

柏崎刈羽原子力発電所 7号機 審査会合のコメント回答について

TEPCO

2020年5月1日
東京電力ホールディングス株式会社

本日のご説明内容

▶ 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合のコメント回答

No.	指摘日	コメント	回答頁	目次
1-1	令和2年2月18日 第836回 審査会合	補機冷却用海水取水路及びその近傍の取水路の一部の設計用地下水位について、周辺地下水位の観測をしていないこと、取水路周辺の汀線平行方向の地下水位の変化が小さいことを踏まえ、T.M.S.L.+5.0mとすることの妥当性を説明すること。	p.5~6	地下水位の設定
1-2	令和2年2月18日 第836回 審査会合	取水路のように延長の長い施設については、その設置区間内での最小余裕を提示し説明すること。その上で、地下水位の上昇要因及び変動要因を考慮した地下水位とするためには、どの程度の余裕を設計用地下水位にもたせる必要があるかも合わせて説明すること。	p.5~6	
1-3	令和2年2月18日 第836回 審査会合	土木構造物の耐震評価における地下水位について、7号機施設及び6号機施設で同じとする根拠を説明すること。	p.7	
2-1	令和2年2月18日 第836回 審査会合	古安田層（A2s層）の液状化強度特性について、液状化抵抗曲線を下回る試験データの採取位置及び代表性を示すとともに、液状化抵抗曲線を下回る試験データが各施設の耐震設計に及ぼす影響の検討の要否を説明すること。	p.10~12	古安田層A2s層の液状化強度特性について
3-1	令和2年2月18日 第836回 審査会合	新潟県中越沖地震時の実測と再現解析結果の鉛直変位における比較について、基本ケースと平均値ケース、実測値と解析結果に差が生じていない理由を詳細に説明すること。また、最大過剰間隙水圧比及び最大せん断ひずみと地盤変位との関係性について説明すること。	p.14	新潟県中越沖地震の再現解析の考察
3-2	令和2年2月18日 第836回 審査会合	設定した減衰定数の保守性及び適用性について、考察して説明すること。	p.14	
4-1	令和2年2月18日 第836回 審査会合	地盤改良体の物性値の確認方法について、施工工法ごとに試験の方法、試験体の採取位置の考え方及び施工管理基準を説明すること。	p.18~26	液状化対策工事について
4-2	令和元年9月10日 令和2年2月18日 第836回 審査会合	液状化の影響を考慮した各施設の設計について、対策工の実施範囲、物性値の設定等の設計の考え方及び評価対象施設の設計結果を含む対策工の成立性を説明すること。また、埋戻土層等の対策工について、適切な範囲、仕様等を考慮した保守的な設計としていることを説明すること。	p.18~26	

目次

1. 地下水位の設定
2. 古安田層A2s層の液状化強度特性について
3. 新潟県中越沖地震の再現解析の考察
4. 液状化対策工事について

1. 地下水位の設定

審査会合での指摘事項に対する回答(1-1～1-3)

■ 指摘事項(1-1)

補機冷却用海水取水路及びその近傍の取水路の一部の設計用地下水位について、周辺地下水位の観測をしていないこと、取水路周辺の汀線平行方向の地下水位の変化が小さいことを踏まえ、T.M.S.L.+5.0mとすることの妥当性を説明すること。

■ 指摘事項(1-2)

取水路のように延長の長い施設については、その設置区間内での最小余裕を提示し説明すること。その上で、地下水位の上昇要因及び変動要因を考慮した地下水位とするためには、どの程度の余裕を設計用地下水位にもたせる必要があるかも合わせて説明すること。

■ 指摘事項(1-3)

土木構造物の耐震評価における地下水位について、7号機施設及び6号機施設で同じとする根拠を説明すること。

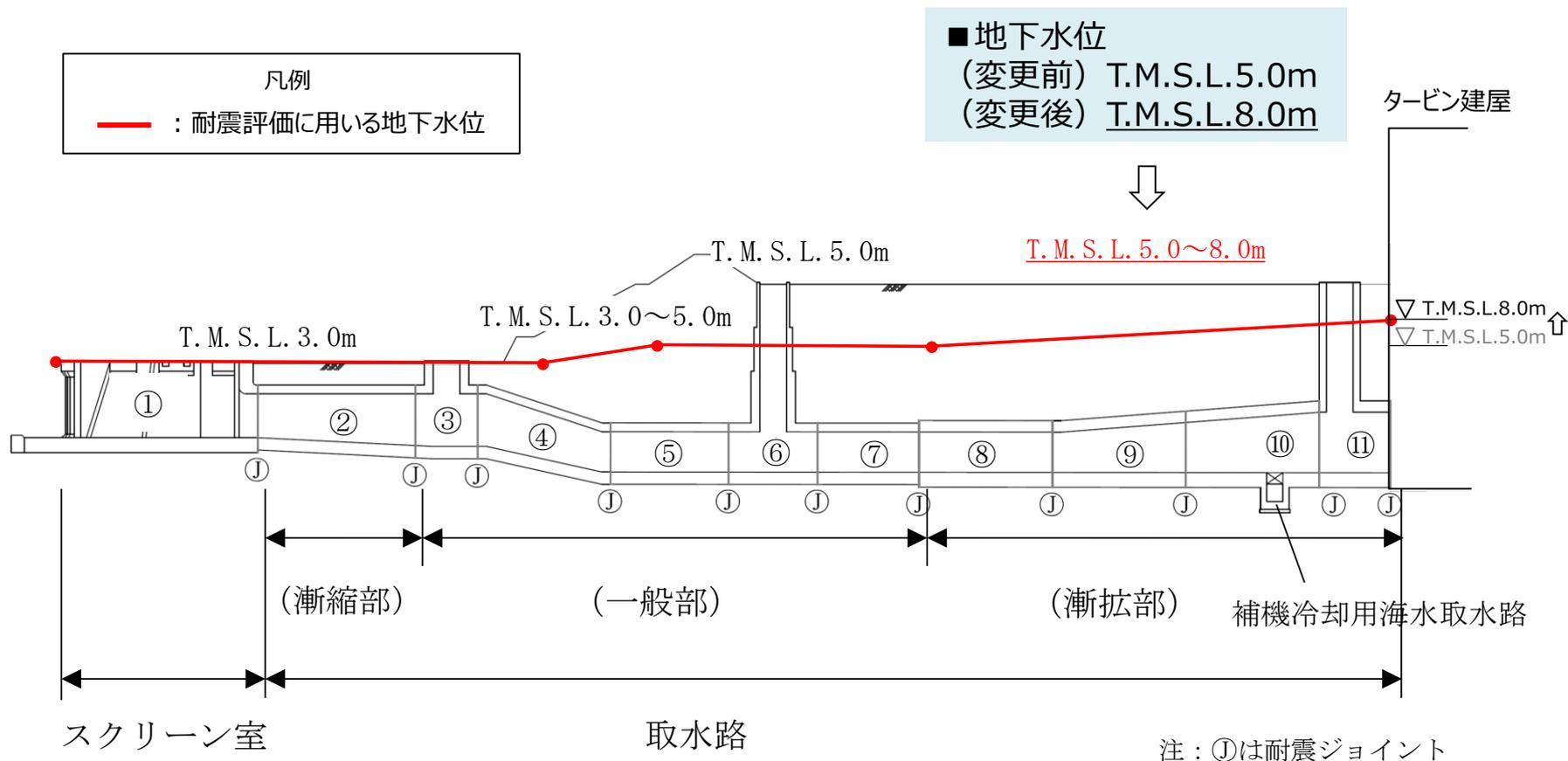


■ 回答

- ご指摘を踏まえ、取水路の一部及び補機冷却用海水取水路の耐震評価に用いる地下水位をT.M.S.L.5.0mからT.M.S.L.8.0mに再設定した。
- 6号機施設については、7号機側よりも地下水位が低い傾向にあるが、保守的に7号機施設と同じ地下水位設定とする。

