

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-024-16 改0
提出年月日	2023年12月6日

地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因の整理

2023年12月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

今回提出範囲:

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(建屋-機器連成地震応答解析の応答を適用する機器・配管系)	4
2.3	土木構造物	5
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(建屋-機器連成地震応答解析の応答を適用する機器・配管系)	6
3.3	土木構造物	7
4.	影響要因の抽出の考え方	8
4.1	基本ケースへの影響抽出の観点	8
4.1.1	プラント供用時の条件を踏まえた基本ケースへの影響検討が必要な事項	8
4.2	設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.	今回設工認における申請上の位置付け	15

(参考資料 1) 「応答結果に影響する不確かさ要因」の取扱いについて

1. はじめに

本資料は、建物・構築物、機器・配管系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」及び「影響要因の抽出の考え方」をそれぞれ整理した上で、「今回設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「耐震設計に係る設工認審査ガイド」における要求事項及び柏崎刈羽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物性について検討の上、ばらつきによる変動幅を考慮する項目を抽出する。
 - a. 建物・構築物
 - ・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考慮すること。
 - ・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。
 - b. 機器・配管系
 - ・地震応答解析に用いる材料定数は，地盤の諸定数を含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮すること。
 - c. 土木建造物
 - ・地震応答解析に用いる材料定数は，地盤の諸定数を含めて材料のばらつきによる変動幅を適切に考慮すること。
- (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設工認設計ケース（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. 設工認設計ケースへの影響要因の抽出の観点
 - ・設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
 - ・設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) 「今回設工認における申請上の位置付け」の整理にあたっては、設工認設計ケース（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、設工認設計ケースの基本となるケースを、設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設工認設計ケース（基本ケース及び不確かさケース）の応答を用いて今回設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。

本資料が関連する設工認図書は以下のとおり。

- ・ VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」
- ・ 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ついての計算書」
- ・ VI-2-3-1 「炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」

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、建物・構築物（既設）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、建物・構築物（新設）については、今回設工認において建物・構築物（既設）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、波及的影響評価対象の建物・構築物は本資料の考え方に準ずる。

(1) 建物・構築物（既設）（原子炉建屋及びタービン建屋）

<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、増加重量比は最大でも 1.20%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（2007 年新潟県中越沖地震後に耐震補強工事等を実施した原子炉建屋については耐震補強工事重量増分を既工認モデルに考慮）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屋については、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た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. 床柔性について、既工認において原子炉建屋を床剛モデルとしていたこと及び 3次元 FEM モデルのうち建屋模擬モデルと質点系対応モデルを比較したところ応答の差が小さいことを踏まえ床剛を採用する。
タービン建屋については既工認と同様に、今回設工認においても多軸床柔モデルを採用する。
- c. RC 造部の減衰定数について、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 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。
- d. 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. 原子炉建屋については 2007 年新潟県中越沖地震後に実施した耐震補強工事等による重量の変更を考慮する。
- b. 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。

- c. 地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、実際には耐震壁として考慮可能であると考えられる補助壁についても、その分の剛性を考慮する。
- d. 建屋剛性については、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、コンクリート実強度に基づく剛性とする。
- e. 原子炉建屋については、地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、建屋側面地盤回転ばねを考慮する。
- f. 地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、表層部の地盤ばねを考慮しない。

(2) 建物・構築物（新設）（格納容器圧力逃がし装置基礎）

<基本ケースの設定における考え方>

- a. 建物・構築物（新設）の地震応答解析モデルは、建物・構築物と地盤との相互作用を考慮するものとし、地震応答解析で周辺地盤の影響も評価可能な3次元FEMモデルを採用する。また、建屋剛性については設計基準強度に基づく剛性とする。
- b. RC造部の減衰定数について、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙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、建物・構築物（既設）と同様に5%に設定する。
- c. 地盤物性については、地盤調査結果の平均値をもとに設定する。なお、既設地盤改良体は、原位置試験及び室内試験結果をもとに設定し、新設地盤改良体は、文献や実績等をもとに設定する。

2.2 機器・配管系（建屋－機器連成地震応答解析の応答を適用する機器・配管系）

原子炉建屋内の原子炉圧力容器、原子炉遮蔽壁、原子炉本体基礎等の大型機器は、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、原子炉建屋と連成させて地震応答解析を実施している。

建屋－機器連成地震応答解析における原子炉建屋の地震応答解析モデルは、「2.1 建物・構築物」に示す原子炉建屋の方針と同様に、既工認モデルをベースとして策定した今回設工認モデルを適用する。

原子炉本体基礎とダイヤフラムフロアのコンクリートの剛性には、既工認と同様に設計基準強度を採用する。原子炉本体の地震応答解析モデルには、適正な地震応答に基づく評価を行うため、コンクリートの剛性変化を考慮した非線形解析モデル（復元力特性）を採用する。

2.3 土木構造物 追而

3. 不確かさケースの考え方

不確かさ要因として、柏崎刈羽原子力発電所の特徴を踏まえて、地震応答解析結果への影響を与える材料物性について検討の上、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

(1) 建物・構築物（既設）（原子炉建屋及びタービン建屋）

建屋剛性及び地盤剛性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コンクリート実強度と地盤物性のばらつきを考慮する。

建屋剛性については、実強度を採用しており、実強度の数値と建設時コンクリートの91日強度の平均値とおおむね同等となっていることから、不確かさ検討について、データベースである91日強度の分布を考慮する。また、実機のコア強度の平均値を考慮することで地震応答解析の保守性を確保する。

地盤物性については、実測したせん断波速度のばらつきを考慮する。また、原子炉建屋については建屋側面地盤回転ばねの極端なケースとしてばね値が50%の場合を考慮する。

RC造部の減衰定数については、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙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。

