

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-023-13 改 04
提出年月日	2023年6月7日

地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因の整理

2023年6月

中国電力株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 基本ケースの考え方	3
2.1 建物・構築物	3
2.2 機器・配管系（建物－大型機器連成地震応答解析）	4
2.3 土木構造物	4
3. 不確かさケースの考え方	6
3.1 建物・構築物	6
3.2 機器・配管系（建物－大型機器連成地震応答解析）	6
3.3 土木構造物	6
4. 影響要因の抽出の考え方	8
4.1 基本ケースへの影響要因の抽出の観点	8
4.1.1 プラント供用時の条件を踏まえて基本ケースへの影響検討が必要な事項	8
4.2 工認設計ケースへの影響要因の抽出の観点	9
4.2.1 プラント供用時の条件を想定した検討が必要な事項	9
4.2.2 工認設計ケースの妥当性確認が必要な事項	11
5. 今回工認における申請上の位置付け	15

(参考資料) コンクリートの剛性を上昇させたことによる土木構造物の耐震評価に与える影響について

1. はじめに

本資料は、建物・構築物、機器・配管系（建物—大型機器連成地震応答解析）及び土木建造物の耐震設計にあたり、地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因について「基本ケースの考え方」、「不確かさケースの考え方」、「影響要因の抽出の考え方」をそれぞれ整理した上で、「今回工認における申請上の位置付け」の考え方を示すものである。

それぞれの項目の基本的な方針は以下のとおり。

- (1) 「基本ケースの考え方」の整理にあたって、基本ケースについては、既工認モデルを基本として、先行サイトの審査実績等による最新知見を反映して設定する方針としている。
- (2) 「不確かさケースの考え方」については、基本ケースへの不確かさ要因として、以下に示す「耐震設計に係る工認審査ガイド」における要求事項及び島根原子力発電所の特徴を踏まえて、地震応答解析結果へ影響を与える材料及び地盤の物性値について検討の上、ばらつきによる変動幅を考慮する項目を抽出する。
 - ・地震応答解析に用いる材料定数のうち解析モデルの剛性評価に用いる定数については、材料のばらつきによる定数の変動幅が適切に設定されていること
 - ・材料定数の変動が建物・構築物の振動性状（固有周期，固有モード等）や応答性状に及ぼす影響を検討し，必要に応じて，建物・構築物の地震力や機器・配管系の入力地震力に及ぼす影響を設計に考慮すること
- (3) 「影響要因の抽出の考え方」については、基本ケース及びその不確かさを踏まえた工認設計ケース（基本ケース及び不確かさケース）に分けて、以下の観点から影響要因（影響検討ケース）の抽出を行う。
 - a. 基本ケースへの影響要因の抽出の観点
 - ・プラント供用時の条件を踏まえて基本ケースへの影響検討が必要な事項
 - b. 工認設計ケースへの影響要因の抽出の観点
 - ・工認設計ケースに対して、プラント供用時の条件を想定した検討が必要な事項
 - ・工認設計ケースの妥当性を確認している事項で、念のため影響検討を実施するパラメータ
- (4) 「今回工認における申請上の位置付け」の整理にあたっては、工認設計ケース（基本ケース及び不確かさケース）に対する各影響検討ケースの影響の程度に応じて、申請上の位置付けを整理する。

ここで、基本ケースとは、材料物性の不確かさを考慮しない、工認設計ケースの基本となるケースを、工認設計ケースとは、設計用地震力や設計用床応答スペクトル等を策定するためのケース（基本ケース及び不確かさケース）を示す。

なお、建物・構築物及び土木建造物の地震応答を用いて設計する機器・配管系は、建物・構築物及び土木建造物の工認設計ケース（基本ケース及び不確かさケース）の応答を用いて今回工認の耐震評価を実施するため、建物・構築物及び土木建造物に含めて整理を行うこととする。

設工認の耐震設計計算書（IV-2-別添7以外の別添を含む）では、安全対策工事に伴う掘削後の状態を前提とした耐震評価結果を示している。ただし、原子炉設置変更許可時（2021.9.15 許

可) の地盤条件は、掘削前の状態を前提としていること、安全対策工事の進捗により、地盤の状態は変化する可能性があることを踏まえ、掘削前の状態における耐震評価についてIV-2-別添7「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震性に関する説明書」に示す。

本資料が関連する工認図書は以下のとおり。

- ・VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」
- ・VI-2-2 「耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性に関する説明書」
- ・VI-2-12 「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」
- ・VI-2-別添7 「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震性に関する説明書」

2. 基本ケースの考え方

2.1 建物・構築物

建物・構築物の設計にあたって、既設建物・構築物については、先行審査実績等の最新知見を整理の上、既工認に基づき、地震応答解析モデルを策定している。また、新設建物については、今回工認において既設建物の地震応答解析モデル及び手法と同様にモデルを策定する。

なお、対象建物・構築物は、今回工認において機能を有する建物・構築物を対象として整理することとし、波及的影響評価対象の建物・構築物はその考え方に準ずる。

<基本ケースの設定における考え方>

- a. 建物・構築物及び機器・配管系の設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量の増加による影響について、増加重量比は1%以下と小さく、重量増加が建物の応答性状に与える影響は軽微であることを確認しているため、基本ケースの建物重量は既工認モデルに基づくものとする。なお、最も大きな増加重量及び増加重量比が確認された原子炉建物については、施設の重要性を踏まえ、重量増加を反映した検討を「プラント供用時の条件を踏まえて基本ケースへの影響検討が必要な事項」として4.1.1(1)において抽出する。
- b. 積雪荷重について、島根原子力発電所は多雪区域ではなく、積雪がない状態を基本とすること及び積雪荷重による増加重量比は0.1%以下と小さく、建物応答への影響は小さいことを確認しているため、基本ケースの建物重量は既工認モデルに基づくものとする。なお、原子力発電所の重要性を鑑み、設計基準積雪深（100cm）に平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した荷重を地震荷重に組み合わせ、設計用地震力に考慮することとし、「不確かさケース」として3.1において抽出する。
- c. 建物剛性について、建設時以降に建物剛性に影響がある改造工事等を実施していないこと及び地震観測記録による傾向分析により経年による剛性低下はみられないことを確認していることから、既工認と同様に耐震壁の剛性を考慮し、コンクリートの設計基準強度に基づき設定する。
- d. 床柔性について、既工認において原子炉建物を床剛モデルとしており、今回工認において入力地震動のレベルが増大しているものの、建物の構造を踏まえた考察、地震観測記録を用いた検討及び3次元FEMモデルを用いた基準地震動 S_s による地震力に対する床スラブの面内せん断応力度の検討を実施し、床剛モデルを採用することの妥当性を確認していることから、既工認と同様に床剛を基本とする。なお、床柔性の影響については、原子炉建物の3次元FEM解析による床の柔性を含めた3次元応答特性による応答補正比率を用いた耐震影響評価を実施することにより考慮することとし、「工認設計ケースの妥当性確認が必要な事項」として4.2.2(1)g.において抽出する。
- e. RC造部の減衰定数について、「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙4 地震応答解析に用いる鉄筋コンクリート造部の減衰

定数に関する検討」において5%に設定することの妥当性を確認しており、既工認モデルと同様に5%を採用する。

- f. 地盤物性について、地盤調査結果の平均値をもとに設定する。

<既工認モデルからの主な変更点>

- a. コンクリートのヤング係数及びポアソン比は、適用規準の見直しに伴い「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－」（(社)日本建築学会、1999改定）に基づき設定している。

2.2 機器・配管系（建物－大型機器連成地震応答解析）

原子炉建物内の原子炉格納容器、原子炉圧力容器、ガンマ線遮蔽壁、原子炉圧力容器ペDESTAL等の大型機器は、その支持構造上から建物による影響が無視できないため、原子炉建物と連成させて地震応答解析を実施している。

建物－大型機器連成地震応答解析における原子炉建物の地震応答解析モデルは、2.1項に示す、既工認モデルをベースとして策定した今回工認モデルを適用する。

原子炉圧力容器ペDESTALのコンクリートの剛性については、建物・構築物としての原子炉建物の方針と同様に、基本ケースとして設計基準強度を採用する。

2.3 土木構造物

土木構造物の設計にあたって、先行審査実績等の最新知見を整理の上、地震応答解析モデルを策定している。土木構造物は主に地中に埋設されているため、地震時の応答は構造物と周辺地盤の相互作用によることから、地震応答解析で周辺地盤の影響も評価可能な二次元有限要素法を用いている。設計にあたっては、原子力発電所の屋外重要土木構造物を対象とした基準である「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（(社)土木学会、2005年）」（以下「土木学会マニュアル」という。）に準拠している。

<基本ケースの設定における考え方>

- a. 「土木学会マニュアル」に基づき、構造物に係る物性値は設計基準強度に対応する物性値とし、周辺地盤に係る物性値は、各種試験等に基づく平均値とする。
- b. 積雪荷重について、島根原子力発電所は多雪区域ではないが、原子力発電所の重要性を鑑み、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震時に積載荷重として組み合わせ、設計用地震力に考慮する。
- c. 「土木学会マニュアル」に基づき、解析モデルを見直す際に、土木構造物及び機器・配管系の設備の重量は、補強や追加等の改修工事による影響を踏まえて設定する。
- d. 土木構造物については、地下水位低下設備に期待しない浸透流解析を行い、地下水位を保守的に高く設定する。
- e. 隣接構造物については、土木構造物の地震時応答に与える影響を踏まえ設定する。なお、隣接構造物は土木構造物と同等以上の大きさで耐震性を有する建物・構築物（原子炉建物等）をモデル化する。
- f. 地震動について、周辺地盤が構造物の左右で非対称であり地震時荷重の作用方向に

よる影響を受けるため，地震動の位相の影響を考慮する。

- g. 安全対策工事に伴う掘削による影響がある構造物については，掘削箇所を考慮した地震応答解析モデルとする。

3. 不確かさケースの考え方

不確かさ要因として、島根原子力発電所の特徴を踏まえて、地震応答解析結果へ影響を与える材料及び地盤の物性値について検討の上、ばらつきによる変動幅を考慮する項目を抽出する。

3.1 建物・構築物

材料及び地盤の物性値の不確かさについては、応答に影響を与えると考えられる地盤物性のばらつきとして地盤のS波速度及びP波速度のばらつきを考慮する。

積雪荷重については、島根原子力発電所は多雪区域ではないため、建築基準法による「積雪荷重と他の荷重の組合せ」を考慮する必要はないが、原子力発電所の重要性を鑑み、設計基準積雪深（100cm）に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮した荷重を地震荷重に組み合わせ、設計用地震力に考慮する。