取水路及び補機冷却用海水取水路の地下水位設定の変更

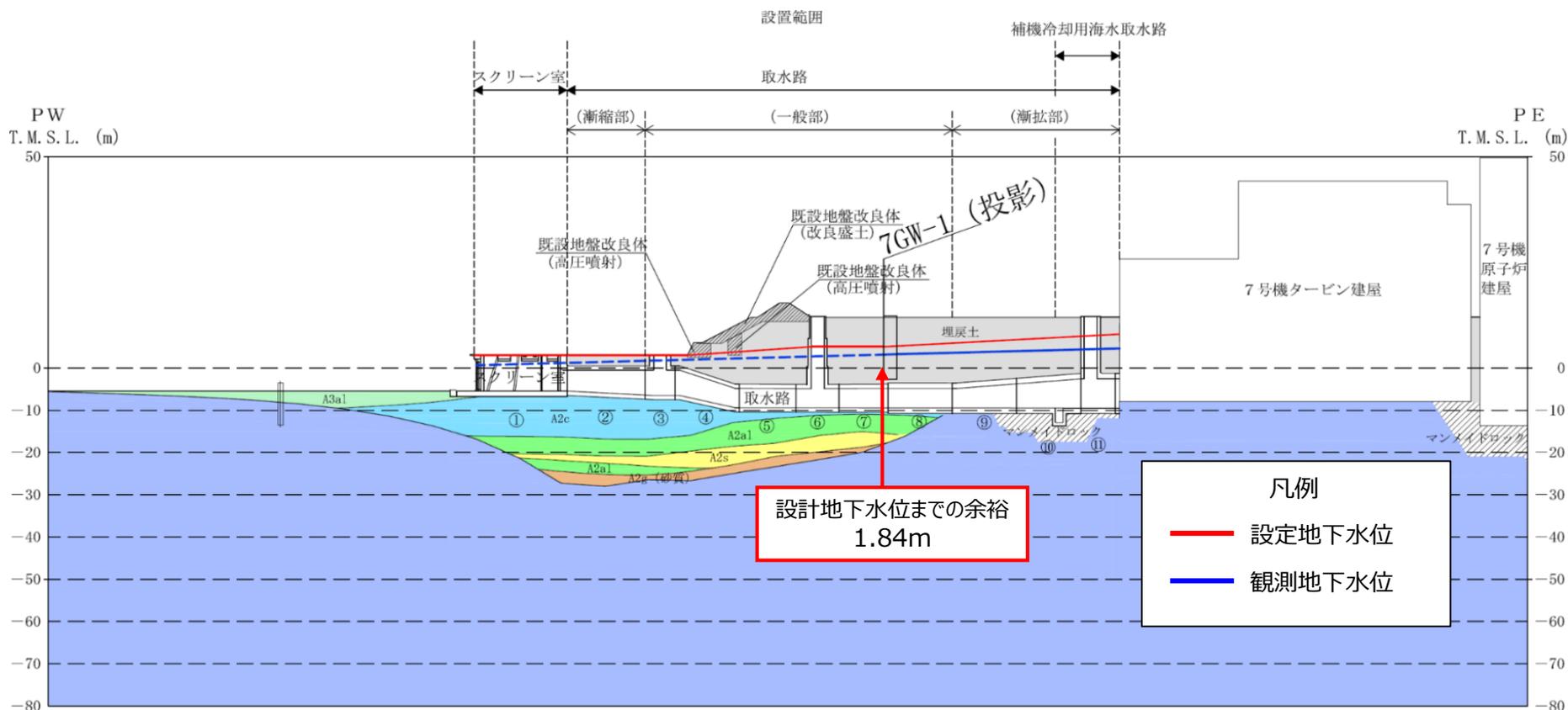
- ご指摘を踏まえ、取水路の一部及び補機冷却用海水取水路の耐震評価に用いる地下水位をT.M.S.L.5.0mからT.M.S.L.8.0mに再設定。



(変更後) 地下水位設定

地下水位設定の妥当性確認

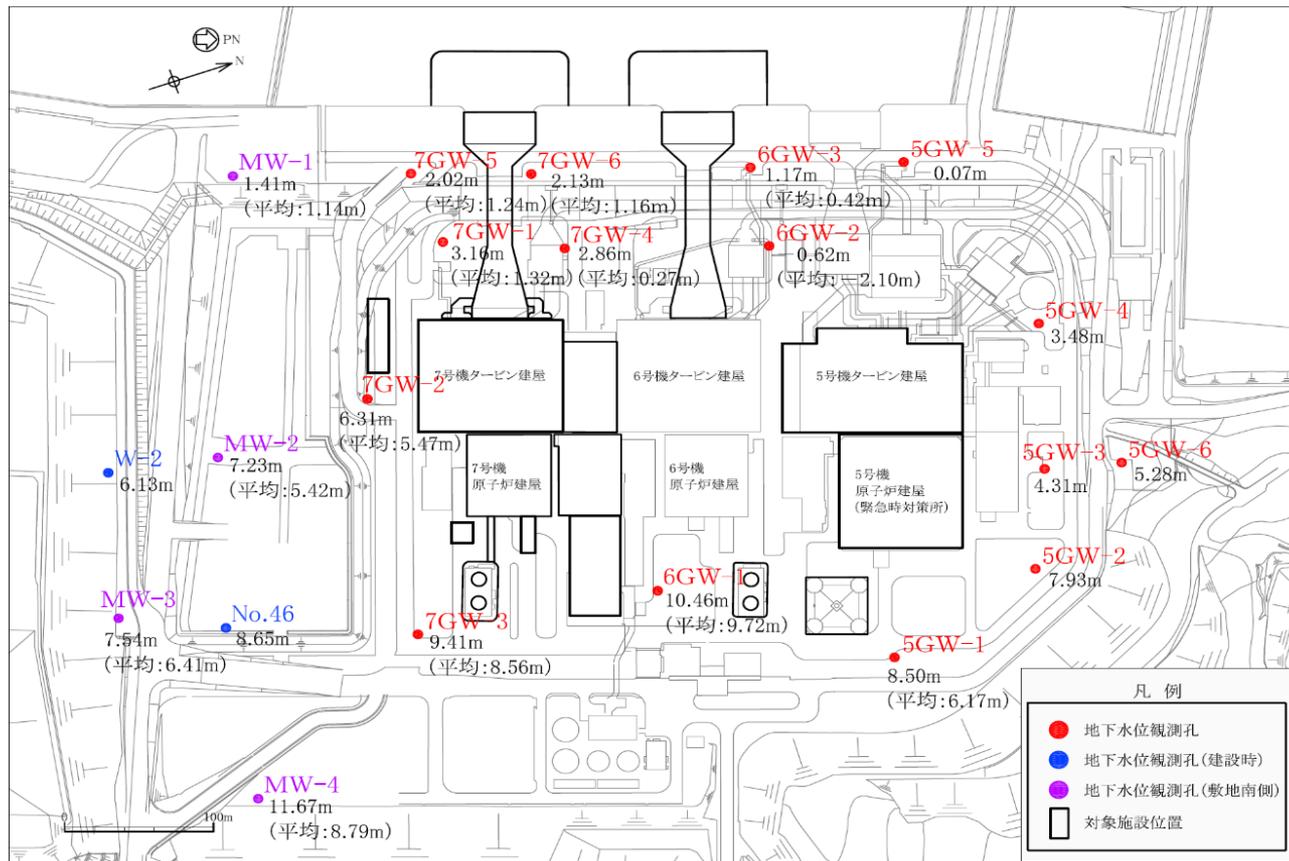
- 再設定後の地下水位は、施設の設置区間における観測地下水位に対して十分な余裕を有していることを確認。



施設の設置区間の地下水位設定と観測地下水位との関係

6号機施設の地下水位設定

- 6号機施設については、7号機側よりも地下水位が低い傾向にあるが、保守的に7号機施設と同じ地下水位設定とする。



地下水位の傾向
7号機施設 > 6号機施設

【取水路区間】
7号機施設の最高地下水位
3.16m (7GW-1)

