

島根原子力発電所 2 号炉

地震による損傷の防止

令和 2 年 3 月

中国電力株式会社

第4条：地震による損傷の防止

<目次>

第1部

1. 基本方針
 - 1.1 要求事項の整理
 - 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置，構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
 - 1.3 気象等
 - 1.4 設備等
 - 1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針
 - 1.1 基本方針
 - 1.2 適用規格
2. 耐震設計上の重要度分類
 - 2.1 重要度分類の基本方針
 - 2.2 耐震重要度分類
3. 設計用地震力
 - 3.1 地震力の算定法
 - 3.2 設計用地震力
4. 荷重の組合せと許容限界
 - 4.1 基本方針
5. 地震応答解析の方針
 - 5.1 建物・構築物
 - 5.2 機器・配管系
 - 5.3 屋外重要土木構造物
 - 5.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備及び津波監視設備が設置された建物・構築物
6. 設計用減衰定数
7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響
8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
9. 構造計画と配置計画

(別添)

- 別添－ 1 設計用地震力
- 別添－ 2 動的機能維持の評価
- 別添－ 3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－ 4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－ 5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－ 6 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－ 7 主要建物の構造概要について
- 別添－ 8 地震応答解析に用いる地質断面図の作成例及び地盤の速度構造

(別紙)

- 別紙－ 1 設置変更許可申請における既許可からの変更点及び既工認との手法の相違点の整理について
- 別紙－ 2 建物の地震応答解析モデルについて（建物基礎底面の付着力及び 3 次元 F E M モデルの採用）
- 別紙－ 3 基礎スラブの応力解析モデルへの弾塑性解析の適用について
- 別紙－ 4 原子炉建物屋根トラスの解析モデルへの弾塑性解析の適用について
- 別紙－ 5 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙－ 6 屋外重要土木構造物等の耐震評価における断面選定について
- 別紙－ 7 機器・配管系における手法の変更点について
- 別紙－ 8 サプレッション・チェンバ内部水質量の考え方の変更について
- 別紙－ 9 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－ 1 0 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について
- 別紙－ 1 1 液状化影響の検討方針について
- 別紙－ 1 2 既設設備に対する耐震補強等について
- 別紙－ 1 3 後施工せん断補強筋による耐震補強
- 別紙－ 1 4 地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について
- 別紙－ 1 5 動的機能維持評価の検討方針について
- 別紙－ 1 6 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の評価について

別紙－１７ 地下水位低下設備について

別紙－１８ 機器・配管系への制震装置の適用について

下線は，今回の提出資料を示す。

島根原子力発電所 2 号炉

液状化影響の検討方針について (耐震)

別紙-11 液状化影響の検討方針について

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化強度特性の網羅性, 代表性
 - 3.1 液状化試験試料採取位置とその代表性
 - 3.1.1 液状化試験試料採取位置の選定
 - 3.1.2 液状化試験試料採取位置の代表性確認
 - 3.2 液状化試験結果
 - 3.2.1 液状化試験方法
 - 3.2.2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
 - 3.2.3 試験結果の分類
 - 3.3 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認
 - 3.4 簡易設定法
 - 3.5 液状化強度特性の設定方針
4. 液状化影響の評価方針
 - 4.1 液状化影響の検討方針
 - 4.2 液状化検討対象施設の選定
5. 参考文献

1. 液状化評価の基本方針

第1-1図に液状化評価の流れ、第1-1表に液状化評価の基本方針を示す。

液状化評価については道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）（(社)日本道路協会，H24.3）（以下、「道路橋示方書」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50%粒径が10mmを超過する、または、10mm以下であっても10%粒径が1mmを超過する土層については、粒径2mm未満の砂を含む場合は念のため液状化試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施し、粒径2mm未満の砂を含まない場合は土質性状等を踏まえて液状化の有無を確認する。

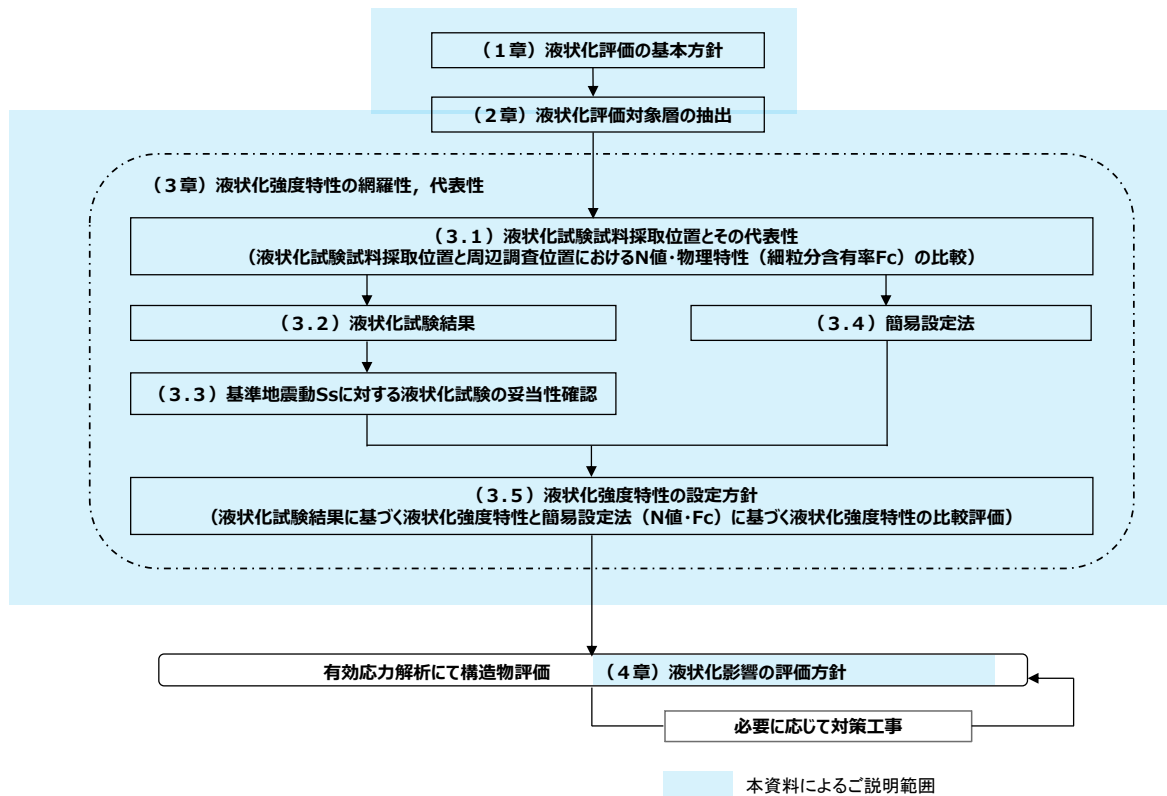
また、島根原子力発電所の津波防護施設や護岸等は、港湾の施設の技術上の基準・同解説（(社)日本港湾協会，H19年版）（以下、「港湾基準」という）に基づき設計されていることを踏まえ、港湾基準に基づいた液状化評価も行うが、土の粒径加積曲線が「液状化の可能性あり」の範囲内に含まれない土層については、粒径2mm未満の砂を含む場合は念のため液状化試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施し、粒径2mm未満の砂を含まない場合は土質性状等を踏まえて液状化の有無を確認する。なお、島根原子力発電所の設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に該当する建物、構築物、屋外重要土木構造物及び津波防護施設は、堅固な地盤上に設置されており、液状化の影響検討を行う地盤は構造物の「周辺地盤」である。

液状化試験に基づいて、地震時の地盤の状態を『液状化』または『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（沿岸技術研究センター，H19年版）（以下、「設計事例集」という）に準拠し、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）により設定する。なお、液状化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、簡易設定法より設定した液状化強度特性は、液状化試験結果による液状化強度特性よりも保守的であることを確認する。

島根原子力発電所の設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に該当する建物、構築物、屋外重要土木構造物及び津波防護施設は、堅固な地盤上に設置されていることから、設計地下水位以深の周辺地盤において埋戻土（掘削ズリ）又は砂礫層が分布している構造物の中から、工認段階において液状化影響評価対象施設を選定する。

なお、波及的影響評価において抽出される屋外下位クラス施設に対する基本方針は、波及的影響評価の中で整理を行う。



第1-1 図 液状化評価の流れ

第1-1 表 液状化評価の基本方針

本検討の対象土層			道路橋示方書 及び港湾基準 における液状 化評価の対象	当社評価		
地層名	堆積年代	調査地点名 土層名		液状化試験 による判定	液状化強度特性 の設定の考え方	液状化強度特性 の保守性
被 覆 層	盛土	完新世	E-2~E-8, A~E 埋戻土 (掘削スリ)	× 対象外	「非液状化」 若しくは 「繰返し軟化(サイクル比 β ・リティ含む)」	設計事例集に準拠し、FLIPの簡易設定法に基づき設定する。 簡易設定法に基づき設定した液状化強度特性が、液状化試験結果による液状化強度特性と比べ保守的であることを確認する。
	産錐・海底堆積物	完新世	E-1, E-7, E-8 砂礫層	○ 対象	「繰返し軟化(サイクル比 β ・リティ含む)」	

2. 液状化評価対象層の抽出

第2-1表に敷地の地質層序表を示す。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号炉、2号炉及び3号炉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（掘削ズリ）と埋戻土（粘性土）に分類している。

埋戻土（掘削ズリ）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。第2-1図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。

液状化評価対象層については、道路橋示方書及び港湾基準に基づいて対象層を抽出した。第2-2図に道路橋示方書の液状化評価対象層の抽出フローを示す。

また、第2-3図に港湾基準の液状化判定に用いる粒度分布図を示す。

第2-4図に発電所建設前の地形立体図を示す。1号炉、2号炉及び3号炉の建設にあたり、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（掘削ズリ）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号炉北側に分布し、砂礫層として分類した崖錐・海底堆積物が1号炉東側、3号炉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第2-5図、第2-6図及び第2-7図に整理した。

埋戻土（掘削ズリ）は、敷地全体において概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号炉北側護岸背面にのみ分布する。

砂礫層は、1号炉東側のEL+15m以下の敷地、3号炉北側の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第2-8図に示す。取水管、3号炉東側護岸・岸壁、1、2号炉北側護岸、防波堤等において、砕石、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。

敷地内でEL+15m以下に分布する地盤材料の抽出結果を第2-2表に示す。

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第2-9図に、採取した埋戻土（粘性土）の写真を第2-10図に示す。また、塑性図による粘性土の分類を第2-11図に示す。

第2-11図より、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 が大きいため粘土に分類される。

基礎捨石は、1、2号炉北側護岸、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第

2-12図に示す。

被覆石は、1，2号炉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第2-13図に示す。

道路橋示方書に基づき液状化評価対象層を抽出した結果を第2-14図に示す。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を第2-15図に示す。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。

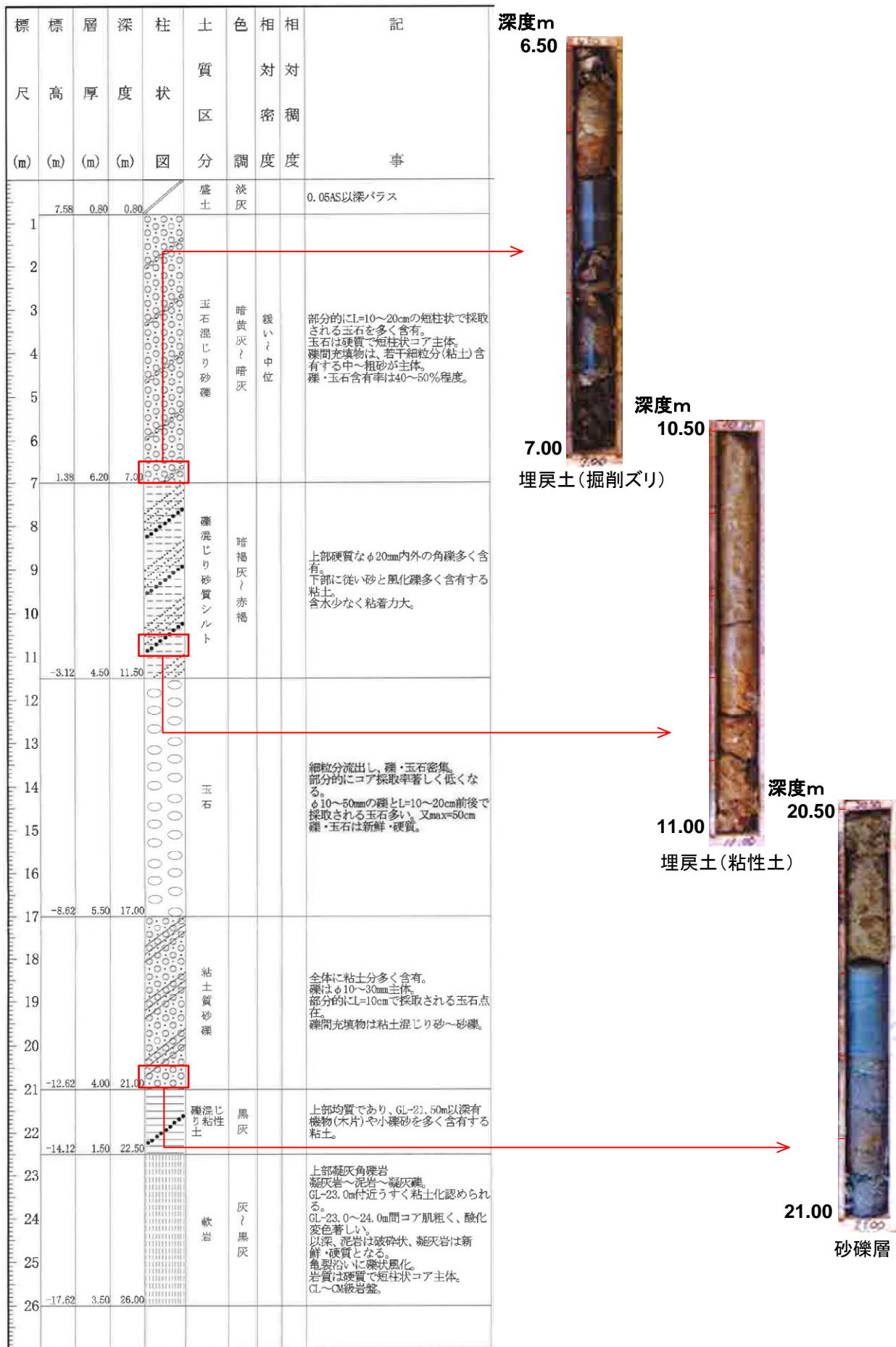
道路橋示方書では、50%粒径が10mm以下で、かつ、10%粒径が1mm以下である土層について液状化評価対象層としているが、本評価では50%粒径が10mmを超過する、または、50%粒径が10mm以下であっても10%粒径が1mmを超過する土層についても、同様に抽出対象とする。

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。

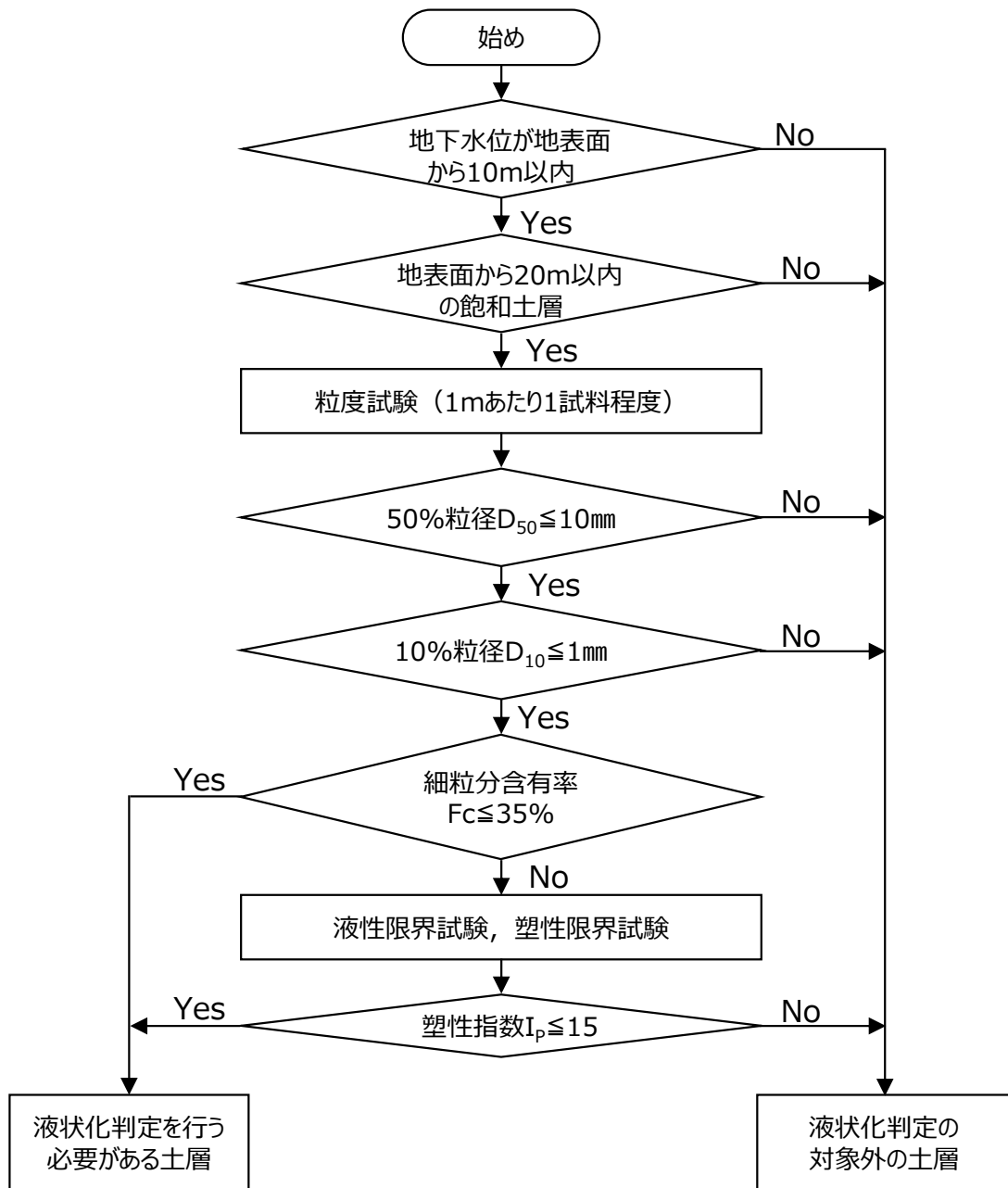
以上より、敷地内の液状化評価対象層として、被覆層の分布状況、道路橋示方書及び港湾基準に基づく液状化評価対象層の抽出結果を踏まえ、保守的に埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層を抽出した。

第2-1 表 敷地の地質層序表

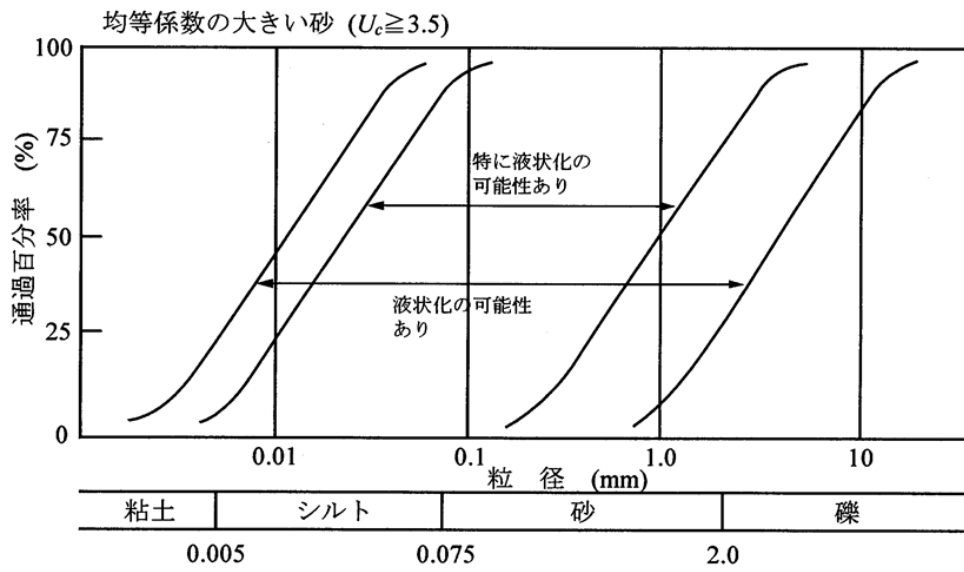
地質時代		地層名		主要構成地質	
新生代	第四紀	完新世	被覆層	盛土	埋戻土(掘削ズリ)・埋戻土(粘性土)
				崖錐・海底堆積物	礫混じり砂質土・礫混じり粘性土
	新第三紀	中新世		貫入岩類	ドレライト・安山岩
			成相寺層	上部頁岩部層	黒色頁岩
				火砕岩部層	凝灰岩・凝灰角礫岩
	下部頁岩部層	黒色頁岩・凝灰質頁岩			



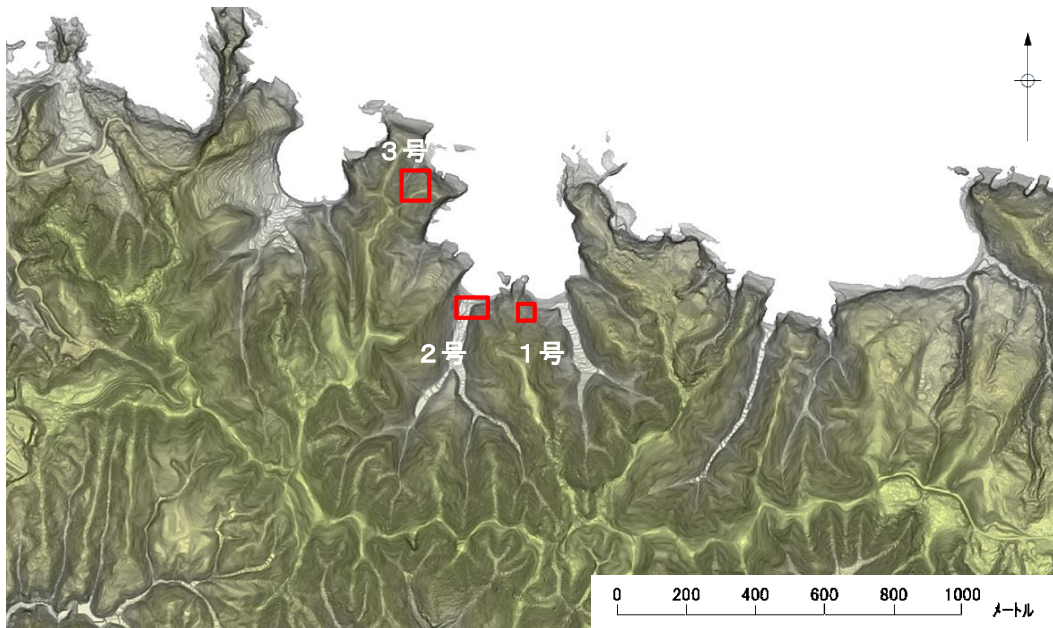
第2-1 図 敷地内の被覆層について



第2-2 図 液状化評価の対象層の抽出フロー 道路橋示方書

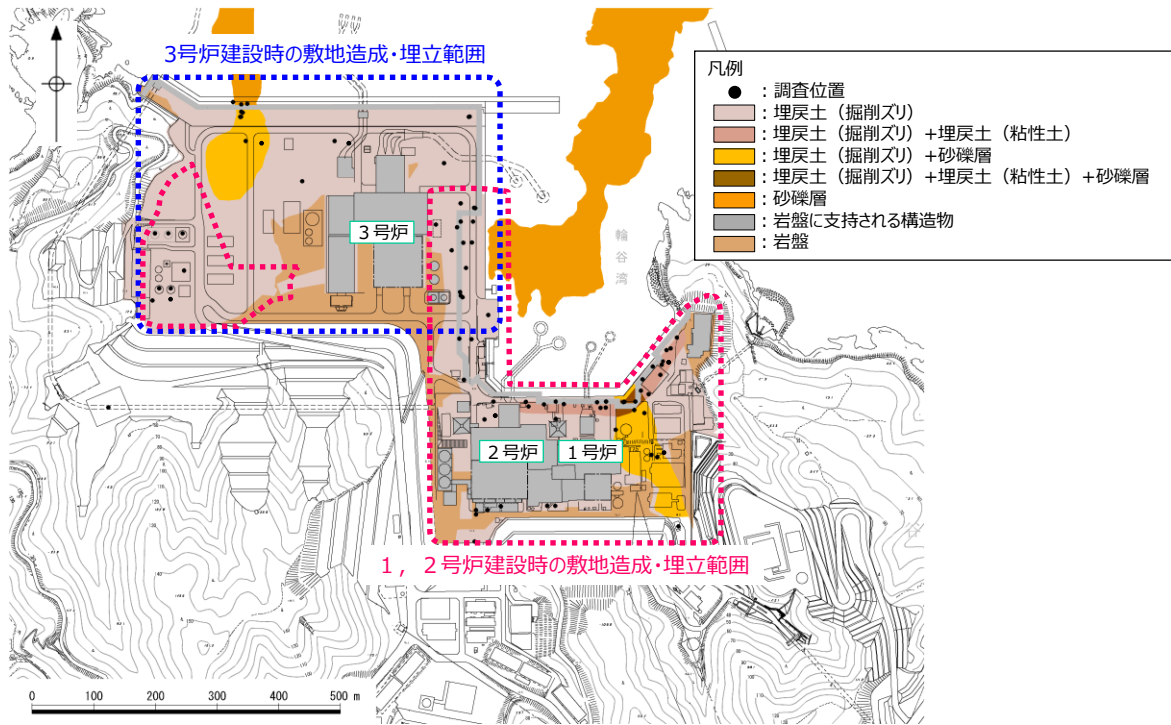


第2-3 図 粒度による液状化判定 港湾基準

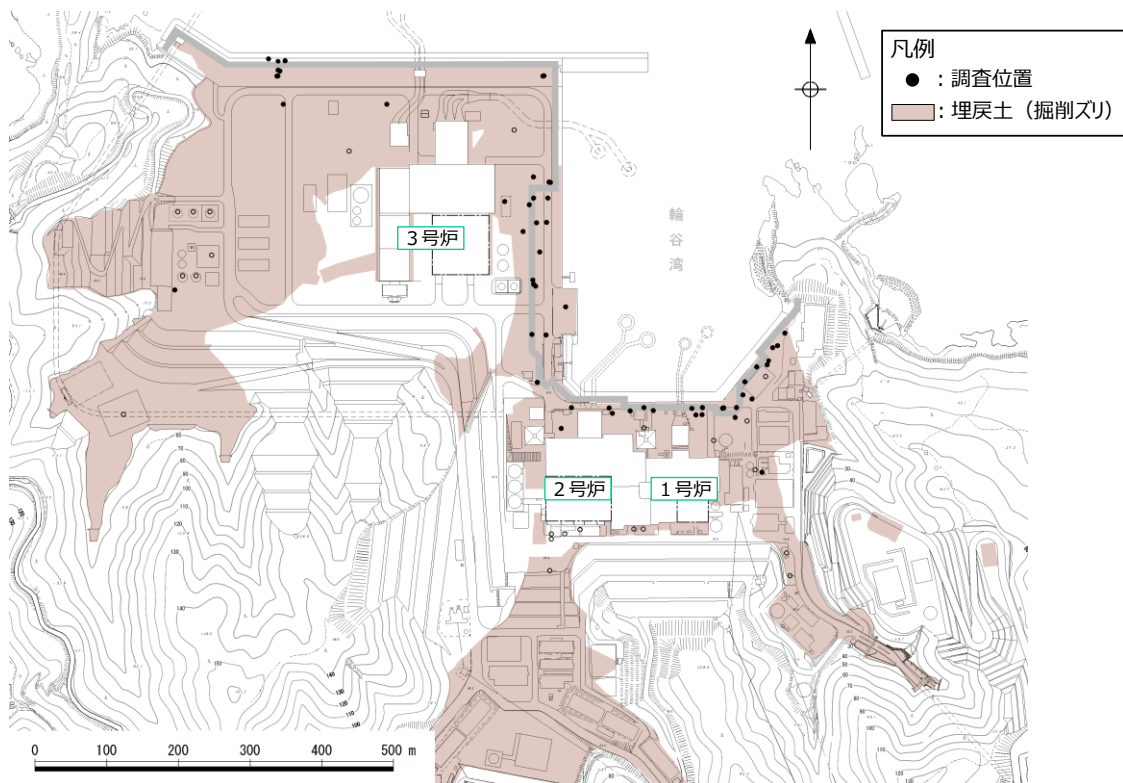


※航空レーザー測量で取得した2mメッシュのDEMデータに、空中写真により取得した旧地形のDEMデータを合成して作成したもの

第2-4 図 発電所建設前の地形立体図

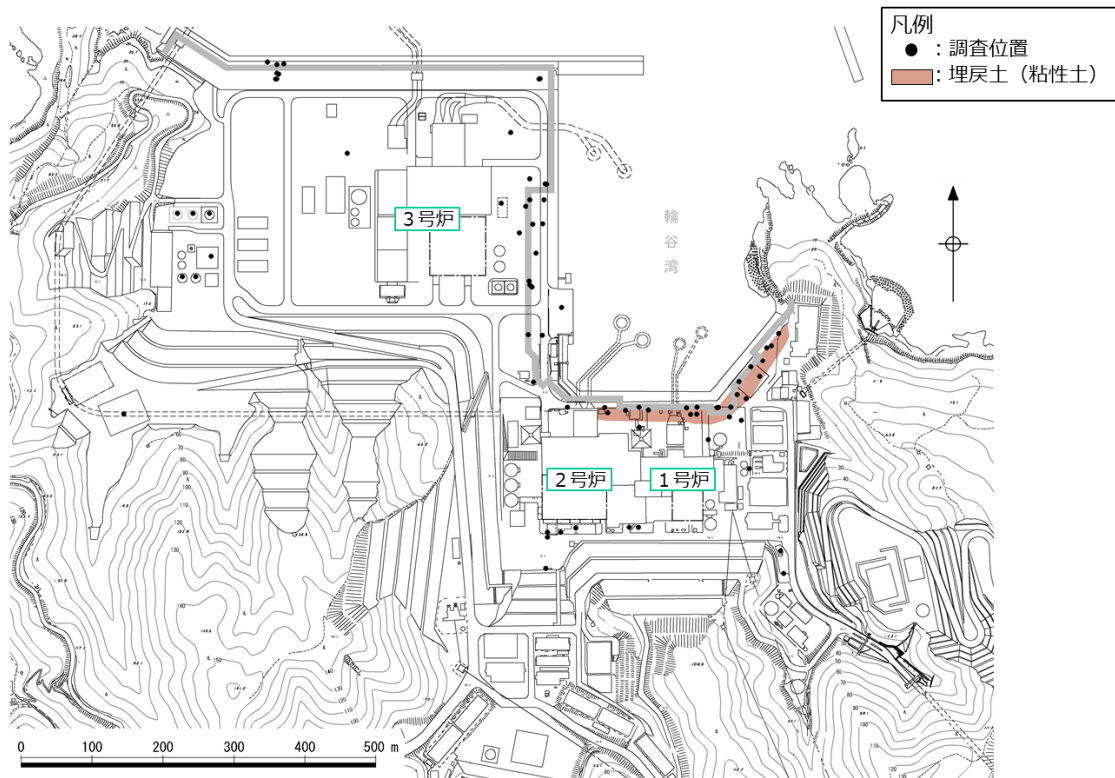


第2-5 図 敷地の被覆層（平面図）

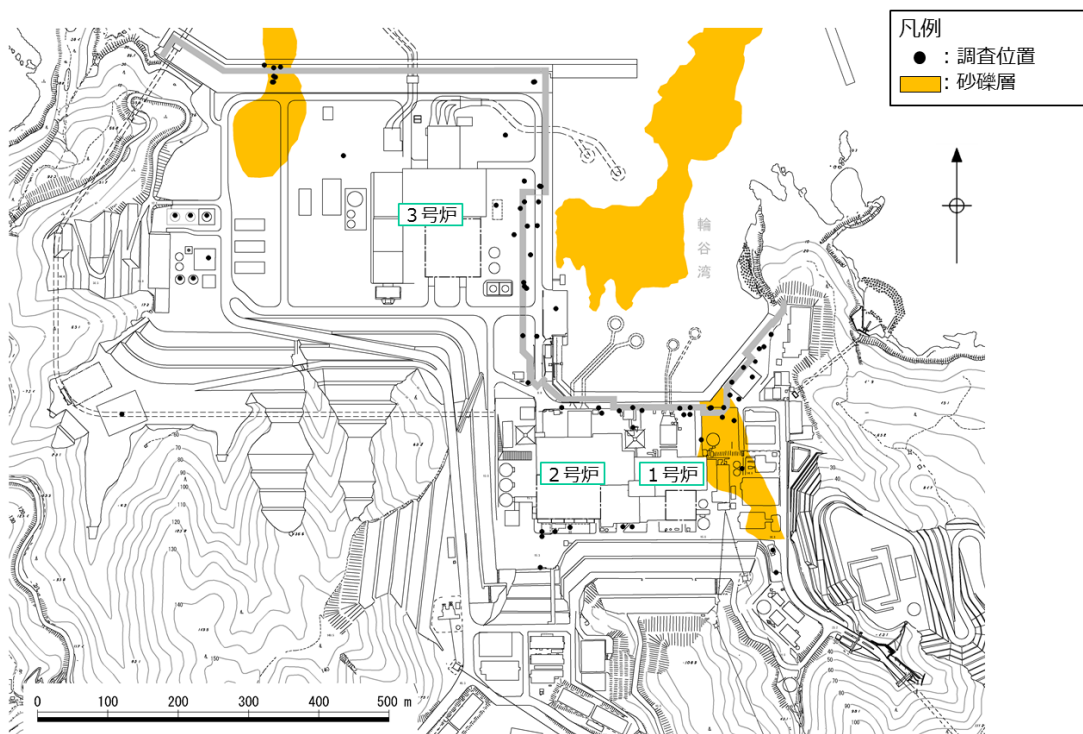


第2-6 図 敷地の地層分布状況（平面図）

(a) 埋戻土（掘削ズリ）分布図

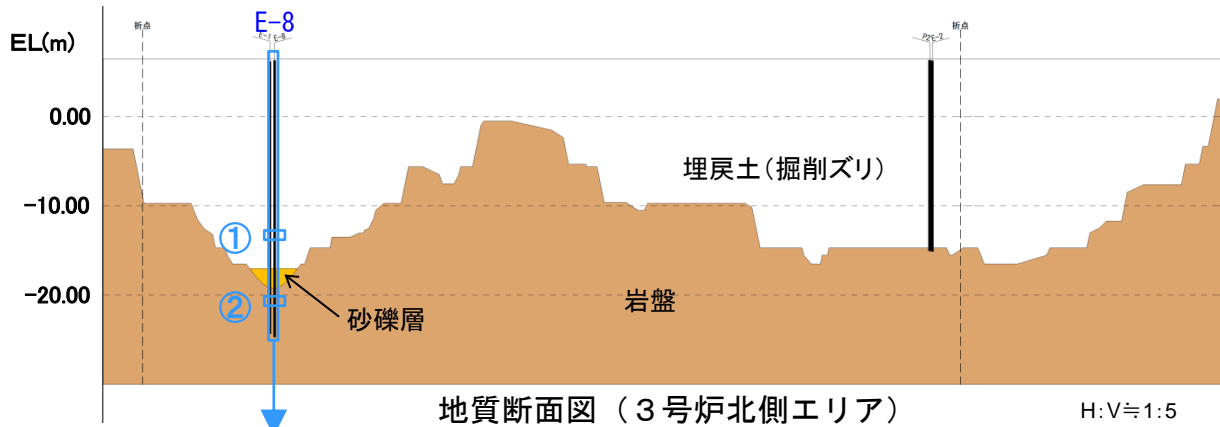


第2-6 図 敷地の地層分布状況（平面図）
 (b) 埋戻土（粘性土）分布図



※輪谷湾周辺の砂礫層分布（自社調査（H7））

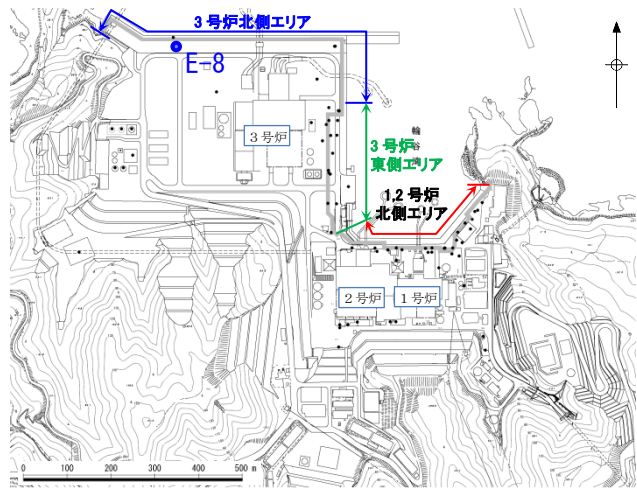
第2-6 図 敷地の地層分布状況（平面図）
 (c) 砂礫層分布図



地質断面図 (3号炉北側エリア)

H:V≒1:5

標尺	層高	層厚	深	柱状	土質	色	相対	相	相	記
(m)	(m)	(m)	(m)	図	区分	調	密	稠	度	事
1	4.82	1.50	1.50		玉石混り砂質礫	暗褐	中位	緩		試掘区間の埋戻土。片状の玉石点存在。φ70mmの片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の角礫。礫間には砂~細礫が充填。低含水。
2					玉石混り砂質礫	暗褐	中位	緩		玉石を片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の角礫。礫間には砂~細礫が充填。低含水。
3					玉石混り砂質礫	暗褐	中位	緩		玉石を片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の角礫。礫間には砂~細礫が充填。低含水。
4					玉石混り砂質礫	暗褐	中位	緩		玉石を片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の角礫。礫間には砂~細礫が充填。低含水。
5					玉石混り砂質礫	暗褐	中位	緩		玉石を片状~角礫状にて採取。礫はφ50mm以下の角礫。礫間には砂~細礫が充填。低含水。
6	0.82	4.00	5.50		コンクリート砂質礫	灰	密	稠		旧表層コンクリート
7	0.52	0.30	5.80		砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
8	-0.18	0.70	6.50		砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
9					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
10					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
11					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
12					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
13					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
14					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
15					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
16					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
17					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
18					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
19					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
20					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
21					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
22					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
23					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
24					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
25					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
26					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
27					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
28					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
29					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
30					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
31					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。
32					砂質礫	暗	密	稠		細礫~粗砂主体。含水中位。



敷地平面図

深度

20.50m

21.00m

①



埋戻土(掘削ズリ)

26.50m

27.00m

②

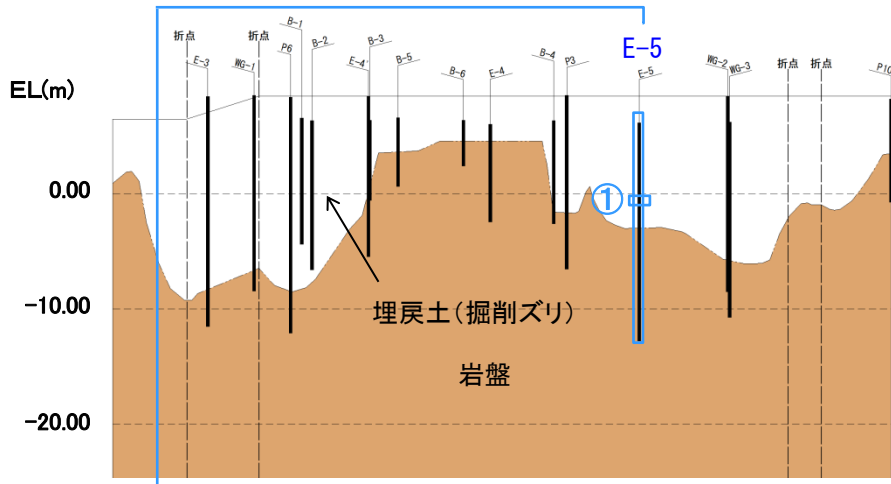


砂礫層

コア写真

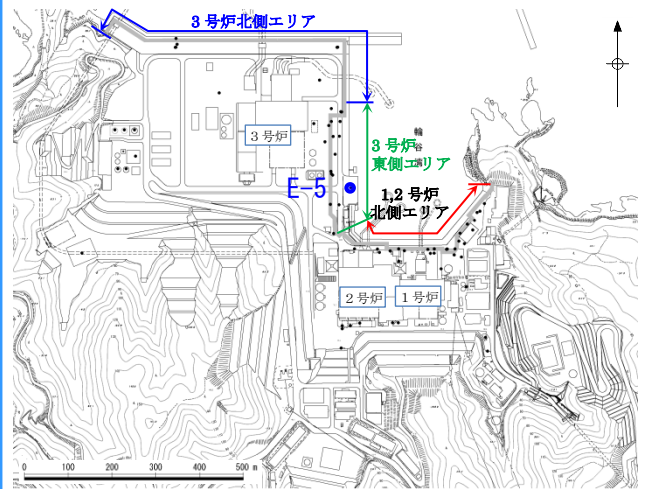
第2-7 図 敷地の地層分布状況 (断面図)

(a) 3号炉北側エリア分布図



地質断面図（3号炉東側エリア） H:V≒1:5

標尺	層高	深	柱状	土質	色	相対	相対	記
(m)	(m)	(m)	図	区分	調	密度	稠	事
1	4.69	1.50	1.50	砂質礫	暗褐色			試掘区間の埋戻土、礫はφ50mm以下の碎石状の角礫、隙間は細礫、粗砂が充填。低含水。
2				玉石混り砂質礫	暗褐色	緩い	非常に密な	玉石を片状~30cm柱状にて採取。φ50mm~30mm以下の角礫混入する。隙間は細礫~粘土質砂からなり、礫混入量にばらつきあり、一部風化礫層状。全漏水する。
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13	-7.31	12.00	13.50	シルト・砂・玉石	淡褐色	緩い	非常に密な	L=500~800mm転石主体、一部の転石は表面や割れ目沿いで固結粘土状に軟化する。隙間は不均質で風化起源のシルト質細砂土~長砂細片が混じる海砂状のシルト混り中砂。φ10mm前後の小礫が混じる。
14				凝灰岩・軟岩	青灰・青褐色			基盤岩。円盤状~10cm柱状コア。全般にコアは脆く、深度に伴い硬質となる。GL-17m付近は白濁化して軟化する。
15	-9.91	2.60	16.10	凝灰岩・軟岩	青褐色			
16								
17	-11.71	1.80	17.90	凝灰岩・軟岩	青褐色			縦亀裂が伏在する100cm柱状コア。岩片は比較的硬質。伏在亀裂沿いや脆く割れやすい。
18								
19	-12.81	1.10	19.00					
20								



敷地平面図

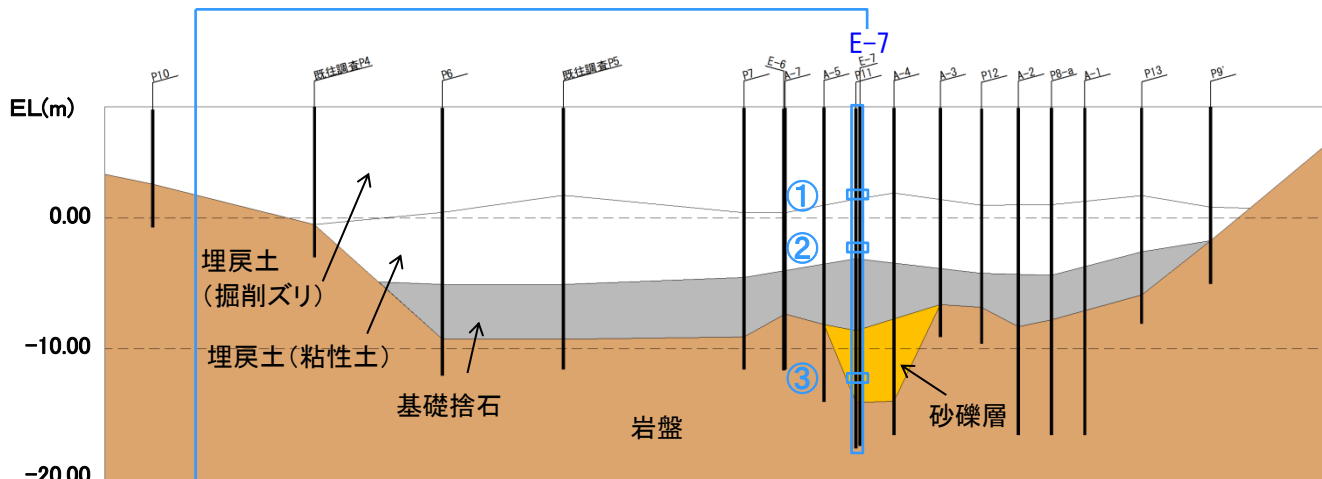


埋戻土(掘削ズリ)

コア写真

第2-7 図 敷地の地層分布状況(断面図)

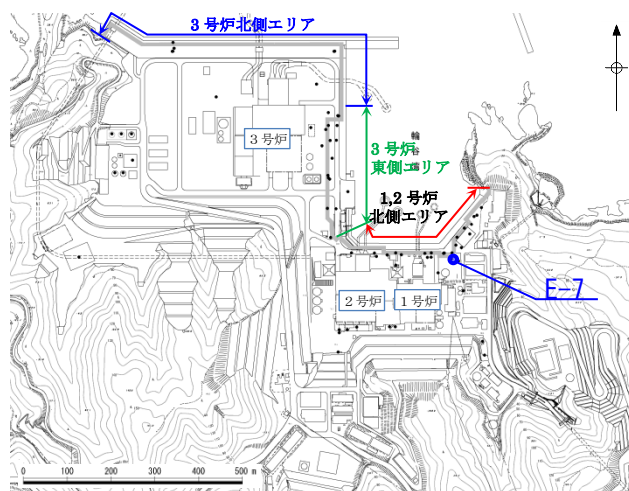
(b) 3号炉東側エリア分布図



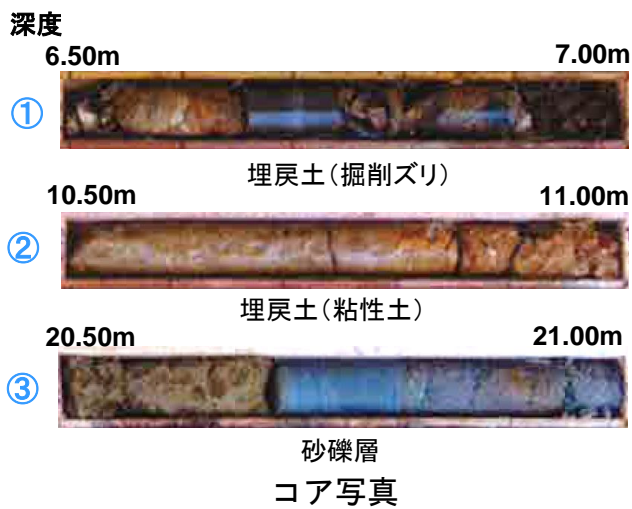
地質断面図 (1, 2号炉北側エリア)

H:V=1:5

標高	層厚	深度	柱状	土質	色相	相対	相対	記
(m)	(m)	(m)	図	区分	調	密度	稠度	事
7.58	0.80	0.80		盛土	淡灰			0.05AS以降パラス
1				玉石混じり砂礫	暗黄灰		中位	部分的にL=10~20cmの粗粒状で採取される玉石を多く含む。玉石は凝灰質・粘性土コア主体。隙間充填物は、若干細粒分(粘土)含有する中~粗砂が主体。凝・玉石含有率は40~50%程度。
2				凝灰質・砂質シルト	暗黄灰		中位	上部硬質なφ20mm内外の角礫多く含む。下部に従い砂と黒化礫多く含有する粘土。含水少なく粘着力大。
3				玉石				細粒分流出し、凝・玉石密集。部分的にコア採取率著しく低くなる。φ10~50mmの凝土L=10~20cm前後で採取される玉石多い。又max=50cm。凝・玉石は新鮮・硬質。
4				粘土質砂礫				全体に粘土分多く含む。凝はφ10~30mm主体。部分的にL=10cmで採取される玉石点存在。隙間充填物は粘土混じり砂~砂礫。
5				凝土	黒灰			上部均質であり、GL-21.50m以降有機物(木片)や小礫砂を多く含む粘土。
6				凝灰質砂礫	灰			上部凝灰角礫岩。凝灰岩~泥岩~凝灰礫。GL-23.0m付近より粘土化認められる。GL-23.0~24.0m間コア肌粗く、酸化変色著しい。以下、泥岩は破砕状、凝灰岩は新鮮・硬質となる。亀裂沿いに塊状酸化。若質は凝灰質で短柱状コア主体。GL-24.50m凝灰岩。
7				凝土	黒灰			
8				凝土	黒灰			
9				凝土	黒灰			
10				凝土	黒灰			
11				凝土	黒灰			
12				凝土	黒灰			
13				凝土	黒灰			
14				凝土	黒灰			
15				凝土	黒灰			
16				凝土	黒灰			
17				凝土	黒灰			
18				凝土	黒灰			
19				凝土	黒灰			
20				凝土	黒灰			
21				凝土	黒灰			
22				凝土	黒灰			
23				凝土	黒灰			
24				凝土	黒灰			
25				凝土	黒灰			
26				凝土	黒灰			

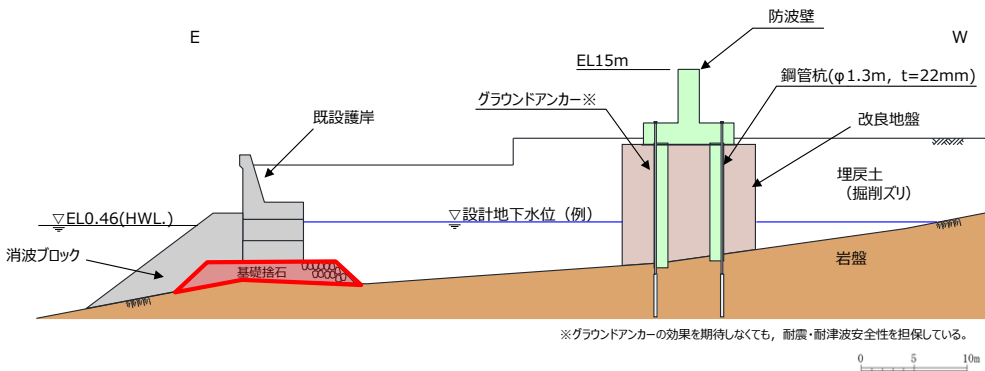
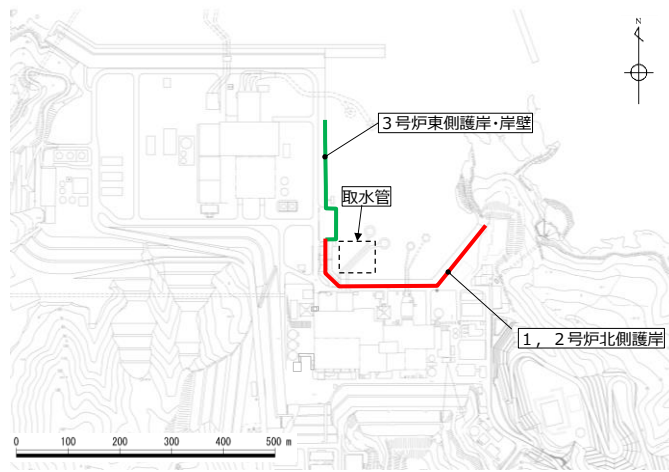


敷地平面図

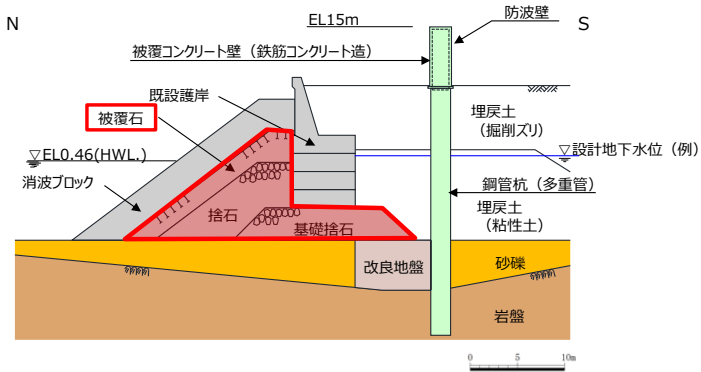


第2-7 図 敷地の地層分布状況 (断面図)

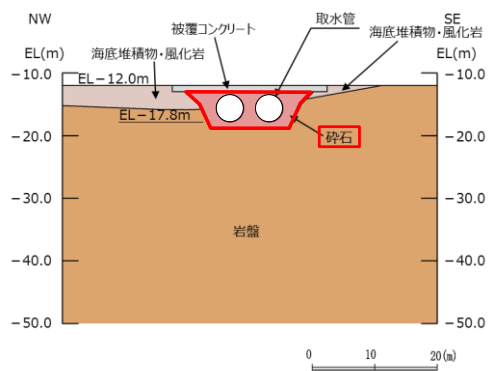
(c) 1, 2号炉北側エリア分布図



3号炉東側護岸



1, 2号炉北側護岸

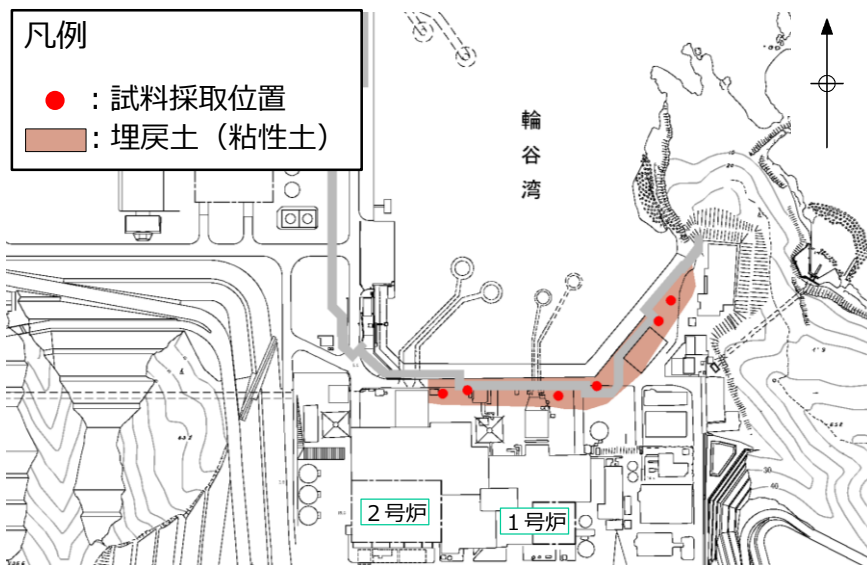


取水管

第2-8 図 購入地盤材料の使用箇所

第2-2 表 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 (掘削ズリ)	—	・概ね全域に分布	粒径2mm未満の砂を含むため、道路橋示方書に基づき液状化判定を実施する。
埋戻土 (粘性土)	—	・1, 2号炉北側護岸 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号炉東側に局所的に分布 ・3号炉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号炉北側護岸 ・3号炉東側護岸・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号炉北側護岸	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。

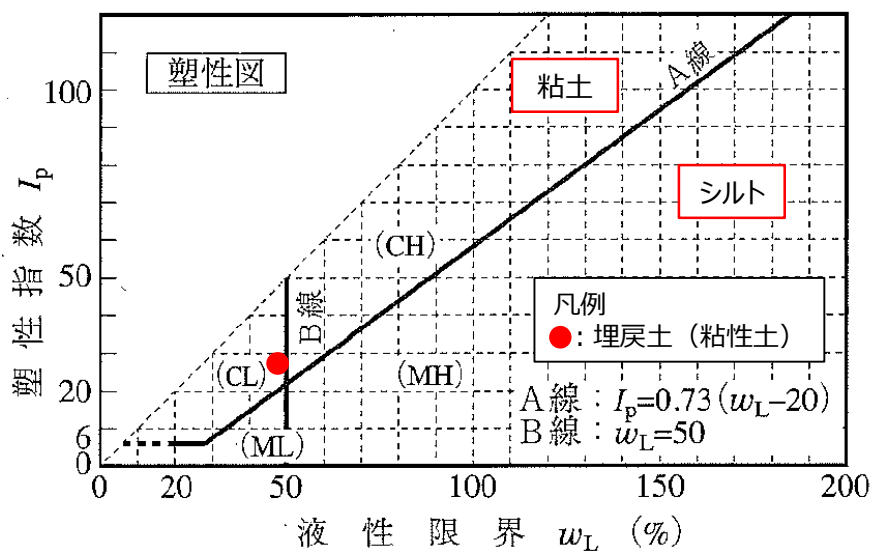


第2-9 図 埋戻土（粘性土）の分布状況及び試料採取位置



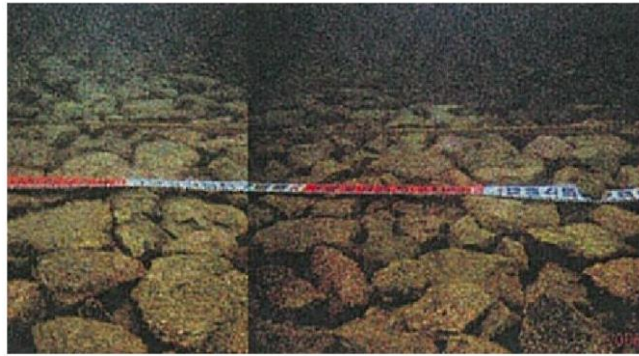
第2-10 図 採取した埋戻土（粘性土）

	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



※ 地盤工学会, H22: 土質試験 基本と手引き に加筆

第2-11 図 塑性図による粘性土の分類



基礎捨石設置状況（防波堤）
第2-12 図 基礎捨石の設置状況

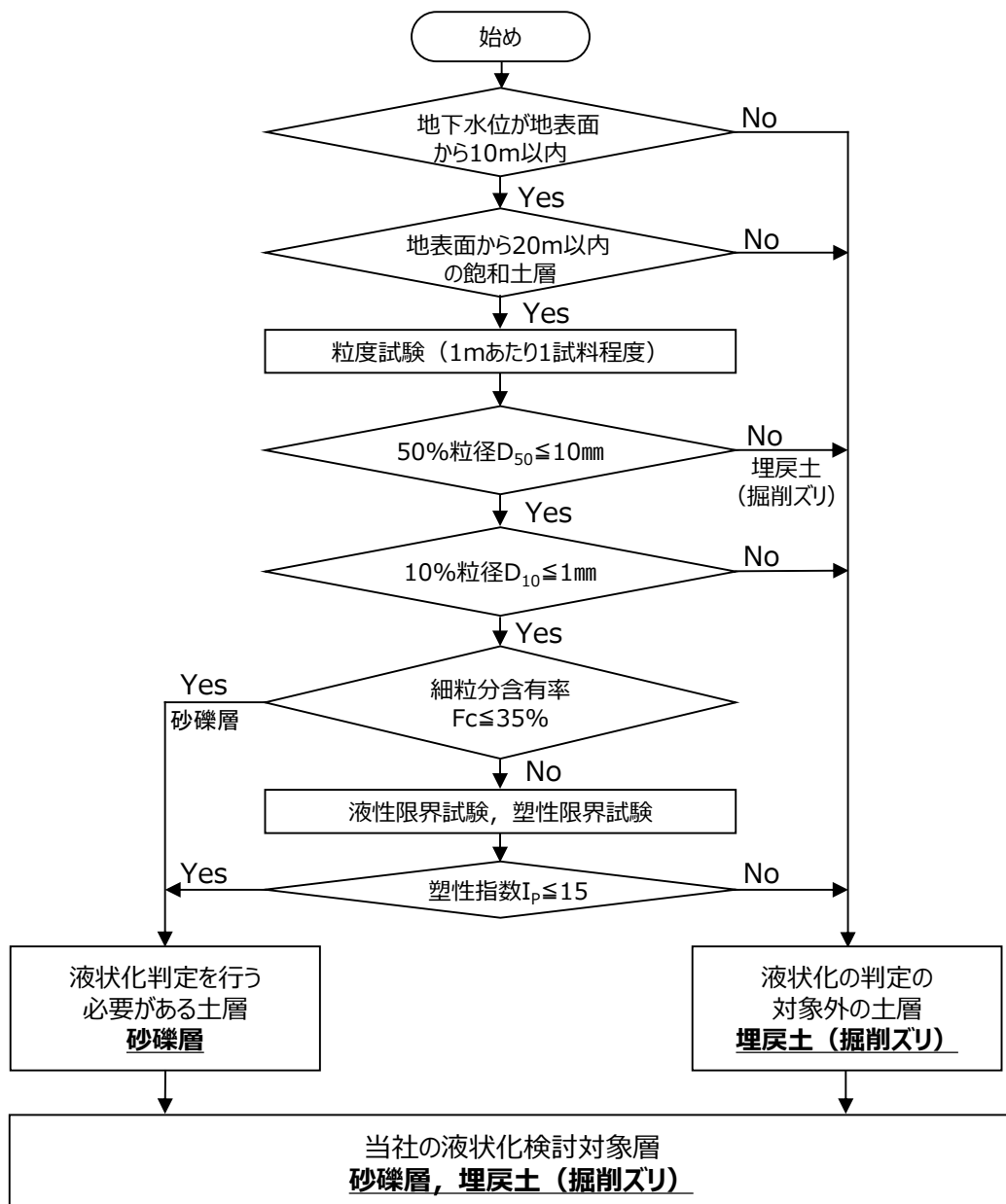


被覆石寸法（1，2号炉北側護岸）

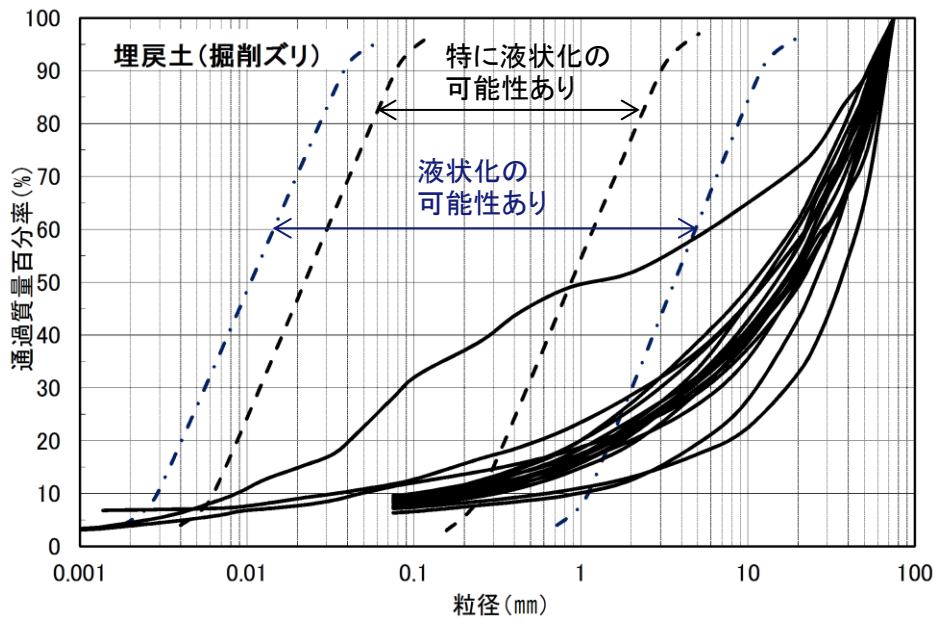


被覆石設置状況（1，2号炉北側護岸）
第2-13 図 被覆石の寸法及び設置状況

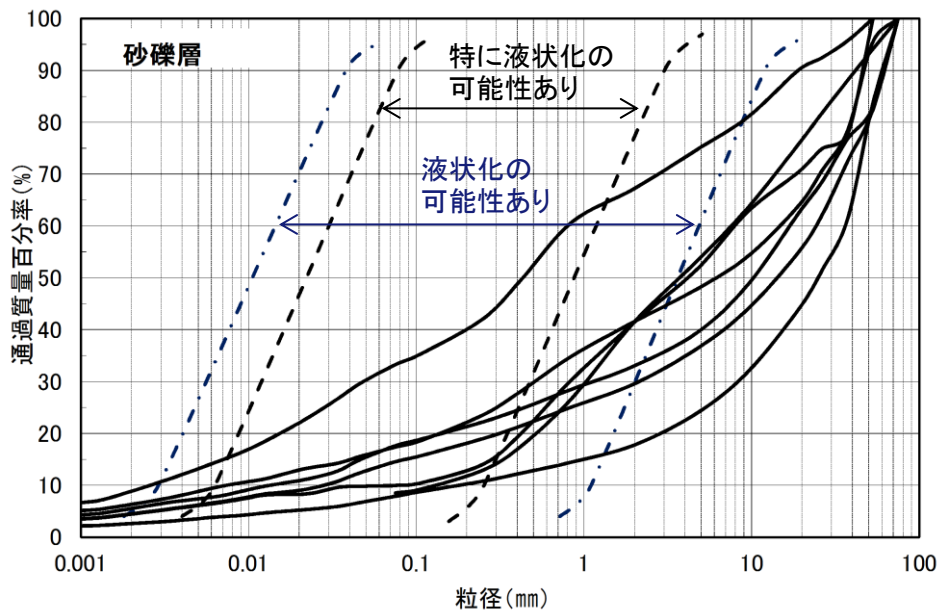
地層名	50%粒径 (平均) (mm)	10%粒径 (平均) (mm)	細粒分含有率 (平均)(%)
埋戻土 (掘削ズリ)	16.5	-	-
砂礫層	9.1	0.0651	15.6