RC造部の減衰定数については、「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙4 地震応答解析に用いる鉄筋コンクリート造部の減衰定数に関する検討」において5%に設定することの妥当性を確認していることから、不確かさは考慮しない。

コンクリート剛性に実強度を採用することは、「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙3-1 建物剛性の不確かさによる建物応答への影響に関する考察」に示すとおり、せん断ひずみは減少し、せん断応力の増加率よりも強度の増加率のほうが大きくなるため、不確かさとして考慮しない。

また、排気筒には制震装置を設置していることから、不確かさケースとして、減衰係数のばらつき等を考慮する。

3.2 機器・配管系（建物—大型機器連成地震応答解析）

建物—大型機器連成地震応答解析における原子炉建物の地震応答解析モデルは、建物・構築物としての原子炉建物の方針と同様に地盤物性のばらつきを考慮する。

3.3 土木構造物

不確かさケースの設定について、地盤物性のばらつきは、周辺地盤のせん断変形に支配的となるせん断弾性係数のばらつきを考慮する。

材料物性については、コンクリートの剛性を実強度とすることで、構造物と周囲の地盤との剛性差が大きくなり、地中構造物において土圧が大きくなるが、構造物の耐力向上が支配的となり、耐震評価における裕度の向上が考えられる。そのため、コンクリートの剛性に設計基準強度を用いるほうが安全側の評価となることから、土木構造物の設計においては、剛性上昇側のばらつきは不確かさとして考慮しない。コンクリートの剛性を上昇させたことによる土木構造物の耐震評価に与える影響について検討した結果を参考資料に示す。

地上構造物においては、構造物と周囲の地盤との剛性差により生じる土圧が作用しないため、コンクリートの剛性を実強度とすることで構造物の耐力が向上し、耐震評価における裕度の向上が考えられることから、剛性上昇側のばらつきは不確かさとして考慮しない。

また、実強度が設計基準強度を上回るよう施工管理されていることから剛性低下側のばらつきも不確かさとしては考慮しない。

なお、液状化による影響を受ける構造物については、有効応力解析を実施する場合、液状

化強度特性は下限値を設定していることから、液状化強度特性のばらつきは考慮しないが、必ずしも液状化が発生すると判断できないため、非液状化の条件を仮定した解析ケースについても不確かさケースとして設定する。

非液状化の条件を仮定した解析ケースについては、全応力解析を行うこととし、地下水位は設計地下水位とする。また、非液状化の状態は液状化した場合と比較して埋戻土の剛性が大きい傾向があるため、埋戻土のせん断弾性係数のばらつき ($+ \sigma$) についても考慮する。

4. 影響要因の抽出の考え方

4.1 基本ケースへの影響要因の抽出の観点

4.1.1 プラント供用時の条件を踏まえて基本ケースへの影響検討が必要な事項

(1) 建物・構築物

a. 建物重量：改造工事を反映した影響（原子炉建物）

原子炉建物の建物重量（3277660kN）については、既工認に基づき設定しているが、プラント供用時の条件として、屋根トラスの耐震補強や大物搬入口の耐震対策等の改造工事^{*1}及び機器・配管系の補強等の改造工事^{*2}に伴い重量が増加することから、その影響を考慮したモデルによる地震応答解析を実施しその影響を確認する。また、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

注記*1：建物・構築物の増加重量 1301kN

*2：機器・配管系の増加重量 18717kN

(2) 機器・配管系（建物－大型機器連成地震応答解析）

a. 建物重量：改造工事を反映した影響（原子炉建物）

設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量の増加を考慮した建物－大型機器連成地震応答解析モデルを用いた地震応答解析を実施し、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

(3) 土木構造物

a. 安全対策工事に伴う掘削前の影響（土木構造物，機器・配管系）

安全対策工事に伴う掘削箇所を考慮した土木構造物については、掘削前の状況の影響についても確認する。

4.2 工認設計ケースへの影響要因の抽出の観点

4.2.1 プラント供用時の条件を想定した検討が必要な事項

(1) 建物・構築物

a. 3次元挙動の影響（原子炉建物）

建物の3次元応答性状の把握及び質点系モデルによる地震応答解析の妥当性の確認の観点から、原子炉建物について3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、建物の局所的な応答を検討する。また、3次元FEMモデルによる挙動が、建物及び機器・配管系の有する耐震性に及ぼす影響について、以下の検討・考察により確認する。さらに、面外応答、質点系モデルでは見られない床応答への影響による機器・配管系への影響を確認する。

- ・基礎のロッキング
- ・建物のねじれ
- ・水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ
- ・面外応答
- ・質点系モデルでは見られない床応答への影響

b. コンクリート剛性：実強度適用の影響

コンクリート剛性に実強度を採用することは建物の耐力が向上する傾向となるものの、床応答への影響が考えられることから、コンクリート剛性に実強度を適用した地震応答解析を実施し、影響を確認する。また、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

(2) 機器・配管系（建物—大型機器連成地震応答解析）

a. 原子炉圧力容器ペDESTALのコンクリート剛性：実強度による影響

原子炉圧力容器ペDESTALのコンクリート剛性については、工認設計ケースで設計基準強度を用いていることを踏まえ、実強度を適用した場合の影響を確認する。影響確認は、原子炉圧力容器ペDESTALのコンクリート剛性に実強度を適用した地震応答解析モデルによる地震応答解析を実施し、その応答による機器・配管系への影響について確認する。

b. 3次元挙動の影響（大型機器系）

質点系モデルでは見られない床応答への影響について、原子炉建物3次元FEMモデルと大型機器系質点系モデルとの連成解析モデルによる地震応答解析を実施し、その応答による機器・配管系への影響について確認する。

(3) 土木構築物

a. 土木構築物のコンクリート剛性（実強度）（機器・配管系）

コンクリート剛性に実強度を採用することは土木構築物の耐力が向上する傾向となるものの、床応答への影響が考えられることから、コンクリート剛性に実強度を適用した地震応答解析を実施し、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

b. 地下水位が低い場合の影響（機器・配管系）

地下水位については，工認設計ケースで地下水位低下設備に期待せず，保守的に高く設定していることを踏まえ，地下水位が低下している状態の影響について確認する。

また，その応答による機器・配管系への影響を確認する。

4.2.2 工認設計ケースの妥当性確認が必要な事項

工認設計ケースの妥当性確認が必要な事項として、念のため影響検討を実施するパラメータを抽出する。

(1) 建物・構築物

a. 隣接建物の影響（原子炉建物，制御室建物，タービン建物，廃棄物処理建物）

島根原子力発電所第2号機は，耐震安全上重要な建物・構築物（原子炉建物，制御室建物等）が隣接して配置される構成となっている。

そこで，隣接建物が耐震性評価に及ぼす影響について以下の検討・考察により確認する。また，その応答による機器・配管系への影響を確認する。

- ・既往の知見による検討結果の確認
- ・隣接建物を考慮した応答検討

なお，島根原子力発電所は硬質岩盤サイトであるため，念のため実施する影響検討項目として整理する。

また，検討結果については，「NS2-補-023-07 隣接建物の影響に関する補足説明資料」に示す。

b. コンクリート剛性：重大事故時（SA時）の高温による剛性低下の影響（原子炉建物）

原子炉建物において，SA時に高温状態が一定期間継続することを踏まえ，熱によるコンクリート部材の剛性低下を考慮した地震応答解析を実施し，その影響について確認する。また，その応答による機器・配管系への影響を確認する。

ここで，SA時の事象としての不確かさ（原子炉格納容器が高温となる事故シーケンスの発生頻度，温度条件，継続時間）等を踏まえると，本検討で考慮した高温による剛性低下には至らないと考えられるため，本検討条件は保守的な設定といえる。

以上のことから，高温影響による剛性低下の位置付けとしては，工認設計ケースの妥当性確認の観点から念のため実施する影響検討項目として整理する。

なお，検討結果については，「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙5 地震応答解析における原子炉建物の重大事故等時の高温による影響」に示す。

c. 多軸床柔モデル：床ばねの非線形性の影響（タービン建物）

タービン建物については既工認及び今回工認において多軸床柔モデルを採用しており，床ばねを線形モデルとしている。床ばねを線形モデルとしていることの妥当性確認の観点から床ばねの応答を確認し，応答が大きい場合には床ばねを非線形モデルとした場合の地震応答解析を実施し，その影響について確認する。また，その応答による機器・配管系への影響を確認する。

なお，検討結果については，「NS2-補-024-03 タービン建物の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙4 床ばねの諸元及び非線形性を考慮した解析」に示す。

d. 減衰定数：新設建物の3%適用の影響（緊急時対策所，ガスタービン発電機建物）

新設建物を含めたRC造部の減衰定数については、「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙4 地震応答解析に用いる鉄筋コンクリート造部の減衰定数に関する検討」において、減衰定数を5%に設定することの妥当性を確認しているものの、対象建物が新設建物であることを踏まえ、耐震性向上の観点より、念のためRC造部の減衰定数に3%を適用した地震応答解析を実施し、その影響について確認する。また、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

なお、検討結果については、「NS2-補-024-05 緊急時対策所の地震応答計算書に関する補足説明資料」及び「補足-024-07 ガスタービン発電機建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」に示す。

e. 建物基礎底面の付着力の影響（原子炉建物）

建物基礎底面の付着力の影響については、設置変更許可段階において、建物基礎底面の付着力の有無が耐震性評価に及ぼす影響について検討し、付着力考慮の有無による影響が小さいことを確認しているため、念のため実施する影響検討項目として整理する。また、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

なお、検討結果については、「NS2-補-023-10 建物の地震応答解析モデルについて（地震応答解析における建物基礎底面の付着力） 別紙-3 付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討」に示す。

f. 入力地震動に関する影響

入力地震動に関する影響については、設置変更許可段階において、入力地震動に関する影響検討を実施し、追加として解析条件及び解析手法に関する影響検討を行い、入力地震動の保守性、妥当性を確認するとしていることから、念のため実施する影響検討項目として整理する。また、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

なお、検討結果については、「NS2-補-023-09 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価について」に示す。

g. 床柔性に関する影響（原子炉建物）

床剛モデルを採用することの妥当性については「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料 別紙1-3 原子炉建物の地震応答解析モデルにおける床剛モデルの妥当性について」において確認しているものの、床柔性に関する影響については、「NS2-補-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」における原子炉建物の3次元FEM解析により、床の柔性を含めた3次元的な応答特性による応答補正比率を用いた耐震影響評価を実施し、その影響について確認する。また、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

