

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

■ 説明内容

- 工事計画認可申請（補正）に係る論点について，第1018回審査会合（2021年12月7日）にて示した主な説明事項を含め，審査の中で論点として整理された項目について説明する。本日説明する主な説明事項は以下のとおり。

【土木構造物関係】

分類	No. (主な説明事項)	項目	回答頁
[1] 詳細設計申送り事項	1-9	防波壁（逆T擁壁直下の改良地盤の品質確認試験結果）	P.3～8

■ その他説明内容

- 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.10～14
	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.15～18
[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.19
	4-3	復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響	P.20,21
	4-4	制御棒・破損燃料貯蔵ラック等における排除水質量減算の適用	P.22,23

【1-9】防波壁

【防波壁の各構造形式における主な論点】

➤ 表 1 の赤枠に示す防波壁（逆T擁壁）における主な論点等を踏まえた詳細設計の結果について説明する。

表 1 防波壁の各構造形式における主な論点

防波壁の構造形式	主な論点
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 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 防波壁背後の改良地盤の範囲及び仕様等の説明 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 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
防波壁 (逆T擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 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 杭頭部の力学挙動について模型実験による確認 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 改良地盤の範囲及び仕様等の説明（P S 検層等に基づく）* 基礎底面の傾斜に対する健全性評価
防波壁 (波返重力擁壁)	<ul style="list-style-type: none"> 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 ケーソン中詰材改良の範囲及び仕様等の説明 3次元静的 F E M 解析によるケーソンの健全性評価

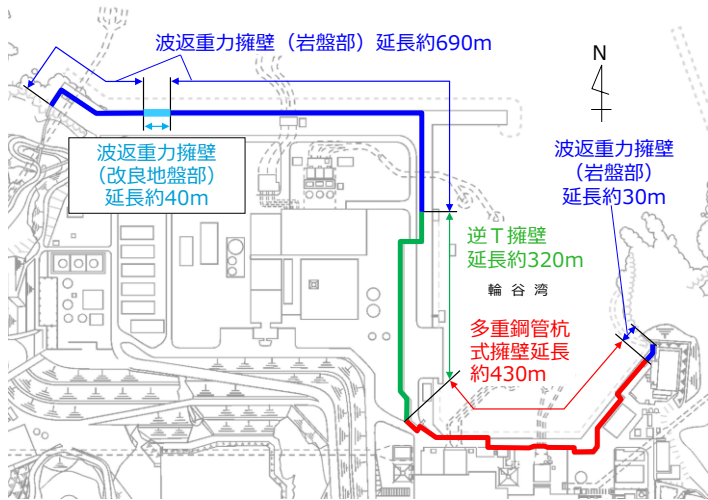


図 1 防波壁の位置図

注記*：現地施工進捗に伴う品質確認試験結果以外については説明済み

□：今回説明する論点 青字：説明済みの論点

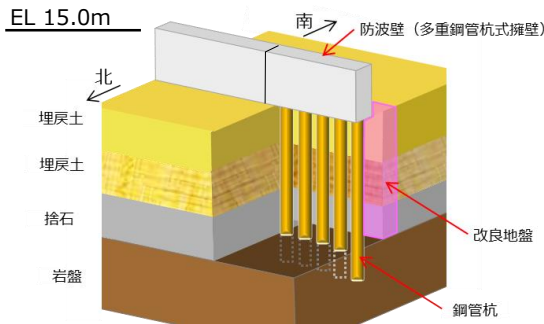
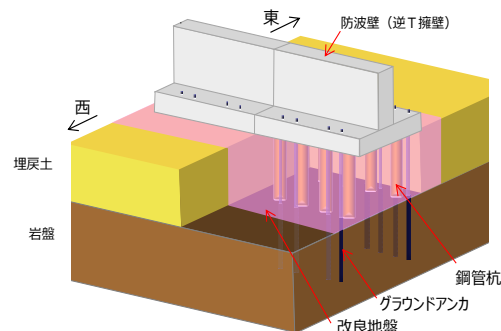
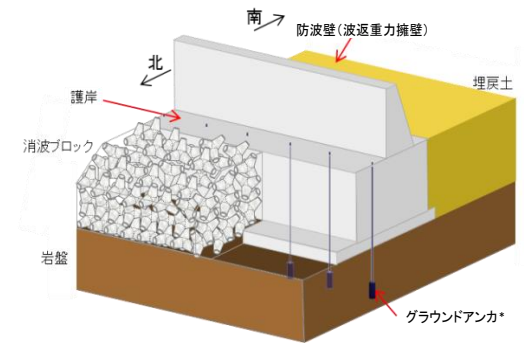


図 2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図



注記*：防波壁（逆T擁壁）は鋼管杭の効果期待せずに耐震評価を行う。
図 3 防波壁（逆T擁壁）の構造概要図



注記*：防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカの効果期待しない設計とする。
図 4 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図

