

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-43_改7
提出年月日	2021年12月6日

補足-600-43 地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因の整理

目 次

1. はじめに	1
2. 基本ケースの考え方	3
2.1 建屋	3
2.2 機器・配管系（建屋－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 建屋	5
3.2 機器・配管系（建屋－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	7
4.1 基本ケースへの影響要因の抽出の観点	7
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 ..	7
4.2 工認設計ケースへの影響要因の抽出の観点	7
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	7
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	12

1. はじめに

本資料は、建屋、機器・配管系（建屋—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、3.11 地震等による知見等や先行サイトの審査実績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女川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
 - ・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確認が必要な事項
- (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、建屋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、建屋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、建屋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-2-3-2 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格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」
- ・「VI-2-12-1 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 建屋

建屋の設計にあたって、既設建屋については 3.11 地震等の影響を踏まえて耐震設計方法に反映すべき事項を整理の上、地震応答解析モデルを策定している。一方、新設建屋は地震の影響を受けていないことから、設計の考え方の整理にあたっては、既設建屋及び新設建屋に分類して整理する。

なお、対象建屋は、今回工認において機能を有する建屋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屋はその考え方に準ずる。

(1) 既設建屋

既設建屋の地震応答解析モデルは、既工認モデル（SR モデル）をベースとして、3.11 地震等の地震観測記録を用いたシミュレーション解析結果を設計に反映する。

＜既工認モデルからの主な変更点＞

- a. 建屋初期剛性についてシミュレーション解析により補正した初期剛性を採用する。建屋初期剛性の設定にあたっては既工認モデルに対する補正係数を設定し、観測記録の再現性を確認していることから、コンクリート物性値は既工認時における RC 規準（1988）に基づき設定している。なお、準拠する RC 規準の年版によるコンクリート物性値の違いは補正係数の設定に含まれる。
- b. 地震応答解析モデルにおける床の柔性について、原子炉建屋については既工認時には多軸床剛モデルであったが、シミュレーション解析を踏まえて多軸床柔モデルを採用する。制御建屋については既工認時には 1 軸モデルであったが、3.11 地震後の目視点検結果も踏まえ、原子炉建屋と同様に多軸床柔モデルを採用する。床ばねはシミュレーション解析を踏まえて線形としてモデル化する。
- c. 原子炉建屋の建屋重量については、燃料取替床（以下「オペフロ」という。）上部の耐震補強による追設耐震壁を地震応答解析モデルに反映していることを踏まえ、その重量増加分も考慮する。

RC 造部の減衰定数については、シミュレーション解析で 5%を上回る減衰定数が得られている建屋もあるが、既工認モデルと同様に保守的に 5%を採用する。

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。

(2) 新設建屋

新設建屋は既設建屋での実績を踏まえて SR モデルを採用し、建屋初期剛性については地震の影響を受けていないことから、設計基準強度に基づく剛性を採用する。また、新設建屋については、基礎版高さまでマンメイドロックを打設することを踏

まえ、その高さまでは側面水平地盤ばねを考慮する。なお、側面回転地盤ばねは保守的に考慮しない。

新設建屋の RC 造部の減衰定数については、補足説明資料「補足-610-1 建屋耐震評価に関する補足説明資料 別紙 4 新設建屋の地震応答解析モデルに用いる鉄筋コンクリート部の減衰定数について」を踏まえ、既設建屋と同様に 5% と設定する。

地盤物性については、既設建屋と同様に地盤調査結果の平均値をもとに設定する。

2.2 機器・配管系（建屋－大型機器連成地震応答解析）

原子炉建屋内の原子炉格納容器，原子炉圧力容器，原子炉しゃへい壁，原子炉本体の基礎等の大型機器は，その支持構造上から建屋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－大型機器連成地震応答解析については，既工認モデル（SR モデル）をベースとして，原子炉建屋の基本ケースと同様，原子炉建屋の地震応答解析モデルに 3.11 地震等の地震観測記録を用いたシミュレーション解析を踏まえたコンクリート剛性及び多軸床柔モデル等を採用する。

