

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6月27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	ヒアリング
				7/3回答分	説明状況
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)	5/8, 5/22
			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)	5/22
			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	○	6/19,26,28予定
			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	○	6/19,26,28予定
			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	○	6/19,26,28予定
			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	○	6/19,26,28予定
	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)	5/18
			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)	6/8
	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)	6/1
			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)	6/1
			③ 引張試験における荷重(モーメント)の比較	完了(6/14)	6/1
			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)	6/1

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	ヒアリング
					7/3回答分	説明状況
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	○	3/22,4/16,6/25
			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	○	5/7,6/25
	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	○	6/11,6/25
	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	5/24
	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	○	6/25
			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)	○	6/25
	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	○	6/26
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	○	6/26	
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	○	6/26	
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)	4/19,4/27
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すると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)	4/26
	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	7/下予定
			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)	4/19
	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	○	4/24
			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	○	4/24より順次
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)	—	

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	ヒアリング	
					7/3回答分	説明状況	
機械設計	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	実証試験	①	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	○	6/8,6/11
				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 (6/14追加)風量測定管の50mmほどのように担保するのか。機器リストと同様に要領書に記載しておくこと	○	6/下予定
				③	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)	5/17, 5/24
				④	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)	5/17, 5/24
				⑤	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)	5/17, 5/24
				⑥	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)	6/8,6/11
				⑦	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)	6/8,6/11
				⑧	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)	6/8,6/11
				⑨	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)	6/8,6/11
			⑩	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)	4/26, 5/10
			⑪	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)	—
			⑫		強制開放装置の位置付け	完了(5/17)	—
			⑬		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)	—
			⑭	耐震	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)	6/8,6/11
			⑮		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)	6/8,6/11

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	ヒアリング
					7/3回答分	説明状況
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)	4/19
			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)	5/30
	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)	6/1,7
				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)	4/25,6/1
			③ 施工	コリウムシールドの施工性	完了(5/31)	4/27
			④ 工認上の扱い	工認対象範囲	完了(5/31)	4/27
				コリウムシールドのドレン水貯蔵機能	完了(5/31)	4/27
				コリウムシールドライナーの工認上の記載	完了(5/31)	4/27
				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、ドライウェ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(6/14追加)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	○	6/7
	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	○	6/E予定
				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)	5/22
				試験手順について示すこと。	完了(5/31)	5/22
				試験の進捗状況、見通しについて具体的に示すこと。	完了(5/31)	5/22
	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	○	6/12, 6/E予定
			③	CFD解析モデルについて説明すること	完了(6/14)	5/28,6/4

【論点1】 止水機構の論点コメント及び実証試験の概要



＜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。

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認可への反映事項について問われており今回は、上記の回答及び工事認可への反映事項について説明するものである。

【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。

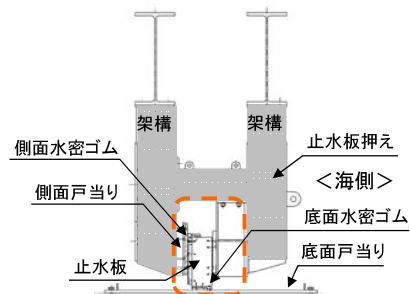


図2 1次止水機構供試体構造

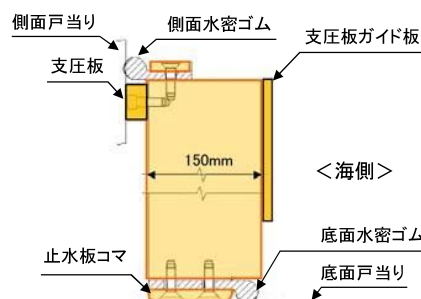


図3 止水板構造

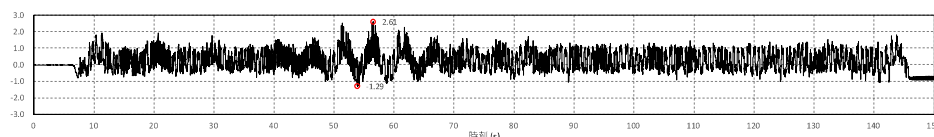


図5 3方向同時加振時鉛直計測データ

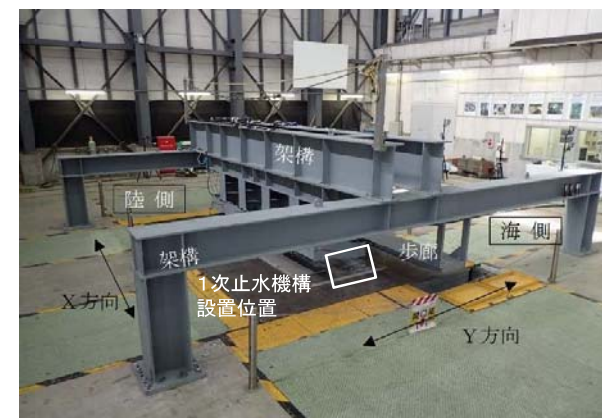


図1 実証試験装置全景



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

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】 実証試験結果 止水板のうねりの分析(1/3)



<コメント>

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

<回答>

実証試験の結果、3方向同時加振時において鉛直変位の中心軸に約5秒(0.2Hz)のうねりが認められた。うねりの原因について加振試験装置等について分析した。(図1、図2)



図1 加振試験装置概要図

(1) 実証試験用入力波による影響

実証試験時における3方向同時加振時の実証試験用地震動は、「Y方向（堤軸直角）包絡波」で鋼製防護壁の応答加速度を包絡させた地震動を用いている。

そのため、振動台より伝達される実証試験用地震動のY方向についてフーリエスペクトルを作成し周波数成分を分析した。

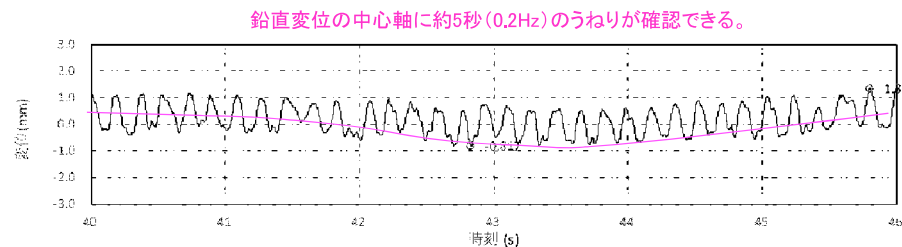
その結果、卓越周波数に3つのピーク(1.09Hz, 1.22Hz, 5.77Hz)を確認した。

表1に実証試験時の入力地震動における卓越振動数、図3に実証試験時のY方向フーリエスペクトル図を示す。

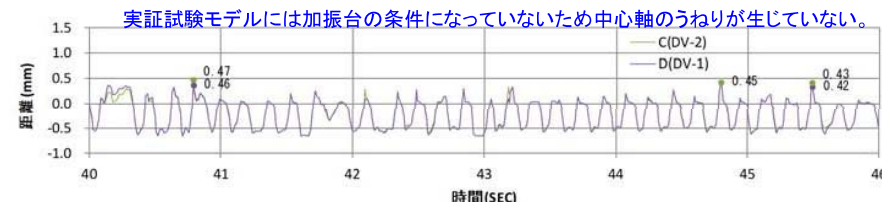
実証試験用入力波からはうねりの周波数0.2Hzは確認できなかった。

表1 実証試験時の入力地震動における卓越振動数

方向	卓越振動数(Hz)	
	1回目	2回目
X方向	0.72, 14.48	0.72, 14.48
Y方向	1.09, 1.22, 5.77	1.09, 1.22, 5.78
Z方向	8.25, 23.75	8.25, 23.75



実証試験の結果(3方向)



三次元的解析の結果(3方向)

図2 3方向同時加振結果(上:実証試験, 下三次元的解析)

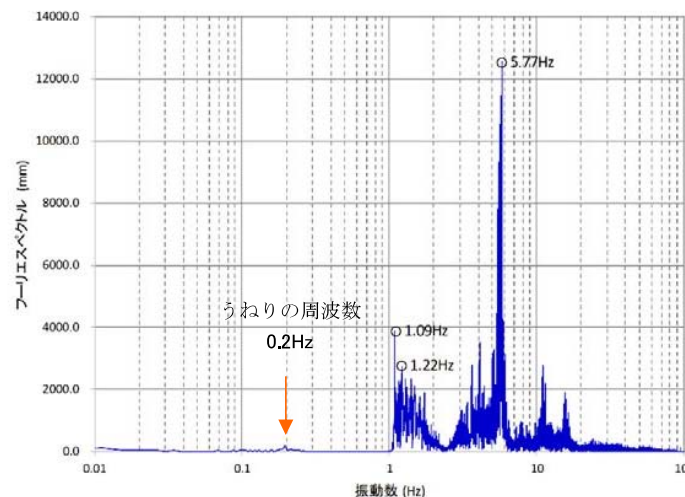


図3 実証試験時のY方向のフーリエスペクトル

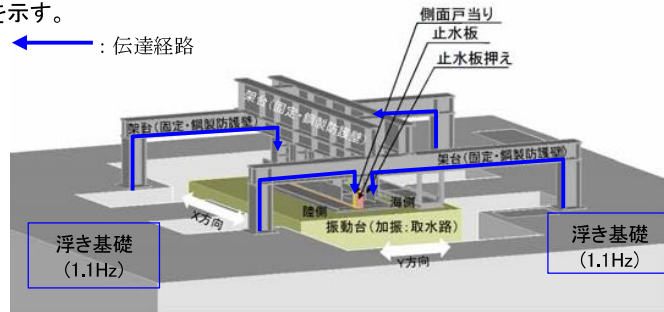
【論点1】 実証試験結果 止水板のうねりの分析(2/3)



(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。



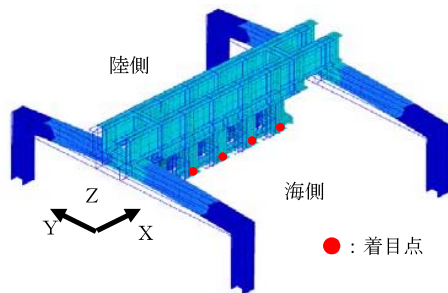
浮き基礎の軸	1次固有振動数(Hz)
X軸	1.16
Y軸	1.13
Z軸	1.16

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。(図5)



浮き基礎の軸	振動数(Hz)	備考
モード1	5.58	X方向
モード2	12.94	Z方向
モード3	15.29	Y方向

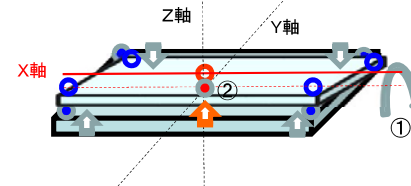
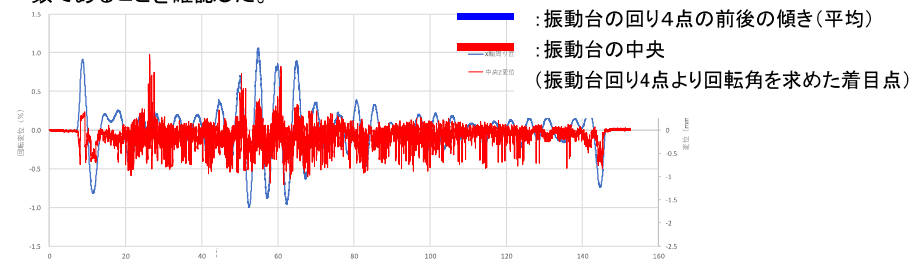
架構(縦材下端)	卓越振動数(Hz)
海側	1.09, 1.21, 5.77
陸側	1.09, 1.21, 4.07, 5.77

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は回転変位の影響と思われる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。



【振動台の動き<回転+鉛直成分>】

- ① Y軸を中心に●点が上下に傾く動き、青線の回転成分
- ② 中央部に鉛直による変位が入ると●点が上下の動き。Y軸が上がるのが赤線の鉛直成分

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

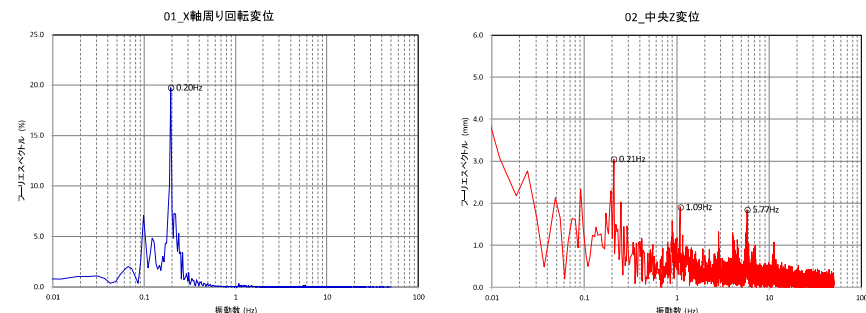


図7 振動台の回転変位と中央部鉛直変位のフーリエスペクトル

【論点1】 実証試験結果 止水板のうねりの分析(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

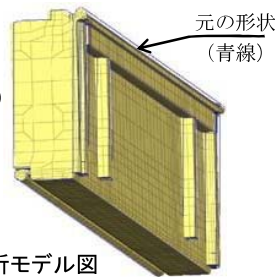


図8 止水板の固有周期解析モデル図

【実証試験に生じるうねりの評価】

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)	—	—	—	0.21(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)

【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表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し周期を分析し、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とは周波数が共振領域にはないことを確認した。

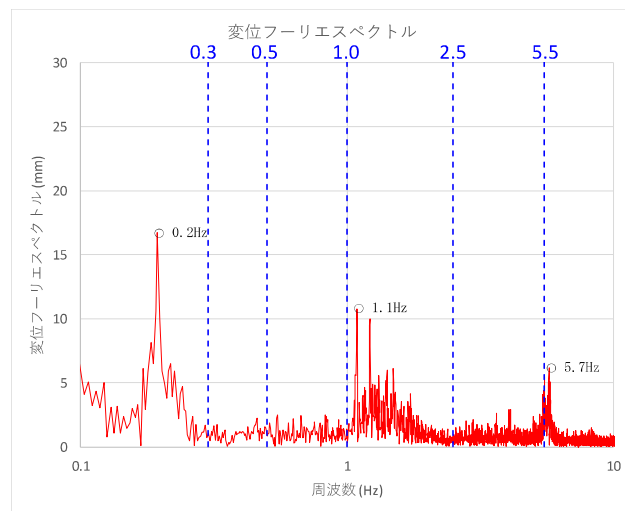


図9 止水板の鉛直変位におけるフーリエスペクトル

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。

0.21Hz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推測される。

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する。図10に止水板の鉛直変位におけるフィルタリングの実施範囲、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。

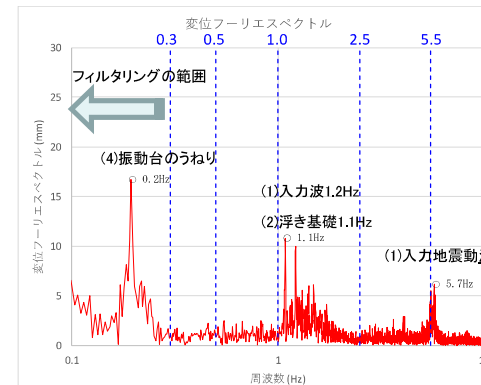


図10 止水板の鉛直変位におけるフィルタリングの範囲

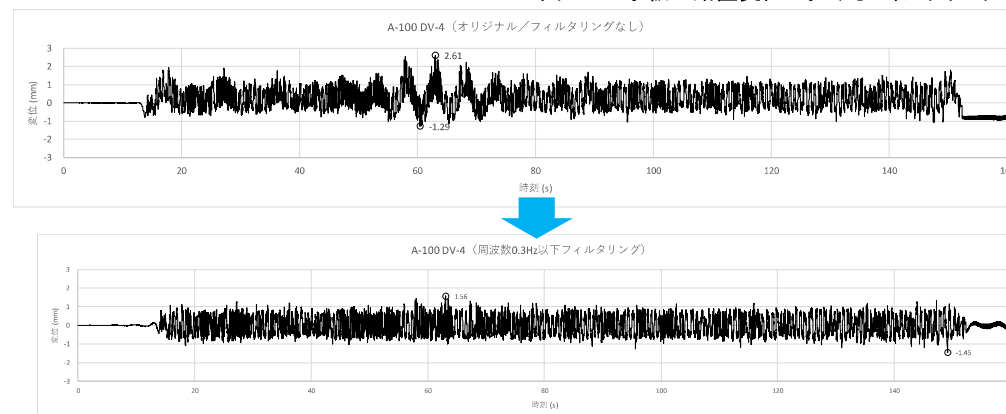


図11 3方向同時加振時の鉛直変位時刻歴波形フィルタリング

【論点1】 実証試験及び解析結果による一次止水機構の設計反映 (1/3)



<コメント>

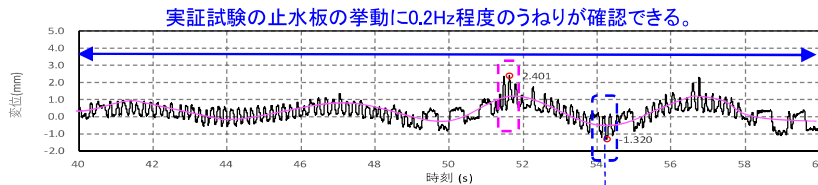
2. 実機解析を工認に適用することも踏まえ、解析の信頼性を示すこと

<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方向同時入力の「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】

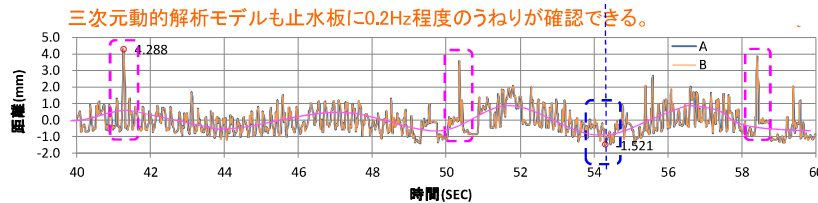


図1 実証試験結果と実機モデルとの比較

<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)

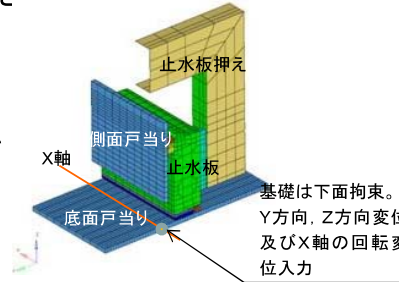
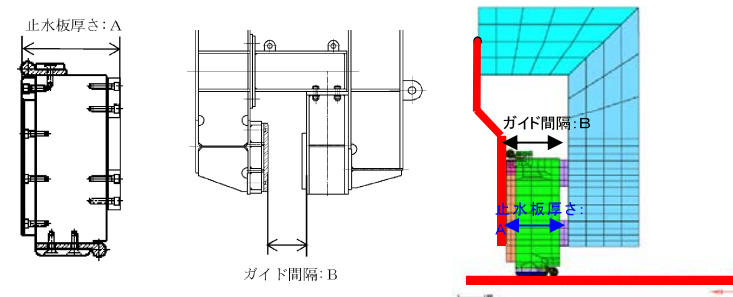


図2 三次元動的解析(実機モデル)と止水板の鉛直変位量

止水板の鉛直変位量	②3方向(Y方向(提軸直角)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

前述(1)項の結果、解析モデルの浮き上がりの時間帯が違う解析結果がみられた。ここでは、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。



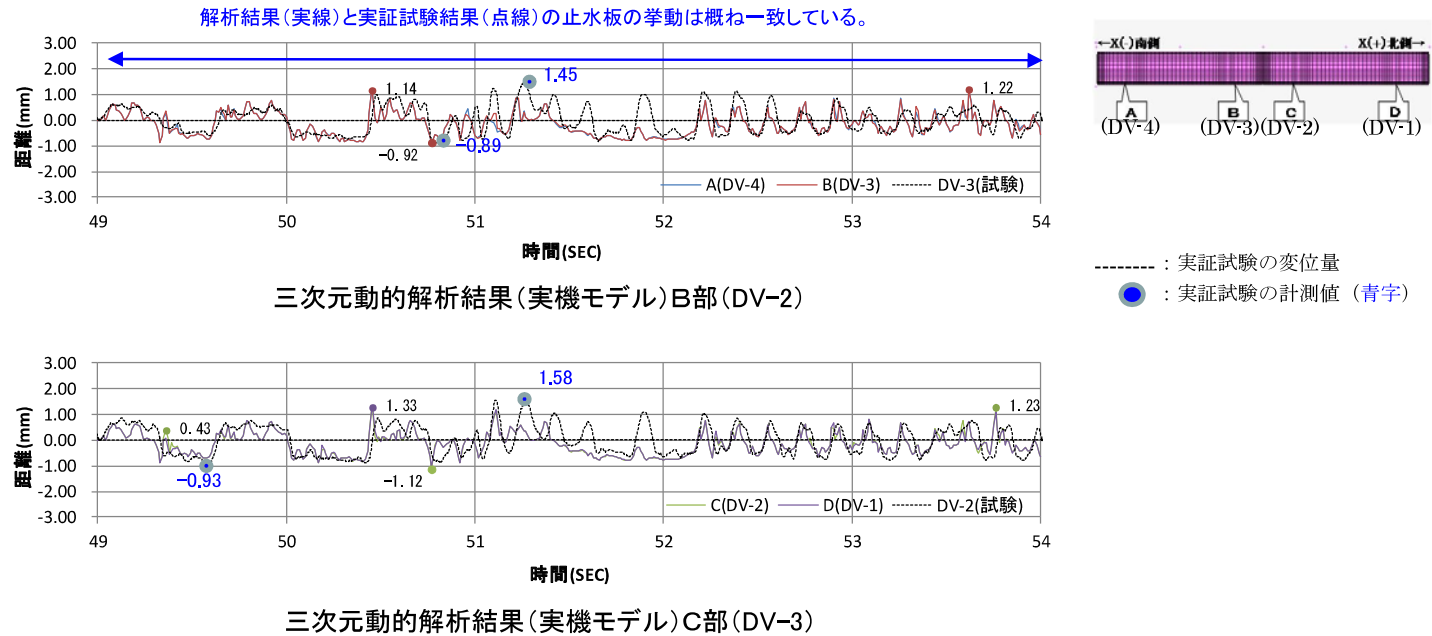
	止水板厚さ A (mm)	ガイド間隔 (mm)	隙間 (mm)
図面寸法	210	213	3
実際の供試体の寸法(製作公差含む)	207	211~210	3~4

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】 実証試験及び解析結果による一次止水機構の設計反映 (2/3)



実証試験(フィルタリング後)と実際の試験装置の隙間(4mm)の3方向同時加振後の結果について比較した。その結果, 実証試験における結果と実際の試験装置の隙間(4mm)の方の浮き上がり量の差が僅かであり, 非常によく似た結果が得られた。浮き上がりに対して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)		実証試験と解析モデルとの差(②-①)
	実証試験(①)	隙間4mmモデル(②)	
浮き上がり量(プラス側)	1.45(DV-3)	1.22(DV-3)	-0.23~-0.25mm
	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~-0.19mm
	-0.93(DV-2)	-1.12(DV-2)	

図4 実証試験結果と実機モデルとの比較

【論点1】 実証試験及び解析結果による一次止水機構の設計反映 (3/3)



<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することを確認したため、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ことが確認できた。

実機設計については、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設計へ反映する。解析結果を適切に設計に反映することで設備の信頼性を高める。

図1に1次止水機構の工事認可申請書作成フローを示す。

①解析モデルの信頼性向上

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はほぼ同じ結果が得られているため、製作公差を考慮したモデルを作成し解析モデルの信頼性向上を図る。

②衝撃荷重等の解析結果の反映

止水板の鉛直変位の結果から左右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、衝撃荷重の評価を実施し設計に反映する。

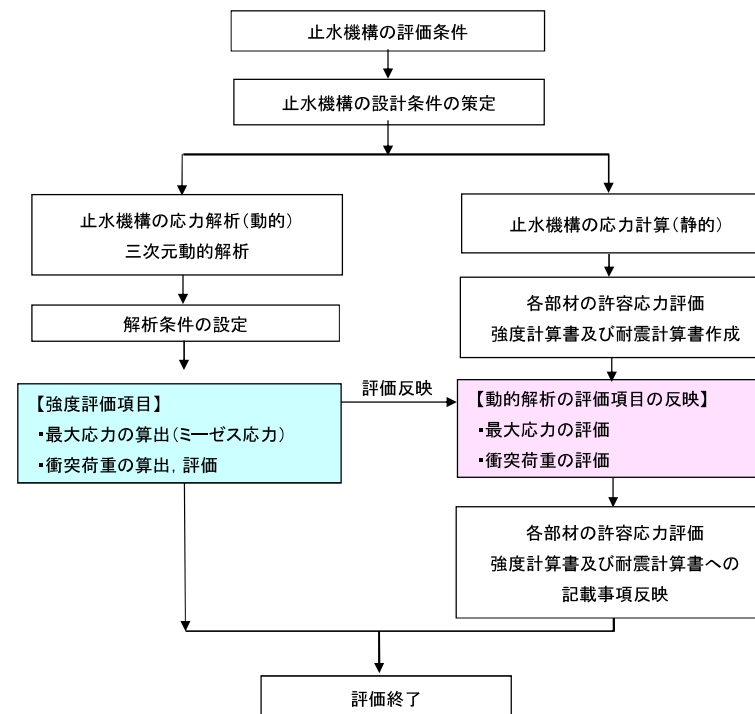


図1 1次止水機構の工事認可申請書作成フロー

＜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

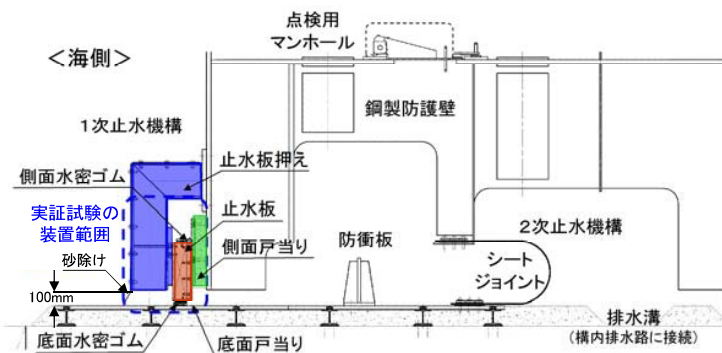


図3 止水機構全体構造概要

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。

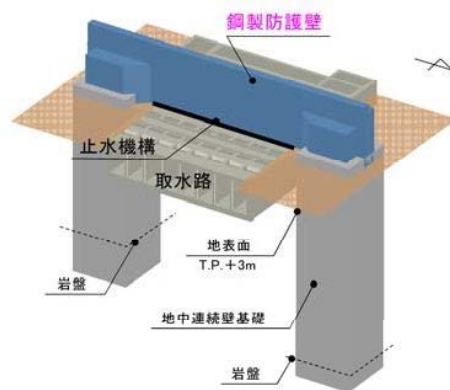


図2 鋼製防護壁の構造と止水機構の位置

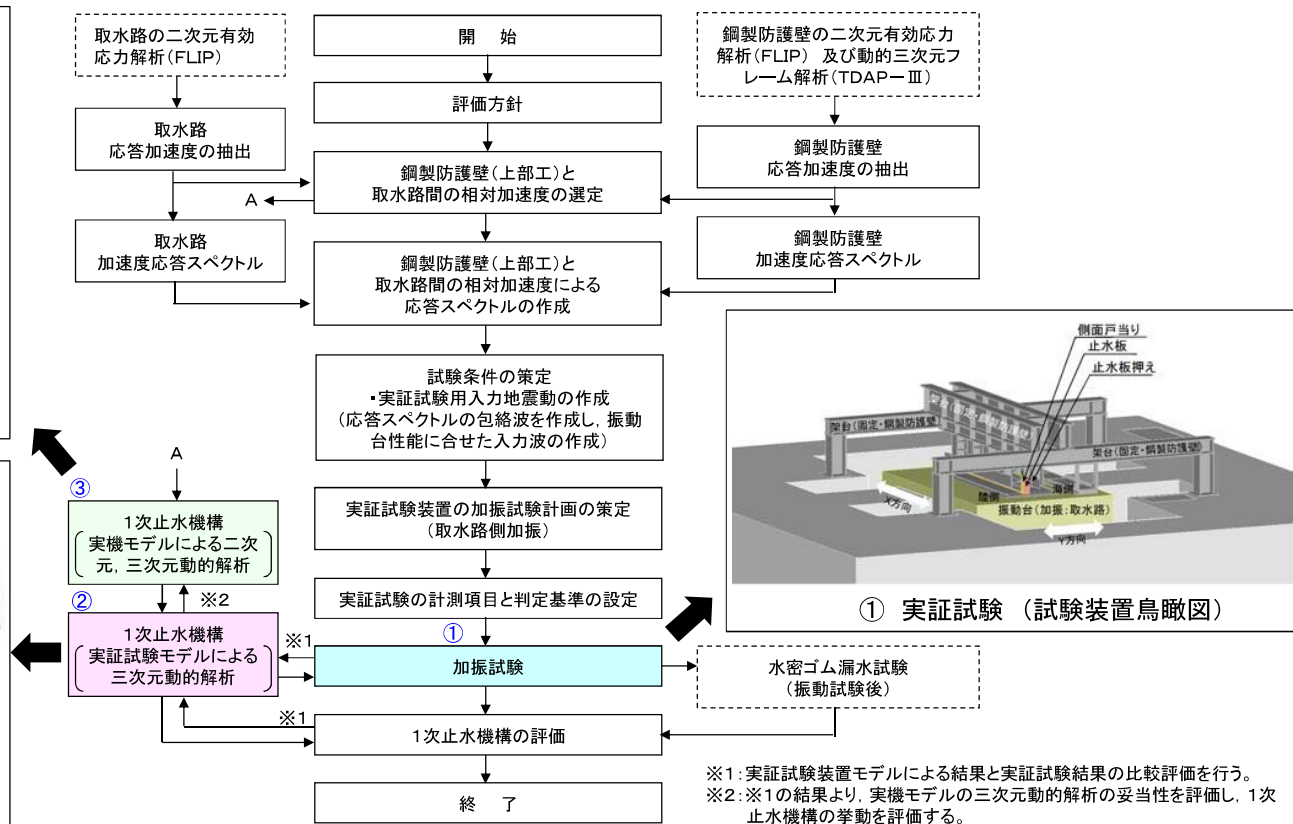
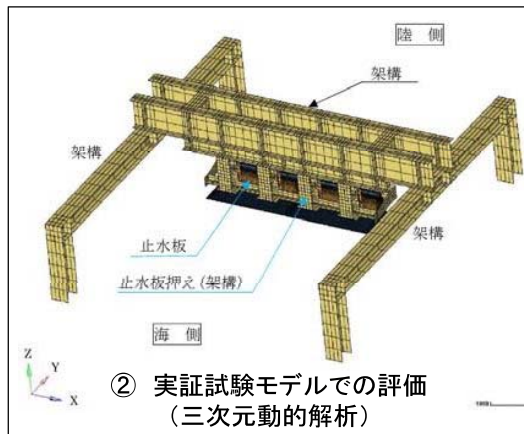
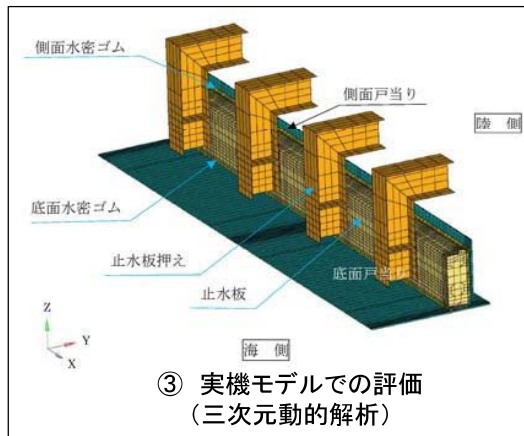
- 【鋼製防護壁寸法】
- ・長さ: 約 80m
 - ・奥行(厚さ): 約 4.5m
 - ・天端高さ: T.P.+20m
- 【地中連続壁基礎寸法】
- ・幅: 約 15.5m × 約 15.5m
 - ・基礎下端部標高
(南): T.P. 約 -50m
(北): T.P. 約 -60m
- 【岩盤標高】
- (南): T.P. 約 -30m
 - (北): T.P. 約 -56m

