

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	O2-他-F-19-0025_改0
提出年月日	2021年 4月 22日

女川原子力発電所第2号機 建屋の地震影響を踏まえた機器・配管系の 耐震評価について

2021年4月22日
東北電力株式会社

1. 詳細設計申送り事項及びこれに対する回答の観点
2. 東北地方太平洋沖地震後の健全性確認の結果
 - 2.1 東北地方太平洋沖地震後の設備健全性確認結果の概要
 - 2.2 機器・配管系の耐震設計に反映すべき事項
3. 建屋の地震影響を踏まえた機器・配管系の耐震評価
 - 3.1 東北地方太平洋沖地震等の影響を踏まえた建屋の耐震評価に係る検討結果
 - 3.2 機器・配管系の耐震設計に用いる地震応答解析条件
4. 今回工認における耐震評価結果を踏まえた耐震設計への反映事項の妥当性確認
5. まとめ

【参考】 コンクリートと関連する機器・配管系の設備の抽出結果

今回工認における耐震評価結果を踏まえた妥当性確認結果

1. 詳細設計申送り事項及びこれに対する回答の観点

(1) 詳細設計申送り事項

No.	項目	概要
2-6	建屋の地震影響を踏まえた機器・配管系の耐震評価	機器・配管系の耐震評価においては、乾燥収縮及び地震影響による建屋コンクリート部材のひび割れの影響を踏まえた地震応答解析結果に基づいた機器・配管系の耐震評価により設計成立性を説明する。

(2) 申送り事項に対する回答の観点

設置許可段階での議論を踏まえ、以下の観点で建屋の地震影響を踏まえた機器・配管系の耐震評価及びその妥当性を説明する。

- 東北地方太平洋沖地震(3.11/4.7地震)等の影響を踏まえた建屋の耐震評価に係る検討結果を考慮し、機器・配管系の耐震評価に適用する地震応答解析条件を説明する。
- 3.11/4.7地震による設備への疲労影響にも配慮し、今回工認の耐震設計における疲労評価の扱いを説明する。
- 東北地方太平洋沖地震後の健全性確認における構造強度評価対象設備の選定について、今回工認の耐震評価結果における耐震裕度を確認し、健全性確認における評価対象設備の選定の妥当性ととも、耐震設計への反映事項検討の妥当性を説明する。

2. 東北地方太平洋沖地震後の健全性確認の結果

2.1 東北地方太平洋沖地震後の設備健全性確認結果の概要

- 東北地方太平洋沖地震後の健全性確認として、「**实用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則**」に基づき実施した地震後の設備健全性確認(特別な保全計画)における機器・配管系の設備点検結果及び地震応答解析結果は以下のとおり

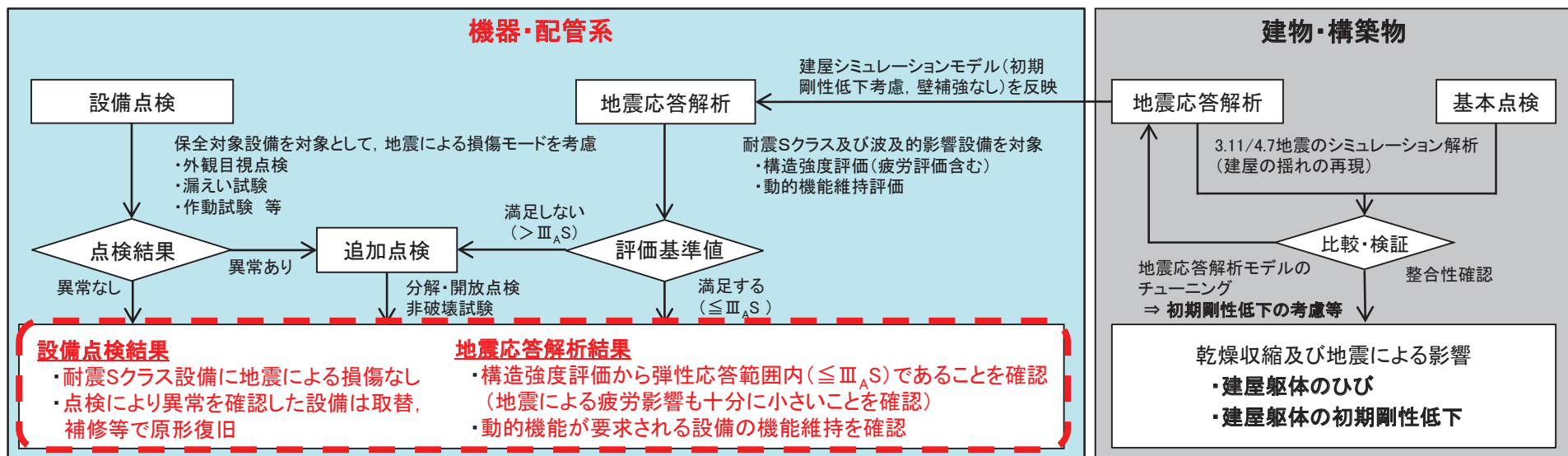
(設備点検結果)

