

柏崎刈羽原子力発電所第6号機 設計及び工事計画審査資料	
資料番号	KK6 補足-024-1 改0
提出年月日	2023年10月13日

地盤の支持性能について

2023年10月
東京電力ホールディングス株式会社

地盤の支持性能について

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 対象施設周辺の地質等	2
3.1 対象施設周辺の地質	2
3.2 対象施設周辺の地質分布状況の整理結果	15
3.3 敷地の地下水位分布及び耐震評価における地下水位設定方針	17
3.3.1 対象施設周辺の地下水位分布	17
3.3.2 耐震評価における地下水位の設定方針	19
4. 地盤の解析用物性値	23
4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値	23
4.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値	23
4.2.1 全応力解析に用いる解析用物性値	40
4.2.2 有効応力解析に用いる解析用物性値	41
4.2.3 その他の解析用物性値	87
4.2.4 地盤の物性のばらつきについて	88
5. 極限支持力	88
6. 地盤の速度構造	88

参考資料

(参考資料 1) 地下水位の詳細について	(参考) 1-1
(参考資料 2) 解析用物性値の代用の考え方	(参考) 2-1
(参考資料 3) 液状化強度試験の詳細について	(参考) 3-1
(参考資料 4) 地震応答解析にて考慮する地盤物性値のばらつき	(参考) 4-1
(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	(参考) 5-1
(参考資料 6) 地盤改良体における補足	(参考) 6-1
(参考資料 7) 杭基礎の支持力評価方法に関する補足	(参考) 7-1
(参考資料 8) 地質区分の詳細について	(参考) 8-1
(参考資料 9) マンメイドロックの設計について	(参考) 9-1
(参考資料 10) 液状化抵抗曲線の回帰曲線 (平均-1 σ 強度) を下回る 試験データについて	(参考) 10-1
(参考資料 11) H-D モデルと試験結果の動的変形特性の比較	(参考) 11-1
(参考資料 12) 建物・構築物の地震応答解析に用いる地盤諸定数について	(参考) 12-1

1. 概要

本資料は、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づき、設計基準対象施設並びに常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く。）、常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設（以下「常設重大事故等対処施設」という。）、及び波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震安全性評価を実施するに当たり、対象施設を設置する地盤の物理特性、強度特性、変形特性等の地盤物性値設定及び支持性能評価で用いる地盤諸元の基本的な考え方を示したものである。

2. 基本方針

基本方針は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画の説明資料（以下「7号工認資料」という。）「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1） 資料1 地盤の支持性能について」のうち「2. 基本方針」による。

3. 対象施設周辺の地質等

3.1 対象施設周辺の地質

対象施設周辺の地質層序を表 3-1 に示す。対象施設周辺の地質は、下位から新第三系の椎谷層、新第三系鮮新統～第四系下部更新統の西山層、それらを不整合で覆う中部更新統の古安田層*、上部更新統の大湊砂層及び番神砂層、完新統の新时期砂層・沖積層からなる。

対象施設周辺の地質・地質構造評価に係る地質調査のうち、ボーリング調査位置図を図 3-1 に、対象施設周辺の地質平面図を図 3-2 に、地質断面図を図 3-3～図 3-10 に示す。

対象施設周辺に分布する地層のうち、最下位の椎谷層は主に砂岩優勢な砂岩・泥岩の互層からなり、細礫岩等を挟在する。上部になるに従って泥岩が優勢な岩相となる。

西山層は主に塊状無層理の泥岩からなり、スコリア粒、軽石粒、ノジュール、砂岩、凝灰岩、縞状泥岩等を挟在する。本層は、これらの挟み層の分布状況等によって下位から N₁、N₂ 及び N₃ の 3 部層に区分することができ、対象施設周辺に分布するのは N₁ 部層のみである。

古安田層は主に粘土～シルトからなり、砂、砂礫等を挟在する。場所により地層構成、層厚に差があるが、大局的には粗粒から細粒に変化する堆積サイクルが認められ、このサイクルによって下位から A₁、A₂、A₃ 及び A₄ 部層に区分することができる。各部層のうち、A₁ 部層は新第三系～下部更新統上限面の旧河谷部に分布し、砂、砂礫を挟む。A₂ 部層は砂、厚い砂礫、有機物を挟む。A₃ 部層は貝化石を含み、有機物あるいは縞状粘土を伴う。A₄ 部層は対象施設周辺には分布していないが、砂を多く挟み、最上部に厚い砂を伴う。

大湊砂層は主に分級の良い赤褐色～黄褐色を呈する中粒～粗粒砂からなり、厚さ数 mm～数 cm のシルト層を挟在する。

番神砂層は主に分級の良い灰白色を呈する塊状の中粒～粗粒砂からなり、前述した大湊砂層に比べて固結度が高い。砂粒は大部分が石英及びチャート粒からなり、何種類かの重鉱物を含んでいる。風成の葉理構造が認められ、古砂丘を形成しており、下位の大湊砂層を整合あるいは一部不整合に覆う。

新时期砂層・沖積層は下位層上限面に刻まれた谷を埋めるように堆積したため、場所により層厚が大きく変化している。主に未固結の淘汰の良い細粒～中粒砂からなる。下部は灰色～茶褐色を呈し、シルトを挟在し一部腐植質となる。上部は灰白色～茶褐色の細粒～中粒砂からなる。

対象施設周辺の第四系及び新第三紀の主な層相及び代表的なコア写真の拡大を表 3-2 に示す。以降、対象施設周辺の第四系をこの層相に基づき区分する。

注記* : 本資料では、安田層下部層の MIS10～MIS7 と MIS6 の境界付近の堆積物を、『古安田層』と仮称する。

表 3-1 対象施設周辺の地質層序

時代		地層名	地質区分 ^{*1} [略称]	主な層相・岩質		テフラ・放射年代 ^{*2}	
第四紀	完新世	新期砂層・沖積層	新期砂層	砂	灰白色～茶褐色の細～中粒砂 シルト層を挟在 一部は腐植質	← 腐植 (9,910±30年前)	
			沖積層上部	シルト～砂			
			沖積層下部	砂			
	後期	番神砂層	番神砂層・ 大湊砂層	灰白色～赤褐色の中～粗粒砂		← 刈羽テフラ (約20万年前)	
		大湊砂層		褐色～黄褐色の中～粗粒砂, シルトの薄層を含む			
	更新世	中期	A ₃ 部層	A3c層 [A3c]	シルト	粘土～シルト 縞状粘土, 有機物, 砂を伴う 貝化石を含む	← Ata-Th (約24万年前)
				A3a1層 [A3a1]	砂・シルト互層		
				A3s層 [A3s]	砂		
		古安田層	A ₂ 部層	A2c層 [A2c]	シルト	粘土～シルト 砂, 厚い砂礫, 有機物を挟む	← Kkt (約33～34万年前)
				A2a1層 [A2a1]	砂・シルト互層		
				A2s層 [A2s]	砂		
		A ₁ 部層	A2g層 [A2g]	シルト質砂礫 ～砂礫	粘土～シルト 砂, 砂礫を挟む		
			A1c層 [A1c]	シルト			
	A ₁ 部層	A1g層 [A1g]	シルト質砂礫 ～砂礫				
鮮新世		後期	西山層	西山層	シルト質～粘土質泥岩 砂岩, 凝灰岩, ノジュールを挟む 珪質海綿化石を含む	← Nt-17 (340±20万年前)	
	前期	← Nt-7 (350±20万年前)					
新第三紀	中新世	後期	椎谷層	椎谷層	砂岩, 砂岩・泥岩互層, 細礫岩等を挟む		

注記*1 : 同表の地質区分は, 地質調査の結果を踏まえ, 設置変更許可段階の地層名から層相毎に区分したものを示している。

*2 : テフラの名称・年代は, 岸ほか(1996)などによる。

*3 : 〰〰 不整合

*4 : 安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物に対する仮称。

MIS : 海洋酸素同位体ステージ (Marine oxygen Isotope Stage)

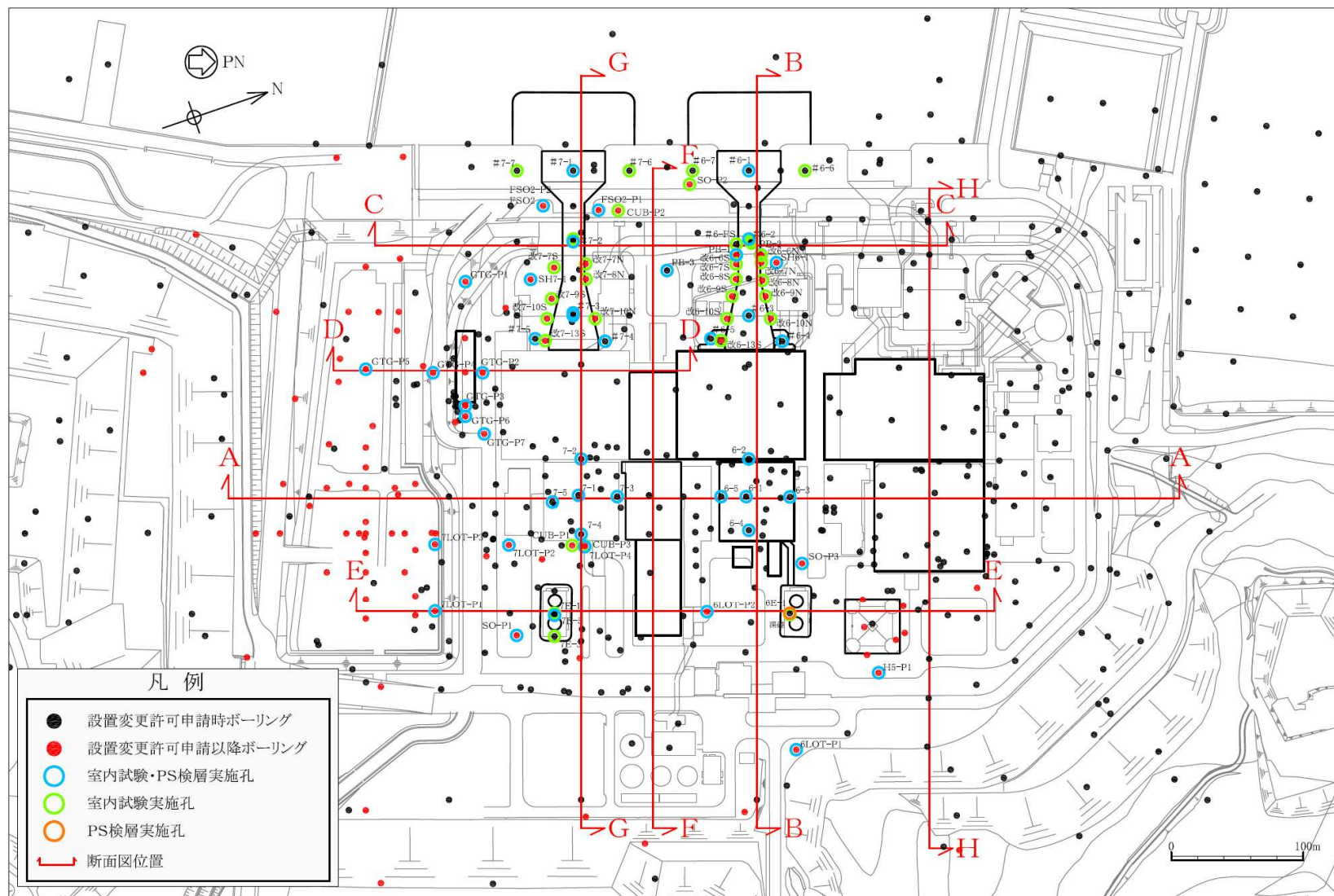


図 3-1 ボーリング調査位置図

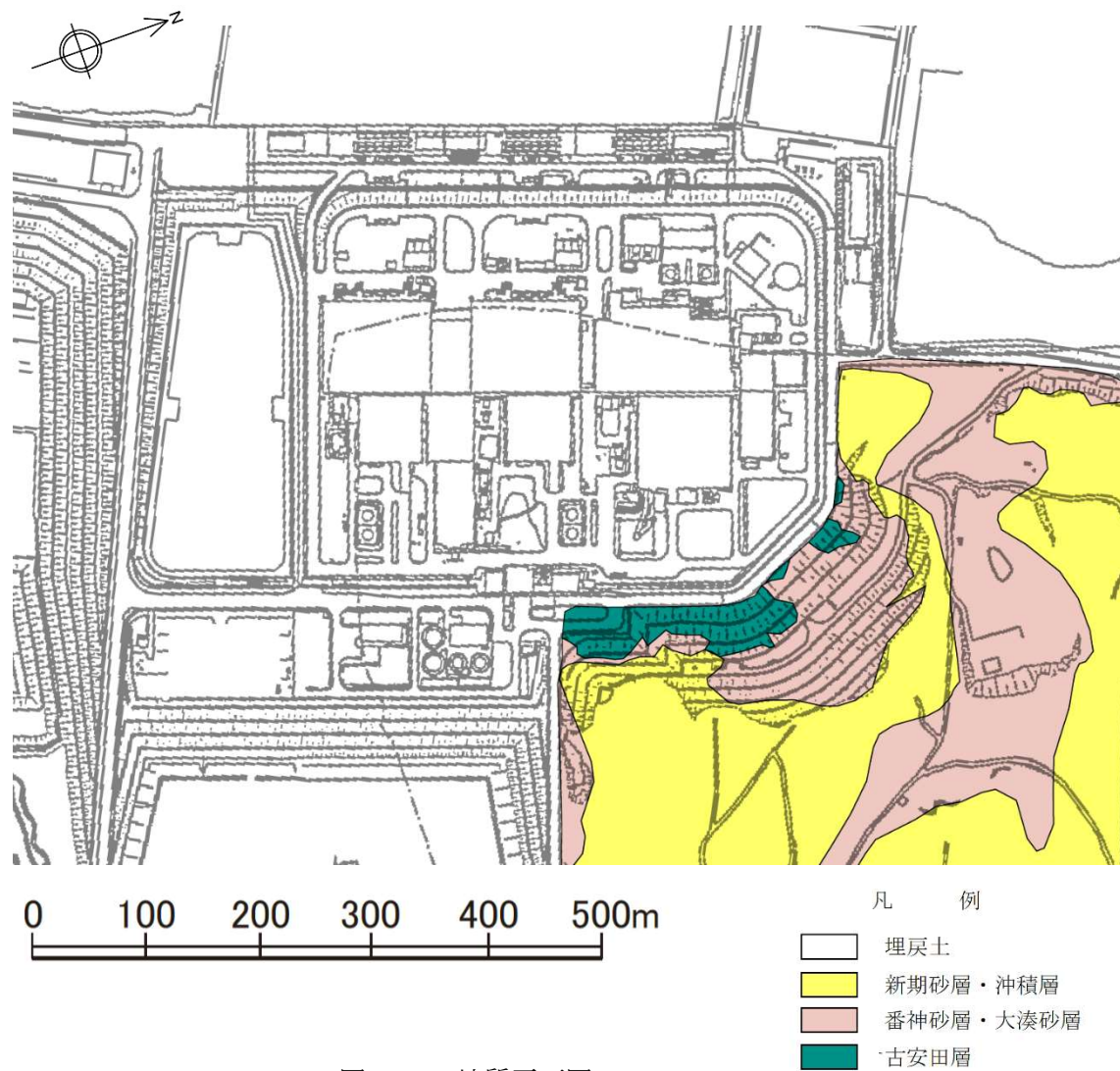


图 3-2 地質平面图

凡例

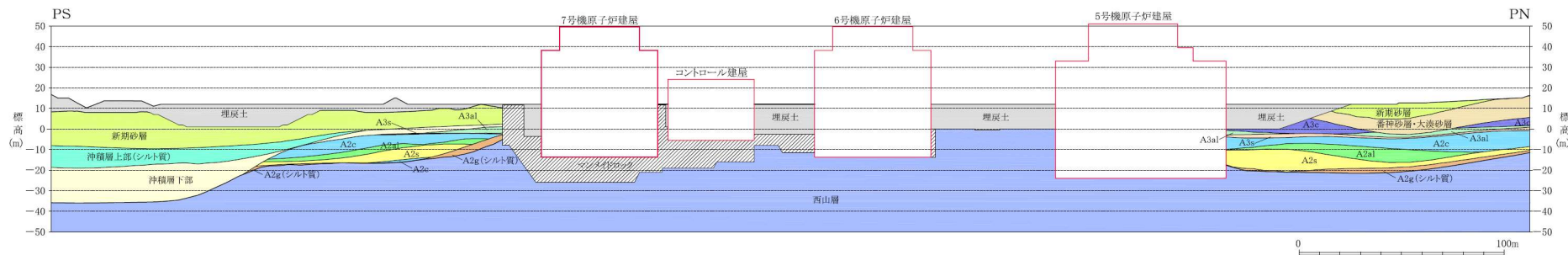
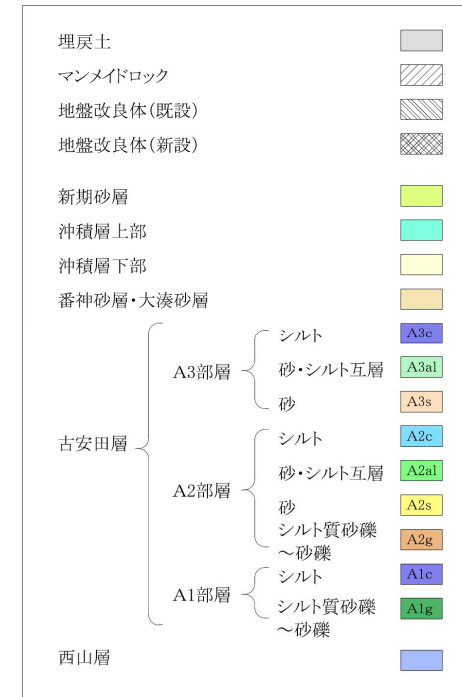


図 3-3 汀線平行 地質断面図 (原子炉建屋炉心中央) (A-A断面)

凡例

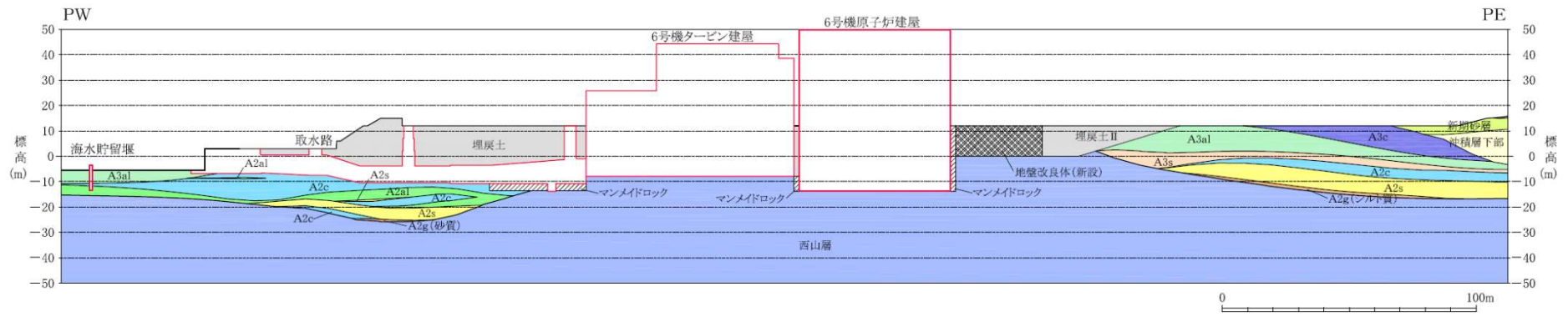
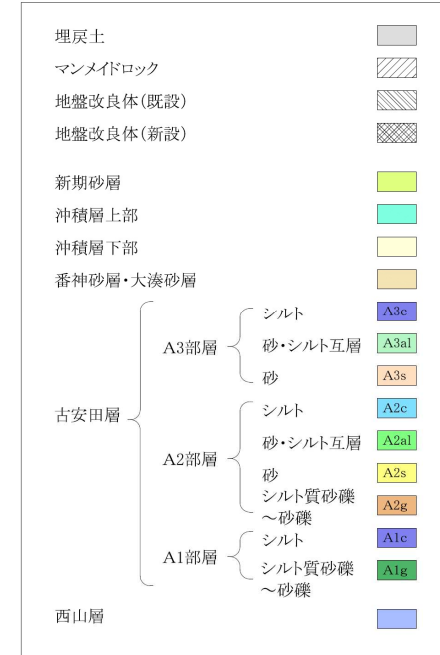


図 3-4 汀線直交 地質断面図 (原子炉建屋炉心中央) (B-B断面)

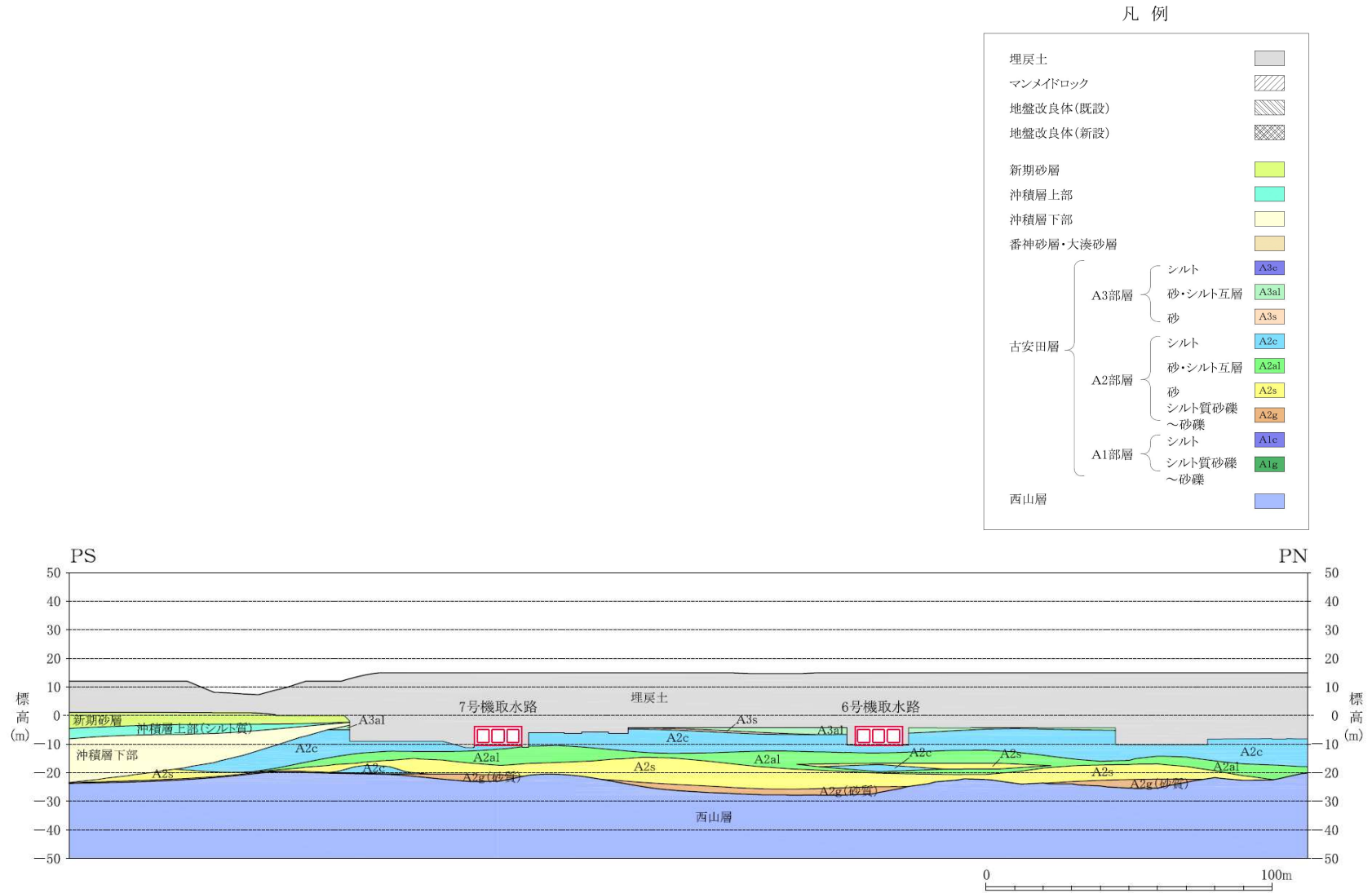


図 3-5 汀線平行 地質断面図 (6・7号機取水路一般部) (C-C断面)

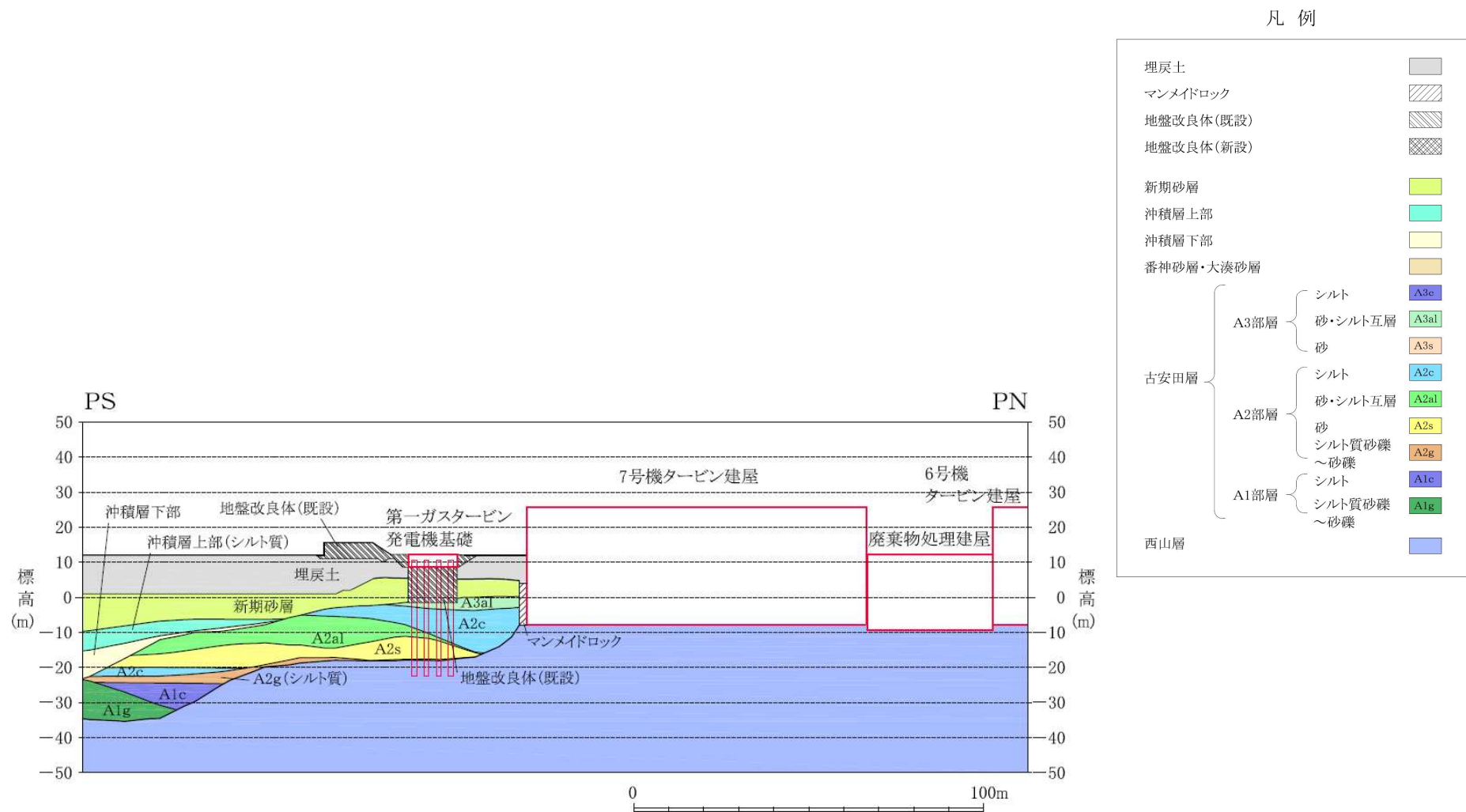


図 3-6 汀線平行 地質断面図 (第一ガスタービン発電機基礎中央) (D-D断面)

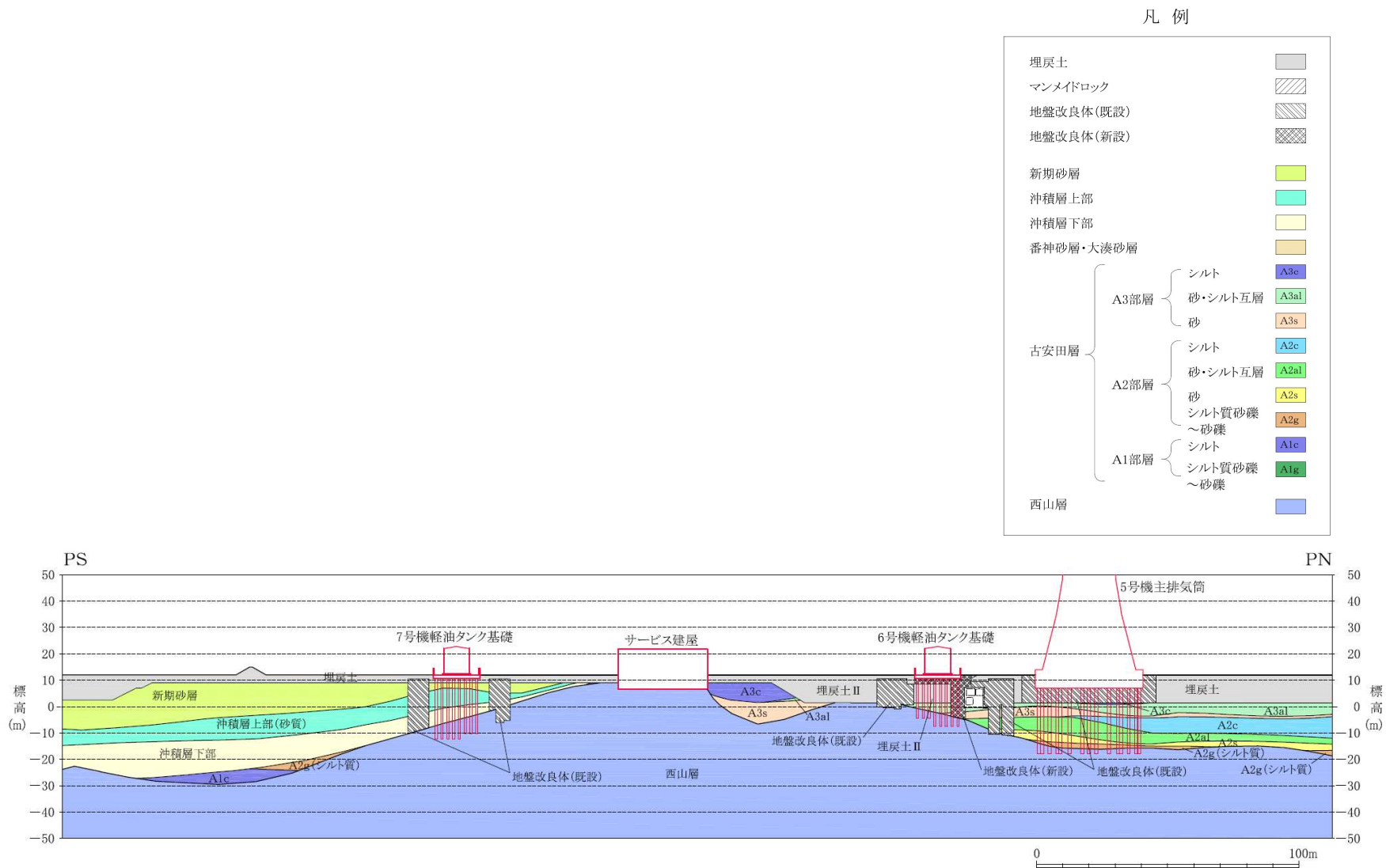


図 3-7 汀線平行 地質断面図 (軽油タンク基礎中央) (E-E断面)

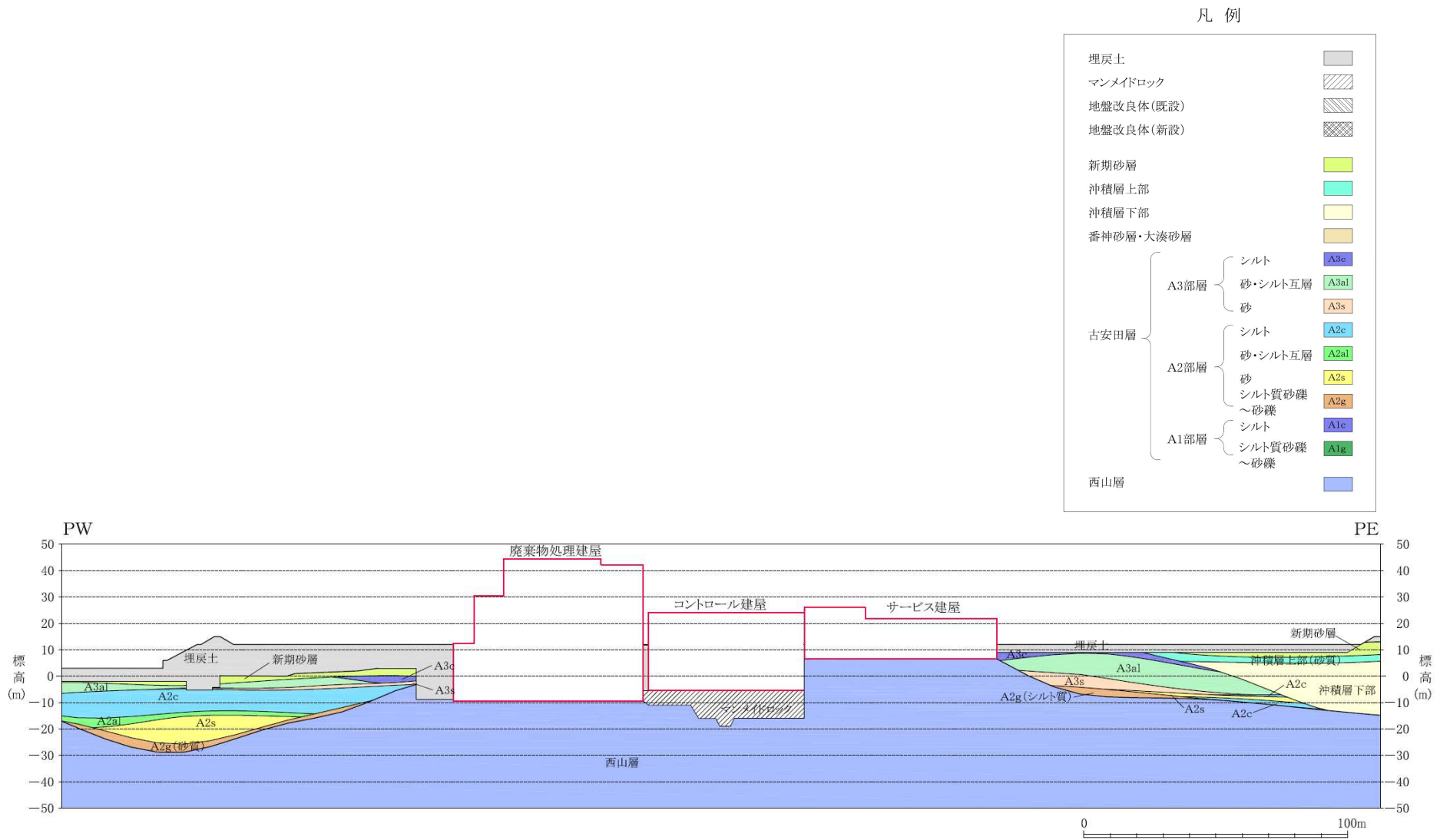


図 3-8 汀線直交 地質断面図 (コントロール建屋中央) (F-F断面)

凡例

埋戻土			
マンメイドロック			
地盤改良体(既設)			
地盤改良体(新設)			
新期砂層			
沖積層上部			
沖積層下部			
番神砂層・大湊砂層			
古安田層	A3部層	シルト	A3c
		砂・シルト互層	A3a1
		砂	A3s
	A2部層	シルト	A2c
		砂・シルト互層	A2a1
		砂	A2s
	A1部層	シルト質砂礫 ～砂礫	A2g
		シルト	A1c
		シルト質砂礫 ～砂礫	A1g
西山層			

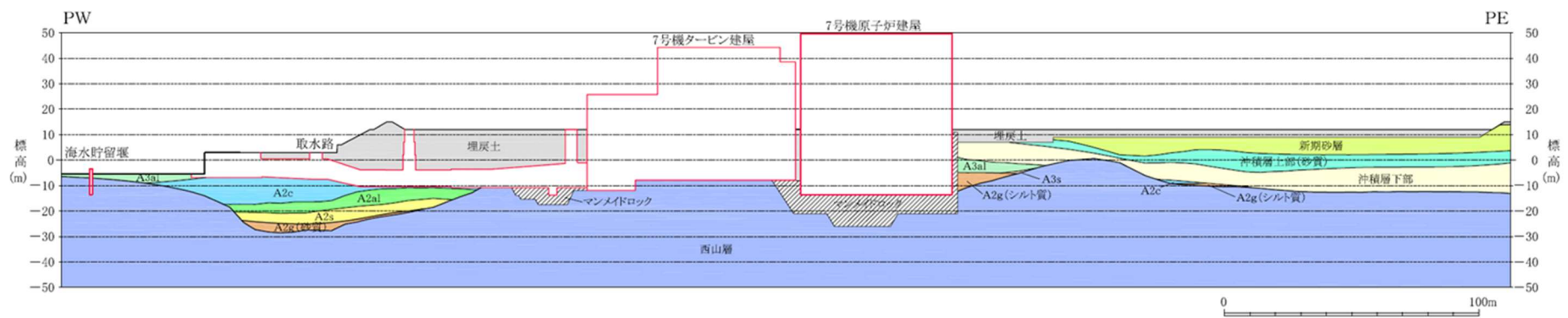


図3-9 汀線直交 地質断面図 (7号機原子炉建屋炉心中央) (G-G断面)

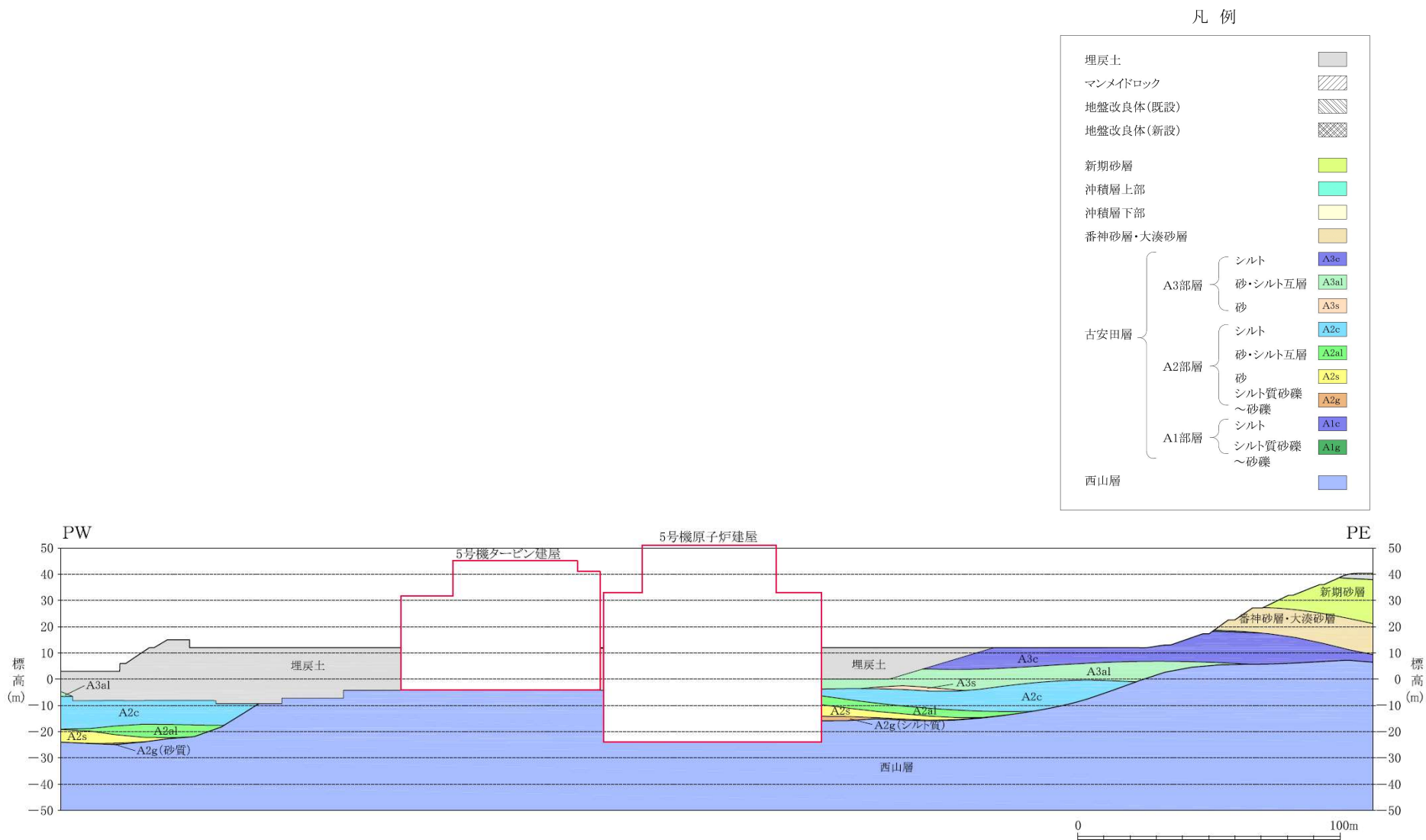

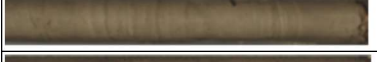



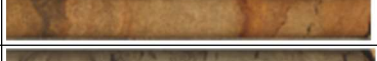












図 3-10 汀線直交 地質断面図 (5号機原子炉建屋炉心中央) (H-H断面)

表 3-2 第四系及び新第三紀の主な層相

時代	地層名		地質区分	主な層相		代表的なコア写真
第四紀	完新世	新期砂層・沖積層	新期砂層	砂	灰白～茶褐色の細～中粒砂。シルト層を挟む。一部は腐植質。	
			沖積層上部	シルト		
				砂		
			沖積層下部	砂		
	更新世	番神砂層	番神砂層・大湊砂層	砂	灰白～赤褐色の中～粗粒砂。	
		大湊砂層		砂	褐～黄褐色の中～粗粒砂。	
		A3部層	A3c層	シルト	粘土～シルト。綿状粘土，有機物，砂を伴う。貝化石を含む。	
			A3a1層	砂・シルト互層		
			A3s層	砂		
		A2部層	A2c層	シルト	粘土～シルト。砂，厚い砂礫，有機物を挟む。	
			A2a1層	砂・シルト互層		
			A2s層	砂		
			A2g層	シルト質砂礫		
		砂礫				
		A1部層	A1c層	シルト	粘土～シルト。砂，砂礫を挟む。	
			A1g層	シルト質砂礫～砂礫		
		新第三紀	鮮新世	西山層	西山層	泥岩

3.2 対象施設周辺の地質分布状況の整理結果

対象施設の全体配置図を図 3-11 に示す。「3.1 対象施設周辺の地質」において作成した地質断面図より、各対象施設周辺の地質分布状況を整理した結果を表 3-3 に示す。なお、ここに示す地質区分は、地質調査及び粒度試験などの室内試験の結果に基づき、地質学的見地・工学的見地から表 3-1 の地質層序より細分化したものを示している。地質区分の細分化についての詳細は、後述する「4.2.2 (2) 地質区分の細分化」に記す。

これらの地質に対し、図 3-1 に示すような広範囲における調査結果等に基づき解析用物性値を設定した。

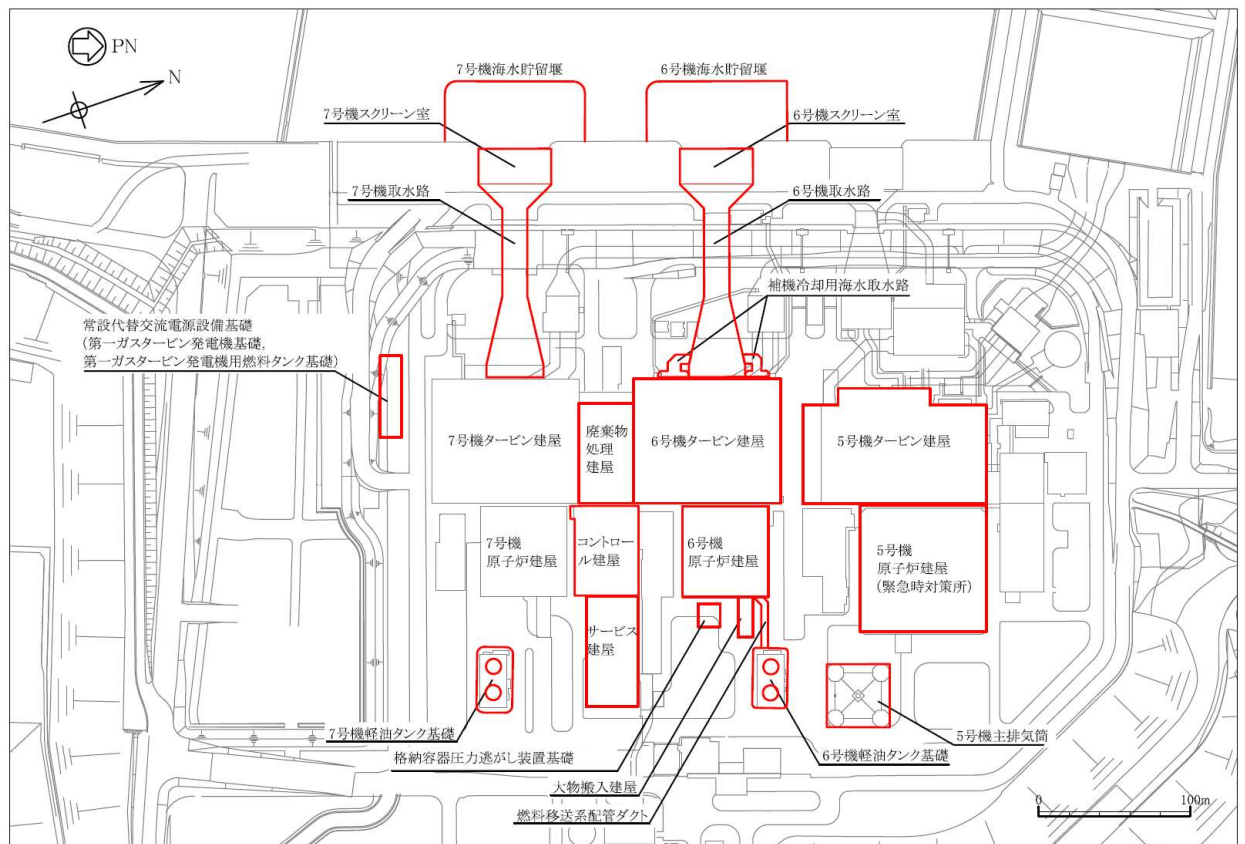


図 3-11 対象施設の全体配置図

表 3-3 対象施設周辺の地質分布一覧

対象施設 時代・地層名		地質区分	建物・構築物										土木構造物				
			・原子炉建屋	・タービン建屋	・大物搬入建屋	・コントロール建屋	・サービス建屋	・廃棄物処理建屋	・格納容器圧力逃がし装置基礎	・緊急時対策所(5号機原子炉建屋内緊急時対策所)	・5号機タービン建屋	・5号機主排気筒	・6・7号機 海水貯留堰	・常設代替交流電源設備基礎(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)	・6・7号機 スクリン室 ・6・7号機 取水路 ・補機冷却用海水取水路	・6・7号機 軽油タンク基礎 ・燃料移送系配管ダクト ・非常用ディーゼル発電機備燃料移送ポンプ防護板	
埋戻土	埋戻土		●	●	○	●	●	●	○	●	●	●	○	●	●	●	
	埋戻土II		●	●	●	●	●	—	●	●	—	●	○	—	○	●	
新期砂層・沖積層	新期砂層		○	○	○	●	●	●	○	●	●	○	○	●	●	●	
	沖積層上部	シルト質	○	○	—	○	—	○	—	○	—	—	—	●	●	—	
		砂質	—	—	—	●	●	○	—	—	—	○	○	—	○	●	
	沖積層下部		○	○	○	●	●	○	○	○	—	○	○	●	●	●	
番神砂層・大湊砂層			○	—	—	○	—	—	—	●	●	—	—	—	—	—	
古安田層	A3c層		○	○	○	●	●	●	○	●	●	●	○	—	●	●	
	A3a1層		●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	A3s層		●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	
	A2c層		●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	A2a1層		○	●	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	
	A2s層		●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	
	A2g層	シルト質		●	○	●	●	●	○	●	●	●	●	○	●	○	●
		砂質		○	●	○	○	○	○	○	○	●	—	○	●	●	○
	A1c層		—	○	—	—	○	○	—	—	—	○	—	○	—	○	
	A1g層		—	○	—	—	—	○	—	—	—	—	—	○	—	—	
新第三紀	西山層		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	椎谷層		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
マンメイドロック			●	●	●	●	●	●	●	—	●	—	—	○	●	●	
地盤改良体			—	—	●	—	—	—	●	—	—	●	○	●	●	●	

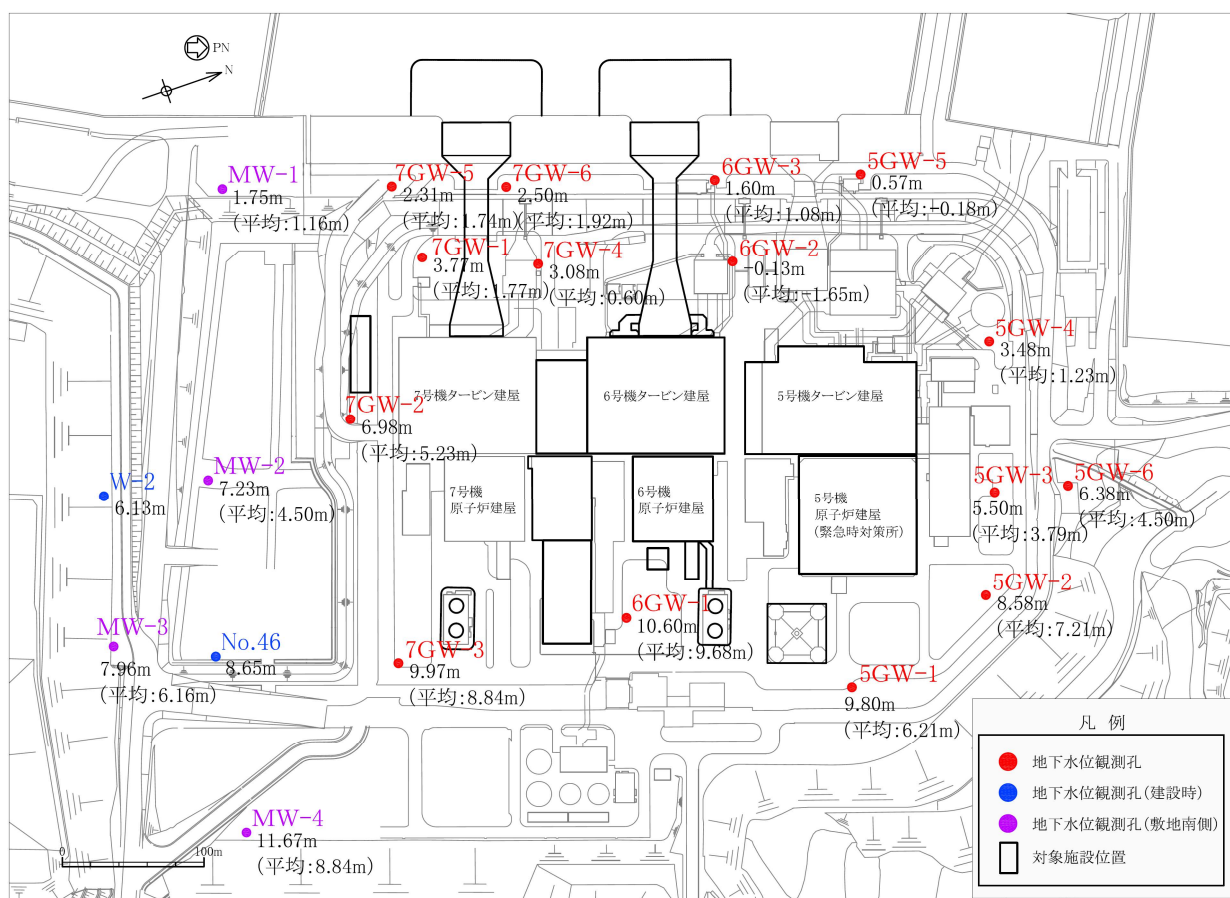
凡例 ●：施設直下あるいは直近に分布している地質
 ○：施設直下及び直近には分布していないが、地質断面図内（図3-3～図3-10）に現れる地質
 —：施設直下及び直近には分布しておらず、地質断面図内（図3-3～図3-10）にも現れない地質

