

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-023-01 改16
提出年月日	2023年6月7日

地盤の支持性能について

2023年6月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目 次

1. 概要
 2. 基本方針
 3. 対象施設周辺の地質等
 - 3.1 対象施設周辺の地質
 - 3.2 対象施設周辺の地質状況整理結果
 - 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 敷地の地下水位分布
 - 3.3.2 耐震評価における設計地下水位設定方針
 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
 - 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
 - 4.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値
 - 4.2.2 改良地盤に用いる解析用物性値
 - 4.2.3 その他の解析用物性値
 - 4.2.4 地盤の物性のばらつきについて
 5. 極限支持力
 - 5.1 基礎地盤（岩盤）の極限支持力度
 - 5.2 直接基礎の支持力算定式
 - 5.3 杭基礎の極限支持力度
 - 5.4 MMRの支圧強度
 6. 地盤の速度構造
 - 6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル
 - 6.2 地震応答解析に用いる解析モデル
-
- 参考資料 1 掘削による設計揚圧力及び設計地下水位への影響について
- 参考資料 2-1 浸透流解析に用いる透水係数について
- 参考資料 2-2 浸透流解析に用いる有効間隙率について
- 参考資料 3 地下水位低下設備（既設）について
- 参考資料 4 非定常解析の降雨に対する感度向上についての取り組み
- 参考資料 5 地下水位観測記録について
- 参考資料 6 予測解析における降雨条件について
- 参考資料 7 地下水位低下設備（新設）について
- 参考資料 8-1 1号機建物・構築物の地下水位について
- 参考資料 8-2 土木構造物の設計地下水位の設定方法

参考資料 9	砂礫層の解析用物性値について
参考資料 10	埋戻土（粘性土）の解析用物性値について
参考資料 11	基礎捨石及び被覆石の解析用物性値について
参考資料 12	液状化強度試験の詳細について
参考資料 13	改良地盤における補足
参考資料 14	碎石の解析用物性値について
参考資料 15	地震応答解析にて考慮する地盤物性のばらつき
参考資料 16	入力地震動の設定に用いる地下構造モデルのエリア区分について
参考資料 17	埋戻土の骨格曲線について
参考資料 18	基準地震動 S_s に対する液状化強度試験の妥当性確認
参考資料 19	輪谷湾における海底堆積物の分布状況及び解析用物性値について
参考資料 20	改良地盤の強度特性について
参考資料 21	岩盤の引張強度について

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。）（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あたり、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の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

設計基準対象施設、常設重大事故等対処施設及び波及的影響の設計対象とする下位クラス施設において、これらの対象施設を設置する地盤の物理特性、強度特性、変形特性等の解析用物性値については、各種試験に基づき設定する。また、全応力解析及び有効応力解析等に用いる解析用物性値をそれぞれ設定する。全応力解析に用いる解析用物性値は、設置変更許可申請書（添付書類六）に記載した調査・試験結果に基づき設定することを基本とする。有効応力解析に用いる解析用物性値は、設計及び工事の計画の認可申請において設定する。

対象施設を設置する地盤の地震時における支持性能評価については、設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設の耐震重要度分類又は施設区分に応じた地震力により地盤に作用する接地圧が、地盤の極限支持力度に対して妥当な安全余裕を有することを確認することによって行う。

極限支持力は、対象施設の支持地盤の平板載荷試験又は「道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成14年3月）」（以下「道路橋示方書」という。）の支持力算定式に基づき設定する。

杭基礎の押し込み力に対する支持力評価において、杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への接地圧に対する支持力評価を行うことを基本とする。杭基礎の引抜き力に対する支持力評価において、杭を根入れした岩盤の杭周面摩擦力を考慮して支持力評価を行うことを基本とする。

耐震評価における地下水位は、原子炉建物等の建物・構築物においては、地下水位低下設備の効果（新設）の機能を考慮した設計揚圧力を、屋外重要土木構造物等においては、自然水位より保守的に高く設定した水位又は地表面にて設計地下水位を設定する。

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤については、設置変更許可段階において地震動及び地殻変動による基礎地盤の傾斜が基本設計段階の目安値である1/2000を上回ることを確認したことから、設置変更許可段階において設定したPS検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）が確保されるよう、未改良範囲の地盤改良に加えて、施工済の範囲についても新たに設定する配合で地盤改良することとし、室内配合試験結果を踏まえ、管理目標値を上回る解析用物性値として設定する。

3. 対象施設周辺の地質等

3.1 対象施設周辺の地質

敷地の地質層序を表 3.1-1 に、地質調査位置図を図 3.1-1 に、敷地の地質平面図を図 3.1-2 に、敷地の地質断面位置を図 3.1-3 に、地質断面図を図 3.1-4～図 3.1-14 に示す。

敷地の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層及び貫入岩類、並びにそれらを覆う被覆層から構成される。成相寺層は海成層で、下位より下部頁岩部層、火砕岩部層及び上部頁岩部層に区分される。

なお、原子炉建物基礎地盤及び周辺斜面には、成相寺層のうち下部頁岩部層、貫入岩類が分布する。

敷地に分布する成相寺層の構造は、露頭状況の良好な北部の海岸付近では、おおむね走向 $N60^{\circ}\sim 80^{\circ}W$ 、傾斜 $12^{\circ}\sim 20^{\circ}N$ の同斜構造を示す。

原子炉建物設置位置の約 200m 南方には $N85^{\circ}E\sim E-W$ の軸をもつ背斜構造が存在し、背斜軸より南では緩い傾斜を示す。

また、平面図及び断面図では、地層の食違いがなく、連続して分布することから、敷地において、地層と斜交し破碎を伴う断層は認められないが、粘土分を含み、平板状あるいは平面状の形態を持ち、この面に沿って変位している可能性があり、地層と平行な断層であるシームが認められる。

表 3.1-1 敷地の地質層序

地質時代		地層名		主要構成地質	
新生代	第四紀	完新世	被覆層	盛土	礫混じり砂質土・礫混じり粘性土
				崖錐堆積物	礫混じり砂質土・礫混じり粘性土
	新第三紀	中新世	貫入岩類		ドレライト・安山岩
			成相寺層	上部頁岩部層	黒色頁岩
				火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩
				下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩

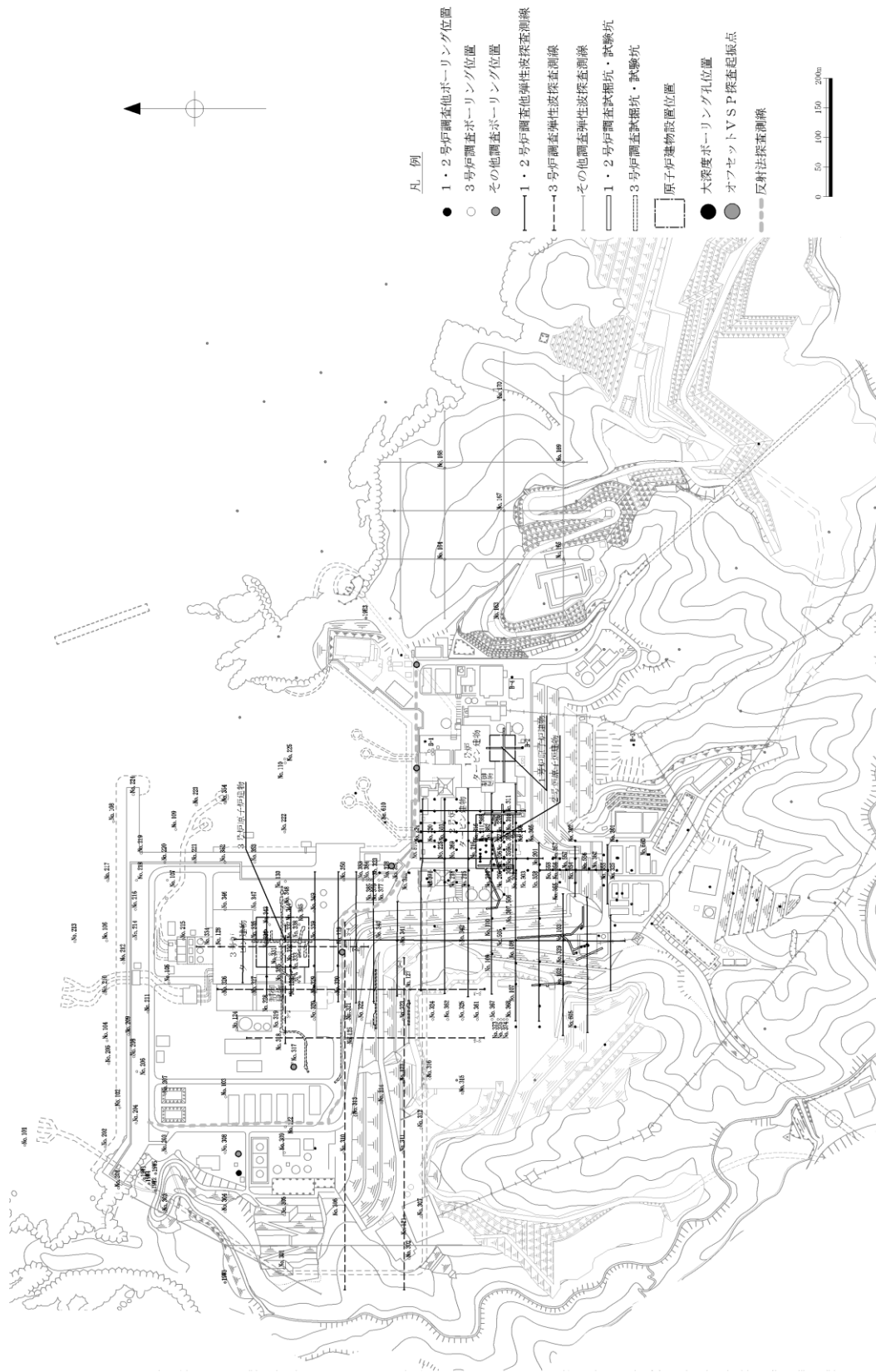
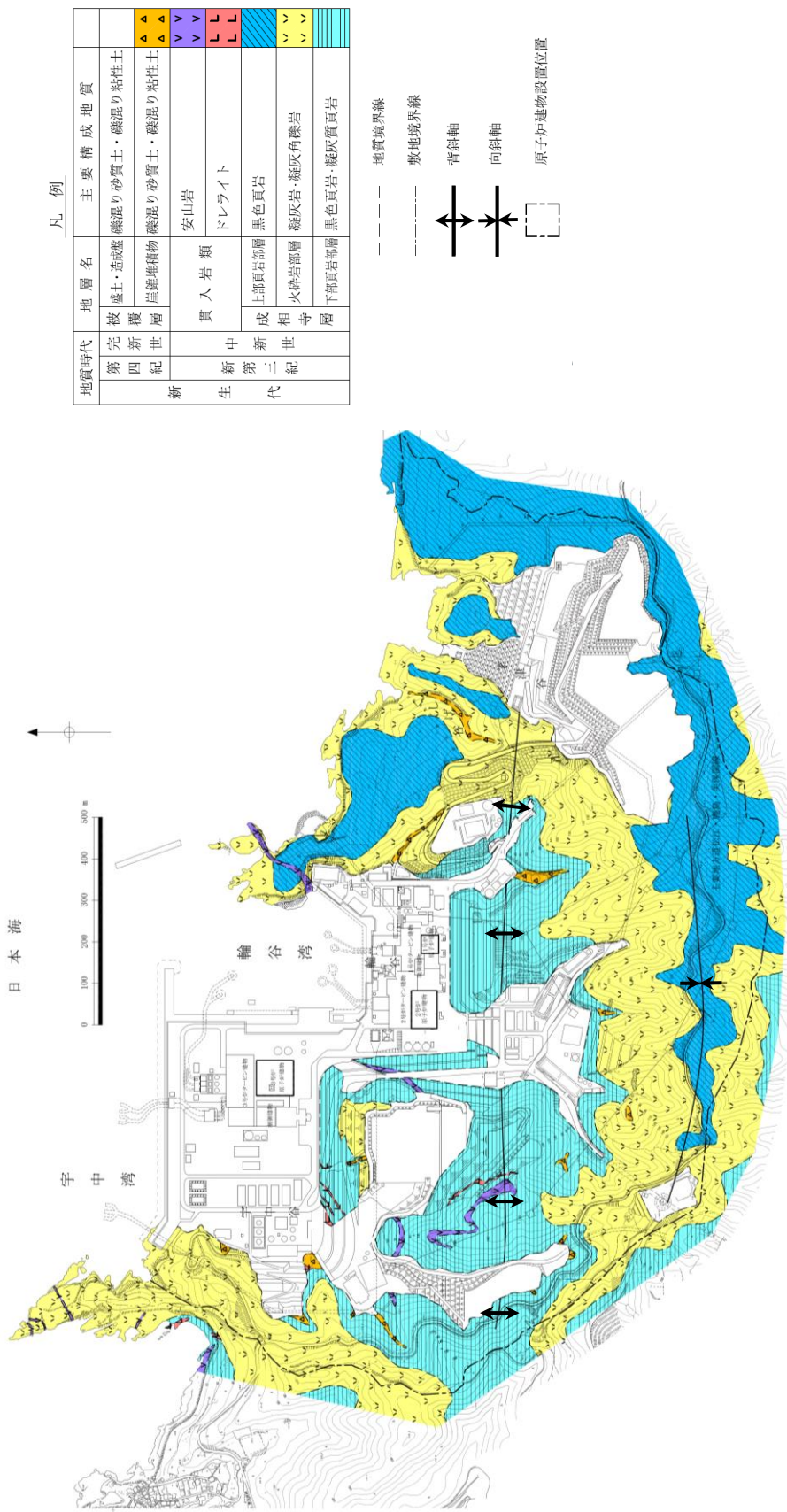


図 3.1-1 地質調査位置図



凡例

地質時代	地層名	主要構成地質
第四紀	被覆層	礫混り砂質土・礫混り粘性土
	新世	礫混り砂質土・礫混り粘性土
第三紀	貫入岩類	安山岩
		ドレライト
	成相層	上部頁岩部層
		下部頁岩部層
新第三紀	火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩
	寺層	黑色頁岩・凝灰質頁岩

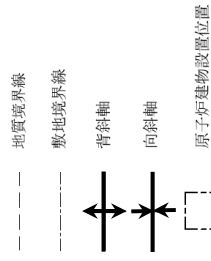


図 3.1-2 敷地の地質平面図

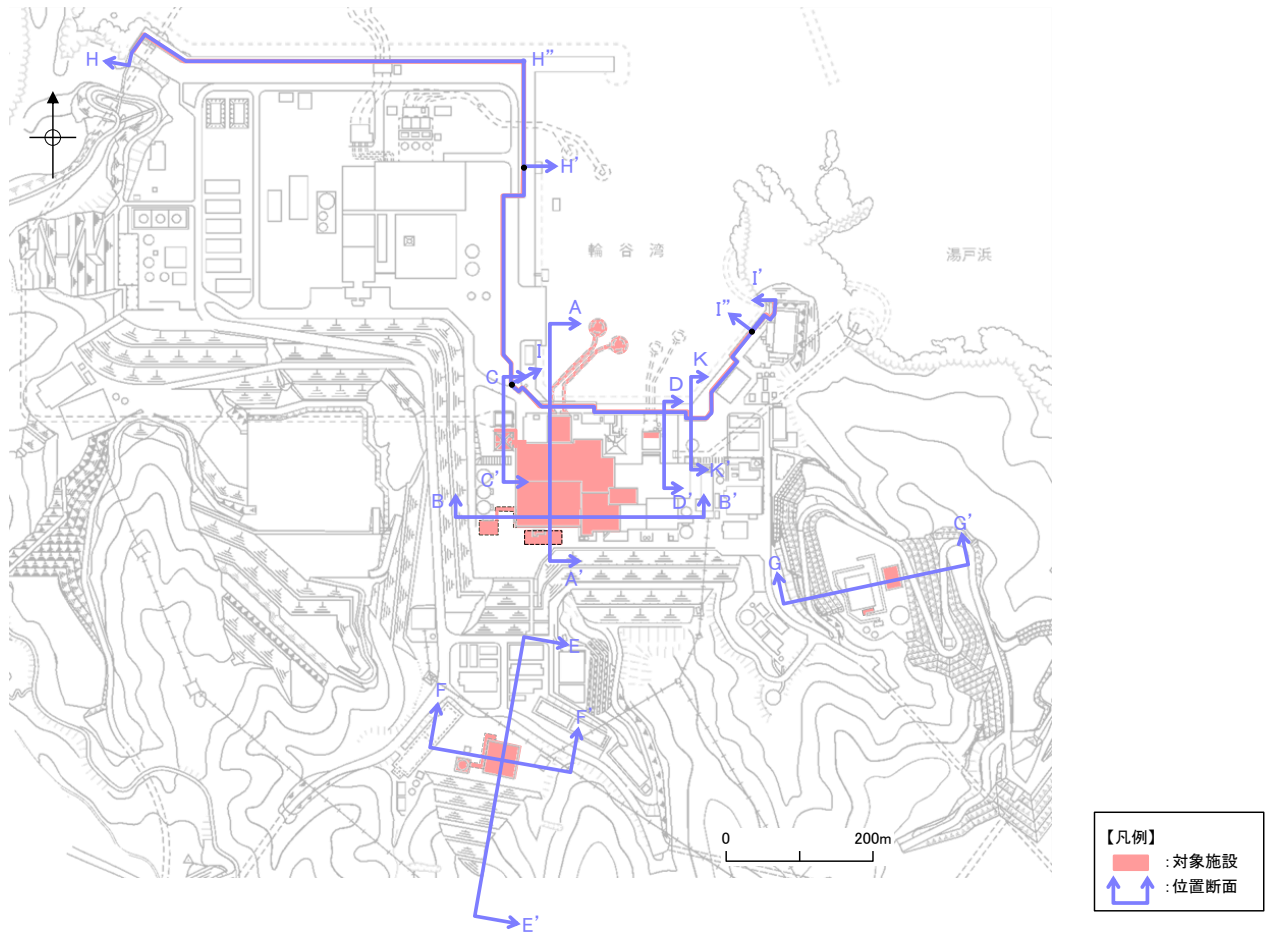


图 3.1-3 地質断面図位置

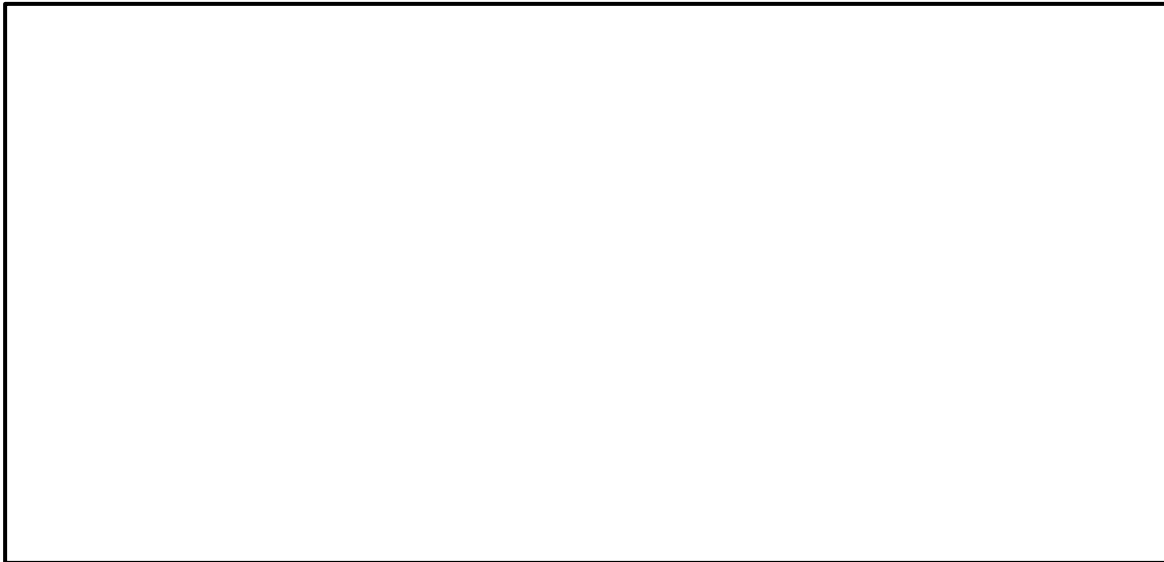


図 3.1-4 原子炉建物等の地質断面図 (A-A' 断面)

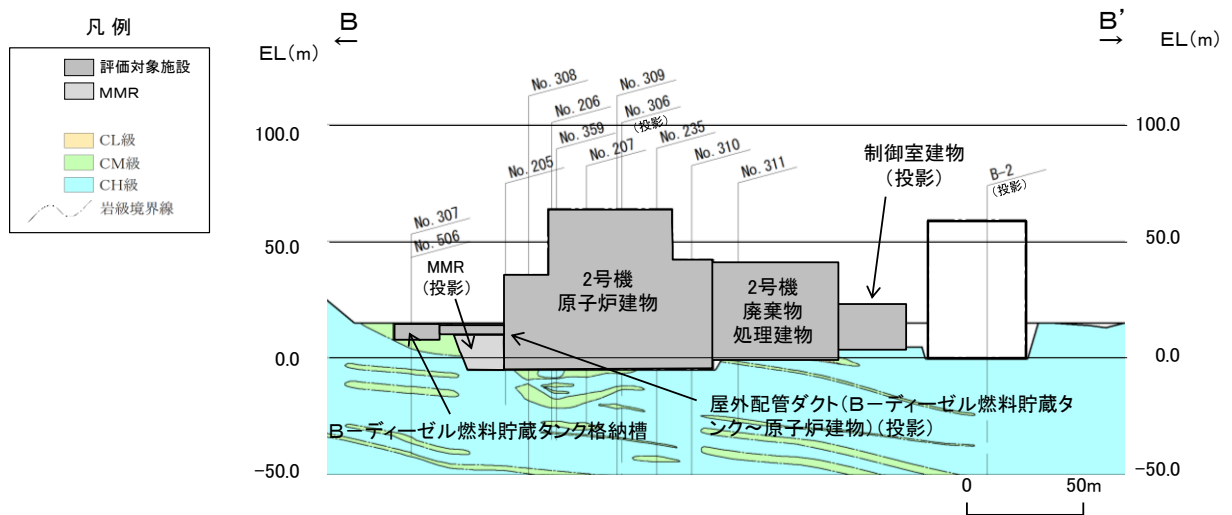
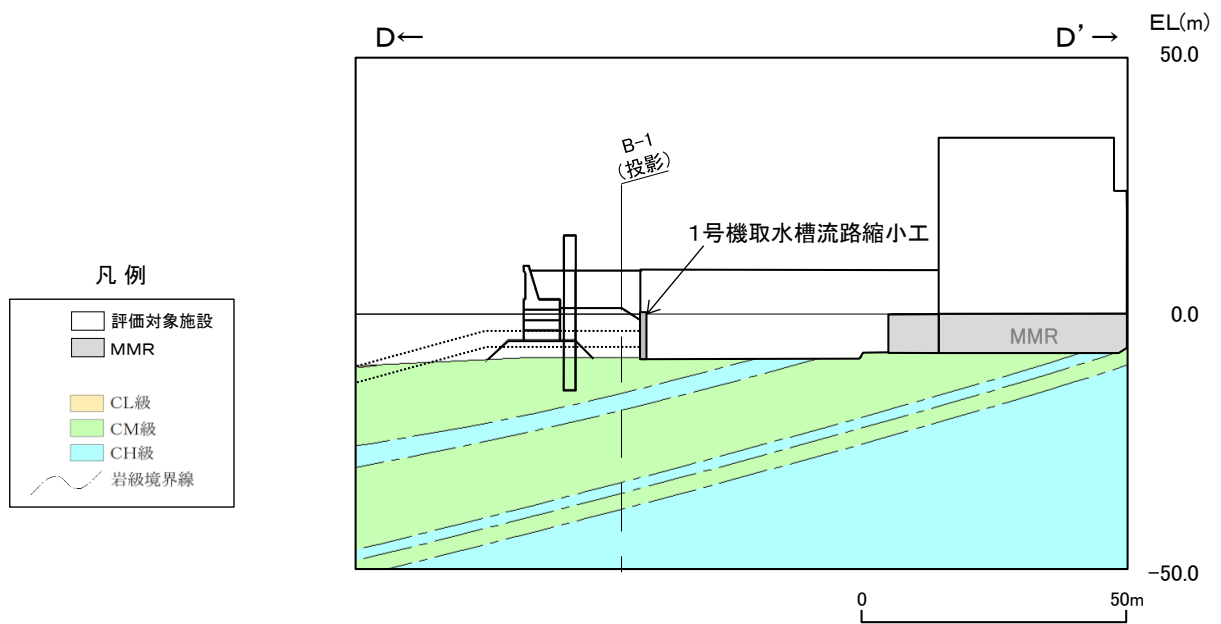
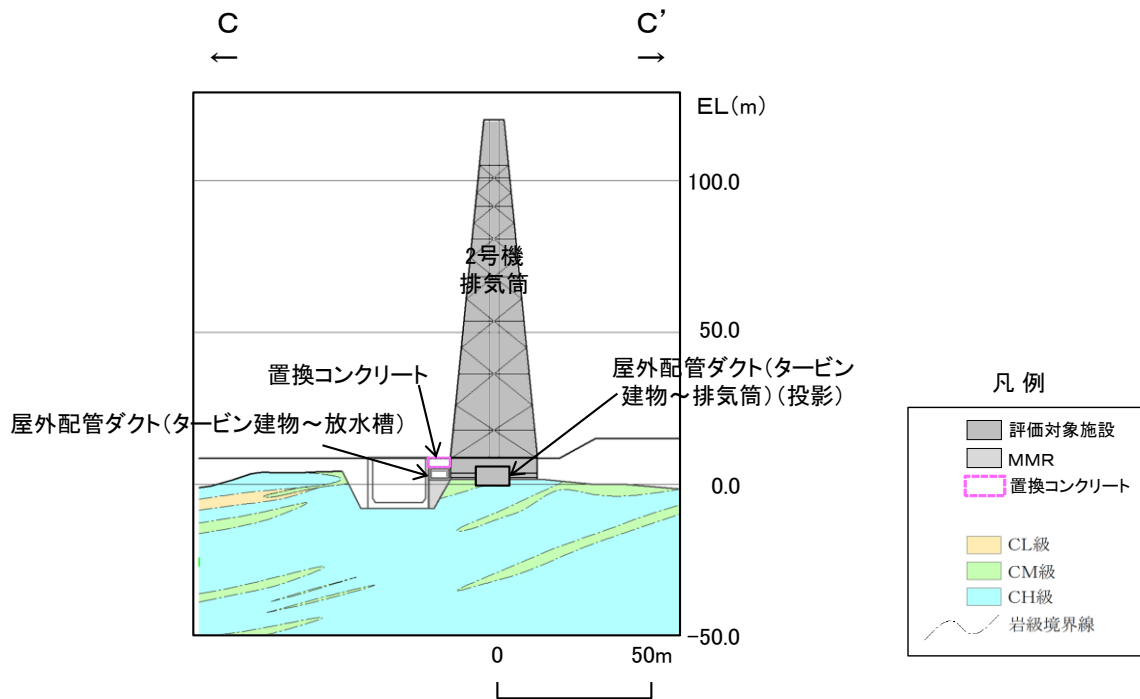


図 3.1-5 原子炉建物等の地質断面図 (B-B' 断面)



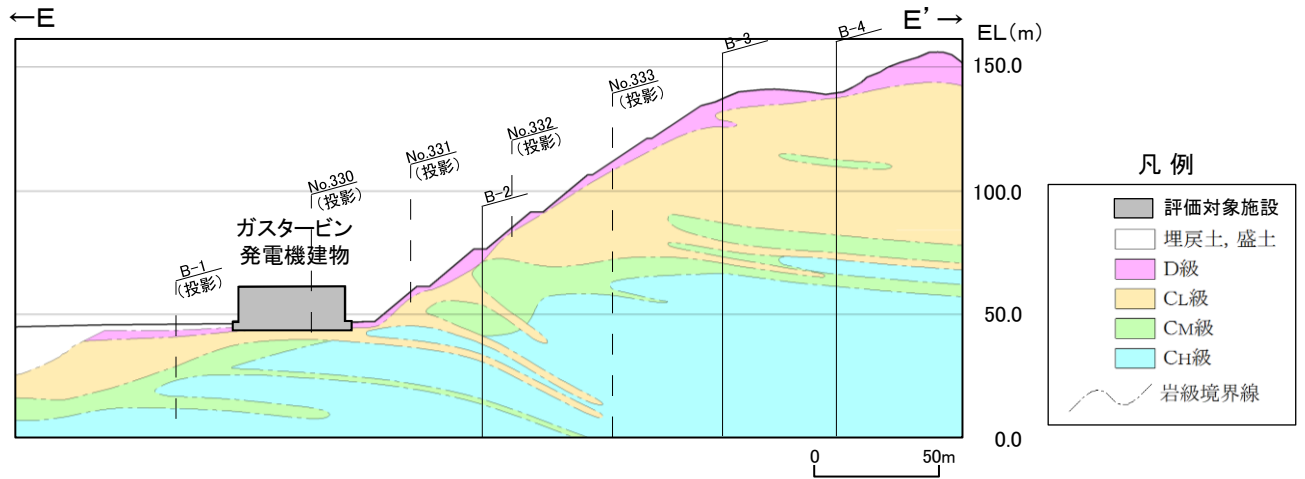


図 3.1-8 ガスタービン発電機建物の地質断面図 (E-E' 断面)

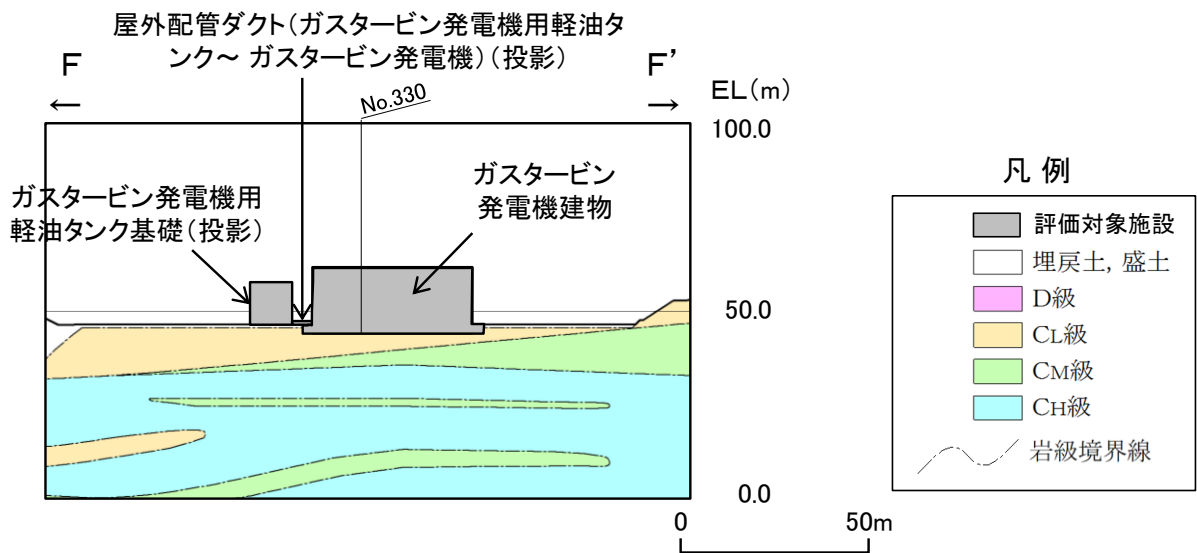


図 3.1-9 ガスタービン発電機建物等の地質断面図 (F-F' 断面)

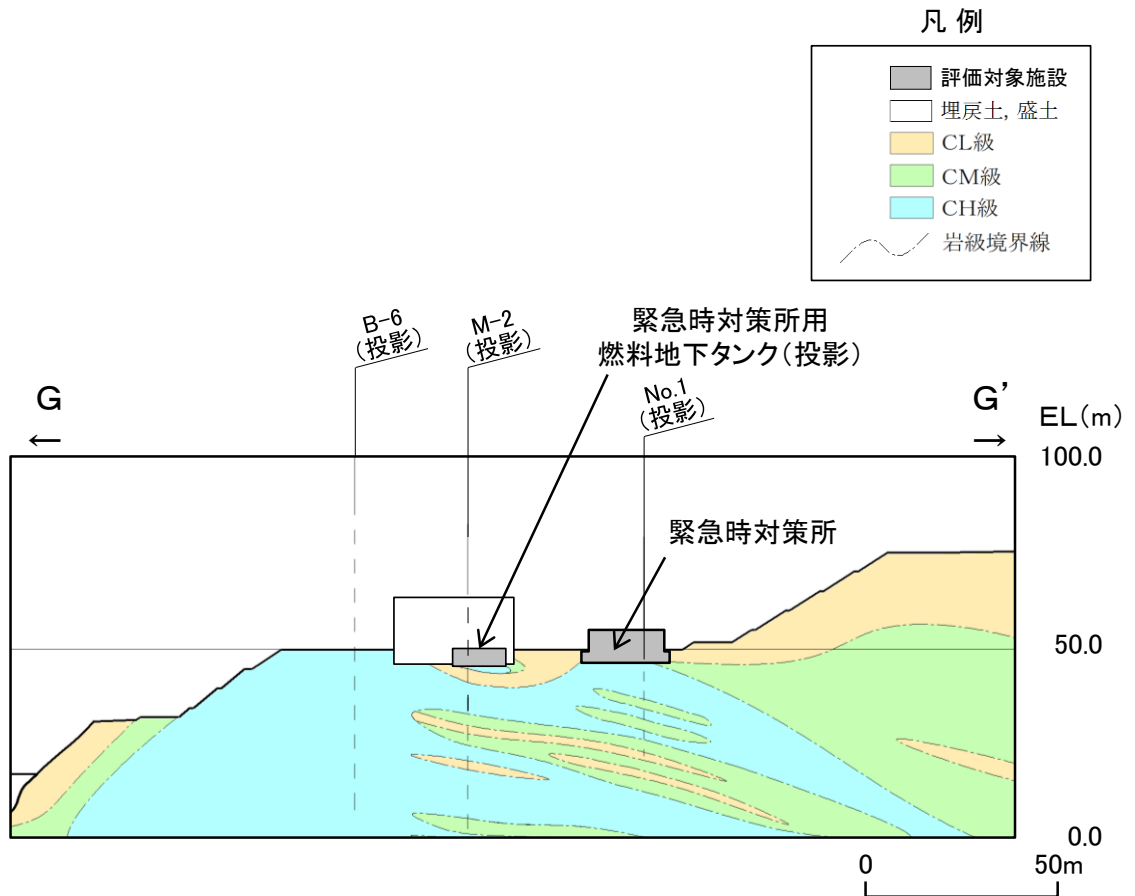


図 3.1-10 緊急時対策所及び緊急時対策所用燃料地下タンクの地質断面図
(G-G'断面)

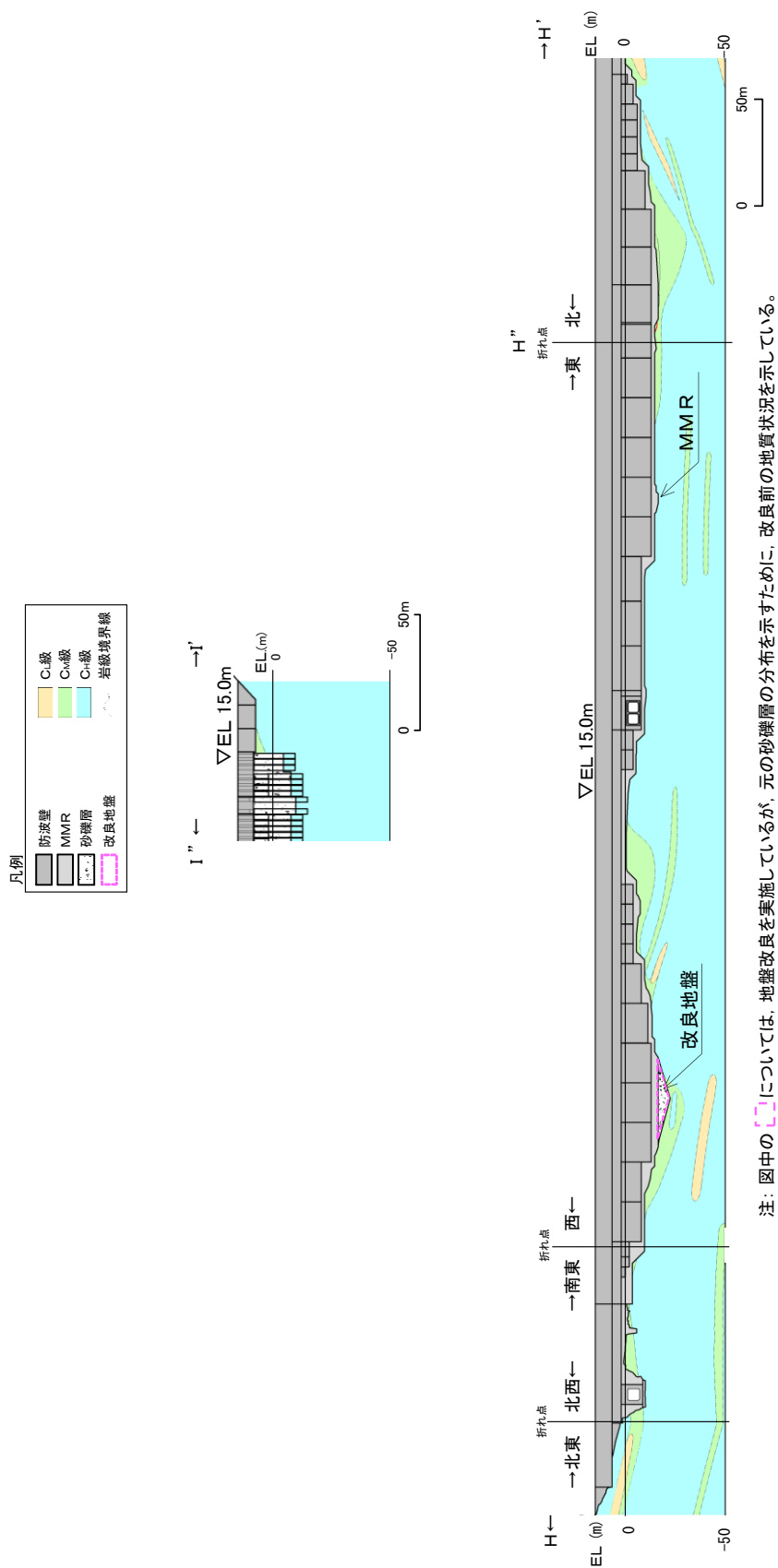


図 3.1-11 防波壁（波返重力擁壁）の地質断面図（H-H'， I'' - I' 断面）

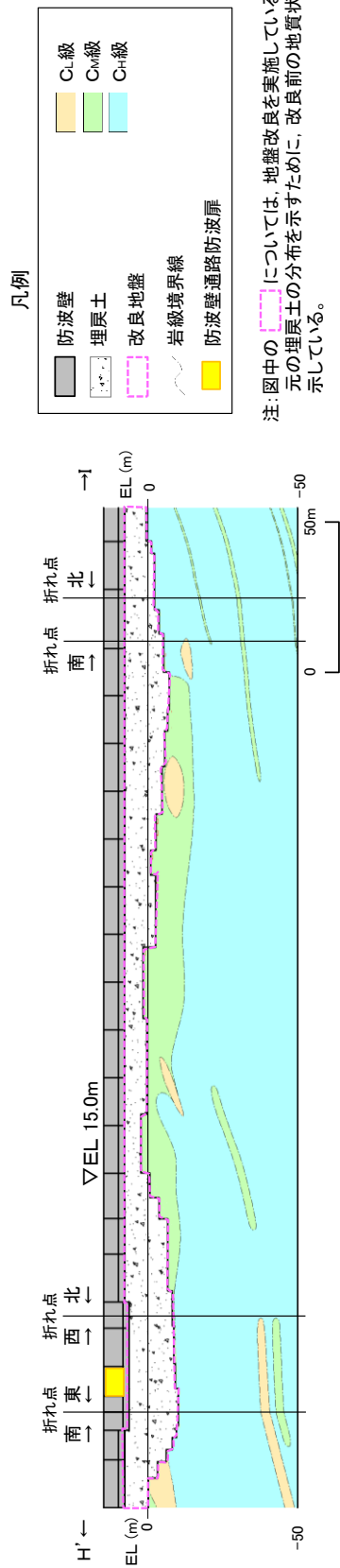
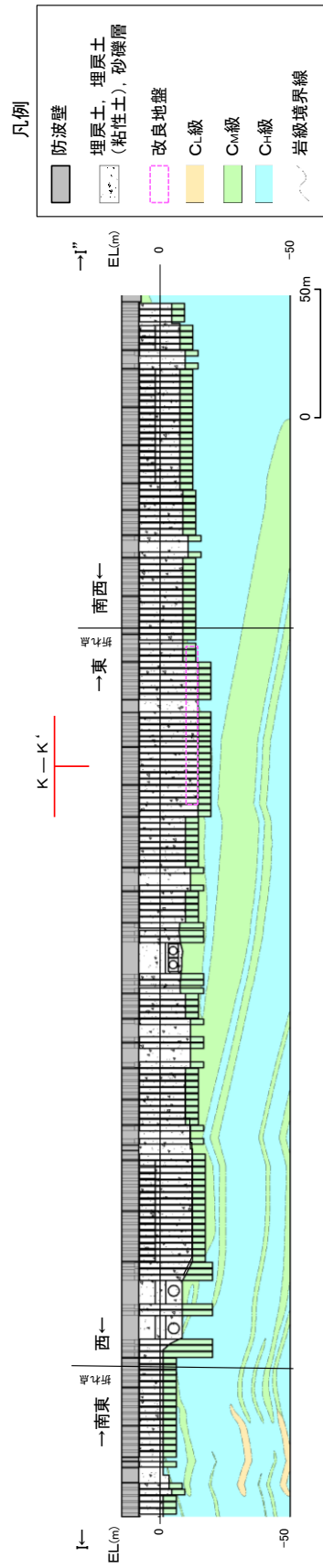


図 3.1-12 防波壁 (逆T擁壁) の地質断面図 (H' - I 断面)



注1 図中の杭部については、杭が位置しているが、埋戻土の形状を示すために、周辺地盤の地質状況を示している。
 注2 図中の□については、地盤改良を実施しているが、元の砂礫層の分布を示すために、改良前の地質状況を示している。

図 3.1-13 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地質断面図（I-I'断面）

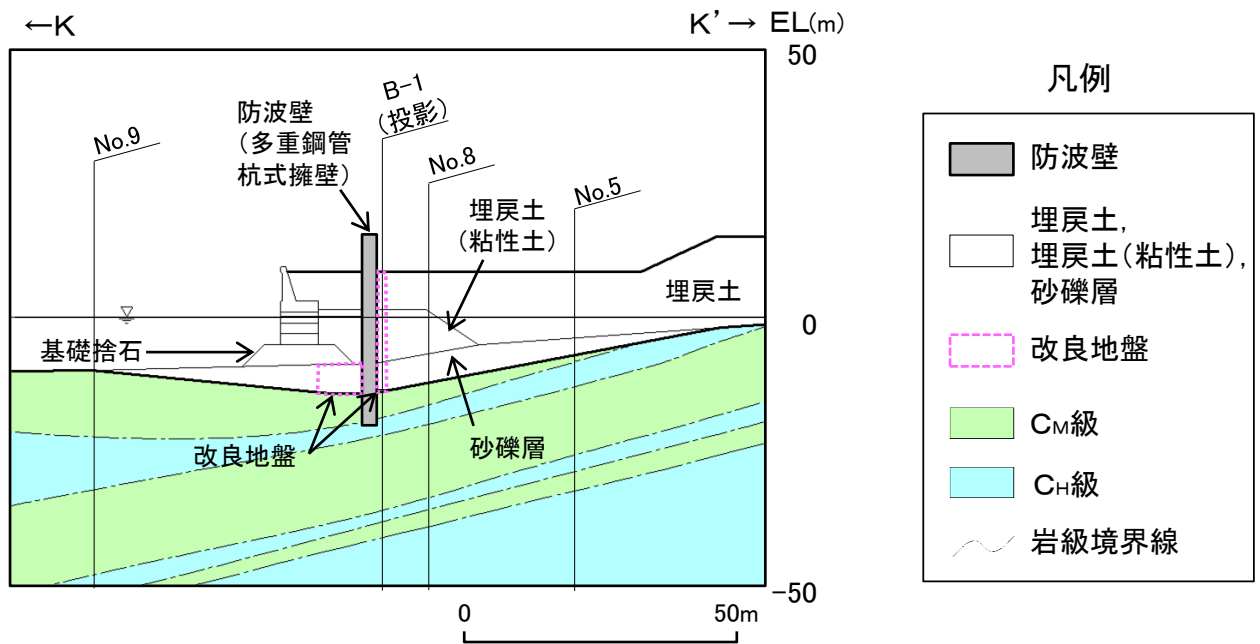


図 3.1-14 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の地質断面図 (K-K'断面)

3.2 対象施設周辺の地質状況整理結果

主要な対象施設の配置図を図 3.2-1 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等より、対象施設周辺の地質分布状況を整理した結果を表 3.2-1 に示す。これらの地質に対し、図 3.1-1 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。

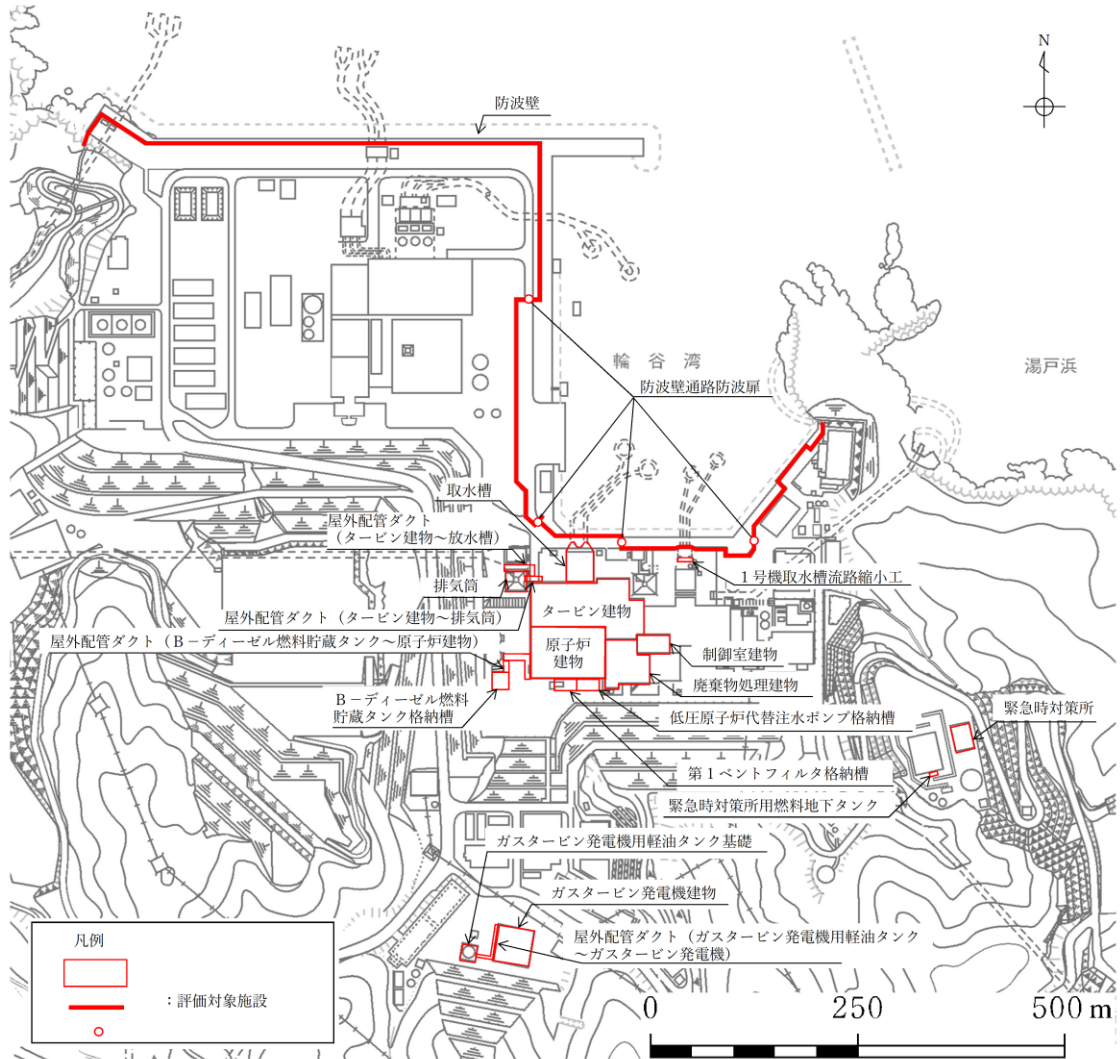


図 3.2-1 主要な対象施設の配置図

表 3.2-1 主要な対象施設周辺の地質分布一覧

施設+A2: J33名		埋戻土	砂礫層	埋戻土 (粘性土)	改良地盤*1	岩盤	MMR他*2	砕石	海底堆積物 ・風化岩
建物・構築物	原子炉建物	●	—	—	—	●	●	—	—
	タービン建物	●	—	—	—	●	●	—	—
	廃棄物処理建物	●	—	—	—	●	○	—	—
	制御室建物	●	—	—	—	●	○	—	—
	排気筒	●	—	—	—	●	●	—	—
	緊急時対策所	—	—	—	—	●	—	—	—
	ガスタービン発電機建物	●	—	—	—	●	—	—	—
土木構築物	取水槽	○	—	—	●	●	●	—	—
	取水管	—	—	—	—	○	○	●	○
	取水口	—	—	—	—	●	●	—	○
	屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)	●	—	—	—	○	●	—	—
	屋外配管ダクト (タービン建物～放水槽)	●	—	—	○	○	●	—	—
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	●	—	—	—	●	●	—	—
	屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)	●	—	—	—	●	●	—	—
	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	●	○	●	●	●	—	—	○
	防波壁 (逆T擁壁)	●	—	—	●	○	—	—	○
	防波壁 (波返重力擁壁)	●	○	—	○	●	●	—	○
	1号機取水槽流路縮小工	●	—	—	—	●	●	—	—
	防波壁通路防波扉*3	●	—	—	●	●	●	—	—
	第1ベントフィルタ格納槽	●	—	—	—	●	●	—	—
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	●	—	—	—	●	●	—	—
	緊急時対策所用燃料地下タンク	○	—	—	—	●	●	—	—
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	●	—	—	—	○	●	—	—
屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)	●	—	—	—	○	●	—	—	

