

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 01
提出年月日	2022年3月8日

地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因の整理

2022年3月

中国電力株式会社

目 次

今回説明範囲：

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	5
3.1 建物・構築物	5
3.2 機器・配管系（建物－大型機器連成地震応答解析）	5
3.3 土木構造物	5
4. 影響要因の抽出の考え方	6
4.1 基本ケースへの影響要因の抽出の観点	6
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 ..	6
4.2 工認設計ケースへの影響要因の抽出の観点	6
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	6
4.2.2 工認設計ケースの妥当性確認が必要な事項	8
5. 今回工認における申請上の位置付け	11

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）及び土木構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。

なお、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、建物・構築物及び土木構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・構築物及び土木構造物に含めて整理を行うこととする。

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」

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と想定されるため、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. 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いたこと及び2000年鳥取県西部地震によるシミュレーション解析（3次元FEMモデルのうち質点系対応モデル）により観測記録を概ね再現できていることを踏まえ床剛を基本とする。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。
- d. RC造部の減衰定数について、補足説明資料「補足-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。
- e. 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。なお、建物剛性については、設計基準強度に基づく剛性とする。

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，原子炉圧力容器ペダスタル等の大型機器は，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，先行審査実績等の最新知見を整理の上，既工認モデル（SRモデル）をベースとして策定している。

原子炉圧力容器ペダスタル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（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。

また，耐震評価にあたっては，地盤の液状化時の挙動を考慮した上で，評価手法（全応力解析及び有効応力解析）を選定する。なお，選定の結果，両手法により確認する必要がある場合には，それぞれ地震応答解析を行い，応答比較の結果を踏まえ耐震評価を行う。

<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，補強や追加等の改造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。

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、補足説明資料「補足-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、補足説明資料「補足-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

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、周辺地盤のせん断変形に支配的となる初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。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ことから、不確かさとしては考慮しない。

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。

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。

(3) 土木構造物

a. 土木構造物のコンクリート剛性(実強度)

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。また、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

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）

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，補足説明資料「補足-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。

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解析により，機器・配管系も含めてその影響を確認する。

- 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，補足説明資料「補足-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，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。
- 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。なお，検討結果については，補足説明資料「補足-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，補足説明資料「補足-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）
- 床柔性に関する影響については，「補足-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することにより考慮していることから，評価結果を補足説明資料へ反映する。
- (2) 機器・配管系（建物—大型機器連成地震応答解析）
- a. 原子炉圧力容器ペダスタル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は，4.2.2(1)b.と同様に原子炉建物及び原子炉圧力容器ペダスタル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。

b. 耐震評価（影響の小さい評価手法）

耐震評価については、評価手法（全応力解析及び有効応力解析）により影響の大きい評価手法の応答を工認設計ケースとしているが、影響の小さい評価手法による応答についても耐震評価及び機器・配管への影響について確認する。

