

東海第二発電所

工事計画認可申請に係る論点整理について (コメント回答)

平成30年7月26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)(1/5)



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)、第591回審査会合(H30.6.26)、第595回審査会合(H30.7.3)
第599回審査会合(H30.7.10)、第603回審査会合(H30.7.19)

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

分類	論点	コメント内容	審査会合
			7/26回答分
耐津波	1 鋼製防護壁の止水機構の地震時における追従性	① 止水機構の追従性に係る2次元及び3次元の解析結果	完了(5/31)
		② 止水機構の追従性に係る実証試験(加振試験)結果	完了(5/31)
		③ 実証試験結果のうち、鉛直方向に長周期のうねりが出る原因について、3方向同時加振時に出て、鉛直加振で出ないことを踏まえて、合理的に説明できる根拠を示した上で特定すること	完了(7/3)
		振動台のY軸に対しての回転変位(ローリング)について、試験結果に与える影響を示すこと	完了(7/19)
		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	完了(7/3)
		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あるか検討すること	完了(7/3)
		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	完了(7/3)
		⑦ 止水板の隙間に対する公差について、実機を考慮したうえで設定し、解析モデルの結果の扱いを示すこと	完了(7/19)
	2 防潮堤ルート変更後の敷地遡上津波の浸水深・流速	—	完了(5/17)
耐震	3 可搬型設備の耐震性	① 加振波のFRSが保管場所のFRSを包絡していること	完了(4/5)
		② 加振試験結果	完了(4/5)
	4 機器の動的機能維持評価	① 構造等がJEAG適用外の機器に対して、抽出した評価対象部位に係る動的機能維持の評価結果について説明	完了(5/31)
		② 評価部位「⑥逃がし弁」について、評価項目「加速度」に対する許容値の出典及び適用性を示すこと	完了(6/14)
	5 スタンドパイプの耐震評価	① 解析モデル長さの影響確認結果(解析モデル長さ2.0m及び2.5m)	完了(6/14)
		② スタンドパイプ225本モデルにおける補強板が解析に与える影響	完了(6/14)
		③ 引張試験における荷重(モーメント)の比較	完了(6/14)
		④ ドライヤスカート部との干渉に係る解析上の扱い	完了(6/14)

工事計画認可申請に係る論点整理について(コメント回答)(2/5)



分 類	論 点		コメント内容	審査会合
				7/26回答分
耐震	6	設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性	① 設置変更許可段階で示した「敷地全体の原地盤の液状化強度特性」の代表性及び網羅性	完了(7/3)
			D2g-3層の液状化強度試験箇所の代表性について、各孔のボーリング柱状図及びN値を整理し、総合的に説明すること	○
			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	完了(7/3)
	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	完了(7/3)
			② 鋼製防護壁の接合部に設計荷重を与えた場合、及び設計荷重を超える荷重を仮想した場合の評価について、3次元解析(COM3)の結果を踏まえ、各部材が負担する荷重の伝達メカニズムや3次元挙動について整理して説明すること	○
	8	立坑構造物の解析モデル変更	① 立坑構造物の評価結果	次回以降
	9	原子炉建屋基礎盤の耐震評価	① 局所応力の取扱い、許容限界の説明方針および評価結果	完了(7/3)
			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)	完了(7/3)
			せん断終局強度を適用することを踏まえ、Sクラスの機器・配管系に対する支持機能への影響を検討した上で、せん断終局強度を適用する際の配慮について設計方針を示すこと	○
			② 応力平均化について、平均化する方向を整理して示すこと	○
			基礎スラブの面外せん断耐力実験の結果について、東海第二の原子炉建屋基礎盤への適用性をより詳細に検討すること	○
			地震荷重見直し前後の比較について、計算条件の変更点を整理し、評価結果に支配的な変更点を分析して示すこと	○
	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	完了(7/3)
			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	完了(7/3)
			評価対象要素及び対象とする入力地震動の選定根拠を示すこと	○
	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	完了(7/3)
			② 100Hzまで考慮した応答加速度において、比較的大きな応答増加率を示す弁について振動特性等を考慮して応答増加要因を推定し説明すること	完了(7/19)
外部事象	12	降下火砕物に対する建屋の健全性	① 原子炉建屋の主トラスについて、発生する応力が許容限界を超えないことの確認結果	完了(4/5)
			② 3次元FEMにおける鉄骨材とスラブの拘束条件、実際のスラブの応力、歪の分布、鉄骨材とスラブの接合部の状態を示す	完了(5/31)
機械設計	13	SA時の強度評価における設計方針	① 強度評価方針として、適用基準は保守側を採用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)

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)(3/5)



分 類	論 点		コメント内容	審査会合
				7/26回答分
機械設計	14	SA時の強度評価における設計条件(SAクラス2機器であって、クラス1機器の設計条件)	① SA時機械荷重(ジェット荷重や主蒸気逃がし安全弁の吹き出し反力)を定量的に算出し、順次計算結果を示す	次回以降
			② 建設時の設計条件を使用することを含め、強度評価条件の妥当性を示す	完了(6/14)
	15	強度評価におけるPCV動荷重の考慮	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	完了(7/3)
			① SRV作動時の動荷重が、DBA条件を包絡することについて、圧力干渉効果や圧力上昇率等の考察を添えて説明すること(単弁作動時よりも多弁作動時の方が発生荷重が小さくなることの説明も含む)	次回以降
			FCI時及びベント時の動荷重が、DBAのLOCA時を包絡することについて、LOCA時の荷重をどのような条件で設定しているかを示したうえで説明すること	次回以降
			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	完了(7/3)
			③ SA時の応力について、SA水位の影響について説明すること	次回以降
	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asket増厚による閉じ込め機能の評価における開口量評価の裕度	完了(4/5)
	17	ブローアウトパネル及び関連設備の必要機能と確認方法	① 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	完了(7/3)
			② ブローアウトパネル閉止装置の実証試験(加振試験)及び開閉動作試験、気密性能試験の結果	完了(6/26)
			ブローアウトパネル閉止装置の実証試験(加振試験)での不具合を踏まえた対策検証について	完了(7/10)
			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)
			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 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)
			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)
			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)
			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)
			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)

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)(4/5)



分 類	論 点	コメント内容		審査会合
				7/26回答分
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	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)
		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 要求機能	強制開放装置の位置付け	完了(5/17)
		⑬ 要求機能	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)
		⑮ 耐震	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)
		⑯ 追加試験	部品の裕度評価及び門の設計に関する説明	完了(7/19)
			門設置に伴う扉開閉の維持管理に関する説明	完了(7/19)
			追加試験における電動作動確認の判定基準の検討	完了(7/19)
			ブローアウトパネル閉止装置の追加実証試験結果	次回以降
	18 SRVのSA耐環境性	①	SA時の原子炉格納容器内におけるSRV作動環境	完了(4/5)
		②	SRV(自動減圧機能)の耐環境性	完了(4/5)
		③	非常用逃がし安全弁駆動系の耐環境性	完了(4/5)
		④	過去のSRV環境試験条件について対象の機器を明確にして資料に反映	完了(6/14)
		⑤	健全性の説明書の中でその他のSA耐環境性について整理・説明	完了(6/14)
	19 MCC/FCI対策に係る設計	① 試験	モックアップ試験結果	完了(6/14)
			導入管カバーを考慮した試験も含め、モックアップ試験の結果について示すこと	完了(7/3)
		②	モックアップ試験における異物混入を想定した試験条件	完了(6/14)
		③ 施工	コリウムシールドの施工性	完了(5/31)

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)(5/5)



分 類	論 点		コメント内容		審査会合
					7/26回答分
機械設計	19	MCCI/FCI対策に係る設計	④	工認対象範囲	完了(5/31)
			⑤	工認上の扱い	完了(5/31)
			⑥	コリウムシールドドライナーの工認上の記載	完了(5/31)
			⑦	排水ラインのラプチャーディスクの扱いについて整理して示すこと。また、ドライウエル内水位調整の機能に悪影響を与えないことを示すこと	完了(6/14)
				安全弁の吹き出し圧力、吹き出し量、反力について、説明すること	次回以降
	20	ECCSポンプのSA時でのNP SH評価	①	試験結果および評価結果	完了(7/3)
			②	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)
			③	試験手順について示すこと	完了(5/31)
			④	試験の進捗状況、見直しについて具体的に示すこと	完了(5/31)
	21	SM材の使用制限(2.9MPa)を超えた範囲での使用	—	—	完了(5/17)
	22	燃料集合体落下時の使用済燃料プールライニングの健全性	①	使用済燃料プールでの燃料集合体落下時のライニングの健全性評価において、水の抵抗を考慮しており、この際に用いている抗力係数について確認すること	完了(5/31)
			②	試験結果および評価結果	完了(7/3)
			③	CFD解析モデルについて説明すること	完了(6/14)

【論点6】 設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性（1 / 3）

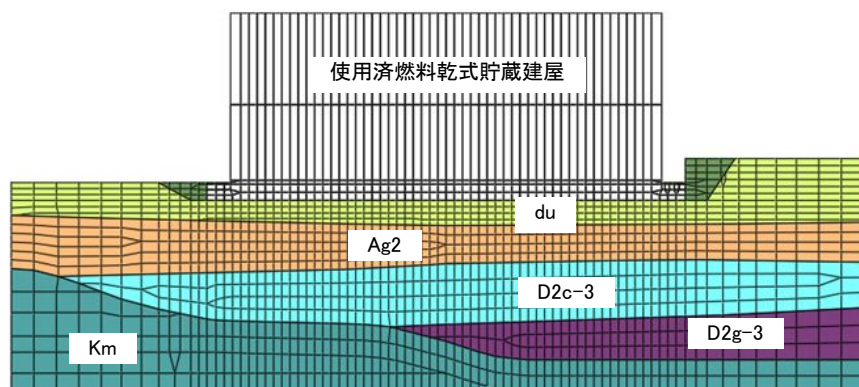


＜本論点の経緯＞

第595回審査会合（平成30年7月3日）においては、使用済燃料乾式貯蔵建屋を個別の評価対象とした根拠について整理し、使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置の液状化強度特性（試験位置の代表性）について説明した。
当該説明結果について以下のご指摘をいただいた。

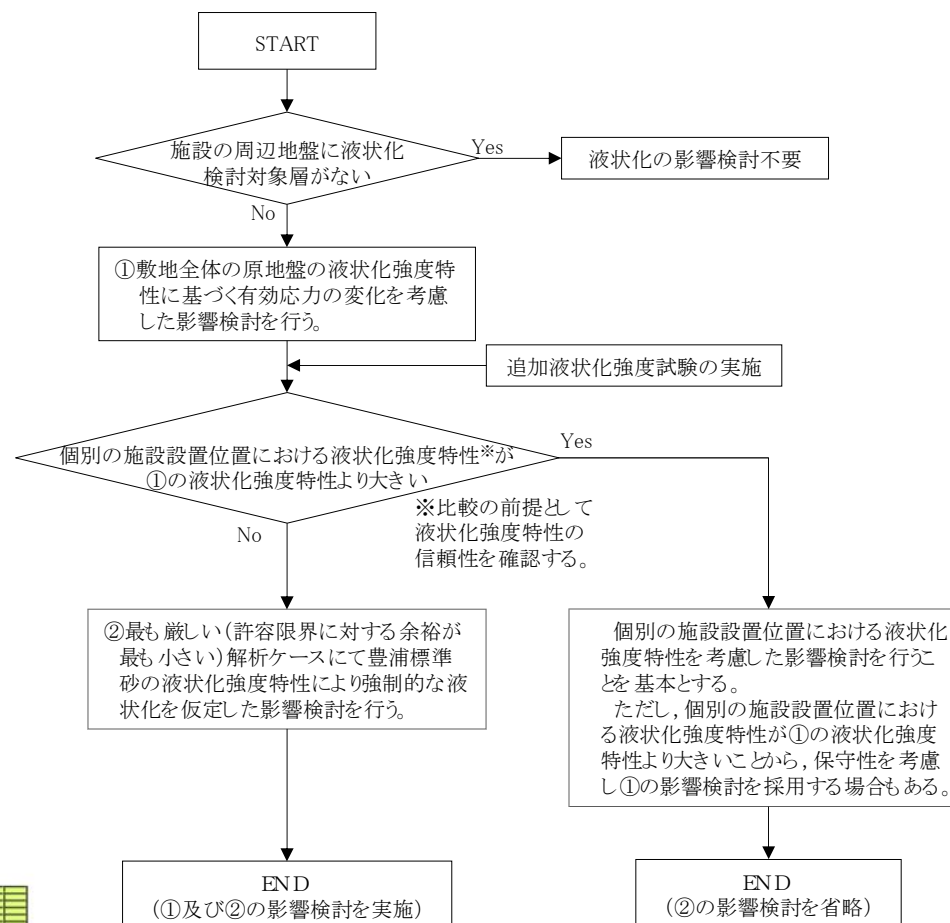
＜コメント＞

D2g-3層の液状化強度試験箇所代表性について各孔のボーリング柱状図及びN値を整理し、総合的に説明すること。



NS断面

施設毎の液状化影響検討の組合せの設定フロー



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の液状化影響検討にあたって、施設直下に分布する地層のうちAg2層及びD2g-3層の液状化強度特性は、当該地点において液状化強度試験を実施していることから、豊浦標準砂の液状化強度特性を用いた評価は実施しない。この2層の液状化強度特性の設定にあたっては、保守性を考慮し、これら2層の液状化強度特性の下限値を更に下回る地層の液状化強度特性を適用する。

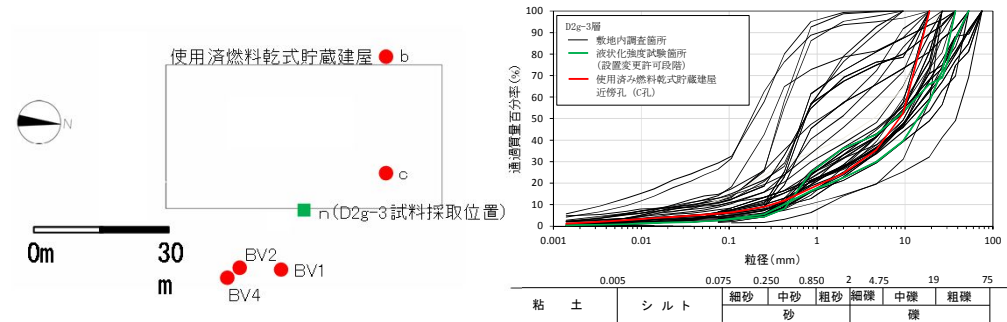
【論点6】 設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性（2／3）
 （D2g-3層の液状化強度特性（試験位置の代表性））



<回答>

使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置におけるD2g-3層の地質的性状に大きな差異がないことから、当該位置で取得したD2g-3層の液状化強度特性は、使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価に使用する液状化強度特性として代表性を有するものと判断される。

- D2g-3層の分布深度は、概ねG.L. -17m～G.L. -25m程度に分布する。
- 液状化強度試験用の供試体を取得したコア（■）付近について、ボーリング（●）のコア観察記録では、数mmから数十mmの礫を含む砂礫層であり、標準貫入試験結果では、一部にN値が30程度の箇所が認められるものの、概ねN値50以上の強固な地層であることを確認した。c孔のN値35の箇所は、礫分が少ない部分に該当している。また、BV1孔のN値が31の箇所は、柱状図の記載によれば礫分が少なく、かつシルト分がやや多い部分に該当する。このように細粒分が多いことは、液状化強度特性が大きくなることに寄与する傾向の要因であるため、液状化強度特性下限値の設定への影響は小さいが、有効応力解析では保守的な配慮として、代表性を確認した当該地層の液状化強度特性の下限値を下回る地層の液状化強度特性を設定する。
- 液状化強度試験用の供試体を取得したコア（■）とその近傍ボーリングc孔の粒度分布は同様であることを確認した。



液状化強度試験供試体取得箇所と周辺ボーリング孔の分布位置図

液状化強度試験供試体と周辺ボーリングc孔の粒度分布比較図

使用済み燃料乾式貯蔵建屋近傍調査孔及び液状化強度試験箇所（設置変更許可申請段階D2g-3層）

孔番		b		c		BV1		BV2		BV4	
D2g-3層 確認深度	上端	G. L. -22. 85m		G. L. -21. 15m		G. L. -17. 90m		G. L. -17. 64m		G. L. -17. 25m	
	下端	G. L. -23. 20m		G. L. -25. 22m		G. L. -22. 10m		G. L. -21. 90m		G. L. -21. 91m	
柱状図記載内容		・ 礫は5～30mm亜角礫 ・ 礫種は、砂岩、粘板岩、花崗岩類		・ 基質は粗砂の砂礫 ・ 礫は10～60mmの亜円礫～亜角礫 ・ 礫種は、砂岩、粘板岩、ひん岩、チャートと多種		・ 基質は淘汰不良な細～粗砂であり、粘土分を含む ・ G. L. -21. 50m付近は礫分少ない		・ 基質は細～粗砂を主体とし、全体に淘汰不良 ・ 礫は2～60mmの亜円～亜角礫 ・ 礫種は、砂岩、粘板岩、花崗岩からなる		・ シルト混じり砂礫 ・ 基質は細～粗砂を主体とし、全体に淘汰不良 ・ 礫種は、砂岩、粘板岩、花崗岩からなる5～70mm大の亜円～亜角礫	
標準貫入試験深度 及びN値		G. L. -23. 10m	N=167 ^{注)}	G. L. -21. 15m	N=68 ^{注)}	G. L. -18. 15m	N=88 ^{注)}	G. L. -18. 15m	N=75 ^{注)}	G. L. -18. 15m	N=65 ^{注)}
				G. L. -22. 15m	N=83 ^{注)}	G. L. -19. 15m	N=83 ^{注)}	G. L. -19. 15m	N=60 ^{注)}	G. L. -19. 10m	N=150 ^{注)}
				G. L. -23. 15m	N=68 ^{注)}	G. L. -20. 15m	N=125 ^{注)}	G. L. -20. 15m	N=214 ^{注)}	G. L. -20. 15m	N=60 ^{注)}
				G. L. -24. 15m	N=35	G. L. -21. 15m	N=31	G. L. -21. 15m	N=50	G. L. -21. 15m	N=100 ^{注)}

