

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機 審査会合のコメント回答について

TEPCO

2020年5月13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.	実施日	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.9	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.10~11	
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.12	
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.17~19	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.23	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.23	
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.28~30	液状化対策工事について
4-2	令和元年9月10日 第769回 審査会合 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.31~40	

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

第836回 審査会合（令和2年2月18日）における説明

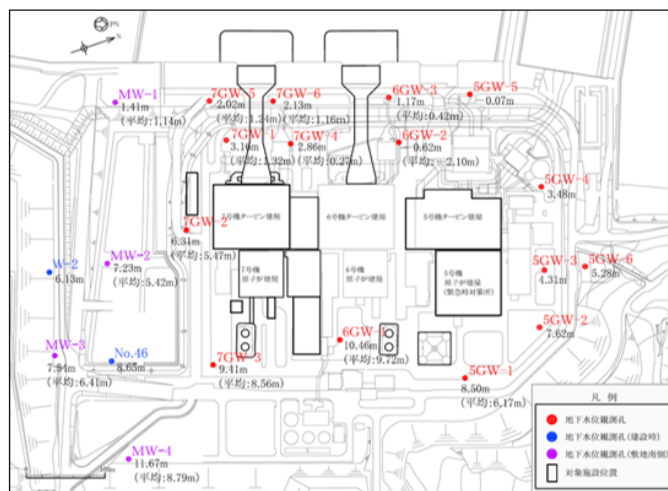
- 前回の審査会合では、敷地内に設置した21箇所の地下水位計の観測記録に基づき、地下水排水設備の外側に配置する施設について、耐震評価における地下水位設定について説明した。

4. 地下水位の設定

30

地下水排水設備の外側に配置する施設の地下水位設定（変更点）

- 設置変更許可以降、評価対象施設の周辺で新たに敷地内に地下水位計を設置し、地下水位の連続観測を実施。
- 建設時の工事計画認可前の地下水観測記録についても調査。
- 地下水排水設備の外側に配置する施設は、地下水位観測記録に基づき地下水位を設定。
- 地下水位観測記録に基づき地下水位を設定する際は、地下水位を上昇させる要因の有無、地下水位の変動要因について検討し、現況の地下水位観測結果の妥当性を確認。



地下水位観測孔位置図

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

TEPCO

□ 地下水位観測

地下水位観測孔設置数：21箇所
(建設時観測孔2箇所を含む)

敷地内観測孔観測期間：2018年1月～現在
(建設時観測孔：1988年4月～1995年3月)

地下水排水設備の外側に配置する施設*

- 大物搬入建屋
- 格納容器圧力逃がし装置基礎
- 海水貯留堰
- スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路
- 常設代替交流電源設備（発電機基礎、軽油タンク基礎）
- 軽油タンク基礎
- 燃料移送系配管ダクト
- 非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板

注記*：地下水排水設備の外側に配置する施設のうち、工事計画認可申請において耐震評価の対象となる施設を示す。

(第836回 審査会合（令和2年2月18日）スライド30より抜粋)

第836回 審査会合（令和2年2月18日）における説明

- 各対象施設の設定地下水位に対して、地下水位を上昇させる要因や地下水位の変動要因を踏まえ、地下水位設定の妥当性について説明した。

4. 地下水位の設定

41

耐震評価における地下水位設定

□地下水排水設備の外側に配置する施設の地下水位設定

- 原子炉建屋よりも山側の施設及び護岸部（T.M.S.L.3.0m）の施設については、観測記録に基づき、保守的に地下水位をそれぞれの地表面に設定。
- 常設代替交流電源設備及び取水路については、地下水位の変動要因（人為的要因・自然要因）を考慮した上で、観測記録の最高値に一定の余裕をもたせた地下水位を設定。
- なお、工事計画認可における耐震評価における地下水位は、いずれも建設時の工事計画認可における設計地下水位を上回る標高に設定している。

耐震設計における各対象施設の地下水位一覧

対象施設		建設時の 設計地下水位	観測最高水位 (近傍観測孔)	耐震評価における 地下水位	裕度*
建物・構築物	大物搬入建屋 格納容器圧力逃がし装置基礎	-	T.M.S.L.9.41m (7GW-3)	T.M.S.L.12.0m (地表面)	-
	5号機 主排気筒	-	T.M.S.L.8.50m (5GW-1)	T.M.S.L.12.0m (地表面)	-
土木構築物	6 _機 7号機海水貯留堰（護岸部）	-	T.M.S.L.2.13m (7GW-6)	T.M.S.L.3.0m (地表面)	-
	6 _機 7号機スクリーン室	T.M.S.L.1.0m			
	6 _機 7号機取水路	T.M.S.L.1.0m	T.M.S.L.3.16m (7GW-1)	T.M.S.L.5.0m	1.84m
	補機冷却用海水取水路				
	第一ガスタービン発電機基礎	-	T.M.S.L.6.31m (7GW-2)	T.M.S.L.8.0m	1.69m
	第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎				
6 _機 7号機軽油タンク基礎	T.M.S.L.7.0m	T.M.S.L.10.46m (6GW-1)	T.M.S.L.12.0m (地表面)	-	
燃料移送系配管ダクト	-				
	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板				

注記*：裕度とは、耐震評価における地下水位と観測最高水位との差分を示す。（地表面に地下水位を設定している施設は除く）

©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved. 無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

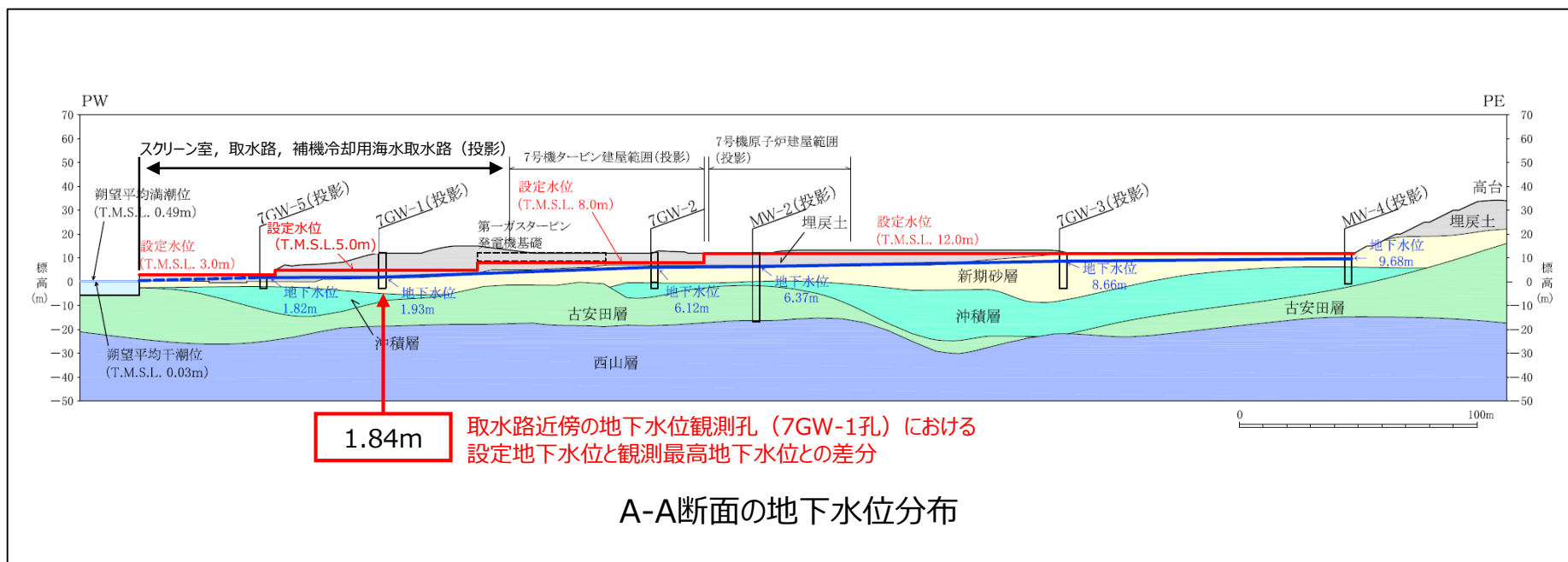


（第836回 審査会合（令和2年2月18日）スライド41より抜粋）

第836回 審査会合（令和2年2月18日）における説明

前回の審査会合の説明のうち…

- 取水路及び補機冷却用海水取水路の設定地下水位については、敷地内の観測記録に基づき、地下水位の変動要因を踏まえ、「T.M.S.L.5.0m」と設定した。
- 取水路の設定地下水位と観測地下水位との差分は、施設近傍に設置した地下水位観測孔（7GW-1孔）位置において「1.84m」であり、十分な余裕を有すると評価した。



（第836回 審査会合（令和2年2月18日）スライド35より抜粋（一部加筆））

審査会合での指摘事項

■ 指摘事項(1-1)

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(1-2)

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(1-3)

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。

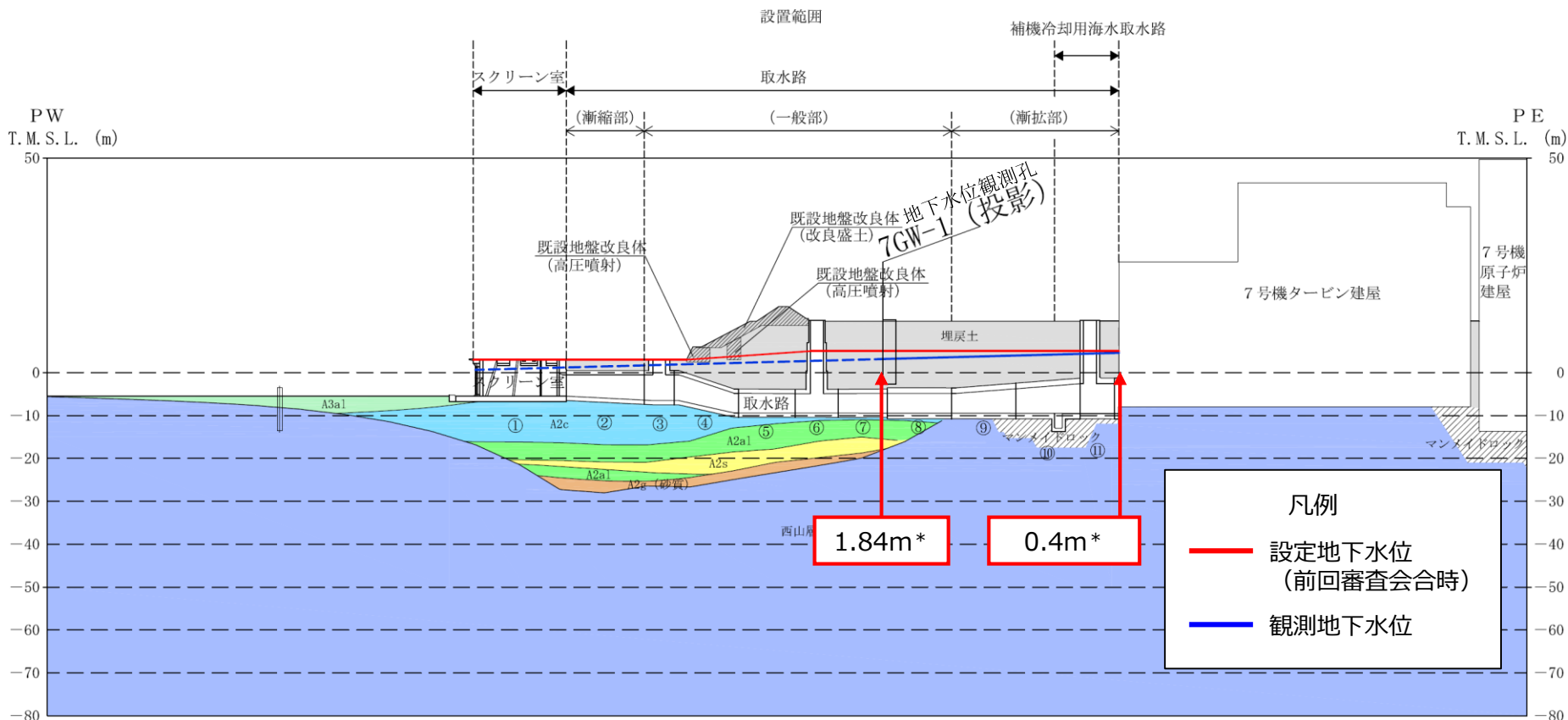


■ 回答

- 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

- ご指摘を踏まえ、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整理した。



注記* : 図中の数値は、観測地下水水位と設計地下水水位との差分（裕度）を示す。

施設の設置区間の地下水位設定と観測地下水水位との関係（前回審査会合時）

地下水位観測記録における変動要因の考慮（回答1-1）

- 地下水位の上昇要因及び変動要因（人為的要因・自然要因）を考慮した上で、耐震評価に用いる地下水位に必要な余裕を検討した。

（第836回 審査会合 説明事項）

① 地下水位の上昇要因

- 岩着している施設，地盤改良体及び防潮堤について，その配置や構造から敷地内の地下水の流動に影響を与える可能性を検討した結果，敷地内の地下水位が上昇する要因が無いことを確認した。

