p>a. 適用対象がアンカからアンカまでの独立した振動系であること。 大口径管から分岐する小口径管は、その口径が大口径管の口径の1/2倍以下である場合、その分岐部をアンカ相当とする独立の振動系とみなしてよい。</p> <p>b. 配管系全体として、配管系支持具の位置及び方向が局所的に集中していないこと。</p> <p>c. 配管系の支持点間の間隔が次の条件を満たすこと。 配管系全長 / (配管区分ごとに定められた支持具の支持点数) ≤ 15 (m / 支持点) ここで、支持点とは、支持具が<u>取</u>付けられている配管節点をいい、複数の支持具が<u>取</u>付けられている場合も1支持点とする。</p> <p>d. 配管と支持構造物間のガタの状態等が施工管理規程に基づき管理されていること。ここで、施工管理規程とは、支持装置の設計仕様に要求される内容を反映した施工要領等をいう。</p>	<p><u>してよいが、金属保温材使用割合が40%を超える場合は0.5%とする。</u></p> <p>(適用条件)</p> <p>a. <u>適用対象がアンカからアンカまでの独立した振動系であること。</u> 大口径管から分岐する小口径管は、その口径が大口径管の口径の1/2倍以下である場合、その分岐部をアンカ相当とする独立の振動系とみなしてよい。</p> <p>b. <u>配管系全体として、配管系支持具の位置及び方向が局所的に集中していないこと。</u></p> <p>c. <u>配管系の支持点間の間隔が次の条件を満たすこと。</u> 配管系全長 / (配管区分ごとに定められた支持具の支持点数) ≤ 15 (m / 支持点) ここで、支持点とは、支持具が<u>取</u>付けられている配管節点をいい、複数の支持具が<u>取</u>付けられている場合も1支持点とする。</p> <p>d. <u>配管と支持構造物間のガタの状態等が施工管理規程に基づき管理されていること。ここで、施工管理規程とは、支持装置の設計仕様に要求される内容を反映した施工要領等をいう。</u></p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>3. 設計用減衰定数の考え方</p> <p>(1) 原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数</p> <p>a. 既工認の設計用減衰定数</p> <p>原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(社団法人 日本電気協会) (以下「JEAG4601」という。)において原子炉建屋クレーン及び燃料取替機は溶接構造物として分類されているため、設計用減衰定数は1.0%と規定されている。既工認では、<u>上記の設計用減衰定数1.0%を適用していた。</u></p> <p>b. 設計用減衰定数の見直し</p> <p>原子炉建屋クレーン及び燃料取替機の減衰定数に寄与する要素には、材料減衰と部材間に生じる構造減衰に加え、車輪とレール間のガタや摩擦による減衰があり、溶接構造物としての1.0%より大きな減衰定数を有すると考えられることから、実機を試験体とした振動試験が実施された。</p> <p>振動試験の結果、原子炉建屋クレーンの減衰定数については水平2.0%、鉛直2.0%が得られた。また、燃料取替機の減衰定数については水平2.0%、鉛直1.5% (燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)、2.0% (燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合) が得られた。</p> <p>c. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉への適用性</p> <p>振動試験の概略と、振動試験における試験体と柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉、並びに先行認可実績のある大間1号炉の実機との仕様の比較を参考資料1, 2に示す。</p> <p>柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の原子炉建屋クレーン及び燃料取替機については、試験結果の適用性が確認されている大間1号炉の原子炉建屋クレーンと同等の基本仕様であり、重量比(トロリ重量/総重量)との比較から振動特性は同等である。</p> <p>ここで、原子炉建屋クレーン(トロリ中央/端部)及び燃料取替機(トロリ中央位置)の鉛直方向の減衰定数については、応答振幅の増加に伴い減衰比は増加する傾向が試験結果から得られており、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の応答振幅はこの試験における応答振幅よりも大きくなる。</p> <p>一般的に構造物の減衰は、材料減衰及び構造減衰によるものが</p>	<p>3. 設計用減衰定数の考え方</p> <p>(1) 建屋クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数</p> <p>a. 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(以下「JEAG4601」という。)に基づく設計用減衰定数 JEAG4601 において建屋クレーン及び燃料取替機は溶接構造物として分類されているため、設計用減衰定数は1.0%が適用される。</p> <p>b. 設計用減衰定数の見直し</p> <p>建屋クレーン及び燃料取替機の減衰定数に寄与する要素には、材料減衰と部材間に生じる構造減衰に加え、車輪とレール間のガタや摩擦による減衰があり、溶接構造物としての1.0%より大きな減衰定数を有すると考えられることから、実機を試験体とした振動試験が実施された。</p> <p>振動試験の結果、建屋クレーンの減衰定数については水平2.0%、鉛直2.0%が得られた。また、燃料取替機の減衰定数については水平2.0%、鉛直1.5% (燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)、2.0% (燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合) が得られた。</p> <p>c. 東海第二発電所への適用性</p> <p>振動試験の概要並びに振動試験における試験体、東海第二発電所の実機及び先行認可実績のある大間1号炉の実機との仕様の比較を参考資料1及び参考資料2に示す。</p> <p>東海第二発電所における建屋クレーン及び燃料取替機については、試験結果の適用性が確認されている大間1号炉の原子炉建屋クレーン及び燃料取替機と同等の基本仕様を有する。</p>	<p>3. 設計用減衰定数の設定の考え方</p> <p>3.1 原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機の設計用減衰定数</p> <p>(1) 既工認の設計用減衰定数</p> <p>原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版(以下JEAG4601という。)におけるクレーン類は溶接構造物に分類されるため、設計用減衰定数は1.0%と規定されている。ただし、既工認においては原子炉建物天井クレーン、燃料取替機ともに水平方向に剛構造であり、<u>上記減衰定数を適用した応答解析は実施していない。</u></p> <p>(2) 設計用減衰定数の変更</p> <p>原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機の減衰特性に寄与する要素には、材料減衰とクレーンを構成する部材間に生じる構造減衰に加え、車輪とレール間のガタや摩擦による減衰があり、溶接構造物としての1.0%よりも大きな減衰定数を有すると考えられることから、実機を試験体とした振動試験が実施された。</p> <p>振動試験の結果、原子炉建物天井クレーンの減衰定数については、水平2.0%、鉛直2.0%が得られている。また、燃料取替機については、水平2.0%、鉛直2.0% (燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合)、鉛直1.5% (燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合) が得られている。</p> <p>(3) 島根2号炉への適用性</p> <p>振動試験の概略と、振動試験における試験体と島根2号炉及び先行認可実績のある大間1号炉の実機との仕様の比較を参考資料(6-1), (6-2)に示す。</p> <p>島根2号炉の原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機については、試験結果の適用性が確認されている大間1号炉の原子炉建屋クレーン及び燃料取替機と同等の基本仕様であり、重量比(トロリ重量/総重量)の比較から振動特性は同等である。</p> <p>ここで、原子炉建物天井クレーン(トロリ中央/端部)及び燃料取替機(トロリ中央位置)の鉛直方向の減衰定数については、<u>応答振幅の増加に伴い減衰比は増加する傾向が試験結果から得られており、島根2号炉の応答振幅はこの試験における応答振幅よりも大きくなる。</u></p> <p>一般的に構造物の減衰は、材料減衰及び構造減衰によるものが</p>	<p>備考</p> <p>・既工認における評価手法の相違</p> <p>【柏崎6/7】</p> <p>島根2号炉における原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機については、それぞれ水平方向に剛構造であり、既工認において、減衰定数を適用した応答解析は実施していない</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>支配的であると考えられる。材料減衰は、材料が変形する際の内部摩擦による減衰であり、減衰比は振幅によらず一定となる。一方、構造減衰は、部材の接合部における摩擦現象によって発生し、振幅とともに増大するとされている。</p> <p>実機のクレーン類は、機上に駆動部品や搭載機器類(取付器具、電気盤、巻上機、ワイヤロープ、燃料取替機マストチューブ等)を多数持つ構造であり、振幅とともに増大する構造減衰を期待できると考えられる。</p> <p>また、燃料取替機のトロリ端部位置については、試験結果から明確な応答振幅に対する増加傾向は確認できていないものの、燃料取替機にはボルト締結部等の摩擦減衰を期待できる電気盤等の上部構造物が多数設置されていることから、応答振幅の増加に伴い減衰比は少なくとも増加する傾向となり、1.5%以上で推移すると考えられる。</p> <p>さらに、水平方向の減衰定数については原子炉建屋クレーン及び燃料取替機ともに鉛直方向よりも大きい減衰が得られている。</p> <p>従って、今回の評価における原子炉建屋クレーンの減衰定数については水平 2.0%、鉛直 2.0%を用いる。また、燃料取替機の減衰定数については水平 2.0%、鉛直 1.5% (燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)、2.0% (燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合)を用いる。</p> <p>(2) 配管系の設計用減衰定数</p> <p>a. 既工認の設計用減衰定数</p> <p>JEAG4601における配管系の設計用減衰定数は、配管支持装置の種類や個数によって3区分に分類されており、さらに保温材を設置した場合の設計用減衰定数が規定されている。</p> <p>既工認では、上記の設計用減衰定数を適用していた。</p> <p>b. 今回の評価で用いる設計用減衰定数</p> <p>以下、(a)、(b)に示す項目については、配管系の振動試験の研究成果に基づき、JEAG4601に規定する値を見直し設定する。</p>	<p>従って、今回の評価における建屋クレーンの減衰定数については水平 2.0%、鉛直 2.0%を用いる。また、燃料取替機の減衰定数については水平 1.5% (燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)、2.0% (燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合)を用いる。</p> <p>(2) 配管系の設計用減衰定数</p> <p>a. JEAG4601に基づく設計用減衰定数</p> <p>JEAG4601における配管系の設計用減衰定数は、配管支持装置の種類や個数によって3区分に分類されており、さらに保温材を設置した場合の設計用減衰定数が規定されている。</p> <p>b. 今回の評価で用いる設計用減衰定数</p> <p>以下、(a)、(b)に示す項目については、配管系の振動試験の研究成果に基づき、JEAG4601に規定する値を見直し設定する。</p>	<p>支配的であると考えられる。材料減衰は、材料が変形する際の内部摩擦による減衰であり、減衰比は振幅によらず一定となる。一方、構造減衰は、部材の接合部における摩擦現象によって発生し、振幅とともに増大するとされている。</p> <p>実機のクレーン類は、機上に駆動部品や搭載機器類(取付器具、電気盤、巻上機、ワイヤロープ、燃料取替機マストチューブ等)を多数持つ構造であり、振幅とともに増大する構造減衰を期待できると考えられる。</p> <p>また、燃料取替機のトロリ端部位置については、試験結果から明確な応答振幅に対する増加傾向が確認できていないものの、燃料取替機にはボルト締結部等の摩擦減衰を期待できる電気盤等の上部構造物が多数設置されていることから、応答振幅の増加に伴い減衰比は少なくとも増加する傾向となり、1.5%以上で推移すると考えられる。</p> <p>さらに、水平方向の減衰定数については、原子炉建物天井クレーン及び燃料取替機ともに鉛直方向よりも大きい減衰が得られている。</p> <p>したがって、今回の評価における原子炉建物天井クレーンの減衰定数については水平 2.0%、鉛直 2.0%を用いる。また、燃料取替機については水平 2.0%、鉛直 1.5% (燃料取替機のトロリ位置が端部にある場合)、鉛直 2.0% (燃料取替機のトロリ位置が中央部にある場合)を用いる。</p> <p>3.2 配管系の設計用減衰定数</p> <p>(1) 既工認の設計用減衰定数</p> <p>JEAG4601における配管系の設計用減衰定数は、配管支持装置の種類や個数によって3区分に分類されており、さらに保温材を設置した場合の設計用減衰定数が規定されている。</p> <p>既工認では、上記の設計用減衰定数を適用していた。</p> <p>(2) 今回の評価で用いた設計用減衰定数</p> <p>以下、a、bに示す項目について、配管系の振動試験の研究成果に基づき、JEAG4601に規定する値を見直し設定する。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p><u>(a) Uボルト支持配管系</u></p> <p>JEAG4601 におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、0.5%と規定されている。</p> <p>Uボルト支持配管系の減衰に寄与する要素には、主に配管支持部における摩擦があり、架構レストレイントを支持具とする配管系と同程度の減衰定数を有すると考えられることから、振動試験等が実施され、減衰定数2.0%が得られた。</p> <p>振動試験で用いられたUボルトについては、原子力発電所で採用されている代表的なものを用いていることから、振動試験等により得られた減衰定数を適用できると判断し、今回の評価におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、<u>振動試験結果から得られた減衰定数2.0%を設定する。</u></p> <p><u>なお、参考として振動試験結果の概略を参考資料3に示す。</u></p> <p><u>(b) 保温材を設置した配管系</u></p> <p>JEAG4601 における保温材を設置した配管系の設計用減衰定数は、振動試験の結果に基づき、保温材を設置していない配管系に比べ設計用減衰定数を0.5%付加できることが規定されている。</p> <p>その後、保温材の有無に関する減衰定数の試験データが拡充され、保温材を設置した場合に付加できる設計用減衰定数を<u>見直すための検討</u>が行われた。</p> <p>今回の評価における保温材を設置した場合に付加する設計用付加減衰定数は、振動試験結果から得られた減衰定数1.0%を、<u>保温材無の場合に比べて付加することとする。</u></p> <p><u>なお、振動試験結果の概略を参考資料4に示す。</u></p> <p><u>c. 柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉への適用性</u></p> <p>減衰定数の検討においては、要素試験結果から減衰定数を算出するための評価式を求め、その上で、<u>実機配管系の解析</u>を行い、減衰定数を求めている。</p> <p><u>まず要素試験</u>においては、原子力発電所で採用されている代表</p>	<p><u>(a) Uボルト支持の配管系</u></p> <p>JEAG4601 におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、0.5%と規定されている。</p> <p>Uボルト支持の配管系の減衰に寄与する要素には、主に配管支持部における摩擦があり、架構レストレイントを支持具とする配管系と同程度の減衰定数を有すると考えられることから、振動試験等が実施され、減衰定数2.0%が得られた。</p> <p>振動試験で用いられたUボルトについては、原子力発電所で採用されている代表的なものを用いていることから、振動試験等により得られた減衰定数を適用できると判断し、今回の評価におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、<u>振動試験結果から得られた減衰定数2.0%を設定する。</u></p> <p><u>なお、参考として振動試験結果の概略を参考資料3に示す。</u></p> <p><u>(b) 保温材を設置した配管系</u></p> <p>JEAG4601 における保温材を設置した設計用減衰定数は、振動試験の結果に基づき、保温材を設置していない配管系に比べ設計用減衰定数を0.5%付加できることが規定されている。</p> <p>その後、保温材の有無に関する減衰定数の試験データが拡充され、保温材を設置した場合に付加できる設計用減衰定数を<u>見直すための検討</u>が行われた。</p> <p>今回の評価における保温材を設置した場合に付加する設計用付加減衰定数は、振動試験結果から得られた減衰定数1.0%を、<u>保温材無の場合に比べて付加することとする。</u></p> <p><u>なお、振動試験結果の概略を参考資料4に示す。</u></p> <p><u>c. 東海第二発電所への適用性</u></p> <p>減衰定数の検討においては、要素試験結果から減衰定数を算出するための評価式を求め、その上で、<u>実機配管系の解析</u>を行い、減衰定数を求めている。</p> <p>要素試験においては、原子力発電所で採用されている代表的な</p>	<p><u>a. Uボルト支持配管系</u></p> <p>JEAG4601 におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は、0.5%と規定されている。</p> <p>Uボルト支持配管系の減衰に寄与する要素には、主に配管支持部における摩擦があり、架構レストレイントを支持具とする配管系と同程度の減衰定数を有すると考えられることから、振動試験等が実施され、減衰定数2.0%が得られた。</p> <p>振動試験で用いられたUボルトについては、原子力発電所で採用されている代表的なものを用いていることから、振動試験等により得られた減衰定数を適用できると判断し、今回の評価におけるUボルト支持配管系の設計用減衰定数は振動試験結果から得られた減衰定数2.0%を設定する。</p> <p>参考として振動試験の概略を参考資料<u>(6-3)</u>に示す。</p> <p><u>b. 保温材を設置した配管系</u></p> <p>JEAG4601 における保温材を設置した配管系の設計用減衰定数は、振動試験の結果に基づき、保温材を設置していない配管系に比べ設計用減衰定数を0.5%付加できることが規定されている。</p> <p>その後、保温材の有無に関する減衰定数の試験データが拡充され、保温材を設置した場合に付加できる設計用減衰定数の検討が行われた。</p> <p>今回の評価における保温材を設置した場合に付加する設計用付加減衰定数は、振動試験結果から得られた減衰定数1.0%を保温材無の場合に比べて付加することとする。<u>また、金属保温材が施工されている場合は、金属保温材が施工されている配管長さが配管全長に対して40%以下の場合は1.0%を付加し、配管全長に対して40%を超える場合には0.5%を付加する。</u></p> <p>参考として振動試験の概略を参考資料<u>(6-4)及び参考資料(6-5)</u>に示す。</p> <p><u>(3) 島根2号炉への適用性</u></p> <p>減衰定数の検討においては、要素試験結果から減衰定数を算出するための評価式を求め、その上で実機配管系の解析を行い、減衰定数を求めている。</p> <p><u>まず要素試験</u>においては、原子力発電所で採用されている代</p>	<p>・資料構成の相違 【柏崎6/7, 東海第二】 ①の相違</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>的な4タイプ(参考資料3補足参照)を選定しており、<u>柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉</u>においても、この4タイプのUボルトを採用している。</p> <p>次に実機配管系の解析対象とした28モデルには、<u>ABWRプラントと同一設計であるBWRプラントの実機配管も含まれている</u>。また配管仕様(口径、肉厚、材質)、支持間隔・配管ルートも異なっており、様々な配管剛性や振動モードに対応している。(参考資料3参照)</p> <p>従って、今回検討した設計用減衰定数は<u>柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉へ適用可能と判断し、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉における配管の設計用減衰定数として設定する。</u></p>	<p>4タイプ(参考資料3補足参照)を選定しており、<u>東海第二発電所</u>においても、この4タイプのUボルトを採用している。</p> <p>また、<u>実機配管系の解析対象とした28モデルには、BWRプラントの実機配管も含まれており、配管仕様(口径、肉厚、材質)、支持間隔・配管ルートについては、様々な配管剛性や振動モードに対応した検討を実施している。</u>(参考資料3参照)</p> <p>従って、今回検討した設計用減衰定数は<u>東海第二発電所へ適用可能であり、東海第二発電所における配管の設計用減衰定数として設定する。</u></p>	<p>表的な4タイプ(参考資料(6-3)補足参照)を選定しており、<u>島根2号炉</u>においてもこの4タイプのUボルトを採用している。</p> <p>次に実機配管系の解析対象とした28モデルには、<u>BWRプラントの実機配管が含まれており、また配管仕様(口径、肉厚、材質)、支持間隔、配管ルートも異なっており、様々な配管剛性や振動モードに対応している</u>(参考資料(6-3)参照)。</p> <p>したがって、今回検討した設計用減衰定数は<u>島根2号炉へ適用可能と判断し、島根2号炉における配管系の設計用減衰定数として設定する。</u></p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																																																																			
<p>4. 鉛直方向の設計用減衰定数について</p> <p>今回工認では、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数を新たに設定している。</p> <p>鉛直方向の設計用減衰定数は、基本的に水平方向と同様とするが電気盤や燃料集合体等の鉛直地震動に対し剛体挙動する設備は1.0%とする。また、原子炉建屋クレーン、燃料取替機及び配管系については、既往の試験等により確認されている値を用いる。<u>(第3表)</u></p> <p>なお、これらの設計用減衰定数は、<u>大間1号炉の建設工認にて適用例がある。</u></p> <p style="text-align: center;"><u>第3表 機器・配管系の設計用減衰定数</u></p> <table border="1" data-bbox="172 947 911 1383"> <thead> <tr> <th rowspan="3">設 備</th> <th colspan="4">設計用減衰定数 (%)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">水平方向</th> <th colspan="2">鉛直方向</th> </tr> <tr> <th>既工認</th> <th>今回工認</th> <th>既工認</th> <th>今回工認</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接構造物</td> <td>1.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>ボルト及びリベット構造物</td> <td>2.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>ポンプ・ファン等の機械装置</td> <td>1.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>燃料集合体</td> <td>7.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>制御棒駆動機構</td> <td>3.5</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>電気盤</td> <td>4.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>使用済燃料貯蔵ラック</td> <td>1.0</td> <td>Ss:7.0 Sd:5.0</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>原子炉建屋クレーン</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>燃料取替機</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>1.5(2.0)*</td> </tr> <tr> <td>配管系</td> <td>0.5~2.5</td> <td>0.5~3.0</td> <td>—</td> <td>0.5~3.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記 * : () 外は、燃料取替機のトリ位置が端部にある場合 () 内は、燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合</p>	設 備	設計用減衰定数 (%)				水平方向		鉛直方向		既工認	今回工認	既工認	今回工認	溶接構造物	1.0	同左	—	1.0	ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	—	2.0	ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	—	1.0	燃料集合体	7.0	同左	—	1.0	制御棒駆動機構	3.5	同左	—	1.0	電気盤	4.0	同左	—	1.0	使用済燃料貯蔵ラック	1.0	Ss:7.0 Sd:5.0	—	—	原子炉建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0	燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)*	配管系	0.5~2.5	0.5~3.0	—	0.5~3.0	<p>4. 鉛直方向の設計用減衰定数について</p> <p>今回工認では、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数を新たに設定している。<u>今回工認で適用する設計用減衰定数について、JEAG4601に規定されている設計用減衰定数との比較を第5-3表に示す。</u></p> <p>鉛直方向の設計用減衰定数は、基本的に水平方向と同様とするが電気盤や燃料集合体等の鉛直地震動に対し剛体挙動する設備は1.0%とする。また、<u>建屋クレーン</u>、燃料取替機及び配管系については、既往の試験等により確認されている値を用いる。</p> <p>なお、これらの設計用減衰定数は、<u>大間1号炉の建設工認にて適用例がある。</u></p> <p style="text-align: center;"><u>第5-3表 機器・配管系の設計用減衰定数</u></p> <table border="1" data-bbox="991 928 1685 1314"> <thead> <tr> <th rowspan="3">設 備</th> <th colspan="4">設計用減衰定数 (%)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">水平方向</th> <th colspan="2">鉛直方向</th> </tr> <tr> <th>JEAG 4601</th> <th>今回工認</th> <th>JEAG 4601</th> <th>今回工認</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接構造物</td> <td>1.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>ボルト及びリベット構造物</td> <td>2.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>ポンプ・ファン等の機械装置</td> <td>1.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>燃料集合体</td> <td>7.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>制御棒駆動機構</td> <td>3.5</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>電気盤</td> <td>4.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>建屋クレーン</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>燃料取替機</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>1.5(2.0)*</td> </tr> <tr> <td>配管系</td> <td>0.5~2.0</td> <td>0.5~3.0</td> <td>—</td> <td>0.5~3.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>注記 * : () 外は、燃料取替機のトリ位置が端部にある場合 () 内は、燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合</p>	設 備	設計用減衰定数 (%)				水平方向		鉛直方向		JEAG 4601	今回工認	JEAG 4601	今回工認	溶接構造物	1.0	同左	—	1.0	ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	—	2.0	ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	—	1.0	燃料集合体	7.0	同左	—	1.0	制御棒駆動機構	3.5	同左	—	1.0	電気盤	4.0	同左	—	1.0	建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0	燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)*	配管系	0.5~2.0	0.5~3.0	—	0.5~3.0	<p>4. 鉛直方向の設計用減衰定数について</p> <p>今回工認では、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数を新たに設定している。<u>機器・配管系の設計用減衰定数を第4-1表に示す。</u></p> <p>鉛直方向の設計用減衰定数は、基本的に水平方向と同様とするが、<u>電気盤や燃料集合体等の鉛直地震動に対し剛体挙動とする設備は1.0%とする。</u>また、<u>原子炉建物天井クレーン</u>、燃料取替機及び配管系については、既往試験等により確認されている値を用いる。</p> <p>なお、これらの設計用減衰定数は大間1号炉建設工認及び<u>東海第二において適用実績がある。</u></p> <p style="text-align: center;"><u>第4-1表 機器・配管系の設計用減衰定数</u></p> <table border="1" data-bbox="1762 938 2496 1304"> <thead> <tr> <th rowspan="3">設 備</th> <th colspan="4">設計用減衰定数 (%)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">水平方向</th> <th colspan="2">鉛直方向</th> </tr> <tr> <th>既工認</th> <th>今回工認</th> <th>既工認</th> <th>今回工認</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>溶接構造物</td> <td>1.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>ボルト及びリベット構造物</td> <td>2.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>ポンプ・ファン等の機械装置</td> <td>1.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>燃料集合体</td> <td>7.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>制御棒駆動機構</td> <td>3.5</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>電気盤</td> <td>4.0</td> <td>同左</td> <td>—</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>原子炉建物天井クレーン</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>燃料取替機</td> <td>1.0</td> <td>2.0</td> <td>—</td> <td>1.5(2.0)^注</td> </tr> <tr> <td>配管系</td> <td>0.5~2.0</td> <td>0.5~3.0</td> <td>—</td> <td>0.5~3.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>□ : <u>新たに設定したもの</u></p> <p>注 : <u>括弧外は、燃料取替機のトリ位置が端部にある場合。</u> <u>括弧内は、燃料取替機のトリ位置が中央部にある場合。</u></p>	設 備	設計用減衰定数 (%)				水平方向		鉛直方向		既工認	今回工認	既工認	今回工認	溶接構造物	1.0	同左	—	1.0	ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	—	2.0	ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	—	1.0	燃料集合体	7.0	同左	—	1.0	制御棒駆動機構	3.5	同左	—	1.0	電気盤	4.0	同左	—	1.0	原子炉建物天井クレーン	1.0	2.0	—	2.0	燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0) ^注	配管系	0.5~2.0	0.5~3.0	—	0.5~3.0	
設 備		設計用減衰定数 (%)																																																																																																																																																																																				
		水平方向		鉛直方向																																																																																																																																																																																		
	既工認	今回工認	既工認	今回工認																																																																																																																																																																																		
溶接構造物	1.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	—	2.0																																																																																																																																																																																		
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
燃料集合体	7.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
制御棒駆動機構	3.5	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
電気盤	4.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
使用済燃料貯蔵ラック	1.0	Ss:7.0 Sd:5.0	—	—																																																																																																																																																																																		
原子炉建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0																																																																																																																																																																																		
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)*																																																																																																																																																																																		
配管系	0.5~2.5	0.5~3.0	—	0.5~3.0																																																																																																																																																																																		
設 備	設計用減衰定数 (%)																																																																																																																																																																																					
	水平方向		鉛直方向																																																																																																																																																																																			
	JEAG 4601	今回工認	JEAG 4601	今回工認																																																																																																																																																																																		
溶接構造物	1.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	—	2.0																																																																																																																																																																																		
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
燃料集合体	7.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
制御棒駆動機構	3.5	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
電気盤	4.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
建屋クレーン	1.0	2.0	—	2.0																																																																																																																																																																																		
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0)*																																																																																																																																																																																		
配管系	0.5~2.0	0.5~3.0	—	0.5~3.0																																																																																																																																																																																		
設 備	設計用減衰定数 (%)																																																																																																																																																																																					
	水平方向		鉛直方向																																																																																																																																																																																			
	既工認	今回工認	既工認	今回工認																																																																																																																																																																																		
溶接構造物	1.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
ボルト及びリベット構造物	2.0	同左	—	2.0																																																																																																																																																																																		
ポンプ・ファン等の機械装置	1.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
燃料集合体	7.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
制御棒駆動機構	3.5	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
電気盤	4.0	同左	—	1.0																																																																																																																																																																																		
原子炉建物天井クレーン	1.0	2.0	—	2.0																																																																																																																																																																																		
燃料取替機	1.0	2.0	—	1.5(2.0) ^注																																																																																																																																																																																		
配管系	0.5~2.0	0.5~3.0	—	0.5~3.0																																																																																																																																																																																		

参考資料 1 (1/2)

原子炉建屋クレーンの振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

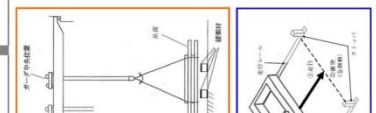
1. 代表試験体の選定

原子炉建屋天井クレーン8タイプ、一般用2タイプの基本仕様(トロリ及びガーダの質量、高さ、スパン)を調査。
各天井クレーンの構成要素、基本構造及び減衰定数に影響を及ぼすと考えられる天井クレーン全質量とトロリ質量の比、及び振動特性が同等であることを確認。

一般用天井クレーンを代表試験体とし、胴体差、及びガーダ形状の相違の影響を確認するために、ガーダの断面形状が異なるタイプの同一仕様の試験体 No.1, No.2, 及びガーダの断面形状が同じタイプの試験体 No.3 を使用し、合計3機の試験体で実施。

【鉛直方向の加振方法】吊钩を10mm程度持ち上げた後、最大速度で下向きに急停止させ、この時の自由振動を計測する。

【水平方向の加振方法】クレーンを1m程度走行させ、急停止することにより、自由振動を計測する。



2. 振動試験

振動試験で得られた自由振動波形から減衰比を算定。

【試験結果(鉛直方向)】天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係(鉛直方向)を示すグラフ。減衰比は0.0から15.0、応答振幅は0.0から6.0mmの範囲でプロットされている。

【試験結果(水平方向)】天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係(水平方向)を示すグラフ。減衰比は0.0から15.0、応答振幅は0.0から6.0mmの範囲でプロットされている。

【設計用減衰定数(鉛直方向)】応答振幅の増加に伴い、減衰比は増加傾向にあるが、設計用減衰定数2.0%と設定した。

【設計用減衰定数(水平方向)】水平方向の減衰比は、応答振幅4.7mmにおいて5.2%という結果が得られている。

参考資料 - 1 (1 / 2)

建屋クレーンの振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

1. 代表試験体の選定

原子炉建屋天井クレーン8タイプ、一般用2タイプの基本仕様(トロリ及びガーダの質量、高さ、スパン)を調査。
各天井クレーンの構成要素、基本構造及び減衰定数に影響を及ぼすと考えられる天井クレーン全質量とトロリ質量の比、及び振動特性が同等であることを確認。

一般用天井クレーンを代表試験体とし、胴体及びガーダの相違の影響を確認するために、ガーダの断面形状が異なるタイプの同一仕様の試験体 No.1, No.2, 及びガーダの断面形状が同じタイプの試験体 No.3 を使用し、合計3機の試験体で実施。

【鉛直方向の加振方法】吊钩を10mm程度持ち上げた後、最大速度で下向きに急停止させ、この時の自由振動を計測する。

【水平方向の加振方法】クレーンを1m程度走行させ、急停止することにより、自由振動を計測する。



2. 振動試験

振動試験で得られた自由振動波形から減衰比を算定。

【試験結果(鉛直方向)】天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係(鉛直方向)を示すグラフ。減衰比は0.0から15.0、応答振幅は0.0から6.0mmの範囲でプロットされている。

【試験結果(水平方向)】天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係(水平方向)を示すグラフ。減衰比は0.0から15.0、応答振幅は0.0から6.0mmの範囲でプロットされている。

【設計用減衰定数(鉛直方向)】応答振幅の増加に伴い、減衰比は増加傾向にあるが、設計用減衰定数2.0%と設定した。

【設計用減衰定数(水平方向)】水平方向の減衰比は、応答振幅4.7mmにおいて5.2%という結果が得られた。

原子炉建屋天井クレーンの振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

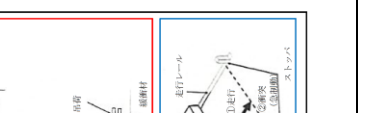
1. 代表試験体の選定

原子炉建屋天井クレーン8タイプ、一般用2タイプの基本仕様(トロリ及びガーダの質量、高さ、スパン)を調査。
各天井クレーンの構成要素、基本構造、減衰に影響を及ぼすと考えられる天井クレーン全質量とトロリ質量の比、及び振動特性が同等であることを確認。

一般用天井クレーンを代表試験体とし、胴体差及びガーダ形状の影響を確認するために、ガーダの断面形状が異なるタイプの同一仕様の試験体 No.1, 2 及びガーダの断面形状が同じタイプの試験体 No.3 を使用し、合計3機の試験体で試験を実施。

【鉛直方向の加振方法】吊钩を10mm程度持ち上げた後、最大速度で下向きに急停止させ、この時の自由振動を計測する。

【水平方向の加振方法】クレーンを1m程度走行させ、急停止することにより、自由振動を計測する。



2. 振動試験

振動試験で得られた自由振動波形から減衰比を算定。

【試験結果(鉛直方向)】天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係(鉛直方向)を示すグラフ。減衰比は0.0から15.0、応答振幅は0.0から6.0mmの範囲でプロットされている。

【試験結果(水平方向)】天井クレーンの減衰比と応答振幅の関係(水平方向)を示すグラフ。減衰比は0.0から15.0、応答振幅は0.0から6.0mmの範囲でプロットされている。

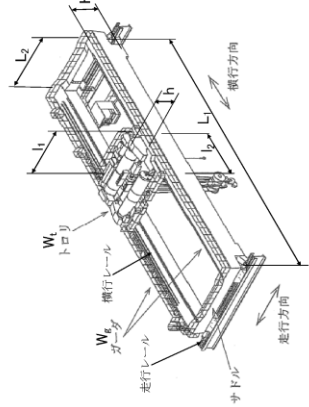
【設計用減衰定数(鉛直方向)】応答振幅の増加に伴い、減衰比は増加傾向にあるが、設計用減衰定数2.0%と設定した。

【設計用減衰定数(水平方向)】水平方向の減衰比は、応答振幅4.7mmにおいて5.2%という結果が得られた。

参考資料 1 (2/2)

■ 原子炉建屋クレーンの試験体と実機との仕様比較
 原子炉建屋クレーンは、ガーダ2本の上にトロリが設置されている構造である。天井クレーン試験体、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉並びに大間1号炉の原子炉建屋クレーンの主要な仕様を以下に示す。