【参考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

TK-1-499 改6
平成30年6月27日
日本原子力発電株式会社

原子炉建屋基礎盤の耐震評価

平成30年6月27日
日本原子力発電(株)

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密
又は防護上の観点から公開できません。

概要(本論点の経緯と説明概要)

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

許容限界としてせん断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Sクラス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. 耐震重要度分類の設定

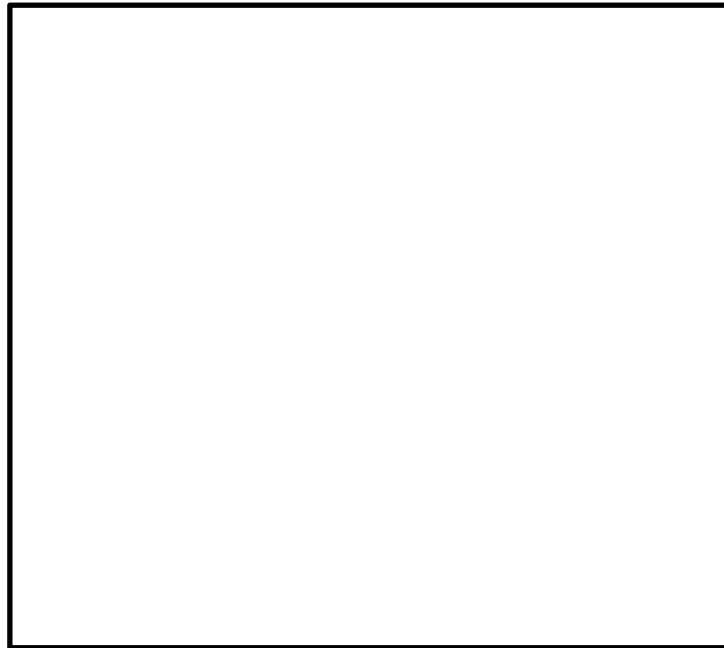
- 原子炉棟基礎の耐震重要度分類について、①建設時の考え方、②新規制基準の考え方、③H18年耐震設計審査指針適用プラントの実績、④新規制基準適合プラントの実績、を整理し、Sクラス設備の間接支持構造物として整理する。

2. 荒川mean式を適用することの妥当性

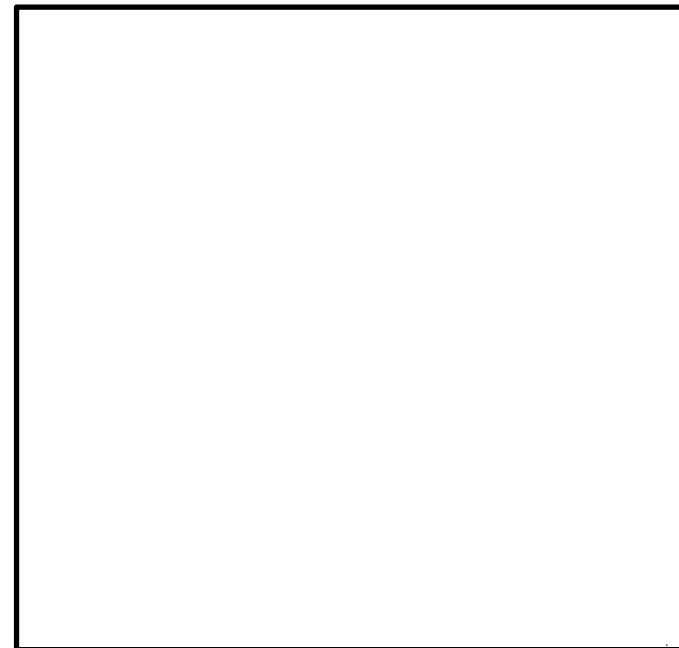
- 原子炉棟基礎の構造仕様、荷重状態(分布荷重)を踏まえると荒川mean式は許容限界として適用することは妥当である。
- 基礎スラブの実験と荒川mean式の比較により、荒川mean式が基礎スラブに対して保守性を有することを確認した。

原子炉建屋基礎盤の領域区分と要求性能

原子炉建屋基礎盤は耐震設計上の位置づけとして3つの領域に区分される。



原子炉建屋概略平面図



原子炉建屋概略断面図(A-A断面)

原子炉建屋基礎盤の領域区分

部位	
原子炉建屋 基礎盤	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

BWR MARK-II

①格納容器底部基礎マット	A	C	
②格納容器底部外基礎マット	C		
⑦原子炉建屋原子炉棟 (二次格納施設を含む)	A	B	C

A: 耐漏洩機能
B: 波及事故防止機能
C: 支持機能

底部コンクリートマットについては比較的余裕が大きい見通しが得られており、余裕の小さい原子炉棟基礎及び付属棟基礎(Ss地震時)について説明する。

①(ライナを含む)

原子炉建屋の基礎と要求機能(JEAG4601-1987抜粋・加筆)

原子炉建屋基礎盤の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、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では、建屋ごとに重要度分類を設定することを原則としており、原子炉建屋であれば建屋全体を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)に分類していた。
- 一方、現行の規制基準(耐震設計に係る工認審査ガイド)では、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することとされている。
- 以上を踏まえ、今回工認では現行の規制基準の考え方に従い、耐震重要度分類を設定する。

建設工認 耐震設計の基本方針(抜粋)

発電所のすべての建屋、構築物、機器・配管系は発電所の安全性に対する重要度に応じて耐震設計上次の原則にしたがって分類する。

Aクラス:その機能喪失が重大な事故をおこすおそれのあるものおよび原子炉事故の際に放射線障害から公衆を守るために必要なもの。

耐震設計に係る工認審査ガイド(抜粋)

2. 共通基本事項

2.2 耐震設計上の重要度分類

【審査における確認事項】

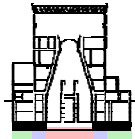
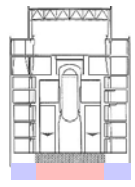

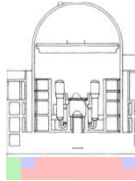
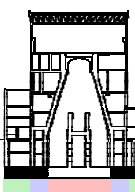
(2)施設を構成する設備を適切に区分し、その区分ごとに耐震設計上の重要度分類を適用していること。

【確認内容】

(2)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ていること、また、設備の区分ごとに、JEAG4601の規定を参考に、昭和56年設計審査指針によるAsクラスを含むAクラスの施設をSクラスの施設と読み替え、規制基準の要求事項に留意して、耐震設計上の重要度分類を適用していること。

原子炉建屋の基礎の耐震重要度分類とクライテリアの整理

表 原子炉建屋の基礎の耐震重要度分類(上段)及びSs地震時の許容限界(下段)の比較と重要度分類の考え方

サイト炉型	基礎の区分	格納容器の底部	原子炉棟基礎 アニュラス基礎	左記以外の 領域	重要度分類の考え方
東海第二 (建設時) BWR MARK-II *2		Asクラス	Aクラス*1	Aクラス*1	耐震設計審査指針制定前に建設されており、建屋ごとに重要度分類を設定することを原則としており、原子炉建屋であれば建屋全体を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)に分類している。
		降伏しない*3	評価なし	評価なし	
大間1号 ABWR		Sクラス	Sクラス*4 (二次格納施設 基礎スラブ)	—	耐震設計審査指針(平成18年)適用プラントであり、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、Sクラスの原子炉格納容器底部に対し、底部以外の基礎(二次格納施設基礎スラブ)についても、底部との連続性を考慮して底部と同様の方法で検討されている。二次格納施設基礎スラブについては、その機能からはSクラスとなるものではないが、設計上の扱いとしてSクラスと設定したものと解釈できる。
		CCV規格 荷重 状態IVにおける 許容値	CCV規格 荷重 状態IVにおけ る許容値*4	—	
玄海3/4号 PWR		Sクラス	間接支持構造 物	間接支持構 造物	新規制基準適用プラントであり、規制要求に対応し、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されている。 ⇒原子炉格納容器底部をSクラスとし、その周辺部はSクラス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クラスとして分類されている。
		CCV規格 荷重 状態IVにおける 許容値	RC-N 短期 許容応力度	RC-N 短期 許容応力度	
大飯3/4号 PWR		Sクラス	Sクラス (格納容器底部 に含む)	間接支持構 造物	新規制基準適用プラントであり、規制要求に対応し、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されている。 ⇒原子炉格納容器底部をSクラスとし、その周辺部はSクラス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クラスとして分類されている。
		CCV規格 荷重 状態IVにおける 許容値	CCV規格 荷重 状態IVにおけ る許容値	RC-N 終局耐力*5	
東海第二 (今回) BWR MARK-II		Sクラス	間接支持構造 物	間接支持構 造物	上記と同じであり、具体的には玄海3/4号と同じ区分となっている。面外せん断力に対する許容限界として、大間、大飯、玄海が短期許容応力度としていることに対し、東海では終局強度を適用することから、その適用性について検討を行う。*6 (建設工認において、Aクラスとして設計(180Galの地震動による地震力及び静的地震力に対し弾性設計)していたことを踏まえ、今回工認においてもSd地震時に対する評価を実施する。)
		CCV規格 荷重 状態IVにおける 許容値	終局強度 (荒川mean式)	終局強度 (荒川mean式)	

*1 建屋全体をAクラスとして設計している。*2 機能維持確認用の「0.27g地震」に対する許容限界を示す。*3 結果として短期許容応力度に収まっており、具体的な許容限界は記載されていない。*4 底部との連続性を考慮して底部と同様の方法で評価している。*5 面外せん断力は短期許容応力度と同じ。

*6 使用済燃料乾式貯蔵建屋の既工認では、Asクラスの貯蔵容器の間接支持構造物として、S2地震時に対して修正荒川mean式を適用した実績がある。

原子炉建屋基礎盤の耐震重要度分類と耐震設計方針のまとめ

原子炉建屋基礎盤は耐震設計上の位置づけとして3つの領域に区分される。

原子炉建屋基礎盤の領域と分類

部位		耐震重要度分類	間接支持構造物	基準地震動 S_s による地震力に対する耐震設計方針
原子炉建屋基礎盤	原子炉格納容器 底部コンクリートマット	・Sクラスの設備 (原子炉格納容器)	Sクラスの設備の 間接支持構造物	基準地震動 S_s による地震力と地震力以外の荷重の組合せに対して、構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有すること。
	原子炉棟基礎	・Cクラス	Sクラスの設備の 間接支持構造物	基準地震動 S_s による地震力により発生する応力が、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されている許容限界を超えていないこと。 ⇒終局強度(荒川mean式)の適用性を確認
	付属棟基礎	・Cクラス	Sクラスの設備の 間接支持構造物	



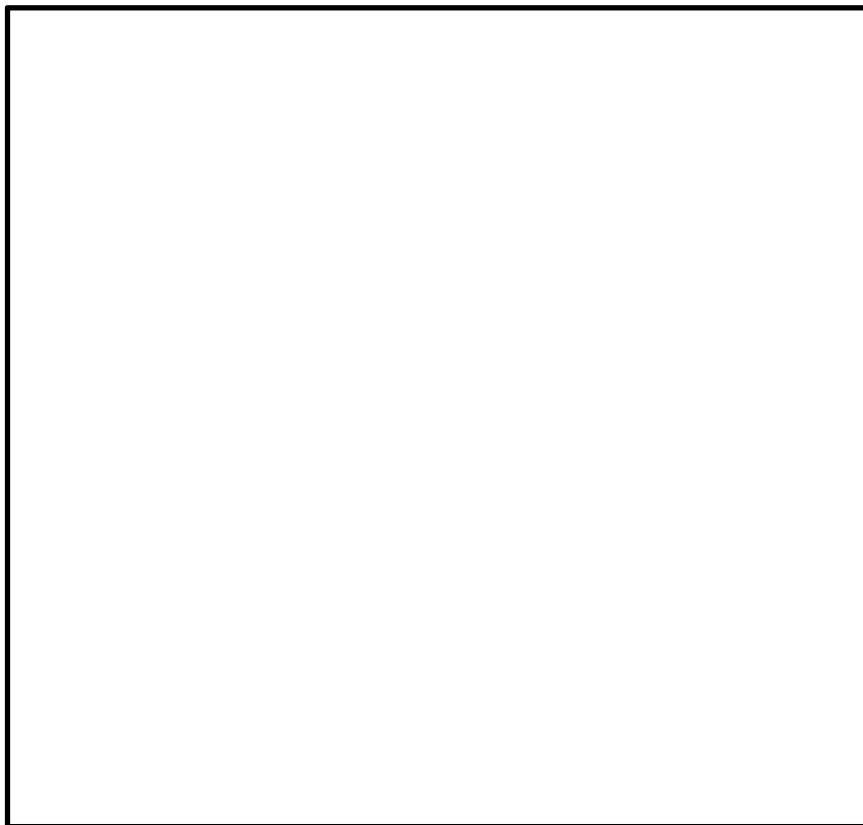
原子炉建屋概略平面図



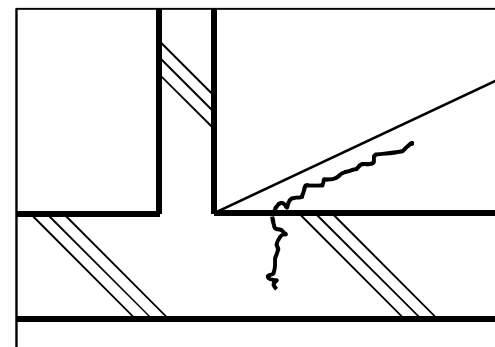
原子炉建屋概略断面図(A-A断面)

原子炉棟基礎の構造仕様と想定される破壊モード

- 原子炉建屋においては、主要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棟基礎が同じ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破壊モードは、壁に平行または直交するひび割れが想定される。

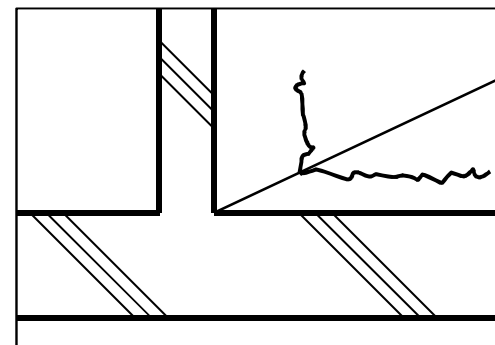


原子炉棟基礎及び付属棟基礎を含む原子炉建屋基礎概略断面図(A-A断面)



壁に平行

⇒基礎盤のひび割れが壁の遮蔽性能に影響しない。



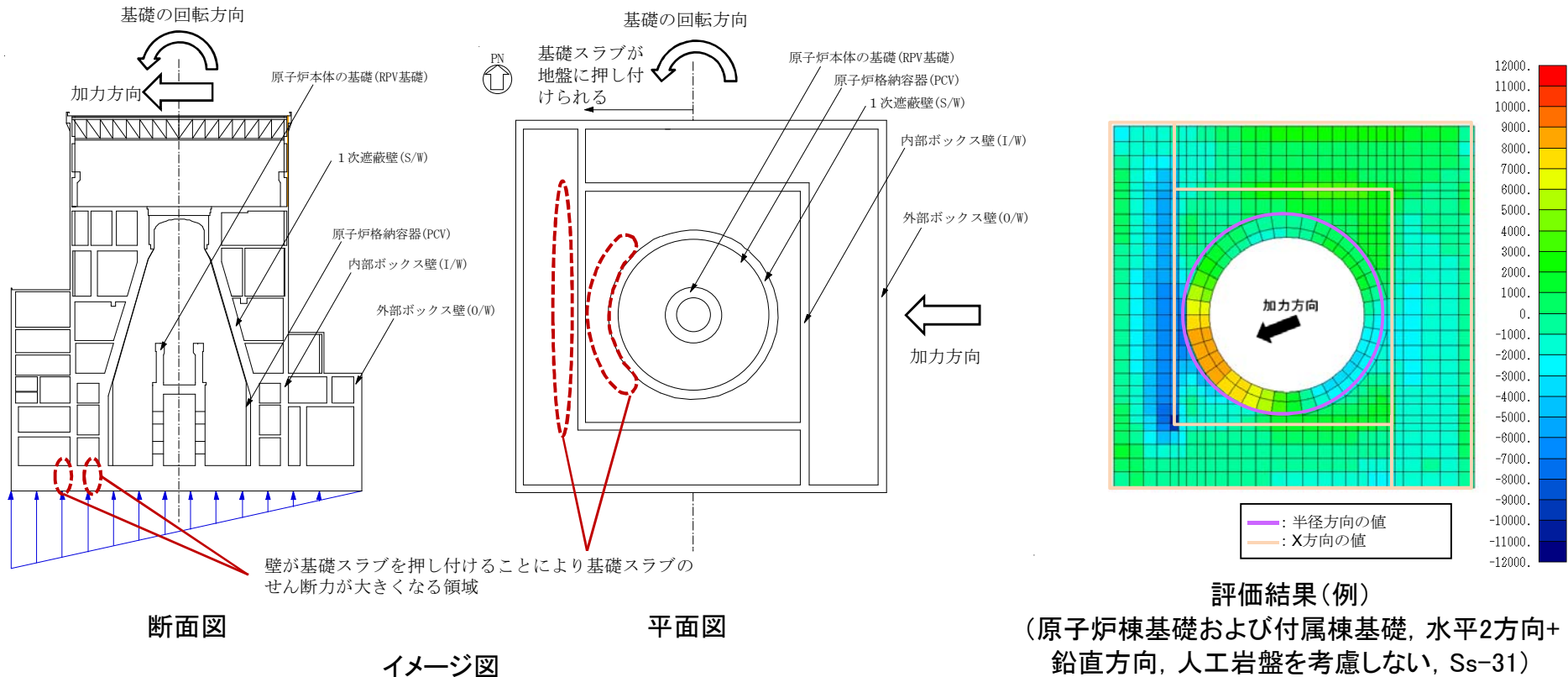
壁に直交

⇒基礎盤のひび割れが壁の遮蔽性能に影響する。

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破壊モード(イメージ)

原子炉棟基礎の損傷と機能維持の関係

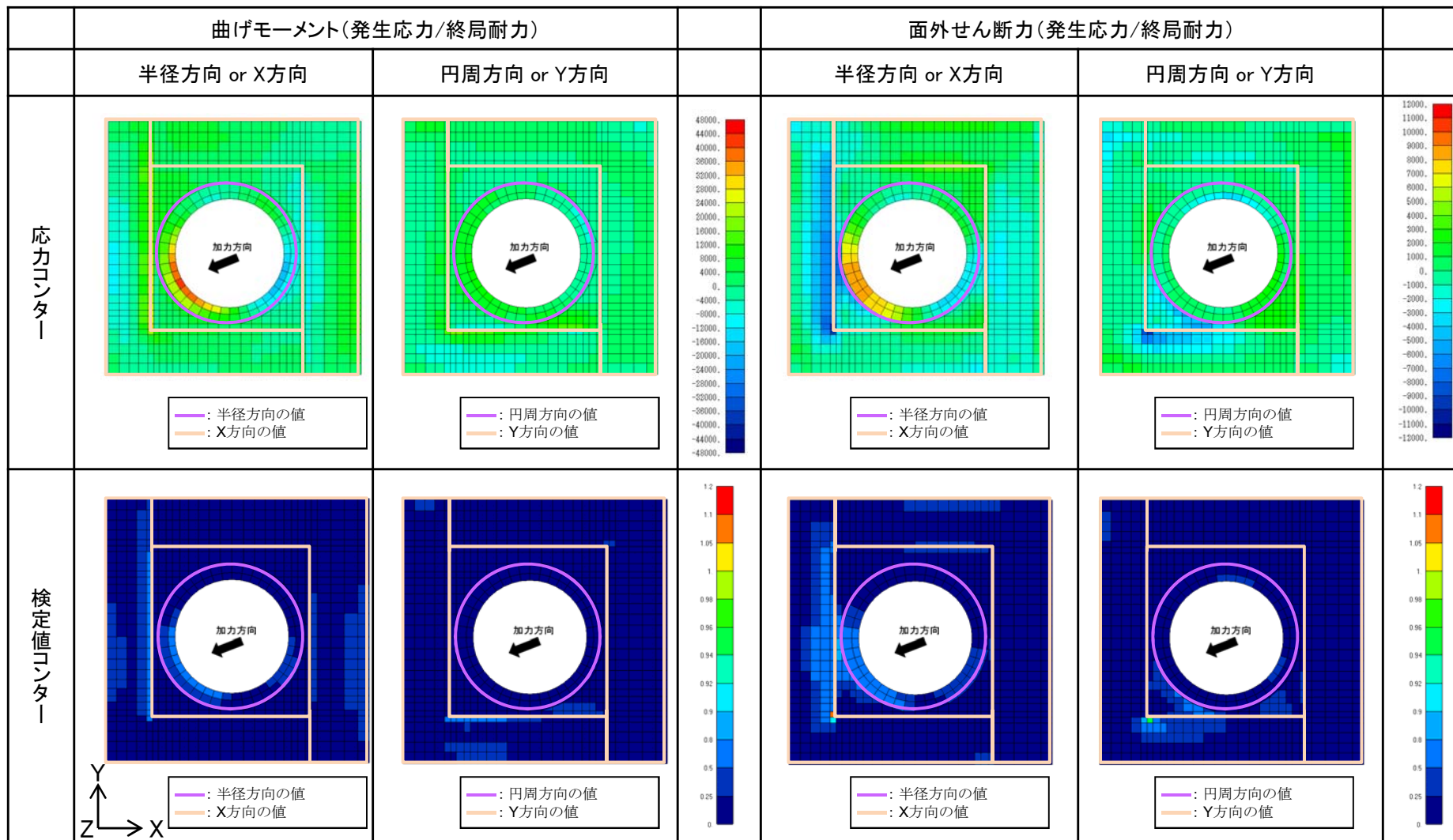
- Ss地震時の原子炉建屋基礎盤の応力状態について検討した結果、原子炉建屋原子炉棟の壁脚部周辺の基礎スラブの面外せん断力に対する破壊モードは、壁に平行なひび割れとなることから、原子炉建屋原子炉棟の直接設備としての機能(気密・遮蔽)に影響することはない、基礎スラブの支持機能を維持することによって、原子炉建屋原子炉棟の機能も維持できると考えられる(後述参照)。



加振方向に発生する面外せん断力は、主に加振方向と直交する壁の脚部に生じ、加振方向に平行に配置された壁の脚部では生じない。したがって、面外せん断に対する破壊モードは、壁に平行なひび割れとなり、壁にき裂を発生させる方向ではなく原子炉建屋原子炉棟の直接設備としての機能(気密・遮蔽)に影響することはない。

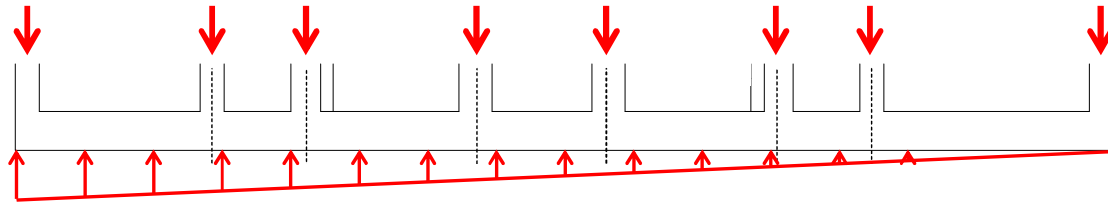
Ss地震時の原子炉建屋基礎盤の応力状態

- 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破壊モードは、壁に平行なひび割れとなることから、原子炉建屋原子炉棟の直接設備としての機能(気密・遮蔽)に影響することはない、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。

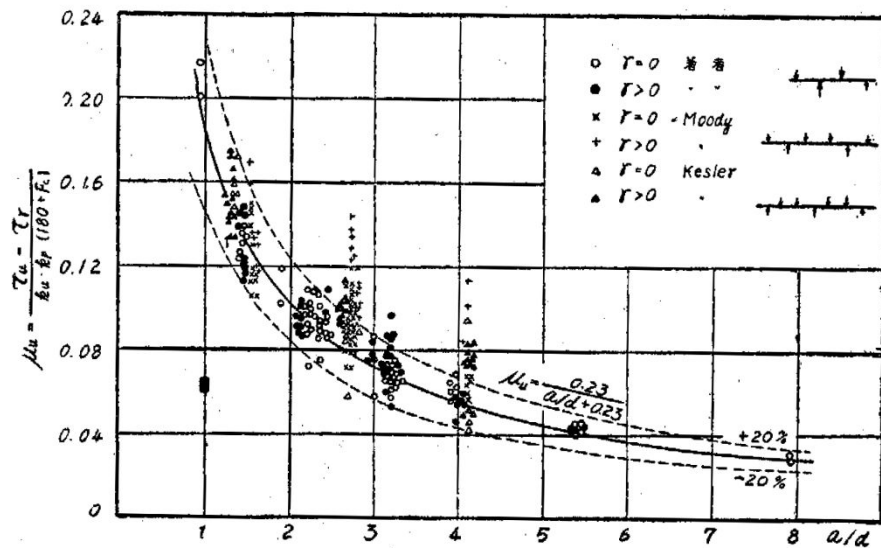


終局強度(荒川mean式)の適用性(原子炉建屋基礎盤の荷重条件を考慮)

荒川mean式が提案された後に多数の実験と比較した場合、上部壁からの地震力と地盤からの反力を受ける基礎スラブと類似の応力分布を示す分布荷重を受ける単純梁に対しては下限を押さえている。

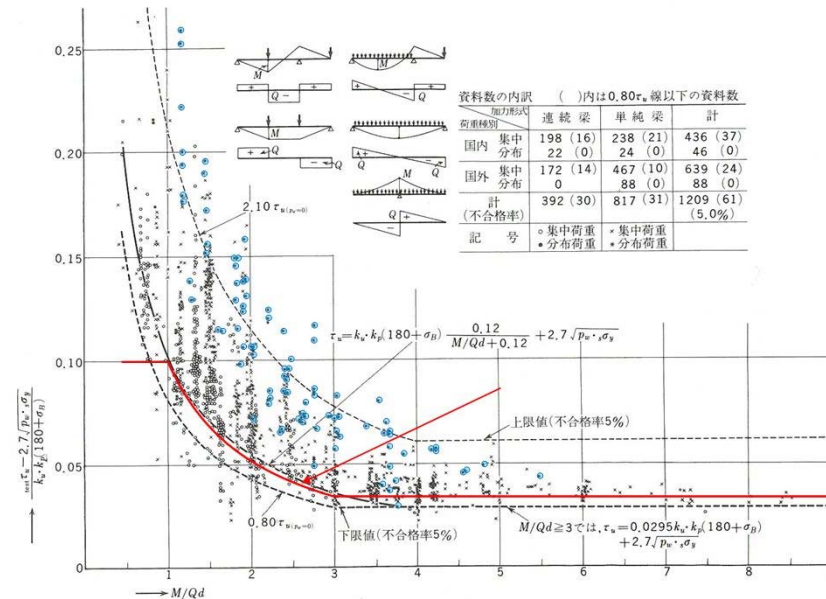


イメージ図



約290体の実験結果と荒川mean式の比較

「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, 昭和35年10月, pp437-440」より抜粋を抜粋・加筆

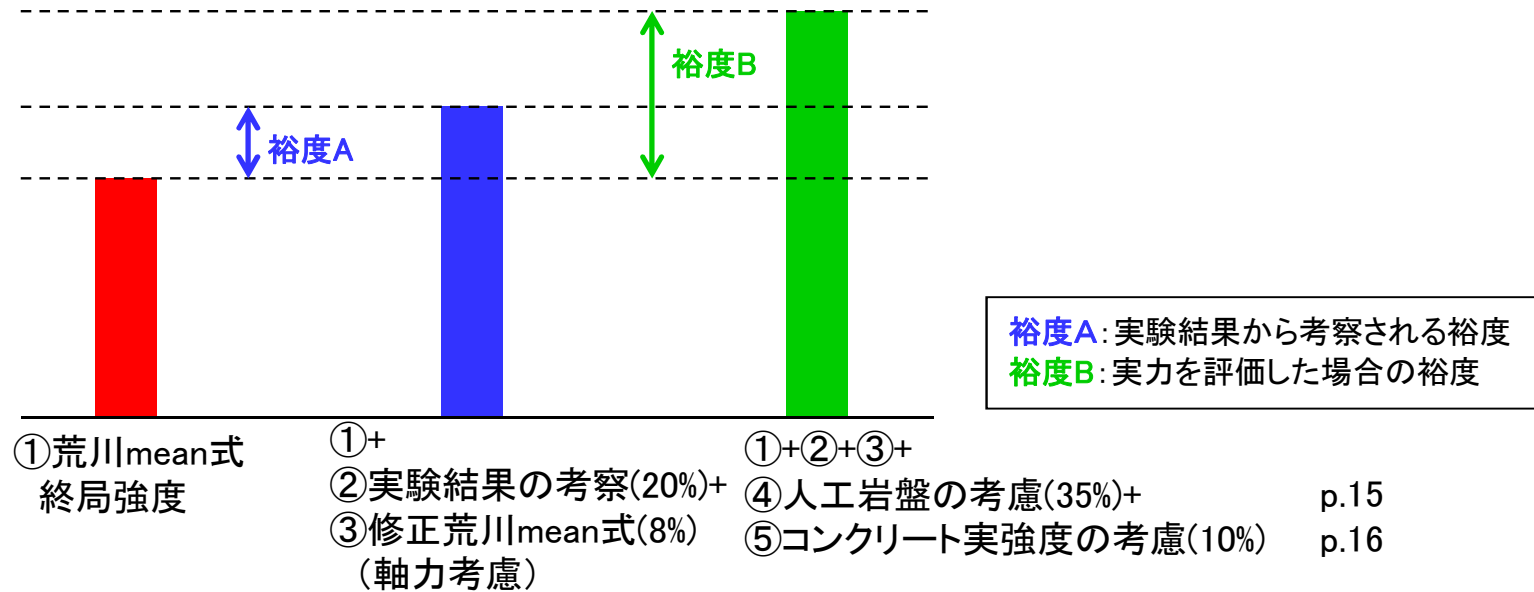


普通コンクリート梁のせん断破壊時における実験値と計算値の比較 (赤線は修正荒川mean式, 青丸は単純梁の分布荷重載荷)