- ・耐震Sクラス設備に地震による損傷なし
- ・点検により異常を確認した設備は取替, 補修等で原形復旧

(地震応答解析結果)

- ・構造強度評価から弾性応答範囲内($\leq \text{III}_A$)であることを確認(地震による疲労影響も十分に小さいことを確認)
- ・動的機能が要求される設備の機能維持を確認

地震後の設備健全性確認の概要



2. 東北地方太平洋沖地震後の健全性確認の結果

2.2 機器・配管系の耐震設計に反映すべき事項

機器・配管系の耐震設計への反映事項は以下のとおり。

(機器・配管系の設備健全性確認の観点)

- 設備健全性確認結果等より、機器・配管系の耐震設計へ反映すべき事項はない。
- ただし、疲労評価における留意事項として、疲労累積係数の評価結果が評価基準値1.0に近接して満足する場合(判断目安:0.99を超える)には、3.11地震及び4.7地震の影響も考慮した詳細評価を行う。

(建屋の乾燥収縮及び地震による影響の観点)

- 機器・配管系の評価のインプットとなる建屋応答については、建屋のひび割れに関する議論を踏まえた地震応答解析モデル用いて算定する。(詳細は3.1参照)

耐震設計への反映事項

機器・配管系

・設備健全性確認結果より、耐震Sクラス設備に地震による損傷はなく、地震応答は弾性応答範囲内である。
・また、耐震B、Cクラス設備のうち異常を確認した設備については、原形に復旧するため、地震による損傷は残らない。(3.11/4.7地震は、設計地震力を超過)
したがって、機器・配管系の設備健全性確認の観点からは、機器・配管系の耐震設計へ反映事項はない。
(なお、疲れ累積係数による疲労評価を実施する場合は、許容限界に対して余裕があることに留意する。)

建屋の乾燥収縮及び地震による影響の観点からは、機器・配管系の耐震設計について、建屋初期剛性低下を考慮した地震応答解析モデル(建屋地震応答解析モデル、建屋一大型機器連成解析モデル)を反映する。

建物・構築物

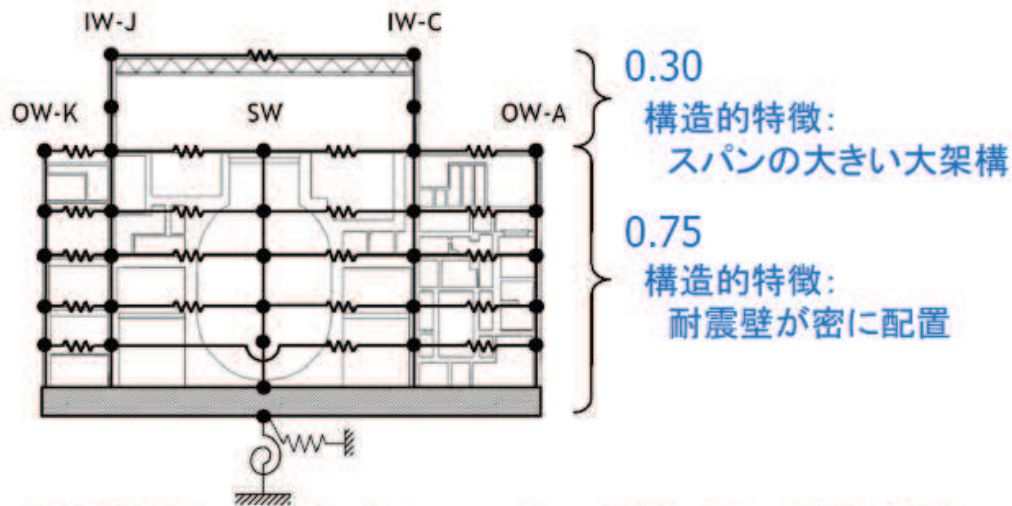
乾燥収縮及び地震による影響を踏まえて、建屋地震応答解析モデルに初期剛性低下を反映する。