② 変動要因（人為的要因）

- 敷地内の地下水位の観測記録及び地下水排水設備の揚水実績を分析した結果，観測地下水位への地下水排水設備による影響はほとんどないと評価した。

③ 変動要因（自然要因）

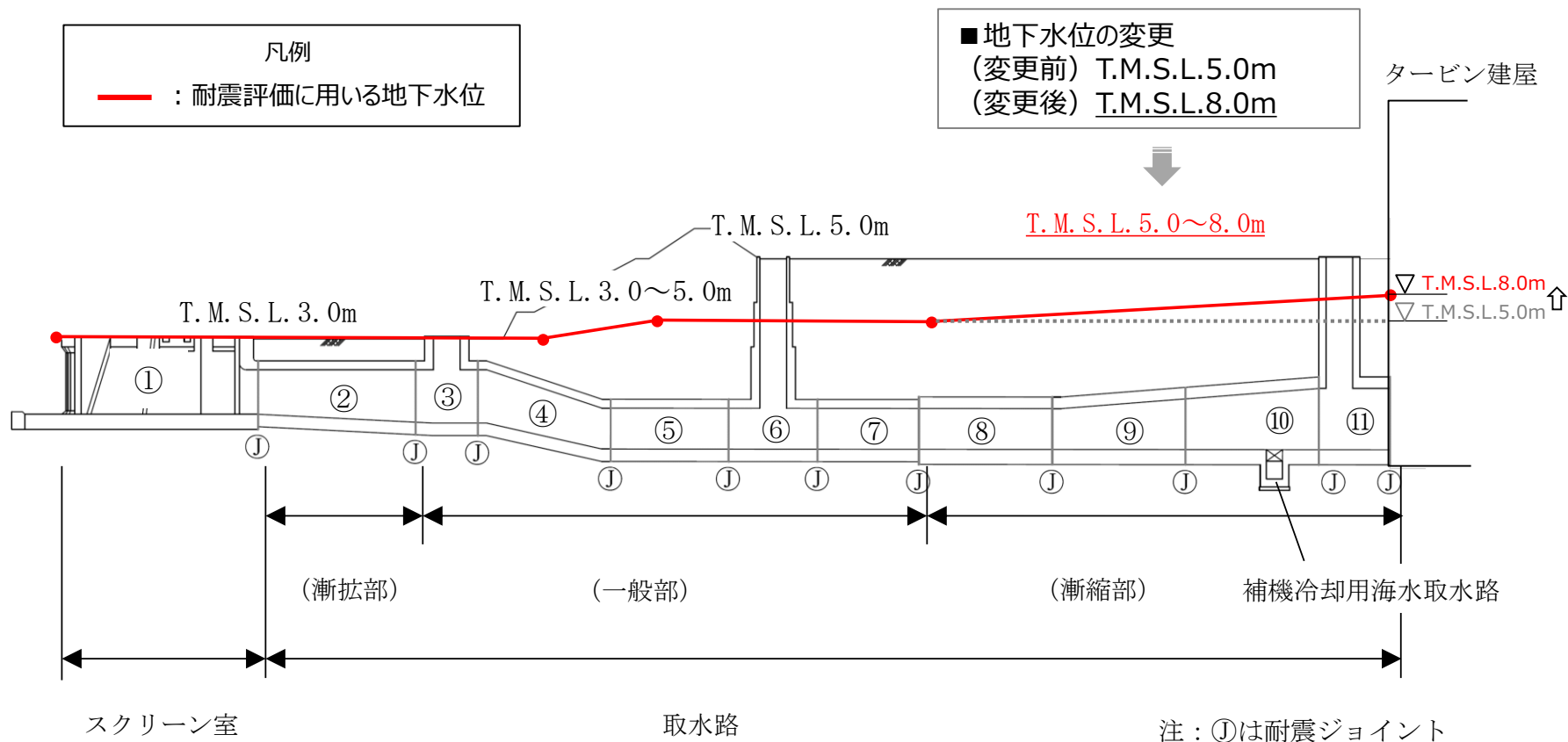
- 建設時の地下水位観測記録により観測最高地下水位のばらつきを分析した結果，年によって観測最高地下水位に $-0.3 \sim +0.4$ m程度のばらつきがあると評価した。



- 以上の検討より，耐震評価に用いる地下水位に必要な余裕は，観測記録に基づく変動要因を踏まえ，観測最高地下水位に対して「0.4m以上」と設定する。
- なお，耐震評価後に地下水位を上昇させる事象が予想される場合は，地下水位設定の再検討する。

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（回答1-2）

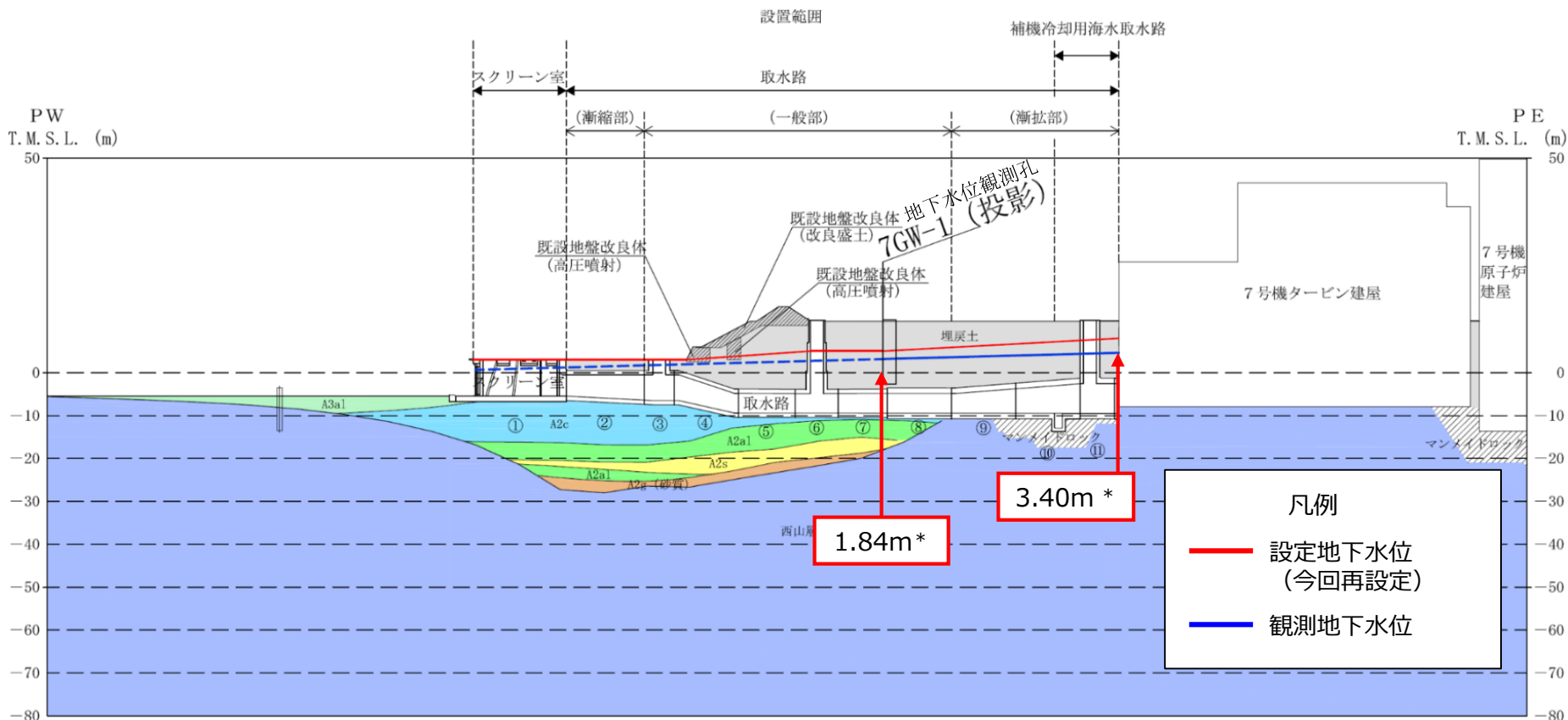
- 検討結果を踏まえ、より十分な余裕を確保するため、取水路の一部及び補機冷却用海水取水路の耐震評価に用いる地下水位をT.M.S.L.5.0mからT.M.S.L.8.0mに再設定する。



再設定後の地下水位設定

地下水位設定の妥当性確認（回答1-2）

- 今回再設定した地下水位は、施設の設置区間における観測地下水位に対し、より十分な余裕を有していることを確認した。

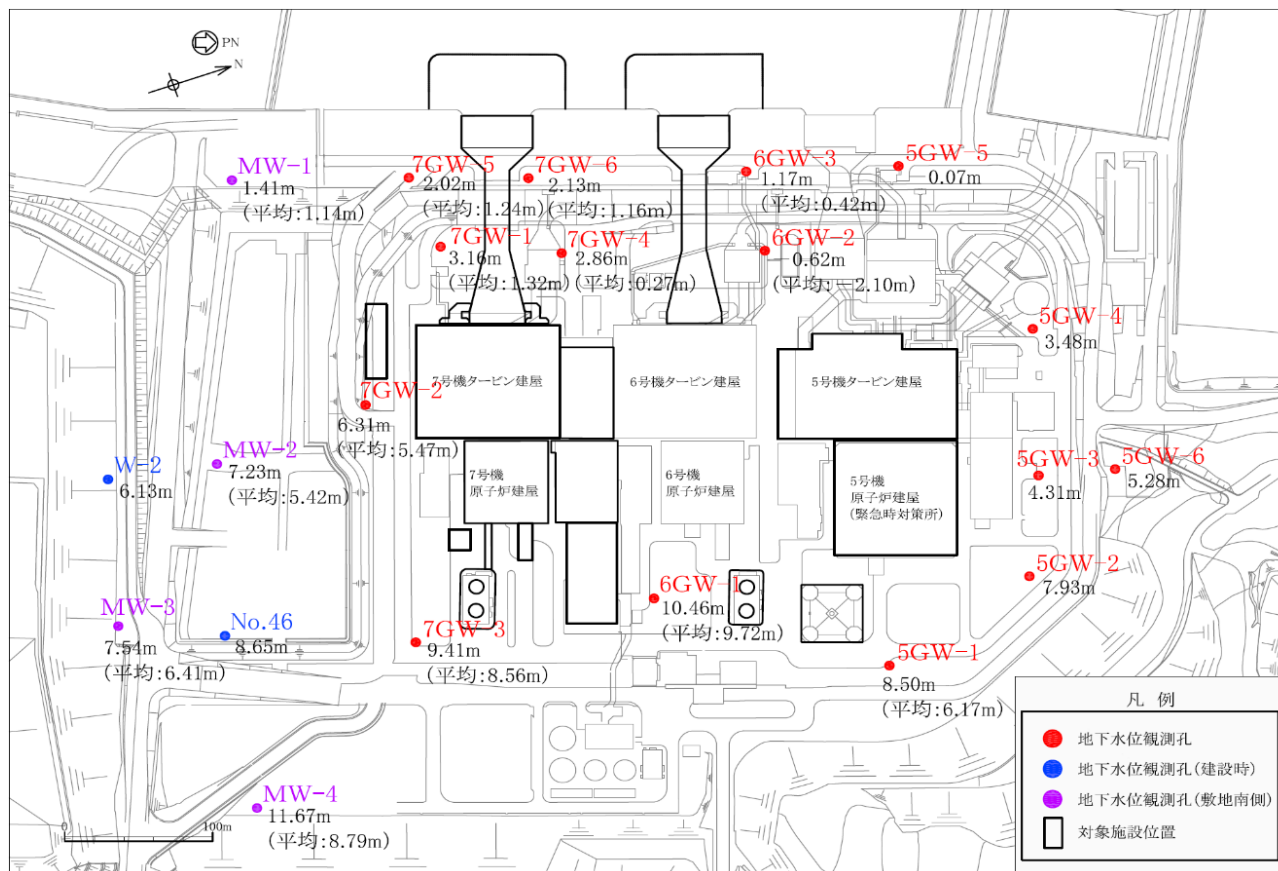


注記* : 図中の数値は、観測地下水位と設計地下水位との差分（余裕）を示す。

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（今回再設定）

6号機施設の地下水位設定（回答1-3）

- 6号機施設については、観測記録から7号機施設よりも地下水位が低い傾向が確認できるが、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)