第2-14 図 道路橋示方書に基づく抽出結果



埋戻土(掘削ズリ)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

第2-15 図 港湾基準に基づく抽出結果

3. 液状化強度特性の網羅性、代表性

3.1 液状化試験試料採取位置とその代表性

3.1.1 液状化試験試料採取位置の選定

液状化試験試料の採取方法としては、先行他サイトの審査実績及び審査状況を踏まえると、ロータリー式三重管サンプラー、GPサンプリング、凍結サンプリング及び表層試料採取の4種類（①～④）がある。各試料採取方法の概要及び試料採取結果等を以下に示す。

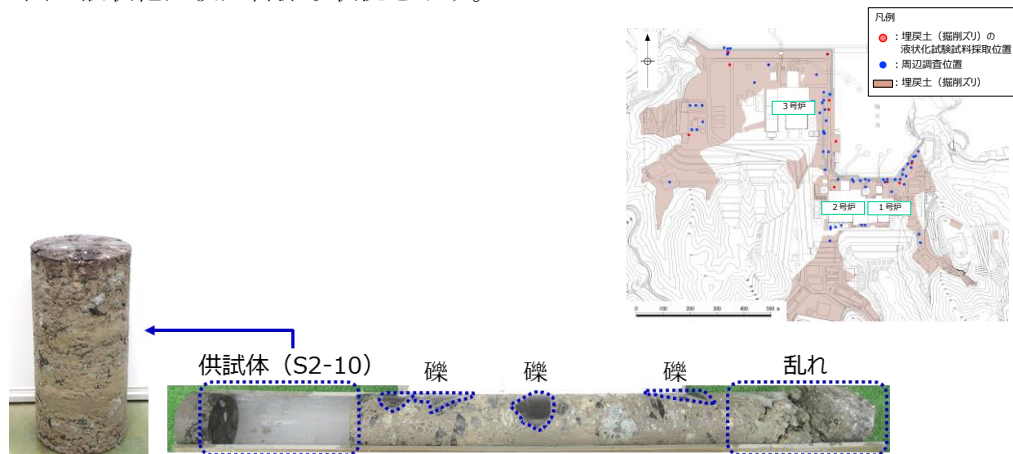
①ロータリー式三重管サンプラー

ロータリー式三重管サンプラーは、アウターチューブ、インナーチューブ及びライナーからなる三重管構造である。ボーリングロッドの回転がアウターチューブに伝わるがインナーチューブは回転しない機構を有しており、試料はインナーチューブ内側のライナーに収納される。乱れの少ない試料を採取できるサンプリング方法である。

埋戻土（掘削ズリ）の採取にあたり、ロータリー式三重管サンプラーにより試料採取（ $\Phi 88\text{mm}$ ）を実施した。採取した試料は、局所的に発生する乱れを除いて乱れの少ない試料であった。一方、埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石を伴うため、土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）、及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）を踏まえると液状化試験に採用可能な区間は限定的であり、約110mの掘進長に対して供試体として使用可能なものは4体（約1m）であった。

土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）、及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に基づき、供試体直径が $\Phi 300\text{mm}$ の場合、試料の最大粒径は60mm程度まで許容されるが、埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石も含むことから、採取数（液状化試験に採用可能な供試体数）の改善は困難である。

第3-1-1 図に液状化試験試料採取状況を示す。



第3-1-1 図 E-2地点の液状化試験試料採取状況（供試体（S2-10）抜き出し後）

②GPサンプリング

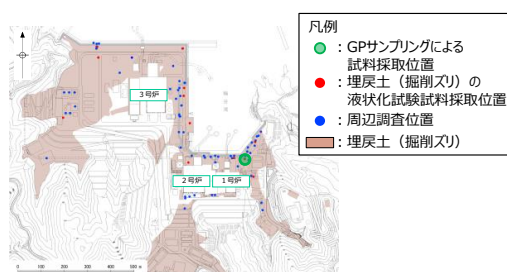
GPサンプリングは、コアチューブの中にポリマー溶液を内封する単管構造である。サンプリング時に取り込んだ試料がポリマー溶液をサンプラー先端から押し出すことによりポリマー溶液が潤滑剤の役割を果たし、乱れの原因である試料とコアチューブとの摩擦を低減することにより、乱れの少ない試料を採取できるサンプリング方法である。

ロータリー式三重管サンプラーによる埋戻土（掘削ズリ）の採取に合わせ、1地点のみGPサンプリングにより試料採取（Φ100mm）を実施したが、回転切削に伴う礫間の緩みによりコアが動いてコア詰まり（コアチューブ内のコアが自立せずに詰まる）を起こして掘進が不能となること、コアチューブ引き上げ時に掘削したコアがコアリフターをすり抜けて孔底に脱落することから、以降の試料採取を取り止めた。

また、採取されたコアは、掘進時に発生した不連続面に沿って乱れているもの、自立しないもので占められていたことから、供試体として採用可能なものは得られなかった。また、埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石を伴うため、土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）、及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）を踏まえると液状化試験に採用可能な区間は限定的であった。

土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）、及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に基づき、供試体直径がΦ300mmの場合、試料の最大粒径は60mm程度まで許容されるが、埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石も含むことから、採取数（液状化試験に採用可能な供試体数）の改善は困難である。

第3-1-2図にGPサンプリングにより採取した埋戻土（掘削ズリ）を示す。



第3-1-2 図 GPサンプリングにより採取した埋戻土（掘削ズリ）

③凍結サンプリング

凍結サンプリングは、原位置で地盤を凍結させ、その状態で試料を採取する方法であるため、乱れの少ない試料を採取できるサンプリング方法である。

凍結サンプリングの適用地盤は凍結に必要な飽和度の高い地盤であることから、埋戻土（掘削ズリ）のうち地下水位で浅の採取には適用不可と判断した。

乱れの少ない試料を採取した場合、埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石を伴うため、土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）、及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に基づき、液状化試験に採用可能な区間は限定的である。

④表層試料採取

表層試料採取は、地表付近の埋戻土（掘削ズリ）を対象として試料の採取を行う方法である。

採取した試料について、土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0520）、及び粗粒土の三軸試験の供試体作製・設置方法（JGS 0530）に準拠し、供試体寸法に対して適合しない礫を除くことにより、試験基準を満足する供試体を作製可能である。

敷地の被覆層（埋戻土（掘削ズリ））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、既往の埋戻土（掘削ズリ）の粒径加積曲線となるよう粒度調整を行った。また、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った。

今回、既往のロータリー式三重管サンプラー及びGPサンプリングによる採取実績を踏まえ、液状化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追加試料を採取した。

液状化試験試料採取方法及び採取結果を第3-1-1表に示す。

第3-1-1 表 液状化試験試料採取方法及び採取結果

	① ロータリー式 三重管サンプラー	② GPサンプリング	③ 凍結サンプリング	④ 表層試料採取
構造	三重管	単管（GP-D）	凍結管による地盤凍結	—
特徴	乱れの少ない試料を採取可能。	乱れの少ない試料を採取可能。	乱れの少ない試料を採取可能。	試料の寸法調整、粒度調整、密度調整が可能。
適用範囲	粘性土、砂質土、礫混り土	粘性土、砂質土、礫混り土	砂質土、礫混り土 ※凍結に必要な飽和度の高い地盤に適する。	表層に分布する試料
実施有無	○	○	× (適用不可のため実施しない)	○ (第730回審査会合以降、追加実施)
試料採取結果	約110mの掘進長に対して供試体として採用可能なものは4体（約1m）であった。 乱れの少ない試料を採取したが、埋戻土（掘削ズリ）は150mm程度の玉石も含むため試験に採用可能な区間は限定的であった。	掘進時にコア詰まり及びコアの脱落が発生した。 採取されたコアは、掘進時に発生した不連続面に沿って乱れているもの、自立しないもので占められていたことから、供試体として採用可能なものは得られなかった。	—	採取した試料の寸法調整により、試験基準に適合する供試体を作製した。 粒度調整、密度調整により、現地地盤を再現した供試体を作製した。
	供試体：4体	供試体：0体	—	供試体：10体

第3-1-3 図に敷地内の試料採取地点位置図を示す。

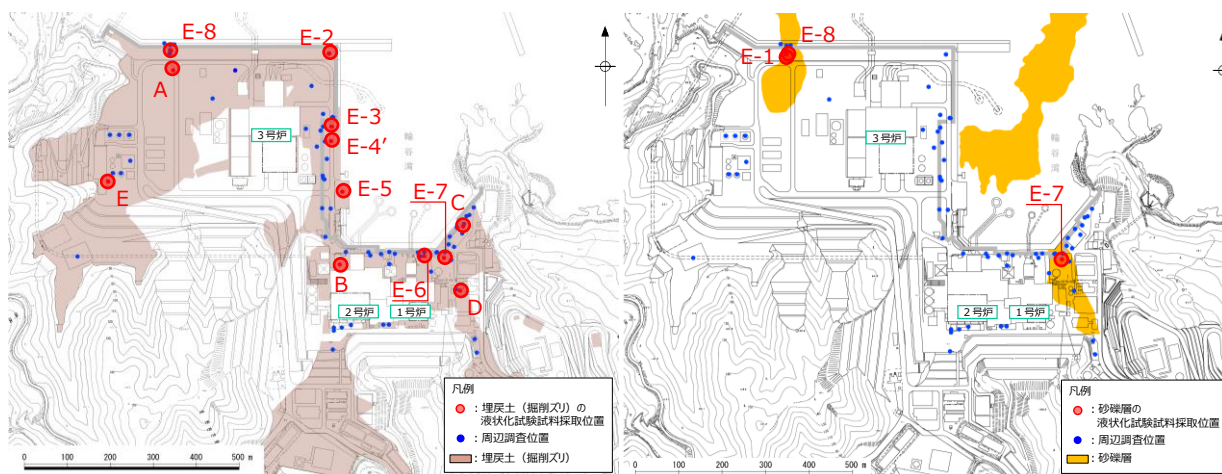
敷地内の液状化評価対象層として、埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の分布状況から以下のとおり地点を選定し、試料を採取して液状化試験を実施する。

埋戻土（掘削ズリ）は3号炉西側から1，2号炉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（掘削ズリ）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（掘削ズリ）に対する液状化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、これまで液状化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）。

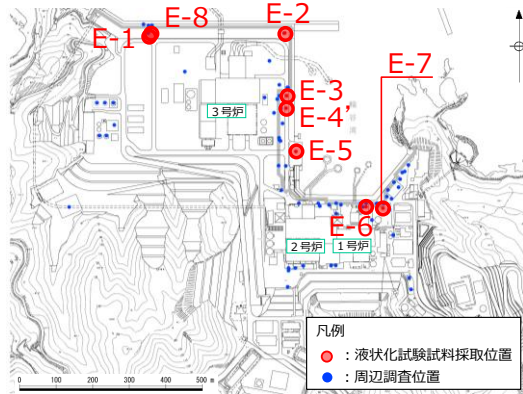
砂礫層は局所的に分布していることから、分布箇所である3号炉北側西端及び1，2号炉北側東端の地点を選定し、ロータリー式三重管サンプラーにより試料採取した（E-1，E-7，E-8）。

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。

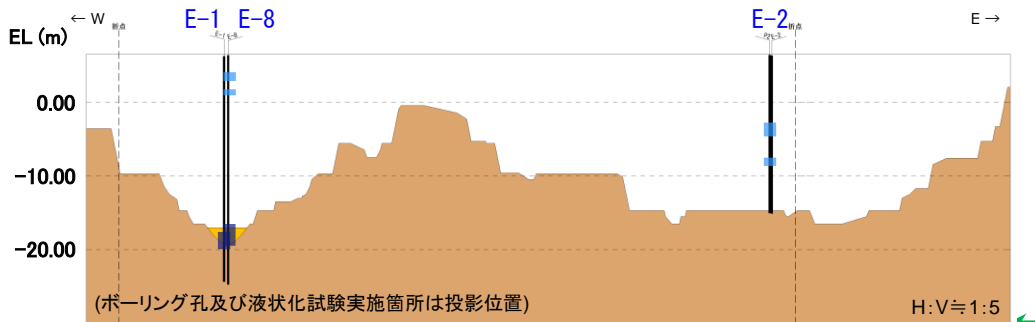
併せて，近傍においてボーリング調査を実施し，標準貫入試験および粒度試験用の試料採取を実施した。ロータリー式三重管サンプラーによる液状化試験実施箇所を第3-1-4 図に示す。



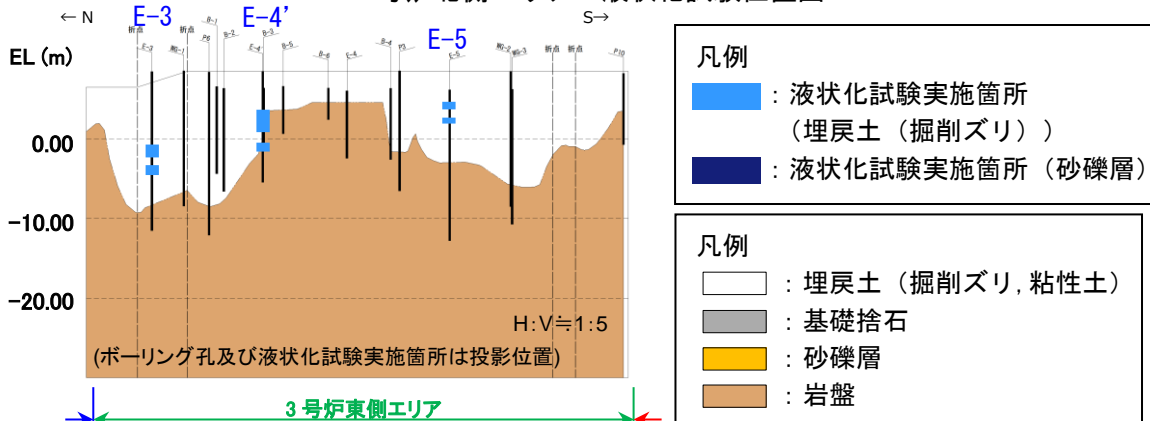
第3-1-3 図 試料採取地点位置図



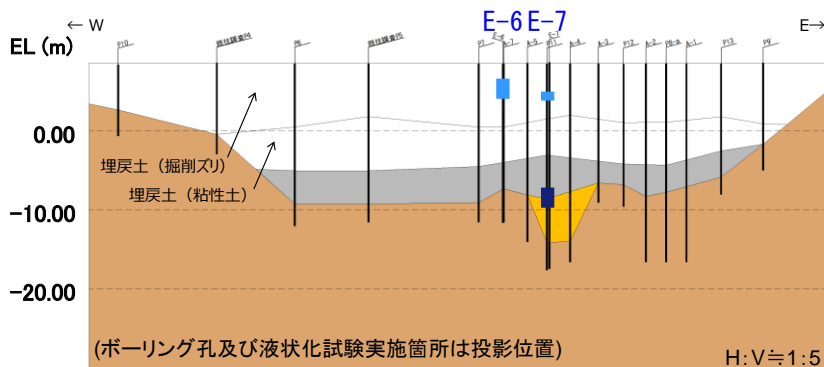
液状化試験箇所位置図（平面図）



3号炉北側エリア 液状化試験位置図



3号炉東側エリア 液状化試験位置図



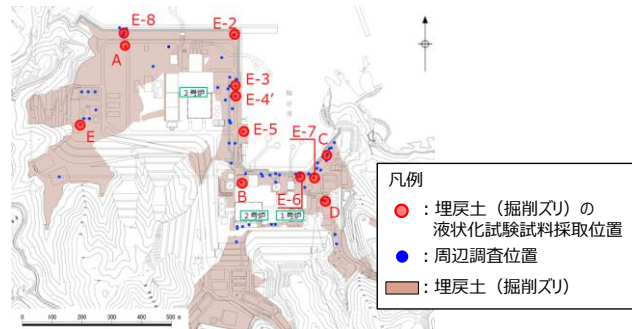
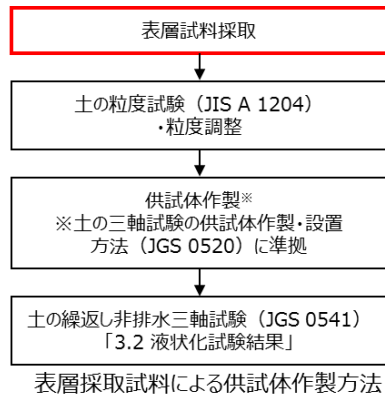
1, 2号炉北側エリア 液状化試験位置図

第3-1-4 図 ローター式三重管サンプラーによる液状化試験実施箇所

敷地の被覆層（埋戻土（掘削ズリ））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（掘削ズリ）の粒径加積曲線となるように粒度調整を行い、敷地の埋戻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（掘削ズリ））を再現した供試体を作製する。

路盤材以深の埋戻土（掘削ズリ）を対象として表層試料採取を実施した（A～E 地点）。また、表層試料採取にあたり、巨礫を除いて採取した。

第 3-1-5 図に採取試料状況及び巨礫の例を示す。



表層試料採取による液状化試験試料採取位置



採取試料状況（A地点）



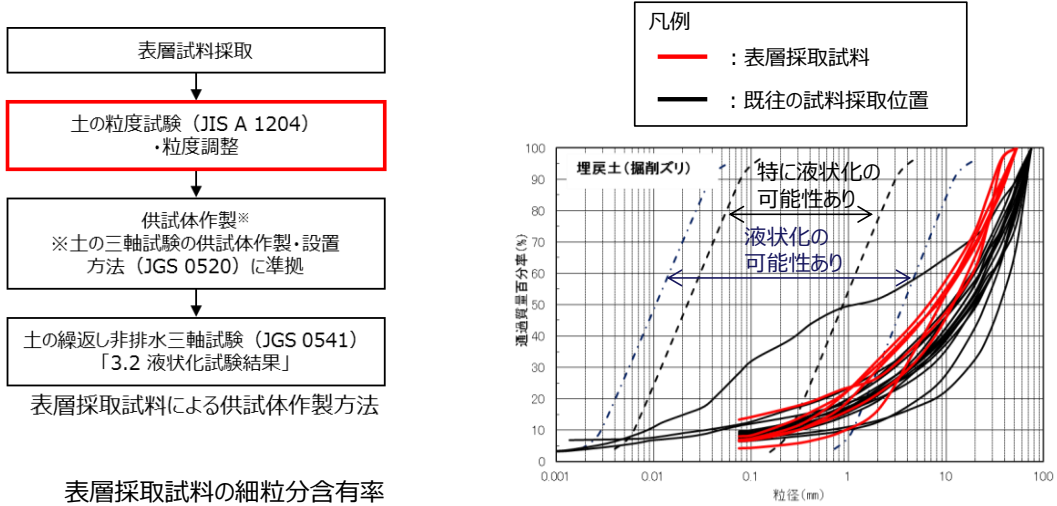
巨礫の例

第 3-1-5 図 採取状況及び巨礫の例

既往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を第 3-1-6 図に示す。

表層採取試料の細粒分含有率を第 3-1-6 図に示す。表層採取試料の細粒分含有率の平均値は、既往の試料採取位置の細粒分含有率の平均値及び平均値-1σ 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

表層採取試料の粒径加積曲線

液状化試験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

第 3-1-6 図 表層採取試料及び既往の試料採取位置の粒径加積曲線及び細粒分含有率

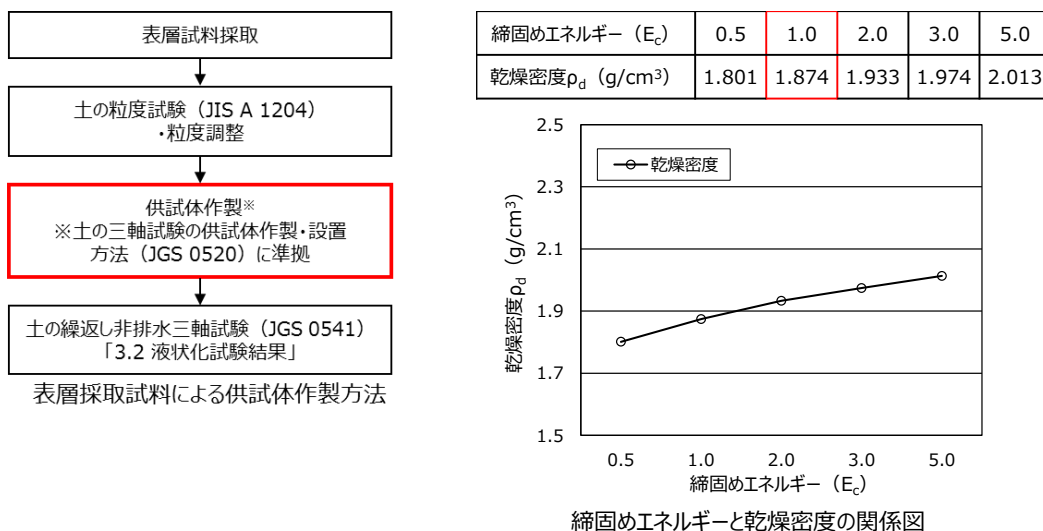
3号炉建設時の敷地の埋戻しにあたり、大型締固め試験により乾燥密度 ρ_d を算出した（締固めエネルギー $1.0E_c$ の乾燥密度 $\rho_d=1.874\text{g/cm}^3$ ）。乾燥密度 $\rho_d=1.874\text{g/cm}^3$ を踏まえ、礫補正後乾燥密度 $\rho_d'=1.95\text{g/cm}^3$ を算出し、施工管理基準値とした。

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（掘削ズリ）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。

第3-1-7 図に表層採取試料による供試体の乾燥密度を示す。



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

第3-1-7 図 表層採取試料による供試体の乾燥密度

3.1.2 液状化試験試料採取位置の代表性確認

液状化試験試料採取位置における基本物性（粒径加積曲線，N値・細粒分含有率）について，第3-1-8～17 図に示す。

液状化試験試料採取位置の代表性確認を目的に，液状化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。第3-1-2 表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。

E-2～8の埋戻土層の基本物性に関する評価は以下のとおり。

【E-2の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・E-2は3号炉北側エリアのEL+6.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL-15m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。
- ・E-2の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布について， D_{50} は10mm以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・N値は概ね20程度である。また，細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-3の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・E-3は3号炉東側エリアのEL+8.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL-10m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。
- ・E-3の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布について， D_{50} は10mm以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・N値は概ね20程度である。また，細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-4'の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・E-4'は3号炉東側エリアのEL+8.5m盤上の地点であり，地表面から岩盤（約EL0m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。
- ・E-4'の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は， D_{50} は10mm以上となっており，道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・N値は概ね30程度である。また，細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-5の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・E-5は3号炉東側エリアのEL+6.0m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL-3m）まではすべて埋戻土（掘削ズリ）である。
- ・E-5の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は、 D_{50} は10mm以上となっており、道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・N値は概ね10程度である。また、細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-6の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・E-6は1, 2号炉北側エリアのEL+8.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL-10m）にかけて、上から順に埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、基礎捨石が存在する。
- ・そのうち、E-6の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は、 D_{50} は10mm以上となっており、道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・N値は概ね20程度である。また、細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-7の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・E-7は1, 2号炉北側エリアのEL+8.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL-10m）にかけて、上から順に埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、基礎捨石、砂礫層が存在する。
- ・そのうち、E-7の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は、港湾基準において、液状化の可能性がある土層には該当しない。
また、 D_{50} は10mm以下、 D_{10} は1mm以下であるが、 I_p が15以上であるため、道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・N値は概ね10程度である。また、細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-8の埋戻土（掘削ズリ）】

- ・E-8は3号炉北側エリアのEL+6.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL-20m）にかけて、上方に埋戻土（掘削ズリ）が存在し、岩盤上に厚さ最大5m程度の砂礫層が存在する。
- ・そのうち、E-8の埋戻土（掘削ズリ）の粒度分布は、 D_{50} は10mm以上となっており、道路橋示方書及び港湾基準のいずれにおいても液状化の判定を行う必要がある土層には該当しない。
- ・N値は概ね20程度である。また、細粒分含有率は概ね10%程度である。

次に、砂礫層の基本物性に関する評価は以下のとおり。

【E-1の砂礫層】

- E-1は3号炉北側エリアのEL+6.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL-20m）にかけて、上方に埋戻土（掘削ズリ）が存在し、岩盤上に厚さ最大5m程度の砂礫層が存在する。
- そのうち、E-1の砂礫層の粒度分布は、港湾基準において、液状化の可能性がある土層には該当しない。
また、 D_{50} が10mm以下、 D_{10} が1mm以下及び細粒分含有率が35%以下である試料があるため、道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層に該当する。
- N値は概ね20程度である。また、細粒分含有率は概ね20%程度である。

【E-7の砂礫層】

- E-7は1, 2号炉北側エリアのEL+8.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL-10m）にかけて、上から順に埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）、基礎捨石、砂礫層が存在する。
- そのうち、E-7の砂礫層の粒度分布は、港湾基準において、液状化の可能性がある土層には該当しない。
また、 D_{50} が10mm以下、 D_{10} が1mm以下及び細粒分含有率が35%以下である試料があるため、道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層に該当する。
- N値は概ね10程度である。また、細粒分含有率は概ね10%程度である。

【E-8の砂礫層】

- E-8は3号炉北側エリアのEL+6.5m盤上の地点であり、地表面から岩盤（約EL-20m）にかけて、上方に埋戻土（掘削ズリ）が存在し、岩盤上に厚さ最大5m程度の砂礫層が存在する。
- そのうち、E-8の砂礫層の粒度分布は、港湾基準において、液状化の可能性がある土層には該当しない。
また、 D_{50} が10mm以下、 D_{10} が1mm以下及び細粒分含有率が35%以下である試料があるため、道路橋示方書において液状化の判定を行う必要がある土層に該当する。
- N値は概ね20程度である。また、細粒分含有率は概ね20%程度とばらつきが大きい。

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」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- 1σ （以下「 -1σ 値」という）」について整理した。

第3-1-3 表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。

【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）】

- ・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】

- ・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 JGS 4001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。

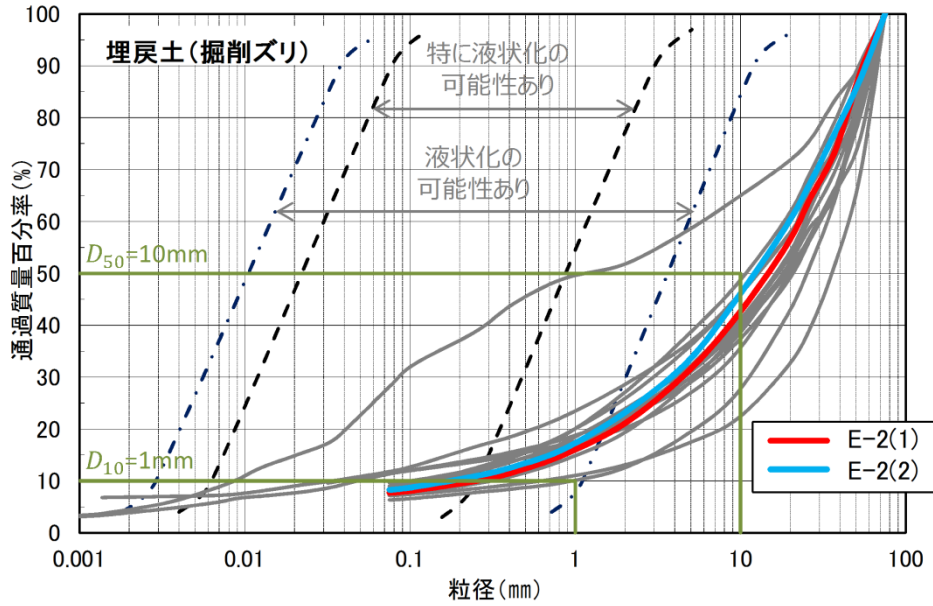
【道路橋示方書】

- ・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上で、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、しかもばらつくのが普通である。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。

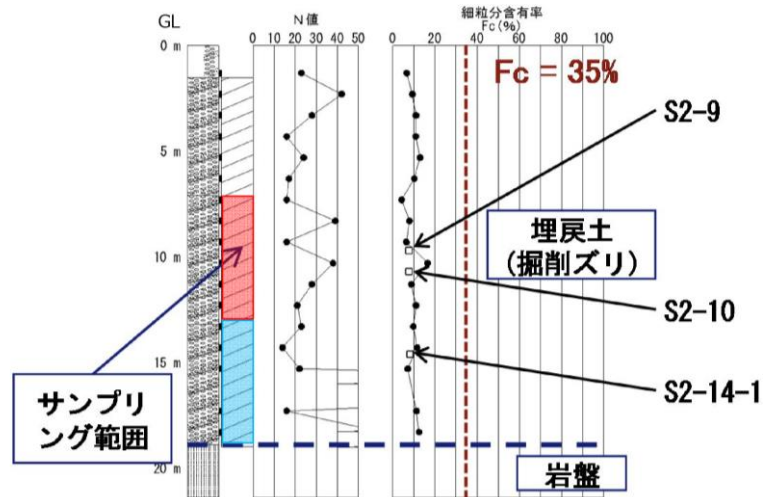
液状化試験を実施した箇所のうち、埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の液状化試験試料採取位置と周辺調査位置を含めた敷地全体や防波壁近傍におけるN値や物理特性（細粒分含有率）の比較を行い、代表性を確認した。第3-1-18 図に比較対象位置図を、第3-1-19 図に各土層の基本物性の比較結果を示す。なお、各種試験は、JIS に基づき実施した。

E-2～E-8 地点の埋戻土（掘削ズリ）は、敷地全体と比べて、N値及び細粒分含有率ともに、液状化試験試料採取位置の平均値及び -1σ 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（掘削ズリ）は敷地全体に分布するため、場所によって埋戻土（掘削ズリ）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、液状化試験試料採取位置の平均値及び -1σ 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、液状化試験試料採取位置の -1σ 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概ね一致していることから、液状化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。



E-2 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

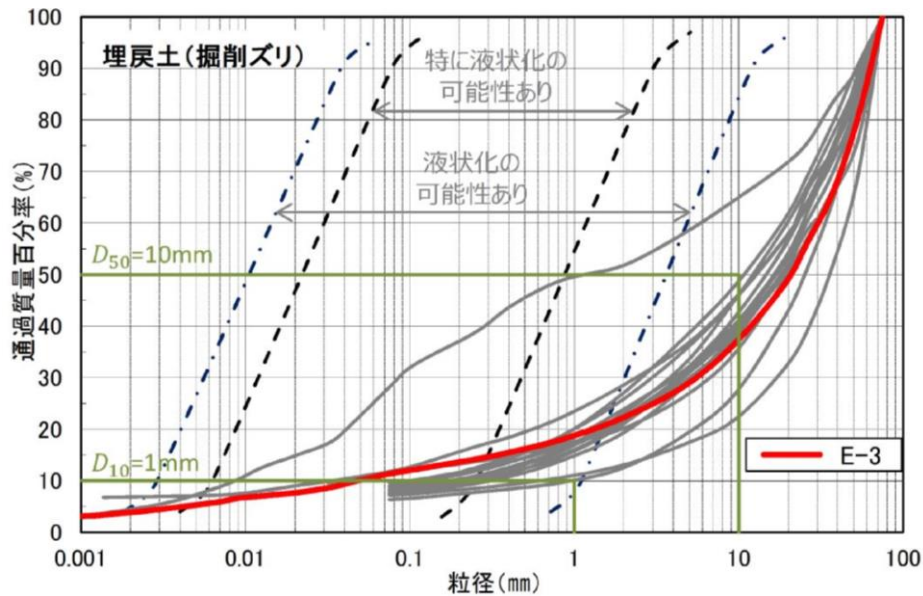


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

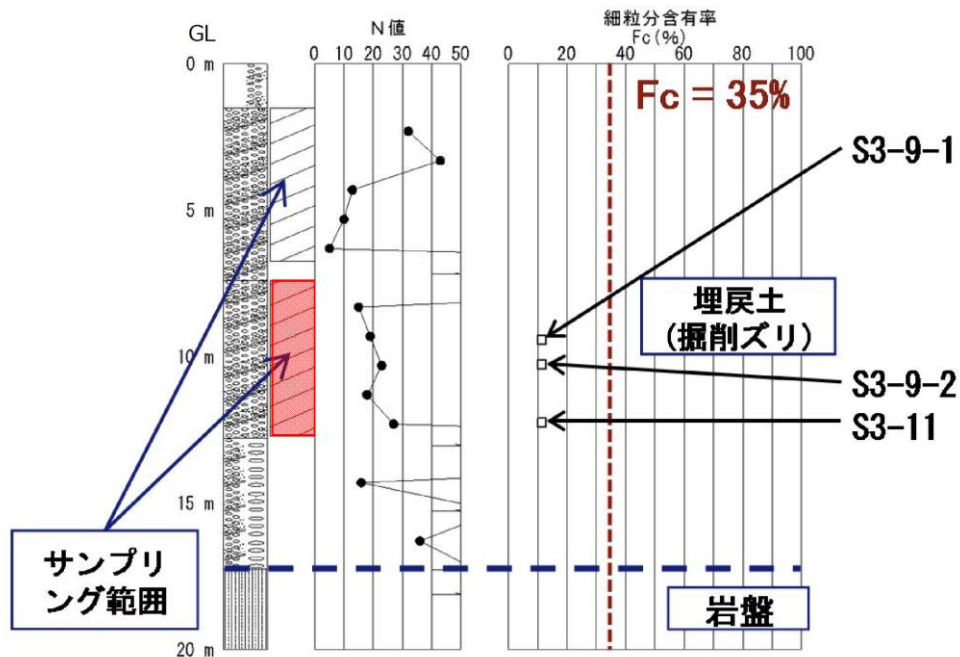
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- (Red) : E-2(1)の採取深度
- (Blue) : E-2(2)の採取深度

E-2 地点のボーリング調査試料および液状化試験試料の試験結果

第 3-1-8 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-2 の埋戻土 (掘削ズリ))



E-3 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

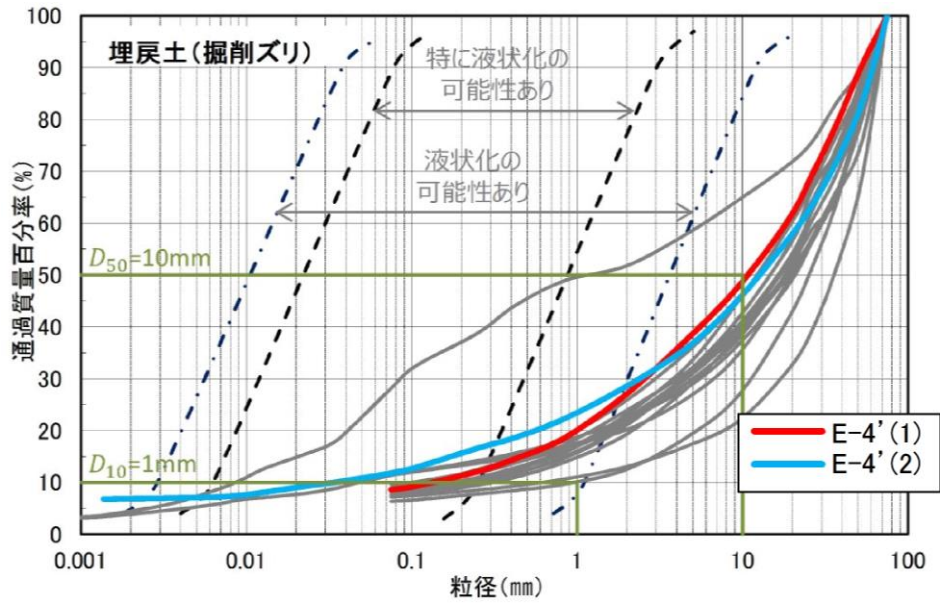


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

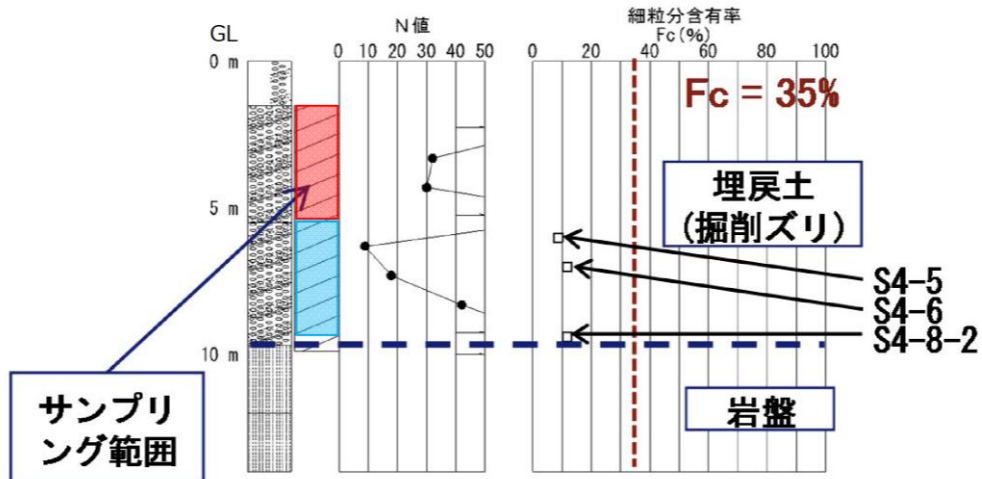
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-3の採取深度

E-3 地点のボーリング調査試料および液状化試験試料の試験結果

第 3-1-9 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-3 の埋戻土 (掘削ズリ))



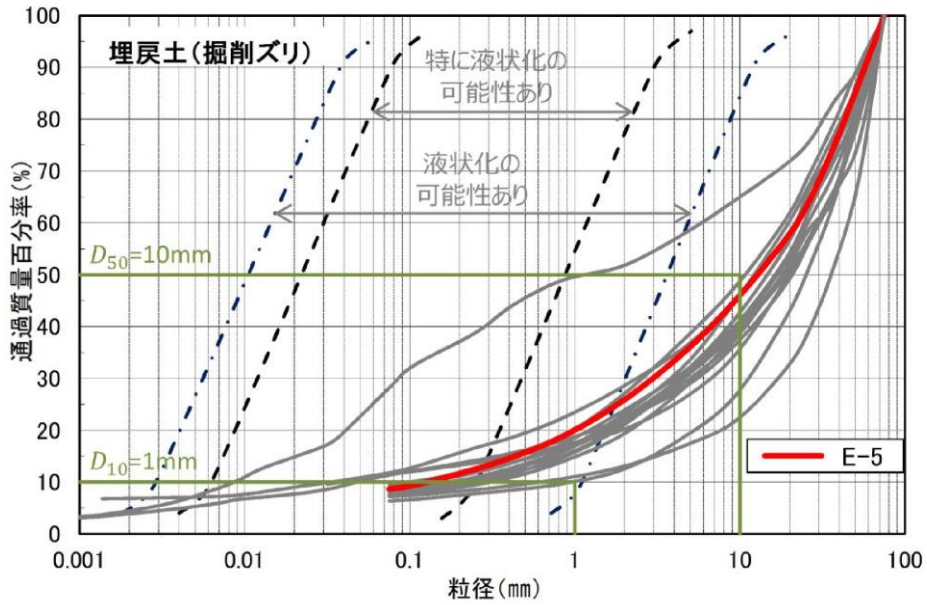
E-4' 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



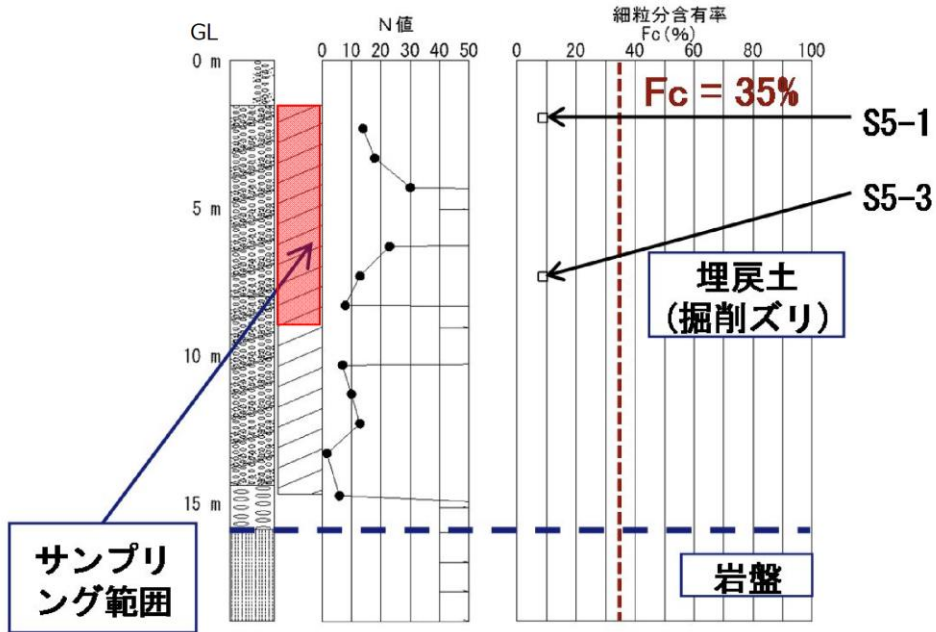
細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- (Red) : E-4'(1)の採取深度
- (Blue) : E-4'(2)の採取深度

E-4' 地点のボーリング調査試料および液状化試験試料の試験結果
 第 3-1-10 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-4' の埋戻土 (掘削ズリ))



E-5 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

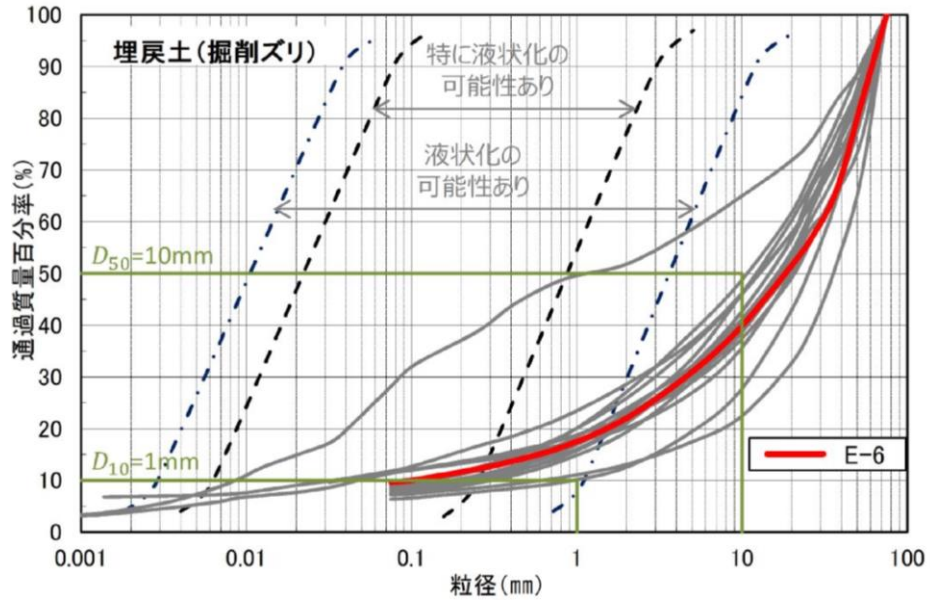


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

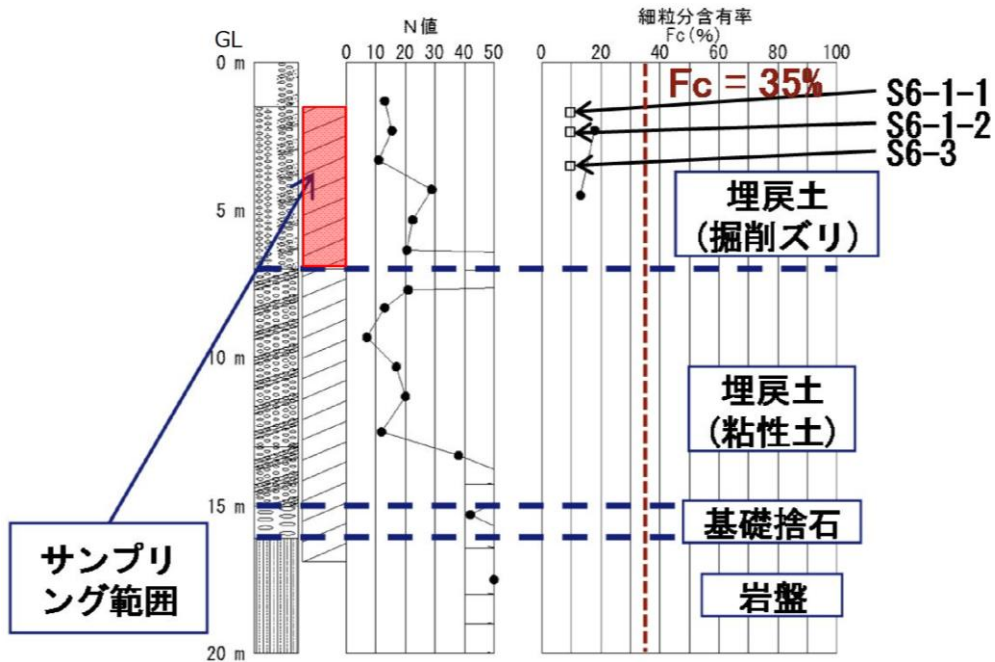
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-5の採取深度

E-5 地点のボーリング調査試料および液状化試験試料の試験結果

第 3-1-11 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-5 の埋戻土 (掘削ズリ))



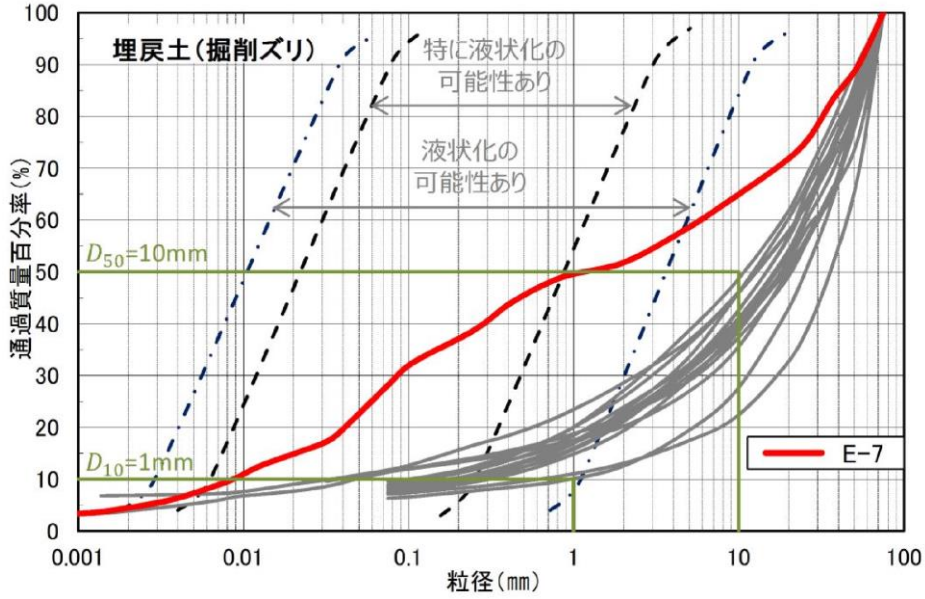
E-6 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



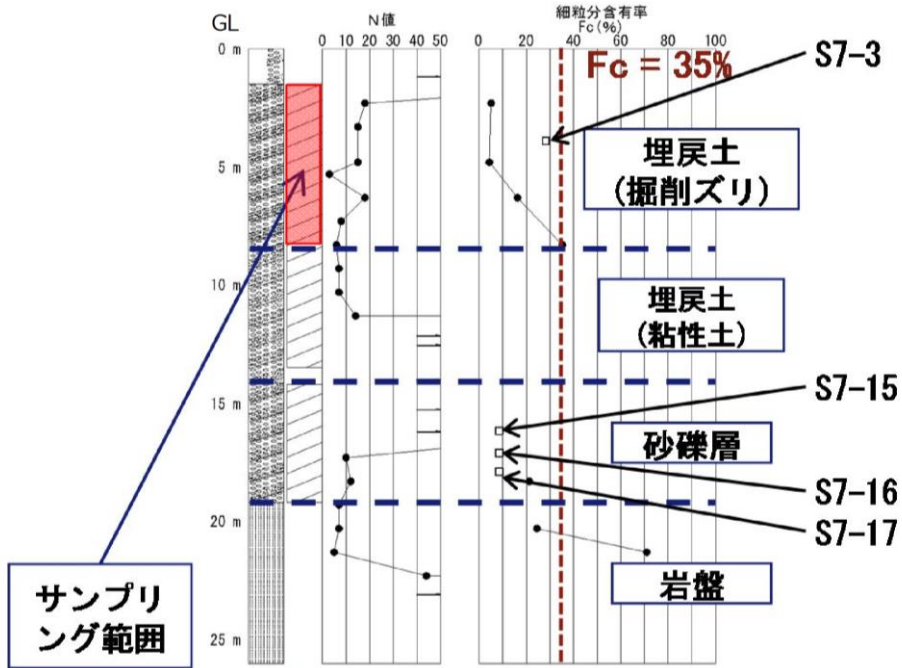
細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-6の採取深度

E-6 地点のボーリング調査試料および液状化試験試料の試験結果
 第 3-1-12 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-6 の埋戻土 (掘削ズリ))



E-7 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

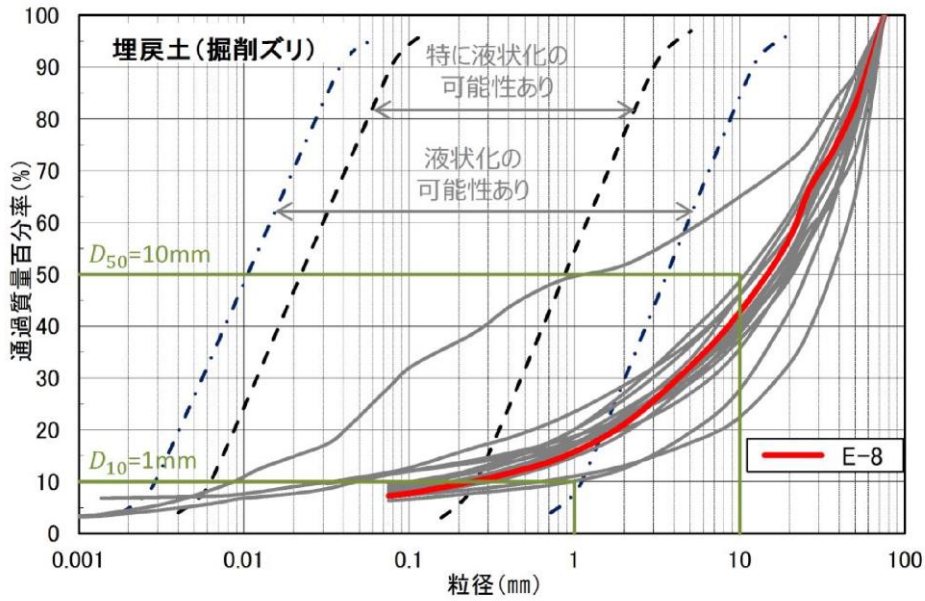


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

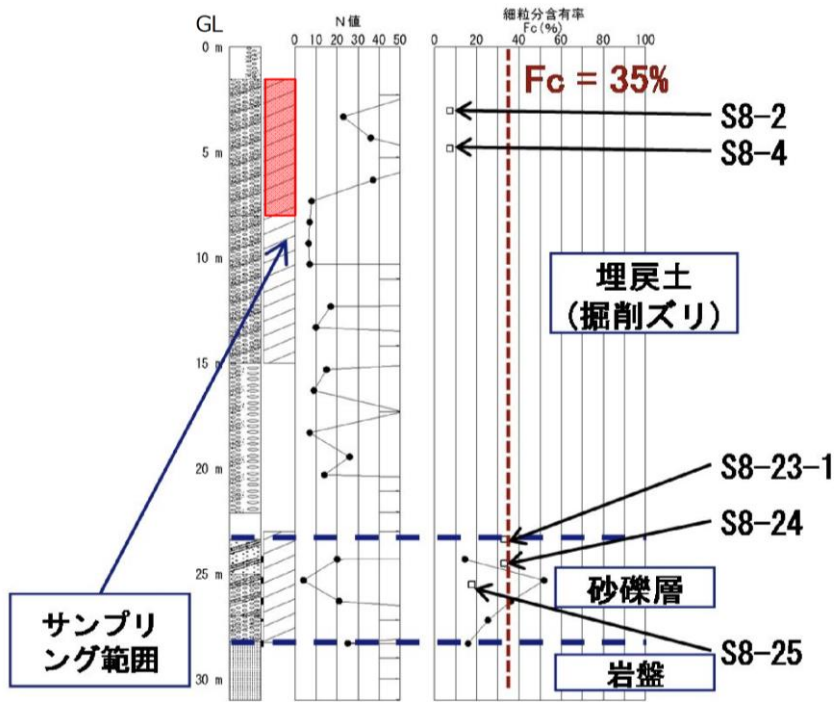
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-7の採取深度

E-7 地点のボーリング調査試料および液状化試験試料の試験結果

第 3-1-13 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-7の埋戻土 (掘削ズリ))



E-8 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線

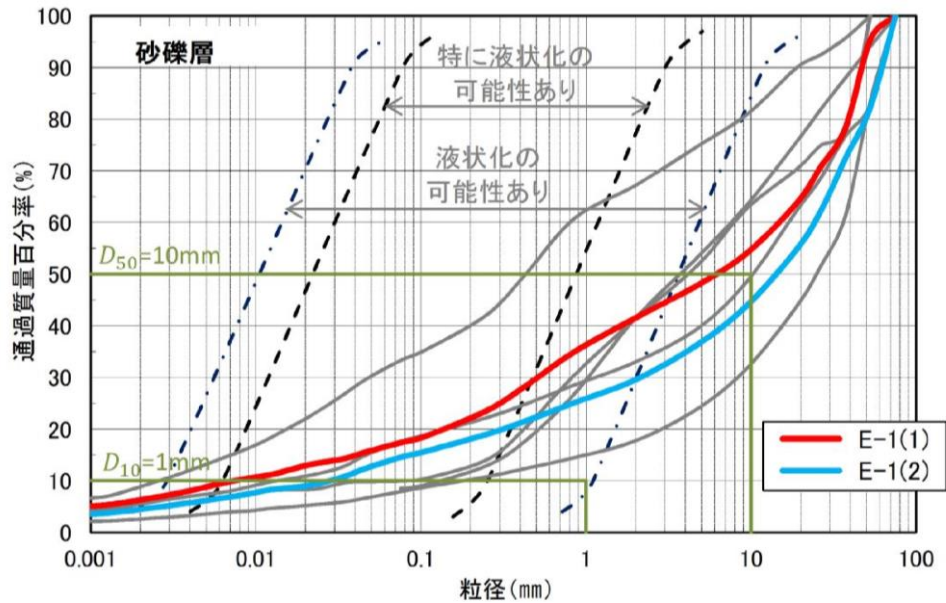


細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

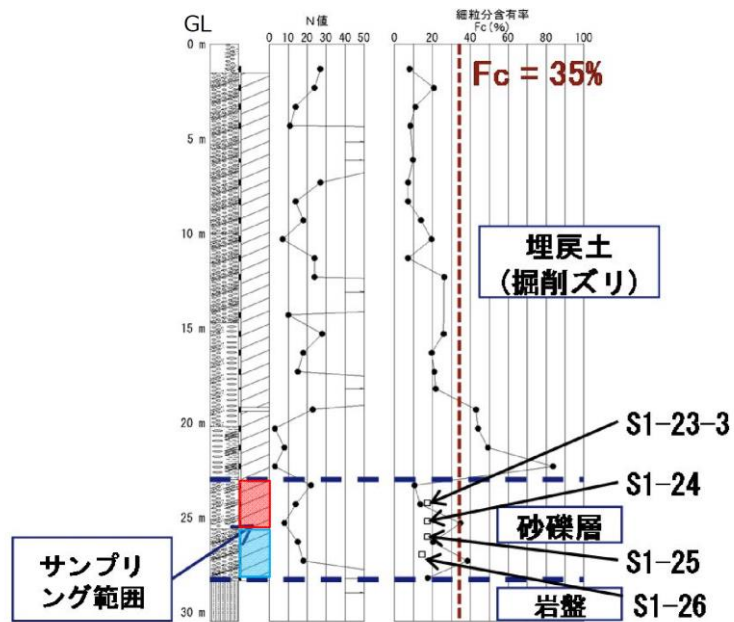
- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-8の採取深度

E-8 地点のボーリング調査試料および液状化試験試料の試験結果

第 3-1-14 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-8 の埋戻土 (掘削ズリ))



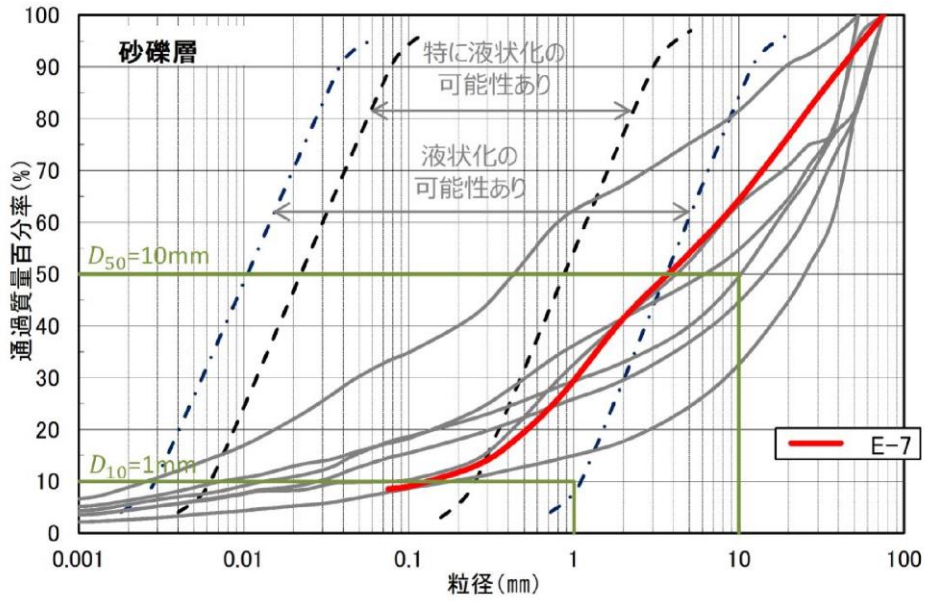
E-1 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



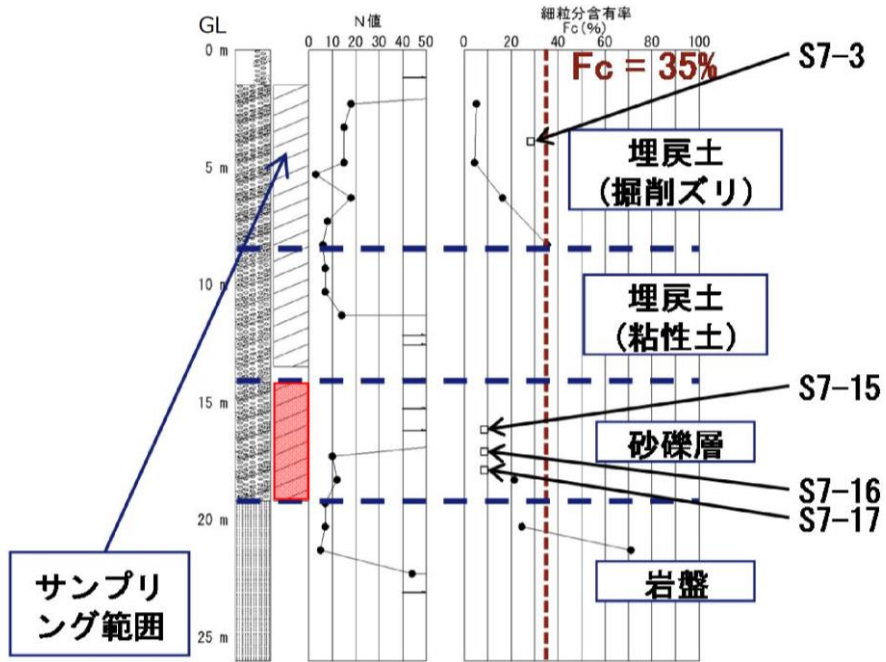
細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- (red) : E-1(1)の採取深度
- (blue) : E-1(2)の採取深度

E-1 地点のボーリング調査試料および液状化試験試料の試験結果
 第 3-1-15 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-1 の砂礫層)



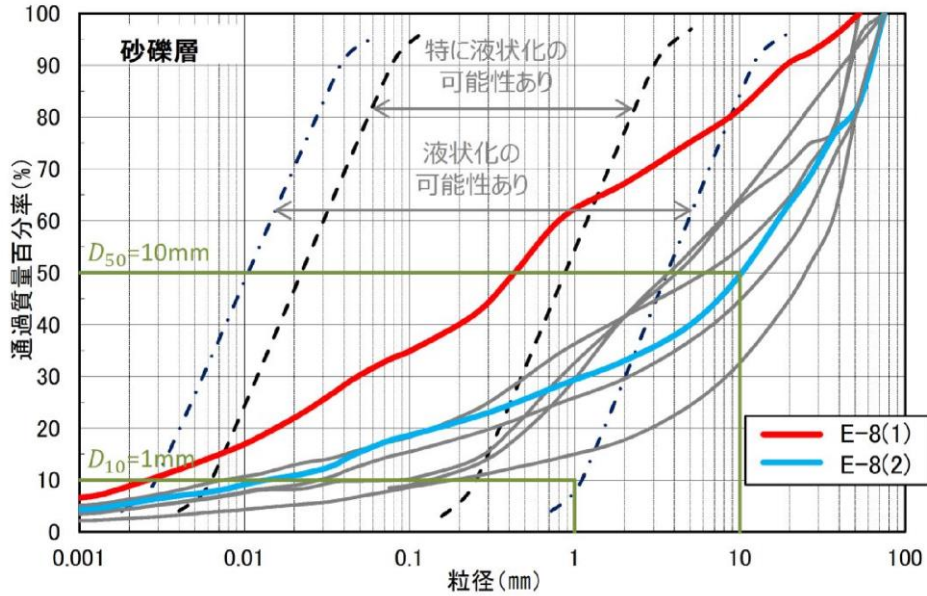
E-7 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