注記*1: 改良地盤①～⑧を指す。

*2: MMR, 埋戻コンクリート及び置換コンクリート等を指す。

*3: 防波壁通路防波扉 (荷揚場南, 3号機東側)を指す。

凡例 ●: 施設直下あるいは直近に分類している地質

○: 施設直下及び直近には分布しているが, 地質断面図内に現れる地質

—: 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

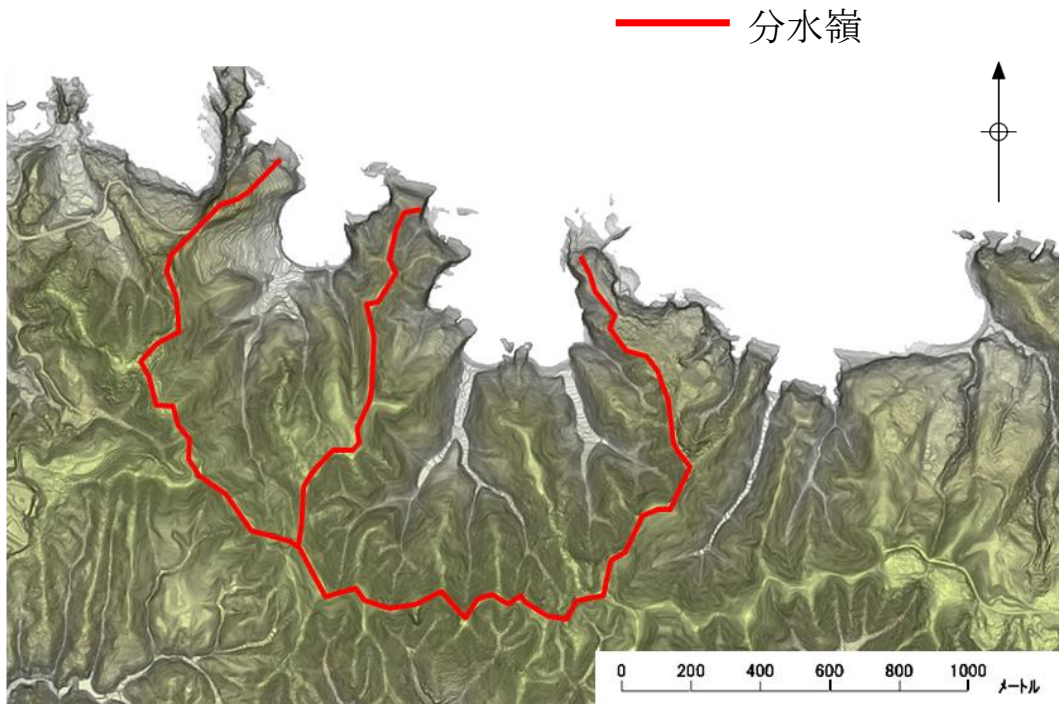
3.3.1 敷地の地下水位分布

(1) 敷地の水文環境

敷地は、北側が海に面し、その他は山地に囲まれている。敷地の地形は、沿岸低山地と後背山地に大別され、沿岸低山地は標高約 80m 以下の山地で、緩慢な山頂面から海に急傾斜している。また、後背山地は標高約 80～160m の山地で、開折谷が発達しており、中央が扇状に大きく広がっている。

山側に降った雨は、蒸発散分を除き、表面水として敷地へ流入するものと盛土や岩盤内に浸透し地下水として敷地に流入するものに分かれる。表面水は排水路を通じて海へ排水される。また、地下水は主要建物周辺に設置した地下水位低下設備（既設）により集水後、排水路へ排水される。

なお、今後、地下水位低下設備の新設に伴う集水範囲の変更や、防波壁周辺の地盤改良等により、敷地内の地下水の流動場は従前の山から海に向かう 1 方向流れから将来的に変化すると考えられる。発電所周辺の分水嶺の状況を図 3.3-1 に、主な地表水の流れを図 3.3-2 に示す。



※航空レーザー測量で取得した2mメッシュのD E Mデータに、空中写真により取得した旧地形のD E Mデータを合成して作成したもの

図 3.3-1 発電所周辺の分水嶺の状況



-----> 主な地表水の流れ
 島根原子力発電所周辺の空中写真
出典：国土地理院（2009年撮影）

図 3.3-2 発電所周辺の主な地表水の流れ

(2) 観測記録

敷地の地下水位分布を把握するため、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。

地下水位の観測記録*は、降雨記録と併せて、3.3.2にて詳述する設計地下水位の設定において参照する浸透流解析モデルの検証に活用する。

観測孔は、EL 8.5m 盤、EL 15.0m 盤及び EL 44.0m 盤に設置している。

図 3.3-3 に地下水位観測孔位置図、表 3.3-1 に地下水位観測孔の設置状況を、表 3.3-2 に観測水位一覧表を示す。

観測水位の最高水位と平均水位の差分は、地下水位低下設備（既設）周辺の観測孔や山側の観測孔で相対的に大きく、海に近接する観測孔において相対的に小さくなっている。この要因として、敷地内より水位の低い海水面との釣り合いにより、海に近接する観測孔では地下水位の変動が相対的に小さくなっていることが考えられる。

注記*：一定期間の連続観測データを対象としており、観測期間中に工事や地形改変等の影響を受ける可能性があるデータは除外する。例えば、ボーリング調査実施時などに確認された孔内水位は、施工時の注水影響等を含む可能性があるため検証データには含めていない。

なお、観測水位には地下水位低下設備（既設）の効果が含まれているが、今後実施する地下水位低下設備（新設）等の効果は含まれていない。

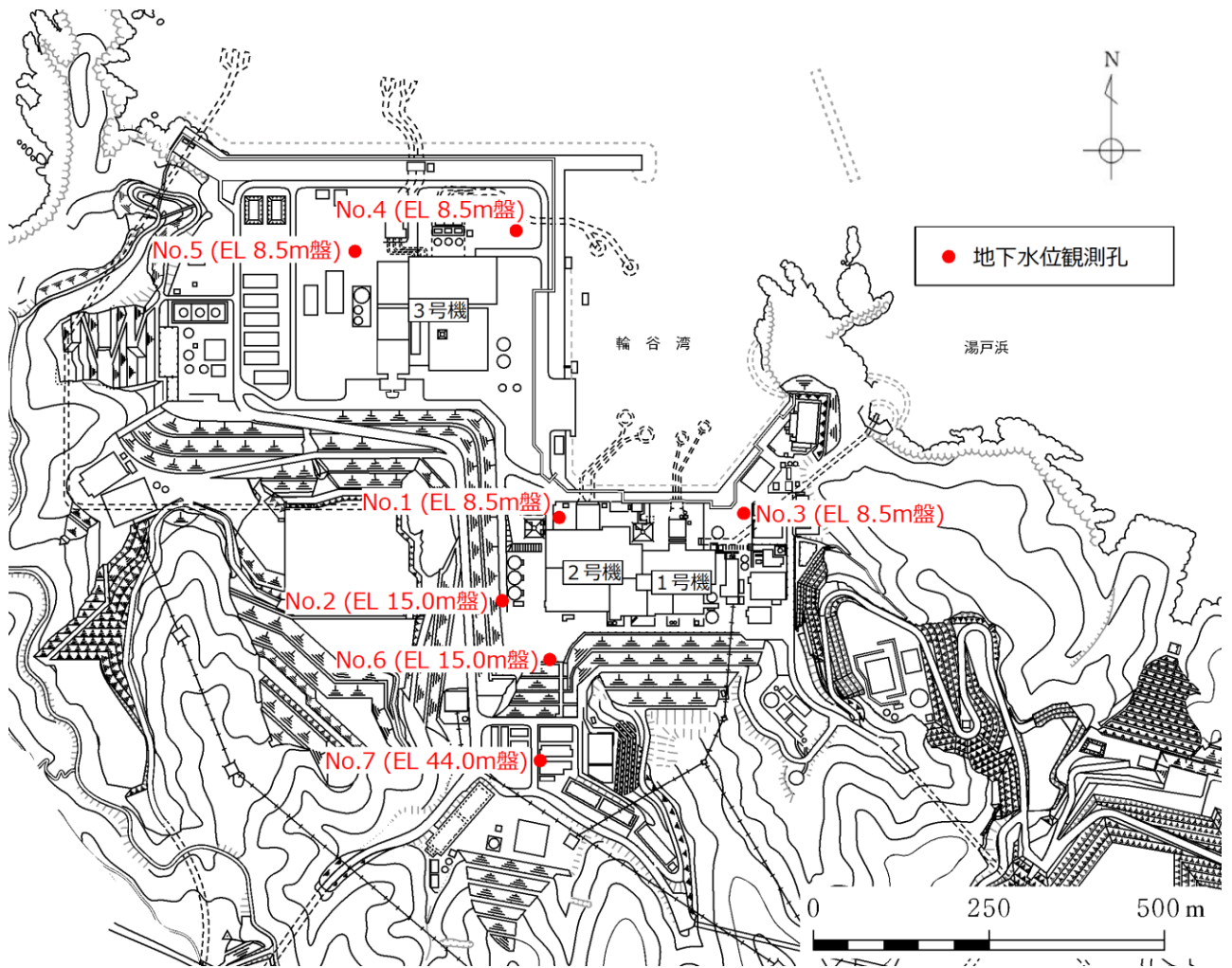


図 3.3-3 地下水位観測孔位置図

表 3.3-1 地下水位観測孔設置状況

(単位：EL m)

孔 No.	1	2	3	4	5	6	7
孔口標高	8.6	15.0	8.5	8.6	8.5	15.0	46.5
岩盤標高	-6.9	14.5	-12.3	-8.7	-4.8	-0.9	31.9
水位計標高	-9.6	-9.1	-13.5	-10.6	-6.5	-3.2	-3.5
孔底標高	-15.9	-11.0	-16.5	-13.7	-10.6	-10.7	-16.0

表 3.3-2 観測水位一覧表

観測孔	観測期間	観測水位 (EL m)		観測最高 地下水位 計測時期	備考
		最高	平均		
No. 1	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	1. 79	2018. 6. 29	EL 8. 5m 盤
		平均	0. 58		
No. 2	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	3. 59	2018. 10. 1	EL 15. 0m 盤
		平均	-3. 09		
No. 3	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	1. 67	2021. 7. 12	EL 8. 5m 盤
		平均	0. 83		
No. 4	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	4. 03	2020. 7. 14	EL 8. 5m 盤
		平均	2. 40		
No. 5	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	4. 12	2020. 7. 14	EL 8. 5m 盤
		平均	2. 01		
No. 6	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	8. 66	2021. 7. 12	EL 15. 0m 盤
		平均	-0. 64		
No. 7	2014. 11. 1～ 2022. 1. 31	最高	7. 97	2018. 7. 7	EL 44. 0m 盤
		平均	4. 83		

3.3.2 耐震評価における設計地下水位設定方針

(1) 設計揚圧力及び設計地下水位の設定方針

防波壁の設置及び地盤改良を実施したことにより山から海に向かう地下水の流れが遮断され敷地内の地下水位が上昇するおそれがあること及び地下水位低下設備(既設)の保守管理性が低いことを踏まえ、建設時から地下水位低下設備を設置していた原子炉建物等の建物・構築物に作用する揚圧力の低減を目的とし、地下水位を一定の範囲に保持するため、信頼性(耐久性・耐震性・保守管理性)を満足する地下水位低下設備を新設する。なお、建物・構築物に対する液状化影響の検討については、設置した地下水位低下設備(新設)により一定の範囲に保持された地下水位を前提とする。

地下水位低下設備(新設)にて集水された地下水は揚水ポンプ及び構内排水路を経由して海域へと流下させる*1。

耐震評価において、地下水位の影響を受ける施設(以下「対象施設」という。)のうち、建設時から地下水位低下設備を設置していた原子炉建物等の建物・構築物については、地下水位低下設備(新設)を設置し、建物基礎スラブ底面レベル以深に地下水位を維持する。なお、水圧のうち揚圧力については建設工認時の設計揚圧力を考慮する。また、対象施設のうち屋外重要土木構造物等においては、自然水位*2より保守的に高く設定した水位又は地表面にて設計地下水位を設定し、水圧の影響を考慮する。

なお、防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の設計地下水位について、設置変更許可時の構造成立性検討においては、港湾基準に準拠して防波壁より陸側の設計水位は残留水位としていたが、詳細設計においては屋外重要土木構造物等と同様に保守性を確保し高めに設定する。(防波壁(逆T擁壁)及び防波壁(波返重力擁壁)については、構造成立性検討時より陸側の設計地下水位は地表面に設定しており、詳細設計においても同様の設定とする。)

主要な対象施設*3の配置を図3.3-4に、地下水位低下設備(新設)の機能に期待しない主要な対象施設を表3.3-3に示す。

なお、安全対策工事に伴う掘削による建物・構築物の設計揚圧力及び屋外重要土木構造物等の設計地下水位に対する影響確認について、「参考資料1 掘削による設計揚圧力及び設計地下水位への影響について」に示す。

注記*1: 地下水位低下設備(新設)から汲み上げた地下水は、敷地内の屋外排水路を通じて防波壁の下部を横断し海域に排水する。排水経路のうち流末部の一部となる敷地側集水桝、屋外排水路(防波壁横断部)及び出口側集水桝については、耐震性を有することを確認する。また、地下水位低下設備(新設)から敷地側集水桝の範囲については、地震時の変位及び不等沈下に追随する可撓性を有した排水管を設置し排水経路を確保する。(補足-023-11「地下水位低下設備の設計方針に係る補足説明資料」にて説明)

*2: 自然水位とは、地下水位低下設備等の人為的な措置の影響が含まれない地下水

位を指す。浸透流解析結果により地下水位を設定する際には、地下水位低下設備の機能を考慮しない。

- *3: 主要な対象施設は、EL 8.5m盤、EL 15.0m盤、EL 44.0m盤及びEL 50.0m盤エリアに設置される設計基準対象施設及び常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備又は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの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）とする。

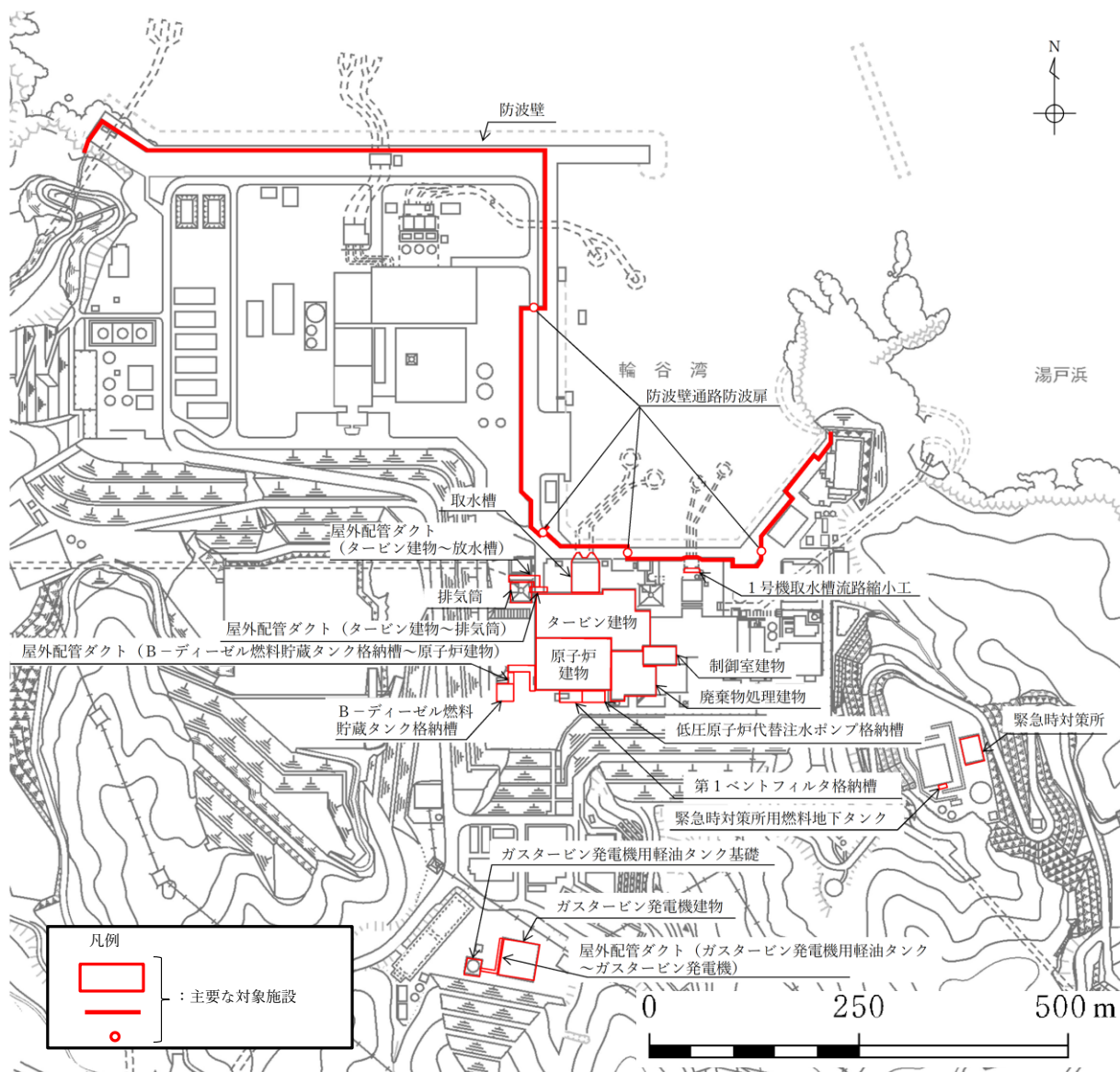


図 3.3-4 屋外の**主要な**対象施設の配置図

表3.3-3 地下水位低下設備（新設）の機能に期待しない主要な対象施設

分 類	屋外重要土木構造物等が示す設備
建物・構築物	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地下水位低下設備（新設）の効果が及ばない範囲に設置されている以下の建物・構築物 <ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時対策所 ・ ガスタービン発電機建物 ・ サイトバンカ建物（増築部含む）
屋外重要土木構造物	<ul style="list-style-type: none"> ○ Sクラスの機器・配管系を間接支持する支持機能若しくは非常時における海水の通水機能を求められる設備のうち以下の設備（海域に設置され、地下水位の影響が無い取水口及び取水管は除く） <ul style="list-style-type: none"> ・ 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） ・ B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 ・ 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物） ・ 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） ○ Sクラスの機器・配管系を間接支持する支持機能、非常時における海水の通水機能及び止水機能を求められる設備のうち以下の設備 <ul style="list-style-type: none"> ・ 取水槽
「常設耐震重要重大事故防止設備又は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」に該当する土木構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取水槽 ・ 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） ・ B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 ・ 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物） ・ 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） ・ 第1ベントフィルタ格納槽 ・ 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 ・ ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 ・ 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に該当する土木構造物	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時対策所用燃料地下タンク
「常設重大事故緩和設備」に該当する土木構造物	<ul style="list-style-type: none"> ○ 設計基準事故対処設備の一部を流路として使用する土木構造物のうち以下の設備（海域に設置され、地下水位の影響が無い取水口及び取水管は除く） <ul style="list-style-type: none"> ・ 取水槽
浸水防護施設	<ul style="list-style-type: none"> ○ 津波防護機能を有する施設及び浸水防止機能を有する土木構造物のうち以下の設備 <ul style="list-style-type: none"> ・ 防波壁 ・ 防波壁通路防波扉 ・ 1号機取水槽流路縮小工

(2) 浸透流解析を用いた設計揚圧力及び設計地下水位の設定方法

上記(1)に示す設計揚圧力及び設計地下水位の設定方針を踏まえ、目的に応じて地下水位低下設備（既設、新設）の機能について考慮の有無を整理した上で、浸透流解析により設計揚圧力及び設計地下水位を設定する。ここでは、浸透流解析により設計揚圧力及び設計地下水位を設定する手順について説明する。

設計揚圧力及び設計地下水位の設定フローを図 3.3-5 に示す。

【浸透流解析の目的及びモデル化方針の設定】

浸透流解析の目的を設定し、設計揚圧力及び設計地下水位を設定するためのモデル化方針を設定するが、モデル化方針の設定にあたっては、以下の事項について考慮する。

- ・ 地下水流動場を表現するための情報が入手できることを確認する。
- ・ 地下水流動の特徴を表現できる解析コードを選択する。

【解析モデルの作成】

浸透流解析に用いるモデル化については、以下の事項について考慮して作成する。

- ・ 地下水流動場を表現できる解析領域を設定する。
- ・ 地下水流動に影響を与える要素（地形・地質構造、造成形状、水理特性、ドレーン及び地中構造物等）を適切にモデルに反映する。
- ・ 水理的挙動に影響を与えるパラメータを適切に設定する。

【再現解析による解析モデルの妥当性確認】

作成した解析モデルの妥当性については、再現解析の地下水水位の解析値と観測値の比較等により確認する。

【予測解析による解析水位の算定】

この上で、解析の目的を達成するため、以下を考慮した予測解析（定常解析）を行い、対象施設の耐震設計において参照する解析水位を算定する。

- ・ 将来的な造成形状、ドレーン及び地中構造物等を反映する。
- ・ 保守的に地下水水位の高い解析結果を得られるよう、ドレーンは信頼性の確保状況に応じて有効範囲を設定し、水理的挙動に影響を与えるパラメータを保守的に設定する。

【設計揚圧力及び設計地下水位の設定】

上記により得られた解析水位を保守的に高く包絡するように、設計揚圧力及び設計地下水位を設定する。

設定した設計揚圧力及び設計地下水位が有する保守性について、観測水位との比較を行い、検証する。

また、設計地下水位より十分に低い地下水水位を設定し、耐震性への影響検討を実施する。

なお、浸透流解析は設計揚圧力及び設計地下水位の設定において参照するほか、揚水井戸への地下水流入量を算定し、揚水ポンプの排水機能についての保守性の確認においても参照する。それぞれの解析においては、解析目的に応じて保守的となるような条件設定によるモデル化を行う必要があることから、浸透流解析の目的別の条件設定の考え方を表 3.3-4 に、予測解析（定常解析）における目的別の保守的な条件設定の考え方を表 3.3-5 に示す。

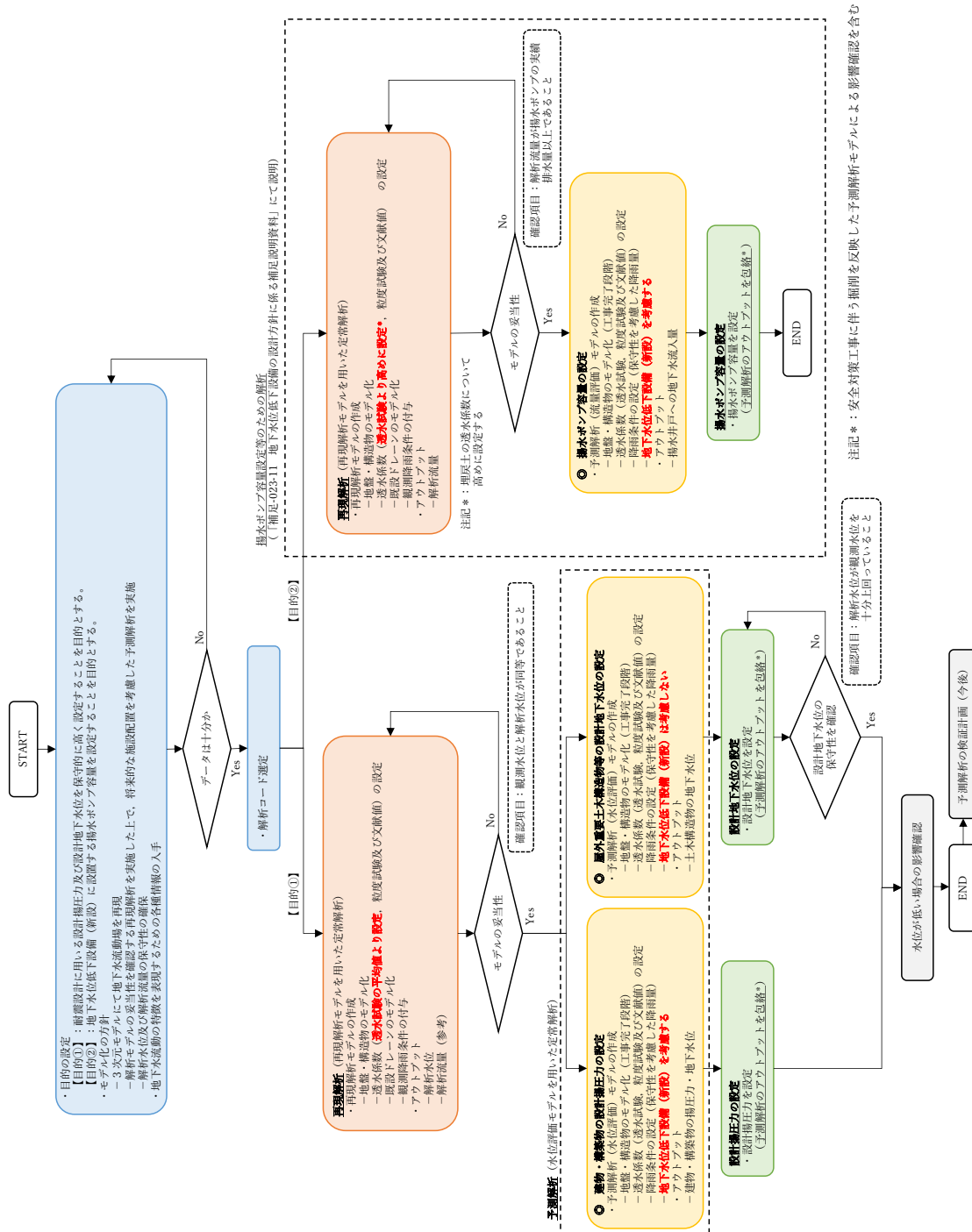


図 3.3-5 浸透流解析による設計揚圧力・設計地下水水位・揚水ポンプ容量の設定フロー

表 3.3.3-4 浸透流解析の目的別の評価モデルと主な解析条件

解析の種類	解析の目的	地下水位 低下設備	降雨条件	物性値 (透水係数)	境界条件	アウトプット
再現解析 (定常)	解析モデルの妥当性確認 (設計揚圧力、設計地下水位設定用)	既設：期待する 新設：期待しない	構内観測所における 年平均降水量： 1540mm/年	標準物性	実態に則した設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*3 (EL 0.46m) に水位 固定 ・ドレーン (既設)：管路としてモデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・解析水位 ・解析地下水流入量
	解析モデルの妥当性確認*1 (揚水ポンプ排水能力設定用)			試験記録の最大値 より保守的に設定		
再現解析 (非定常)	解析モデルの妥当性確認 (参考)	既設：期待する 新設：期待しない	構内観測所における 検証期間中の降雨	標準物性	実態に則した設定*2 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*3 (EL 0.46m) に水位 固定 ・ドレーン (既設)：管路としてモデル化	<ul style="list-style-type: none"> ・解析水位
予測解析 (定常)	設計揚圧力の設定 (建物・構築物)	既設：期待しない 新設：期待する	保守的な降水量： 2400mm/年	標準物性	保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*3 (EL 0.58m) に水位 固定 ・ドレーン (新設)： 施工計画高*4に水位固定	<ul style="list-style-type: none"> ・解析水位
	設計地下水位の設定 (屋外重要土木構築物等)	既設：期待しない 新設：期待しない			更なる保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*3 (EL 0.58m) に水位 固定	<ul style="list-style-type: none"> ・解析水位 (自然水位)
	排水能力の設定*1 (揚水ポンプ)	既設：期待しない 新設：期待する		透水試験の最大値 より保守的に設定	保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.*3 (EL 0.58m) に水位 固定 ・ドレーン (新設)：施工高*4に水位固定	<ul style="list-style-type: none"> ・解析地下水流入量

注記*1：詳細は「補足-023-11 地下水位低下設備の設計方針に係る補足説明資料」にて説明する。

*2：再現解析 (非定常) の感度向上に向けた取り組みにおいては、検証期間における安全対策工事の実施状況を踏まえて舗装範囲を見直している。(参考資料 4)

*3：再現解析 (定常・非定常) においては朝望平均満潮位 EL 0.46m を用い、予測解析においては、保守的に近年の潮位の上昇量を考慮した朝望平均満潮位 EL 0.58m を用いる。

*4：ドレーン (新設) の中心高さにてモデル化する。

表 3.3-5 予測解析（定常解析）における目的別の解析条件

目的	設計揚圧力の設定	設計地下水位の設定	揚水ポンプ排水能力の設定
透水係数	<ul style="list-style-type: none"> 透水試験に基づく標準値（参考資料 2-1 参照） 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 	<ul style="list-style-type: none"> 透水係数が大きい方が地下への浸透量が多く、排水量も大きく評価されることから、敷地内に広く分布する埋戻土の透水係数について、透水試験の最大値を用いて保守的に設定する。
境界条件	<ul style="list-style-type: none"> 施工計画高に水位固定 施工計画高にモデル化することで、ドレーン（新設）による集水量が減少し、地下水位は高くなる。 施工時には施工計画高を越えないことを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> モデル化しない 	<ul style="list-style-type: none"> 施工高に水位固定 施工高に設定することで、設計揚圧力設定用の解析モデルよりもドレーン（新設）の位置が低くなり、集水量が増加することから、ドレーン（新設）への流入量は多くなる。
	<p style="text-align: center;">図 ドレーンのモデル化高さ概念図</p>		

(3) モデル化方針の設定

a. 浸透流解析の目的

設置変更許可時の方針を踏まえ、妥当な解析モデルを用いて、将来的な施設配置を考慮した設計揚圧力及び設計地下水位を保守的に高く設定することを目的とする。

b. モデル化の方針

島根原子力発電所においては、建設時の工事計画認可時に実施した浸透流解析（2次元浸透流解析）により原子炉建物等の設計揚圧力及び設計地下水位を設定している。

防波壁の設置及び地盤改良並びに地下水位低下設備の新設により、敷地内の地下水の流動場は従前の山から海に向かう1方向の流れから将来的に変化すると考えられることを踏まえ、3次元に拡張した浸透流解析により、定常的な地下水位分布を算定する。

モデルの妥当性は、分水嶺までの範囲を模擬した再現解析モデル（1、2号機エリア及び3号機エリア）を作成し、観測降雨を付与した再現解析（定常解析）を行い、地下水位観測孔（図3.3-3）における観測水位（表3.3-2）の再現性を確認することにより行うが、敷地の改変（安全対策工事に伴う造成等）時期を考慮し、再現性の確認を行う時期に対応したモデル化を行う。この際に用いる透水係数は、透水試験、粒度試験及び文献値に基づき設定する。

この上で、予測解析においては揚圧力及び地下水位が保守的に高く算出されるよう、降雨条件を保守的に設定した定常解析を行う。造成形状や構造物は**本設工認に係る**安全対策工事完了段階に対応したモデル化を行い、地下水位低下設備は信頼性が確保された範囲に限定する。

c. 浸透流解析に用いるデータの収集と十分性

(a) データの収集

b. に示すモデル化の方針を具体化するにあたり，地下水流動場を表現するために参照するデータを表 3.3-6 に示す。

表 3.3-6 解析において参照するデータ

種類	内容	参照するデータ
地盤	・地形の情報（図面，数値標高モデル（DEM）等）	・DEM（数値標高モデル，国土地理院） ・工事記録による造成履歴 ・工事計画（工事完了時の状態）
	・敷地の地質・地質構造の情報（敷地造成を含む）	・地質調査に基づく敷地の地質・地質構造 ・敷地造成に係る図面等
気象	・降水量	・構内観測所データ ・気象庁データ
水理	・水理特性 ・検証において参照する地下水位観測記録	・原位置透水試験結果等 ・地下水位観測記録
構造物	・地中構造物	・工事記録 ・設計計算書等
排水設備等	・地下水位低下設備，構内排水設備	・工事記録 ・設計計算書等
その他	・既往の地下水位設定方法	・建設時の工事計画認可時において実施した2次元浸透流解析

(b) データの十分性

(a)の整理から、浸透流解析モデルの構築にあたり必要なデータが収集されていることを確認した。

また、モデルの妥当性の確認に用いる観測記録については、**主要な**対象施設が配置される EL 8.5m盤及び EL 15.0m 盤並びに施設や敷地造成が地下水位に与える影響が相対的に小さいと考えられる EL 44.0m 盤の高台を含めて偏りなく複数設定しており、これらのデータを活用し地下水流動場の検証を行うことが可能であることを確認した。

d. 解析コードの選定

地下水の挙動を取扱うことができる解析コード「D t r a n s u - 3 D ・ E L」を使用する。なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(4) 再現解析

a. 再現解析モデルの作成

(a) モデル化範囲の設定

再現解析モデルは、対象施設を含む分水嶺までの範囲をモデル化する。

モデル作成の際に参照した敷地内の分水嶺を図 3.3-1 に、再現解析モデルの鳥瞰図を図 3.3-6 及び図 3.3-7 に示す。

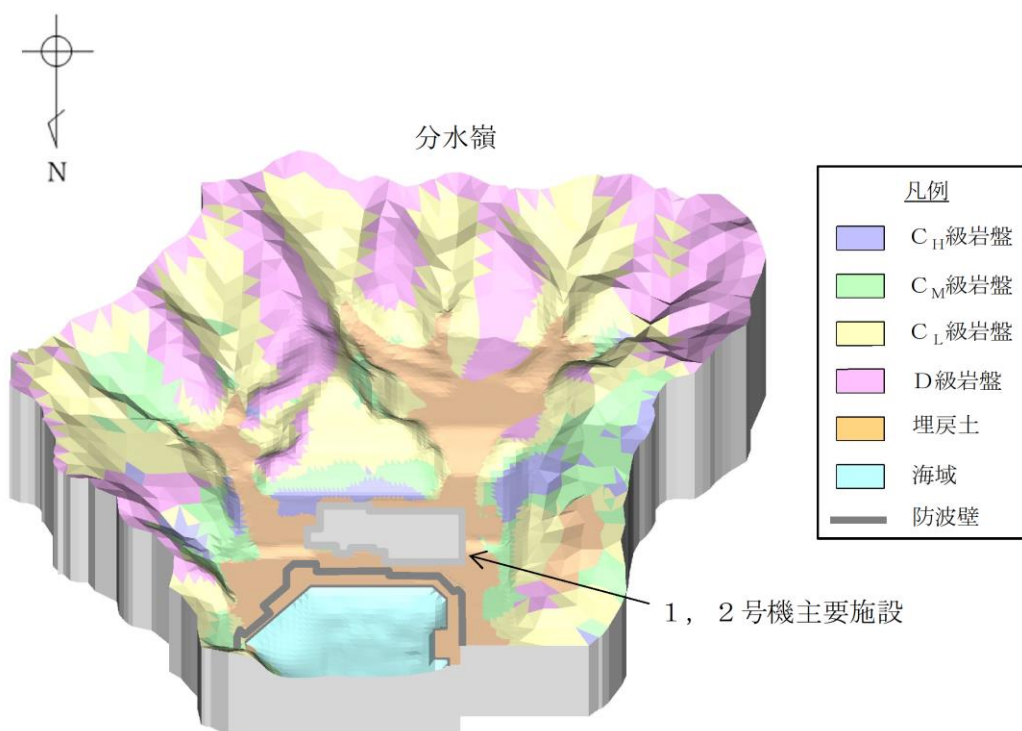


図 3.3-6 再現解析モデルの鳥瞰図 (1, 2号機エリア)

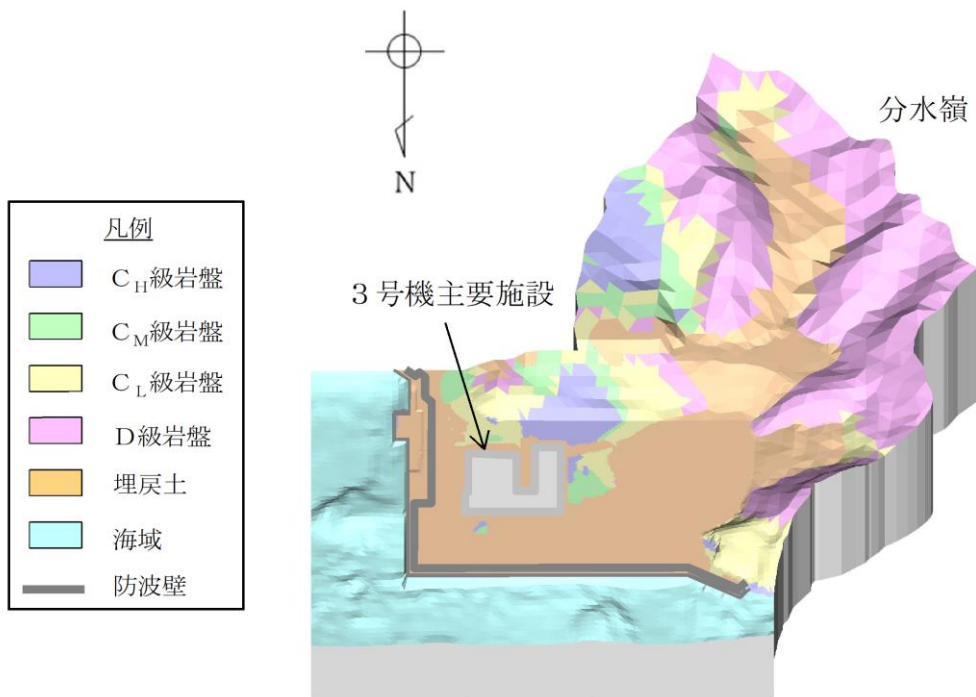


図 3.3-7 再現解析モデルの鳥瞰図（3号機エリア）

(b) 格子サイズ

モデルの格子サイズについて、3次元浸透流解析により得られた解析水位に基づき設定される設計地下水位が対象施設の耐震設計における解析断面上に反映される（2次元動的有限要素法を用いる場合など）ことを考慮し、格子寸法を1～40m程度に設定した（構造物近傍は最小1m程度、山側領域は40m程度）。

(c) 検証期間及び降雨条件の設定

検証対象とする観測水位は、地下水位観測開始以降で、一定期間の連続観測水位データが取得されている2016年4月～2018年8月とする。

降雨条件として、検証期間中の島根原子力発電所における観測降雨より求まる年平均降雨（1540mm/年）を与える。

(d) 地盤・構造物のモデル化

イ. 地形

地形（造形成状）は、検証期間における状態を考慮し設定した。

ロ. 地盤

敷地の地質構造や発電所建設時の敷地造形成状を考慮し設定した。建物周辺への地下水流入量や地下水位は盛土の影響が支配的であり、岩盤内のシームは薄層であり影響が軽微と考えられるため、シームについてはモデル化していない。

ハ. 構造物

- ・検証期間における設置状況を踏まえてモデル化した（検証期間において完成していない構造物等は考慮しない）。
- ・非岩着で基礎の浅い構造物等は、地下水流動への影響が軽微でありモデル化しない。
- ・舗装部への降雨は、構内排水路を介して海へと排水されることから考慮しない。
- ・建物の屋根排水は構内排水路に集水されるため考慮しない。

(e) 透水係数の設定

地盤及び施設の透水係数は、透水試験、粒度試験及び文献値に基づき設定する。透水係数の設定値及び設定根拠を表3.3-7及び「参考資料2-1 浸透流解析に用いる透水係数について」に示す。

表 3.3-7 透水係数の設定値及び設定根拠（再現解析モデルによる定常解析）

区分		透水係数 (cm/s)	設定根拠
構造物, 改良地盤		1×10^{-5}	管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理 マニュアル(改訂版)* ¹ に基づき設定
岩盤	C _H 級	5×10^{-5}	現場透水試験結果に基づき設定
	C _M 級	6×10^{-4}	
	C _L 級	1×10^{-3}	
	D級	2×10^{-3}	粒度試験結果を踏まえ, 土質試験の方法と 解説* ² に基づきクレーガーの方法* ³ によ り設定
砂礫層		4×10^{-3}	現場透水試験結果に基づき設定
埋戻土		2×10^{-1}	

注記*1: 2008.8 (財) 港湾空間高度化環境研究センター

*2: 2000.3 (社) 地盤工学会

*3: 粒径加積曲線から求まる 20%粒径D₂₀を用いて透水係数の概略値を推定する方法

(f) 有効間隙率の設定

有効間隙率は, 物理試験及び文献値に基づき設定する。

有効間隙率の設定値及び設定根拠を表 3.3-8 及び「参考資料 2-2 浸透流
解析に用いる有効間隙率について」に示す。

表 3.3-8 有効間隙率の設定値及び設定根拠

区分		有効間隙率 (%)	設定根拠
岩盤	C _H 級	11.5	岩石試験に基づき設定
	C _M 級	15.3	
	C _L 級	15.0	
	D級	23.5	
砂礫層		20.0	河川堤防の構造検討の手引き (改訂版)* に基づき設定
埋戻土			

注記*: 2012.2 (財) 国土技術研究センター

(g) ドレーンのモデル化

ドレーンは、検証期間における供用状態に対応し、1～3号機のドレーン(既設)を考慮する(ドレーン(新設)は考慮しない)。ドレーン(既設)の配置図を図3.3-8に、地下水位低下設備(既設)の概要を「参考資料3 地下水位低下設備(既設)について」に示す。

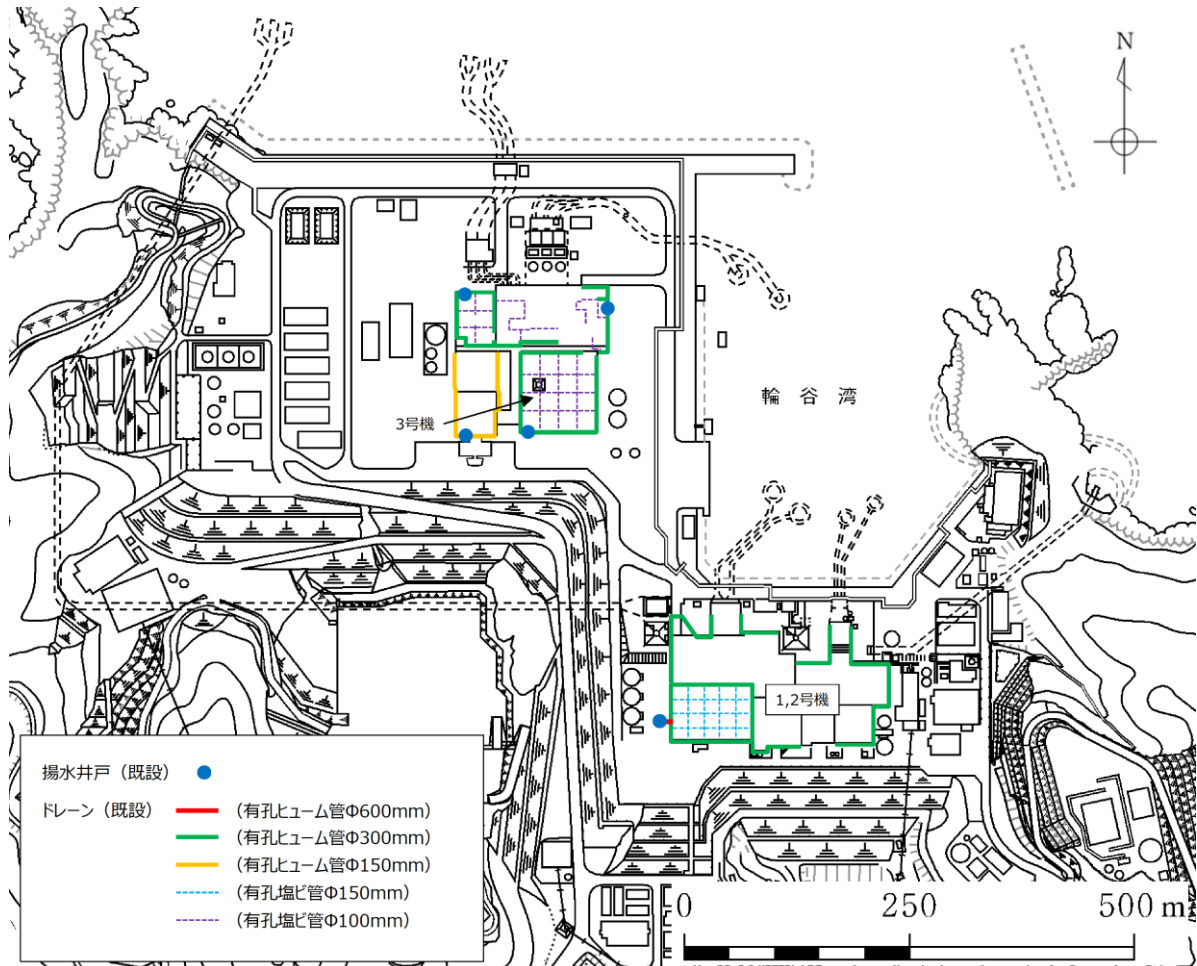


図 3.3-8 ドレーン(既設)配置図

(h) 浸透流解析条件まとめ(再現解析モデル)

表 3.3-9 に、再現解析モデルの解析条件一覧を示す。

表 3.3-9 再現解析モデルの概要

項目	再現解析モデル
目的	モデル化の妥当性を確認（観測記録の再現性を確保）
解析コード	Dtransu-3D・EL, バージョン：ver.2af90MP
解析領域	敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする 
格子数	<ul style="list-style-type: none"> 平面格子数：1, 2号機エリア：約 2.1 万 3号機エリア：約 2.4 万 総格子数：1, 2号機エリア：約 121 万 3号機エリア：約 138 万 格子寸法：1~40m 程度（構造物近傍は最小 1m 程度, 山側領域は 40m 程度）
解析種別	定常解析
検証期間	2016年4月~2018年8月
気象条件	降水量：構内観測所における年平均降水量 1,540mm/年
モデル（地形）	検証期間に対応した状態
モデル（地盤）	検証期間に対応した状態
モデル（構造物）	検証期間に対応した状態
モデル（ドレーン）	ドレーン（既設）を管路として考慮
境界条件	実態に則した設定 <ul style="list-style-type: none"> 山側：閉境界 海側：H.W.L. (EL 0.46m) に水位固定 ドレーン：管路としてモデル化
透水係数	透水試験, 粒度試験* ¹ 及び文献値* ²
有効間隙率	物理試験及び文献値* ³