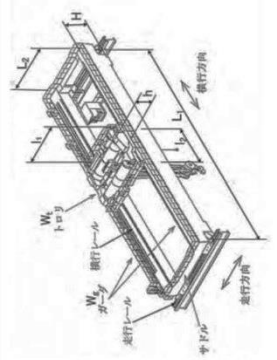
仕様	試験体		実機		備考
	一般用天井クレーン No.1,2	No.3	柏崎刈羽 6号炉	大間 1号炉	
トロリ	質量 W _t (ton)	43.5	71.0	80.0	80.0
	高さ h(m)	2.265	3.0	2.405	2.815
	スパン L ₁ (m)	5.8	5.8	5.8	7.7
	スパン L ₂ (m)	4.1	3(主巻用) 2.5(補巻用)	5.4	4.6
ガーダ	質量 W _g (ton)	104.5	191.5	226	190
	高さ H(m)	1.32	2.3	2.6	2.8
	スパン L ₁ (m)	33.0	33.0	34.9	34.9
	スパン L ₂ (m)	7.06	8.9	6.47	9.38
総質量	148.0	262.5	312.5	270.0	270.0
トロリ質量と 総質量の比	0.294	0.270	0.277	0.296	0.296



■ 試験体と実機の比較の考え方
 減衰比は、一般的に振動エネルギーと消散エネルギーの比で表される。消散エネルギーはガーダ等の構造部材の材料減衰、トロリ、ガーダ等のカタや巻線による構造減衰により発生すると考えられ、天井クレーンにおいては、ガーダ、トロリは固定構造ではなく、レールと車輪間にすべりが発生する構造であることから、トロリとガーダとの微小な相対運動によるエネルギーの消費が減衰特性に最も影響が大きい因子と考えられる。
 ここで、トロリとガーダとの相対運動による消散エネルギーはトロリ質量に比例し、振動エネルギーはトロリの運動質量に比例する。天井クレーンは建屋に対して走行車輪部のみで支持された両端支持のみの構造としており、地震時の振動モードは上下・水平方向共にガーダ中央のたわみが最大となる1次モードが支配的となる。そのため、振動質量はクレーンの総質量に比例し、減衰比はトロリ質量とクレーンの総質量の比に影響を受けることになる。
 上表より、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の原子炉建屋クレーンの設計用減衰定数としては、水平2.0%、鉛直2.0%を適用する。
 以上から、柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉の原子炉建屋クレーンの設計用減衰定数として水平2.0%、鉛直2.0%を適用する。

表 2-1 天井クレーン試験体、実機建屋クレーン仕様比較

仕様	試験体		実機		備考
	一般用天井クレーン 試験体 No.1,2	No.3	東海第二 使用燃料 貯蔵建屋 クレーン	大間1号機 原子炉建屋 クレーン	
トロリ	質量 W _t (ton)	43.5	71.0	80.0	80.0
	高さ h(m)	2.265	3.0	2.280	0.975
	スパン L ₁ (m)	5.8	5.8	5.6	4.0
	スパン L ₂ (m)	4.1	3(主巻用) 2.5(補巻用)	4.1	3.6
ガーダ	質量 W _g (ton)	104.5	191.5	118.0	67.0
	高さ H(m)	1.32	2.3	2.5	4.42
	スパン L ₁ (m)	33.0	33.0	39.5	20.4
	スパン L ₂ (m)	7.06	8.9	6.2	7.6
総質量	148.0	262.5	196.0	107.0	270.0
トロリ質量と 総質量の比	0.294	0.270	0.289	0.289	0.288



○ 試験体と実機の比較の考え方
 減衰比は、一般的に振動エネルギーと消散エネルギーの比で表される。消散エネルギーはガーダ等の構造部材の材料減衰、トロリ、ガーダ等のカタや巻線による構造減衰により発生すると考えられ、天井クレーン構造の建屋クレーンにおいては、ガーダ、トロリは固定構造ではなく、レールと車輪間にすべりが発生する構造であることから、トロリとガーダとの微小な相対運動によるエネルギーの消費が減衰特性に最も影響が大きい因子と考えられる。
 ここで、トロリの相対運動による消散エネルギーはトロリ質量に比例し、振動エネルギーはトロリの運動質量に比例する。建屋クレーンは建屋に対して走行車輪部のみで支持された両端支持のみの構造としており、地震時の振動モードは上下・水平方向共にガーダ中央のたわみが最大となる1次モードが支配的となる。そのため、振動質量はクレーンの総質量に比例し、減衰比はトロリ質量とクレーンの総質量の比に影響を受けることになる。
 上表のとおり、東海第二発電所の建屋クレーンの設計用減衰定数としては、水平2.0%、鉛直2.0%を適用する。
 以上から、建屋クレーンの設計用減衰定数として水平2.0%、鉛直2.0%を適用する。

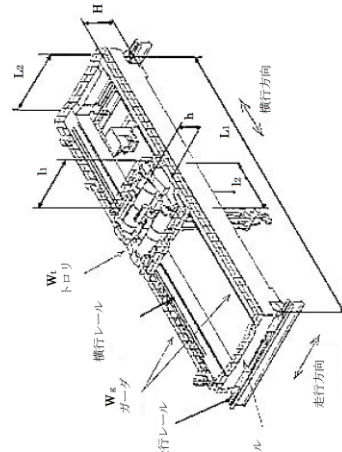
参考資料-1 (2/2)

○ 建屋クレーンの試験体と実機との仕様比較

建屋クレーンは、ガーダ2本上にトロリが設置されている構造である。表 2-1 に天井クレーン試験体、東海第二発電所及び大間1号炉の建屋クレーンの主要な仕様を示す。

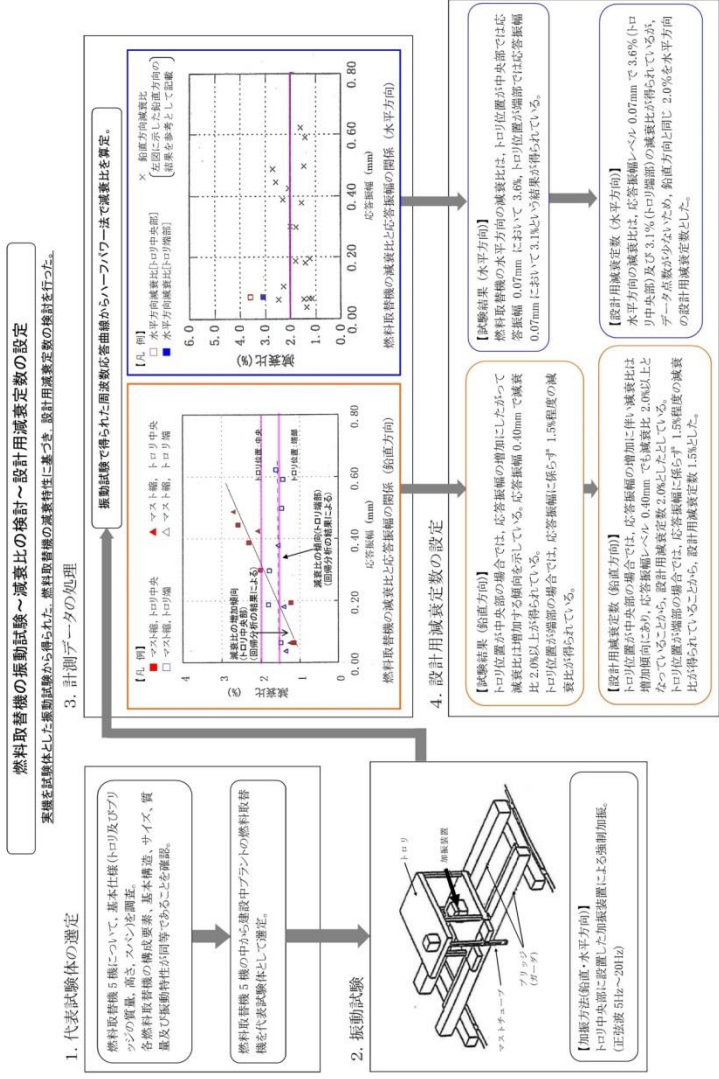
天井クレーン試験体と島根2号炉及び大間1号炉の原子炉建物天井クレーンの仕様比較

仕様	試験体		実機		備考
	試験体1, 2	試験体3	島根2号炉	大間1号炉	
トロリ	質量 W _t (t)	43.5	71.0	56.0	80.0
	高さ h(m)	2.265	3.0	3.393	2.815
	スパン L ₁ (m)	5.8	5.8	5.6	7.7
	スパン L ₂ (m)	4.1	3.0(主巻用) 2.5(補巻用)	4.85	4.6
ガーダ	質量 W _g (t)	104.5	191.5	149.0	190.0
	高さ H(m)	1.32	2.3	2.4	2.5
	スパン L ₁ (m)	33.0	33.0	34.9	34.9
	スパン L ₂ (m)	7.06	8.9	7.3	9.38
総質量 W (t)	148.0	262.5	205.0	270.0	
トロリ質量と 総質量の比 W _t /W	0.294	0.270	0.273	0.296	



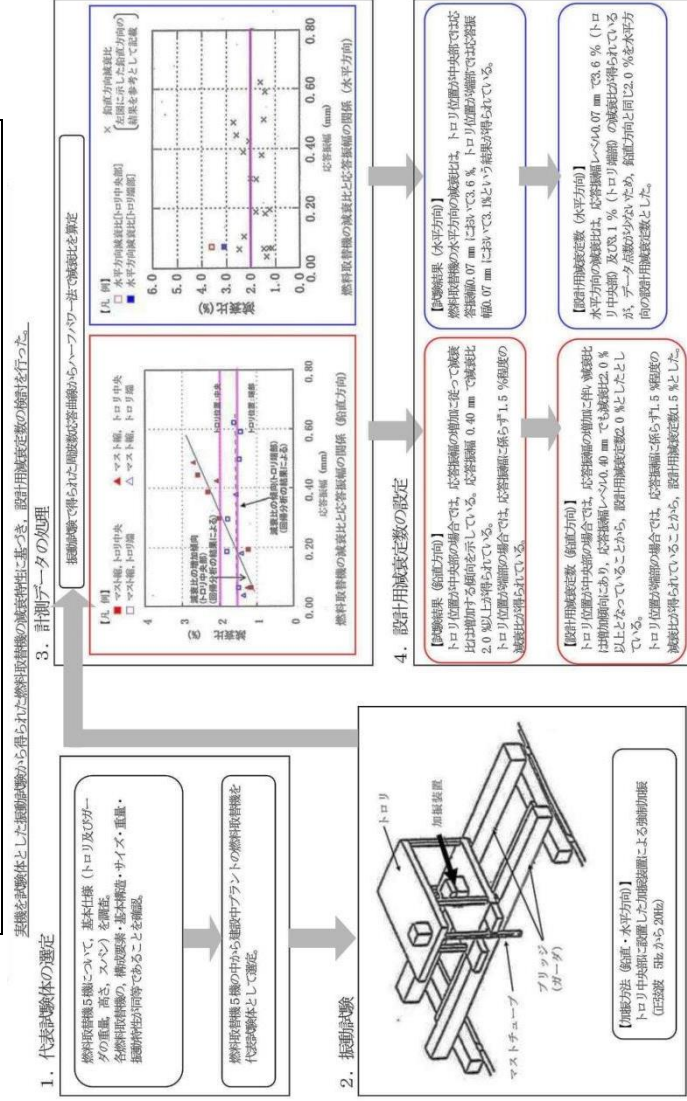
【試験体と実機との比較の考え方】
 減衰比は、一般的に振動エネルギーと消散エネルギーの比で表される。消散エネルギーはガーダ等の構造部材の材料減衰、トロリ、ガーダ等のカタや巻線による構造減衰により発生すると考えられ、原子炉建物天井クレーンにおいては、トロリ、ガーダは固定構造ではなく、レールと車輪間にすべりが発生する構造であることから、トロリとガーダとの微小な相対運動によるエネルギーの消費が減衰特性に最も影響が大きい因子と考えられる。
 ここで、トロリとガーダとの相対運動による消散エネルギーはトロリ質量に比例し、振動エネルギーはトロリの運動質量に比例する。天井クレーンは建物に対して走行車輪部のみで支持された両端支持のみの構造としており、地震時の振動モードは上下・水平方向ともにガーダ中央のたわみが最大となる1次モードが支配的となる。そのため、振動質量はクレーンの総質量に比例し、減衰比はトロリ質量とクレーンの総質量の比に影響を受けることになる。
 上表より、島根2号炉の原子炉建物天井クレーンの設計用減衰定数としては、水平2.0%、鉛直2.0%を適用する。
 以上から、島根2号炉の原子炉建物天井クレーンの設計用減衰定数として水平2.0%、鉛直2.0%を適用する。

参考資料 2 (1/2)



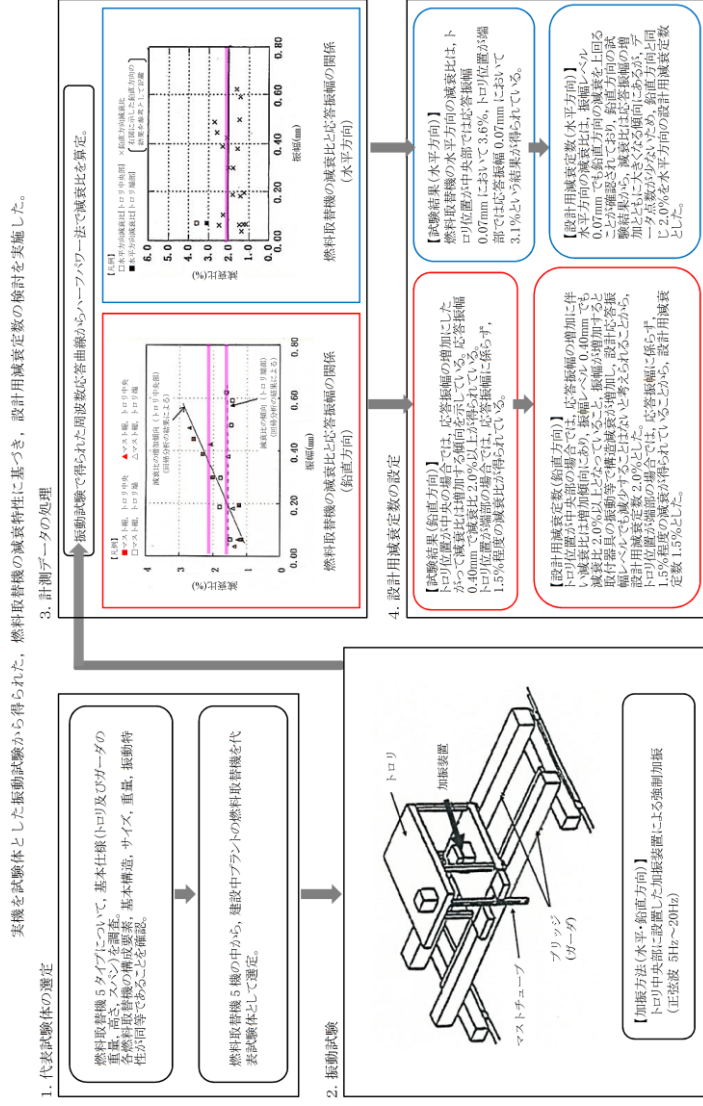
参考資料-2 (1/2)

燃料取替機の振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

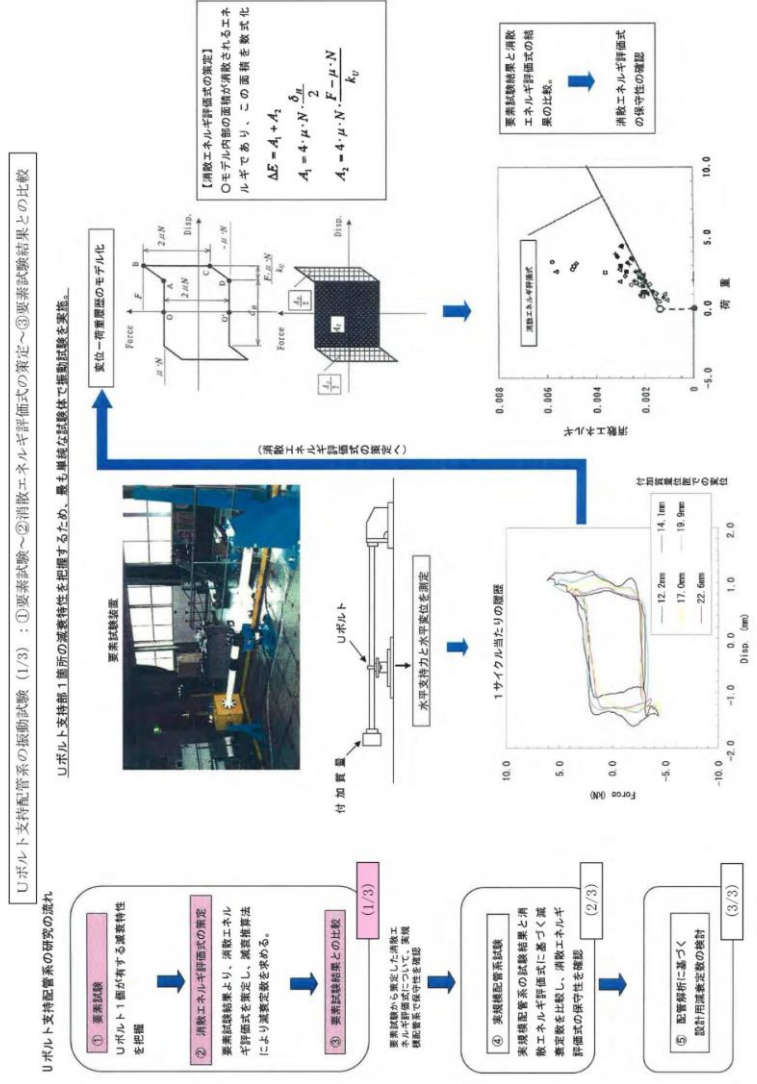


参考資料 (6-2)

燃料取替機の振動試験～減衰比の検討～設計用減衰定数の設定

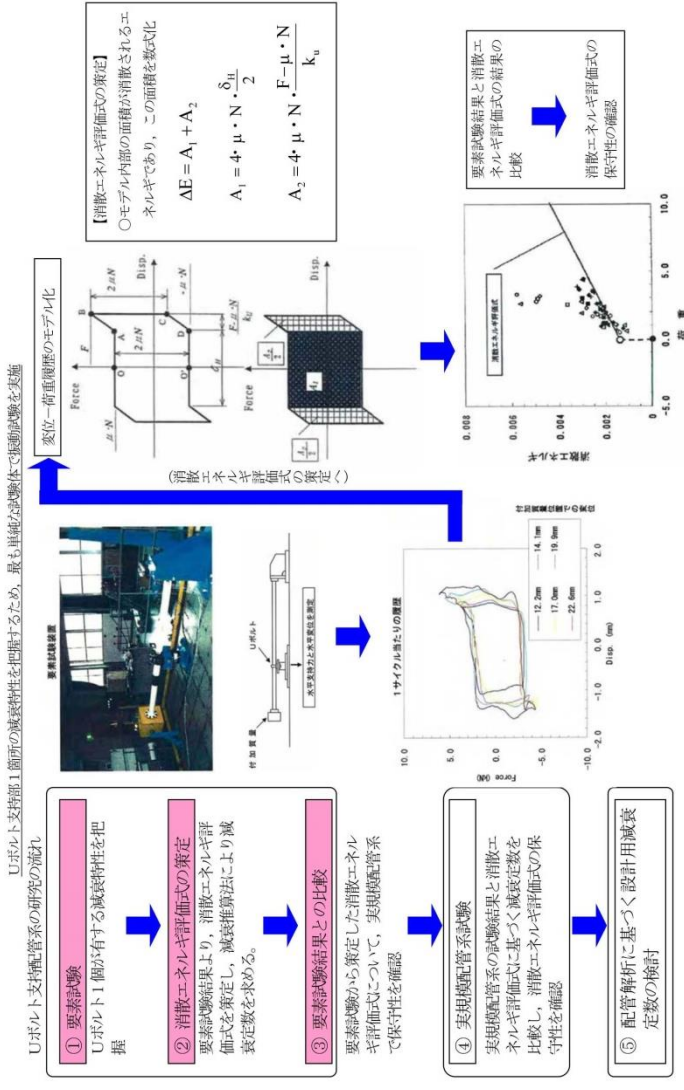


参考資料3(1/8)

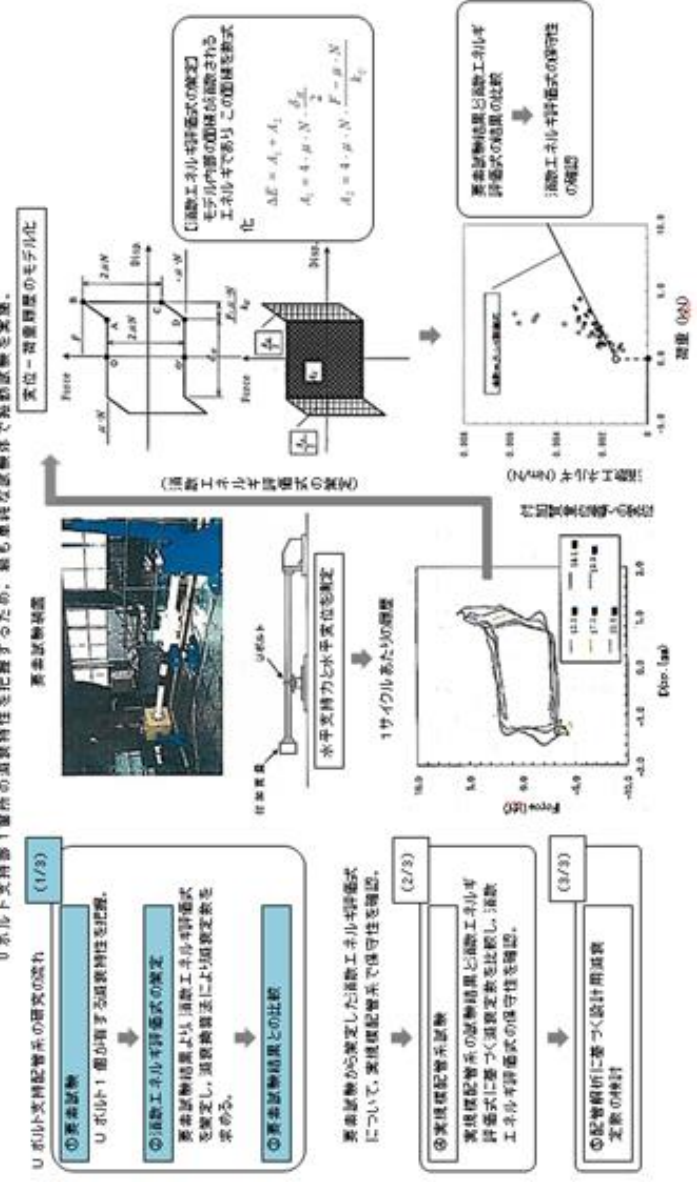


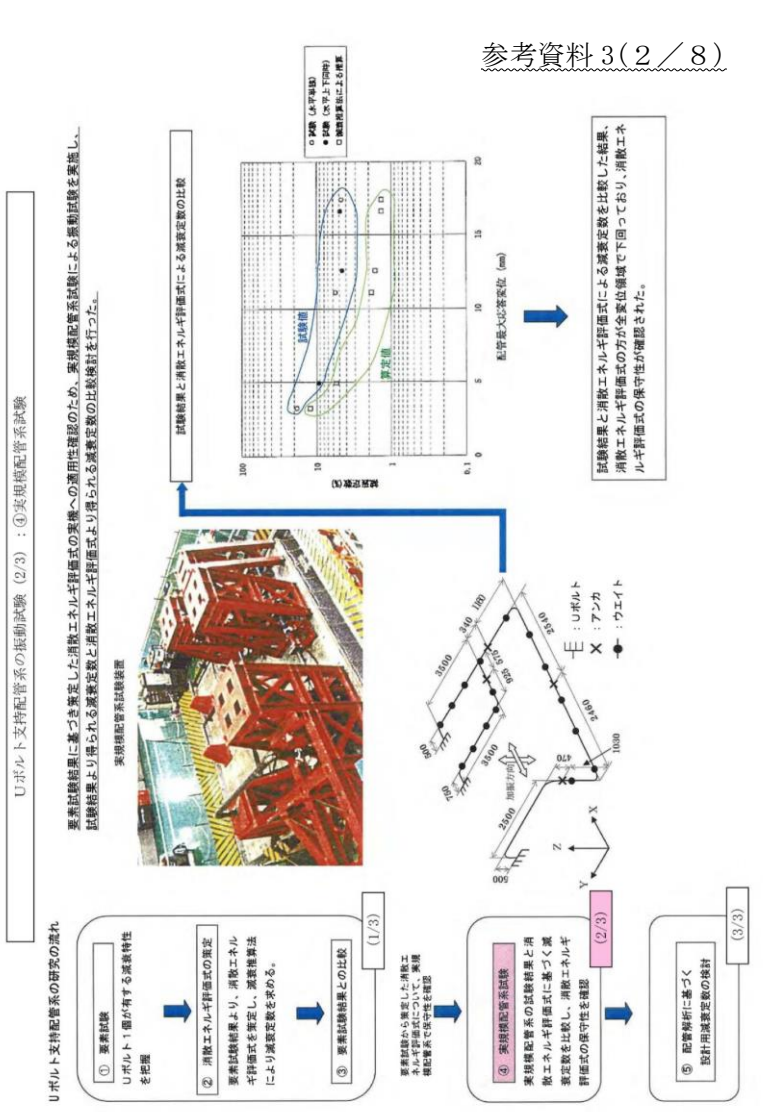
参考資料-3 (1/8)

Uボルト支持配管系の振動試験-(1/3): ①要素試験~②消散エネルギー評価式の策定~③要素試験結果との比較



参考資料(6-3)
Uボルト支持配管系の振動試験 (1/3): ①要素試験~②消散エネルギー評価式の策定~③要素試験結果との比較





参考資料3(2/8)

Uボルト支持配管系の減衰定数に関する研究の流れ (実規模配管系試験)

参考資料-3 (2/8)

Uボルト支持配管系の振動試験 (2/3) : ④実規模配管系試験

要素試験結果に基づき策定した消散エネルギー評価式の実機への適用性確認のため、実規模配管系試験による振動試験を実施し、試験結果より得られる減衰定数と消散エネルギー評価式より得られる減衰定数の比較検討を行った。

Uボルト支持配管系の研究の流れ

参考資料-3 (2/8)

Uボルト支持配管系の減衰定数に関する研究の流れ (実規模配管系試験)

要素試験結果に基づき策定した消散エネルギー評価式の実機への適用性確認のため、実規模配管系試験による振動試験を実施し、試験結果より得られる減衰定数と消散エネルギー評価式より得られる減衰定数の比較検討を行った。

Uボルト支持配管系の研究の流れ

Uボルト支持配管系の振動試験 (2/3) : ④実規模配管系試験

要素試験結果に基づき策定した消散エネルギー評価式の実機への適用性確認のため、実規模配管系試験による振動試験を実施し、試験結果より得られる減衰定数と消散エネルギー評価式より得られる減衰定数の比較検討を行った。

Uボルト支持配管系の研究の流れ

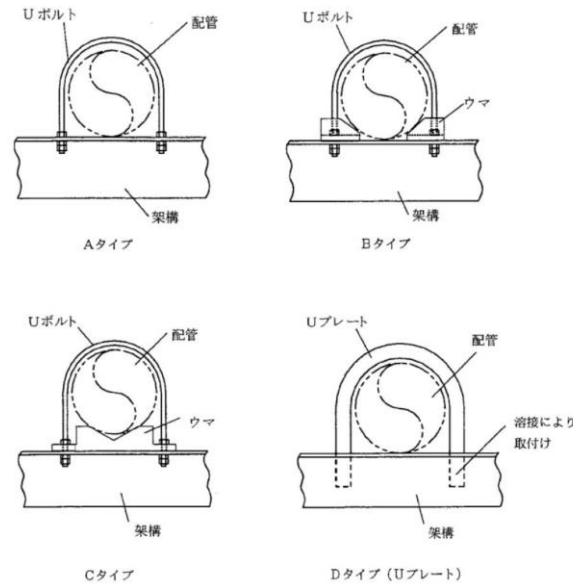
参考資料3(2/8)

Uボルト支持配管系の減衰定数に関する研究の流れ (実規模配管系試験)

Uボルト支持配管系の研究の流れ

参考資料3 (4 / 8)

【補足】要素試験に用いたUボルト支持構造物のタイプ
試験に用いたUボルトは、原子力発電所で採用されている代表的な4タイプを選定した。



参考資料3 (5 / 8)

【解析を行った配管仕様】

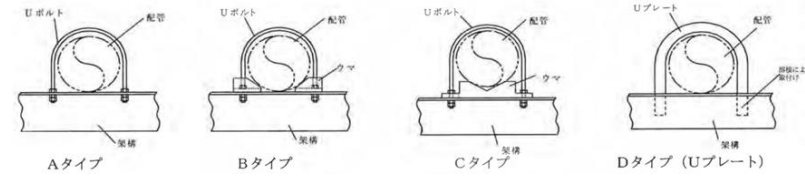
- ・口径：20A～400A
- ・材質：ステンレス鋼，炭素鋼

上記のうちBWR実機配管

	系統	口径
b配管	CRD	32A
e配管	AC	50A
o配管	RHR	150A
p配管	FPC	40A
q配管	MUWC	100A
r配管	MUWC	150A, 80A
s配管	RCW	200A
t配管	RCW	200A, 80A
u配管	CRD	32A

参考資料-3 (4 / 8)

【補足】要素試験に用いたUボルト支持構造物のタイプ
試験に用いたUボルトは、原子力発電所で採用されている代表的な4タイプを選定した。



参考資料-3 (5 / 8)

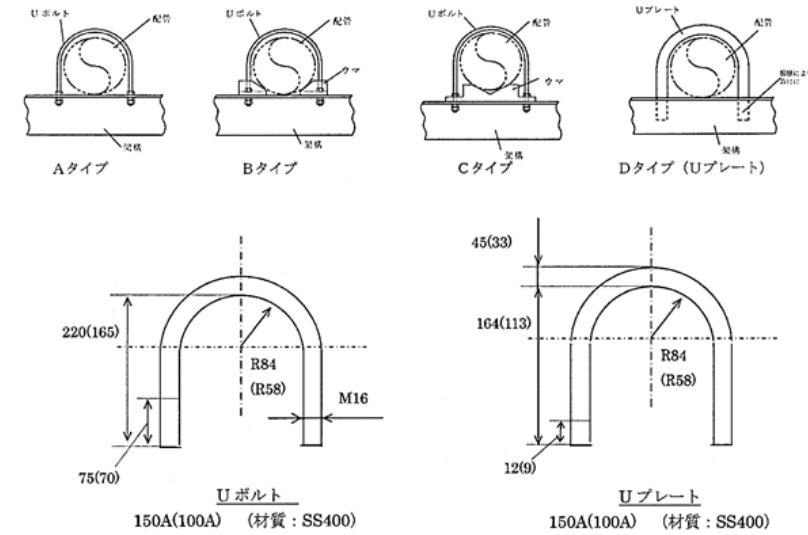
【解析を行った配管仕様】

- ・口径：20A～400A
- ・材質：ステンレス鋼，炭素鋼

上記のうちBWR実機配管

	系統	口径
b配管	CRD	32A
e配管	AC	50A
o配管	RHR	150A
p配管	FPC	40A
q配管	MUWC	100A
r配管	MUWC	150A, 80A
s配管	RCW	200A
t配管	RCW	200A, 80A
u配管	CRD	32A

【補足】要素試験に用いたUボルト支持構造物のタイプ
試験に用いたUボルトは、原子力発電所で採用されている代表的な4タイプを選定した。



【解析を行った配管仕様】

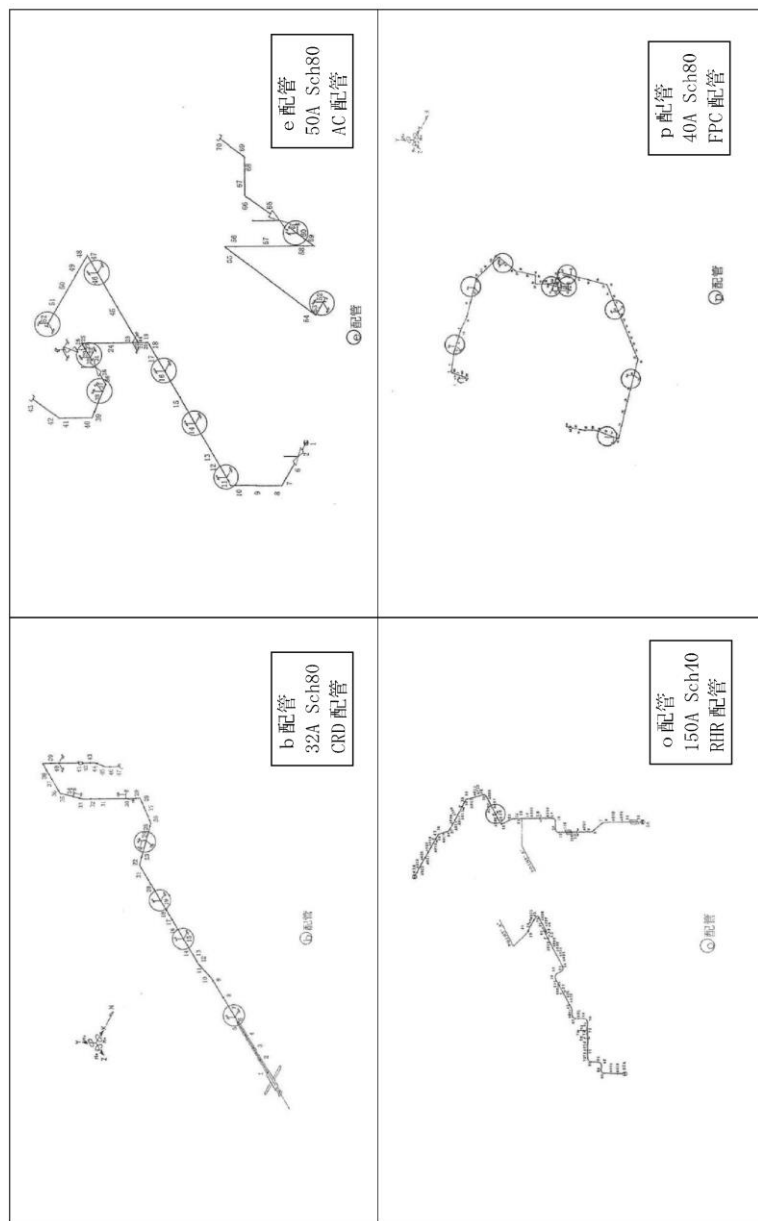
- ・口径：20A～400A
- ・材質：ステンレス鋼，炭素鋼

解析を行ったBWR実機配管

	系統	口径
ⓑ配管	CRD	32A
ⓒ配管	AC	50A
ⓐ配管	RHR	150A
ⓓ配管	FPC	40A
Ⓚ配管	MUWC	100A
Ⓡ配管	MUWC	150A, 80A
Ⓢ配管	RCW	200A
Ⓣ配管	RCW	200A, 80A
Ⓤ配管	CRD	32A