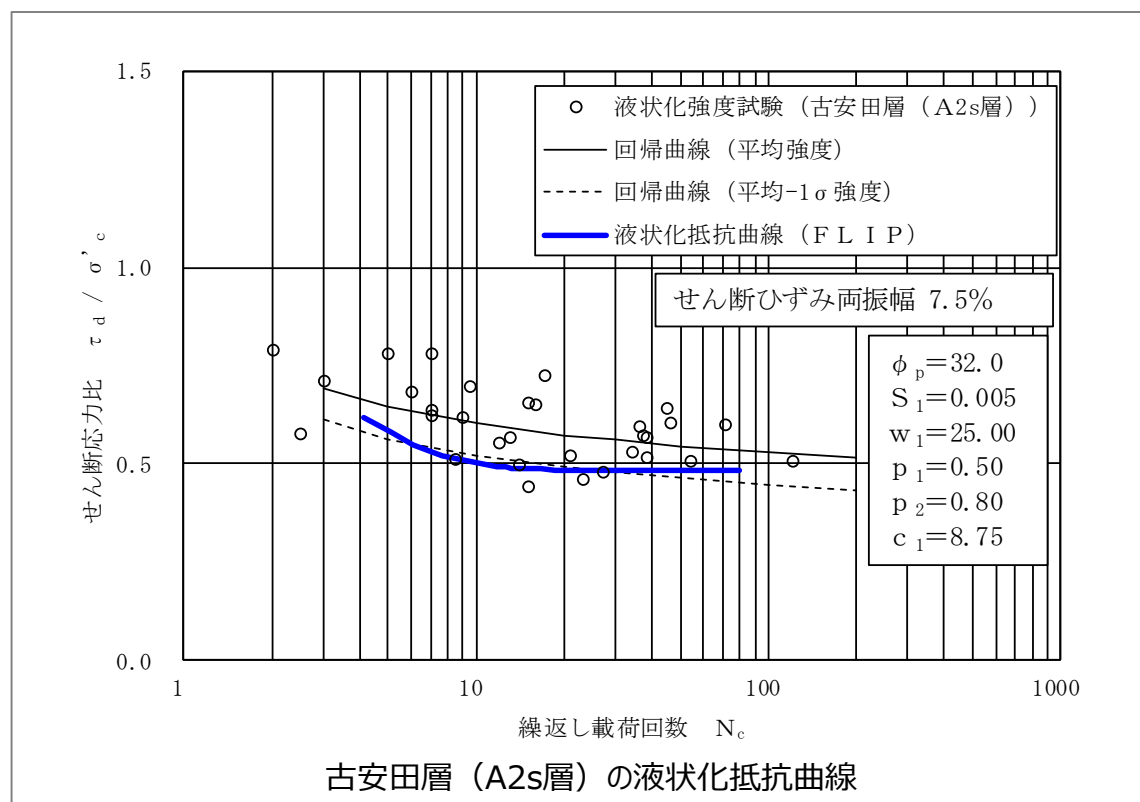
注：図中の数値は、各地下水位観測孔の観測最高地下水位を示す。（）内の数値は、各地下水位観測孔において通年の観測記録が得られている2018年の平均地下水位を示す。

敷地内の観測地下水位

2. 古安田層A2s層の液化化強度特性について

第836回 審査会合（令和2年2月18日）における説明

- 第836回 審査会合では、有効応力解析に適用する液状化強度特性について、設置変更許可以降の追加調査によるデータ拡充と、液状化強度試験の代表性・網羅性の検討を踏まえ、液状化抵抗曲線の平均値-1 σ で設定することを説明した。
- 審査会合では、古安田層（A2s層）の液状化強度試験について、液状化抵抗曲線の回帰曲線（平均-1 σ 強度）を下回る試験データについて議論した。



（第836回 審査会合（令和2年2月18日）スライド22より抜粋）

審査会合での指摘事項

■ 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。

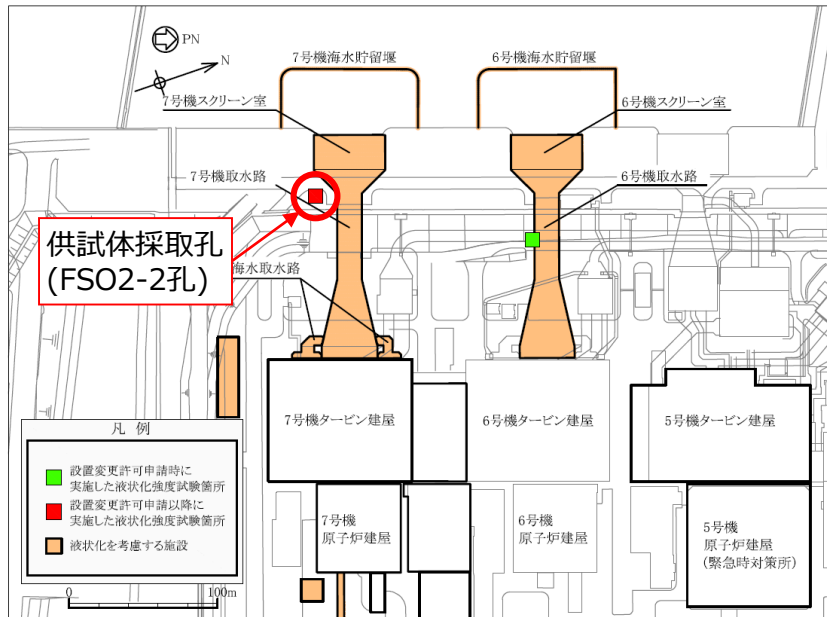


■ 回答

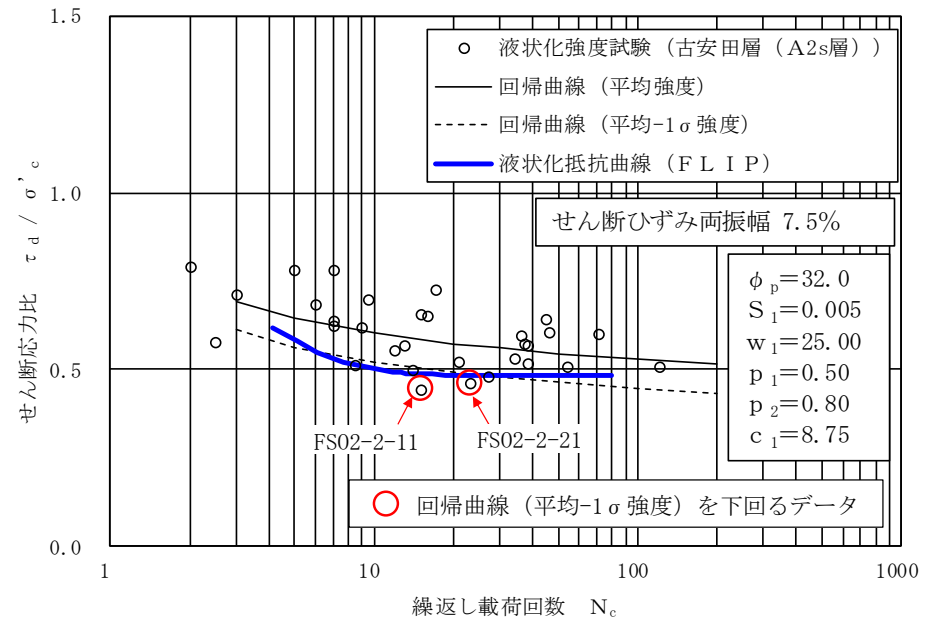
- 古安田層（A2s層）の液状化強度特性について、液状化抵抗曲線を下回る供試体の採取位置及び採取深度を確認し、当該供試体の土質性状及び地層の連続性を検討した。
- その結果、液状化抵抗曲線を下回る供試体は、地盤のばらつきの範囲にあり、地層が広範囲に連続して分布していないことから代表性を有していないことを確認した。
- また、液状化抵抗曲線を下回る供試体の試験データによる感度解析を実施した結果、液状化強度特性の差異が耐震評価に与える影響がないことを確認した。

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における、液状化強度曲線の回帰曲線(平均-1 σ 強度)を下回る2つの供試体(FSO2-2-11,FSO2-2-21)について詳細に検討する。
- A2s層の液状化強度曲線の回帰曲線(平均-1 σ 強度)を下回る供試体は、7号機のスクリーン室・取水路の近傍で採取されており、当該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する。



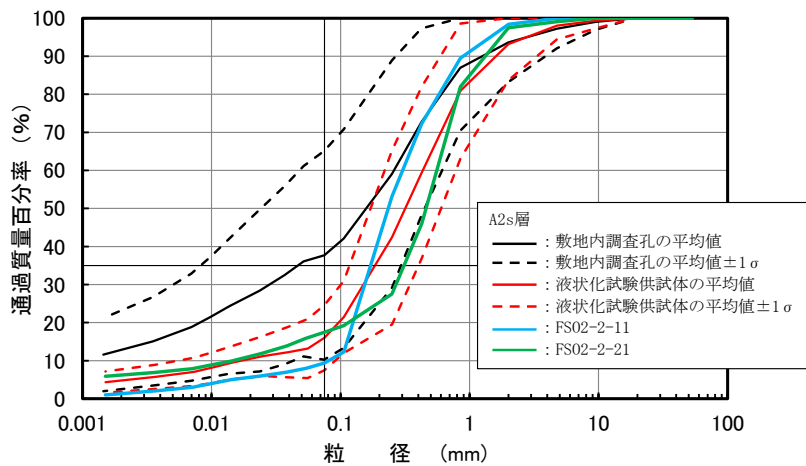
A2s層の液状化強度試験供試体の採取位置



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（回答2-1）

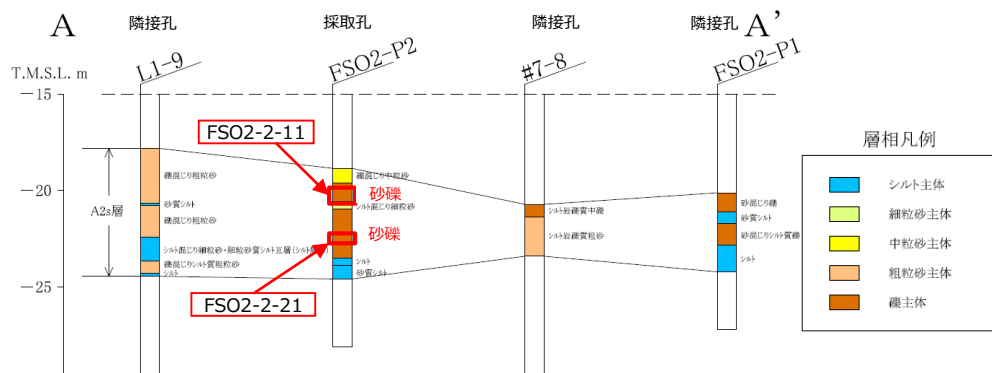
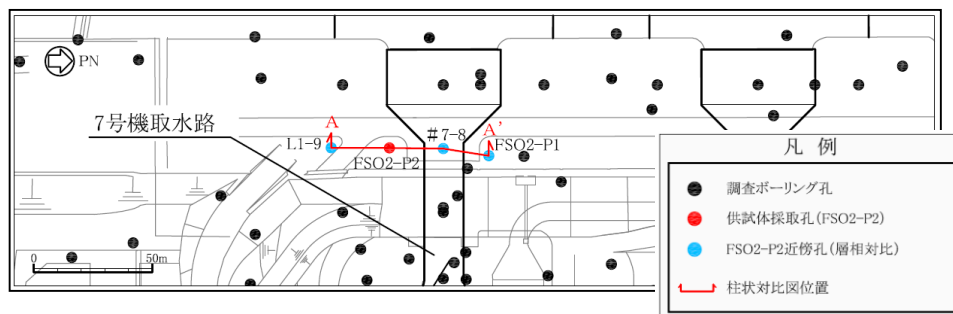
- 液状化強度曲線の回帰曲線（平均-1 σ 強度）を下回る供試体の土質性状は、粒度分布の比較からA2s層のばらつきの範囲内にあることを確認した。
- また、隣接ボーリング孔の観察記録から、液状化強度曲線の回帰曲線（平均-1 σ 強度）を下回る供試体が採取された地層が広範囲に連続して分布していないことを確認した。