注記*1：土質試験の方法と解説に基づき設定

*2：管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）に基づき設定

*3：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）に基づき設定

b. モデルの妥当性に係る検証

再現解析モデルとして、検証期間に対応した地盤・構造物の配置をモデル化に反映し、透水試験、粒度試験及び文献値に基づき水理特性を設定した。この再現解析モデルに観測降雨を付与した定常解析結果から、再現解析モデルの妥当性を確認した。解析モデルの妥当性は、検証期間中の各地下水位観測孔における水位の観測値と解析値を比較することにより確認した。検証期間中の各地下水位観測孔において観測された平均水位と解析水位の比較を図 3.3-9 に示す。この結果、検証を行った期間において、地下水位の解析水位は観測水位とおおむね一致するか上回った。

また、地下水位観測孔のうち、No. 2 観測孔において解析水位が観測水位を上回った理由として、表 3.3-1 に示すように No. 2 観測孔は地表から 0.5m の深さで岩盤が出現し、岩盤内の深い位置に水位計を設置していることが挙げられる。実際の岩盤には割れ目や亀裂があり、No. 2 観測孔の観測水位は岩盤内の局所的な亀裂等の影響を受けて下がっていると考えられるが、浸透流解析では岩盤の透水係数は一様に低い値であることから、観測水位よりも解析水位が高くなっていると判断した。

以上のことから、設計揚圧力及び設計地下水位の設定に用いる解析モデルの妥当性を確認することができた。

参考として、既設揚水ポンプ排水量の観測値と解析値の比較を行った結果、表 3.3-10 に示すとおり、解析値が観測値を若干下回っているが、おおむね再現できていることを確認した。

今後の揚水ポンプ容量の設定にあたっては、地下水の流入量が保守的な値となるように浸透流解析に用いる透水係数を設定する。詳細は補足-023-11「地下水位低下設備の設計方針に係る補足説明資料」において説明する。

観測降雨を与える再現解析（非定常解析）については設置変更許可時と同様に参考として実施する。再現解析（非定常解析）の降雨に対する感度向上に関する取り組みについて「参考資料 4 非定常解析の降雨に対する感度向上についての取り組み」に示す。また、「参考資料 5 地下水位観測記録について」に設置変更許可以降の観測記録について示す。

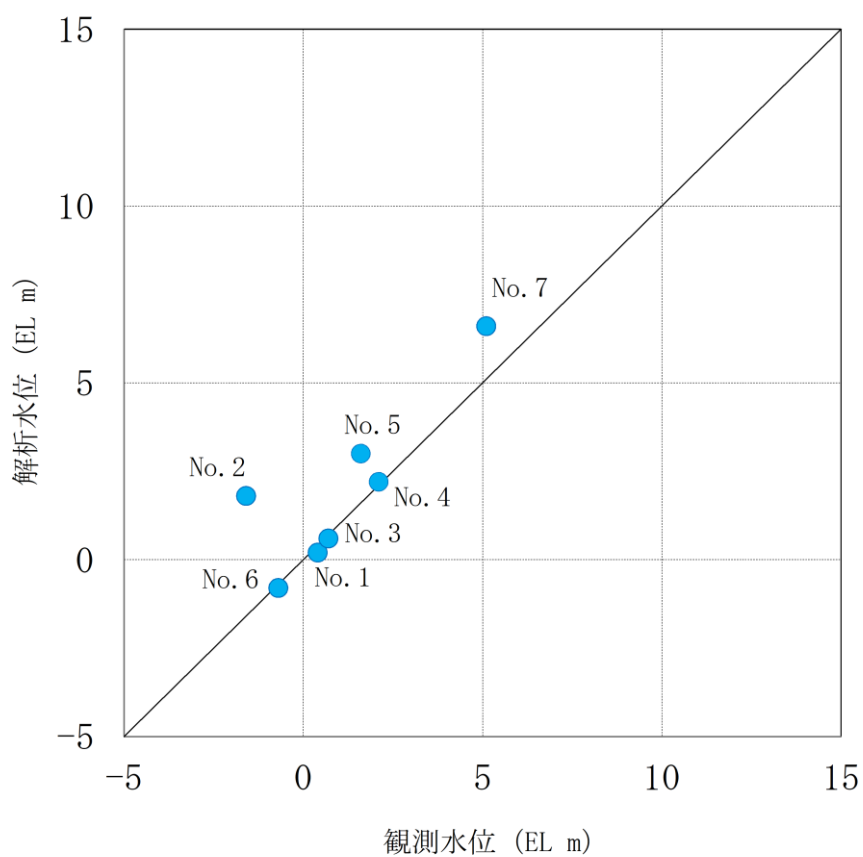


図 3.3-9 観測水位と解析水位の比較

表 3.3-10 既設揚水ポンプ揚水量の観測値と解析値の比較

	揚水量(m ³ /日)
観測値	969
解析値	856

(5) 予測解析

a. 予測解析（水位評価）モデルの概要

(a) モデル化範囲の設定

再現解析で妥当性を確認したモデルと同様の範囲をモデル化する。

(b) 格子サイズ

再現解析で妥当性を確認したモデルと同様の考え方で設定する。

(c) 地盤・構造物のモデル化

イ. 地形

地形（造形成状）については、本設工認に係る安全対策工事完了段階における状態を考慮し設定した。

ロ. 地盤

再現解析で妥当性を確認したモデルをベースに、防波壁周辺の改良地盤等を図 3.3-10 のとおり考慮した。

なお、シームについては再現解析と同様にモデル化していない。

ハ. 構造物

再現解析で妥当性を確認したモデルをベースに、本設工認に係る安全対策工事完了段階における構造物等の配置を表現するため、図 3.3-10 に示す構造物等についてモデル化を行った。

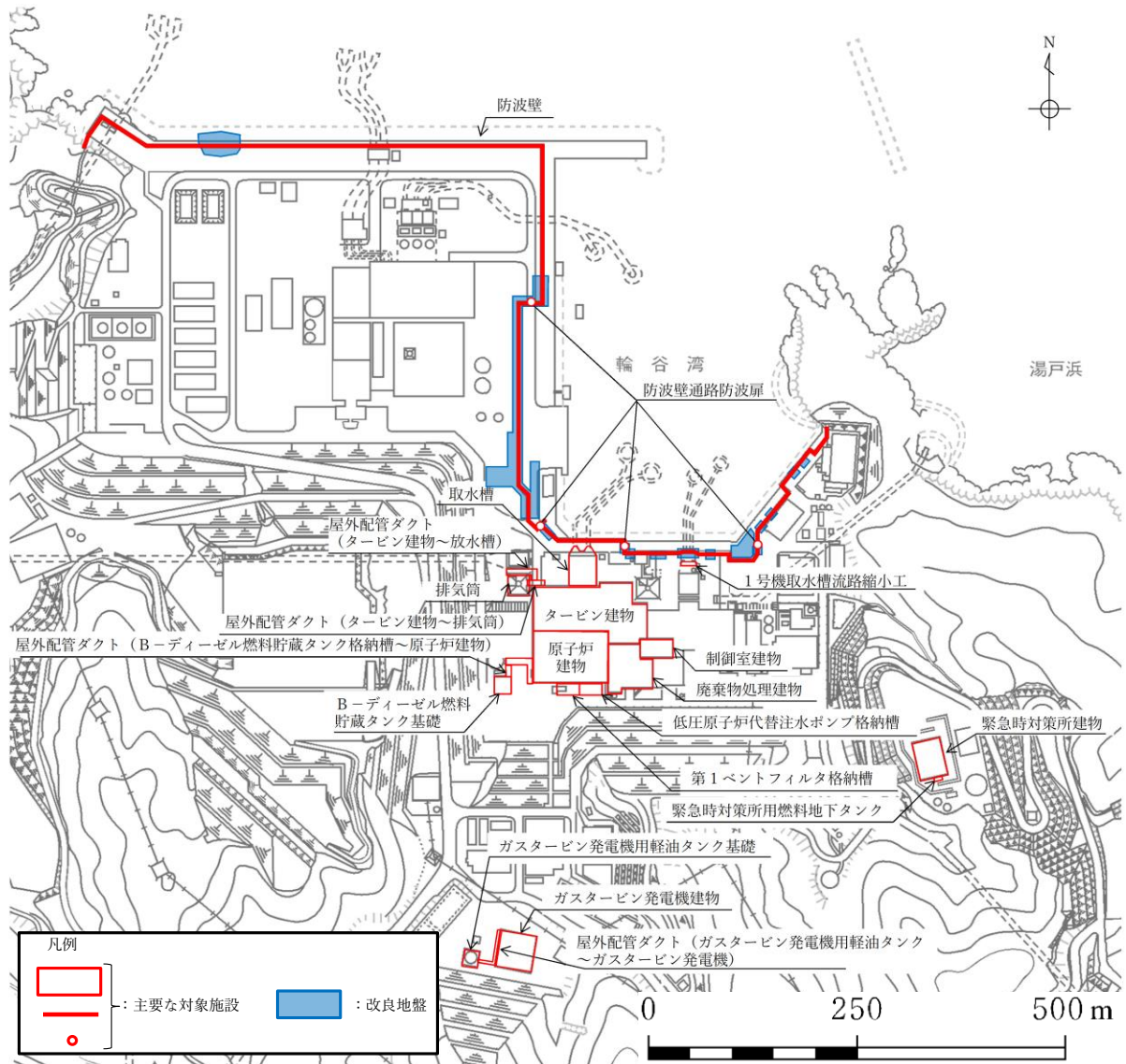


図 3.3-10 主要な対象施設及び改良地盤の位置図

(d) 透水係数及び境界条件の設定

イ. 透水係数

再現解析で妥当性を確認したモデルと同様の考え方で設定する。

ロ. 降雨条件

降雨条件は揚圧力、地下水位いずれも保守的に高く算出されるよう、松江地方気象台における過去 78 年間（1941～2018 年）の年間降水量の平均値（1880mm/年）を算出し、ばらつきを考慮した値（平均値 + 1 σ ）に今後の気候変動予測による降水量の変化*を加味し、2400mm/年を設定する。降雨条件の設定方法について「参考資料 6 予測解析における降雨条件について」に示す。

この降雨条件の保守性について図 3.3-11 に示す。

図 3.3-11 は、観測降雨（1540mm/年）及び予測解析で用いる降雨条件（2400mm/年）を与えた際の解析モデル境界部における解析水位を示したものであり、予測解析で用いる降雨条件による解析水位が観測降雨による地下水位を大きく包絡していることから、設計揚圧力及び設計地下水位を保守的に高く評価できる。

注記*：気象庁・環境省 「日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について」

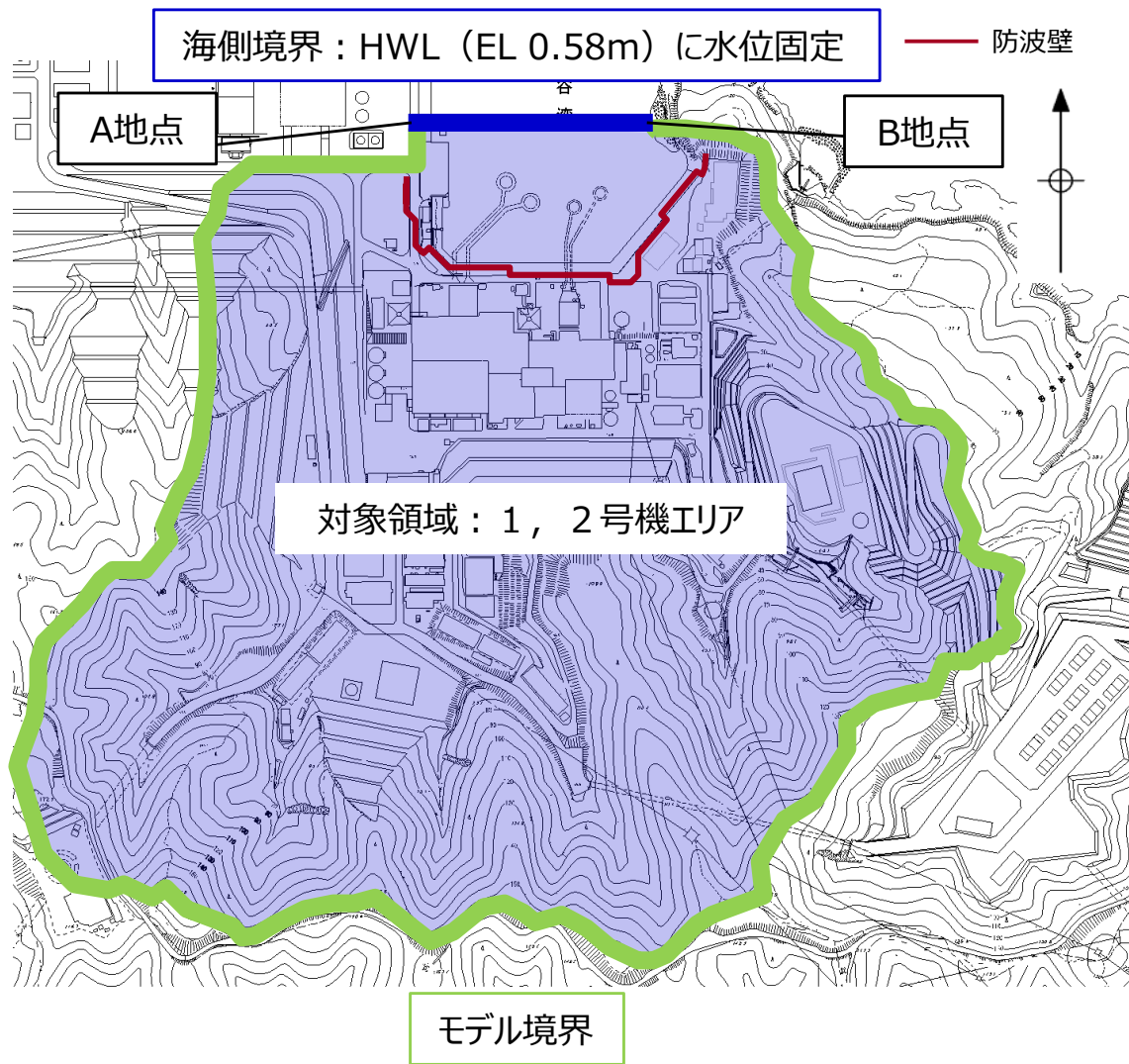
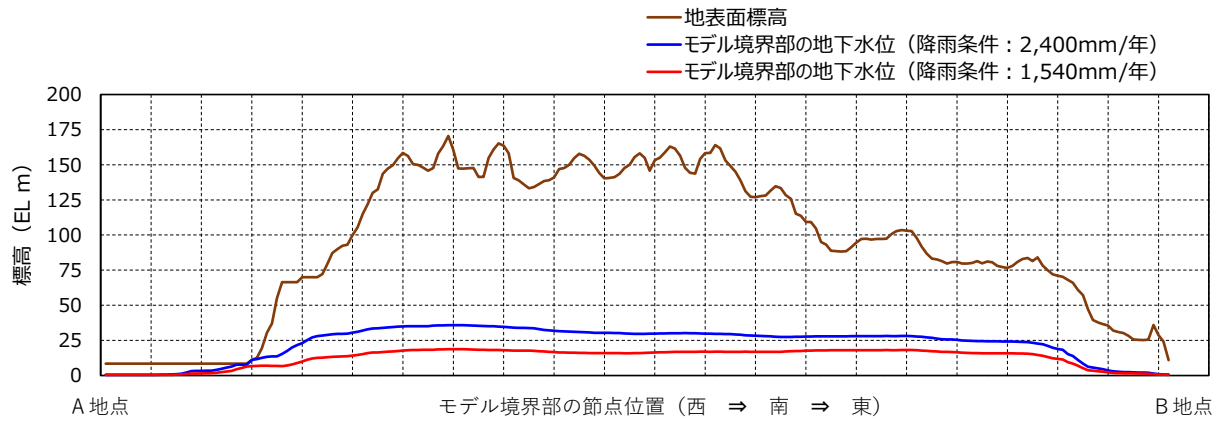


図 3.3-11 保守的な降雨条件の設定例

(e) ドレーンのモデル化

イ. 有効範囲の設定

対象施設のうち，原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物，制御室建物及び排気筒については，集水機能に寄与するドレーンの有効範囲は，ドレーン（既設）の効果には期待せず土砂相当の埋戻土の透水係数を設定し，ドレーン（新設）に限定することで保守性を確保する。

対象施設のうち，屋外重要土木構造物等の設計地下水位を設定する際には，地下水位が保守的に高く算定されるよう，ドレーン（既設）には期待せず土砂相当の埋戻土の透水係数を設定することに加え，ドレーン（新設）についても考慮しないことから，モデル化しない。

ドレーンの種類と各観点に対する評価，並びに浸透流解析上の取扱いについて表 3.3-11 に示す。

また，予測解析において参照する地下水位低下設備の配置を図 3.3-12 に示す。

表 3.3-11 ドレインの状態に対応した分類と浸透流解析上の取扱い

ドレインの種類	各観点に対する評価			浸透流解析上の取扱い
	耐久性	耐震性	保守管理性	
<p>ドレイン (既設)</p>	○	△	×	<p>○ : 土砂 ● : 砕石 (40~20mm)</p> <p>岩盤や構造物に囲まれており、周囲を砕石で埋め戻しているため、機能に期待しない場合においても、砕石相当の透水性を有するが、万が一、経年的に周囲の埋戻土からの土砂流入により通水面積の減少が発生した場合、確実に土砂を除去できないため、砕石の間に土砂が流入した状態を仮定し、土砂相当の埋戻土の透水係数 ($2 \times 10^{-1} \text{cm/s}$) を設定した。</p>
<p>ドレイン (新設)</p>	○	○	○	<p>○ : 土砂 ● : 砕石 (40~20mm)</p> <p>管の耐久性・耐震性が確保され、構造を確認できるところから、大気圧解放状態とする。</p>

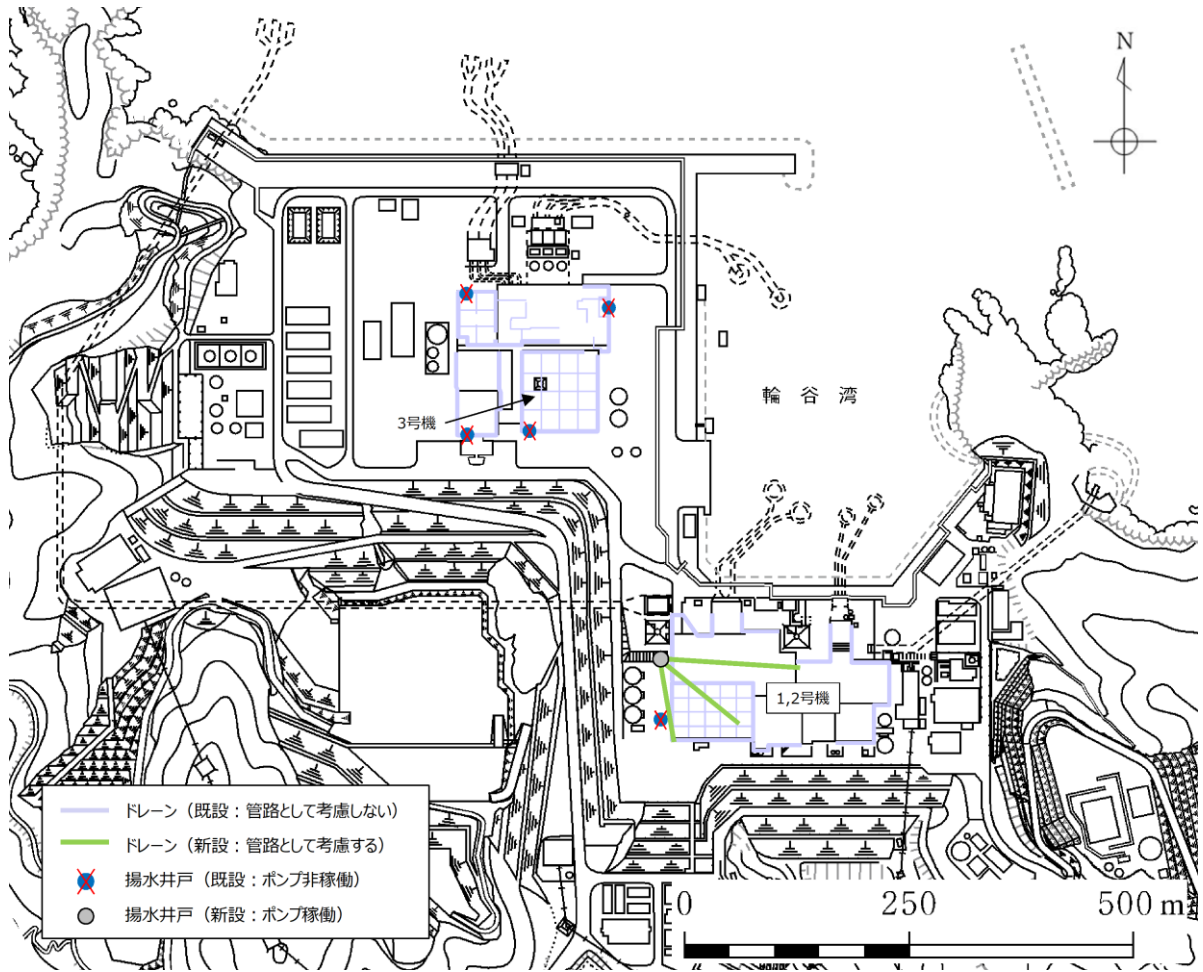


図 3.3-12 予測解析において参照する地下水位低下設備の配置

(f) 浸透流解析条件まとめ（予測解析（水位評価）モデル）

表 3.3-12 に、再現解析モデルと予測解析（水位評価）モデルの解析条件一覧を示す。

表 3.3-12 予測解析（水位評価）モデルの概要

項目	【参考】再現解析モデル	予測解析（水位評価）モデル	
目的	モデル化の妥当性を確認 （観測記録の再現性を確保）	建物・構築物における保守的な設計揚圧力を設定	屋外重要土木構造物等における保守的な設計地下水位を設定
解析コード	Dtransu-3D・EL, バージョン：ver.2af90MP		
解析領域	敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とする 		
格子数	・平面格子数：1，2号機エリア：約 2.1 万 3号機エリア：約 2.4 万 ・総格子数：1，2号機エリア：約 121 万 3号機エリア：約 138 万 ・格子寸法：1～40m 程度（構造物近傍は最小 1m 程度，山側領域は 40m 程度）		
解析種別	定常解析		
検証期間	2016 年 4 月～2018 年 8 月	—	
気象条件	降水量：1,540mm/年	保守的な降水量として，2,400mm/年を考慮	
モデル（地形）	検証期間に対応した状態	工事完了段階に対応した状態	
モデル（地盤）	検証期間に対応した状態	工事完了段階に対応した状態（防波壁周辺の改良地盤等を考慮）	
モデル（構築物）	検証期間に対応した状態	工事完了段階に対応した状態	
モデル（ドレーン）	ドレーン（既設）を管路として考慮	既設：管路として考慮しない 新設：管路として考慮	既設：管路として考慮しない 新設：管路として考慮しない
境界条件	実態に則した設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.* ¹ (EL 0.46m) に水位固定 ・ドレーン：管路としてモデル化	保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.* ¹ (EL 0.58m) に水位固定 ・ドレーン：施工計画高に水位固定しモデル化	更なる保守的な設定 ・山側：閉境界 ・海側：H.W.L.* ¹ (EL 0.58m) に水位固定
透水係数	透水試験，粒度試験* ² 及び文献値* ³		
有効間隙率	物理試験及び文献値* ⁴		

注記*1：再現解析（定常・非定常）においては朔望平均満潮位 EL 0.46m を用い、予測解析においては、保守的に近年の潮位の上昇量を考慮した朔望平均満潮位 EL 0.58m を用いる。

*2：土質試験の方法と解説に基づき設定

*3：管理型廃棄物物理立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）に基づき設定

*4：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）に基づき設定

b. 地下水位低下設備（新設）について

(a) 地下水位低下設備（新設）の概要

地下水位低下設備（新設）は、発電所の運用及び構内排水計画等を踏まえ、タービン建物の西側に設置し、揚水井戸、多重化した揚水ポンプ、水位計及び配管等で構成される。

地下水位低下設備（新設）の概要を図 3.3-13 及び「参考資料 7 地下水位低下設備（新設）について」に示す。

(b) ドレーン（新設）の施工について

新設する地下水位低下設備のドレーンの施工は、揚水井戸を所定の深度まで掘削後、立坑内から水平ボーリングマシンによりドレーンの延長まで掘進し、ドレーン（有孔管、内径 200mm）を敷設する。

(c) ドレーン（新設）の保守管理について

建物・構築物の設計揚圧力の算定に用いる浸透流解析において考慮している新設ドレーン（有孔管）は、すべて岩盤内に設置する。このため、設置後の地下水位低下設備の運用においては、ドレーン内に土砂等が流入し閉塞する可能性が非常に小さいが、保守管理により地下水を揚水井戸まで集水する機能を維持することが可能とする。具体的には、TVカメラによるドレーン内部の確認、高圧洗浄による土砂等の除去を適宜実施することにより、地下水を揚水井戸まで集水する機能を維持する。

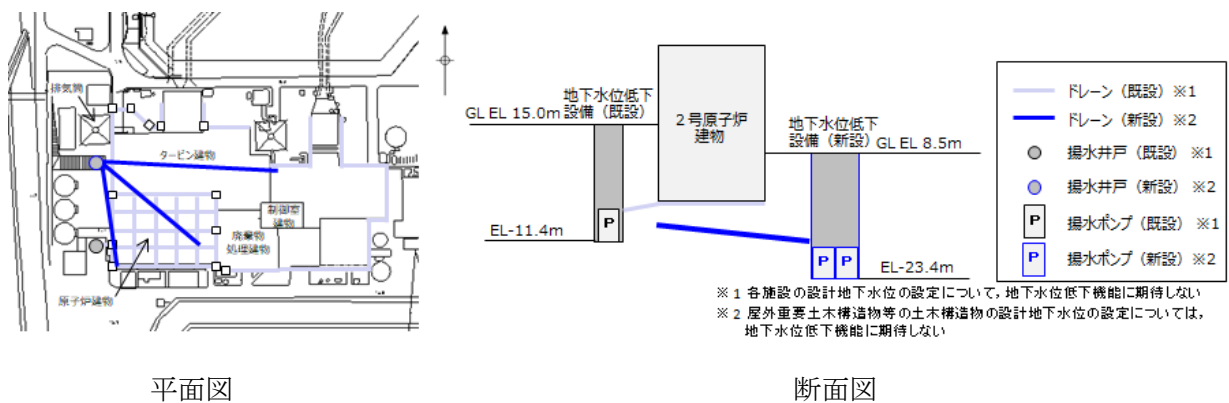


図 3.3-13 地下水位低下設備の概要

c. 解析結果

(a) 建物・構築物の設計揚圧力の設定に参照する地下水位分布

地下水位低下設備の効果が及ぶ範囲（EL 8.5m 盤及び EL 15.0m 盤）に位置する建物・構築物の設計揚圧力の設定において参照する地下水位分布を図 3.3-14 に、等ポテンシャル図を図 3.3-15 に示す。

イ 地下水位分布（図 3.3-14）について

- ・解析水位は、図 3.3-13 に示すドレーン（新設）へ向かって地下水が流れる状況を示しており、原子炉建物及びタービン建物周辺の地下水位は地下水位低下設備（新設）の効果により大きく下がっている。
- ・一方、敷地東側などドレーン（新設）から離れた位置では解析水位が高く、距離が離れるにつれて地下水位低下設備（新設）の効果が小さくなっている。

ロ 等ポテンシャル図（図 3.3-15）について

- ・地下水コンター図と同様に、地盤中をドレーン（新設）へ向かってポテンシャル勾配が生じており、ドレーン（新設）からの距離が離れるにつれて勾配が緩やかになることから、地下水位低下設備（新設）の効果が小さくなることを示している。これは地下水位コンター図とも整合的である。

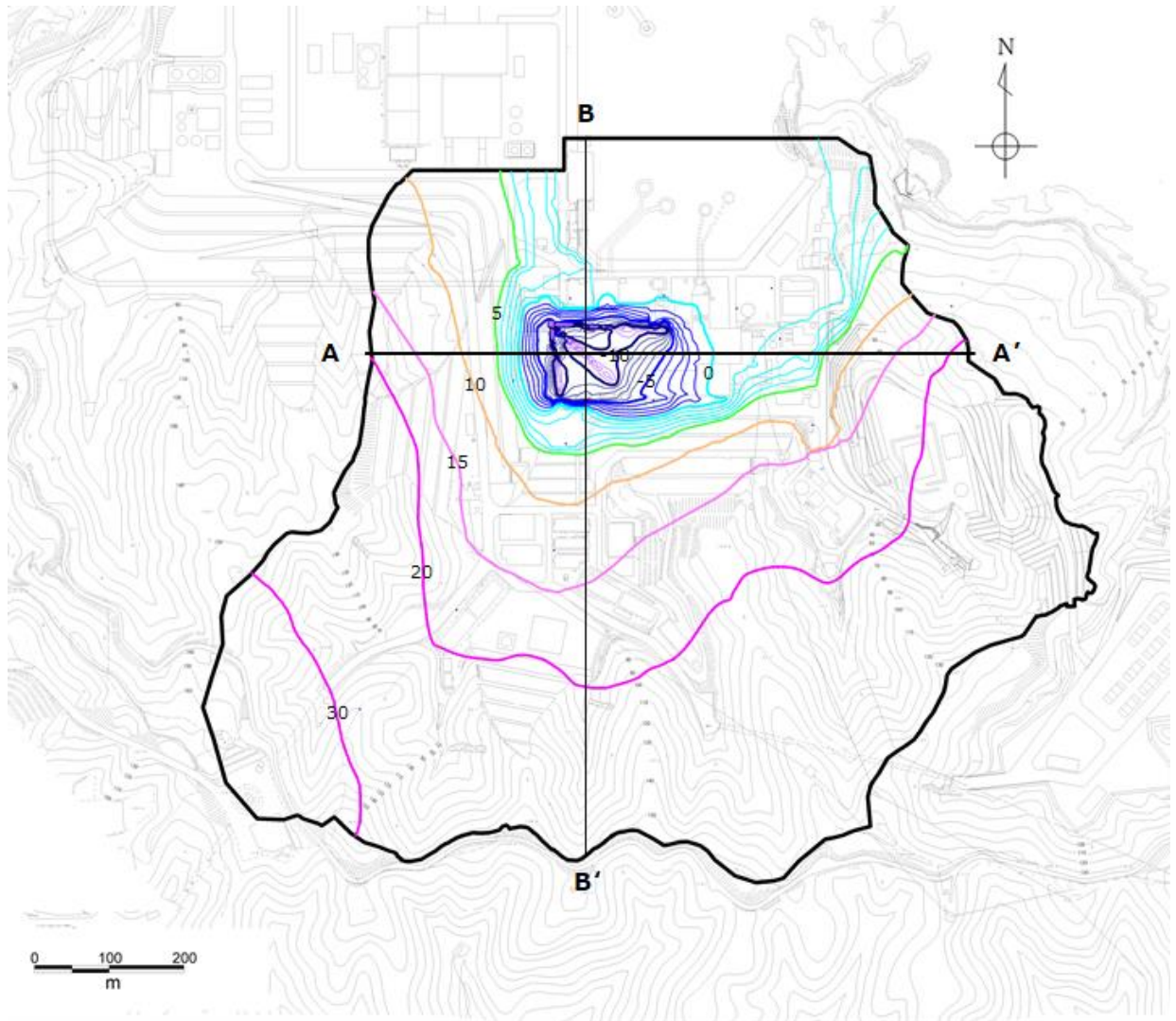
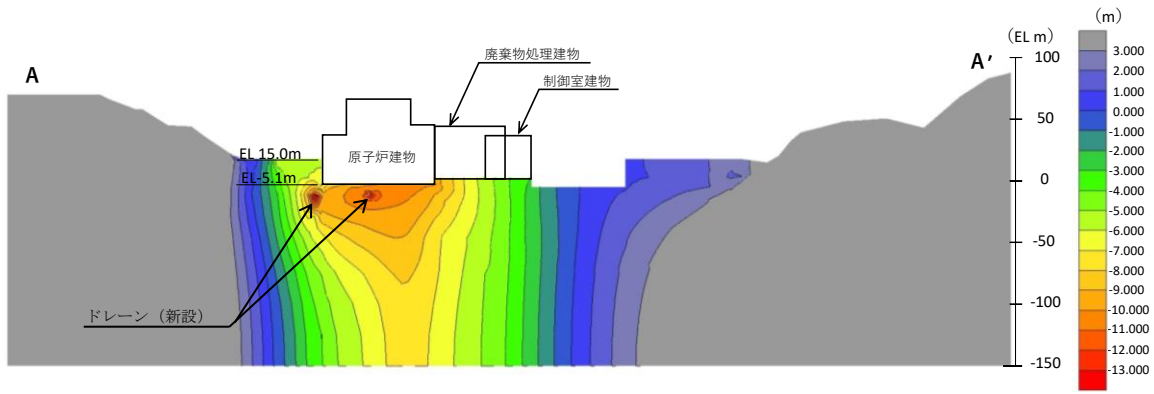
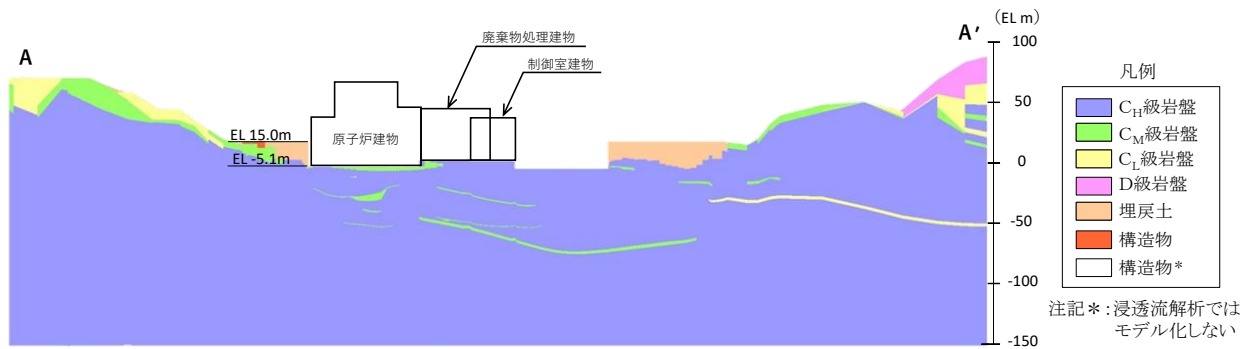


図 3.3-14 建物・構築物の設計揚圧力の設定において参照する
地下水位分布（単位：EL m）

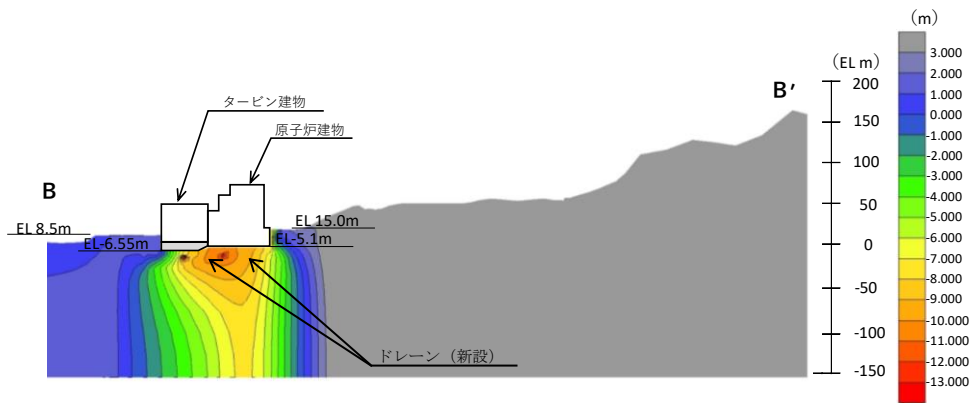


(a) 等ポテンシャル図

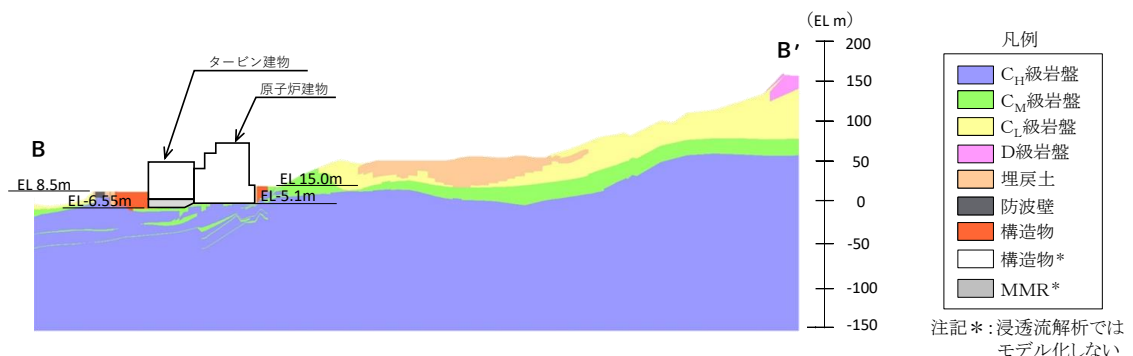


(b) 解析モデル図

図 3.3-15 (1) 予測解析結果 (A-A'断面)



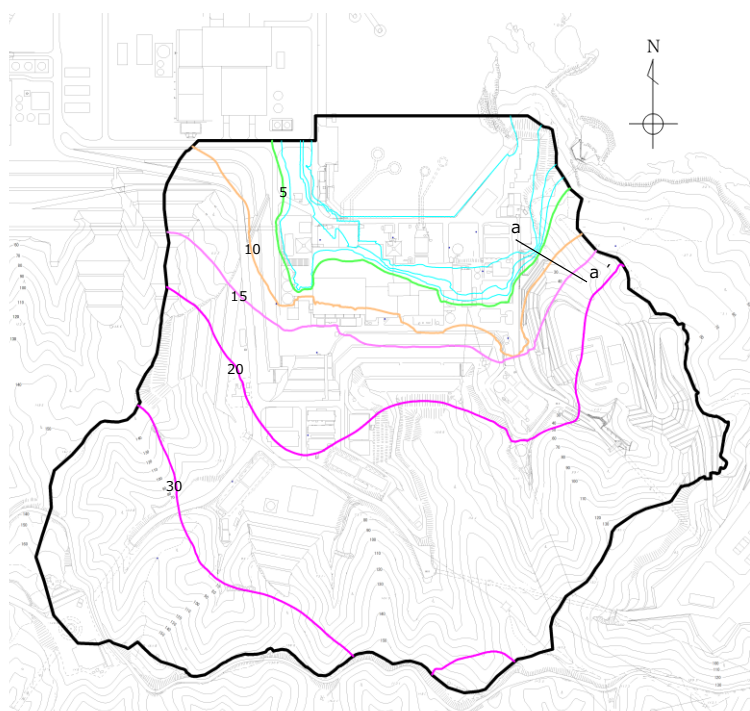
(a) 等ポテンシャル図



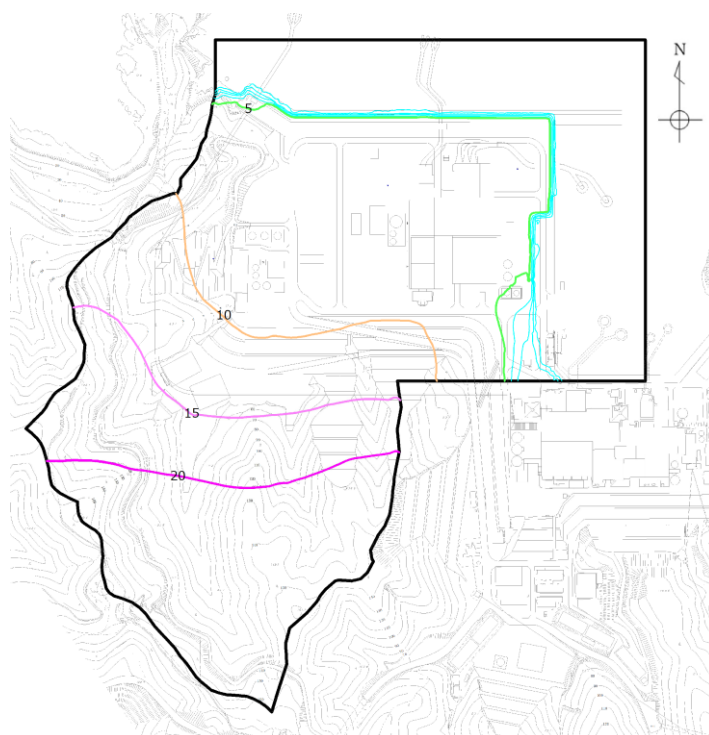
(b) 解析モデル図

図 3.3-15(2) 予測解析結果 (B-B'断面)

- (b) 屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定に参照する地下水位分布
 屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定において参照する地下水位（自然水位）分布を図 3.3-16 に示す。



(1, 2号機エリア)



(3号機エリア)

図 3.3-16 屋外重要土木構造物等の設計地下水位の設定において参照する
 地下水位（自然水位）分布（単位：EL m）

また、図 3.3-16 中の a 部の地下水位の等高線が密になっている箇所では、図 3.3-17 に示すように透水係数が小さい岩盤部と、透水係数が大きい埋戻土部との境界部分で水位差が生じ、地下水位勾配が大きくなっていると考えられる。

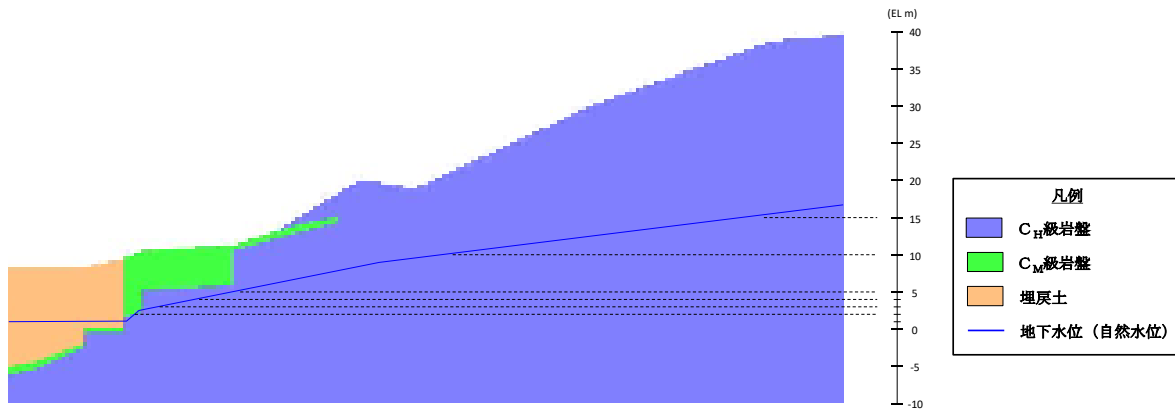


図 3.3-17 解析モデル断面図 (図 3.3-16 a-a' 断面)

d. 設計揚圧力及び設計地下水位の設定

予測解析に基づく設計揚圧力及び設計地下水位の設定結果を以下に示す。

(a) 建物・構築物の耐震評価における地下水位設定

地下水位低下設備（新設）の効果に期待する建物・構築物について、予測解析により得られた揚圧力、地下水位及びこれを参照した設計揚圧力を表 3.3-13 に示す。また、周辺の地下水位分布を図 3.3-18～図 3.3-20 に示す。なお、地下水位低下設備（新設）の効果に期待する建物構築物のうち、下位クラス施設である 1 号機建物・構築物についての地下水位の確認結果を「参考資料 8-1 1 号機建物・構築物の地下水位について」に示す。

表 3.3-13 建物・構築物における設計揚圧力の設定一覧

施設名称 (基礎底面 高さ)	建設時工事 計画認可時の 設計揚圧力	予測解析結果*1 (上段：揚圧力 下段：地下水位)	設計 揚圧力*2	設計 地下水位*2,3	備考
原子炉 建物 (EL-4.7m)	0.8t/m ²	0.0t/m ² ----- EL-9.9m	0.8t/m ² (7.8kN/m ²)	EL-3.9m	建設時の 工事計画 認可時か らの変更 なし
タービン 建物 (EL 0.0m)	2.0t/m ²	0.0t/m ² ----- EL-7.0m	2.0t/m ² (19.6kN/m ²)	EL 2.0m	
廃棄物処理 建物 (EL 0.0m)	2.0t/m ²	0.0t/m ² ----- EL-5.5m	2.0t/m ² (19.6kN/m ²)	EL 2.0m	
制御室 建物 (EL 0.1m)	0.0t/m ²	0.0t/m ² ----- EL-3.9m	0.0t/m ² (0.0kN/m ²)	EL 0.1m	
排気筒 (EL 2.0m)	0.0t/m ²	0.0t/m ² ----- EL-1.0m	0.0t/m ² (0.0kN/m ²)	EL 2.0m	

注記*1：建物底面に作用する平均揚圧力又は平均地下水位

*2：耐震設計上の設計揚圧力及び設計地下水位

*3：基礎底面高さをもとに設計揚圧力から求めた設計地下水位を示す。

なお、基礎底面以深となる場合は基礎底面レベルに設定する。

注：屋外配管ダクト（排気筒）については、排気筒の基礎上に設置されることから、排気筒の設計地下水位（EL 2.0m）を用いる。

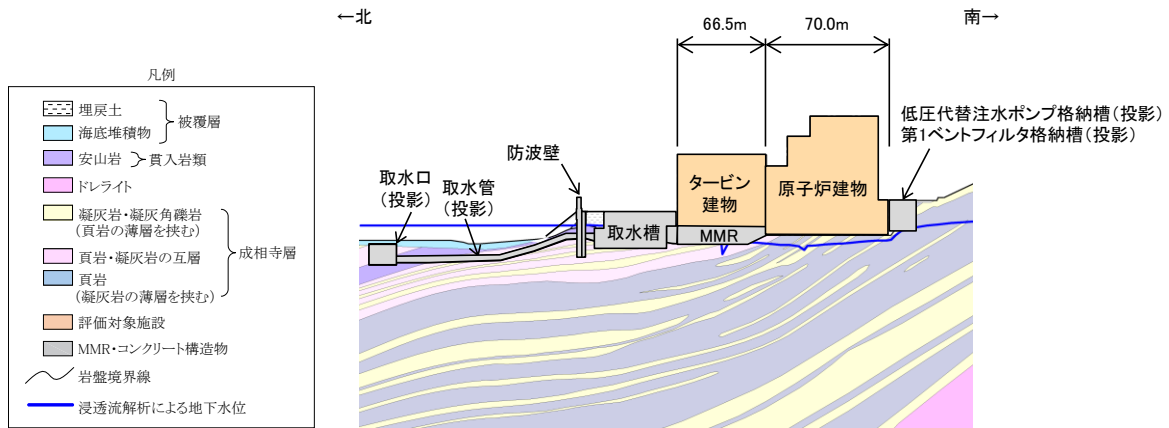


図 3.3-18 原子炉建物及びタービン建物の地下水位分布 (南北)

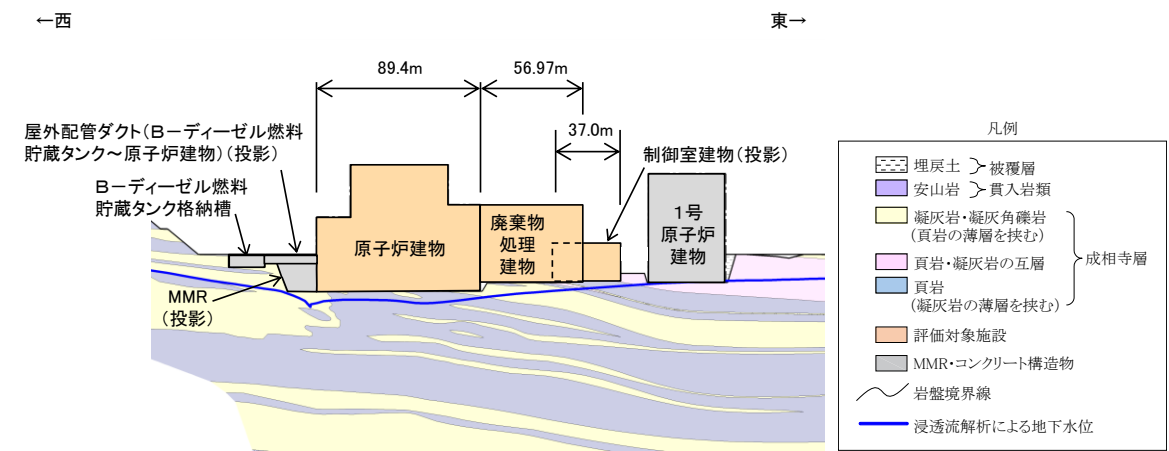


図 3.3-19 原子炉建物，廃棄物処理建物及び制御室建物の地下水位分布 (東西)