3.3 敷地の地下水位分布及び耐震評価における地下水位設定方針

3.3.1 対象施設周辺の地下水位分布

敷地の地下水位分布を把握するため、対象施設近傍に地下水位観測孔を設置し、地下水位の連続観測を実施した。図 3-12 に観測最高地下水位分布図、表 3-4 に観測最高地下水位一覧表を示す。なお、図 3-12 には、参考として建設時に敷地に設置されていた地下水位観測孔 (No. 46 孔及び W-2 孔) についても示す。

各地点における地下水位観測データは (参考資料 1) に示す。



注 1: 図中の数値は、各地下水位観測孔の観測最高地下水位の標高 (T. M. S. L.) を示す。

注 2: 図中の () 内の数値は、敷地内観測孔において通年の観測記録が得られている各地下水位観測孔の 2022 年の年間平均水位を示す (該当期間の記録がない観測孔は () 記載なし)。

図 3-12 観測最高地下水位分布図

表 3-4 観測最高地下水位一覧表

観測孔名	計測期間	観測地下水位 T. M. S. L. (m)		観測最高地下水位 計測時期	備考
		最高	平均		
7GW-1	2018年1月～2023年3月	最高	3.77	2021年1月19日	
		平均	1.77		
7GW-2	2018年1月～2023年3月	最高	6.98	2021年2月22日	
		平均	5.23		
7GW-3	2018年1月～2023年3月	最高	9.97	2021年2月6日	
		平均	8.84		
7GW-4	2018年2月～2023年3月	最高	3.08	2021年1月22日	
		平均	0.60		
7GW-5	2018年3月～2023年3月	最高	2.31	2021年2月1日	
		平均	1.74		
7GW-6	2018年3月～2023年3月	最高	2.50	2022年12月22日	
		平均	1.92		
6GW-1	2018年2月～2023年3月	最高	10.60	2021年1月7日	
		平均	9.68		
6GW-2	2018年3月～2023年3月	最高	-0.13	2022年2月7日	
		平均	-1.65		
6GW-3	2018年3月～2023年3月	最高	1.60	2021年1月2日	
		平均	1.08		
5GW-1	2018年3月～2023年3月	最高	9.80	2021年1月19日	
		平均	6.21		
5GW-2	2019年2月～2023年3月	最高	8.58	2022年12月22日	
		平均	7.21		
5GW-3	2019年2月～2023年3月	最高	5.50	2021年1月22日	
		平均	3.79		
5GW-4	2019年2月～2023年3月	最高	3.48	2019年2月25日	
		平均	1.23		
5GW-5	2019年2月～2023年3月	最高	0.57	2022年12月25日	
		平均	-0.18		
5GW-6	2019年2月～2023年3月	最高	6.38	2021年1月22日	
		平均	4.50		
MW-1	2018年5月～2023年3月	最高	1.75	2021年2月21日	
		平均	1.16		
MW-2	2014年10月～2015年5月 2018年5月～2023年3月	最高	7.23	2015年1月21日	
		平均	4.50		
MW-3	2017年7月～2018年2月 2018年4月～2023年3月	最高	7.96	2021年2月22日	
		平均	6.16		
MW-4	2014年1月～2015年5月 2018年4月～2023年3月	最高	11.67	2014年1月9日	
		平均	8.84		
No. 46	1988年4月～1995年3月*	最高	8.65	1994年2月21日	建設時観測孔
		平均	—		
W-2	1988年4月～1995年3月*	最高	6.13	1994年3月2日	建設時観測孔
		平均	—		

注： 平均水位は敷地内観測孔において通年の観測記録が得られている 2022 年の年間平均水位を示す
(該当期間の記録がない観測孔は“—”で示す)。

注記* : 6号機本館基礎開始前後の計測期間(1988年4月～1995年3月)の記録を抜粋

3.3.2 耐震評価における地下水位の設定方針

(1) 基本方針

耐震評価における地下水位の設定フローを図 3-13 に示す。

対象施設が地下水排水設備に囲まれている場合は、地下水排水設備による地下水位の低下を考慮して耐震評価における地下水位を設定する。

対象施設が地下水排水設備の外側に配置される場合は、地下水位観測記録、地質構造、若しくは潮位に基づき地下水位の検討を行い、現況の地下水位を上昇させる要因の有無、観測記録における地下水位の変動要因（自然要因・人為的要因）を考慮し、耐震評価における地下水位を設定する。

また、耐震評価における地下水位を設定した後に、地下水位を上昇させる事象が発生した場合は、地下水位設定の再検討を行う。

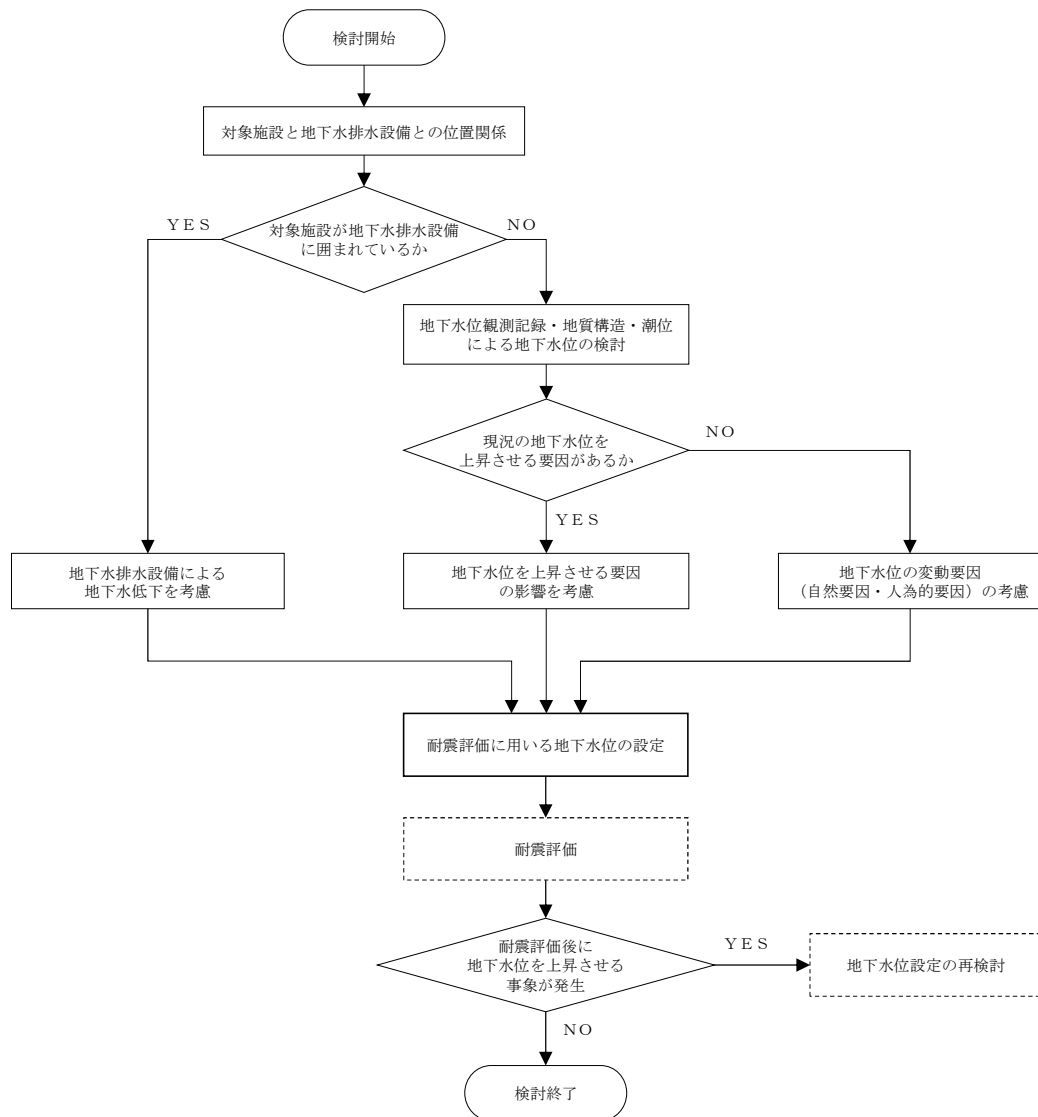


図 3-13 耐震評価における地下水位の設定フロー

(2) 耐震評価における地下水位

前述(1)の基本方針に基づき、建物・構築物及び土木構造物の耐震評価における地下水位を下記のとおりに設定する。耐震評価における地下水位設定の詳細は（参考資料 1）に示す。

a. 建物・構築物

地下水排水設備に囲まれている原子炉建屋，タービン建屋，コントロール建屋，廃棄物処理建屋及び緊急時対策所（5号機原子炉建屋内緊急時対策所）（以下「緊急時対策所」という。）の地下水位については，地下水排水設備による地下水位の低下を考慮し，基礎スラブ上端レベルに設定する。

地下水排水設備の外側に配置される大物搬入建屋，格納容器圧力逃がし装置基礎，5号機主排気筒については，近傍に設置した地下水位観測孔の観測記録に基づき，保守的に観測最高地下水位以浅となるように地下水位を設定する。地下水排水設備に囲まれていない建物・構築物の地下水位の設定一覧を表 3-5 に示す。

表 3-5 地下水排水設備の外側に配置される建物・構築物の耐震設計における地下水位の設定一覧

建物・構築物	観測最高地下水位 (近傍観測孔)	耐震評価における 地下水位
大物搬入建屋 格納容器圧力逃がし装置基礎	T. M. S. L. 10.60m (6GW-1)	T. M. S. L. 12.0m (地表面)
5号機 主排気筒	T. M. S. L. 9.80m (5GW-1)	T. M. S. L. 12.0m (地表面)

b. 土木構造物

土木構造物は、全ての施設が地下水排水設備の外側に配置されていることから、土木構造物の近傍に設置した地下水位観測孔の観測記録に基づき、保守的に観測最高地下水位以浅となるように地下水位を設定する。なお、耐震評価における地下水位は、既工認時*1における設計地下水位よりも高い標高に設定されている。

各土木構造物の地下水位の設定一覧を表 3-6 に示す。

表 3-6 土木構造物の耐震設計における地下水位の設定一覧

土木構造物	既工認時*1の 設計地下水位	観測最高地下水位 (近傍観測孔)	耐震評価における 地下水位
6,7号機 取水護岸	—	T. M. S. L. 2.50m (7GW-6)	T. M. S. L. 3.0m (地表面)
6,7号機 スクリーン室	T. M. S. L. 1.0m		
6,7号機 取水路	T. M. S. L. 1.0m	T. M. S. L. 3.77m (7GW-1)	T. M. S. L. 3.0m ~ T. M. S. L. 8.0m*2
補機冷却用海水取水路	T. M. S. L. 1.0m	T. M. S. L. 3.77m (7GW-1)	T. M. S. L. 8.0m
常設代替交流電源設備基礎	—	T. M. S. L. 6.98m (7GW-2)	T. M. S. L. 8.0m
6,7号機 軽油タンク基礎	T. M. S. L. 7.0m		
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	—	T. M. S. L. 10.60m (6GW-1)	T. M. S. L. 12.0m (地表面)

注記*1：平成3年8月23日付け3資庁第6674号及び平成4年10月13日付4資庁第8732号にて認可された工事計画

*2：取水路は、延長の長い構造物であることから、ブロック毎に地下水位を設定する。取水路の地下水位設定を表 3-7 に示す。

表 3-7 取水路の地下水位設定

施設	区分	ブロック番号	設計地下水位 T.M.S.L. (m)	備考
6, 7号機 取水路	漸縮部	②	3.0(3.0)	地表面に設定
		③		
	一般部	④	3.0~5.0(5.0)	近傍観測孔の観測記録に基づき保守的に設定
		⑤		
		⑥		
		⑦	5.0(5.0)	
		⑧	5.0~8.0(8.0)	
	漸拡部	⑨		
		⑩		
		⑪		

注：()内の数値は構造物の浮上り評価に用いる地下水位

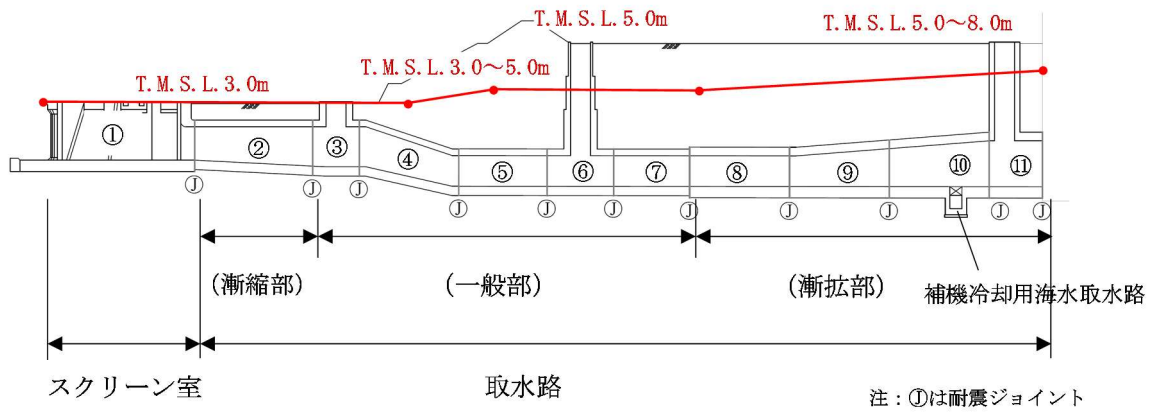


図 3-14 取水路の地下水位設定の概要図

4. 地盤の解析用物性値

4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値

設置変更許可申請書に記載された解析用物性値は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1） 資料1 地盤の支持性能について」のうち「4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値」による。

4.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値

設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値のうち、全応力解析に用いる解析用物性値を表4-1～表4-5に、設定根拠を表4-6～表4-10に示す。有効応力解析に用いる解析用物性値を表4-11～表4-16に、設定根拠を表4-17～表4-22に示す。以下の章に、各物性値の設定根拠を示す。

（用語）

- ・液状化検討対象層 : 地震時における地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮する必要がある地層
- ・非液状化検討対象層 : 地震時における地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮する必要のない地層
- ・既設地盤改良体 : 施工済みの地盤改良体
- ・新設地盤改良体 : 施工中若しくは今後施工を計画している地盤改良体

表 4-1 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（全応力解析）
 （対象施設：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）

標高 T. M. S. L. (m)	地質区分	S波速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断剛性の ひずみ依存特性 $G/G_0-\gamma$	減衰定数の ひずみ依存特性 h- γ 曲線 (%)
12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	$1/(1+10.95\gamma^{0.81})$	$\gamma/(0.031\gamma+0.002)$
8.0		200	16.1	0.308		
4.0	古安田層	330	17.3	0.462	$1/(1+5.39\gamma^{0.77})$	$24.8\gamma^{0.56}$
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	$1/(1+4.10\gamma^{1.37})$	$25.0\gamma^{0.94}+0.7$
-33.0		530	16.6	0.446		
-90.0		590	17.3	0.432		
-136.0		650	19.3	0.424		
-155.0		720	19.9	0.416		
解放基盤 ∞	椎谷層	720	19.9	0.416	—	—

注1： ハッチング箇所は，設置変更許可申請書に記載

注2： γ はせん断ひずみ（%）を示す。

表 4-2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（全応力解析）
（対象施設：緊急時対策所）

標高 T. M. S. L. (m)	地質区分	S波速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	せん断剛性の ひずみ依存特性 $G/G_0 - \gamma$	減衰定数の ひずみ依存特性 h - γ 曲線 (%)
12.0	埋戻土	182	17.6	0.415	0.592	$1 / (1 + 11.7 \gamma^{0.861})$	$\gamma / (0.0482 \gamma + 0.00509) + 1.71$
8.0		230	17.6	0.415	0.949		
4.0		256	17.6	0.415	1.18		
0.0	古安田層	310	17.5	0.48	1.71	$1 / (1 + 3.526 \gamma^{0.990})$	$8.27 \gamma^{0.238}$
-9.0	西山層	490	16.7	0.45	4.09	$1 / (1 + 3.670 \gamma^{1.10})$	$12.98 \gamma^{0.532}$
-60.0		560	17.2	0.44	5.50		
-100.0		610	18.0	0.43	6.83		
-134.0 解放基盤 ∞	椎谷層	710	19.9	0.42	10.2	-	-

注： γ はせん断ひずみ (%) を示す。

表 4-3 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（全応力解析）
（対象施設：サービス建屋）

標高 T. M. S. L. (m)	地質区分	S波速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断剛性の ひずみ依存特性 $G/G_0 - \gamma$	減衰定数の ひずみ依存特性 h - γ 曲線 (%)
12.0	古安田層	330	17.3	0.462	$1 / (1 + 5.39 \gamma^{0.77})$	$24.8 \gamma^{0.56}$
5.1	西山層	490	17.0	0.451	$1 / (1 + 4.10 \gamma^{1.37})$	$25.0 \gamma^{0.94} + 0.7$
-33.0		530	16.6	0.446		
-90.0		590	17.3	0.432		
-136.0		650	19.3	0.424		
-155.0 解放基盤 ∞	椎谷層	720	19.9	0.416	—	—

注1： ハッチング箇所は、設置変更許可申請書に記載

注2： γ はせん断ひずみ (%) を示す。

表 4-4 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（全応力解析）
（既設地盤改良体）

対象施設		大物搬入建屋
種別		置換
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.85
	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	3.40×10^6
動 的 変 形 特 性	ポアソン比 ν	0.319
	$G/G_0 - \gamma$	$1/(1+5.74\gamma^{1.06})$
	$h - \gamma$ (%)	$\gamma/(0.197\gamma + 0.00933) + 0.337$

注： γ はせん断ひずみ (%) を示す。

表 4-5 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（全応力解析）
（新設地盤改良体）

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	置換	高圧噴射(砂質土)	無筋コンクリート
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.85	1.85	1.94	2.35
	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	1.31×10^6	1.31×10^6	1.37×10^6	9.45×10^6
動 的 変 形 特 性	ポアソン比 ν	0.302	0.302	0.333	0.200
	$G/G_0 - \gamma$	$1/(1+10.1\gamma^{1.21})$	$1/(1+10.1\gamma^{1.21})$	$1/(1+6.52\gamma^{1.07})$	—*
	$h - \gamma$ (%)	$\gamma/(0.172\gamma + 0.00783) + 0.401$	$\gamma/(0.172\gamma + 0.00783) + 0.401$	$\gamma/(0.155\gamma + 0.0121) + 0.678$	—*

注： γ はせん断ひずみ (%) を示す。

注記*：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）

表 4-6 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠（全応力解析）
 （対象施設：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）

物性値		地質区分	試験
単位体積重量	γ_t	新期砂層	物理試験結果*
		古安田層	
		西山層	
		椎谷層	
S波速度	V_s	新期砂層	超音波速度試験結果*
		古安田層	PS 検層結果*
		西山層	
		椎谷層	
ポアソン比	ν	新期砂層	超音波速度試験結果*
		古安田層	PS 検層結果*
		西山層	
		椎谷層	
動的変形特性	$G/G_0 \sim \gamma,$ $h \sim \gamma$	新期砂層	動的せん断試験結果
		古安田層	
		西山層	
		椎谷層	解放基盤表面以深のため，線形に設定

注記*：各種試験は，日本産業規格（J I S）又は地盤工学会（J G S）等の規格・基準に準拠

表 4-7 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠（全応力解析）
（対象施設：緊急時対策所）

物性値		地質区分	試験
単位体積重量	γ_t	埋戻土	物理試験結果*
		古安田層	
		西山層	
		椎谷層	
S波速度	V_s	埋戻土	PS 検層結果*
		古安田層	
		西山層	
		椎谷層	
ポアソン比	ν	埋戻土	PS 検層結果*
		古安田層	
		西山層	
		椎谷層	
初期せん断 弾性係数	G_0	埋戻土	PS 検層*及び密度に基づき設定
		古安田層	
		西山層	
		椎谷層	
動的変形特性	$G/G_0 \sim \gamma,$ $h \sim \gamma$	埋戻土	繰返し三軸試験結果*
		古安田層	動的せん断試験結果
		西山層	
		椎谷層	解放基盤表面以深のため、線形に設定

注記* : 各種試験は、日本産業規格（J I S）又は地盤工学会（J G S）等の規格・基準に準拠

表 4-8 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠（全応力解析）
（対象施設：サービス建屋）

物性値		地質区分	試験
単位体積重量	γ_t	古安田層	物理試験結果*
		西山層	
		椎谷層	
S波速度	V_s	古安田層	PS 検層結果*
		西山層	
		椎谷層	
ポアソン比	ν	古安田層	PS 検層結果*
		西山層	
		椎谷層	
動的変形特性	$G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$	古安田層	動的せん断試験結果
		西山層	
		椎谷層	解放基盤表面以深のため、線形に設定

注記* : 各種試験は、日本産業規格（JIS）又は地盤工学会（JGS）等の規格・基準に準拠

表 4-9 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠（全応力解析）
（既設地盤改良体）

対象施設		大物搬入建屋
種別		置換
物理特性	密度 ρ	物理試験
動的変形特性	初期せん断弾性係数 G_0	湿潤密度及びPS検層
	ポアソン比 ν	PS検層
	$G/G_0 - \gamma$	動的変形試験
	$h - \gamma$	動的変形試験

表 4-10 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠（全応力解析）
（新設地盤改良体）

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	置換	高圧噴射(砂質土)	無筋コンクリート
物理特性	密度 ρ	工法別平均値に基づき設定	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	文献*1
動的変形特性	初期せん断弾性係数 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	文献*1
	ポアソン比 ν	7号機軽油タンク基礎の置換工法の実績値に基づき設定	7号機軽油タンク基礎の置換工法の実績値に基づき設定	軽油タンク基礎の高圧噴射(砂質土)の実績値に基づき設定	文献*1
	$G/G_0 - \gamma$				—*2
	$h - \gamma$				

注記*1： 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法一（（社）日本建築学会，1999改定）

*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）

表 4-11 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値(有効応力解析)
(液状化検討対象層)

地質区分 物性値		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_{ms} (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_{ms}' (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	5.50	7.90	11.00	8.00	25.00	25.00	25.00	25.00
		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	1.69	2.13	2.41	2.00	8.75	8.75	8.75	8.75

注記* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

表 4-12 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値(有効応力解析)
(非液状化検討対象層)

地質区分 物性値		埋戻土II	古安田層						
			新期砂層・沖積層 沖積層上部 (シルト質)	A3c層	A3a1層	A2c層	A2a1層	A2g層 (シルト質)	A1c層
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.71	1.66	1.70	1.81	1.80	1.88	1.80	1.80
	間隙率 n	0.58	0.61	0.57	0.52	0.52	0.48	0.52	0.52
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²)	7.33×10^4	5.50×10^4	1.09×10^5	9.57×10^4	1.39×10^5	1.61×10^5	1.39×10^5	1.39×10^5
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	41.0	170.0	60.0	94.0	140.0	170.0	140.0	140.0
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.152	0.136	0.114	0.162	0.110	0.147	0.110	0.110
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	7.4	82.5	99.6	29.2	113.0	82.8	113.0	113.0
	内部摩擦角 ϕ' (°)	31.7	19.6	26.8	34.2	27.9	28.7	27.9	27.9

表 4-13 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（有効応力解析）
（既設地盤改良体）

対象施設		6・7号機 海水貯留堰	7号機軽油タンク基礎		常設代替交流電源設備基礎			軽油タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト		
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_{sa} (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_{sa}' (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 4-14 (1) 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値（有効応力解析）
（新設地盤改良体 1/2）

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			7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)
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
	間隙率 n	0.49	0.64	0.49	—	0.48	0.49	0.49	0.48	0.49
変形 特性	動せん断弾性係数 G_{sa} (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	2.51×10^5	1.31×10^6	1.45×10^6
	基準平均有効拘束圧 σ_{sa}' (kN/m ²)	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
	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
強度 特性	粘着力 c (kN/m ²)	500	500	500	—	500	500	500	4000	4000

表 4-14 (2) 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値 (有効応力解析)
(新設地盤改良体 2/2)

対象施設		軽油タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト			
種別 (地盤種別)		置換	高圧噴射 (粘性土)	高圧噴射 (砂質土)	無筋コンクリート
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.85	1.91	1.94	2.30
	間隙率 n	0.48	0.64	0.49	-
変形特性	動せん断弾性係数 G_{sa} (kN/m ²)	1.31×10^6	1.22×10^6	1.37×10^6	1.04×10^7
	基準平均有効拘束圧 σ_{sa}' (kN/m ²)	98.0	98.0	98.0	-
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	0.2
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.050	0.050	0.050	-
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	4000	2500	2500	-

表 4-15 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値(有効応力解析)
(西山層)

物性値		地質区分	
		西山層	
		西山層 (T. M. S. L. -33.0m以浅)	西山層 (T. M. S. L. -33.0m~-90.0m)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.73	1.69
	間隙率 n	0.56	0.56
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	4.16×10^5	4.75×10^5
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.0	98.0
	ポアソン比 ν	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.257	0.257
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	$1370 - 5.04 \cdot Z^*$	$1370 - 5.04 \cdot Z^*$
	内部摩擦角 ϕ (°)	0.0	0.0

注記* : Zは、標高 (m) を示す。

表 4-16 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値(有効応力解析)
(マンメイドロック)

名称		マンメイドロック (建屋側方)	マンメイドロック (建屋下)
対象施設		7号機軽油タンク基礎、6・7号機取水路、 常設代替交流電源設備基礎、 軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト	7号機軽油タンク基礎、 補機冷却用海水取水路、 常設代替交流電源設備基礎
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.75	1.75
	間隙率 n	0.56	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	$1.91 \times 10^{6*1}$	$2.11 \times 10^{6*2}$
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.0	
	ポアソン比 ν	0.36	
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.190	
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	1840	
	内部摩擦角 ϕ (°)	0.0	

注記*1 : マンメイドロック試験結果

$$G_0 = 19460 + 414 \times P \quad (P : \text{圧密圧力 (kg/cm}^2\text{)})$$

建屋側方 : $P = 0$ (kg/cm²) として、

$$G_0 = (19460 + 414 \times 0) \times 9.80665 = 190,837 \approx 1.91 \times 10^6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

*2 : *1と同じく

建屋下 : $P = 5$ (kg/cm²) として、

$$G_0 = (19460 + 414 \times 5) \times 9.80665 = 211,137 \approx 2.11 \times 10^6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

表 4-17 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠(有効応力解析)
(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*1		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*1 (PS検層)*2		慣用値*1		慣用値*1				
	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	

注記*1：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ータの簡易設定法（港湾技研資料No. 869）
（運輸省港湾技術研究所，平成9年6月）

*2：括弧内は，地下水位以浅の根拠を表す。

表 4-18 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠(有効応力解析)
(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	A2g層 (シルト質)	A1c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'										

注記*：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ータの簡易設定法（港湾技研資料No. 869）
（運輸省港湾技術研究所，平成9年6月）

表 4-19 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠(有効応力解析)
(既設地盤改良体)

対象施設		6・7号機 海水貯留堰	7号機軽油タンク基礎		常設代替交流電源設備基礎			軽油タンク基礎、 燃料移送系配管ダクト			
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_{sa}	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_{sa}'	慣用値*7									
	ポアソン比 ν	慣用値*7			慣用値*7 (PS検層)*5	慣用値*7 (PS検層)*5	文献*4	慣用値*7			
	減衰定数の上限値 h_{max}	文献*6	動的変形特性に基づき設定				文献*6	動的変形特性に基づき設定			
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)
 *7：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, 平成9年6月)

表 4-20 (1) 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠(有効応力解析)
(新設地盤改良体 1/2)

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			7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)
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
	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_{sa}	設計S波速度, 密度に基づき設定			文献*1	文献*3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_{sa}'	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, 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)

表 4-20 (2) 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠(有効応力解析)
(新設地盤改良体 2/2)

対象施設		軽油タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト			
種別 (地盤種別)		置換	高圧噴射 (粘性土)	高圧噴射 (砂質土)	無筋コンクリート
物理 特性	密度 ρ	工法別 平均値	対象土層 の最大値	対象土層 の最大値	文献 ^{*1}
	間隙率 n	工法別平均値			— ^{*2}
変形 特性	動せん断弾性係数 G_{ms}	設計S波速度, 密度に基づき設定			文献 ^{*1}
	基準平均有効拘束圧 σ'_{ms}	慣用値 ^{*3}			— ^{*2}
	ポアソン比 ν	慣用値 ^{*3}			文献 ^{*1}
	減衰定数の上限値 h_{msX}	文献 ^{*4}			— ^{*2}
強度 特性	粘着力 c	設計一軸圧縮強度			— ^{*2}

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測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法
(港湾技研資料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)

表 4-21 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠(有効応力解析)
(西山層)

物性値		地質区分	西山層	
			西山層 (T. M. S. L. -33.0m以浅)	西山層 (T. M. S. L. -33.0m~-90.0m)
物理特性	密度	ρ	物理試験	
	間隙率	n	物理試験	
変形特性	動せん断弾性係数	G_{ms}	PS検層 ^{*1} 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 ^{*1}	
	ポアソン比	ν	慣用値 ^{*1}	
	減衰定数の上限値	h_{max}	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	
	内部摩擦角	ϕ		

注記*1：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，平成9年6月）

表 4-22 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠(有効応力解析)
(マンメイドロック)

名称		マンメイドロック (建屋側方)	マンメイドロック (建屋下)
対象施設		7号機軽油タンク基礎，6・7号機取水路， 常設代替交流電源設備基礎， 軽油タンク基礎，燃料移送系配管ダクト	7号機軽油タンク基礎， 補機冷却用海水取水路， 常設代替交流電源設備基礎
物理特性	密度	ρ	物理試験
	間隙率	n	西山層相当に設定
変形特性	動せん断弾性係数	G_{ms}	弾性波速度測定試験による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 ^{*1}
	ポアソン比	ν	弾性波速度測定試験
	減衰定数の上限値	h_{max}	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
	内部摩擦角	ϕ	

注記*1：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，平成9年6月）

4.2.1 全応力解析に用いる解析用物性値

原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の地震応答解析に用いる水平成層地盤モデル及び解析用物性値については、平成3年8月23日付け3資庁第6674号及び平成4年10月13日付け4資庁第8732号にて認可された工事計画と同様、6,7号機原子炉建屋の直下におけるボーリング（以下「炉心ボーリング」という。）の結果に基づき設定しているものであり、既工認時より変更はない。

廃棄物処理建屋及びサービス建屋の地震応答解析に用いる水平成層地盤モデル及び解析用物性値については、炉心ボーリングの結果に準じて設定する。なお、サービス建屋の水平成層地盤モデルは、原子炉建屋等とは異なり、設置地盤の条件に基づき設定する。

5号機原子炉建屋内緊急時対策所及び5号機タービン建屋の解析用物性値は、原則、昭和58年8月22日付け58資庁第9522号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第5号機の工事計画の添付資料「IV-2-5 原子炉建屋の耐震性についての計算書」に記載された解析用物性値に基づき設定するが、埋戻土（T.M.S.L. 0.0m～12.0m）については、「表4-11 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値(有効応力解析)(液状化検討対象層)」に示す埋戻土の解析用物性値とする。

建物・構築物の地震応答解析に用いる地盤諸定数については（参考資料12）に示す。

4.2.2 有効応力解析に用いる解析用物性値

建物・構築物及び土木構造物の動的解析において、地震時における地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮する場合は、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ことを基本とする。

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。

設置変更許可申請書における解析用物性値は、全応力解析（基礎地盤安定解析）に用いる物性値であるため、液状化検討対象層の物理的及び力学的特性から、各層の有効応力解析に必要な物性値を設定する。

有効応力解析に用いる解析用物性値のうち一部の地盤材料については、同等若しくは保守的な他の地盤材料の試験結果を代用する。解析用物性値の代用等の考え方は（参考資料2）に示す。

また、有効応力解析に用いる西山層の解析用物性値は、設置変更許可申請書（添付書類六）に記載した値に基づき、表4-15のとおりを設定する。西山層の速度構造については、後述の「6. 地盤の速度構造」に示す。

なお、地盤の物理特性及び力学特性は、日本産業規格（JIS）又は地盤工学会（JGS）の基準に基づいた試験の結果から設定する。

(1) 液状化影響検討方針の概要

液状化影響評価のフローを図 4-1 に示す。

設置変更許可申請書における地質区分は、基礎地盤安定解析（全応力解析）において設定されたものであることから、工事計画認可申請における地質区分については、有効応力解析を実施するにあたり地質調査や室内試験に基づき細分化する。

次に、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，H24.3）（以下「道路橋示方書V」という）に基づき、液状化検討対象層を抽出する。また、保守的な配慮として、道路橋示方書Vでは液状化の判定を行う必要のある土層に該当しないとされている地表面から 20m 以深及び洪積層に該当する地質区分についても、液状化検討対象層の抽出を行う。

これにより抽出した液状化検討対象層の物理的性質及び力学的性質について、地質調査及び室内試験を実施し、有効応力解析に必要な物性値を設定する。

液状化強度試験に用いる供試体の採取箇所は、対象施設近傍における地層から選定することを基本とする。次に、地盤の液状化強度特性の代表性及び網羅性を確認するため、選定箇所と敷地内の調査箇所における地質調査及び土質材料の物理特性等を比較する。

また、柏崎刈羽原子力発電所では、設置変更許可申請後に追加の液状化強度試験を実施している。工事計画認可申請では、これらの試験結果に基づき、最小二乗法による液状化抵抗曲線の回帰曲線を設定し、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、耐震評価における液状化抵抗曲線を「回帰曲線 -1σ 」にて設定することにより、保守性を考慮する。

なお、サイクリックモビリティを示す地層についても、液状化強度試験に基づいて液状化強度特性を設定し、サイクリックモビリティを適切に表現できる解析コードFLIPを用いる。

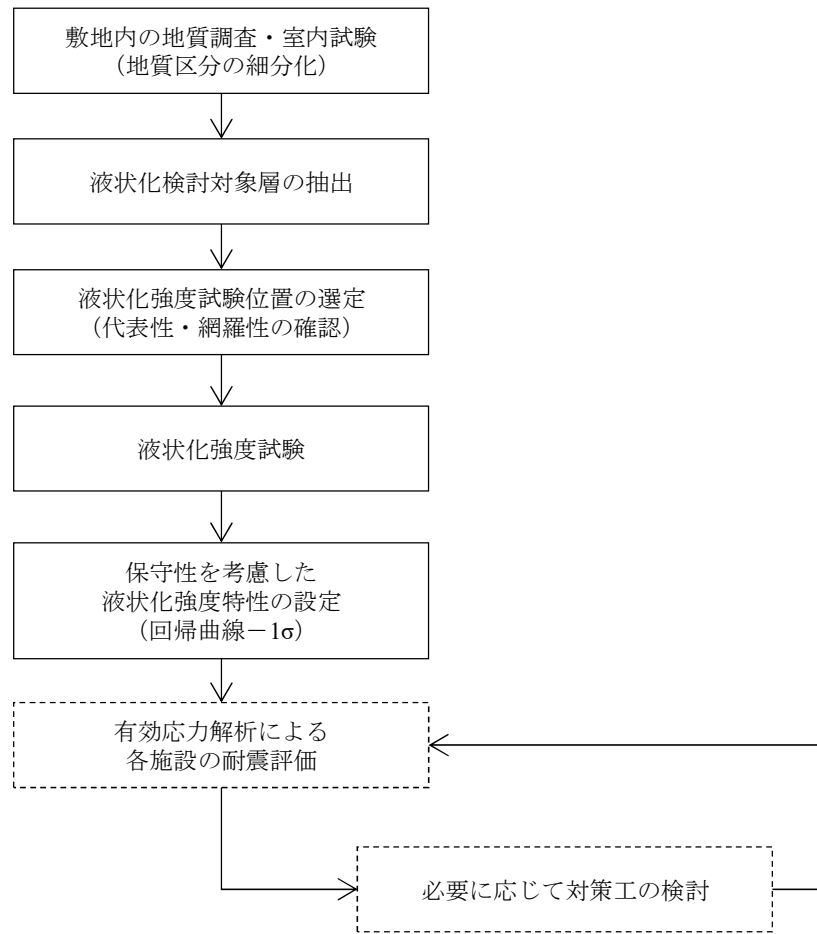


図 4-1 液化化影響評価のフロー

(2) 地質区分の細分化

設置変更許可申請書の地質層序表を表 4-23 に示す。設置変更許可申請段階での対象施設近傍の地質学的な地質区分は、下位から西山層N₁部層、古安田層A₁、A₂、A₃部層、大湊砂層、番神砂層及び新期砂層・沖積層である。このうち古安田層については、粘土～シルト、砂や砂礫といった様々な層相からなるため、「礫層」、「砂質土」、「粘性土」、「粘性土・砂質土互層」とさらに地質区分している。なお、設置変更許可申請段階での解析用地質区分では、古安田層を「洪積砂質土層」と「洪積粘性土層」に区分している。

工事計画認可申請の解析用地質区分は、設置変更許可段階の地質学的な地質区分を踏まえて、表 4-24 に示す区分とする。また、同表に示すとおり、工事計画認可申請においては、有効応力解析を実施するにあたり、設置変更許可段階の地質区分のうち、埋戻土、新期砂層・沖積層、古安田層のA_{2g}層について、同年代における堆積環境（地質学的観点）及び粒度分析や室内試験結果（工学的観点）から、地質区分を細分化する。地質区分の詳細については、（参考資料 8）に示す。

表 4-23 設置変更許可申請書の地質層序表

時代	地層名	主な層相・岩質	テフラ ^{※1} ・放射年代		
第四紀	完新世	新期砂層・沖積層	灰白色～茶褐色の細～中粒砂，シルト層を挟在 一部は腐植質	← 腐植 (9,910±30年前)	
		後期	番神砂層	灰白色～赤褐色の中～粗粒砂	
			大湊砂層	褐色～黄褐色の中～粗粒砂， シルトの薄層を含む	
	更新世	中期	A ₃ 部層	最上部は砂 粘土～シルト，砂を多く挟む	← 刈羽テフラ(約20万年前)
			A ₂ 部層 ^{※2}	粘土～シルト 綿状粘土，有機物，砂を伴う，貝化石を含む	
			A ₂ 部層	粘土～シルト 砂，厚い砂礫，有機物を挟む	← Ata-Th (約24万年前)
			A ₁ 部層	粘土～シルト 砂，砂礫を挟む	← Kkt (約33～34万年前)
	前期	灰爪層	凝灰質泥岩，凝灰質砂岩，凝灰岩	← Iz (約150万年前)	
		西山層	N ₃ 部層	砂質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 貝化石を含む	← Fup (約220万年前) ← Tsp (約230万年前) ← Az (約240万年前)
			N ₂ 部層	シルト質泥岩 綿状泥岩，凝灰岩，ノジュールを多く挟む	
N ₁ 部層			シルト質～粘土質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 珪質海綿化石を含む	← Nt-17 (340±20万年前) ← Nt-7 (350±20万年前)	
椎谷層		砂岩，砂岩・泥岩互層，細礫岩等を挟む			
新第三紀	後期	寺泊層	黑色泥岩，砂岩・泥岩互層		
	中期				