注) 打撃回数50回において、貫入長が300mm未満の標準貫入試験箇所は次式によりN値を算出した。

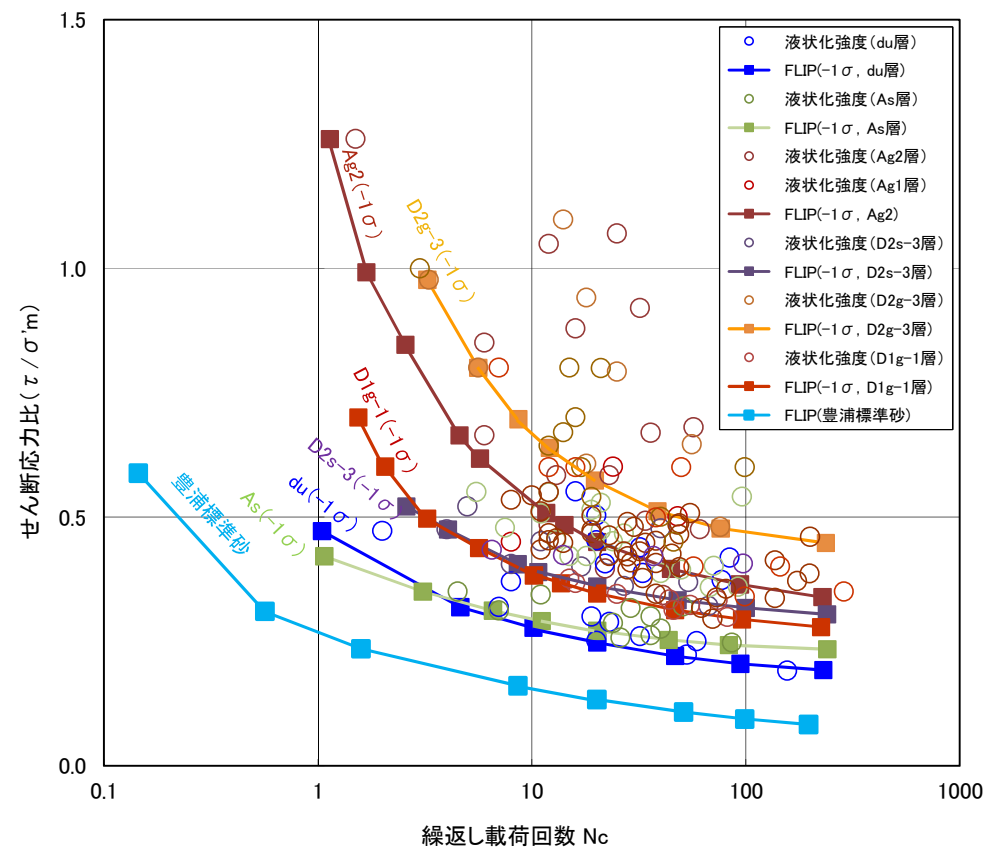
$$\text{換算N値} = \frac{300\text{mm}}{\text{打撃回数50回における打込み長(mm)}} \times 50$$

【論点6】 設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性（3／3）
（使用済燃料乾式貯蔵建屋の個別評価）



＜使用済燃料乾式貯蔵建屋の液状化影響検討について＞

使用済燃料乾式貯蔵建屋の液状化検討にあたって、施設直下に分布する地層のうちAg2層（砂礫）及びD2g3層（砂礫）の液状化強度特性は、当該地点において液状化強度試験を実施していることから、豊浦標準砂の液状化強度特性を用いた評価は実施しない。ただし、これら2層の液状化強度特性の設定にあたっては、保守性を考慮し、これら2層の液状化強度特性の下限值を更に下回るD1g-1（砂礫）の液状化強度特性を適用する。



液状化強度特性の比較

【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595回審査会合（平成30年7月3日）において、鋼製防護壁接合部の3次元解析（COM3）の結果に基づき直接定着式アンカーボルトの鋼製防護壁への適用性及び設計方法の妥当性について説明した。

設計荷重を超える荷重に対する結果については、以下の指摘を頂いた。

<コメント>

鋼製防護壁の接合部に設計荷重を与えた場合、及び設計荷重を超える荷重を仮想した場合の評価について、3次元解析（COM3）の結果を踏まえ、各部材が負担する荷重の伝達メカニズムや3次元挙動について整理して説明すること。

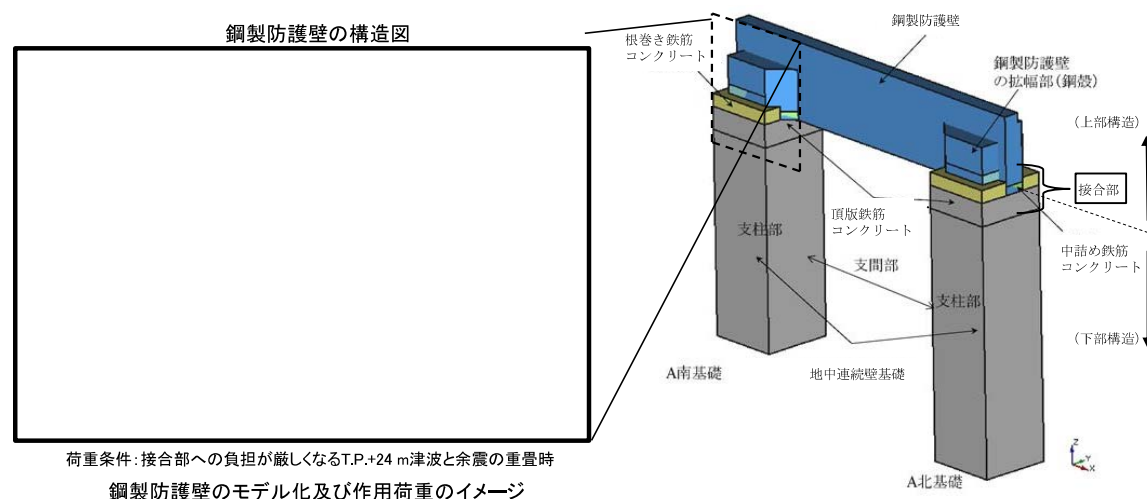
<回答概要>

3次元解析（COM3）に基づき、3次元挙動と荷重伝達メカニズム及び荷重分散に関する各部材のひずみと荷重比率の関係を整理した。

3次元解析（COM3）による照査値は、設計荷重に対する各部材の最大局所ひずみと初期弾性係数を用いて保守的に応力を求め算定しているが、全ての部材について照査値が1.0以下であり、許容値を満足していることから安全余裕を有する構造であることを確認した。

また、接合部の構造は、設計荷重を超える荷重を仮想した場合においても、全ての部材において脆性的なひずみ増加を呈してしているものではなく、鉄筋のひずみ硬化開始ひずみ及びコンクリートの許容圧縮ひずみに対して十分余裕のある範囲内で耐荷性能を保持していることから、これらの部材が一体となった3次元構造として十分な靱性があることを確認した。

解析モデル



【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（2／6） （荷重の伝達メカニズムと3次元挙動の整理）



- 3次元解析（COM3）による照査値は、設計荷重に対する各部材の最大局所ひずみと初期弾性係数を用いて保守的に応力を求め算定しているが、全ての部材について照査値が1.0以下であり、許容値を満足していることから安全余裕を有する構造であることを確認した。
- 頂版鉄筋コンクリート（せん断補強筋）について、3次元解析（COM3）による照査値が0.93となっているのは、設計上コンクリートのみでせん断力を負担できるため、各基準類にしたがい最小鉄筋量を配置したこと、及び設計荷重に対する各部材の最大局所ひずみと初期弾性係数を用いて応力を求め照査値を算定していること、並びに最大局所ひずみに着目して照査値を算定していることによるものであるが、保守的な配慮として鉄筋径の仕様を上げることで更なる安全余裕を有する構造とする。

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

	部 位	照査項目	許容限界 N/mm ²	最大発生応力度*2 N/mm ²	照査値*2 (発生応力度／許容限界)	判定
引抜き力 (Mx, My, N)	アンカー ボルト	曲げ軸応力	355	126 (321)	0.36 (0.91)	OK
		引抜き力	6	2.4 (5.3)	0.40 (0.89)	OK
		コーンせん断力 (せん断補強筋の引張応力)	339.9	125 (167)	0.37 (0.50)	OK
水平力 (Sx, Sy) 水平回転モーメント (Mz)	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(鉛直筋) (水平回転モーメントによる引張応力)	478.5	362 (211)	0.76 (0.45)	OK
	頂版鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	32	27 (10)	0.85 (0.32)	OK
		鉄筋応力(せん断補強筋) (水平力によるせん断応力)	339.9	316 (- *3)	0.93 (- *3)	OK
		鉄筋応力(フープ筋) (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	315 (447)	0.66 (0.94)	OK
	中詰め鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	32	16 (- *4)	0.50 (- *4)	OK
		鉄筋応力(せん断補強筋) (水平力によるせん断応力)	339.9	167 (299)	0.50 (0.88)	OK
		鉄筋応力(フープ筋) (水平回転モーメントによるせん断応力)	478.5	345 (334)	0.73 (0.70)	OK

*1: 最大発生応力度は、3次元解析（COM3）において、6成分の設計荷重が同時に接合部へ作用した場合の発生応力度である。

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

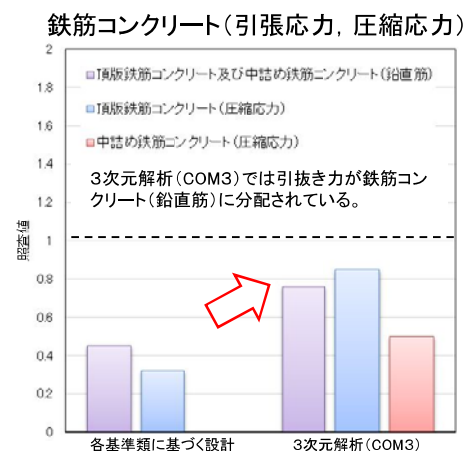
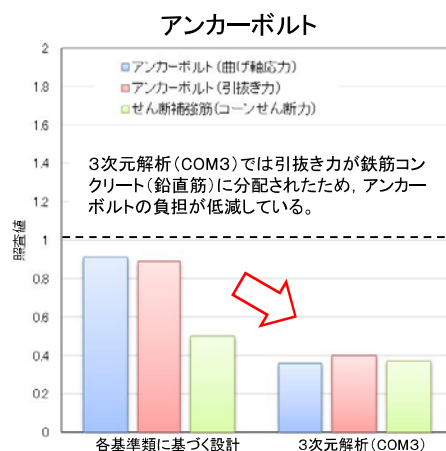
*3: コンクリートのみでせん断力を負担できるため、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」による最小鉄筋量を考慮した上で、保守的な配慮として鉄筋径の仕様を上げることで更なる安全余裕を有する構造とする。

*4: 各基準類にしたがい、設計上中詰め鉄筋コンクリート部の曲げ圧縮力に対しては、中詰め鉄筋コンクリートが負担することを期待せず、鋼殻のみでも負担可能としている。

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（3／6） （荷重の伝達メカニズムと3次元挙動の整理）

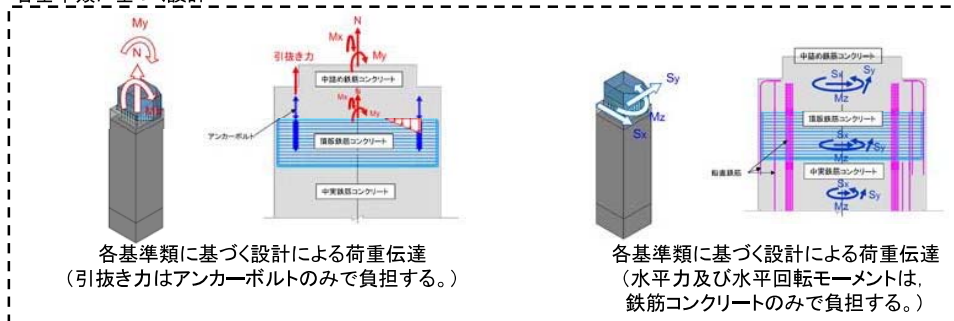


- アンカーボルトは「鋼構造物設計基準（名古屋高速道路公社）」に基づき設計を行ったが、構成部材が一体となった3次元解析（COM3）による照査結果の方がより安全余裕が高いことが確認された。
- 接合部に対する引抜き力は、最初は主にアンカーボルトが負担するが、次第にアンカーボルトの内側にある頂版鉄筋コンクリート及び中詰め鉄筋コンクリートの鉛直筋（D51）にも分配されるようになり、アンカーボルトの荷重負担が低減されるメカニズムとなっている。

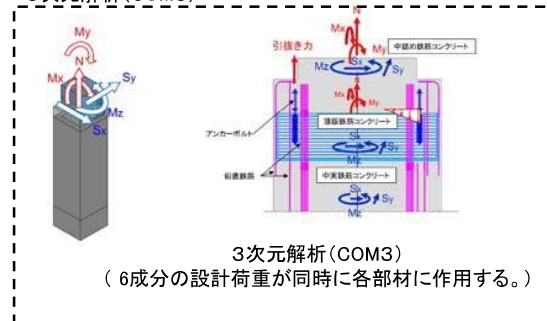


* 3次元解析 (COM3) による照査値は、各部材の局所の最大ひずみと初期弾性係数を用いて保守的に応力を求め算定している。

各基準類に基づく設計



3次元解析 (COM3)

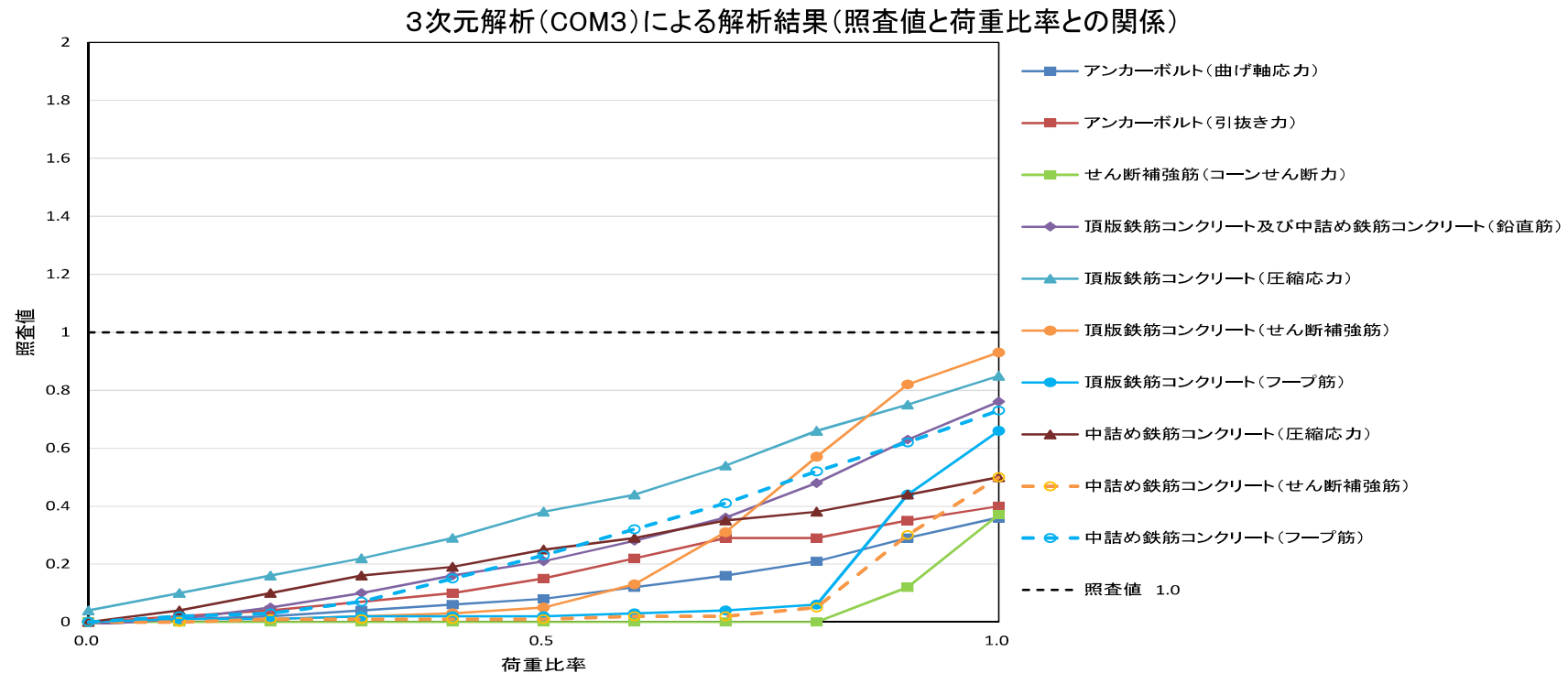


各基準類に基づく設計による照査結果と3次元解析 (COM3) による照査結果の比較図

【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（4／6） （荷重の伝達メカニズムと3次元挙動の整理）



- ・ 頂版鉄筋コンクリート(せん断補強筋) —●— が主に負担している荷重は、荷重比率0.8以降において頂版鉄筋コンクリート(フープ筋) —●— 及び中詰め鉄筋コンクリート(せん断補強筋) —○— に分配されている。その際、急激に荷重負担が増加する部材はなく、概ね同様の勾配で推移している。
- ・ 荷重比率0.7程度までは接合部の引抜き力を主にアンカーボルトで負担しているが、荷重比率0.7程度以降は主に頂版鉄筋コンクリート及び中詰め鉄筋コンクリート —◆— の鉛直筋(D51)が負担するよう、適切に負担荷重が分配されている。
- ・ 3次元解析(COM3)による照査値は、各部材の最大局所ひずみと初期弾性係数を用いて保守的に応力を求め算定しているものであるが、荷重比率1.0(設計荷重)において、3次元解析(COM3)による全ての部材の照査値が1.0以下となっていることから、これらの部材が一体となった構造は、設計荷重に対して安全余裕を有する構造である。



* : 荷重比率: 設計荷重を1とした場合の比率

* : 荷重比率1.0の時点で最も照査値が大きい局所の各部材要素の照査値の変遷

* : 3次元解析(COM3)による照査値は、各部材の最大局所ひずみと初期弾性係数を用いて保守的に応力を求め算定している。

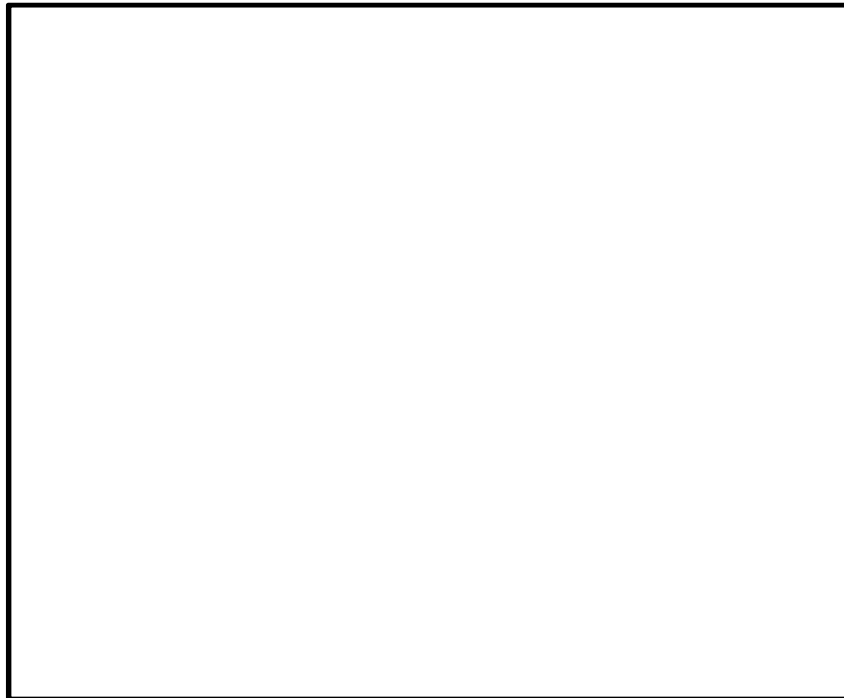
【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（5／6）