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を抜粋・加筆

終局強度(荒川mean式)を適用した場合の裕度の整理

荒川mean式は梁の実験結果から規定されているが、板状の部材の場合はより裕度が高いと考えられる。	RC基礎スラブの面外せん断耐力に関する実験から、実機の各種パラメータを考慮した考察	20%程度の裕度	p.12
基礎スラブは軸力が作用しているが、荒川mean式は軸力による耐力増分が考慮されていない。	基礎スラブの軸力を考慮した場合(修正荒川mean式)の考察	+	
		9%程度の裕度	p.14
荒川mean式の実験結果から考察される裕度		30%程度の裕度	



基礎スラブの実験に基づく荒川mean式の裕度

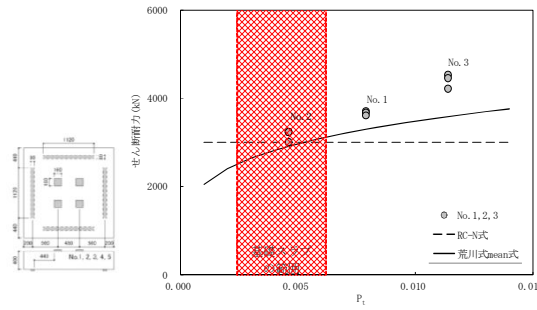
表 3-1 実験結果と荒川 mean 式の比較

試験体 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)	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	3275	1.13	1.12
1-2				3673		1.12	
1-3				3614		1.10	
2-1	0.46	0	1.56	3010	2995	1.00	1.05
2-2				3237		1.08	
2-3				3234		1.08	
3-1	1.14	0	1.56	4533	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	4474	1.35	1.27
6-2				5759		1.29	
6-3				5214		1.17	
7-1	0.79	0	1.89	2407	2328	1.03	1.02
7-2				2414		1.04	
7-3				2322		1.00	
8-1	0.79	0	1.56	3902	3290	1.19	1.18
8-2				3915		1.19	
8-3				3819		1.16	
平均						1.17	

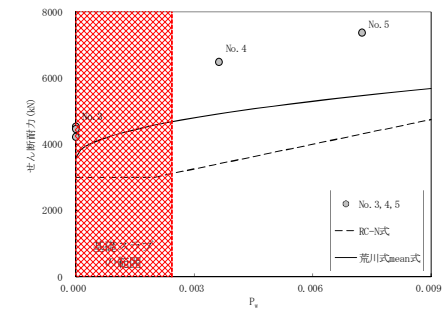
実験の基本ケースNo.1に対し、基礎盤の条件を踏まえた耐力への効果を整理し、裕度を算定する。

$$1.12 \times 0.94 \times 1.13 \times 1.05 \doteq 1.24$$

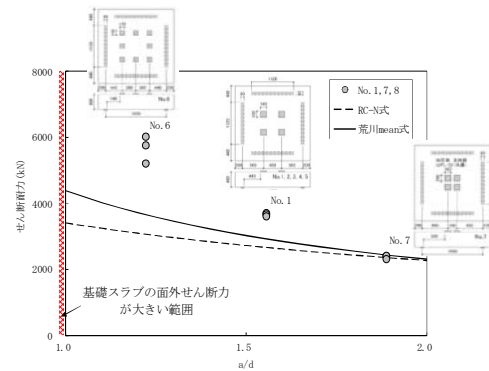
No.1 (基本ケース) (No.2/No.1) 主筋量 (No.6/No.1) せん断スパン比 (No.8/No.1) 支持形式



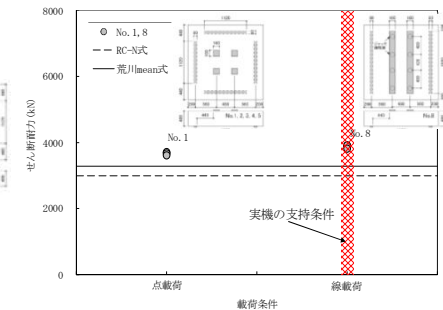
主筋比が小さいほうが、耐力が小さくなる。
せん断スパン比の効果 No.2/No.1=0.94



せん断補強筋が多いほうが、耐力が大きくなる。
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が大きくなる。
原子炉棟の応力集中部ではM/Qdが0.8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=1.13



点支持よりも線支持のほうが耐力が大きくなる。
支持方法の効果 No.8/No.1=1.05

実験のばらつきに対する信頼性 変動係数2.7%

$$1.24 \times (100-2.7)/100 \doteq 1.2$$

基礎盤の耐力は荒川mean式に対し1.2倍程度の裕度がある。

基礎スラブに発生する軸力の影響①

- 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。

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

荒川mean式

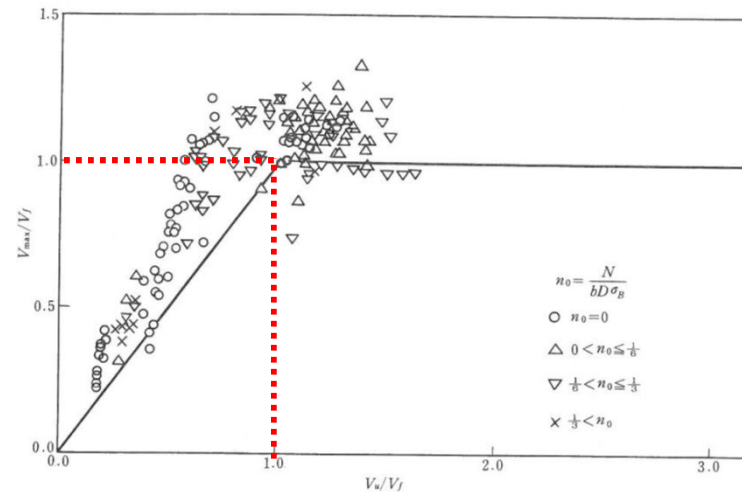
修正荒川mean式では軸力による耐力増加を考慮

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

p_t : 引張鉄筋比(%)
 F_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)
 M/Q : M , Q はそれぞれ強度算定時における最大曲げモーメント及びせん断力(ただし, $M/(Qd)$ は, $M/(Qd) < 1$ のとき1とし, $M/(Qd) > 3$ のとき3とする)(mm)
 d : 梁有効せい(mm)
 P_w : せん断補強筋の降伏強度(N/mm²)
 σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度(N/mm²)
 b : はり幅(mm)
 j : 応力中心間距離で $7d/8$ としてよい(mm)

修正荒川mean式と荒川mean式

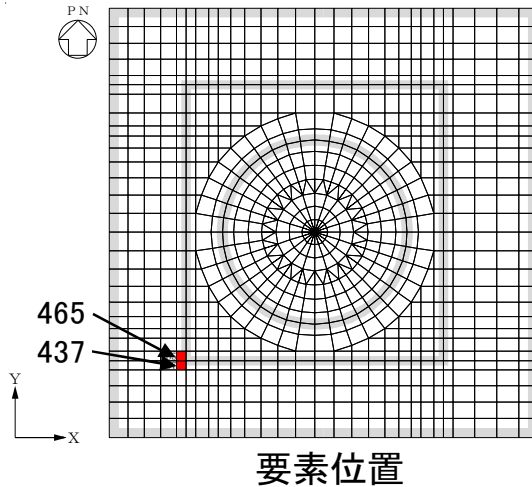
横軸及び縦軸が1.0以下となる領域が、せん断破壊が先行する試験体を示しており、実線の上側のプロットが修正荒川式によるせん断耐力を上回る試験体を示している。



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)

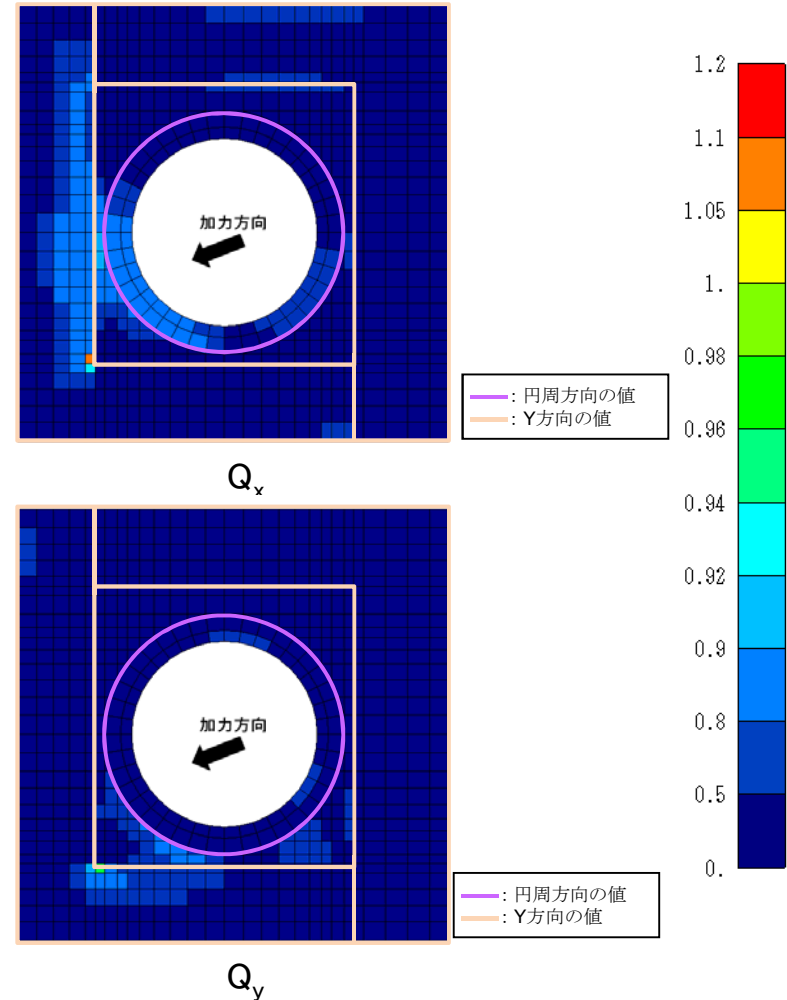
基礎スラブに発生する軸力の影響②

- 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値が0.9以上の要素においては、荒川mean式に対する修正荒川mean式の比率は、平均で約9%程度大きくなっている。



面外せん断の検定値が0.9以上の要素

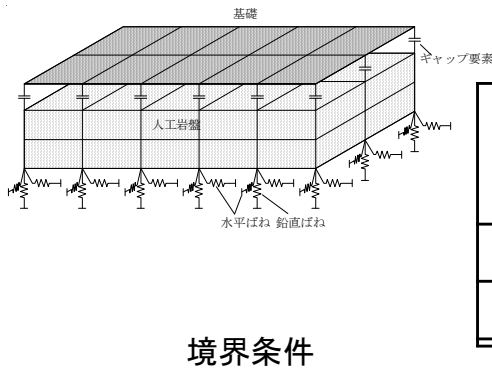
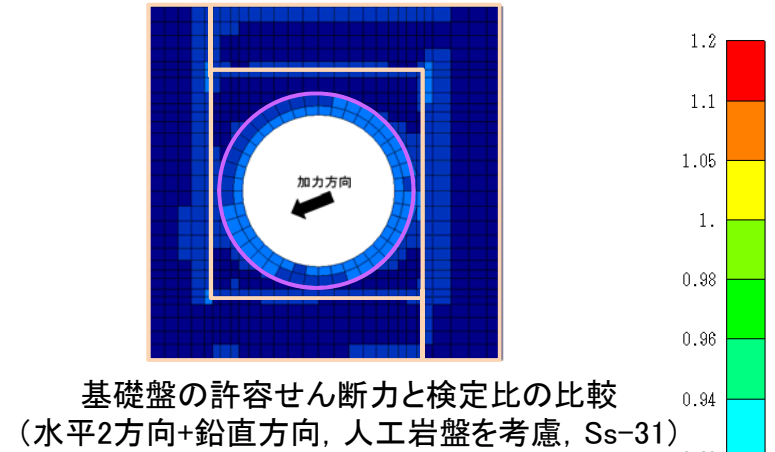
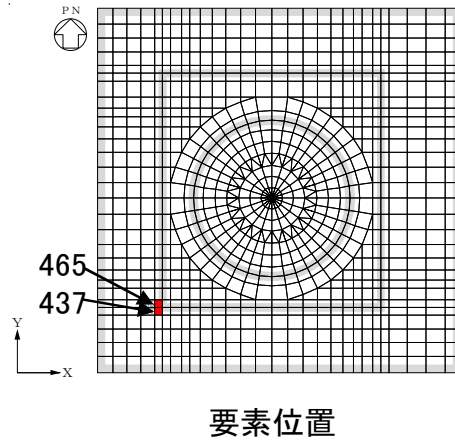
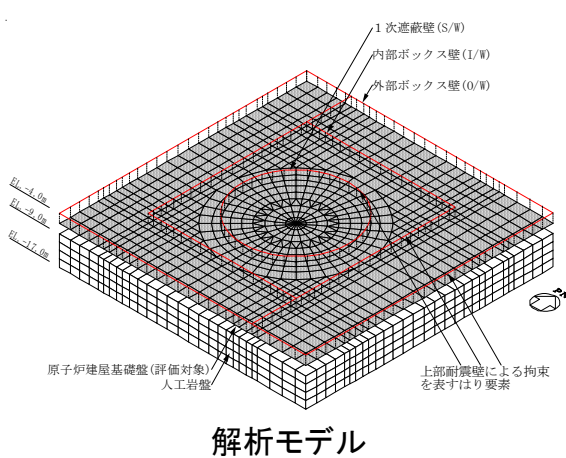
要素番号	検定値 (MMR無)	修正荒川式/荒川式
		MMR無
437	0.916	1.087
465	1.073	1.096
平均値		1.092



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)

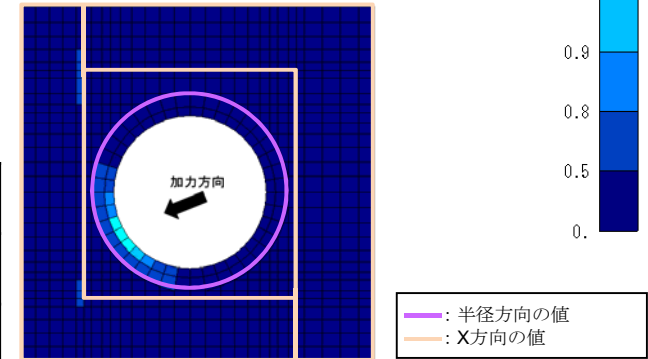
人工岩盤を考慮した場合の応力解析結果

- 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値が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30%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短期許容応力度(RC-N式)におさまる。



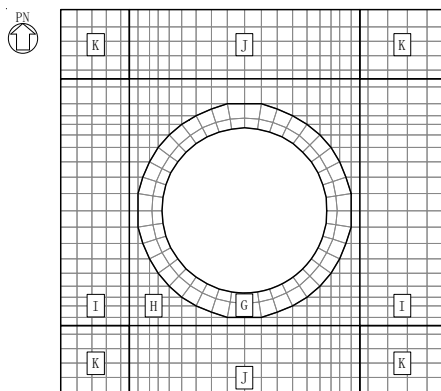
面外せん断の検定値が0.9以上の要素

要素番号	検定値 (MMR 無)	面外せん断力 (kN/m)			修正荒川式/ 荒川式	
		MMR 無	MMR 有	有/無	MMR 無	MMR 有
437	0.916	9255	5798	0.626	1.087	1.048
465	1.073	10842	6901	0.637	1.096	1.054
			平均值	0.632	1.092	1.051



実強度の効果

- 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 σ (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を示す。
- せん断補強筋が無い部位は約1.17倍, せん断補強筋がある部位は約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)			備考
				設計基準強度	実強度	増加率	
H~K	—	0.0	—	—	—	1.17	(29.1+18)/(22.1+18)
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	

＜本論点の経緯＞

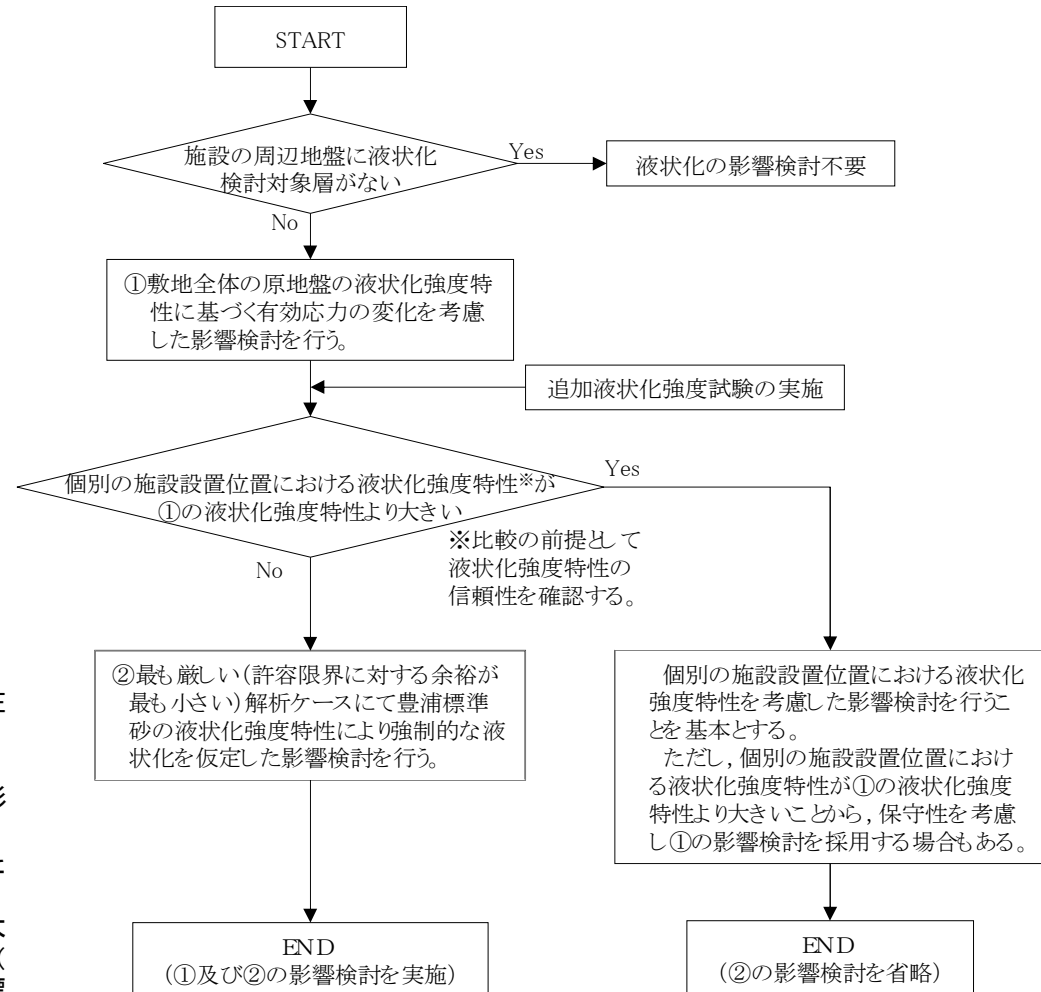
東海第二発電所敷地地盤の有効応力変化に応じた検討は、設置変更許可段階での液状化強度試験結果を基に設定した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性（ -1σ ）を用いている。この設置変更許可段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性（ -1σ ）及びこの液状化強度特性を用いた施設毎の液状化影響検討方針について以下のご指摘をいただいた。

＜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、豊浦標準砂に基づく液状化強度特性により強制的な液状化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が①の液状化強度特性より大きいことの確認ができた場合は、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ことを基本とする。ただし、保守性を考慮し、①の影響検討を採用する場合もある。

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、敷地の広い範囲に亘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による評価を実施する。

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)。

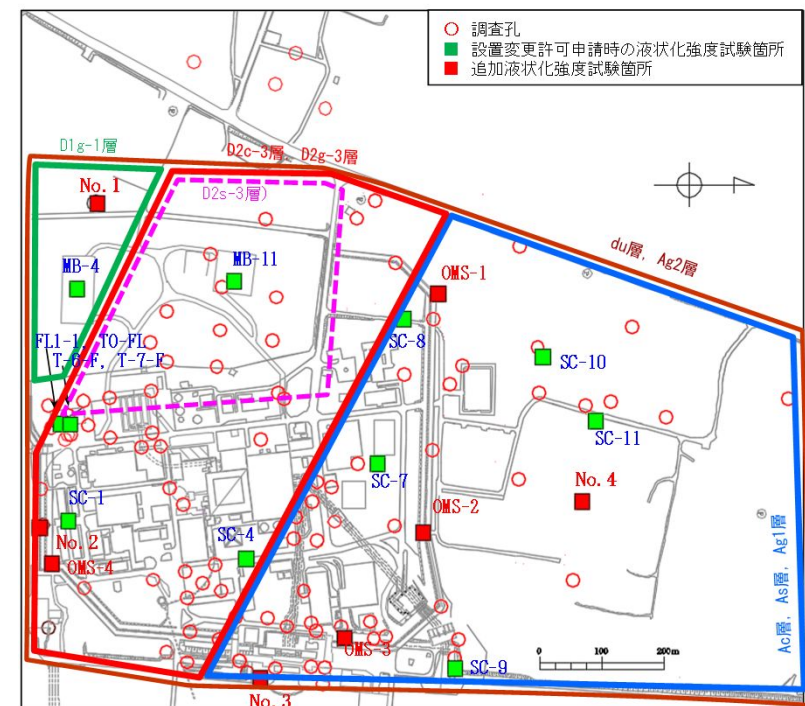
粘性土については、敷地の北部に分布する過圧密粘性土 (Ac層) に対して実施した液状化強度試験結果から液状化しない、すなわち非液状化層であることを確認した。

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Fc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ことと 試料採取に十分な層厚を有している箇所とした。

また、追加液状化強度試験箇所の選定には、上記の条件以外に、設置変更許可段階での液状化強度試験結果を踏まえ、

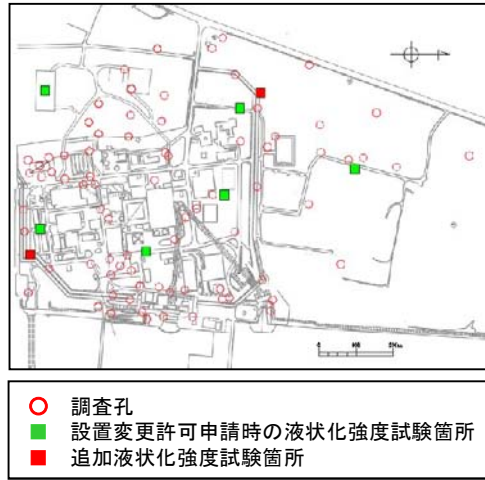
- ・液状化検討対象層の分布状況に対して必要な液状化強度試験データがあるかどうか
- ・耐震重要施設付近での液状化強度試験データがあるかどうか

について検討を行い、データ拡充が必要な液状化検討対象層及び液状化強度試験箇所を選定した。

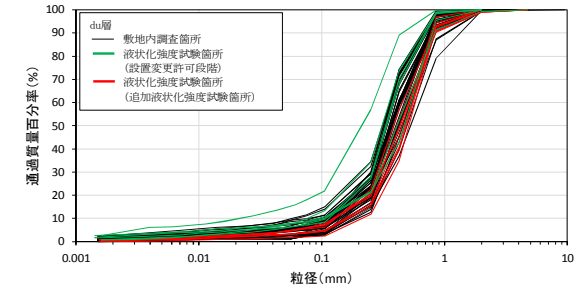
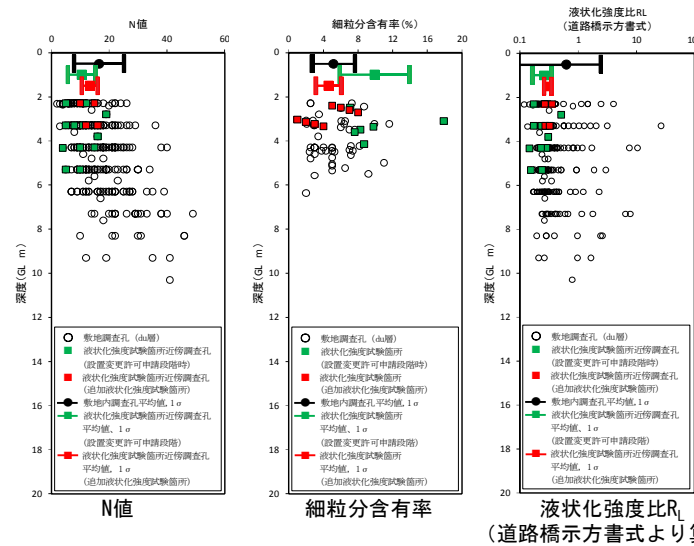


液状化検討対象層の分布範囲、敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所

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)

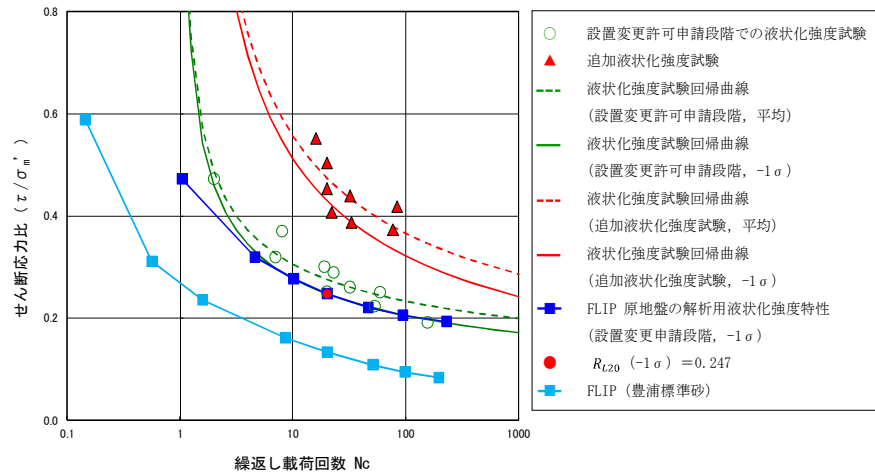


調査孔と液状化強度試験箇所 (du層)



粒径加積曲線 (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 より, 液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



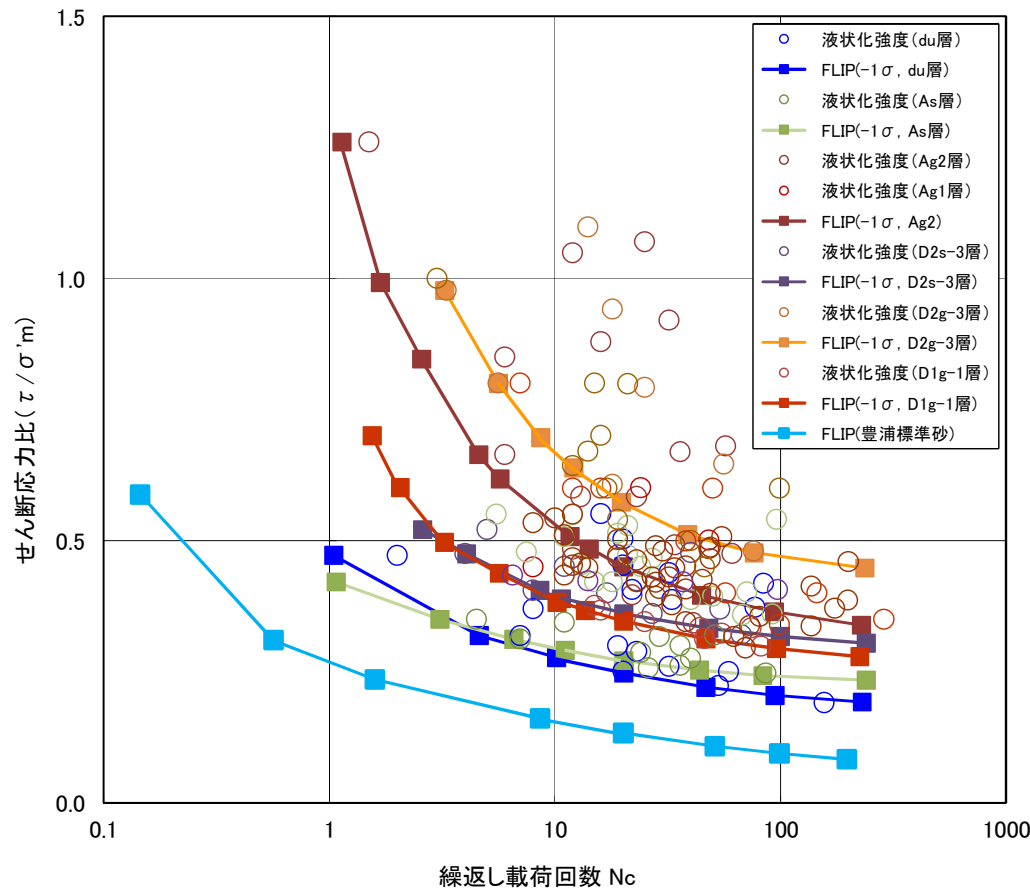
液状化強度試験結果 (du層)

- 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】

- 均一な粒径を持つ砂質土の液状化強度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。

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選定に問題がないことを確認した。
- 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FLIP解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性 (5/10)
 (建物・構築物の杭基礎の液状化影響検討)



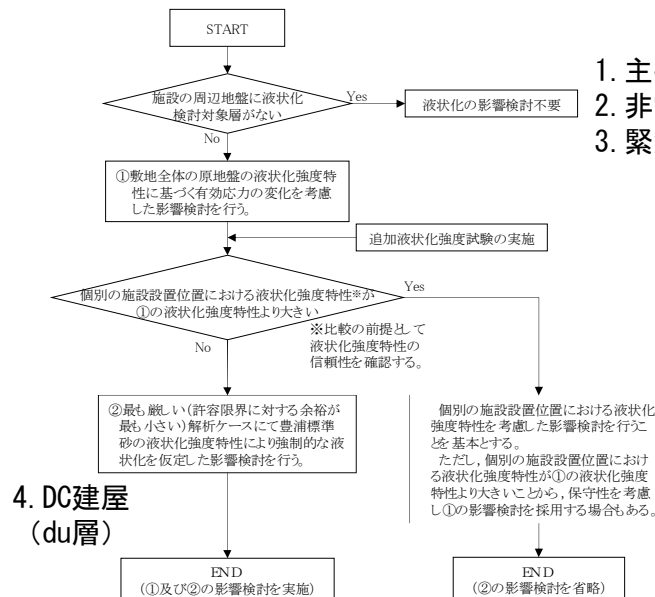
<回答2>

第562回審査会合において、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。

- 杭基礎を有する建屋について液状化影響検討を行い、健全性を確認した。

No.	項目	評価方針	地盤改良
1	主排気筒	・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
2	非常用ガス処理系配管支持架構	・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
3	緊急時対策所建屋	・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
4	使用済燃料乾式貯蔵建屋	・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
2. 非常用ガス処理系配管支持架構
3. 緊急時対策所建屋

個別の施設設置位置における液状化強度特性がないため、敷地全体の原地盤の液状化強度特性を用いた検討を実施しないこととし、地盤改良により液状化が生じさせないようにする。なお、杭周辺以外の液状化を仮定した液状化影響検討を行う。

4. 使用済燃料貯蔵建屋
 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、液状化しない場合の構造健全性を検討している。
 杭基礎の健全性評価のため、液状化影響検討を実施する。