※1 テフラの名称・年代は、岸ほか(1996)などによる。
 ※2 安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物に対する仮称。

~~~~~ 不整合

注： 設置変更許可申請書より抜粋（一部加筆）

表 4-24 工事計画認可申請における有効応力解析に用いる地質区分

| 時代          | 設置変更許可申請段階における地質区分     |      | 工事計画認可申請における地質区分  | 主な層相             |            |           |
|-------------|------------------------|------|-------------------|------------------|------------|-----------|
| —           | 埋戻土<br>粒度分析による細分化      |      | 埋戻土               | 砂                |            |           |
|             |                        |      | 埋戻土Ⅱ              | シルト              |            |           |
| 完<br>新<br>世 | 新期砂層・沖積層<br>堆積環境による細分化 |      | 新期砂層              | 砂                |            |           |
|             |                        |      | 沖積層上部(シルト質)       | シルト              |            |           |
|             |                        |      | 沖積層上部(砂質)         | 砂                |            |           |
|             |                        |      | 沖積層下部             | 砂                |            |           |
| 第<br>四<br>紀 | 更<br>新<br>世            | 古安田層 | A <sub>3</sub> 部層 | 粘性土              | A3c層       | シルト       |
|             |                        |      |                   | 粘性土・砂質土互層        | A3a1層      | 砂・シルト互層   |
|             |                        |      |                   | 砂質土              | A3s層       | 砂         |
|             |                        |      | A <sub>2</sub> 部層 | 粘性土              | A2c層       | シルト       |
|             |                        |      |                   | 粘性土・砂質土互層        | A2a1層      | 砂・シルト互層   |
|             |                        |      |                   | 砂質土              | A2s層       | 砂         |
|             |                        |      |                   | 礫層<br>堆積環境による細分化 | A2g層(シルト質) | シルト質砂礫    |
|             |                        |      | A <sub>1</sub> 部層 | 粘性土              | A1c層       | シルト       |
|             |                        |      |                   |                  | 礫層         | A1g層      |
|             |                        |      |                   | 礫層               | A1g層       | シルト質砂礫～砂礫 |

: 工事計画認可申請において細分化する地層



### (3) 液状化検討対象層の抽出方針

道路橋示方書Vでは、図4-2に示すように、液状化の判定を行う必要がある土層（＝液状化検討対象層）を、「沖積層\*」であり、1)～3)の条件全てに該当する土層と定めている。図4-3に道路橋示方書Vにおける液状化判定の評価フローを示す。

なお、道路橋示方書Vの条件は指針類（鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編（平成24年9月）、港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年））でほぼ共通している。

柏崎刈羽原子力発電所の液状化検討対象層の抽出では、道路橋示方書Vに基づき液状化検討対象層を抽出することを基本とする。

また、道路橋示方書Vにおける洪積層\*の扱いは、図4-4に示すとおり、液状化の判定を行う土層に該当しないとされているが、基準地震動の規模の大きさを鑑み、本評価では念のために洪積層（古安田層）の砂層及び砂礫層についても、液状化検討対象層として抽出し、保守的な耐震評価を行う。加えて、道路橋示方書Vでは検討対象外とされている地表面から20m以深の土層についても、液状化検討対象層の抽出対象とする。

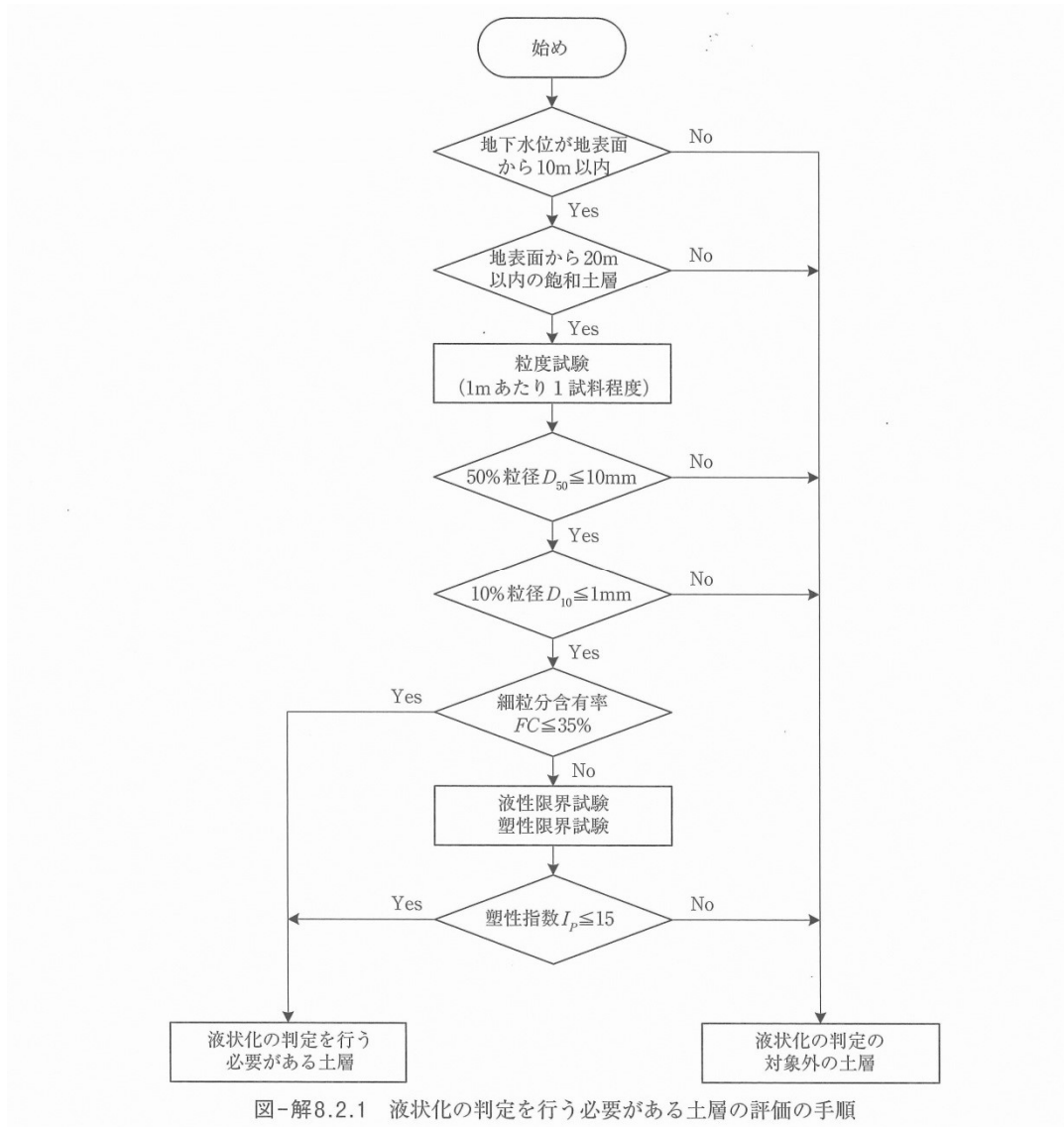
注記\*：本資料では、道路橋示方書Vで用いられている『沖積層』及び『洪積層』という用語を使用する。なお、道路橋示方書Vでは、沖積層については、「第四紀のうち新しい地質時代（完新世）における堆積物及び埋立土による土層に概ね対応すると考えてよい」とされており、洪積層については、「第四紀のうち古い地質時代（更新世）における堆積物による土層に概ね対応すると考えてよい」とされている。

沖積層の土層で次の3つの条件全てに該当する場合には、地震時に橋に影響を与える液状化が生じる可能性があるため、(2)の規定によって液状化の判定を行わなければならない。

- 1) 地下水位が地表面から10m以内にあり、かつ、地表面から20m以内の深さに存在する飽和土層
- 2) 細粒分含有率 $FC$ が35%以下の土層、又は、 $FC$ が35%を超えても塑性指数 $I_p$ が15以下の土層
- 3) 50%粒径 $D_{50}$ が10mm以下で、かつ、10%粒径 $D_{10}$ が1mm以下である土層

(引用：(社)日本道路協会、道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説、H24.3（抜粋））

図4-2 道路橋示方書Vにおける液状化の判定を行う必要がある土層



(引用：(社)日本道路協会，道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説，H24.3（抜粋）

図 4-3 道路橋示方書Vに基づく液状化判定フロー

洪積層は，東北地方太平洋沖地震や兵庫県南部地震を含む既往の地震において液状化したという事例は確認されていない。洪積層は一般に  $N$  値が高く，また，続成作用により液状化に対する抵抗が高いため，一般には液状化の可能性は低い。このため，原則として洪積層は液状化の判定の対象とする必要はない。なお，ここでいう洪積層とは，第四紀のうち古い地質時代（更新世）における堆積物による土層に概ね対応すると考えてよい。

(引用：(社)日本道路協会，道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説，H24.3（抜粋）

図 4-4 道路橋示方書Vにおける洪積層に関する記述

(4) 液状化検討対象層の抽出結果

図 4-5 に液状化検討対象層の抽出フローを示す。

まず、道路橋示方書Vの液状化判定フローに基づき、沖積層における液状化検討対象層を抽出した[STEP①]。続いて、保守的な耐震評価を行う観点から洪積層（古安田層）の砂層及び砂礫層についても、液状化検討対象層として抽出した[STEP②]。

この結果、敷地における液状化検討対象層は、沖積層では「埋戻土」、「新期砂層」、「沖積層上部（砂質）」及び「沖積層下部」が抽出され、洪積層（古安田層）では「A3s 層」、「A2s 層」、「A2g 層（砂質）」及び「A1g 層」が抽出された。表 4-25 に液状化検討対象層の抽出結果を示す。

STEP①：道路橋示方書に基づく液状化検討対象層の抽出

「道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）平成24年3月」のフローに基づき液状化検討対象層を抽出する。

| 地層名         |             | 時代  | 地表面から20m以浅の分布の有無 | 細粒分含有率 (%) |      |      | 塑性指数 $I_p$ |      |      |
|-------------|-------------|-----|------------------|------------|------|------|------------|------|------|
|             |             |     |                  | 平均値        | 標準偏差 | データ数 | 平均値        | 標準偏差 | データ数 |
| 埋戻土         |             | 沖積層 | 有                | 15.5       | 13.9 | 172  | -          | -    | -    |
| 埋戻土II       |             | 沖積層 | 有                | 90.6       | 3.6  | 13   | 38.0       | 4.7  | 13   |
| 沖積層<br>新期砂層 | 新期砂層        | 沖積層 | 有                | 7.2        | 4.4  | 90   | -          | -    | -    |
|             | 沖積層上部（シルト質） | 沖積層 | 有                | 94.7       | 2.9  | 7    | 58.8       | 17.8 | 7    |
|             | 沖積層上部（砂質）   | 沖積層 | 有                | 31.0       | 30.8 | 28   | -          | -    | -    |
|             | 沖積層下部       | 沖積層 | 有                | 16.4       | 7.9  | 54   | -          | -    | -    |
| 古安田層（洪積層）   | A3c層        | 洪積層 | 有                | 88.1       | 12.0 | 15   | 54.5       | 19.0 | 12   |
|             | A3a1層       | 洪積層 | 有                | 78.2       | 27.0 | 94   | 46.6       | 13.7 | 44   |
|             | A3s層        | 洪積層 | 有                | 52.2       | 26.2 | 30   | 29.9       | 15.4 | 18   |
|             | A2c層        | 洪積層 | 有                | 90.6       | 13.6 | 161  | 39.9       | 14.7 | 74   |
|             | A2a1層       | 洪積層 | 有                | 65.7       | 23.3 | 75   | 36.2       | 16.0 | 26   |
|             | A2s層        | 洪積層 | 有                | 37.7       | 27.4 | 87   | 31.6       | 14.7 | 29   |
|             | A2g層（シルト質）  | 洪積層 | 有                | 77.6       | 28.0 | 46   | 45.1       | 11.7 | 41   |
|             | A2g層（砂質）    | 洪積層 | 有                | 26.5       | 27.8 | 15   | -          | -    | -    |
|             | A1c層        | 洪積層 | 無                | 91.2       | 7.0  | 8    | 36.1       | 9.4  | 8    |
| A1g層        | 洪積層         | 無   | 53.6             | 38.3       | 11   | 27.6 | 9.1        | 6    |      |

道路橋示方書Vにおける液状化検討対象層  
道路橋示方書Vに基づき液状化検討対象外とした根拠となるデータ

STEP②：保守的な液状化検討対象層

道路橋示方書Vにおいては、液状化判定を行う必要がある土層を「沖積層」としているが、当社では「洪積層（古安田層）の砂層及び砂礫層」についても、液状化検討対象層として考慮する。

当社の液状化検討対象層

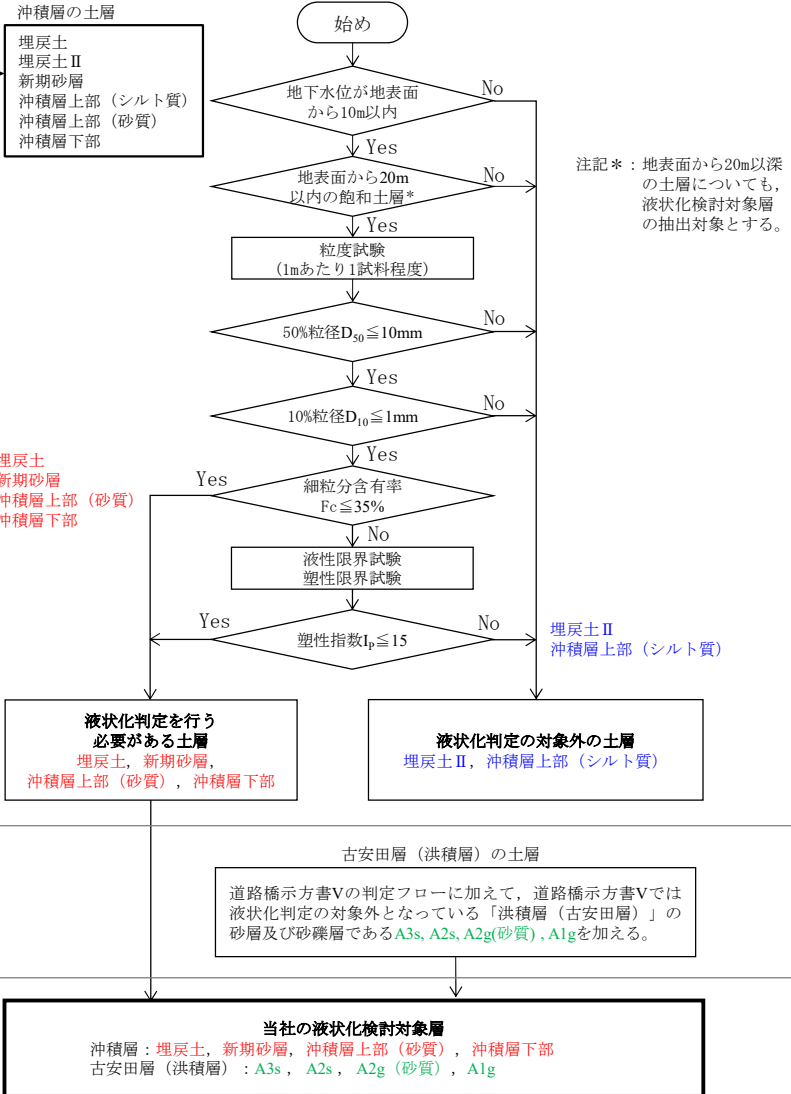


図 4-5 液状化検討対象層の抽出フロー

表 4-25 液状化検討対象層の抽出結果

| 地層・地質区分       |             | 層相            | 道路橋示方書Vにおける<br>液状化検討対象層 | 当社における<br>液状化検討対象層 | 備考              |
|---------------|-------------|---------------|-------------------------|--------------------|-----------------|
| 埋戻土           | 埋戻土         | 砂             | ●                       | ●                  |                 |
|               | 埋戻土II       | シルト           | —                       | —                  |                 |
| 新期砂層<br>沖積層   | 新期砂層        | 砂             | ●                       | ●                  |                 |
|               | 沖積層上部(シルト質) | シルト           | —                       | —                  |                 |
|               | 沖積層上部(砂質)   | 砂             | ●                       | ●                  |                 |
|               | 沖積層下部       | 砂             | ●                       | ●                  |                 |
| 古安田層<br>(洪積層) | A3c層        | シルト           | —                       | —                  |                 |
|               | A3al層       | 砂・シルト<br>互層   | —                       | —                  |                 |
|               | A3s層        | 砂             | — →                     | ○                  | 洪積層であるが検討対象とする。 |
|               | A2c層        | シルト           | —                       | —                  |                 |
|               | A2al層       | 砂・シルト<br>互層   | —                       | —                  |                 |
|               | A2s層        | 砂             | — →                     | ○                  | 洪積層であるが検討対象とする。 |
|               | A2g層(シルト質)  | シルト質砂礫        | —                       | —                  |                 |
|               | A2g層(砂質)    | 砂礫            | — →                     | ○                  | 洪積層であるが検討対象とする。 |
|               | A1c層        | シルト           | —                       | —                  |                 |
|               | A1g層        | シルト質砂礫<br>～砂礫 | — →                     | ○                  | 洪積層であるが検討対象とする。 |

凡例

- : 道路橋示方書Vの判定により、検討対象に該当するもの
- : 道路橋示方書Vでは検討対象外と判定されるが、保守的な配慮として検討対象に加えるもの
- : 道路橋示方書Vの判定により、検討対象外となるもの
- : 液状化検討対象層に該当するもの

(5) 有効応力解析に用いる物性値の設定方針

液状化検討対象層及び非液状化検討対象層の物理特性、動的変形特性及び液状化特性については、地層ごとに有効応力解析に必要な物性値を設定する。これらの物性値は、J I S（日本産業規格）又はJ G S（地盤工学会）の規格・基準に基づいた試験結果に基づき設定する。

表 4-26 に有効応力解析に用いる物性値とその試験方法を示す。液状化強度試験の概要を図 4-6 に示す。

なお、液状化強度試験は、すべての供試体で中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験を実施している。また、設置変更許可申請段階においては、大湊側敷地だけでなく荒浜側敷地で採取した試料についても、N 値、細粒分含有率 Fc 等を比較し、液状化強度試験の代表性を確認した上で、液状化特性の設定に用いていたが、工事計画認可申請においては、大湊側敷地で採取された試料のみの試験結果を用いて各地層の物性値を設定する。

室内試験・原位置試験の詳細については、KK6 補足-024-1（別冊）「地盤の支持性能 資料集」に示す。

表 4-26 有効応力解析に用いる物性値とその試験方法

|        | 試験により設定する物性値          |           | 試験方法                                                        |                              |
|--------|-----------------------|-----------|-------------------------------------------------------------|------------------------------|
|        | 名称                    | 記号        | 基準・規格名                                                      | 規格・基準番号                      |
| 物理特性   | 密度                    | $\rho$    | 土粒子の密度試験方法<br>土の湿潤密度試験方法                                    | J I S A 1202<br>J I S A 1225 |
|        | 間隙率                   | n         | 土粒子の密度、土の乾燥密度に基づき設定                                         | J I S A 1202<br>J I S A 1225 |
| 動的変形特性 | 動せん断弾性係数              | $G_{ma}$  | 地盤の弾性波速度検層方法<br>PS 検層の S 波速度、密度より算出                         | J G S 1122<br>(PS 検層)        |
|        | 粘着力                   | $c'$      | 土の圧密非排水 ( $\bar{C}_U$ ) 三軸圧縮試験方法                            | J G S 0523                   |
|        | 内部摩擦角                 | $\phi'$   |                                                             |                              |
|        | 最大減衰定数                | $h_{max}$ | 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                                   | J G S 0542                   |
| 液状化特性  | 液状化抵抗曲線<br>(液状化パラメータ) | —         | 土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法、及び土の繰返し非排水三軸試験方法を参考に設定 | J G S 0543<br>J G S 0541     |

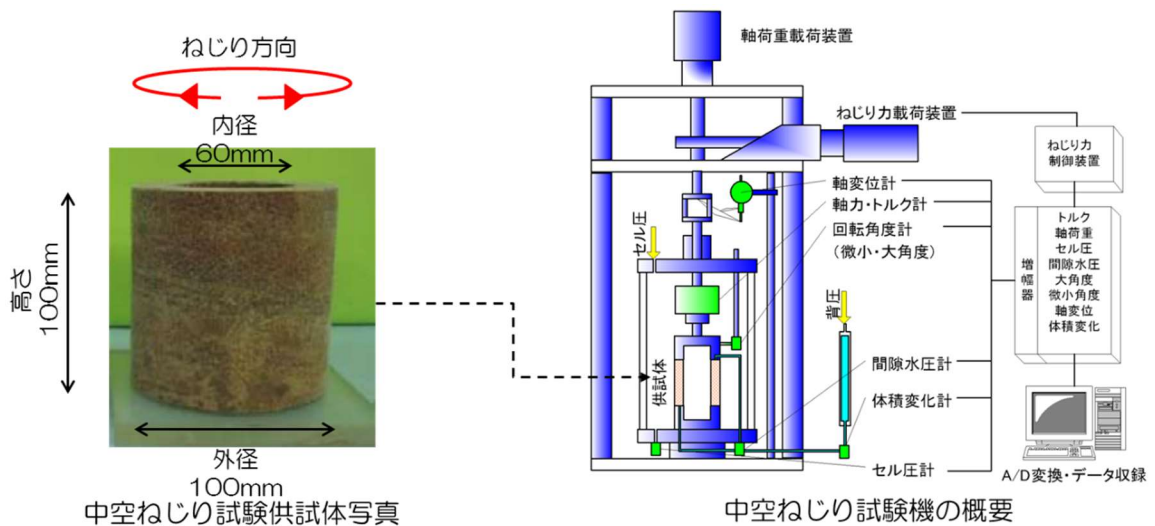
○ 液状化強度試験方法

【試験概要】

- ・ 土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法（地盤工学会：J G S 0543）及び土の繰返し非排水三軸試験方法（地盤工学会：J G S 0541）を参考に実施。

【試験条件】

- ・ 供試体寸法 : 外径 100mm (内径 60mm), 高さ 100mm  
(一部供試体は, 外径 70mm (内径 30mm), 高さ 100mm)
- ・ 载荷波形 : 正弦波 0.1Hz
- ・ 拘束圧 : 対象地層の有効土被り圧を考慮して設定
- ・ 中空円筒供試体の上端又は下端にトルクを加えて円周方向にねじることによりせん断応力を加える
- ・ 繰返し回数 200 回を上限として, 過剰間隙水圧比 0.95 及び両振幅せん断ひずみ 15% に達するまで試験を実施
- ・ 所定の両振幅せん断ひずみ (1.5%, 2.0%, 3%, 7.5%, 15%) 及び過剰間隙水圧比 0.95 の繰返し回数を評価



注：液状化強度試験の方法は，設置変更許可申請段階で示した方法と同一

図 4-6 液状化強度試験（中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験）の概要

(6) 試料の採取位置及び供試体の選定箇所

液状化検討対象層の物理特性、液状化特性及び動的変形特性を求めるため、サンプリングによる試料採取を実施した。

粒度試験などの室内試験に用いる試料は、網羅性の観点から敷地全体の地質分布及び施設の配置を踏まえて採取した。このうち、液状化強度試験に用いる試料の採取位置は、液状化強度特性の代表性を考慮し、液状化を考慮する対象施設の近傍で、かつ、採取可能な層厚を有する箇所を選定することを基本とした。

図 4-8 に、各物性値を設定するための試験に用いた試料の採取位置を、図 4-9～図 4-13 に、採取位置近傍の地質断面中に試料採取深度をプロットした図を示す。

また、液状化強度試験に用いる供試体は、採取したコアサンプルを観察し、液状化特性を取得する観点から、地層の中でも砂分が多い箇所を選定した。

液状化強度試験箇所のボーリング柱状図・コア写真については（参考資料 3）に示す。なお、古安田層 A2s 層の供試体は、設置変更許可申請段階において実施したサンプリング方法と同じ凍結サンプリングを適用する。凍結サンプリングは、吉見ら<sup>\*1</sup>の方法に基づいて実施した。その他の液状化検討対象層（埋戻土、新期砂層、沖積層上部（砂質）、沖積層下部）の供試体については、トリプルチューブサンプリングを適用する。トリプルチューブサンプリングは、地盤工学会基準 JGS-1223-2012<sup>\*2</sup> に準拠して実施した。各地質区分に適用したサンプリング手法の一覧を表 4-27 に、液状化強度試験の供試体採取に用いたサンプリング手法の概念図を図 4-7 に示す。

注記\*1：吉見ら 原位置地盤凍結法による非粘性土の良質不攪乱試料採取技術の開発  
（吉見吉昭，畑中宗憲，大岡弘，牧原依夫）（1986 年 5 月）

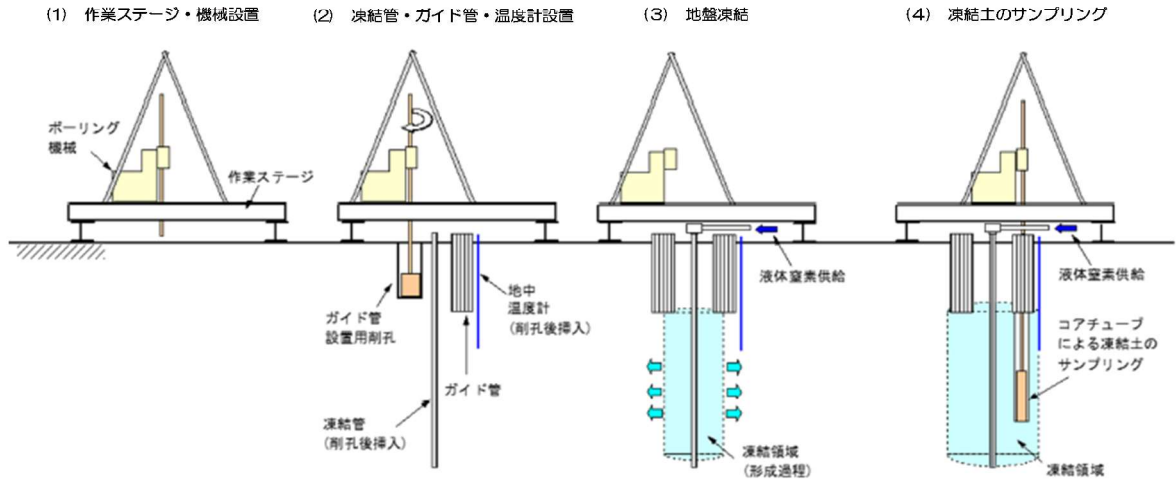
\*2：地盤工学会基準 JGS-1223-2012：「ロータリー式三重管サンプラーによる  
土試料の採取方法」

表 4-27 各地層区分の液状化強度試験供試体のサンプリング手法

| サンプリング方法       | 地層区分                         |
|----------------|------------------------------|
| 凍結サンプリング       | 古安田層 (A2s 層)                 |
| トリプルチューブサンプリング | 埋戻土，新期砂層，<br>沖積層上部（砂質），沖積層下部 |

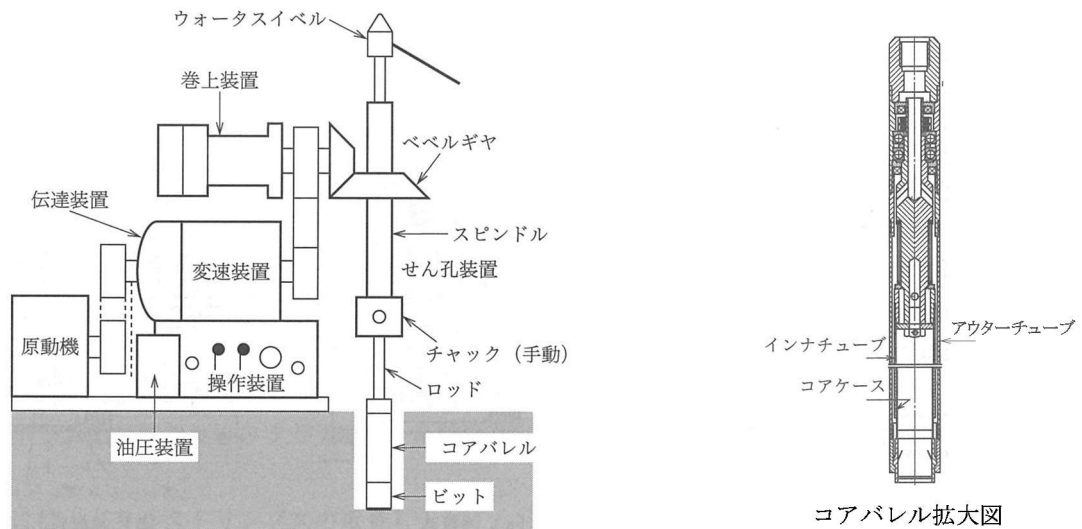


- 凍結サンプリングは、砂・砂質土盤や砂礫地盤を対象に高品質な不攪乱試料を採取する方法。
- 凍結管に液体窒素を流し込み、ゆっくりと地盤を凍結させた後に、コアサンプリングを行う。
- サンプリング手順は以下のとおり
  - ① 既往調査より対象土層の厚い箇所を確認し、凍結サンプリング計画地点を決定。
  - ② 凍結サンプリング計画地点近傍にてパイロットボーリング（孔径 $\phi 86\text{mm}$ ）を行い、サンプリング対象層の深度を確認。
  - ③ 液体窒素を流し込み、地中温度計が0度付近になるまで地盤の凍結を行う。
  - ④ 凍結が確認された後、コアチューブによる試料のサンプリングを行う。



(a) 凍結サンプリングの概念図

- トリプルチューブサンプリングは、トリプルチューブサンプラーを用いた採取方法
- トリプルチューブサンプラーは、アウターチューブ、インナーチューブ、コアケースの三重管からなるサンプラーで、外側の回転するアウターチューブで土を切削しながら、内側の回転しないインナーチューブを地盤に押し込み、インナーチューブの内側に装着したコアケース内に試料を採取する。



(引用)一般社団法人 全国地質調査業協会連合会 ボーリングポケットブック(第4版)に一部加筆

(b) トリプルチューブサンプリングの概念図

図 4-7 液状化強度試験の供試体のサンプリング手法 概念図

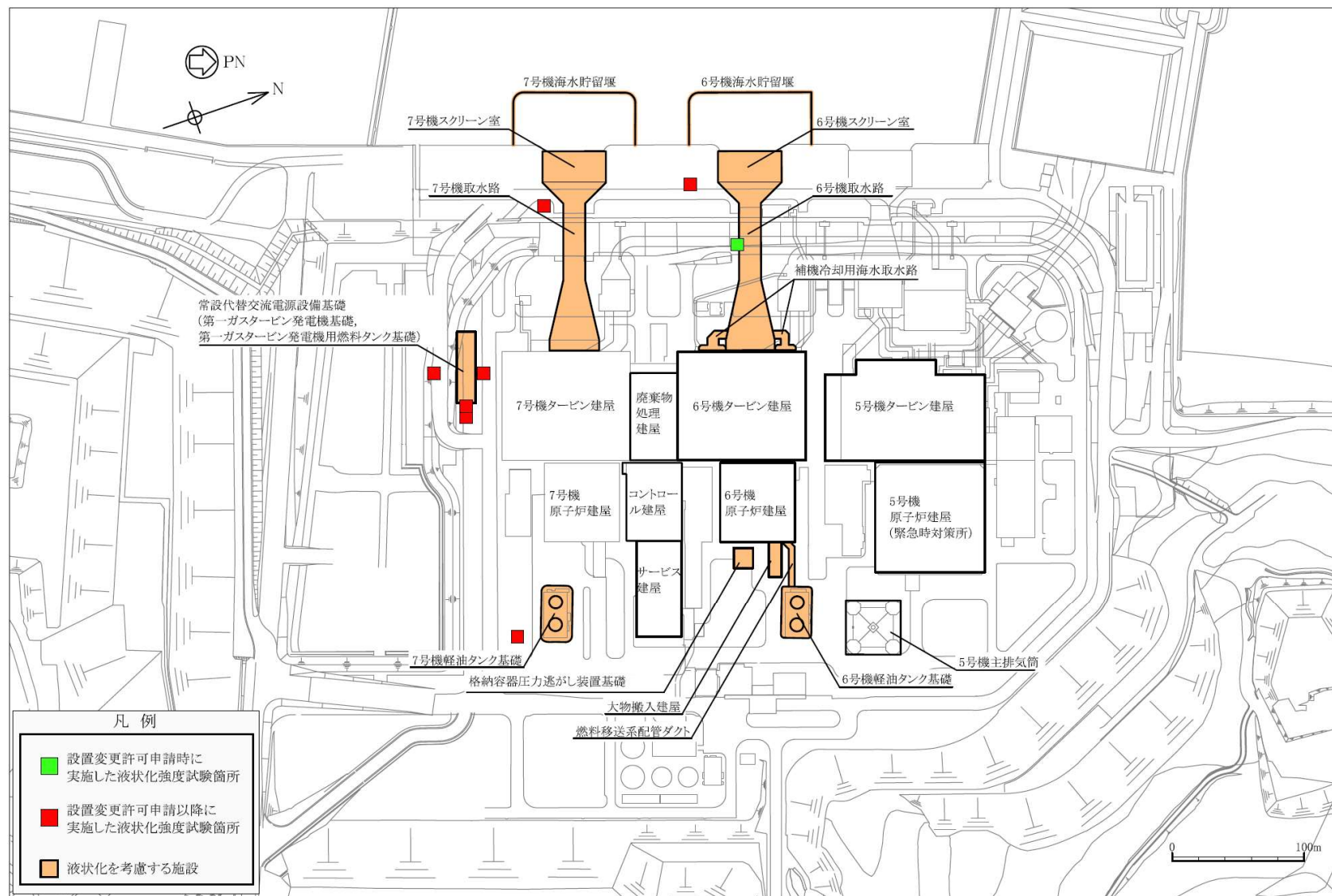
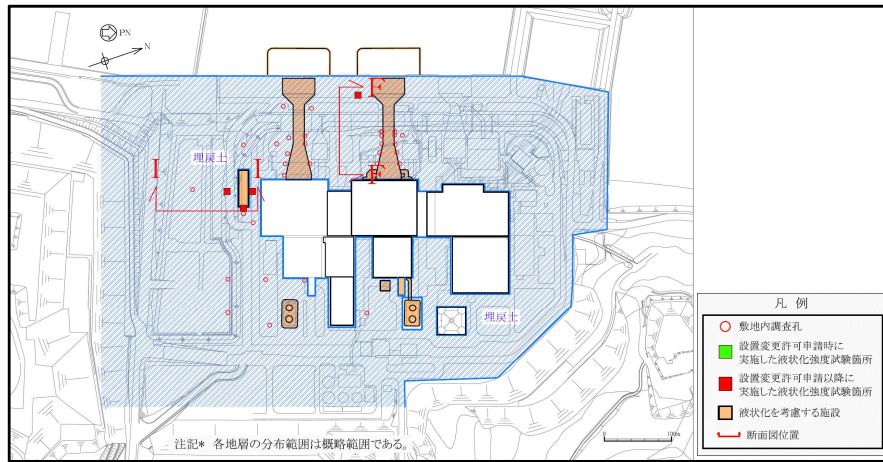


図 4-8 液状化強度試験箇所と周辺調査箇所の位置図 (平面図)



調査孔と液状化強度試験箇所 (埋戻土)

凡例

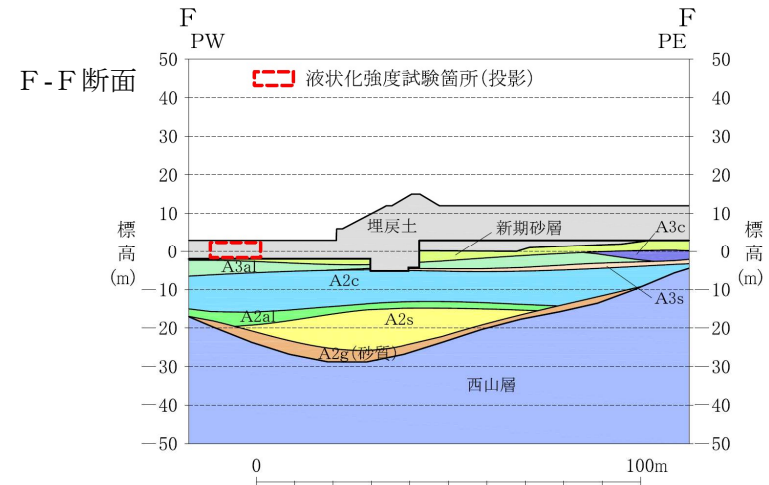