3. 建屋の地震影響を踏まえた機器・配管系の耐震評価

3.1 東北地方太平洋沖地震等の影響を踏まえた建屋の耐震評価に係る検討結果

東北地方太平洋沖地震等による建屋コンクリートのひび割れに関する議論を踏まえ、機器・配管系の耐震設計について、初期剛性の低下を反映した解析モデルによる地震応答を用いた評価を実施する。

- 主要建屋で観測された地震観測記録を用いたシミュレーション解析結果から、建屋初期剛性が設計で考慮している初期剛性に比べ、低下している傾向が確認された。
- 建屋のコンクリートの乾燥収縮及び地震による影響の観点からは、機器・配管系の耐震設計について、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建屋応答解析モデルによる地震応答を用いた評価を実施する。



原子炉建屋 NS方向 シミュレーション解析モデルの補正係数

原子炉建屋の初期剛性の設計値に対する補正係数

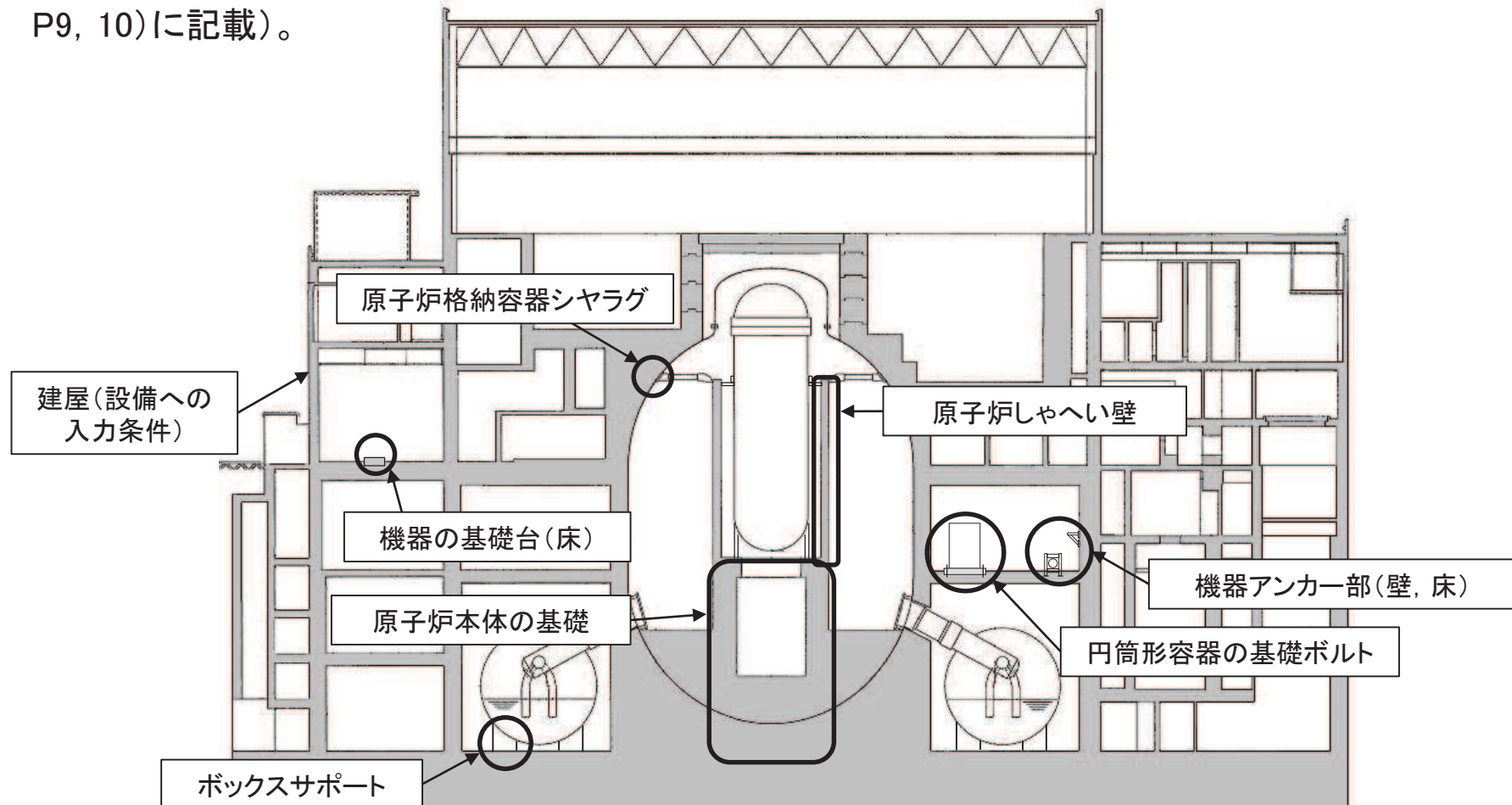
原子炉建屋	NS方向	EW方向
地上3階及びクレーン階 (O.P.33.2mより上部)	0.30	0.50
地下3階～地上2階 (O.P.33.2mより下部)	0.75	0.80