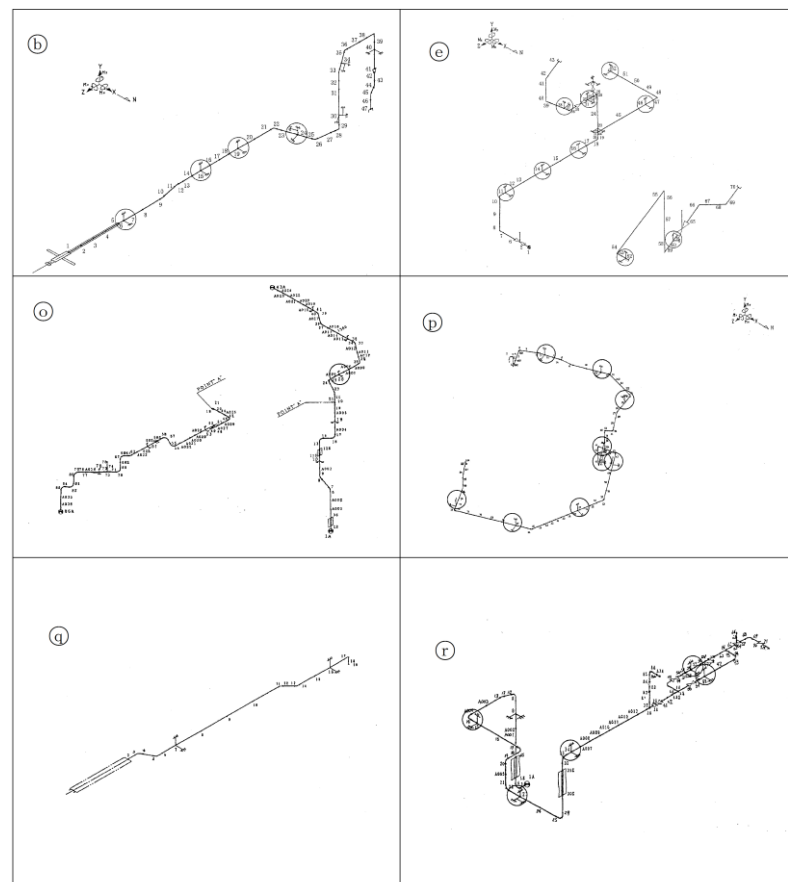
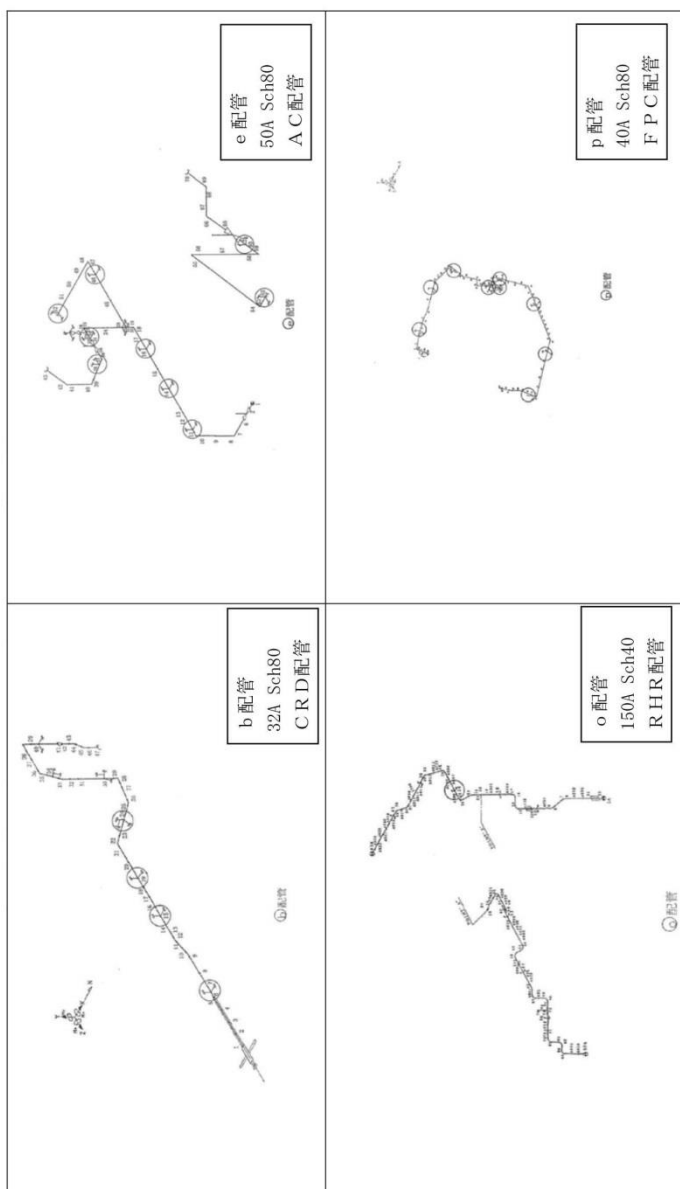
参考資料 3 (6 / 8)

実機配管系の解析モデル図 (b・e・o・p 配管)



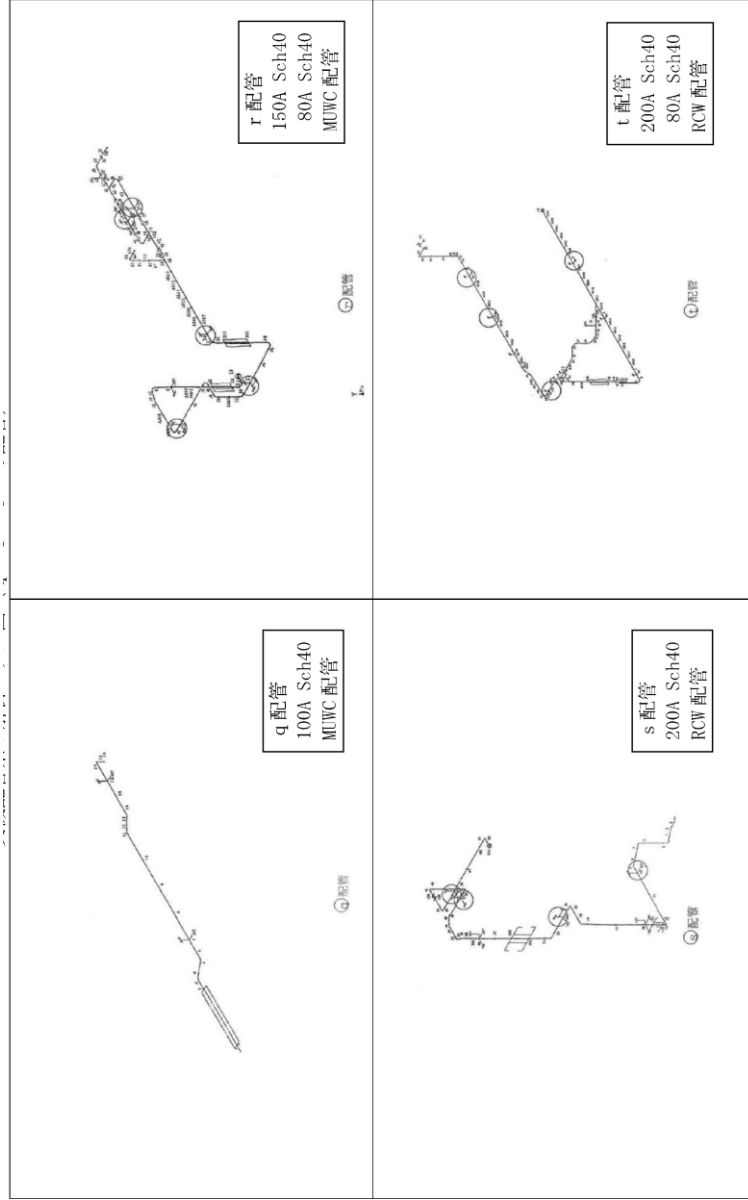
参考資料 3 (6 / 8)

実機配管系の解析モデル図 (b・e・o・p 配管)



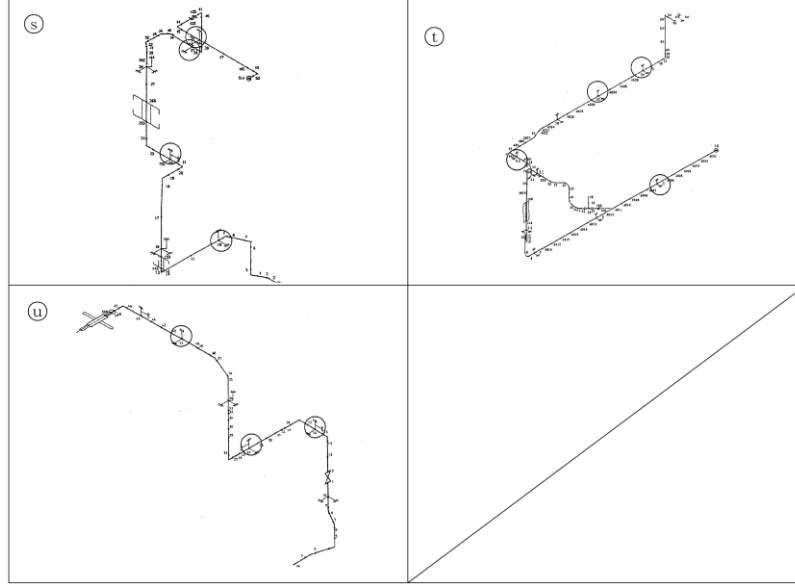
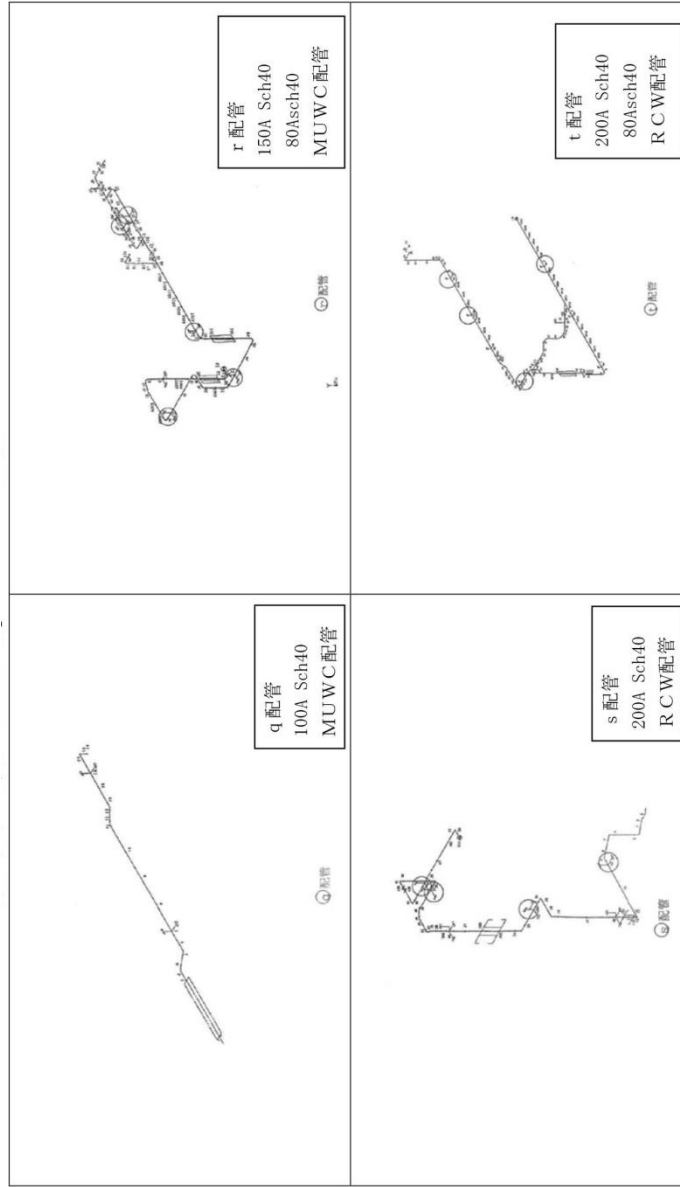
参考資料3 (7/8)

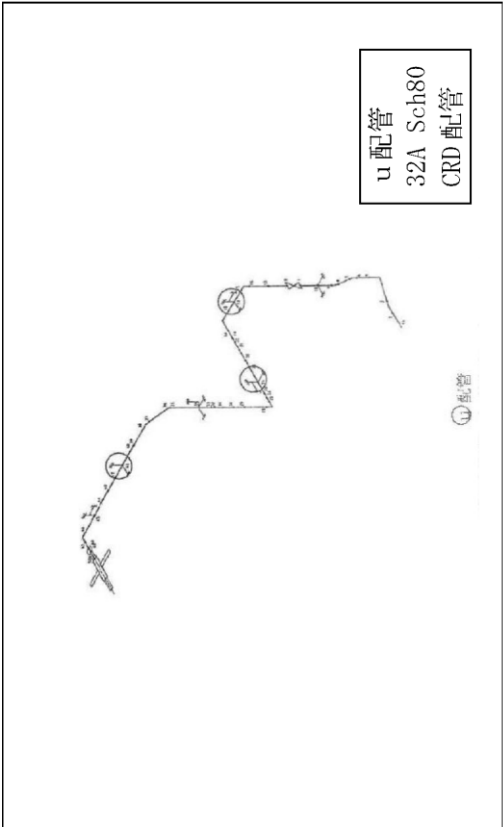
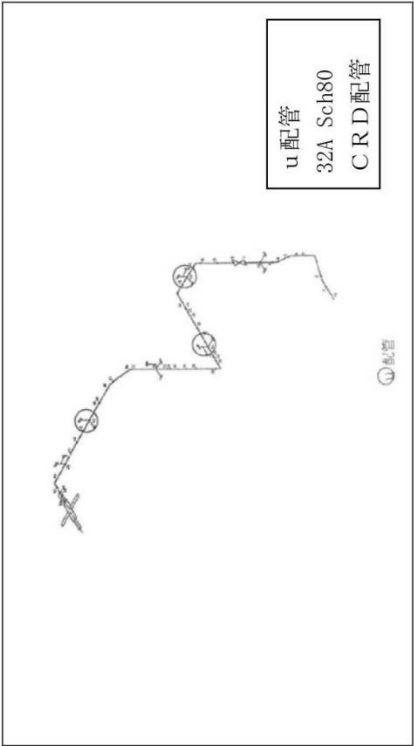
実機実機配管系の解析モデル図 (q・r・s・t配管)



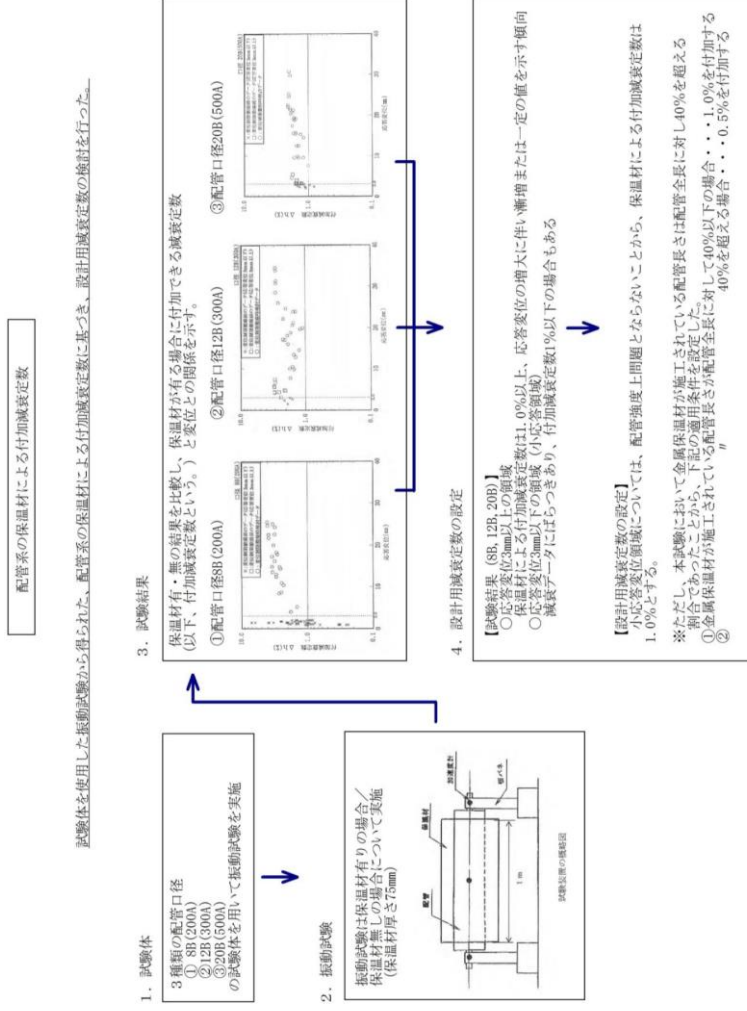
参考資料-3 (7/8)

実機配管系の解析モデル図 (q・r・s・t配管)



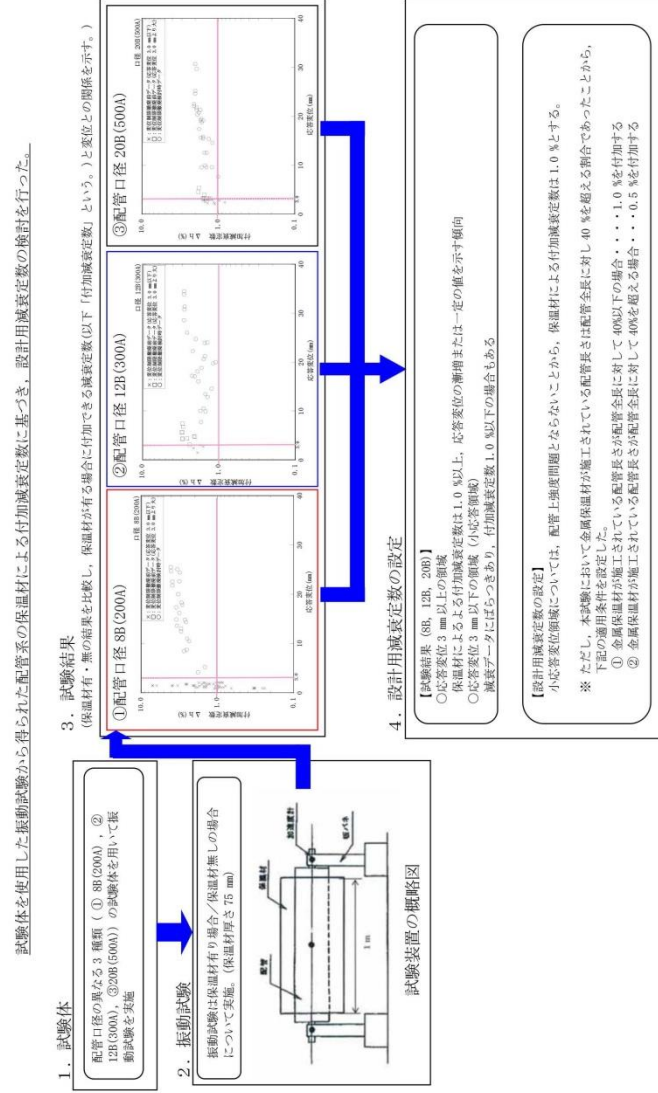
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p style="text-align: center;">参考資料 3 (8 / 8)</p> <p style="text-align: center;">実機実機配管系の解析モデル図 (u配管)</p> 	<p style="text-align: center;">参考資料 - 3 (8 / 8)</p> <p style="text-align: center;">実機配管系の解析モデル図 (u配管)</p> 		

参考資料4



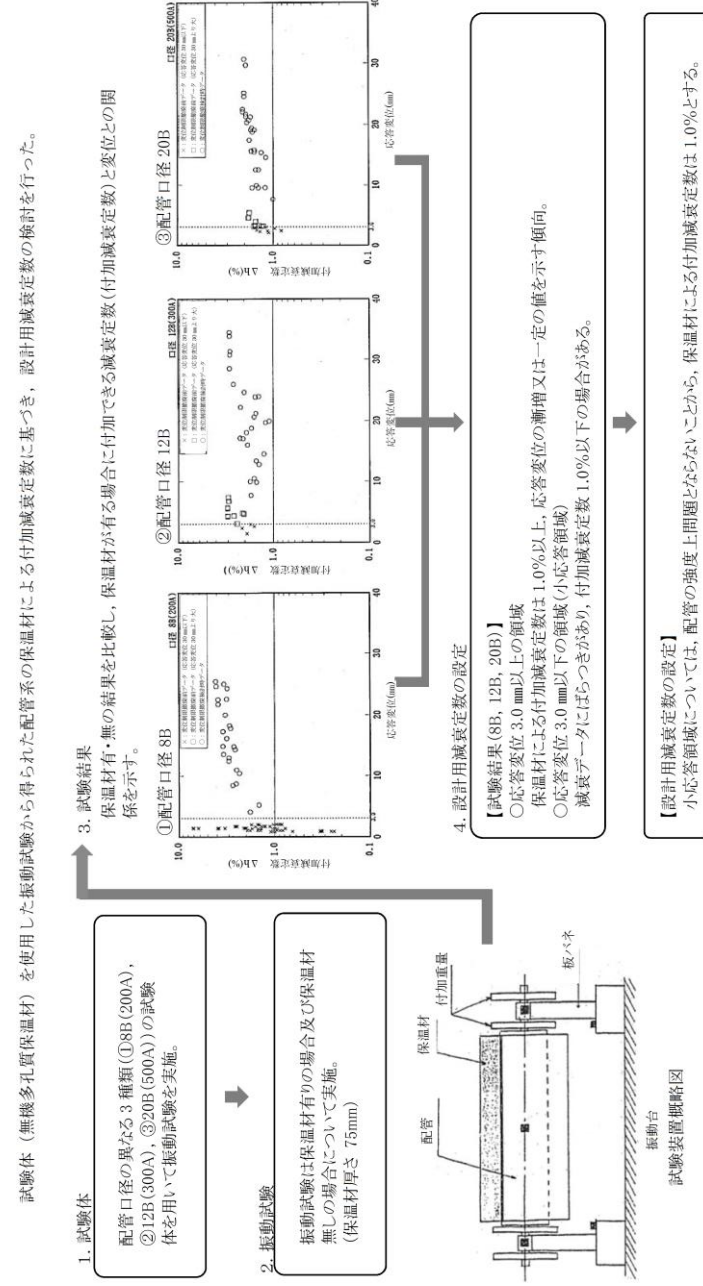
参考資料-4

配管系の保温材による付加減衰定数



参考資料(6-4)

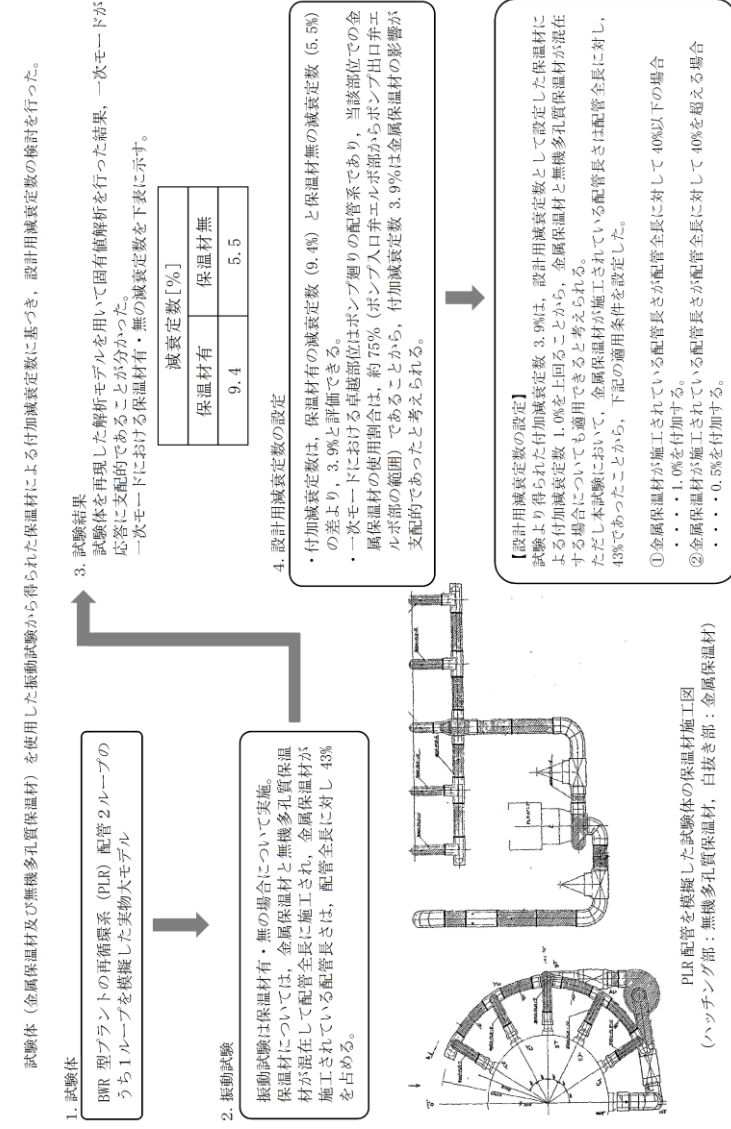
配管系の保温材による付加減衰定数(無機多孔質保温材)



・資料構成の相違
【柏崎 6/7, 東海第二】
①の相違

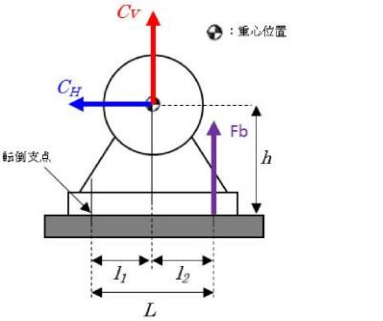
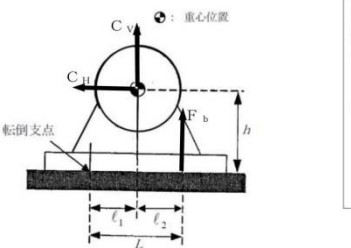
参考資料(6-5)

配管系の保温材による付加減衰定数 (金属保温材及び無機多孔質保温材)



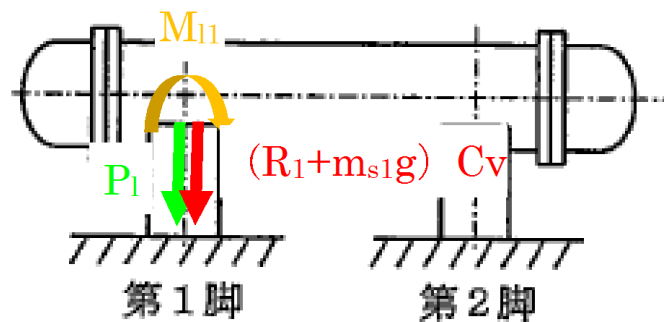
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>添付資料 4</p> <p>水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根 (SRSS) 法による組み合わせ</p> <p>1. 概要</p> <p>今回工認の耐震設計では、これまで静的な取扱いのみであった鉛直方向の地震力について、動的な地震力を考慮することとなる<u>とともに</u>、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重を適切に組み合わせることが必要となる。</p> <p>従来の水平方向及び鉛直方向の荷重の組み合わせは、静的な地震力による鉛直方向の荷重には地震継続時間や最大加速度の生起時刻のような時間の概念がなかったことから、水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の最大値同士の絶対値の和としていた。(以下「絶対値和法」という。)</p> <p>一方、水平方向及び鉛直方向の<u>両者</u>がともに動的な地震力である場合、両者の最大加速度の生起時刻に差があるという実挙動を踏まえると、従来と同じように絶対値和法を用いるのではなく、時間的な概念を取り入れた荷重の組み合わせ法を検討する必要がある。</p> <p>本資料では、水平方向及び鉛直方向の動的地震力の組み合わせに関する既往研究⁽¹⁾をもとに、二乗和平方根法(以下「SRSS法(Square Root of the Sum of the Squares)」という。)による組み合わせ法の妥当性について説明するものである。</p> <p>なお、SRSS法による組み合わせは、大間1号炉の建設工認において適用実績のある手法である。</p> <p>2. 柏崎刈羽原子力発電所で用いる荷重の組み合わせ法</p> <p>柏崎刈羽原子力発電所では、静的な地震力による荷重の組合せについては、従来どおり絶対値和法を用いて評価を行う。また、動的な地震力による荷重の組合せについては、既往知見に基づき、SRSS法を用いて評価を行うことも可能である。</p>	<p>添付資料 6</p> <p>水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組み合わせについて</p> <p>1. 概要</p> <p>今回工認の耐震設計では、これまで静的な取扱いのみであった鉛直方向の地震力について、動的な地震力を考慮することとなる<u>とともに</u>、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重を適切に組み合わせることが必要となる。</p> <p>従来の水平方向及び鉛直方向の荷重の組合せは、静的な地震力による鉛直方向の荷重には地震継続時間や最大加速度の生起時刻のような時間の概念がなかったことから、水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の最大値同士の絶対値の和としていた(以下「絶対値和法」という。)</p> <p>一方、水平方向及び鉛直方向の<u>両者</u>がともに動的な地震力である場合、両者の最大加速度の生起時刻に差があるという実挙動を踏まえると、従来と同じように絶対値和法を用いるのではなく、時間的な概念を取り入れた荷重の組み合わせ法を検討する必要がある。</p> <p>本資料では、水平方向及び鉛直方向の動的地震力の組合せに関する既往研究⁽¹⁾をもとに、二乗和平方根法(以下「SRSS法(Square Root of the Sum of the Squares)」という。)による組み合わせ法の妥当性を説明するものである。</p> <p>なお、SRSS法による組合せは、大間1号炉の既工認において適用実績のある手法である。</p> <p>2. 東海第二発電所で用いる荷重の組合せ法</p> <p>東海第二発電所では、静的な地震力による荷重の組合せについては、従来どおり絶対値和法を用いて評価を行う。また、動的な地震力による荷重の組合せについては、既往知見に基づき、SRSS法を用いて評価を行う。</p>	<p>添付資料 7</p> <p>水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組み合わせについて</p> <p>1. 概要</p> <p>今回工認の耐震設計では、これまで静的な取扱いのみであった鉛直方向の地震力について、動的な地震力を考慮することに伴い、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重を適切に組み合わせることが必要となる。</p> <p>従来の水平方向及び鉛直方向の荷重の組合せは、静的地震力による鉛直方向の荷重には地震継続時間や最大加速度の発生時刻のような時間の概念がなかったことから、水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の最大値同士の絶対値和としていた(以下「絶対値和法」という。)</p> <p>一方、水平方向及び鉛直方向がともに動的な地震力である場合、両者の最大加速度の発生時刻に差があるという実挙動を踏まえると、従来と同じように絶対値和法を用いるのではなく、時間的な概念を取り入れた荷重の組合せ方法を検討する必要がある。</p> <p>本資料では、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力の組合せに関する既往研究(1)をもとに、二乗和平方根(以下「SRSS(Square Root of the Sum of the Squares)」という。)法による組合せの妥当性について説明するものである。</p> <p>なお、SRSS法による荷重の組合せは、大間1号炉建設工認及び東海第二において適用実績のある手法である。</p> <p>2. 島根2号炉で用いる荷重の組合せ方法</p> <p>島根2号炉では、静的な地震力による荷重の組合せについては、従来通り絶対値和法を用いて評価を行う。また、動的な地震力による荷重の組合せについては、既往知見に基づきSRSS法を用いて評価を行う。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>3. 水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の<u>組み合わせ法</u>に関する研究の成果</p> <p>3.1 荷重の<u>組み合わせ法</u>の概要 絶対値和法とSRSS法の概要を以下に示す。</p> <p>(1) 絶対値和法 本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）<u>※</u>を絶対値和で組み合わせる方法である この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重が同時刻に同位相で<u>生じる</u>ことを仮定しており、<u>組み合わせ法</u>の中で最も大きな荷重を与える。本手法は、主に地震力について時間の概念がない静的地震力による荷重の組合せに使用する。</p> $\text{組合せ荷重（又は応力）} = M_H _{\max} + M_V _{\max}$ <p>M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）</p> <p>(2) SRSS法 本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）<u>※</u>を二乗和平方根で組み合わせる方法である。 この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重の<u>生起時刻</u>に時間的なずれがあるという実挙動を考慮しており、水平方向及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析結果との比較において平均的な荷重を与える。本手法は、<u>動的な地震力</u>による荷重同士の組合せに使用する。</p> $\text{組合せ荷重（又は応力）} = \sqrt{(M_H)_{\max}^2 + (M_V)_{\max}^2}$ <p>M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）</p> <p><u>※</u>：荷重の段階で組み合わせる場合と、<u>荷重により発生した応力の段階</u>で組み合わせる場合がある。<u>(次頁の「補足」参照)</u> 応力で組み合わせる場合は、妥当性を確認した上で適用する。</p>	<p>3. 水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組合せ法に関する研究の成果</p> <p>3.1 荷重の組合せ法の概要 絶対値和法とSRSS法の概要を以下に示す。</p> <p>(1) 絶対値和法 本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）<u>※</u>を絶対値和で組み合わせる方法である。 この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重が同時刻に同位相で<u>生じる</u>ことを仮定しており、<u>組み合わせ法</u>の中で最も大きな荷重を与える。本手法は、主に地震力について時間の概念がない静的地震力による荷重の組合せに使用する。</p> $\text{組合せ荷重（又は応力）} = M_H _{\max} + M_V _{\max}$ <p>M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）</p> <p>(2) SRSS法 本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）<u>※</u>を二乗和平方根で組み合わせる方法である。 この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重の<u>生起時刻</u>に時間的なずれがあるという実挙動を考慮しており、水平方向及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析との比較において平均的な荷重を与える。本手法は、<u>動的な地震力</u>による荷重の組合せに使用する。</p> $\text{組合せ荷重（又は応力）} = \sqrt{(M_H)_{\max}^2 + (M_V)_{\max}^2}$ <p>M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）</p> <p><u>※</u>：荷重の段階で組み合わせる場合と、<u>荷重により発生した応力の段階</u>で組み合わせる場合がある。 応力の<u>段階</u>で組み合わせる場合は、その妥当性を確認した上で<u>用いる</u>。</p>	<p>3. 水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の<u>組合せ方法</u>に関する研究の成果</p> <p>3.1 荷重の<u>組合せ方法</u>の概要 <u>荷重の組合せ方法</u>として、絶対値和法及びSRSS法の概要を以下に示す。</p> <p>(1) 絶対値和法 本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）<u>※</u>を絶対値和で組み合わせる方法である。 この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重が同時刻に同位相で<u>発生する</u>ことを仮定しており、<u>組合せ方法</u>の中では最も大きな荷重を与える。本手法は、主に地震力について時間の概念がない静的地震力による荷重の組合せに使用する。</p> $\text{組合せ荷重（又は応力）} = M_H _{\max} + M_V _{\max}$ <p>M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）</p> <p>(2) SRSS法 本手法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重（又は応力）<u>※</u>を二乗和平方根で組み合わせる方法である。 この方法は、水平方向及び鉛直方向の地震力による最大荷重の<u>発生時刻</u>に時間的なずれがあるという実挙動を考慮しており、水平方向及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析結果との比較において平均的な荷重を与える。本手法は動的地震力による荷重同士の組合せに使用する。</p> $\text{組合せ荷重（又は応力）} = \sqrt{(M_H)_{\max}^2 + (M_V)_{\max}^2}$ <p>M_H：水平方向地震力による荷重（又は応力） M_V：鉛直方向地震力による荷重（又は応力）</p> <p><u>注</u>：荷重の段階で組み合わせる場合と荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。<u>(次頁補足参照)</u>。 応力で組み合わせる場合は、その妥当性を確認した上で<u>適用する</u>。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>(補足) 荷重または応力による組み合わせについて 水平方向及び鉛直方向の動的地震力をSRSSで組み合わせる際、評価対象の機器の形状や部位に応じて荷重の段階で組み合わせる場合と、荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。ここでは、その使い分けについて具体例を用いて説明する。</p> <p>A. 荷重の段階で組み合わせを行う場合 横形ポンプの基礎ボルトの引張応力の評価を例とすると、以下の式で示すように水平方向地震力と鉛直方向地震力の組み合わせは、荷重である水平方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_H \cdot h$) と鉛直方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_V \cdot l_1$) を組み合わせる。</p> <p>本手法については、非同時性を考慮する地震荷重についてのみSRSSしており、実績のある妥当な手法である。</p> <p>【絶対和】 $F_b = \frac{1}{L} \{ mg(C_H h + C_V l_1) + mg C_P (h + l_1) + M_P - mg l_1 \} \quad \dots (式 A-1)$</p> <p>【SRSS法】 $F_b = \frac{1}{L} \{ mg \sqrt{(C_H h)^2 + (C_V l_1)^2} + mg C_P (h + l_1) + M_P - mg l_1 \} \quad \dots (式 A-2)$</p>  <p>第A図 横形ポンプに作用する震度</p> <p> F_b : 基礎ボルトに生じる引張力 C_H : 水平方向震度 C_V : 鉛直方向震度 C_P : ポンプ振動による震度 g : 重力加速度 h : 据付面から重心までの距離 l_1, l_2 : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離 L : 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離 m : 機器の運転時質量 M_P : ポンプ回転により働くモーメント </p>	<p>(補足) 荷重または応力による組合せについて 水平方向及び鉛直方向の動的地震力をSRSS法で組み合わせる際、評価対象の機器の形状や部位に応じて荷重の段階で組み合わせる場合と、荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。ここでは、その使い分けについて具体例を用いて説明する。</p> <p>A. 荷重の段階で組合せを行う場合 横形ポンプの基礎ボルトの引張応力の評価を例とすると、以下の式で示すように水平方向地震力と鉛直方向地震力の組合せは、荷重である水平方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_H \cdot h$) と鉛直方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_V \cdot l_1$) を組み合わせる。</p> <p>本手法については、非同時性を考慮する地震荷重についてのみSRSSしており、実績のある妥当な手法である。</p> <p>【絶対値和法】 $F_b = \frac{1}{L} \{ m g (C_H h + C_V l_1) + m g C_P (h + l_1) + M_P - m g l_1 \}$</p> <p>【SRSS法】 $F_b = \frac{1}{L} \{ m g \sqrt{ (C_H h) ^ 2 + (C_V l_1) ^ 2 } + m g C_P (h + l_1) + M_P - m g l_1 \}$</p>  <p> F_b : 基礎ボルトに生じる引張力 C_H : 水平方向震度 C_V : 鉛直方向震度 C_P : ポンプ振動による震度 g : 重力加速度 h : 据付面から重心までの距離 l_1, l_2 : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離 L : 支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離 m : 機器の運転時質量 </p>	<p>(補足) 荷重又は応力による組合せについて 水平方向及び鉛直方向の動的地震力をSRSS法で組み合わせる際、評価対象機器の形状や部位に応じて荷重の段階で組み合わせる場合と荷重により発生した応力の段階で組み合わせる場合がある。ここではその使い分けについて、具体例を用いて説明する。</p> <p>A. 荷重の段階で組合せを行う場合 横形ポンプの基礎ボルトの引張応力の評価を例とする。以下の式で示すように水平方向地震力と鉛直方向地震力の組合せは、荷重である水平方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_H \cdot h$) と鉛直方向地震力によるモーメント ($m \cdot g \cdot C_V \cdot l_1$) を組み合わせる。</p> <p>本手法については、非同時性を考慮する地震荷重についてのみSRSSしており、実績のある妥当な手法である。</p> <p>【絶対値和法】 $F_b = \frac{1}{L} \{ m g (C_H h + C_V l_1) + m g C_P (h + l_1) + M_P - m g l_1 \} \quad \dots (式 A-1)$</p> <p>【SRSS法】 $F_b = \frac{1}{L} \{ m g \sqrt{ (C_H h) ^ 2 + (C_V l_1) ^ 2 } + m g C_P (h + l_1) + M_P - m g l_1 \} \quad \dots (式 A-2)$</p> <p>ここで、</p> <p> F_b : 基礎ボルトに生じる引張力 C_H : 水平方向震度 C_V : 鉛直方向震度 C_P : ポンプ振動による震度 M_P : ポンプ回転により働くモーメント g : 重力加速度 h : 据付面から重心までの距離 l_1, l_2 : 重心と基礎ボルト間の水平方向距離 L : 支点とする基礎ボルトから最大引張応力がかかる基礎ボルトまでの距離 m : 機器の運転時質量 </p> <p>である。</p>	