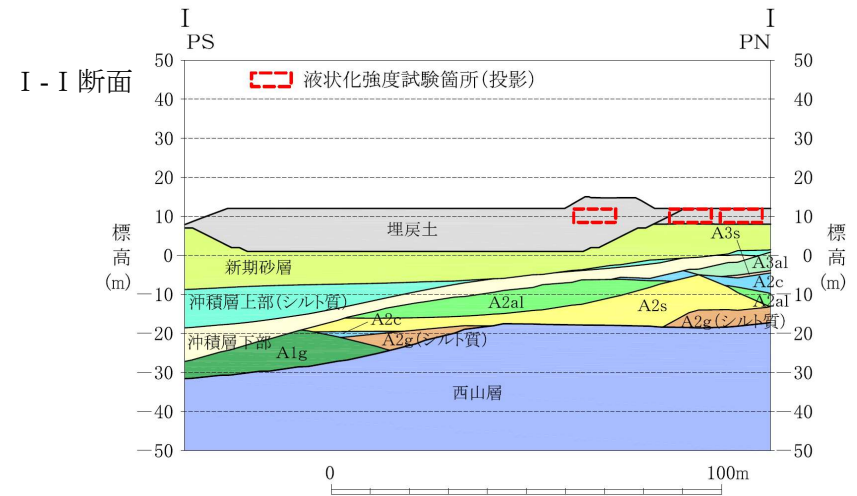
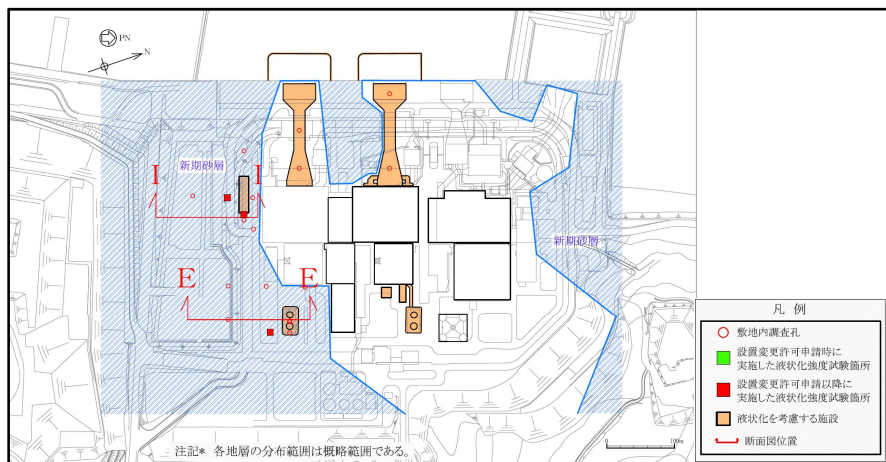


図 4-9 埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置



調査孔と液状化強度試験箇所（新期砂層）

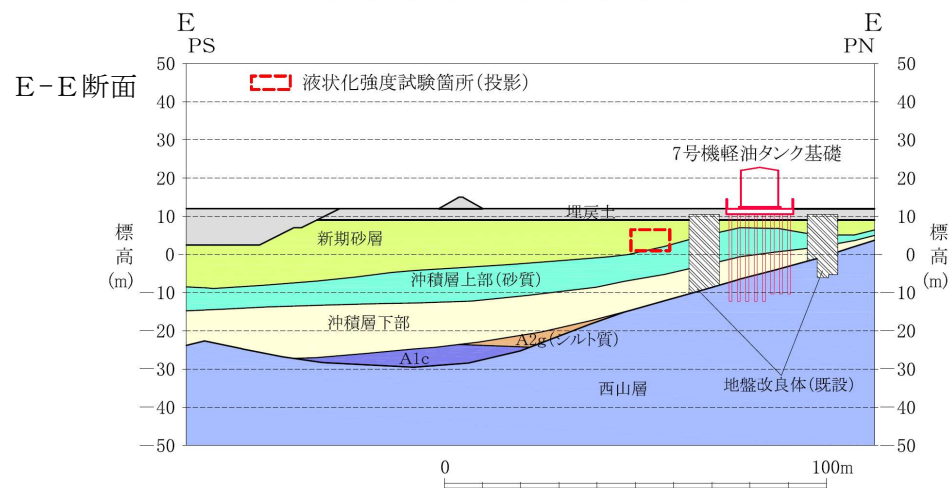
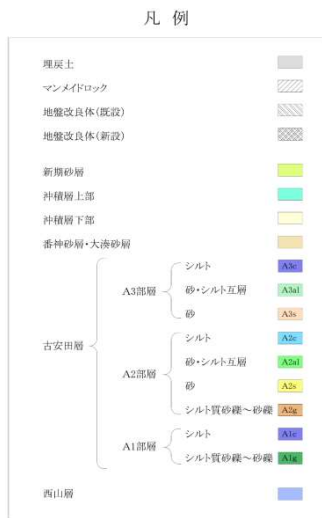
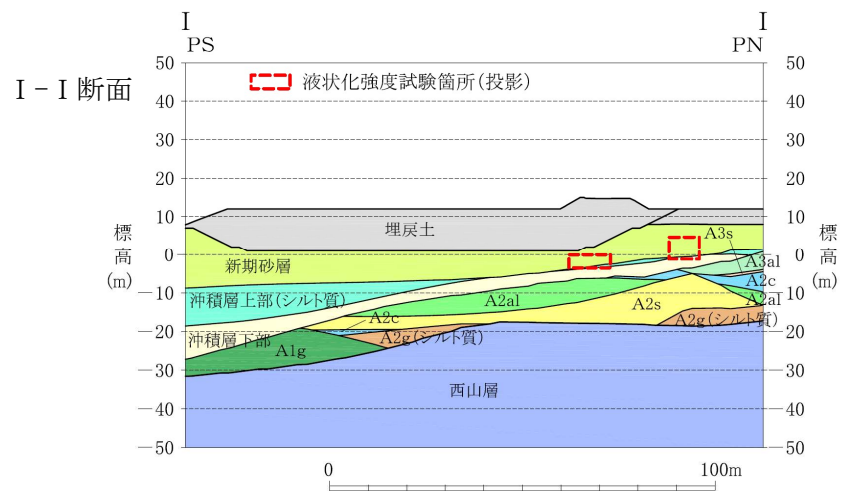
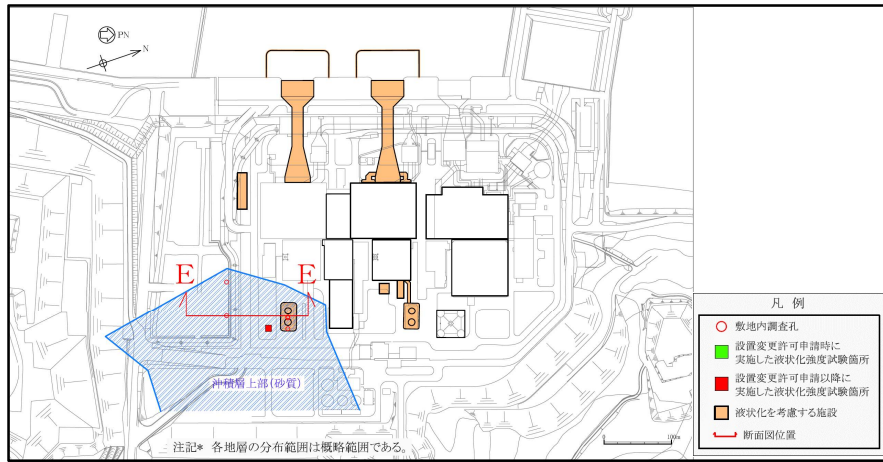


図 4-10 新期砂層の液状化強度試験の試料採取位置



調査孔と液状化強度試験箇所（沖積層上部（砂質））  
凡例

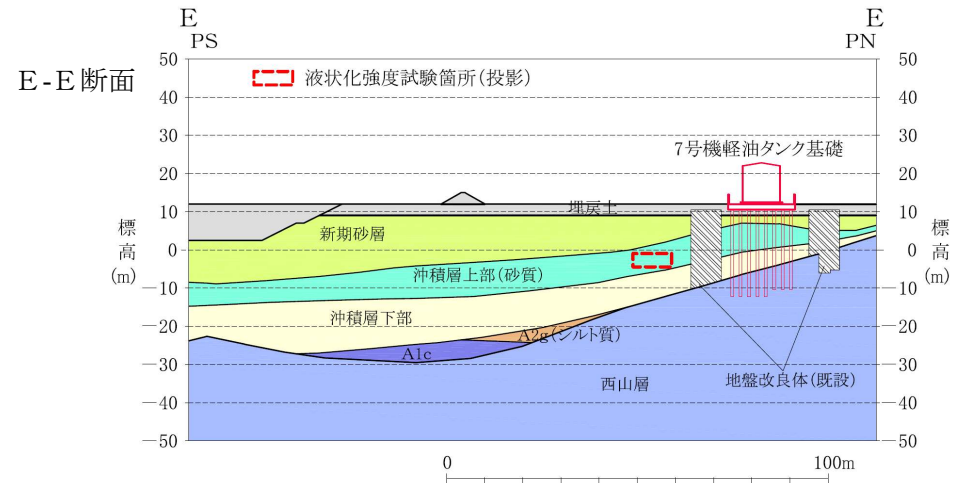


図 4-11 沖積層上部（砂質）の液状化強度試験の試料採取位置

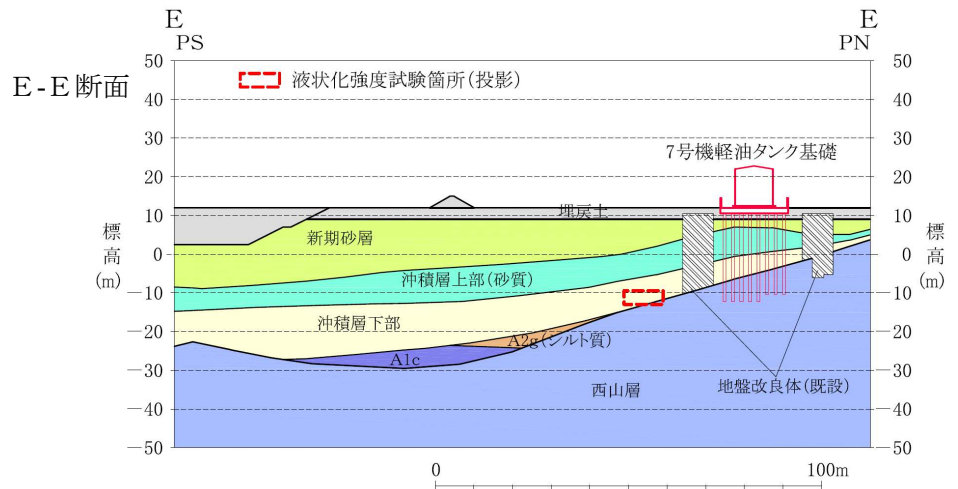
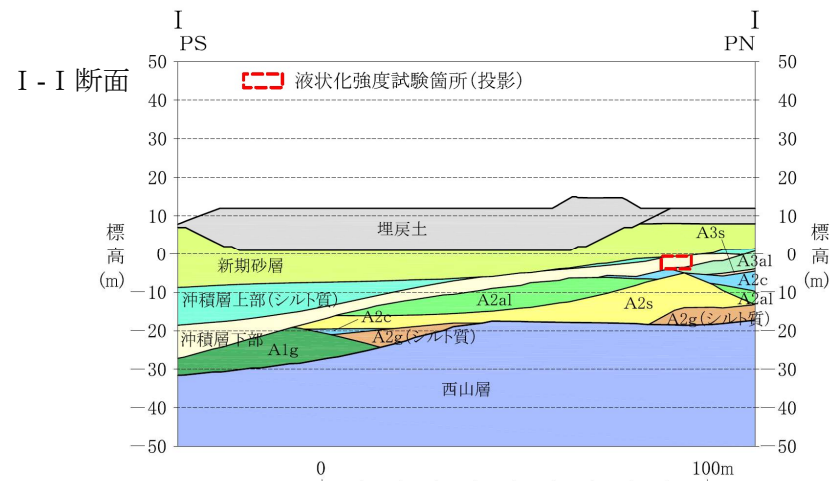
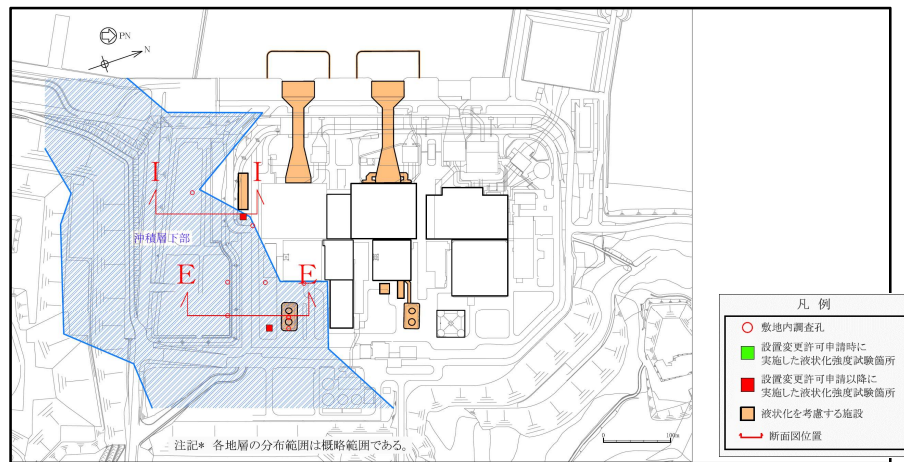
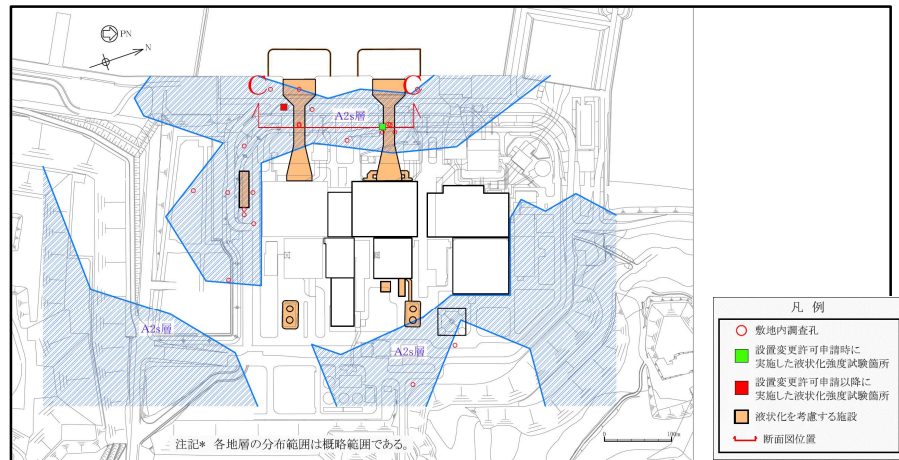
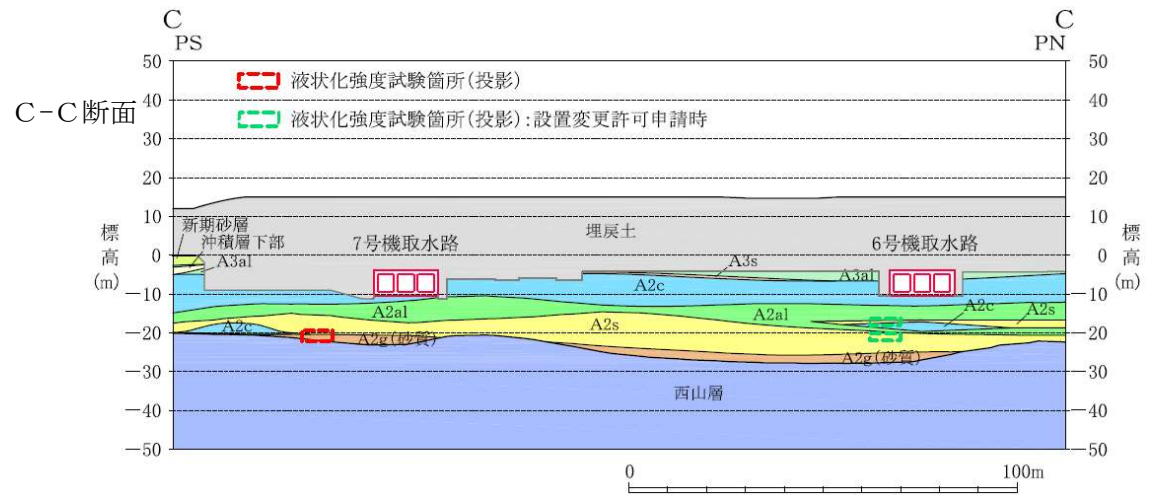


図 4-12 沖積層下部の液状化強度試験の試料採取位置



調査孔と液状化強度試験箇所 (A2s 層)



注: [ ] の位置は投影であり、当該深度のA2s層から供試体を採取している。

図 4-13 A2s 層の液状化強度試験の試料採取位置

(7) 液状化強度試験箇所の代表性，網羅性の確認

地盤の液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性を確認するため，液状化強度試験の供試体採取箇所と敷地内の調査箇所における地盤の基本物性を比較し，検討を行う。

ここで，地盤の基本物性の比較指標として，『粒径加積曲線』，『N値\*1』，『細粒分含有率Fc』に着目した。表4-28に比較指標の選定理由を示す。各基準類における液状化強度比 $R_L$ の算定で用いる地盤物性を表4-29に示す。

表4-28 地盤の基本物性の比較指標

| 比較指標             | 選定理由                                                                                                                                          |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 粒度分布<br>(粒径加積曲線) | 土の基本的な物理特性であることから，指標として選定した。                                                                                                                  |
| N値*1             | 各基準類の液状化判定における液状化強度比 $R_L$ の算定式がいずれもN値をパラメータとした式である。また，有効応力解析（FLIP）の簡易パラメータ設定法*2にN値がパラメータとして用いられている。以上より，液状化強度比との相関が最も高いと考えられることから，指標として選定した。 |
| 細粒分含有率<br>Fc     | 各基準類の液状化判定における液状化強度比 $R_L$ の算定式において，液状化強度比 $R_L$ を補正するパラメータとして用いられており，液状化強度比との相関が高いと考えられることから，指標として選定した。                                      |

注記\*1：打撃回数50回において，貫入長が300mm未満の標準貫入試験箇所は次式によりN値を算出した。

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

\*2：森田年一，井合進，HanlongLiu，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ータの簡易設定法，港湾技術研究所資料，No. 869，1997。

表4-29 各基準類における液状化強度比 $R_L$ と地盤物性値の関係

| 基準類名                                                                                                                                  | 液状化強度比 $R_L$ の算定に用いる主な地盤物性 | 液状化強度比の補正に用いる地盤物性         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 道路橋示方書・同解説V 耐震設計編，日本道路協会，2012<br>(下水道施設の耐震対策指針と解説，日本下水道協会，2006)<br>(河川砂防技術基準(案)同解説 設計編，日本河川協会編，1997)<br>(高圧ガス設備等耐震設計指針，高圧ガス保安協会，2000) | N 値                        | 細粒分含有率Fc                  |
| 港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置(その2)，日本港湾協会，2007<br>(部分改訂，2012)                                                                                    |                            | 細粒分含有率Fc                  |
| 建築基礎構造設計指針，日本建築学会，2001<br>(水道施設耐震工法指針・同解説，日本水道協会，1997)                                                                                |                            | 細粒分含有率Fc                  |
| 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，鉄道総合技術研究所，2012                                                                                                    |                            | 細粒分含有率Fc<br>平均粒径 $D_{50}$ |



(a) 埋戻土

埋戻土は、敷地内全域に広く分布する。図4-14に、埋戻土の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の位置を示す。埋戻土は、敷地における掘削土を起源としており、掘削土の性状（砂質土、粘性土）に応じて選別し、別々の土捨場に運搬している。埋戻しの際には、再び土捨場から搬出し、ブルドーザによる敷均し後に振動ローラーで転圧しており、施工後の品質管理として、締固め度の確認試験を行い、所定の締固め度を確保している。

図4-15に、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔における埋戻土の粒径加積曲線を示す。敷地内の埋戻土は若干ばらつきがあるものの、砂が主体の粒度分布を示す。液状化強度試験箇所の粒度分布は、概ね敷地内調査孔の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内に入っている。

図4-16に、埋戻土の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Fcの深度分布を示す。また、図中には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。液状化強度試験箇所近傍の平均N値、平均細粒分含有率Fcは、敷地内調査孔の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内にある。

以上より、埋戻土の液状化強度試験箇所は、粒度分布、N値及び細粒分含有率Fcが敷地内調査孔の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内であることから、敷地内の埋戻土に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。

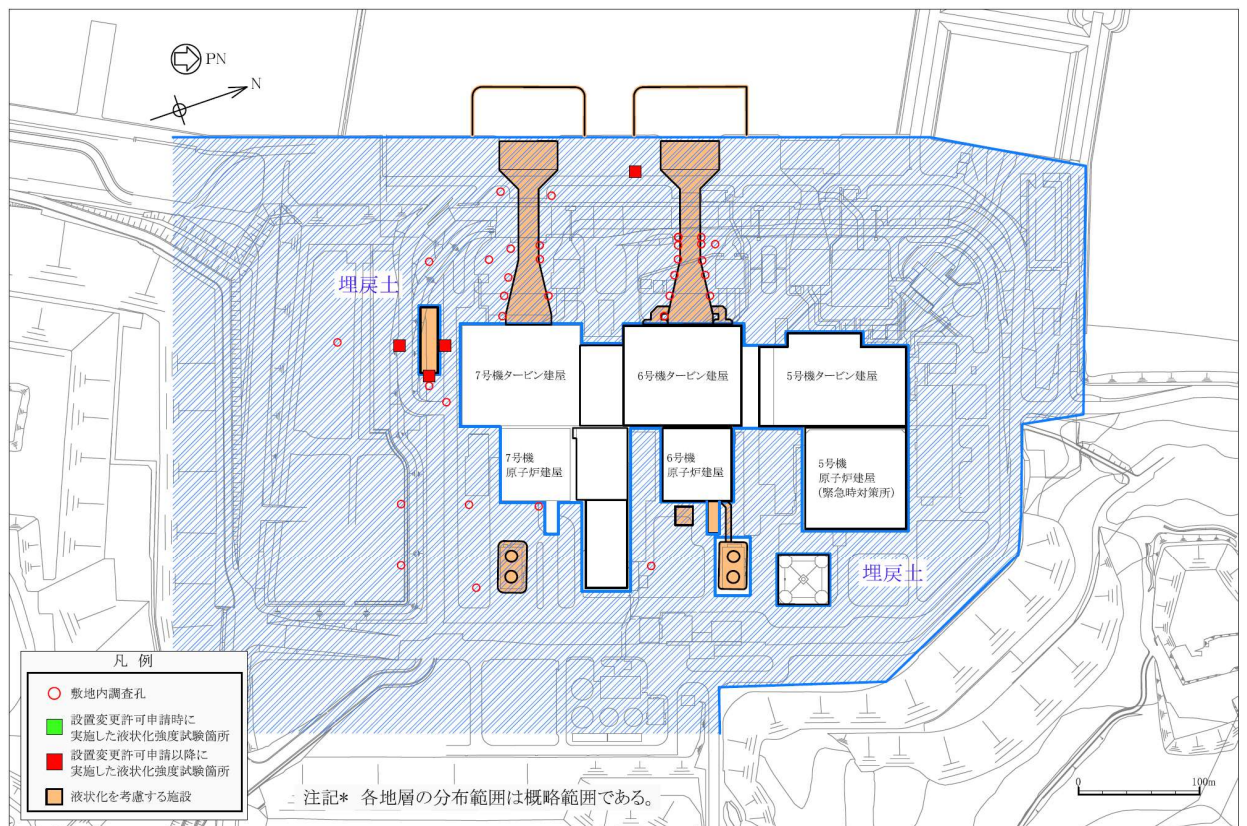


図4-14 埋戻土の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔

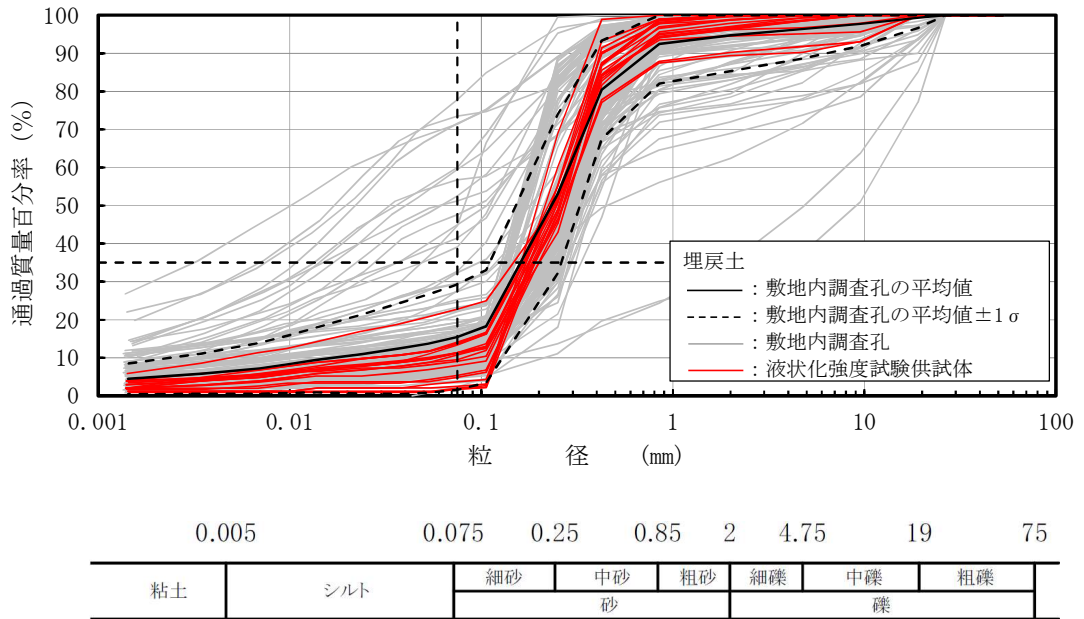


図 4-15 埋戻土の液状化強度試験供試体と敷地内調査孔の粒度試験結果

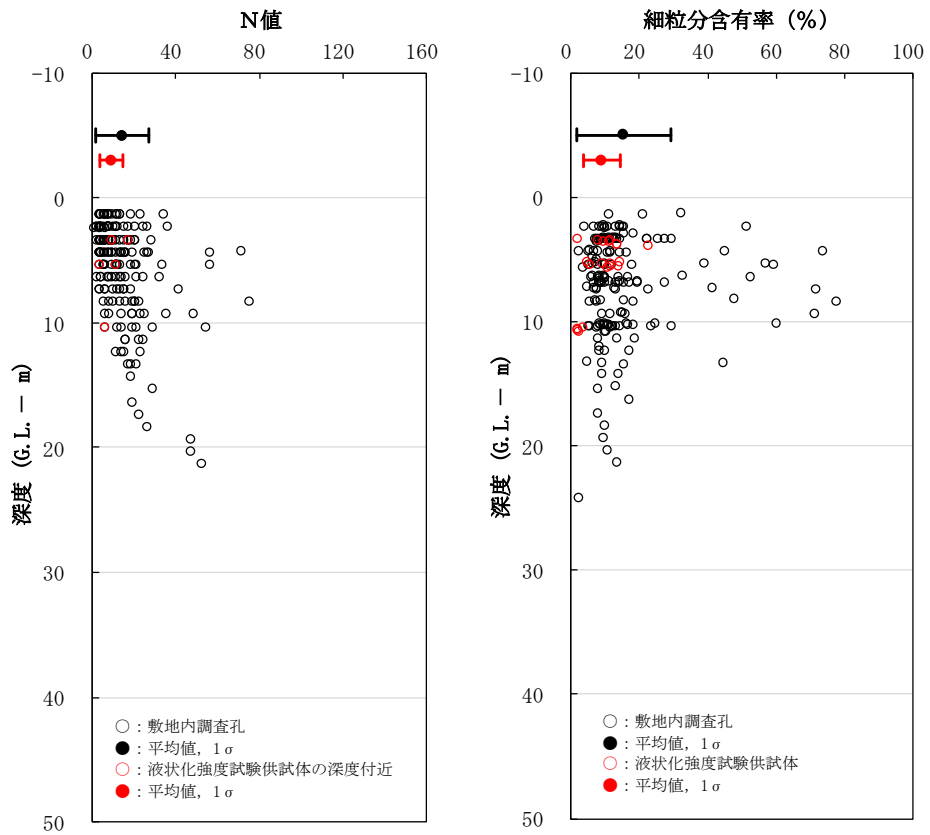


図 4-16 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値，細粒分含有率  $F_c$  の比較 (埋戻土)

(b) 新期砂層

新期砂層は、敷地の南側と北側に分布する。図4-17に、新期砂層の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の位置を示す。

図4-18に、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔における新期砂層の粒径加積曲線を示す。敷地内の新期砂層は粒径が概ね均一な砂が主体であり、ばらつきは小さい。液状化強度試験箇所の粒度分布は、概ね敷地内調査箇所の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内に入っている。

図4-19に、新期砂層の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Fcの深度分布を示す。また、図中には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。液状化強度試験箇所近傍の平均N値、平均細粒分含有率Fcは、敷地内調査孔の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内にある。

以上より、新期砂層の液状化強度試験箇所は、粒度分布、N値及び細粒分含有率Fcが敷地内調査孔の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内であることから、敷地内の新期砂層に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。

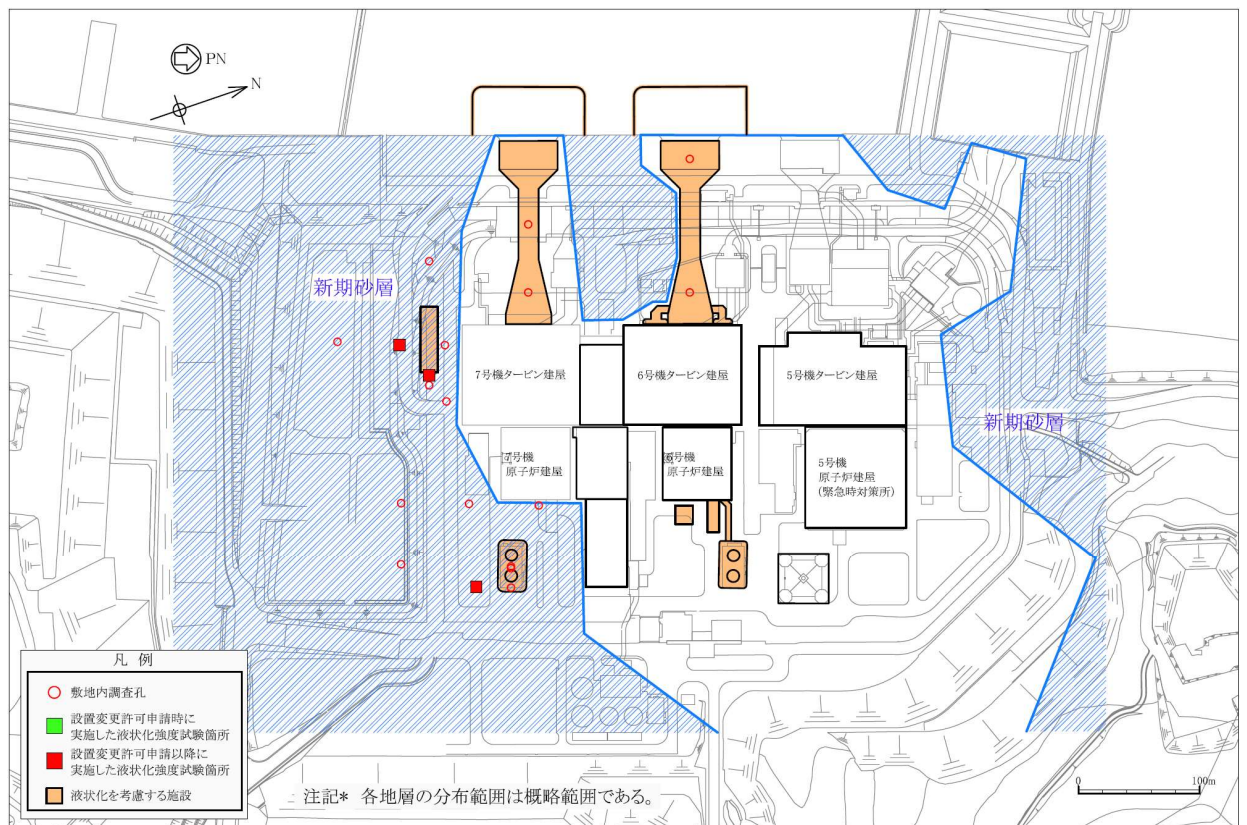


図4-17 新期砂層の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔

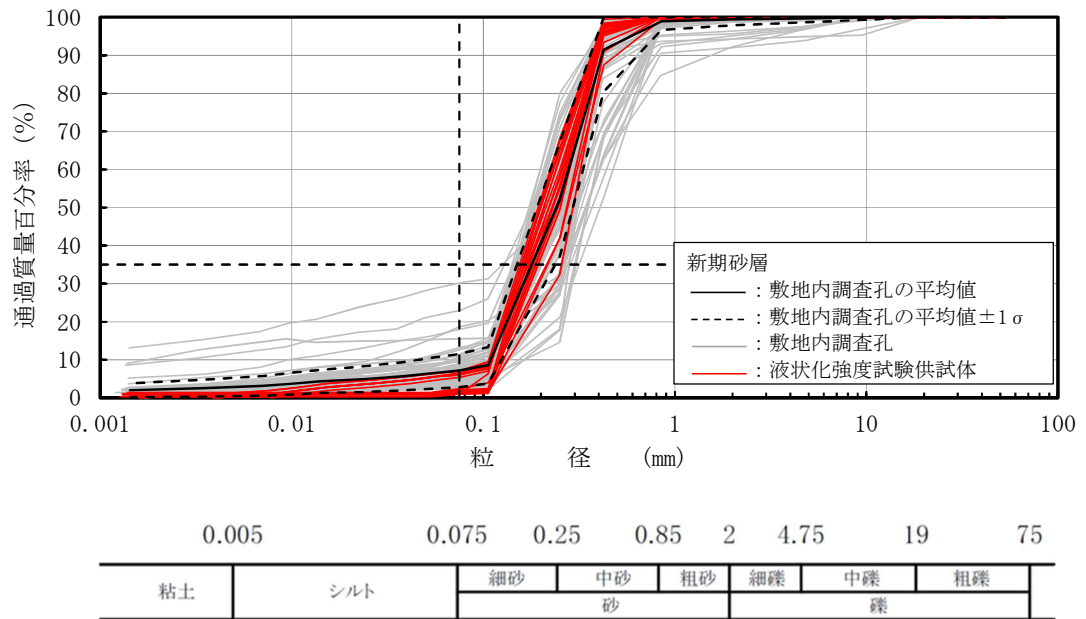


図 4-18 新期砂層の液状化強度試験供試体と敷地内調査孔の粒度試験結果

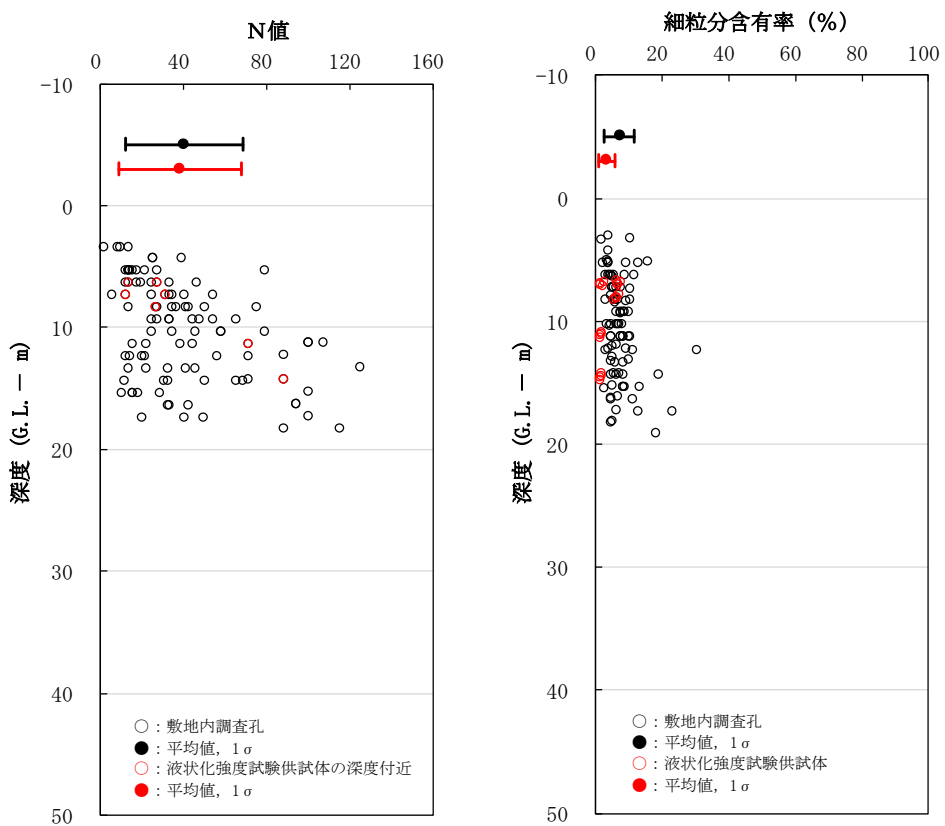


図 4-19 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値，細粒分含有率  $F_c$  の比較  
(新期砂層)

(c) 沖積層上部（砂質）

沖積層上部（砂質）は、敷地の南東側に分布する。図4-20に、沖積層上部（砂質）の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の位置を示す。

図4-21に、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔における沖積層上部（砂質）の粒径加積曲線を示す。敷地内の沖積層上部（砂質）は、砂～粘土までの広い粒度分布を示し、ばらつきは比較的大きい。液状化強度試験箇所の粒度分布は、概ね敷地内調査箇所の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内に入っている。

図4-22に、沖積層上部（砂質）の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Fcの深度分布を示す。また、図中には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

液状化強度試験箇所のN値は、敷地内調査孔よりも若干大きい傾向を示している。液状化強度試験箇所の細粒分含有率Fcは、敷地内調査孔の $1\sigma$ のばらつきの範囲内にあり、平均値よりも小さい。敷地内調査孔よりも液状化強度試験箇所のN値が大きめに現れた要因としては、供試体は採取コアの中でも砂分が主体的な箇所を選定しているため、シルト分の割合が高い箇所と比べてN値が比較的大きくなったことが考えられる。図4-23に、細粒分含有率FcとN値の関係を示す。沖積層上部（砂質）のN値は、細粒分含有率Fcが小さいほど大きくなる傾向を示している。

以上より、沖積層上部（砂質）の液状化強度試験箇所は、平均N値が若干大きいものの、粒度分布及び細粒分含有率Fcが敷地内調査孔の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内であることから、敷地内の沖積層上部（砂質）に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。

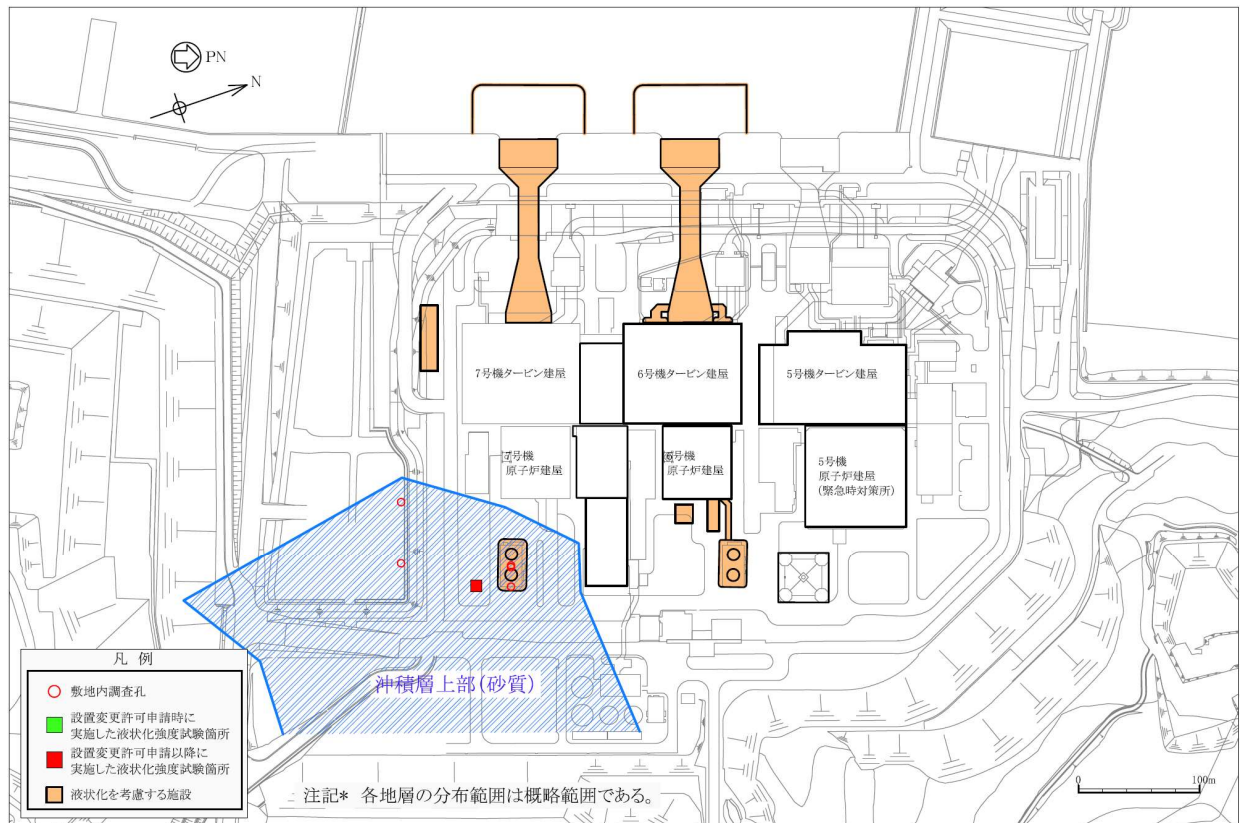


図4-20 沖積層上部（砂質）の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔

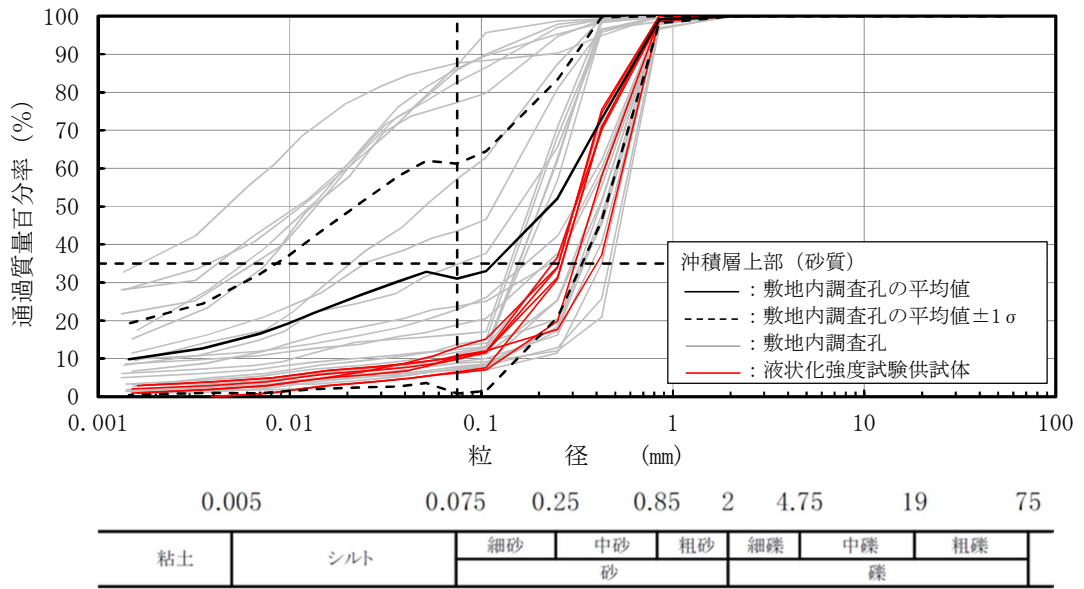


図 4-21 沖積層上部（砂質）の液状化強度試験供試体と敷地内調査孔の粒度試験結果

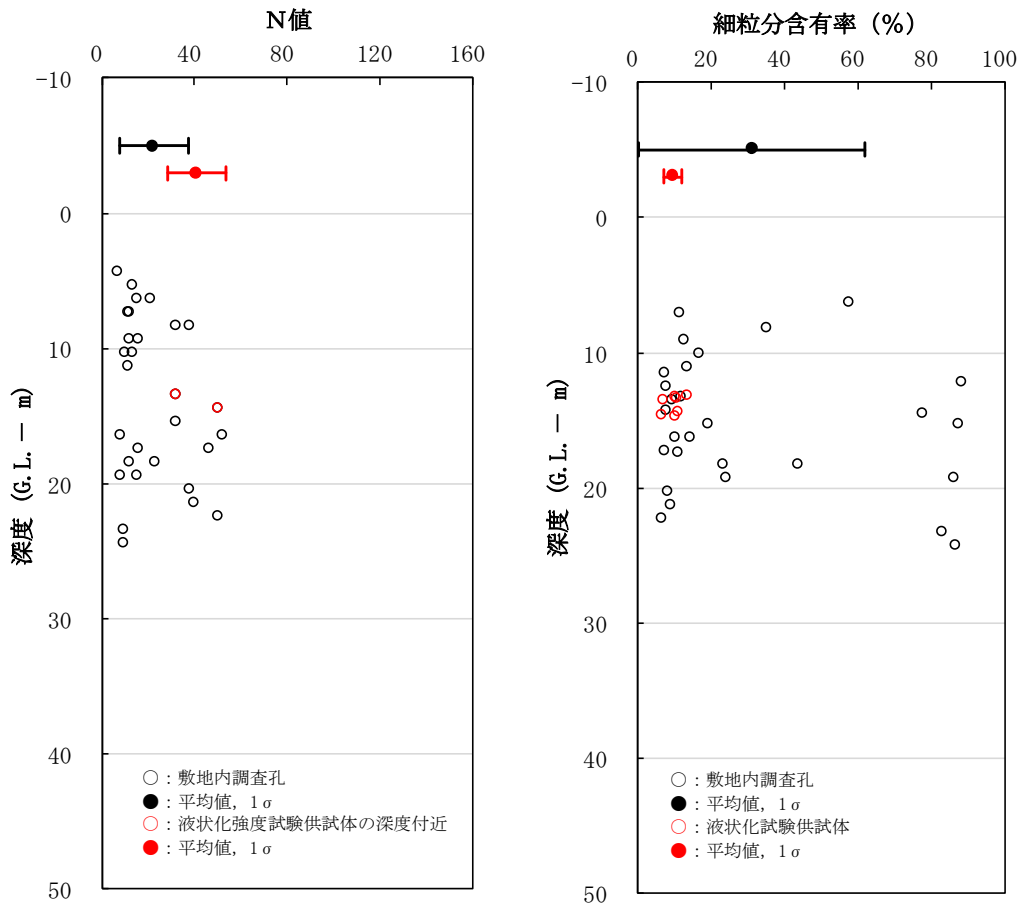


図 4-22 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値，細粒分含有率  $F_c$  の比較  
(沖積層上部（砂質）)

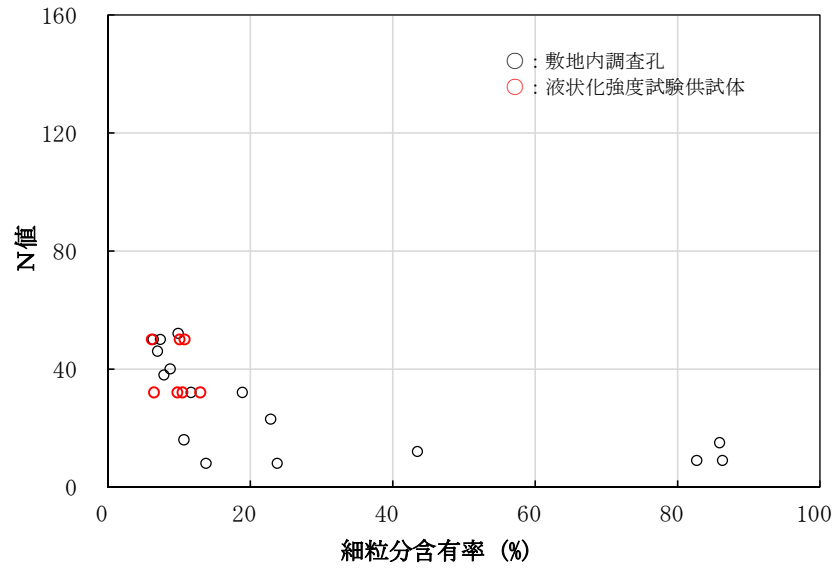


図 4-23 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の細粒分含有率  $F_c$  と N 値の関係  
(沖積層上部 (砂質))

(d) 沖積層下部

沖積層下部は、敷地の南側に分布する。図4-24に、沖積層下部の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の位置を示す。

図4-25に、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔における沖積層下部の粒径加積曲線を示す。敷地内の沖積層下部は、砂を主体とした粒度分布を示し、ばらつきは小さい。液状化強度試験箇所の粒度分布は、概ね敷地内調査箇所の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内に入っている。

図4-26に、沖積層下部の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Fcの深度分布を示す。また、図中には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

液状化強度試験箇所のN値は、敷地内調査孔よりも若干大きい傾向を示している。液状化強度試験箇所の細粒分含有率Fcは、敷地内調査孔の $1\sigma$ のばらつきの範囲内にあり、平均値よりも小さい。敷地内調査孔よりも液状化強度試験箇所のN値が大きめに現れた要因としては、供試体は採取コアの中でも砂分が主体的な箇所を選定しているため、シルト分の割合が高い箇所と比べてN値が比較的大きくなったことが考えられる。図4-27に、細粒分含有率FcとN値の関係を示す。沖積層下部のN値は、細粒分含有率Fcが小さいほど大きくなる傾向を示している。

以上より、沖積層下部の液状化強度試験箇所は、平均N値は若干大きいものの、粒度分布及び細粒分含有率Fcは敷地内調査孔の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内であることから、敷地内の沖積層下部に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。

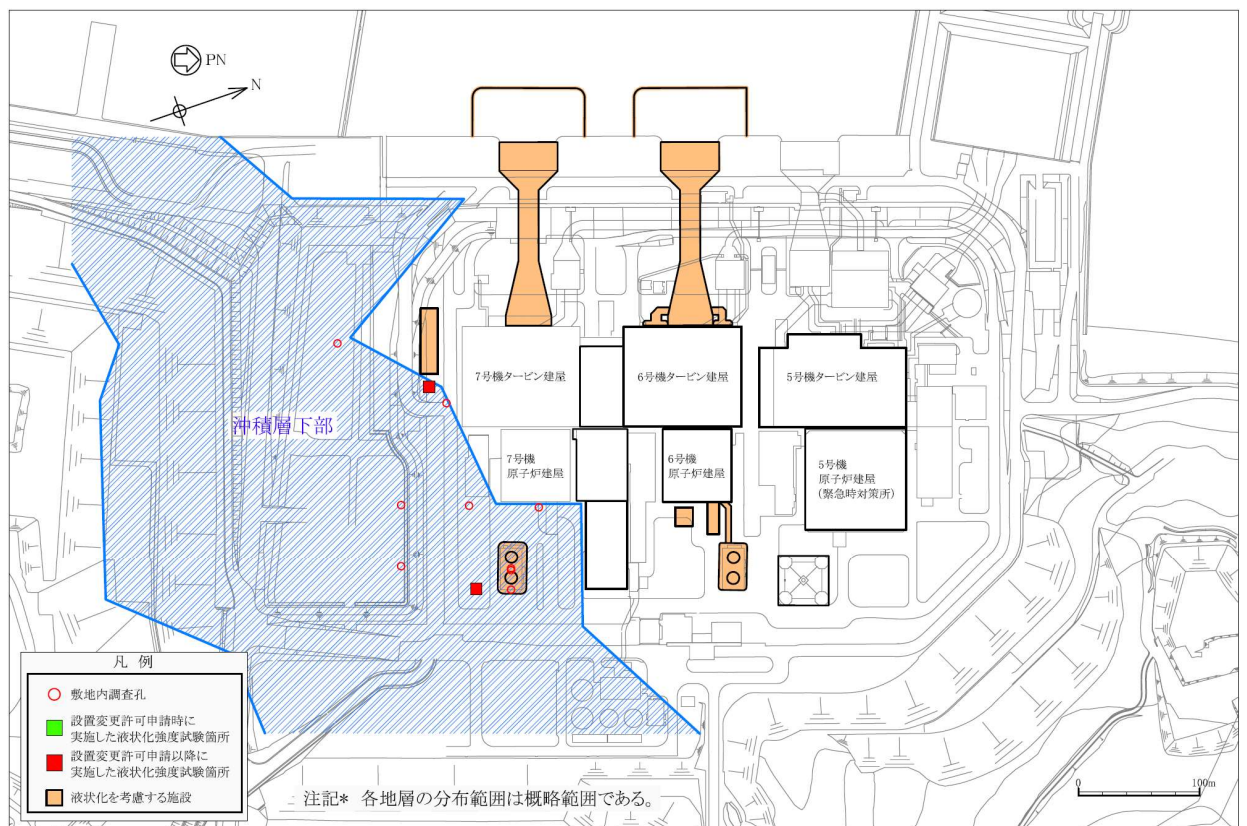


図4-24 沖積層下部の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔



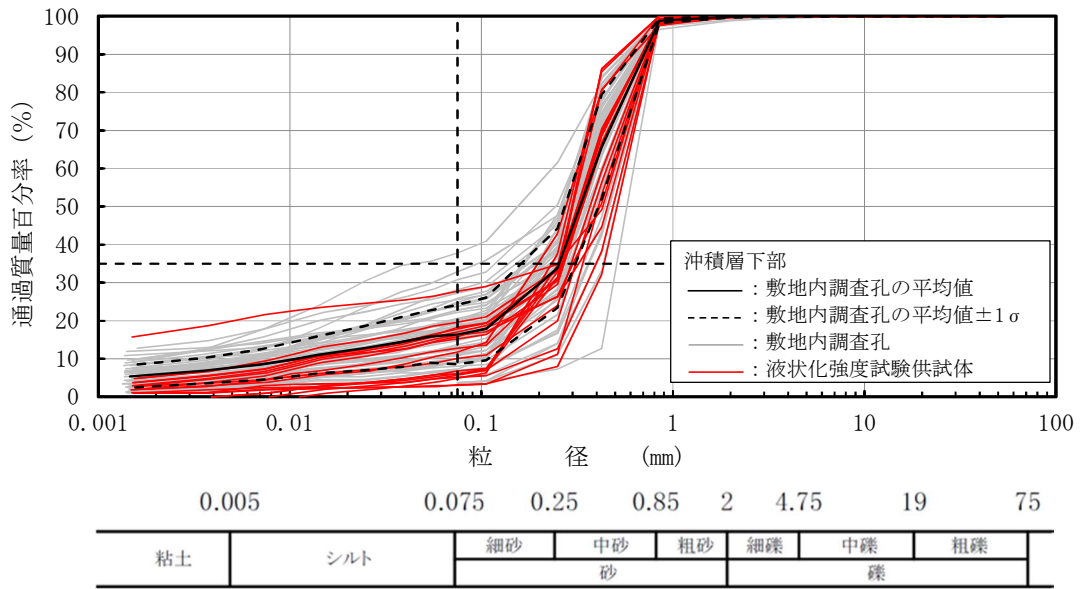


図 4-25 沖積層下部の液状化強度試験供試体と敷地内調査孔の粒度試験結果

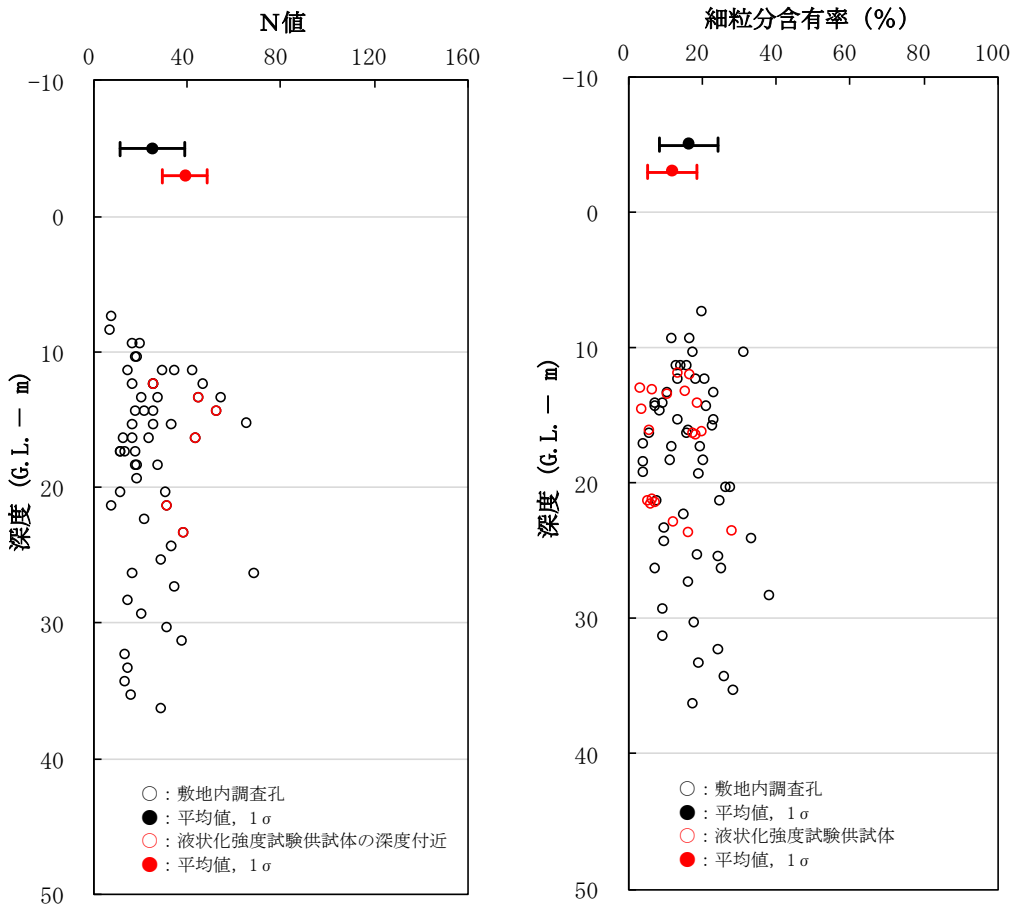


図 4-26 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値，細粒分含有率  $F_c$  の比較  
(沖積層下部)

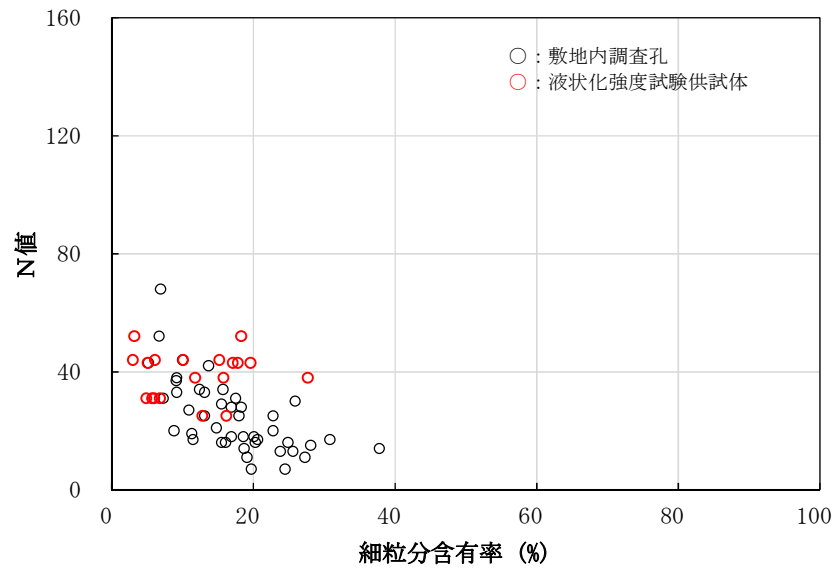


図 4-27 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の細粒分含有率  $F_c$  と N 値の関係  
(沖積層下部)

(e) 古安田層(A2s層)

古安田層(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4-28に、古安田層(A2s層)の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の位置を示す。

図4-29に、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔における古安田層(A2s層)の粒径加積曲線を示す。敷地内の古安田層(A2s層)は、礫～シルトまでの広い粒度分布を示し、ばらつきは大きい。液状化強度試験箇所の粒度分布は、概ね敷地内調査箇所の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内に入っている。

図4-30に、古安田層(A2s層)の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Fc、及びN値を示す。また、図中には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

液状化強度試験箇所のN値は、敷地内調査孔よりも若干大きい傾向を示している。液状化強度試験箇所の細粒分含有率Fcは、敷地内調査孔の $1\sigma$ のばらつきの範囲内にあり、平均値よりも小さい。敷地内調査孔よりも液状化強度試験箇所のN値が大きめに現れた要因としては、供試体は採取コアの中でも砂分が主体的な箇所を選定しているため、シルト分の割合が高い箇所と比べてN値が比較的大きくなったことが考えられる。図4-31に、細粒分含有率FcとN値の関係を示す。古安田層(A2s層)のN値は、細粒分含有率Fcが小さいほど大きくなる傾向を示している。

以上より、古安田層(A2s層)の液状化強度試験箇所は、粒度分布、N値及び細粒分含有率Fcが敷地内調査孔の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲内であることから、敷地内の古安田層(A2s層)に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。

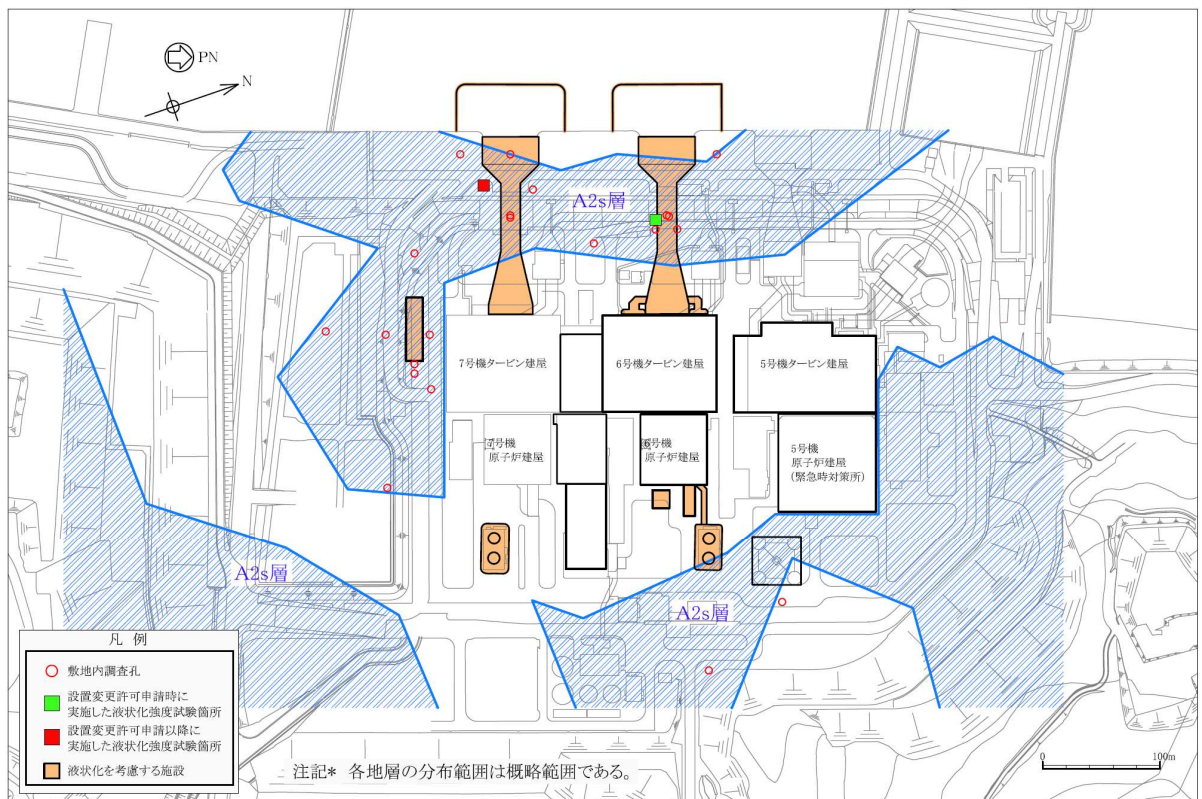


図4-28 古安田層(A2s層)の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔

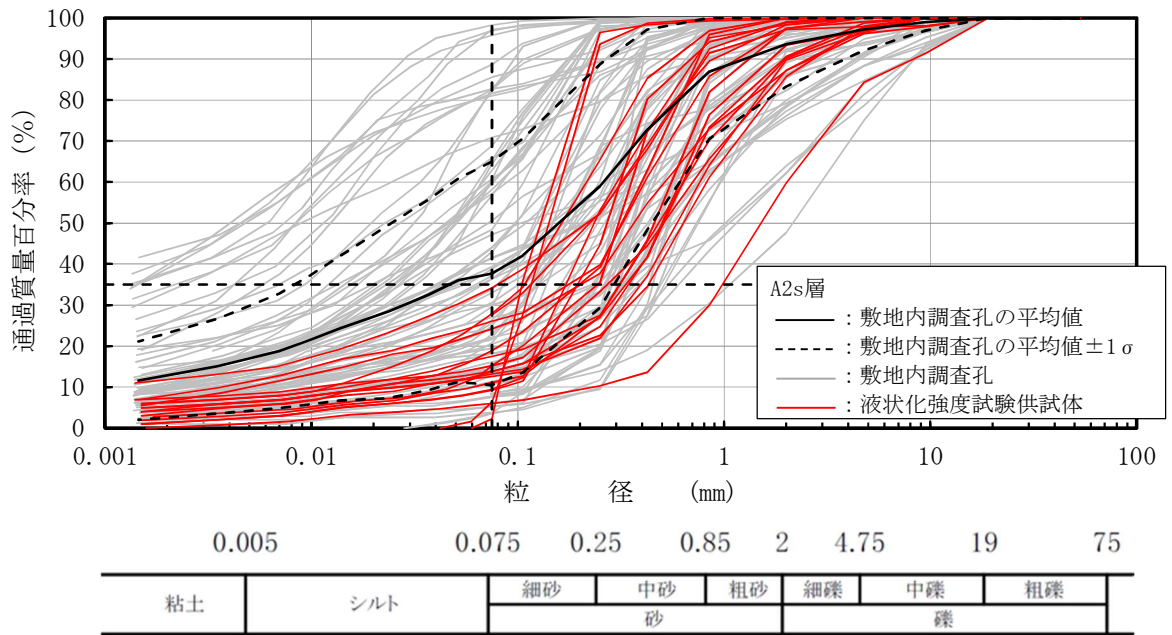


図 4-29 古安田層 (A2s 層) の液状化強度試験供試体と敷地内調査孔の粒度試験結果

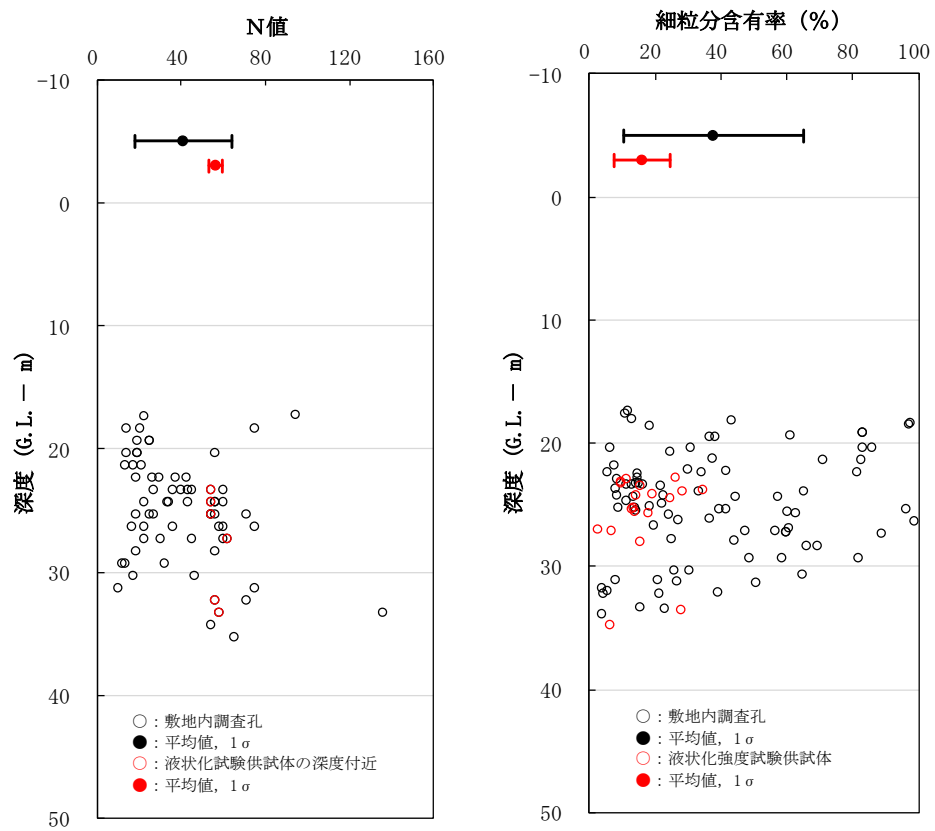


図 4-30 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値，細粒分含有率  $F_c$  の比較  
(古安田層 (A2s 層))

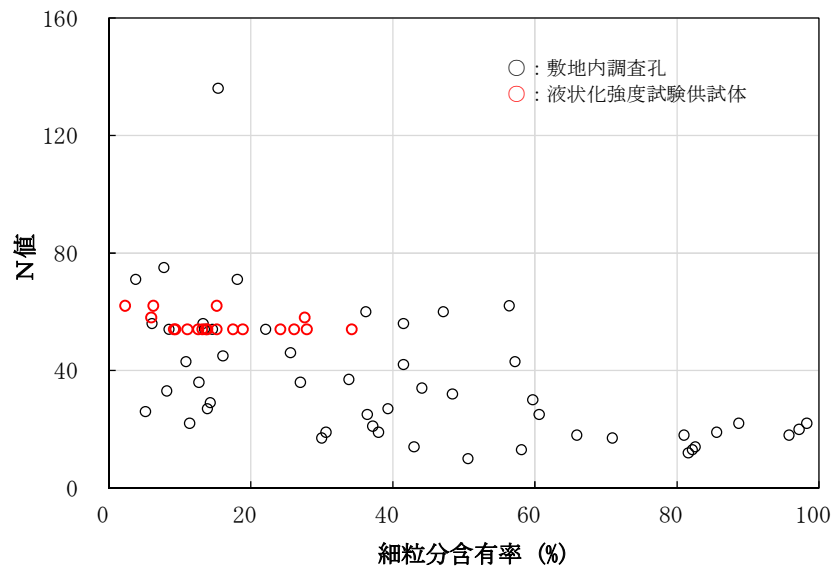


図 4-31 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の細粒分含有率  $F_c$  と N 値の関係  
(古安田層 (A2s 層))

(8) 有効応力解析に用いる地盤の液状化強度特性の保守性

有効応力解析に用いる地盤の液状化強度特性は、地盤のばらつきを踏まえて保守的に評価されるように設定する。具体的には、液状化強度試験から得られる液状化抵抗曲線に対して、解析上再現される液状化抵抗曲線を低く設定することにより考慮する。(液状化抵抗曲線を試験結果より低く設定することは、有効応力解析において試験結果より繰返し回数が少ない状態で同程度のひずみが発生することを意味している。)

柏崎刈羽原子力発電所では、設置変更許可申請から追加の液状化強度試験、室内試験及び地盤調査を実施している。地盤の液状化強度特性は、試験結果から得た液状化抵抗曲線に対し、最小二乗法による液状化抵抗曲線の回帰曲線を設定し、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 $\sigma$ を用いて、液状化抵抗曲線の「回帰曲線 $-1\sigma$ 」にて設定する。解析上考慮する液状化抵抗曲線は、この「回帰曲線 $-1\sigma$ 」に対して同等となるように設定することを基本とする。なお、回帰曲線の設定に関する詳細は、(参考資料 4)に示す。

(9) 液状化強度試験結果

図 4-32～図 4-36 に地層毎の液状化強度試験から得た液状化抵抗曲線を示す。なお、地層毎の代表的な液状化強度試験の詳細(せん断ひずみ時刻歴、過剰間隙水圧時刻歴等)を(参考資料 3)に、全供試体の液状化強度試験の詳細については、KK6 補足-024-1(別冊)「地盤の支持性能 資料集」に示す。

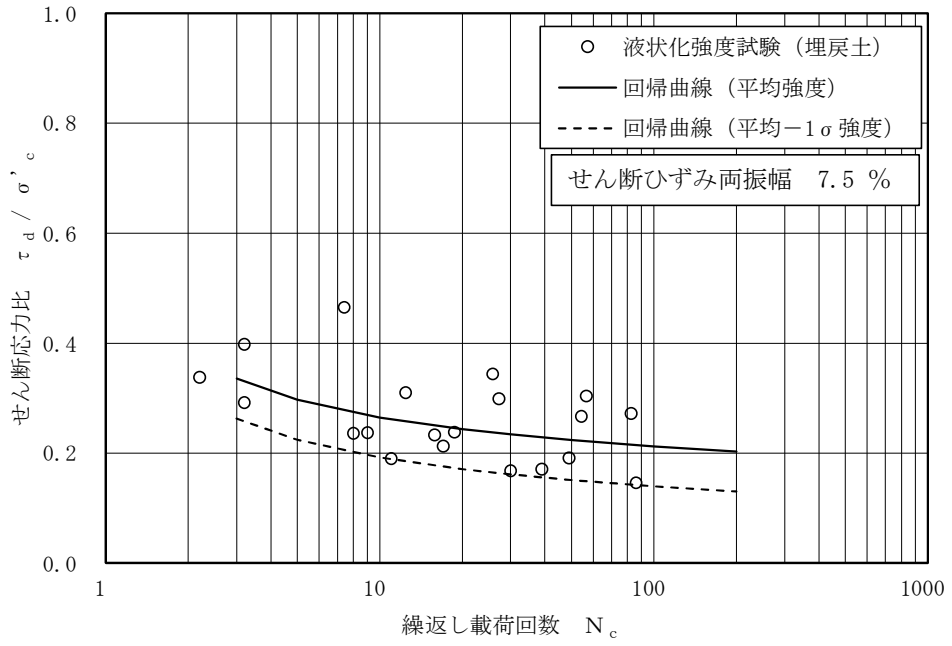


図 4-32 埋戻土の液状化強度試験結果

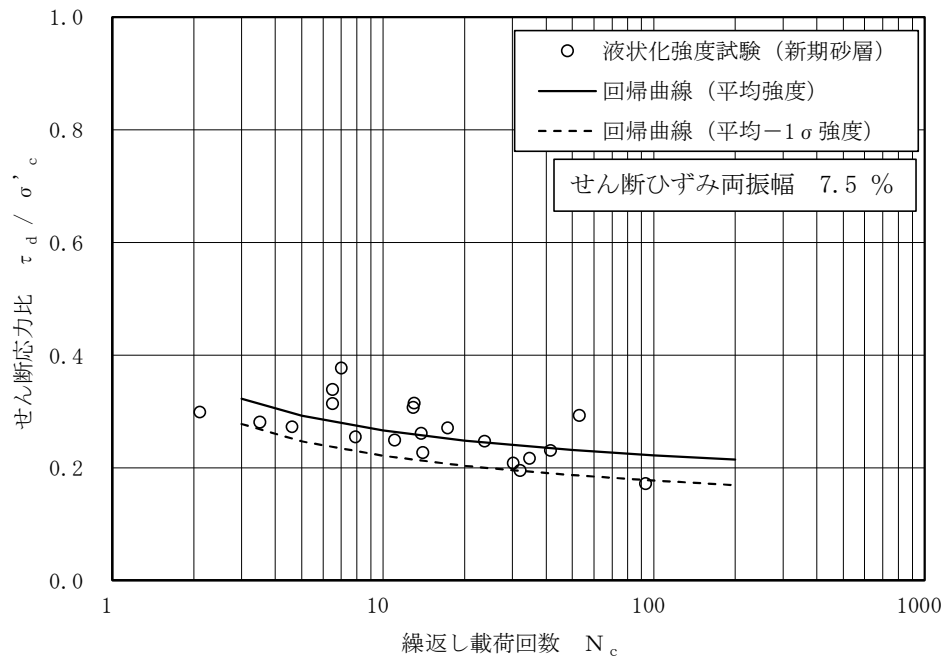


図 4-33 新期砂層の液状化強度試験結果

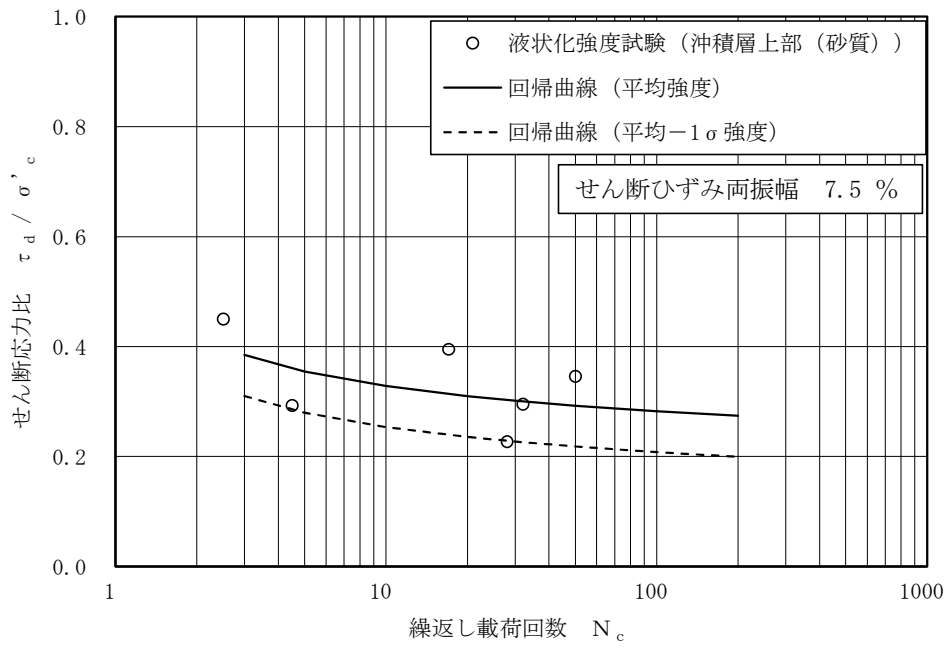


図 4-34 沖積層上部（砂質）の液状化強度試験結果

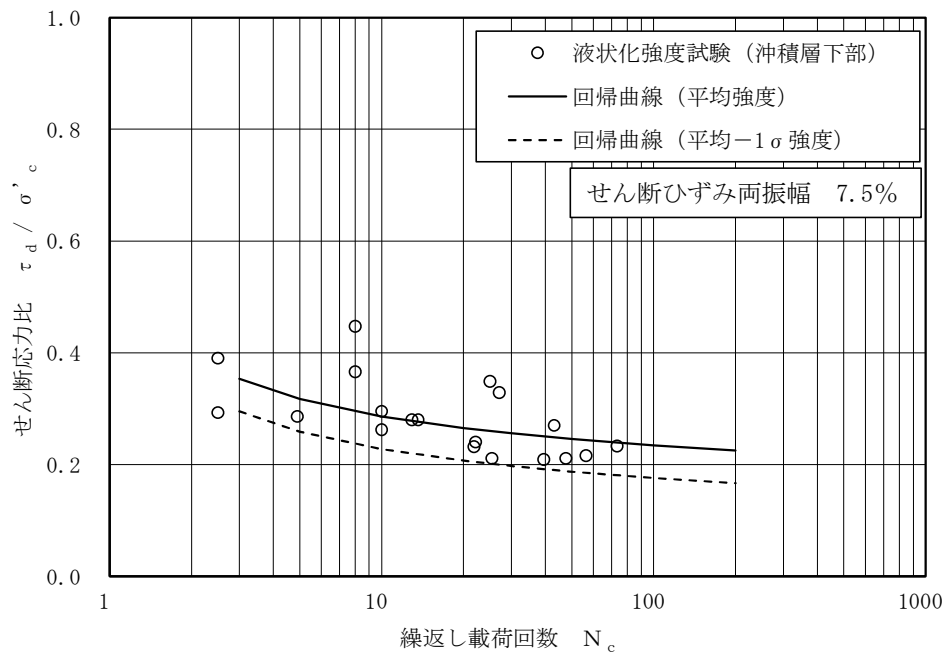


図 4-35 沖積層下部の液状化強度試験結果



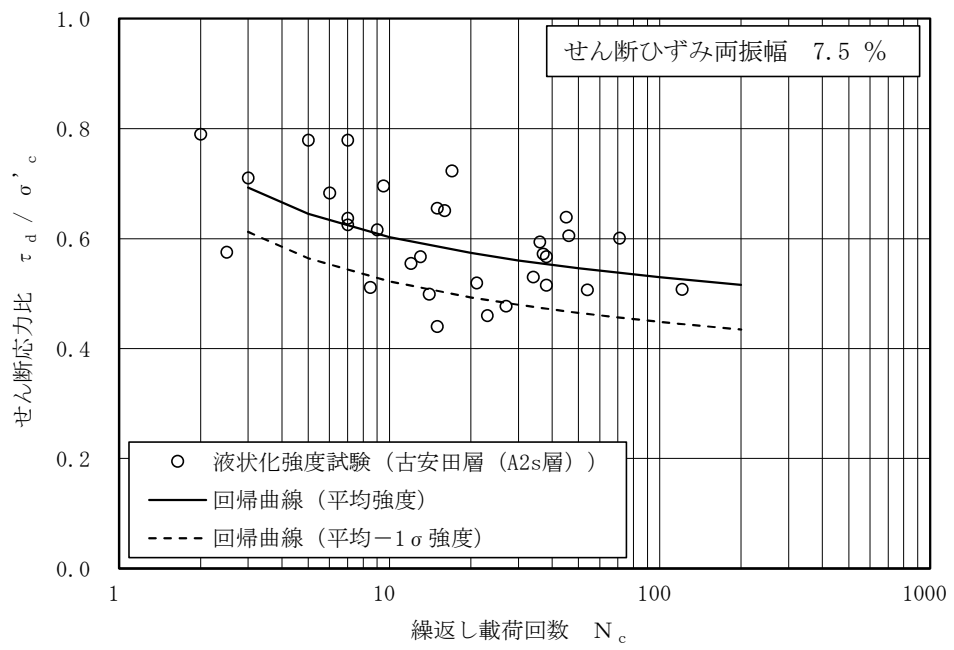


図 4-36 古安田層 (A2s 層) の液状化強度試験結果

(10) 有効応力解析の液状化パラメータの設定方針

a. 有効応力解析コード F L I P について

有効応力解析コード「F L I P (Finite element analysis of Liquefaction Program)」は、1988年に運輸省港湾技術研究所(現、(国研)港湾空港技術研究所)において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく2次元地震応答解析プログラムである。F L I Pの主な特徴として、以下の5点が挙げられる。

- ① 有限要素法に基づくプログラムである。
- ② 平面ひずみ状態を解析対象とする。
- ③ 地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い、部材の断面力や変形量を計算する。
- ④ 土の応力-ひずみモデルとして多重せん断モデルを採用している。
- ⑤ 有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを用いている。

砂の変形特性を規定する多重せん断モデルは、任意方向のせん断面において仮想的な単純せん断バネの作用があるものとし、これらのせん断バネの作用により、土全体のせん断抵抗が発揮されるものである。土の応力-ひずみ関係は、このせん断バネの特性によって種々の表現が可能であるが、「F L I P」では双曲線(Hardin-Drnevich)型モデルを適用している。また、履歴ループについては、その大きさを任意に調整可能なように拡張したMasing則を用いている。図4-37に多重せん断モデルの概念図を、図4-38に排水条件での土の応力-ひずみ関係の概念図を示す。

また、F L I Pは、液状化に至る緩い砂からサイクリックモビリティ<sup>\*1</sup>を示す密な砂の挙動を適切に表現できる解析コード<sup>\*2</sup>である。本地点の液状化検討対象層の多くはサイクリックモビリティの状態を示しており、F L I Pは本地点に対して適用性があると判断できる。

注記\*1 : サイクリックモビリティとは、繰返し载荷において土が「繰返し軟化」する過程で、限られたひずみ範囲ではせん断抵抗が小さくなくても、ひずみが大きく成長しようとする、正のダイラタンシー特性のためにせん断抵抗が急激に作用し、せん断ひずみの成長に歯止めがかかる現象。主に、密な砂や礫質土、過圧密粘土のように正のダイラタンシー特性が著しい土において顕著に表れる。

\*2 : Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. (1992) : Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 2, pp.1-15.

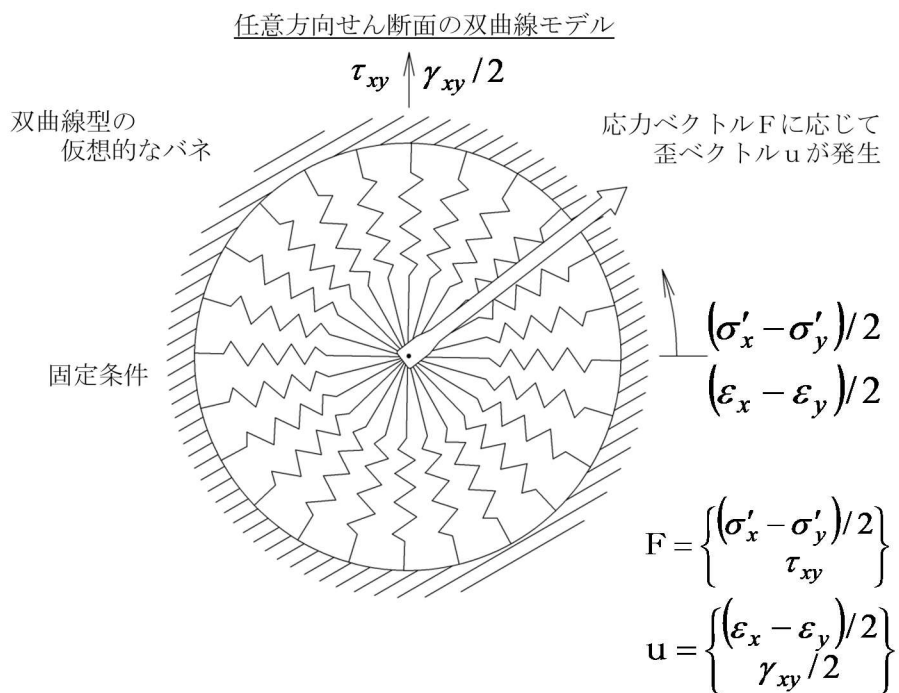


図 4-37 多重せん断モデルの概念図 (港湾技研資料 No869) \*

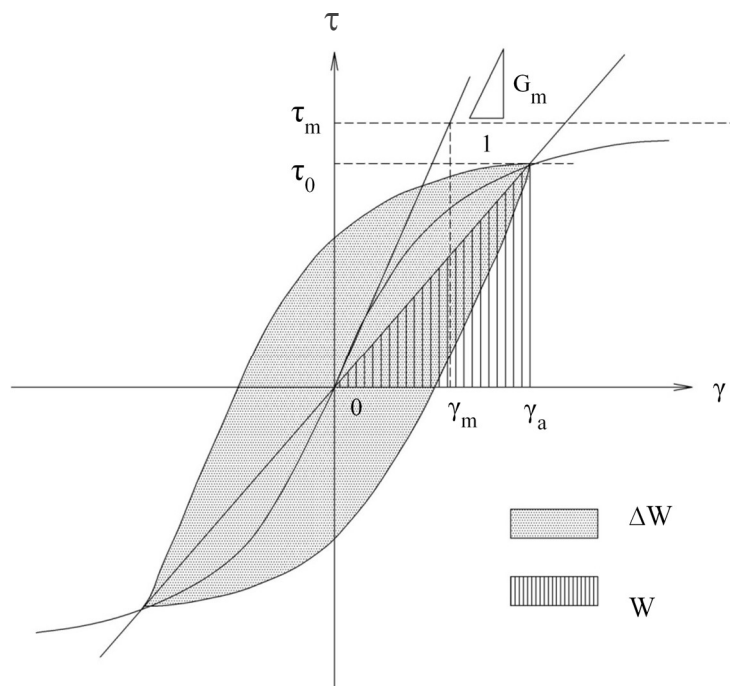


図 4-38 排水条件での土の応力-ひずみ関係の概念図 (港湾技研資料 No869) \*

注記\* : 森田年一, 井合進, HanlongLiu, 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, 港湾技術研究所資料, No. 869, 1997.

b. 解析パラメータの設定方針

有効応力解析コードFLIPでは、動的変形特性を規定するパラメータと、過剰間隙水圧の発生を規定するパラメータを設定する必要がある（本資料では液状化特性を規定するパラメータを『液状化パラメータ』という）。有効応力解析コードFLIPにおける解析パラメータを表4-30に示す。このうち、液状化パラメータは、液状化検討対象層にのみ設定する。

液状化パラメータは、要素シミュレーションを実施し、これより得られる解析上の液状化抵抗曲線が、(9)の液状化強度試験から得た液状化抵抗曲線（回帰曲線 $-1\sigma$ ）に対して同等になるように設定する。図4-39に、液状化パラメータの設定フローを示す。図4-40～図4-44に、地層ごとに設定した要素シミュレーション上の液状化抵抗曲線を示す。

表4-30 FLIPにおいて必要となる解析パラメータ

| 分類     | 解析パラメータ   |                                              |
|--------|-----------|----------------------------------------------|
| 動的変形特性 | $G_{ma}$  | 動せん断弾性係数 ( $\sigma_m' = \sigma_{ma}'$ における値) |
|        | $K_{ma}$  | 体積弾性係数 ( $\sigma_m' = \sigma_{ma}'$ における値)   |
|        | $\phi_f$  | 内部摩擦角                                        |
|        | $h_{max}$ | 履歴減衰の上限値                                     |
| 液状化特性  | $\phi_p$  | 変相角                                          |
|        | $w_1$     | 液状化特性全体を規定するパラメータ                            |
|        | $p_1$     | 液状化特性の前半を規定するパラメータ                           |
|        | $p_2$     | 液状化特性の後半を規定するパラメータ                           |
|        | $c_1$     | 液状化発生の下限值を規定するパラメータ                          |
