

東海第二発電所

工事計画認可申請に係る論点整理について (コメント回答)

平成30年7月3日

日本原子力発電株式会社

工事計画認可申請に係る論点整理について(コメント回答)(1/4)



過去の審査会合※で抽出した工事計画認可申請に係る論点に対するコメントは下表のとおり。今回はその一部について回答する。

※ 第562回審査会合(H30.4.5), 第572回審査会合(H30.5.17), 第578回審査会合(H30.5.31), 第588回審査会合(H30.6.14)

コメント内容	白丸数字	過去の審査会合において、今後の予定として示したもの
	黒丸数字	過去の審査会合において、ご指摘を頂いたもの

分類	論点		コメント内容	審査会合
				7/3回答分
耐津波	1	鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性	① 止水機構の追従性に係る2次元及び3次元の解析結果	完了(5/31)
			② 止水機構の追従性に係る実証試験(加振試験)結果	完了(5/31)
			③ 実証試験結果のうち、鉛直方向に長周期のうねりが出る原因について、3方向同時加振時に出て、鉛直加振で出ないことを踏まえて、合理的に説明できる根拠を示した上で特定すること	○
			④ 実機解析を工認に適用することを踏まえ、解析の信頼性を示すこと	○
			⑤ 実証試験結果を踏まえて解析にフィードバックする項目はないか、応力評価において実証試験と解析の違いを考慮する必要がないか検討すること	○
			⑥ 試験結果と実証試験モデル結果の差が浸水防止機能に影響を及ぼすか否かを分析し、今後設計への反映の有無を示すこと	○
2	防潮堤ルート変更後の敷地遡上津波の浸水深・流速	—	—	完了(5/17)
耐震	3	可搬型設備の耐震性	① 加振波のFRSが保管場所のFRSを包絡していること	完了(4/5)
			② 加振試験結果	完了(4/5)
	4	機器の動的機能維持評価	① 構造等がJEAG適用外の機器に対して、抽出した評価対象部位に係る動的機能維持の評価結果について説明	完了(5/31)
			② 評価部位「⑥逃がし弁」について、評価項目「加速度」に対する許容値の出典及び適用性を示すこと	完了(6/14)
	5	スタンドパイプの耐震評価	① 解析モデル長さの影響確認結果(解析モデル長さ2.0m及び2.5m)	完了(6/14)
			② スタンドパイプ225本モデルにおける補強板が解析に与える影響	完了(6/14)
			③ 引張試験における荷重(モーメント)の比較	完了(6/14)
			④ ドライヤスカート部との干渉に係る解析上の扱い	完了(6/14)

工事計画認可申請に係る論点整理について(コメント回答)(2/4)



分類	論点		コメント内容	審査会合
				7/3回答分
耐震	6	設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性	① 設置変更許可段階で示した「敷地全体の原地盤の液状化強度特性」の代表性及び網羅性	○
			② 使用済燃料乾式貯蔵建屋を個別の評価対象とした根拠(3つの建屋を除外した理由も含む)及び地盤改良の有無	○
	7	鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価	① 三次元解析(COM3)の評価結果	○
	8	立坑構造物の解析モデル変更	① 立坑構造物の評価結果	次回以降
	9	原子炉建屋基礎盤の耐震評価	① 局所応力の取扱い, 許容限界の説明方針および評価結果	○
			② せん断終局強度を適用することの妥当性(今回工認、東二建設時、他サイトのSクラス基礎の設計クライテリアの違いを考慮した説明)	○
	10	地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響	① 観測記録がシミュレーション解析結果を上回ることに対する設備影響評価結果	○
② 使用済燃料プール周辺の3次元応答性状が使用済燃料プールの評価に及ぼす影響			○	
11	機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)	① 高振動数領域まで考慮した評価結果	○	
外部事象	12	降下火砕物に対する建屋の健全性	① 原子炉建屋の主トラスについて、発生する応力が許容限界を超えないことの確認結果	完了(4/5)
			② 3次元FEMにおける鉄骨材とスラブの拘束条件, 実際のスラブの応力, 歪の分布, 鉄骨材とスラブの接合部の状態を示す	完了(5/31)
機械設計	13	SA時の強度評価における設計方針	① 強度評価方針として、適用基準は保守側を採用していることに対し、応力係数について現実的な値(0.5)を採用することの考え方	完了(5/31)
	14	SA時の強度評価における設計条件(SAクラス2機器であって、クラス1機器の設計条件)	① SA時機械荷重(ジェット荷重や主蒸気逃がし安全弁の吹き出し反力)を定量的に算出し、順次計算結果を示す	次回以降
			② 建設時の設計条件を使用することを含め、強度評価条件の妥当性を示す	完了(6/14)
	15	強度評価におけるPCV動荷重の考慮	① 設計基準事故時の動荷重に包絡されること等の確認結果	○
② DBA・SA時のPCV動荷重を決定する要素を定量的に説明(6/14追加)シーケンスによっては動作する弁数や作用する圧力も異なることから、各々の動荷重について丁寧に説明すること(6/14追加)動荷重については設計で元々どういう荷重で評価しているのか(既設の設計裕度)、元々の設計の考え方から追って、許容値の包絡性を説明すること			○	

工事計画認可申請に係る論点整理について(コメント回答)(3/4)



分類	論点		コメント内容		審査会合		
					7/3回答分		
機械設計	16	SA環境を考慮したPCV閉じ込め機能	①	圧縮永久ひずみ率のデータ拡充による閉じ込め機能の評価値の妥当性	完了(4/5)		
			②	ガスケット増厚による閉じ込め機能の評価における開口量評価の裕度	完了(4/5)		
	17	ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法	①	実証試験 ブローアウトパネル開放の実証試験結果(6/14追加)開放試験については、パネルが躯体から外れて落下していることを確認すること	○		
			②		ブローアウトパネル閉止装置の実証試験(加振試験)及び開閉動作試験、気密性能試験の結果	完了(6/26)	
			③		ブローアウトパネル閉止装置の実証試験(加振試験)での不具合を踏まえた対策検証について	次回以降	
			④		実機大モックアップ試験時の予備品の考え方、リスク管理について説明すること。	完了(5/31)	
			⑤		リスク管理の試験スケジュール(クリップ幅変更等)をスケジュール追加すること。	完了(5/31)	
			⑥		実機大のモックアップ(ブローアウトパネル本体、ブローアウトパネル閉止装置)試験前に試験条件を説明すること。	完了(5/31)	
			⑦		加振限界試験の目的、実施方法について、要領書に記載のこと	完了(6/14)	
			⑧		気密性能試験における流量、断面積の算出方法について説明を要領書に追加すること	完了(6/14)	
			⑨		実施する単体の気密確認試験結果も踏まえて原子炉建屋原子炉棟全体としての気密性能が確保できる見込みであることを説明すること	完了(6/14)	
			⑩		模擬地震波の床応答スペクトルについて、方向に依存しない応答スペクトルのNS/EW方向への分け方を説明すること	完了(6/14)	
			⑪		施工	ブローアウトパネル本体の品質・施工管理、保守管理等	完了(5/31)
			⑫		要求機能	設計差圧(6.9kPa)以下で開放する設計(設定値)について、クリップ開放試験結果等を踏まえた考え方	完了(5/17)
			⑬			強制開放装置の位置付け	完了(5/17)
⑭	耐震	ブローアウトパネルの要求事項(考慮すべき自然現象発生後にDBAが発生する場合、逆にDBA後に自然現象が発生する場合を整理し、公衆被ばくの影響の観点から整理)	完了(5/17)				
⑮		ブローアウトパネルの耐震評価に当たって、ブローアウトパネルの設置・取付状況を踏まえた固有値の考え方を整理し提示すること	完了(6/14)				
			設計基準事故と地震の組合せについて説明すること	完了(6/14)			

工事計画認可申請に係る論点整理について(コメント回答)(4/4)



分類	論点		コメント内容		審査会合	
					7/3回答分	
機械設計	18	SRVのSA耐環境性	①	SA時の原子炉格納容器内におけるSRV作動環境	完了(4/5)	
			②	SRV(自動減圧機能)の耐環境性	完了(4/5)	
			③	非常用逃がし安全弁駆動系の耐環境性	完了(4/5)	
			④	過去のSRV環境試験条件について対象の機器を明確にして資料に反映	完了(6/14)	
			⑤	健全性の説明書の中でその他のSA耐環境性について整理・説明	完了(6/14)	
	19	MCCI/FCI対策に係る設計	①	試験	モックアップ試験結果	完了(6/14)
					導入管カバーを考慮した試験も含め、モックアップ試験の結果について示すこと	○
			②		モックアップ試験における異物混入を想定した試験条件	完了(6/14)
			③	施工	コリウムシールドの施工性	完了(5/31)
			④	工認上の扱い	工認対象範囲	完了(5/31)
			⑤		コリウムシールドのドレン水貯蔵機能	完了(5/31)
			⑥		コリウムシールドライナーの工認上の記載	完了(5/31)
	⑦		排水ラインのラプチャーディスクの扱いについて整理して示すこと。また、ドライウエル内水位調整の機能に悪影響を与えないことを示すこと	完了(6/14)		
			安全弁の吹き出し圧力、吹き出し量、反力について、説明すること	次回以降		
	20	ECCSポンプのSA時でのNP SH評価	①	試験・手順	試験結果および評価結果	○
					試験の再現性(投入異物の攪拌・静定させ、一定の圧力損失データが得られることの見解)について示すこと。	完了(5/31)
					試験手順について示すこと。	完了(5/31)
					試験の進捗状況、見直しについて具体的に示すこと。	完了(5/31)
	21	SM材の使用制限(2.9MPa)を超えた範囲での使用	-	-	完了(5/17)	
	22	燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性	①	使用済燃料プールでの燃料集合体落下時のライニングの健全性評価において、水の抵抗を考慮しており、この際に用いている抗力係数について確認する。	完了(5/31)	
			②	試験結果および評価結果	○	
			③	CFD解析モデルについて説明すること	完了(6/14)	

【論点1】 鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性(1/8)



止水機構の論点コメント及び実証試験の概要 (1/2)

<本論点の経緯>

防潮堤のうち鋼製防護壁については、取水路と鋼製防護壁の地震時の変位による相互干渉を回避するため、取水路と鋼製防護壁間に100mmの隙間を設け、この隙間からの津波の流入を防止することを目的に止水機構を設置することとしている。

この止水機構の構造に対して、第520回審査会合(平成29年10月17日)において、「止水板の追従性として、解析での確認に加え、試験についても検討し、方針及び実施時期を示した上で、設置許可断面と工認断面の範囲を整理して示すこと。」との指摘があった。

この指摘を踏まえて、第562回審査会合(平成30年4月5日)において、工事計画認可申請に係る論点整理の一つとして、止水機構に関して「止水機構の地震時の追従性について、評価及び実規模大の試験装置を用いた加振試験にて確認する。」ことを説明した。

また、第578回審査会合(平成30年5月31日)において、実証試験結果の挙動へのコメントや工事計画認可への反映事項について指摘を受けたため、今回は、上記会合の回答及び工事計画認可申請書への反映事項について説明する。

<コメント及び回答の概要>

1. 実証試験結果のうち、鉛直方向に長周期のうねりが出る原因について、3方向同時加振時に出て、鉛直加振で出ないことを踏まえて、合理的に説明できる根拠を示した上で特定すること。

⇒3方向同時加振時におけるうねりの原因について、各設備等を評価し、振動台のピッチングによる影響であることを特定した。
その結果について説明する。

2. 実機解析を工認に適用することも踏まえ、解析の信頼性を示すこと。

⇒三次元動的解析の解析モデルについて、実証試験結果との検証を行い実証試験結果によく一致した結果が得られた。
止水板の浮き上がりや挙動について解析モデルの信頼性が向上した結果について説明する。

3. 実証試験結果を踏まえて解析にフィードバックする項目はないか、応力評価において実証試験と解析の違いを考慮する必要があるか検討すること。

4. 試験結果と実証試験モデル結果の差が浸水防止機能に影響を及ぼすか否かを分析し、今後設計への反映の有無を示すこと。

⇒実証試験結果と解析モデルからの設計への反映事項について説明する。

【論点1】 鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性(2/8)

止水機構の論点コメント及び実証試験の概要 (2/2)



【実証試験の概要】

(1) 止水機構の評価フロー及び実証試験ケース(図1～図4)

- ① 本震時: 3方向加振2ケース, 鉛直方向加振2ケースの計4ケース×2回(合計8回)
- ② 余震+津波時: 3方向加振1ケース, 鉛直方向加振2ケースの計3ケース×2回(合計6回)

(2) 実証試験期間

平成30年5月9日～平成30年5月21日

(3) 実証試験結果(図5)

特段の不具合もなく、止水板の追従性、水密ゴムの健全性及び1次止水機構構成部材の健全性に関し、想定通りの結果を得ることができた。また、止水板の鉛直変位量は小さく、止水性に問題ないことを確認できた。

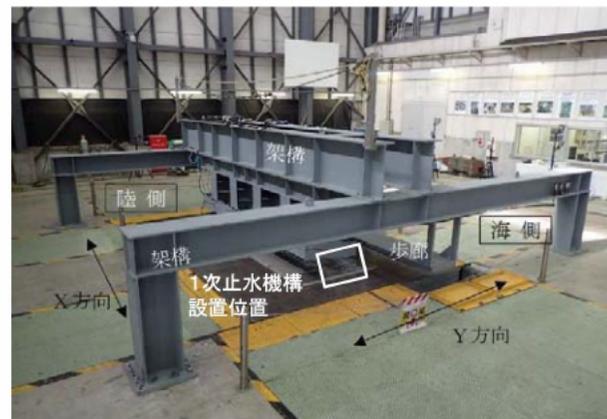


図1 実証試験装置全景

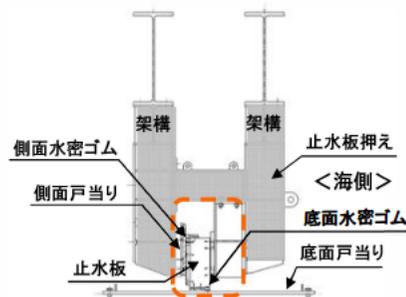


図2 1次止水機構供試体構造

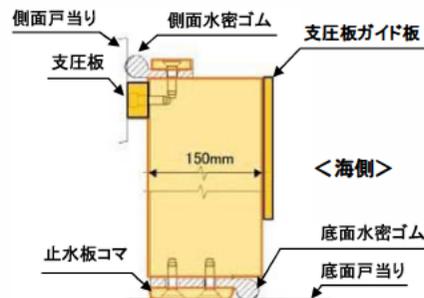


図3 止水板構造



図4-1 止水板

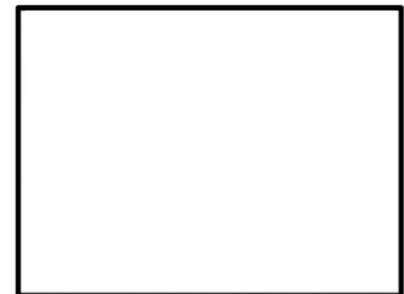


図4-2 底面水密ゴム

図4 1次止水機構の構造図

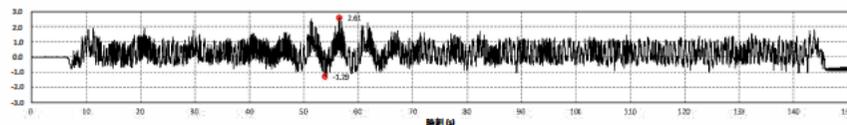


図5 3方向同時加振時鉛直計測データ

本資料のうち、 は営業秘密又は核物質防護上の観点から公開できません。

【論点1】 鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性(4/8)

実証試験結果 止水板のうねりの評価(2/3)



(2) 浮き基礎による影響

実証試験時に用いた加振装置において浮き基礎の影響を確認した。その結果、浮き基礎の固有周期は1.1Hz程度であることを確認した。
 浮き基礎からの振動(周波数)は、架台を經由止水板の摺動時の振動(周波数)として伝達したと思われる。図4に浮き基礎からの振動(周波数)の伝達イメージと固有振動数を示す。

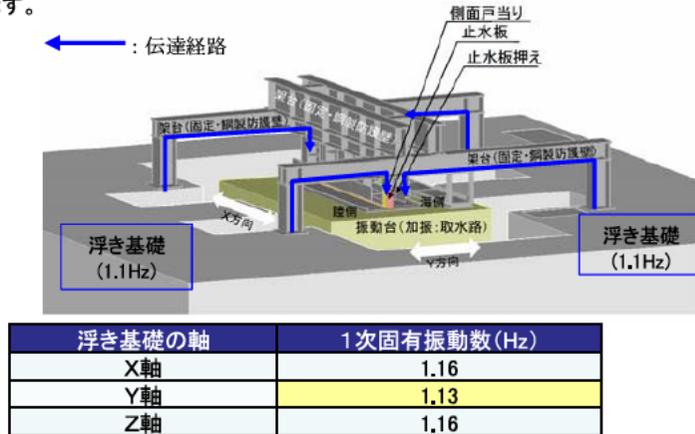


図4 浮き基礎からの振動(周波数)の伝達イメージと固有振動数

(3) 試験装置の影響

試験装置の影響を検討するにあたり想定される事象として考えられることは、取水路を模擬した振動台にアクチュエータによる入力波を入力した際に、アクチュエータからの振動が固定側の鋼製防護壁を模擬した架構を設置している浮き基礎に伝わり、架構側も揺れた影響によることが想定される。

その影響を確認するため、振動試験装置の固有周期について固有値解析を実施した。その結果、X:5.58Hz, Y:15.29Hz, Z:12.94Hzであることが分かった。また、加振時における試験装置架構下端(Y方向)の卓越振動数は、**3つのピーク(1.09Hz, 1.21Hz, 5.77Hz)**を確認した。(図5)

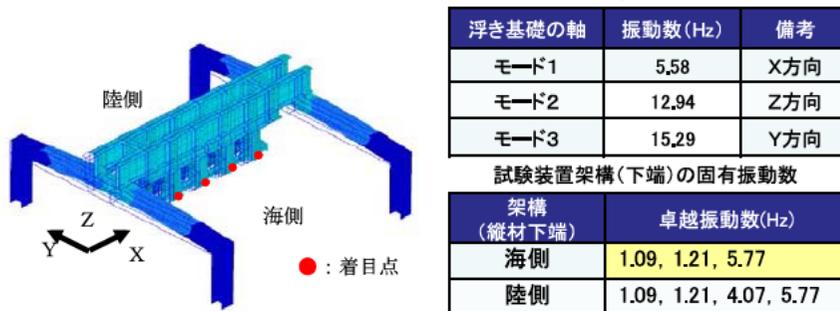


図5 試験装置の固有振動数

(4) 振動台のうねりの分析

振動台に設置したモーションキャプチャ測定値による振動台の回転変位と中央部の鉛直変位算出結果を図6に示す。

その結果、水平Y方向のみの単独加振時において振動台中心に回転変位(青線)及び鉛直変位(赤線)が生じていた。振動台の回転変位(青線)と鉛直変位(赤線)の周期について周波数分析を行い**回転変位は0.20Hzで鉛直変位は0.21Hz, 1.09Hz, 5.77Hz**であった。

図7に振動台の回転変位と中央部鉛直変位のフーリエスペクトルを示す。

鉛直変位のうち0.21Hzは振動台のピッチングによる影響があるものと思われる。周波数1.09Hz, 5.77Hzは、実証試験用入力地震動の卓越周波数に近い周波数であることを確認した。

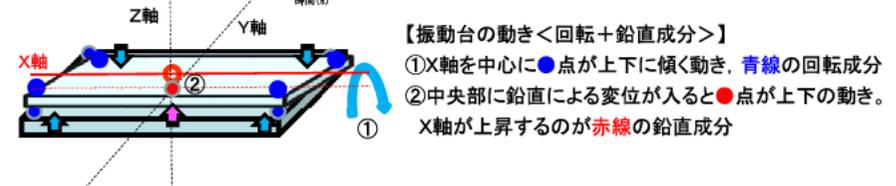
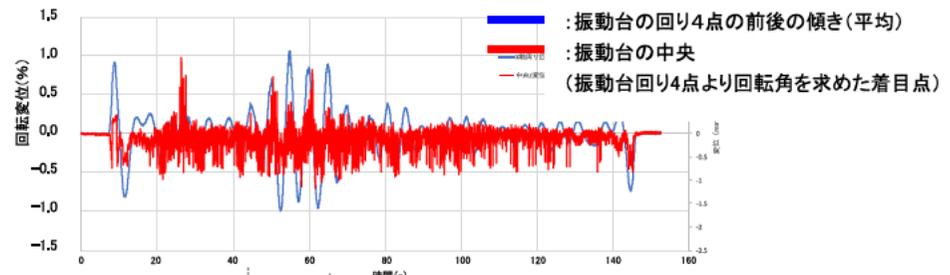


図6 振動台の回転変位と中央部の鉛直変位算出結果

種別	卓越振動数(Hz)
回転変位	0.20
中央部鉛直変位	0.21, 1.09, 5.77

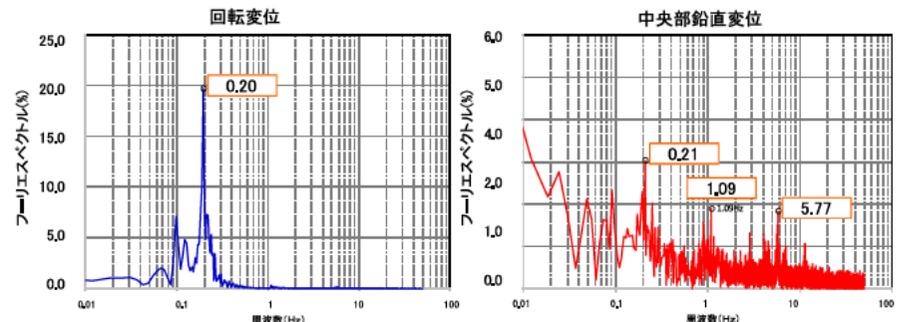


図7 振動台の回転変位と中央部鉛直変位のフーリエスペクトル

【論点1】 鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性(5/8)

実証試験結果 止水板のうねりの評価(3/3)



(5) 止水板の固有値解析

止水板の固有値解析を実施した。**止水板の固有値は10.55Hz**であった。

図8に止水板の固有周期解析モデル図を示す。

<解析条件>

○解析コード: MSC_MARC2014.2.0

○解析内容

線型固有値解析(止水ゴムを弾性体とした解析)

○モデルの説明

6面ソリッド要素

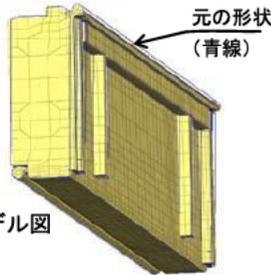


図8 止水板の固有周期解析モデル図

(6) 止水板の鉛直変位におけるピッチングの影響

(4)項にて振動台におけるピッチングによる影響を確認した。

ここではピッチングによる影響と思われる長周期のピークが止水板の挙動に現れていないか確認する。

そのため、止水板の鉛直変位のフーリエスペクトルを作成、**周期を分析し周期のピーク0.2Hz、1.1Hz、5.7Hzを確認した。その結果、ピッチングによる影響である周波数0.2Hzが確認できた。**

図9に止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトルを示す。

また、**止水板の固有値解析の結果(10.55Hz)、周波数が共振領域にない**ことを確認した。

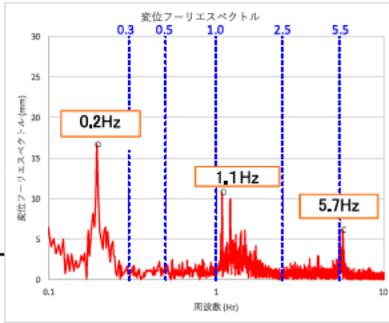


図9 止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトル

(8) 各評価のまとめ

各評価対象による周波数成分を評価した結果を表2に示す。

表2 各評価対象の周波数分析結果

	(1)実証試験用入力波	(2)浮き基礎	(3)試験装置	(4)振動台	(5)止水板
周波数 (Hz)	—	—	—	0.20(ピッチング)	—
	1.09	1.1(固有値)	1.09	1.09	—
	1.22(固有値)※	—	1.21	—	—
	5.77(固有値)※	—	5.77	5.77	—
	—	—	—	—	10.55(固有値)

※: 鋼製防護壁のY方向の固有周期

各評価対象の周波数が伝達し各対象設備に同様の周波数が検出されていることから、実証試験のうねりの原因は、実証試験装置や供試体(止水板等)の影響ではないことが分かった。

0.2Hzだけが振動台によるピッチングによる影響であることから、実証試験に生じているうねりは振動台によるものと特定される。

そのため、実証試験に生じている振動台のピッチング成分を除去するため、止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトルから、0.3Hz以下のフィルタリングにより影響を除去した止水板の挙動を確認し、振動台からのピッチングによる影響である事を確認した。図10に止水板の鉛直変位におけるフィルタリングの範囲、図11に3方向同時加振時の鉛直変位時刻歴波形フィルタリング結果を示す。

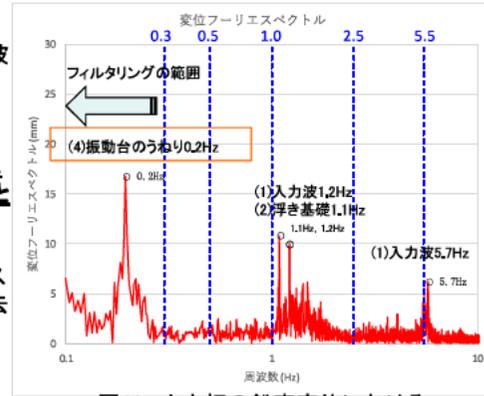


図10 止水板の鉛直変位におけるフィルタリングの範囲

(7) 振動台の要因

振動台を三次元で振動させた場合、入力地震動に対し入力成分にない回転成分などが応答に発生し、入力に対して誤差が生じる。**振動台を正確に振動させるため、振動台の特性を把握して振動台制御のソフトウェアに誤差を打ち消すデータを与え制御している。この作業は定期点検時に実施されているが、振動台の性能限界に近い加速度レベルでの試験に対して適応性が十分ではなかった。**

(9) 実証試験における振動台のピッチングの影響について

実証試験において、実際の波形にはない振動台による回転変位0.2Hz程度の長周期のうねりの影響が考えられる。ピッチングの影響により試験条件は実際の入力波形である短周期成分とピッチングの長周期成分が混在した状況での試験となった。しかし、**振動台のピッチングの周波数が0.2Hzであり止水板の周波数10.55Hzから離隔が大きい事より共振することなく、止水板の挙動に影響を与えることはなかった。**

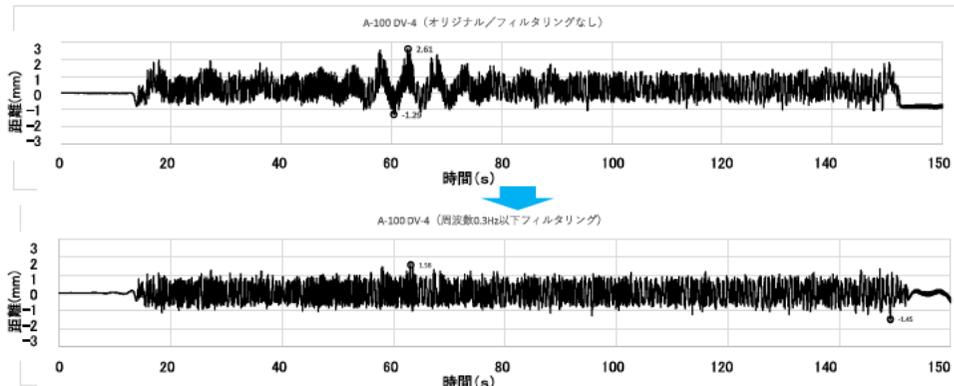


図11 3方向同時加振時の鉛直変位時刻歴波形フィルタリング結果

【論点1】 鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性(6/8) 三次元動的解析モデルの信頼性の向上 (1/2)



<コメント>

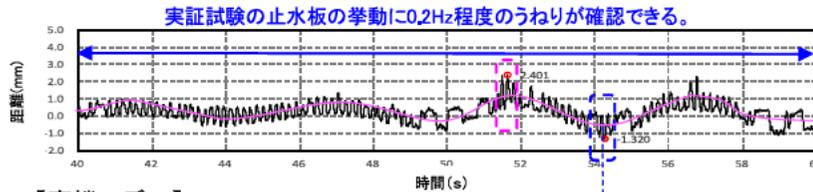
2. 実機解析を工認に適用することも踏まえ、解析の信頼性を示すこと。

<回答>

(1)三次元動的解析フィルタリングによる再現性の検証

3方向同時入力「三次元動的解析の実機モデル」に0.2Hzの回転変位を与えた。その結果、実証試験と同じ挙動やうねりが認められた。(図1)

【実証試験結果】



【実機モデル】

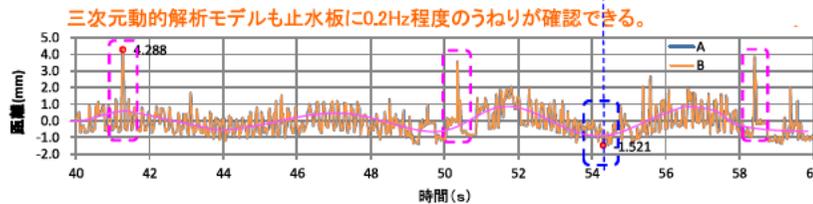


図1 実証試験結果と実機モデル(8分割モデル)との比較

<再現性確認>

◆実証試験結果及び三次元動的解析の実機モデル共に0.2Hz程度のうねりが確認できた。

◆浮き上がり量のプラス側(浮き上がる:桃色点線)は、実証試験よりも三次元動的解析の実機モデルの方が大きくなる傾向がある。また、浮き上がる時間帯は、実証試験と違う時間帯で発生することが確認できた。

◆浮き上がり量のマイナス側(沈み込む:青色点線)は、ほぼ同じ量で同じ時間帯に発生することが確認できた。

実証試験の観測値と三次元動的解析の実機モデルに0.2Hz程度のうねりを確認し、実機モデルへの再現性を確認した。

また、三次元動的解析の実機モデルは実証試験結果に比べ鉛直変位のプラス側(浮き上がる側)が大きく保守的な値であることが分かった。また、マイナス側(沈み込み側)は同じ沈み込み量及び時間帯であることが分かった。(図2)

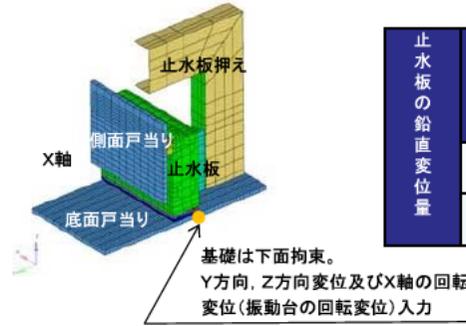
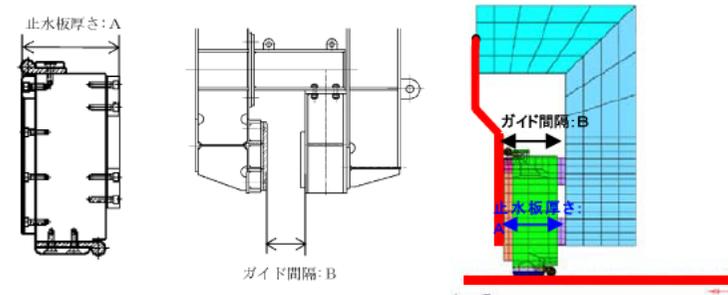


図2 三次元動的解析(8分割モデル)と止水板の鉛直変位量

止水板の鉛直変位量	②3方向(Y方向(堤軸直角)包絡波)		実証試験との差 (②-①)
	実証試験 (①)	0.2Hz回転変位 モデル(②)	
浮き上がり量 (プラス側)	2.41	4.29	+1.88
沈み込み量 (マイナス側)	-1.26	-1.52	-0.26

(2)三次元動的解析モデルの信頼性向上

三次元動的解析モデルの信頼性を確認するため、**解析モデルに製作公差を含め解析モデルを作成し信頼性を確認した。支圧板厚さとガイド間隔の隙間を4mmにして三次元動的解析を実施した。**図3に実証試験の試験装置における止水板とガイド間の寸法を示す。



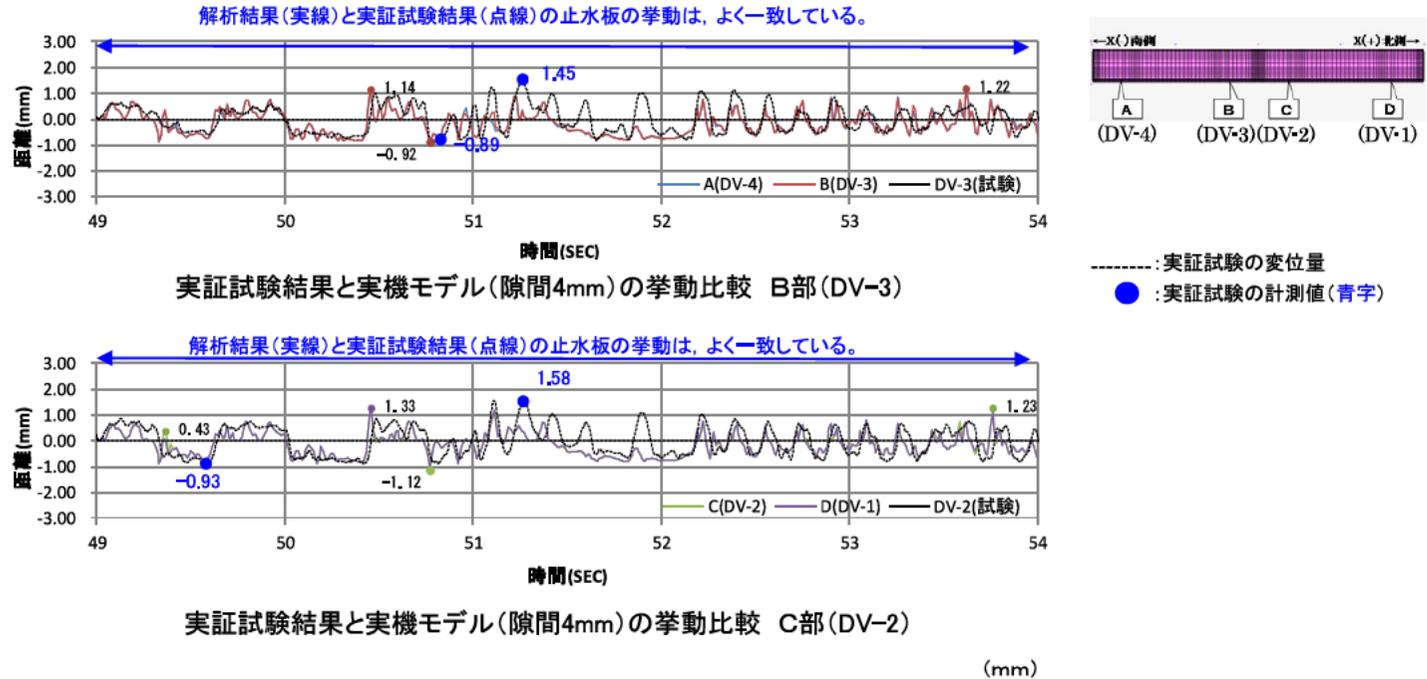
	止水板厚さ A (mm)	ガイド間隔 B (mm)	隙間 (mm)
図面寸法	210	213	3
実際の供試体の寸法 (製作公差含む)	207	211~210	3~4

図3 実証試験の試験装置における止水板とガイド間の寸法

【論点1】 鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性(7/8) 三次元動的解析モデルの信頼性の向上 (2/2)



実証試験結果(フィルタリング後)と実機モデル(隙間4mm)の3方向同時加振時の結果について比較した。
その結果、**実証試験結果と実機モデル(隙間4mm)との比較において、浮き上がり量の差が僅かであり、よく一致した結果が得られた。また、止水板の浮き上がりや挙動に対してもよく一致しており、解析モデルの信頼性が向上した結果が得られた。**(図4)



止水板の鉛直変位	②3方向(Y方向(堤軸直角)包絡波)		
	実証試験(①)	隙間4mmモデル(②)	実証試験と解析モデルとの差(②-①)
浮き上がり量(プラス側)	1.45(DV-3)	1.22(DV-3)	-0.23~-0.25
	1.58(DV-2)	1.33(DV-2)	
沈み込み量(マイナス側)	-0.89(DV-3)	-0.92(DV-3)	-0.03~-0.19
	-0.93(DV-2)	-1.12(DV-2)	

図4 実証試験結果と実機モデル(隙間4mm)結果との比較

【論点1】 鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性(8/8)

実証試験及び解析結果による一次止水機構の設計反映



<コメント>

3. 実証試験結果を踏まえて解析にフィードバックする項目はないか、応力評価において実証試験と解析の違いを考慮する必要がないか検討すること。
4. 試験結果と実証試験モデル結果の差が浸水防止機能に影響を及ぼすか否かを分析し、今後設計への反映の有無を示すこと。

<回答>

【実証試験結果と三次元動的解析からの設計への反映事項】

三次元動的解析の実機モデルが実証試験と同じ止水板の挙動を確認したため、**三次元動的解析モデルの信頼性は高く、地震時における浸水防止機能に影響を与えることのないよう構造設計に反映する。**

実機の構造設計については、静的荷重による強度計算、耐震計算を実施し、動的な評価として三次元動的解析による解析結果を構造設計に適切に反映することで設備の構造信頼性を高める。図1に1次止水機構の工事認可申請書構造設計フローを示す。

なお、浮き上がりについては、実証試験の鉛直変位量の結果が解析結果を僅かに上回ることから、地震時における浮き上がりが大きくなる可能性がある。しかしながら、**止水機構には2次止水機構を設ける設計であり、仮に、1次止水機構の水密ゴムの浮き上がりによる漏水が発生したとしても敷地内には浸水しない。**(図2)

①解析モデルの信頼性の向上

実証試験の結果と三次元動的解析モデルを比較すると止水板の挙動や浮上り量において、隙間4mmモデルが実証試験に近い結果が得られている。今後の止水機構の構造設計においては、**原則設計の公称値である隙間3mmモデルにて強度評価を実施し、止水板の挙動や浮き上がり量、発生応力のばらつきを考慮し、隙間4mmモデルの解析結果とも比較し応力評価する。**

②衝突の部材に与える影響評価

止水板の鉛直変位の挙動の結果から、前後(海側・陸側)の傾きが確認できる。実証試験中においても止水板と止水板押えや底面・側面戸当りとの接触音が認められることから**三次元動的解析の結果より、衝突の部材に与える影響を評価する。**

③実証試験結果及び三次元動的解析結果の報告

実証試験にて得られた止水板の挙動、変位追従性、水密ゴムの健全性の観点より結果を取り纏める。また、**動的解析(二次元・三次元)による結果も合わせて集約し、構造部材の許容応力の照査、水密ゴムの応力照査について評価する。**

◆上記内容については、計算書等に反映する。

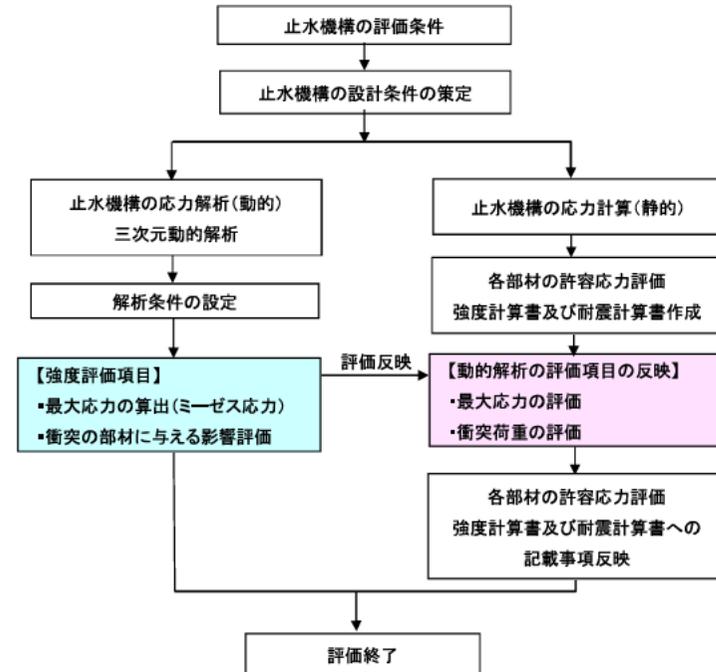


図1 1次止水機構の工事認可申請書構造設計フロー

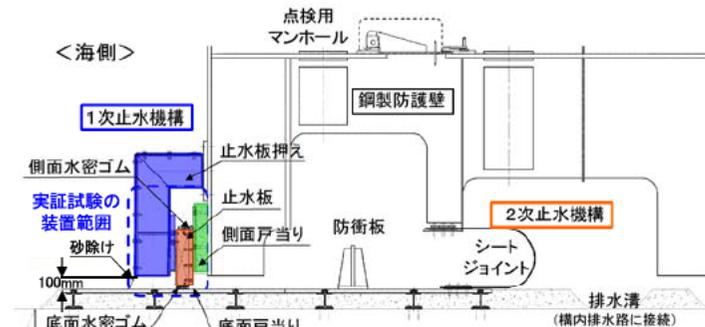


図2 止水機構全体構造概要

＜本論点の経緯＞

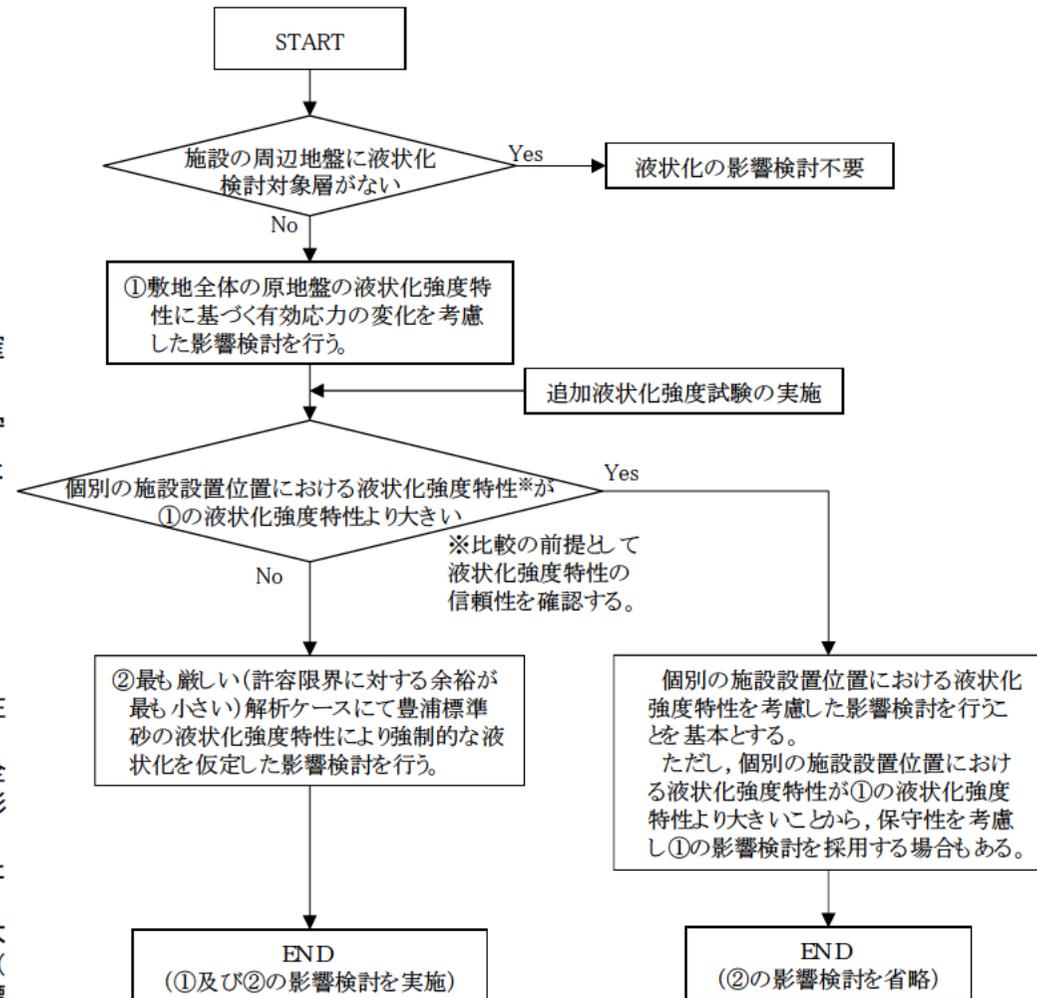
東海第二発電所敷地地盤の有効応力変化に応じた検討は、設置変更許可段階での液状化強度試験結果を基に設定した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性（ -1σ ）を用いている。この設置変更許可段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性（ -1σ ）及びこの液状化強度特性を用いた施設毎の液状化影響検討方針について以下のご指摘をいただいた。

＜コメント＞

1. 液状化強度試験データの信頼性（代表性及び網羅性）の確認が必要である【第481回審査会合（平成29年6月29日）】
2. 施設毎の液状化影響検討方針において、使用済燃料乾式貯蔵建屋を個別の評価対象とした根拠（他の建屋を除外した理由も含む）及び地盤改良の有無について説明すること【第562回審査会合（平成30年4月5日）】

- 施設の詳細設計において、その周辺地盤に液状化検討対象層が存在しない場合は、液状化の影響検討は不要とする。
- 上記に該当しない施設について、基準地震動 S_s に対して、敷地全体の原地盤に基づく液状化強度特性を用いた有効応力解析による影響検討を行う (①)
- 個別の施設設置位置の液状化強度特性について、信頼性を確認した上で、①の液状化強度特性より大きいかの確認を行う。
- 個別の施設設置位置の液状化強度特性が①の液状化強度特性より大きいことの確認ができない場合は、①の検討において最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）解析ケースに対して、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した影響検討を追加で行う (②)。
- 個別の施設設置位置の液状化強度特性が①の液状化強度特性より大きいことを確認した場合は、個別の施設設置位置における液状化強度特性を考慮した影響検討を行う。

以下に施設毎の液状化影響検討の組合せの設定フローを示す。



屋外重要土木構造物及び津波防護施設は、敷地の広い範囲にわたって設置されること及び構造物数が多いことから、敷地全体の原地盤の液状化強度特性①による評価と豊浦標準砂の液状化強度特性②を仮定した評価を実施する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋については、その設置位置での液状化強度特性に基づき「敷地全体の原地盤の液状化強度特性」を設定した地層は、その液状化強度特性を用いる。（当該地層に「豊浦標準砂の液状化強度特性」は仮定しない。）

<回答1>

追加液状化強度試験結果を含め「液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性」と設置変更許可段階で示した原地盤の「FLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) の代表性及び網羅性」について説明する。

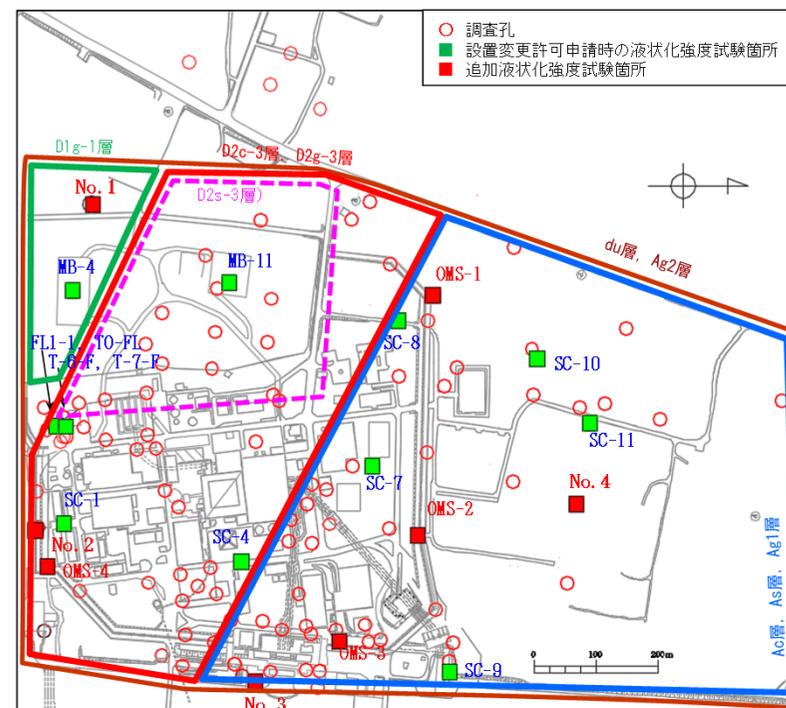
また、強制的に液状化させることを仮定した場合の評価に用いている敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性が追加液状化強度試験結果を含めた全液状化強度試験結果と比較しても、十分に小さいことを確認する。