6号機施設の最高地下水位
1.17m (6GW-3)

注：図中の数値は、各地下水位観測孔の観測最高地下水位を示す。()内の数値は、各地下水位観測孔において通年の観測記録が得られている2018年の平均地下水位を示す。

敷地内の観測地下水位

2. 古安田層A2s層の液状化強度特性について

審査会合での指摘事項に対する回答(2-1)

■ 指摘事項(2-1)

古安田層（A2s層）の液状化強度特性について，液状化抵抗曲線を下回る試験データの採取位置及び代表性を示すとともに，液状化抵抗曲線を下回る試験データが各施設の耐震設計に及ぼす影響の検討の要否を説明すること。



■ 回答

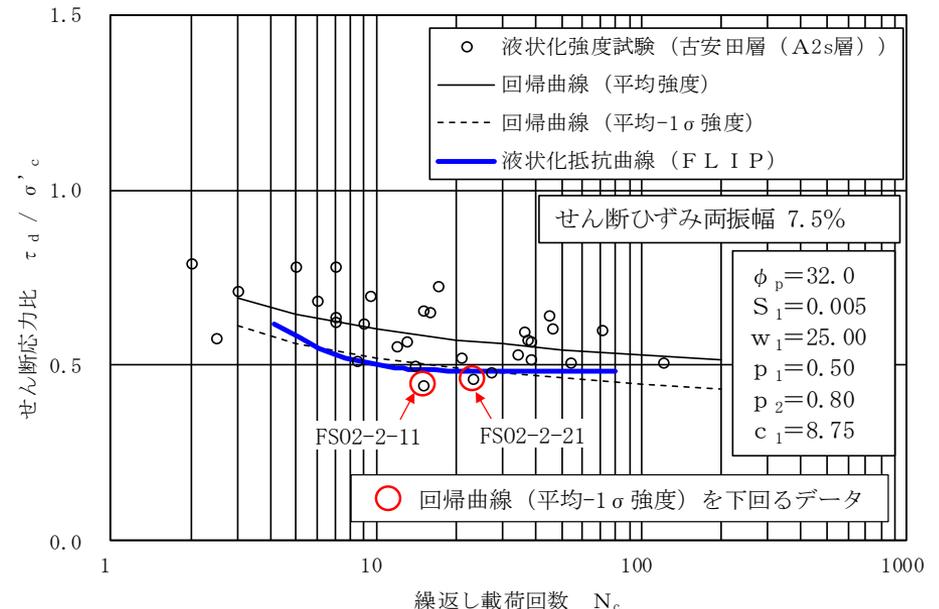
- 古安田層（A2s層）の液状化強度特性について，液状化抵抗曲線を下回る供試体の採取位置及び採取深度を確認し，当該供試体の土質性状及び地層の連続性を検討した。
- その結果，液状化抵抗曲線を下回る供試体は，地盤のばらつきの範囲にあり，地層が広範囲に連続して分布していないことから代表性を有していないことを確認した。
- また，液状化抵抗曲線を下回る供試体の試験データによる感度解析を実施した結果，液状化強度特性の差異が耐震評価に与える影響がないことを確認した。

液状化強度曲線の回帰曲線(-1 σ)を下回る供試体について

- A2s層の液状化強度試験結果の中には、液状化強度曲線の回帰曲線(平均-1 σ 強度)を下回る結果を示す供試体が2つ存在する。
- 当該供試体は、7号機のスクリーン室・取水路の近傍で採取。
- これらA2s層の液状化強度曲線の回帰曲線(平均-1 σ 強度)を下回る供試体について、供試体の土質性状及び採取箇所地層の連続性について検討した。



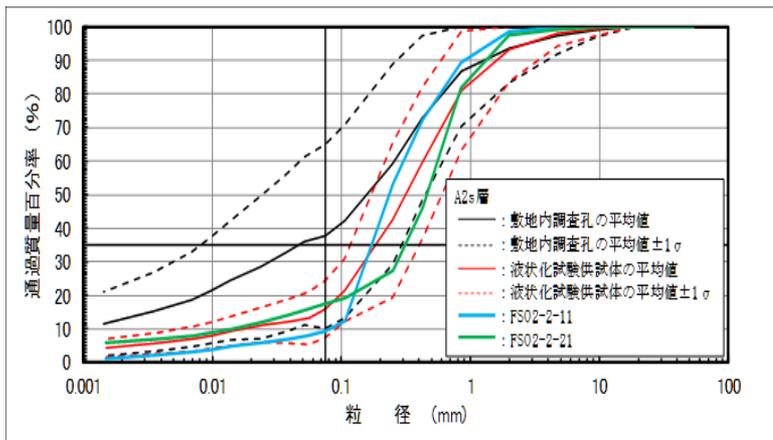
A2s層の液状化強度試験供試体の採取位置



A2s層の液状化強度試験結果

土質性状及び地質の連続性の検討

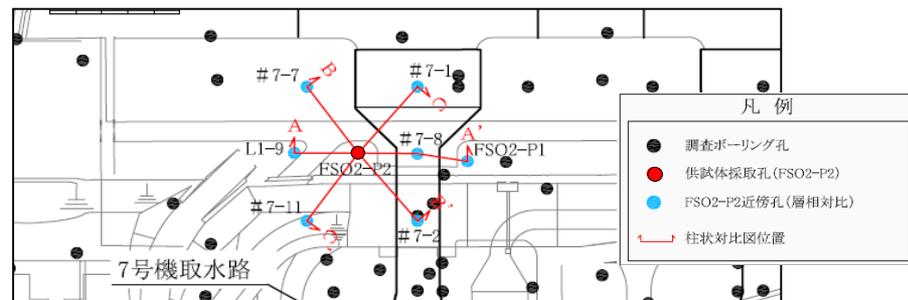
- 液状化強度曲線の回帰曲線（平均-1σ強度）を下回る供試体の土質性状は，粒度分布の比較からA2s層のばらつきの範囲内にあることを確認した。
- また，隣接ボーリング孔の観察記録から，液状化強度曲線の回帰曲線（平均-1σ強度）を下回る供試体が採取された地層が広範囲に連続して分布していないことを確認した。



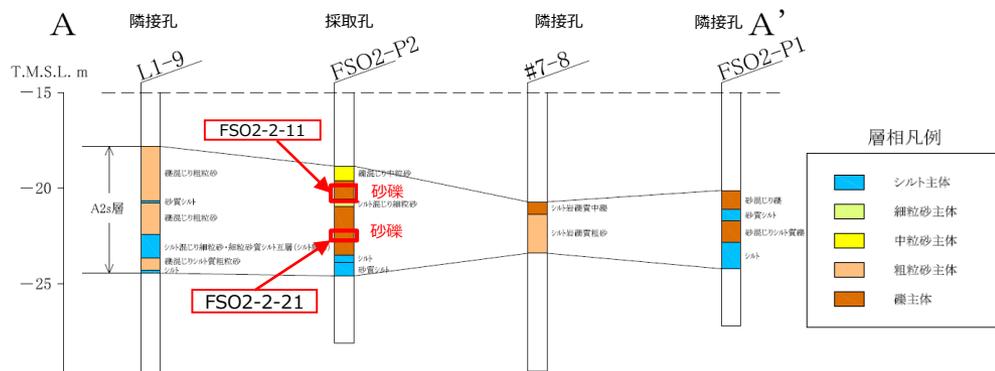
粒度分布

粒度組成

	礫分 (2mm以上)	砂分 (2.0~0.075mm)	細粒分含有率 (0.075mm以下)
	平均値(%)	平均値(%)	平均値(%)
敷地全体	6.4	55.9	37.7
取水路周辺	10.1	62.5	27.4
供試体全体	6.8	77.2	16.0
FS02-2-11	1.6	89.0	9.4
FS02-2-21	2.5	80.0	17.5