【1-9】防波壁（逆T擁壁直下の改良地盤の品質確認試験結果）

【1-9】防波壁（逆T擁壁直下の改良地盤の品質確認試験結果）（1/4）

【設置変更許可審査を踏まえた詳細設計段階における検討内容】

- 設置変更許可段階において、防波壁（逆T擁壁）については、動的解析を実施した結果、基礎地盤である改良地盤の最大傾斜が評価基準値の目安である1/2000を上回ったため、当該傾斜を考慮しても逆T擁壁の構造が成立性する見通しがあることを確認した。（第955回審査会合（2021年3月12日））
- 動的解析に用いた改良地盤の解析用物性値は、換算値等により設定したことから、当該物性値を「設置変更許可段階における管理目標値」と位置付け、詳細設計段階において室内配合試験による三軸圧縮試験等により解析用物性値を設定するとともに、実施工による三軸圧縮試験等により、設置変更許可段階における管理目標値が確保されることを確認することとした。（第955回審査会合（2021年3月12日））
- 詳細設計段階では、室内配合試験における三軸圧縮試験等により、逆T擁壁の耐震評価に用いる解析用物性値を設定した。また、設置変更許可段階における管理目標値に加え、逆T擁壁の耐震評価に用いる解析用物性値についても、実施工による試験において確保されていることを確認するため、表2の「品質確認における管理目標値」を設定した。（解析用物性値と同値に設定、第1067回審査会合（2022年9月1日））
- 実施工の進捗を踏まえ、品質確認試験を実施した結果を説明する。

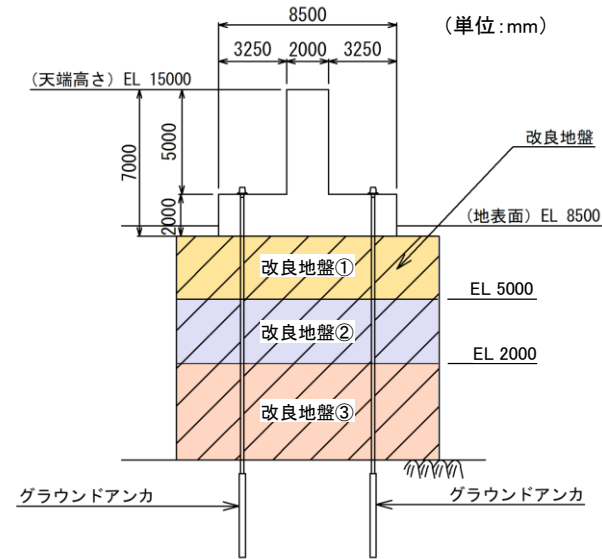


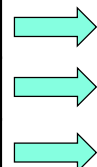
図1 逆T擁壁構造概要図

表1 設置変更許可段階における解析用物性値

	強度特性 τ (kN/m)	変形特性 設計 S 波速度 Vsd(m/s)
改良地盤①	$\tau = 628 + \sigma \tan 38.00^\circ$	440
改良地盤②	$\tau = 490 + \sigma \tan 40.54^\circ$	400
改良地盤③	$\tau = 1140 + \sigma \tan 40.54^\circ$	610

表2 逆T擁壁の耐震評価に用いる解析用物性値及び品質確認における管理目標値

	強度特性 τ (kN/m)	変形特性 設計 S 波速度 Vsd(m/s)
改良地盤①	$\tau = 628 + \sigma \tan 38.00^\circ$	590
改良地盤②		
改良地盤③		670



【1-9】防波壁（逆T擁壁直下の改良地盤の品質確認試験結果）（2/4）

【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	防波壁（逆T擁壁）について、実施工による三軸圧縮試験等により、P S 検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）、及び室内配合試験により設定した解析用物性値が確保されていることについて、施工進捗に合わせて説明すること。 （第955回審査会合（2021年3月12日））	B	施工の進捗に合わせて、防波壁（逆T擁壁）の改良地盤において三軸圧縮試験及びP S 検層を実施した結果、P S 検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）及び室内配合試験により設定した解析用物性値を踏まえた品質確認における管理目標値が確保されていることを確認した。	P.7,8

注記*：分類の定義（A：詳細設計の対応方針に変更や追加検討項目があるもの、B：具体的数値をもって設計成立性の説明が必要なもの）

【1-9】防波壁（逆T擁壁直下の改良地盤の品質確認試験結果）（3/4）

1. 品質確認方法及び試料採取位置

- 強度特性及び変形特性について、表2の品質確認における管理目標値が確保されていることを確認する。
- 試料採取位置は、既設構造物の配置等を踏まえ、おおむね均等な配置となるよう、図2のとおりとする。
- 品質確認における試験数量は、表3に示す品質確認における必要調査箇所数を満足している。

表2 品質確認における管理目標値

	管理目標値	
	強度特性 τ (kN/m)	変形特性 設計S波速度 Vsd(m/s)
改良地盤①・②	$\tau = 628 + \sigma \tan 38.00^\circ$	590
改良地盤③	$\tau = 1140 + \sigma \tan 40.54^\circ$	670