(2) 建物・構築物（新設）（格納容器圧力逃がし装置基礎）

建屋剛性及び地盤剛性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を考慮する。建屋剛性については、新設構造物であるため、設計基準強度を用いている。コンクリートの実強度は設計基準強度よりも大きくなることから、建物・構築物（新設）の耐震性評価においては不確かさを考慮していない。

地盤物性については、実測したせん断波速度及び初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

RC造部の減衰定数については、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙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。

3.2 機器・配管系（建屋－機器連成地震応答解析の応答を適用する機器・配管系）

建屋－機器連成地震応答解析における原子炉建屋の地震応答解析モデルは、「3.1 建物・構築物」に示す原子炉建屋の方針と同様に、建屋剛性及び地盤剛性の不確かさ並びに建屋側面地盤回転ばねの極端なケースを考慮する。

加えて、原子炉本体基礎とダイヤフラムフロアのコンクリートの剛性については、既工認と同様に設計基準強度を採用しているが、原子炉建屋等と同等の検討として実強度を考慮する。

また、原子炉本体基礎のスケルトン曲線の設定は折線近似を基本としているが、現実には上に凸な曲線になると考えられることから、各要素、各方向（NS, EW 方向）の曲げモーメントのスケルトン曲線について、曲線近似を包絡するように、基本ケースの折線近似のスケルトン曲線の第二勾配の領域を一律同じ値だけ嵩上げた曲線近似包絡のスケルトン曲線を考慮する。

3.3 土木構造物 追而

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た基本ケースへの影響検討が必要な事項

(1) 建物・構築物

a. 建屋重量：改造工事を反映した影響(原子炉建屋)

原子炉建屋の建屋重量(1956740kN)については、既工認モデルの重量に2007年新潟県中越沖地震後に実施した耐震補強工事等による重量変更を追加して設定しているが、プラント供用時の条件として、平成18年耐震設計審査指針改定及び平成25年新規制基準施行に伴う設備の補強や追加等の改造工事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。

(2) 機器・配管系(建屋－機器連成地震応答解析の応答を適用する機器・配管系)

a. 建屋重量：改造工事を反映した影響(原子炉建屋)

改造工事を反映した影響について、「(1) 建物・構築物」に示す原子炉建屋の方針と同様に、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屋－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

追而

4.2 設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（既設）

a. 隣接建屋の影響（原子炉建屋及びタービン建屋）

柏崎刈羽原子力発電所第6号機は、耐震安全上重要な建物・構築物が隣接して配置される構成となっている。そこで、隣接建屋が原子炉建屋及びタービン建屋の構造健全性に与える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。

- ・既往の知見に基づく検討結果から一般論として隣接建屋の影響を考察
- ・隣接建屋を考慮した応答検討

なお、上記の確認結果として、VI-2-2-別添 2-1「隣接建屋による影響を考慮した地震応答計算及び建物・構築物の耐震性についての計算書」に示すとおり、隣接建屋の影響が見られる応答成分や方向に違いが見られることから、原子炉建屋及びタービン建屋ではこれらの効果を個別に確認する。

(2) 建物・構築物（新設）

a. 建屋剛性：実強度（ $1.4 \times F_c$ ）の影響（格納容器圧力逃がし装置基礎）

建屋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、建屋剛性に実強度（ $1.4 \times F_c$ ）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. 地盤改良体のばらつき（格納容器圧力逃がし装置基礎）

地盤改良体の地盤剛性は設計値を採用しているが、通常設計値を上回るように施工され、地盤剛性を低く評価する方がせん断変形を生じやすく保守的になるものの、格納容器圧力逃がし装置基礎は重要な設備を内包しているため、地盤改良体の地盤剛性に実強度を採用した場合の地震応答解析を行い、機器・配管系評価に与える影響を確認する。

c. 隣接建屋の影響（格納容器圧力逃がし装置基礎）

隣接建屋の配置を考慮してモデル化する場合の地震応答解析を実施し、設工認モデルと応答結果を比較することで、隣接建屋が建物・構築物（新設）の耐震評価に与える影響を確認する。また、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

(3) 機器・配管系（建屋－機器連成地震応答解析の応答を適用する機器・配管系）

a. 隣接建屋の影響

隣接建屋の影響について、「(1)建物・構築物（既設）」に示す原子炉建屋の方

針と同様に，隣接建屋による影響を考慮した大型機器・炉内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) 土木構造物
追而

4.2.2 設工認設計ケースの妥当性確認が必要な事項

設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（既設）

a. 3次元挙動の影響（原子炉建屋）

建屋の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、原子炉建屋について3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、建屋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、建屋及び機器・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。更に面外応答、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。

- ・基礎のロックキング
- ・建屋のねじれ
- ・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
- ・床柔性

なお、検討結果については、「工事計画に係る補足説明資料（耐震性に関する説明書）」のうち「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。

b. 建屋剛性：重大事故時(SA時)の高温による剛性低下の影響（原子炉建屋）

原子炉建屋において、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、設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、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙5「地震応答解析における原子炉建屋の重大事故時の高温による影響」に示す。

c. 多軸床柔モデル：床ばね非線形性の影響（タービン建屋）

タービン建屋については、既工認及び今回設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。

なお、検討結果については、「タービン建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 5「水平つなぎばねの諸元及び非線形性を考慮した解析」に示す。

d. 建屋上部のねじれの影響（タービン建屋）

建屋上部のねじれの影響を確認するという目的から、3次元 FEM モデルによる地震応答解析を行い、上部鉄骨部のねじれが、機能維持エリアに与える影響を確認する。また、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

なお、検討結果については、「タービン建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 4「タービン建屋のねじれによる影響について」に示す。

e. 補助壁の曲げ変形考慮（原子炉建屋）

2007 年新潟県中越沖地震のシミュレーション解析結果を踏まえて設定した今回設工認モデルは、補助壁の曲げ変形を考慮していない状態で地震時の挙動をより実応答に近い形で評価出来ることを確認しているものの、念のため補助壁の曲げ変形を考慮した場合の影響について確認する。

