

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-他-067改17
提出年月日	2023年3月2日

島根原子力発電所第2号機

工事計画認可申請（補正）に係る論点整理について

2023年3月
中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

Energia

■ 説明内容

- 工事計画認可申請（補正）に係る論点について、審査の中で説明を行った以下の主な説明事項の確認結果を説明する。

【機器・配管関係】

分類	No. (主な説明事項)	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り事項	1-3	横置円筒形容器の応力解析への F E Mモデル適用方針の変更	P.2~6
	1-7	浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S s に対する許容限界	P.7~9
[4] その他の詳細設計に係る説明事項	4-2	原子炉本体の基礎の応力評価に用いる解析モデルの変更	P.10
	4-3	復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響	P.11,12
	4-4	制御棒・破損燃料貯蔵ラック等における排除水体积質量減算の適用	P.13,14

【1-3】横置円筒形容器の応力解析へのFEMモデル適用方針の変更（1/5）

【詳細設計申送り事項に対する回答】

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	横置円筒容器へのFEMモデルの適用について、適用評価部位は容器（脚取付け部）以外の脚や基礎ボルトも含むのか説明すること。また、モデル化の詳細及び建設時の公式等による評価の条件、結果との比較について、詳細設計段階で説明すること。	A	設置変更許可審査では、横置円筒形容器の評価部位のうち胴にFEMモデル（シェルモデル）を用いた耐震評価を行う方針としていたが、今回工認では必要に応じて耐震補強工事を実施のうえ、J E A G 4 6 0 1 - 1987に基づく耐震評価を行う方針に見直した。	P.3~6

【1-3】横置円筒形容器の応力解析へのFEMモデル適用方針の変更（2/5）

1. 概要

- 横置円筒形容器の理論式による応力評価では、胴の脚付け根部の応力評価に用いる有効板厚に判定基準（次頁図1参照）を設けており、既設当板の範囲が狭く、判定基準を満たさない場合には有効板厚に当板の板厚を考慮できず、発生値が大きくなる。
- 設置変更許可審査では、既設当板が判定基準を満たせないことにより、理論式による胴の応力評価で発生値が許容値を上回る見込みとなる容器について、胴の応力評価の精緻化を目的としてFEMモデル（シェルモデル）を用いた耐震評価を行う方針としていた。
- 今回工認では、既工認同様の耐震評価を実施する方針とし、理論式による応力評価において発生値が大きくなり、許容値を上回る場合には当板拡張工事を含めた耐震補強工事を実施をする（表1参照）。

表1 横置円筒形容器の耐震評価方法の変更内容

	評価部位	既工認	設置変更許可審査	今回工認
応答解析方法	胴	理論式又は はりモデル※1	FEMモデル (胴の応力評価と対応)	理論式又は はりモデル※2
	脚		理論式又ははりモデル	
	基礎ボルト			
応力評価方法	胴	理論式 (胴の脚付け根部の応力評価における有効板厚に判定基準はなく、有効板厚に当板の板厚を考慮)	FEMモデル (胴の応力評価を精緻化)	理論式 (胴の有効板厚の判定基準に基づいて当板拡張工事を実施し、有効板厚に当板の板厚を考慮)
	脚		理論式	
	基礎ボルト			
考え方		JEAG4601-1987発行前であったが、JEAG4601-1987と同等の評価方法を適用していた。JEAG4601-1987には胴の脚付け根部の応力評価における有効板厚の判定基準は記載されておらず、当時は有効板厚に当板の板厚を考慮していた。	知見の反映として、胴の脚付け根部の応力評価において有効板厚に判定基準を設けることとし、当該判定基準に基づいて評価を行い、有効板厚に当板を考慮できないことにより発生値が許容値を上回るものについては、精緻な応力評価を実施することを目的としてFEMモデルを用いた評価を行う方針としていた。	耐震補強工事として有効板厚の判定基準に基づいて、有効板厚に当板の板厚を考慮可能となるように当板を拡張する工事について検討した結果、当板拡張工事の成立性の見通しが得られたことから、当板拡張工事を実施のうえ従来同様の理論式による応力評価を行う方針とした。