B. 応力による組み合わせを行う場合

横置円筒形容器の脚の組合せ応力の評価を例とすると、脚には、水平方向地震力による曲げモーメント M_{11} 及び鉛直方向荷重 P_1 、鉛直方向地震力による鉛直荷重 $(R_1+m_s1g) C_v$ が作用する。(第 B-1 図)

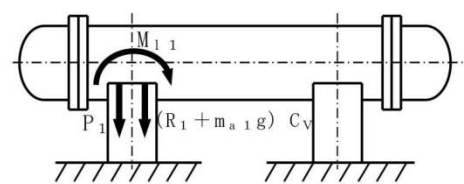


第B-1図 横置円筒容器の脚部に作用する荷重

水平地震力による圧縮応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は式B-1、式B-2で表され、脚の組合せ応力の評価の際はこれらの応力をSRSS法により組み合わせて式B-4を用いて評価を行う。

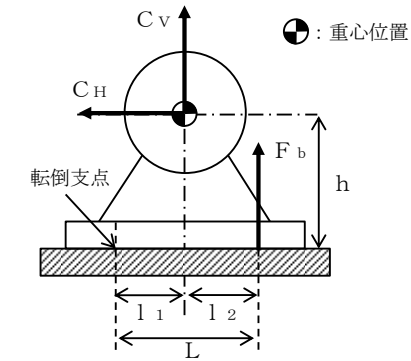
B. 応力による組合せを行う場合

横置円筒形容器の脚部の組合せ応力の評価を例とすると、脚部には水平方向地震力による曲げモーメント M_{11} 及び鉛直方向荷重 P_1 、鉛直方向地震力による鉛直荷重 $(R_1+m_a1g) C_v$ が作用する。(図B-1)



図B-1 横置円筒系容器の脚部に作用する荷重

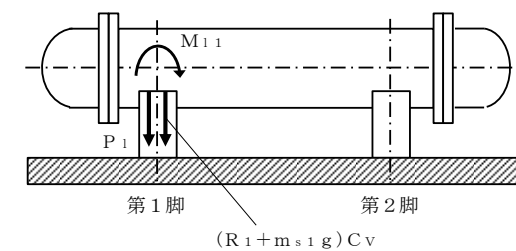
水平方向地震力による応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による応力 σ_{s4} は式B-1及び式B-2で表され、脚部の組合せ応力の評価の際は、これらの応力をSRSS法により組み合わせて式B-4を用いて評価を行う。



図A-1 横形ポンプに作用する震度

B. 応力による組合せを行う場合

横置円筒形容器の脚の組合せ応力の評価を例とする。脚には、水平方向地震力による曲げモーメント M_{11} 及び鉛直方向荷重 P_1 、鉛直方向地震力による鉛直荷重 が作用する。



図B-1 横置円筒形容器の脚部に作用する荷重

水平地震力による圧縮応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は以下の式で表され、脚の組合せ応力の評価の際はこれらの応力をSRSS法により組み合わせて評価を行う。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{11}}{Z_{sy}} + \frac{P_1}{A_s} \quad \dots \text{(式 B-1)}$$

σ_{s2} : 水平方向地震力により脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和
 M_{11} : 水平方向地震力により脚底面に作用する曲げモーメント
 P_1 : 水平方向地震力により胴の脚付け根部に作用する鉛直方向荷重
 Z_{sy} : 脚の断面係数
 A_s : 脚の断面積

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1}g}{A_s} C_V \quad \dots \text{(式 B-2)}$$

σ_{s4} : 鉛直方向地震力により脚に生じる圧縮応力
 R_1 : 脚が受ける自重による荷重
 m_{s1} : 脚の質量
 g : 重力加速度
 C_V : 鉛直方向震度

【絶対和】

$$\sigma_{st} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3\tau_{s2}^2} \quad \dots \text{(式 B-3)}$$

【SRSS法】

$$\sigma_{st} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3\tau_{s2}^2} \quad \dots \text{(式 B-4)}$$

σ_{st} : 水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の脚の組合せ応力
 σ_{s1} : 運転時質量により脚に生じる圧縮応力
 τ_{s2} : 水平方向地震力により脚に生じるせん断応力

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{11}}{Z_{sy}} + \frac{P_1}{A_s} \quad \dots \text{(式 B-1)}$$

σ_{s2} : 水平方向地震力により脚部に生じる曲げ及び圧縮応力の和
 M_{11} : 水平方向地震力により脚底面に作用する曲げモーメント
 P_1 : 水平方向地震力により胴の脚付け根部に作用する鉛直方向荷重
 Z_{sy} : 脚部の断面係数
 A_s : 脚部の断面積

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1}g}{A_s} C_V \quad \dots \text{(式 B-2)}$$

σ_{s4} : 鉛直方向地震力により生じる圧縮応力
 R_1 : 脚部が受ける自重による荷重
 m_{s1} : 脚部の質量

【絶対和法】

$$\sigma_{s1} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3\tau_{s2}^2} \quad \dots \text{(式 B-3)}$$

【SRSS法】

$$\sigma_{s1} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{(\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2)})^2 + (3\tau_{s2}^2)} \quad \dots \text{(式 B-4)}$$

σ_{s1} : 水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の脚部の組合せ応力
 σ_{s1} : 運転時質量により脚部に生じる圧縮応力
 τ_{s2} : 水平方向地震力により脚に生じるせん断応力

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{11}}{Z_{sy}} + \frac{P_1}{A_s} \quad \dots \text{(式 B-1)}$$

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1}g}{A_s} C_V \quad \dots \text{(式 B-2)}$$

【絶対和法】

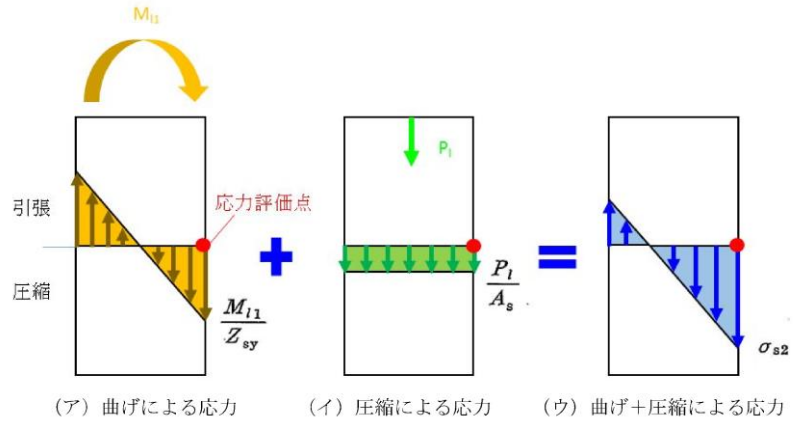
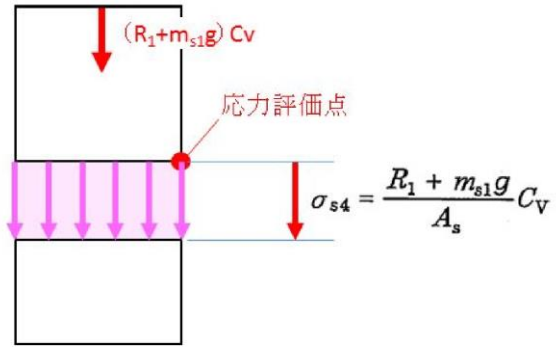
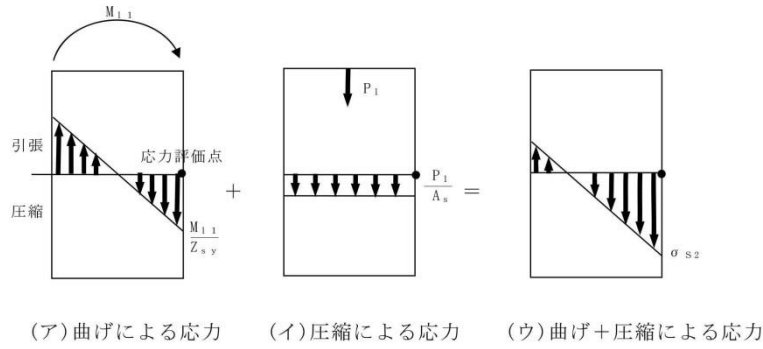
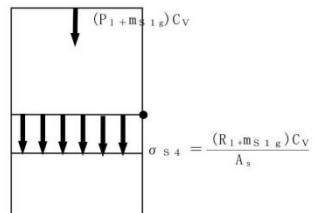
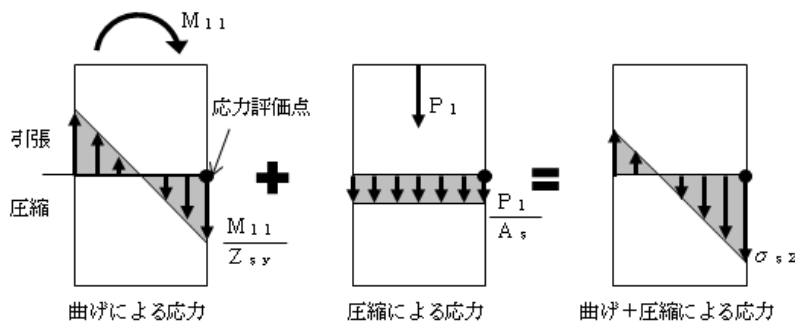
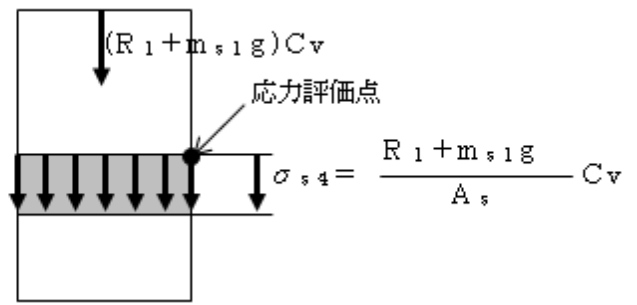
$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3\tau_{s2}^2} \quad \dots \text{(式 B-3)}$$

【SRSS法】

$$\sigma_s = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3\tau_{s2}^2} \quad \dots \text{(式 B-4)}$$

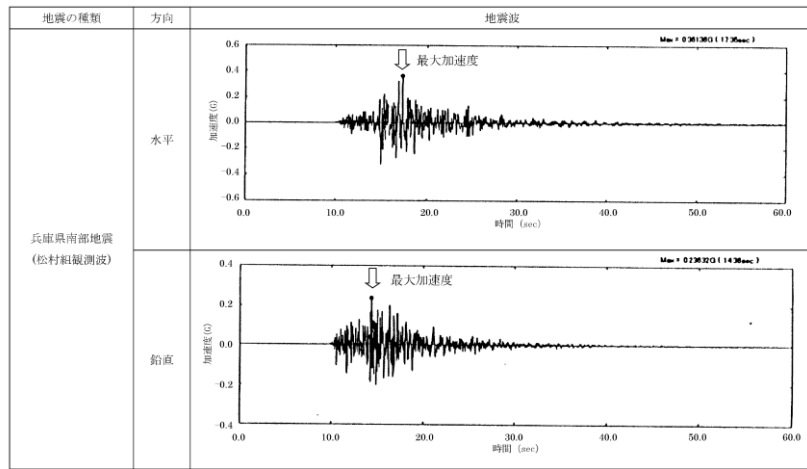
ここで、
 σ_s : 水平方向及び鉛直方向地震力が作用した場合の脚の組合せ応力
 σ_{s1} : 運転時質量により脚に生じる圧縮応力
 σ_{s2} : 水平方向地震力により脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和
 σ_{s4} : 鉛直方向地震力により脚に生じる圧縮応力
 τ_{s2} : 水平方向地震力により脚に生じるせん断応力
 M_{11} : 水平方向地震力により脚底面に作用する曲げモーメント
 P_1 : 水平方向地震力により胴の脚付け根部に作用する鉛直方向荷重
 R_1 : 脚が受ける自重による荷重
 g : 重力加速度
 m_{s1} : 脚の質量
 Z_{sy} : 脚の断面係数
 A_s : 脚の断面積

である。

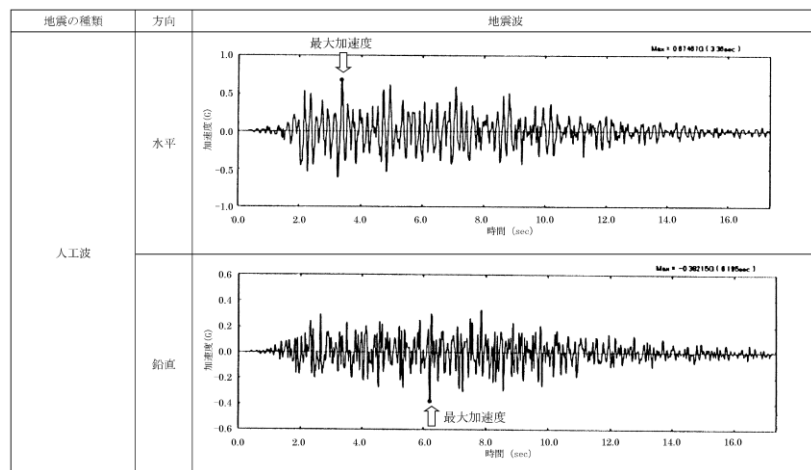
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>ここで、水平地震力による圧縮応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は第B-2図に示すように、ともに脚の外表面の圧縮応力を表すものであり、脚の同一評価点、同一応力成分であることから、これらの組み合わせをSRSS法により行うことは妥当である。</p>  <p>(ア) 曲げによる応力 (イ) 圧縮による応力 (ウ) 曲げ+圧縮による応力</p> <p>(a) 水平地震力による応力評価点の圧縮応力</p>  <p>(b) 鉛直地震力による応力評価点の圧縮応力</p>	<p>ここで、水平方向地震力による応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は図B-2に示すように、ともに脚部の外表面の応力を表すものであり、脚部の同一評価点、同一応力成分であることから、これらの組み合わせをSRSS法により行うことは妥当である。</p>  <p>(ア) 曲げによる応力 (イ) 圧縮による応力 (ウ) 曲げ+圧縮による応力</p> <p>(a) 水平地震力による応力評価点の応力</p>  <p>(b) 鉛直地震力による応力評価点の応力</p>	<p>ここで、水平地震力による圧縮応力 σ_{s2} 及び鉛直方向地震力による圧縮応力 σ_{s4} は、図B-2に示すように、ともに脚の外表面の圧縮応力を表すものであり、脚の同一評価点、同一応力成分であることから、これらの組み合わせをSRSS法により行うことは妥当である。</p>  <p>(ア) 曲げによる応力 (イ) 圧縮による応力 (ウ) 曲げ+圧縮による応力</p> <p>(a) 水平方向地震力による応力評価点の圧縮応力</p>  <p>(b) 鉛直方向地震力による応力評価点の圧縮応力</p>	
<p>第B-2図 横置円筒容器の脚部に作用する地震力による応力概念図</p>	<p>図B-2 横置円筒容器の脚部に作用する地震力による応力概念図</p>	<p>図B-2 横置円筒容器の脚部に作用する地震力による応力概念図</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>3.2 SRSS 法の妥当性</p> <p>既往研究では、実機配管系に対して、水平及び鉛直地震動による最大荷重を SRSS 法により組み合わせた場合と水平及び鉛直地震動の同時入力による時刻歴応答解析法により組み合わせた場合との比較検討を以下の通り行っている。</p> <p>(1) 解析対象配管系モデル</p> <p>解析対象とした配管は、代表プラントにおける格納容器内の配管系で給水系 (FDW) ×2 本、残留熱除去系 (RHR) 及び主蒸気系 (MS) の計 4 本の配管モデルである。当該配管系は、耐震 S クラスに分類されるものである。</p> <p>(2) 入力地震動</p> <p>解析に用いた入力地震動は、地震動の違いによる影響を確認するため、兵庫県南部地震 (松村組観測波)、人工波及びエルセントロ波の 3 波を用いた。機器・配管系への入力地震動となる原子炉建屋中間階の応答波の例を第 1-1 図～第 1-3 図に示す。</p> <p>(3) 解析結果</p> <p>解析結果を第 2-1 図～第 2-4 図に示す。第 2-1 図～第 2-4 図は、水平方向及び鉛直方向の応力に対して、同時入力による時刻歴応答解析法及び SRSS 法により組み合わせた結果をまとめたものであり、参考までに絶対値和法による結果も併記した。</p> <p>第 2-1 図～第 2-4 図より、いずれの配管系においても最大応力発生点においては、時刻歴応答解析法に対して SRSS 法の方が約 1.1 倍から約 1.4 倍の比率で上回る結果となった。</p> <p>最大応力発生点における SRSS 法と同時入力による時刻歴応答解析法との評価結果の比較を第 1 表に示す。また、最大応力発生点の部位を第 3-1 図～第 3-4 図に示す。</p> <p>さらに、配管系全体の傾向を確認するため、配管系の主要な部位における発生応力の比較を第 4 図に示す。第 4 図は、第 2-1 図～第 2-4 図に基づき、各配管モデルの節点の応力値をプロットしたものである。第 4 図より、SRSS 法は発生応力の低い領域では同時入力による時刻歴応答解析法に対して平均的な結果を与え、発生応力の増加に伴い保守的な結果を与える傾向にあることが</p>	<p>3.2 S R S S法の妥当性</p> <p>既往研究では、実機配管系に対して、水平及び鉛直地震動による最大荷重を S R S S法により組み合わせた場合と水平及び鉛直方向地震動の同時入力による時刻歴応答解析法により組み合わせた場合との比較検討を以下の通り行っている。</p> <p>(1) 解析対象配管系モデル</p> <p>解析対象とした配管は、代表プラントにおける原子炉格納容器内の配管系で給水系 (FDW) ×2 本、残留熱除去系 (RHR) 及び主蒸気系 (MS) の計 4 本の配管モデルである。当該配管系は、耐震 S クラスに分類されるものである。</p> <p>(2) 入力地震</p> <p>解析に用いた入力地震動は、地震動の違いによる影響を確認するため、兵庫県南部地震 (松村組観測波)、人工波及びエルセントロ波の 3 波を用いた。機器・配管系への入力地震動となる原子炉建屋中間階の応答波の例を第 6-1 図から第 6-3 図に示す。</p> <p>(3) 解析結果</p> <p>解析結果を第 6-4 図から第 6-7 図に示す。第 6-4 図から第 6-7 図は、水平方向及び鉛直方向の応力に対して、同時入力による時刻歴応答解析法及び S R S S法により組み合わせた結果をまとめたものであり、参考までに絶対値和法による結果も併記した。</p> <p>第 6-4 図から第 6-7 図より、いずれの配管系においても最大応力発生点においては、時刻歴応答解析法に対して S R S S法の方が約 1.1 倍から約 1.4 倍の比率で上回る結果となった。最大応力発生点における S R S S法と同時入力による時刻歴応答解析との評価結果の比較を第 6-1 表に示す。また、最大応力発生点の部位を第 6-8 図から第 6-11 図に示す。</p> <p>さらに、配管系全体の傾向を確認するため、配管系の主要な部位における発生応力の比較を第 6-12 図に示す。第 6-12 図は、第 6-4 図から第 6-7 図に基づき、各配管モデルの節点の応力値をプロットしたものである。第 6-12 図より、S R S S法は発生応力の低い領域では同時入力による時刻歴応答解析法に対して平均的な結果を与え、発生応力の増加に伴い保守的な結果を与える傾向に</p>	<p>3.2 S R S S法の妥当性</p> <p>既往研究⁽¹⁾では、実機配管系に対して、水平及び鉛直地震動による最大荷重を S R S S法により組み合わせた場合と水平及び鉛直地震動の同時入力による時刻歴応答解析法により組み合わせた場合との比較検討を以下のとおり行っている。</p> <p>(1) 解析対象配管系モデル</p> <p>解析対象とした配管は、代表プラントにおける格納容器内の給水系 (FDW) 2 本、残留熱除去系 (RHR) 1 本及び主蒸気系 (MS) 1 本の計 4 本の配管モデルである。当該配管系は S クラスに分類されるものである。</p> <p>(2) 入力地震動</p> <p>解析に用いた入力地震動は、地震動の違いによる影響を確認するため、兵庫県南部地震 (松村組観測波)、人工波及びエルセントロ波の 3 波を用いた。機器・配管系への入力地震動となる原子炉建屋中間階の応答波の例を第 3-1 (1) 図～第 3-1 (3) 図に示す。</p> <p>(3) 解析結果</p> <p>解析結果を第 3-2 (1) 図～第 3-2 (4) 図に示す。第 3-2 (1) 図～第 3-2 (4) 図は、水平方向及び鉛直方向の応力に対して、同時入力による時刻歴応答解析法及び S R S S法により組み合わせた結果をまとめたものであり、参考までに絶対値和法による結果も併記した。</p> <p>第 3-2 (1) 図～第 3-2 (4) 図より、いずれの配管系においても最大応力発生点においては、時刻歴応答解析法に対して S R S S法の方が約 1.1～1.4 倍の比率で上回る結果となった。最大応力発生点における S R S S法と同時入力による時刻歴応答解析法との結果の比較を第 3-1 表に示す。また、最大応力発生点の部位を第 3-3 (1) 図～第 3-3 (4) 図に示す。</p> <p>さらに、配管系全体の傾向を確認するため、配管系の主要な部位における発生応力の比較を第 3-4 図に示す。第 3-2 (1) 図～第 3-2 (4) 図に基づき、各配管モデルの節点の応力値をプロットしたものである。第 3-4 図より、S R S S法は発生応力の低い領域では同時入力による時刻歴応答解析法に対して平均的な結果を与え、発生応力の増加に伴い、保守的な結果を与える傾向にあ</p>	

確認できる。

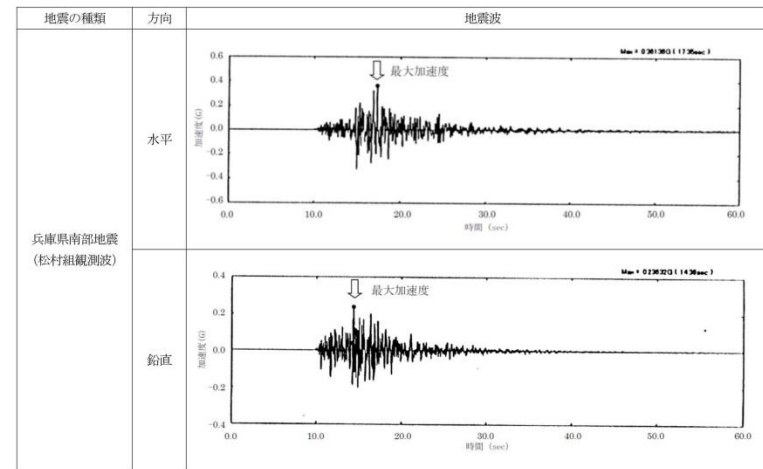


第1-1図 機器・配管系への入力地震動 (兵庫県南部地震)

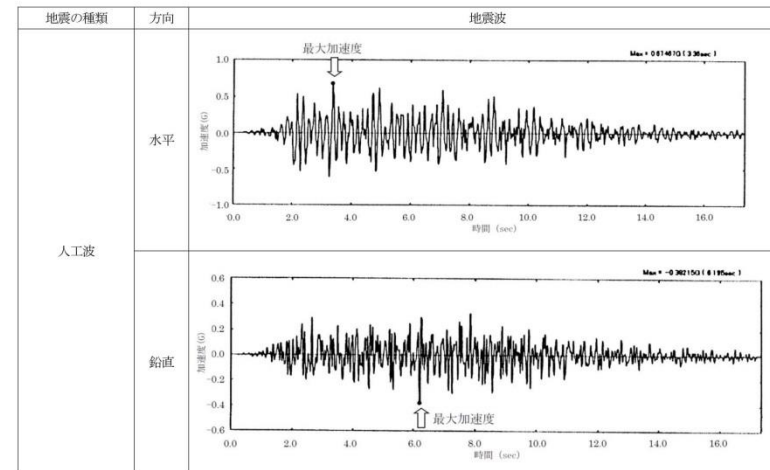


第1-2図 機器・配管系への入力地震動 (人工波)

向にあることが確認できる。

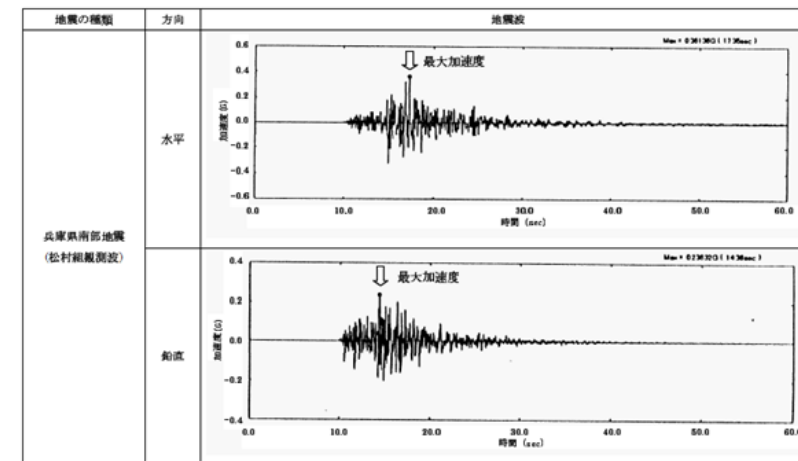


第6-1図 機器・配管系への入力地震動 (兵庫県南部地震)

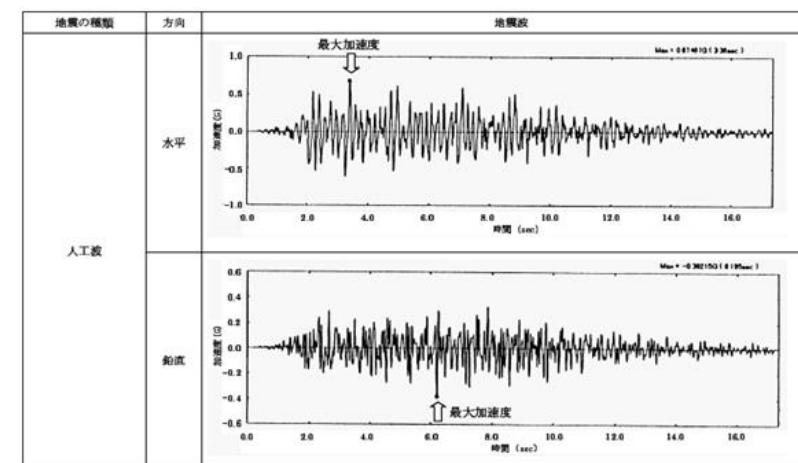


第6-2図 機器・配管系への入力地震動 (人工波)