なお、検討結果については、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 9「原子炉建屋の地震応答解析における補助壁の曲げ変形について」に示す。

f. 建屋側面地盤回転ばねからの回転入力（原子炉建屋）

今回設工認モデルは、側面地盤ばねを考慮することで地震時の挙動をより実応答に近い形で評価出来ることを確認しているものの、念のため更に側面地盤からの回転入力を考慮した場合の影響について確認する。

なお、検討結果については、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 10「原子炉建屋の地震応答解析における側面地盤からの回転入力について」に示す。

g. 表層地盤ばね考慮（原子炉建屋）

基準地震動 S_s-1 に対する地盤の等価線形解析の結果、表層地盤では建屋一階地盤連成効果を見込めないことを確認している。また、今回設工認モデルは、

表層地盤ばねを無視することで地震時の挙動をより実応答に近い形で評価出来ることを確認しているものの、念のため仮に表層地盤ばねを考慮し、表層地盤からの入力を考慮した場合の影響について確認する。

なお、検討結果については、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 11「原子炉建屋の地震応答解析における表層地盤からの入力について」に示す。

h. 構造性能確認試験の影響（原子炉建屋）

構造性能確認試験後の鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）部の実際の水平剛性としては、「既往実験と実機での条件との差異」と「実機における構造性能確認試験の結果」を踏まえると、ほとんど低下しないと考えられる。また、今回設工認モデルは、RCCV 部の剛性低下を考慮していない状態で地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できることを確認しているものの、念のため RCCV 部の水平剛性を低下させた場合の影響について確認する。

なお、検討結果については、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 12「原子炉建屋の地震応答解析における構造性能確認試験の影響について」に示す。

(2) 建物・構築物（新設）

a. 減衰定数:3%適用の影響（格納容器圧力逃がし装置基礎）

RC 造部の減衰定数については、「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明」のうち別紙 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、減衰定数に 5%を設定することの妥当性を確認しているものの、対象の建物・構築物が新設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。

なお、検討結果については、「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 6「装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した地震応答解析結果」に示す。

b. 地盤の液状化による影響（格納容器圧力逃がし装置基礎）

格納容器圧力逃がし装置基礎では、装置基礎直下地盤の液状化による変位を抑制することを目的として、装置基礎周辺の地盤に地盤改良を実施しており、この液状化対策の有効性を評価するため、有効応力解析を行い、構築物及び杭の応答値に与える影響を確認する。また、その応答による機器・配管系への影

響を確認する。

なお、検討結果については、「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 4「地盤の液状化を考慮した地震応答解析結果」に示す。

c. 掘削調査完了後の地盤条件（格納容器圧力逃がし装置基礎）

格納容器圧力逃がし装置基礎の基礎スラブ直下地盤を掘削して建設残置物を撤去した後、埋戻材料を用いて掘削範囲の埋戻しを実施しているため、埋戻材料を考慮した場合の影響を検討する。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、「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙 9「掘削調査完了後の地盤条件を考慮した地震応答解析結果」に示す。

(3) 機器・配管系（建屋－機器連成地震応答解析の応答を適用する機器・配管系）

a. 原子炉本体基礎及びダイヤフラムフロア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、「建物・構築物（既設）」に示す原子炉建屋の方針に加えて、原子炉本体基礎及びダイヤフラムフロアのコンクリート剛性に考慮した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。

(4) 土木構造物

追而

5. 今回設工認における申請上の位置付け

今回設工認における申請上の位置付けについては、図 5-1、図 5-2 及び図 5-3 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、設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) 設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、設工認設計ケースとの応答比較により設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。

応答比較により設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。詳細評価を実施した場合は、その検討結果を添付書類（本文又は別紙）に反映する。