また，原子炉本体の基礎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。原子炉本体の基礎のコンクリートの剛性については，原子炉本体の基礎の内部に充填されたコンクリートが鋼板で囲まれており，乾燥収縮の影響はないと考えられることから，基本ケースとして設計基準強度による復元力特性を採用する。

2.3 土木構造物

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。

土木構造物における基本ケースの設定は，「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に基づく平均値とする。

断層については，断層をモデル化しないケースと，構造物と断層の交差位置を踏まえ，断層による耐震評価への影響が最も大きいケースを選定する。

3. 不確かさケースの考え方

不確かさ要因として、女川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 建屋

(1) 既設建屋

材料物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建屋初期剛性と地盤物性のばらつきを考慮する。

建屋初期剛性については、過去の中小地震も含めた記録では時間経過に伴い剛性が低下する傾向の他に、更新地震によっても剛性が低下する傾向が認められていることから、初期剛性低下の影響を保守的に反映するモデルを不確かさケースとして採用する。具体的には、更なる剛性低下として、基本モデルを用いた基準地震動 S_s の応答結果として得られる剛性低下を考慮する。また、不確かさモデルへの適用にあたっては、この非線形化による剛性低下を初期剛性低下とみなし、全ての耐震壁におけるスケルトン曲線の初期剛性の低下として一律に考慮することにより保守性を確保する。

RC 造部の減衰定数については、弾性設計用地震動 S_d と同等レベルの 3.11 地震シミュレーション解析において 5%以上で再現できることが確認されていることから、不確かさは考慮しない。

地盤物性については、実測した地盤のせん断波速度のばらつきを考慮する。

(2) 新設建屋

材料物性の不確かさについては、既設建屋と同様の考え方で、建屋初期剛性及び地盤物性のばらつきを考慮する。

建屋初期剛性については、新設建屋の基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果及び同様の構造である原子炉建屋オペフロ下部の 3.11 地震時の剛性低下傾向を踏まえ、0.8 倍の剛性を採用する。

コンクリート剛性に実強度を採用することは建屋の耐力が向上する傾向となることから不確かさとして考慮しない。

地盤物性については、実測した地盤のせん断波速度のばらつきを考慮する。

RC 造部の減衰定数については、補足説明資料「補足-610-1 建屋耐震評価に関する補足説明資料 別紙 4 新設建屋の地震応答解析モデルに用いる鉄筋コンクリート部の減衰定数について」に示すとおり、特に基準地震動 S_s に対する応答レベルが小さい緊急用電気品建屋は RC 造部のほぼ全体が埋め込まれた状況であること、新設建屋の地震応答解析モデルでは基礎版上端レベルから上部では側面地盤ばねを考慮していないことを踏まえると、第 3 号機海水熱交換器建屋の中小地震観測記録

に基づく減衰定数の検討結果から、埋め込まれていることによる効果（地盤への逸散減衰）が見込まれ、減衰定数 5%を設定することは十分に保守性があるため、不確かさを考慮しない。

3.2 機器・配管系（建屋—大型機器連成地震応答解析）

材料物性の不確かさについて、原子炉建屋の地震応答解析モデルは、原子炉建屋の不確かさケースと同様、建屋初期剛性及び地盤物性のばらつきを考慮する。

なお、原子炉本体の基礎のコンクリート剛性については、原子炉本体の基礎の内部に充填されたコンクリートは、鋼板に囲まれており、乾燥収縮の影響はないと考えられる。ただし、地震影響を踏まえた原子炉建屋に対する検討結果（初期剛性低下）を踏まえ、念のため建屋と同様に初期剛性低下を反映した復元力特性を工認設計ケースとして考慮する。

3.3 土木構造物

不確かさケースの設定について、材料物性に係るばらつきは、構造物の剛性に支配的となるコンクリートの初期剛性のばらつきを考慮する。ただし、コンクリートの剛性低下側のばらつきは、周辺地盤との剛性差が小さくなり、構造物に作用する土圧を小さく評価し、構造物の耐震裕度が上がるため考慮しない。