なお、検討結果については、「NS2-補-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」に示す。

h. 側面地盤ばねの影響（制御室建物）

制御室建物の地震応答解析モデルにおいては、既工認モデルと同様に保守的に基礎スラブ側面の地盤ばね（水平及び回転）は考慮していない。一方、制御室建物の基礎スラブの応力解析においては、基礎側面地盤の拘束効果を考慮していることから、念のため実施する影響検討項目として整理する。また、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

なお、検討結果については、「NS2-補-025-02 制御室建物の耐震性についての計算書に関する補足説明資料 別紙8 側面地盤ばねを考慮した地震応答解析による設計用地震力への影響について」に示す。

(2) 機器・配管系（建物—大型機器連成地震応答解析）

- a. 原子炉圧力容器ペDESTALのコンクリート剛性：重大事故時（SA時）の高温による剛性低下の影響

SA時の高温による剛性低下の影響について、4.2.2(1)b.と同様に原子炉建物及び原子炉圧力容器ペDESTALのコンクリート剛性に考慮したモデル(SA時環境考慮連成モデル)による地震応答解析を実施し、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

ここで、SA時の事象としての不確かさ（原子炉格納容器が高温となる事故シーケンスの発生頻度、温度条件、継続時間）等を踏まえると、本検討で考慮した高温による剛性低下には至らないと考えられるため本検討条件は、保守的な設定といえる。そのため、高温影響による剛性低下の位置付けとしては、工認設計ケースの妥当性確認の観点から念のため実施する影響検討項目として整理する。

(3) 土木構造物

- a. 弱軸断面における面内壁の影響（機器・配管系）

土木構造物のうち箱型構造物については、弱軸・強軸方向を有しており、弱軸断面について保守的に面内壁をモデル化せず耐震評価を行うこととしているが、面内壁をモデル化した場合の応答を比較し、機器・配管系への影響を確認する。なお、強軸方向については、面内壁をモデル化して機器・配管系への設計に反映する。

- b. 線状構造物における強軸方向の影響（機器・配管系）

線状構造物は弱軸方向断面と強軸方向断面が明確であるため、弱軸方向断面を断面選定では候補断面とするが、機器配管系の床応答への影響を確認するため、強軸方向断面での地震応答解析による機器・配管系への影響を確認する。

5. 今回工認における申請上の位置付け

今回工認における申請上の位置付けについては、図 1 に示すフローに基づき整理している。影響確認を実施する要因の位置付けを踏まえ、工認設計ケースの地震応答解析結果に対する各影響検討ケースの影響の程度に応じて、申請上の位置付けを整理する。

(1) 基本ケースへの影響要因の抽出の観点

a. プラント供用時の条件を踏まえて基本ケースへの影響検討が必要な事項

基本ケースへの影響要因の観点から抽出した項目については、地震応答解析を実施し、基本ケースとの応答比較を行う。応答比較の結果、基本ケースの応答を超える場合は、その検討結果を添付書類（本文又は別紙）に反映し、基本ケースの応答を超えない場合は、その検討結果を補足説明資料に反映する。

(2) 工認設計ケースへの影響要因の抽出の観点

a. プラント供用時の条件を想定した検討が必要な事項

地震応答解析を実施し、工認設計ケースとの応答比較により工認設計ケースの応答を超えないことを確認した場合には、その検討結果を補足説明資料に反映する。

応答比較により工認設計ケースの応答を超えることを確認した場合は、影響評価（簡易評価^{*1}により耐震性を確認し、確認できない場合は詳細評価^{*2}により耐震性の確認を行う）を実施する。詳細評価の結果が耐震計算結果（工認設計ケース）を上回る場合は、その検討結果を添付書類（本文又は別紙）に反映し、それ以外の検討結果については、補足説明資料に反映する。

b. 工認設計ケースの妥当性確認が必要な事項

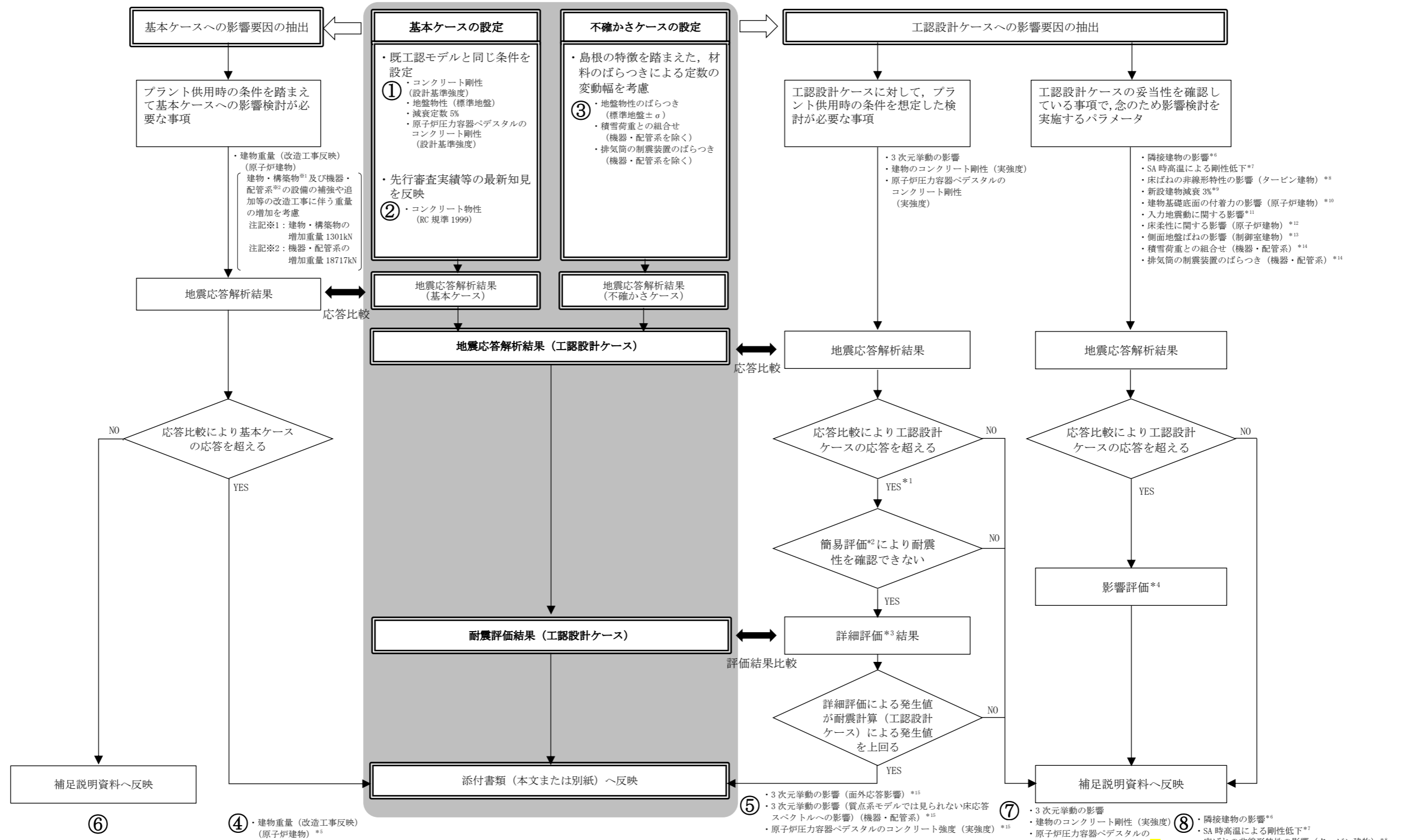
地震応答解析を実施し、工認設計ケースとの応答比較により工認設計ケースの応答を超えないことを確認した場合には、その検討結果を補足説明資料に反映する。

応答比較により工認設計ケースの応答を超えることを確認した場合は、影響評価（簡易評価^{*1}により耐震性を確認し、確認できない場合は詳細評価^{*2}により耐震性の確認を行う）を実施の上、その検討結果を補足説明資料に反映する。

上記の考え方にに基づき整理した結果について、検討内容及び検討結果を含めて表 1～3 に示す。

注記*1：応答比率（検討対象ケース（最大応答加速度，設計用床応答スペクトル，地震力等）に対する工認設計ケースとの比率）と設備の裕度の比較による評価

*2：工認設計と同等の評価手法による評価（モデルの精緻化等含む）



注記※1: 3次元挙動の影響のうち面外応答については、工認設計ケースの質点系モデルでは評価できない応答のため、工認設計ケースの応答を超えるものと判断する。また、面外応答に対する原子炉建物の評価については、簡易評価を省略し、詳細評価結果を添付書類へ反映する。

※2: 応答比率 (検討対象ケース (最大応答加速度, 設計用床応答スペクトル, 地震力等) に対する工認設計ケースの比率) と設備の裕度の比較による評価

※3: 工認設計と同等の評価手法による評価 (解析モデルの精緻化含む)

※4: 簡易評価により耐震性を確認し、確認できない場合は詳細評価により耐震性を確認する。

※5: 機器・配管系については、簡易評価により代表として選定した検討対象設備の詳細評価結果を添付書類へ反映する。

※6: 隣接建物の影響については、島根原子力発電所は硬質岩盤サイトであるため、念のため実施する影響検討項目として整理する。

※7: SA時の事象の不確かさ等を踏まえると、保守的な設定といえることから、工認設計ケースの妥当性確認の観点から念のため実施する影響検討項目として整理する。

※8: 既工認モデルにおいて床ばねモデル (線形) を採用しており、今回工認モデルにおける床ばねの設定の妥当性を確認することから、念のため実施する影響検討項目として整理する。

※9: 減衰定数については、5%の妥当性を確認しているものの、新設建物であることから耐震性向上の観点より、念のため実施する影響検討項目として整理する。

※10: 設置変更許可段階において、建物基礎底面の付着力考慮の有無に関する影響検討を実施しているため、念のため実施する影響検討項目として整理する。

※11: 設置変更許可段階において、入力地震動に関する影響検討を実施し、追加として解析条件及び解析手法に関する影響検討を行い、入力地震動の保守性、妥当性を確認することから、念のため実施する影響検討項目として整理する。