（設計荷重を超える荷重の載荷に対して、十分な靱性があることの確認）

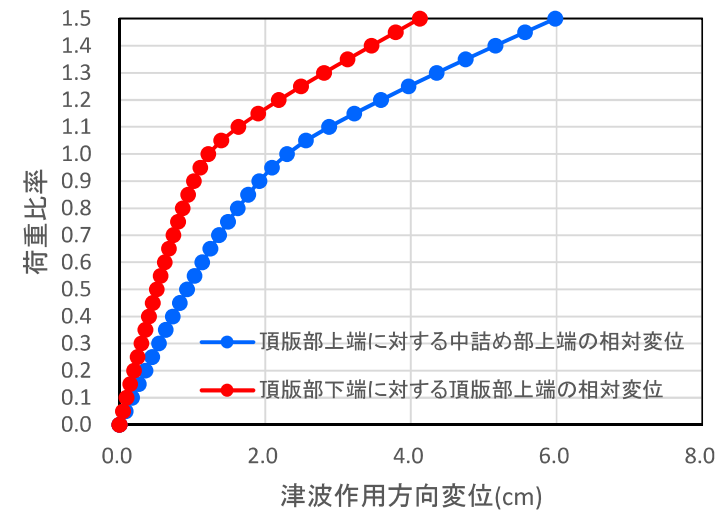


- 設計荷重を超える荷重として設計荷重の1.5倍の荷重を仮想した場合における3次元解析（COM3）の結果より、中詰め鉄筋コンクリート及び頂版鉄筋コンクリートの各部材の下端部に対する上端部の相対変位量と荷重比率の関係について確認した結果、荷重比率が1.0を超えたあたりから変位勾配がやや緩やかになるものの、耐荷性能を保持している構造であることを確認した。

津波作用方向変位抽出位置



荷重比率と津波作用方向変位の関係



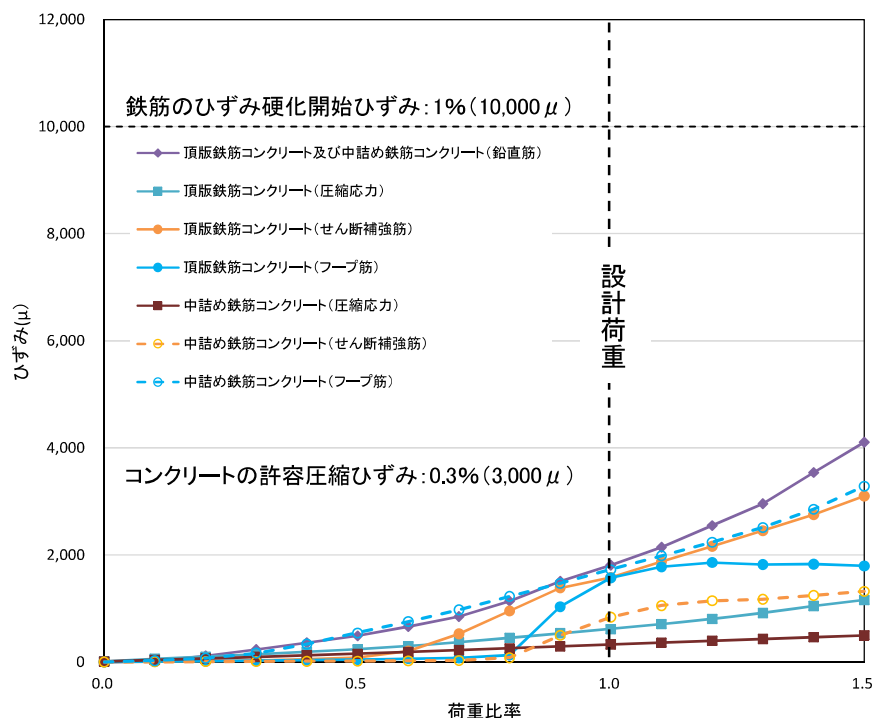
【論点7】 鋼製防護壁の上部・下部構造の接合部の評価（6／6）

（設計荷重を超える荷重の载荷に対して、十分な靱性があることの確認）



- 設計荷重を超える荷重を仮想した場合においても、全ての部材の最大局所ひずみが鉄筋のひずみ硬化開始ひずみ及びコンクリートの許容圧縮ひずみに対して十分余裕のある範囲内であることを確認した。
- また、各部材の荷重比率1.5に至る過程においても、一部の部材にひずみが集中して急激に増加する状態は生じず、どの部材も無理なく荷重を負担している。
- 以上のことから、接合部の構造は、設計荷重を超える荷重を仮想した場合においても、全ての部材において脆性的なひずみ増加を呈しているものではなく、鉄筋のひずみ硬化開始ひずみ及びコンクリートの許容圧縮ひずみに対して十分余裕のある範囲内で耐荷性能を保持していることから、これらの部材が一体となった3次元構造として十分な靱性があることを確認した。

局所ひずみと荷重比率の関係
（荷重比率1.0の時点で最も局所の照査値が大きい要素に着目）



最大局所ひずみと荷重比率
（荷重比率1.0, 1.2, 1.5のそれぞれに対する最大局所ひずみ要素に着目）

部 位	照査項目	最大局所ひずみ (μ)		
		荷重比率 1.0	荷重比率 1.2	荷重比率 1.5
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(鉛直筋) (水平回転モーメントによる 引張応力)	1810	2550	4110
頂版鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	613	805	1158
	鉄筋応力(せん断補強筋) (水平力によるせん断応 力)	1580	2340	3930
	鉄筋応力(フープ筋) (水平回転モーメントによる せん断応力)	1570	1860	1795
中詰め鉄筋 コンクリート	コンクリート応力 (圧縮応力)	329	395	498
	鉄筋応力(せん断補強筋) (水平力によるせん断応 力)	836	1160	1330
	鉄筋応力(フープ筋) (水平回転モーメントによる せん断応力)	1730	2240	3283

- * 1: 鉄筋のひずみ硬化開始ひずみは、「コンクリート標準示方書【設計編】(土木学会, 2017制定)」に示されるSD490の終局限界より前の段階である規格値の下限値のひずみ1% (10,000 μ) とする。
鉄筋コンクリートにおけるコンクリートの許容圧縮ひずみは、「JSME S NE1-2011(日本機械学会, 2011)」に示される荷重状態IVに対するコンクリート圧縮ひずみの許容値のひずみ0.3% (3,000 μ) とする。

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(1/13)
コメントリスト



No.	コメント	回答	頁
1	地震荷重見直し前後の比較について、計算条件の変更点を整理し、評価結果に支配的な変更点を分析して示すこと。	建屋全体の地震荷重及び各耐震壁の荷重分担率の見直しによる影響が大きいことを確認した。	(2/12) ～ (9/12)
2	せん断終局強度を適用することを踏まえ、Sクラスの機器・配管系に対する支持機能への影響を検討した上で、せん断終局強度を適用する際の配慮について設計方針を検討すること。	荷重見直しによる応力解析結果を踏まえるとともに、機器・配管系の支持機能の維持に係る説明性を鑑み、面外せん断の許容限界をRC-N規準による短期許容応力度に見直し、保守的な評価とすることで、機器・配管系に対する支持機能の確保を担保することとする。	(10/12)
3	応力平均化について、平均化する方向を整理して示すこと。	先行プラント実績と同様、RC-N規準を参考とした材軸方向の応力平均化を用い、許容限界以下となることを確認した。	(11/12) ～ (12/12)
4	基礎スラブの面外せん断耐力実験の結果について、東海第二の原子炉建屋基礎盤への適用性をより詳細に検討すること。	左記検討の詳細について、「補足-370-12原子炉建屋基礎盤の耐震性評価に関する補足説明」に反映した。	—

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(2/13) コメントNo.1
地震荷重見直し前後の評価(概要)(1/2)



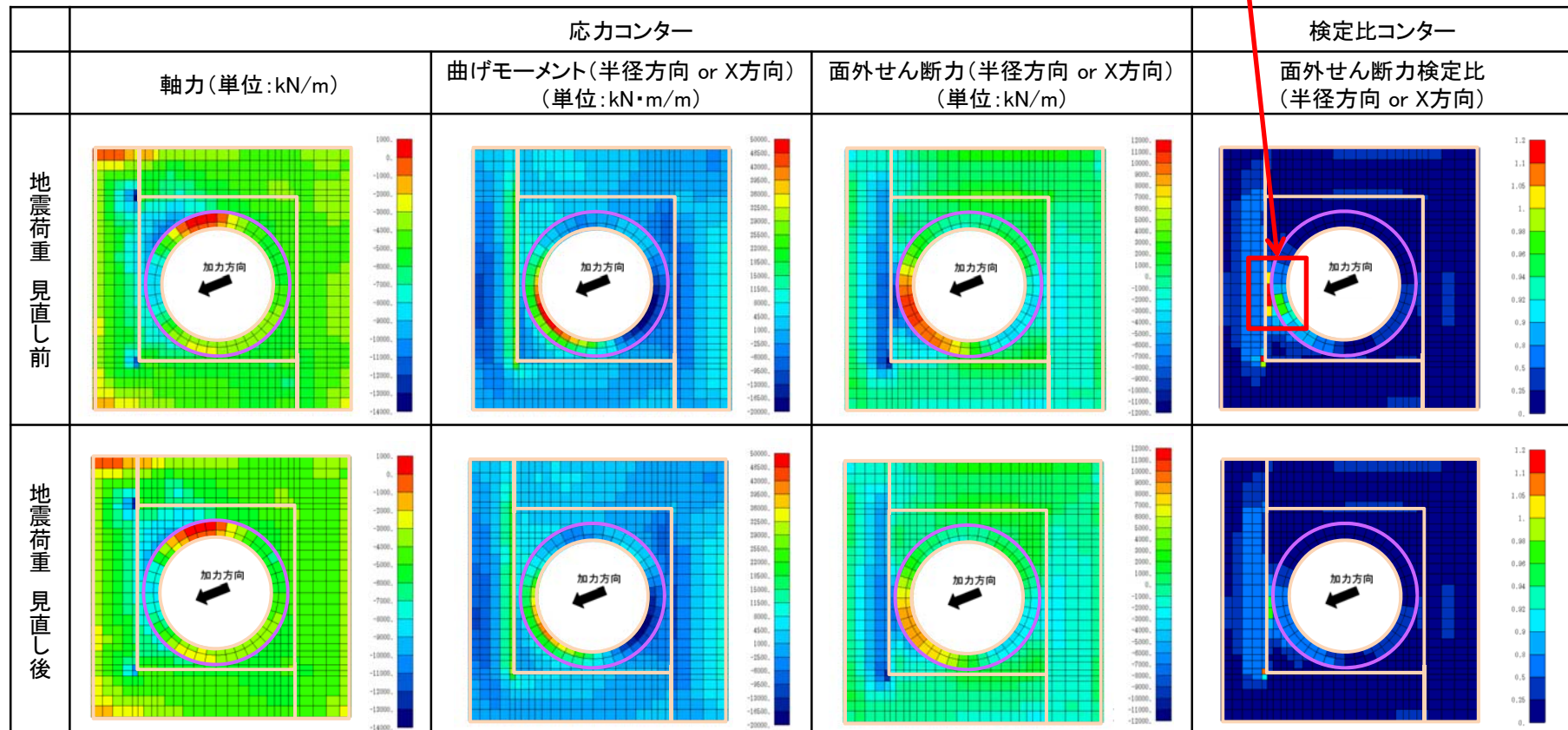
<コメントNo.1>

前回の審査会合からの地震荷重見直し前後の比較について、計算条件の変更点を整理し、評価結果に支配的な変更点を分析して示すこと。

<地震荷重見直し前後の比較>

✓地震荷重の見直しにより、原子炉建屋基礎盤に生じる応力が減少。

面外せん断力検定比が
大きい場所を拡大（次頁）



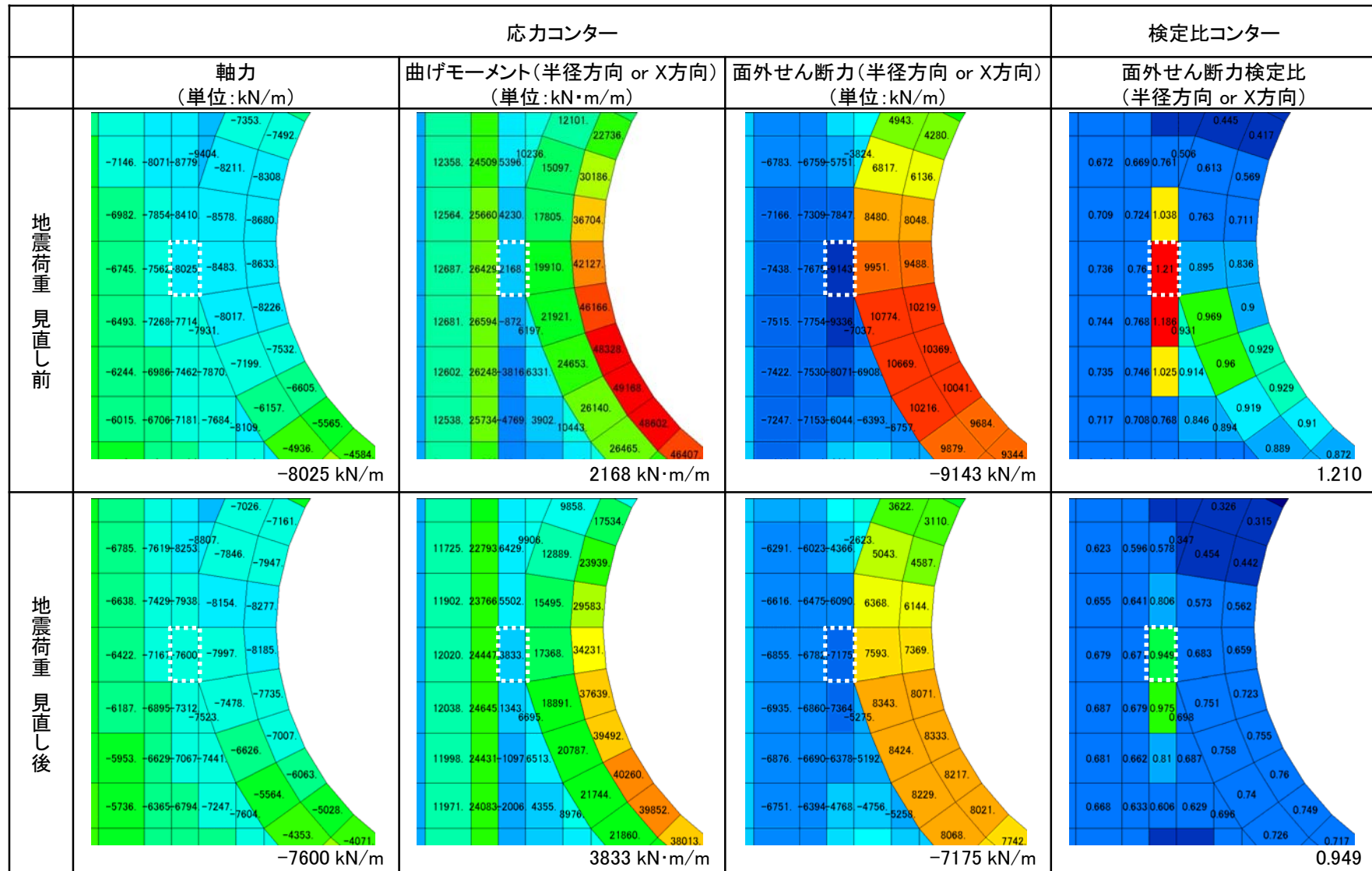
評価結果(Ss-31, 水平2方向+鉛直方向, 荒川mean式)

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(3/13) コメントNo.1
地震荷重見直し前後の評価(概要)(2/2)



<地震荷重見直し前後の比較(面外せん断力検定比が大きい場所を拡大)>

✓地震荷重の見直しにより, 特にシェル壁周辺において, 検定比が1.0を超える要素が減少。



評価結果(Ss-31, 水平1方向+鉛直方向, 荒川mean式)

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(4/13) コメントNo.1
地震荷重の変更点の整理(概要)



- 地震応答解析の結果に基づき建屋全体の地震荷重を設定し、せん断力分配解析に基づき各壁に作用する地震荷重を設定する。
- 第572回審査会合(5/17)以降、下記①～③の変更を行った。

①地震荷重の設定

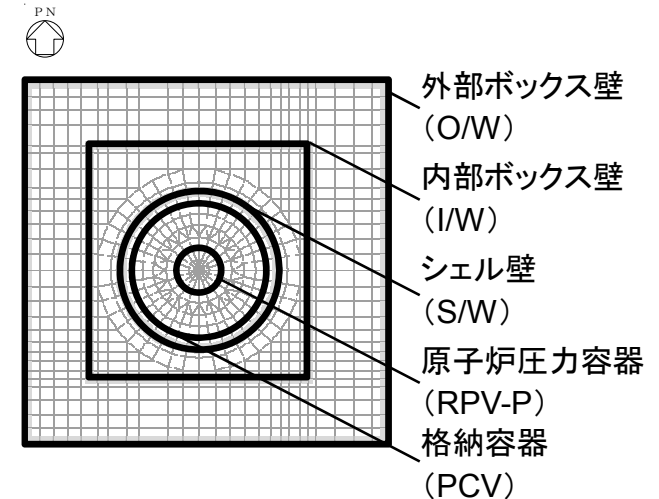
見直し前
(H30.2補正申請,
5/17審査会合)

余裕を考慮した暫定値

見直し後
(7/3審査会合)

地震応答解析に基づく確定値

3～10%



②地震荷重の分配率の変更

見直し前
(H30.2補正申請,
5/17審査会合)

O/W
(0.47)

I/W
(0.29)

S/W
(0.24)

見直し後
(7/3審査会合)

O/W
(0.52)