※1：JEAGの理論式を適用できない容器として、多段式の熱交換器に適用。

※2：JEAGの理論式を適用できない容器として、脚数が3脚以上又は脚に耐震補強サポートを追設した容器に適用。

➤ 既設当板の範囲が狭く、図1の判定基準を満たさない場合には有効板厚に当板の板厚を考慮できず、胴の応力の発生値が大きくなるため、許容値を上回る場合には、図2の当板拡張工事を含めた耐震補強工事を実施する（当板拡張工事の対象は表2参照）。

図 5-2 脚付け根部の有効範囲

胴の脚付け根部に取り付く当板の大きさが

周方向範囲 $\theta_w \geq \frac{\theta_0}{6} \dots \dots \dots (5.3.1.1.13)$

長手方向範囲 $l_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right) \cdot t} \dots \dots \dots (5.3.1.1.14)$

である場合、脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さと当板の厚さの合計とする。また、当板が上記の範囲を満たさない場合、 t_e は胴板の厚さとする。

注記*1：引用文献(1)より引用
*2：引用文献(3)より引用

7. 引用文献
(1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
(3) 日本産業規格 J I S B 8 2 7 8 (2003) 「サドル支持の横置圧力容器」

図1 有効板厚 t_e の判定基準
(VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」抜粋)

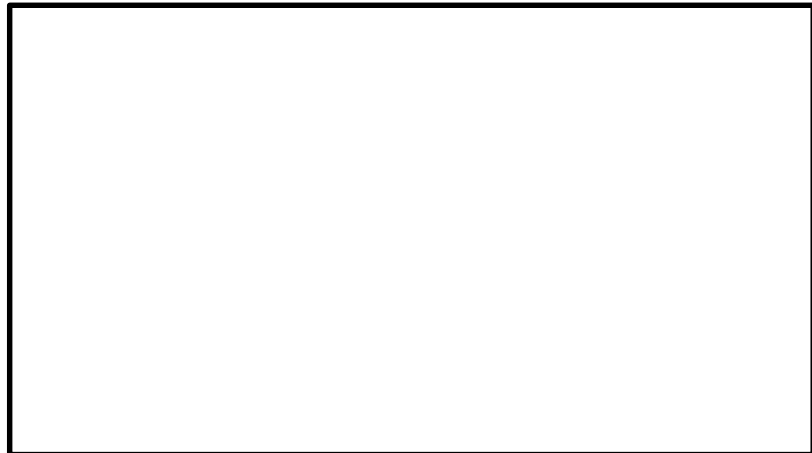


図2 当板拡張工事の概要（長手方向の例）

表2 当板拡張工事の対象設備

No.	設備名称	当板の拡張方向
1	燃料プール冷却系熱交換器	長手方向
2	非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	長手方向及び周方向
3	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	長手方向及び周方向
4	原子炉補機冷却系熱交換器	長手方向
5	高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	長手方向
6	原子炉浄化系補助熱交換器	長手方向
7	非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料貯蔵タンク	長手方向
8	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料貯蔵タンク	長手方向