表3 防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③の
施工数量と必要調査箇所数

対象施設	防波壁（逆T擁壁）
工法	薬液注入工法
施工数量	約47,000m ³
必要調査箇所数*	PS検層：20本 三軸圧縮試験：3試料以上

注記*：浸透固化マニュアルに準拠する。

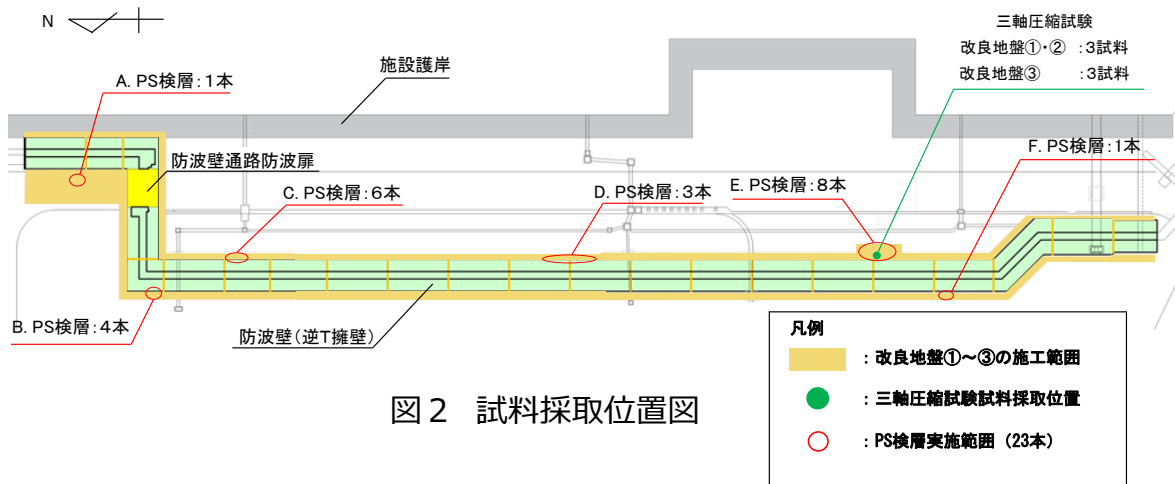


図2 試料採取位置図

2. 品質確認試験結果

- 防波壁（逆T擁壁）の改良地盤の強度特性について、三軸圧縮試験により、動的解析の発生応力範囲において、品質確認における管理目標値を確保していることを確認した。（図3参照）
- 防波壁（逆T擁壁）の地盤の変形特性について、PS検層により、品質確認における管理目標値を確保していることを確認した。（表4参照）

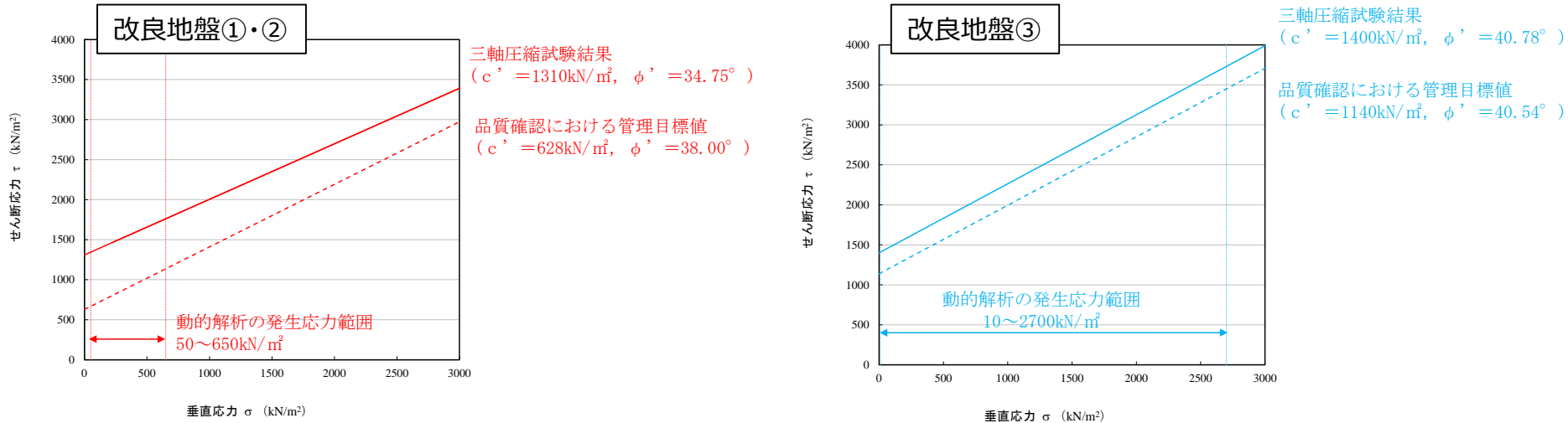


図3 三軸圧縮試験結果

表4 PS検層結果

改良地盤	試験結果	品質確認における管理目標値
	S波速度 Vs(m/s)	設計S波速度 Vsd(m/s)
改良地盤①・②	933~1062	590
改良地盤③	1037~1250	670

その他説明内容

- 【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
- 【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
- 【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
- 【4-3】 復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響
- 【4-4】 制御棒・破損燃料貯蔵ラック等における排除水質量減算の適用

【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。（第781回審査会合（2019年10月8日））	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.11～14

注記*：分類の定義（A：詳細設計の対応方針に変更や追加検討項目があるもの、B：具体的数値をもって設計成立性の説明が必要なもの）

【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		J E A G 4 6 0 1 -1987発行前であったが、J E A G 4 6 0 1 -1987と同等の評価方法を適用していた。J E A G 4 6 0 1 -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規定されておらず、当時は有効板厚に当板の板厚を考慮していた。	J I S等の文献に基づき、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、当該判定基準に基づいて評価を行うこととした。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。	有効板厚の判定基準を満たすように当板を拡張する工事の成立性を検討した。成立性の見通しが得られたことから、当板拡張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：J E A G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：J E A Gの理論式を適用できない容器として、脚数が3脚以上又は脚にサポートを追設した容器に適用

【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 (3/5)

- 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の当板拡張を含めた耐震補強工事を実施する。(当板拡張の対象は表2参照)
- 当板拡張の実施にあたっては、事前にモックアップ試験を行い、溶接による入熱に伴って胴板に有意な変形が生じないこと等も含めて工事の成立性を確認した。

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 $\theta_w \geq \frac{\theta_o}{6}^{*1}$ (5.3.1.1.13)

長手方向範囲 $\ell_w \geq 1.56 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_i + t}{2}\right)} \cdot t^{*2}$ (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 JIS B 8278 (2003)「サドル支持の横置円筒容器」

