

b. 建設時の観測記録に基づく観測最高地下水位のばらつき

建設前後7年間連続観測しており主要施設よりも上流側(山側)に位置するNo.46孔に着目し、1988～1994年度(欠測期間のある1991年度を除く)における年度別の最高地下水位を整理した。また、工事の影響により地下水位が安定している期間は3か年程度と短いものの、W-2孔についても同様の整理を行った。

観測期間年度別(1988～1994)の最高地下水位を表3-3に示す。同表より、No.46孔の年度別の最高地下水位の平均はT.M.S.L.8.27mであり、年によって-0.25～+0.38mの水位変動が認められ、W-2孔については、年度別の最高地下水位の平均T.M.S.L.5.88mであり、年によって-0.43～+0.25mの水位変動が認められる。

以上より、観測期間における自然要因に起因するばらつきとして、建設時の観測記録を踏まえると、年によって最高地下水位は-0.25～+0.38m程度のばらつきを有しており、上昇側の変動幅としては0.38m≒0.40m程度と評価できる。

表 3-3 観測期間年度別(1988～1994年度)の最高地下水位

	No. 46		W-2		
	最高地下水位(m)	観測日時	最高地下水位(m)	観測日時	
1988年度	8.05	1989/1/10	土地造成の影響により、 1991年以降との水位傾向が 異なるため対象外とした		
1989年度	8.09	1990/3/13			
1990年度	8.02	1991/3/26			
1991年度	欠測	—	欠測	—	
1992年度	8.23	1992/12/27	5.45	1993/3/16	
1993年度	8.65	1994/2/21	6.13	1994/3/2	
1994年度	8.55	1995/2/21	6.07	1995/1/31	
観測期間 1988～1994	最大	8.65	1994/2/21	6.13	1994/3/2
	最小	8.02	1991/3/26	5.45	1993/3/16
	平均	8.27	—	5.88	—
	変動幅	-0.25～+0.38 (0.63)		-0.43～+0.25 (0.68)	

注：()内の数値は建設時の観測期間における最高水位の最大値と最小値の差

(3) 変動要因を踏まえた耐震評価における地下水位の妥当性確認

前述の(1)及び(2)の検討を踏まえ、地表面より下に地下水位を設定している対象施設(常設代替交流電源設備及び取水路)について、耐震評価における地下水位設定の妥当性を検討する。

検討では、対象施設の設置範囲内の観測地下水位に、変動要因として前述の(2)で示した建設時の観測記録に基づく観測最高地下水位のばらつき(平均水位に対する上昇側の変動幅0.4m)を考慮し、耐震評価における地下水位と比較することにより、地下水位設定の妥当性を確認する。検討結果を下記に示す。

(a) 常設代替交流電源設備(T.M.S.L. 8.0m)の地下水位設定

図3-17に、常設代替交流電源設備の設置位置における地下水位分布図を示す。

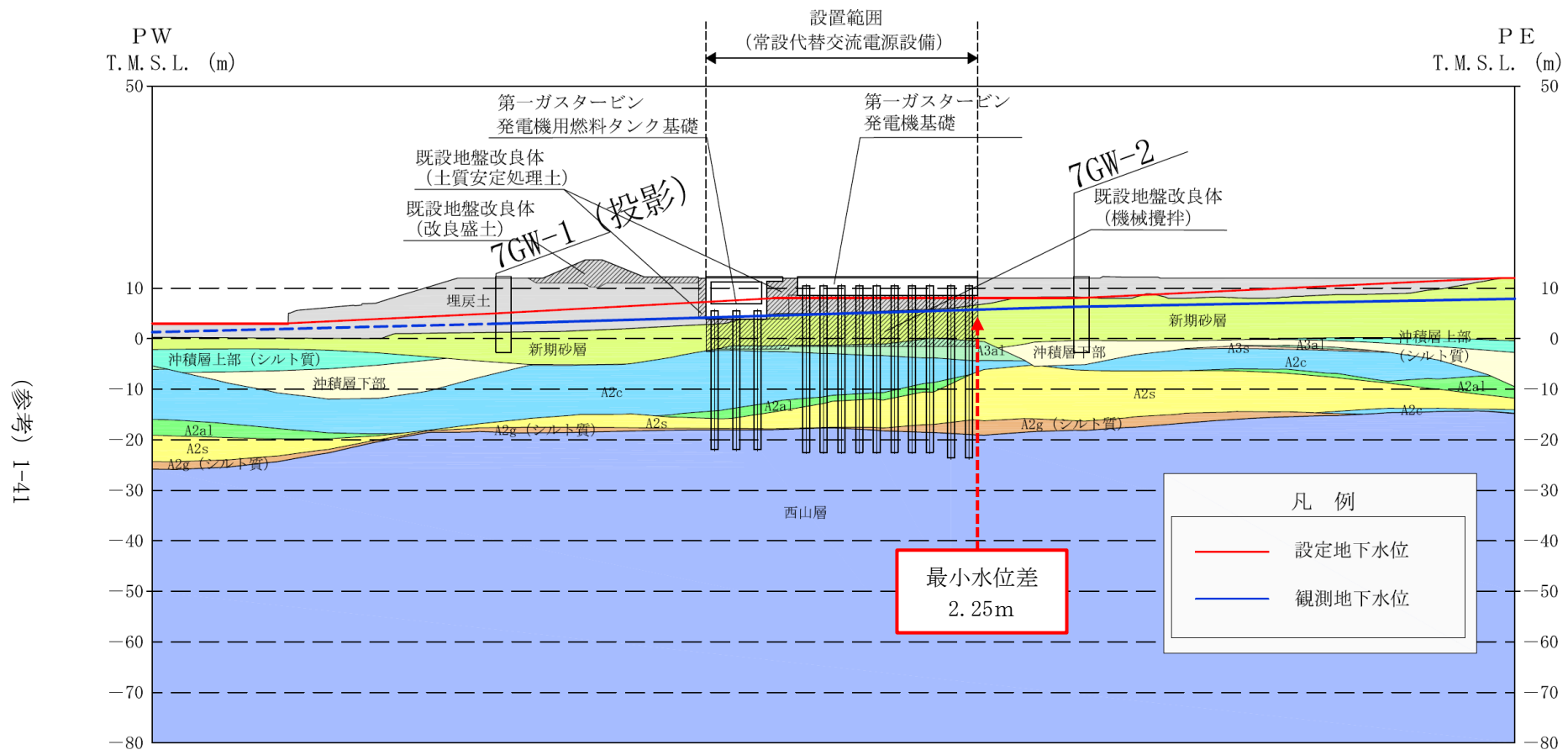
常設代替交流電源設備の設置区間において、観測地下水位と耐震評価に用いる地下水位の水位差は、最も余裕が少ない箇所で「2.25m」と算定される。これより、変動要因として建設時の観測記録に基づく観測最高地下水位のばらつき「0.4m」を考慮しても、耐震評価に用いる地下水位は十分な裕度を確保していると評価できる。

(b) 取水路(T.M.S.L. 3.0~8.0m)の地下水位設定

図3-18に、取水路の設置位置における地下水位分布図及び耐震評価に用いる地下水位を示す。

取水路の設置区間において、観測地下水位と耐震評価に用いる地下水位の水位差は、最も余裕が少ない箇所で「1.84m」と算定される。これより、変動要因として建設時の観測記録に基づく観測最高地下水位のばらつき「0.4m」を考慮したとしても、耐震評価に用いる地下水位は十分な裕度を確保していると評価できる。

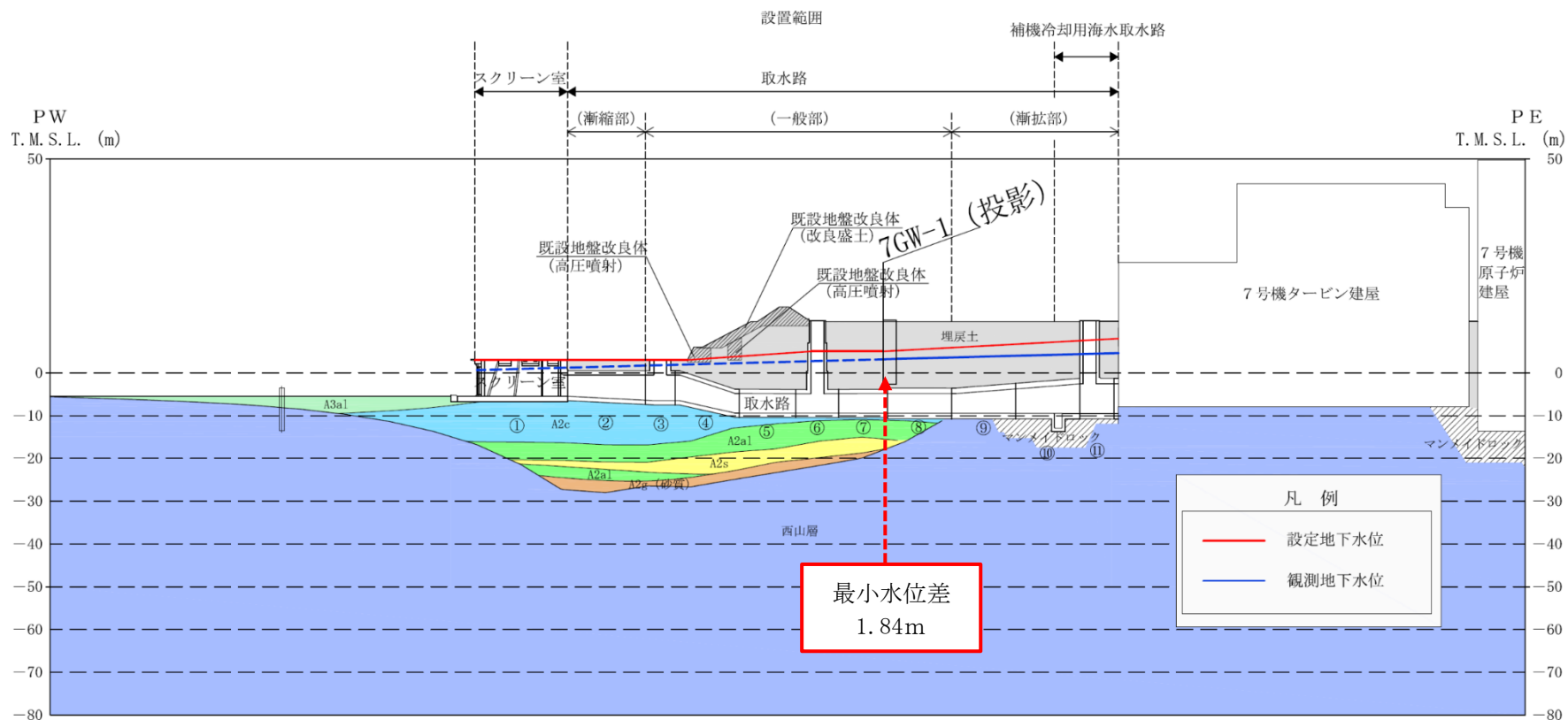
以上より、耐震評価に用いる地下水位は、観測記録に基づき変動要因を考慮した保守的な設定であると判断できる。



(参考) 1-41

注：耐震評価に用いる地下水位に対する常設代替交流電源設備の設置範囲における地下水位の余裕が最も小さい日時（2018年3月1日06:00）のデータ

図 3-17 常設代替交流電源設備の設置範囲における地下水位の分布と耐震評価に用いる地下水位との関係



注1： 図中の番号 (①～⑩) は取水路のブロック番号を示す。

注2： 耐震評価に用いる地下水位に対する取水路の設置範囲における地下水位の余裕が最も小さい日時 (2018年2月17日03:00) のデータ

図 3-18 取水路の設置範囲における地下水位の分布と耐震評価に用いる地下水位との関係

3.3.4 耐震評価に用いる地下水位の設定（地下水排水設備の外側に配置する施設）

地下水排水設備の外側に配置する施設のうち、原子炉建屋よりも山側に位置する施設並びに海側の地表面標高 T.M.S.L. 3.0mにある施設については、観測記録に基づき、保守的に地下水位を地表面に設定する。

地下水排水設備の外側に配置する施設のうち、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、観測記録に基づき耐震評価における地下水位を設定する。

以上より、地下水排水設備よりも外側に位置する施設については、耐震評価における地下水位を表 3-4 のとおりに設定する。

表 3-4 耐震設計における各対象施設の地下水位一覧

対象施設		観測最高水位 (近傍観測孔)	耐震評価における 地下水位	施設位置における 最小水位差* (必要裕度)
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 構造物	6, 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, 7号機スクリーン室			
	6, 7号機取水路 補機冷却用海水取水路	T. M. S. L. 3.16m (7GW-1)	T. M. S. L. 3.0m~8.0m	1.84m (0.40m)
	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	T. M. S. L. 6.31m (7GW-2)	T. M. S. L. 8.0m	2.25m (0.40m)
	6, 7号機軽油タンク基礎	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*：耐震評価における地下水位を地表面に設定している対象施設は「—」としている。

(参考資料 2) 解析用物性値の代用の考え方

1. 有効応力解析における解析用物性値の代用の考え方

工事計画認可申請における細分化した地質区分において、「分布範囲が狭い地層」、または「層厚が薄い地層」については、「同時代に堆積し、施設直下及び直近に分布する代表的な地層」により解析用物性値を代用することとする。解析用物性値を代用する地層に対しては、物理特性、速度特性、強度特性、液状化強度特性を比較することにより代用の妥当性を確認する。

本項では、他の地質区分の試験結果で代用する地層について、有効応力解析における解析用物性値の設定における考え方を示す。

表 1-1 及び表 1-2 に設置変更許可書に記載されていない解析用物性値の設定根拠一覧を示す。

表 1-1 解析用物性値の設定根拠 (液状化検討対象層)

物性値		地質区分	埋戻土	新期砂層・沖積層			古安田層			
				新期砂層	沖積層上部 (砂質)	沖積層下部	A2s層	A3s層	A2g層 (砂質)	A1g層
物理特性	密度 ρ	物理試験			物理試験				A2s層で代用	
	間隙率 n	物理試験			物理試験					
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms}	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定			PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定					
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}'	慣用値	G _{ms} に対応する値		G _{ms} に対応する値					
	ポアソン比 ν	慣用値 (PS検層)	慣用値		慣用値					
	減衰定数の上限値 h_{max}	動的変形特性に基づき設定			動的変形特性に基づき設定					
強度特性	粘着力 c'	三軸圧縮試験			三軸圧縮試験					
	内部摩擦角 ϕ'									
液状化特性	変相角 ϕ_p	液状化強度試験結果 に基づく要素シミュレーション			液状化強度試験結果 に基づく要素シミュレーション					
	液状化パラメータ									S_1
									w_1	
									p_1	
									p_2	
c_1										

注： 図中の赤枠は、他の地質区分の試験結果で代用している地層を示す。

表 1-2 解析用物性値の設定根拠（非液状化検討対象層）

物性値		地質区分	埋戻土Ⅱ	新期砂層・沖積層	古安田層			
				沖積層上部 (シルト質)	A3c層	A3a1層	A2c層	A2a1層
物理特性	密度 ρ		物理試験	物理試験				A2c層で代用
	間隙率 n		物理試験	物理試験				
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms}		PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定				
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}'		G_{ms} に対応する値	G_{ms} に対応する値				
	ポアソン比 ν		慣用値	慣用値				
	減衰定数の上限値 h_{max}		動的変形特性に基づき設定	動的変形特性に基づき設定				
強度特性	粘着力 c'		三軸圧縮試験	三軸圧縮試験				
	内部摩擦角 ϕ'							

注： 図中の赤枠は、他の地質区分の試験結果で代用している地層を示す。

1.1 他の地質区分の解析用物性値で代用する地層の妥当性確認の方針

他の地質区分の解析用物性値で代用する場合は、同年代に堆積した地層の試験結果と比較し、物理特性、速度特性、強度特性、液状化強度特性を比較することにより、代用の妥当性を確認する。

ここで、液状化検討対象層においては、「物理特性」、「速度特性」、「強度特性」及び「液状化強度特性」を比較する。非液状化検討対象層においては、「物理特性」、「速度特性」、「強度特性」を比較する。各特性で着目する比較指標とその選定理由を表 1-3 に示す。

表 1-3 解析用物性値の代用における比較指標と選定理由

特性	比較指標	選定理由
物理特性	粒度分布, 湿潤密度 ρ_t , 含水比 w , 間隙比 e , 塑性指数 I_p	地盤材料の基本的な特性値を示すパラメータであることから選定した。
速度特性	せん断波速度 V_s	初期せん断弾性係数を規定するパラメータであることから選定した。
強度特性	粘着力 c' , 内部摩擦角 ϕ' or N値	せん断強度を規定するパラメータであることから選定した。力学試験の結果が得られない場合は、強度定数と相関性があるN値を比較する。
液状化強度特性	N値, 細粒分含有率 F_c , 液状化強度比 R_L	道路橋示方書における液状化判定に用いられる指標であることから選定した。

1.2 他の地質区分の解析用物性値で代用する地層のばらつきについて

地盤剛性のばらつきは、参考資料 4「2.3 地盤剛性及び液状化強度特性のばらつきを考慮した解析ケース」に示すとおり、PS 検層の結果に基づいて、耐震評価において地盤物性のばらつき ($\pm 1\sigma$) を考慮した解析ケースを実施する。

ここで、他の地質区分の解析用物性値で代用する地層については、「分布範囲が狭い地層」、または「層厚が薄い地層」であることから、同時代に堆積し、施設直下及び直近に分布する代表的な地層の解析用物性値で代用することが妥当であると判断した地質区分については、ばらつきの評価も含めて代用する。

2. 代用する地層（A2s 層）について

古安田層の A2s 層は、大湊側敷地に広く分布する地層である。A2s 層は古安田層（液状化検討対象層）の代表的な地層として、他の古安田層の液状化検討対象層（A3s 層、A2g 層（砂質）、A1g 層）に対して、解析用物性値を代用しており、耐震評価上重要な地層である。

本項では、代用する地層（A2s 層）について、その特徴（分布範囲・外観）、液状化を評価する観点から配慮した液状化強度試験の供試体選定箇所について示す。

2.1 A2s 層の特徴（分布範囲・外観）

古安田層（洪積層）の A2s 層は、原子炉建屋やタービン建屋周辺以外の敷地に広く分布する。図 2-1 に、A2s 層の分布範囲を示す。図 2-2 に、A2s 層のコア写真を示す。A2s 層は砂が主体的であるが、礫やシルトも認められる。

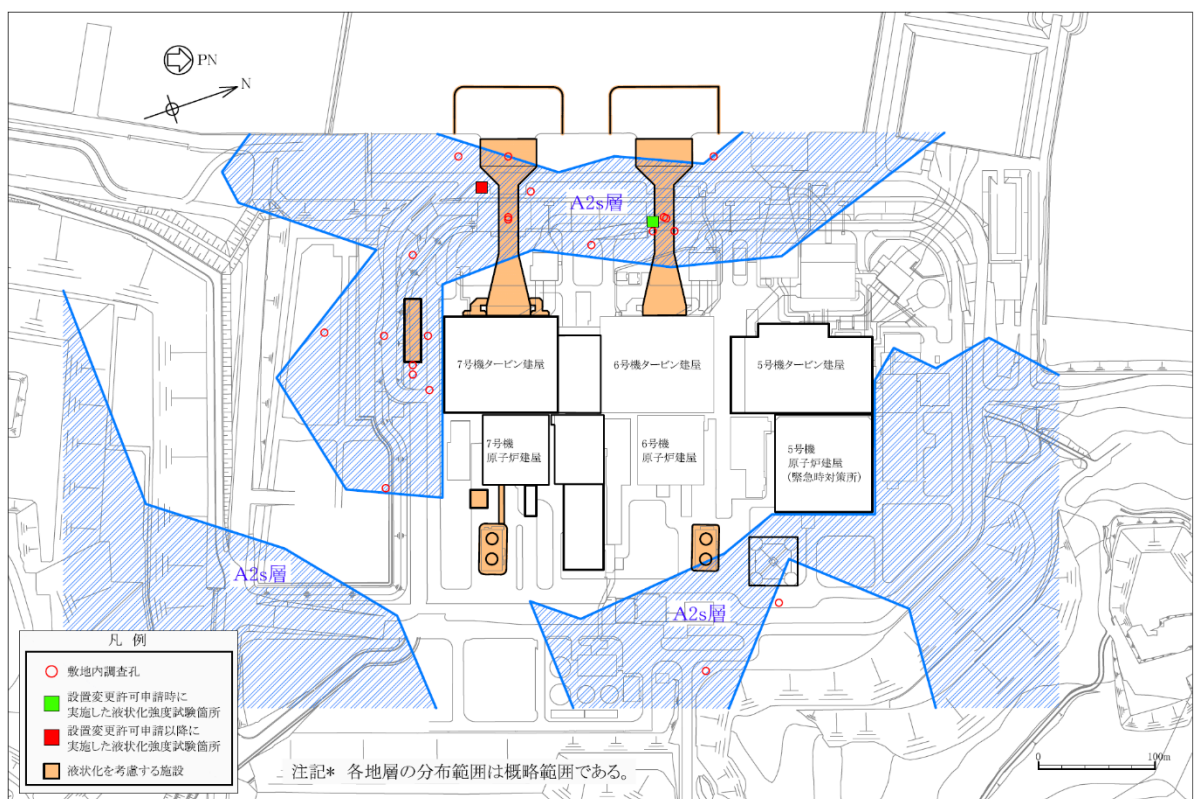


図 2-1 A2s 層の分布範囲（再掲）



図 2-2 古安田層 (A2s 層) の代表的なコア写真

2.2 液状化強度試験に用いる A2s 層の物理特性と供試体選定箇所について

表 2-1 に A2s 層の基礎物理特性を、図 2-3 に液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔における A2s 層の粒径加積曲線を示す。敷地内の A2s 層は、礫～シルトまでの広い粒度分布を示しており、細粒分含有率 F_c の平均値は 37.7%となる。

A2s 層の液状化強度試験の供試体は、代表性の観点から、対象施設近傍から採取している。これに加えて、液状化を評価する観点から、礫～シルトまでの広い粒度分布を示す A2s 層の採取コアの中でも砂分を多く含む箇所を供試体として選定している。

図 2-4 に、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔における粒度分布の平均値及び平均値 $\pm 1\sigma$ を示す。同図から、液状化強度試験箇所の細粒分含有率 F_c 平均値は 16.0%であり、敷地内調査孔の細粒分含有率 F_c 平均値の 37.7%と比較して細粒分が少ないことがわかる。

A2s 層の液状化強度試験の供試体について、採取深度の N 値と細粒分含有率 F_c を用いて、道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説 ((社) 日本道路協会, H24.3) に基づき液状化強度比 R_L を算出した。その結果を図 2-5 に示す。A2s 層の液状化強度試験の供試体の液状化強度比 R_L の平均値は 3.9 となり、As2 層全体の液状化強度比 R_L の平均値 7.6 に比して小さい。N 値については敷地全体よりも平均値は高いが、これは図 2-6 に示すとおり、供試体は採取コアの中でも細粒分含有率が小さい箇所を選定したため、N 値が大きくなる傾向があるためと考えられる。これより、液状化強度試験の供試体採取箇所は、A2s 層全体に対しても液状化しやすい箇所を選定していることがわかる。

なお、液状化強度試験の供試体は、代表性の観点から対象施設近傍から採取することを基本とし、採取コアの観察から砂分を多く含む箇所を選定している。図 2-7 に、敷地内の A2s 層の分布範囲と液状化強度試験供試体の採取箇所を示す。ここで、敷地内の A2s 層が分布するエリアを西側、南側及び東側の 3つのエリアに区分し、液状化強度試験供試体を採取した「西側エリア」と「南側及び東側エリア」との物理特性を比較した。粒度分布の比較を図 2-8 に、粒度組成の比較を表 2-2 に示す。

これより、液状化強度試験供試体を採取している西側エリアは、敷地内の A2s 層の中でも細粒分含有率が比較的低いエリアであることがわかる。一般的に細粒分含有率が低い地盤ほど液状化しやすい性状を示すことから、液状化強度試験の供試体選定位置は敷地内でも液状化しやすい箇所を選定していると判断できる。

表 2-1 A2s 層の基礎物理特性

地層	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)		含水比 w (%)		間隙比 e		細粒分含有率 (%)		塑性指数 I_p	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A2s 層	1.88	0.08	29.3	6.3	0.829	0.116	37.7	27.4	31.6	14.7
	(1.85)	(0.06)	(31.3)	(5.3)	(0.899)	(0.139)	(16.0)	(8.4)	(NP)	—

注：()内の数値は、液状化強度試験供試体の値を示す。

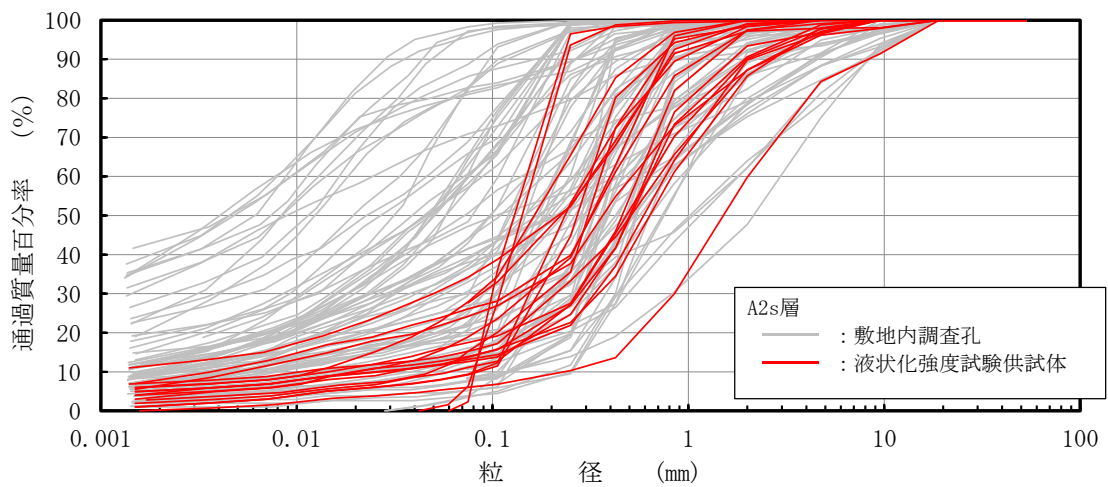


図 2-3 A2s 層の液状化強度試験供試体と敷地内調査孔の粒度試験結果

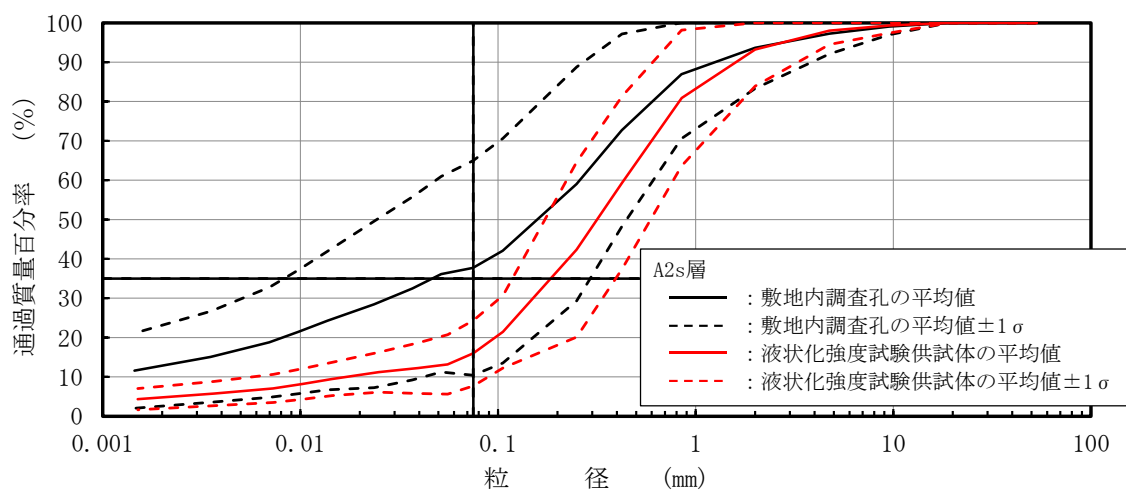


図 2-4 A2s 層の液状化強度試験供試体と敷地内調査孔の粒度分布比較 (平均及び平均 $\pm 1\sigma$)

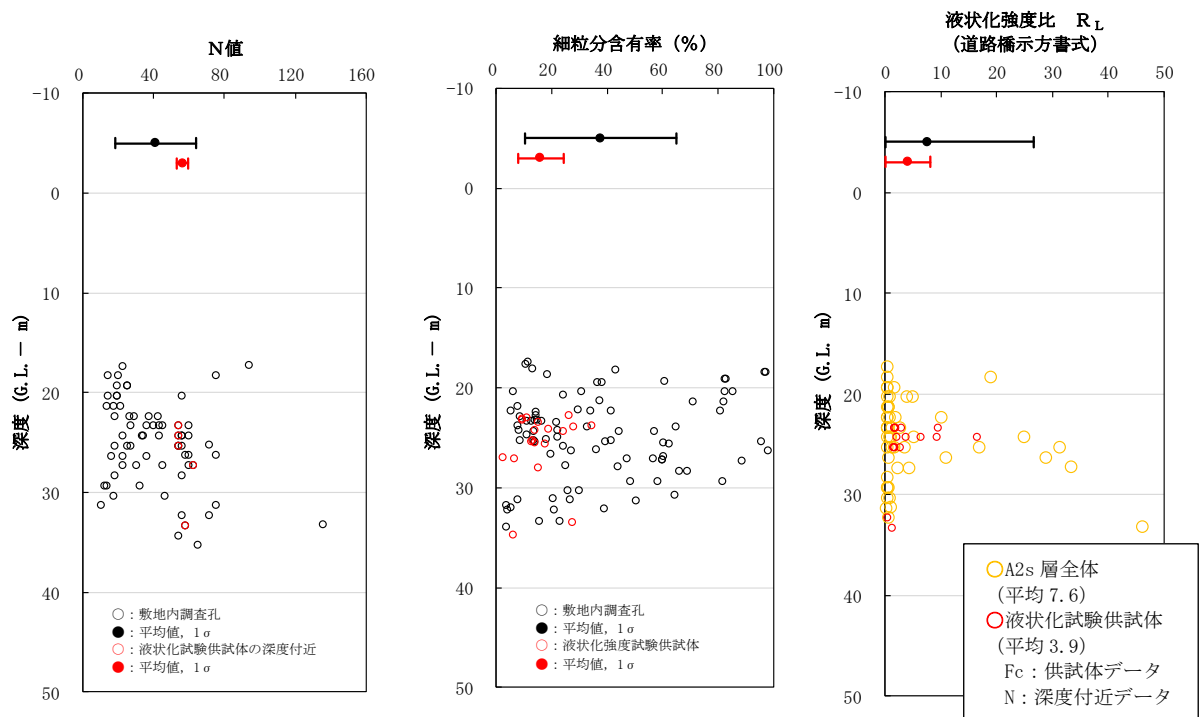


図 2-5 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値，細粒分含有率 F_c ，液状化強度比 R_L の比較
(古安田層 (A2s 層))

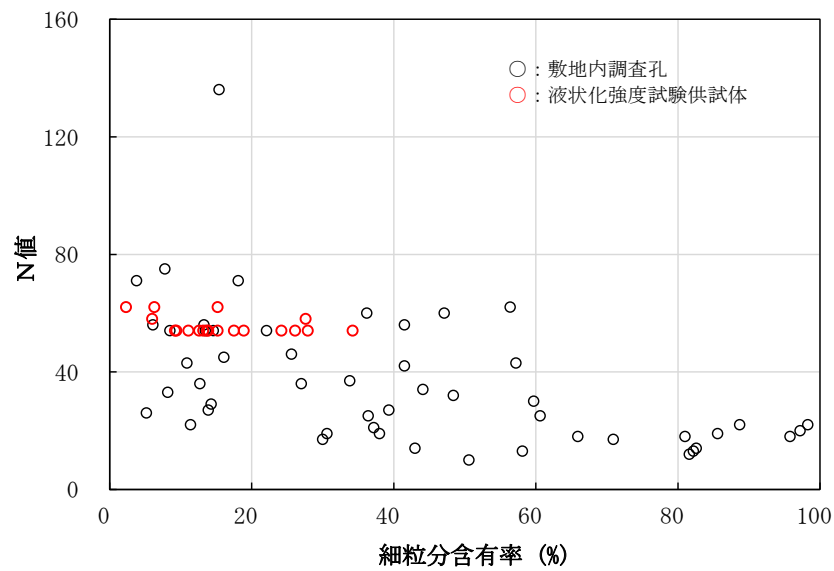


図 2-6 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の細粒分含有率 F_c とN値の関係
(古安田層 (A2s 層)) (再掲)

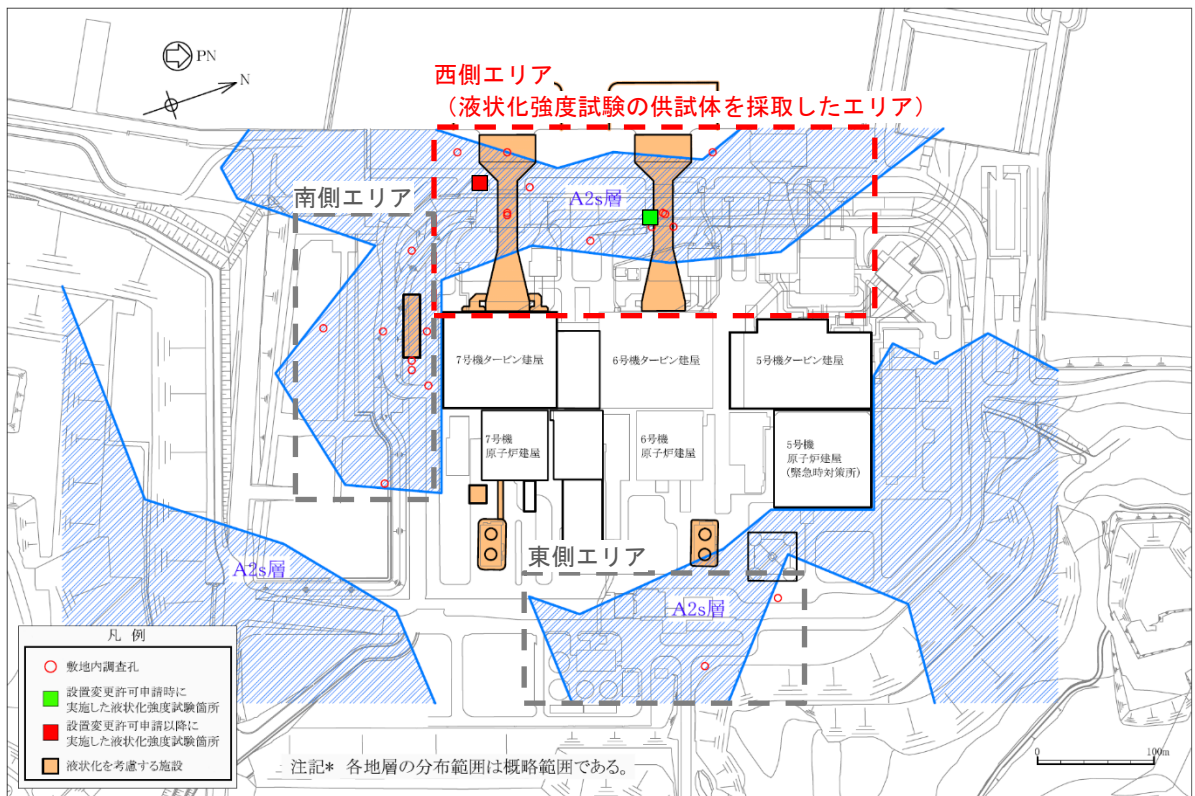


図 2-7 A2s 層の分布範囲とエリア区分

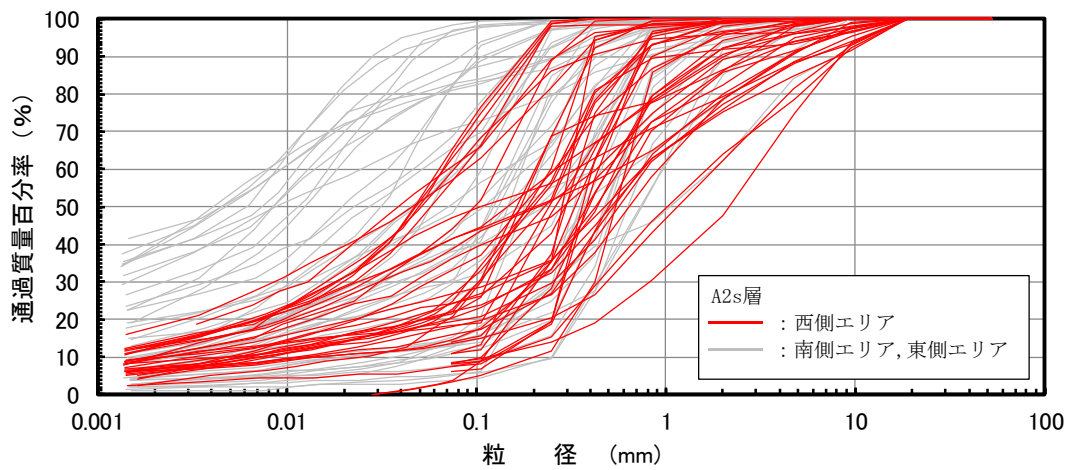


図 2-8 エリア別の A2s 層の粒度分布の比較

表 2-2 エリア別の A2s 層の粒度組成の比較

地層	エリア	礫分(2mm 以上)	砂分(2.0~0.075mm)	細粒分(0.0075mm 以下)	数量
		(%)	(%)	(%)	
A2s 層	西側*	10.1	62.5	27.4	42
	南側	1.8	49.3	48.9	39
	東側	9.9	53.2	36.9	6

注記* : A2s 層の液状化強度試験の供試体採取エリア

3. 他の地層区分の試験結果で代用している地層の設定根拠

3.1 液状化検討対象層

3.1.1 A3s 層の解析用地盤物性値

(1) 解析用物性値の代用方針

液状化検討対象層の A3s 層は、泥岩礫やシルト層を含む更新世の砂質土層であり、層厚は薄く敷地内にまばらに分布する。A3s 層の分布範囲を図 3-1 に、A3s 層の分布範囲にて作成した地質断面図を図 3-2 示す。

A3s 層の有効応力解析に用いる解析用物性値は、同じ古安田層で敷地に広く、また厚く分布し、施設直下及び直近に認められる A2s 層にて代用する方針とする。

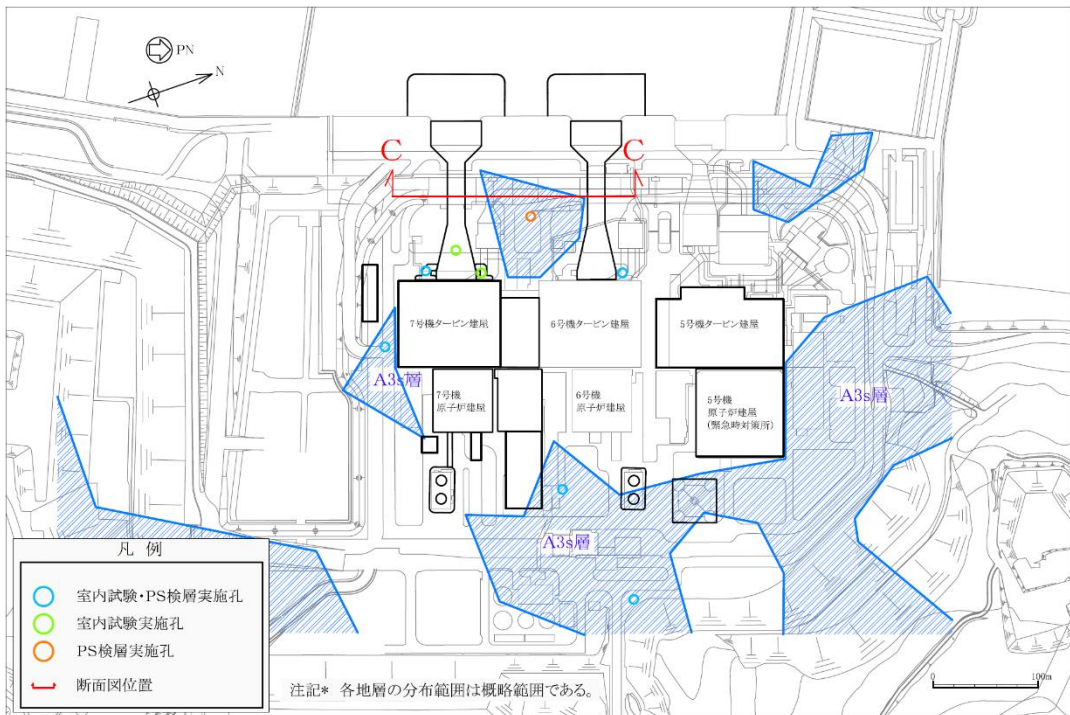


図 3-1 A3s 層の分布範囲（試料採取位置及び PS 検層位置）

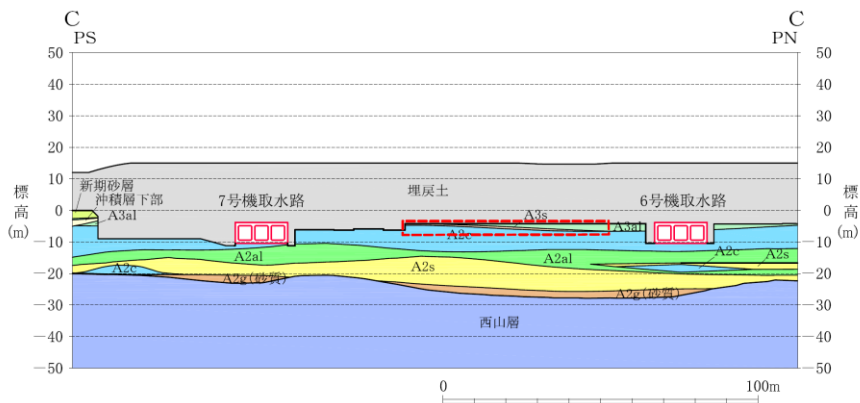


図 3-2 A3s 層の分布範囲にて作成した地質断面図

(2) 解析用物性値の代用の妥当性

A3s 層の解析用物性値を A2s 層で代用する妥当性を確認するため、両層の「物理特性」、「速度特性」、「強度特性」及び「液状化強度特性」について比較する。

「物理特性」については、粒度分布、湿潤密度、含水比、間隙比及び塑性指数について比較した。図 3-3 に両層の粒度加積曲線を、表 3-1 に両層の物理特性を示す。これより、A3s 層は A2s 層と比較して、湿潤密度は A3s 層の方が軽く、含水比及び間隙比は A2s 層より大きい結果となった。これは、A3s 層の細粒分含有率の平均値が 52.2%であるのに対し、A2s 層の細粒分含有率の平均値は 37.7%（液状化試験供試体：16.0%）と、同時代の砂質土層でも A3s 層の方が細粒分を多く含むためだと考えられる。A3s 層の塑性指数は 29.9 であり、A2s 層の 31.6（液状化試験供試体：NP）に対し、ほぼ同等の値である。

「速度特性」について、両層の PS 検層により得られるせん断波速度を比較した。PS 検層の位置図を図 3-1 に示す。両層のせん断波速度の比較結果を図 3-4 に示す。

「強度特性」について、原地盤から採取した試料に対して実施した三軸圧縮試験により比較を行った。三軸圧縮試験結果の比較結果を図 3-5 に示す。A3s 層と A2s 層の強度定数（ c' 、 ϕ' ）を比較した結果、有意な差が無いことを確認した。

「液状化強度特性」について、両層の N 値、細粒分含有率及び道路橋示方書 V（耐震設計編）に基づき算定した液状化強度比 R_L を比較した。これらの比較結果を図 3-6 に示す。A3s 層の方が代用する A2s 層よりも液状化強度比 R_L が若干大きい結果となった。

これらの結果より、A3s 層は代用する A2s 層と比べて、細粒分含有率が多いものの、速度特性及び強度特性に有意な差が無いことを確認した。また、液状化強度特性については、代用する A2s 層よりも道路橋示方書 V により算定される液状化強度 R_L が若干高い値を示している。よって、代用する A2s 層は、A3s 層よりも道路橋示方書 V により算定される液状化強度 R_L を小さく評価している。したがって、A3s 層を A2s 層の解析用物性値で代用することは、地中構造物の耐震評価に影響の大きい液状化強度特性の観点において保守的な評価につながるものと考えられる。

以上より、A3s 層の解析用地盤物性値を A2s 層で代用することは妥当である。

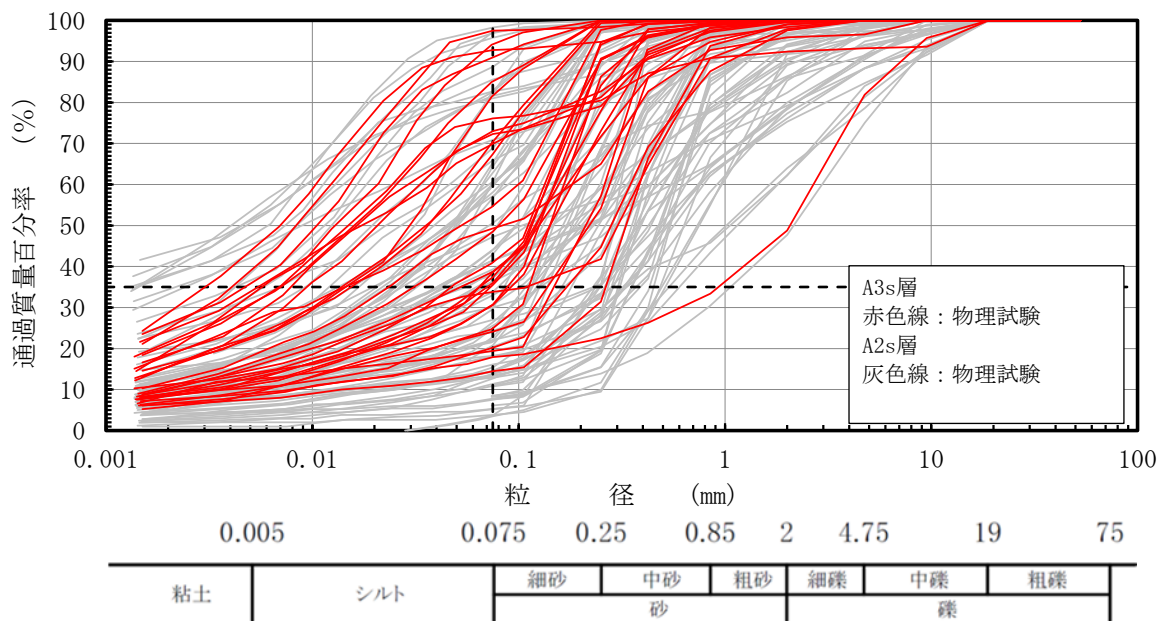


図 3-3 A3s 層と A2s 層の粒径加積曲線

表 3-1 A3s 層と A2s 層の基礎物理特性

地層	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)		含水比 w (%)		間隙比 e		細粒分含有率 (%)		塑性指数 I_p	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A3s 層	1.77	0.06	35.2	8.2	1.049	0.169	52.2	26.2	29.9	15.4
A2s 層	1.88 (1.85)	0.08 (0.06)	29.3 (31.3)	6.3 (5.3)	0.829 (0.899)	0.116 (0.139)	37.7 (16.0)	27.4 (8.4)	31.6 (NP)	14.7 —

注：()内の数値は、液状化強度試験供試体の値を示す。

(参考) 粒度組成

地層	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	細粒分 (%)	数量
	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	
A3s 層	2.4	45.4	32.3	19.9	52.2	30
A2s 層	6.4 (6.8)	55.9 (77.2)	22.7 (16.0)	16.9 (6.3)	37.7 (16.0)	87 (19)

注：()内の数値は、液状化強度試験供試体の値を示す。

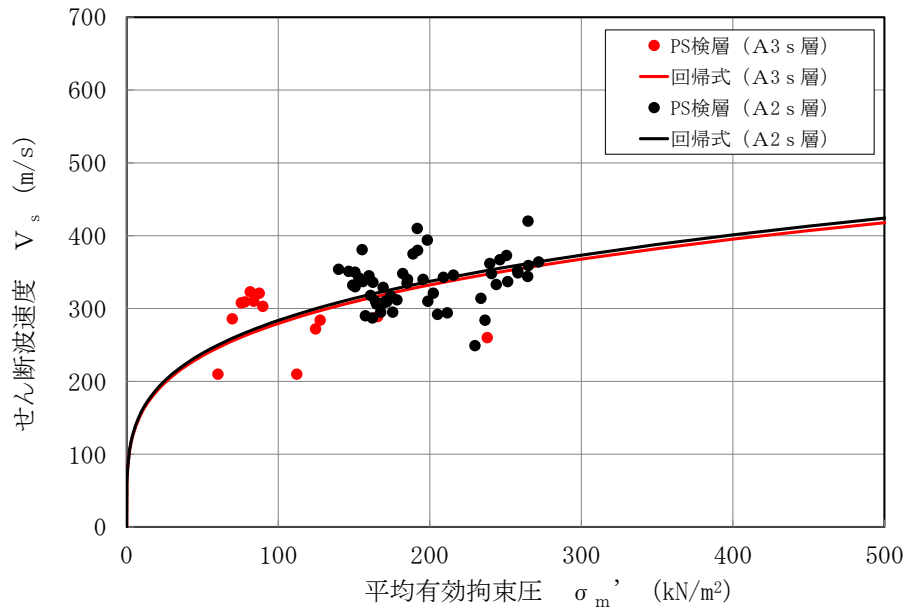


図 3-4 A3s 層と A2s 層の PS 検層結果の比較

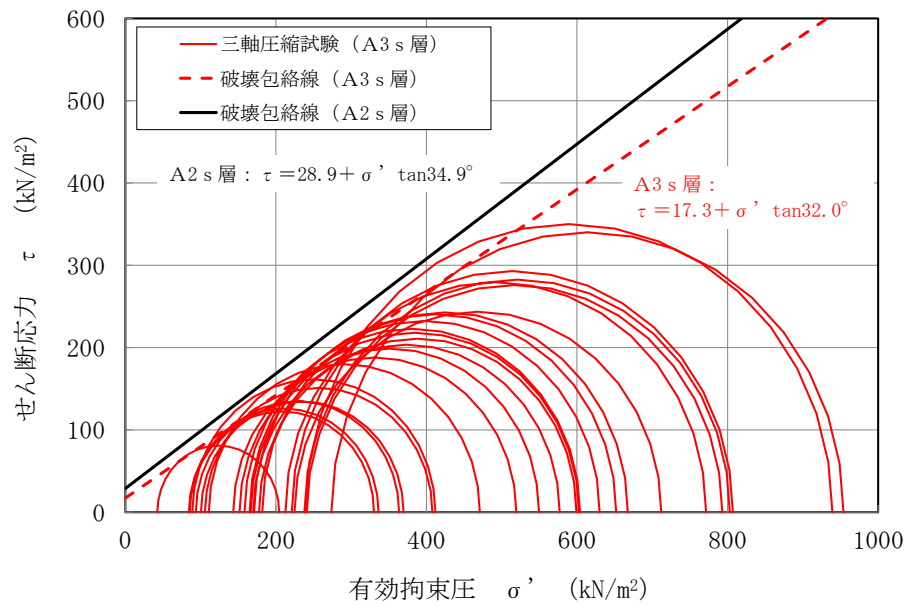


図 3-5 A3s 層と A2s 層の三軸圧縮試験結果 [圧密非排水条件] の比較

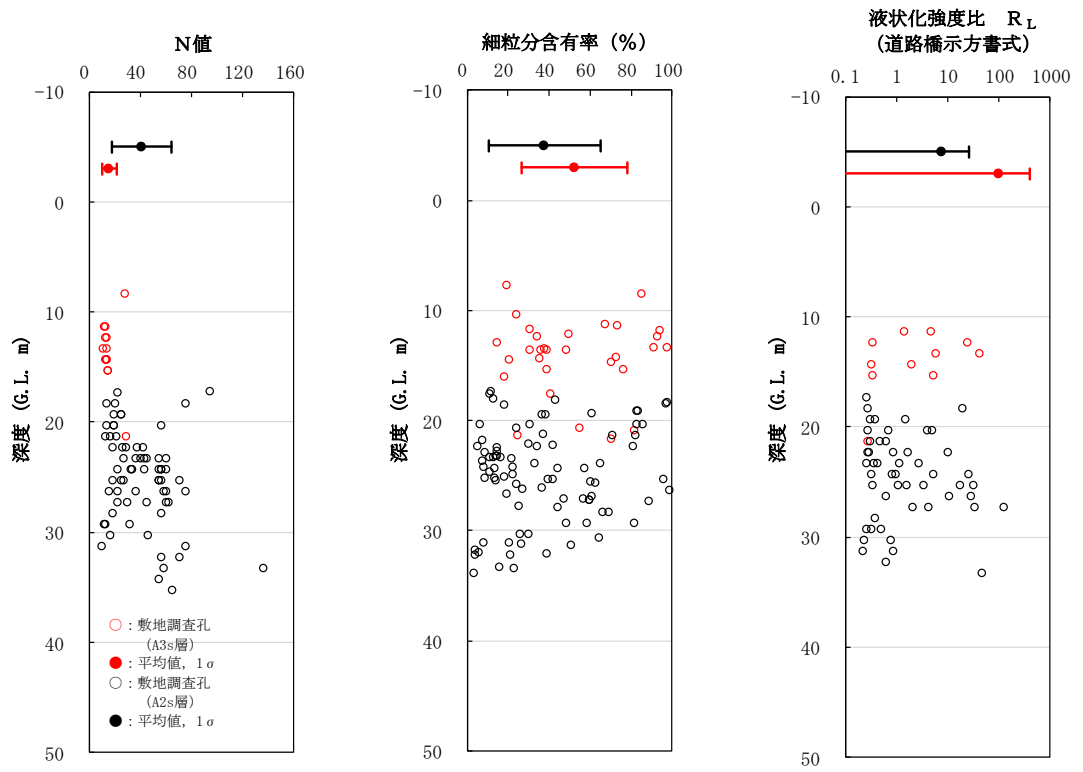


図3-6 A3s層とA2s層のN値、細粒分含有率
及び道路橋示方書Vに基づく液状化強度比 R_L の比較

3.1.2 A2g 層（砂質）の解析用地盤物性値

(1) 解析用物性値の代用方針

液状化検討対象層の A2g 層（砂質）は、硬質な細礫及び泥岩礫を含む更新世の砂礫層であり、敷地の西側及び南端部に分布する。A2g 層（砂質）の分布範囲を図 3-7 に、A2g 層（砂質）の分布範囲にて作成した地質断面図を図 3-8 に示す。

A2g 層（砂質）の有効応力解析に用いる解析用地盤物性値は、同じ古安田層で敷地に広く、また厚く分布し、施設直下及び直近に認められる A2s 層にて代用する方針とする。