◆液状化検討対象層の抽出及び液状化強度試験箇所

各指針類で液状化検討対象層として定められているGL-20m以浅の沖積砂・礫質土以外に、GL-20m以深に分布する土層及び洪積層も液状化検討対象とする (du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2s-3層, D2g-3層, D1g-1層)。

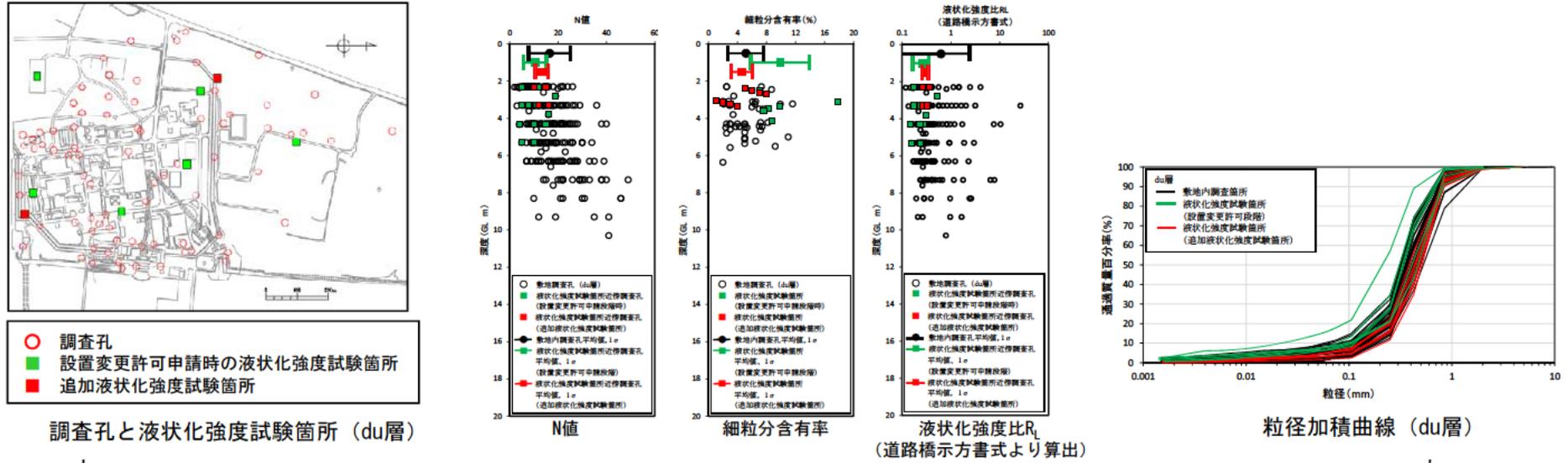
粘性土については、敷地の北部に分布する過圧密粘性土 (Ac層) に対して実施した液状化強度試験結果から液状化しない、すなわち非液状化層であることを確認した。

液状化強度試験箇所の選定においては、N値と細粒分含有率 F_c を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比 R_L が、敷地内の対象土層の R_L と比較して保守的である箇所とした。



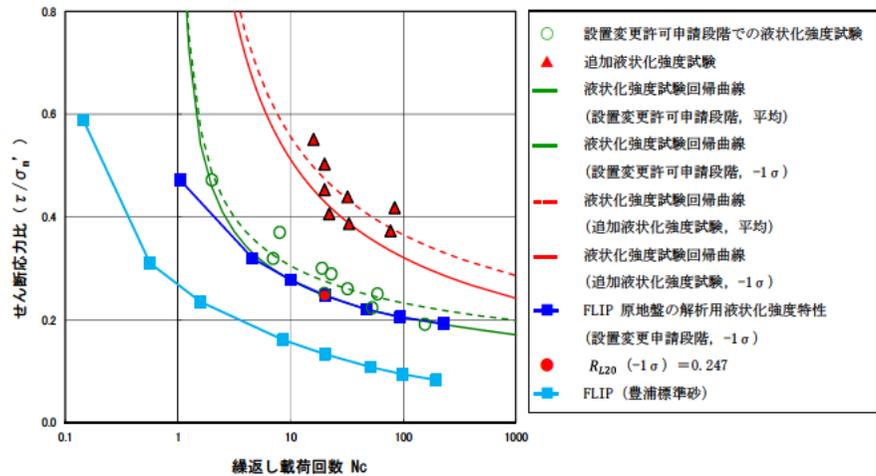
液状化検討対象層の分布範囲,
敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所

設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) の代表性及び網羅性の評価 (du層)



調査孔と液状化強度試験箇所 (du層)

液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L であることより、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認

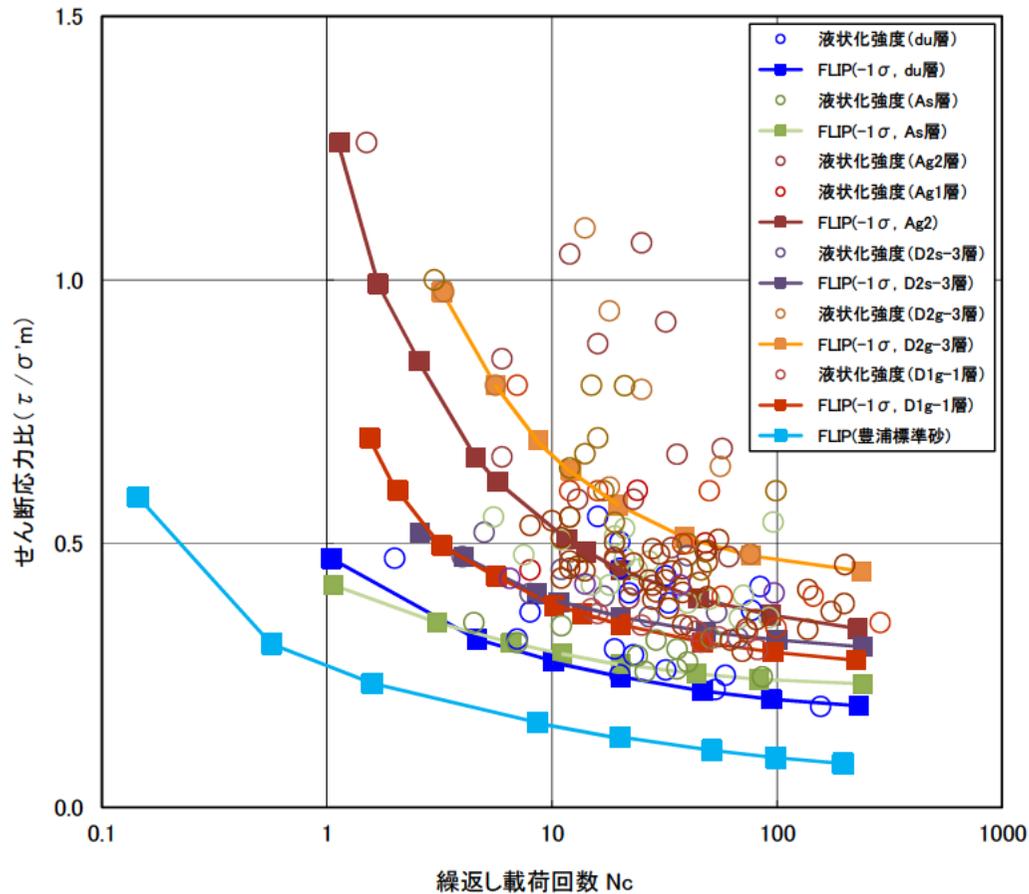


液状化強度試験結果 (du層)

- du層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) よりも大きいことから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した。
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のdu層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した。

- 【液状化強度試験結果のパラツキについて】
- 砂質土の液状化強度特性に影響を及ぼす地盤の物性値は、N値及び粒度 (細粒分含有率 F_c 、平均粒径 D_{50}) が挙げられる。
 - du層は、砂が主体の概ね均一な粒径を示す。
 - 液状化強度試験箇所の細粒分含有率 F_c は10%未満であり、液状化強度特性への影響は小さい。
 - 追加液状化強度試験箇所の平均N値及び平均粒径 D_{50} は、設置変更許可段階時の液状化強度試験箇所よりやや大きい。
 - 追加液状化強度試験結果と設置変更許可段階時の液状化強度試験結果の差異は、N値及び D_{50} によるものと考えられる。

豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性と原地盤の液状化強度試験結果の比較



- 液状化強度試験箇所の道路橋示方書算定式で算定される平均液状化強度比 R_L が、敷地内調査孔の道路橋示方書算定式で算定される平均液状化強度比 R_L より小さいことから、液状化強度試験箇所の代表性・網羅性を確認した。
- du層, As層, D2s-3層及びD1g-1層の追加液状化強度試験で求められた液状化強度特性は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性(-1 σ)と同等、またはより大きいことを確認した。一方、Ag2層, Ag1層, D2s-3層及びD2g-3層の追加液状化強度試験で求められた液状化強度特性は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性(-1 σ)よりもわずかながら小さいものもあったが、その差は小さく、同様の傾向を呈していることから、各液状化検討対象層の設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性(-1 σ)は、代表性を有するものであることを確認した。
- 強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いている敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、敷地における全ての地層の液状化強度試験結果よりも、十分に小さいことを確認した。
- 以上より、設置変更許可申請書で示したFLIP解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性を確認した。

【論点6】 設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性 (5/11)
 (建物・構築物の杭基礎の液状化影響検討)

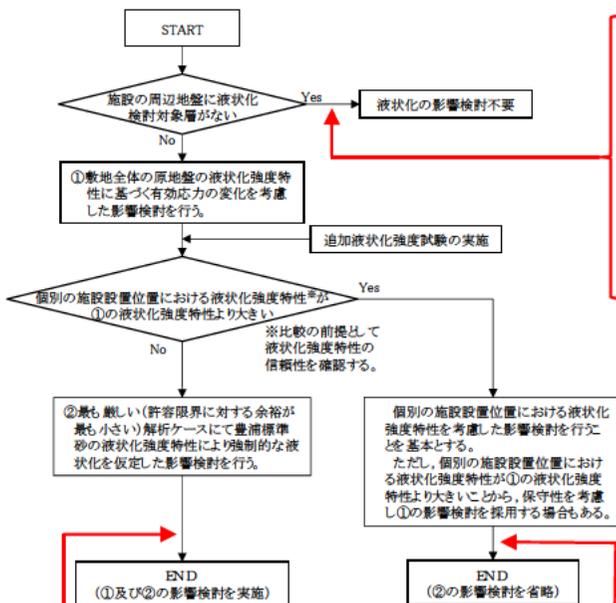


<回答2>

第562回審査会合において、杭基礎を有する建屋に関し、使用済燃料乾式貯蔵建屋について、その設置位置での液状化強度特性に基づき「敷地全体の原地盤の液状化強度特性」を設定した地層は、その液状化強度特性を用いること、主排気筒については地盤改良により「液状化の影響検討不要」となることを説明した。

今回は、使用済燃料乾式貯蔵建屋を個別の評価対象とした根拠（他の建屋を除外した理由も含む）及び地盤改良の有無について説明する。

No.	建物・構築物	杭形式 (支持層)	評価方針	地盤改良
1	・主排気筒 ・非常用ガス処理系 配管支持架構	支持杭 (久米層)	・地盤改良により、杭基礎周辺に液状化検討対象層がない状態とする。 全層セメント固化するため、杭基礎周辺には液状化が生じない。	セメント固化
2	・緊急時対策所建屋	支持杭 (久米層)	・地盤改良により、杭基礎周辺に液状化検討対象層がない状態とする。 セメント固化及び薬液注入を行うため、杭基礎周辺には液状化が生じないが、薬液注入層や粘土層が残る。	セメント固化 及び薬液注入
3	・使用済燃料乾式貯蔵建屋	支持杭 (久米層)	・地層ごとに地盤物性の設定方針を組み合わせ液状化検討を実施する。 設置位置での液状化強度特性が得られている地層 (Ag2層, D2g-3層) ⇒液状化強度特性の信頼性を確認したうえで、その液状化強度特性を用いる。 設置位置での液状化強度特性が得られていない地層 (du層, D2g-2層) ⇒豊浦標準砂の液状化強度特性による強制的な液状化を仮定して影響検討する。	-



1. 主排気筒・非常用ガス処理系配管支持架構
全層セメント固化するため、杭基礎周辺には液状化が生じない。杭基礎周辺以外の液状化検討対象層について液状化の影響を検討する。
2. 緊急時対策所建屋
セメント固化及び薬液注入を行うため、杭基礎周辺には液状化が生じないが、薬液注入層や粘土層が残る。薬液注入した層は液状化を考慮しない原地盤物性を用い、杭基礎周辺以外の液状化対象層には強制的な液状化を仮定した液状化影響検討を行う。

※ 3. 使用済燃料貯蔵建屋

原地盤について建築基礎構造設計指針に基づき液状化しないことを確認した上で、液状化しない場合の構造健全性を検討している。しかしながら、杭基礎周辺には液状化検討対象層があるため、個別の液状化強度特性のない層について強制的な液状化を仮定した液状化影響検討を実施する。

	$\tau l / \sigma' z$	$\tau d / \sigma' z$	FI	FI判定値	判定
du	12.0	1.12	10.7	1以上	OK
Ag2	35.8	1.05	34.2		OK
D2g-3	4.7	0.91	5.1		OK

$\tau l / \sigma' z$: 液状化抵抗比, $\tau d / \sigma' z$: 繰返しせん断応力比

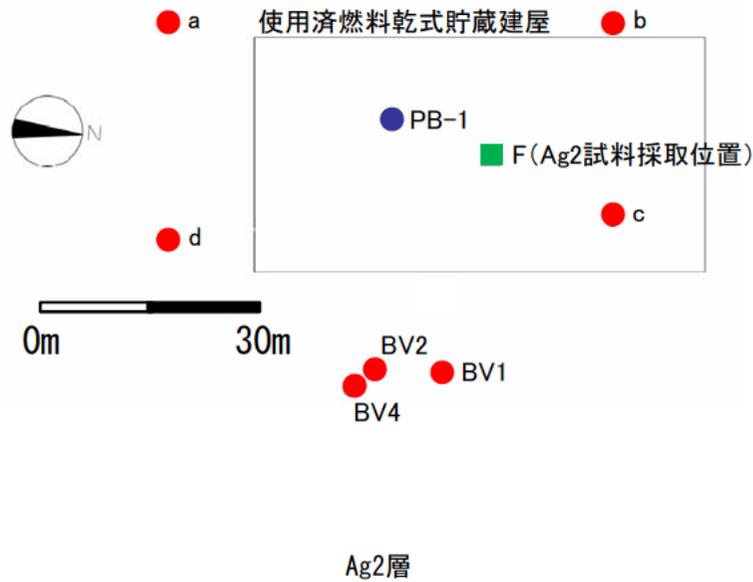
3. 使用済燃料貯蔵建屋※
(du層, D2g-2層)

3. 使用済燃料貯蔵建屋※
(Ag2層, D2g-3層)

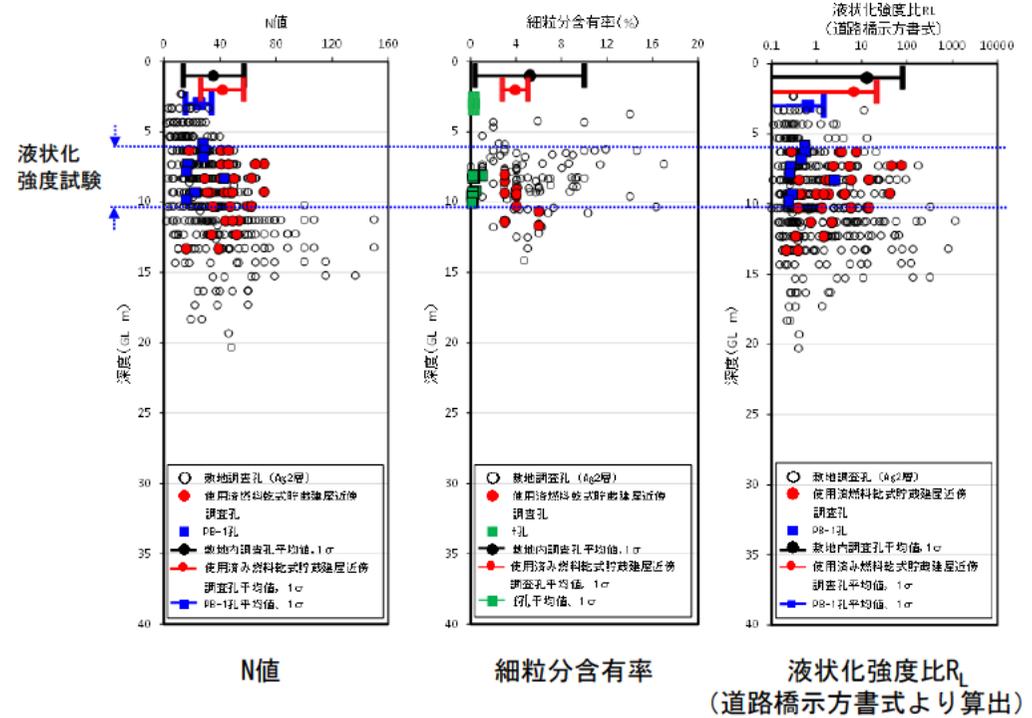
【論点6】 設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性 (6/11)
 (設置位置での液状化強度特性 (試験位置の代表性) (1/2))



- Ag2層
- ・ 液状化強度試験を実施したF孔 (■) では標準貫入試験を実施していないため、近接する事前確認ボーリングのPB-1孔 (●) を用いてF孔における液状化強度特性の代表性を確認する。
- ・ PB-1孔の液状化強度比 R_L について、建屋近傍の調査孔 (●) と比べ小さい傾向にあるため、F孔の代表性を確認した。



使用済み燃料乾式貯蔵建屋近傍調査孔及び液状化強度試験箇所

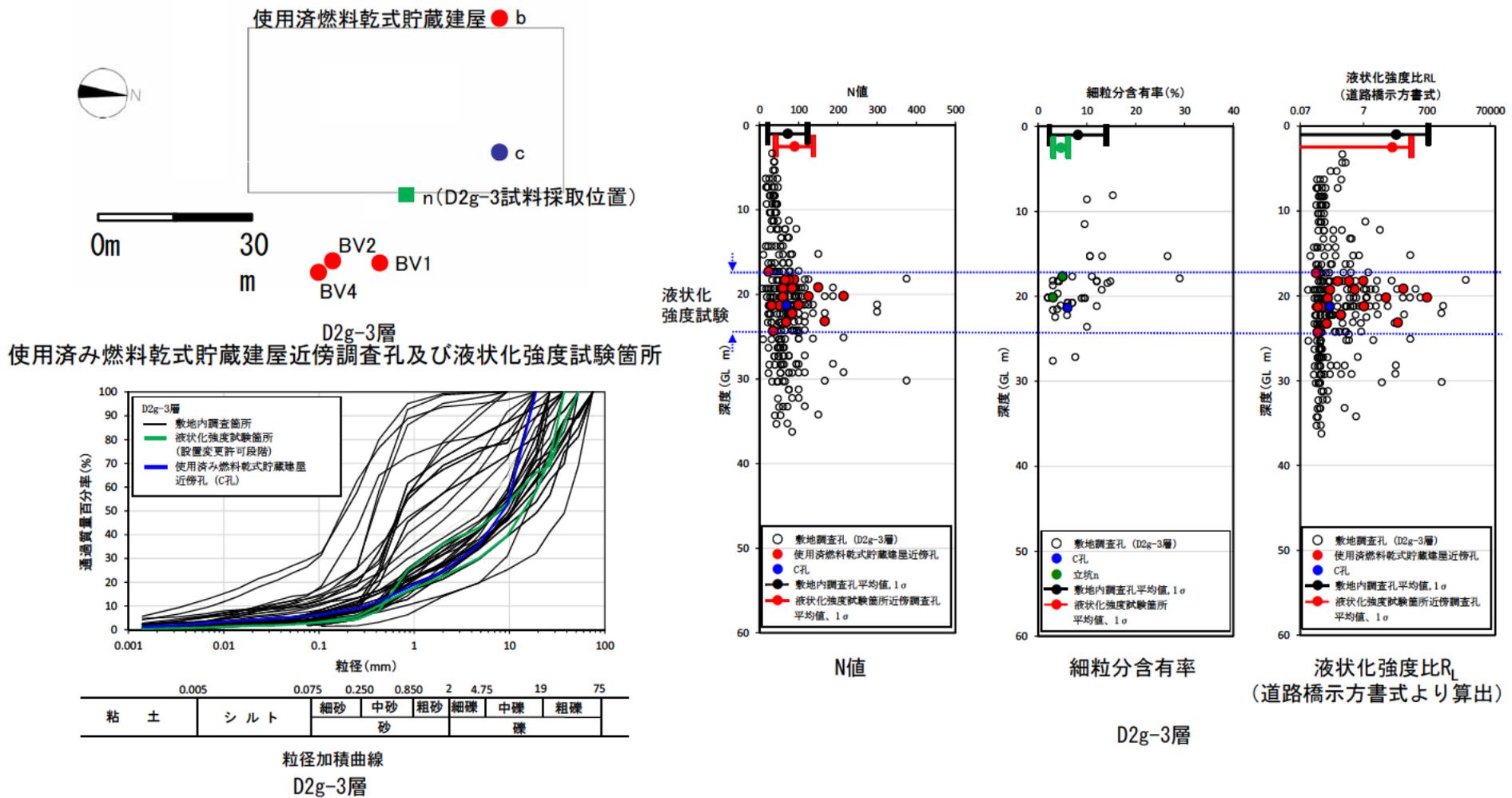


Ag2層

【論点6】 設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性 (7/11)
 (設置位置での液状化強度特性 (試験位置の代表性) (2/2))



- D2g-3層
- ・ 液状化強度試験を実施した立坑n (■) では標準貫入試験を実施していない。
 近接するc孔 (●) は、粒径加積曲線が立坑nと同様の傾向を示し、D2g-3層の分布深度も同様である。
 また、細粒含有率については、液状化強度比 R_L に細粒分の影響を考慮しない範囲 (10%以下) であり、液状化強度への影響も同等であることから、c孔を用いて立坑nの液状化強度特性の代表性を確認する。
- ・ c孔の液状化強度比 R_L は、建屋近傍の調査孔 (●) と比べ小さい傾向にあるため、立坑nの代表性を確認した。



粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫
		砂				礫	

粒径加積曲線
D2g-3層

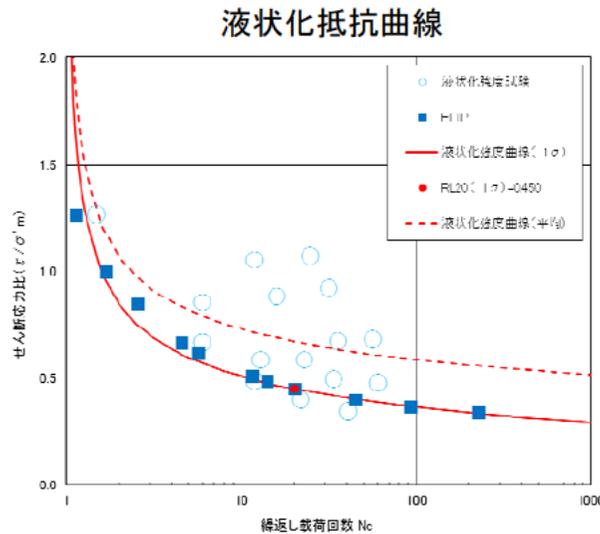
【論点6】 設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性 (8/11)
 (設置位置での液状化強度特性 (液状化強度特性の信頼性))



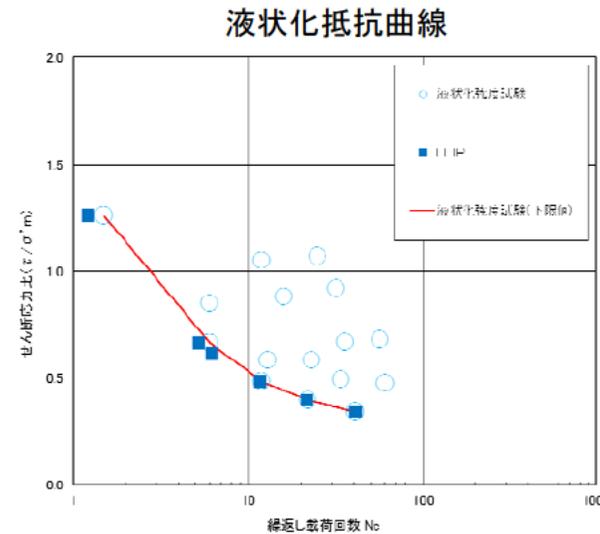
敷地全体の原地盤の液状化強度特性について、液状化強度試験の結果にばらつきを考慮し、 -1σ 相当の液状化強度曲線を目安として設定している。

Ag2層 : 有効応力解析 (FLIP解析) 結果を下回る試験データがあることを踏まえ、試験データの下限を包絡する液状化強度曲線を再設定し信頼性を確保する。

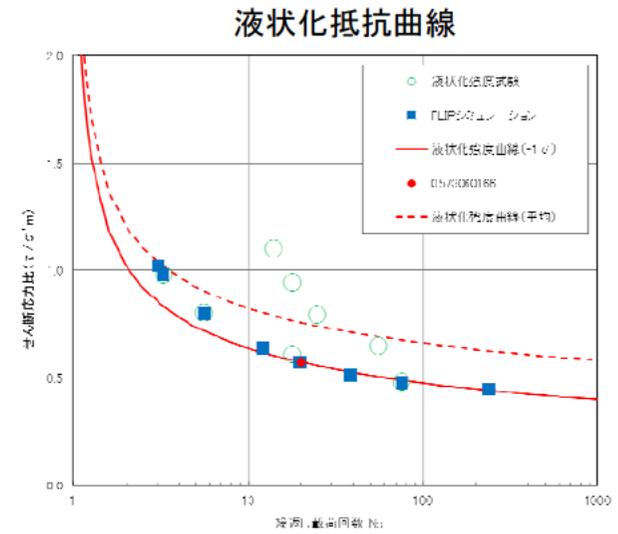
D2g-3層 : FLIP解析結果が試験データの下限を包絡しており信頼性があることを確認した。



Ag2層 (-1σ 相当)



Ag2層 (下限)



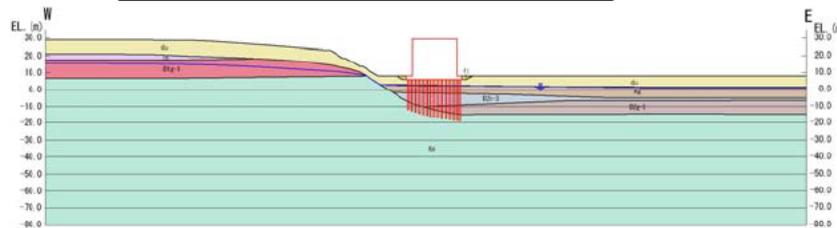
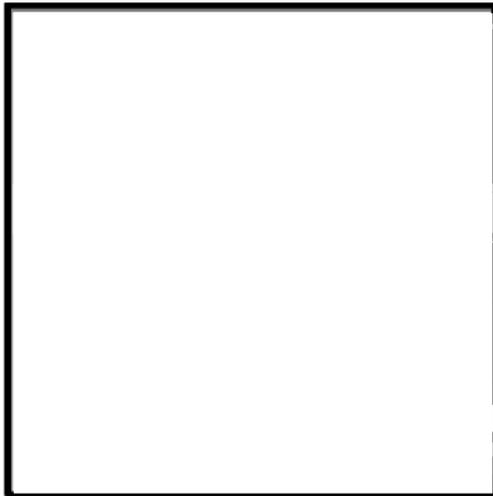
D2g-3層 (-1σ 相当)

【論点6】 設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性 (9/11)
 (使用済燃料乾式貯蔵建屋の液状化影響検討)

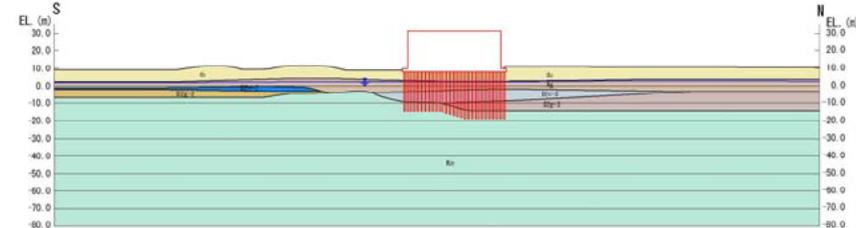


適用する液状化強度特性

No.	地層	液状化強度特性	設定の考え方
1	Ag2	敷地全体の原地盤	施設位置での液状化強度特性あり
2	U2g-3		
3	du (西側斜面以外)	壘浦標準砂	施設位置での液状化強度特性なし
4	D2c-3	敷地全体の原地盤	液状化検討対象外(粘土層)
5	lm		
6	du (西側斜面)	敷地全体の原地盤	杭基礎の健全性の検討を目的とすることから、 斜面には強制的な液状化を仮定しない。
7	D1g-1		



①断面



②断面



EW断面



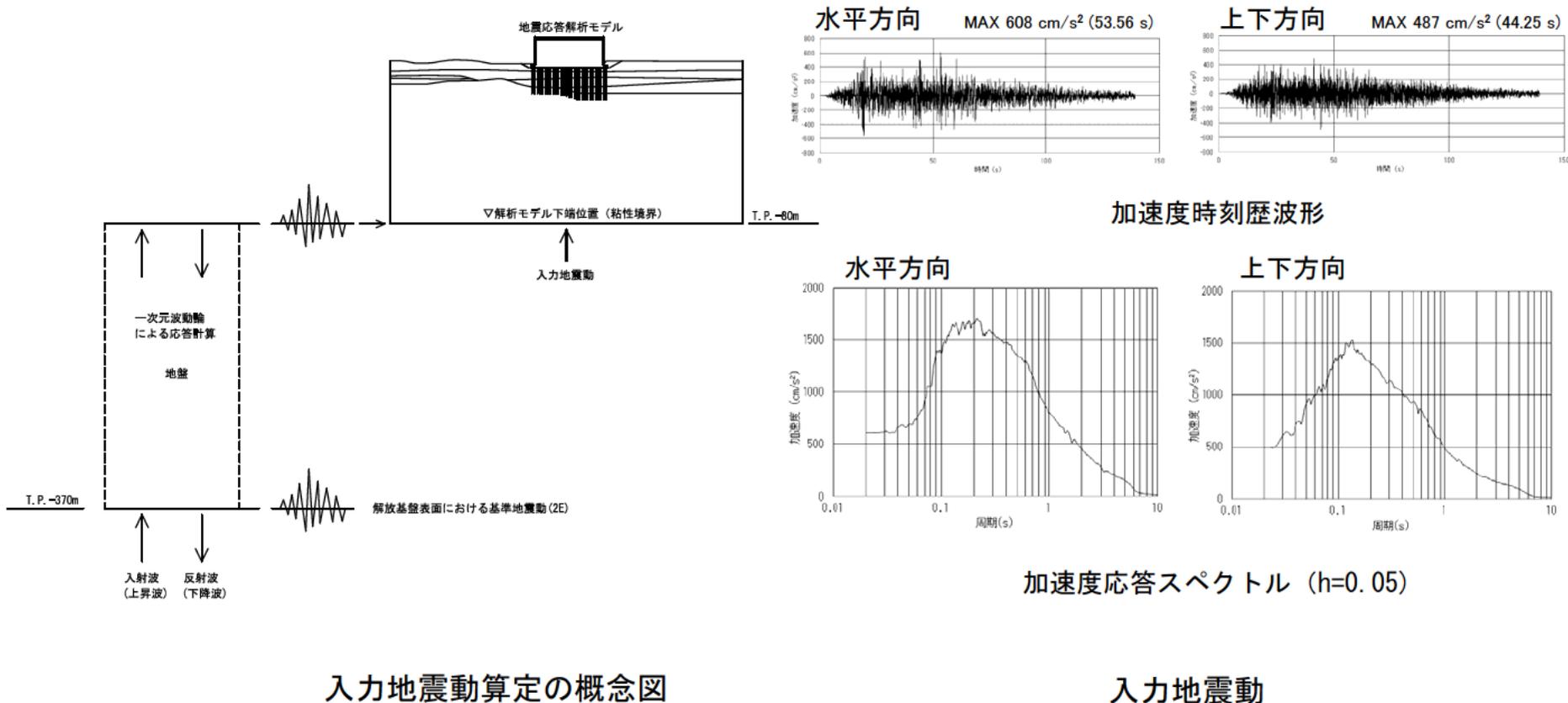
NS断面

【論点6】 設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性 (10/11)
 (使用済燃料乾式貯蔵建屋の検討結果(1/2))



■ 有効応力解析概要

有効応力解析において、建屋周辺のEL. -80m以浅をモデル化する。解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を、1次元波動論により解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。本検討で用いる基準地震動は、主要動の継続時間が最も長い S_s -D1を代表として選定する。入力地震動算定の概念図、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを下図に示す。



■ 杭の健全性評価方針

1. 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤の支持性能に対する健全性は、杭に作用する最大鉛直力が杭の鉛直載荷試験で得られた極限支持力以下であること(右表①)を確認する。

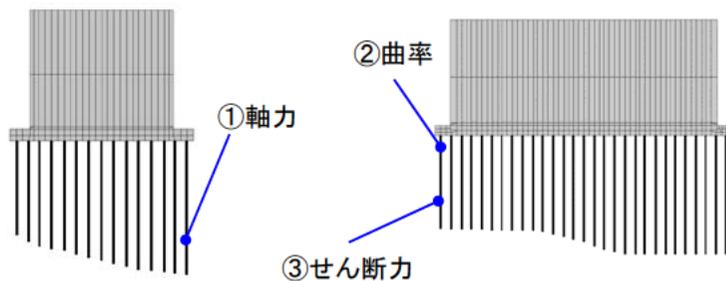
2. 鋼管杭に対する許容限界

鋼管杭に対する健全性は、杭体の曲げモーメントによる杭体の曲率が終局曲率以内であること(右表②)を確認する。また、杭のせん断力が終局せん断耐力以下であること(右表③)を確認する。

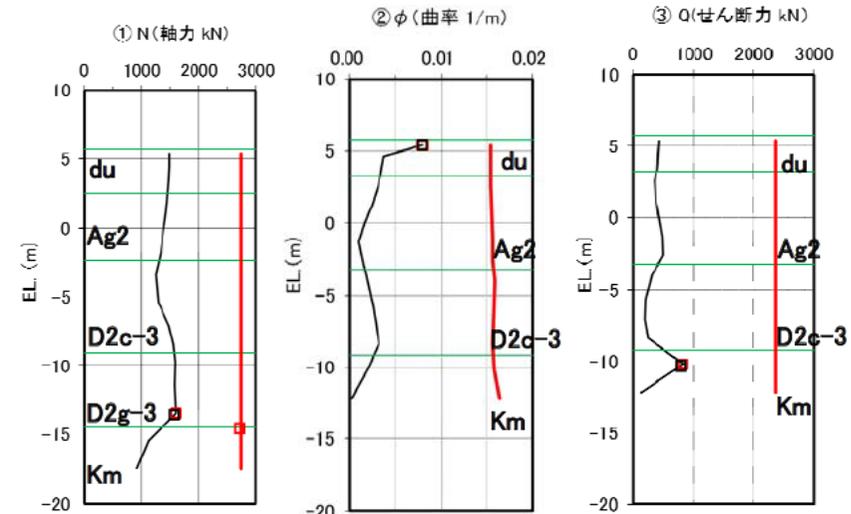
No.	① N(軸力)	② Φ (曲率)	③ Q(せん断力)
方向	EW	NS	NS
杭位置	東端の杭	南端の杭	南端の杭
発生値	1610 (kN)	0.00800 (1/m)	823(kN)
発生深さ	EL.-13.4(m)	EL.5.4(m)	EL.-10.2(m)
許容限界	2740 (kN)	0.0154 (1/m)	2350 (kN)

■ 杭の健全性評価結果

FLIP解析で得られた杭の最大応答値は評価基準値以内に収まっていることから、杭の健全性を確認できた。



最大値の発生位置



杭応力及び杭曲率の深さ方向分布

□ : 発生値の最大値
 □- : 許容限界

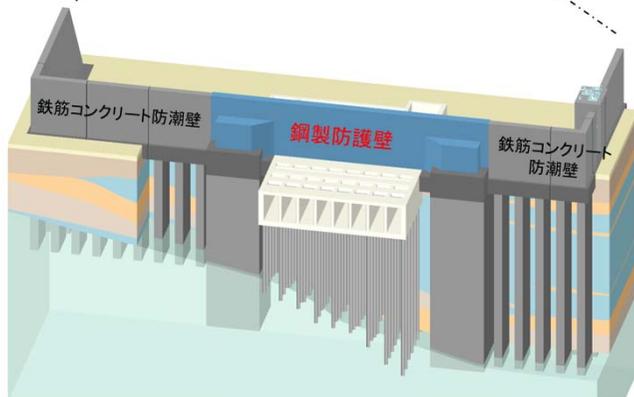
・軸力は杭全長において極限支持力を許容限界とする。
 ・曲率は軸力に応じた許容値とする。(せん断力は一定)

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（1 / 6）

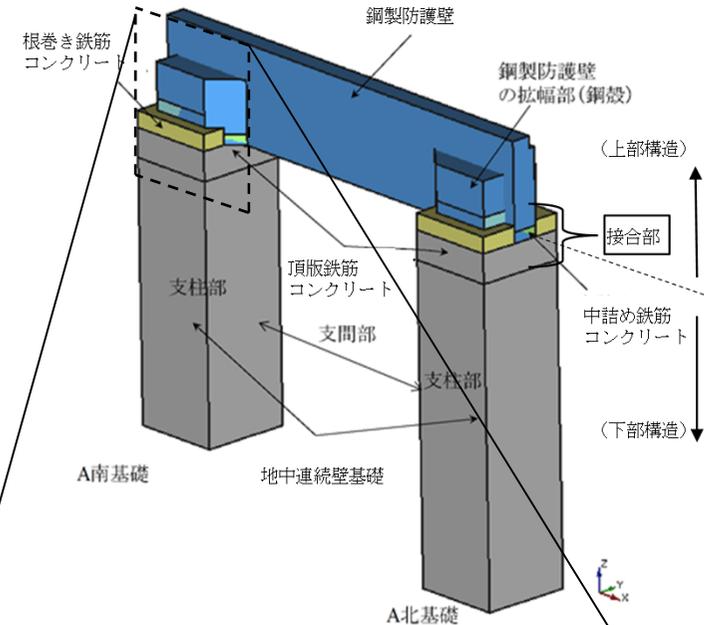
＜本論点の経緯＞

第572回審査会合（平成30年5月17日）において、直接定着式アンカーボルトの津波防護施設への適用にあたっては、以下の項目について検討し、結果を示すようコメントを頂いた。

- ① 直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性の確認
- ② 接合部の設計方法の妥当性の確認
- ③ [その他確認事項] 設計荷重を超える荷重に対して、十分な靱性を有する構造であることの確認



防潮堤島瞰図



鋼製防護壁の構造図

荷重条件: 接合部への負担が厳しくなるT.P.+24 m津波と余震の重畳時

鋼製防護壁のモデル化及び作用荷重のイメージ

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価 (2 / 6)



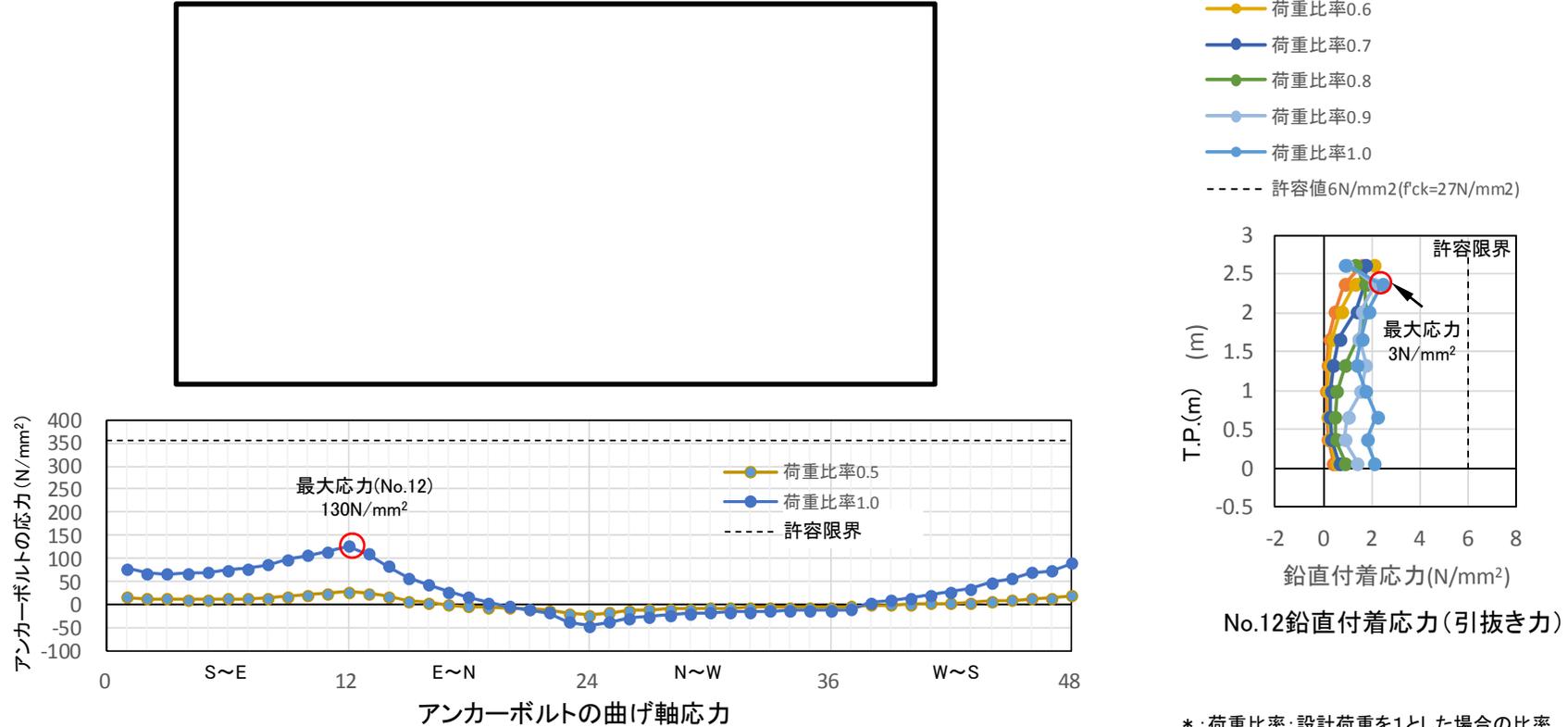
<コメント①>

直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性を確認すること。

<回答>

設計荷重による6成分の設計断面力が同時に接合部へ作用した場合においても、直接定着式アンカーボルトが負担する応力が弾性範囲内に収まることを3次元解析(COM3)で確認したことにより、直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性を確認した。

照査項目: 設計荷重に対するアンカーボルトの曲げ軸応力及びアンカーボルト定着部の引抜き力



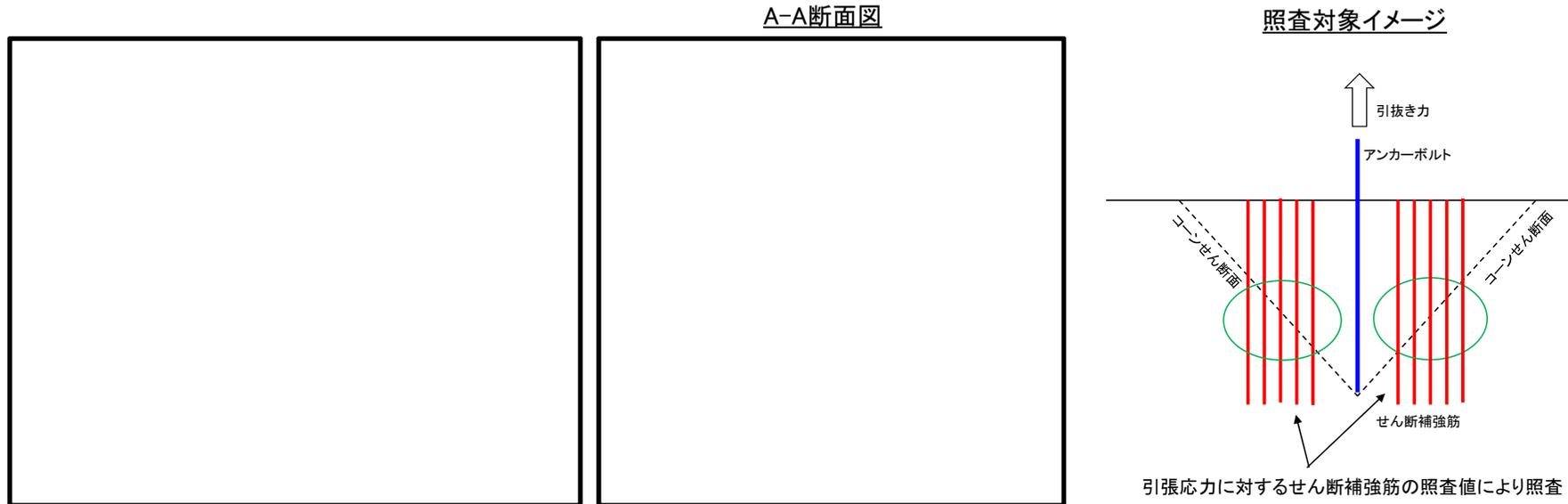
*: 荷重比率: 設計荷重を1とした場合の比率

部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度 N/mm ²	照査値 (発生応力度/許容限界)	判定
アンカーボルト	曲げ軸応力	355	130	0.37	OK
	引抜き力	6	3	0.50	OK

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（3 / 6）

<コメント①> 直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性を確認すること。

照査項目：設計荷重に対するアンカーボルト定着部のせん断補強筋の引張応力



部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度 N/mm ²	照査値 (発生応力度 / 許容限界)	判定
アンカーボルト	コーンせん断(せん断補強筋の引張応力)	339.9	125	0.37	OK

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（4 / 6）



<コメント②>

接合部の設計方法の妥当性を確認すること。

<回答>

設計荷重に対する接合部の設計方法は、各3成分の設計荷重に対して、荷重分担を考慮した各構造部材の技術基準に基づく弾性設計をそれぞれ行うものであるが、これらの構造部材が一体となり、6成分の設計荷重が同時に接合部へ作用した場合においても、全ての部材の応力が弾性範囲内に収まることを3次元解析(COM3)で確認したことにより、設計方法の妥当性を確認した。

設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性を確認する項目

	部 位	照査項目	許容限界 (TP.+24m津波を 考慮する場合)	許容限界が弾性範 囲内か保有水平耐 力範囲かの区分	適用基準
引抜き力 (M_x, M_y, N)	アンカーボルト	曲げ軸応力	降伏応力度	弾性範囲内	鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)
		引抜き力	短期許容応力度	弾性範囲内	鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)
		コーンせん断(せん断補強筋の引張応力)	短期許容応力度	弾性範囲内	鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)
水平力 (S_x, S_y) 水平回転モーメント (M_z)	頂版鉄筋コンクリート 及び 中詰め鉄筋コンクリート	鉄筋応力 (水平回転モーメントによる引張応力)	短期許容応力度	弾性範囲内	道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編), コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
	頂版鉄筋コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	短期許容応力度	弾性範囲内	コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 道路土工カルバート工指針
		鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	短期許容応力度	弾性範囲内	コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 道路土工カルバート工指針
		鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	短期許容応力度	弾性範囲内	コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 道路土工カルバート工指針
	中詰め鉄筋コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	短期許容応力度	弾性範囲内	コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 道路土工カルバート工指針
		鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	短期許容応力度	弾性範囲内	コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 道路土工カルバート工指針
		鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	短期許容応力度	弾性範囲内	コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 道路土工カルバート工指針