供試体採取孔と隣接ボーリング孔の位置図（採取箇所拡大）

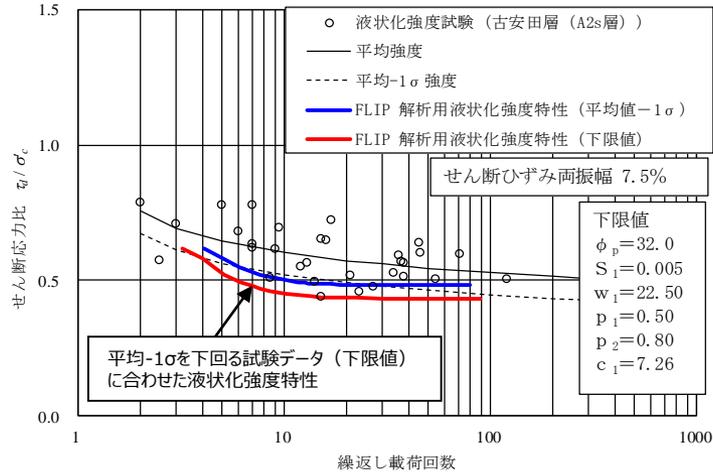


液状化強度曲線の回帰曲線（平均-1σ強度）を下回る供試体を採取した地層は広範囲に連続して分布していない

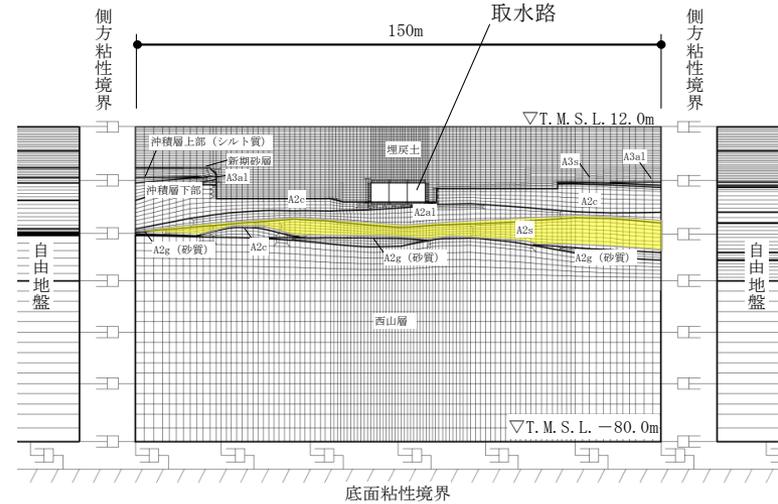
ボーリング柱状図

感度分析

- A2s層の平均-1σ強度を下回る試験データを考慮した感度分析を実施した。
- 感度分析の結果、液状化強度特性の差異が耐震評価に与える影響は僅かであることを確認した。



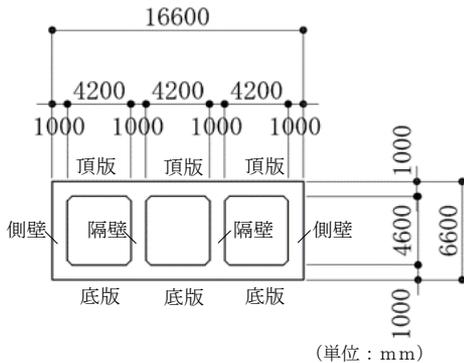
感度分析に用いる液状化強度特性



解析断面 (取水路一般部)

曲げ、せん断ともに照査値に変化なし

感度解析の照査結果



評価部材 取水路 (一般部)

	部位	基本ケース (平均 (-1σ) 強度)			下限値ケース (下限値)		
		照査用層間変形角 R_d	限界層間変形角 R_L	照査値	照査用層間変形角 R_d	限界層間変形角 R_L	照査値
曲げ照査	—	2.34×10^{-3}	1.00×10^{-2}	0.24	2.32×10^{-3}	1.00×10^{-2}	0.24
せん断照査	部位	基本ケース (平均 (-1σ) 強度)			下限値ケース (下限値)		
		照査用せん断力 V_d	せん断耐力 V_{yd}	照査値	照査用せん断力 V_d	せん断耐力 V_{yd}	照査値
	頂版	1153	2693	0.43	1153	2695	0.43
	底版	1264	2901	0.44	1262	2903	0.44
側壁	1096	1554	0.71	1102	1560	0.71	
隔壁	841	926	0.91	837	926	0.91	

3. 新潟県中越沖地震の再現解析の考察

審査会合での指摘事項に対する回答(3-1, 3-2)

■ 指摘事項(3-1)

新潟県中越沖地震時の実測と再現解析結果の鉛直変位における比較について、基本ケースと平均値ケース、実測値と解析結果に差が生じていない理由を詳細に説明すること。また、最大過剰間隙水圧比及び最大せん断ひずみと地盤変位との関係性について説明すること。

■ 指摘事項(3-2)

設定した減衰定数の保守性及び適用性について、考察して説明すること。

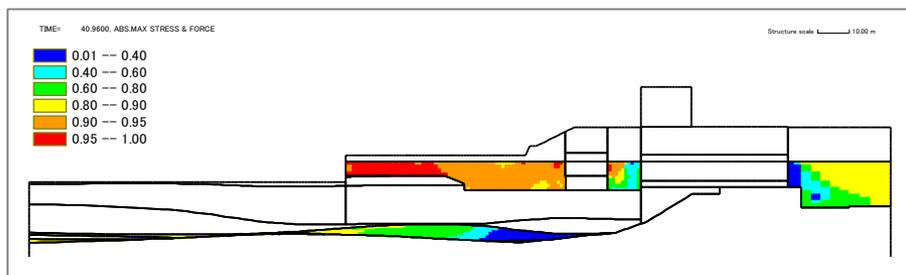


■ 回答

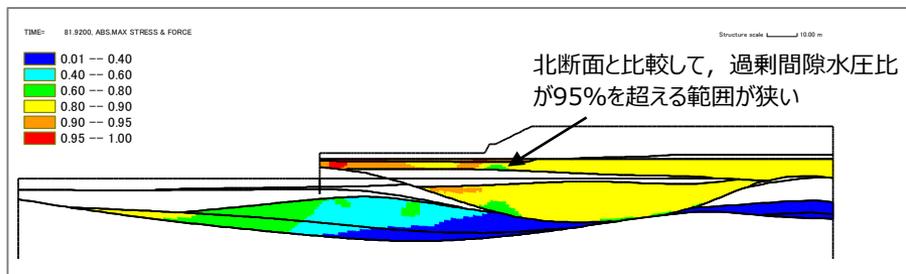
- 南側断面は、北断面と比較して過剰間隙水圧が95%を超える範囲が狭いため、側方流動による鉛直変位量が比較的小さく、基本ケースと平均値ケースとの間の差異が小さくなったものと考えられる。
- 再現解析において、有効応力解析コード (FLIP)は、地表面が海側に変形した実測値の傾向を再現できており、再現解析の変形量が実測値を概ね上回る評価ができていることから、適用している減衰定数と解析用物性値は、耐震評価を実施する上で保守性を有しており、適用性があると判断できる。