2. 確認結果

- 今回工認では必要に応じて耐震補強工事を行うこととし、従来と同様にJEAG4601-1987に基づく耐震評価により耐震性を確認した（図3参照）。

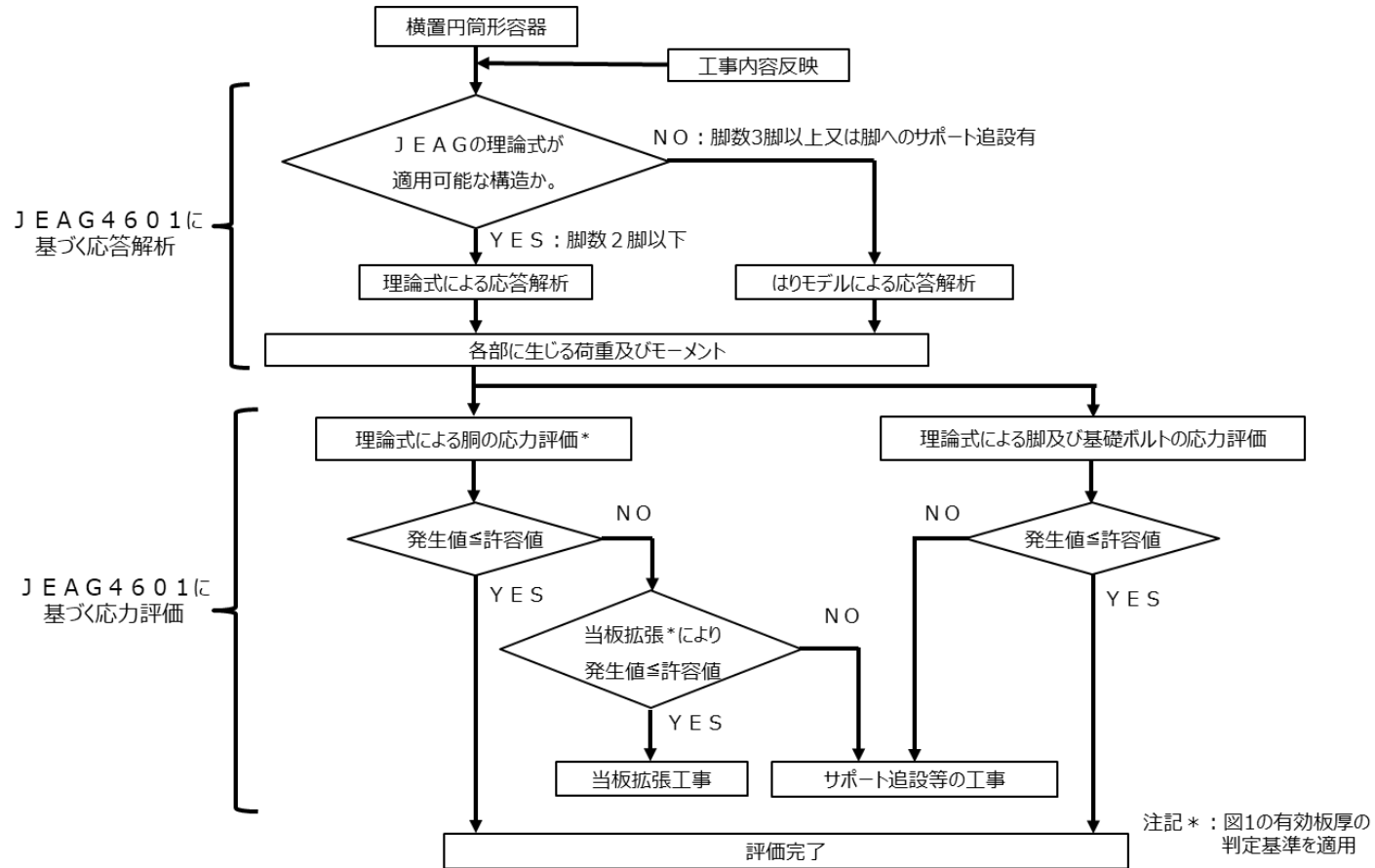


図3 耐震評価フロー

3. 前回説明からの変更点

- 第1018回審査会合（2021年12月7日）においては、応答解析においてはF E Mモデル（シェルモデル）を使用せず、胴の応力評価にのみF E Mモデルを用いた耐震評価方法を行う方針としていたが、当板拡張工事の成立性が見通しが得られたことから、当板拡張工事を実施のうえ従来同様の理論式による応力評価を行う方針に変更した。

表2 前回説明からの変更内容

	評価部位	変更前（第1018回審査会合説明時）	変更後（今回）
応答解析 方法	胴	理論式又ははりモデル	理論式又ははりモデル
	脚		
	基礎ボルト		
応力評価 方法	胴	F E Mモデル (胴の応力評価のみ精緻化)	理論式 (胴の有効板厚の判定基準に基づいて当板拡張工事を実施し、有効板厚に当板の板厚を考慮)
	脚	理論式	
	基礎ボルト		
考え方		有効板厚の判定基準に基づいて評価を行い、有効板厚に当板を考慮できないことにより発生値が許容値を上回るものについては、精緻な応力評価を実施することを目的として応力評価にのみF E Mモデルを用いる方針としていた。	耐震補強工事として有効板厚の判定基準に基づいて、有効板厚に当板の板厚を考慮可能となるように当板を拡張する工事について検討した結果、当板拡張工事の成立性が見通しが得られたことから、当板拡張工事を実施のうえ従来同様の理論式による応力評価を行う方針とした。