|        | $S_1$     | 液状化の終局状態を規定するパラメータ                           |

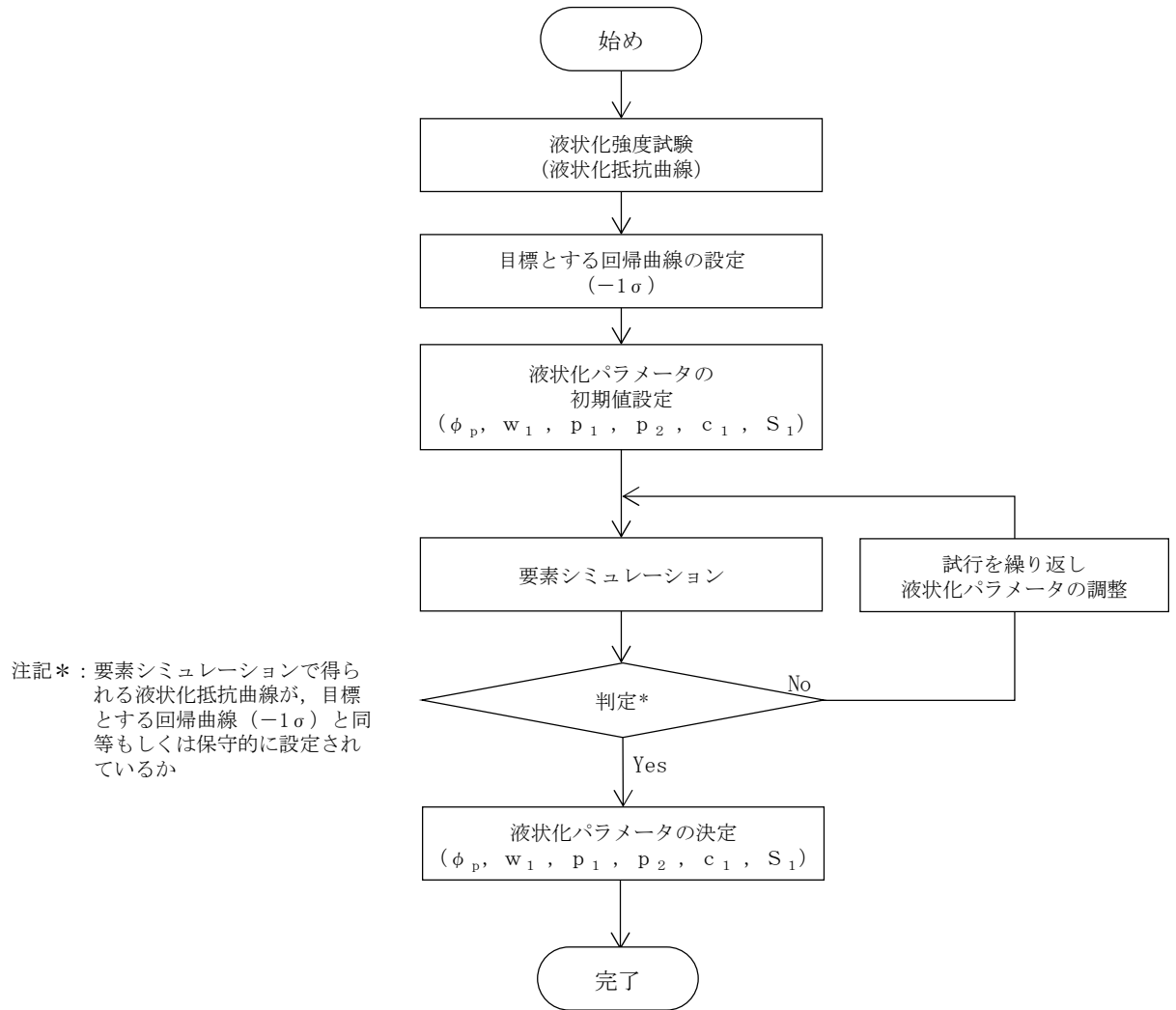


図 4-39 有効応力解析コード FLIP における液化パラメータの設定フロー

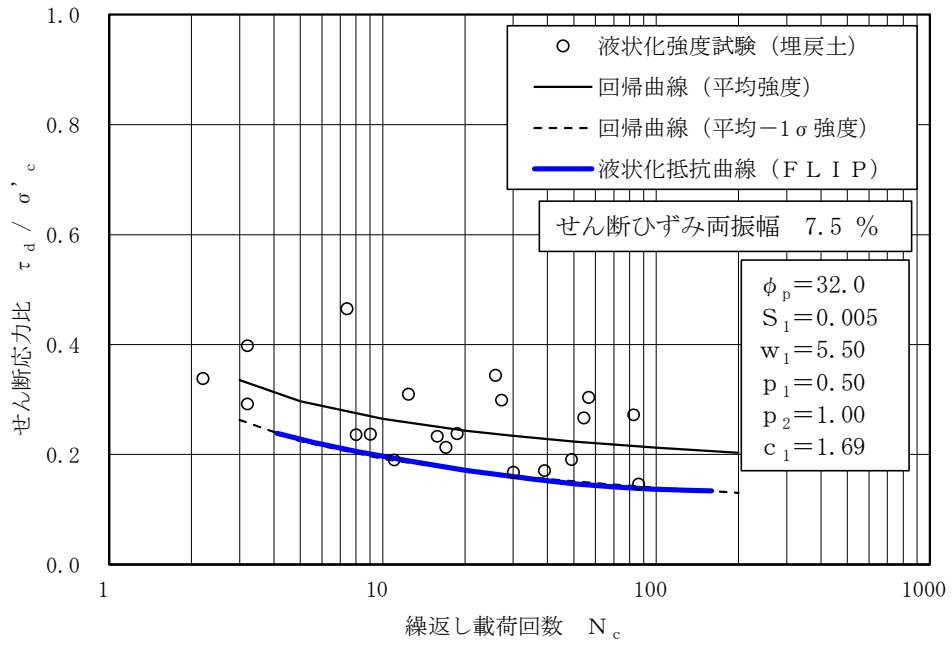


図 4-40 液状化抵抗曲線（埋戻土）

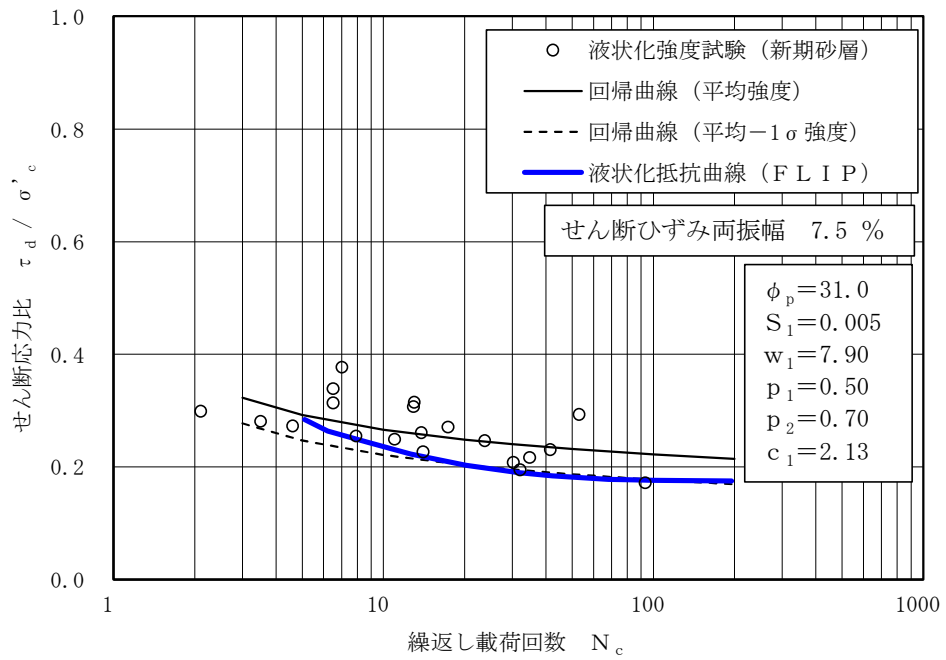


図 4-41 液状化抵抗曲線（新期砂層）

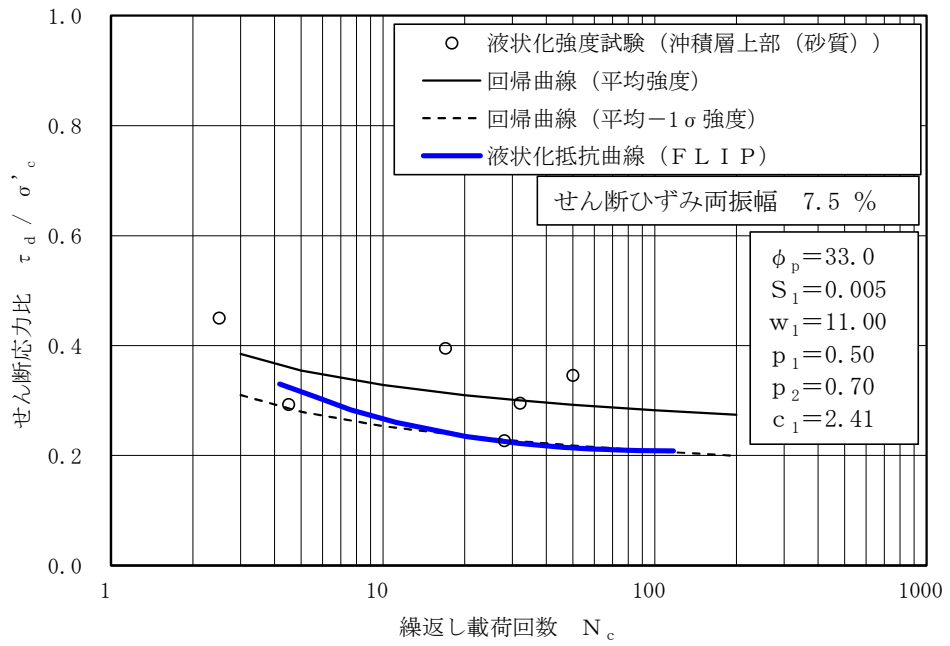


図 4-42 液状化抵抗曲線 (沖積層上部 (砂質))

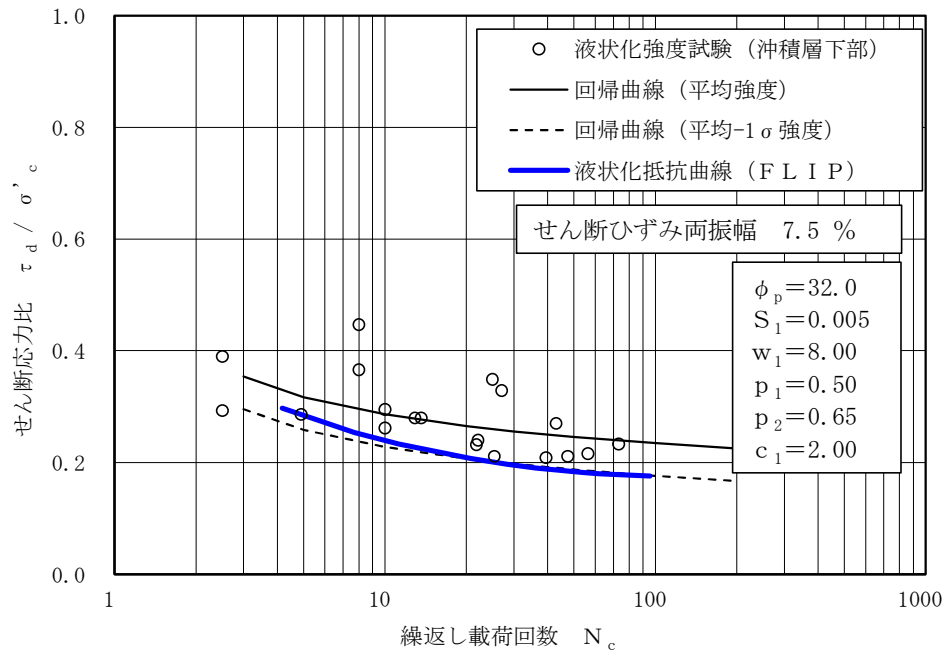


図 4-43 液状化抵抗曲線 (沖積層下部)

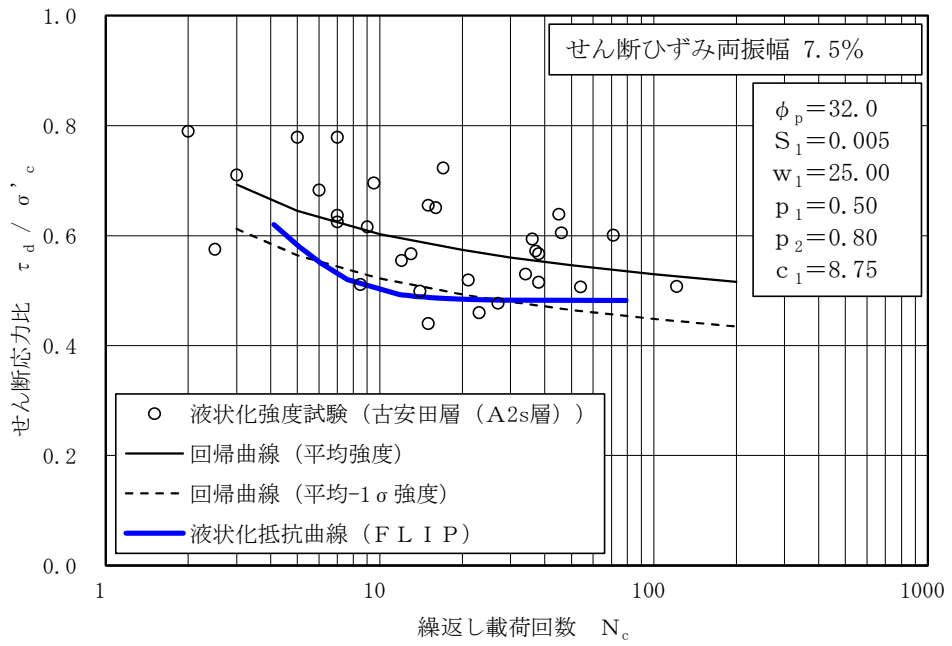


図 4-44 液状化抵抗曲線 (古安田層 (A2s層))



(11) 液状化判定に係る評価基準値について

有効応力解析での地震応答解析結果により算出される各地盤要素の間隙水圧に対し、液状化の定義を明確にした上で、評価基準値を以下のように設定し、液状化判定を行う。

レベル2地震動による液状化研究小委員会活動成果報告（土木学会, 2003）では、地盤の液状化の事象の定義として、以下のように記載されている。

- 地震の繰り返しせん断力などによって、飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内での間隙水圧が上昇・蓄積し、有効応力がゼロまで低下し液体状となり、その後の地盤の流動を伴う現象。

液状化判定の評価基準値を設定するにあたり、規格・基準における液状化と過剰間隙水圧に対する記載事例を調査した。地盤材料試験の方法と解説（地盤工学会, 2009）では、液状化と関連する過剰間隙水圧について、以下のように記載されている。

- 各繰り返しサイクルにおける過剰間隙水圧  $\Delta u$  の最大値が有効拘束圧  $\sigma'_0$  の95%になった時の繰り返し回数  $N_{u95}$  を求める。（土の液状化強度特性を求めるための繰り返し非排水三軸試験（pp. 703～749））

これらの知見を踏まえて、過剰間隙水圧を指標とした液状化の評価基準値について、“液状化の定義”及び“規格・基準における記載事例”に基づき、以下のように設定する。

（液状化の判定）

- ・ 過剰間隙水圧  $\Delta u$  の最大値が有効拘束圧  $\sigma'_0$  の95%に達した状態

#### 4.2.3 その他の解析用物性値

##### (1) 地盤改良体

地盤改良体の物性値の設定は、施工の段階に応じて設定する。以下、竣工後の地盤改良体を既設地盤改良体、施工中又は計画中の地盤改良体を新設地盤改良体と称する。なお、全応力解析、有効応力解析に関わらず地盤改良体の解析用物性値の設定の基本方針は同一である。

地盤改良体の詳細（概要、施工方法、解析用物性値の設定、新設地盤改良体の品質確認方針、地盤改良体のばらつきの考え方）については（参考資料6）に示す。

##### (a) 既設地盤改良体

既設地盤改良体のうち、高圧噴射攪拌工法、置換工法、機械攪拌工法、改良盛土（以下、これらを総称して「既設地盤改良体（セメント改良）」という。）の解析用物性値は、既設地盤改良体の原位置試験及び室内試験結果に基づき設定する。

既設地盤改良体（土質安定処理土）の解析用物性値は、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、平成19年）及び既設地盤改良体（セメント改良）の試験結果に基づき設定する。

上記より、既設地盤改良体については、表4-4及び表4-13のとおり解析用物性値を設定する。

##### (b) 新設地盤改良体

新設地盤改良体のうち、高圧噴射攪拌工法、置換工法（以下、これらを総称して「新設地盤改良体（セメント改良）」という。）の解析用物性値は、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（「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」）を参考に設定する。

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・設計強度が同一のものである場合は、近傍の既設地盤改良体（セメント改良）の解析用物性値を設定する。

新設地盤改良体（無筋コンクリート）の解析用物性値は、文献（鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—、（社）日本建築学会、1999年、又は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）に基づき設定する。

上記より、新設地盤改良体については、表4-5及び表4-14のとおり解析用物性値を設定する。

##### (2) 西山層及びマンメイドロック

有効応力解析における西山層及びマンメイドロックの解析用物性値は、設置変更許可申請書に記載された調査・試験結果に基づき、有効応力解析において必要となるパラメータを設定する。

隣接建屋による影響を考慮した地震応答解析におけるマンメイドロックの解析用物性値

は、設置許可申請書に記載された調査・試験結果に基づき設定した表 4-16 のマンメイドロック（建屋側方）に準じるものとする。

#### 4.2.4 地盤の物性のばらつきについて

##### (1) 建物・構築物の地震応答解析に考慮する地盤の物性のばらつき

建物・構築物の地震応答解析においては地盤の物性のばらつきを考慮している。詳細については、(参考資料 4) に示す。

##### (2) 土木構造物の地震応答解析に考慮する地盤の物性のばらつき

土木構造物の地震応答解析においては地盤の物性のばらつきを考慮している。詳細については、(参考資料 4) に示す。

#### 5. 極限支持力

極限支持力は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）(KK7 補足-024 改訂 1) 資料 1 地盤の支持性能について」のうち「5. 極限支持力」による。

#### 6. 地盤の速度構造

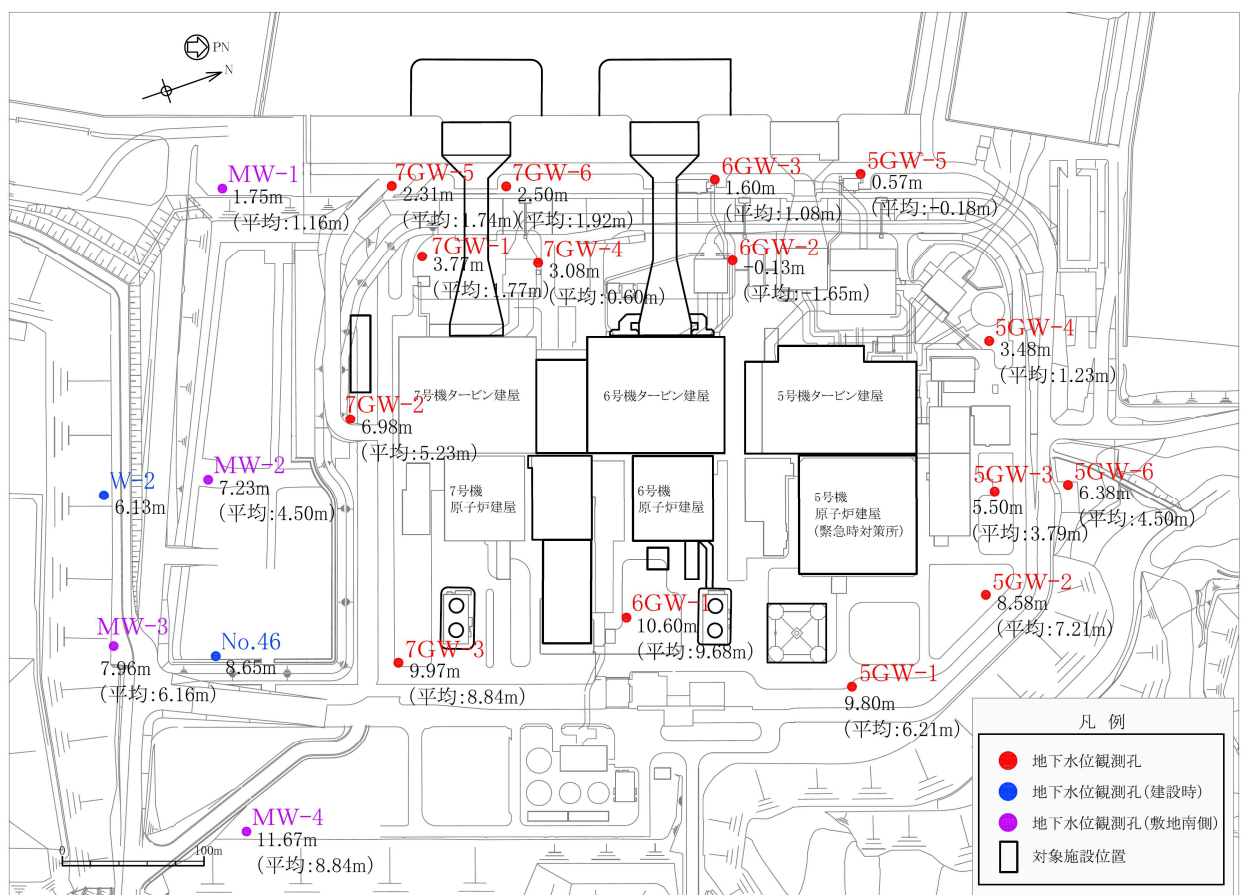
地盤の速度構造は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）(KK7 補足-024 改訂 1) 資料 1 地盤の支持性能について」のうち「6. 地盤の速度構造」による。

(参考資料1) 地下水位の詳細について

1. 地下水位観測データ

敷地内の観測最高地下水水位分布図を図 1-1 に、地下水位観測孔の連続観測データ及び観測孔位置の耐震評価上の設定水位を図 1-2～図 1-9 に示す。掲載データは、7号工認資料「工事計画に係る説明資料(耐震性に関する説明書)(KK7 補足-024 改訂1) 資料1 地盤の支持性能について」の「(参考資料1) 地下水位の詳細について」のうち「1. 地下水位観測データ」に示した2020年2月末までの観測データに、2023年3月末までの観測データを追加したものである。

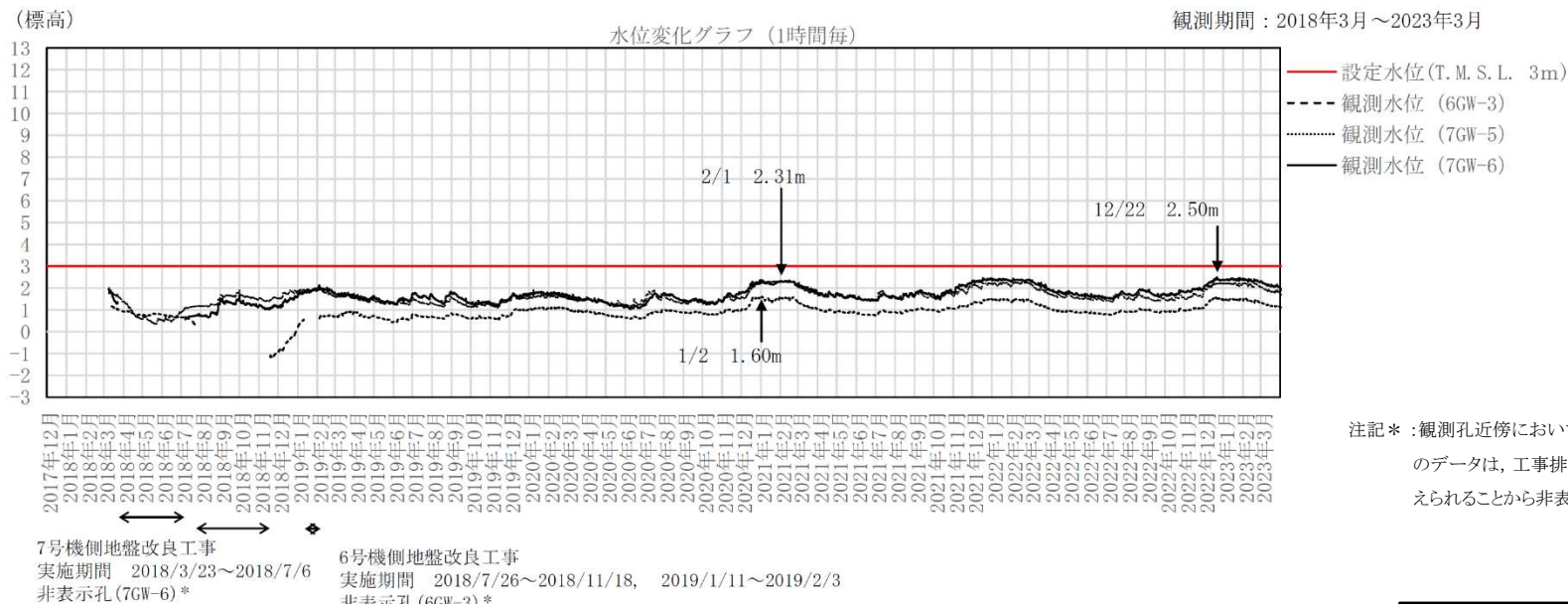
また、参考として建設時の地下水位観測記録を図 1-10 に示す。



注1: 図中の数値は、各地下水位観測孔の観測最高地下水水位の標高 (T.M.S.L.) を示す。

注2: 図中の ( ) 内数値は、各地下水位観測孔の敷地内観測孔において通年の観測記録が得られている2022年の年間平均水位を示す (該当期間の記録がない観測孔は ( ) 記載なし)。

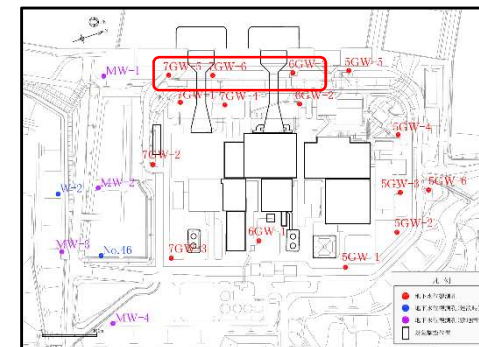
図 1-1 観測最高地下水水位分布図



注記\* : 観測孔近傍において工事が行われている期間のデータは、工事排水の影響を受けていると考えられることから非表示とした。

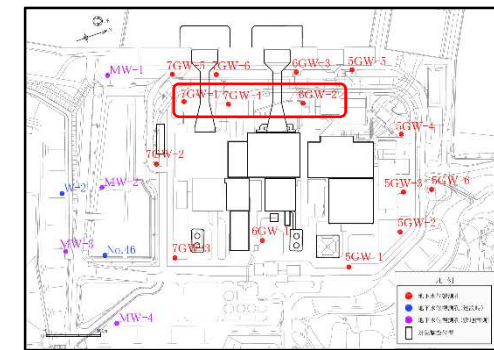
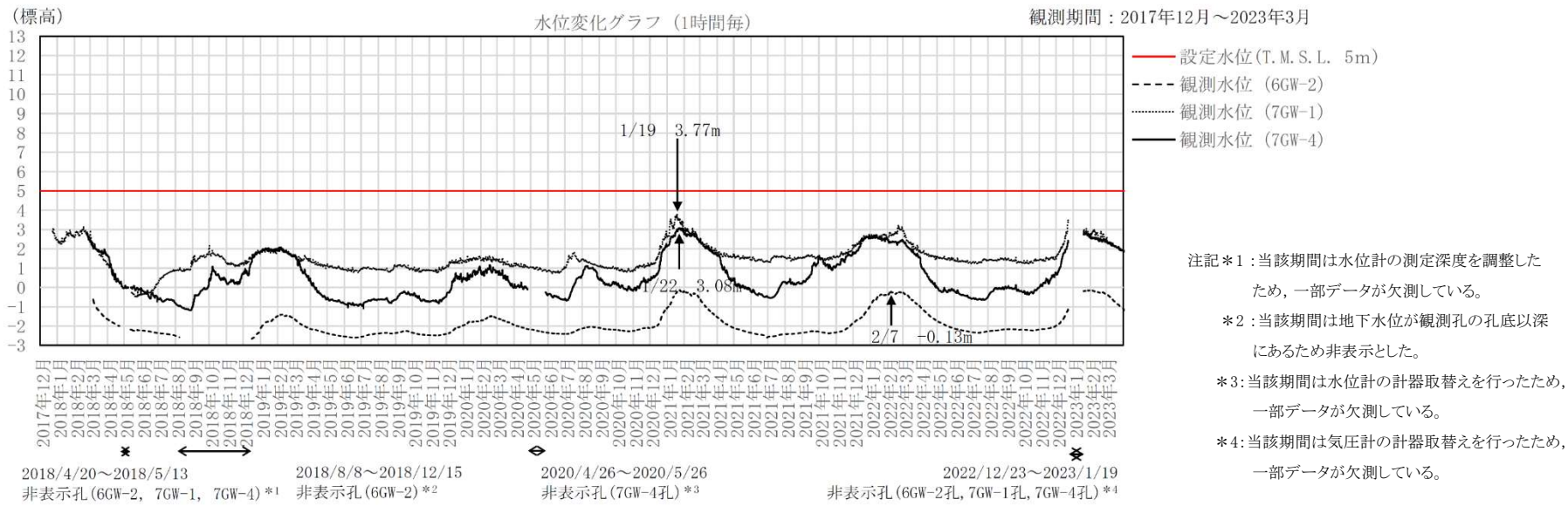


(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)

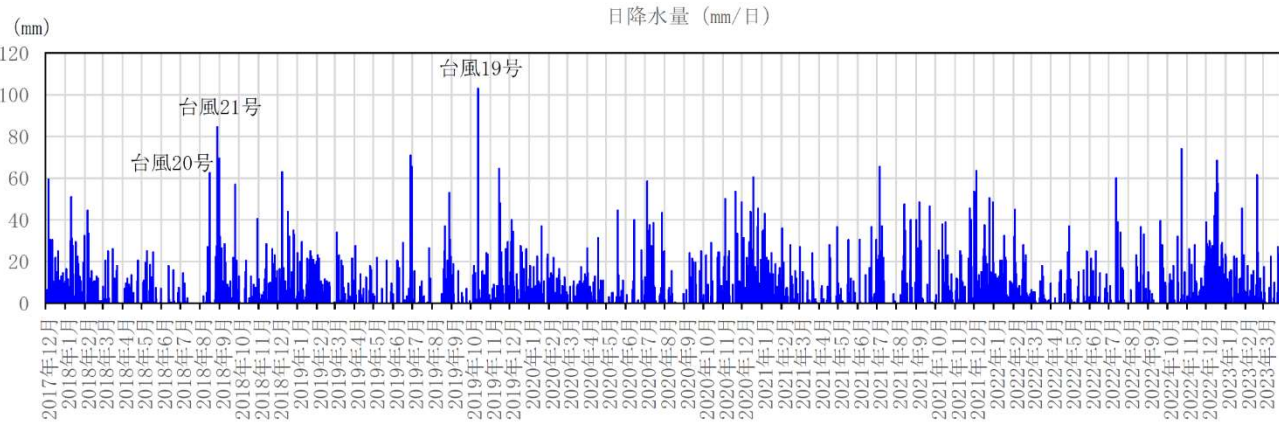


観測孔位置図

図 1-2 海水貯留堰及びスクリーン近傍孔 (6GW-3, 7GW-5, 7GW-6) の地下水位観測記録と降水量データ

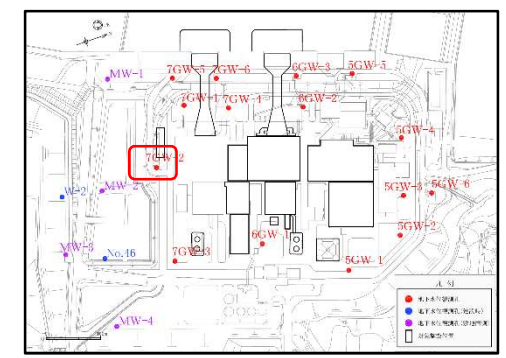
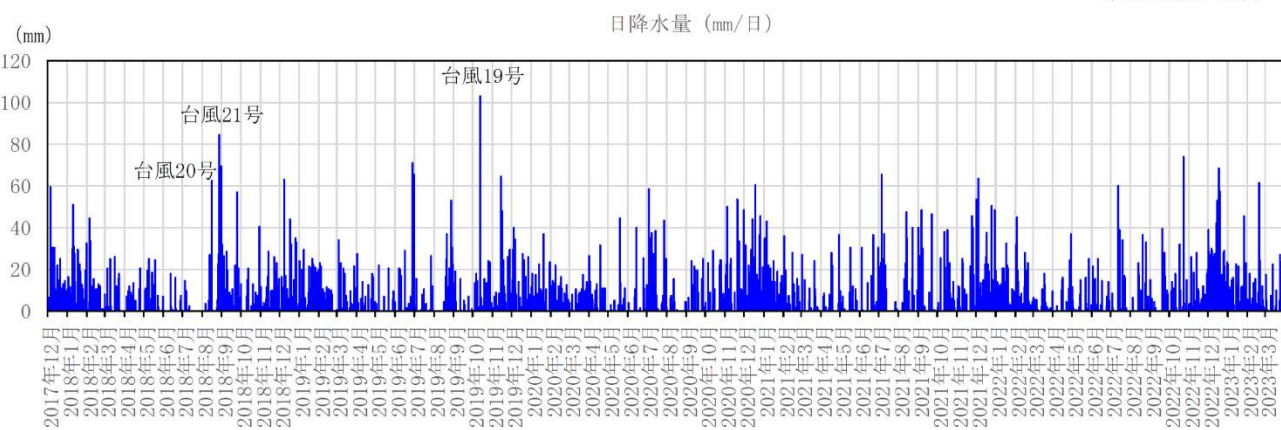
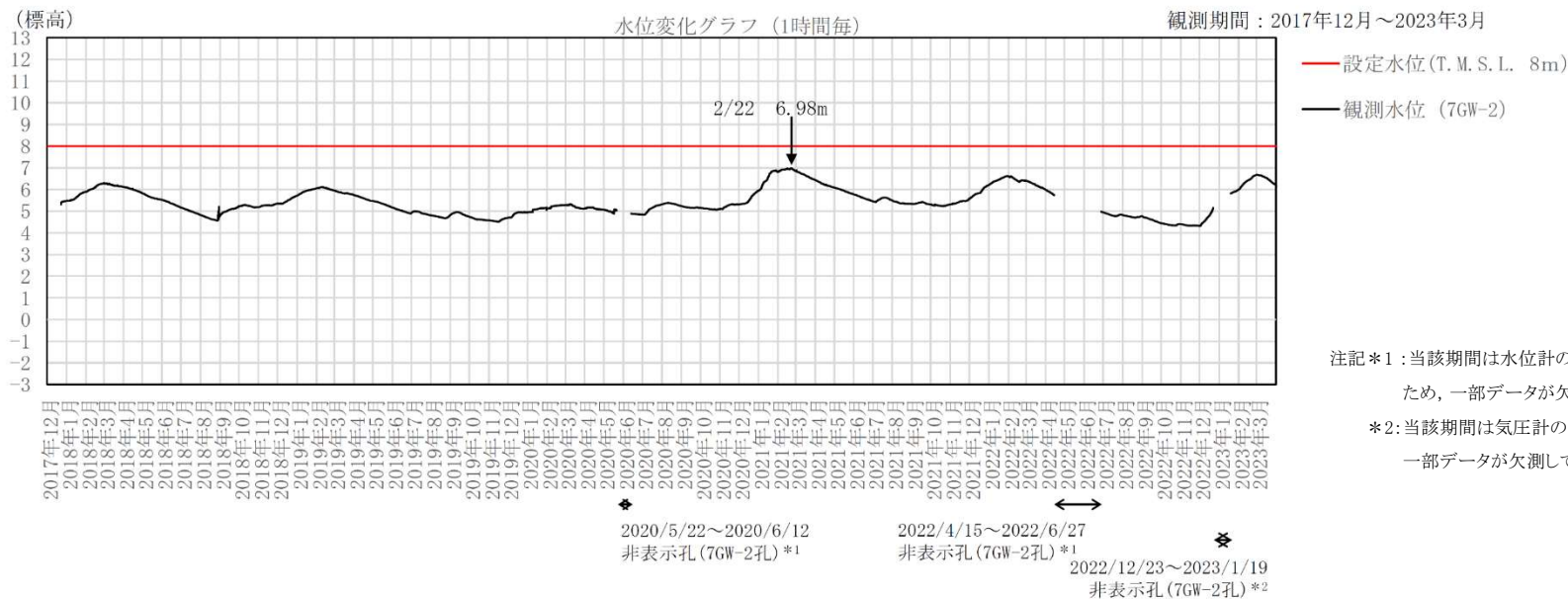


観測孔位置図



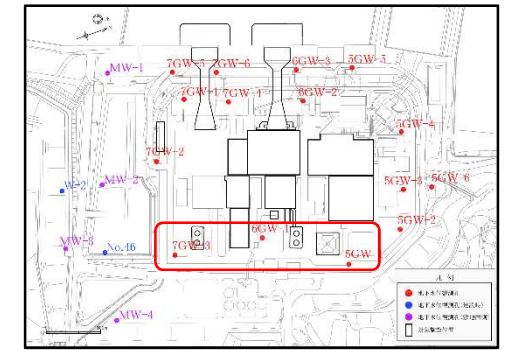
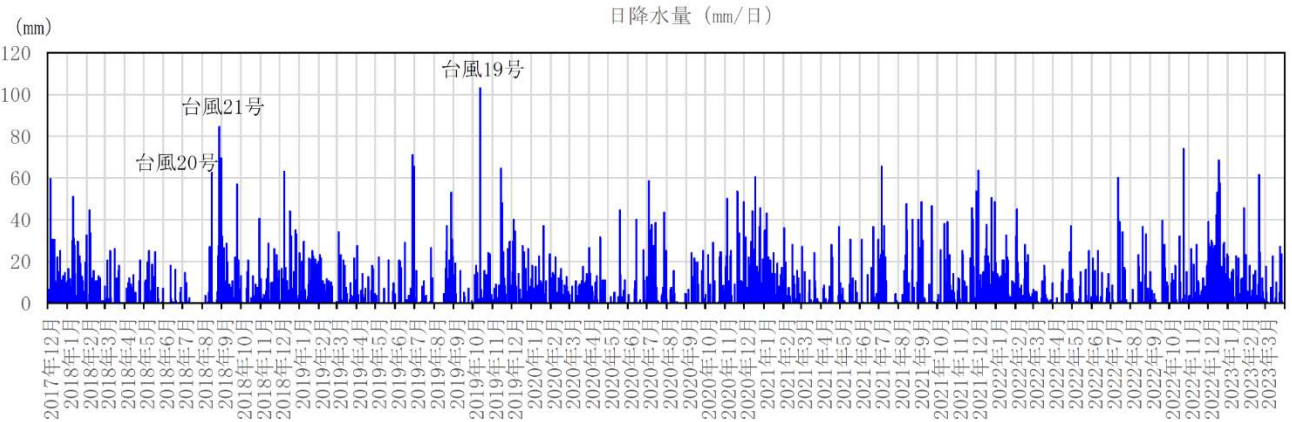
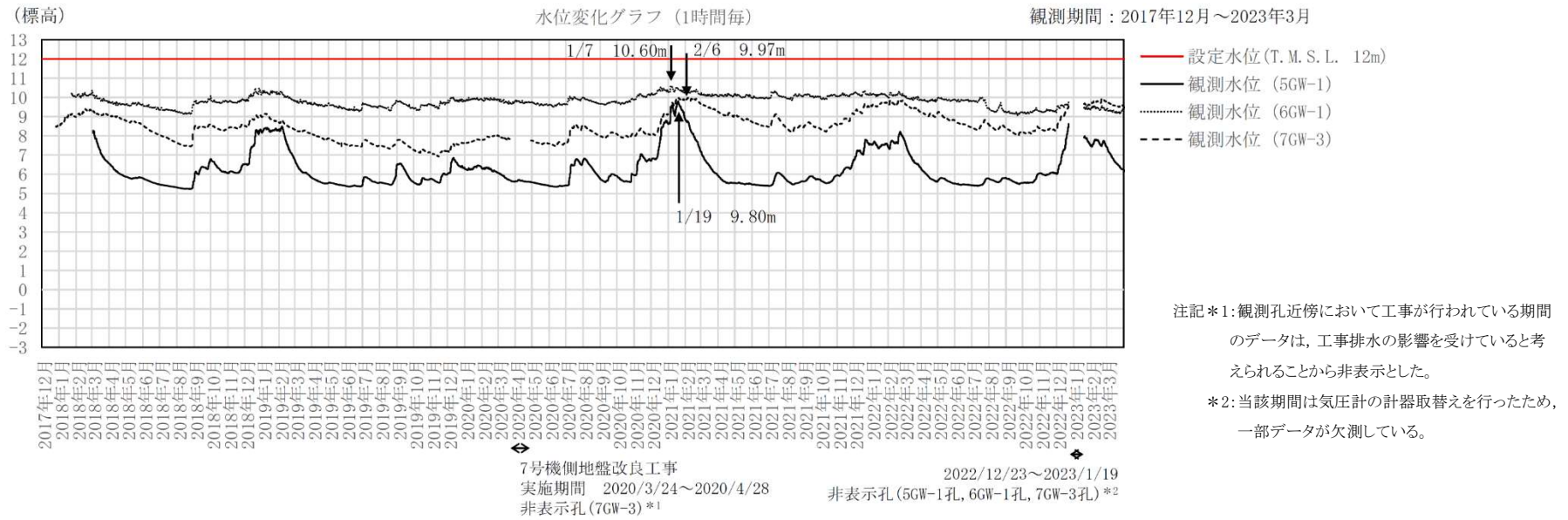
(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)

図 1-3 6GW-2, 7GW-1, 7GW-4 の地下水位観測記録と降水量データ



(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)

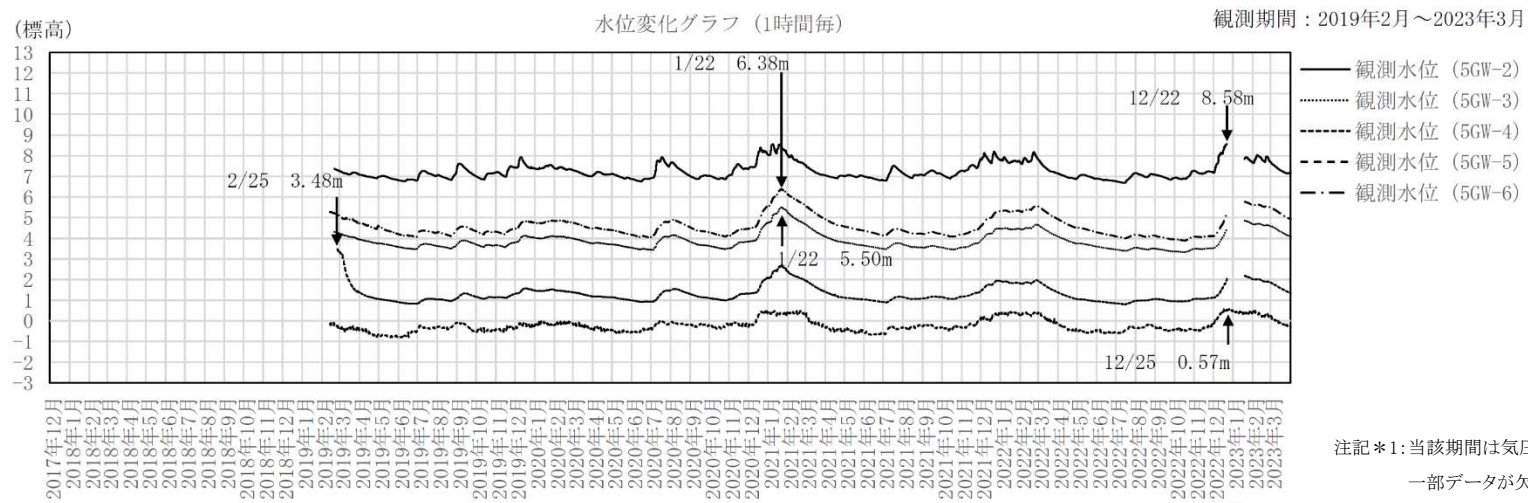
図 1-4 常設代替交流電源設備基礎近傍孔 (7GW-2) の地下水位観測記録と降水量データ



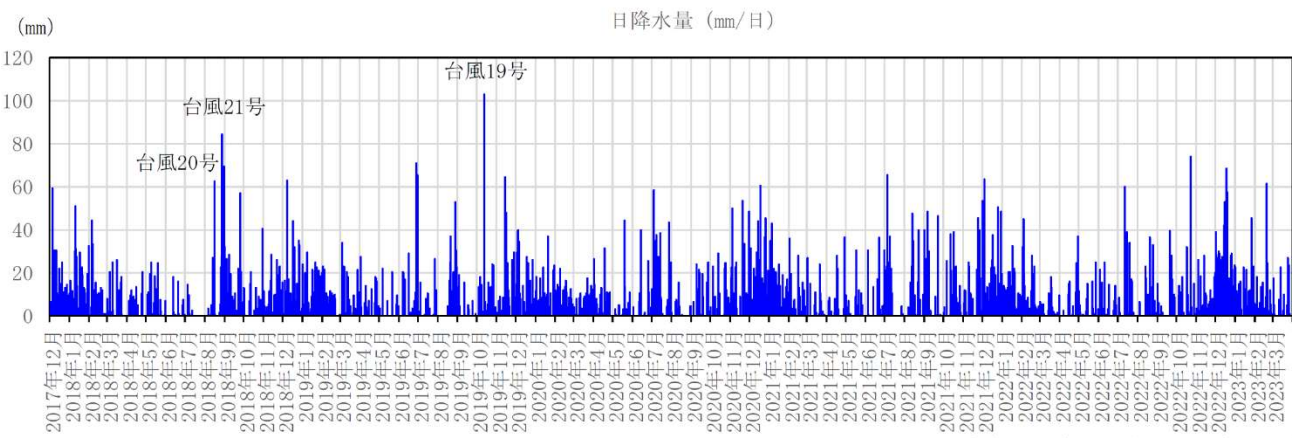
(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)

図 1-5 6号機及び7号機軽油タンク近傍孔(5GW-1, 6GW-1, 7GW-3)の地下水位観測記録と降水量データ

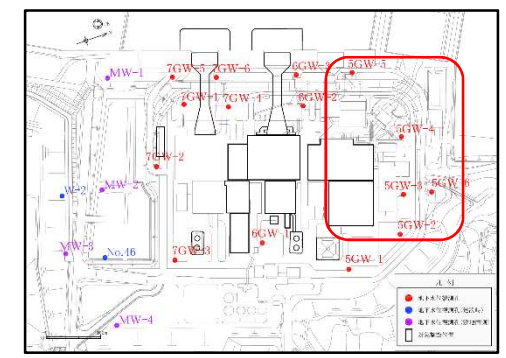




注記\*1:当該期間は気圧計の計器取替えを行ったため、一部データが欠測している。

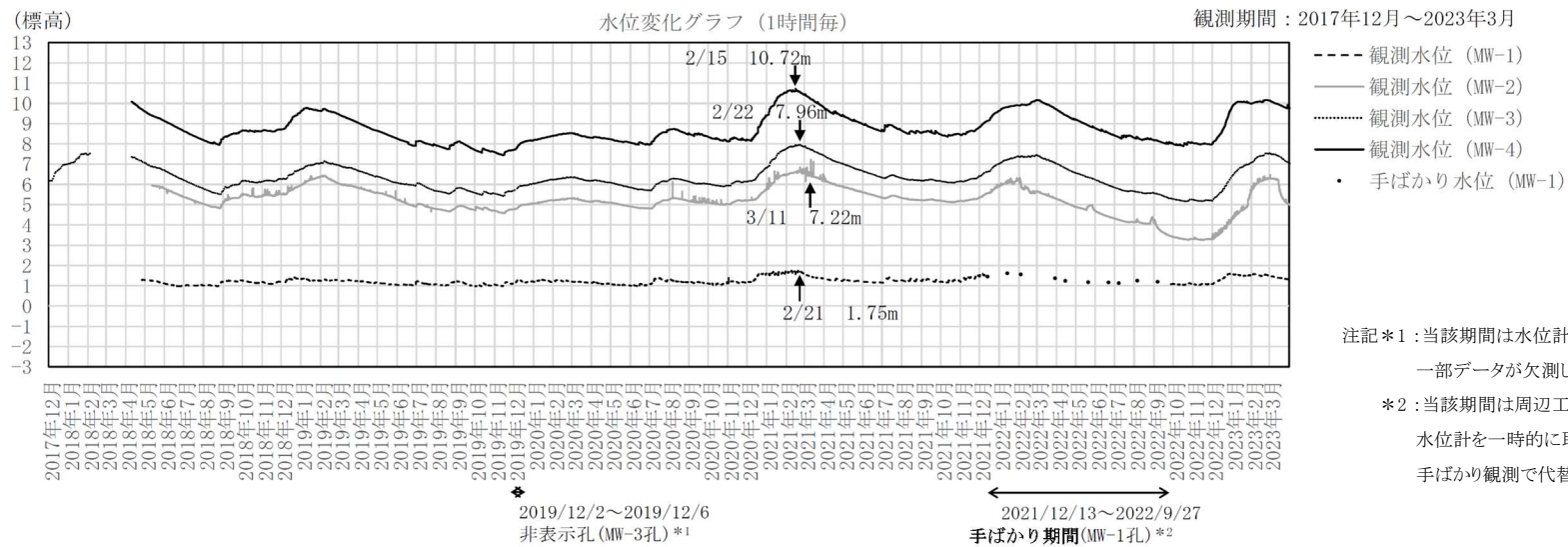


(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)



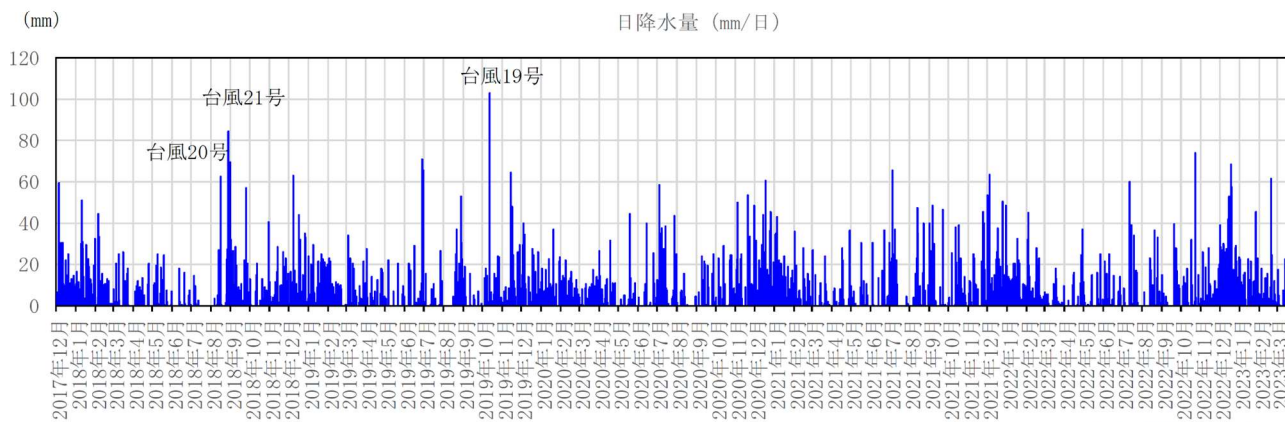
観測孔位置図

図 1-6 5号機側近傍孔(5GW-2, 5GW-3, 5GW-4, 5GW-5, 5GW-6)の地下水位観測記録と降水量データ

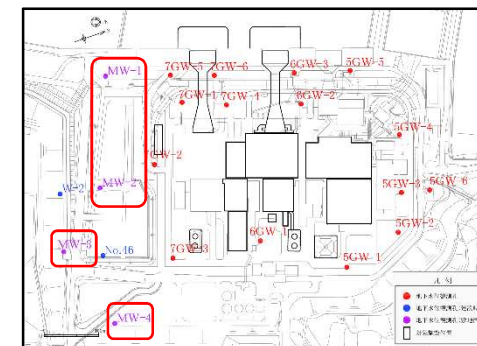


注記\*1：当該期間は水位計の計器取替えを行ったため、一部データが欠測している。

\*2：当該期間は周辺工事による観測孔の改造に伴い、水位計を一時的に取り外していたため、1回/月の手ばかり観測で代替した。



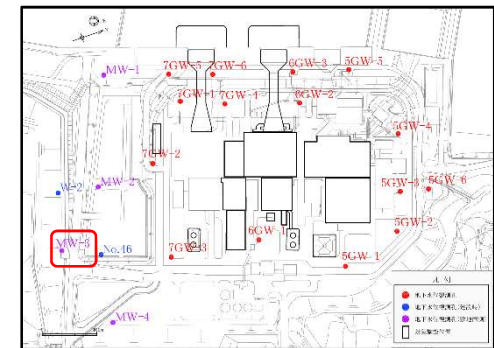
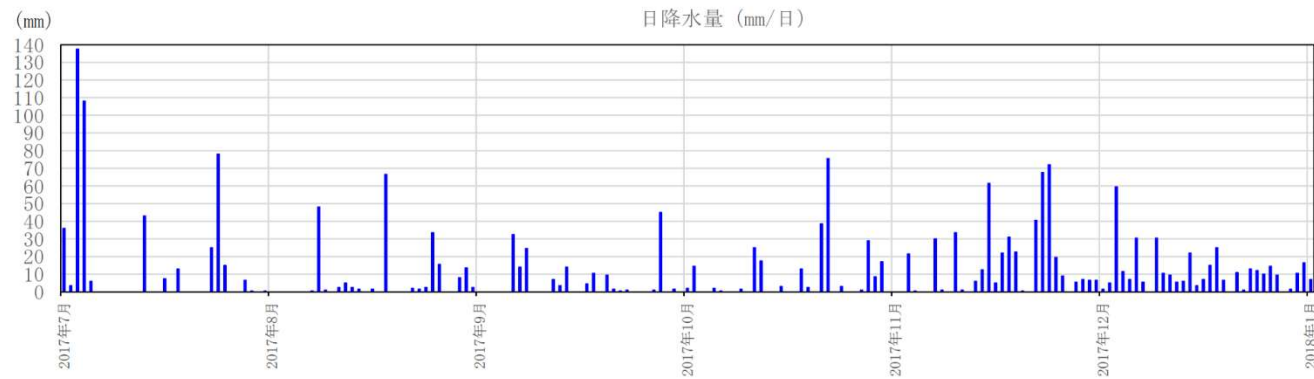
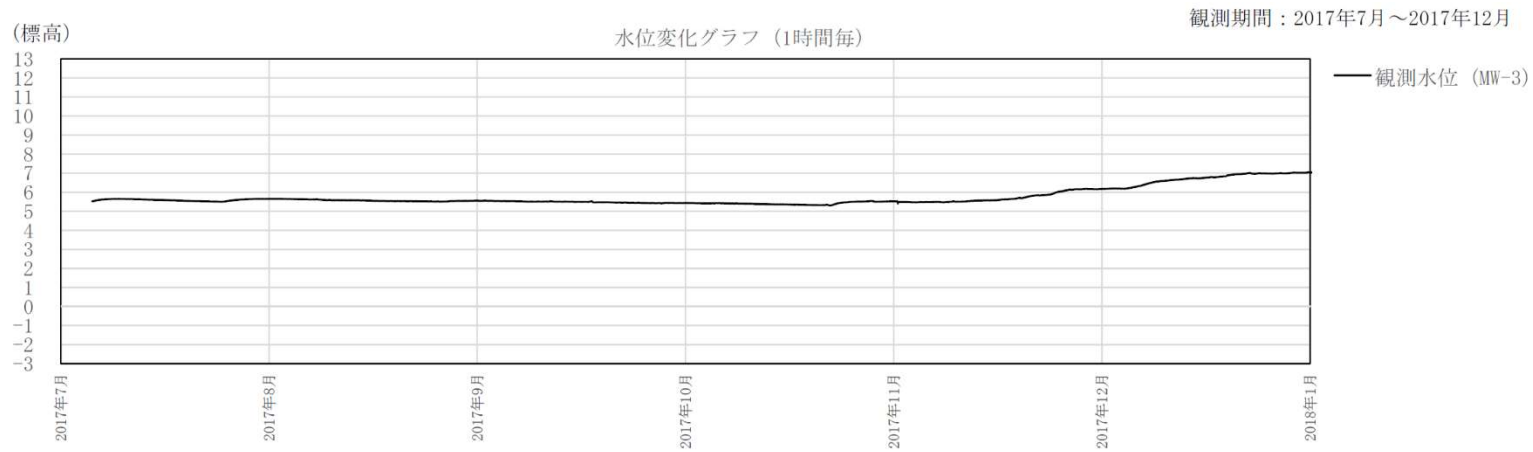
(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)



観測孔位置図

図 1-7 敷地南側観測孔 (MW-1, MW-2, MW-3, MW-4) の地下水水位観測記録と降水量データ

○敷地内の地下水位観測よりも以前に得られた観測データ

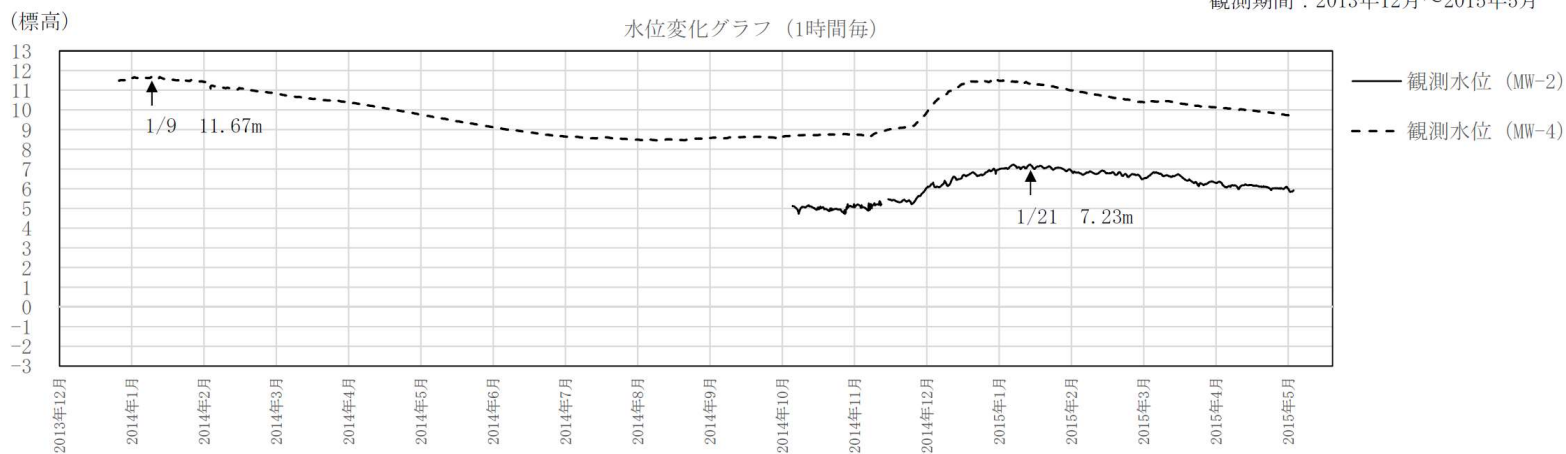


(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)

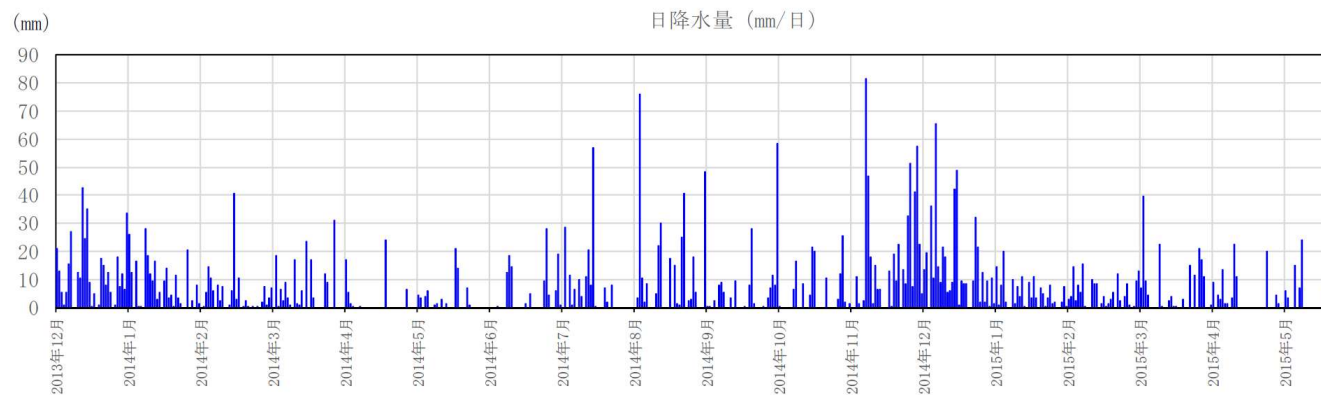
図 1-8 敷地南側観測孔 (MW-3) の地下水位観測記録と降水量データ

○敷地内の地下水位観測よりも以前に得られた観測データ

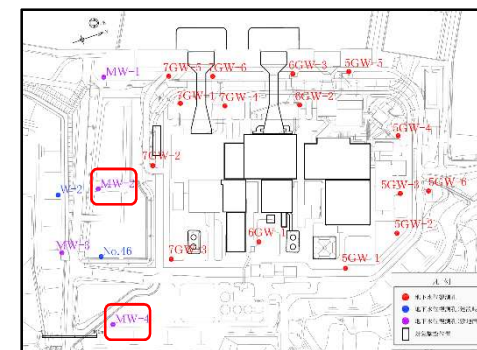
観測期間：2013年12月～2015年5月



6-1 (参考)



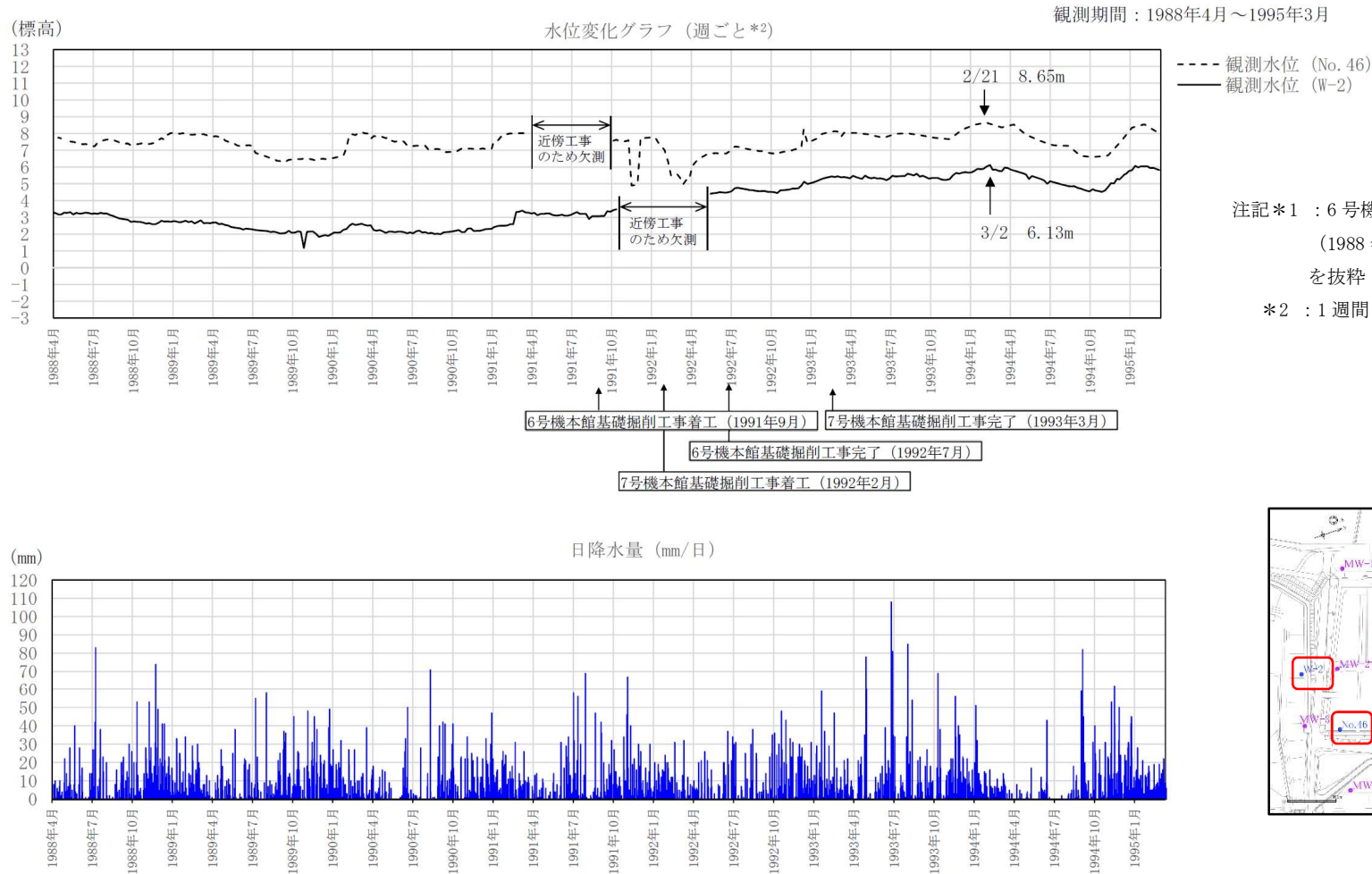
(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)



観測孔位置図

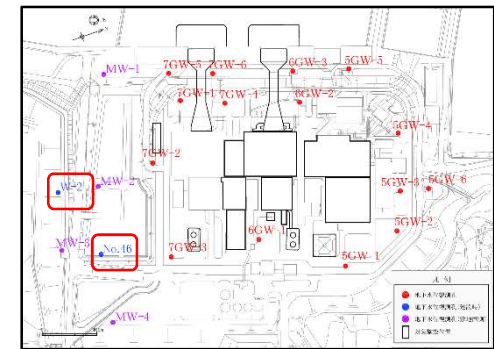
図 1-9 敷地南側観測孔 (MW-2, MW-4) の地下水位観測記録と降水量データ

○建設時の観測データ\*1



注記\*1：6号機本館基礎開始前後の計測期間  
(1988年4月～1995年3月)の記録  
を抜粋

\*2：1週間ごとの水位観測記録



観測孔位置図

図 1-10 建設時の地下水位観測記録と降水量データ

## 2. 敷地周辺の地下水位

敷地周辺の地下水位は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1） 資料1 地盤の支持性能について」の「（参考資料1）地下水位の詳細について」のうち「2. 敷地周辺の地下水位」による。

## 3. 耐震評価における地下水位の設定について

### 3.1 基本方針

耐震評価における地下水位の設定についての基本方針は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1） 資料1 地盤の支持性能について」の「（参考資料1）地下水位の詳細について」のうち「3.1 基本方針」による。

### 3.2 地下水排水設備に囲まれた施設の地下水位

地下水排水設備に囲まれた施設の地下水位は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1） 資料1 地盤の支持性能について」の「（参考資料1）地下水位の詳細について」のうち「3.2 地下水排水設備に囲まれた施設の地下水位」による。

### 3.3 地下水排水設備の外側に配置した施設の地下水位の設定

前述3.1の基本方針に基づき、地下水排水設備の外側に配置した施設については、敷地内の地下水位観測記録に基づき地下水位を検討する。このとき、現況の地下水位を上昇させる要因の有無や地下水位観測記録における変動要因を考慮し、耐震評価における地下水位を設定する。

#### 3.3.1 現況の地下水位を上昇させる要因の有無について

敷地内の地下水位観測記録に基づき地下水位を設定する前提として、現況の地下水位を上昇させる要因の有無を検討する。

ここで、現況の地下水位を上昇させる要因とは、基礎が岩着している施設及び基盤まで地盤改良した地盤改良体が挙げられる。これらの構築物は山から海への地下水の流動を妨げ、構築物の上流側の地下水位を上昇させる可能性がある。

以下では、柏崎刈羽原子力発電所における地下水位を上昇させる要因の有無を抽出し、これらの要因が敷地内地下水に与える影響を検討する。

#### (1) 基礎が岩着している施設及び基盤まで地盤改良した地盤改良体の抽出と影響検討

基礎が岩着している施設及び基盤まで地盤改良した地盤改良体の範囲を図3-1に示す。

図3-1より、基礎が岩着している施設としては原子炉建屋等が該当し、基盤まで地盤改良した地盤改良体としては、6、7号機軽油タンク基礎等の地盤改良体が該当する。

同図に示すとおり、原子炉建屋等の施設は広範囲に設置されているため、それよりも上流側の地下水位を上昇させる可能性が考えられるが、原子炉建屋よりも上流側に配置される施設については、耐震評価における地下水位を地表面に設定していることから、地下水位の設定としては妥当であると判断できる。

一方、基盤まで地盤改良した地盤改良体は原子炉建屋等の主要施設よりも上流側に設置しているため、敷地内の地下水位を上昇させることはないと判断できる。

これより、柏崎刈羽原子力発電所では、地下水の流動を妨げることにより現況の地下水位を上昇させる要因としては、原子炉建屋等の施設が該当するが、原子炉建屋よりも上流側に配置される施設については、耐震評価における地下水位を地表面に設定していることから、地下水位の設定としては妥当であると判断できる。



図 3-1 基礎が岩着している施設及び基盤まで地盤改良した地盤改良体の概略範囲

(2) 防潮堤（自主設備）による敷地内地下水への影響

柏崎刈羽原子力発電所（大湊側）では、図 3-2 に示すように、主要施設を囲うように津波対策の自主設備として防潮堤（改良盛土）が設置されている。本項では、防潮堤の存在が敷地内の地下水の流れに与える影響について検討する。

防潮堤の代表断面を図 3-3 に示す。同図に示すように、防潮堤はセメント改良土で構築されており、地表面から深さ 1.0m までが改良範囲であり、基部の突起を含めてもその深さは 1.90m に留まる。それより下部は、砂が主体の埋戻土が分布していることから、防潮堤（改良盛土）敷地内の地下水の流れに影響を与えることはないと評価できる。

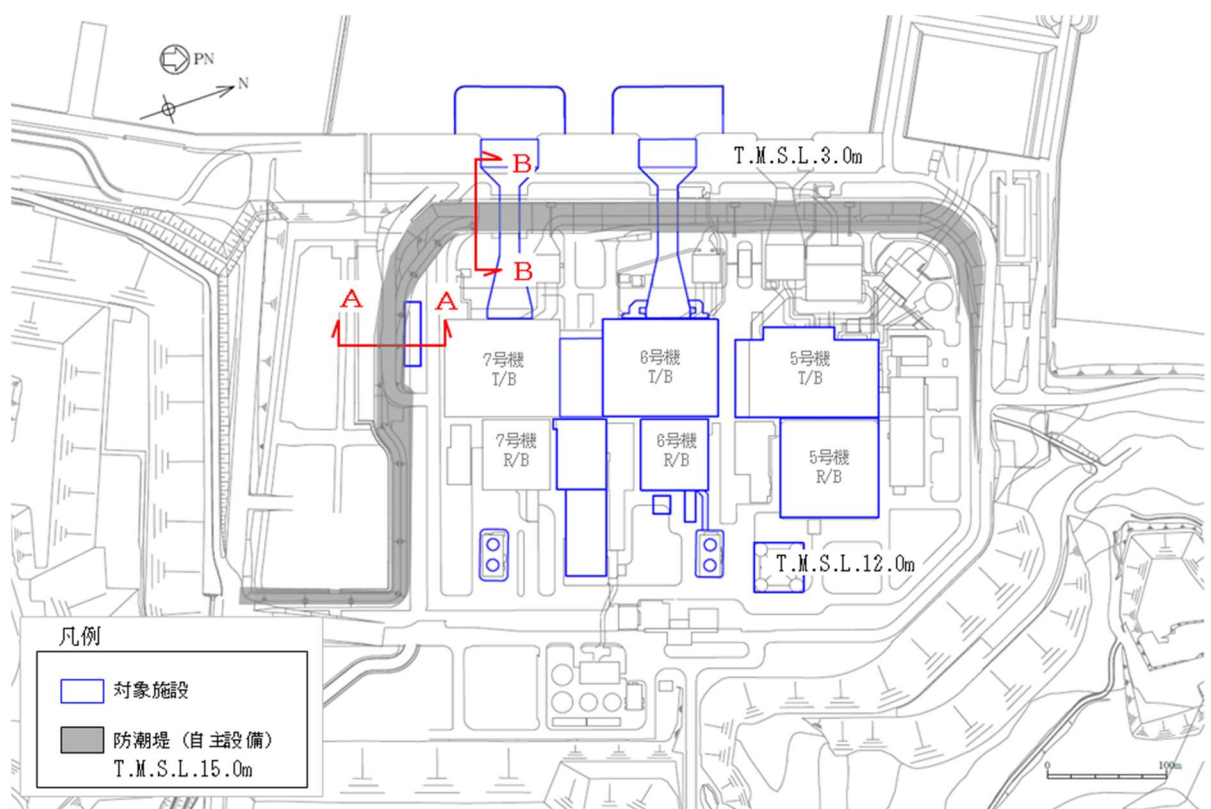
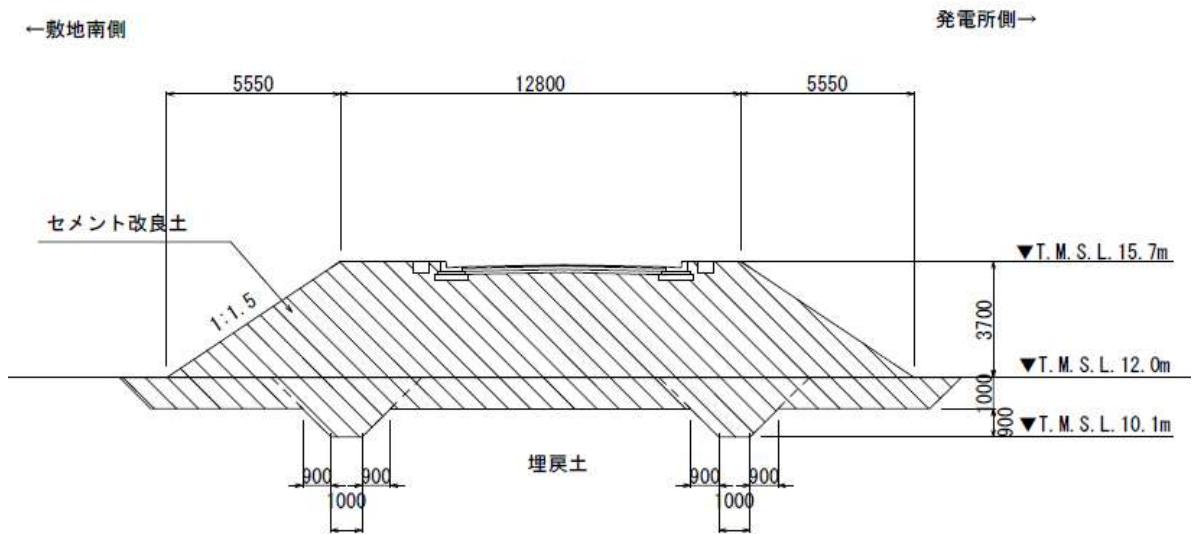
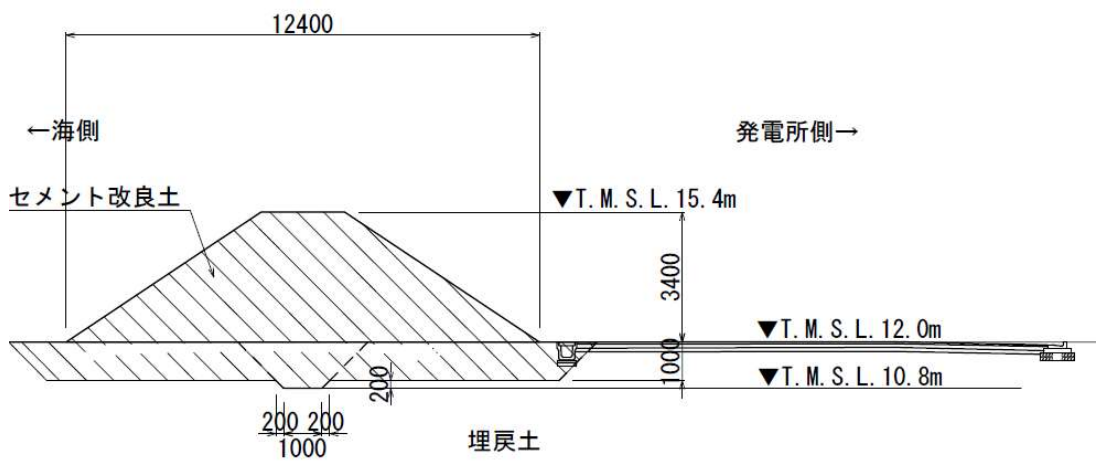


図 3-2 柏崎刈羽原子力発電所 大湊側敷地 防潮堤（自主設備）の範囲





(a) A-A断面



(b) B-B断面

図 3-3 防潮堤（自主設備）の代表断面図

### 3.3.2 耐震評価における地下水位を地表面に設定する施設

地下水排水設備の外側に配置される施設のうち、原子炉建屋よりも山側に配置される施設については、観測された地下水位が地表面標高に近いことから、保守的に地表面標高 (T. M. S. L. 12. 0m) に地下水位を設定する。

また、海側の地表面標高 T. M. S. L. 3. 0mの敷地については、朔望平均満潮位 0. 49m よりも高い観測記録が得られていることを踏まえ、保守的に地表面標高 (T. M. S. L. 3. 0m) に地下水位を設定する。

### 3.3.3 地下水位観測記録における変動要因の考慮

地下水排水設備の外側に配置される施設のうち、常設代替交流電源設備基礎、並びに 6、7号機取水路及び補機冷却用海水取水路 (以下、これらを「取水路」という。) については、地下水位観測記録に基づき地表面より下に地下水位を設定する。

常設代替交流電源設備基礎については、当該施設の上流側に設置した「7GW-2 孔」を指標とし、取水路については、当該施設の近傍に設置された地下水位観測孔の中で最も高い地下水位を観測した「7GW-1 孔」を指標として、観測最高地下水位を上回る標高に耐震評価における地下水位を設定する。

ここで、地下水位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場合、観測記録の変動要因 (人為的要因・自然要因) を考慮し、適切に設定する必要がある。

以下では、地下水位観測記録に対する変動要因 (人為的要因・自然要因) の影響を踏まえ、常設代替交流電源設備基礎及び取水路の耐震評価における地下水位の妥当性を確認する。

#### (1) 人為的要因 (地下水排水設備の影響) の考慮

##### a. 観測記録に基づく地下水排水設備の影響評価

地下水位観測孔の近傍に地下水排水設備が設置されている場合、地下水位観測記録について地下水排水設備による地下水低下の影響を考慮する必要がある。

このため、地下水排水設備から十分に離れた位置にある別の地下水位観測孔に着目し、両者の地下水位標高及び地下水位傾向の比較を実施する。

以下では、常設代替交流電源設備基礎の地下水位設定の指標とした「7GW-2 孔」と、取水路の地下水位設定の指標とした「7GW-1 孔」の 2 孔に関し、地下水位観測記録における地下水排水設備の影響を分析する。

(a) 常設代替交流電源設備基礎（7GW-2 孔）に関する地下水排水設備の影響分析

常設代替交流電源設備基礎の地下水位は、施設近傍に設置した 7GW-2 孔の観測最高地下水位 T. M. S. L. 6. 98m に基づき、保守的に T. M. S. L. 8. 0m としている。

地下水排水設備と地下水位観測孔（7GW-2 孔、MW-2 孔）の位置関係を図 3-4 に示す。同図より、7GW-2 孔の近傍には、地下水排水設備から十分に離れた位置に MW-2 孔が存在する。MW-2 孔と 7GW-2 孔は敷地南側に設置されており、前述 2. 1 のとおり、敷地南側の地下水は東側から西側に流下していると想定されることから、両孔の地下水位観測記録を比較し、地下水排水設備の影響を分析する。

7GW-2 孔と MW-2 孔の地下水位経時変化を図 3-5 に示す。これより、両孔の地下水位変化の傾向が同じことから、7GW-2 孔には地下水排水設備の影響はないと考えられる。

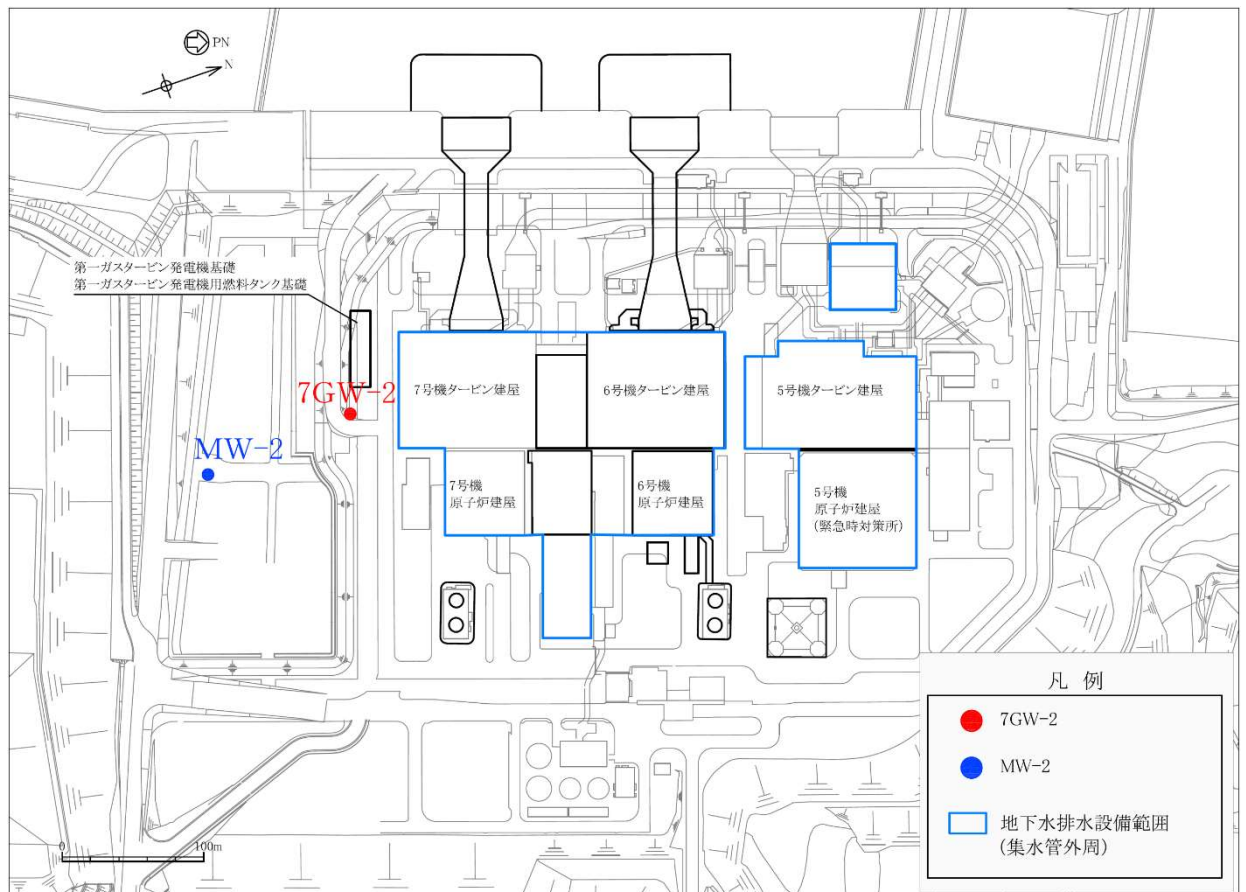
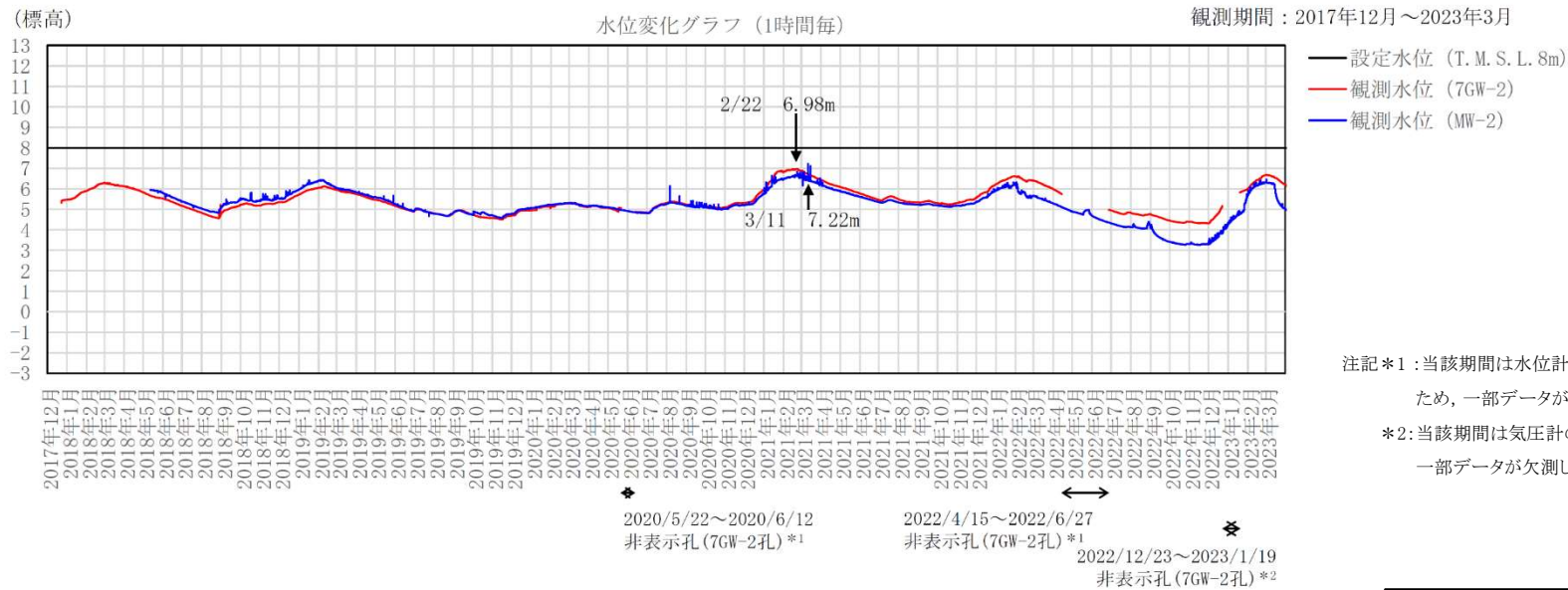


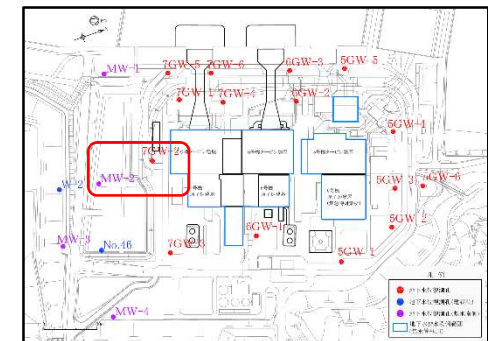
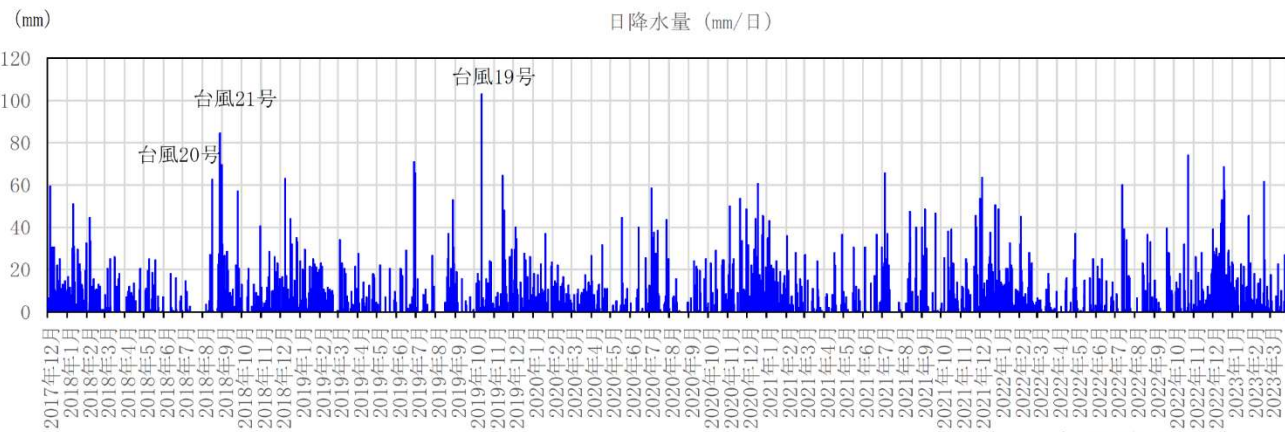
図 3-4 地下水排水設備と地下水位観測孔（7GW-2 孔、MW-2 孔）の位置関係



注記\*1：当該期間は水位計の測定深度を調整した

ため、一部データが欠測している。

\*2：当該期間は気圧計の計器取替えを行ったため、一部データが欠測している。



観測孔位置図

図 3-5 7GW-2 孔と MW-2 孔の地下水観測記録の比較

(b) 取水路（7GW-1 孔）に関する地下水排水設備の影響分析

取水路は水路軸方向に地下水位が変化することを踏まえ、7号機の取水路の近傍に設置した7GW-1孔の観測最高水位 T.M.S.L. 3.77m に基づき、表 3-1 及び図 3-6 に示すように、ブロック毎に耐震評価に用いる地下水位を T.M.S.L. 3.0~8.0m に設定する。

なお、6号機の取水路の地下水位は、7号機の地下水位と比べて低いが、6号機の耐震評価に用いる地下水位は、保守的に7号機と同じ地下水位を設定する。

表 3-1 取水路の地下水位設定

| 施設            | 区分  | ブロック番号    | 設計地下水位<br>T.M.S.L. (m) | 備考                           |
|---------------|-----|-----------|------------------------|------------------------------|
| 6, 7号機<br>取水路 | 漸縮部 | ②         | 3.0 (3.0)              | 地表面に設定                       |
|               |     | ③         |                        |                              |
|               | 一般部 | ④         | 3.0~5.0 (5.0)          | 近傍観測孔の観測<br>記録に基づき保守<br>的に設定 |
|               |     | ⑤         |                        |                              |
|               |     | ⑥         |                        |                              |
|               |     | ⑦         |                        |                              |
|               |     | ⑧         |                        |                              |
|               | 漸拡部 | ⑨         | 5.0~8.0 (8.0)          |                              |
|               |     | ⑩         |                        |                              |
|               |     | ⑪         |                        |                              |
|               |     | ⑫         |                        |                              |
| 補機冷却用海水取水路    | —   | 8.0 (8.0) |                        |                              |

注：( ) 内の数値は、構造物の浮上り評価で用いる地下水位

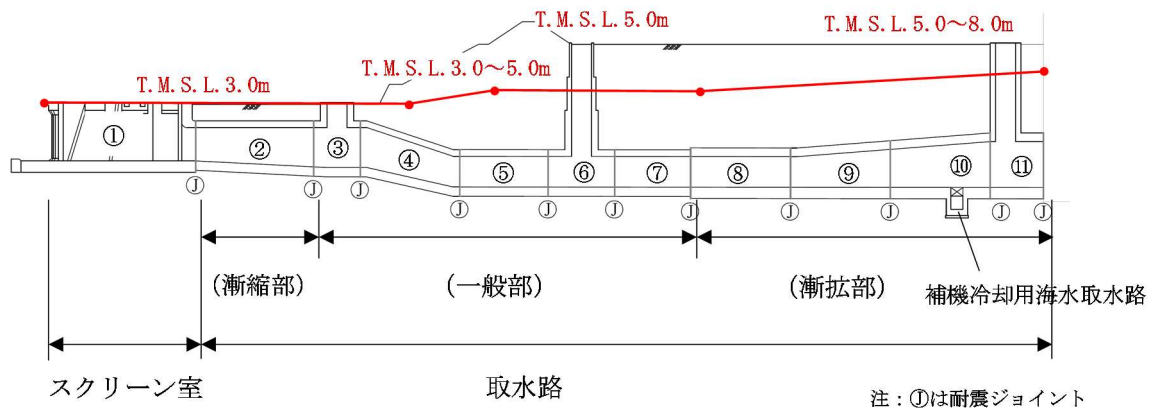


図 3-6 取水路の地下水位設定の概要図

地下水排水設備と地下水位観測孔（7GW-1 孔，7GW-5 孔）の位置関係を図 3-7 に示す。なお，7GW-1 孔及び 7GW-5 孔は海に近い位置にあることから，潮位\*も併せて示す。7GW-1 孔の近傍には，地下水排水設備から十分に離れた位置に 7GW-5 孔が存在する。7GW-5 孔は 7GW-1 孔よりも下流側に位置していることから，両孔の地下水位観測記録を比較し，地下水排水設備の影響を分析する。

7GW-1 孔と 7GW-5 孔の地下水位経時変化を図 3-8 に示す。両孔の地下水位標高及び地下水位傾向はほぼ重なっているが，7GW-1 孔の地下水位標高が 7GW-5 孔よりも低くなる時期も認められる。両孔の水位差が生じた時期（2018 年 4 月～7 月）は，近傍で地盤改良工事が実施されており，この時の工事揚水が影響した可能性があるものの，地下水排水設備による影響も否定できない。潮位の影響に関しては，潮位と地下水位との間に相関性は認められないことから，潮位変動が地下水位に与える影響は限定的であると考えられる。

一方，耐震評価に用いる地下水位（T. M. S. L. 5. 0m）に対しては，7GW-1 孔の最高観測水位（T. M. S. L. 3. 77m）に，7GW-1 孔と 7GW-5 孔との最大水位差 1. 02m を加算した場合でも設定水位以下（T. M. S. L. 4. 79m）であることから，耐震評価に用いる地下水位は妥当であると考えられる。

注記\*：潮位は，柏崎市の天文潮位を示す。（気象庁 潮位表 柏崎（KASHIWAZAKI）より引用）

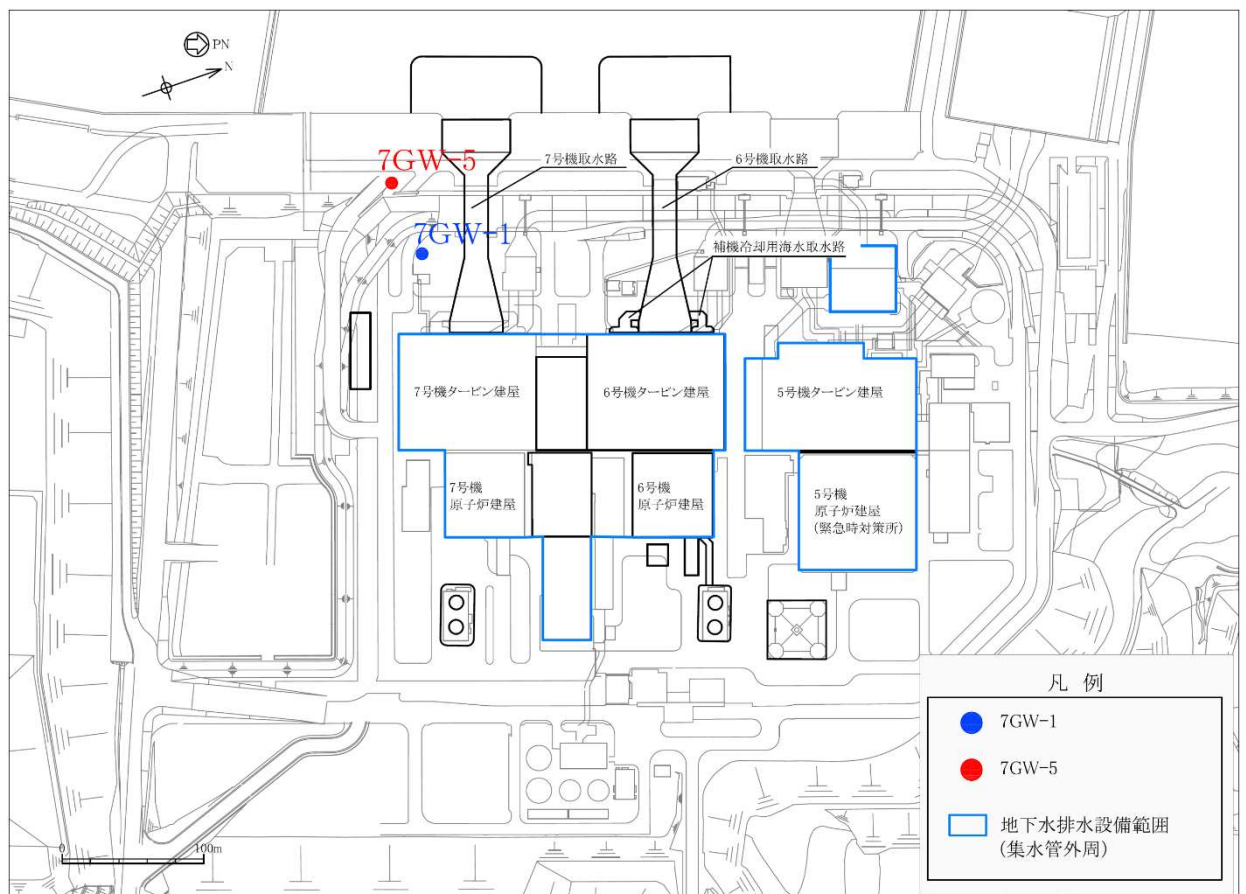
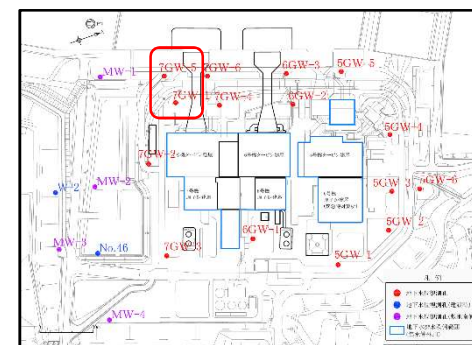
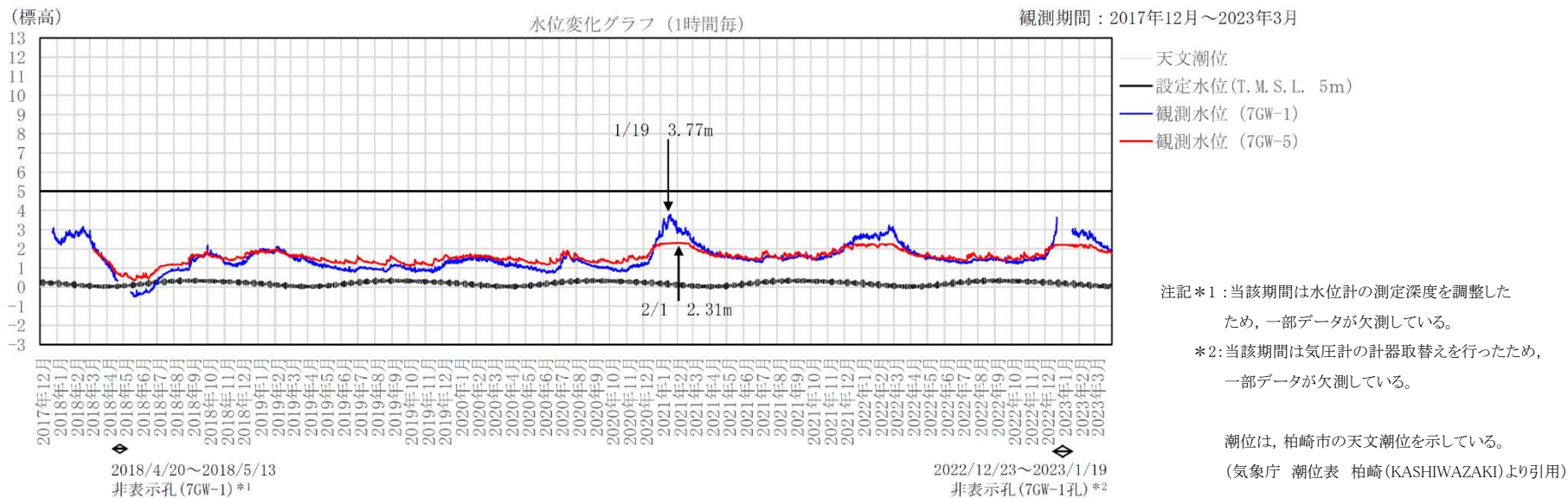


図 3-7 地下水排水設備と地下水位観測孔（7GW-1 孔，7GW-5 孔）の位置関係



(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)

図 3-8 7GW-1 孔と 7GW-5 孔の地下水位観測記録の比較

b. 地下水排水設備の揚水実績に基づく地下水位低下量の評価

地下水排水設備の揚水実績に基づき、近傍の地下水位観測孔における地下水位の低下量を簡易な算定方法により求め、地下水排水設備の影響を定量的に評価する。地下水排水設備の揚水範囲の概念図を図 3-9 に示す。

地下水排水設備の揚水実績に基づく地下水位低下量  $\Delta H$  の算定方法を下記に示す。

- ① 地下水位観測孔の近傍に位置する地下水排水設備のサブドレンピット (7T-6) に着目する。地下水は集水管を通してサブドレンピットに流入した後、揚水されることから、揚水範囲はサブドレンピットを中心とする同心円状の範囲と仮定する。ただし、地下水排水設備による揚水範囲は、建屋とラップする範囲を除く範囲とする。よって、揚水面積  $A$  ( $m^2$ ) は、(式 1) により求められる。

$$A = R^2 \times \pi - A_T \quad (\text{式 1})$$

ここで、

$R$  : サブドレンポンプ (7T-6) と地下水位観測孔 (7GW-1, 7GW-2) までの距離 (m)

$A_T$  : 建屋とラップする面積 (円の 4 分の 1 とする)

- ② 揚水面積  $A$  ( $m^2$ ) とサブドレンピット (7T-6) の揚水実績  $Q$  ( $m^3$ /日) より、単位面積あたりの揚水量  $Q_e$  (m/日) を(式 2) により算定する。なお、揚水実績  $Q$  ( $m^3$ /日) は平成 20 年度から平成 31 年度までのサブドレンピット (7T-6) における揚水実績値の最大値とする。

$$Q_e = Q \div A \quad (\text{式 2})$$

- ③ 飽和状態の土中の間隙から流出した地下水の体積量に応じて地盤の地下水位が低下するとした場合、単位面積あたりの揚水量  $Q_e$  (m/日) を土中に占める間隙水の割合を示す間隙率  $n^*$  で除すことにより、地下水位観測孔における日あたりの地下水位低下量  $\Delta H$  (m/日) を(式 3) により算定する。