b. 設工認設計ケースの妥当性確認が必要な事項

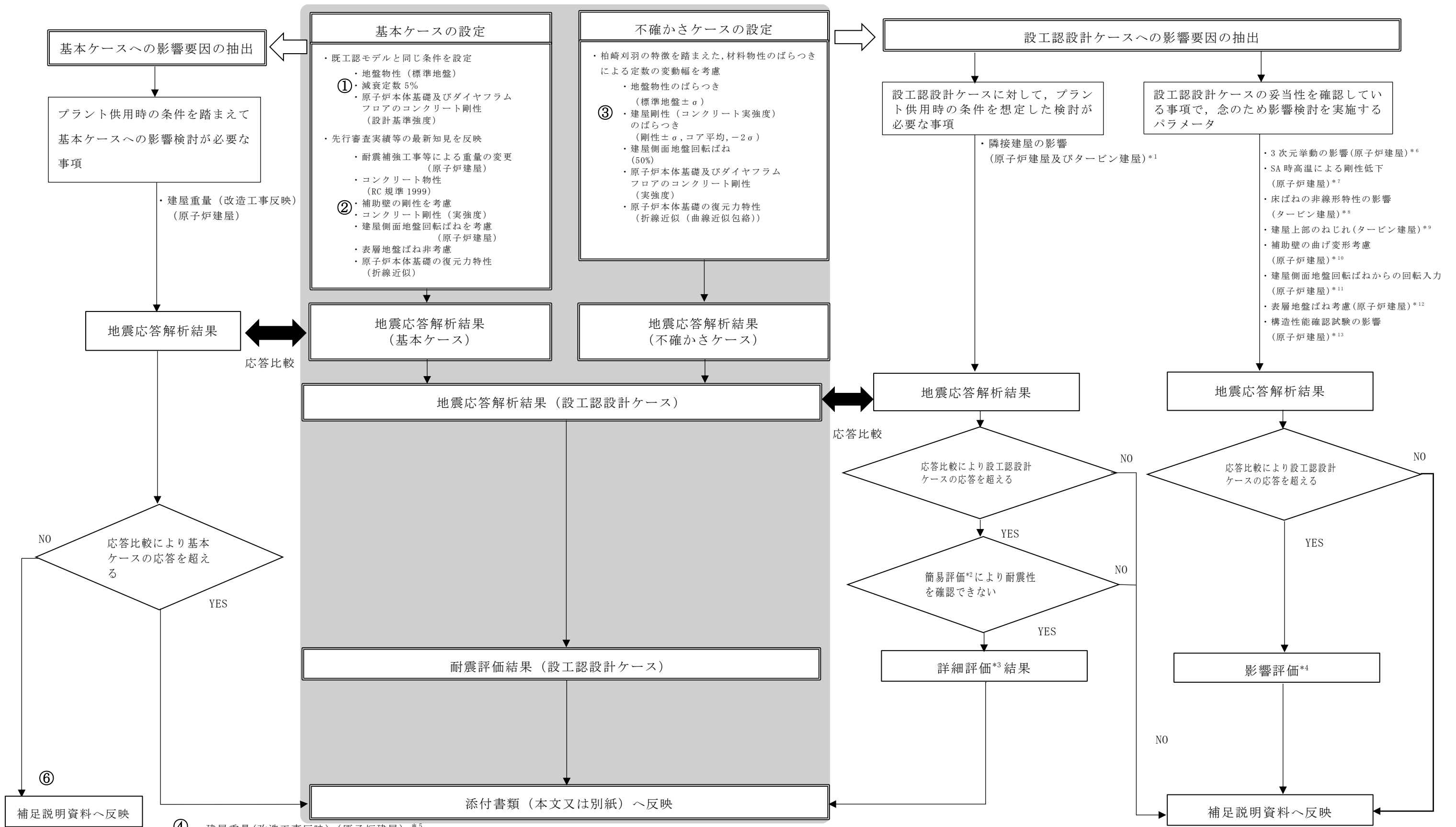
地震応答解析を実施し、設工認設計ケースとの応答比較により設工認設計ケースの応答を超えないことを確認した場合には、その検討結果を補足説明資料に反映する。

応答比較により設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。

上記の考え方に基づく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 5-1、表 5-2、表 5-3 及び表 5-4 に示す。

注記*1：応答比率（検討対象ケース（最大応答加速度，設計用床応答曲線，地震力等）に対する設工認設計ケースとの比率）と裕度の比較による評価。

*2：設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 : 柏崎刈羽原子力発電所が軟岩サイトであること及び6,7号機がツインプラントであり建屋群が近接して設置されていることを踏まえて、原子炉建屋とタービン建屋についてはその検討結果を添付書類に記載する。

*2 : 応答比率 (検討対象ケース (最大応答加速度, 設計用床応答曲線, 地震力等) に対する設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 : 設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 : 今回設工認モデルの妥当性を確認できるものの、今回設工認モデルに対する現象の不確かさとして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、保守的な条件設定といえることから、設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、今回設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 : 建屋上部のねじれの影響を確認するという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。

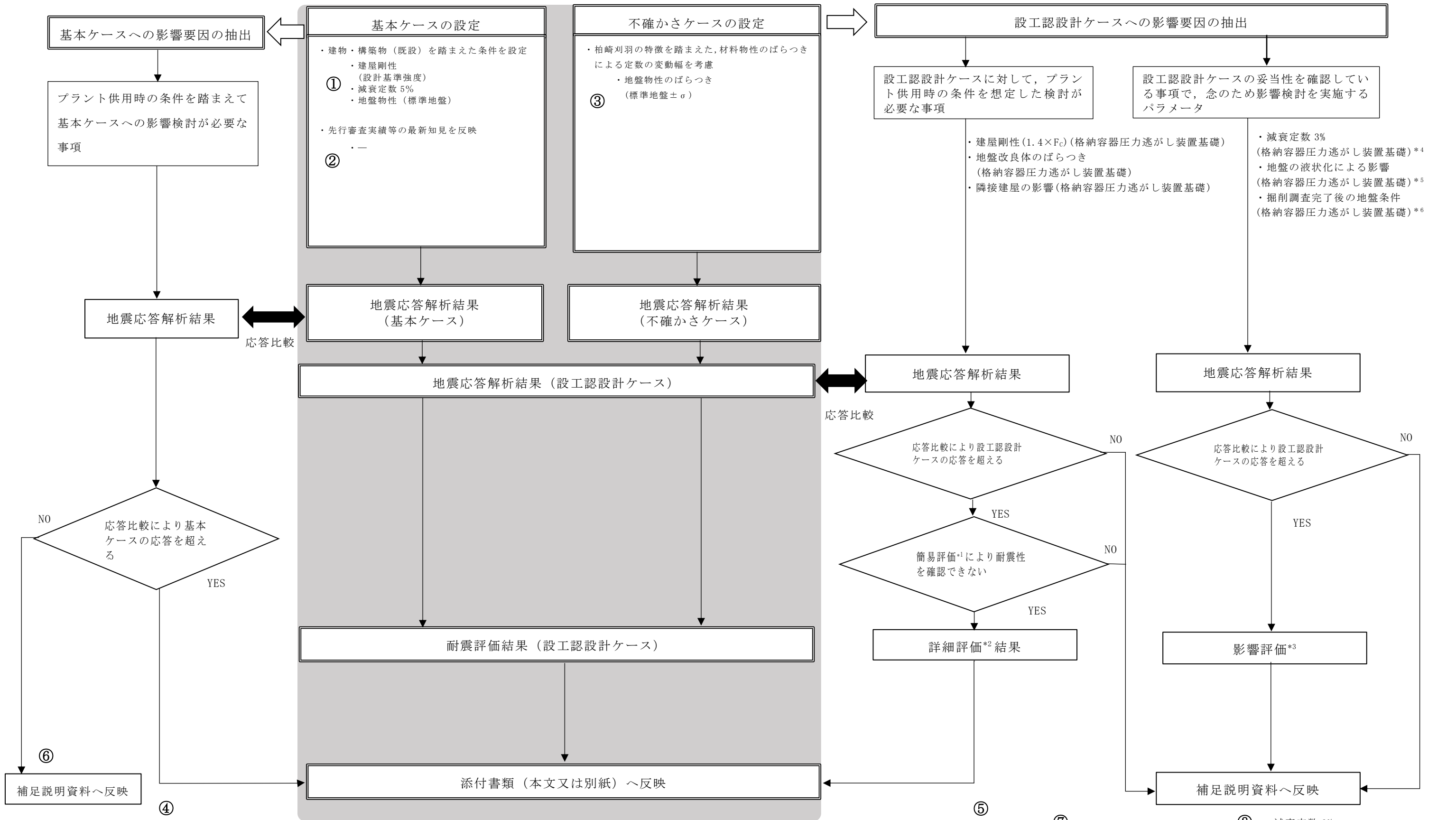
*10 : 今回設工認モデルの妥当性を確認しているが、補助壁の曲げ変形の影響を確認するという観点から念のため実施する影響検討項目として整理する。