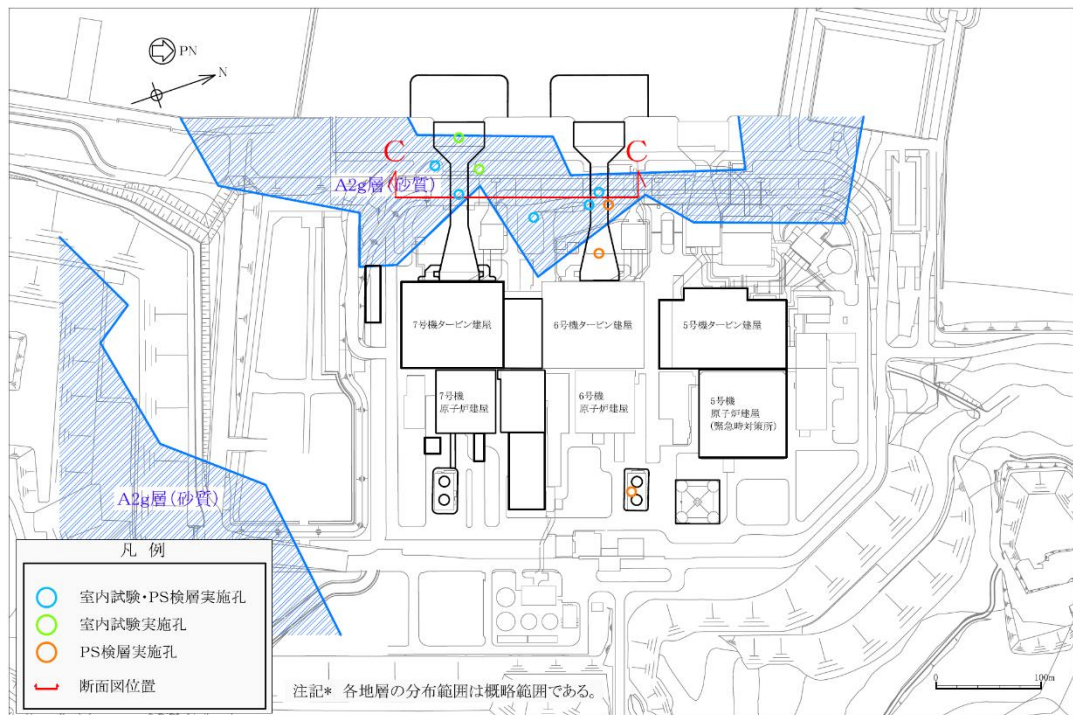


図 3-7 A2g 層（砂質）の分布範囲（試料採取位置及び PS 検層位置）

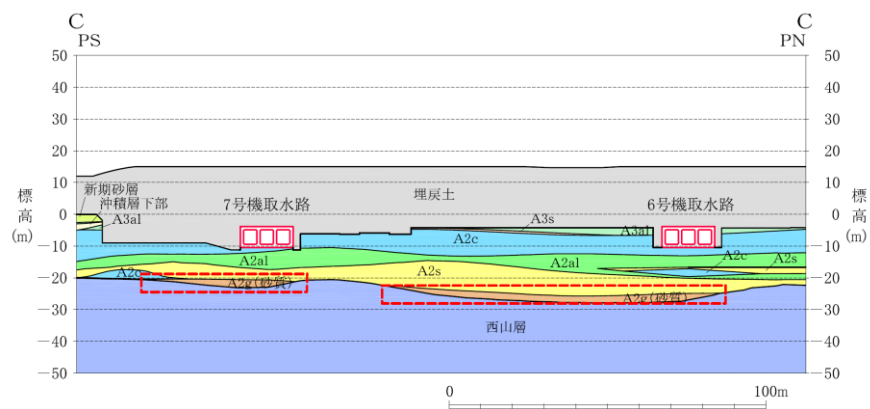


図 3-8 A2g 層（砂質）の分布範囲にて作成した地質断面図

(2) 解析用物性値の代用の妥当性の検討

A2g 層（砂質）の解析用物性値を A2s 層で代用する妥当性を確認するため、両層の「物理特性」、「速度特性」、「強度特性」及び「液状化特性」について比較する。

「物理特性」については、粒度分布、湿潤密度、含水比、間隙比及び塑性指数について比較した。両層の粒度加積曲線を図 3-9 に、物理特性を表 3-2 に示す。これらより、A2g 層（砂質）は A2s 層と比較して、湿潤密度はより軽く、含水比はより小さく、間隙比はより大きい結果となっている。これは、A2g 層（砂質）が A2s 層と比較して泥岩礫を多く含むためだと考えられる。細粒分含有率に着目すると、A2g 層（砂質）26.5%で、A2s 層の 37.7%（液状化強度試験の供試体：16.0%）であり、液状化強度試験に用いた A2s 層の方が細粒分含有率は低い。砂分（粒径：0.075～2.0mm）に着目すると、A2g 層（砂質）は 37.3%であるのに対し、A2s 層は 55.9%（液状化試験供試体：77.2%）であり、代用する A2s 層の方がより液状化しやすい性状の地層であることがわかる。

「速度特性」については、両層の PS 検層により得られるせん断波速度を比較した。PS 検層の位置図を図 3-7 に示す。両層のせん断波速度の比較結果を図 3-10 に示す。

「強度特性」については、礫分が主体的であるため力学試験の実施が困難であることから、内部摩擦角と相関性のある N 値を比較した。両層の N 値の比較結果を図 3-11 に示す。A2g 層（砂質）の方が代用する A2s 層よりも N 値が大きいことを確認した。

「液状化特性」については、N 値、細粒分含有率及び道路橋示方書 V（耐震設計編）に基づき算定した液状化強度比 R_L を比較した。これらの比較結果を図 3-11 に示す。A2g 層（砂質）の方が代用する A2s 層よりも N 値が大きく、液状化強度比 R_L の平均値は小さいもののばらつきの範囲内であることを確認した。

これらの比較結果より、A2g 層（砂質）は、代用する A2s 層と比べて、泥岩礫を多く含むものの、速度特性は A2s 層と概ね同じであり、N 値は A2s 層よりも大きいことを確認した。また、道路橋示方書 V により算定される液状化強度 R_L の平均値は A2s 層よりも小さく、ばらつきの範囲内であることを確認した。

A2g 層（砂質）は礫分が主体的であるため、力学試験及び液状化強度試験の適用が困難な側面があるが、A2g 層（砂質）の基質は砂分であるため、砂分を主体とする A2s 層を代用することにより、同等の評価が期待できる。また、代用する A2s 層は、A2g 層（砂質）よりも速度特性を小さく評価している。

以上より、A2g 層（砂質）の解析用地盤物性値を A2s 層で代用することは妥当である。

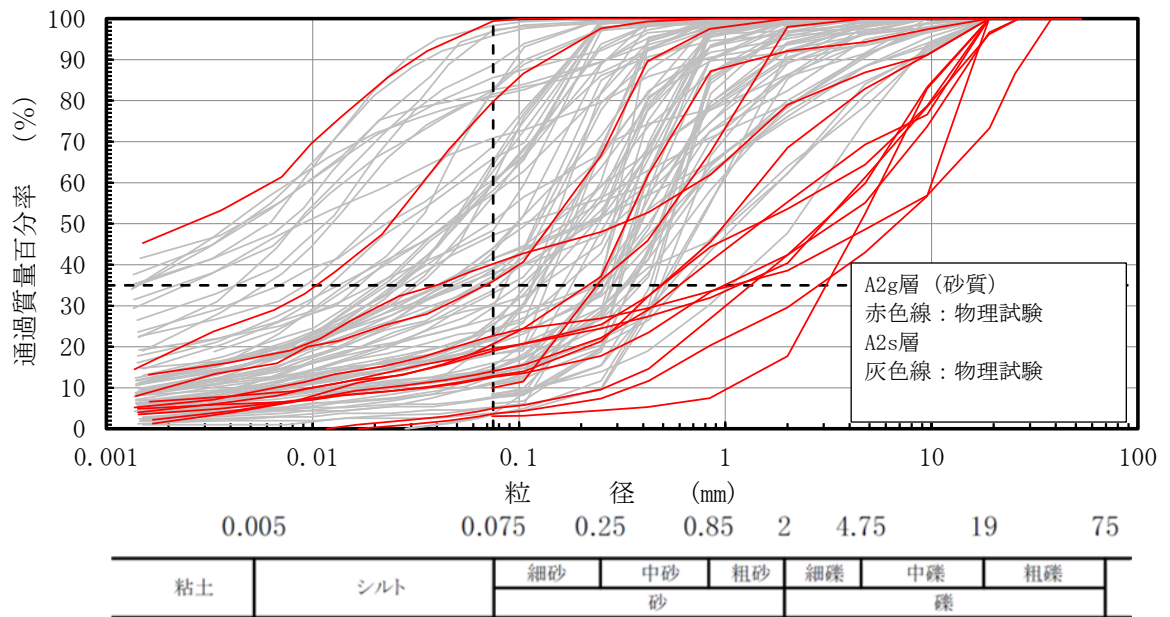


図 3-9 A2g 層 (砂質) と A2s 層の粒径加積曲線

表 3-2 A2g 層 (砂質) と A2s 層の基礎物理特性

地層	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)		含水比 w (%)		間隙比 e		細粒分含有率 (%)		塑性指数 I_p	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A2g 層 (砂質)	1.75	0.13	25.8	11.8	0.998	0.141	26.5	27.8	結果なし	—
A2s 層	1.88	0.08	29.3	6.3	0.829	0.116	37.7	27.4	31.6	14.7
	(1.85)	(0.06)	(31.3)	(5.3)	(0.899)	(0.139)	(16.0)	(8.4)	(NP)	—

注：()内の数値は、液状化強度試験供試体の値を示す。

(参考) 粒度組成

地層	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	細粒分 (%)	数量
	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	
A2g 層 (砂質)	36.1	37.3	15.8	14.7	26.5	15
A2s 層	6.4	55.9	22.7	16.9	37.7	87
	(6.8)	(77.2)	(16.0)	(6.3)	(16.0)	(19)

注：()内の数値は、液状化強度試験供試体の値を示す。

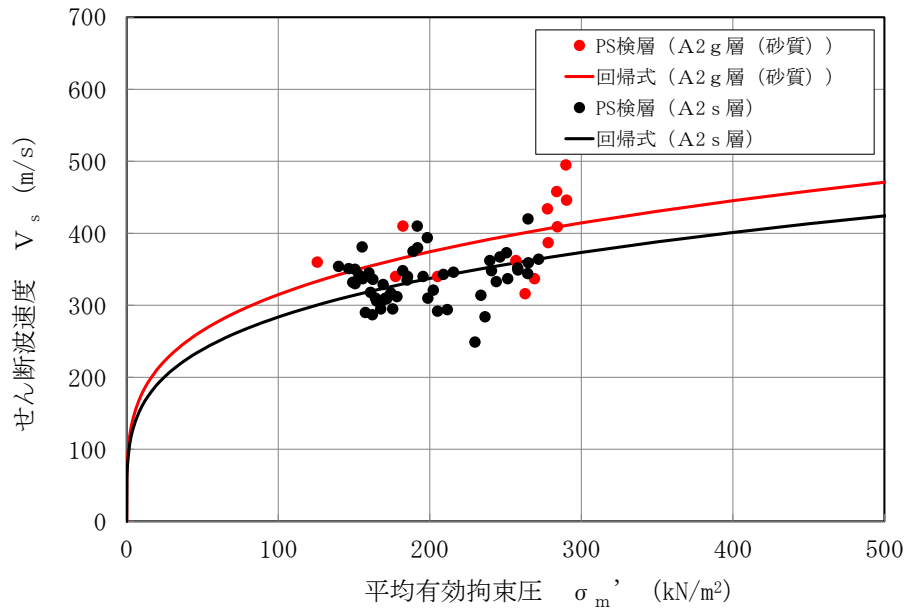


図 3-10 A2g 層 (砂質) と A2s 層の PS 検層結果の比較

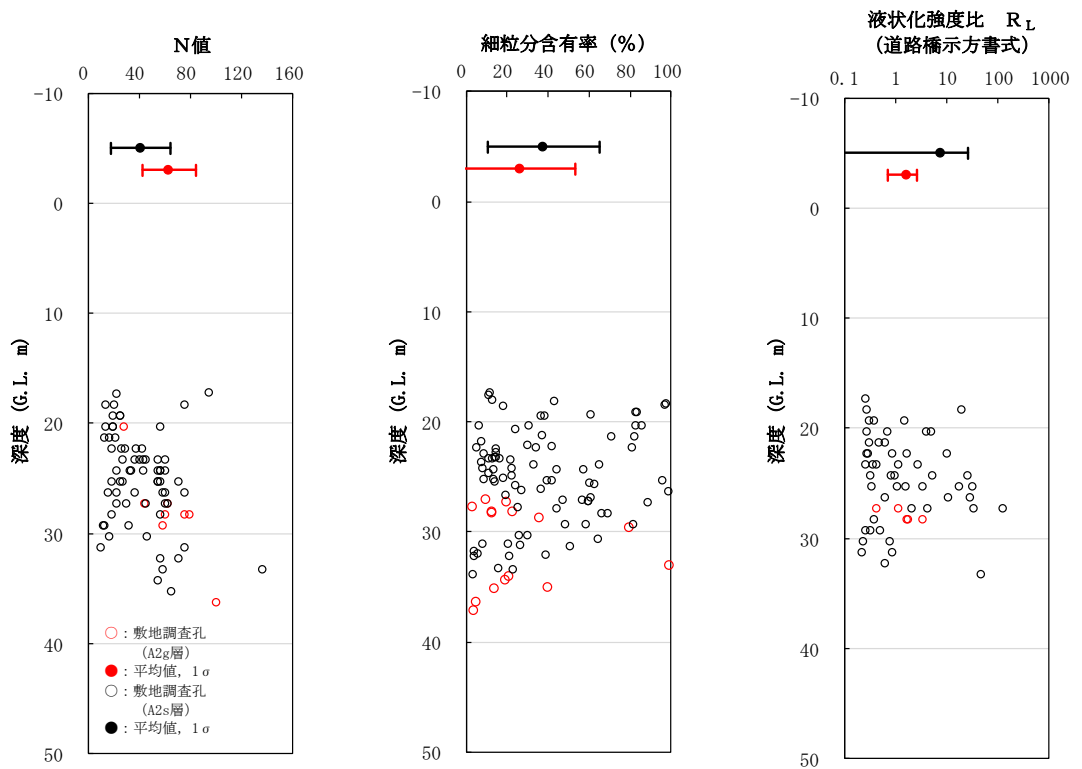


図 3-11 A2g 層 (砂質) と A2s 層の N 値, 細粒含有率
及び道路橋示方書 V に基づく液状化強度比 R_L の比較

3.1.3 A1g 層の解析用地盤物性値

(1) 解析用物性値の代用方針

液状化検討対象層の A1g 層は、泥岩礫を含む砂礫及び泥岩礫を含む砂質シルトを主体とする更新世の堆積物であり、敷地の南部に分布する。また、A1g 層の分布範囲は、耐震評価における対象施設から十分離れている。A1g 層の分布範囲を図 3-12 に、A1g 層の分布範囲にて作成した地質断面図を図 3-13 に示す。

A1g 層の有効応力解析に用いる解析用地盤物性値は、同じ古安田層で敷地に広く、また厚く分布し、施設直下及び直近に認められる A2s 層にて代用する方針とする。

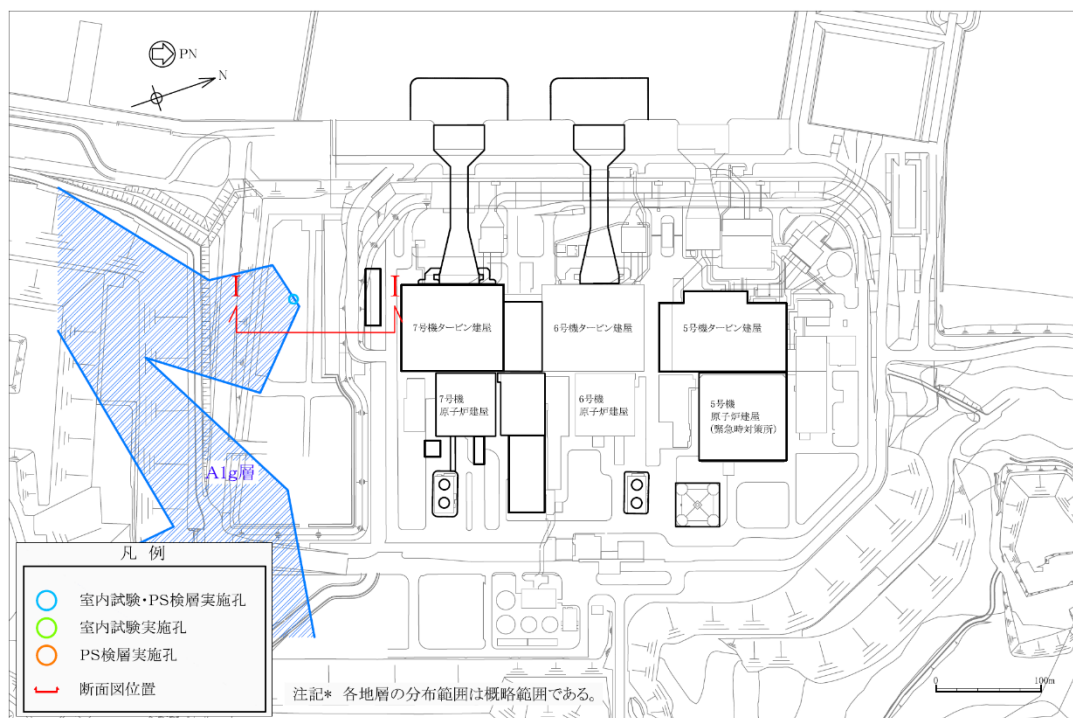


図 3-12 A1g 層の分布範囲（試料採取位置及び PS 検層位置）

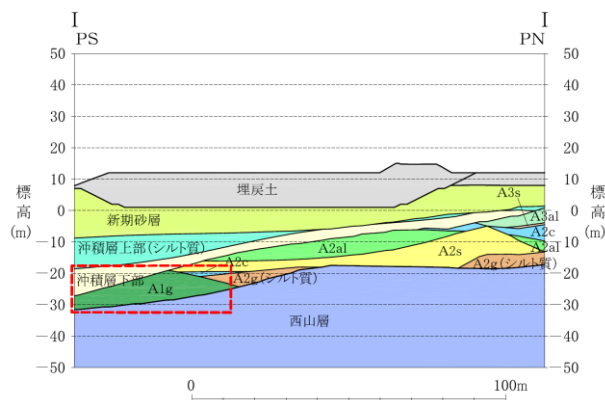


図 3-13 A1g 層の分布範囲にて作成した地質断面図

(2) 解析用物性値の代用の妥当性

A1g 層の解析用物性値を A2s 層で代用する妥当性を確認するため、両層の「物理特性」、
「速度特性」、
「強度特性」及び「液状化特性」について比較する。

「物理特性」については、粒度分布、湿潤密度、含水比、間隙比及び塑性指数について比較した。両層の粒径加積曲線を図 3-14 に、物理特性を表 3-3 に示す。A1g 層は A2s 層と比較して、湿潤密度はより軽く、含水比及び間隙比はより大きい結果となっている。これは、A1g 層の細粒分含有率が 53.6%であるのに対し、A2s 層の細粒分含有率が 37.7%と、同時代に堆積した砂質土層でも A1g 層の方が細粒分を多く含むためだと考えられる。砂分（粒径：0.075~2.0mm）に着目すると、A2g 層（砂質）は 37.8%であるのに対し、A2s 層は 55.9%（液状化試験供試体：77.2%）であり、代用する A2s 層の方がより液状化しやすい性状の地層であることがわかる。また、A1g 層の塑性指数は 27.6 を示す。

「速度特性」については、両層の PS 検層により得られるせん断波速度を比較した。両層のせん断波速度の比較結果を図 3-15 に示す。

「強度特性」については、礫分が主体的であるため力学試験の実施が困難であることから、強度定数（ c' 、 ϕ' ）と相関性の高い N 値による比較を行った。両層の N 値の比較結果を図 3-16 に示す。A1g 層の方が代用する A2s 層よりも N 値が大きいことを確認した。

「液状化特性」については、N 値、細粒分含有率及び道路橋示方書 V に基づき算定した液状化強度比を比較した。これらの比較結果を図 3-16 に示す。A1g 層の方が代用する A2s 層より液状化強度比 R_L が若干大きい結果となった。これは、A1g 層の方が細粒分を多く含むことが要因と考えられる。

これらの比較結果より、A1g 層は、代用する A2s 層と比べて、細粒分含有率が多いものの、速度特性及び強度特性は A2s 層と概ね同じであり、道路橋示方書 V により算定される液状化強度 R_L は A2s 層よりも若干高い値を示す。したがって、A1g 層を A2s 層の解析用物性値で代用することは、地中構造物の耐震評価に影響の大きい液状化強度特性の観点において保守的な評価につながるものと考えられる。

以上より、A1g 層の解析用地盤物性値を A2s 層で代用することは妥当である。

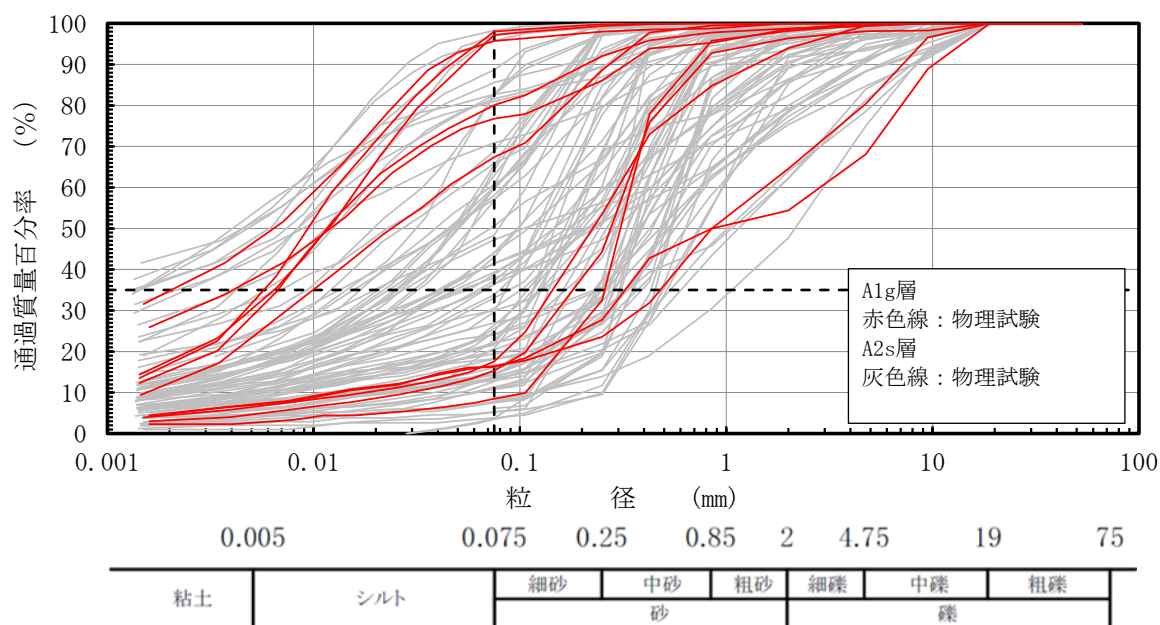


図 3-14 A1g 層と A2s 層の粒径加積曲線

表 3-3 A1g 層の基礎物理特性

地層	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)		含水比 w (%)		間隙比 e		細粒分含有率 (%)		塑性指数 I_p	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A1g 層	1.78	0.05	34.3	14.3	1.141	0.100	53.6	38.3	27.6	9.1
A2s 層	1.88	0.08	29.3	6.3	0.829	0.116	37.7	27.4	31.6	14.7
	(1.85)	(0.06)	(31.3)	(5.3)	(0.899)	(0.139)	(16.0)	(8.4)	(NP)	—

注：()内の数値は、液状化強度試験供試体の値を示す。

(参考) 粒度組成

地層	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	細粒分 (%)	数量
	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	
A1g 層	8.6	37.8	33.5	20.1	53.6	11
A2s 層	6.4	55.9	22.7	16.9	37.7	87
	(6.8)	(77.2)	(16.0)	(6.3)	(16.0)	(19)

注：()内の数値は、液状化強度試験供試体の値を示す。

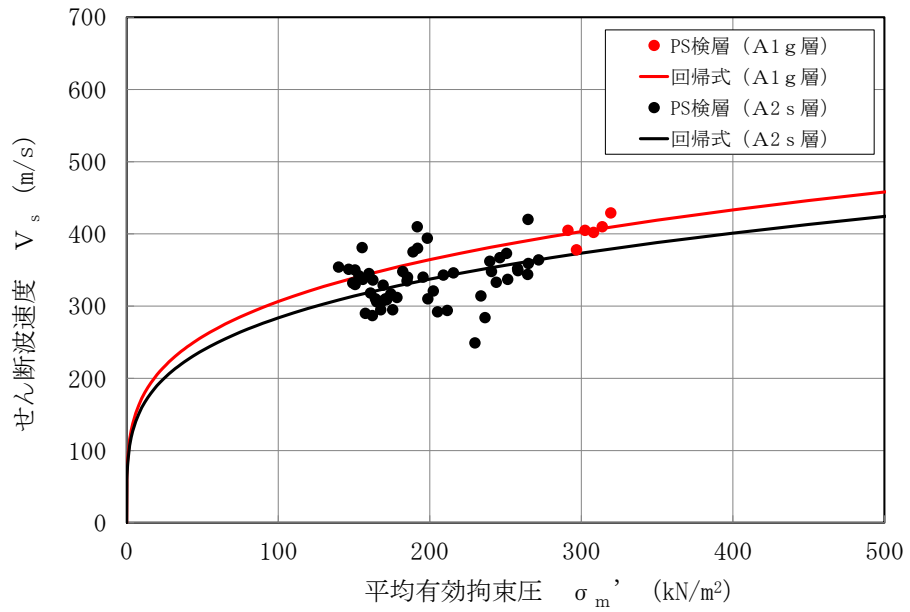


図 3-15 A1g 層と A2s 層の PS 検層結果の比較

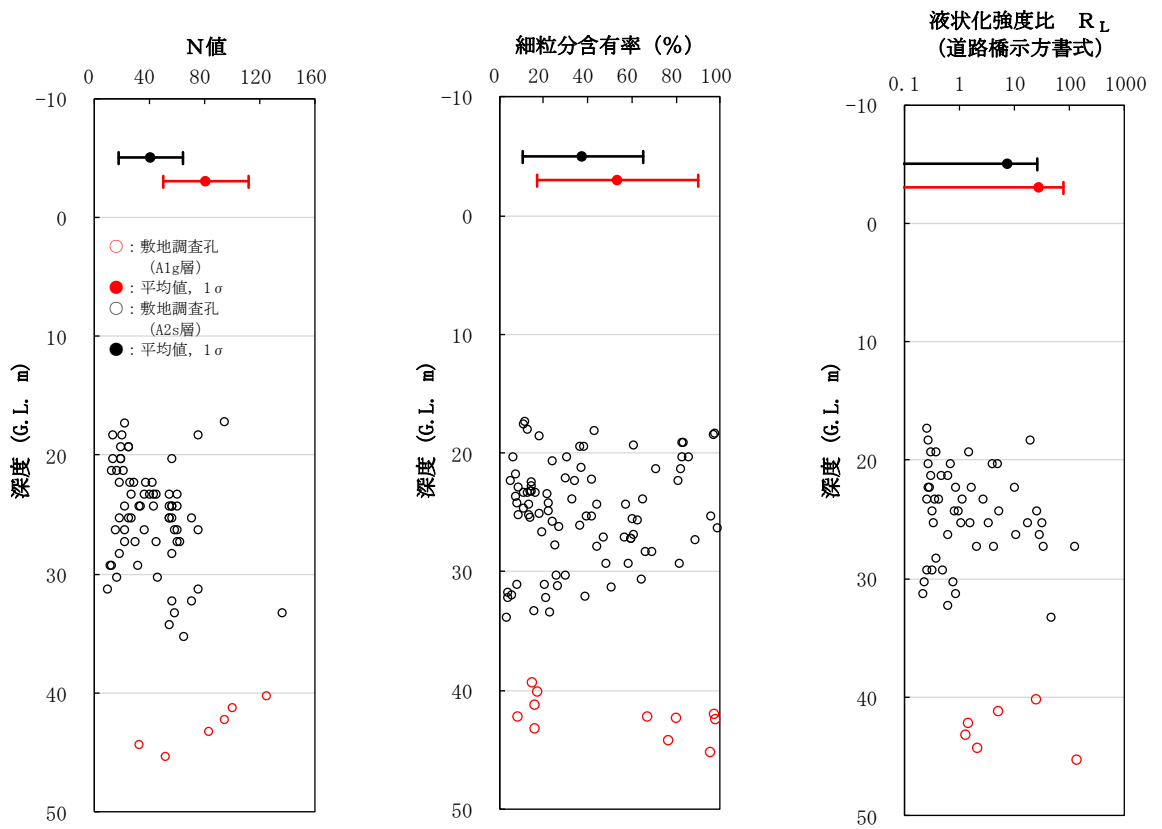


図 3-16 A1g 層と A2s 層の N 値，細粒分含有率及び道路橋示方書 V に基づく液状化強度比 R_L の比較

3.2 非液状化検討対象層

3.2.1 A2g層（シルト質）の解析用地盤物性値

(1) 解析用物性値の代用方針

非液状化検討対象層のA2g層（シルト質）は、砂礫を含む砂質シルトを主体とする更新世の堆積物であり、敷地の東側に分布する。A2g層（シルト質）の分布範囲を図3-17に、A2g層（シルト質）の分布範囲にて作成した地質断面図を図3-18に示す。

A2g層（シルト質）の有効応力解析に用いる解析用地盤物性値は、同じ古安田層で敷地に広く、また厚く分布し、施設直下及び直近に認められるA2c層にて代用する方針とする。

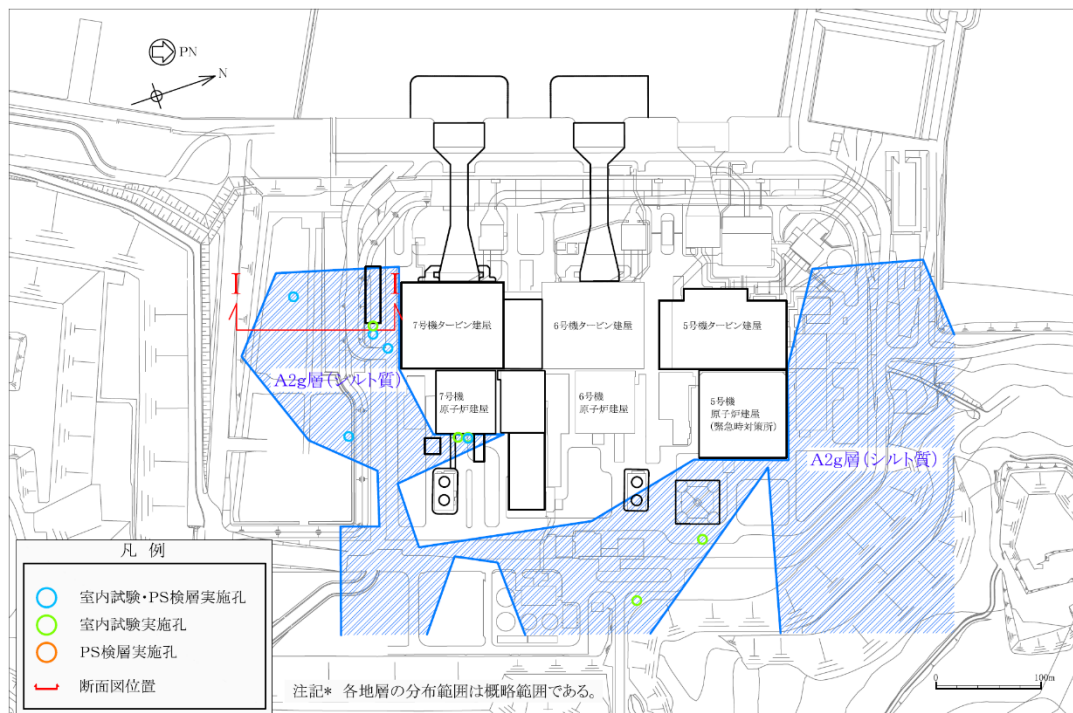


図3-17 A2g層（シルト質）の分布範囲（試料採取位置及びPS検層位置）

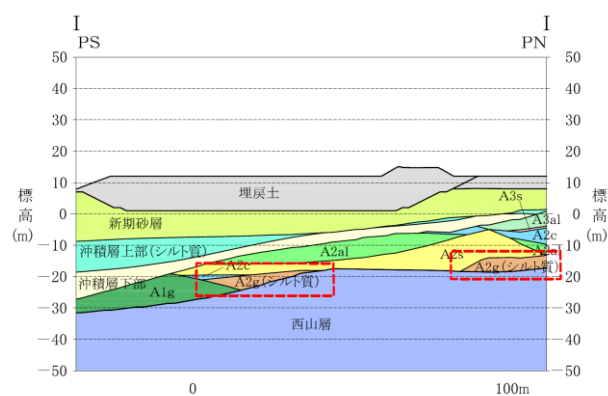


図3-18 A2g層（シルト質）の分布範囲にて作成した地質断面図

(2) 解析用物性値の代用の妥当性

A2g 層（シルト質）の解析用物性値を A2c 層で代用する妥当性を確認するため、両層の「物理特性」、「速度特性」及び「強度特性」について比較する。

「物理特性」については、湿潤密度、含水比、間隙比及び塑性指数について比較した。図 3-19 に両層の粒径加積曲線を、表 3-4 に両層の湿潤密度、含水比及び間隙率を示す。これより、A2g 層（シルト質）は A2c 層と比較して、湿潤密度はより重く、含水比は同等、間隙比はより小さい結果となっている。これは、A2g 層（シルト質）の礫分が 4.3% であるのに対し、A2c 層の礫分は 0.2% と同時代の粘性土層でも A2g 層（シルト質）の方が礫分を多く含むためだと考えられる。A2g 層（シルト質）は西山層の泥岩礫が細粒化したものであるため、一部に礫が現れる場合があるが、細粒分含有率は 77.6% を示しており、シルトを主体とする地層であることから、A2c 層と同等の性状を有する地層であると判断できる。

「速度特性」については、PS 検層により得られるせん断波速度を比較した。PS 検層の位置図を図 3-17 に示す。両層のせん断波速度の比較結果を図 3-20 に示す。

「強度特性」については、シルトを主体とした西山層の泥岩礫を含むため力学試験の実施が困難であることから、強度定数（ c' 、 ϕ' ）と相関性の高い N 値による比較を行った。両層の N 値及び細粒分含有率の比較結果を図 3-21 に示す。A2g 層（シルト質）と A2c 層の N 値を比較した結果、有意な差が無いことを確認した。

これらの比較結果より、A2g 層（シルト質）は、代用する A2c 層と比べて、礫分が多いものの、速度特性及び強度特性に関しては A2c 層と概ね同じである。A2g 層（シルト質）の基質はシルトであるため、シルト分を主体とする A2c 層で代用することにより、同等の評価が期待できる。

以上より、A2g 層（シルト質）の解析用地盤物性値を A2c 層で代用することは妥当である。

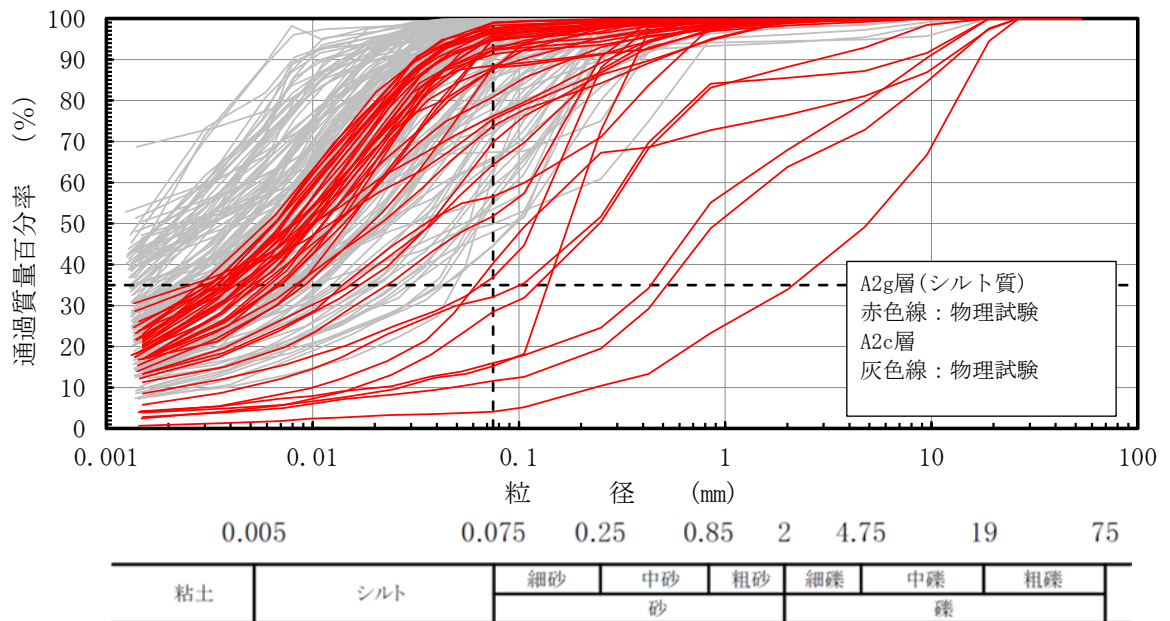


図 3-19 A2g 層 (シルト質) と A2c 層の粒径加積曲線

表 3-4 A2g 層 (シルト質) と A2c 層の基礎物理特性

地層	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)		含水比 w (%)		間隙比 e		細粒分含有率 (%)		塑性指数 I_p	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A2g 層 (シルト質)	1.92	0.26	40.9	13.6	0.849	0.550	77.6	28.0	45.1	11.7
A2c 層	1.80	0.06	41.0	5.9	1.081	0.139	90.6	13.6	39.9	14.7

(参考) 粒度組成

地層	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	細粒分 (%)	数量
	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	
A2g 層 (シルト質)	4.3	18.1	47.6	30.0	77.6	46
A2c 層	0.2	9.2	47.5	43.1	90.6	161

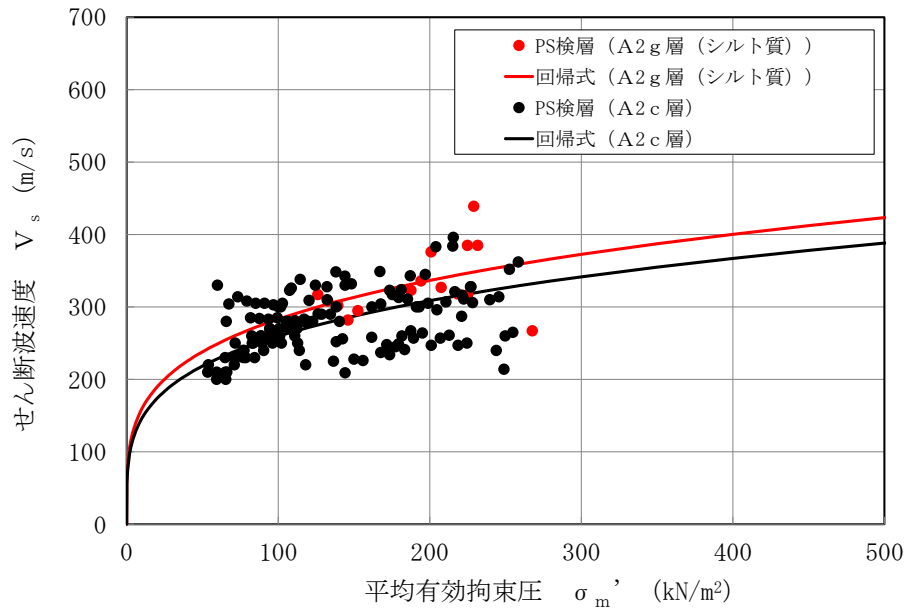


図 3-20 A2g 層（シルト質）と A2c 層の PS 検層結果の比較

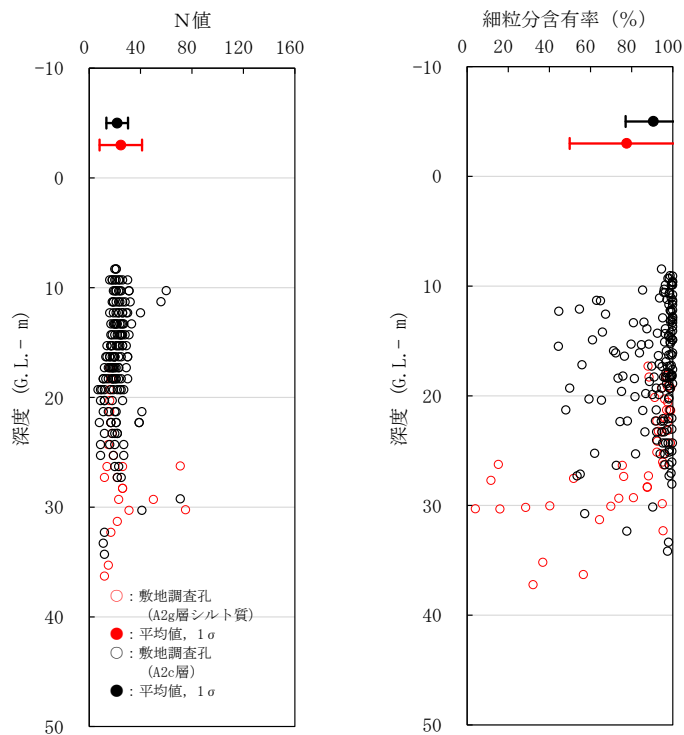


図 3-21 A2g 層（シルト質）と A2c 層の N 値及び細粒分含有率の比較

3.2.2 A1c 層の解析用地盤物性値

(1) 解析用物性値の代用方針

非液状化検討対象層の A1c 層は、シルト及び砂混じりシルトを主体とする更新世の粘性土層であり、敷地の南部に分布している。また、A1c 層の分布範囲は、耐震評価における対象施設から十分離れている。A1c 層の分布範囲を図 3-22 に、A1c 層の分布範囲にて作成した地質断面図を図 3-23 示す。

有効応力解析に用いる A1c 層の解析用地盤物性値は、同じ古安田層で敷地に広く、また厚く分布し、施設直下及び直近に認められる A2c 層にて代用する方針とする。

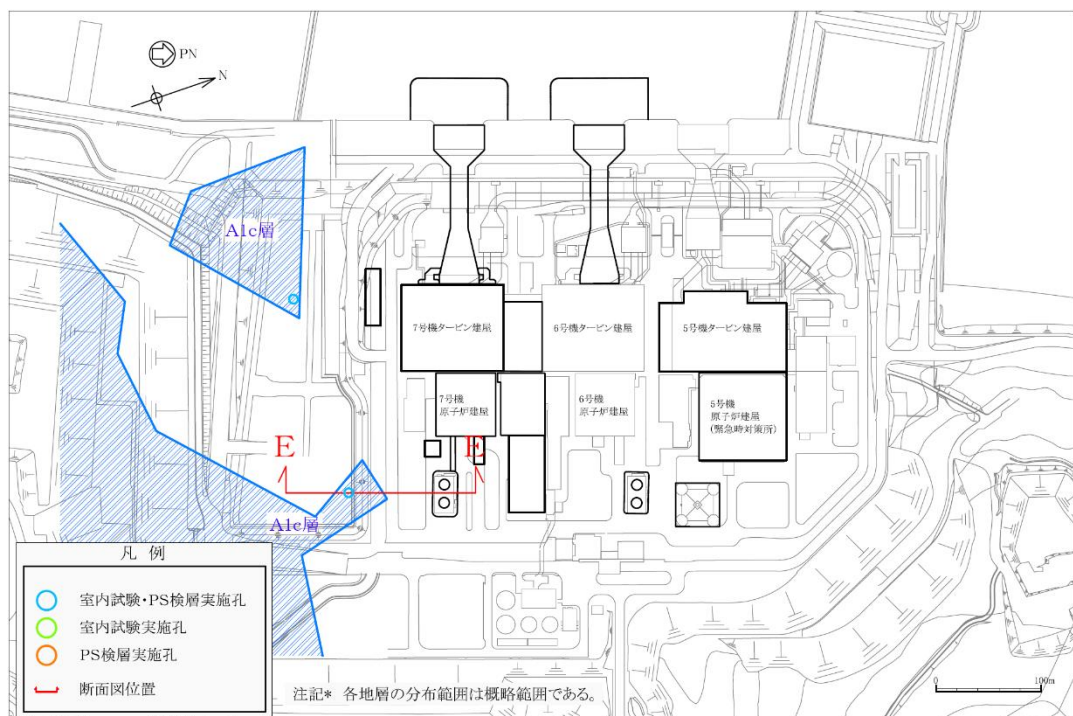


図 3-22 A1c 層の分布範囲（試料採取位置及び PS 検層位置）

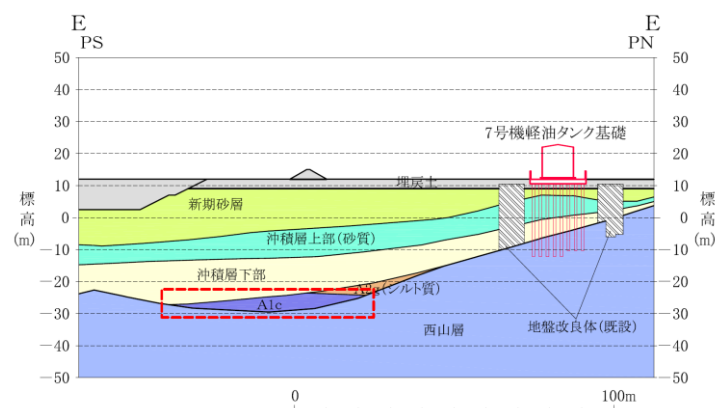


図 3-23 A1c 層の分布範囲にて作成した地質断面図

(2) 解析用物性値の代用の妥当性

A1c 層の解析用物性値を A2c 層で代用する妥当性を確認するため、両層の「物理特性」、
「速度特性」及び「強度特性」について比較する。

「物理特性」については、湿潤密度、含水比、間隙比及び塑性指数について比較した。
両層の粒径加積曲線を図 3-24 に、物理特性を表 3-5 に示す。これらより、A1c 層は A2c
層と比較して、湿潤密度はより軽く、含水比及び間隙比はより大きい結果となっている。
これは、A1c 層がシルトを主体とし、A2c 層と比較すると淘汰がよく粒度が揃っているため
と考えられる。

「速度特性」については、両層の PS 検層により得られるせん断波速度を比較した。両層
のせん断波速度の比較結果を図 3-25 に示す。

「強度特性」については、原地盤から採取した試料を用いた三軸圧縮試験に基づき比較
した。A1c 層と A2c 層の強度定数 (c' , ϕ') を比較した結果、有意な差が無いことを確
認した。

これらの比較結果より、A1c 層は、代用する A2c 層と比べて、分級された土質であるも
の、速度特性及び強度特性に関しては A2c 層と概ね同じである。

以上より、A1c 層の解析用地盤物性値を A2c 層で代用することは妥当である。

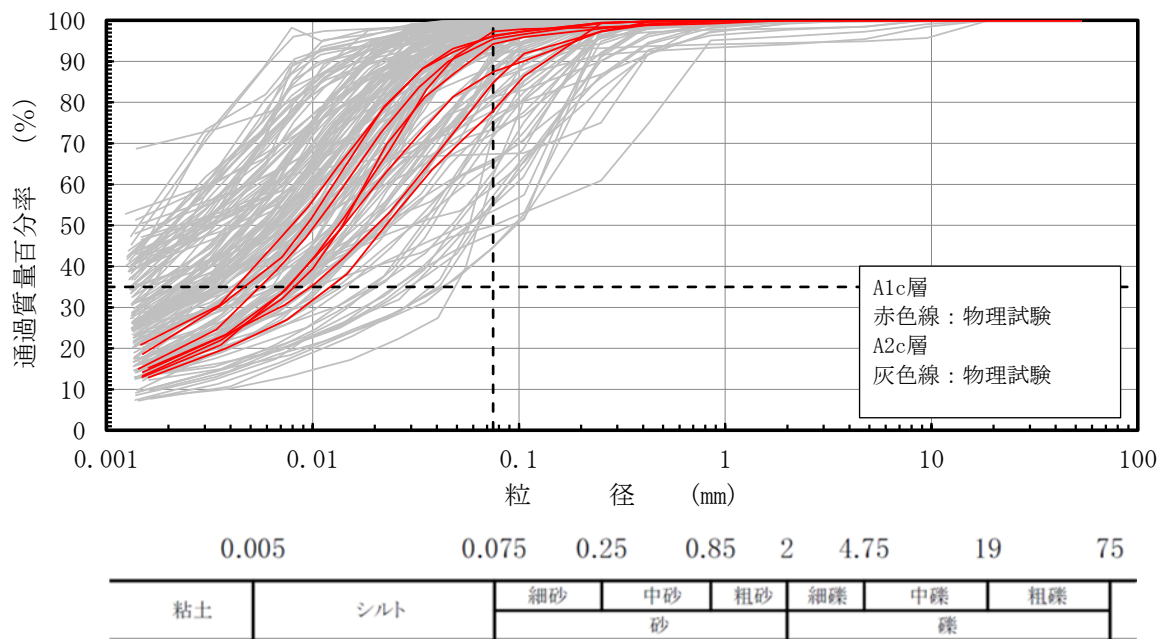


図 3-24 A1c 層と A2c 層の粒径加積曲線

表 3-5 A1c 層の基礎物理特性

地層	湿潤密度 ρ_t (g/cm^3)		含水比 w (%)		間隙比 e		細粒分含有率 (%)		塑性指数 I_p	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
A1c 層	1.73	0.02	46.6	2.9	1.255	0.041	91.2	7.0	36.1	9.4
A2c 層	1.80	0.06	41.0	5.9	1.081	0.139	90.6	13.6	39.9	14.7

(参考) 粒度組成

地層	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	細粒分 (%)	数量
	平均値	平均値	平均値	平均値	平均値	
A1c 層	0.0	8.8	61.9	29.3	91.2	8
A2c 層	0.2	9.2	47.5	43.1	90.6	161

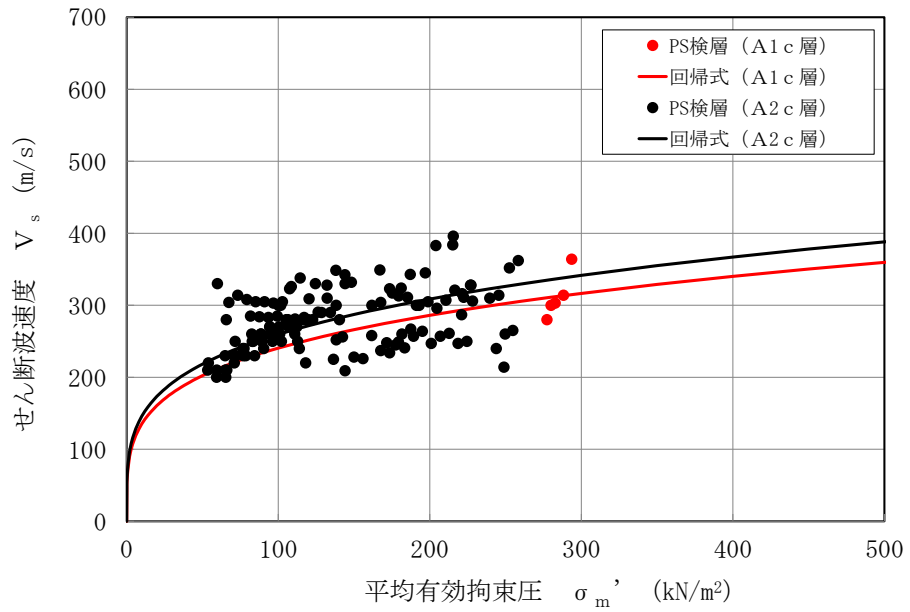


図 3-25 A1c 層と A2c 層の PS 検層結果の比較

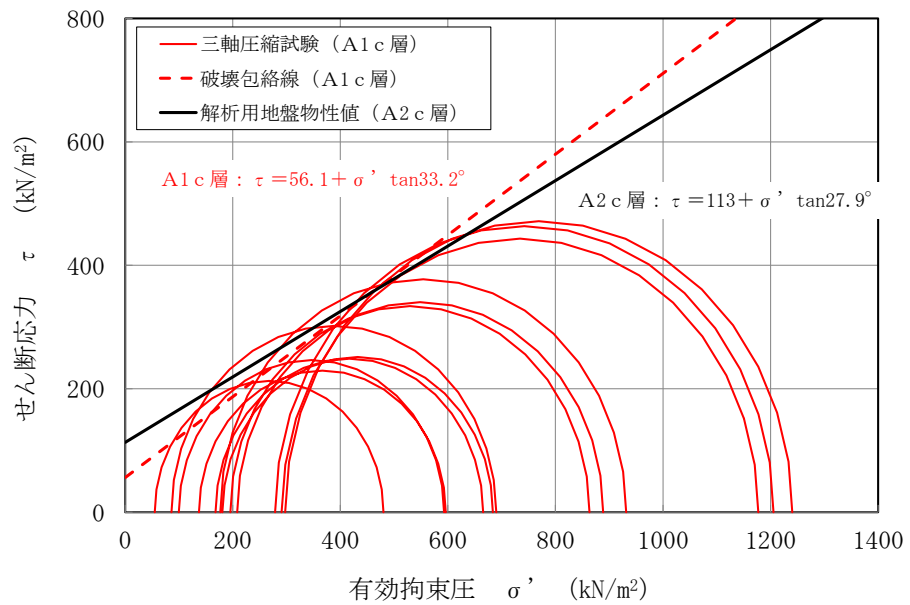


図 3-26 A1c 層と A2c 層の三軸圧縮試験結果 [圧密非排水条件] の比較

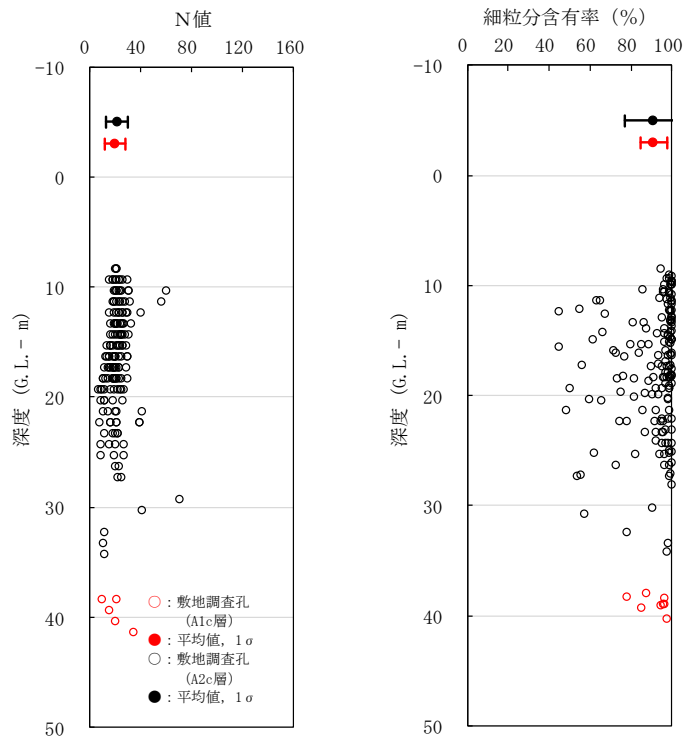
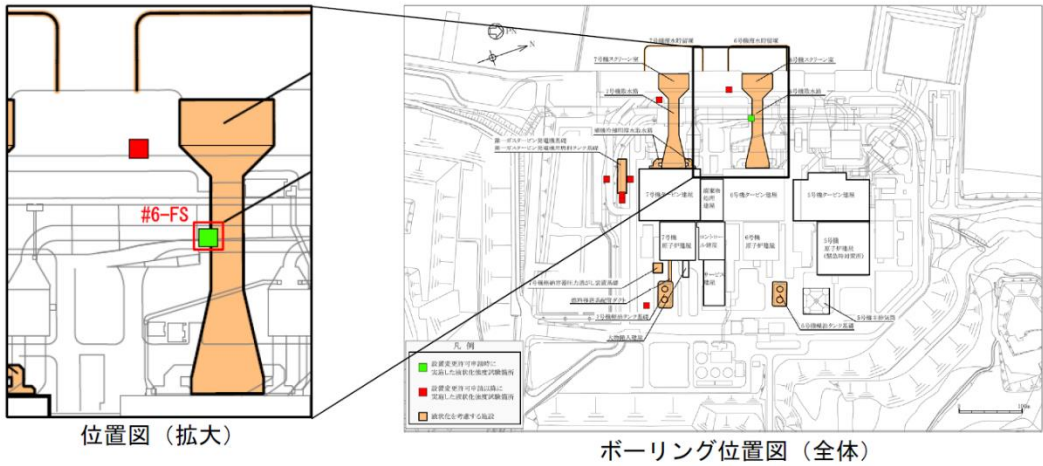


図 3-27 A1c 層と A2c 層の N 値及び細粒分含有率の比較

(参考資料 3) 液状化強度試験の詳細について

1. 液状化強度試験箇所のボーリング柱状図・コア写真
液状化強度試験箇所のボーリング柱状図及びコア写真を図 1-1～図 1-8 に示す。



孔名 : #6-FS 孔口標高 : T. M. S. L. 11. 86m 掘進長 : L=44. 0m (設置変更許可申請時の液状化強度試験箇所)