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（5 / 6）



<コメント②> 接合部の設計方法の妥当性を確認すること。

3次元解析(COM3)*1による設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認結果

	部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度*2 N/mm ²	照査値*2 (発生応力度/許容限界)	判 定	確認 項目	
引抜き力 (Mx, My, N)	アンカー ボルト	曲げ軸応力	355	130 (321)	0.37 (0.91)	OK	①,②	
		引抜き力	6	3 (5.3)	0.50 (0.89)	OK	①,②	
		コーンせん断(せん断補強筋の引張応力)	339.9	125 (167)	0.37 (0.50)	OK	①,②	
水平力 (Sx, Sy)	頂版鉄筋 コンクリート及び 中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平回転モーメントによる引張応力)	478.5	362 (211)	0.76 (0.45)	OK	②	
		頂版鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	32	27 (10)	0.85 (0.32)	OK	②
			鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	316 (- *3)	0.93 (- *3)	OK	②
	水平回転モーメント (Mz)	中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	314 (447)	0.66 (0.94)	OK	②
			コンクリート応力 (圧縮応力)	32	15	0.47	OK	②
			鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	167 (299)	0.50 (0.88)	OK	②
			鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	346 (334)	0.73 (0.70)	OK	②

*1: 3次元解析(COM3)は 6成分の設計荷重が同時に接合部へ作用した場合の解析である。

*2: 上段は、設計荷重に対する3次元解析(COM3)に基づく照査値であり、下段の()内は、部材毎の設計荷重に対する各技術基準類に基づく照査値である。

*3: コンクリートのみでせん断力を負担できるため、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」に基づき最小鉄筋量を配置する。

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（6 / 6）



<コメント③>

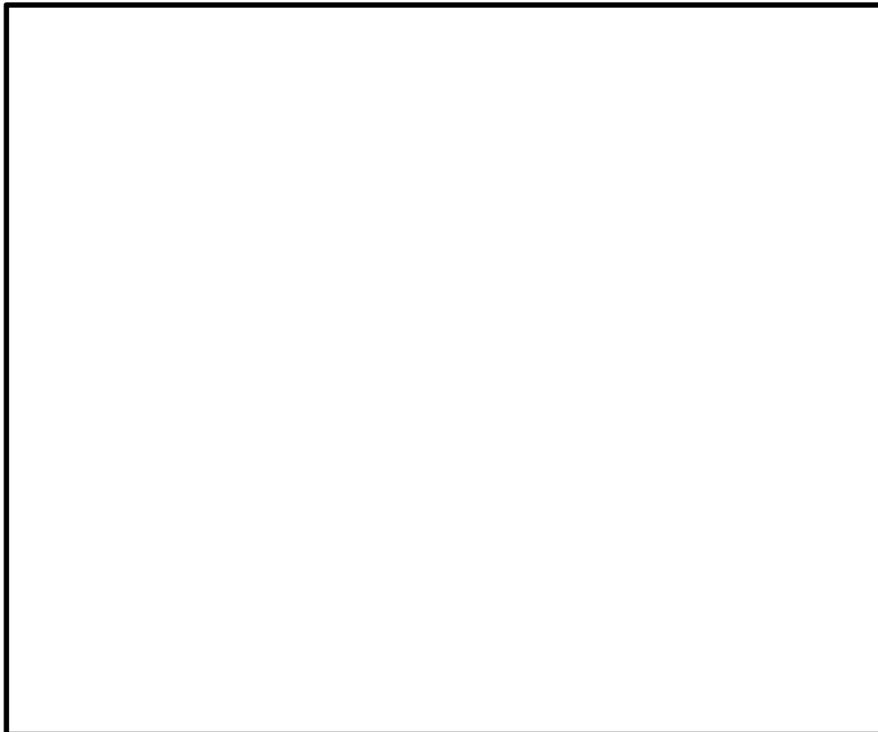
[その他確認事項] 設計荷重を超える荷重に対して、十分な靱性を有する構造であることを確認すること。

<回答>

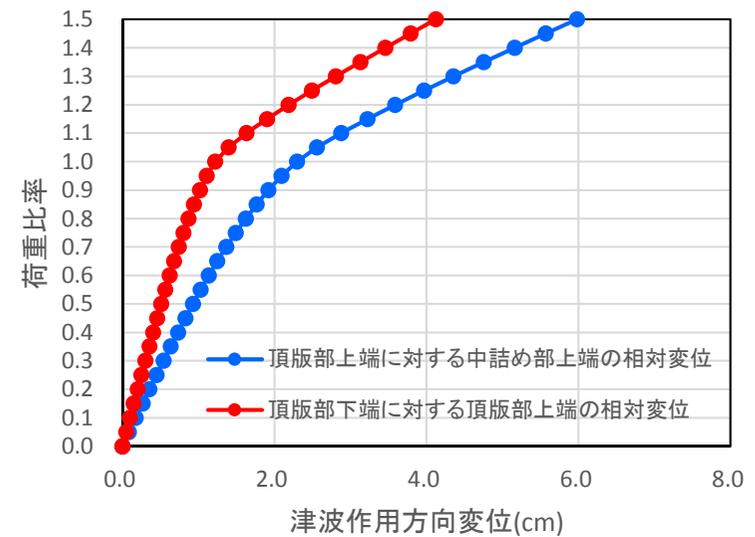
設計荷重を超える荷重として、設計荷重の1.5倍の荷重を仮想した場合においても、耐荷性能を保持している構造であることを3次元解析(COM3)により確認した。

今後は、当該解析結果による荷重の伝達メカニズムや三次元挙動について整理すると共に、非線形領域の靱性について考察する。

津波作用方向変位抽出位置



荷重比率と津波作用方向変位の関係



◆本論点の経緯

平成30年5月17日第572回審査会合において、原子炉棟基礎をSクラスの設備とみなした上で終局耐力としての荒川mean式による終局強度の適用性、応力平均化の適用性について、安全余裕の説明方針を示した。

◆コメント

面外せん断の許容限界として荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性について、今回の工認と東二建設時の設計クライテリア、他サイトでSクラスとされている基礎の設計クライテリアを比較し、再整理すること。

◆本日の説明概要

1. 耐震重要度分類の整理及び許容限界の設定

- ・原子炉棟基礎の耐震重要度分類について、建設時と新規制基準の考え方を整理した。
- ・各サイトの原子炉建屋の基礎について、Sクラスの範囲及び許容限界を整理した。
- ・東海第二では、原子炉建屋基礎盤(原子炉棟基礎、付属棟基礎)をSクラスの設備の間接支持構造物として整理し、新規制基準の考え方に従い、JEAG4601を参考に面外せん断の許容限界として終局耐力を適用する。

2. 荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性

- ・荒川mean式による終局強度について、基礎スラブの実験との比較、軸力を考慮した修正荒川mean式との比較により裕度を定量的に確認した。
- ・実際の裕度として、人工岩盤を考慮した応力解析による応力低減やコンクリートの実強度を考慮した場合について検討した。

⇒原子炉建屋基礎盤のせん断終局耐力の許容限界として荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性を確認した。

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(2/14) 1. 耐震重要度分類の整理及び許容限界の設定

耐震重要度分類の考え方



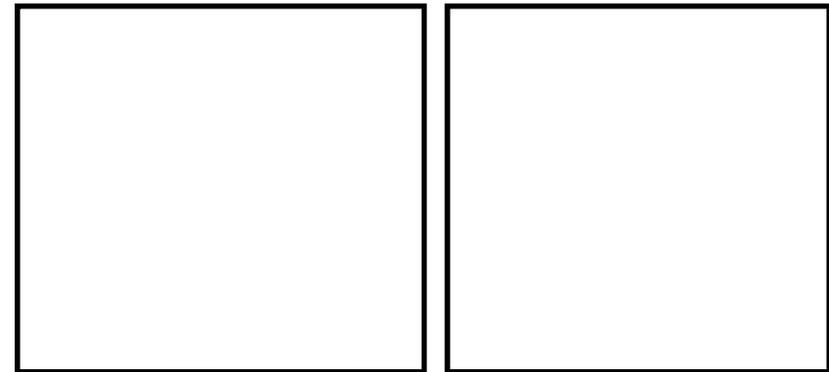
東海第二発電所は、昭和56年の耐震設計審査指針の制定前に建設されたプラントであり、耐震重要度分類の考え方が現在とは異なる。

○東海第二発電所の建設時の考え方

- 建屋ごとに耐震重要度分類を設定することを原則。
- 原子炉建屋は建屋全体をAクラス(原子炉格納容器を構成する底部コンクリートマットはAsクラス)に分類。

○現行の規制基準(耐震設計に係る工認審査ガイド)

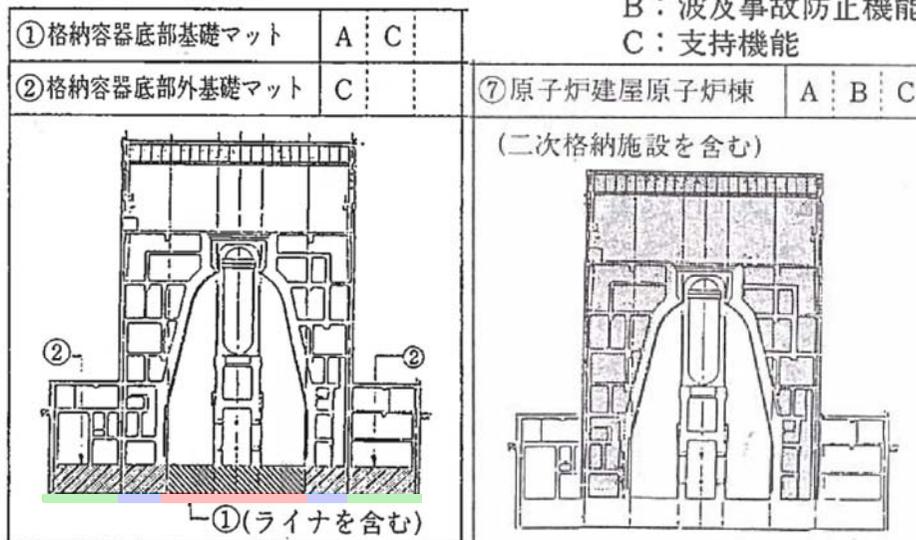
- 施設を構成する設備は、JEAG4601の規定を参考に、主要設備、補助設備、直接支持構造物、間接支持構造物、波及的影響を検討すべき設備に区分し、設備(主要設備、補助設備、直接支持構造物)の区分毎に耐震重要度分類を適用する。
- 間接支持構造物、波及的影響を検討すべき設備については、それぞれ関連する設備の耐震設計に適用される地震動に対して安全上支障ないことを確認することとされている(耐震重要度分類を設定しない)。



原子炉建屋概略平面図 原子炉建屋概略断面図(A-A)

BWR MARK-II

A：耐漏洩機能
B：波及事故防止機能
C：支持機能



原子炉建屋基礎盤の機能

部位	機能	
	耐漏洩	支持
原子炉格納容器 底部コンクリートマット	○	○
原子炉棟基礎	—	○
付属棟基礎	—	○

要求機能からは、原子炉格納容器底部コンクリートマットはSクラス、原子炉棟基礎及び付属棟基礎はSクラスの設備の間接支持構造物となる。

原子炉建屋の基礎と要求機能(JEAG4601-1987抜粋・加筆)

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(3/14) 1. 耐震重要度分類の整理及び許容限界の設定
各サイトの耐震重要度分類の整理



○大間1号（平成18年耐震設計審査指針適用プラント）

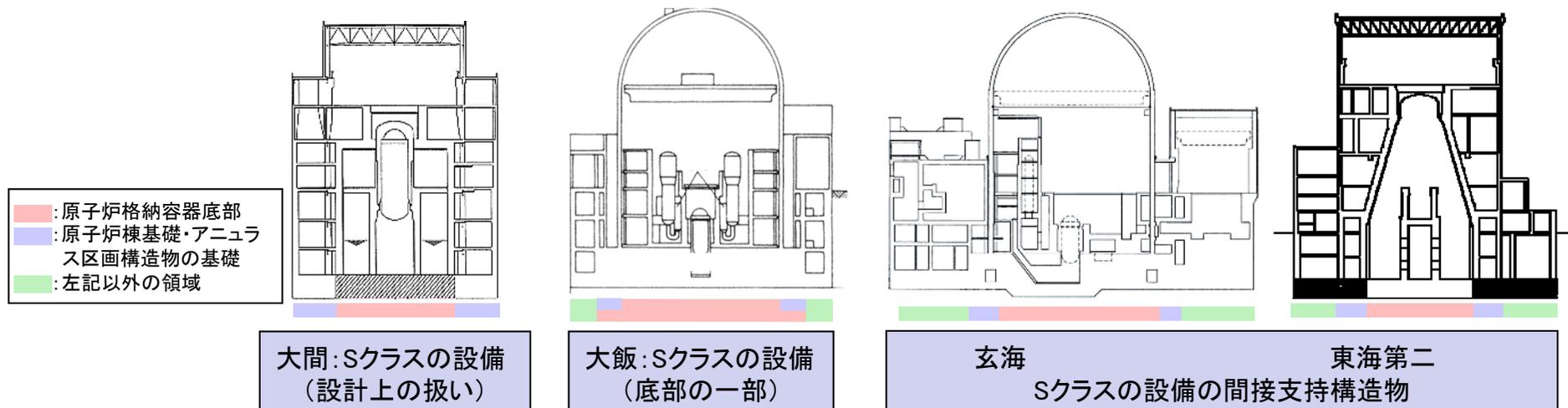
- ・ 二次格納施設基礎スラブについては，原子炉格納容器底部（Sクラス）との連続性を考慮して原子炉格納容器底部と同様の方法（CCV規格）でSs地震時及びSd地震時に対して設計している。
（建設時の設計においては，建屋全体にあるクラスに相当する地震力を設定することがあり，二次格納施設基礎スラブの設計上の扱いとしてSクラスとしたものと解釈できる。）

○玄海3/4号，大飯3/4号（新規制基準適合プラント）

- ・ 原子炉格納容器底部をSクラスの設備とし，その周辺部はSクラスの設備の間接支持構造物としている。
- ・ アニュラス区画構造物の基礎は，玄海ではSクラスの設備の間接支持構造物，大飯では原子炉格納容器底部の一部としてSクラスの設備として分類されている。

○東海第二

- ・ 要求機能を整理した結果，原子炉格納容器底部コンクリートマットをSクラス，原子炉棟基礎及び付属棟基礎をSクラスの設備の間接支持構造物とする。
- ・ 建設時にAクラスであったことを踏まえ，Sd地震時の評価を行う。これは大間1号の評価とも整合する。
- ・ 設置許可申請においては，原子炉建屋を間接支持構造物とし，原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋原子炉棟をSクラスの設備としている。原子炉棟基礎及び付属棟基礎は原子炉建屋の一部として間接支持構造物となる。



各サイトの二次格納施設基礎の耐震重要度分類

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(4/14) 1. 耐震重要度分類の整理及び許容限界の設定
原子炉建屋の基礎のクライテリアの整理(格納容器底部以外)



OSクラスの設備の間接支持構造物の許容限界

- ・基準地震動 S_s の地震力により発生する応力に対する許容限界として、「JEAG4601の規定、既往の研究等において試験・解析等により妥当性が確認されたものを参考に設定」することとされている。
(耐震工認審査ガイド)

各種基・規準類に示される梁の終局せん断強度式*

基・規準類	JEAG4601-1987	RC-N規準(2005)	建築物の構造関係 技術基準解説書(2015)
評価式	・修正荒川mean式 (荒川min式に軸力項を考慮した評価式)	・荒川mean式 ・荒川min式	・荒川mean式 ・荒川min式

※詳細は参考資料参照

○他サイトの許容限界の実績

- ・原子炉建屋の基礎スラブは、CCV規格またはRC-N規準による設計とし、 S_s 地震時に対する許容限界として、CCV規格荷重状態IVの許容値またはRC-N規準の短期許容応力度を適用。
- ・面外せん断については、CCV規格荷重状態IVの許容値はRC-N規準の短期許容応力度と同じ。
- ・大間1号，大飯3/4号，玄海3/4号ともRC-N規準の短期許容応力度を適用。

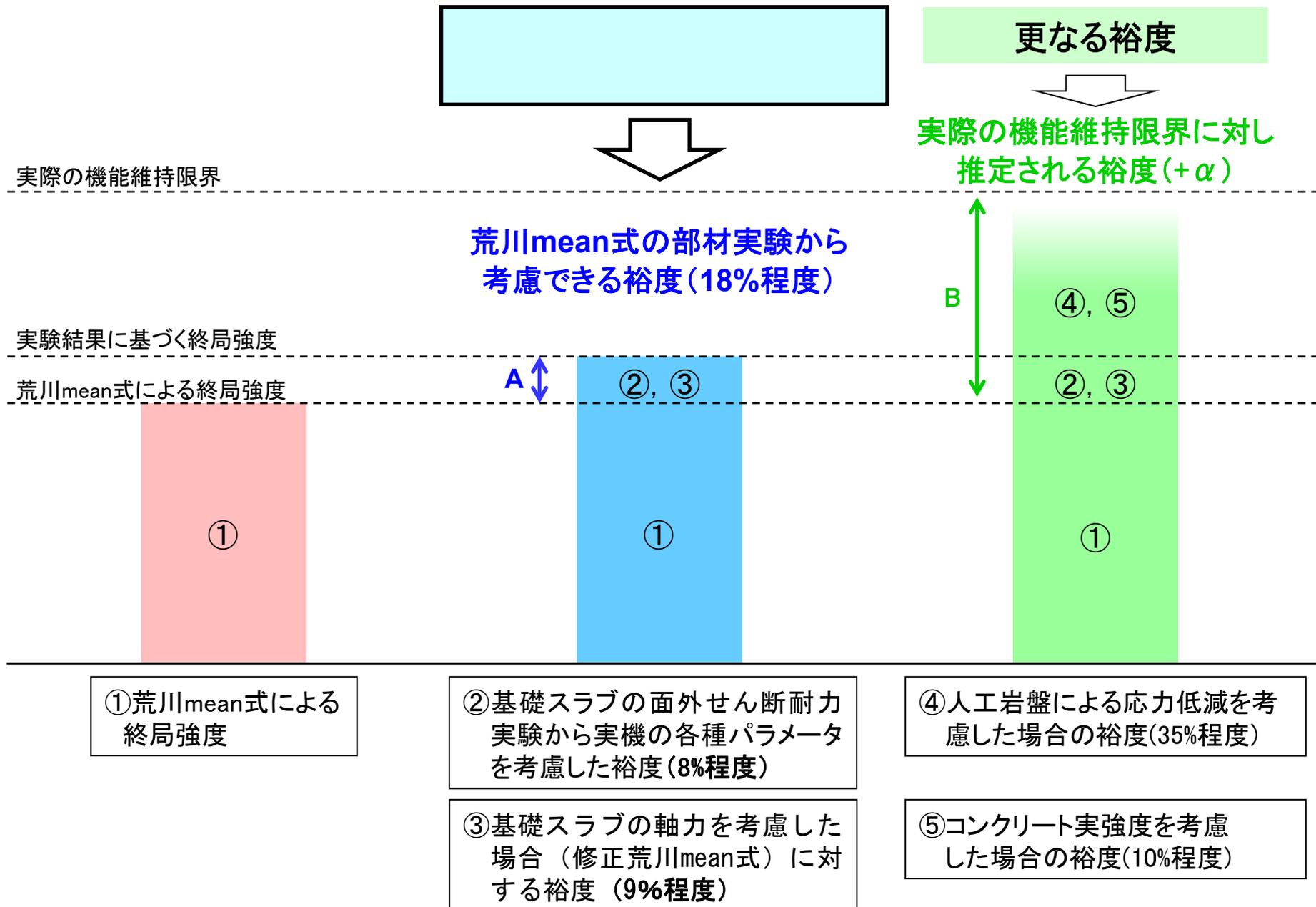
○各建屋の許容限界の実績

- ・使用済燃料乾式貯蔵建屋の既工認において、Asクラスの貯蔵容器の間接支持構造物として、 S_2 地震時に対して修正荒川mean式を適用。

○東海第二原子炉建屋基礎盤の許容限界

- ・荒川mean式はJEAG4601-1987に挙げられている修正荒川mean式に対し保守的であり、Asクラスの貯蔵容器の間接支持構造物の面外せん断の許容限界として適用実績があることを踏まえ、東海第二原子炉建屋基礎盤の許容限界として荒川mean式による終局強度を適用する。
- ・他サイトの原子炉建屋の基礎スラブに短期許容応力度を許容限界として適用していることを踏まえ、荒川mean式を適用した場合においても保守性が維持されることを確認した。
- ・主要設備である原子炉棟の壁と原子炉建屋基礎盤が同じ鉄筋コンクリート構造として一体となっていることを踏まえ、原子炉建屋基礎盤の損傷が原子炉棟の壁の機能に及ぼす影響について検討した。

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(5/14) 2. 荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性
 荒川mean式による終局強度を適用した場合の裕度



【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(6/14) 2. 荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性

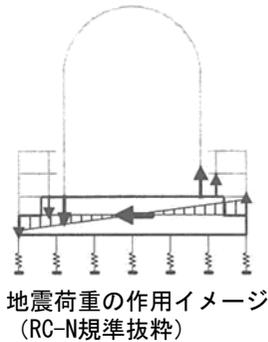


① 荒川mean式による終局強度について

○荒川mean式は、分布荷重を受ける梁の実験結果のほぼ下限を示している。

- ・スパン中央のみに分布荷重を受ける梁では荒川mean式を下回る場合もある。
(柴田拓二:鉄筋コンクリート梁の曲げ及び剪断の耐力に関する研究, 北海道大学工学部研究報告,1962.9の実験データ)

※荒川mean式を下回るデータ○は、連続梁・分布荷重の中でも集中荷重に近い載荷方式のため、検討対象から除外する。

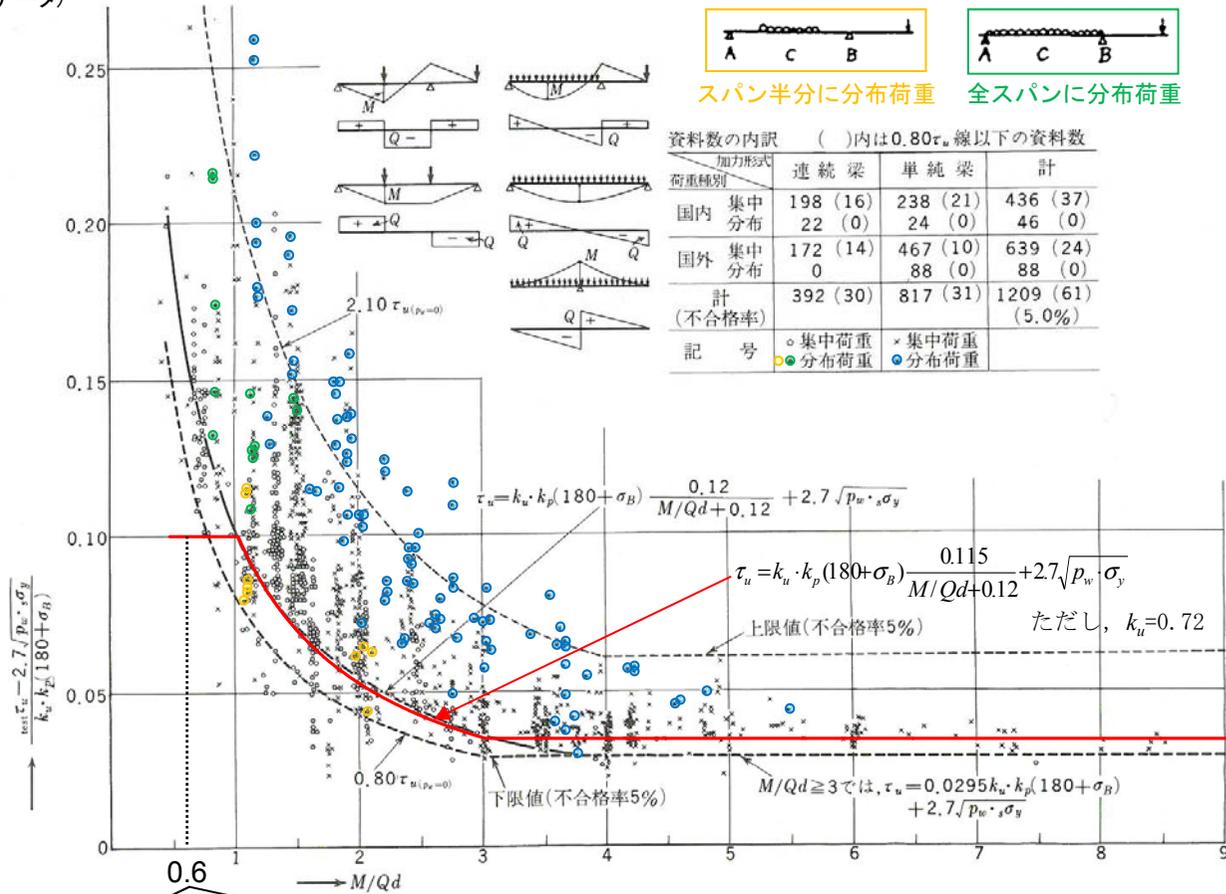


基礎盤底面からの地盤反力が分布荷重として作用する。

$$Q_u = \left\{ \frac{0.068 \cdot P_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} b j$$

(1 ≤ M / Qd ≤ 3)

- p_t : 引張鉄筋比(%)
- F_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)
- M : 最大曲げモーメント
- Q : せん断力
- d : 梁有効せい(mm)
- p_w : せん断補強筋比
- σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度(N/mm²)
- b : はり幅(mm)
- j : 応力中心間距離 (mm)



原子炉建屋基礎盤の応力集中部のM/Qd
(水平2方向+鉛直方向, 人工岩盤を考慮しない, Ss-31)

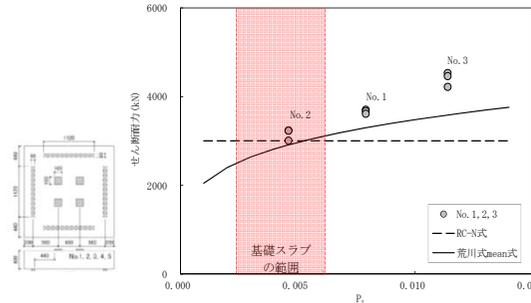
普通コンクリート梁のせん断破壊時における実験値と計算値の比較 (赤線は荒川mean式を示す)
(日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010の解説図15.2に一部加筆)

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(7/14) 2. 荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性

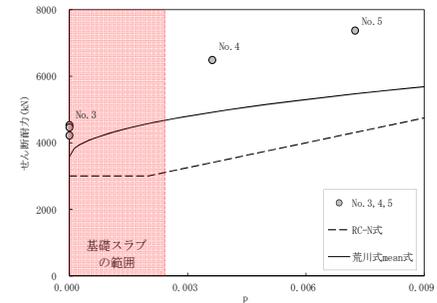
②基礎スラブの面外せん断耐力実験から実機の各種パラメータを考慮した裕度

- 熊谷他(2011)では、原子力発電所等の構造物を構成する部材の終局強度を適切に評価することを目的として、RC基礎スラブの面外せん断終局強度について検討がなされている。
- 検討に用いられた実験データに基づき、基本ケースNo.1に対し、基礎盤の条件を踏まえた耐力への効果を整理し、裕度を算定すると、基礎盤の耐力は荒川mean式に対し8%程度の裕度がある。

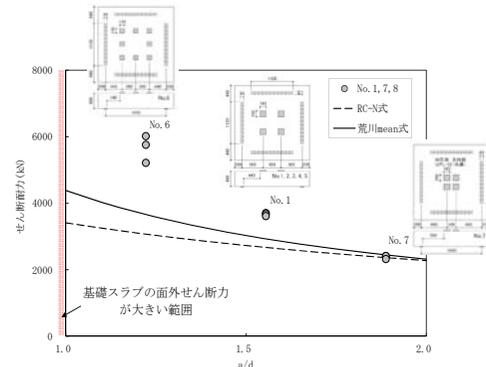
No.	主筋比 P_t (%)	せん断補強筋比 P_w (%)	せん断スパン比 a/d	最大荷重 Q (kN)	最大荷重の変動係数 (%)	荒川mean式 Q_u (kN)	耐力比 Q/Q_u	耐力比(平均) Q/Q_u
1-1	0.79	0	1.56	3706	1.04	3275	1.13	1.12
1-2				3673			1.12	
1-3				3614			1.10	
2-1	0.46	0	1.56	3010	3.36	2995	1.00	1.05
2-2				3237			1.08	
2-3				3234			1.08	
3-1	1.14	0	1.56	4533	3.03	3575	1.27	1.23
3-2				4462			1.25	
3-3				4221			1.18	
4	1.14	0.36	1.56	6485	—	4918	1.32	—
5	1.14	0.73	1.56	7372	—	5470	1.35	—
6-1	0.79	0	1.22	6018	5.92	4474	1.35	1.27
6-2				5759			1.29	
6-3				5214			1.17	
7-1	0.79	0	1.89	2407	1.76	2328	1.03	1.02
7-2				2414			1.04	
7-3				2322			1.00	
8-1	0.79	0	1.56	3902	1.10	3290	1.19	1.18
8-2				3915			1.19	
8-3				3819			1.16	
平均					2.70	平均	1.17	



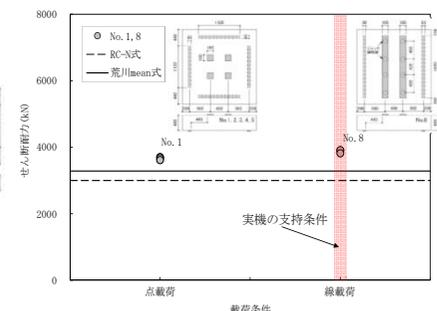
主筋比が小さいほうが、耐力比が小さくなる。
主筋比の効果 No.2/No.1=0.89



せん断補強筋が多いほうが、耐力比が大きくなる。
せん断補強筋の効果は保守的に無視する。



せん断スパン比が小さいほうが耐力比が大きくなる。
原子炉建屋基礎盤の応力集中部ではM/Qdが0.6程度であり、保守的にNo.6で代用する。
せん断スパン比の効果 No.6/No.1=1.04



点支持よりも線支持のほうが耐力比が大きくなる。
支持方式の効果 No.8/No.1=1.04

実験の基本ケースNo.1に対し、基礎盤の条件を踏まえた耐力への効果を整理し裕度を算定。

$$1.12 \times 0.89 \times 1.04 \times 1.04 \doteq 1.08$$

No.1 (基本ケース) × (No.2/No.1) 主筋比 × (No.6/No.1) せん断スパン比 × (No.8/No.1) 支持形式 = 基礎盤の耐力は荒川mean式に対し8%程度の裕度がある。

熊谷仁志, 貫井泰, 今村晃, 寺山武志, 萩原哲也, 小島功: RC基礎スラブの面外せん断終局強度に関する研究, 日本建築学会構造系論文集第76巻 第659号, pp.131-140, 2011 より抜粋・加筆

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(8/14) 2. 荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性



③基礎スラブの軸力を考慮した場合(修正荒川mean式)に対する裕度

- 荒川mean式には軸力による耐力増加は考慮されておらず、軸力の効果を考慮した修正荒川mean式が提案されている。
- 実験から、修正荒川mean式は、せん断破壊が先行する試験体では耐力を保守的に評価している。
- 基礎スラブには水平地震力や土圧による軸力が作用し、基礎スラブの面外せん断に対する検定比が0.9以上の要素において、荒川mean式の耐力に対する修正荒川mean式の耐力は、9%程度大きくなっている。

修正荒川mean式

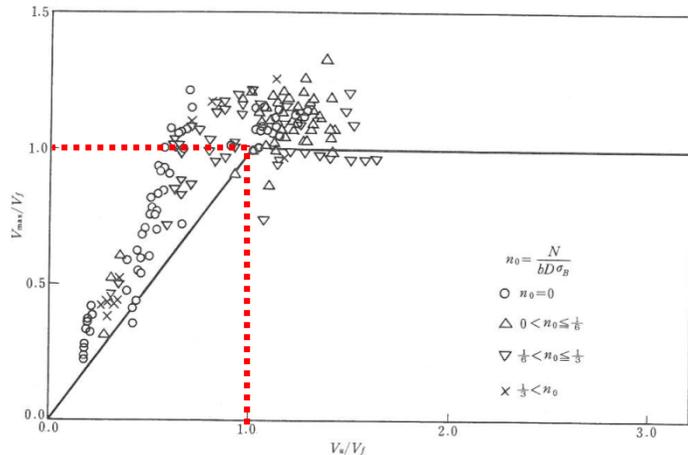
荒川mean式

$$Q_u = \left\{ \frac{0.068 \cdot P_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} bj + 0.1 \sigma_0 bj$$

↑
軸力効果による耐力増加

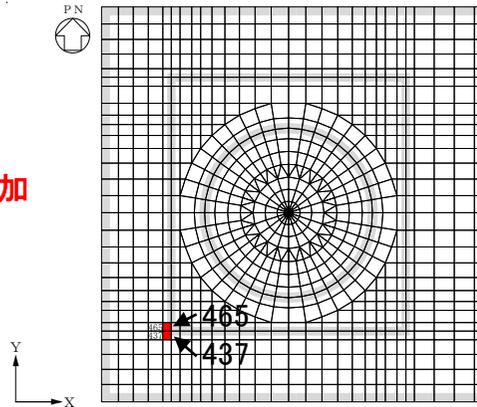
$$(1 \leq M / Qd \leq 3 \quad \sigma_0 = N / bD \leq 0.4F_c)$$

横軸及び縦軸が1.0以下となる領域が、せん断破壊が先行する試験体を示しており、実線の上側のプロットが修正荒川mean式によるせん断耐力を上回る試験体を示している。



修正荒川mean式によるせん断強度算定値と実験値の比較
(縦軸, 横軸共に1.0以下がせん断破壊が先行する領域)

日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型 耐震設計指針・同解説より抜粋・加筆

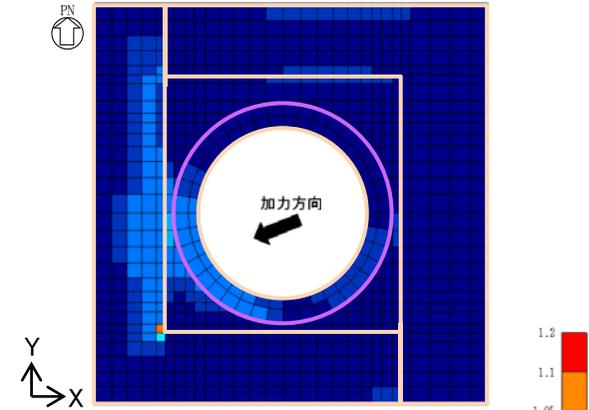


要素位置

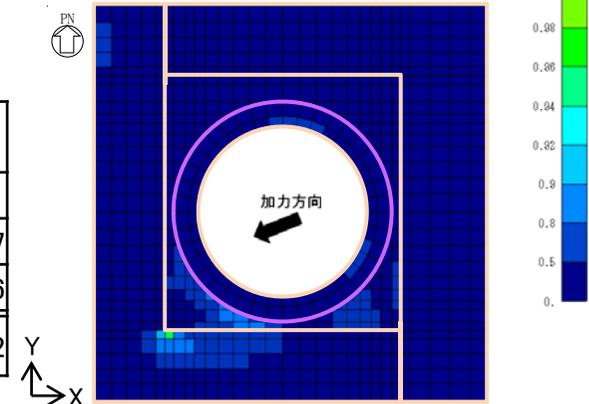
面外せん断の検定比が0.9以上の要素

要素番号	検定比 (人工岩盤無)	修正荒川mean式 /荒川mean式
		人工岩盤無
437	0.916	1.087
465	1.073	1.096
平均値		1.092

○ : 配筋方向の切替位置
(内側:半径,円周方向,外側:X,Y方向)
□ : 耐震壁の位置



Q_x



Q_y

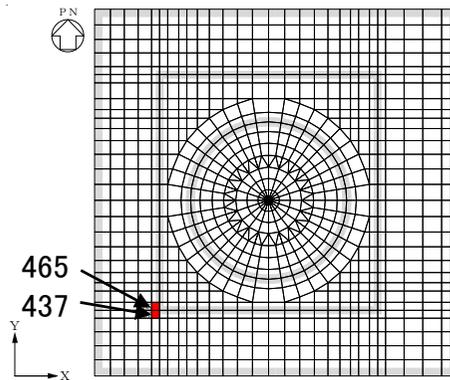
基礎盤の許容せん断力と検定比の比較
(水平2方向+鉛直方向, 人工岩盤を考慮しない, Ss-31)

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(9/14) 2. 荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性



④人工岩盤による応力低減を考慮した場合の裕度

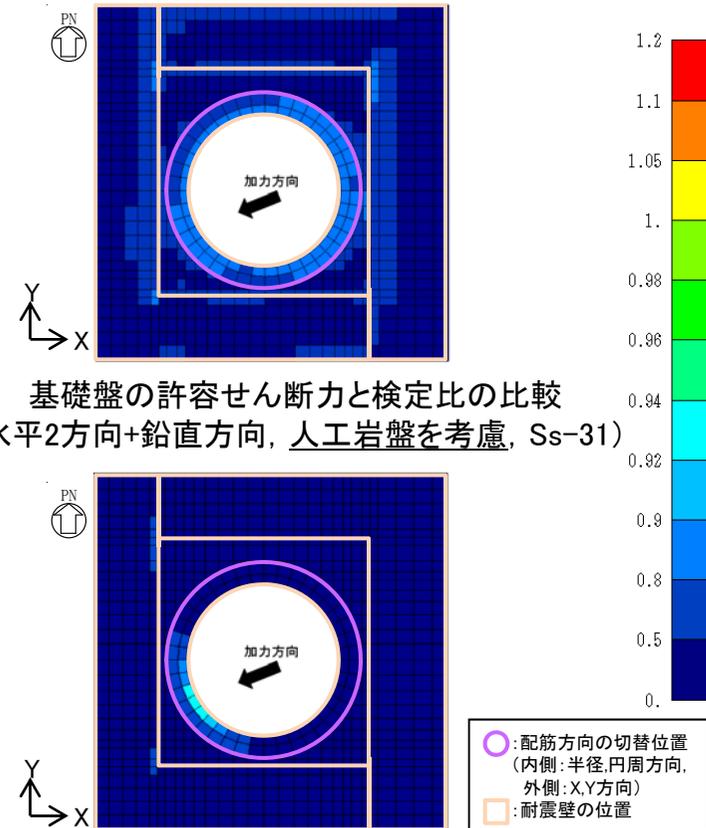
- 原子炉建屋は人工岩盤上に設置されている。
- 今回の基礎スラブの耐震評価では人工岩盤を考慮していないが、人工岩盤を考慮した場合には面外せん断力に対する検定比が小さくなっており、人工岩盤を無視した場合に検定比が0.9以上である要素の面外せん断力は人工岩盤を考慮することで**35%程度**低下する。
- なお、人工岩盤を考慮した場合の面外せん断力は、先行プラント同様にRC-N規準の短期許容応力度以下となる。



要素位置

面外せん断の検定比が0.9以上の要素

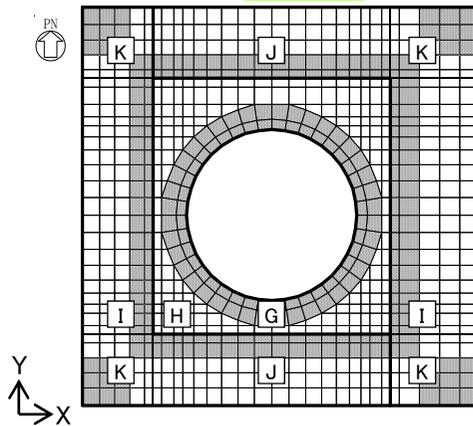
要素番号	検定比 (人工岩盤無)	面外せん断力 (kN/m)		
		人工岩盤無	人工岩盤有	有/無
437	0.916	9255	5798	0.626
465	1.073	10842	6901	0.637
			平均値	0.632



RC-N基準による面外せん断力の検定比
(水平2方向+鉛直方向, 人工岩盤を考慮, Ss-31)

⑤コンクリート実強度を考慮した場合の裕度

- 基礎スラブより採取した供試体(3体)のコンクリート強度の平均値は38.0 N/mm²である。
- この平均値に原子炉建屋全体のコンクリート強度(サンプル数51, 平均値42.1N/mm²)のばらつき($\sigma=8.9$)を考慮すると, コンクリート強度は29.1 N/mm²になる。
- コンクリート強度に29.1 N/mm²を用いた荒川mean式によるせん断耐力は, 設計基準強度を用いた場合に比べてせん断補強筋が無い部位において約1.17倍, せん断補強筋がある部位において約1.08倍~約1.13倍であり, 実強度を考慮した場合10%程度の耐力増加が見込める。



配筋領域図

配筋一覧 (a) 格子配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
H	EW	3-D38@200	3-D38@200
	NS	3-D38@200	3-D38@200
I	EW	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400
	NS	3-D38@200	3-D38@200
J	EW	3-D38@200	3-D38@200
	NS	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400
K	EW	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400
	NS	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400

(b) r-θ 方向配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
G	半径	68-D38/45° (4段)	68-D38/45° (4段)
	円周	4-D38@200	4-D38@200

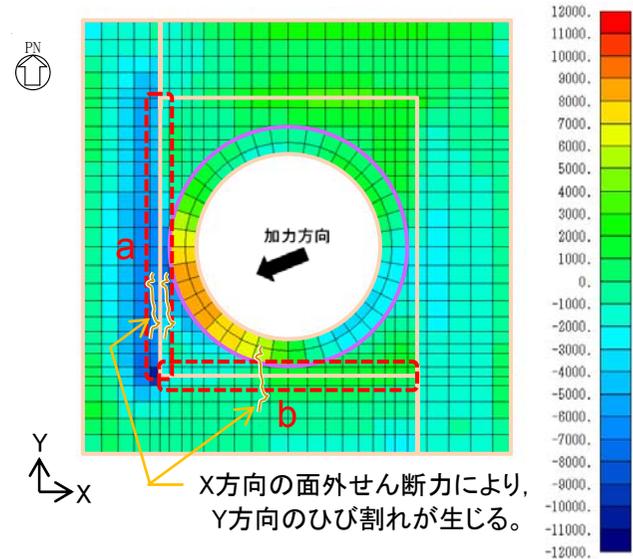
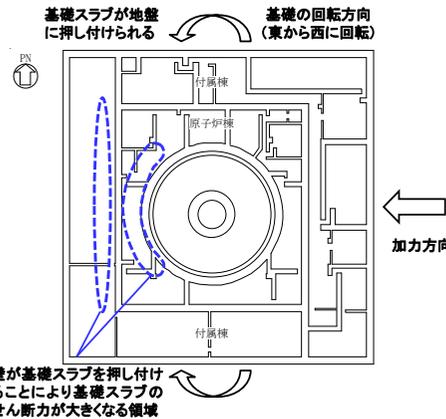
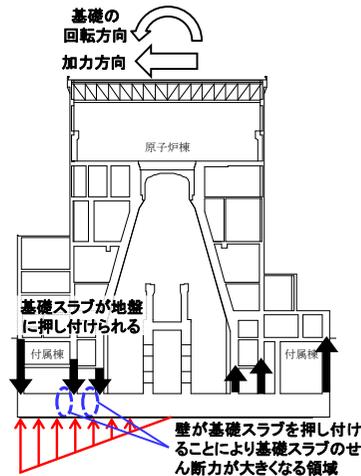
許容せん断力の比較(コンクリート強度: 29.1 N/mm²)

配筋領域	主筋比 (%)	せん断補強筋比 (%)	M/(Qd)	荒川mean式による許容せん断応力度 (N/mm ²)		
				設計基準強度	実強度	増加率
H~K	—	0.0	—	—	—	1.17
G	0.490	0.242	1	2.84	3.20	1.13
			3	1.51	1.64	1.09
	0.617		1	2.95	3.33	1.13
			3	1.55	1.69	1.09
I,J	0.240	0.242	1	2.53	2.83	1.12
			3	1.40	1.51	1.08
	0.377		1	2.72	3.06	1.13
			3	1.47	1.59	1.08
K	0.240	0.242	1	2.53	2.83	1.12
			3	1.40	1.51	1.08
	0.248		1	2.54	2.85	1.12
			3	1.41	1.52	1.08

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(11/14) 2. 荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性
 原子炉建屋基礎盤の損傷モードと原子炉棟の壁の安全機能への影響



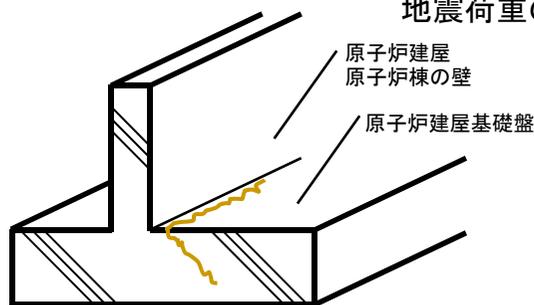
- 原子炉建屋においては、Sクラスの設備である原子炉建屋原子炉棟の壁と、間接支持構造物である原子炉建屋基礎盤が、鉄筋コンクリート構造として一体となっている。
- 原子炉建屋原子炉棟の壁脚部周辺の基礎スラブの面外せん断力に対する損傷モードは、壁に平行または直交するひび割れが想定される。
- 原子炉建屋原子炉棟のSクラスの設備としての機能に影響する壁に直交するせん断ひび割れは、原子炉建屋基礎盤の面外せん断力が作用する方向と直交する方向に生じ得ることから、原子炉建屋原子炉棟の壁脚部周辺で原子炉建屋基礎盤の面外せん断力が大きくなっている領域a,bにおけるそれぞれY方向,X方向の面外せん断力に対する検定比を確認する(次頁)。



X方向の面外せん断力により、Y方向のひび割れが生じる。

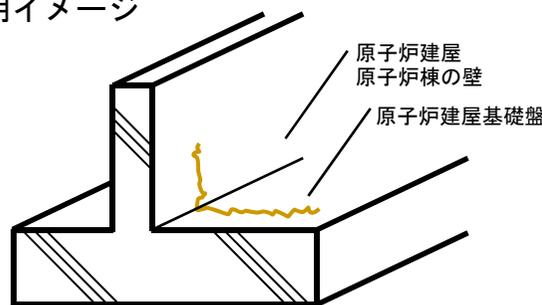
ひび割れのイメージと評価結果
 (X方向, 半径方向の面外せん断力の例)
 (水平2方向+鉛直方向, Ss-31)