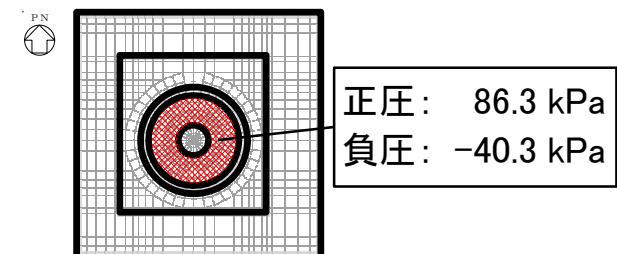
I/W
(0.30)

S/W
(0.18)

※()内はSs-31(EW方向)による地震荷重(せん断力)の比を示す。

③逃がし安全弁作動時荷重の追加

サプレッションプール部に対して、逃がし安全弁作動時荷重を考慮。

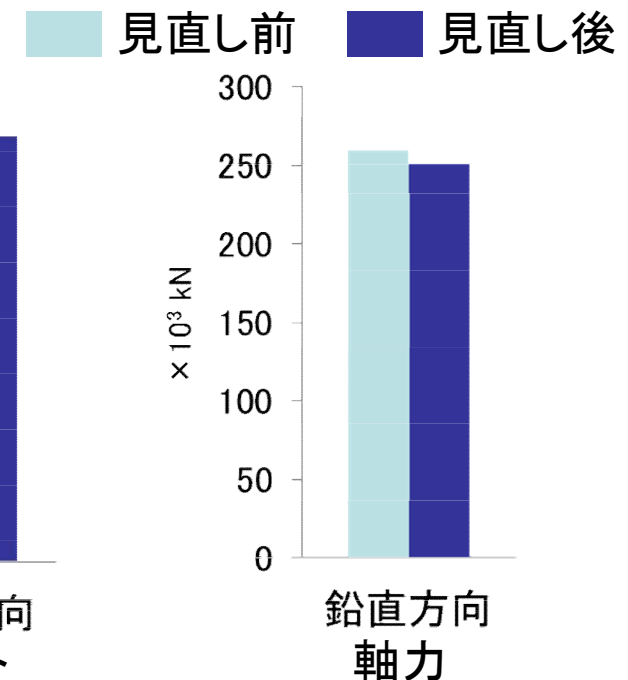
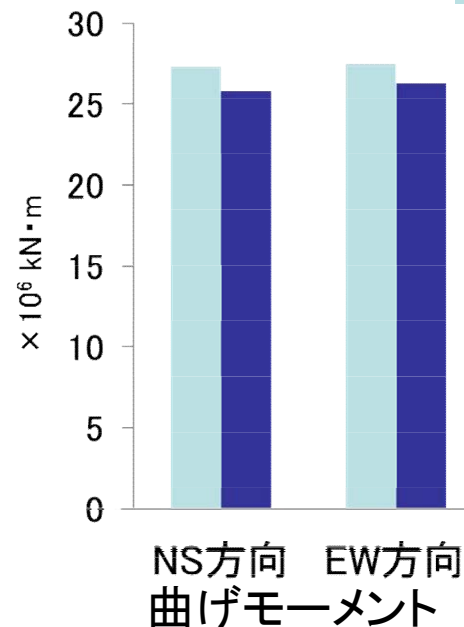
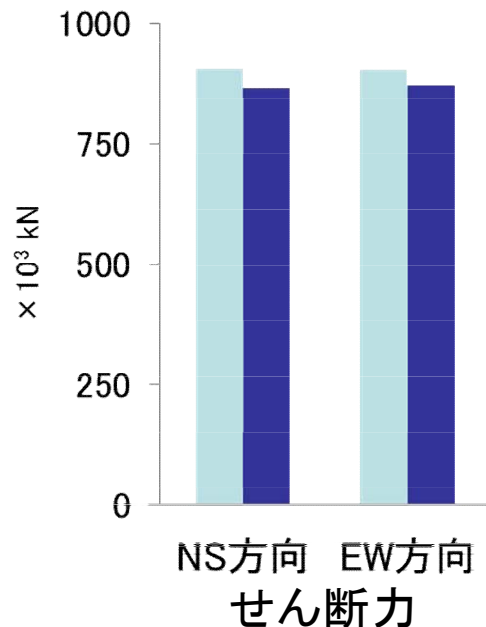


【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(5/13) コメントNo.1
地震荷重の変更点の整理 ①地震荷重の設定



- ・耐震壁から原子炉建屋基礎盤に作用する地震荷重(建屋全体の合計)について、余裕を考慮した暫定値から地震応答解析に基づく確定値に見直した。
- ✓見込んでいた余裕分(約3~10%)を取り除くと原子炉建屋基礎盤に作用する地震荷重が低減した。以下にSs-31, EW成分の例(約3~5%低減)を示す。

	せん断力 ($\times 10^3$ kN)		曲げモーメント ($\times 10^6$ kN・m)		軸力 ($\times 10^3$ kN)
	NS	EW	NS	EW	
見直し前	905	904	27.3	27.5	260
見直し後	866	870	25.8	26.3	251
後／前	0.96	0.96	0.95	0.96	0.97



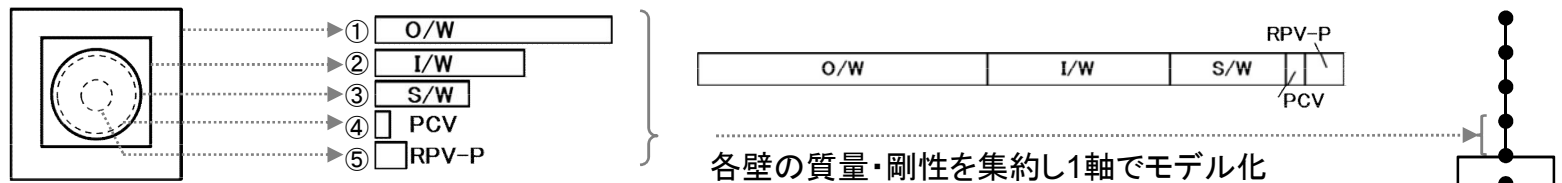
【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(6/13) コメントNo.1
地震荷重の変更点の整理②地震荷重の分配率の変更 (1/4)



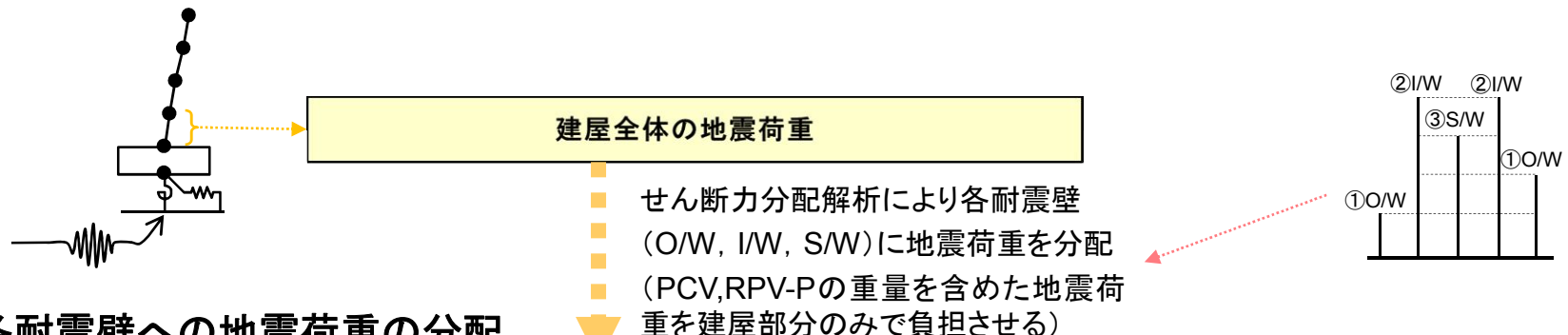
- 既工認における各耐震壁の地震荷重の分配の流れを以下に示す。

(以降、剛性及び荷重は耐震壁脚部のものを示す。)

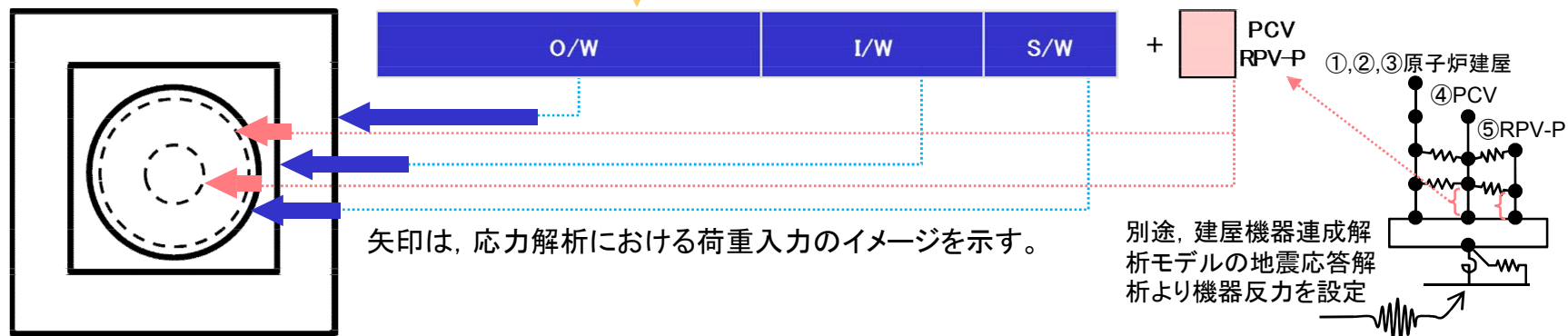
1. 地震応答解析モデルの設定



2. 地震応答解析に基づき地震荷重を設定



3. 各耐震壁への地震荷重の分配



※: PCV, RPV-Pの地震荷重を機器反力として別途考慮しており、建屋全体の地震荷重と重複させている点で保守的な設定となっている。

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(7/13) コメントNo.1
地震荷重の変更点の整理 ②地震荷重の分配率の変更 (2/4)



1. 地震応答解析モデルの設定(せん断剛性) (既工認と同じ)

O/W (0.45)	I/W (0.28)	S/W (0.18)	
		RPV-P(0.06)	
		PCV(0.03)	

2. 地震応答解析に基づき地震荷重を設定

建屋全体の地震荷重

3. 各耐震壁への地震荷重(せん断力)の分配 ()内はSs-31(EW方向)による地震荷重(せん断力)の比を示す。

- ・応力解析における各耐震壁の地震荷重の分配率を以下の通り見直す。

(1)見直し前 (H30.2補正申請, 5/17審査会合)

O/W (0.47)	I/W (0.29)	S/W (0.24)	+	※ PCV RPV-P (0.08相当)
		PCV, RPV-Pの剛性分		

- ・耐震壁全体の剛性を1. 地震応答解析モデルと整合させることを前提とし, PCV, RPV-Pの剛性を考慮し, これらの剛性分をS/Wに加算。(既工認から考え方を変更した) ⇒結果として, 地震荷重がS/Wに過度に集中。

(2)見直し後 (7/3審査会合)

O/W (0.52)	I/W (0.30)	S/W (0.18)	+	※ PCV RPV-P (0.08相当)
------------	------------	------------	---	----------------------------

- ・O/W, I/W, S/Wのみの剛性を考慮し地震荷重を分配。(既工認の考え方に戻した)
⇒S/Wへの荷重の過度な集中を解消。

※: PCV,RPV-Pの地震荷重を機器反力として別途考慮しており, 建屋全体の地震荷重と重複させている点で保守的な設定となっている。

4. 各耐震壁への地震荷重(曲げモーメント)の振り分け ()内はSs-31(EW方向)による地震荷重(曲げモーメント)の比を示す。

- ・地震荷重の分配率の見直しにより、曲げモーメントについても、シェル壁の分担率が小さくなっている。

(1)見直し前 (H30.2補正申請, 5/17審査会合)



- ・耐震壁全体の剛性を1. 地震応答解析モデルと整合させることを前提とし、PCV, RPV-Pの剛性を考慮し、これらの剛性分をS/Wに加算。(既工認から考え方を変更した) ⇒分配の結果として、地震荷重がS/Wに過度に集中。

(2)見直し後 (7/3審査会合)

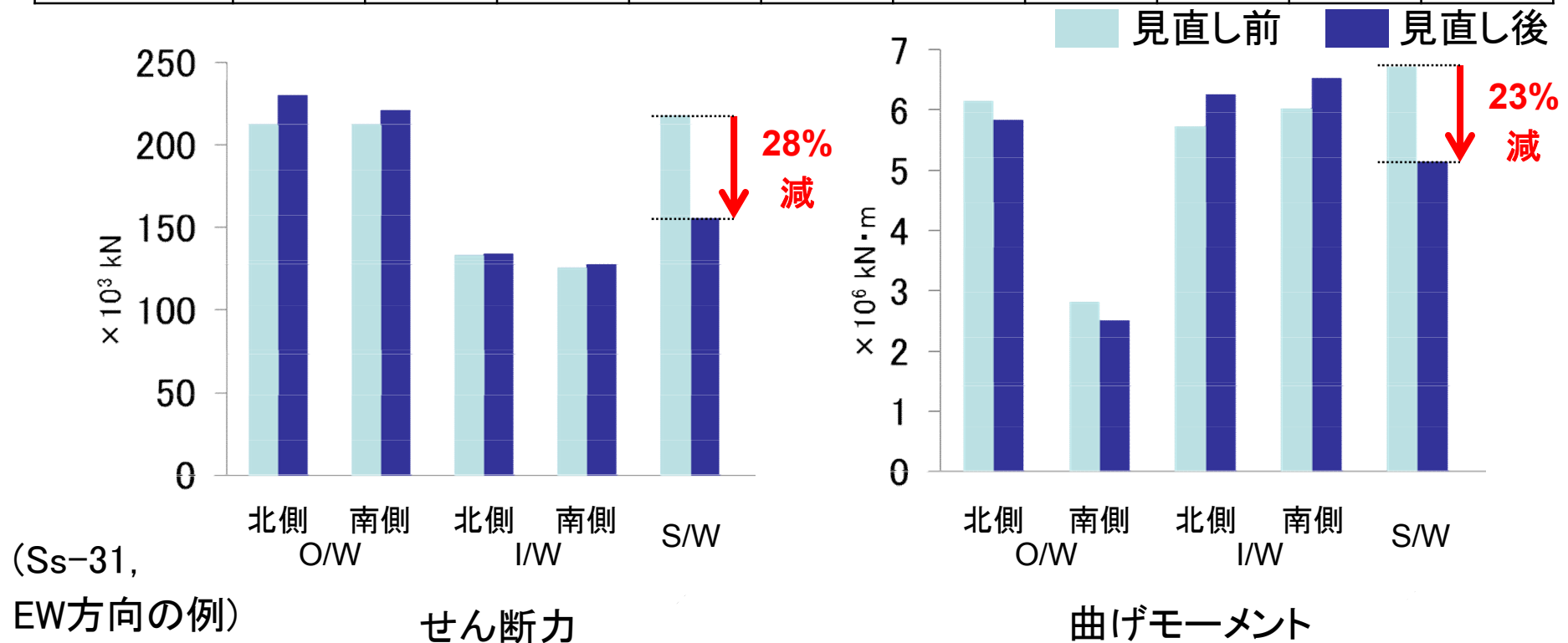


- ・O/W, I/W, S/Wのみの剛性を考慮し地震荷重を分配。(既工認の考え方に戻した)
⇒S/Wへの荷重の過度な集中を解消。

※: PCV,RPV-Pの地震荷重は別途機器反力として考慮しており、建屋全体の地震荷重と重複させている点で保守的な設定となっている。

- ・耐震壁から原子炉建屋基礎盤に作用する地震荷重(各耐震壁)の比較
- ✓シェル壁から基礎スラブに作用する荷重が低減したことで、シェル壁周辺の基礎スラブの応力が低下したと考えられる。

	せん断力 (× 10 ³ kN)					曲げモーメント (× 10 ⁶ kN・m)				
	O/W		I/W		S/W	O/W		I/W		S/W
	北側	南側	北側	南側		北側	南側	北側	南側	
見直し前	213	213	134	126	218	6.16	2.81	5.74	6.04	6.72
見直し後	230	221	134	128	156	5.84	2.51	6.26	6.53	5.15
後／前	1.08	1.04	1.00	1.02	0.72	0.95	0.89	1.09	1.08	0.77



【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(10/13) コメントNo.2

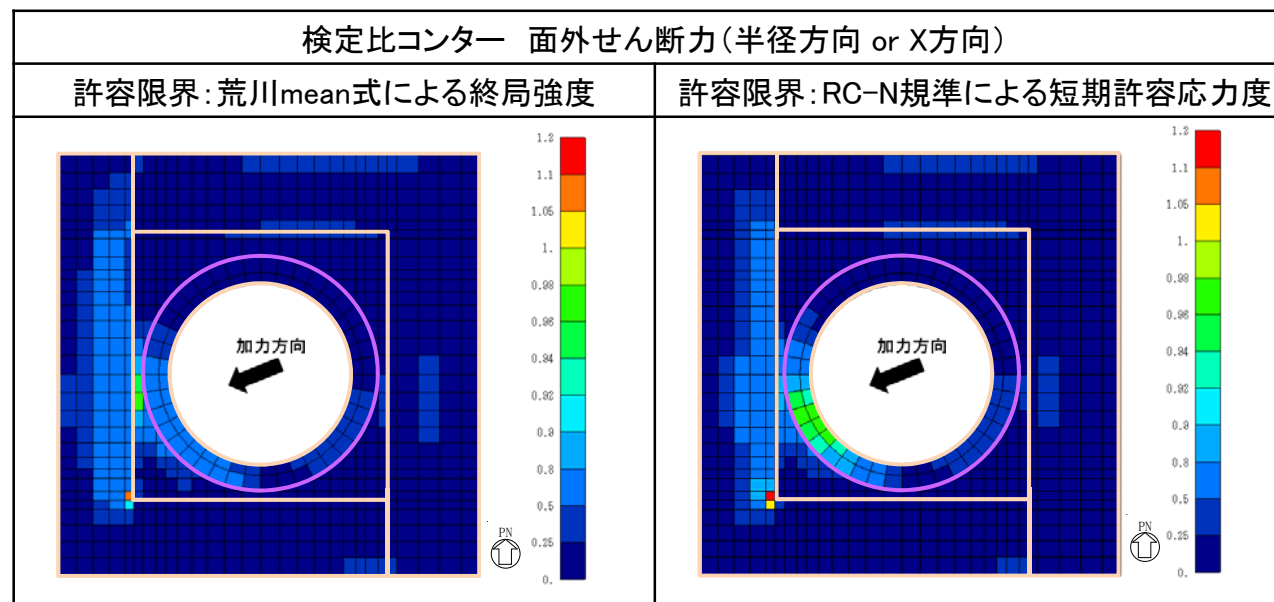
面外せん断の許容限界の見直し(RC-N規準による短期許容応力度の適用) 