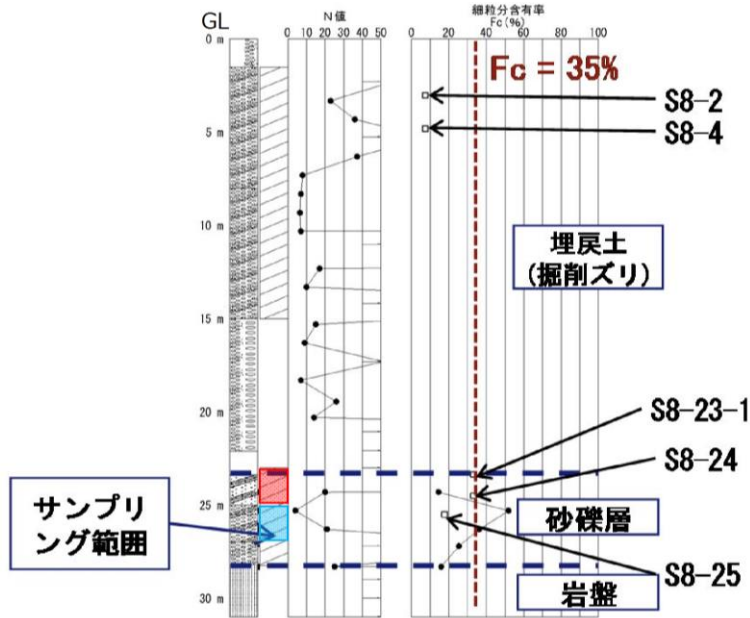
細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- : E-7の採取深度

E-7 地点のボーリング調査試料および液状化試験試料の試験結果
第 3-1-16 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-7 の砂礫層)



E-8 地点の液状化試験試料の粒径加積曲線



細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率

- : ボーリング調査試料の試験結果
- : 液状化試験試料の試験結果
- (赤) : E-8(1)の採取深度
- (青) : E-8(2)の採取深度

E-8 地点のボーリング調査試料および液状化試験試料の試験結果
第 3-1-17 図 液状化試験試料採取位置の基本物性 (E-8 の砂礫層)

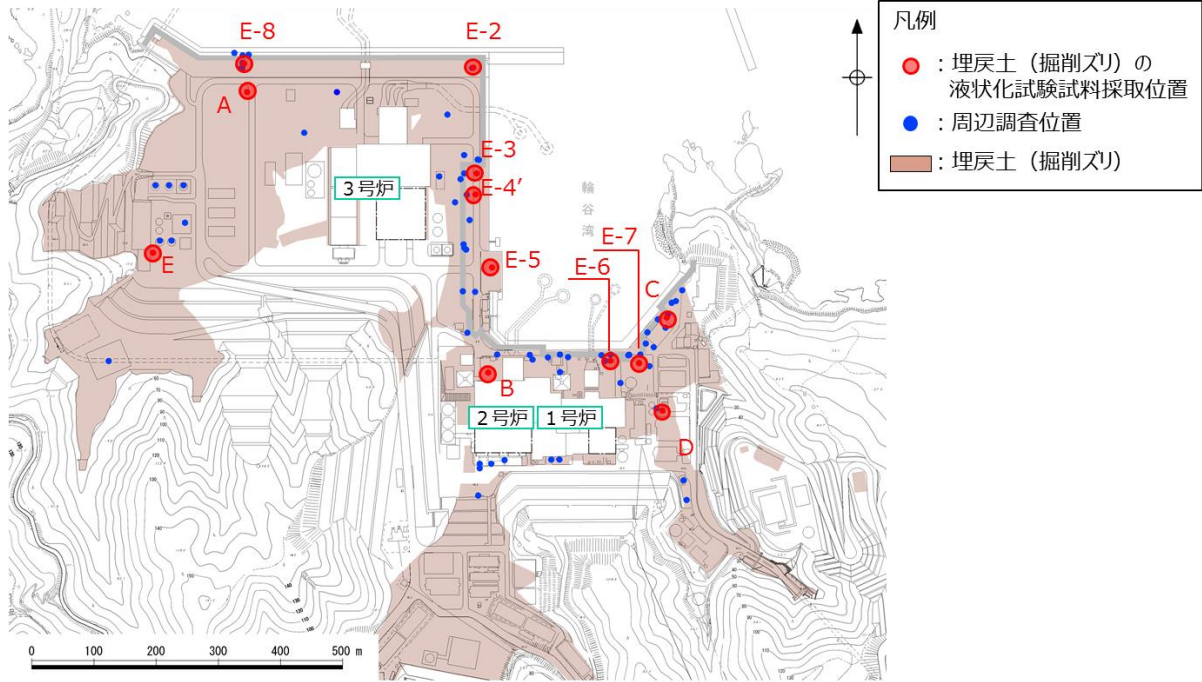
第3-1-2 表 各基準類における液状化強度比 R_L と基本物性の相関性

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

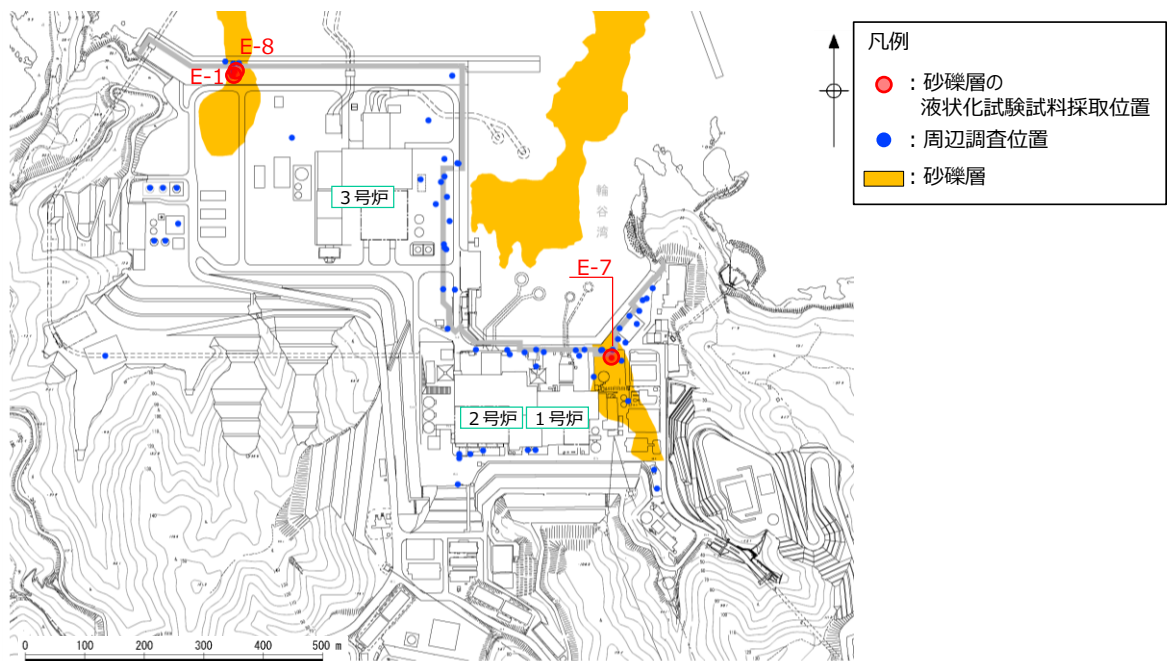
第3-1-3 表 各基準類における地盤物性値のばらつきに対する考え方

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とする。
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。

※ σ : 標準偏差

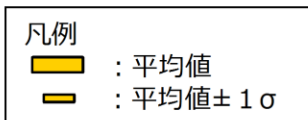
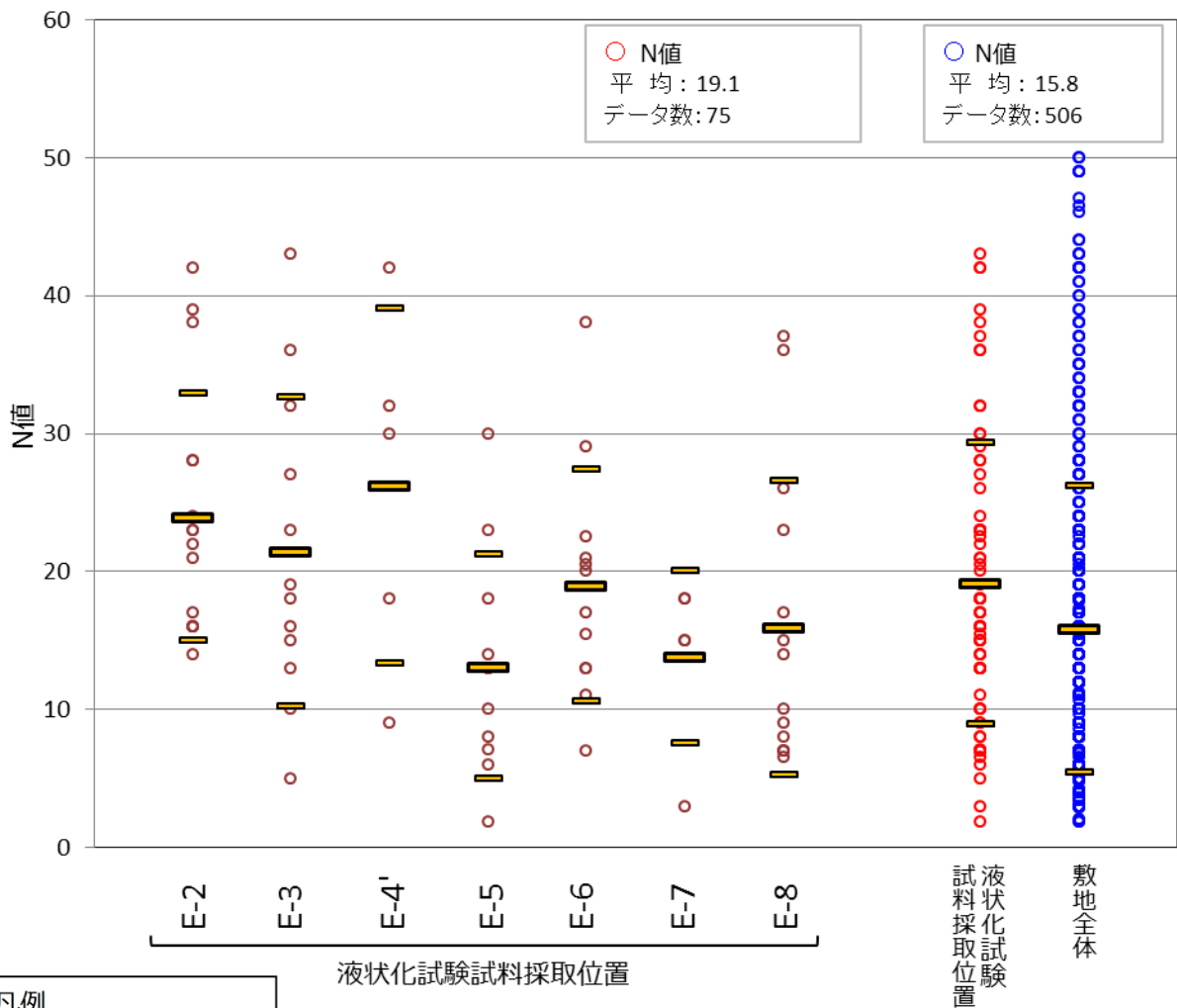
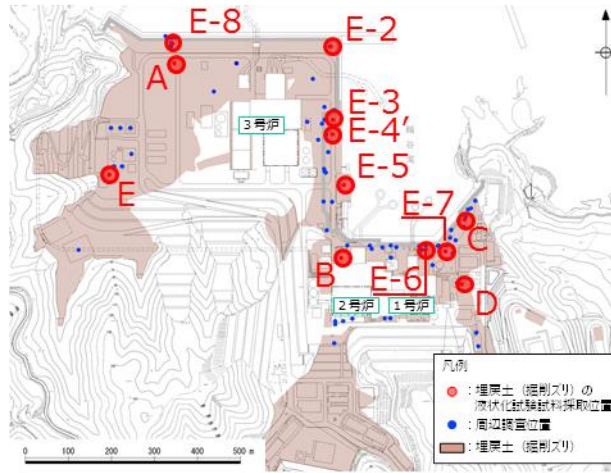


埋戻土(掘削ズリ)



砂礫層

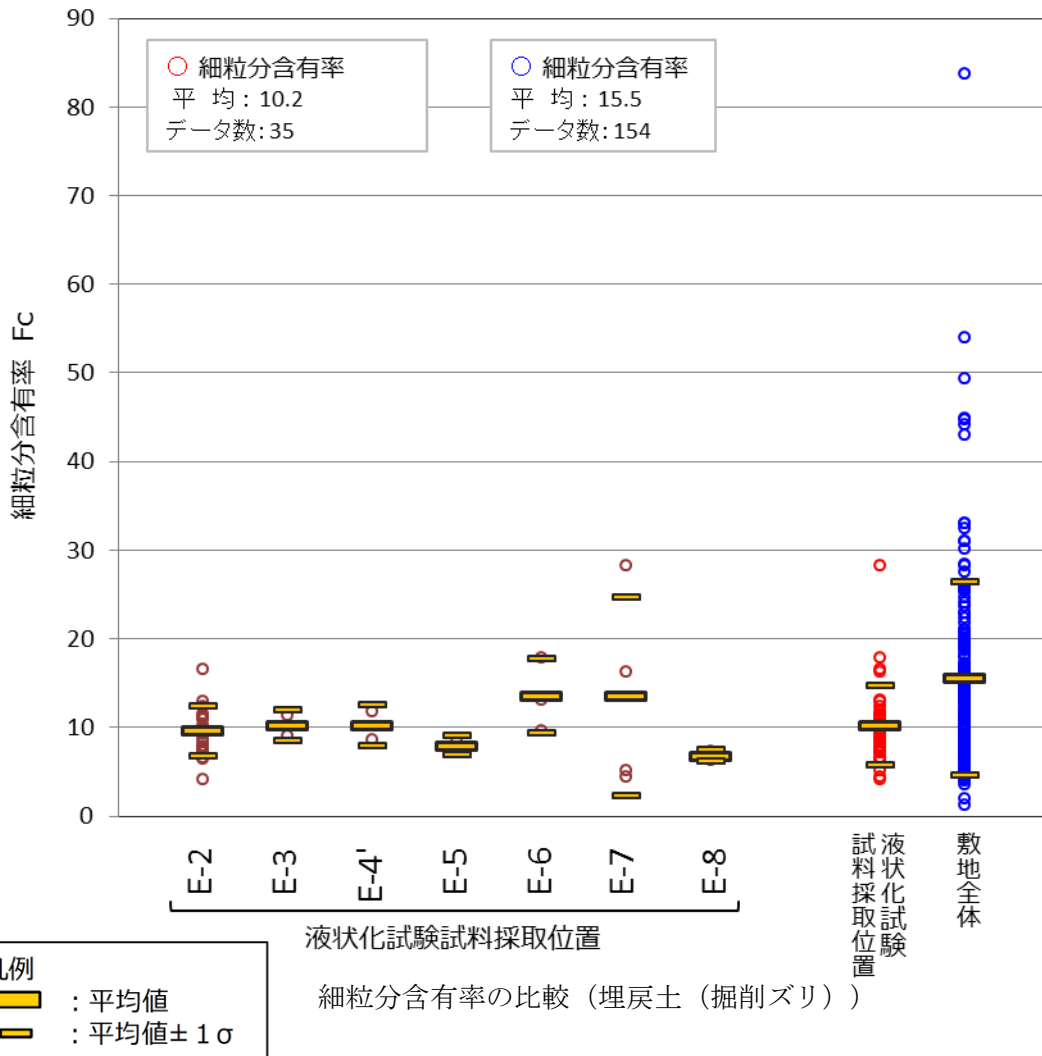
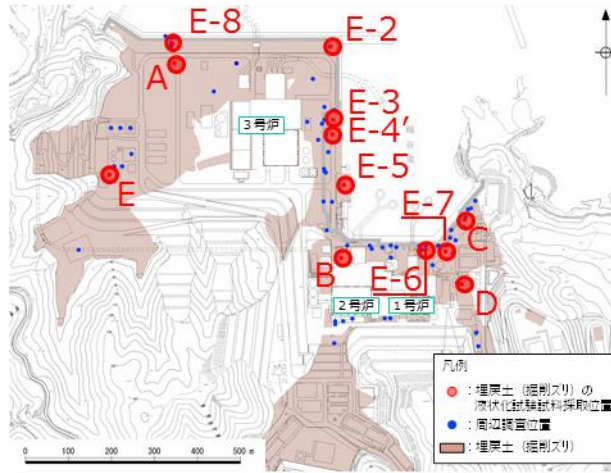
第3-1-18 図 比較対象位置図



N 値の比較 (埋戻土 (掘削ズリ))

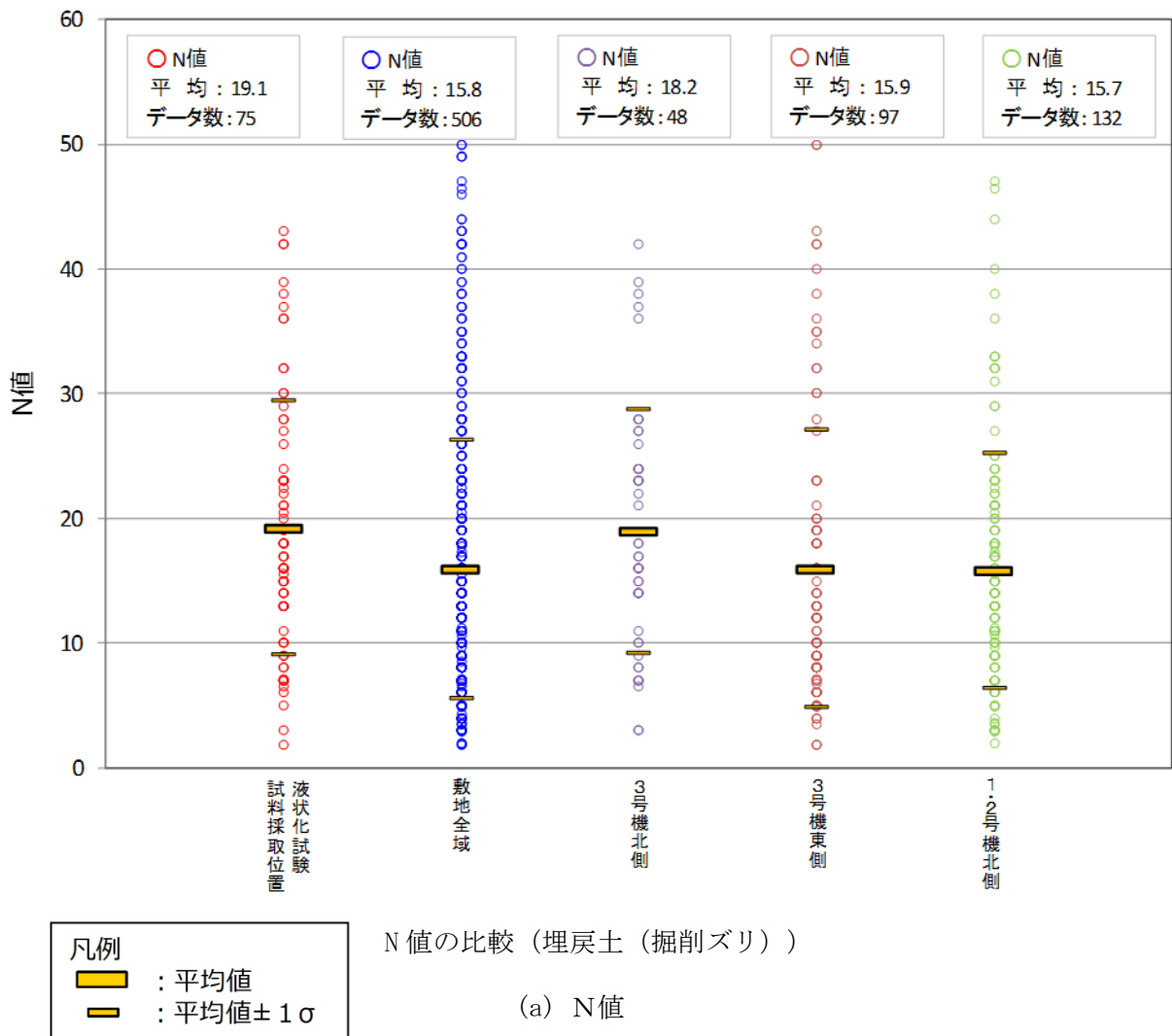
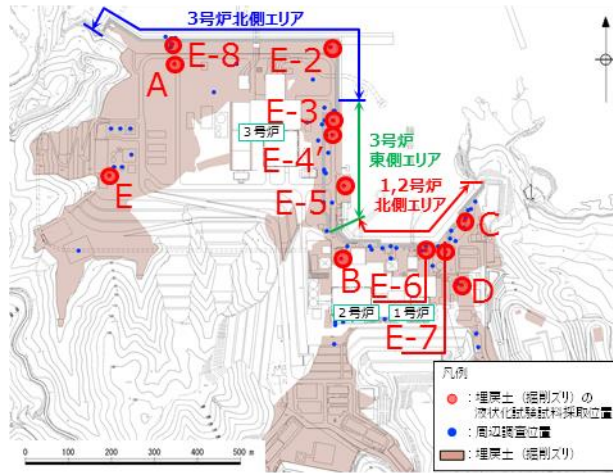
(a) N 値

第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (埋戻土 (掘削ズリ))

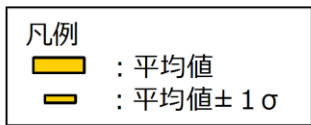
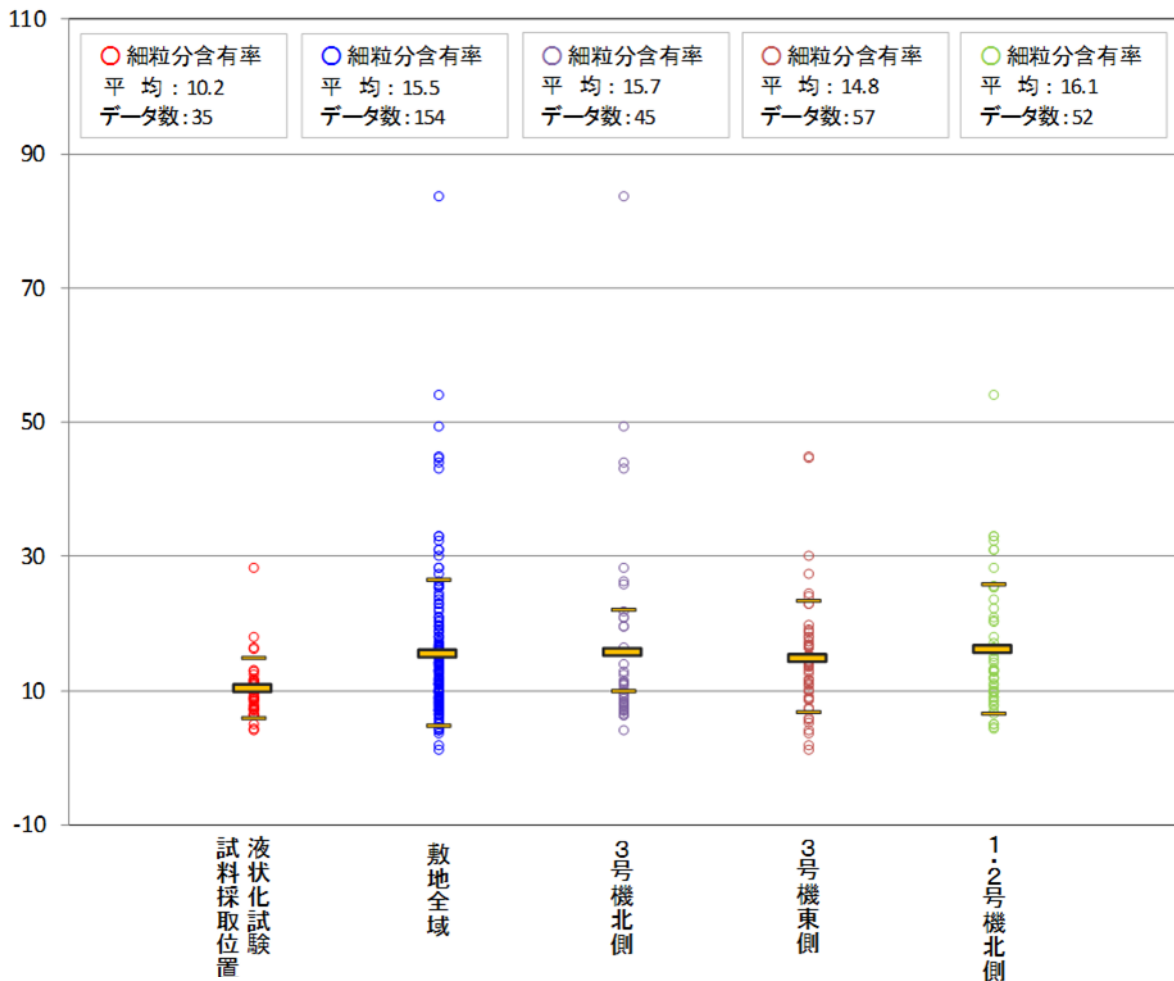
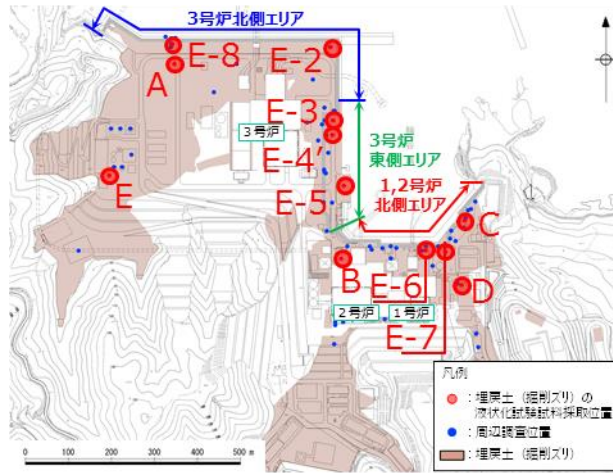


(b) 細粒分含有率

第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (埋戻土 (掘削ズリ))



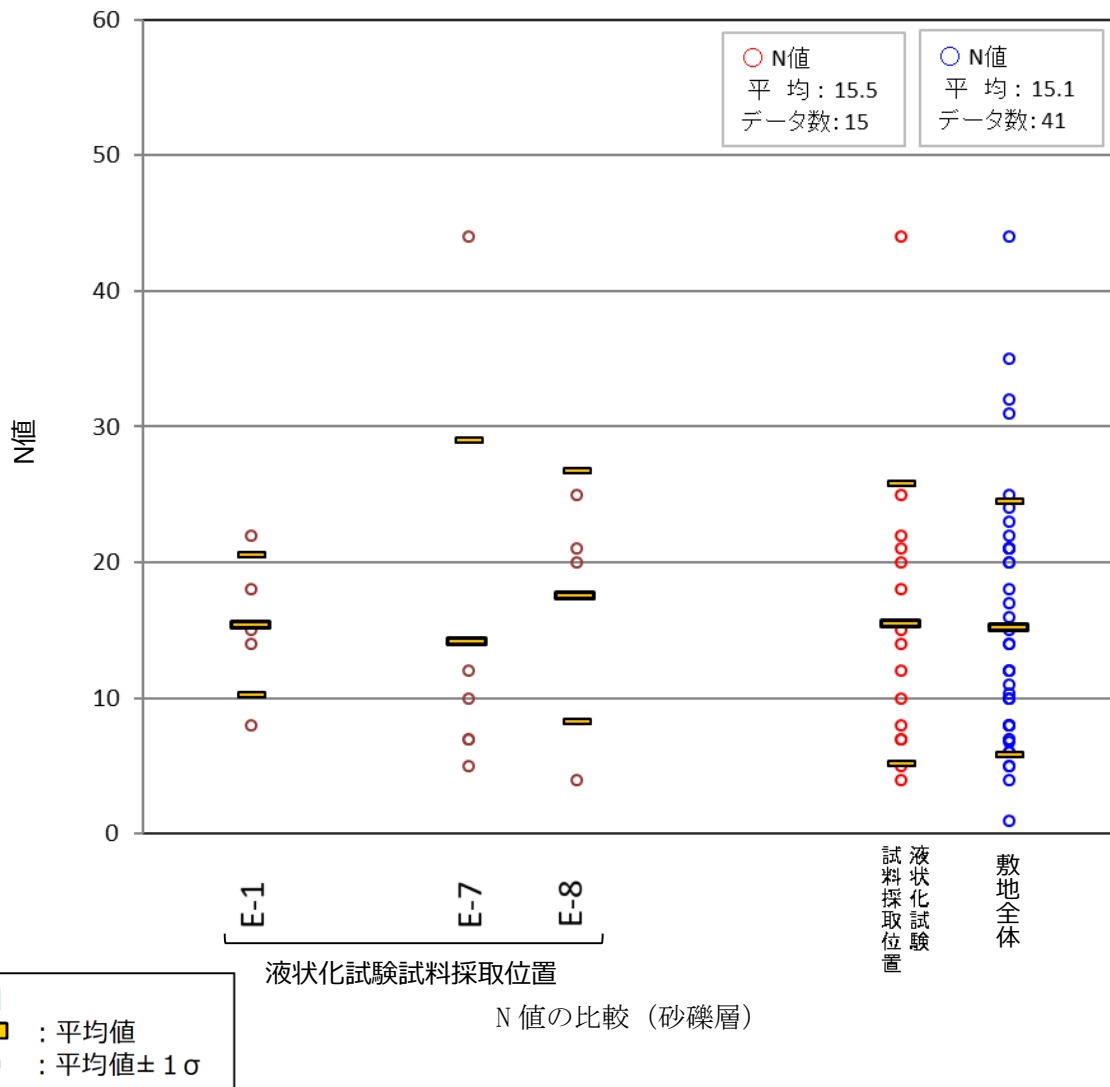
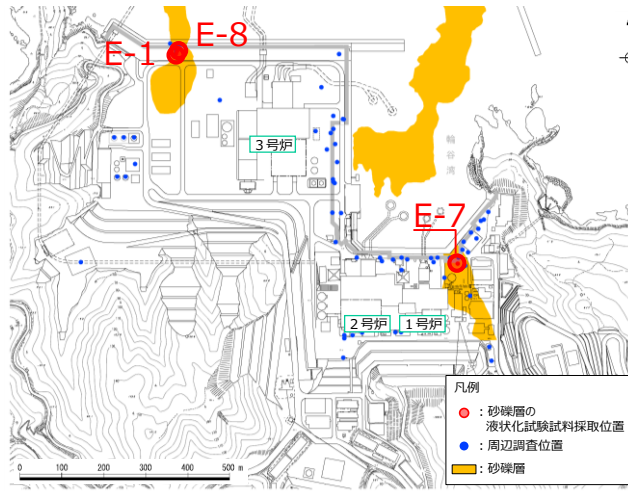
第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と防波壁近傍の基本物性比較 (埋戻土 (掘削ズリ))



細粒分含有率の比較（埋戻土（掘削ズリ））

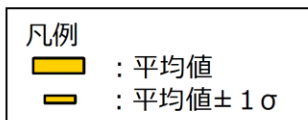
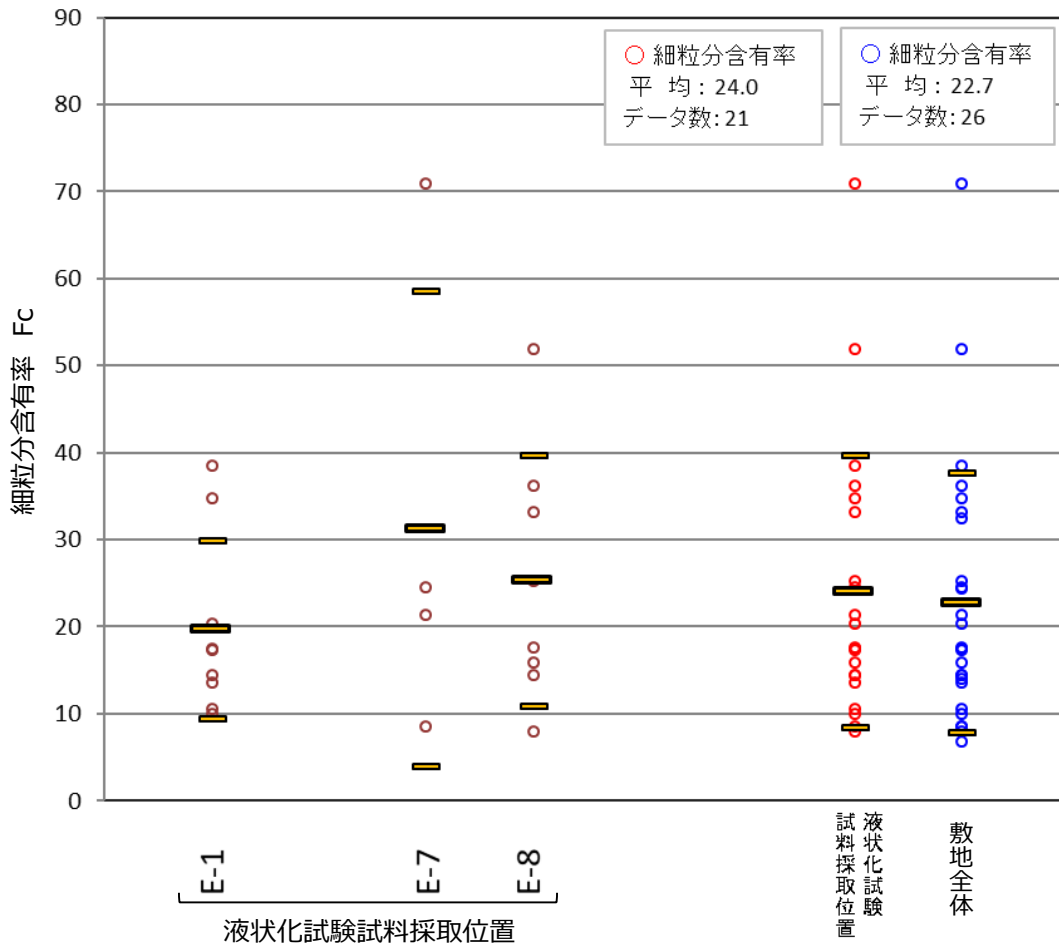
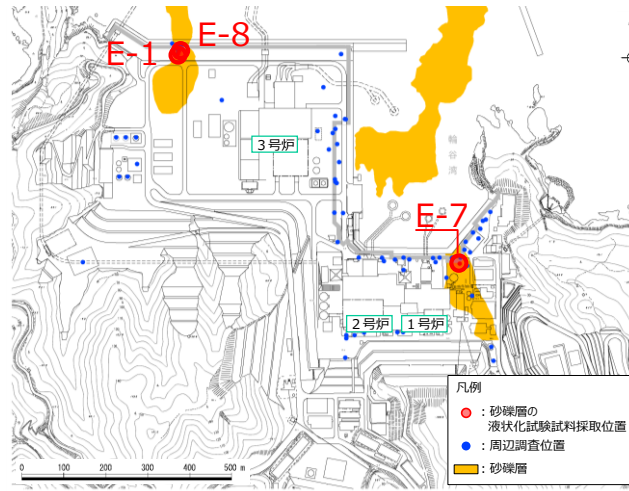
(b) 細粒分含有率

第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と防波壁近傍の基本物性比較（埋戻土（掘削ズリ））



(a) N値

第3-1-19 図 液化化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (砂礫層)



細粒分含有率の比較 (砂礫層)

(b) 細粒分含有率

第 3-1-19 図 液状化試験試料採取位置と敷地全体の基本物性比較 (砂礫層)

3.2 液状化試験結果

3.2.1 液状化試験方法

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）

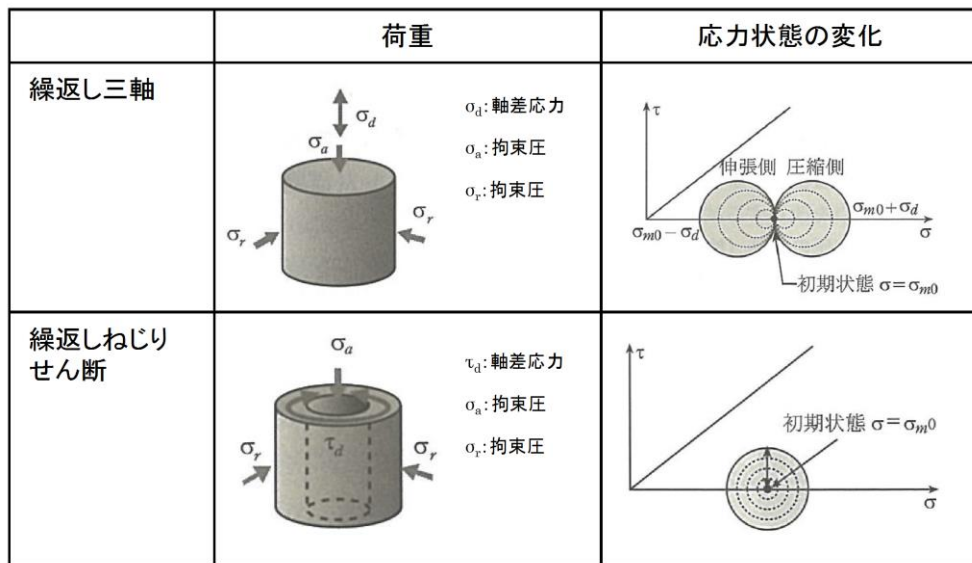
第3-2-1図に一般的な液状化試験方法の例を、第3-2-2 図に液状化試験結果の例を示す。

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。

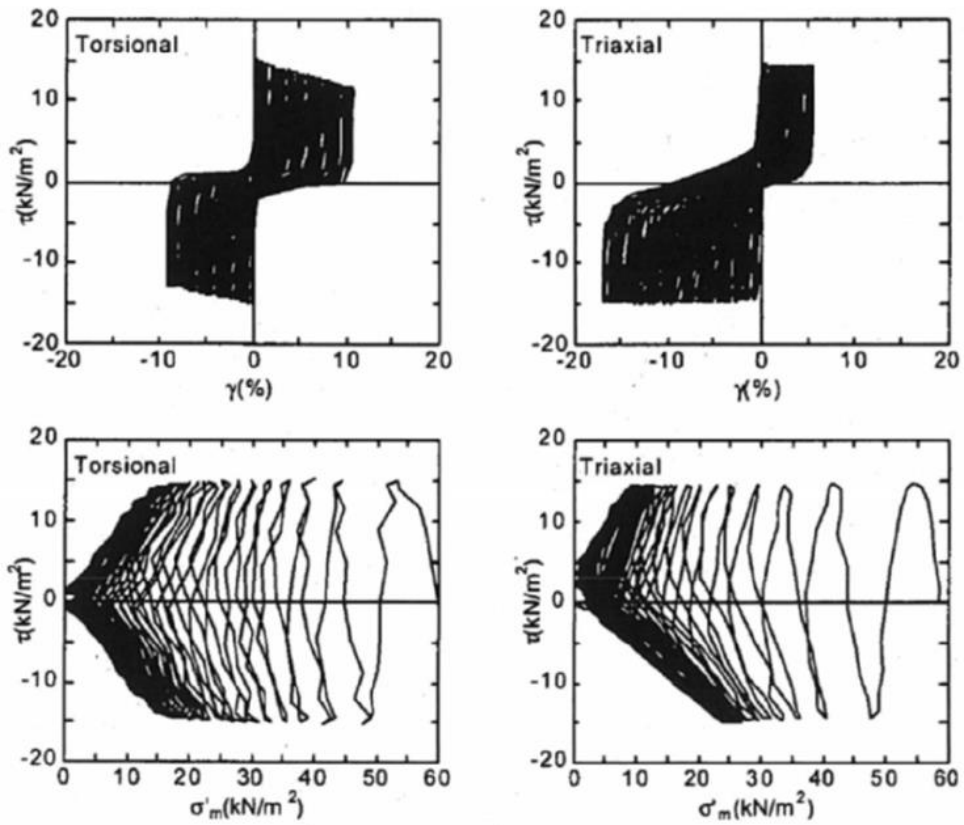
ただし、実務では装置や操作が比較的容易であり、実績の多い繰返し非排水三軸試験が用いられることが多い。また、繰返しねじりせん断試験では中空の円筒状の供試体を用いるので、粒径が大きい試料には適用が困難である。

以上を踏まえ、埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層を対象とした液状化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。

実施した繰返し非排水三軸試験の概要を第3-2-3 図に示す。



第3-2-1 図 一般的な液状化試験方法の例
（吉田，H22）



(a) 繰返しねじりせん断試験

(b) 繰返し非排水三軸試験

第3-2-2 図 液状化試験結果の例

[上図：応力-ひずみ関係，下図：応力経路]

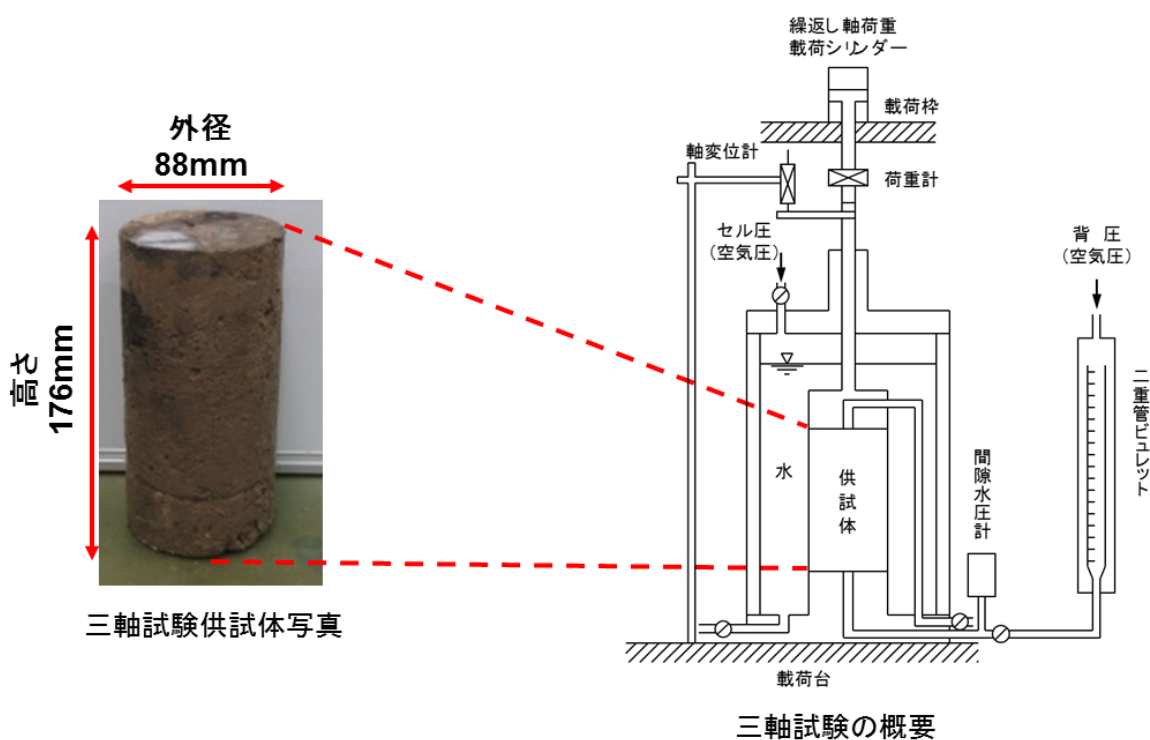
(土木学会，H15)

試験の概要

- ・土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541-2009）を参考に実施。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。



第3-2-3 図 繰返し非排水三軸試験の概要

3.2.2 液状化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。第3-2-4 図に地盤の強度とダイレイタンス特性の概要を示す。

【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】

繰返し载荷において土が「繰返し軟化」する過程で，限られたひずみ範囲ではせん断抵抗が小さくなくても，ひずみが大きく成長しようとする時，正のダイレイタンス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。

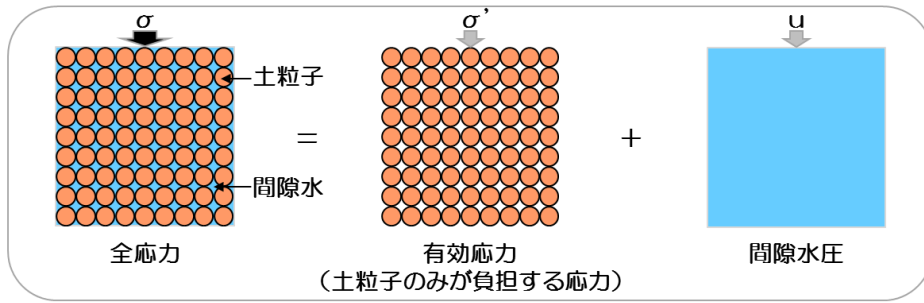
【繰返し軟化】

繰返し载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特性や粘性のためにひずみは有限の大きさにとどまり，大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。

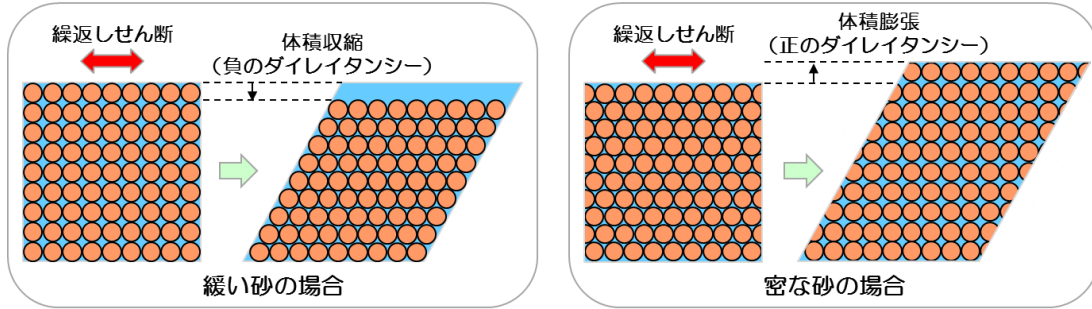
これらの事象のうちサイクリックモビリティは，その現象の違いから一般的に液状化とは区別されている（第3-2-1 表参照）。以下に既往文献におけるサイクリックモビリティの記述を示す。また，第3-2-5 図及び第3-2-6 図に緩い砂と密な砂の液状化試験結果の比較を示し，液状化とサイクリックモビリティの違いを整理した。

- ・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，ゆる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。



地盤の強度の概要



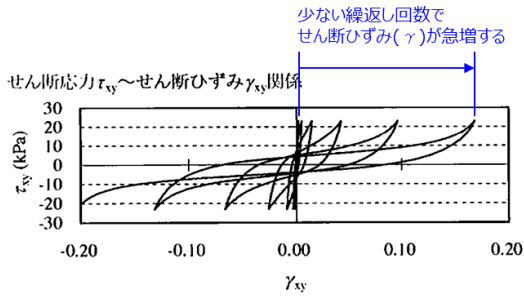
地盤のダイレイタンス特性の概要

第3-2-4 図 地盤の強度とダイレイタンス特性の概要

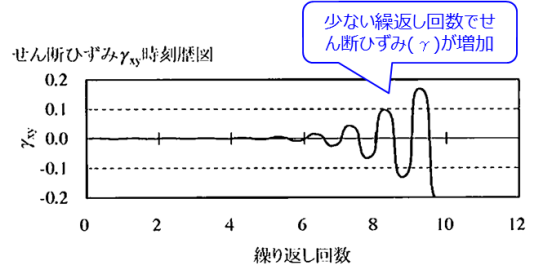
第3-2-1 表 液状化試験結果の分類

○:該当する ×:該当しない

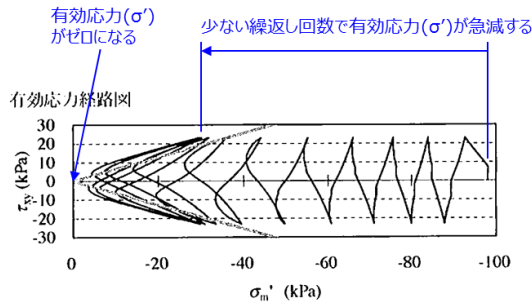
判定項目	液状化	繰返し軟化		非液状化
			サイクリックモビリティ	
・ 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○	○	○	×
・ 有効応力がゼロまで低下する。	○	×	○	×
・ 液体状となり流動する。 (ひずみが急増する。)	○	×	×	×
・ 正のダイレイタンス特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	×	○	○	○



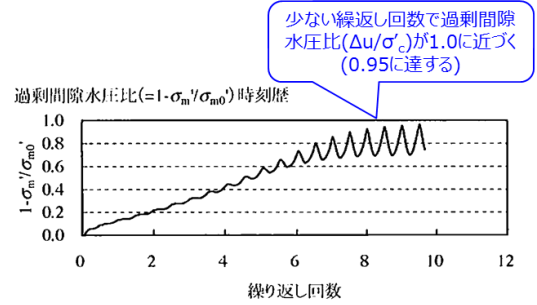
(a) せん断応力－せん断ひずみ関係



(c) せん断ひずみ



(b) 有効応力経路

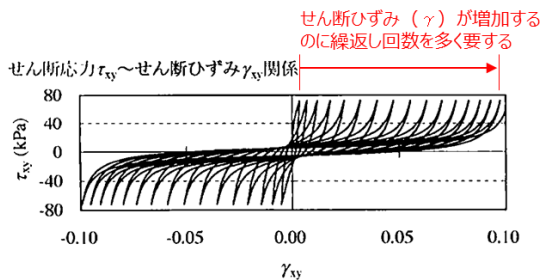


(d) 過剰間隙水圧比

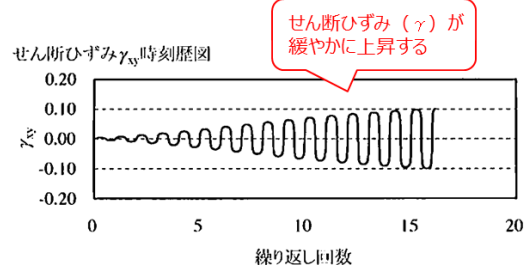
液状化試験の例 (液状化する場合)

1) 井合進：サイクリックモビリティ，地盤工学会誌，H20.10

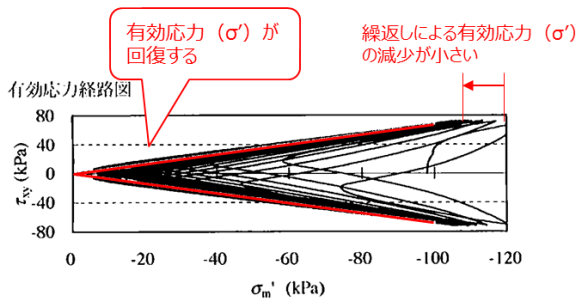
第3-2-5 図 緩い砂の液状化試験結果



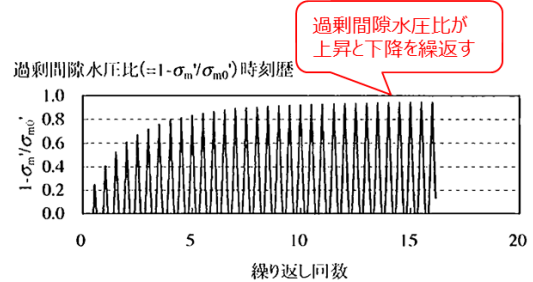
(a) せん断応力－せん断ひずみ関係



(c) せん断ひずみ



(b) 有効応力経路



(d) 過剰間隙水圧比

液状化試験の例 (繰返し軟化 (サイクリックモビリティを含む) の場合)

1) 井合進，飛田哲男，小堤治：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よるストレスダイレイタンス関係，京都大学防災研究所年報，第51号

第3-2-6 図 密な砂の液状化試験結果

3.2.3 試験結果の分類

第3-2-2～16 表に各土層の液状化試験結果を、第3-2-7～21 図に各土層の液状化試験結果の例を、第3-2-17 表に液状化試験結果のまとめを示す。

【E-2 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・いずれの試料においても、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【E-3 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・いずれの試料においても、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。

【E-4' 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・S4-5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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- ・S4-6, S4-8-2は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返すが、0.95を上回らなかった。

【E-5 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。

【E-6 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・S6-1-2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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- ・S6-1-1, S6-3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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【E-7 地点 (埋戻土(掘削ズリ))】

- ・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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。

【E-8地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・S8-4 ③は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- ・S8-2, S8-4 ④は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【A地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・A①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。
- ・A②は過剰間隙水圧比が0.95を上回る前に両振幅軸ひずみDAが10%を上回った。

【B地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・B①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。
- ・B②は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返すが、0.95を上回らなかった。

【C地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・C①～④は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【D地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・D①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返すが、0.95を上回らなかった。

【E地点（埋戻土(掘削ズリ)）】

- ・E①は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。

【E-1 地点（砂礫層）】

- S1-23-3, S1-24及びS1-25は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- S1-26は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【E-7 地点（砂礫層）】

- S7-15及びS7-17は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- S7-16は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

【E-8 地点（砂礫層）】

- S8-23-1及びS8-25は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性や粘性により回復した。
- S8-24は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、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した。また、有効応力は減少するがせん断変形時の正のダイレイタンシー特性により回復した。

埋戻土（掘削ズリ）の液状化試験は、土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）に準拠し実施した。

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（掘削ズリ）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（掘削ズリ）の液状化試験結果のうち、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第3-2-18表に示す。

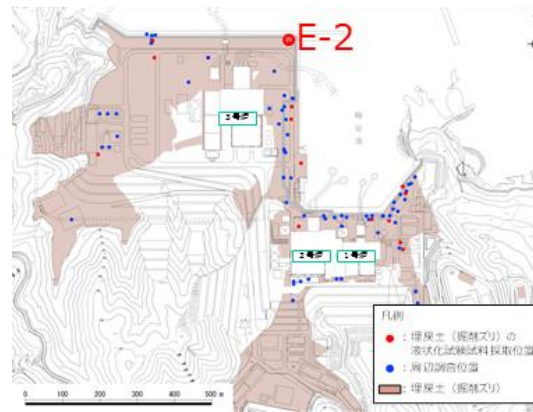
砂礫層の液状化試験は、土の繰返し非排水三軸試験方法（JGS 0541）に準拠し実施した。試験結果は過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づき（0.95を上回り）、せん断ひずみは緩やかに上昇する。また、有効応力は保持している、若しくは減少するがせん断変形時の正のダイレイタンス特性により回復した。これらの状況から、砂礫層は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）であると判断した。

これらの区分を整理して、第3-2-19表に示す。

すべての土層で、液状化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10mm超過、または、10%粒径が1mm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の記載に整合する。

埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は液状化を示さず、道路橋示方書の液状化判定法（FL法）が適用できないと考えられることから、埋戻土（掘削ズリ）について、液状化試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態を模擬していることを確認する。

第3-2-2 表 液状化試験結果 (E-2 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

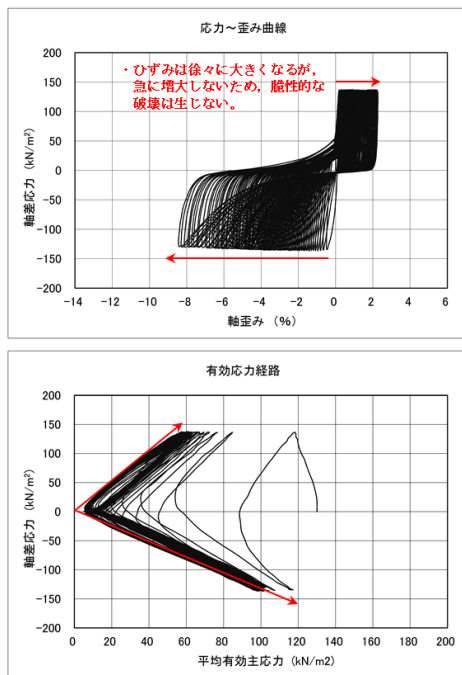


試料番号		S2-9	S2-10	S2-14-1	
深度 (m)		9.20~10.20	10.20~11.20	14.12~15.12	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)			
供試体 No.		1	1	1	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.714	2.716	2.723	
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		130	130	130	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_c$		0.463	0.522	0.551	
繰返し回数	軸ひずみ幅 両振幅	DA = 1%	1.5	2.5	0.6
		DA = 2%	2.5	9.5	1.5
		DA = 5%	6.0	37.6	5.0
		DA = 10%	-	92.9	7.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}	3.0	7.0	3.0	

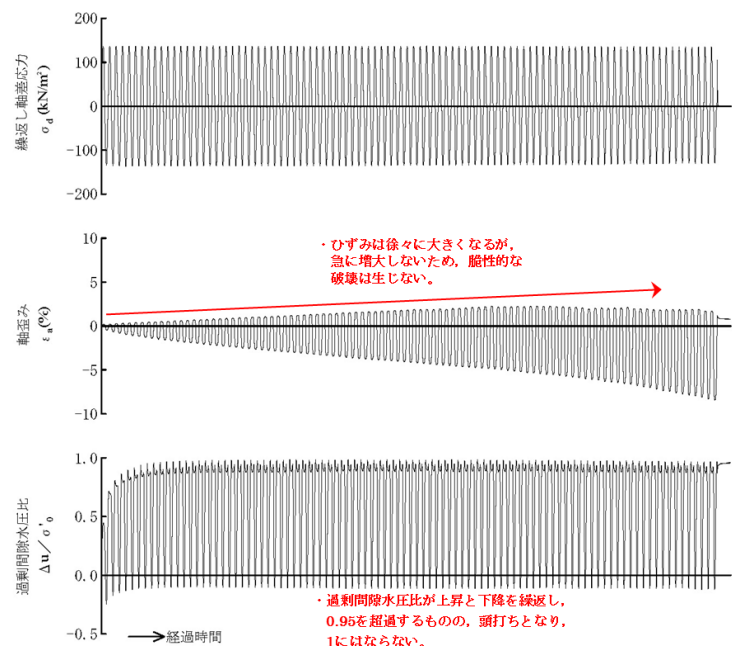
■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



・有効応力がほぼゼロまで低下するが、ダイレイタンス特性により有効応力が回復する。

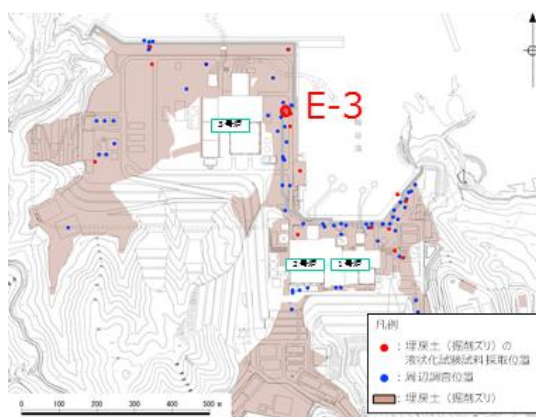


・ひずみは徐々に大きくなるが、急に増大しないため、脆性的な破壊は生じない。

・過剰間隙水圧比が上昇と下降を繰返し、0.95 を超えるものの、頭打ちとなり、1 にはならない。

第3-2-7 図 液状化試験結果の例 (E-2 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-3 表 液状化試験結果 (E-3 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

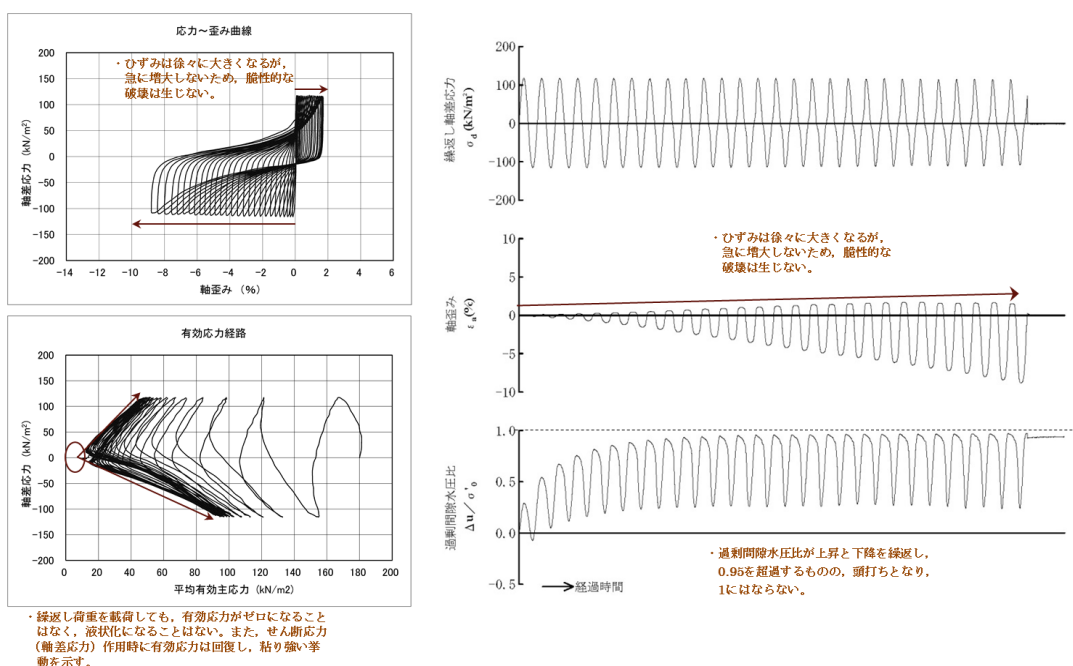


試料番号	S3-9-1	S3-9-2	S3-11		
深度 (m)	9.10~9.75	9.85~10.65	11.80~12.70		
土質材料	埋戻土 (掘削ズリ)				
供試体 No.	1	1	1		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.641	2.619	2.685		
圧密応力 σ'_0 (kN/m ²)	180	180	180		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.258	0.323	0.357		
繰返し回数	軸ひずみ	DA = 1%	20.9	4.5	3.5
		DA = 2%	28.9	7.5	5.5
		DA = 5%	49.8	14.1	10.0
		DA = 10%	97.9	26.9	-
過剰間隙水圧比 95% $N_{0.95}$		40.0	12.0	9.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

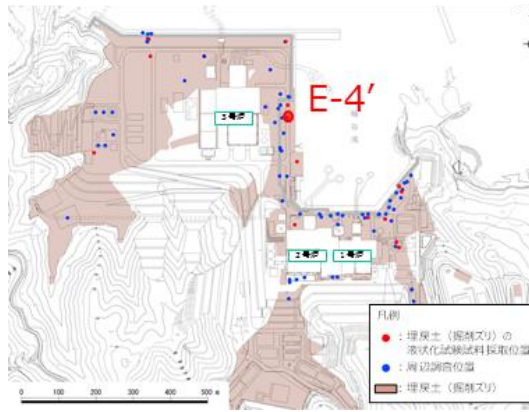
□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-8 図 液状化試験結果の例 (E-3 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-4 表 液状化試験結果 (E-4' 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

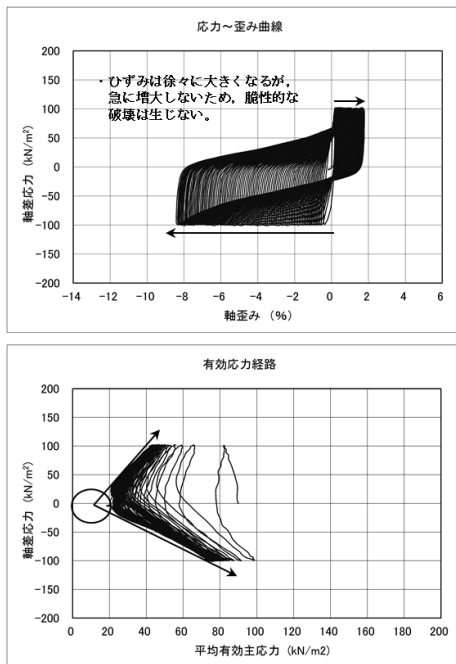


試料番号		S4-5	S4-6	S4-8-2		
深度 (m)		5.50~6.50	6.50~7.50	8.90~9.90		
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)				
供試体 No.		1	2	1		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.746	2.733	2.648		
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		90	90	90		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$		0.336	0.435	0.560		
繰返し回数	軸両振幅 ひずみ	DA = 1%	9.5	10.6	4.0	0.5
		DA = 2%	14.9	21.2	13.6	0.9
		DA = 5%	27.7	45.9	38.7	2.5
		DA = 10%	49.8	90.4	94.7	5.5
	過剰間隙水圧比 95% $N_{u,95}$	20.0	52.0	=	=	