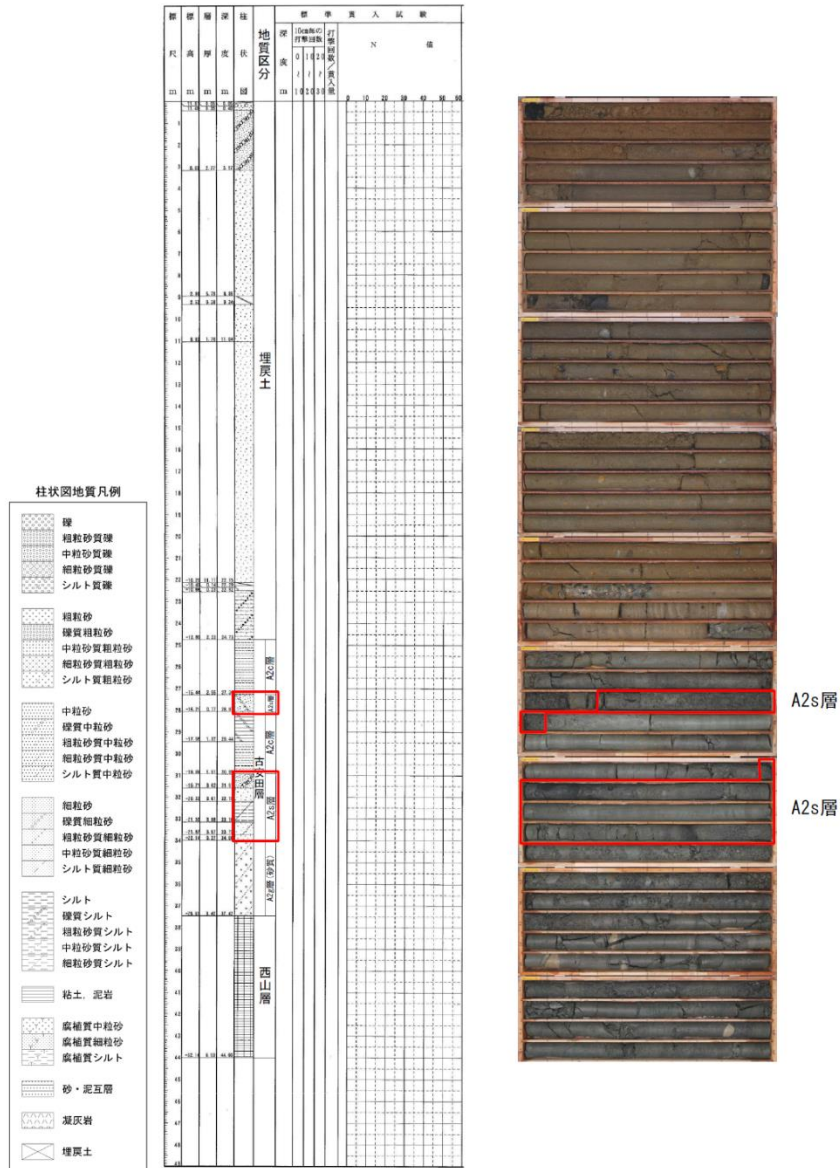
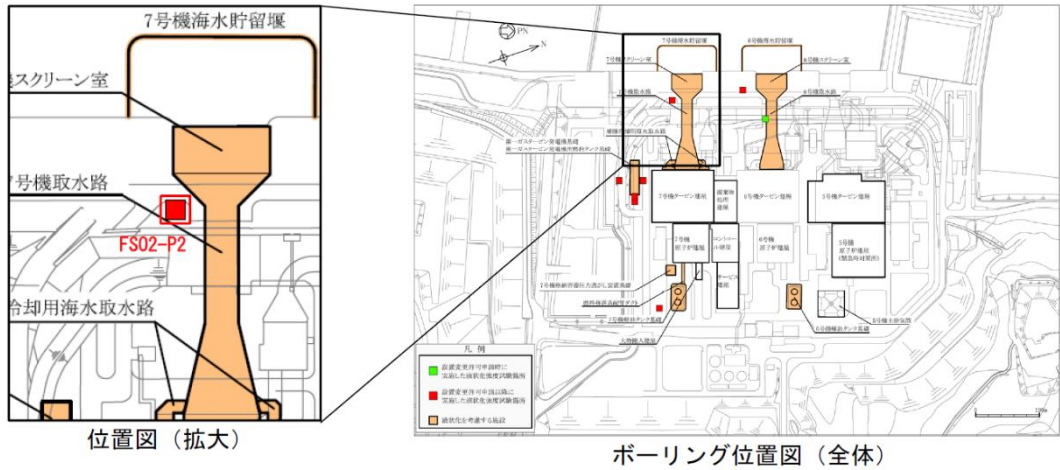
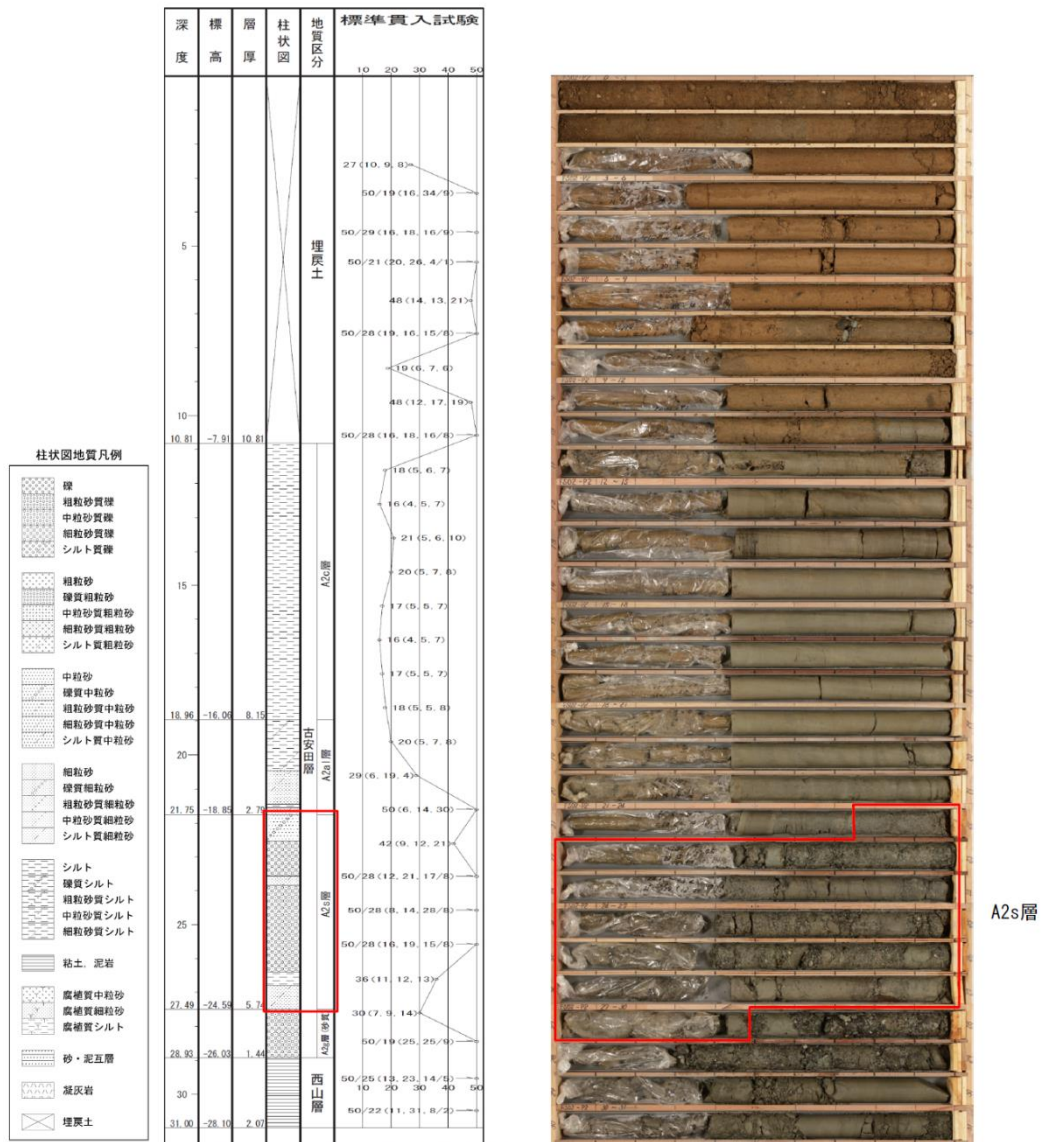


図 1-1 ボーリング柱状図・コア写真 (#6-FS)

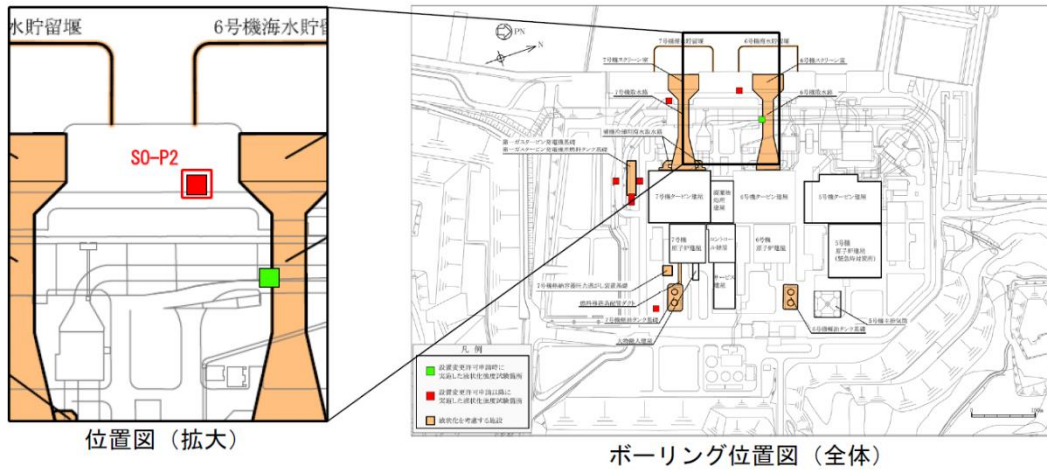


孔名：FS02-P2 孔口標高：T.M.S.L. 2.90m 掘進長：L=31.0m (設置変更許可申請以降の液状化強度試験箇所)



注：図中の赤枠は液状化強度試験の対象地層を示す。

図 1-2 ボーリング柱状図・コア写真 (FS02-P2)



孔名：S0-P2 孔口標高：T.M.S.L. 3.01m 掘進長：L=10.0m (設置変更許可申請以降の液状化強度試験箇所)

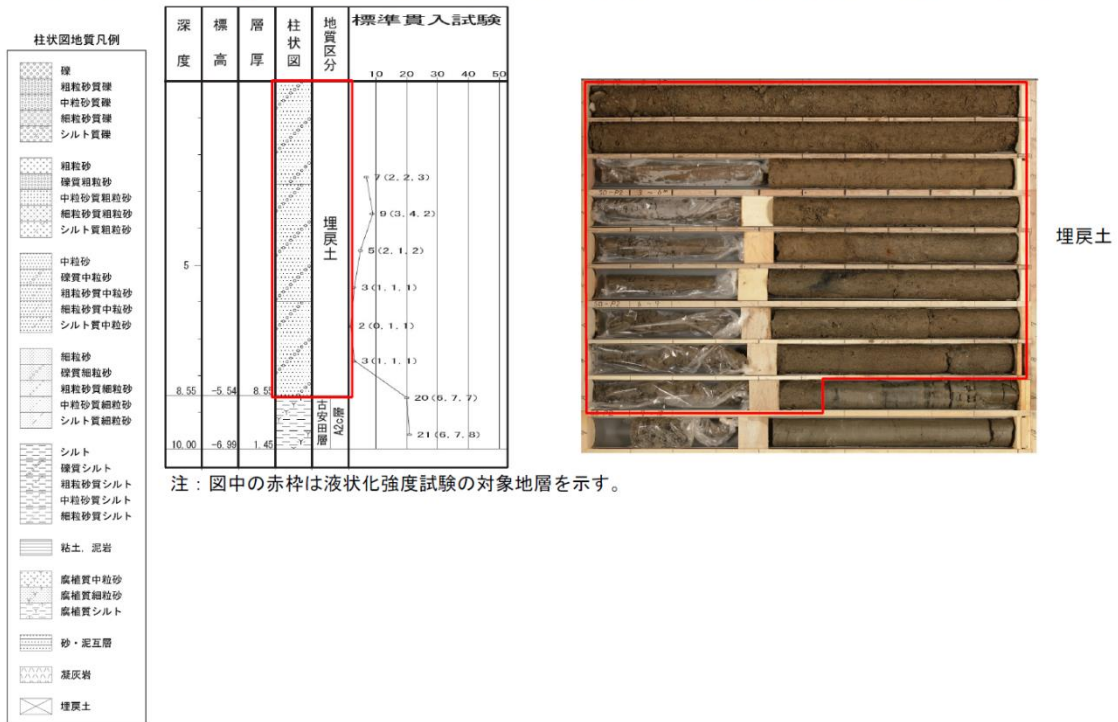
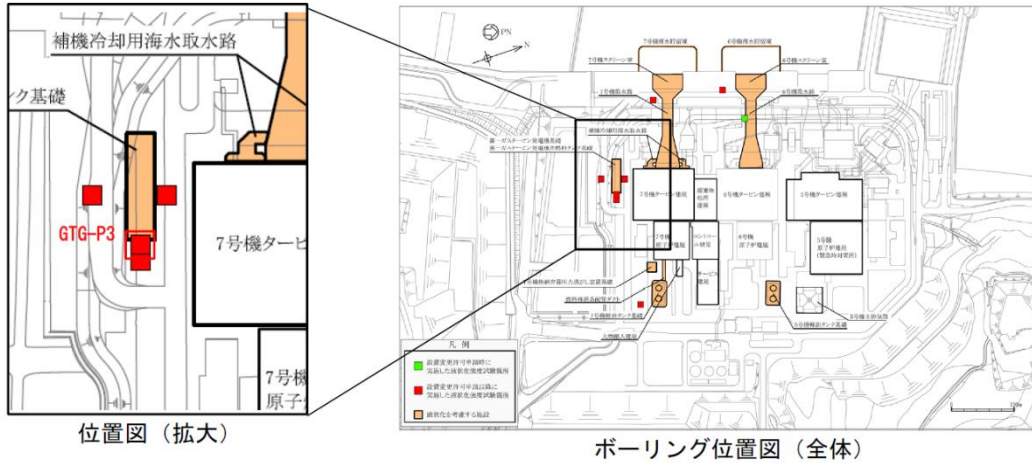
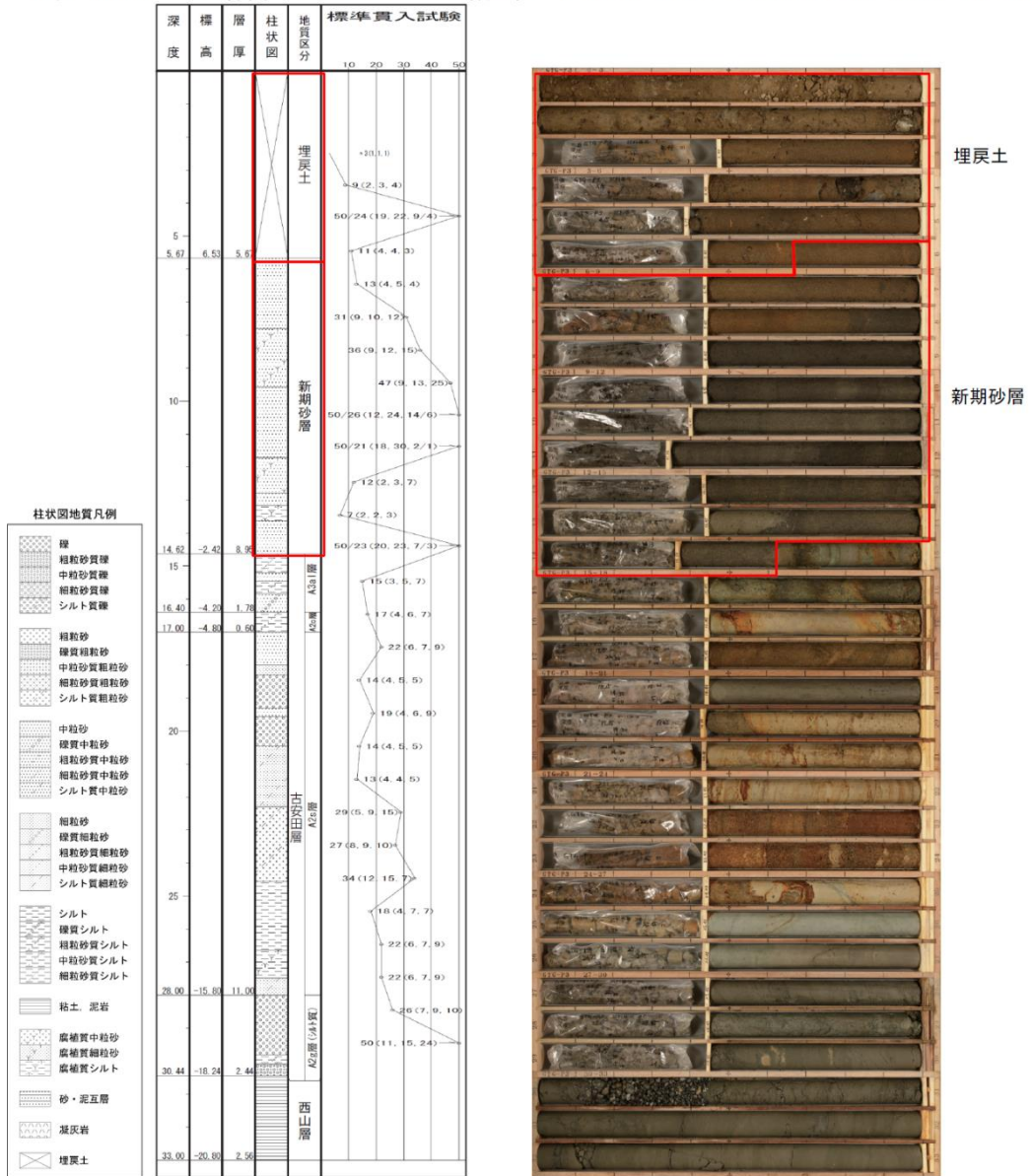


図 1-3 ボーリング柱状図・コア写真 (S0-P2)



孔名：GTG-P3 孔口標高：T. M. S. L. 12. 20m 掘進長：L=33. 0m (設置変更許可申請以降の液状化強度試験箇所)

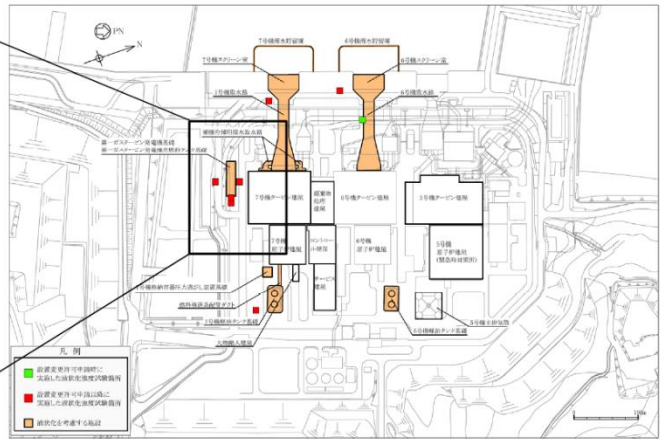


注：図中の赤枠は液状化強度試験の対象地層を示す。

図 1-5 ボーリング柱状図・コア写真 (GTG-P3)

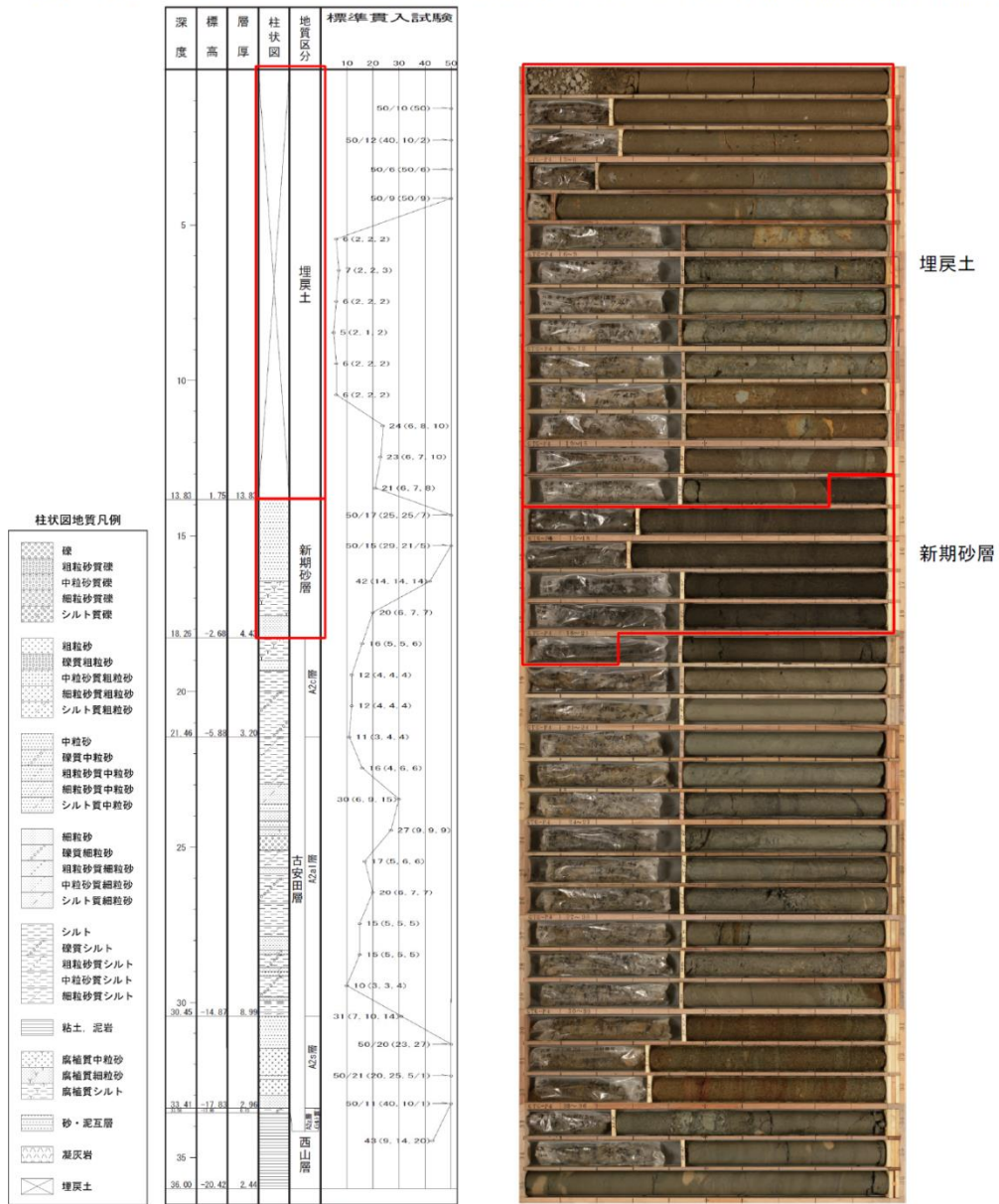


位置図 (拡大)



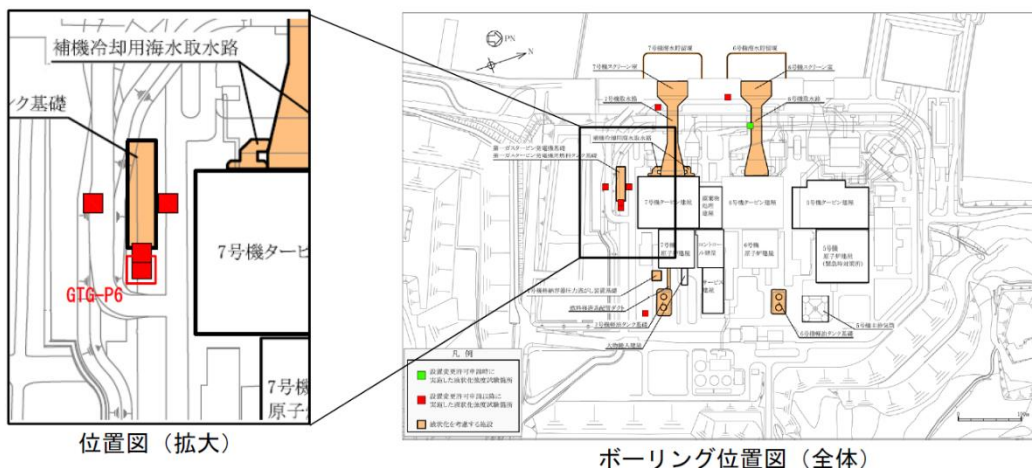
ボーリング位置図 (全体)

孔名 : GTG-P4 孔口標高 : T. M. S. L. 15. 58m 掘進長 : L=36. 0m (設置変更許可申請以降の液状化強度試験箇所)



注 : 図中の赤枠は液状化強度試験の対象地層を示す。

図 1-6 ボーリング柱状図・コア写真 (GTG-P4)



孔名：GTG-P6 孔口標高：T. M. S. L. 12. 16m 掘進長：L=33. 0m (設置変更許可申請以降の液状化強度試験箇所)

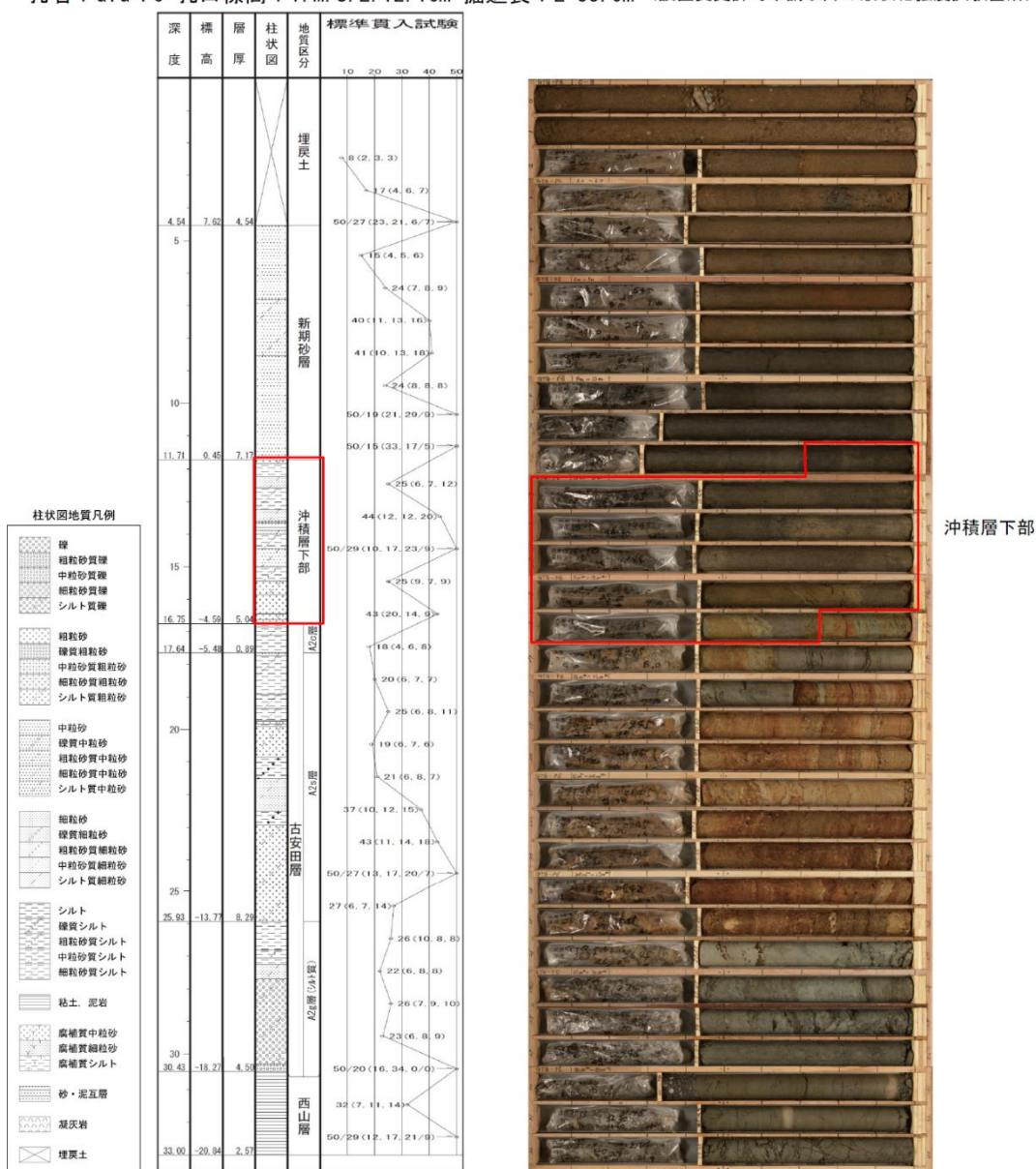
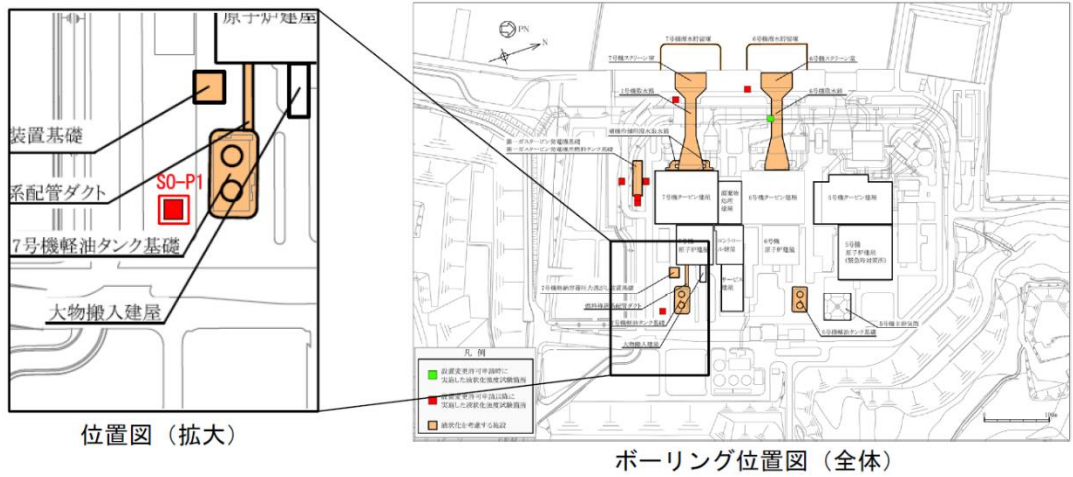
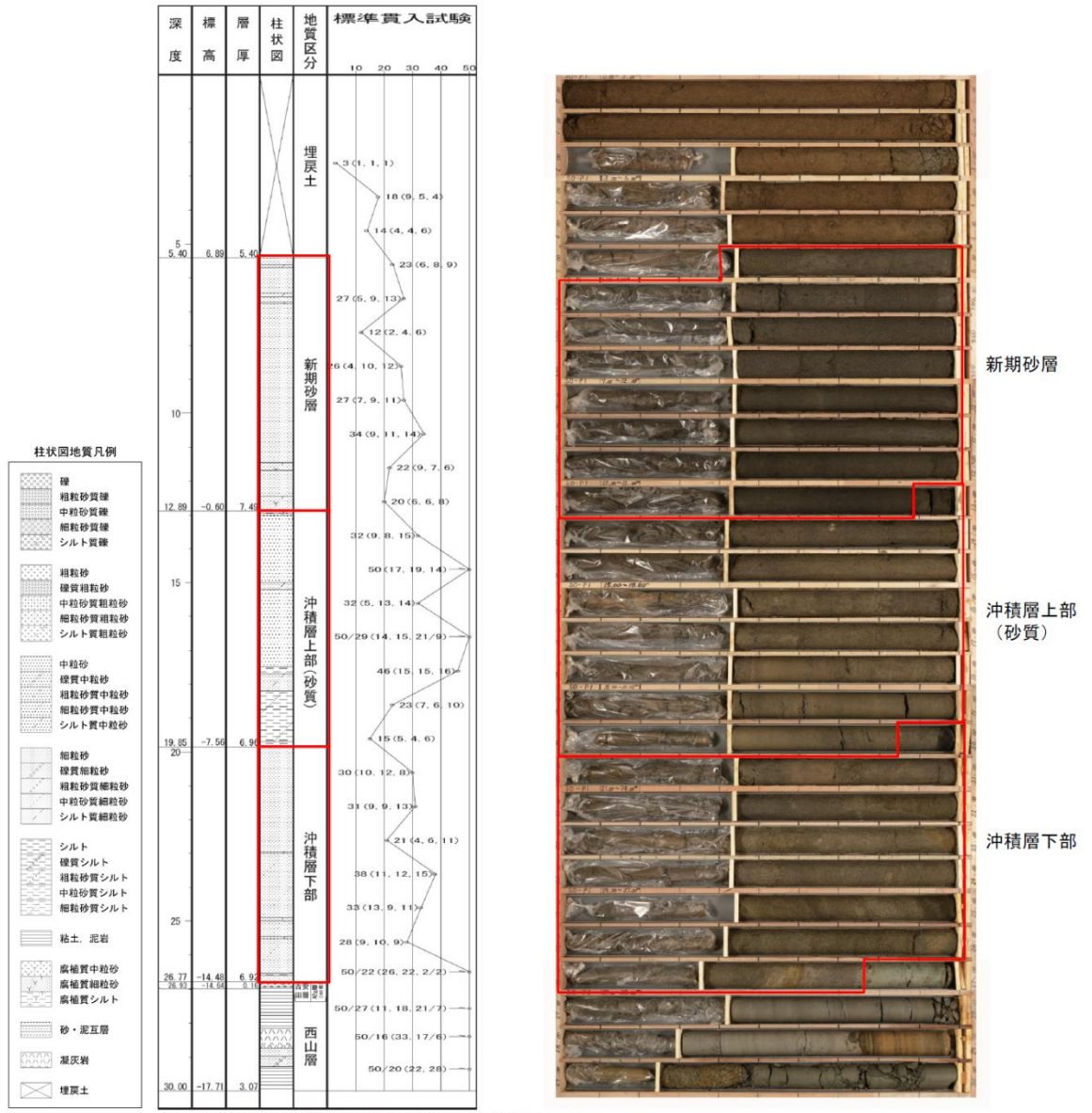


図 1-7 ボーリング柱状図・コア写真 (GTG-P6)



孔名：S0-P1 孔口標高：T.M.S.L. 12.29m 掘進長：L=30.0m (設置変更許可申請以降の液状化強度試験箇所)



注：図中の赤枠は液状化強度試験の対象地層を示す。

図 1-8 ボーリング柱状図・コア写真 (S0-P1)

2. 液状化強度試験結果

液状化強度試験結果の代表例を図 2-1～図 2-5 に示す。

ここで、液状化強度試験結果の代表例は、繰り返し回数 20 回付近で両せん断振幅ひずみ 7.5% に至る試験ケースを目安として、地質区分別に示している。

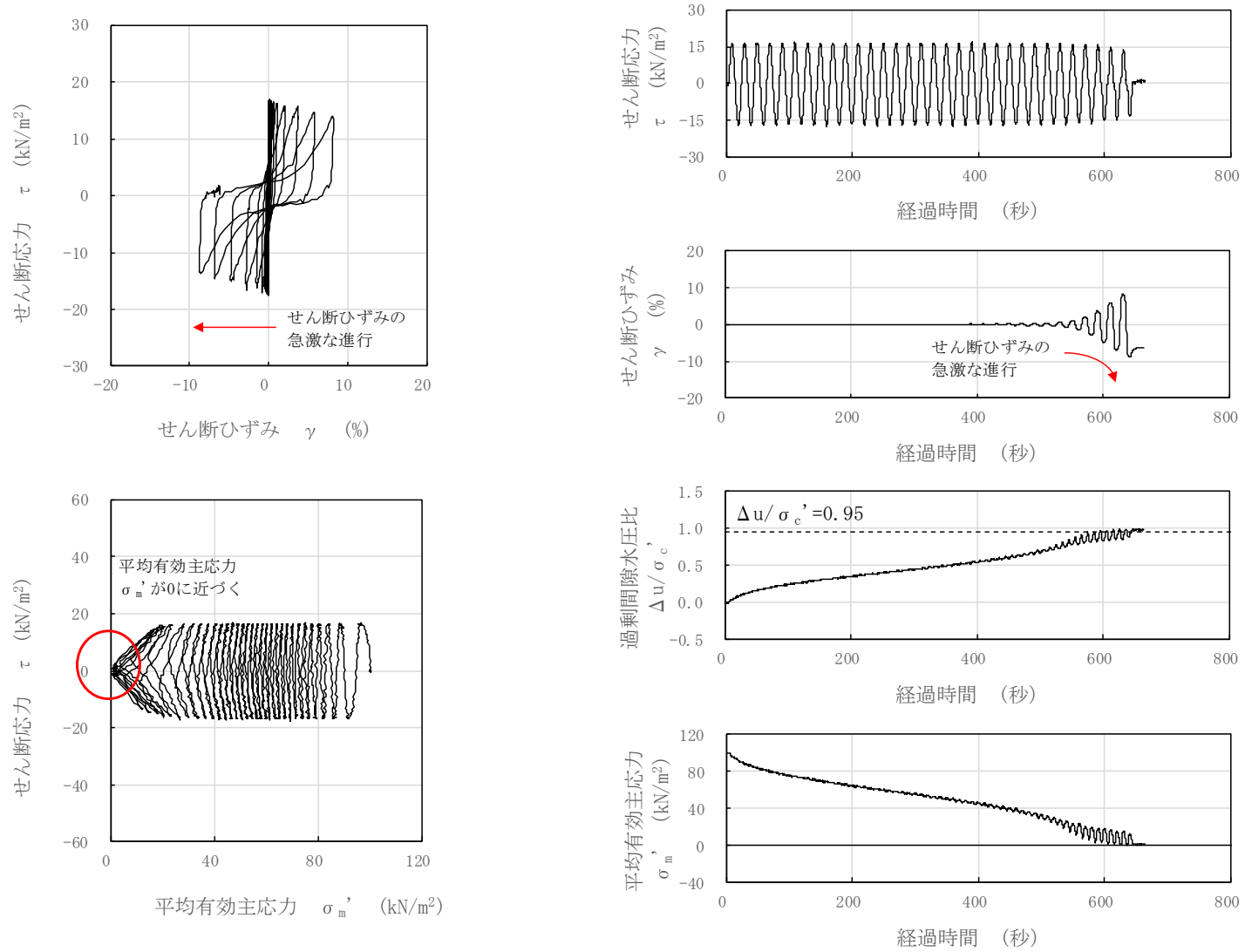


図 2-1 液状化試験結果 (埋戻土, S0-S2'-3-2, GL. -5.13~5.25m, 有効拘束圧 100kN/m², せん断応力比=0.168)

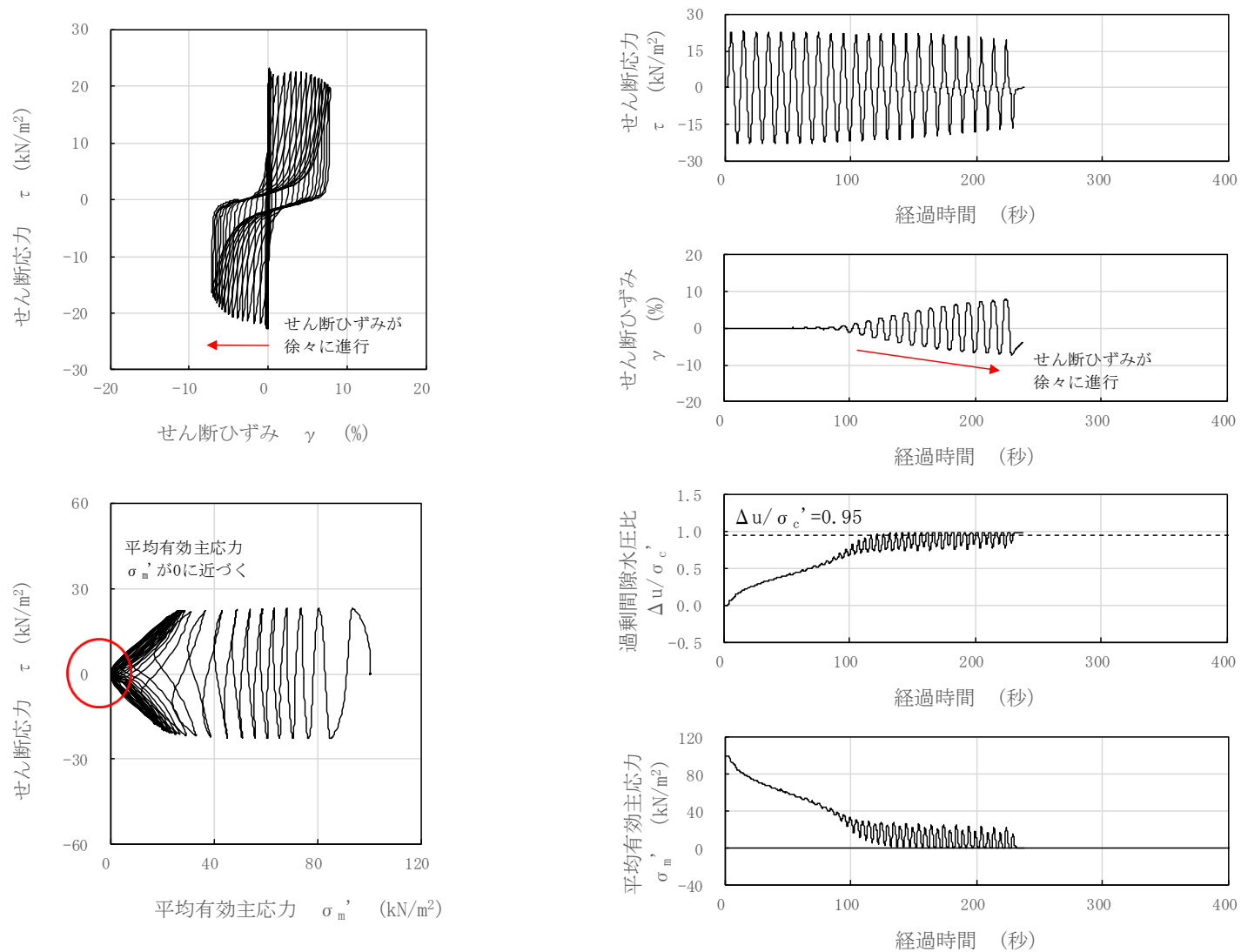


図 2-2 液状化試験結果 (新期砂層, S0-S1-2-6, GL. -8.16~8.28m, 有効拘束圧 100kN/m², せん断応力比=0.227)

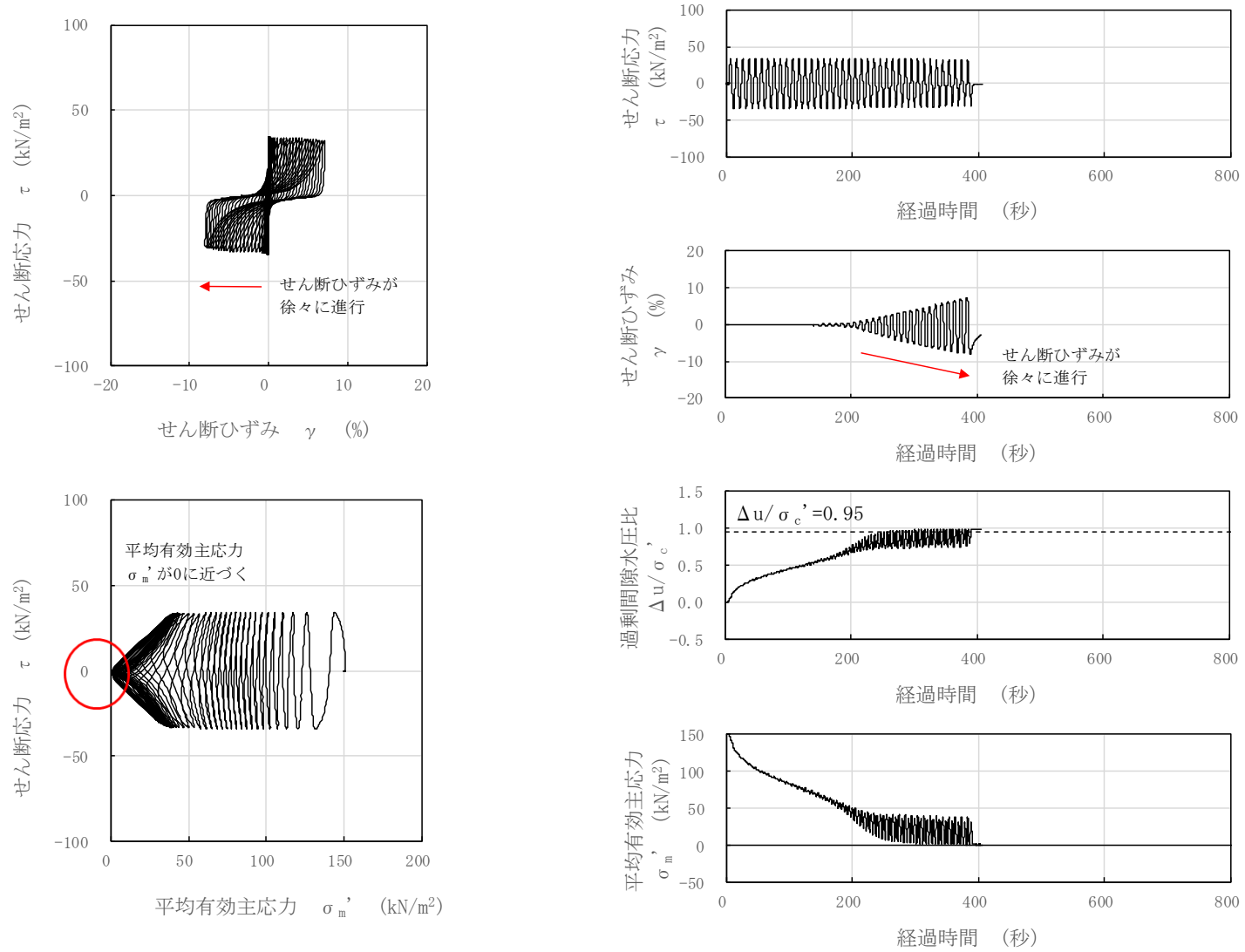


図 2-3 液状化試験結果 (沖積層上部 (砂質), S0-S1-8-6, GL. -14.66~14.78m, 有効拘束圧 150kN/m², せん断応力比=0.227)

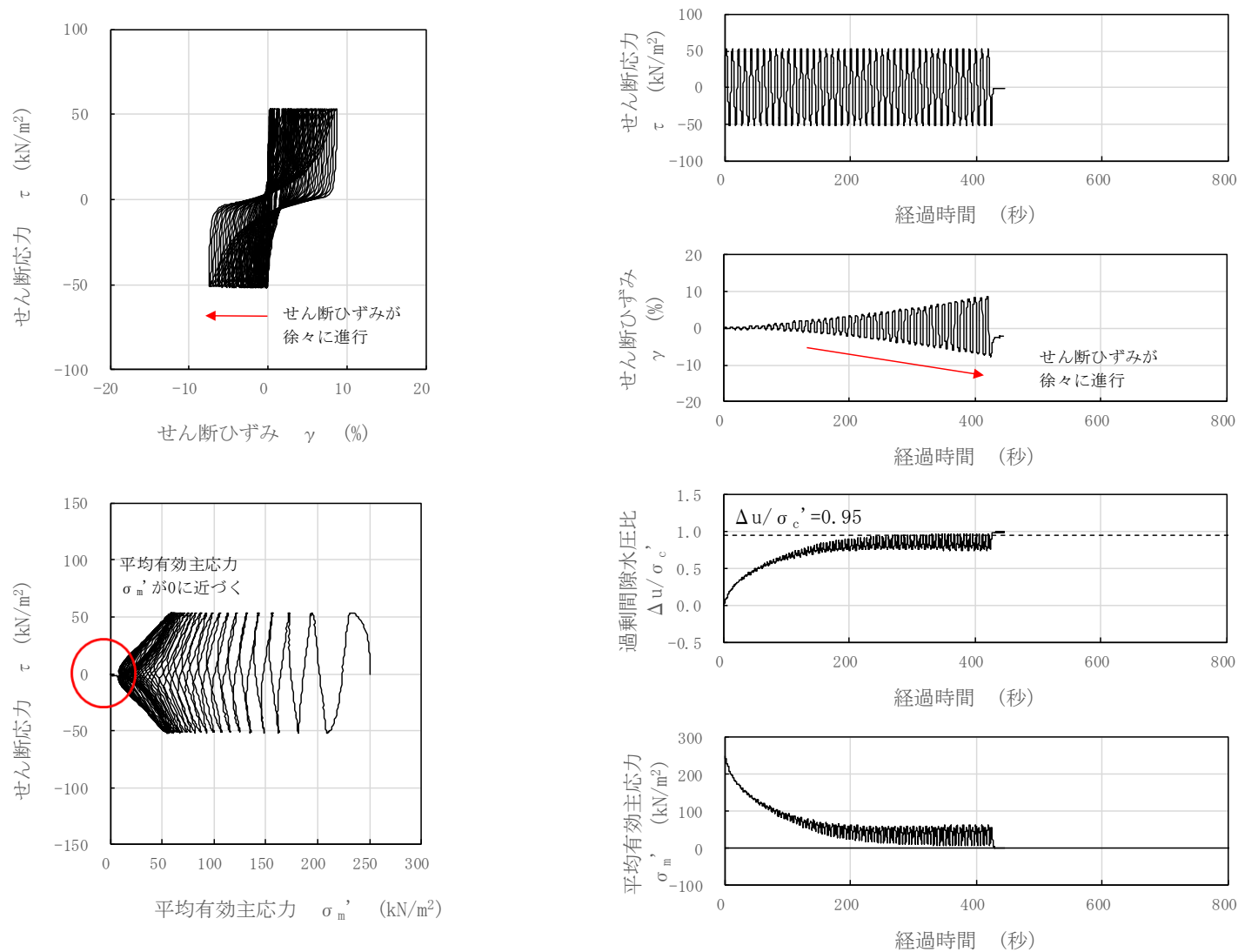


図 2-4 液状化試験結果 (沖積層下部, GTG-S6-⑤, GL. -11.70~14.70m, 有効拘束圧 250kN/m², せん断応力比=0.211)

(参考資料 4) 地震応答解析にて考慮する地盤物性のばらつき

1. 建物・構築物の地震応答解析における地盤物性のばらつき

建物・構築物の地震応答解析においては、構造物の周囲に分布する第四系及び支持層である新第三系に対し、せん断波速度の変動係数に基づくばらつきを考慮した耐震評価を実施する。

なお、地盤物性のばらつきの設定は、建物・構築物の設置位置に応じて、下記のグループごとに設定した。以降にグループごとの設定方法を記す。

- ・原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋，大物搬入建屋，格納容器圧力逃がし装置基礎，サービス建屋
- ・緊急時対策所，5号機タービン建屋

1.1 原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋，大物搬入建屋，格納容器
圧力逃がし装置基礎，サービス建屋

(1) 西山層について

図 1-1 に西山層を対象とした炉心ボーリングの PS 検層結果に基づく標準偏差を示す。
これより，西山層のせん断波速度の変動係数は 10% ([変動係数]=[標準偏差]÷[平均値]
=61/649=0.094) より，西山層のばらつきは 10%に設定した。

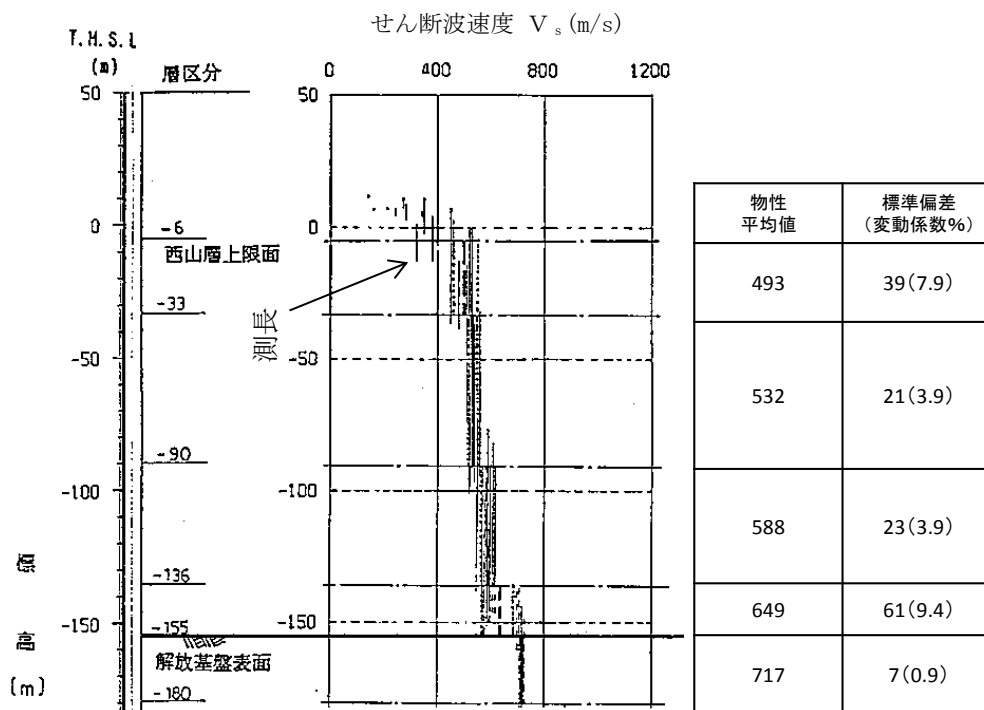


図 1-1 せん断波速度変動係数 (6,7 号機原子炉建屋の炉心ボーリング)

(2) 古安田層について

表 1-1 に古安田層を対象とした炉心ボーリングの PS 検層結果に基づく標準偏差を示す。
これより，古安田層のせん断波速度の変動係数は 25% ([変動係数]=[標準偏差]÷
[平均値]=71/330=0.215) より，古安田層のばらつきは 25%に設定した。

表 1-1 古安田層のせん断波速度の標準偏差

号機	P S 検層 調査長さ (m)	せん断波速度 V_s (m/s)	
		平均値	標準偏差
6, 7	41	330	71

(3) 新期砂層について

表 1-2 に新期砂層を対象としたボーリングの PS 検層結果に基づく変動係数を示す。図 1-2 に新期砂層の PS 検層位置を示す。これより、新期砂層のせん断波速度の変動係数は 13% より、新規砂層のばらつきは 13% に設定した。

表 1-2 新期砂層の変動係数

地層	平均せん断波速度 (m/s)	変動係数	データ数 n
新期砂層	222	0.127	12

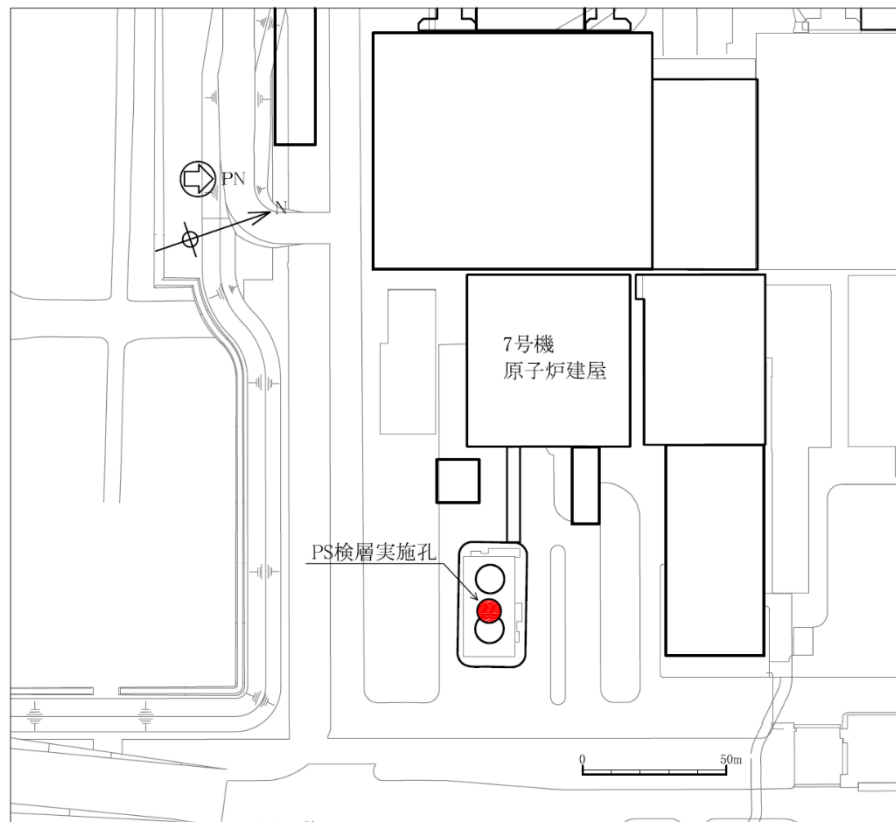


図 1-2 新期砂層の PS 検層位置

1.2 緊急時対策所，5号機タービン建屋

(1) 古安田層・西山層について

表 1-3 に古安田層及び西山層を対象とした炉心ボーリングの PS 検層結果等に基づく標準偏差及び変動係数を示す。建設時は，表 1-3 に示す地盤剛性 G_0 の設計値に対する変動係数の最大値である 19.5% に対してばらつきの影響検討を行っていた。今回は，地盤剛性 G_0 の変動係数 19.5% より，地盤剛性 G_0 とせん断波速度の関係 ($G = \rho \cdot V_s^2$) から，古安田層及び西山層のせん断波速度の設計値に対するばらつきを 11% に設定した。なお，PS 検層結果に基づく，せん断波速度の変動係数の最大値は 10% であり，今回設定したばらつきと同程度である。

表 1-3 古安田層・西山層の地盤剛性 G_0 の変動係数

T. M. S. L. (m) 地層	γ_t の 平均値	γ_t の 標準 偏差	V_s の 平均値	V_s の 標準 偏差	γ_t の 変動 係数	V_s の 変動 係数	G_0 の 平均値	G_0 の 変動	設計用 の G_0 値	G_0 の設計値に対 する変動係数
	$\overline{\gamma_t}$ (t/m ³)	σ_{γ_t} (t/m ³)	$\overline{V_s}$ (m/s)	σ_{V_s} (m/s)	α_{γ_t}	α_{V_s}	$\overline{G_0}$ (t/cm ³)	*1	G_0 (t/cm ³)	*2 (%)
6.0 古安田層 -9.0	1.78	0.065	306.5	12.6	0.0365	0.0411	1.706	1.909 1.503	1.75	9.1 -14.1
西山層(1) -60.0	1.70	0.03	492.7	28.4	0.0176	0.0578	4.211	4.772 3.650	4.17	14.4 -12.5
西山層(2) -100.0	1.75	0.03	560.1	21.3	0.0171	0.0380	5.602	6.124 5.080	5.60	9.3 -9.3
西山層(3) -134.0	1.78	0.02	566.5	6.7	0.0112	0.0118	5.828	6.031 5.625	6.99	-13.7 -19.5

注記*1 : 上段 : $\overline{G_0}(1 + \alpha_{\gamma_t} + 2\alpha_{V_s})$ ，下段 $\overline{G_0}(1 - \alpha_{\gamma_t} - 2\alpha_{V_s})$

*2 : 上段 : $\{G_0(1 + \alpha_{\gamma_t} + 2\alpha_{V_s})/G_0 - 1.0\} \times 100$ ，下段 $\{G_0(1 - \alpha_{\gamma_t} - 2\alpha_{V_s})/G_0 - 1.0\} \times 100$

(2) 埋戻土について

「2.1.1 FLIPにおける初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきの設定方法」に示す。

2. 土木構造物の地震応答解析における地盤物性のばらつき

土木構造物の耐震評価にあたっては、構造物の周囲に分布する埋戻土、埋戻土Ⅱ、沖積層及び古安田層に対し、初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきを考慮した耐震評価を実施する。

G_0 のばらつきは、PS 検層の実測値に基づき算定する。また、 G_0 のばらつきの算出においては、地盤中の地下水の有無を考慮して適切な算定方法を適用する。なお、建物・構築物において有効力解析を実施する場合の G_0 のばらつきの考え方も同様である。

2.1 初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきの設定方法

2.1.1 FLIPにおける初期せん断弾性係数 G_0 の考え方

土木構造物の耐震評価に用いる解析コードFLIPでは、 G_0 は(式1)のように定義される。

$$G_0 = G_{ma} \cdot (\sigma_m' / \sigma_{ma}')^m \quad (\text{式1})$$

ここで、

σ_{ma}' : 基準平均有効拘束圧

σ_m' : 有効拘束圧

G_{ma} : 基準初期せん断弾性係数 ($\sigma_m' = \sigma_{ma}'$ における値)

m : 初期せん断弾性係数 G_0 の有効応力依存性を示す係数

(1) 地下水位を跨ぐ地層(埋戻土、新期砂層)における G_0 のばらつきの設定方法

G_0 のばらつきは、PS 検層の実測値に基づき、 G_0 と σ_m' の標準偏差 σ を算出する。さらに、(式1)における G_{ma} 及び m を標準偏差 $\pm 1\sigma$ を考慮した回帰係数として考慮する。

地下水位を跨ぐ地層における、PS 検層の実測値に基づく G_0 のばらつきの設定方法を以下に示す。

- ① 各深度の初期せん断弾性係数 G_{0i} について、PS 検層による各深度のせん断波速度 V_{si} と各地層の質量密度 ρ により(式2)に基づき算定する。なお、 ρ は地下水位以浅については湿潤密度、地下水位以深については飽和密度とする。 σ_m' は、(式3)、(式4)により算定する。

$$G_{0i} = \rho \cdot V_{si}^2 \quad (\text{式 2})$$

$$\sigma_m' = \frac{\sigma_v' + \sigma_h'}{2} = \frac{\sigma_v' + K_0 \cdot \sigma_v'}{2} = \frac{1 + K_0}{2} \cdot \sigma_v' \quad (\text{式 3})$$

$$K_0 = 0.5 \quad (\text{式 4})$$

ここで、

ρ : 各地層の質量密度 (地下水位以浅=湿潤密度, 地下水位以深=飽和密度)

σ_v' : 鉛直有効応力 (有効上載圧)

σ_h' : 水平有効応力

K_0 : 静止土圧係数

- ② G_{0i} と各深度の平均有効主応力 σ_{mi}' の回帰曲線を, (式 5) に示す指数関数の式で表す。なお, G_{ma} に対応する基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' は 98kPa とする。

$$G_0(\sigma_m') = G_{ma} \cdot (\sigma_m' / \sigma_{ma}')^m \quad (\text{式 5})$$

ここで、

σ_{ma}' : 基準平均有効拘束圧 ($\sigma_{ma}' = 98\text{kPa}$ とする)

G_{ma} : 基準平均有効拘束圧における初期せん断弾性係数

- ③ ②の指数関数式について, G_0 と σ_m' の関係を整理し, 最小二乗法による線形回帰を行い, 係数 m を算定する。
- ④ ③で算出した σ により, σ_{ma}' における平均値 $\pm 1 \sigma$ に対応する (式 1) の係数 G_{ma} を算定する。

(2) 地下水位以深の飽和土層における初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきの設定方法

G_0 のばらつきは、PS 検層の実測値に基づき、せん断波速度 V_s の σ に基づき算定する。
なお、 ρ は飽和密度とする。

地下水位以深の飽和土層における、PS 検層の実測値に基づく G_0 のばらつきの設定方法を以下に示す。

- ① PS 検層から得られた各地層のせん断波速度 V_{sj} のデータ数を K 個 ($j=1, 2, \dots, K$) とすると、 V_{sj} の σ は(式6)で求められる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{j=1}^K \{V_{sj} - V_{s \text{ 平均値}}\}^2} \quad (\text{式 6})$$

ここで、

K : 各地層のせん断波速度 V_s のデータ数

V_{sj} : 各深度のせん断波速度 V_s

$V_{s \text{ 平均値}}$: 各地層のせん断波速度 V_s の平均値

- ② V_s のばらつきを考慮した係数 G_{ma} は(式7)より求められる。

$$G_{ma} = \rho \cdot (V_s \pm 1\sigma)^2 \quad (\text{式 7})$$

- ③ 係数 σ_{ma} 'には、各地層の基準平均有効拘束圧(地層中心の有効拘束圧の平均値)を用いる。なお、係数 m については、文献*を参考に一般値の0.5とした。

注記* : 森田年一, 井合進, Hanlong Liu, 一井康二, 佐藤幸博: 液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメタの簡易設定法, 港湾技研資料 No. 869, 1997.