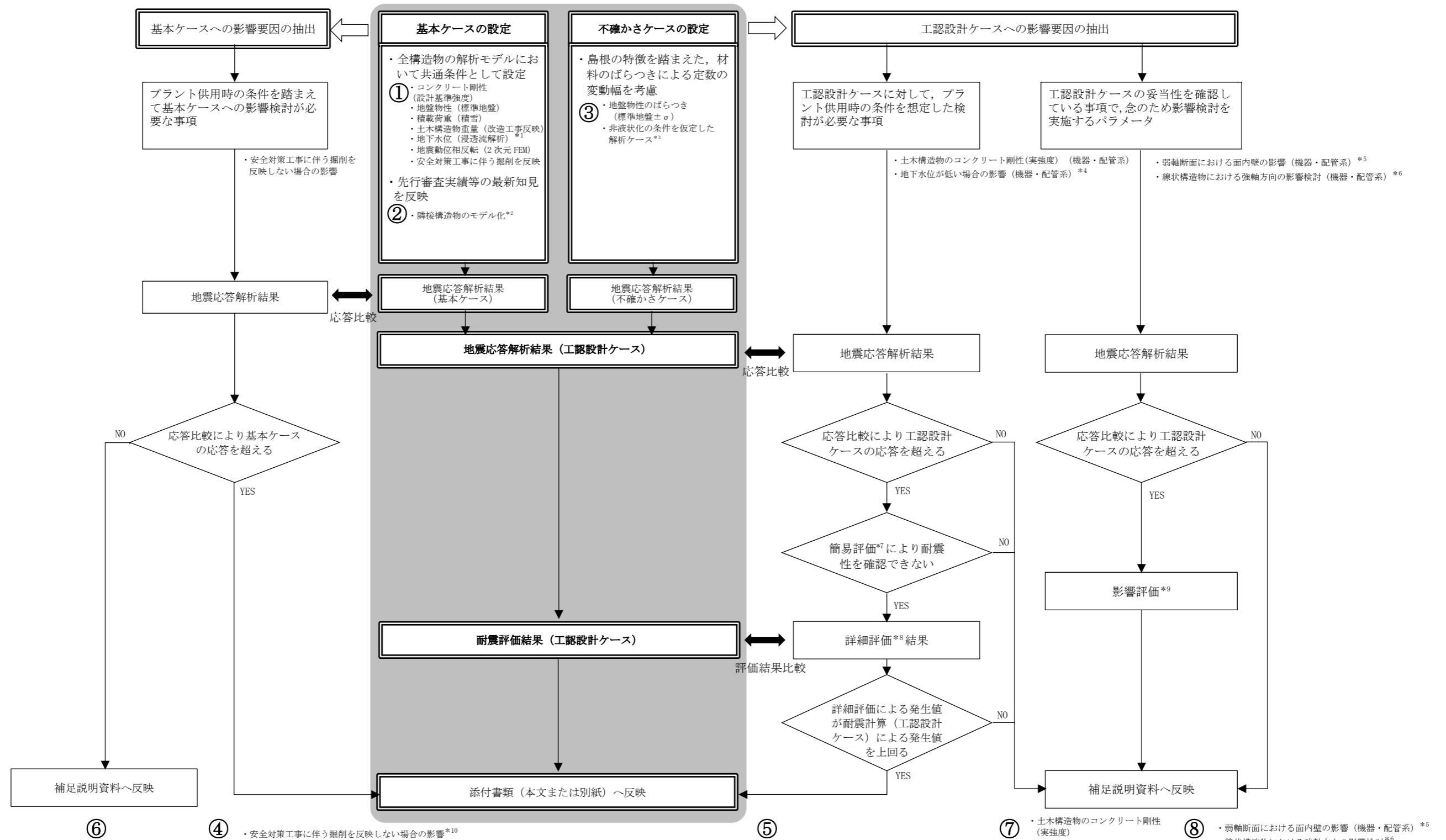
※12: 床柔性に関する影響については、原子炉建物の3次元FEM解析により、床の柔性を含めた3次元動的応答特性による応答補正比率による影響を評価することから、念のため実施する影響検討項目として整理する。

※13: 制御室建物の地震応答解析において、側面地盤ばねを既工認モデルと同様に保守的に考慮していないが、基礎スラブの応力解析モデルにおいて側面地盤ばねによる拘束効果を考慮していることから、念のため実施する影響検討項目として整理する。

※14: 積雪荷重との組合せ及び排気筒の制震装置のばらつきは、機器・配管系への影響は軽微であるが、念のため実施する影響検討項目として整理する。

※15: 機器・配管系については、簡易評価により代表として選定した検討対象設備の詳細評価結果のうち耐震計算 (工認設計ケース) による発生値を上回った結果を添付書類へ反映する。なお、詳細評価結果のうち耐震計算 (工認設計ケース) による発生値を上回らない結果については補足説明資料へ反映する。

図1(1) 島根2号機における地震応答に影響を及ぼす要因の抽出と今回工認における申請上の位置付けの整理フロー (建物・構築物, 機器・配管系)



注記 *1: 土木構造物については、地下水位低下設備に期待しない浸透流解析を行い、地下水位を保守的に高く設定する。
 *2: 隣接構造物については、土木構造物の地震時応答に与える影響を踏まえ設定する。隣接構造物は土木構造物と同等以上の大きさで耐震性を有する建物・構築物（原子炉建物等）をモデル化する。
 *3: 評価対象構造物のうち有効応力解析を選定した構造物について、非液状化の条件を仮定した解析ケースとして全応力解析を行う。
 *4: 地下水位については、工認設計ケースで地下水位低下設備に期待せず、保守的に高く設定していることを踏まえ、地下水位が低下している状態の影響について確認する。
 *5: 評価対象構造物のうち箱型構造物については、面内壁をモデル化しないことで耐震評価を行うが、面内壁をモデル化した場合の応答を比較し、機器・配管系への影響を確認する。
 *6: 評価対象構造物のうち線状構造物について、強軸方向断面での応答を比較し、機器・配管系への影響について確認する。
 *7: 応答比率（検討対象ケース（最大応答加速度、設計用床応答スペクトル、地震時土圧等）に対する工認設計ケースの比率）と設備の裕度の比較による評価
 *8: 工認設計と同等の評価手法による評価（解析モデルの精緻化含む）
 *9: 簡易評価により耐震性を確認し、確認できない場合は詳細評価により耐震性を確認する。
 *10: 機器・配管系については、工認設計ケースの応答と安全対策工事に伴う掘削を反映しない場合（影響検討ケース）の応答の比較結果及び工認設計ケースの応答が影響検討ケースの応答を包絡しない場合には影響検討ケースの応答による耐震評価結果を添付書類へ反映する。

図 1(2) 島根 2 号機における地震応答に影響を及ぼす要因の抽出と今回工認における申請上の位置付けの整理フロー（土木構造物）

表 1(1) 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理 (建物・構築物)

施設	地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因			検討内容及び検討結果			申請上の位置付け*	関連図書	
				工認設計ケース		影響検討ケース			機器・配管系への影響
	大項目	中項目	小項目	基本ケース	不確かさケース				
建物・構築物	材料物性	コンクリート剛性	設計基準強度に基づく剛性	設計基準強度に基づく剛性を工認設計ケースとする。		—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-2 原子炉建物の地震応答計算書」他 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書
			コンクリート物性 (RC 規準 1999)	コンクリートのヤング係数及びポアソン比は, RC 規準 (1999) に基づき設定する。		—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	②	
		建物のコンクリート剛性 (実強度) ・原子炉建物 ・新設建物	—	—	<p>コンクリート剛性に実強度を適用した地震応答解析を実施し, 影響を確認した。</p> <p><原子炉建物> 設計用地震力による部材評価の発生値に, 応答比率を乗じて許容値以下であることを確認した。</p> <p>応答比率=実剛性モデルによる応答/今回工認モデルによる応答</p> <p><新設建物> 今回工認モデルの応答と概ね同等となることから, 耐震性に影響が無いことを確認した。</p>	<p><原子炉建物> 応答比率と裕度の比較による簡易評価により代表として選定した検討対象設備に対して実剛性モデルによる地震力を用いた詳細評価を実施し, 発生値が許容値以下であることを確認した。</p> <p>応答比率=実剛性モデルによる応答/工認設計ケースによる応答</p> <p><新設建物> 応答比率と裕度の比較により応答比率が裕度以下であることを確認した。</p>	⑦	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」別紙 3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討 補足説明資料「NS2-補-024-05 緊急時対策所の地震応答計算書に関する補足説明資料」別紙 3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討 別紙 5 影響検討ケースによる機器・配管系の耐震性への影響 補足説明資料「NS2-補-024-07 ガスタービン発電機建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」別紙 3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討 別紙 5 影響検討ケースによる機器・配管系の耐震性への影響 	
		重大事故時の高温による剛性低下 ・原子炉建物	—	—	<p>重大事故時の高温による剛性低下の影響を考慮したモデル (SA 時環境考慮モデル) による検討を実施し, 工認設計ケースのせん断ひずみ及び接地圧に, 応答比率を乗じて許容値以下であることを確認した。</p> <p>応答比率=SA 時環境考慮モデルによる応答/今回工認モデルによる応答</p>	<p>重大事故時の高温による剛性低下の影響を考慮したモデル (SA 時環境考慮モデル) による検討を実施し, 工認設計ケースのせん断ひずみ及び接地圧に, 応答比率を乗じて許容値以下であることを確認した。</p> <p>応答比率=SA 時環境考慮モデルによる応答/工認設計ケースによる応答</p>	⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」別紙 5 地震応答解析における原子炉建物の重大事故等時の高温による影響 	

注記* : 表中の番号は, 図 1 に示す番号と対応している。

表 1(2) 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理 (建物・構築物)

施設	地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因			検討内容及び検討結果			申請上の位置付け*	関連図書		
				工認設計ケース		影響検討ケース			機器・配管系への影響	
	大項目	中項目	小項目	基本ケース	不確かさケース					
建物・構築物	材料物性	地盤物性	標準地盤	地盤調査結果の平均値をもとに設定する。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-2 原子炉建物の地震応答計算書」他 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書 	
			標準地盤±σ	—	地盤調査結果のばらつきを考慮する。	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	③		
		減衰定数 (RC造部)	5%	建物の減衰定数の設定にあたっては、既往の知見及び島根原子力発電所における地震観測記録を用いた検討結果を踏まえ、5%と設定する。	—	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-2 原子炉建物の地震応答計算書」他 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書
			3% ・新設建物	—	—	新設建物の減衰定数については、5%の妥当性を確認しているものの、耐震性向上の観点より、念のため影響検討を実施した。今回工認モデルの応答をわずかに上回る部分があるものの、最大応答せん断力は設計用地震力に包絡されており、耐震性に影響が無いことを確認した。	—	応答比率と裕度の比較により応答比率が裕度以下であることを確認した。 応答比率=建物減衰 3%モデルによる応答/工認設計ケースによる応答	⑧	
		制振装置 ・排気筒	減衰係数のばらつき等	—	排気筒には制震装置を設置していることから、不確かさケースとして、減衰係数上限ケース及び減衰係数下限ケースを考慮する。	—	—	応答比較により工認設計ケースの応答への影響が軽微であることを確認した。	③ (建物・構築物) ⑧ (機器・配管系)	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-13 排気筒の地震応答計算書」 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書 補足説明資料「NS2-補-027-01 設計用床応答スペクトルの作成方法及び適用方法について」