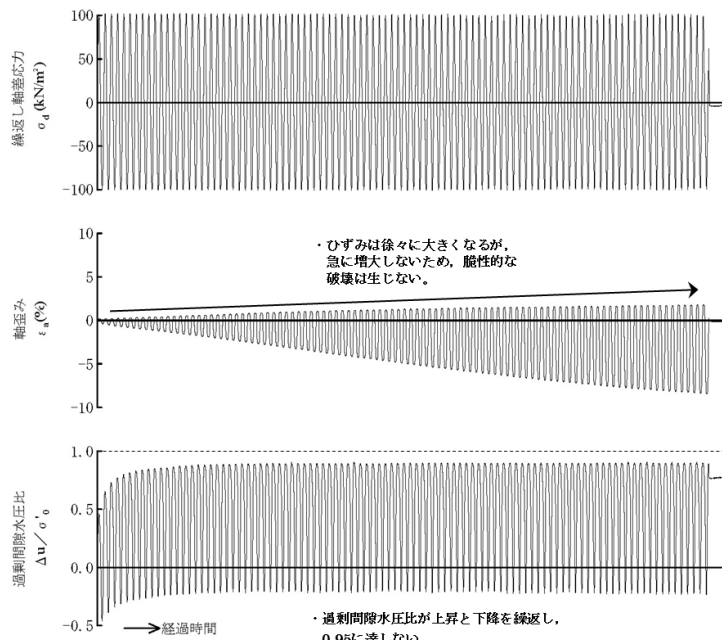
■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果

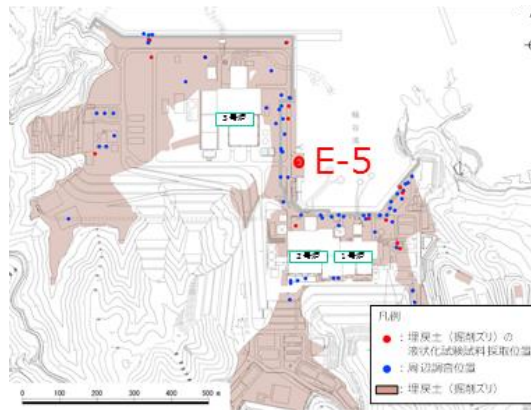


・繰返し荷重を載荷しても、有効応力がゼロになることはなく、液状化になることはない。



第3-2-9 図 液状化試験結果の例 (E-4' 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-5 表 液状化試験結果 (E-5 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

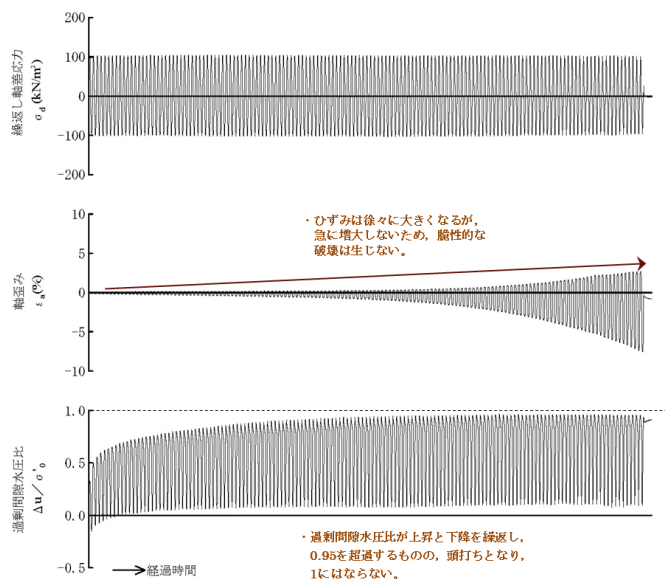
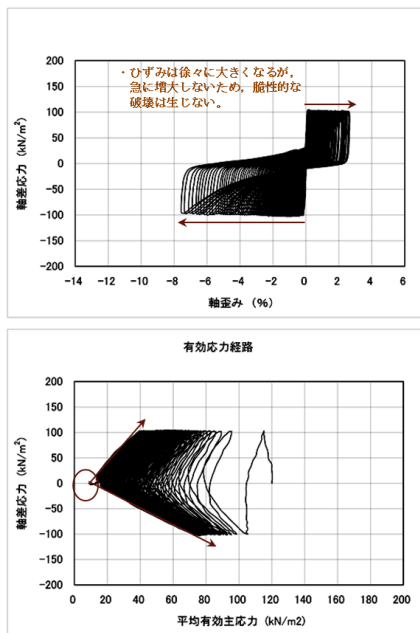


試料番号		S5-1	S5-3	
深度 (m)		1.50~2.35	3.35~3.98	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)		
供試体 No.		1	1	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.687	2.705	
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		120	120	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$		0.426	0.647	
繰返し回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	66.9	15.8
		DA = 2%	94.6	29.2
		DA = 5%	121.6	62.2
		DA = 10%	145.0	115.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}	91.0	41.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

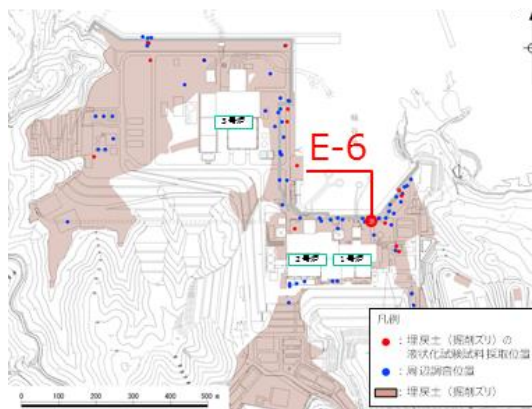
□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-10 図 液状化試験結果の例 (E-5 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-6 表 液状化試験結果 (E-6 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

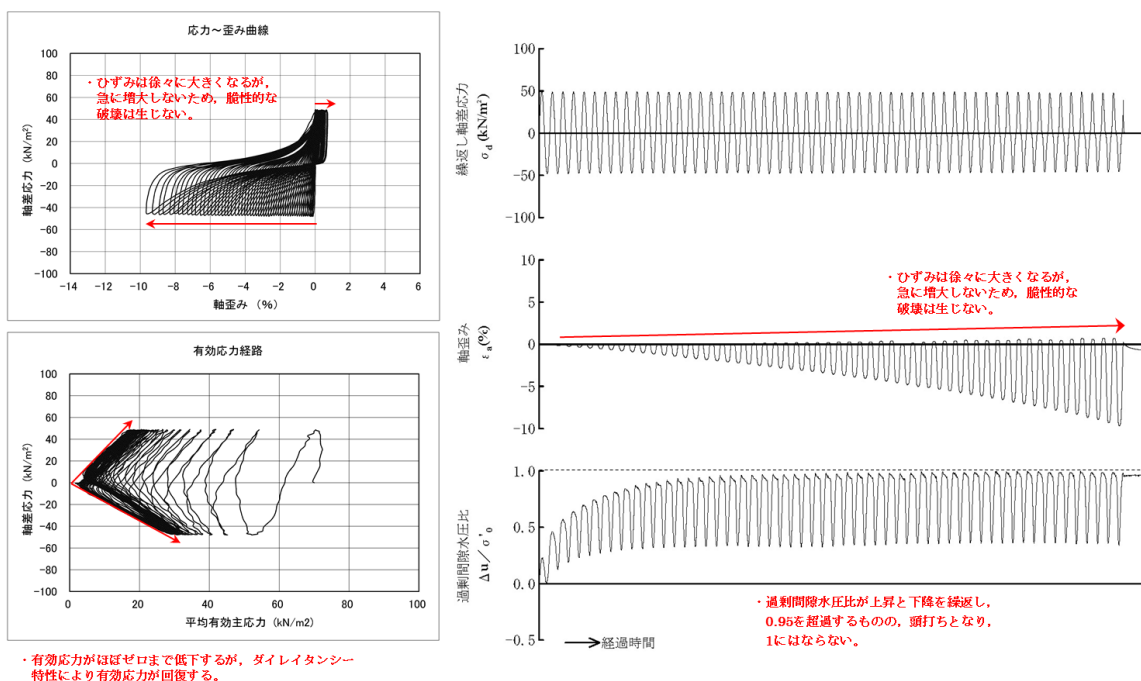


試料番号	S6-1-1	S6-1-2	S6-3		
深度 (m)	1.50~1.86	1.86~2.86	3.00~4.00		
土質材料	埋戻土 (掘削ズリ)				
供試体 No.	1	1	1		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.663	2.685	2.695		
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	70	70	70		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_0$	0.276	0.461	0.345		
繰返し回数	軸 向 振 幅	DA = 1%	30.6	8.0	10.0
		DA = 2%	41.9	17.8	16.9
		DA = 5%	69.9	34.7	35.6
		DA = 10%	118.7	47.9	54.0
過剰間隙水圧比 95% N_{u95}			43.0	30.0	17.0

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

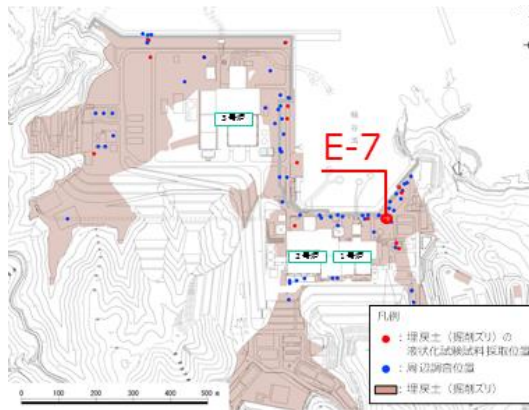
□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-11 図 液状化試験結果の例 (E-6 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-7 表 液状化試験結果 (E-7地点の埋戻土 (掘削ズリ))

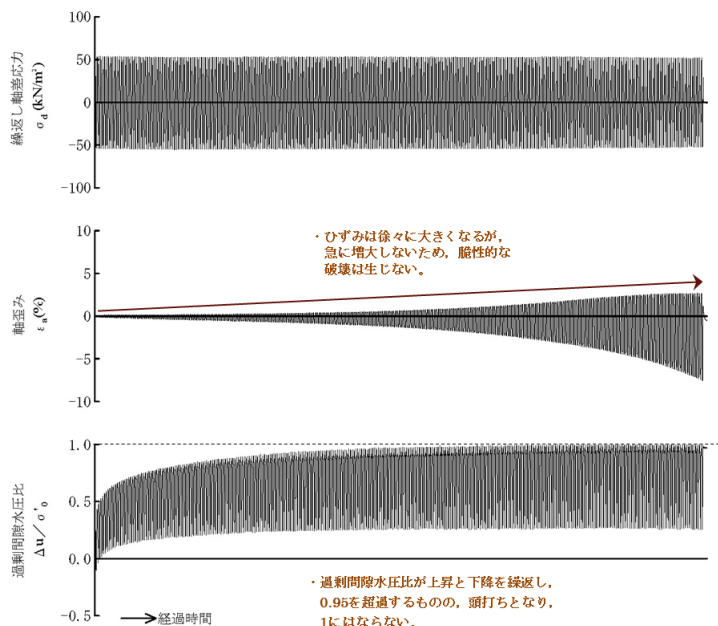
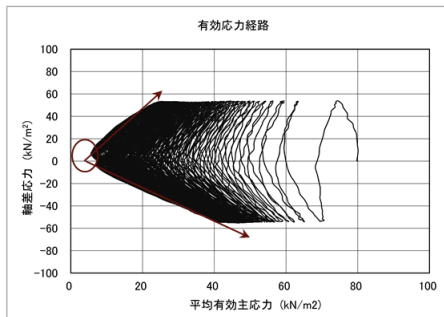
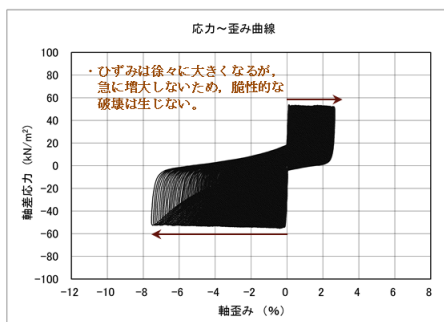


試料番号		S7-3			
深度 (m)		3.40~4.40	3.40~4.40	3.40~4.40	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)			
供試体 No.		1	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.701	2.701	2.701	
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		80	80	80	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_c$		0.336	0.457	0.366	
繰返し回数	軸ひずみ 両振幅	DA = 1%	96.6	0.8	9.0
		DA = 2%	167.7	2.5	21.3
		DA = 5%	252.8	10.9	52.9
		DA = 10%	324.6	24.8	99.3
	過剰間隙水圧比 95% N_{95}		127.0	14.0	38.0

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

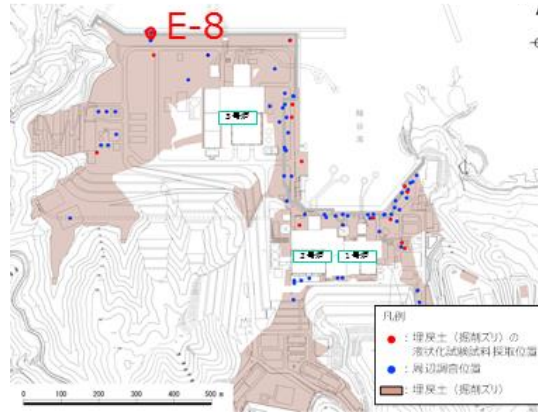
□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-12 図 液状化試験結果の例 (E-7地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-8 表 液状化試験結果 (E-8 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

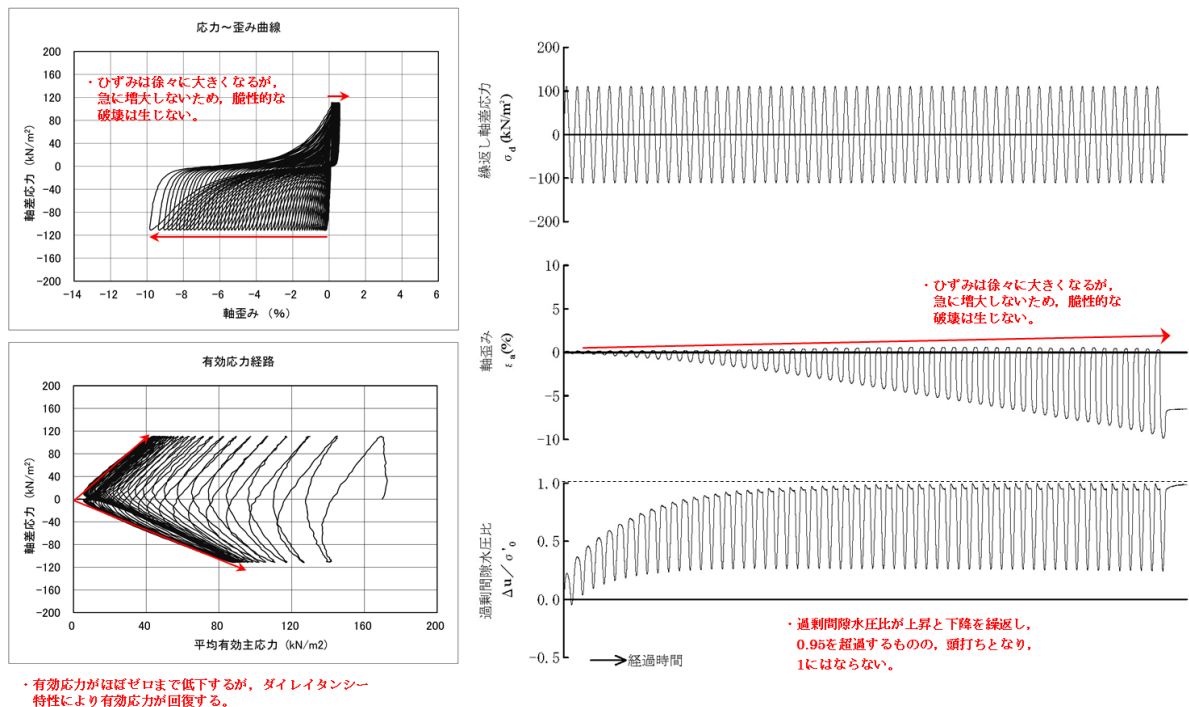


試料番号		S8-2	S8-4		
深度 (m)		2.50~3.50	4.50~5.00		
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)			
供試体 No.		2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.672	2.670		
圧密応力 σ'_v (kN/m ²)		170	170		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_v$		0.327	0.351	0.403	
繰返し回数	軸ひずみ 両振幅	DA = 1%	9.5	5.5	2.0
		DA = 2%	16.8	10.9	5.5
		DA = 5%	31.6	23.6	22.8
		DA = 10%	55.8	34.8	66.8
過剰間隙水圧比 95% N_{U95}		19.0	6.0	3.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

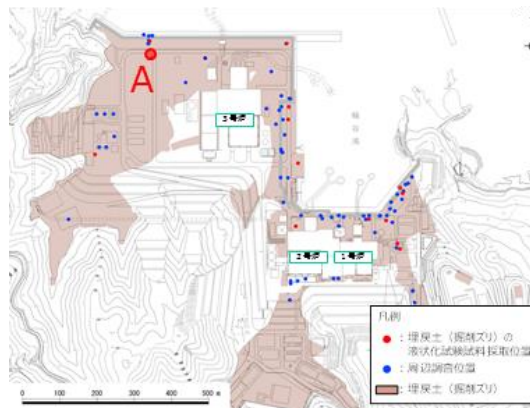
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-13 図 液状化試験結果の例 (E-8 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-9 表 液状化試験結果 (A地点の埋戻土 (掘削ズリ))

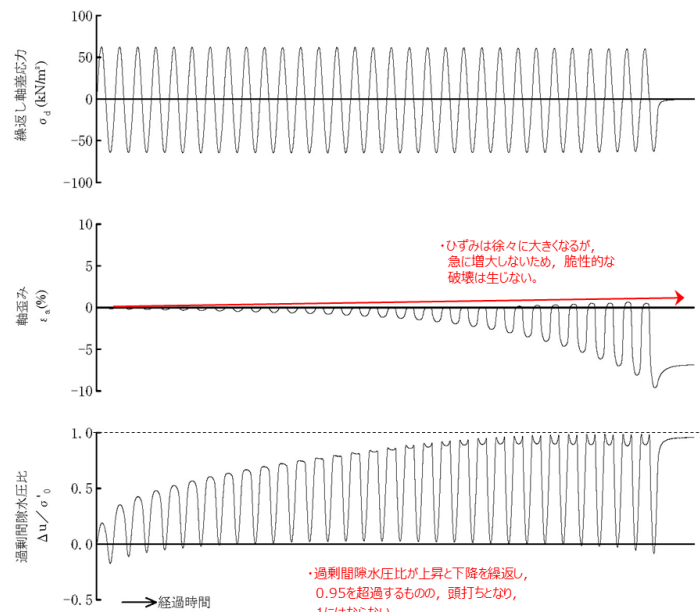
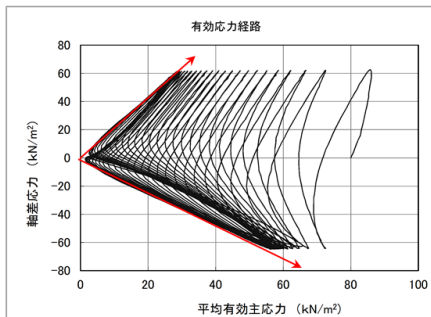
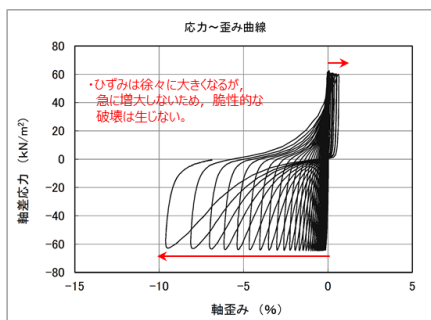


試験番号		A		
深度 (m)		0.30~0.70	0.30~0.70	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)		
供試体 No.		1	2	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.647	2.647	
圧密応力 σ'_{v0} (kN/m ²)		80	80	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_{v0}$		0.395	0.498	
繰返し回数	軸ひずみ幅	DA = 1%	14.9	7.0
		DA = 2%	20.5	10.0
		DA = 5%	26.2	13.0
		DA = 10%	31.0	16.0
過剰間隙水圧比 95% N_{95}		22.0	-	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)

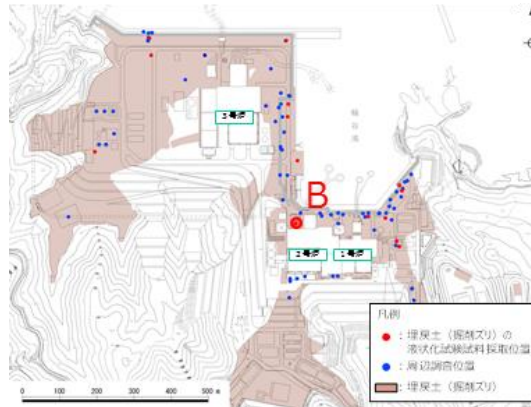
□ : DA=5% の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-14 図 液状化試験結果の例 (A地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第 3-2-10 表 液状化試験結果 (B地点の埋戻土 (掘削ズリ))

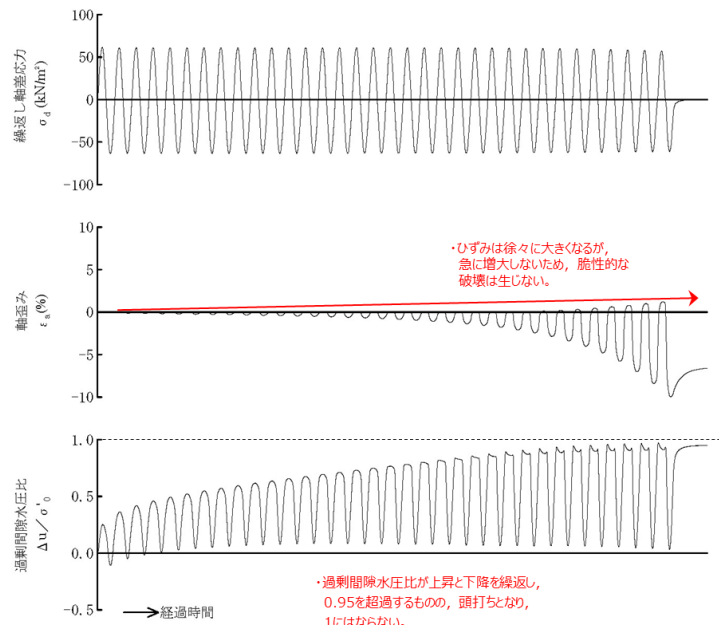
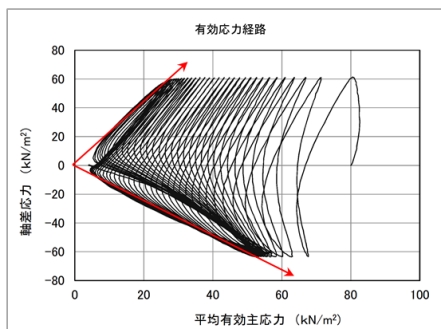
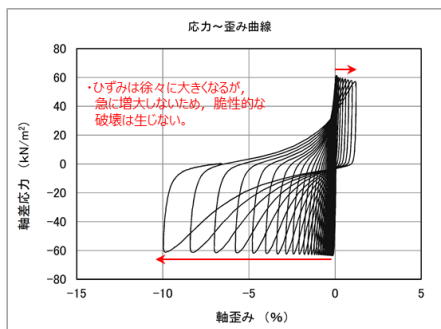


試料番号		B		
深度 (m)		0.30~0.90	0.30~0.90	
土質材料		埋戻土 (掘削ズリ)		
供試体 No.		1	2	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.684	2.684	
圧密応力 σ'_{v0} (kN/m ²)		80	80	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_{v0}$		0.388	0.452	
繰返し回数	軸ひずみ 両振幅	DA = 1%	18.9	12.0
		DA = 2%	24.7	15.0
		DA = 5%	29.8	17.0
		DA = 10%	33.6	19.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{L95}	29.0	-	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

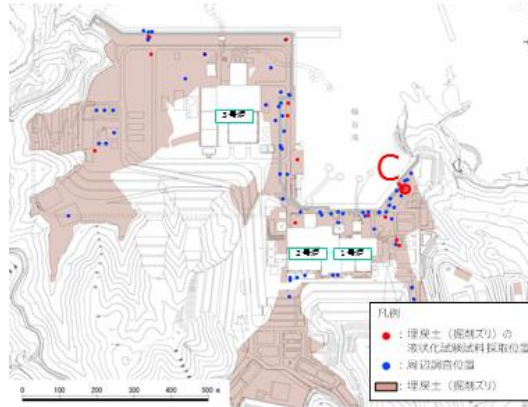
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第 3-2-15 図 液状化試験結果の例 (B地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第 3-2-11 表 液状化試験結果 (C地点の埋戻土 (掘削ズリ))

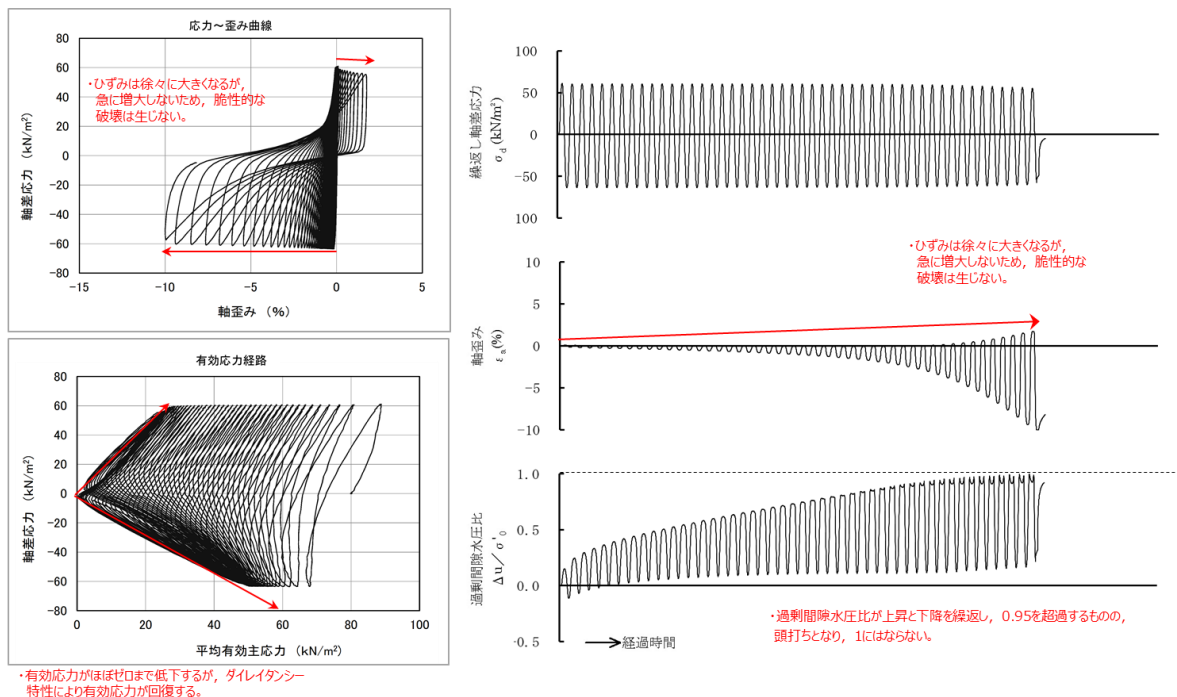


試料番号		C				
深度 (m)	0.30~0.90	0.30~0.90	0.30~0.90	0.30~0.90	0.30~0.90	
土質材料	埋戻土 (掘削ズリ)					
供試体 No.	1	2	3	4		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.659	2.659	2.659	2.659		
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	120	80	80	80		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_c$	0.350	0.391	0.514	0.655		
繰返し回数	軸ひずみ 両振幅	DA = 1%	28.0	24.0	6.5	1.5
		DA = 2%	36.0	33.0	11.0	4.5
		DA = 5%	42.0	40.0	17.0	8.0
		DA = 10%	47.0	46.0	21.0	10.0
	過剰間隙水圧比 95% N_{95}	43.0	39.0	18.0	9.5	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

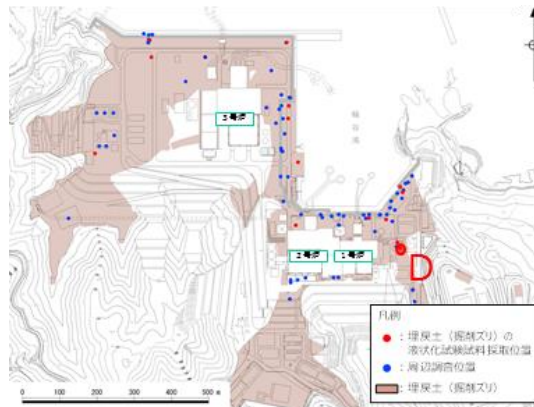
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第 3-2-16 図 液状化試験結果の例 (C地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第 3-2-12 表 液状化試験結果 (D地点の埋戻土 (掘削ズリ))

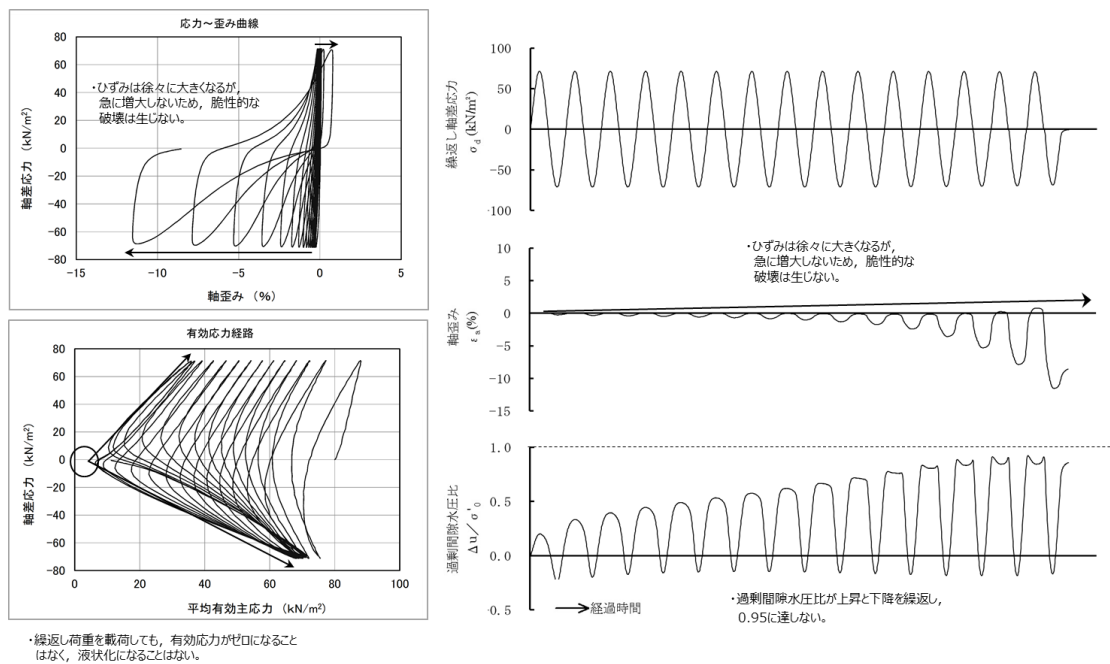


試料番号	D		
深度 (m)	0.30~0.50		
土質材料	埋戻土 (掘削ズリ)		
供試体 No.	1		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.653		
圧密応力 σ'_{v0} (kN/m ²)	80		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_{v0}$	0.446		
繰返し回数	軸ひずみ幅	DA = 1%	8.5
		DA = 2%	11.0
		DA = 5%	13.0
		DA = 10%	15.0
	過剰間隙水圧比 N_{u95}	95%	-

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

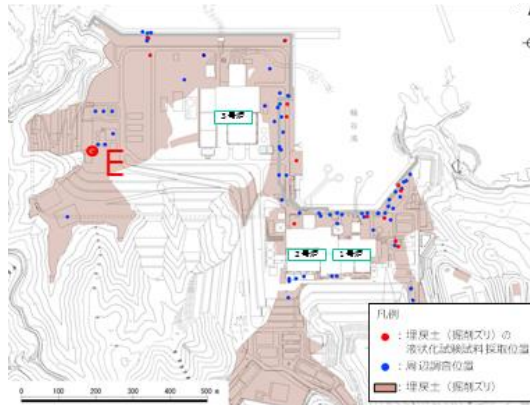
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第 3-2-17 図 液状化試験結果の例 (D地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第 3-2-13 表 液状化試験結果 (E 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

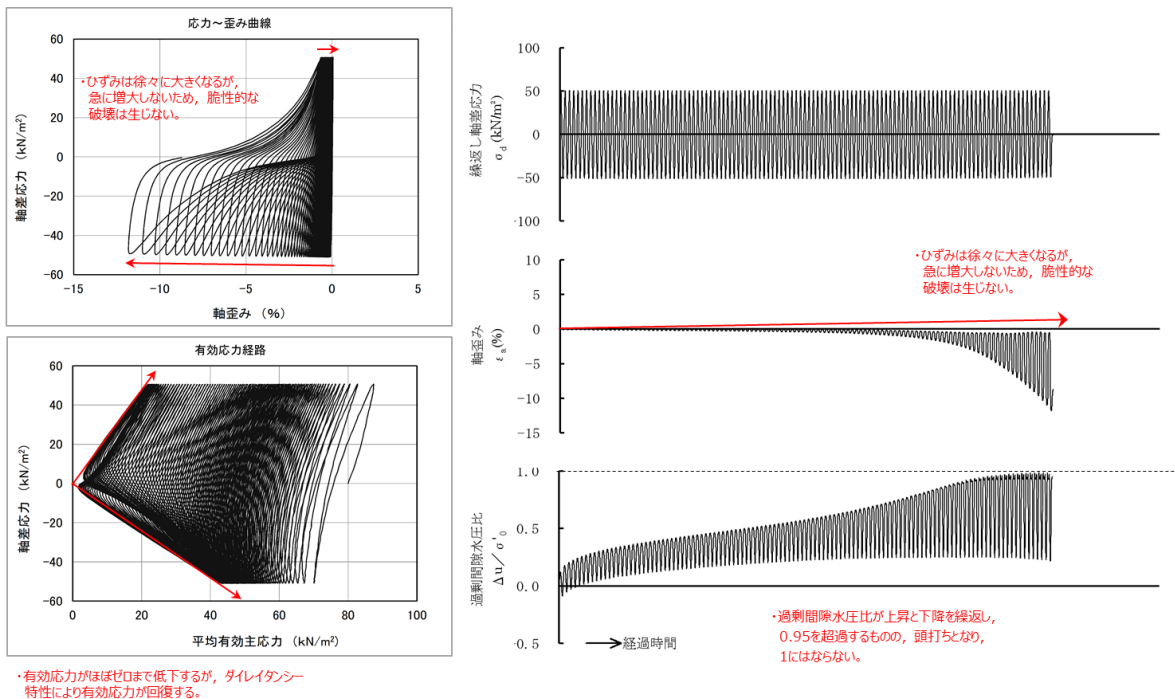


試料番号	E		
深度 (m)	0.30~0.70		
土質材料	埋戻土 (掘削ズリ)		
供試体 No.	1		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.678		
圧密応力 σ'_v (kN/m ²)	80		
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_v$	0.317		
繰返し回数	軸ひずみ	DA = 1%	84.0
	幅	DA = 2%	94.0
		DA = 5%	104.0
		DA = 10%	114.0
		過剰間隙水圧比 95% N_{U95}	100.0

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

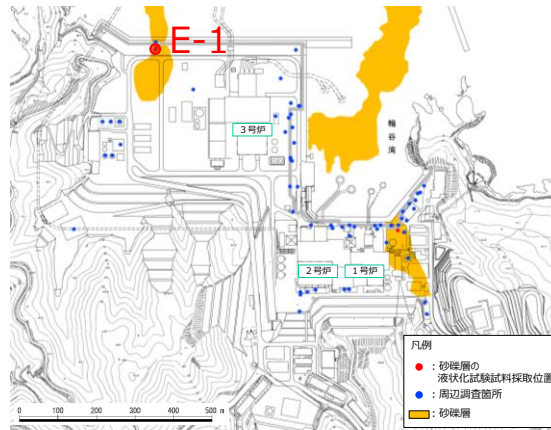
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第 3-2-18 図 液状化試験結果の例 (E 地点の埋戻土 (掘削ズリ))

第3-2-14 表 液状化試験結果 (E-1 地点の砂礫層)

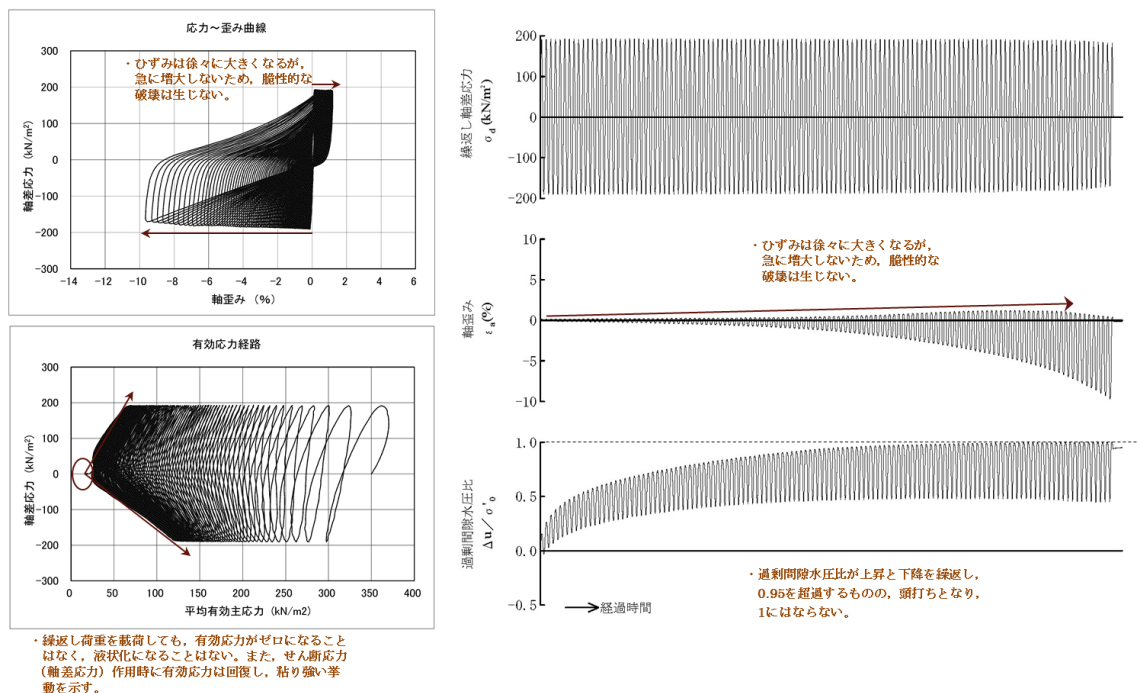


試験番号		S1-23-3		S1-24	S1-25	S1-26	
深度 (m)		23.93~24.55		24.85~25.55	25.55~26.50	26.50~27.40	
土質材料		砂礫層					
供試体 No.		1	2	1	1	1	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.690		2.685	2.724	2.730	
圧密応力 σ'_v (kN/m ²)		350		350	350	350	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_v$		0.301	0.273	0.381	0.281	0.323	
繰返し回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	4.5	44.7	1.5	15.1	3.0
		DA = 2%	9.5	66.7	4.5	22.7	5.0
		DA = 5%	18.6	95.0	10.8	33.6	8.5
		DA = 10%	30.6	122.8	19.5	44.7	-
過剰間隙水圧比 95% N_{95}		16.0	64.0	9.0	29.0	4.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

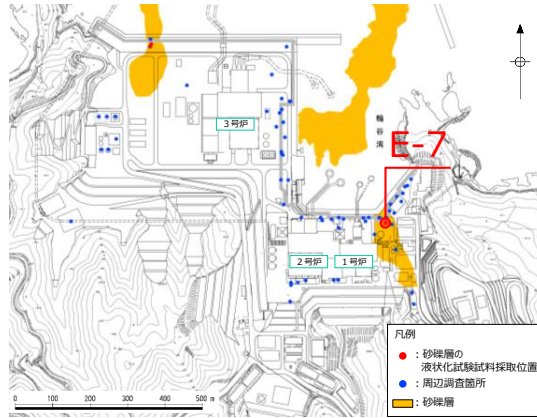
□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



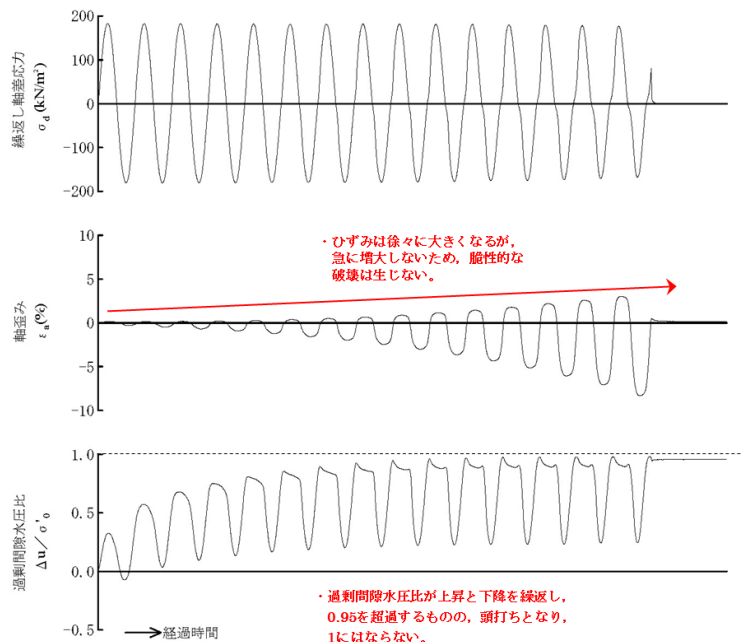
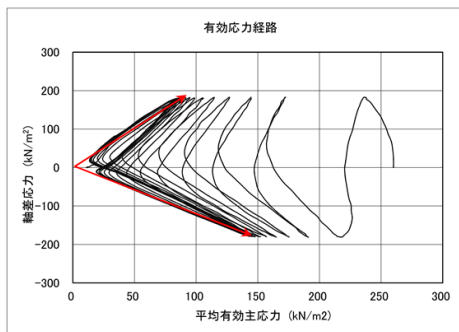
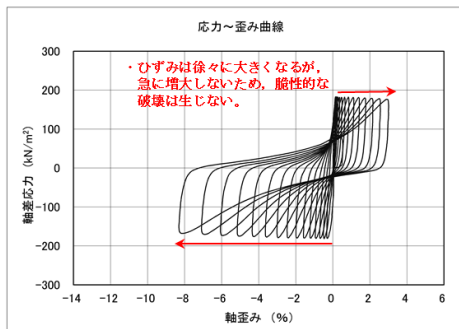
第3-2-19 図 液状化試験結果の例 (E-1 地点の砂礫層)

第3-2-15 表 液状化試験結果 (E-7 地点の砂礫層)



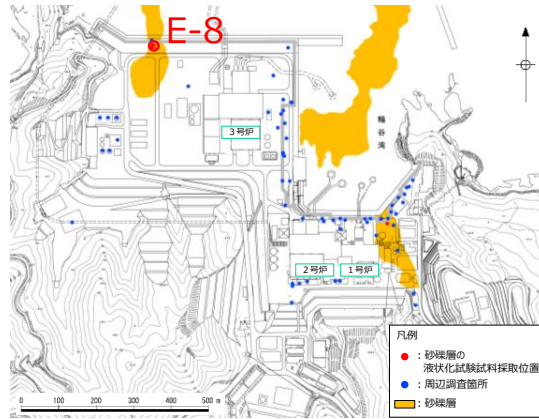
試料番号		S7-15	S7-16		S7-17	
深度 (m)		15.70~16.60	16.00~16.80		17.60~18.60	
土質材料		砂礫層				
供試体 No.		1	1	2	1	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.702	2.707		2.709	
圧密応力 σ'_0 (kN/m ²)		260	260		260	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma'_0$		0.401	0.300	0.350	0.324	
繰返し回数	軸ひずみ両振幅	DA = 1%	0.7	21.0	3.5	5.5
		DA = 2%	2.0	28.7	6.0	8.0
		DA = 5%	6.0	39.6	10.4	12.3
		DA = 10%	11.8	48.6	14.4	16.4
	過剰間隙水圧比 95% $N_{u,95}$	6.0	27.0	9.0	9.0	

: 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく (0.95 を超えるもの)
 : DA=5% の値を繰返し回数 N とする
 下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-20 図 液状化試験結果の例 (E-7 地点の砂礫層)

第3-2-16 表 液状化試験結果 (E-8 地点の砂礫層)

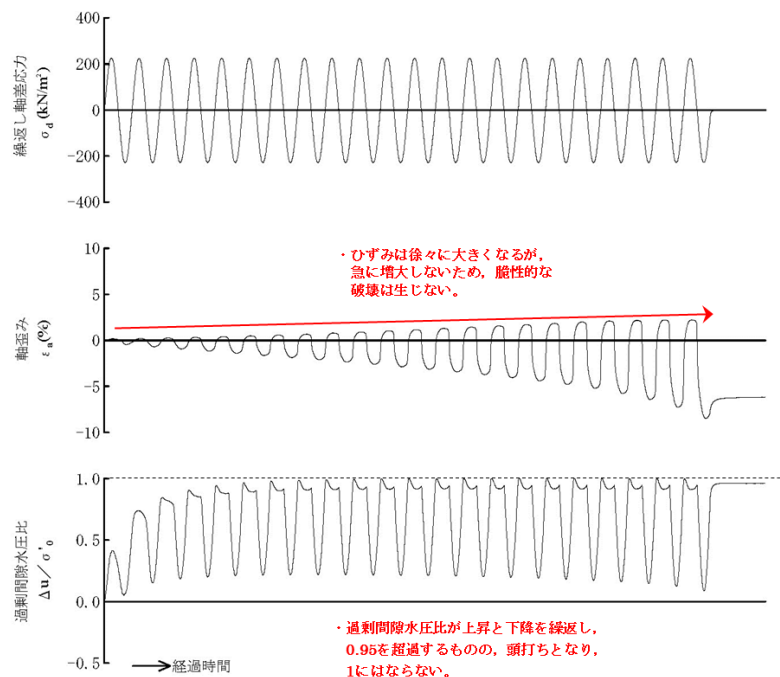
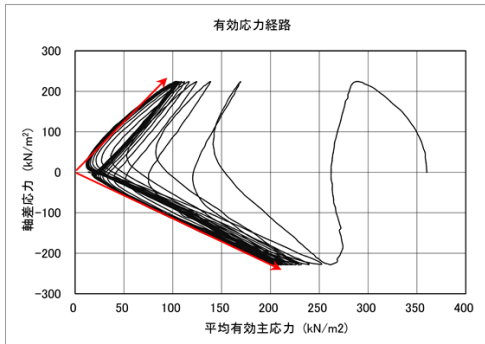
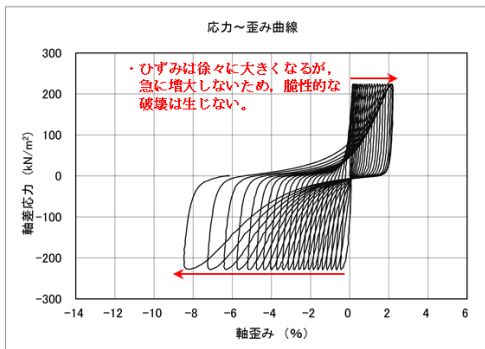


試料番号		S8-23-1	S8-24		S8-25			
深度 (m)		23.00~23.70	24.00~25.00		25.00~26.00			
土質材料		砂礫層						
供試体 No.		1	1	2	1	2	3	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.700	2.647		2.706			
圧密応力 σ'_v (kN/m ²)		360	360		360			
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_v$		0.302	0.314	0.276	0.301	0.352	0.251	
繰返し回数	軸ひずみ振幅	DA = 1%	1.0	2.5	3.0	5.5	0.8	24.7
		DA = 2%	3.5	5.5	7.5	10.0	3.0	38.0
		DA = 5%	10.5	13.7	16.0	17.5	7.5	56.7
		DA = 10%	19.7	21.7	24.5	25.6	13.6	67.9
	過剰間隙水圧比 95% N_{95}	12.0	5.0	11.0	9.0	5.0	34.0	

■ : 最大間隙水圧比が 1.0 に近づく(0.95 を超えるもの)

□ : DA=5%の値を繰返し回数 N とする

下線: 下図に例示する試験結果



第3-2-21 図 液状化試験結果の例 (E-8 地点の砂礫層)

第3-2-17 表 液状化試験結果のまとめ

(a) 埋戻土（掘削ズリ）(1)

	E-2			E-3		
	埋戻土（掘削ズリ）					
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ー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	サイクル 比 [*] リテ	サイクル 比 [*] リテ	サイクル 比 [*] リテ	繰返し 軟化	繰返し 軟化	繰返し 軟化

	E-4'			E-5		
	埋戻土（掘削ズリ）					
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ー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（掘削ズリ）					
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ー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	サイクル 比 [*] リテ	繰返し 軟化	サイクル 比 [*] リテ	繰返し 軟化	繰返し 軟化	繰返し 軟化

	E-8		
	埋戻土（掘削ズリ）		
試料番号	S8-2 ^{*2}	S8-4③ ^{*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ー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	サイクル 比 [*] リテ	繰返し 軟化	サイクル 比 [*] リテ

*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についても試験を実施し、液状化判定の参考とした。

第3-2-17 表 液状化試験結果のまとめ

(a) 埋戻土（掘削ズリ）(2)

試料番号	A		B		C	
	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ー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 比 ² リテ	非液状化	サイクリック 比 ² リテ	非液状化	サイクリック 比 ² リテ	サイクリック 比 ² リテ

試料番号	C		D	E
	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ー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 比 ² リテ	サイクリック 比 ² リテ	非液状化	サイクリック 比 ² リテ

*: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。

第3-2-17 表 液状化試験結果のまとめ

(b) 砂礫層

試料番号	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ー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 比 ² リテ	繰返し 軟化


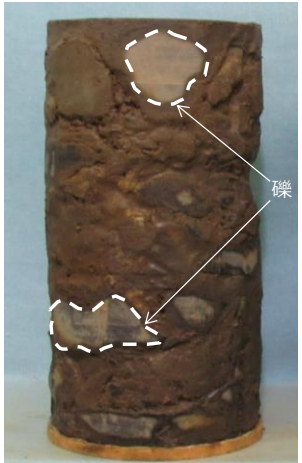

試料番号	E-7			E-8		
	砂礫層					
試料番号	S7-16① ^{※2}	S7-16②	S7-17	S8-23-1	S8-24①	S8-24②
過剰間隙水圧比95%を超えない。* ¹	×	×	×	×	×	×
有効応力がゼロまで低下しない。	×	×	○	○	×	×
液体状となり流動しない。(ひずみが急増しない。)	○	○	○	○	○	○
正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。(有効応力が回復する。)	○	○	○	○	○	○
現象の整理	サイクリック 比 ² リテ	サイクリック 比 ² リテ	繰返し 軟化	繰返し 軟化	サイクリック 比 ² リテ	サイクリック 比 ²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

試料番号	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ー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

*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についても試験を実施し、液状化判定の参考とした。

第3-2-18 表 埋戻土（掘削ズリ）の液状化試験結果（参考値）

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

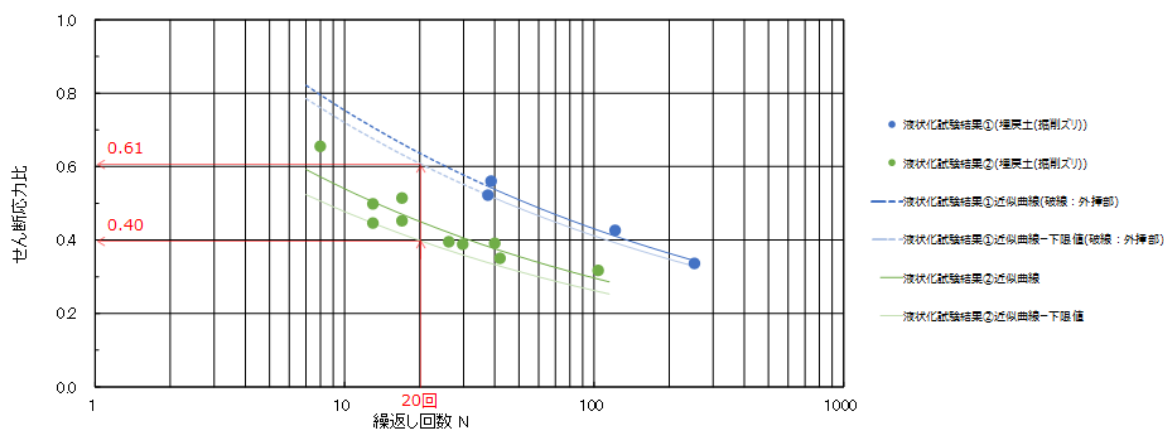
第3-2-19 表 液状化試験結果の分類

対象層	埋戻土(掘削ズリ)	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、非液状化または繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)であり、液状化ではない。 • 有効応力は維持または回復するため、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。 • 有効応力は維持または回復するため、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	

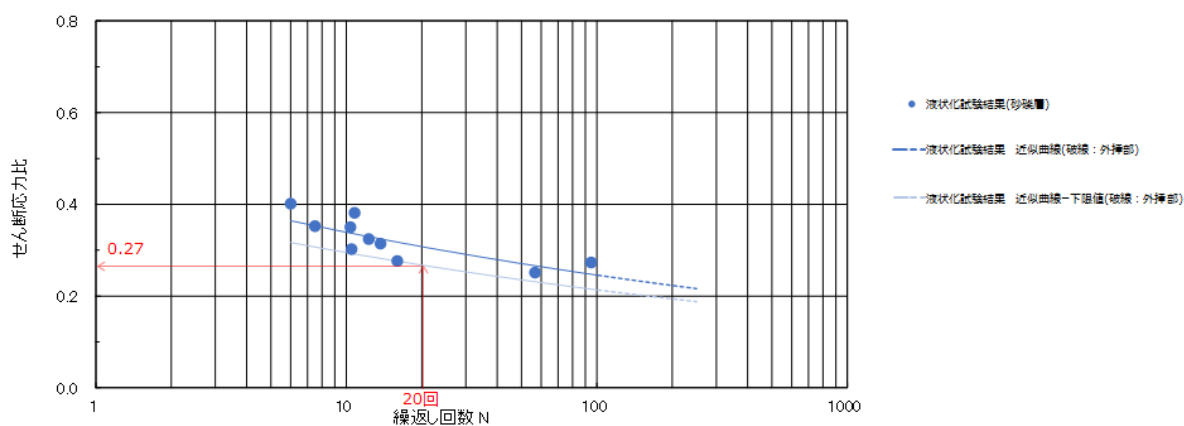
液状化試験結果（埋戻土（掘削ズリ））による液状化強度曲線を第3-2-22図に示す。液状化強度曲線は、試験結果から得られる近似曲線が試験結果の下限值を通るように保守的に設定する。

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（掘削ズリ））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号炉エリアで30年以上，3号炉エリアで10年以上経過しており，被覆層（埋戻土（掘削ズリ））は経年的な圧密を受けていることから，液状化試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）は液状化試験結果②（表層試料採取）の上側に位置する。

上記と同様に，液状化試験結果（砂礫層）による液状化強度曲線を第3-2-23図に示す。



第3-2-22 図 埋戻土（掘削ズリ）の液状化強度曲線



第3-2-23 図 砂礫層の液状化強度曲線

3.3 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認

敷地内の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層は、試験結果が液状化を示さず、道路橋示方書の液状化判定方法が適用できないと考えられる。このため、液状化試験実施箇所が多い埋戻土（掘削ズリ）について、液状化試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることを確認する。第3-3-1 図に累積損傷度理論に基づく評価のフローを、第3-3-2 図に累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法を示す。

液状化試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることについて、地震応答解析によって確認するに当たり、代表地震動を使用する。第3-3-3 図に基準地震動 S_s の加速度時刻歴波形（水平方向）を示す。

なお、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動 (S_s -D, S_s -F1, S_s -F2) においては、繰返し応力及び繰返し回数に着目し、水平最大加速度が大きく、継続時間が長い地震動が液状化評価において最も厳しいと考えられることから、 S_s -Dを選定する。

液状化試験選定箇所を第3-3-4 図に示す。

埋戻土（掘削ズリ）に対する液状化試験は、埋戻土（掘削ズリ）が3号炉北側西端から1,2号炉北側東端までの全域に分布していることから、網羅性を確保するため、広い範囲において実施した。一方、砂礫層に対する液状化試験は、砂礫層が局所的に分布していることから、分布箇所である3号炉北側西端及び1,2号炉北側東端の地点を選定し実施した。

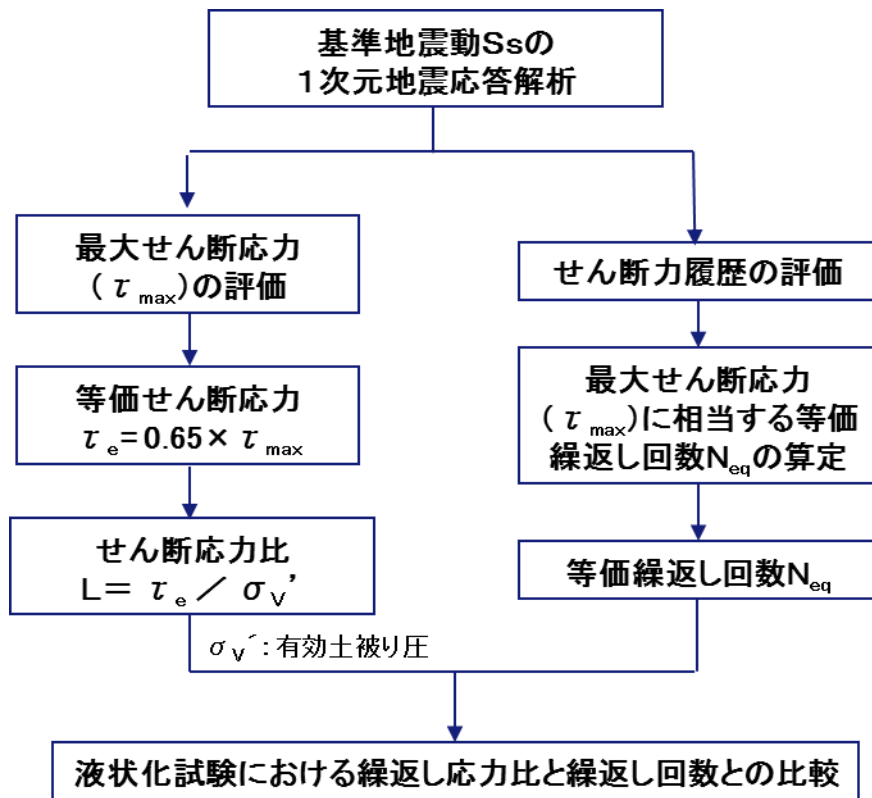
液状化試験の妥当性確認に当たって、液状化試験箇所が多い埋戻土（掘削ズリ）に対して行った液状化試験を敷地全体の代表として、妥当性確認を行う。なお、妥当性確認を行う地点として、防波壁沿い全線において比較地点①～⑧を選定する。

第3-3-5 図に各地点の解析用物性値及び解析モデルを示す。また、評価結果を第3-3-1 表及び第3-3-6 図に示す。

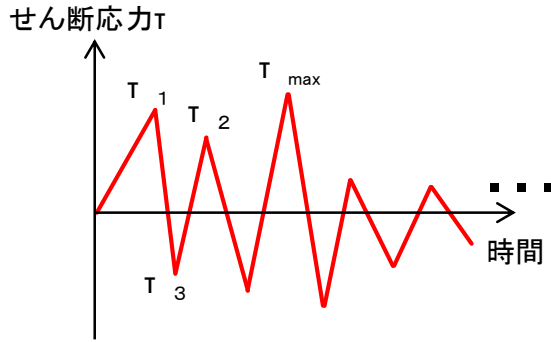
液状化評価対象層のうち埋戻土（掘削ズリ）について、液状化試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）および液状化試験結果②（表層試料採取）から各せん断応力比に対して所定のせん断ひずみとなる繰返し回数を整理し、一次元時刻歴非線形解析の結果を累積損傷度理論に基づいて整理したせん断応力比及び等価繰返し回数と比較した。

基準地震動 S_s -D, S_s -N1, S_s -N2による最大せん断応力比は0.4～0.7程度であり、また、等価繰返し回数は地震動継続時間の長い S_s -Dを除き数10～300回程度であり、液状化試験と同程度であることから、今回実施した液状化試験は、当該地盤の基準地震動 S_s 相当が作用した状態を概ね再現できていると判断した。

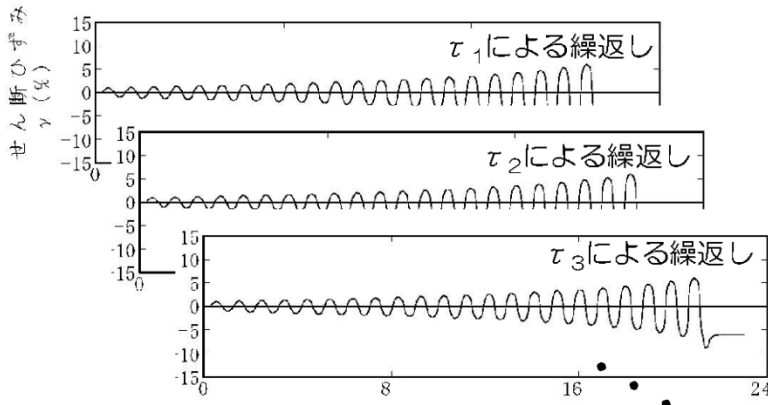
なお、 S_s -Dによる等価繰返し回数は地震動継続時間が長い場合500～1,000回程度となるが、一方で液状化試験において S_s -Dによるせん断応力比を作用させた場合、両振幅ひずみが5%となる繰返し回数は、近似曲線から5～30回程度となる。埋戻土（掘削ズリ）は液状化試験結果から、非液状化または繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）を示すため、繰返し回数による直接的な比較が難しい材料であるが、 S_s -Dのせん断応力比に相当する試験を実施していることから概ね再現できていると判断した。



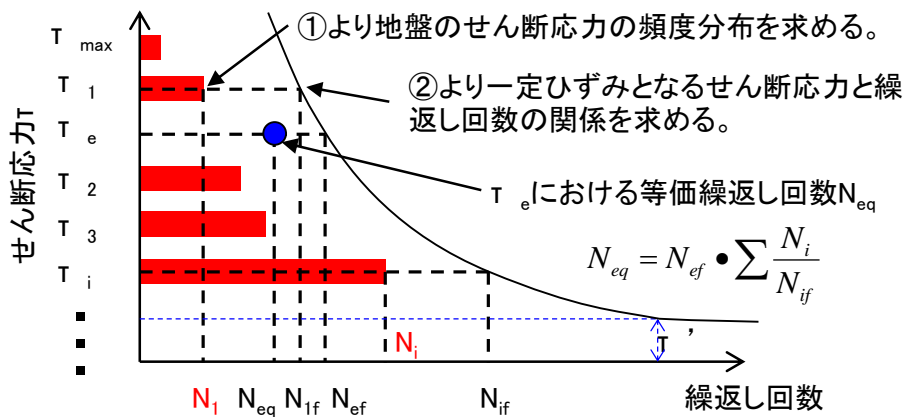
第3-3-1 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価のフロー