再現解析における南断面の鉛直変位の考察

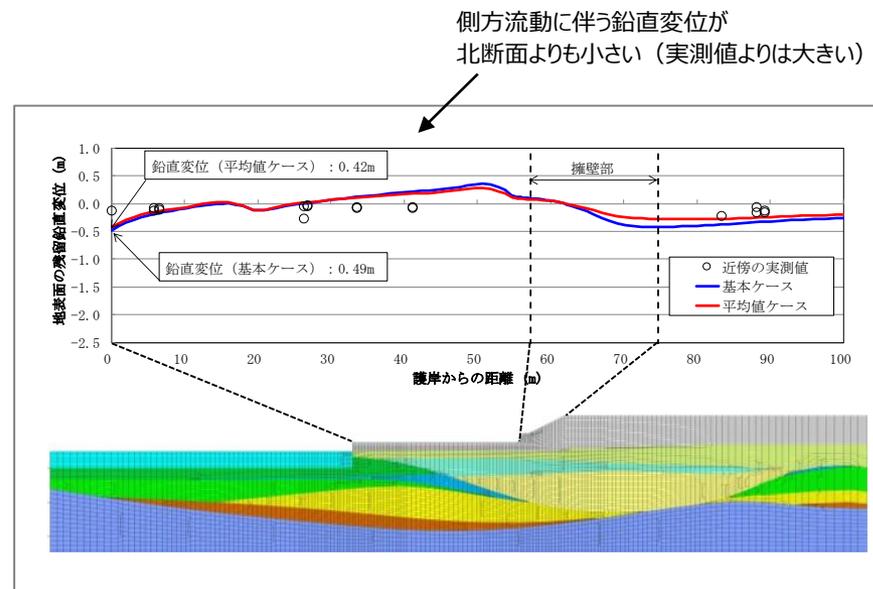
- 南側断面は、北断面と比較して過剰間隙水圧が95%を超える範囲が狭いため、側方流動による鉛直変位量が比較的小さく、基本ケースと平均値ケースとの間の差異が小さくなったものと考えられる。
- 再現解析において、有効応力解析コード（FLIP）は、地表面が海側に変形した実測値の傾向を再現できており、再現解析の変形量が実測値を概ね上回る評価ができていることから、適用している減衰定数と解析用物性値は、耐震評価を実施する上で保守性を有しており、適用性があると判断できる。



過剰間隙水圧比の分布（北断面）



過剰間隙水圧比の分布（南断面）



護岸からの距離と地表面鉛直変位の関係（南断面）

4. 液状化対策工事について

審査会合での指摘事項に対する回答(4-1, 4-2)

■ 指摘事項(4-1)

地盤改良体の物性値の確認方法について、施工工法ごとに試験の方法、試験体の採取位置の考え方及び施工管理基準を説明すること。

■ 指摘事項(4-2)

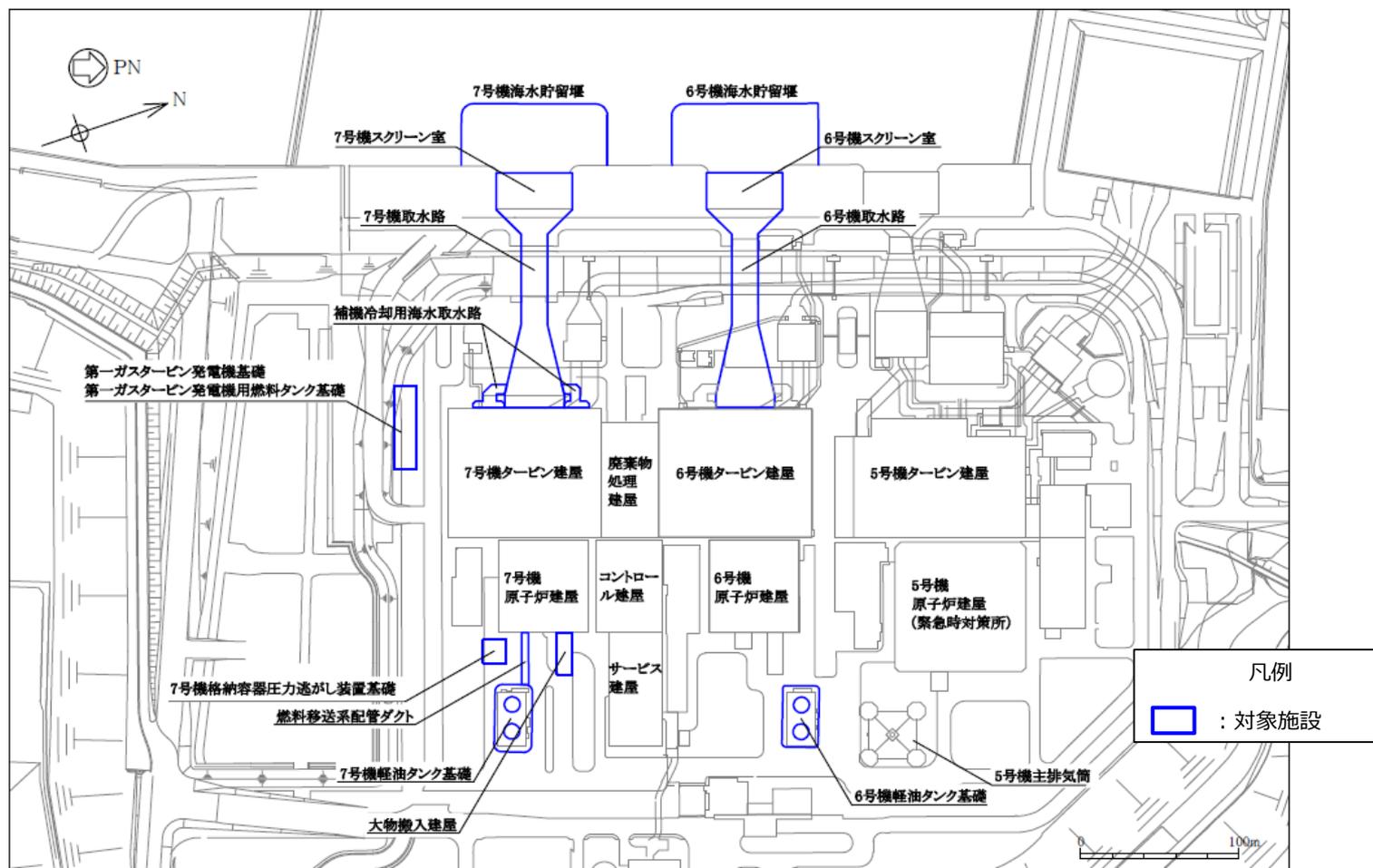
液状化の影響を考慮した各施設の設計について、対策工の実施範囲、物性値の設定等の設計の考え方及び評価対象施設の設計結果を含む対策工の成立性を説明すること。また、埋戻土層等の対策工について、適切な範囲、仕様等を考慮した保守的な設計としていることを説明すること。



■ 回答

- 既設及び新設地盤改良体の物性値について、基準・指針に基づき、適用する施工方法に応じた適切な品質管理、施工管理基準を適用する。
- 液状化の影響を考慮した各施設の設計について、対策工の実施範囲、物性値の設定等の設計の考え方及び評価対象施設の設計結果を含む対策工の成立性を整理した。
- また、建設時の敷地造成における埋戻土の品質管理を示し、地盤改良における範囲や仕様等を考慮した保守的な設計となるように配慮していることを説明する。