*11 : 今回設工認モデルの妥当性を確認しているが、建屋側面地盤の回転入力の影響を確認するという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。

*12 : 今回設工認モデルの妥当性を確認しているが、表層地盤ばねの影響を確認するという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。

*13 : 今回設工認モデルの妥当性を確認しているが、RCCV部が剛性低下した場合の影響を確認するという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。

図5-1 柏崎刈羽原子力発電所第6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設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(既設), 機器・配管系)



注記*1：応答比率（検討対象ケース（最大応答加速度，設計用床応答曲線，地震力等）に対する設工認設計ケースの比率）と設備の裕度の比較による評価
 *2：設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）
 *3：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。
 *4：減衰定数については，5%の妥当性を確認しているもの，建物・構築物（新設）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。
 *5：地盤改良による液状化対策の有効性を評価するという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。
 *6：掘削調査完了後の地盤条件を考慮した耐震安全性を評価するという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。

⑦ ・建屋剛性 (1.4×F_c) (格納容器圧力逃がし装置基礎)
 ・地盤改良体のばらつき (格納容器圧力逃がし装置基礎)
 ・隣接建屋の影響 (格納容器圧力逃がし装置基礎)

⑧ ・減衰定数 3% (格納容器圧力逃がし装置基礎)*⁴
 ・地盤の液状化による影響 (格納容器圧力逃がし装置基礎)*⁵
 ・掘削調査完了後の地盤条件 (格納容器圧力逃がし装置基礎)*⁶

図 5-2 柏崎刈羽原子力発電所第 6 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設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(新設)）

追而

図 5-3 柏崎刈羽原子力発電所第 6 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設工認における申請上の位置付けの整理フロー（土木構築物）

表 5-1 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(既設)）(1/5)

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	
				設工認設計ケース		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 (既設)	材料物性	建屋剛性	実強度に基づく剛性	地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、コンクリート実強度に基づく剛性とする。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	②	・「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」他 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			建屋剛性 $\pm \sigma, -2\sigma$	—	建設時コンクリートの91日強度の平均値に対して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	・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙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」他 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			コア平均値	—	実機のコア平均値を考慮する。	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	③	・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙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」他 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「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	・「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」他 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			補助壁の剛性考慮	地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、補助壁の剛性を考慮する。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	②	・「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」他 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			重大事故時の高温による剛性低下 ・原子炉建屋	—	—	重大事故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の影響を考慮したモデル(剛性低下考慮モデル)による検討を実施し、設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。 応答比率=剛性低下考慮モデルによる応答/今回設工認モデルによる応答	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影響評価条件による床応答曲線等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。 応答比率=SA時環境考慮モデルによる応答/設工認設計ケースによる応答	⑧	・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙5「地震応答解析における原子炉建屋の重大事故時の高温による影響」
			補助壁の曲げ変形を考慮 ・原子炉建屋	—	—	補助壁の曲げ変形を考慮していない状態で地震時の挙動をより実応答に近い形で評価出来ることを確認しているものの、念のため補助壁の曲げ変形を考慮した場合の影響検討を実施し、発生値が許容値以下であることを確認した。	—	⑧	・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙9「原子炉建屋の地震応答解析における補助壁の曲げ変形について」

注記* : 表中の番号は, 図 5-1 に示す番号と対応している。

表 5-1 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(既設)）(2/5)

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	
				設工認設計ケース		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 (既設)	材料物性	建屋剛性	構造性能確認試験 ・原子炉建屋	—	—	構造性能確認試験後のRCCV部の実際の水平剛性は、ほとんど低下しないと考えられ、RCCV部の剛性低下を考慮していない状態で地震時の挙動をより実応答に近い形で評価できることを確認しているものの、念のためRCCV部の水平剛性を低下させた場合の影響検討を実施し、今回設工認モデルの結果と同等となることを確認した。また、構造性能確認試験影響考慮モデルの最大応答値は設工認設計ケースの包絡値を下回ることを確認した。	—	⑧	・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙12「原子炉建屋の地震応答解析における構造性能確認試験の影響について」	
			地盤剛性	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	・「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」他 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			標準地盤±σ	—	実測したせん断波速度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	・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙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」他 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
		地盤ばね	建屋側面地盤回転ばね考慮 ・原子炉建屋	地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、建屋側面地盤回転ばねを考慮する。	—	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	②	・「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」他 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			建屋側面地盤回転ばね考慮(50%) ・原子炉建屋	—	建屋側面地盤回転ばねのばね値が50%の場合を考慮する。	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	③	・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙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」 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			建屋側面地盤回転ばねからの回転入力 ・原子炉建屋	—	—	—	側面地盤ばねを考慮することで地震時の挙動をより実応答に近い形で評価出来ることを確認しているものの、念のため更に側面地盤からの回転入力を考慮した場合の影響検討を実施し、今回設工認モデルの結果と同等となることを確認した。	—	⑧	・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙10「原子炉建屋の地震応答解析における側面地盤からの回転入力について」