2.1.2 初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきの設定結果

表 2-1 に、2.1.1 の(1)及び(2)の設定方法に基づき算定した G_0 のばらつきの算定結果を示す。また、図 2-2～図 2-11 に、各地層の PS 検層結果と G_0 の深度分布に応じた σ_m' 依存式(平均及び $\pm 1\sigma$)を示す。

表 2-1 ばらつきを考慮した G_0 の係数

地層名		密度 ρ (g/cm ³)	基準平均 有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	G_0 の σ_m' に対する依存式 $G_0 = G_{ma} \times (\sigma_m' / \sigma_{ma}')^m$ (kN/m ²)			
				係数 G_{ma} (平均)	係数 G_{ma} (平均+1 σ)	係数 G_{ma} (平均-1 σ)	係数 m
埋戻土	不飽和	1.79	98	104000	160000	67500	0.43
	飽和	1.94					
埋戻土II	飽和	1.71	41	73300	85000	62400	0.50
新期砂層	不飽和	2.00	98	126000	155000	103000	0.35
	飽和	2.05					
沖積層上部(シルト質)	飽和	1.66	170	55000	58000	52000	0.50
沖積層上部(砂質)	飽和	1.90	110	125000	184000	76800	0.50
沖積層下部	飽和	2.02	150	192000	266000	129000	0.50
A3c層	飽和	1.70	60	109000	124000	94700	0.50
A3a1層	飽和	1.81	94	95700	131000	66000	0.50
A2c層	飽和	1.80	140	139000	184000	100000	0.50
A2a1層	飽和	1.88	170	161000	202000	125000	0.50
A2s層	飽和	1.91	200	214000	259000	174000	0.50

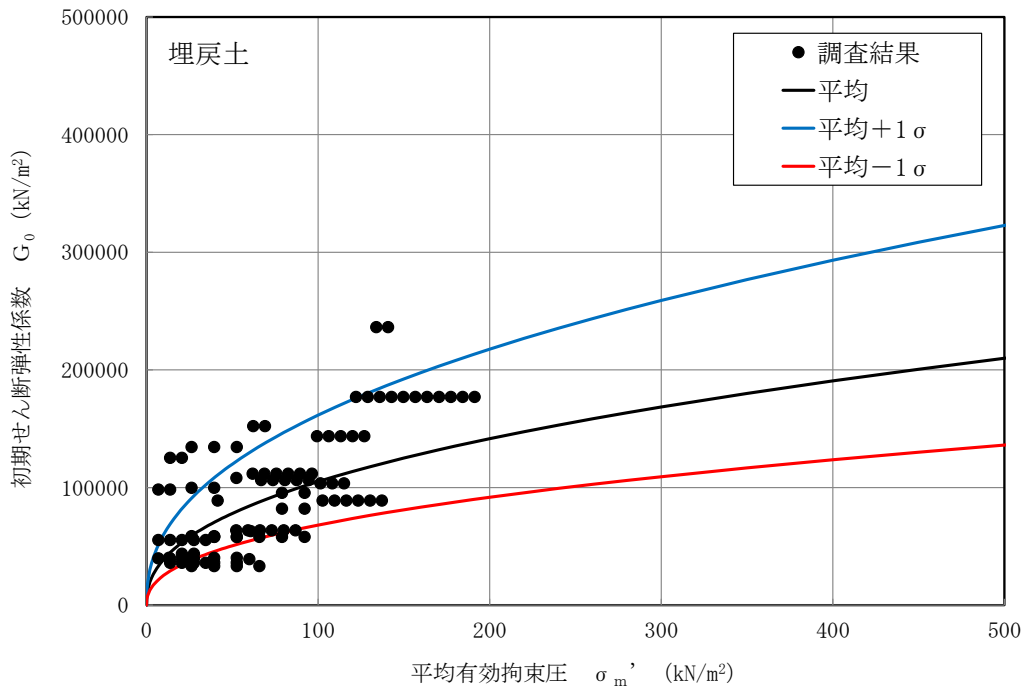


図 2-1 G_0 の σ'_m 依存式 (埋戻土)

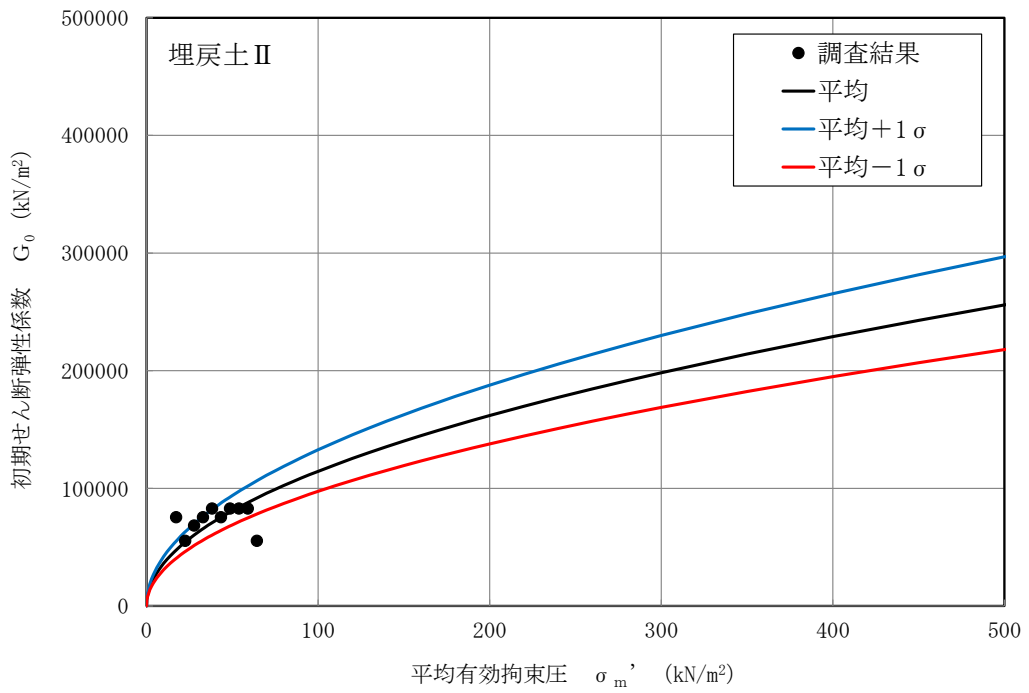


図 2-2 G_0 の σ'_m 依存式 (埋戻土 II)

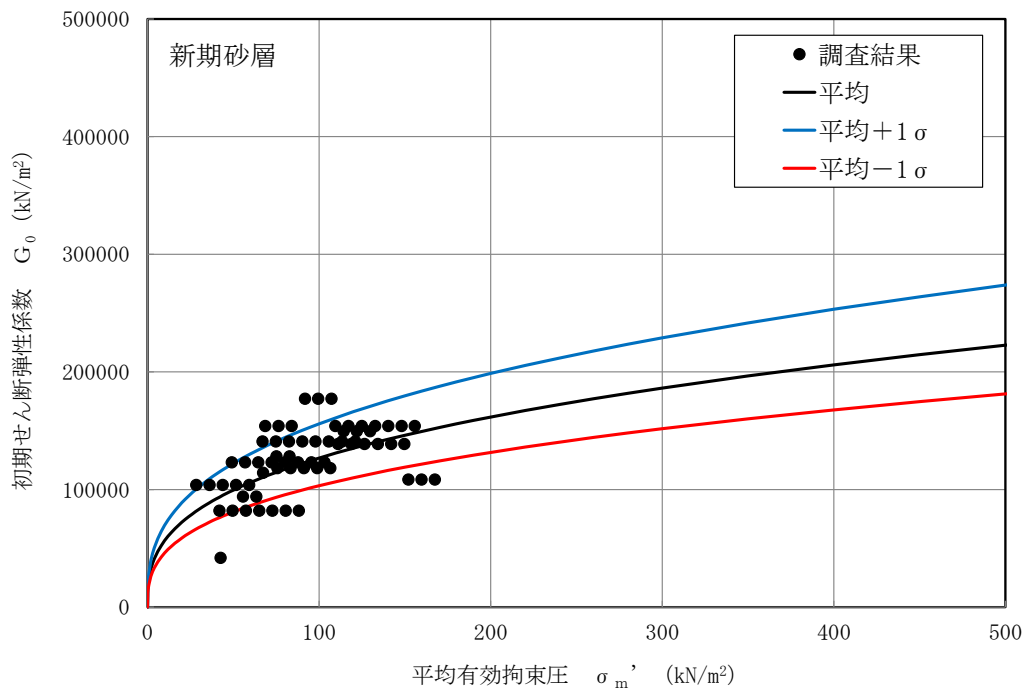


図 2-3 G_0 の σ_m' 依存式 (新期砂層)

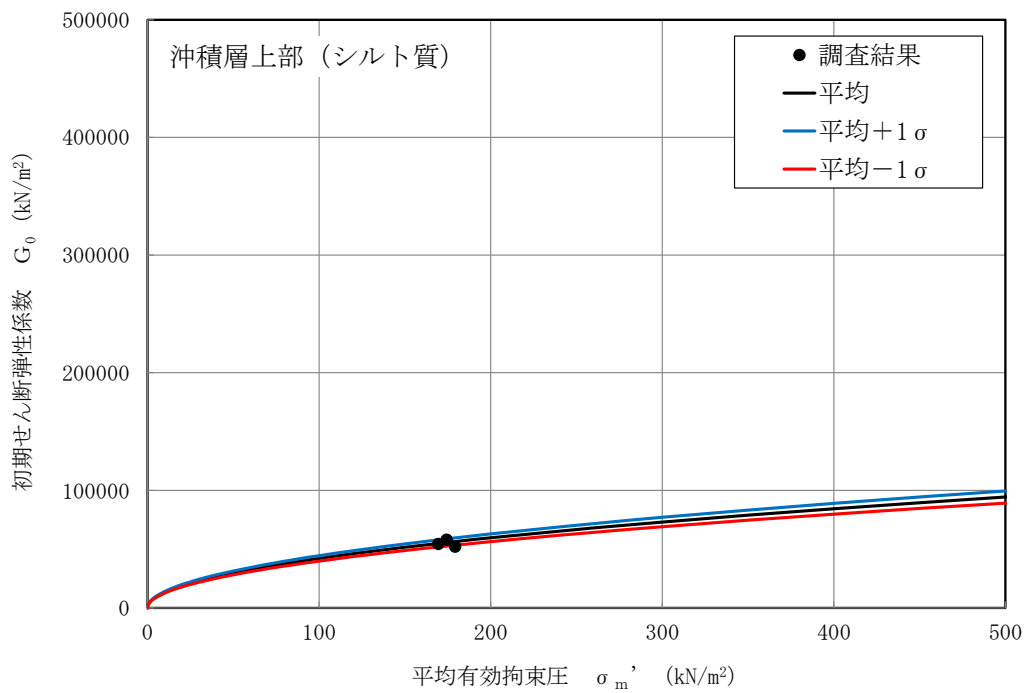


図 2-4 G_0 の σ_m' 依存式 (沖積層上部 (シルト質))

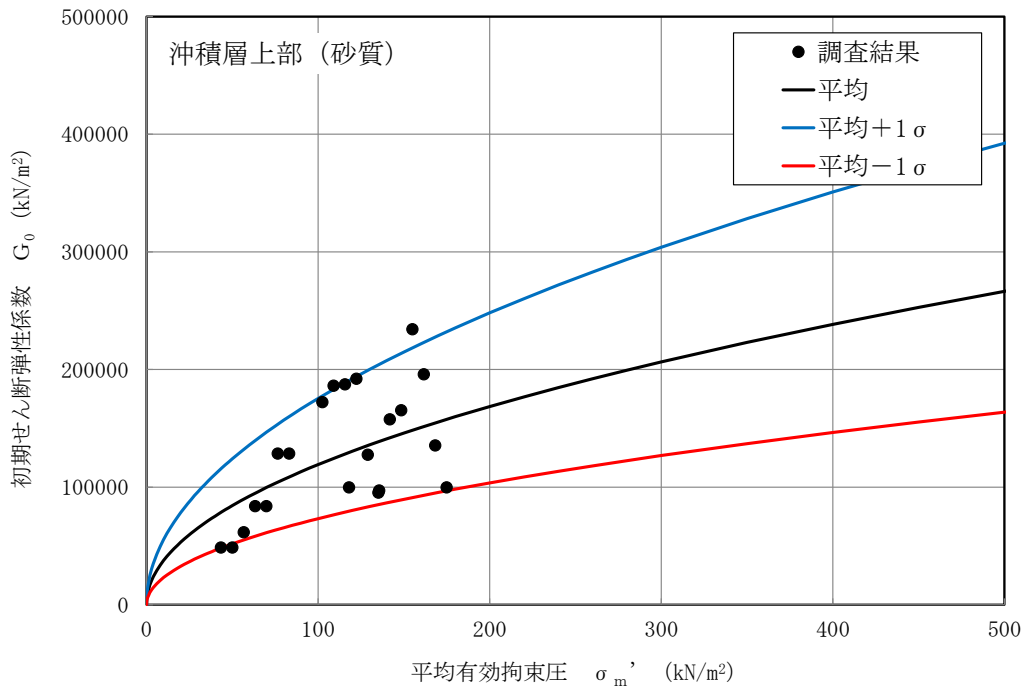


図 2-5 G_0 の σ_m' 依存式 (沖積層上部 (砂質))

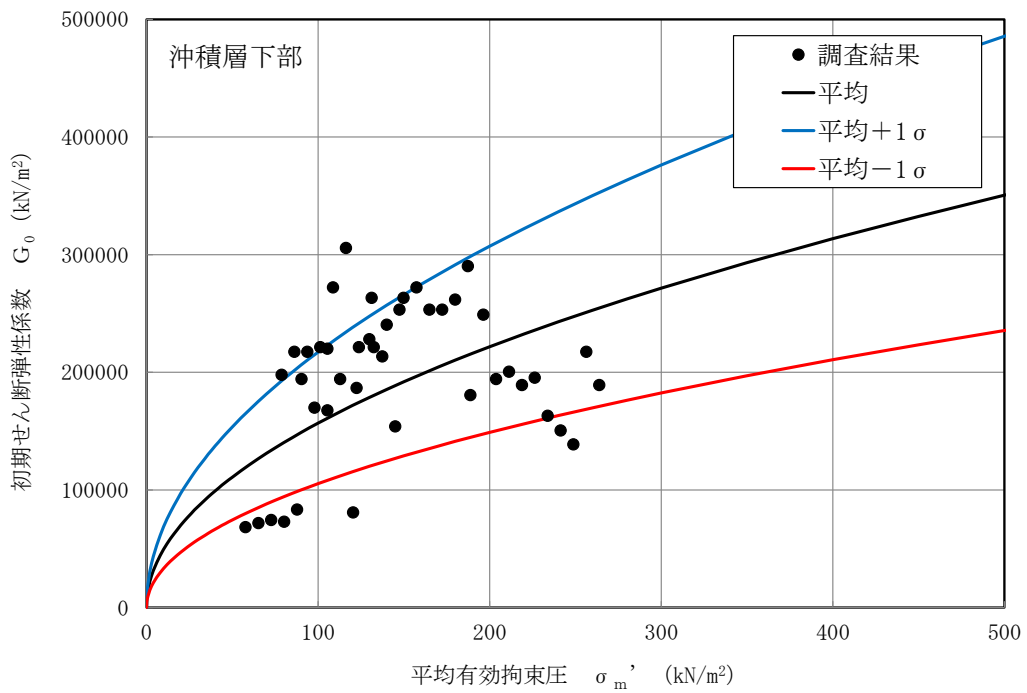


図 2-6 G_0 の σ_m' 依存式 (沖積層下部)

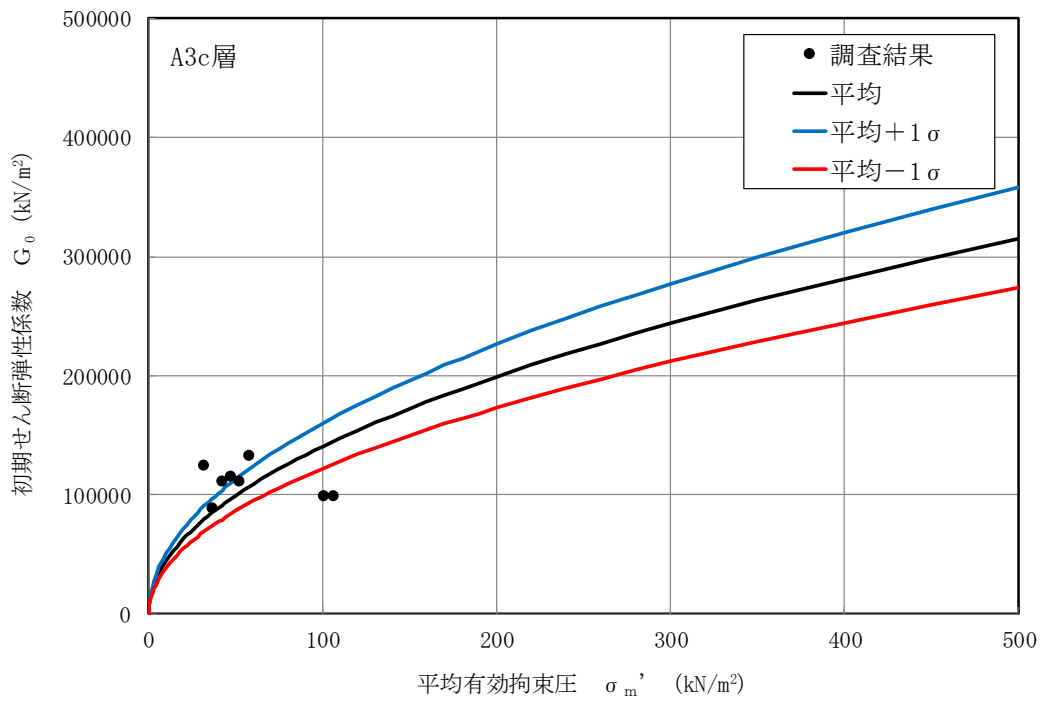


図 2-7 G_0 の σ_m' 依存式 (A3c 層)

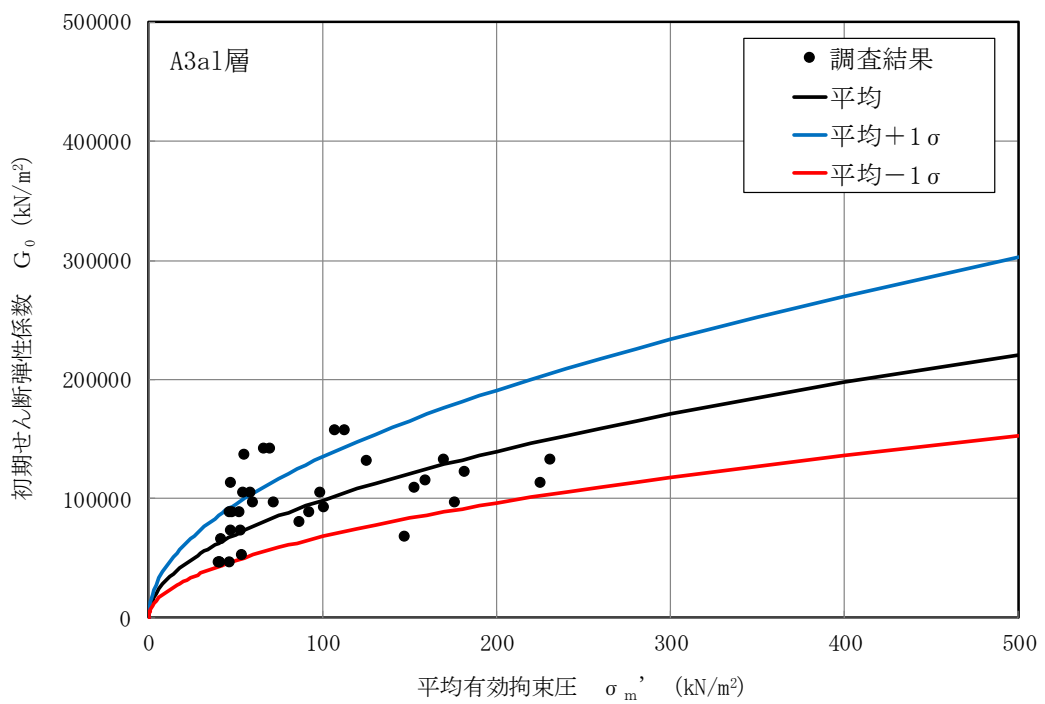


図 2-8 G_0 の σ_m' 依存式 (A3a1 層)

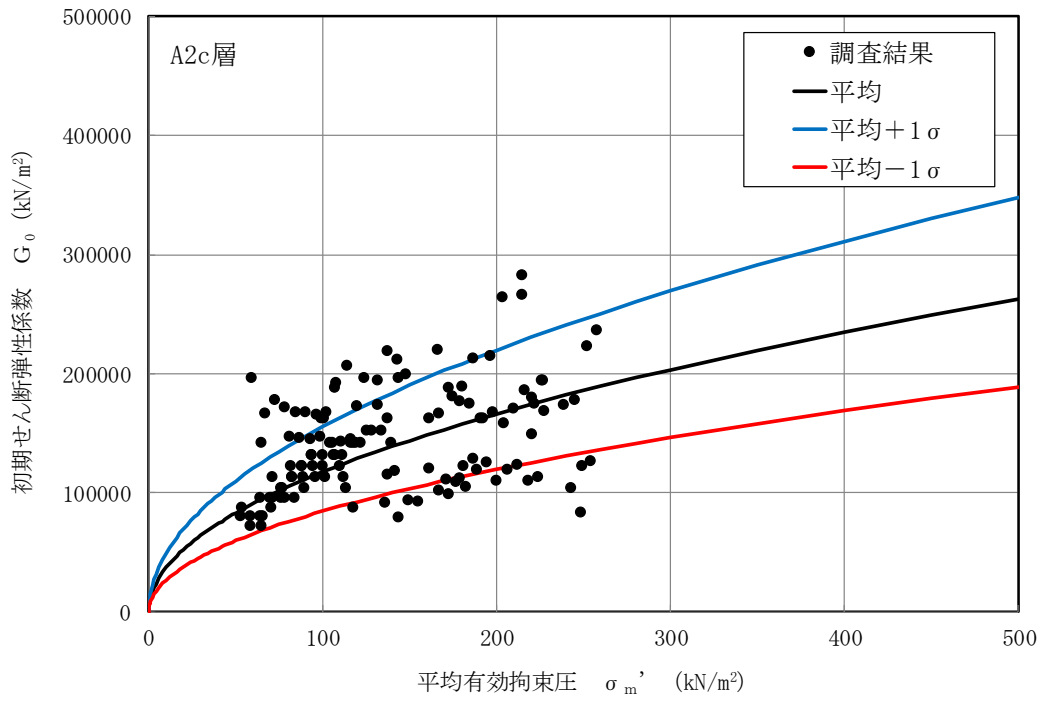


図 2-9 G_0 の σ_m' 依存式 (A2c 層)

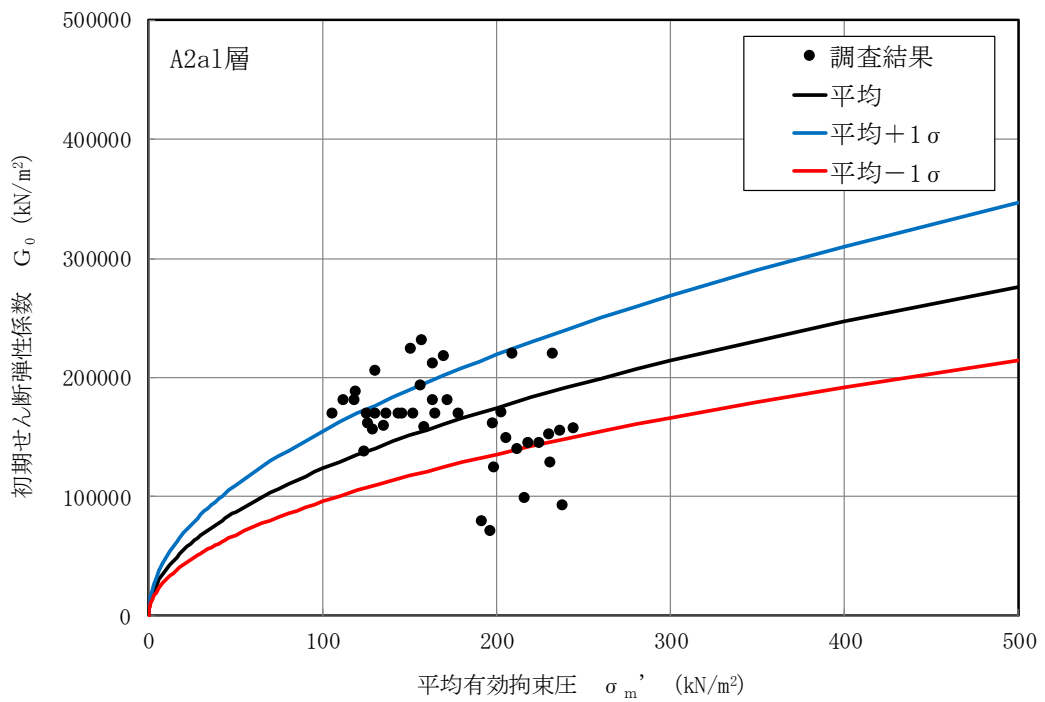


図 2-10 G_0 の σ_m' 依存式 (A2a1 層)

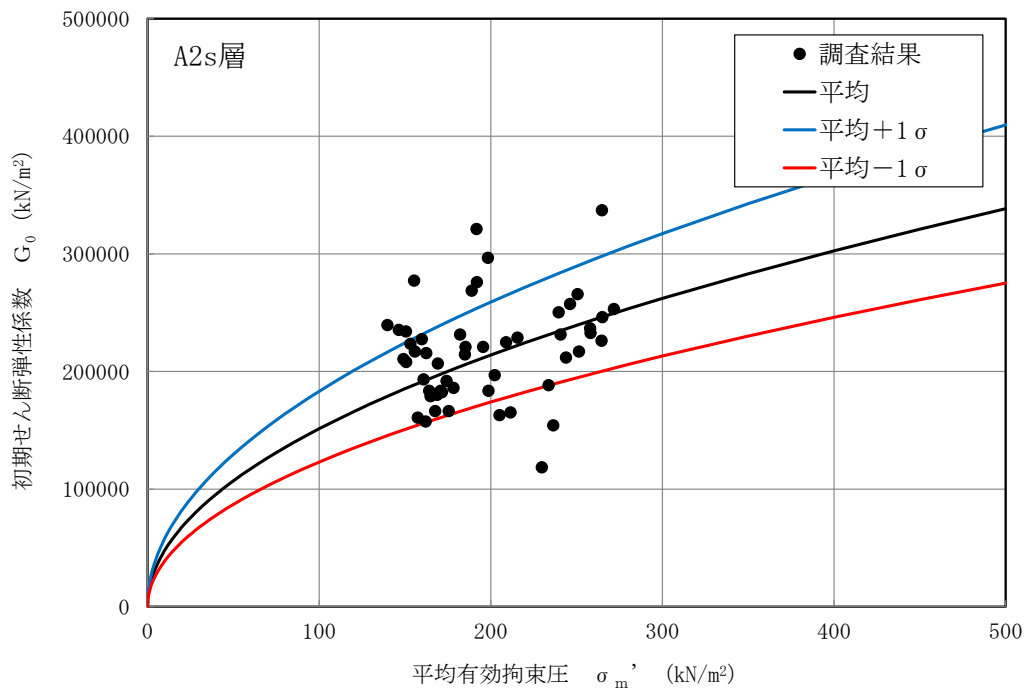


図 2-11 G_0 の σ_m' 依存式 (A2s 層)

2.2 液状化強度特性のばらつき

土木構造物の耐震評価にあたっては、地震時の有効応力の変化に応じた影響を適切に評価できる有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の地盤における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。なお、建物・構築物において有効応力解析を実施する場合の液状化強度特性のばらつきの考え方も同様である。

2.2.1 液状化強度試験データの回帰式の設定

設定する液状化強度特性は、試験データのばらつきを考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差を用いた「回帰曲線 -1σ 」について整理する。

液状化強度試験データの回帰式として、回帰係数 a, b を用いた常用片対数の指数関数を(式8)に示す。

$$R_L(N) = a \cdot (\log_{10} N)^b \quad (\text{式8})$$

ここで、

$R_L(N)$: 繰り返し載荷回数 N におけるせん断応力比

N : 繰り返し載荷回数

液状化強度試験のせん断応力比 τ / σ_m' ($= R_L$) と繰り返し載荷回数 N の関係のデータは、 K 個の繰り返し載荷回数 N_j ($j=1, 2, \dots, K$) に対応して与えられるものとし、これらの実測値を $R_L(N_j)_{\text{experiment}}$ と表記し、最小二乗法により係数 a, b の値が定められた(式8)の液状化強度回帰式の出力を $R_L(N_j)$ と表記すると、各土質材料の液状化強度特性の標準偏差 σ は(式9)で求められる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{K-2} \sum_{j=1}^K \left\{ R_L(N_j) - R_L(N_j)_{\text{experiment}} \right\}^2} \quad (\text{式9})$$

(式8)、(式9)より、各土質材料の液状化強度試験データのばらつきを考慮した保守側の液状化強度近似曲線は、(式10)により求められる。

$$R_L(N)_{-1\sigma} = a \cdot (\log_{10} N)^b - 1\sigma \quad (\text{式10})$$

ここで、

$R_L(N)_{-1\sigma}$: 液状化強度回帰式(-1σ)に対応する繰り返し載荷回数 N におけるせん断応力比

2.2.2 有効応力解析に用いる地盤の液状化強度特性のばらつき

土木構造物の耐震評価においては、(式 10) による地盤の液状化強度特性 (-1σ) を考慮した有効応力解析を実施することを基本とする。

また、上部土木構造物及び機器・配管系への加速度応答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する場合は、非液状化の条件（最も液状化強度が大きい場合に相当）を仮定した解析を実施する。

2.3 地盤剛性及び液状化強度特性のばらつきを考慮した解析ケース

地盤剛性のばらつき及び地盤の液状化強度特性のばらつきの影響を考慮するため、表 2-2 に示す解析ケース (①~⑤) を設定する。

表 2-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース	①	②	③	④	⑤
	基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1 σ)	地盤剛性 (-1 σ)	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1 σ)
液状化強度特性の設定	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

地盤剛性のばらつきの影響を考慮するため、地表付近で地下水面をまたぐ地層 (埋戻土及び新期砂層) のばらつきは、初期せん断弾性係数と有効拘束圧の関係から初期せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて、せん断波速度のばらつきとして設定する。地下水以深の飽和土層 (埋戻土 II, 沖積層及び古安田層) のばらつきは、各地層の PS 検層の結果からせん断波速度の標準偏差 σ を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する (解析ケース②, ③, ⑤)。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 σ を用いて、液状化強度特性を (-1 σ) にて設定する (解析ケース①, ②, ③)。

また、構造物及び機器・配管系への加速度応答に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースを設定する (解析ケース④, ⑤)。

上記の地盤剛性及び液状化強度特性の設定を組み合わせた解析ケース (①~⑤) を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力~せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できる双曲線モデル (H-D モデル) を用いる。

(参考資料5) 有効応力解析に用いる解析用物性値の適用性について

1. 概要

「4.2.2 有効応力解析に用いる解析用物性値」で設定した地盤の液状化強度特性に対して、耐震評価への適用性を確認するため、2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした解析コードFLIPによる有効応力解析を行い、当該地震時に敷地内で観察された地盤変状と比較する。検討フローを図1-1に示す。

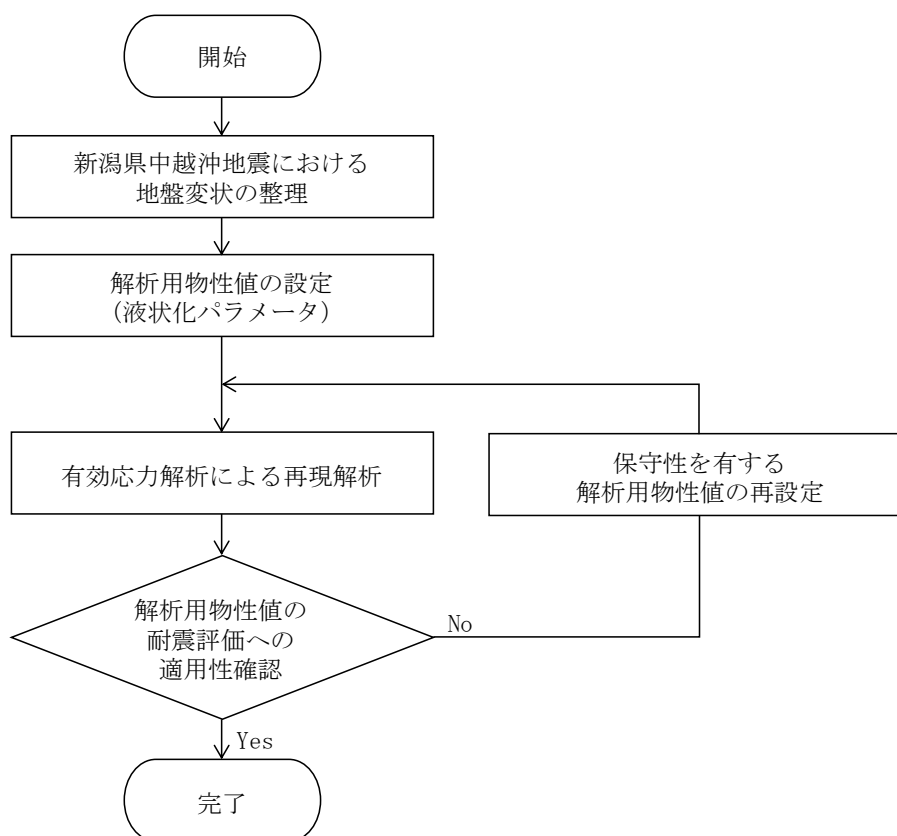


図1-1 解析用物性値の適用性検討のフロー

2. 新潟県中越沖地震と敷地内地盤変状

2.1 新潟県中越沖地震の概要

2007年7月16日午前10時13分頃、新潟県中越沖において、大きな地震が発生し、新潟県と長野県で最大震度6強を観測した他、北陸地方を中心に東北地方から近畿・中国地方にかけて広い範囲で地震動が観測された。気象庁発表（平成19年7月 地震・火山月報（防災編））によれば、マグニチュードは6.8、震源の深さは17kmであり、震央距離16km、震源距離約23kmに位置していた柏崎刈羽原子力発電所は地震発生により大きな地震動を受けた。新潟県中越沖地震の震央と柏崎刈羽原子力発電所の位置を図2-1に示す。



図2-1 新潟県中越沖地震の震央と柏崎刈羽原子力発電所の位置

（出典：柏崎刈羽原子力発電所5号機 新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価報告書（建物・構築物編））

2.2 新潟県中越沖地震における柏崎刈羽原子力発電所（大湊側）の敷地内地盤変状について

新潟県中越沖地震における敷地内の地盤変状について、地震前後（2006年4月、2007年10月）に撮影された航空写真測量データに基づき作成した図のうち、図2-2に亀裂・噴砂位置、図2-3に地盤水平変動、図2-4に地盤鉛直変動を示す。なお、本項では柏崎刈羽原子力発電所の大湊側の敷地において観察された地盤変状について示す。

2.2.1 亀裂・噴砂

敷地山側の駐車場付近に噴砂が確認されている。敷地の海側エリアでは護岸のはらみ出しが確認されており、地下水位以深の埋戻土の液状化に起因するものと考えられる。地表面に発生した亀裂の多くは直線状に発生しており、地中埋設物の存在による埋戻土の相対沈下や法面の変状の影響であると考えられる。

2.2.2 地盤水平変動

地盤水平変動については、6号機及び7号機の原子炉建屋及びタービン建屋周辺の水平変位量は比較的小さい。一方、護岸近傍の海側エリアでは、その形状と埋戻土の影響から、0.5mを超える海側への水平変位が確認されている箇所もある。また、法面近傍では亀裂が生じている箇所も多く、比較的大きな水平変位が認められている。

2.2.3 地盤鉛直変動

敷地における特徴的な地盤鉛直変動としては、5号機海水熱交換機器建屋近傍で最大約1.0mの沈下が確認されている。6号機及び7号機の原子炉建屋及びタービン建屋周囲では顕著な沈下はなかった。建屋近傍や段差箇所等の局所的な沈下を除けば、沈下量は最大で0.3～0.5m程度であった。

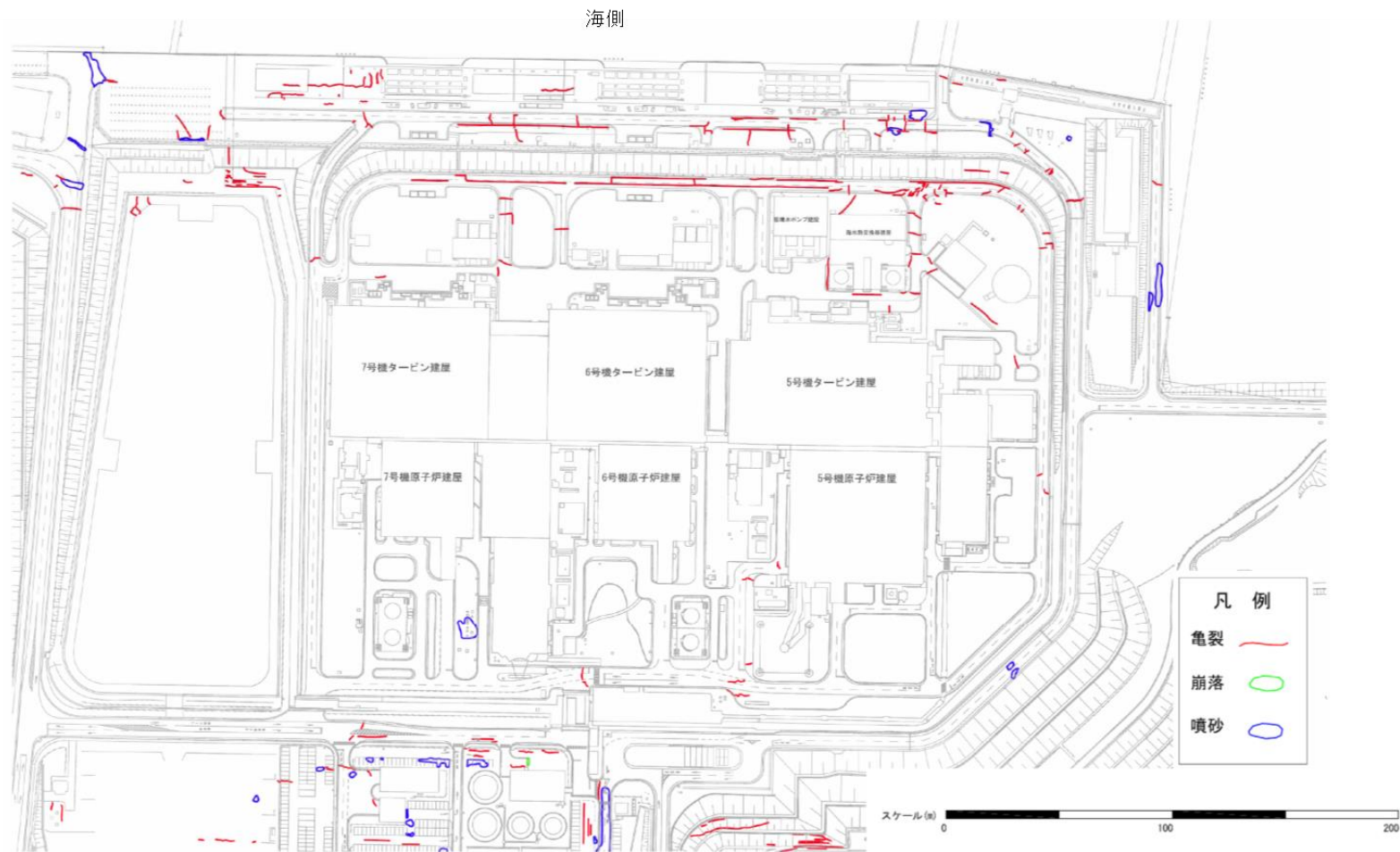
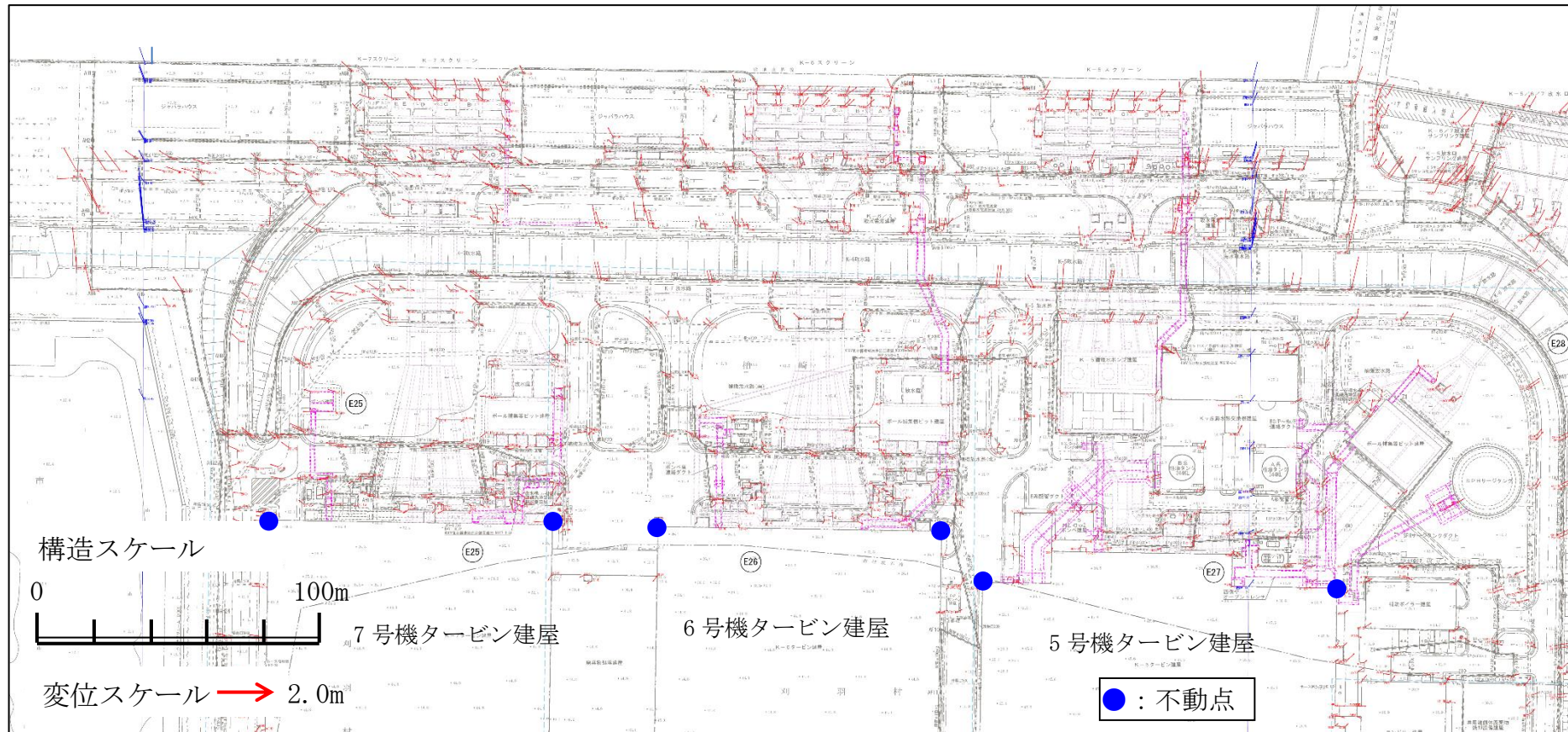


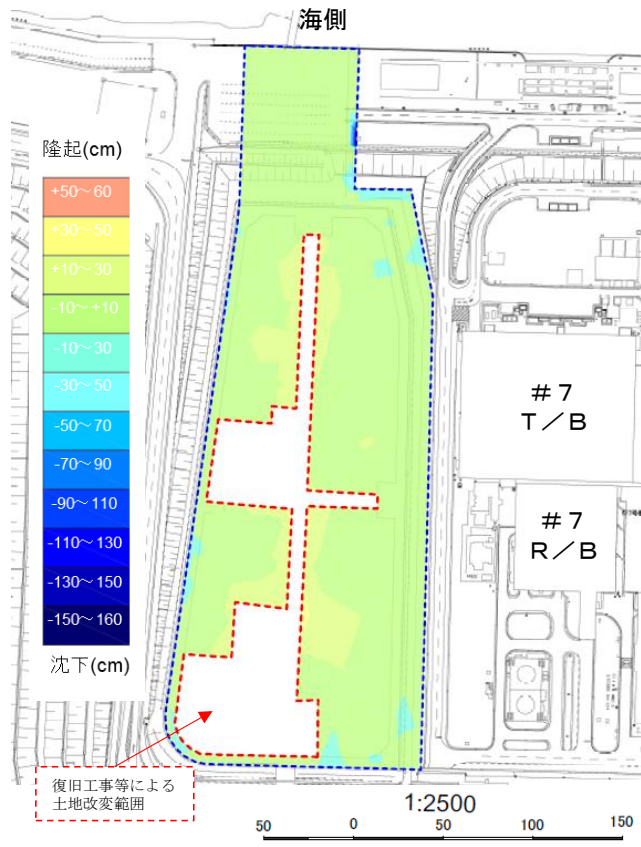
図2-2 新潟県中越沖地震における敷地内の亀裂・噴砂位置
(出典：耐震・構造設計小委員会 地震・津波，地質・地盤合同WG（第3回）（2007））



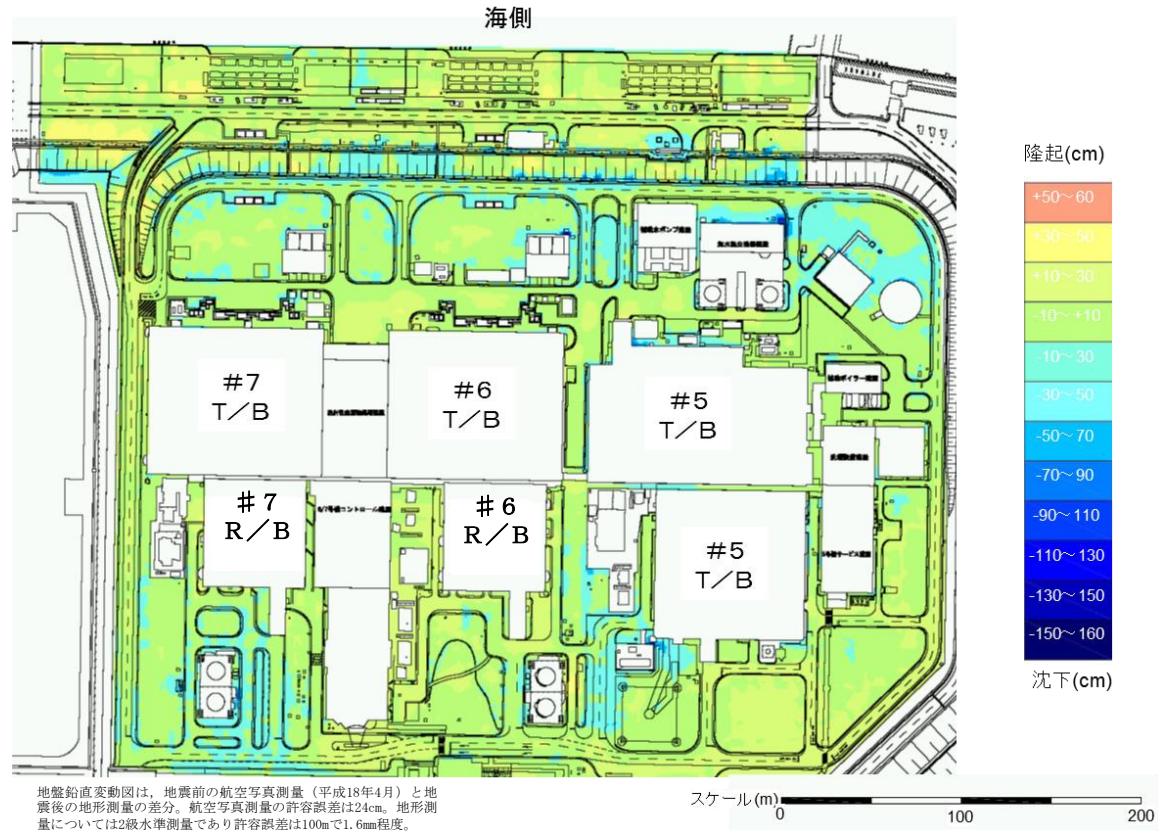
注1* : 変位量は、「2006年4月撮影」と「2007年10月撮影」の航空写真測量結果の差分から算定している。

注2* : 測量における不動点は、原子炉建屋・タービン建屋の隅角部としている。(大湊側は10点)

図2-3 新潟県中越沖地震における敷地内の地盤水平変動図



(a) 敷地南側



(b) 5～7号機周辺*

図 2-4 新潟県中越沖地震における敷地内の地盤鉛直変動図 大湊側

注記* : 耐震・構造設計小委員会 地震・津波、地質・地盤合同WG（第4回）（2008）に一部加筆

3. 有効応力解析による再現解析

3.1 有効応力解析による地盤変位の再現解析

新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした有効応力解析を行い、当該地震時に敷地内で観察された地盤変状と比較することで、解析用物性値の適用性について確認する。

有効応力解析の解析コードは、解析コード F L I P (ver. 7.4.1) を用いる。

3.1.1 解析条件

(1) 解析断面

解析断面は、大湊側の海側エリアの中で、西山層上限面が深く、比較的大きな地盤変状が認められた断面を選定した。解析断面位置を示した平面図を図 3-1 に、地質断面図を基に作成した解析モデルを図 3-2、図 3-3 に示す。

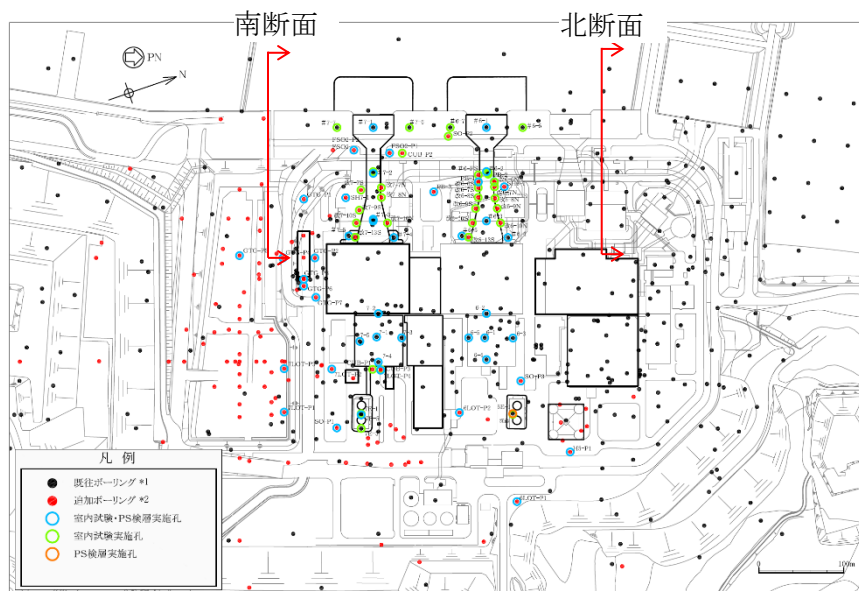


図 3-1 再現解析における解析断面位置

(2) 地下水位設定

耐震評価に用いる地下水位設定は、観測記録に基づき保守性を考慮して観測記録の最高水位よりもさらに高く、例えば護岸部で T. M. S. L. 3.0m (地表面) に設定している。しかし、この設定では液状化範囲が広がることにより地盤変位が大きくなるため、再現解析の評価として適さないものと考えられる。したがって、再現解析においては、海側の地下水観測孔 (MW-1 孔, 7GW-5 孔, 7GW-6 孔, 6GW-3 孔) の年間平均地下水位 (2018 年) T. M. S. L. 0.42 ~ 1.24m と、既工認における地下水位 T. M. S. L. 1.0m を参考にして、護岸より陸側を一律 T. M. S. L. 1.0m と設定する。また、海水位は T. M. S. L. 0.0m とする。