$$\Delta H = Q_e \div n \quad (\text{式 3})$$

地下水排水設備の揚水実績に基づく地下水位観測孔 (7GW-1, 7GW-2) における地下水位低下量  $\Delta H$  の算定結果を表 3-2 に示す。これより、地下水排水設備の揚水実績から算定した日あたりの地下水位低下量  $\Delta H$  は 0.01 (m/日) と評価されることから、地下水排水設備の揚水が地下水位観測孔に与える影響はないと評価できる。



注記\* : 土は、空気、水、土粒子の三相で構成されている。空気と水が占める部分は「間隙」と呼ばれる。間隙率 $n$ は全体の体積 $V$ に対する間隙の体積 ( $V_v = V_a + V_w$ ) の比率を表し、 $n = V_v / V$ で定義される。本検討では、地下水水位以深の地盤の状態は飽和状態であることから、空気の体積 $V_a$ は0とし、 $n = V_w / V$ とする。

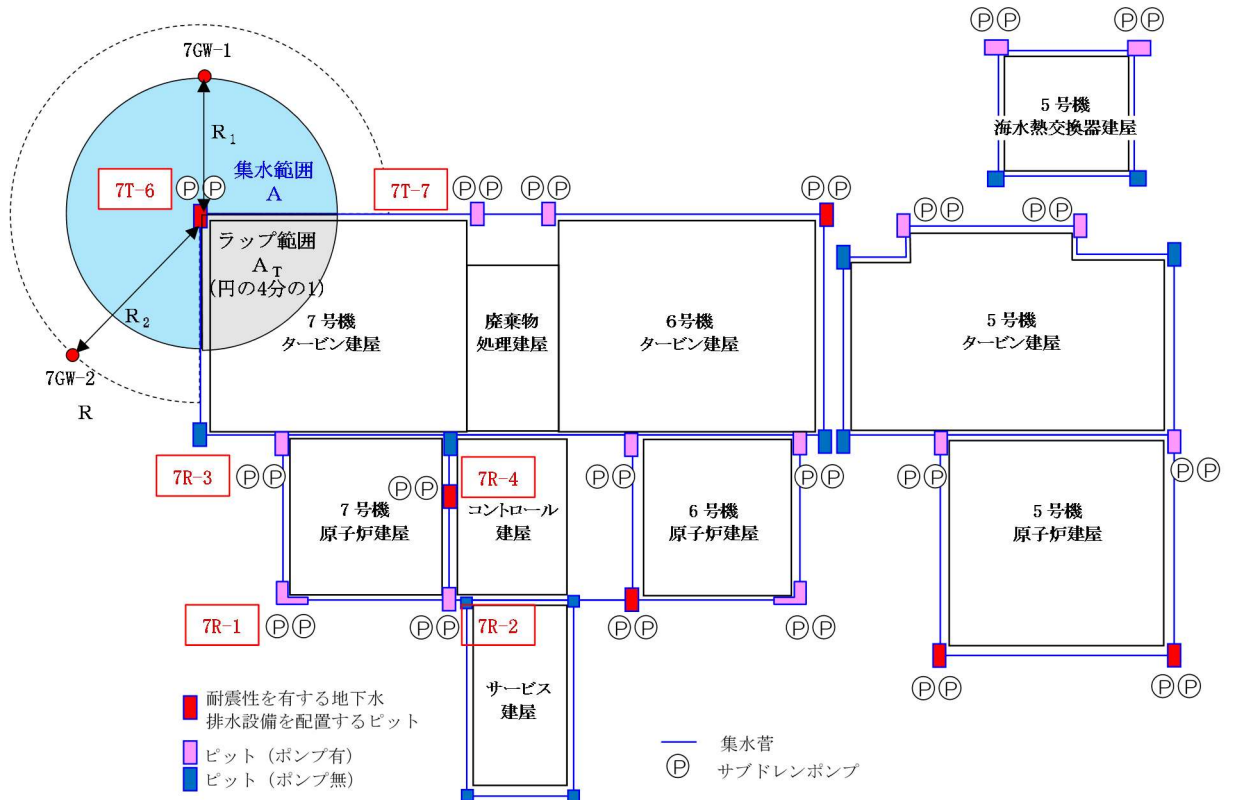


図 3-9 地下水排水設備の揚水範囲の概念図

表 3-2 地下水排水設備の揚水実績に基づく地下水位低下量  $\Delta H$  の算定結果

|              | 項 目                 | 取水路            |                      | 常設代替交流電源設備     |                      | 備 考                                 |
|--------------|---------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|-------------------------------------|
| 対象           | 地下水位孔               | 7GW-1          |                      | 7GW-2          |                      |                                     |
|              | サブドレンピット            | 7T-6           |                      | 7T-6           |                      |                                     |
| 条件           | 地下水排水設備の揚水面積        | A              | 8202 m <sup>2</sup>  | A              | 10577 m <sup>2</sup> | $A = R^2 \times \pi - A_T$          |
|              | 建屋ラップ面積             | A <sub>T</sub> | 2733 m <sup>2</sup>  | A <sub>T</sub> | 3525 m <sup>2</sup>  | $A_T = (1/4) \times R^2 \times \pi$ |
|              | サブドレンピットと地下水位孔までの距離 | R <sub>1</sub> | 59 m                 | R <sub>2</sub> | 67 m                 |                                     |
|              | 日あたりの揚水量            | Q              | 45 m <sup>2</sup> /日 | Q              | 45 m <sup>2</sup> /日 | H20~H30年度実績の最大値                     |
|              | 単位面積あたりの揚水量         | Q <sub>e</sub> | 0.005 m/日            | Q <sub>e</sub> | 0.004 m/日            | $Q_e = Q \div A$                    |
|              | 土の間隙率               | n              | 0.45                 | n              | 0.45                 | 埋戻土                                 |
| 日あたりの地下水位低下量 |                     | $\Delta H$     | 0.01 m/日             | $\Delta H$     | 0.01 m/日             | $\Delta H = Q_e \div n$             |

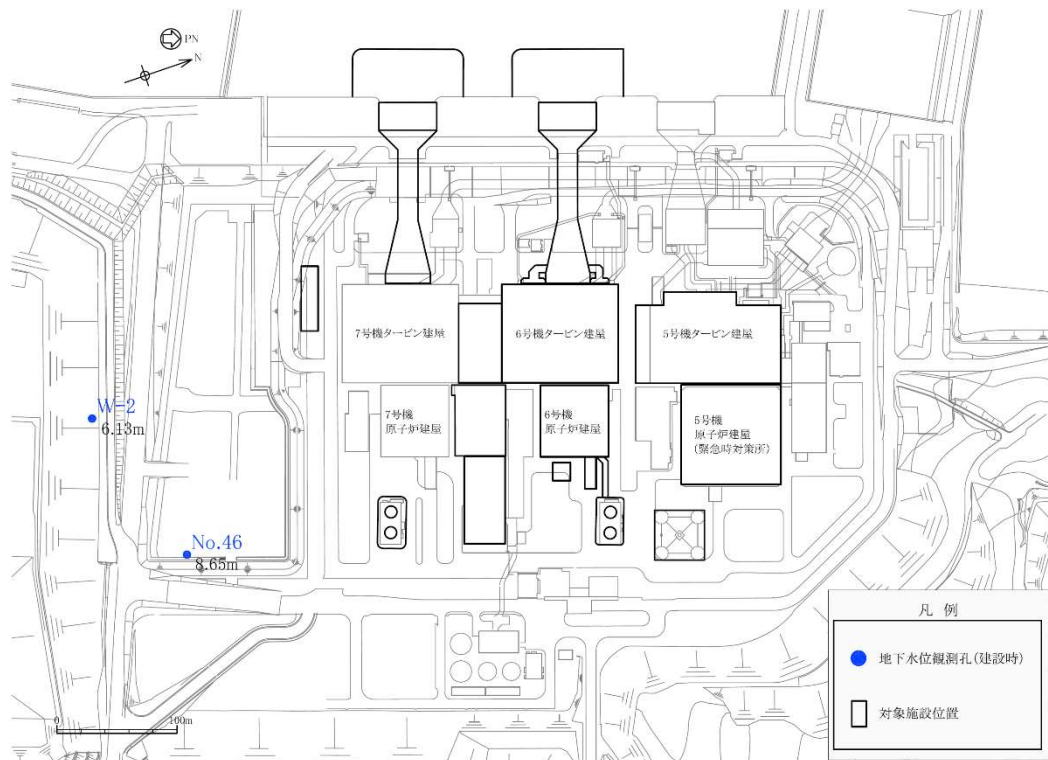
c. 建設時の地下水位変動とその要因

建設時に設置されていた地下水位観測孔（No. 46 孔及び W-2 孔）の位置図を、図 3-10 に示す。また、建設時の地下水位を図 3-11 に示す。図 3-11 には、地下水位に影響を与える可能性のあるイベント（5 号機～7 号機の本館基礎掘削等）の実施時期も併せて示す。なお、No. 46 孔及び W-2 孔は、現在両孔とも撤去されている。

敷地南側に設置されていた No. 46 孔については、1988～1994 年度（欠測期間のある 1991 年度を除く）の期間において、平均地下水位 T. M. S. L. 7.3m であり、T. M. S. L. 5.2～8.7m の幅で水位変動があるが、季節変動以外の長期的な水位変動は認められない。なお、No. 46 孔の設置場所（軽油タンク（7 号機設備）基礎近傍）では、工事計画認可申請における耐震評価の地下水位は、地表面に設定されている。

中央土捨場の斜面に設置されていた W-2 孔については、1988～1990 年度までは、平均地下水位は T. M. S. L. 2.5m であったが、1991 年頃を境として、平均地下水位が 5.2m となり、地下水位の傾向が変化している。この地下水位変化の要因としては、図 3-12 に示すように、敷地南側に砂取り場として掘削していた場所での盛立てが行われていること、また、同時期における中央土捨場の法面整備に伴って W-2 孔の設置標高も変わっており\*、このことから、周辺の土地造成に伴って、地下水の流動場が変化した可能性が考えられる。

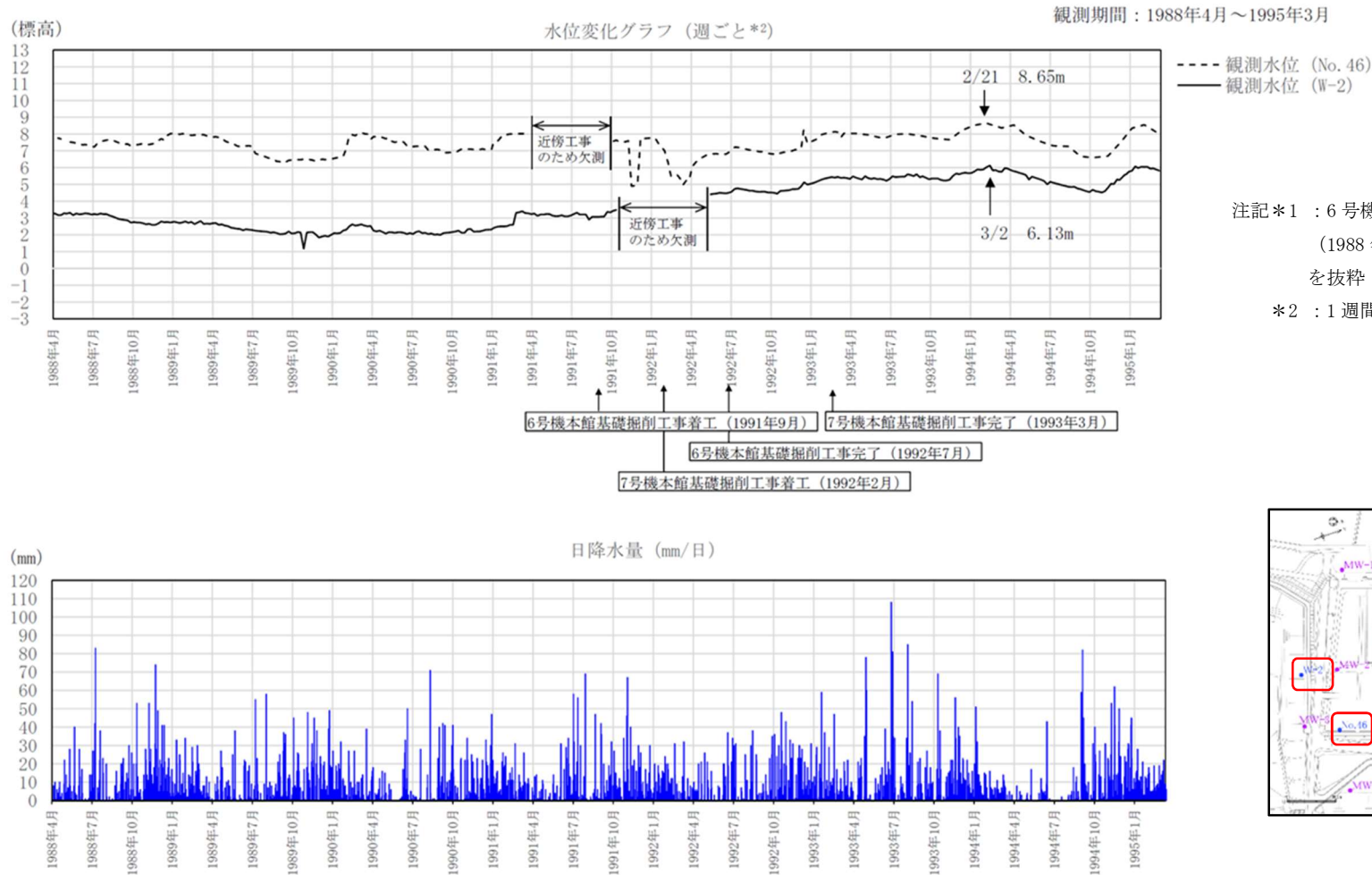
注記\* : 中央土捨場の造成に伴い、W-2 観測孔の地表面標高は、(1991 年) T. M. S. L. 17.7m から (1993 年) T. M. S. L. 9.6m に変化



注： 図中の数値は、各地下水位観測孔の観測最高地下水位の標高（T. M. S. L.）を示す。

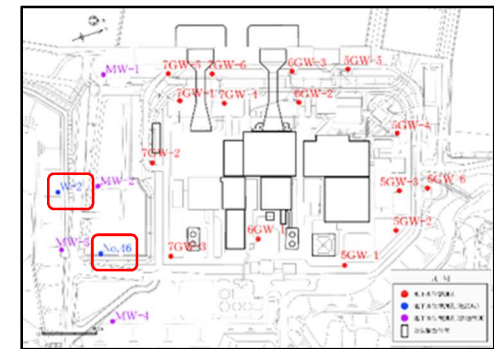
図 3-10 建設時の観測孔（No. 46 孔, W-2 孔）の観測位置図

○建設時の観測データ\*1



注記\*1：6号機本館基礎開始前後の計測期間  
(1988年4月～1995年3月)の記録  
を抜粋

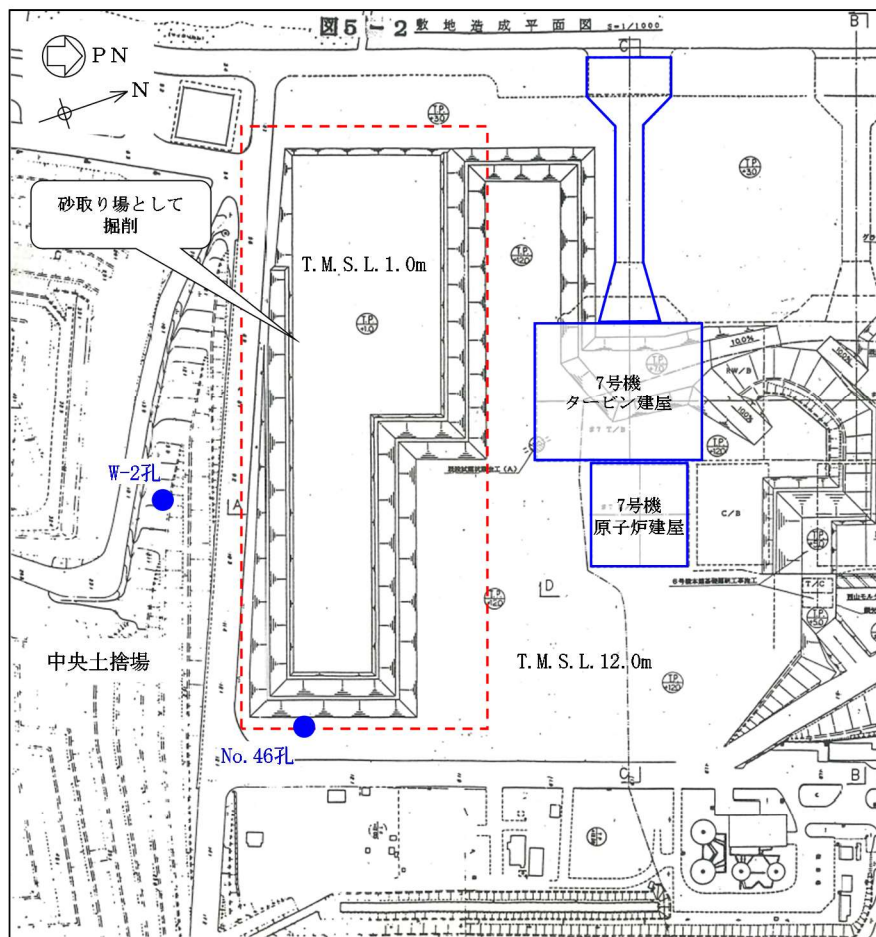
\*2：1週間ごとの記録



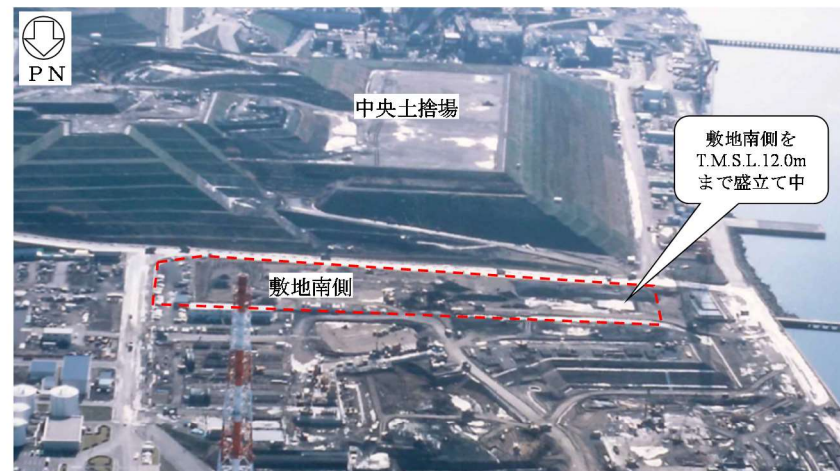
観測孔位置図

(気象庁アメダス柏崎観測所の降水量データを引用)

図 3-11 建設時の地下水位観測記録と降水量データ (図 1-10 の再掲)



敷地造成 平面図 (盛立て前)



1991 (平成3年) 年11月7日撮影



1992 (平成4年) 年6月2日撮影

図 3-12 建設時の敷地南側の状況

(2) 自然要因の考慮

a. 柏崎地点の観測期間における降雨分析

気象庁アメダスの観測記録に基づき、柏崎地点における平年値（1991年～2020年の30年間の平均値）と敷地内の地下水位の観測期間（2022年度）との降水量を比較した。柏崎地点における平年値と2022年度の降水量の比較結果を図3-13に示す。

グラフより、2022年度は12月に平年を上回る降水があったことが確認できるが、「1. 地下水位観測データ」に示した通り、観測水位が設定水位を上回ることはいないことを確認した。

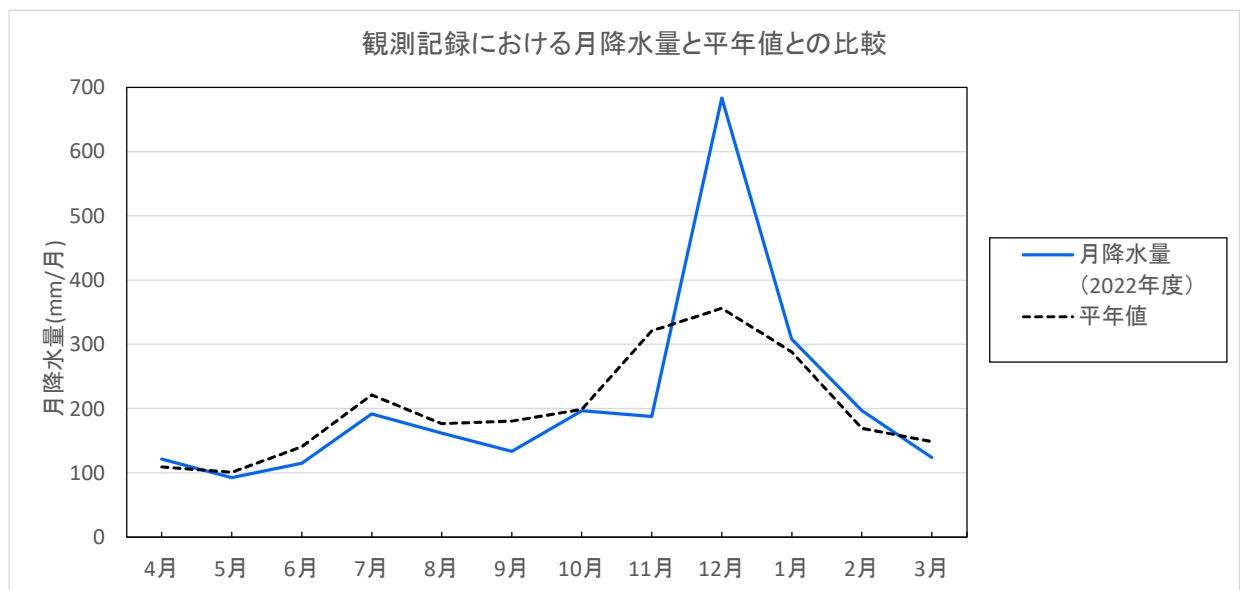


図 3-13 柏崎地点における平年値と2022年度の降水量の比較結果

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 $0.38\text{m} \div 0.40\text{m}$ 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、<br>1991年以降との水位傾向が<br>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<br>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基礎及び取水路)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。なお、取水路については図1-3に示すとおり、7号機設備周辺の地下水位が6号機設備周辺の地下水位を常時上回っていることから、7号機設備に対して検討を行う。

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基礎(T.M.S.L. 8.0m)の地下水位設定

図3-14に、常設代替交流電源設備基礎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基礎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「1.72m」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。

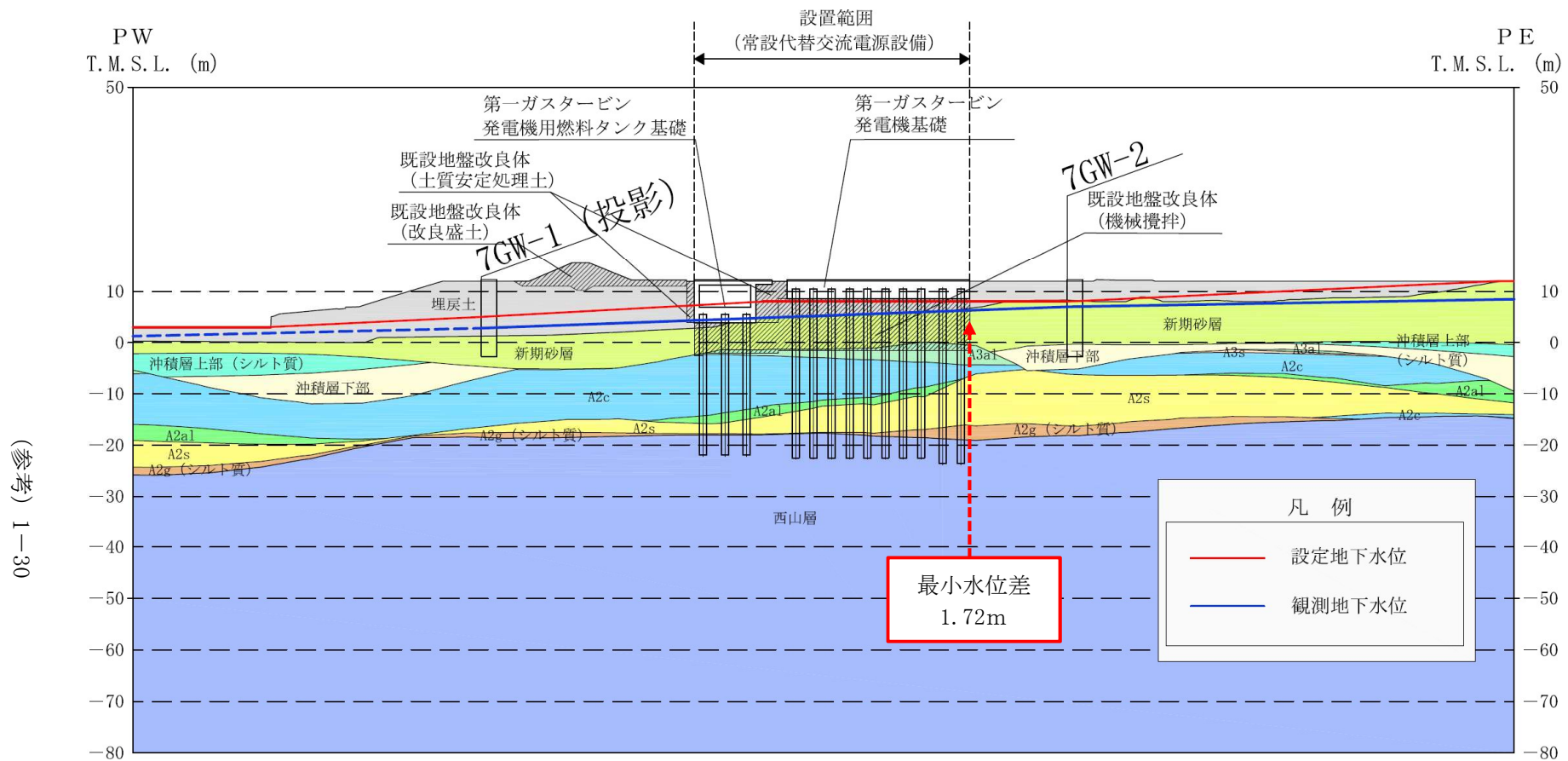
(b) 取水路(T.M.S.L. 3.0~8.0m)の地下水位設定

図3-15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「1.23m」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。

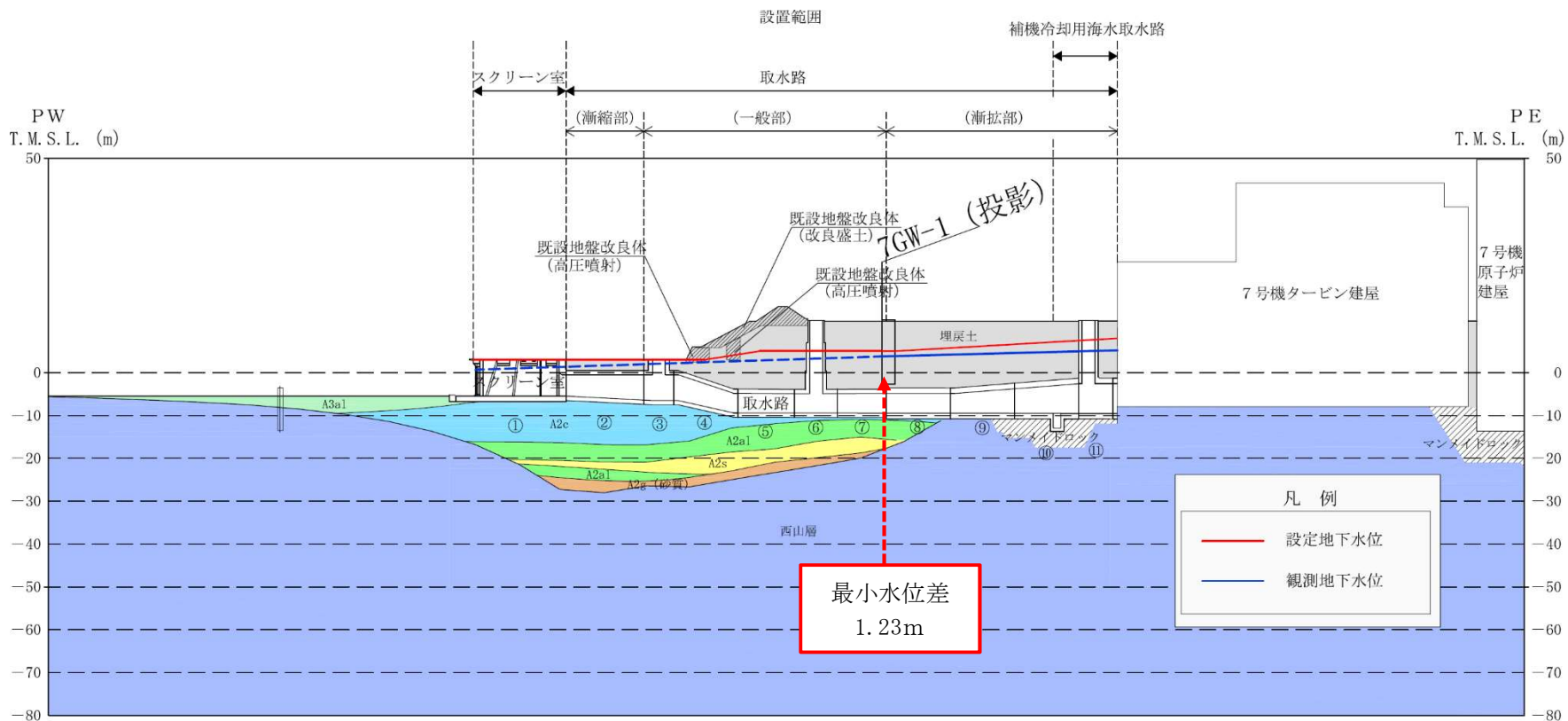
以上より、耐震評価に用いる地下水位は、観測記録に基づき変動要因を考慮した保守的な設定であると判断できる。





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基礎の設置範囲における地下水位の余裕が最も小さい日時（2021年2月22日20:00）のデータ

図 3-14 常設代替交流電源設備基礎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(①~⑪)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(2021年1月19日0:00)のデータ

図 3-15 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基礎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<br>(近傍観測孔)             | 耐震評価における<br>地下水位           | 施設位置における<br>最小水位差*<br>(必要裕度) |
|------------|------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 建物・<br>構築物 | 大物搬入建屋<br>格納容器圧力逃がし装置基礎                              | T. M. S. L. 10.60m<br>(6GW-1) | T. M. S. L. 12.0m<br>(地表面) | —                            |
|            | 5号機 主排気筒                                             | T. M. S. L. 9.80m<br>(5GW-1)  | T. M. S. L. 12.0m<br>(地表面) | —                            |
| 土木<br>構造物  | 6, 7号機取水護岸                                           | T. M. S. L. 2.50m             | T. M. S. L. 3.0m           | —                            |
|            | 6, 7号機スクリーン室                                         | (7GW-6)                       | (地表面)                      | —                            |
|            | 6, 7号機取水路<br>補機冷却用海水取水路                              | T. M. S. L. 3.77m<br>(7GW-1)  | T. M. S. L. 3.0m~8.0m      | 1.23m<br>(0.40m)             |
|            | 常設代替交流電源設備基礎<br>(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. 6.98m<br>(7GW-2)  | T. M. S. L. 8.0m           | 1.72m<br>(0.40m)             |
|            | 6, 7号機軽油タンク基礎                                        | T. M. S. L. 10.60m<br>(6GW-1) | T. M. S. L. 12.0m<br>(地表面) | —                            |
|            | 燃料移送系配管ダクト<br>非常用ディーゼル発電設備燃料移送<br>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

解析用物性値の代用の考え方は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂 1） 資料 1 地盤の支持性能について」の「(参考資料 2) 解析用物性値の代用の考え方」による。

(参考資料 3) 液状化強度試験の詳細について

液状化強度試験の詳細については、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）(KK7 補足-024 改訂 1) 資料 1 地盤の支持性能について」の「(参考資料 3) 液状化強度試験の詳細について」による。

(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

地震応答解析にて考慮する地盤物性のばらつきは、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1） 資料1 地盤の支持性能について」の「(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」による。

(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

有効応力解析に用いる解析用物性値の適用性については、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1） 資料1 地盤の支持性能について」の「(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」による。

(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

地盤改良体の概要は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7補足-024改訂1）資料1 地盤の支持性能について」の「(参考資料6) 地盤改良体における補足」のうち「1. 地盤改良体の概要」による。

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のうち、本設計及び工事計画認可申請（以下「本工認」という。）にて新たに申請対象となる構造物を赤枠で示す。また、7号工認以降に新たに設置される地盤改良体については水色ハッチングで示す。本工認にて新たに申請対象となる構造物周辺の地盤改良体のうち、水色ハッチングを付けていない地盤改良体は、7号工認対象設備周辺の地盤改良体として、7号工認にて説明した地盤改良体である。具体的には、大物搬入建屋及び燃料移送系配管ダクト周辺の既設地盤改良体（置換工法（CD掘削工法）及び高圧噴射攪拌工法）は、軽油タンク基礎周辺の既設地盤改良体（置換工法（CD掘削工法）及び高圧噴射攪拌工法）と同一のものである。補機冷却用海水取水路周辺の新設地盤改良体（高圧噴射攪拌工法）は、取水路及び7号機取水路周辺の新設地盤改良体（高圧噴射攪拌工法）と同一のものである。

なお本資料では、本工認にて新たに申請対象となる構造物周辺の地盤改良体及び7号工認以降に新たに設置される地盤改良体について示す。その他の地盤改良体についての説明は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7補足-024改訂1）資料1 地盤の支持性能について」の「(参考資料6) 地盤改良体における補足」による。

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、本工認においては、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の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。

対象となる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。

地盤改良体については、7号工認と同様、2018年12月時点で竣工済みのものを「既設地盤改良体」、2019年1月以降に施工若しくは計画中のものを「新設地盤改良体」と称する。



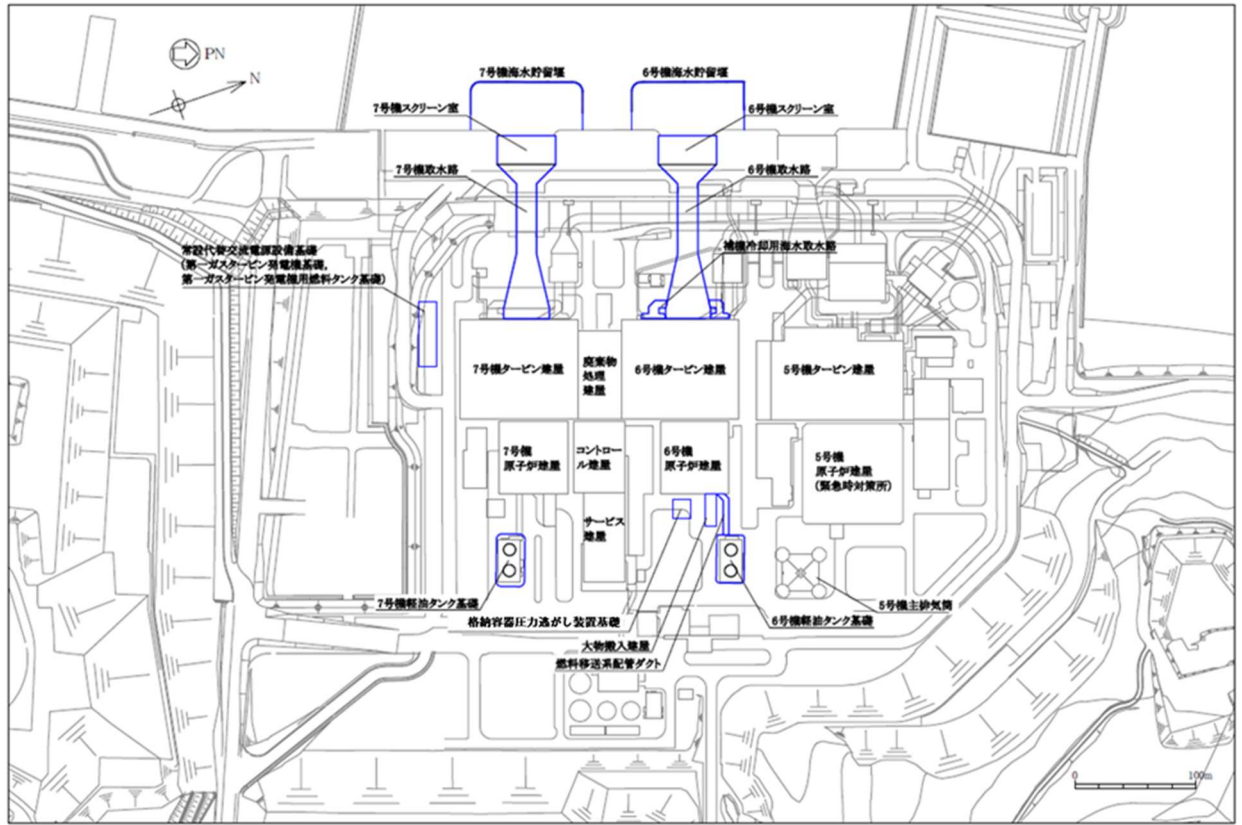


図 2-1 地盤改良体を設置する施設の平面配置図

表 2-1 地盤改良体の概要

| 対象施設           | 間接支持<br>する設備*1 | 地盤改良                  |                       |       |
|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-------|
|                |                | 既設/新設                 | 工法                    | 目的    |
| 建物・<br>構築物     | ×              | 既設                    | 置換工法 (CD 掘削工法)        | 変形抑制  |
|                |                |                       | 新設                    |       |
|                |                | 置換工法 (開削工法)           |                       |       |
|                |                | 高圧噴射攪拌工法              |                       |       |
|                |                | 新設                    | 無筋コンクリート (CD 掘削工法)    |       |
| 置換工法 (CD 掘削工法) | 変形抑制           |                       |                       |       |
| ○              |                | 新設                    | 置換工法 (開削工法)           |       |
|                | 置換工法 (CD 掘削工法) |                       |                       |       |
| 土木<br>構造物      | ×              | 既設                    | 高圧噴射攪拌工法              | 変形抑制  |
|                |                | 新設                    | 高圧噴射攪拌工法              |       |
|                | ×              | 新設                    | 高圧噴射攪拌工法              | 浮上り防止 |
|                | ×              | 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              |       |
|                | ×              | 新設                    | 無筋コンクリート (開削工法)       | 浮上り防止 |
|                |                |                       | 高圧噴射攪拌工法              |       |
|                | ○              | 既設                    | 置換工法 (CD 掘削工法)        | 変形抑制  |
|                |                |                       | 高圧噴射攪拌工法              |       |
|                |                | 新設                    | 置換工法 (開削工法)           |       |
|                |                |                       | 高圧噴射攪拌工法              |       |
|                | ○              | 既設                    | 無筋コンクリート (CD 掘削工法) *2 | 変形抑制  |
|                |                |                       | 置換工法 (CD 掘削工法)        |       |
|                |                | 新設                    | 置換工法 (開削工法) *2        |       |
| 高圧噴射攪拌工法 *2    |                |                       |                       |       |
| ×              | 新設             | 無筋コンクリート (CD 掘削工法) *2 | 浮上り防止                 |       |
|                |                | 高圧噴射攪拌工法              |                       |       |
| ×              | 新設             | 高圧噴射攪拌工法              | 浮上り防止                 |       |
|                |                | 高圧噴射攪拌工法              |                       |       |
| ×              | 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              |                       |       |
| ○              | 既設             | 置換工法 (CD 掘削工法)        | 変形抑制                  |       |
|                |                | 高圧噴射攪拌工法              |                       |       |
|                | 新設             | 置換工法 (CD 掘削工法)        |                       |       |
| 高圧噴射攪拌工法       |                |                       |                       |       |
| ○              | 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<br>設備) 堤体     |       |
| ○              | 新設             | 機械攪拌工法                | 変形抑制                  |       |

  : 本工認にて新たに申請対象となる構造物   : 7号工認以降に新たに設置される地盤改良体  
 注記\*1 : 間接支持する設備 (Cクラスを除く) の有無 : 有り (○), 無し (×)  
 \*2 : 大物搬入建屋の変形抑制として設置される新設地盤改良体と同一のものである。

## 2.1 建物・構築物

### 2.1.1 大物搬入建屋

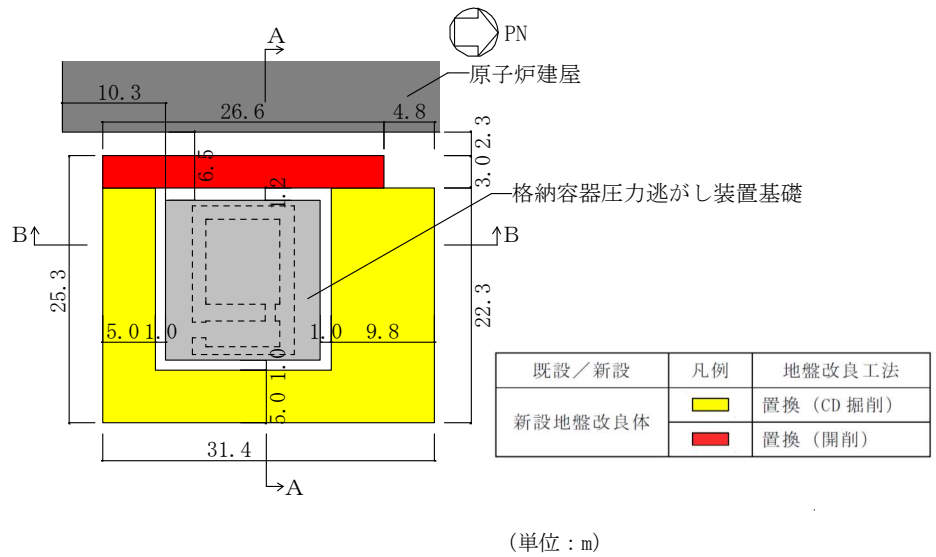
大物搬入建屋は本工認にて新たに申請対象となる構造物である。大物搬入建屋の地盤改良体の配置図を図 2-2 に示す。



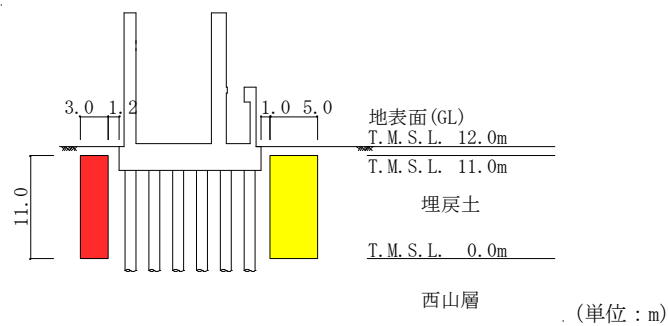
図 2-2 地盤改良体の配置図（大物搬入建屋）

## 2.1.2 格納容器圧力逃がし装置基礎

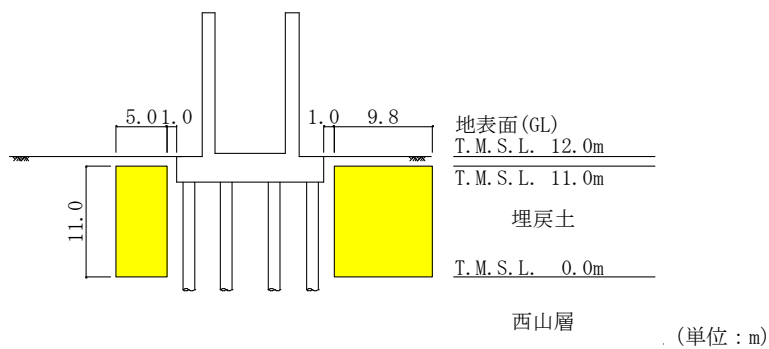
格納容器圧力逃がし装置基礎は本工認にて新たに申請対象となる構造物である。格納容器圧力逃がし装置基礎の地盤改良体の配置図を図 2-3 に示す。



(a) 平面図



(b) A-A断面図



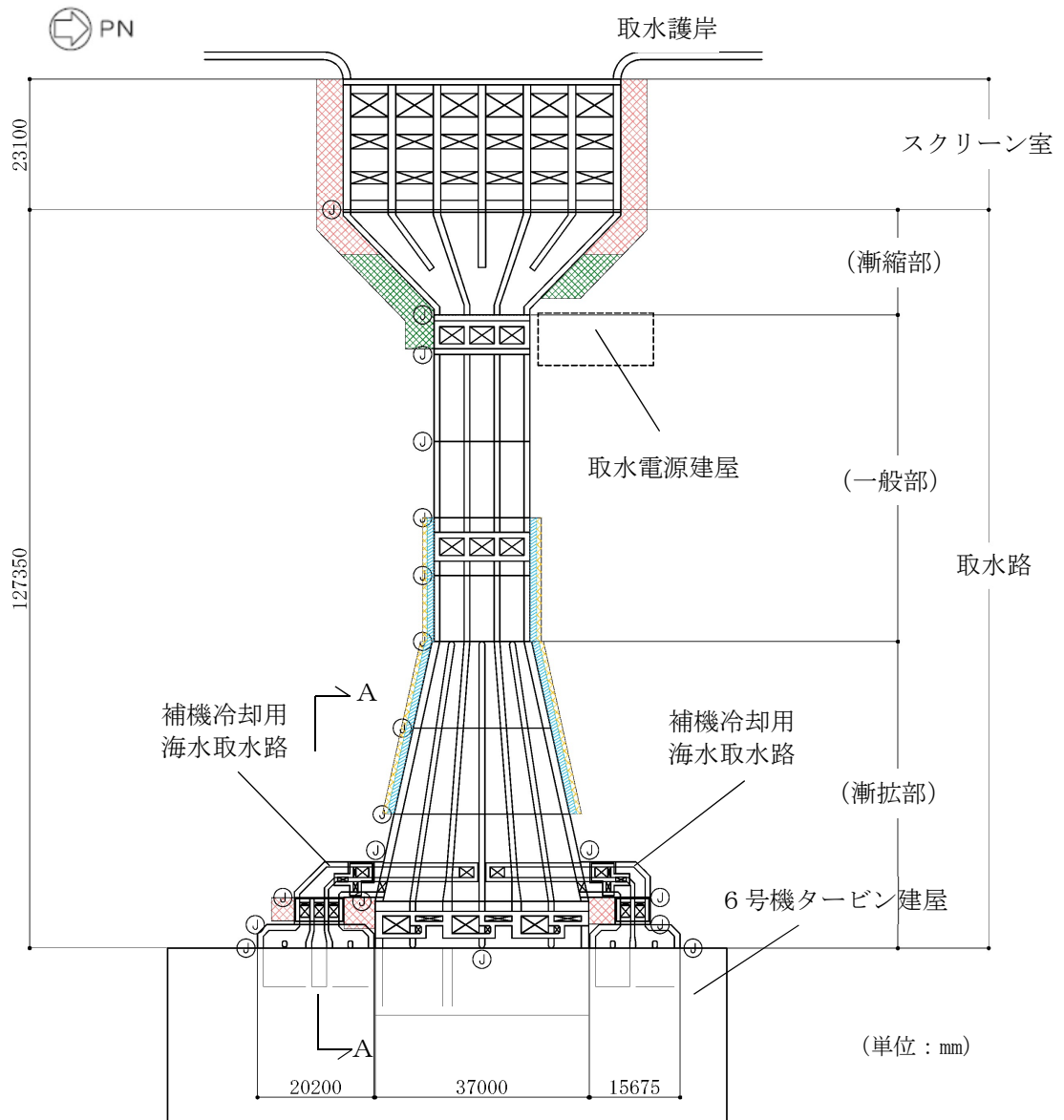
(c) B-B断面図

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

### 2.2.1 補機冷却用海水取水路

補機冷却用海水取水路は本工認にて新たに申請対象となる構造物である。補機冷却用海水取水路の地盤改良体の配置図を図 2-4 に示す。



(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, 高圧噴射又は置換(開削)を適用

図 2-4 地盤改良体の配置図(補機冷却用海水取水路)(1/2)

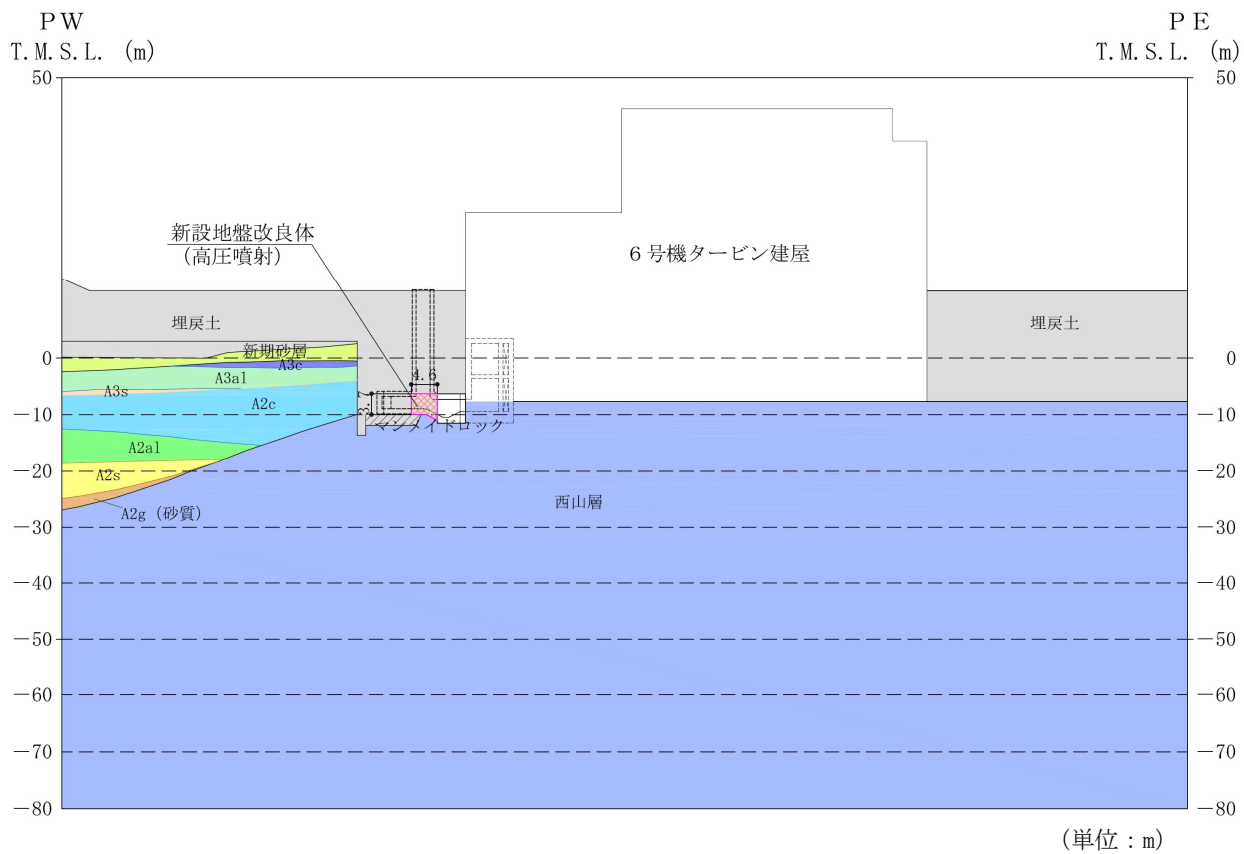


図 2-4 地盤改良体の配置図 (補機冷却用海水取水路, A-A断面) (2/2)

### 2.2.2 燃料移送系配管ダクト

燃料移送系配管ダクトは本工認にて新たに申請対象となる構造物である。燃料移送系配管ダクトの地盤改良体の配置図を図 2-5 に示す。

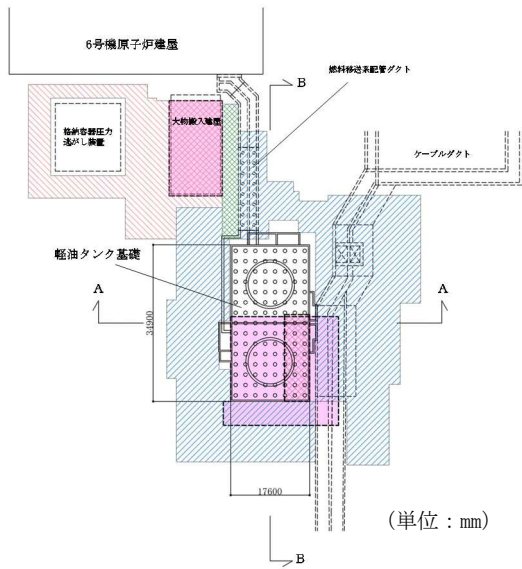


図 2-5 地盤改良体の配置図 (燃料移送系配管ダクト)

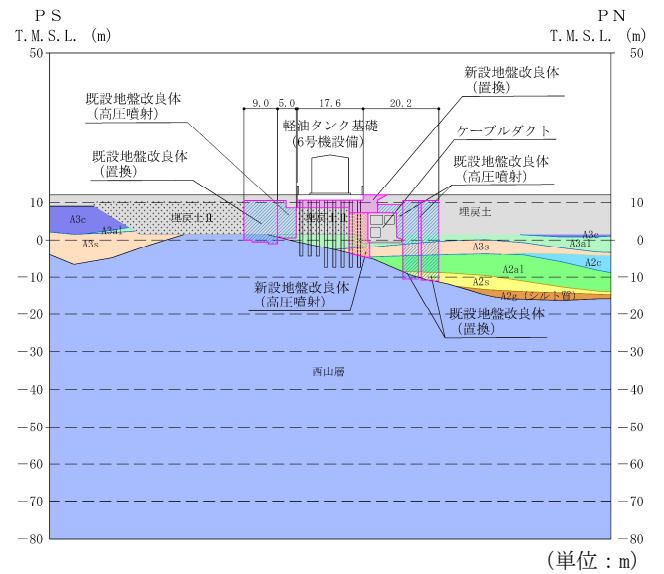
### 2.2.3 軽油タンク基礎

軽油タンク基礎は7号工認の申請対象施設であるが、7号工認からの変更点として、軽油タンク基礎南西に位置する大物搬入建屋周辺に新設地盤改良体が設置される。このうち、無筋コンクリート（CD掘削工法）については軽油タンク基礎の解析モデル化範囲に含まれる。軽油タンク基礎の地盤改良体の配置図を図2-6に示す。

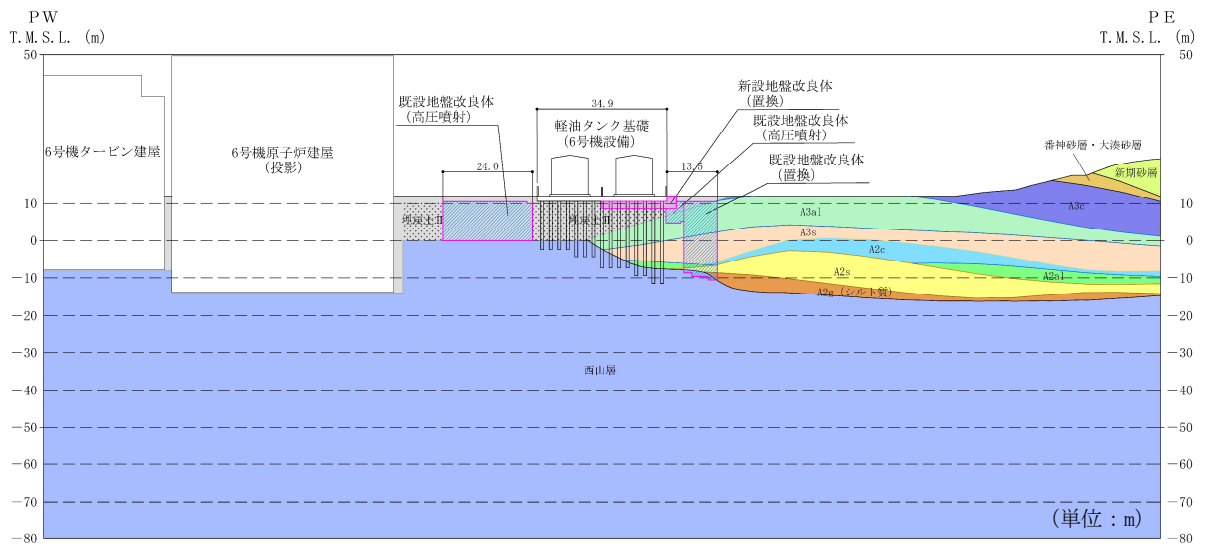




(a) 平面図



(b) A-A断面



(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)       |