周辺地盤に係る不確かさは、地盤のせん断変形に支配的となるパラメータとして、初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。また、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。

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) 既設建屋

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については、オペフロ上部の耐震補強による追設耐震壁を地震応答解析モデルに反映していることを踏まえ、その重量増加分も考慮しているが、プラント供用時の条件として、さらに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－大型機器連成地震応答解析）

a. 建屋重量：改造工事を反映した影響

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－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) 既設建屋

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。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

(2) 新設建屋

- a. コンクリート剛性：実強度適用の影響（緊急用電気品建屋，緊急時対策建屋）
- コンクリート剛性に実強度を採用することは建屋の耐力が向上する傾向となるものの，対象建屋が新設建屋であること，また，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。

(3) 機器・配管系（建屋－大型機器連成地震応答解析）

- a. 原子炉本体の基礎のコンクリート剛性：実強度による影響
- 原子炉本体の基礎のコンクリート剛性については，工認設計ケース（基本ケース）で設計基準強度を用いていることを踏まえ，実強度の影響を確認する。影響確認は，原子炉本体の基礎のコンクリート剛性に実強度を反映した地震応答解析モデルによる地震応答解析を実施し，その応答による影響について確認する。

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，3.11 地震等の知見等により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を抽出する。

(1) 既設建屋

- a. 隣接建屋の影響（原子炉建屋，制御建屋）
- 女川原子力発電所第2号機は，耐震安全上重要な建物・構築物（原子炉建屋，制御建屋等）が隣接して配置される構成となっている。
- そこで，隣接建屋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
- ・ 地震観測記録を用いた検討
- ・ 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，補足説明資料「補足-620-5 隣接建屋の影響に関する補足説明資料」に示すとおり，地震観測記録を用いた検討により隣接建屋による床応答への影響は無いものと判断しており，念のため実施する影響検討項目として整理する。

- 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

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までには至らないと考えられ、本検討条件は、保守的な設定としてしている。また、基本ケースでは、3.11 地震等の地震やコンクリートの乾燥収縮によるひび割れ等に伴う初期剛性の低下を反映したモデルとしており、SA 時における熱の影響による剛性低下の要因と共通するところもあると考えられる。ただし、剛性低下の要因を分離して考慮することはできないため、保守的に基本ケースの剛性低下と SA 時における熱の影響による剛性低下を重畳させたモデルとしてしている。

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. コンクリート剛性：RC 規準（年版）の違いによる影響（原子炉建屋）

地震応答解析モデルの既設部材については既工認モデルをベースとした初期剛性の補正係数を設定していることから既工認時の RC 規準（1988）に基づくコンクリート物性値を設定している。念のため、工認設計ケースの妥当性確認の観点から、RC 規準（1999）に従いコンクリートの物性値を設定した地震応答解析モデルを用いて今回工認モデルとの地震応答解析結果の差異について、機器・配管系への影響を含め、原子炉建屋を代表に影響を確認する。

d. 多軸床柔モデル：床ばねの非線形性の影響（原子炉建屋、制御建屋）

原子炉建屋、制御建屋については今回工認において多軸床柔モデルを採用しており、シミュレーション解析結果を踏まえて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。

(2) 新設建屋

a. 減衰定数：3%適用の影響（緊急用電気品建屋、緊急時対策建屋）

RC 造部の減衰定数については、補足説明資料「補足-610-1 建屋耐震評価に関する補足説明資料 別紙 4 新設建屋の地震応答解析モデルに用いる鉄筋コンクリート部の減衰定数について」により、応答が小さい場合でも減衰 5%に設定することの保守性が確認されているものの、対象建屋が新設建屋であること、また、特に緊急用電気品建屋については、基準地震動 S_s に対する応答がスケルトンカーブの第 1 折れ点に対しても非常に小さい応答であることを踏まえ、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。