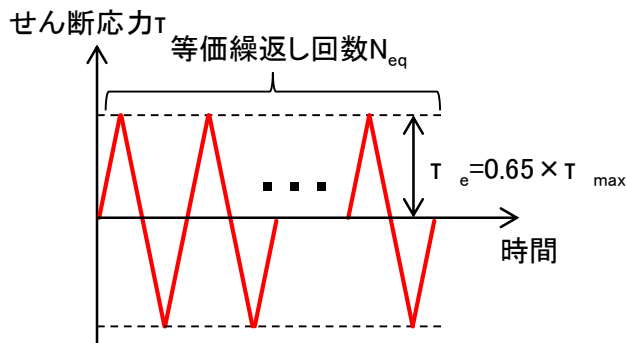
①対象地盤の地震応答解析におけるせん断応力履歴



②試験による一定せん断応力振幅時の繰返し回数とせん断ひずみ

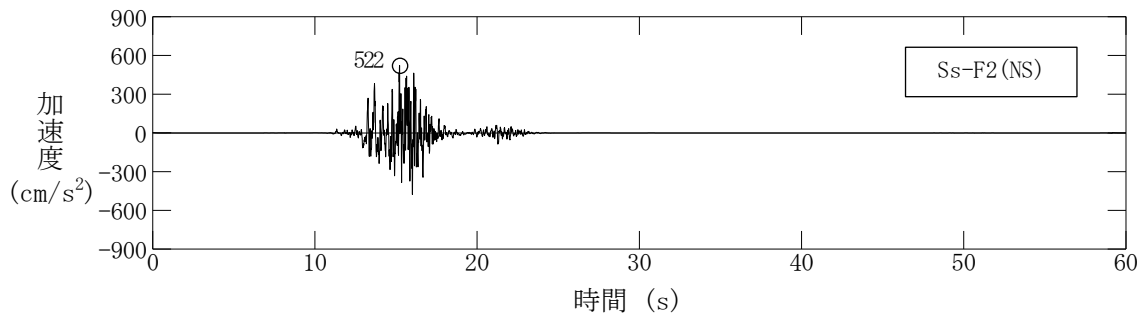
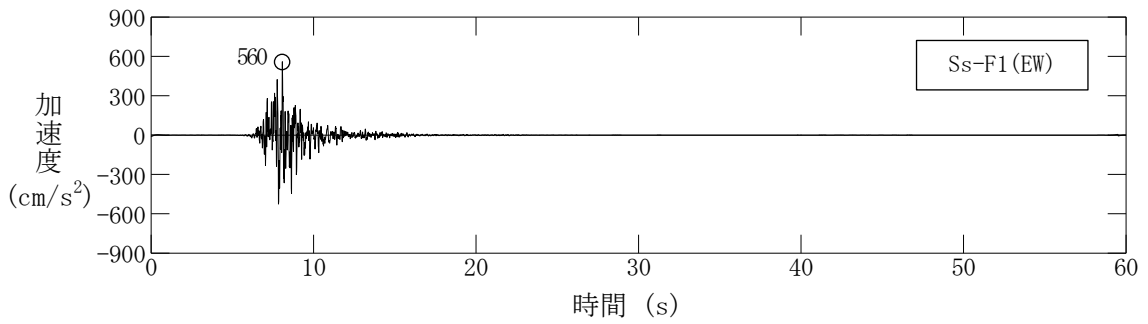
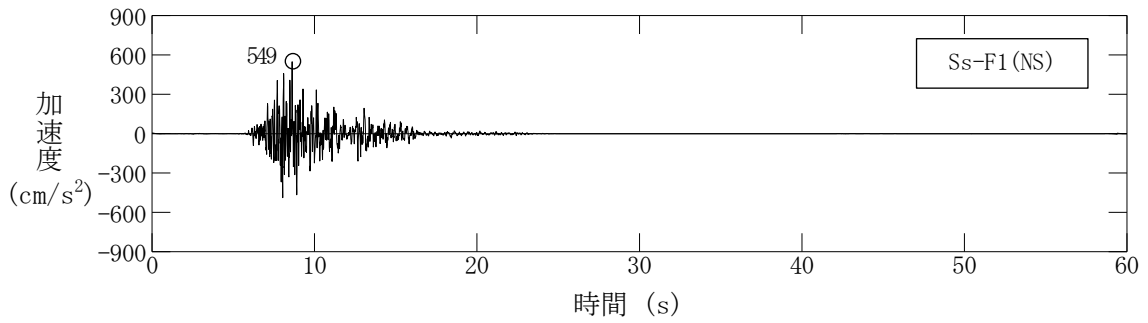
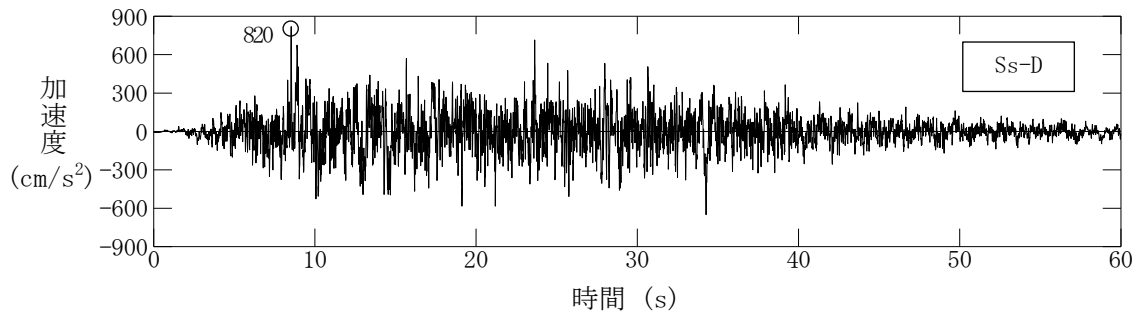


③累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法

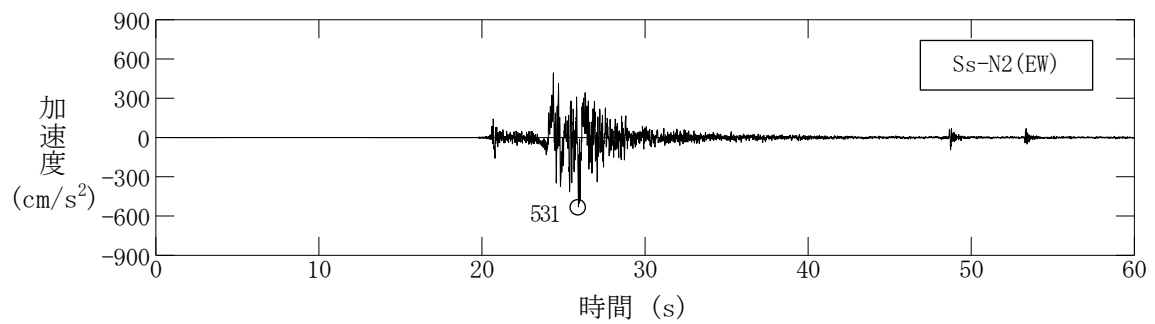
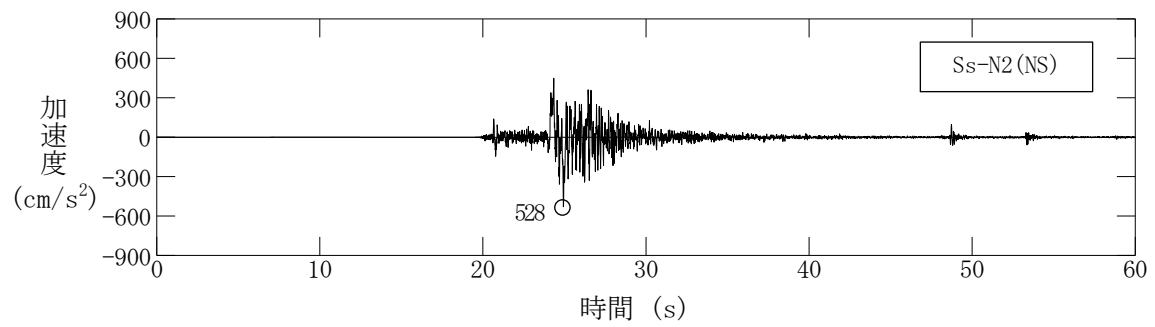
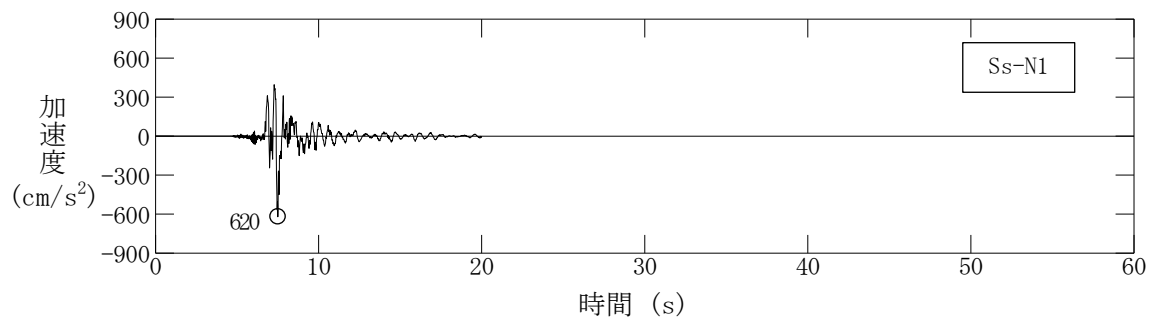
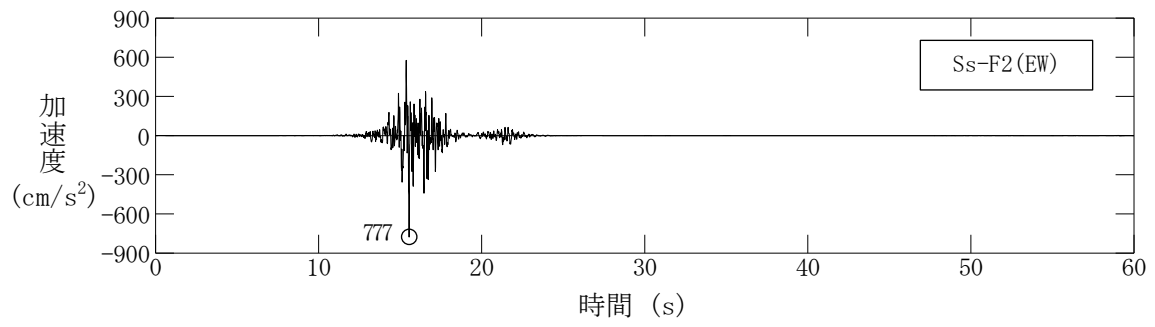


④対象地盤の地震応答解析と等価な一定せん断応力比と等価繰返し回数

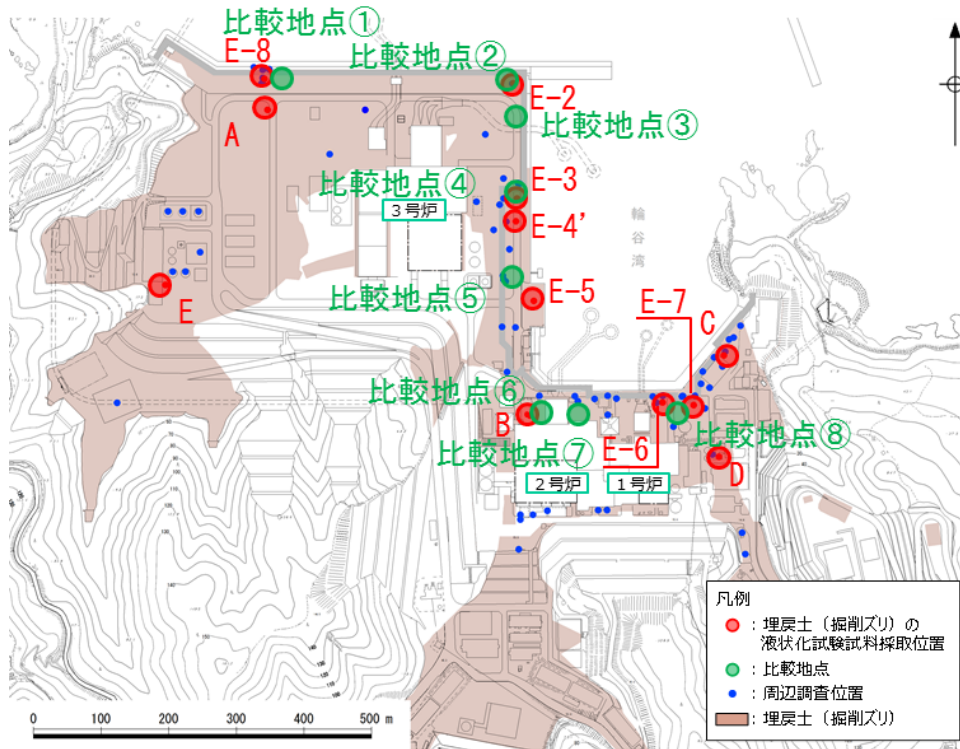
第3-3-2 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法



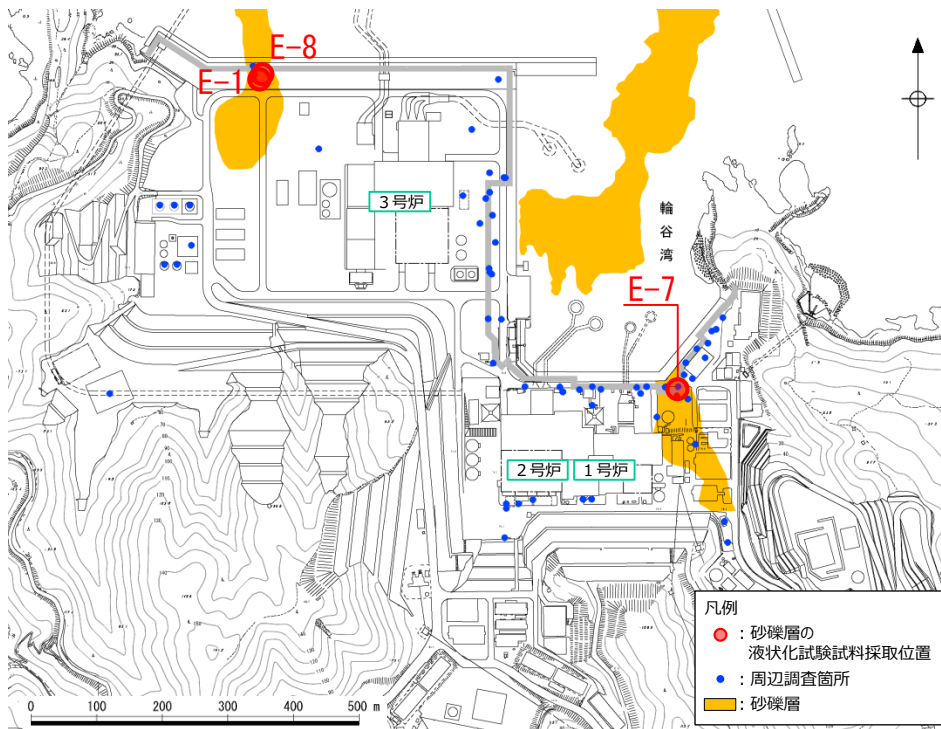
第3-3-3 図 基準地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）
 (Ss-D, Ss-F1 (NS), Ss-F1 (EW), Ss-F2 (NS))



第3-3-3 図 基準地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）
 (Ss-F2 (EW), Ss-N1, Ss-N2 (NS), Ss-N2 (EW))

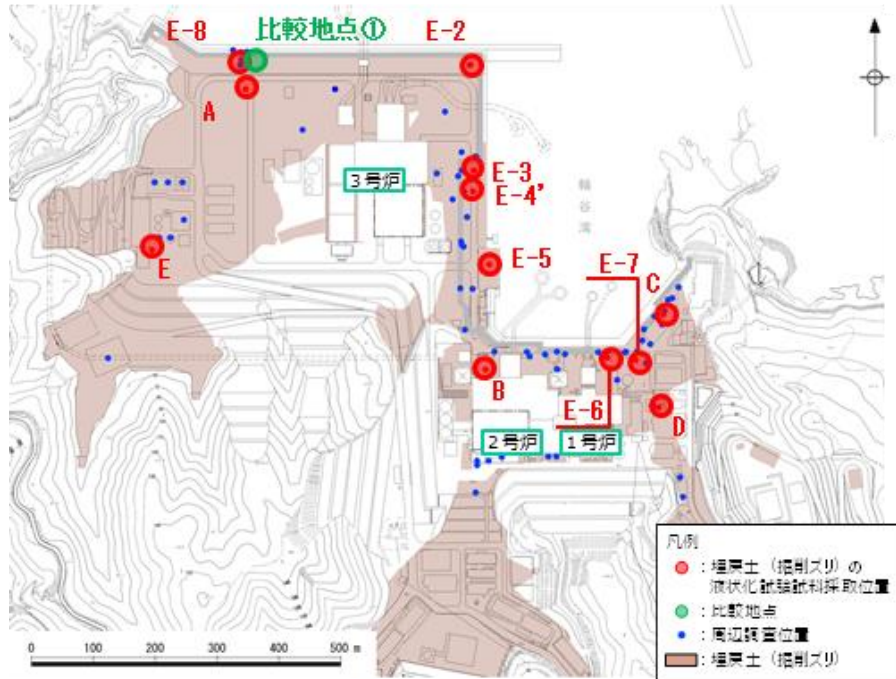


埋戻土（掘削ズリ）



砂礫層

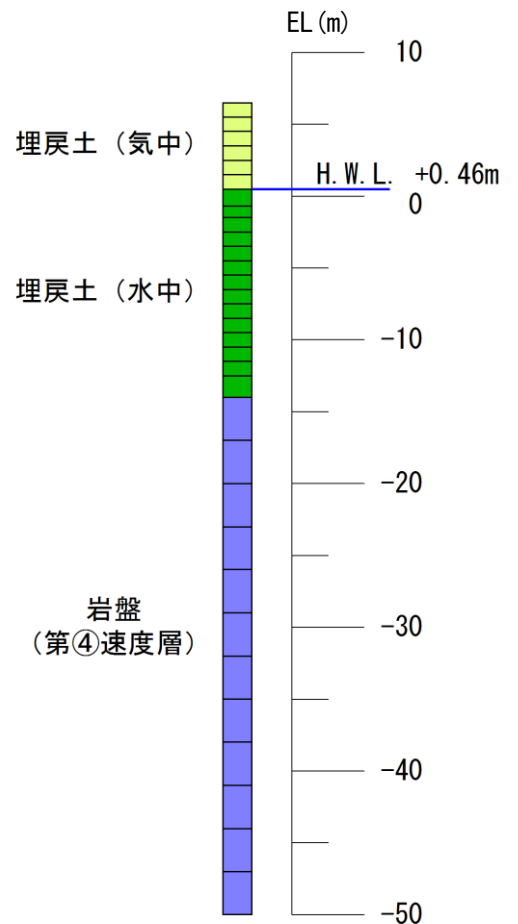
第3-3-4 図 液状化試験試料採取位置



地盤物性値

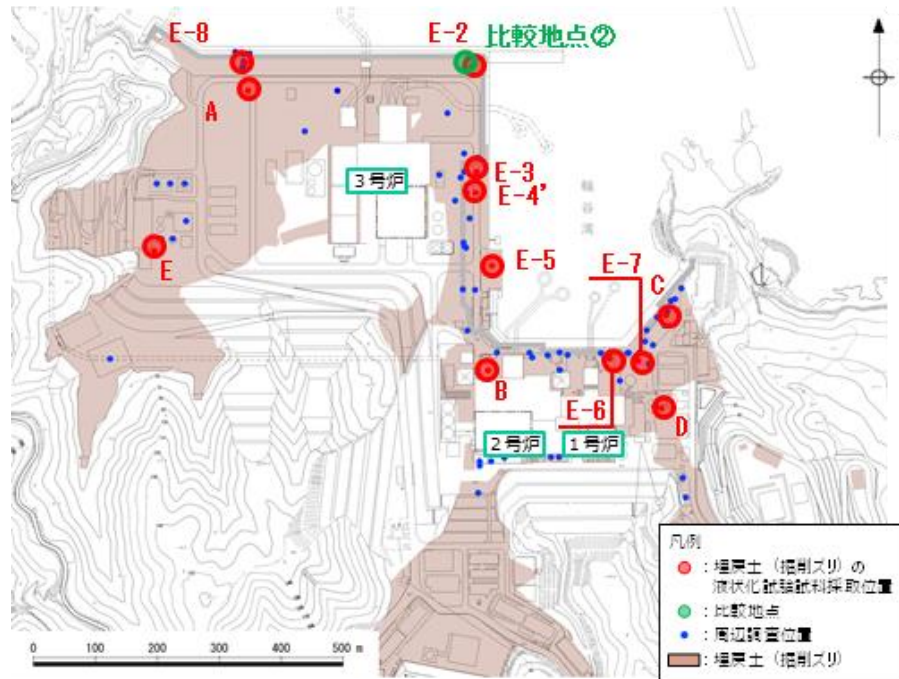
土層	標高 (EL m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0^{*1} (kN/m ²)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ (kN/m ³)		
埋戻土(気中)	6.500 ~ 5.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	5.500 ~ 4.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	4.500 ~ 3.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	3.500 ~ 2.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	2.500 ~ 1.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	1.500 ~ 0.460	6.040	108.192	19.6	—	—	172600
埋戻土(水中)	0.460 ~ -0.700	7.200	124.532	20.7	10.6	—	189400
	-0.700 ~ -1.500	8.000	134.920	20.7	10.6	—	199700
	-1.500 ~ -2.500	9.000	144.460	20.7	10.6	—	208900
	-2.500 ~ -3.500	10.000	155.060	20.7	10.6	—	218900
	-3.500 ~ -4.500	11.000	165.660	20.7	10.6	—	228600
	-4.500 ~ -5.500	12.000	176.260	20.7	10.6	—	238200
	-5.500 ~ -6.500	13.000	186.860	20.7	10.6	—	247600
	-6.500 ~ -7.500	14.000	197.460	20.7	10.6	—	256700
	-7.500 ~ -8.500	15.000	208.060	20.7	10.6	—	265800
	-8.500 ~ -9.500	16.000	218.660	20.7	10.6	—	274600
	-9.500 ~ -10.500	17.000	229.260	20.7	10.6	—	283300
	-10.500 ~ -11.500	18.000	239.860	20.7	10.6	—	291900
岩盤 (第④速度層)	-11.500 ~ -12.500	19.000	250.460	20.7	10.6	—	300400
	-12.500 ~ -14.000	20.500	263.710	20.7	10.6	—	310800
	-14.000 ~ -17.000	23.500	293.260	24.5	14.4	1520	—
	-17.000 ~ -20.000	26.500	336.460	24.5	14.4	1520	—
	-20.000 ~ -23.000	29.500	379.660	24.5	14.4	1520	—
	-23.000 ~ -26.000	32.500	422.860	24.5	14.4	1520	—
	-26.000 ~ -29.000	35.500	466.060	24.5	14.4	1520	—
	-29.000 ~ -32.000	38.500	509.260	24.5	14.4	1520	—
	-32.000 ~ -35.000	41.500	552.460	24.5	14.4	1520	—
	-35.000 ~ -38.000	44.500	595.660	24.5	14.4	1520	—
-38.000 ~ -41.000	47.500	638.860	24.5	14.4	1520	—	
-41.000 ~ -44.000	50.500	682.060	24.5	14.4	1520	—	
-44.000 ~ -47.000	53.500	725.260	24.5	14.4	1520	—	
-47.000 ~ -50.000	56.500	768.460	24.5	14.4	1520	—	

※1 掘削スリ: $G_0=749\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)



(a) 基本物性 (比較地点①)

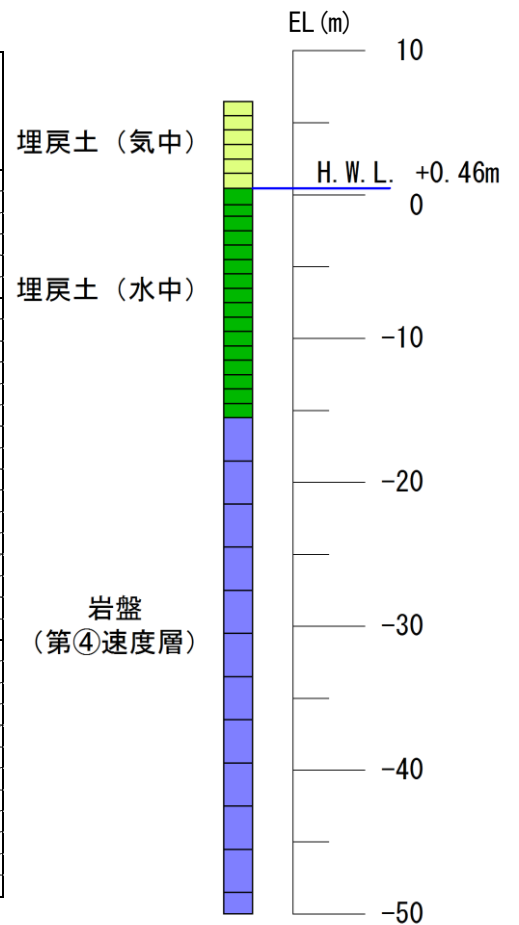
第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

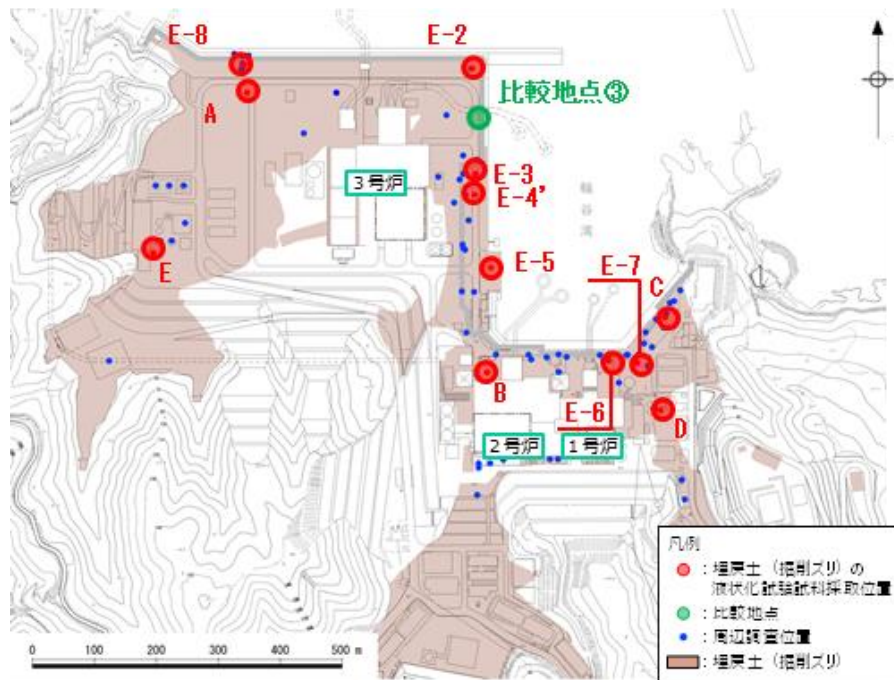
土層	標高 (EL.m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m^2)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 $G_0^{※1}$ (kN/m^2)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m^3)	水中 γ' (kN/m^3)		
埋戻土(気中)	6.500 ~ 5.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	5.500 ~ 4.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	4.500 ~ 3.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	3.500 ~ 2.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	2.500 ~ 1.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	1.500 ~ 0.460	6.040	108.192	19.6	—	—	172600
埋戻土(水中)	0.460 ~ -0.700	7.200	124.532	20.7	10.6	—	189400
	-0.700 ~ -1.500	8.000	134.920	20.7	10.6	—	199700
	-1.500 ~ -2.500	9.000	144.460	20.7	10.6	—	208900
	-2.500 ~ -3.500	10.000	155.060	20.7	10.6	—	218900
	-3.500 ~ -4.500	11.000	165.660	20.7	10.6	—	228600
	-4.500 ~ -5.500	12.000	176.260	20.7	10.6	—	238200
	-5.500 ~ -6.500	13.000	186.860	20.7	10.6	—	247600
	-6.500 ~ -7.500	14.000	197.460	20.7	10.6	—	256700
	-7.500 ~ -8.500	15.000	208.060	20.7	10.6	—	265800
	-8.500 ~ -9.500	16.000	218.660	20.7	10.6	—	274600
	-9.500 ~ -10.500	17.000	229.260	20.7	10.6	—	283300
	-10.500 ~ -11.500	18.000	239.860	20.7	10.6	—	291900
	-11.500 ~ -12.500	19.000	250.460	20.7	10.6	—	300400
	-12.500 ~ -13.500	20.000	261.060	20.7	10.6	—	308700
岩盤 (第④速度層)	-13.500 ~ -14.500	21.000	271.660	20.7	10.6	—	316900
	-14.500 ~ -15.500	22.000	282.260	20.7	10.6	—	325000
	-15.500 ~ -18.500	25.000	309.160	24.5	14.4	1520	—
	-18.500 ~ -21.500	28.000	352.360	24.5	14.4	1520	—
	-21.500 ~ -24.500	31.000	395.560	24.5	14.4	1520	—
	-24.500 ~ -27.500	34.000	438.760	24.5	14.4	1520	—
	-27.500 ~ -30.500	37.000	481.960	24.5	14.4	1520	—
	-30.500 ~ -33.500	40.000	525.160	24.5	14.4	1520	—
	-33.500 ~ -36.500	43.000	568.360	24.5	14.4	1520	—
	-36.500 ~ -39.500	46.000	611.560	24.5	14.4	1520	—
-39.500 ~ -42.500	49.000	654.760	24.5	14.4	1520	—	
-42.500 ~ -45.500	52.000	697.960	24.5	14.4	1520	—	
-45.500 ~ -48.500	55.000	741.160	24.5	14.4	1520	—	
-48.500 ~ -50.000	56.500	773.560	24.5	14.4	1520	—	

※1 掘削スリ: $G_0 = 749\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)



(b) 基本物性 (比較地点②)

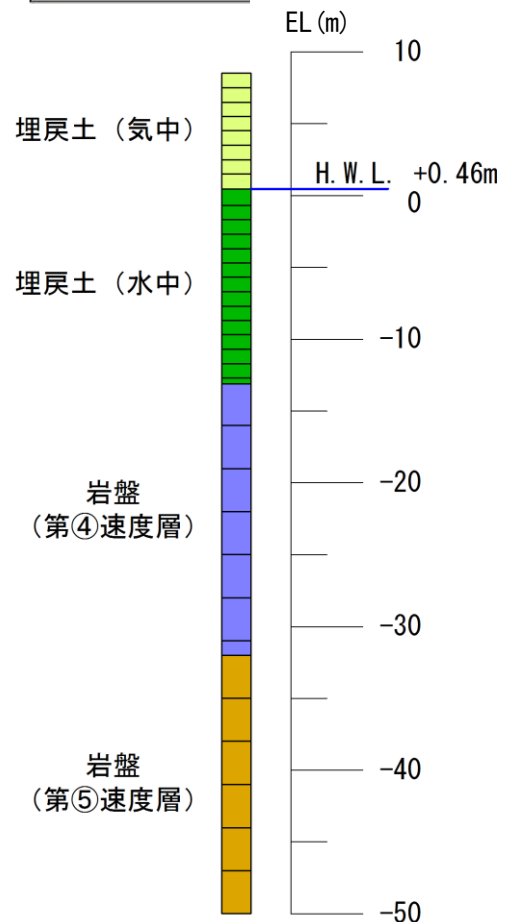
第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

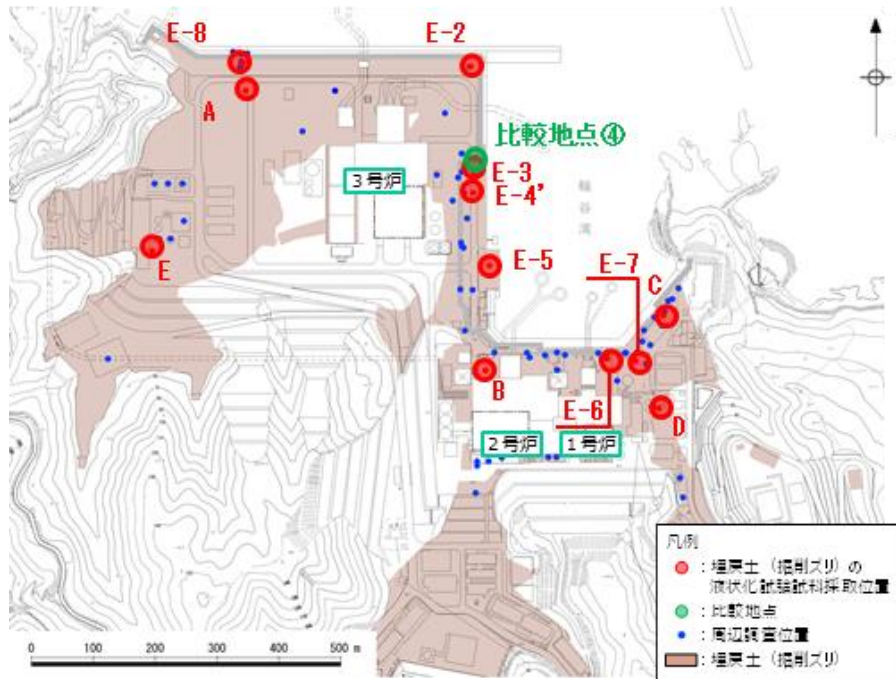
土層	標高 (EL-m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0^{*1} (kN/m ²)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)		
埋戻土 (気中)	8.500 ~ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500 ~ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500 ~ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500 ~ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500 ~ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500 ~ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500 ~ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
1.500 ~ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700	
埋戻土 (水中)	0.460 ~ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700 ~ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
	-1.700 ~ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
	-2.700 ~ -3.700	12.200	196.380	20.7	10.6	—	255800
	-3.700 ~ -4.700	13.200	206.980	20.7	10.6	—	264800
	-4.700 ~ -5.700	14.200	217.580	20.7	10.6	—	273700
	-5.700 ~ -6.700	15.200	228.180	20.7	10.6	—	282500
	-6.700 ~ -7.700	16.200	238.780	20.7	10.6	—	291000
	-7.700 ~ -8.700	17.200	249.380	20.7	10.6	—	299500
	-8.700 ~ -9.700	18.200	259.980	20.7	10.6	—	307900
	-9.700 ~ -10.700	19.200	270.580	20.7	10.6	—	316100
岩盤 (第④速度層)	-10.700 ~ -11.700	20.200	281.180	20.7	10.6	—	324200
	-11.700 ~ -12.700	21.200	291.780	20.7	10.6	—	332200
	-12.700 ~ -13.125	21.625	299.333	20.7	10.6	—	337900
	-13.125 ~ -16.000	24.500	322.285	24.5	14.4	1520	—
	-16.000 ~ -19.000	27.500	364.585	24.5	14.4	1520	—
	-19.000 ~ -22.000	30.500	407.785	24.5	14.4	1520	—
	-22.000 ~ -25.000	33.500	450.985	24.5	14.4	1520	—
岩盤 (第⑤速度層)	-25.000 ~ -28.000	36.500	494.185	24.5	14.4	1520	—
	-28.000 ~ -31.000	39.500	537.385	24.5	14.4	1520	—
	-31.000 ~ -32.000	40.500	566.185	24.5	14.4	1520	—
	-32.000 ~ -35.000	43.500	596.035	25.2	15.1	1900	—
	-35.000 ~ -38.000	46.500	641.335	25.2	15.1	1900	—
-38.000 ~ -41.000	49.500	686.635	25.2	15.1	1900	—	
-41.000 ~ -44.000	52.500	731.935	25.2	15.1	1900	—	
-44.000 ~ -47.000	55.500	777.235	25.2	15.1	1900	—	
-47.000 ~ -50.000	58.500	822.535	25.2	15.1	1900	—	

※1 掘削スリ: $G_0 = 749\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)

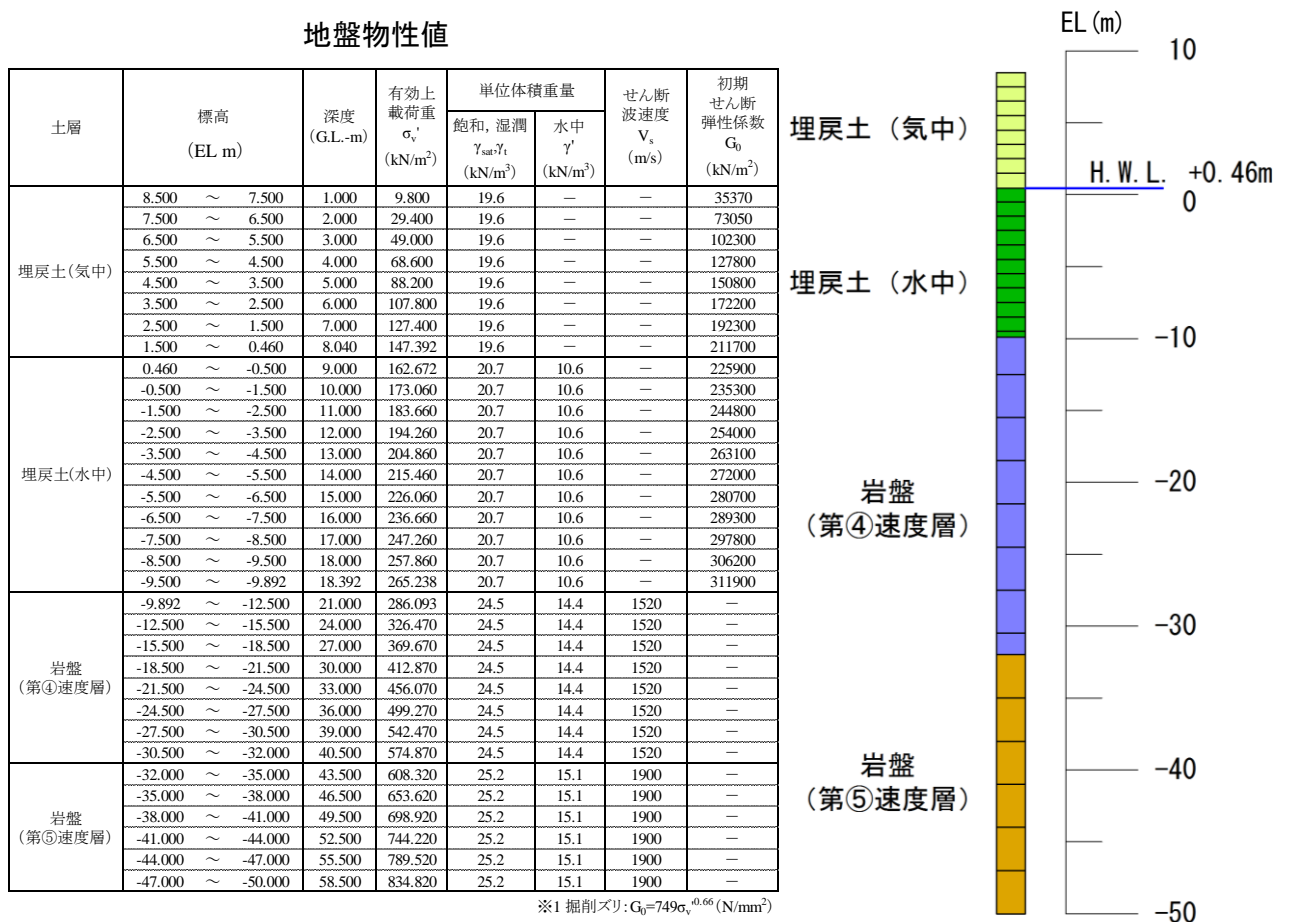


(c) 基本物性 (比較地点③)

第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル

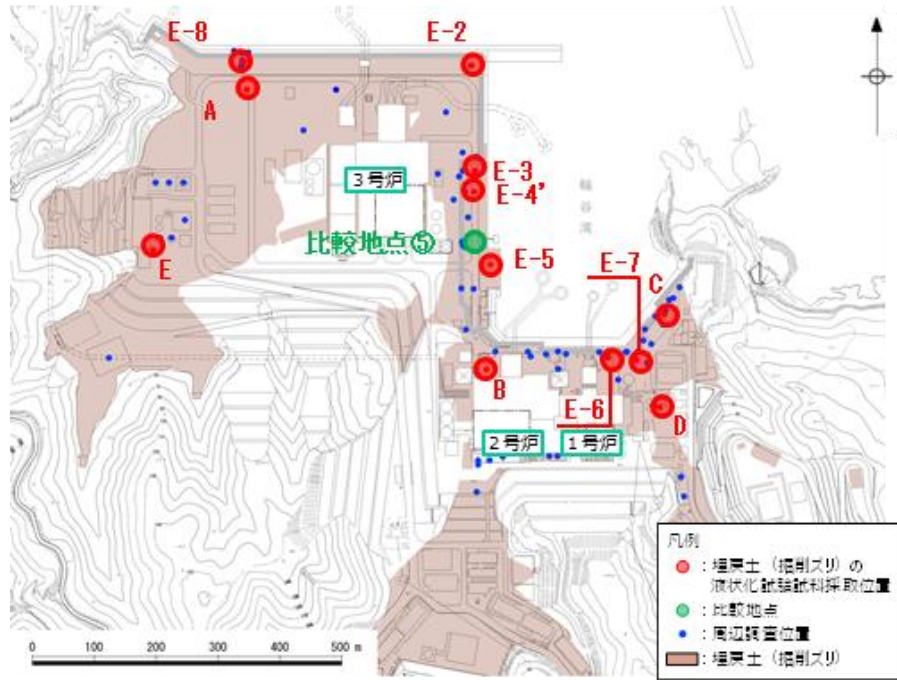


地盤物性値



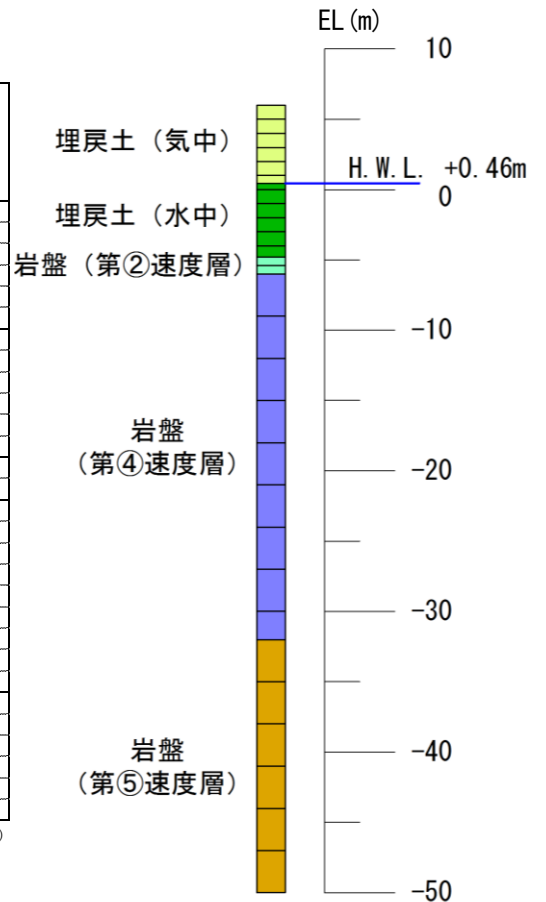
(d) 基本物性 (比較地点④)

第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

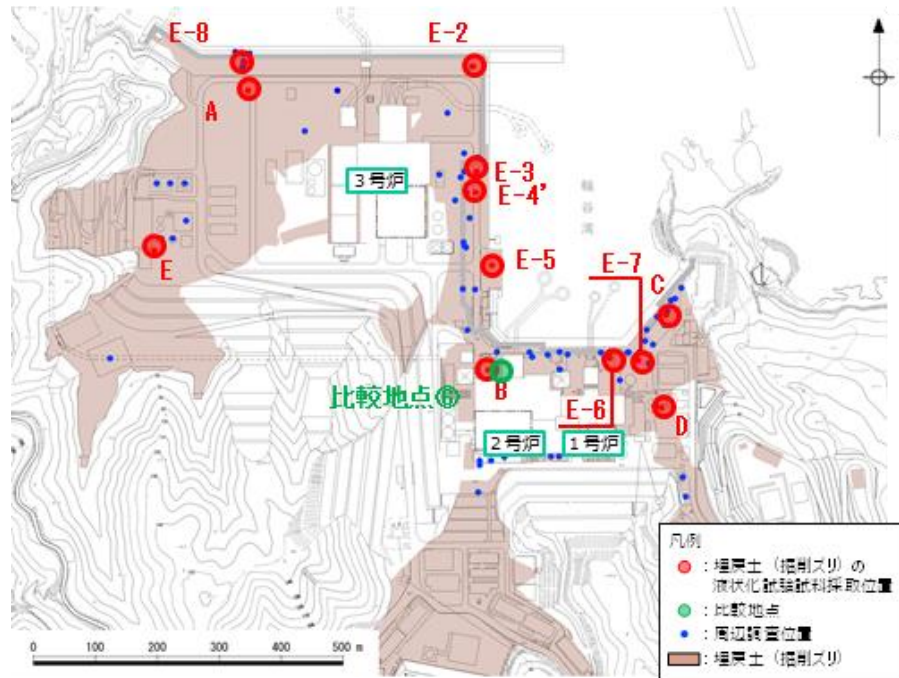
土層	標高 (EL m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 C_0 ^{※1} (kN/m ²)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)		
埋戻土(気中)	6.000 ~ 5.000	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	5.000 ~ 4.000	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	4.000 ~ 3.000	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	3.000 ~ 2.000	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	2.000 ~ 1.000	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
埋戻土(水中)	1.000 ~ 0.460	5.540	103.292	19.6	—	—	167400
	0.460 ~ 0.000	6.000	111.022	20.7	10.6	—	175600
	0.000 ~ -1.000	7.000	118.760	20.7	10.6	—	183600
	-1.000 ~ -2.000	8.000	129.360	20.7	10.6	—	194200
	-2.000 ~ -3.000	9.000	139.960	20.7	10.6	—	204600
岩盤 (第②速度層)	-3.000 ~ -4.000	10.000	150.560	20.7	10.6	—	214700
	-4.000 ~ -4.804	10.804	160.121	20.7	10.6	—	223600
	-5.400 ~ -6.000	12.000	176.210	23.3	13.2	620	—
岩盤 (第④速度層)	-6.000 ~ -9.000	15.000	201.770	24.5	14.4	1520	—
	-9.000 ~ -12.000	18.000	244.970	24.5	14.4	1520	—
	-12.000 ~ -15.000	21.000	288.170	24.5	14.4	1520	—
	-15.000 ~ -18.000	24.000	331.370	24.5	14.4	1520	—
	-18.000 ~ -21.000	27.000	374.570	24.5	14.4	1520	—
	-21.000 ~ -24.000	30.000	417.770	24.5	14.4	1520	—
	-24.000 ~ -27.000	33.000	460.970	24.5	14.4	1520	—
岩盤 (第⑤速度層)	-27.000 ~ -30.000	36.000	504.170	24.5	14.4	1520	—
	-30.000 ~ -32.000	38.000	540.170	24.5	14.4	1520	—
	-32.000 ~ -35.000	41.000	577.220	25.2	15.1	1900	—
	-35.000 ~ -38.000	44.000	622.520	25.2	15.1	1900	—
	-38.000 ~ -41.000	47.000	667.820	25.2	15.1	1900	—
岩盤 (第⑤速度層)	-41.000 ~ -44.000	50.000	713.120	25.2	15.1	1900	—
	-44.000 ~ -47.000	53.000	758.420	25.2	15.1	1900	—
	-47.000 ~ -50.000	56.000	803.720	25.2	15.1	1900	—



※1 掘削スリ: $G_0 = 749\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)

(e) 基本物性 (比較地点⑤)

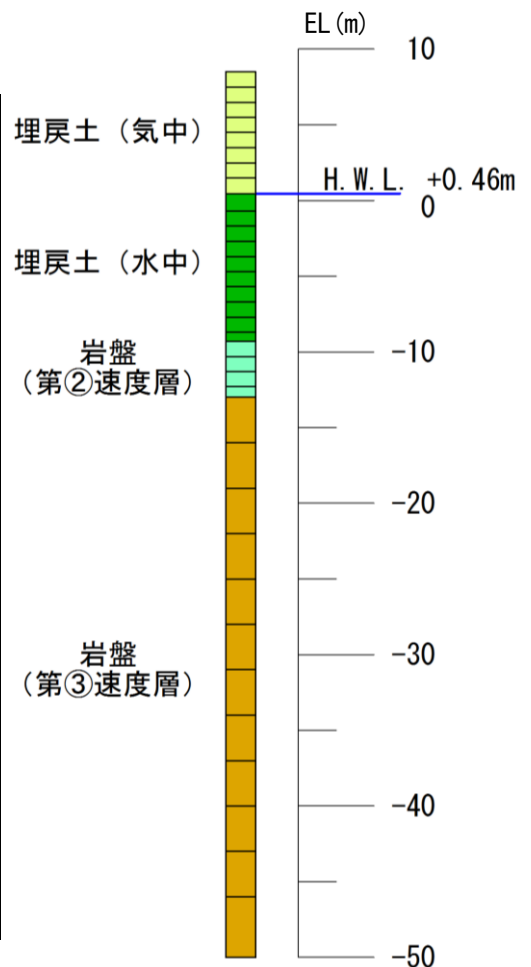
第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

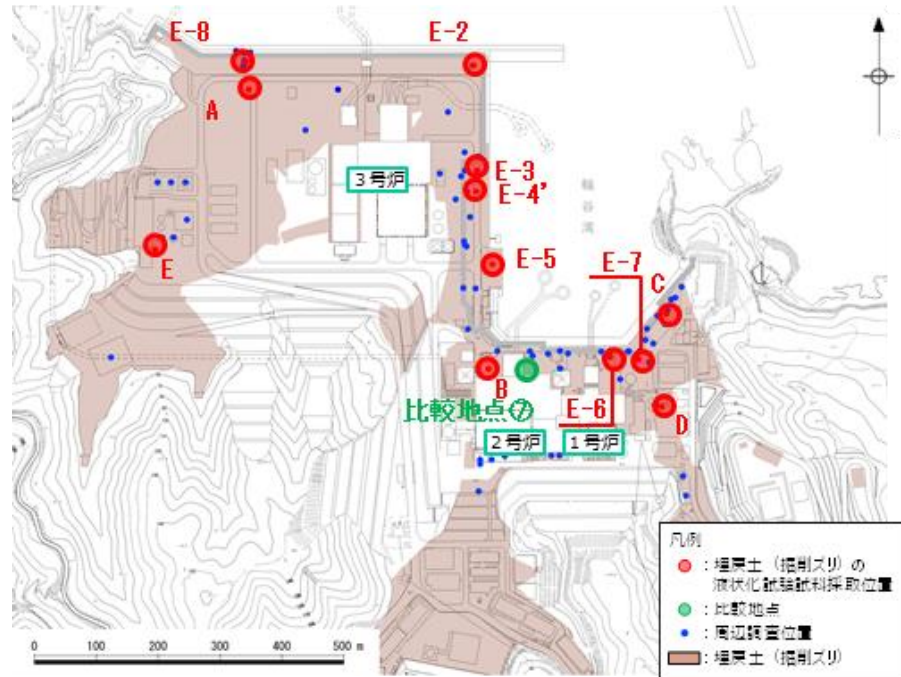
土層	標高 (EL-m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0 ^{※1} (kN/m ²)
				飽和、湿潤 γ_{sat} (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)		
埋戻土(気中)	8.500 ~ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500 ~ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500 ~ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500 ~ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500 ~ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500 ~ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500 ~ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
埋戻土(水中)	1.500 ~ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700
	0.460 ~ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700 ~ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
	-1.700 ~ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
	-2.700 ~ -3.700	12.200	196.380	20.7	10.6	—	255800
	-3.700 ~ -4.700	13.200	206.980	20.7	10.6	—	264800
	-4.700 ~ -5.700	14.200	217.580	20.7	10.6	—	273700
	-5.700 ~ -6.700	15.200	228.180	20.7	10.6	—	282500
岩盤 (第②速度層)	-6.700 ~ -7.700	16.200	238.780	20.7	10.6	—	291000
	-7.700 ~ -8.700	17.200	249.380	20.7	10.6	—	299500
	-8.700 ~ -9.300	17.800	257.860	20.7	10.6	—	306200
	-9.300 ~ -10.300	18.800	267.490	23.0	12.9	900	—
	-10.300 ~ -11.300	19.800	280.390	23.0	12.9	900	—
	-11.300 ~ -12.300	20.800	293.290	23.0	12.9	900	—
	-12.300 ~ -13.000	21.500	304.255	23.0	12.9	900	—
	-13.000 ~ -16.000	24.500	330.370	24.5	14.4	1600	—
	-16.000 ~ -19.000	27.500	373.570	24.5	14.4	1600	—
	-19.000 ~ -22.000	30.500	416.770	24.5	14.4	1600	—
岩盤 (第③速度層)	-22.000 ~ -25.000	33.500	459.970	24.5	14.4	1600	—
	-25.000 ~ -28.000	36.500	503.170	24.5	14.4	1600	—
	-28.000 ~ -31.000	39.500	546.370	24.5	14.4	1600	—
	-31.000 ~ -34.000	42.500	589.570	24.5	14.4	1600	—
	-34.000 ~ -37.000	45.500	632.770	24.5	14.4	1600	—
	-37.000 ~ -40.000	48.500	675.970	24.5	14.4	1600	—
	-40.000 ~ -43.000	51.500	719.170	24.5	14.4	1600	—
	-43.000 ~ -46.000	54.500	762.370	24.5	14.4	1600	—
-46.000 ~ -50.000	58.500	812.770	24.5	14.4	1600	—	

※1 掘削ズリ: $G_0 = 749\sigma_v'^{0.66}$ (N/mm²)



(f) 基本物性 (比較地点⑥)

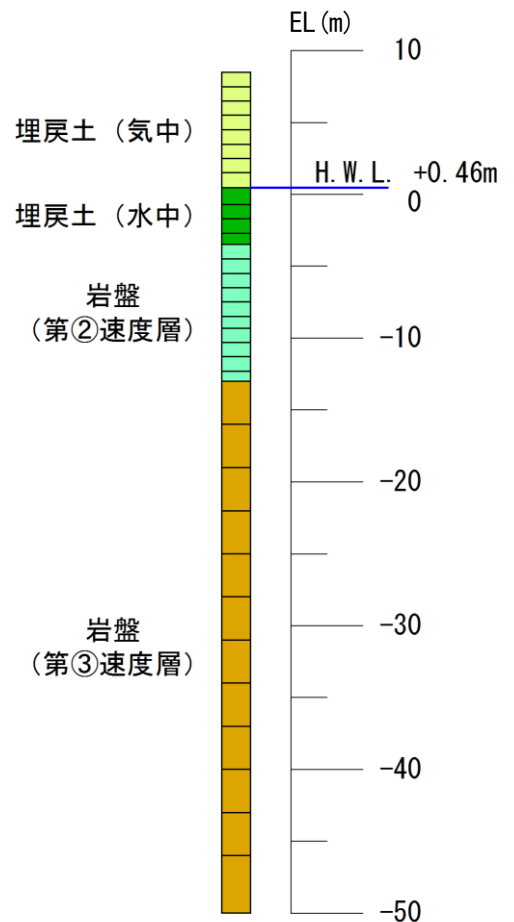
第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値

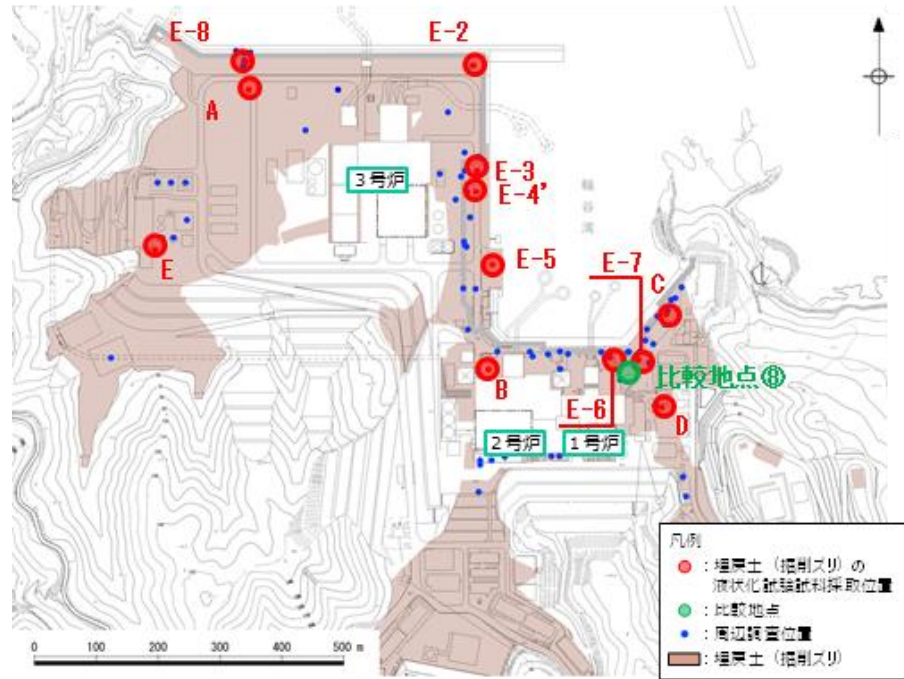
土層	標高 (EL m)	深度 (G.L.-m)	有効上 載荷重 σ'_v (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0^{*1} (kN/m ²)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)		
埋戻土 (気中)	8.500 ~ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500 ~ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500 ~ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500 ~ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500 ~ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500 ~ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500 ~ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
埋戻土 (水中)	1.500 ~ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700
	0.460 ~ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700 ~ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
	-1.700 ~ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
	-2.700 ~ -3.498	11.998	195.309	20.7	10.6	—	254900
岩盤 (第②速度層)	-3.498 ~ -4.500	13.000	206.002	23.0	12.9	900	—
	-4.500 ~ -5.500	14.000	218.915	23.0	12.9	900	—
	-5.500 ~ -6.500	15.000	231.815	23.0	12.9	900	—
	-6.500 ~ -7.500	16.000	244.715	23.0	12.9	900	—
	-7.500 ~ -8.500	17.000	257.615	23.0	12.9	900	—
	-8.500 ~ -9.300	17.800	269.225	23.0	12.9	900	—
	-9.300 ~ -10.300	18.800	280.835	23.0	12.9	900	—
岩盤 (第③速度層)	-10.300 ~ -11.300	19.800	293.735	23.0	12.9	900	—
	-11.300 ~ -12.300	20.800	306.635	23.0	12.9	900	—
	-12.300 ~ -13.000	21.500	317.600	23.0	12.9	900	—
	-13.000 ~ -16.000	24.500	343.715	24.5	14.4	1600	—
	-16.000 ~ -19.000	27.500	386.915	24.5	14.4	1600	—
	-19.000 ~ -22.000	30.500	430.115	24.5	14.4	1600	—
	-22.000 ~ -25.000	33.500	473.315	24.5	14.4	1600	—
	-25.000 ~ -28.000	36.500	516.515	24.5	14.4	1600	—
	-28.000 ~ -31.000	39.500	559.715	24.5	14.4	1600	—
	-31.000 ~ -34.000	42.500	602.915	24.5	14.4	1600	—

*1 掘削スリ: $C_0 = 749\sigma_v^{0.66}$ (N/mm²)

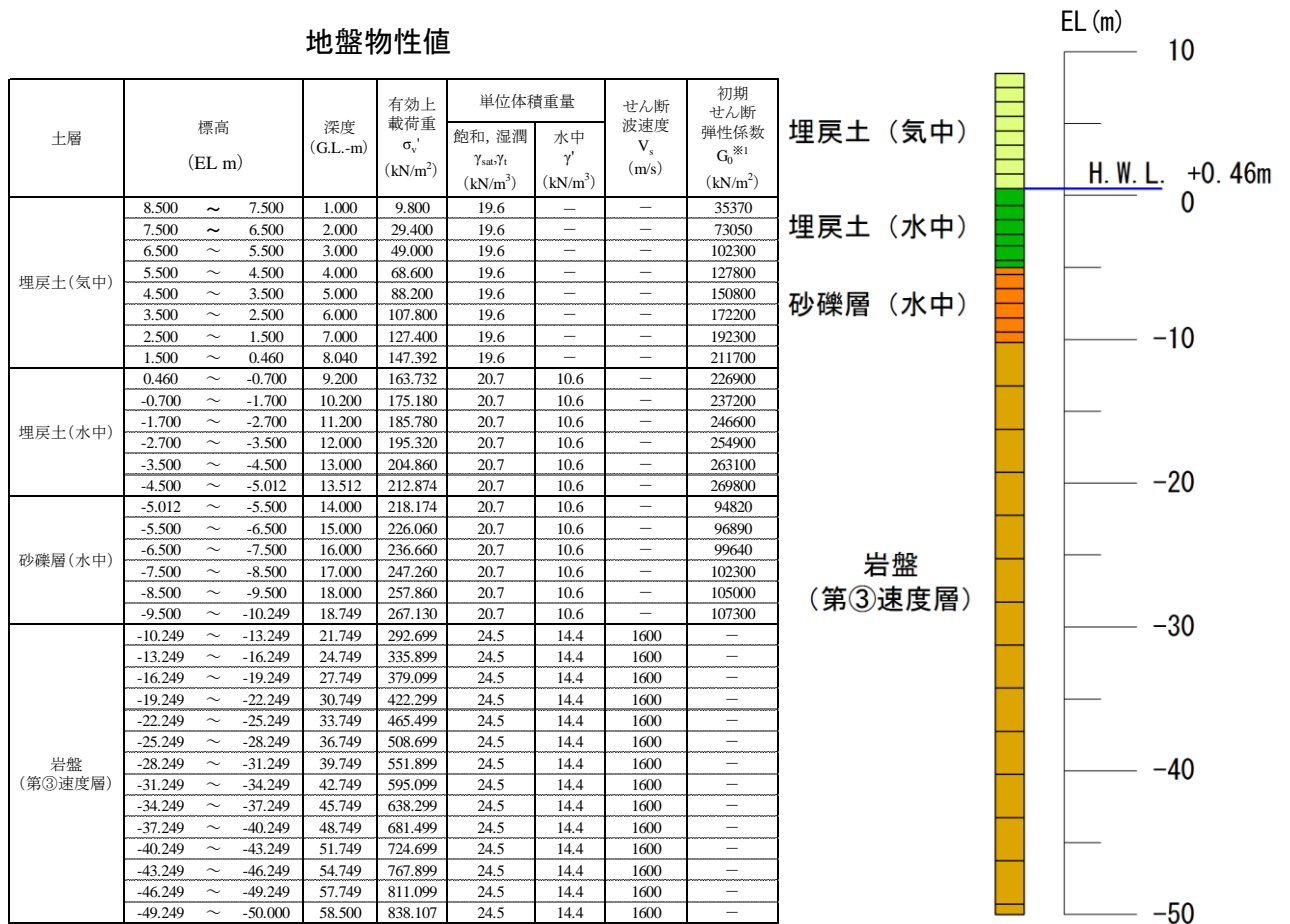


(g) 基本物性 (比較地点⑦)