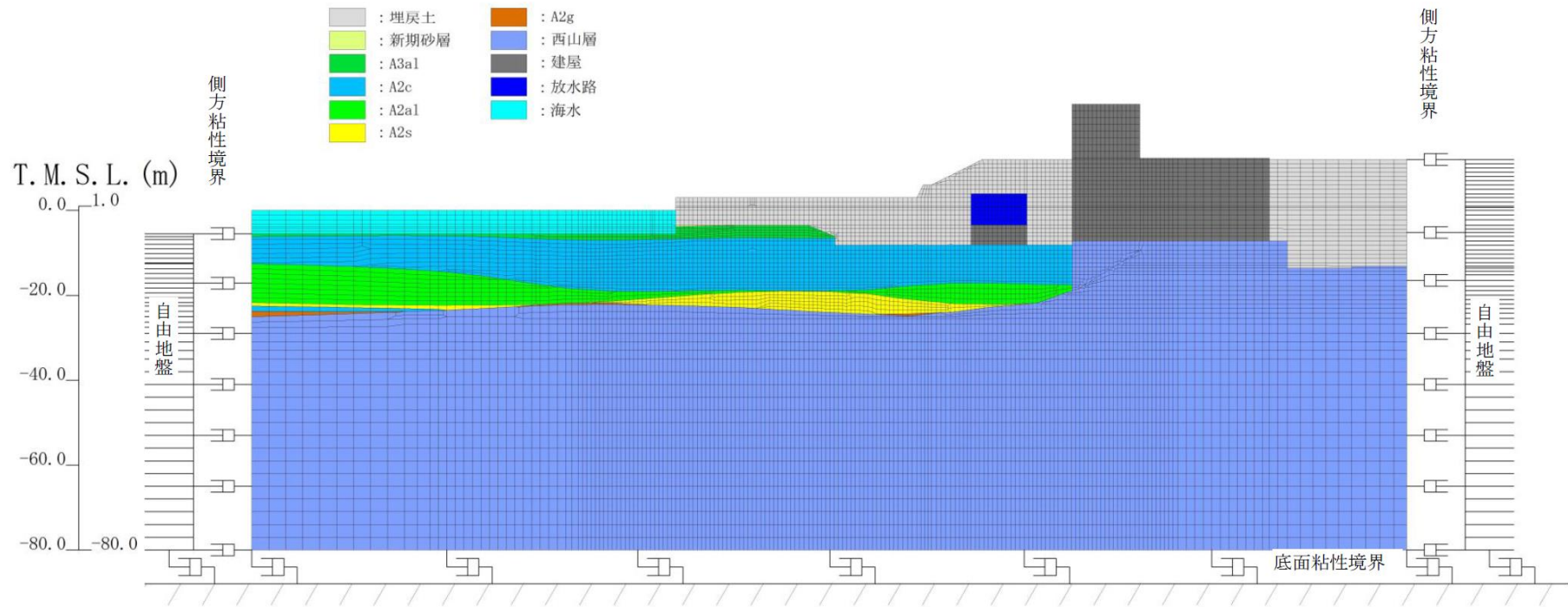


図 3-2 再現解析の解析モデル (北断面)

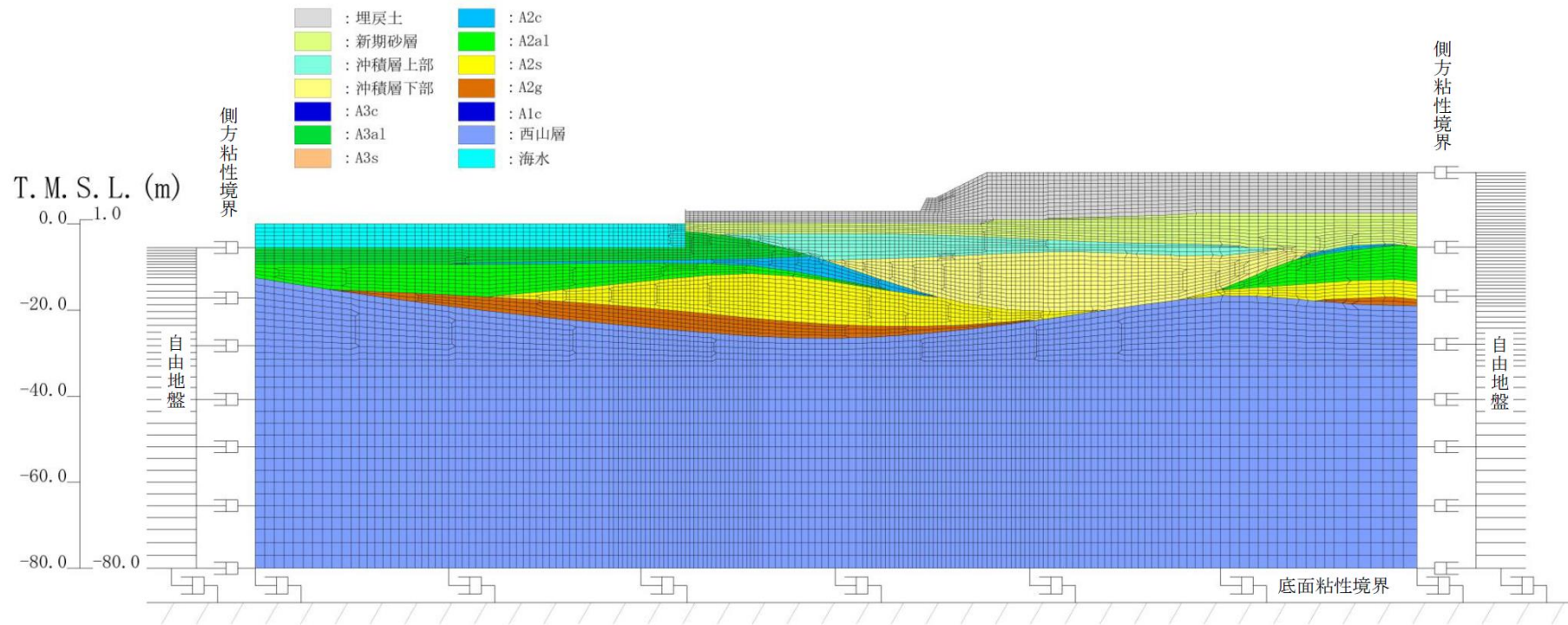
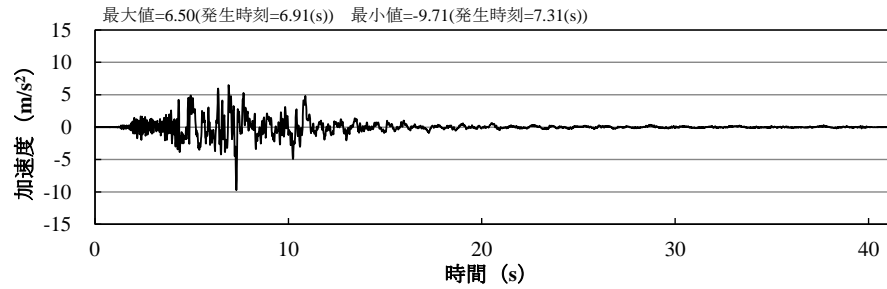


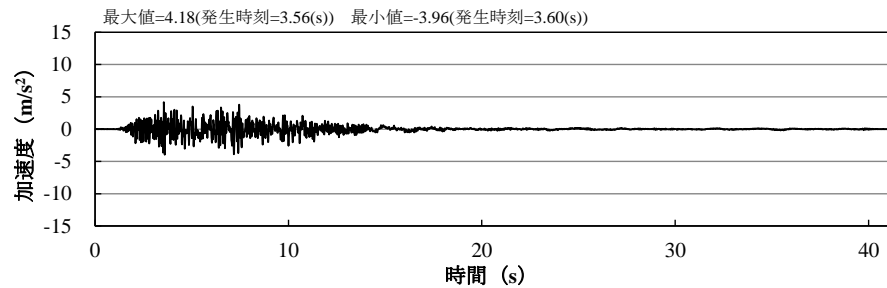
図 3-3 再現解析の解析モデル (南断面)

(3) 入力地震動

入力地震動は、新潟県中越沖地震において原子炉建屋で観測された地震記録を解析モデル下端（T. M. S. L. -80m）に引き戻した地震動を用いる。（北断面）は5号機原子炉建屋，（南断面）は7号機原子炉建屋で観測された地震記録を用いた。図3-4、図3-5に入力地震動の水平・鉛直の時刻歴を示す。

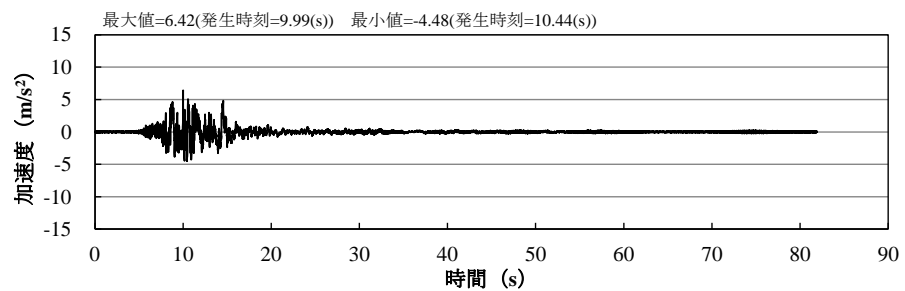


(a) 水平動

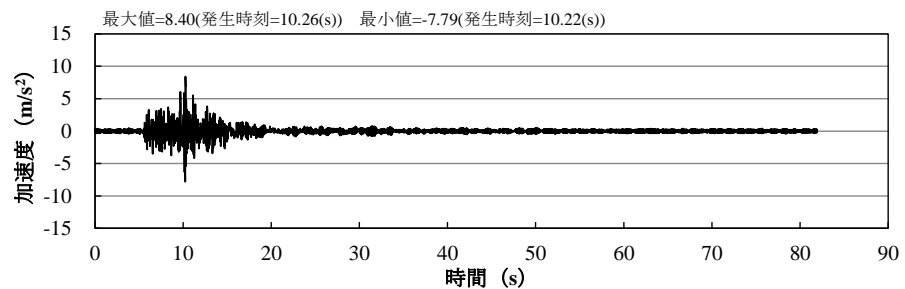


(b) 上下動

図3-4 入力地震動（北断面）



(a) 水平動



(b) 上下動

図3-5 入力地震動（南断面）

(4) 解析用物性値（液状化パラメータ）の設定

耐震評価に用いる解析用物性値は、保守性を考慮するため、地盤の液状化強度特性のばらつきを踏まえ、液状化強度試験の「回帰曲線-1σ」に基づいて液状化パラメータを設定している。再現解析においては、解析コードの再現性と適用性に注目することから、「回帰曲線（平均値）」に基づいて液状化パラメータを設定する。

本検討では、「4.2.2 有効応力解析に用いる解析用物性値」に示した解析用物性値を『基本ケース』とし、液状化強度試験の平均値に基づき設定した解析用物性値を『平均値ケース』とする。表3-1に再現解析における「平均値ケース」の解析用物性値を、図3-6～図3-10に液状化強度特性をまとめる。なお、比較のため、「基本ケース」の結果も併記する。

表3-1 再現解析に用いる解析用物性値（液状化検討対象層：平均値ケース）

物性値		地層区分	埋戻土	新期砂層・沖積層			古安田層			
				新期砂層	沖積層上部 (砂質)	沖積層下部	A2s層	A3s層	A2g層 (砂質)	A1g層
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)		1.94 (1.79)	2.05 (2.00)	1.90	2.02	1.91	1.91	1.91	1.91
	間隙率 n		0.45	0.44	0.48	0.42	0.45	0.45	0.45	0.45
変形特性	動せん断弾性係数 G_{mn} (kN/m ²)		1.04×10^5	1.26×10^5	1.25×10^5	1.92×10^5	2.14×10^5	2.14×10^5	2.14×10^5	2.14×10^5
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)		98.0	98.0	110.0	150.0	200.0	200.0	200.0	200.0
	ポアソン比 ν		0.33 (0.42)	0.33 (0.44)	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}		0.225	0.234	0.247	0.211	0.157	0.157	0.157	0.157
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)		0.0 (9.6)	0.0 (94.4)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	内部摩擦角 ϕ' (°)		35.9 (34.8)	34.6 (27.6)	36.7	35.6	36.6	36.6	36.6	36.6
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)		32.0	31.0	33.0	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
	液状化パラメータ	S_1	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
		w_1	16.00	13.80	27.00	17.30	40.00	40.00	40.00	40.00
		p_1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		p_2	1.00	0.70	0.70	0.65	0.80	0.80	0.80	0.80
		c_1	2.40	2.78	3.60	2.65	9.95	9.95	9.95	9.95

注記：括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

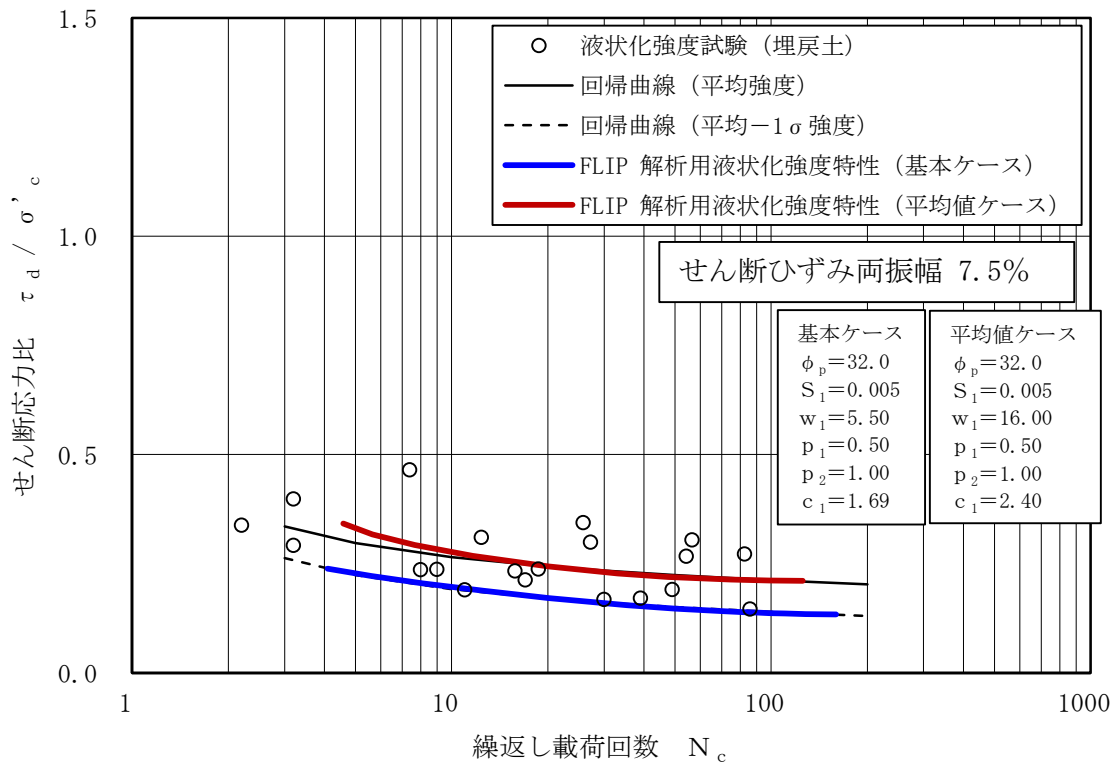


図 3-6 液状化抵抗曲線 (埋戻土)

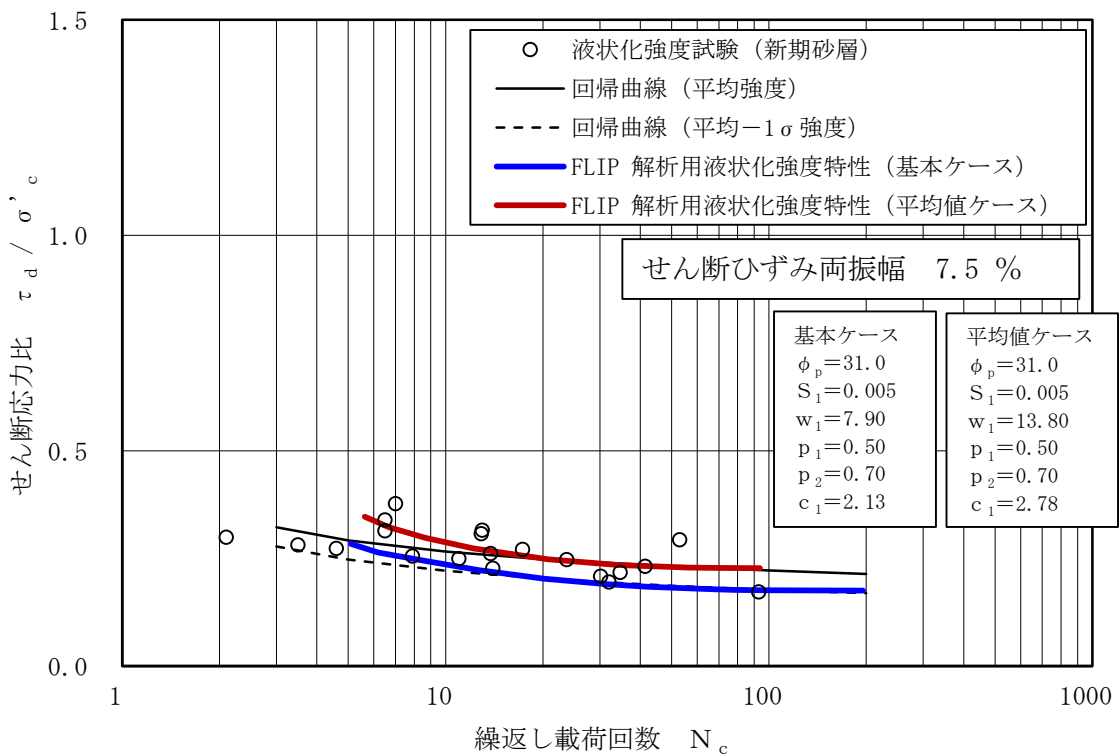


図 3-7 液状化抵抗曲線 (新期砂層)

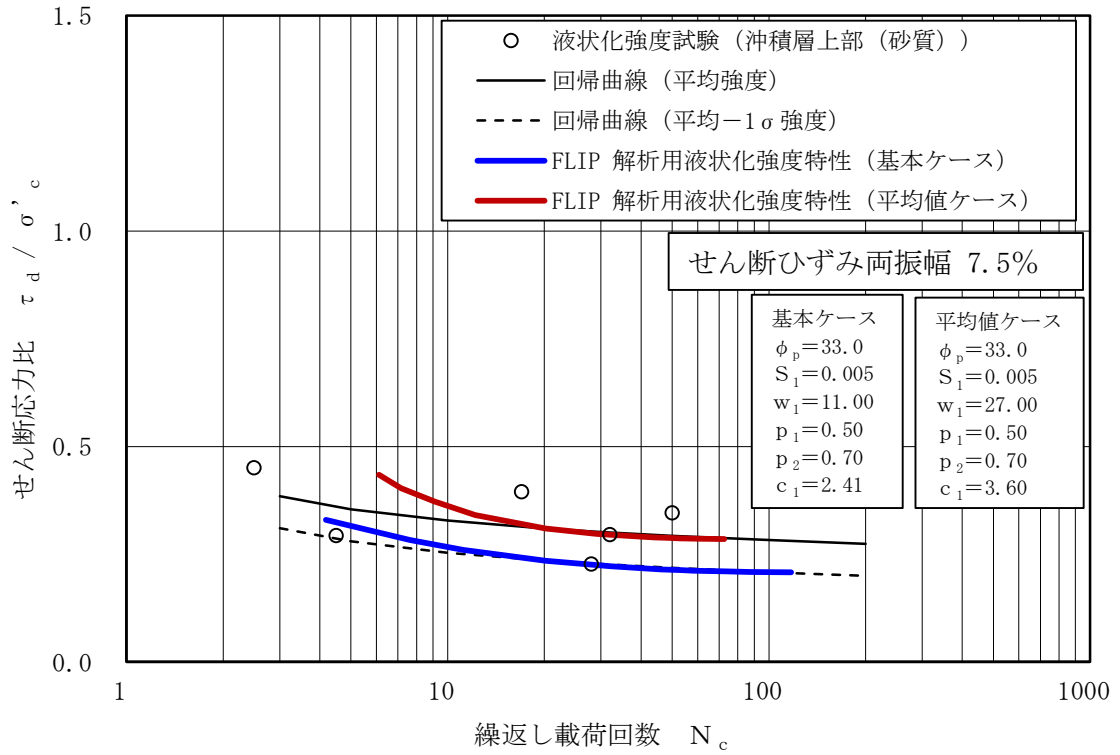


図 3-8 液状化抵抗曲線（沖積層上部（砂質））

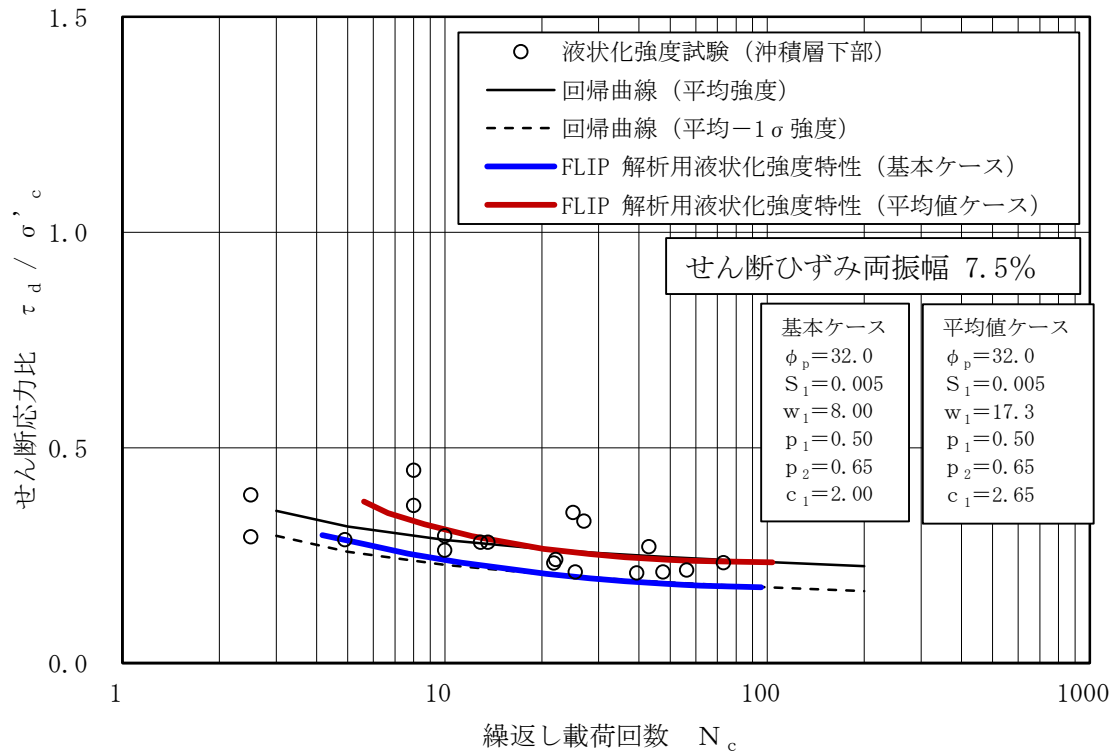


図 3-9 液状化抵抗曲線（沖積層下部）

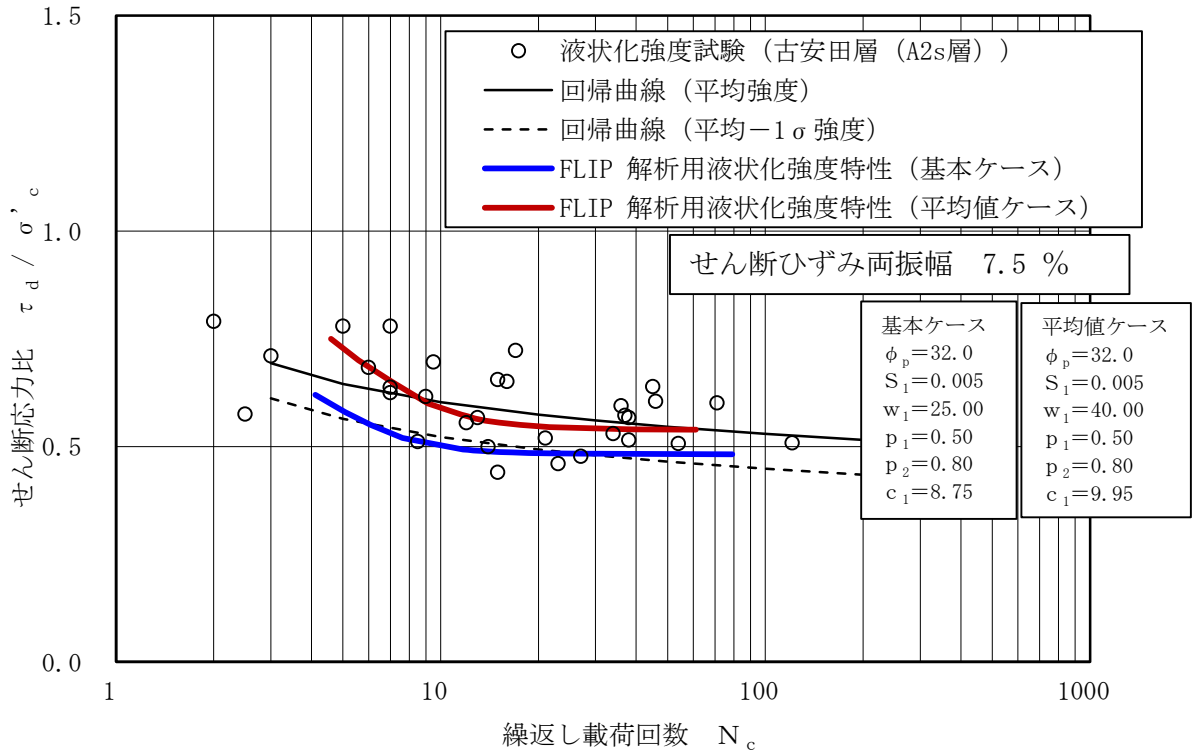


図 3-10 液状化抵抗曲線 (古安田層 (A2s 層))

(5) 減衰定数

耐震評価に適用する有効応力解析では、履歴減衰と粘性減衰を考慮している。履歴減衰による減衰は、地盤及び構造物の非線形性の程度に応じた値とする。粘性減衰による減衰は、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される Rayleigh 減衰にて与える。Rayleigh 減衰の減衰マトリックス $[C]$ は、質量マトリックス $[M]$ 及び剛性マトリックス $[K]$ の線形結合で表される。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

ここで、 $[C]$ ：減衰マトリックス、
 $[M]$ ：質量マトリックス、
 $[K]$ ：剛性マトリックス、
 α, β ：係数

有効応力解析では、時系列で地盤の1次固有振動数が低振動数側へシフトして行くことから、Rayleigh 減衰の係数 α, β の両方を用いると、質量比例項の減衰 $\alpha [M]$ の影響により、有効応力解析における減衰定数が低振動数帯で過減衰となる場合がある。

一方、有効応力解析における低振動数帯で減衰 $\alpha [M]$ の影響がない剛性比例型減衰では、地盤の1次固有振動数が時系列で低振動数側へシフトしていくのに伴い、1次固有振動モードに対する減衰定数が初期減衰定数より保守的に小さい側へ変化していくことを考慮できる。

ゆえに、有効応力解析では、地震力による時系列での地盤剛性の軟化に伴う1次固有振動数の低振動数側へのシフトに応じて、1次固有振動モードに対する減衰定数として、初期減衰定数よりも保守的に小さい側のモード減衰定数を適用し、地盤応答の適切な評価が行えるように係数 α を0として設定し、低振動数帯で減衰 $\alpha [M]$ の影響がない剛性比例型減衰を採用した。

係数 β については、北断面及び南断面の解析モデルの共通条件として下端 (T.M.S.L. - 80m) から地表面までの範囲をモデル化している点を踏まえ、いずれの断面についても係数 β を0.005と設定する。FLIP 研究会によると、標準的な係数 β の設定方法は、解析対象とする地盤・構造系と類似する既往の地震被害事例に基づいて算定する方法であり、これが最も信頼性の高い係数 β の値を与えるとされる*。また、FLIPによる岸壁等の既往解析事例に対して Rayleigh 減衰の係数 β を調査した結果、係数 β の範囲は0.0005~0.01と報告されている*。

再現解析結果と観察された地盤変状と比較することで、減衰定数を含む解析用物性値の設定が適切な保守性を有することを確認する。

注記*：FLIP 研究会14年間の検討成果のまとめ「理論編」

3.1.2 解析結果

再現解析により得られた「水平変位量」「鉛直変位量」を観測記録と比較し、解析用物性値の再現性と適用性を確認する。

(1) 再現解析結果（水平変位量）と考察

有効応力解析による地表面水平変位量の結果を図 3-11, 図 3-12 に示す。図の水平座標は護岸からの距離で示している。

a. 基本ケース

北断面の基本ケースについて、護岸天端における地表面水平変位は「1.63m」となり、地震後に観察された変位である「0.59m」と比較して 2.7 倍も大きな変位量となった。護岸から離れた位置においても、実績に比して大きな水平変位量が得られている。

南断面の基本ケースについて、護岸における地表面水平変位は「1.14m」となり、地震後に観察された変位である「0.53m」と比較して 2.1 倍も大きな変位量となった。護岸から離れた位置においても、実績に比して大きな水平変位量が得られている。

したがって、基本ケースで設定している解析用物性値は、変形量の観点から十分な保守性を有していると判断できる。

b. 平均値ケース

北断面の平均値ケースについて、護岸天端の地表面水平変位「1.34m」は、地震後に観察された変位である「0.59m」と比較して 2.2 倍以上の変位量となった。平均的な液状化強度特性を設定した場合でも実測値よりも大きな変位となった。

南断面の平均値ケースについて、護岸の地表面水平変位「0.90m」は、地震後に観察された変位である「0.53m」と比較して 1.6 倍以上の変位量となった。平均的な液状化強度特性を設定した場合でも実測値よりも大きな変位となった。

c. 考察

基本ケース及び平均値ケースともに、再現解析は実測値を上回る結果となっているが、地表面が海側へ水平変位を生じる実測値の傾向を再現できている。

(a) 北断面

北断面の基本ケースにおける過剰間隙水圧比と最大せん断ひずみ残留値を、図 3-13 及び図 3-14 に示す。比較的浅い深度にある飽和した液状化検討対象層（埋戻土）では、過剰間隙水圧比が 95%を超過する範囲が広がっており、小段擁壁が存在する地表面形状の影響もあり、大きな水平変位が発生したものと考えられる。

北断面の平均値ケースにおける過剰間隙水圧比（図 3-15）と最大せん断ひずみ残留値（図 3-16）においても同様の傾向が認められるが、基本ケースと比較して過剰間隙水圧比が上昇する範囲は狭く、水平変位の大小関係と整合的である。

(b) 南断面

南断面の基本ケースにおける過剰間隙水圧比と最大せん断ひずみ残留値を、図 3-17 及び図 3-18 に示す。比較的浅い深度にある飽和した液状化検討対象層（埋戻土、新期砂層）では、過剰間隙水圧比が 95%を超過する範囲が広がっているが、その層厚は北断

面と比較して薄い。そのため、南断面では北断面と比較して小さな地表面水平変位が得られたものと考えられる。また、小段擁壁の下方に位置する液状化検討対象層（沖積層下部）では、間隙水圧比が80～95%程度まで上昇していることと、直上小段の荷重が沖積層下部に影響を与えやすい形状となっていることから、比較的大きな残留ひずみを得られたものと考えている。

南断面の平均値ケースにおける過剰間隙水圧比（図 3-19）と最大せん断ひずみ残留値（図 3-20）においても同様の傾向が認められるが、基本ケースと比較して過剰間隙水圧比が上昇する範囲は狭く、水平変位の大小関係と整合的である。

今回用いている有効応力解析の解析コード（FLIP）は、実測値の傾向を再現できていることから適用性があるものと判断できる。また、変形量の観点からは、ここで設定した減衰定数と液状化試験結果の平均値から設定した解析用物性値を採用した場合にも保守性を有すると判断できる。

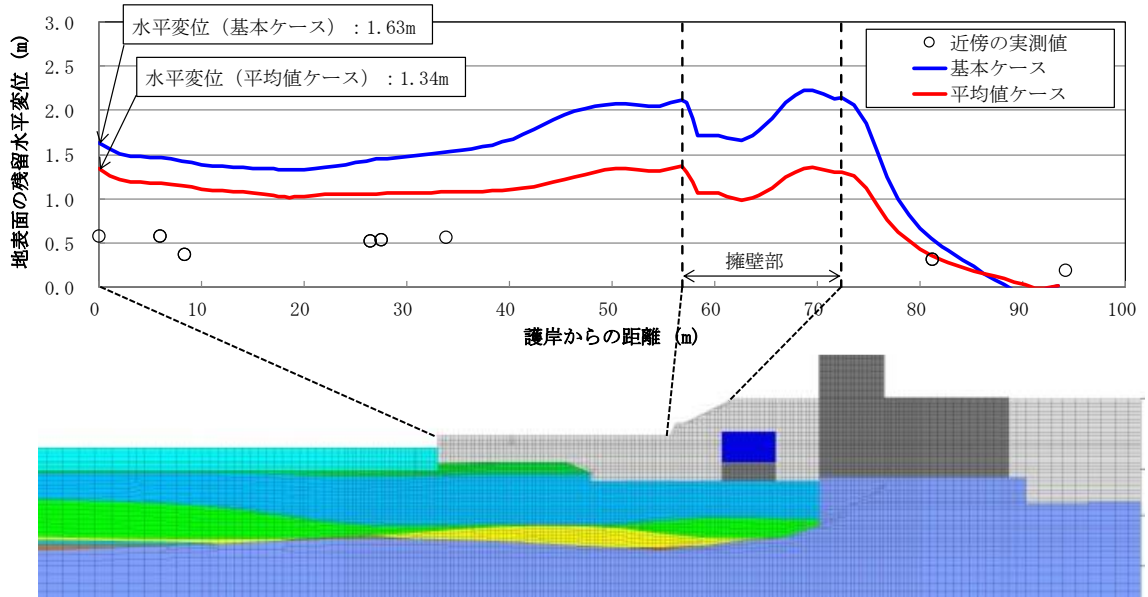


図 3-11 護岸からの距離と地表面水平変位の関係（北断面）

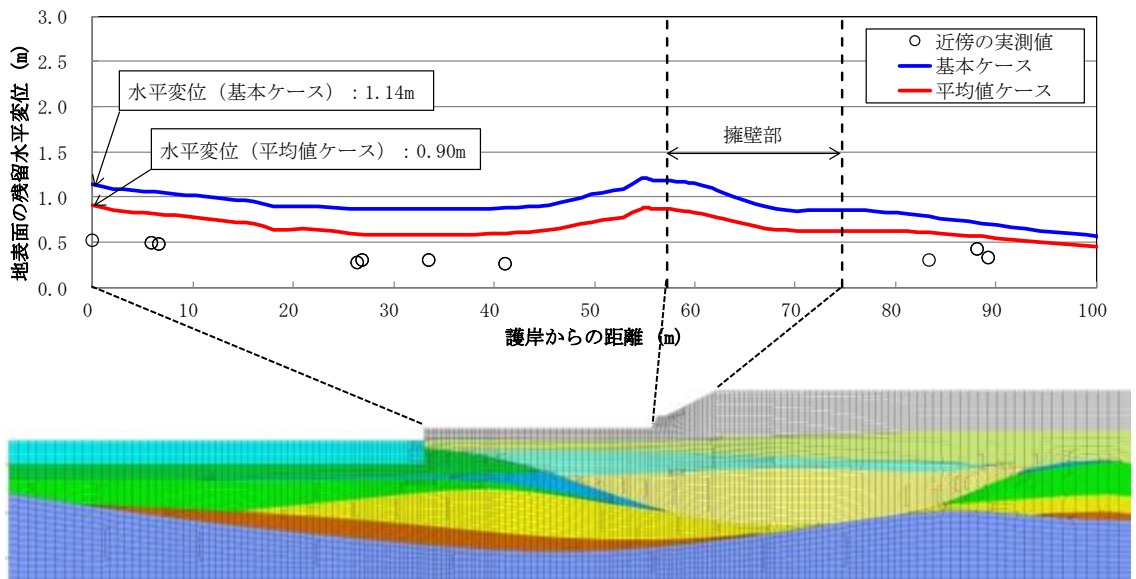


図 3-12 護岸からの距離と地表面水平変位の関係（南断面）

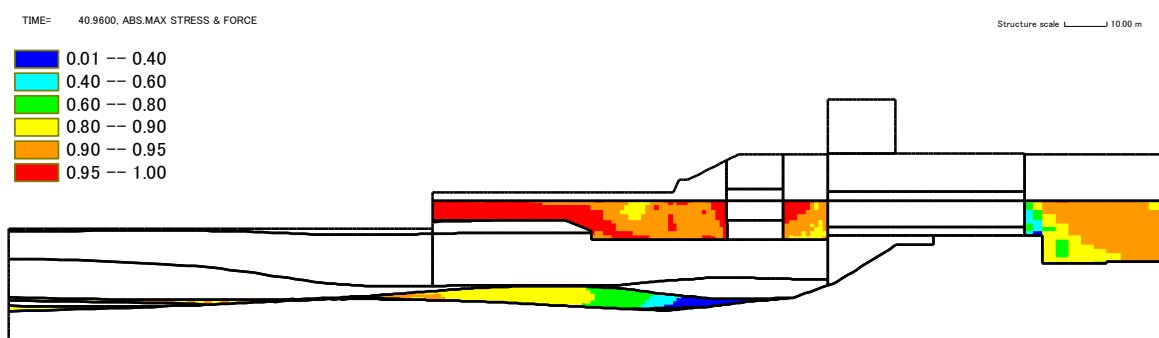


図 3-13 最大過剰間隙水圧（基本ケース）（北断面）

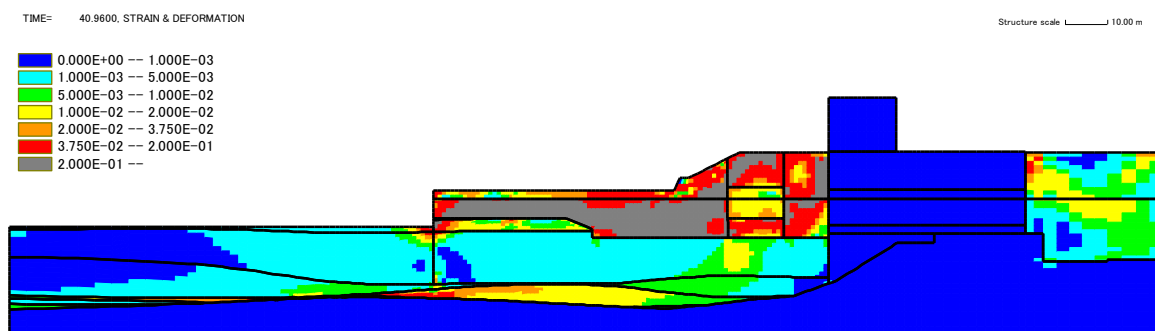


図 3-14 最大せん断ひずみ γ_{max} （残留値：基本ケース）（北断面）

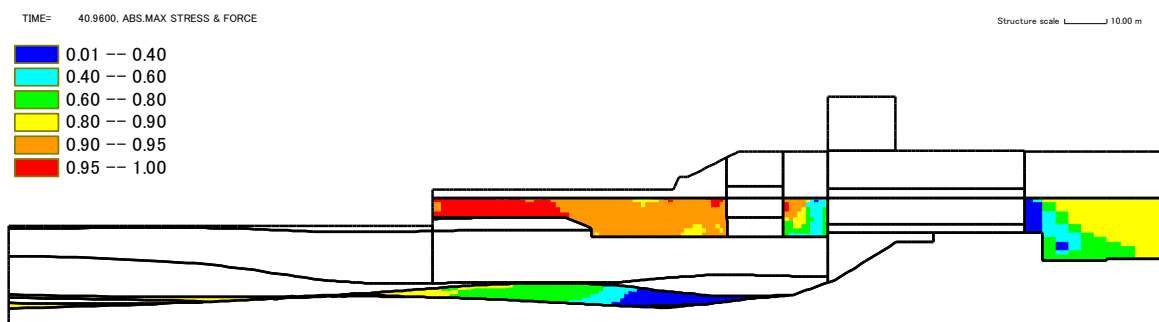


図 3-15 最大過剰間隙水圧（平均値ケース）（北断面）

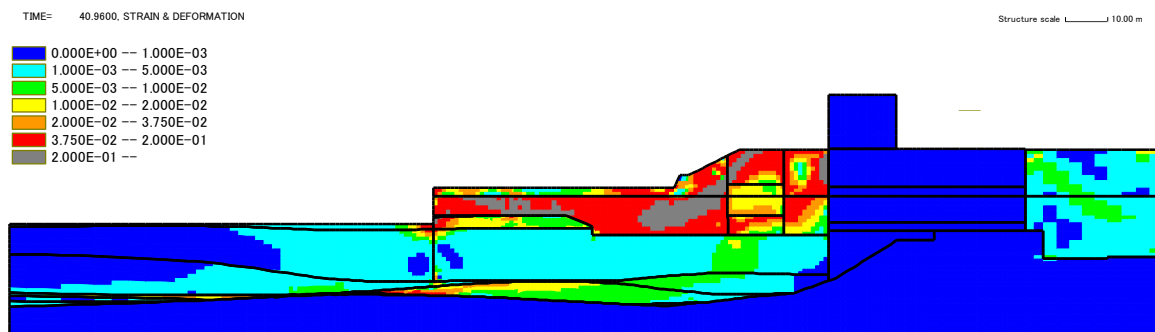


図 3-16 最大せん断ひずみ（残留値：平均値ケース）（北断面）

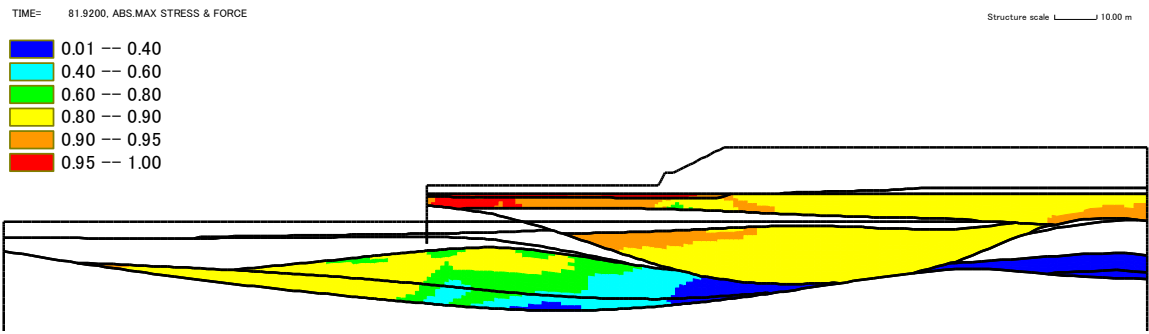


図 3-17 最大過剰間隙水圧（基本ケース）（南断面）

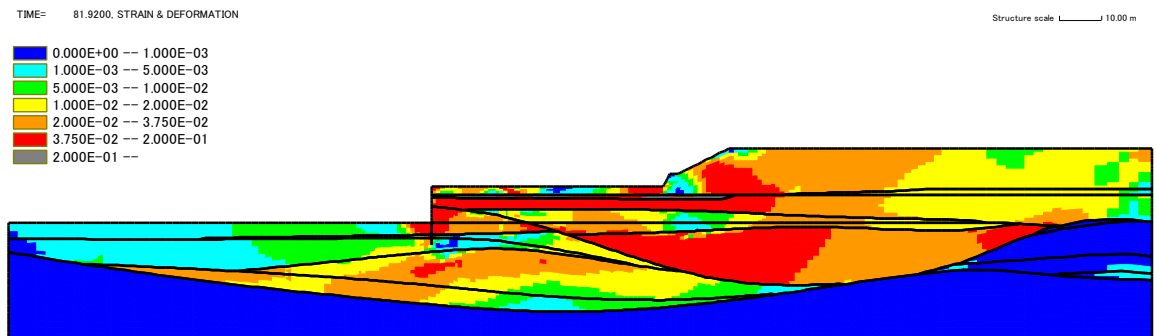


図 3-18 最大せん断ひずみ γ_{max} （残留値：基本ケース）（南断面）

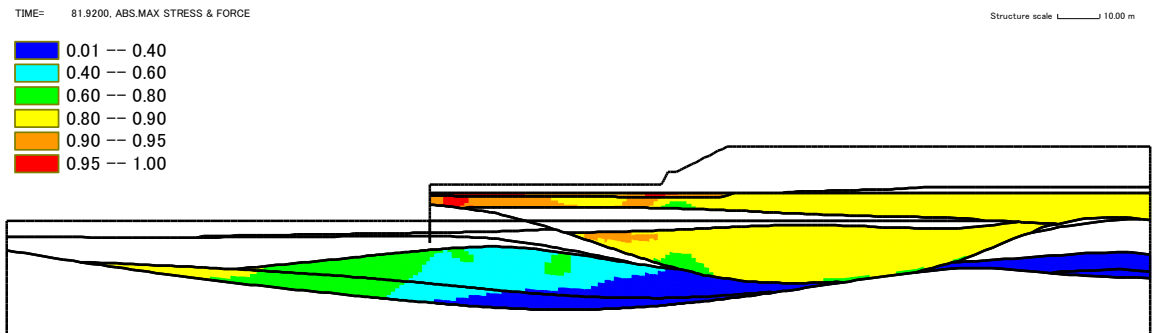


図 3-19 最大過剰間隙水圧（平均値ケース）（南断面）

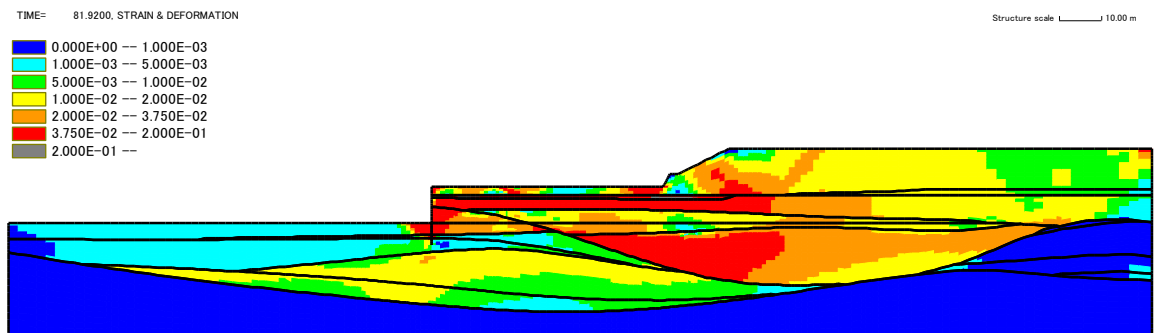


図 3-20 最大せん断ひずみ（残留値：平均値ケース）（南断面）

(2) 再現解析結果（鉛直変位量）と考察

有効応力解析による地表面鉛直変位量の結果を、図 3-21、図 3-22 に示す。図の水平座標は護岸からの距離で示している。

a. 基本ケース

基本ケースについては、有効応力解析の鉛直変位量は、地表面形状に応じて側方流動の影響を受けた沈下と隆起を生じており、新潟県中越沖地震時に観察された実績の沈下量とは異なる傾向を示す。

有効応力解析による護岸付近の鉛直変位量は、北断面で「0.73m」、南断面で「0.49m」であり、側方流動による変形の影響で生じているが、これは実績の沈下量の「0.00m」と比較して大きい。小段擁壁付近の有効応力解析結果についても、側方流動の影響により法尻で隆起、法肩で沈下しているが、実績沈下量は小さく明瞭な傾向は認められていない。いずれも、有効応力解析では側方流動の影響に伴う鉛直変位量を保守的に算定している。

b. 平均値ケース

平均値ケースについては、有効応力解析の鉛直変位量は、基本ケースと比較して沈下と隆起の傾向が抑制されるものの、新潟県中越沖地震時に観察された実績の沈下・隆起量に対して有効応力解析の地表面変位量が大きいことから、側方流動の影響に伴う鉛直変位量を保守的に算定している。

c. 考察

再現解析による鉛直変位量は、護岸付近で沈下、小段擁壁付近の法尻で隆起、法肩で沈下する傾向にある。

有効応力解析の解析コード F L I P (ver. 7.4.1) は、非排水条件に基づく解析コードであることから、再現解析による鉛直変位は、大きな水平変位（図 3-11、図 3-12）が生じた箇所での側方流動の影響により発生するものと考えられる。図 3-21 の北断面の小段擁壁部の鉛直変形量が、基本ケースと平均値ケースで大きく異なることは、図 3-11 の当該箇所の水平変位量が基本ケースと平均値ケースで大きく異なっている点と整合的である。

また、南断面の鉛直変形量（図 3-22）については、水平変位量（図 3-12）が北断面と比較して小さく、基本ケースと平均値ケースの差分も小さいことから、側方流動に伴う鉛直変形も抑えられた結果となったと考えられる。

新潟県中越沖地震時に観察された実績の沈下量は再現解析から得られる鉛直変形量の絶対値に対して小さく、耐震評価を行う上では保守的な評価が可能であると判断した。

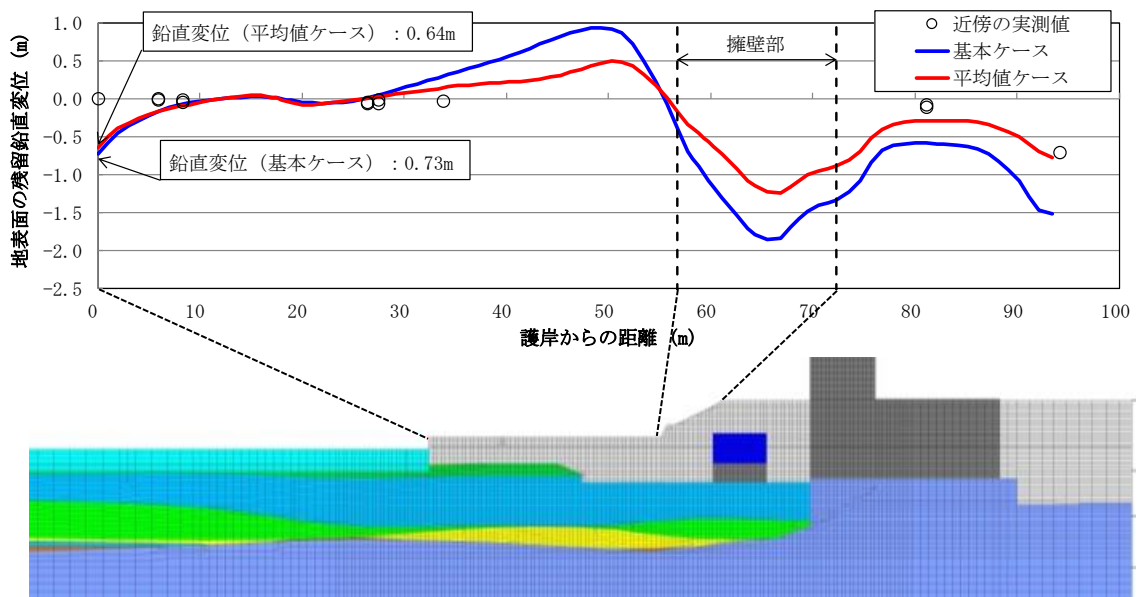


図 3-21 護岸からの距離と地表面鉛直変位の関係 (北断面)

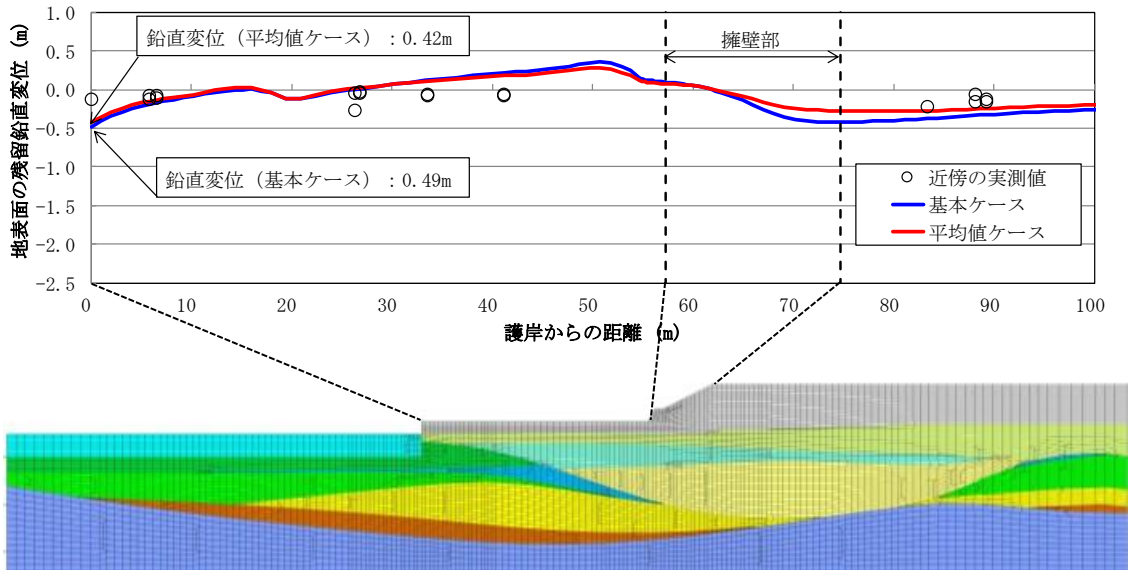


図 3-22 護岸からの距離と地表面鉛直変位の関係 (南断面)

3.2 まとめ

新潟県中越沖地震の地震記録を入力波として、大湊側敷地の南北2断面を対象とした再現解析を行い、当該地震時に敷地内で観察された地盤変状と比較することで解析コードの適用性、減衰定数を含む解析用物性値の保守性について確認した。

再現解析にあたっては、液状化強度特性については試験結果のばらつきを踏まえ基本ケース（平均値 -1σ ）と平均値ケースの2ケースを適用し、減衰定数については対象の南北2断面が同規模の領域をモデル化している点を踏まえ共通の係数（Rayleigh減衰 $\alpha=0$, $\beta=0.005$ ）を適用した。

再現解析の結果、有効応力解析コード（FLIP）は、地表面が海側へ変形した実測値の傾向を再現できており、耐震評価への適用性を有していると判断した。また、いずれのケースについても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、ここで設定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の保守性を有しており、適用性があると判断した。

4. 参考文献

- 1) 小長井ほか：2007年新潟県中越沖地震の被害とその特徴，2010 土木学会地震被害調査小委員会，2006年～2010年に発生した国内外の地震被害報告書，2010.
- 2) 東京電力（株）：新潟県中越沖地震に対する柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性の検討状況について，経済産業省総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会 地震・津波，地質・地盤合同WG，第3回会合配布資料（合同W3-1），pp7-9，2007.12.25.
- 3) 東京電力（株）：新潟県中越沖地震に対する柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性の検討状況について，経済産業省総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会 地震・津波，地質・地盤合同WG，第4回会合配布資料（合同W4-1-1），pp10-11，2008.2.15.