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



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（回答2-1）

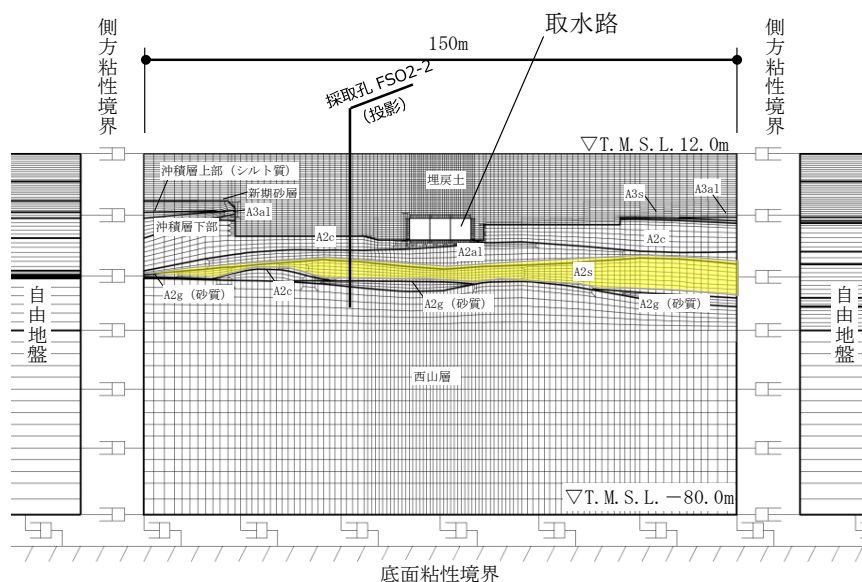
- A2s層の平均-1 σ 強度を下回る試験データを考慮した場合でも、液状化強度特性の差異は僅かであることから、耐震評価への影響は限定的と考えられる。
- 感度分析として、A2s層の液状化強度特性を平均（-1 σ ）強度とした基本ケースと、液状化強度特性を下限値相当とした下限値ケースの耐震評価結果を比較する。

感度分析の解析条件

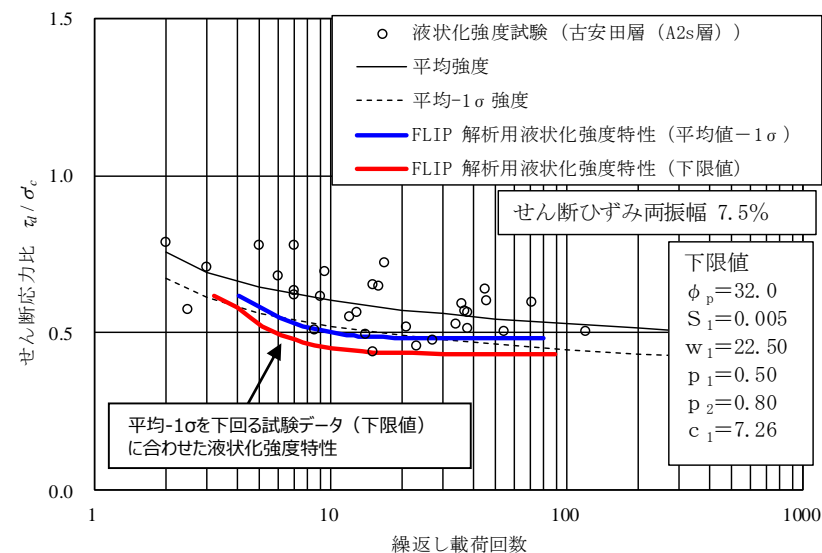
項目	条件
解析断面	7号機 取水路（一般部）
入力地震動	S s -1 (++)
地盤剛性	平均値

感度分析の比較ケース

解析ケース	液状化強度特性の設定
基本ケース	回帰曲線の平均（-1 σ ）強度
下限値ケース	試験データの下限值相当

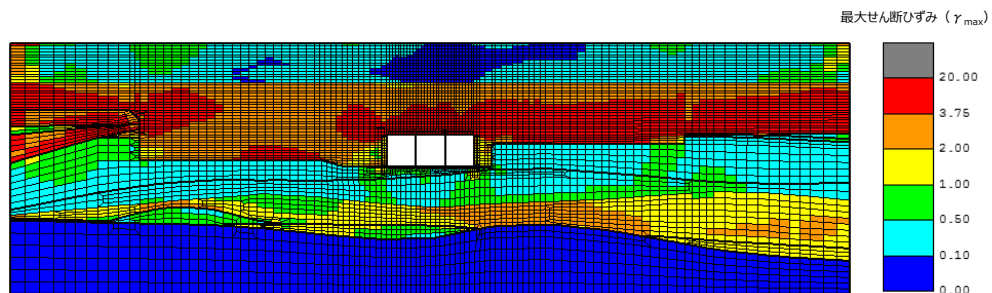


解析断面（取水路一般部）

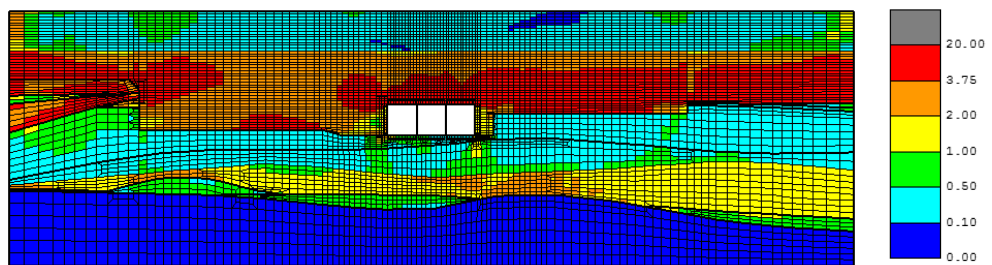


感度分析に用いる液状化強度特性

感度分析 (回答2-1)



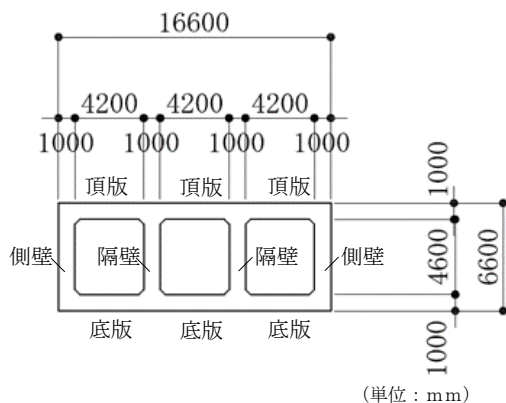
最大せん断ひずみ分布図 (基本ケース)



最大せん断ひずみ分布図 (下限値ケース)

- 基本ケースと下限値ケースにおいて、最大せん断ひずみは、構造物の下方に分布するA2s層で2%程度と大きなひずみが発生していることから、両者は同様の傾向を示していると考えられる。
- 部材の曲げ照査及びせん断力照査については、基本ケースと下限値ケースとの間に差異がなく、耐震評価に与える影響は僅かであることを確認した。
- A2s層は、構造物の下方に分布し、離れた位置にあることから、構造物の応力状態に影響を与えなかったものと考えられる。

曲げ、せん断ともに照査値に変化なし



評価部材 取水路 (一般部)

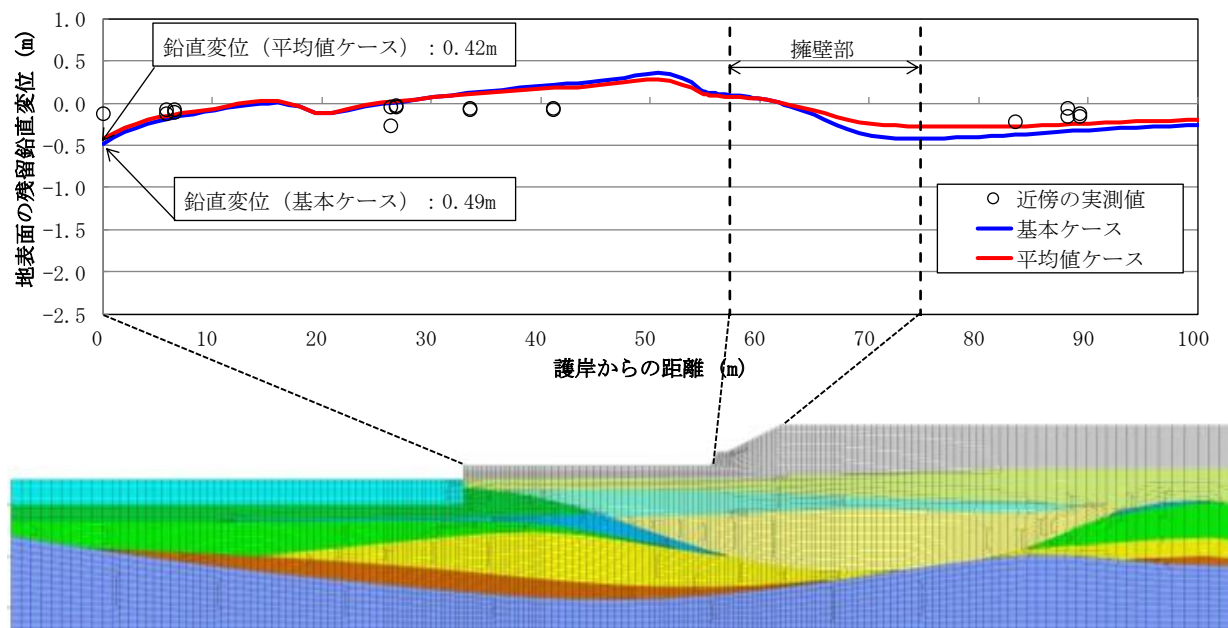
感度解析の照査結果

	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

第836回 審査会合（令和2年2月18日）における説明

- 第836回 審査会合では、有効応力解析コード（FLIP）を用いた新潟県中越沖地震の再現解析について説明。再現解析の結果から、FLIPを用いた解析は地表面変位を実測値よりも大きく評価しており、変形量の観点から十分な保守性を有していることを確認した。
- 審査会合では、敷地内で実施した2断面（北断面、南断面）のうち、南断面の鉛直変位について、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点について議論した。