3. 建屋の地震影響を踏まえた機器・配管系の耐震評価

3.2 機器・配管系の耐震設計に用いる地震応答解析条件

機器・配管系の耐震設計に用いる地震応答解析条件に係る検討結果は以下のとおり。

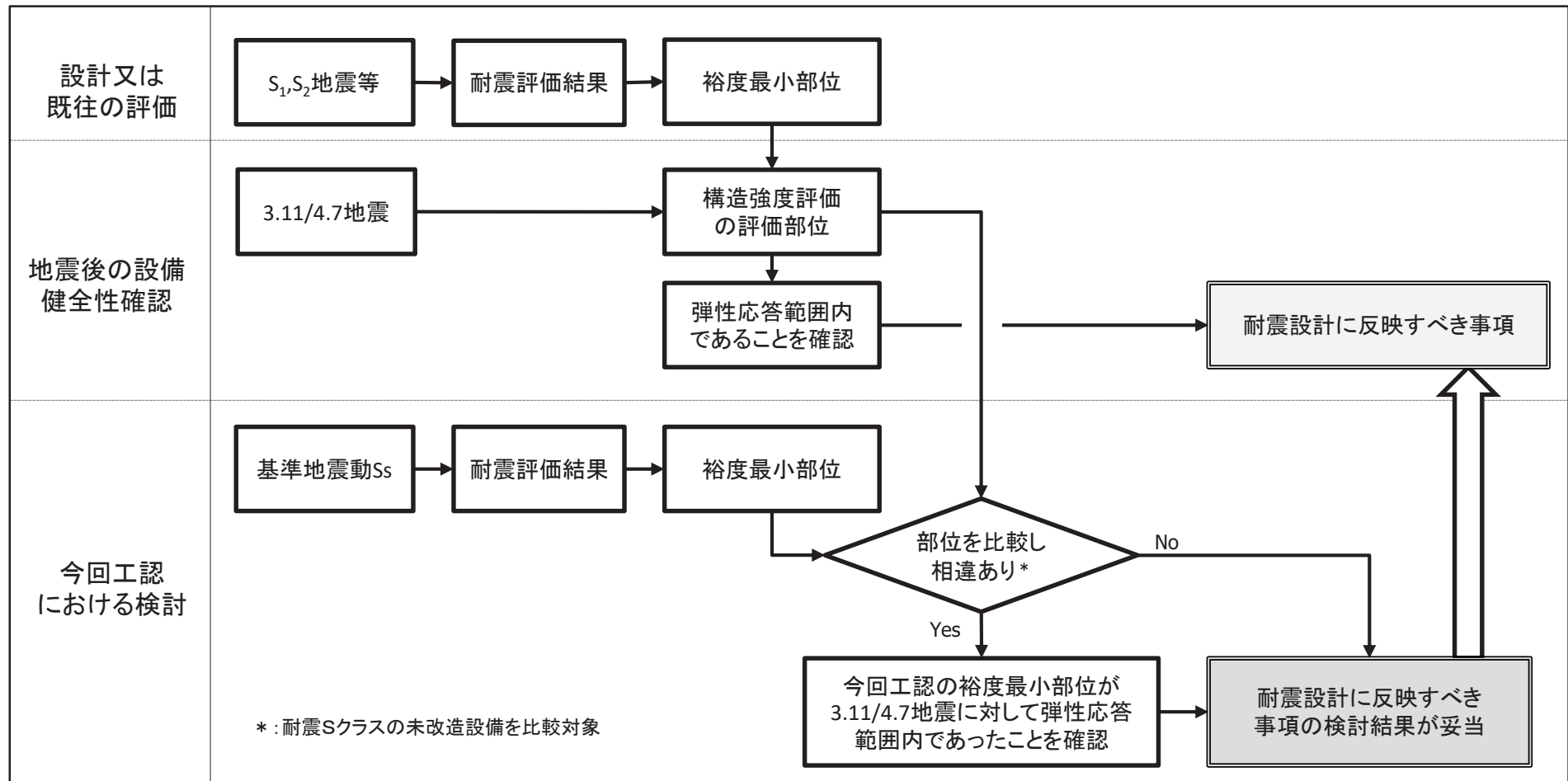
- 乾燥収縮及び地震影響による建屋のコンクリートのひび割れを踏まえ、評価への影響の可能性が考えられる機器・配管系の設備を構造的な分類により抽出し、耐震評価において考慮すべき内容を整理。
- その結果、機器・配管系のうち、コンクリートに関連する機器の基礎台や機器アンカー部等については十分な剛性を有しており、地震応答解析モデルに反映すべき事項はないものと判断（詳細は参考（P9, 10）に記載）。