(参考資料6) 地盤改良体における補足

1. 地盤改良体の概要

1.1 地盤改良工法の種類と適用地盤

地盤改良工法については、文献（陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版，(財)土木研究センター，平成16年3月）では、以下の項目により分類づけられる。

- ① 対策工法を必要とする理由, 目的, 期待する効果
- ② 地盤の性状
- ③ 構造物の性質
- ④ 現場条件, 周辺環境

地盤改良工法の種類と適用地盤・効果を表1-1に示す。

表 1-1 地盤改良工法の種類と適用地盤・効果

工法	適用地盤				工法の効果					
	粘性土	砂質土	粘性土 砂質土 の互層	有機 質土	沈下対策		安定対策			
					圧密沈 下促進	沈下量 減少	せん断 変形の 抑制	強度増 加促進	すべり 抵抗の 付与	液状化 の防止
表層処理工法	表層排水工法									
	サンドマット工法	○			○			○	○	
	敷設材工法									
	浅層混合処理工法									
置換工法	掘削置換工法	○		○	○					
	強制置換工法									
押え盛土工法	押え盛土工法	○		○	○					
	緩斜面工法									
緩速載荷工法	漸増載荷工法	○		○	○					
	段階載荷工法									
載荷重工法	盛土荷重載荷工法	○		○	○				○	
	大気圧載荷工法									
	地下水低下工法									
バーチカル ドレーン工法	サンドドレーン工法	○		○	○				○	
	ボード系ドレーン工法									
サンドコンパ クション工法	サンドコンパクシ ョン工法	○	○	○	○	○	○	○		○
	ンパイル工法									
締固め工法	振動棒工法		○				○			○
	動圧密工法									
固結工法	深層混合処理工法	○	○	○	○					○
	生石灰パイル工法									
	薬液注入工法									
構造物による 工法	矢板工法									
	打設グイ工法	○	○	○	○					○
	スラブ工法									
	カルバート工法									

(引用：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 改訂版，
(財)土木研究センター，平成16年3月)

表 1-1 に示す工法のうち、柏崎刈羽原子力発電所の建物・構築物及び土木構造物で適用している地盤改良としては、適用地盤や工法の効果とも幅広く適用可能である「固結工法」を基本としている。固結工法のうち、主に採用した工法は深層混合処理工法（機械攪拌工法、高圧噴射攪拌工法）である。

また、一般的に置換工法とは、軟弱地盤を良質な土材料で置き換える工法であるが、土材料として陸上混練したセメント改良土を適用したものについては固結工法と同等又はそれ以上の効果を期待出来ることから採用している。以下、本資料では置換工法のうち、置換する材料としてセメント改良土を適用した工法を「置換工法」という。

なお、深層混合処理工法については、原地盤を攪拌混合する性質上、一般的に土材料の性質によって物性が異なることから、主たる対象土層の性質（砂質土・粘性土）によって分類する。地盤改良工法と対象土層の性質に係わる解釈を表 1-2 に、対象土層の分類を表 1-3 に示す。

表 1-2 地盤改良工法と対象土の性質に係わる解釈

地盤改良工法		対象土層の考慮	備考
置換工法 (セメント改良土)		考慮しない	地上混練した材料であるため対象土層の影響を受けない。
深層混合 処理工法	機械攪拌工法	考慮する	原地盤を攪拌混合する工法のため、対象土層の影響を受ける。
	高圧噴射攪拌工法	考慮する	原地盤を切削攪拌する工法のため、対象土層の影響を受ける。

表 1-3 対象土層の分類

地層名		対象土種別
埋戻土		砂質土
埋戻土Ⅱ		粘性土
沖積層 新期砂層	新期砂層	砂質土
	沖積層上部（シルト質）	粘性土
	沖積層上部（砂質）	砂質土
	沖積層下部	砂質土
古安田層	A3c層	粘性土
	A3a1層	粘性土
	A3s層	砂質土
	A2c層	粘性土
	A2a1層	粘性土
	A2s層	砂質土
	A2g層（シルト質）	粘性土
	A2g層（砂質）	砂質土
	A1c層	粘性土
A1g層	砂質土	

1.2 地盤改良体の施工方法

柏崎刈羽原子力発電所で適用している地盤改良体の施工方法の概要を表 1-4 に示す。

表 1-4 施工方法の概要(1/3)

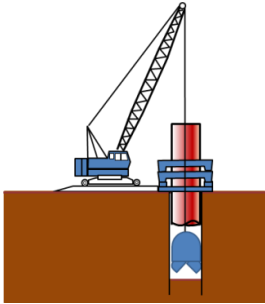
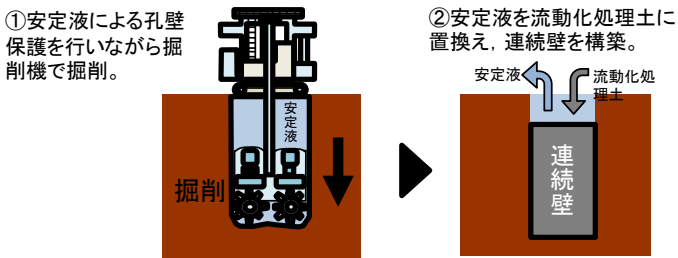
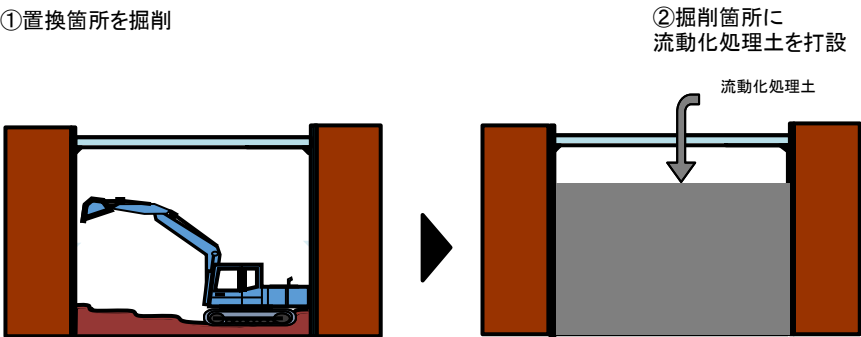
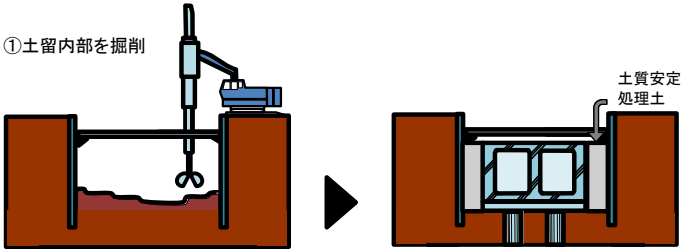
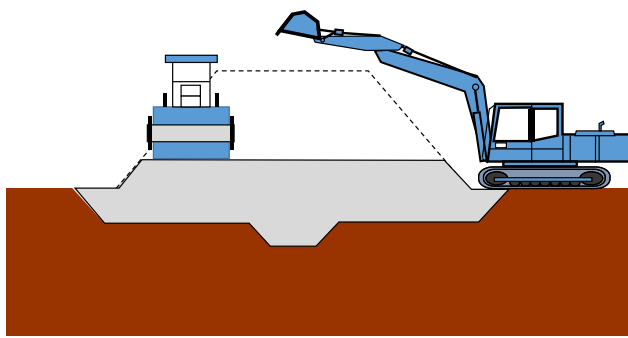
工 法	概 要
<p>置換工法 (CD 掘削工法)</p>	<p>原地盤を全周回転掘削機で開削し，流動化処理土を投入することで，改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく，開削が可能な箇所にて採用。</p>  <p>置換工法(CD 掘削工法)の概要</p>
<p>置換工法 (地中連続壁工法)</p>	<p>原地盤を水平多軸掘削機で開削し，流動化処理土を投入することで，改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく，開削が可能な箇所にて採用。</p>  <p>①安定液による孔壁保護を行いながら掘削機で掘削。 ②安定液を流動化処理土に置換え，連続壁を構築。</p> <p>掘削</p> <p>安定液</p> <p>安定液</p> <p>流動化処理土</p> <p>連続壁</p> <p>置換工法(地中連続壁工法)の概要</p>
<p>置換工法 (開削工法)</p>	<p>狭隘部において，小型建機を用いて掘削した後，流動化処理土を投入し，改良体を造成する工法</p>  <p>①置換箇所を掘削</p> <p>②掘削箇所に流動化処理土を打設</p> <p>流動化処理土</p> <p>置換工法(開削工法)の概要</p>

表 1-4 施工方法の概要(2/3)

工 法	概 要
<p>機械攪拌工法</p>	<p>原地盤に攪拌翼を貫入した後、地盤とセメントミルクを攪拌混合することで改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく、貫入が可能な箇所にて採用。</p> <div style="text-align: center;"> <p>①改良箇所に攪拌翼を貫入 ②攪拌翼を引き上げながら地盤とセメントミルクを攪拌し、改良体を造成</p> <p>貫入 引上げ攪拌 改良体</p> <p>機械攪拌工法の概要</p> </div>
<p>高圧噴射攪拌工法</p>	<p>高圧でセメントミルクを吐出し、原地盤を切削・攪拌することで改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がある、開削が困難な箇所にて採用。</p> <div style="text-align: center;"> <p>①ガイドホール設置 所定深度まで削孔 ②機器設置 ロッド建込み、超高圧 ジェットの噴射・モニ ターの回転 ③②の状態を保ちつ つモニターの引き上げ、 スライムの排出</p> <p>高圧噴射攪拌工法の概要</p> </div>
<p>無筋 コンクリート</p>	<p>原地盤を開削し、無筋コンクリートを投入することで、改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく、開削が可能な箇所にて採用。</p> <div style="text-align: center;"> <p>①置換箇所を掘削 ②掘削箇所に コンクリートを打設</p> <p>取水路 コンクリート 無筋</p> <p>無筋コンクリートの概要</p> </div>

表 1-4 施工方法の概要(3/3)

工 法	概 要
土質安定処理土	<p>構造物側方の狭隘な掘削範囲を施工性向上のために流動化処理土で埋戻したもの。(構造物に対して機能を期待しない地盤改良体)</p>  <p>①土留内部を掘削</p> <p>土質安定処理土</p> <p>土質安定処理土の概要</p>
改良盛土	<p>セメント改良土を所定の高さまで盛立てる工法。自主対策設備として設置した防潮堤の堤体として採用。(構造物に対して機能を期待しない地盤改良体)</p>  <p>改良盛土の概要</p>

2. 各施設における地盤改良体の概要

建物・構築物及び土木構造物において、地盤改良体を設置する施設の平面配置図を図 2-1 に、間接支持する設備（C クラスを除く）の有無，既設地盤改良体と新設地盤改良体の区分，地盤改良工法及び地盤改良の目的を表 2-1 に示す。

表 2-1 に示すとおり，地盤改良の主な目的は，変形抑制及び浮上り防止（構造物底面に作用する揚圧力の遮断及び構造物側面のせん断抵抗確保）に区別される。その他に，構造物側方の狭隘な掘削範囲を施工性向上のために地盤改良体で埋戻す場合や自主対策設備として設置した防潮堤の堤体として地盤改良体を用いる場合がある。なお，柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の工事計画認可申請においては，構造物の支持を目的とした地盤改良体は無い。

各施設における地盤改良体の施工範囲及び仕様については，各施設における建物・構築物及び土木構造物のそれぞれ機能要求を満たす様に設定する。詳細については，各施設における耐震計算書に示す。

各施設の地盤改良体の配置図を「2.1 建物・構築物」及び「2.2 土木構造物」に示す。

なお，地盤改良体については，2018 年 12 月時点で竣工済みのものを「既設地盤改良体」，施工中もしくは計画中のものを「新設地盤改良体」と称する。

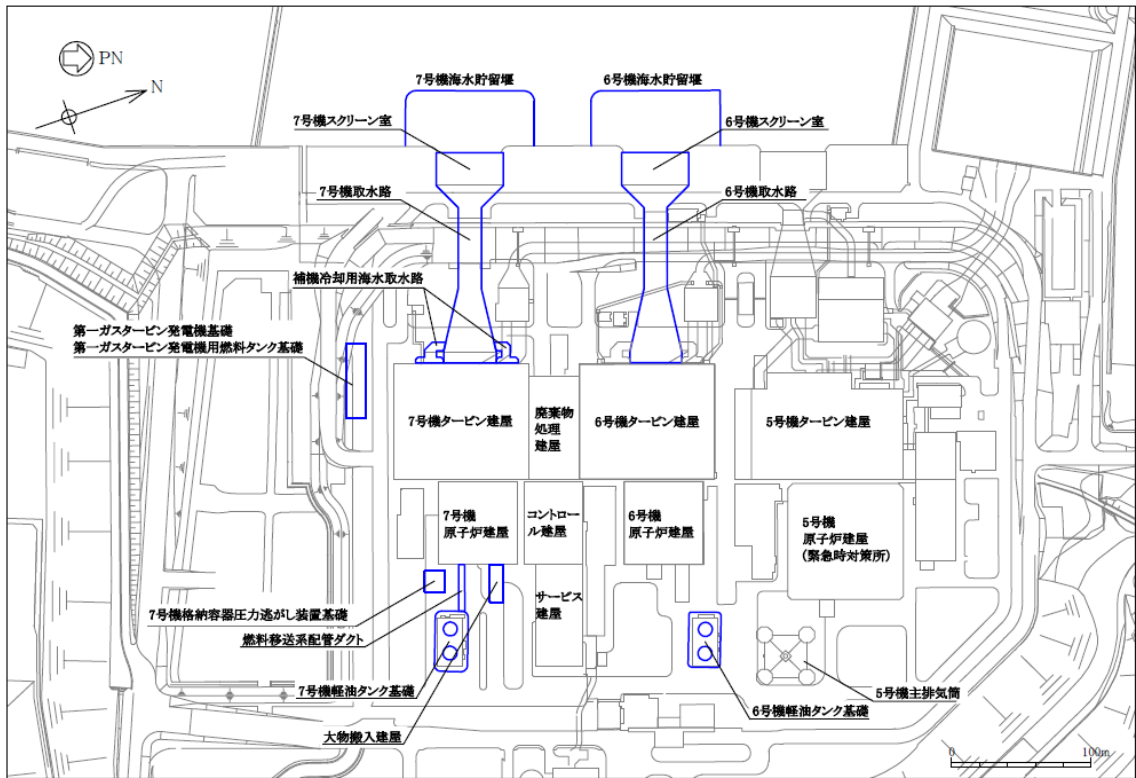


図 2-1 地盤改良体を設置する施設の平面配置図

表 2-1 地盤改良体の概要

対象施設		間接支持 する設備*	地盤改良		
			既設/新設	工法	目的
建物・構築	大物搬入建屋	×	新設	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制
	格納容器圧力逃がし装置基礎	○	新設	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制
				置換工法 (開削工法) 高圧噴射攪拌工法	
土木構造物	海水貯留堰	×	既設	高圧噴射攪拌工法	変形抑制
			新設	高圧噴射攪拌工法	
	スクリーン室	×	新設	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止
	取水路	×	新設	置換工法 (地中連続壁工法)	浮上り防止
				機械攪拌工法	
				高圧噴射攪拌工法	
				無筋コンクリート	
	補機冷却用海水取水路	×	新設	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止
	軽油タンク基礎	○	既設	置換工法 (CD 掘削工法) 高圧噴射攪拌工法	変形抑制
			新設	置換工法 (CD 掘削工法) 高圧噴射攪拌工法	
	燃料移送系配管ダクト	○	既設	高圧噴射攪拌工法	変形抑制
			新設	置換工法 (CD 掘削工法) 高圧噴射攪拌工法	
	6号機海水貯留堰	×	既設	高圧噴射攪拌工法	変形抑制
			新設	高圧噴射攪拌工法	
	6号機スクリーン室	×	新設	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止
6号機取水路	×	新設	置換工法 (地中連続壁工法)	浮上り防止	
			機械攪拌工法		
			高圧噴射攪拌工法		
			無筋コンクリート		
6号機軽油タンク基礎	○	既設	置換工法 (CD 掘削工法) 高圧噴射攪拌工法	変形抑制	
		新設	置換工法 (開削工法) 高圧噴射攪拌工法		
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	○	既設	機械攪拌工法	変形抑制	
			土質安定処理土	施工性向上	
		改良盛土	防潮堤 (自主設備) 堤体		
		新設	機械攪拌工法	変形抑制	

注記* : 間接支持する設備 (Cクラスを除く) の有無 : 有り (○), 無し (×)

2.1 建物・構築物

(1) 大物搬入建屋

大物搬入建屋の地盤改良体の配置図を図 2-2 に示す。

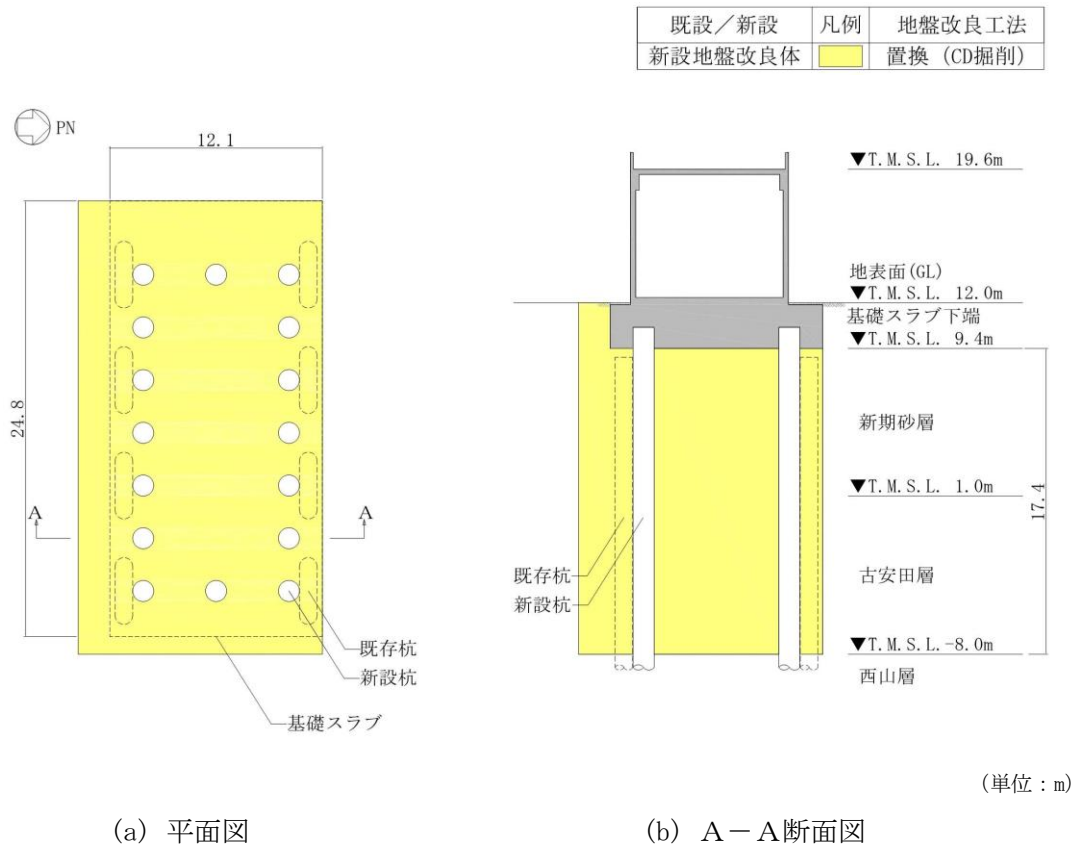
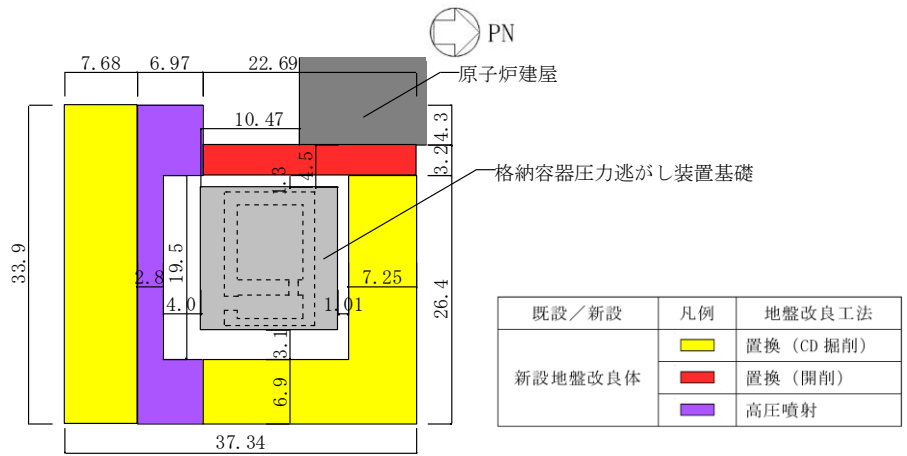


図 2-2 地盤改良体の配置図 (大物搬入建屋)

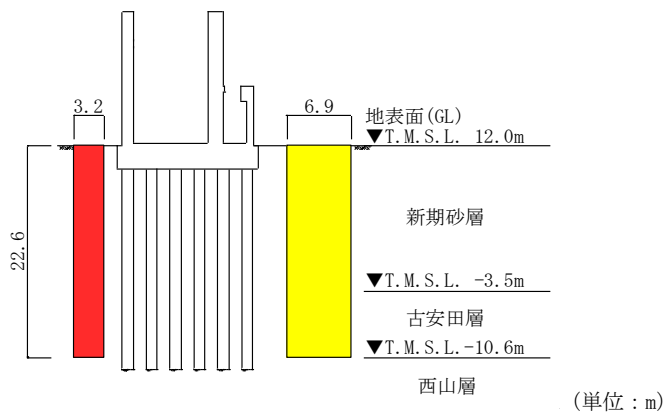
(2) 格納容器圧力逃がし装置基礎

格納容器圧力逃がし装置基礎の地盤改良体の配置図を図 2-3 に示す。



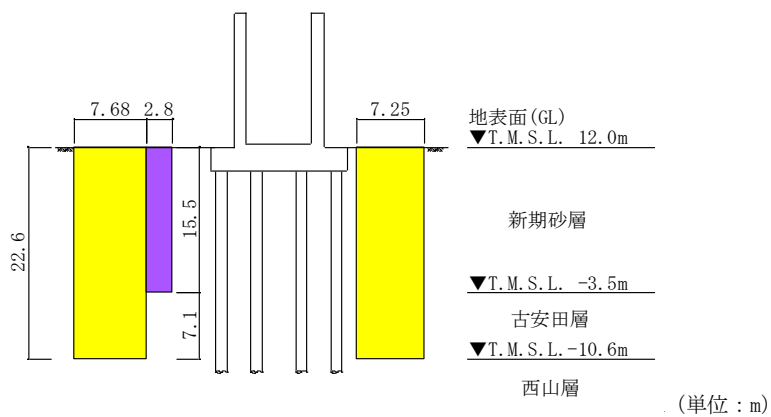
(単位 : m)

(a) 平面図



(単位 : m)

(b) A-A断面図



(単位 : m)

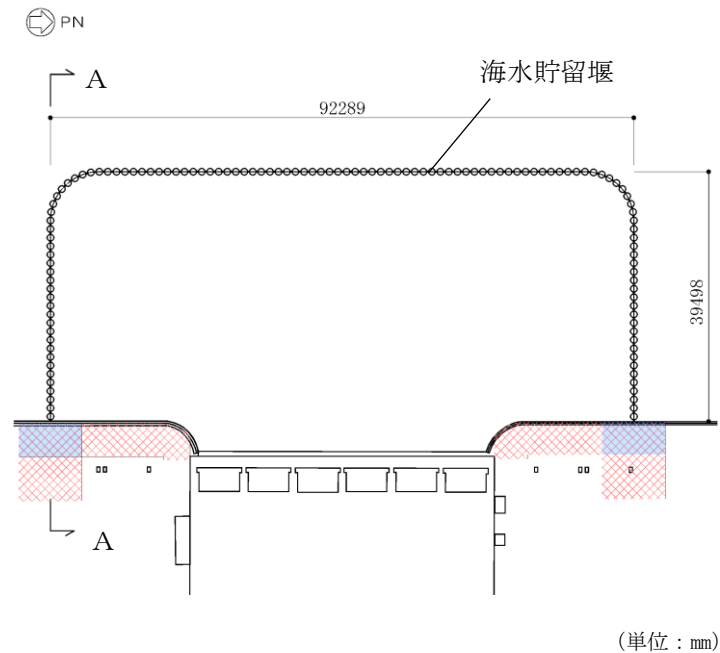
(c) B-B断面図

図 2-3 地盤改良体の配置図 (格納容器圧力逃がし装置基礎)

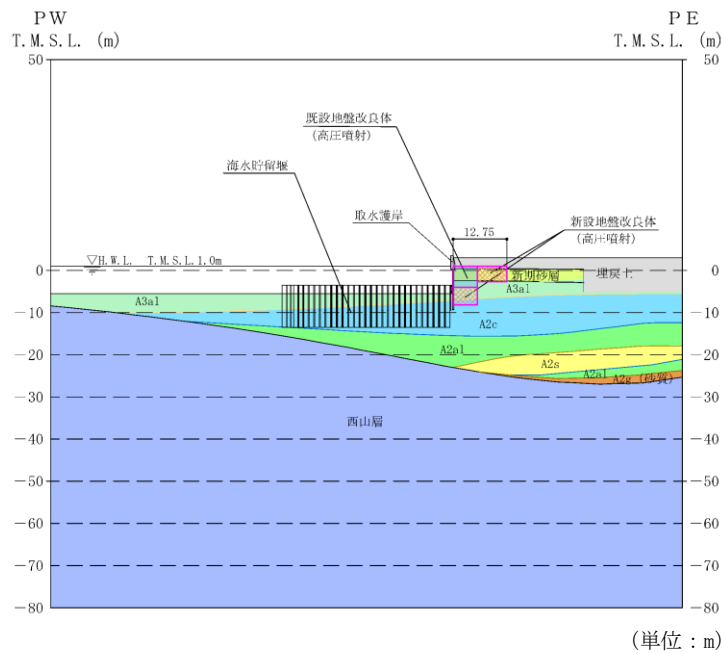
2.2 土木構造物

(1) 海水貯留堰

海水貯留堰の地盤改良体の配置図を図 2-4 に、6 号機海水貯留堰の地盤改良体の配置図を図 2-5 に示す。



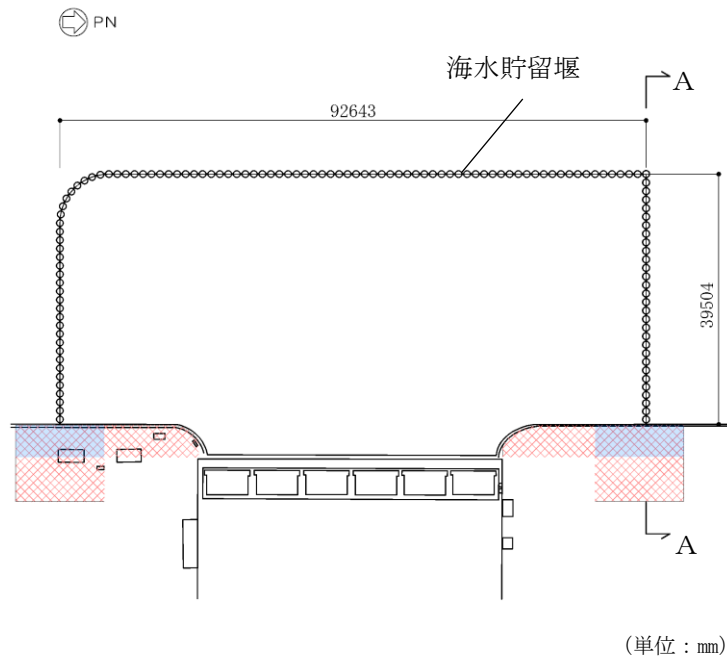
(a) 平面図



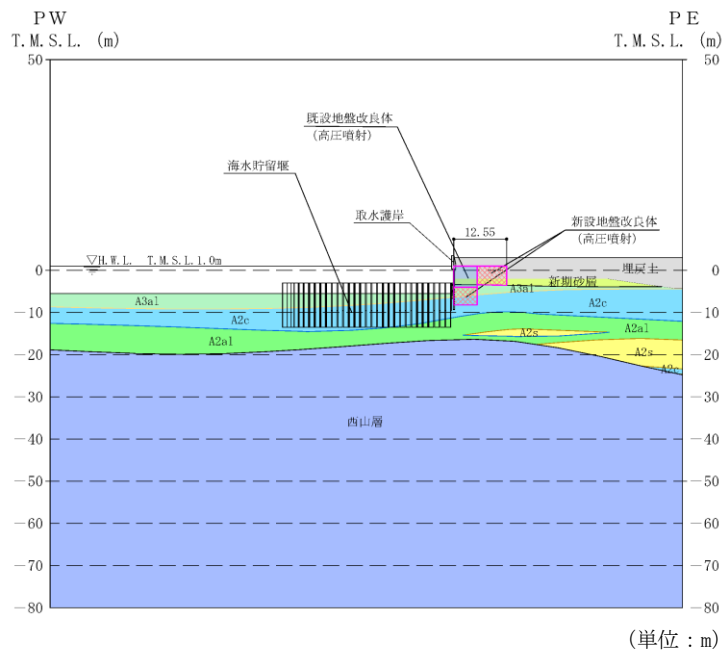
(b) A-A断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		高圧噴射
新設地盤改良体		高圧噴射

図 2-4 地盤改良体の配置図 (海水貯留堰)



(a) 平面図



(b) A-A断面図

既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		高压喷射
新設地盤改良体		高压喷射

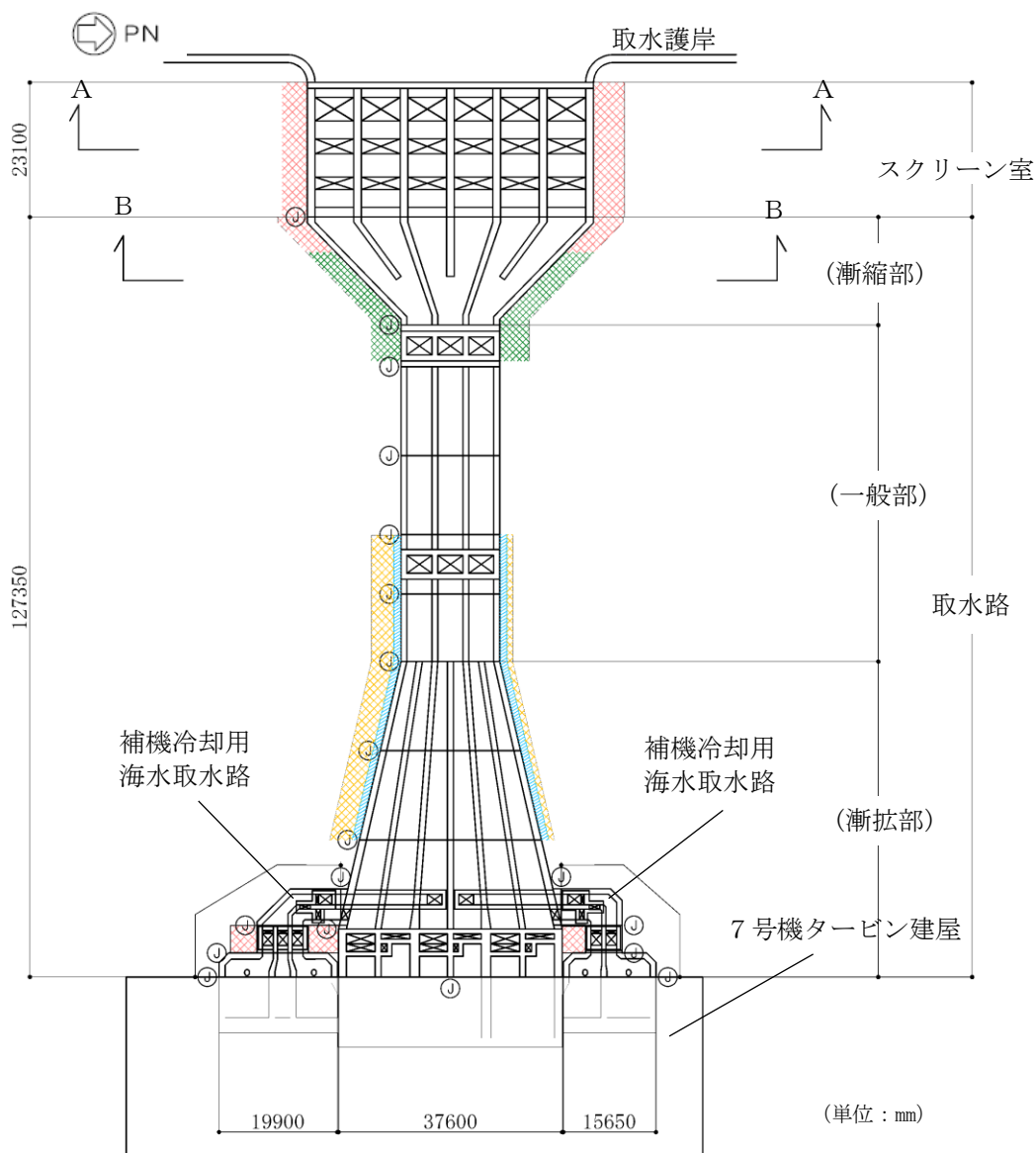
図 2-5 地盤改良体の配置図 (6号機海水貯留堰)

(2) スクリーン室，取水路及び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の地盤改良体の配置図を図 2-6 に，6号機スクリーン室及び6号機取水路の地盤改良体の配置図を図 2-7 に示す。

地盤改良体の幅は，浮上り防止を目的とし構造物を不透水層に根入れする観点から，構造物側方の埋戻土層の範囲（建設時における土留め内の掘削範囲）とすることを基本とする。ただし，建設時のオープン掘削により構造物側方に埋戻土層が広範囲に分布する場合は，地盤改良体高さの1/2以上を目安に地盤改良幅を設定する。

また，図 2-7 に示すとおり，6号機取水路（一般部）北側の一部には，取水電源建屋が設置されている。取水電源建屋の設置地盤のうち取水路側方の埋戻し範囲は，建設時に地盤改良材を用いた埋戻しが実施されているが，当工事計画認可では，建設時の地盤改良の効果は期待せず，当該部分を埋戻土として評価を行う。

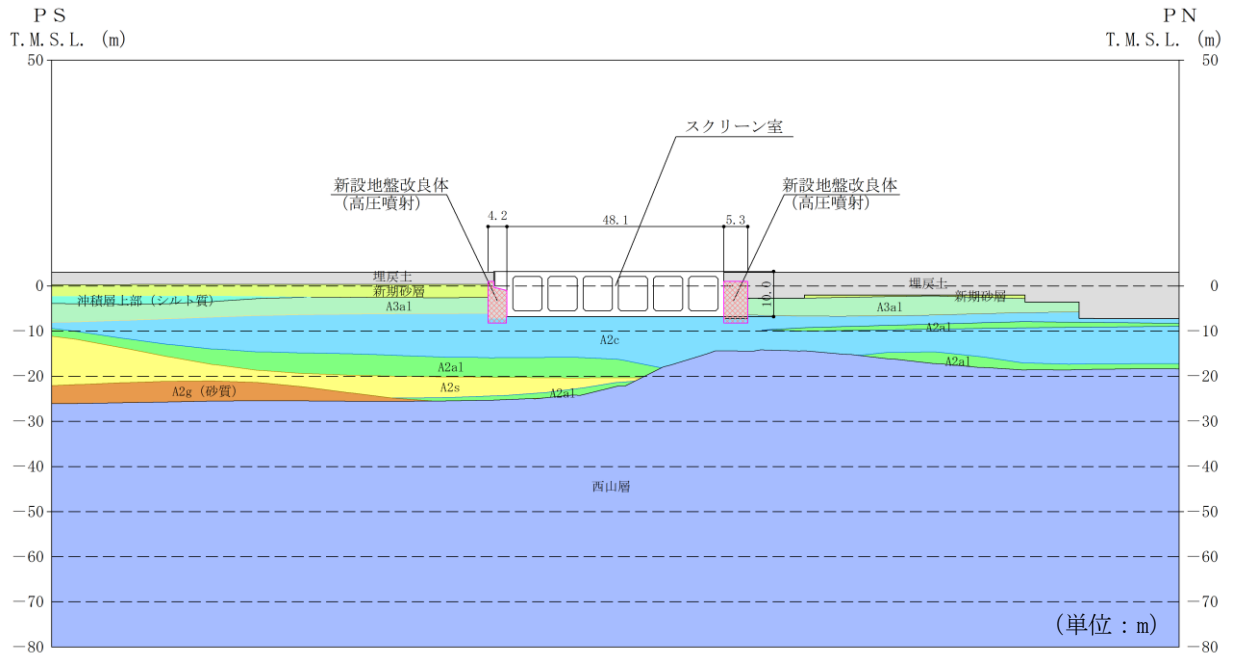


(a) 平面図

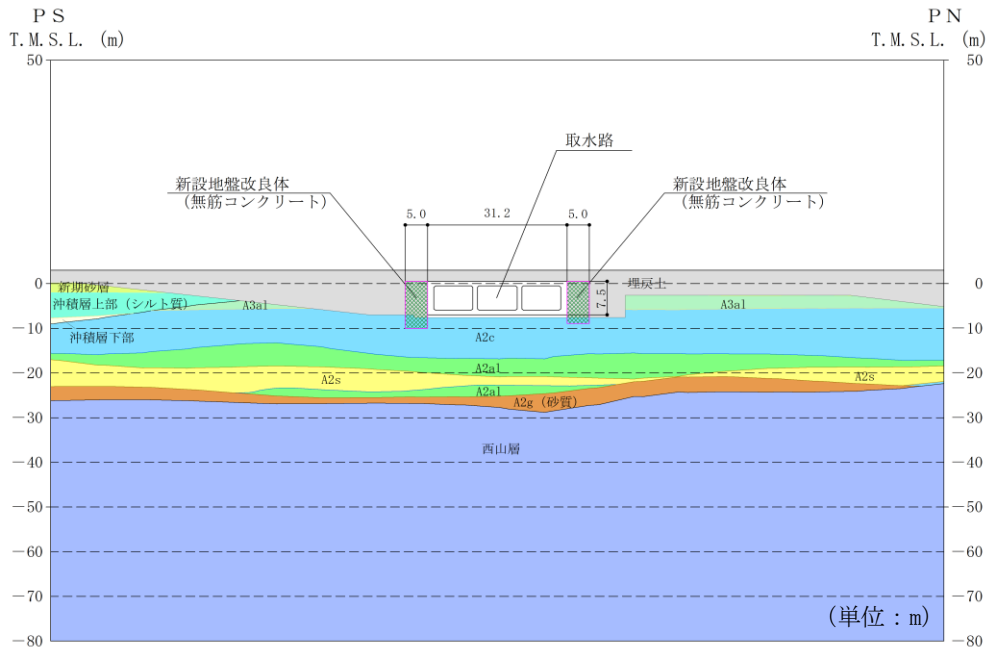
既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

注：置換工法(地中連続壁)，機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

図 2-6 地盤改良体の配置図 (スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路) (1/2)



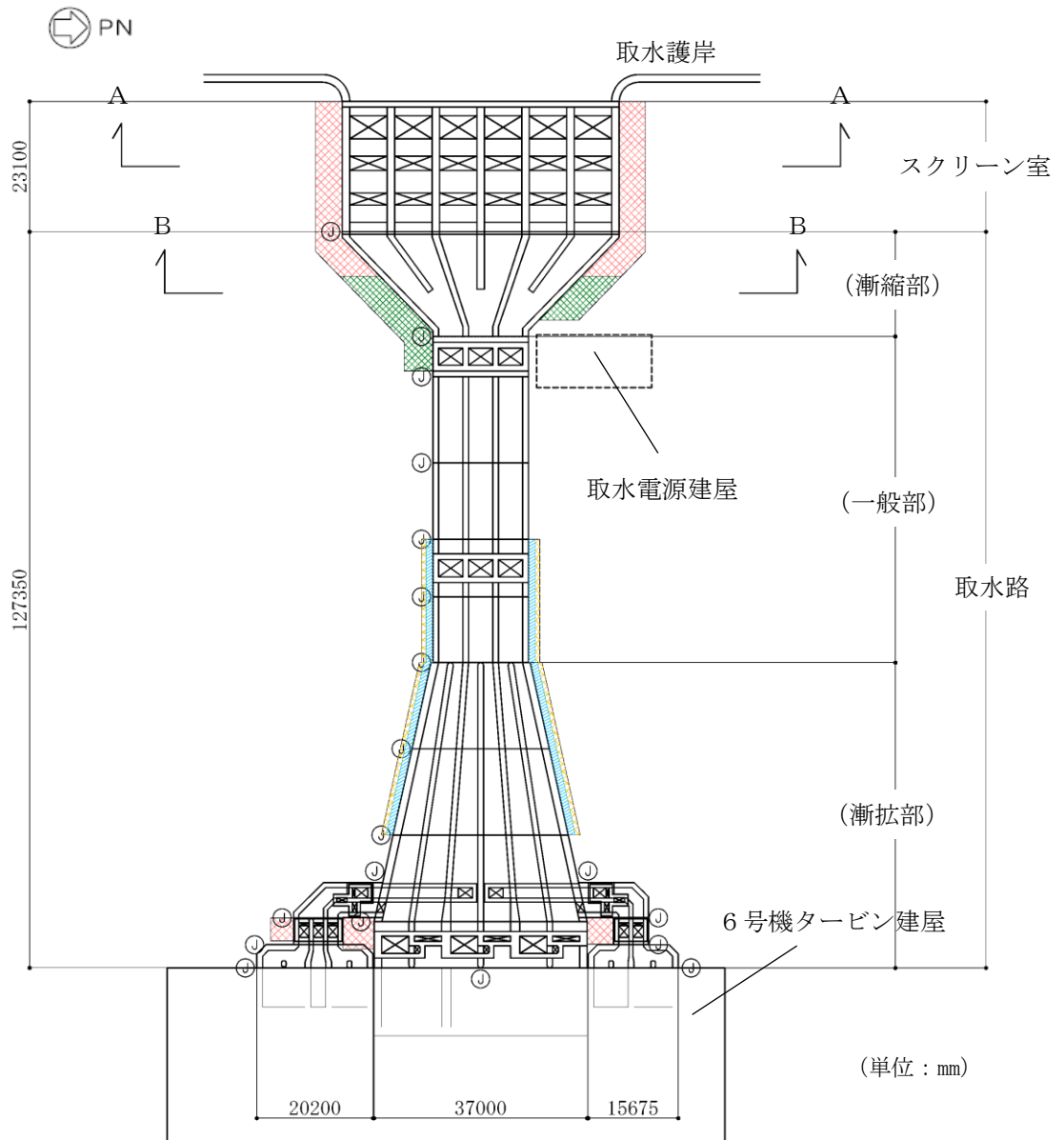
(b) A-A断面図



(c) B-B断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高压喷射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

図 2-6 地盤改良体の配置図 (スクリーン室, 取水路) (2/2)

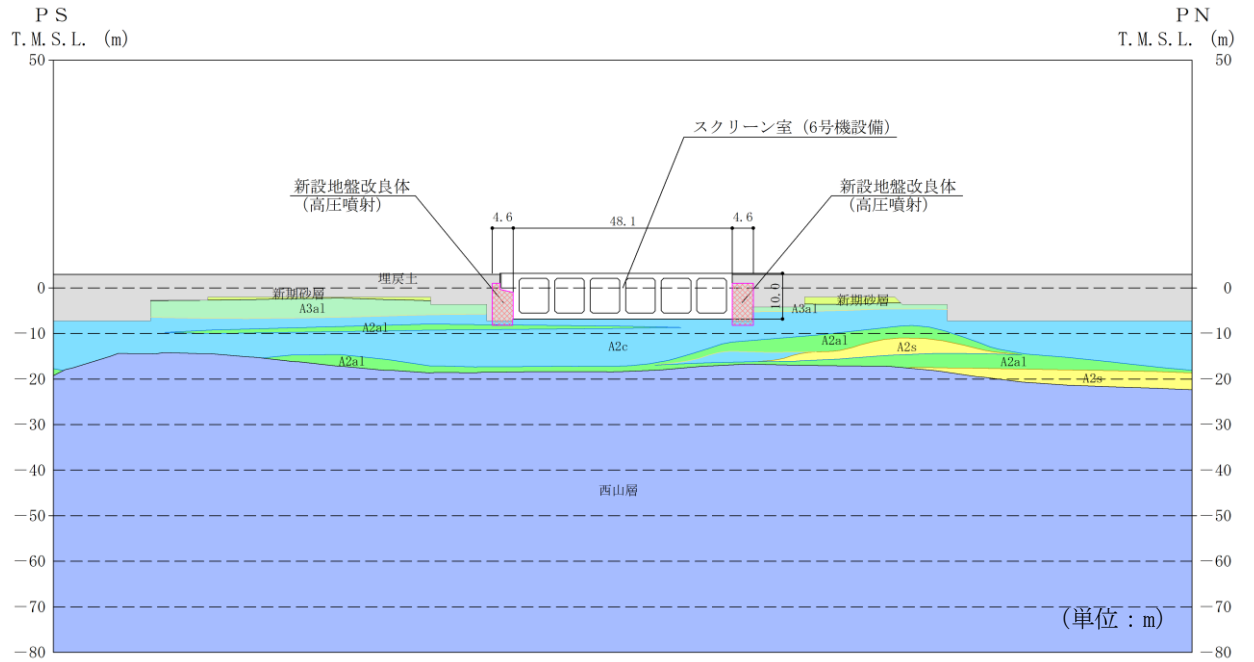


(a) 平面図

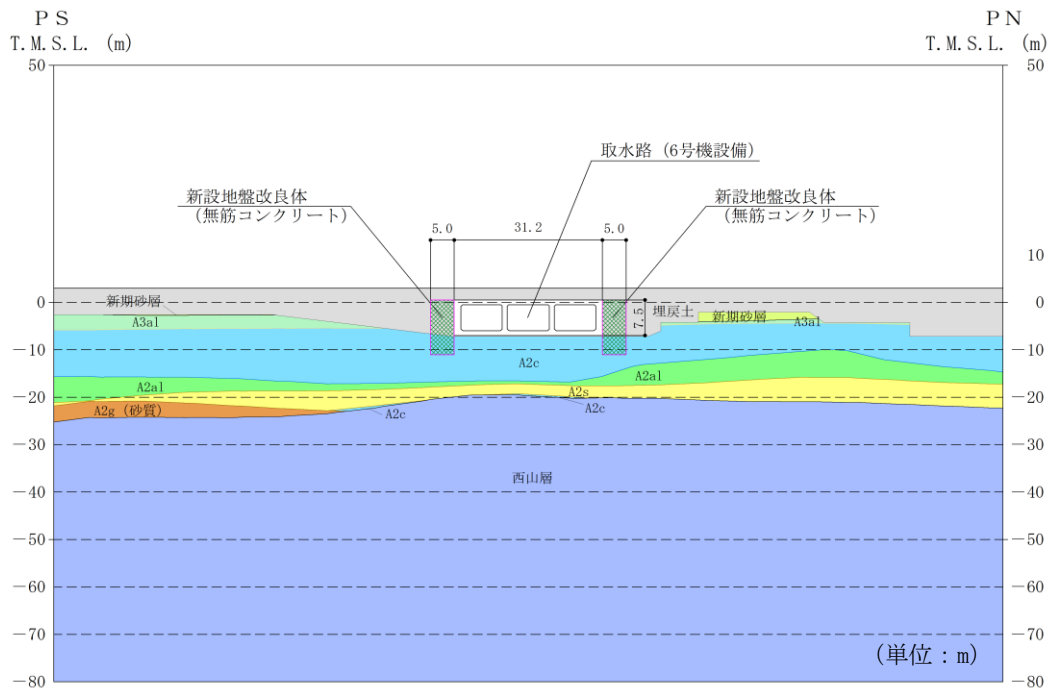
既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

注：置換工法(地中連続壁), 機械攪拌工法の施工範囲の内, 地上構造物及び埋設構造物がある箇所では, 高圧噴射または置換(開削)を適用

図 2-7 地盤改良体の配置図 (6号機スクリーン室, 6号機取水路) (1/2)



(b) A-A断面図



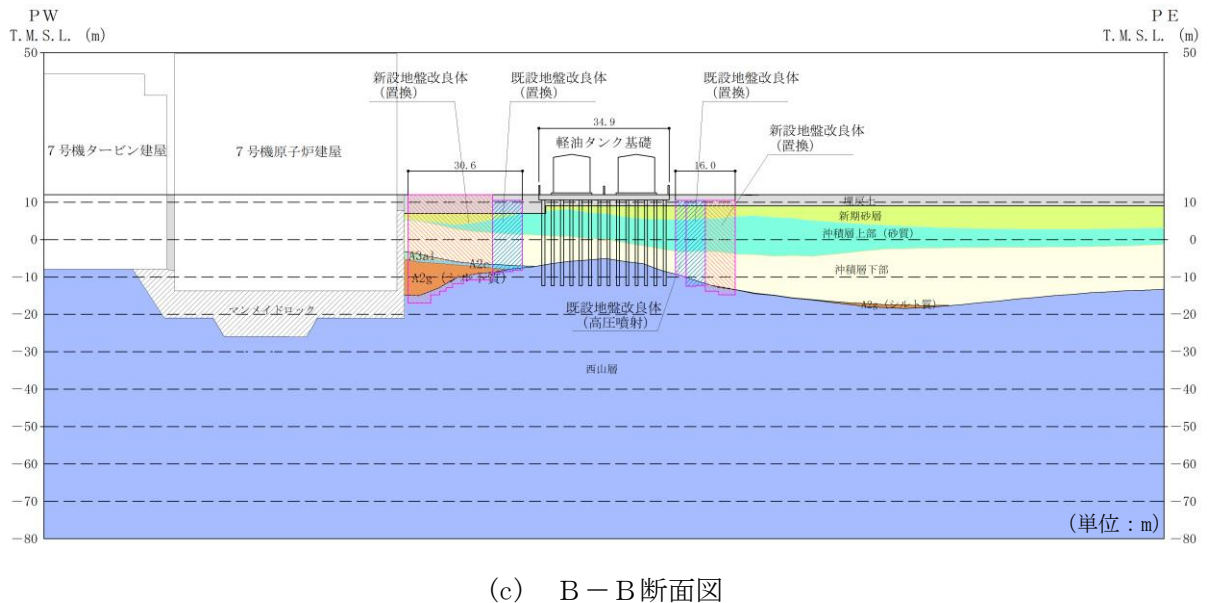
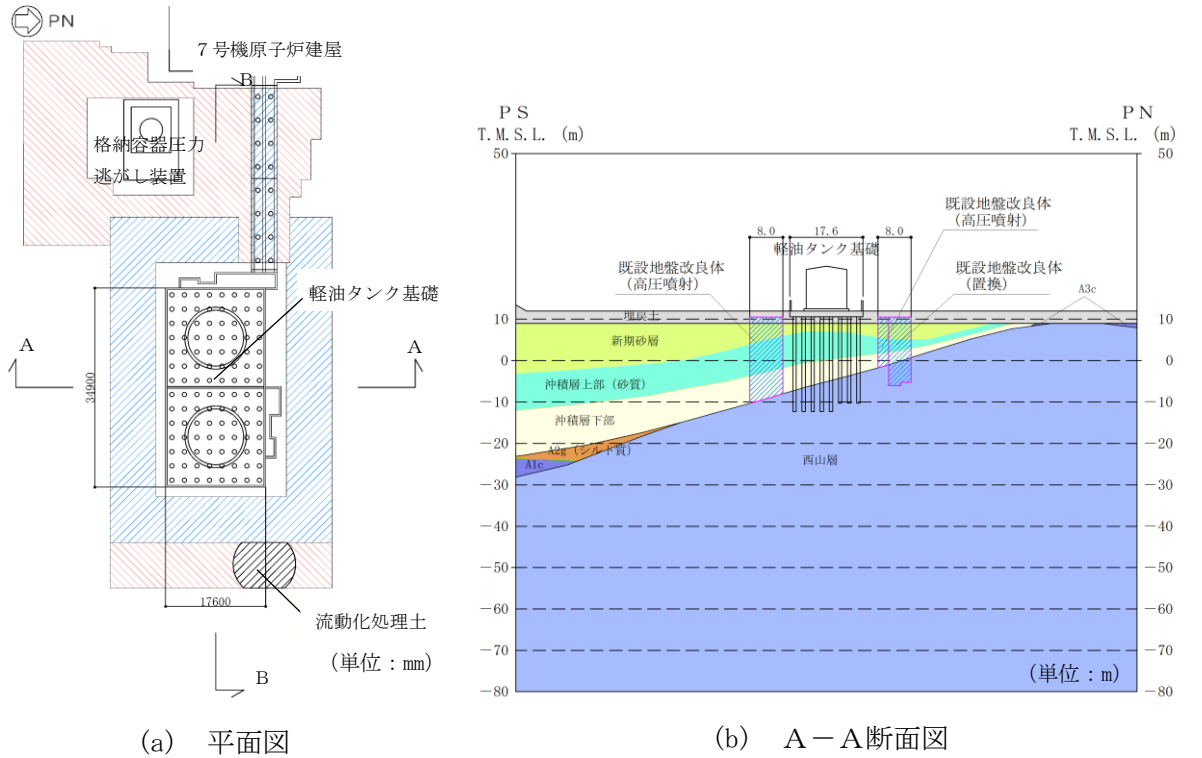
(c) B-B断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高压喷射
		无筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

図 2-7 地盤改良体の配置図 (6号機スクリーン室, 6号機取水路) (2/2)

(3) 軽油タンク基礎

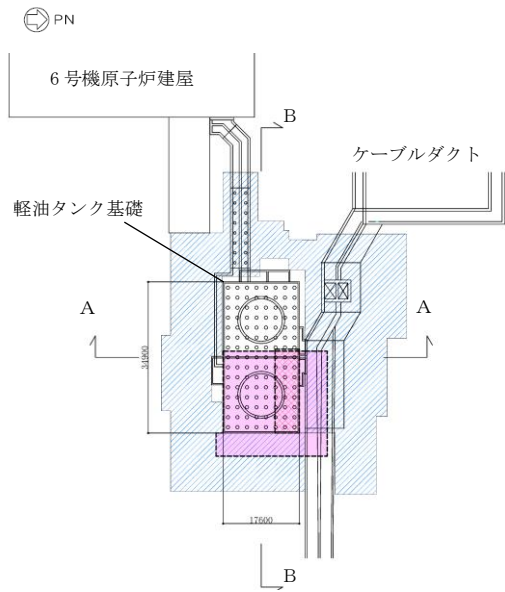
軽油タンク基礎の地盤改良体の配置図を図 2-8 に、6 号機軽油タンク基礎の地盤改良体の配置図を図 2-9 に示す。なお、軽油タンク基礎の東側の流動化処理土の埋戻土の範囲は、当工事計画認可では、流動化処理土の効果に期待せず、当該部分を空隙として評価を行う。



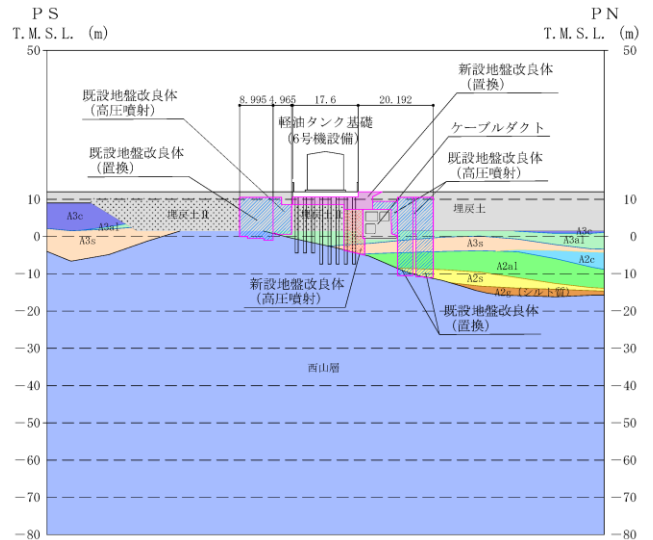
既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法(CD掘削)の施工範囲の内、上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換(開削)を適用

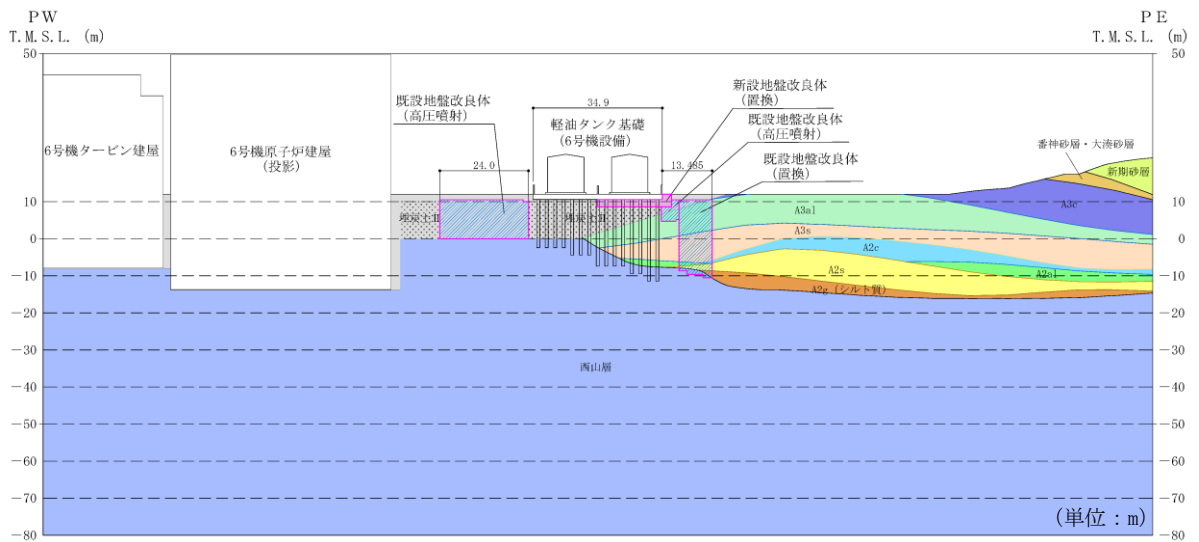
図 2-8 地盤改良体の配置図 (軽油タンク基礎)