注記* : 表中の番号は、図 1 に示す番号と対応している。

表 1(3) 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理 (建物・構築物)

施設	地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因			検討内容及び検討結果			申請上の位置付け*	関連図書	
				工認設計ケース		影響検討ケース			機器・配管系への影響
	大項目	中項目	小項目	基本ケース	不確かさケース				
建物・構築物	地震応答解析モデル	荷重の組合せ	積雪荷重	—	積雪荷重との組合せを考慮したケースを工認設計ケースとして考慮する。	—	応答比較により工認設計ケースの応答への影響が軽微であることを確認した。	③ (建物・構築物) ⑧ (機器・配管系)	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-2 原子炉建物の地震応答計算書」他 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書 補足説明資料「NS2-補-027-01 設計用床応答スペクトルの作成方法及び適用方法について」
		建物重量 (改造工事反映) ・原子炉建物	—	—	設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量の増加を考慮した地震応答解析を実施し、影響を確認した。 設計用地震力による部材評価の発生値に、応答比率を乗じて許容値以下であることを確認した。 応答比率=補強反映モデルによる応答/今回工認モデルによる応答	設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量の増加を考慮した地震応答解析を実施し、影響を確認した。 設計用地震力による部材評価の発生値に、応答比率を乗じて許容値以下であることを確認した。 応答比率=補強反映モデルによる応答/今回工認モデルによる応答	④	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-2 原子炉建物の地震応答計算書」別紙 1 原子炉建物における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析 補足説明資料「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」別紙 7 原子炉建物における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析 	
		多軸床柔モデル ・タービン建物	床ばね非線形	—	—	床ばねを線形モデルとしていることの妥当性確認の観点から影響検討を実施した。一部の床ばねでは応答が大きいことを確認したため、床ばねを非線形モデルとした場合の解析を実施した結果、応答値は今回工認モデルの応答に概ね包絡されており、耐震性に影響が無いことを確認した。	—	⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「NS2-補-024-03 タービン建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」別紙 4 床ばねの諸元及び非線形性を考慮した解析
		側面地盤ばねの影響 ・制御室建物	—	—	—	基礎スラブの評価において、側面地盤ばねによる拘束効果を考慮していることから、地震応答解析モデルに対して側面地盤ばねを考慮した場合の影響検討を実施した。今回工認モデルの応答をわずかに上回る部分があるものの、影響評価の結果、耐震性に影響が無いことを確認した。	—	⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「NS2-補-025-02 制御室建物の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」別紙 8 側面地盤ばねを考慮した地震応答解析による設計用地震力への影響について
	入力地震動に関する検討	—	—	—	以下の検討・考察により、入力地震動に関する影響確認を実施し、その影響が小さいことを確認した。 ・表層地盤の物性値に関する検討 ・一次元波動論による入力地震動評価の保守性に関する検討 ・D級岩盤の非線形性による影響に関する検討 ・2次元FEMのメッシュ分割高さに関する検討 ・隣接構造物及び地盤改良による影響に関する検討 ・安全対策工事に伴う掘削による影響に関する検討	2次元FEMのメッシュ分割高さに関する検討において、動的機能維持評価を対象として応答比率と裕度の比較による簡易評価及び設計用地震力×応答比率による床応答スペクトル等を用いた詳細評価を行い、発生値が許容値以下であることを確認した。 応答比率=50Hz透過モデルによる応答/基本ケースによる応答	⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「NS2-補-023-09 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価について」 添付資料「VI-2-別添 7 安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震性に関する説明書」 	

注記* : 表中の番号は、図 1 に示す番号と対応している。

表 1(4) 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理 (建物・構築物)

施設	地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因			検討内容及び検討結果			申請上の位置付け*	関連図書	
				工認設計ケース		影響検討ケース			機器・配管系への影響
	大項目	中項目	小項目	基本ケース	不確かさケース				
原子炉建物	隣接建物の影響	—	—	—	—	隣接建物が耐震性評価に及ぼす影響について以下の検討・考察により確認した。 ・既往の知見による検討結果の確認 ・隣接建物を考慮した応答検討 検討の結果、隣接建物の影響が小さいことを確認した。	⑧	・補足説明資料「NS2-補-023-07 隣接建物の影響に関する補足説明資料」	
	3次元挙動の影響	—	—	—	—	3次元挙動の確認及び影響検討を実施し、その影響が小さいことを確認した。 ・基礎のロッキング ・建物のねじれ ・水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ	⑦	・補足説明資料「NS2-補-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」別紙3 原子炉建物3次元FEMモデルによる地震応答解析	
		—	—	—	—	<p><面外応答の影響> 建物・構築物における「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」という応答特性を踏まえ、3次元的な応答特性が想定される部位として原子炉建物(燃料取替階レベル)の壁を抽出し、影響評価を実施し耐震性への影響が無いことを確認した。</p> <p>ただし、工認設計ケース(SRモデル)では面内評価を実施していることに対し、面外慣性力の影響が大きいことを踏まえ、面内方向荷重と面外応答荷重を組み合わせた場合の耐震壁の評価結果を添付書類の本文に記載する。</p>	<p><面外応答の影響> 応答比率と裕度の比較による簡易評価及び3次元FEMモデルによる応答を補正した床応答スペクトル等を用いた詳細評価の結果、発生値が許容値以下であることを確認した。</p> <p>応答比率=3次元FEMモデルによる応答(面外)/質点系モデル(工認設計ケース)による応答</p> <p>ただし、詳細評価による発生値が耐震計算(工認設計ケース)による発生値を上回った設備については、その検討結果を添付書類に記載する。</p>	⑤ (建物・構築物) ⑤, ⑦ (機器・配管系)	・添付書類「VI-2-12 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」 ・補足説明資料「NS2-補-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」別紙2 原子炉建物3次元FEMモデルを用いた精査 別紙4 機器・配管系に関する影響検討
		—	—	—	—	<p><質点系モデルでは見られない床応答スペクトルへの影響> 基本ケースのせん断ひずみに、応答比率を乗じて許容値以下であることを確認した。</p> <p>応答比率 = $\alpha \times \beta$</p> $\alpha = \frac{\text{3方向同時入力による最大応答加速度}}{\text{1方向入力による最大応答加速度}}$ $\beta = \frac{\text{建物模擬モデルの最大応答加速度}}{\text{質点系対応モデルの最大応答加速度}}$	<p><質点系モデルでは見られない床応答スペクトルへの影響> 応答比率と裕度の比較による簡易評価及び3次元FEMモデルによる応答を補正した床応答スペクトル等を用いた詳細評価の結果、発生値が許容値以下であることを確認した。</p> <p>応答比率=3次元FEMモデルによる応答(面内)/質点系モデル工認設計ケースによる応答</p> <p>ただし、詳細評価による発生値が耐震計算(工認設計ケース)による発生値を上回った設備については、その検討結果を添付書類に記載する。</p>	⑦ (建物・構築物) ⑤, ⑦ (機器・配管系)	・添付書類「VI-2-12 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」 ・補足説明資料「NS2-補-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」別紙3 原子炉建物3次元FEMモデルによる地震応答解析 別紙4 機器・配管系に関する影響検討
	床柔性に関する影響	—	—	—	—	床柔性に関する影響については、原子炉建物の3次元FEM解析により、床の柔性を含めた3次元的な応答特性による応答比率を用いた耐震影響評価を実施することにより考慮し、発生値が許容値以下であることを確認した。	⑧	・補足説明資料「NS2-補-023-04 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について」別紙3 原子炉建物3次元FEMモデルによる地震応答解析 別紙4 機器・配管系に関する影響検討	
建物基礎底面の付着力の影響	—	—	—	—	建物基礎底面の付着力の有無が耐震性評価に及ぼす影響について、基本ケースで付着力を考慮していない原子炉建物を対象に付着力を考慮した場合の影響検討を実施し、その影響が小さいことを確認した。	⑧	・補足説明資料「NS2-補-023-10 建物の地震応答解析モデルについて(地震応答解析における建物基礎底面の付着力)」 別紙-3 付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討		

注記* : 表中の番号は、図1に示す番号と対応している。

表 2(1) 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理(機器・配管系)

施設	地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因			検討内容及び検討結果			申請上の位置付け*3	関連図書
				工認設計ケース		影響検討ケース		
	大項目	中項目	小項目	基本ケース	不確かさケース			
機器・配管系*1 (建物-大型機器連成地震応答解析の応答を適用する機器・配管系)	原子炉建物	コンクリート剛性	設計基準強度に基づく剛性	表 1 に示す建物・構築物としての原子炉建物の方針と同じ。	—	—*2	①, ②, ③	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書
			コンクリート物性(RC 規準 1999)					
		地盤物性	標準地盤 標準地盤±σ					
	減衰定数 (RC 造部)	5%						
	原子炉圧力容器ペDESTAL	コンクリート剛性	設計基準強度	表 1 に示す建物・構築物としての原子炉建物の方針と同じ。	—	—*2	①	
			実強度	—	—	<p>応答比率と裕度の比較による簡易評価により代表として選定した検討対象設備に対して実強度ケースによる地震力を用いた詳細評価を実施し、発生値が許容値以下であることを確認した。</p> <p>応答比率=実剛性モデルによる応答/工認設計ケースによる応答</p> <p>なお、本影響検討における原子炉建物側の解析モデルは、コンクリート剛性(実強度)の地震応答解析モデルを用いた。</p> <p>ただし、詳細評価による発生値が耐震計算(工認設計ケース)による発生値を上回った設備については、その検討結果を添付書類に記載する。</p>	⑤, ⑦	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-1 炉心, 原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」 補足説明資料「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」 別紙 3 地震応答解析における材料物性の不確かさに関する検討
	原子炉圧力容器ペDESTAL	コンクリート剛性	重大事故時の高温による剛性低下	—	—	<p>応答比率と裕度の比較による簡易評価により代表として選定した検討対象設備に対して SA 時環境考慮モデルによる地震力を用いた詳細評価を実施し、発生値が許容値以下であることを確認した。</p> <p>応答比率=SA 時環境考慮モデルによる応答/工認設計ケースによる応答</p> <p>なお、本影響検討における原子炉建物側の解析モデルは、重大事故時の高温による剛性低下を考慮した地震応答解析モデルを用いた。</p>	⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」 別紙 5 地震応答解析における原子炉建物の重大事故等時の高温による影響