護岸からの距離と地表面鉛直変位の関係（南断面）

（KK7補足-024-1 地盤の支持性能について 改6，参考資料5 p.5-21より抜粋）

審査会合での指摘事項

■ 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。

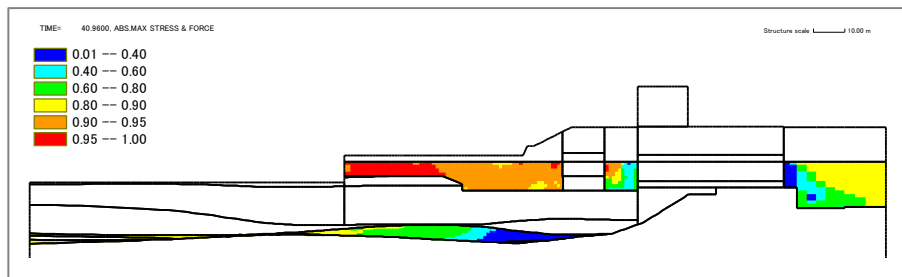


■ 回答

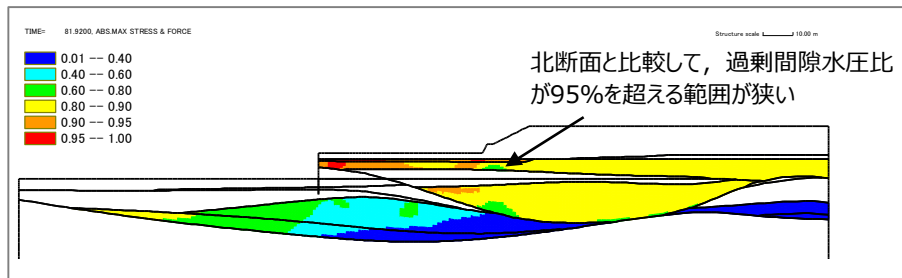
- 南側断面は、北断面と比較して過剰間隙水圧が95%を超える範囲が狭いため、側方流動による鉛直変位量が比較的小さく、基本ケースと平均値ケースとの間の差異が小さくなったものと考えられる。
- 再現解析において、有効応力解析コード (FLIP)は、地表面が海側に変形した実測値の傾向を再現できており、再現解析の変形量が実測値を概ね上回る評価ができていることから、適用している減衰定数と解析用物性値は、耐震評価を実施する上で保守性を有しており、適用性があると判断できる。

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。

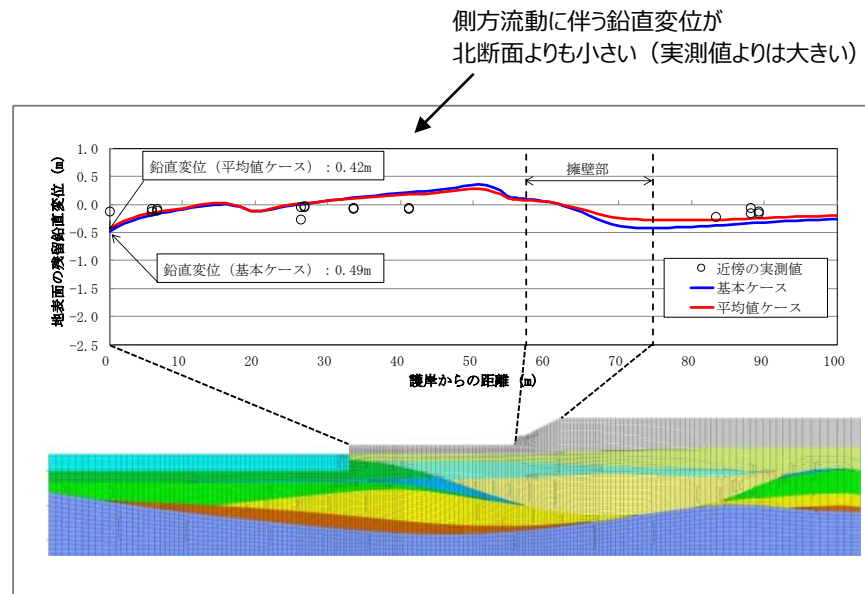


過剰間隙水圧比の分布（北断面）



過剰間隙水圧比の分布（南断面）

北断面と比較して、過剰間隙水圧比が95%を超える範囲が狭い



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

■ 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)

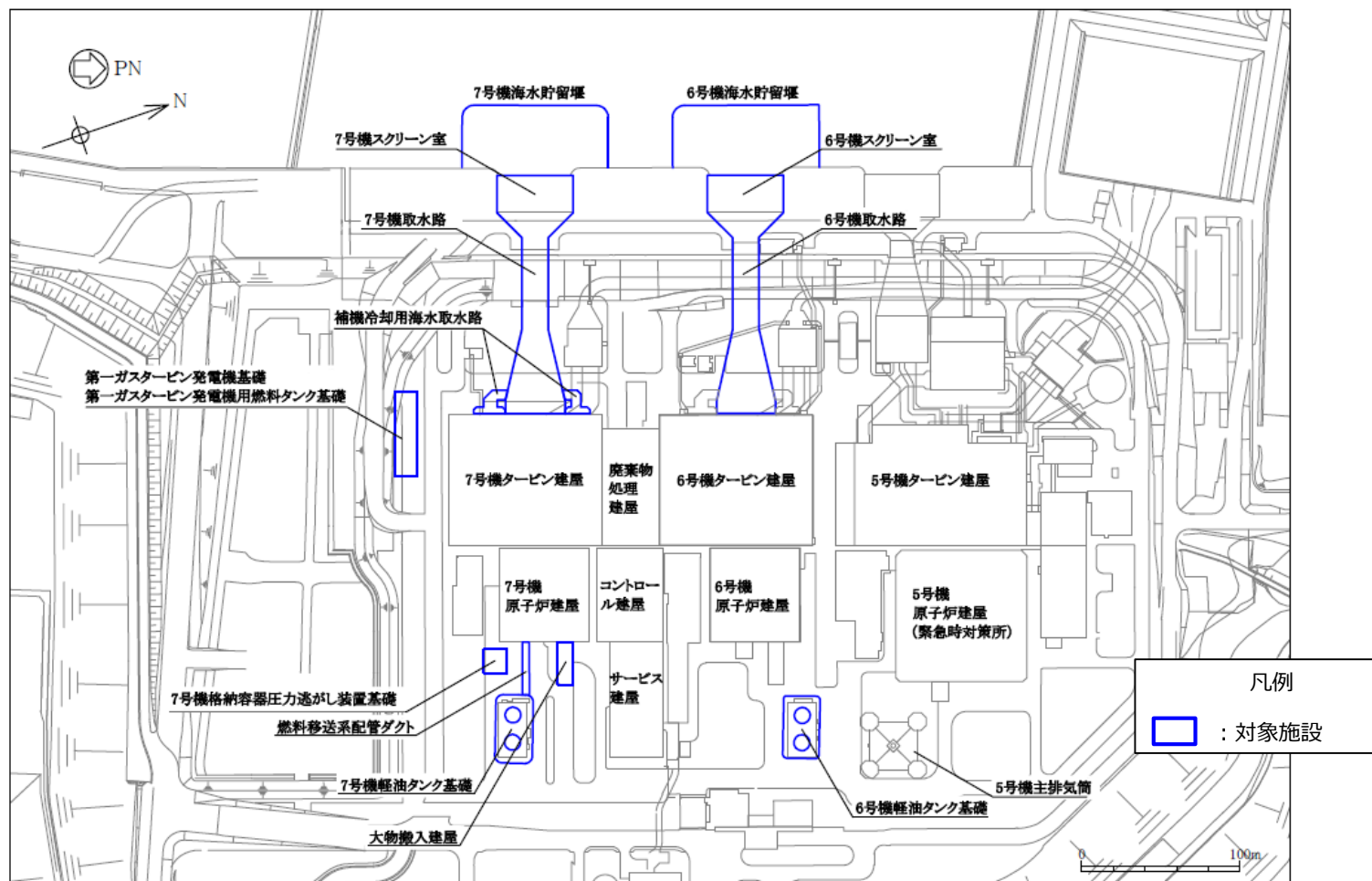
液状化の影響を考慮した各施設の設計について、対策工の実施範囲、物性値の設定等の設計の考え方及び評価対象施設の設計結果を含む対策工の成立性を説明すること。また、埋戻土層等の対策工について、適切な範囲、仕様等を考慮した保守的な設計としていることを説明すること。



■ 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。

地盤改良による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

地盤改良による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

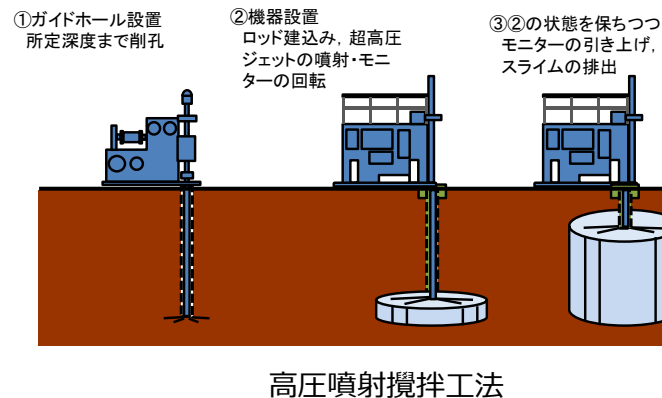
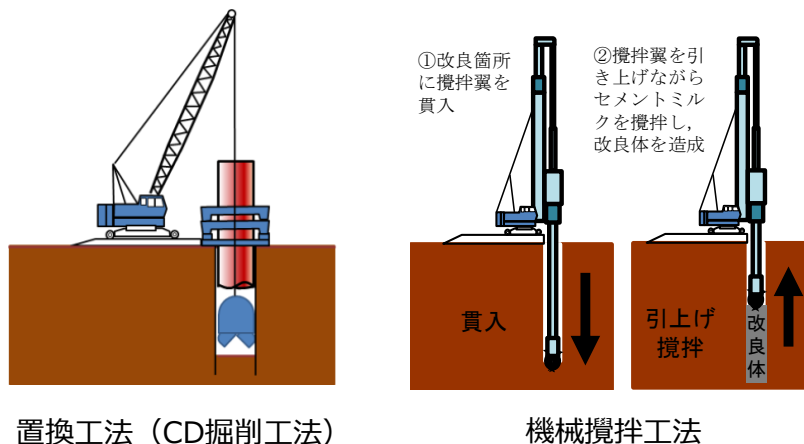
■ 適用する地盤改良工法

- 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機用燃料タンク基礎

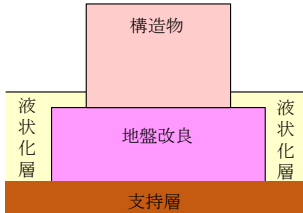
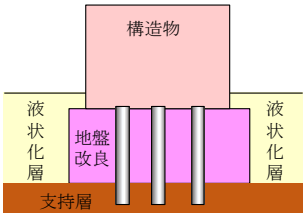
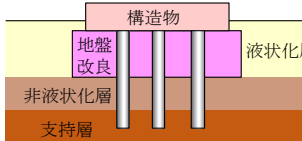
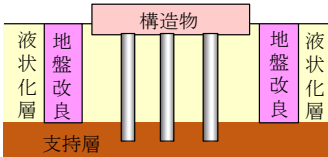
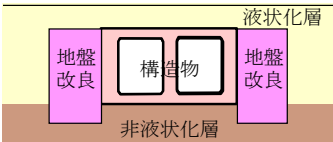
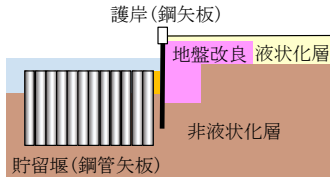
適用する地盤改良工法の一例



適用する規格・基準類（回答4-1）

- 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・指針を適用する。

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

注記*：K6軽油タンク基礎及び燃料移送系配管ダクトについては，構造物の側方と直下に地盤改良を実施している。

地盤改良体の物性値の設定及びその確認方法（回答4-1）

■ 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）については、原位置試験及び室内試験に基づき物性値を設定することを基本とする。試験規格は日本工業規格（JIS）または地盤工学会（JGS）を適用する。
- 施工中または計画中の地盤改良体（新設地盤改良体）については、既往の施工実績や文献を踏まえ、設計上の保守性を考慮して物性値を設定する。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。