4. 説明図書

- NS2-補-027-10-50「横置円筒形容器の耐震評価方法について」

【1-7】 浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S_s に対する許容限界 (1/3)

【詳細設計申送り事項に対する回答】

No.	詳細設計申送り事項	分類	回答	回答頁
1	<p>浸水防止設備のうち機器・配管系の耐震設計は、従来からの耐震 S クラスの機器・配管系の方針を適用することを明確にするため、詳細設計段階の「耐震設計の基本方針」の「荷重の組合せと許容限界」等で、従来からの耐震 S クラスのものを適用する旨を記載すること。</p> <p>S クラスの機器・配管系の耐震設計の適用は、下位クラス設備との接続部の影響を含む波及的影響や許容応力状態Ⅲ A S の評価用地震力の設定等を踏まえたものとする。</p>	B	<p>浸水防止設備のうち機器・配管系の評価は、従来からの耐震 S クラスの機器・配管系に示す手法に準拠することとしている。具体的な荷重の組合せと許容限界は、基準地震動 S_s に対しては許容応力状態Ⅳ A S を、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対しては許容応力状態Ⅲ A S を設定している。</p> <p>また、浸水防止設備のうち機器・配管系を主要設備の適用範囲として、波及的影響を考慮すべき施設について設定している。</p>	P.8～9

【1-7】 浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S_s に対する許容限界 (2/3)

1. 概要
 - 浸水防止設備のうち機器・配管系の耐震設計について，従来からの耐震 S クラスの機器・配管系の方針を適用する。また，機器・配管系の耐震設計の適用は，下位クラスとの接続部の影響を含む波及的影響や許容応力状態ⅢAS の設計用地震力の設定を踏まえたものとする。
2. 確認結果
 - 浸水防止設備のうち機器・配管系の荷重の組合せ及び許容応力状態を表 1 に，対象設備を表 2 に示す。

表 1 荷重の組合せ及び許容応力状態（浸水防止設備
（管，ポンプ，隔離弁（弁箱）及び支持構造物））

耐震クラス	荷重の組合せ	許容応力状態
S	$D + P_D + M_D + S_{d^*}$	ⅢAS
	$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣAS

D：死荷重

P_D ：当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

M_D ：当該設備に設計上定められた機械的荷重

S_{d^*} ：弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力

S_s ：基準地震動 S_s により定まる地震力

【1-7】 浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S_s に対する許容限界 (3/3)

表 2 対象設備一覧

区分		設備
浸水防止設備	ポンプ	タービン補機海水ポンプ
		循環水ポンプ
	配管	タービン補機海水系配管
		循環水系配管
		原子炉補機海水系配管（放水配管）
		高圧炉心スプレイ補機海水系配管（放水配管）
		タービン補機海水系配管（放水配管）
		液体廃棄物処理系配管
	隔離弁	タービン補機海水系隔離システム（漏えい検知器，タービン補機海水ポンプ出口弁及び制御盤）
		タービン補機海水系逆止弁
		液体廃棄物処理系逆止弁

3. 説明図書

- 「VI-2-1-1 耐震計算の基本方針」
- 「VI-2-1-4 耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針」
- 「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」
- 「VI-2-10-11 隔離弁，機器・配管の耐震性についての計算書」