<コメントNo.2>

せん断終局強度を適用することを踏まえ、Sクラスの機器・配管系に対する支持機能への影響を検討した上で、せん断終局強度を適用する際の配慮について設計方針を検討すること。

<回答>

- 平成30年2月補正時に、原子炉建屋基礎盤の面外せん断の許容限界に荒川mean式による終局強度を適用しており第527回審査会合においてその妥当性を示した。
- しかしながら、機器・配管系の支持機能に対しては、荒川mean式による終局強度を適用する際には、個別に詳細を検討する必要がある、これについては課題として残っている。
- そのため、荷重見直しにより応力が小さくなったことを踏まえるとともに、機器・配管系の支持機能の維持に係る評価の合理化の観点から、面外せん断の許容限界をRC-N規準による短期許容応力度に見直すこととし、機器・配管系に対する支持機能の確保を担保する。
- なお、原子炉棟基礎及び付属棟基礎については、今回の許容限界の見直しによらず、前回の審査会合でのご説明のとおり、Sクラスの設備の間接支持構造物として整理する。



評価結果(Ss-31, 水平2方向+鉛直方向)

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(11/13) コメントNo.3
応力平均化について

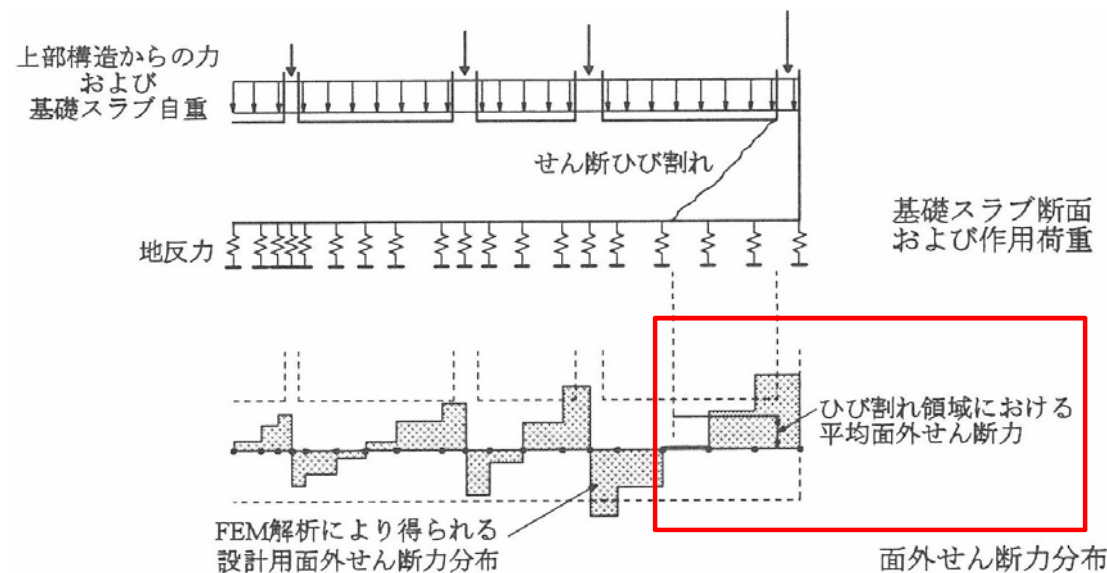


＜コメントNo.3＞

応力平均化について、平均化する方向を整理して示すこと。

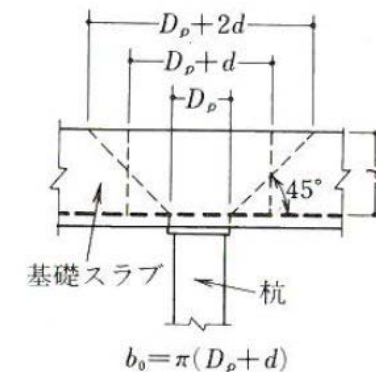
＜回答＞

- 前述のとおり、原子炉建屋基礎盤の面外せん断の許容限界について、荒川mean式による終局強度からRC-N規準による短期許容応力度に変更しており、応力平均化について改めて検討する。
- 「材軸方向のせん断破壊面を共有する要素との応力平均化」と「材軸直交方向への応力再配分を考慮した応力平均化」が適用可能であるが、先行プラントでの実績を踏まえ、材軸方向への応力平均化を優先して検討する(結果として、材軸直交方向への応力平均化は行わない)。
- 材軸方向の応力平均化は、RC-N規準を参考に、基礎スラブのFEM解析による要素の面外せん断力が、要素サイズが基礎スラブの厚さより小さいため、想定されるひび割れ領域における平均面外せん断力に対して大きめの評価となることから、応力集中が見られる要素及び周辺要素の応力状態を確認した上で、応力平均化を考慮する。



基礎スラブにおける設計用面せん断力
(RC-N規準(2005))

せん断破壊面はRC規準を参考に45°と想定し、せん断破壊面が表面から裏面に貫通する範囲、すなわち、平面的に原子炉建屋基礎盤の厚さの範囲において応力平均化を行う。



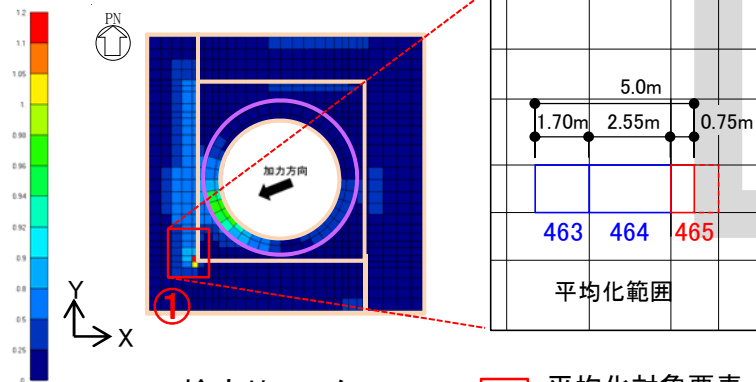
杭のパンチングシアの想定破壊面
(RC規準(1999))

【論点9】 原子炉建屋基礎盤の耐震評価(12/13) コメントNo.3
応力平均化を考慮した検定比の確認



- 原子炉建屋基礎盤の面外せん断の許容限界にRC-N規準による短期許容応力度を適用し、検定比を確認する。
- 水平2方向+鉛直方向入力(Ss-31)に対し、一部の要素でRC-N規準による短期許容応力度を超過するが、応力平均化を考慮することでRC-N規準による短期許容応力度以下となることを確認した。

No.465 応力平均化結果
内部ボックス壁コーナー部(X方向)



応力平均化前後の比較 (耐震壁直下)

	面外せん断力 (kN)	許容せん断力 (kN)	検定比
平均化前	1.08×10^4	8.83×10^3	1.229
平均化後	6.93×10^3	8.83×10^3	0.813

評価結果(Ss-31, 水平2方向+鉛直方向,
RC-N規準(短期許容応力度))

(応力平均化結果のまとめ)

要素 番号	方向	平均化前 検定比	平均化後 検定比
465	X	1.229	0.813
437		1.049	0.719
276		1.019	0.851
277		1.042	0.869
278	半径	1.045	0.891
279		1.009	0.930
437	Y	1.005	0.616
438		1.077	0.675

※各種改造工事の影響による地震荷重の増加分は2%程度であり、
上記検定比の余裕(7%程度)より小さいことを確認している。

- これまで、原子炉建屋基礎盤の面外せん断の許容限界に荒川mean式による終局強度を適用することとし、その適用性及び適用を前提とした応力平均化の方法について検討してきた。
- 今回、許容限界をRC-N規準による短期許容応力度とし、応力平均化の方向を材軸方向に行うこととしたことにより、既工認実績と同じ扱いとなった。
- これまでの検討により、許容限界への荒川mean式による終局強度の適用性を整理したこと及び機器・配管系の支持機能の確認に課題が残されたことについては、補足説明資料にとりまとめ、今後の検討に活用できるようにする。

＜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プールへの影響評価を追加すること。

◆3次元FEMモデルによる応答性状

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

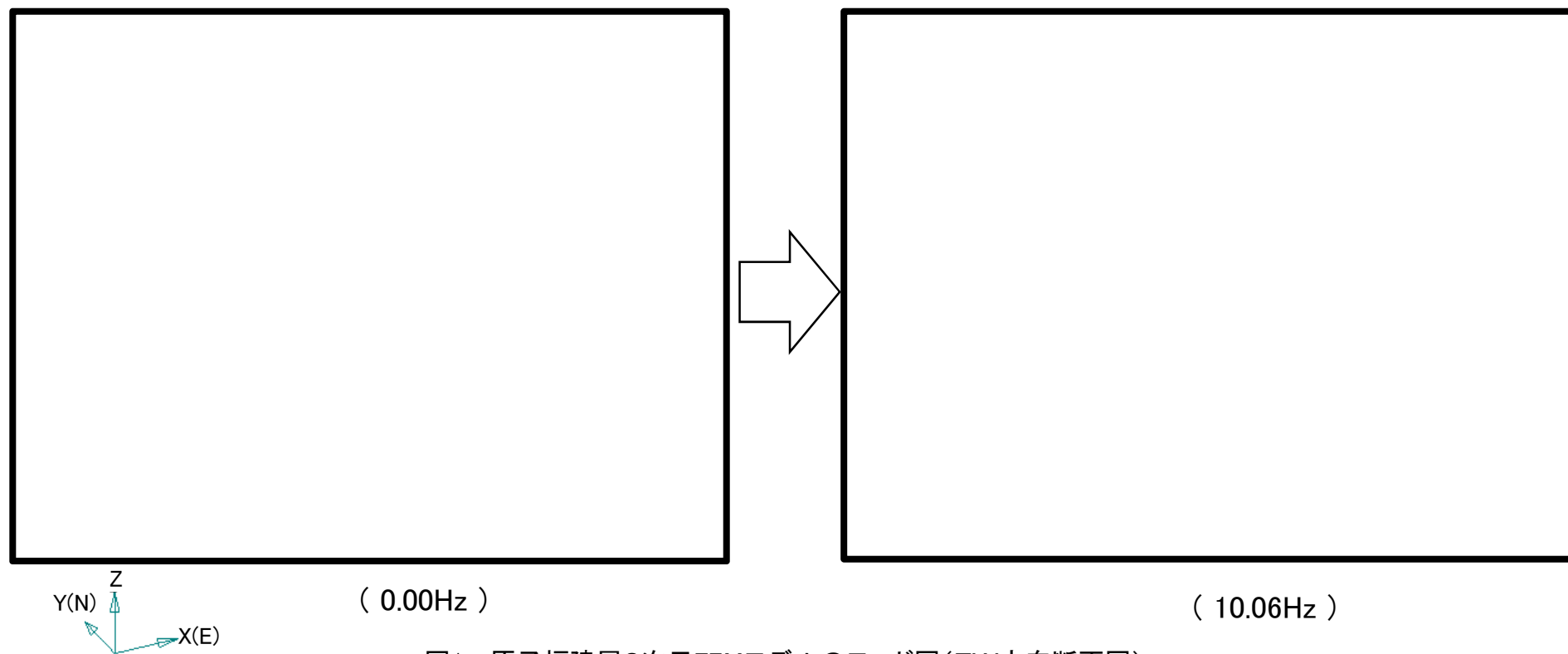


図1 原子炉建屋3次元FEMモデルのモード図(EW方向断面図)

◆評価方針

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

◆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用いて、応答増幅率 $(1.0EW+0.4UD)/(1.0EW)$ を算出する。
- ✓ 検討に用いる入力地震動は、対象とする短周期成分を含む地震動とし、Sd-D1とする。
- ✓ 評価対象要素はスリット部側面の下端(緑部)及びスリット部底部(青部)とする。
- ✓ スリット部側面の下端は、ウェル壁の曲げモーメントによって生じる鉛直軸方向引張力、スリット部底部は水平軸方向引張力とする。

② 応答増幅を考慮した応力検討

- ✓ 算定した応答増幅率による割増係数を用いて使用済燃料プールの耐震評価を行い、影響が小さいことを確認する。



図2 3次元FEMモデル評価対象要素

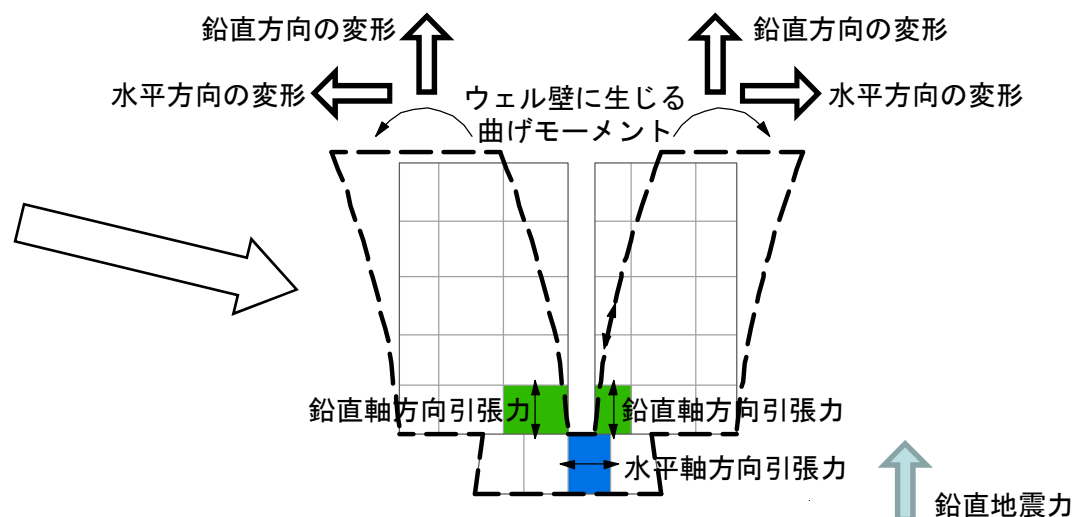


図3 評価対象部位及び応力成分

①応答増幅の確認

- ✓ 評価対象応力成分は、ウェル壁が開く挙動（開閉モード）に伴う応力（曲げモーメント）とし、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について応答増幅を確認する。
- ✓ 評価対象要素は曲げモーメントの影響の大きくなる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。

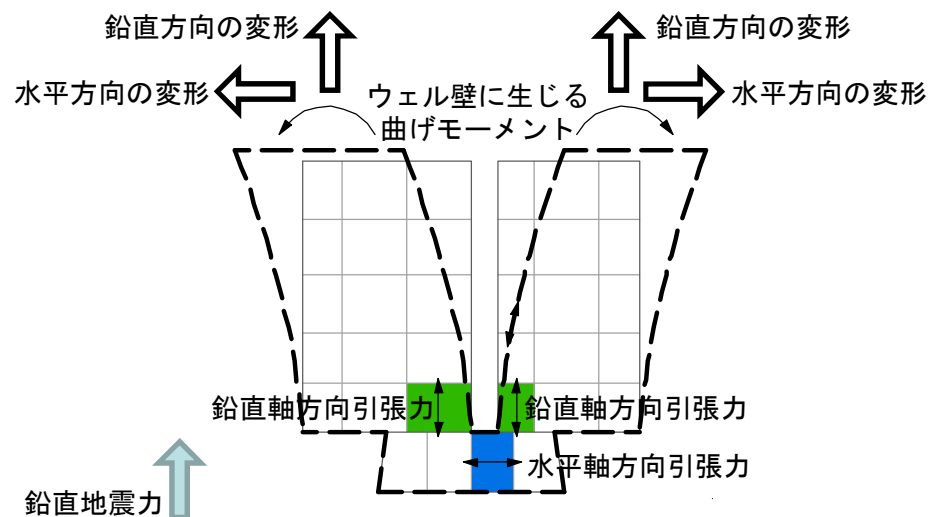


図4 評価対象部位及び応力成分

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

◆確認結果

- ✓ 鉛直方向単独入力によりウェル壁に発生する応力をEW方向単独入力時に発生する応力に対する応答増幅率として求めた。

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	294	1240	1.095
6142	鉛直軸方向引張力	411	1640	1.101
5378	水平軸方向引張力	253	275	1.368

注：一部数値について、前回審査会合資料の記載誤りを適正化している。

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結果に、鉛直加振時の割増係数(応答増幅率)を考慮する。

◆評価結果

- ✓ 耐震評価結果に割増係数を考慮しても、許容限界を下回ることを確認した。

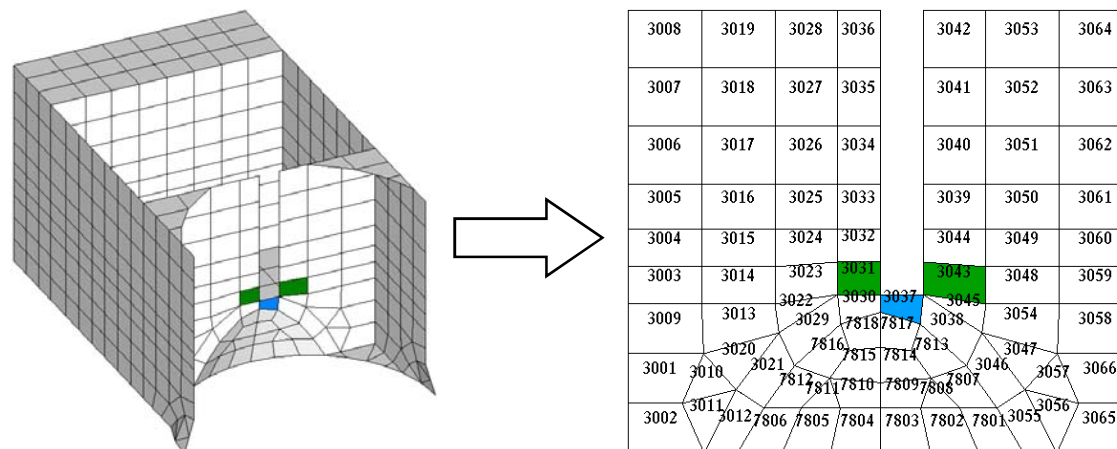


図6 使用済燃料プールの応力解析モデル

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 _s 地震時※1	S _d 地震時	S _d 地震時 +温度	S _s 地震時※1	S _d 地震時	S _d 地震時 +温度※2
3031	引張鉄筋応力度	1.095	0.260	0.524	0.550	0.285	0.574	0.602
3043	引張鉄筋応力度	1.101	0.200	0.400	0.344	0.220	0.440	0.379
3037	引張鉄筋応力度	1.368	0.212	0.459	0.328	0.290	0.628	0.449