■ 施工後の事後調査

- 諸基準・指針の一軸圧縮試験の調査箇所を目安を参考に、必要調査箇所数を満足するように設定する。

地盤改良体の試験項目

項目	試験規格	試験名称
湿潤密度	JGS 2132	岩石の密度試験（ノギス法）
	JIS A 1225	土の湿潤密度試験方法
間隙率	JIS A 1202	土の密度試験方法
P波速度	JGS 1122	地盤の弾性波速度検層方法
S波速度	JGS 1122	地盤の弾性波速度検層方法
h～ γ 関係	JGS 0542	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法
一軸圧縮強度	JIS A 1216	土の一軸圧縮試験方法
	JGS 2521	岩石の一軸圧縮試験

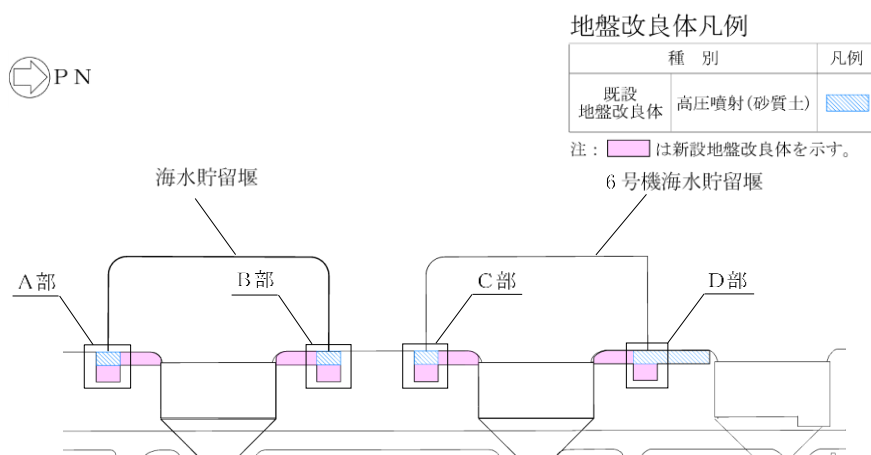
諸基準・指針における必要調査箇所数の目安

基準	調査箇所数
陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル	設計強度毎に改良体500本未満は3本×3深度、500本以上は250本毎に1本追加
港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル	改良土量10,000m ³ に1本（上、中、下の3箇所）程度

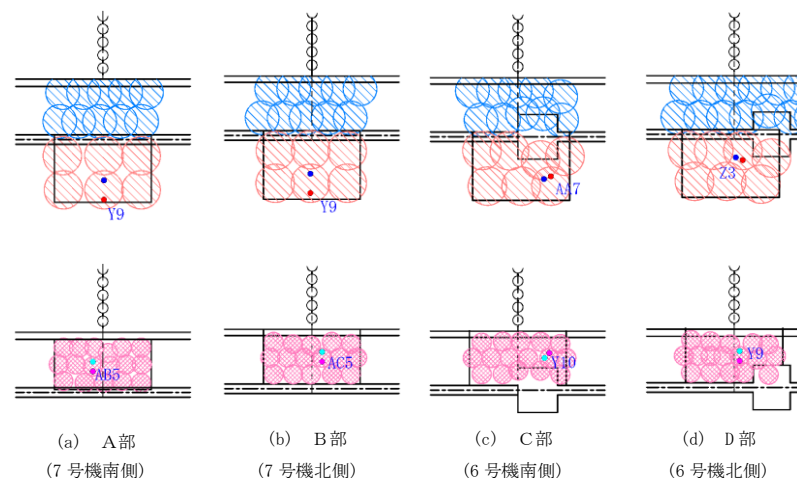
新設地盤改良体の物性値の妥当性確認（回答4-1）

- 新設地盤改良体の中で、竣工後の事後調査により、物性値が得られたものについては、設計値と調査結果を比較し、設計値に基づく物性値の妥当性を確認する。

妥当性確認の一例（K6,7 海水貯留堰）



K6,7 海水貯留堰 平面図



調査位置図

事後調査による妥当性確認結果

評価項目	種別	設計値	単位	事後調査結果		
				①	②	①-②
				平均値	標準偏差	
強度 q_{ud}	高圧噴射（砂質土）	1000	kN/m ²	3549	1664	1885
	高圧噴射（粘性土）	1000	kN/m ²	3314	1696	1618
S波速度 (剛性) V_s	高圧噴射（砂質土）	600	m/s	1182	288	894
	高圧噴射（粘性土）	600	m/s	867	140	727

地盤改良体凡例

種別	凡例	調査位置	
		一軸圧縮試験	PS検層/室内試験
既設地盤改良体	高圧噴射（砂質土）	（斜線）	（斜線）
新設地盤改良体	高圧噴射（砂質土）	●	●
	高圧噴射（粘性土）	●	●

注：青字は孔名を示す。

設計値以上の強度と剛性を有していることを確認

地盤改良体の設計上の保守性の配慮（回答4-2）

■ 地盤のばらつきの考慮

➤ 既設地盤改良体

- 既設地盤改良体では、PS検層のS波速度 V_s に基づき、初期せん断弾性係数 G_0 を設定する。
- 地盤のばらつきを考慮した解析ケースでは、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 $G_{0(\pm 1\sigma)}$ を設定する。

$$G_{0(\pm 1\sigma)} = \rho \cdot (V_s \pm 1\sigma)^2$$

ρ :質量密度

V_s :PS検層によるS波速度

➤ 新設地盤改良体

- 新設地盤改良体では、構造物評価の観点から、地盤剛性を低く評価する方が地盤のせん断変形が生じやすいことから、既往の実績や文献に基づき、保守的に地盤改良体の下限値相当となる値を設定する。
- 地盤のばらつきを考慮した解析ケースでは、基本となる解析ケースにおいて初期せん断弾性係数 G_0 が下限値相当の値と設定していることから、初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきは設定しない。