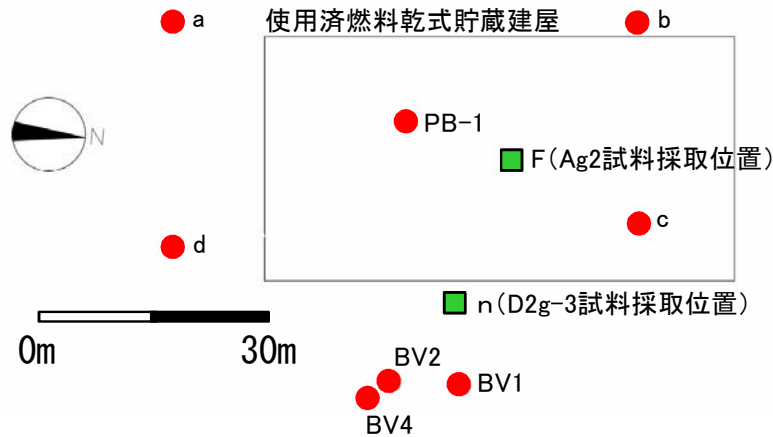
	$\tau_L / \sigma'z$	$\tau_d / \sigma'z$	FI	FI判定値	判定
du	12.0	1.12	10.7	1以上	OK
Ag2	35.8	1.05	34.2		OK
D2g-3	4.7	0.91	5.1		OK

4. DC建屋 (Ag2層、D2g-3層)

【論点6】 設置変更許可段階で示したFLIP解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性（6/10）
 （設置位置での液状化強度特性（試験位置の代表性））



- 液状化強度特性の信頼性として、試験位置の代表性と液状化強度特性の信頼性について検討した。

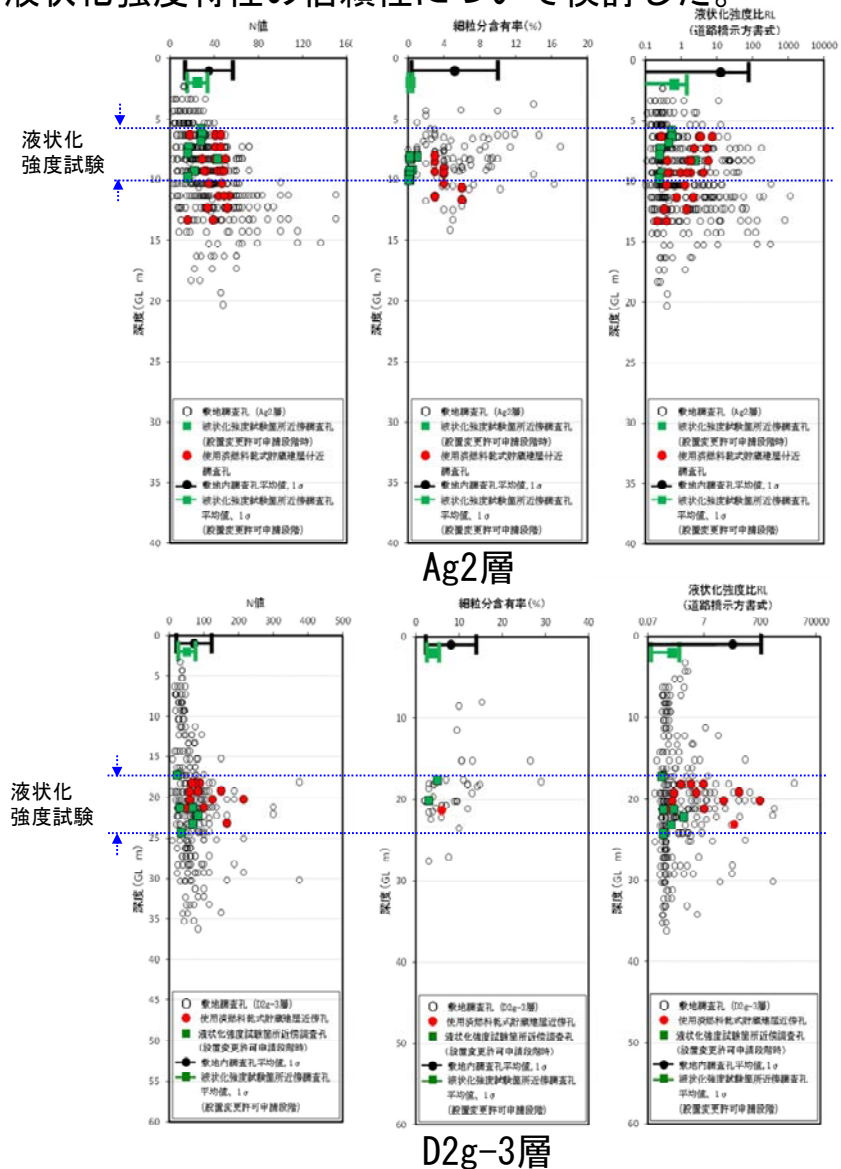


建屋近傍での標準貫入試験位置及び試料採取位置

標準貫入試験結果の比較

地層	建屋近傍	試験箇所近傍
Ag2層	40 (サンプル数25)	25 (サンプル数8)
D2g-3層	90 (サンプル数17)	51 (サンプル数6)

試験位置近傍でのN値，細粒分含有率，液状化強度比は、その他の位置での値と同程度かやや小さい傾向にあるため、試験位置は建屋近傍の地盤に対して代表性がある。



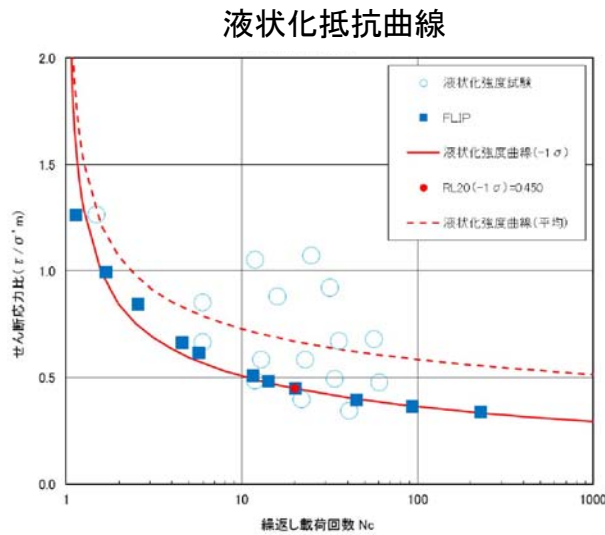
【論点6】 設置変更許可段階で示したFLIP解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性（7/10）
 （設置位置での液状化強度特性（液状化強度特性の信頼性））



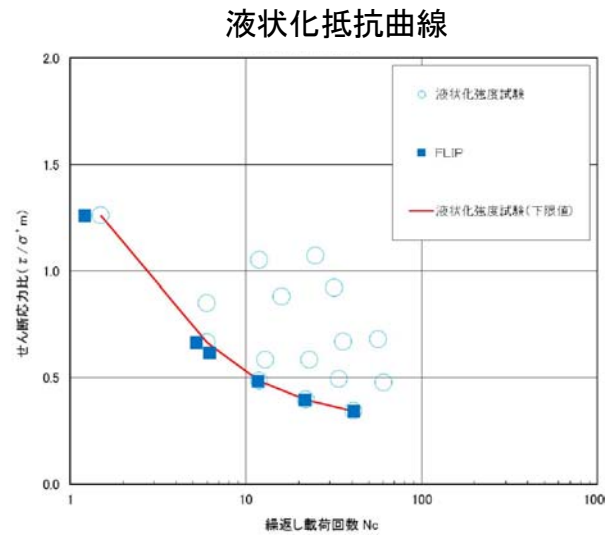
敷地全体の原地盤の液状化強度特性について、液状化強度試験の結果にばらつきを考慮し、 -1σ 相当の液状化強度曲線を目安として設定している。

Ag2層：有効応力解析（以下FLIP解析という。）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。

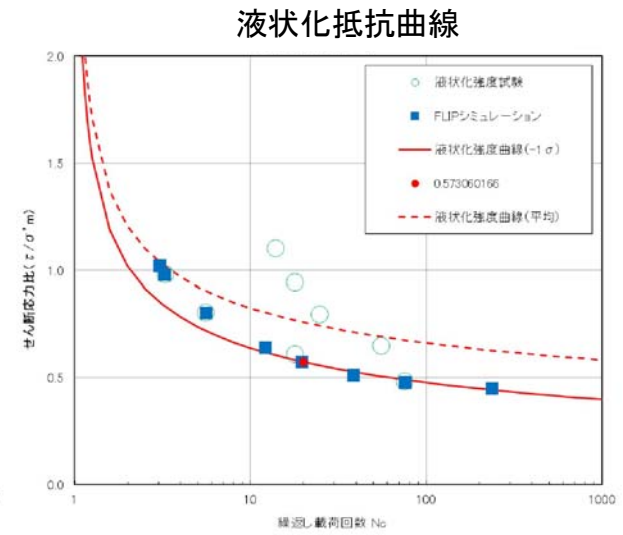
D2g-3層：FLIP解析結果が試験データの下限を包絡しており信頼性があることを確認した。



Ag2層（ -1σ 相当）

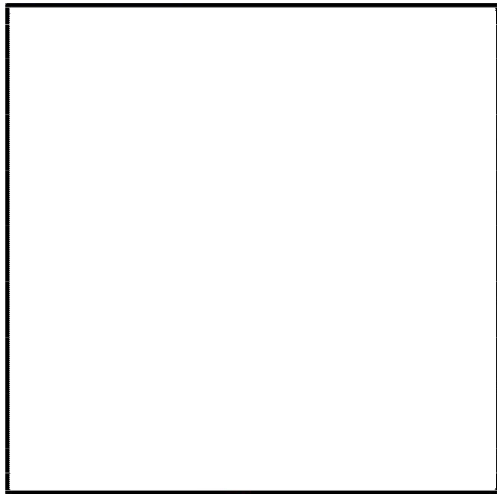


Ag2層（下限）



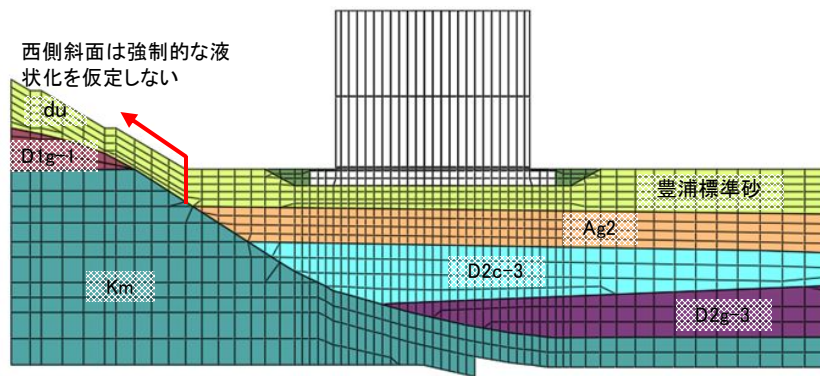
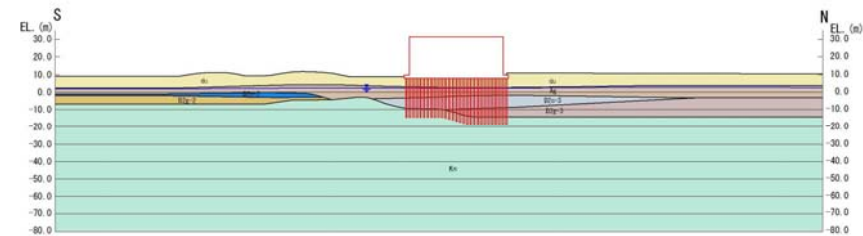
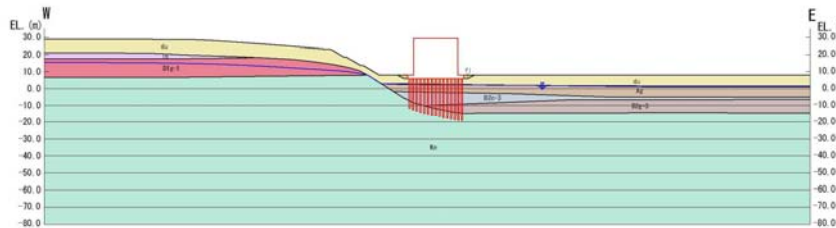
D2g-3層（ -1σ 相当）

【論点6】 設置変更許可段階で示したFLIP解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性 (8/10)
 (使用済燃料乾式貯蔵建屋の液状化影響検討)

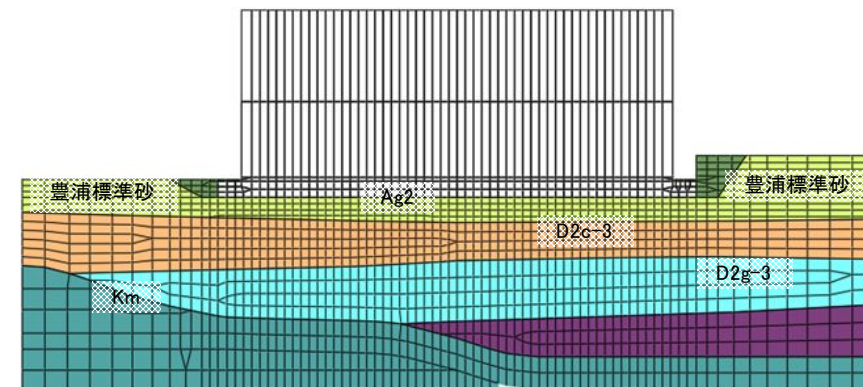


適用する液状化強度特性

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	D2g-3		
3	du (西側斜面以外)	豊浦標準砂	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、
7	D1g-1		斜面には強制的な液状化を仮定しない。



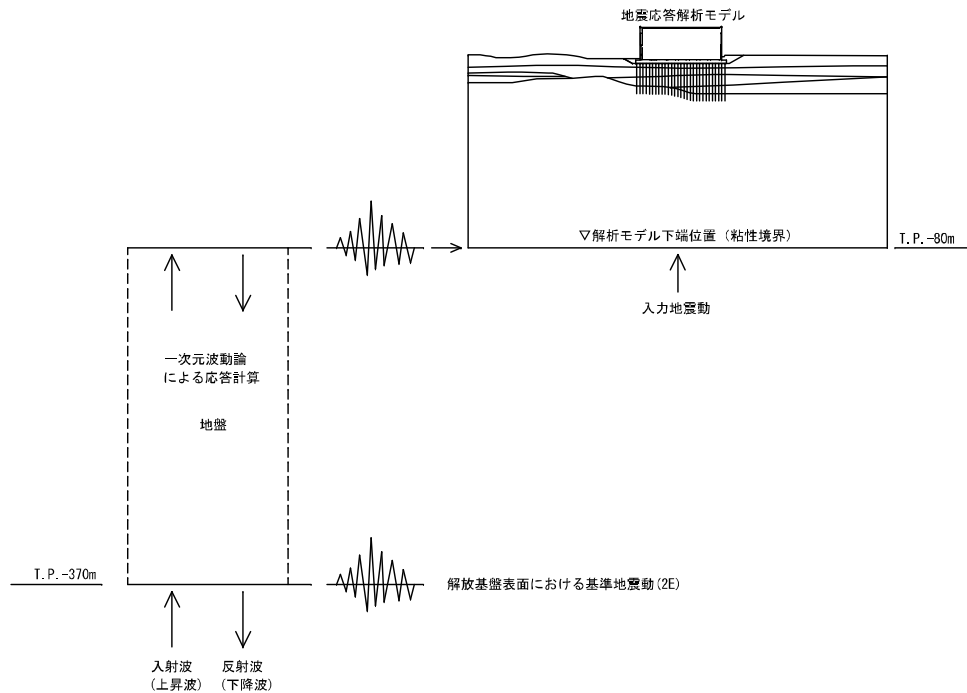
EW断面



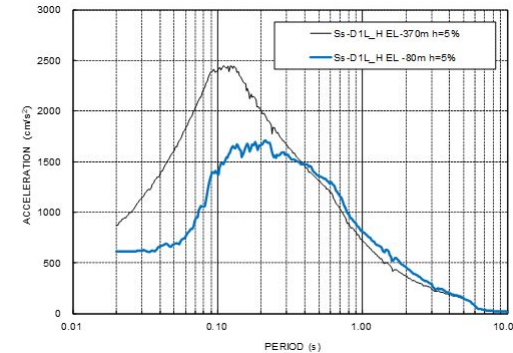
NS断面

■ 有効応力解析概要

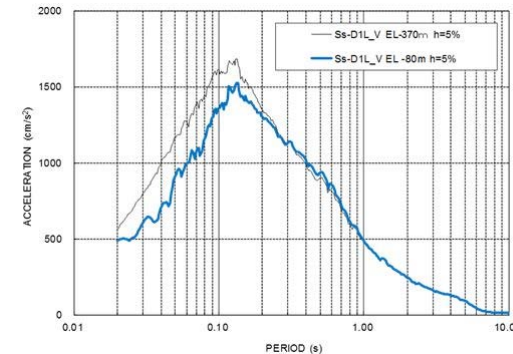
有効応力解析において、建屋周辺のEL-80m以浅をモデル化する。解析モデルへの入力地震動は、下図に示すように解放基盤表面(EL-370m)で定義される基準地震動を一次元波動論によって有効応力解析モデルの底面位置(EL-80m)で評価した応答波を用いる。本検討で用いる基準地震動は、主要動の継続時間が最も長いSs-D1を代表として選定する。水平及び上下方向の入力地震動を同時に入力する。算定した入力地震動を以下に示す。



入力地震動算定の概念図



水平方向



上下方向

基準地震動と解析モデル底面位置での
 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較

■ 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。

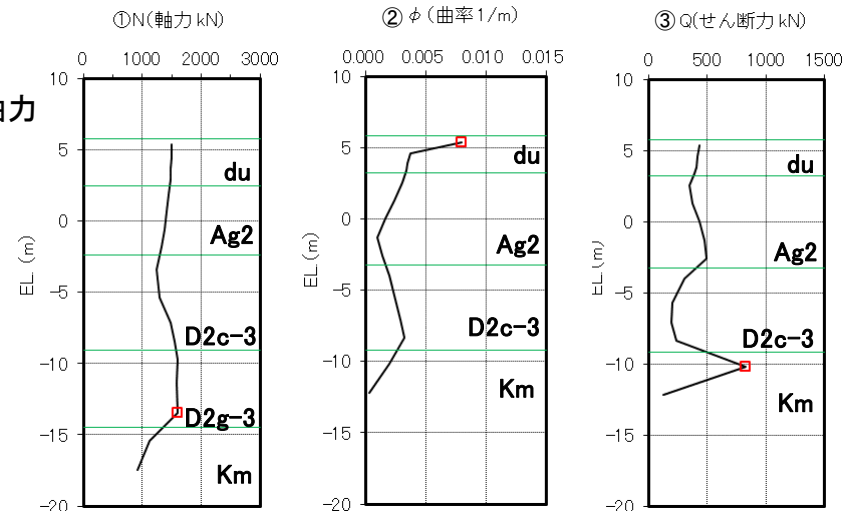
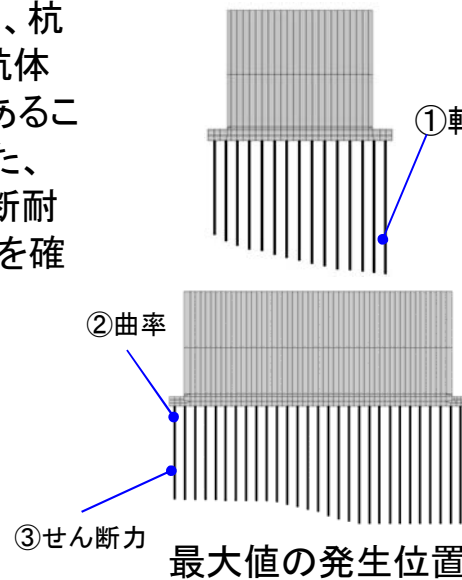
2. 鋼管杭に対する許容限界

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。

■ 杭の健全性評価結果

FLIP解析で得られた杭の最大応答値の一覧を以下に示す。

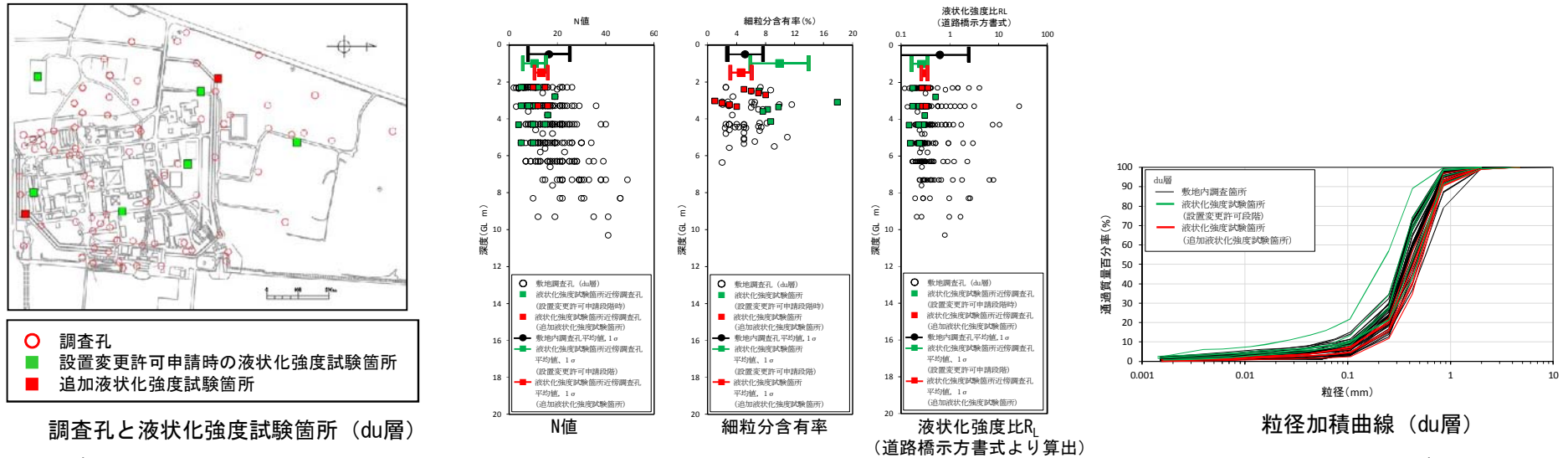
No.	① N(軸力)	② ϕ (曲率)	③ Q(せん断力)
方向	EW	NS	NS
杭位置	東端の杭	南端の杭	南端の杭
発生値	1610 (kN)	0.00800 (1/m)	823(kN)
許容限界	2740 (kN)	0.0154 (1/m)	2350 (kN)



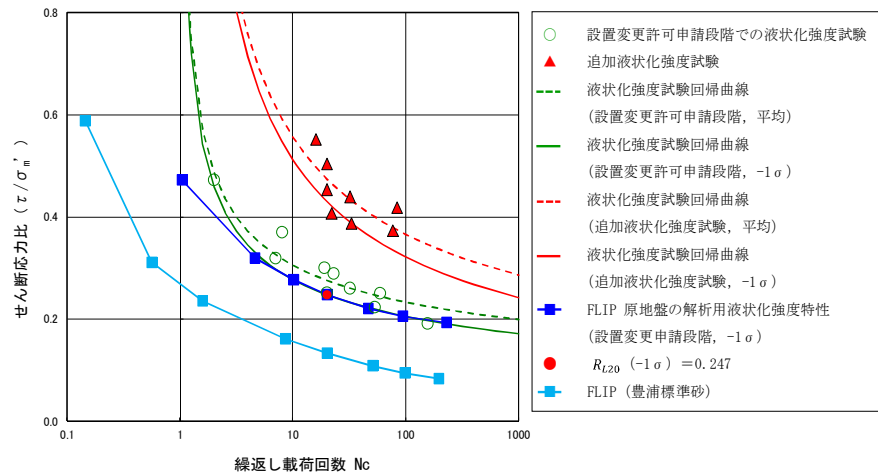
杭応力及び杭曲率の深さ方向分布

■ 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。

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)



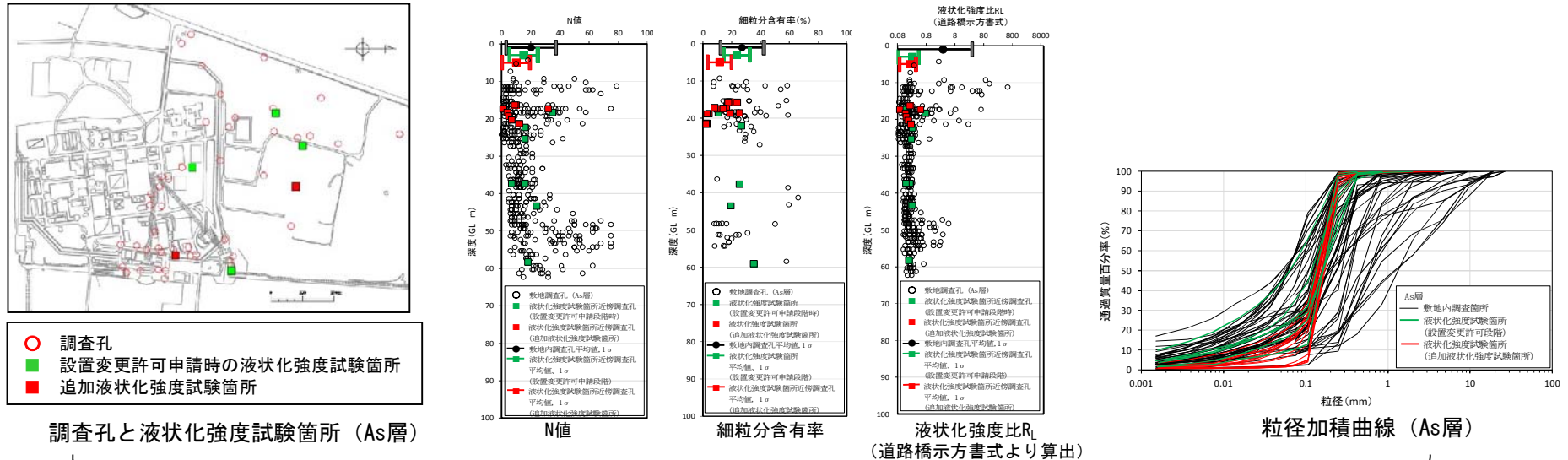
液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L より、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



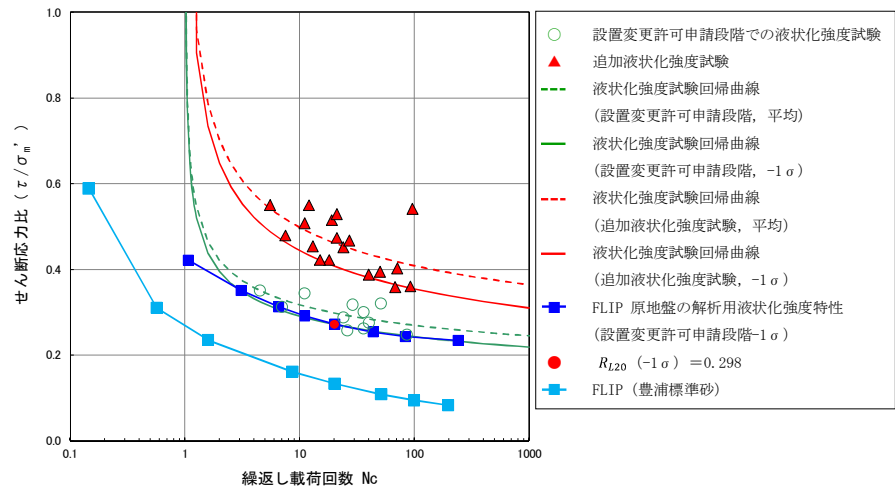
- du層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) よりも大きいことから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した。
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のdu層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した。

- 【液状化強度試験結果のバラツキについて】
- 均一な粒徑を持つ砂質土の液状化強度に影響を及ぼす地盤の物性値はN値及び粒徑(細粒分含有率 F_c , 平均粒徑 D_{50})が挙げられる。
 - du層は、砂が主体の均一な粒徑を示す。
 - 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値及び平均粒徑 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)



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

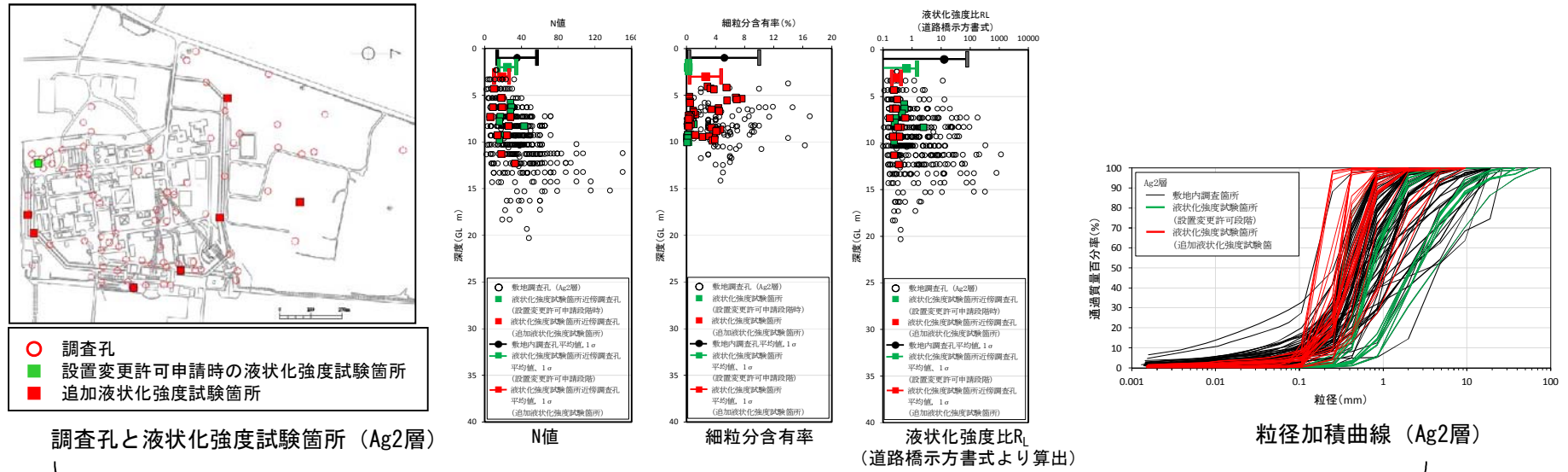


液状化強度試験結果 (As層)

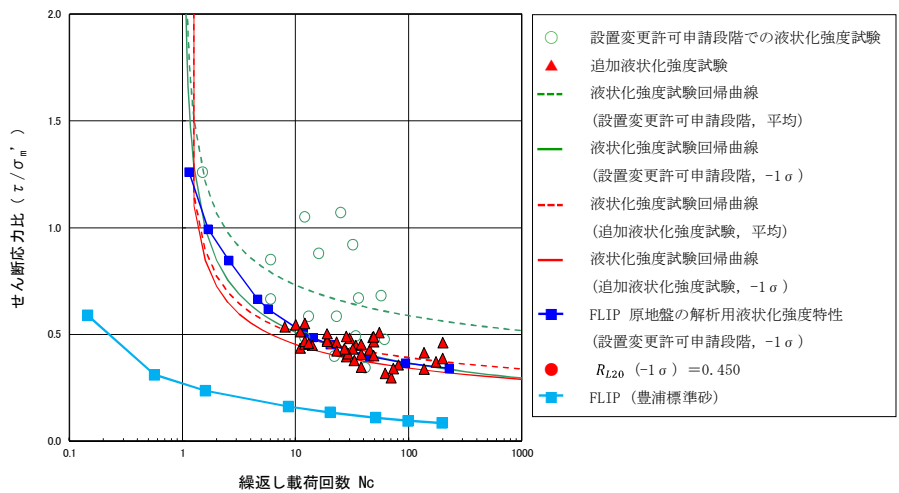
- As層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) よりも大きいことから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のAs層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した。