- b. 地震応答解析モデル：側面回転地盤ばねの影響（緊急用電気品建屋，緊急時対策建屋）

新設建屋の地震応答解析モデルでは側面水平地盤ばねのみを考慮し，保守的に側面回転地盤ばねは考慮していない。一方で新設建屋の基礎版の応力解析モデルにおいては，基礎版側面をマンメイドロックで埋戻すことを踏まえ，側面水平地盤ばねに加えて，鉛直方向に対する拘束効果として側面回転地盤ばねを考慮している。そこで，基本ケースの妥当性確認の観点から，側面回転地盤ばねを考慮した解析により地震応答解析モデルの保守性を機器・配管系の観点も含めて確認する。

(3) 機器・配管系（建屋－大型機器連成地震応答解析）

- a. 原子炉本体基礎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を原子炉建屋（4.2.2(1)b. と同様なモデル）及び原子炉本体の基礎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までには至らないと考えられ，本検討条件は，保守的な設定としてしている。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。

- b. 原子炉本体の基礎のコンクリート剛性：RC 規準（年版）の違いによる影響

原子炉本体の基礎のコンクリート剛性について，既工認時における RC 規準(1988)に基づき設定しているため，RC 規準（1999）に基づく剛性を算定し，工認設計ケースの剛性との比較により影響を確認する。

(4) 土木構造物

- a. 土木構造物におけるコンクリートの初期剛性低下

土木構造物は，屋外かつ湿潤した地盤に接して地中に埋設されていることから，建物と異なり乾燥する環境にはない。また，3.11 地震等後の目視点検で有意なひび割れは確認されていないこと，地震応答解析により土木構造物がおおむね弾性応答範囲であることを確認していることから，土木構造物のコンクリートの初期剛性の低下は考慮しない。

ただし、建屋側では、乾燥収縮によるコンクリートの初期剛性低下を考慮していることを踏まえ、念のため機器・配管系の耐震評価に適用する床応答の観点から土木構造物のコンクリートの初期剛性低下による影響を確認する。

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結果に応じて、簡易評価^{*1}及び詳細評価^{*2}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

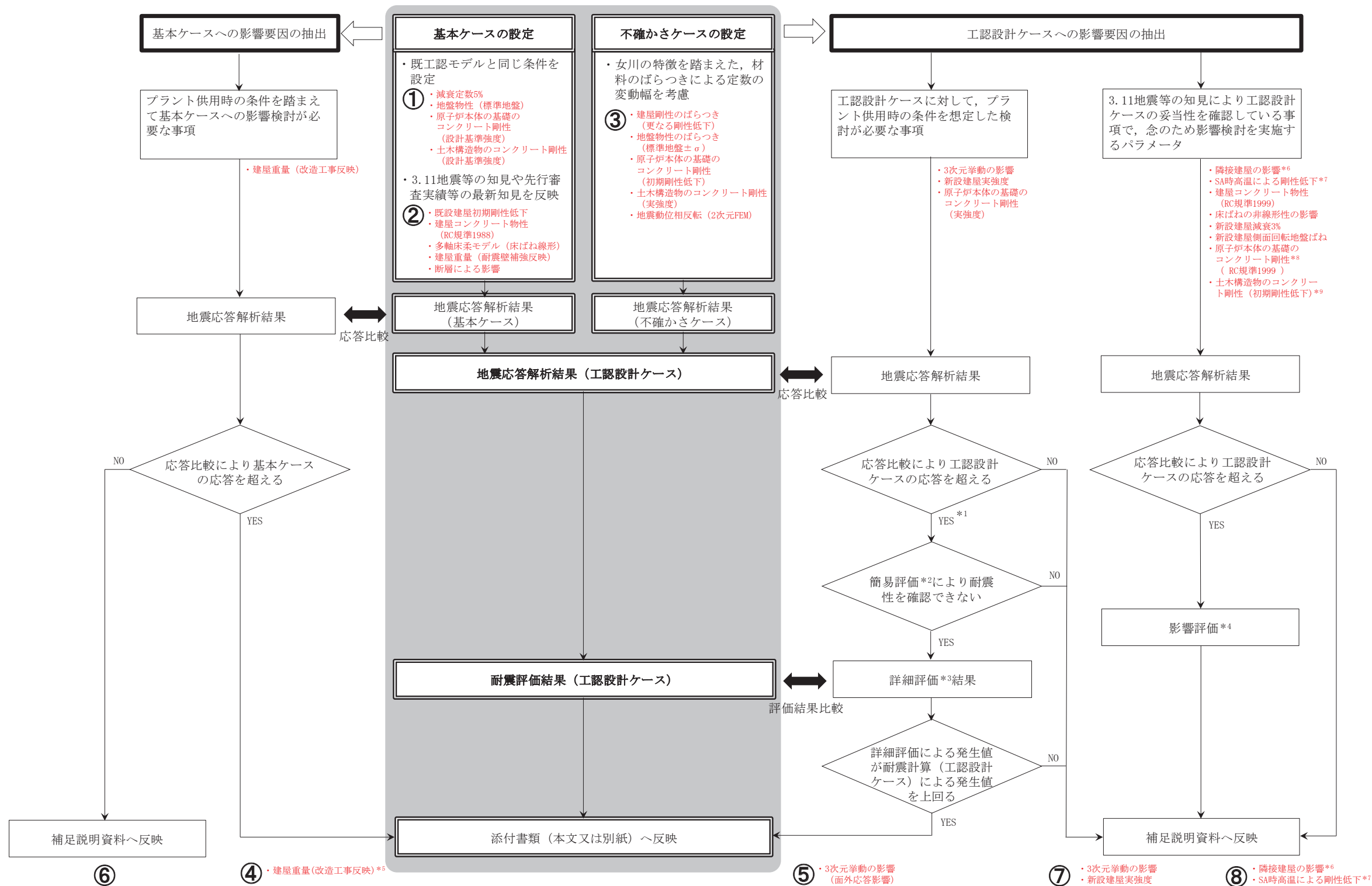
地震応答解析を実施し、工認設計ケースとの応答比較により工認設計ケースの応答を超えないことを確認した場合には、その検討結果を補足説明資料に反映する。