4. 今回工認における耐震評価結果を踏まえた耐震設計への反映事項の妥当性確認

東北地方太平洋沖地震後の健全性確認における構造強度評価は、設計又は既往評価の裕度最小部位を代表としており、評価用地震動によっては裕度最小部位が変わる可能性があるため、今回工認における耐震評価結果により確認を行った。その結果は以下のとおり。

- 地震後の設備健全性確認と今回工認の裕度最小部位が相違する部位があったものの、今回工認の裕度最小部位が、3.11/4.7地震に対して弾性応答範囲内であったことを確認
- よって、健全性確認の評価対象設備の選定、耐震設計への反映事項検討は妥当であったと判断



5. まとめ

設置許可段階での詳細設計申送り事項「建屋の地震影響を踏まえた機器・配管系の耐震評価」に対し、今回工認の詳細設計段階で以下の検討を行った。

- 東北地方太平洋沖地震(3.11/4.7地震)等の影響を踏まえた建屋の耐震評価に係る検討結果を考慮し、機器・配管系の耐震評価に適用する地震応答解析条件を説明する。

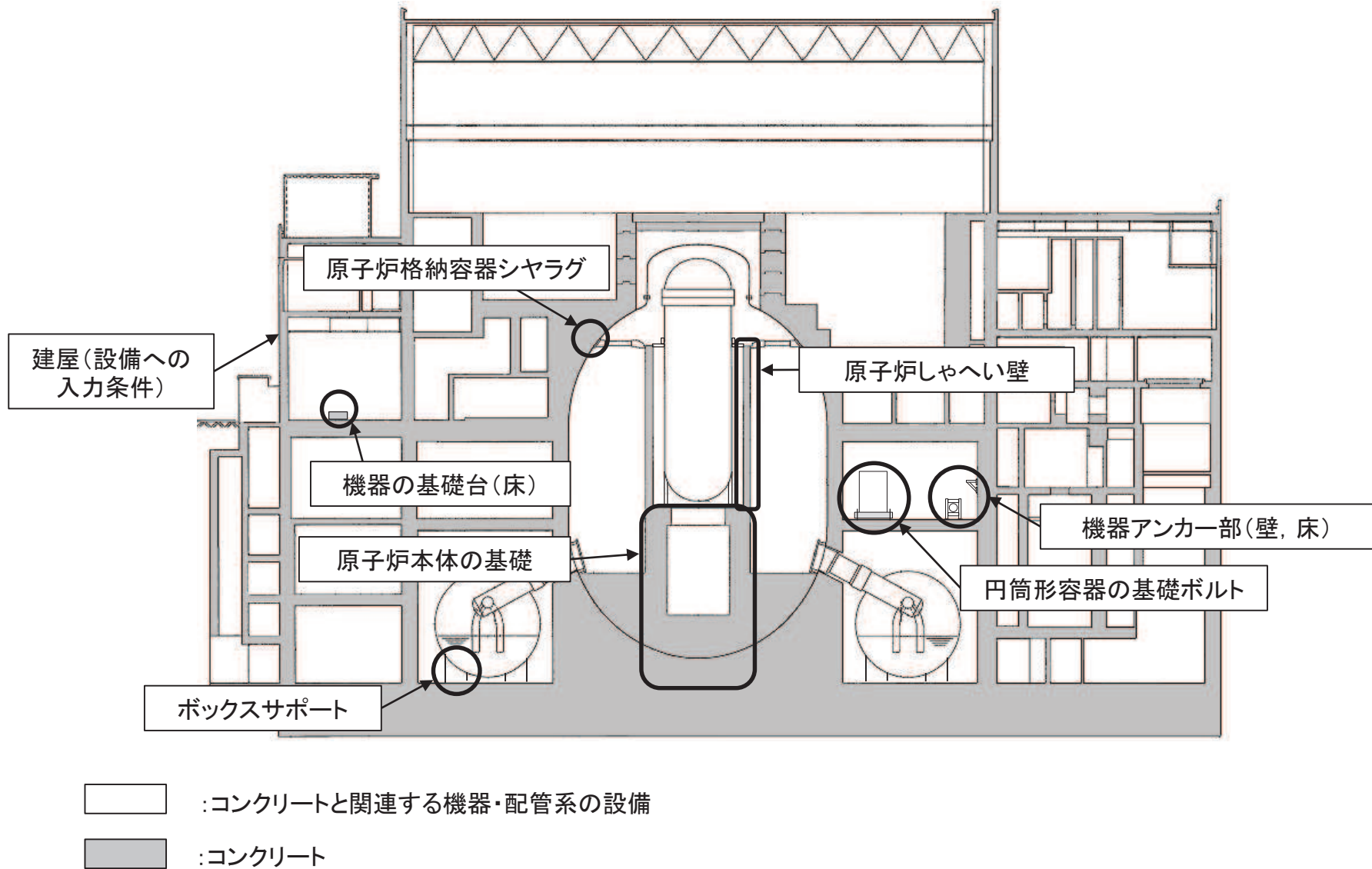
⇒建屋コンクリートの初期剛性低下については、建屋側の工認審査を踏まえて、建屋側と同様の地震応答解析条件を機器・配管系の耐震設計に用いる地震応答解析モデルに反映する。

- 3.11/4.7地震による設備への疲労影響にも配慮し、今回工認の耐震設計における疲労評価の扱いを説明する。

⇒機器・配管系の疲労評価においては、疲労累積係数の評価結果が評価基準値に近接して満足する場合、地震影響も考慮した詳細評価を行う。

- 東北地方太平洋沖地震後の健全性確認における構造強度評価対象設備の選定について、今回工認の耐震評価結果における耐震裕度を確認し、健全性確認における評価対象設備の選定の妥当性ととも、耐震設計への反映事項検討の妥当性を説明する。

⇒耐震設計に反映すべき事項の検討結果が妥当であることの観点から、今回工認の耐震評価における裕度最小部位を確認し、地震後の健全性確認と相違する部位(耐震Sクラスの未改造設備)については、3.11/4.7地震に対して弾性応答範囲内であったことから、耐震設計への反映事項検討は妥当であったと判断した。



* : 第680回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(2019年2月14日) 資料1-3及び
第698回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合(2019年4月2日) 資料1-2-3を再整理