- 【液状化強度試験結果のパラッキについて】
- 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_{cl} 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 より液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



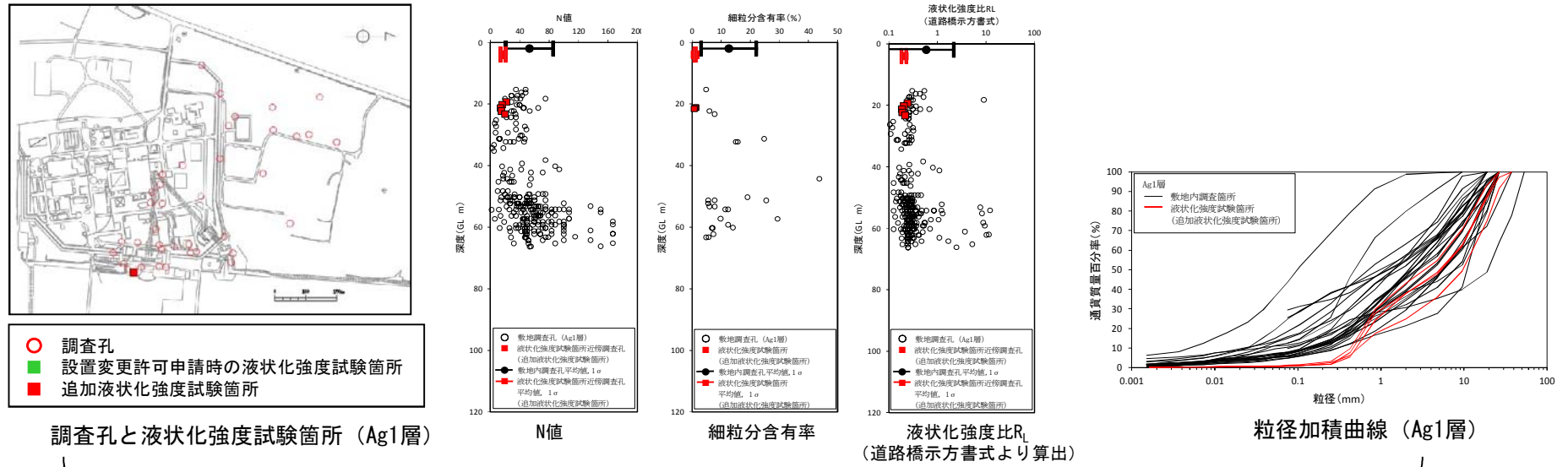
液状化強度試験結果 (Ag2層)

- 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。

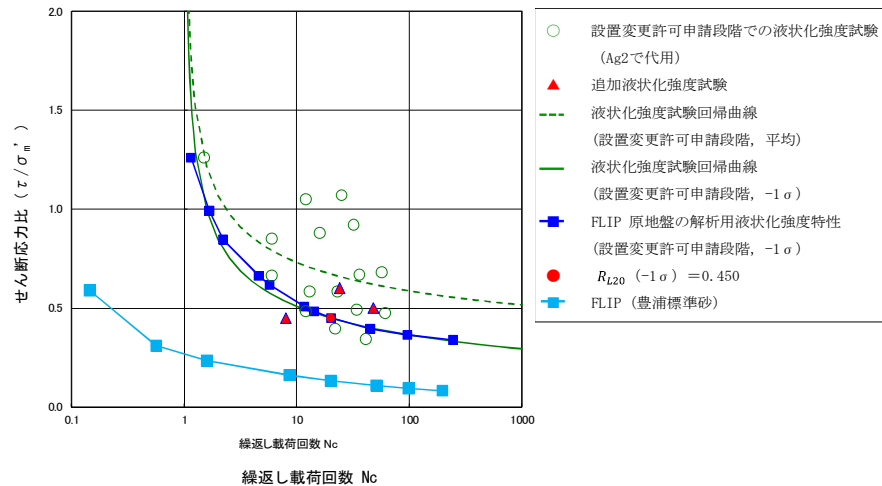
【液状化強度試験結果のバラツキについて】

- 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、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)



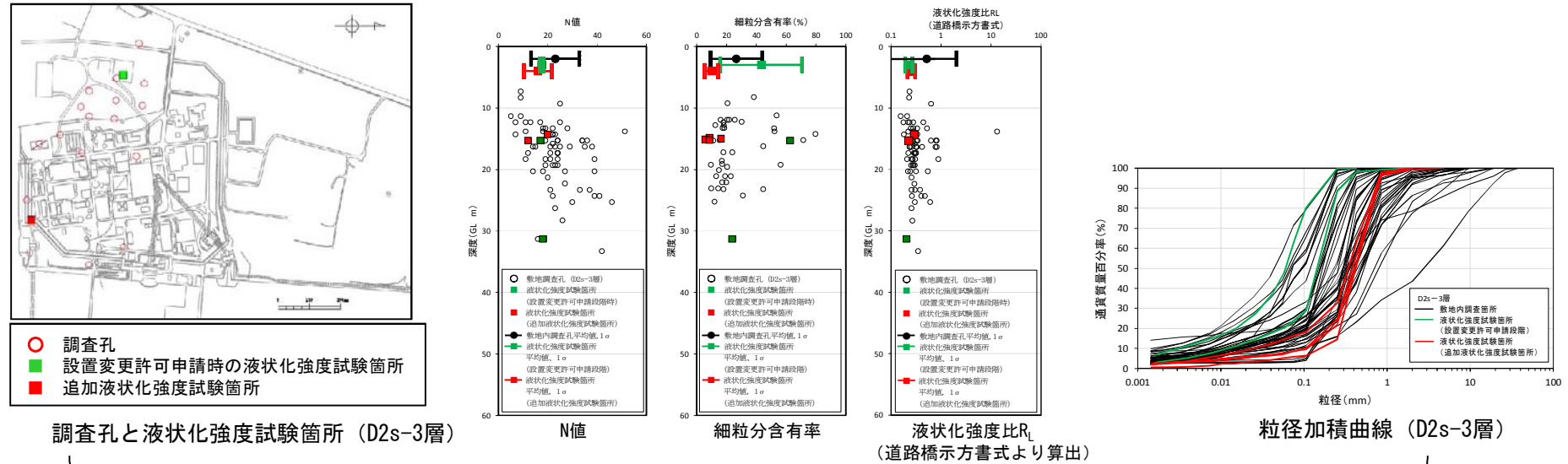
液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L より、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



液状化強度試験結果 (Ag1層)

- 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。

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)



調査孔と液状化強度試験箇所 (D2s-3層)

N値

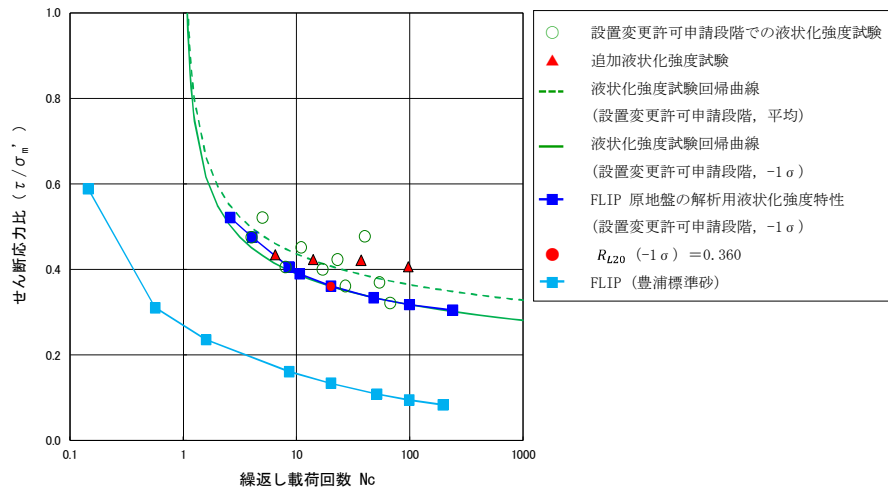
細粒分含有率

液状化強度比 R_L

(道路橋示方書より算出)

粒径加積曲線 (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 より、液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認

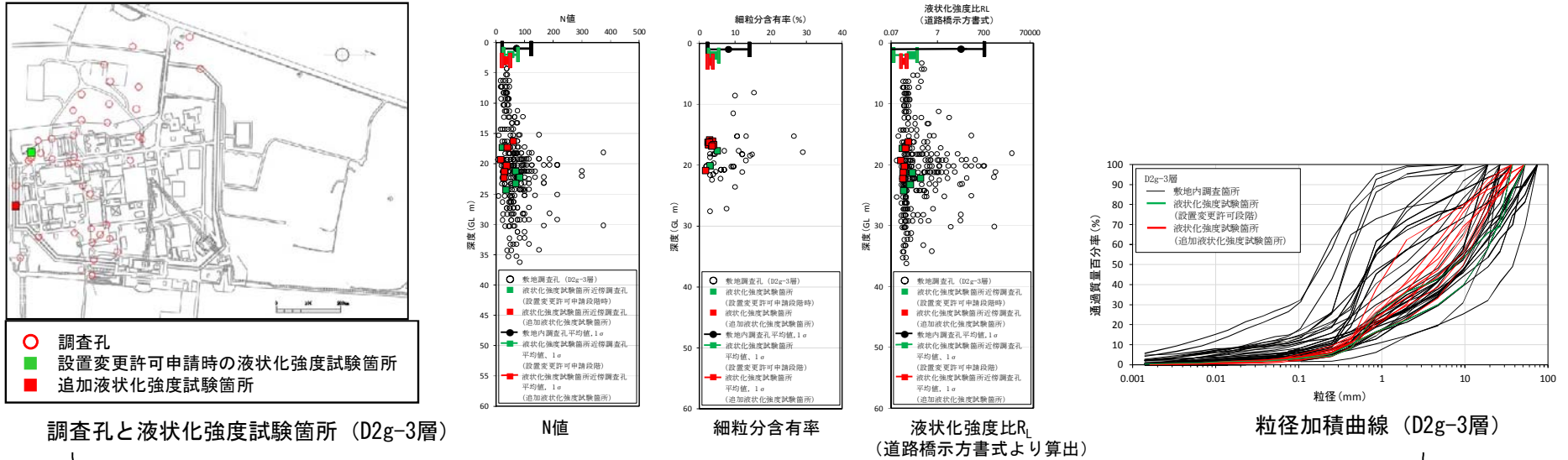


液状化強度試験結果 (D2s-3層)

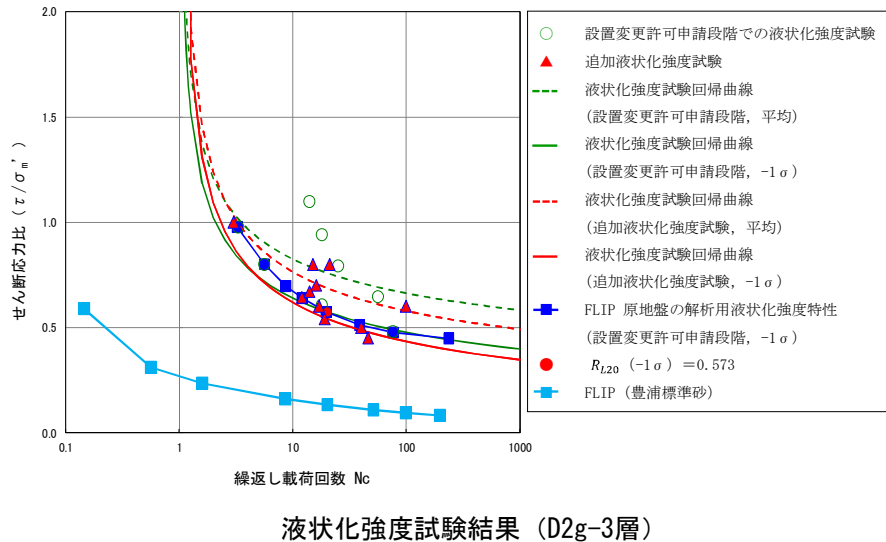
- D2s-3層の追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) と概ね同様な傾向を呈することから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は、代表性を有することを確認した
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、原地盤のD2s-3層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した

- 【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_c は、設置変更許可申請段階より小さく、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、設置変更許可申請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)



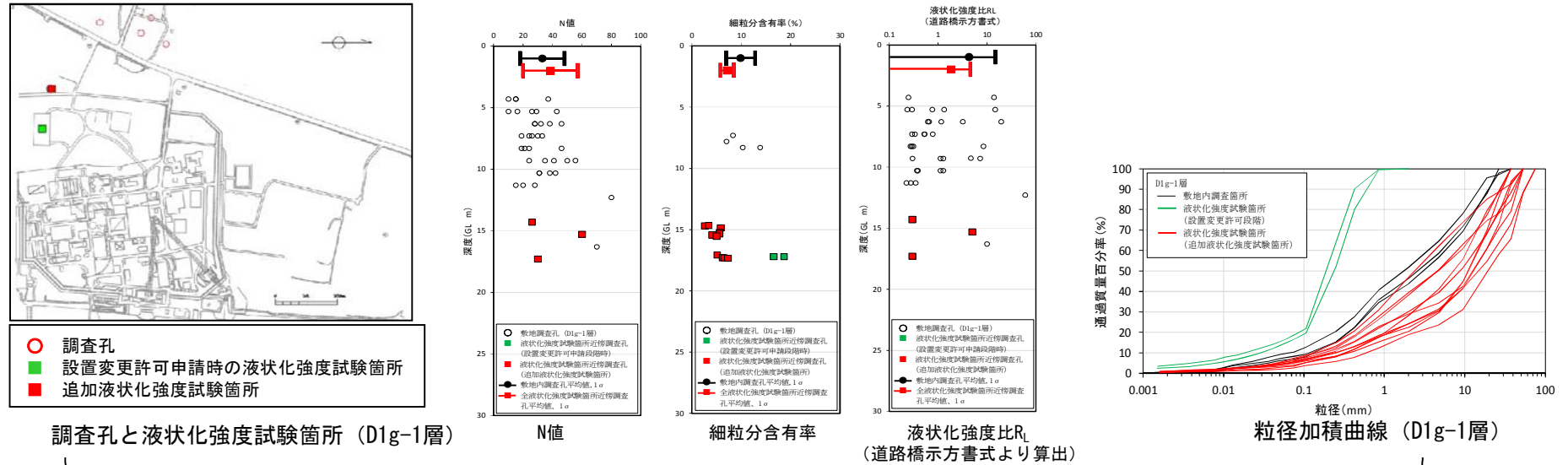
液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査孔平均 R_L より, 液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認



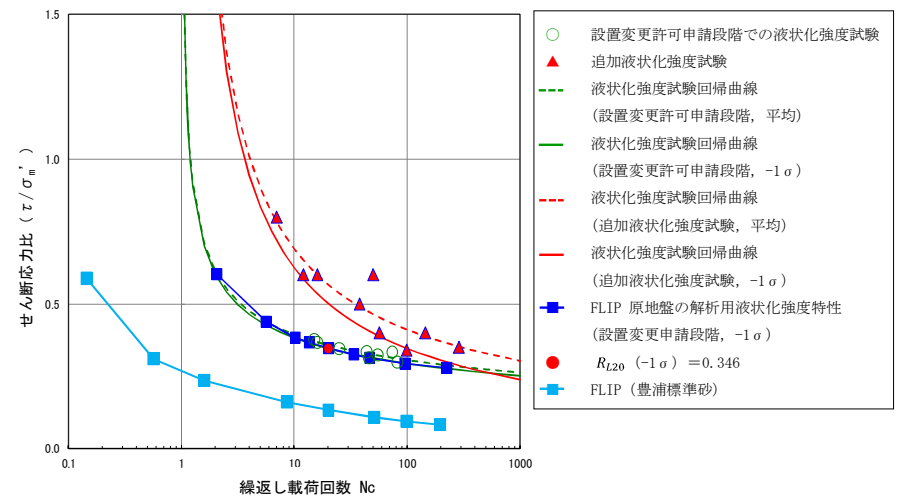
- D2g-3層の追加液状化強度試験結果は, 設置変更許可申請段階で示した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) よりもわずかながら小さいものもあるが, その差は小さく, 同様な傾向を呈することから設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性 (-1σ) は, 代表性を有することを確認した
- 敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は, 原地盤のD2g-3層の液状化強度試験結果よりも十分に小さいことを確認した。

- 【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_{cl} 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が主体の礫質土である。
 - 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, 設置変更許可申請段階における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 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】 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、「直性定着式アンカーボルトを津波防護施設として初めて適用することから、作用する荷重の伝達挙動をよく把握することが目的であり、その主旨をよく理解して評価を進めること」という指摘があったため、当該ご指摘を踏まえ3次元解析（COM3）の解析結果を説明するものである。



図1 鋼製防護壁の配置図

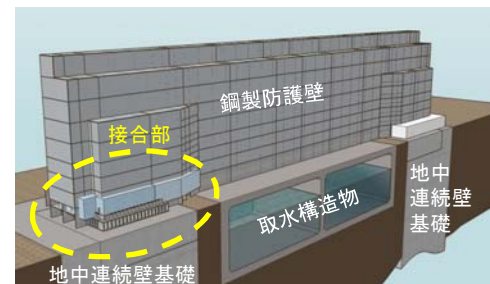


図2 鋼製防護壁の鳥瞰図

表1 接続部の設計上の役割

部材名	設計上の役割
中詰め鉄筋コンクリート ($\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	鋼殻内部の鉄筋コンクリートで、水平方向のせん断力と水平回転モーメントを頂版鉄筋コンクリートに伝達する。
アンカーボルト(SM520B相当)	引抜き力を頂版鉄筋コンクリートに伝達する。
頂版(フーチング)鉄筋コンクリート ($\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$)	水平方向のせん断力と水平回転モーメントを地中連続壁基礎及び中実鉄筋コンクリートに伝達する。
地中連続壁基礎 及び 中実鉄筋コンクリート ($\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$)	地中連続壁基礎は、基礎外面を形成し基礎の主要部材となる。 中実鉄筋コンクリートは、地中連続壁基礎内部の鉄筋コンクリートで、地中連続壁基礎と一体となって発生断面力を負担する。
根巻き鉄筋コンクリート ($\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$)	アンカーボルト頭部の防食などを目的とした鉄筋コンクリート。非構造部材として設計する。

頂版鉄筋コンクリート、中詰め鉄筋コンクリートと地中連続壁基礎(中実鉄筋コンクリートを含む)は鉄筋により結合して一体構造とする。



図3 上部・下部構造の接合部の構造

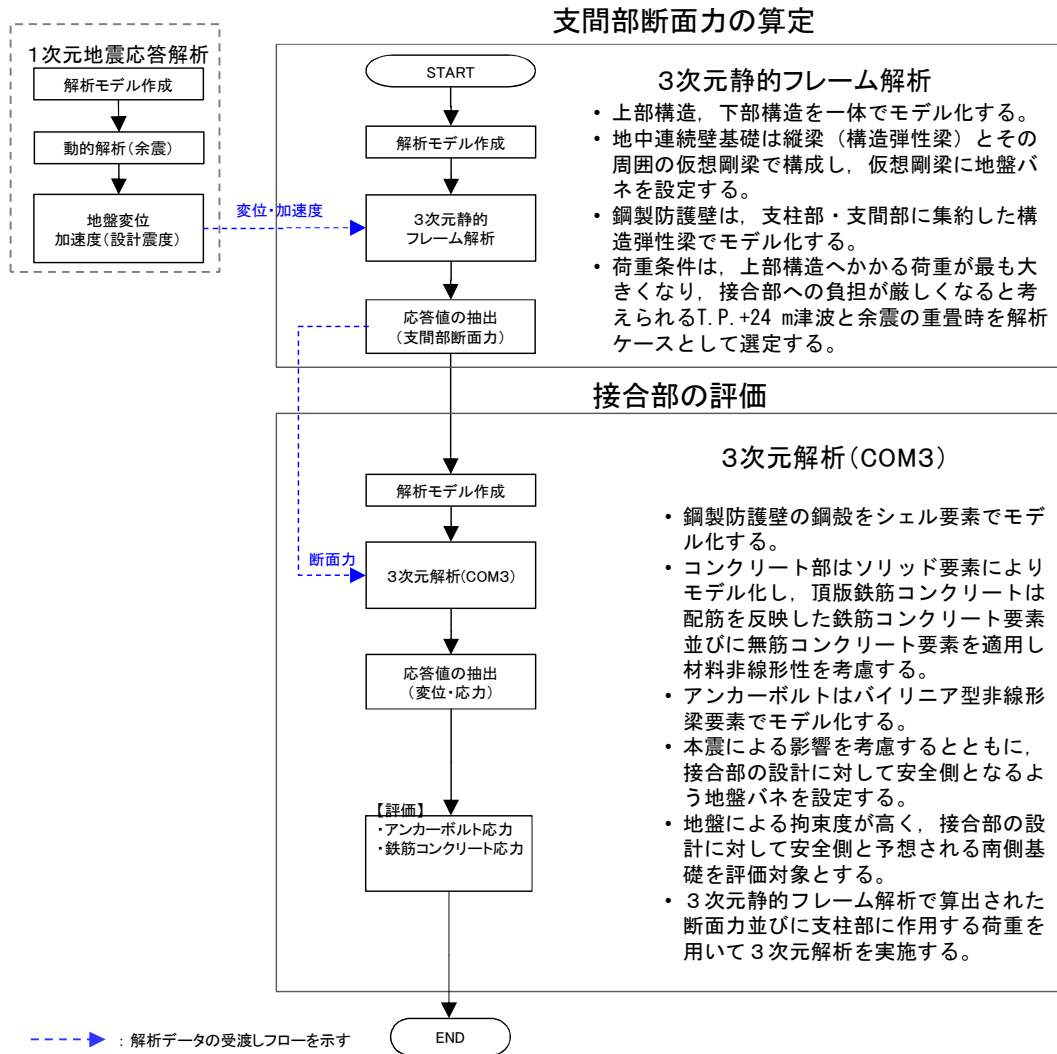


図4 検討フロー

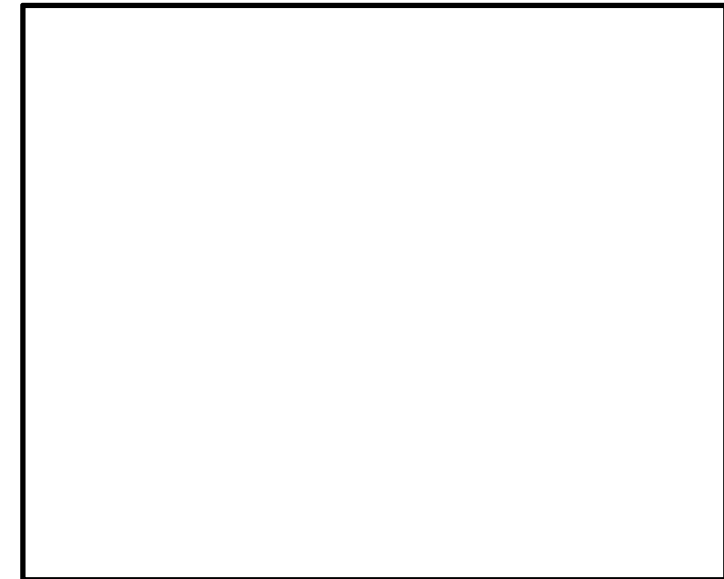


図5 3次元静的フレーム解析モデルの概念図

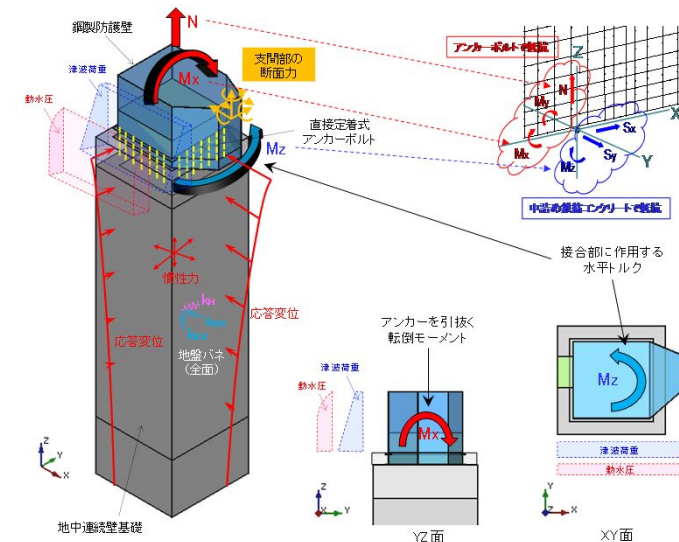


図6 3次元解析モデルの概念図

直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性確認

設計荷重(T.P.+24 m津波と余震の重畳時)に対するアンカーボルト及びアンカー一部に発生応力が許容限界以下であることを確認した。また、発生応力が「鋼構造物設計基準」の適用範囲内であることを確認した。

◆アンカーボルトの応力(曲げ軸応力)

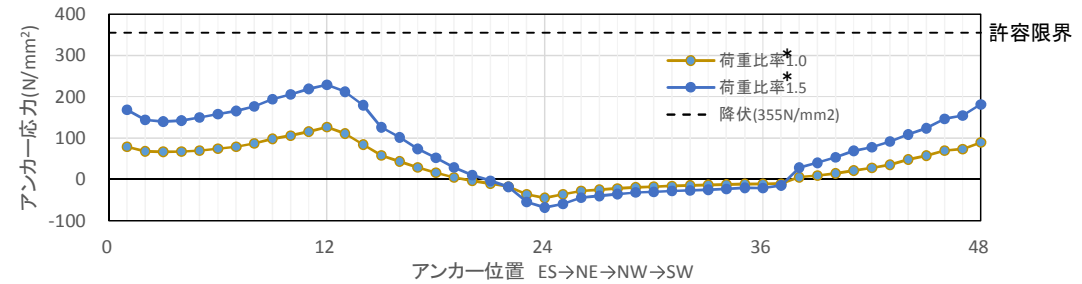
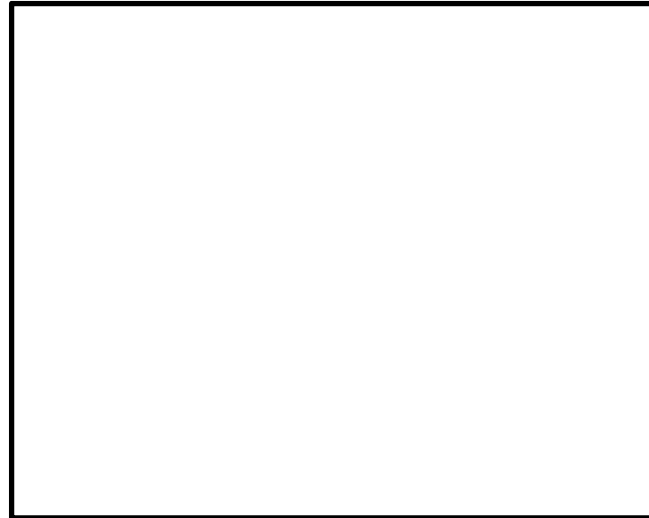


図7 頂版上端位置でのアンカーボルトの曲げ軸応力

* : 荷重比率:設計荷重を1とした場合の比率

◆アンカー一部の応力の深度分布(引抜き力)

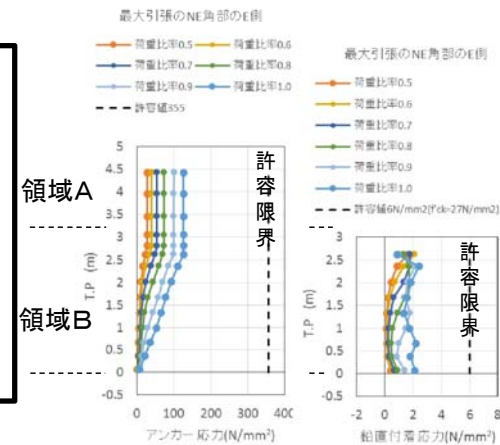
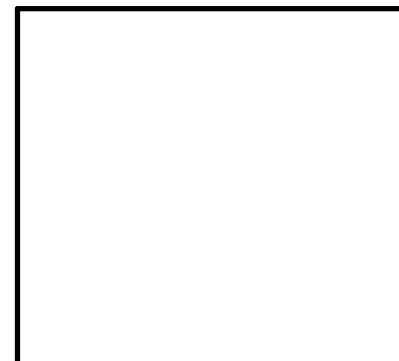
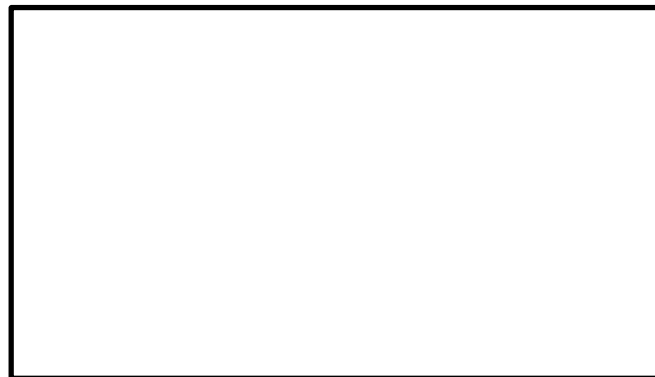


図8 アンカー一部応力図
(最も引抜き応力が大きいNE角部(No.12))

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（6 / 6）



接合部の設計方法の妥当性の確認

- ① 接合部の設計は、各部材毎に弾性範囲内で設計するが、部材が一体となった3次元構造において6成分の荷重が同時に作用した場合においても、設計荷重（T.P.+24 m津波と余震の重畳時）に対する各部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。
- ② 3次元解析（COM3）により6成分の荷重が同時に作用した場合においても、アンカーボルトに生じる引張り応力が弾性範囲内に収まっていることを確認した。

	部 位	照 査 項 目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力 N/mm ²	照 査 値 (発生応力/許容限界)	判 定	
引抜き力 (M_x, M_y, N)	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	
		コーンせん断(鉄筋補強筋)	339.9	125	0.37	OK	
水平力 (S_x, S_y)	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	478.5	362	0.81	OK	
		頂版鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	32	27	0.84	OK
			鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	316	0.93	OK
	鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)		478.5	314	0.65	OK	
	水平回転モーメント (M_z)	中詰め鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	34	15	0.44	OK
			鉄筋応力 (水平力によるせん断応力)	339.9	167	0.49	OK
鉄筋応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)			478.5	346	0.72	OK	

* 荷重条件： T.P. +24 m津波と余震の重畳時

設計荷重を超える荷重を仮想した場合に対する検討

- ① 設計荷重を超える荷重を仮想した場合に対して、荷重伝達メカニズムと3次元挙動を把握した。
- ② 設計荷重を超える荷重を仮想した場合に対しても十分な靱性を有する構造であることを確認した。