柏崎刈羽原子力発電所の液状化対策工事について



地盤改良体を設置する施設の平面配置図

柏崎刈羽原子力発電所の液状化対策工事について

■ 地盤改良の目的

- ① 液状化時の変形抑制
- ② 液状化時の構造物の浮上り防止

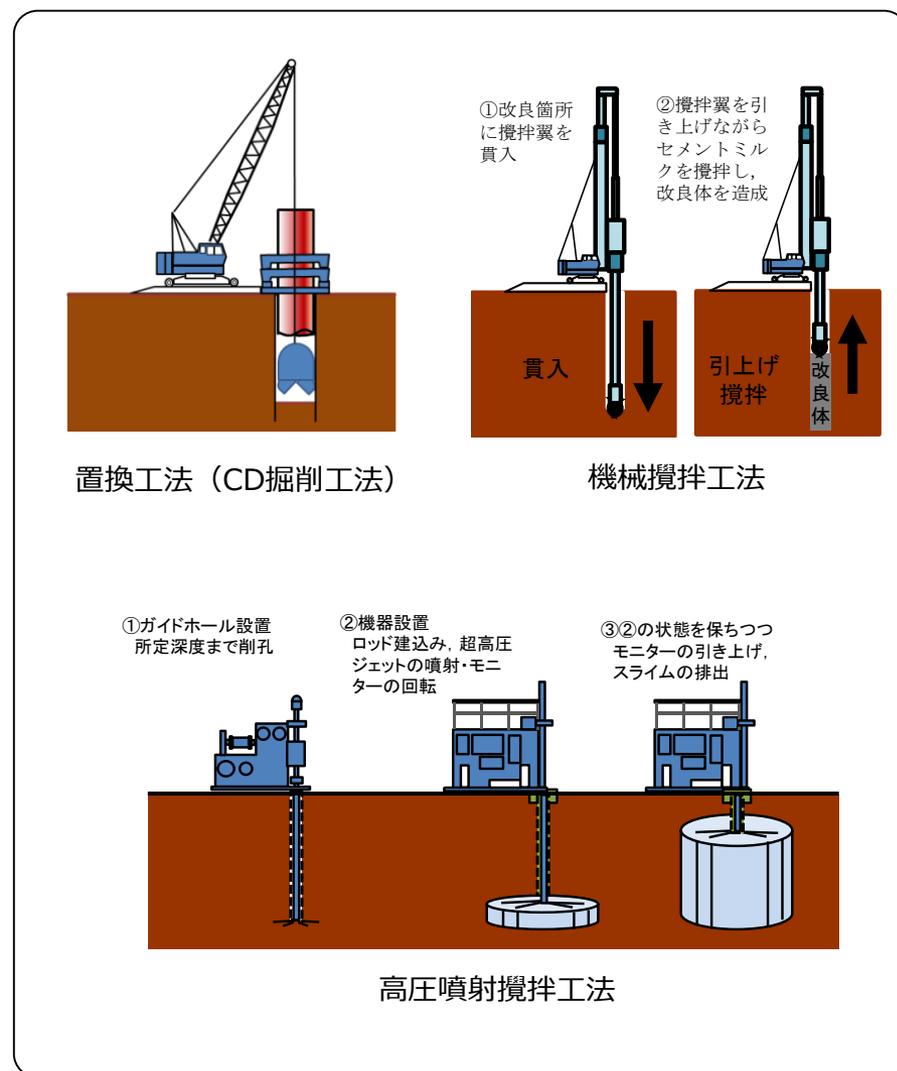
■ 適用する地盤改良工法

- ① 置換工法（CD掘削工法）
- ② 置換工法（地中連続壁工法）
- ③ 置換工法（開削工法）
- ④ 機械攪拌工法
- ⑤ 高圧噴射攪拌工法
- ⑥ 無筋コンクリート
- ⑦ 土質安定処理土
- ⑧ 改良盛土

■ 対象施設

- ・ 大物搬入建屋
- ・ 格納容器圧力逃がし装置基礎
- ・ K6,7 海水貯留堰
- ・ K6,7 スクリーン室・取水路
- ・ 補機冷却用海水取水路
- ・ K6,7 軽油タンク基礎
- ・ 燃料移送系配管ダクト
- ・ 第一ガスタービン発電機基礎
- ・ 第一ガスタービン発電用燃料タンク基礎

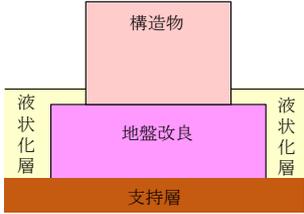
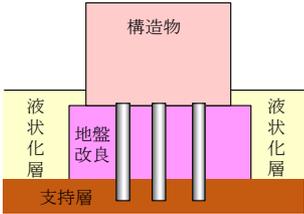
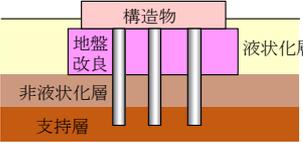
適用する地盤改良工法の一例

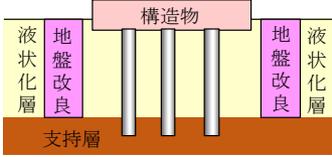
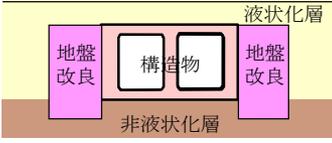
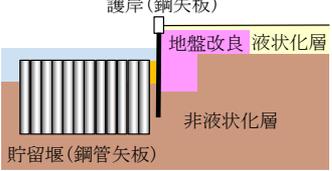


適用する規格・基準類

- 地盤改良体の適用工法，設置箇所及び構造物の支持機能の有無に応じて適切な諸基準・指針を適用。
- 原位置試験及び室内試験は，日本工業規格（JIS）または地盤工学会（JGS）の試験規格に基づき実施。

地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準

目的	直接支持	変形抑制	
構造形式			
対象施設	無し	大物搬入建屋，K6 軽油タンク基礎，燃料移送系配管ダクト 第一ガスタービン発電機基礎，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎	
適用基準	建築基礎指針， 建築センター指針，JEAG4616	陸上工事マニュアル	

目的	変形抑制	浮上り防止	変形抑制
構造形式			
対象施設	格納容器圧力逃がし装置基礎， K6,7 軽油タンク基礎， 燃料移送系配管ダクト	K6,7 スクリーン室， K6,7 取水路， 補機冷却用海水取水路，	K6,7 海水貯留堰
適用基準	陸上工事マニュアル	陸上工事マニュアル	港湾・空港マニュアル

地盤改良体の物性値設定の考え方

■ 地盤改良体の物性値の設定

- 竣工後の地盤改良体（既設地盤改良体）の物性値は，原位置試験及び室内試験の結果に基づき設定することを基本とする。
- 施工中または計画中の地盤改良体（新設地盤改良体）の物性値は，設計値や文献等に基づき設定する。ただし，近傍に既設地盤改良体があり，その地盤条件・施工方法，設計強度が同一ものである場合は，近傍の既設地盤改良体の物性値を設定する。

■ 地盤改良体の設計上の保守性の配慮

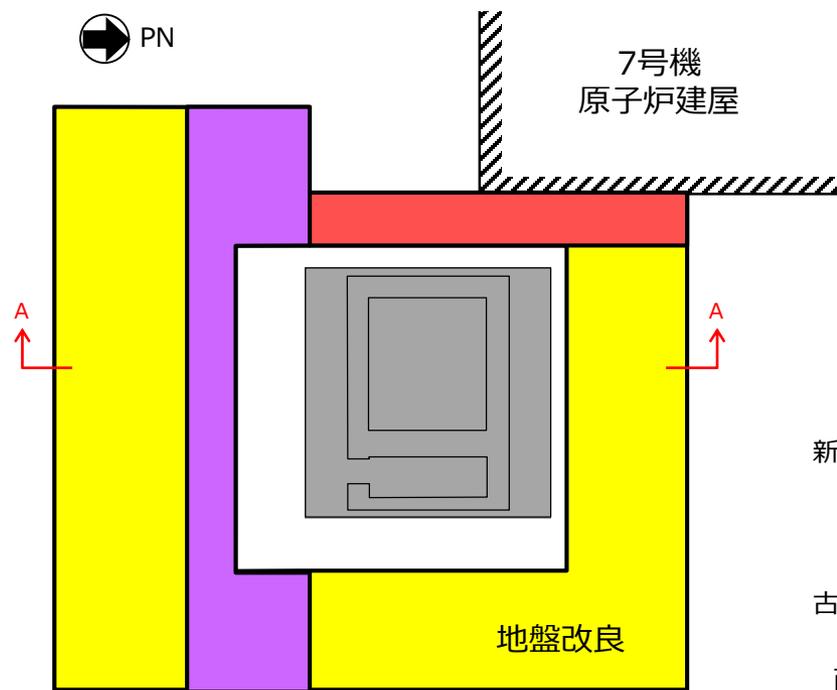
- 地盤改良体の物性値は，地盤のばらつきを考慮し，保守的に設定する。
- 具体的には，既設地盤改良体では，地盤のばらつきを考慮してPS検層のS波速度 V_s の標準偏差 σ を求め，初期せん断弾性係数 G_0 を設定。新設地盤改良体では，設計値に基づき下限値相当の初期せん断弾性係数 G_0 を設定する。
- また，機器・配管系を間接支持する構造物については，応答加速度及び応答変位に対する影響評価を実施する。