注記*1: 建物・構築物及び土木構造物の地震応答を用いて設計する機器・配管系は、表 1 及び表 3 に含めて整理を行う。

*2: 地震応答を機器・配管系の設計に反映する。

*3: 表中の番号は、図 1 に示す番号と対応している。

表 2(2) 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理(機器・配管系)

施設	地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因			検討内容及び検討結果		申請上の位置付け*2	関連図書
				工認設計ケース			
	大項目	中項目	小項目	基本ケース	不確かさケース		
機器・配管系*1 (建物-大型機器連成地震応答解析の応答を適用する機器・配管系)	大型機器系地震応答解析モデル	建物重量(改造工事反映)	—	—	—	④	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-2 原子炉建物の地震応答計算書」別紙1 原子炉建物における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析 補足説明資料「NS2-補-024-01 原子炉建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」別紙7 原子炉建物における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析
	3次元挙動の影響	—	—	—	—		

注記*1: 建物・構築物及び土木構造物の地震応答を用いて設計する機器・配管系は、表1及び表3に含めて整理を行う。

*2: 表中の番号は、図1に示す番号と対応している。

表 3(1) 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理（土木構造物）

施設	地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因			検討内容及び検討結果				申請上の位置付け*	関連図書
				工認設計ケース		影響検討ケース	機器・配管系への影響		
	大項目	中項目	小項目	基本ケース	不確かさケース				
土木構造物	材料物性	コンクリート剛性	設計基準強度に基づく剛性	設計基準強度に基づく剛性を工認設計ケースとする。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	<ul style="list-style-type: none"> 各土木構造物の地震応答計算書及び耐震性についての計算書 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書 補足説明資料「NS2-補-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」 補足説明資料「NS2-補-027-16-2 屋外重要土木構造物等における機器・配管系に対する影響検討（コンクリート実強度）」
			実強度に基づく剛性	—	—	<p>コンクリート剛性に実強度を採用することは土木構造物の耐力が向上する傾向となるものの、床応答への影響が考えられることから、コンクリート剛性に実強度を適用した地震応答解析を実施し、影響を確認する。</p> <p>影響検討の結果、発生ひずみは減少し、発生せん断力はわずかに増加する傾向にあるものの、せん断耐力の増加のほうが大きくなり、土木構造物の耐力向上が支配的となることで、耐震評価における裕度が向上するため、コンクリートの剛性に設計基準強度を採用することが安全側の評価となることを確認した。</p>	<p>応答比率と裕度の比較による簡易評価及び実強度ケースによる地震力を用いた詳細評価を実施し、発生値が許容値以下であることを確認した。</p> <p>応答比率=実強度ケースによる応答/工認設計ケースによる応答</p>	⑦	
	部材のモデル化	面内壁	弱軸断面ではモデル化しない	弱軸断面では面内壁をモデル化しないことを工認設計ケースとする。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	<ul style="list-style-type: none"> 各土木構造物の地震応答計算書及び耐震性についての計算書 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書 補足説明資料「NS2-補-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」 補足説明資料「NS2-補-027-16-3 屋外重要土木構造物等における機器・配管系に対する影響検討（妻壁考慮）」
			弱軸断面でモデル化する	—	—	<p>面内壁をモデル化した場合の応答を比較し、機器・配管系への影響を確認する。</p>	<p>応答比率と裕度の比較による簡易評価を行い、応答比率が裕度以下であることを確認した。</p> <p>応答比率=面内壁考慮ケースによる応答/工認設計ケースによる応答</p>	⑧	

注記*：表中の番号は、図 1 に示す番号と対応している。

表 3(2) 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理（土木構造物）

施設	地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因			検討内容及び検討結果				申請上の位置付け*	関連図書
				工認設計ケース		影響検討ケース	機器・配管系への影響		
	大項目	中項目	小項目	基本ケース	不確かさケース				
土木構造物	周辺地盤	せん断弾性係数	地盤のせん断弾性係数の平均値	地震応答解析において、ベースとなる物性値であることから、工認設計ケースとして考慮する。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	<ul style="list-style-type: none"> 各土木構造物の地震応答計算書及び耐震性についての計算書 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書
			地盤のせん断弾性係数の平均値 ±1σ	—	土木構造物は主に地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物であり、構造物と地盤の相互作用により発生する土圧が耐震評価に影響を与える。そのため、土圧への影響を鑑みて、地盤の初期せん断弾性係数の不確かさを工認設計ケースとして考慮する。	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	③	
	地下水位	設計地下水位	地震応答解析において、ベースとなる地下水位であることから、工認設計ケースとして考慮する。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①		
		地下水位が低い場合	—	—	地下水位低下設備に期待せず、保守的に高く設定していることを踏まえ、地下水位が低下している状態での地震応答解析による機器・配管系への影響を確認する。	応答比率と裕度の比較による簡易評価を行い、応答比率が裕度以下であることを確認した。 応答比率＝地下水位低下ケースによる応答/工認設計ケースによる応答	⑦	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「NS2-補-023-01 地盤の支持性能について」 補足説明資料「NS2-補-027-16-1 屋外重要土木構造物等における機器・配管系に対する影響検討（地下水位低下）」 補足説明資料「NS2-補-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」 	

注記*：表中の番号は、図 1 に示す番号と対応している。

表 3(3) 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理（土木構造物）

施設	地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因			検討内容及び検討結果			申請上の位置付け*	関連図書	
				工認設計ケース		影響検討ケース			機器・配管系への影響
	大項目	中項目	小項目	基本ケース	不確かさケース				
土木構造物	周辺地盤	地震動	基準地震動 S s	地震応答解析において、ベースとなる地震動であることから、工認設計ケースとして考慮する。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	<ul style="list-style-type: none"> 各土木構造物の地震応答計算書及び耐震性についての計算書 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書
			位相反転評価	土木構造物は主に地中埋設された鉄筋コンクリート構造物であり、構造物の左右で周辺地盤や隣接構造物が非対称であるため、地震荷重の作用方向により構造物への荷重に差異が生じることを否定できないため工認設計ケースとして考慮する。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	
		液状化	考慮する	液状化の影響を受ける構造物について、地下水位以深の埋戻土は液状化を考慮することを工認設計ケースとする。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	<ul style="list-style-type: none"> 各土木構造物の地震応答計算書及び耐震性についての計算書 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答スペクトルの作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書 補足説明資料「NS2補-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」
			考慮しない	—	液状化の影響を受ける構造物について、有効応力解析を実施する場合、液状化強度特性は下限値を設定しており、液状化強度特性のばらつきは考慮しないが、必ずしも液状化が発生すると判断できないため、非液状化の条件を仮定したケースを工認設計ケースとして考慮する。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	

注記*：表中の番号は、図 1 に示す番号と対応している。

表 3(4) 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理（土木構造物）

施設	地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因			検討内容及び検討結果			申請上の位置付け*	関連図書
				工認設計ケース		影響検討ケース		
	大項目	中項目	小項目	基本ケース	不確かさケース			
土木構造物	周辺地盤	安全対策工事に伴う掘削	掘削状況を反映する	安全対策工事の掘削状況により影響がある構造物については、掘削箇所を考慮したケースを工認設計ケースとする。	—	—	①	<ul style="list-style-type: none"> 各土木構造物の地震応答計算書及び耐震性についての計算書 補足説明資料「NS2-補-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」
			掘削状況を反映しない	—	—	工認設計ケースとして安全対策工事による掘削を反映していることを踏まえ、掘削前の状況の影響についても確認する。掘削前の状況を前提とした応答と工認設計ケースの応答の比較結果が工認設計ケースの応答を上回る場合は、応答比較結果及び掘削前の状況を前提とした耐震評価結果を添付書類に記載する。また、工認設計ケースの応答を上回らない場合については、応答比較結果を添付書類に記載する。	④	<ul style="list-style-type: none"> 各土木構造物の地震応答計算書及び耐震性についての計算書 添付資料「VI-2-別添7 安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震性に関する説明書」 補足説明資料「NS2-補-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」
	強軸方向の影響	—	—	—	—	線状構造物は弱軸方向断面と強軸方向断面が明確であるため、弱軸方向断面を断面選定では候補断面とするが、強軸方向断面での地震応答解析による機器・配管系への影響を確認する。	⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「NS2-補-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」 補足説明資料「NS2-補-027-16-4 屋外重要土木構造物等における機器・配管系に対する影響検討（線状構造物強軸応答）」

注記*：表中の番号は、図1に示す番号と対応している。

(参考資料) コンクリートの剛性を上昇させたことによる土木構造物の耐震評価に与える影響について

1. 概要

本資料は、コンクリートの剛性に設計基準強度を採用した場合と実強度を採用した場合の耐震評価結果を比較し、土木構造物の耐震評価においては、設計基準強度を採用することが安全側の評価となることを確認するものである。

コンクリートの剛性を実強度とすることで、構造物と周囲の地盤との剛性差が大きくなり、地中構造物において土圧が大きくなることを踏まえ、検討対象とする構造物を選定する。

周辺状況として埋戻土が分布し、剛性差による土圧の影響を評価できる地中構造物のなかで、構造物の設計基準強度と実強度の差が最も大きい屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）を検討対象とし、コンクリートの剛性を実強度とすることによる土木構造物の耐震評価に与える影響について検討する。

2. 検討内容

(1) 検討ケース

本検討では、屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）において、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 $S_s - D$ に対し、ケース①（基本ケース）及びケース②（コンクリート実強度ケース）について地震応答解析を実施する。なお、本検討では、 $S_s - D$ （++）を使用する。

検討ケースを表 2-1 に、検討地質断面図を図 2-1 に示す。

コンクリートの剛性を実強度とすることによる土木構造物の耐震評価に与える影響については、剛性を定義するコンクリートのヤング係数が、コンクリートの設計基準強度に対応して定まることを踏まえ、コンクリートの設計基準強度を基本ケース（表 2-1 に示すケース①）とし、ヤング係数をコンクリートの実強度に対応して定めたケースについて確認を行う（表 2-1 に示すケース②）。

ケース①及びケース②に用いる解析用物性値として、コンクリートの圧縮強度及びヤング係数を表 2-2 に示す。

表 2-1 材料物性のばらつきによる影響を確認するための検討ケース

解析ケース	入力 地震動	解析 手法	地盤物性		備考
			埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)	
ケース① (基本ケース)	S s - D (++)	全応力 解析	平均値	平均値	
ケース② (コンクリート実強度 ケース)		全応力 解析	平均値	平均値	コンクリート 実強度

表 2-2 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) のコンクリートの圧縮強度及びヤング係数

解析ケース	コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)
ケース① (基本ケース)	20.6	23.3
ケース② (コンクリート実強度ケース)	33.0*	28.9