|         |    | 置換 (CD掘削)       |
| 新設地盤改良体 |    | 置換 (開削)         |
|         |    | 高压喷射            |
|         |    | 無筋コンクリート (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、高压喷射を適用

図 2-6 地盤改良体の配置図 (軽油タンク基礎)

### 3. 地盤改良体のモデル化

地盤改良体のモデル化は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7補足-024改訂1）資料1 地盤の支持性能について」の「（参考資料6）地盤改良体における補足」のうち「3. 地盤改良体のモデル化」による。

### 4. 解析用物性値の設定

#### 4.1 基本方針

解析用物性値の設定における基本方針は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7補足-024改訂1）資料1 地盤の支持性能について」の「（参考資料6）地盤改良体における補足」のうち「4.1 基本方針」による。

#### 4.2 既設地盤改良体

本資料で対象とする既設地盤改良体である大物搬入建屋周辺の既設地盤改良体（置換）と、燃料移送系配管ダクト周辺の既設地盤改良体（置換，高圧噴射（粘性土））は，軽油タンク基礎周辺の既設地盤改良体（置換，高圧噴射（粘性土））と同一のものである。

これらの既設地盤改良体について，有効応力解析における解析用物性値の設定方針については7号工認にて説明した設定方針を踏襲する。詳細は，7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7補足-024改訂1）資料1 地盤の支持性能について」の「（参考資料6）地盤改良体における補足」のうち「4.2 既設地盤改良体」における「セメント改良（置換工法，高圧噴射攪拌工法）」の記載による。なお，本工認で新たに設定する全応力解析用物性値の設定方針については，本資料で説明を行う。

##### 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）

###### a. 密度 $\rho$ 及び間隙率 $n$

既設地盤改良体（セメント改良）の密度  $\rho$  と間隙率  $n$  は，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（セメント改良）の動せん断弾性係数  $G_{ma}$  は，密度  $\rho$ ，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. $G/G_0, h \sim \gamma$ 曲線

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。全応力解析の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4-1に示す。

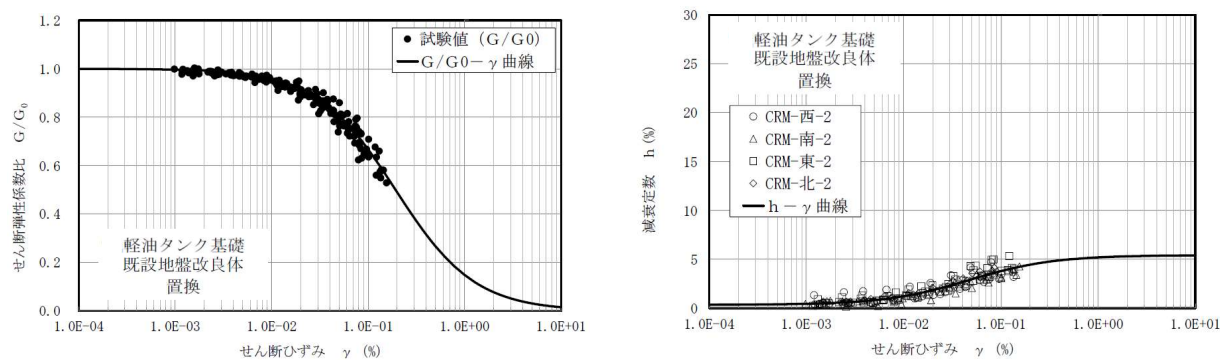


図 4-1 既設地盤改良体の動的試験結果

d. ポアソン比  $\nu$

既設地盤改良体（セメント改良）のポアソン比  $\nu$  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

4.2.2 室内試験及び原位置試験

「4.2.1 解析用物性値の設定方針（全応力解析）」に記したとおり、大物搬入建屋周辺の既設地盤改良体（置換）は、軽油タンク基礎周辺の既設地盤改良体（置換）と同一のものであり、全応力解析における解析用物性値の設定に用いた試験結果も、7号工認において当既設地盤改良体の有効応力解析における物性値を設定に用いた試験結果と同じである。

室内試験及び原位置試験の詳細については、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂 1） 資料 1 地盤の支持性能について」の「（参考資料 6）地盤改良体における補足」のうち「4.2.2 室内試験及び原位置試験」における「6号機軽油タンク基礎」周辺の既設地盤改良体「置換」の記載による。

#### 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 4-1 に、その設定根拠を表 4-2 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 4-1 既設地盤改良体の物性値（全応力解析）

| 対象施設   |                                      | 大物搬入建屋                                      |
|--------|--------------------------------------|---------------------------------------------|
| 種別     |                                      | 置換                                          |
| 物理特性   | 密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )       | 1.85                                        |
| 動の変形特性 | 初期せん断弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $3.40 \times 10^6$                          |
|        | ポアソン比 $\nu$                          | 0.319                                       |
|        | $G/G_0 - \gamma$                     | $1 / (1 + 5.74 \gamma^{1.06})$              |
|        | $h - \gamma$ (%)                     | $\gamma / (0.197 \gamma + 0.00933) + 0.337$ |

注：  $\gamma$  はせん断ひずみ (%) を示す。

表 4-2 既設地盤改良体の設定根拠（全応力解析）

| 対象施設   |                  | 大物搬入建屋     |
|--------|------------------|------------|
| 種別     |                  | 置換         |
| 物理特性   | 密度 $\rho$        | 物理試験       |
| 動の変形特性 | 初期せん断弾性係数 $G_0$  | 湿潤密度及びPS検層 |
|        | ポアソン比 $\nu$      | PS検層       |
|        | $G/G_0 - \gamma$ | 動の変形試験     |
|        | $h - \gamma$     | 動の変形試験     |

### 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，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 4-3 及び表 4-4 に示す。

表 4-3 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<br>逃がし装置基礎 | 大物搬入建屋 |      |
|--------------|----------------------------------------|-------------------|--------|------|
| 種別<br>(地盤種別) |                                        | 置換                | 高圧噴射   | 置換   |
| 設計<br>値      | 設計一軸圧縮強度 $q_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 8000              | 5000   | 8000 |
|              | 設計S波速度 $V_{sd}$ (kN/m <sup>2</sup> )   | 840               | 840    | 840  |

表 4-4 新設地盤改良体の設計値（有効応力解析）

| 対象施設         |                                        | 補機冷却用<br>海水取水路 | 燃料移送系配管ダクト |               |
|--------------|----------------------------------------|----------------|------------|---------------|
| 種別<br>(地盤種別) |                                        | 高圧噴射<br>(砂質土)  | 置換         | 高圧噴射<br>(砂質土) |
| 設計<br>値      | 設計一軸圧縮強度 $q_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 1000           | 8000       | 5000          |
|              | 設計S波速度 $V_{sd}$ (kN/m <sup>2</sup> )   | —              | 840        | 840           |

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  $\rho$ ，設計 S 波速度  $V_{sd}$  より，(式 4)に基づき初期せん断弾性係数  $G_0$  を設定する。

$$G_0 = \rho \cdot V_{sd}^2 \quad (\text{式 4})$$

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（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）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 4-2 に示す。

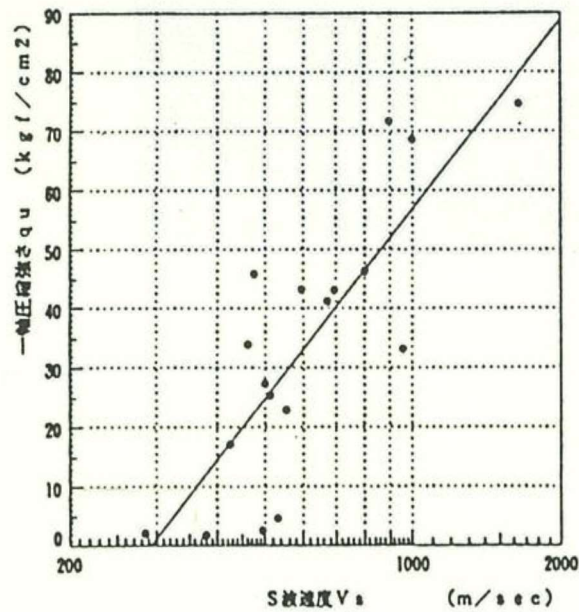


図 4-2 S波速度と  $q_u$  の関係図

(引用：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)

b. 密度  $\rho$  及び間隙率  $n$

新設地盤改良体（セメント改良）の密度  $\rho$  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 4-3 に示す。

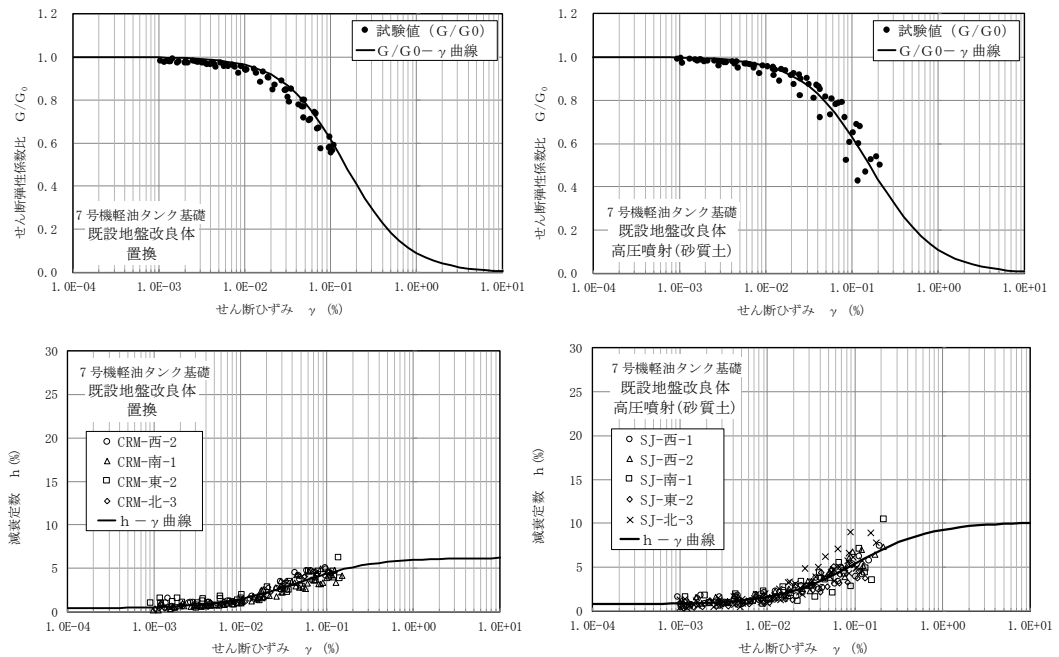


図 4-3 既設地盤改良体の動的変形試験結果  
(全応力解析の物性設定に使用)

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(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)を参考に設定する。

文献では、図 4-4 に示す結果に基づき、「減衰定数は  $1 \times 10^{-3}$  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  $1 \times 10^{-3}$  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。

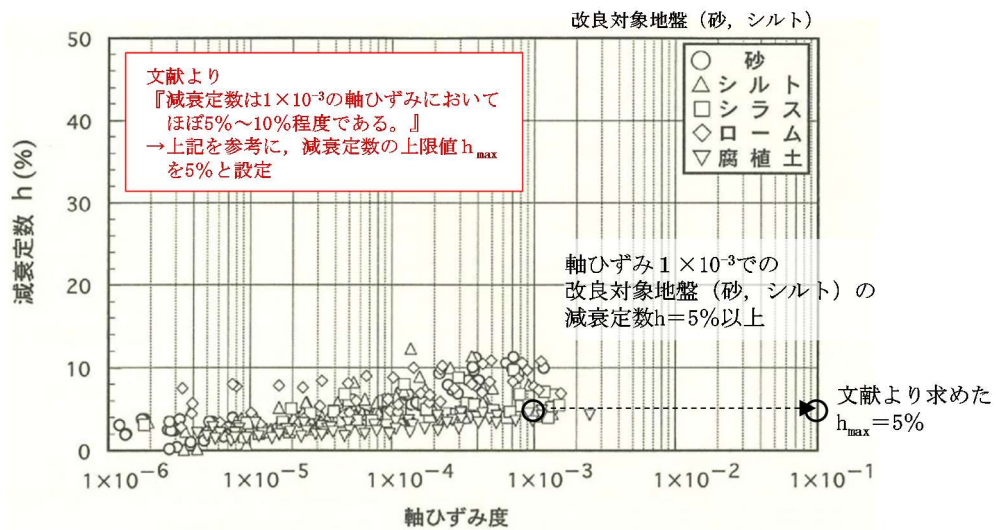


図 4-4 減衰定数のひずみ依存特性

(引用：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. ポアソン比  $\nu$

新設地盤改良体（セメント改良）のポアソン比  $\nu$  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  $\nu$  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 5）より設定する。

$$c = \frac{q_{ud}}{2} \quad (\text{式 5})$$

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. 全応力解析

全応力解析における無筋コンクリートは、鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説－許容応力度設計法－（日本建築学会，1999）（以下、「RC規準」と言う。）に基づき設定する。

(a) 初期せん断弾性係数  $G_0$

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、RC規準に基づき、表 4-5 に示すようにコンクリートの設計基準強度  $F_c$ （ $=24\text{N/mm}^2$ ）とヤング係数の関係から、(式 6)に基づき初期せん断弾性係数  $G_0$  を設定する。

$$G_0 = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{(式 6)}$$

表 4-5 コンクリートのヤング係数（全応力解析）

| 材料     | ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                  | ポアソン比 | 線膨張係数 (1/°C)       |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------|
| 鉄筋     | $2.05 \times 10^5$                                                                                          | —     | $1 \times 10^{-5}$ |
| コンクリート | $3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}}$ | 0.2   | $1 \times 10^{-5}$ |

[注]  $\gamma$ : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>) で、特に調査しない場合は表 6 の数値から 1.0 を減じたものとする。ことができる。  
 $F_c$ : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

(引用：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説－許容応力度設計法－，日本建築学会，1999)

(b) 密度  $\rho$  及び間隙率  $n$

新設地盤改良体（無筋コンクリート）の密度  $\rho$  については、RC規準に基づき設定する。RC規準に示される無筋コンクリートの密度  $\rho$  を表 4-6 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 4-6 コンクリートの密度（全応力解析）

| コンクリートの種類    | 気乾状態のコンクリートの単位容積質量 (t/m <sup>3</sup> ) | 本規準値                           |                                          |                                      |
|--------------|----------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|
|              |                                        | $F_c$ の範囲 (N/mm <sup>2</sup> ) | 採用した無筋コンクリートの単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> ) | 鉄筋コンクリートの単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> ) |
| 普通コンクリート     | 2.2~2.4                                | $F_c \leq 36$                  | 23                                       | 24                                   |
|              |                                        | $36 < F_c \leq 48$             | 23.5                                     | 24.5                                 |
|              |                                        | $48 < F_c \leq 60$             | 24                                       | 25                                   |
| 軽量コンクリート 1 種 | 1.7~2.1                                | $F_c \leq 27$                  | 19                                       | 20                                   |
|              |                                        | $27 < F_c \leq 36$             | 21                                       | 22                                   |
| 軽量コンクリート 2 種 | 1.4~1.7                                | $F_c \leq 27$                  | 17                                       | 18                                   |

$F_c$ : コンクリートの設計基準強度

(引用：鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説－許容応力度設計法－，日本建築学会，1999)

(c) ポアソン比  $\nu$

新設地盤改良体（無筋コンクリート）のポアソン比  $\nu$  については、RC 規準に基づき 0.2 として設定する。

b. 有効応力解析

有効応力解析における無筋コンクリートは、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 4-7 に示すようにコンクリートの設計基準強度  $f'_{ck}$ （ $= 24\text{N/mm}^2$ ）と変形係数  $E$  の関係から、(式 6) に基づき初期せん断弾性係数  $G_0$  を設定する。

表 4-7 コンクリートのヤング係数（有効応力解析）

| $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> ) |             | 18 | 24 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
|--------------------------------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| $E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )    | 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)

$$G_0 = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{(式 6 (再掲))}$$

(b) 密度  $\rho$  及び間隙率  $n$

新設地盤改良体（無筋コンクリート）の密度  $\rho$  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  $\rho$  を表 4-8 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 4-8 コンクリートの単位体積重量

| 材 料           | 単位重量 (kN/m <sup>3</sup> ) | 材 料                   | 単位重量 (kN/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 鋼・铸鋼・鍛鋼       | 77                        | コンクリート                | 22.5~23.0                 |
| 铸 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  $\nu$

新設地盤改良体（無筋コンクリート）のポアソン比  $\nu$  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 4-9 及び表 4-10 に、設定方針との対応を表 4-11 及び表 4-12 に示す。

表 4-9 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<br>逃がし装置基礎                        | 大物搬入建屋                                   |                                         |                    |
|----------------|--------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------|
| 種別             |                                      | 置換                                       | 置換                                       | 高圧噴射(砂質土)                               | 無筋コンクリート           |
| 物理<br>特性       | 密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )       | 1.85                                     | 1.85                                     | 1.94                                    | 2.35               |
|                | 初期せん断弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | $1.31 \times 10^6$                       | $1.31 \times 10^6$                       | $1.37 \times 10^6$                      | $9.45 \times 10^6$ |
| 動的<br>変形<br>特性 | ポアソン比 $\nu$                          | 0.302                                    | 0.302                                    | 0.333                                   | 0.200              |
|                | $G/G_0 - \nu$                        | $1/(1+10.1\gamma^{1.21})$                | $1/(1+10.1\gamma^{1.21})$                | $1/(1+6.52\gamma^{1.07})$               | -                  |
|                | $h - \gamma$ (%)                     | $\gamma/(0.172\gamma + 0.00783) + 0.401$ | $\gamma/(0.172\gamma + 0.00783) + 0.401$ | $\gamma/(0.155\gamma + 0.0121) + 0.678$ | -                  |
|                |                                      |                                          |                                          |                                         |                    |

注：  $\gamma$  はせん断ひずみ(%)を示す。

表 4-10 新設地盤改良体の物性値（有効応力解析）

| 対象施設         |                                               | 補機冷却用<br>海水取水路     | 軽油タンク基礎,<br>燃料移送系配管ダクト |                    |                    |  |
|--------------|-----------------------------------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--|
| 種別<br>(地盤種別) |                                               | 高圧噴射<br>(砂質土)      | 置換                     | 高圧噴射<br>(砂質土)      | 無筋コンク<br>リート       |  |
| 物理<br>特性     | 密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )                | 1.94               | 1.85                   | 1.94               | 2.30               |  |
|              | 間隙率 $n$                                       | 0.49               | 0.48                   | 0.49               | -                  |  |
| 変形<br>特性     | 動せん断弾性係数 $G_{ma}$ (kN/m <sup>2</sup> )        | $2.51 \times 10^5$ | $1.31 \times 10^6$     | $1.37 \times 10^6$ | $1.04 \times 10^7$ |  |
|              | 基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ma}'$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 98.0               | 98.0                   | 98.0               | -                  |  |
|              | ポアソン比 $\nu$                                   | 0.33               | 0.33                   | 0.33               | 0.2                |  |