地震荷重の作用イメージ



ひび割れが壁に平行

⇒基礎盤のひび割れが壁の安全機能に影響しない。



ひび割れが壁に直交

⇒基礎盤のひび割れが壁の安全機能に影響する。

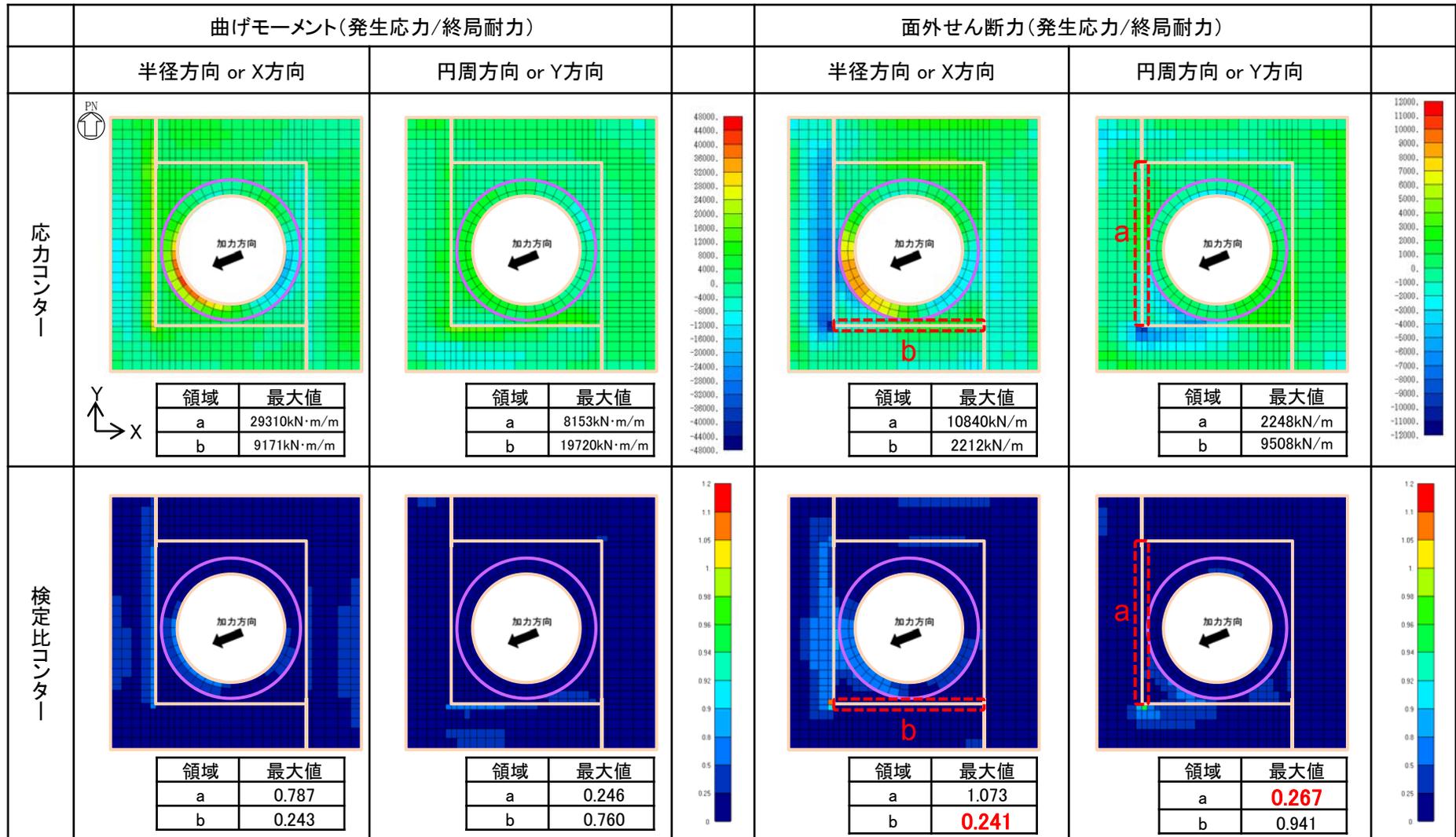
原子炉建屋原子炉棟の壁脚部周辺の基礎スラブの面外せん断力に対し想定される損傷モード(イメージ)

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(12/14) 2. 荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性 Ss地震時の原子炉建屋基礎盤の応力状態



原子炉建屋基礎盤の領域aにおけるY方向, 領域bにおけるX方向の面外せん断力に対する検定比は小さいことから, 原子炉建屋原子炉棟のSクラスの設備としての機能に影響することはなく, 基礎スラブの支持機能を維持することによって, 原子炉建屋原子炉棟の機能も維持できると考えられる。

○: 配筋方向の切替位置
(内側:半径,円周方向,外側:X,Y方向)
□: 耐震壁の位置



評価結果 (原子炉棟基礎および付属棟基礎, 水平2方向+鉛直方向, 人工岩盤を考慮しない, Ss-31)

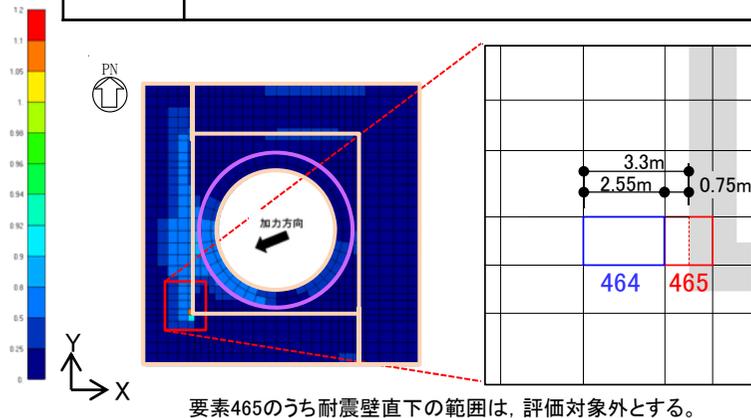
【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(13/14) 2. 荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性
 応力平均化について



■ 応力平均化(面外せん断力の応力平均化範囲の考え方)

- 局所的な応力により一部の要素において発生応力が大きくなる場合がある。基礎スラブは、地盤(人工岩盤)と接しているため、地盤に局所破壊が生じない限り、基礎スラブの面外方向変位は拘束され、せん断ひび割れの発生・拡大が抑制される。
- 基礎スラブでは、局所的に応力の集中があったとしても2次元的な応力の再配分が生じ、構造性能を消失するような全体破壊は生じにくいと考えられる。
- 以上を踏まえ、基礎スラブでは、周辺要素の応力状態を確認したうえで、応力平均化を考慮する。平均化範囲は、せん断力の方向を仮想梁の材軸方向とし、以下のとおり考慮する。

方向	考え方	概念図
材軸方向	FEMモデルにおいて、せん断破壊面が複数の要素で共有されることを踏まえ、当該複数要素による応力平均化を考慮し、平均化範囲は部材厚 t とする。部材厚の範囲内に耐震壁がある場合は壁面の内法を平均化範囲とする。 ⇒せん断破壊面の設定(材軸45°方向)	<p>基礎スラブにおける設計用面せん断力 (RC-N規準(2005))</p> <p>面外せん断力分布</p> <p>杭のパンチングシアの想定破壊面 (参考)RC規準(1999)</p>



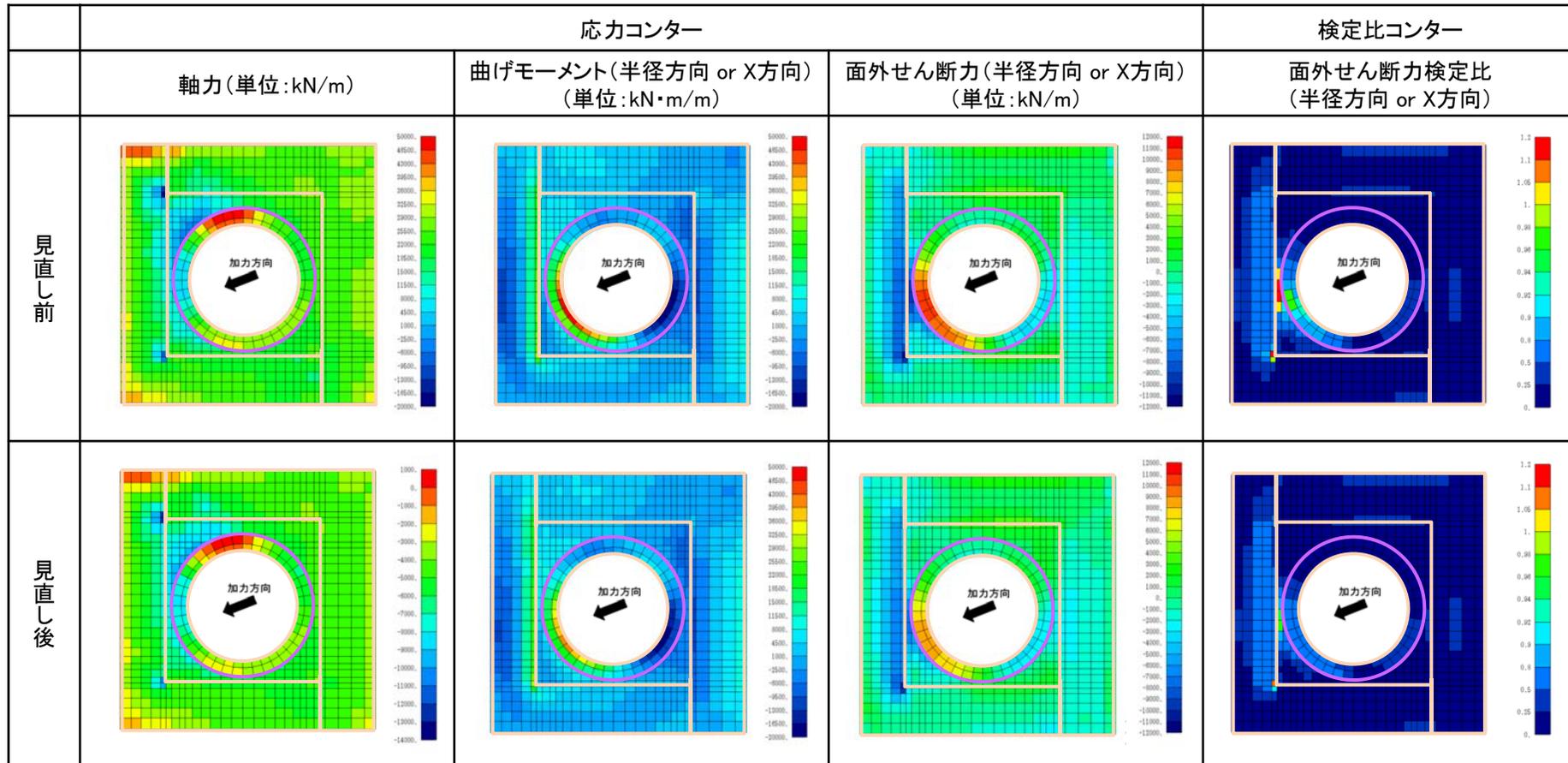
□ : 平均化対象要素
 □ : 平均化に用いる周辺要素

平均化範囲

	面外せん断力 (kN)	許容せん断力 (kN)	検定比
平均化前	1.09×10^4	1.01×10^4	1.073
平均化後	8.50×10^3	1.01×10^4	0.842

平均化範囲は隣接1要素までの3.3mとし、基礎スラブ厚さ5mから定まる平均化範囲以下としている。

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(14/14) 2. 荒川mean式による終局強度を適用することの妥当性
地震荷重見直し前後の比較



評価結果 (原子炉棟基礎および付属棟基礎, 水平2方向+鉛直方向, 人工岩盤を考慮しない, Ss-31)

見直し前後の基礎スラブ応力解析用地震力の比較

	せん断力 (単位: $\times 10^4$ kN)	曲げモーメント (単位: $\times 10^5$ kN・m)
見直し前	88.0	264
見直し後	84.8	251

見直し前: 地震応答解析結果の包絡値に
余裕を考慮

見直し後: 地震応答解析結果の包絡値

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(1/18)



①観測記録の設備影響評価結果

<本論点の経緯>

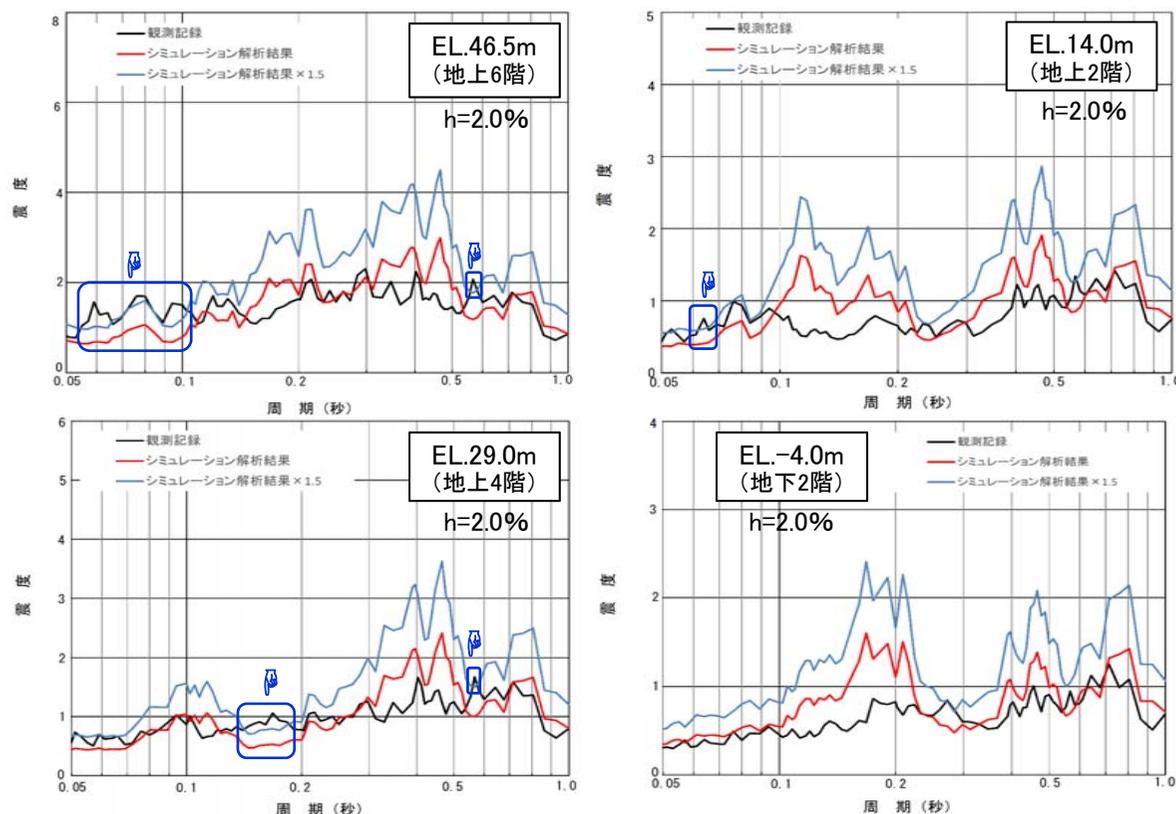
第572回審査会合(平成30年5月17日)において、2011年東北地方太平洋沖地震に対する使用済燃料乾式貯蔵建屋及び原子炉建屋のシミュレーション解析と観測記録との差異に対する考察を説明するとともに、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び使用済燃料乾式貯蔵容器並びに原子炉建屋への耐震性に影響ないことを説明した。また、原子炉建屋内に設置される機器について、観測記録がシミュレーション解析結果を上回ることに対して、設備影響評価を行い結果を示すことを説明している。

このため、今回は、原子炉建屋内に設置される設備の耐震性への影響評価結果について説明するものである。

<確認結果>

原子炉建屋のEL.-4.0m(地下2階)、EL.14.0m(地上2階)、EL.29.0m(地上4階)及びEL.46.5m(地上6階)には地震計を設置しており、2011年東北地方太平洋沖地震時の観測記録と観測記録を踏まえた原子炉建屋のシミュレーション解析結果を比較すると、EL.-4.0m(地下2階)を除く標高(階高)の一部の周期帯において、観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている(図1)。

このため、観測記録とシミュレーション解析結果の差異が設備の耐震性に及ぼす影響について評価した。



【原子炉建屋のシミュレーション条件】

- ✓ シミュレーション解析モデルは、原則工認モデルを使用している。

【床応答スペクトルの比較】

- ✓ 観測記録との差異を確認するため、シミュレーション解析による床応答スペクトルは拡幅していない。
- ✓ 設備の耐震計算においては、設計用床応答スペクトル(10%の拡幅を考慮)を1.5倍した設備評価用床応答スペクトルと設計用床応答スペクトル(ばらつきケース包絡)の1.0倍の設備評価用床応答スペクトルを使用している設備がある。このため、図1のシミュレーション解析に基づく床応答スペクトルについても、1.0倍と1.5倍の両方を図示している。

図1 床応答スペクトルの比較(質点系モデル)

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(2/18)



①観測記録の設備影響評価結果

①評価対象設備

- ✓ 地震計が設置された標高がEL.-4.0m, EL.14.0m, EL.29.0m及びEL.46.5mに限定され、観測系としてすべての標高を網羅できていないことに鑑み、観測記録とシミュレーション解析結果に差異が認められたEL.14.0m以上の標高に設置される設備を対象とした。
- ✓ 具体的には、床応答スペクトルを用いた動的解析を適用する柔な設備(剛な設備に用いる最大応答加速度は、シミュレーション解析結果が観測記録を上回ることから対象外)を対象とし、耐震重要設備、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備、上位クラスに波及的影響を及ぼす設備について網羅的に影響評価を実施した。

②評価方法

- ✓ 設備の固有周期を確認し、観測記録とシミュレーション解析結果の床応答スペクトルの応答比率(以下「FRS応答比率」という。)を踏まえた割り増しを考慮しても、設備の耐震裕度に収まることを確認する。
- ✓ FRS応答比率が設備の耐震裕度を上回る場合は、個別の詳細評価を行い、耐震性への影響を評価する。
- ✓ 地震計が設置されていない標高(階高)に設置された設備の影響評価は、地震計が設置された上下階の応答比率を用いて行う。但し、EL.46.5m(地上6階)の観測記録とシミュレーション解析結果の差異については、東西のオペフロ面が外側にはらみ出すようなモードによる影響が要因になっており(第572回審査会合(平成30年5月17日)にて報告)、その影響はEL.46.5mのオペフロ面に限定されることから、他の標高(階高)に設置された設備の影響検討には用いない。
- ✓ 設備毎の耐震計算に適用している設計用床応答スペクトルに対する倍率(×1.5倍, ×1.0倍)に応じて、シミュレーション解析による床応答スペクトルも同様の倍率(×1.5倍, ×1.0倍)を考慮して、観測記録とシミュレーション解析結果のFRS応答比率の算出する。

【第572回審査会合(平成30年5月17日)抜粋, 一部加筆】

地震計位置及び西面中央付近において、鉛直方向入力によるEW方向応答の励起が生じる0.1秒付近に、東西のオペフロ面が外側にはらみ出すようなモード(10.06Hz)があり、EW方向の応答が大きくなる要因の一つと考えられる。

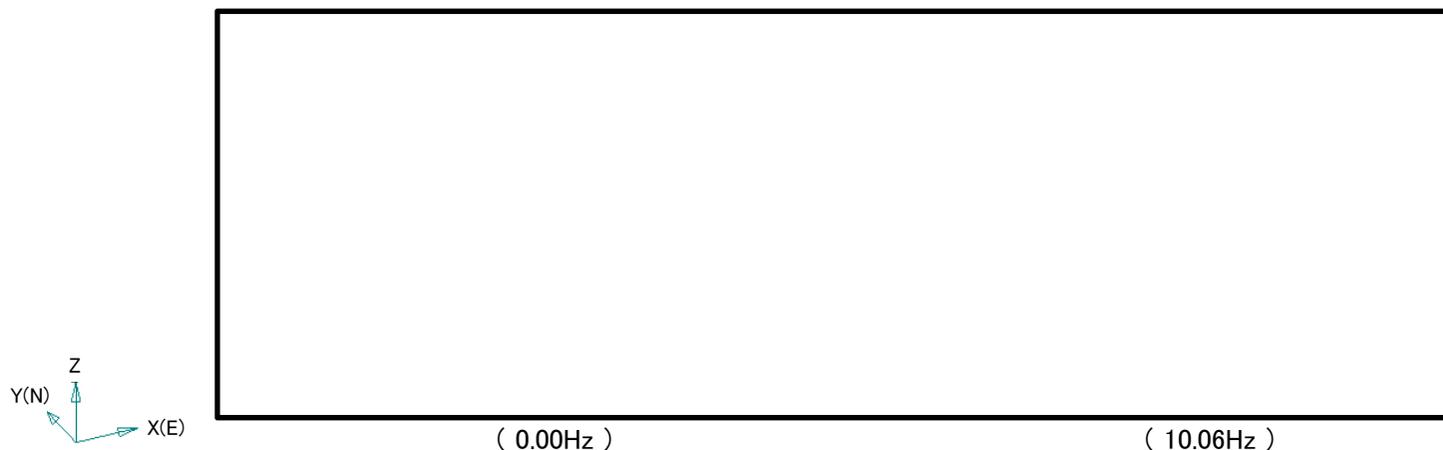


図10 原子炉建屋3次元FEMモデルのモード図(EW方向断面図)

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(3/18)



①観測記録の設備影響評価結果

③ 影響評価結果まとめ

- ✓ 表1に評価対象設備の影響評価結果の一覧を示す。観測記録とシミュレーション解析結果の比である「FRS応答比率」に対して、EL.46.5mに設置されている燃料取替機及びEL.20.3mに設置される窒素ガス代替注入系配管以外の設備は、設備の耐震裕度がFRS応答比率を上回っていることが確認できた。
- ✓ 「FRS応答比率」が設備の耐震裕度を上回る結果となった燃料取替機及び窒素ガス代替注入系配管については、個別に詳細評価を行い耐震性に影響がないことを確認した。
- ✓ 個別設備の詳細評価結果を「④ 詳細評価結果」に示す。また、標高毎の評価対象設備の影響評価結果を表6に示す。

表1 評価対象設の評価結果一覧

標高 (EL.m)	減衰 (%)	評価対象 設備数	耐震裕度とFRS応答比率※1の 関係(詳細は表6参照)		FRS応答比率が耐震裕度を上回った設備 (耐震裕度<FRS応答比率)				影響評価 結果
			耐震裕度が上 回る設備数	FRS応答比率が 上回る設備数	設備名	耐震裕度 (最小部位)	FRS 応答比率	個別評価	
46.5	0.5	1	1	0					○
	1.0	1	1	0					○
	2.0	2	1	1	燃料取替機	1.08	1.69	実施	○
38.8	2.0	4	4	0					○
	3.0	2	2	0					○
34.7	0.5	1	1	0					○
	1.0	2	2	0					○
29.0	2.0	1	1	0					○
	3.0	1	1	0					○
20.3	0.5	4	3	1	窒素ガス代替注入系配管	1.50	1.59	実施	○
	1.5	1	1	0					○
	2.0	7	7	0					○
	3.0	2	2	0					○
14.0	0.5	1	1	0					○
	1.0	1	1	0					○
	2.0	4	4	0					○
	3.0	2	2	0					○

※1:FRS応答比率とは、観測記録とシミュレーション解析結果の比(FRS応答比率=観測記録/シミュレーション解析結果)。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(4/18)



①観測記録の設備影響評価結果

④ 詳細評価結果

a. EL.46.5mに設置されている燃料取替機の詳細評価結果

FRS応答比率(観測記録/シミュレーション解析結果)が設備の耐震裕度を上回る結果となったため、部材毎に詳細評価を行った。表2に基準地震動Ssに対する各部材の耐震裕度及びFRS応答比率の比較に基づく詳細評価対象部位の抽出結果を示す。燃料取替機構造物フレーム、トリ脱線防止ラグ及び横行レールにおいて、FRS応答比率が耐震裕度を上回っている。

このため、燃料取替機構造物フレーム、トリ脱線防止ラグ及び横行レールに対して詳細評価を実施した。評価結果を次葉に示す。

表2 燃料取替機の詳細評価対象部位の抽出結果

部材			応力分類	基準地震動Ssによる評価結果			FRS応答比率	詳細評価対象
				発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	耐震裕度		
燃料取替機構造物フレーム			曲げ	216	275	1.27	1.69	○
			せん断	3	158	52.66		—
			組合せ	217	275	1.26		○
ブリッジ	脱線防止ラグ	ラグ本体	曲げ	101	253	2.50		—
			せん断	31	146	4.70		—
			組合せ	114	253	2.21		—
		取付ボルト	せん断	64	146	2.28		—
トリ	脱線防止ラグ	ラグ本体	曲げ	154	253	1.64		○
			せん断	59	146	2.47		—
			組合せ	184	253	1.37	○	
			取付ボルト	せん断	135	146	1.08	○
走行レール			曲げ	240	756	3.15	—	
			せん断	26	436	16.76	—	
			組合せ	244	756	3.09	—	
横行レール			曲げ	428	483	1.12	○	
			せん断	17	278	16.35	—	
			組合せ	428	483	1.12	○	

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(5/18)



①観測記録の設備影響評価結果

(a)燃料取替機構造物フレームの詳細評価

- ✓ 燃料取替機構造物フレームの詳細評価は、地震応答解析結果から得られる荷重に対して、FRS応答比率である1.69を乗じ、当該荷重から発生応力を算出することにより行った。
- ✓ 燃料取替機構造物フレームの地震応答は、鉛直方向の荷重が支配的であるため、発生応力に占める水平方向の地震力は僅かであることから、発生応力の増加も僅かであり、許容応力に収まる結果となった(表3)。このため、燃料取替機構造物フレームの耐震性に問題はない。

表3 燃料取替機構造物フレームの詳細評価結果

部材	応力分類	基準地震動 S_s による評価結果			観測記録による影響評価		
		発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震裕度	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震裕度
燃料取替機構造物 フレーム	曲げ	216	275	1.27	224	275	1.22
	せん断	3	158	52.66	3	158	52.66
	組合せ	217	275	1.26	224	275	1.22

(b)トロッコ脱線防止ラグ及び横行レールの詳細評価

- ✓ 燃料取替機の発生応力算出に用いる荷重は、床応答スペクトルを適用した動的解析に加えて、最大応答加速度(1.2ZPA)を適用した静的解析により算出しており、トロッコ脱線防止ラグ及び横行レールの算出荷重は、動的解析による算出荷重と静的解析による算出荷重の大きい方を適用している。
- ✓ 静的解析による算出荷重と動的解析による算出荷重について、観測記録による影響を考慮した動的解析結果を含めて表4に示す。基準地震動 S_s による動的解析により算出した荷重に対して、観測記録影響を考慮した動的解析により算出した荷重が大きくなるが、静的解析による最大応答加速度(1.2ZPA)に包絡される(表4)。このため、トロッコ脱線防止ラグ及び横行レールの耐震性に問題はない。

表4 トロッコ脱線防止ラグ及び横行レールの詳細評価結果

荷重の方向	荷重(N)		
	静的解析 (1.2ZPAを適用)	動的解析 (床応答スペクトルを適用)	
	S_s による応答	S_s による応答	観測記録影響を考慮
水平方向			

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(6/18)



①観測記録の設備影響評価結果

b. EL.20.3mに設置される窒素ガス代替注入系配管の詳細評価結果

- ✓ FRS応答比率(観測記録/シミュレーション解析結果)が設備の耐震裕度を上回る結果となったため、配管系に発生する応力を地震による応力と地震以外の応力に分け、さらに地震による応力を水平方向地震及び鉛直方向地震による応力に分類し、水平方向地震による応力にFRS応答比率である1.59を乗じ、当該配管の発生応力を評価した。
- ✓ 窒素ガス代替注入系配管に発生する応力は、鉛直方向地震による応力が支配的であるため、発生応力(合成応力)の増加は僅かであり、許容応力に収まる結果となった(表5)。このため、窒素ガス代替注入系配管の耐震性に問題はない。

表5 窒素ガス代替注入系配管の詳細評価結果

部材	1次応力(MPa)				発生応力 (合成応力)	許容応力 耐震裕度
	地震以外 の応力	地震による応力				
		水平方向	鉛直方向	合計(SRSS)		
現状評価	16.6	89.7	208.7	227.2	244	367
詳細評価	16.6	142.7	208.7	252.9	270	367

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(7/18)



① 観測記録の設備影響評価結果

地震計設置標高

表6 設備の影響評価結果(1/8)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有 周期(秒)	評価部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS応答 比率※1	影響評価	備考
46.5	0.5	㊸格納容器圧力逃がし装置配管		配管本体	せん断	92	363	3.94	1.38	○	図2-1
	1.0	㊸使用済燃料プール温度計(SA)		基礎本体	せん断	13	94	7.23	—	○	図2-2
	2.0	㊸燃料取替機		脱線防止ラグ (基礎ボルト)	せん断	135	146	1.08	1.69	○ 個別評価	図2-3
		㊸非常用ガス再循環系配管(FRVS-6)		配管本体	1次	25	343	13.72	1.13	○	

図2-1 原子炉建屋 EL.46.5m 床応答スペクトル(減衰0.5%)

図2-2 原子炉建屋 EL.46.5m 床応答スペクトル(減衰1.0%)

図2-3 原子炉建屋 EL.46.5m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

※1: 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は、その応答比率を記載し、シミュレーション解析結果が観測記録を上回っている場合は「—」を記載。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(8/18)



①観測記録の設備影響評価結果

表6 設備の影響評価結果(2/8)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有 周期(秒)	評価部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS応答 比率※1	影響評価	備考
38.8	2.0	㊸非常用ガス処理系配管(AC-SGTS)		配管本体	1次	101	335	3.31	1.19※2	○	図2-4
		㊹低压代替注水系配管(ALPI-003R3F)		配管本体	1次	97	366	3.77	—	○	
		㊺低压代替注水系配管(ALPI-001DG)		配管本体	1次	116	366	3.15	—	○	
		㊻格納容器下部注水系配管(FP-R-1)		配管本体	1次	183	366	2.00	—	○	
	3.0	㊼格納容器圧力逃がし装置配管 (PV-002R5F)		配管本体	1次	78	363	4.65	1.12※2	○	図2-5
		㊽格納容器圧力逃がし装置配管(PV-008YD)		配管本体	1次	96	363	3.78	—	○	



図2-4 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

図2-5 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰3.0%)

※1:観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は、その応答比率を記載し、シミュレーション解析結果が観測記録を上回っている場合は「—」を記載。
 ※2:地震計が設置されていないEL.38.8mについてはEL.29.0mのFRSの比率のFRSの比率を適用。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(9/18)



①観測記録の設備影響評価結果

表6 設備の影響評価結果(3/8)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有 周期(秒)	評価部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS応答 比率※1	影響評価	備考
34.7	0.5	㊟代替燃料プール冷却系(AFPC-3)		配管本体	1次	77	365	4.74	—	○	図2-6
	1.0	㊟使用済燃料貯蔵ラック(70体)		取付ボルト	1次	146	153	1.04	1.03※2	○	図2-7
		㊟制御棒貯蔵ラック		基礎ボルト	1次	158	171	1.08	1.08※2	○	

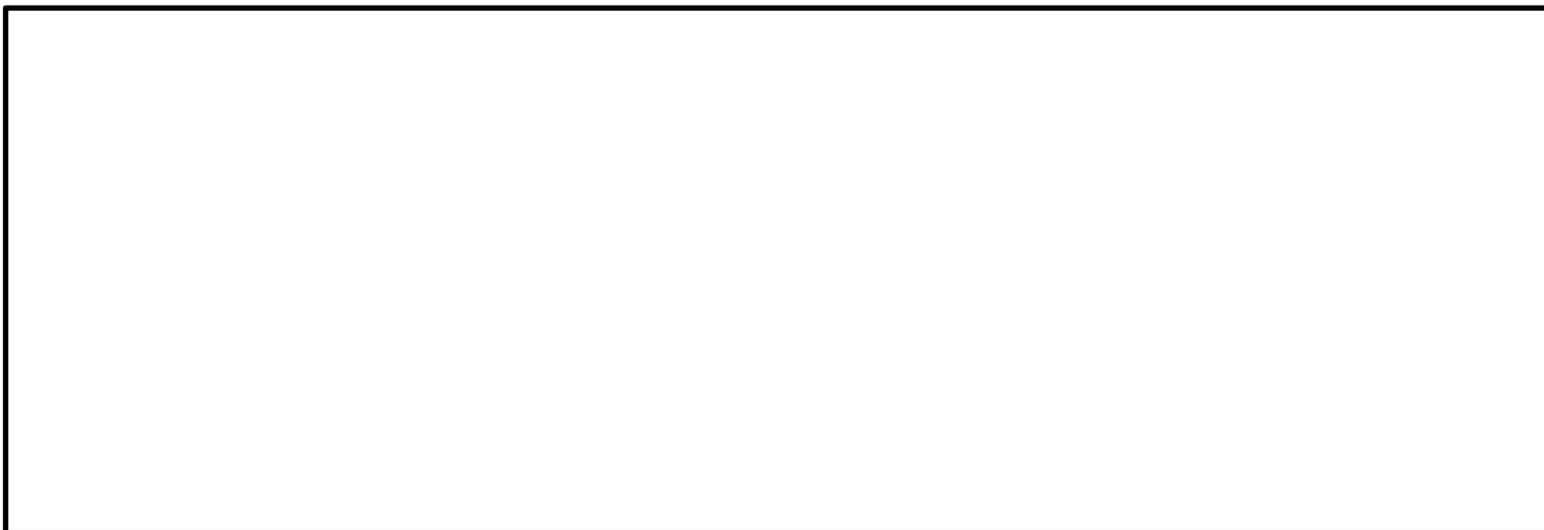


図2-6 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰0.5%)

図2-7 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰1.0%)

※1: 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は、その応答比率を記載し、シミュレーション解析結果が観測記録を上回っている場合は「—」を記載。

※2: 地震計が設置されていないEL.34.7mについてはEL.29.0mのFRSの比率のFRSの比率を適用。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(10/18)



①観測記録の設備影響評価結果

:地震計設置標高

表6 設備の影響評価結果(4/8)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有 周期(秒)	評価部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS応答 比率※1	影響評価	備考
29.0	2.0	㊸原子炉隔離時冷却系配管(RCIC-19,20,29)		配管本体	1次	146	363	2.48	—	○	図2-8
	3.0	㊸原子炉隔離時冷却系配管(RCIC-7)		配管本体	1次	62	380	6.12	—	○	図2-9



図2-8 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

図2-9 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰3.0%)

※1:観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は、その応答比率を記載し、シミュレーション解析結果が観測記録を上回っている場合は「—」を記載。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(11/18)



①観測記録の設備影響評価結果

表6 設備の影響評価結果(5/8)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有 周期(秒)	評価部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS応答 比率※1	影響評価	備考
20.3	0.5	㊸窒素ガス代替注入系配管(ANI-7)		配管本体	1次	244	367	1.50	1.59※2	○ 個別評価	図2-10
		㊹中央制御室待機室空気ポンベユニット配管(MCRS-1)		配管本体	1次	244	468	1.91	—	○	
		㊺第二弁操作室空気ポンベユニット配管(PCVVCC-1)		配管本体	1次	213	468	2.19	—	○	
		㊻非常用逃がし安全弁駆動系配管(ESD-1)		配管本体	1次	207	431	2.08	1.67※2	○	
	1.5	㊼代替循環冷却系配管(ARC-2)		配管本体	1次	186	365	1.96	—	○	図2-11

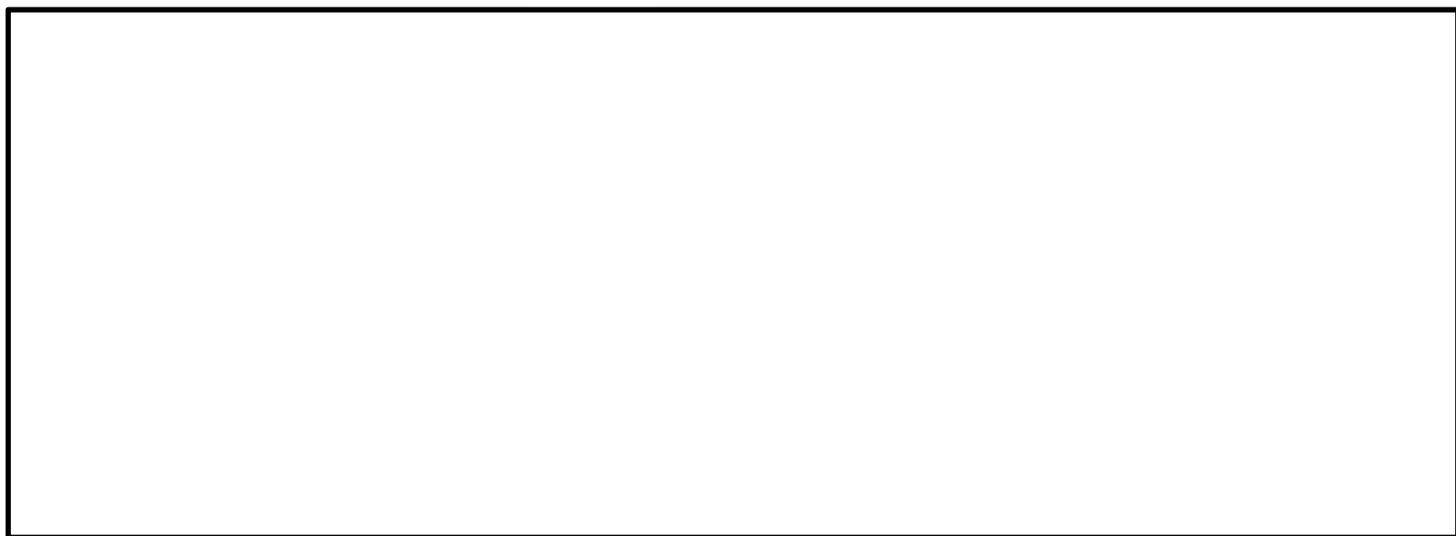


図2-10 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰0.5%)

図2-11 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰1.5%)

※1:観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は、その応答比率を記載し、シミュレーション解析結果が観測記録を上回っている場合は「—」を記載。

※2:地震計が設置されていないEL.20.3mについてはEL.29.0mのFRSの比率を適用。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(12/18)



①観測記録の設備影響評価結果

表6 設備の影響評価結果(6/8)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有 周期(秒)	評価部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS応答 比率※1	影響評価	備考
20.3	2.0	㊸不活性ガス系配管(AC-1,2,3,8)		配管本体	1次	171	335	1.95	—	○	図2-12
		㊹可燃性ガス濃度制御系配管(FC-1)		配管本体	1次	65	363	5.58	—	○	
		㊺可燃性ガス濃度制御系配管(FC-2)		配管本体	1次	133	363	2.72	1.07※2	○	
		㊻可燃性ガス濃度制御系配管(FC-3,4)		配管本体	1次	55	363	6.60	—	○	
		㊼可燃性ガス濃度制御系配管(FC-7,8)		配管本体	1次	61	363	5.95	—	○	
		㊽残留熱除去系配管(RHR-34,37,38,39,50)		配管本体	1次	166	380	2.28	—	○	
		㊾給水系配管(FDW-13,14)		配管本体	1次	81	229	2.82	—	○	
3.0	3.0	㊿原子炉冷却材浄化系配管(CU-R-7)		配管本体	1次	108	260	2.40	—	○	図2-13
		㊽主蒸気隔離弁漏えい抑制系配管 (MSIV-23,25,27,29)		配管本体	1次	114	363	3.18	—	○	



図2-12 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

図2-13 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰3.0%)

※1:観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は、その応答比率を記載し、シミュレーション解析結果が観測記録を上回っている場合は「—」を記載。

※2:地震計が設置されていないEL.20.3mについてはEL.29.0mのFRSの比率を適用。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(13/18)



①観測記録の設備影響評価結果

:地震計設置標高

表6 設備の影響評価結果(7/8)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有 周期(秒)	評価部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS応答 比率※1	影響評価	備考
14.0	0.5	①不活性ガス系配管(AC-6,7)		配管本体	1次	59	335	5.67	1.12	○	図2-14
	1.0	②残留熱除去系配管(RHR-66)		配管本体	1次	109	363	3.33	1.04	○	図2-15

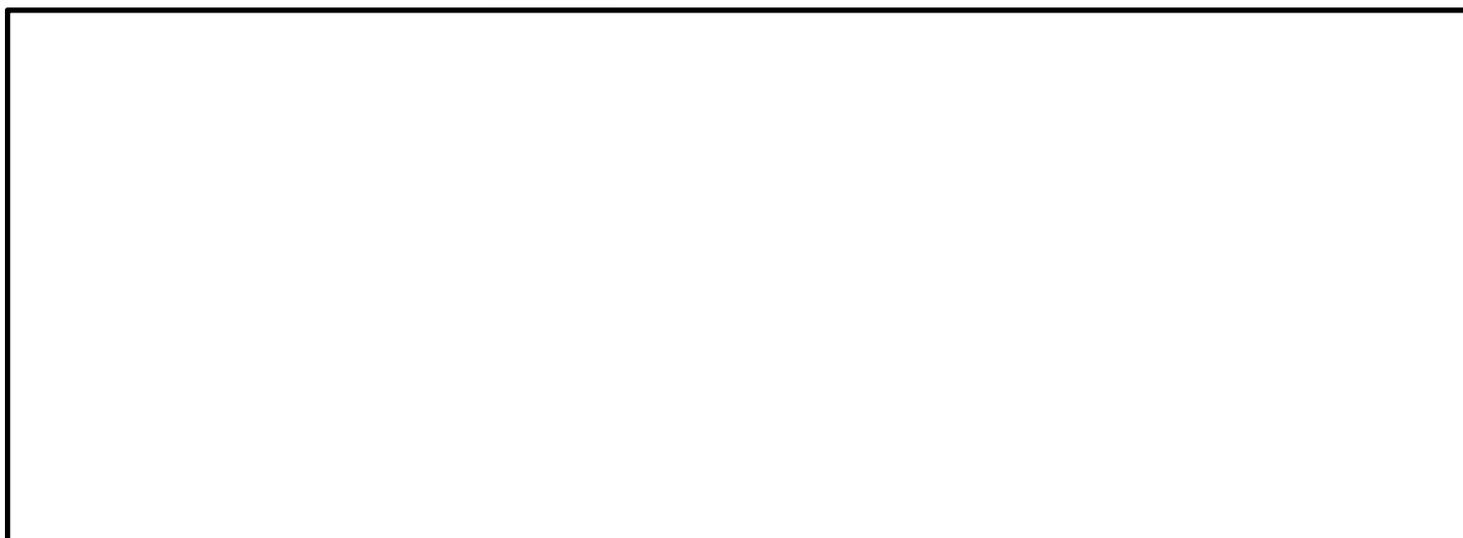


図2-14 原子炉建屋 EL.20.3m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

図2-15 原子炉建屋 EL.20.3m 床応答スペクトル(減衰3.0%)

※1:観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は、その応答比率を記載し、シミュレーション解析結果が観測記録を上回っている場合は「-」を記載。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(14/18)



①観測記録の設備影響評価結果

地震計設置標高

表6 設備の影響評価結果(8/8)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有 周期(秒)	評価部位	応力 分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震 裕度	FRS応答 比率※1	影響評価	備考
14.0	2.0	㊸高圧炉心スプレイ系配管(HPCS-4,5)		配管本体	1次	194	364	1.87	—	○	図2-16
		㊹低圧炉心スプレイ系配管(LPCS-2,3)		配管本体	1次	150	396	2.64	—	○	
		㊺残留熱除去系配管(RHR-48)		配管本体	1次	143	396	2.76	—	○	
		㊻残留熱除去系配管(RHR-70)		配管本体	1次	217	260	1.19	—	○	
	3.0	㊼残留熱除去系配管(RHR-5,21)		配管本体	1次	156	335	2.14	—	○	図2-17
		㊽残留熱除去系配管(RHR-8,30,99,100)		配管本体	1次	181	380	2.09	—	○	



図2-16 原子炉建屋 EL.20.3m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

図2-17 原子炉建屋 EL.20.3m 床応答スペクトル(減衰3.0%)

※1: 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は、その応答比率を記載し、シミュレーション解析結果が観測記録を上回っている場合は「—」を記載。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(15/18)



②使用済燃料プールへの影響評価

<本論点の経緯>

3次元FEMモデルを用いた建屋応答の分析において、鉛直地震力によりEW方向応答の励起が生じることを確認した。

<コメント>

3次元FEMモデルの解析結果で変形が認められた使用済燃料プールへの影響評価を追加すること。

◆3次元FEMモデルによる応答性状

図3-1に示す通り、高振動数域の固有モードにおいて鉛直加振時にウェル壁が開く挙動を確認した。

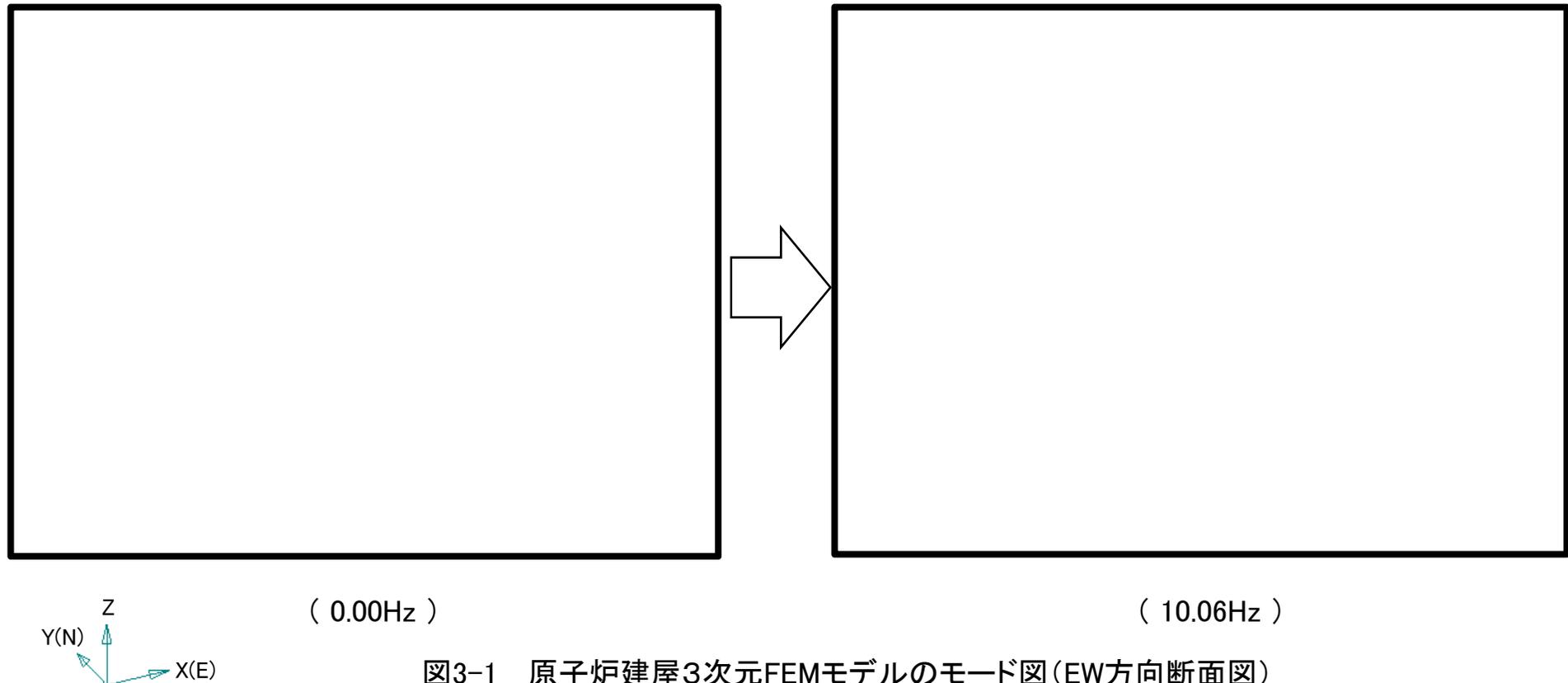


図3-1 原子炉建屋3次元FEMモデルのモード図(EW方向断面図)

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(16/18)

②使用済燃料プールへの影響評価

◆評価方針

ウェル壁が開く挙動により応力が増加する部位であるスリット部下部について、鉛直地震力による応力増分を評価する。3次元FEMモデルにより応力増分を算出し、その割合を耐震評価結果に割増係数(応答増幅率)として考慮した検討を行う。

◆評価方法

①応答増幅率の算定

✓3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、EW方向単独入力時に使用済燃料プールウェル壁部分に発生する応力と鉛直方向単独入力時に発生する応力を用いて、応答増幅率 $((1.0EW+0.4UD)/(1.0EW))$ を算出する。