注記* : 表中の番号は、図 5-1 に示す番号と対応している。

表 5-1 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(既設)）(3/5)

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
				設工認設計ケース		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 (既設)	材料物性	地盤ばね	表層地盤ばね非考慮	地震時の挙動をより実応答に近い形で評価するため、表層部の地盤ばねを考慮しない。		—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	②	・「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」他 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			表層地盤ばね考慮 ・原子炉建屋	—	—				
		減衰定数 (RC造部)	5%	建屋の減衰定数の設定にあたっては、既往の知見及び柏崎刈羽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%とする。		—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙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」 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
	地震応答解析モデル	建屋重量増 (耐震補強工事等反映) ・原子炉建屋	—	2007年新潟県中越沖地震後に実施した耐震補強工事等による重量の変更を考慮する。		—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	②	・「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」他 ・「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			建屋重量増 (改造工事反映) ・原子炉建屋	—	—	—	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、設工認設計ケース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/今回設工認モデルによる応答	④	・「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書 別紙 原子炉建屋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」 ・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙7「改造工事に伴う重量増加を反映した検討」及び別紙8「原子炉建屋改造工事に伴う評価結果の影響について」
		多軸床柔モデル ・タービン建屋	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。 床ばねを非線形モデルとした場合の解析を実施し、応答値が今回設工認モデルと概ね同等となることから、耐震性に影響がないことを確認した。	⑧	・「タービン建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙5「水平つなぎばねの諸元及び非線形性を考慮した解析」

注記*：表中の番号は、図 5-1 に示す番号と対応している。

表 5-1 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(既設)）(4/5)

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		
				設工認設計ケース		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 (既設)	建屋上部の ねじれ	タービン建 屋	—	—	—	3次元FEMモデルによる地震応答解析を実施し、上部鉄骨のねじれが、機能維持エリアに与える影響がないことを確認した。また、水平方向加振に伴う鉛直方向応答の影響は小さいことを確認した。	応答比較により設計用地震力を一部上回るものの、機器の耐震性への影響はないことを確認した。	⑧	・「タービン建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙4「タービン建屋のねじれによる影響について」	
			3次元挙動 の影響	原子炉建屋	—	—	—	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 ・建屋のねじれ ・水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ ・床柔性	⑧	・「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」のうち別紙3「3次元FEMモデルによる地震応答解析」
					—	—	—	〈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屋(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ないことを確認した。	〈面外応答の影響〉 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影響評価条件による床応答曲線等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。 応答比率=3次元FEMモデルによる応答(面外)/設工認設計ケースによる応答	⑧
—	—	—	—	—	〈質点系モデルではみ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。 応答比率 = $\alpha \times \beta$ α = 3方向同時入力による最大応答加速度 / 1方向入力による最大応答加速度 β = 建屋模擬モデル(3DFEM)の最大応答加速度 / 質点系対応モデル(3DFEM)の最大応答加速度	〈質点系モデルではみ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により代表として選定した検討対象設備に対して影響評価条件による床応答曲線等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。 応答比率 = 3次元FEMモデルによる応答 / 設工認設計ケースによる応答	⑧	・「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」のうち別紙3「3次元FEMモデルによる地震応答解析」及び別紙4「機器・配管系に関する説明資料」		

注記*：表中の番号は、図 5-1 に示す番号を示す番号と対応している。

表 5-1 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(既設)）(5/5)

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
				設工認設計ケース		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			
建物・構築物 (既設)	隣接建屋の 影響	—	—	—	—	<p>隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析を実施し、設工認設計ケース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＝隣接考慮モデルによる応答／隣接非考慮モデルによる応答</p> <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設計用地震力×応答比率による床応答曲線等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＝隣接考慮モデルによる応答／隣接非考慮モデルによる応答</p>	⑤	<ul style="list-style-type: none"> 「VI-2-2-別添2-1 隣接建屋による影響を考慮した地震応答計算及び建物・構築物の耐震性についての計算書」 「隣接建屋による影響を考慮した耐震性についての計算書に関する補足説明資料」 「VI-2-2-別添2-2 隣接建屋による影響を考慮した機器・配管系の耐震性についての計算書」 「隣接建屋による影響を考慮した耐震性についての計算書に関する補足説明資料」のうち別紙3「機器への影響検討」

注記*：表中の番号は、図 5-1 に示す番号を示す番号と対応している。

表 5-2 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（新設））（1/2）

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
				設工認設計ケース		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 （新設）	材料物性	建屋剛性	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設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"> 「VI-2-2-13 格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」 「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			実強度(1.4×Fc)に基づく剛性	—	—				
	地盤剛性	—	標準地盤	地盤調査結果や分析、実績等をもとに設定する	—	—	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"> 「VI-2-2-13 格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書」 「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			標準地盤±σ	—	—	実測したせん断波速度及び初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。	—	③	<ul style="list-style-type: none"> 「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙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」 「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 「各機器・配管系の耐震性についての計算書」
			地盤改良体のばらつき	—	—	地盤改良体の地盤剛性に実強度を採用した地震応答解析を実施し、設工認設計ケース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=標準地盤の地盤剛性を+1σとし地盤改良体の不確かさを考慮したモデルによる応答/標準地盤の地盤剛性を+1σとしたモデルによる応答	⑦	<ul style="list-style-type: none"> 「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙7「地盤改良体の物性値の不確かさを考慮した地震応答解析結果」 	