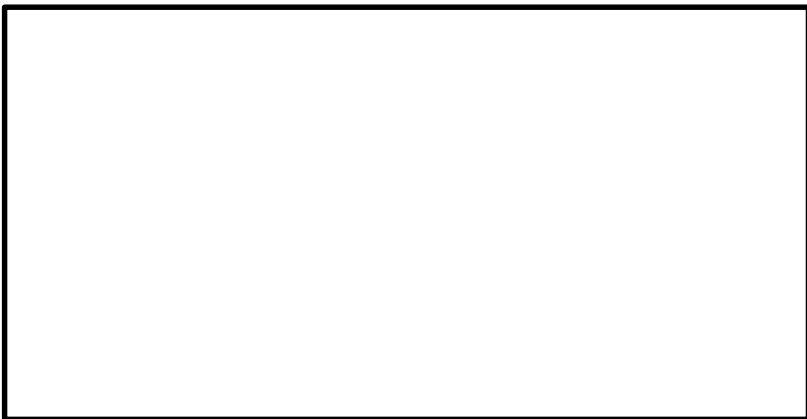


図2 当板拡張の概要 (長手方向の例)

表2 当板拡張の対象設備

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

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)

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J E A G 4 6 0 1 -1987に基づく耐震評価により耐震性を確認した。（図3参照）

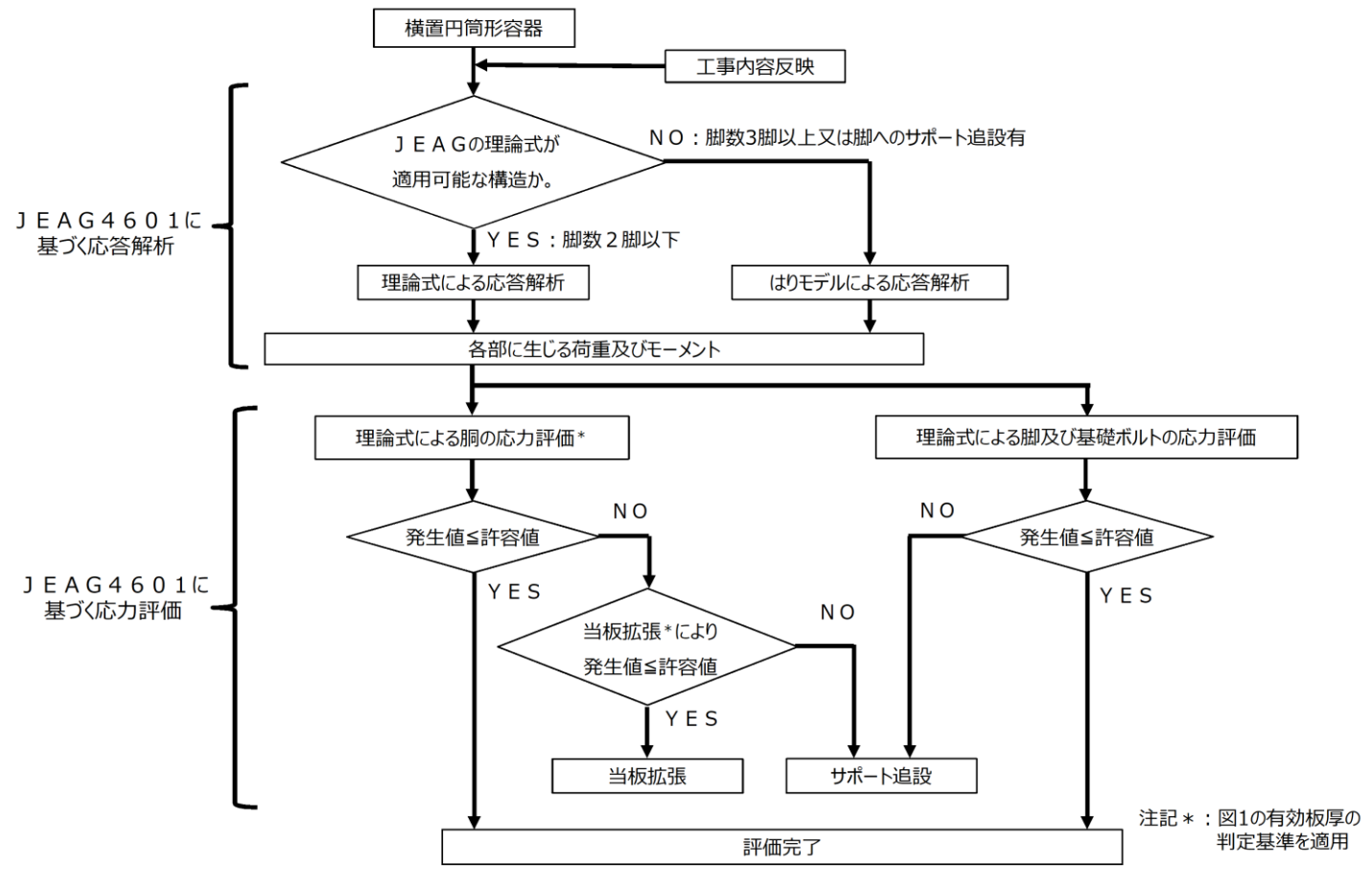


図3 耐震評価フロー

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、当板拡張について工事の成立性が見通しが得られたことから、当板拡張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 3 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。	有効板厚の判定基準を満たすように当板を拡張する工事の成立性を検討した。成立性が見通しが得られたことから、当板拡張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 (1/4)