ることが確認できる。

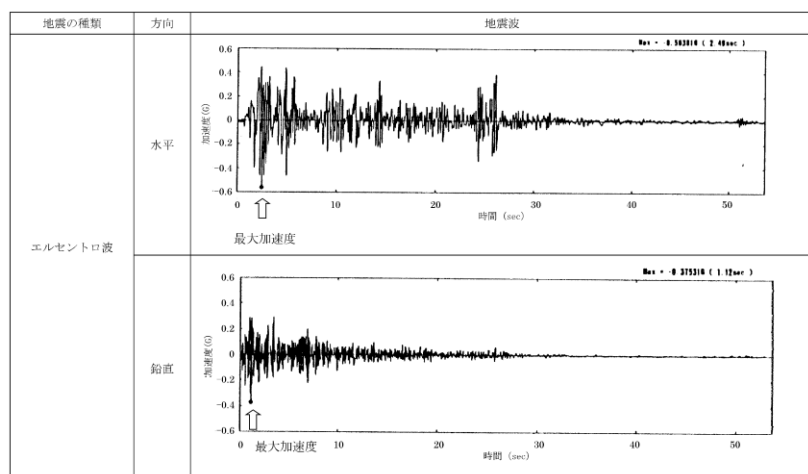


第3-1(1)図 機器・配管系への入力地震動
(兵庫県南部地震 (松村組観測波))



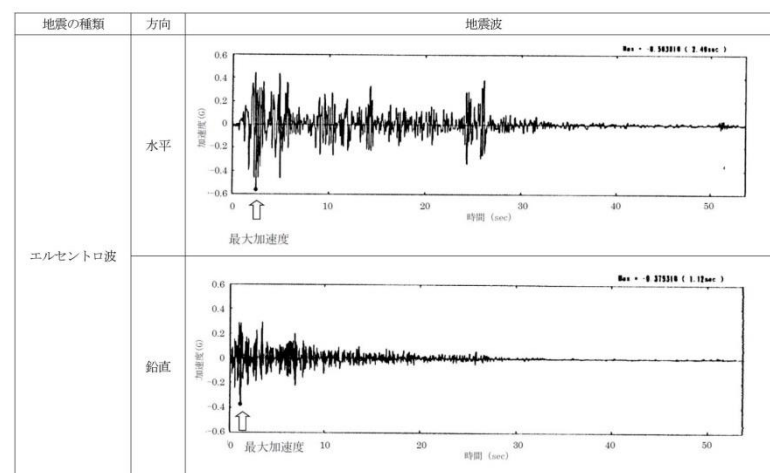
第3-1(2)図 機器・配管系への入力地震動 (人工波)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)



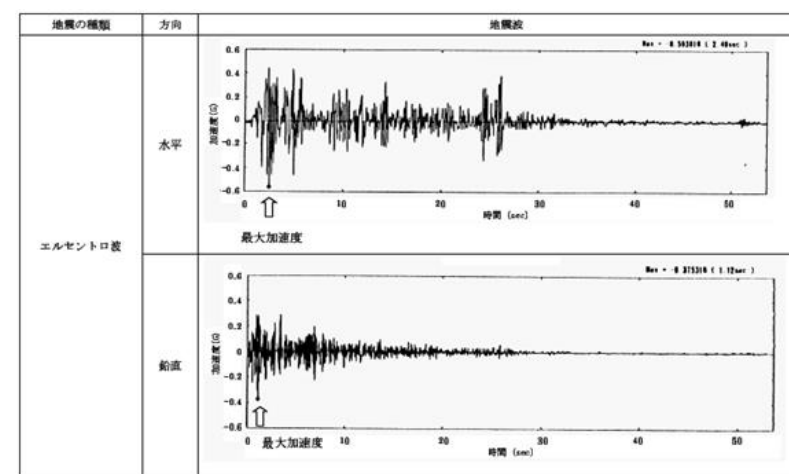
第1-3 図 機器・配管系への入力地震動 (エルセントロ波)

東海第二発電所 (2018.9.18版)



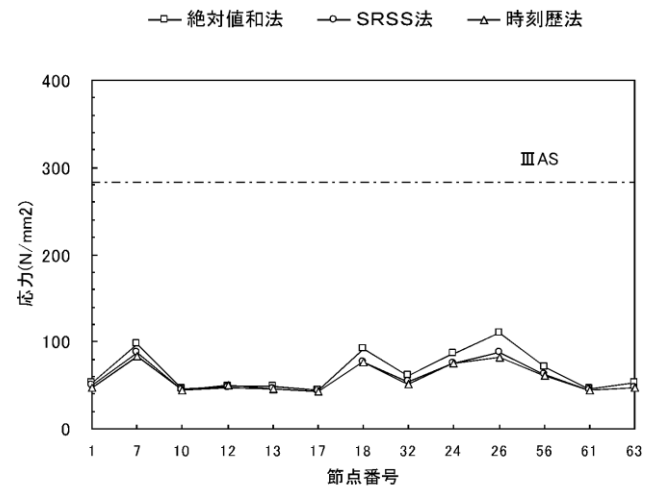
第6-3 図 機器・配管系への入力地震動 (エルセントロ波)

島根原子力発電所 2号炉

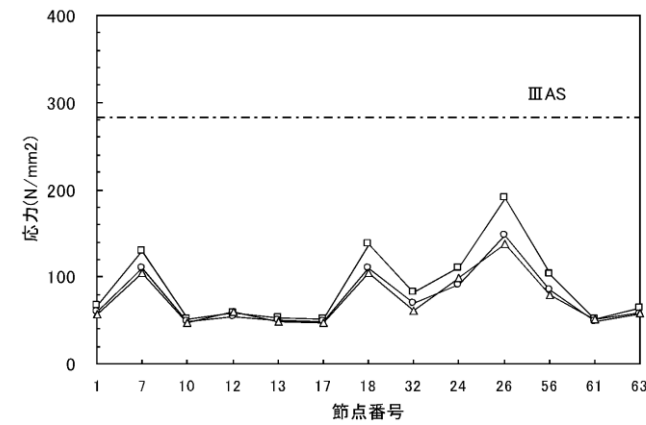


第3-1(3) 図 機器・配管系への入力地震動 (エルセントロ波)

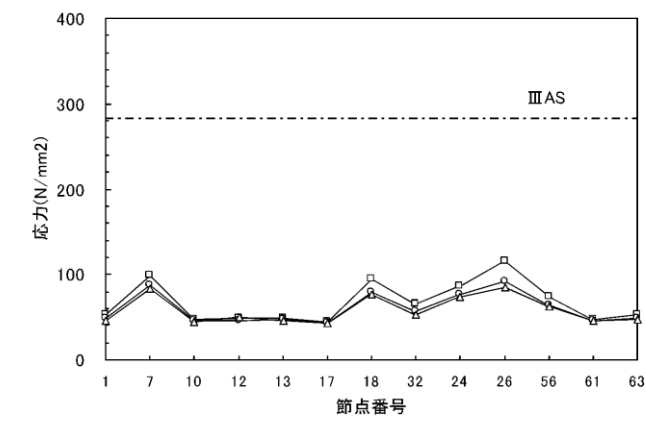
備考



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

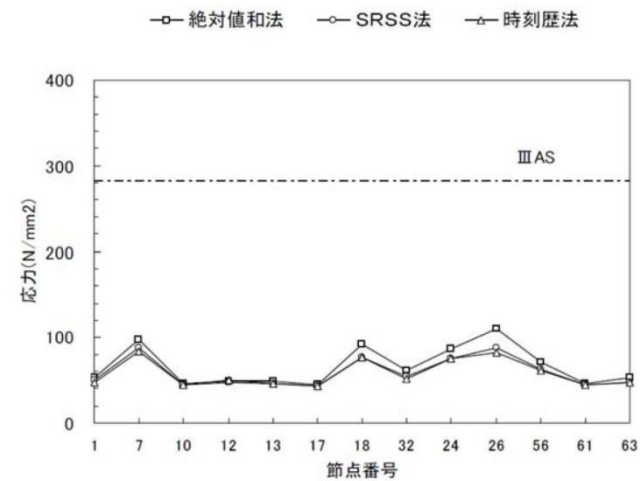


人工波

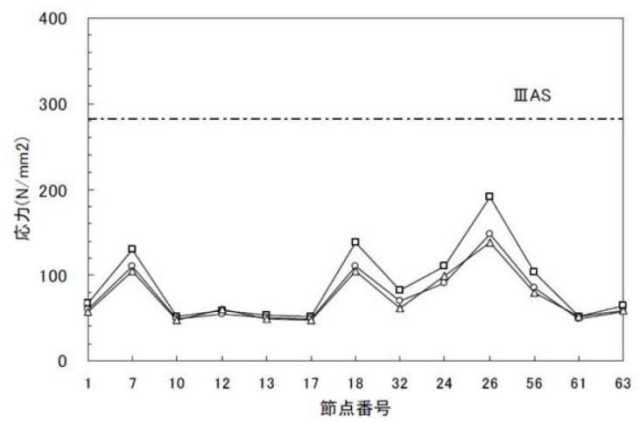


エルセントロ波

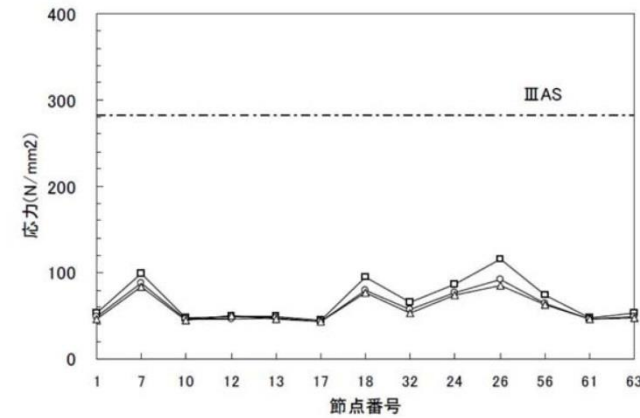
第2-1 図 主要な部位における発生応力 (FDW-001 A プラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

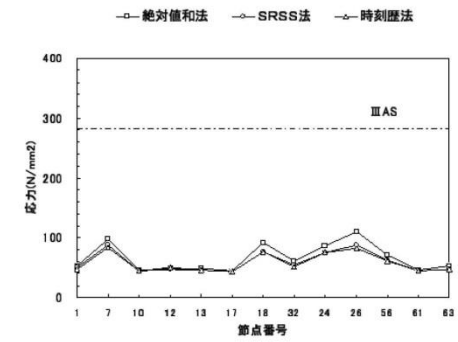


人工波

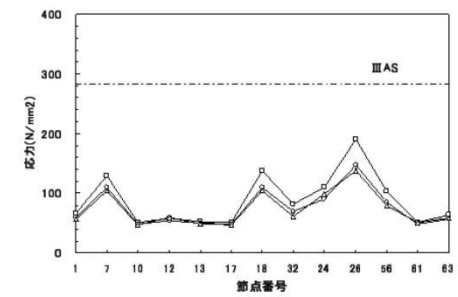


エルセントロ波

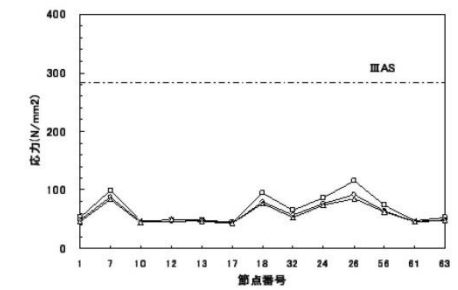
第6-4 図 主要な部位における発生応力 (FDW-001 A プラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

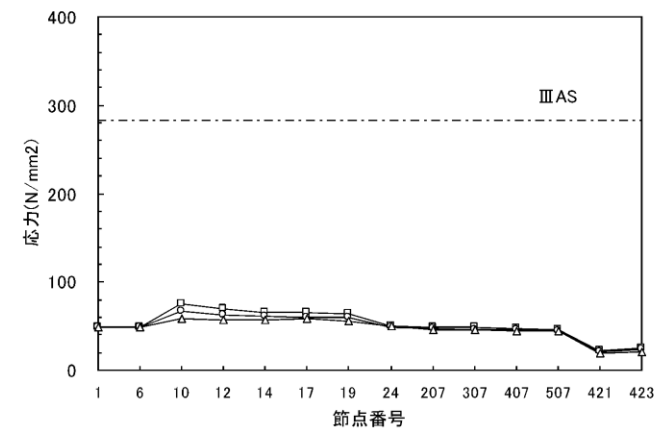


人工波

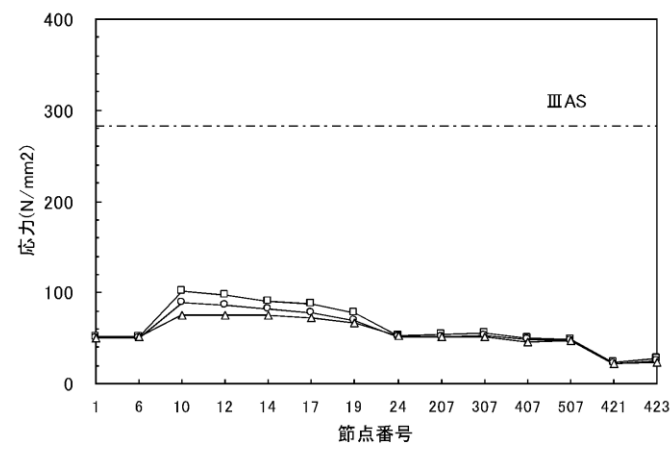


エルセントロ波

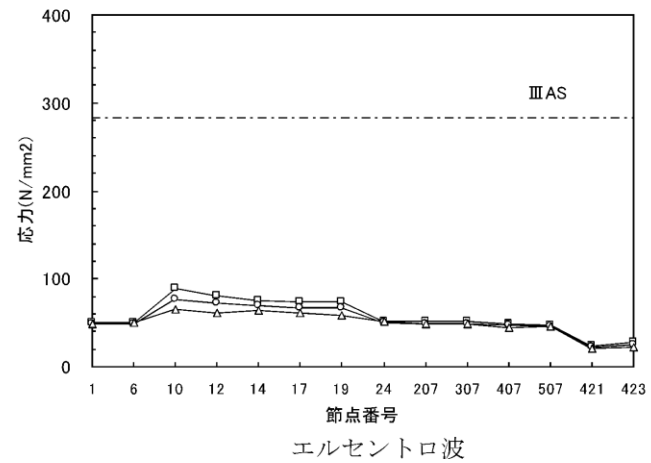
第3-2(1) 図 主要な部位における発生応力 (FDW-001, 代表Aプラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

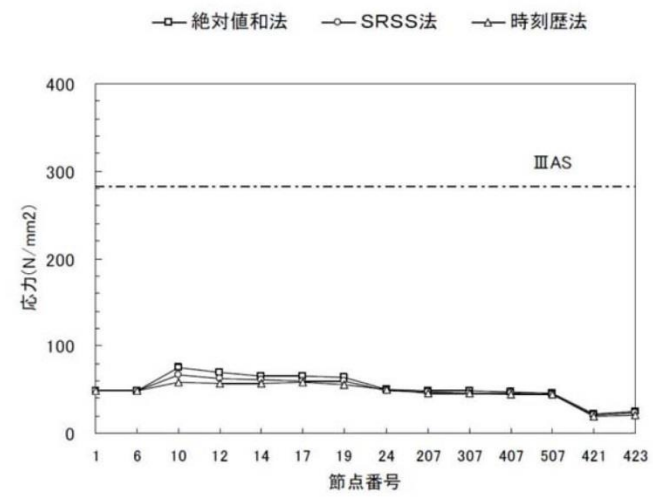


人工波

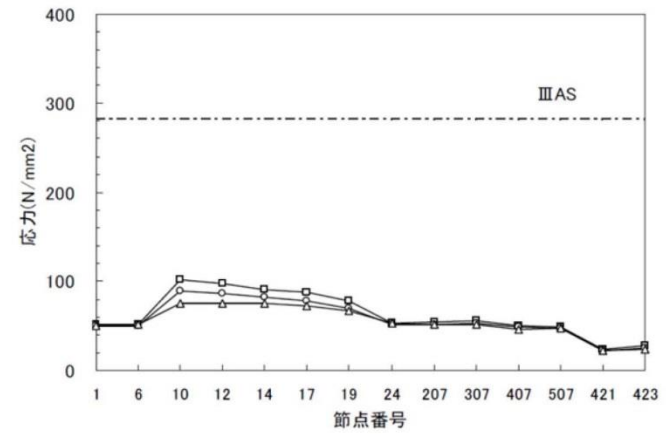


エルセントロ波

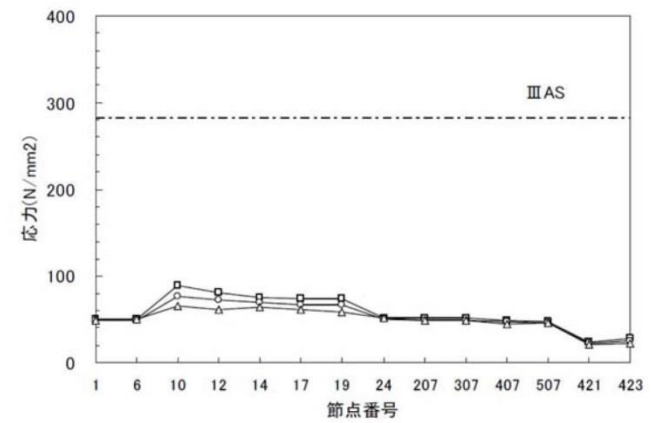
第2-2 図 主要な部位における発生応力 (MS-001 A プラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

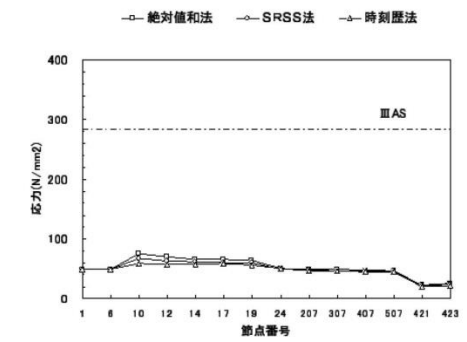


人工波

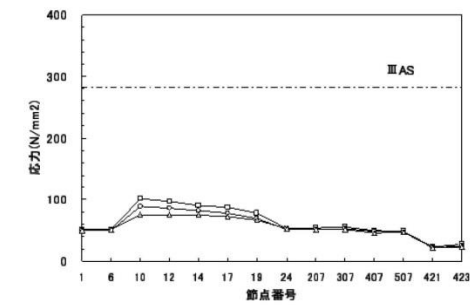


エルセントロ波

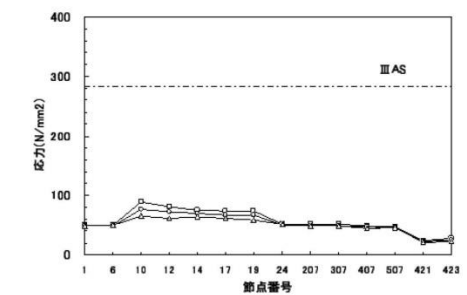
第6-5 図 主要な部位における発生応力 (MS-001 A プラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

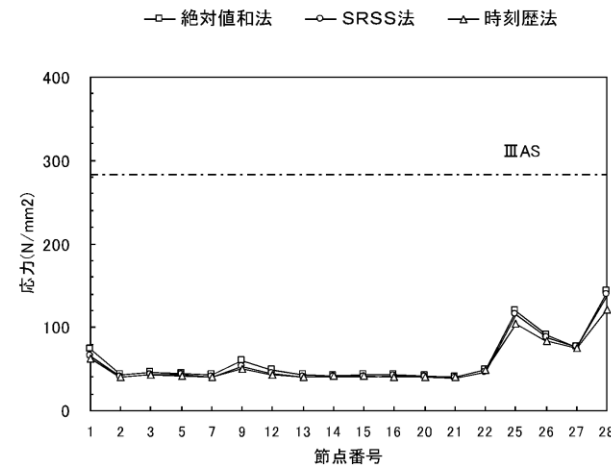


人工波

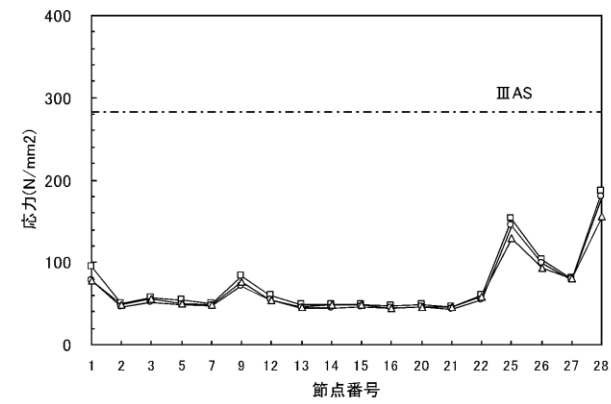


エルセントロ波

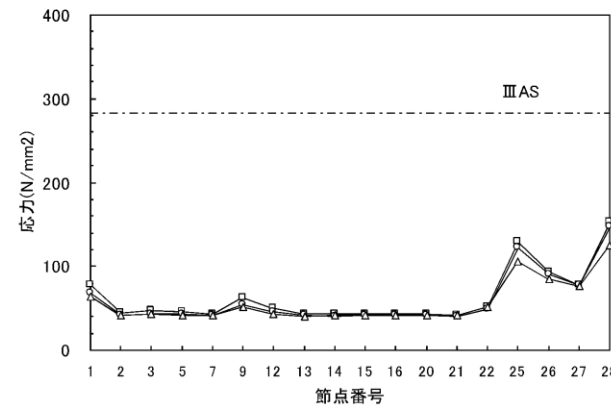
第3-2(2) 図 主要な部位における発生応力 (MS-001, 代表Aプラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

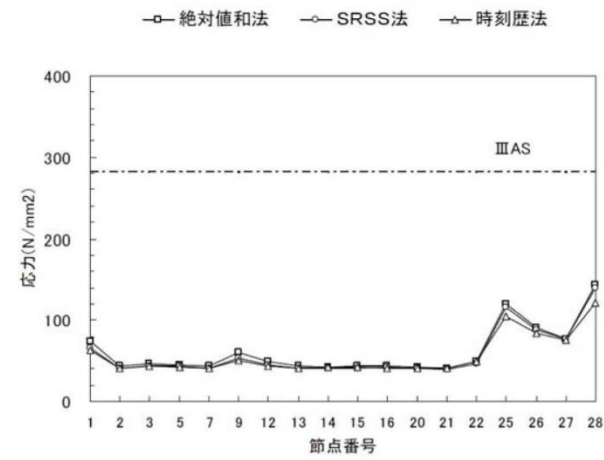


人工波

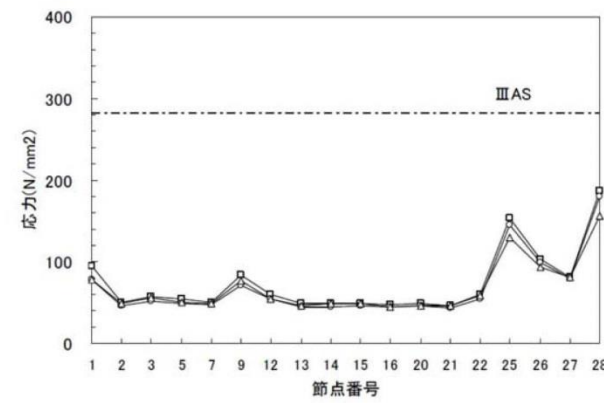


エルセントロ波

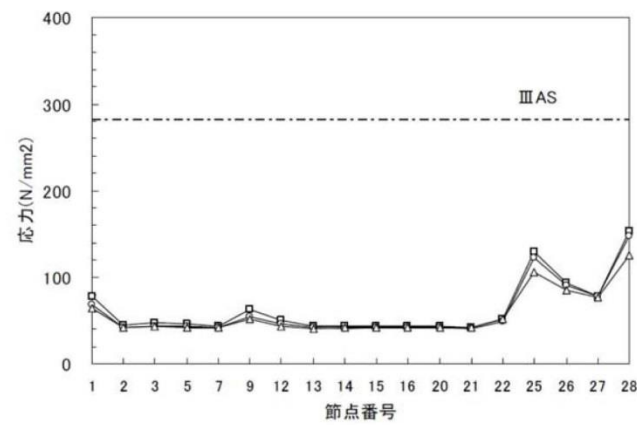
第2-3 図 主要な部位における発生応力 (RHR-001 A プラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

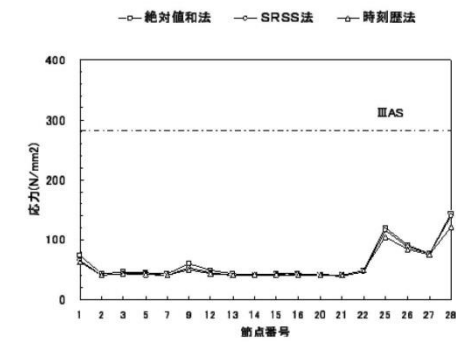


人工波

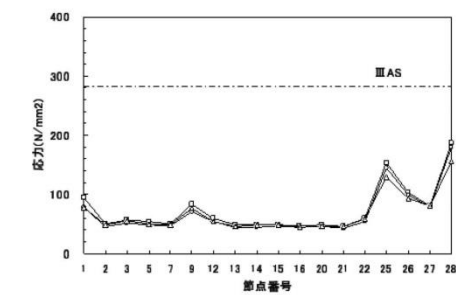


エルセントロ波

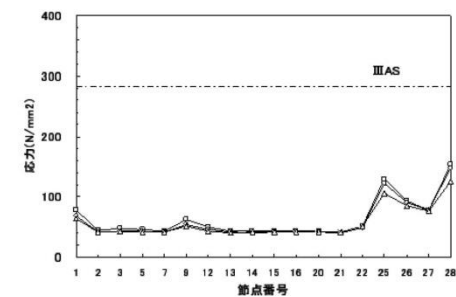
第6-6 図 主要な部位における発生応力 (RHR-001 A プラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

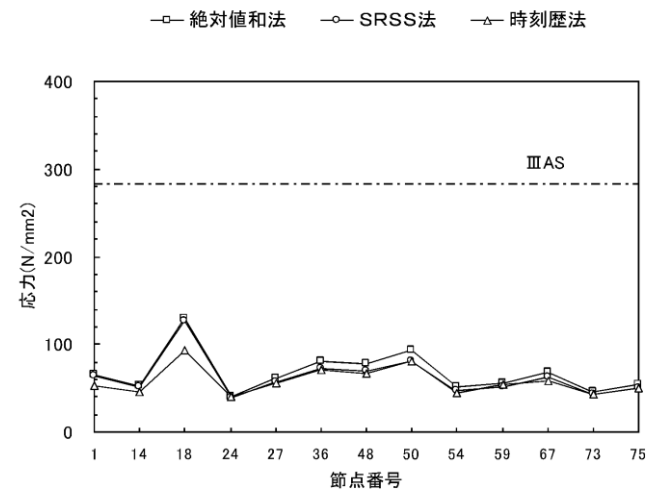


人工波

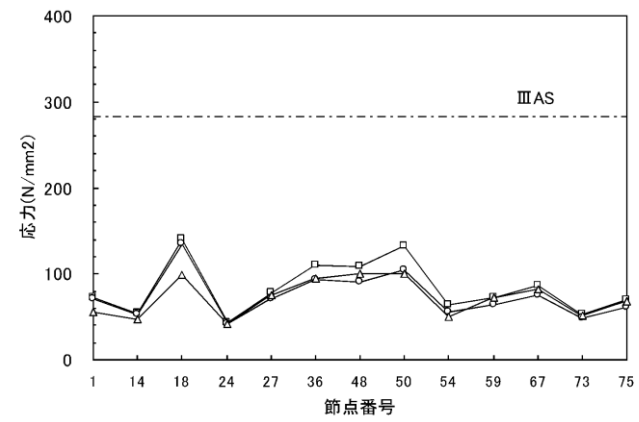


エルセントロ波

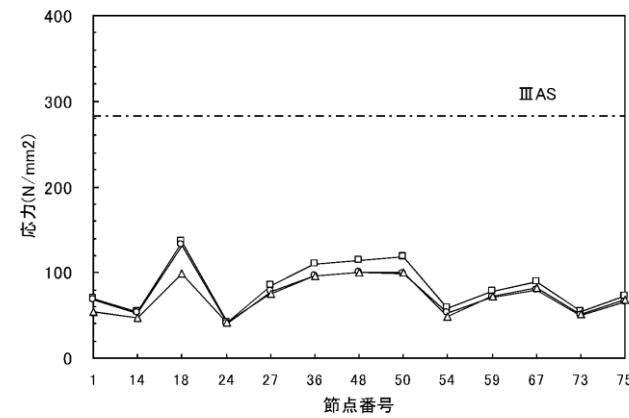
第3-2(3) 図 主要な部位における発生応力 (RHR-001, 代表Aプラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

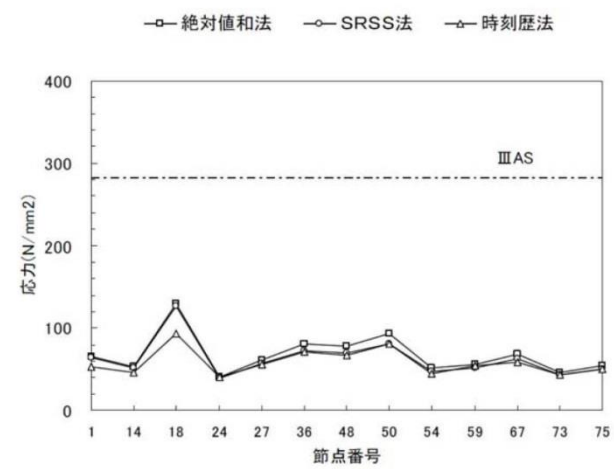


人工波

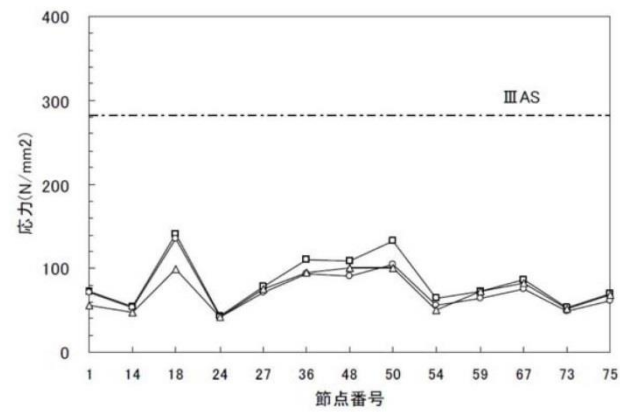


エルセントロ波

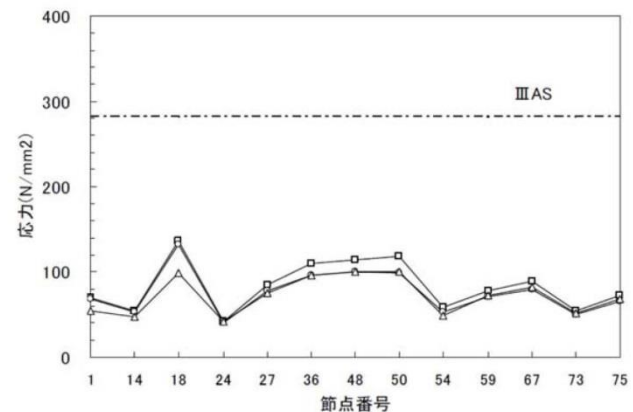
第2-4 図 主要な部位における発生応力 (FDW-001 B プラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)

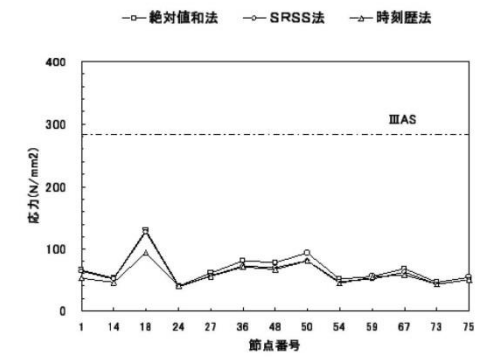


人工波

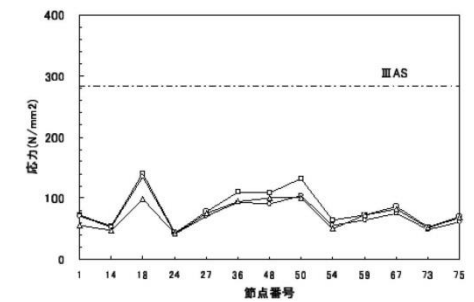


エルセントロ波

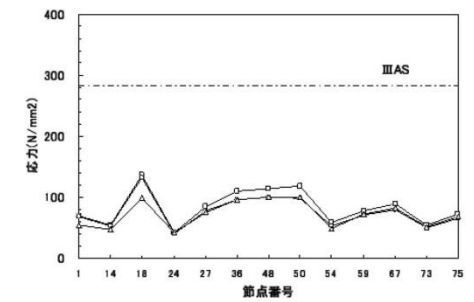
第6-7 図 主要な部位における発生応力 (FDW-001 B プラント)



兵庫県南部地震 (松村組観測波)



人工波



エルセントロ波

第3-2(4) 図 主要な部位における発生応力 (FDW-001, 代表Bプラント)

第1表 SRSS法と同時入力による時刻歴応答解析法との比較 (最大応力発生点)

解析対象配管	入力地震波	最大応力発生点	SRSS/同時入力
FDW-001 (Aプラント)	松村組観測波	分岐部(節点No26)	1.08
	人工波	分岐部(節点No26)	1.08
	エルセントロ波	分岐部(節点No26)	1.08
MS-001 (Aプラント)	松村組観測波	分岐部(節点No10)	1.15
	人工波	分岐部(節点No10)	1.20
	エルセントロ波	分岐部(節点No10)	1.18
RHR-001 (Aプラント)	松村組観測波	拘束点(節点No28)	1.15
	人工波	拘束点(節点No28)	1.15
	エルセントロ波	拘束点(節点No28)	1.18
FDW-001 (Bプラント)	松村組観測波	拘束点(節点No18)	1.35
	人工波	拘束点(節点No18)	1.37
	エルセントロ波	拘束点(節点No18)	1.34

FDW: 給水系配管

MS: 主蒸気系配管

RHR: 残留熱除去系配管



第3-1 図 給水系配管 (FDW-001 Aプラント)

第6-1表 SRSS法と同時入力による時刻歴応答解析法との比較 (最大応力発生点)