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，設計用床応答曲線，地震力等）に対する工認設計ケースとの比率）と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屋の評価については、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, 設計用床応答曲線, 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: 応答比較, 簡易評価又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: 隣接建屋の影響については、観測記録を用いた検討により隣接建屋による床応答への影響は無いものと判断しており、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及び剛性低下の重量等, より保守的な条件設定としていることから、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: 既工認時におけるRC規準 (1988) に基づき設定しているため、RC規準 (1999) に基づく剛性を算定し、工認設計ケースの剛性との比較により影響を確認する。
 *9: 土木構造物の耐震評価においては、コンクリートの初期剛性の低下は考慮しないが、念のため機器・配管系の耐震評価に適用する床応答の観点から、影響検討項目として整理する。

図1 女川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

表1 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理（建屋）（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		
				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					
建屋（既設建屋）	材料物性	コンクリート剛性	シミュレーション解析に基づく剛性	シミュレーション解析に基づく建屋初期剛性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。	②	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」 添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」 添付書類「VI-2-2-29 第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」 添付書類「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 	
			更なる剛性低下	—	基準地震動 S _s 入力後の建屋全体の平均的な剛性低下を全ての基準地震動 S _s について評価し、最も剛性低下するケースの低下後の剛性を初期剛性の不確かさとして考慮する。	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	③		
			RC 規準 (1988) に基づく物性値	シミュレーション解析にあたっては、既工認モデルをベースに建屋初期剛性の補正係数を設定したため、コンクリート物性値は既工認時における RC 規準 (1988) 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
			RC 規準 (1999) に基づく物性値	—	—	—	現行規準である RC 規準 (1999) に基づく物性値とした場合の応答検討を実施した（原子炉建屋を代表に検討）。工認設計ケースの応答をわずかに上回るものの、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「補足-620-3 原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」別紙 1 原子炉建屋の地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較
			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率に、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=SA 時環境考慮モデルの応答/基本モデルの応答	⑧		<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「補足-620-3 原子炉建屋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屋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	—	—	—	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-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」 添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」 添付書類「VI-2-2-29 第3号機海水熱交換器建屋の地震応答計算書」 添付書類「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	—	地盤調査結果のばらつきを考慮	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	③	
			—	—	—	—	—	—	—	