注記*：表中の番号は、図 5-2 に示す番号を示す番号と対応している。

表 5-2 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（新設））（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
				設工認設計ケース		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 （新設）	材料物性	地盤物性	掘削調査完了後の地盤条件	—	—	埋戻材料の影響を考慮した場合の地震応答解析を実施し、今回設工認モデルによる応答を部分的に上回るものの、設工認設計ケースの応答を下回ることから、耐震性への影響がないことを確認した。	応答比較により設計用地震力を下回ることから、機器・配管系の耐震評価に影響はないことを確認した。	⑧	・「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙9「掘削調査完了後の地盤条件を考慮した地震応答解析結果」
			減衰定数（RC造部）	5%	減衰定数の設定にあたっては、既往の知見及び柏崎刈羽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%とする。	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	①	・「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙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」
			3% ・格納容器圧力逃がし装置基礎	—	—	減衰定数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、設工認設計ケースによる部材評価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＝減衰定数3%モデルによる応答／今回設工認モデルによる応答	応答比較により設計用地震力を下回ることから、機器・配管系の耐震評価に影響はないことを確認した。	⑧	・「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙6「装置基礎の減衰定数の不確かさを考慮した地震応答解析結果」
	地盤の液化による影響	—	—	—	—	液化化対策の有効性を評価するために有効応力解析を実施し、今回設工認モデルの応答を下回ることから、耐震性に影響がないことを確認した。	応答比較により設工認設計ケースの応答を下回ることから、機器・配管系の耐震評価に影響はないことを確認した。	⑧	・「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙4「地盤の液化化を考慮した地震応答解析結果」
隣接建屋の影響	—	—	—	—	隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析を実施し、設工認設計ケース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＝隣接考慮モデルによる応答／隣接非考慮モデルによる応答	応答比率と裕度の比較による簡易評価により機器・配管系の耐震評価に影響はないことを確認した。 応答比率＝隣接考慮モデルによる応答／隣接非考慮モデルによる応答	⑦	・「格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書に関する補足説明資料」のうち別紙8「隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析結果」	

注記*：表中の番号は、図 5-2 に示す番号を示す番号と対応している。

表 5-3 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）（1/2）

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*2	関連図書	
				設工認設計ケース				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 (建屋-機器連成地震 応答解析の応答を適用 する機器・配管系)	原子炉建屋	建屋剛性	実強度に基づく剛性	表5-1に示す建物・構築物としての原子炉建屋の方針と同じ。		—	② ③ ② ① ③ ② ③ ①	・「VI-2-2-4 原子炉本体の基礎の地震応答計算書」 ・「VI-2-3-1 炉心, 原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」 ・「VI-2-1-7設計用床応答曲線の作成方針」 ・各機器・配管系の耐震性についての計算書
			建屋剛性±σ, -2σ, コア平均値					
			コンクリート物性(RC規準1999)					
		地盤剛性	標準地盤					
			標準地盤±σ					
		地盤ばね	建屋側面地盤回転ばね考慮					
			建屋側面地盤回転ばね考慮(50%)					
	減衰定数(RC造部)	5%						
	材料物性	原子炉本体基礎 ダイヤフラムフロア コンクリート剛性	設計基準強度	設計基準強度に基づく剛性を基本ケースとする。	—	—	①	・「VI-2-2-4 原子炉本体の基礎の地震応答計算書」 ・「VI-2-3-1 炉心, 原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」 ・「VI-2-1-7設計用床応答曲線の作成方針」 ・各機器・配管系の耐震性についての計算書
			実強度に基づく剛性	—	表5-1に示す建物・構築物としての原子炉建屋と同等の検討として実強度を考慮する。	—	③	
			重大事故時の高温による剛性低下	—	—	—	⑧	
	復元力特性	原子炉本体基礎	折線近似	曲げ, せん断ともに第1折点を内部コンクリートのひび割れが生じる点, 第2折点を鋼板が降伏する点として2直線で近似する。	—	—	②	・「VI-2-2-4 原子炉本体の基礎の地震応答計算書」 ・「VI-2-3-1 炉心, 原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」 ・「VI-2-1-7設計用床応答曲線の作成方針」 ・各機器・配管系の耐震性についての計算書
折線近似(曲線近似包絡)			—	現実には上に凸な曲線となると考えられることから, 曲げについては曲線近似を包絡するように第二勾配の領域を一律嵩上げた曲線近似包絡のスケルトン曲線を考慮する。	—	③		

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 5-1, 表 5-2 及び表 5-4 に含めて整理する。

*2 : 表中の番号は, 図 5-1 に示す番号と対応している。

表 5-3 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）（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*2	関連図書
				設工認設計ケース		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 （建屋－機器連成地震 応答解析の応答を適用 する機器・配管系）	地震応答解 析モデル	建屋重量増 （耐震補強工事反 映）	—	2007年新潟県中越沖地震後に実施した耐震補強工事等による重 量の変更を考慮する。		—	②	<ul style="list-style-type: none"> 「VI-2-2-4 原子炉本体の基礎の地震応答計算書」 「VI-2-3-1 炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」 「VI-2-1-7設計用床応答曲線の作成方針」 各機器・配管系の耐震性についての計算書
		建屋重量増 （改造工事反映） ・原子炉建屋	—	—	—	<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設計用地震力×応答比率による床応答曲線等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＝補強反映モデルによる応答／基本ケースによる応答</p>		
	隣接建屋の 影響	—	—	—	—	<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設計用地震力×応答比率による床応答曲線等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＝隣接考慮モデルによる応答／隣接非考慮モデルによる応答</p>	⑤	<ul style="list-style-type: none"> 「VI-2-2-別添2-2 隣接建屋による影響を考慮した機器・配管系の耐震性についての計算書」 「隣接建屋による影響を考慮した耐震性についての計算書に関する補足説明資料」のうち別紙3「機器への影響検討」