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

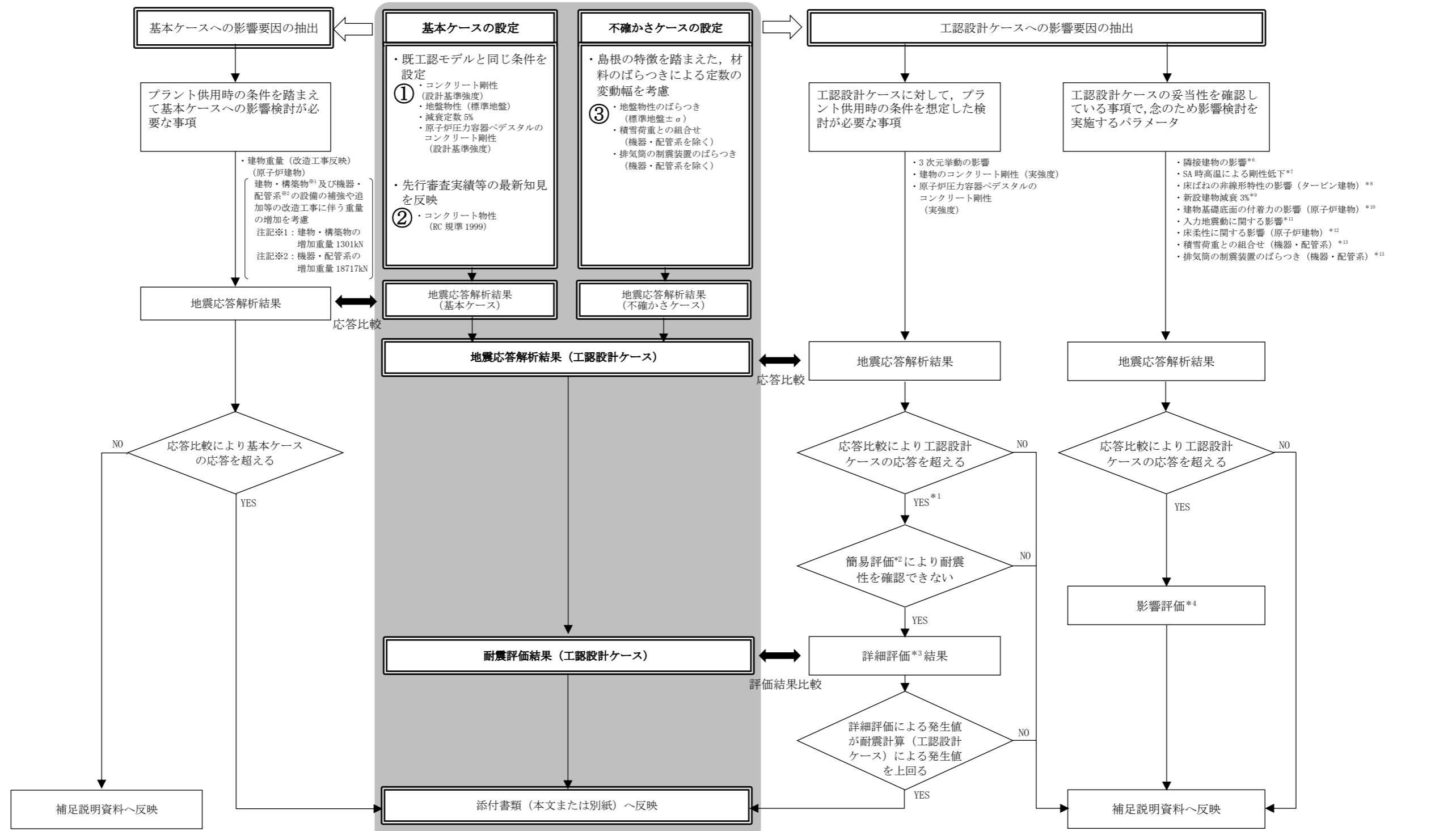
地震応答解析を実施し、工認設計ケースとの応答比較により工認設計ケースの応答を超えないことを確認した場合には、その検討結果を補足説明資料に反映する。