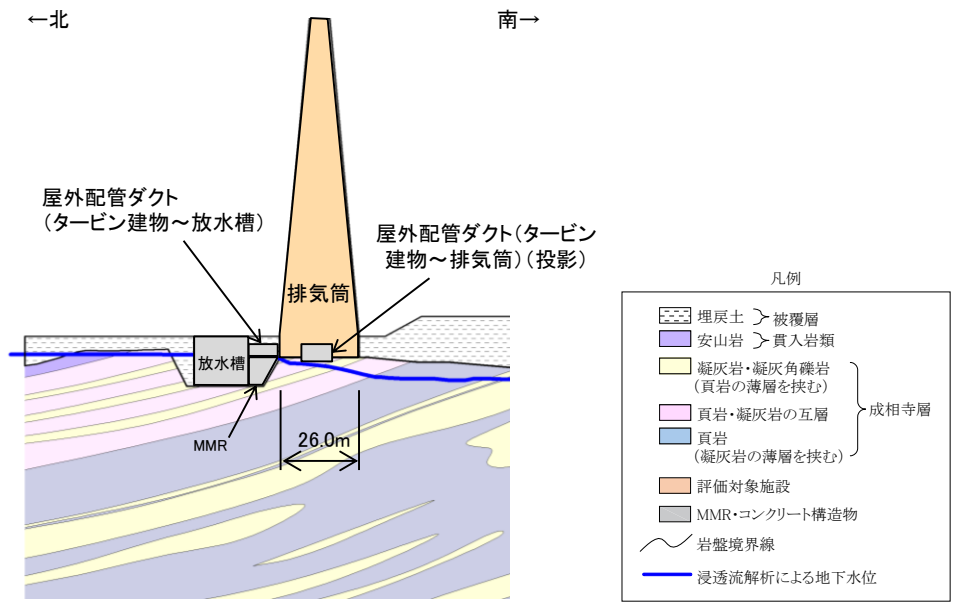


図 3.3-20 排気筒の地下水位分布 (南北)

(b) 屋外重要土木構造物等の耐震評価における地下水位設定

屋外重要土木構造物等について、予測解析により得られた解析水位（自然水位）に観測結果のばらつき及び構造物周辺の状況を踏まえて十分な保守性を確保して設計地下水位を設定する。

各構造物の設計地下水位は、観測水位の標準偏差（ 1σ ）が最大 0.6m であることを踏まえて以下のように設定する。各構造物の予測解析による地下水位（自然水位）、設計地下水位及び建設時の工事計画認可時の設計地下水位を表 3.3-14 に示すとともに、設計地下水位の設定方法の詳細を「参考資料 8-2 土木構造物の設計地下水位の設定方法」に示す。

なお、設計地下水位を基礎底面よりも高く設定する構造物については、静水圧が作用した際の浮上り評価についても実施する方針とし、詳細は各構造物の耐震性についての説明書に示す。

イ. 取水槽の設計地下水位

表 3.3-14 及び図 3.3-21~23 より、取水槽の耐震評価モデル範囲内の解析水位（自然水位）は EL 0.58m~3.8m であり、地表面より低い。取水槽は海域に近く、海水位の影響を受けていると考えられ、図 3.3-3 に示す取水槽近傍の地下水位観測孔 No. 3 の観測結果からも地下水位の変動は小さいことから、取水槽の設計地下水位については、観測水位のばらつき（ 1σ ）を考慮して EL 4.5m に設定する。

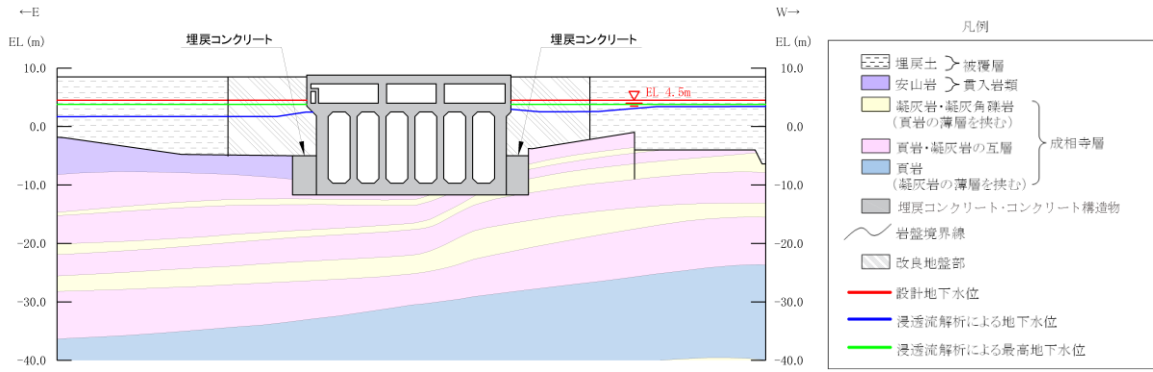


図 3.3-21 取水槽（スクリーン室）の地下水位分布

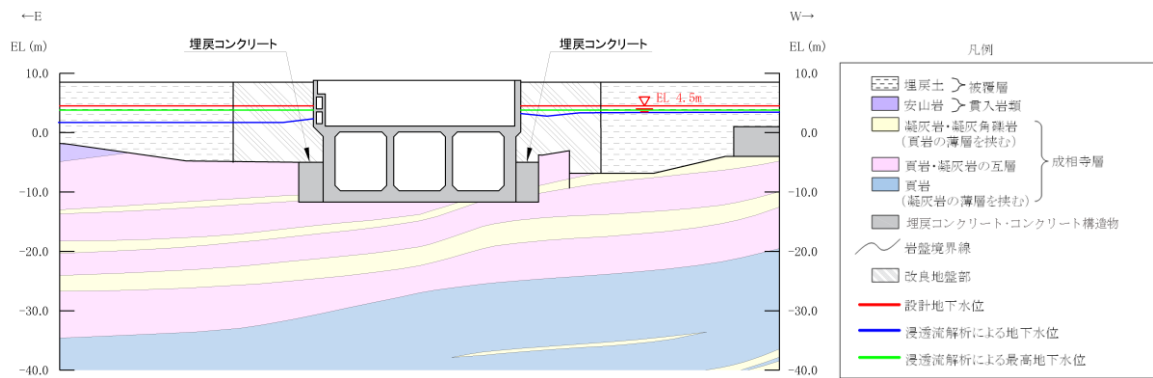


図 3.3-22 取水槽（ポンプ室）の地下水位分布

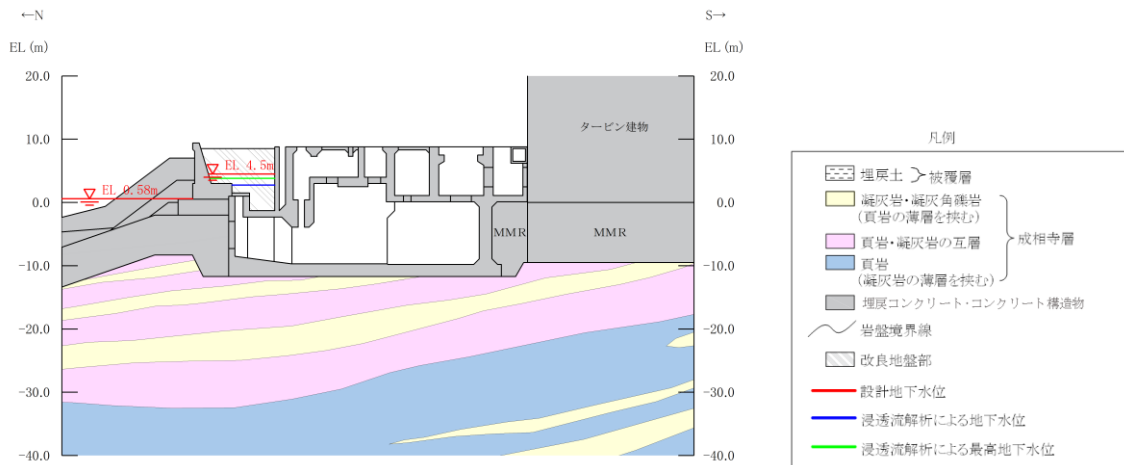


図 3.3-23 取水槽の地下水位分布（南北）

ロ. 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の設計地下水位

表 3.3-14 及び図 3.3-24, 25 より, 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の耐震評価モデル範囲内の解析水位（自然水位）は EL 2.7m～3.6m であり, 地表面より低い。屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の設計地下水位については, 観測水位のばらつき（1 σ ）に更に余裕を考慮して EL 4.9m に設定する。

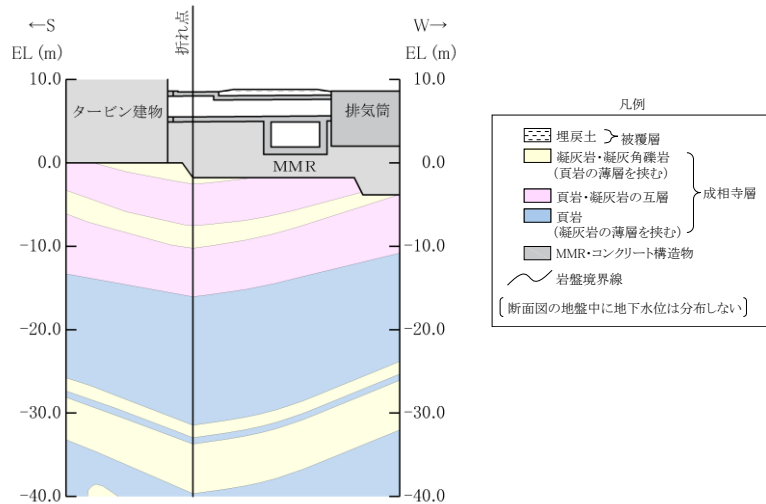


図 3.3-24 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地下水位分布（縦断）

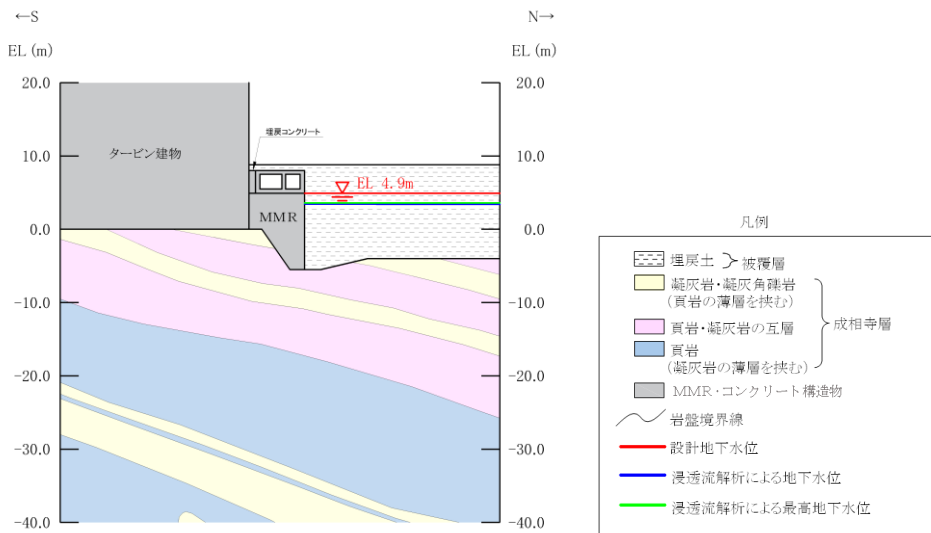


図 3.3-25 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地下水位分布（横断）

ハ. 第 1 ベントフィルタ格納槽の設計地下水位

表 3.3-14 及び図 3.3-26～28 より, 第 1 ベントフィルタ格納槽の耐震評価モデル範囲内の解析水位（自然水位）は EL 9.4～15.0m であり, 地表面まで上昇している箇所が存在することから, 第 1 ベントフィルタ格納槽の設計地下水位については, 地表面と同じ EL 15.0m に設定する。

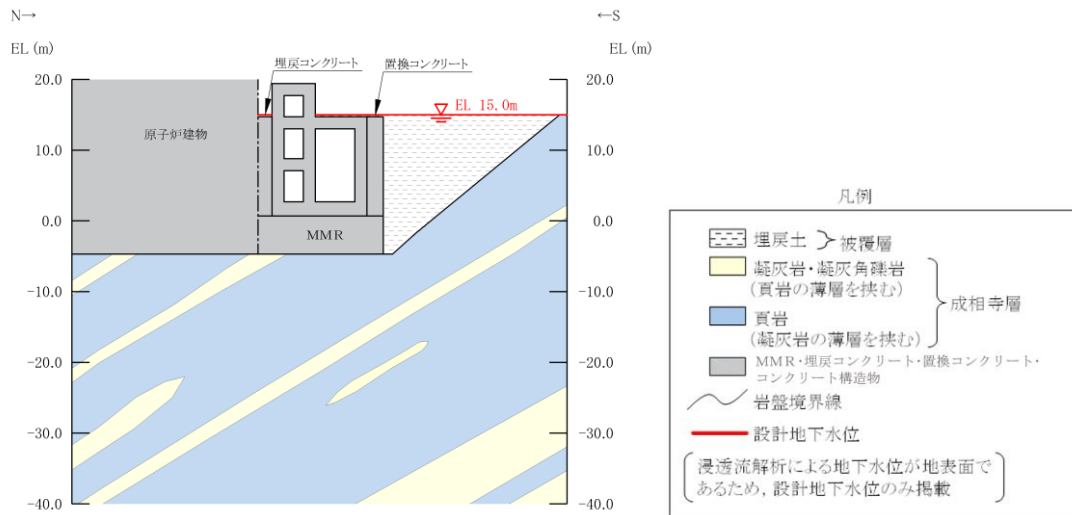


図 3.3-26 第1ベントフィルタ格納槽の地下水位分布 (南北：格納室)

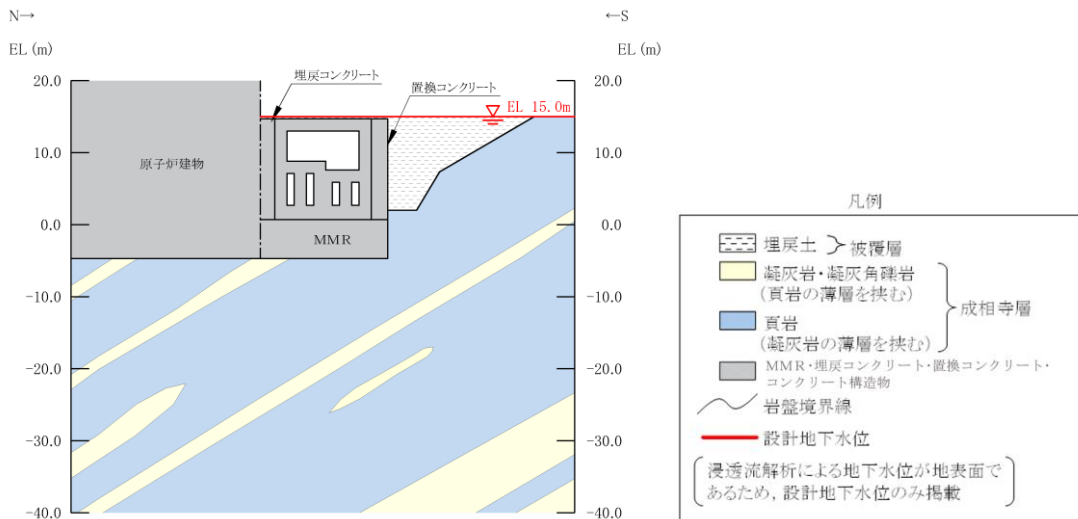


図 3.3-27 第1ベントフィルタ格納槽の地下水位分布 (南北：銀ゼオライト部)

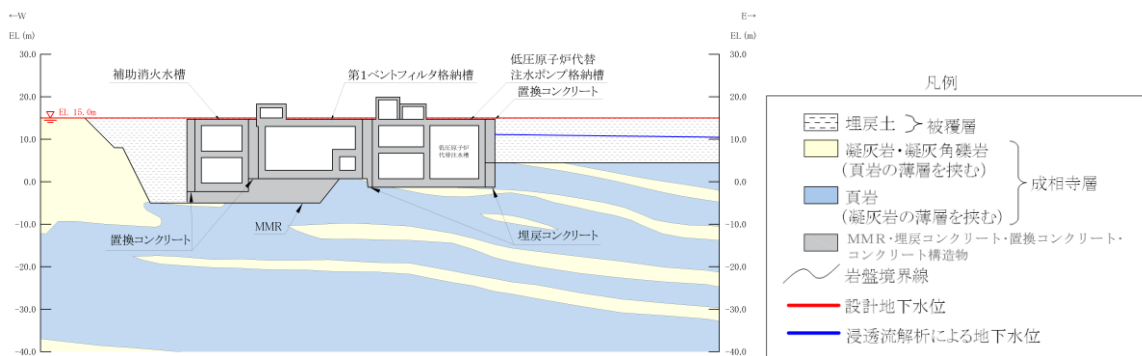


図 3.3-28 第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地下水位分布

ニ. 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の設計地下水位

表 3.3-14 及び図 3.3-29, 30 より, 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の耐震評価モデル範囲内の解析水位(自然水位)は EL 9.4~15.0m であり, 地表面まで上昇している箇所が存在することから, 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の設計地下水位については, 地表面と同じ EL 15.0m に設定する。

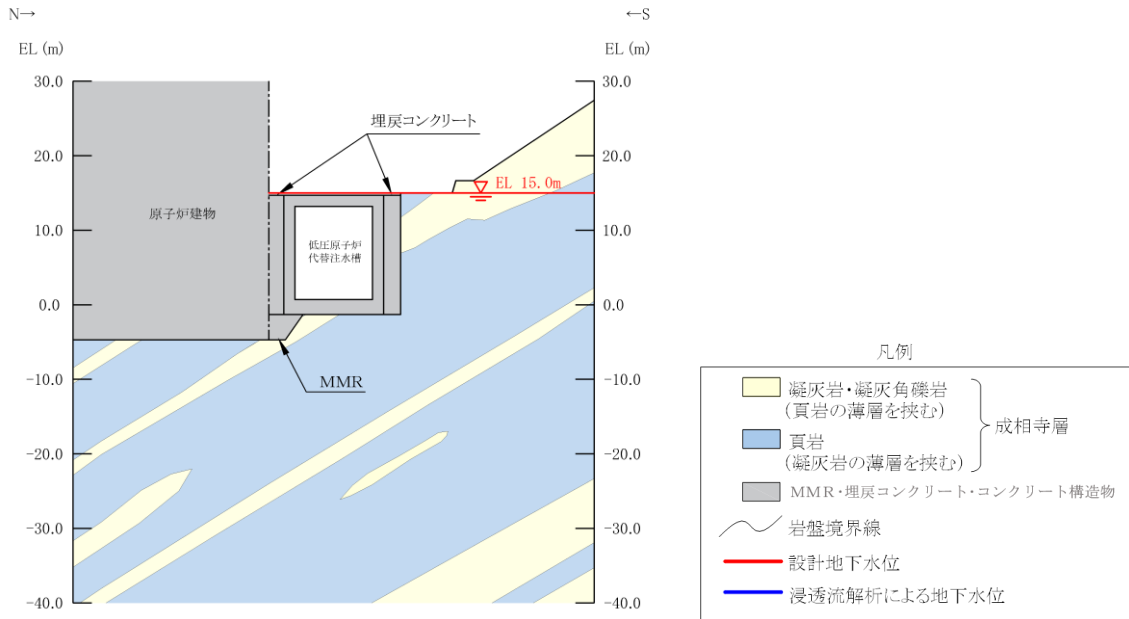


図 3.3-29 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地下水位分布(南北:水室)

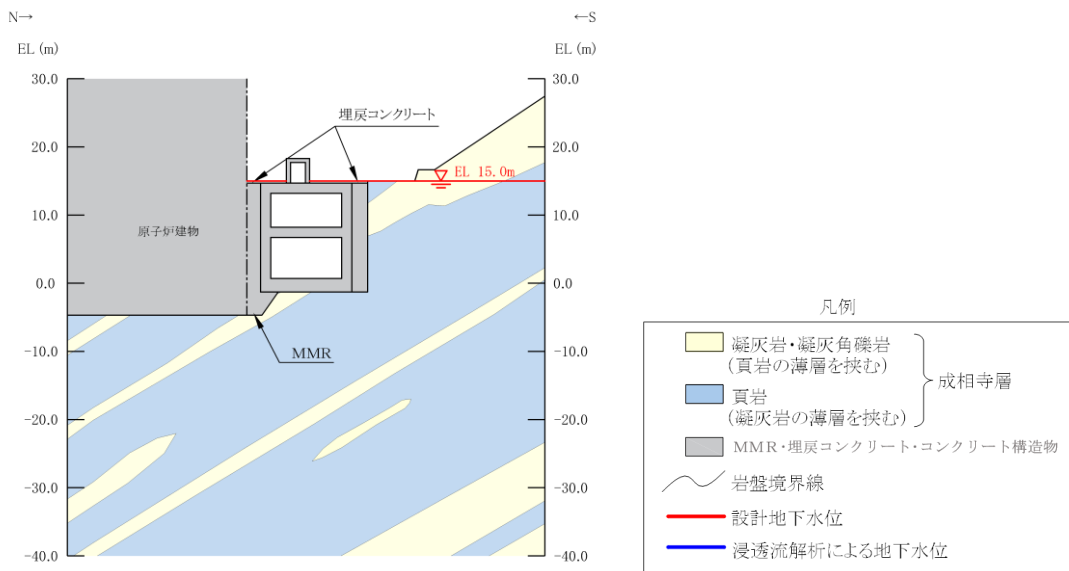


図 3.3-30 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地下水位分布(南北:ポンプ室)

ホ. 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) の設計地下水位

表 3.3-14 及び図 3.3-31, 32 に示すように, 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) の耐震評価モデル範囲内の解析水位 (自然水位) は EL 22.1～24.2m であり, 解析モデル範囲より低いことから, 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) の耐震設計においては地下水の影響は考慮しない。

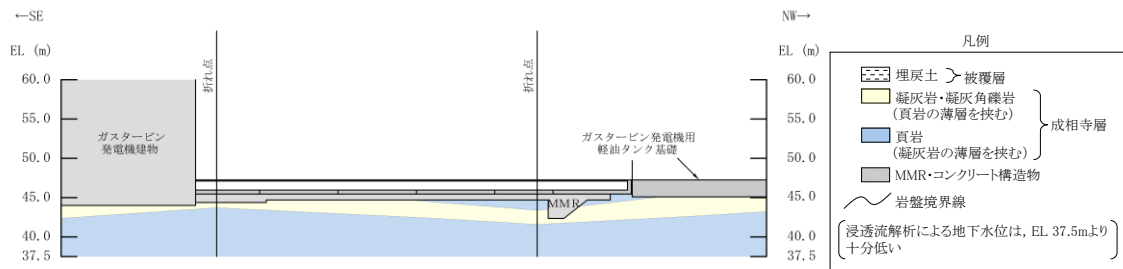


図 3.3-31 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) の地下水位分布 (縦断)

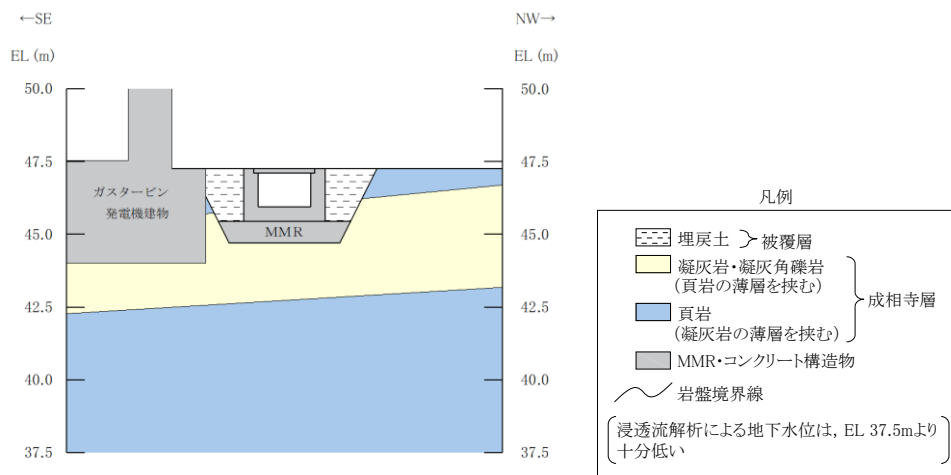


図 3.3-32 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機) の地下水位分布 (横断)

表 3.3-14 屋外重要土木構造物等における設計地下水位の設定一覧

施設名称	建設時の工事 計画認可時の 設計地下水位 (EL m)	予測解析による 地下水位 (自然水位) (EL m)	設計 地下 水位 (EL m)	備考
取水槽	0.3	0.58~3.8	4.5	
屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	0.3	2.7~3.6	4.9	
屋外配管ダクト (タービン建物~放水槽)	—*1	2.9~3.8	5.2	
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	—*1	3.9~15.0	15.0	地表面
屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク~原子炉建物)	—*1	5.8~14.9	15.0	地表面
防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	—*1	0.58~4.5	5.5	
防波壁 (逆T擁壁)	—*1	0.58~6.3	8.5	地表面
防波壁 (波返重力擁壁)	—*1	0.58~7.2	8.5	地表面
1号機取水槽流路縮小工	—*1	0.58~1.6	3.0	
防波壁通路防波扉*2	—*1	0.7~6.0	8.5	地表面
第1ベントフィルタ格納槽	—*1	9.4~15.0	15.0	地表面
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	—*1	9.4~15.0	15.0	地表面
緊急時対策所	—*1	22.4~23.8	—*3	
緊急時対策所用燃料地下タンク	—*1	22.1~22.6	—*3	
ガスタービン発電機建物	—*1	22.0~24.9	—*4	
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	—*1	23.6~24.7	—*4	
屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク~ガスタービン発電機)	—*1	22.1~24.2	—*4	
サイトバンカ建物 (増築部含む)	—*5	1.1~1.9	—*5	
地下水位低下設備	—*1	3.7~8.5	8.5	地表面

注記*1：建設時の工事計画認可申請対象外

*2：代表として防波壁通路防波扉（3号機東側）の設計地下水位を掲載

*3：地下水位が施設設置地盤（EL 50.0m 盤）より十分低い。

*4：地下水位が施設設置地盤（EL 44.0m 盤）より十分低い。

*5：地下水位が建物基礎底面レベル（EL 7.3m）より十分低い。

(c) 隣接した構造物の地下水位設定について

地下水位低下設備（新設）の機能に期待する建物・構築物と機能に期待しない屋外重要土木構造物等が隣接している場合、構造物間で設計地下水位の設定に差が生じることになるが、実際の地下水位は双方で同程度となることから、隣接する構造物をモデル化する場合は、評価対象構造物と同じ地下水位を設定する。

なお、地下水位低下設備（新設）の機能に期待しない屋外重要土木構造物等においても実際には地下水位低下設備の機能により設計地下水位よりも低い位置にあることが想定される。地下水位が低い場合の影響については、(7)に示すとおり影響検討を実施する。

(6) 設計地下水位の保守性・妥当性の検証

a. 検討の目的

屋外重要土木構造物等に適用する設計地下水位は、本設工認に係る安全対策工事を考慮した予測解析結果を参照し設定することから、工事完了前の段階で観測水位を用いた直接的な検証を行うことができない。

設計地下水位は保守性を確保する方針としているが、仮に敷地の地下水位が施設の設計地下水位を超過する場合は、耐震安全性へ影響が生じる可能性があることを踏まえ、観測水位と解析水位（自然水位）の比較から、設計地下水位の保守性を検証する。

解析水位（自然水位）は、解析条件設定において保守性を持たせた解析結果であり、設計地下水位はその解析水位（自然水位）を更に上側に包絡するよう設定している。

このため、観測水位に対して解析水位（自然水位）の余裕が確認された場合、設計地下水位は保守性を有していると判断する。

b. 観測水位と解析水位（自然水位）の比較結果

解析水位（自然水位）について、地下水位観測記録との比較による検証結果を示す。

検証に用いた観測孔位置の平面図を図 3.3-33 に、観測水位と解析水位（自然水位）の関係を表 3.3-15 に示す。

この結果、解析水位（自然水位）は観測最高地下水位を上回っており、設計地下水位は十分な保守性を有している。

設計地下水位の設定は、(5)d.(a)及び「参考資料 8-2 土木構造物の設計地下水位の設定方法」に示す耐震評価における設計地下水位の設定方法に基づき、裕度を考慮して設定する。

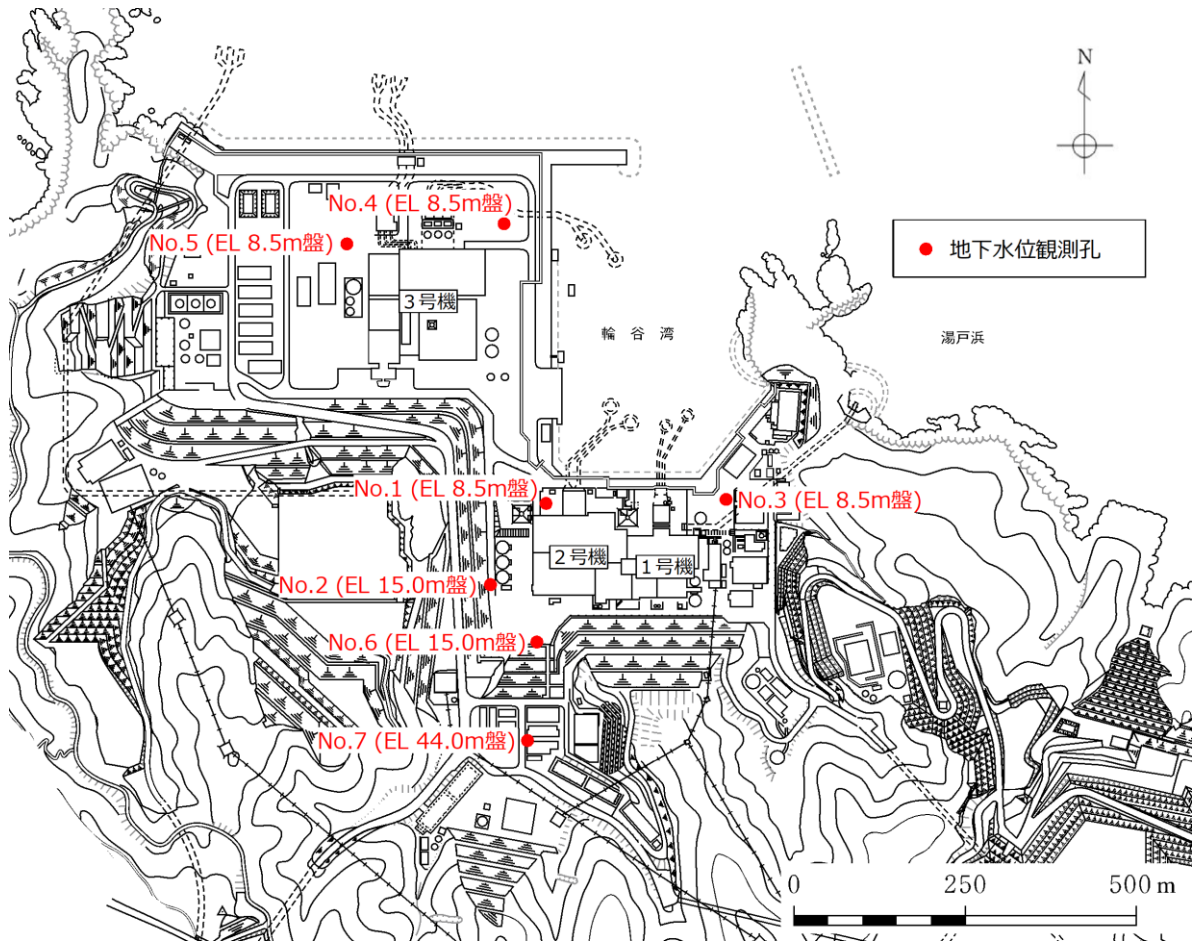


図 3.3-33 観測水位と解析水位（自然水位）の比較において参照する観測孔位置図

表 3.3-15 観測水位と解析水位（自然水位）関係

観測孔	(A) 観測水位 (EL m)		(B) 解析水位 (自然水位) (EL m)	差分* (m) (B) - (A)
	最高	平均		
No. 1	最高	1.79	3.41	1.62 (2.83)
	平均	0.58		
No. 2	最高	3.59	10.65	7.06 (12.91)
	平均	-2.26		
No. 3	最高	1.43	1.51	0.08 (0.69)
	平均	0.82		
No. 4	最高	4.03	5.97	1.94 (3.70)
	平均	2.27		
No. 5	最高	4.12	6.75	2.63 (4.90)
	平均	1.85		
No. 6	最高	6.74	15.00	8.26 (15.69)
	平均	-0.69		
No. 7	最高	7.97	19.00	11.03 (14.04)
	平均	4.96		

注記*：上段は最高水位との差分を、下段の（ ）内は平均水位との差分を示す。

c. 検証期間の代表性について

前項にて解析水位との比較において参照した観測水位が、平年値と比較し特異性がないことについて以下に補足する。

観測水位の気象庁アメダスの観測記録に基づき、松江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（期間①：2014年～2015年，期間②：2016年～2018年，期間③：2019年～2020年）との降雨量を比較した結果を図3.3-34に示す。

図3.3-34より、敷地内の地下水位観測期間は平年値と比較して、降水量のばらつきが見られ、100～120mm/月程度少ない期間及び多い期間があるものの、表3.3-16に示すとおり、月降水量（年間平均）はいずれの観測期間においても平年並みであり、いずれの観測期間も特異性はないと判断できる。

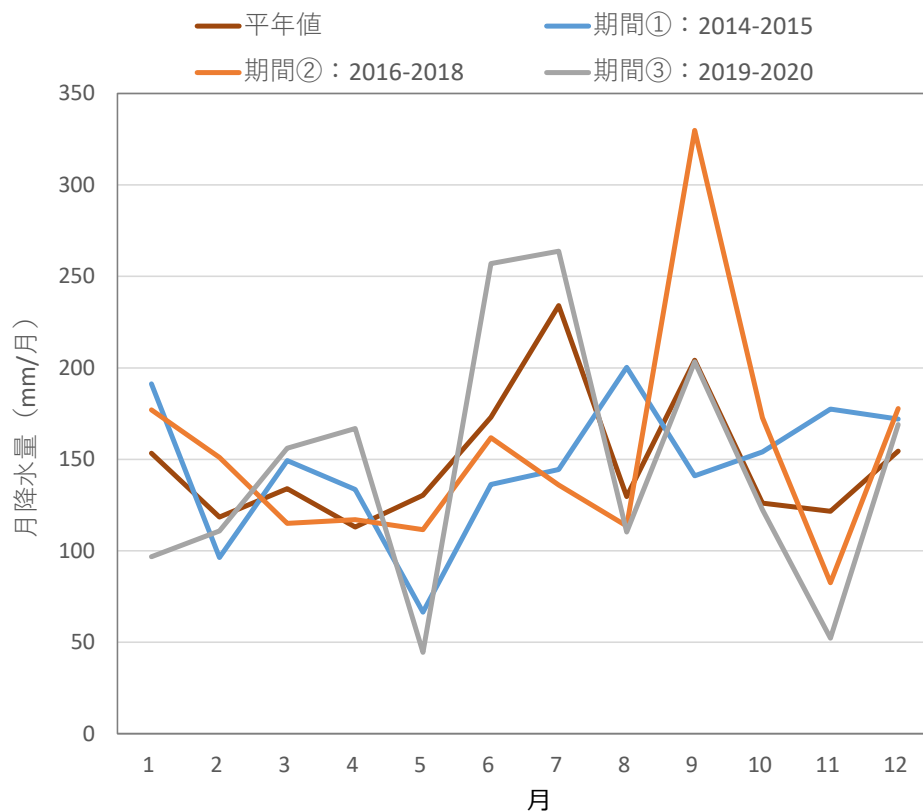


図 3.3-34 松江地点における平年値と観測時期の降水量の比較結果

表 3.3-16 松江地点における月降水量の年間平均値の比較

	平年値	期間①	期間②	期間③
降水量(mm/月)	149	147	154	146

(7) 水位が低い場合の影響確認

a. 概要

設計地下水位は、保守的な条件のもと実施する予測解析を参照して設定することから、新設する地下水位低下設備が稼働した場合の平常時の地下水位は、設計地下水位よりも更に低くなると想定される。

平常時の地下水位における耐震安全性への影響を確認するため、その影響の有無や程度に応じて、設計地下水位より十分に低い地下水位を設定した耐震安全性評価を影響検討として実施する。

b. 影響確認方針

建物・構築物の設計揚圧力及び設計地下水位の設定では、妥当な解析モデルを用いた浸透流解析により対象施設にとって保守的となるよう水位を高めを設定している。また、屋外重要土木構造物等の設計地下水位については、地下水位低下設備（新設及び既設）に期待しない条件にて浸透流解析を実施し、その解析結果を包絡するように設定している。

これに対し、実際には地下水位低下設備（新設）の効果により、平常時の地下水位は設計地下水位より低くなる可能性がある。

地下水位が低い場合に起こる現象としては、構造物（建物基礎スラブ等）に作用する水圧の減少、地盤応答の変化（単位体積重量の変化、液状化を含めた周辺地盤の挙動の変化）、構造物周辺に水位差が生じることが考えられる。

このことを踏まえ、地下水位が低い場合に耐震評価へ影響を与える可能性がある事象として、以下の3パターンを抽出し、各パターンに対する影響検討を行う方針とする。

パターンA：建物基礎スラブ等において、揚圧力の低減により応力分布や応答の違いが生じると想定されるケース

パターンB：地下水の分布によって、構造物周辺の地盤応答に違いが生じると想定されるケース

パターンC：構造物の両側面に作用する水位差が大きく、偏圧の影響が生じると想定されるケース

なお、パターンCについては、構造物により地下水の流れが遮断され、地下水の流れに対して構造物の上流側と下流側で地下水位の差が生じることにより偏圧が作用する場合が考えられるが、以下の理由により地下水位が低い場合における偏圧の影響は考慮しない。

(a) 偏圧の影響の有無について

地下水位が低い場合に偏圧の影響が生じると想定される構造物として、設計地下水位を地表面に設定する EL 15.0m 盤の線状構造物である屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）が挙げられる。

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）の平面図を図 3.3-35 に、断面図を図 3.3-36 に示す。

屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）は両側面を MMR、又は一方を MMR、他方を埋戻土で囲まれた構造物である。地下水位が急激に低くなった場合、MMR と埋戻土内の地下水位に差が生じる可能性が考えられるが、実際には地下水の流れは極めて緩慢であり、急激な変動が生じないことを考慮すると、定常的には同程度の水位となると考えられることから、構造物に対する地下水位差による偏圧の影響は生じない。

また、偏圧が作用した場合の検討として、防波壁の耐津波評価においては、陸側の地下水位が設計地下水位より低い場合の津波波圧に対する評価を実施しており、詳細は「補足-018-02 津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料」にて説明する。

上記方針を踏まえ、表 3.3-17 のとおり、耐震設計に影響する可能性がある施設をパターン毎に抽出の上、各パターンにおける検討対象施設と具体的な影響検討内容を整理した。

検討対象施設における水位が低い場合の影響については、各施設の耐震評価において確認する。

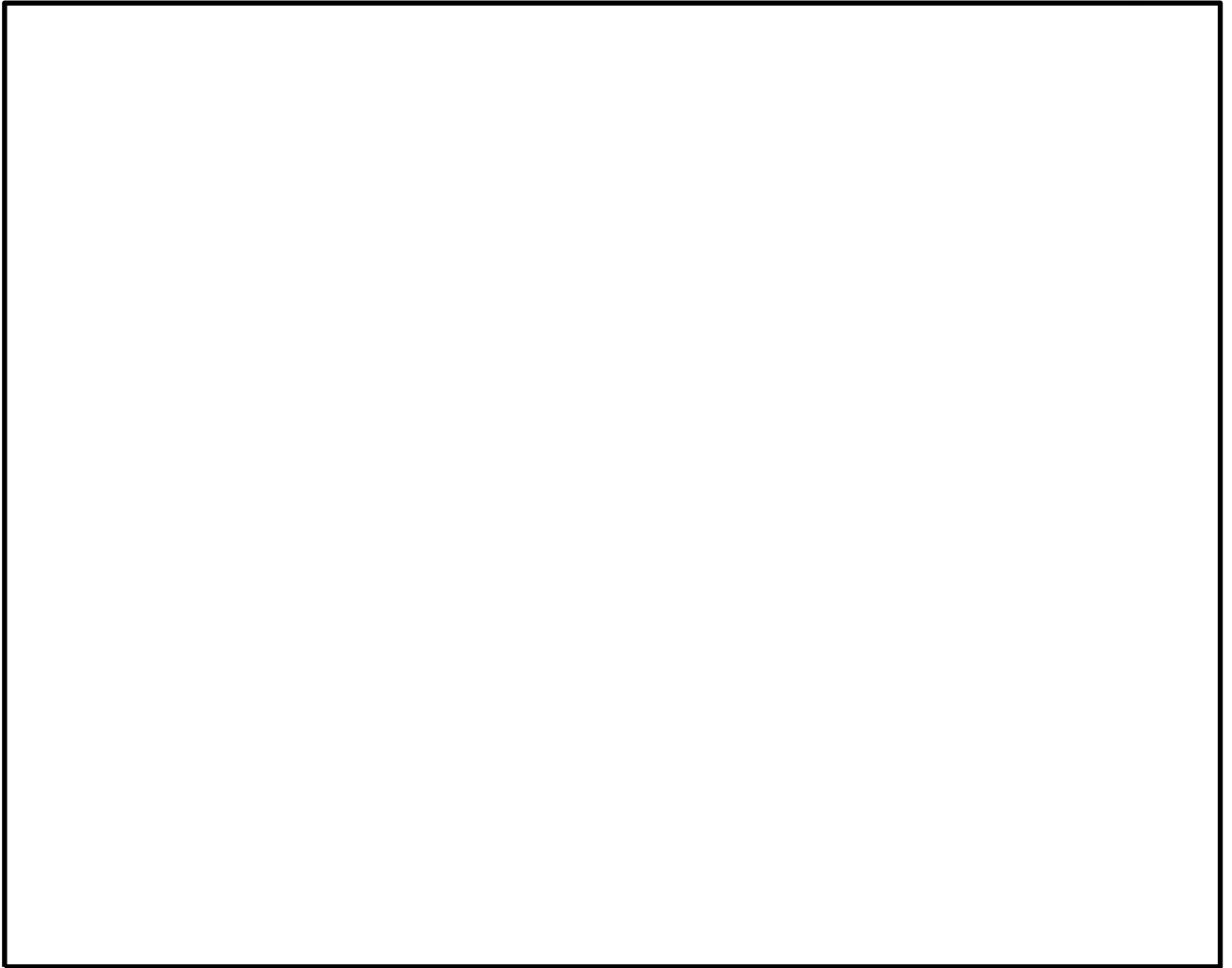


図 3.3-35 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）平面図



(a) A-A断面

(b) B-B断面

図 3.3-36(1) 屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）断面図



(c) C-C断面

図 3.3-36(2) 屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物) 断面図

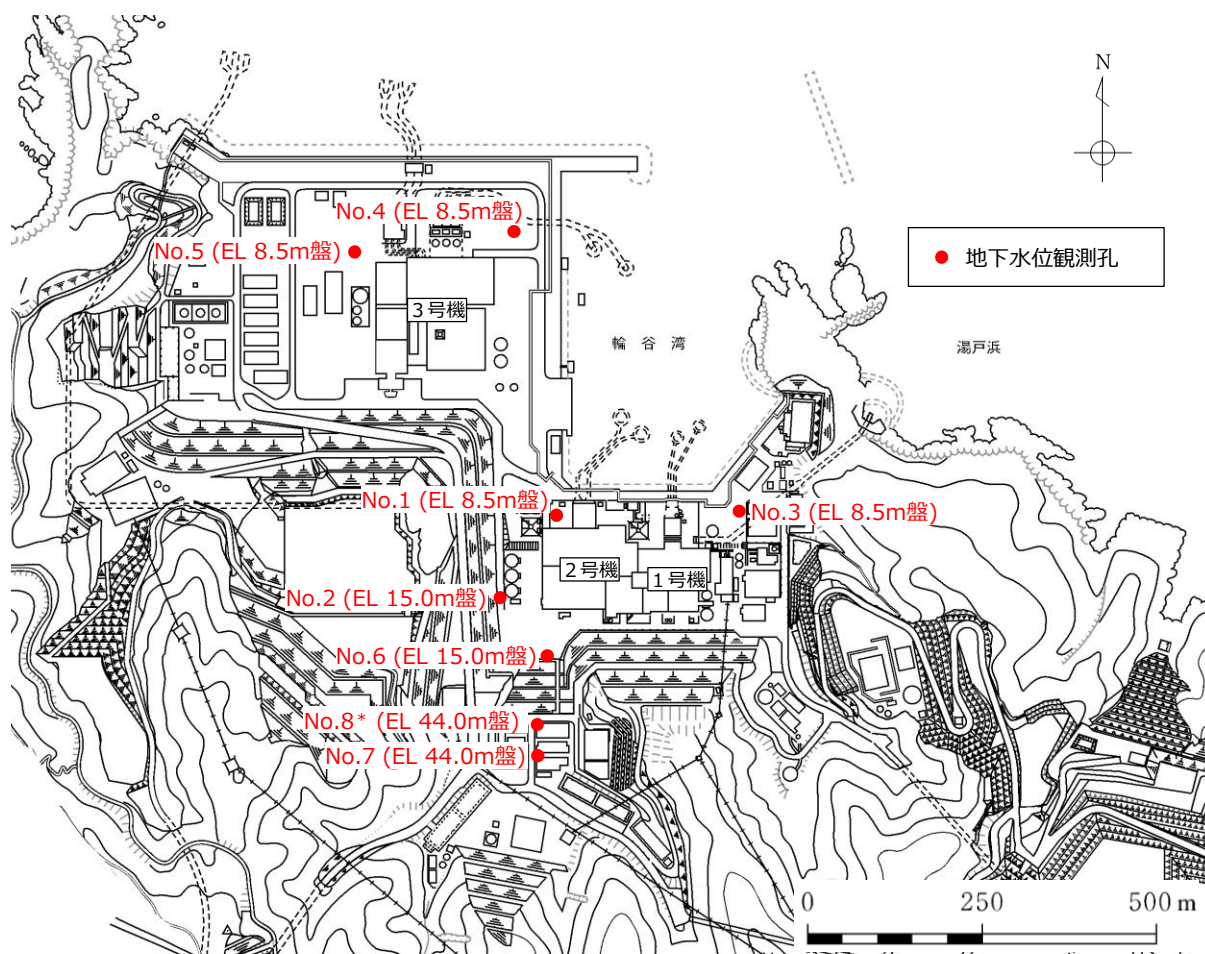
表 3.3-17 地下水位が低い場合に耐震設計へ影響を与えるパターンと影響検討内容

水位が低い場合に耐震設計へ影響を与える事象（パターン）	耐震設計へ影響する可能性がある施設	影響検討内容			評価手法
		検討対象施設	選定理由	検討条件等	
パターンA (揚圧力への影響)	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 タービン建物 廃棄物処理建物 制御室建物 排気筒 	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 	<ul style="list-style-type: none"> 建物直下のドレーン（新設）により、平常時の建物基礎スラブへ作用する揚圧力は大きく低減し、地震時の評価のうち地震力下向きの場合の評価が厳しくなる可能性がある。 基礎スラブの平面的な面積の大きさや、建物・内包する施設の重要度及び設計揚圧力と浸透流解析結果の差が大きいかを考慮して選定。 	<ul style="list-style-type: none"> 浸透流解析結果を踏まえて、基礎スラブの揚圧力を0とした場合の地震力下向きの解析を実施して、応力分布等への影響を確認する。（設計揚圧力は0.8t/m²） 	静的弾塑性解析
パターンB (地盤応答への影響)	<ul style="list-style-type: none"> 取水槽 屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽） 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 屋外配管ダクト（B-デューゼル燃料貯槽タンク～原子炉建物） B-デューゼル燃料貯蔵タンク格納槽 第1ベントフイルタ格納槽 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 		<ul style="list-style-type: none"> 地下水位の分布による構造物周辺の地盤応答の変化（単位体積重量の変化及び液状化を含めた周辺地盤の挙動の変化）の影響については、補足-026-01「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」にて説明する。 		
パターンC (偏圧の影響)			<ul style="list-style-type: none"> 地下水位が低い場合においても、構造物に対する地下水位差による偏圧の影響は生じない。 防波壁は陸側の地下水位を朔望平均干潮位（EL-0.02m）とした場合の津波波圧に対する評価を実施しており、詳細は補足-018-02「津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料」にて説明する。 		