解析対象配管	入力地震波	最大応力発生点	SRSS/同時入力
FDW-001 (Aプラント)	松村組観測波	分岐部(節点No26)	1.08
	人工波	分岐部(節点No26)	1.08
	エルセントロ波	分岐部(節点No26)	1.08
MS-001 (Aプラント)	松村組観測波	分岐部(節点No10)	1.15
	人工波	分岐部(節点No10)	1.20
	エルセントロ波	分岐部(節点No10)	1.18
RHR-001 (Aプラント)	松村組観測波	拘束点(節点No28)	1.15
	人工波	拘束点(節点No28)	1.15
	エルセントロ波	拘束点(節点No28)	1.18
FDW-001 (Bプラント)	松村組観測波	拘束点(節点No18)	1.35
	人工波	拘束点(節点No18)	1.37
	エルセントロ波	拘束点(節点No18)	1.34

FDW: 給水系配管

MS: 主蒸気系配管

RHR: 残留熱除去系配管



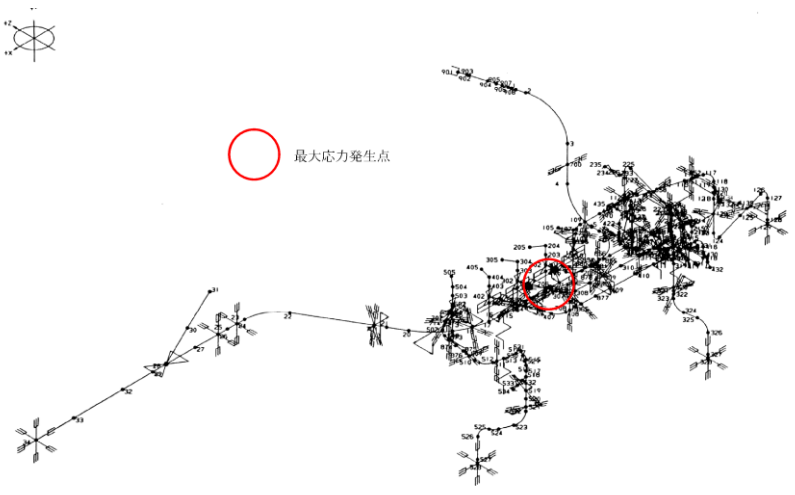
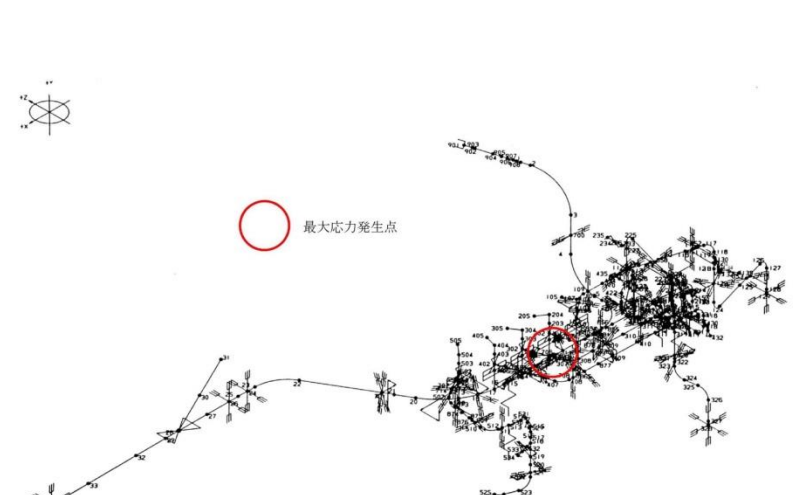

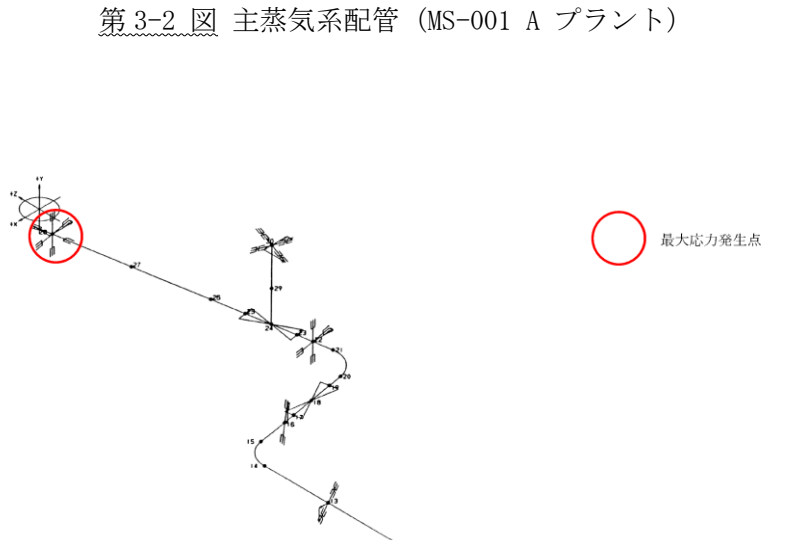
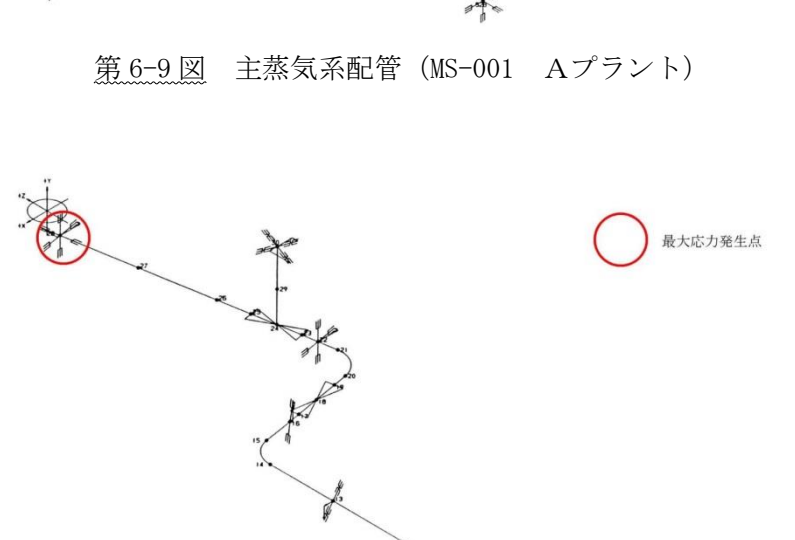
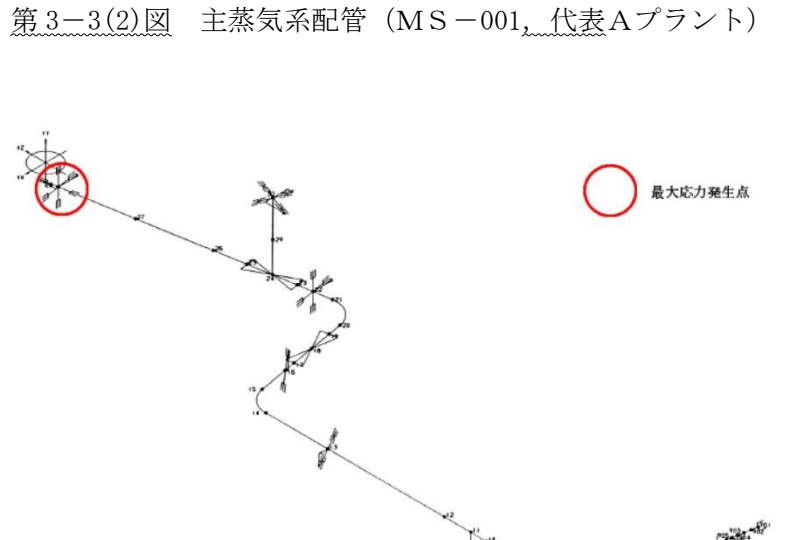
第6-8 図 給水系配管 (FDW-001 Aプラント)

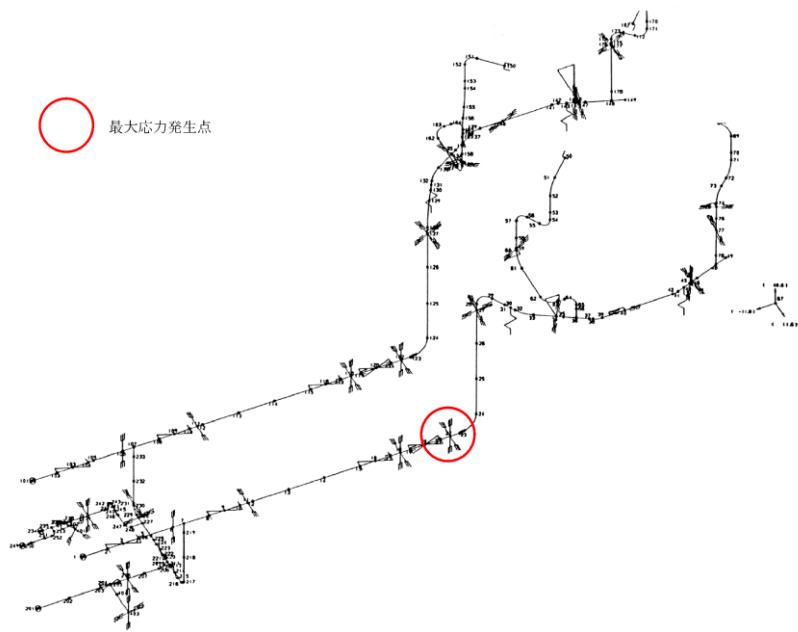
第3-1表 一次応力でのSRSS法と同時入力時刻歴法の比較 (最大応力発生点)

解析対象配管	入力地震波	最大応力発生点	SRSS法 / 同時入力
FDW-001 (代表Aプラント)	兵庫県南部地震	分岐部(節点No.28)	1.08
	人工波	分岐部(節点No.28)	1.08
	エルセントロ波	分岐部(節点No.28)	1.08
MS-001 (代表Aプラント)	兵庫県南部地震	分岐部(節点No.10)	1.15
	人工波	分岐部(節点No.10)	1.20
	エルセントロ波	分岐部(節点No.10)	1.18
RHR-001 (代表Aプラント)	兵庫県南部地震	拘束点(節点No.28)	1.15
	人工波	拘束点(節点No.28)	1.15
	エルセントロ波	拘束点(節点No.28)	1.18
FDW-001 (代表Bプラント)	兵庫県南部地震	拘束点(節点No.18)	1.35
	人工波	拘束点(節点No.18)	1.37
	エルセントロ波	拘束点(節点No.18)	1.34

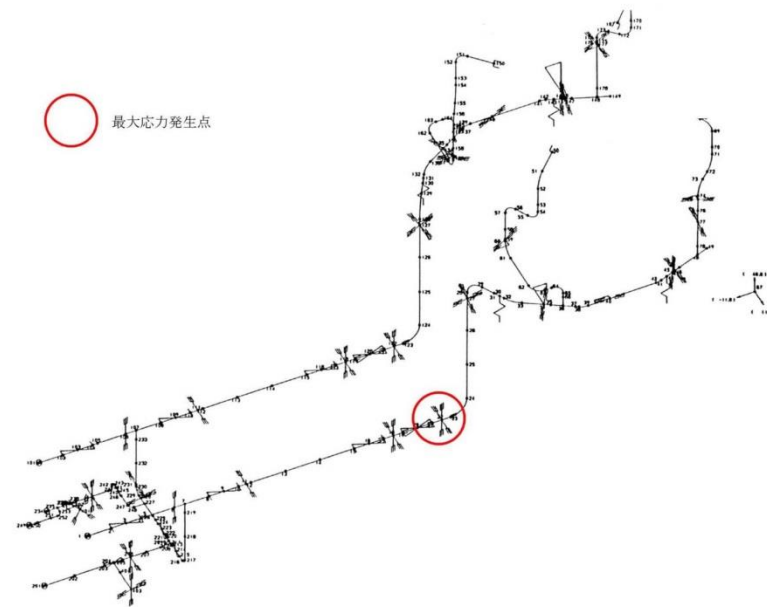


第3-3(1) 図 給水系配管 (FDW-001, 代表Aプラント)

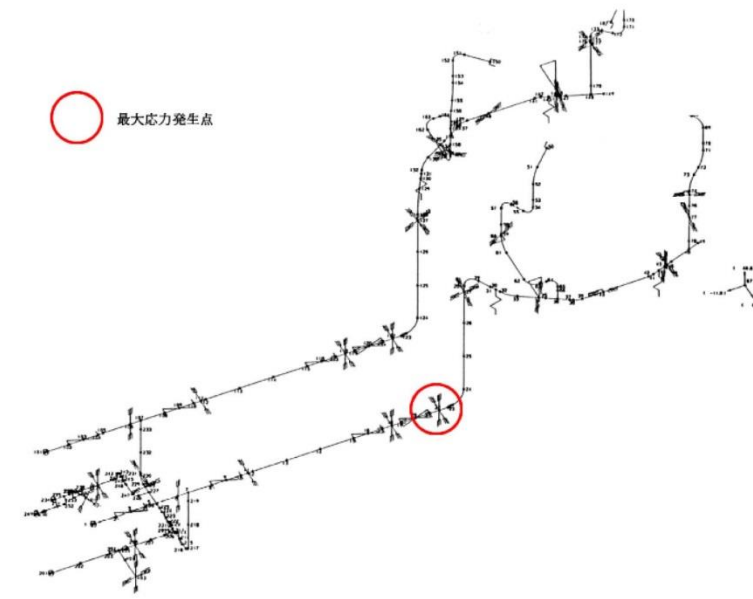
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>第3-2 図 主蒸気系配管 (MS-001 A プラント)</p>	 <p>第6-9 図 主蒸気系配管 (MS-001 A プラント)</p>	 <p>第3-3(2) 図 主蒸気系配管 (MS-001, 代表Aプラント)</p>	
 <p>第3-3 図 残留熱除去系配管 (RHR-001 A プラント)</p>	 <p>第6-10 図 残留熱除去系配管 (RHR-001 A プラント)</p>	 <p>第3-3(3) 図 残留熱除去系配管 (RHR-001, 代表Aプラント)</p>	



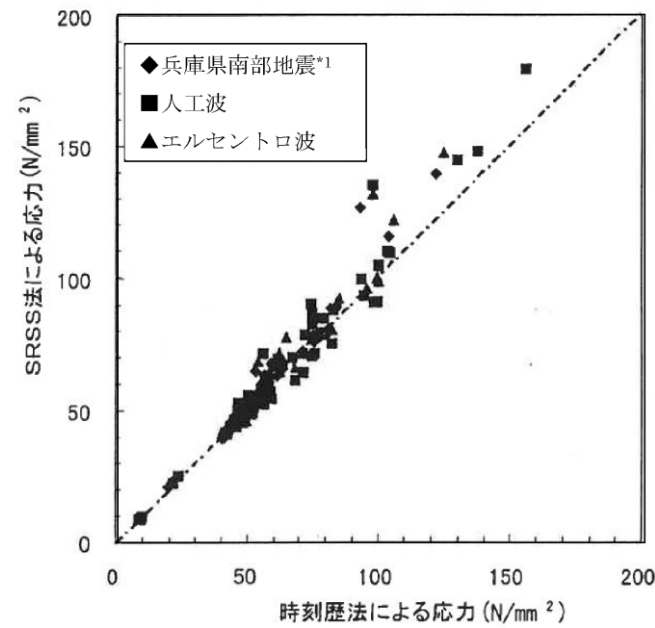
第3-4図 給水系配管 (FDW-001 B プラント)



第6-11図 給水系配管 (PDW-001 B プラント)

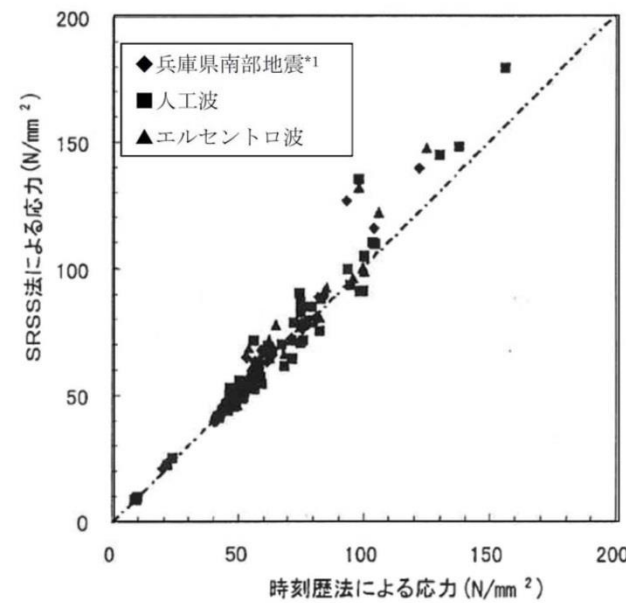


第3-3(4)図 給水系配管 (FDW-001, 代表Bプラント)



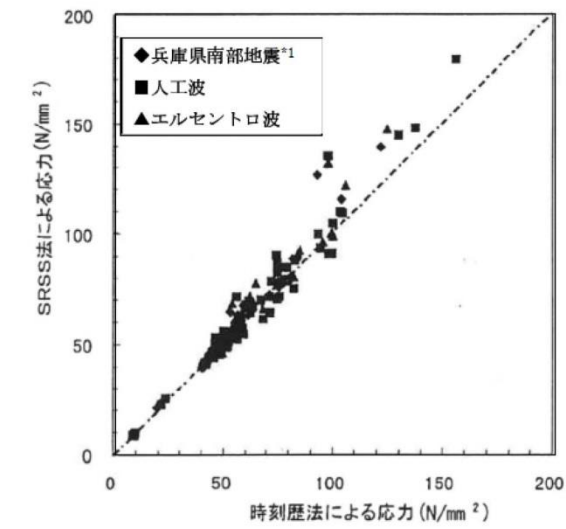
注記
* 1 : 松村組観測波

第4図 SRSS 法による応力と時刻歴応答解析法による応力の比較(主要部位)



注記
* 1 : 松村組観測波

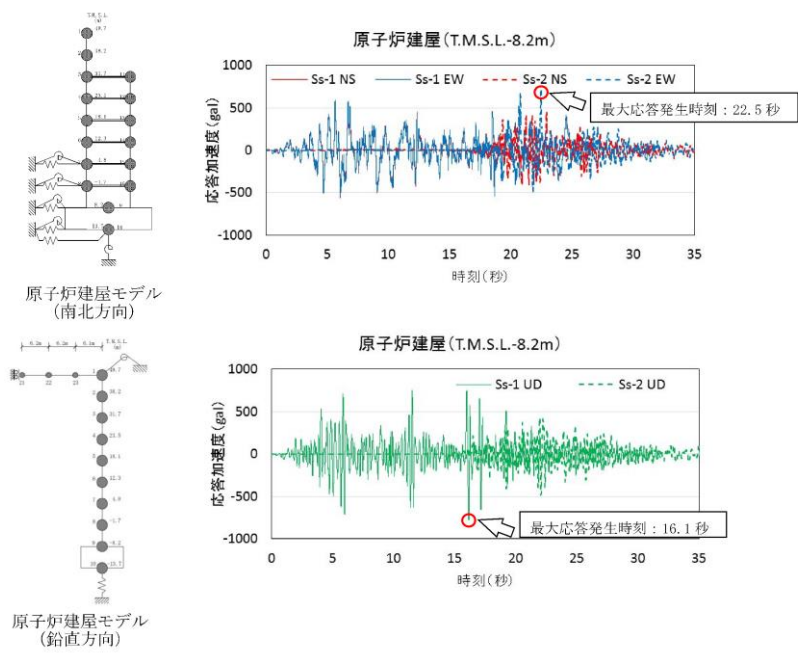
第6-12図 SRSS 法による応力と時刻歴応答解析による応力の比較(主要部位)



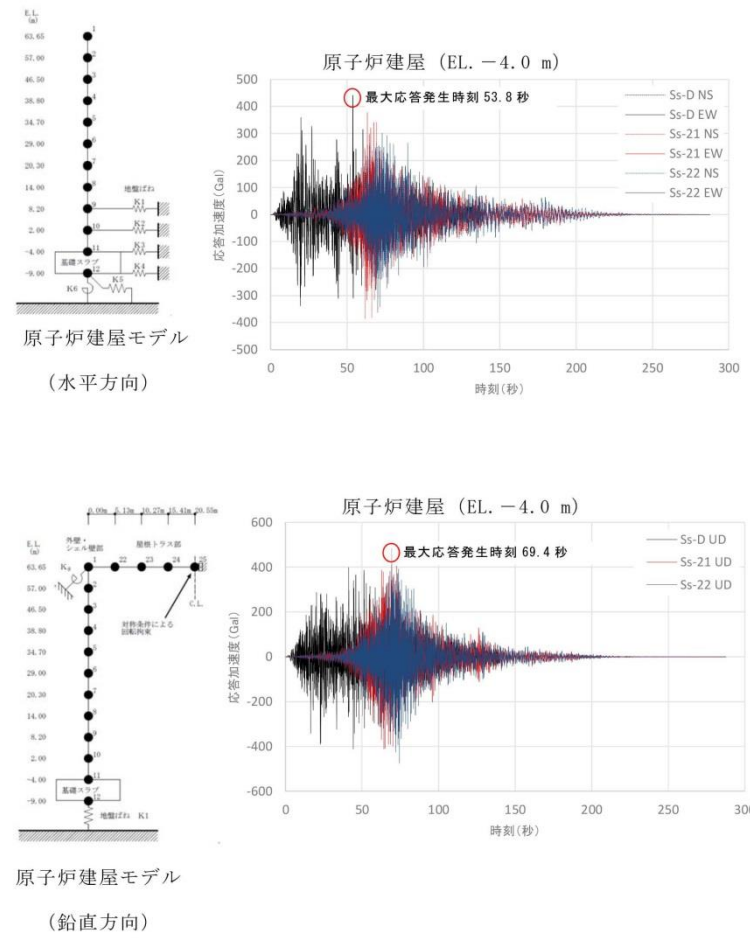
注記
* 1 : 松村組観測波

第3-4図 SRSS 法による応力と時刻歴応答解析法による応力の比較

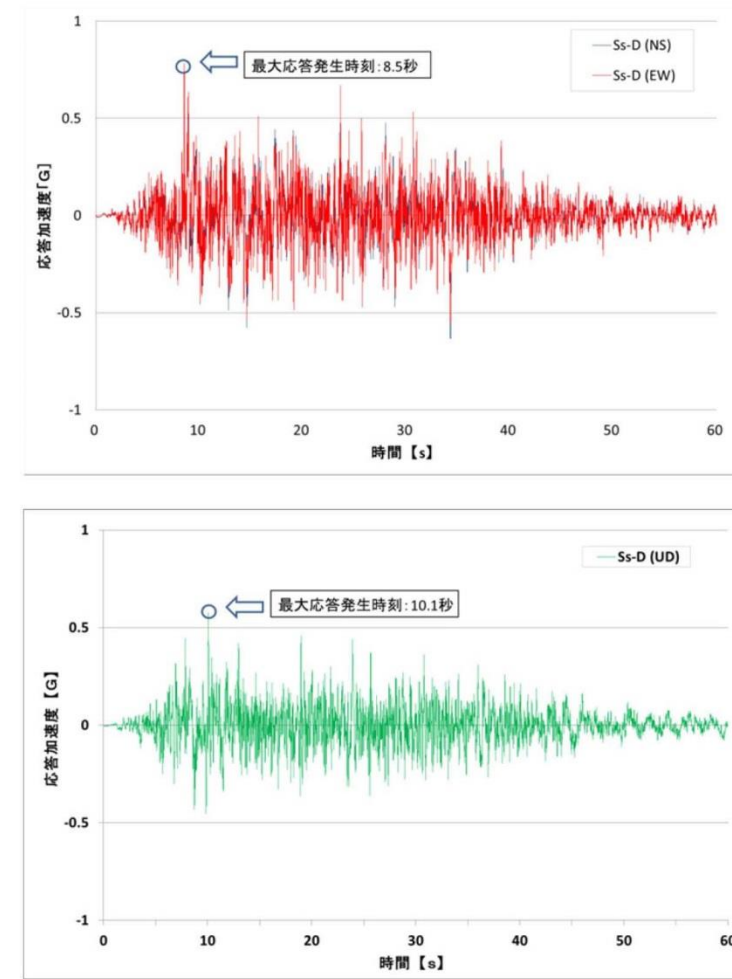
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
<p>4. <u>柏崎刈羽原子力発電所</u>における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>の差について</p> <p><u>柏崎刈羽原子力発電所</u>における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>の差について7号炉の原子炉建屋を例に、<u>柏崎刈羽原子力発電所</u>の施設の耐震性評価において支配的な地震動である基準地震動 $S_{s-1, 2}$ に対する水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>の差を確認した。ここで、機器・配管系の耐震評価に用いる水平方向の設計用震度は、<u>全ての地震動</u>に対する南北方向と東西方向の最大応答加速度を包絡した値を用いることを踏まえ、水平方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>については、$S_{s-1, 2}$ 並びに南北方向及び東西方向を通じた最大応答加速度の<u>生起時刻</u>を用いた。</p> <p>第5図及び第2表に示すように、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>には約6秒～約17秒の差があり、<u>柏崎刈羽原子力発電所</u>においても水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>には差があることを確認した。</p>	<p>4. <u>東海第二発電所</u>における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>の差について</p> <p><u>東海第二発電所</u>における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>の差について、原子炉建屋を例に、<u>原子炉建屋</u>の施設の耐震性評価において<u>主要な地震動</u>である基準地震動 S_{s-D}、S_{s-21} 及び S_{s-22} に対する水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>の差を確認した。ここで、機器・配管系の耐震評価に用いる水平方向の設計用震度は、<u>全ての地震動</u>に対する南北方向と東西方向の最大応答加速度を包絡した値を用いることを踏まえ、水平方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>については、<u>基準地震動 S_{s-D}、S_{s-21} 及び S_{s-22} における南北方向及び東西方向を通じた最大応答加速度の生起時刻</u>を用いた。なお、<u>基準地震動 S_{s-31} は、水平方向に卓越する応答を示すものの、他検討に用いる基準地震動 S_s に比べて地震継続時間が短く、鉛直方向の最大応答値の生起時刻との差が開く方向になるため、本検討には用いていない</u> (詳細は別紙2参照)。</p> <p>第6-13図及び第6-2表に示すように、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>には約0.9秒～約41秒の差があり、<u>東海第二発電所</u>においても水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>生起時刻</u>には差があることを確認した。</p>	<p>4. <u>島根2号炉</u>における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>発生時刻</u>の差について</p> <p><u>島根2号炉</u>における水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度の<u>発生時刻</u>の差について、原子炉建物^①を例に、<u>島根2号炉</u>の施設の耐震評価において<u>支配的な地震動</u>である基準地震動 S_{s-D} に対する水平方向及び鉛直方向の最大応答加速度の<u>発生時刻</u>の差を確認した。ここで、機器・配管系の耐震評価に用いる水平方向の設計用震度は、<u>すべての地震動</u>に対する南北方向及び東西方向の最大応答加速度を包絡した値を用いることを踏まえ、水平方向の最大応答値の<u>発生時刻</u>については、S_{s-D}によるNS方向及びEW方向の最大応答加速度の<u>発生時刻</u>を用いた。</p> <p>第4-1図及び第4-1表に示すように、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>発生時刻</u>には約1～16秒の差があり、<u>島根2号炉</u>においても水平方向及び鉛直方向の最大応答値の<u>発生時刻</u>には差があることを確認した。</p>	<p>備考</p> <p>・記載方針の相違</p> <p>【東海第二】</p> <p>島根2号炉では、耐震評価において支配的な地震動である S_{s-D} について、発生時刻の差を確認している (以下、①の相違)</p>



第5図 7号炉原子炉建屋の応答値 (T.M.S.L.-8.2m の例)



第6-13図 原子炉建屋の応答値 (EL. -4.0m の例)

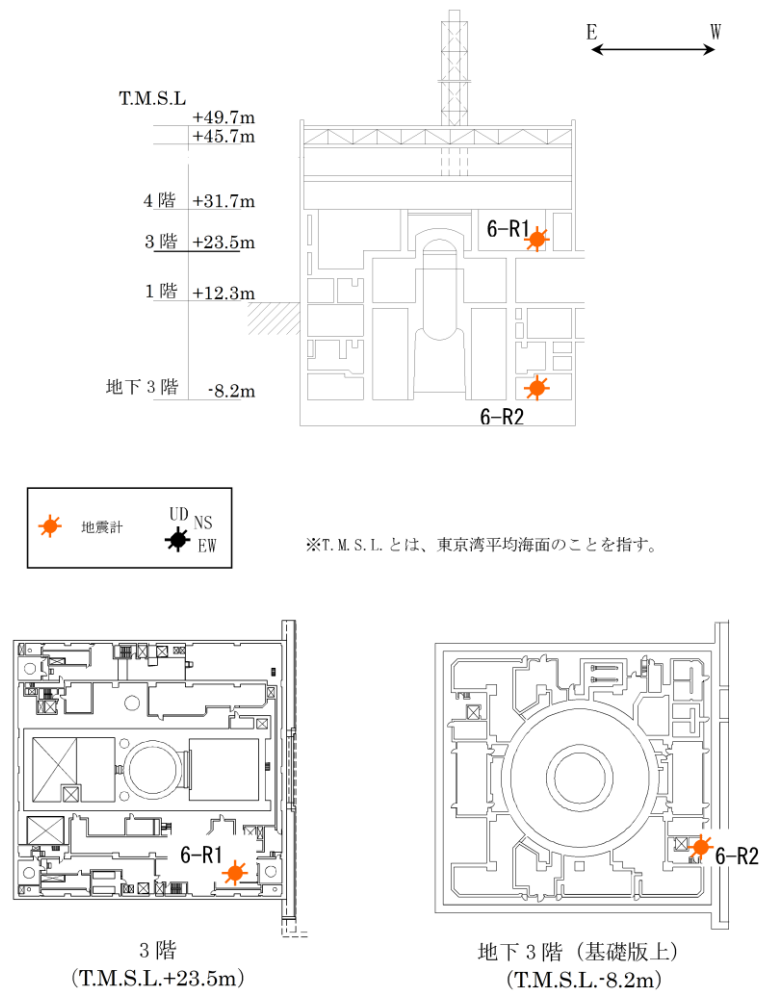


第4-1図 原子炉建物応答値 (E.L. 1.3m の例)