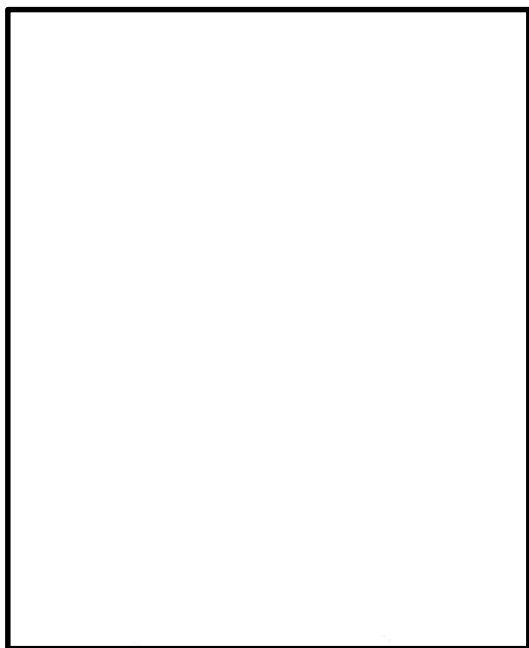
【4-2】原子炉本体の基礎の応力評価に用いる解析モデルの変更

1. 概要

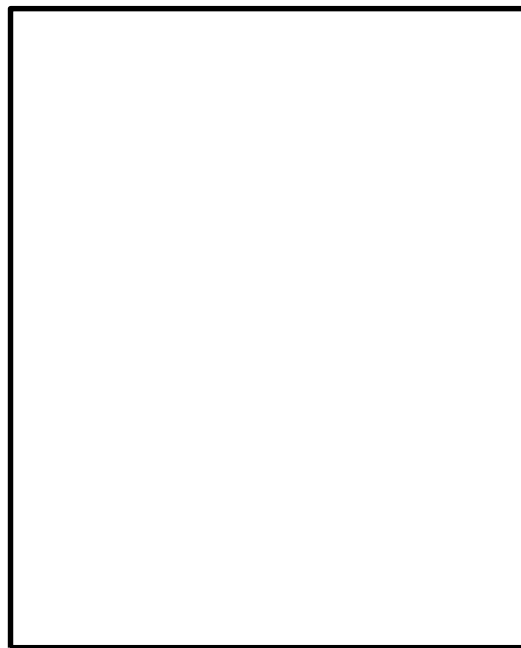
- 原子炉本体の基礎の応力評価において、より精緻で現実的な解析を行うため、解析モデル及び負担する荷重の考え方を既工認から見直す。

2. 確認結果

- 既工認において原子炉本体の基礎は90°モデルを用いて評価を行っていたが、今回工認では、制御棒駆動機構搬出入用開口部等の非対称に存在する開口部を精緻に評価することを目的に、開口部をモデル化した360°のモデルに変更した。変更後のモデルにおいて、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。



既工認（90°モデル）



今回工認（360°モデル）

図1 原子炉本体の基礎の応力解析モデル

3. 説明図書

- NS2-補-027-10-39「原子炉本体の基礎の耐震計算に関する補足説明資料」

【4-3】復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響（1/2）

1. 概要

- タービン建物への津波流入防止及び地震による溢水量低減を目的に復水器水室出入口弁を閉止する必要があり、地震時に復水器の移動（ずれ）や水室の落下により水室出入口弁に影響がないことを確認する。
- 精緻な評価を実施することを目的とし、耐震上考慮すべき復水器の強度部材を3次元解析モデルにて作成し、キーサポート等の摺動部分のすべりについて摩擦を考慮した非線形時刻歴応答解析を実施する。
- 非線形時刻歴応答解析により、復水器水室に作用する荷重、耐震サポート及び復水器基礎部に発生する荷重、復水器水室フランジ部の変位を確認する。

表1 復水器解析条件

材料物性	縦弾性係数	
	ポアソン比	
減衰定数		
摩擦条件	摺動部	
モデル節点数, 要素数		
要素の種類	質点	
	はり要素	
	シェル要素	
	ソリッド要素	

図1 復水器解析モデル図

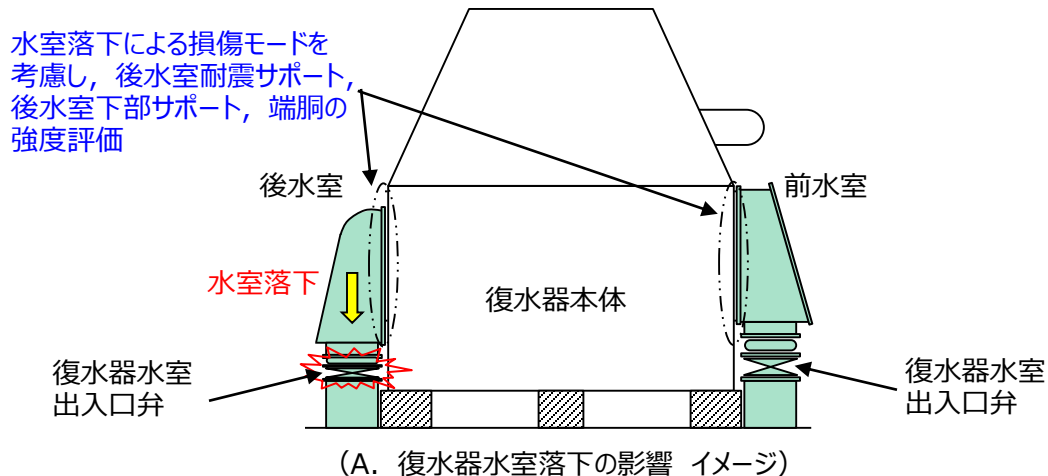
【4-3】復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響（2/2）