✓検討に用いる入力地震動は、対象とする短周期成分を含む地震動とし、Sd-D1とする。

✓評価対象要素はスリット部側面の下端(緑部)及びスリット部底部(青部)とする。

✓スリット部側面の下端は、ウェル壁の曲げモーメントによって生じる鉛直軸方向引張力、スリット部底部は水平軸方向引張力とする。

② 応答増幅率を考慮した応力検討

✓算定した応答増幅率を用いて使用済燃料プールの耐震評価を行う。

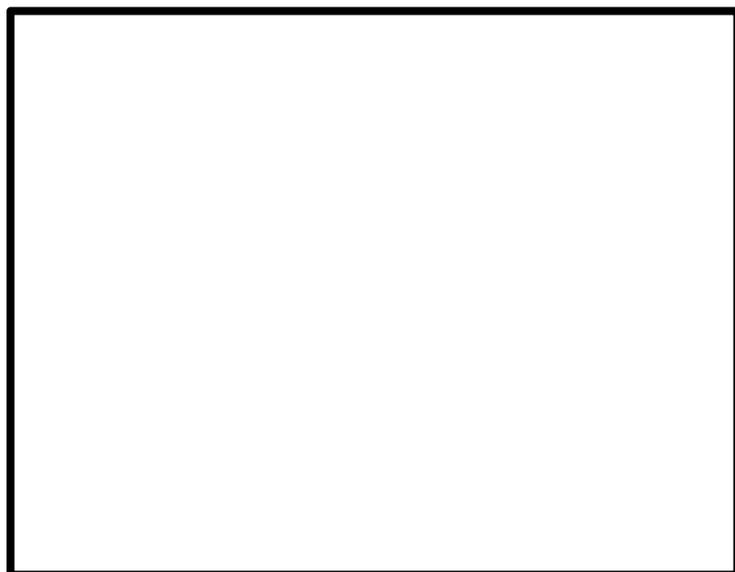


図3-2 3次元FEMモデル評価対象要素

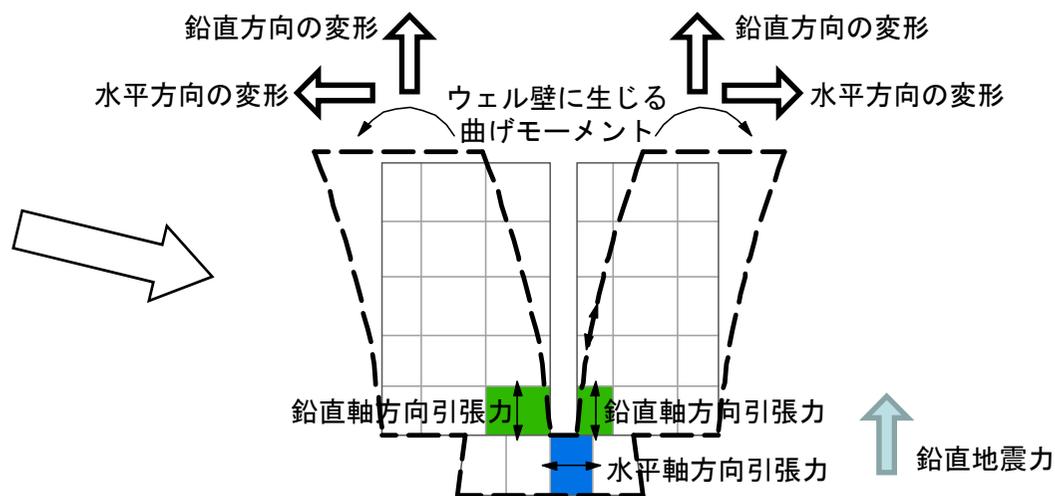


図3-3 評価対象部位及び応力成分

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響 (17/18)



②使用済燃料プールへの影響評価

◆応答増幅率の算定

- ✓評価対象要素はスリット部側面の下端(緑部)及びスリット部底部(青部)とし、それぞれについて水平加振時と鉛直加振時に生じる鉛直軸方向引張力及び水平軸方向引張力を評価し、応答増幅率を算定した。
- ✓評価対象応力成分は、曲げモーメントによって生じる鉛直軸方向引張力及び水平軸方向引張力とした。

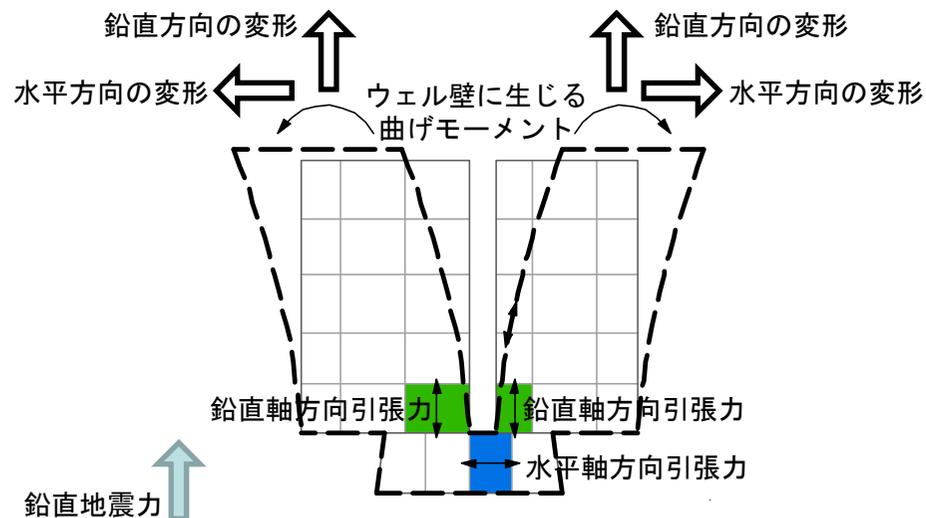


図3-4 評価対象部位及び応力成分

6319	6320	6321	6322	6323	6324
6313	6314	6315	6316	6317	6318
6307	6308	6309	6310	6311	6312
6145	6146	6147	6148	6149	6150
6139	6140	6141	6142	6143	6144
	5380	5379	5378	5377	

図3-5 3次元FEMモデル評価対象要素

表3-1 3次元応答による影響

単位:kN/m

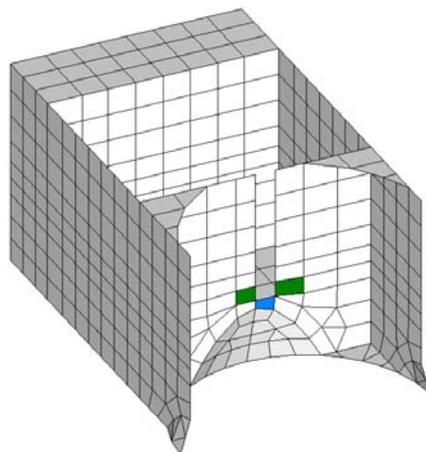
要素番号	応力	UD方向入力による応力	EW方向入力による応力	応答増幅率 (1.0EW+0.4UD) /(1.0EW)
6141	鉛直軸方向引張力	294	1240	1.095
6142	鉛直軸方向引張力	411	1640	1.101
5378	水平軸方向引張力	66.2	275	1.097

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(18/18)

②使用済燃料プールへの影響評価



- ◆ 応答増幅率を考慮した応力検討
 - ✓ 応答増幅率を考慮して、使用済燃料プールの耐震評価を行った。
- ◆ 評価結果
 - ✓ 耐震評価結果に応答増幅率を考慮しても、許容限界を下回ることを確認した。



3008	3019	3028	3036	3042	3053	3064
3007	3018	3027	3035	3041	3052	3063
3006	3017	3026	3034	3040	3051	3062
3005	3016	3025	3033	3039	3050	3061
3004	3015	3024	3032	3044	3049	3060
3003	3014	3023	3031	3043	3048	3059
3009	3013	3022	3030	3037	3045	3058
		3029	7818	7817	3038	3054
	3020	7816	7815	7814	7813	3047
3001	3010	3021	7817	7810	7809	7808
		3011	3012	7806	7805	7804
3002				7803	7802	7801
					3055	3056
						3065

図3-6 使用済燃料プールの応力解析モデル

表3-2 使用済燃料プールの影響検討結果

要素番号	項目	応答増幅率	応力解析時検定比			割増後検定比		
			S d 地震時	S s 地震時*1	S d 地震時 + 温度	S d 地震時	S s 地震時*1	S d 地震時 + 温度*2
3031	引張鉄筋応力度	1.017	0.524	0.260	0.433	0.574	0.285	0.475
3043	引張鉄筋応力度	1.089	0.400	0.200	0.533	0.441	0.221	0.587
3037	引張鉄筋応力度	1.097	0.441	0.221	0.447	0.484	0.243	0.491

*1: Ss地震時の鉄筋の許容値は鉄筋ひずみで 5.0×10^{-3}

*2: 温度荷重(通常運転時)による応力にも割増係数を考慮しており保守的な扱いとしている。

- ◆ まとめ
 - ✓ 3次元FEMモデルの解析結果で変形が認められた使用済燃料プールへの影響評価を行い、高振動数域の固有モードにおいて、鉛直加振時にウェル壁が開く挙動を確認した。
 - ✓ 3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、EW方向単独入力時に使用済燃料プールウェル壁部分に発生する応力と鉛直方向単独入力時に発生する応力を用いて、応答増幅率を算出した。
 - ✓ 使用済燃料プールの耐震評価に応答増幅率を考慮しても、許容限界を下回ることを確認した。

【論点11】 機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)(1/10)



＜本論点の経緯＞

第572回審査会合(平成30年5月17日)において、技術基準規則解釈及び耐震設計に係る工認審査ガイド※の一部改正を踏まえた弁の動的機能維持評価に係る評価方針として、従来工認における0.05秒(20Hz)までの評価に代えて、0.02秒(50Hz)まで考慮した評価を行い、さらに、高振動数領域で応答増幅がないことを0.01秒(100Hz)まで確認することを説明する(表1)とともに、主蒸気系配管に設置される弁の解析結果の例として、0.02秒(50Hz)までの振動数領域を考慮すれば良いことを説明した。

今回は、その他の弁を含め動的機能維持の評価が必要な弁を対象とした高振動数領域における評価結果を説明するものである。

※耐震設計に係る審査ガイドの改正内容:弁等の機器の地震応答解析結果の応答加速度が当該機器を支持する配管の地震応答により増加することが考えられるときは、当該機器については、当該配管の地震応答の影響を考慮し、一定の裕度を見込んで評価すること。

＜確認結果＞

①評価対象弁

✓工認の要目表に記載のある弁のうち、JEAG4601・補-1984及びJEAG4601-1991に基づき、動的機能維持が要求される弁(10系統全73弁)について、高振動数領域における動的機能維持について評価した。表2に動的機能維持評価対象弁を示す。

②評価内容

✓弁の高振動数領域における影響を確認するため、以下に示す事項を評価する。

- a. 0.02秒(50Hz)まで考慮した弁の応答加速度を評価し、機能確認済加速度以下であることを確認する。
- b. 0.01秒(100Hz)まで考慮した応答加速度を評価し、機能確認済加速度以下であることを確認する。また、0.02秒(50Hz)まで考慮した応答加速度に対する応答増加率が10%以下であることを確認する。
- c. b.の結果、10%を超える応答増加率が確認された場合は、更なる高振動数領域までの応答解析により、応答増加率が10%以下であることを確認する。また、機能確認済加速度以下であることを確認する。

表1 弁の機能維持評価に適用する振動数領域

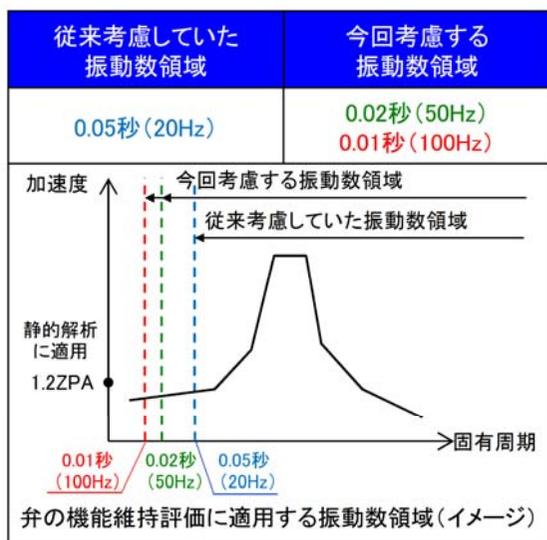


表2 動的機能維持評価対象弁

系統		評価対象弁数
MS	主蒸気系	26
FW	給水系	4
RHR	残留熱除去系	19
HPCS	高圧炉心スプレイ系	2
LPCS	低圧炉心スプレイ系	2
RCIC	原子炉隔離時冷却系	4
CUW	原子炉冷却材浄化系	2
HCU	水圧制御系	2
FRVS	非常用ガス再循環系	8
SGTS	非常用ガス処理系	4
合計		73

【論点11】 機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)(2/10)



③評価結果

- ✓ 高振動数領域までの評価においても、弁の応答加速度は機能維持加速度以下であることを確認した。
- ✓ 0.01秒(100Hz)まで考慮した応答加速度と0.02秒(50Hz)まで考慮した応答加速度を比較した結果、一部の弁(14弁)において応答が増加することが確認されたが、応答増加率は10%以下であった。(表3)。
- ✓ 全73弁の動的機能維持に係る評価結果を表4に示す。

表3 高振動数領域を考慮した弁の動的機能維持評価結果概要

評価対象弁	機能維持加速度に対する評価結果	0.01秒(100Hz)まで考慮した応答加速度			評価結果
		応答増加なし	応答増加率が10%以下	応答増加率が10%超え	
73	全ての弁が機能維持加速度以下であった	59	14	0	全73弁のうち14弁において応答増加が確認されたが、応答増加率は10%以下であった。

【論点11】 機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)(3/10)



表4 弁の動的機能維持評価結果(1/8)

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	機能確認 済加速度	50Hz		100Hz		増加率 (100Hz/50Hz)	評価	
							評価用 加速度	裕度	評価用 加速度	裕度			
1	MS	B22-F013A	主蒸気逃がし安全弁A	安全弁	水平	9.6	6.63	1.44	6.63	1.44	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.1	2.25	2.71	2.35	2.59	1.05	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加率が10%以下を確認
2	MS	B22-F013B	主蒸気逃がし安全弁B	安全弁	水平	9.6	5.51	1.74	5.51	1.74	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.1	2.15	2.83	2.15	2.83	1.00	○	同上
3	MS	B22-F013C	主蒸気逃がし安全弁C	安全弁	水平	9.6	5.41	1.77	5.41	1.77	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	1.53	3.98	1.53	3.98	1.00	○	同上
4	MS	B22-F013D	主蒸気逃がし安全弁D	安全弁	水平	9.6	6.02	1.59	6.02	1.59	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	1.64	3.71	1.64	3.71	1.00	○	同上
5	MS	B22-F013E	主蒸気逃がし安全弁E	安全弁	水平	9.6	6.02	1.59	6.02	1.59	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	2.35	2.59	2.45	2.48	1.05	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加率が10%以下を確認
6	MS	B22-F013F	主蒸気逃がし安全弁F	安全弁	水平	9.6	5.82	1.64	5.82	1.64	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.1	1.84	3.31	1.84	3.31	1.00	○	同上
7	MS	B22-F013G	主蒸気逃がし安全弁G	安全弁	水平	9.6	6.33	1.51	6.33	1.51	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	1.43	4.26	1.43	4.26	1.00	○	同上
8	MS	B22-F013H	主蒸気逃がし安全弁H	安全弁	水平	9.6	6.74	1.42	6.74	1.42	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	1.53	3.98	1.53	3.98	1.00	○	同上
9	MS	B22-F013J	主蒸気逃がし安全弁J	安全弁	水平	9.6	5.82	1.64	5.82	1.64	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	2.04	2.99	2.04	2.99	1.00	○	同上

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度に増加が認められないもの。

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度の増加率が10%以下のもの。

【論点11】 機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)(4/10)



表4 弁の動的機能維持評価結果(2/8)

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	機能確認 済加速度	50Hz		100Hz		増加率 (100Hz/50Hz)	評価
							評価用 加速度	裕度	評価用 加速度	裕度		
10	MS	B22-F013K	主蒸気逃がし安全弁K	安全弁	水平	9.6	6.74	1.42	6.74	1.42	1.00	○ ①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.1	1.74	3.50	1.74	3.50	1.00	
11	MS	B22-F013L	主蒸気逃がし安全弁L	安全弁	水平	9.6	5.61	1.71	5.61	1.71	1.00	○ 同上
					鉛直	6.1	1.02	5.98	1.02	5.98	1.00	
12	MS	B22-F013M	主蒸気逃がし安全弁M	安全弁	水平	9.6	5.31	1.80	5.31	1.80	1.00	○ 同上
					鉛直	6.1	1.74	3.50	1.74	3.50	1.00	
13	MS	B22-F013N	主蒸気逃がし安全弁N	安全弁	水平	9.6	5.10	1.88	5.21	1.84	1.03	○ ①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加率が10%以下を確認
					鉛直	6.1	1.84	3.31	1.84	3.31	1.00	
14	MS	B22-F013P	主蒸気逃がし安全弁P	安全弁	水平	9.6	4.39	2.18	4.39	2.18	1.00	○ 同上
					鉛直	6.1	1.43	4.26	1.43	4.26	1.00	
15	MS	B22-F013R	主蒸気逃がし安全弁R	安全弁	水平	9.6	4.80	2.00	4.80	2.00	1.00	○ 同上
					鉛直	6.1	2.35	2.59	2.45	2.48	1.05	
16	MS	B22-F013S	主蒸気逃がし安全弁S	安全弁	水平	9.6	4.70	2.04	4.80	2.00	1.03	○ 同上
					鉛直	6.1	1.64	3.71	1.64	3.71	1.00	
17	MS	B22-F013U	主蒸気逃がし安全弁U	安全弁	水平	9.6	5.72	1.67	5.82	1.64	1.02	○ ①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加率が10%以下を確認
					鉛直	6.1	1.53	3.98	1.53	3.98	1.00	
18	MS	B22-F013V	主蒸気逃がし安全弁V	安全弁	水平	9.6	5.21	1.84	5.21	1.84	1.00	○ 同上
					鉛直	6.1	1.23	4.95	1.33	4.58	1.09	

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度に増加が認められないもの。

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度の増加率が10%以下のもの。

【論点11】 機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)(5/10)



表4 弁の動的機能維持評価結果(3/8)

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	機能確認 済加速度	50Hz		100Hz		増加率 (100Hz/50Hz)	評価	
							評価用 加速度	裕度	評価用 加速度	裕度		○	説明
19	MS	B22-F022A	主蒸気隔離弁第1弁A	空気作動 グローブ弁	水平	10.0	6.33	1.57	6.33	1.57	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.2	5.51	1.12	5.51	1.12	1.00	○	
20	MS	B22-F022B	主蒸気隔離弁第1弁B	空気作動 グローブ弁	水平	10.0	7.35	1.36	7.35	1.36	1.00	○	同上
					鉛直	6.2	5.51	1.12	5.51	1.12	1.00	○	
21	MS	B22-F022C	主蒸気隔離弁第1弁C	空気作動 グローブ弁	水平	10.0	7.35	1.36	7.35	1.36	1.00	○	同上
					鉛直	6.2	5.31	1.16	5.31	1.16	1.00	○	
22	MS	B22-F022D	主蒸気隔離弁第1弁D	空気作動 グローブ弁	水平	10.0	7.04	1.42	7.04	1.42	1.00	○	同上
					鉛直	6.2	5.41	1.14	5.41	1.14	1.00	○	
23	MS	B22-F028A	主蒸気隔離弁第2弁A	空気作動 グローブ弁	水平	10.0	4.70	2.12	4.70	2.12	1.00	○	同上
					鉛直	6.2	3.98	1.55	3.98	1.55	1.00	○	
24	MS	B22-F028B	主蒸気隔離弁第2弁B	空気作動 グローブ弁	水平	10.0	5.10	1.96	5.10	1.96	1.00	○	同上
					鉛直	6.2	3.88	1.59	3.88	1.59	1.00	○	
25	MS	B22-F028C	主蒸気隔離弁第2弁C	空気作動 グローブ弁	水平	10.0	4.80	2.08	4.80	2.08	1.00	○	同上
					鉛直	6.2	3.78	1.64	3.78	1.64	1.00	○	
26	MS	B22-F028D	主蒸気隔離弁第2弁D	空気作動 グローブ弁	水平	10.0	4.80	2.08	4.80	2.08	1.00	○	同上
					鉛直	6.2	3.57	1.73	3.68	1.68	1.04	○	
27	FW	B22-F010A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	6.0	4.80	1.25	4.80	1.25	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.0	1.43	4.19	1.43	4.19	1.00	○	

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度に増加が認められないもの。

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度の増加率が10%以下のもの。

【論点11】 機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)(6/10)



表4 弁の動的機能維持評価結果(4/8)

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	機能確認 済加速度	50Hz		100Hz		増加率 (100Hz/50Hz)	評価	
							評価用 加速度	裕度	評価用 加速度	裕度			
28	FW	B22-F010B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	6.0	4.59	1.30	4.59	1.30	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.0	2.96	2.02	2.96	2.02	1.00		
29	FW	B22-F032A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	6.0	3.88	1.54	3.88	1.54	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.31	4.58	1.43	4.19	1.10		
30	FW	B22-F032B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	6.0	3.68	1.63	3.78	1.58	1.03	○	同上
					鉛直	6.0	1.31	4.58	1.43	4.19	1.10		
31	RHR	E12-F008	残留熱除去系シャットダウン ライン隔離弁(外側)	電動 ゲート弁	水平	6.0	4.29	1.39	4.29	1.39	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.0	1.23	4.87	1.23	4.87	1.00		
32	RHR	E12-F009	残留熱除去系シャットダウン ライン隔離弁(内側)	電動 ゲート弁	水平	6.0	3.37	1.78	3.37	1.78	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	4.19	1.43	4.19	1.43	1.00		
33	RHR	E12-F023	残留熱除去系ヘッドスプレ イ隔離弁	電動 グローブ弁	水平	6.0	2.35	2.55	2.35	2.55	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	2.15	2.79	2.15	2.79	1.00		
34	RHR	E12-F024A	残留熱除去系A系テストライ ン弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	1.94	3.09	1.94	3.09	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.64	3.65	1.64	3.65	1.00		
35	RHR	E12-F024B	残留熱除去系B系テストライ ン弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	2.96	2.02	2.96	2.02	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.33	4.51	1.33	4.51	1.00		
36	RHR	E12-F027A	残留熱除去系A系サブレッ ション・ボールスプレイ弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	1.64	3.65	1.64	3.65	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	4.80	1.25	4.80	1.25	1.00		

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度に増加が認められないもの。

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度の増加率が10%以下のもの。

【論点11】 機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)(7/10)



表4 弁の動的機能維持評価結果(5/8)

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	機能確認 済加速度	50Hz		100Hz		増加率 (100Hz/50Hz)	評価	
							評価用 加速度	裕度	評価用 加速度	裕度		①	②
37	RHR	E12-F027B	残留熱除去系B系サブプレッ ション・プールのスプレイ弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	3.17	1.89	3.17	1.89	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.0	2.05	2.92	2.05	2.92	1.00	○	同上
38	RHR	E12-F041A	残留熱除去系A系注入ライン テスト逆止弁	逆止弁	水平	6.0	4.19	1.43	4.19	1.43	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	2.76	2.17	2.76	2.17	1.00	○	同上
39	RHR	E12-F041B	残留熱除去系B系注入ライン テスト逆止弁	逆止弁	水平	6.0	5.00	1.20	5.00	1.20	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	3.17	1.89	3.17	1.89	1.00	○	同上
40	RHR	E12-F041C	残留熱除去系C系注入ライン テスト逆止弁	逆止弁	水平	6.0	4.39	1.36	4.39	1.36	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	2.15	2.79	2.15	2.79	1.00	○	同上
41	RHR	E12-F042A	残留熱除去系A系注入弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	2.25	2.66	2.25	2.66	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	4.90	1.22	4.90	1.22	1.00	○	同上
42	RHR	E12-F042B	残留熱除去系B系注入弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	2.05	2.92	2.05	2.92	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	4.19	1.43	4.19	1.43	1.00	○	同上
43	RHR	E12-F042C	残留熱除去系C系注入弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	1.94	3.09	1.94	3.09	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	4.70	1.27	4.70	1.27	1.00	○	同上
44	RHR	E12-F048A	残留熱除去系熱交換器Aバ イパス弁	電動 グローブ弁	水平	6.0	2.56	2.34	2.56	2.34	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.64	3.65	1.64	3.65	1.00	○	同上
45	RHR	E12-F048B	残留熱除去系熱交換器Bバ イパス弁	電動 グローブ弁	水平	6.0	3.07	1.95	3.07	1.95	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	0.72	8.33	0.72	8.33	1.00	○	同上

- 50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度に増加が認められないもの。
- 50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度の増加率が10%以下のもの。

【論点11】 機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)(8/10)



表4 弁の動的機能維持評価結果(6/8)

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	機能確認 済加速度	50Hz		100Hz		増加率 (100Hz/50Hz)	評価	
							評価用 加速度	裕度	評価用 加速度	裕度		○	説明
46	RHR	E12-F050A	残留熱除去系A系停止時冷却ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	6.0	5.82	1.03	5.82	1.03	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.0	2.15	2.79	2.15	2.79	1.00	○	同上
47	RHR	E12-F050B	残留熱除去系B系停止時冷却ラインテスト逆止弁	逆止弁	水平	6.0	3.57	1.68	3.57	1.68	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	2.04	2.94	2.04	2.94	1.00	○	同上
48	RHR	E12-F053A	残留熱除去系A系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	水平	6.0	1.34	4.47	1.34	4.47	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.01	5.94	1.01	5.94	1.00	○	同上
49	RHR	E12-F053B	残留熱除去系B系シャットダウン注入弁	電動 グローブ弁	水平	6.0	5.62	1.06	5.62	1.06	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.43	4.19	1.43	4.19	1.00	○	同上
50	HPCS	E22-F004	高圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	2.45	2.44	2.45	2.44	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	0.99	6.06	1.03	5.82	1.05	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加率が10%以下を確認
51	HPCS	E22-F005	高圧炉心スプレイ系テストスタプル逆止弁	空気作動 逆止弁	水平	6.0	2.76	2.17	2.86	2.09	1.04	○	同上
					鉛直	6.0	1.13	5.30	1.13	5.30	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
52	LPCS	E21-F005	低圧炉心スプレイ系注入弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	0.92	6.52	0.92	6.52	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.84	3.26	1.84	3.26	1.00	○	同上
53	LPCS	E21-F006	低圧炉心スプレイ系テスト逆止弁	空気作動 逆止弁	水平	6.0	3.68	1.63	3.68	1.63	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	2.25	2.66	2.25	2.66	1.00	○	同上
54	RCIC	E51-F063	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	4.70	1.27	4.70	1.27	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	3.98	1.50	3.98	1.50	1.00	○	同上

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度に増加が認められないもの。

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度の増加率が10%以下のもの。

【論点11】 機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)(9/10)



表4 弁の動的機能維持評価結果(7/8)

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	機能確認 済加速度	50Hz		100Hz		増加率 (100Hz/50Hz)	評価	
							評価用 加速度	裕度	評価用 加速度	裕度		○	○
55	RCIC	E51-F064	RCICタービン蒸気供給隔離弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	1.43	4.19	1.54	3.89	1.08	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加率が10%以下を確認
					鉛直	6.0	3.17	1.89	3.17	1.89	1.00	○	
56	RCIC	E51-F065	原子炉隔離時冷却系外側テ スト逆止弁	逆止弁	水平	6.0	1.55	3.87	1.55	3.87	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.17	5.12	1.17	5.12	1.00	○	同上
57	RCIC	E51-F066	原子炉隔離時冷却系内側テ スト逆止弁	逆止弁	水平	4.90	1.85	2.64	1.85	3.24	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	4.90	1.22	4.90	1.22	1.00	○	同上
58	CUW	G33-F001	原子炉冷却材浄化系内側隔 離弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	4.80	1.25	4.80	1.25	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.43	4.19	1.43	4.19	1.00	○	同上
59	CUW	G33-F004	原子炉冷却材浄化系外側隔 離弁	電動 ゲート弁	水平	6.0	2.76	2.17	2.76	2.17	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.01	5.94	1.01	5.94	1.00	○	同上
60	HCU	C12-126	HCUスクラム弁(加圧・流入 側)	空気作動グ ローブ弁	水平	6.0	1.29	4.65	1.29	4.65	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	0.98	6.12	0.98	6.12	1.00	○	同上
61	HCU	C12-127	HCUスクラム弁(排出側)	空気作動グ ローブ弁	水平	6.0	1.29	4.65	1.29	4.65	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	0.98	6.12	0.98	6.12	1.00	○	同上
62	FRVS	SB2-4A	FRVS・SGTS系入口ダンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	3.47	1.72	3.47	1.72	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	3.78	1.58	3.78	1.58	1.00	○	同上
63	FRVS	SB2-4B	FRVS・SGTS系入口ダンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	5.11	1.17	5.11	1.17	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	3.47	1.72	3.47	1.72	1.00	○	同上

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度に増加が認められないもの。

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度の増加率が10%以下のもの。

【論点11】 機器の動的機能維持評価(弁の高振動数領域の考慮)(10/10)

表4 弁の動的機能維持評価結果(8/8)

No	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	機能確認 済加速度	50Hz		100Hz		増加率 (100Hz/50Hz)	評価	
							評価用 加速度	裕度	評価用 加速度	裕度			
64	FRVS	SB2-5A	非常用ガス再循環系トレイン A入口ダンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	5.52	1.08	5.52	1.08	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.0	5.62	1.06	5.62	1.06	1.00	○	同上
65	FRVS	SB2-5B	非常用ガス再循環系トレイン B入口ダンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	1.94	3.09	2.04	2.94	1.06	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加率が10%以下を確認
					鉛直	6.0	5.92	1.01	5.92	1.01	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持加速度以下を確認 ②100Hzにおける応答増加なし
66	FRVS	SB2-7A	非常用ガス再循環系トレイン A出口ダンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	1.40	4.28	1.40	4.28	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.00	6.00	1.00	6.00	1.00	○	同上
67	FRVS	SB2-7B	非常用ガス再循環系トレイン B出口ダンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	1.40	4.28	1.40	4.28	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.00	6.00	1.00	6.00	1.00	○	同上
68	FRVS	SB2-13A	非常用ガス再循環系循環ダ ンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	2.55	2.35	2.55	2.35	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	4.39	1.36	4.39	1.36	1.00	○	同上
69	FRVS	SB2-13B	非常用ガス再循環系循環ダ ンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	4.29	1.39	4.29	1.39	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	4.59	1.30	4.59	1.30	1.00	○	同上
70	SGTS	SB2-9B	非常用ガス処理系トレインB 入口ダンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	1.40	4.28	1.40	4.28	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.00	6.00	1.00	6.00	1.00	○	同上
71	SGTS	SB2-9A	非常用ガス処理系トレインA 入口ダンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	1.40	4.28	1.40	4.28	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.00	6.00	1.00	6.00	1.00	○	同上
72	SGTS	SB2-11B	非常用ガス処理系トレインB 出口ダンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	1.94	3.09	1.94	3.09	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.44	4.16	1.44	4.16	1.00	○	同上
73	SGTS	SB2-11A	非常用ガス処理系トレインA 出口ダンパ	空気作動バ タフライ弁	水平	6.0	1.94	3.09	1.94	3.09	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.44	4.16	1.44	4.16	1.00	○	同上

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度に増加が認められないもの。

50Hzまで考慮した応答加速度に対して、100Hzまで考慮した応答加速度の増加率が10%以下のもの。

<本論点の経緯>

第562回審査会合(平成30年4月5日)において、重大事故等時に重要事故シーケンスで想定される動荷重を抽出した。また、同審査会合において、下記②に示すコメントがあり、第588回審査会合にて追加のコメントを受けている。これらの動荷重については、設計基準事故時に想定された荷重とは異なる可能性があることから、SA時に発生する動荷重による原子炉格納容器の健全性への影響を確認した結果を説明する。

<コメント>

- ①設計基準事故時の動荷重に包絡されること等の確認結果を示す。
- ②DBA及びSA時のPCV動荷重を決定する要素について、定量的に説明すること。
 - ・シーケンスによっては動作する弁数や作用する圧力も異なることから、各々の動荷重について丁寧に説明すること。
 - ・動荷重については設計で元々どういう荷重で評価しているのか(既設の設計裕度)、元々の設計の考え方から追って、許容値の包絡性を説明すること。

<回答>

1. 動荷重が生じる事象及びSA時に生じる動荷重の整理

炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価におけるシーケンス(以下「重要事故シーケンス等」という。)において、動荷重が生じる事象を抽出した。

- (1) 逃がし安全弁の作動に伴うサプレッション・チェンバへの蒸気等の放出
- (2) 原子炉冷却材喪失時のブローダウン過程における蒸気等の放出
- (3) 高温の炉心(溶融デブリを含む)と水との接触に伴う蒸気等のサプレッション・チェンバへの移行
- (4) 格納容器ベント時の蒸気等のサプレッション・チェンバへの移行及びサプレッション・プール水の減圧沸騰

上記事象において、想定される動荷重は以下のとおり(図1)。

- (1): 原子炉圧力容器からサプレッション・チェンバへ蒸気等が流入する際に生じる動荷重
- (2)~(4): ドライウェルからサプレッション・チェンバへ蒸気等が流入する際に生じる動荷重
 - (2), (3)は原子炉圧力容器からドライウェルに放出された蒸気またはドライウェル内で発生した蒸気がベント管を通じて、サプレッション・チェンバへ蒸気等が移行
 - (4)はサプレッション・チェンバから圧力を逃すことにより、ドライウェルとサプレッション・チェンバとの差圧によって、ドライウェル内の蒸気等が流入。また、減圧によりサプレッション・チェンバ内のプール水が飽和温度に達し沸騰。

これらの想定される動荷重が設計基準事故時に生じる逃がし安全弁作動、原子炉冷却材喪失事故と重大事故等時のパラメータ等を比較し、包絡できることを確認する。

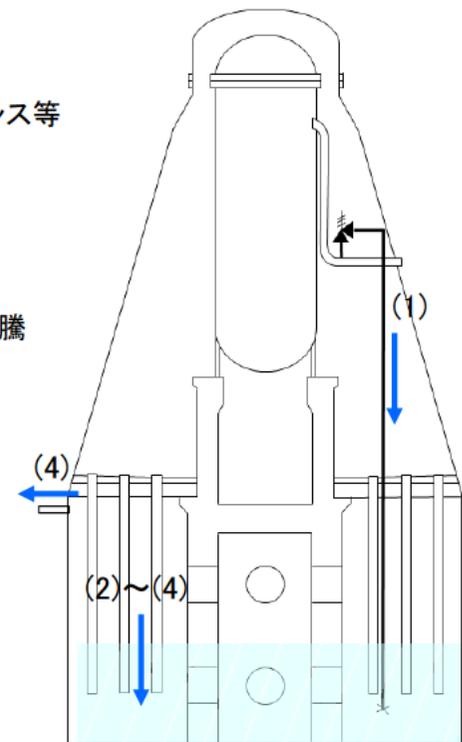


図1 重大事故時の蒸気等の流れ

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(2/11)



◆SA時に検討すべき動荷重

前頁で抽出した事象を基に、重要事故シーケンス等において想定される動荷重を抽出した(表1)。

- 逃がし安全弁作動時の動荷重のうち、設計基準事故時に想定される動荷重と同等以下となる重要事故シーケンス(○)については、一部のパラメータが設計基準事故時のパラメータを超えることから、その影響について2.項に評価結果を記載する。
- 原子炉冷却材喪失事故(LOCA)時の動荷重については、重要事故シーケンス等で想定している再循環系配管両端破断は、設計基準事故時も同じであるため、設計基準事故時と同等以下となる。
- 設計基準事故で考慮されていない動荷重(●)については、3.項に評価結果を記載する。
- 上記を踏まえた、SA時に生じる動荷重の組合せ及び動荷重の影響について、4.項に記載する。

表1 重大事故等に想定される動荷重

重要事故 シーケンス等	動荷重			
	逃がし 安全弁※1	LOCA ※2	FCI※3	ベント※4
高圧・低圧注水機能喪失(給水喪失)	○			●
高圧注水・減圧機能喪失(給水喪失)	○			
全交流動力電源喪失(SBO)	○			
崩壊熱除去機能喪失(取水機能喪失)	○			
崩壊熱除去機能喪失(残留熱除去系機能喪失)	○			●
原子炉停止機能喪失(ATWS)	○			
原子炉冷却材喪失事故時(LOCA)注水機能喪失(中小破断)	○	○		●
格納容器バイパス(残留熱除去系配管破断)	○			
雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)		○		●*
水素燃焼		○		●
高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱(DCH)	●*		●	
原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用(FCI)	●		●*	
溶融炉心・コンクリート相互作用(MCCI)	●		●	

○: 設計基準事故時に想定される動荷重と同等以下

●: 設計基準事故時に考慮されていないもの

●*: 設計基準事故時に考慮されていないものうち、動荷重評価で代表するシーケンス

※1: 前頁(1)の動荷重: FCIとMCCIはDCHと同じシーケンスであり、DCHで評価

※2: 前頁(2)の動荷重

※3: 前頁(3)の動荷重: DCHとMCCIはFCIと同じシーケンスであり、FCIで評価

※4: 前頁(4)の動荷重: 給水喪失、残留熱除去系機能喪失及び中小破断は格納容器過圧・過温破損に包絡され、水素燃焼は格納容器過圧・過温と同じシーケンスであり、格納容器過圧・過温破損で評価

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(4/11)



(1) プール水温による影響(全交流電源喪失)

- 減圧完了までのプール水温が、設計基準事故時(約)を超過する100 °C以上(最大約119 °C)となるが、既往の試験結果*から飽和温度であっても不安定な凝縮は発生しておらず(約)、120°C付近までプール水温が上昇しても飽和状態であることに変わりはないため、不安定な凝縮は生じない(図3)。

*: 主蒸気逃がし安全弁クエンチャ開発試験: “NUREG-0783: Suppression Pool Temperature Limits for BWR Containment”において参考文献として引用

(2) 逃がし安全弁作動時の弁数(原子炉停止機能喪失(ATWS))

- 逃がし安全弁の全弁(18弁)が同時に作動し、設計基準事故時に設計上考慮している最大17弁を超える。
- 既往の試験結果より多弁作動時の圧力振幅 は単弁作動時の圧力振幅を下回っており、多弁作動時の方が単弁作動時よりも発生荷重が小さいことが確認されている(図4)。

(3) 逃がし安全弁作動時の原子炉圧力の影響(ATWS)

- ATWS時の原子炉圧力は最大8.19 MPaであり、逃がし安全弁の動荷重の設計条件を設定した東海第二での実機試験の試験条件(7.37MPa)を超える原子炉圧力となる。
- 非凝縮性ガスの排出は逃がし安全弁作動直後に発生するため、安全弁作動圧力(設定圧)に影響を受けるものであり、逃がし安全弁作動後の原子炉圧力上昇による影響は受けない。

以上のことから、逃がし安全弁作動時の動荷重は不安定な凝縮を生じないこと、多弁作動及び原子炉圧力上昇による動荷重の増大が生じないことから、既往の試験で得られた気泡脈動による動荷重の最大値としている設計基準事故時の動荷重を超えることはない。



図3 蒸気凝縮時の圧力振幅とプール水温の関係

出典: “MARK-I 型格納容器の動荷重評価について”, MARK-I 型格納容器評価検討会



図4 多弁作動時と単弁作動時の水中脈動の比較

出典: “東海第二発電所主蒸気逃がし安全弁実機試験報告書”

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(5/11)



◆ 原子炉圧力上昇による影響について

- 前述の通り, ATWS時においても設計基準事故時の動荷重を超えることは無いと判断されるが, ATWS時の原子炉圧力での試験は実施されていないため, 保守的に東海第二発電所の実機試験で得られた結果を線形補間した圧力振幅を仮定し, その時の荷重を用いた応力評価を実施した。
- 東海第二発電所で実測された動荷重の最大値(0.84kg/cm²(約82kPa), 原子炉圧力:7.37MPa)を, ATWS時の最大圧力(8.19MPa)まで線形補間した結果(図5), 圧力振幅は0.93kg/cm²(約91kPa)となり, 東海第二の設計条件(試験結果に [redacted])を若干上回った。なお, 発生する動荷重はクエンチャ開発時の試験結果(図6)から [redacted] となる傾向を示すため, 本評価は保守的である。
- この時の発生応力は許容応力以内であり, 圧力振幅を線形補間する前の発生応力と比較しても大差ないことを確認した(表2)。

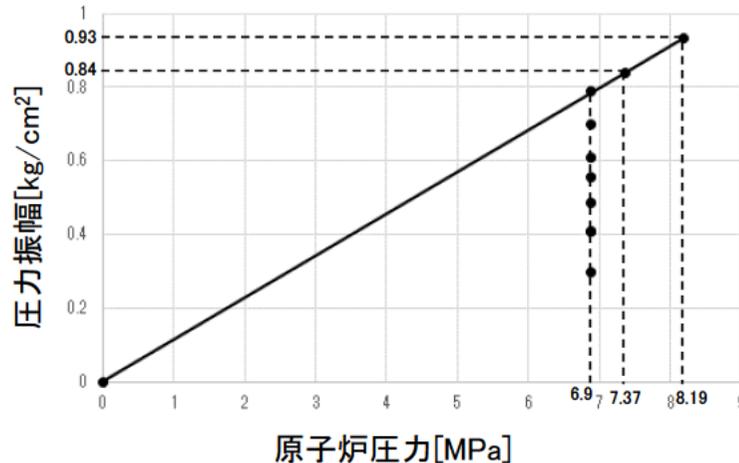


図5 原子炉圧力と線形補間した圧力振幅の関係



出典:NEDE-21078 "Test Results Employed by General Electric for BWR Containment and Vertical Vent Loads", GE (NUREG-0802: Safety/Relief Valve Quencher Loads Evaluation for BWR Mark II and III Containments"において参考文献として引用)

図6 模擬圧力容器蒸気源圧力と圧力脈動の関係

表2 逃がし安全弁作動時の圧力振幅補間を考慮した強度評価結果

荷重の組合せ	発生応力(MPa)	許容応力(MPa)	裕度
死荷重+ATWS時圧力 +SRV作動荷重(設計条件)	[redacted]	281	[redacted]
死荷重+ATWS時圧力 +SRV作動荷重(圧力振幅補間)	[redacted]	281	[redacted]

※:動荷重は簡易評価にて実施。発生応力のうち円周方向の動荷重成分を記載。

3. SA時に生じる動荷重の評価(設計基準事故時に考慮されていないもの)

表1で抽出した設計基準事故時で考慮されていない、または現象が異なる動荷重は以下のとおりであり、その影響確認方法を示す。

(1) 逃がし安全弁作動

- 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱(DCH)の発生防止のための逃がし安全弁作動時に、原子炉圧力容器からサプレッション・チェンバへ放出される蒸気が過熱蒸気となることから、設計基準事故時(飽和蒸気)と性状が異なる。このため、逃がし安全弁作動直後の短期的な影響及び原子炉圧力容器減圧後の長期的な影響について、有効性評価のパラメータ及び既往の試験結果から確認する。

(2) 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用(FCI)

- 高温の炉心(デブリを含む)と水との接触に伴う圧力上昇に伴い、サプレッション・チェンバへドライウエル内の非凝縮性ガス等が流入するため、LOCA時のパラメータを確認し、動荷重への影響を確認する。

(3) 格納容器ベント(格納容器過圧・過温破損)

- ベント時にサプレッション・チェンバが減圧することによりドライウエルからサプレッション・チェンバへ蒸気が流入するため、LOCA時のパラメータを基に動荷重への影響を確認する。
- ベントによる減圧によって、プール水の減圧沸騰が生じる恐れがあることから、有効性評価のパラメータからその影響を確認する。
- 長期的な影響として、ドライウエルから流入する蒸気が少なくなった場合の影響について、既往の試験結果から確認する。

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(7/11)



◆高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱(DCH)

DCH発生防止のための逃がし安全弁作動時は、原子炉圧力容器内で発生する蒸気が、露出した燃料からの放熱により過熱蒸気となりサプレッション・プールに流入するため、この場合の動荷重について検討した*。

※:過熱蒸気又は飽和蒸気に係わらず、単位面積あたりのエネルギー(エネルギー流束)が同等であれば、プール水内での凝縮挙動に有意な差は無いと考えられるため、有効性評価のDCHシーケンスにおける解析結果等を基に過熱蒸気のエネルギー流束を算出し、既往の試験結果(図7)から不安定凝縮の発生の有無を確認

- 図7に逃がし安全弁クエンチャ開発試験結果を示す。この結果から、蒸气流束及びプール水温の各領域において発生荷重は異なるものの、いずれの領域においても不安定凝縮は生じておらず、発生する荷重は最大でも [] となっている。
- 逃がし安全弁作動時(短期)のエネルギー流束(約 [])とプール水温(57℃)、逃がし安全弁作動時(長期)のエネルギー流束(約 [])とプール水温(79℃)のいずれの場合でも、既往の試験結果(図7)からそれぞれ [] 程度であり、不安定な蒸気凝縮が生じないことを確認した。
- 2.項、図2で示した通り、逃がし安全弁作動時の動荷重は、既往の試験より非凝縮性ガスによる気泡脈動の動荷重に基づき設定されており、短期／長期とも蒸気的不安定凝縮が生じていないことから、DCH発生防止のための逃がし安全弁作動時の動荷重は、設計基準事故時と同等以下である。

表3 逃がし安全弁作動時のパラメータ

パラメータ	逃がし安全弁作動時 (短期)	逃がし安全弁作動後 (長期)
原子炉圧力容器圧力[MPa]	7.79	0.13
蒸気温度[℃]	332	586
蒸気の比エンタルピ[kJ/kg]		
排気管の流路断面積[m ²]		
蒸气流束[kg/s/m ²]		
サプレッション・チェンバへの流入エネルギー流束[MJ/s/m ²]		



図7 逃がし安全弁蒸気凝縮に作用する動荷重

出典:NEDE-21061 "MARK II Containment Dynamic Forcing Functions Information Report", GE
(NUREG-0802: Safety/Relief Valve Quencher Loads Evaluation for BWR Mark II and III Containments"
において参考文献として引用)

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(8/11)



◆ 原子炉圧力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用(FCI)

FCI時にドライウェルからサブプレッション・チェンバへ流入する流体は、ベント管内の水、ドライウェル内の非凝縮性ガス及び蒸気により、動荷重が発生する。有効性評価の解析結果を基に蒸気流量及び流束を算出し、LOCA時に包絡されることから、設計基準事故時の動荷重と同等以下であることを確認した(表4)。

◆ 格納容器ベント

ドライウェルからサブプレッション・チェンバへ流入する流体による影響及び減圧沸騰による影響を評価し、設計基準事故時の動荷重と同等以下であることを確認した。

- 格納容器ベント時にドライウェルからサブプレッション・チェンバへの流体の移行量を算出し、LOCA時に包絡されることを確認した(表4)
- 減圧沸騰は、プール水が飽和状態となり急速減圧する際に生じる。
有効性評価結果から格納容器ベントによる減圧時においては、サブクール度が0°C以上であり、サブクール度が0°Cに到達する際はサブプレッション・チェンバの減圧は静定しており、急速減圧しないため、急激な減圧沸騰は生じない(図8)。
- 格納容器ベント後長期的にはサブプレッション・チェンバ内でチャギングによる動荷重の影響が考えられる。既往の試験結果*では、大振幅のチャギング荷重は蒸气流束が18~28 kg/s/m²、プール水温40 °C以下で確認されており、格納容器ベント後長期ではプール水温は100°C以上、ベント管内の蒸气流束は約□ kg/s/m²以下に減少しているため、長期的な動荷重として影響はない(図8)。

* : 日本原子力研究所: JAERI-M 83-186, 蒸気凝縮振動及びチャギングによる圧力抑制プール内動荷重の統計的評価(2) -格納容器圧力系信頼性実証試験データ評価レポート・3ー, 7.結論より抜粋

表4 サプレッション・チェンバへの水等の移行量

事象	水移行量の最大値(上段:[kg/s], 下段:[kg/s/m ²])	ガス移行量の最大値(上段:[kg/s], 下段:[kg/s/m ²])	蒸気移行量の最大値(上段:[kg/s], 下段:[kg/s/m ²])
LOCA時のブローダウン過程における高温水・蒸気の放出(格納容器過圧・過温破損)			
原子炉圧力容器外の溶融燃料—冷却材相互作用(FCI)			
格納容器ベント時(格納容器過圧・過温破損)			