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																																																																																																		
<p>第2表 最大応答値の生起時刻の差 (7号炉原子炉建屋)</p> <table border="1" data-bbox="172 310 928 1018"> <thead> <tr> <th rowspan="2">位置 (m)</th> <th colspan="2">最大応答値の生起時刻 (秒)</th> <th rowspan="2">生起時刻の差 (秒)</th> </tr> <tr> <th>水平方向</th> <th>鉛直方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>49.7</td><td>18.7</td><td>6.0</td><td>12.7</td></tr> <tr><td>38.2</td><td>18.7</td><td>6.0</td><td>12.7</td></tr> <tr><td>31.7</td><td>22.5</td><td>6.0</td><td>16.5</td></tr> <tr><td>23.5</td><td>22.5</td><td>6.0</td><td>16.5</td></tr> <tr><td>18.1</td><td>22.5</td><td>6.0</td><td>16.5</td></tr> <tr><td>12.3</td><td>22.5</td><td>16.1</td><td>6.4</td></tr> <tr><td>4.8</td><td>22.4</td><td>16.1</td><td>6.3</td></tr> <tr><td>-1.7</td><td>22.4</td><td>16.1</td><td>6.3</td></tr> <tr><td>-8.2</td><td>22.5</td><td>16.1</td><td>6.4</td></tr> <tr><td>-13.7</td><td>22.5</td><td>16.1</td><td>6.4</td></tr> </tbody> </table>	位置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)		生起時刻の差 (秒)	水平方向	鉛直方向	49.7	18.7	6.0	12.7	38.2	18.7	6.0	12.7	31.7	22.5	6.0	16.5	23.5	22.5	6.0	16.5	18.1	22.5	6.0	16.5	12.3	22.5	16.1	6.4	4.8	22.4	16.1	6.3	-1.7	22.4	16.1	6.3	-8.2	22.5	16.1	6.4	-13.7	22.5	16.1	6.4	<p>第6-2表 最大応答値の生起時刻の差</p> <table border="1" data-bbox="988 310 1697 884"> <thead> <tr> <th rowspan="2">位置 (m)</th> <th colspan="2">最大応答値の生起時刻 (秒)</th> <th rowspan="2">生起時刻の差 (秒)</th> </tr> <tr> <th>水平方向</th> <th>鉛直方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>63.65</td><td>73.0</td><td>68.6</td><td>4.4</td></tr> <tr><td>57.00</td><td>61.9</td><td>68.6</td><td>6.7</td></tr> <tr><td>46.50</td><td>61.9</td><td>61.0</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>38.80</td><td>19.9</td><td>61.0</td><td>41.1</td></tr> <tr><td>34.70</td><td>73.0</td><td>61.0</td><td>12.0</td></tr> <tr><td>29.00</td><td>20.0</td><td>61.0</td><td>41.0</td></tr> <tr><td>20.30</td><td>63.3</td><td>68.7</td><td>5.4</td></tr> <tr><td>14.00</td><td>63.3</td><td>68.7</td><td>5.4</td></tr> <tr><td>8.20</td><td>53.8</td><td>74.5</td><td>20.7</td></tr> <tr><td>2.00</td><td>53.8</td><td>74.5</td><td>20.7</td></tr> <tr><td>-4.00</td><td>53.8</td><td>69.4</td><td>15.6</td></tr> <tr><td>-9.00</td><td>53.8</td><td>69.4</td><td>15.6</td></tr> </tbody> </table>	位置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)		生起時刻の差 (秒)	水平方向	鉛直方向	63.65	73.0	68.6	4.4	57.00	61.9	68.6	6.7	46.50	61.9	61.0	0.9	38.80	19.9	61.0	41.1	34.70	73.0	61.0	12.0	29.00	20.0	61.0	41.0	20.30	63.3	68.7	5.4	14.00	63.3	68.7	5.4	8.20	53.8	74.5	20.7	2.00	53.8	74.5	20.7	-4.00	53.8	69.4	15.6	-9.00	53.8	69.4	15.6	<p>第4-1表 最大応答値の発生時刻の差</p> <table border="1" data-bbox="1760 310 2493 709"> <thead> <tr> <th rowspan="2">位置 (m)</th> <th colspan="2">最大応答値の発生時刻 (sec)</th> <th rowspan="2">発生時刻の差 (sec)</th> </tr> <tr> <th>水平方向</th> <th>鉛直方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>51.7</td><td>25.8</td><td>10.1</td><td>15.7</td></tr> <tr><td>42.8</td><td>8.6</td><td>10.1</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>34.8</td><td>14.6</td><td>10.1</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>30.5</td><td>14.6</td><td>10.1</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>23.8</td><td>14.6</td><td>10.1</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>15.3</td><td>8.5</td><td>10.1</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>10.1</td><td>8.5</td><td>10.1</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>8.8</td><td>8.5</td><td>10.1</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>1.3</td><td>8.5</td><td>10.1</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>-4.7</td><td>8.5</td><td>10.1</td><td>1.6</td></tr> </tbody> </table>	位置 (m)	最大応答値の発生時刻 (sec)		発生時刻の差 (sec)	水平方向	鉛直方向	51.7	25.8	10.1	15.7	42.8	8.6	10.1	1.5	34.8	14.6	10.1	4.5	30.5	14.6	10.1	4.5	23.8	14.6	10.1	4.5	15.3	8.5	10.1	1.6	10.1	8.5	10.1	1.6	8.8	8.5	10.1	1.6	1.3	8.5	10.1	1.6	-4.7	8.5	10.1	1.6	
位置 (m)		最大応答値の生起時刻 (秒)			生起時刻の差 (秒)																																																																																																																																																
	水平方向	鉛直方向																																																																																																																																																			
49.7	18.7	6.0	12.7																																																																																																																																																		
38.2	18.7	6.0	12.7																																																																																																																																																		
31.7	22.5	6.0	16.5																																																																																																																																																		
23.5	22.5	6.0	16.5																																																																																																																																																		
18.1	22.5	6.0	16.5																																																																																																																																																		
12.3	22.5	16.1	6.4																																																																																																																																																		
4.8	22.4	16.1	6.3																																																																																																																																																		
-1.7	22.4	16.1	6.3																																																																																																																																																		
-8.2	22.5	16.1	6.4																																																																																																																																																		
-13.7	22.5	16.1	6.4																																																																																																																																																		
位置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)		生起時刻の差 (秒)																																																																																																																																																		
	水平方向	鉛直方向																																																																																																																																																			
63.65	73.0	68.6	4.4																																																																																																																																																		
57.00	61.9	68.6	6.7																																																																																																																																																		
46.50	61.9	61.0	0.9																																																																																																																																																		
38.80	19.9	61.0	41.1																																																																																																																																																		
34.70	73.0	61.0	12.0																																																																																																																																																		
29.00	20.0	61.0	41.0																																																																																																																																																		
20.30	63.3	68.7	5.4																																																																																																																																																		
14.00	63.3	68.7	5.4																																																																																																																																																		
8.20	53.8	74.5	20.7																																																																																																																																																		
2.00	53.8	74.5	20.7																																																																																																																																																		
-4.00	53.8	69.4	15.6																																																																																																																																																		
-9.00	53.8	69.4	15.6																																																																																																																																																		
位置 (m)	最大応答値の発生時刻 (sec)		発生時刻の差 (sec)																																																																																																																																																		
	水平方向	鉛直方向																																																																																																																																																			
51.7	25.8	10.1	15.7																																																																																																																																																		
42.8	8.6	10.1	1.5																																																																																																																																																		
34.8	14.6	10.1	4.5																																																																																																																																																		
30.5	14.6	10.1	4.5																																																																																																																																																		
23.8	14.6	10.1	4.5																																																																																																																																																		
15.3	8.5	10.1	1.6																																																																																																																																																		
10.1	8.5	10.1	1.6																																																																																																																																																		
8.8	8.5	10.1	1.6																																																																																																																																																		
1.3	8.5	10.1	1.6																																																																																																																																																		
-4.7	8.5	10.1	1.6																																																																																																																																																		
<p>5. まとめ 以上から、<u>柏崎刈羽原子力発電所</u>では、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力の荷重の組み合わせ法としてSRSS法を用いることとする。</p> <p>6. 参考文献 (1) 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究 (ステップ2)」(平成7年～平成10年)</p> <p>7. 参考資料 (参考) <u>新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について</u></p>	<p>5. まとめ 以上から、<u>東海第二発電所</u>では、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力の荷重の組み合わせ法としてSRSS法を用いることとする。</p> <p>6. 参考文献 (1) 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究 (ステップ2)」(平成7年～平成10年)</p> <p>7. 別紙 別紙1 <u>東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について</u> 別紙2 <u>東海第二発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について (補足説明)</u></p>	<p>5. まとめ 以上より、<u>島根2号炉</u>では、水平方向及び鉛直方向の動的な地震力による荷重の組み合わせ法としてSRSS法を適用する。</p> <p>6. 参考文献 (1) 電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究 (ステップ2)」(平成7年～平成10年)</p> <p>7. 参考資料 (参考) <u>鳥取地震による島根原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について</u></p>																																																																																																																																																			

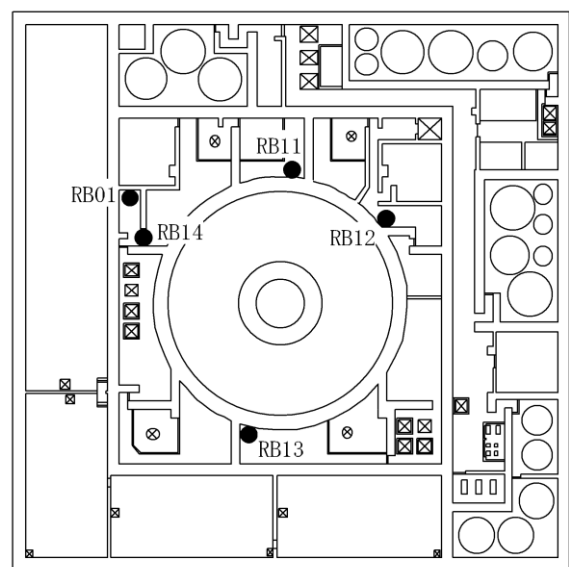
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																									
<p style="text-align: right;">参考資料</p> <p>(参考)新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について</p> <p>1. はじめに 柏崎刈羽原子力発電所では、平成19年7月16日に新潟県中越沖地震による観測記録が得られている。本資料では、新潟県中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について参考として確認する。</p> <p>2. 確認結果 参考第1表に示すように、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には約1秒～約4秒の差があり、柏崎刈羽原子力発電所において観測された実地震についても、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。</p> <p>参考第1表 新潟県中越沖地震の観測記録における最大応答値の生起時刻の差</p> <table border="1" data-bbox="181 1251 908 1482"> <thead> <tr> <th rowspan="2">位置 (m)</th> <th colspan="3">最大応答値の生起時刻 (秒)</th> <th colspan="2">生起時刻の差 (秒)</th> </tr> <tr> <th>南北方向 (NS)</th> <th>東西方向 (EW)</th> <th>鉛直方向 (UD)</th> <th>NS-UD</th> <th>EW-UD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6号炉 -8.2</td> <td>32.3</td> <td>33.4</td> <td>34.6</td> <td>2.3</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>7号炉 -8.2</td> <td>33.0</td> <td>39.7</td> <td>35.3</td> <td>2.3</td> <td>4.4</td> </tr> </tbody> </table>	位置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)			生起時刻の差 (秒)		南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD	6号炉 -8.2	32.3	33.4	34.6	2.3	1.2	7号炉 -8.2	33.0	39.7	35.3	2.3	4.4	<p style="text-align: right;">別紙1</p> <p>東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について</p> <p>1. はじめに 東海第二発電所では、平成23年3月11日に東北地方太平洋沖地震による観測記録が得られている。本資料では、東北地方太平洋沖地震による東海第二発電所の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について参考として確認する。</p> <p>2. 確認結果 別表6-1に示すように、東海第二発電所において観測された実地震についても、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には0.6秒及び4.2秒の差があることが確認された(地震計の設置位置を別図6-1に、観測された加速度時刻歴波形を別図6-2に示す)。また、最大応答値の生起時刻の差が比較的小さなEW-UDの生起時刻の差0.6秒について、別図6-3にて水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻には差があることを確認した。</p> <p>別表6-1 東北地方太平洋沖地震の観測記録における最大応答値の生起時刻の差</p> <table border="1" data-bbox="961 1251 1700 1524"> <thead> <tr> <th rowspan="2">位置 (m)</th> <th colspan="3">最大応答値の生起時刻 (秒)</th> <th colspan="2">生起時刻の差 (秒)</th> </tr> <tr> <th>南北方向 (NS)</th> <th>東西方向 (EW)</th> <th>鉛直方向 (UD)</th> <th>NS-UD</th> <th>EW-UD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-4.0 (RB01)</td> <td>87.0</td> <td>91.8</td> <td>91.2</td> <td>4.2</td> <td>0.6</td> </tr> </tbody> </table>	位置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)			生起時刻の差 (秒)		南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD	-4.0 (RB01)	87.0	91.8	91.2	4.2	0.6	<p style="text-align: right;">参考資料</p> <p>(参考)2000年鳥取県西部地震による島根原子力発電所2号炉の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻の差について</p> <p>1. はじめに 島根原子力発電所2号炉では、2000年10月6日に鳥取県西部地震による観測記録が得られている。本資料では、2000年鳥取県西部地震による島根原子力発電所2号炉の水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻の差について参考として確認する。</p> <p>2. 確認結果 参考第1表に示すように、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻には約1秒～約2秒の差があり、島根原子力発電所2号炉において観測された実地震についても、水平方向及び鉛直方向の最大応答値の発生時刻には差があることを確認した。</p> <p>参考第1表 2000年鳥取県西部地震の観測記録における最大応答値の発生時刻の差</p> <table border="1" data-bbox="1754 1236 2490 1398"> <thead> <tr> <th rowspan="2">位置 (m)</th> <th colspan="3">最大応答値の発生時刻 (秒)</th> <th colspan="2">発生時刻の差 (秒)</th> </tr> <tr> <th>南北方向 (NS)</th> <th>東西方向 (EW)</th> <th>鉛直方向 (UD)</th> <th>NS-UD</th> <th>EW-UD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>島根2号炉 原子炉建物 (EL 1.3m)</td> <td>20.455</td> <td>19.325</td> <td>18.380</td> <td>2.075</td> <td>0.945</td> </tr> </tbody> </table>	位置 (m)	最大応答値の発生時刻 (秒)			発生時刻の差 (秒)		南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD	島根2号炉 原子炉建物 (EL 1.3m)	20.455	19.325	18.380	2.075	0.945	
位置 (m)		最大応答値の生起時刻 (秒)			生起時刻の差 (秒)																																																							
	南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD																																																							
6号炉 -8.2	32.3	33.4	34.6	2.3	1.2																																																							
7号炉 -8.2	33.0	39.7	35.3	2.3	4.4																																																							
位置 (m)	最大応答値の生起時刻 (秒)			生起時刻の差 (秒)																																																								
	南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD																																																							
-4.0 (RB01)	87.0	91.8	91.2	4.2	0.6																																																							
位置 (m)	最大応答値の発生時刻 (秒)			発生時刻の差 (秒)																																																								
	南北方向 (NS)	東西方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	NS-UD	EW-UD																																																							
島根2号炉 原子炉建物 (EL 1.3m)	20.455	19.325	18.380	2.075	0.945																																																							

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)



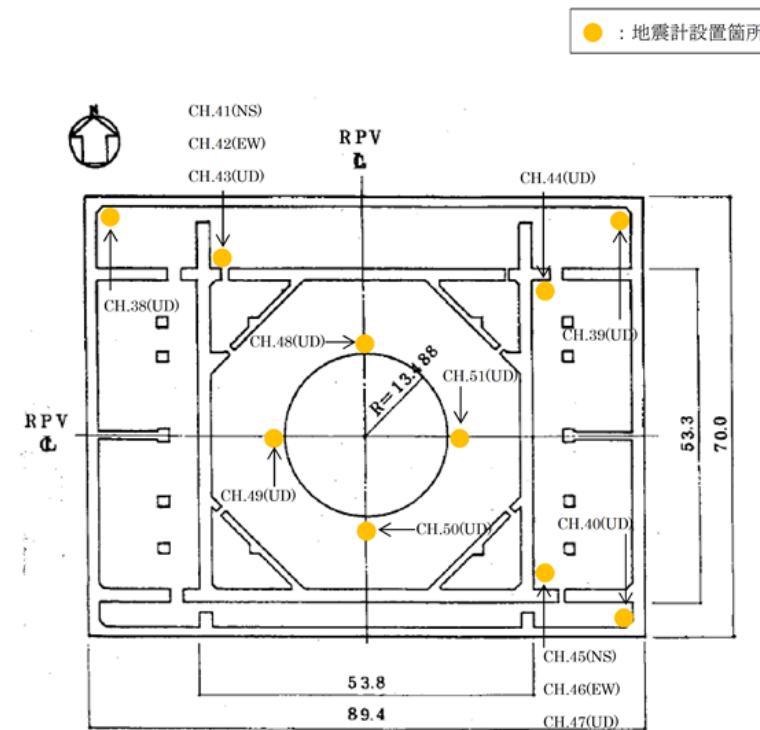
参考第 1-1 図 6号炉原子炉建屋 地震計設置位置

東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)



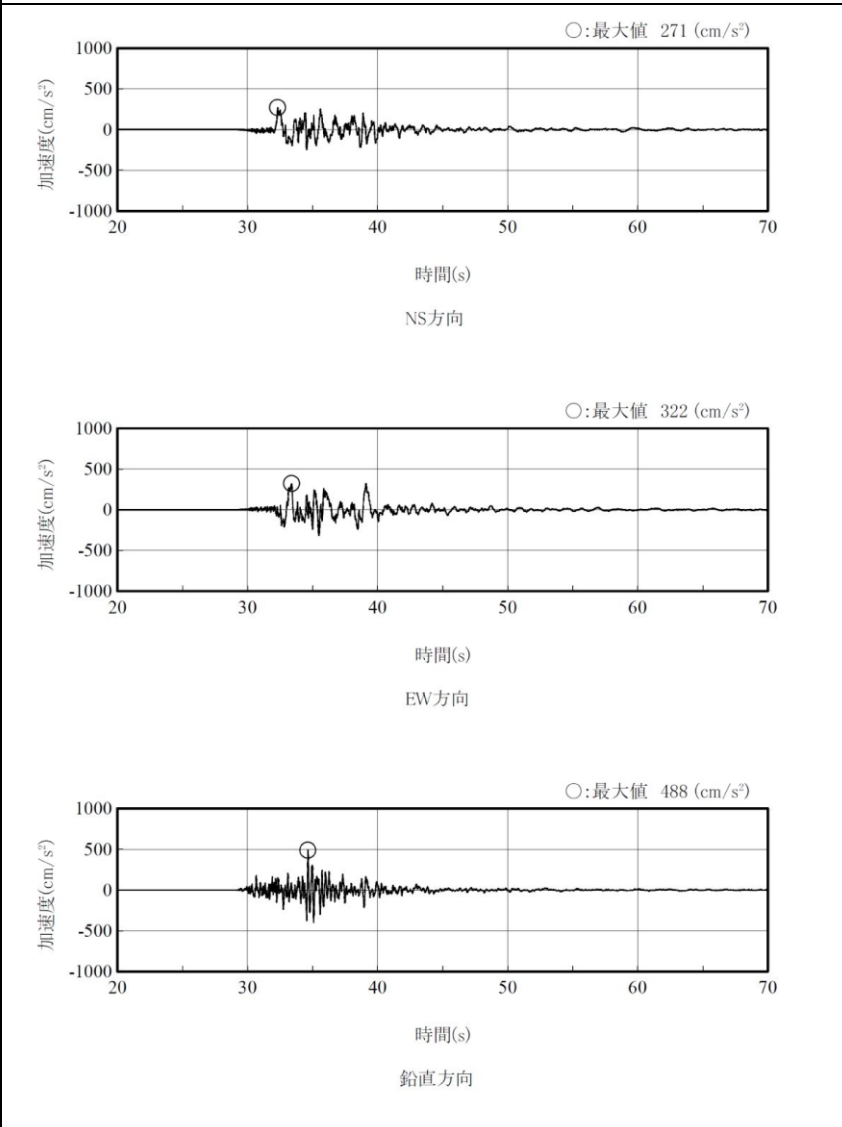
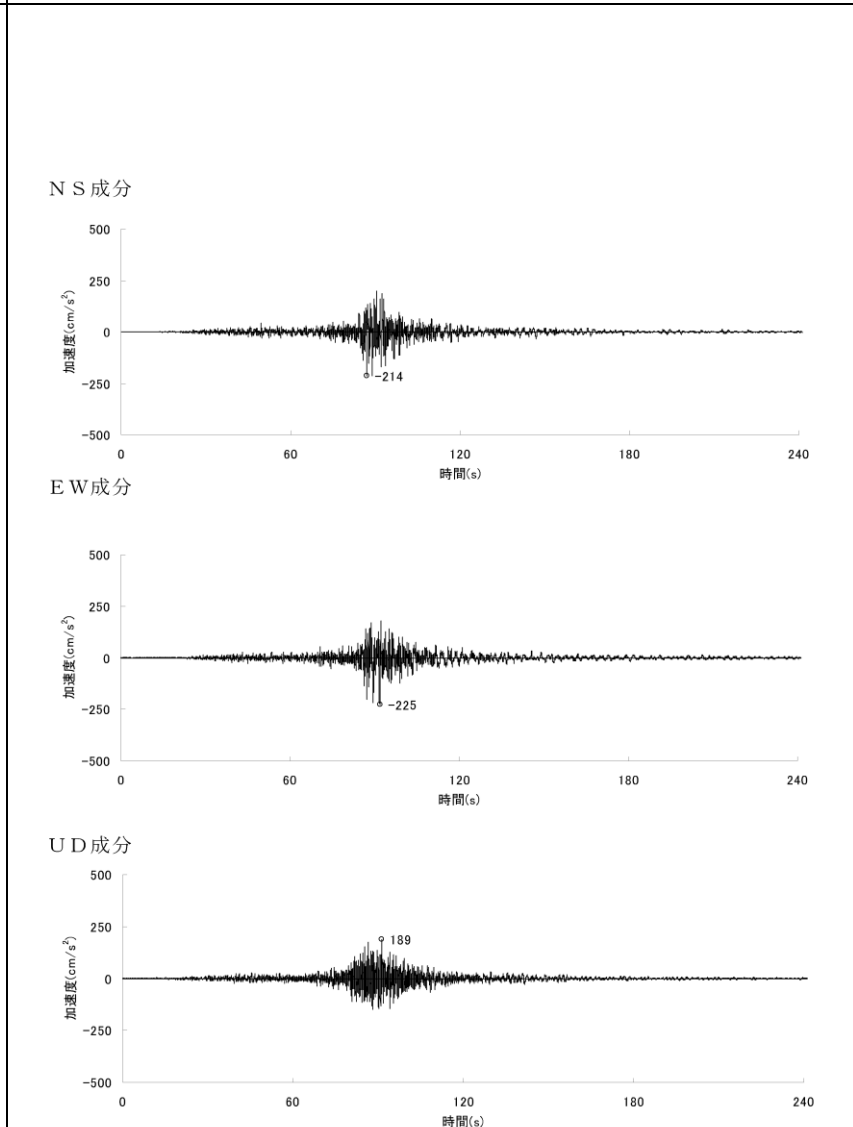
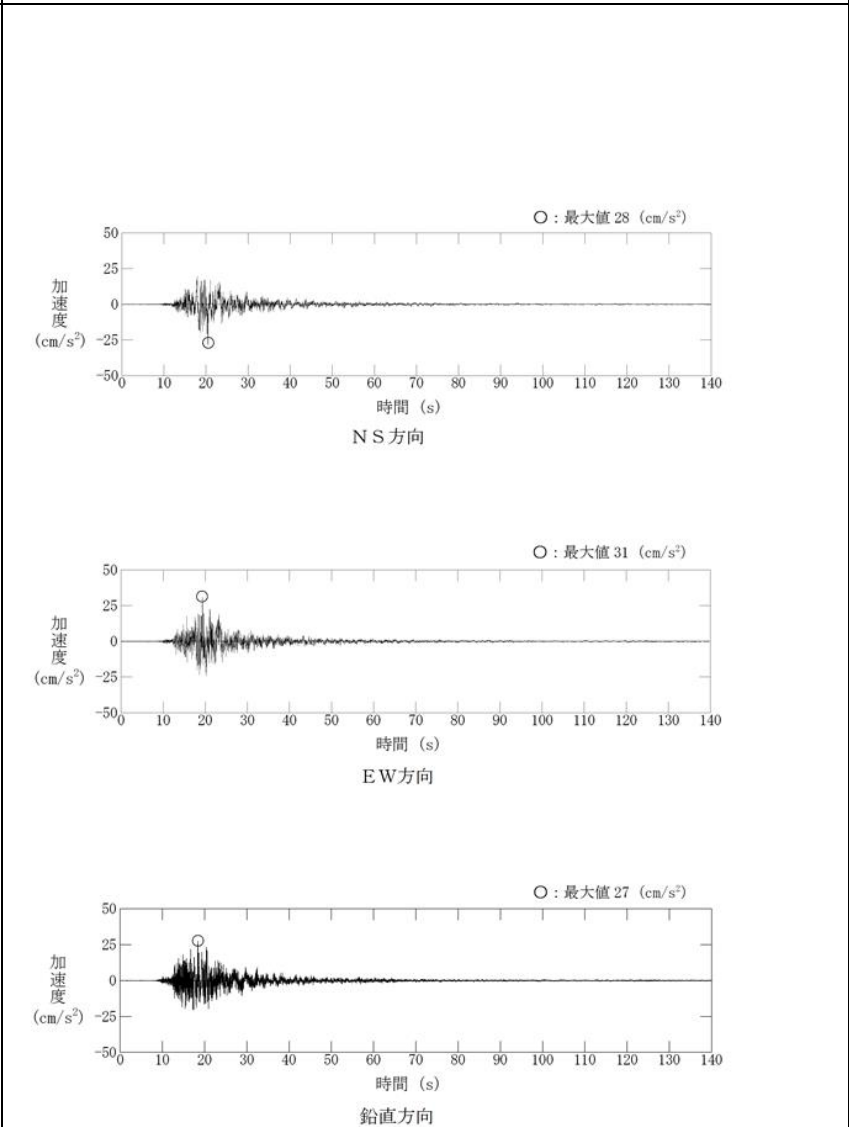
別図 6-1 原子炉建屋基礎上 (EL. -4.0 m) 地震計設置位置

島根原子力発電所 2号炉



参考第 1-1 図 島根 2号炉原子炉建物基礎上 (E L. 1.3m) 地震計設置位置

備考

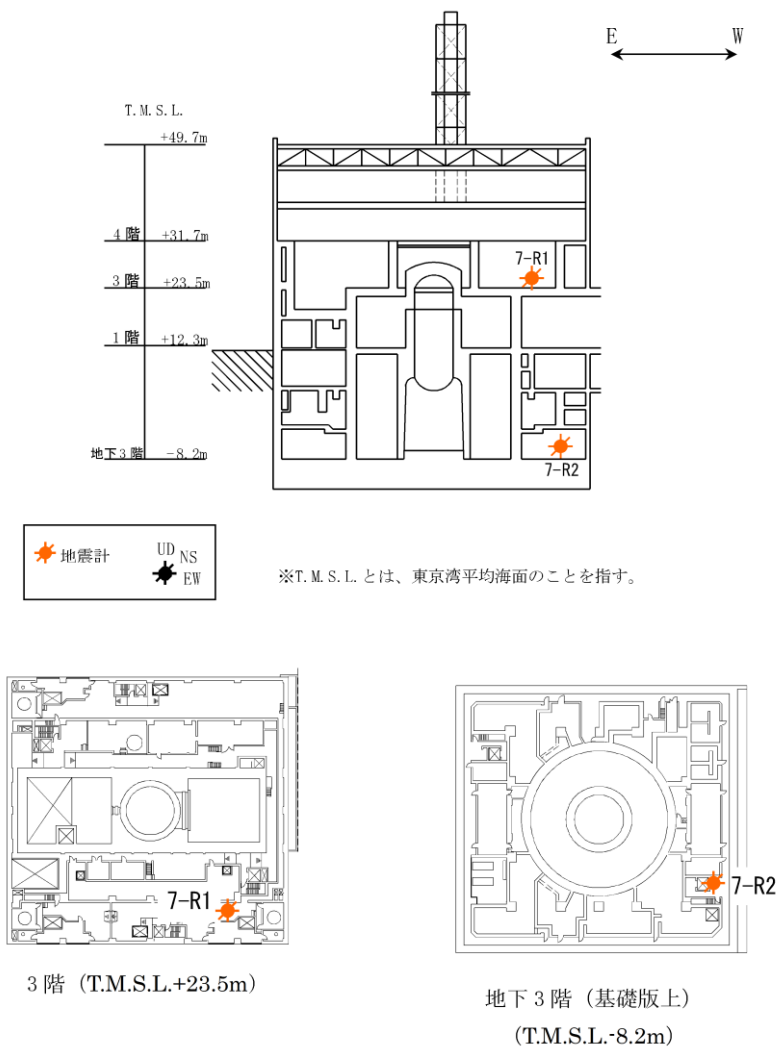
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>○:最大値 271 (cm/s²)</p> <p>時間(s)</p> <p>NS方向</p> <p>○:最大値 322 (cm/s²)</p> <p>時間(s)</p> <p>EW方向</p> <p>○:最大値 488 (cm/s²)</p> <p>時間(s)</p> <p>鉛直方向</p> <p>(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)</p>	 <p>NS成分</p> <p>○:最大値 214 (cm/s²)</p> <p>時間(s)</p> <p>EW成分</p> <p>○:最大値 225 (cm/s²)</p> <p>時間(s)</p> <p>UD成分</p> <p>○:最大値 189 (cm/s²)</p> <p>時間(s)</p>	 <p>○:最大値 28 (cm/s²)</p> <p>時間 (s)</p> <p>NS方向</p> <p>○:最大値 31 (cm/s²)</p> <p>時間 (s)</p> <p>EW方向</p> <p>○:最大値 27 (cm/s²)</p> <p>時間 (s)</p> <p>鉛直方向</p>	
<p>参考第 1-2 図 原子炉建屋基礎上の観測記録 加速度時刻歴波形 (6号炉) (6-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)</p>	<p>別図 6-2 原子炉建屋基礎 (EL. -4. 0 m) RB01 の観測記録加速度時刻歴波形</p>	<p>参考第 1-2 図 原子炉建物基礎上の観測記録加速度時刻歴波形 (CH. 45, CH. 46, CH. 47 E L 1. 3m)</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)

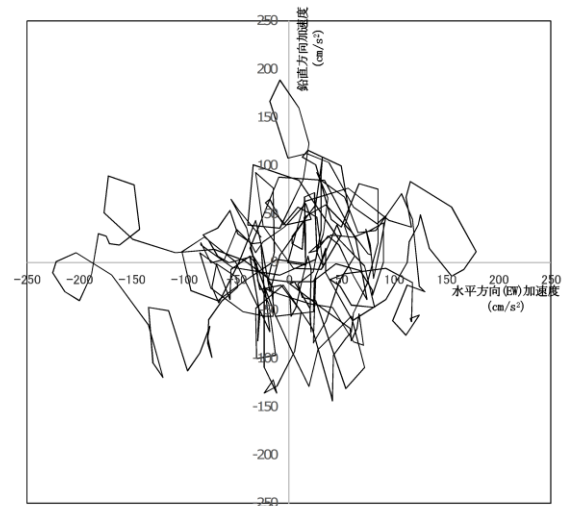
東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)

島根原子力発電所 2号炉

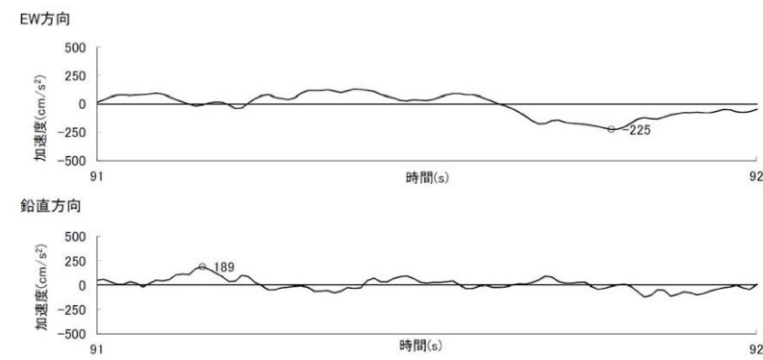
備考



参考第2-1 図 7号炉原子炉建屋 地震計設置位置

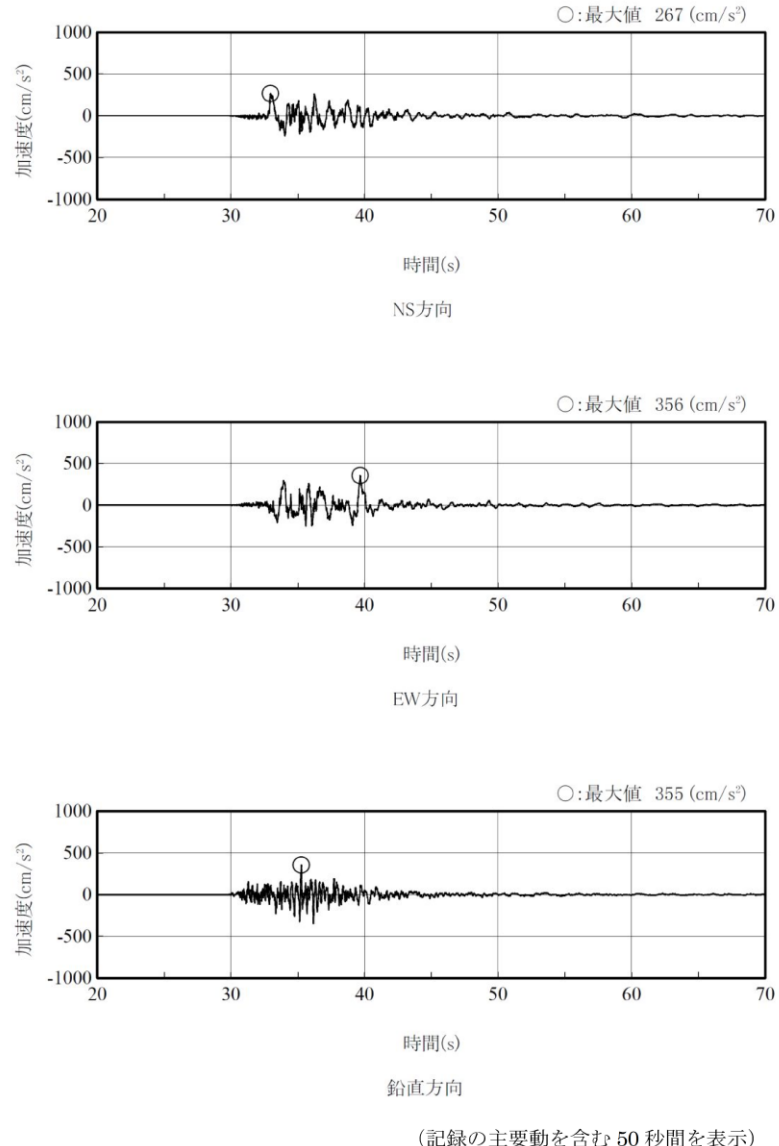


原子炉建屋基礎上 (EL. -4.0 m) RB01 のリサージュ波形 (9.0秒から9.3秒)

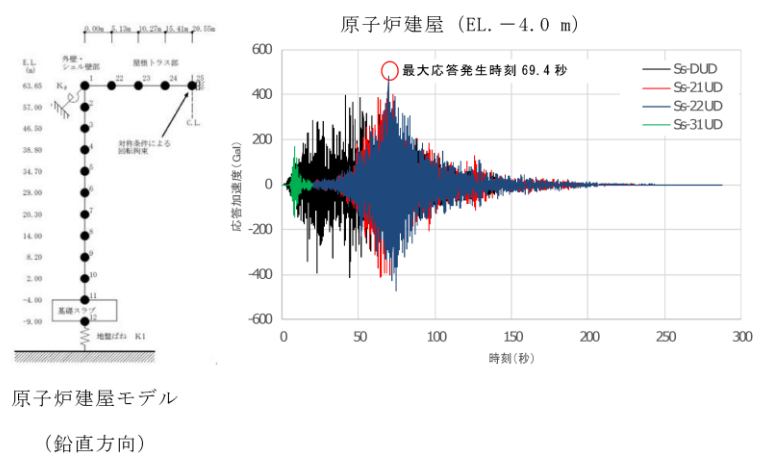
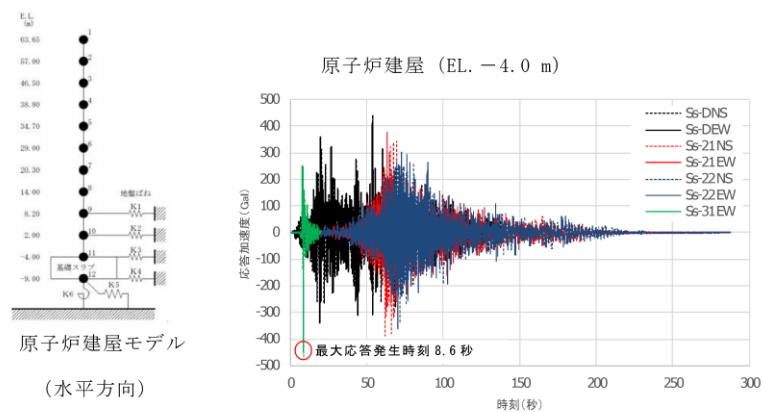


原子炉建屋基礎上 (EL. -4.0 m) RB01 の観測記録加速度時刻歴波形 (9.1秒から9.2秒)

別図6-3 最大応答値(EW-UD)における生起時刻の差

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
 <p>○:最大値 267 (cm/s²)</p> <p>加速度(cm/s²)</p> <p>時間(s)</p> <p>NS方向</p> <p>○:最大値 356 (cm/s²)</p> <p>加速度(cm/s²)</p> <p>時間(s)</p> <p>EW方向</p> <p>○:最大値 355 (cm/s²)</p> <p>加速度(cm/s²)</p> <p>時間(s)</p> <p>鉛直方向</p> <p>(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)</p> <p>参考第 2-2 図 原子炉建屋基礎版上の地震観測記録加速度時刻歴 波形 (7号炉) (7-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)</p>			