注記* : 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験に基づいて設定したコンクリート実強度

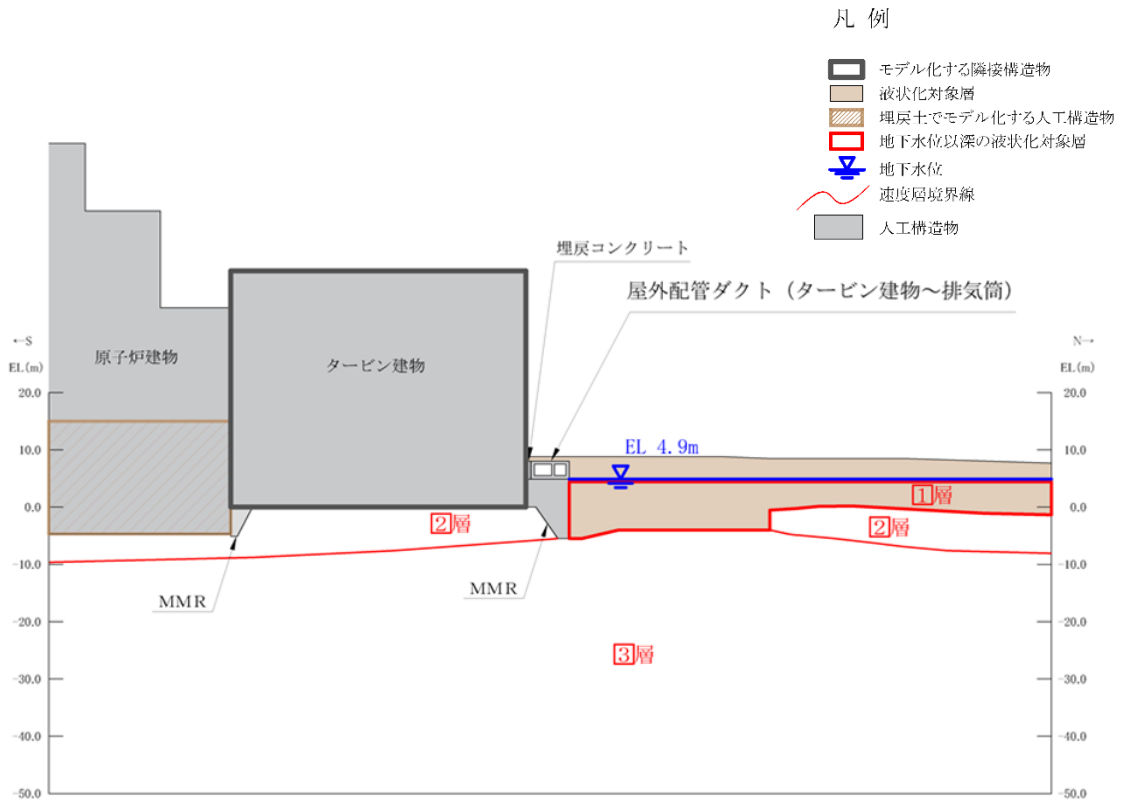


図 2-1 屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) 検討地質断面図

(2) 検討方法

地震応答解析より耐震評価に用いる応答値を抽出し、構造部材の曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査を行うことで、コンクリートの剛性を上昇させたことによる土木構造物の耐震評価に与える影響を確認する。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、「土木学会マニュアル」に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）とする。

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書〔設計編〕（(社)土木学会, 2007)」に基づき、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

棒部材式を以下に示す。

(a) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで, V_{yd} : せん断耐力

V_{cd} : コンクリートが分担するせん断耐力

V_{sd} : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20^3 \sqrt{f_{cd}} \quad \text{ただし, } f_{vcd} > 0.72(\text{N/mm}^2) \text{ となる場合は } f_{vcd} = 0.72(\text{N/mm}^2)$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d[\text{m}]) \quad \text{ただし, } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v} \quad \text{ただし, } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_n = 1 + 2M_0 / M_{ud} \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし, } \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 4M_0 / M_{ud} \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし, } \beta_n < 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d} \quad \text{ただし, } \beta_a < 1.0 \text{ となる場合は, } \beta_a = 1.0$$

ここで,

f_{cd} : コンクリート圧縮強度の設計用値(N/mm^2)で設計基準強度 f_{ck} を材料係数 γ_{mc} で除したもの

p_v : 引張鉄筋比 $p_v = A_s / (b_w \cdot d)$

A_s : 引張側鋼材の断面積

b_w : 部材の有効幅

d : 部材の有効高さ

N'_d : 設計軸圧縮力

M_{ud} : 軸方向力を考慮しない純曲げ耐力

M_0 : M_d に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント（デコンプレッションモーメント） $M_0 = N'_d \cdot D/6$

D : 断面高さ

a/d : せん断スパン比

γ_{bc} : 部材係数

γ_{mc} : 材料係数

$$V_{sd} = \{A_w f_{wyd} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} Z / \gamma_{bs}$$

ここで,

A_w : 区間 s におけるせん断補強筋の総断面積

f_{wyd} : せん断補強筋の降伏強度の材料係数 γ_{ms} で除したもので、 $400\text{N}/\text{mm}^2$ 以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値 f_{ck} が $60\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の時は、 $800\text{N}/\text{mm}^2$ 以下としてよい。

α : せん断補強筋と部材軸のなす角度

s : せん断補強筋の配置間隔

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で、 $d/1.15$ とする。

γ_{bs} : 部材係数

γ_{ms} : 材料係数

(3) 検討結果

曲げ・軸力系の破壊に対して照査値が最大となるひずみの時刻歴波形を図 2-2 及び図 2-3 に、発生せん断力が最大となる時刻における断面力図を図 2-4 及び図 2-5 に示す。また、構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 2-3 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 2-4 に、**コンクリートの剛性を実強度としたことによるせん断耐力への寄与率を表 2-5 に示す。**

これらより、コンクリートの剛性を実強度とすることで、発生ひずみは減少し、発生せん断力はわずかに増加する傾向にあることが分かった。

表 2-4 より、ケース①の最大照査値は 0.954 であり、ケース②の最大照査値は 0.773 となることから、ケース①のほうがせん断破壊に対する照査において厳しい結果となった。

また、発生せん断力の増加率は最大で約 5% に対して、せん断耐力の増加率は、**耐力向上の大きな要因となるせん断耐力への寄与率を、せん断耐力算定時に用いる f_{vcd} の比較により求めた結果約 17% であり、**最小でも約 16% となることから、せん断耐力の増加率が発生せん断力の増加率を上回った。

以上のことから、コンクリートの剛性に実強度を採用することで、発生ひずみは減少し、発生せん断力はわずかに増加する傾向にあるものの、せん断耐力の増加のほうが大きくなり、土木構造物の耐力向上が支配的となることで、耐震評価における裕度が向上するため、コンクリートの剛性に設計基準強度を採用することが安全側の評価となる。

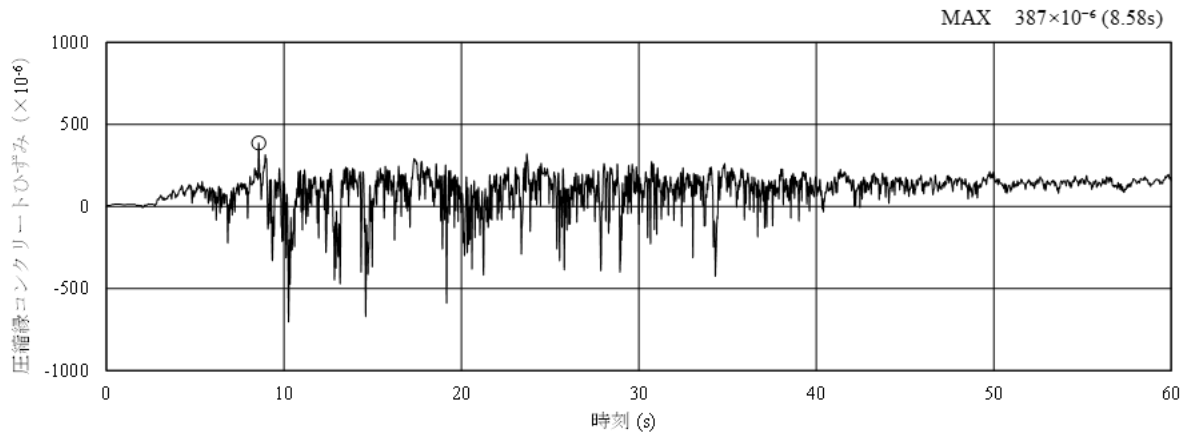


図 2-2 曲げ・軸力系の破壊に対する照査におけるひずみ時刻歴波形
(解析ケース①, S s -D (++) , t=8.58s)

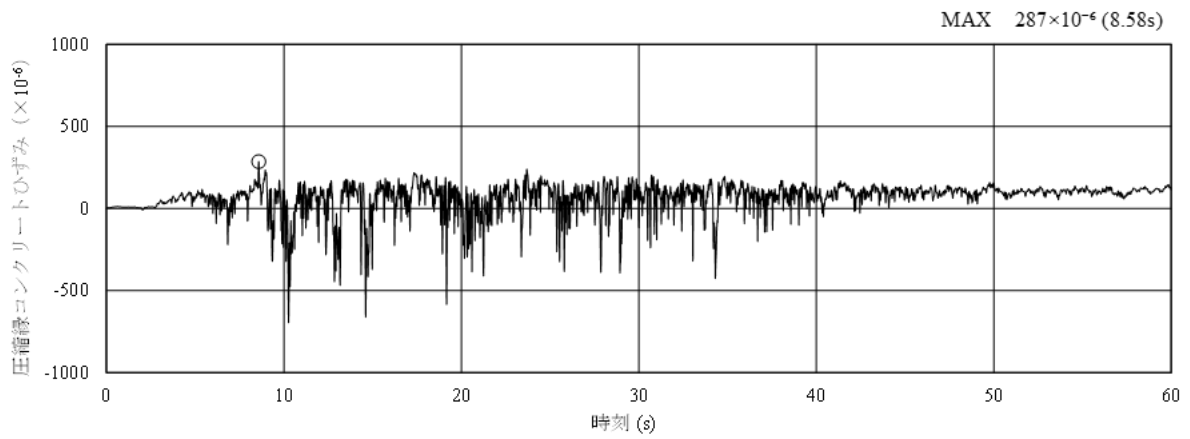
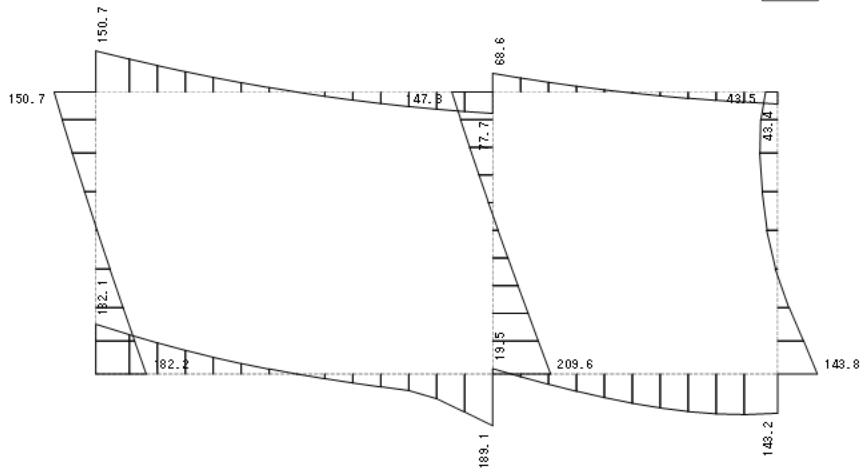