(8) 設計地下水位の今後の検証計画など

予測解析結果は、将来的な地下水位低下設備（新設）稼働時の状況等を考慮したものであるが、今後、運転段階において地下水位の観測記録を取得し、設計揚圧力及び設計地下水位と比較することにより、予測解析の妥当性を確認する方針とする。

地下水位観測計画を図 3.3-37 に示す。将来的な工事等の影響により、耐震評価における設計地下水位の変動に影響を与える可能性がある事象が発生した場合は、設計地下水位の再検討を行う。



注記* : No. 8 観測孔は、EL 44m 盤において盛土部分の水位を、より確実に観測できるようにするために追設する観測孔である。

図 3.3-37 地下水位観測孔配置図

(9) 参考文献

- 地下水流動解析のガイドラインに関する調査（長谷川琢磨，地下水学会誌第 48 巻第 2 号 75～86（2006））
- 余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方（社団法人土木学会（2008））
- 流域スケールにおける反応性窒素移動過程のモデル化と実流域への適用性検討（森康二ほか，地下水学会誌第 58 巻第 1 号 63～86（2016））
- 水循環解析におけるモデルの設定および再現性の検証事例の報告-福井県大野盆地における事例-（西村宗倫ほか，地下水学会誌第 59 巻第 2 号 125～158（2017））
- 流域モデリングの水循環解析への適用とその実際（田原ほか，日本地下水学会 2014 年度秋季講演会講演予稿，158-163（2014））
- Integrated watershed modeling for simulation of spatiotemporal redistribution of post-fallout radionuclides: Application in radiocesium fate and transport processes derived from the Fukushima accidents (Mori Koji et al, Environmental Modelling & Software, 72, 126-146 (2015))
- 管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）（財団法人港湾空間高度化環境研究センター（2008））
- 土質試験の方法と解説（社団法人地盤工学会（2000））
- 河川堤防の構造検討の手引き（改訂版）（財団法人国土技術研究センター（2012））

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

全応力解析に用いる解析用物性値として、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値を表 4.1-1～表 4.1-3 に、設定根拠を表 4.1-4 及び表 4.1-5 に示す。動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性を図 4.1-1～図 4.1-7 に示す。設置変更許可申請書に記載された解析用物性値については、原位置試験及び室内試験から得られた各種物性値を基に設定した。

表 4.1-1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値
(岩盤)

	物理特性		強度特性		静的変形特性		動的変形特性		減衰特性
	密度 ρ_s (g/cm ³)	せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E ($\times 10^3$ N/mm ²)	静ポアソン比 ν_s	動せん断弾性係数 G_d ($\times 10^3$ N/mm ²)	動ポアソン比 ν_d	減衰定数 h
頁岩	C _H 級	1.14	54	$1.48\sigma^{0.72}$	3.74	0.19	表4.1-2参照	0.03	
	C _M 級	0.92	54	$0.34\sigma^{0.54}$	1.95	0.20			
	C _L 級	0.28	45	$0.34\sigma^{0.54}$	0.54	0.20			
	C _H 級	1.14	54	$1.28\sigma^{0.72}$	3.74	0.19			
	C _M 級	0.92	54	$0.34\sigma^{0.54}$	1.95	0.20			
	C _L 級	0.28	28	$0.34\sigma^{0.54}$	0.43	0.20			
	C _H 級	1.54	55	$1.28\sigma^{0.72}$	7.78	0.19			
	C _M 級	1.14	47	$0.34\sigma^{0.54}$	1.47	0.20			
	C _L 級	0.60	28	$0.34\sigma^{0.54}$	0.43	0.25			
	C _H 級	2.14	52	$1.56\sigma^{0.72}$	7.78	0.22			
	C _M 級	1.58	52	$0.36\sigma^{0.54}$	1.47	0.25			
	C _L 級	0.83	43	$0.36\sigma^{0.54}$	0.43	0.25			
ドレライト	C _H 級	2.14	52	$1.56\sigma^{0.72}$	7.78	0.22	表4.1-2参照	0.03	
	C _M 級	1.58	52	$0.36\sigma^{0.54}$	1.47	0.25			
	C _L 級	0.83	43	$0.36\sigma^{0.54}$	0.43	0.25			
安山岩	C _H 級	2.68	52	$1.56\sigma^{0.72}$	7.78	0.25	表4.1-2参照	0.03	
	C _M 級	2.68	52	$0.36\sigma^{0.54}$	1.47	0.25			
	C _L 級	2.59	43	$0.36\sigma^{0.54}$	0.43	0.25			

表 4.1-2 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値
(岩盤)

	動せん断弾性係数 $G_d (\times 10^3 \text{ N/mm}^2)$						動ポアソン比 ν_d					
	第1 速度層	第2 速度層	第3 速度層	第4 速度層	第5 速度層	第6 速度層	第1 速度層	第2 速度層	第3 速度層	第4 速度層	第5 速度層	第6 速度層
頁岩	C _{II} 級	0.16	2.08	6.58	9.77	10.28	14.19					
	C _{III} 級	0.16	2.04	6.45	9.58	10.08	13.92					
	C _I 級	0.15	1.98	6.25	9.28	9.76	13.47					
	C _{III} 級	0.16	2.07	6.55	9.73	10.24	14.14					
	C _{III} 級	0.16	2.02	6.37	9.47	9.96	13.75					
	C _I 級	0.15	1.89	5.96	8.86	9.32	12.87					
頁岩と凝灰岩 の互層	C _{III} 級	0.16	2.03	6.43	9.54	10.04	13.86					
	C _{III} 級	0.15	1.98	6.25	9.28	9.76	13.47	0.45	0.39	0.38	0.34	0.35
	C _I 級	0.14	1.86	5.89	8.75	9.20	12.70					
	C _{III} 級	0.17	2.25	7.12	10.57	11.12	15.35					
	C _{III} 級	0.16	2.11	6.66	9.89	10.40	14.36					
	C _I 級	0.16	2.05	6.48	9.62	10.12	13.97					
ドレライト	C _{III} 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C _{III} 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C _I 級	0.16	2.10	6.63	9.85	10.36	14.30					
	C _{III} 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C _{III} 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C _I 級	0.16	2.10	6.63	9.85	10.36	14.30					
岩盤 (貫入岩)	C _{III} 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C _{III} 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C _I 級	0.16	2.10	6.63	9.85	10.36	14.30					
	C _{III} 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C _{III} 級	0.17	2.17	6.86	10.19	10.72	14.80					
	C _I 級	0.16	2.10	6.63	9.85	10.36	14.30					

表 4.1-3 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値
(D級岩盤・シーム・埋戻土・旧表土・MMR・改良地盤)

	物理特性		強度特性			静的変形特性		動的変形特性		減衰特性		
	密度 ρ_s (g/cm ³)	せん断 強度 τ_0 (N/mm ²)	内部 摩擦角 ϕ (°)	せん断 強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E (N/mm ²)	ポアソン 比 ν_s	動せん断 弾性係数 G_d (N/mm ²)	ポアソン 比 ν_d	減衰定数 h			
D級岩盤	2.28	0.11	6	$0.11 + \sigma \tan 6^\circ$	$141 \sigma^{0.39}$	0.30	$G_0 = 148 \sigma^{0.49}$ (N/mm ²) $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00062)$	0.45	$\gamma \leq 1 \times 10^{-4}$: h=0.023 $\gamma > 1 \times 10^{-4}$: h=0.023 +0.071 · log($\gamma / 0.0001$)			
シーム	2.23	0.19	18	$0.19 + \sigma \tan 18^\circ$	$G_{0.5} = 44 \sigma^{0.34}$	0.40	$G_0 = 225 \sigma^{0.31}$ (N/mm ²) $G/G_0 = 1 / [1 + (\gamma / 0.00149)^{0.849}]$	0.45	$h = \gamma / (2.14 \gamma + 0.017) + 0.031$			
埋戻土, 盛土	2.11	0.22	22	$0.22 + \sigma \tan 22^\circ$	$E_{0.5} = 115 \sigma^{0.61}$	0.40	$G_0 = 749 \sigma^{0.66}$ (N/mm ²) $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.45	$h = 0.0958 \gamma / (\gamma + 0.00020)$			
埋戻土 (購入土)	2.01	0.04	21	$0.04 + \sigma \tan 21^\circ$	$E_{0.5} = 227 \sigma^{0.75}$	0.40	$G_0 = 275 \sigma^{0.61}$ (N/mm ²) $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00048)$	0.45	$h = 0.2179 \gamma / (\gamma + 0.00085)$			
旧表土	2.00	0.03	21	$0.03 + \sigma \tan 21^\circ$	$E_{0.5} = 37 \sigma^{0.79}$	0.40	$G_0 = 240 \sigma^{0.61}$ (N/mm ²) $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.0011)$	0.45	$h = 0.20 \gamma / (\gamma + 0.000413)$			
MMR	2.35	—	—	—	23,500	0.20	9,792	0.20	0.05			
改良地盤 (高圧噴射攪拌工法)	2.44	1.14	47	$0.34 \sigma^{0.54}$	1,470	0.20	6,250	0.38	0.03			
改良地盤 I (薬液注入工法)	2.11	0.22	22	$0.22 + \sigma \tan 22^\circ$	$E_{0.5} = 115 \sigma^{0.61}$	0.40	$G_0 = 749 \sigma^{0.66}$ (N/mm ²) $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.45	$h = 0.0958 \gamma / (\gamma + 0.00020)$			
改良地盤 II (薬液注入工法)	2.11	0.63	38	$0.63 + \sigma \tan 38^\circ$	1,087	0.33	$G_0 = 409$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.33				
										改良地盤 ①	0.33	
改良地盤 ③	2.11	1.14	41	$1.14 + \sigma \tan 41^\circ$	2,088	0.33	$G_0 = 785$ $G/G_0 = 1 / (1 + \gamma / 0.00027)$	0.33	$h = 0.0958 \gamma / (\gamma + 0.00020)$			

表 4.1-4 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値の設定根拠（岩盤）

岩種	岩級	物理特性	強度特性		変形特性			減衰特性
			ピーク強度	残留強度	静的特性	動的特性		
					静弾性係数	静ポアソン比	動せん断弾性係数	動ポアソン比
岩盤 (成相寺 層)	C _H 級	頁岩	密度試験 (飽和)	ブロック せん断試験	平板載荷試験	一軸圧縮試験	PS 検層	慣用値 ^{*1}
	C _M 級							
	C _L 級							
	C _H 級	頁岩と凝灰 岩の互層						
	C _M 級							
	C _L 級							
	C _H 級	凝灰岩・ 凝灰角礫岩						
	C _M 級							
	C _L 級							
岩盤 (貫入岩)	C _H 級	ドレライト	換算値	換算値	換算値	換算値	換算値	換算値
	C _M 級							
	C _L 級							
	C _H 級	安山岩						
	C _M 級							
	C _L 級							

注記 *1 社団法人日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針」(JEAG4601-2015)を参考に設定。

表 4.1-5 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値の設定根拠
(D級岩盤・シーム・埋戻土・旧表土・MMR・改良地盤)

	物理特性	強度特性				変形特性				減衰特性
		ピーク強度		残留強度		静的特性		動的特性		
		ピーク強度	三軸圧縮試験	ピーク強度と強度と同一値	三軸圧縮試験	静弾性係数	動せん断弾性係数	動ポアソン比	動ポアソン比	
D級岩盤		中型三軸圧縮試験	中型三軸圧縮試験	中型三軸圧縮試験	中型三軸圧縮試験	動的中型三軸圧縮試験	動的中型三軸圧縮試験	動的中型三軸圧縮試験	動的中型三軸圧縮試験	動的中型三軸圧縮試験
シーム		単純せん断試験	単純せん断試験	単純せん断試験	単純せん断試験	動的单純せん断試験	動的单純せん断試験	動的单純せん断試験	動的单純せん断試験	動的单純せん断試験
埋戻土, 盛土		大型三軸圧縮試験	大型三軸圧縮試験	ピーク強度と強度と同一値	大型三軸圧縮試験	動的大型三軸圧縮試験	動的大型三軸圧縮試験	動的大型三軸圧縮試験	動的大型三軸圧縮試験	動的大型三軸圧縮試験
埋戻土 (購入土)		三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	三軸圧縮試験	繰返し中空ねじりせん断試験	繰返し中空ねじりせん断試験	繰返し中空ねじりせん断試験	繰返し中空ねじりせん断試験	繰返し中空ねじりせん断試験
旧表土										
MMR		—	—	—	慣用値 ^{*1}	慣用値 ^{*1}	慣用値 ^{*1}	慣用値 ^{*1}	慣用値 ^{*1}	慣用値 ^{*1}
改良地盤 (高圧噴射攪拌工法)										
改良地盤 I (薬液注入工法)										
改良地盤 II (薬液注入工法)	密度試験 (飽和) (埋戻土, 盛土を流用)	せん断強度は PS 検層に基づく換算値 内部摩擦角は簡易設定法に用いた N 値に基づく換算値	ピーク強度と同一値	PS 検層に基づく換算値	慣用値 ^{*4}	Go は PS 検層ひずみ依存特性は動的大型三軸圧縮試験 (埋戻土, 盛土を流用)	慣用値 ^{*4}	慣用値 ^{*4}	慣用値 ^{*4}	動的大型三軸圧縮試験 (埋戻土, 盛土を流用)

注記 * 1 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (社団法人土木学会, 1992 年・2005 年) を参考に設定。
注記 * 2 設計用地盤定数の決め方・地盤編 (社団法人地盤工学会, 2007 年) を参考に設定。
注記 * 3 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術 (技術資料) (社団法人土木学会, 2009 年) を参考に設定。
注記 * 4 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (公益社団法人日本港湾協会, 2018 年) を参考に設定。

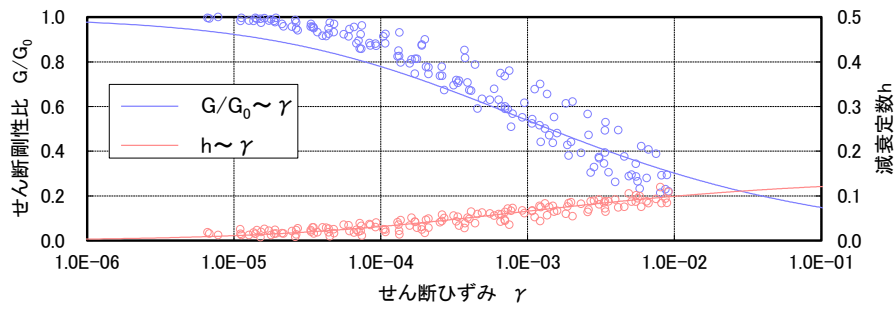


図 4.1-1 D級岩盤（頁岩，頁岩・凝灰岩の互層）の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

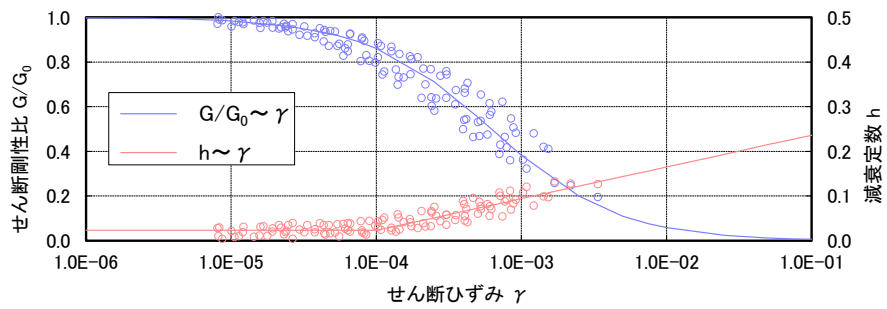


図 4.1-2 D級岩盤（凝灰岩・凝灰角礫岩）の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

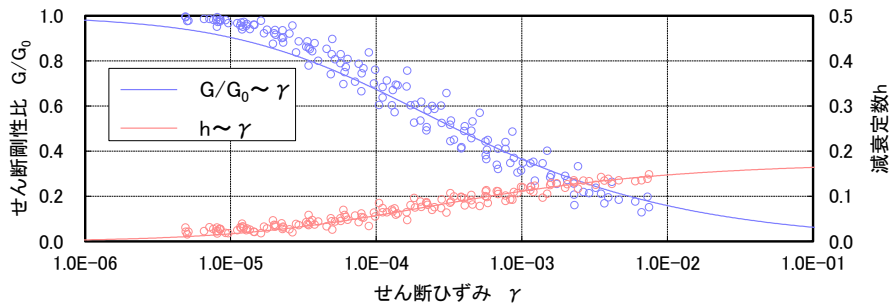


図 4.1-3 D級岩盤（ドレライト・安山岩）の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

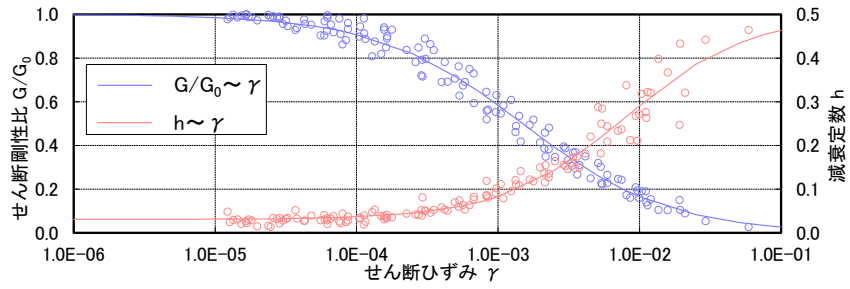


図 4.1-4 シームの動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

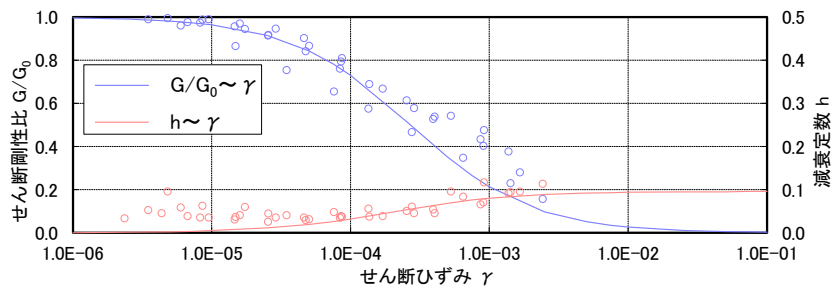


図 4.1-5 埋戻土・盛土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

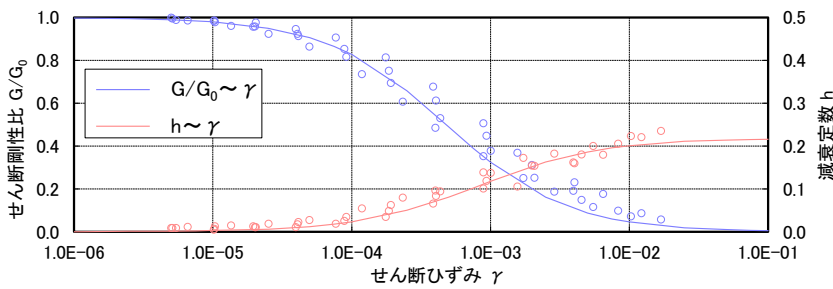


図 4.1-6 埋戻土（購入土）の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

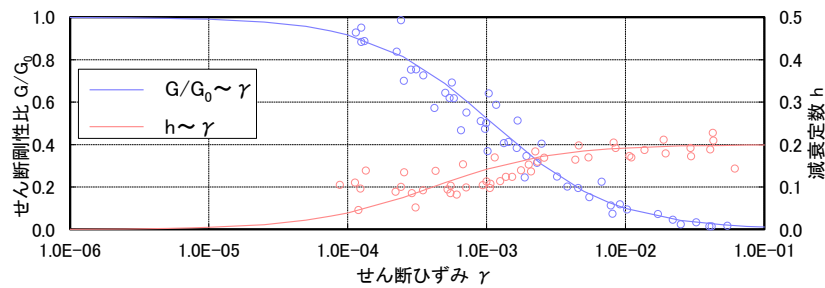


図 4.1-7 旧表土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

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、有効応力解析に用いる解析用物性値を表 4.2-2～表 4.2-3 に、設定根拠を表 4.2-12～表 4.2-13 に示す。改良地盤に用いる解析用物性値を表 4.2-4～表 4.2-6 に、設定根拠を表 4.2-14～表 4.2-16 に示す。その他の解析用物性値を表 4.2-7～表 4.2-11 に、設定根拠を表 4.2-17～表 4.2-21 に示す。

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詳細な設定根拠について、表 4.2-1 に示す資料において説明する。

なお、地質断面図に示す第1層は、岩盤に加えて、同程度のS波速度である埋戻土、砂礫層、埋戻土（粘性土）及び海底堆積物・風化岩等も含まれている。地質断面図に示す第1層のうち岩盤については表 4.2-7 に示す解析用物性値を設定し、埋戻土等についてはそれぞれの解析用物性値を設定する。

表 4.2-1 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詳細な設定根拠

	対象土層	詳細な設定根拠
4.2.1 有効応力解析に用いる 解析用物性値	埋戻土	補-020 安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書
	砂礫層	補足-023-01 地盤の支持性能について (参考資料 9) 砂礫層の解析用物性値について
	埋戻土（粘性土）	補足-023-01 地盤の支持性能について (参考資料 10) 埋戻土（粘性土）の解析用物性値について
	基礎捨石及び被覆石	補足-023-01 地盤の支持性能について (参考資料 11) 基礎捨石及び被覆石の解析用物性値について
4.2.2 改良地盤に用いる 解析用物性値	改良地盤	補足-023-01 地盤の支持性能について (参考資料 13) 改良地盤における補足 (参考資料 20) 改良地盤の強度特性について
4.2.3 その他の解析用物性値	岩盤	補足-023-01 地盤の支持性能について (参考資料 16) 入力地震動の設定に用いる地下構造モデルのエリア区分について
	埋戻土	補足-023-01 地盤の支持性能について (参考資料 17) 埋戻土の骨格曲線について
	碎石	補足-023-01 地盤の支持性能について (参考資料 14) 碎石の解析用物性値について
	MMR 埋戻コンクリート 置換コンクリート	コンクリート標準示方書[構造性能照査編](社)土木学会, 2002年制定) コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編](社)土木学会, 2013年制定)
	海底堆積物 海底堆積物・風化岩	補足-023-01 地盤の支持性能について (参考資料 19) 輪谷湾における海底堆積物の分布状況及び解析用物性値について

表 4.2-2 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)

(液状化検討対象層)

		埋戻土	砂礫層	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.11 【2.00】	2.05	
	間隙率 n	0.45	0.45	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	154600	225400	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.00	98.00	
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.095	0.095	
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	0	0	
	内部摩擦角 ϕ' (°)	40.17	38.74	
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)	28	28	
	液状化パラメータ	S1	0.005	0.005
		w1	4.080	4.020
		P1	0.500	0.500
		P2	0.990	1.100
		C1	2.006	1.916

注：括弧内【】の数字は地下水位以浅の数値を示す。

動せん断弾性係数、内部摩擦角及び液状化パラメータは代表的な数値を示す。

表 4.2-3 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値
 (有効応力解析)
 (非液状化層)

		埋戻土 (粘性土)	基礎捨石及び被覆石
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.07 【2.03】	2.04 【1.84】
	間隙率 n	0.55	0.45
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	186300	180000
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	151.7	98.00
	ポアソン比 ν	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.095	0.24
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	0	20
	内部摩擦角 ϕ' (°)	30.00	35.00

注：括弧内【】の数字は地下水位以浅の数値を示す。

動せん断弾性係数及び基準平均有効拘束圧は代表的な数値を示す。

表 4. 2-4(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

(有効応力解析)

(改良地盤)

地盤種別 (工法)		改良地盤①, ② (薬液注入)	改良地盤③ (薬液注入)	改良地盤④ (薬液注入)	改良地盤⑤ (高圧噴射)	改良地盤⑥ (高圧噴射)	改良地盤⑦ (高圧噴射)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.11	2.11	2.05	2.11	2.05	2.11 【2.00】
	間隙率 n	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	765800	956500	886300	368100	360500	1135000
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00
	ポアソン比 ν	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 hmax	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	628	1140	230	1250	1250	1250
	内部摩擦角 ϕ' (°)	38.00	40.54	38.74	0	0	0

注：括弧内【】の数字は地下水位以浅の数値を示す。

動せん断弾性係数、基準平均有効拘束圧及び液状化パラメータは代表的数値を示す。

表 4.2-4(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

(有効応力解析)

(改良地盤)

地盤種別 (工法)		改良地盤⑧ (流動化処理工法)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.89
	間隙率 n	0.45
変形特性	弾性係数 E (kN/m ²)	9108000
	ポアソン比 ν	0.33
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	1550
	内部摩擦角 ϕ' (°)	38.71

注：動せん断弾性係数は代表的な数値を示す。

表 4.2-5 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)

(改良地盤)

地盤種別 (工法)		改良地盤⑦ (高压噴射)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.11
強度特性	初期せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	1.25
	内部摩擦角 ϕ (°)	0.00
動的変形特性	初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$G_0=1135$
		$G/G_0=1/(1+\gamma/0.0011)$
	動ポアソン比 ν_d	0.33
減衰特性	減衰定数 h	$h=0.0958 \times (1-G/G_0)^{1.007}$

表 4.2-6 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値

(改良地盤)

		改良地盤	改良地盤	改良地盤	改良地盤	改良地盤	改良地盤
		①, ②	③	④	⑤	⑥	⑦
残留 強度	粘着力 c' (kN/m ²)	91	205	0	0	0	259
	内部摩擦角 ϕ' (°)	46.08	42.71	43.03	35.60	48.80	40.85
引張 強度	σ_t (kN/m ²)	258	495	109	1160	436	625

表 4.2-7(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

(岩盤 (1, 2号機エリア))

	岩盤 (1, 2号機エリア)					
	第①層	第②層	第③層	第④層	第⑤層	第⑥層
P波速度 V_p (m/s)	800	2100	3600	4000	4050	4950
S波速度 V_s (m/s)	250	900	1600	1950	2000	2350
単位体積重量 γ (kN/m ³)	20.6	23.0	24.5	24.5	26.0	27.9
動ポアソン比 ν_d	0.446	0.388	0.377	0.344	0.339	0.355
減衰定数 h	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030

表 4.2-7(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

(岩盤 (3号機エリア))

	岩盤 (3号機エリア)					
	第②層	第③層	第④層	第⑤層	第⑥層	第⑦層
P波速度 V_p (m/s)	1710	2270	3240	3860	4150	3800
S波速度 V_s (m/s)	620	960	1520	1900	2100	1770
単位体積重量 γ (kN/m ³)	23.3	23.4	24.5	25.2	24.4	25.1
動ポアソン比 ν_d	0.42	0.39	0.36	0.34	0.33	0.36
減衰定数 h	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030

表 4.2-8 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値

(全応力解析)

(埋戻土)

地盤種別		埋戻土
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.11
強度特性	初期せん断強度 τ_0 (N/mm ²)	0.22
	内部摩擦角 ϕ (°)	22
動的変形特性	初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$G_0=749 \sigma^{0.66}$
		$G/G_0=1/(1+\gamma/0.00027)$
	動ポアソン比 ν_d	0.45*
減衰特性	減衰定数 h	$h=0.0958 \times (1-G/G_0)^{0.85}$

注記*：常時応力解析においては、静止土圧 ($K_0 = \nu / (1 - \nu) = 0.5$) を作用させるため、 $\nu = 0.33$ とする。

表 4.2-9 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値

(全応力解析)

(砕石)

地盤種別		砕石
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.56
動的変形特性	初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)	$G_0=67.6$
		$G/G_0=1/(1+\gamma/0.000889)$
	動ポアソン比 ν_d	0.45
減衰特性	減衰定数 h	$h=0.2557 \gamma / (\gamma + 0.00114)$

表 4.2-10 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値

(MMR, 埋戻コンクリート及び置換コンクリート)

材料		単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	ヤング係数 (N/mm ²)
MMR	($f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2$)	22.6	0.20	2.08×10^4
	($f'_{ck}=18.0\text{N/mm}^2$)	22.6	0.20	2.20×10^4
	($f'_{ck}=23.5\text{N/mm}^2$)	22.6	0.20	2.48×10^4
	($f'_{ck}=24.0\text{N/mm}^2$)	24.0	0.20	2.50×10^4
埋戻コンクリート	($f'_{ck}=18.0\text{N/mm}^2$)	22.6	0.20	2.20×10^4
置換コンクリート	($f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2$)	22.6	0.20	2.08×10^4
	($f'_{ck}=24.0\text{N/mm}^2$)	22.6	0.20	2.50×10^4

表 4.2-11 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値

(MMR 及び置換コンクリート)

材料		せん断強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
MMR	($f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2$)	3.12	1.43
	($f'_{ck}=18.0\text{N/mm}^2$)	3.60	1.57
	($f'_{ck}=24.0\text{N/mm}^2$)	4.80	1.91
置換コンクリート	($f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2$)	3.12	1.43
	($f'_{ck}=24.0\text{N/mm}^2$)	4.80	1.91

表 4.2-12 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠

(有効応力解析)

(液状化検討対象層)

		埋戻土	砂礫層	
物理特性	密度 ρ	物理試験		
	間隙率 n	慣用値*1		
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms}	動の変形特性に基づき設定	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		
	ポアソン比 ν	慣用値*1		
	減衰定数の上限値 h_{max}	動の変形特性に基づき設定		
強度特性	粘着力 c'	慣用値*1		
	内部摩擦角 ϕ'	文献*1からN値（原位置試験）と有効上載圧により設定		
液状化特性	変相角 ϕ_p	文献*1,*2からN値（原位置試験）、有効上載圧及び細粒分含有率（物理試験）により設定		
	液状化パラメータ			S1
				w1
				P1
				P2
C1				

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、平成9年6月）

*2：FLIPの解析における解析精度向上に関する諸検討成果報告書（付録）（第2期FLIP研究会解析精度向上作業部会、2004.6）

表 4.2-13 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠

(有効応力解析)

(非液状化層)

		埋戻土（粘性土）	基礎捨石及び被覆石
物理特性	密度 ρ	物理試験	慣用値*
	間隙率 n	慣用値*	
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	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}'	G_{ms} に対応する値	
	ポアソン比 ν	慣用値*	
	減衰定数の上限値 h_{max}	動の変形特性に基づき設定	
強度特性	粘着力 c'	慣用値*	
	内部摩擦角 ϕ'	慣用値*	

注記*：港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター、平成19年3月）

表 4.2-14(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の設定根拠

(有効応力解析)

(改良地盤)

地盤種別 (工法)		改良地盤①～③ (薬液注入)	改良地盤④ (薬液注入)	改良地盤⑤ (高圧噴射)	改良地盤⑥ (高圧噴射)	改良地盤⑦ (高圧噴射)
物理特性	密度 ρ	室内配合試験の物理試験を踏まえ、原地盤である埋戻土の密度を設定	物理試験を踏まえ、原地盤である砂礫層の密度を設定	物理試験を踏まえ、原地盤である埋戻土の密度を設定	物理試験を踏まえ、原地盤である砂礫層の密度を設定	室内配合試験の物理試験を踏まえ、原地盤である埋戻土の密度を設定
	間隙率 n	室内配合試験の物理試験を踏まえ、原地盤である埋戻土の間隙率を設定	物理試験を踏まえ、慣用値 ^{*1} を設定	物理試験を踏まえ、慣用値 ^{*1} を設定	物理試験を踏まえ、慣用値 ^{*1} を設定	室内配合試験の物理試験を踏まえ、原地盤である埋戻土の間隙率を設定
変形特性	動せん断弾性係数 G_{sm}	設計S波速度、密度に基づき設定 設計S波速度は、室内配合試験及び既往文献を踏まえて設定	原位置試験を踏まえ、目標S波速度、密度に基づき設定	原位置試験を踏まえ、目標S波速度、密度に基づき設定	原位置試験を踏まえ、目標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波速度は、室内配合試験及び既往文献を踏まえて設定
	基準平均有効拘束圧 σ_{vm}	慣用値 ^{*1}				
	ポアソン比 ν	慣用値 ^{*1}				
	減衰定数の上限値 h_{max}	室内配合試験の繰返し三軸試験を踏まえ、原地盤である埋戻土の h_{max} を設定	繰返し三軸試験を踏まえ、原地盤である砂礫層の h_{max} を設定	繰返し三軸試験を踏まえ、原地盤である埋戻土の h_{max} を設定	繰返し三軸試験を踏まえ、原地盤である砂礫層の h_{max} を設定	室内配合試験の繰返し三軸試験を踏まえ、原地盤である埋戻土の h_{max} を設定
強度特性	粘着力 c'	室内配合試験の三軸圧縮試験を踏まえ、設置変更許可申請に記載された粘着力を設定	三軸圧縮試験を踏まえ、設計強度及び文献 ^{*2} に基づき設定	三軸圧縮試験を踏まえ、設計強度及び文献 ^{*2} に基づき設定	三軸圧縮試験を踏まえ、設計強度及び文献 ^{*2} に基づき設定	室内配合試験の三軸圧縮試験を踏まえ、設計強度及び文献 ^{*2} に基づき設定
	内部摩擦角 ϕ'	室内配合試験の三軸圧縮試験を踏まえ、設置変更許可申請に記載された内部摩擦角を設定	三軸圧縮試験を踏まえ、原地盤である砂礫層の内部摩擦角を設定	—	—	—

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，平成9年6月）

*2：浸透固化処理工法技術マニュアル2010年版，沿岸開発技術研究センター

*3：地盤工学用語辞典（地盤工学会，2006.3）

表 4.2-14(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の設定根拠

(有効応力解析)

(改良地盤)

地盤種別 (工法)		改良地盤⑧ (流動化処理工法)
物理特性	密度 ρ	室内試験の物理試験結果に基づいて、密度を設定
	間隙率 n	室内試験の物理試験結果に基づいて、間隙率を設定
変形特性	弾性係数 E	室内試験の密度試験及び原位置試験のPS検層に基づいて、弾性係数を設定
	ポアソン比 ν	慣用値 [*]
強度特性	粘着力 c'	室内試験の三軸圧縮試験結果に基づいて、粘着力を設定
	内部摩擦角 ϕ'	室内試験の三軸圧縮試験結果に基づいて、内部摩擦角を設定

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タの簡易設定法（港湾技研資料No. 869，平成9年6月）

表 4.2-15 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠

(全応力解析)

(改良地盤)

地盤種別 (工法)		改良地盤⑦ (高压喷射)
物理特性	密度 ρ	室内配合試験の物理試験を踏まえ、 原地盤である埋戻土の密度を設定
強度特性	初期せん断強度 τ_0	室内配合試験の三軸圧縮試験を踏まえ、 設計強度及び文献 ^{*2} に基づき設定
	内部摩擦角 ϕ	—
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波速度は、室内配合試験及び 既往文献を踏まえて設定
	動ポアソン比 ν_d	慣用値 ^{*1}
減衰特性	減衰定数 h	室内配合試験の繰返し三軸試験を踏まえ、 原地盤である埋戻土の減衰定数を設定

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
(港湾技術資料No. 869, 平成9年6月)

*2：地盤工学用語辞典(地盤工学会, 2006.3)

表 4.2-16 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠

(改良地盤)

		改良地盤 ①, ②	改良地盤 ③	改良地盤 ④	改良地盤 ⑤	改良地盤 ⑥	改良地盤 ⑦
残留強度	粘着力 c'	室内配合試験の三軸圧縮試験 (せん断破壊・ひずみ軟化後の 残留強さをを用いる)	三軸圧縮試験(せん断破壊・ひず み軟化後の残留強さをを用いる)				室内配合試験の三軸圧縮試験 (せん断破壊・ひずみ軟化後の 残留強さをを用いる)
	内部摩擦角 ϕ'	室内配合試験の三軸圧縮試験 (せん断破壊・ひずみ軟化後の 残留強さをを用いる)	三軸圧縮試験(せん断破壊・ひず み軟化後の残留強さをを用いる)				室内配合試験の三軸圧縮試験 (せん断破壊・ひずみ軟化後の 残留強さをを用いる)
引張強度	σ_t	室内配合試験の圧裂引張試験 及び既往文献を踏まえて 設定		圧裂引張試験			室内配合試験の圧裂引張試験 及び既往文献を踏まえて 設定

表 4.2-17(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

(岩盤 (1, 2号機エリア))

		岩盤 (1, 2号機エリア)					
		第1層	第2層	第3層	第4層	第5層	第6層
P波速度	V_p	PS検層					
S波速度	V_s	PS検層					
単位体積重量	γ	密度試験					
動ポアソン比	ν_d	PS検層					
減衰定数	h	慣用値					

表 4.2-17(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

(岩盤 (3号機エリア))

		岩盤 (3号機エリア)					
		第2層	第3層	第4層	第5層	第6層	第7層
P波速度	V_p	PS検層					
S波速度	V_s	PS検層					
単位体積重量	γ	密度試験					
動ポアソン比	ν_d	PS検層					
減衰定数	h	慣用値					

表 4.2-18 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

(全応力解析)

(埋戻土)

種別 (地盤種別)		埋戻土
物理特性	密度 ρ	密度試験
強度特性	初期せん断強度 τ_0	大型三軸圧縮試験
	内部摩擦角 ϕ	大型三軸圧縮試験
動的変形特性	初期せん断弾性係数 G_0	動的大型三軸圧縮試験
	動ポアソン比 ν_d	慣用値*
減衰特性	減衰定数 h	動的大型三軸圧縮試験

注記*：原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>
((社) 土木学会, 2009年) を参考に設定

表 4.2-19 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

(全応力解析)

(碎石)

対象施設		取水管
種別 (地盤種別)		碎石
物理特性	密度 ρ	密度試験
動的変形特性	初期せん断弾性係数 G_0	繰返し三軸試験
	動ポアソン比 ν_d	慣用値*
減衰特性	減衰定数の上限値 h	繰返し三軸試験

注記*：埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版) (沿岸開発技術研究センター, 平成9年)

表 4.2-20 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
(MMR, 埋戻コンクリート及び置換コンクリート)

材料		単位体積重量	ポアソン比	ヤング係数
MMR	$(f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2)$	慣用値*	慣用値*	慣用値*
	$(f'_{ck}=18.0\text{N/mm}^2)$			
	$(f'_{ck}=23.5\text{N/mm}^2)$			
	$(f'_{ck}=24.0\text{N/mm}^2)$			
埋戻コンクリート	$(f'_{ck}=18.0\text{N/mm}^2)$			
置換コンクリート	$(f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2)$			
	$(f'_{ck}=24.0\text{N/mm}^2)$			

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）

表 4.2-21 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
(MMR 及び置換コンクリート)

材料		せん断強度	引張強度
MMR	$(f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2)$	設計基準強度を踏まえ、 文献*1より設定	設計基準強度を踏まえ、 文献*2より設定
	$(f'_{ck}=18.0\text{N/mm}^2)$		
	$(f'_{ck}=24.0\text{N/mm}^2)$		
置換コンクリート	$(f'_{ck}=15.6\text{N/mm}^2)$		
	$(f'_{ck}=24.0\text{N/mm}^2)$		

注記*1：コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編]（（社）土木学会，2013年制定）

*2：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）

4.2.1 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必要がある場合は、有効応力解析を実施する。

地盤の液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえたうえで実施した液状化強度試験結果よりも保守的な「有効応力解析（FLIP）の簡易パラメータ設定法」（以下「簡易設定法」という。）により決定される液状化強度を用いて設定する。

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用に設定しているため、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。

また、有効応力解析に用いる岩盤の解析用物性値は、設置変更許可申請書（添付書類六）に記載した値に基づき設定する。

なお、地盤の物理的及び力学的特性は、日本産業規格（JIS）又は地盤工学会（JGS）等の基準に基づいた試験の結果及び文献等を踏まえ設定する。

(1) 液状化評価方針の概要

液状化評価のフローを図 4.2-1 に示す。

液状化評価については「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。）及び「港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）」（以下「港湾構造物設計事例集」という。）を基本とするが，液状化評価の対象外となっている土層についても，液状化の有無を確認して保守的な評価を実施する。

液状化強度試験に基づいて，地震時の地盤の状態を『液状化』又は『繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）』，若しくは『非液状化』と判定する。

液状化強度特性は，「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）」（以下「港湾基準」という。）に基づく詳細な計算例をまとめた「港湾構造物設計事例集」に準拠し，「簡易設定法」により設定する。なお，液状化強度試験結果が繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む），若しくは非液状化となる土層も，念のため液状化強度特性を設定して保守的な構造物評価を実施する。また，地盤の液状化強度特性は，敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえたうえで実施した液状化強度試験結果よりも保守的な簡易設定法により決定される液状化強度を用いて設定する。

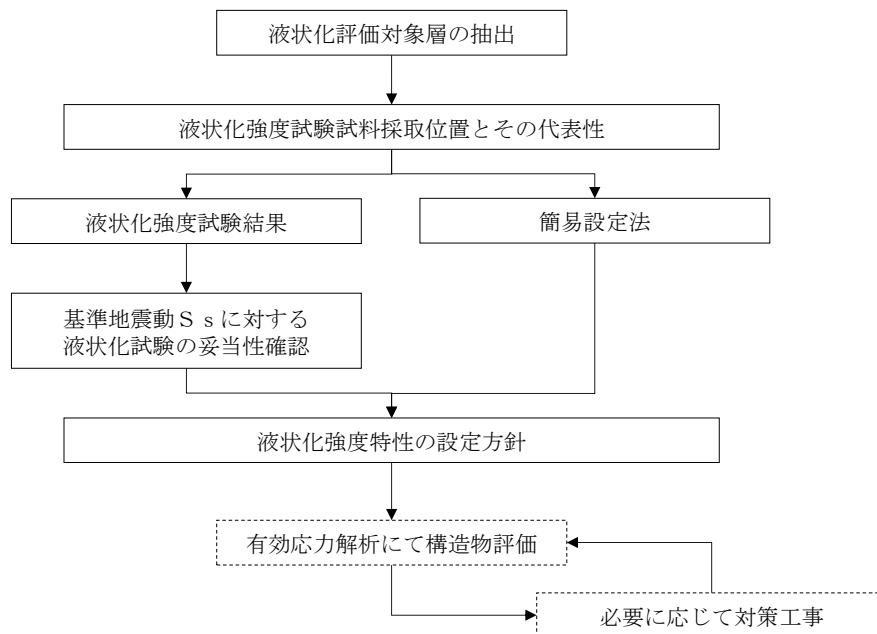


図 4.2-1 液状化評価のフロー

(2) 液状化評価対象層の抽出

表 3.1-1 に敷地の地質層序を示す。敷地の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類からなる成相寺層及び貫入岩類、並びにそれらを覆う被覆層から構成される。成相寺層は海成層で、下位より下部頁岩部層、火砕岩部層及び上部頁岩部層に区分される。

被覆層は、崖錐・海底堆積物及び盛土からなる。崖錐・海底堆積物は主に礫混じり砂質土及び礫混じり粘性土からなり、約 2m～5m の厚さで、斜面中腹や裾部、あるいは谷部等の傾斜面に分布する。また、盛土は 1 号機、2 号機及び 3 号機建設時の埋立地等に分布する。

敷地の被覆層である盛土は、埋戻土と埋戻土（粘性土）に分類している。

埋戻土は、発電所建設時の敷地造成において発生した新第三紀中新世の成相寺層の岩砕が主体となっており、広く分布する。

埋戻土（粘性土）は、護岸建設時に、背面の止水性を担保するために幅 20m 程度にわたり裏込めしたものである。図 4.2-2 に被覆層のボーリング柱状図を示す。

敷地の被覆層である崖錐・海底堆積物は、砂礫層として分類している。

図 4.2-3 に発電所建設前の地形立体図を示す。1 号機、2 号機及び 3 号機の建設にあたり、周辺の山を掘削して敷地を造成し、原子炉建物、取水槽等の施設を岩盤上に設置した。敷地の前面（北側）に護岸を設置し、敷地造成において発生した岩砕を主体とする埋戻土により埋戻した。なお、護岸背面の止水性を担保するための埋戻土（粘性土）が 1、2 号機北側に分布し、砂礫層として分類した崖錐・海底堆積物が 1 号機東側、3 号機北側及び輪谷湾周辺において局所的に分布する。

対象設備周辺の地層の分布状況について図 4.2-4、図 4.2-5 及び図 4.2-6 に整理した。

埋戻土は、敷地全体においておおむね全域にわたって広範囲に分布する。

埋戻土（粘性土）は、1、2 号機北側護岸背面にのみ分布する。

砂礫層は、1 号機東側の EL 15m 以下の敷地、3 号機北側の EL 8.5m 以下の敷地及び輪谷湾周辺において局所的に分布する。

敷地内における購入地盤材料の使用箇所を図 4.2-7 に示す。取水管、3 号機東側護岸・岸壁、1、2 号機北側護岸、防波堤等において、碎石、基礎捨石、被覆石を使用している。

購入地盤材料は天然石材であり、粒度調整されたものである。

埋戻土（粘性土）は、護岸建設時に、背面の止水性を担保するために施工している。埋戻土（粘性土）の分布状況、試験に用いた試料の採取位置を図 4.2-8 に、採取した埋戻土（粘性土）の写真を図 4.2-9 に示す。また、塑性図による粘性土の分類を図 4.2-10 に示す。図 4.2-10 より、埋戻土（粘性土）は、土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205）より、低液性限界の粘土（CL）に分類される。A 線よ

り下側の場合はシルトに分類されるが、埋戻土（粘性土）は塑性指数 I_p が大きいいため粘土に分類される。

基礎捨石は、1，2号機北側護岸，防波堤等に使用している。寸法 200mm から 250mm 程度の材料を使用しているため間隙が大きく，十分な透水性を有する。基礎捨石の設置状況の写真を図 4.2-11 に示す。

被覆石は、1，2号機北側護岸等に使用している。寸法 700mm から 800mm 程度の材料を使用しているため間隙が大きく，十分な透水性を有する。被覆石の寸法及び設置状況の写真を図 4.2-12 に示す。

敷地内で EL 15m 以下に分布する地盤材料のうち液状化判定を実施する地盤材料の抽出結果を表 4.2-22 に示す。埋戻土（粘性土）は，粘土質であるため，液状化判定の対象外とする。また，碎石，基礎捨石及び被覆石は，間隙が大きく，十分な透水性を有するため，液状化判定の対象外とする。よって，埋戻土及び砂礫層を対象として液状化判定を実施する。

埋戻土及び砂礫層を対象として，「道路橋示方書V」及び「港湾基準」に基づいて液状化評価対象層を抽出した。図 4.2-13 に「道路橋示方書V」の液状化評価対象層の抽出フローを示す。また，図 4.2-14 に「港湾基準」の液状化判定に用いる粒度分布図を示す。「道路橋示方書V」に基づき液状化評価対象層を抽出した結果，液状化の判定を行う必要がある土層は砂礫層のみである。「港湾基準」に基づき液状化評価対象層を抽出した結果，埋戻土及び砂礫層の粒径加積曲線が「液状化の可能性あり」の範囲内に含まれないため，液状化の判定を行う必要がある土層はない。

「道路橋示方書V」では，50%粒径が 10mm 以下で，かつ，10%粒径が 1 mm 以下である土層について液状化評価対象層としているが，本評価では 50%粒径が 10mm を超過する，又は，50%粒径が 10mm 以下であっても 10%粒径が 1 mm を超過する土層についても，同様に抽出対象とする。また，「港湾基準」では，粒度による土の分類を行い，粒径加積曲線が「液状化の可能性あり」の範囲内に含まれる土を液状化評価対象層としているが，範囲以外に含まれる土についても同様に抽出対象とする。これに伴い，埋戻土は，50%粒径が 10mm を超過することから，液状化の判定を行う必要がある土層として抽出した。

以上より，敷地内の液状化評価対象層として，被覆層の分布状況，「道路橋示方書V」及び「港湾基準」に基づく液状化評価対象層の抽出結果（図 4.2-15，図 4.2-16）を踏まえ，保守的に埋戻土及び砂礫層を抽出した。