|              | 減衰定数の上限値 $h_{max}$                            | 0.050              | 0.050                  | 0.050              | -                  |  |
| 強度<br>特性     | 粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )                  | 500                | 4000                   | 2500               | -                  |  |

表 4-11 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<br>逃がし装置基礎                 | 大物搬入建屋                            |                                     |          |
|--------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------|
| 種別     |                  | 置換                                | 置換                                | 高圧噴射<br>(砂質土)                       | 無筋コンクリート |
| 物理特性   | 密度 $\rho$        | 工法別平均値<br>に基づき設定                  | 工法別平均値<br>に基づき設定                  | 対象土層の最大値<br>に基づき設定                  | 文献*1     |
|        | 初期せん断弾性係数 $G_0$  | 設計S波速度,<br>密度に基づき設定               | 設計S波速度,<br>密度に基づき設定               | 設計S波速度,<br>密度に基づき設定                 | 文献*1     |
| 動的変形特性 | ポアソン比 $\nu$      | 7号機軽油タンク基礎の<br>置換工法の<br>実績値に基づき設定 | 7号機軽油タンク基礎の<br>置換工法の<br>実績値に基づき設定 | 軽油タンク基礎の<br>高圧噴射(砂質土)の<br>実績値に基づき設定 | 文献*1     |
|        | $G/G_0 - \gamma$ |                                   |                                   |                                     | —*2      |
|        | $h - \gamma$     |                                   |                                   |                                     |          |

注記\*1：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説「許容応力度設計法」（（社）日本建築学会，1999改定）  
\*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）

表 4-12 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         |                          | 補機冷却用<br>海水取水路              | 軽油タンク基礎,<br>燃料移送系配管ダクト |               |          |
|--------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------|----------|
| 種別<br>(地盤種別) |                          | 高圧噴射<br>(砂質土)               | 置換                     | 高圧噴射<br>(砂質土) | 無筋コンクリート |
| 物理特性         | 密度 $\rho$                | 対象土層の最大値                    | 工法別<br>平均値             | 対象土層の最大値      | 文献*1     |
|              | 間隙率 $n$                  | 工法別平均値                      |                        |               | —*2      |
| 変形特性         | 動せん断弾性係数 $G_{ma}$        | 文献*3から推定したS波速度,<br>密度に基づき設定 | 設計S波速度,<br>密度に基づき設定    |               | 文献*1     |
|              | 基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ma}'$ | 慣用値*3                       |                        |               | —*2      |
|              | ポアソン比 $\nu$              | 慣用値*3                       |                        |               | 文献*1     |
|              | 減衰定数の上限値 $h_{max}$       | 文献*4                        |                        |               | —*2      |
| 強度特性         | 粘着力 $c$                  | 設計一軸圧縮強度                    |                        |               | —*2      |

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 |
|                  |               | 置換工法（開削工法）       |       |        |
|                  |               | 高圧噴射攪拌工法         |       |        |
|                  |               | 無筋コンクリート（CD掘削工法） |       |        |
|                  | 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）       |       |        |
| 土木構造物            | 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       | 無筋コンクリート（CD掘削工法） | 変形抑制  | 強度及び剛性 |
|                  | 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 |
|                  |               | 置換工法（開削工法）       |       |        |
|                  |               | 高圧噴射攪拌工法         |       |        |
| 無筋コンクリート（CD掘削工法） |               |                  |       |        |

## 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、日本産業規格（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 5-2 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              |
|          | 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，<br>(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，<br>(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，<br>日本建築学会，2001年改定                                         | 建築基礎指針     |
| 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 | 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，<br>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)

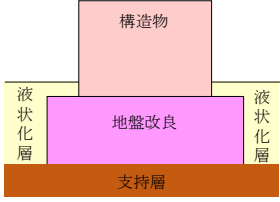
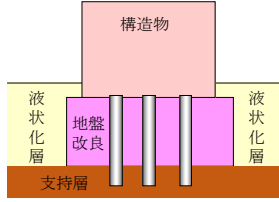
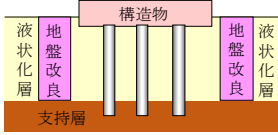
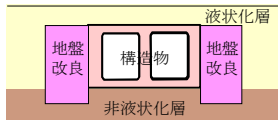
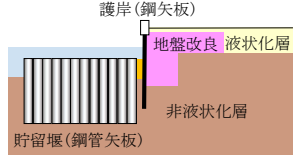
|      |                                                                                   |                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 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                                                                              |
| 適用基準 | 建築基礎指針,<br>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,<br>軽油タンク基礎,<br>燃料移送系配管ダクト                                            | 補機冷却用海水取水路                                                                           | 無し                                                                                    |
| 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                                                                            |



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<br>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<br>マニュアル | 改良土量10,000m <sup>3</sup> 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。

6. 地盤改良体におけるばらつきの考え方

地盤改良体におけるばらつきの考え方は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7補足-024改訂1）資料1地盤の支持性能について」の「(参考資料6)地盤改良体における補足」のうち「6. 地盤改良体におけるばらつきの考え方」による。

(参考資料 7) 杭基礎の支持力評価方法に関する補足

杭基礎の支持力評価方法に関する補足は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂 1） 資料 1 地盤の支持性能について」の「(参考資料 7) 杭基礎の支持力評価方法に関する補足」による。

(参考資料 8) 地質区分の詳細について

地質区分の詳細については、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂 1） 資料 1 地盤の支持性能について」の「(参考資料 8) 地質区分の詳細について」による。

(参考資料9) マンメイドロックの設計について

1. 概要

概要は、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂

1) 資料1 地盤の支持性能について」の「(参考資料9) マンメイドロックの設計について」のうち「1. 概要」による。

2. マンメイドロックの設計について

マンメイドロックの設計については、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1) 資料1 地盤の支持性能について」の「(参考資料9) マンメイドロックの設計について」のうち「2. マンメイドロックの設計について」による。

3. マンメイドロックの物性値及びその根拠

マンメイドロックの物性値及びその根拠については、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1) 資料1 地盤の支持性能について」の「(参考資料9) マンメイドロックの設計について」のうち「3. マンメイドロックの物性値及びその根拠」による。

4. 建物・構築物におけるマンメイドロックの扱いについて

建物・構築物におけるマンメイドロックの扱いについては、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1) 資料1 地盤の支持性能について」の「(参考資料9) マンメイドロックの設計について」のうち「4. 建物・構築物におけるマンメイドロックの扱いについて」による。

5. 屋外重要土木構造物におけるマンメイドロックの扱い

屋外重要土木構造物の耐震評価では、地盤と構造物の相互作用を考慮した2次元FEM解析を用いることから、マンメイドロックの形状や物性値を反映し、モデル化する。

5.1 マンメイドロックのモデル化

屋外重要土木構造物においてマンメイドロックを解析モデルに反映している施設の一覧を表5-1に示す。取水路（漸拡部）、補機冷却用海水取水路及び燃料移送系配管ダクトの一部区間については、マンメイドロックに直接支持されている。その他の施設においては、原子炉建屋やタービン建屋等の基礎地盤置き換えや埋戻材等として施工されたマンメイドロックが、施設の周辺に設置されている。

いずれの施設も、マンメイドロックは平面ひずみ要素としてモデル化する。

表 5-1 マンメイドロックを解析モデルに反映している施設一覧

| 施設                  | 地震応答解析   | モデル化    | マンメイドロックと施設との位置関係                |
|---------------------|----------|---------|----------------------------------|
| 6, 7号機 取水路          | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 | 一部区間で直接支持                        |
| 補機冷却用海水取水路          | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 | 全区間で直接支持                         |
| 6, 7号機 軽油タンク基礎      | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 | 施設から離れた位置<br>(タービン建屋・原子炉建屋) に現れる |
| 第一ガスタービン発電機基礎       | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 |                                  |
| 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 |                                  |
| 燃料移送系配管ダクト          | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 | 一部区間で直接支持                        |

## 5.2 解析用物性値

マンメイドロックの解析用物性値は、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値に基づき設定する。屋外重要土木構造物の有効応力解析に用いるマンメイドロックの解析用物性値を表 5-2 に示す。

同表に基づき、2次元FEMモデルにおけるマンメイドロックの解析用物性値は、原子炉建屋及びタービン建屋に対しての設置位置（建屋側方，建屋下）に応じて設定する。

表 5-2 マンメイドロックの解析用物性値

| 名 称      |                                               | マンメイドロック<br>(建屋側方)                                          | マンメイドロック<br>(建屋下)                          |
|----------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 対象施設     |                                               | 7号機軽油タンク基礎，6・7号機取水路，<br>常設代替交流電源設備基礎，<br>軽油タンク基礎，燃料移送系配管ダクト | 7号機軽油タンク基礎，<br>補機冷却用海水取水路，<br>常設代替交流電源設備基礎 |
| 物理<br>特性 | 密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )                | 1.75                                                        | 1.75                                       |
|          | 間隙率 $n$                                       | 0.56                                                        |                                            |
| 変形<br>特性 | 動せん断弾性係数 $G_{ms}$ (kN/m <sup>2</sup> )        | $1.91 \times 10^6$ *1                                       | $2.11 \times 10^6$ *2                      |
|          | 基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ms}'$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 98.0                                                        |                                            |
|          | ポアソン比 $\nu$                                   | 0.36                                                        |                                            |
|          | 減衰定数の上限値 $h_{max}$                            | 0.190                                                       |                                            |
| 強度<br>特性 | 粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )                  | 1840                                                        |                                            |
|          | 内部摩擦角 $\phi$ (°)                              | 0.0                                                         |                                            |

注記\*1：マンメイドロック試験結果

$$G_0 = 19460 + 414 \times P \quad (P : \text{圧密圧力 (kg/cm}^2\text{)})$$

建屋側方：P=0(kg/cm<sup>2</sup>)として、

$$G_0 = (19460 + 414 \times 0) \times 9.80665 = 190,837 \approx 1.91 \times 10^6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

\*2：\*1と同じく

建屋下：P=5(kg/cm<sup>2</sup>)として、

$$G_0 = (19460 + 414 \times 5) \times 9.80665 = 211,137 \approx 2.11 \times 10^6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

### 5.3 ばらつきの設定

屋外重要土木構造物のうち、構造物とマンメイドロックが直接接する取水路、取水路（7号機設備）、補機冷却用海水取水路及び燃料移送系配管ダクトについては、構造物の耐震評価、又は機器・配管系への応答加速度に与える影響の観点から、マンメイドロックのばらつき考慮の要否を確認する。

屋外重要土木構造物は地中埋設構造物であり、構造物の地震時の変形は、主に上載地盤から地盤構造物間の摩擦を介して作用する頂版せん断力及び側方地盤から作用する土圧によって生じ、これらの作用力は地盤のせん断弾性係数に大きく依存する。したがって、ばらつきを考慮する物性値は、地盤の初期せん断弾性係数 $G_0$ とする。

構造物の耐震評価の観点では、前述のとおり構造物の地震時の変形は主に上載地盤から作用する頂版せん断力及び側方地盤から作用する土圧によって生じることから、構造物上面又は側面のマンメイドロックの有無によりマンメイドロックのばらつき考慮の要否を判断する。

機器・配管系への応答加速度の観点では、構造物が支持するSクラス設備の有無によりマンメイドロックのばらつき考慮の要否を判断する。

マンメイドロックのばらつき考慮の判断結果を表 5-3 に示す。

取水路、取水路（7号機設備）及び補機冷却用海水取水路は、マンメイドロックに直接支持されるが、構造物側方及び上方にマンメイドロックは配置されていないことから、マンメイドロックのばらつきが構造物の耐震評価に与える影響は軽微であると判断できる。また、機器・配管系への応答加速度の観点からも、取水路、取水路（7号機設備）及び補機冷却用海水取水路は、間接支持するSクラス設備が無いことから、地震応答解析においてマンメイドロックのばらつきは考慮しない。

燃料移送系配管ダクトについては、一部区間がマンメイドロックに直接支持され、かつSクラス配管の間接支持構造物であることから、マンメイドロックのばらつきを考慮する。

表 5-3 マンメイドロックのばらつき考慮の判断結果

| 施 設         | 上面又は側面の<br>マンメイドロック<br>の有無 | 支持するSクラス<br>設備の有無 | ばらつき<br>考慮 |
|-------------|----------------------------|-------------------|------------|
| 取水路         | ×                          | ×                 | ×          |
| 取水路 (7号機設備) | ×                          | ×                 | ×          |
| 補機冷却用海水取水路  | ×                          | ×                 | ×          |
| 燃料移送系配管ダクト  | ×                          | ○                 | ○          |



### 5.3.1 ばらつきの設定方法

マンメイドロックの初期せん断弾性係数 $G_0$ は、図 5-1 に示すとおり、マンメイドロックの各供試体の初期せん断弾性係数 $G_0$ と、圧密圧力 $P$ の関係から線形回帰により設定した(式 1)にて定義される。なお、各供試体の初期せん断弾性係数 $G_0$ は、試験結果に基づき(式 2)にて算定する。

$$G_0 = 19460 + 414 \cdot P \quad (\text{式 1})$$

$P$  : 圧密圧力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

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

$\rho$  : 密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$V_s$  : せん断波速度 ( $\text{m}/\text{s}$ )

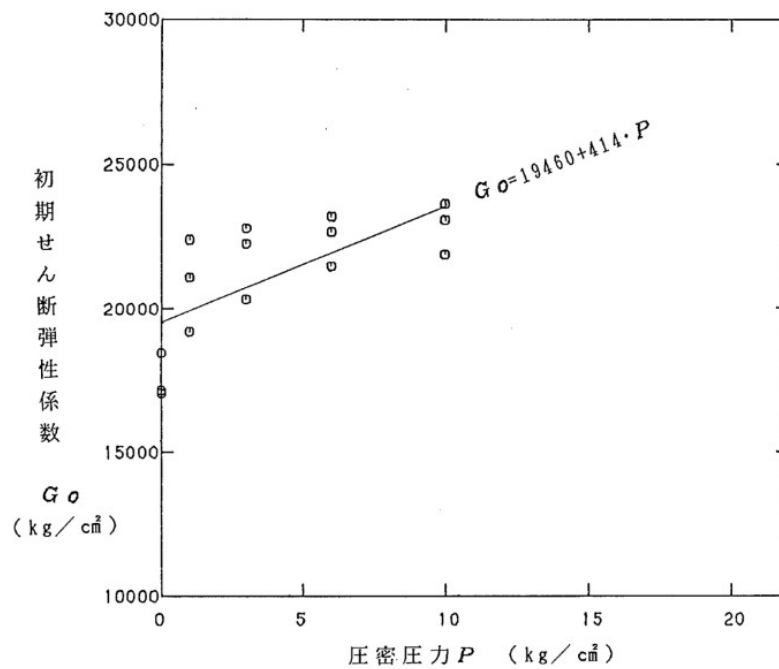


図 5-1 マンメイドロックの初期せん断弾性係数

(2016年12月26日 第425回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合 資料1-3-2 柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について【補足説明資料】より引用)

マンメイドロックの初期せん断弾性係数 $G_0$ のばらつきは、試験結果より算定される初期せん断弾性係数 $G_0$ の(式 2)に対する標準偏差 $\pm 1\sigma$ により、(式 3)のとおり設定する。

$$G_0 = 19460 + 414 \cdot P \pm 1\sigma \quad (\text{式 3})$$

(参考資料 10) 液状化抵抗曲線の回帰曲線 (平均 $-1\sigma$ 強度) を下回る試験データについて

液状化抵抗曲線の回帰曲線 (平均 $-1\sigma$ 強度) を下回る試験データについては, 7号工認資料「工事計画に係る説明資料 (耐震性に関する説明書) (KK7 補足-024 改訂 1) 資料 1 地盤の支持性能について」の「(参考資料 10) 液状化抵抗曲線の回帰曲線 (平均 $-1\sigma$ 強度) を下回る試験データについて」による。

(参考資料 11) H-D モデルと試験結果の動的変形特性の比較

H-D モデルと試験結果の動的変形特性の比較については、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）(KK7 補足-024 改訂1) 資料1 地盤の支持性能について」の「(参考資料 11) H-D モデルと試験結果の動的変形特性の比較」による。

(参考資料 12) 建物・構築物の地震応答解析に用いる地盤諸定数について

建物・構築物の地震応答解析に用いる地盤諸定数については、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1） 資料1 地盤の支持性能について」の「(参考資料 12) 建物・構築物の地震応答解析に用いる地盤諸定数について」による。

地盤の支持性能について

資料集

資料集については、7号工認資料「工事計画に係る説明資料（耐震性に関する説明書）（KK7 補足-024 改訂1（別冊））「地盤の支持性能 資料集」による。