【参考】 コンクリートと関連する機器・配管系の設備の抽出結果

機器・配管系の耐震評価上考慮すべき内容の整理結果

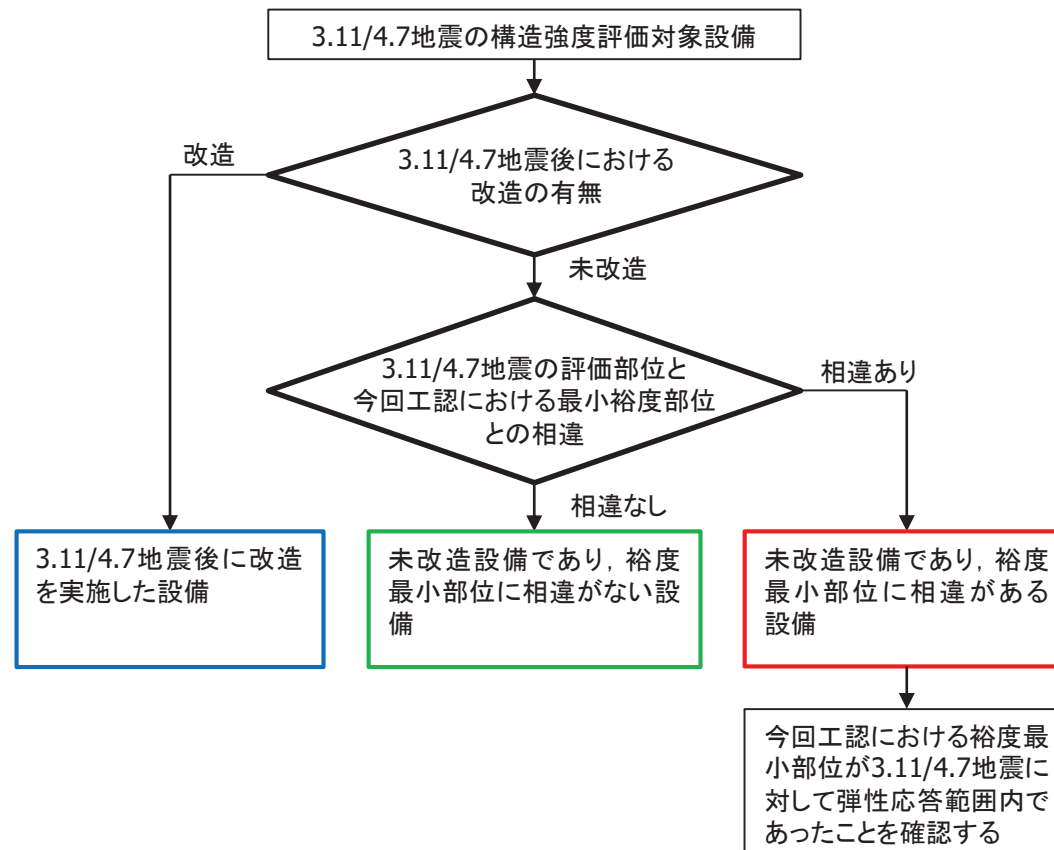
- ▶ 乾燥収縮及び地震影響によるコンクリートのひび割れを踏まえ、評価への影響の可能性が考えられる機器・配管系の設備を構造的な分類により抽出し、抽出された設備の耐震評価において考慮すべき内容を整理する。
- ▶ 耐震評価において考慮すべき内容は、評価対象部位ごとにコンクリートのひび割れに係る影響検討結果(建屋の初期剛性が低下していること、建屋躯体の耐力への影響が小さいこと)、設備の構造特徴等を踏まえて検討を行う。

	評価対象部位	地震応答解析, 発生応力算出に対する考慮	許容限界に対する考慮
「コンクリートのひび割れの影響」	建屋(設備評価への入力条件)	・建屋の初期剛性低下や地盤物性の不確かさを考慮した建屋モデルを用いた地震応答解析を実施する。	—
	原子炉本体の基礎	・原子炉本体の基礎のコンクリートは、鋼板で覆われており、乾燥収縮の影響はないと考えられるが、念のため、建屋側と同様に剛性低下を考慮した地震応答解析を行い、影響を確認して設計へ反映する。	・内部に充填されたコンクリートには、強度を期待せず、鋼板のみで耐える設計とする。【従来同様】
	機器の基礎台	・機器の基礎台は、剛性が十分に大きくなるように設計していることから、コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。	・建屋躯体と同様の構造であり、耐力への影響はないことから、JEAG4601に基づく設計とする。【従来同様】
	機器アンカー一部	・機器アンカー一部は、建屋躯体と十分深い位置で定着させる設計であり、建屋躯体と一体となって挙動するため、コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。	・JEAG4601に基づく設計とする(コンクリートのコーン状破壊の評価において、建屋の面内せん断ひずみ度に応じた低減係数を考慮)。【従来同様】
	円筒形容器の基礎ボルト	・円筒形容器の基礎ボルトは、建屋躯体と十分深い位置で定着させる設計であり、建屋躯体と一体となって挙動するため、コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。	・鋼材のみの物性値により評価を実施している【従来同様】
	原子炉しゃへい壁	・原子炉しゃへい壁は、鋼板の剛性のみを考慮した地震応答解析を実施しているため、コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。【従来同様】	・内部に充填されたモルタルには強度を期待せず、鋼板のみで耐える設計とする。【従来同様】
	原子炉格納容器シヤラグ	・原子炉格納容器シヤラグの地震応答解析に用いるばね定数は、鋼材の物性値により設定されるため、コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。【従来同様】	・コンクリートの圧縮に係る評価には、ひび割れの影響は無視できること、建屋躯体の耐力への影響はないことから、JEAG4601に基づく設計とする。【従来同様】
	ボックスサポート	・ボックスサポートの基礎ボルトは、建屋躯体と十分深い位置で定着させる設計であり、建屋躯体と一体となって挙動するため、コンクリートのひび割れが地震応答解析モデルに与える影響はない。	・コンクリートの圧縮に係る評価には、ひび割れの影響は無視できること、建屋躯体の耐力への影響はないことから、JEAG4601に基づく設計とする。【従来同様】