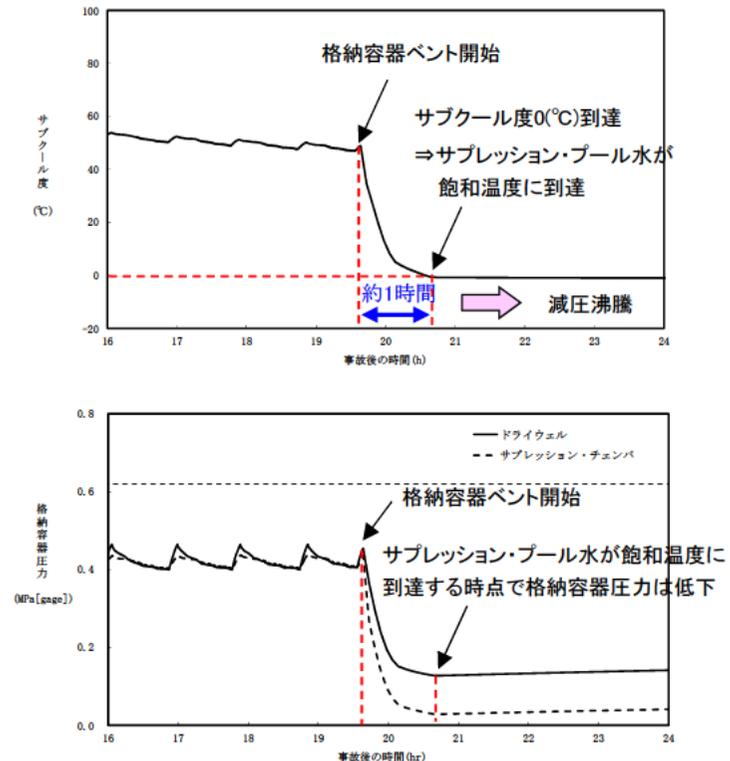


図8 ベント時のプール水のサブクール度及び原子炉格納容器圧力の推移

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(9/11)



4. SA時に生じる動荷重を考慮した強度・耐震評価

◆SA時の荷重の組合せの条件について

DBの荷重の組合せの考え方(次頁参照)と同様に、表5のとおりSAの荷重の組合せを設定した。

SAの荷重の組合せにおいて動荷重を考慮する場合、当該動荷重が最も厳しい重要事故シーケンス等を選択し、当該重要事故シーケンス等における動荷重及び動荷重が発生するタイミングにおける最大の原子炉格納容器圧力を条件として設定した。

表5 原子炉格納容器本体の荷重の組合せの条件

	荷重の組合せ	重要事故シーケンス等	荷重の組合せの考え方
SA1 (短期)	死荷重 + 限界圧力(620 kPa)	なし	限界温度, 圧力(200°C, 2Pd)を考慮する。
SA2 (短期)	死荷重 + ATWS時(200 kPa) + SRV作動時	原子炉停止機能喪失 包絡される重要事故シーケンス等: 高圧注水・低圧機能喪失, 高圧注水・減圧機能喪失, 全交流動力電源喪失, 崩壊熱除去機能喪失(取水機能喪失), 崩壊熱除去機能喪失(残留熱除去系機能喪失), 格納容器バイパス, 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱, 原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用, 溶融炉心・コンクリート相互作用	原子炉停止機能喪失シーケンスでは, 事故発生後短期で原子炉格納容器圧力が上昇するとともに, 逃がし安全弁作動時の動荷重が発生するため, これらの荷重を組み合わせる。原子炉格納容器圧力は, 逃がし安全弁作動時に最大となるATWS時を用いる。
SA2' (短期)	死荷重 + 中小破断LOCA時(25 kPa) + SRV作動時 + チャギング(LOCA)	LOCA時注水機能喪失(中小破断)	LOCA時注水機能喪失(中小破断)シーケンスでは, チャギングが生じている状態で, 逃がし安全弁作動による動荷重が重畳するため, これらの荷重を組み合わせる。原子炉格納容器圧力は, 逃がし安全弁作動時とする。
SA3 (短期)	死荷重 + 最大圧力(465 kPa) + チャギング(LOCA)	格納容器過圧・過温破損 包絡される重要事故シーケンス等: 水素燃焼	格納容器過圧・過温破損(大破断LOCA)では, チャギングが長期間継続するため, 当該シーケンスにおける最大の原子炉格納容器圧力を考慮し, 組み合わせる。
SA4 (短期)	死荷重 + 最大圧力(465 kPa) + チャギング(FCI)	原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用(FCI) 包絡される重要事故シーケンス等: 高圧溶融物放出/格納容器雰囲気直接加熱, 溶融炉心・コンクリート相互作用	原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用(FCI)では, 原子炉圧力容器破損後に大量に発生する蒸気がサブプレッション・プールに流入することで動荷重が発生するため, その際の最大の原子炉格納容器圧力を考慮する。
SA5 (短期)	死荷重 + 最大圧力(465 kPa) + チャギング(ベント)	格納容器過圧・過温破損 包絡される重要事故シーケンス等: 高圧・低圧注水機能喪失(給水喪失), 崩壊熱除去機能喪失(残留熱除去系機能喪失), LOCA時注水機能喪失(中小破断), 水素燃焼	格納容器過圧・過温破損では, 格納容器圧力が高い状態で格納容器ベントを実施するため, 格納容器ベントによる動荷重とその際の最大の原子炉格納容器圧力を考慮する。
SA6 (長期(L))	死荷重 + 最大圧力(465 kPa) + S _d	なし	事故後1×10 ⁻² 年(3.65日)内の原子炉格納容器圧力の最大値と弾性設計用地震動S _d を組み合わせる。SA(L)の状況では原子炉圧力容器は既に減圧されており, 逃がし安全弁作動時の荷重は重畳しない。
SA7 (長期(L))	死荷重 + SA(L)圧力(310 kPa) + チャギング(ベント) + S _d	格納容器過圧・過温破損 包絡される重要事故シーケンス等: 高圧・低圧注水機能喪失(給水喪失), 崩壊熱除去機能喪失(残留熱除去系機能喪失), LOCA時注水機能喪失(中小破断), 水素燃焼	格納容器過圧・過温破損では, チャギングが長期間継続するため, 事故後3.65日後の原子炉格納容器圧力と弾性設計用地震動S _d を組み合わせる。
SA8 (長期(LL))	死荷重 + SA(LL)圧力(200 kPa) + S _s	なし	事故後2×10 ⁻¹ 年(73日)後の原子炉格納容器圧力と基準地震動S _s を組み合わせる

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(10/11)



◆荷重の組合せのケースの考え方

表5で示したSA時の荷重の組合せケースは設計基準対処施設としての荷重の組合せを踏まえて設定(表6)。SA時の荷重の組合せケースは、設計基準対処施設の組合せケースを網羅している。

表6 荷重の組合せケース対比表

設計基準対処施設	重大事故等対処設備	SAの区分
最高使用圧力1 Pd(310 kPa)	限界圧力2 Pd(620 kPa)	SA1
運転圧力+逃がし安全弁作動	ATWS時の圧力(200 kPa)+逃がし安全弁作動	SA2
運転圧力+LOCA時(プールスウェル)	事故時最大圧力(465 kPa)+チャギング	SA3
事故時圧力+蒸気凝縮		SA4
事故時圧力+チャギング		SA5
運転圧力+S _d	SA7に包絡される	—
運転圧力+S _s	SA(LL)圧力(200 kPa)+S _s	SA8
運転圧力+逃がし安全弁作動+S _d	SRV作動は短期の事象であるため、組み合わせない	—
運転圧力+逃がし安全弁作動+S _s		
事故時圧力+S _d	事故時最大圧力(465 kPa)+S _d	SA6
—	中小破断時の圧力(25 kPa)+逃がし安全弁作動 +チャギング	SA2'
—	SA(L)圧力(310 kPa)+S _d +チャギング	SA7

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(11/11)



◆重大事故等時の荷重の考慮した強度・耐震評価結果

全てのSA時の荷重の組合せケースについて、原子炉格納容器本体に生じる応力を算出し、許容応力に対する裕度を評価した(表7)。この結果、全ての組合せに対して許容応力以下であり、重大事故等時において原子炉格納容器の健全性が維持されることを確認した。

表7 原子炉格納容器本体の強度評価結果

No.	荷重の組合せ	発生応力 (MPa)※1	許容応力 (MPa)	裕度
SA1	死荷重 + 限界圧力 (620 kPa)	[]	281※2	[]
SA2	死荷重 + ATWS時 (200 kPa) + SRV作動時		281※2	
SA2'	死荷重 + 中小破断LOCA (25 kPa) + SRV作動時 + チャギング		281※2	
SA3	死荷重 + 最大圧力 (465 kPa) + チャギング (LOCA)		281※2	
SA4	死荷重 + 最大圧力 (465 kPa) + チャギング (FCI)	—	281※2	—
SA5	死荷重 + 最大圧力 (465 kPa) + チャギング (ベント)	—	281※2	—
SA6	死荷重 + 最大圧力 (465 kPa) + S _d	[]	253※3	[]
SA7	死荷重 + SA(L)圧力 (310 kPa) + チャギング + S _d		253※3	
SA8	死荷重 + SA(LL)圧力 (200 kPa) + S _e		254※3	

◆重大事故等時の荷重の代表性

表7で示すようにSA時のPCV荷重としては、限界圧力との組み合わせ(SA1)が最も厳しい値。なお、チャギングとの荷重の組合せ(SA3)の裕度が小さいが、以下のような保守性あり。

- チャギングによる動荷重は、既往の試験結果*より大振幅となる条件(蒸気流束18~28 kg/s/m², プール水温40℃以下)が確認されており、原子炉格納容器に最大圧力が生じる状況ではプール水温は100℃以上、蒸気流束は約 [] kg/s/m²以下に減少しているため、大振幅が発生する領域に無く、裕度は確保されている。

以上より、重大事故等時に生じる荷重としては、限界圧力との組合せ(SA1)の裕度が最も小さくなることを確認した。

*: 日本原子力研究所: 格納容器圧力系信頼性実証試験

◆重大事故等時の原子炉格納容器の詳細評価

重大事故等時の動荷重を考慮した原子炉格納容器本体の応答解析に基づく評価結果については、強度・耐震計算書に反映する。

※1: 動荷重は簡易評価にて実施。()内は発生応力のうち円周方向の動荷重成分

※2: 許容応力状態 V_AとしてのIV_A許容限界を用いる。(限界温度(200℃)における許容値)

※3: 許容応力状態 V_ASとしてのIV_AS許容限界を用いる。(SA(L)(171℃), SA(LL)(150℃)における評価温度)

【論点17】 ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法



＜本論点の経緯＞

平成29年11月、実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部が改正され、ブローアウトパネルに対する要求事項等が明確化された。このため、東海第二発電所のブローアウトパネルが要求機能を満足することを確認するための実証試験（再現性確認結果）について説明する。

＜コメント＞

開放試験については、パネルが躯体から外れていることを確認すること。

＜回答＞

実機モックアップ試験結果（2回目：再現確認 6月15日実施）は以下のとおり。

- ・1回目6/9実施と同条件にて油圧ジャッキによる開放試験を実施し、設計差圧 6.9kPa以下の荷重（最大荷重 kN（差圧 kPa相当））でパネルが開放することを確認。1回目実績（最大荷重 kN（差圧 kPa相当））



開放試験前の状況



パネル開放状況



パネルが躯体枠から脱落し、落下した状態

パネル開放状況（パネル下部）

開放試験2回目（6/15実施）

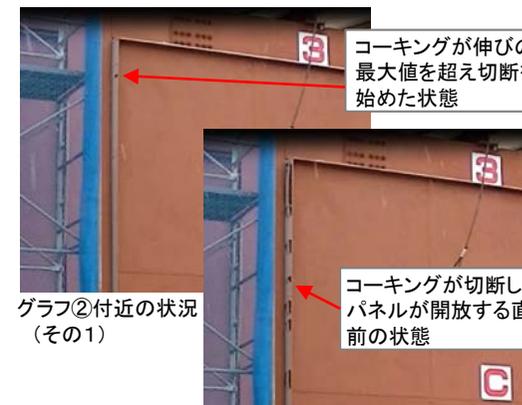


クリップは、変位約12mmで脱落するため、最初の荷重のピークが現れる。2度目の荷重のピークは、コーキングが切断するまでの最大荷重と摩擦力の荷重によるもの。

開放時荷重（kN）

項目	試験日	最大値	判定※
1回目	6/9	<input type="text"/>	○
2回目	6/15	<input type="text"/>	○

※ Sd相当荷重にて開放せず、6.9kPa相当の荷重（約 kN）以下で開放すること。



グラフ②付近の状況（その1）

グラフ②付近の状況（その2）

【別パネルでの同様例】

【論点19】 MCCI/FCI対策に係る設計 (1/1)

＜本論点の経緯＞ RPV破損時のペDESTAL内水位を1mに維持するため、導入管及びスリット形状の排水ラインにより流入水が確実に排水できることをモックアップ試験で確認する。また、設置許可補正時における排水時間評価の妥当性を確認する。
＜コメント＞ 導入管カバーを考慮した試験も含め、モックアップ試験の結果について示すこと。
＜回答＞ 追加で実施したモックアップ試験(導入管カバーの設置)について、その内容と評価結果を示す。

1. 試験概要

5月に実施したモックアップ装置に、導入管カバーを追設し排水時間を確認した。設置概要を図1、導入管カバーを図2に示す。

2. 試験結果

図3に示すように導入管カバーの有無で排出時間の相違はなく、圧損への影響がないことを確認した。

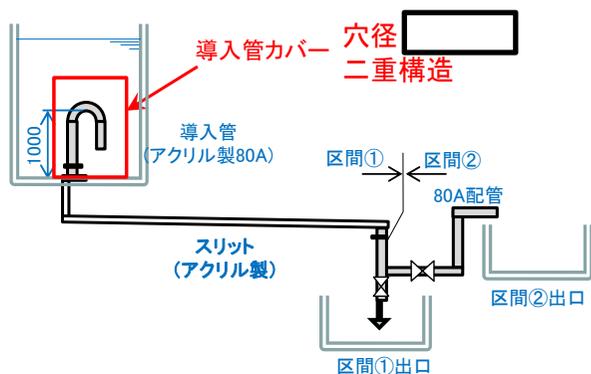


図1 ペDESTAL排水系概要



図2 導入管カバー

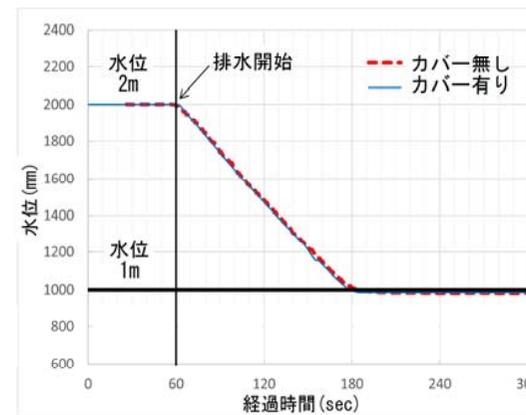


図3 導入管カバー試験結果

3. 評価結果

以上より、前回の会合(6/14)で説明した導入管及びスリット形状の排水ラインに係る排水機能・排水時間の評価結果(下表)についても影響はない。

相違	試験結果	評価
圧損係数 [m/(m ³ /h)]		排水制限時間(2.7時間)以内に排水可能であることを確認した。 ※ 格納容器床ドレン系のみでの排水時間
ボトムドレンLOCA時の排水時間 [時間]	1.5 (2.6)※	
水位5cmの排水時間 [分]	6	注水操作開始から排水弁閉までの時間は全体で約30分となる。 炉心損傷後のペDESTAL注水開始からRPV破損までの約1.8時間に対し、十分な余裕をもって対応できる。

【論点20】 ECCSポンプのSA時でのNPSH評価（1／3）



＜本論点の経緯＞ ECCSポンプのNPSH評価のうち、ECCSストレナの異物付着による圧損上昇の評価において、SA時に発生するデブリについて、ストレナに付着する量を見直した条件（移行割合を考慮しない条件）等で追加試験を実施することとした。

＜コメント＞ ① 試験結果及び評価結果について示すこと。

＜回答＞ ECCSポンプのSA時でのNPSH評価のため、内規※との整合性及び保守性を確保した試験の実施結果を示す。

※ 「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20・02・12原院第5号）

1. 試験実施期間 平成30年6月11日～平成30年6月15日（米国ニュージャージー州 CDI社）

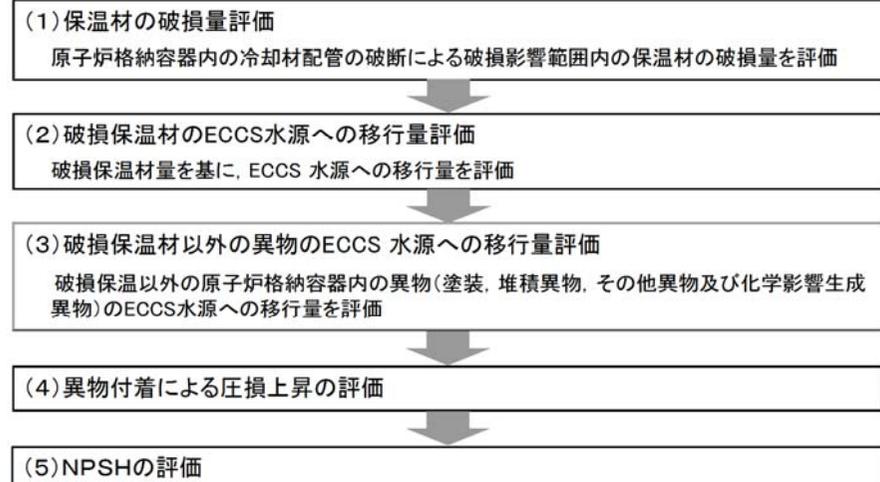
2. 圧損試験要領について

想定する異物量及び試験手順は内規に準拠しており、保守的に設定

- ① 実機で想定される異物量
内規に基づき、保守的に物量を算出
- ② 異物移行量
算出した異物の全量がストレナに到達
- ③ 試験手順
内規を踏まえ、保守的に試験手順を設定

詳細は5/31の審査会合にて説明済

ストレナの性能評価

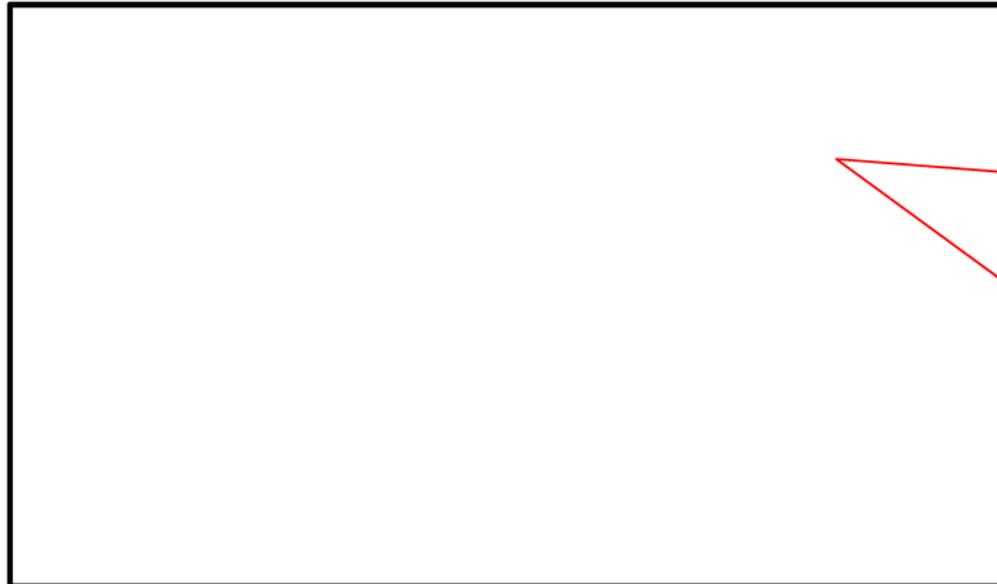


実機で想定される異物量を決定

圧損試験を実施し、異物による圧損値を算出

3. 圧損試験結果

- ・投入された異物は攪拌機で分散され、更に水槽内の水は一定流速にて循環。また圧損データは十分静定された状態で採取。
- ・ステップ2の結果及び内規に示された数式より算出した化学影響生成異物以外の異物による実機の圧損上昇は m となった。
- ・ステップ2, 3により確認された化学影響生成異物による圧損上昇は m であった。
- ・上記から、異物による実機の圧損上昇は m となる。



※許容圧損目安値:有効NPSHから必要NPSH等を差し引き
異物による圧損上昇値として許容される値



(ステップ1)

実機流速の500 m³/h相当で圧損値を計測(SA時に使用を想定している代替循環冷却系ポンプ流量は 250 m³/h以上の流量)

⇒許容圧損目安値に対し、十分低い値(m)で圧損静定

(ステップ2)

実機流速の1691.9 m³/h相当で圧損値を計測(ストレーナを兼用するポンプのうち最も流量が大きい残留熱除去系ポンプの定格流量)

⇒許容圧損目安値に対し、十分低い値(m)で圧損静定

(ステップ3)

化学影響生成異物を投入後、静定を待って圧損値を計測

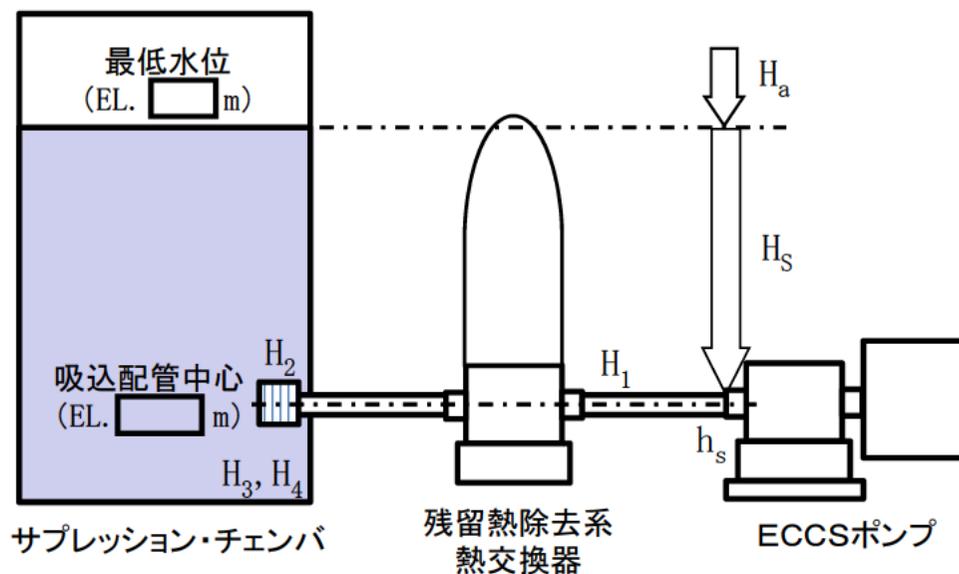
⇒許容圧損目安値に対し、十分低い値(m)で圧損静定

4. 評価結果

圧損上昇を考慮したECCSポンプのNPSHが、当該ポンプの必要NPSH以上であることを確認した。

$$\text{有効 NPSH } (H_a + H_s - H_1 - H_2 - H_3 - H_4 - h_s) \geq \text{必要 NPSH}$$

	(m)
H_a : 吸込み液面に作用する絶対圧力	
H_s : 吸込揚程	
H_1 : ポンプ吸込配管圧損	
H_2 : 異物付着なしの状態における ストレーナ圧損	
H_3 : 金属反射型保温材による圧損上昇	
H_4 : 繊維質, 粒子状の異物及び 化学影響生成異物による圧損上昇 ※	
h_s : ポンプ吸込口における 飽和蒸気圧水頭	



※: 異物発生原からストレーナへの移行率を考慮した試験による圧損上昇の評価([] m)に対し [] 倍の上昇が見られるものの、有効 NPSH と必要 NPSH の差([] m)と比較し、極めて僅かな上昇である。

【論点22】 燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性(1/3)

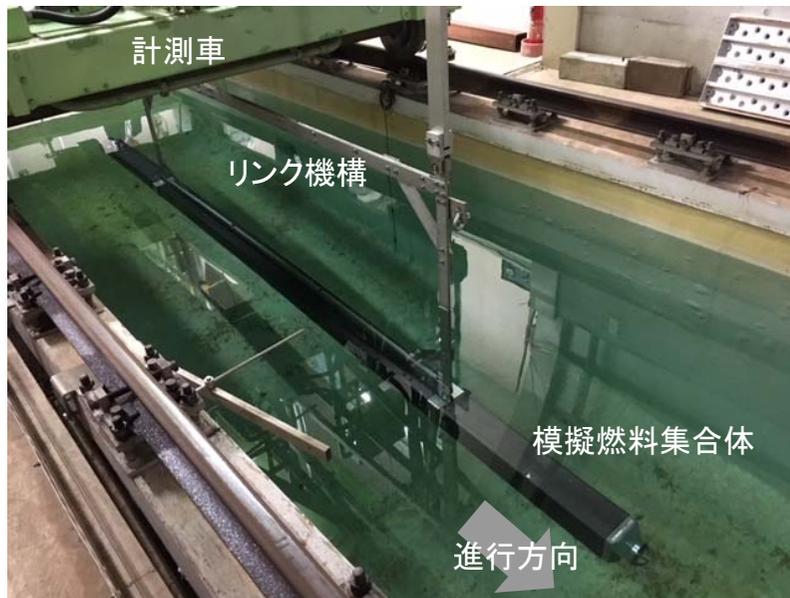
<本論点の経緯>

使用済燃料プールでの燃料集合体落下時のライニングの健全性評価において、運動方程式によって落下エネルギーを評価し、既往の試験における落下エネルギーに包絡されると評価している。この評価に使用したパラメータのうち、抗力係数 C_d は単純化した形状の物体に対する文献値であり、長手方向の長さ L と代表長さ d の比(L/d)やレイノルズ数について実機を包絡していないことから、模擬燃料集合体を用いた抗力測定試験を実施し、求めた抗力係数から落下エネルギーを評価し、既往の試験に包絡されることを確認する。

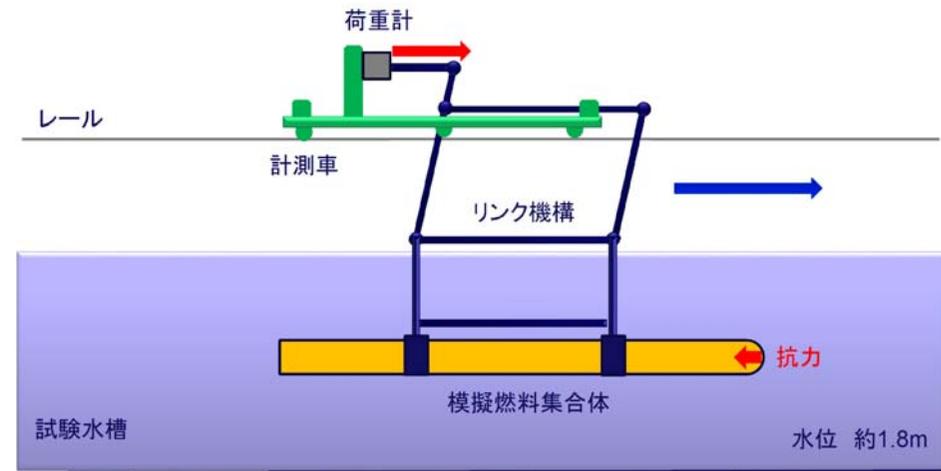
また、CFD (Computational Fluid Dynamics)解析を並行して実施し、試験条件(レイノルズ数)を補完する解析も実施する。

【試験条件】

- 試験体: 模擬燃料集合体
(実機 8×8 形状(燃料ペレットなし), チャンネルボックス付)
- 計測速度: 2.8, 4.0, 5.0, 6.0m/s(実機: ~約10m/s)
(測定器条件により当初予定していた1.3m/sの代わりに4.0m/s及び5.0m/s実施)
- 水温: 20°C程度(実機: ~65°C)



試験装置外観



試験体系

【試験手順】

- (1) 模擬燃料集合体を取り付けた状態で、荷重計により計測速度毎の抗力①を測定。
- (2) 模擬燃料集合体を取り外した状態で、荷重計により計測速度毎の抗力②を測定。
- (3) ①-②の差分から、模擬燃料集合体のみ抗力③を得る。

(次頁へつづく)

【論点22】 燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性(2/3)

【試験手順 (つづき)】

(4) 抗力③から抗力係数 C_d を求める。

$$C_d = \frac{2D}{\rho A v^2} \quad \text{ここで, } D: \text{抗力[N]}, \quad \rho: \text{水密度[kg/m}^3\text{]}, \quad A: \text{流れに垂直な投影面積[m}^2\text{]}, \\ v: \text{流速[m/s]}$$

また、抗力係数のレイノルズ数依存性を確認。

(5) 試験体系でのCFD解析により、試験状態を評価し同様の傾向を確認。

(6) CFD解析により実機状態での抗力係数を計算し、実機の抗力係数を推定。

(7) 抗力係数から落下エネルギーを評価し、既往の燃料集合体落下試験に包絡されることを確認。

【評価結果】

水温65°Cの際の抗力係数は、CFD解析結果との対比により0.77と推定(下図の●)できるが、評価に当たっては測定値のばらつきも考慮し、標準偏差($\sigma = 0.043$)の3倍($3\sigma = 0.13$)を差し引いた値(0.64)から更に保守的に0.60を用いる。

抗力係数 $C_d = 0.60$ とした際の燃料の速度は m/s, 落下エネルギーは 14.9kJ となり、既往の落下試験結果 15.5kJ を下回ることを確認した。

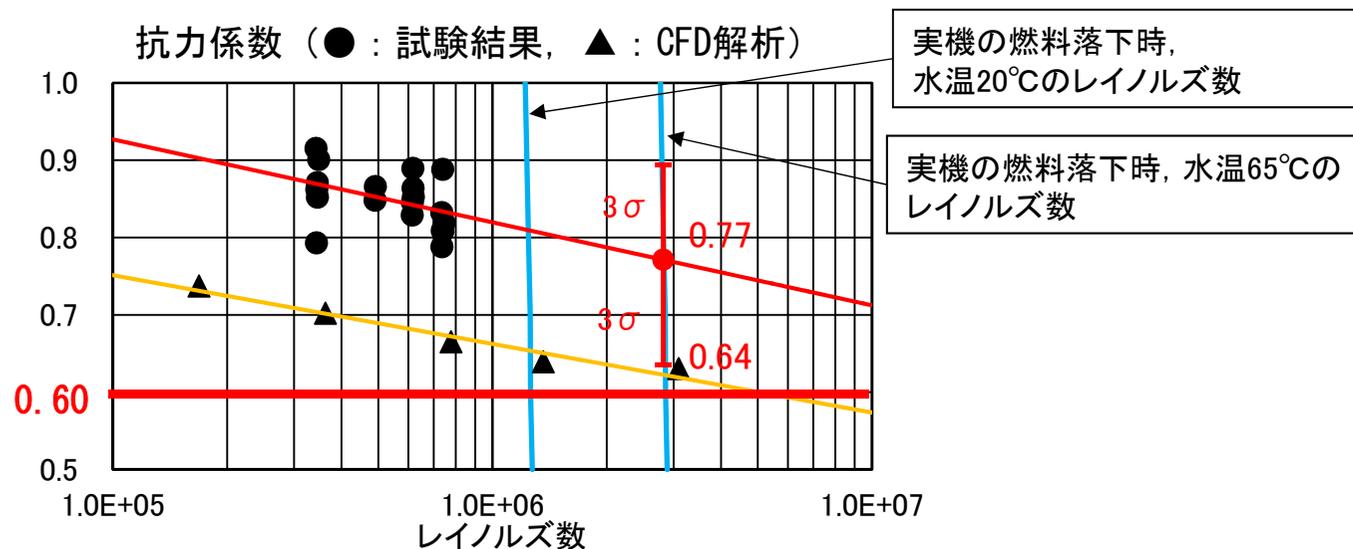


図 試験結果のまとめ

【試験結果の考察】

(1) 内部通過流の影響

中実の四角柱（水が柱体の中を通過しない）の抗力測定試験（図1）の結果も合わせて図2に示す。当初、燃料集合体は、直方体に近いとして抗力係数を0.8としたが、これらの試験結果から、内部を通り抜けた水による抗力低減の効果（図2, 図3）が、無視できないことを確認した。

(2) CFD解析の保守性

CFD解析においては、燃料集合体の外面形状を精密に模擬し、内面には燃料設計上の抵抗係数を用いたが、表面粗さは実機より小さい値とし、集合体内の非均質性は無視して単純化した（図4）。その結果、集合体表面での抗力を過小評価し、内部を通り抜けた水による抗力の低減効果を過大評価した。図4における破線部の非均質性を抵抗係数と空隙率で模擬して計算した場合、全体の抗力係数が約10%増加する。

これらのことから、CFD解析の抗力係数は保守側の小さい値となっている。

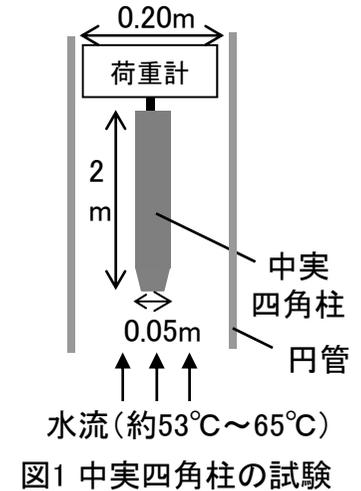


図1 中実四角柱の試験

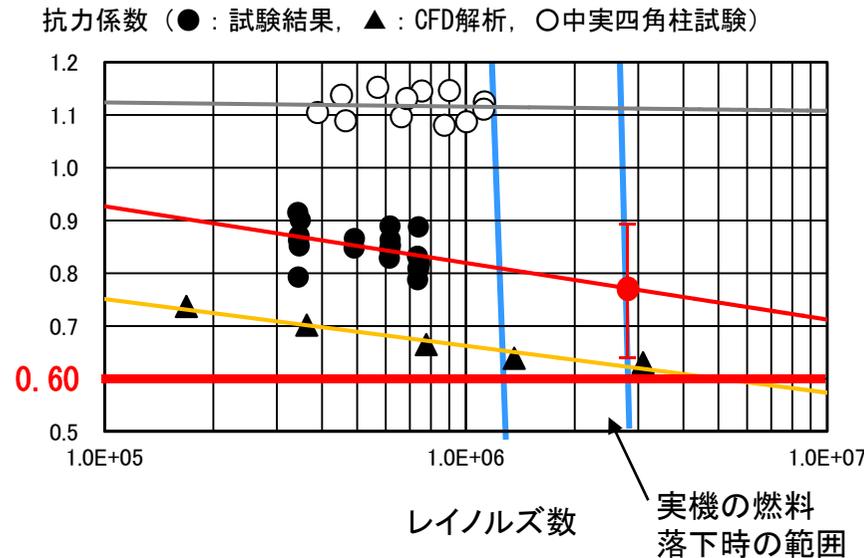


図2 レイノルズ数と抗力係数の関係

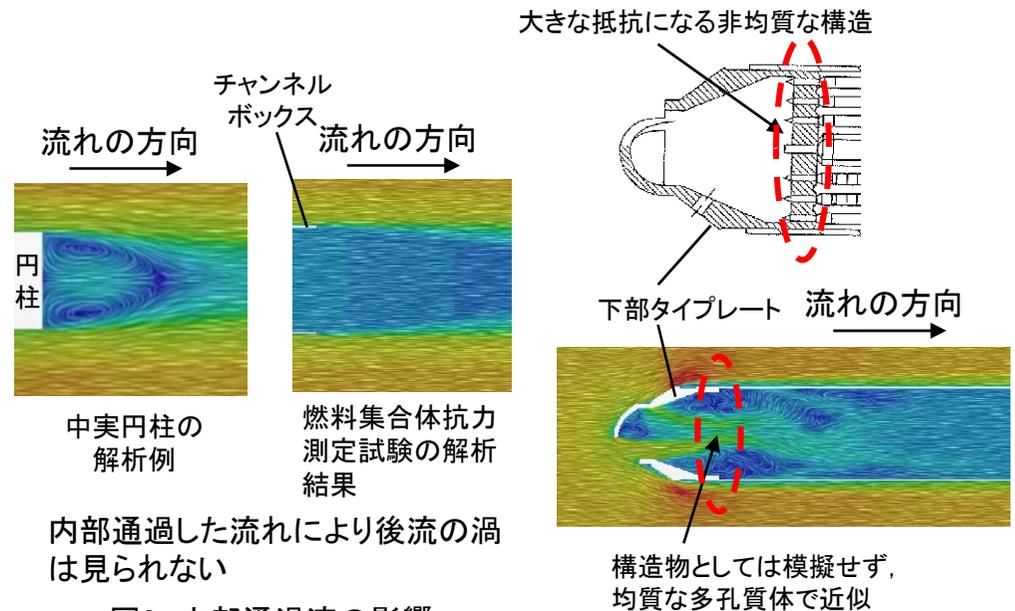


図3 内部通過流の影響 (CFD解析結果の比較)

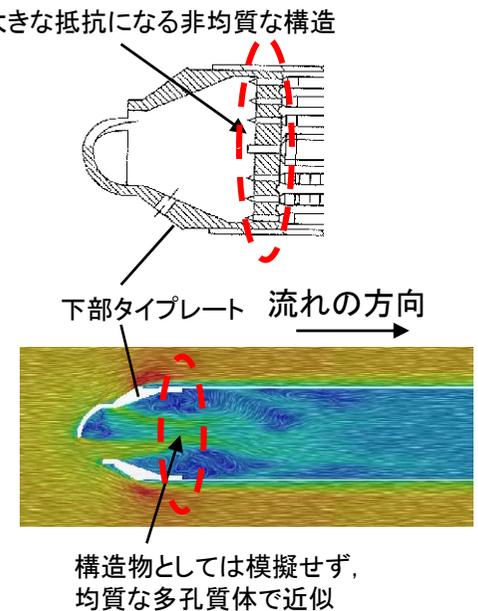


図4 CFD解析の保守性

東海第二発電所 工事計画において実施する試験について(1/5)



当初(前回審査会合:6/14)示した試験(30件)は全て終了

No.	試験名	試験目的	試験項目	1月		2月		3月		4月		5月		6月		備考
				上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	
1	ブローアウトパネル及び関連機器の機能確認試験	・ブローアウトパネルが、設計圧力(6.9kPa)以下で開放することの確認	クリップ要素試験 実機大開放機能試験	試験計画策定 試験完了		クリップ要素試験体、 試験装置製作		クリップ試験		▼結果説明 追記試験準備 実機大試験装置製作		追加クリップ 要素試験 実機大開放試験		▼結果説明		試験終了
2	ブローアウトパネル及び関連機器の機能確認試験	・ブローアウトパネル閉止装置が、電動及び手動にて操作でき、その閉止機能が設計基準地震Ssでも確保できることの確認 ・閉止後、設計基準地震Ssでも、必要な気密性能が確保できることの確認	実機大試験 加振試験 開閉動作確認試験 気密性能試験	試験計画策定/材料手配(実機大試験)/加振台調整						実機大試験体製作		作動・気密試験立		結果説明▼		・試験結果については、6/26審査会合にて説明 ・現在、不具合対応検討中
3	ECCS系ポンプストレナ圧損試験	・SA時におけるS/P水に流入するデブリを想定しても、ECCS系ポンプ等の有効吸込水頭が確保されることを確認 ・ストレナに付着するデブリ量を見直した追加試験を実施する	圧損試験	当初試験完了		▼結果説明(2/22)		結果説明(4/23)▼		▼結果説明(5/2)		再試験計画策定/試験準備		結果説明▼ 圧損試験		・6/18試験結果説明 ・7/3審査会合報告
4	ガスケット圧縮永久ひずみ試験	PCVのトップヘッドフランジ等で用いるシール材の圧縮永久ひずみ率のデータ拡充及び増厚を検討	圧縮永久ひずみ試験	試験体製作 試験完了		▼試験条件説明(2/1) 圧縮永久ひずみ試験(データ拡充)		▼データ拡充試験結果説明(3/8) ▼増厚試験速報説明(3/15) 圧縮永久ひずみ試験(増厚検討)		▼結果説明(3/29)						・データ拡充試験により、現状の圧縮永久ひずみ率の設定が妥当であることを確認済み ・増厚したガスケットによる圧縮永久ひずみ試験により、ガスケットの健全性が確認できたため、増厚が可能であることを確認済み
5	液状化強度試験	液状化強度試験結果を整理し、設置変更許可段階で示した各地層の解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性について確認	液状化強度試験	試験完了		供試体作成、液状化強度試験		▼結果説明(速報)(3/22)		▼結果説明(4/16) コメント対応中						液状化強度試験結果について整理し、設置変更許可段階で示した各地層の解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性を確認済み
6	ジョイント部材に係る性能確認試験	防潮堤区間に設置するジョイント部材について、有意な漏えいが生じないことを確認	引張試験、耐圧試験、耐候性試験	試験完了		▼結果説明(2/22)										ジョイント部材はT.P.+24m津波の波圧に対しても有意な漏えいが生じないことを確認済み。耐候性試験では15年相当まで止水シートに劣化が生じないことを確認済み
7	鋼製防護壁添接板継手部シール材に係る性能確認試験	鋼製防護壁添接板継手部のシール材について、有意な漏えいが生じないことを確認	耐圧試験	試験装置製作 試験完了		耐圧試験		▼結果説明(4/12)								シール材は、T.P.+24m津波の波圧に対しても有意な漏えいが生じないことを確認済み

東海第二発電所 工事計画において実施する試験について(2/5)



No.	試験名	試験目的	試験項目	1月		2月		3月		4月		5月		6月		備考	
				上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下		
8	止水機構の実証試験(加振試験)	鋼製防護壁の止水機構について、加振試験を実施し追従性を確認	1次止水機構の加振試験(地震時、津波十余震重畳時条件で実施)	試験計画策定(試験計画を説明しながら策定中) 試験完了 2/8 2/27 3/13 3/27 4/3 4/10 4/18 5/8 試験計画説明 材料手配、試験装置製作、試験準備 加振試験 ▼結果説明(5/22)												・加振試験終了 ・試験結果は説明済み	
9	スタンドパイプを模擬した試験体による限界荷重の確認	極限解析を用いたスタンドパイプの耐震評価手法の保守性を確認	1/3スケールによる引張り試験(荷重-変位曲線の取得)	試験完了	▼結果説明(速報)(2/1)		▼結果説明(3/23)										1/3スケールの引張り試験により、極限解析の保守性を確認済み
10	統合原子力防災ネットワーク設備の加振試験	緊対所の統合原子力防災ネットワークLAN収容架(SA)内に設置する通信連絡設備の電氣的機能維持確認	加振試験	試験完了	固定治具製作/試験 ▼結果説明(5/30) ▼加振試験(5/17,18)												他社で実施済みの同等品による加振試験加速度と比べて、当社が同確認に必要な加振波が小さいことから、問題ない
11	耐環境試験	設置環境条件に適合することを確認 ・圧力伝送器、差圧伝送器 ・温度検出器 ・放射線モニタ ・使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置 ・サーベイメータ等	耐環境試験(圧力、温度、湿度、放射線)	試験完了	SFP監視カメラ用空冷装置試験 ▼結果説明(3/27) サーベイメータ等試験 ▼結果速報(5/30)												・SFPカメラについて耐放射線試験を実施済み ・サーベイメータ等については、先行にて実績のある機器と同等品であることから、成立性に問題ない
12	MCCIスリットモックアップ試験	モックアップによるスリット形状排水ラインの設計の妥当性について確認	水位維持・排水機能の確認試験	試験計画策定 ▼試験体製作 ▼計画説明(3/22, 4/25) ▼結果説明(6/7) モックアップ試験												・5月で試験終了 ・試験結果は6/7説明 ・6/14審査会合 ・7/3追加試験結果報告	
13	常設高圧代替注水系ポンプ加振試験	動的機能維持評価に使用するため確認	加振試験【他社試験買取】	資料提出(6/28)▼												他社から買取した加振試験結果が当社に適用できることを確認済み。	
14	SA車両型設備の加振試験(自社加振試験分)	SA車両型設備の加振試験を実施し、転倒しないこと、機能が維持されることを確認	SA車両型設備の加振試験機能維持確認試験 <対象車両> ・常設代替高圧電源装置 ・可搬型代替注水大型ポンプ ・可搬型代替低圧電源車 ・窒素供給装置用電源車 ・タンクローリ	試験完了	▼結果説明(1/25) コメント対応中												加振試験の結果、加振後においても機器が健全であることを確認済み

東海第二発電所 工事計画において実施する試験について(3/5)



No.	試験名	試験目的	試験項目	1月		2月		3月		4月		5月		6月		備考
				上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	
15	SA車両型設備の加振試験(委託成果開示分)	他電力で実施したSA車両型設備の加振試験の成果の適用 (SA車両型設備の加振試験を実施し、転倒しないこと、機能が維持されることを確認)	SA車両型設備の加振試験 機能維持確認試験 <対象車両> ・常設代替高圧電源装置 ・可搬型代替注水中型ポンプ ・窒素供給装置	試験完了												他社から買取した加振試験結果が当社に適用できることを確認済み
16	非常用海水ポンプ複合軸受の軸受摩耗試験	津波の二次的な影響として、浮遊砂に対する軸受の耐性を確認	軸受摩耗試験 (試験装置に軸受供試材を装着し津波時の砂濃度を再現した状態で運転し軸受の健全性が維持されること確認)	試験完了									▼結果説明(5/15)			浮遊砂巻き込み対策としての軸受について、耐性を確認済み
17	防潮扉・放水路ゲート開閉装置の加振試験	防潮扉、放水路ゲートの上部に設置する開閉装置について加振試験を実施し、機能維持していること確認	開閉装置の加振試験 ⇒許可段階で実施した評価用の目標地震波が基準地震動Ssによる防潮扉及び放水路ゲート上部の応答加速度を上回る包絡性を確認したため、加振試験は実施しない										▼結果説明(6/12)			6/12に結果説明
18	フロート式逆止弁(浸水防護設備)の加振試験	地震後、津波後や津波の繰返しの襲来を想定した場合においても止水機能が維持できることを確認	・加振試験 ・耐圧・漏えい試験	試験完了分												追加実施分 試験準備 試験 評価 ▼結果説明(5/29) 逆止弁の加振試験、耐圧試験、漏えい試験を実施し機能に異常のないことを確認済み
19	複合体に対する実証試験	複合体が難燃ケーブルと同等以上の難燃性能を確保していることを確認	複合体の外部の火災に対する実証試験 複合体の内部の火災に対する実証試験 複合体の不完全な状態を仮定した場合の実証試験 複合体外部の火災に対する実証試験 複合体内部の火災に対する実証試験 防火シート機能及びケーブル・ケーブルトレイ機能に対する確認試験 防火シート・結束ベルトの耐久性試験 複合体の外力(地震)による健全性確認試験 通電機能への影響確認試験 絶縁機能への影響確認試験 化学的影響確認試験	試験完了									▼結果説明(4/23)			複合体外部・内部等の実証試験の結果、燃え止まることを確認済み 複合体による影響確認試験の結果、機能への影響がないことを確認済み
20	使用ケーブルの難燃性確認試験	安全機能を有する機器等に使用するケーブルが難燃ケーブルであることを確認	UL垂直燃焼試験 IEEE 383 Std 1974 垂直トレイ燃焼試験	試験完了									▼結果説明(4/23)			UL及び垂直トレイ燃焼試験の結果、燃え止まることを確認済み
21	コーキング材の耐久性に係る試験	電線管に使用するコーキング材について、耐久性を有していることを確認	コーキング材の耐久性試験	試験完了									▼結果説明(4/23)			貫通部コーキング材の火災耐久試験の結果、耐火性能を有していることを確認済み

東海第二発電所 工事計画において実施する試験について(4/5)