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。

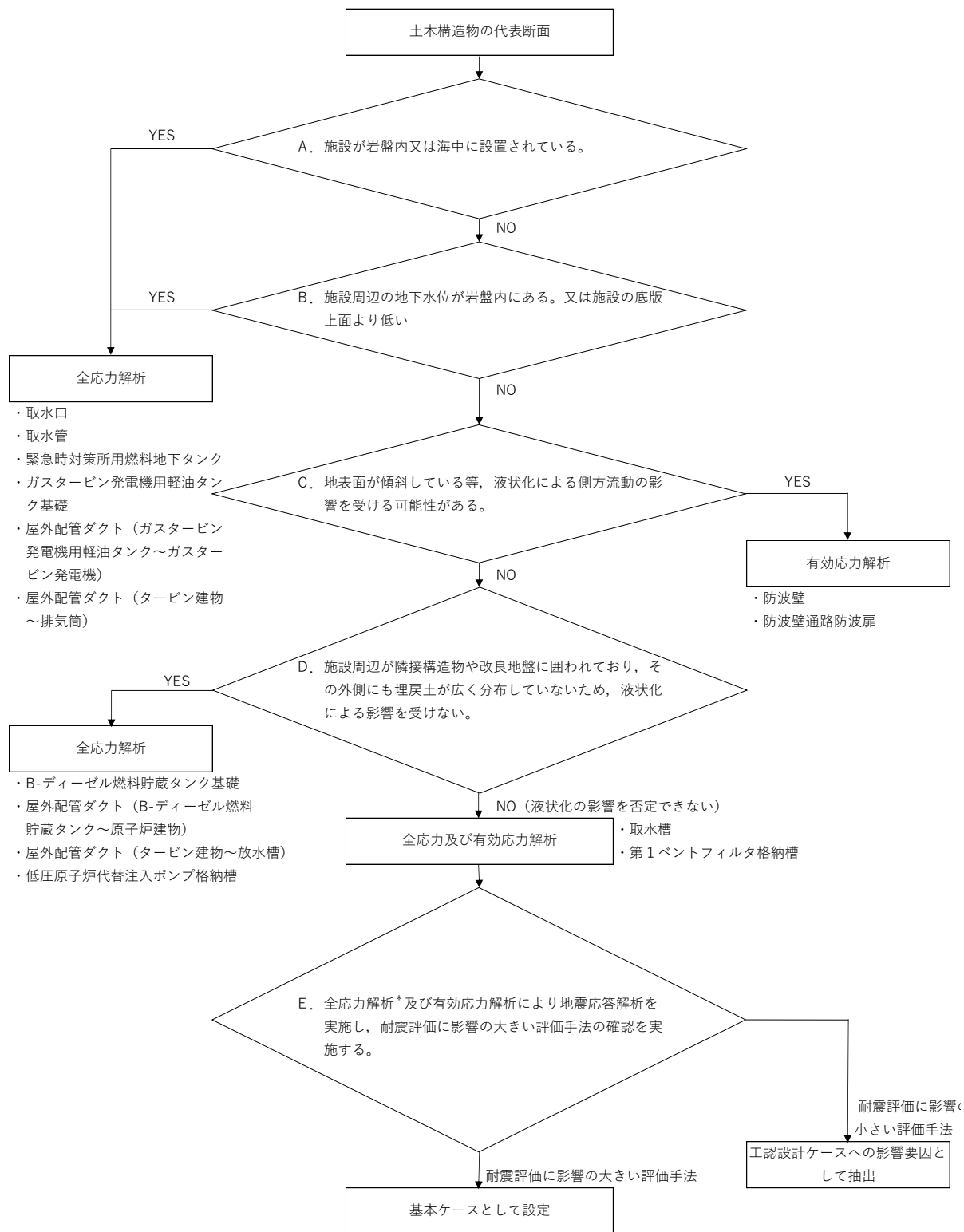
注記*1：応答比率（検討対象ケース（最大応答加速度，設計用床応答スペクトル，地震力等）に対する工認設計ケースとの比率）と設備の裕度の比較による評価