(a) 平面図 (単位: mm)



(b) A-A断面図 (単位: m)



(c) B-B断面図

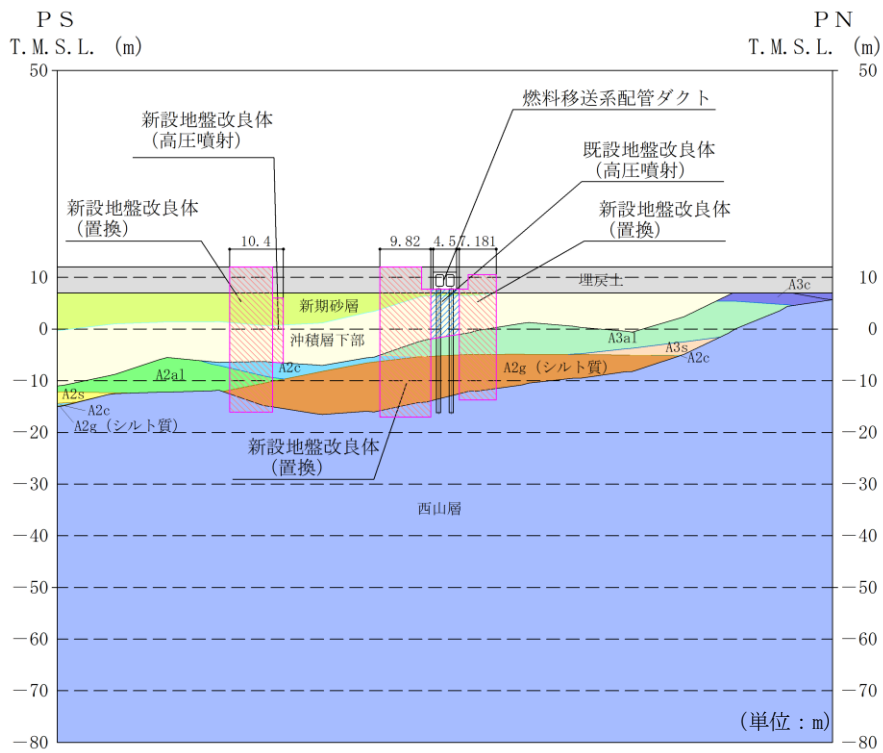
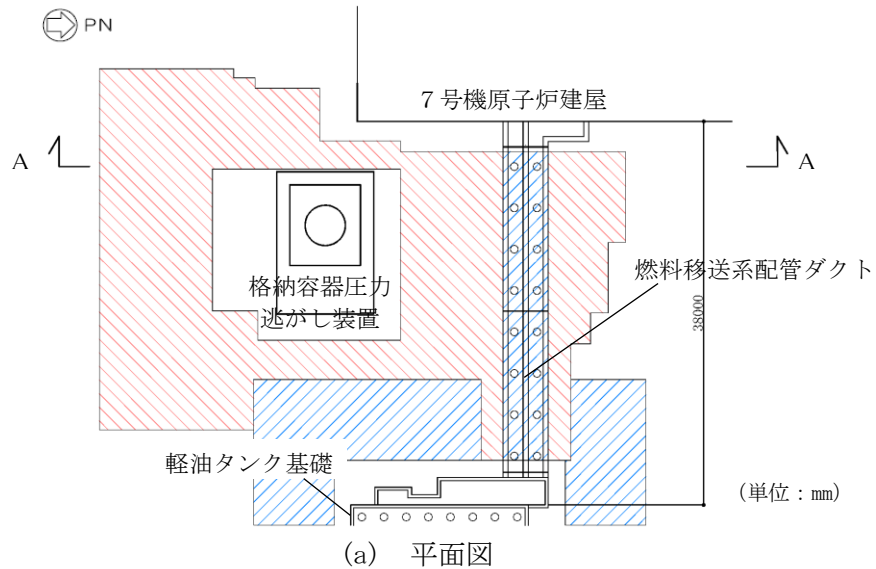
既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (開削)
		高圧噴射

注: 置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射を適用

図 2-9 地盤改良体の配置図 (6号機軽油タンク基礎)

(4) 燃料移送系配管ダクト

燃料移送系配管ダクトの地盤改良体の配置図を図 2-10 に示す。

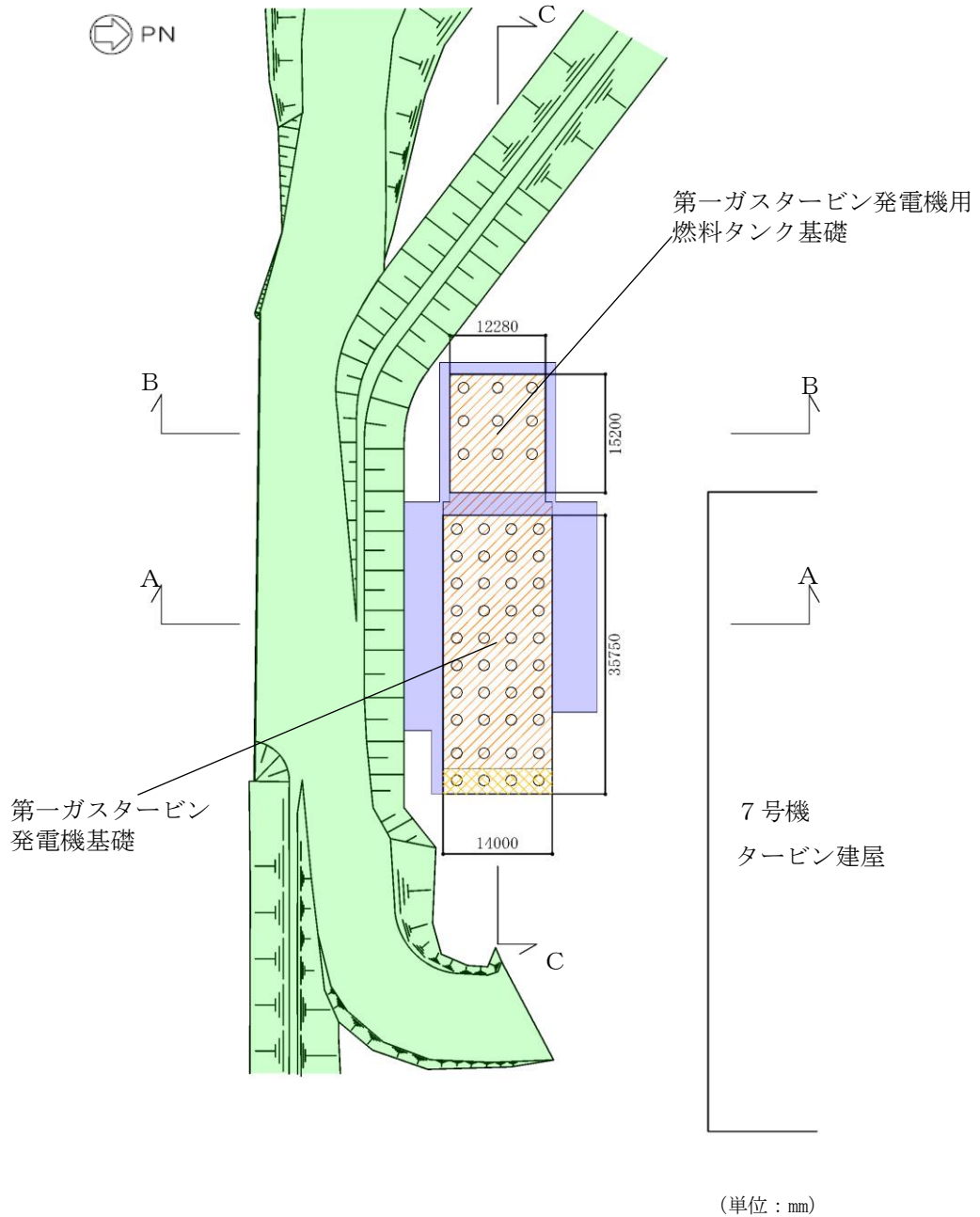


既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 2-10 地盤改良体の配置図 (燃料移送系配管ダクト)

- (5) 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
 第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の地盤改良体の配置図を図 2-11 に示す。

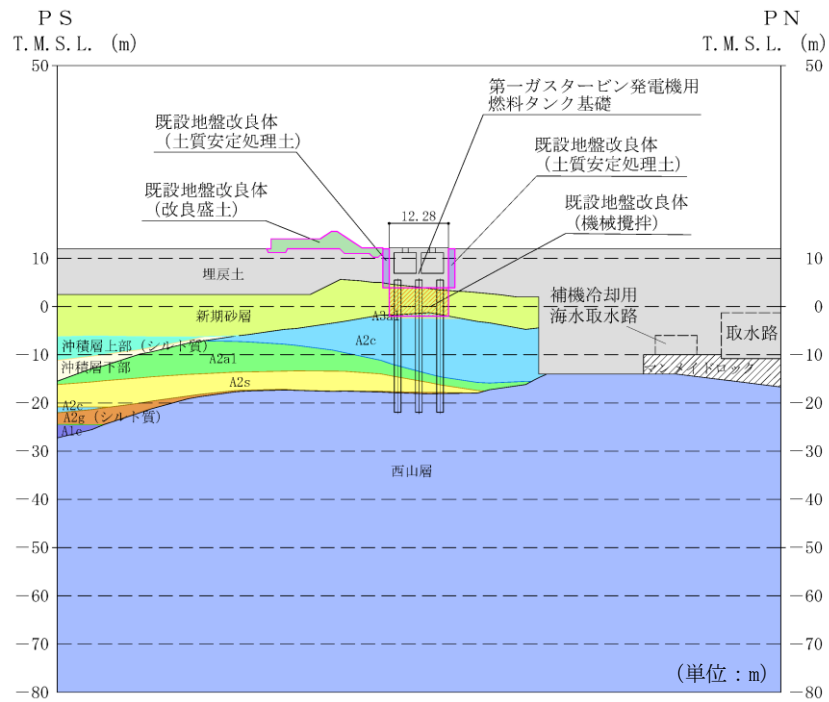


(a) 平面図

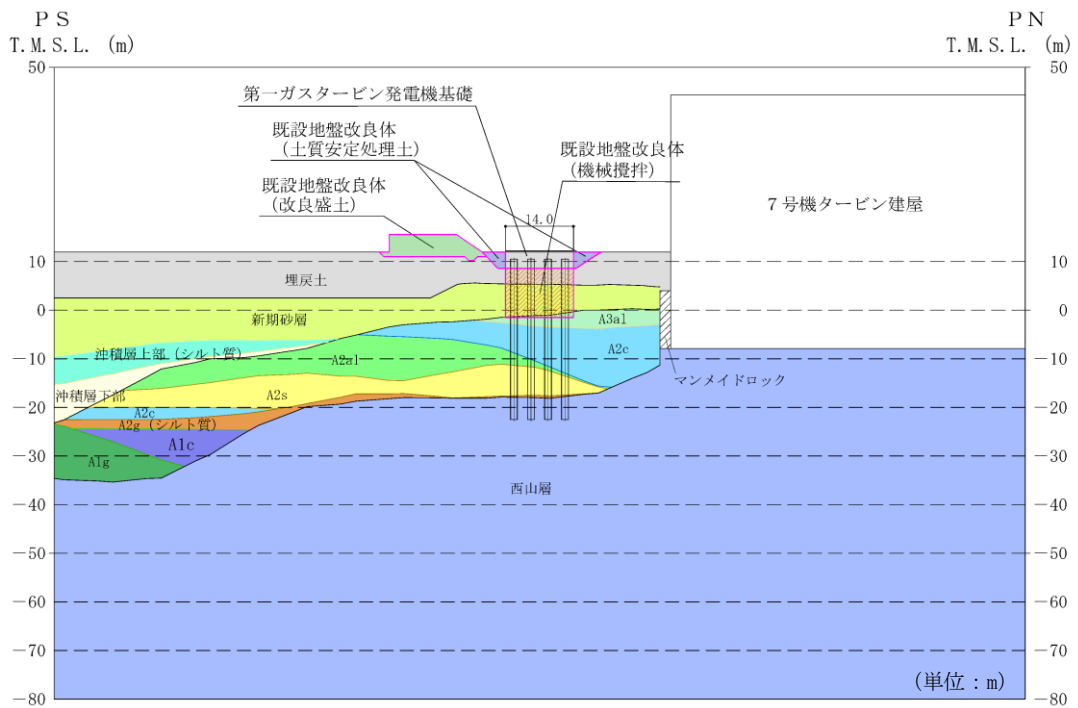
既設/新設	凡例	地盤改良工法
		機械攪拌
新設地盤改良体		土質安定処理土
		改良盛土
新設地盤改良体		機械攪拌

図 2-11 地盤改良体の配置図(1/3)

(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)



(b) A-A断面図



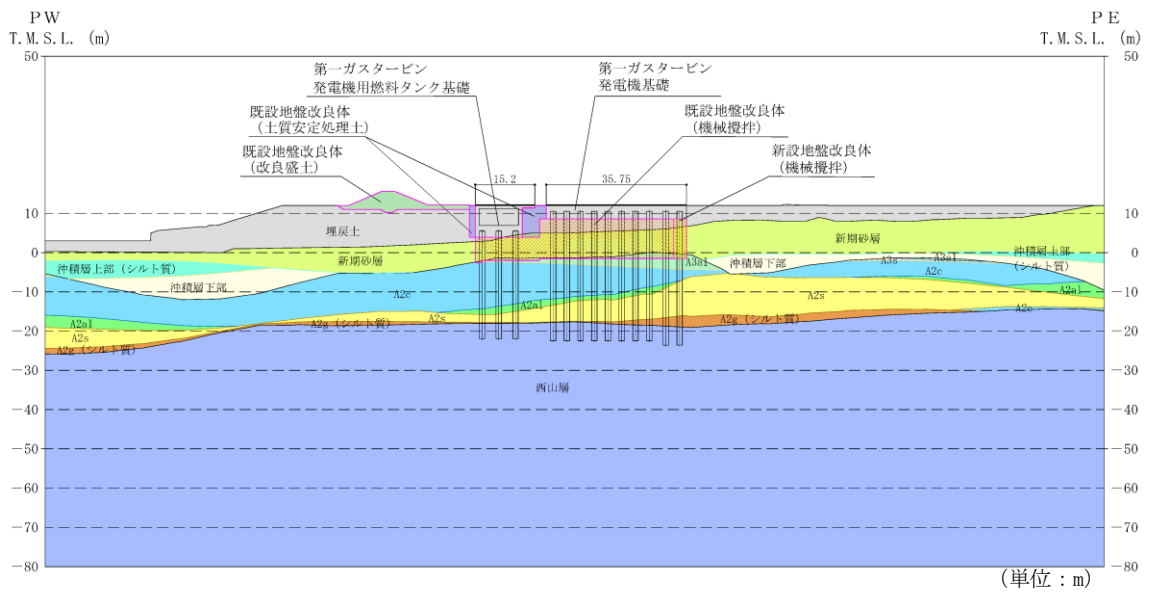
(c) B-B断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		機械攪拌
新設地盤改良体		土質安定処理土
新設地盤改良体		改良盛土
新設地盤改良体		機械攪拌

図 2-11 地盤改良体の配置図 (2/3)

(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)

(参考) 6-22



(d) C-C断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		機械攪拌
		土質安定処理土
新設地盤改良体		改良盛土
		機械攪拌

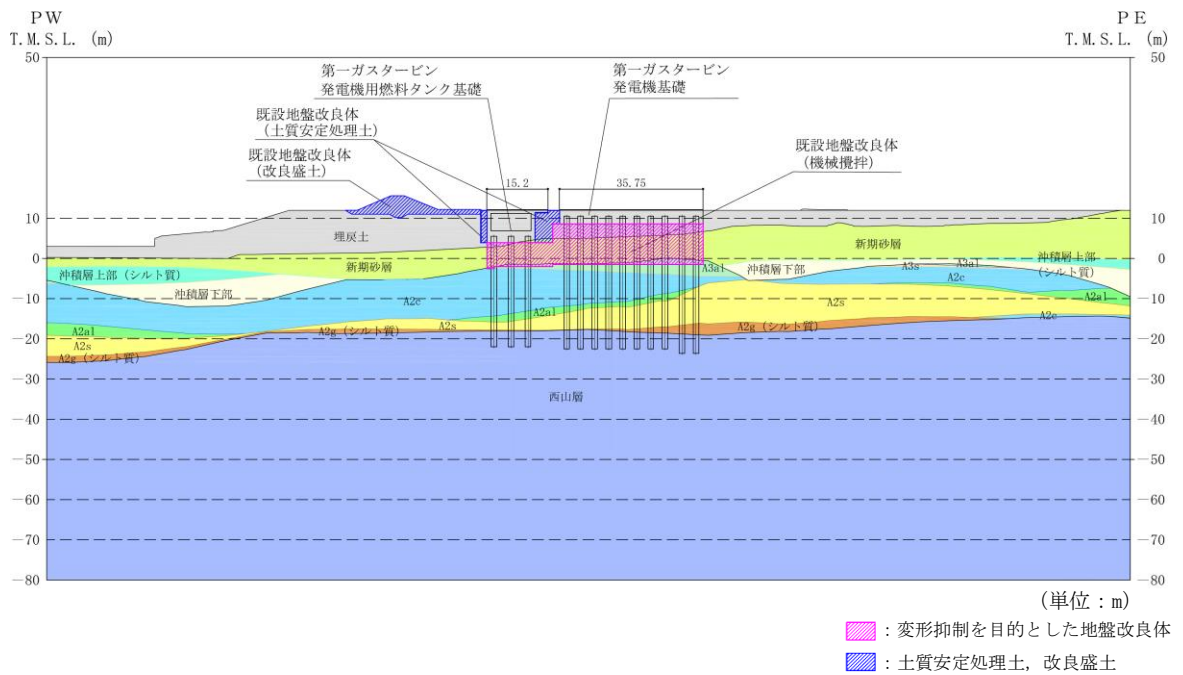
図 2-11 地盤改良体の配置図 (3/3)

(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)

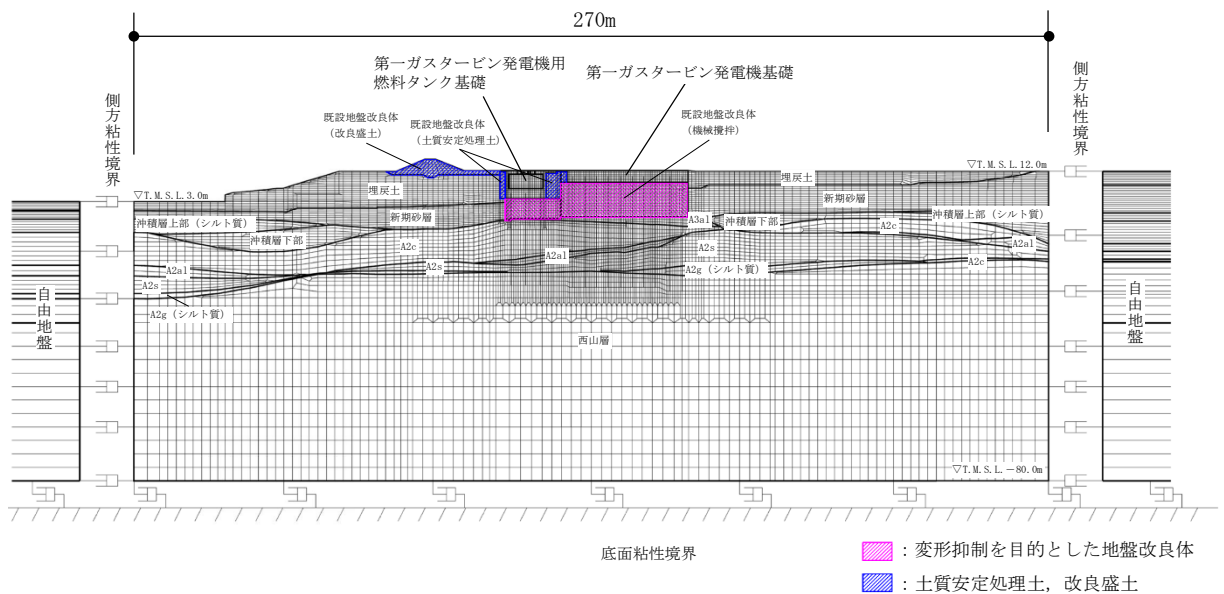
3. 地盤改良体のモデル化

3.1 地震応答解析において考慮する地盤改良体について

地震応答解析において考慮する地盤改良体は、評価対象施設の周辺に存在する地盤改良体とする。また、構造物側方の狭隘な掘削範囲を施工性向上のために地盤改良体で埋戻す用途の土質安定処理土や自主対策設備として設置した防潮堤の改良盛土についても、影響評価の観点からモデル化する。地盤改良体のモデル化の一例を図 3-1 に示す。



(a) 地盤改良体の配置図



(b) 地震応答解析モデル

図 3-1 地盤改良体のモデル化の一例

(例: 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)

3.2 地盤改良体の境界条件

地盤改良体と地盤及び地盤改良体と構造物との間には、地震時の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、ジョイント要素を設置する。

既設地盤改良体と新設地盤改良体との間には、地盤改良体同士をラップして施工することから、ジョイント要素は配置せず、一体のものとしてモデル化する。図 3-2 に地盤改良体の配置の概念図を示す。

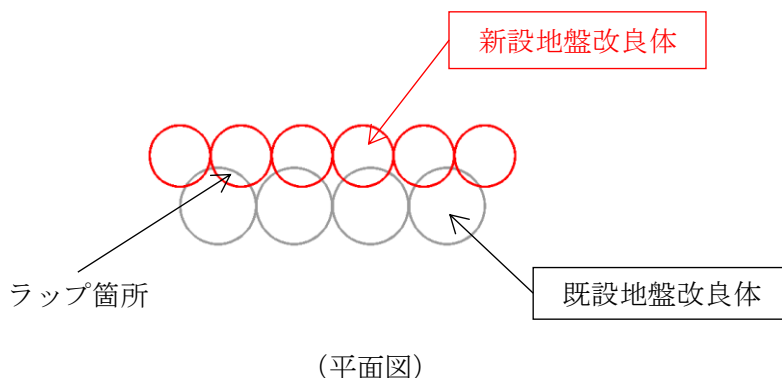


図 3-2 地盤改良体の配置（既設地盤改良体と新設地盤改良体） 概念図

3.3 地盤改良体の減衰定数

耐震評価に適用する有効応力解析では、履歴減衰と粘性減衰を考慮する。履歴減衰による減衰は、動的変形試験若しくは文献等に基づき地盤改良体の非線形性の程度に応じた値を設定する。地盤改良体の粘性減衰については、周辺地盤と一体的に挙動すると考えられることから、周辺地盤と同じく、Rayleigh 減衰の係数として、 $\alpha=0$ 、 $\beta=0.005$ を設定する。地盤の粘性減衰に関する考え方については、(参考資料 5) に示す。

4. 解析用物性値の設定

4.1 基本方針

既設地盤改良体の解析用物性値については、原位置試験及び室内試験結果に基づき設定する。地盤改良体の物理的及び力学的特性は、日本工業規格(J I S)又は地盤工学会(J G S)に基づいた試験結果から設定する。

新設地盤改良体の解析用物性値については、設計値に基づき設定することを基本とする。

4.2 既設地盤改良体

4.2.1 解析用物性値の設定方針

(1) セメント改良（置換工法，機械攪拌工法，高圧噴射攪拌工法，改良盛土）

a. 密度 ρ 及び間隙率 n

既設地盤改良体（セメント改良）の密度 ρ と間隙率 n は、室内試験結果から設定する。

海水貯留堰の高圧噴射攪拌工法及び常設代替交流電源装置基礎（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）の機械攪拌工法の間隙率 n は、高圧噴射（砂質土）における物理特性の実績値に基づき設定する。また，改良盛土の間隙率 n は，置換工法と同様に，セメントと土を陸上混練する工法であることから，類似工法である置換工法の実績値に基づき設定する。

b. 動せん断弾性係数 G_{ma}

既設地盤改良体（セメント改良）の動せん断弾性係数 G_{ma} は，密度 ρ ，S波速度 V_s より，(式1)に基づき初期せん断弾性係数 G_0 を設定する。

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2 \quad (\text{式1})$$

c. 減衰定数の上限値 h_{max}

有効応力解析においては，動的変形特性として減衰定数の上限値 h_{max} の設定が必要となる。 h_{max} の設定方法の概念図を図4-1に示す。減衰定数の上限値 h_{max} については，地盤改良体の動的変形試験に基づく減衰定数 h とせん断ひずみ γ の回帰曲線における減衰定数の上限値から設定する。

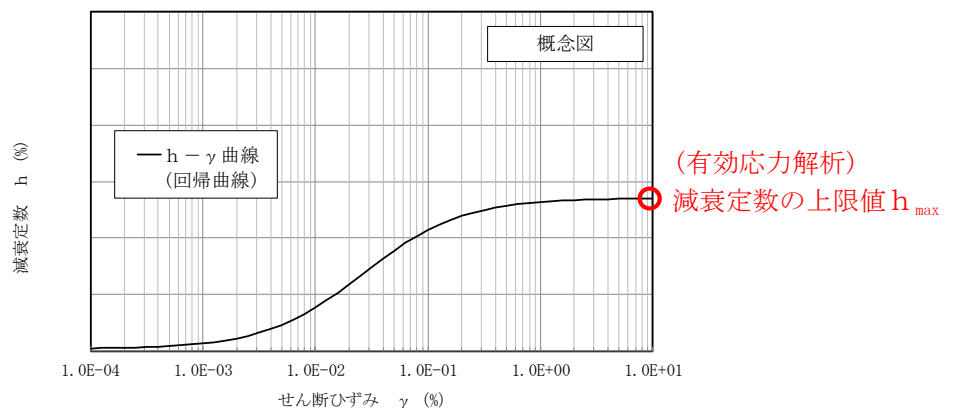
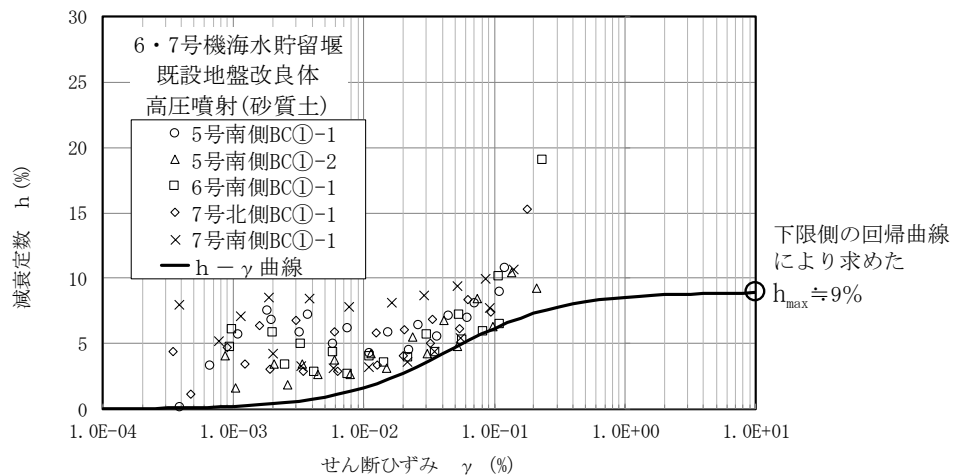


図4-1 減衰定数の上限値 h_{max} の設定方法の概念図

ただし、6・7号機海水貯留堰については、他の地盤改良体と比較し試験結果のばらつきが大きいことから、試験結果のばらつきを踏まえ、動的変形試験に基づく減衰定数 h とせん断ひずみ γ の下限相当の回帰曲線から求める減衰定数の上限値 h_{max} と文献（建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法，日本建築センター，平成14年11月）に示される h_{max} を比較して保守的に小さい方の値を設定する。

6・7号機海水貯留堰の動的変形試験結果を図4-2に示す。試験結果の下限側の回帰曲線から推定される h_{max} は約9%である。また、文献では、「減衰定数は 1×10^{-3} の軸ひずみにおいてほぼ5%~10%である」ことが示されており、文献に示される軸ひずみの最大値付近となる 1×10^{-3} よりも大きな領域において、減衰定数は5%以上を示すものと判断できる（図4-3参照）ことから、文献に基づき h_{max} は5%と設定する。

上記より、6・7号機海水貯留堰の h_{max} は、動的変形試験に基づく減衰定数 h とせん断ひずみ γ の下限相当の回帰曲線から求める減衰定数の上限値 h_{max} と文献に基づく h_{max} を比較し、保守的に小さい値である文献の『5%』を設定する。



注：図中の $h-\gamma$ 曲線は各プロットの下限側の回帰を示す。

図4-2 減衰定数のひずみ依存特性（海水貯留堰，6号機海水貯留堰・高圧噴射（砂質土））

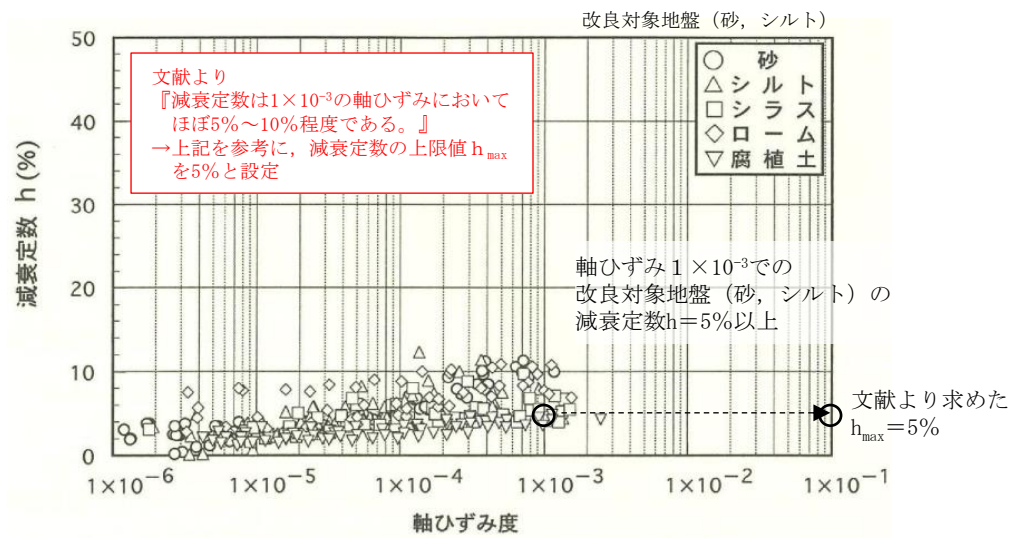


図 4-3 減衰定数のひずみ依存特性

(引用：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化工材を用いた深層・浅層混合処理工法，
日本建築センター，平成 14 年 11 月に加筆)

d. ポアソン比 ν

既設地盤改良体（セメント改良）のポアソン比 ν については、PS 検層に基づき、式(2)より設定する。

$$\nu = \frac{1 - 2 \left(V_s / V_p \right)^2}{2 \left(1 - \left(V_s / V_p \right)^2 \right)} \quad (\text{式 2})$$

ここで、

V_s : S 波速度

V_p : P 波速度

e. 粘着力 c

既設地盤改良体（セメント改良）の粘着力 c については、一軸圧縮試験結果より設定する。文献（地盤工学用語辞典）より、一軸圧縮試験の結果より求まる非排水せん断強度を粘着力として設定する。粘着力を（式3）により設定する。

$$c = \frac{q_u}{2} \quad (\text{式 3})$$

ここで、

c : 粘着力

q_u : 一軸圧縮強度

(2) 土質安定処理土

既設地盤改良体（土質安定処理土）に分類する地盤改良体は、S 波速度や一軸圧縮強度に関しては設計値に基づき設定し、その他の解析用物性値は文献に基づき設定する。

a. 密度 ρ 及び間隙率 n

既設地盤改良体（土質安定処理土）の密度 ρ と間隙率 n は、土質安定処理土は置換工法と同様に、セメントと土を陸上混練する工法であることから、類似工法である置換工法の室内試験結果から設定する。

b. 動せん断弾性係数 G_{ma}

既設地盤改良体（土質安定処理土）の動せん断弾性係数 G_{ma} は、地盤改良体の設計値（設計基準一軸圧縮強度 q_{ud} ）に基づき設定する。

具体的には、図 4-4 に示すように文献（第 2 版 流動化処理土利用技術マニュアル，独立行政法人土木研究所，平成 19 年）の一軸圧縮強度 q_u と変形係数 E_{50} の関係から、 E_{50} を推定し、(式 4) に基づき初期せん断弾性係数 G_0 を設定する。

$$G_0 = \frac{E_{50}}{2(1+\nu)} \quad \text{(式 4)}$$

ここで、

ν : ポアソン比

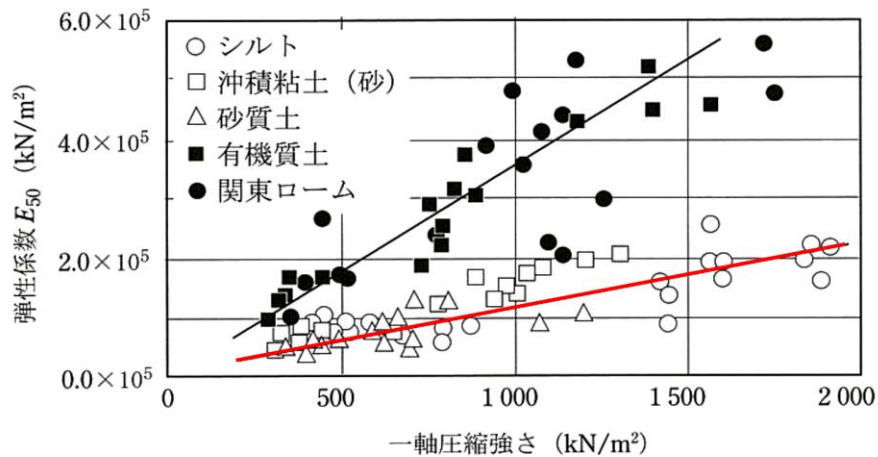


図-2.12 弾性係数の試験結果

図 4-4 流動化処理土の変形係数の推定

(引用：第 2 版 流動化処理土利用技術マニュアル，独立行政法人土木研究所，平成 19 年に加筆)

- 変形係数 E_{50} の関係から初期せん断弾性係数 G_0 を設定することの妥当性
 一軸圧縮強度 q_u から初期せん断弾性係数 G_0 を設定する方法としては、以下に示す 2 通りの方法が挙げられる。

- (1) 文献の設計基準一軸圧縮強度 q_{ud} と変形係数 E_{50} の関係から推定した E_{50} より、(式 5) に示す変形係数 E とせん断弾性係数 G の関係から、 G_0 を推定する方法。

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (\text{式 5})$$

- (2) 密度 ρ ，S 波速度 V_s より、 $G = \rho \cdot V_s^2$ の関係から G_0 を算定する方法

ここで、土質安定処理土の S 波速度 V_s は、図 4-5 に示す文献（建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法、日本建築センター、平成 14 年 11 月）の S 波速度と q_u の関係に基づき推定する。

(1) と (2) により選定した G_0 の比較結果を表 4-1 に示す。

(1) と (2) を比較した結果、(1) により算定した G_0 の方が (2) により算定した G_0 より小さく評価される。地中埋設構造物の支配的な損傷モードは地震時の地盤のせん断変形に伴い生じる構造部材の曲げ、せん断であることから、地盤のせん断変形が生じやすい (G_0 がより小さい) (1) の方法により G_0 を設定する。

表 4-1 初期せん断弾性係数 G_0 の設定方法の比較

設定方法	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m^2)
(1) 設計基準一軸圧縮強度 q_{ud} と変形係数 E_{50} の関係から、 E_{50} を推定し設定	9.58×10^3
(2) 密度 ρ ，文献から推定される S 波速度 V_s より設定	1.67×10^5

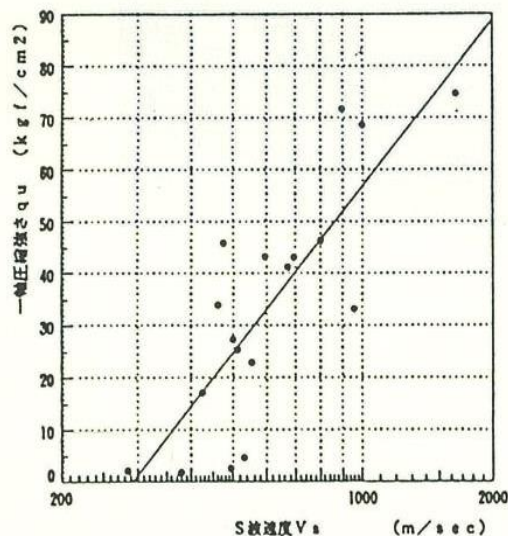


図 4-5 S 波速度と q_u の関係図

(引用：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法、日本建築センター、平成 14 年 11 月)

c. ポアソン比 ν

既設地盤改良体（土質安定処理土）のポアソン比 ν は、文献（第2版 流動化処理土利用技術マニュアル，独立行政法人 土木研究所 編，平成19年）を参考に0.2に設定する。

d. 減衰定数の上限値 h_{max}

有効応力解析においては、動的変形特性として減衰定数の上限値 h_{max} の設定が必要となる。既設地盤改良体（土質安定処理土）の減衰定数の上限値 h_{max} は、文献（建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法，日本建築センター，平成14年11月）を参考に設定する。

文献では、図4-6に示す結果に基づき、「減衰定数は 1×10^{-3} の軸ひずみにおいてほぼ5%~10%である」ことが示されており、文献に示される軸ひずみの最大値付近となる 1×10^{-3} よりも大きな領域において、減衰定数は5%以上を示すものと判断できることから、文献に基づき h_{max} は5%と設定する。

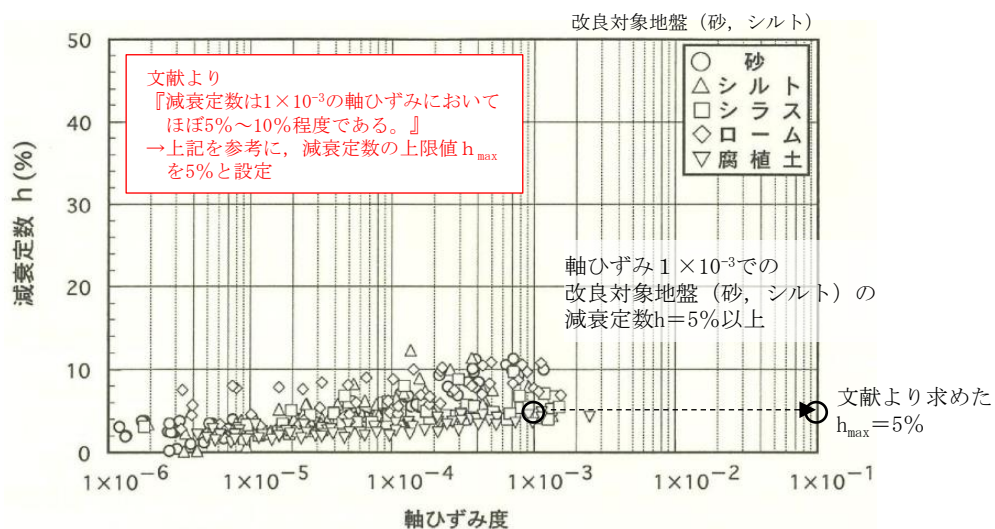


図 4-6 減衰定数のひずみ依存特性

(引用：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法，日本建築センター，平成14年11月に加筆)

e. 粘着力 c

既設地盤改良体（土質安定処理土）の粘着力 c については、設計一軸圧縮強度より設定する。文献（地盤工学用語辞典）より、一軸圧縮強度より求まる非排水せん断強度を粘着力として設定する。粘着力を設計一軸圧縮強度 q_{ud} に基づき、(式6)より設定する。

$$c = \frac{q_{ud}}{2} \quad \text{(式6)}$$

ここで、

c : 粘着力

q_{ud} : 設計一軸圧縮強度

4.2.2 室内試験及び原位置試験

(1) 既設地盤改良体の試験概要

a. 試験方法

既設地盤改良体の原位置試験及び室内試験は、日本工業規格(JIS)又は地盤工学会(JGS)の試験規格に基づき実施する。既設地盤改良体の試験項目を表4-2に示す。

表4-2 既設地盤改良体の試験項目

項目	試験規格	試験名称	対象施設及び種別(地盤種別)								
			6・7号機 海水 貯留堰		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			6号機軽油タンク基礎	
			高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	機械攪拌	改良盛土	土質安定 処理土	置換	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)
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	土粒子の密度試験方法	-	○	○	-	-	-	○	○	○
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	○	-	-	○	-	-	-	-	-

注：「○」は実施した試験、「-」は実施していない試験を示す。

b. 適用基準

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。地盤改良工法の基準・指針として一般的な文献を表4-3に、地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準を表4-4に示す。

柏崎刈羽原子力発電所においては、構造物の支持を目的とした地盤改良体は無いことから、「陸上工事マニュアル」又は「港湾・空港マニュアル」の何れかの基準・指針に従うものとする。

表4-3 地盤改良工法の基準・指針

基準・指針名	基準略称
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 改訂版, (財)土木研究センター, 平成16年3月	陸上工事マニュアル
港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル, (財)沿岸技術研究センター, 平成26年10月	港湾・空港マニュアル
建築基礎構造設計指針, 日本建築学会, 2001年改定	建築基礎指針
建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を 用いた深層・浅層混合処理工法, 日本建築センター, 平成14年5月	建築センター指針
乾式キャスク貯蔵建屋基礎構造の設計に関する技術指針, 日本電気協会, 平成21年	JEAG4616

表 4-4 地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準 (1/2)

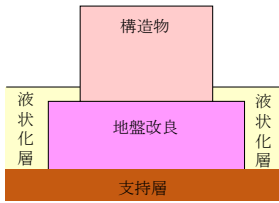
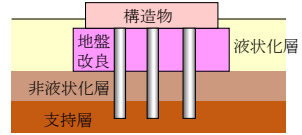
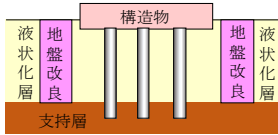
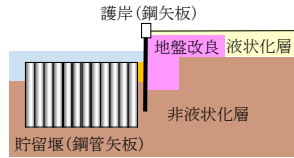
目的	直接支持	変形抑制
構造形式		
対象施設	無し	第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト*
適用基準	建築基礎指針, 建築センター指針, JEAG4616	陸上工事マニュアル

表 4-4 地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準 (2/2)

目的	変形抑制	変形抑制
構造形式		
対象施設	軽油タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト* 6号機軽油タンク基礎	海水貯留堰, 6号機海水貯留堰
適用基準	陸上工事マニュアル	港湾・空港マニュアル

注記* : 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。

c. 試験頻度

諸基準・指針における調査箇所数の目安を表 4-5 に示す。既設地盤改良体の施工数量と文献による一軸圧縮試験の調査箇所数との比較を表 4-6 に示す。参考として、その他の物性値の設定に用いた試料数を表 4-7 に示す。既設地盤改良体の供試体採取位置及びPS 検層の実施位置を(2)に示す。

試験頻度は、表 4-5 に示すとおり、諸基準・指針（「陸上工事マニュアル」又は「港湾・空港マニュアル」）を参考に、一軸圧縮試験の調査箇所数の目安に従い、地盤改良体を適用する工事状況に応じて設定する。

諸基準・指針に示される一軸圧縮試験の必要調査箇所数と既設地盤改良体における一軸圧縮試験の試料本数を比較した結果、文献による必要調査箇所数の目安を満足することを確認した。

表 4-5 諸基準・指針における必要調査箇所数の目安

基準略称	調査箇所数
陸上工事 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 マニュアル	改良土量10,000m ³ に1本(上中下の3箇所)程度。

表 4-6 既設地盤改良体の施工数量と必要調査箇所数との比較

対象施設		6・7号機 海水貯留堰	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			6号機軽油タンク基礎		
種別 (地盤種別)		高压喷射 (砂質土)	置換	高压喷射 (砂質土)	機械攪拌	改良盛土	土質安定 処理土	置換	高压喷射 (砂質土)	高压喷射 (粘性土)	
適用基準		港湾・空港 マニュアル	陸上工事 マニュアル	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	—	陸上工事 マニュアル	陸上工事 マニュアル	陸上工事 マニュアル	
施工 数量	施工数量 (m ³)	2790.3	12450	10297.7	5995	147429	—	16374.6	2428.2	5075.6	
	本数 (本)	58	95	102	237	—	—	204	38	134	
(A)	一軸圧縮試験本数 (本)	6	81	99	9	125	—	90	36	81	
(B)	必要本数 (本)	3	9	9	9	45	—	9	9	9	
判定 (A) > (B)		○	○	○	○	○	—	○	○	○	

表 4-7 (参考) 各物性値の設定に用いた試料数

対象施設		6・7号機 海水貯留堰	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			6号機軽油タンク基礎			対応する 試験項目
種別 (地盤種別)		高压喷射 (砂質土)	置換	高压喷射 (砂質土)	機械攪拌	改良盛土	土質安定 処理土	置換	高压喷射 (砂質土)	高压喷射 (粘性土)	
試 料 数	湿潤密度	6	81	99	9	125	—	90	36	81	物理試験
	間隙率	—	24	28	—	—	—	24	20	20	物理試験
	P波速度	25	180	211	37	26	—	167	33	78	PS検層
	S波速度	25	180	211	37	26	—	167	33	78	PS検層
	h～γ関係	10	20	24	9	8	—	20	16	16	動的変形試験
	一軸圧縮強度	6	81	99	9	125	—	90	36	81	一軸圧縮試験

注記*1：“—”は試験を実施していない項目を示す。

*2：PS検層は区間1mを集計単位とした場合の試料数を示す。

- (2) 試料採取位置及び試験結果
 a. 海水貯留堰, 6号機海水貯留堰

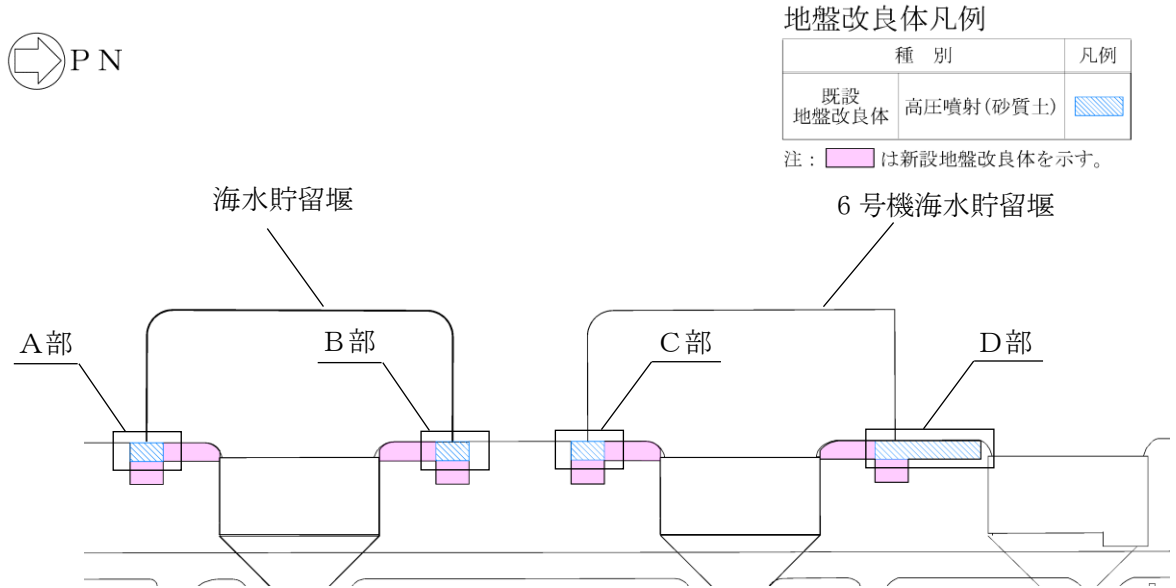


図 4-7 供試体採取及びPS 検層実施位置(全体図)
 (海水貯留堰, 6号機海水貯留堰)

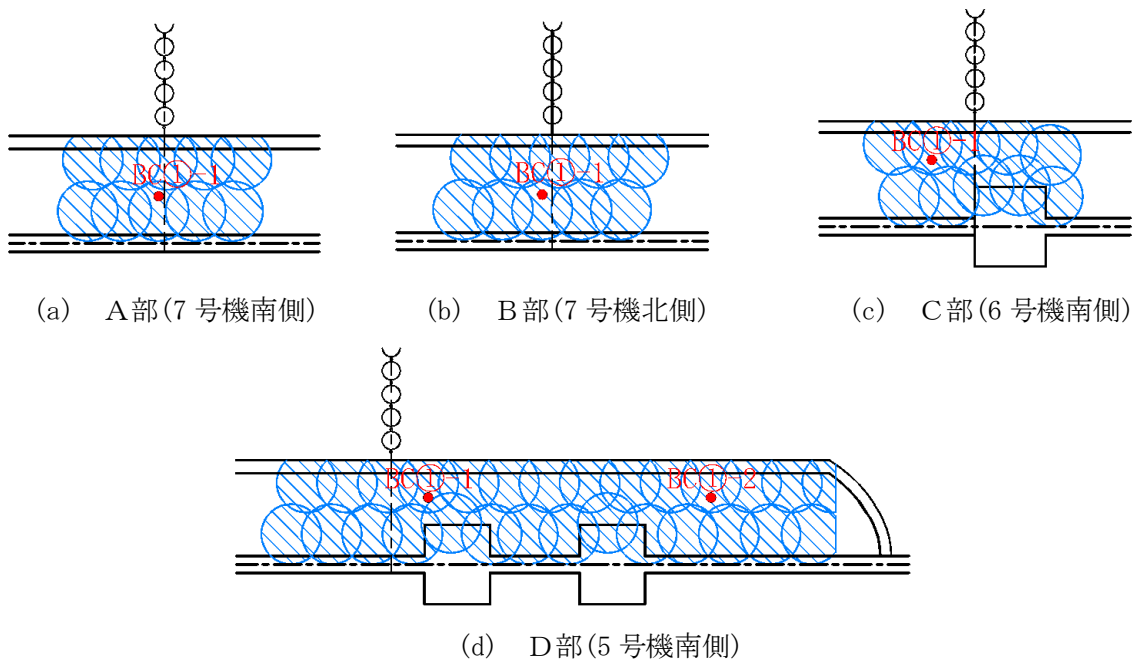


図 4-8 供試体採取及びPS 検層実施位置(拡大図)
 (海水貯留堰, 6号機海水貯留堰)

表 4-8 既設地盤改良体の試験結果
(海水貯留堰, 6号機海水貯留堰・高圧噴射(砂質土))

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~ γ 関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm ³)	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m ²)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
5号機南側BC①-1	1	1.779	-	-	1	2360	5	2032	5	929	2	図4-9を 参照の こと
5号機南側BC①-2	1	1.852	-	-	1	1160	5	2058	5	880	2	
6号機南側BC①-1	2	1.606	-	-	2	1400	5	2327	5	912	2	
7号機北側BC①-1	1	1.872	-	-	1	1770	5	2520	5	1111	2	
7号機南側BC①-1	1	1.895	-	-	1	1690	5	2328	5	1181	2	
平均値	6	1.77	-	-	6	1630	25	2253	25	1003	10	
標準偏差	0.132		-		570		263		170			
変動係数	0.075		-		0.350		0.117		0.170			

注記*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

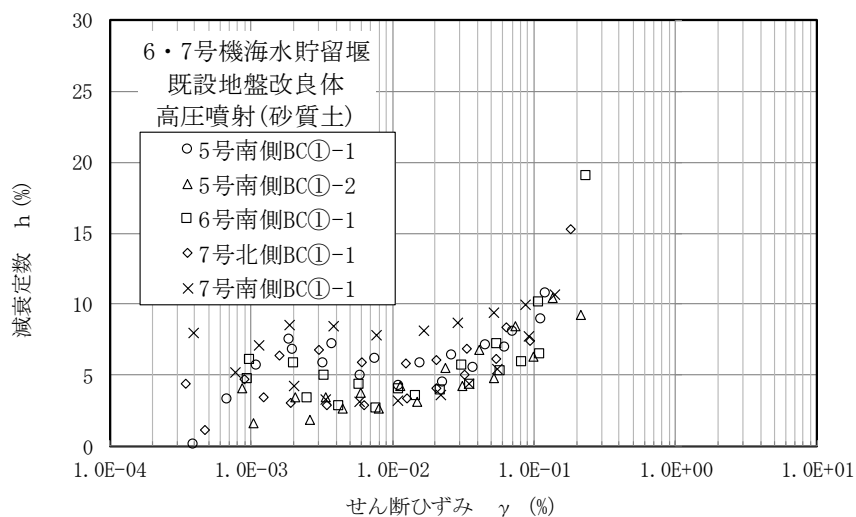
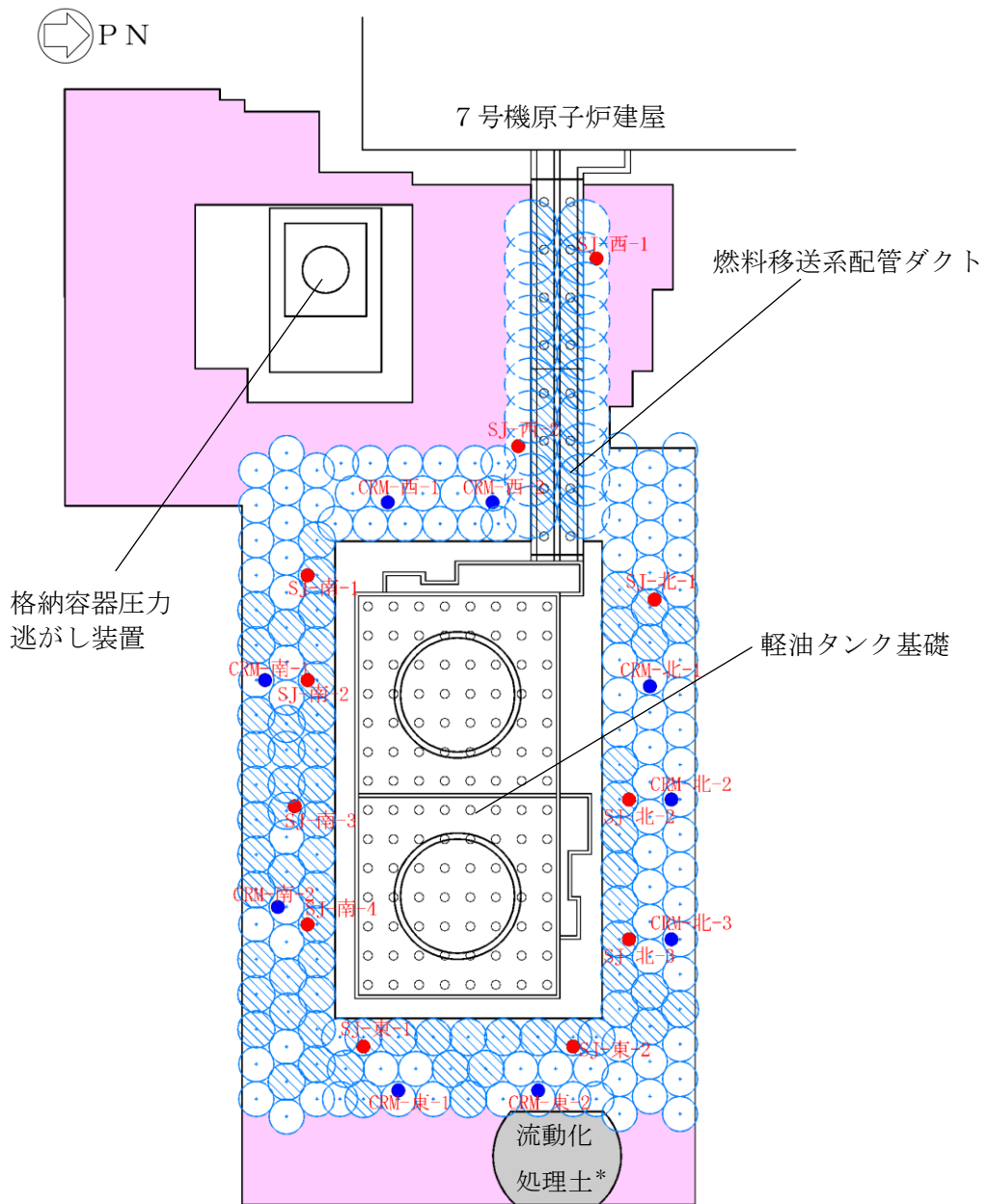


図 4-9 減衰定数のひずみ依存特性
(海水貯留堰, 6号機海水貯留堰・高圧噴射(砂質土))

b. 軽油タンク基礎



地盤改良体凡例

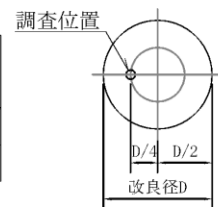
種 別		凡例	調査位置
既設 地盤改良体	置換	○	●
	高圧噴射(砂質土)	⊗	●

注1: は新設地盤改良体を示す。

注2: 赤字は孔名を示す。

注記*: 「流動化処理土」部は既設立坑の埋戻し箇所を示す。

(解析に剛性・強度を考慮しない埋戻し材)