No.	試験名	試験目的	試験項目	1月		2月		3月		4月		5月		6月		備考
				上	下	上	下	上	下	上	下	上	下			
22	火災感知設備及び消火設備の実証試験	火災受信機、防災表示板及び火災感知器の機能維持確認	加振試験	試験完了								▼結果説明(5/16)			加振試験の結果、加振後においても機器が健全であることを確認済み	
		ケーブルトレイに適用するハロゲン化物自動消火設備(局所)について、消火性能が確保されていることを確認	ケーブルトレイ消火試験	試験完了								▼結果説明(4/23)			消火試験の結果、消火性能が確保されていることを確認済み	
23	火災防護対策の系統分離に使用する隔壁等の耐火性能等実証試験	耐火隔壁が1時間以上又は3時間以上の耐火性能を有していることを確認	1時間耐火隔壁の火災耐久試験 3時間耐火隔壁の火災耐久試験	試験完了								▼結果説明(4/23)			耐火壁の火災耐久試験の結果、耐火性能を有していることを確認済み	
		貫通部シールが3時間以上の耐火性能を有していることを確認	配管貫通部の火災耐久試験 ケーブルトレイ及び電線管貫通部の火災耐久試験	試験完了								▼結果説明(4/23)			貫通部の火災耐久試験の結果、シール部が耐火性能を有していることを確認済み	
		防火扉が3時間以上の耐火性能を有していることを確認	防火扉の火災耐久試験	試験完了									▼結果説明(4/23)			防火扉の火災耐久試験の結果、耐火性能を有していることを確認済み
		防火ダンパが3時間以上の耐火性能を有していることを確認	防火ダンパの火災耐久試験	試験完了									▼結果説明(4/23)			防火ダンパの火災耐久試験の結果、耐火性能を有していることを確認済み
		耐火間仕切りが3時間以上の耐火性能を有していることを確認	電動弁・電気ペネトレーション用耐火間仕切りの火災耐久試験 計装品(現場制御盤、計装ラック)・電気ペネトレーション用耐火間仕切りの火災耐久試験 計装品(現場制御盤、計装ラック)用耐火間仕切りの火災耐久試験	試験完了									▼結果説明(4/23)			耐火間仕切りの火災耐久試験の結果、耐火性能を有していることを確認済み
		ケーブルトレイに使用する発泡性耐火被覆が1時間以上の耐火性能を有していることを確認	発泡性耐火被覆の火災耐久試験	試験完了									▼結果説明(4/23)			発泡性耐火被覆の火災耐久試験の結果、耐火性能を有していることを確認済み
		電線管ケーブルラッピングが3時間以上の耐火性能を有していることを確認	電線管ケーブルラッピングの火災耐久試験	試験完了									▼結果説明(4/23)			ラッピングの火災耐久試験の結果、耐火性能を有していることを確認済み
		ケーブルラッピングに伴う許容電流低減率の確認	ケーブルラッピングの許容電流評価試験	試験完了									▼結果説明(4/23)			許容電流評価(電流低減率)試験の結果、通電機能への影響がないことを確認済み
	中央制御室制御盤及び原子炉格納容器の影響軽減対策について、近接する他の構成部品に火災の影響がないことを確認	ケーブル、制御盤及び電源盤火災の実証試験	試験完了								▼結果説明(4/23)			盤の構成部品火災の実証試験の結果、金属バリア等により影響がないことを確認済み		
24	水密扉の漏えい試験	水密扉の製作時に、水密性を確認	耐水漏えい試験	試験完了								▼内容説明(4/23) 新規もしくは改造する水密扉の水密試験は扉製作時に実施			水密扉設置時に実施した耐圧漏えい試験の結果、漏えい量が規定値以下であることを確認済み	

東海第二発電所 工事計画において実施する試験について(5/5)



No.	試験名	試験目的	試験項目	1月		2月		3月		4月		5月		6月		備考		
				上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下			
25	SFP常設スプレイヘッダ及び可搬型スプレイノズル放水試験	SFP常設スプレイヘッダ及び可搬型スプレイノズルにより、それぞれ使用済燃料ラック全面に放水可能であることを確認	放水範囲確認【機器メーカー実施試験】													放水範囲をカバーするように放水可能なことを確認済み		
26	SFP重量物落下時抗力測定試験	SFP重量物落下における水抵抗データ拡充による燃料集合体抗力係数の確認	抗力測定試験													結果説明▼ 試験体準備 予備試験 試験	・試験体は手配済み ・試験は6/18～20で実施	
27	可搬型設備(その他設備)加振試験	可搬型の放射線計測器類、計測器等の加振後の機能維持の確認	加振試験 (1)放射線計測器類(緊対及び可搬型設備置場) (2)計測器(原子炉建屋及び緊対) (3)通信機器類(原子炉建屋及び緊対) (4)電源設備(原子炉建屋及び可搬型設備置場) (5)照明(原子炉建屋)													試験完了	▼結果説明(3/27) コメント対応中	加振試験の結果、加振後においても機器が健全であることを確認済み
28	通信連絡設備(常設)加振試験	中央制御及び緊急時対策所内に設置する衛星電話設備(固定型)、衛星用アンテナ、衛星用端末装置の加振後の機能維持の確認	加振試験													試験完了	▼資料提出(5/25)	・通信連絡設備の耐震計算書の中で説明 ・他社から買取した電気品の加振成果が、当社に適用できることを確認済み
29	統合原子力防災ネットワークに接続する機器の加振試験	緊急時対策所内に設置する統合原子力防災ネットワークに接続する機器(IP電話、IP-FAX、統合原子力防災ネットワークテレビ会議システム)の加振後の機能維持確認	加振試験【他社試験買取】														▼資料提出(5/28)	他社から買取した加振試験結果が当社に適用できることを確認済み。No.28と合わせてご説明
30	統合原子力防災ネットワーク設備の加振試験(他社買取)	緊急時対策所内及び屋上アンテナ部に設置される統合原子力防災ネットワークのうち衛星系の電路を構成する機器の加振後の機能維持確認	加振試験【他社試験買取】														▼資料提出(5/28) ▼結果説明(5/30)	他社から買取した加振試験結果が当社に適用できることを確認済み。No.28と合わせてご説明

参考資料

【論点1】(参考1) 鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性(1/2)



鋼製防護壁 止水機構の実証試験の経緯

第578回(H30.5.31)審査会合資料抜粋

<本論点の経緯>

防潮堤のうち鋼製防護壁については、取水路と鋼製防護壁の地震時の変位による相互干渉を回避するため、取水路と鋼製防護壁間に100mmの隙間を設け、この隙間からの津波の流入を防止することを目的に止水機構を設置することとしている。

この止水機構の構造に対して、第520回審査会合(平成29年10月17日)において、「止水板の追従性として、解析での確認に加え、試験についても検討し、方針及び実施時期を示した上で、設置許可断面と工認断面の範囲を整理して示すこと。」という指摘があった。

この指摘を踏まえて、第562回審査会合(平成30年4月5日)において、工事計画認可申請に係る論点整理の一つとして、止水機構に関して「止水機構の地震時の追従性について、評価及び実規模大の試験装置を用いた加振試験にて確認する。」ことを説明している。

今回は、上記の評価及び加振試験結果について説明するものである。



図1 鋼製防護壁の配置図

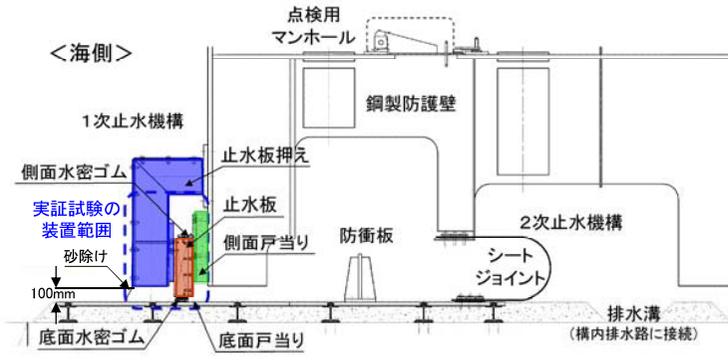


図3 止水機構全体構造概要

表1 止水機構の目的と要求機能

対策設備	目的/機能要求
1次止水機構 ・浸水防止設備 ・外郭防護1	鋼製防護壁下部と取水路間の隙間から海水ポンプエリアへの津波の流入、到達を防止する。
防衝板 ・影響防止設備 ・外郭防護1	1次止水機構の損傷又は保守に伴う取り外し時に、漂流物が2次止水機構に到達することを防止する。
2次止水機構 ・浸水防止設備 ・外郭防護2	1次止水機構からの漏えいを考慮して、海水ポンプエリアへの漏水を防止する。安全機能への影響確認として、海水ポンプエリアへの浸水量評価を実施し、安全機能への影響がないことを確認する。
点検用マンホール ・浸水防止設備 ・外郭防護2	1次止水機構からの漏えいを考慮して、鋼製防護壁鋼殻内への漏水を防止する。

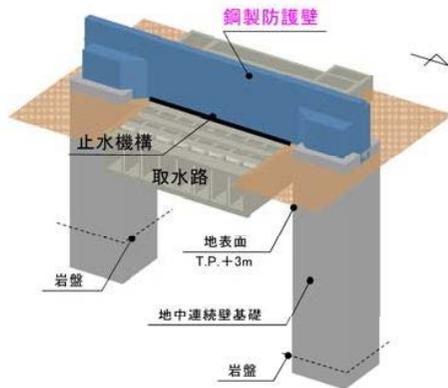


図2 鋼製防護壁の構造と止水機構の位置

- 【鋼製防護壁寸法】
- ・長さ: 約 80m
 - ・奥行(厚さ): 約 4.5m
 - ・天端高さ: T.P.+20m
- 【地中連続壁基礎寸法】
- ・幅: 約 15.5m × 約 15.5m
 - ・基礎下端部標高
(南): T.P. 約 -50m
(北): T.P. 約 -60m
- 【岩盤標高】
- (南): T.P. 約 -30m
 - (北): T.P. 約 -56m

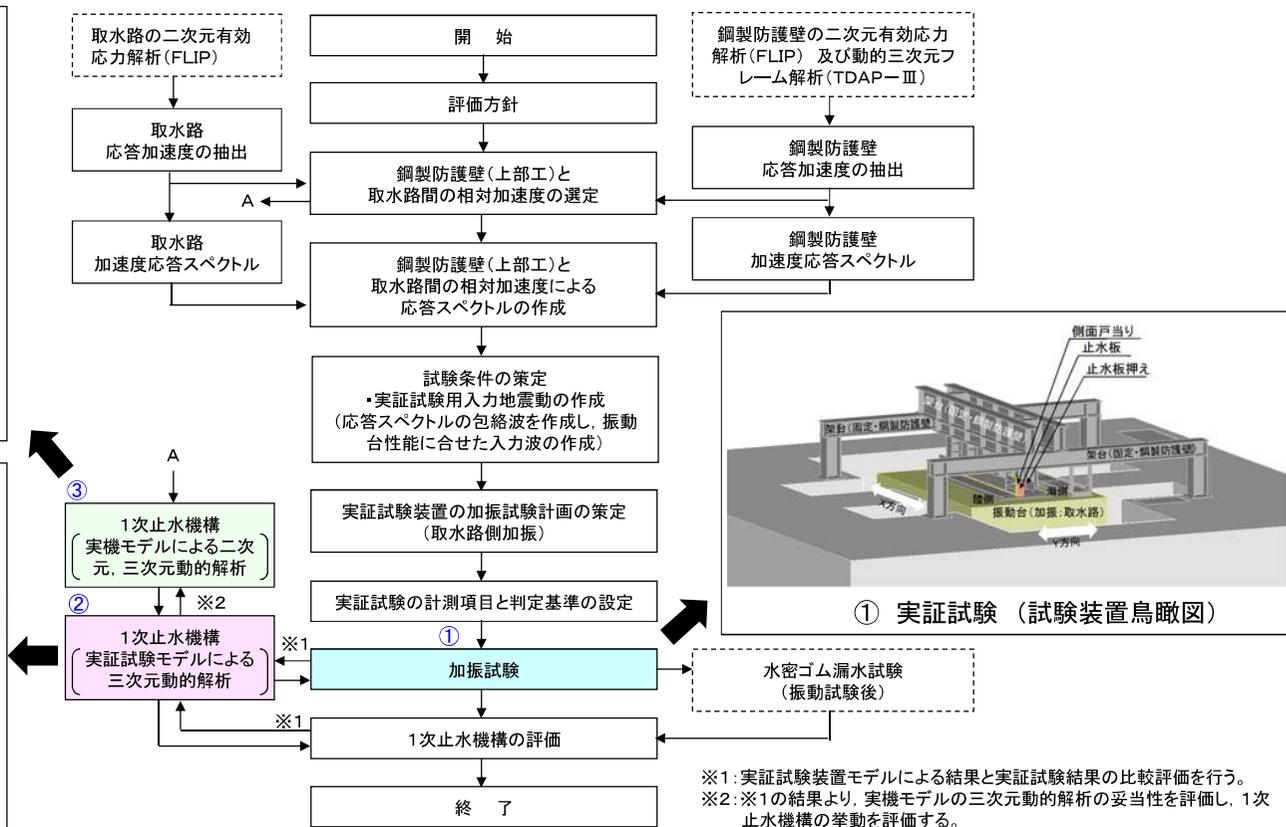
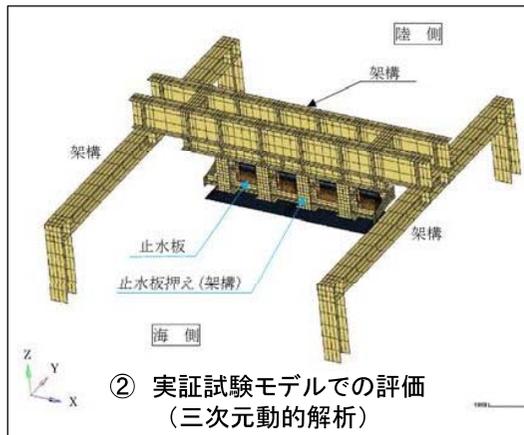
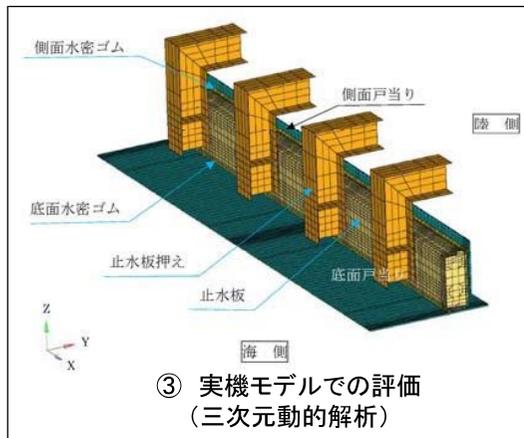
【論点1】(参考2) 鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性(2/2)



1次止水機構の実証試験評価フロー

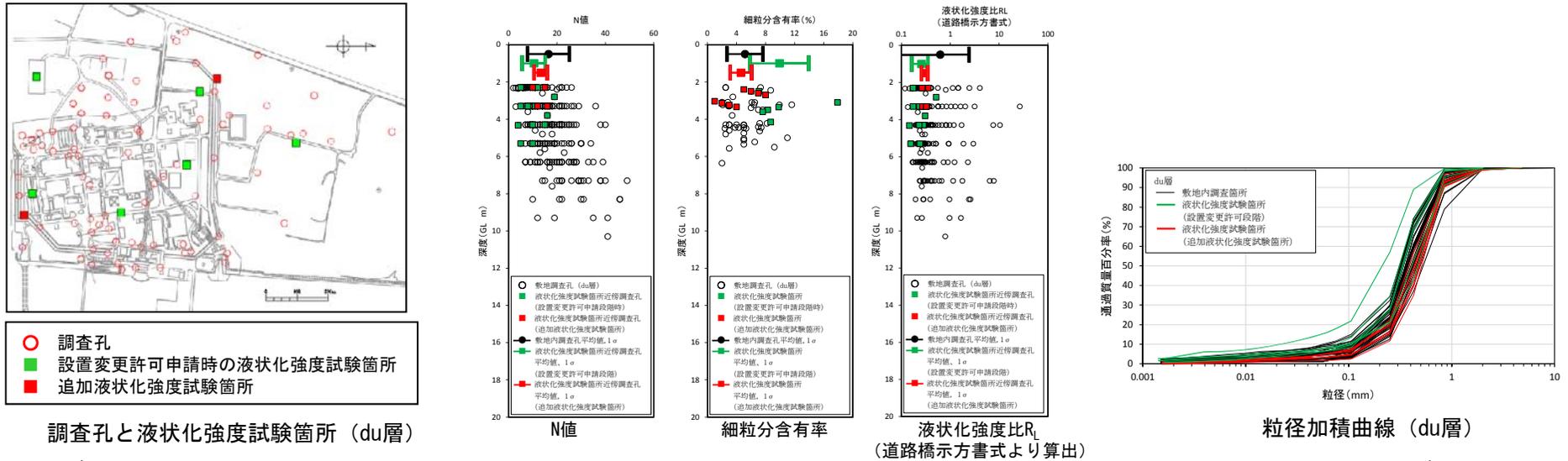
第578回(H30.5.31)審査会合資料抜粋

- ◆1次止水機構の実証試験フローを図●に示す。止水機構の地震時の追従性については、実規模大の試験装置による「実証試験(加振試験)」と「三次元動的解析」により確認する。
- ◆「実証試験(加振試験)」と「三次元動的解析」の目的及び関係は以下のとおりである。
 - ①実証試験(加振試験)：加振試験により、止水機構の追従性、水密ゴムの健全性、1次止水機構の構成部材の健全性について確認する。
 - ②実証試験モデルによる三次元動的解析：実証試験装置をモデル化した三次元動的解析結果が、加振試験時の止水機構の挙動を再現できているか確認する。(三次元動的解析の信頼性・妥当性確認)【検証Ⅰ】
 - ③実機モデルによる三次元動的解析：実証試験装置をモデル化した三次元動的解析結果と実機設計をモデル化した三次元動的解析結果を比較するにより、実機設計をモデル化した三次元動的解析結果の妥当性を確認する。【検証Ⅱ】
- ◆上記①, ②, ③を関連付けることにより、三次元動的解析による実機止水機構の設計・構造の妥当性を確認する。

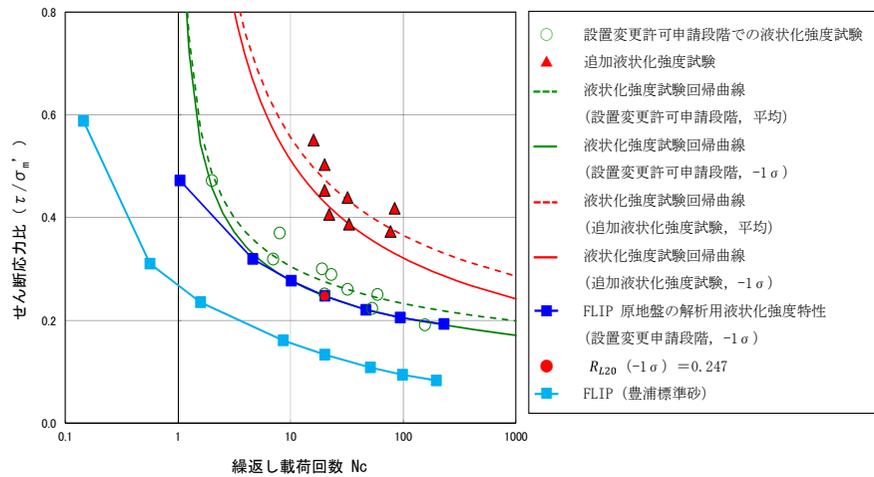


図● 1次止水機構の実証試験評価フロー

1. 設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) の代表性及び網羅性の評価 (du層)



液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L であることより、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



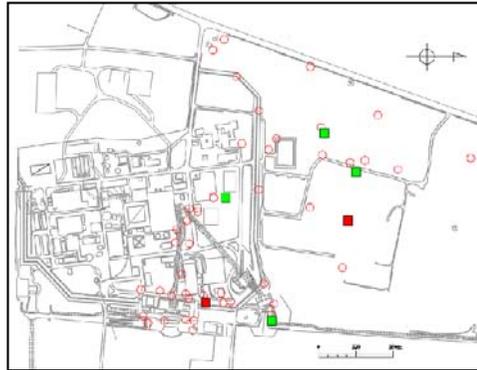
液状化強度試験結果 (du層)

- du層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) よりも大きいことから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した。
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のdu層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した。

【液状化強度試験結果のバラツキについて】

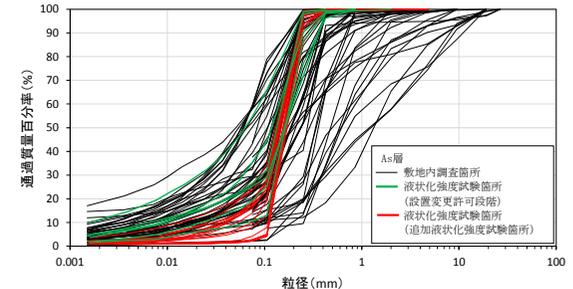
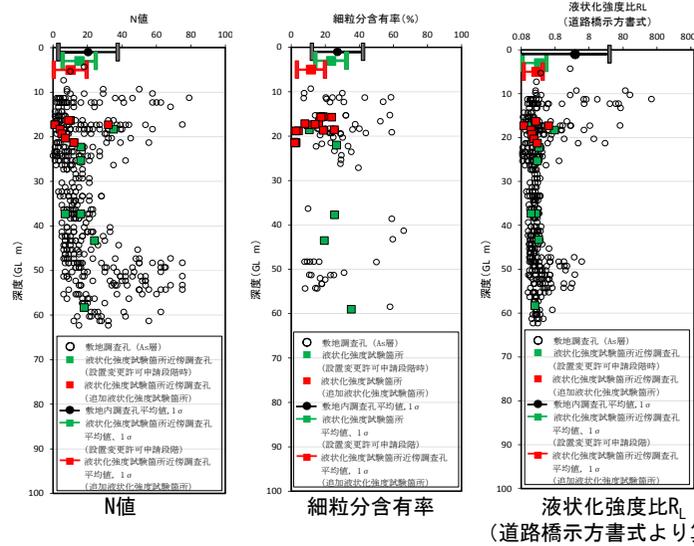
- 液状化強度特性に影響を及ぼす地盤の物性値はN値及び粒度 (細粒分含有率 F_c , 平均粒径 D_{50}) が挙げられる。
- du層は、砂が主体の概ね均一な粒径を示す。
- 液状化強度試験箇所の細粒分含有率 F_c は10%未満であり、液状化強度特性への影響は小さい。
- 追加液状化強度試験箇所の平均N値及び平均粒径 D_{50} は、設置変更許可申請段階時の液状化強度試験箇所よりやや大きい。
- 追加液状化強度試験結果と設置変更許可申請段階時の液状化強度試験結果の差異は、N値及び D_{50} によるものと考えられる。

2. 設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) の代表性及び網羅性の評価 (As層)



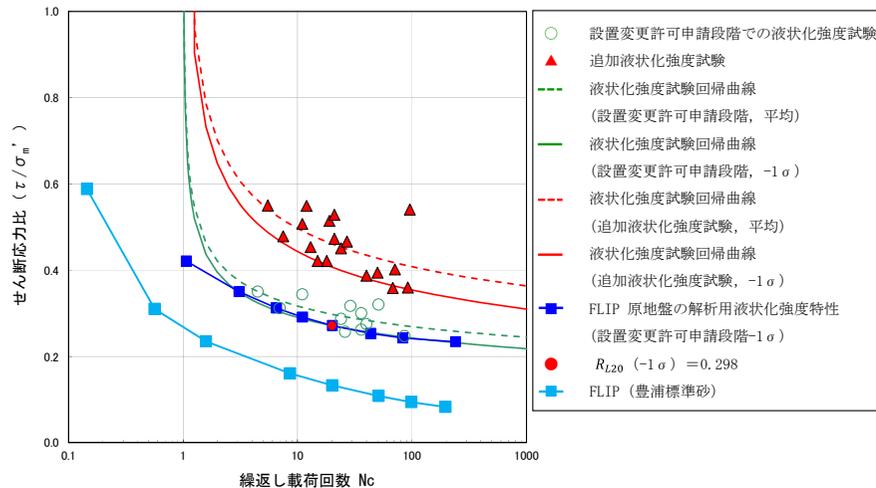
○ 調査孔
■ 設置変更許可申請時の液状化強度試験箇所
■ 追加液状化強度試験箇所

調査孔と液状化強度試験箇所 (As層)



粒径加積曲線 (As層)

液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L であることより、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



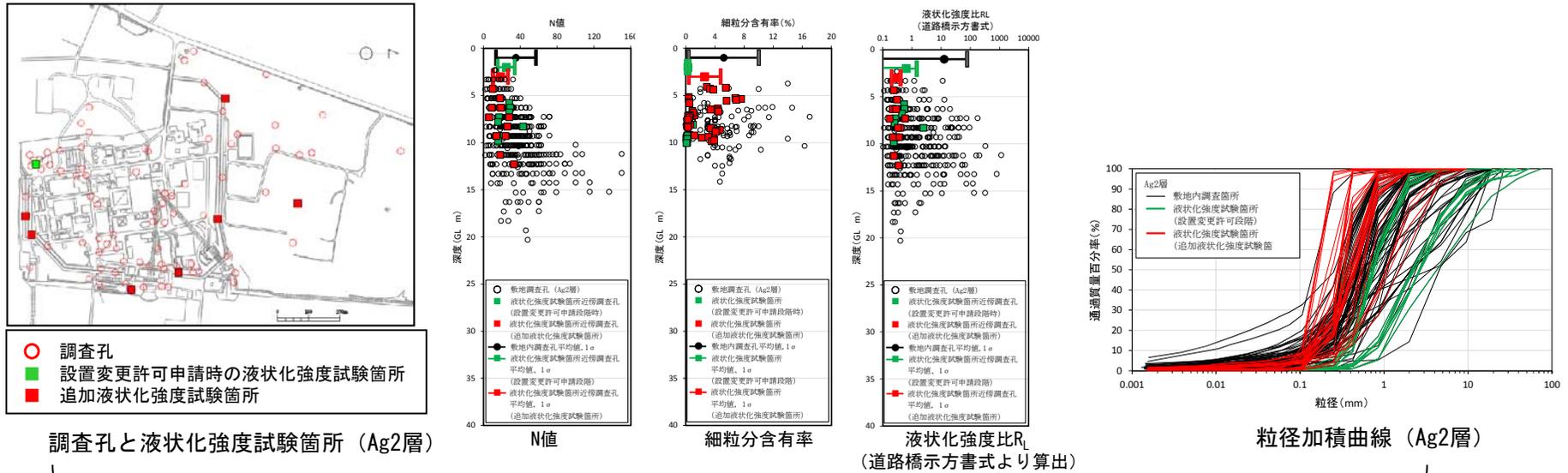
液状化強度試験結果 (As層)

- As層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) よりも大きいことから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のAs層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した。

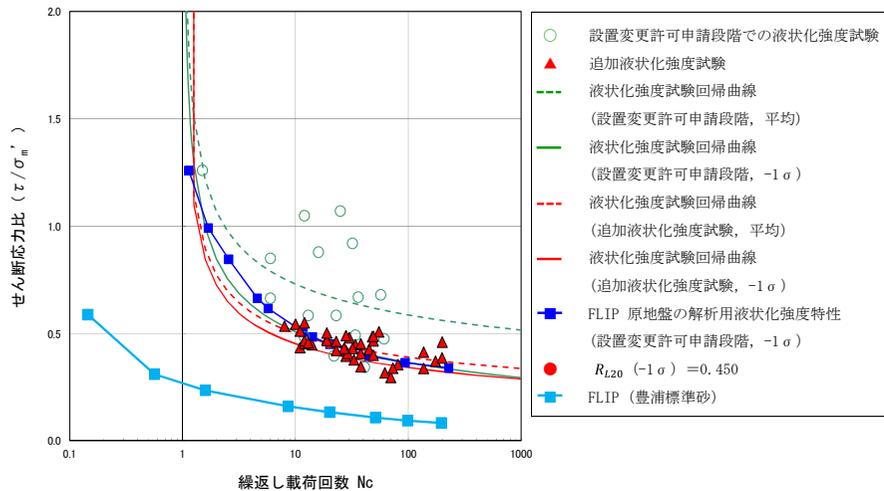
【液状化強度試験結果のバラツキについて】

- 追加液状化強度試験箇所の平均N値、平均細粒分含有率 F_c は設置変更許可申請段階時の液状化強度試験箇所より小さい。
- 設置変更許可申請段階での液状化強度試験箇所の試料採取はトリプルチューブサンプリングにより行い、追加液状化強度試験試料採取は乱れの影響が小さい凍結サンプリング手法を採用している。
- 設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果と追加液状化強度試験結果の差異は、試料サンプリング手法の差によるものと考えられる。

3. 設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) の代表性及び網羅性の評価 (Ag2層)



液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L であることより、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



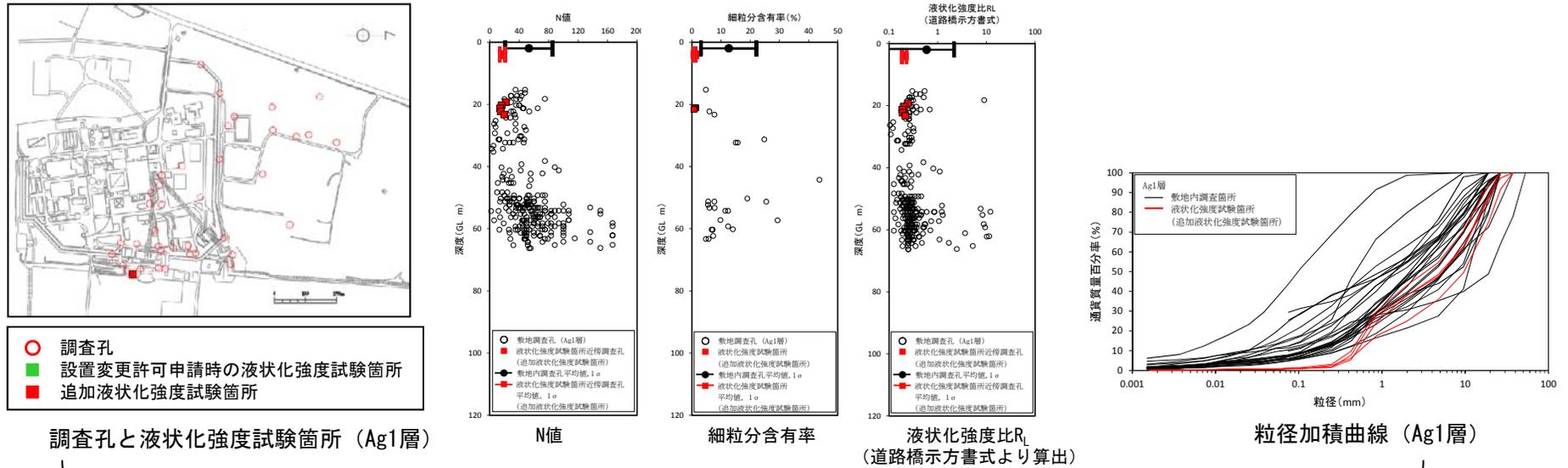
液状化強度試験結果 (Ag2層)

- Ag2層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) よりもわずかながら小さいものもあるが、その差は小さく、同様な傾向を呈することから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のAg2層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した。

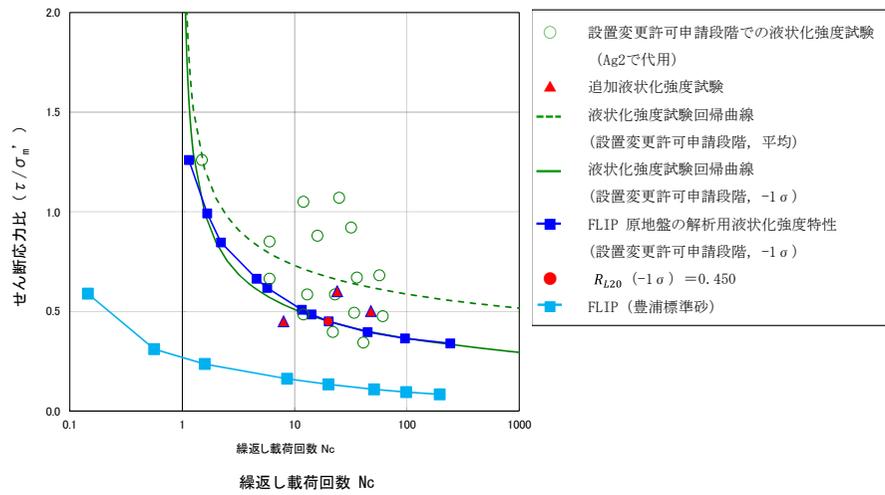
【液状化強度試験結果のバラツキについて】

- 設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所の平均N値は、追加液状化強度試験箇所の平均N値よりやや大きい。
- 細粒含有率 F_c は、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所は10%未満であり、液状化強度への影響は小さい。
- 粒径加積曲線より、設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所は礫～砂の粒径を呈しており、追加液状化強度試験箇所は粒径が概ね均一な砂分が支配的である。
- 設置変更許可段階における平均粒径 D_{50} は追加液状化強度試験箇所より大きい。
- 追加液状化強度試験結果と設置変更許可段階時の液状化強度試験結果の差異は、N値及び D_{50} によるものと考えられる。

4. 設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) の代表性及び網羅性の評価 (Ag1層)



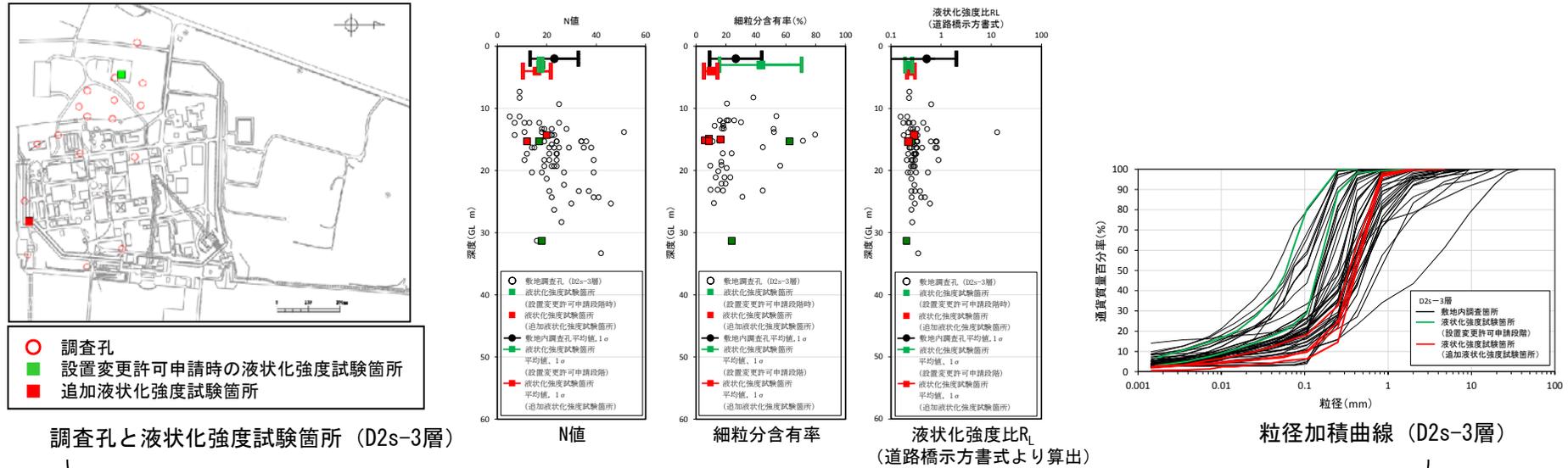
液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L であることより、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



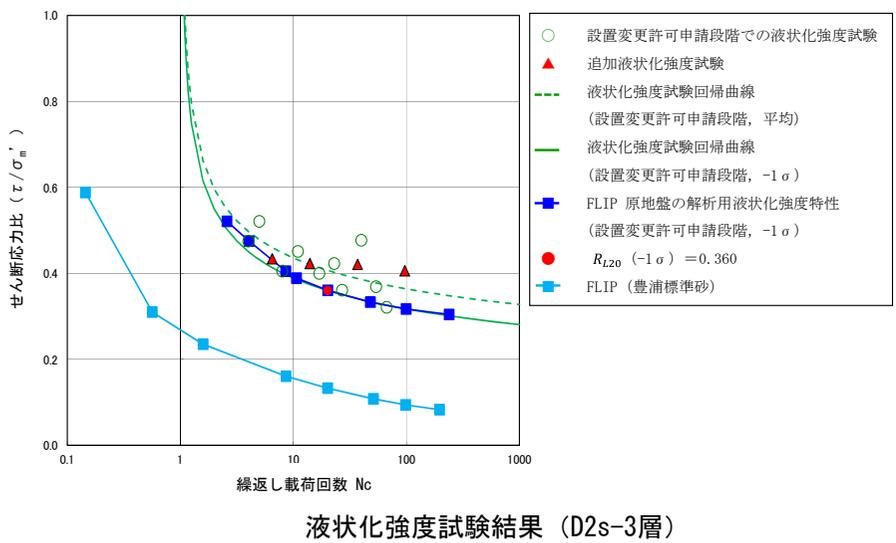
- Ag1層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) よりもわずかながら小さいものもあるが、その差は小さく、同様な傾向を呈することから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のAg1層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した。

液状化強度試験結果 (Ag1層)

5. 設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) の代表性及び網羅性の評価 (D2s-3層)



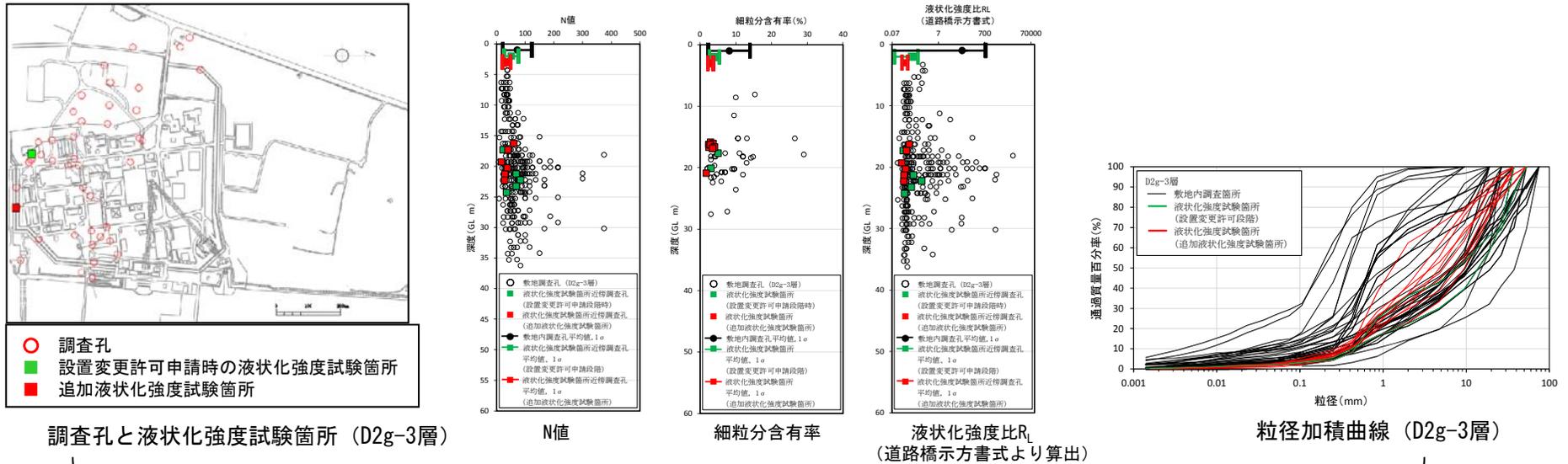
液状化強度試験箇所平均 R_L < 敷地内調査孔平均 R_L であることより、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



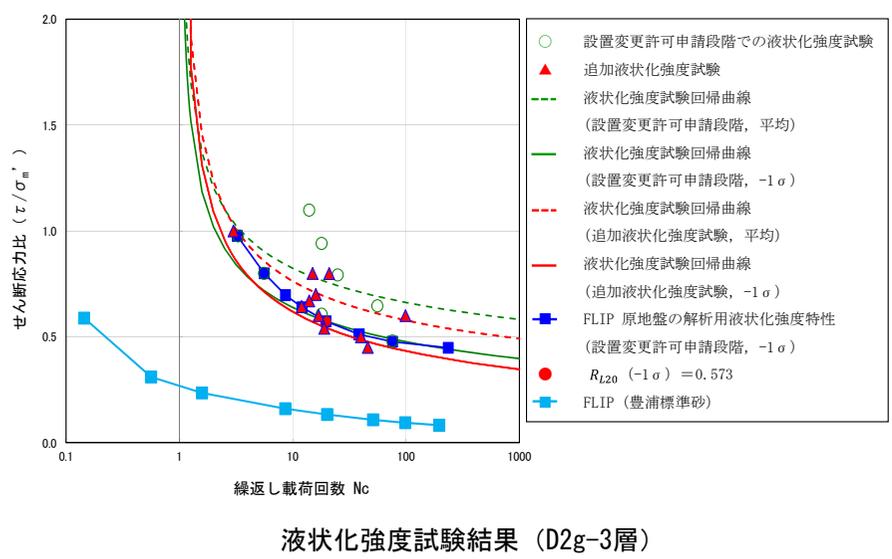
- D2s-3層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) と概ね同様な傾向を呈することから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のD2s-3層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した

- 【液状化強度試験結果のバラツキについて】
- 設置変更許可段階での液状化強度試験箇所の平均N値は、追加液状化強度試験箇所の平均N値よりやや大きい。
 - 追加液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率 F_{cl} は、設置変更許可段階より小さく、10%未満である。
 - 設置変更許可段階の平均粒径 D_{50} と追加液状化強度試験箇所の平均粒径 D_{50} の差による液状化強度への影響度合いは小さいと評価された。
 - D2s-3層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可段階における液状化強度と概ね同様であり、粒度及びN値の差による液状化強度への影響が小さいことを示していると考えられる。

6. 設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) の代表性及び網羅性の評価 (D2g-3層)



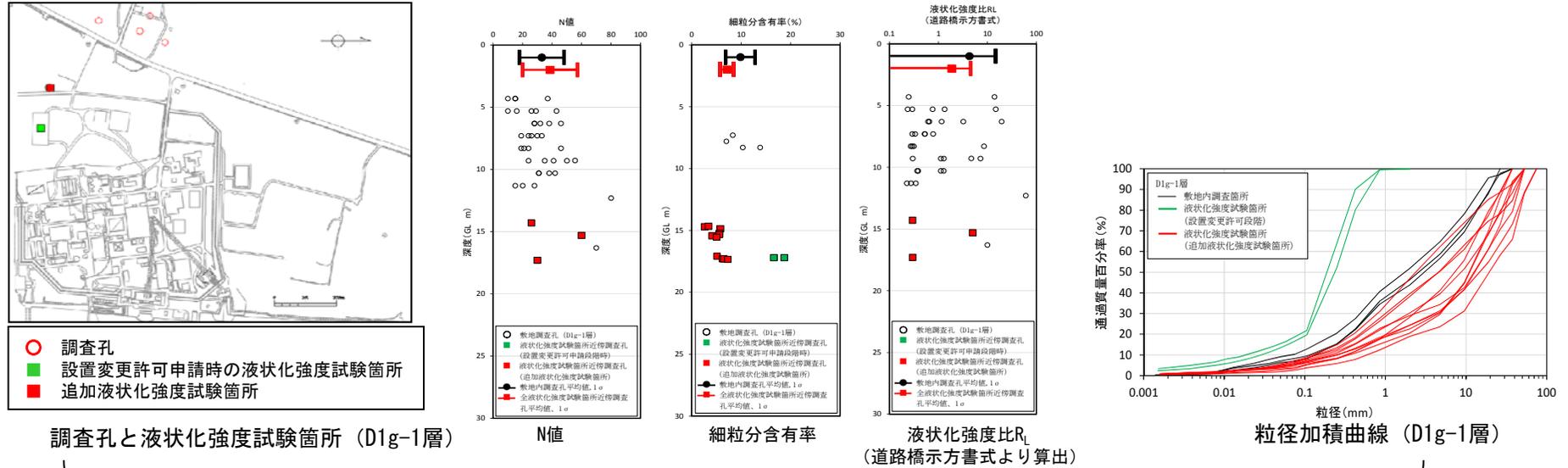
液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L であることより、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



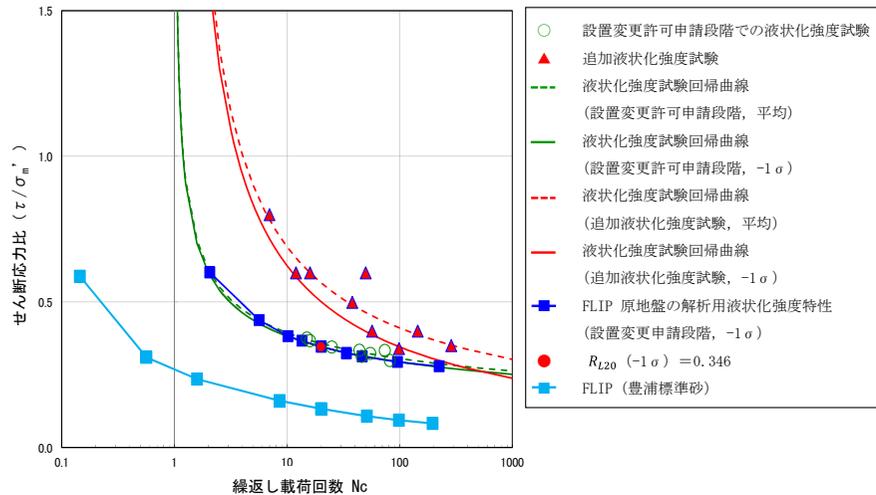
- D2g-3層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) よりもわずかながら小さいものもあるが、その差は小さく、同様な傾向を呈することから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した。
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のD2g-3層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した。

- 【液状化強度試験結果のバラツキについて】
- 設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所の平均N値は追加液状化強度試験箇所の平均N値よりやや大きい。
 - 細粒分含有率 F_c は、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所は10%未満であり、影響度合いは小さい。
 - 粒径加積曲線より、D2g-3層は礫から粘土までの幅広い範囲の粒径を示す礫質土である。
 - 礫質土の均等係数 ($U_c = D_{50}/D_{10}$) の影響は小さいとされている。
 - D2g-3層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可時の液状化強度試験結果よりやや小さい傾向を示し、その差異は両者のN値の差によるものと考えられる。

7. 設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) の代表性及び網羅性の評価 (D1g-1層)



液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L であることより、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



液状化強度試験結果 (D1g-1層)

- D1g-1層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) よりも大きいことから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のD1g-1層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した

- 【液状化強度試験結果のバラツキについて】
- 追加液状化強度試験結果は、設置変更許可段階での液状化強度試験結果より大きい傾向を示す。
 - 設置変更許可段階での液状化強度試験箇所は砂が主体であるが、追加液状化強度試験箇所は礫が主体である。
 - 同等なN値を有する土の液状化強度は、砂質土より礫質土が大きいとされている。
 - D1g-1層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可段階における液状化強度試験結果より大きい傾向を示し、その差異は両者の粒度分布の差によるものと考えられる。

【論点7】（参考1）鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価

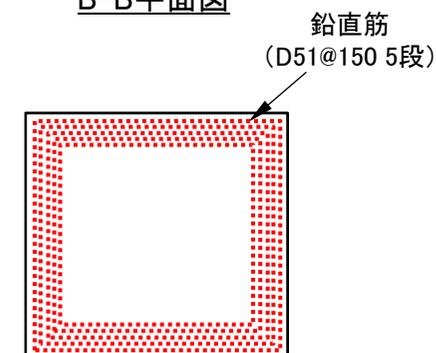
②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目：設計荷重に対する頂版鉄筋コンクリート及び中詰め鉄筋コンクリートの鉄筋応力(水平回転モーメントによる引張応力)

A-A断面図



B-B平面図



部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度 N/mm ²	照査値 (発生応力度／許容限界)	判定
頂版鉄筋 コンクリート及び 中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平回転モーメントによる引張応力)	478.5	362	0.76	OK

【論点7】（参考2）鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価



②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目：設計荷重に対する頂版鉄筋コンクリートのコンクリート応力（圧縮応力）