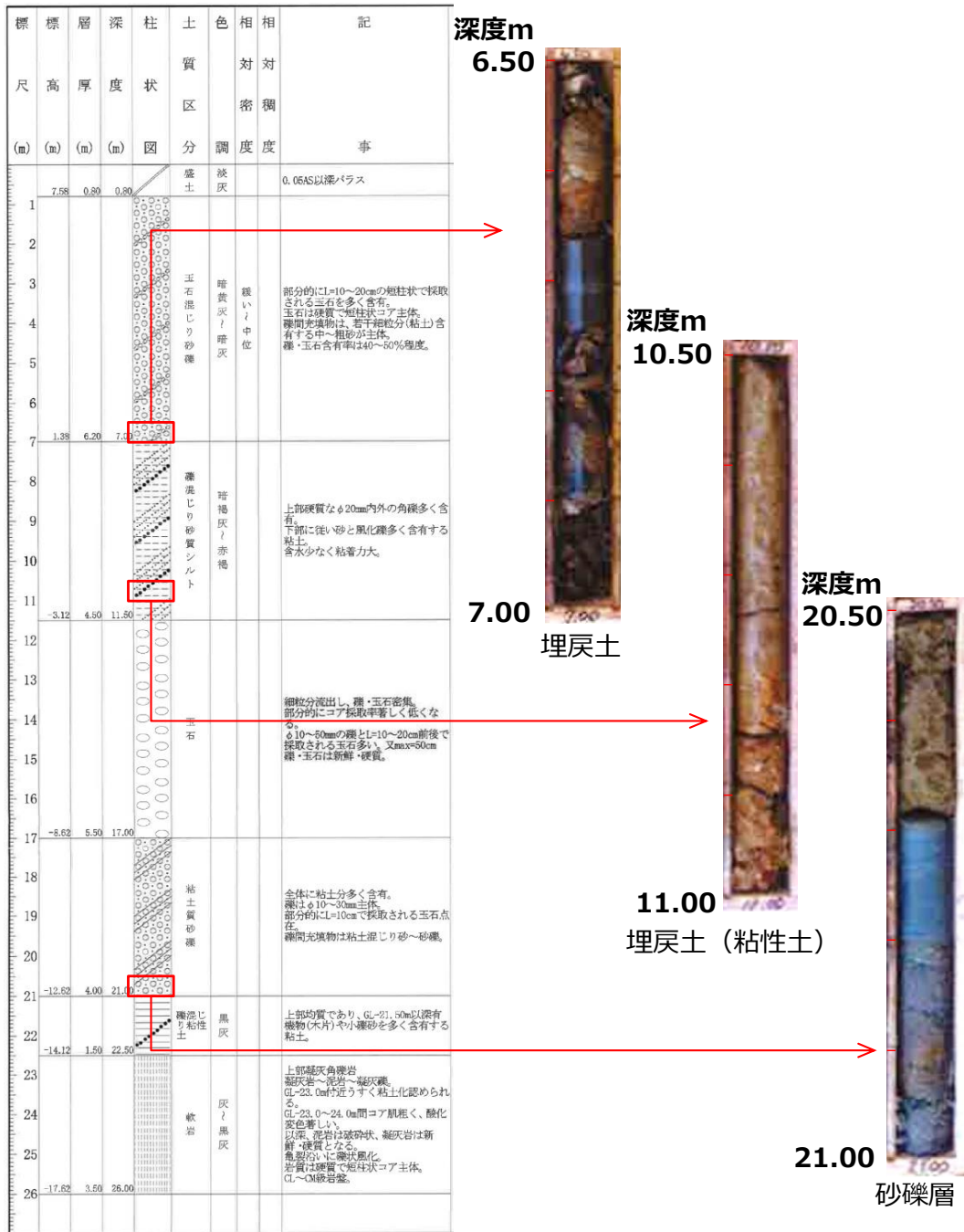
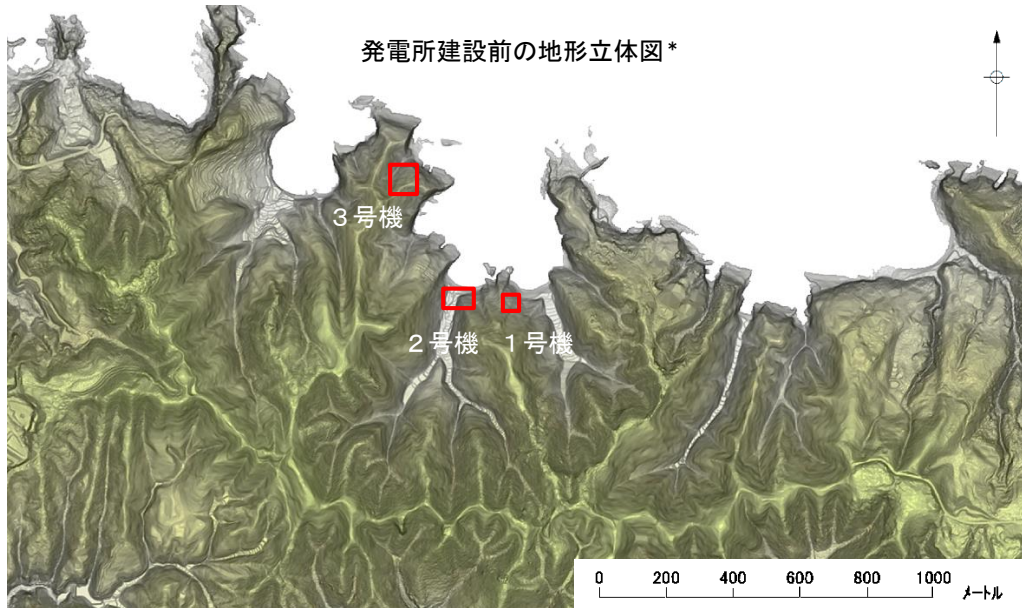


図 4.2-2 被覆層のボーリング柱状図



注記*：航空レーザー測量で取得した2mメッシュのD E Mデータに、空中写真により取得した旧地形のD E Mデータを合成して作成したもの

図 4.2-3 発電所建設前の地形立体図

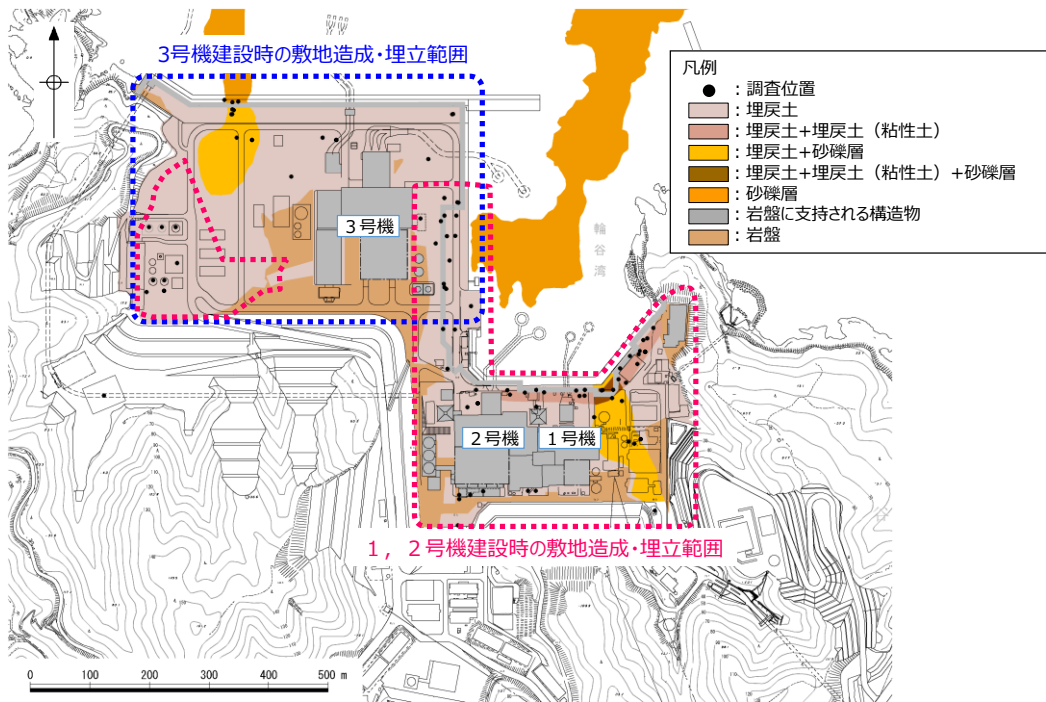
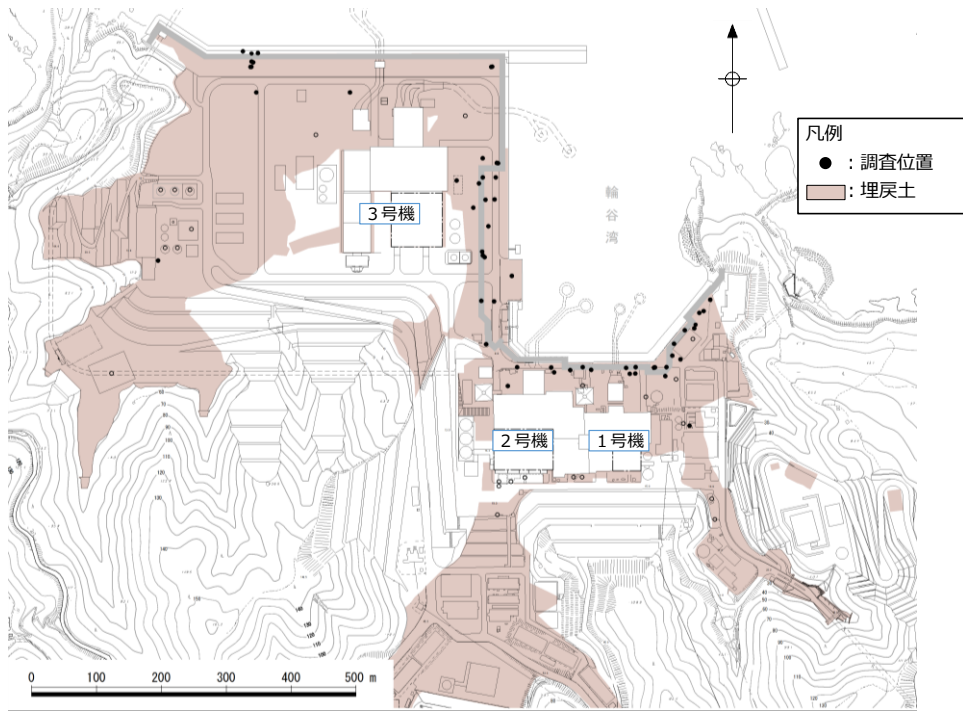


図 4.2-4 敷地の被覆層（平面図）

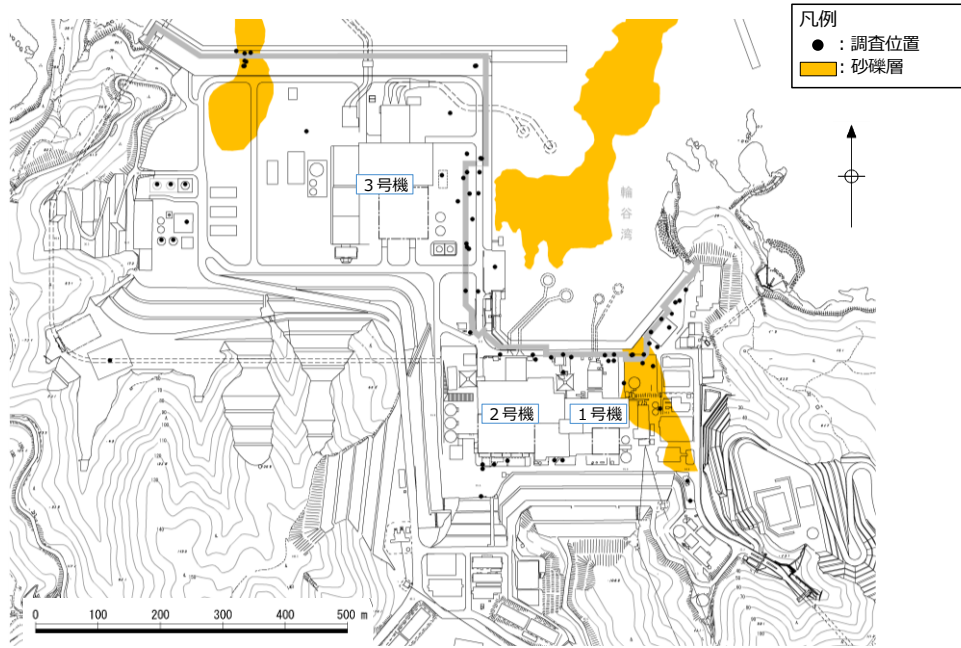


(a) 埋戻土



(b) 埋戻土 (粘性土)

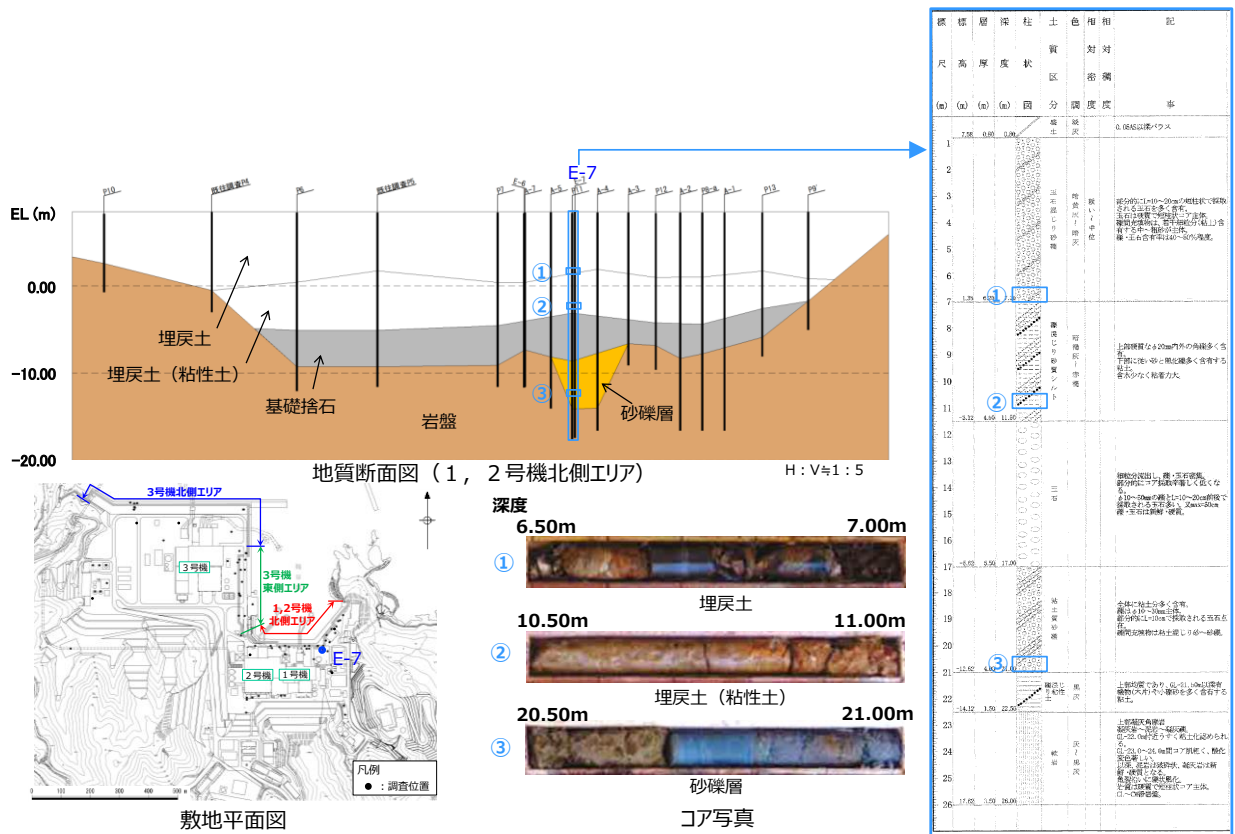
図 4.2-5(1) 敷地の地層分布状況 (平面図)



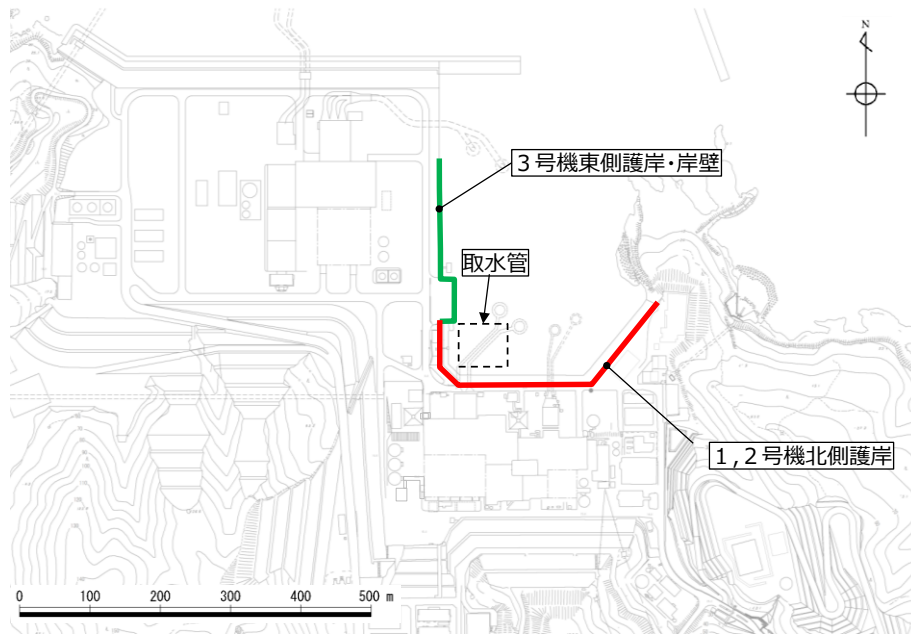
注：輪谷湾周辺の砂礫層分布（自社調査（H7））

(c) 砂礫層分布図

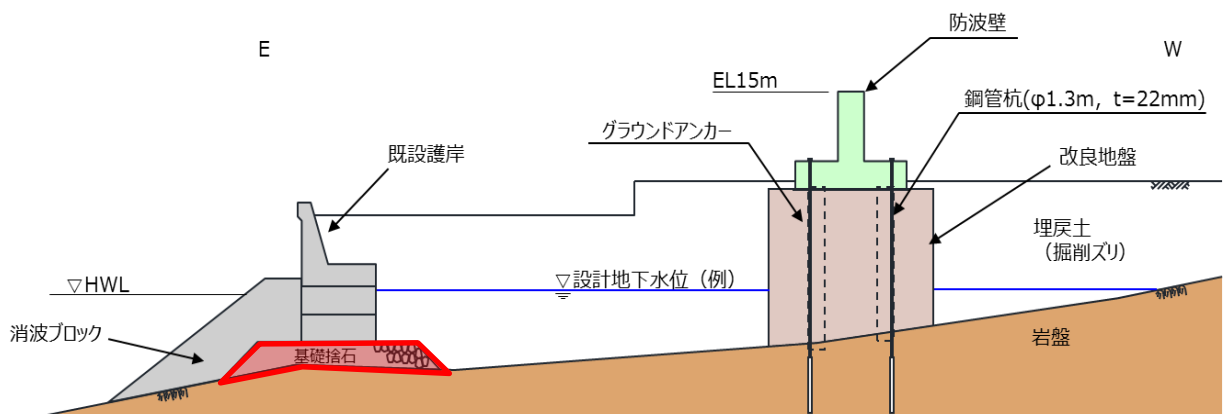
図 4.2-5(2) 敷地の地層分布状況（平面図）



(c) 1, 2号機北側エリア分布図
 図 4.2-6(2) 敷地の地層分布状況(断面図)

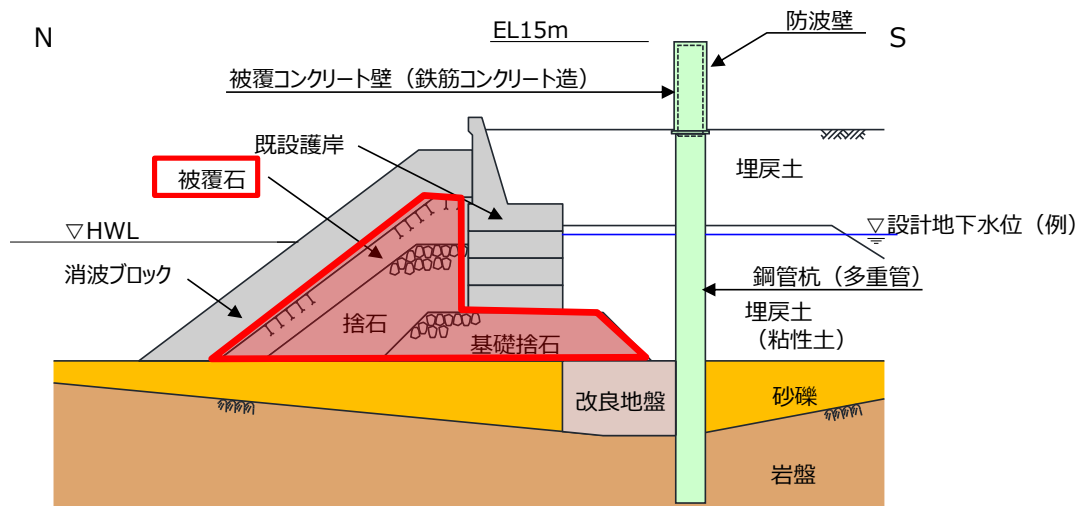


敷地平面図

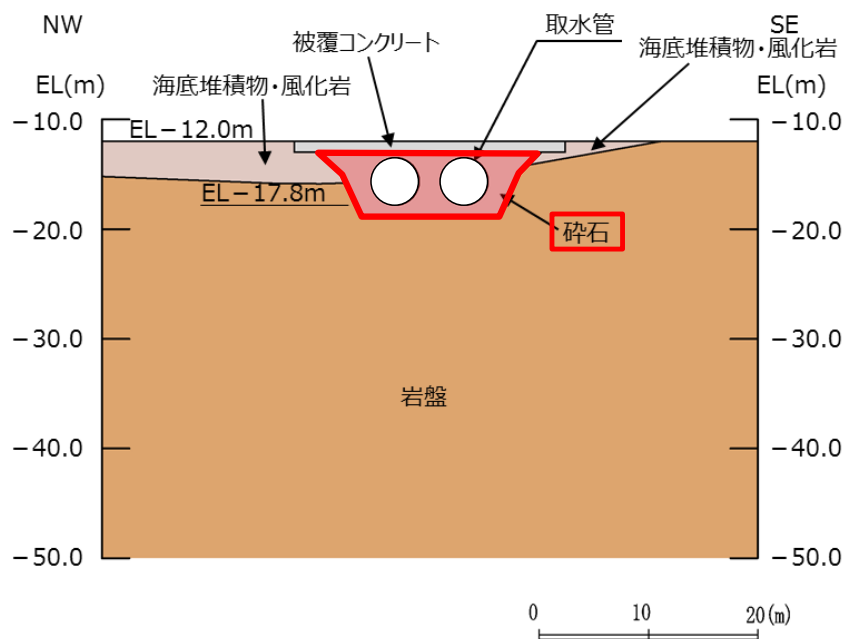


(a) 3号機東側護岸

図 4.2-7(1) 購入地盤材料の使用箇所



(b) 1, 2号機北側護岸



(c) 取水管

図 4.2-7(2) 購入地盤材料の使用箇所

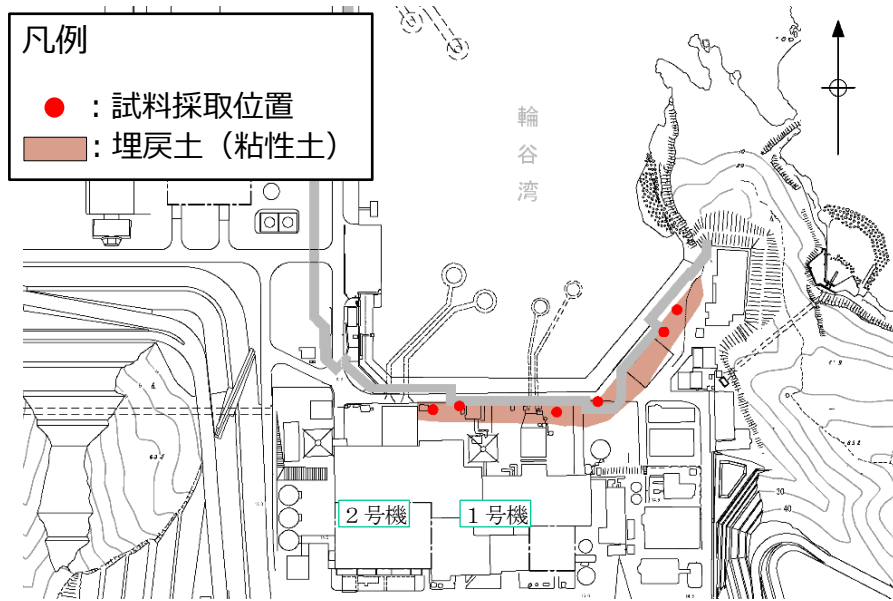


図 4.2-8 埋戻土 (粘性土) の分布状況及び試料採取位置

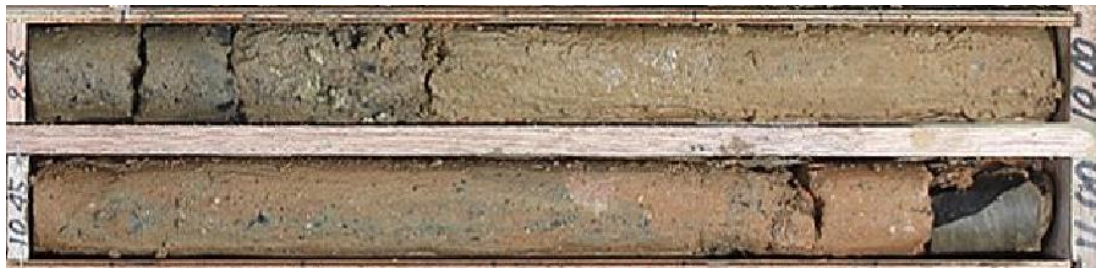
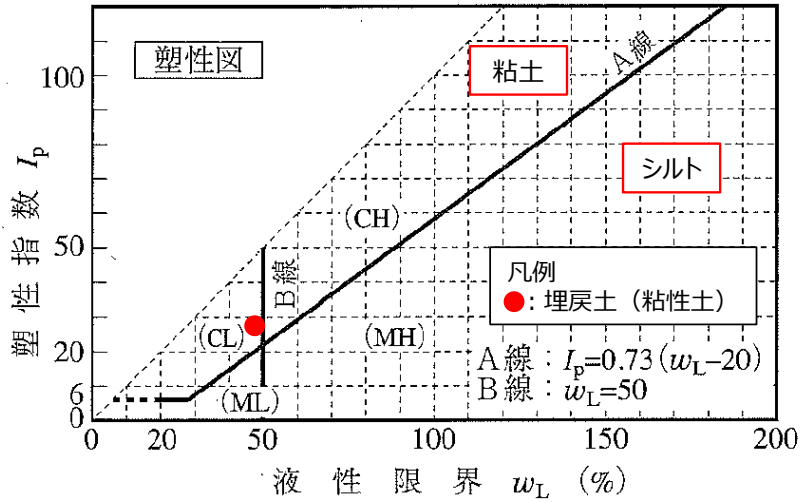


図 4.2-9 採取した埋戻土 (粘性土)

	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p
埋戻土 (粘性土) (平均値, 試験数: 22)	48.5	21.2	27.3



注: 「地盤工学会, H22: 土質試験 基本と手引き」に加筆

図 4.2-10 塑性図による粘性土の分類

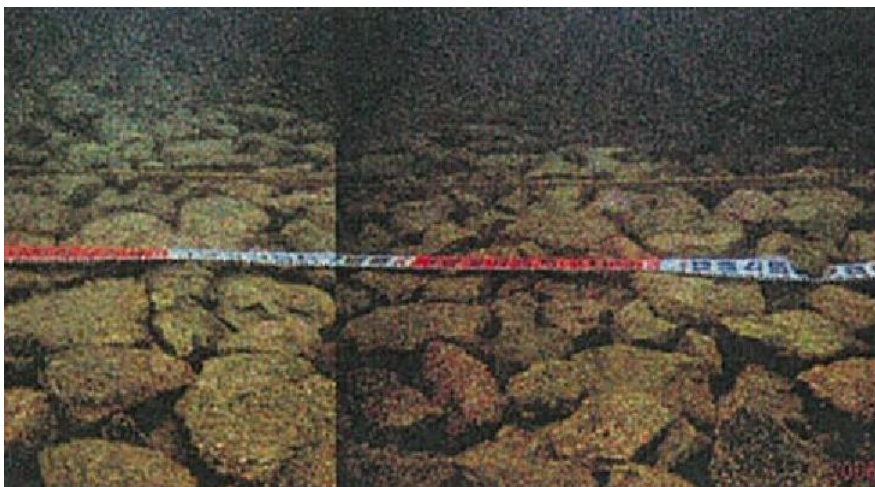


図 4.2-11 基礎捨石の設置状況 (防波堤)



被覆石の寸法（1，2号機北側護岸）



被覆石の設置状況（1，2号機北側護岸）

図 4.2-12 被覆石の寸法及び設置状況の写真

表 4.2-22 地盤材料の液状化判定の要否（EL 15m 以下）

地盤材料	規格	分布場所・使用場所	液状化判定の要否
埋戻土	—	・おおむね全域に分布	粒径2mm未満の砂を含むため、道路橋示方書Vに基づき液状化判定を実施する。
埋戻土 (粘性土)	—	・1，2号機北側護岸 背面に分布	粘土質であるため対象外とする（土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205）結果： $I_p=27.3$ ）。
砂礫層 (崖錐・海底堆積物)	—	・1号機東側に局所的に分布 ・3号機北側に局所的に分布 ・輪谷湾内に分布	粒径2mm未満の砂を含むため、道路橋示方書Vに基づき液状化判定を実施する。
碎石	20～80mm (底部のみ5～20mm)	・取水管	粒径の大きい地盤材料であるため港湾基準の「液状化の可能性あり」の範囲外であること、十分な透水性を有することから、対象外とする。
基礎捨石	200～250mm程度 (30kg/個以上)	・1，2号機北側護岸 ・3号機東側護岸・岸壁	粒径の大きい地盤材料であるため港湾基準の「液状化の可能性あり」の範囲外であること、十分な透水性を有することから、対象外とする。
被覆石	700～800mm程度 (1.5t/個)	・1，2号機北側護岸	粒径の大きい地盤材料であるため港湾基準の「液状化の可能性あり」の範囲外であること、十分な透水性を有することから、対象外とする。

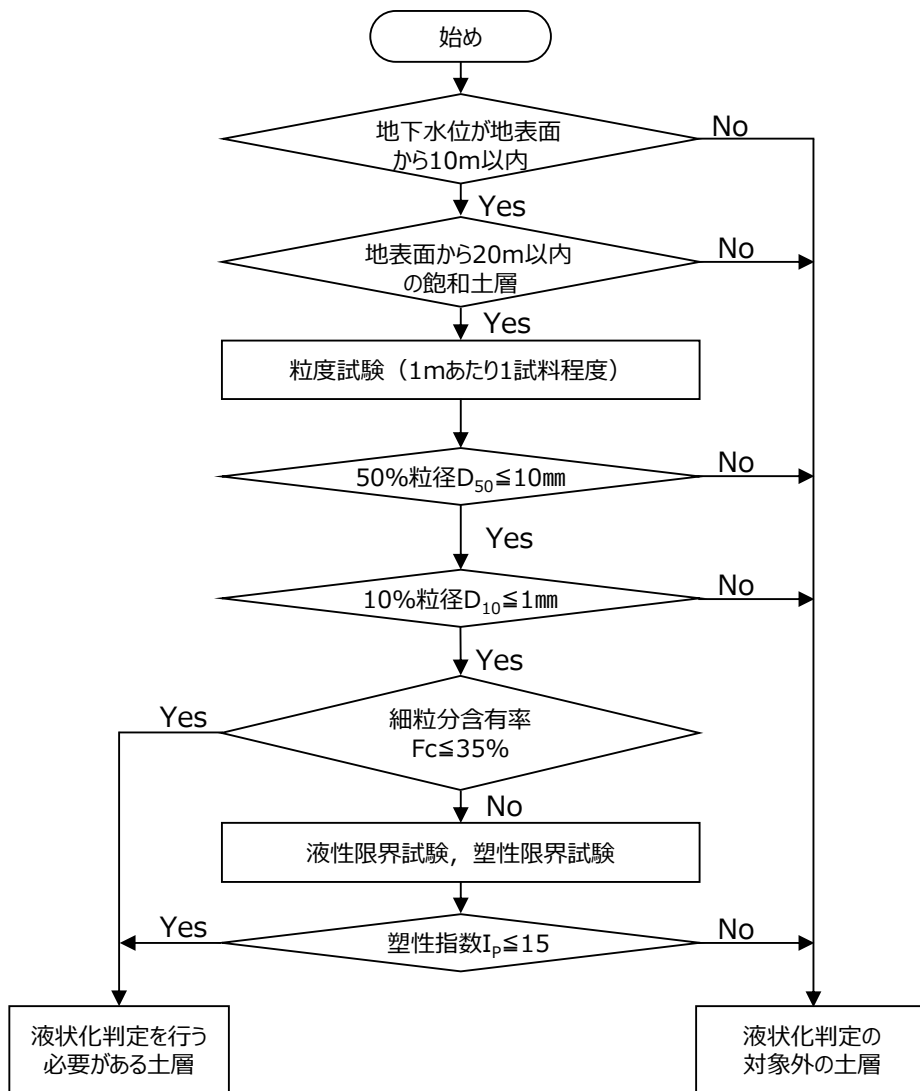


図 4.2-13 液状化評価の対象層の抽出フロー
 (「道路橋示方書V」抜粋)

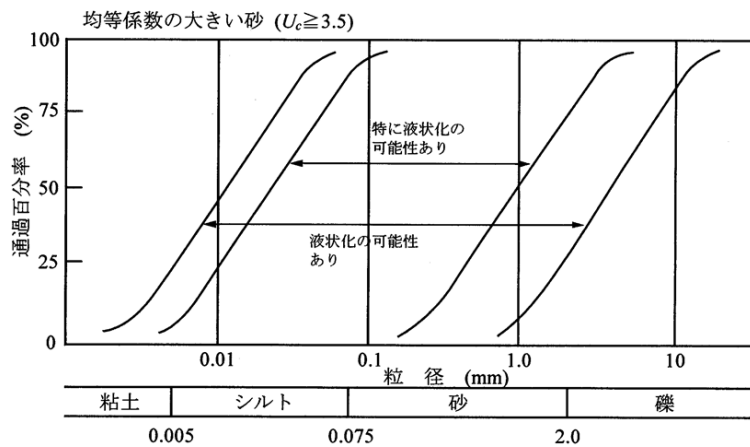


図 4.2-14 粒度による液状化判定 (「港湾基準」抜粋)

地層名	50%粒径 (平均) (mm)	10%粒径 (平均) (mm)	細粒分含有率 (平均) (%)
埋戻土	16.5	-	-
砂礫層	9.1	0.0651	15.6

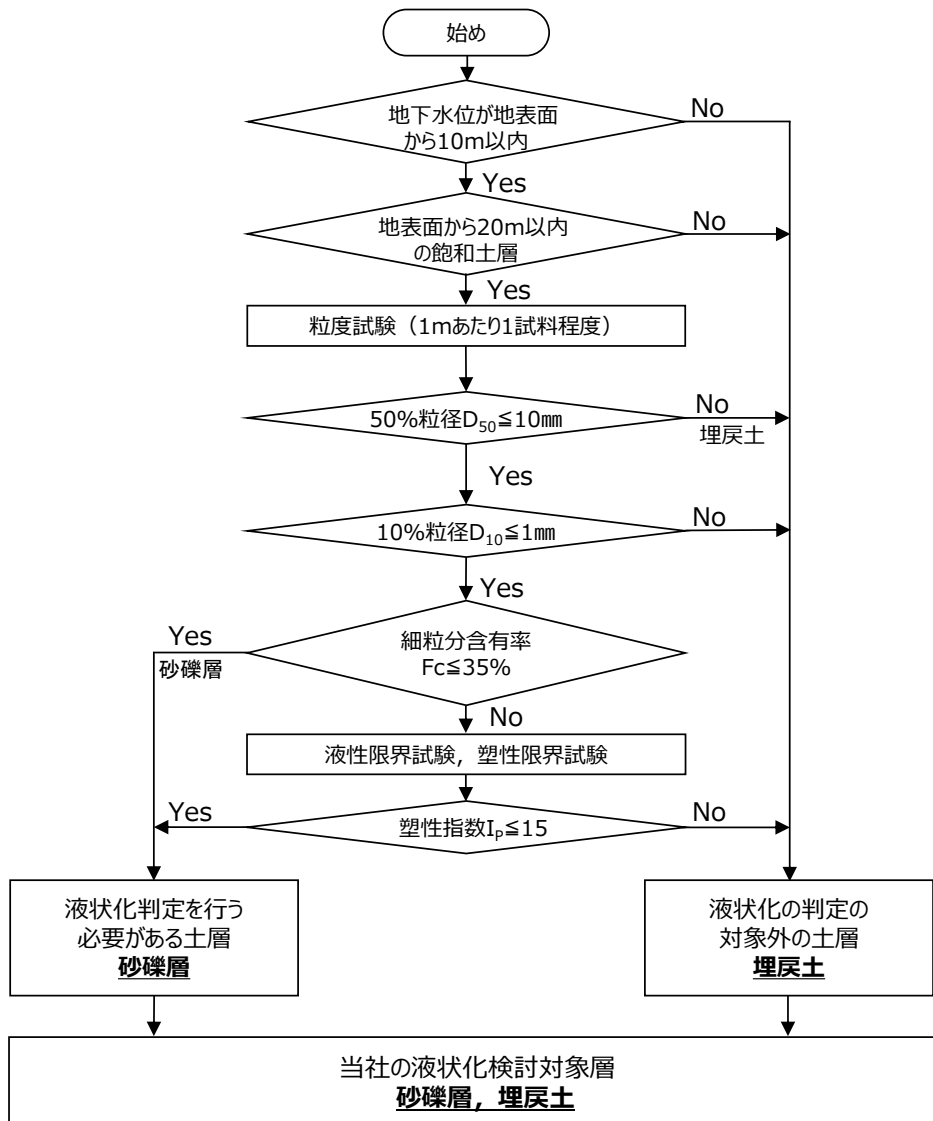
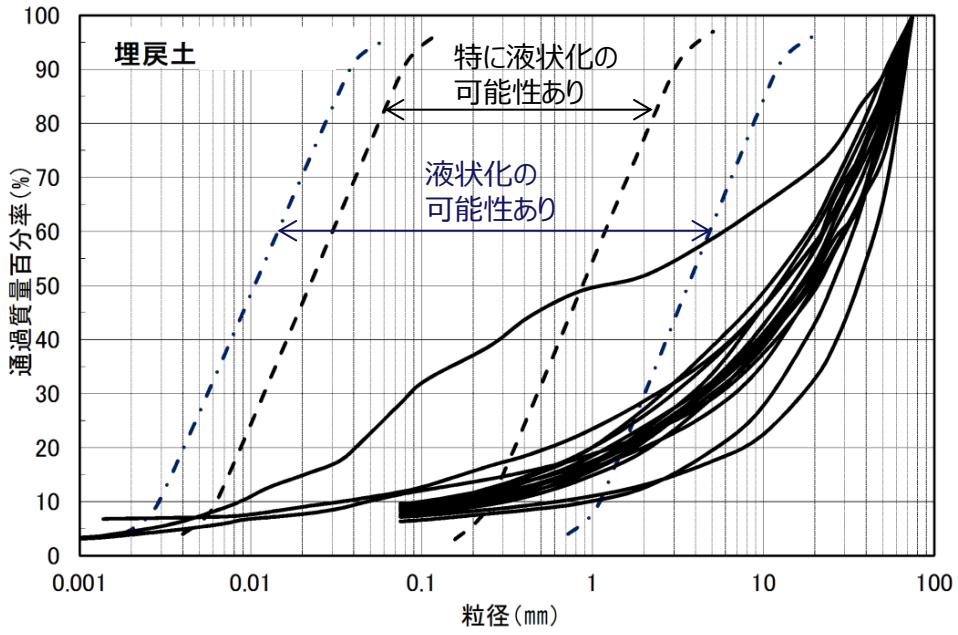
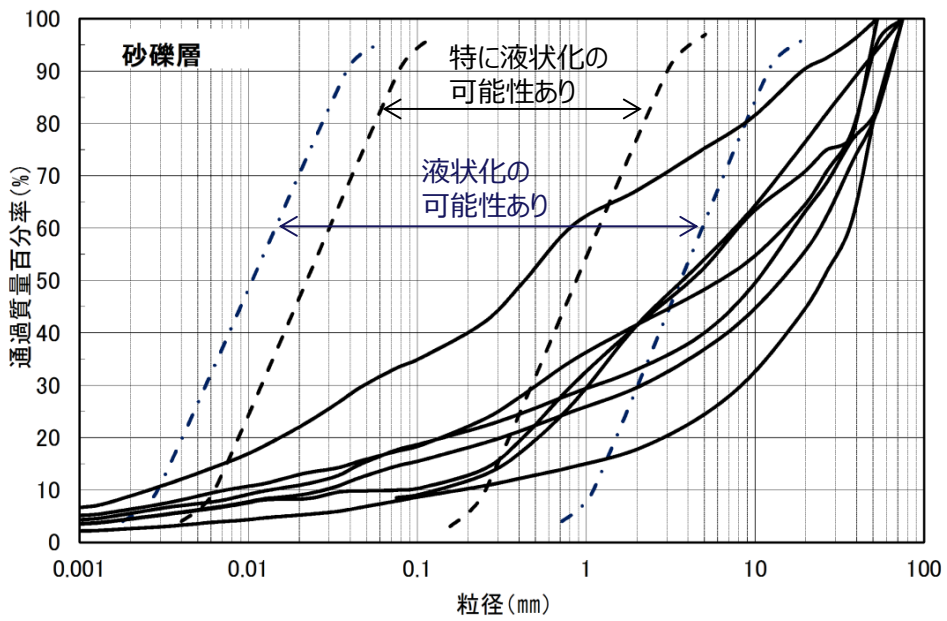


図 4.2-15 「道路橋示方書V」に基づく抽出結果



埋戻土の粒度による液状化判定



砂礫層の粒度による液状化判定

図 4.2-16 「港湾基準」に基づく抽出結果

(3) 液状化強度試験試料採取位置とその代表性

a. 液状化強度試験試料の採取方法

ロータリー式三重管サンプラーに加えて、液状化強度試験データ数を確実に増やす観点から、表層試料採取により液状化強度試験試料を採取した。

b. 液状化強度試験試料採取位置とその代表性

図 4.2-17 に敷地内の試料採取地点位置図を示す。

敷地内の液状化評価対象層として、埋戻土及び砂礫層の分布状況から以下のとおり地点を選定し、試料を採取して液状化強度試験を実施する。

埋戻土は3号機西側から1, 2号機東側に広く分布している。このうち、地下水位以下で埋戻土が厚く分布している護岸法線に沿った地点を広範囲に選定し、ロータリー式三重管サンプラーにより試料採取した(E-2~E-8)。なお、埋戻土に対する液状化強度試験の位置及びデータ数について、代表性・網羅性の確保及び保守的な液状化強度の設定の観点から、ロータリー式三重管サンプラーにより液状化強度試験データが得られていない位置を選定し、表層試料採取を追加実施した(A~E)。

砂礫層は局所的に分布していることから、分布箇所である3号機北側西端及び1, 2号機北側東端の地点を選定し、ロータリー式三重管サンプラーにより試料採取した(E-1, E-7, E-8)。

ロータリー式三重管サンプラーにより、地表から岩盤まで不攪乱試料の採取を実施した。供試体作製が可能な試料(巨礫の有無, 必要高さ, 自立性等)を確認し、液状化強度試験を実施した。

併せて、近傍においてボーリング調査を実施し、標準貫入試験及び粒度試験用の試料採取を実施した。ロータリー式三重管サンプラーによる液状化強度試験実施箇所を図 4.2-18 に示す。

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、「参考資料 12 液状化強度試験の詳細について」に示す。

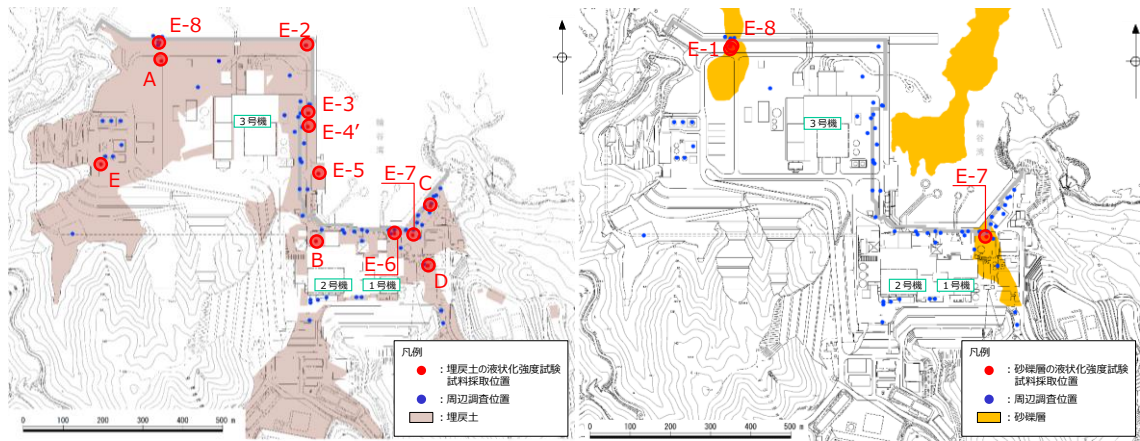
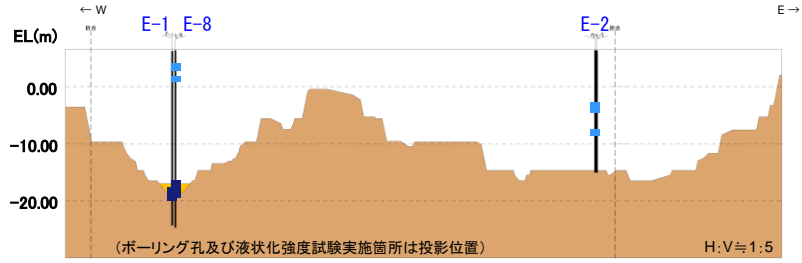
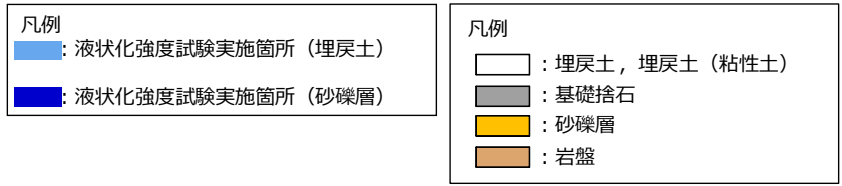
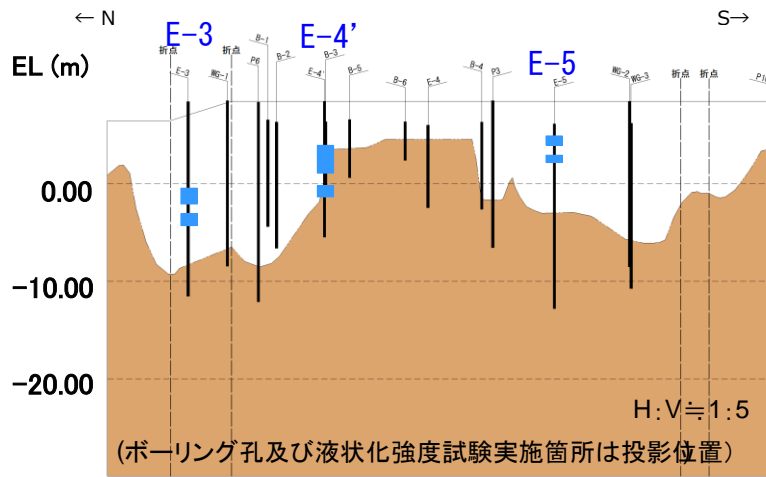