【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_AS の評価用地震力の設定等を踏まえたものとする。</p> <p>(第925回審査会合 (2020年12月1日))</p>	B	<p>浸水防止設備のうち津波のバウンダリを形成する機器・配管系の評価手法は、同じくバウンダリ機能を有する耐震 S クラスの機器・配管系(浸水防止設備以外)の評価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_AS 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_AS 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.16～18

注記* : 分類の定義 (A : 詳細設計の対応方針に変更や追加検討項目があるもの, B : 具体的数値をもって設計成立性の説明が必要なもの)

【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 (2/4)

1. 概要

- 浸水防止設備のうち津波のバウンダリを形成する機器・配管系の耐震設計について、同じくバウンダリ機能を有する浸水防止設備以外の耐震 S クラスの機器・配管系の方針を適用する。また、浸水防止設備のうち機器・配管系の耐震設計は、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て行う。

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 に示す。
- 浸水防止設備のうち機器・配管系の対象設備及び波及的影響を考慮する下位クラス設備を表 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 (3/4)

表 2 対象設備一覧及び波及的影響を考慮する下位クラス設備

区分	設備	波及的影響を考慮する下位クラス設備	
浸水防止設備	ポンプ	タービン補機海水ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 ・取水槽ガントリクレーン ・1号機排気筒
		循環水ポンプ	<ul style="list-style-type: none"> ・取水槽ガントリクレーン ・1号機排気筒 ・取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備
	配管	タービン補機海水系配管（ポンプ出口～第二出口弁）	<ul style="list-style-type: none"> ・取水槽海水ポンプエリア防護対策設備 ・取水槽ガントリクレーン ・1号機排気筒 ・取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備
		循環水配管（ポンプ出口～タービン建物外壁）	<ul style="list-style-type: none"> ・取水槽ガントリクレーン ・1号機排気筒 ・取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備 ・タービン補機海水ストレナ
		原子炉補機海水系配管（放水配管）	<ul style="list-style-type: none"> ・タービン補機海水系配管 ・タービン補機冷却系熱交換器
		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*		—

注記*：接続部には原則、上位クラス施設の隔離弁等を設置することにより分離し、事故時等に隔離されるよう設計する

【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 (4/4)

3. 説明図書

- 「VI-2-1-1 耐震計算の基本方針」
- 「VI-2-1-5 波及的影響に係る基本方針」
- 「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」
- 「VI-2-10-2-11 隔離弁, 機器・配管の耐震性についての計算書」
- 「VI-2-10-2-12 タービン補機海水系隔離システムの耐震性についての計算書」

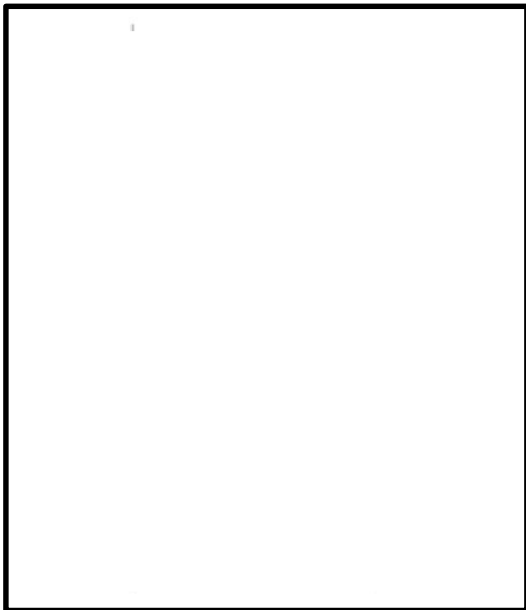
【4-2】原子炉本体の基礎の応力評価に用いる解析モデルの変更

1. 概要

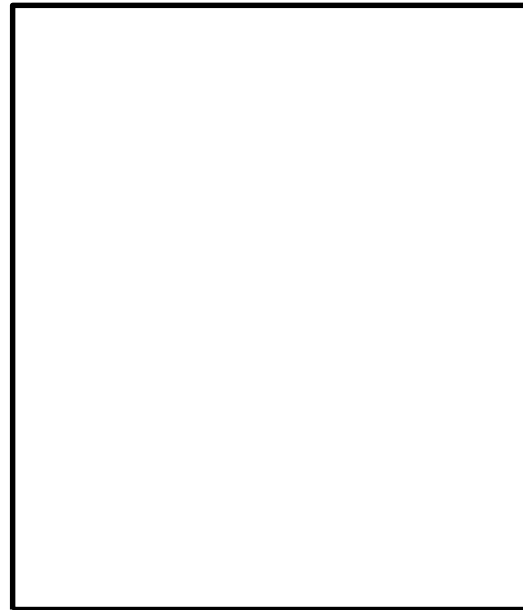
- 原子炉本体の基礎の応力評価において、より精緻で現実的な解析を行うため、解析モデルの考え方を既工認から見直す。

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，解析コード：SAP-IV）



今回工認（360°モデル，解析コード：MSC NASTRAN）

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モデル化して組み込んだ3次元解析モデルを作成し、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。