第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル



地盤物性値



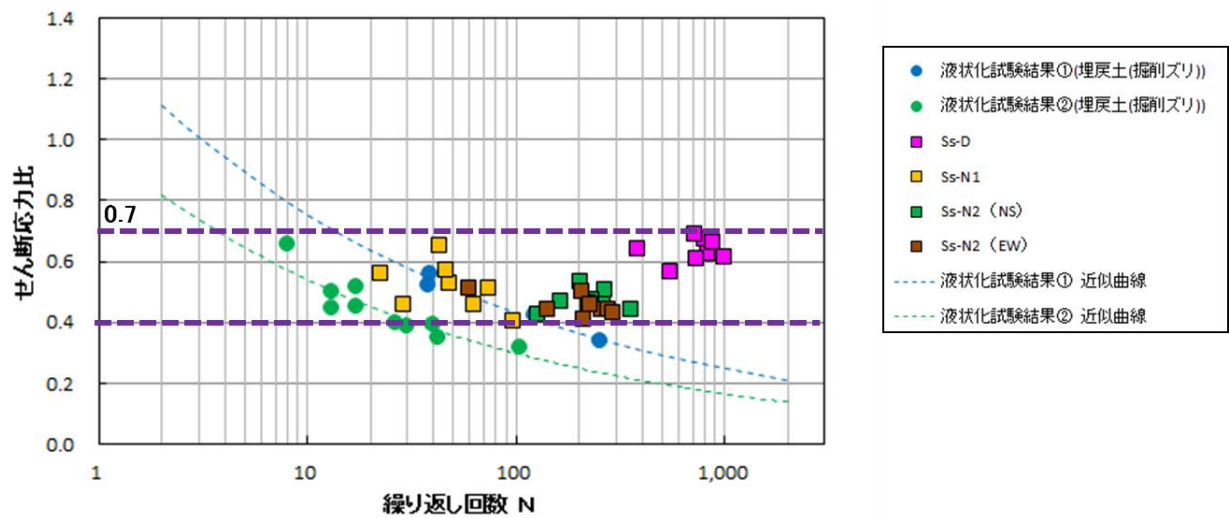
(h) 基本物性 (比較地点⑧)

第3-3-5 図 解析用物性値及び解析モデル

第3-3-1 表 地震応答解析における最大せん断応力と等価繰返し回数（埋戻土（掘削ズリ））

基準地震動 S s	Ss-D		Ss-N1		Ss-N2(NS)		Ss-N2(EW)	
	L	N _{eq}	L	N _{eq}	L	N _{eq}	L	N _{eq}
比較地点①	0.67	801.1	0.51	73.2	0.51	266.5	0.44	256.1
比較地点②	0.69	713.1	0.53	48.1	0.53	202.6	0.44	278.3
比較地点③	0.63	834.0	0.40	96.9	0.46	260.8	0.43	290.9
比較地点④	0.64	384.5	0.46	28.7	0.47	164.1	0.44	142.7
比較地点⑤	0.66	879.2	0.65	42.9	0.47	230.9	0.50	205.4
比較地点⑥	0.61	728.6	0.46	62.7	0.46	223.4	0.41	210.9
比較地点⑦	0.62	998.0	0.57	45.9	0.44	356.9	0.46	225.7
比較地点⑧	0.57	544.4	0.56	22.4	0.42	127.2	0.51	59.4

最大せん断応力比： $L = \tau_e / \sigma'_v$
 τ_e ：等価せん断応力（ $= 0.65 \times \tau_{max}$ ），
 σ'_v ：有効土被り圧
 N_{eq} ：等価繰返し回数



第3-3-6 図 累積損傷度理論に基づく評価結果（埋戻土（掘削ズリ））

3.4 簡易設定法

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設計事例集に準拠し、液状化強度比RL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、液状化特性（過剰間隙水圧の発生）を設定するパラメータを第3-4-1表に示す。

第3-4-1表 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、通常地の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p2については、以下の式で算出する。

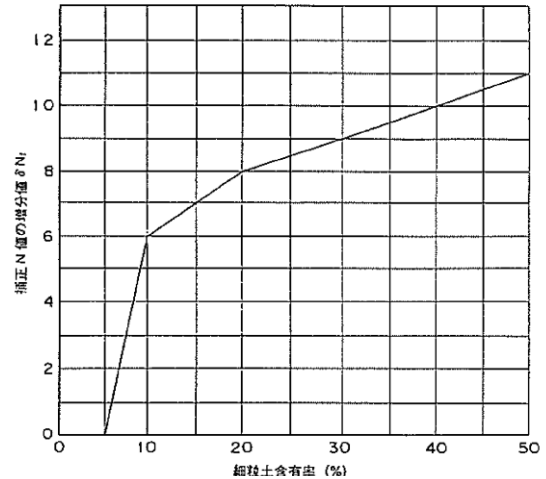
$$(N)_{0.66} = (N - 1.828(\sigma'_v - 0.66)) / (0.399(\sigma'_v - 0.66) + 1)$$

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

※dNtは森田ら(1997)の右図から求める

ここに、 $(N)_{0.66}$: 等価N値
 σ'_v : 有効上載圧

$$p_2 = -0.0166N_a + 1.215$$

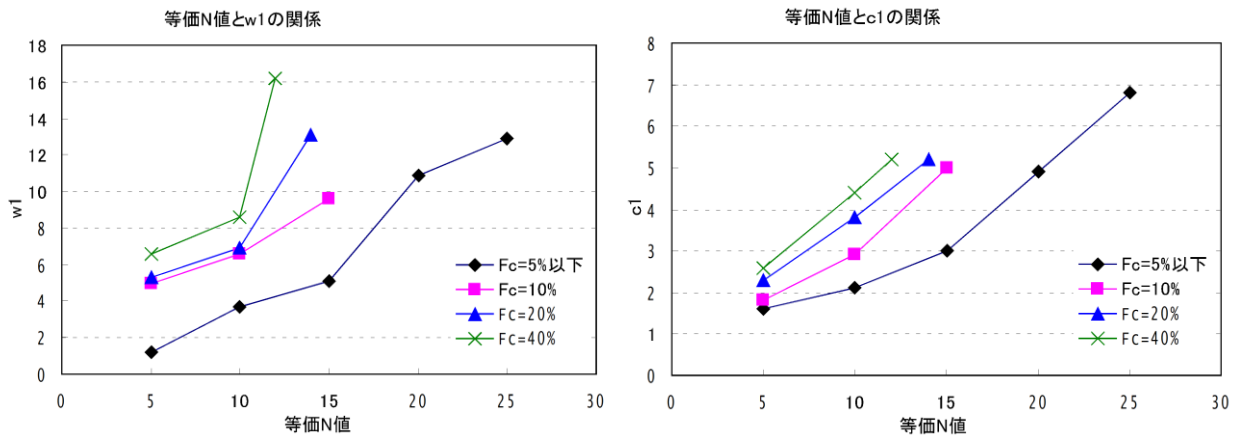


第3-4-1図 細粒分含有率に応じた補正N値の増分値

w1, c1については、最新の研究成果に基づき第3-4-2図から算出する。なお、変相角φp=28度、p1=0.5、s1=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FLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法(森田ら)」に基づき固定値とする。

今回、保守的に液状化強度特性を設定するため、標準貫入試験で求めたN値については、次頁のとおり取り扱う。

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、第3-4-4～5図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(掘削ズリ)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。



第3-4-2図 等価N値と液状化パラメータ w1 及び c1 の関係

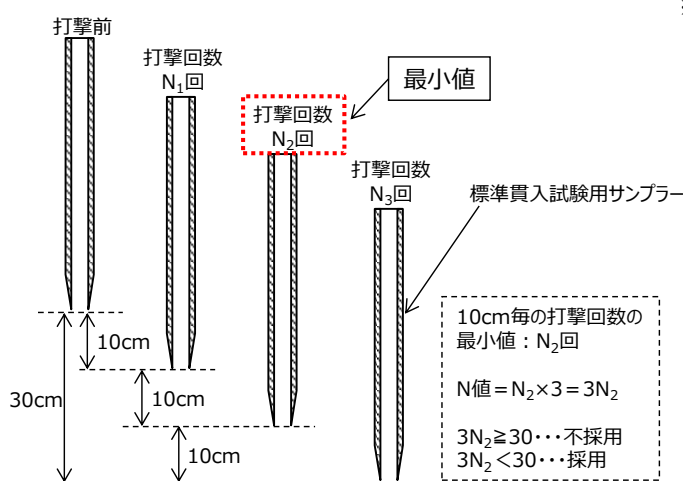
標準貫入試験（JIS A 1219）※により得られたN値について、今回、以下のとおり扱うことにより、保守的に液状化強度特性を設定する。

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。

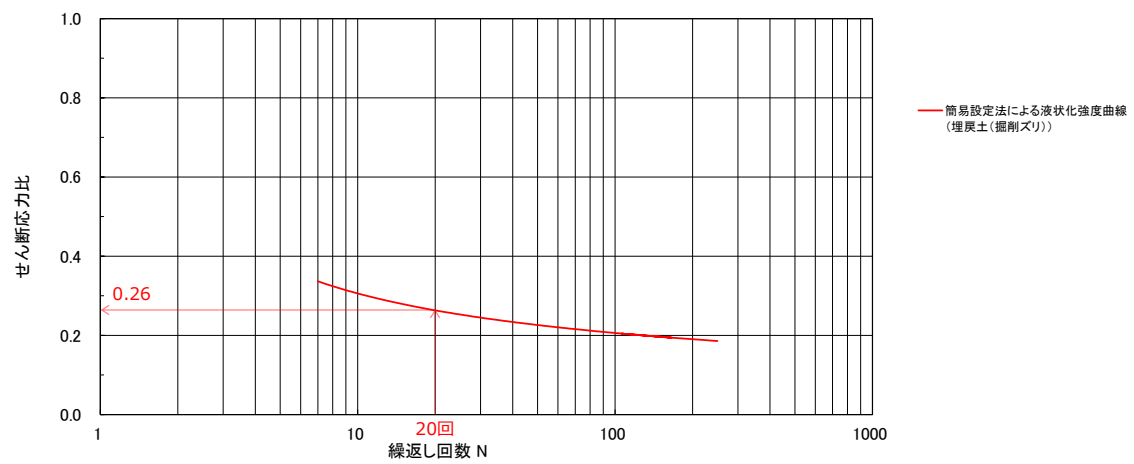


第3-4-3 図 N値の評価概要図（②N値=30以上）

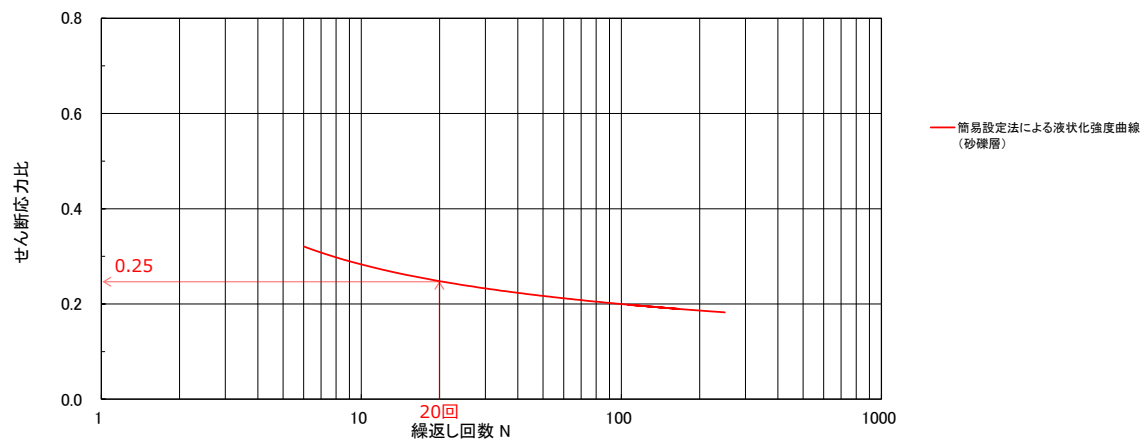
第3-4-2 表 簡易設定法におけるN値の考え方

	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

簡易設定法による液状化パラメータで計算した液状化強度曲線を第3-4-4～5 図に示す。



3-4-4 図 埋戻土（掘削ズリ）の液状化強度曲線



第3-4-5 図 砂礫層の液状化強度曲線

・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号炉における埋戻土（掘削ズリ）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号炉における埋戻土（掘削ズリ）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。

表-6 等価N値($N_{0.66}$)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) _{0.66}	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) _{0.66}	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

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）より引用

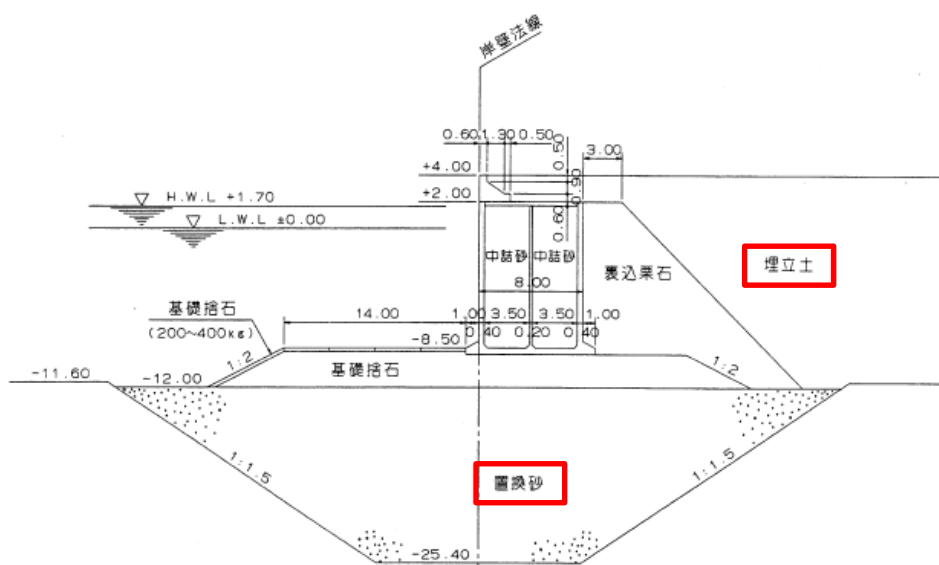
第3-4-6 図 簡易設定法の根拠資料

・簡易設定法の実績

「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、概ね被災状況を再現できている。

以上の実績を踏まえ、島根2号炉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。



第3-4-7 図 神戸RF3岸壁 標準断面図

第3-4-3 表 液状化パラメータの簡易設定法の実績

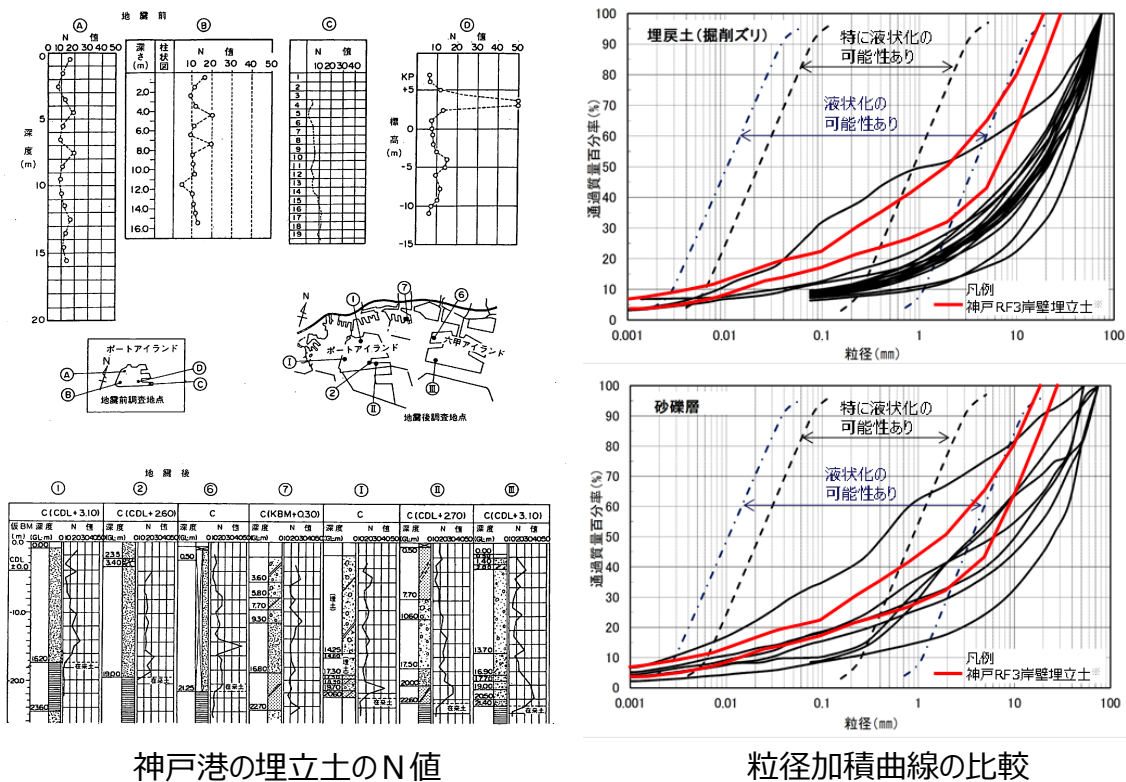
地震名	対象施設	被災状況	再現解析
平成7年 兵庫県南部 地震	神戸 RF3岸壁	水平変位 3.7m	水平変位 3.09m
	神戸港 T栈橋	水平変位 1.4~1.5m	水平変位 2.01m

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号炉の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層と、神戸港の埋立土との比較を第3-4-8 図に示す。

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号炉と同程度である。神戸港の埋立土の粒径は、島根2号炉の埋戻土（掘削ズリ）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号炉の埋戻土（掘削ズリ）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

※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

第3-4-8 図 島根2号炉の埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層と神戸港埋立土の比較

3.5 液状化強度特性の設定方針

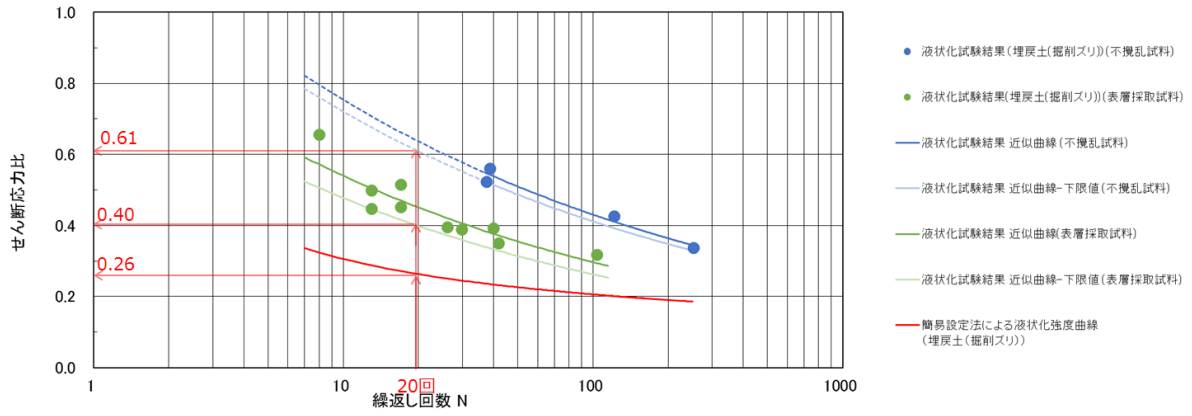
液状化試験結果より、液状化を示す土層はないが、繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）、若しくは非液状化となる土層（埋戻土（掘削ズリ）、砂礫層）については、念のため液状化強度特性を設定し、保守的に構造物への影響評価を実施する。

各土層での液状化強度特性は、液状化試験を踏まえ、港湾基準に基づく詳細な計算例をまとめた設計事例集に準拠し、有効応力解析（FLIP）の簡易設定法により設定する。簡易設定法は、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。なお、簡易設定法で用いる N 値は保守的な設定値（ N 値が30以上の場合は、10cm毎の打撃回数の最小値を3倍した値とし、その値が30以上の場合は不採用とする）とする。

また、簡易設定法により設定された液状化強度特性は、液状化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。

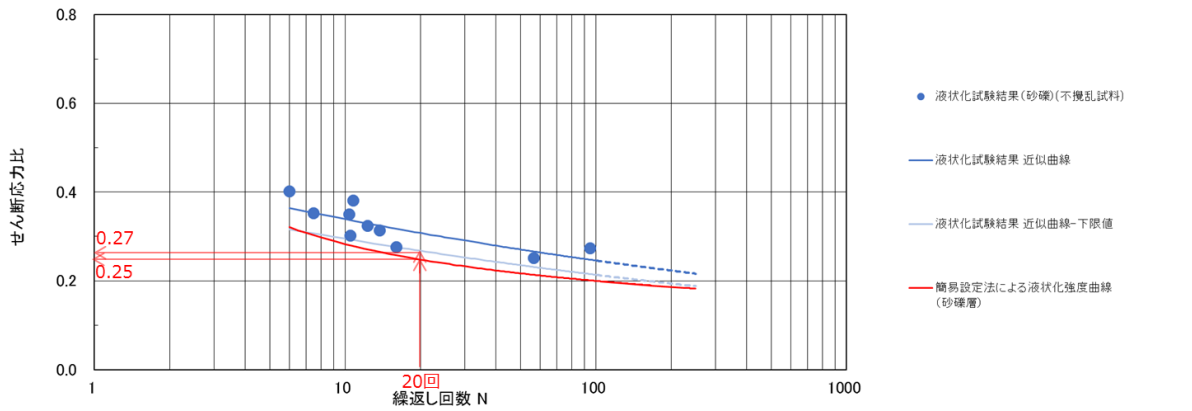
第3-5-1 図に簡易設定法による液状化強度曲線と液状化試験結果による液状化強度曲線を示す。

簡易設定法により設定した液状化強度曲線（埋戻土（掘削ズリ））は、液状化試験結果①（ロータリー式三重管サンプラー）及び液状化試験結果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。



(a) 埋戻土 (掘削ズリ)

第3-5-1 図 簡易設定法及び液状化試験結果による液状化強度曲線の比較



(b) 砂礫層

第3-5-1 図 簡易設定法及び液状化試験結果による液状化強度曲線の比較

4. 液状化影響の評価方針

4.1 液状化影響の検討方針

液状化評価については道路橋示方書を基本として、道路橋示方書において液状化評価の対象となっている砂礫層に加えて、液状化評価の対象外となっている埋戻土（掘削ズリ）についても液状化試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施した。液状化試験に基づいて、地震時の地盤の状態を『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』と判定した。それぞれの試験結果、および、港湾基準に基づく詳細な計算例をまとめた設計事例集に準拠した有効応力解析（FLIP）の簡易設定法を踏まえ、液状化強度特性を設定し、構造物への影響評価を実施する。なお、試験結果が『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。

液状化強度特性については、簡易設定法により設定するが、これにより設定される液状化強度特性が、液状化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している。また、簡易設定法で用いるN値は保守的な設定値としている。

以上を踏まえ、有効応力解析（FLIP）の実施に当たっては、簡易設定法に基づき設定した液状化強度特性を適用する。

構造物の影響評価については、液状化に伴う影響を考慮するため、有効応力解析を実施する。有効応力解析においては、解析コード「FLIP」等を用いる。液状化試験結果に比べて保守的な簡易設定法により有効応力解析の液状化パラメータを設定し、構造物の影響評価を実施する。解析コード「FLIP」については、Iai et. al (1992) 及びIai et. al (1995)において、液状化及びサイクリックモビリティを示す地層についての適用性が検証されている。Iai et. al (1992)においては、サイクリックモビリティが観察された砂の繰返しねじり試験結果に対して、解析コード「FLIP」を用いた解析を実施し、解析結果が室内試験結果と良い対応を示したと報告している。Iai et. al (1995)においては、解析コード「FLIP」を用いて、1993年釧路沖地震の再現解析を実施している。1993年釧路沖地震の観測波はサイクリックモビリティの影響を示すスパイク状の地震波となっており、解析コード「FLIP」において地震観測値の密な地盤の液状化パラメータを設定することで、サイクリックモビリティの影響を示す観測値を再現することができたと報告している。よって、設置許可段階における構造物評価の見通しについては、解析コード「FLIP」を用いることとした。

なお、工事認可段階における構造物評価に当たっては、今回説明した液状化強度特性の妥当性及び採用した解析コードの適用性について、設計事例集で兵庫県南部地震における港湾施設の被災状況の再現性を検証することで確認されている。

第4-2-1 表 液状化評価の基本方針

本検討の対象土層			道路橋示方書 及び港湾基準 における液状 化評価の対象	当社評価		
地層名	堆積年代	調査地点名 土層名		液状化試験 による判定	液状化強度特性 の設定の考え方	液状化強度特性 の保守性
被 覆 層	盛土	完新世	E-2~E-8, A~E 埋戻土 (掘削ズリ)	×	設計事例集に準拠 し、FLIPの簡易設 定法に基づき設定する。	簡易設定法に基づき設定 した液状化強度特性 が、液状化試験結果 による液状化強度特 性と比べ保守的であ ることを確認する。
	崖錐・海底堆積物	完新世	E-1, E-7, E-8 砂礫層	○		

4.2 液状化検討対象施設の選定

設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の設置状況を考慮し、液状化の影響を検討する必要がある液状化検討対象候補施設を抽出する。抽出に当たっては、設計基準対象施設（建物、構築物、屋外重要土木構造物及び津波防護施設）及び重大事故等対処施設を対象に検討する。なお、取水口、取水管及び1号放水連絡通路防波扉については、周囲に液状化評価対象層が分布しないことから、抽出対象外とする。

液状化検討対象候補施設の一覧を第4-2-1 表に、設計基準対象施設、重大事故等対処施設、可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートの配置図を第4-2-1 図に示す。また、液状化検討対象候補施設について、液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フローを第4-2-2 図に示す。

詳細設計段階で設定する設計用地下水位に対する液状化検討対象施設の選定等に当たって、第4-2-3 図に示す地下水位低下設備が機能しない状態が継続した場合の定常的な地下水位分布を予測した浸透流解析の結果を使用する。なお、原子炉建物等の建物、構築物については、地下水位低下設備の効果に期待した浸透流解析の結果を使用する。

地下水位の設定方針において、自然水位（地下水位低下設備を考慮しない場合の地下水位）より保守的に設定した水位とする施設については、以下に示す浸透流解析の結果を踏まえ、液状化検討対象施設の選定フローのうち「②施設周辺の地下水位が十分に低い」の判定を行う。

なお、可搬型重大事故等対処設備による重大事故等への対応に必要なアクセスルートは、地震時の液状化に伴う地中埋設構造物の浮き上がりの影響を受けることなく通行性を確保する設計とする。

ここでは、液状化検討対象施設の選定の考え方を示し、詳細設計段階において、設定した設計用地下水位に基づき液状化検討対象施設の選定を行う。

4.2.1 液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の観点

液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定における観点を以下に示す。

(1) 液状化検討対象施設の選定

液状化検討対象施設は以下の項目で抽出する。

- ①施設が岩盤中に設置されているか
- ②施設周辺の地下水位が十分に低いか

観点例：周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。

(2) 液状化検討対象施設の解析手法の選定

a. 液状化検討対象施設（建物、構築物）

上記（1）にて選定された施設について、液状化等により施設に悪影響を与える恐れがある場合は、地盤の液状化等の影響を考慮した評価を行う（③）。

また、対象施設が機器・配管系の間接支持構造物である場合は、床応答の観点も考慮して解析手法を選定するものとする。

b. 液状化検討対象施設（建物、構築物を除く）

上記（1）にて選定された施設について、施設周辺に改良地盤、マンメイドロック（MMR）

及び他構造物（以下、「改良地盤等」という。）があり、液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）※の影響を緩和している場合、その改良地盤等周辺の地盤の液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）により施設に悪影響を与える恐れがあるか判断する。

③施設周辺に改良地盤等があり、液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）の影響を緩和しているか

④改良地盤等周辺の地盤の液状化又は繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）により施設に悪影響を与える恐れがあるか

観点例：施設が改良地盤等に囲まれており、液状化等の影響がない。

施設周辺の地形等から、側方流動の影響がない。

③で施設周辺に改良地盤等がない場合、又は④で悪影響を与える恐れがある場合は、液状化考慮と液状化非考慮で耐震安全性評価上どちらが保守的になるかを確認するため、一次元又は二次元の全応力及び有効応力による地震応答解析を実施した上で、全応力解析と有効応力解析それぞれの結果から構造物上下端の層間変位を比較するなどして、保守的となる解析手法を選定する（⑤）。

なお、地盤改良が必要となった場合は、上記で選定した解析手法により、その範囲の妥当性を確認する。

また、対象施設が機器・配管系の間接支持構造物である場合は、床応答の観点も考慮して解析手法を選定するものとする。

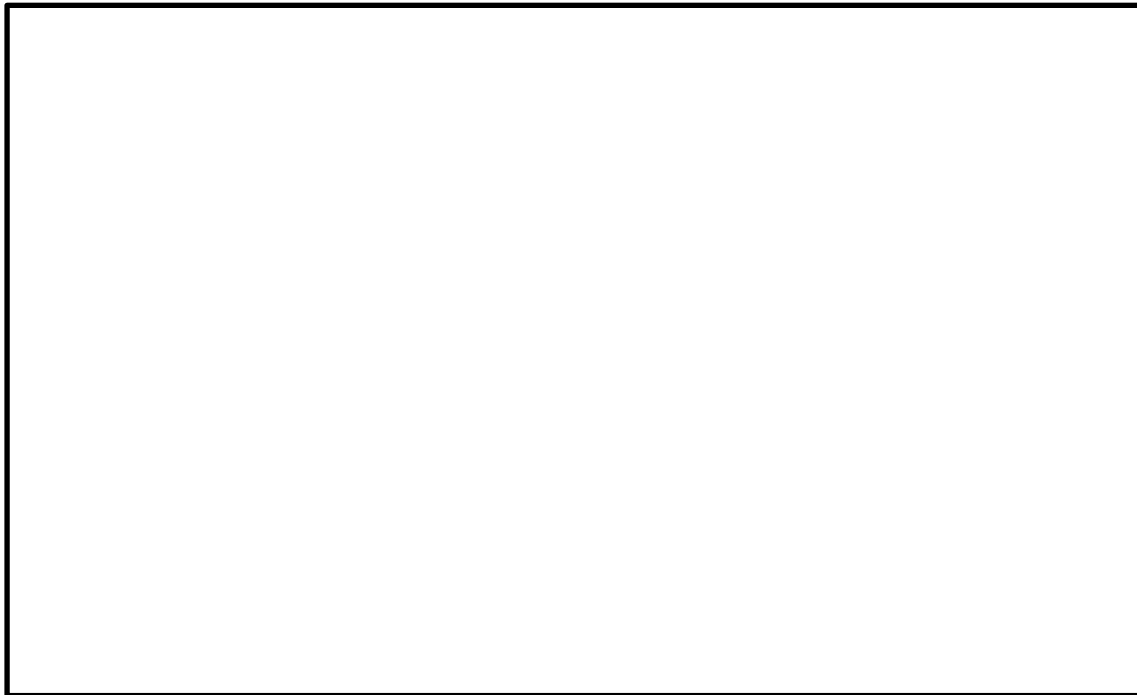
以上を踏まえ、詳細設計段階で設定する設計用地下水位に対する液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定の考え方を確認する目的で、液状化検討対象施設を選定した結果（例）を第4-2-2表に、選定した液状化検討対象施設（例）に対し、設計基準対象施設・重大事故等対処施設の解析手法について検討した結果（例）を第4-2-3表に、各施設の設置状況を第4-2-4図～第4-2-15図に示す。なお、詳細設計段階で実施する地下水位低下設備を考慮した浸透流解析の結果を踏まえ、改めて液状化検討対象施設の選定及び選定解析手法の選定を行う。

※液状化と繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）の区分については「3. 液状化強度特性の網羅性、代表性」にて説明。

第4-2-1 表 液状化検討対象候補施設 一覧

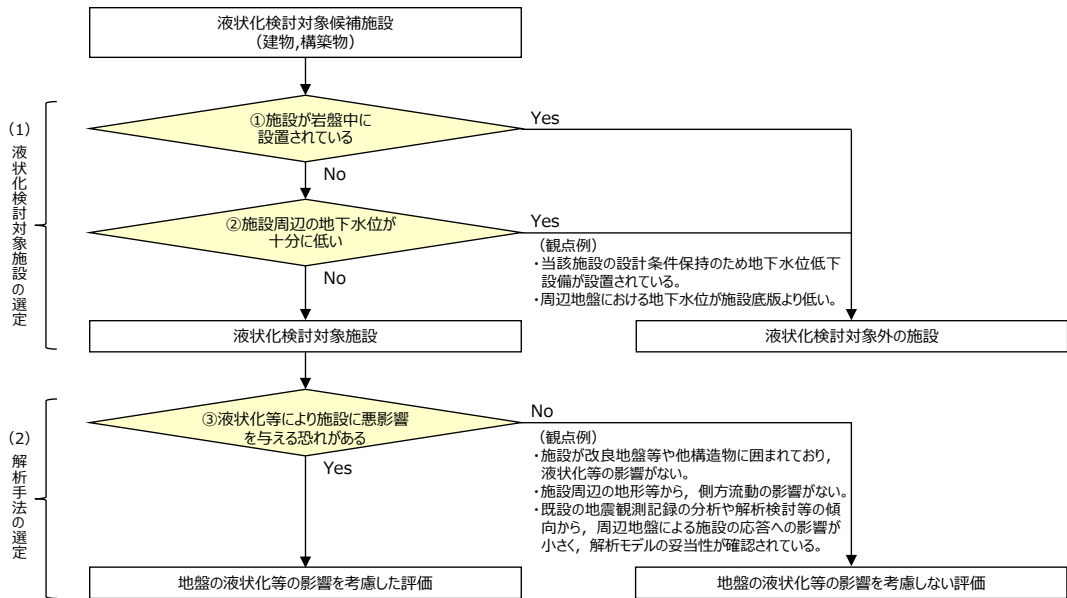
施設分類	施設名称	基礎形式	支持層	基礎下端高さ ^{※1} (EL. m)	地下水位の設定方針	
設計基準対象施設	原子炉建物	直接基礎	岩盤	-4.7	地下水位低下設備の効果に期待して、設計地下水位を設定する	
	タービン建物	直接基礎	岩盤	0.0		
	廃棄物処理建物	直接基礎	岩盤	0.0		
	制御室建物	直接基礎	岩盤	+0.1		
	排気筒	直接基礎	岩盤	+2.0		
	屋外重要土木構造物	取水槽	直接基礎	岩盤	-11.7	自然水位 ^{※2} より保守的に設定した水位
		屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)	直接基礎	岩盤	+4.9	
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	直接基礎	岩盤	+8.35	
		燃料移送系配管ダクト	直接基礎	岩盤	+10.4	
		屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)	直接基礎	岩盤	+10.4	
	津波防護施設	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	杭基礎	岩盤	-19.1	
		防波壁 (鋼管杭式逆T擁壁)	杭基礎	岩盤	-10.65	
		防波壁 (波返重力擁壁)	直接基礎	岩盤・改良地盤	-13.0	
		1号炉取水槽流路縮小工	直接基礎	岩盤	-7.1	
	重大事故等対処施設	防波扉 (防波壁通路防波扉)	杭基礎	岩盤	-15.9	
第1バントフィルタ格納槽		直接基礎	岩盤	+0.7		
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽		直接基礎	岩盤	-1.3		
緊急時対策所用建物 ^{※3}		直接基礎	岩盤	+48.25		
緊急時対策所用燃料地下タンク		直接基礎	岩盤	+46.6		
ガスタービン発電機建物 ^{※3}		直接基礎	岩盤	+44.0		
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎		直接基礎	岩盤	+45.8		
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)		直接基礎	岩盤	+45.45		

※1 各施設の代表的な基礎下端高さを示す。 ※2 地下水位低下設備を考慮しない場合の地下水位 ※3 重大事故等対処施設のうち建物、構築物

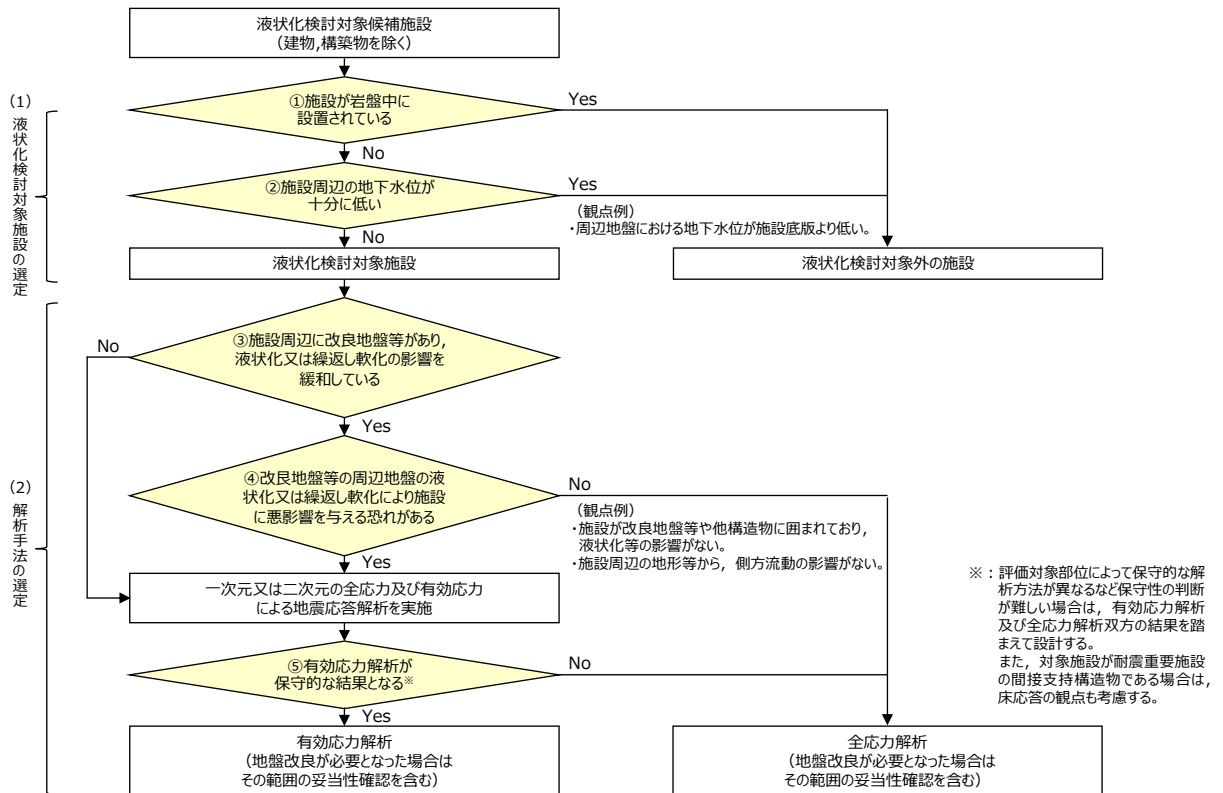


第4-2-1 図 設計基準対象施設、重大事故等対処施設、可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルート 配置図

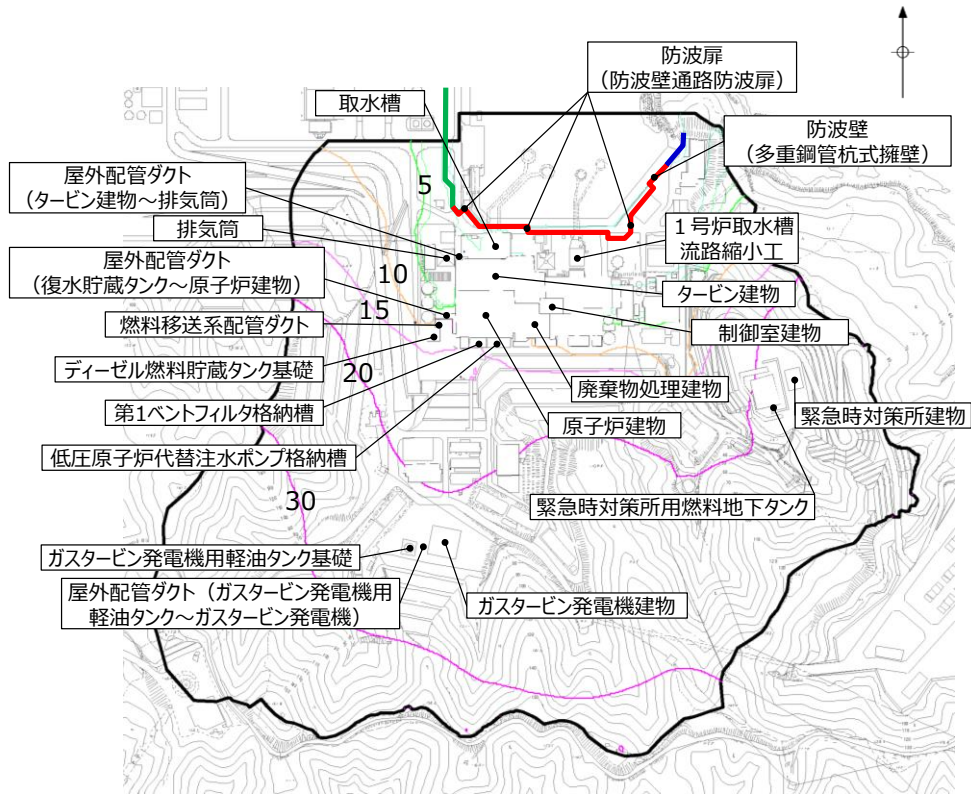
本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



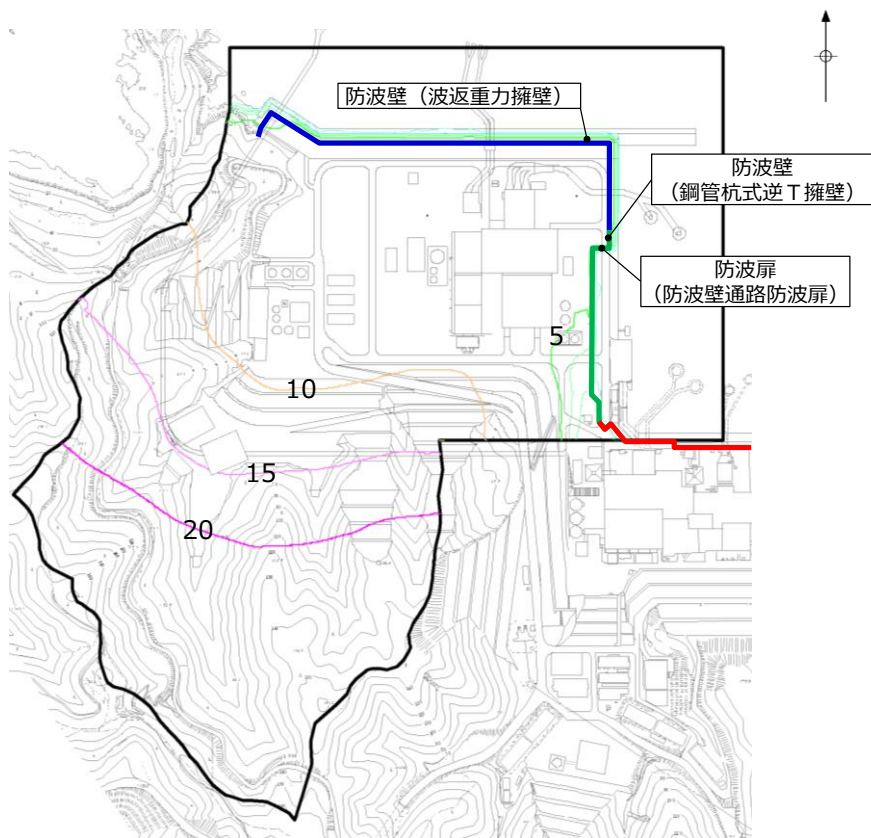
第4-2-2 図(1) 液状化検討対象施設の選定及び解析手法
選定フロー（建物,構築物）



第4-2-2 図(2) 液状化検討対象施設の選定及び解析手法
選定フロー（建物,構築物を除く）



1, 2号炉エリア



3号炉エリア

第4-2-3 図 地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位分布算定結果 (例)

第4-2-2 表 液状化検討対象施設の選定結果（例）

施設分類	施設名称	項目		液状化検討対象施設※ ○：対象 ×：対象外		
		①施設が岩盤中に設置されている	②施設周辺の地下水位が十分に低い			
設計基準対象施設	建物、構築物	原子炉建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		タービン建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		廃棄物処理建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		制御室建物	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
		排気筒	No	Yes	設計条件保持のため地下水位低下設備を設置することから、施設周辺の地下水位が十分に低い。	×
	屋外重要土木構築物	取水槽	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		燃料移送系配管ダクト	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
	津波防護施設	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		防波壁（波返重力擁壁）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		1号炉取水槽流路縮小工	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
		防波扉（防波壁通路防波扉）	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○
重大事故等対処施設	第1バントフィルタ格納槽	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○	
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	No	No	施設に接する高さに地下水位を設定する。	○	
	緊急時対策所建物	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底板より低い。	×	
	緊急時対策所用燃料地下タンク	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底板より低い。	×	
	ガスタービン発電機建物	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底板より低い。	×	
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底板より低い。	×	
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）	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底板より低い。	×		

※ 詳細設計段階で実施する地下水位低下設備を考慮した浸透流解析の結果を踏まえ、改めて液状化検討対象施設の選定を行う。

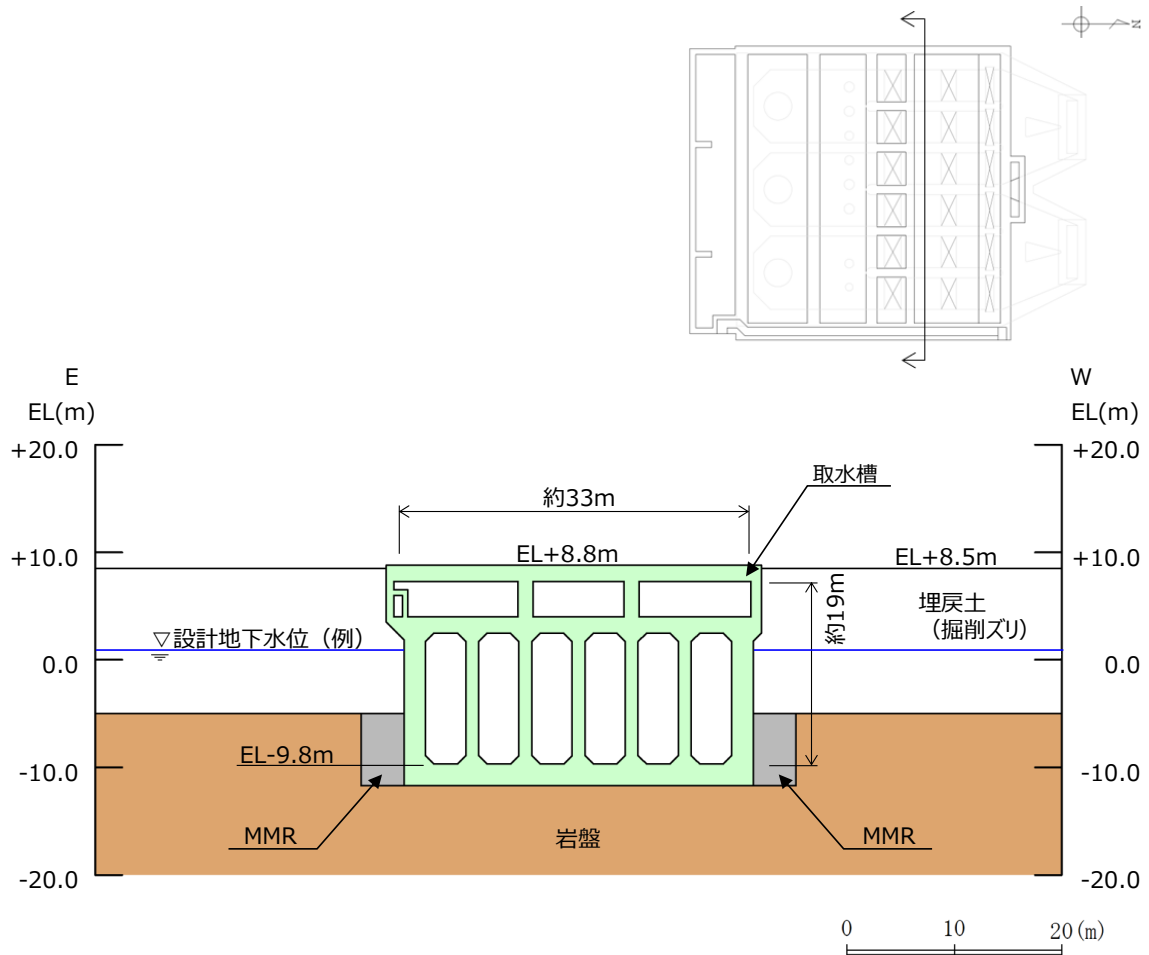
第4-2-3 表 液状化検討対象施設の解析手法選定結果（例）

施設分類	施設名称	項目		一次元又は二次元の全応力及び有効応力による地震応答解析を実施し、解析手法を選定※ ○：対象 ×：対象外		
		③施設周辺に改良地盤等がある	④改良地盤等の周辺地盤の液状化又は繰返し軟化により施設に悪影響を与える恐れがある			
設計基準対象施設	屋外重要土木構築物	取水槽	No	-	○	
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	No	-	○	
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	Yes	No	施設が改良地盤等に囲まれ、その外側に液状化検討対象層がないことから、液状化の影響はない。	×
		燃料移送系配管ダクト	Yes	No	施設が改良地盤等に囲まれ、その外側に液状化検討対象層がないことから、液状化の影響はない。	×
		屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）	Yes	Yes	施設側方に改良地盤等があるが、液状化検討対象層とも接している。また、改良地盤等の外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。	○
	津波防護施設	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	No	-	○	
		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	Yes	Yes	施設下部は改良地盤等に囲まれるが、その外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。	○
		防波壁（波返重力擁壁）	No	-	○	
		1号炉取水槽流路縮小工	No	-	○	
		防波扉（防波壁通路防波扉）	Yes	Yes	施設下部は改良地盤等に囲まれるが、その外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。	○
	重大事故等対処施設	第1バントフィルタ格納槽	Yes	Yes	施設は改良地盤等に囲まれるが、その外側の液状化検討対象層の影響を無視できない。	○
		低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	Yes	No	施設が改良地盤等に囲まれ、その外側に液状化検討対象層がないことから、液状化の影響はない。	×

※ 詳細設計段階で実施する地下水位低下設備を考慮した浸透流解析の結果を踏まえ、改めて液状化検討対象施設の選定した上で解析手法の選定を行う。

・取水槽

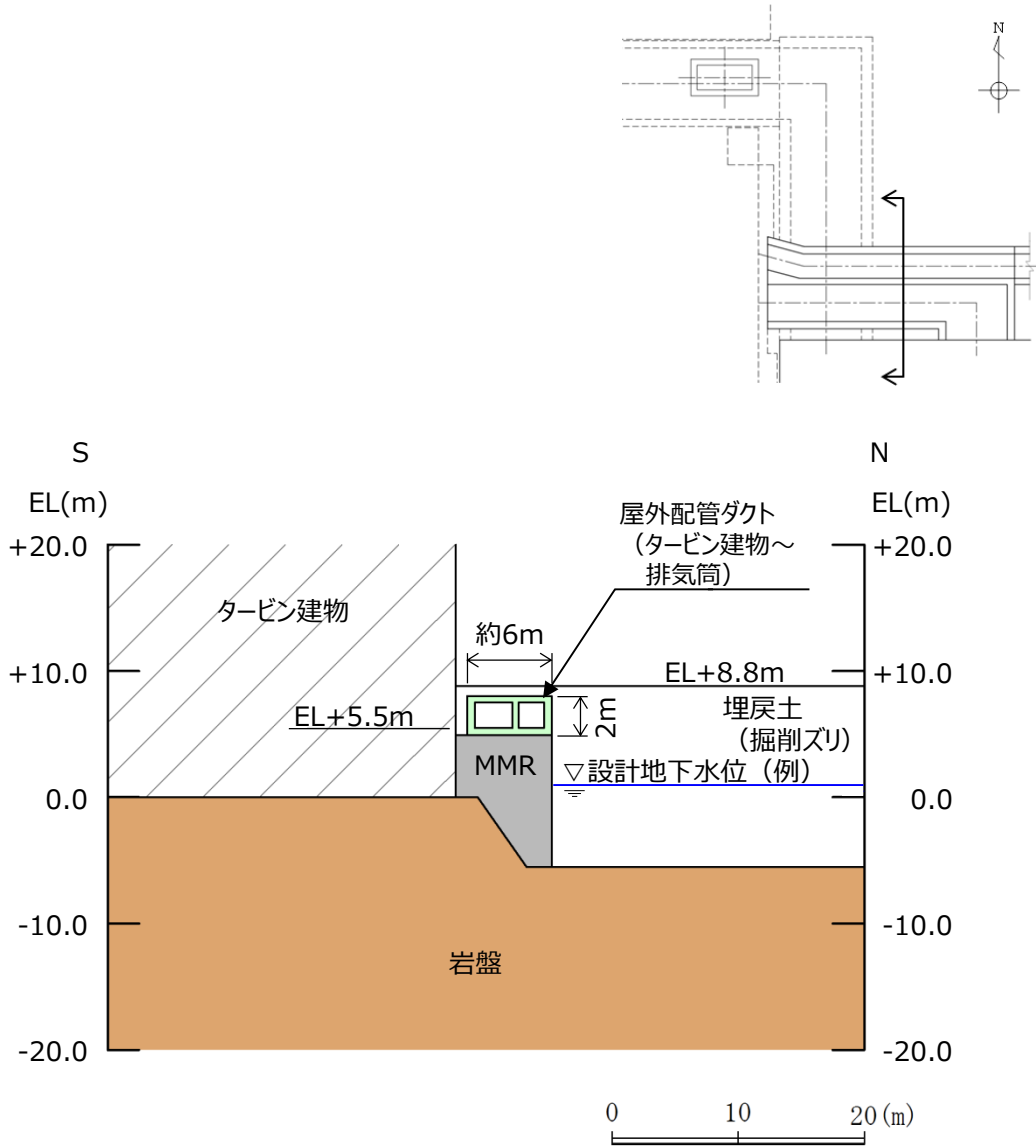
取水槽の設置状況を第4-2-4 図に示す。取水槽は岩盤上に設置されており、周辺はMMR及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-4 図 取水槽 平面図

・屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）

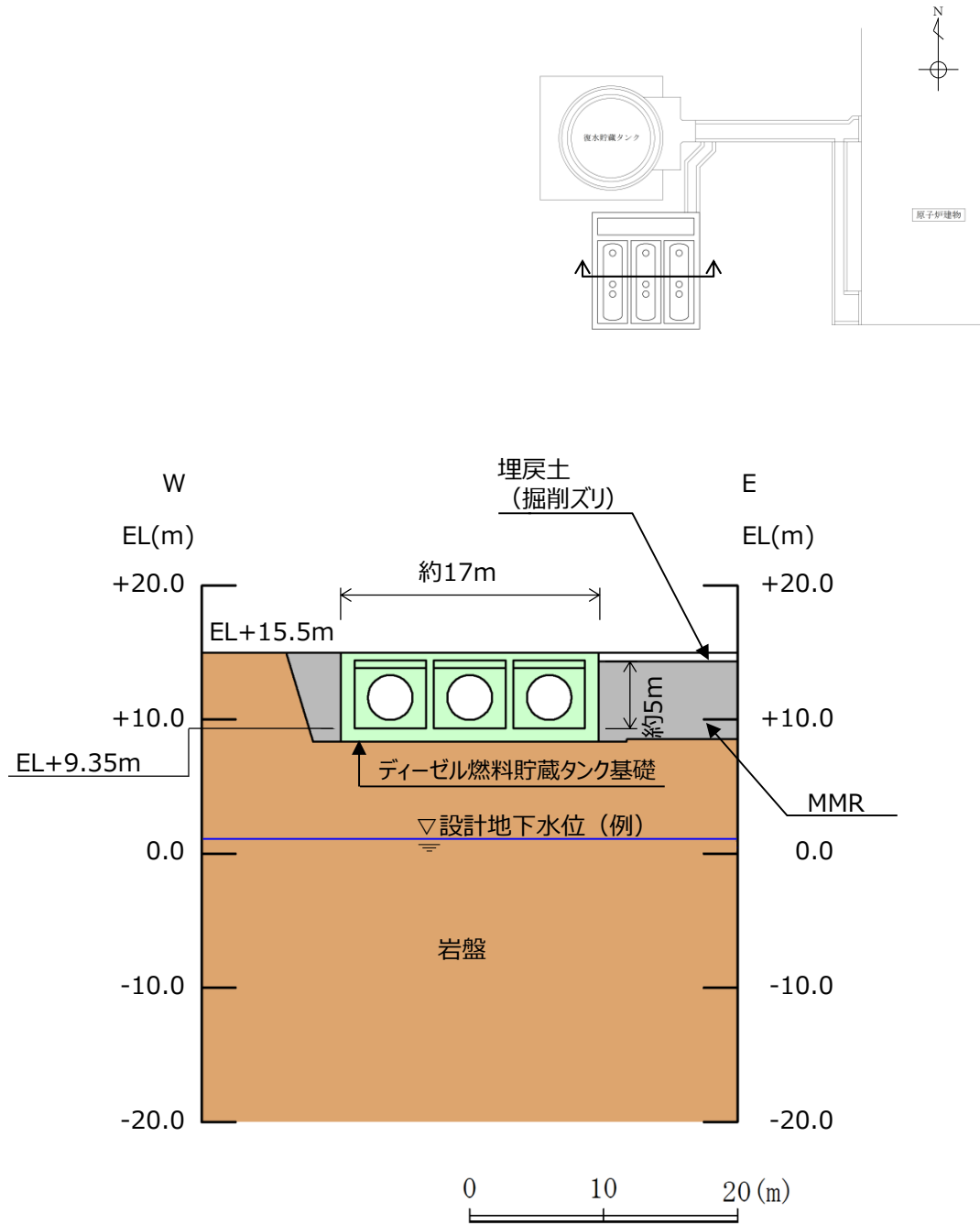
屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の設置状況を第4-2-5 図に示す。屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）はMMRを介して岩盤上に設置されており、周辺は埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-5 図 屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒） 断面図

・ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎

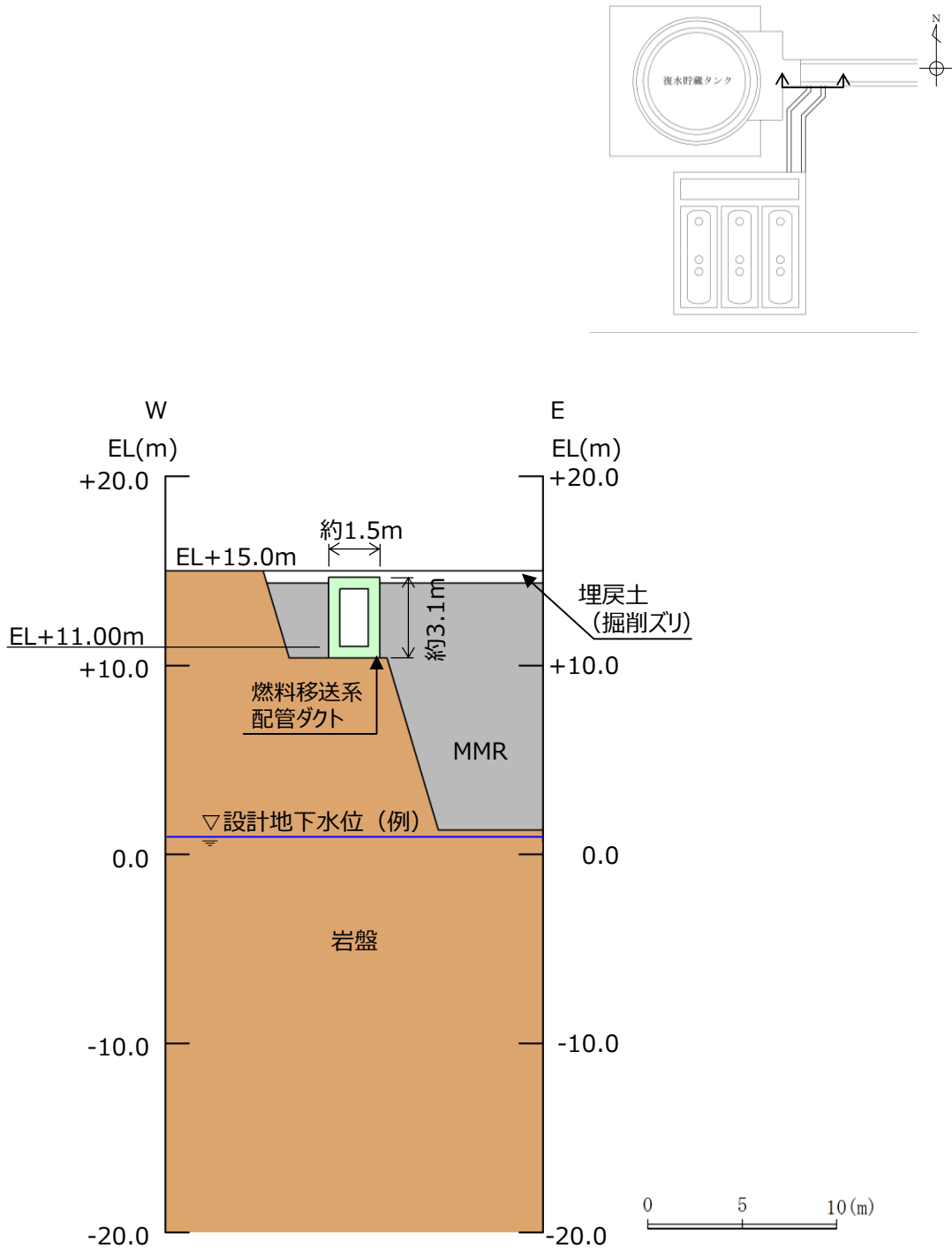
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎の設置状況を第4-2-6 図に示す。ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎は岩盤上に設置されており，周辺はMMRが分布している。



第4-2-6 図 ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 断面図

・燃料移送系配管ダクト

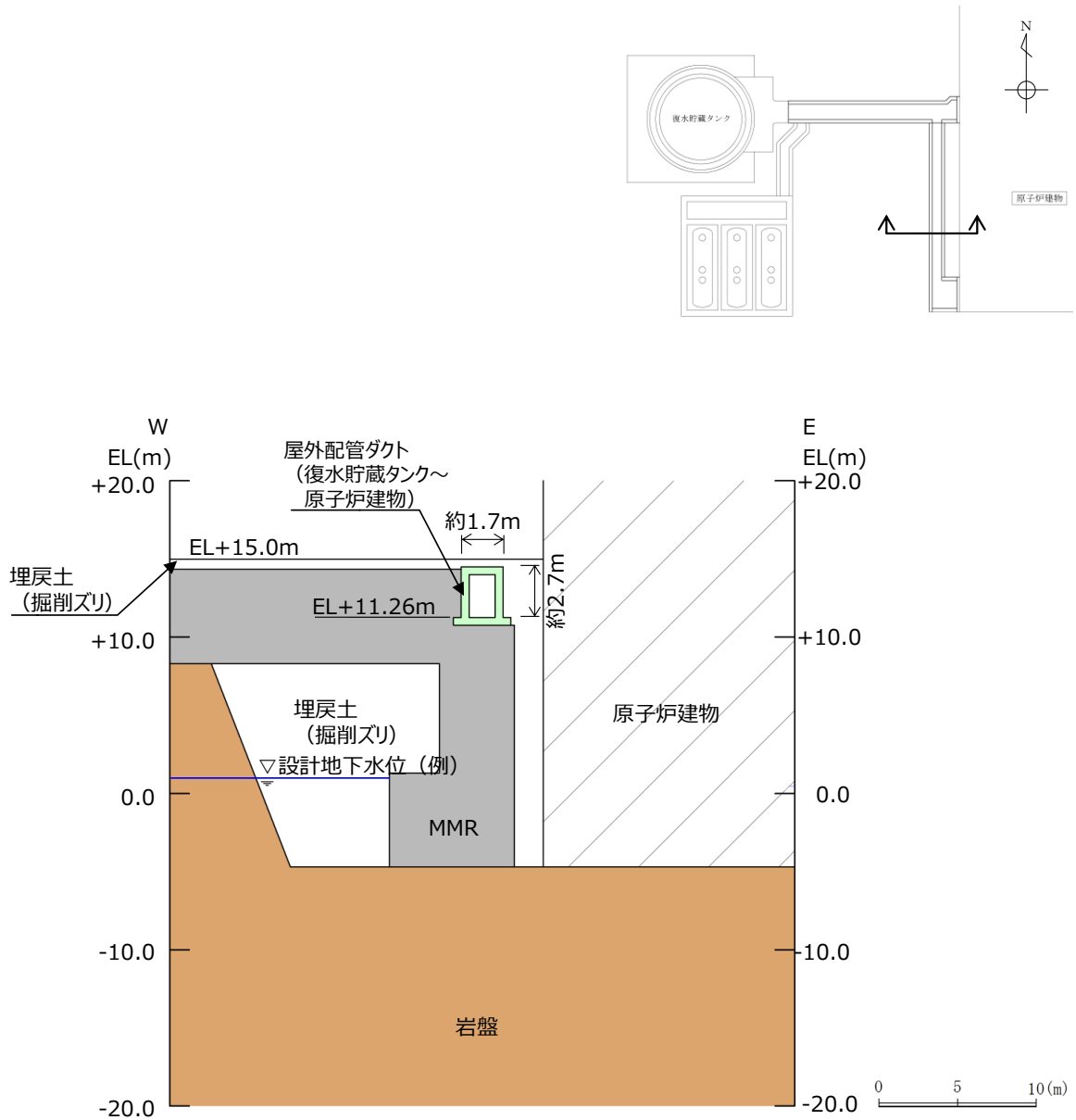
燃料移送系配管ダクトの設置状況を第4-2-7 図に示す。燃料移送系配管ダクトは岩盤上に設置されており，周辺はMMRが分布している。