*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）



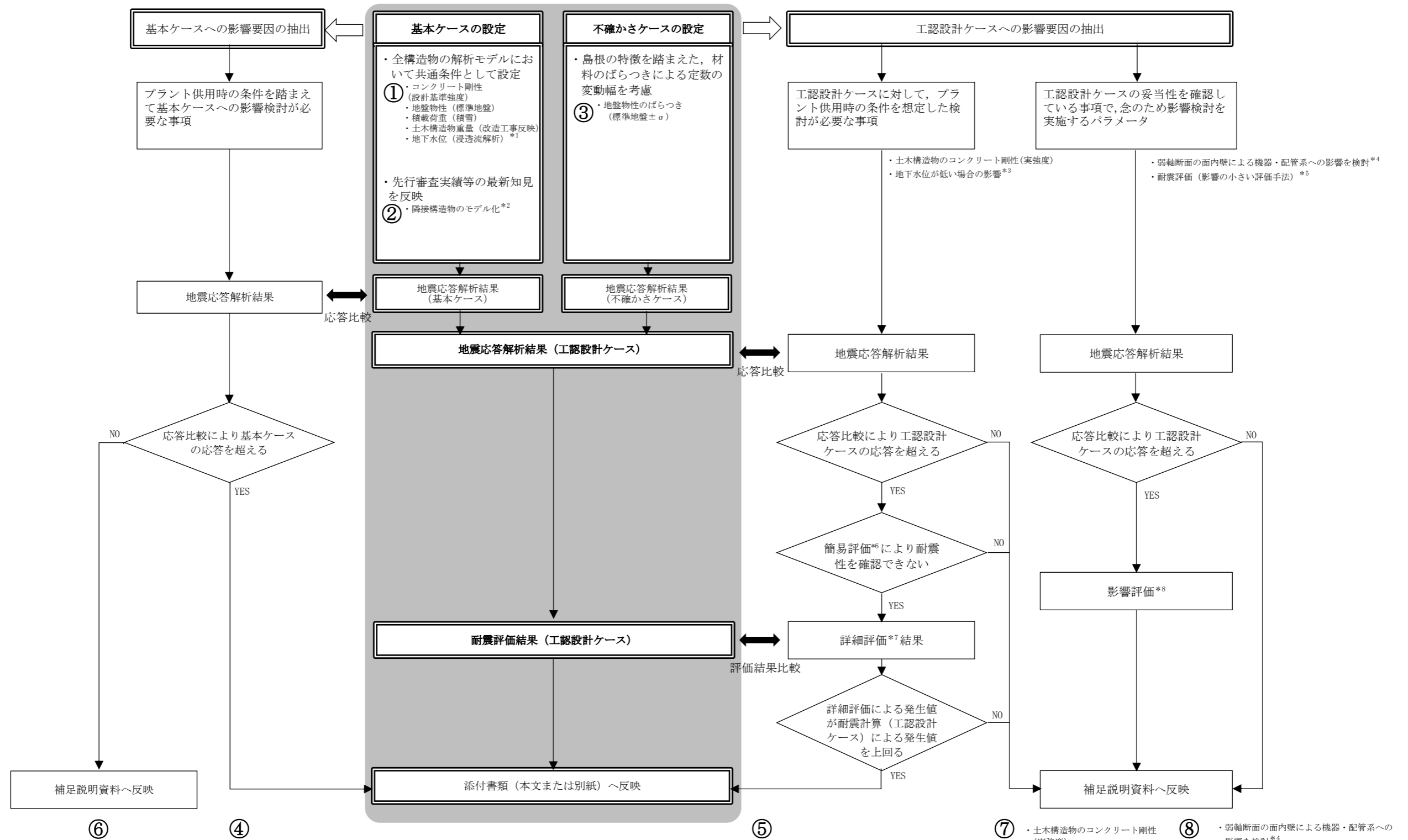
- ⑥ 補足説明資料へ反映
- ④ ・建物重量 (改造工事反映) (原子炉建物) *5
- ⑤ ・3次元挙動の影響 (面外応答影響)
- ⑦ ・3次元挙動の影響
・建物のコンクリート剛性 (実強度)
・原子炉圧力容器ベDESTALのコンクリート強度 (実強度)
- ⑧ ・隣接建物の影響*6
・SA時高温による剛性低下*7
・床ばねの非線形特性の影響 (タービン建物) *8
・新設建物減衰3%*9
・建物基礎底面の付着力の影響 (原子炉建物) *10
・入力地震動に関する影響*11
・床柔性に関する影響 (原子炉建物) *12
・積雪荷重との組合せ (機器・配管系) *13
・排気筒の制震装置のばらつき (機器・配管系) *13
- 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。
 *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することにより考慮していることから、評価結果を補足説明資料へ反映する。
 *13: 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。
- 注: 本表は、今後の評価結果を踏まえて見直す可能性がある。

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)