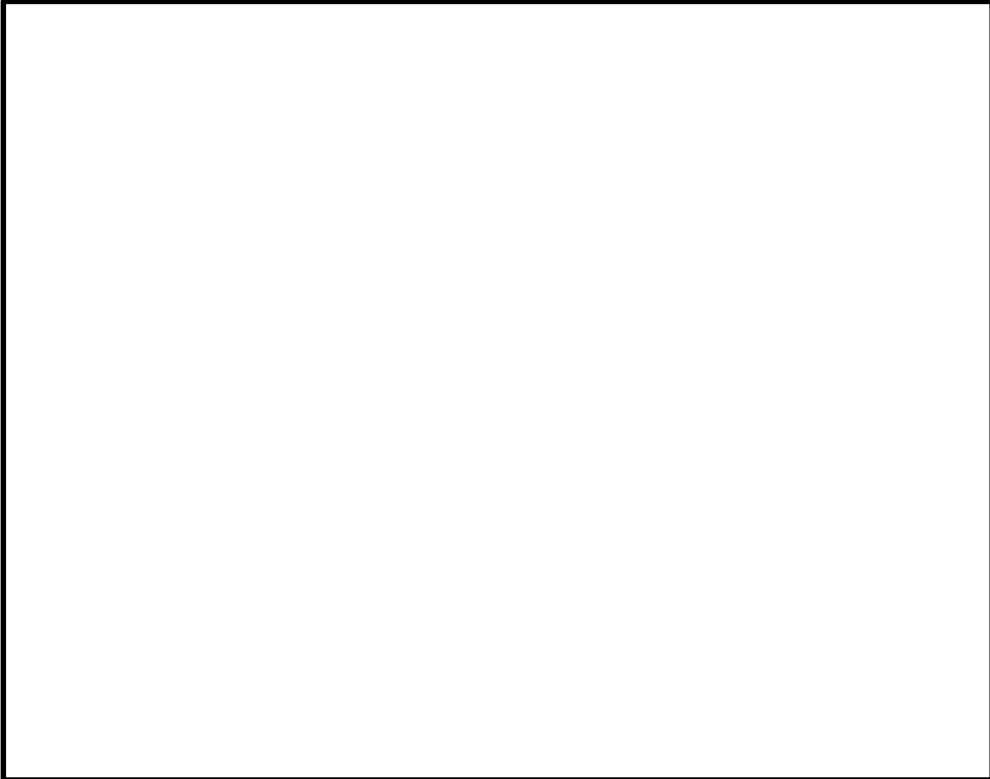


図1 復水器解析モデル図

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	

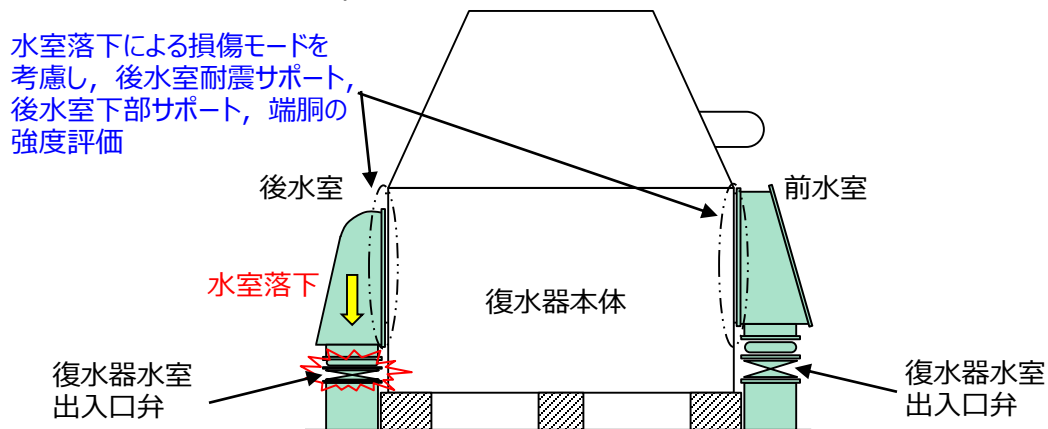
【4-3】復水器水室出入口弁への地震時復水器の影響（2/2）

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

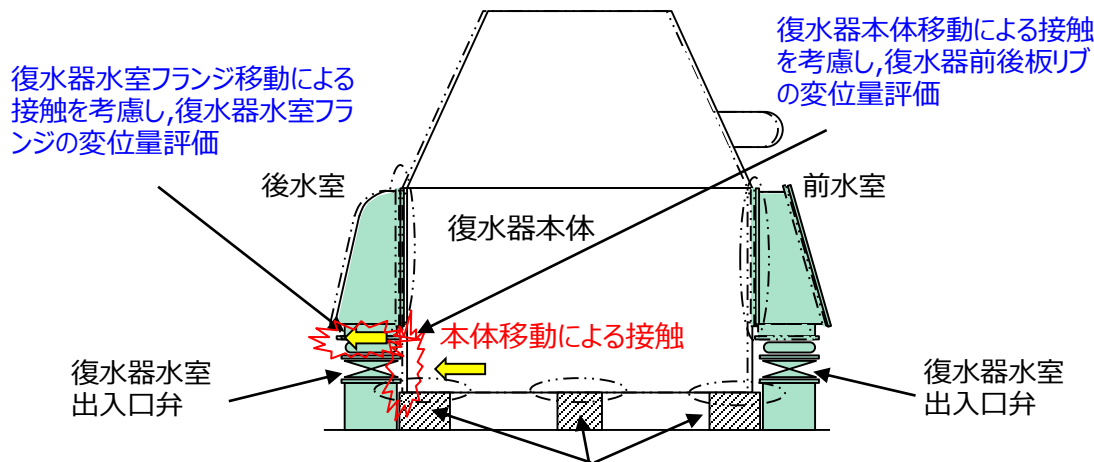
- 後水室耐震サポート、後水室下部サポート、端胴の強度評価を実施し、算出応力は許容応力以下であることから、地震時に水室落下による水室出入口弁への影響を及ぼさないことを確認した。



(A. 復水器水室落下の影響 イメージ)

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。



復水器本体移動による接触を考慮し、基礎部強度評価

(B. 復水器本体移動による接触影響 イメージ)