第4-2-7 図 燃料移送系配管ダクト 断面図

・屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）

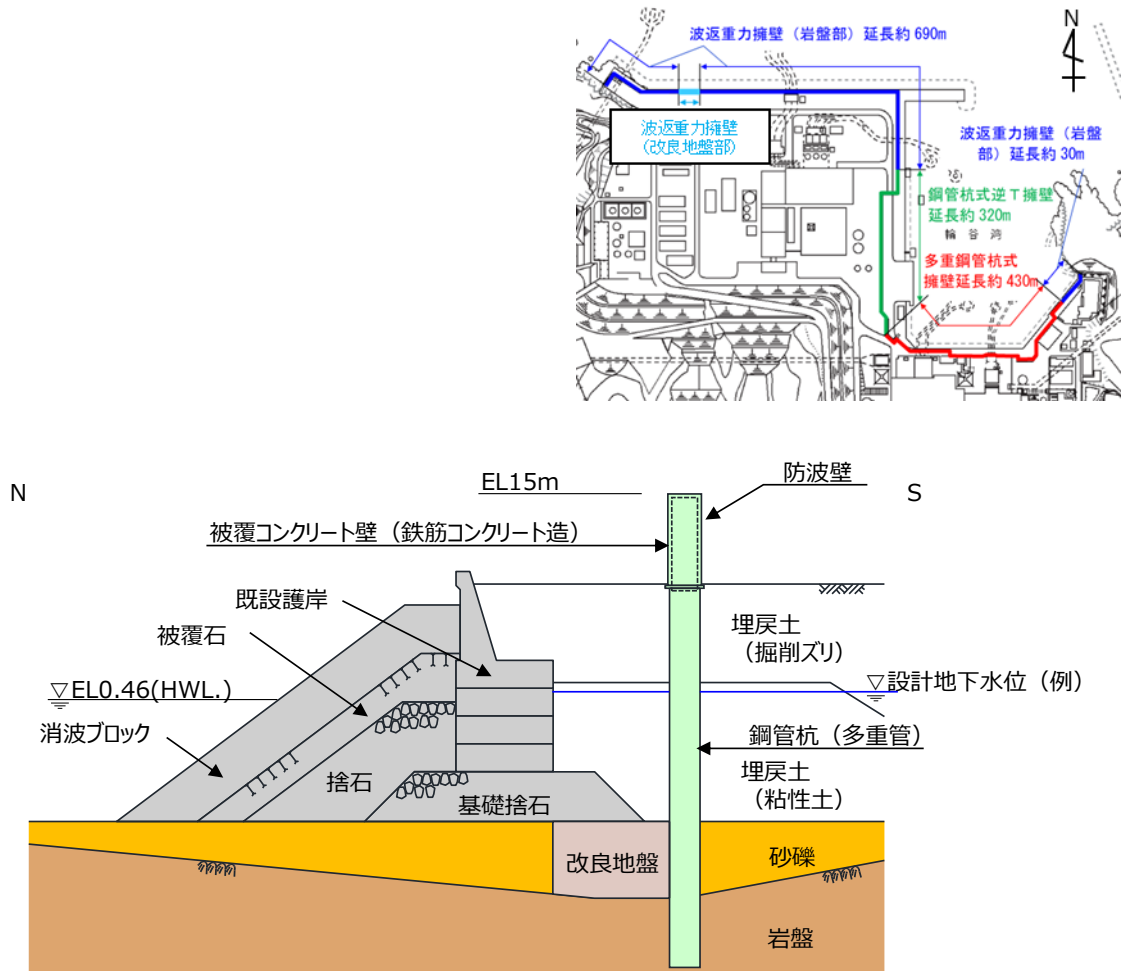
屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）の設置状況を第4-2-8 図に示す。屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）はMMRを介して岩盤上に設置されており、周辺はMMR及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-8 図 屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物） 断面図

・防波壁（多重鋼管杭式擁壁）

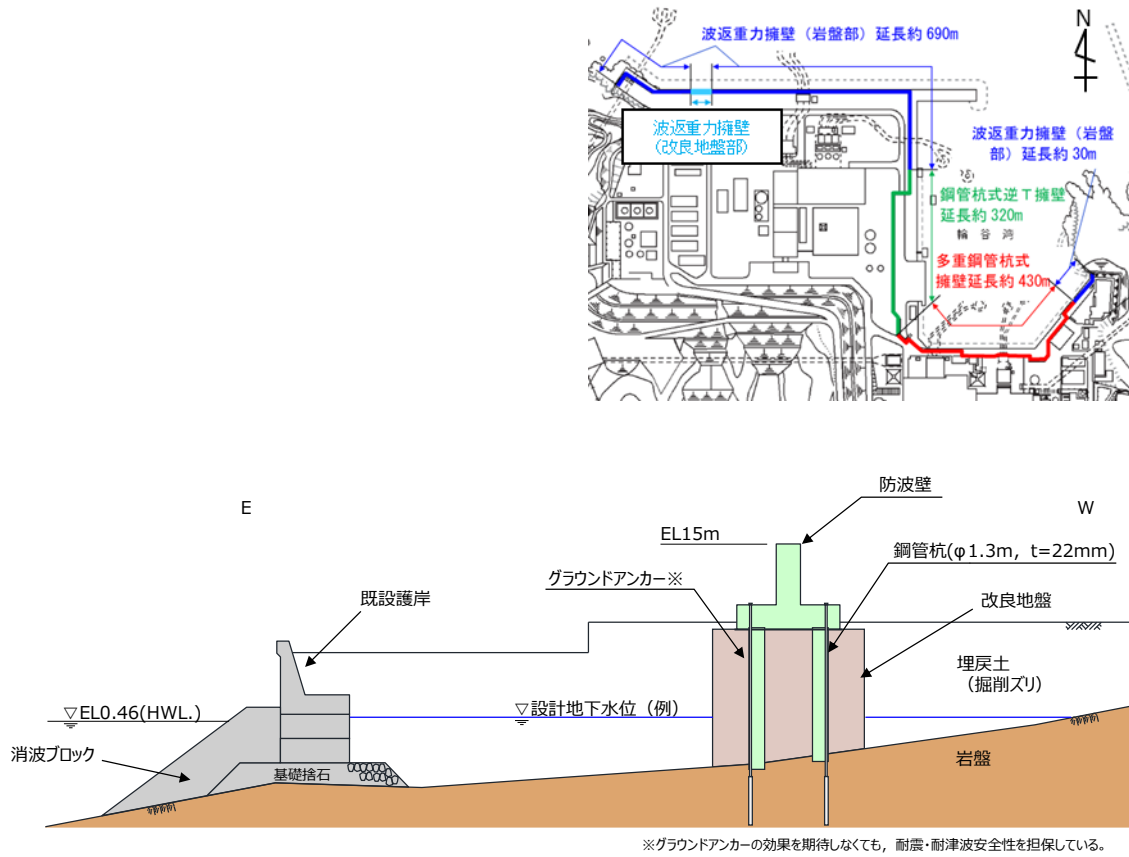
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）における地下水位・設備の設置状況を第4-2-9 図に示す。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は鋼管杭（多重管）により岩盤支持されており、周辺は埋戻土（掘削ズリ）、埋戻土（粘性土）及び砂礫層が分布している。



第4-2-9 図 防波壁（多重鋼管杭式擁壁） 断面図

・防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）

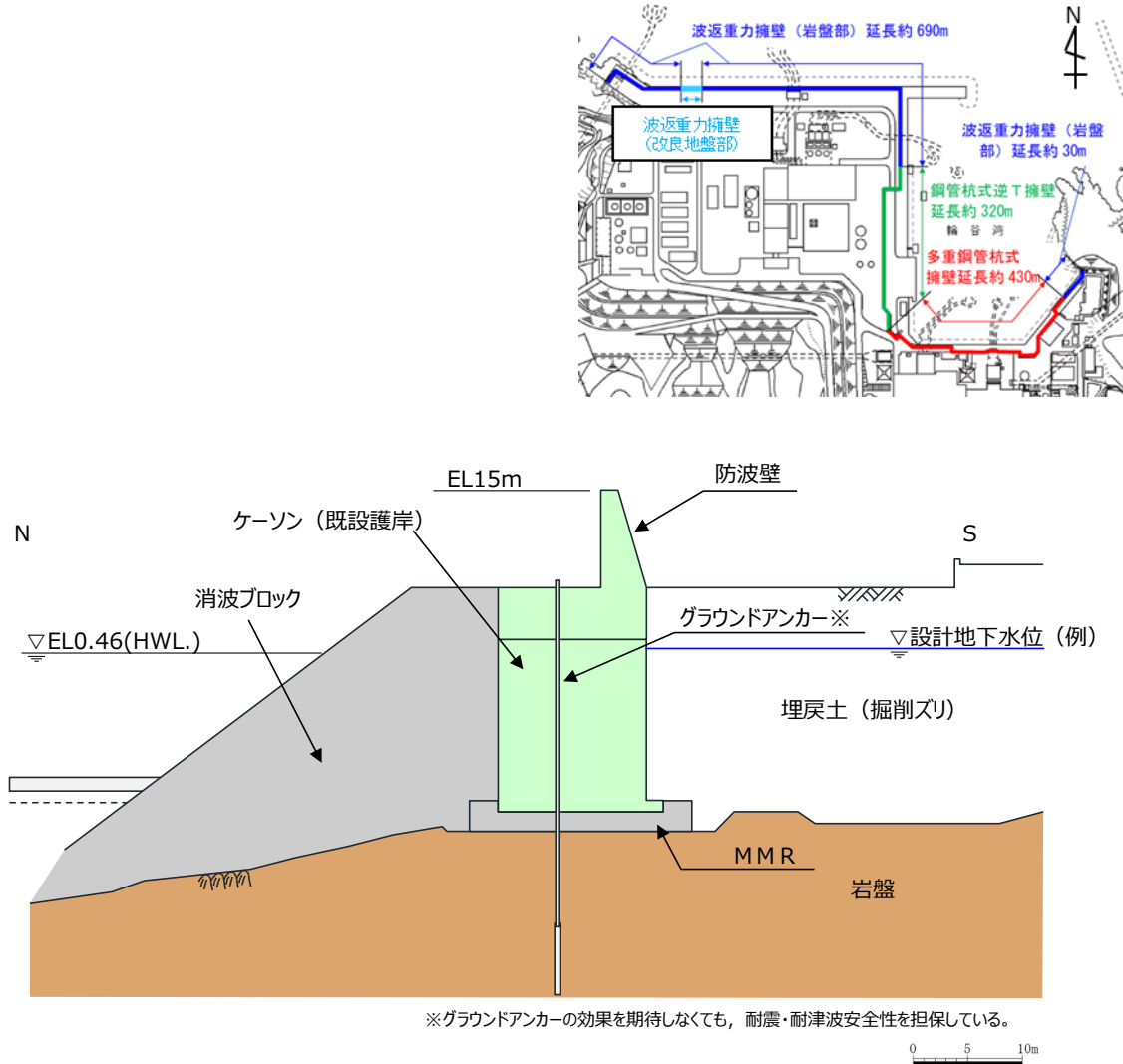
防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の設置状況を第4-2-10 図に示す。防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）は鋼管杭により岩盤支持されており、周辺は改良地盤及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-10 図 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁） 断面図

・防波壁（波返重力擁壁）

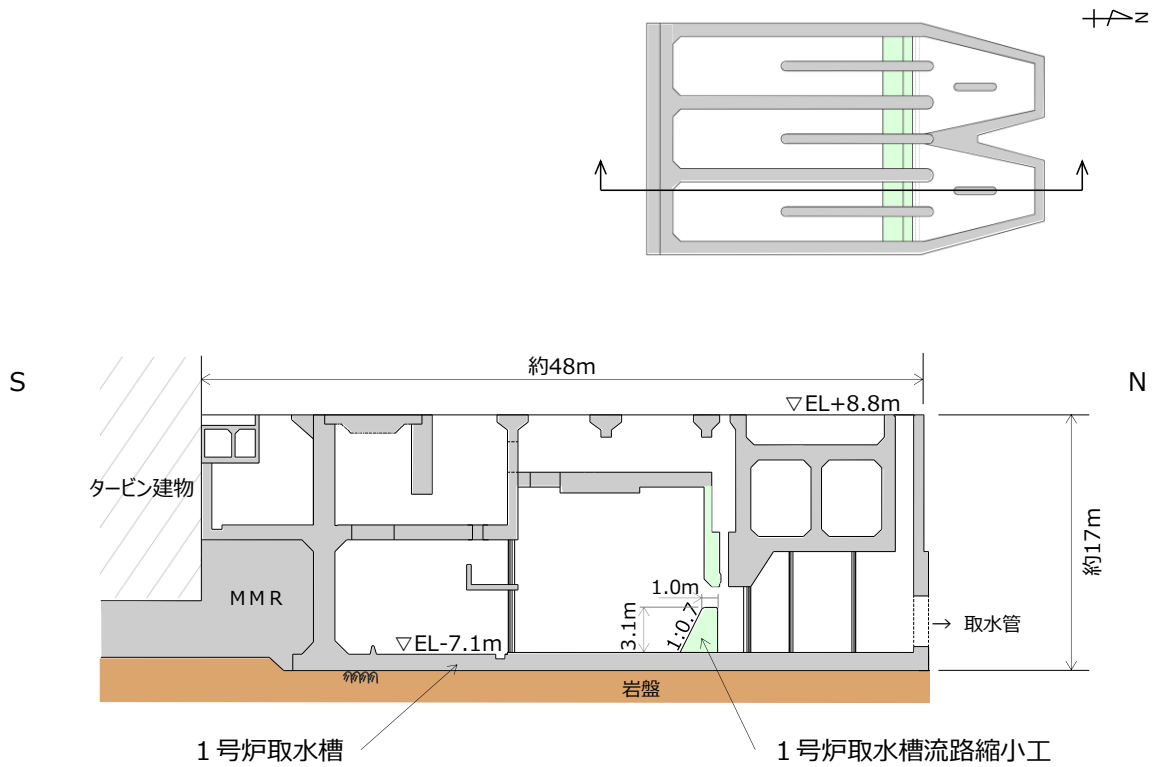
防波壁（波返重力擁壁）の設置状況を第4-2-11 図に示す。防波壁（波返重力擁壁）はMMRを介して岩盤上に設置されており，周辺は埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-11 図 防波壁（波返重力擁壁（岩盤部）） 断面図

・ 1号炉取水槽流路縮小工

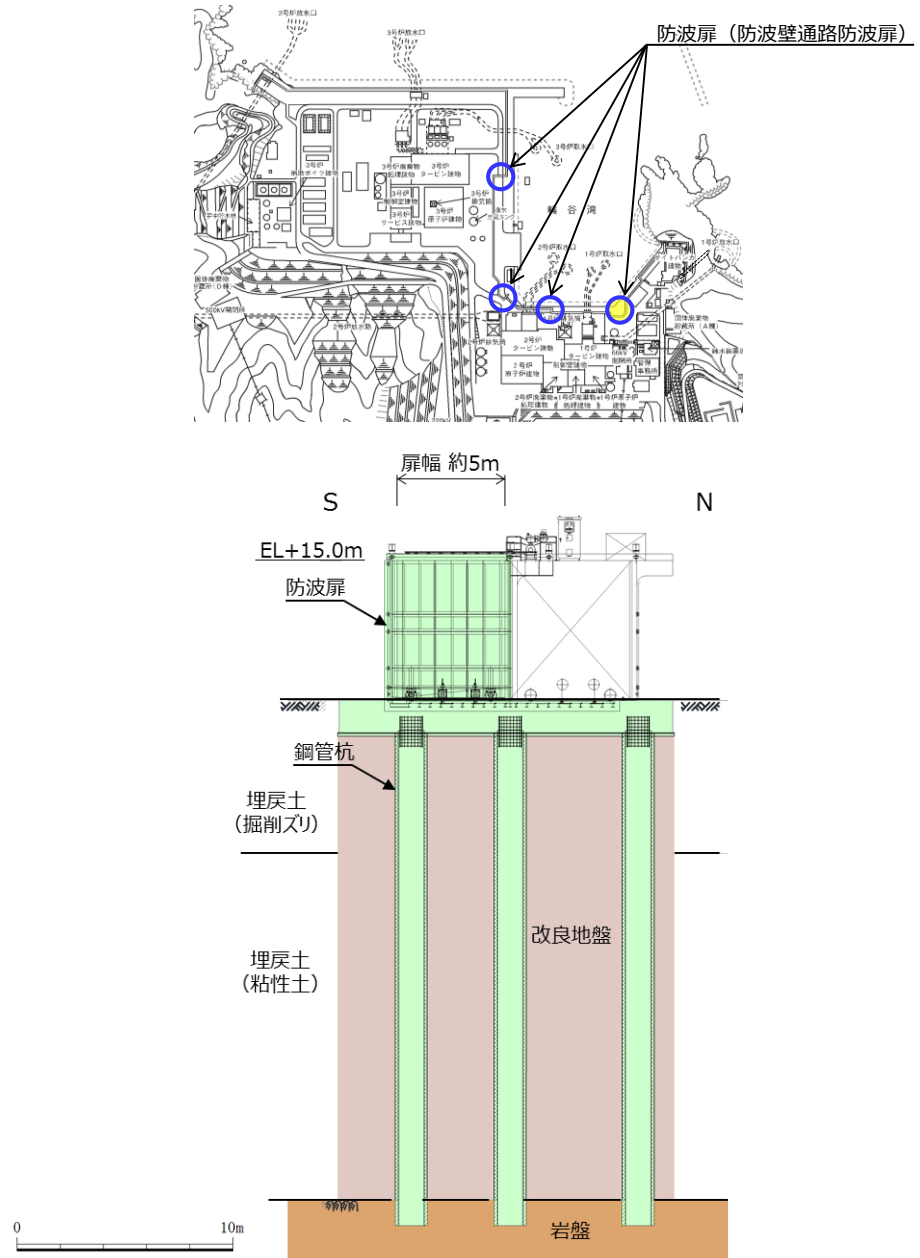
1号炉取水槽流路縮小工の設置状況を第4-2-12 図に示す。1号炉取水槽流路縮小工は1号炉取水槽を介して岩盤上に設置されており、周辺はMMR、埋戻土（掘削ズリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。



第4-2-12 図 1号炉取水槽流路縮小工 断面図

・防波扉（防波壁通路防波扉）

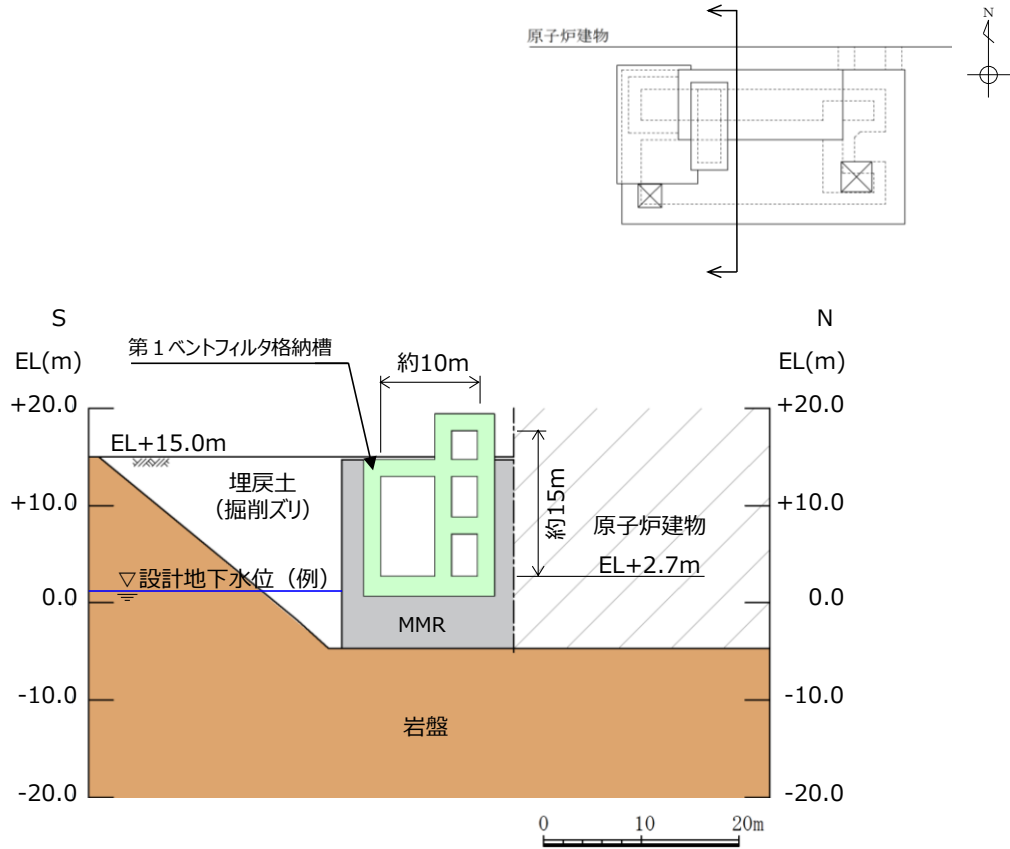
防波扉（防波壁通路防波扉（1,2号炉北側））の設置状況を第4-2-13 図に示す。防波扉（防波壁通路防波扉（1,2号炉北側））は鋼管杭により岩盤支持されており、周辺は改良地盤、埋戻土（掘削ズリ）及び埋戻土（粘性土）が分布している。



第4-2-13 図 防波扉（防波壁通路防波扉（1,2号炉北側）） 正面図

・第1 ベントフィルタ格納槽

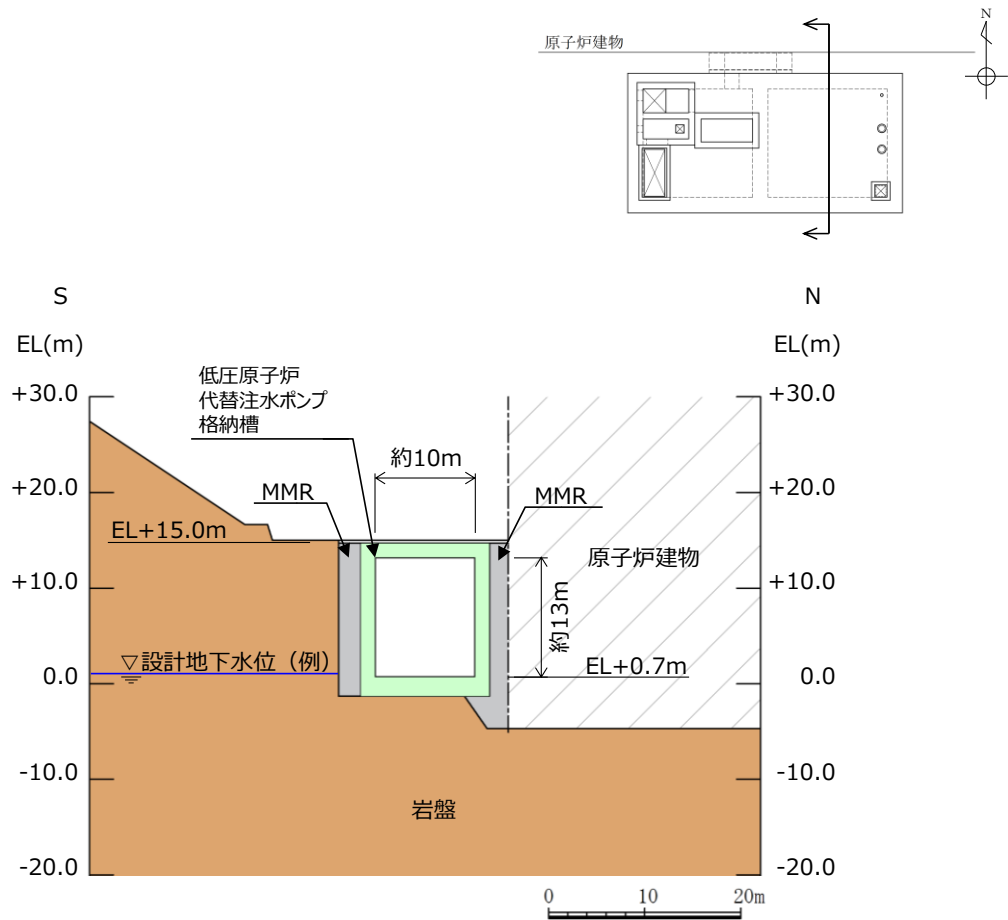
第1 ベントフィルタ格納槽の設置状況を第4-2-14 図に示す。第1 ベントフィルタ格納槽はMMRを介して岩盤上に設置されており、周辺はMMR (マンメイドロック) 及び埋戻土 (掘削ズリ) が分布している。



第4-2-14 図 第1 ベントフィルタ格納槽 断面図

・低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の設置状況を第4-2-15 図に示す。低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は岩盤上に設置されており、周辺はMMR（マンメイドロック）及び埋戻土（掘削ズリ）が分布している。



第4-2-15 図 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図

5. 参考文献

- ・道路橋示方書：道路橋示方書・同解説（V耐震設計編），（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，（社）日本港湾協会，H19年版
- ・港湾構造物設計事例集，沿岸技術研究センター，H19年版
- ・地盤工学会基準JGS4001：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
- ・吉見吉昭，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，H14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

島根原子力発電所 2 号炉

地下水位低下設備について (耐震)

目次

第Ⅰ編 地下水位低下設備の要求機能及び地下水位の設定方針.....	1
1. 地下水位低下設備の要求機能.....	1
2. 設計地下水位の設定方針.....	3
2.1 基本的な考え方.....	3
2.2 解析モデル作成.....	7
2.3 再現解析による検証.....	8
2.4 地下水位が上昇した場合の影響確認.....	15
2.5 観測による検証.....	22
2.6 解析条件及び地下水位設定方針の整理.....	23
第Ⅱ編 地下水位低下設備の信頼性向上の方針.....	24
1. 地下水位低下設備の目的, 機能及び位置付け.....	24
2. 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討.....	26
2.1 供用期間中における機能維持に必要な耐性の分析.....	26
2.2 関係する条文の抽出.....	27
2.3 各構成部位の機能喪失要因の分析.....	29
2.4 分析結果を踏まえた信頼性向上のための配慮事項.....	37
2.5 監視・制御機能及び電源接続の系統構成.....	40
2.6 信頼性の向上を考慮した設備構成の検討.....	41
3. 運用管理・保守管理上の方針.....	44
4. 信頼性向上の方針のまとめ.....	47
第Ⅲ編 設置許可段階における構造成立性検討用の地下水位の設定.....	48
添付資料1	ドレーンの信頼性確保の検討
添付資料2	設置変更許可段階及び工事計画認可以降の提示内容
補足説明資料1	敷地の水文環境
補足説明資料2	建設時工認段階の浸透流解析結果
補足説明資料3	構内排水路の概要
補足説明資料4	三次元浸透流解析による3号炉北側の防波壁周辺の地盤改良後の影響確認
補足説明資料5	基礎地盤の安定性評価における地下水位設定の考え方
補足説明資料6	現行の重要度分類上の位置付けの整理
補足説明資料7	新設揚水井戸・ドレーンの構造・配置及び施工例

第 I 編 地下水位低下設備の要求機能及び地下水位の設定方針

1. 地下水位低下設備の要求機能

原子炉建物等の主要建物直下及びその周囲には地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備を設置しており、建物・構築物（原子炉建物等）については、揚圧力低減のため地下水位低下設備に期待した地下水位を設定していた。

一方、屋外重要土木構造物（取水槽及び屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒））は、施設護岸に近傍しており、施設護岸が基礎捨石上に設置された構造物であるため、地下水位を朔望平均満潮位H. W. L（既工認時EL+0.3m）と設定していた。

地下水位低下設備（既設）設置位置を別紙17-1図に示す。

地下水位低下設備は、各施設周囲の岩盤上に設置されたサブドレーン（硬質ポリ塩化ビニル製有孔管「以下、有孔塩ビ管」〈φ150mm〉）及び集水管（有孔遠心力鉄筋コンクリート管「以下、有孔ヒューム管」〈φ300mm〉）により揚水井戸に集水し、揚水ポンプ・配管を介して構内排水路へ排水する構造となっている。

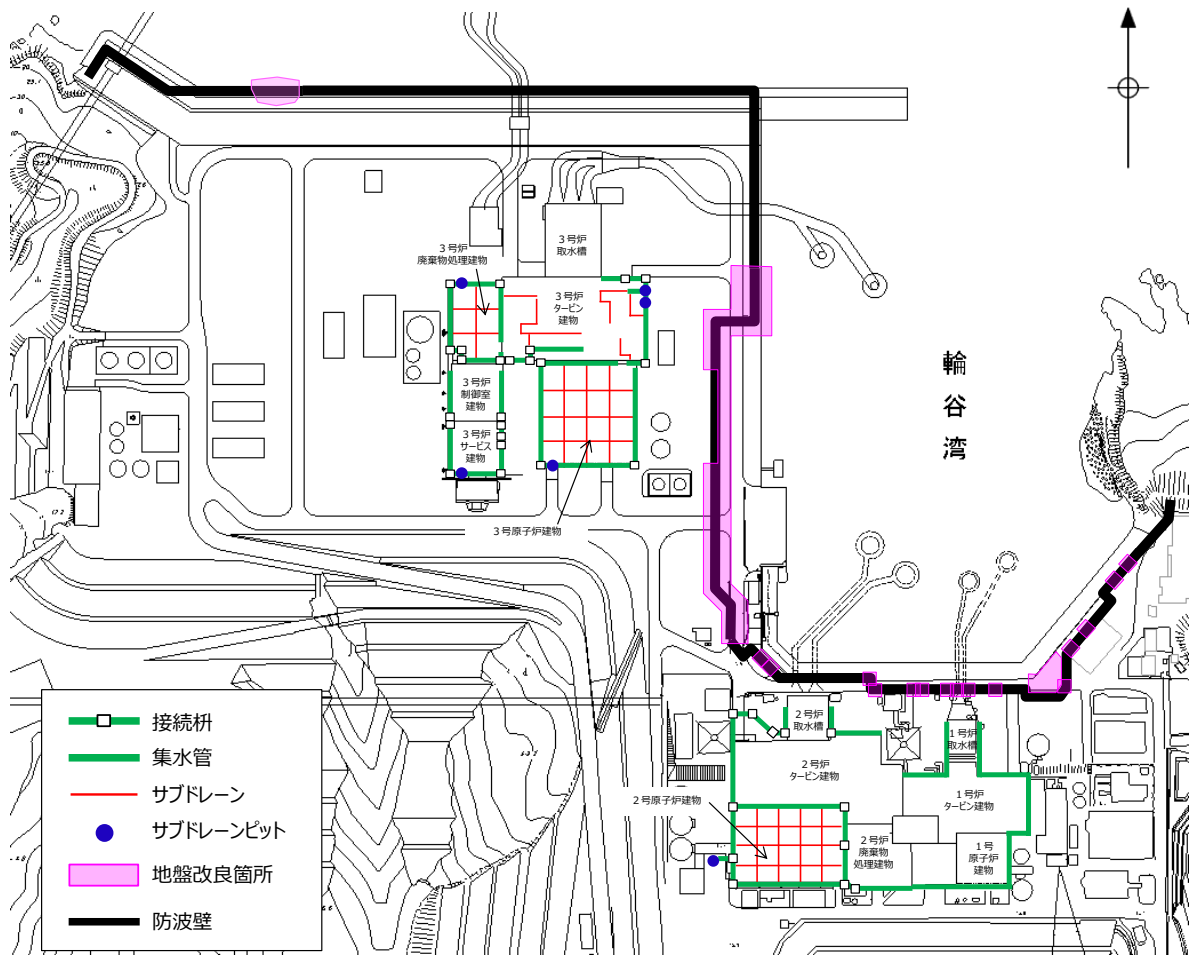
地下水位低下設備の機能は、地下水位を一定の範囲に保持することであり、これにより原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物、制御室建物及び排気筒に及ぶ揚圧力、並びに液状化影響に及ぶ水位上昇に伴う影響が低減される。

従来、地下水は山から海へ向かう一方向の流動場が形成されていたが（補足説明資料1参照）、津波防護施設として防波壁の設置及び地盤改良を実施したこと（別紙17-1, 2図）により、地下水の流れが遮断される等、流動場が変化する可能性がある。

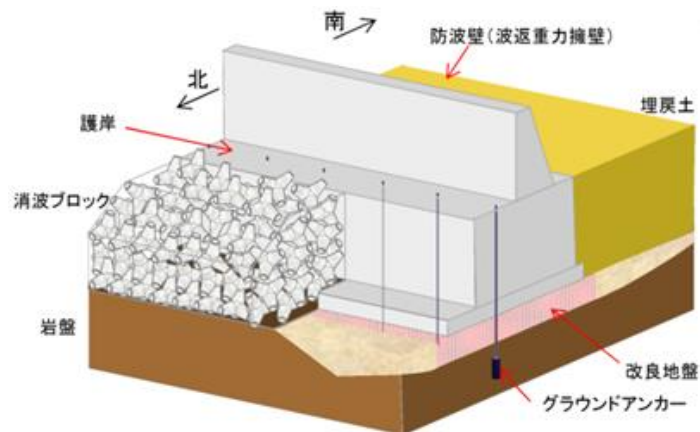
地下水位低下設備の機能に期待できない場合、地下水位は防波壁設置前より上昇し、施設の安全性へ影響が生じる可能性がある。防波壁設置後の地下水位を観測した結果、1, 2号機エリアの地下水位低下設備周辺及び高台の地下水位については、大きな変化がないものの、3号機北側施設護岸周辺（改良地盤）の地下水位は若干上昇する傾向が認められる。

本資料では、上記で述べた島根のサイト特性を踏まえ、今後の施設設計に用いる地下水位を設定するに当たり、防波壁周辺の地盤改良実施後における施設の安全性に及ぼす影響を確認し、必要な機能を保持するための信頼性確保の方針について検討した。

その上で、信頼性確保の方針を踏まえた設計地下水位の設定方法について整理した。



別紙 17-1 図 地下水位低下設備（既設）設置位置，防波壁及び周辺地盤改良位置



別紙 17-2 図 防波壁（波返重力擁壁）下部の地盤改良概要

2. 設計地下水位の設定方針

2.1 基本的な考え方

前述のとおり、防波壁の設置及び防波壁周辺の地盤改良によって地下水の流れが遮断され、地下水位が上昇した場合には、揚圧力上昇及び液状化による土圧等の変化により施設等の耐震性に影響^{※1}が及ぶ可能性がある。

このことから、施設の設計の前提が確保されるよう地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備の機能を考慮した設計地下水位を設定し、揚圧力が作用した場合及び液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても、当該施設の機能が損なわれるおそれがないように設計する方針とする。

地下水位低下設備の効果が及ばない範囲においては、自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計地下水位を設定し、同様に揚圧力が作用した場合及び液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても、当該施設の機能が損なわれるおそれがないように設計する方針とする。

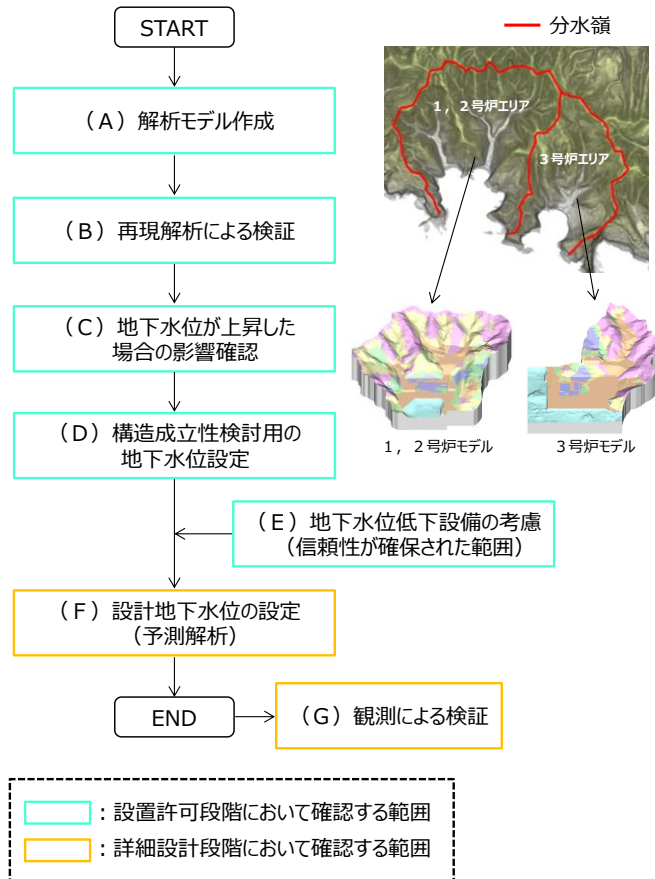
地下水位低下設備の機能を考慮し、施設の設計地下水位を設定するに当たっては、地形等を適切にモデル化した浸透流解析を実施することとし、保守性を確保する方針とする。

解析の保守性については、解析に用いるパラメータや解析条件の保守的な設定の他、地下水位低下設備を信頼性が確保された範囲^{※2}に限定し考慮することにより確保する。なお、地下水位低下設備の検討に当たっては建設時工認における設計地下水位の確保を目安とする。

以上の方針に基づき、工事計画認可段階において、地下水位低下設備の機能を考慮した浸透流解析の結果から設計地下水位を設定し耐震評価を行いその詳細を示す。

浸透流解析を用いた設計地下水位の設定フローを別紙 17-3 図に示す。

- ※1 第Ⅰ編 2.4 項に示す地下水位が上昇した場合の揚圧力影響(実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(以下、設置許可基準規則)第4条)及び液状化影響(設置許可基準規則第3条第2項)。液状化等による影響の観点から、埋戻土(掘削ズリ)・砂礫層の分布と施設の配置との関係を補足説明資料4に示す。
- ※2 地下水位低下設備の原子炉建物等への影響に鑑み、地下水位低下設備の機能を保持する設計とする。信頼性向上の方針は第Ⅱ編で詳述する。



別紙 17-3 図 浸透流解析を用いた設計地下水位の設定フロー

別紙 17-3 図の各プロセスにおける検討方針を以下に示す。なお、各審査段階における提示内容を添付資料 3 に示す。

(A)～(B) 解析モデル作成・再現解析による検証

- ・島根サイトの地形的特徴，計算機能力を踏まえ，適切に地下水位を評価する観点から，1，2号炉エリア及び3号炉エリアそれぞれで解析モデルを作成する。
- ・再現解析（定常）を実施し，解析水位と観測水位の比較結果を踏まえ，解析モデルに用いる透水係数等の解析用物性値を含めたモデルの妥当性を確認する。また，参考として再現解析（非定常）を実施し，解析水位と観測水位の比較確認を行う。

(C) 地下水位が上昇した場合の影響確認

- ・防波壁周辺の地盤改良により敷地内の地下水の流動場が変化することを踏まえ，耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等を網羅的に抽出する。この影響確認においては，降雨条件を発電所の平均年間降水量より保守的に設定するとともに，信頼性（耐久性・耐震性・保守管理性）の低い地下水位低下設備（既設）は期待しないものとする。
- ・抽出した施設等について，地下水位の上昇により生じる影響の時系列的な変化を整理し，この影響を低減するための施設ごとの対応方針を定める。

(D) 構造成立性検討用の地下水位設定

- ・(C)を踏まえ，設置許可段階における構造物の構造成立性を確認するための地下水位の設定方針を示す。

(E) 地下水位低下設備の考慮（第Ⅱ編及び添付資料 1 にて詳述）

- ・(C)，(D)を踏まえ，地下水位低下設備の機能に期待する施設については，信頼性の確保された地下水位低下設備を新設する方針とする。

(F) 設計地下水位の設定（予測解析）

- ・詳細設計段階で，(A)～(E)に基づく予測解析を実施し，各施設における設計地下水位を設定する。この影響確認においては，降雨条件を発電所の平均年間降水量より保守的に設定するとともに，信頼性の低い地下水位低下設備（既設）は期待しないものとする。なお，地下水位低下設備の機能に期待する施設については，信頼性の確保された地下水位低下設備（新設）に期待する。

(G) 観測による検証

- ・地下水位観測記録を取得し，(F)にて定める設計地下水位の検証を行う。

設計地下水位の設定に当たっては、①～③に示す保守性を確保する方針とする。

①地盤の透水性

建設時工認の透水係数を基本とし地下水位を高め評価するよう保守的に設定する。

②既設の地下水位低下設備の機能に期待しない

既設の揚水ポンプは稼働しないものとする。また、ドレーンの信頼性の確保に係る3つの観点(耐久性, 耐震性, 保守管理性^{※1})から、保守管理性の劣る(信頼性の低い)既設のドレーンは、管路ではなく周辺の砕石相当として扱う。

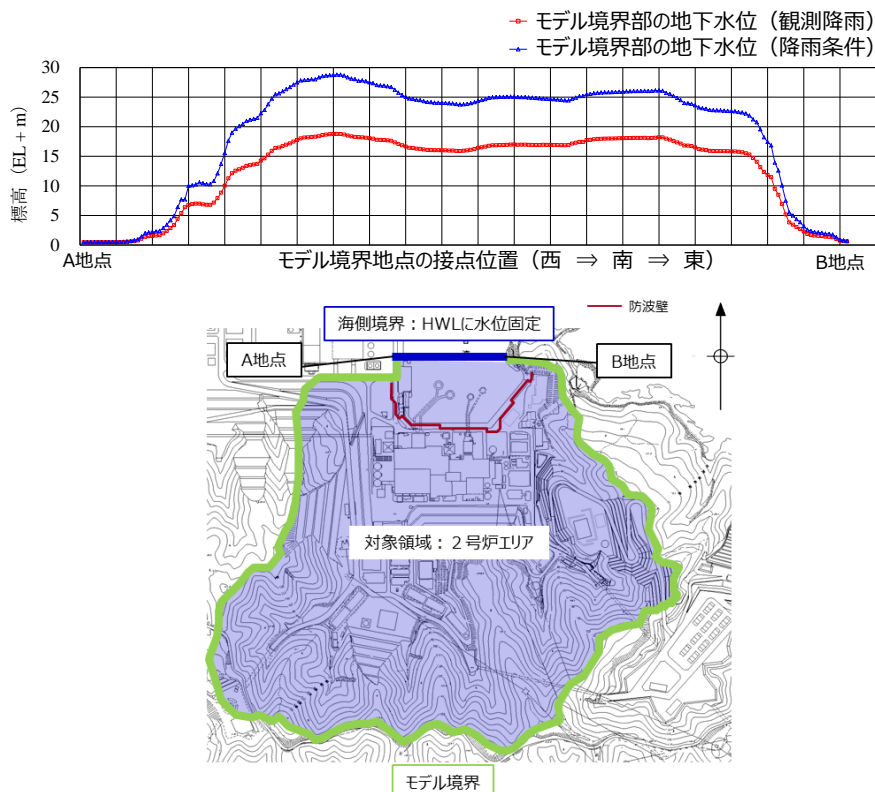
③降雨条件

島根原子力発電所での地下水位観測期間における平均年間降水量は約1,540mmであり、気象庁松江地方気象台における年間降水量(1941～2018年)の平均値は約1,880mmである。

浸透流解析における降水量の設定条件として、上記松江地方気象台における年間降水量に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^{※2}を加味し、降水量を設定する。別紙17-4図に解析用降雨条件と観測降雨条件によるモデル境界地点での水位分布を示す。

※1 揚水井戸とドレーンの取り合い部へのアクセスの容易さ等の点検性の高さに加え、万が一、堆砂による通水面積の減少が発生した場合に砂の除去が可能な設計であること

※2 気象庁・環境省 「日本国内における気候変動の不確実性を考慮した結果について」より



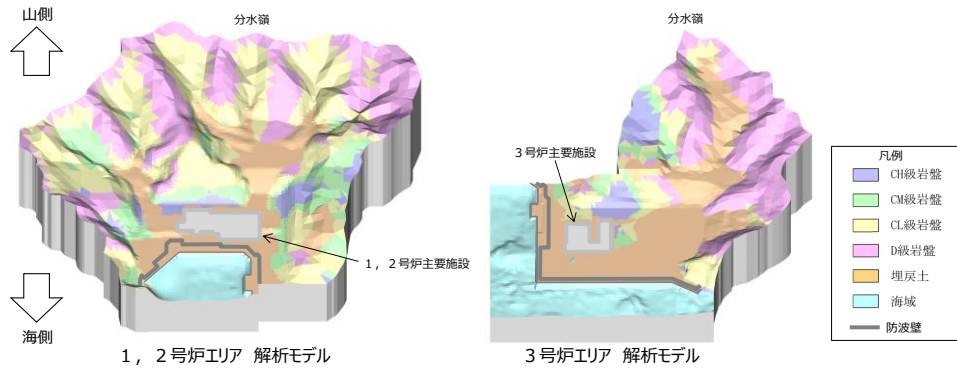
別紙17-4図 保守的な解析条件の設定例

2. 2解析モデル作成

地下水位の評価においては、敷地を取り囲む分水嶺までを解析範囲とした三次元地形モデルを作成することから、計算機能力を踏まえて適切に地下水位を評価するため、それぞれのエリアで解析モデルを作成した(解析ソフト: Dtransu-3D・EL, バージョン: ver. 2af90MP)。

なお、両モデルの境界において、重なる部分における地下水位は概ね一致することを確認している。

解析モデル鳥瞰図を別紙17-5図に、解析モデルの概要を別紙17-1表に示す。



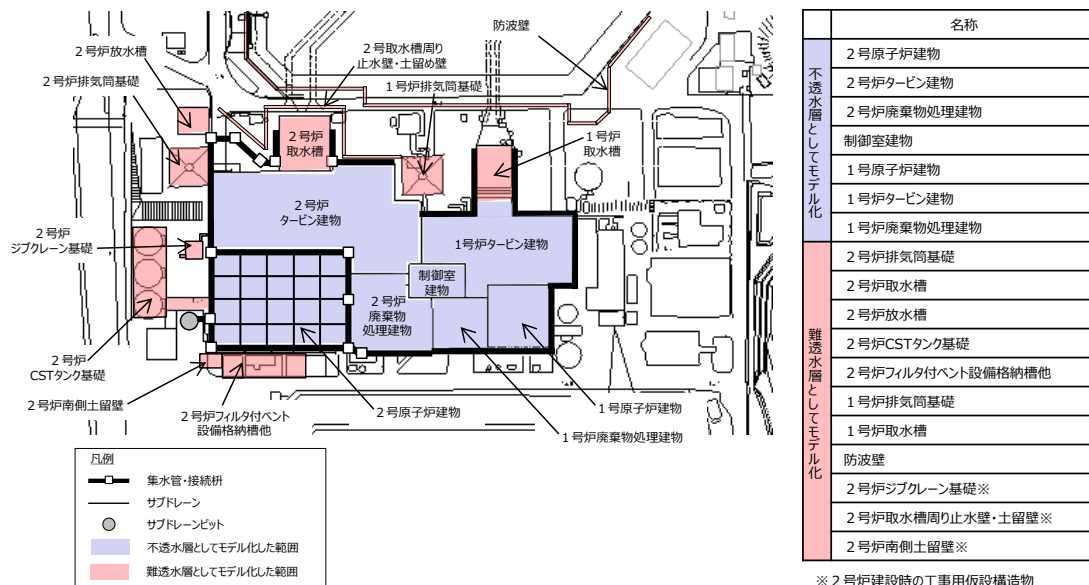
別紙 17-5 図 解析モデル鳥瞰図

別紙 17-1 表 解析モデルの概要

項目	内容
モデル化範囲等	<ul style="list-style-type: none"> 敷地を取り囲む分水嶺までを対象範囲とする。 対象領域内の構造物*をモデル化し、敷地造成時における掘削・埋戻しを反映する。

※耐震裕度向上等の目的で実施した地盤改良等は、難透水層としてモデル化する。

また、1, 2号炉主要建物周辺における構造物等のモデル化方針について、別紙17-6図に示す。原子炉建物等の主要建物については、揚圧力影響を検証するために不透水層として設定し、主要建物周辺の地下水流に影響を及ぼすと考えられる長大な構造物等については、実際の地下水流を模擬するため、難透水層 ($1.0 \times 10^{-5} \text{ (cm/s)}$) として設定した。



※ 2号炉建設時の工所用仮設構造物

別紙 17-6 図 主要建物周辺における構造物等のモデル化方針

2.3再現解析による検証

(1)再現解析と観測水位との比較

再現解析の目的は、解析モデルに用いる透水係数等の解析用物性値を含めたモデルの妥当性を確認することである。再現解析において、降雨条件を観測降雨※より求まる年平均降雨（1,540mm/年）として、敷地内の定常的な地下水位を確認するため、浸透流解析（定常解析）を実施する。また、参考として観測降雨を与える浸透流解析（非定常解析）も実施する。

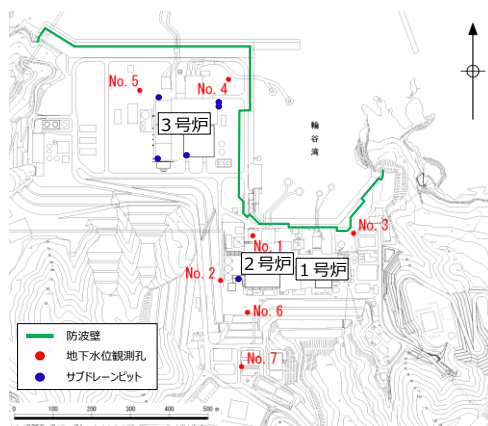
その他の解析条件として、透水係数は別紙17-2表のとおり建設時工認より保守的に設定（補足説明資料2参照）し、揚水条件は揚水ポンプの起動高さにおいて水位固定条件とする。

解析の妥当性は解析値（解析水位）と観測値（観測水位）を比較することにより確認することとした（水位観測時点の構造物をモデル化）。

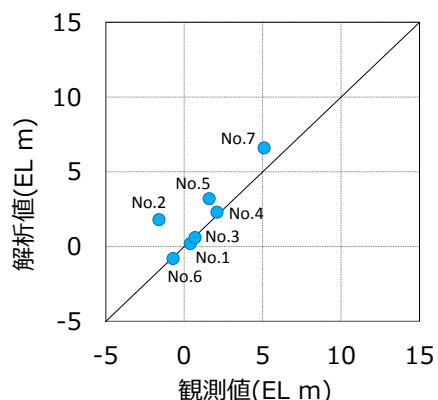
観測孔位置を別紙17-7図に、観測値と解析値の比較を別紙17-8図に示す。

再現解析（定常）の結果、観測孔位置における地下水位について、解析値は観測値と概ね一致するか上回ることから、解析モデル全体として妥当性を有することを確認した。この結果から、予測解析においても解析値が適切に評価されると判断した。なお、地下水位を観測値よりも保守的に設定するため、揚水量については解析値が観測値を若干下回っている。

※島根原子力発電所における日降水量（H28.4～H30.8）



別紙 17-7 図 観測孔位置



	揚水量(m ³ /日)
観測値	969
解析値	858

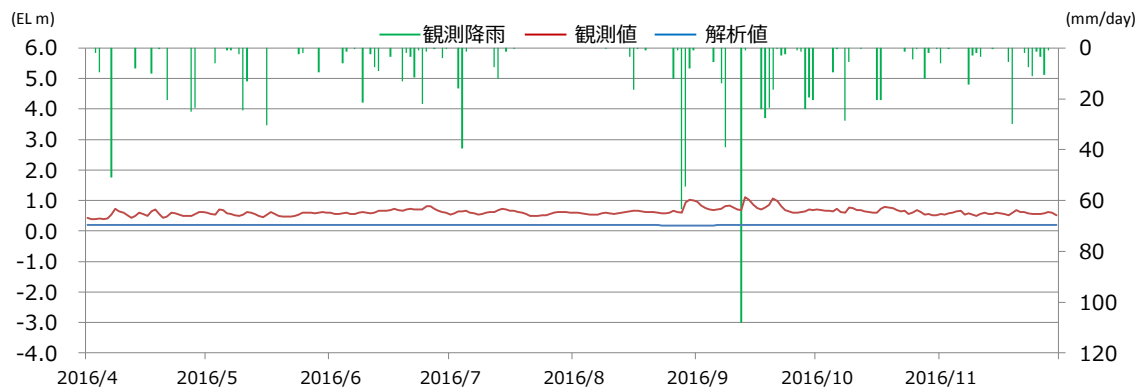
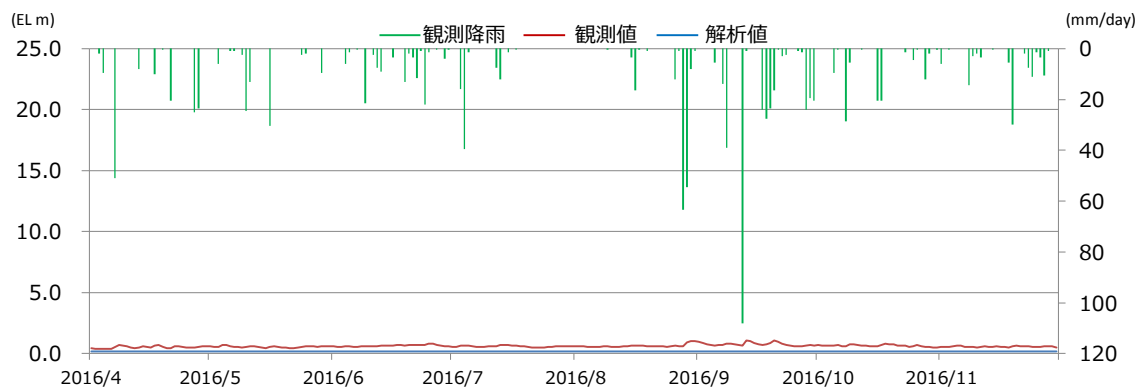
別紙 17-8 図 観測値と解析値の比較

別紙 17-2 表 透水係数

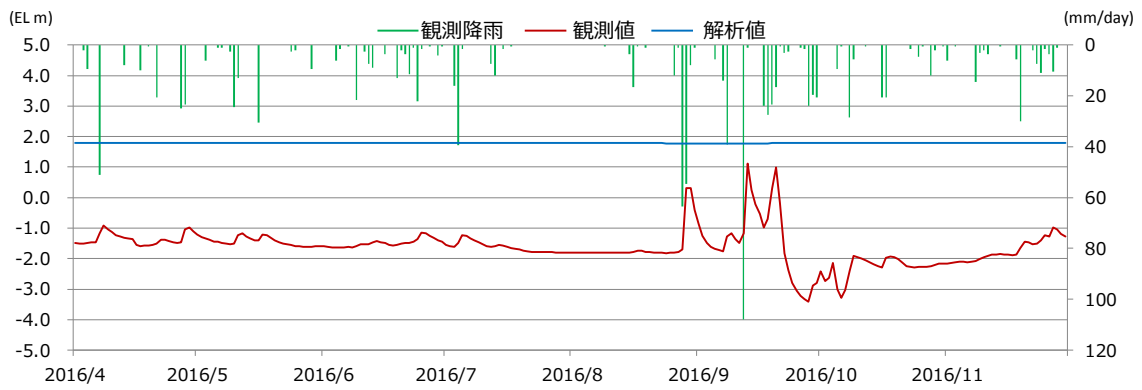
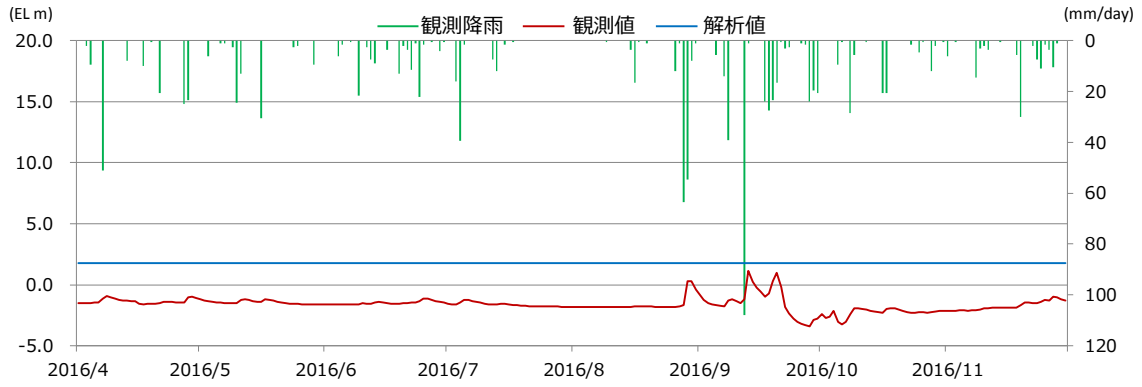
区分	透水係数 (cm/s)
C _H 級	5×10^{-5}
C _M 級	6×10^{-4}
C _L 級	1×10^{-3}
D級	3×10^{-4}
砂礫層	4×10^{-3}
埋戻土 (掘削ズリ)	2×10^{-1}
構造物, 改良地盤	1×10^{-5}

(2) 水位経時変化の確認

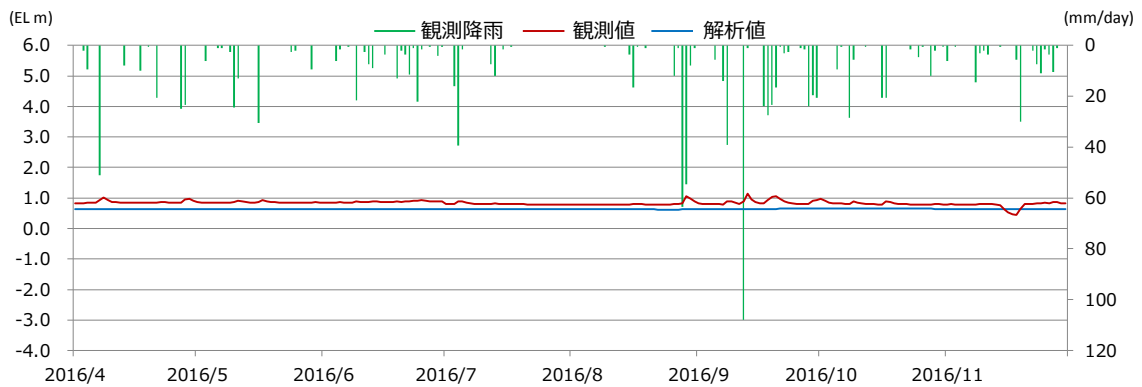
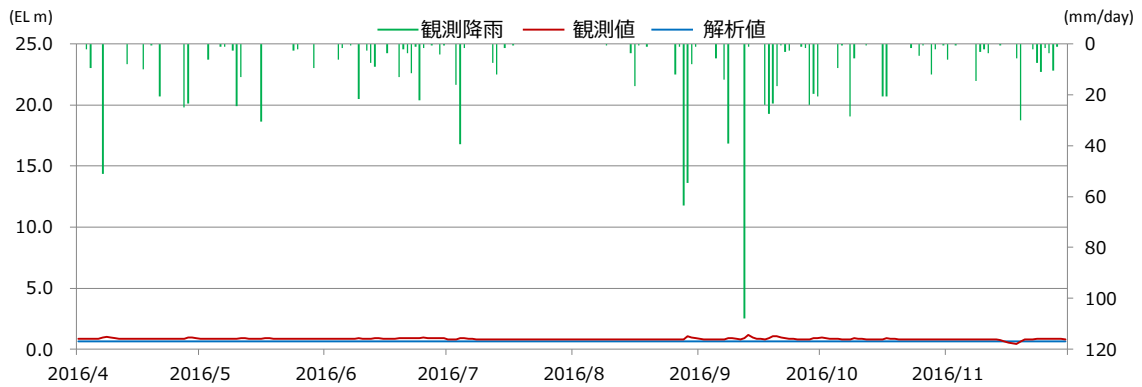
再現解析において、参考として非定常解析を実施し、水位の経時変化について別紙 17-9 図のとおり確認した。(別紙 17-7 図参照)。



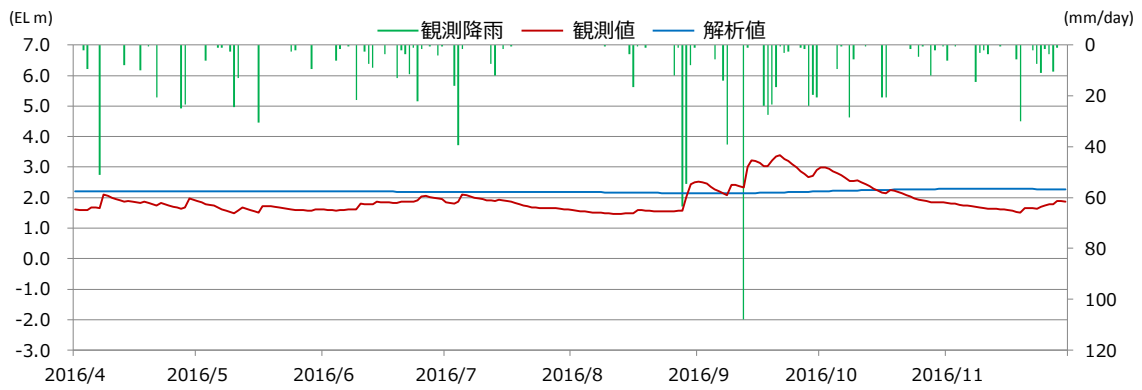
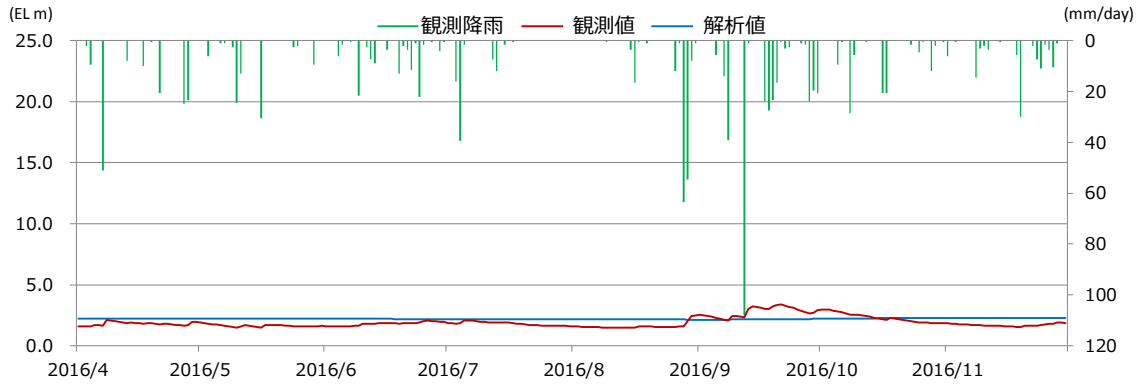
別紙 17-9(1)図 地下水位の経時変化例 (No.1 孔)