* 全応力解析については、解析コードによる耐震評価への影響確認について実施する。

図 1(2) 島根 2 号機における地震応答解析手法の整理フロー（土木構造物）



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: 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。
 *4: 評価対象構造物のうち箱型構造物については, 弱軸・強軸方向を有しているため, 弱軸断面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。
 *5: 影響の小さい評価手法による応答についても耐震評価の影響について確認する。
 *6: 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
 *7: 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)
 *8: 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。

図 1 (3) 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)

注：本表は、今後の評価結果を踏まえて見直す可能性がある。

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	—	—	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。 工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	⑦	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「補足-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「補足-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」 補足説明資料「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」 	
			重大事故時の高温による剛性低下 ・原子炉建物	—	—	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) による検討を実施する。 工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「補足-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 	
	地盤物性	標準地盤	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%	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する。 工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「補足-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」 補足説明資料「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」 	
	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。	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 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「補足-027-01 設計用床応答スペクトルの作成方針に関する補足説明資料」

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)

注：本表は、今後の評価結果を踏まえて見直す可能性がある。

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を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	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「補足-027-01 設計用床応答スペクトルの作成方針に関する補足説明資料」
		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、影響を確認する。 工認基本ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	—	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 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「補足-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、床ばねの応答を確認し、線形範囲を超えている場合は、床ばねを非線形モデルとした場合の影響検討を実施する。 工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	—	⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「補足-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」
	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する。 <ul style="list-style-type: none"> 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 工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「補足-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」 	

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)

注：本表は、今後の評価結果を踏まえて見直す可能性がある。

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・考察を実施する。 ・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 工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	⑧	・補足説明資料「補足-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次元挙動の確認を実施し、影響検討を実施する。 ・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 工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	⑦	・補足説明資料「補足-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 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(燃料取替床レベル)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する。</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影響評価条件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する。</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 影響評価条件=基本ケース×応答比率</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「補足-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 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する。</p> <p>応答比率 = $\alpha \times \beta$ $\alpha = \frac{3 \text{ 方向同時入力による最大応答加速度}}{1 \text{ 方向入力による最大応答加速度}}$ $\beta = \frac{\text{建物模擬モデルの最大応答加速度}}{\text{質点系対応モデルの最大応答加速度}}$ </p>	<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影響確認条件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する。</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 影響確認条件=基本ケース×応答比率</p>	⑦ (建物・構築物) ⑤, ⑦ (機器・配管系)	・補足説明資料「補足-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 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。	⑧	・補足説明資料「補足-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 3次元FEMモデルによる地震応答解析	
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する。 工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	⑧	・補足説明資料「補足-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)」		

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)

注：本表は、今後の評価結果を踏まえて見直す可能性がある。

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			
機器・配管系* (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。	—	—	①, ②, ③	・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。	—	—	①	・補足説明資料「補足-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	
		実強度	—	—	応答比率と裕度の比較による簡易評価を行い、発生値が許容値以下であることを確認する。 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 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る。	⑦		
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	—	—	—	⑧	・補足説明資料「補足-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	
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	・添付書類「VI-2-2-2 原子炉建物の地震応答計算書」別紙 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「補足-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	

注記*：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。

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) (1/2)

注：本表は、今後の評価結果を踏まえて見直す可能性がある。

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 補足-026-1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」
			実強度に基づく剛性	—	—	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。工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。			
	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	
			弱軸断面でモデル化する	—	—	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。工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。			

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) (2/2)

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	初期せん断弾性係数	地盤の初期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 	
			地盤の初期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		<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の影響について確認する。工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	—	⑦	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「補足-023-01 地盤の支持性能について」 		
	評価手法	耐震評価に影響の大きい評価手法	—	耐震評価に影響の大きい評価手法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 補足-026-1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」
			耐震評価に影響の小さい評価手法	—	—	—	影響の小さい評価手法による応答についても、耐震評価の影響について確認する。工認設計ケースの応答を上回る場合は、耐震性への影響を確認する。	—	⑧	