【参考】 今回工認における耐震評価結果を踏まえた妥当性確認結果

妥当性確認の検討フロー

- 3.11/4.7地震の構造強度評価対象設備について、下図の検討対象設備抽出フローに基づき、3.11/4.7地震後における改造の有無、3.11/4.7地震の評価部位と今回工認における裕度最小部位との相違に着目し、**青枠**、**緑枠**、**赤枠**の区分で分類する。
- **赤枠**に分類された設備を検討対象として、今回工認の耐震評価における裕度最小部位が3.11/4.7地震に対して弾性応答範囲内であったことを確認する。



【参考】 今回工認における耐震評価結果を踏まえた妥当性確認結果 検討結果

- 前頁で**赤字**に分類された設備について、3.11/4.7地震の構造強度評価結果と今回工認における耐震評価結果の比較結果の例を下表に示す。
- ①簡易評価を実施した高圧及び低圧炉心スプレイスパージャについては、今回工認における基準地震動 S_s による算出値(裕度最小部位:ヘッダ)が許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価基準値以下であることを確認しており、3.11/4.7地震は基準地震動 S_s に包絡されることから、今回工認の耐震評価における裕度最小部位は、3.11/4.7地震においても弾性応答範囲内になる。
- ②設計時と同等の評価を実施した炉心シュラウドについては、今回工認における弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s それぞれの耐震評価結果の裕度最小部位(下部胴及び上部サポート支持面)についても3.11/4.7地震の算出値が弾性応答範囲内になることを確認した。
- 今回工認の耐震評価における裕度最小部位が、3.11/4.7地震に対しても弾性応答範囲内であったことから、耐震評価に反映すべき事項はない。

A. 3.11/4.7地震による耐震評価結果									
評価対象設備及び評価箇所		評価用地震動	評価部位	評価項目(応力分類)	算出値 [MPa]	評価基準値(Ⅲ _A S) [MPa]	評価	評価方法※1	
原子炉本体	原子炉圧力容器内部構造物	高圧及び低圧炉心スプレイスパージャ	3.11地震	ティー	一次一般膜応力	10	92	○	①
			4.7地震	ティー	一次一般膜応力	15	92	○	①
	炉心支持構造物	炉心シュラウド	3.11地震	下部胴	一次一般膜応力	69	92	○	②
			4.7地震	下部胴	一次一般膜応力	71	92	○	②

B. S _d 及びS _s それぞれにおける裕度最小部位の耐震評価結果					
評価用地震動	評価部位	評価項目(応力分類)	算出値 [MPa]	評価基準値※2 [MPa]	評価
S _d	ヘッダ	一次膜+一次曲げ応力	16	139	○
S _s	ヘッダ	一次膜+一次曲げ応力	23	223	○
S _d	下部胴	一次一般膜応力	56	92	○
S _s	上部サポート支持面	支圧応力	160	210	○

C. B.の評価部位、評価項目での3.11/4.7地震による耐震評価結果					
評価用地震動	評価部位	評価項目(応力分類)	算出値 [MPa]	評価基準値(Ⅲ _A S) [MPa]	評価
3.11地震	S _s による算出値がⅢ _A S以下であり、3.11/4.7地震に対してもⅢ _A S以下となる				○
4.7地震					
3.11地震	上部サポート支持面	支圧応力	34	158	○
4.7地震	上部サポート支持面	支圧応力	35	158	○

※1 評価方法：①簡易評価、②設計時と同等の評価

※2 評価用地震動がS_dの場合は許容応力状態Ⅲ_AS、S_sの場合は許容応力状態Ⅳ_AS

3.11/4.7地震の構造強度評価対象と異なる評価部位及び評価項目を赤字で示す。