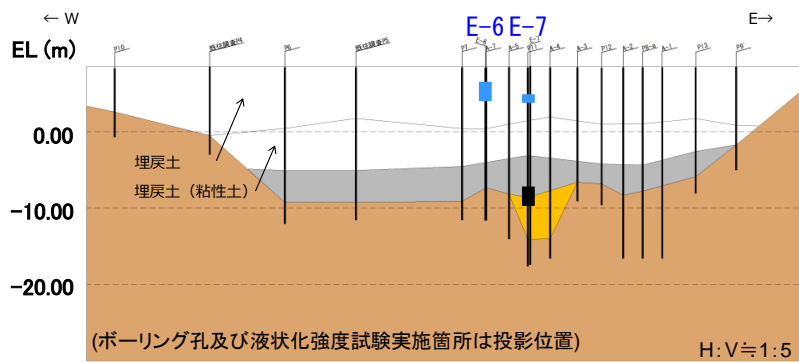
図 4.2-17 液状化強度試験試料採取地点位置図



(a) 3号機北側エリア



(b) 3号機東側エリア



(c) 1, 2号機北側エリア

図 4.2-18 ロータリー式三重管サンプラーによる液状化強度試験実施箇所

敷地の被覆層（埋戻土）は敷地造成において発生した岩砕を主体とする材料により埋戻した人工地盤であることから、埋戻土の粒径加積曲線となるように粒度調整を行い、敷地の埋立工事における施工管理基準値となるよう密度調整を行うことにより、人工地盤である敷地の被覆層（埋戻土）を再現した供試体を作製する。図 4.2-19 に表層採取試料による供試体作成方法を示す。

路盤材以深の埋戻土を対象として表層試料採取を実施した（A～E地点）。表層試料採取による液状化強度試験実施箇所を図 4.2-20 に示す。また、表層試料採取にあたり、巨礫を除いて採取した。図 4.2-21 に表層試料採取状況及び巨礫の例を示す。

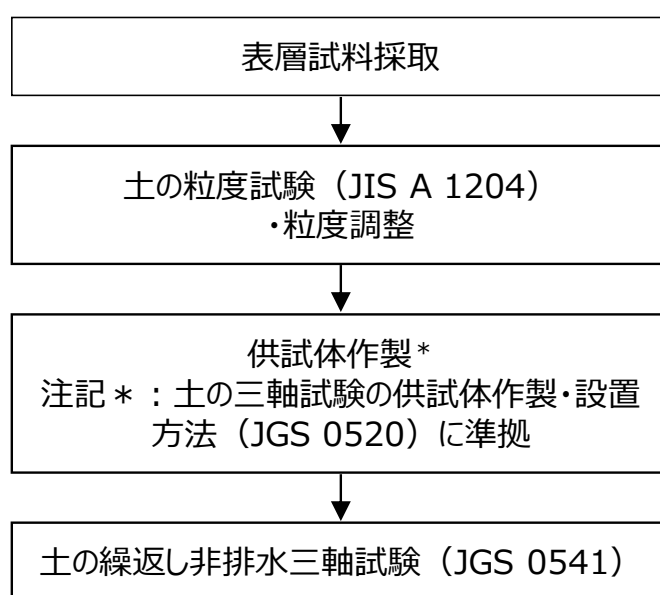


図 4.2-19 表層採取試料による供試体作成方法

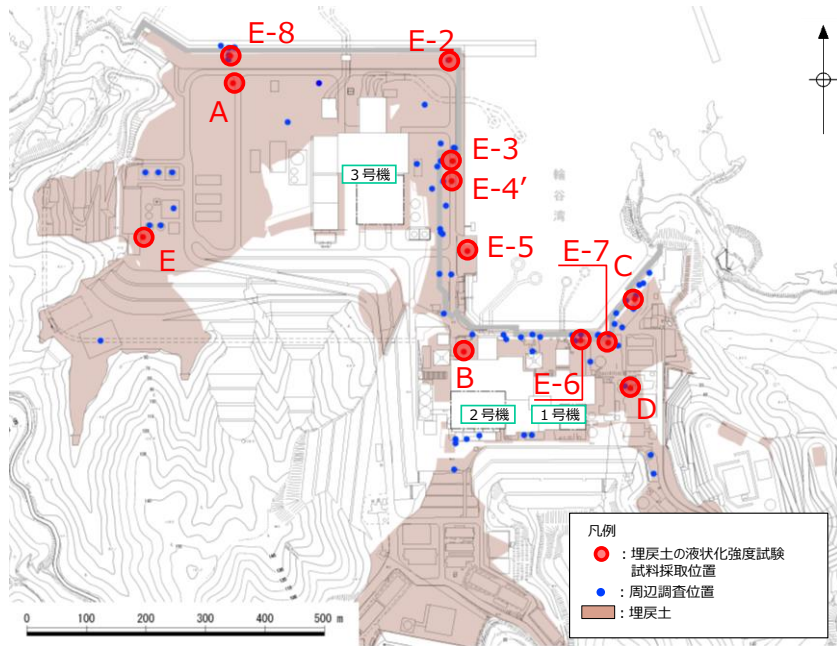


図 4.2-20 表層採取試料による液状化強度試験実施箇所



表層採取試料状況 (A地点)

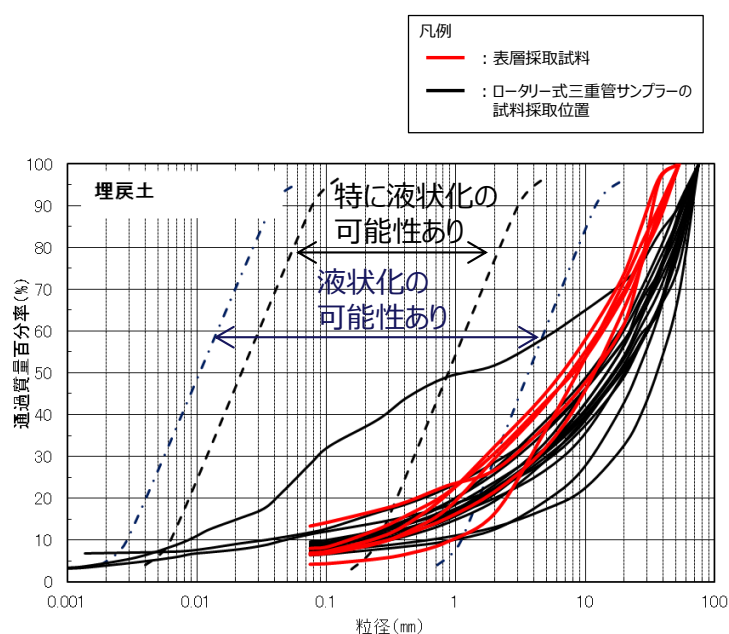


巨礫の例

図 4.2-21 表層試料採取状況及び巨礫の例

ロータリー式三重管サンプラーの試料採取位置の粒径加積曲線と同等になるよう、最大粒径 53mm として表層採取試料の粒度調整を実施した。粒度調整後の表層採取試料の粒径加積曲線及び細粒分含有率を図 4.2-22 に示す。

表層採取試料の細粒分含有率の平均値は、ロータリー式三重管サンプラーの試料採取位置の細粒分含有率の平均値及び平均値-1 σ 値の範囲内である。土の三軸試験の供試体作製・設置方法 (JGS 0520) に基づき、表層採取試料による供試体を作製した。



表層採取試料の細粒分含有率

	細粒分含有率 (%)
A	6.6/6.5
B	13.3
C	4.2
D	8.0
E	6.9
平均値	7.6

ロータリー式三重管サンプラーの試料採取位置の細粒分含有率

	細粒分含有率 (%)
平均値	9.8
平均値- σ	4.7

図 4.2-22 表層採取試料とロータリー式三重管サンプラーの試料採取位置の粒径加積曲線及び細粒分含有率

3号機建設時の敷地の埋戻しにあたり、大型締固め試験により乾燥密度 ρ_d を算出した（締固めエネルギー $1.0E_c$ 、乾燥密度 $\rho_d=1.874\text{g/cm}^3$ ）。乾燥密度 $\rho_d=1.874\text{g/cm}^3$ を踏まえ、礫補正後乾燥密度 $\rho_d'=1.95\text{g/cm}^3$ を算出し、施工管理基準値とした。図4.2-23に締固めエネルギーと乾燥密度の関係図を示す。

礫補正後乾燥密度とは、粒径53mm以下の材料を対象に実施した大型締固め試験結果に対し、53mm以上の礫を含む実際の埋戻土の乾燥密度を算出するための補正である。したがって、表層採取試料の最大粒径は53mmであることから、表層採取試料による供試体作製にあたっては、乾燥密度 $\rho_d=1.874\text{g/cm}^3$ を目標値とした。

供試体作製は、土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）に準拠して実施した。試料を5層に分けてモールド（直径100mm）に入れ、静的締固め法により作製した。

以上の方法により表層採取試料による供試体を作製し、土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）を実施した。

表4.2-23に表層採取試料による供試体の乾燥密度を示す。

締固めエネルギー (E_c)	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
乾燥密度 ρ_d (g/cm^3)	1.801	1.874	1.933	1.974	2.013

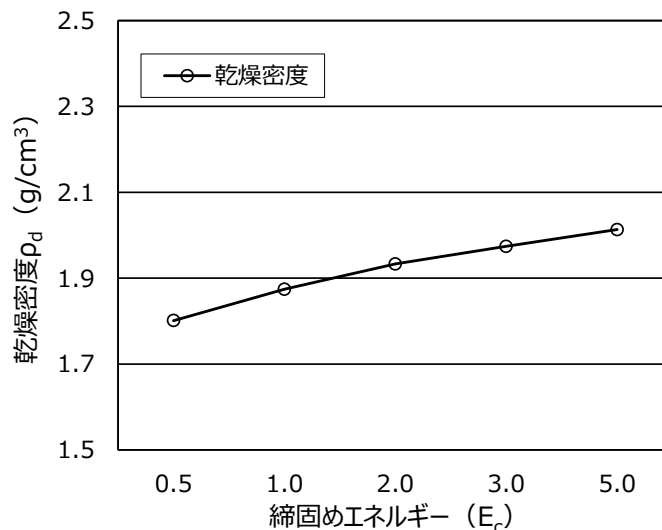


図4.2-23 締固めエネルギーと乾燥密度の関係図

表 4.2-23 表層採取試料による供試体の乾燥密度

	乾燥密度 (g/cm ³)		乾燥密度 (g/cm ³)
A①	1.866	C②	1.873
A②	1.877	C③	1.873
B①	1.868	C④	1.877
B②	1.871	D①	1.872
C①	1.875	E①	1.875

c. 液状化強度試験試料採取位置の代表性確認

液状化強度試験試料採取位置の代表性確認を目的に、液状化強度試験試料採取位置と周辺調査位置を含めた敷地全体との比較、検討を行った。比較する指標としては、N値、細粒分含有率を選定する。表 4.2-24 に各基準類における液状化強度比 R_L と基本物性の相関性を示す。

N値は、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り、また、有効応力解析 (FLIP) の簡易設定法にN値がパラメータとして用いられており、液状化強度比 R_L との相関が最も高いと考えられることから、指標として選定する。

細粒分含有率は、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 R_L との相関が高いと考えられることから、指標として選定する。

各基準における設計で設定する地盤物性値のばらつきに対する考え方は、「地盤工学会基準 JGS 4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則 (2006)」や「港湾基準」、「道路橋示方書V」によると、平均値を原則とし、ばらつきを考慮する場合は変動係数等などに応じて設定するという考え方が示されている。

液状化強度試験試料採取位置と周辺調査位置を含めた敷地全体とのN値等の比較に際しては、各基準における地盤物性値のばらつきに対する考え方を参考に、「平均値」及び平均値から標準偏差 σ を減じた「平均値-1 σ (以下「-1 σ 値」という。）」について整理した。表 4.2-25 に各基準類における地盤物性値のばらつきに対する考え方を示す。

液状化強度試験を実施した箇所のうち、埋戻土及び砂礫層の液状化強度試験試料採取位置と周辺調査位置を含めた敷地全体や防波壁近傍におけるN値や物理特性(細粒分含有率)の比較を行い、代表性を確認した。図 4.2-24 に各土層の基本物性の比較結果を示す。なお、各種試験は、JISに基づき実施した。

E-2～E-8地点の埋戻土は、敷地全体と比べて、N値及び細粒分含有率ともに、液状化強度試験試料採取位置の平均値及び-1 σ 値が、敷地全体のばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）の範囲内であることから、液状化強度試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。また、埋戻土は敷地全体に分布するため、場所によって埋戻土の性状が異なる懸念があることから、敷地の広範囲にわたって設置された防波壁に着目して、液状化強度試験試料採取位置と3つの構造形式の防波壁近傍の基本物性を比較したところ、N値及び細粒分含有率ともに、液状化強度試験試料採取位置の平均値が、防波壁近傍のばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）の範囲内であることから、液状化強度試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。

E-1, E-7, E-8地点の砂礫層の細粒分含有率は、液状化強度試験試料採取位置の平均値及び-1 σ 値が、敷地全体のばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）の範囲内であった。また、N値は、液状化強度試験試料採取位置の平均値は敷地全体のばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）の範囲内であり、液状化強度試験試料採取位置の-1 σ 値は敷地全体のばらつき（ $\pm 1\sigma$ ）の範囲から僅かに外れているもののおおむね一致していることから、液状化強度試験試料採取位置は代表性を有していると評価した。なお、砂礫層は敷地の局所的な範囲で確認されており、液状化強度試験試料採取位置と敷地全体の調査位置とは近接している。

表 4.2-24 各基準類における液状化強度比 R_L と
基本物性の相関性

基準類名	液状化強度比 R_L の算定に用いる主物性	液状化強度比 R_L の補正に用いる物性
道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 日本道路協会, H24 (下水道施設の耐震対策指針と解説, 日本下水道協会, H18) (河川砂防技術基準(案)同解説 設計編, 日本河川協会編, H9) (高圧ガス設備等耐震設計指針, 高圧ガス保安協会, H12)	N値 (有効上載圧を考慮した補正を行う)	細粒分含有率 F_c
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, H19 (部分改訂, H24)		細粒分含有率 F_c
建築基礎構造設計指針, 日本建築学会, H13 (水道施設耐震工法指針・同解説, 日本水道協会, H9)		細粒分含有率 F_c
鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, (財)鉄道総合技術研究所, H24		細粒分含有率 F_c 平均粒径 D_{50}
港湾の施設の技術上の基準・同解説, 日本港湾協会, H19 埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版), 運輸省港湾局監修, H9		細粒分含有率 F_c

表 4.2-25 各基準類における地盤物性値のばらつきに対する考え方

基準類名	地盤物性値のばらつきに対する考え方
地盤工学会基準 JGS4001	<ul style="list-style-type: none"> 設計に用いる「特性値」の決定にあたっては、過去の経験にもとづき、地盤パラメータのばらつきや単純化したモデルの適用性に十分留意しなければならない。 この特性値は、原則として導出値の平均値(期待値)である。この平均値は単なる機械的な平均値ではなく、統計的な平均値の推定誤差を勘案したものでなければならない。 特性値を示すにあたっては、地盤の特性を記述するために、特性値に加えて、導出値のばらつきの指標(たとえば標準誤差や変動係数)を含めることが望ましい。
港湾基準	<ul style="list-style-type: none"> 性能照査に用いる地盤定数の設計用値は、原則として地盤工学会基準JGS4001に基づき、推定する。 地盤定数の代表値である特性値は、データ数が十分かつ導出値のばらつきが小さい場合には、原則として導出値の平均値をもって算定することができる。ただし、データ数が不足している場合(10個未満)及び導出値のばらつきが大きい場合には、導出値の平均値を補正した上で、特性値を設定する必要がある。 特性値は、導出値のばらつきに関する補正係数b_1を標準偏差として定義される変動係数に応じて設定することにする。
道路橋示方書	<ul style="list-style-type: none"> 地盤は複雑でばらつきの大きい材料であるが、設計に用いる地盤定数は、基礎に作用する荷重に対して、その条件下で最も高い確率で起こり得る基礎の挙動を推定するものである。したがって、地盤定数は、計算式の精度や特性を考慮したうえで、当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが原則である。 自然地盤から得られる計測データは多様で、しかもばらつきの大きいものである。データのばらつきだけでなく、データ数を合理的に評価して設計に用いる地盤定数を定める必要がある。

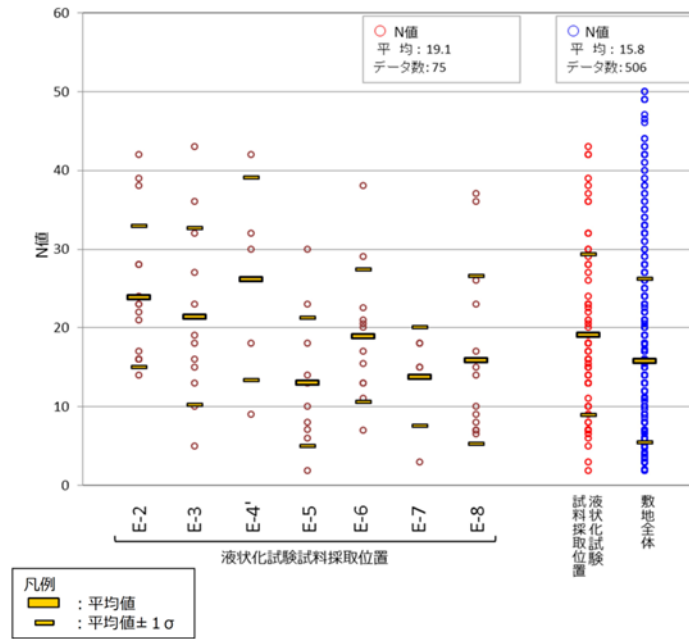


図 4.2-24(1) 埋戻土の液状化強度試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (N値)

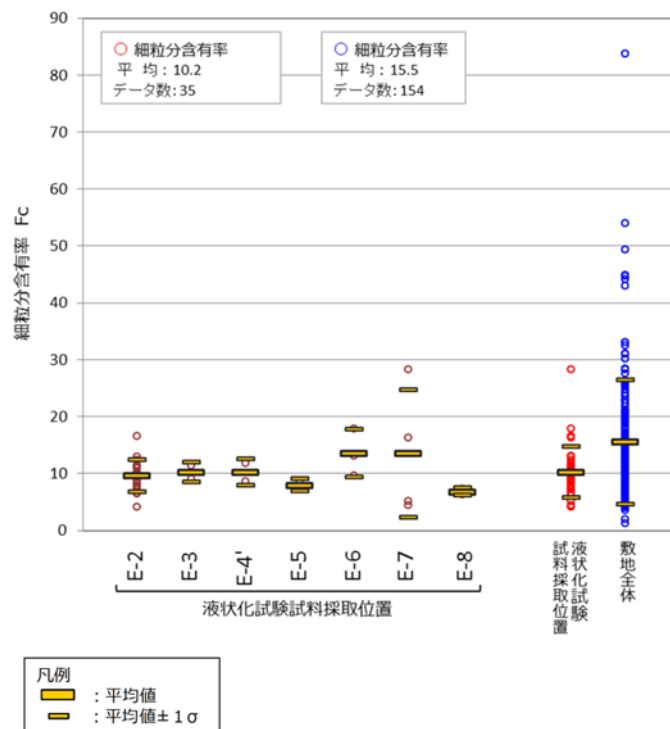


図 4.2-24(2) 埋戻土の液状化強度試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (細粒分含有率)

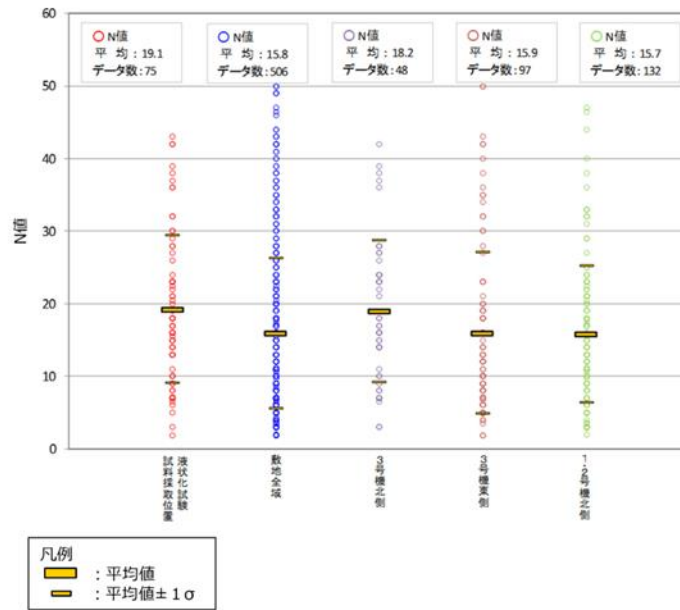


図 4.2-24(3) 埋戻土の液状化強度試験試料採取位置と防波壁近傍の基本物性比較 (N値)

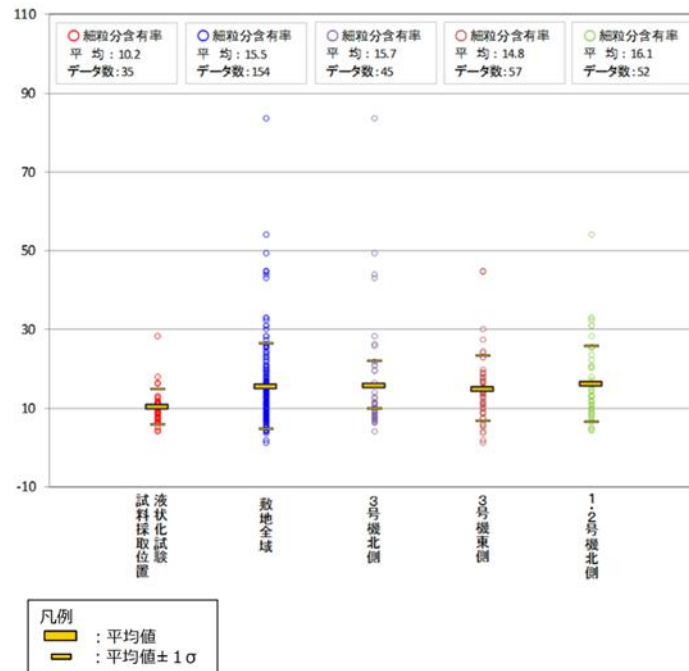


図 4.2-24(4) 埋戻土の液状化強度試験試料採取位置と防波壁近傍の基本物性比較 (細粒分含有率)

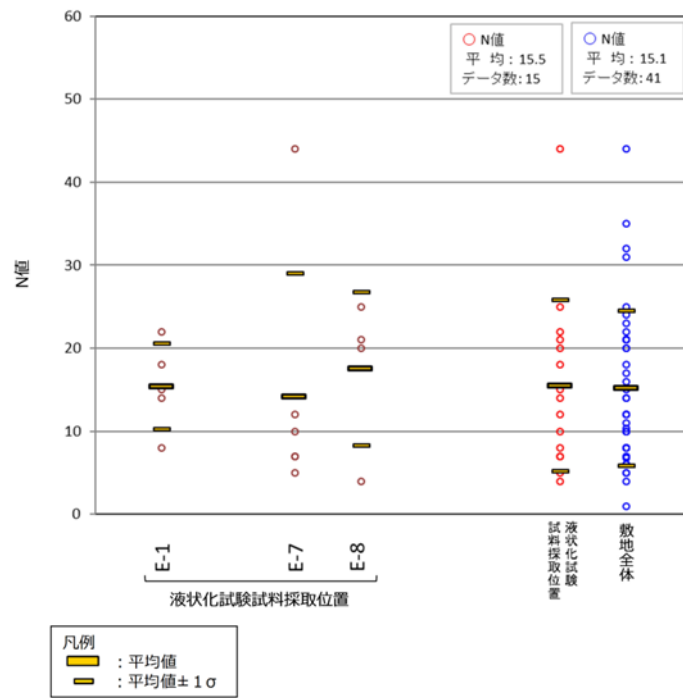


図 4.2-24(5) 砂礫層の液状化強度試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (N値)

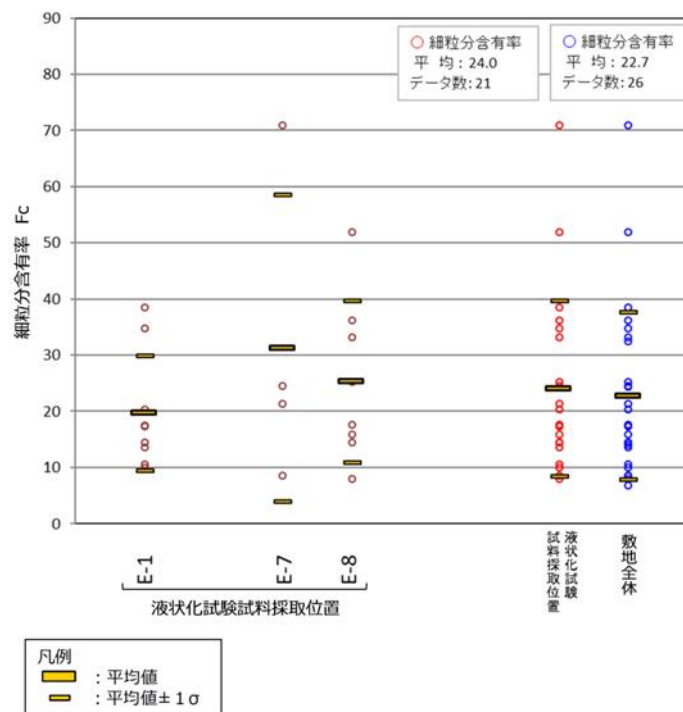


図 4.2-24(6) 砂礫層の液状化強度試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (細粒分含有率)

(4) 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定

a. 液状化強度試験方法

地盤工学会では、地盤の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）（地盤工学会，H21）が規定されている。実務的には、地盤の液状化強度特性を求める試験方法として、繰返し非排水三軸試験のほかに、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験等が用いられる。（安田，H3）

図 4.2-25 に一般的な液状化強度試験方法の例を，図 4.2-26 に液状化強度試験結果の例を示す。

繰返し非排水三軸試験では、等方に拘束圧をかけた状態で軸方向に外力を繰返し与えて液状化させるので、圧縮側と引張側で応力経路やひずみの生じ方が異なる。一方、繰返しねじりせん断試験では、円周方向に回転させるように外力を加える。原地盤の拘束圧に近い異方応力状態での試験も可能である。また、応力経路も原地盤に近い挙動となる。

ただし、実務では装置や操作が比較的容易であり、実績の多い繰返し非排水三軸試験が用いられることが多い。また、繰返しねじりせん断試験では中空の円筒状の供試体を用いるので、粒径が大きい試料には適用が困難である。

以上を踏まえ、埋戻土及び砂礫層を対象とした液状化強度試験を実施するにあたり、繰返し非排水三軸試験を採用した。

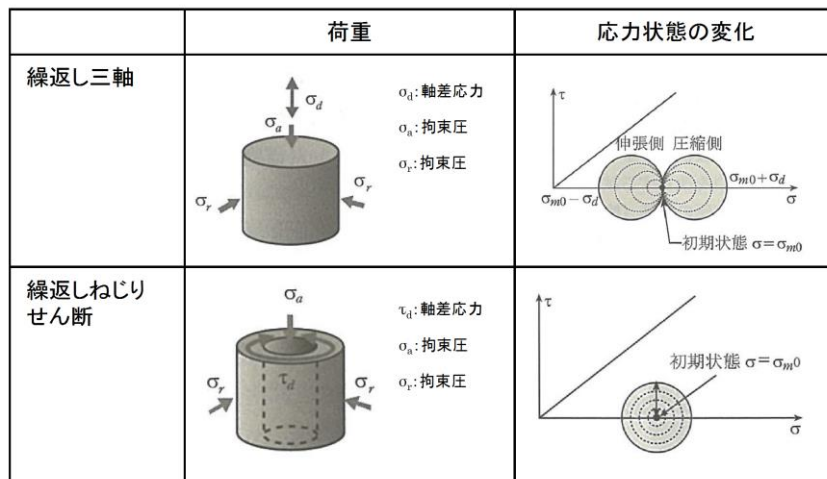


図 4.2-25 一般的な液状化強度試験方法の例（吉田，H22）

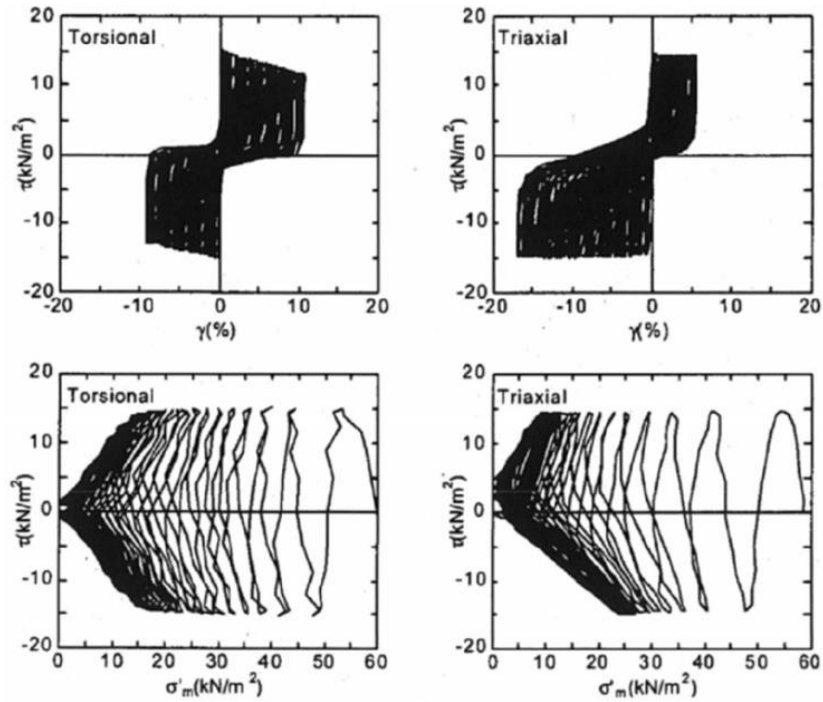


図 4.2-26 液状化強度試験結果の例

[上図：応力-ひずみ関係，下図：応力経路]

(土木学会，H15)

実施した繰返し非排水三軸試験の概要を図 4.2-27 に示す。

土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541-2009）を参考に実施した。なお、供試体はロータリー式三重管サンプラー及び表層試料採取により採取した試料とした。

【試験概要】

- ・ 供試体寸法 : 外径 88mm, 高さ 176mm
- ・ 载荷波形 : 正弦波 (0.1Hz)
- ・ 拘束圧 : 供試体平均深度の有効土被り圧を考慮して設定
- ・ 両振幅軸ひずみ 10%に達するまで試験を実施する。
- ・ 所定の両振幅軸ひずみ (1, 2, 5, 10%) 及び過剰間隙水圧比 0.95 の繰返し回数を評価

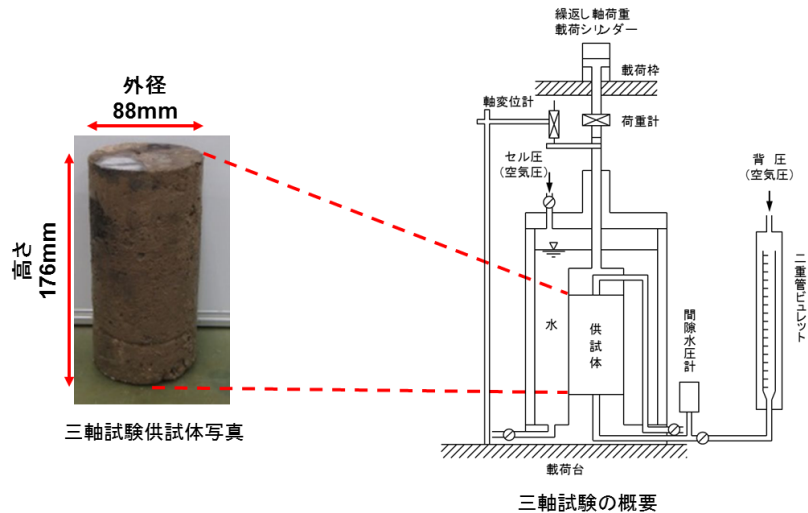


図 4.2-27 繰返し非排水三軸試験の概要

b. 液状化強度試験結果の分類に対する基本的考え方

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書（土木学会，H15）では，地盤の液状化及びそれに関連する事象の定義として，以下のように記載されている。図 4.2-28 に地盤の強度とダイレイタンスー特性の概要を示す。

【液状化】

地震の繰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，その後地盤の流動を伴う現象。

【サイクリックモビリティ】

繰返し載荷において土が「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っても，ひずみが大きく成長しようとする時，正のダイレイタンス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レイタンスー特性が著しい土において顕著に現れる。

【繰返し軟化】

繰返し載荷による間隙水圧上昇と剛性低下によりせん断ひずみが発生し，それが繰返し回数とともに徐々に増大するが，土の持つダイレイタンスー特性や粘性のためにひずみは有限の大きさとどまり，大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。

これらの事象のうちサイクリックモビリティは，その現象の違いから一般的に液状化とは区別されている（表 4.2-26 参照）。以下に既往文献におけるサイクリックモビリティの記述を示す。また，図 4.2-29 及び図 4.2-30 に緩い砂と密な砂の液

状化強度試験結果の比較を示し、液状化とサイクリックモビリティの違いを整理した。

- ・サイクリックモビリティとは、砂などの繰返し载荷において、有効拘束圧がゼロに近づいてから、载荷時にせん断剛性の回復、除荷時に有効応力の減少を繰り返していくが、ひずみは有限の大きさにとどまる現象であり、液状化とは区別して用いられることがある。（地盤工学会，H18）
- ・地盤の液状化は、緩い砂地盤が繰返しせん断を受け、せん断振幅が急増し、地盤全体が泥水状態となり、噴砂や噴水を伴うことが多いので、現象的にサイクリックモビリティとは異なる。（井合，H20）
- ・サイクリックモビリティにおいて、有効応力がゼロになるのは、せん断応力がゼロになる瞬間だけであり、せん断応力が作用している間は有効応力が存在するので、間隙水圧比が100%に達した後でも、繰返しせん断に対して相当な剛性を保持する。（吉見，H3）
- ・密詰めの場合には大ひずみは生じない。一時的に有効拘束圧が0になっても、その後にせん断力を加えると負の過剰間隙水圧が発生して有効拘束圧が増加（回復）し、有限の小さなひずみ振幅しか発生しない。この現象を“サイクリックモビリティ”と呼んで液状化と区別することもある。（安田，H3）

これらの知見を踏まえて、液状化試験結果を、「液状化」、「繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）」及び「非液状化」の3つに大別することとした。

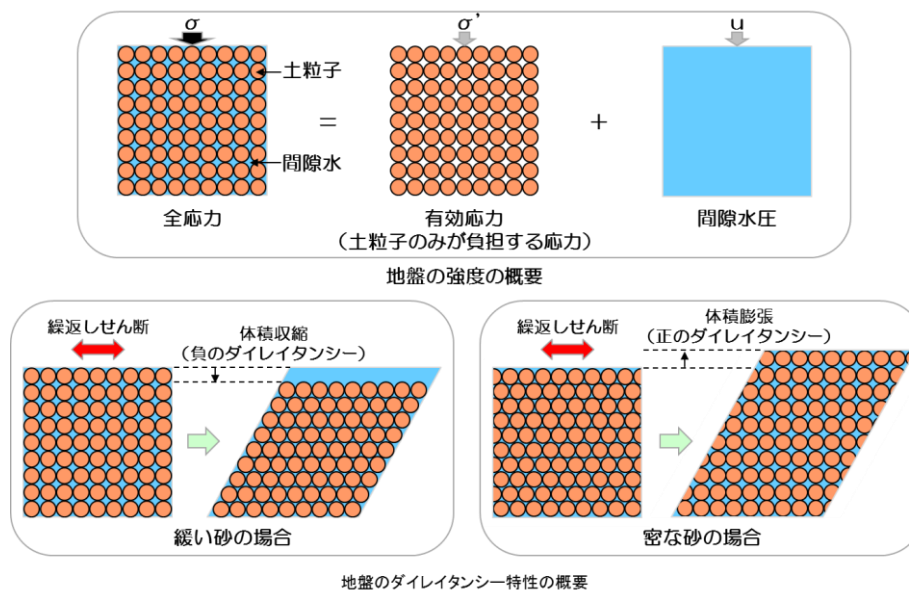


図 4.2-28 地盤の強度とダイレイタンス特性の概要

表 4.2-26 液状化強度試験結果の分類

○：該当する ×：該当しない

判定項目	液状化	繰返し軟化		非液状化
			サイクリックモビリティ	
・ 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○	○	○	×
・ 有効応力がゼロまで低下する。	○	×	○	×
・ 液体状となり流動する。 (ひずみが急増する。)	○	×	×	×
・ 正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	×	○	○	○

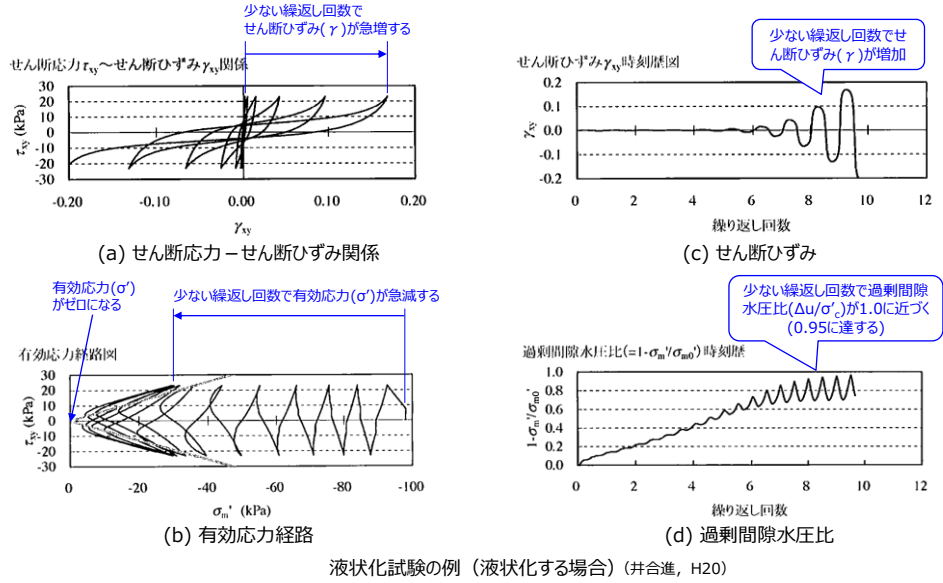


図 4.2-29 緩い砂の液状化強度試験結果

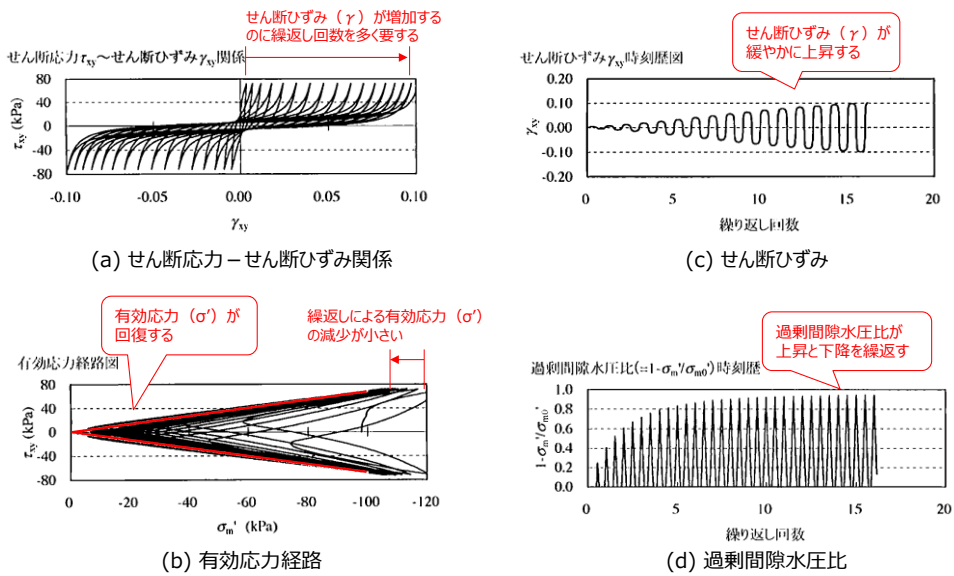


図 4.2-30 密な砂の液状化強度試験結果

c. 液状化強度試験結果の分類

埋戻土及び砂礫層の液状化強度試験結果のまとめを表 4.2-27 及び表 4.2-28 に示す。液状化強度試験結果の詳細については、「参考資料 12 液状化強度試験の詳細について」に示す。

埋戻土の試験結果は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に 1.0 に近づき (0.95 を上回り)、せん断ひずみは緩やかに上昇する。また、有効応力は保持している、若しくは減少するがせん断変形時の正のダイレイタンスー特性により回復した。一方、E-4' 地点及びD地点では過剰間隙水圧比が 0.95 を上回らなかった。これらの状況から、埋戻土は非液状化、若しくは繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)であると判断した。

供試体直径の 1/5 を超える礫を含む供試体については、土の三軸試験の供試体作製・設置方法(JGS 0520)を満足しないため、試験結果を参考値とし、以降の評価には採用しない。埋戻土の液状化強度試験結果のうち、供試体直径の 1/5 を超える礫を含む供試体について、液状化試験後の写真を表 4.2-29 に示す。

砂礫層の試験結果は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に 1.0 に近づき (0.95 を上回り)、せん断ひずみは緩やかに上昇する。また、有効応力は保持している、若しくは減少するがせん断変形時の正のダイレイタンスー特性により回復した。これらの状況から、砂礫層は繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)であると判断した。

これらの区分を整理して、表 4.2-30 に示す。

すべての土層で、液状化強度試験結果は繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)あるいは非液状化を示している。このことは、50%粒径が 10 mm 超過、又は、10%粒径が 1 mm 超過である、粗粒で均等係数が低い礫質土では透水係数が高く液状化しにくいという「道路橋示方書V」の記載に整合する。

埋戻土及び砂礫層は液状化を示さず、「道路橋示方書V」の液状化判定法(FL法)が適用できないと考えられることから、埋戻土について、液状化強度試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態を模擬していることを確認する。基準地震動 S_s に対する液状化強度試験の妥当性確認の結果について、「参考資料 18 基準地震動 S_s に対する液状化強度試験の妥当性確認」に示しており、液状化強度試験は基準地震動 S_s をおおむね再現できていると判断した。

表 4.2-27(1) 液状化強度試験結果のまとめ
(埋戻土, ロータリー式三重管サンプラー)

	E-2			E-3		
	埋戻土					
試料番号	S2-9* ²	S2-10	S2-14-1* ²	S3-9-1* ²	S3-9-2* ²	S3-11* ²
過剰間隙水圧比95%を超えない。* ¹	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	×	×	○	○	○
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○	○	○
現象の整理	サイクリック モビリティ	サイクリック モビリティ	サイクリック モビリティ	繰返し 軟化	繰返し 軟化	繰返し 軟化

	E-4'				E-5	
	埋戻土					
試料番号	S4-5①* ²	S4-5②* ²	S4-6	S4-8-2* ²	S5-1	S5-3* ²
過剰間隙水圧比95%を超えない。* ¹	×	×	○	○	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	○	○	○	○	○	○
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○	○	○
現象の整理	繰返し 軟化	繰返し 軟化	非液状化	非液状化	繰返し 軟化	繰返し 軟化

	E-6			E-7		
	埋戻土					
試料番号	S6-1-1* ²	S6-1-2* ²	S6-3①* ²	S7-3①	S7-3③* ²	S7-3④* ²
過剰間隙水圧比95%を超えない。* ¹	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	○	×	○	○	○
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○	○	○
現象の整理	サイクリック モビリティ	繰返し 軟化	サイクリック モビリティ	繰返し 軟化	繰返し 軟化	繰返し 軟化

	E-8		
	埋戻土		
試料番号	S8-2* ²	S8-4②* ²	S8-4④* ²
過剰間隙水圧比95%を超えない。* ¹	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	○	×
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○
正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○
現象の整理	サイクリック モビリティ	繰返し 軟化	サイクリック モビリティ

注記*1: JGS 0541-2009において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としている。

*2: 供試体直径の1/5を超える礫を含む一部の供試体も試験を実施し、液状化判定の参考とするが、評価には採用しない。

表 4.2-27(2) 液状化強度試験結果のまとめ
(埋戻土, 表層試料採取)

	A		B		C	
	埋戻土					
試料番号	A①	A②	B①	B②	C①	C②
過剰間隙水圧比95%を超えない。*	×	○	×	○	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	○	×	○	×	×
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○	○	○
現象の整理	サイクリック モビリティ	非液状化	サイクリック モビリティ	非液状化	サイクリック モビリティ	サイクリック モビリティ

	C		D	E
	埋戻土			
試料番号	C③	C④	D①	E①
過剰間隙水圧比95%を超えない。*	×	×	○	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	×	○	×
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○
正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○
現象の整理	サイクリック モビリティ	サイクリック モビリティ	非液状化	サイクリック モビリティ

注記*: JGS 0541-2009において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としている。

表 4.2-28 液状化強度試験結果のまとめ
(砂礫層)

	E-1					E-7
	砂礫層					
試料番号	S1-23-3①*2	S1-23-3②	S1-24	S1-25*2	S1-26*2	S7-15
過剰間隙水圧比95%を超えない。*1	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	○	○	○	○	×	○
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○	○	○
現象の整理	繰返し軟化	繰返し軟化	繰返し軟化	繰返し軟化	サイクリックモビリティ	繰返し軟化

	E-7			E-8		
	砂礫層					
試料番号	S7-16①*2	S7-16②	S7-17	S8-23-1	S8-24①	S8-24②
過剰間隙水圧比95%を超えない。*1	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	×	○	○	×	×
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○	○	○
現象の整理	サイクリックモビリティ	サイクリックモビリティ	繰返し軟化	繰返し軟化	サイクリックモビリティ	サイクリックモビリティ

	E-8		
	砂礫層		
試料番号	S8-25①*2	S8-25②	S8-25③
過剰間隙水圧比95%を超えない。*1	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	○	○	○
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○
正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○
現象の整理	繰返し軟化	繰返し軟化	繰返し軟化

注記*1: JGS 0541-2009において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としている。

*2: 供試体直径の1/5を超える礫を含む一部の供試体も試験を実施し、液状化判定の参考とするが、評価には採用しない。

表 4.2-29 埋戻土の液状化強度試験結果
(供試体直径の 1/5 を超える礫を含む供試体)


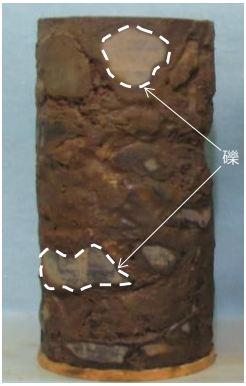

	E-3	E-6	E-8
試料番号	S3-9-2	S6-3	S8-2
写真			

表 4.2-30 液状化強度試験結果の分類

対象層	埋戻土	砂礫層
液状化試験の状況	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が0.95を上回るが、有効応力は0にならない。なお、一部の供試体では、過剰間隙水圧比が0.95を下回る。 有効応力は減少するが、回復する。 ひずみが緩やかに上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が0.95を上回るが、有効応力は0にならない。 有効応力は減少するが、回復する。 ひずみが緩やかに上昇する。
試験結果の分類	<ul style="list-style-type: none"> 試験結果は、非液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であり、液状化ではない。 有効応力は維持又は回復するため、支持力が期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 試験結果は、繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であり、液状化ではない。 有効応力は維持又は回復するため、支持力が期待できる。
基準地震動Ssに対する液状化判定	基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認	

液状化強度試験結果（埋戻土）による液状化強度曲線を図 4.2-31 に示す。液状化強度曲線は、試験結果から得られる近似曲線が試験結果の下限值を通るように保守的に設定する。

表層採取試料による供試体は、人工地盤である敷地の被覆層（埋戻土）を再現するため粒度調整及び密度調整を行い作製した。一方、敷地の埋立工事から1，2号機エリアで30年以上，3号機エリアで10年以上経過しており，被覆層（埋戻土）は経年的な圧密を受けていることから，液状化強度試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）は液状化強度試験結果②（表層試料採取）の上側に位置する。