表1 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理(建屋)(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
				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				
建屋(既設建屋)	地震応答解析モデル	多軸床柔モデル ・原子炉建屋 ・制御建屋	床ばね線形	シミュレーション解析に基づき、床柔モデルを採用する。床ばねのモデル化にあたっては、線形モデルとして設定する。		—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	②	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」 添付書類「VI-2-2-3 制御建屋の地震応答計算書」 添付書類「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
			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た結果、制御建屋では線形範囲であることを確認した。原子炉建屋においては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、工認設計ケースの応答を超えないこと、設計用床応答曲線を超えないこと、床ばねの非線形性が二次格納施設のバウンダリとしての遮へい性、気密性の機能に影響が無いことを確認した。	⑧		
	重量 ・原子炉建屋	既工認をベースにオペフロ上部耐震補強を反映	オペフロ上部の耐震補強による追設耐震壁を地震応答解析モデルに反映していることを踏まえ、その重量増加分も考慮する。	—	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	②	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」 添付書類「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
			改造工事を反映	—	—	<p>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。</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>	<p>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>		

表1 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理（建屋）(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
				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				
建屋（新設建屋）	材料物性	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"> 添付書類「VI-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」 添付書類「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」 添付書類「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
			剛性低下	—	新設建屋は地震の影響を受けていないこと、また評価基準値に対して十分な余裕を有しているため、耐震安全性は基本ケースの解析で確認可能と考えるが、念のため初期剛性の不確かさとして0.8倍を考慮することで設計における保守性を確保する。	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	③	
			実強度	—	—	—	新設建屋であることを踏まえ、コンクリート実強度に基づく剛性による影響検討を実施した。工認設計ケースの応答をわずかに上回るものの、影響評価の結果、耐震性に影響が無いことを確認した。	⑦	
	減衰定数（RC造部）	5%	建屋の減衰定数の設定にあたっては、既往の知見及び女川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-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」 添付書類「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」 補足説明資料「補足-610-1 建屋耐震評価に関する補足説明資料」 添付書類「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1 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理（建屋）（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	
				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				
建屋（新設建屋）	材料物性	減衰定数（RC造部）	3%	—	—	新設建屋であること、また、基準地震動S _s に対する応答が小さいことを踏まえ、念のため減衰定数3%での影響検討を実施した。工認設計ケースの応答をわずかに上回るものの、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「補足-610-10 緊急用電気品建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」別紙1-4 建屋減衰を3%とした場合の影響検討 別紙1-6 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「補足-610-11 緊急時対策建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」別紙1-4 建屋減衰を3%とした場合の影響検討 別紙1-6 影響検討ケースによる機器・配管系の耐震性への影響 	
			地盤物性	標準地盤	地盤調査結果の平均値をもとに設定				—
		標準地盤±σ	—	地盤調査結果のばらつきを考慮	—	—	地震応答を機器・配管系の設計に反映する。	③	
地震応答解析モデル	側面地盤ばね	側面回転地盤ばね無し	側面回転地盤ばね無し	新設建屋については、基礎版の高さまでマンメイドロックを打設することからそのレベルまでは側面地盤ばねを考慮しているが、側面回転地盤ばねは保守的に考慮しない。		—	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-2-2-21 緊急用電気品建屋の地震応答計算書」 添付書類「VI-2-2-23 緊急時対策建屋の地震応答計算書」 添付書類「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
			側面回転地盤ばね有り	—	—				