2. 確認結果

- 復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響評価を実施した結果、水室出入口弁に影響がないことを確認した。

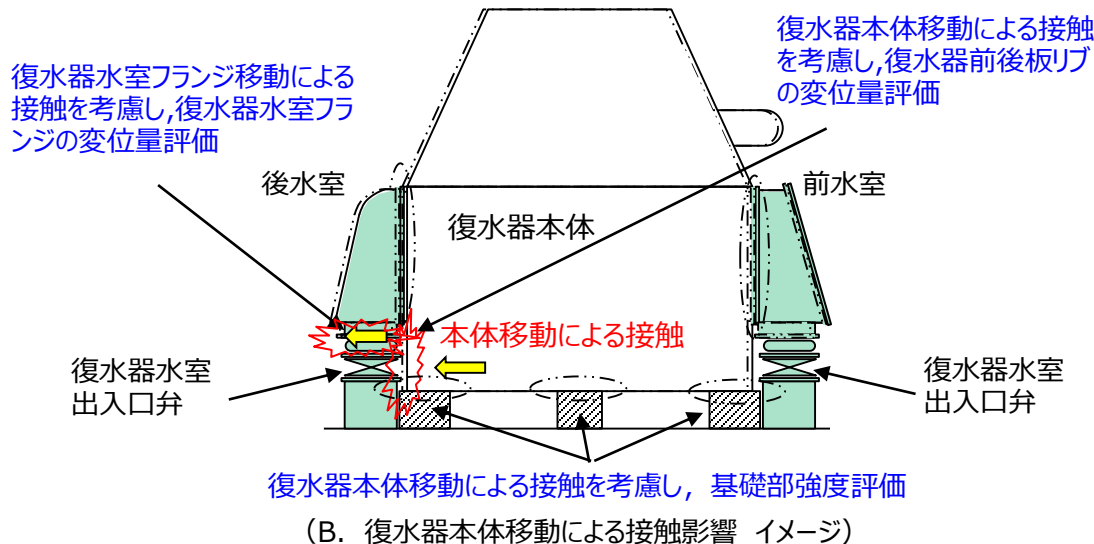
A. 復水器水室落下の影響評価

- 後水室耐震サポート、後水室下部サポート、端胴の強度評価を実施し、算出応力は許容応力以下であることから、地震時に水室落下による水室出入口弁への影響を及ぼさないことを確認した。



B. 復水器本体移動による接触影響評価

- 復水器基礎、復水器基礎コンクリートの強度評価を実施した結果、十分な構造強度を有することを確認したため、水室出入口弁に影響がないことを確認した。
- 復水器水室フランジ及び前後板リブ変位量の評価を実施した結果、算出変位量は許容変位量以下であることを確認したため、水室出入口弁に影響がないことを確認した。



3. 説明図書

- NS2-補-015「工事計画に係る補足説明資料（発電用原子炉施設の溢水防護に関する説明書）」

【4-4】制御棒・破損燃料貯蔵ラック等における排除水体積質量減算の適用 (1/2)