注：一部数値について、前回審査会合資料の記載誤りを適正化している。

※1: S_s地震時の鉄筋の許容値は鉄筋ひずみで 5.0×10^{-3}

※2: 温度荷重による応力にも割増係数を考慮しており保守的な扱いとしている。

◆まとめ

- ✓ 3次元FEMモデルを用いて、鉛直地震力によるスリット部下部の応力に及ぼす影響を応答増幅率により確認した。
- ✓ 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割増係数(応答増幅率)を考慮し、許容限界以下となることを確認した。

【論点10】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(5/8) 検討に用いた地震動(Sd-D1)の代表性について



◆コメント 評価対象要素及び対象とする入力地震動の選定根拠を示すこと。

◆検討に用いる地震動の選定手順

イ. オペフロ(EL.46.5m)における質点系モデルの鉛直方向の加速度応答スペクトルを比較

- ✓ ウェル壁のEW方向に開くモード(10.06Hz/0.099秒)付近でSd-D1を上回るのは以下の2波
⇒Sd-21,Sd-22

ロ. 「イ」で選定した地震動に対する各要素の許容値に対する比率(検定比)を比較

- ✓ 水平(EW方向)と鉛直地震力を組み合わせた地震荷重に対する検定比はSd-D1が最大となる。
- ✓ 静的応力解析による検定比に鉛直方向単独入力時に発生する開閉モードによる割増係数(応答増幅率)を乗じるため、応力解析による検定比が大きい地震動を選定。

⇒Sd-D1を選定

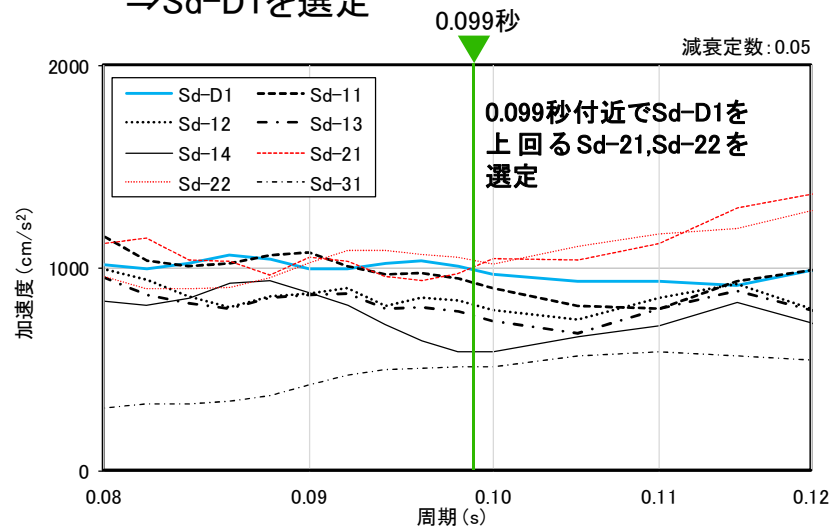


図7 質点系モデルによる加速度
応答スペクトル
(EL.46.5m 鉛直方向加振時)

表3 各地震動における地震力の比較

		Sd-D1	Sd-21	Sd-22
地震力	EW地震力	63400	39800	54900
	鉛直震度	0.400	0.490	0.450

表4 各地震動における引張鉄筋の検定比

要素 番号	方向	Sd-D1	Sd-21	Sd-22
3031	鉛直方向	<u>0.522</u>	0.353	0.461
	水平方向	<u>0.414</u>	0.305	0.375
3043	鉛直方向	<u>0.399</u>	0.263	0.350
	水平方向	<u>0.411</u>	0.307	0.374
3037	鉛直方向	<u>0.439</u>	0.297	0.388
	水平方向	<u>0.453</u>	0.367	0.423

注：下線部は、各要素・各方向における最大検定比を示す。

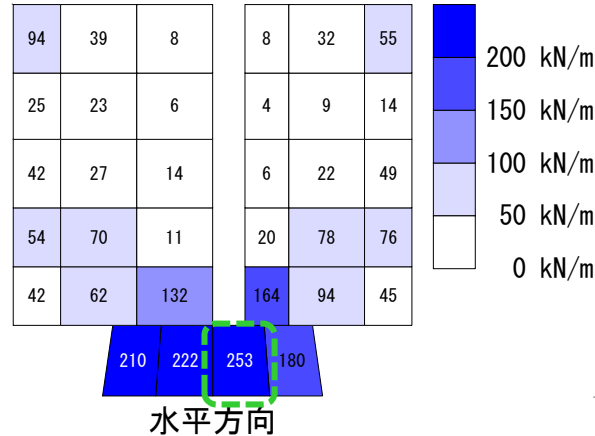
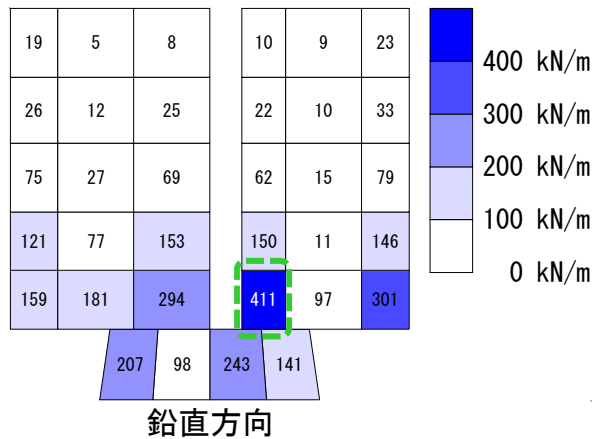
【論点10】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(6/8) 検討に用いた要素の代表性について



◆評価対象要素の選定方法

評価対象とする要素は、以下の2点が合致している要素とする。

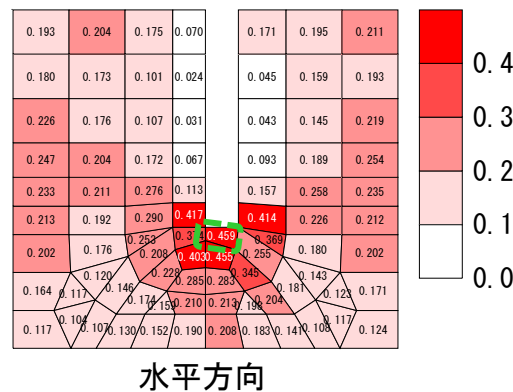
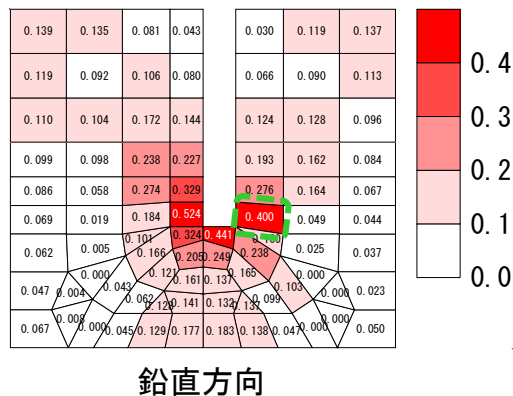
- ✓ 3次元FEMモデルを用いた地震応答解析でウェル壁の開閉モードによる応答増分が大きい要素。
- ✓ 耐震評価時の応力解析モデルにおいて鉄筋の検定比が大きい要素。



◆3次元挙動による応答増幅と耐震評価における検定比が大きい要素は以下の通り。

- ✓ 鉛直方向
→スリット部側面の下端
- ✓ 水平方向
→スリット部底部

図8 3次元挙動(開閉モード)による応答増幅(応力増分)コンター(Sd-D1)



◆鉛直方向応力に対してはスリット部左側面の検定比が最大となるため、左下端の要素に対しても検討を実施。

図9 耐震評価における検定比コンター(Sd地震時)

【論点10】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(7/8)

3次元挙動による応答増幅の算定方法



◆3次元挙動による応答増幅の算定方法

- ✓ 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開閉モードによる応力増分を比較し、応答増幅率を算出する。

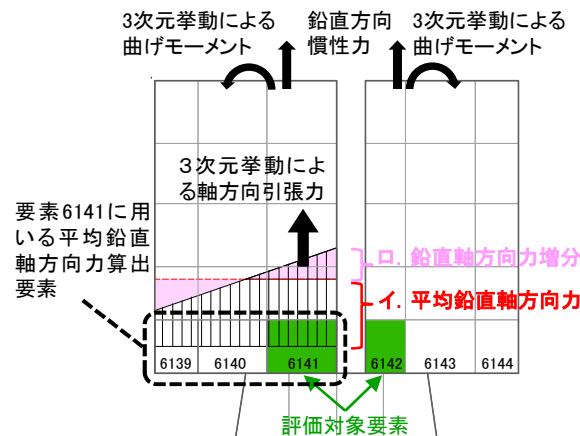
$$\text{応答増幅率} = \frac{\text{EW方向単独入力時の発生応力} + \text{開閉モードによる応力増分}}{\text{EW方向単独入力時の発生応力}}$$

- ✓ 鉛直方向単独入力時の応力増分は以下により算出する。

＜スリット部側面の下端＞

- 各時刻における評価対象要素(6141)を含む同一高さの3要素(6139,6140,6141)の平均鉛直軸方向力を算出する。
- 各時刻における評価対象要素(6141)の鉛直軸方向力から、「イ」の平均鉛直軸方向力を減ずる。
- 「ロ」の時刻歴最大値を、ウェル壁面内曲げモーメントによる鉛直軸方向力増分(3次元挙動による鉛直軸方向引張力)とする。

※要素6142も要素6141と同様とする。



＜スリット部底部＞

- 質点系モデルによるオペフロ(EL.46.5m)鉛直方向応答加速度時刻歴より、各時刻の鉛直震度を算出する。
- 自重による静的応力解析結果の水平軸方向力に「ニ」で求めた鉛直震度を乗じたものを、鉛直方向の慣性力による水平軸方向力として算出する。
- 各時刻の評価対象要素の水平軸方向力から、「ホ」の水平軸方向力を減じる。
- 「ヘ」の時刻歴最大値を、ウェル壁面内曲げモーメントによる水平軸方向力増分(3次元挙動による水平軸方向引張力)とする。

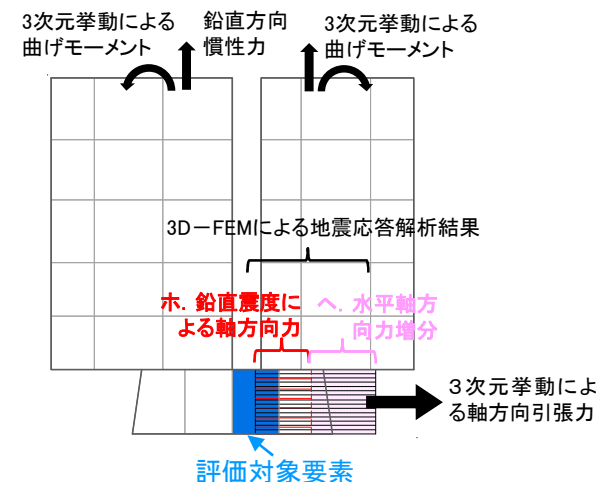


図10 開閉モードによる軸方向力増分の概念図

【論点10】地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響(8/8)

3次元挙動による応答増幅の算定方法



＜スリット部側面の下端＞

表5 鉛直軸方向力増分の算定例(スリット部側面の下端)

時刻 s	鉛直軸方向力 (kN/m) 鉛直方向単独入力解析結果				① 応力増分 kN/m
	要素番号 6139	要素番号 6140	要素番号 6141	① 平均値※1	
36.06	-243.9	-260.7	219.6	-73.8	293.4

※1 要素幅による重み付け平均

表6 応答増幅率(スリット部側面の下端)

要素 番号	応力	UD方向入力 による応力	EW方向入力 による応力	応答増幅率 (1.0EW+0.4UD) /(1.0EW)
6141	鉛直軸方向 引張力	294	1240	1.095

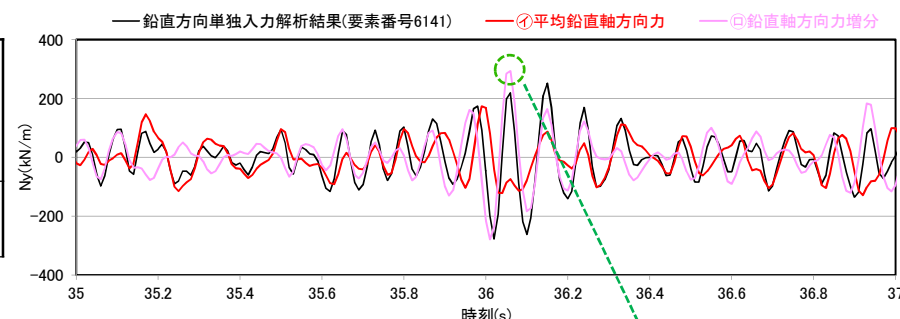
＜スリット部底部＞

表7 水平軸方向力増分の算定例(スリット部底部)

時刻 s	② 鉛直 震度	水平軸方向力 (kN/m) 要素番号 5378			③ 応力増分 kN/m
		自重による 応力	④ 慣性力分	鉛直方向 単独入力 解析結果	
23.66	0.124 (上向き)	-1284	159.2	412.2	253.0

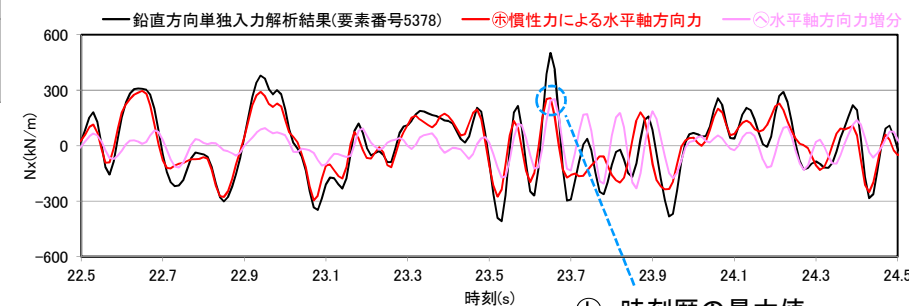
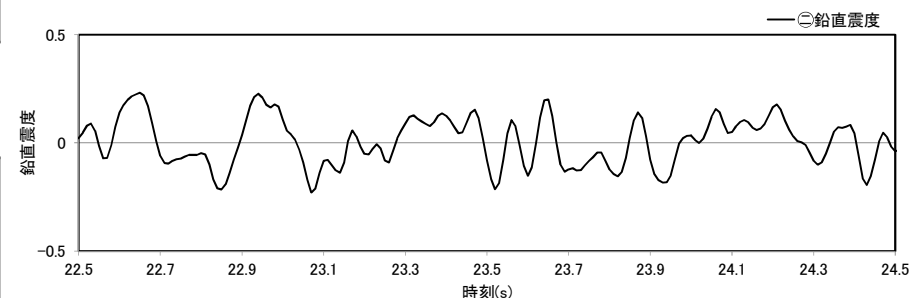
表8 応答増幅率(スリット部底部)

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)
5378	水平軸方向 引張力	253	275	1.368



① 時刻歴の最大値

図8 鉛直軸方向力増分の算定例(スリット部側面の下端)



③ 時刻歴の最大値

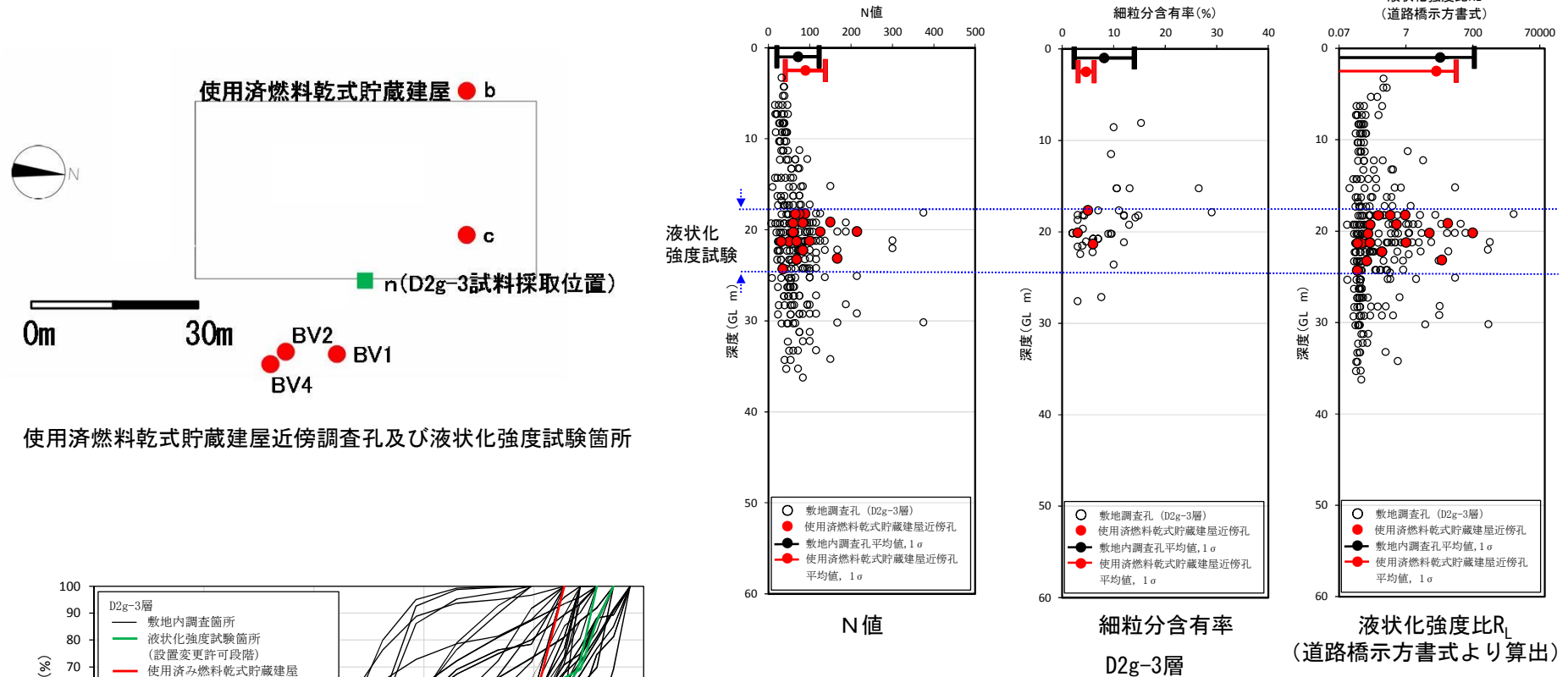
図9 水平軸方向力増分の算定例(スリット部底部)