上記と同様に，液状化強度試験結果（砂礫層）による液状化強度曲線を図 4.2-32 に示す。

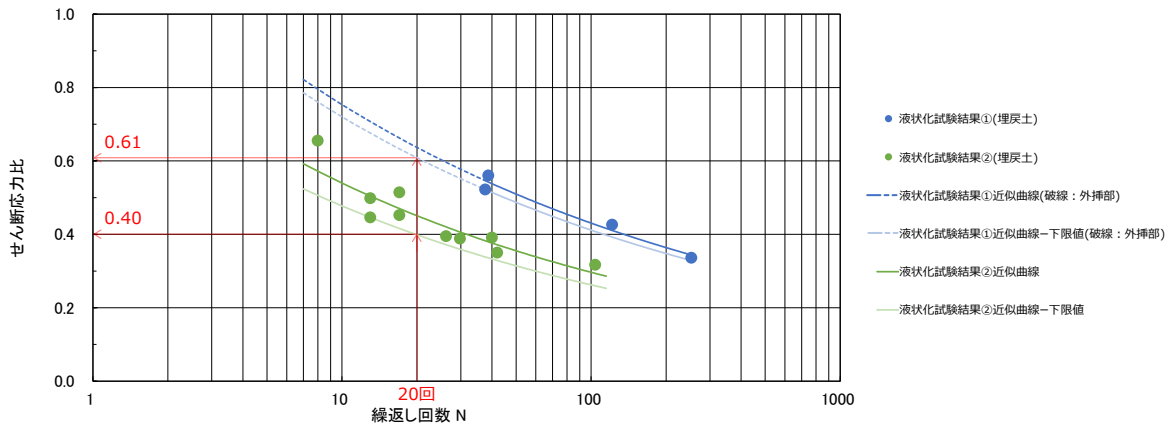


図 4.2-31 埋戻土の液状化強度曲線

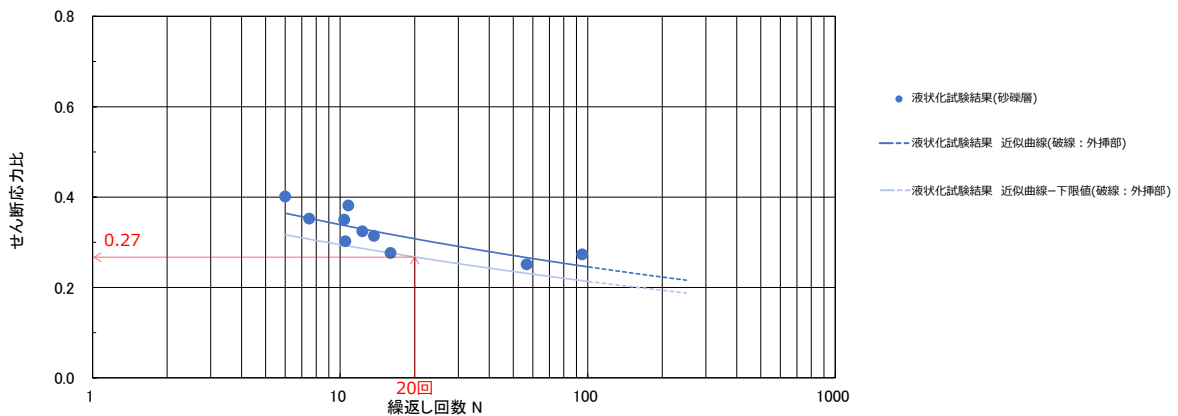


図 4.2-32 砂礫層の液状化強度曲線

d. 有効応力解析の液状化強度特性の設定方針

「港湾基準」では、有効応力解析（FLIP）に使用する地盤の物性に関するパラメータの設定方法について、原位置で行われた詳細な土質データを用いて検討することを基本としているが、簡易設定法による方法も明記されている。

簡易設定法は、「港湾基準」に基づく詳細な計算例をまとめた「港湾構造物設計事例集」に準拠し、液状化強度比 R_L と相関が高い N 値、有効上載圧及び細粒分含有率を用いて、有効応力解析（FLIP）の解析理論に則った液状化強度特性を設定することができる。

有効応力解析（FLIP）は、解析において土粒子と間隙水の両方を取り扱うことによって、過剰間隙水圧の上昇を模擬できるとともに、過剰間隙水圧の上昇に伴う土要素の剛性及び強度の低下、すなわち液状化現象を模擬することができる解析コードである。さらに、地盤の液状化に伴う構造物の変形等、地盤と構造物の相互作用を模擬することができる。

有効応力解析（FLIP）で用いる有効応力モデルのパラメータのうち、液状化強度特性（過剰間隙水圧の発生）を設定するパラメータを表 4.2-31 に示す。

表 4.2-31 有効応力解析（FLIP）で用いる有効応力モデルの主なパラメータ

分類	モデルパラメータ	
液状化特性	ϕ_p	変相角
	w_1	過剰間隙水圧上昇の全体を規定するパラメータ
	p_1	過剰間隙水圧上昇の前半を規定するパラメータ
	p_2	過剰間隙水圧上昇の後半を規定するパラメータ
	c_1	液状化強度の下限値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

液状化強度特性を設定するパラメータは、繰返し非排水三軸試験結果を踏まえ、FLIPで試行的な繰返し計算を行い、全てのせん断応力比における整合性を確認して設定する方法が標準的とされている。

一方、簡易設定法は標準的な液状化パラメータ設定法を基に、これらのパラメータを、通常的地盤調査で比較的入手しやすい標準貫入試験の N 値等と関連付けて設定する方法である。

簡易設定法では、原位置の N 値及び有効上載圧より求まる等価 N 値をもとに簡易的に求めた液状化強度曲線が、FLIPを用いた繰返し三軸試験のシミュレーション結果に合うように求める。その液状化パラメータのうち p_2 については、以下の式で算出する。

$$(N)_{0.66} = (N - 1.828(\sigma_v' - 0.66)) / (0.399(\sigma_v' - 0.66) + 1)$$

$$N_a = (1/0.66)0.5 \times (N)_{0.66} + dNt$$

$$p_2 = -0.0166N_a + 1.215$$

ここに、 $(N)_{0.66}$: 等価N値

σ_v' : 有効上載圧

注 : dNt は森田ら (1997) の図 4.2-33 から求める。

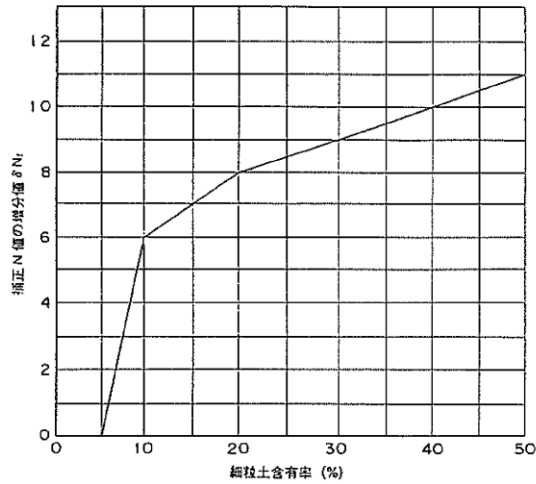


図 4.2-33 細粒分含有率に応じた補正N値の増分値

w_1 , c_1 については、最新の研究成果に基づき図 4.2-34 から算出する。なお、変相角 $\phi_p=28$ 度, $p_1=0.5$, $s_1=0.005$ については、「液状化による構造物被害予測プログラム F L I P において必要な各種パラメタの簡易設定法 (森田ら)」に基づき固定値とする。

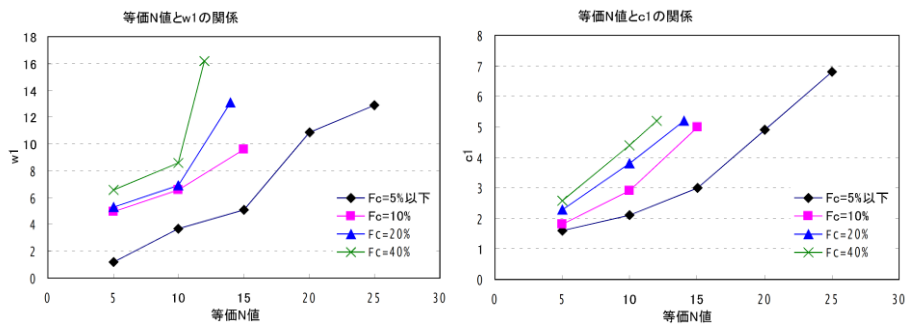


図 4.2-34 等価N値と液状化パラメータ w_1 及び c_1 の関係

標準貫入試験（J I S A 1 2 1 9）*で求めたN値については、以下のとおり扱うことにより、保守的に液状化強度特性を設定する。N値の評価概要図を図 4.2-35 に示す。

- ①N値=50 以上：非常に密な地盤であるため、液状化強度特性の設定に使用しない。
- ②N値=30 以上：密な地盤であるため、保守的に補正し、以下のとおり扱う。
 - ・10cm 毎の打撃回数の最小値を 3 倍した値とし、その値が 30 以上の場合、結果を液状化強度特性の設定に使用しない。
 - ・10cm 毎の打撃回数の最小値を 3 倍した値とし、その値が 30 未満の場合、結果を液状化強度特性の設定に使用する。
- ③N値=30 未満：液状化強度特性の設定にそのまま使用する。

注記*：標準貫入試験（J I S A 1 2 1 9）は、標準貫入試験用サンプラーを動的貫入することによって原位置における地盤の硬軟、締まり具合又は土層の構成を判定するためのN値を得るために行う。試験は、質量 63.5kg のハンマーを 76cm の高さから自由落下させ、標準貫入試験用サンプラーを打ち込む。N値は、標準貫入試験用サンプラーを 30cm 打ち込むために必要な打撃回数である。

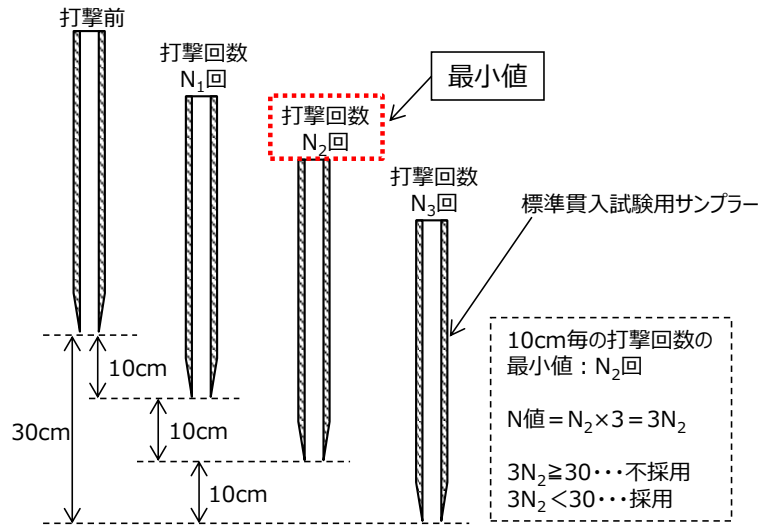


図 4.2-35 N値の評価概要図 (②N値=30 以上)

表 4.2-32 簡易設定法におけるN値の考え方

	打撃回数			N値 (JIS A 1219) ($N_1 + N_2 + N_3$)	N値 (補正) (最小値の3倍)	評価結果 (今回)
	N_1	N_2	N_3			
①	50	-	-	50	-	使用しない
	17	33	-	50	-	使用しない
	17	11	22	50	-	使用しない
②	15	12	18	45	36	使用しない
	15	9	18	42	27	27
③	8	10	5	23	-	23

上述の方法等で求まる液状化パラメータに基づき、FLIPにおいて各せん断応力比に対する繰返し回数を計算すると、図4.2-36及び図4.2-37に示す簡易設定法に基づく液状化強度曲線が設定される。なお、敷地全体としての評価を行うことにより代表性・網羅性を確保する観点から、埋戻土及び砂礫層のN値及び細粒分含有率については、敷地全体の平均値を用いる。

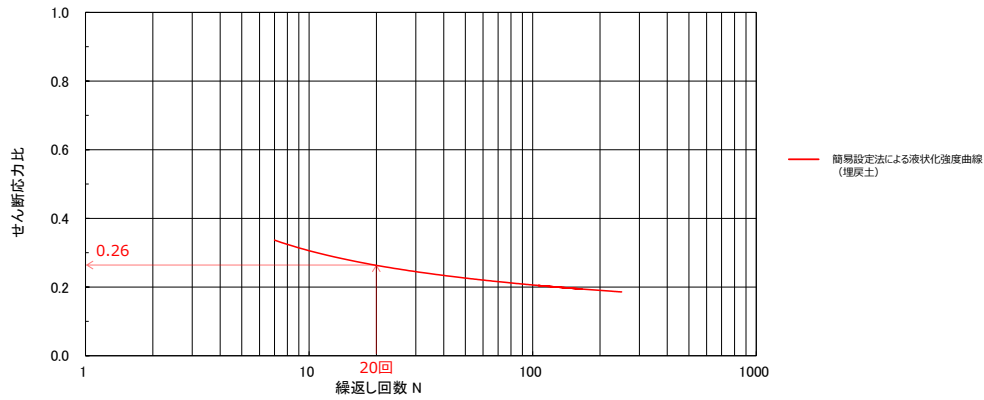


図 4.2-36 埋戻土の液状化強度曲線

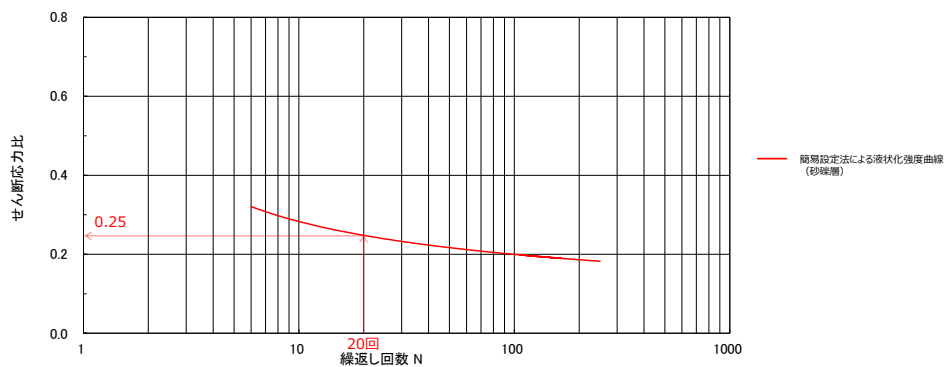


図 4.2-37 砂礫層の液状化強度曲線

簡易設定法により設定された液状化強度特性は、液状化強度試験結果下限値の液状化強度特性よりも保守的であることを確認する。

図 4.2-38 及び図 4.2-39 に簡易設定法による液状化強度曲線と液状化強度試験結果による液状化強度曲線を示す。

簡易設定法により設定した液状化強度曲線（埋戻土）は、液状化強度試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）及び液状化強度試験結果②（表層試料採取）による液状化強度曲線の下側に位置する。そのため、簡易設定法による液状化強度比 R_L (0.26) は、液状化強度試験①（ロータリー式三重管サンプラー）による液状化強度比 R_L (0.61) 及び液状化強度試験結果②（表層試料採取）による液状化強度比 R_L (0.40) を下回り、保守的であることを確認した。また、簡易設定法により設定した液状化強度曲線（砂礫層）は液状化強度試験結果による液状化強度曲線の下側に位置し、簡易設定法による液状化強度比 R_L (0.25) は液状化強度試験による液状化強度比 R_L (0.27) を下回り、保守的であることを確認した。液状化強度試験と簡易設定法による液状化強度の差異の要因として、表 4.2-32 に示すように高い N 値を除外するよう補正した N 値を用いることで、簡易設定法による液状化強度が保守的に設定されることが挙げられる。

また、簡易設定法による液状化強度特性を設定した埋戻土及び砂礫は、液状化強度試験を模擬する要素シミュレーションにより液状化することを確認した。要素シミュレーション結果の詳細について、「参考資料 12 液状化強度試験の詳細について」に示す。

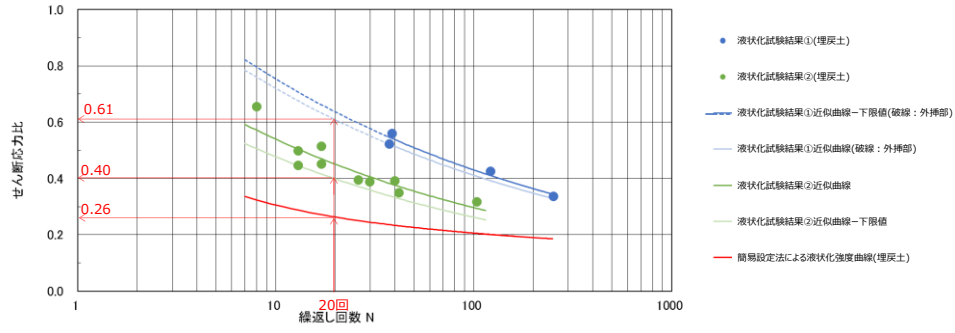


図 4.2-38 簡易設定法及び液状化強度試験結果による
液状化強度曲線の比較（埋戻土）

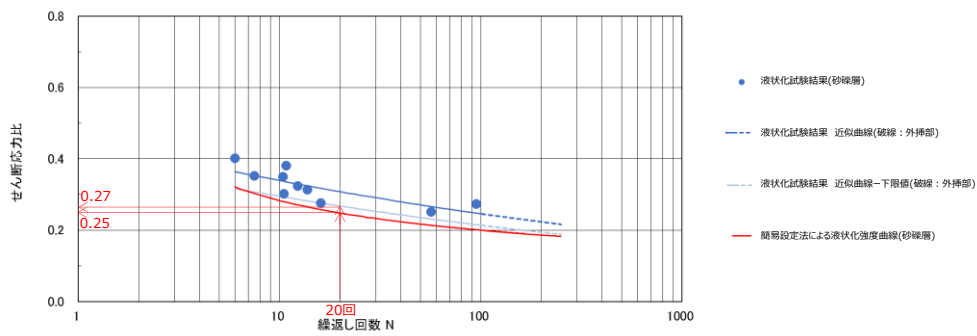


図 4.2-39 簡易設定法及び液状化強度試験結果による
液状化強度曲線の比較（砂礫層）

e. 簡易設定法の適用範囲

「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（森田ら）」では、FLIPを用いて解析を行う場合の種々のパラメタの設定方法として標準貫入試験のN値から簡易的に設定する方法が示されており、この検討で用いられているせん断応力比は、0.2~0.9程度（ $F_c=10\sim 20\%$ ）と幅の広い値としている。

島根2号機における埋戻土の累積損傷度理論に基づく評価において、基準地震動 S_s での最大せん断応力比は0.4~0.7程度である。

島根2号機における埋戻土の最大せん断応力比は、森田らの検討で使用されているせん断応力比に包含されていることから、簡易設定法が適用できると考えられる。簡易設定法の根拠資料を図4.2-40に示す。

表-6 等価N値(N_{e66})に対するせん断応力比 τ_1/σ'_m （細粒分含有率 $F_c \geq 10\%$ の場合）

(a) $F_c = 10\%$ の場合

(N) _{e66}	N _a	10回	15回	26回
5	12	0.24	0.22	最小 0.21
10	18	0.35	0.31	0.28
15	24	0.69	0.54	0.43

(b) $F_c = 20\%$ の場合

(N) _{e66}	N _a	10回	15回	26回
5	14	0.26	0.24	0.22
10	20	0.41	0.36	0.32
14	25	0.85 最大	0.66	0.51

図4.2-40 簡易設定法の根拠資料

「液状化解析プログラムFLIPによる動的解析の実務（財団法人沿岸技術研究センター）」では、兵庫県南部地震における神戸RF3岸壁及び神戸港T栈橋の被災状況に対して、簡易設定法により液状化パラメータを設定した再現解析にて検証を行った実績が示されている。

「神戸RF3岸壁」は重力式構造物を、「神戸港T栈橋」は杭式構造物を対象としており、「神戸RF3岸壁」においては、埋立土及び置換砂の液状化パラメータを簡易設定法で設定し、おおむね被災状況を再現できている。図4.2-41に神戸RF3岸壁標準断面図を示す。

以上の実績を踏まえ、島根2号機における防波壁等に対する液状化影響評価において簡易設定法が適用できると判断した。表4.2-33 簡易設定法におけるN値の考え方を示す。

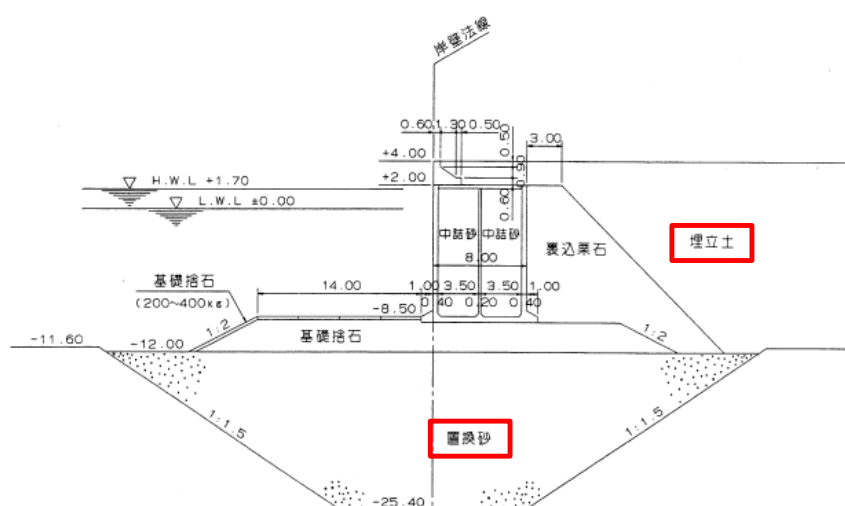


図 4.2-41 神戸RF3岸壁 標準断面図

表 4.2-33 簡易設定法におけるN値の考え方

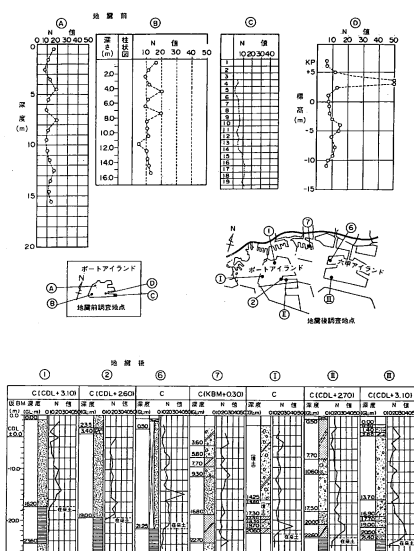
地震名	対象施設	被災状況	再現解析
平成7年 兵庫県南部 地震	神戸 RF3岸壁	水平変位 3.7m	水平変位 3.09m
	神戸港 T栈橋	水平変位 1.4~1.5m	水平変位 2.01m

液状化解析プログラムFLIPによる動的解析の実務（財団法人沿岸技術研究センター）より引用

N値及び粒径加積曲線について、島根2号機の埋戻土及び砂礫層と、神戸港の埋立土との比較を図4.2-42に示す。

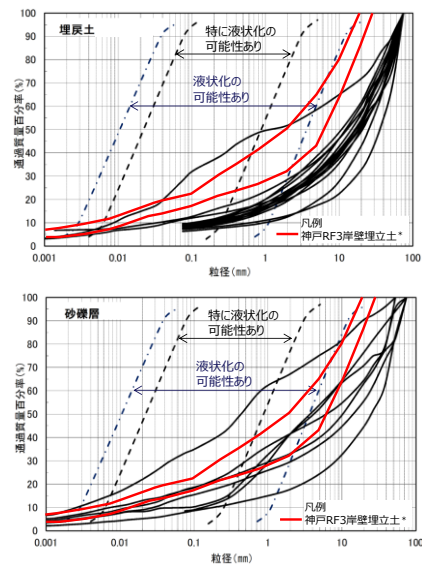
神戸港の埋立土のN値は、いずれも5～10前後、最大20程度を示しており、島根2号機と同程度である。神戸港の埋立土の粒径は、島根2号機の埋戻土より小さく、砂礫層と同程度であるが、両者とも粒径が広い範囲にわたって分布し、礫を含む土層である。

以上より、簡易設定法により液状化パラメータを設定した再現解析にて検証を行った実績のある神戸港の埋立土に対し、島根2号機の埋戻土及び砂礫層の土質性状は類似していることから、簡易設定法の適用は妥当であると判断した。



兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察
(運輸省港湾技術研究所、港湾技研資料)より引用

神戸港の埋立土のN値



注記*：兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察
(運輸省港湾技術研究所、港湾技研資料)より引用

粒径加積曲線の比較

図4.2-42 島根2号機の埋戻土及び砂礫層と
神戸港埋立土の比較

f. 参考文献

- ・道路橋示方書 V : 道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説, (社)日本道路協会, H24. 3
- ・港湾基準: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 国土交通省港湾局, 2007 年版
- ・港湾構造物設計事例集, 沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月
- ・地盤工学会基準 J G S 4 0 0 1 : 性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則 (H18)
- ・地盤工学会, H21 : 地盤材料試験の方法と解説, 平成 21 年 11 月
- ・安田, H3 : 液状化の調査から対策工まで, 安田進, 鹿島出版会, H3. 5
- ・吉田, H22 : 地盤の地震応答解析, 吉田望, 鹿島出版会, H22. 10
- ・土木学会, H15 : 過剰間隙水圧の発生過程が地盤の地震応答に与える影響, 土木学会地震工学委員会レベル 2 地震動による液状化研究小委員会 レベル 2 地震動による液状化に関するシンポジウム論文集, pp397-400, H15. 6
- ・地盤工学会, H18 : 地盤工学用語辞典, pp219-220, H18. 3
- ・井合進, H20 : サイクリックモビリティ Cyclic Mobility, 地盤工学会誌, 56-8, H20. 3
- ・吉見, H3 : 砂地盤の液状化 (第二版), 技報堂出版, H3. 5
- ・井合進, 飛田哲男, 小堤治 (H20) : 砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係, 京都大学防災研究所年報, 第 51 号, pp. 291-304, H20
- ・鉄道総合技術研究所 (H24) : 鉄道構造物等設計標準・同解説, H24. 9
- ・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.
- ・Iai. S., Morita, T., Kameoka, T., Matsunaga, Y. and Abiko, K. (1995): RESPONSE OF A DENSE SAND DEPOSIT DURING 1993 KUSHIRO-OKI EARTHQUAKE, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol, 35, No. 1, pp. 115-131.
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], (社)土木学会, 2002 年制定
- ・建築物荷重指針・同解説, 日本建築学会, H16 年版
- ・建築物の構造関係技術基準解説書, 国土交通省住宅局建築指導課, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所, 日本建築行政会議 監修, H19. 8
- ・森田ら, H9 : 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, 運輸省港湾技術研究所, 港湾技研資料, No. 869, H9. 6
- ・第四期 FLIP 研究会 14 年間のまとめ WG, H23 : 液状化解析プログラム FLIP による動的解析の実務, 財団法人沿岸技術研究センター, H23. 8
- ・地盤工学会, H22 : 土質試験 基本と手引き
- ・兵庫県南部地震による港湾施設の被害考察: 運輸省港湾技術研究所, 港湾技研資料, No. 813, H7

4.2.2 改良地盤に用いる解析用物性値

改良地盤については、工法別に、原位置試験、室内試験及び文献等を踏まえ設定することとし、表 4.2-4~6 及び表 4.2-14~16 のとおり、解析用物性値を設定する。

また、改良地盤における補足を「参考資料 13 改良地盤における補足」及び「参考資料 20 改良地盤の強度特性について」に示す。

4.2.3 その他の解析用物性値

(1) 岩盤

岩盤については、表 4.2-7 及び表 4.2-17 のとおり、解析用物性値を設定する。詳細については、「参考資料 16 入力地震動の設定に用いる地下構造モデルのエリア区分について」に示す。

(2) 埋戻土

全応力解析における埋戻土については、表 4.2-8 及び表 4.2-18 のとおり解析用物性値を設定する。

全応力解析における埋戻土の解析用物性値の設定の妥当性については、「参考資料 17 埋戻土の骨格曲線について」に示す。

(3) 碎石

取水管における碎石については、室内試験結果に基づき、表 4.2-9 及び表 4.2-19 のとおり解析用物性値を設定する。

碎石の解析用物性値の設定の妥当性については、「参考資料 14 碎石の解析用物性値について」に示す。

(4) MMR, 埋戻コンクリート及び置換コンクリート

MMR, 埋戻コンクリート及び置換コンクリートについては、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]((社) 土木学会, 2002 年制定) 」及び「コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編]((社) 土木学会, 2013 年制定) 」に基づき、表 4.2-10, 11 及び表 4.2-20, 21 のとおり解析用物性値を設定する。

(5) 海底堆積物及び海底堆積物・風化岩

海底堆積物は、液状化検討対象層である埋戻土の解析用物性値を流用する。

また、海底堆積物・風化岩は、岩盤の中で最も保守的な第 $\boxed{1}$ 層の解析用物性値を設定する。海底堆積物の分布状況及びその解析用物性値の設定の考え方については、「参考資料 19 輪谷湾における海底堆積物の分布状況及び解析用物性値について」に示す。

4.2.4 地盤の物性のばらつきについて

建物・構築物及び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 15 地震応答解析にて考慮する地盤物性のばらつき」に示す。

5. 極限支持力

極限支持力度は、平板載荷試験結果又は「道路橋示方書」の支持力算定式に基づき設定することを基本とする。

5.1 基礎地盤（岩盤）の極限支持力度

基礎地盤（岩盤）の極限支持力度を表 5.1-1 に示す。

基礎地盤（岩盤）の極限支持力度は、設置変更許可申請書（添付資料六）に示した平板載荷試験結果を基に設定する。設置変更許可申請書（添付資料六）に示した平板載荷試験実施位置を図 5.1-1、平板載荷試験結果を図 5.1-2～図 5.1-4 に示す。なお、基礎地盤の短期許容支持力度は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987（（社）日本電気協会）」に基づき、極限支持力度の 2/3 として設定する。

表 5.1-1 基礎地盤（岩盤）の極限支持力度

岩級	極限支持力度 (N/mm ²)
C _H 級	9.8
C _M 級	
C _L 級	3.9

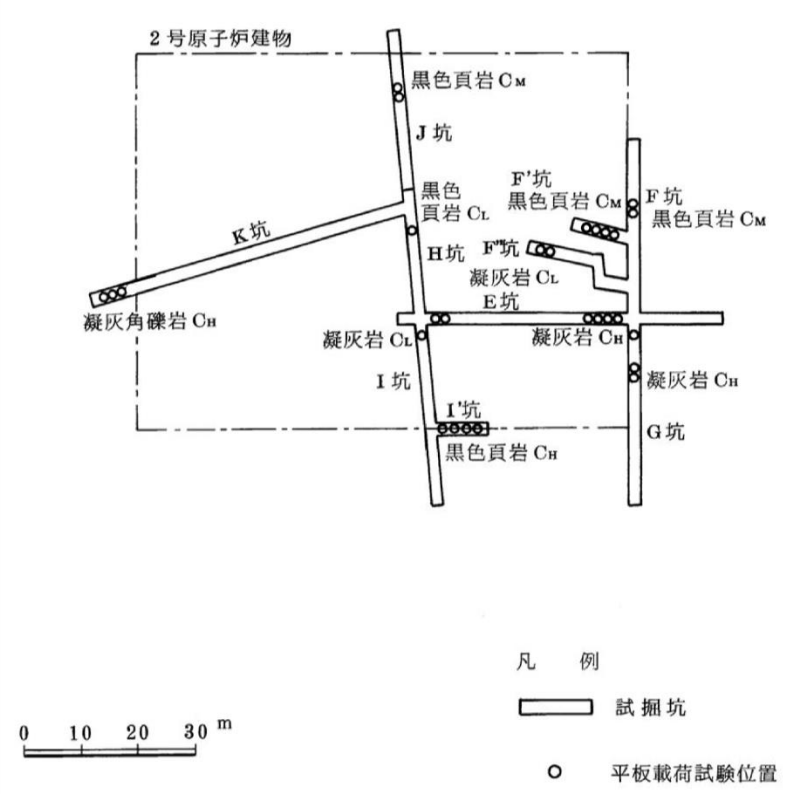


图 5.1-1 平板載荷試驗實施位置

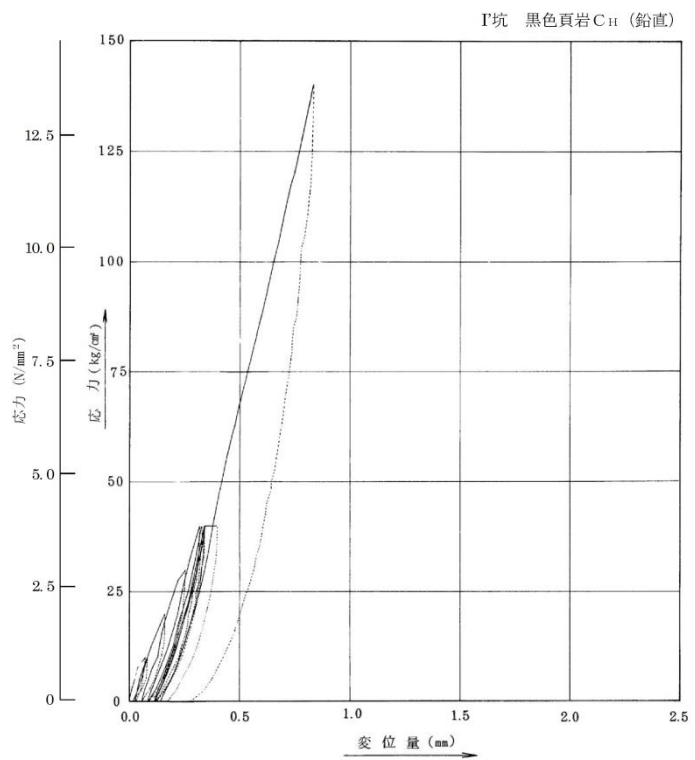
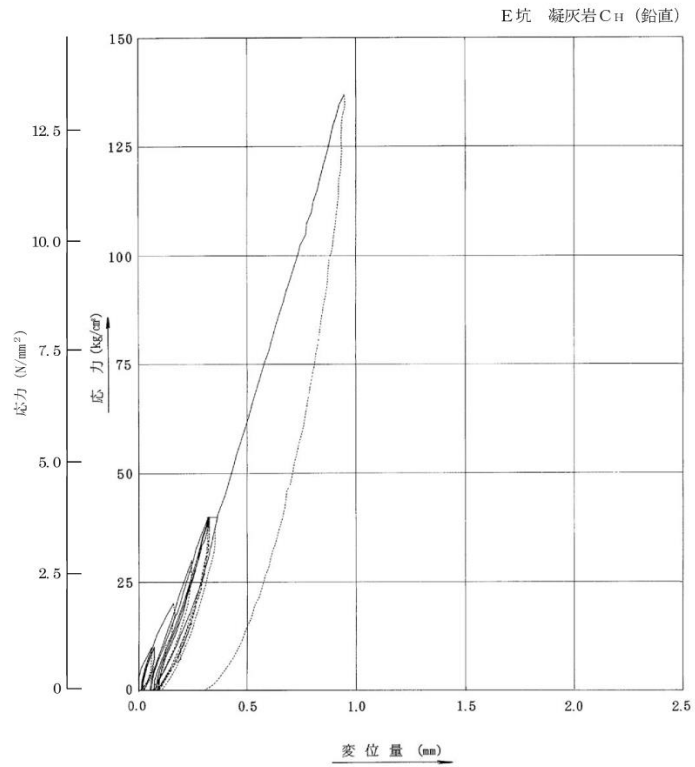


図 5.1-2 平板載荷試験結果 (C_H級)

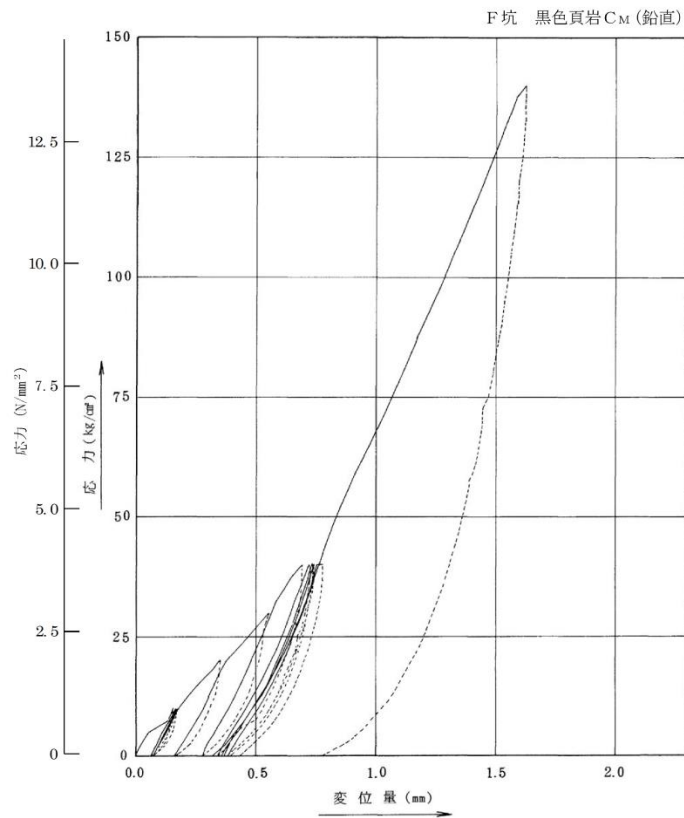


图 5.1-3 平板載荷試驗結果 (C_M級)

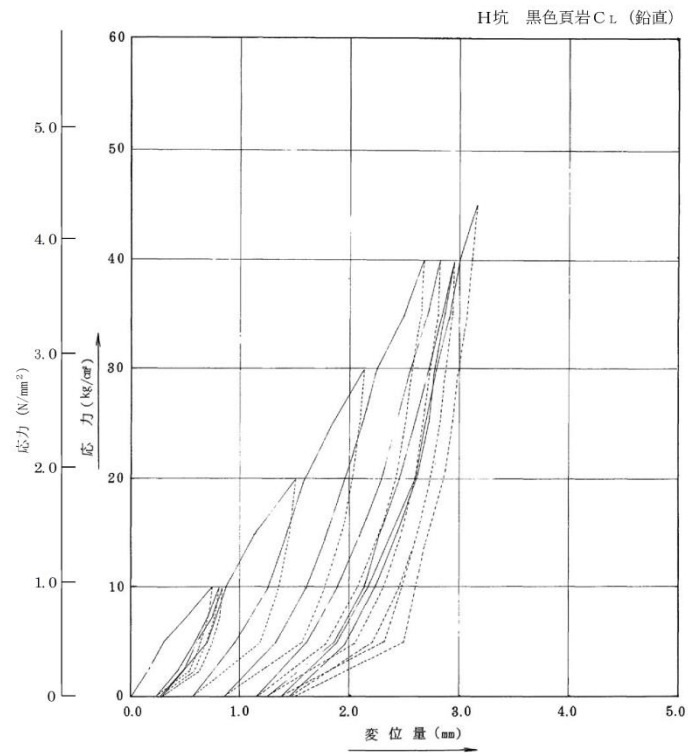
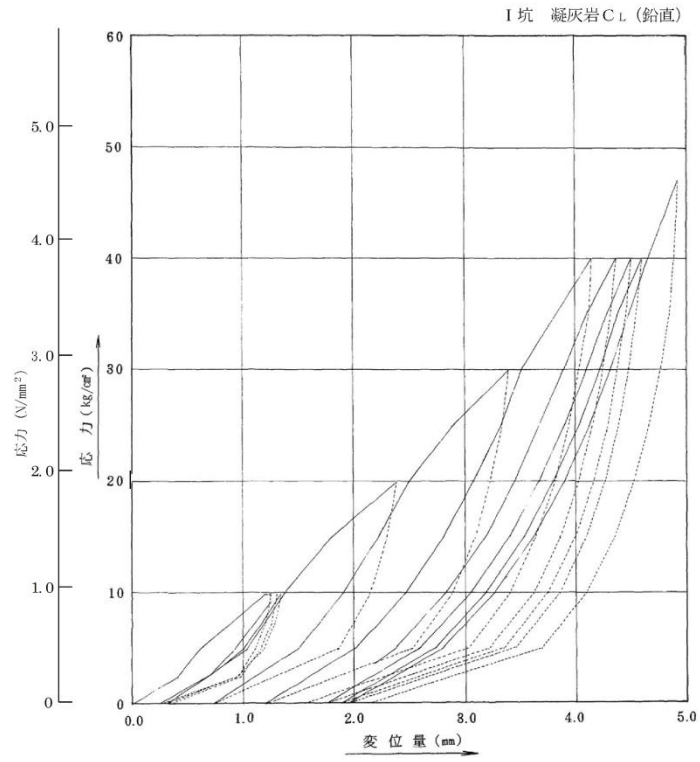


図 5.1-4 平板載荷試験結果 (C_L級)

5.2 直接基礎の支持力算定式

改良地盤及び砕石の極限支持力の算定にあたっては、「道路橋示方書」に基づき算定する。「道路橋示方書」による直接基礎の支持力算定式を以下に示す。

- ・「道路橋示方書」による極限支持力算定式（直接基礎）

$$Q_u = A_e \cdot \left\{ \alpha \cdot \kappa \cdot c \cdot N_c \cdot S_c + \kappa \cdot q \cdot N_q \cdot S_q + 1 / 2 \gamma_1 \cdot \beta \cdot B_e \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \right\}$$

ここで、

Q_u : 荷重の偏心傾斜，支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極限支持力 (kN)

c : 地盤の粘着力 (kN/m²)

q : 上載荷重 (kN/m²) で、 $q = \gamma_2 \cdot D_f$

A_e : 有効載荷面積 (m²)

γ_1, γ_2 : 支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量 (kN/m³)

ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする。

B_e : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 (m)

$$B_e = B - 2 \cdot e_B$$

B : 基礎幅 (m)

e_B : 荷重の偏心量 (m)

D_f : 基礎の有効根入れ深さ (m)

α, β : 基礎の形状係数

κ : 根入れ効果に対する割増し係数

N_c, N_q, N_γ : 荷重の傾斜を考慮した支持力係数

S_c, S_q, S_γ : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

5.3 杭基礎の極限支持力度

杭基礎の押込み力に対する支持力評価において、杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への接地圧に対する支持力評価を行うことから、表 5.1-1 に示す基礎地盤（岩盤）の極限支持力度を用いる。また、引抜きが懸念される杭基礎の引抜き力に対する支持力評価において、杭を根入れした岩盤の杭周面摩擦力を考慮し、「道路橋示方書」に基づき極限支持力を算定する。

・「道路橋示方書」による極限支持力算定式（杭基礎の引抜き抵抗力）

$$P_u = U \sum L_i f_i$$

ここで、

P_u ：地盤から決まる杭の極限引抜き抵抗力（kN）

U ：杭の周長（m）

L_i ：周面摩擦力を考慮する層の層厚（m）

f_i ：周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度（kN/m²）

5.4 MMRの支圧強度

MMRの支圧強度は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（（社）土木学会，2002年制定）」に基づき設定する。MMRの支圧強度を表 5.4-1 に示す。

表 5.4-1 MMRの支圧強度

MMR	支圧強度 (N/mm ²)
$f'_{ck} = 15.6 \text{ N/mm}^2$	15.6
$f'_{ck} = 18.0 \text{ N/mm}^2$	18.0
$f'_{ck} = 24.0 \text{ N/mm}^2$	24.0

6. 地盤の速度構造

6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル

入力地震動の設定に用いる地下構造モデルについては、解放基盤表面 (EL-10m) から EL-215m までの地盤をモデル化する。地下構造モデルの概要を表 6.1-1 及び表 6.1-2 に示す。入力地震動算定の概念図を図 6.1-1 及び図 6.1-2 に示す。

対象施設に適用する地下構造モデルについて、「参考資料 16 入力地震動の設定に用いる地下構造モデルのエリア区分について」に示す。

表 6.1-1 入力地震動の策定に用いる地下構造モデル

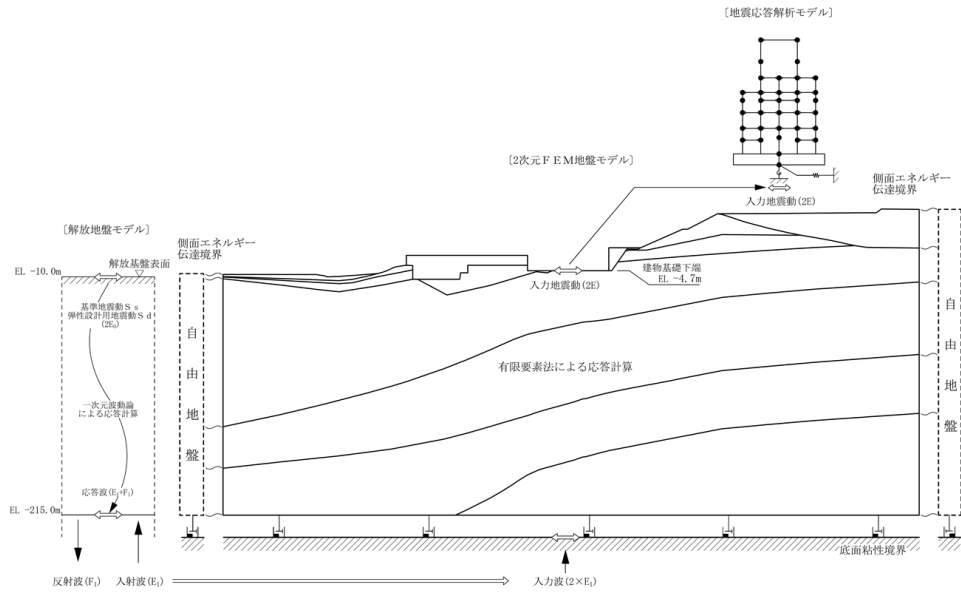
(1, 2号機エリア)

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
第①層	0.80	0.25	20.6	0.446
第②層	2.10	0.90	23.0	0.388
第③層	3.60	1.60	24.5	0.377
第④層	4.00	1.95	24.5	0.344
第⑤層	4.05	2.00	26.0	0.339
第⑥層	4.95	2.35	27.9	0.355

表 6.1-2 入力地震動の策定に用いる地下構造モデル

(3号機エリア)

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
第①層	0.52	0.27	22.4	0.45
第②層	1.71	0.62	23.3	0.42
第③層	2.27	0.96	23.4	0.39
第④層	3.24	1.52	24.5	0.36
第⑤層	3.86	1.90	25.2	0.34
第⑥層	4.15	2.10	24.4	0.33
第⑦層	3.80	1.77	25.1	0.36



(原子炉建物)

図 6.1-1 入力地震動算定の概念図 (建物・構築物)

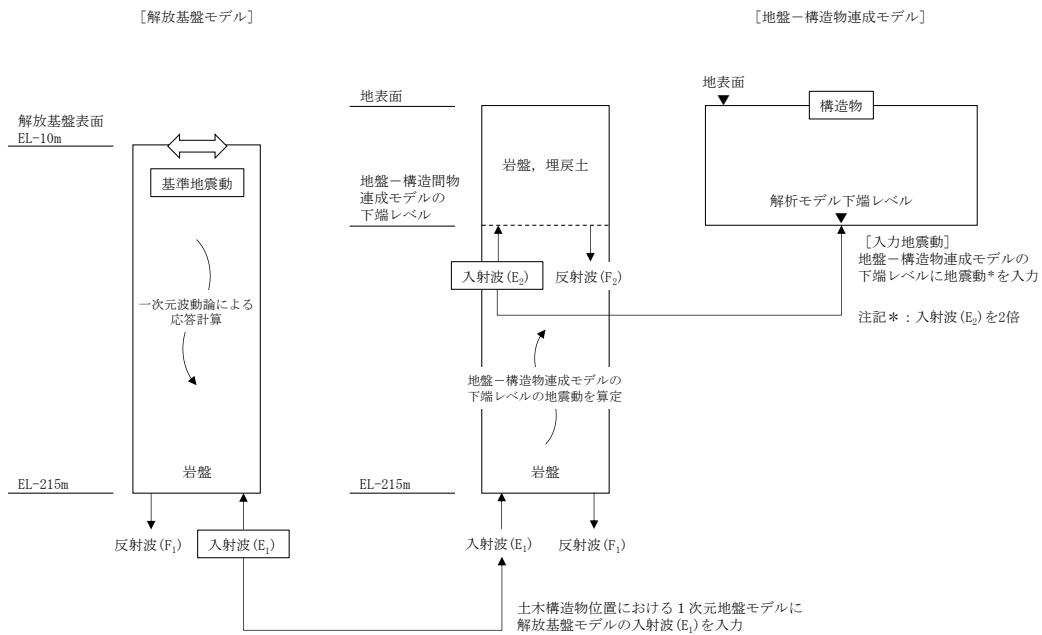


図 6.1-2 入力地震動算定の概念図 (土木構築物)

6.2 地震応答解析に用いる解析モデル

建物・構築物の地震応答解析に用いる地盤モデルは、地盤調査結果に基づいて設定する。建物・構築物の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値は「4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値」を基本として設定する。

また、土木構造物の地震応答解析に用いる地盤モデルは、構造物周辺の地盤調査結果に基づいて設定する。土木構造物の地震応答解析に用いる地盤モデルの地盤物性値は、「4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値」及び「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」を基本として設定する。