■ 埋戻土について

- 地盤改良を適用する地盤（埋戻土）については，敷地における掘削土が起源。
- 建設時の敷地造成では，掘削土の性状（砂質土や粘性土）に応じた選別を行い，土捨場まで運搬した後，再び土捨場から搬出し，敷均し後に転圧。さらに，施工後には締固め管理度の確認試験を行い，所定の締固め度を確保する品質管理が行われている。

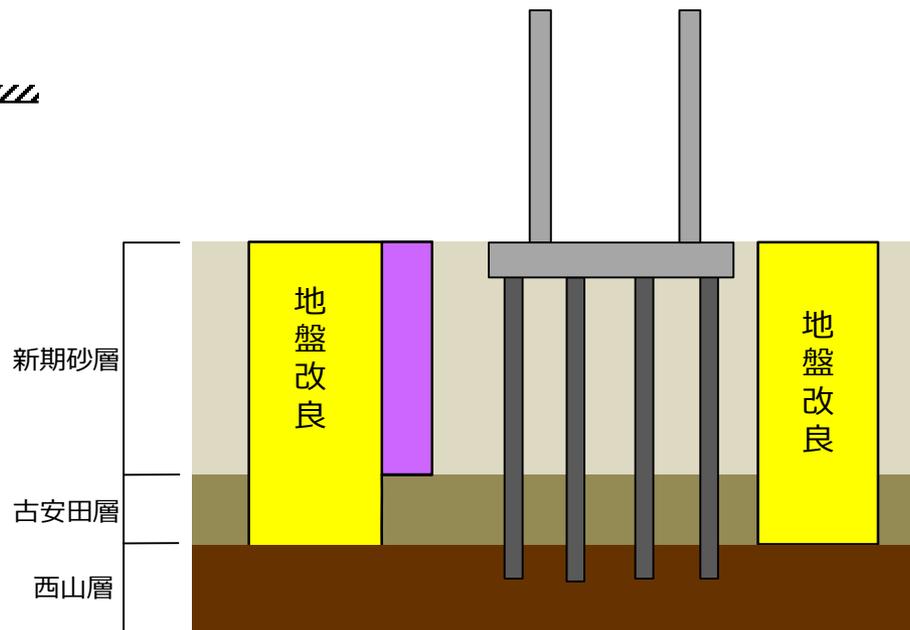
格納容器圧力逃がし装置基礎の液状化対策

- 格納容器圧力逃がし装置基礎（以下、装置基礎という。）の周辺地盤を地盤改良することにより、装置基礎直下の原地盤の液状化による変形を抑制することを目的とする。



- 置換工法（CD掘削工法）
- 置換工法（開削工法）
- 高圧噴射攪拌工法

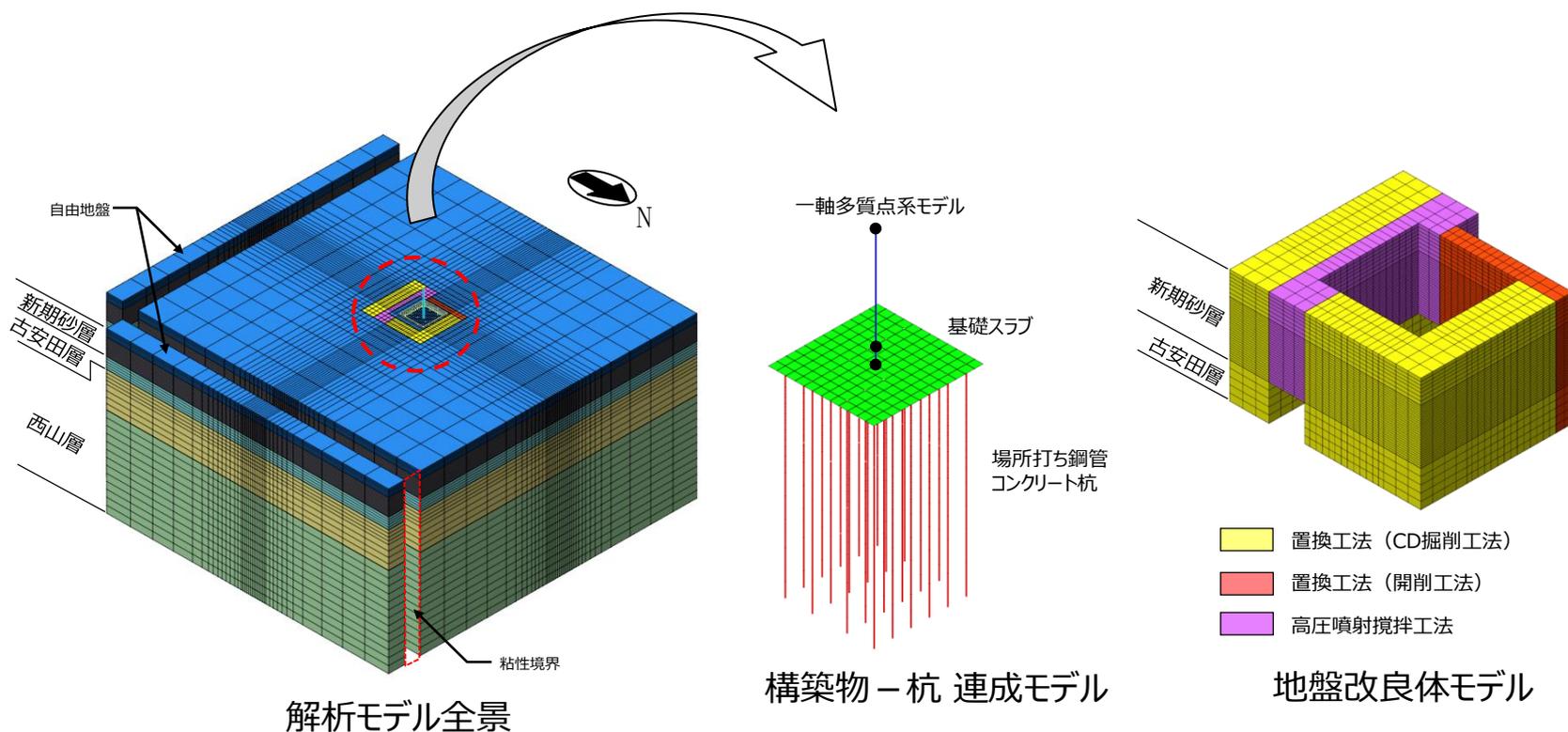
地盤改良範囲図



A-A断面図

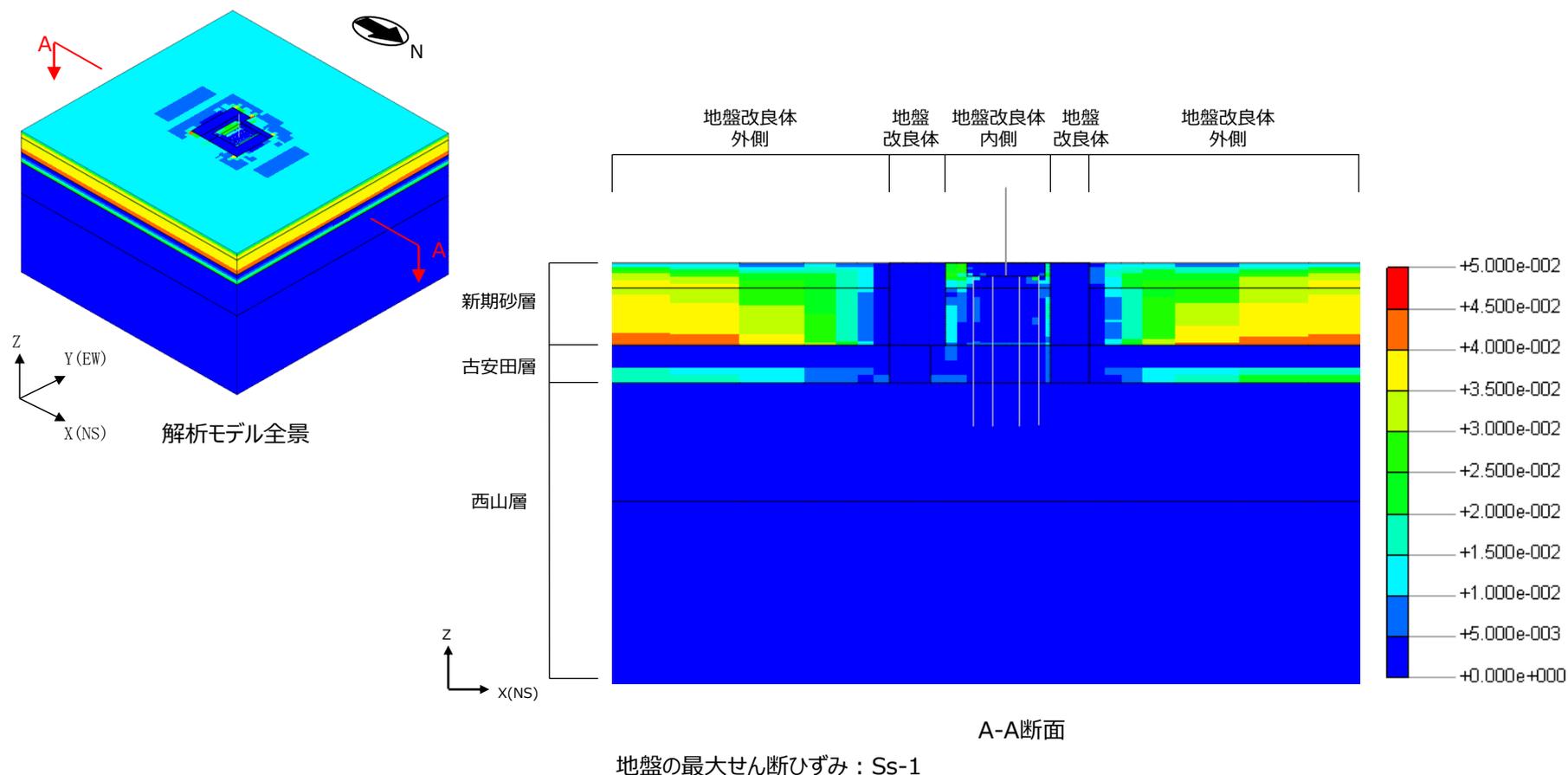
格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答解析モデル

- 装置基礎の地震応答解析は、以下を考慮するため、地盤3次元FEMモデルを採用した。
 - 地盤改良体の複雑な平面形状
 - 複数の地盤改良工法に応じた物性値と改良深度
 - 群杭効果（各杭の水平変位により生じる反力が、互いに影響を与える現象）
 - ボックス形状の地盤改良体が装置基礎直下の原地盤の水平変形を拘束する効果



変形の抑制効果の確認

- 基準地震動Ss発生時，地盤改良体外側の周辺地盤が大きくひずむ（変形する）のに対し，地盤改良体内側の装置基礎直下地盤では地盤改良体が水平変形を拘束することにより，ひずみ（変形）を抑制できていることを確認した。

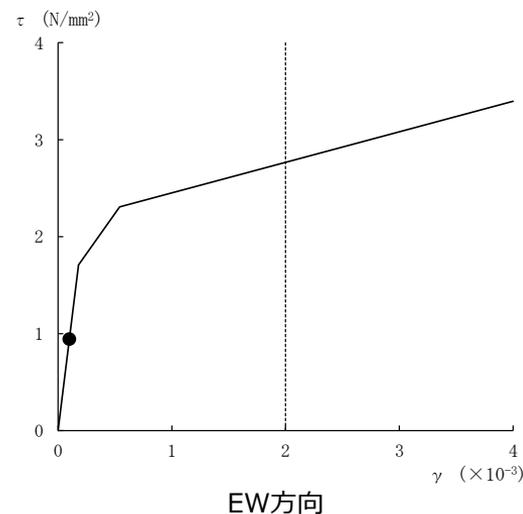
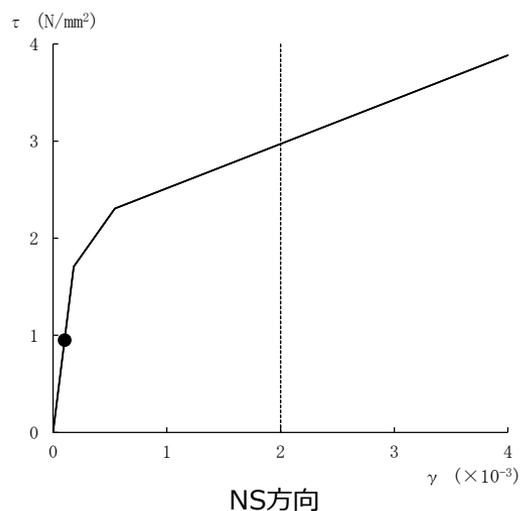


装置基礎の地震応答解析結果

- 装置基礎の地震応答解析による評価の結果、各部に生じる応力は許容値以下であることを確認した。
- 耐震壁に生じるせん断ひずみは、弾性範囲内であることを確認した。

最大応答値に対する評価結果一覧：杭

	許容限界	Ss地震時	検定比
最大軸力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	24.0	10.4	0.434
最小軸力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	17.0	9.91	0.583
曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)	1.46	1.31	0.898
せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)	8.27	5.07	0.614



耐震壁のせん断スケルトン曲線上の最大応答値

液状化対策工事の一例

屋外重要土木構造物の一例
作成中

まとめ (1/2)

1. 地下水位の設定

- ご指摘を踏まえ、耐震評価に用いる地下水位の一部をT.M.S.L.5.0mからT.M.S.L.8.0mに再設定した。
- 6号機施設については、7号機側よりも地下水位が低い傾向にあるが、保守的に7号機施設と同じ地下水位設定とする。

2. 古安田層A2s層の液状化強度特性について

- 古安田層（A2s層）の液状化強度特性について、液状化抵抗曲線を下回る供試体の採取位置及び採取深度を確認し、当該供試体の土質性状及び地層の連続性を検討した。
- その結果、液状化抵抗曲線を下回る供試体は、地盤のばらつきの範囲にあり、地層が広範囲に連続して分布していないことから代表性を有していないことを確認した。
- また、液状化抵抗曲線を下回る供試体の試験データによる感度解析を実施した結果、液状化強度特性の差異が耐震評価に与える影響がないことを確認した。

3. 新潟県中越沖地震の再現解析の考察

- 南側断面は、北断面と比較して過剰間隙水圧が95%を超える範囲が狭いため、側方流動による鉛直変位量が比較的小さく、基本ケースと平均値ケースとの間の差異が小さくなったものと考えられる。
- 再現解析において、有効応力解析コード（FLIP）は、地表面が海側に変形した実測値の傾向を再現できており、再現解析の変形量が実測値を概ね上回る評価ができていることから、適用している減衰定数と解析用物性値は、耐震評価を実施する上で保守性を有しており、適用性があると判断できる。

まとめ (2/2)

4. 液状化対策工事について

- 既設及び新設地盤改良体の物性値について、基準・指針に基づき、適用する施工方法に応じた適切な品質管理、施工管理基準を適用する。
- 液状化の影響を考慮した各施設の設計について、対策工の実施範囲、物性値の設定等の設計の考え方及び評価対象施設の設計結果を含む対策工の成立性を整理した。
- また、建設時の敷地造成における埋戻土の品質管理を示し、地盤改良における範囲や仕様等を考慮した保守的な設計となるように配慮していることを説明した。