参考資料

【論点6】（参考1）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



〔使用済燃料乾式貯蔵建屋位置のD2g-3層の液状化強度特性の代表性〕

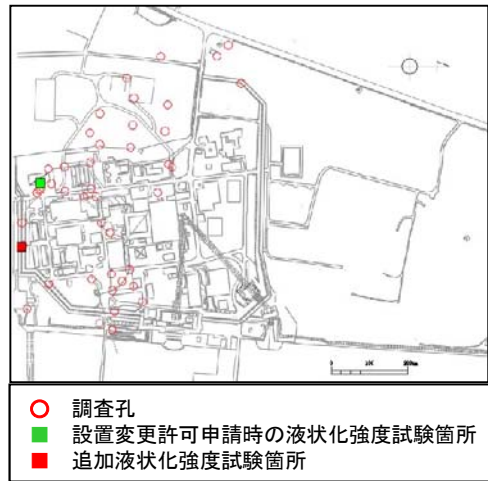


- 使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置の液状化強度試験箇所近傍の平均N値は、敷地内で実施した全調査孔の平均N値よりやや大きい。
- 使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置の細粒分含有率 F_c は、敷地内で実施した全調査孔の F_c よりも小さい。
- 粒径加積曲線より、D2g-3層は礫から粘土までの幅広い範囲の粒径をもつ礫が主体の礫質土であり、使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置及びその近傍のボーリングc孔の粒度分布は同様であることを確認した。
- 使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置の道路橋示方書式で算定した平均液状化強度比 R_L は、敷地内で実施した全調査孔データから算定した平均液状化強度比よりもやや小さい。
- 使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置の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。

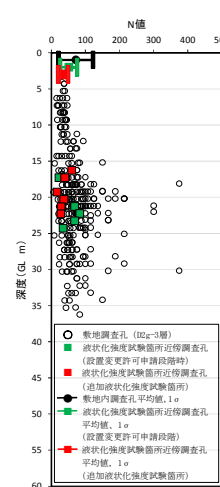
【論点6】（参考2）設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性

第595回審査会合（平成30年7月3日）
資料1-1に一部追記

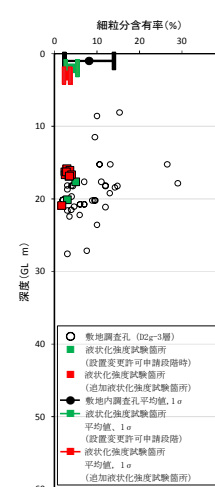
〔設置変更許可申請段階で示したFLIP解析用液状化強度特性（ -1σ ）の代表性及び網羅性の評価（D2g-3層）〕



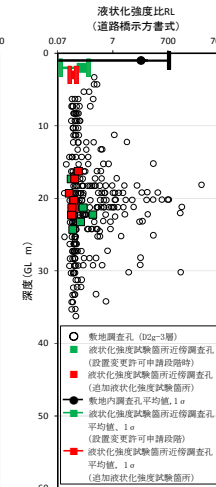
調査孔と液状化強度試験箇所（D2g-3層）



N値

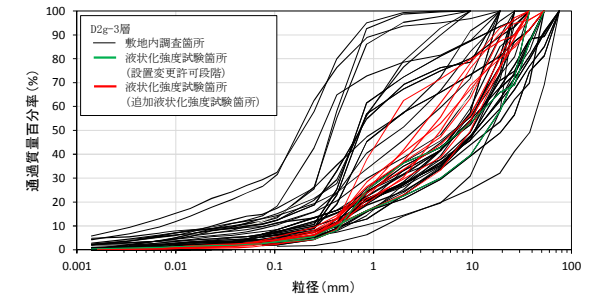


細粒分含有率



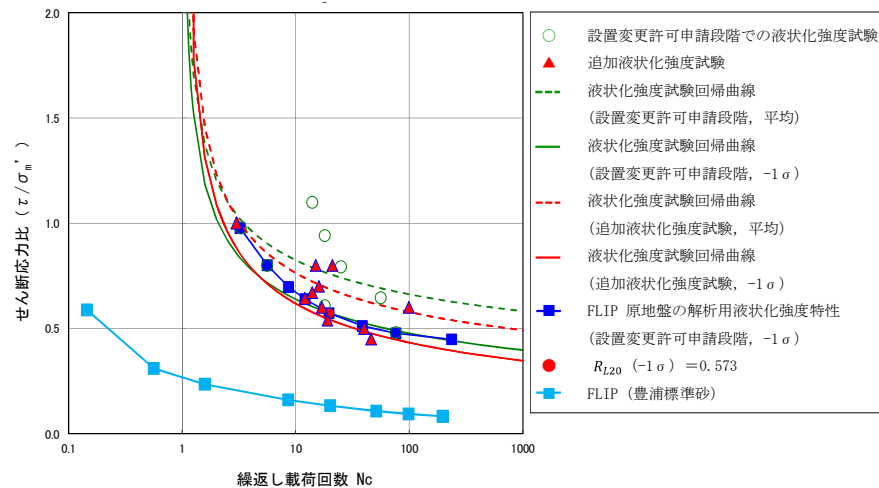
液状化強度比 R_L
(道路橋示方書式より算出)

液状化強度試験箇所の代表性・網羅性を評価する上でパラメータとしたN値は、液状化強度試験箇所の深度と同深度のもので、かつ液状化強度試験箇所から最短距離にある敷地内調査孔のデータを用いた。



粒径加積曲線（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



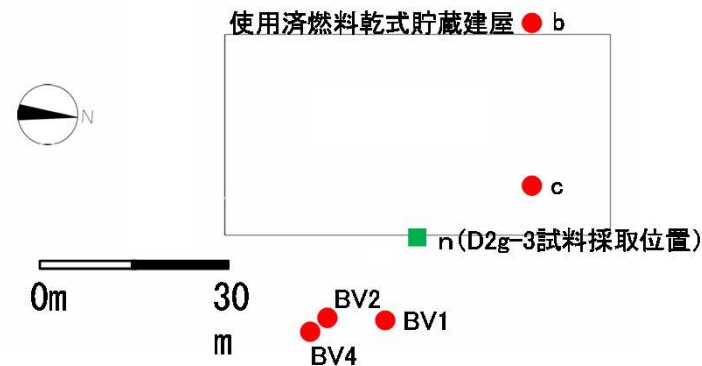
液状化強度試験結果（D2g-3層）

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

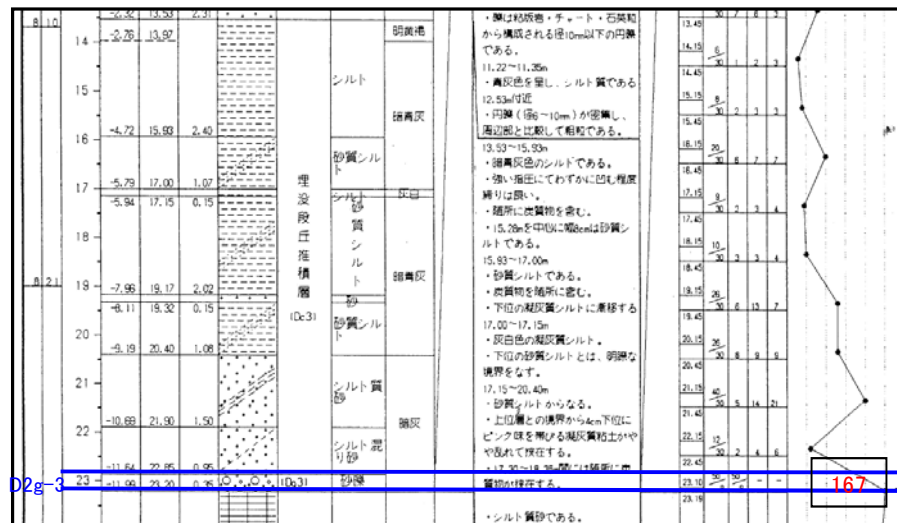
【液状化強度試験結果のバラツキについて】

- 設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所の平均N値は追加液状化強度試験箇所の平均N値よりやや大きい。
- 細粒分含有率 F_c は、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所は10%未満であり、影響度合いは小さい。
- 粒径加積曲線より、D2g-3層は礫から粘土までの幅広い範囲の粒径を示す礫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。

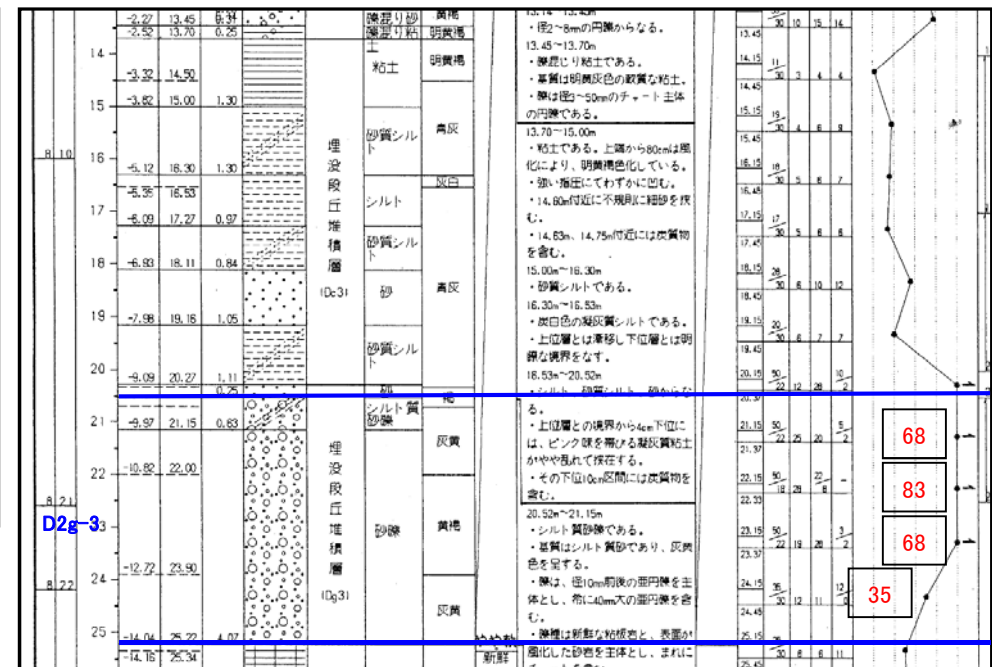
【論点6】（参考3）設置変更許可段階で示した解析用液状化強度特性の代表性及び網羅性



使用済み燃料乾式貯蔵建屋近傍調査孔及び液状化強度試験箇所（D2g-3層）

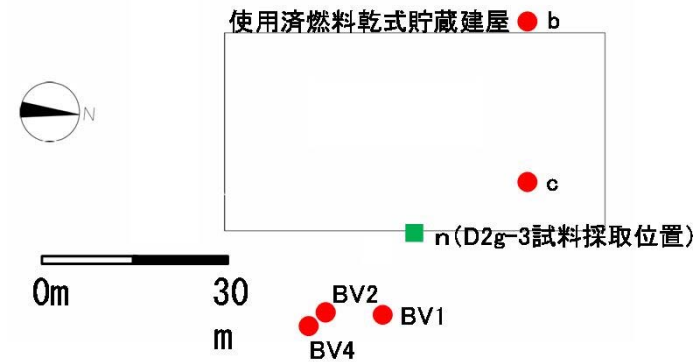


b孔の柱状図（D2g-3層の深度付近）

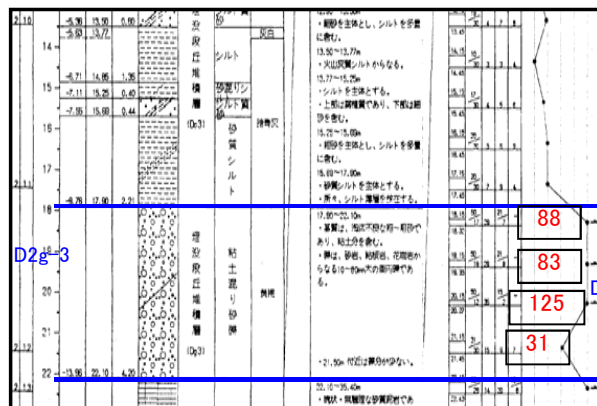


c孔の柱状図（D2g-3層の深度付近）

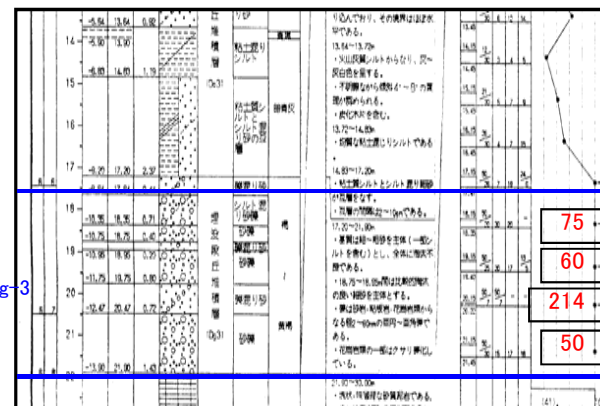
$$\text{換算N値} = \frac{300\text{mm}}{\text{打撃回数50回における打込み深度 (mm)}} \times 50$$



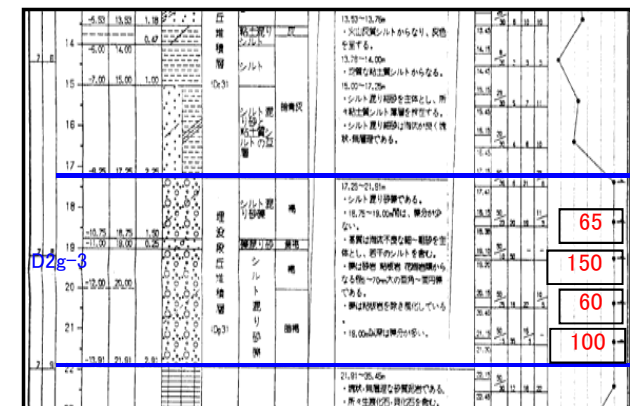
使用済み燃料乾式貯蔵建屋近傍調査孔及び液状化強度試験箇所
(D2g-3層)



BV1孔の柱状図（D2g-3層の深度付近）



BV2孔の柱状図（D2g-3層の深度付近）



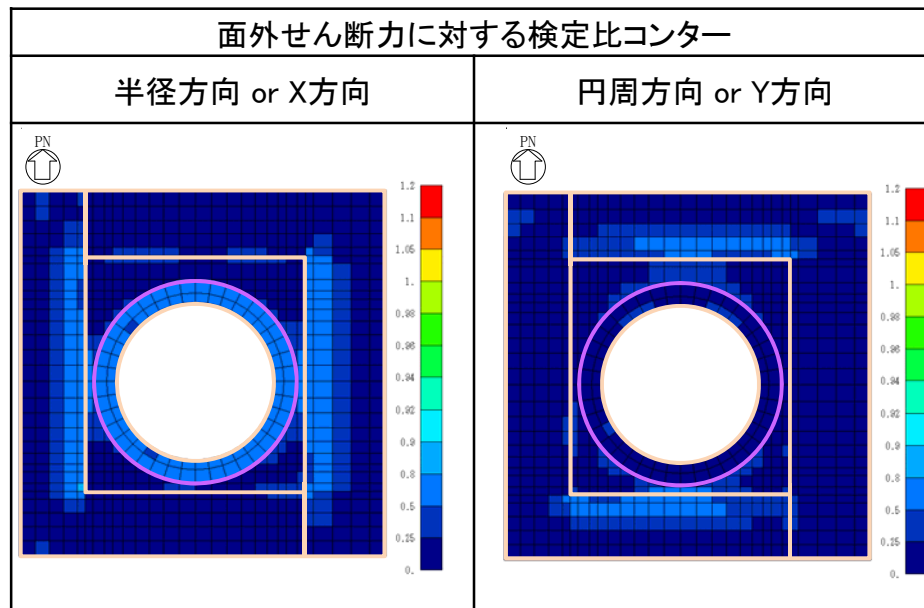
BV4孔の柱状図（D2g-3層の深度付近）

$$\text{換算N値} = \frac{300\text{mm}}{\text{打撃回数50回における打込み深度(mm)}} \times 50$$

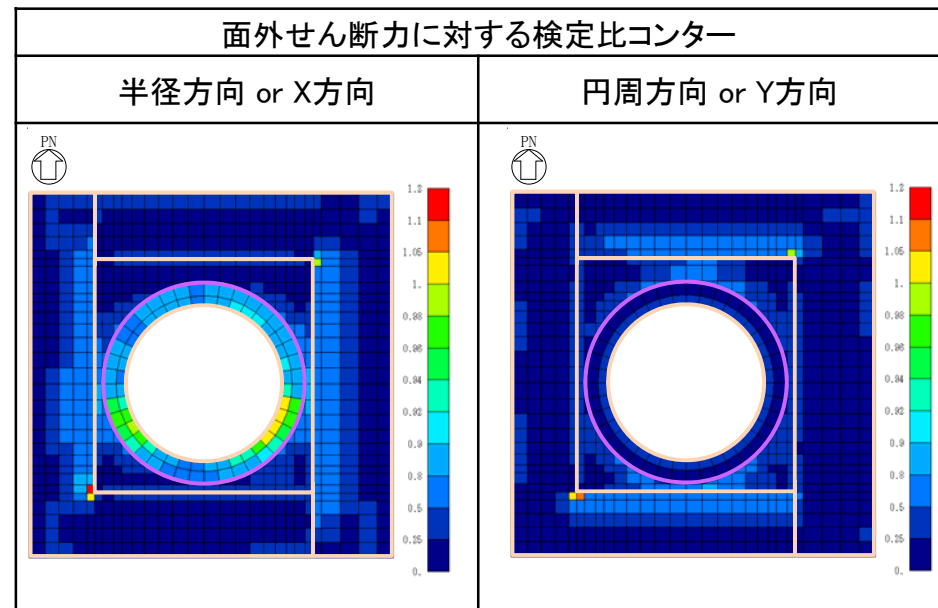
【論点9】(参考1)原子炉建屋基礎盤の耐震評価
応力平均化を考慮した検定比の確認(1/5)



- 水平1方向＋鉛直方向入力(Ss地震時(包絡))に対しては、面外せん断力は短期許容応力度以下となることを確認した。
- 水平2方向＋鉛直方向入力(Ss地震時(包絡))に対しては、一部の要素でRC-N規準による短期許容応力度を超過するため、以降では、応力平均化を考慮した検定比を示す。



評価結果(Ss地震時(包絡), 水平1方向＋鉛直方向,
RC-N規準(短期許容応力度))