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。基準地震動レベル増大に伴い、水と構造物の相互影響を精緻に評価するため、新たに機器が流体中にある場合に機器の形状により除かれる流体の質量（排除水質量）を考慮することによる応答低減の効果を織り込んだ耐震計算を行う。

付加質量（従来より考慮）： $m_v = \pi a^2 L \rho$

排除水質量（今回工認において追加で考慮）： $-M_d = -\pi a^2 L \rho$

m_v ：流体の付加質量
 M_d ：排除水質量
 a ：内筒の外半径
 L ：内筒および外筒の長さ
 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。

固有振動数： $\sqrt{\frac{M}{(M+m_v)}}$ 倍

（従来より考慮）

構造物に対する入力加速度： $\frac{M-M_d}{M+m_v}$ 倍

（今回工認において追加で考慮）

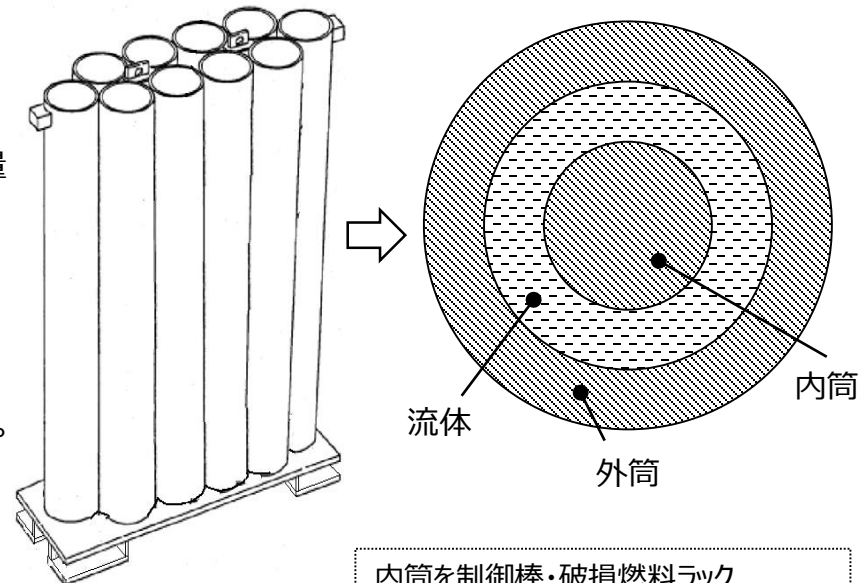
M ：内筒の質量
 m_v ：流体の付加質量
 M_d ：排除水質量
 F ：ラックに加わる力
 α ：構造物に対する入力加速度

- 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：

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

従来は、 $M_d=0$ としていた



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、コラムパイプの外側は水の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、コラムパイプの外側は水の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入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		次回以降の審査会合にて説明
[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

<参考> 工事計画認可申請（補正）に係る説明工程 (1/4)

【凡例】

- - - - : 説明期間（前回想定）
- : 説明期間（実績）
- - - - : 説明期間（現状想定）

説明項目		2023/1	2023/2	2023/3	2023/4	備考（前回会合からの変更箇所を朱記で示す）
本文	要目表	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	
	基本設計方針	- - - -	- - - -	- - - -		コメント対応済
	適用基準及び適用規格			- - - -	————	
施設共通 の説明書	1 設置許可との整合	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	
	2 人が常時勤務又は頻繁に出入りする場所における線量当量率			- - - -		コメント対応済
	3 自然現象等による損傷の防止			- - - -		コメント対応済、主な説明事項No.1-10関連
	4 津波への配慮	- - - -	- - - -	- - - -	————	主な説明事項No.1-5, 1-9, 3-5関連
	5 竜巻への配慮					コメント対応済
	6 火山への配慮					コメント対応済
	7 外部火災への配慮					コメント対応済
	8 屋外に設置されているSA設備の抽出					コメント対応済
	9 取水口及び放水口					コメント対応済
	10 設定根拠	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	
	（別添）技術基準要求機器リスト	- - - -	- - - -	- - - -		コメント対応済
	（別添）設定根拠	- - - -	- - - -	- - - -	————	主な説明事項No.3-4関連
	11 クラス1 機器等の応力腐食割れ対策					コメント対応済
	12 健全性					コメント対応済
	（別添）保管場所及びアクセスルート	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	主な説明事項No.1-11, 3-3関連
	（別添）可搬型SA設備の設計方針					コメント対応済
	（別添）不法な侵入等の防止					コメント対応済
	（別添）ブローアウトパネル関連設備の設計方針					コメント対応済、主な説明事項No.1-12関連
13 火災防護	————	————	————	- - - -	主な説明事項No.2-2関連	
14 溢水防護	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -		
15 飛散物による損傷防護					コメント対応済	
16 通信連絡設備					コメント対応済	
17 安全避難通路					コメント対応済	
18 非常用照明					コメント対応済	

現時点

<参考> 工事計画認可申請（補正）に係る説明工程 (2/4)