1. 概要

- 使用済燃料貯蔵プール内に設置される制御棒・破損燃料貯蔵ラック等の耐震設計においては、従来より二重円筒モデルの考え方にに基づき、流体の抵抗による影響（付加質量）を考慮しているが、基準地震動のレベル増大に伴い、加えて新たに流体と構造物の相互作用による影響（排除水体積質量）を考慮した耐震計算を行う。

$$\text{付加質量（従来より考慮）} : m_v = \pi a^2 L \rho$$

$$\text{排除水体積質量（今回工認で追加で考慮）} : -M_d = -\pi a^2 L \rho$$

Md : 排除水体積質量
L : 内筒および外筒の長さ
a : 内筒の外半径
ρ : 流体の密度

- 気中の振動と比較し、水中の振動によって固有振動数，構造物に対する入力加速度は以下となる。

$$\text{固有振動数} : \sqrt{\frac{M}{M + m_v}} \text{ 倍}$$

（従来より考慮）

M : 内筒の質量
mv : 付加質量
Md : 排除水体積質量
F : ラックに加わる力
α : 加速度

$$\text{構造物に対する入力加速度} : \frac{M - M_d}{M + m_v} \text{ 倍}$$

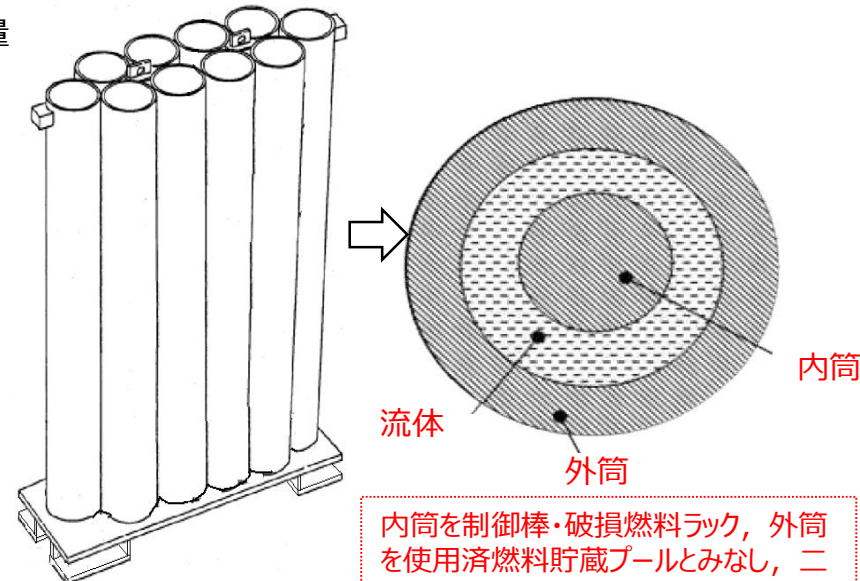
（今回工認で追加で考慮）

- 排除水による応答低減効果を考慮した発生荷重は以下となる。

排除水による応答低減を考慮した荷重 :

$$F = (M + m_v) \left\{ \frac{M - M_d}{M + m_v} \alpha \right\} = (M - M_d) \cdot \alpha$$

従来は、Md=0としていた項を考慮する。



制御棒・破損燃料貯蔵ラック

内筒を制御棒・破損燃料ラック，外筒を使用済燃料貯蔵プールとみなし，二重円筒のモデルを適用する。

【4-4】制御棒・破損燃料貯蔵ラック等における排除水体积質量減算の適用 (2/2)

2. 確認結果

- 今回工認にて、新たに排除水体积質量の考慮による応答低減の効果を織り込んで耐震評価を実施した設備を以下に示す。設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

設備	既工認 応答低減考慮	今回工認 応答低減考慮
原子炉中性子計装案内管	無	有
使用済燃料貯蔵ラック	無	有
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	無	有
原子炉補機海水ポンプ	有*1	有*2
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	有*1	有*2
出力領域計装	無	有
制御棒貯蔵ハンガ	無	有

*1：コラムパイプと内側構造間は水の付加質量と応答低減を考慮し、コラムパイプと外側の水の影響は付加質量を考慮した。

*2：コラムパイプと内側構造間は水の付加質量と応答低減を考慮し、コラムパイプと外側の水の影響は付加質量と応答低減を考慮した。

3. 説明図書

- NS2-補-027-10-13 「排除水質量の考慮による応答低減の考慮」

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況 (1/2)