◆荷重～変位関係

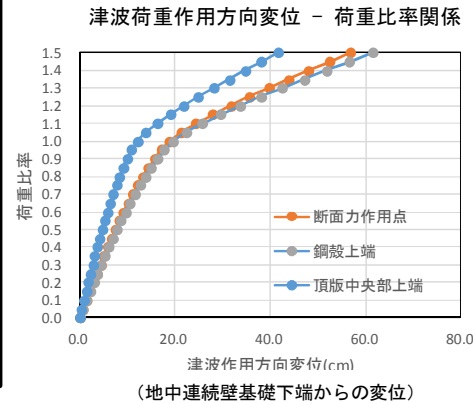


図9 津波作用方向変位と津波時荷重比率の関係

◆頂版部及び中詰め部の鉄筋の引張り応力



◆アンカーボルトの曲げ軸応力

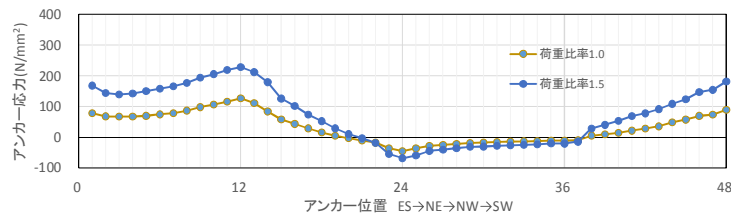


図10 頂版上端位置でのアンカーボルトの曲げ軸応力

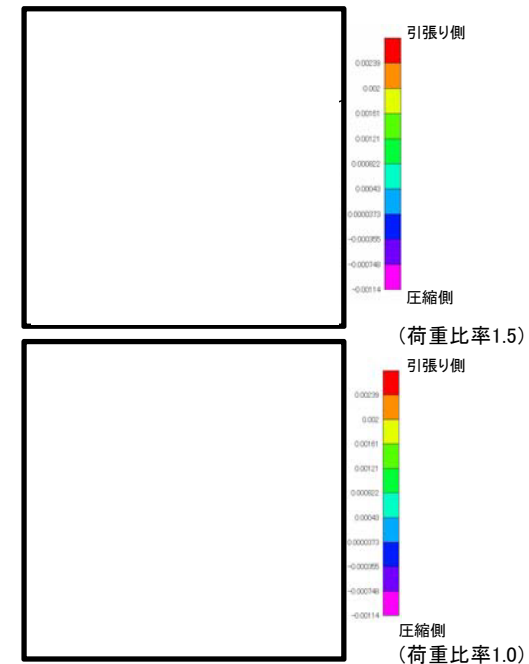


図11 中詰め鉄筋コンクリート貫通鉛直筋のひずみコンター

1. 概要（背景及び確認が必要な事項）

直接定着式アンカーボルトは、道路・橋梁施設において多くの適用実績があるものの、津波荷重による水平力による大きなせん断力及び水平回転モーメントを受ける津波防護施設への適用ははじめてとなる。したがって、地震荷重及び津波荷重による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三次元解析（COM3）により確認することで、直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性を示す。

また、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三次元解析（COM3）により確認することで、接合部の設計方法の妥当性を示す。

2. 確認事項

三次元解析（COM3）結果を用いて以下を確認する。

- 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

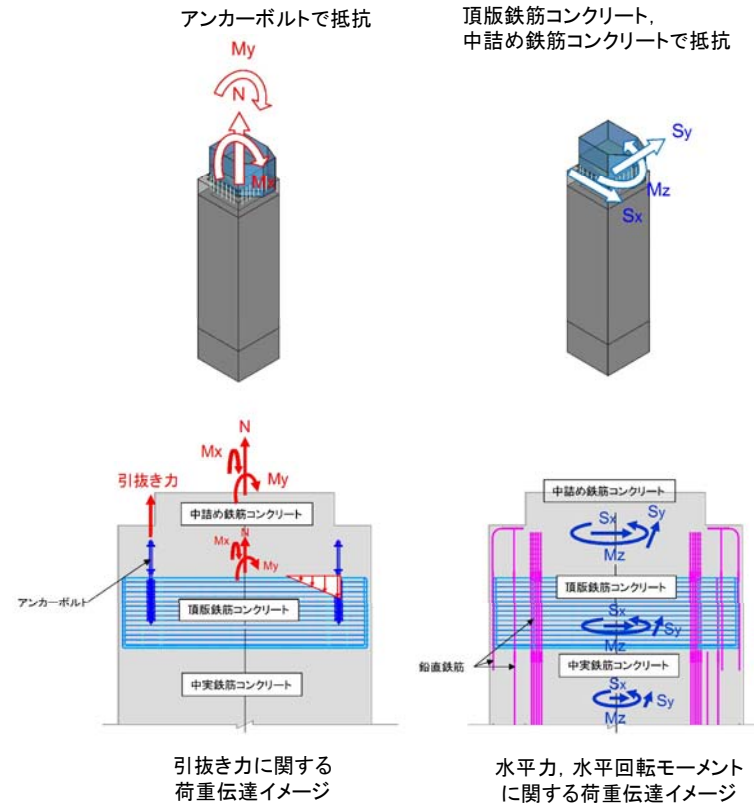
3. 評価方針

- 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
 - ・ 三次元解析（COM3）により6成分の荷重が同時に作用した場合においても、アンカーボルトに生じる引張り応力が弾性範囲内に収まっていることを確認する。

【設計思想】

アンカーボルトは本来、引抜き力及びせん断力に抵抗できる部材であることから、鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）の「7.2 アンカー部の設計方法」においては、アンカーボルトに水平方向のせん断力も許容限界以内で受けもたせる設計方法となっている。

一方、鋼製防護壁においては、保守的な配慮として、接合部の水平回転モーメント（水平トルク）及び水平力によるせん断力に対するアンカーボルトの抵抗力は設計上期待せず、接合部の水平回転モーメント及び水平力によるせん断力に対しては、設計上鉄筋コンクリートのみの耐力でも、弾性範囲内で負担可能とするという設計思想である。



荷重伝達のメカニズム

【論点7】（参考）鋼製防護壁の上部構造と下部構造の接合部の評価



第572回審査会合
資料2-1再掲

② 接合部の設計方法の妥当性の確認

- 接合部の設計は、各部材毎に弾性範囲内で設計するが、部材が一体となった三次元構造において6成分の荷重が同時に作用した場合においても、各部材が弾性範囲内で設計荷重を受け持つことができていることを確認する。

設計における適用基準と許容限界

	部 位	照査項目	許容限界	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
			上段は基準地震動、基準津波を考慮する場合 下段はT.P.+24m津波を考慮する場合		
引抜き力 (M_x, M_y, N)	アンカーボルト	曲げ軸応力	短期許容応力度 ^{※1}	弾性範囲内	鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)
			降伏応力度		
		引抜き力	短期許容応力度 ^{※1}	弾性範囲内	鋼構造物設計基準(Ⅱ鋼製橋脚編)
			短期許容応力度 ^{※2}		
コーンせん断(鉄筋補強あり)	短期許容応力度 ^{※1}	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)	中詰め鉄筋コンクリート 及び 頂版鉄筋コンクリート	鉄筋応力	短期許容応力度 ^{※1}	弾性範囲内	道路橋示方書・同解説(Ⅰ共通編)(SD490) コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
			短期許容応力度 ^{※3}		
		コンクリート応力 (圧縮応力)	短期許容応力度 ^{※1}	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
			短期許容応力度 ^{※2}		
		コンクリート応力 (水平力によるせん断応力)	短期許容応力度 ^{※1}	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
			短期許容応力度 ^{※2}		
		コンクリート応力 (水平回転モーメントによるせん断応力)	短期許容応力度 ^{※1}	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
			短期許容応力度 ^{※2}		

※1 許容応力度の1.5倍(地震の影響を考慮する係数)の割増しを考慮する。
 ※2 許容応力度の2.0倍(極めてまれな荷重を考慮する係数)の割増しを考慮する。
 ※3 許容応力度の1.65倍(極めてまれな荷重を考慮する係数)の割増しを考慮する。

(その他確認項目)

- 設計荷重を超える荷重(T.P.+24m津波以上の荷重が作用したと仮定した状況)に対しては、荷重伝達メカニズムと三次元挙動を把握するとともに、十分な靱性を有する構造であることを確認する。

4. 今後の予定

- 三次元解析(COM3)の評価結果を5月末から6月中旬にかけて順次説明予定。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(1/9)

参考



＜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評価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＞

- 地震計が設置されている標高(階高)における観測記録と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(地上2階, 地上4階及び地上6階)の一部の周期帯において、観測記録がシミュレーション結果を上回っている(図1)。このため、EL.14.0m(地上2階)以上の標高(階高)に設置されている耐震重要設備及び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の耐震性への影響評価を実施した。

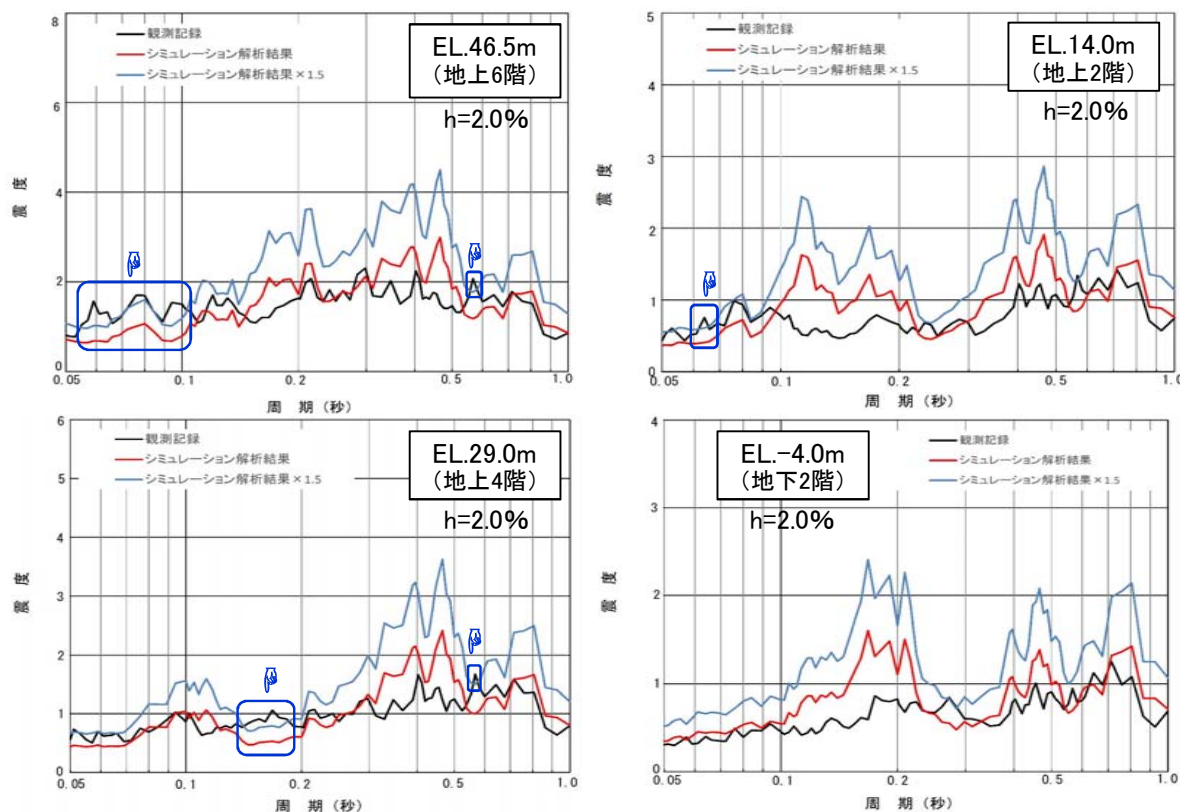


図1 床応答スペクトルの比較(質点系モデル)

【影響評価に当たっての考慮事項】

- ✓ 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の応答比率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。
- ✓ 応答比率が設備の耐震裕度を上回る場合は、個別の詳細検討を行い、耐震性への影響評価を行う。
- ✓ 地震観測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、観測系統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機器・配管系を対象とする。

【論点10】 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(2/9)



② 表1に標高毎に設置される設備の影響評価結果を示す。一部の設備において、観測記録がシミュレーション解析結果を上回っているが、EL.46.5mに設置されている燃料取替機以外は、設備の耐震裕度に収まっている(耐震裕度>FRS比率)。燃料取替機については、FRS比率が設備の耐震裕度を上回る結果となったため、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(③参照)。

:地震計設置標高

表1 機器・配管系の影響評価結果(1/6)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有周期(秒)	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	1.0	使用済燃料プール温度計(SA)		せん断	13	94	7.23	—	○	図2-1
	2.0	燃料取替機		せん断	135	146	1.08	1.69	○ 個別評価	図2-2
		非常用ガス再循環系配管		1次	25	343	13.72	1.13	○	

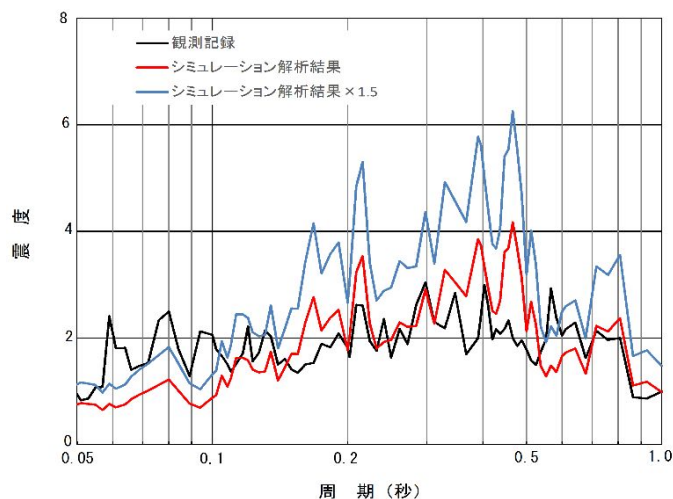


図2-1 原子炉建屋 EL.46.5m 床応答スペクトル(減衰1.0%)

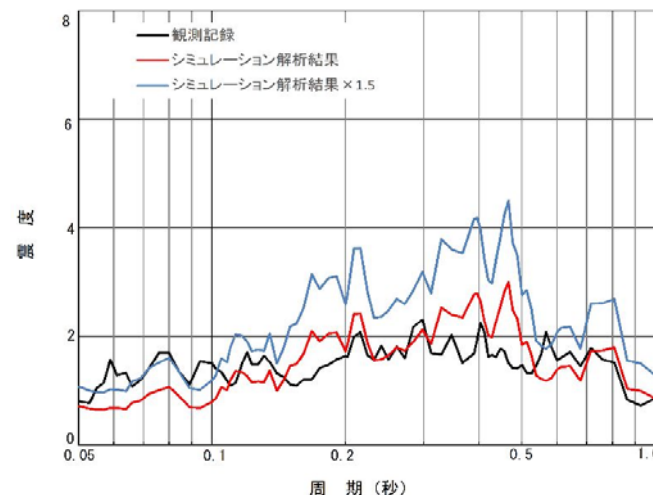


図2-2 原子炉建屋 EL.46.5m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

※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(3/9)



表1 機器・配管系の影響評価結果(2/6)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有 周期(秒)	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	非常用ガス処理系配管(AC-SGTS)		1次	101	335	3.31	1.19※2	○	図2-3
34.7	1.0	使用済燃料貯蔵ラック(70本)		1次	146	153	1.04	1.03※2	○	図2-4
		制御棒貯蔵ラック		1次	158	171	1.08	1.08※2	○	

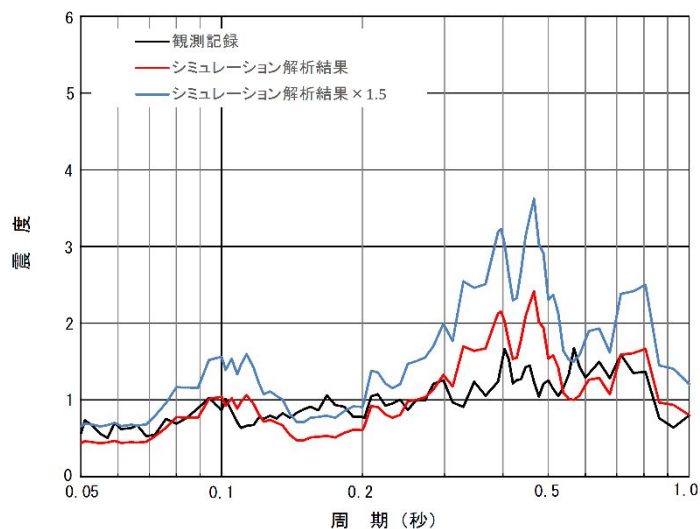


図2-3 原子炉建屋 EL.38.5m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

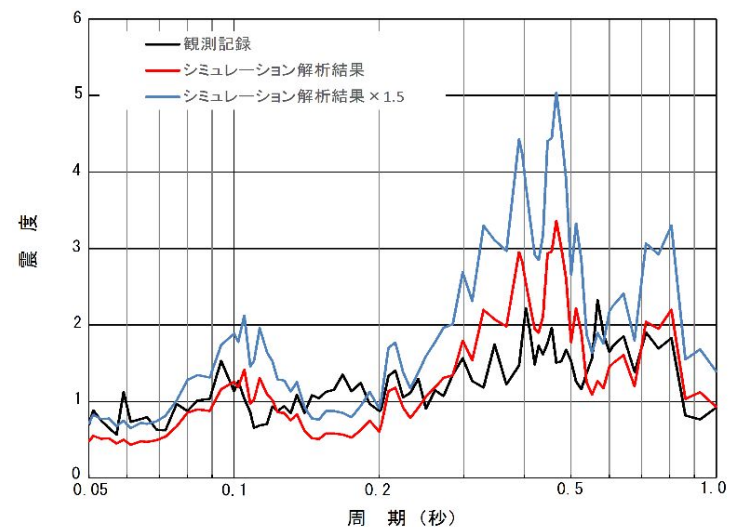


図2-4 原子炉建屋 EL.34.7m 床応答スペクトル(減衰1.0%)

※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.38.8m及びEL.34.7mについてはEL.29.0mのFRSの比率、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(4/9)



:地震計設置標高

表1 機器・配管系の影響評価結果(3/6)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有周期(秒)	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	原子炉隔離時冷却系配管(RCIC-19,20,29)		1次	146	363	2.48	—	○	図2-5
	3.0	原子炉隔離時冷却系配管(RCIC-7)		1次	62	380	6.12	—	○	図2-6

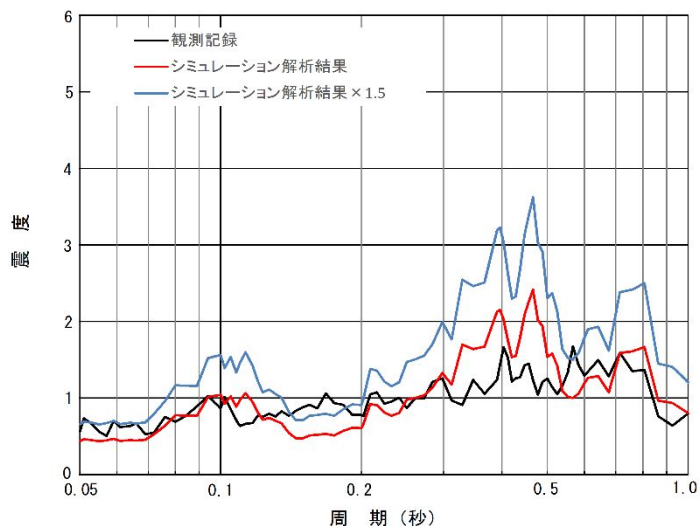


図2-5 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

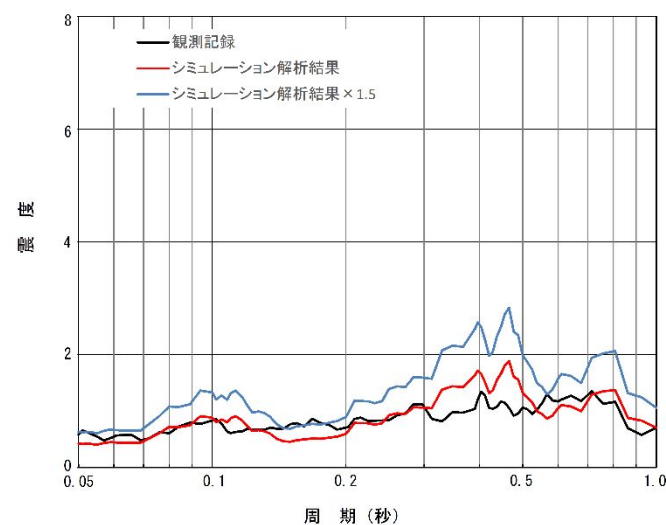


図2-6 原子炉建屋 EL.29.0m 床応答スペクトル(減衰3.0%)

※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(5/9)



表1 機器・配管系の影響評価結果(4/6)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有周期 (秒)	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	不活性ガス系配管 (AC-1,2,3,8)		1次	171	335	1.95	—	○	図2-7
		可燃性ガス濃度制御系配管 (FC-1)		1次	65	363	5.58	—	○	
		可燃性ガス濃度制御系配管 (FC-2)		1次	133	363	2.72	1.07※2	○	
		可燃性ガス濃度制御系配管 (FC-3,4)		1次	55	363	6.60	—	○	
		可燃性ガス濃度制御系配管 (FC-7,8)		1次	61	363	5.95	—	○	
		残留熱除去系配管 (RHR-34,37,38,39,50)		1次	166	380	2.28	—	○	
		給水系配管 (FDW-13,14)		1次	81	229	2.82	—	○	
3.0		原子炉冷却材浄化系配管 (CU-R-7)	1次	108	260	2.40	—	○	図2-8	
		主蒸気隔離弁漏えい抑制系配管 (MSIV-23,25,27,29)	1次	114	363	3.18	—	○		

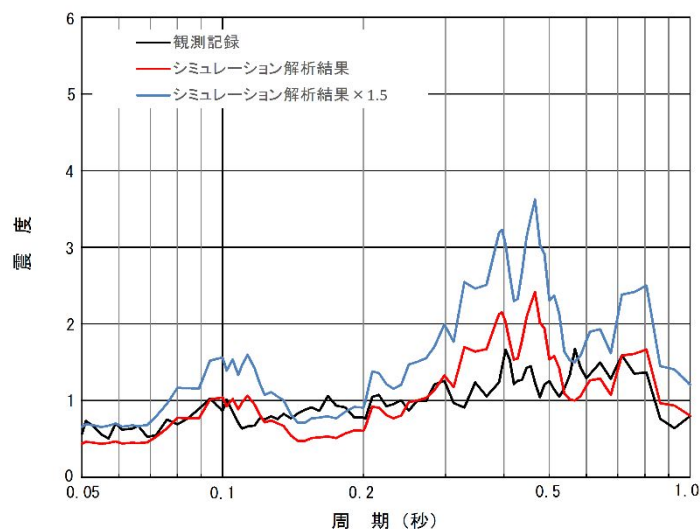


図2-7 原子炉建屋 EL.20.3m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

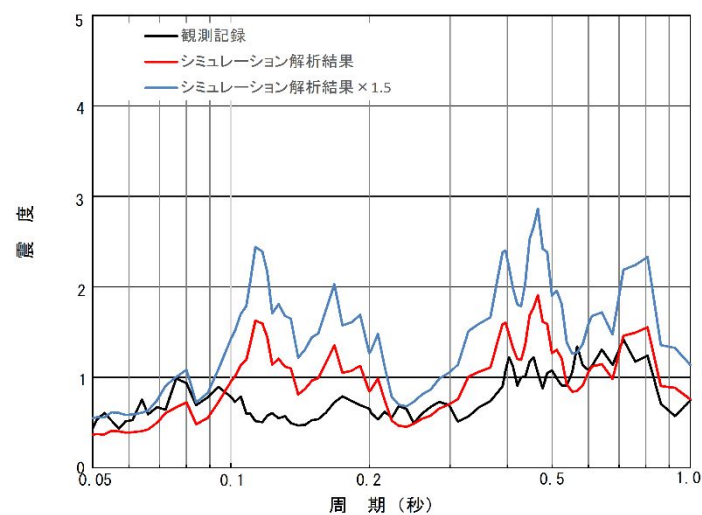


図2-8 原子炉建屋 EL.20.3m 床応答スペクトル(減衰3.0%)

※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。
 ※2: 地震計が設置されていないEL.38.8m及びEL.34.7mについてはEL.29.0mのFRSの比率、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(6/9)



:地震計設置標高

表1 機器・配管系の影響評価結果(5/6)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有周期(秒)	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	不活性ガス系配管(AC-6.7)		1次	59	335	5.67	1.12	○	図2-9
	1.0	残留熱除去系配管(RHR-66)		1次	109	363	3.33	1.04	○	図2-10

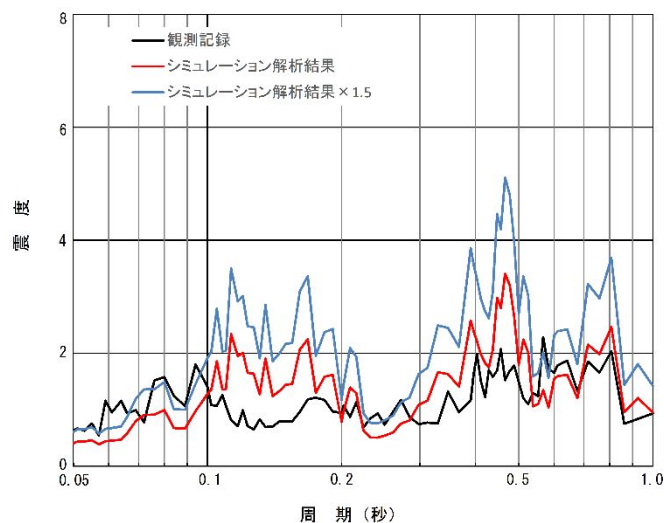


図2-9 原子炉建屋 EL.20.3m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

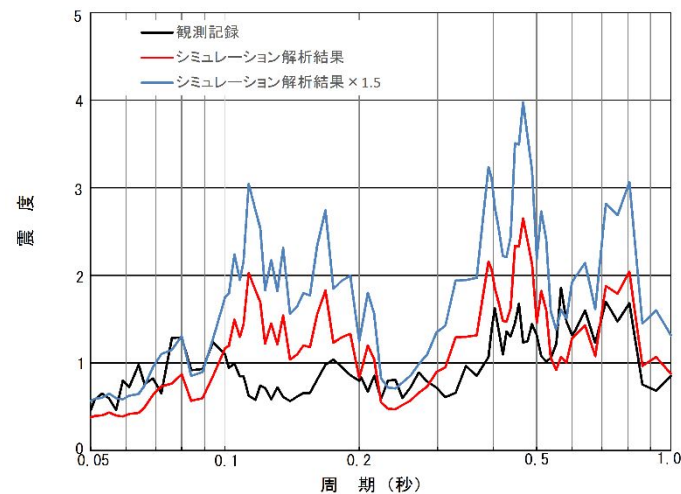


図2-10 原子炉建屋 EL.20.3m 床応答スペクトル(減衰3.0%)

※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(7/9)



:地震計設置標高

表1 機器・配管系の影響評価結果(6/6)

標高 (EL.m)	減衰 (%)	設備名称	一次固有周期 (秒)	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	高圧炉心スプレイ系配管(HPCS-4,5)	0.15	1次	194	364	1.87	—	○	図2-11
		低圧炉心スプレイ系配管(LPCS-2,3)		1次	150	396	2.64	—	○	
		残留熱除去系配管(RHR-48)		1次	143	396	2.76	—	○	
		残留熱除去系配管(RHR-70)		1次	217	260	1.19	—	○	
	3.0	残留熱除去系配管(RHR-5,21)		1次	156	335	2.14	—	○	図2-12
		残留熱除去系配管(RHR-8,30,99,100)		1次	181	380	2.09	—	○	

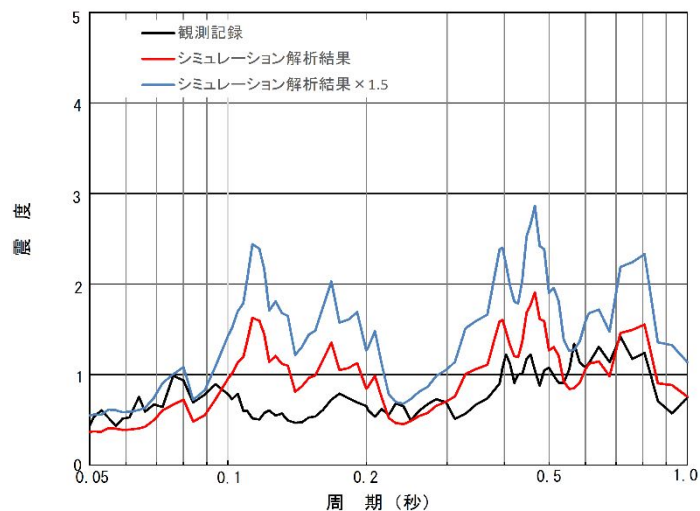


図2-11 原子炉建屋 EL.20.3m 床応答スペクトル(減衰2.0%)

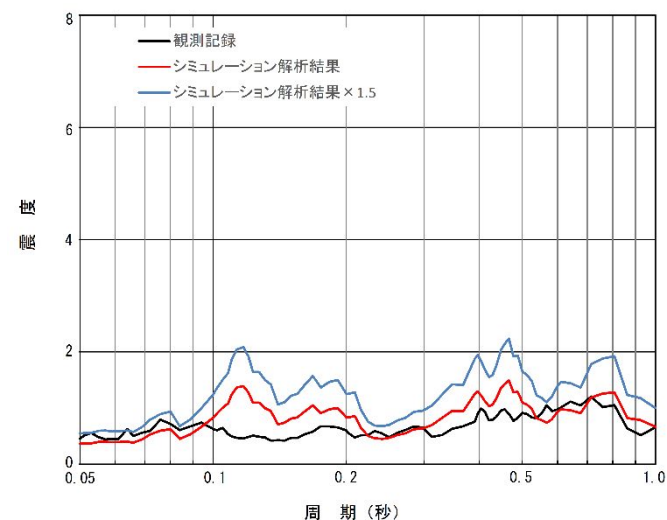


図2-12 原子炉建屋 EL.20.3m 床応答スペクトル(減衰3.0%)

※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(8/9)



- ③ EL.46.5mに設置されている燃料取替機については、FRS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、トロリ及び横行レールにおいて、FRS比率が耐震裕度を上回る。
 - ✓ このため、燃料取替機構造物フレーム、トロリ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	詳細評価対象部位
				応力値(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		—
トロリ	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(9/9)



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比率である1.69を乗じ、当該荷重に用いた応力値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、応力値に占める水平方向の地震力は僅かであることから、応力値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		
		応力値	許容応力	耐震裕度	応力値	許容応力	耐震裕度
燃料取替機構造物 フレーム	曲げ	216	275	1.27	219	275	1.25
	せん断	3	158	52.66	3	158	52.66
	組合せ	217	275	1.26	219	275	1.25

b. トロリ脱線防止ラグ及び横行レールの詳細評価

- ✓ 燃料取替機の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、トロリ脱線防止ラグ及び横行レールの応力値は、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3)。このため、トロリ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 トロリ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)		
	応力値静的解析 (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
水平方向	4.091×10^4	3.565×10^4	3.567×10^4

【論点10】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(1/3)



<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、鉛直地震力による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貯蔵プールへの影響評価を追加すること