$$G_0 = \rho \cdot V_{sd}^2$$

ρ :質量密度

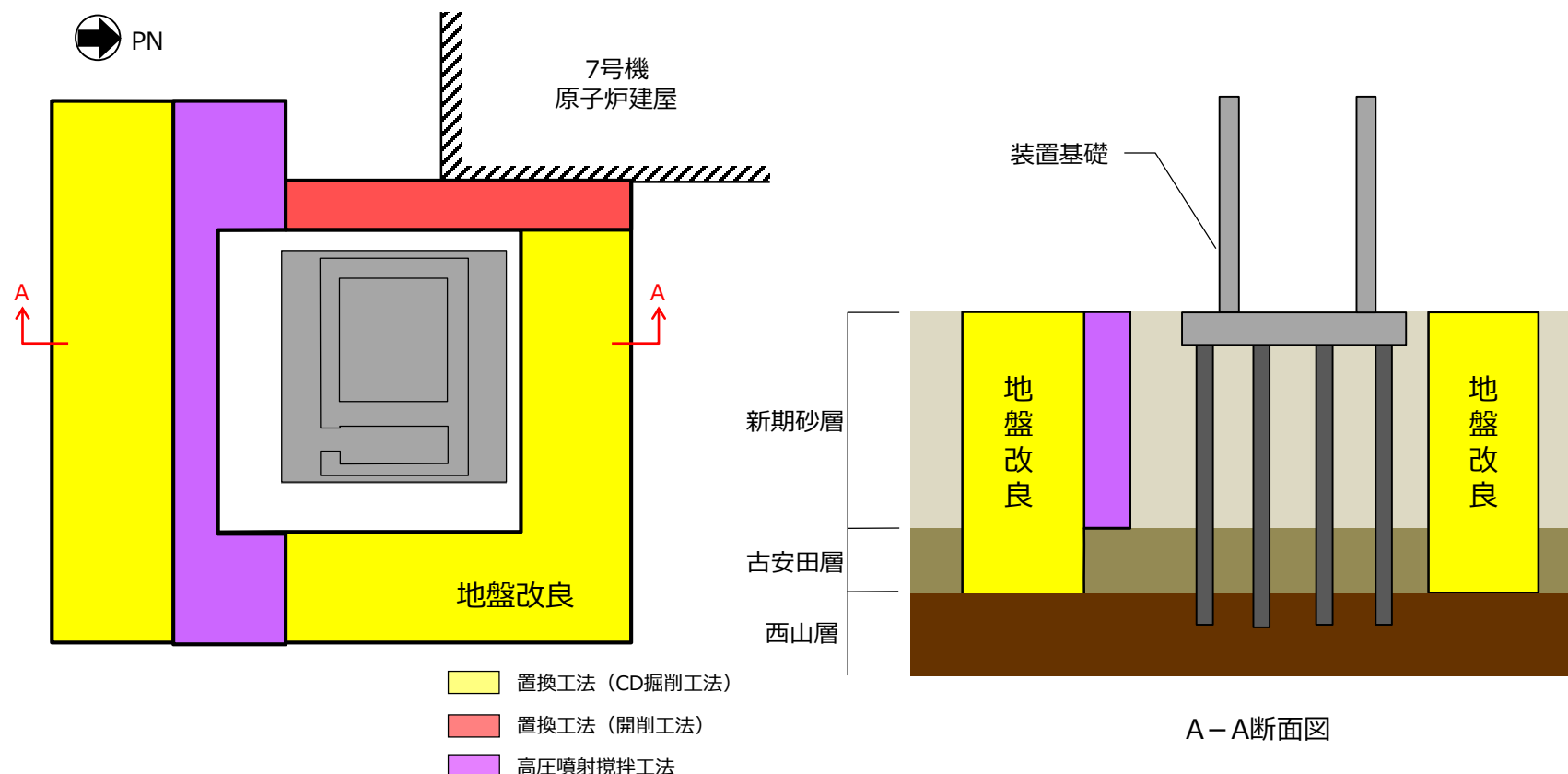
V_{sd} :設計S波速度（下限値相当）

■ 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。

地盤改良による液状化対策工事の一例（格納容器圧力逃がし装置基礎）（回答4-2）

- 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。

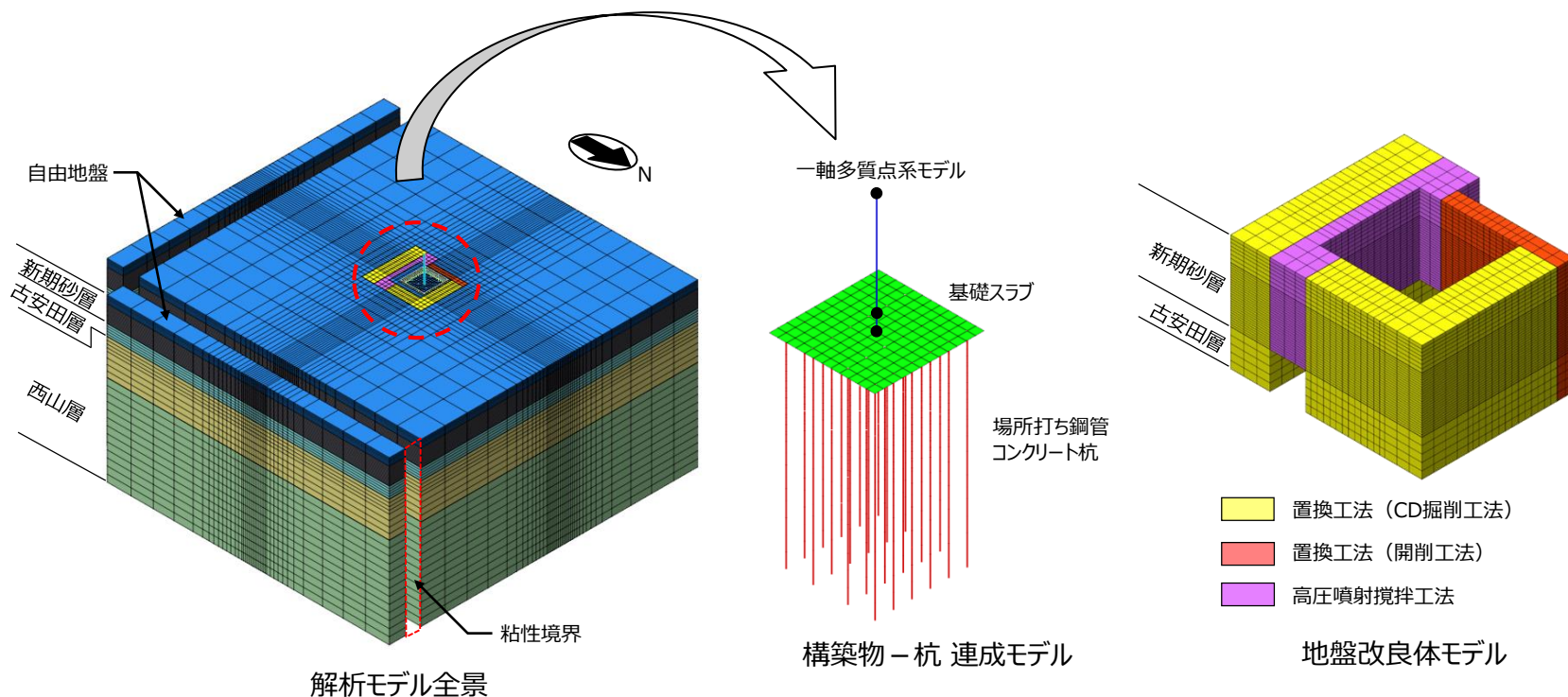


地盤改良範囲図

A-A断面図

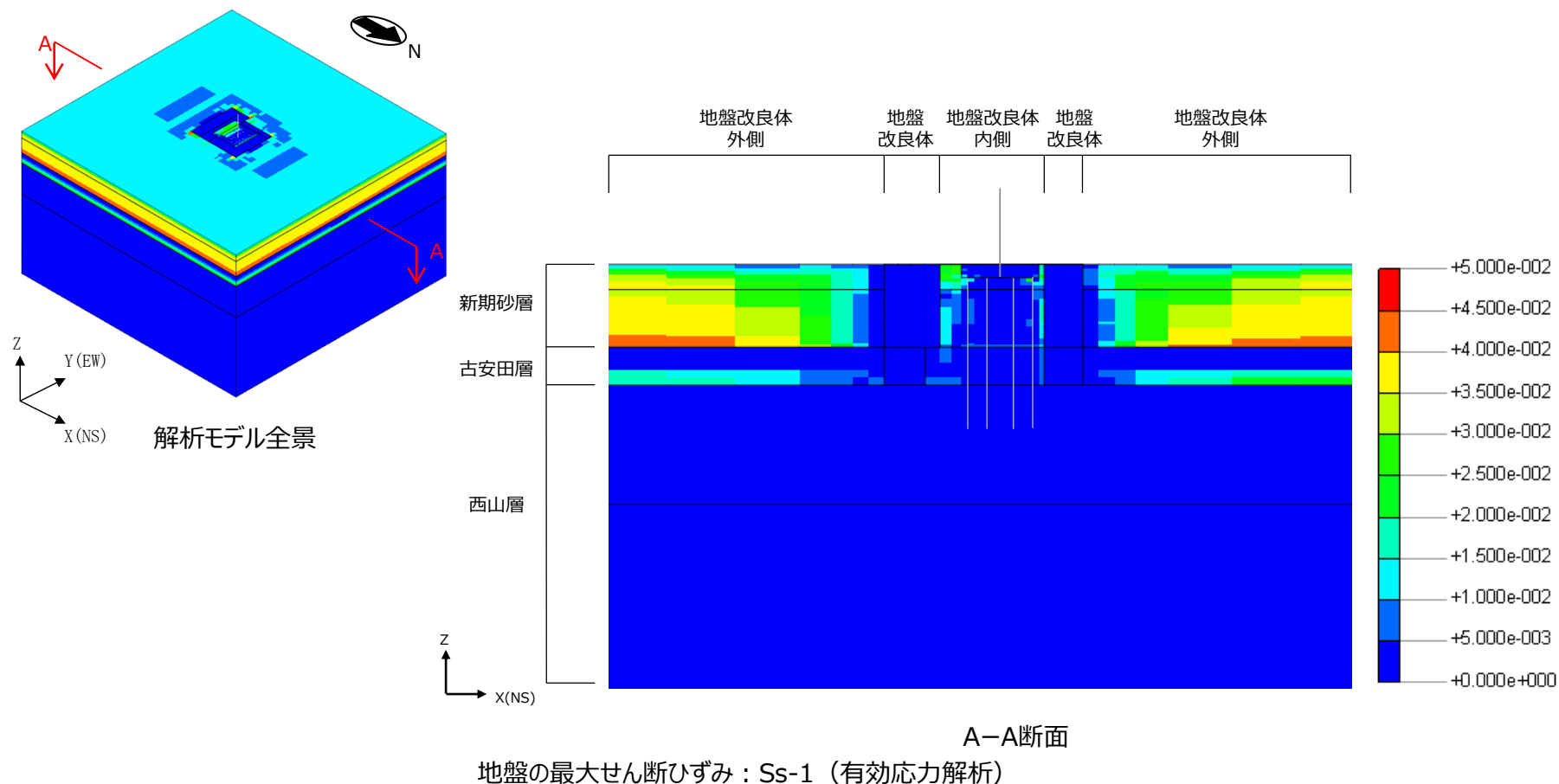
格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答解析モデル（回答4-2）

- 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
- 地震応答解析は、液状化評価あり・なしを考慮した。
 （液状化評価あり：有効応力解析 液状化評価なし：全応力解析）



変形の抑制効果の確認（回答4-2）

- 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。



格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答解析結果（回答4-2）

- 装置基礎の地震応答解析結果は、最大応答変位を除きいずれも全応力解析の方が大きいことから、耐震評価には全応力解析の応答値を採用した。
⇒有効応力解析では、地盤剛性の低下により、地盤の変位は増大するが加速度は減少する。装置基礎においては、地盤変位の増大による応答値の増加に比べ、加速度の減少に伴う慣性力の減少による応答値の減少の方が影響が大きいと考えられる。
- 最大応答変位は有効応力解析の応答値が1割程度大きいですが、原子炉建屋との相対変位（約171mm）が配管伸縮継手の許容値（±300mm）以内であることを確認した。

最大応答値一覧：構築物

T.M.S.L. (m)	全応力解析				有効応力解析			
	加速度 (m/s ²)	変位 (mm)	せん断力 (×10 ³ kN)	曲げモーメント (×10 ⁶ kN・m)	加速度 (m/s ²)	変位 (mm)	せん断力 (×10 ³ kN)	曲げモーメント (×10 ⁶ kN・m)
+26.3	23.7	101	25.6	0.373	13.9	111	14.8	0.215
+12.0	16.5	83.3			11.0	94.8		

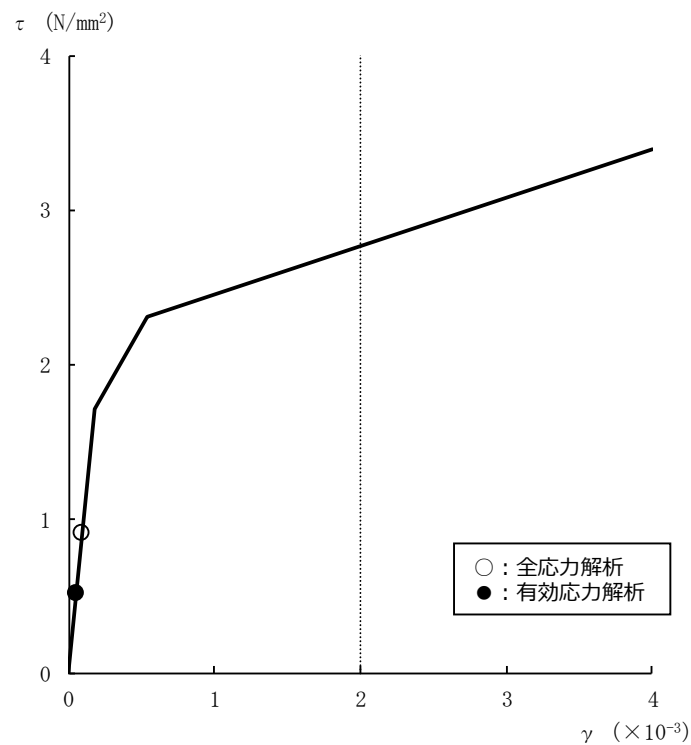
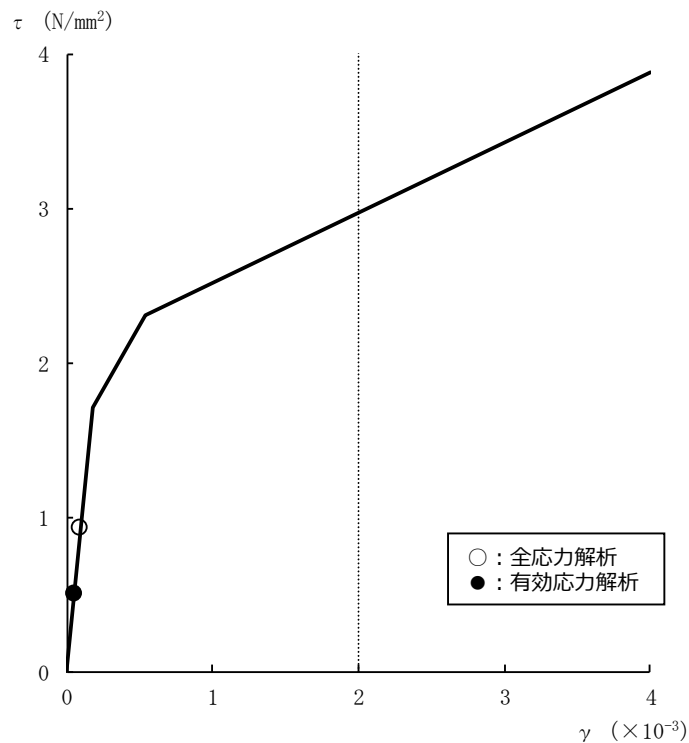
最大応答値一覧：杭

全応力解析				有効応力解析			
最大軸力 (×10 ³ kN)	最小軸力 (×10 ³ kN)	せん断力 (×10 ³ kN)	曲げモーメント (×10 ⁴ kN・m)	最大軸力 (×10 ³ kN)	最小軸力 (×10 ³ kN)	せん断力 (×10 ³ kN)	曲げモーメント (×10 ⁴ kN・m)
9.55	-8.14	5.02	1.18	7.79	-6.44	3.23	0.951

注：ハッチングは全応力解析と有効応力解析のうち、大きい方の値を示す。

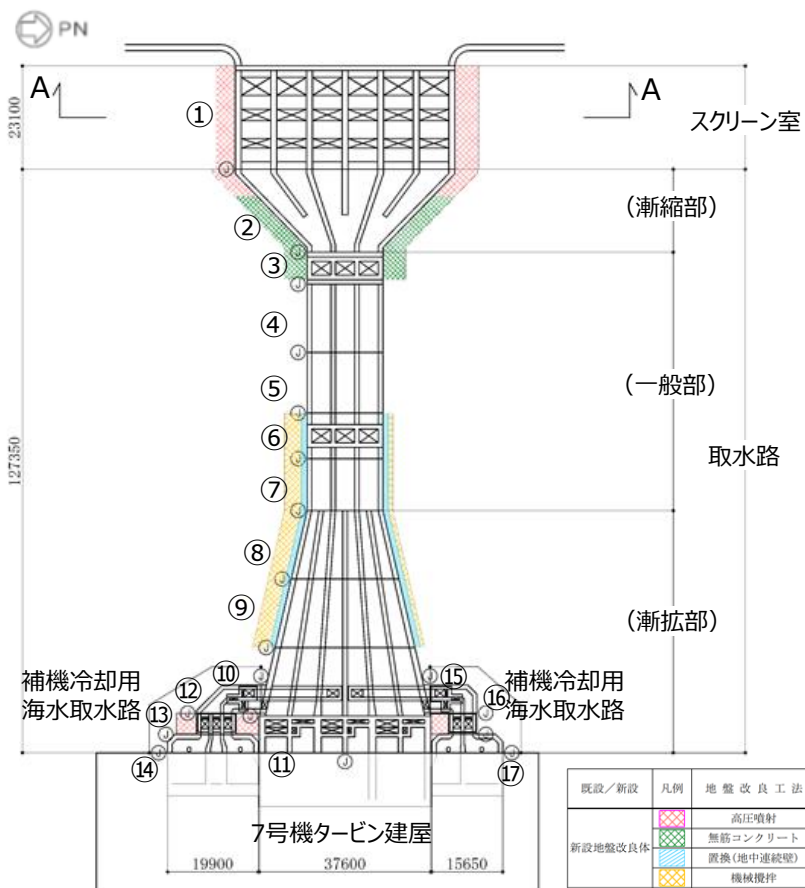
格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答解析結果（回答4-2）