【凡例】

- - - - : 説明期間（前回想定）
- : 説明期間（実績）
- - - - : 説明期間（現状想定）

説明項目		2023/1	2023/2	2023/3	2023/4	備考（前回会合からの変更箇所を朱記で示す）
施設個別 の説明書	1 原子炉本体の基礎	- - - - ————	- - - -			コメント対応済、主な説明事項No.4-2関連
	2 原子炉圧力容器の脆性破壊防止					コメント対応済
	3 使用済燃料貯蔵槽の監視装置並びに計測範囲等					コメント対応済
	4 使用済燃料貯蔵設備の核燃料物質臨界防止					コメント対応済
	5 燃料体等又は重量物落下による損傷防止等					コメント対応済
	6 使用済燃料貯蔵槽の冷却能力					コメント対応済
	7 使用済燃料貯蔵槽の水深の遮蔽能力					コメント対応済
	8 原子炉格納容器内の漏えい監視装置並びに計測範囲等					コメント対応済
	9 流体振動又は温度変動による損傷防止					コメント対応済
	10 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の有効吸入水頭					コメント対応済
	11 計測装置の構成並びに計測範囲等					コメント対応済、主な説明事項No.3-1, 3-2関連
	12 工学的安全施設等の起動信号の設定値の根拠					コメント対応済
	13 運転管理のための制御装置に係る制御方法					コメント対応済
	14 中央制御室の機能					コメント対応済
	15 排気筒の基礎	———— - - - -	- - - -			コメント対応済、排気筒の基礎の耐震計算書の呼び込み
	16 放射線管理用計測装置の構成並びに計測範囲等					コメント対応済
	17 管理区域の出入り管理設備及び環境試料分析装置					コメント対応済
	18 中央制御室の居住性					コメント対応済
	19 原子炉格納施設の設計条件					コメント対応済、主な説明事項No.1-13関連
	20 原子炉格納施設の水素濃度低減性能					コメント対応済、主な説明事項No.1-14関連
	21 原子炉格納施設の基礎					コメント対応済、原子炉建物基礎スラブの耐震計算書の呼び込み
	22 圧力低減設備その他の安全施設の有効吸入水頭					コメント対応済
	23 非常用発電装置の出力決定					コメント対応済、主な説明事項No.2-1関連
	24 常用電源設備の健全性					コメント対応済
	25 斜面安定性に関する説明書	- - - - ————	- - - -		- - - -	施設共通の説明書「12 健全性（別添）保管場所及びアクセスルート」において説明
	26 緊急時対策所の機能					コメント対応済
	27 緊急時対策所の居住性					コメント対応済

<参考> 工事計画認可申請（補正）に係る説明工程 (3/4)

【凡例】

- - - - : 説明期間（前回想定）
- - - - : 説明期間（実績）
- - - - : 説明期間（現状想定）

説明項目		2023/1	2023/2	2023/3	2023/4	備考（前回会合からの変更箇所を朱記で示す）
耐震性に関する説明書	1 耐震設計の基本方針	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	12図書/14図書 コメント対応済
	・地盤の支持性能	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	主な説明事項No.1-8, 1-9関連
	・機能維持の基本方針					コメント対応済, 主な説明事項No.1-7関連
	・配管及び支持構造物の耐震計算	- - - -	- - - -	- - - -		コメント対応済, 主な説明事項No.4-1関連
	2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	29図書/38図書 コメント対応済
	・建物・構築物の地震応答解析	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	主な説明事項No.1-1, 1-2関連
	・建物・構築物の耐震計算書	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	主な説明事項No.4-6関連
	・取水槽の耐震計算書	- - - -	- - - -	- - - -		コメント対応済, 主な説明事項No.4-5関連
	・屋外重要土木構造物（取水槽を除く）の耐震計算書	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	
	・建屋 - 機器連成解析	- - - -	- - - -	- - - -		コメント対応済, 主な説明事項No.4-2関連
	3 機器・配管系の耐震性に関する説明書	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	390図書/414図書 コメント対応済
	・使用済燃料貯蔵ラック					コメント対応済, 主な説明事項No.4-4関連
	・燃料プール冷却系熱交換器	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	コメント対応済, 主な説明事項No.1-3関連
	・配管	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	主な説明事項No.1-6関連（三軸粘性ダンパ）
	・サブプレッションチェンバ	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	主な説明事項No.1-4関連
	4 浸水防護施設の耐震性に関する説明書	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	17図書/21図書 コメント対応済
	・防波壁	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	主な説明事項No.1-9関連
	・内郭浸水防護設備	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	コメント対応済
	・隔離弁, 機器・配管		- - - -	- - - -		コメント対応済, 主な説明事項No.1-7関連
	5 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性に関する説明書	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	30図書/38図書 コメント対応済
・取水槽ガントリクレーン	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	コメント対応済, 主な説明事項No.1-6関連（単軸粘性ダンパ）	
・仮設耐震構台		- - - -	- - - -	- - - -		
6 溢水防護に係る施設の耐震性についての計算書	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	6図書/8図書 コメント対応済	
・復水器水室出入口弁	- - - -	- - - -	- - - -		コメント対応済, 主な説明事項No.4-3関連	

<参考> 工事計画認可申請（補正）に係る説明工程 (4/4)

【凡例】

- - - - : 説明期間（前回想定）
- - - - : 説明期間（実績）
- - - - : 説明期間（現状想定）

説明項目		2023/1	2023/2	2023/3	2023/4	備考（前回会合からの変更箇所を朱記で示す）
強度に関する説明書	1 強度評価の基本方針					6図書/6図書 コメント対応済
	2 強度計算方法					13図書/13図書 コメント対応済
	3 強度計算書	- - - - - - - -				228図書/231図書 コメント対応済
	4 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書	- - - - - - - -				18図書/21図書 コメント対応済
	・防波壁	- - - - - - - -				コメント対応済, 主な説明事項No.1-5, 1-9関連
	・内郭浸水防護設備	- - - - - - - -				コメント対応済
その他計算書	1 安全弁等の吹出量計算書					コメント対応済
	2 生体遮蔽装置の放射線の遮蔽等についての計算書					コメント対応済
計算機プログラム		(各説明書とセットで説明)				
図面		(要目表等とセットで説明)				