A-A断面図



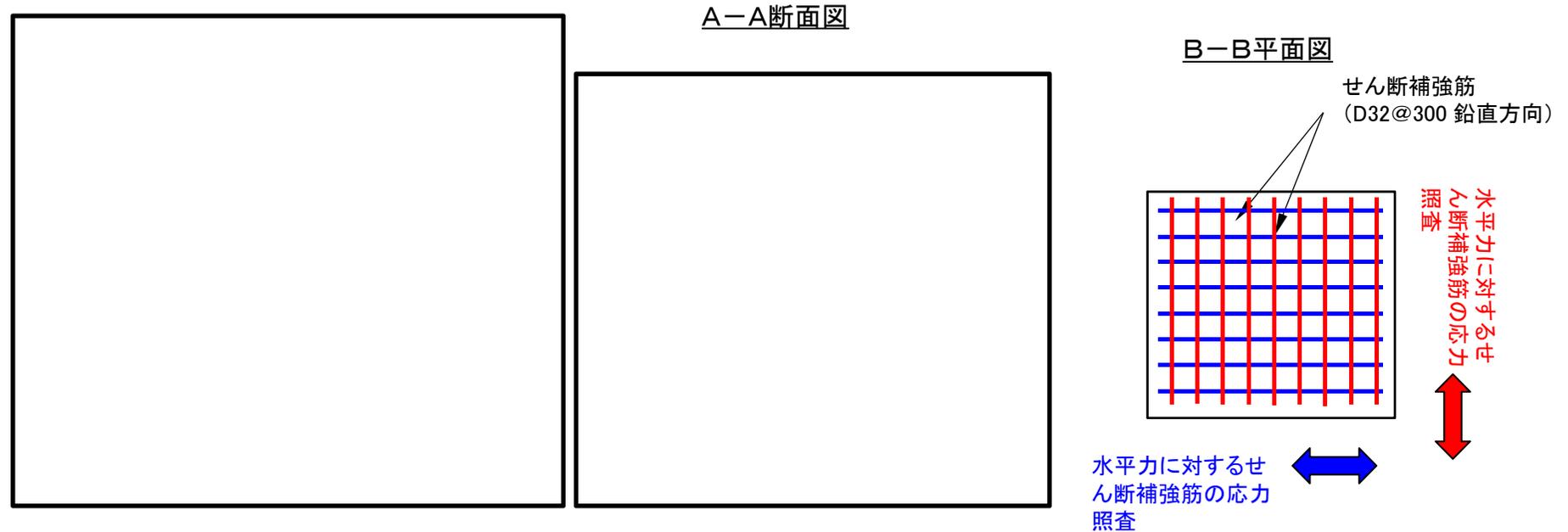
部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度 N/mm ²	照査値 (発生応力度／許容限界)	判定
頂版鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	32	27	0.85	OK

【論点7】 (参考3)鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価



②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目:設計荷重に対する頂版鉄筋コンクリートの鉄筋応力(水平力によるせん断応力)

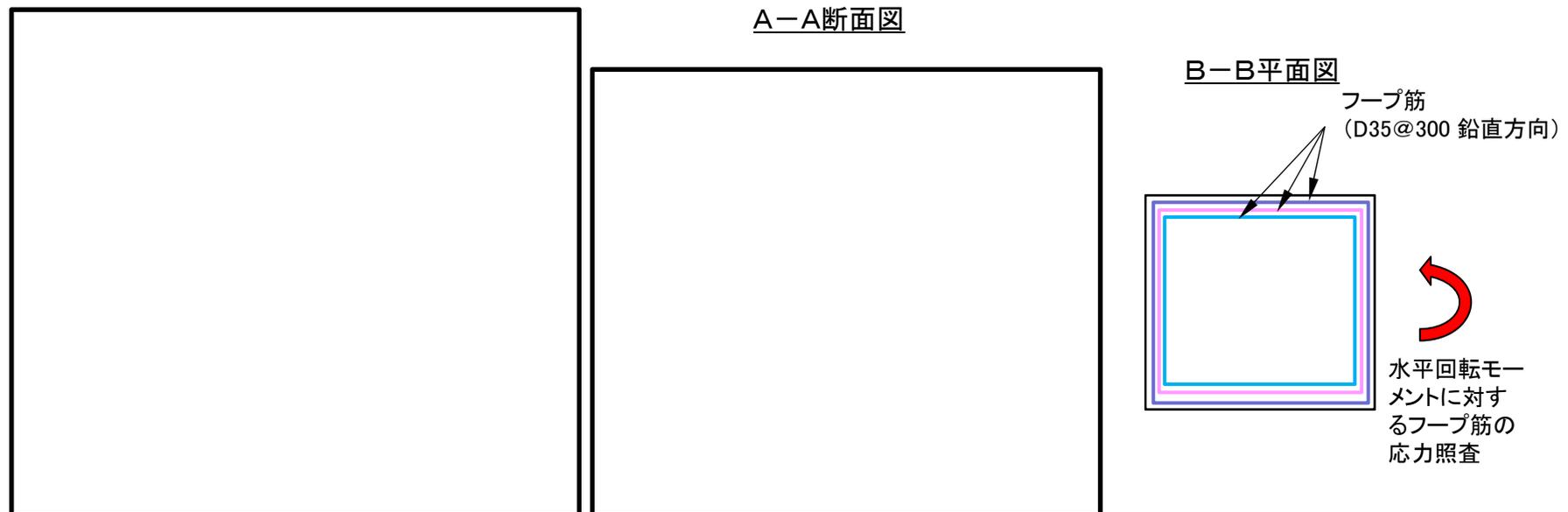


部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度 N/mm ²	照査値 (発生応力度/許容限界)	判定
頂版鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	316	0.93	OK

【論点7】（参考4）鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価

②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目：設計荷重に対する頂版鉄筋コンクリートの鉄筋応力（水平回転モーメントによるせん断応力）



部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度 N/mm ²	照査値 (発生応力度／許容限界)	判定
頂版鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	314	0.66	OK

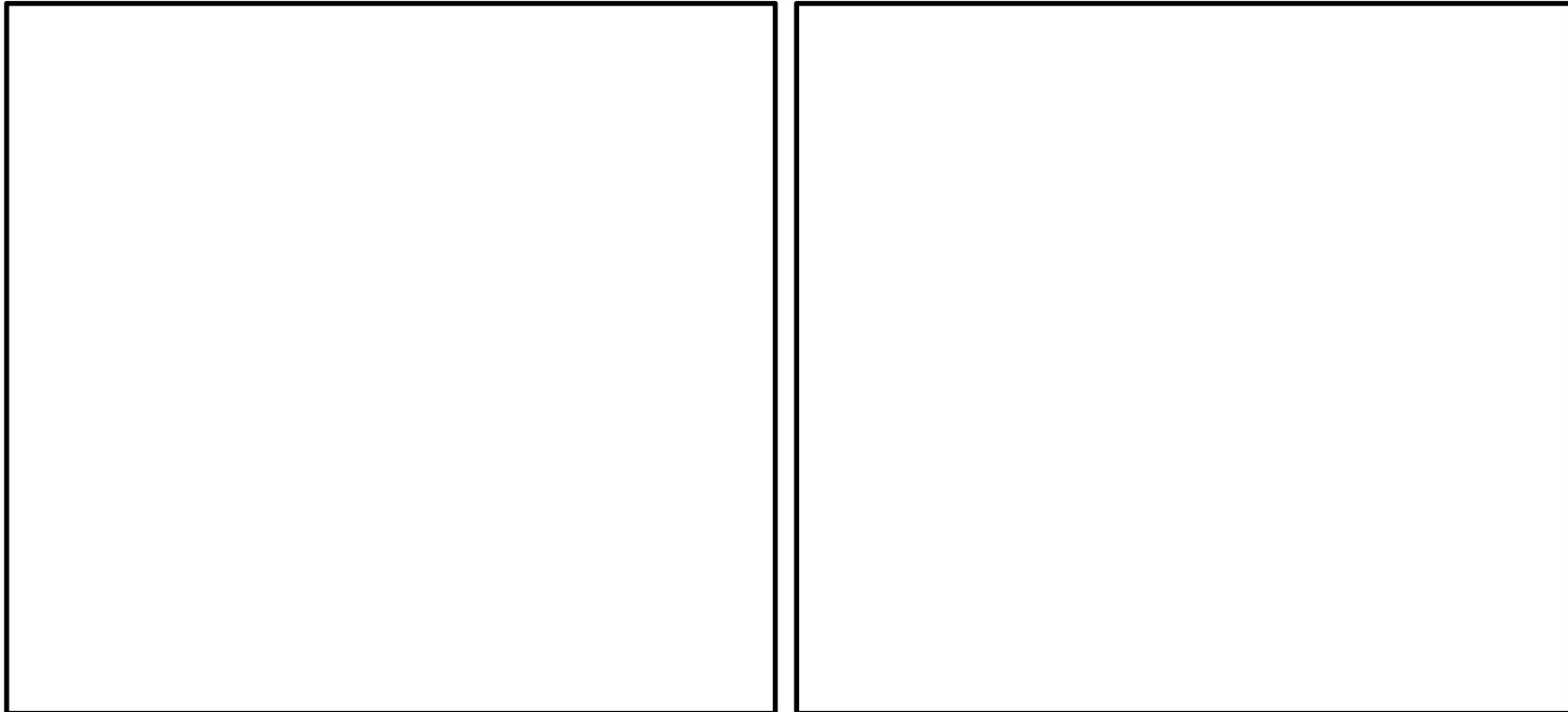
【論点7】（参考5）鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価



②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目：設計荷重に対する中詰め鉄筋コンクリートのコンクリート応力（圧縮応力）

A-A断面図

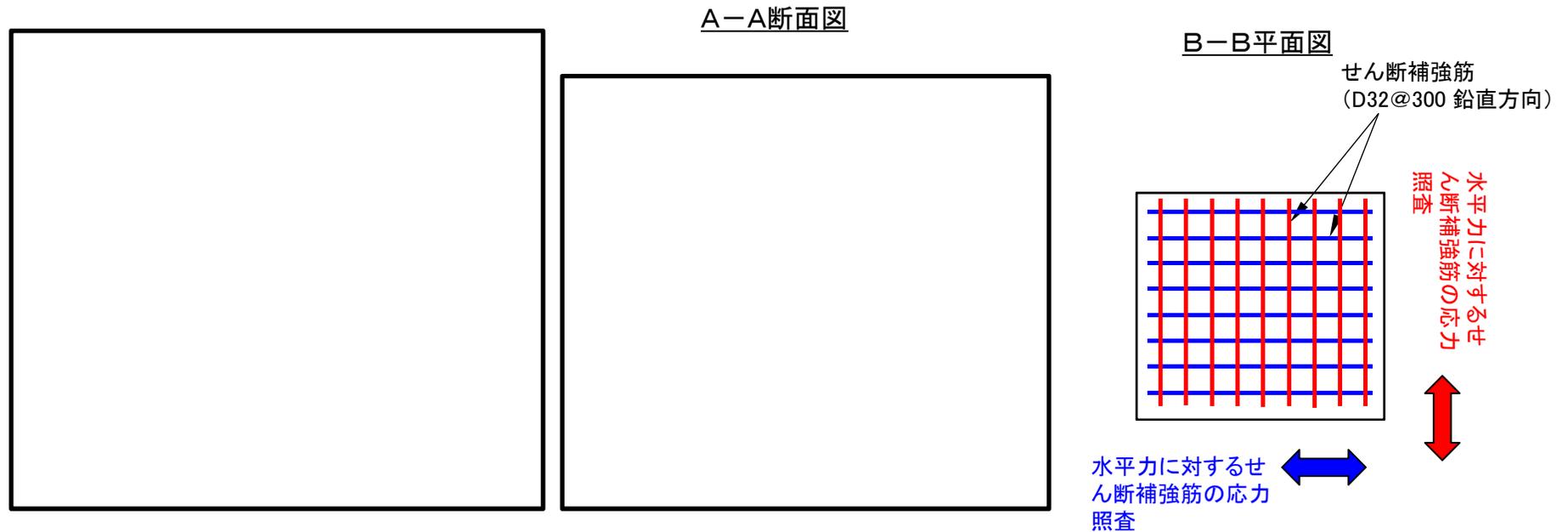


部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度 N/mm ²	照査値 (発生応力度／許容限界)	判定
中詰め鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	32	15	0.47	OK

【論点7】 (参考6)鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価

②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目: 設計荷重に対する中詰め鉄筋コンクリートの鉄筋応力(水平力によるせん断応力)



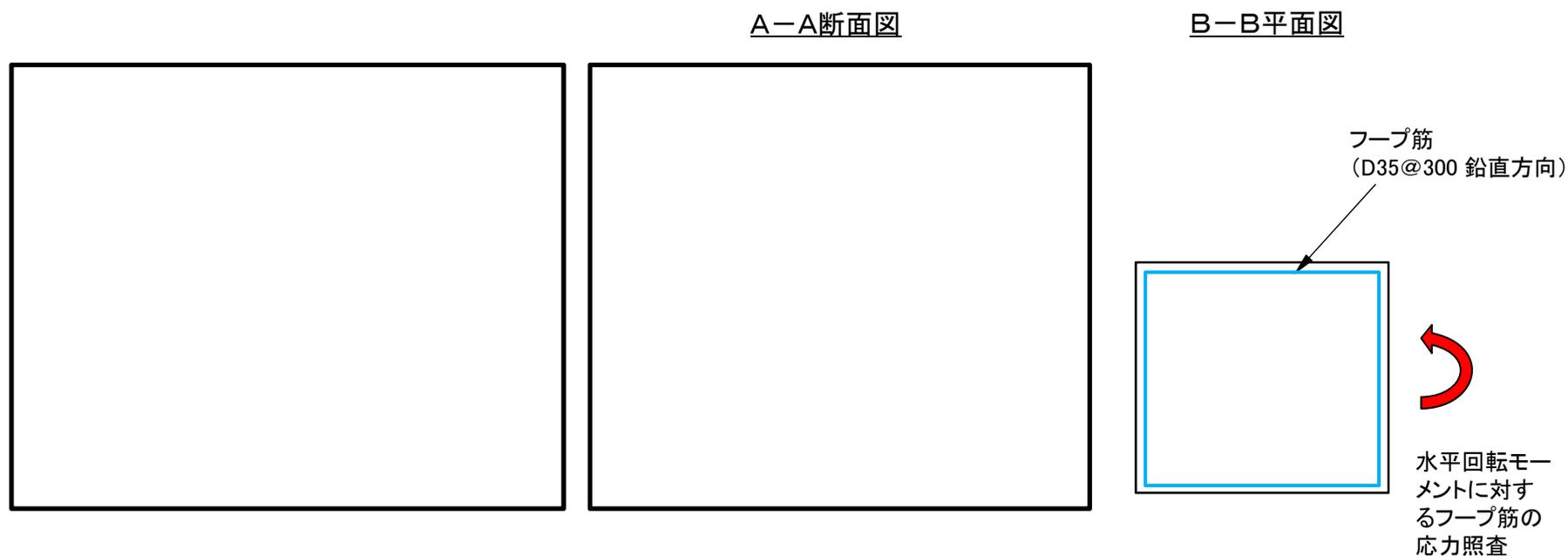
部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度 N/mm ²	照査値 (発生応力度/許容限界)	判定
中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	167	0.50	OK

【論点7】（参考7）鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価



②設計荷重に対する接合部の設計方法の妥当性の確認

照査項目：設計荷重に対する中詰め鉄筋コンクリートの鉄筋応力（水平回転モーメントによるせん断応力）



部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度 N/mm ²	照査値 (発生応力度／許容限界)	判定
中詰め鉄筋 コンクリート	鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	346	0.73	OK

【論点9】 (参考)原子炉建屋基礎盤の耐震評価 1. 耐震重要度分類の整理及び許容限界の設定
各種基・規準類に示される梁の終局せん断強度式



評価式	概要	文献
<p>荒川mean式</p> $Q_u = \left\{ \frac{0.068 \cdot P_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} bj$ <p>(1 ≤ M / Qd ≤ 3)</p>	鉄筋コンクリート梁に集中荷重を載荷した場合のせん断抵抗に関する実験(試験体数:約290体)より得られた終局せん断強度の実験式。	荒川(1960)
<p>修正荒川mean式</p> $Q_u = \left\{ \frac{0.068 \cdot P_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} bj + 0.1 \sigma_0 bj$ <p>(1 ≤ M / Qd ≤ 3 σ₀ = N / bD ≤ 0.4F_c) 軸力効果による耐力増加</p>	軸力効果による耐力増加を考慮し, 梁部材実験結果から求められた荒川mean式に軸力の効果(0.1σ ₀ bj)を累加した式。	広沢・後藤(1971)
<p>荒川min式</p> $Q_u = \left\{ \frac{0.053 \cdot P_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} bj$ <p>(1 ≤ M / Qd ≤ 3)</p>	国内外における約1200体の鉄筋コンクリート試験体の実験結果等用いて, 荒川mean式に対して推定された不合格率5%となる時の終局せん断強度の推定式。	荒川(1970)
<p>荒川min式に軸力項を考慮した評価式</p> $Q_u = \left\{ \frac{0.053 \cdot P_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} bj + 0.1 \sigma_0 bj$ <p>(1 ≤ M / Qd ≤ 3 σ₀ = N / bD ≤ 0.4F_c) 軸力効果による耐力増加</p>	軸力効果による耐力増加を考慮し, 梁部材実験結果から求められた荒川min式に軸力の効果(0.1σ ₀ bj)を累加した式。	構造標準委員会(1980)

- ・荒川 卓:鉄筋コンクリートはりのせん断抵抗に関する研究(実験結果の総括), 日本建築学会論文報告集 第66号, pp.437-440, 1960.10
- ・荒川 卓:鉄筋コンクリートはりの許容せん断応力度とせん断補強について, コンクリートジャーナル Vol.8, No.7, pp.11-20, 1970.7
- ・広沢 雅也・後藤 哲郎:軸力をうける鉄筋コンクリート部材の強度とねばり:その1.矩形断面をした耐力壁の実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.817-818, 1971.11
- ・構造標準委員会 鉄筋コンクリート構造分科会・鉄筋コンクリート第3分科会:鉄筋コンクリート終局強度に関する資料 シリーズ16, 建築雑誌, Vol.95, No.1166, pp.79-82, 1980.6

【論点10】（参考1）地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響



①観測記録の設備影響評価結果(1/2)

- ◆ 地震観測記録による設備影響評価においては、評価影響対象設備の設置された上下階のFRS応答比率を確認しているが、地震計が設置されていないEL.38.8m及びEL.34.7mに設置されている設備の評価に当たっては、東西のオペフロ面が外側にはらみ出すという特異な影響が生じていることからEL.46.5mのFRS応答比率は適用していない。
- ◆ ここでは、仮にEL.46.5mのFRS応答比率を適用した場合のEL.38.8m及びEL.34.7m設置設備の影響について評価した。
- ◆ 評価の結果、表1に示した通り、EL.34.7mの使用済燃料貯蔵ラック以外の設備については、観測記録をシミュレーション解析結果が上回る（FRS応答比率が「-」）か、設備の耐震裕度がFRS応答比率を上回る結果となっており、耐震性に問題はない。
- ◆ 使用済燃料ラックについては、FRS応答比率が耐震裕度を上回るため個別の詳細評価を実施し、耐震性に問題ないことを確認した。
 - ✓ 使用済燃料ラックは、矩形形状でありNS方向及びEW方向により1次固有周期が異なることを踏まえ、各方向における耐震裕度とFRS応答比率を比較した。
 - ✓ その結果、基準地震動S_sの耐震裕度は、FRS応答比率以上であることを確認した(表2)。

表1 EL.38.8m及びEL.34.7mに設置される設備にEL.46.5mのFRSを適用した場合の影響評価結果

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有 周期(秒)	評価部位	応力 分類	EL.29.0mのFRS 応答比率に基づ く耐震裕度	FRS応答比率*		個別 評価	影響評価 結果
							EL.29.0m	EL.46.5m		
38.8	2.0	㊸非常用ガス処理系配管(AC-SGTS)		配管本体	1次	3.31	1.19	-	-	○
		㊹低圧代替注水系配管(ALPI-003R3F)		配管本体	1次	3.77	-	1.07	-	○
		㊺低圧代替注水系配管(ALPI-001DG)		配管本体	1次	3.15	-	-	-	○
		㊻格納容器下部注水系配管(FP-R-1)		配管本体	1次	2.00	-	1.26	-	○
	3.0	㊼格納容器圧力逃がし装置配管(PV-002R5F)		配管本体	1次	4.65	1.12	-	-	○
		㊽格納容器圧力逃がし装置配管(PV-008YD)		配管本体	1次	3.78	-	-	-	○
34.7	0.5	㊾代替燃料プール冷却系(AFPC-3)	配管本体	1次	4.74	-	2.42	-	○	
	1.0	㊿使用済燃料貯蔵ラック(70体)	取付ボルト	1次	1.03	1.04	2.09	実施	○	
		㊿制御棒貯蔵ラック	基礎ボルト	1次	1.08	1.08	-	-	○	

※: 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は、その応答比率を記載し、シミュレーション解析結果が観測記録を上回っている場合は「-」を記載。

【論点10】 (参考2)地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響



①観測記録の設備影響評価結果(2/2)

表2 使用済燃料ラックの詳細評価結果

評価対象設備	評価部位	方向	一次固有周期	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	耐震裕度	FRS応答比率※	評価結果
使用済燃料貯蔵ラック(70体)	取付ボルト	NS		1次	146	153	1.04	—	○
		EW		1次	67	153	2.28	1.44	○

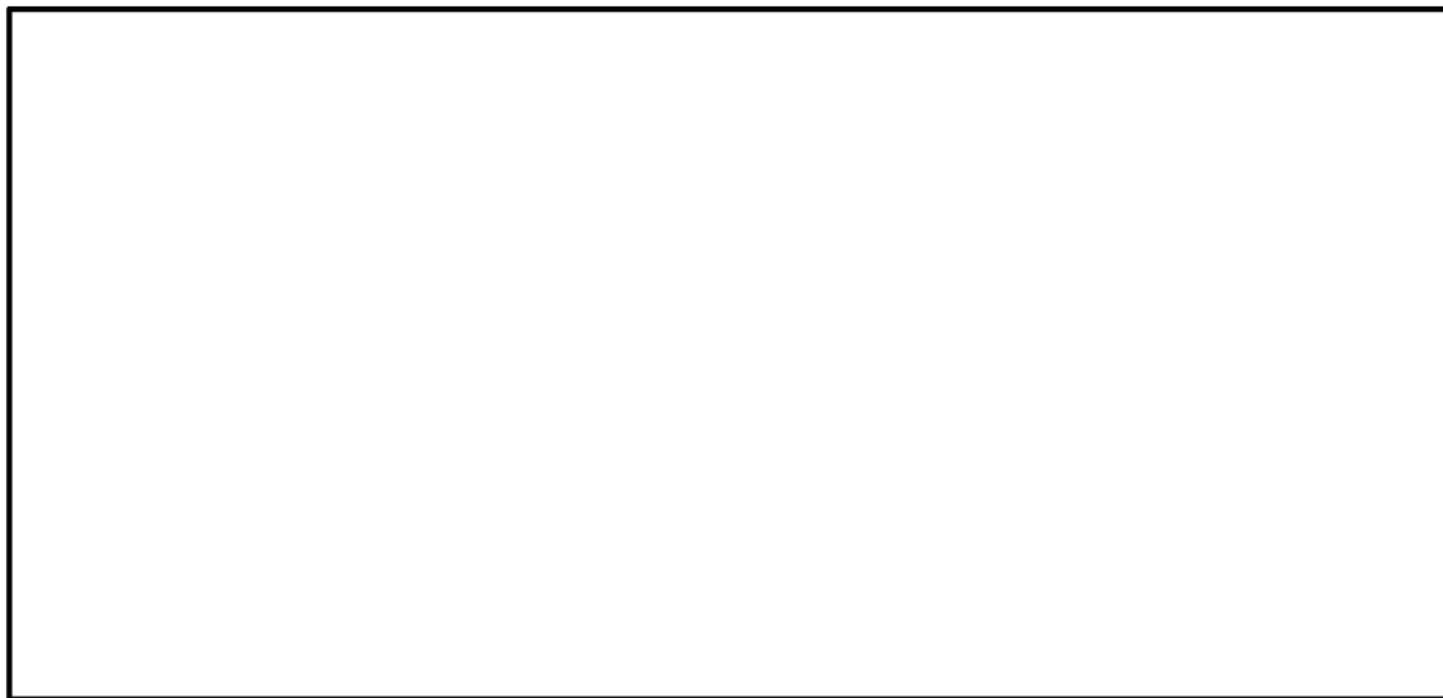


図 原子炉建屋EL.46.5mの床応答スペクトル(減衰1.0%)

※: 観測記録がシミュレーション解析結果を上回っている場合は、その応答比率を記載し、シミュレーション解析結果が観測記録を上回っている場合は「—」を記載。

【参考】実機モックアップ試験結果(第1回目) (平成30年6月14日 第588回 審査会合にてご説明)

(1) 実機大モデルの固有振動数測定結果(6月9日)

- ・ブローアウトパネルの1次固有振動数は約25Hz, 2次固有振動数は約50Hz (ブローアウトパネルは剛構造)

(2) 実機モックアップ試験結果(1回目 6月9日)

(3) 油圧ジャッキによる開放試験を実施し, 設計差圧 6.9kPa以下の荷重(最大荷重 kN(差圧 kPa相当))でパネルが開放することを確認

(4) Sdで開放しないことの確認

- ・設置位置のSd相当荷重(約 kN)にて開放しないことを確認



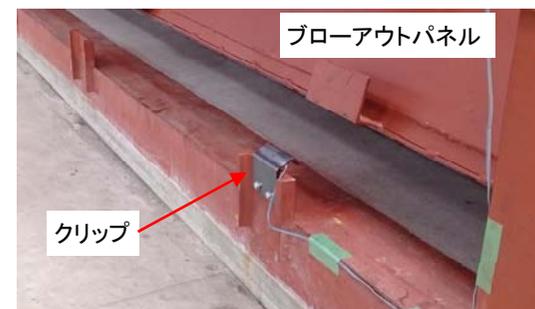
開放試験前の状況



コーキング施工状況(パネル下部)



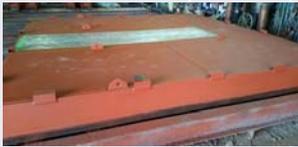
パネル開放状況



クリップ開放状況(パネル下部)

【状況】

- ◆ 6月9日に第1回目の開放試験実施
 - ・振動計測の結果, 1次固有値約25Hz, 2次固有値は約50Hzでブローアウトパネルは剛構造であることを確認
 - ・Sd相当荷重では開放しないことを確認
 - ・設計条件(クリップ数10個)で6.9kPa以下の荷重(最大荷重 kN (kPa相当))で開放することを確認
- ◆ 6月15日に第2回目の開放試験実施(1回目と同条件にて再現の確認)最大荷重 kN(差圧 kPa相当))でパネルが開放することを確認

試験目的	試験項目	1月		2月		3月		4月		5月		6月	
		上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
・ブローアウトパネルが設計圧力(6.9kPa以下)で開放すること ・規定圧力(Sd地震相当の荷重)では開放しないこと	要素試験	試験計画策定				試験体作製 試験装置作製		結果説明▼		追加試験片準備(コメント反映)			
	実機大モックアップ試験	試験計画策定・資機材準備				クリップ要素試験				クリップ試験 (幅80mm, 30個) 追加クリップ試験 (幅100mm, 30個) (5/21~5/27)		(6/1~6/12) (7/3)結果説明▽	
										実機大試験体作製		開放試験 ▲1体目(6/9) 2体目(6/15)▲	
		BOP型枠(3体分)		BOP本体(3体分)									

1. 実機評価の考え方

試験結果を踏まえた実機評価の考え方を以下に示す。

- 排水ラインの圧損は、モックアップ試験結果及び机上評価により確認する。
- 流路としての実績, 圧損評価実績のないスリットは, 導入管と共に実機寸法を模擬したモックアップ試験により圧損を確認する(導入管～スリット(紫線)に加え, 試験装置のスリット出口配管～排出弁(水色線)までの圧損)。
- 評価実績のある通常の鋼管, 弁で構成される下流配管については, 実機配管ルート計画を踏まえた机上評価により確認する。
- 経路全体の圧損を確認し, ペDESTALからの排水時間の評価に適用する。

表2-1 実機評価に用いる圧損係数

評価部位	圧損係数	圧損
導入管入口～スリット出口	試験での評価結果	圧損計算式※
スリット出口～ベント管入口	机上計算(文献)	

注※: 日本機械学会編, 機械工学便覧

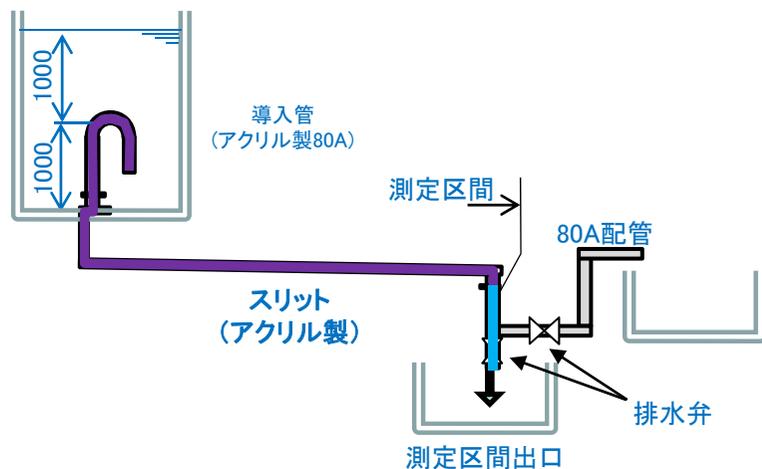


図1-1 試験での圧損評価部位

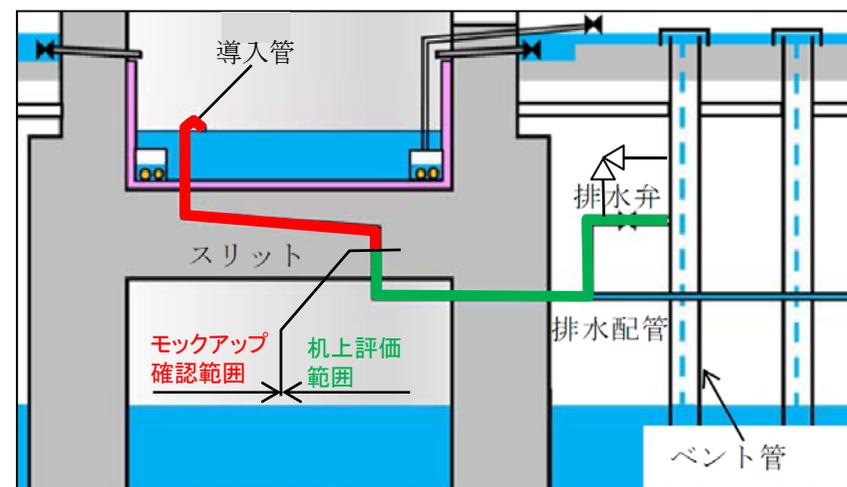


図1-2 ペDESTAL排水ラインイメージ

2. 排水時間の評価結果

排水試験においては、流動性の向上を図るため導水管のベント穴形状や位置、導水管／スリット接続部の形状を決定した。

形状確定後の試験結果をもとに、実機体系における排水時間を評価した結果を図2-2に示す。床ドレンと機器ドレンの両流路を考慮した場合の排水時間は約1.5時間、また床ドレン流路のみを考慮した場合の排水時間も約2.6時間となり、以下の判断基準を満足することを確認した。

ボトムドレンLOCA時にペDESTAL内が満水(人通用開口部下端まで)になった際、RPV破損までの間(約2.7時間)に、ドレン流路からの排水によりペDESTAL水位1mまでの排水が可能なこと。

この排水評価を用い、排水弁の自動閉止時間(水位1.05mから1.0mまでの時間)を約6分と設定する。(この場合、注水操作開始から排水弁の閉まで約30分となる。炉心損傷後のペDESTAL注水開始からRPV破損までの約1.8時間(事象進展の早い大破断LOCA時)に対して十分な余裕を確保しての対応が可能。)

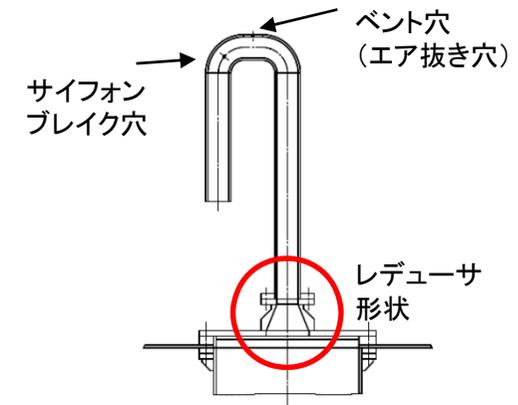
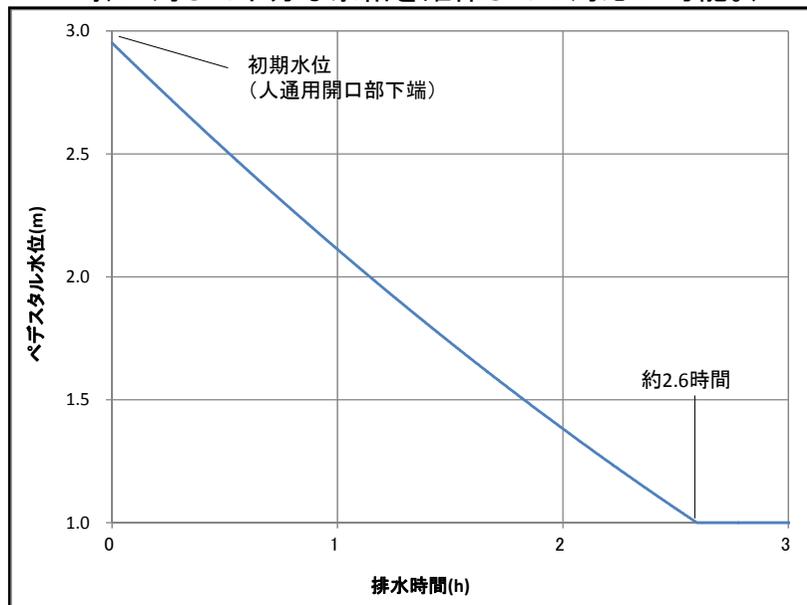
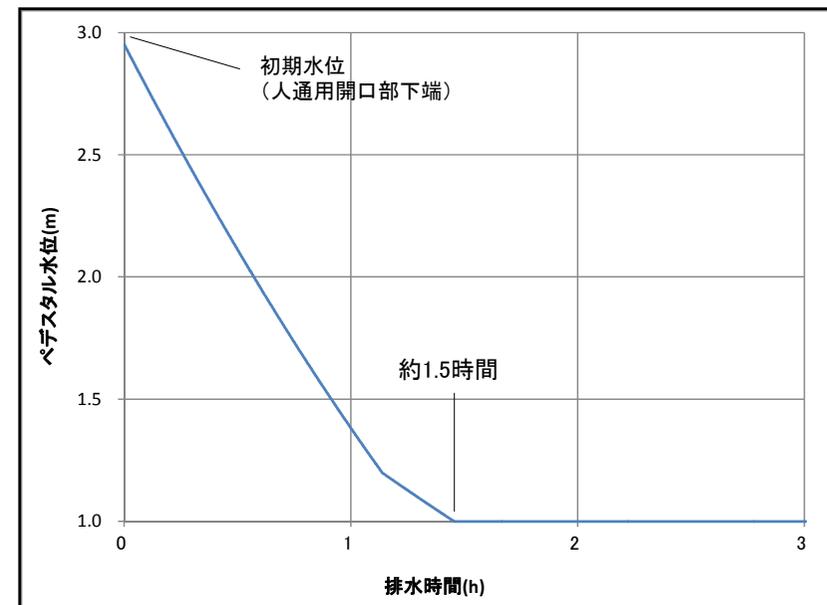


図2-1 導水管の形状



(a) 床ドレン流路のみを考慮した場合



(b) 床ドレン及び機器ドレン流路を考慮した場合

図2-2 実機排水時間評価

3. 異物を考慮した試験結果

異物を考慮した試験結果及び流動状況を図3-1, 図3-2に示す。図3-1より, スラッジの有無によって排水時間に相違は無く, 圧損への影響がないことを確認した。

また, 図3-2より, 排水中にスラッジはスリットを通過し, スリット内には滞留しないことを確認した。

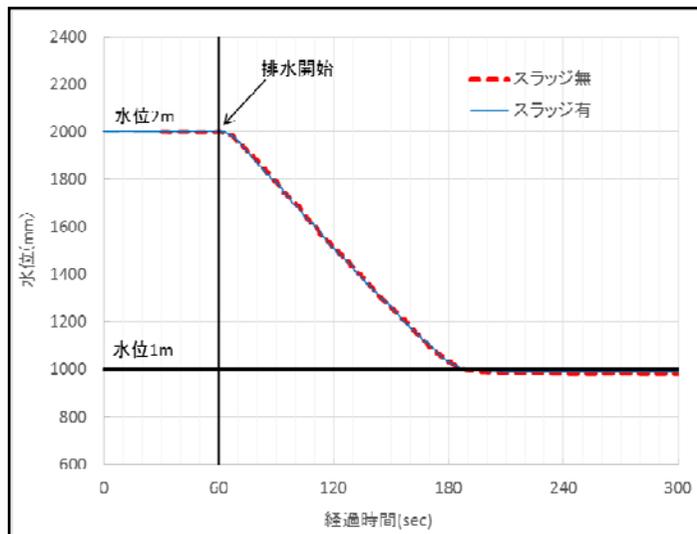


図3-1 スラッジ有無条件での試験結果(水位と時間の関係)

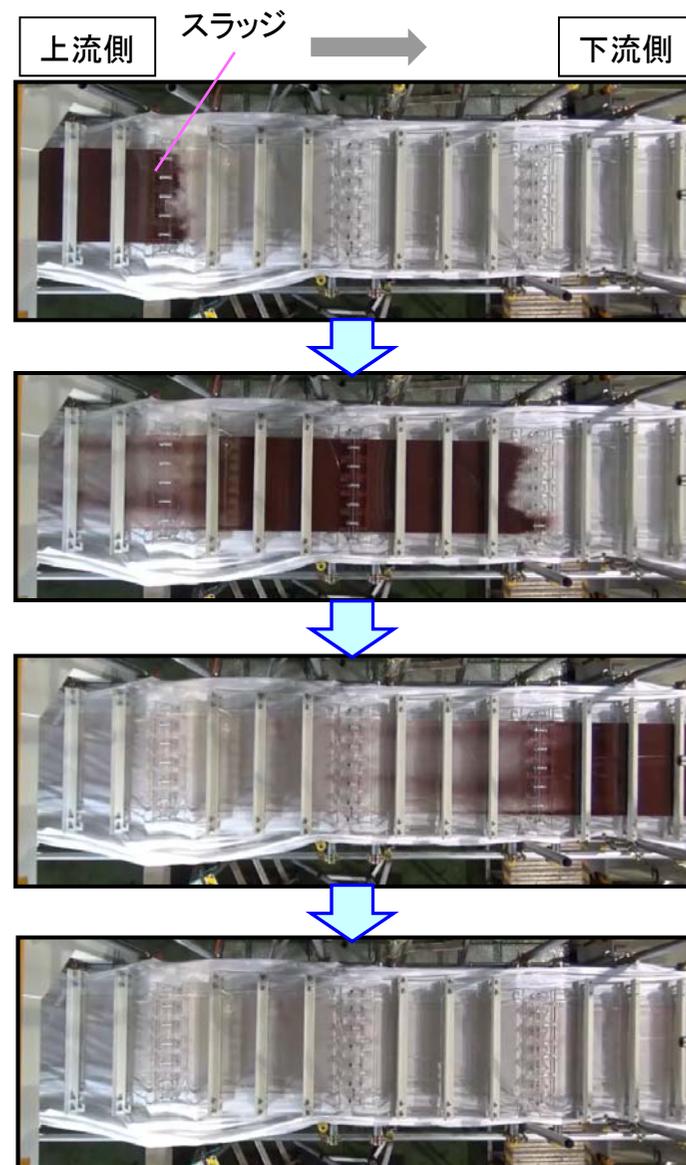


図3-2 水平スリット上面から見たスラッジの流動状況

圧損試験要領について

①実機で想定される異物量

(算出方法)

内規に基づき、保守的に物量を算出している。化学影響生成異物は、先行PWRを参考。

(保守性)

- ・東海第二発電所では、圧損影響の大きい繊維質保温材を撤廃しているが、圧損試験においては、繊維質保温材の付着を見込んだ試験を実施する。
- ・ドライウェル及びペデスタル内の耐DBA仕様塗装は、SA環境で全量が剥離することは考えにくいですが、試験においては全量剥離を想定している。
- ・WCAP-16530で規定されているAl, Znに加え、JNES-SS-1004で提案しているFe(炭素鋼)の溶解も考慮。

異物の種類		DB	SA	補足
保温材	一般保温(繊維質)	0 m ³		PCV内では使用されていない。(圧損試験では、繊維質保温材の付着を見込んだ試験を実施)
	カプセル保温(金属反射型)	□ m ³		内規に基づき7.4Dの範囲の金属反射型保温材の全破損を想定して算出
塗装	耐DBA仕様塗装(ジェット破損)	39 kg		内規規定値
	非DBA仕様塗装	□ kg		実機を保守的に算出した値
	耐DBA仕様塗装(SA環境剥離)	—	□ kg	D/W及びペデスタル内の塗装全量
堆積異物	スラッジ	89 kg		内規規定量
	錆片	23 kg		内規規定量
	塵土	68 kg		内規規定量
化学影響生成異物		—	□ kg	PWRを参考に、WCAP手法等により算出

再掲 (5/31審査会合資料)

②異物移行量

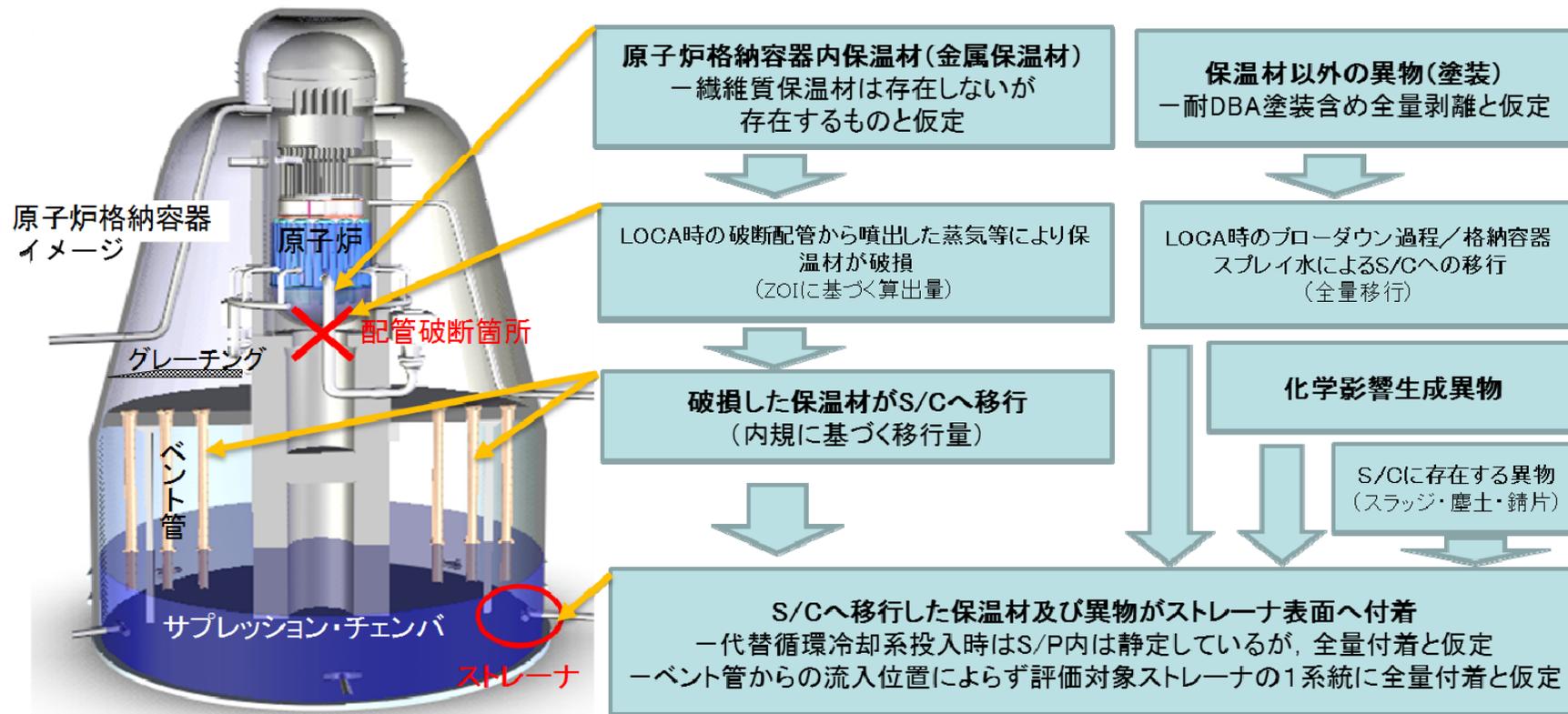
(移行量の考え方)

①で算出した異物のうち

- ・破損保温材は、内規に基づく移行量を考慮した物量
- ・破損保温材以外は、全量がストレーナへ移行と想定

(保守性)

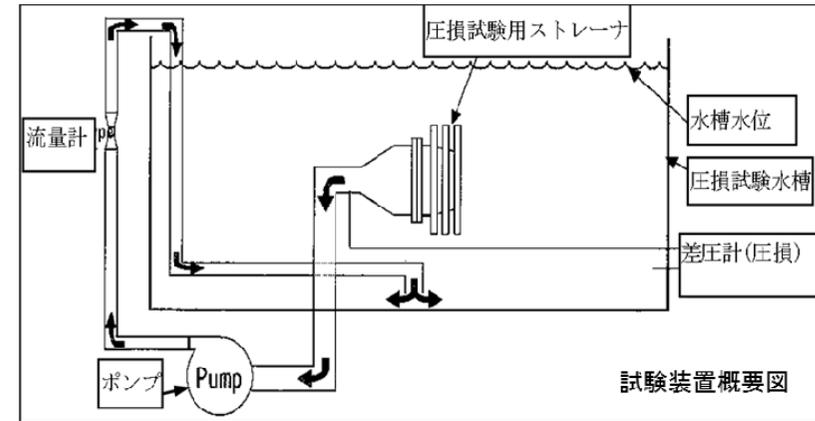
- ・代替循環冷却系起動時はサプレッション・チェンバ内は静定しており、異物も沈降しており、ストレーナへの移行は考え難いが、全量移行と想定する。
- ・ベント管からの流入位置によらず、評価対象ストレーナの1系統に全量移行と想定する。



再掲 (5/31審査会合資料)

③試験手順

内規で定められた条件を踏まえ、
保守的に試験手順を設定している。



内規 別記2(留意事項)	試験内容
異物投入順序	圧損が保守的に大きくなるよう粒子状異物より前に繊維質を投入する手順とする。 (投入順序) ① 金属反射型保温材 ② 繊維質保温材【繊維質】 ③ スラッジ、塵土、錆片【粒子状異物】 ④ 各種塗装 ⑤ 化学影響生成異物(AIOOH)
圧損値の経時変化の考慮	圧損上昇が静定するまで十分な試験時間を確保する手順とする。
異物の形状	米国原子力規制委員会の規制(NUREG)等に準拠した形状
試験流速	実機と同等以上の流速となるように設定する。 事故シーケンス上、代替循環冷却系ポンプ流量は 250 m ³ /hである。保守的な試験となるよう、段階的に流量を増加させ、ストレーナを兼用する残留熱除去系ポンプの流量 1691.9 m ³ /h までを範囲とする。
試験温度	実機で想定される温度より保守的に低い温度に設定

再掲 (5/31審査会合資料)