◆概要 図1に示す通り、高周波数域の固有モードにおける、鉛直地震力によってウェル壁が開く挙動について確認した。

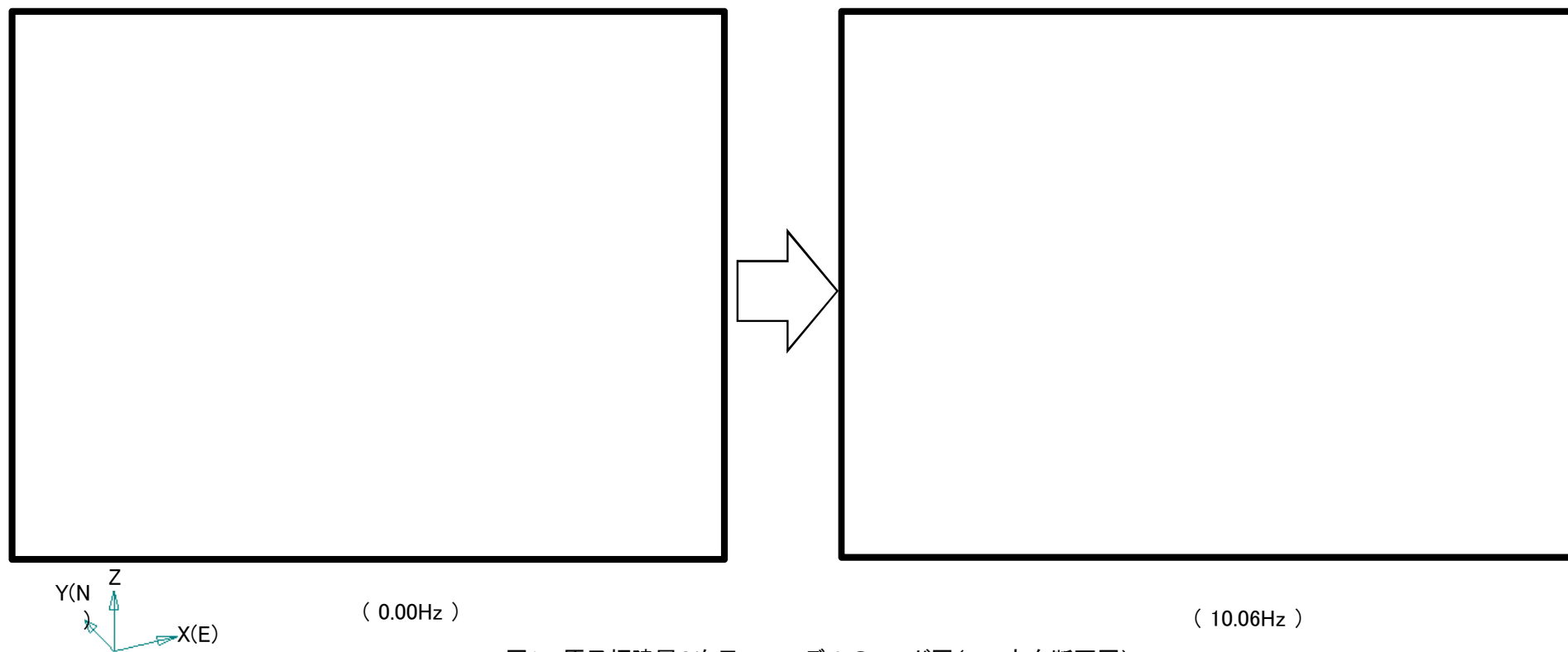


図1 原子炉建屋3次元FEMモデルのモード図(EW方向断面図)

◆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、耐震評価結果に割増係数として考慮して検討を行う。

◆評価方法

①応答増幅の確認

- ✓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比較し応力の割増係数を算出する。
- ✓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 応答増幅を考慮した応力検討

- ✓使用済燃料プールの耐震評価に用いた応力に、鉛直加振時の応答増幅による割増しを考慮する。

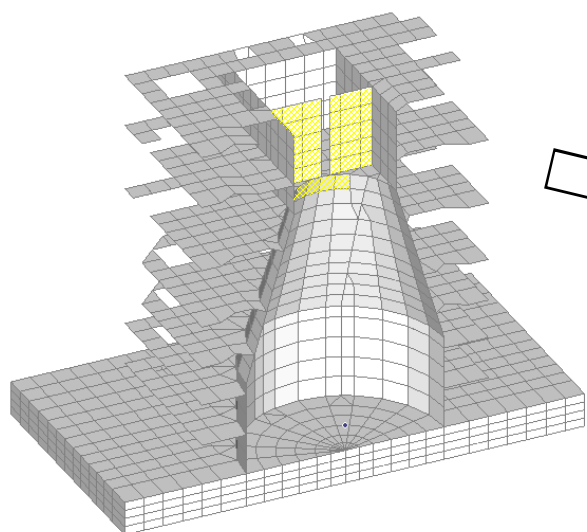


図2 3次元FEMモデル評価対象要素

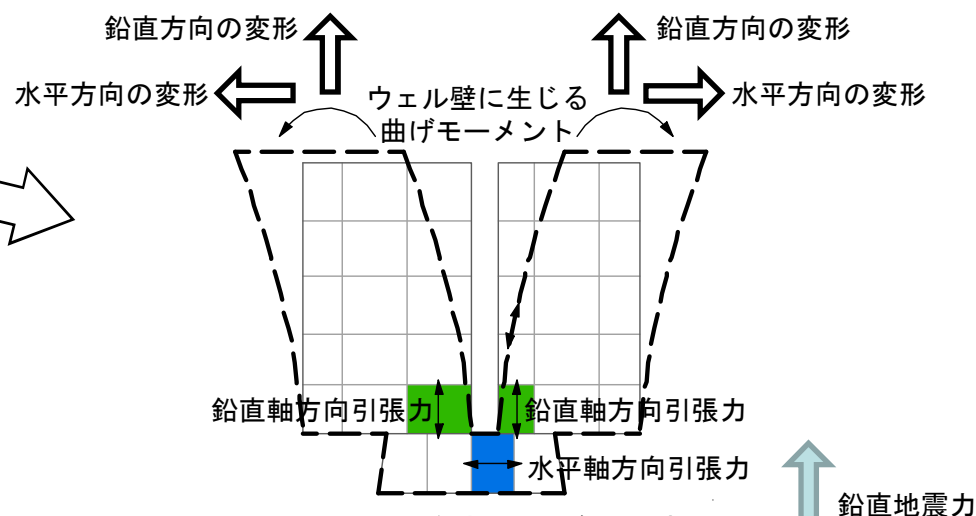


図3 評価対象部位及び応力成分

◆ 応答増幅の確認

- ✓ 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比較する。
- ✓ 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する。

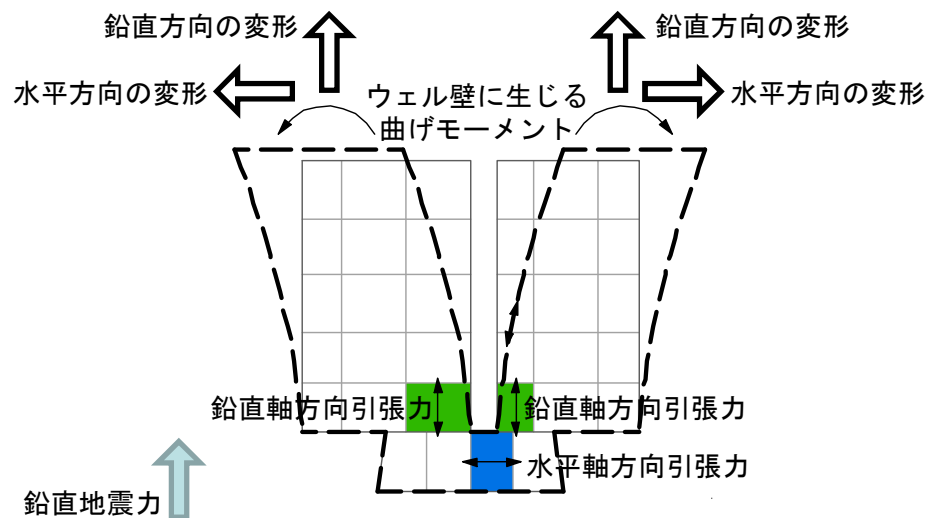


図4 評価対象部位及び応力成分

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5 3次元FEMモデル評価対象要素

◆ 評価結果

- ✓ EW方向単独加振時の発生応力に比べ、上下方向単独入力によりウェル壁に発生する応力の増加は小さいことを確認した。

表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	51.2	1240	1.017
6142	鉛直軸方向引張力	362	1640	1.089
5378	水平軸方向引張力	66.2	275	1.097

- ◆ 応答増幅を考慮した応力検討
 - ✓ 使用済燃料プールの耐震評価結果に、鉛直加振時の応答増幅による割増しを考慮する。
- ◆ 評価結果
 - ✓ 耐震評価結果に割増係数(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。

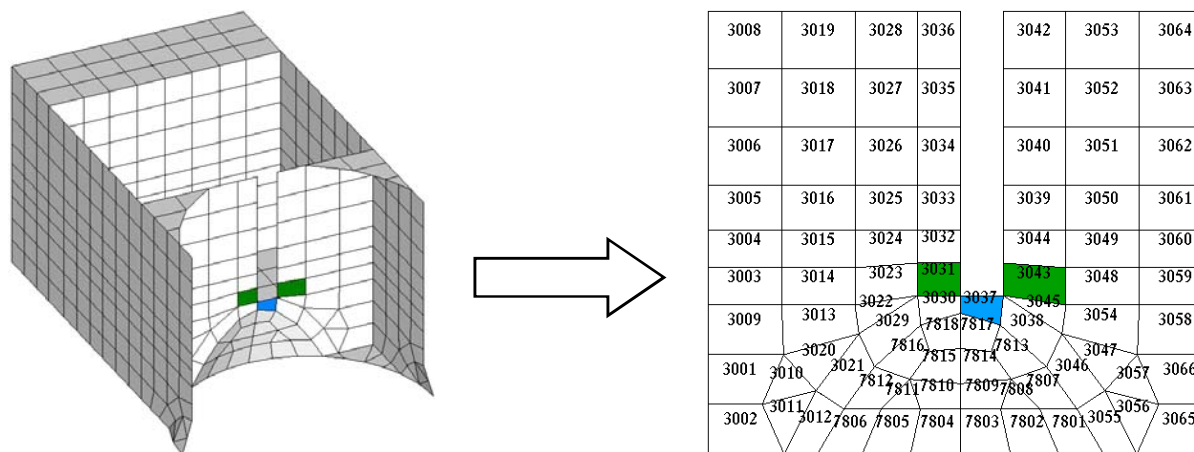


図6 使用済燃料プールの応力解析モデル

表2 使用済燃料プールの影響検討結果

要素番号	項目	割増係数 (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	S d 地震時 + 温度	S d 地震時	S s 地震時	S d 地震時 + 温度
3031	引張鉄筋応力度	1.017	0.524	0.260	0.433	0.533	0.265	0.441
3043	引張鉄筋応力度	1.089	0.400	0.200	0.533	0.436	0.218	0.581
3037	引張鉄筋応力度	1.097	0.441	0.221	0.447	0.484	0.243	0.491

- ◆ まとめ
 - ✓ オペフロ床が東西方向にはらみ出すような変形をすると、スリット下部に局所応力が生じる。
 - ✓ 3次元FEMモデルを用いて、鉛直地震力によるスリット下部の応力に及ぼす影響について確認した。
 - ✓ 使用済燃料プールの耐震評価結果に、3次元FEMモデルを用いて求めた鉛直加振時の応答増幅を考慮し、許容限界以下となることを確認した。

【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。

- 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。
- 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。
- 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

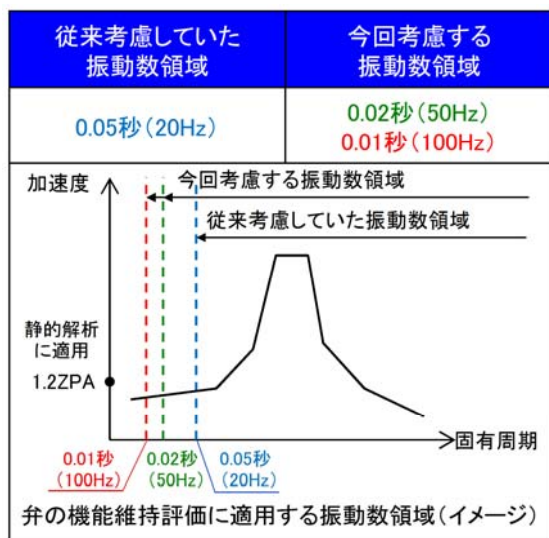


表2 動的機能維持評価対象弁

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(19弁)において応答が増加することが確認された。
- ✓このうち、16弁については応答増加率が10%以下であったが、3弁については応答増加率が10%を超えたため、更なる高振動数領域として0.005秒(200Hz)まで考慮した応答解析を実施し、それ以上の応答増加がないことを確認した(表3, 表4)。
- ✓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			備考
		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	54	16	3	応答増加率が10%を超えた3弁の評価結果を表4に示す。

表4 0.01秒(100Hz)まで考慮した応答加速度が0.02秒(50Hz)まで考慮した応答加速度対して10%以上の応答増加率が確認された弁の評価結果

No.	系統		弁番号	弁名称	弁型式	方向	0.01秒(100Hz)まで考慮した評価			0.005秒(200Hz)まで考慮した評価	機能確認済加速度
							0.02秒(50Hz)	0.01秒(100Hz)	増加率		
29	FW	給水系	B22-F032A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	鉛直	1.31	3.37	2.58	3.37	6.0
30	FW	給水系	B22-F032B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	鉛直	1.31	3.37	2.58	3.37	6.0
65	FRVS	非常用ガス再循環系	SB2-5B	非常用ガス再循環系トレンB入口ダンパ	空気作動バタフライ弁	水平	2.15	2.45	1.14	2.45	6.0

【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5 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	6.74	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	2.66	2.29	2.76	2.21	1.04	○	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	5.61	1.71	5.61	1.71	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	2.66	2.29	2.76	2.21	1.04	○	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
3	MS	B22-F013C	主蒸気逃がし安全弁C	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	1.84	3.31	1.84	3.31	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	6.12	1.56	6.12	1.56	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	2.04	2.99	2.04	2.99	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	6.12	1.56	6.23	1.54	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	2.76	2.21	2.76	2.21	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
6	MS	B22-F013F	主蒸気逃がし安全弁F	安全弁	水平	9.6	5.92	1.62	5.92	1.62	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	2.66	2.29	2.66	2.29	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	6.53	1.47	6.53	1.47	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	2.04	2.99	2.15	2.83	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
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	○	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
9	MS	B22-F013J	主蒸気逃がし安全弁J	安全弁	水平	9.6	6.43	1.49	6.43	1.49	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	2.25	2.71	2.25	2.71	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。

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%を超えるもの(200Hzまで考慮した応答解析により、応答加速度の増加がないことを確認)。

【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5 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	6.84	1.40	6.94	1.38	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	1.94	3.14	1.94	3.14	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
11	MS	B22-F013L	主蒸気逃がし安全弁L	安全弁	水平	9.6	5.92	1.62	6.02	1.59	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	1.64	3.71	1.08	○	同上
12	MS	B22-F013M	主蒸気逃がし安全弁M	安全弁	水平	9.6	5.72	1.67	5.82	1.64	1.02	○	同上
					鉛直	6.1	2.35	2.59	2.35	2.59	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
13	MS	B22-F013N	主蒸気逃がし安全弁N	安全弁	水平	9.6	5.31	1.80	5.41	1.77	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	2.04	2.99	2.04	2.99	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
14	MS	B22-F013P	主蒸気逃がし安全弁P	安全弁	水平	9.6	4.70	2.04	4.70	2.04	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	2.04	2.99	2.04	2.99	1.00	○	同上
15	MS	B22-F013R	主蒸気逃がし安全弁R	安全弁	水平	9.6	5.41	1.77	5.41	1.77	1.00	○	同上
					鉛直	6.1	2.45	2.48	2.55	2.39	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
16	MS	B22-F013S	主蒸気逃がし安全弁S	安全弁	水平	9.6	4.80	2.00	4.90	1.95	1.03	○	同上
					鉛直	6.1	1.94	3.14	2.04	2.99	1.06	○	同上
17	MS	B22-F013U	主蒸気逃がし安全弁U	安全弁	水平	9.6	6.12	1.56	6.12	1.56	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	2.76	2.21	2.76	2.21	1.00	○	同上
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	1.94	3.14	1.94	3.14	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。

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%を超えるもの(200Hzまで考慮した応答解析により、応答加速度の増加がないことを確認)。

【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5 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		○	①100Hzまで考慮しても機能維持 ②100Hzにおける応答増加なし
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 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	7.45	1.34	7.45	1.34	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	5.41	1.14	5.41	1.14	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	5.21	1.91	5.21	1.91	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	4.90	2.04	4.90	2.04	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	4.90	1.22	4.90	1.22	1.00	○	①100Hzまで考慮しても機能維持 ②100Hzにおける応答増加なし
					鉛直	6.0	3.27	1.83	3.27	1.83	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。

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%を超えるもの(200Hzまで考慮した応答解析により、応答加速度の増加がないことを確認)。

【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5 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	4.70	1.27	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	6.0	3.06	1.96	3.17	1.89	1.04	○	同上
29	FW	B22-F032A	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	6.0	3.98	1.50	3.98	1.50	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	1.31	4.58	3.37	1.78	2.58	○	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%を超えたため200Hzまで考慮した応答解析にて鉛直震度3.37に変更ないことを確認
30	FW	B22-F032B	原子炉給水逆止弁	逆止弁	水平	6.0	3.78	1.58	3.78	1.58	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	1.31	4.58	3.37	1.78	2.58	○	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%を超えたため200Hzまで考慮した応答解析にて鉛直震度3.37に変更ないことを確認
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	○	同上
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	○	同上
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	2.04	2.94	2.15	2.79	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
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	○	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	1.64	3.65	1.64	3.65	1.00	○	同上
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	○	同上
36	RHR	E12-F027A	残留熱除去系A系サブレッ ション・プールのスプレイ弁	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	○	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。

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%を超えるもの(200Hzまで考慮した応答解析により、応答加速度の増加がないことを確認)。

【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5 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			
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		
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。
- 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%を超えるもの(200Hzまで考慮した応答解析により、応答加速度の増加がないことを確認)。

【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5 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		○	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
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	4.80	1.25	4.80	1.25	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。

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%を超えるもの(200Hzまで考慮した応答解析により、応答加速度の増加がないことを確認)。

【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5 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	○	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
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	4.90	1.22	4.90	1.22	1.00	○	同上
					鉛直	6.0	1.94	3.09	1.94	3.09	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)	空気作動ゲ 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)	空気作動ゲ 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。


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%を超えるもの(200Hzまで考慮した応答解析により、応答加速度の増加がないことを確認)。


【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5 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	2.15	2.79	2.45	2.44	1.14	○	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%を超えたため200Hzまで考慮した 応答解析にて水平震度2.45
					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。

 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%を超えるもの(200Hzまで考慮した応答解析により、応答加速度の増加がないことを確認)。

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(1/5)



<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)はドライウェル内で発生した蒸気によって、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。

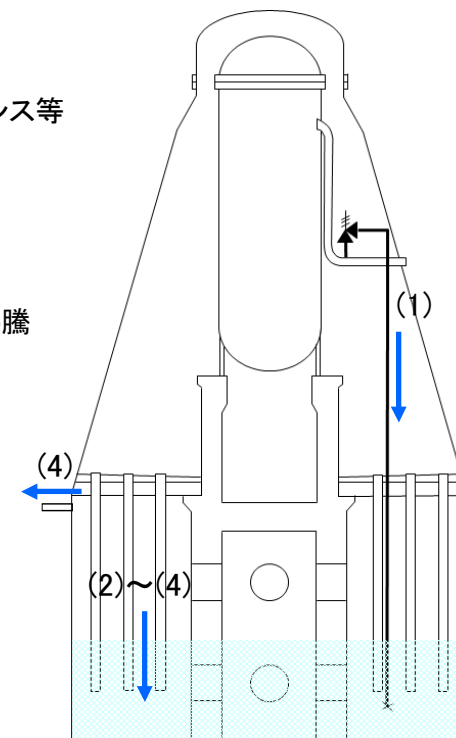


図1 重大事故時の蒸気等の流れ

2. SA時に生じる動荷重の評価

◆ 高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱(DCH)

DCHの発生防止のための逃がし安全弁作動時には、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る。東海第二の実機試験結果(図2)から、蒸気が安定的に凝縮されていれば、動荷重は気泡脈動が支配的であることから、蒸気性状の違いによる蒸気凝縮の影響を確認するため、DCH時と設計基準事故時のパラメータを用いて評価を行った。また、本事象では逃がし安全弁を開保持するため、長期的な影響を確認した。これらの結果、サブプレッション・チェンバ内で不安定凝縮は生じることはなく、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。

➤ 逃がし安全弁作動時の短期的な影響

- 過熱蒸気は飽和温度まで蒸気の状態が維持されるものの、単位面積あたりのエネルギー(エネルギー流束)が飽和蒸気と同等であれば、プール水内での凝縮挙動は同等と考えられるため、そのときに生じる動荷重も同等と考えられる。過熱蒸気のパラメータから飽和蒸気とした場合のパラメータを算出し(表1)、既往の試験結果(図3)から、設計基準事故時としている気泡脈動による動荷重(0.88 kg/cm²g(約86 kPa)/-0.41 kg/cm²g(約-40 kPa))と同等以下であることを確認した。

➤ 逃がし安全弁作動後の長期的な影響

- 逃がし安全弁作動後、原子炉圧力容器内から放出される過熱蒸気は最大586℃(プール水温80℃)となる。このときの原子炉圧力容器圧力は減圧されており、放出される蒸気は少なく、エネルギー流束は小さくなるため(表1)、図3で示すように設計基準事故時としている気泡脈動による動荷重と同等以下であることを確認した。また、放出される蒸気が減少する過程においては、図2で示すように大きい圧力振幅が生じていないことが確認されている。このことから、蒸気が減少していく過程において気泡脈動より大きな動荷重とならない。よって、短期的な影響と同様に設計基準事故時と同等以下であることを確認した。

表1 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[°C]	332	586
蒸気の比エンタルピ[kJ/kg]		
排気管の流路断面積[m ²]		
蒸気流束[kg/s/m ²]		
サブプレッション・チェンバへの流入エネルギー流束[MJ/s/m ²]		

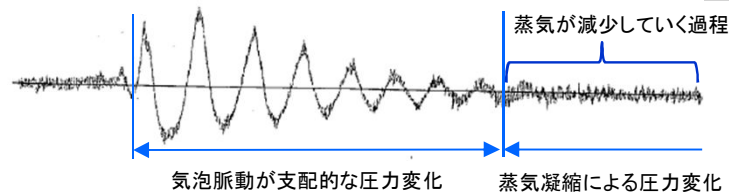


図2 東二実機試験時の逃がし安全弁作動時の圧力振動



図3 逃がし安全弁蒸気凝縮に作用する動荷重

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(3/5)



3. SA時に生じる動荷重による強度評価

◆動荷重を考慮した荷重の組合せ

重大事故等時に生じる動荷重は設計基準事故時と同等以下であることを確認したことを踏まえ、重大事故等時に生じる動荷重を考慮した荷重の組合せを抽出した(表2)。

表2 原子炉格納容器本体の荷重の組合せの考え方

	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(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, 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(残留熱除去系配管破断), 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	逃がし安全弁による急速減圧までの短期的な原子炉格納容器圧力上昇と逃がし安全弁作動時の荷重が重畳するため, 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時注水機能喪失(中小破断)	中小破断LOCAが発生し, チャギングが生じている状況で, 逃がし安全弁が作動する可能性があるため, 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	格納容器ベント時の原子炉格納容器圧力1.5 Pdと長期間継続しうる動荷重であるチャギングとの重畳を考慮し, 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	SA3で想定される動荷重(LOCA時)に包絡される。
SA5 (短期)	死荷重 +最大圧力(465 kPa) +チャギング(ベント)	格納容器過温・過圧破損 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	SA3で想定される動荷重(LOCA時)に包絡される。
SA6 (長期 (L))	死荷重 +最大圧力(465 kPa) +S _d	なし	重大事故等時の地震を考慮するため, 事故後1×10 ⁻² 年(3.65日)の荷重と弾性設計用地震動S _d を組み合わせる。原子炉格納容器圧力は, SA(L)で想定される圧力を包絡する最大内圧を用いる。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 +S _d	格納容器過温・過圧破損 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	事故後1×10 ⁻² 年(3.65日)の荷重と弾性設計用地震動S _d との組合せ。SA(L)で想定される原子炉格納容器圧力と長期間継続しうる動荷重であるチャギングとの重畳を考慮し, 組み合わせる。
SA8 (長期 (LL))	死荷重 +SA(LL)圧力(200 kPa) +S _s	なし	重大事故等時の地震を考慮するため, 事故後2×10 ⁻¹ 年(73日)の荷重と基準地震動S _s を組み合わせる。この時点では原子炉格納容器は代替循環冷却系等により冷却が開始されており, 動的荷重が作用しないため, SA(LL)で想定される圧力のみを地震と組み合わせる。

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(4/5)



◆動荷重を考慮した荷重の組合せ

表2で示した荷重の組合せ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しており、以下で重大事故等時の荷重の組合せとの関係を示す(表3)。この表から、SA時の荷重の組合せは、設計基準対処施設としての設計(既設の設計)を網羅していることを確認した。

表3 原子炉格納容器本体の荷重の組合せ

No.	荷重の組合せ		許容応力 状態	死 荷 重	圧力			動荷重				備 考
	各運転状態による荷重	地震			圧使用最高	圧運通常	圧最大事故時	作動時 SRV	PS	CO	CH	
1	設計条件による荷重	—	設計条件	○	○	—	—	—	—	—	—	SA1の荷重の組合せと同様
2	運転状態Ⅰによる荷重	—	Ⅰ _A	○	—	○	—	—	—	—	—	
3	運転状態Ⅱによる荷重	—	Ⅱ _A	○	—	○	—	○	—	—	—	
4	運転状態Ⅳによる荷重	—	Ⅳ _A	○	—	—	—	—	○	—	—	SA3の荷重の組合せと同様
5	運転状態Ⅳによる荷重	—	設計条件	○	—	—	○	—	—	○	—	
6	運転状態Ⅳによる荷重	—	設計条件	○	—	—	○	—	—	—	○	
7	運転状態Ⅰによる荷重	S _d	Ⅲ _A S	○	—	○	—	—	—	—	—	SA6の荷重の組合せと同様
8	運転状態Ⅰによる荷重	S _s	Ⅳ _A S	○	—	○	—	—	—	—	—	SA8の荷重の組合せと同様
9	運転状態Ⅱによる荷重	S _d	Ⅲ _A S	○	—	○	—	○	—	—	—	SRV作動は短期であるため、SA時は組み 合わせない。
10	運転状態Ⅱによる荷重	S _s	Ⅳ _A S	○	—	○	—	○	—	—	—	
11	運転状態Ⅳによる荷重	S _d	Ⅳ _A S	○	—	—	○	—	—	—	—	SA6の荷重の組合せと同様
SA1	SA短期における荷重	—	V _A	○	○※1	—	—	—	—	—	—	限界圧力2 Pd(620 kPa)
SA2	SA短期における荷重	—	V _A	○	—	—	○※1	○	—	—	—	ATWS時の圧力(200 kPa)
SA2'	SA短期における荷重	—	V _A	○	—	—	○※1	○	—	—	○	中小破断LOCA時の圧力(25 kPa)
SA3	SA短期における荷重	—	V _A	○	—	—	○※1	—	—	—	○	SA時の最高圧力1.5 Pd(465 kPa)
SA4	SA短期における荷重	—	V _A	○	—	—	○※1	—	—	—	○	SA3と同等以下
SA5	SA短期における荷重	—	V _A	○	—	—	○※1	—	—	—	○	
SA6	SA長期(L)における荷重	S _d	V _A S	○	—	—	○※1	—	—	—	—	SA時の最高圧力1.5 Pd(465 kPa)
SA7	SA長期(L)における荷重	S _d	V _A S	○	—	—	○※1	—	—	—	○	SA(L)時の圧力310 kPa
SA8	SA長期(LL)における荷重	S _s	V _A S	○	—	—	○※1	—	—	—	—	SA(LL)時の圧力200 kPa

※1: 水頭圧は重大事故後に起こりうる最大水位を包絡するものとしてサプレッション・チェンバのベントライン下端位置を水面位置として算出した値を用いる。
また、動荷重はこのときの水位を考慮したものとする。

【論点15】 強度評価におけるPCV動荷重の考慮(5/5)



◆重大事故等時の荷重の考慮した強度・耐震評価結果

重大事故等時の荷重の組合せから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確認した(表4)。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4 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 _s		254 ^{※3}	

※1: 水頭圧は重大事故後に起こりうる最大水位を包絡するものとしてサブプレッション・チェンパのベントライン下端位置を水面位置として算出した値を用いる。

また、動荷重はこのときの水位を考慮したものとする。

※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 °C)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°C), SA(LL)(150°C)における評価温度)

◆重大事故等時の荷重の代表性

表4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が最も厳しい値となった。なお、裕度が小さいものとしてチャギングとの荷重の組合せがあるが、この組合せについては、以下のような保守性がある。

- チャギングによる動荷重は、既往の試験結果*で大振幅となる条件(蒸気流束 [] kg/s/m², プール水温 [] °C以下)で確認されており、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°C以上、蒸気流束は約 [] kg/s/m²以下に減少しているため、チャギングが発生する領域に無く、裕度は確保されている。

このことから、重大事故等時に生じる荷重としては限界圧力2 Pdが他の荷重よりも厳しい結果となるため、荷重の組合せとして代表する。

*: 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健全性確認

表4で示すように動荷重を考慮した強度・耐震評価を実施し、原子炉格納容器の健全性を確認した。また、動荷重を考慮しても限界圧力による荷重に包絡できるため、原子炉格納容器の健全性は、限界圧力で代表して評価できることを確認した。

【参考】強度評価におけるPCV動荷重の考慮

第588回審査会合資料
資料2-1再掲
一部削除



SA時に検討すべき動荷重

重要事故シーケンス等において、設計基準事故時で考慮されていない動荷重を抽出した(表1)。
設計基準事故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を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) 原子炉冷却材喪失事故(LOCA)

- 設計基準事故時で想定している再循環系配管両端破断は、重要事故シーケンス等も同じであるため、設計基準事故時と同等以下であることを確認した

(3) 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・チェンバー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

(4) 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時のパラメータを確認し、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を既往の試験結果から確認する

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

◆ 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2)。

◆ 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2)
- 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、減圧沸騰は生じない(図2)。
- 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 \square kg/s/m²、プール水温 \square °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 \square 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2)。

* : 日本原子力研究所:格納容器圧力系信頼性実証試験

表2 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)			