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p style="text-align: right;"><u>別紙2</u></p> <p style="text-align: center;"><u>東海第二発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の 生起時刻の差について (補足説明)</u></p> <p><u>本資料では東海第二発電所における水平方向及び鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差について、4項で選定した基準地震動 S_s-D、S_s-21 及び S_s-22 の3波に加えて、基準地震動 S_s-31 も加えた場合の水平方向及び鉛直方向の生起時刻の差について説明する。</u></p> <p><u>4項で示した同様の手法にて水平方向と鉛直方向の最大応答値の生起時刻の差を別図 6-4 及び別表 6-2 に示す。別表 6-2 には4項で整理した基準地震動 S_s-D、S_s-21 及び S_s-22 の3波で整理した生起時刻の差についても記載した。</u></p> <p><u>別図 6-4 に示すとおり S_s-31 は、地震継続時間が短く、水平方向の最大応答値の生起時刻は約9秒となり、他 S_s よりも早い時刻で最大応答値の生起時刻が生じる。また S_s-31 の鉛直方向については、他の S_s の応答加速度値と比べても小さな傾向を示す。このため S_s-31 の水平方向の最大応答値の生起時刻9秒と他 S_s の鉛直方向の最大応答値の生起時間を用いて評価すると、生起時刻の差として大きくなる傾向となる。</u></p>		<p>・記載方針の相違</p> <p>【東海第二】</p> <p>①の相違</p>



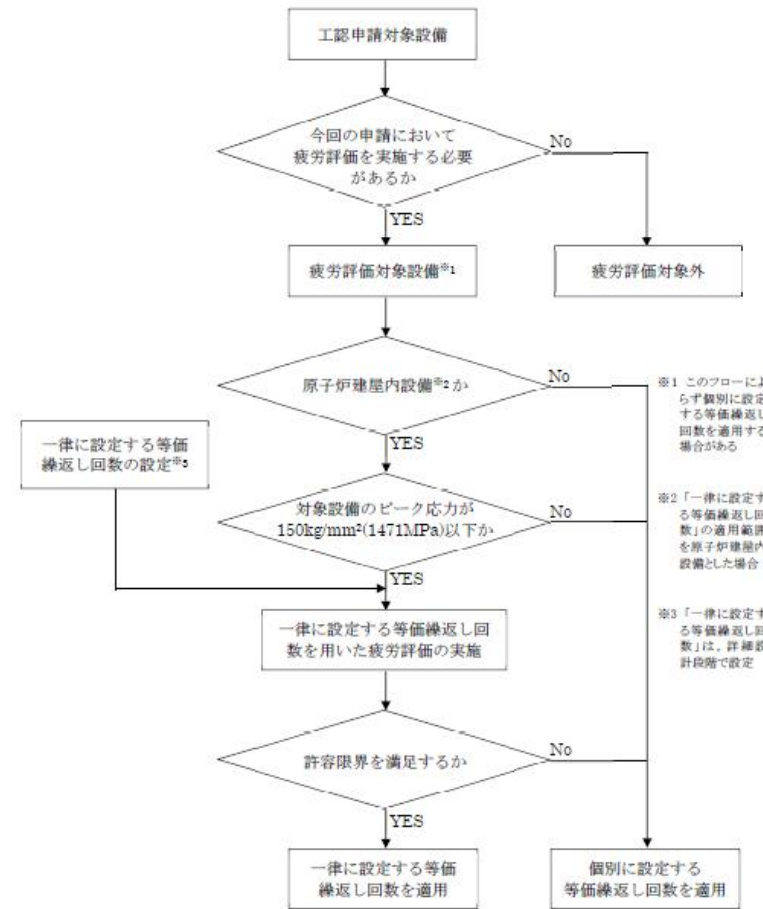
別図 6-4 原子炉建屋の応答値 (EL. -4.0m の例)

・記載方針の相違
【東海第二】
①の相違

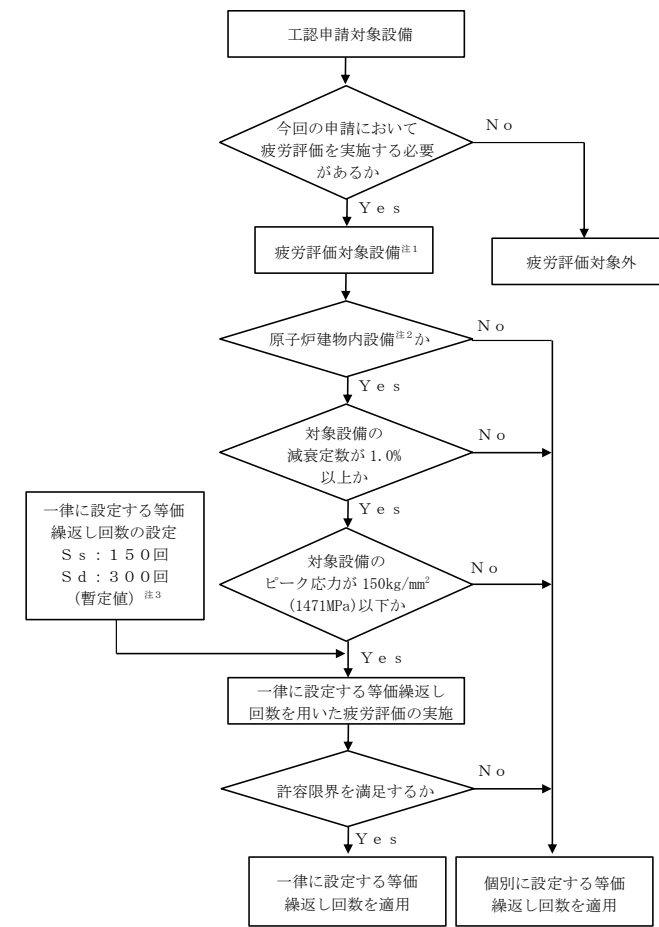
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	東海第二発電所 (2018.9.18版)	島根原子力発電所 2号炉	備考																																																																					
	<p align="center"><u>別表 6-2 S_s-31 考慮時の最大応答値の生起時刻の差</u></p> <table border="1" data-bbox="964 304 1668 940"> <thead> <tr> <th rowspan="3">位置 (m)</th> <th colspan="2">S_s-31 考慮時の検討</th> <th rowspan="2">生起時刻 の差 (秒)</th> <th rowspan="2">S_s3 波時の 生起時刻 の差 (秒)</th> </tr> <tr> <th colspan="2">最大応答値の 生起時刻 (秒)</th> </tr> <tr> <th>水平方向</th> <th>鉛直方向</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>63.65</td><td>73.0</td><td>68.6</td><td>4.4</td><td>4.4</td></tr> <tr><td>57.00</td><td>61.9</td><td>68.6</td><td>6.7</td><td>6.7</td></tr> <tr><td>46.50</td><td>8.6</td><td>61.0</td><td>52.4</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>38.80</td><td>8.7</td><td>61.0</td><td>52.3</td><td>41.1</td></tr> <tr><td>34.70</td><td>8.7</td><td>61.0</td><td>52.3</td><td>12.0</td></tr> <tr><td>29.00</td><td>8.7</td><td>61.0</td><td>52.3</td><td>41.0</td></tr> <tr><td>20.30</td><td>8.6</td><td>68.7</td><td>60.1</td><td>5.4</td></tr> <tr><td>14.00</td><td>8.7</td><td>68.7</td><td>60.0</td><td>5.4</td></tr> <tr><td>8.20</td><td>8.6</td><td>74.5</td><td>65.9</td><td>20.7</td></tr> <tr><td>2.00</td><td>8.6</td><td>74.5</td><td>65.9</td><td>20.7</td></tr> <tr><td>-4.00</td><td>8.6</td><td>69.4</td><td>60.8</td><td>15.6</td></tr> <tr><td>-9.00</td><td>8.6</td><td>69.4</td><td>60.8</td><td>15.6</td></tr> </tbody> </table>	位置 (m)	S _s -31 考慮時の検討		生起時刻 の差 (秒)	S _s 3 波時の 生起時刻 の差 (秒)	最大応答値の 生起時刻 (秒)		水平方向	鉛直方向	63.65	73.0	68.6	4.4	4.4	57.00	61.9	68.6	6.7	6.7	46.50	8.6	61.0	52.4	0.9	38.80	8.7	61.0	52.3	41.1	34.70	8.7	61.0	52.3	12.0	29.00	8.7	61.0	52.3	41.0	20.30	8.6	68.7	60.1	5.4	14.00	8.7	68.7	60.0	5.4	8.20	8.6	74.5	65.9	20.7	2.00	8.6	74.5	65.9	20.7	-4.00	8.6	69.4	60.8	15.6	-9.00	8.6	69.4	60.8	15.6		<p>・記載方針の相違 【東海第二】 ①の相違</p>
位置 (m)	S _s -31 考慮時の検討		生起時刻 の差 (秒)	S _s 3 波時の 生起時刻 の差 (秒)																																																																				
	最大応答値の 生起時刻 (秒)																																																																							
	水平方向	鉛直方向																																																																						
63.65	73.0	68.6	4.4	4.4																																																																				
57.00	61.9	68.6	6.7	6.7																																																																				
46.50	8.6	61.0	52.4	0.9																																																																				
38.80	8.7	61.0	52.3	41.1																																																																				
34.70	8.7	61.0	52.3	12.0																																																																				
29.00	8.7	61.0	52.3	41.0																																																																				
20.30	8.6	68.7	60.1	5.4																																																																				
14.00	8.7	68.7	60.0	5.4																																																																				
8.20	8.6	74.5	65.9	20.7																																																																				
2.00	8.6	74.5	65.9	20.7																																																																				
-4.00	8.6	69.4	60.8	15.6																																																																				
-9.00	8.6	69.4	60.8	15.6																																																																				

柏崎刈羽原子力発電所 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3</p> <p style="text-align: center;">等価繰返し回数の評価方針について</p> <p>1. 基本的な考え方</p> <p>女川2号炉の耐震評価における疲労評価では、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (以下、「JEAG4601」という。) の手順のうち、等価繰返し回数を用いた評価としている。</p> <p>今回工認で用いる等価繰返し回数は、JEAG4601 のピーク応力法に基づき等価繰返し回数を算定する。等価繰返し回数は、設備のピーク応力、固有周期、減衰定数、応答変位時刻歴によって値が異なるため、保守性を持たせた「一律に設定する等価繰返し回数」を用いることを基本とする。また、より精緻に疲労評価を行う場合は、「個別に設定する等価繰返し回数」を用いる。適用する等価繰返し回数の使い分けの考え方を参考 3-1 図に示す。</p> <p>なお、建設時における女川2号炉の等価繰返し回数は、<u>先行 BWR プラントにおける等価繰返し回数(OBE※1回当たりの繰返し回数を10回としてプラントライフ中5回発生すると仮定し、余裕を持って6回発生する場合の60回を設定)を踏襲し、60回と設定している。また、等価繰返し回数を60回に設定することの確認として、JEAG4601のピーク応力法に基づき建設時の基準地震動 S1 及び S2 に対する原子炉格納容器の等価繰返し回数を算出し、S1 に対して10回未満、S2 に対して20回未満であることを確認しており、疲労評価にあたっては、基準地震動 S1 及び S2 に対してそれぞれ等価繰返し回数 60 回を用いた評価を行っている。</u></p> <p>※OBE : Operating basis earthquake</p> <p>2. 等価繰返し回数の評価方針</p> <p>2.1 評価手法</p> <p>等価繰返し回数の算定方法について、JEAG4601 に「地震動の等価繰返し回数を用いる場合にはピーク応力法あるいはエネルギー換算法が用いられる」と記載されており、女川2号炉では、ピーク応力法を用いて算定する方針とする。</p>	<p style="text-align: right;">添付資料-8</p> <p style="text-align: center;">等価繰返し回数の評価方針について</p> <p>1. 基本的な考え方</p> <p>島根2号炉の耐震評価における疲労評価では、原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 (以下「JEAG4601」という。) の手順のうち、等価繰返し回数を用いた評価としている。</p> <p>今回工認で用いる等価繰返し回数は、JEAG4601のピーク応力法に基づき等価繰返し回数を算定する。等価繰返し回数は、設備のピーク応力、固有周期、減衰定数、応答変位時刻歴によって値が異なるため、保守性を持たせた「一律に設定する等価繰返し回数」を用いることを基本とする。また、より精緻に疲労評価を行う場合は、「個別に設定する等価繰返し回数」を用いる。適用する等価繰返し回数の使い分けの考え方を第1図に示す。</p> <p>なお、建設時における島根2号炉の等価繰返し回数は、建設時の基準地震動 S1 及び S2 に対する原子炉建物の等価繰返し回数を「<u>昭和 55 年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書</u>」(以下「標準化報告書」という。)に基づき算出し、保守性を持たせた一律の等価繰返し回数として100回を設定している。</p> <p>2. 等価繰返し回数の評価方針</p> <p>2.1 評価手法</p> <p>等価繰返し回数の算定方法について、JEAG4601に「地震動の等価繰返し回数を用いる場合にはピーク応力法あるいはエネルギー換算法が用いられる」と記載されており、島根2号炉では、ピーク応力法を用いて算定する方針とする。</p>	<p>・評価手法の相違</p> <p>【女川2】</p> <p>島根2号炉では、建設工認において原子炉建物の等価繰返し回数を算出している(以下、①の相違)</p>

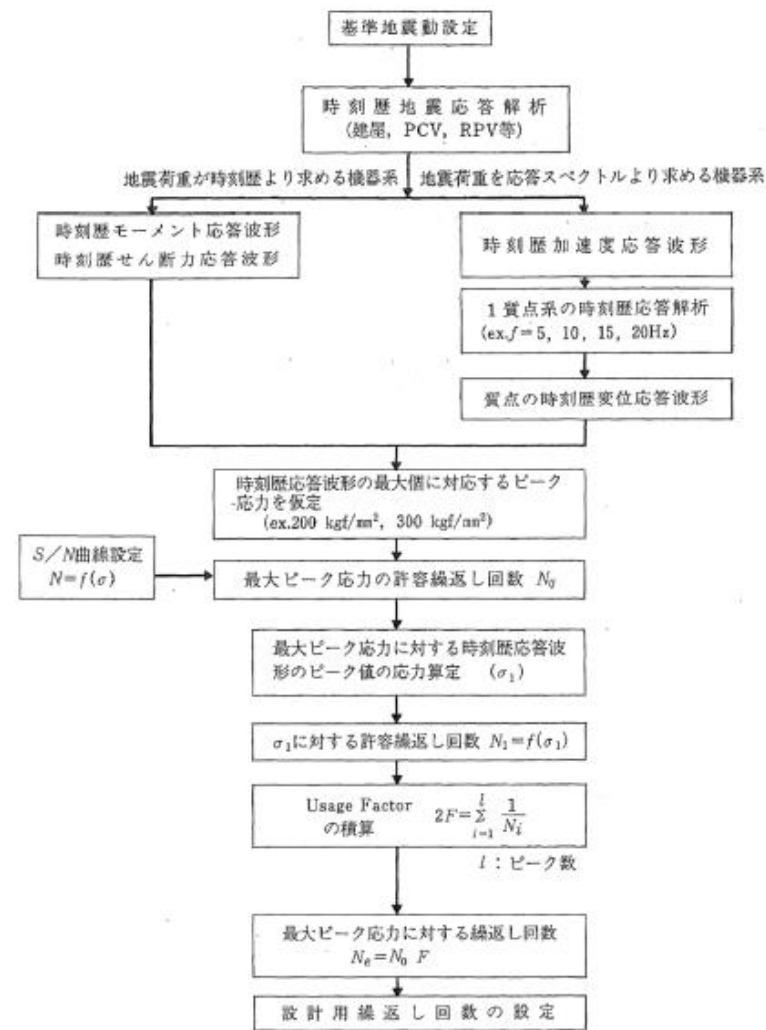
柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017.12.20版)	女川原子力発電所 2号炉 (2020.2.7版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
	<p>2.2 算定フロー及び算定条件</p> <p>JEAG4601 に記載されているピーク応力法を用いた等価繰返し回数の算定フローを参考3-2 図に示す。</p> <p>当該フローに基づき、<u>女川2号炉の耐震評価における疲労評価に用いる等価繰返し回数として「一律に設定する等価繰返し回数」又は「個別に設定する等価繰返し回数」を設定する。なお、等価繰返し回数の算定に当たっては、「昭和55年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」における等価繰返し回数の算定方法を参考とする。</u></p> <p><u>女川2号炉の等価繰返し回数の算定条件、「昭和55年度耐震設計の標準化に関する調査報告書」及び建設時における等価繰返し回数の確認に用いた算定条件との比較結果を参考3-1表に示す。</u></p> <p><u>等価繰返し回数の算定結果については、詳細設計段階で示す。</u></p> <p>3. 留意事項</p> <p><u>東北地方太平洋沖地震等の地震による設備への疲労影響は、十分に小さいことを確認しているが、疲れ累積係数による疲労評価を実施する場合は、許容限界 (Uf=1.0) に対して余裕があることにも留意する。</u></p>	<p>2.2 算定フロー及び算定条件</p> <p>JEAG4601 に記載されているピーク応力法を用いた等価繰返し回数の算定フローを第2図に示す。</p> <p>当該フローに基づき、<u>島根2号炉の耐震評価における疲労評価に用いる等価繰返し回数として「一律に設定する等価繰返し回数」又は「個別に設定する等価繰返し回数」を設定する。なお、等価繰返し回数の算定に当たっては、標準化報告書における等価繰返し回数の算定方法を参考とする。</u></p> <p><u>島根2号炉の等価繰返し回数の算定条件と標準化報告書との比較結果を第1表に示す。</u></p> <p><u>等価繰返し回数は、詳細設計段階で設定する。なお、暫定的に一律に設定する等価繰返し回数を使用する場合、基準地震動 S s による評価において150回、弾性設計用地震動 S d による評価において300回を適用する。</u></p>	<p>備考</p> <ul style="list-style-type: none"> ・記載方針の相違 【女川2】 島根2号炉では、暫定的に使用する等価繰返し回数を記載している ・評価手法の相違 【女川2】 島根2号炉では東北地方太平洋沖地震による設備への疲労影響はない



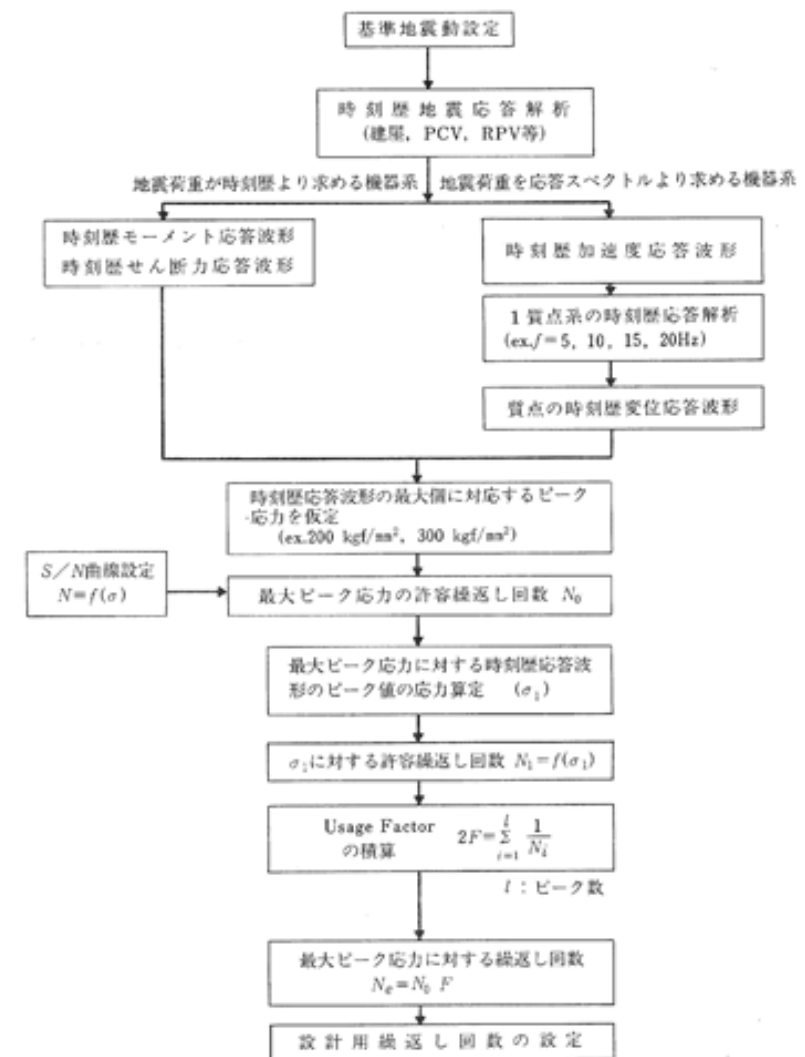
参考 3-1 図 適用する等価繰返し回数の使い分け



第1図 適用する等価繰返し回数の使い分け



参考 3-2 図 ピーク応力法を用いた地震の等価繰返し回数の算定フロー (JEAG4601 引用)



第2図 ピーク応力法を用いた地震の等価繰返し回数の算定フロー (JEAG4601より引用)

参考3-1 表 昭和55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書及び女川2号炉の等価繰返し回数算定条件の比較

対象設備	昭和55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書 (標準化報告書)		女川2号炉	
	【手法1】	【手法2】	建設時	今回工事
対象設備	原子炉圧力容器スカート	第一種配管	建設時における等価繰返し回数	個別に設定する等価繰返し回数
算出方法	時刻解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出方法 (JEA6401における左側のフロー)	建物床応答を入力とした1質点系モデルによる応答時刻歴を用いた算出方法 (JEA6401における右側のフロー)	時刻解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出方法 (JEA6401における左側のフロー)	時刻解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出方法 (JEA6401における右側のフロー)
波形	時刻歴モーメント波形	変位応答時刻歴	加速時刻歴波形	時刻歴モーメント波形
回数算出に用いる応答時刻歴	5種類のピーク応力 (最大300kg/mm ²)	代表設備の最大ピーク応力を安全側に設定 (300kg/mm ²)	51kg/mm ² (原子炉格納容器の1次+2次応力の0.5及びV.V.Sの許容応力 (DS))	100kg/mm ² (147MPa) 昭和55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書の検討にて十分とされる値
対象建屋・床	代表設備の設置床面	同左	原子炉格納容器	同左
固有周期	時刻解析結果より直接算定	設備の固有周期でなく、全固有周期	建物一大型機器連系解析モデルの時刻解析結果より直接算定	対象設備の固有周期
減衰定数	報告書に言及なし	同左	同左	0.5%
設計用疲労線図	代表設備材料の線図を使用	同左	同左	同左
地盤条件	Vs=500, 1000, 1500m/s	Vs=1500m/s	Vs=1820m/s	同左

※1 「一律に設定する等価繰返し回数」の適用範囲を原子炉建屋内設備とした場合。
 ※2 設備の固有周期を踏まえ固有周期帯を限定する場合がある。
 ※3 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準 (通商産業省告示第501号) を適用。
 ※4 日本機械学会 設計建設規格 (J S M E S N C I 2005/2007) を適用。

第1表 昭和55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書及び島根2号炉の等価繰返し回数算定条件の比較

対象設備	昭和55年度 耐震設計の標準化に関する調査報告書 (標準化報告書)		島根2号炉	
	【手法1】	【手法2】	建設時	今回工事
対象設備	原子炉圧力容器スカート	第一種配管	建設時における等価繰返し回数	個別に設定する等価繰返し回数
算出方法	時刻解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出方法	建物床応答を入力とした1質点系モデルを用いた算出方法	時刻解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出方法	時刻解析より算定される時刻歴モーメントを用いた算出方法
波形	時刻歴モーメント波形	変位応答時刻歴	変位応答時刻歴	変位応答時刻歴
回数算出に用いる応答時刻歴	5種類のピーク応力 (最大300kg/mm ²)	代表設備の最大ピーク応力を安全側に設定 (300kg/mm ²)	150kg/mm ² (147MPa) (標準化報告書の検討にて十分とされる値)	150kg/mm ² (147MPa) (標準化報告書の検討にて十分とされる値)
対象建屋・床	代表設備の設置床面	同左	代表設備の設置位置	同左
固有周期	時刻解析結果より直接算定	設備の固有周期でなく、全固有周期	対象設備の固有周期でなく、全固有周期	対象設備の固有周期
減衰定数	報告書に言及なし	同左	0.5%, 1.0%	1.0%
設計用疲労線図	代表設備材料の線図を使用	同左	炭素鋼の設計疲労線図 ^{注4}	炭素鋼の設計疲労線図 ^{注4}
地盤条件	Vs=500, 1000, 1500m/s	Vs=1500m/s	Vs=1600m/s ^{注7}	Vs=1600m/s ^{注7}

注1 「一律に設定する等価繰返し回数」の適用範囲を原子炉建屋内設備とした場合
 注2 設備の固有周期を踏まえ固有周期帯を限定する場合がある。
 注3 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準 (昭和55年通商産業省告示第501号) を適用
 注4 日本機械学会 設計建設規格 (J S M E S N C I 2005/2007) を適用

・評価手法の相違
 【女川2】
 ①の相違

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">添付資料-9</p> <p style="text-align: center;"><u>多入力の時刻歴応答解析の適用について</u></p> <p>1. 概要 今回工認では、三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析において、多入力の時刻歴応答解析手法を適用するため、本資料にて、その解析手法を説明する。なお、本解析手法は、原子炉建物等の建物・構築物の地震応答解析において、他プラントを含む既工認にて適用実績がある。</p> <p>2. 多入力の時刻歴応答解析法 多入力の時刻歴応答解析では、基準とする入力点(基準入力点)に対する配管系の相対変位及び入力点の相対変位を用いると、地震による慣性力を受ける配管系の運動方程式は以下となる。</p> $[M]\{\ddot{x}_a\} + [C]\{\dot{x}_a\} + [K]\{x_a\} = -[M]\{I\}\ddot{y}_0 - [\tilde{C}]\{\dot{x}_b\} - [\tilde{K}]\{x_b\} \quad (1)$ <p>$[M]$, $[C]$, $[K]$: 配管系の質量, 減衰, 剛性マトリクス</p> <p>$\{I\}$: 単位ベクトル</p> <p>$\{x_a\}$: 基準入力点に対する配管系の相対変位ベクトル</p> <p>$\{x_b\}$: 基準入力点に対する入力点の相対変位ベクトル</p> <p>y_0 : 基準入力点の絶対変位</p> <p>$[\tilde{C}]$: 入力点の相対速度に対応した減衰マトリクス</p> <p>$[\tilde{K}]$: 入力点の相対変位に対応した剛性マトリクス</p>	<p>・対象設備の相違</p> <p>【柏崎 6/7, 東海第二】</p> <p>島根 2号炉では、三軸粘性ダンパを設置した配管系の地震応答解析において、多入力の時刻歴応答解析手法を適用する</p>

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>式(1)の左辺は地震による慣性力を受ける配管系の運動方程式である。右辺第一項は、基準入力点の加速度を用いており、右辺第二項及び右辺第三項は、入力点の相対変位、相対速度により生じる力を表している。式(1)は、単一入力の場合と同様に、モード座標系の運動方程式に変換することが可能であり、今回の評価では、モード空間での連成した運動方程式に対して時間積分を行う方法を適用する。</p> <p>3. 多入力の場合の2自由度系の運動方程式の例</p> <p>多入力の時刻歴応答解析手法は、いくつかの定式化が可能であるが、前項に示した系全体の絶対変位を「基準とする支持点の絶対変位」と「基準とする支持点からの相対変位」の和で表す場合の定式化について、多入力の場合の2自由度系の運動方程式の例を以下に示す。対象とする2自由度系を図3-1に示す。</p> <p>なお、系を静的平衡関係から得られる疑似静的変位と動的変位の和で定義することを特徴とするCloughの方法がJ E A G 4 6 0 1^{注1}に示されているが、変位等の定義の仕方が異なるだけであり、系の運動方程式としては、式(1)と同等である(参考資料(9-1)参照)。</p> <p>注1：原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (社団法人日本電気協会)</p>  <p>The diagram shows a horizontal mass-spring-damper system. It consists of two masses, labeled '質点1' (mass m_1) and '質点2' (mass m_2), connected in series. The system is supported at two fixed points: '支持点1' (Support Point 1) on the left and '支持点2' (Support Point 2) on the right. Between Support Point 1 and mass m_1, there is a spring with stiffness k_1 and a damper with coefficient c_1 in parallel. Between mass m_1 and mass m_2, there is a spring with stiffness k_2 and a damper with coefficient c_2 in parallel. Between mass m_2 and Support Point 2, there is a spring with stiffness k_3 and a damper with coefficient c_3 in parallel. Displacements are indicated by arrows: x_{a1} and x_{a2} are relative displacements of the masses from Support Point 1; x_{b1} and x_{b2} are relative displacements of the support points from Support Point 1; and y is the absolute displacement of Support Point 1. A vertical y-axis is shown at the bottom left.</p> <p>y : 基準とする支持点1の絶対変位 x_{a1}, x_{a2} : 支持点1に対する各質点の相対変位 x_{b1}, x_{b2} : 支持点1に対する各支持点の相対変位 ($x_{b1} = 0$) m_1, m_2 : 質量 k_1, k_2, k_3 : ばね定数 c_1, c_2, c_3 : 減衰係数</p>	

図3-1 多入力の場合の2自由度系

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p>地震による慣性力を受ける配管系の運動方程式を以下に示す。</p> $\begin{cases} m_1(\ddot{x}_{a1} + \ddot{y}) + c_1(\dot{x}_{a1} - \dot{x}_{b1}) - c_2(\dot{x}_{a2} - \dot{x}_{a1}) + k_1(x_{a1} - x_{b1}) - k_2(x_{a2} - x_{a1}) = 0 & (2) \\ m_2(\ddot{x}_{a2} + \ddot{y}) + c_2(\dot{x}_{a2} - \dot{x}_{a1}) - c_3(\dot{x}_{b2} - \dot{x}_{a2}) + k_2(x_{a2} - x_{a1}) - k_3(x_{b2} - x_{a2}) = 0 & (3) \end{cases}$ <p>基準とする支持点 1 に関する項を右辺に移項して整理すると、</p> $\begin{cases} m_1\ddot{x}_{a1} + (c_1 + c_2)\dot{x}_{a1} - c_2\dot{x}_{a2} + (k_1 + k_2)x_{a1} - k_2x_{a2} - c_1\dot{x}_{b1} - k_1x_{b1} = -m_1\ddot{y} & (4) \\ m_2\ddot{x}_{a2} - c_2\dot{x}_{a1} + (c_2 + c_3)\dot{x}_{a2} - k_2x_{a1} + (k_2 + k_3)x_{a2} - c_3\dot{x}_{b2} - k_3x_{b2} = -m_2\ddot{y} & (5) \end{cases}$ <p>となる。式 (4) および式 (5) を行列式で表現すると、</p> $\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_{a1} \\ \ddot{x}_{a2} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 + c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_{a1} \\ \dot{x}_{a2} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 + k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_{a1} \\ x_{a2} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} -c_1 & 0 \\ 0 & -c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_{b1} \\ \dot{x}_{b2} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} -k_1 & 0 \\ 0 & -k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_{b1} \\ x_{b2} \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \ddot{y} \quad (6)$ <p>となる。</p> <p>ここで、入力点の相対速度に対応した減衰マトリクスを、$[\tilde{C}]$ 入力点の相対変位に対応した剛性マトリクスを $[\tilde{K}]$ としたうえでこれらを右辺に移項すると、以下の式となる。</p> $[M]\{\ddot{x}_a\} + [C]\{\dot{x}_a\} + [K]\{x_a\} = -[M]\{I\}\ddot{y} - [\tilde{C}]\{\dot{x}_b\} - [\tilde{K}]\{x_b\} \quad (7)$ <p>式 (7) の左辺は質点の変位 x_a、右辺は支持点の変位 x_b および y の運動方程式であり、前項に示す式 (1) と同様の方程式となる。</p>	

柏崎刈羽原子力発電所 6 / 7号炉 (2017. 12. 20 版)	東海第二発電所 (2018. 9. 18 版)	島根原子力発電所 2号炉	備考
		<p style="text-align: right;">参考資料(9-1)</p> <p style="text-align: center;">J E A G 4 6 0 1 -1987 (抜粋) 6.5.4 地震応答解析法 (3)配管</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>(3) 配 管</p> <p>Aクラス配管の地震応答解析手法として設計において最も多く用いられている方法は、「6.5.4(2)容器」で示したスペクトルモーダル解析法であるが、「6.5.4(1)建屋連成系の機器」で述べた時刻歴解析法による場合もある。配管系は、多数の支持点にて支持されていることから多入力解析を用いることが合理的と考えられる。この多入力解析法については、いくつかの定式化が考えられるが、配管を対象とした多入力解析の場合はCloughにより提案された方法を用いることが多い。このCloughの方法は、系を静的平衡関係から得られる擬似静的変位と動変位の和で定義したことを特徴とするもので、最終的には系の運動方程式は次の式(6.5.4-8)となる。</p> $M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = -MH\ddot{U}_b \quad \text{..... (6.5.4-8)}$ <p>M : 質量マトリクス C : 減衰マトリクス K : 剛性マトリクス \ddot{U}_b : 支持点の絶対加速度 H : 静的平衡関係から得られる変換マトリクス</p> <p>式(6.5.4-8)はこれまでに扱ってきた運動方程式と同様な形式となっているため、時刻歴による多入力解析はもちろんであるが支持点の応答スペクトルを用いたスペクトル多入力解析をも可能としている。ただし、膨大な数のモデルを対象とする配管設計においては、簡便さと安全側の観点から各々の支持部の入力を包絡し、単一入力として解析する場合が多い。</p> <p>つまり、配管系の地震応答解析は「6.5.2(3)配管」において述べたように曲げせん断はり(ビーム、管要素)により3次元のモデル化が行われスペクトルモーダル解析により地震力を求める解析法が主となっている。そして、スペクトルモーダル解析においてモード合成により部材力を求める場合は「SRSS」法が用いられ、地震入力方向の合成には絶対値和法を用いるのが普通である。</p> </div>	