表1 地震応答に影響を及ぼす不確かさの要因の整理（建屋）(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
				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				
原子炉建屋	隣接建屋の影響	—	—	—	—	隣接建屋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 ・地震観測記録を用いた検討 ・隣接建屋を考慮した応答検討 検討の結果、隣接建屋の影響が小さいことを確認した。		⑧	・補足説明資料「補足-620-5 隣接建屋の影響に関する補足説明資料」
	3次元挙動の影響	—	—	—	—	以下の検討・考察により、3次元挙動の確認を実施し、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		⑧	・補足説明資料「補足-600-5 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」別紙3 原子炉建屋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影響評価条件による床応答曲線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 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 (建屋) ⑤, ⑦ (機器・配管系)	・添付書類「VI-2-12-1_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-600-5 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」別紙2 原子炉建屋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曲線への影響> 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= (3次元FEM/質点系) × (水平2方向鉛直方向/水平1方向)</p>	<p><質点系モデルでは見られない床応答曲線への影響> 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による床応答曲線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 影響確認条件=基本ケース×応答比率</p>	⑦	・補足説明資料「補足-600-5 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について」別紙3 原子炉建屋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

表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)(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		
				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* (建屋-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)	原子炉建屋	コンクリート剛性地盤物性 多軸床柔モデル 重量	—	原子炉建屋の考え方と同じ。		—	<ul style="list-style-type: none"> 添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 添付書類「VI-2-3-2 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格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」 各機器・配管系の耐震性についての計算書 		
	材料物性	原子炉本体の基礎 コンクリート剛性	設計基準強度	原子炉本体の基礎の内部に充填されたコンクリートは, 鋼板に囲まれており, 乾燥収縮の影響はないと考えられることから, 設計基準強度による復元力特性を工認設計ケースとして考慮する。	—	—		①	
			初期剛性低下	—	原子炉本体の基礎の内部に充填されたコンクリートは, 鋼板に囲まれており, 乾燥収縮の影響はないと考えられるが, 念のため建屋側と同様に初期剛性低下を反映した復元力特性を工認設計ケースとして考慮する。	—		③	
			実強度	—	—	—		⑦	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「補足-600-8-3 建屋-機器連成解析モデルにおける原子炉本体の基礎の非線形復元力特性等の設定に関する補足説明資料」
			RC 規準 (年版) の違い	—	—	—		⑧	<ul style="list-style-type: none"> 補足説明資料「補足-600-8-3 建屋-機器連成解析モデルにおける原子炉本体の基礎の非線形復元力特性等の設定に関する補足説明資料」

注記* : 建屋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) (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			
	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* (建屋-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)	材料物性	原子炉本体の基礎 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-620-3 原子炉建屋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屋の重大事故等時の高温による影響
	地震応答解析モデル	重量	既工認をベースにオペフロ上部耐震補強を反映	原子炉建屋の考え方と同じ。		②	・添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」 ・添付書類「VI-2-3-2 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格納容器及び原子炉本体の基礎の地震応答計算書」 ・各機器・配管系の耐震性についての計算書
			改造工事を反映	—	—		

注記*：建屋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 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）

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	コンクリートの設計基準強度に相当する剛性	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
			コンクリートの実強度に相当する剛性	—	実強度に相当するコンクリート剛性は、土木構造物に支配的荷重である土圧が大きく作用する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。	③	
			コンクリートの初期剛性低下	—	—	—	<p>コンクリートの初期剛性低下は土木構造物に支配的荷重である土圧が小さく作用するため工認設計ケースとして考慮しない。</p> <p>ただし、建屋側では、乾燥収縮によるコンクリートの初期剛性低下を考慮していることを踏まえ、念のため機器・配管系の耐震評価に適用する床応答の観点から影響を確認する。</p>	<p>応答比率と裕度の比較による簡易評価及び応答比率を乗じて算定した設計用地震力等による詳細評価の結果、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＝コンクリート初期剛性低下ケースによる応答/工認設計ケースによる応答</p>	

表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）(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	
			位相反転評価（水平動反転）	—	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。	③	
	断層	岩盤トンネルへの断層影響	排気筒連絡ダクト（岩盤部）のように、構造物の周囲が岩盤に覆われており、周辺地盤と断層の剛性差が大きい場合は、断層が無い場合と、構造物の耐震性に最も影響が大きい位置に断層を想定した場合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。	②		