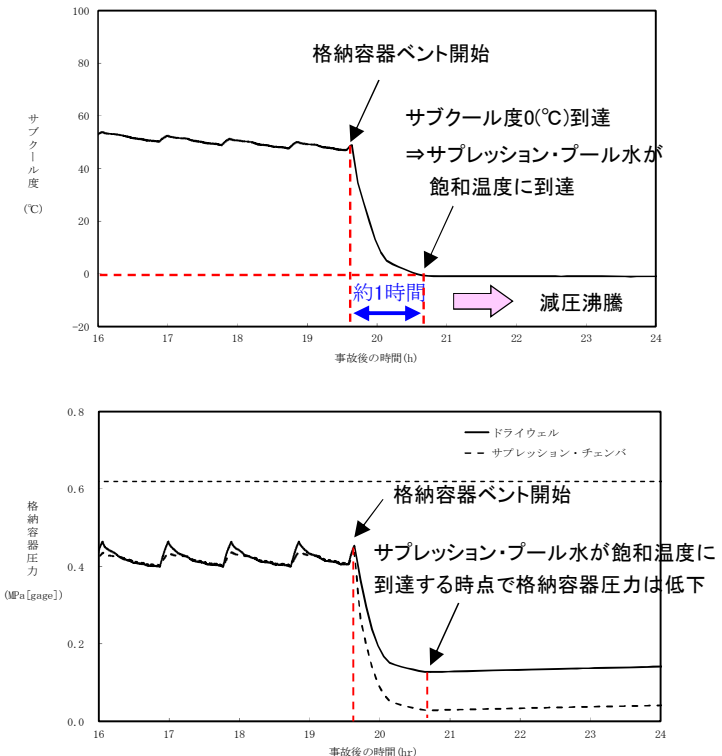


図2 ベント時のプール水のサブクール度及び原子炉格納容器圧力の推移

【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(1/3)



<コメント>

①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

<回答>

(1) 実機モックアップ試験結果(2回目:再現確認)(6月15日)

- ・前回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



パネル開放状況(パネル下部)



開放試験の結果



※ 6/20, 21日の試験を含めた計4回の開放試験の結果を集計したもの。
クリップの条件は全て同じ。
クリップ単体の試験結果と比較して、ばらつきが小さい結果となった。

【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(2/3)



【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)

- ・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

(3) 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



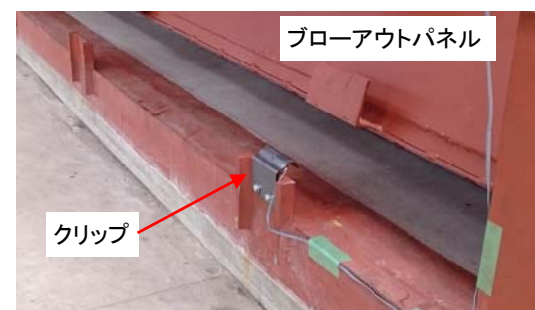
開放試験前の状況



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) (5/21~5/27)		追加クリップ試験 (幅100mm, 30個) (6/1~6/12)		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)▲		

【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にて確認する。また、設置許可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(導入管カバーを設置し含む)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。また、試験結果による設置許可時との相違について表1に示す。以上の結果より導入管及びスリット形状の排水ラインの排水機能・排水時間に問題ない。

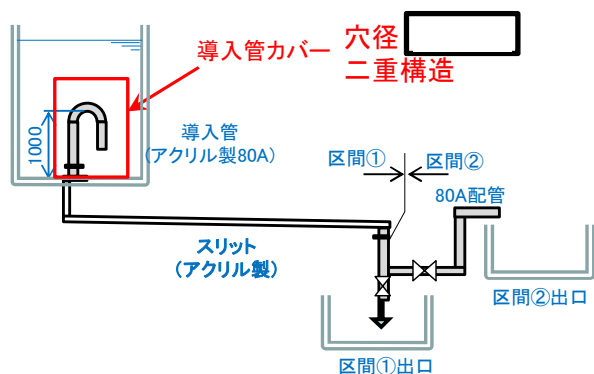


図1 ペDESTAL排水系概要



図2 導入管カバー

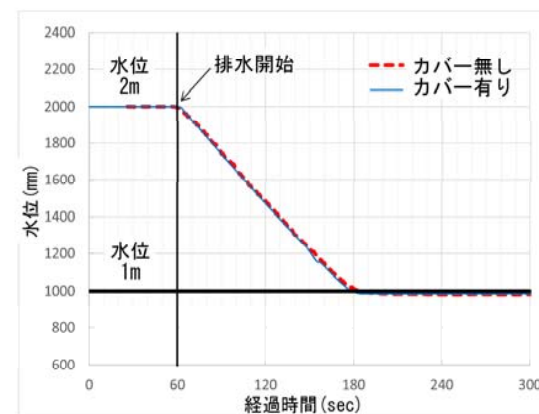


図3 導入管カバー試験結果

表1 設置許可時と試験結果との相違について

相違	設置許可時	試験結果	評価
圧損係数 [m/(m ³ /h)]	3.7×10^{-3}	5.1×10^{-3}	圧損係数は増加したが、制限時間に排水可能であることから問題はない。
ボトムドレンLOCA時の排水時間 [時間]	1.3 (2.3)*	1.5 (2.6)*	排水制限時間(2.7時間)以内に排水可能であることから問題ない。 *格納容器床ドレン系のみでの排水時間。
水位5cmの排水時間 [分]	5	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。

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

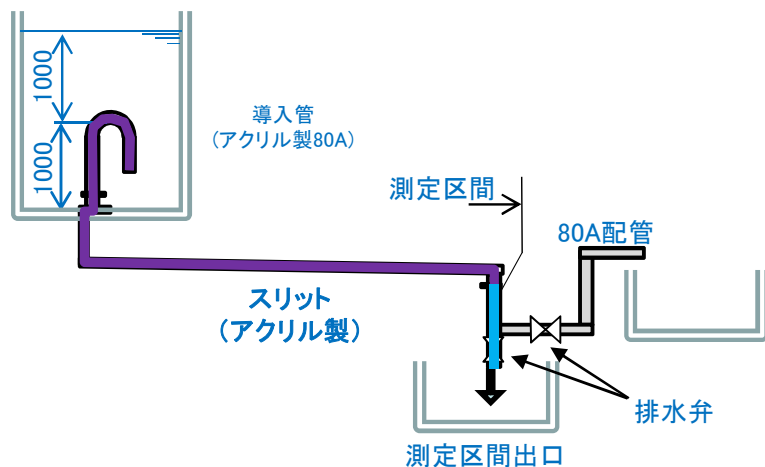


図1-1 試験での圧損評価部位

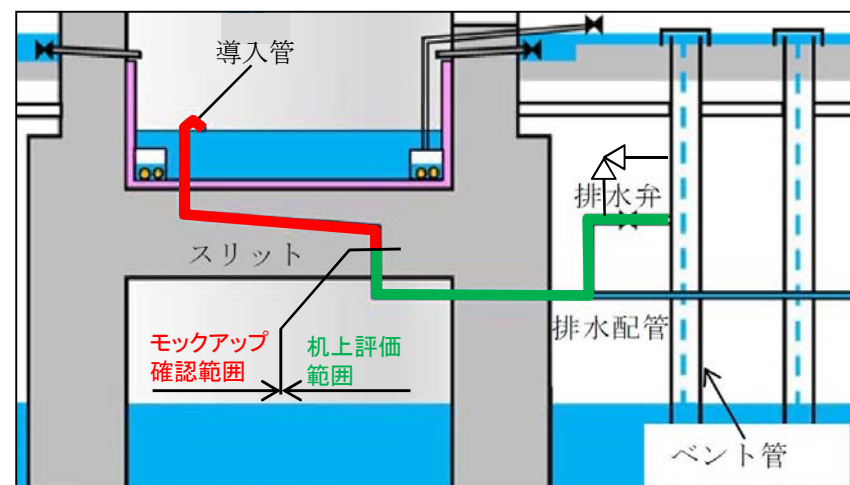


図1-2 ペDESTAL排水ラインイメージ

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3-2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。）

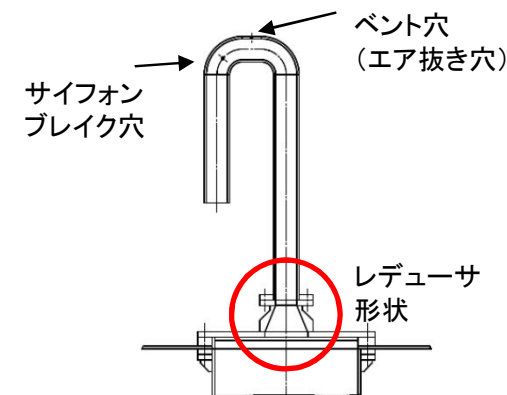
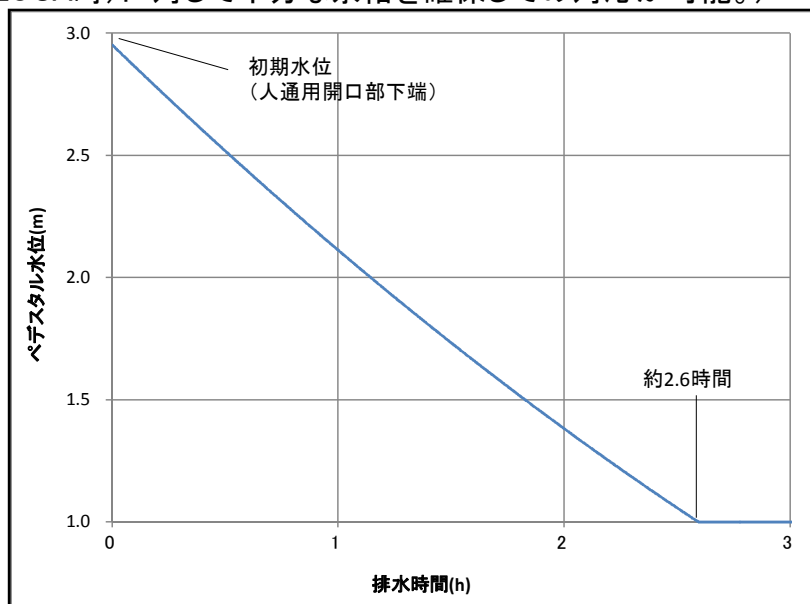
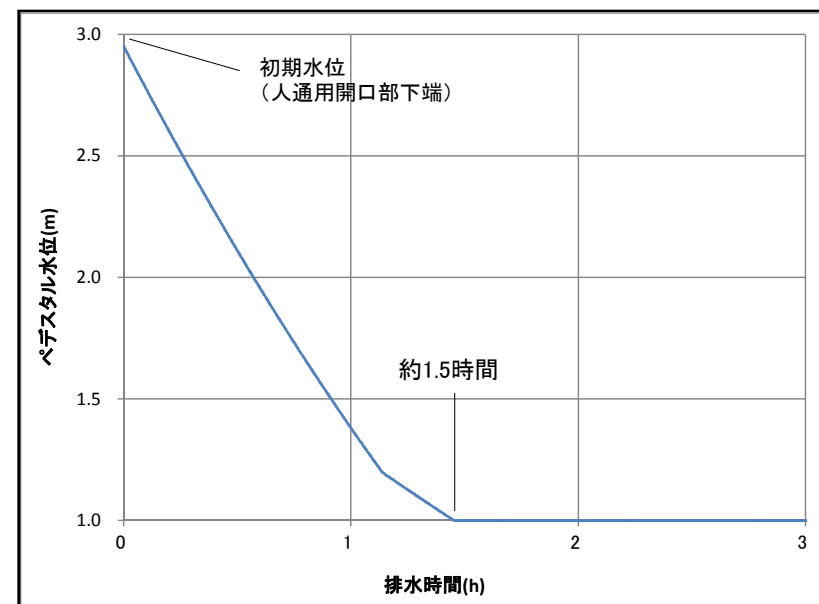


図2-1 導水管の形状



(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。

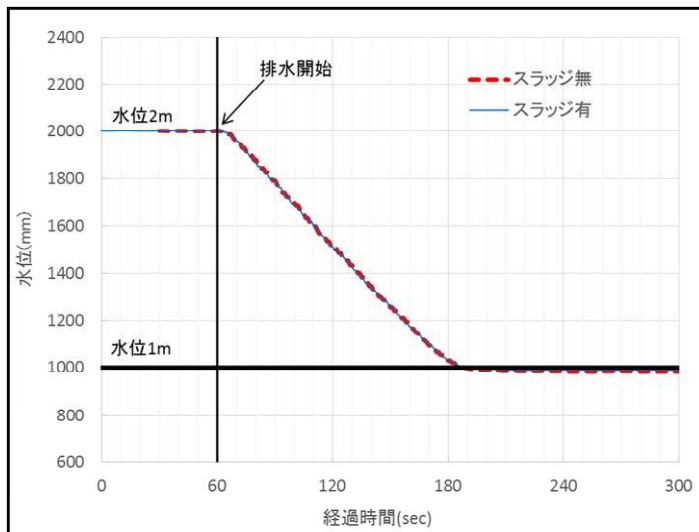


図3-1 スラッジ有無条件での試験結果(水位と時間の関係)

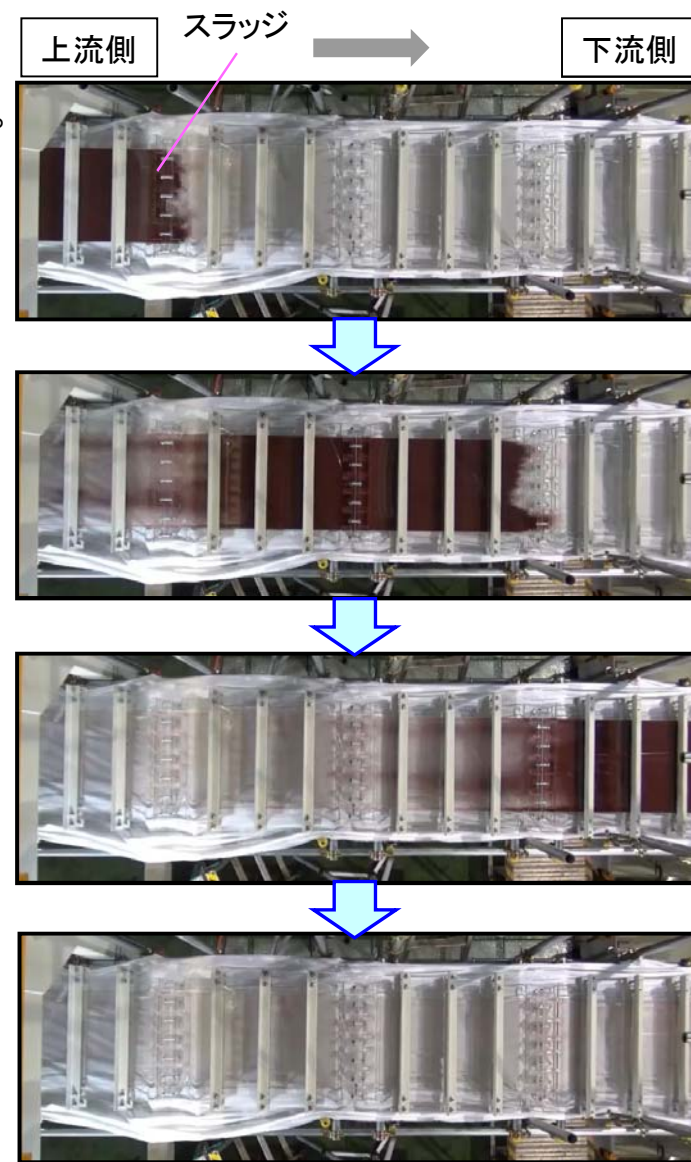


図3-2 水平スリット上面から見たスラッジの流動状況

【論点20】 ECCSポンプのSA時でのNPSH評価（1／2）



＜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 DCI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

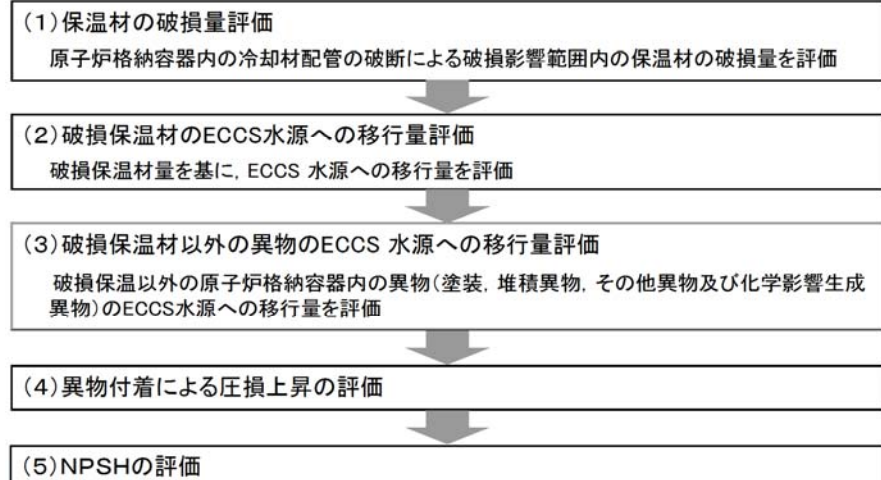
① 実機で想定される異物量
内規に基づき、保守的に
物量を算出

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. 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。
- ・試験により確認された異物付着による圧損上昇は であり、許容圧損目安値※に対し十分低い値で推移したことを確認。
- ・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以上であることが確認できた。

※ 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)

500 m³/h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 で圧損静定

(ステップ2)

1691.9 m³/h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 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 で圧損静定

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環境で全量が剥落することは考えにくいだが、試験においては全量剥落を想定している。
- ・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

②異物移行量

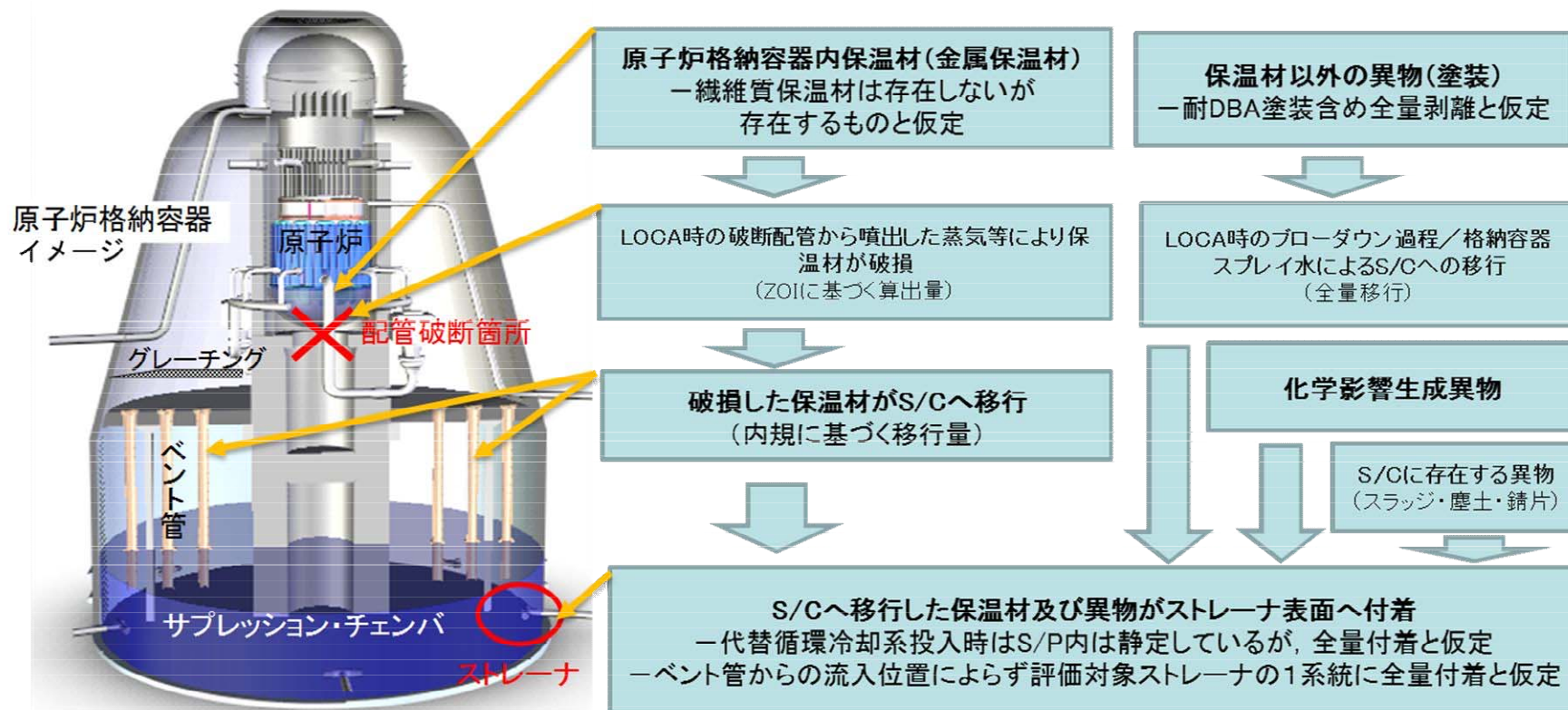
（移行量の考え方）

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

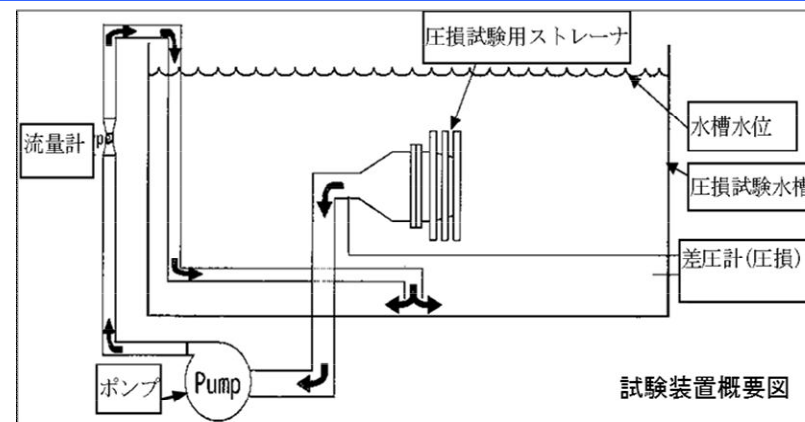
（保守性）

- ・代替循環冷却系起動時はサブプレッション・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。



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(ALOOH)
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。

【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)

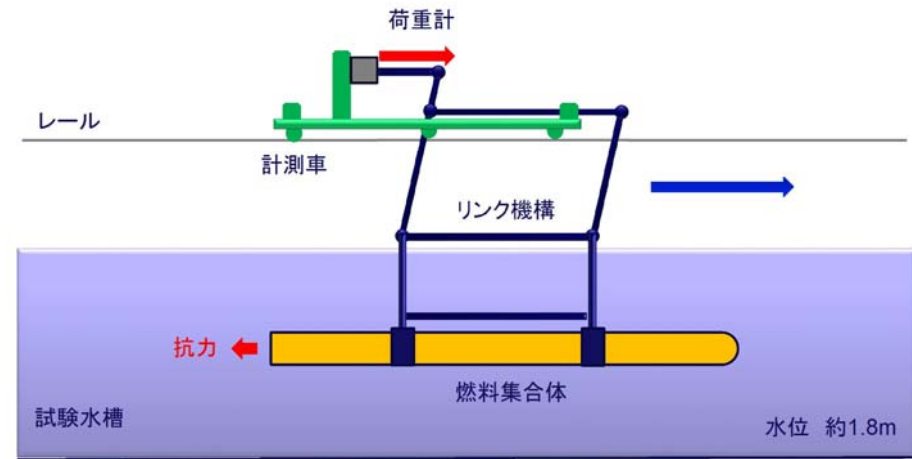
＜本論点の経緯＞

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Cd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。

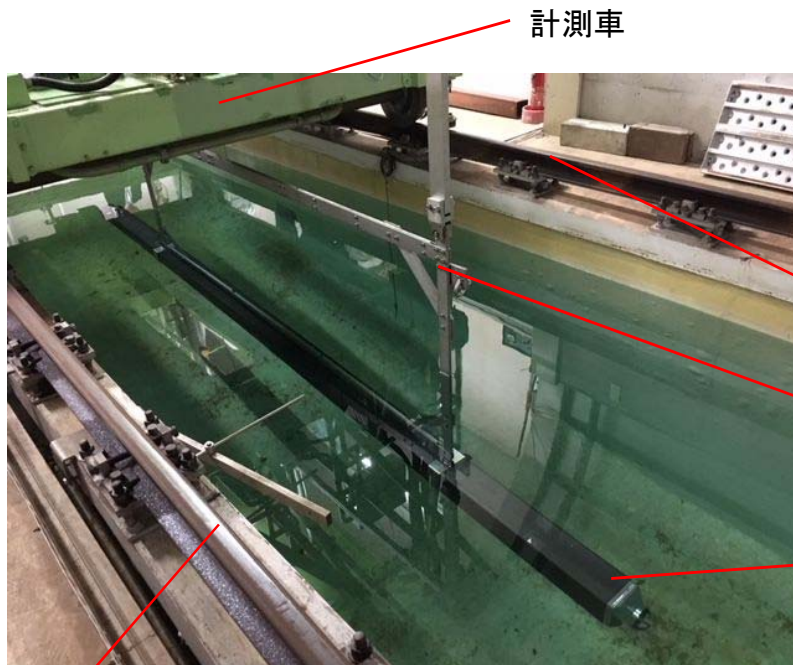
また、CFD (Computational Fluid Dynamics)解析を並行して実施し、試験条件(レイノルズ数)を補完する解析も実施する。

【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)



試験体系



計測車のレール

試験装置外観

進行方向

【評価手順概要】

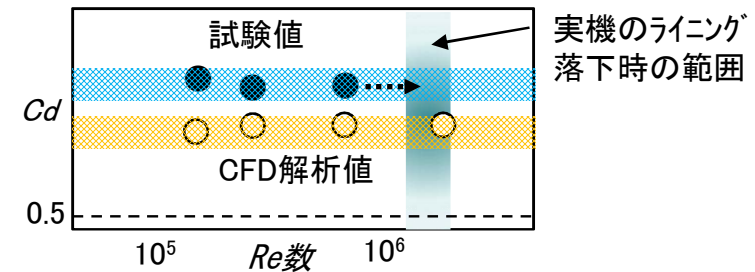
- (1) 燃料集合体を取り付けた状態で，荷重計により計測速度毎の抗力①を測定。
- (2) 燃料集合体を取外した状態で，荷重計により計測速度毎の抗力②を測定。
- (3) ①－②の差分から，燃料集合体だけの抗力③を得る。
- (4) 抗力③から抗力係数Cdを求める。

$$Cd = D \times 2 \div \rho \div A \div v^2$$

ここで，D：抗力[N]， ρ ：水密度[kg/m³]，A：流れに垂直な投影面積[m²]，v：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。



試験・解析結果の比較(イメージ)

【評価結果】

実機条件での抗力係数Cdは 0.8をやや下回る程度と推定できるが，評価に当たっては測定のばらつきも考慮し，0.6を使う。

抗力係数Cd=0.6として燃料集合体落下エネルギーを評価した結果は 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。

(当初，文献値から直方体 (L/d=1~5，レイノルズ数=1.7×10⁵) の抗力係数の極小値に更に余裕をみて0.80とした。)

【試験結果の考察】

今回、中実の四角柱（水が柱体の中を通過しない）が円管内流水によって受ける抗力を測定する実験も行った（図1）。図2に実験結果を示す。この場合は内部を水が通り抜けることはなく、レイノルズ数が高くなっても抗力係数の変化は小さい。この結果等から以下のとおり試験結果を考察した。

- (1) 燃料集合体の外観は直方体に近いが、内部を通り抜ける水の影響を無視できず、内部を通り抜けた後の水流が後流の抗力を打ち消す方向に作用したため、抗力係数が低くなった（図3）。
- (2) CFD解析では、表面粗さや燃料集合体内部形状の局所的影響を模擬しておらず、少なくとも10%程度は燃料集合体内部を通過する流れを過大評価していること等により、抗力係数が小さくなったと考えられる。
- (3) 抗力係数の試験結果のバラつきは、最大で標準偏差 $\sigma < 0.05$ であり、95%信頼水準（ 2σ ）として ± 0.10 見込む。

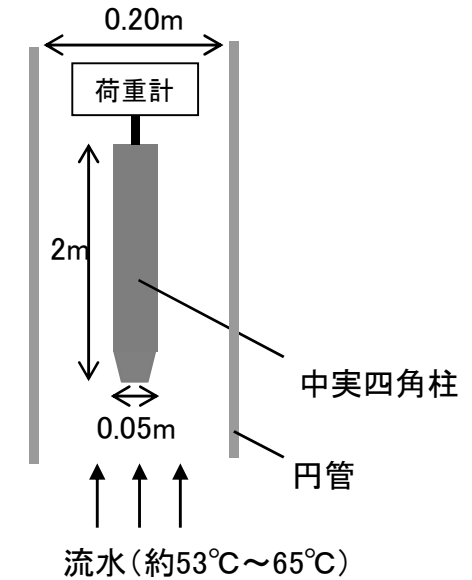


図1 中実四角柱の実験

→ 試験結果は、中実四角柱の実験結果とCFD解析の中間の傾向を示しており抗力係数は0.8を若干下回る程度となり、落下エネルギー評価にはばらつきを考慮して0.6を用いる。

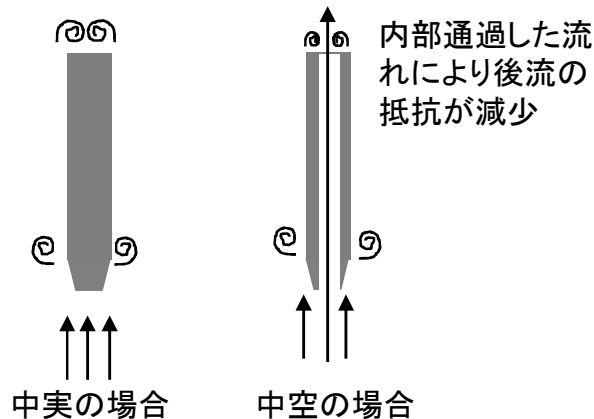


図3 内部通過流の影響

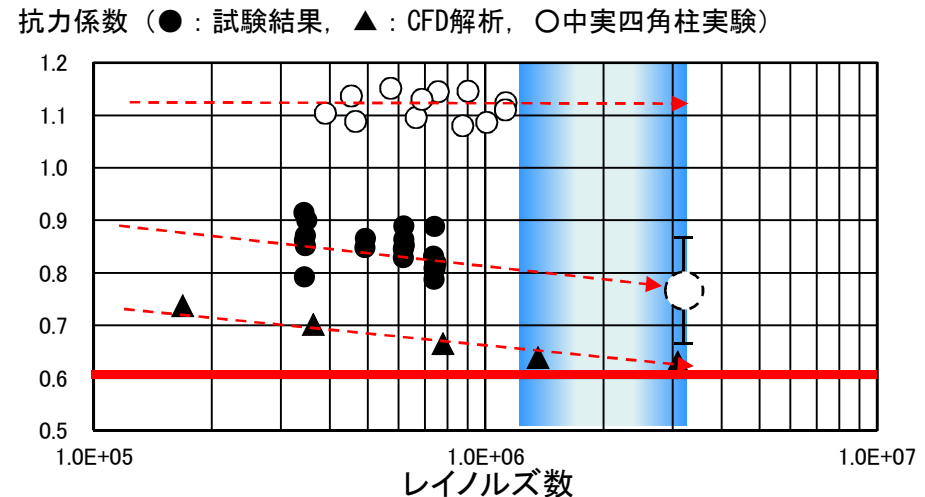


図2 レイノルズ数と抗力係数の関係(中実四角柱の実験含む)