調査要領図

図 4-10 供試体採取及びPS 検層実施位置
(軽油タンク基礎)

表 4-9 既設地盤改良体の試験結果（軽油タンク基礎・置換）

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm ³)	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m ²)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
CRM-西-1	9	1.827	-	-	9	4452	19	2391	19	1261	-	図4-11を 参照の こと
CRM-西-2	9	1.900	4	0.479	9	5039	19	2439	19	1277	4	
CRM-南-1	9	1.839	12	0.487	9	5663	21	2506	21	1370	8	
CRM-南-2	9	1.791	-	-	9	3942	24	2374	24	1251	-	
CRM-東-1	9	1.834	-	-	9	3654	25	2265	25	1149	-	
CRM-東-2	9	1.781	4	0.544	9	4820	21	2815	21	1443	4	
CRM-北-1	9	1.908	-	-	9	5383	17	2458	17	1381	-	
CRM-北-2	9	1.822	-	-	9	4031	16	2309	16	1258	-	
CRM-北-3	9	1.940	4	0.481	9	4881	18	2516	18	1407	4	
平均值	81	1.85	24	0.49	81	4652	180	2451	180	1305	20	
標準偏差	0.059		0.025		1254		336		200			
変動係数	0.032		0.050		0.270		0.137		0.153			

注記*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 4-10 既設地盤改良体の試験結果（軽油タンク基礎・高圧噴射(砂質土)）

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm ³)	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m ²)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
SJ-西-1	9	1.620	4	0.646	9	3408	15	1751	15	630	4	図4-12を 参照の こと
SJ-西-2	9	1.578	4	0.596	9	2984	16	1669	16	787	4	
SJ-南-1	9	1.692	-	-	9	3087	19	2007	19	1010	-	
SJ-南-2	9	1.806	-	-	9	3390	20	2207	20	994	-	
SJ-南-3	9	1.864	4	0.467	9	4297	22	1869	22	978	4	
SJ-南-4	9	1.794	-	-	9	3242	24	1955	24	890	-	
SJ-東-1	9	1.903	12	0.458	9	3806	24	2195	24	929	8	
SJ-東-2	9	1.780	-	-	9	4239	20	1873	20	794	-	
SJ-北-1	9	1.677	-	-	9	3058	17	1734	17	741	-	
SJ-北-2	9	1.646	4	0.481	9	3154	17	2121	17	941	4	
SJ-北-3	9	1.699	-	-	9	3516	17	1997	17	807	-	
平均值	99	1.73	28	0.51	99	3471	211	1957	211	874	24	
標準偏差	0.141		0.082		894		382		260			
変動係数	0.081		0.162		0.258		0.195		0.297			

注記*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

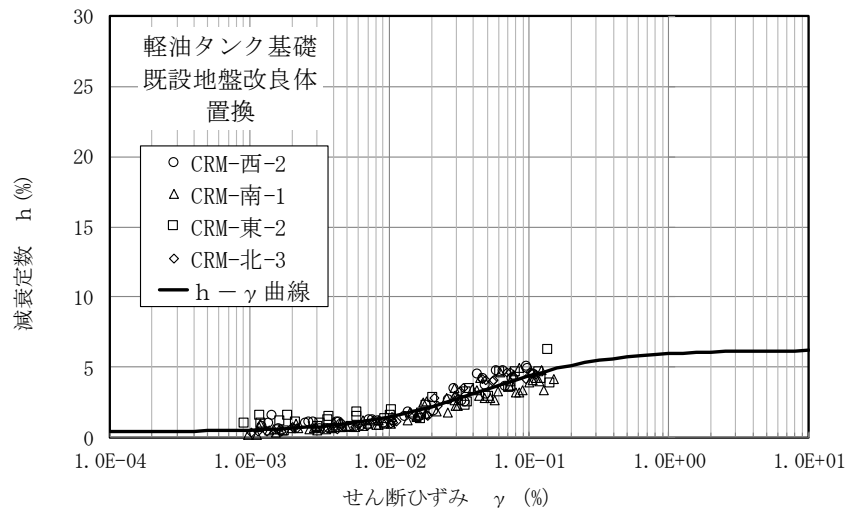


図 4-11 減衰定数のひずみ依存特性 (軽油タンク基礎・置換)

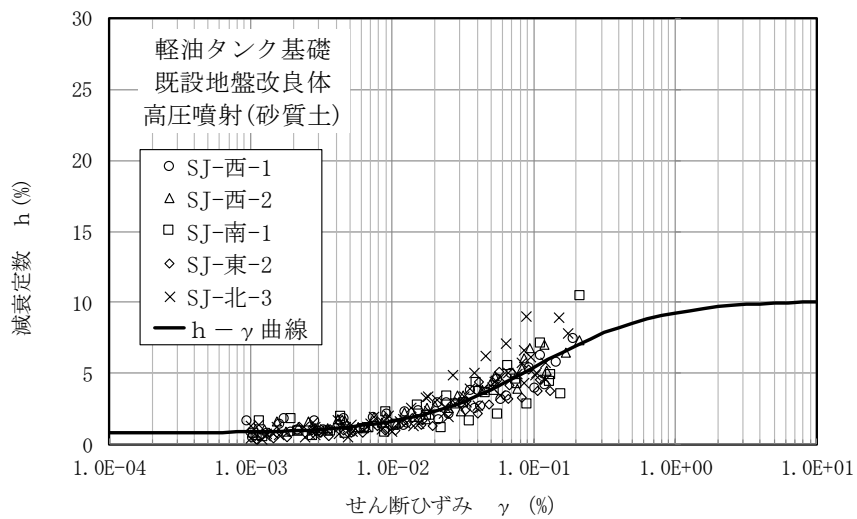
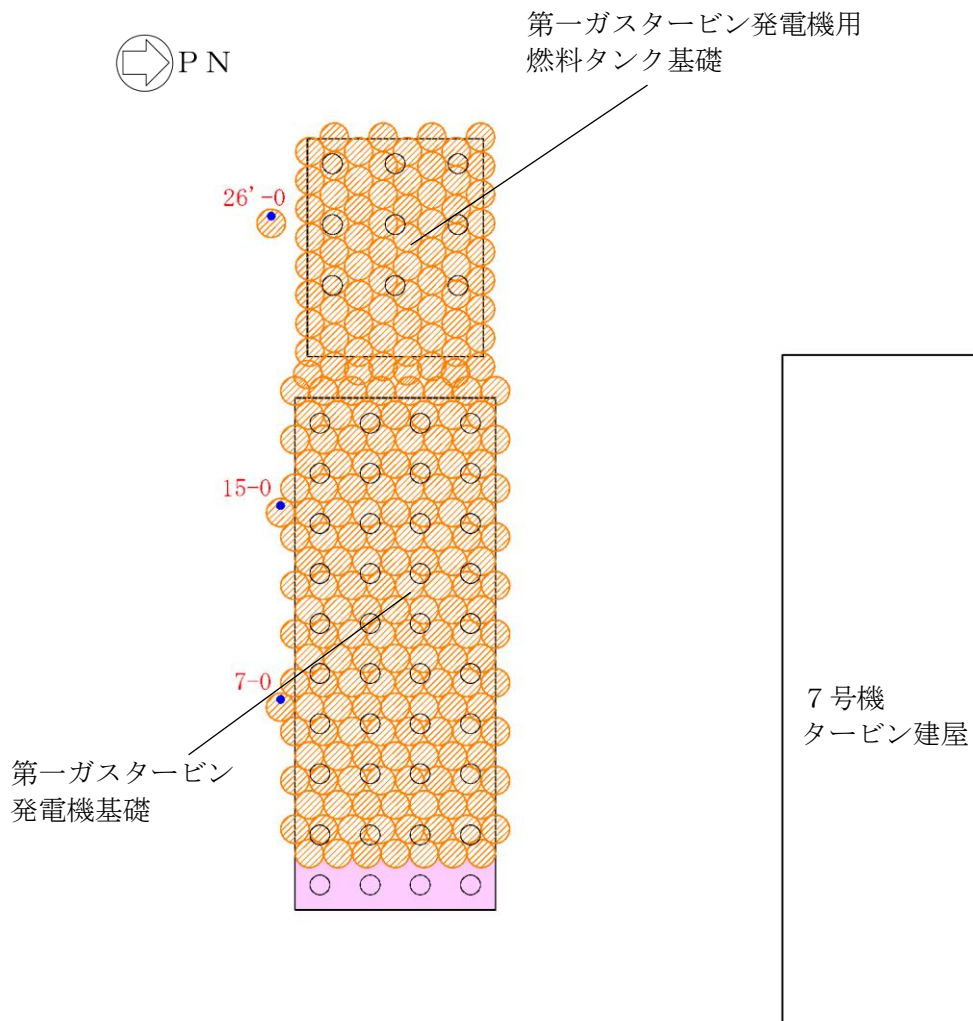


図 4-12 減衰定数のひずみ依存特性 (軽油タンク基礎・高圧噴射(砂質土))

c. 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



地盤改良体凡例

種 別		凡例	調査位置
既設 地盤改良体	機械攪拌		

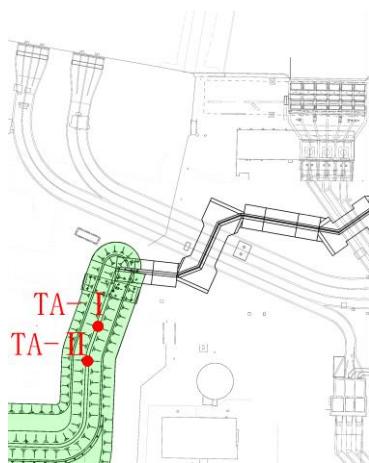
注1: は新設地盤改良体を示す。

注2: 赤字は孔名を示す。

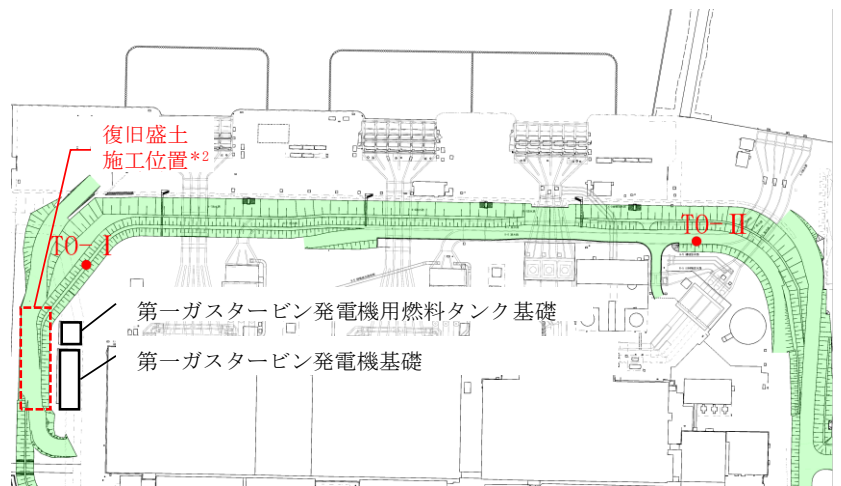
図 4-13 供試体採取及びPS 検層実施位置(1/2)
(第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)



a)位置図



b) A部*1



c) B部

種別		凡例	調査位置
既設 地盤改良体	改良盛土		

注：赤字は孔名を示す。

注記1*：改良盛土の母材は、荒浜側と大湊側で同一のものを用いていることから、荒浜側においても供試体を採取している。

2*：常設代替交流電源装置基礎（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）の設置時に防潮堤盛土を一部撤去・復旧した箇所を「復旧盛土」と称す。

図 4-13 供試体採取及びPS 検層実施位置(2/2)

(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)

表 4-11 既設地盤改良体の試験結果

(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・機械攪拌)

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm ³)	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m ²)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
7-0	3	2.074	-	-	3	6013	12	1683	12	679	3	図4-14を 参照の こと
15-0	3	1.951	-	-	3	3400	12	1592	12	510	3	
26'-0	3	1.944	-	-	3	6500	13	1131	13	518	3	
平均値	9	1.99	-	-	9	5304	37	1459	37	568	9	
標準偏差	0.102		-		1981		502		294			
変動係数	0.051		-		0.373		0.344		0.518			

注記*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 4-12 既設地盤改良体の試験結果

(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・改良盛土)

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm ³)	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m ²)	試料数 *2	孔別平均 (m/s)	試料数 *2	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
TA-I	-	-	-	-	-	-	10	1803	10	1029	3	図4-15を 参照の こと
TA-II	-	-	-	-	-	-	10	1759	10	961	3	
T0-I	-	-	-	-	-	-	3	1357	3	710	1	
T0-II	-	-	-	-	-	-	3	1490	3	783	1	
防潮堤盛土*1	119	1.678	-	-	119	927	-	-	-	-	-	
復旧盛土*1	6	1.917	-	-	6	708	-	-	-	-	-	
平均値	125	1.69	-	-	125	923	26	1698	26	938	8	
標準偏差	0.200		-		634		600		334			
変動係数	0.116		-		0.687		0.353		0.356			

注記*1: 受入れ検査時の供試体の試験結果を示す。

*2: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

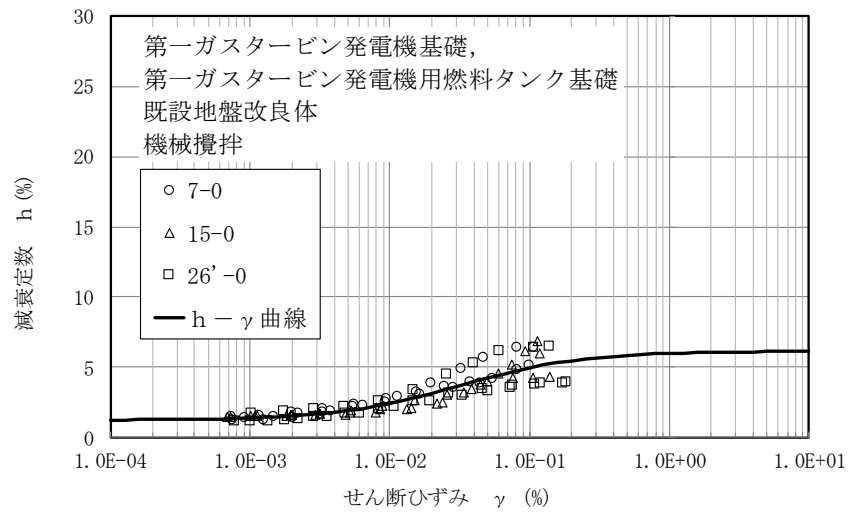


図 4-14 減衰定数のひずみ依存特性
 (第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎・機械攪拌)

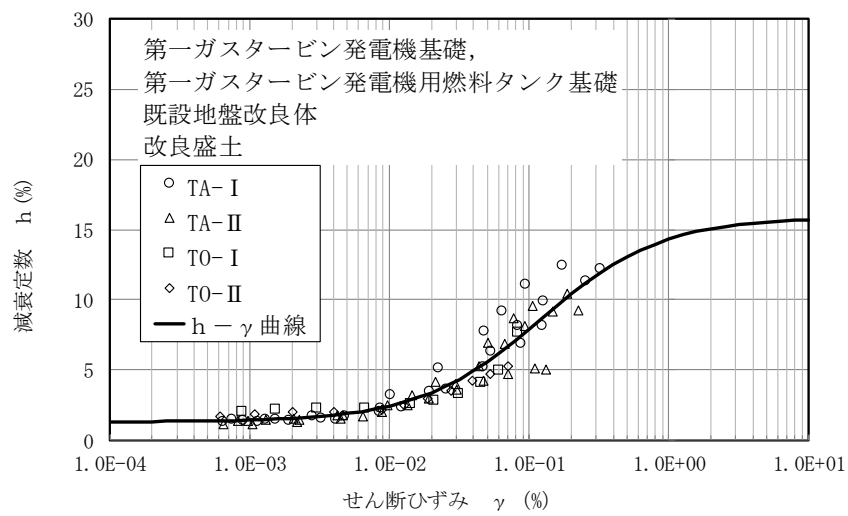
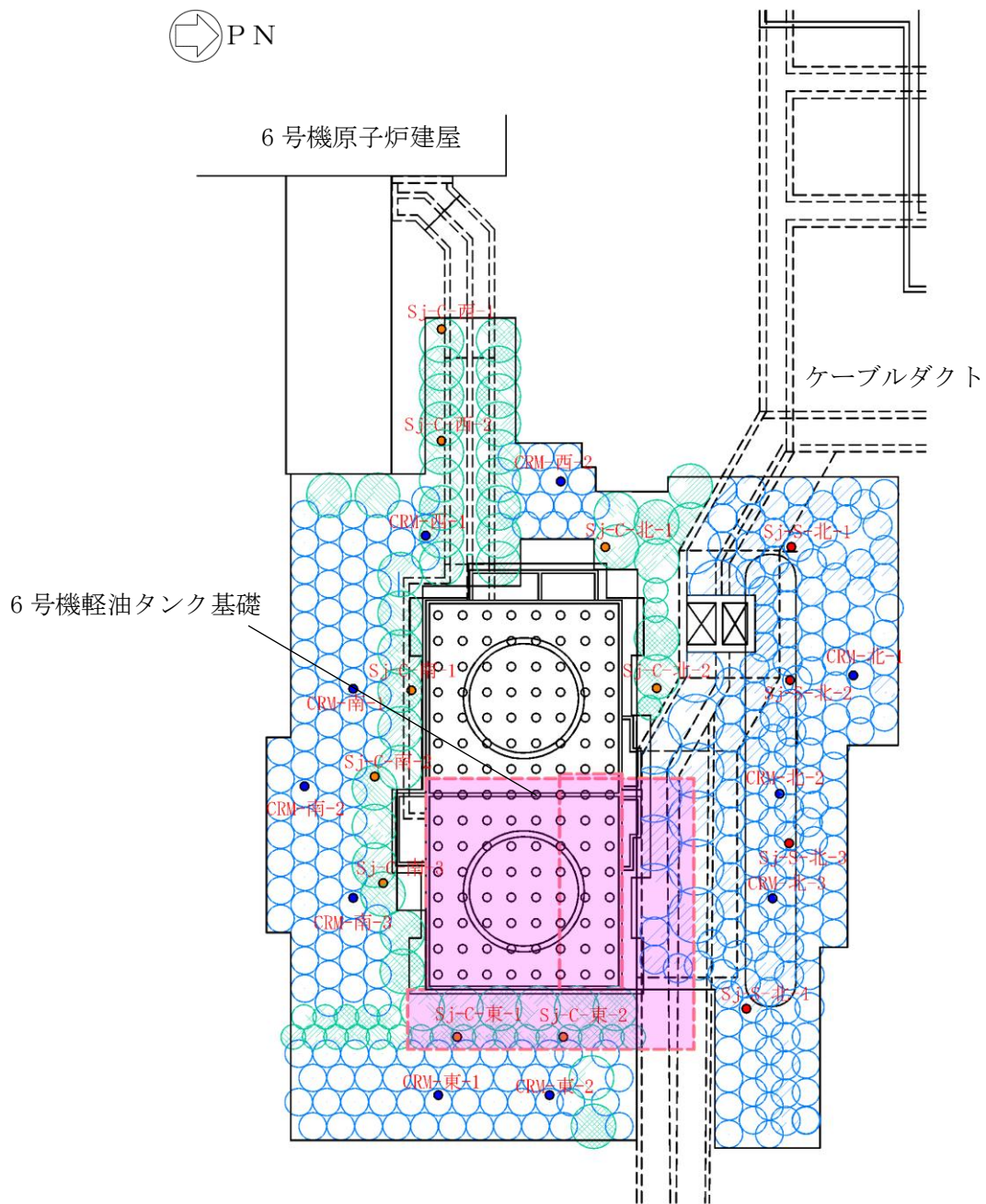


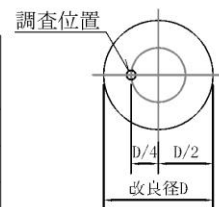
図 4-15 減衰定数のひずみ依存特性
 (第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎・改良盛土)

d. 6号機軽油タンク基礎



地盤改良体凡例

種別		凡例	調査位置
既設 地盤改良体	置換	○	●
	高圧噴射(砂質土)	◐	●
	高圧噴射(粘性土)	◑	●



注1 : ◑ は新設地盤改良体を示す。

注2 : 赤字は孔名を示す。

調査要領図

図 4-16 供試体採取及びPS 検層実施位置
(6号機軽油タンク基礎)

表 4-13 既設地盤改良体の試験結果 (6号機軽油タンク基礎・置換)

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm ³)	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m ²)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
CRM-西-1	9	1.772	-	-	9	6216	11	2388	11	1221	-	図4-17を 参照の こと
CRM-西-2	9	1.801	4	0.506	9	7067	11	2409	11	1288	4	
CRM-南-1	9	1.756	-	-	9	6846	11	2408	11	1220	-	
CRM-南-2	9	1.804	4	0.506	9	6041	11	2414	11	1193	4	
CRM-南-3	9	1.791	-	-	9	6623	12	2427	12	1290	-	
CRM-東-1	9	1.868	-	-	9	7956	20	2593	20	1378	-	
CRM-東-2	9	1.899	12	0.460	9	7560	24	2589	24	1394	8	
CRM-北-1	9	1.994	-	-	9	9353	21	2954	21	1483	-	
CRM-北-2	9	1.910	4	0.436	9	6922	22	2908	22	1465	4	
CRM-北-3	9	1.873	-	-	9	6141	24	2665	24	1353	-	
平均値	90	1.85	24	0.47	90	7072	167	2628	167	1356	20	
標準偏差	0.079		0.027		2062		246		151			
変動係数	0.043		0.058		0.291		0.094		0.111			

注記*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 4-14 既設地盤改良体の試験結果 (6号機軽油タンク基礎・高圧噴射(砂質土))

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm ³)	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m ²)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
Sj-S-北-1	9	1.922	-	-	9	16002	11	2440	11	1280	-	図4-18を 参照の こと
Sj-S-北-2	9	1.876	12	0.466	9	10739	9	2120	9	1030	8	
Sj-S-北-3	9	1.854	4	0.459	9	8220	8	2260	8	1080	4	
Sj-S-北-4	9	1.819	4	0.494	9	4186	5	2210	5	1110	4	
平均値	36	1.87	20	0.47	36	9787	33	2274	33	1138	16	
標準偏差	0.095		0.026		6313		130		106			
変動係数	0.051		0.056		0.645		0.057		0.093			

注記*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 4-15 既設地盤改良体の試験結果 (6号機軽油タンク基礎・高圧噴射(粘性土))

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm ³)	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m ²)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
Sj-C-西-1	9	1.637	-	-	9	4047	10	1880	10	850	-	図4-19を 参照の こと
Sj-C-西-2	9	1.589	4	0.648	9	2213	10	1930	10	850	4	
Sj-C-南-1	9	1.590	-	-	9	3413	9	1760	9	690	6	
Sj-C-南-2	9	1.539	12	0.638	9	2646	10	1730	10	740	2	
Sj-C-南-3	9	1.514	-	-	9	2531	9	1730	9	680	-	
Sj-C-北-1	9	1.517	-	-	9	2986	11	1760	11	700	-	
Sj-C-北-2	9	1.590	-	-	9	2074	10	1760	10	700	-	
Sj-C-東-1	9	1.590	4	0.611	9	2007	5	1940	5	860	4	
Sj-C-東-2	9	1.604	-	-	9	3154	4	1940	4	810	-	
平均値	81	1.57	20	0.64	81	2786	78	1811	78	756	16	
標準偏差	0.073		0.048		1349		84		72			
変動係数	0.047		0.076		0.484		0.046		0.095			

注記*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

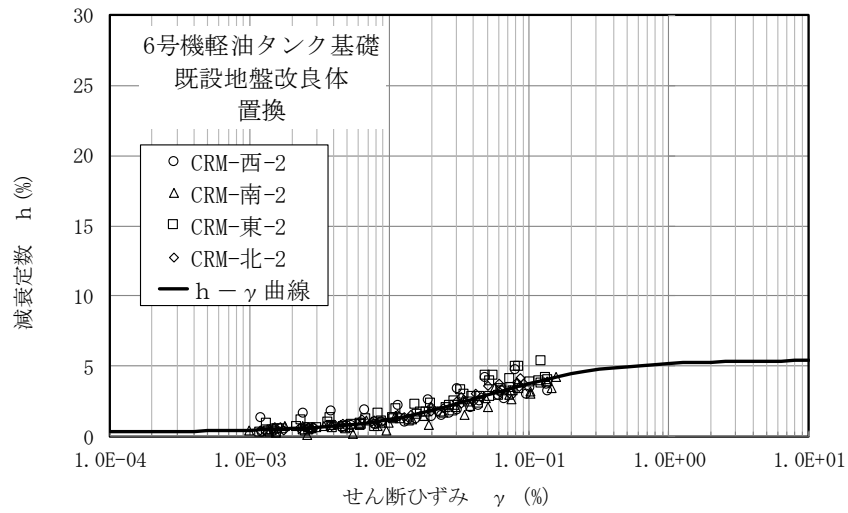


図 4-17 減衰定数のひずみ依存特性 (6号機軽油タンク・置換)

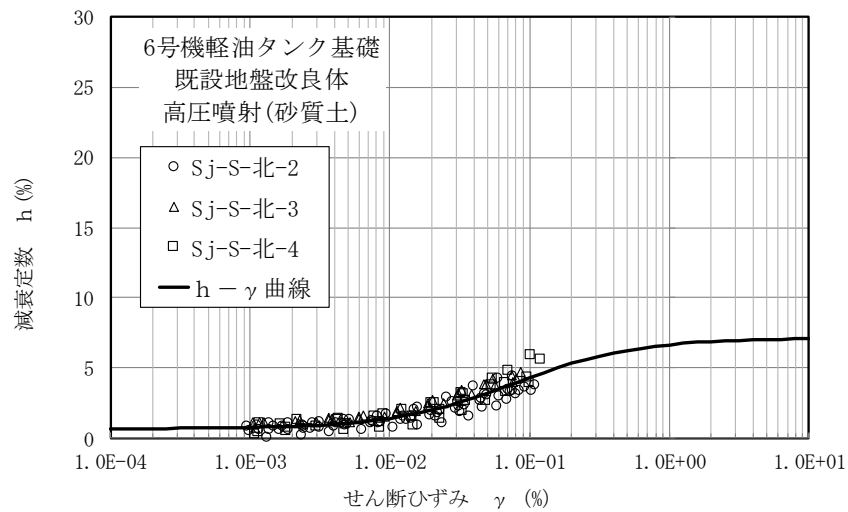


図 4-18 減衰定数のひずみ依存特性 (6号機軽油タンク・高圧噴射(砂質土))

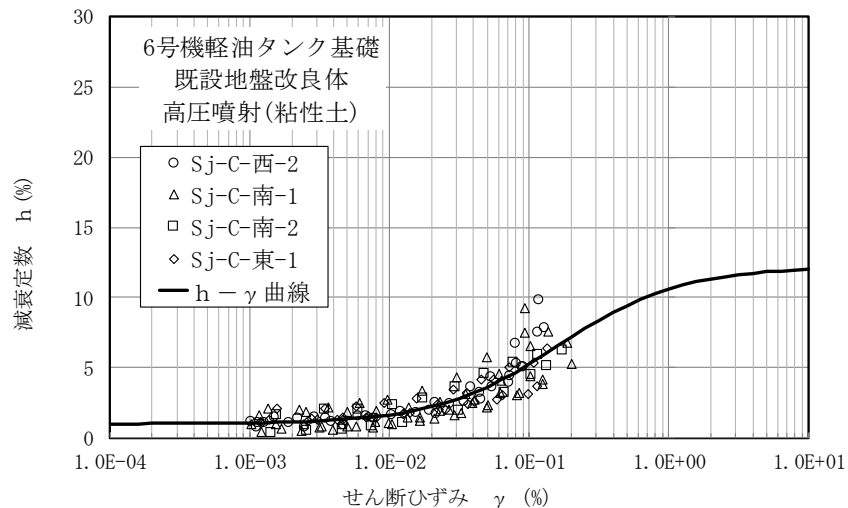


図 4-19 減衰定数のひずみ依存特性 (6号機軽油タンク・高圧噴射(粘性土))

4.2.3 解析用物性値と設定根拠との対応

既設地盤改良体の解析用物性値を表 4-16 に、その設定根拠を表 4-17 に示す。なお、本資料で示す解析用物性値は、地盤改良体の改良部の物性値を示す。地盤改良体の配置に応じた未改良部（原地盤）を含めた物性値については、各施設の耐震計算書に記載する。

表 4-16 既設地盤改良体の物性値

対象施設		6・7号機 海水貯留堰	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			6号機軽油タンク基礎		
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	機械攪拌	改良盛土	土質安定 処理土	置換	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)
物理 特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.77	1.85	1.73	1.99	1.69	1.85	1.85	1.87	1.57
	間隙率 n	0.49	0.49	0.51	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.64
変形 特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²)	1.78×10^6	3.15×10^6	1.32×10^6	6.42×10^5	1.49×10^6	9.58×10^3	3.40×10^6	2.42×10^6	8.97×10^5
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	0.33 (0.43)	0.33 (0.28)	0.20	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.050	0.060	0.100	0.060	0.160	0.050	0.050	0.070	0.120
強度 特性	粘着力 c (kN/m ²)	815	2326	1736	2652	462	100	3536	4894	1393

注記* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の値を表す。

表 4-17 既設地盤改良体の設定根拠

対象施設		6・7号機 海水貯留堰	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			6号機軽油タンク基礎		
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	機械攪拌	改良盛土	土質安定 処理土	置換	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)
物理 特性	密度 ρ	物理試験					工法別 平均値*1	物理試験		
	間隙率 n	工法別 平均値*2	物理試験		工法別 平均値*2	工法別 平均値*3	工法別 平均値*3	物理試験		
変形 特性	動せん断弾性係数 G_{ms}	湿潤密度及びPS検層					文献*4	湿潤密度及びPS検層		
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}'	慣用値								
	ポアソン比 ν	慣用値			慣用値 (PS検層)*5	慣用値 (PS検層)*5	文献*4	慣用値		
	減衰定数の上限値 h_{max}	文献*6	動的変形試験							
強度 特性	粘着力 c	一軸圧縮試験					設計値	一軸圧縮試験		

注記*1 : 置換工法における湿潤密度の工法別平均値

*2 : 高圧噴射(砂質土)における間隙率の工法別平均値

*3 : 置換工法における間隙率の工法別平均値

*4 : 第2版 流動化処理土利用技術マニュアル(独立行政法人土木研究所, 平成19年)

*5 : 括弧内の数字は、地下水位以浅の値を表す。

*6 : 改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法-(日本建築センター, 平成14年11月)

4.3 新設地盤改良体

4.3.1 解析用物性値の設定方針

(1) セメント改良（置換工法，機械攪拌工法，高圧噴射攪拌工法）

新設地盤改良体（セメント改良）に分類する地盤改良体は，S 波速度や一軸圧縮強度に
関しては設計値に基づき設定し，その他の解析用物性値は文献に基づき設定する。ただし，
近傍に既設地盤改良体（セメント改良）があり，その地盤条件，施工方法及び設計強度が
同一である場合は，近傍の既設地盤改良体（セメント改良）の解析用物性値を用いる。

なお，特記なき限り全応力解析における解析用物性値の設定方針と有効応力解析におけ
る解析用物性値の設定方針は同一である。

新設地盤改良体の設計値を表 4-18 及び表 4-19 に示す。

表 4-18 新設地盤改良体の設計値（全応力解析）

対象施設		格納容器圧力 逃がし装置基礎		大物搬入 建屋
種別 (地盤種別)		置換	高圧噴射	置換
設計 値	設計一軸圧縮強度 q_{ud} (kN/m ²)	8000	8000	8000
	設計S波速度 V_{sd} (kN/m ²)	840	840	840

注：「-」は設計値の指定が無いことを示す。

表 4-19 新設地盤改良体の設計値（有効応力解析）

対象施設		6・7号機海水貯留堰		6・7号機 スクリーン室	6・7号機取水路， 補機冷却用海水取水路			軽油タンク基礎， 燃料移送系配管ダクト	6号機軽油タンク基礎		
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)	高圧噴射 (砂質土)	置換	機械攪拌	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (粘性土)
設計 値	設計一軸圧縮強度 q_{ud} (kN/m ²)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	8000	8000	8000	5000
	設計S波速度 V_{sd} (kN/m ²)	600	600	600	-	-	-	840	840	840	800

注：「-」は設計値の指定が無いことを示す。

a. 動せん断弾性係数 G_{ma}

新設地盤改良体（セメント改良）の動せん断弾性係数 G_{ma} は，密度 ρ ，設計 S 波速度
 V_{sd} より，(式 7)に基づき初期せん断弾性係数 G_0 を設定する。

$$G_0 = \rho \cdot V_{sd}^2 \quad (\text{式 7})$$

設計 S 波速度の指定がない地盤改良体について，砂質土を主たる改良対象土層とした
地盤改良体については文献（建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメン
ト系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法，日本建築センター，平成 14 年 11 月）に
基づき設計一軸圧縮強度に対応する S 波速度を設定する。

S 波速度と q_u の関係図を図 4-20 に示す。

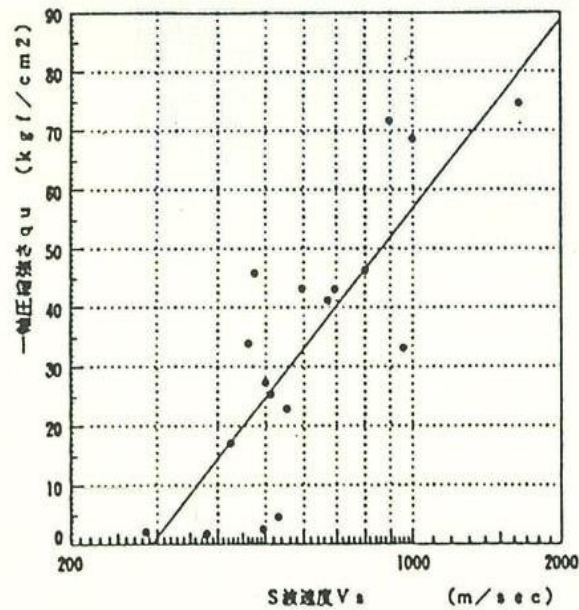


図 4-20 S波速度と q_u の関係図

(引用：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法，
日本建築センター，平成 14 年 11 月)

b. 密度 ρ 及び間隙率 n

新設地盤改良体（セメント改良）の密度 ρ と間隙率 n については，種別毎（置換，高圧噴射）に設定する。高圧噴射工法の密度については，改良対象地盤の物理試験から設定する。

c. $G/G_0, h \sim \gamma$ 曲線（全応力解析）

全応力解析においては，動的変形特性として $G/G_0, h \sim \gamma$ 曲線の設定が必要となる。全応力解析における動的変形特性については，既設地盤改良体の動的変形試験に基づき種別毎（置換，高圧噴射）に設定する。設定に用いた既設地盤改良体の動的変形試験結果を図 4-21 に示す。

d. 減衰定数の上限値 h_{max} （有効応力解析）

有効応力解析においては，動的変形特性として減衰定数の上限値 h_{max} の設定が必要となる。有効応力解析における動的変形特性については，文献（建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法，日本建築センター，平成 14 年 11 月）を参考に設定する。

文献では，図 4-6 に示す結果に基づき，「減衰定数は 1×10^{-3} の軸ひずみにおいてほぼ 5%~10%である」ことが示されており，文献に示される軸ひずみの最大値付近となる 1×10^{-3} よりも大きな領域において，減衰定数は 5%以上を示すものと判断できるとから，文献に基づき h_{max} は 5%と設定する。

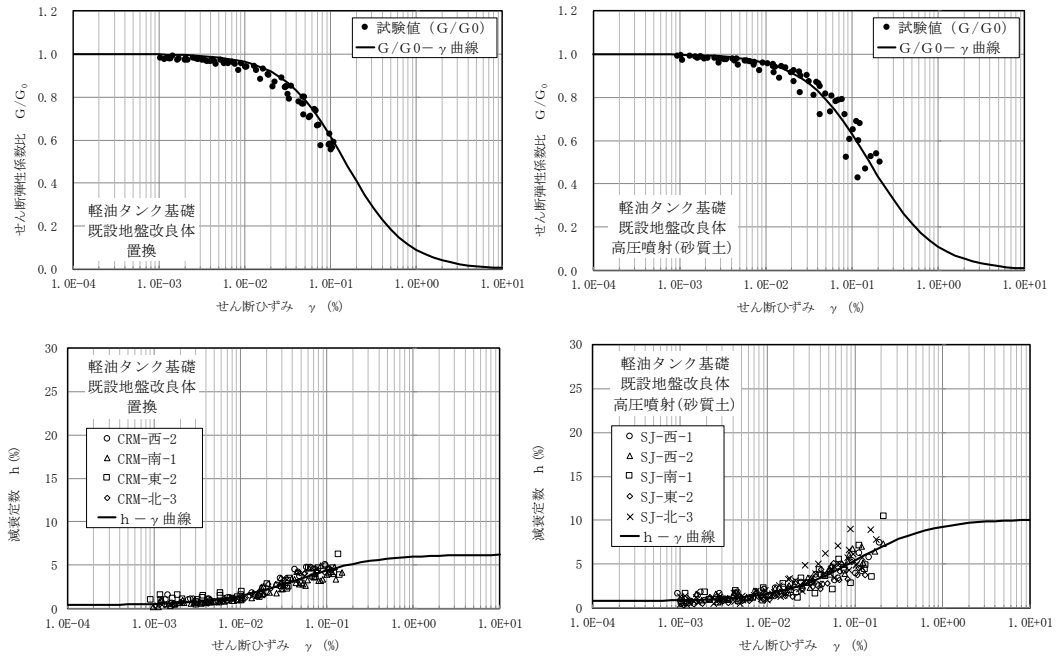


図 4-21 既設地盤改良体の動的変形試験結果
(全応力解析の物性設定に使用)

e. ポアソン比 ν

新設地盤改良体（セメント改良）のポアソン比 ν については、工法別、改良地盤種別に応じて既設地盤改良体の実績値から設定する。ただし、有効応力解析における地下水以深のポアソン比 ν は、文献（液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメタの簡易設定法（港湾技研資料 No. 869），運輸省港湾技術研究所，1997）に基づき、慣用値の 0.33 に設定する。

f. 粘着力 c

新設地盤改良体（セメント改良）の粘着力 c については、設計一軸圧縮強度より設定する。文献（地盤工学用語辞典）より、一軸圧縮強度より求まる非排水せん断強度を粘着力として設定する。粘着力を設計一軸圧縮強度 q_{ud} に基づき、(式 8) より設定する。

$$c = \frac{q_{ud}}{2} \quad \text{(式 8)}$$

ここで、

c : 粘着力

q_{ud} : 設計一軸圧縮強度

(2) 無筋コンクリート

新設地盤改良体（無筋コンクリート）に分類する地盤改良体は、剛性や一軸圧縮強度に関しては設計値に基づき設定し、その他の解析用物性値は文献に基づき設定する。

a. 動せん断弾性係数 G_{ma}

新設地盤改良体（無筋コンクリート）の動せん断弾性係数 G_{ma} は、コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（土木学会，2002 年制定）（以下、「コンクリート標準示方書」という。）に基づき、表 4-20 に示すようにコンクリートの設計基準強度 f'_{ck} ($=18\text{N/mm}^2$) と変形係数 E の関係から、(式 9) に基づき初期せん断弾性係数 G_0 を設定する。

$$G_0 = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (\text{式 9})$$

表 4-20 コンクリートのヤング係数

f'_{ck} (N/mm ²)		18	24	30	40	50	60	70	80
E_c (kN/mm ²)	普通コンクリート	22	25	28	31	33	35	37	38
	軽量骨材コンクリート*	13	15	16	19	-	-	-	-

* 骨材を全部軽量骨材とした場合

(引用：コンクリート標準示方書 構造性能照査編，土木学会，2002)

b. 密度 ρ 及び間隙率 n

新設地盤改良体（無筋コンクリート）の密度 ρ については、コンクリート標準示方書に基づき設定する。コンクリート標準示方書に示される無筋コンクリートの密度 ρ を表 4-21 に示す。なお、新設地盤改良体（無筋コンクリート）は、線形弾性体としてモデル化することから間隙率 n は設定しない。

表 4-21 コンクリートの単位体積重量

材 料	単位重量 (kN/m ³)	材 料	単位重量 (kN/m ³)
鋼・鋳鋼・鍛鋼	77	コンクリート	22.5~23.0
鋳鉄	71	セメントモルタル	21.0
アルミニウム	27.5	木材	8
鉄筋コンクリート	24.0~24.5	瀝青材	11
プレストレストコンクリート	24.5	アスファルトコンクリート舗装	22.5
鉄筋軽量骨材コンクリート	18.0	軽量骨材コンクリート（骨材全部が軽量骨材）	16.5

(引用：コンクリート標準示方書 構造性能照査編，土木学会，2002)

c. 減衰定数の上限値 h_{max}

新設地盤改良体（無筋コンクリート）は線形弾性体としてモデル化することから、動的変形特性としての減衰定数の上限値 h_{max} は設定しない。

d. ポアソン比 ν

新設地盤改良体（無筋コンクリート）のポアソン比 ν については、コンクリート標準示方書に基づき 0.2 として設定する。

4.3.2 解析用物性値と設定根拠との対応

新設地盤改良体の物性値を表 4-22 及び表 4-23 に、設定方針との対応を表 4-24 及び表 4-25 に示す。

表 4-22 新設地盤改良体の物性値（全応力解析）

対象施設		格納容器圧力 逃がし装置基礎		大物搬入 建屋
種別		置換	高圧噴射	置換
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.85	2.05	1.85
動的 変形特性	動せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	1.31×10^6	1.45×10^6	1.31×10^6
	ポアソン比 ν	0.302	0.375	0.302
	$G/G_0 - \gamma^{*1}$	$1/(1+10.1\gamma^{1.21})$	$1/(1+8.06\gamma^{1.14})$	$1/(1+10.1\gamma^{1.21})$
	$h - \gamma^{*1}$ (%)	$\gamma/(0.172\gamma + 0.00783) + 0.401$	$\gamma/(0.107\gamma + 0.0109) + 0.790$	$\gamma/(0.172\gamma + 0.00783) + 0.401$

注記*1: γ はせん断歪み (%) を示す。

表 4-23 新設地盤改良体の物性値（有効応力解析）

対象施設		6・7号機海水貯留堰		6・7号機スクリーン室		6・7号機取水路, 補機冷却用海水取水路			軽油タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト		6号機軽油タンク基礎	
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)	高圧噴射 (砂質土)	無筋コン クリート	置換	機械攪拌	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (粘性土)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94	1.81	1.94	2.30	1.85	1.94	1.94	1.85	2.05	1.85	1.91
	間隙率 n	0.49	0.64	0.49	—	0.48	0.49	0.49	0.48	0.49	0.48	0.64
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	6.98×10^5	6.52×10^5	6.98×10^5	9.17×10^6	2.40×10^5	2.51×10^5	6.98×10^5	1.31×10^6	1.45×10^6	1.31×10^6	1.22×10^6
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.0	98.0	98.0	—	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	0.20	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.050	0.050	0.050	—	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	500	500	500	—	500	500	500	4000	4000	4000	2500

表 4-24 新設地盤改良体の設定方針との対応 (全応力解析)

対象施設		格納容器圧力逃がし装置基礎		大物搬入建屋
種別		置換	高圧噴射 (砂質土)	置換
物理特性	密度 ρ	工法別平均値に基づき設定	対象土層の最大値に基づき設定	工法別平均値に基づき設定
動的変形特性	動せん断弾性係数 G_0	設計S波速度, 密度に基づき設定	設計S波速度, 密度に基づき設定	設計S波速度, 密度に基づき設定
	ポアソン比 ν	工法別実績値 軽油タンク基礎 (置換) に基づき設定	工法別実績値 軽油タンク基礎 (高圧噴射(砂質土)) に基づき設定	工法別実績値 軽油タンク基礎 (置換) に基づき設定
	$G/G_0 - \nu$			
	$h - \nu$			

表 4-25 新設地盤改良体の設定方針との対応 (有効応力解析)

対象施設		6・7号機 海水貯留堰		6・7号機 スクリーン室	6・7号機取水路, 補機冷却用海水取水路			軽油タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト		6号機軽油タンク基礎		
種別 (地盤種別)		高圧噴射A, B (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)	高圧噴射 (砂質土)	無筋コン クリート	置換	機械攪拌	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (粘性土)
物理特性	密度 ρ	対象土層の最大値			文献*1	工法別平均値	対象土層の最大値		工法別平均値	対象土層の最大値	工法別平均値	対象土層の最大値
	間隙率 n	工法別平均値			-*2	工法別平均値						
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ba}	設計S波速度, 密度に基づき設定			文献*1	文献*4から推定したS波速度, 密度に基づき設定			設計S波速度, 密度に基づき設定			
	基準平均有効拘束圧 σ'_{ba}	慣用値*3			-*2	慣用値*3						
	ポアソン比 ν	慣用値*3			文献*1	慣用値*3						
	減衰定数の上限値 h_{max}	文献*4			-*2	文献*4						
強度特性	粘着力 c	設計一軸圧縮強度			-*2	設計一軸圧縮強度						

注記*1 : コンクリート標準示方書 構造性能照査編 (社団法人土木学会, 2002年)
 *2 : 無筋コンクリートは線形弾性体としてモデル化 (パラメータなし)
 *3 : 液状化による構造物被害予想プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法 (港湾技術資料No. 869) (運輸省港湾技術研究所, 平成9年6月)
 *4 : 改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化工材を用いた深層・浅層混合処理工法— (日本建築センター, 平成14年11月)

5. 新設地盤改良体の品質確認方針

5.1 品質確認方針

新設地盤改良体について、各新設地盤改良体の品質確認方針を表 5-1 に示す。表 5-1 に示すとおり、建物・構築物、土木構造物ともに、強度及び剛性を品質確認項目とする。

表 5-1 新設地盤改良体の品質確認方針

対象施設		新設地盤改良		品質確認項目
		工法	目的	
建物・構築物	大物搬入建屋	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制	強度及び剛性
	格納容器圧力逃がし装置基礎	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制	強度及び剛性
		置換工法 (開削工法)		
		高圧噴射攪拌工法		
土木構造物	海水貯留堰	高圧噴射攪拌工法	変形抑制	強度及び剛性
	スクリーン室	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止	強度及び剛性
	取水路	置換工法 (地中連壁壁工法)	浮上り防止	強度及び剛性
		機械攪拌工法		
		高圧噴射攪拌工法		
		無筋コンクリート		
	補機冷却用海水取水路	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止	強度及び剛性
	軽油タンク基礎	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制	強度及び剛性
		高圧噴射攪拌工法		
	燃料移送系配管ダクト	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制	強度及び剛性
		高圧噴射攪拌工法		
	6号機海水貯留堰	高圧噴射攪拌工法	変形抑制	強度及び剛性
	6号機スクリーン室	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止	強度及び剛性
	6号機取水路	置換工法 (地中連壁壁工法)	浮上り防止	強度及び剛性
		機械攪拌工法		
高圧噴射攪拌工法				
無筋コンクリート				
6号機軽油タンク基礎	置換工法 (開削工法)	変形抑制	強度及び剛性	
	高圧噴射攪拌工法			
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	機械攪拌工法	変形抑制	強度及び剛性	

5.2 品質確認方法について

5.2.1 室内試験及び原位置試験

(1) 新設地盤改良体の試験概要

a. 試験方法

新設地盤改良体の原位置試験及び室内試験は、既設地盤改良体と同様、日本工業規格（JIS）又は地盤工学会（JGS）の試験規格に基づき実施する。新設地盤改良体の試験項目を表 4-2 に示す。

表 5-2 新設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
	JGS 2110	パルス透過法による岩石の超音波速度試験
S 波速度	JGS 1122	地盤の弾性波速度検層方法
	JGS 2110	パルス透過法による岩石の超音波速度試験
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

b. 適用基準

新設地盤改良体の品質管理における適用基準は、既設地盤改良体と同様、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。地盤改良工法の基準・指針として一般的な文献を表 5-3 に、地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準を表 5-4 に示す。

地盤改良工法に係る諸基準・指針については、地盤改良の目的及び構造形式によって分類される。品質管理については、この分類に対応する基準指針を用いて実施する。

表 5-3 地盤改良工法の基準・指針

基準・指針名	基準略称
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 改訂版， （財）土木研究センター，平成16年3月	陸上工事マニュアル
港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル， （財）沿岸技術研究センター，平成26年10月	港湾・空港マニュアル
建築基礎構造設計指針， 日本建築学会，2001年改定	建築基礎指針
建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法，日本建築センター，平成14年5月	建築センター指針
乾式キャスク貯蔵建屋基礎構造の設計に関する技術指針， 日本電気協会，平成21年	JEAG4616

表 5-4 地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準 (1/2)

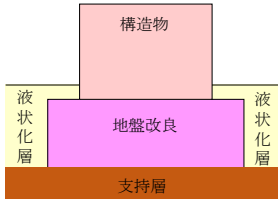
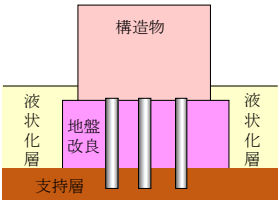
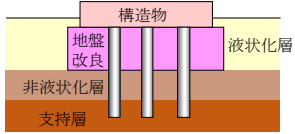
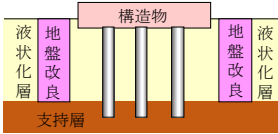

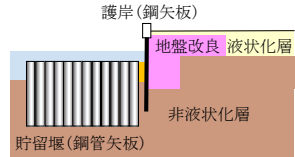
目的	直接支持	変形抑制	
構造形式			
対象施設	無し	大物搬入建屋, 6号機軽油タンク基礎* 第一ガスタービン発電機基礎	
適用基準	建築基礎指針, 建築センター指針, JEAG4616	陸上工事マニュアル	

表 5-4 地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準 (2/2)

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, 軽油タンク基礎, 6号機軽油タンク基礎*, 燃料移送系配管ダクト	スクリーン室, 取水路, 補機冷却用海水取水路, 6号機スクリーン室, 6号機取水路	海水貯留堰, 6号機海水貯留堰
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* : 6号機軽油タンク基礎については, 構造物の側方と直下に地盤改良を実施している。

c. 試験頻度

諸基準・指針における調査箇所数の目安を表 5-5 に示す。

試験頻度は、同表に示すとおり、諸基準・指針（「陸上工事マニュアル」又は「港湾・空港マニュアル」）を参考に、一軸圧縮試験の調査箇所の目安に従い、地盤改良体を適用する工事状況に応じて設定する。

新設地盤改良体においては、諸基準・指針に示される一軸圧縮試験の必要調査箇所数と新設地盤改良体の一軸圧縮試験の試料本数を比較し、文献による必要調査箇所数の目安を満足することを確認する。

表 5-5 諸基準・指針における必要調査箇所数の目安

基準略称	調査箇所数
陸上工事 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 マニュアル	改良土量10,000m ³ に1本(上中下の3箇所)程度。

5.2.2 新設地盤改良体の解析用物性値の妥当性確認について

新設地盤改良体の施工に際しては、配合等の仕様について、既往の実績や試験施工を踏まえて設定する。

設計値に基づき解析用物性値を設定している新設地盤改良体のうち、竣工後に地盤改良体の調査や試験を実施したものについては、設計値に基づく解析用物性値の妥当性を確認する。妥当性の確認は、設計値に基づき設定した解析用物性値に対して、竣工後の調査や試験の結果に基づき設定した物性値と比較することにより検討する。

設計値に基づき解析用物性値を設定している新設地盤改良体のうち、竣工前のものについては、実施工において設計値を満足するよう、適切に品質管理を行う。

5.3 新設地盤改良体の事後調査結果について

新設地盤改良体として設計値に基づき解析用物性値を設定している施設のうち、竣工後の調査・試験の結果があるものについては、解析用物性値の設定が妥当であるかどうかの確認を行う。

妥当性の確認方法は、設計値に基づき設定している解析用物性値と、竣工後の試験結果を用いて既設地盤改良体と同様の物性設定を行った物性値の比較を行い、強度と剛性の観点で解析用物性値の設定が保守的であることを確認する。

5.3.1 6・7号機海水貯留堰

6・7号機海水貯留堰における新設地盤改良体の事後調査位置図を図5-1に、試験結果を表5-6、表5-7及び図5-2、図5-3に、妥当性確認結果を表5-8、表5-9に、試験結果を元に既設地盤改良体と同等の整理で物性値を定めた値を表5-10、表5-11に示す。

追加調査の結果、追加調査による強度及び剛性については設計値よりも上回る結果となった。

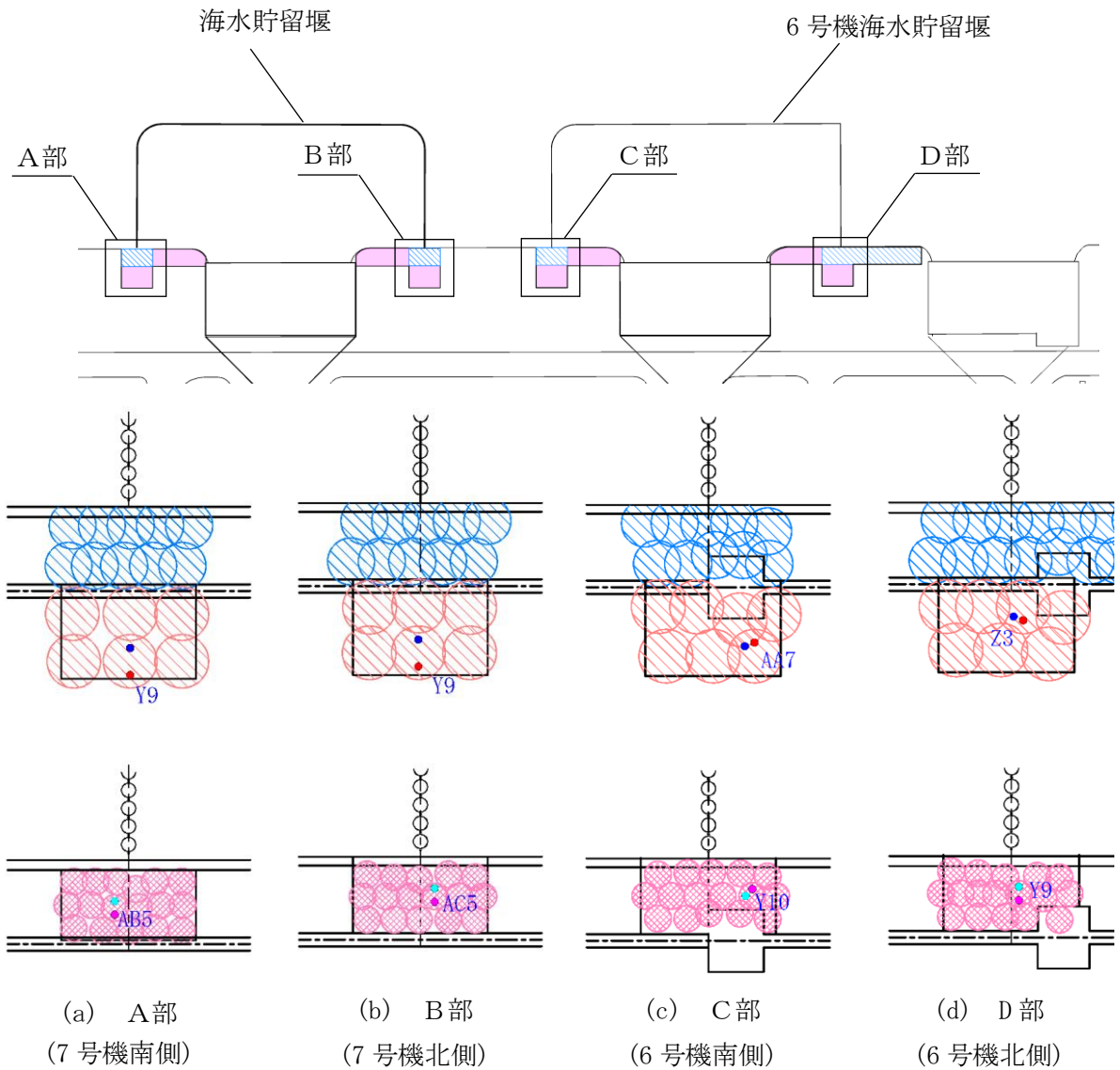
よって6・7号機海水貯留堰における新設地盤改良体については、強度・剛性の観点で現在の設定が保守的であり、新設地盤改良体の解析用物性値の設定は妥当である。



地盤改良体凡例

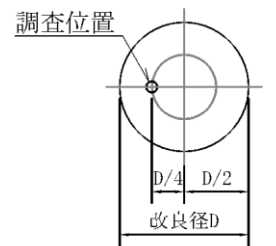
種別		凡例
既設地盤改良体	高压喷射(砂質土)	

注： は新設地盤改良体を示す。



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	高压喷射(砂質土)		/	
	高压喷射(粘性土)			
新設地盤改良体	高压喷射(砂質土)		●	●
	高压喷射(粘性土)		●	●



調査要領図

注：青字は孔名を示す。

図 5-1 6・7号機海水貯留堰における新設地盤改良体の調査位置図