- 耐震壁に生じるせん断ひずみは、全応力解析・有効応力解析ともに弾性範囲内であることを確認した。

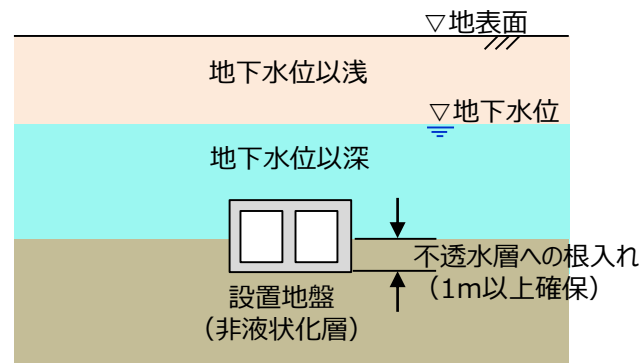


地盤改良による液状化対策工事の一例（スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路）

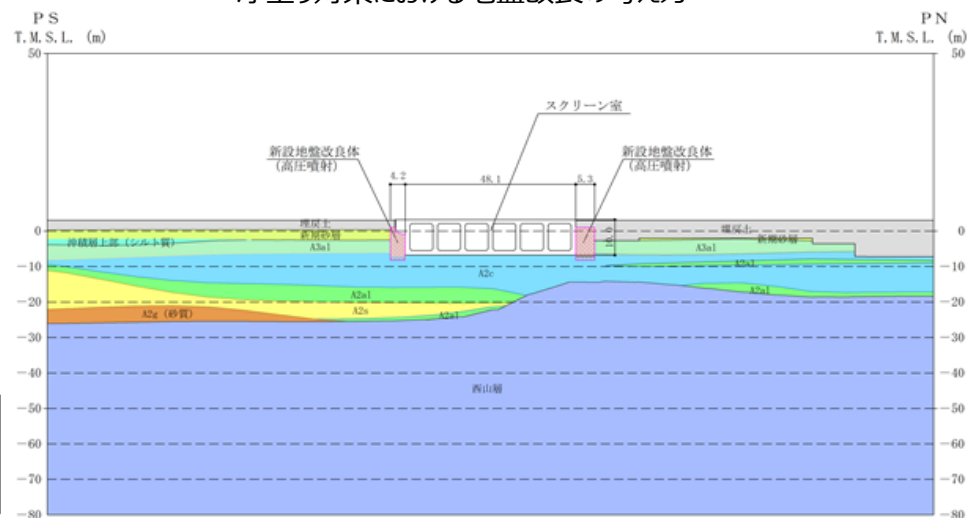
- スクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路は，液状化による建造物の浮上り対策として，建造物側方の地盤改良を実施している。
- 地盤改良による浮上り対策は，共同溝設計指針に基づき，不透水層への根入れを1m以上確保することを基本とする。



スクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路 平面図



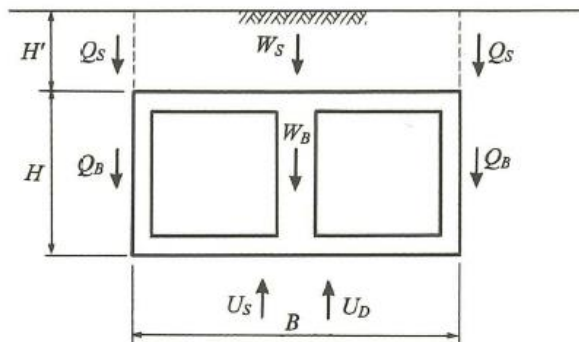
浮上り対策における地盤改良の考え方



スクリーン室 断面図 (A-A断面)

スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路の浮上り評価結果（回答4-2）

- 地盤改良による浮上り対策実施後のスクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路の全ブロックの浮上り評価を実施する。
- 浮上り評価の結果，スクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路は，浮上りに対して十分な安全性を有していることを確認した。



○浮上り評価式

$$F_s = \gamma_i \frac{W_S + W_B + 2Q_S + 2Q_B}{U_S + U_D}$$

γ_i : 構造物係数 (=1.0)

W_S : 上載土の荷重 (水の重量を含む)

W_B : 構造物の自重

Q_S : 上載土のせん断抵抗

Q_B : 構造物側面の摩擦抵抗

U_S : 構造物底面に作用する静水圧による揚圧力

U_D : 構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力

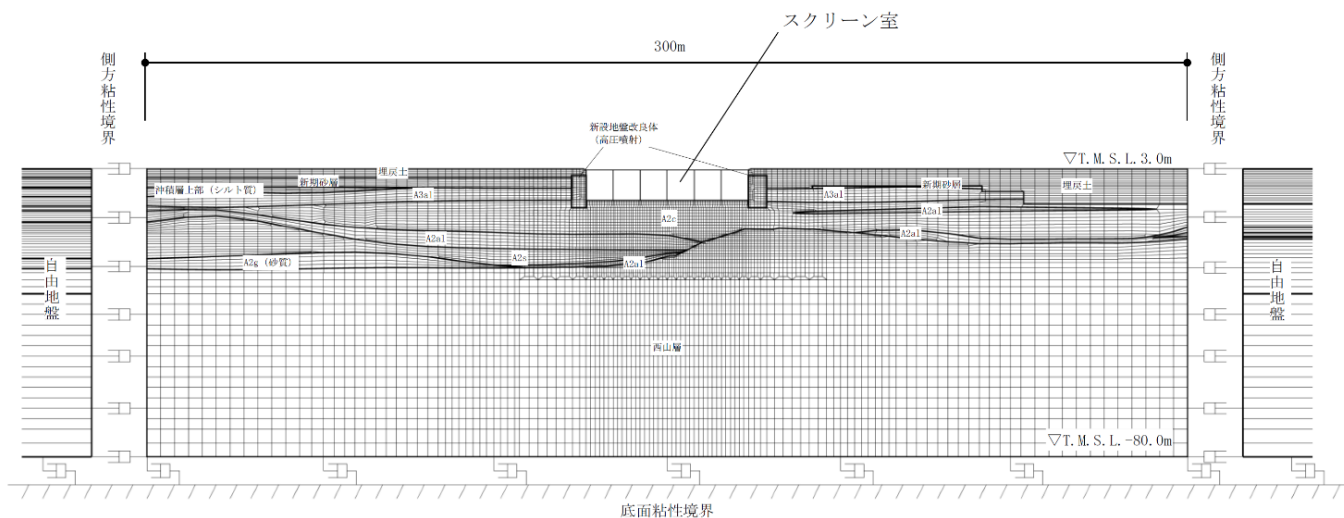
浮上り評価結果

	ブロック	地震時 浮上り安全率 (F_s)	判定 ($F_s \geq 1.1$)	備考	
スクリーン室		①	2.98	○	
取水路	漸縮部	②	4.93	○	
		③	6.23	○	海側立坑
	一般部	④	2.13	○	斜面部
		⑤	1.34	○	
		⑥	5.08	○	立坑
		⑦	5.42	○	
		⑧	4.28	○	
	漸拡部	⑨	3.85	○	
		⑩	6.82	○	
		⑪	3.39	○	T/B取合部
		⑫	10.28	○	分岐部
補機冷却用 海水取水路	南側	⑬	4.91	○	立坑部
		⑭	2.52	○	T/B取合部
	北側	⑮	11.17	○	分岐部
		⑯	4.02	○	立坑部
		⑰	2.54	○	T/B取合部

注：共同溝設計指針では，不透水層に1m以上根入れされている構造物は浮上り検討の対象外となるが，本検討では保守的に不透水層への根入れの有無に関わらず，浮上り評価を実施。

スクリーン室の地震応答解析モデル（回答4-2）

- スクリーン室の地震応答解析は、液状化の影響を考慮するため有効応力解析（2次元FEMモデル）を実施する。地震応答解析においては、浮上り対策として実施した地盤改良体をモデル化する。
- 耐震評価においては、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。また、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。
- 液状化の影響を考慮した解析ケースに加え、スクリーン室への応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮した解析ケースを実施する。



スクリーン室 地震応答解析モデル

耐震評価における解析ケース

解析ケース	①（基本）	②	③	④	⑤
地盤剛性	平均値	+1σ	-1σ	平均値	+1σ
液状化強度特性	-1σ	-1σ	-1σ	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

スクリーン室の耐震評価結果（回答4-2）

- スクリーン室の耐震評価の結果，スクリーン室が基準地震動 S_s による地震力に対して耐震性を確保できることを確認した。

スクリーン室の曲げ軸力照査結果（最大照査値）

照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
1.35×10^{-3}	0.01	0.14

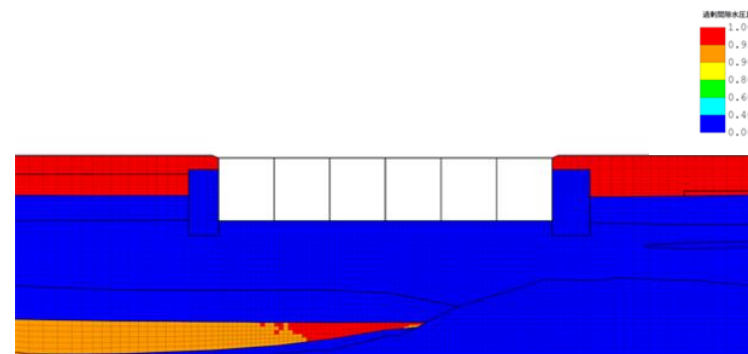
注記*：照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

スクリーン室のせん断力照査結果（各評価位置の最大照査値）

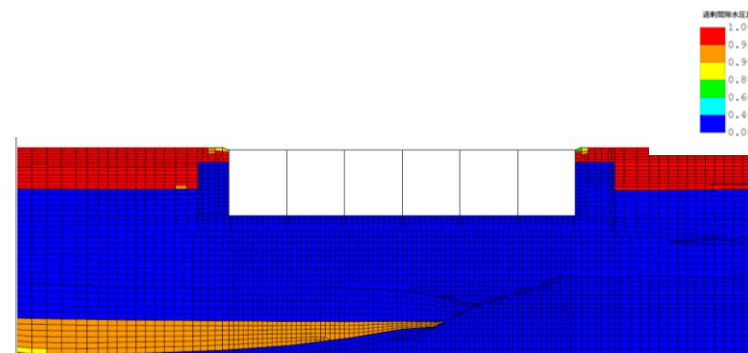
評価位置	照査用せん断力*1 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
頂版	263	379	0.70
側壁	1368	4197	0.33*2
隔壁	656	1113	0.59
底版	705	1349	0.53

注記*1：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

*2：材料非線形解析を用いた方法による照査値



最大過剰間隙水圧比分布
(曲げ軸力照査値最大となる解析ケース①・地震動 S_s -3---)



地震終了時の過剰間隙水圧比分布
(曲げ軸力照査値最大となる解析ケース①・地震動 S_s -3---)

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。