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 5-1，表 5-2 及び表 5-4 に含めて整理する。

*2：表中の番号は，図 5-1 に示す番号と対応している。

表 5-4 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）（1/1）

追而

(参考資料1)「応答結果に影響する不確かさ要因」の取扱いについて

耐震性に影響を与える要因	検討内容	設計上の考え方 (建物・構築物及び機器・配管系)	具体的な評価等の方法		申請上の位置付け
			建物・構築物	機器・配管系	
材料物性の不確かさ	基本モデルの妥当性を確認した上で、物性値の不確かさを考慮した地震応答解析を実施し、影響を確認した。	設計上の保守性を担保するため、設計用地震力に考慮する。	基本ケースの地震応答解析結果と材料物性の不確かさケースの地震応答解析結果を全て包絡することにより、 設計用地震力 に考慮している。	基本ケースの地震応答解析結果と材料物性の不確かさケースの地震応答解析結果を全て包絡することにより、 設計用地震力 に考慮している。 なお、設計用地震力の設定においては、基本ケースのFRSを±10%拡幅したものをを用いている。	設計用地震力に考慮しているため、 各施設の耐震計算書 に材料物性の不確かさを考慮した結果を記載する。
改造工事に伴う重量の増加	応答性状に影響を与える重量の増加は基本モデルに取り入れた上で、その他の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。	設計上の保守性を担保するため、その他の重量の増加が有意な場合は耐震評価における材料物性の不確かさを考慮した応答値に応答比率を乗じて許容値以下であることを確認する方法により考慮する。	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ている。 応答比率=重量変更/基本ケース	設計用地震力 ×応答比率によるFRS等を用いて、発生値が許容値以下であることを確認している。 応答比率=重量変更/基本ケース	原子炉建屋の地震応答計算書の別紙 にて、設計用地震力に応答比率を乗じた場合であっても各施設の耐震性が確保されることを記載する。
重大事故等時の高温による剛性低下	既往の知見による検討・考察により、基本モデルの妥当性を確認できるものの、基本モデルに対する現象の不確かさとして影響検討することとした。	基本モデルに対する現象の不確かさとして、耐震評価における基本モデルの応答値*に 応答比率 を乗じた場合にも許容値以下であり、耐震性が確保されることを確認する。	設計用地震力 によるせん断ひずみ及び接地率に、応答比率を乗じて許容値以下であることを確認している。 応答比率=SA剛性低下ケース/基本ケース	SA剛性低下ケース によるFRS等を用いて、発生値が許容値以下であることを確認している。	現実にコンクリートの剛性低下は起きないと考え、現象の不確かさとして極端にコンクリートの剛性を低下させた検討であり、各施設の耐震性が確保されることを 補足説明資料 にて説明する。
3次元的挙動	以下の検討・考察により、基本モデルの妥当性を確認できるものの、基本モデルに対する現象の不確かさとして影響検討することとした。 ・基礎のロッキング ・建屋のねじれ ・床柔性 ・水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ	基本モデルに対する現象の不確かさとして、耐震評価における基本モデルの応答値*に 応答比率 を乗じた場合にも許容値以下であり、耐震性が確保されることを確認する。	<面外> 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屋（燃料取替床レベル）の壁を抽出し、影響評価を実施している。 ・原子炉建屋（燃料取替床レベル）の壁建屋3次元FEMによる最大応答加速度に、 応答比率 を乗じて算出したSs地震時の面外慣性力を用いた断面算定を実施し耐震性が確保されることを確認している。 応答比率=(材料物性の不確かさケース/基本ケース)×{質点系(Ss)/質点系(Sd)} <局所応答の影響> 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ている。 応答比率={建屋模擬モデル(3DFEM)/質点系対応モデル(3DFEM)}×(水平2方向鉛直方向*/水平1方向*) ※建屋模擬モデル(3DFEM)の応答を用いる	<面外> 影響評価条件 によるFRS等を用いて、発生値が許容値以下であることを確認している。 影響評価条件=基本ケース×(3DFEM/質点系) <質点系モデルでは見られないFRSへの影響> 影響評価条件 によるFRS等を用いて、発生値が許容値以下であることを確認している。 影響評価条件=基本ケース×応答比率(3DFEM/質点系)* ※NS方向のFRSに対してのみ実施	個別の施設については、各施設の耐震計算書において、必要に応じて、3次元的な挙動を考慮可能な解析モデルを採用している。 3次元的挙動を考慮した建屋応答については、基本モデルに対する現象の不確かさとして、各施設の耐震性が確保されることを 補足説明資料 にて説明する。 なお、検討の結果、耐震性が確保されない場合は、各施設の設計の見直しを行い、 耐震計算書 に反映する。
隣接建屋の影響	既往の知見による検討・考察により、定性的には影響が小さいことが確認出来るものの、柏崎刈羽原子力発電所が軟岩サイトであること及び6,7号機がツインプラントであり建屋群が近接して設置されていることを踏まえて、隣接建屋を考慮した地震応答解析を実施し、影響を確認した。	隣接建屋の影響によって応答が増幅又は減少する効果があることを確認したため、耐震評価における材料物性の不確かさを考慮した応答値に 応答比率 を乗じた場合にも許容値以下であり、耐震性は確保されることを確認する。	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ている。 応答比率=隣接有り/隣接無し	設計用地震力 ×応答比率によるFRS等を用いて、発生値が許容値以下であることを確認している。 応答比率=隣接有り/隣接無し	隣接建屋の影響と材料物性の不確かさの重量を考慮した場合にも、各施設の耐震性が確保されることを補足説明資料にて確認しているものの、影響が有意な施設については「 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計算書 」の別添に影響検討結果を記載する。

注記*：影響評価の簡便化のため、材料物性の不確かさを考慮した応答値を用いる場合がある。