分類	No.	主な説明事項	説明状況	
[1]詳細設計 申送り事項	1-1	地震応答解析モデルにおける建物基礎底面の付着力	第1054回審査会合にて説明済	
	1-2	建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価	第1067回審査会合にて説明済	
	1-3	横置円筒形容器の応力解析への F E Mモデル適用方針の変更	今回説明	
	1-4	サプレッションチェンバの耐震評価	第1096回審査会合にて説明済	
	1-5	漂流物衝突荷重の設定	第1067,1096回審査会合にて説明済 漂流物対策工及び漂流防止装置については第1119回審査会合にて説明済	
	1-6	機器・配管系への制震装置の適用	【三軸粘性ダンパ】	第1067回審査会合にて説明済
			【単軸粘性ダンパ】	第1112回審査会合にて説明済
	1-7	浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動 S_s に対する許容限界	今回説明	
	1-8	設計地下水位の設定	第1067回審査会合にて説明済	
	1-9	防波壁 【多重鋼管杭式擁壁】	• 多重鋼管杭の許容限界について模型実験及び3次元静的 F E M解析による確認	第1096回審査会合にて説明済
			• 防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等の説明	第1112回審査会合にて説明済
			• 鋼管杭周辺岩盤の破壊に伴う鋼管杭の水平支持力の評価	第1112回審査会合にて説明済
			• 3次元静的 F E M解析による被覆コンクリート壁の健全性評価	第1112回審査会合にて説明済
		防波壁 【逆T擁壁】	• 役割に期待しない鋼管杭による逆T擁壁への悪影響の確認	第1096回審査会合にて説明済
• 杭頭部の力学挙動について模型実験による確認			第1096回審査会合にて説明済	
• グラウンドアンカのモデル化を踏まえた健全性評価及び品質管理			第1096回審査会合にて説明済	
• 改良地盤の範囲及び仕様等の説明 (P S 検層等に基づく)			第1067回審査会合にて説明済 現地施工進捗に伴う品質確認試験結果については今回説明	
• 基礎底面の傾斜に対する健全性評価			第1096回審査会合にて説明済	

<参考> 審査会合における主な説明事項の説明状況 (2/2)

分類	No.	主な説明事項		説明状況
[1] 詳細設計 申送り事項	1-9	防波壁 【波返重力 擁壁】	・ 既設と新設コンクリートとの一体性について模型実験等による確認	第1112回審査会合にて説明済
			・ ケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明	第1119回審査会合にて説明済
			・ 3次元静的 F E M解析によるケーソンの健全性評価	第1119回審査会合にて説明済
	1-10	土石流影響評価		第1119回審査会合にて説明済
	1-11	保管・アクセス (抑止杭)		第1054回審査会合にて説明済
	1-12	ブローアウトパネル閉止装置		第1036,1054回審査会合にて説明済
1-13	非常用ガス処理系吸込口の位置変更による影響		第1036,1054回審査会合にて説明済	
1-14	原子炉ウェル排気ラインの閉止及び原子炉ウェル水張りラインにおけるドレン弁の閉運用による影響		第1036回審査会合にて説明済	
[2] 新たな規制要求 (バック フィット) への 対応事項	2-1	安全系電源盤に対する高エネルギーアーク (HEAF) 火災対策		第1054回審査会合にて説明済
	2-2	火災感知器の配置		今回説明
[3] 設置変更 許可審査時からの設計変更 内容	3-1	ドライウェル水位計 (原子炉格納容器床面 + 1.0m) 設置高さの変更		第1119回審査会合にて説明済
	3-2	格納容器酸素濃度 (B系) 及び格納容器水素濃度 (B系) 計測範囲の変更		第1036回審査会合にて説明済
	3-3	第4保管エリアの形状変更		第1119回審査会合にて説明済
	3-4	放射性物質吸着材の設置箇所の変更		第1119回審査会合にて説明済
	3-5	除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う浸水防止設備の変更		第1119回審査会合にて説明済
[4] その他の 詳細設計に係る 説明事項	4-1	配管系に用いる支持装置の許容荷重の設定		第1067回審査会合にて説明済
	4-2	原子炉本体の基礎の応力評価に用いる解析モデルの変更		今回説明
	4-3	復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響		今回説明
	4-4	制御棒・破損燃料貯蔵ラック等における排除水体積質量減算の適用		今回説明
	4-5	取水槽		第1112回審査会合にて説明
	4-6	制御室建物基礎スラブの応力解析における付着力の適用及び原子炉建物基礎スラブの応力解析モデルの変更		第1119回審査会合にて説明済