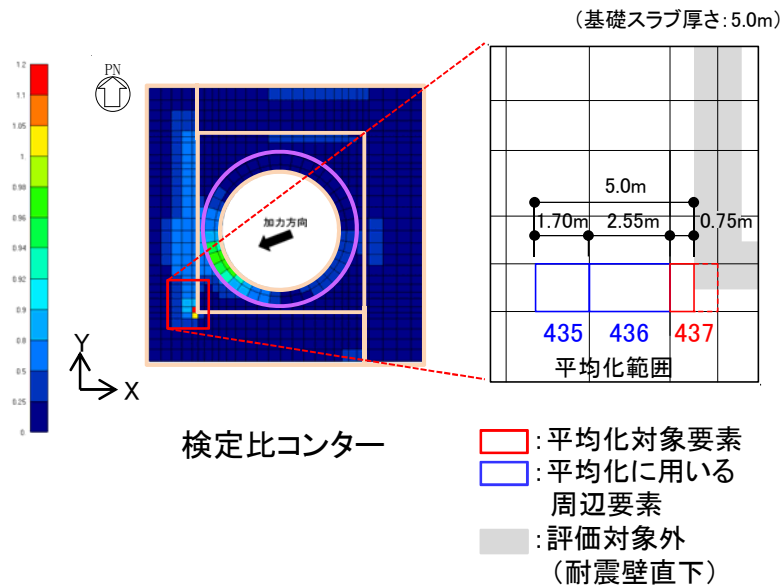


評価結果(Ss地震時(包絡), 水平2方向＋鉛直方向,
RC-N規準(短期許容応力度))

【論点9】(参考2)原子炉建屋基礎盤の耐震評価
応力平均化を考慮した検定比の確認(2/5)



No.437 応力平均化結果
内部ボックス壁コーナー部(X方向)

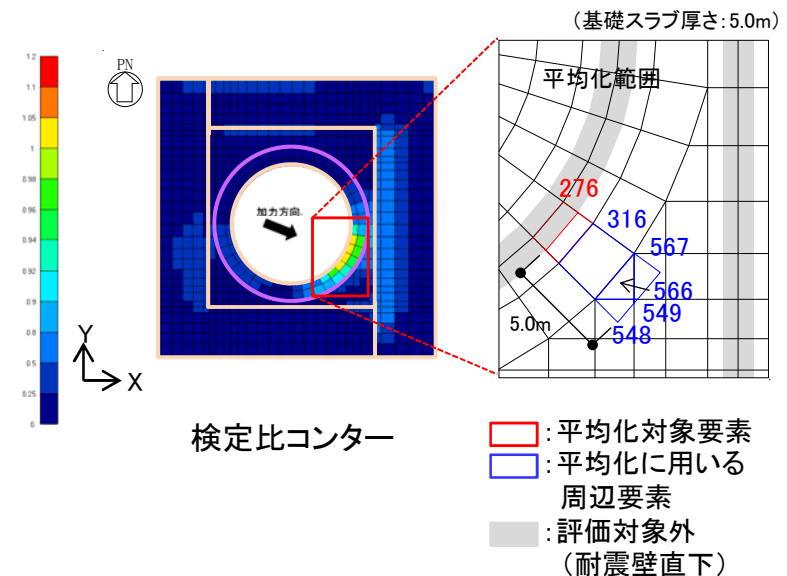


応力平均化前後の比較

	面外せん断力 (kN)	許容せん断力 (kN)	検定比
平均化前	9.26×10^4	8.83×10^3	1.049
平均化後	6.14×10^3	8.53×10^3	0.719

評価結果(Ss-31, 水平2方向+鉛直方向,
RC-N規準(短期許容応力度))

No.276 応力平均化結果
シェル壁際(半径方向)



応力平均化前後の比較

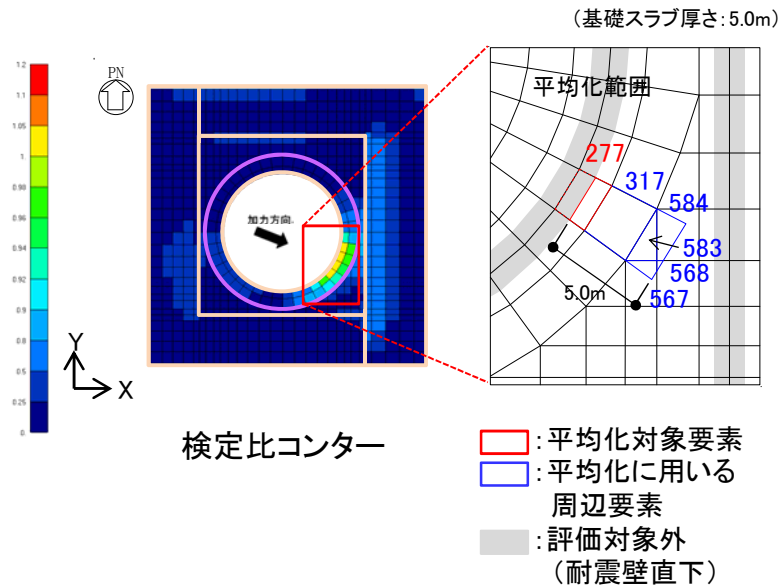
	面外せん断力 (kN)	許容せん断力 (kN)	検定比
平均化前	8.08×10^4	7.93×10^3	1.019
平均化後	7.17×10^3	8.42×10^3	0.851

評価結果(Ss-31, 水平2方向+鉛直方向,
RC-N規準(短期許容応力度))

【論点9】(参考3)原子炉建屋基礎盤の耐震評価
応力平均化を考慮した検定比の確認(3/5)



No.277 応力平均化結果
シェル壁際(半径方向)

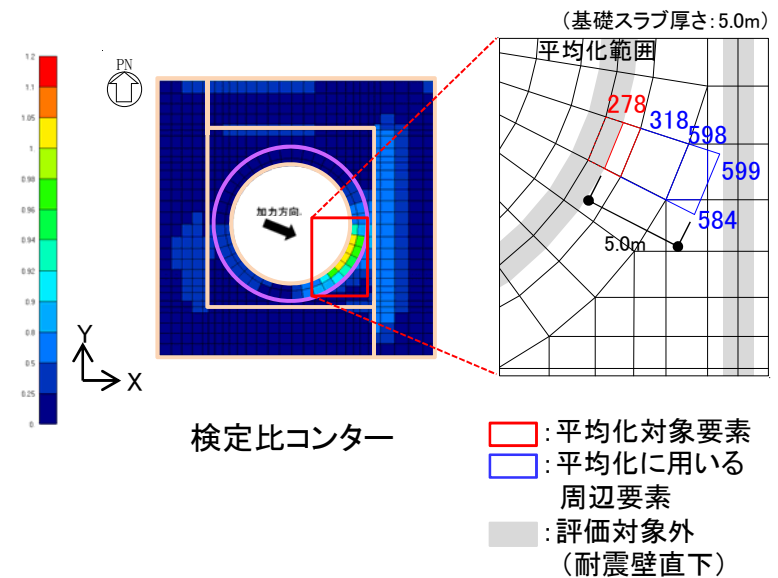


応力平均化前後の比較

	面外せん断力 (kN)	許容せん断力 (kN)	検定比
平均化前	8.25×10^4	7.92×10^3	1.042
平均化後	7.32×10^3	8.42×10^3	0.869

評価結果(Ss-31, 水平2方向+鉛直方向,
RC-N規準(短期許容応力度))

No.278 応力平均化結果
シェル壁際(半径方向)



応力平均化前後の比較

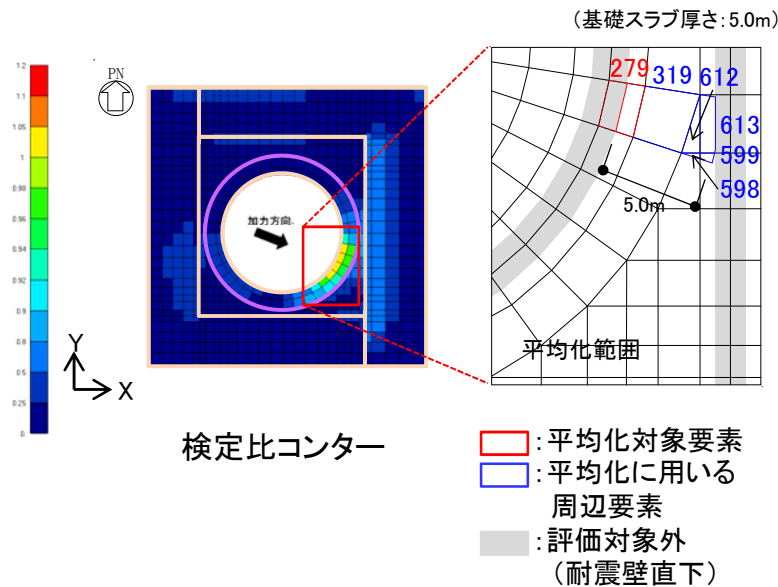
	面外せん断力 (kN)	許容せん断力 (kN)	検定比
平均化前	8.36×10^4	8.00×10^3	1.045
平均化後	7.50×10^3	8.42×10^3	0.891

評価結果(Ss-31, 水平2方向+鉛直方向,
RC-N規準(短期許容応力度))

【論点9】(参考4)原子炉建屋基礎盤の耐震評価
応力平均化を考慮した検定比の確認(4/5)



No.279 応力平均化結果
シェル壁際(半径方向)

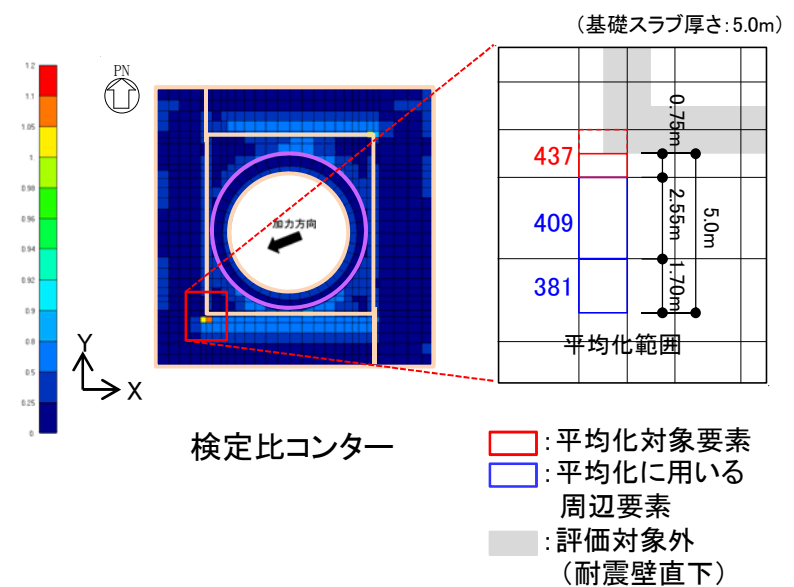


応力平均化前後の比較

	面外せん断力 (kN)	許容せん断力 (kN)	検定比
平均化前	8.09×10^4	8.02×10^3	1.009
平均化後	7.83×10^3	8.42×10^3	0.930

評価結果(Ss-31, 水平2方向+鉛直方向,
RC-N規準(短期許容応力度))

N0.437 応力平均化結果
内部ボックス壁コーナー部(Y方向)



応力平均化前後の比較

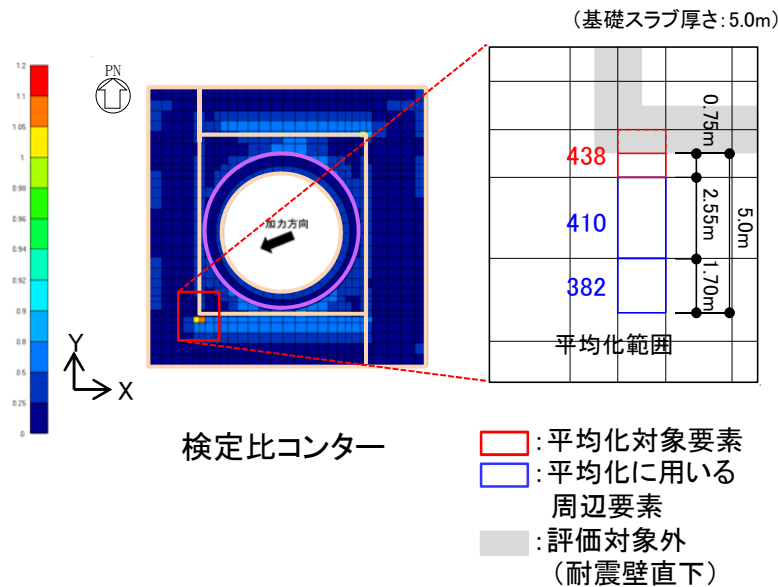
	面外せん断力 (kN)	許容せん断力 (kN)	検定比
平均化前	8.86×10^3	8.83×10^3	1.005
平均化後	5.26×10^3	8.53×10^3	0.616

評価結果(Ss-31, 水平2方向+鉛直方向,
RC-N規準(短期許容応力度))

【論点9】(参考5)原子炉建屋基礎盤の耐震評価
応力平均化を考慮した検定比の確認(5/5)



No.438 応力平均化結果
内部ボックス壁コーナー部(Y方向)



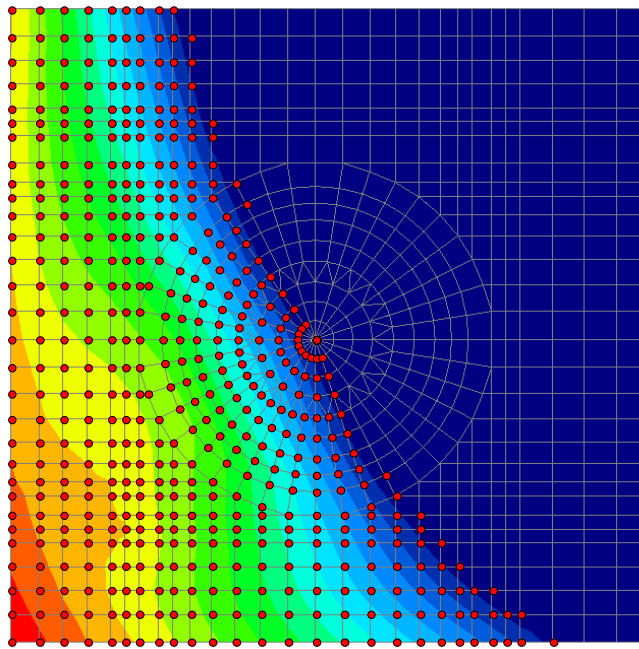
応力平均化前後の比較

	面外せん断力 (kN)	許容せん断力 (kN)	検定比
平均化前	9.51×10^3	8.83×10^3	1.077
平均化後	5.76×10^3	8.53×10^3	0.675

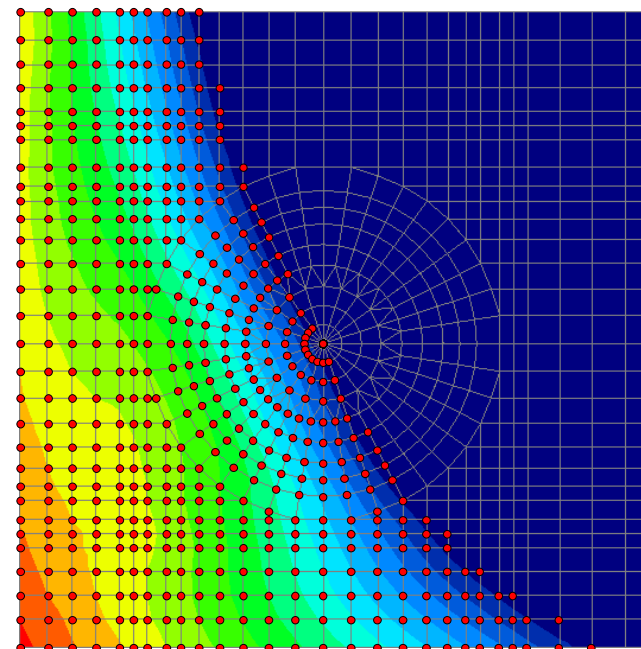
評価結果(Ss-31, 水平2方向+鉛直方向,
RC-N規準(短期許容応力度))

接地領域の比較

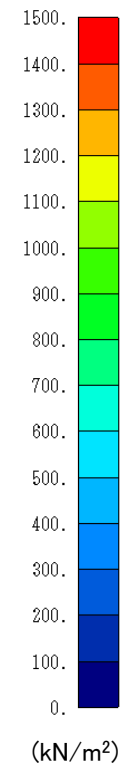
✓荷重の見直し前後で、接地領域に大きな変化はないことを確認した。



荷重見直し前



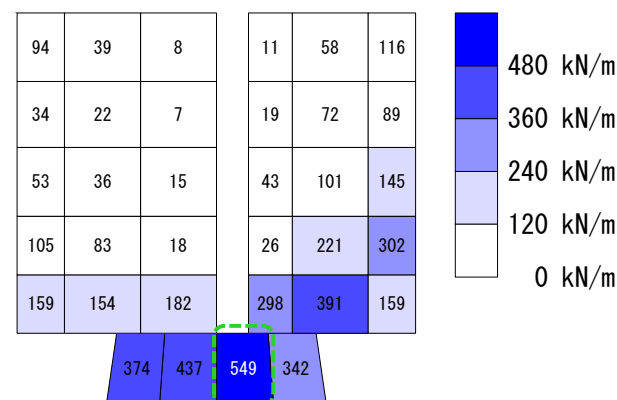
荷重見直し後



● : 接地領域

 げんてん

ト,「へ」の時刻歴最大値を, ウェル壁面内曲げモーメントによる面内力増分(3次元挙動による水平軸方向引張力)とする。



参図2 面内せん断力増分コンター

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)
5378	面内せん断力	549	2277	1.097

Figure 1 shows a 6x6 grid of 36 cells, each containing a numerical value. The grid is divided into two main sections by a vertical line. The left section contains values ranging from 0.043 to 0.164. The right section contains values ranging from 0.045 to 0.174. A color scale on the right indicates values from 0.0 (white) to 0.4 (dark red). The grid is overlaid with a triangular mesh structure.

0.140	0.159	0.117	0.043	0.076	0.151	0.148
0.164	0.157	0.107	0.024	0.045	0.147	0.174
0.171	0.156	0.109	0.035	0.053	0.142	0.182
0.163	0.152	0.158	0.059	0.079	0.154	0.172
0.156	0.137	0.215	0.114	0.138	0.178	0.151
0.149	0.117	0.183	0.316	0.273	0.114	0.143
0.162	0.114	0.152	0.213	0.359	0.162	0.097
0.111	0.143	0.143	0.209	0.265	0.120	0.154
0.158	0.143	0.165	0.180	0.198	0.227	0.199
0.160	0.122	0.131	0.159	0.163	0.175	0.190
						0.191
						0.172
						0.143
						0.131
						0.166

要素 番号	割増係数 (応答増幅率)	応力解析時検定比			割増後検定比		
		S s 地震時	S d 地震時	S d 地震時 + 温度	S s 地震時	S d 地震時	S d 地震時 + 温度
3037	1.097	0.527	0.455	0.447	0.579	0.500	0.491