図 2-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査におけるひずみ時刻歴波形
(解析ケース②, S s -D (++) , t=8.58s)

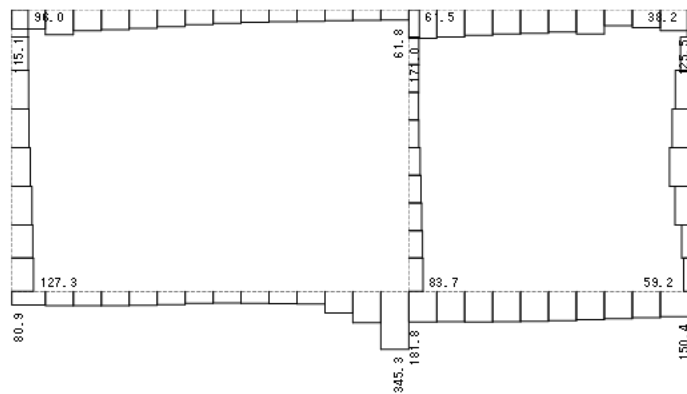
曲げモーメント (単位: kN・m)

構造スケール 0. 0.5 (m)
 応答スケール 0. 200.0 (kN・m)



軸力 (単位: kN)

構造スケール 0. 0.5 (m)
 応答スケール 0. 200.0 (kN)



せん断力 (単位: kN)

構造スケール 0. 0.5 (m)
 応答スケール 0. 200.0 (kN)

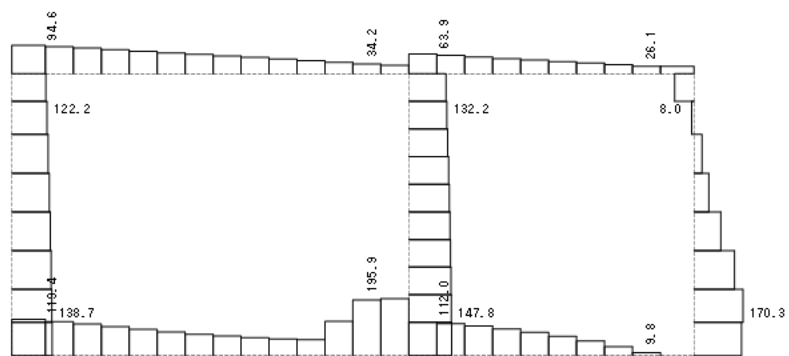
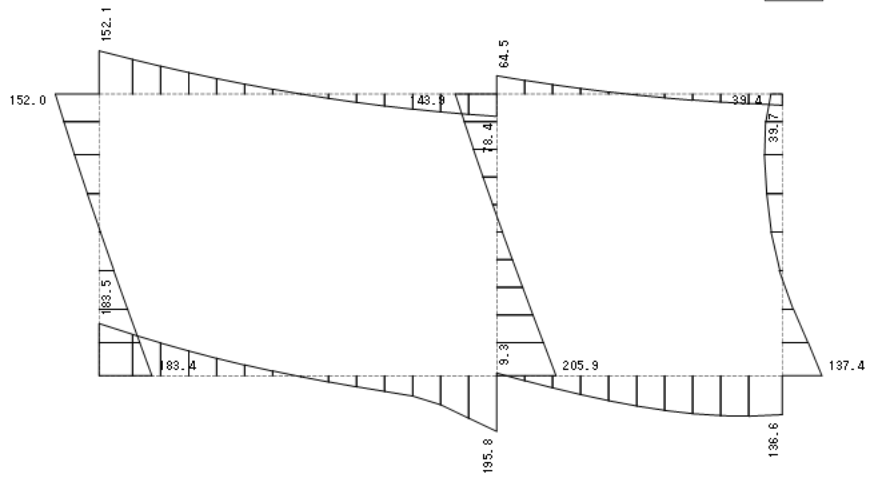


図 2-4 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (解析ケース①, S_s-D (++))

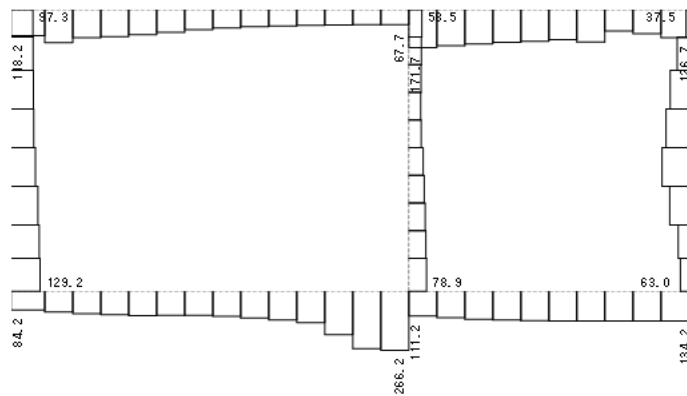
曲げモーメント (単位: kN・m)

構造スケール 0. 0.5 (m)
 応答スケール 0. 200.0 (kN・m)



軸力 (単位: kN)

構造スケール 0. 0.5 (m)
 応答スケール 0. 200.0 (kN)



せん断力 (単位: kN)

構造スケール 0. 0.5 (m)
 応答スケール 0. 200.0 (kN)

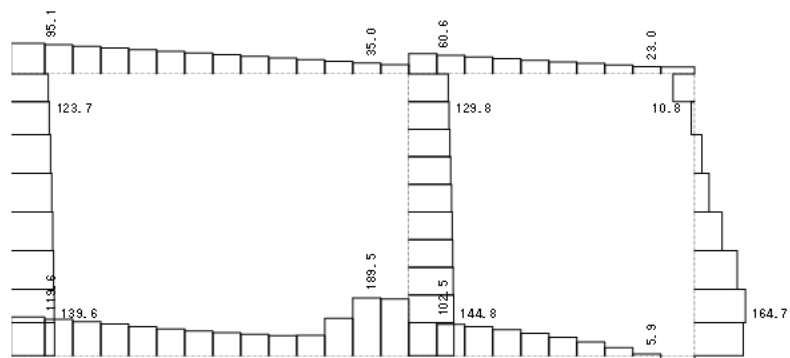


図 2-5 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (解析ケース②, S_s-D (++))

表 2-3 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

解析ケース	地震動		照査用ひずみ	限界ひずみ	照査値
			ϵ_d^*	ϵ_R	ϵ_d / ϵ_R
①	S s - D	++	465 μ	10000 μ	0.0465
②	S s - D	++	344 μ	10000 μ	0.0344

注記* : 照査値ひずみ=発生ひずみ×構造解析係数 γ_a (=1.2)

表 2-4 せん断破壊に対する評価結果

解析ケース	地震動		評価位置*1		照査用せん断力	せん断耐力	照査値
					V_d^{*2} (kN)	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
①	S s - D	++	頂版	①	99	170	0.584
			側壁	③	137	180	0.760
			隔壁	⑤	148	161	0.919
			底版	⑥	206	216	0.954
②	S s - D	++	頂版	①	103 (1.05)*3	201 (1.18)*4	0.512
			側壁	③	138 (1.01)*3	210 (1.16)*4	0.657
			隔壁	⑤	145 (0.98)*3	187 (1.16)*4	0.773
			底版	⑥	199 (0.97)*3	258 (1.19)*4	0.771

注記*1 : 評価位置は図 2-6 に示す。

*2 : 照査用せん断力=発生せん断力×構造解析係数 γ_a (=1.05)

*3 : 発生せん断力の増加率 (ケース②の照査用せん断力÷ケース①の照査用せん断力) を示す。

*4 : せん断耐力の増加率 (ケース②のせん断耐力÷ケース①のせん断耐力) を示す。

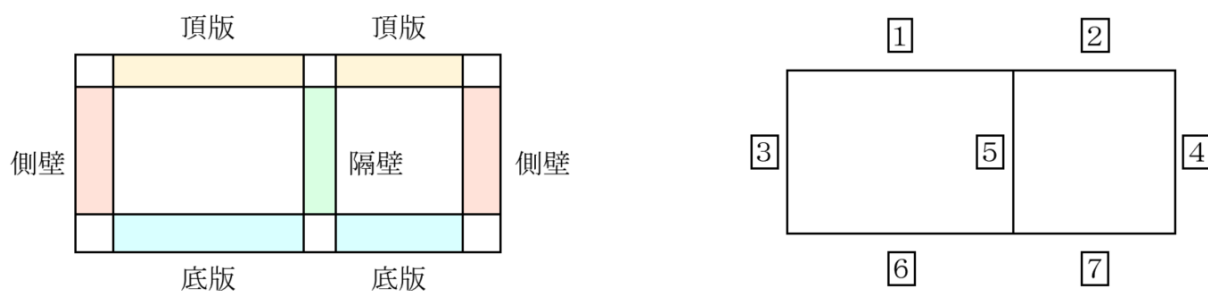


図 2-6 評価位置

表 2-5 コンクリートの剛性を実強度としたことによるせん断耐力への寄与率

解析ケース	コンクリートの圧縮強度 (N/mm ²)	コンクリート圧縮強度の設計用値* ² (N/mm ²)	f _{vcd} (N/mm ²)
ケース① (基本ケース)	20.6	15.8	0.502
ケース② (コンクリート実強度 ケース)	33.0* ¹	25.4	0.588 (1.17) * ³

注記*1: 既設構造物のコア採取による圧縮強度試験に基づいて設定したコンクリート実強度

*2: コンクリートの圧縮強度を材料係数 (=1.3) で除した値

*3: せん断耐力への寄与率 (ケース②の f_{vcd} ÷ ケース①の f_{vcd}) を示す。