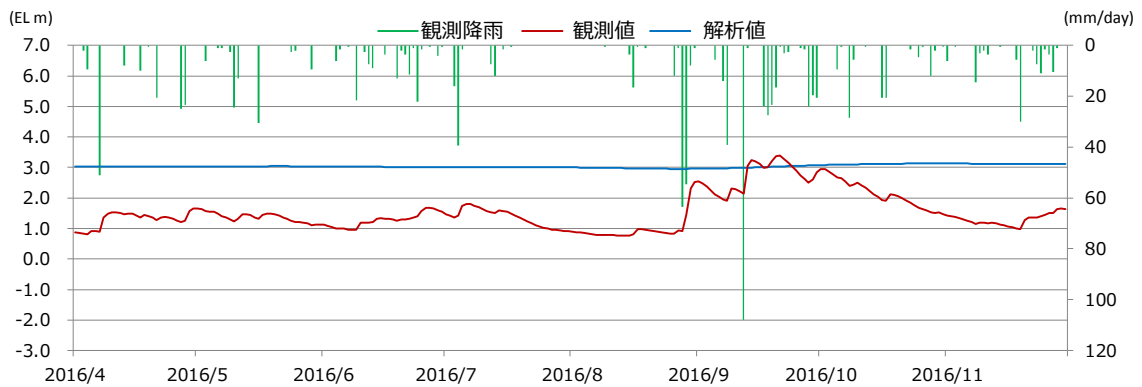
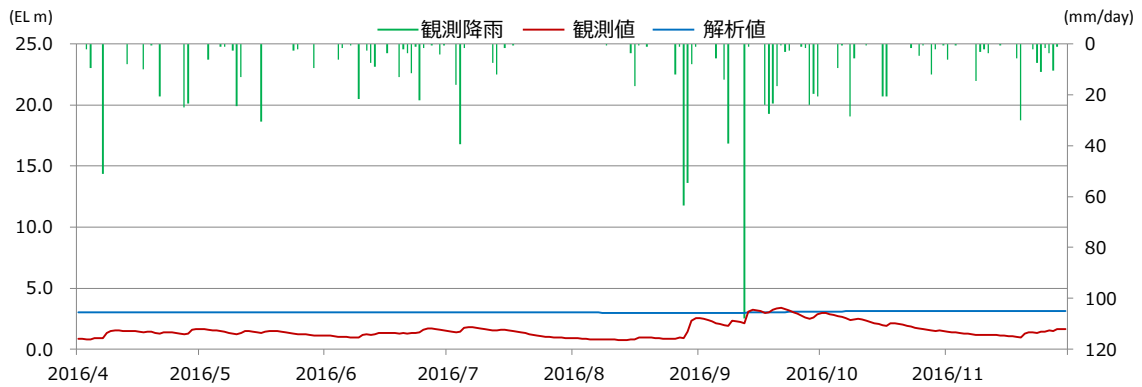
別紙 17-9(2) 図 地下水位の経時変化例 (No. 2 孔)



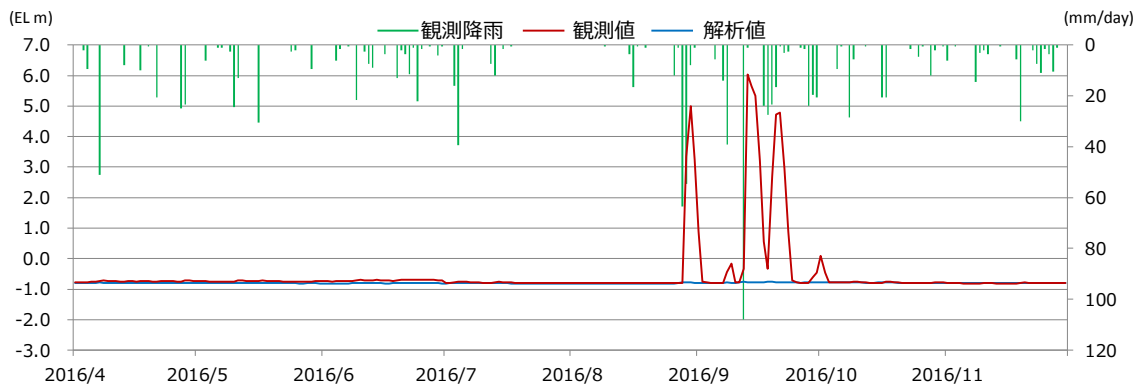
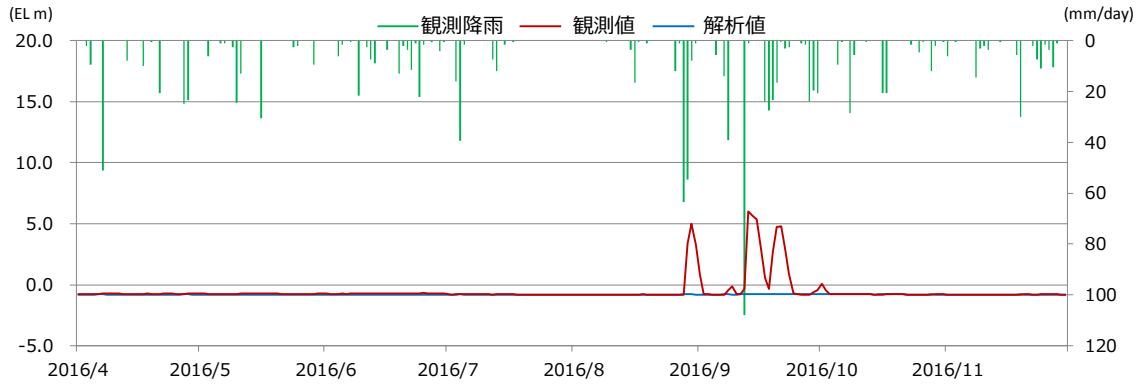
別紙 17-9(3) 図 地下水位の経時変化例 (No. 3 孔)



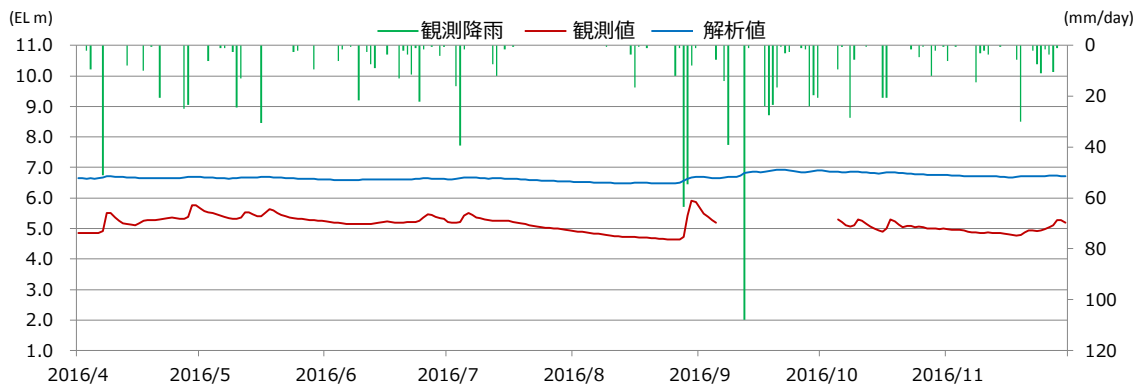
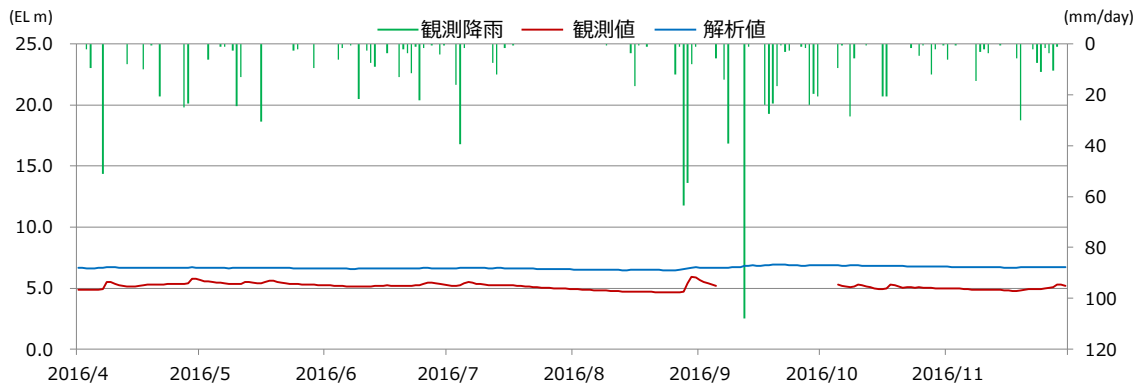
別紙 17-9(4) 図 地下水位の経時変化例 (No. 4 孔)



別紙 17-9(5) 図 地下水位の経時変化例 (No. 5 孔)



別紙 17-9(6) 図 地下水位の経時変化例 (No. 6 孔)



別紙 17-9(7) 図 地下水位の経時変化例 (No. 7 孔)

No. 1, 3 孔は2号炉の北側に、No. 2, 6 孔は2号原子炉建物近傍に、No. 4, 5 孔は3号炉の北側に位置し、埋戻土（掘削ズリ）の層厚の比較的薄い地点である。一方で、No. 7 孔は敷地の南側に位置し、埋戻土（掘削ズリ）の層厚の比較的厚い地点である。地下水位の経時変化に係る観測値と解析値を比較すると、No. 1, 3, 4 孔では概ね両者は同程度であり、No. 2, 5, 7 孔では解析値が観測値を上回っている。No. 6 孔では一部の降雨に対して、短期的な地下水位挙動は再現できないものの、その他の期間では観測値と解析値が概ね同程度である。

それぞれの観測孔における地下水位の経時変化の傾向を以下に示す。

a. No. 1 孔

No. 1 孔の観測値によると、降雨等に伴い地下水位の上昇が認められるものの、大きな変動は確認されず、概ね EL0～+1mの間を推移している。また、解析値でも概ね同程度で推移していることを確認した。

b. No. 2 孔

No. 2 孔の観測値によると、観測孔近傍に設置されている地下水位低下設備の効果により、他の観測孔と比較して降雨等に伴う地下水位上昇後の低下が早い傾向があり、一部の降雨時を除くと、地下水位は EL0m を超えない範囲を推移している。一方で、解析値では、それよりも高い概ね EL+2mであることを確認した。

c. No. 3 孔

No. 3 の観測値によると、降雨等に伴い、地下水位の上昇が認められるものの、大きな変動は確認されず、概ね EL0～+1mの間を推移している。また、解析値でも概ね同程度で推移していることを確認した。

d. No. 4 孔

No. 4 孔の観測値によると、サブドレーンピット近傍の観測孔（No. 2, No. 6）と比較して、降雨等による水位上昇後、緩やかに低下する傾向があり、概ね EL+1～3mの間を推移している。また、解析値でも概ね同程度で推移していることを確認した。

e. No. 5 孔

No. 5 孔の観測値によると、サブドレーンピット近傍の観測孔（No. 2, No. 6）と比較して、降雨等による水位上昇後、緩やかに低下する傾向があり、概ね EL+1～3mの間を推移している。一方で、解析値では、それよりも高い概ね EL+3mであることを確認した。

f. No. 6 孔

No. 6 孔の観測値によると、観測孔近傍に設置されている地下水位低下設備の効

果により、他の観測孔と比較して降雨等に伴う地下水位上昇後の低下が早い傾向があり、一部の降雨時を除くと、地下水位はEL-1～0mの間を推移している。また、No. 6 孔が南側の盛土斜面から地下水が流れ込むため、一部の降雨時に地下水位が短期的な挙動を示す傾向が認められる。一方で、解析値では、短期的な地下水位挙動は再現できないものの、その他の期間については、概ね同等で推移している。

g. No. 7 孔

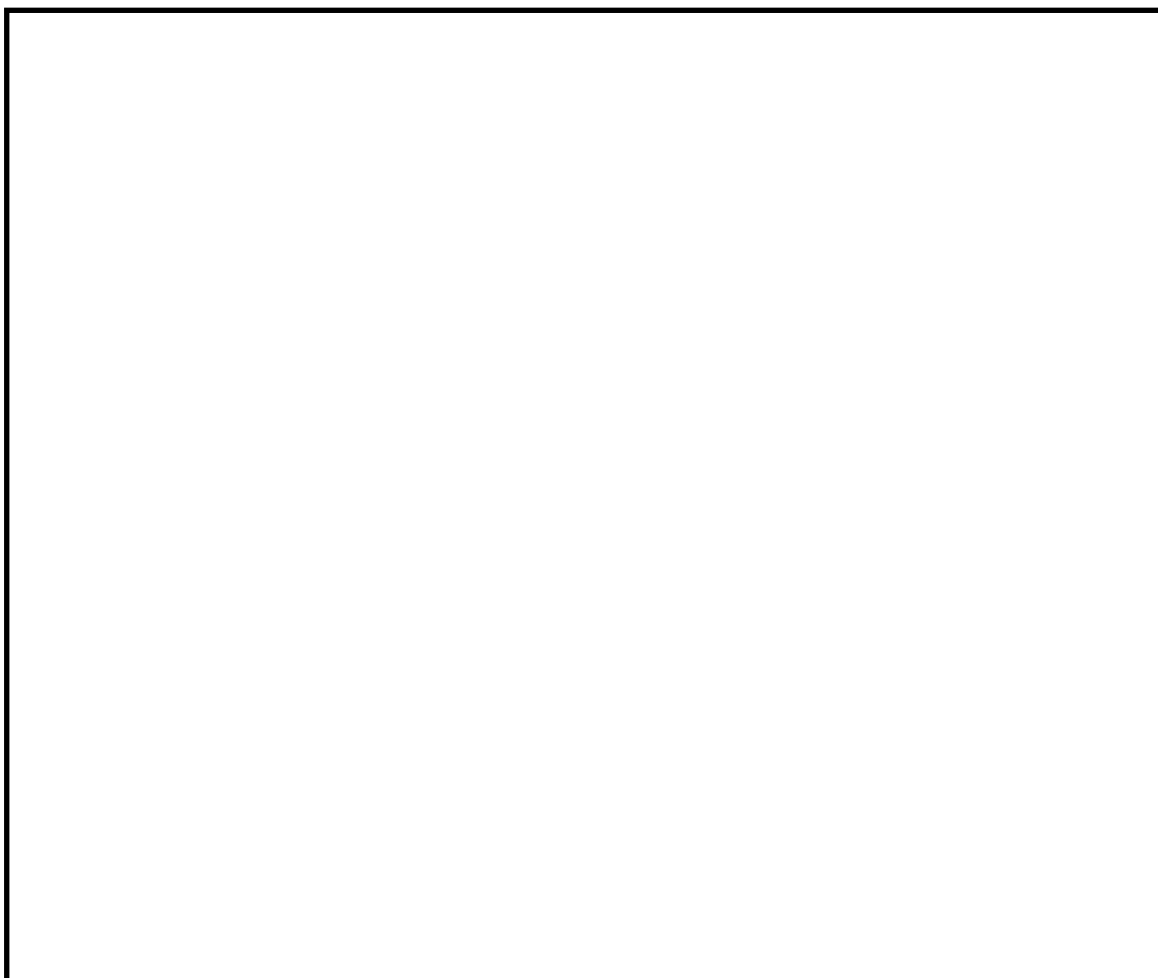
No. 7 孔の観測値によると、降雨等による水位上昇後、緩やかに低下する傾向にあり、概ねEL+4～6mの間を推移している。一方で、解析値では、それよりも高い概ねEL+6～7mの間を推移していることを確認した。

2.4 地下水位が上昇した場合の影響確認

(1) 耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等の抽出

防波壁周辺の地盤改良により敷地内の地下水の流動場が変化することを踏まえ、耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等として、EL+8.5m 盤、EL+15m 盤、EL+44m 盤及び EL+50m 盤エリアに設置される耐震重要施設・常設重大事故等対処施設(いずれも間接支持構造物を含む)及びそれらの基礎地盤・周辺斜面、並びに車両通行性への影響の観点等から保管場所・アクセスルートを抽出した。

耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等の抽出結果を別紙 17-10 図及び別紙 17-3 表に示す。



別紙17-10図 耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等の抽出結果

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。

別紙17-3表 耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある
施設等の抽出結果

設備分類		設備名称
基礎地盤・周辺斜面		基礎地盤
		周辺斜面
設計基準対象施設	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
	屋外重要土木構造物	取水槽
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎
		燃料移送系配管ダクト
	津波防護施設	屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）
		防波壁（多重鋼管杭式擁壁）
		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）
		防波壁（波返重力擁壁）
		1号炉取水槽流路縮小工
		防波扉（防波壁通路防波扉）
重大事故等対処施設	1号放水連絡通路防波扉	
	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	
	緊急時対策所建物	
	緊急時対策所用燃料地下タンク	
	ガスタービン発電機建物	
	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）		
保管場所・アクセスルート	保管場所	
	アクセスルート	

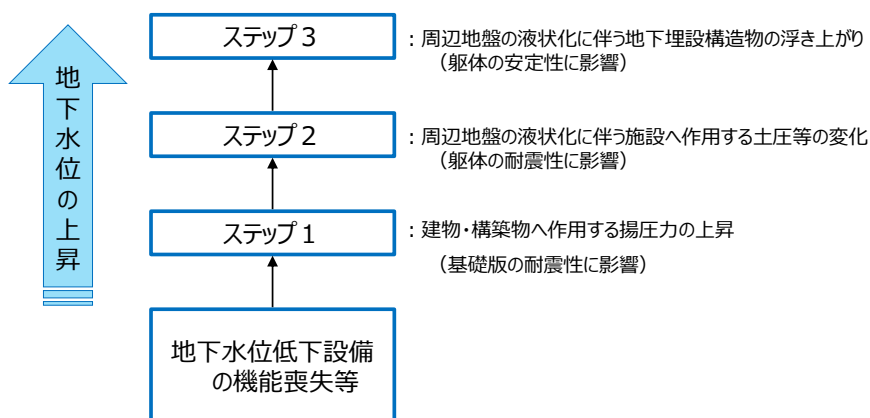
(2) 地下水位の上昇による影響と対応方針

別紙17-10図及び別紙17-3表に示した耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等について、地下水位が上昇した場合は施設等への揚圧力影響及び液状化影響が生じる可能性を踏まえ、その影響を低減するための対応方針を整理した(補足説明資料4参照)。

a. 地下水位が上昇した場合における施設に生じる影響について

地下水位が上昇した場合には、揚圧力上昇及び液状化による土圧等の変化により施設の耐震性等に影響が及ぶ可能性がある。

地下水位の上昇に伴う影響は別紙17-11図に示すステップ順に段階的に生じるものと考えられる。



別紙17-11図 地下水位上昇時に施設に段階的に生じる影響の概念図

b. 地下水位上昇の影響を低減するための対応方針

地下水位上昇の影響を低減するため地下水位を低下させる対策や施設の耐震補強の選択肢が考えられるが、地下水位の上昇による影響が段階的に進むことを踏まえ、早期に影響が生じる建物・構築物の揚圧力影響の低減に着目し、地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備を検討の上、設置することとする。

液状化影響は、地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備の機能を考慮した設計地下水位を用い評価し、当該施設の機能が損なわれないことを確認する。また、当該施設の機能に影響が及ぶ場合は適切な対策(地盤改良等の耐震補強)を実施する。

一方、基礎地盤・周辺斜面、屋外重要土木構造物、津波防護施設、重大事故等対処施設及び保管場所・アクセスルートについては、地下水位低下設備の効果に期待しない。

以上を踏まえ、地下水位の設定方針を別紙17-4表に示す。

別紙 17-4 表 耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等の地下水位の設定方針

設備分類	設備名称	地下水位の設定方針	
基礎地盤・周辺斜面	基礎地盤	保守的に地表面に設定	
	周辺斜面		
設計基準対象施設	原子炉建物	地下水位低下設備（新設）の効果に期待して、設計地下水位を設定する。	
	タービン建物		
	廃棄物処理建物		
	制御室建物		
	排気筒		
	屋外重要土木構造物	取水槽	自然水位※より保守的に設定した水位
		屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	
		ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	
		燃料移送系配管ダクト	
	津波防護施設	屋外配管ダクト（復水貯蔵タンク～原子炉建物）	
		防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	
		防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）	
		防波壁（波返重力擁壁）	
		1号炉取水槽流路縮小工	
		防波扉（防波壁通路防波扉）	
	重大事故等対処施設	1号放水連絡通路防波扉	
		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	
緊急時対策所建物			
緊急時対策所用燃料地下タンク			
ガスタービン発電機建物			
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎			
保管場所・アクセスルート	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）		
	保管場所		
	アクセスルート		

※ 地下水位低下設備を考慮しない場合の地下水位

以上の対応方針については、工事計画認可段階において浸透流解析の結果を踏まえ、詳細を提示する。

c. 地下水位の影響を踏まえた評価と対応

a. 及び b. の整理結果を踏まえ耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等について、地下水位の上昇による影響を踏まえた評価と対策のまとめを別紙 17-5 表に示す。

別紙 17-5 表 地下水位の上昇による影響を踏まえた評価と対策

地下水位の影響を受ける可能性のある施設等		地下水位の上昇による影響を踏まえた評価と対策		他サイトとの比較	
				東海第二	女川 2 号
基礎地盤 ・周辺斜面	・基礎地盤 ・周辺斜面	評価結果	影響なし (保守的に地表面に設定)	影響なし	影響なし
		対策	地下水位低下設備 各施設等 (耐震補強)	-	-
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	評価結果	影響あり (揚圧力影響・液状化影響)	影響あり (揚圧力影響・液状化影響)	影響あり (揚圧力影響・液状化影響)
		対策	地下水位低下設備 各施設等 (耐震補強)	【揚圧力対策】 ○：地下水位低下設備の設置 【液状化対策】 △：(設計用地下水位の設定において前提とする) △：耐震評価の結果、当該施設の機能に影響が及ぶ場合は、適切な対策 (地盤改良等の耐震補強) を講ずる。	【揚圧力対策】 ○：地下水位低下設備の設置 【液状化対策】 △：(設計用地下水位の設定において前提とする) △：耐震評価の結果、当該施設の機能に影響が及ぶ場合は、適切な対策 (地盤改良等の耐震補強) を講ずる。
屋外重要 土木構築物	・取水槽 ・屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒) ・ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎 ・燃料移送系配管ダクト ・屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)	評価結果	影響なし (地下水位低下設備に期待せず設計用地下水位を設定)	影響なし	影響あり (揚圧力影響・液状化影響)
		対策	地下水位低下設備 各施設等 (耐震補強)	-	△：(設計用地下水位の設定において前提とする) △：耐震評価の結果、当該施設の機能に影響が及ぶ場合は、適切な対策 (地盤改良等の耐震補強) を講ずる。
津波防護施設	・防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) ・防波壁 (鋼管杭式逆 T 擁壁) ・防波壁 (波返重力擁壁) ・1号炉取水槽流路縮小工 ・防波扉 (防波壁通路防波扉) ・1号放水連絡通路防波扉	評価結果	影響なし (地下水位低下設備に期待せず設計用地下水位を設定)	影響なし	影響あり (一部) (揚圧力影響・液状化影響)
		対策	地下水位低下設備 各施設等 (耐震補強)	-	△：(設計用地下水位の設定において前提とする) △：耐震評価の結果、当該施設の機能に影響が及ぶ場合は、適切な対策 (地盤改良等の耐震補強) を講ずる。
重大事故等 対処施設	・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 ・緊急時対策所建物 ・緊急時対策所用燃料地下タンク ・ガスタービン発電機建物 ・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)	評価結果	影響なし (地下水位低下設備に期待せず設計用地下水位を設定)	影響なし	-
		対策	地下水位低下設備 各施設等 (耐震補強)	-	-
保管場所 ・アクセスルート	・保管場所 ・アクセスルート	評価結果	影響なし (地下水位低下設備に期待せず設計用地下水位を設定)	影響なし	影響あり (一部) (液状化影響)
		対策	地下水位低下設備 各施設等 (耐震補強)	-	△：(地下水位低下設備が機能喪失した場合は初期水位として考慮) △：(アクセスルートの通行性が一定期間確保できない場合は、地盤改良等の対策・外部支援等の活用による通行性の確保)

凡例
 ○：地下水位低下設備が設計上必要
 △：地下水位低下設備により保持される地下水位を前提として評価・対策
 -：対策不要

(3) 地下水位が上昇した場合の影響評価まとめ

地下水位の影響を踏まえた評価と対応方針を踏まえ、耐震評価において地下水位の影響を受ける施設等の地下水位低下設備との関係を整理した。整理結果を別紙 17-6 表に示す(基準適合の考え方は添付資料 2 に示す)。

a. 地下水位低下設備の設置許可基準規則における位置付け等

別紙 17-6 表の整理を踏まえ、施設の設置許可基準規則第 4 条(第 39 条)への適合に当たり、施設の設計の前提条件となる地下水位を一定の範囲に保持するために必要であることから、地下水位低下設備を設計基準対象施設として位置付ける。

各施設の耐震設計については、防波壁の周辺を地盤改良するために地下水の流れが遮断され地下水位が上昇するおそれがあるという島根サイト固有の状況を踏まえ地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備の機能を考慮した水位、自然水位(地下水位低下設備の効果が及ばない範囲の地下水位)より保守的に設定した水位又は地表面にて設計地下水位を設定し、揚圧力が作用した場合及び液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても当該施設の機能が損なわれないように設計することで基準適合が図られる。

なお、地下水位の影響を受ける施設等、及び地下水位の影響を踏まえた対策については、工事計画認可段階にその詳細を示す。

b. 地下水位低下設備と対応条文の関連性等

建物・構築物について、設置許可基準規則第 39 条は同第 4 条と同様の要求であり、第 4 条への適合をもって第 39 条への適合性を確認する。

施設等について、余震時に対する要求を含む設置許可基準規則第 5 条・第 40 条及び第 39 条については、第 4 条への適合をもって確認する。また、同第 3 条第 2 項及び第 38 条第 2 項、第 4 条及び第 39 条は、それぞれ同一の地盤、地震に対する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の適合性を要求しているものであり、地震時の影響については、代表的に設置許可基準規則第 4 条への適合性を示すことにより確認する。

以上から、地震時の影響については、代表的に設置許可基準規則第 4 条或いは第 39 条への適合性を示すことにより確認する。

別紙 17-6 表 耐震評価において地下水位の影響を受ける施設等の
地下水位低下設備との関係並びに設置許可基準規則における対応条文の整理

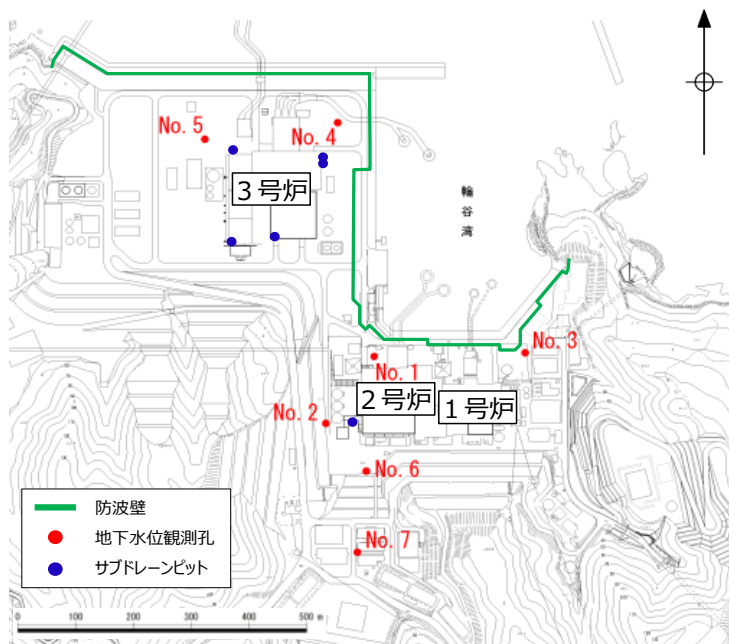
設備分類	設備名称	地下水位低下設備の位置付け※1			関連する条文 ○は設計上必要、△は設計条件として前提とする。色分けは※4に示す 各条文の包絡関係を示す（■は■への適合性を示すことにより確認）						備考		
		(A) 設計値 保持のため 直接的に必要	(B) 左記(A)により保持され る地下水位を前提とする (必要時は対策)	(C) 不要	38条 1項	38条 2項※4	38条 3項※4	38条 2項※4	4条※4	39条※4		5条※4	40条※4
基礎地盤・ 周辺斜面	基礎地盤			○									
	周辺斜面			○									
建物、 構築物	原子炉建物	○				△	△	△	○	※3			
	タービン建物	○				△	△	△	○	※3			
	廃棄物処理建物	○				△	△	△	○	※3			
	制御室建物	○				△	△	△	○	※3			
	排気筒	○				△	△	△	○	※3			
設計基準 対象施設	取水槽			○									
	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）			○									
	屋外重要 土木構築物			○									
	ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎			○									
	燃料移送系配管ダクト			○									
	屋外配管ダクト（海水貯蔵タンク～原子炉建物）			○									
	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）			○									
	防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）			○									
	防波壁（波返重力擁壁）			○									
	1号炉取水槽流路縮小工			○									
重大事故等 対処施設	第1ベントリルダ格納槽			○									
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽			○									
	緊急時対策所建物			○									
	緊急時対策所用燃料地下タンク			○									
	ガスタービン発電機建物			○									
	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）			○									EL+50m盤に設置 EL+50m盤に設置 EL+44m盤に設置 EL+44m盤に設置 EL+44m盤に設置
	保管場所			○									
	アクセスルート			○									
	保管場所・アクセスルート において評価する斜面			○									

※1 地下水位の影響を受ける施設等、及び地下水位の影響を認めた対策については、工事計画認可段階にその詳細を示す。
 ※2 基礎地盤の評価に地下水位が影響しないため、条文適合上不要と整理した。なお、基礎地盤の安定性の評価条件の一つとして、地下水位の低下について設置変更許可申請書へ記載する。
 ※3 設置許可基準規則第39条は同規則第4条と同様の要求であり、規則第4条への適合をもちて第39条への適合性を確認する。
 ※4 余震時に対する要求を含む設置許可基準規則第5条・第40条及び第39条については、第4条への適合をもちて確認する。また、同第3条第2項、第4条及び第39条は、それぞれ同一の地盤、地震に対する設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の適合性を要求しているものであり、地震時の影響については、代表的に設置許可基準規則第4条への適合性を示すことにより確認する。

2.5 観測による検証

設計地下水位の設定に用いる予測解析は防波壁周辺の地盤改良完了後の状態をモデル化することから、予測解析結果の妥当性の検証として、防波壁周辺の地盤改良の工事完了後の地下水位観測記録を用いて、解析結果が観測記録に対して保守的であることを確認する。

なお、今後の地下水位設定の信頼性確認等への活用を念頭に、別紙17-12図のうち複数孔については防波壁周辺の地盤改良影響の検証後も観測を継続し、基礎データとして集積していく。



別紙 17-12 図 地下水位観測計画位置

2.6 解析条件及び地下水位設定方針の整理

設置許可段階における再現解析では、年平均降雨・透水係数を設定した定常解析の結果、解析水位と観測水位が概ね一致することから、解析モデルの妥当性を確認した。

設置許可段階及び詳細設計段階における予測解析では、再現解析により妥当性を確認した解析モデルを用いて、以下の保守性を考慮する。

- ・発電所における年平均降水量（1,540mm/年）よりも厳しい降雨条件（2,400mm/年）を定常的に与える。
- ・既設の揚水ポンプは稼働しないものとする。また、ドレーンの信頼性の確保に係る3つの観点（耐久性, 耐震性, 保守管理性）から、保守管理性の劣る（信頼性の低い）既設のドレーンは、管路ではなく周辺の碎石相当として扱う。
- ・原子炉建物等の建物・構築物は信頼性のある地下水位低下設備（新設）に期待するが、屋外重要土木構造物や保管場所・アクセスルート等については保守的に期待しない。

審査区分		設置許可段階		詳細設計段階		
解析区分		再現解析（定常※1）		予測解析（定常）		
解析の目的		解析用物性値を含めた解析モデルの妥当性確認		構造成立性検討		
				設計地下水位の設定		
解析条件	(1)透水係数	透水試験結果等に基づき設定		再現解析で妥当性を確認した透水係数を設定		
	(2)地盤条件	一部、地盤改良未実施		地盤改良完了後		
	(3)降雨条件	1,540mm/年 (発電所 年平均降雨)		2,400mm/年	2,400mm/年	2,400mm/年
	(4)地下水位 低下設備	既設	効果を期待する		効果を期待しない	効果を期待しない
新設		-		-	効果を期待する	効果を期待しない
解析対象		(解析水位と観測水位を比較)		<ul style="list-style-type: none"> ・基礎地盤・周辺斜面※2 ・屋外重要土木構造物 ・津波防護施設 ・重大事故等対処施設 ・保管場所・アクセスルート 	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外重要土木構造物 ・津波防護施設 ・重大事故等対処施設 ・保管場所・アクセスルート

※1 参考として非定常解析を実施 ※2 設置許可段階ですべり安定性への影響を確認（保守的に地表面に設定）

■ : 保守的に設定した条件

第Ⅱ編 地下水位低下設備の信頼性向上の方針

1. 地下水位低下設備の目的, 機能及び位置付け

地下水位低下設備の目的及び機能, また, 機能維持を要求する期間は, 以下のとおりである。

①地下水位低下設備の目的及び機能

- 原子力発電所の施設の機能・構造は, 地盤の健全性が確保された前提で各種設計がなされている。
- 地下水位低下設備の機能は, 施設の設計の前提が確保されるよう, 「地下水位を一定の範囲に保持する」ことである。
- 地下水位低下設備が機能することにより, 原子炉建物等の建物・構築物周辺の地下水位が一定の範囲に保持され, 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作用する揚圧力及び液状化影響が低減される。この地下水位低下設備の機能を考慮した設計用地下水位を設定し, 揚圧力が作用した場合及び液状化, 揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても機能が損なわれないよう設計する。

また, 地下水位低下設備の機能に期待しない場合は, 自然水位(地下水位低下設備の効果が及ばない範囲の地下水位)より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水位を設定し, 揚圧力が作用した場合及び液状化, 揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても機能が損なわれないよう設計する。

②地下水位低下設備の機能維持を要求する期間

- 地下水位低下設備は, 以下に示す原子力発電所の供用期間の全ての状態において機能維持が必要である。
 - ・通常運転時(起動時, 停止時含む)
 - ・運転時の異常な過渡変化時
 - ・設計基準事故時
 - ・重大事故等時
- また, プラント供用期間中において発生を想定する大規模損壊についても, その発生要因とプラントの損壊状況を踏まえ, 地下水位低下設備の設計を行う上で配慮する。

③地下水位低下設備の位置付け

- 施設の設置許可基準規則第4条(第39条)への適合に当たり, 施設の設計の前提条件となる地下水位を一定の範囲に保持するために必要であることから, 地下水位低下設備を設計基準対象施設として位置付ける。

- 地下水位低下設備は重大事故等に対処するための機能は有していないため、重大事故等対処施設には位置付けない。

地下水位低下設備の目的、機能及び要求期間を踏まえ、重要安全施設への影響に鑑み地下水位低下設備の信頼性向上のための配慮項目を整理した上で設計・運用を行う。

2. 機能喪失要因等の分析に基づく設備構成の検討

2.1 供用期間中における機能維持に必要な耐性の分析

通常運転時から大規模損壊発生時までの供用期間中の全ての状態における地下水位低下設備の信頼性を向上するために必要な耐性を検討するため、以下の分析を行う。

【分析1】

- ・地下水位低下設備の機能ごとに、設置許可基準規則第3条から第13条までにおいて考慮することが要求される事象を、「想定する機能喪失要因」とする。
- ・なお、設置許可基準規則第14条から第36条までに対しては、別紙17-7表のとおり、地下水位低下設備に対する機能について影響するものではないので機能喪失要因の対象とはならない。
- ・地下水位低下設備の構成部位が、想定する機能喪失要因により機能喪失するかを分析(別紙17-8表)する。
- ・分析結果を踏まえ、地下水位低下設備の機能維持の観点から必要な対策について整理する。

【分析2】

- ・分析1から抽出された、地下水位低下設備の機能喪失要因となる事象が発生した場合に、同時に「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」が発生するかについて分析(別紙17-9表)する。
- ・分析結果を踏まえ、地下水位低下設備の機能維持の対策に加え、追加の対策が必要であるかについて整理する。

【分析3】

- ・「運転時の異常な過渡変化」、「設計基準事故」又は「重大事故等」発生後に、何らかの原因により地下水位低下設備が機能喪失した場合を想定し、運転時の異常な過渡変化等の事象収束に対して影響があるかを分析(別紙17-10表)する。
- ・分析結果を踏まえ、地下水位低下設備の機能維持の対策に加え、追加の対策が必要であるかについて整理する。

【分析4】

- ・大規模損壊の発生要因について、プラントの損壊状況を踏まえ、地下水位低下設備の設計を行う上で配慮する。

2.2 関係する条文の抽出

地下水位低下設備の機能喪失要因と設置許可基準規則との関係を別紙17-7表に示す。

地下水位低下設備の各構成部位が機能喪失する可能性のある事象として、機器の故障に加え、設置許可基準規則第3条から第13条までの要求事項を踏まえ、地震(第4条)、津波(第5条)、外部事象(地震、津波以外)(第6条)、内部火災(第8条)、内部溢水(第9条)及び誤操作の防止(第10条)が考えられるため要因として抽出した。

これ以外の設置許可基準規則における設計基準対象施設に対する要求は、個別設備に対する設計要求である等の理由から機能喪失する可能性のある事象から除外した。

別紙 17-7 表 地下水位低下設備の機能喪失要因と設置許可基準規則との関係

設置許可基準規則の要求事項		分析対象	対象外とした理由	備考
第3条	地震	-	・地下水位低下設備は、発電用原子炉施設の各設備を本条文中に適合させるために設置するものであることから、分析の対象外	-
第4条	地震	○	-	-
第5条	津波	○	-	-
第6条	風(台風)、竜巻、凍結、盛水、積雪、落雷、火山、生物学的事象、森林火災(外部火災)	○	-	2号炉で想定する外部事象として抽出した事象
第7条	不法な侵入	-	・本条文中は、個別設備の設置要求であり、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、対象外	-
第8条	内部火災	○	-	-
第9条	内部溢水	○	-	-
第10条	誤操作の防止	○	-	-
第11条	安全避難通路等	-	・本条文中は、個別設備の設置要求であり、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、対象外	-
第12条	安全施設	-	・本条文中は、安全施設への要求であり、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、対象外	-
第13条	運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故の拡大の防止	-	・本条文中は、運転時の異常な過渡変化に対する要求であり、機能喪失要因として抽出する事項を含まないため、対象外	-
第14条	全交流動力電源喪失対策設備	-		
第15条	炉心等	-		
第16条	燃料体等の取捨施設及び貯蔵施設	-		
第17条	原子炉格納圧力バウンダリ	-		
第18条	蒸気タービン	-		
第19条	非常用炉心冷却設備	-		
第20条	一次冷却材の減少分を補給する設備	-		
第21条	残留熱を除去することができる設備	-		
第22条	最終ヒートシンクへ熱を輸送することができる設備	-		
第23条	計測制御系統施設	-		
第24条	安全保護回路	-		
第25条	反応度制御系統及び原子炉停止系統	-		
第26条	原子炉制御室等	-		
第27条	放射性廃棄物の処理施設	-		
第28条	放射性廃棄物の貯蔵施設	-		
第29条	工場等周辺における直務ガンマ線等からの防護	-		
第30条	放射線からの放射線業務従事者の防護	-		
第31条	監視設備	-		
第32条	原子炉格納施設	-		
第33条	保安電源設備	-		
第34条	緊急時対策所	-		
第35条	通信連絡設備	-		
第36条	補助ボイラ	-		

2.3 各構成部位の機能喪失要因の分析

(1) 供用期間中における機能維持に必要な耐生の分析(分析1)

地下水位低下設備の各構成部位が、抽出した機能喪失要因により機能喪失が発生するかについて分析する。分析の前提条件と分析結果は以下のとおり。

〈分析1 前提条件〉

- ・機能喪失有無の判定においては、地下水位低下設備に必要となる設計上の配慮事項を抽出する観点から、全ての構成部位に対し設計上の外部事象への配慮が講じられていない状態を前提とする。
- ・地下水位低下設備の全ての構成部位は、屋外に設置されている状態を前提とする。

〈分析結果〉

- ・分析の結果、地下水位低下設備の各構成部位に対する機能喪失要因として別紙17-8表のとおりの結果を得た。
- ・これらの機能喪失要因を踏まえ地下水位低下設備の設計上の信頼性を向上させる観点から別紙17-11表のとおり、設計上の配慮を行うこととする。

別紙 17-8 表 地下水水位低下設備の各構成部位の機能喪失要因の分析

機器故障及び設置許可基準規則の要求を踏まえた機能喪失要因																						
機能	構成部位	機器故障(故障モード)	地盤(3条)	地震(4条)	津波(5条)	風(台風)(6条)	竜巻(6条)	凍結(6条)	降水(6条)	積雪(6条)	落雷(6条)	火山(6条)	生物学的事象(6条)	森林火災(外部火災)(6条)	人の不法な侵入(7条)	内部火災(8条)	内部漏水(9条)	誤操作防止(10条)	安全避難通路(11条)	安全施設(12条)	過渡事故の拡大防止(13条)	
集水機能	ドレーン	○※2	地下水位低下設備は、発電用原子炉施設の各設備を本条文に適合させるために設置するものであることから、機能喪失要因の分析の対象外とした	×	耐震無し	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
				×	耐震無し	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
排水機能	揚水ポンプ	×	地下水位低下設備は、発電用原子炉施設の各設備を本条文に適合させるために設置するものであることから、機能喪失要因の分析の対象外とした	×	耐震無し	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
				×	耐震無し	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
監視・制御機能	制御盤	×	地下水位低下設備は、発電用原子炉施設の各設備を本条文に適合させるために設置するものであることから、機能喪失要因の分析の対象外とした	×	耐震無し	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
				×	耐震無し	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
電源機能	電源*1(非常用DC)	×	地下水位低下設備は、発電用原子炉施設の各設備を本条文に適合させるために設置するものであることから、機能喪失要因の分析の対象外とした	×	耐震無し	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
				×	耐震無し	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

※1：外部電源はSs未満の地震により機能喪失する可能性があるため、機能喪失状態を前提とする
 ※2：ドレーンは岩盤内部設置しており、管内への土砂供給が非常に少ないため、閉塞の可能性は非常に小さい
 ※3：揚水井戸はドレーンからの土砂供給が非常に少ないため、閉塞の可能性は非常に小さい
 ※4：分析1では誤操作による機能喪失は機器の故障に含めた取り扱いとする

凡例○：事象に対し設備が影響を受けない
 ×：事象に対し設備が影響を受ける可能性あり
 一：評価対象外

(2) 供用期間中における機能維持に必要な耐性の分析(分析2)

地下水位低下設備の機能喪失要因により、同時に「運転時の異常な過渡変化」、
「設計基準事故」又は「重大事故等」(以下、「各事象」)が発生するかについて分析を行い、事象収束にあたり追加の対策が必要かについて確認する。分析の前提条件と分析結果は以下のとおり。

〈分析2前提条件〉

- ・地下水位低下設備の機能喪失要因として、分析1により抽出された項目を前提とし、ここでの分析を行う。
- ・地下水位低下設備の全ての構成部位に対し設計上の外部事象への配慮が講じられていない状態を前提とする。
- ・電源に関して、非常用電源の共通要因による機能喪失は考慮しない。また、非常用DGの状態において、プラント運転中は2系列が待機状態にあることとする。
- ・プラント停止中は、外部電源は基準地震動Ss未満の地震により機能喪失する可能性があるため、機能喪失状態を前提とする。さらに、停止中はDG本体又は海水系片系が点検のために待機除外である状態を想定する。また、停止中の非常用DGに対しては、起動失敗等の機器の故障を考慮する。

〈分析結果〉

- ・別紙17-9表に示すとおり、地下水位低下設備が機能喪失する外部事象発生時には、外部事象により敷地外の送変電設備が損傷し、「運転時の異常な過渡変化(外部電源喪失)」が発生する可能性がある。
- ・これを防止するために、地下水位低下設備には、外部電源喪失に配慮した設計が必要となる。
- ・また、各事象が収束した以降も収束状態を維持する観点から、建物の安定性等の継続的な確保が必要である。
- ・このため、地下水位低下設備の各機能喪失要因に対する設計上の配慮を行うことで、「地下水位低下設備の機能喪失により地下水位が上昇した状態で基準地震動Ss規模の地震が発生する」という状況を回避でき、建物の安定性等が確保されることとなる。
- ・上記の配慮を行うことで、通常運転中の安全施設(異常発生防止系及び異常影響緩和系)への影響を防止することができている。
- ・別紙17-9表に示すとおり、地下水位低下設備が機能喪失する外部事象発生時には、外部事象により、同時に「全交流動力電源喪失(停止時)」が発生する。
- ・このことから、地下水位低下設備の機能喪失要因に配慮した対策、及び非常用電源に関する信頼性向上の観点からの常設代替交流電源から電源供給可能な設計とすることにより、地下水位低下設備の信頼性を向上させることができる。

別紙 17-9 表 地下水位低下設備の機能喪失と同時に発生の可能性がある事象の分析（その1）

		運転時の異常な過渡変化											
		原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	出力運転中制御棒の異常な引き抜き	原子炉冷却材流量の部分喪失	原子炉冷却材系の停止ループの誤起動	給水加熱喪失	原子炉冷却材流量制御系の誤動作	負荷の喪失	主蒸気隔離弁の誤閉止	給水制御系の故障	原子炉圧力制御系の故障	給水流量の全喪失	外部電源喪失
地下水位低下設備の機能喪失要因	機器故障	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	地震	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	風(台風)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	竜巻	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	凍結	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	降水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	降雪	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	落雷	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	火山	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	生物学的影響	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	森林火災(外部火災)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	内部火災	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1
	内部溢水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	× ※1

凡例△：地下水位低下設備の機能喪失は起きない。×：地下水位低下設備の機能喪失ありかつ、過渡事象が起きる。
 ※1：外部電源は発電所外の設備も含まれており、地下水位低下設備の機能喪失要因に対して耐性の確認・確保が困難であるため、全ての機能喪失要因に対して発生すると整理した。

別紙 17-9 表 地下水位低下設備の機能喪失と同時に発生の可能性がある事象の分析 (その2)

		設計基準事故									
		原子炉冷却材喪失	原子炉冷却材流量の喪失	原子炉冷却材ポンプの軸固着	制御棒落下	放射性気体廃棄物処理施設の破損	主蒸気管破断	燃料集合体の落下	可燃性ガスの発生	動荷重の発生	
地下水位低下設備の機能喪失要因	機器故障	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	地震	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	風(台風)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	竜巻	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	凍結	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	降水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	降雪	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	落雷	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	火山	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	生物学的影響	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	森林火災(外部火災)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	内部火災	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	内部漏水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

凡例△：地下水位低下設備の機能喪失あり、ただし、設計基準事故は起きない。×：地下水位低下設備の機能喪失あり、かつ、設計基準事故が起きる。

別紙 17-9 表 地下水水位低下設備の機能喪失と同時に発生する事象の可能性がある事象の分析 (その3)

	重大事故等																		
	高圧・低圧注水機能喪失	高圧注水・減圧機能喪失	全交流動力電源喪失	崩壊熱除去機能喪失	原子炉停止機能喪失	LOCA時注水機能喪失	格納容器バイパス(SILOCA)	冷却能力・温度による静的負荷(格納容器過圧圧破損)	高圧溶融物放出/格納容器冷却/冷却材相互作用	原子炉圧力容器外周/冷却材相互作用	溶融炉心・コンクリート相互作用	水素燃焼	想定事故1	想定事故2	崩壊熱除去機能喪失(RHRの故障による停止時冷却機能喪失)	原子炉冷却材の流出	反応度の誤投入	全交流動力電源喪失(停止時)	
機器故障	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	×
地震	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	※
風(台風)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
竜巻	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
凍結	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
降水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
降雪	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
落雷	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
火山	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
生物学的影響	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
森林火災(外部火災)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
内部火災	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
内部溢水	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

凡例△：地下水水位低下設備の機能喪失あり、ただし、重大事故は起きない。×：地下水水位低下設備の機能喪失あり、かつ、重大事故が起きる。

※：待機中の非常用 DG が起動失敗等の機器の故障により機能喪失することによる。

(3) 供用期間中における機能維持に必要な耐性の分析(分析3)

「運転時の異常な過渡変化」, 「設計基準事故」又は「重大事故等」が発生した状態で, 地下水位低下設備が機能喪失した場合を想定し, 事象収束にあたり追加の対策が必要かについて確認する。分析の前提条件と分析結果は以下のとおり。

〈分析3 前提条件〉

- ・運転時の異常な過渡変化等の発生後に, 地下水位低下設備が機能喪失する状態及び地下水位低下設備の機能喪失後に, さらに基準地震動S_s規模の地震が発生する状態に対し分析する。
- ・地下水位低下設備の全ての構成部位に対し外部事象への設計上の配慮が講じられていない状態を前提とする。

〈分析結果〉

- ・別紙17-10表に示すとおり, 地下水位低下設備は, 事象収束に必要な緩和機能を有していないため, 事象の収束に直接は影響しない。
- ・しかしながら, 地下水位低下設備の機能喪失により地下水位が上昇している状態で, 同時に基準地震動S_s規模の地震の発生を想定した場合には, 建物の安定性等に影響があることから, 事象の収束に対する影響の懸念がある。
- ・このため, 地下水位低下設備の各機能喪失要因に対する設計上の配慮を行うことで, 「地下水位低下設備の機能喪失により地下水位が上昇した状態で基準地震動S_s規模の地震が発生する」という状況を回避でき, 建物の安定性等が確保されることとなる。

別紙 17-10 表 「運転時の異常な過渡変化」, 「設計基準事故」又は「重大事故等」が発生した状態で
地下水位低下設備が機能喪失した場合の影響

運転時の異常な過渡変化															
原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き	出力運転中制御棒の異常な引き抜き	原子炉冷却材流量の異常な引き抜き	原子炉冷却材流量の部分喪失	原子炉冷却材系の停止ループの再起動	給水加熱喪失	原子炉冷却材流量制御系の誤動作	負荷の喪失	主蒸気隔離弁の誤閉止	給水制御系の故障	原子炉圧力制御系の故障	給水流量の全喪失	外部電源喪失			
地下水位低下設備の機能喪失のみの場合															
○(影響なし)															
地下水位低下設備が機能喪失し地下水位が上昇した状態で地震が発生する場合															
×(影響あり)															
建物の安定性等に影響があることから、事象の収束に対する影響の懸念あり															
設計基準事故															
原子炉冷却材流量の喪失	原子炉冷却材ポンプの軸固着	制御棒落下	放射性気体廃棄物処理施設の破損	主蒸気管破断	燃料集合体の落下	可燃性ガスの発生	動荷重の発生								
地下水位低下設備の機能喪失のみの場合															
○(影響なし)															
地下水位低下設備が機能喪失し地下水位が上昇した状態で地震が発生する場合															
×(影響あり)															
建物の安定性等に影響があることから、事象の収束に対する影響の懸念あり															
重大事故等															
高圧・低圧注水機能喪失	高圧注水・減圧機能喪失	崩壊熱除去機能喪失	原子炉停止機能喪失	LOCA時注水機能喪失	格納容器バイパス(ISLOCA)	炉内気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧破損)	原子炉圧力容器外側の溶融燃料/冷却材相互作用	溶融炉心・コンクリート相互作用	水素燃焼	想定事故1	想定事故2	崩壊熱除去機能喪失(BHRの故障による停止時冷却機能喪失)	原子炉冷却材の流出	反応度の投入	全交流動機源喪失(停止時)
地下水位低下設備の機能喪失のみの場合															
○(影響なし)															
地下水位低下設備が機能喪失し地下水位が上昇した状態で地震が発生する場合															
×(影響あり)															
建物の安定性等に影響があることから、事象の収束に対する影響の懸念あり															

2.4 分析結果を踏まえた信頼性向上のための配慮事項

分析1から分析4までの整理を踏まえ、原子力発電所の供用期間の全ての状態において、地下水位低下設備を機能維持する観点から、地下水位低下設備の設計に係る信頼性向上のための配慮事項は以下のとおりとなった。

なお、分析4における具体的なプラント損壊状態と設計上の配慮事項については、大規模損壊に対する対応として別途説明する。

分析1の結果から、地下水位低下設備に対して配慮すべき機能喪失要因が抽出されており、これに対する個々の対策を別紙17-11表のとおり多重化の要否を含め整理した。

別紙17-11表 機能喪失要因とこれを踏まえた設計上の配慮項目

機能	構成部位	機能喪失要因	対策	多重化要否
集水機能	ドレーン	地震	・Ss 機能維持することにより集水機能を確保	×
支持・閉塞防止機能	揚水井戸	地震	・Ss 機能維持することにより支持・閉塞防止機能を確保	×
排水機能	揚水ポンプ	機器故障 (継続運転失敗・起動失敗)	・ポンプの多重化による機能維持	○
		地震	・Ss 機能維持することにより揚水ポンプの機能を確保	
		竜巻	・井戸に飛来物影響の防護が可能な蓋を設置	
		落雷	・制御盤への保安器の設置等による避雷対策、又は避雷針の保護範囲内への設置	
	火山	・井戸に対する火山灰の侵入を蓋の設置により防止		
	配管	機器故障 (リーク・閉塞)	・配管の多重化による機能維持	○
		地震	・Ss 機能維持	
竜巻		・井戸に飛来物影響の防護が可能な蓋を設置		
監視・制御機能	制御盤	機器故障 (不動作・誤操作)	・多重化により機能維持	○
		地震	・Ss 機能維持	
		台風、竜巻	・屋内設置	
		凍結	・凍結防止装置を設置、又は屋内設置	
		降水	・防水処理、又は屋内設置	
		積雪	・積雪荷重を受けないように屋根等を設置、又は屋内設置	
		落雷	・制御盤への保安器の設置等による避雷対策、又は屋内設置	
		火山	・火山灰の侵入防止措置の実施、又は屋内設置	
		生物学的事象	・止水や貫通部処理による小動物の侵入防止、又は屋内設置	
		森林火災(外部火災)	・火災の影響を受けないよう屋内設置	
	内部火災	・制御盤の分離、隔離距離を確保した配置		
	内部溢水	・共通要因故障に配慮した配置		
	水位計	機器故障 (不動作・誤操作)	・多重化による機能維持を図ることとし、片系が機能喪失した場合には設定水位に到達時にもう片系の水位計の検知によりバックアップ	○
地震		・Ss 機能維持		
竜巻		・井戸に飛来物影響の防護が可能な蓋を設置		
落雷		・制御盤への保安器の設置等による避雷対策、又は避雷針の保護範囲内への設置		
電源機能	電源 (非常用 DG)	機器故障 (起動失敗)	・機器故障に対しては多重化による機能維持	○
		火山	・井戸に対する火山灰の侵入を蓋の設置により防止	

分析1の結果から抽出された個々の機能喪失要因に対する対策(別紙17-11表)を集約し、別紙17-12表のとおり整理した。

別紙17-12表 地下水位低下設備の設計に係る信頼性向上のための配慮事項

機能	構成部位	対策	備考
集水機能	ドレーン	・ Ss 機能維持	・ Ss 機能維持の確認方法は別紙 17-13 表参照 ・ ドレーンに関する信頼性向上は「添付資料 1」参照
支持・閉塞防止機能	揚水井戸	・ Ss 機能維持 ・ 蓋の設置	・ Ss 機能維持の確認方法は別紙 17-13 表参照
排水機能	揚水ポンプ	・ 多重化 ・ Ss 機能維持	・ 多重化の概要は別紙 17-12 図参照 ・ Ss 機能維持の確認方法は別紙 17-13 表参照
	配管	・ 多重化 ・ Ss 機能維持	・ 多重化の概要は別紙 17-12 図参照 ・ Ss 機能維持の確認方法は別紙 17-13 表参照
監視・制御機能	制御盤	・ 多重化 ・ Ss 機能維持 ・ 隔離を確保した屋内設置 ・ 内部事象に起因する共通要因故障に配慮した配置	・ 多重化の概要は別紙 17-12 図参照 ・ Ss 機能維持の確認方法は別紙 17-13 表参照
	水位計	・ 多重化 ・ Ss 機能維持	・ 多重化の概要は別紙 17-12 図参照 ・ Ss 機能維持の確認方法は別紙 17-13 表参照
電源機能	電源 (非常用 DG)	・ 多重化	・ 多重化の概要は別紙 17-12 図参照

分析2の結果からは分析1と同様の対策(別紙17-11表)が必要という結果を得た。また、これに加えて、停止時における全交流動力電源喪失への配慮として、常設代替交流電源からの電源供給が可能な設計とする。

分析3の結果からは、分析1と同様の対策(別紙17-11表)が必要という結果を得た。

以上のとおり、分析1から分析3を踏まえ、地下水位低下設備の信頼性向上の観点から対策を講じることとする。

なお、分析4については、分析1から分析3での対策により、設計上の配慮を行うことができる。

また、上記のような信頼性向上の観点からの対策を行ってもなお、地下水位低下設備が機能喪失する状態も考え、復旧用可搬ポンプを用いた機動的な措置について手順等の整備を行う(「4. 運用管理・保守管理上の方針」参照)。

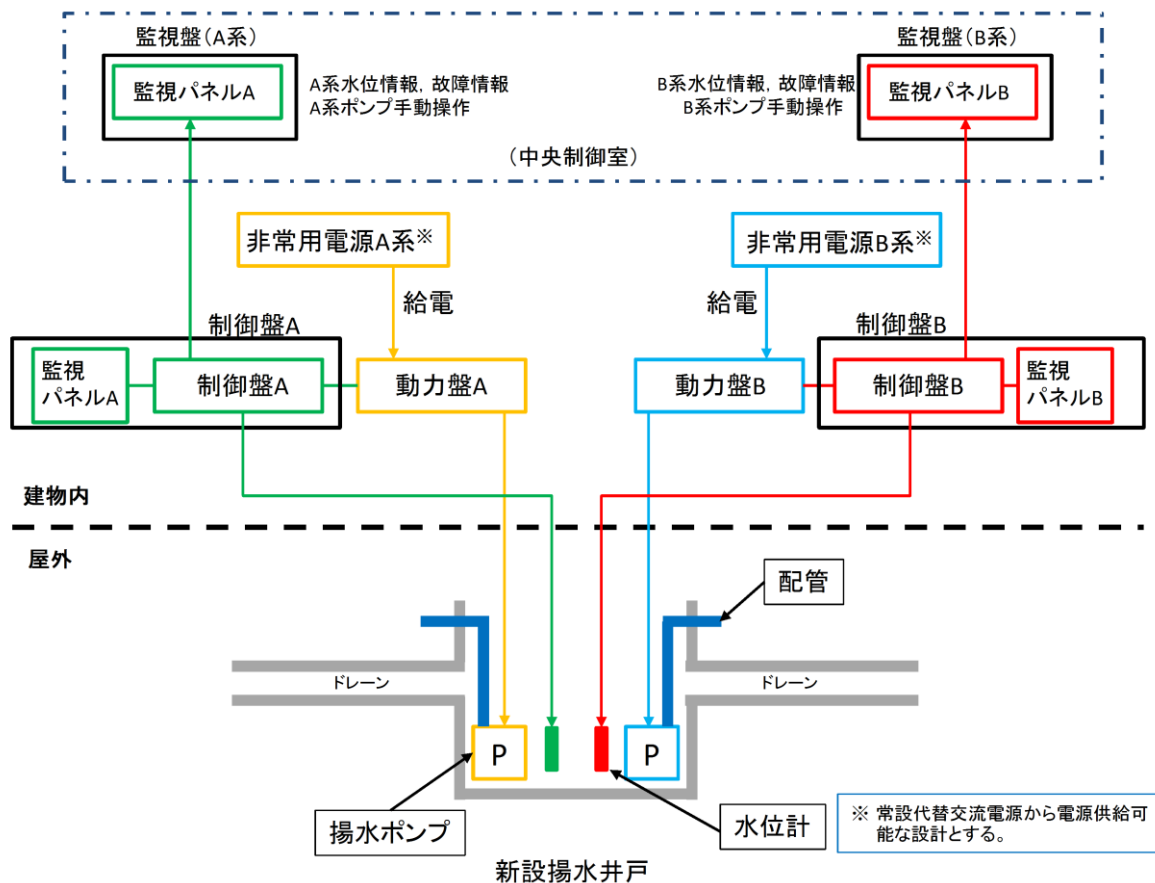
地下水位低下設備の各構成部位におけるS_s機能維持の確認方法を別紙17-13表に示す。

別紙17-13表 地下水位低下設備の各構成部位における
S_s機能維持の確認方法と設計方針

機能	構成部位	S _s 機能維持の確認方法	
		分類	具体的な方法
集水機能	ドレーン	解析	・基準地震動 S _s に対し地下水の集水機能を維持する設計とする。
支持・閉塞防止機能	揚水井戸	解析	・基準地震動 S _s に対し機能(揚水ポンプ及び配管の支持機能並びに閉塞防止機能)を維持する設計とする。
排水機能	揚水ポンプ	解析・加振試験	・基準地震動 S _s に対し機能(地下水の排水機能)を維持する設計とする。 ・支持金物は基準地震動 S _s に対し機能(揚水ポンプの支持機能)を維持する設計とする。
	配管	解析	・基準地震動 S _s に対し揚水ポンプで汲み上げた地下水の排水経路を維持する設計とする。 ・支持金物は、基準地震動 S _s に対し機能(配管の支持機能)を維持する設計とする。
監視・制御機能	制御盤	解析・加振試験	・基準地震動 S _s に対し機能(揚水ポンプの制御機能)を維持する設計とする。
	水位計	解析・加振試験	・基準地震動 S _s に対し機能(揚水井戸内に継続的に流入する地下水位監視機能, 揚水ポンプの起動停止の制御機能)を維持する設計とする。 ・支持金物は基準地震動 S _s に対し機能(水位計の支持機能)を維持する設計とする。

2.5 監視・制御機能及び電源接続の系統構成

地下水位低下設備の電源系, 監視・制御系の系統構成概要を別紙17-13図に示す。井戸における揚水ポンプ, 水位計, 現場における監視・制御系, 中央制御室の監視盤及び非常用電源からの電源供給については信頼性の向上を考慮した設計とする。



別紙17-13図 地下水位低下設備の電源系, 監視・制御系の系統構成概要

2.6 信頼性の向上を考慮した設備構成の検討

ここでは、地下水位低下設備の目的、機能及び要求期間を踏まえ、原子炉建物等への影響を鑑み、集水機能(ドレーン等)及び排水機能(揚水ポンプ等)の設備構成を検討する。

なお、検討に当たっては、揚水ポンプの故障を想定することとした。

設備構成の検討においては、第 I 編の整理から地下水位低下設備が機能しない場合の影響として、施設へ作用する揚圧力(設置許可基準規則第 4 条)及び液状化影響(設置許可基準規則第 3 条第 2 項)が抽出されているが、ここでは早期に影響が現れる建物・構築物の揚圧力影響の低減に着目し、地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備を設置することとし、集水及び排水機能に係る設備構成の検討を行った。

なお、液状化影響に対しては、地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備の機能を考慮した水位より設計地下水位を設定し、液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても機能が損なわれないことを確認し、機能に影響が及ぶ場合は適切な対策を講ずる設計とする。

設備構成の検討に当たっては信頼性確保が重要となることから、添付資料 2 に示すとおり、施設に対するドレーンの配置から期待範囲を設定し、信頼性の確保に係る 3 つの観点(耐久性、耐震性、保守管理性)を満たす地下水位低下設備を新設する。また、検討に当たっては、揚水ポンプを多重化することとした。

既設のサブドレーン及び集水管は、その構造や堆砂事象の進展速度等から閉塞しないものと評価しているが、万が一、堆砂による通水面積の減少が発生した場合、確実に堆砂を除去できないため、閉塞した状態(管路ではなく、砕石相当の透水係数を考慮)を前提とした。

(1) 設備構成概要

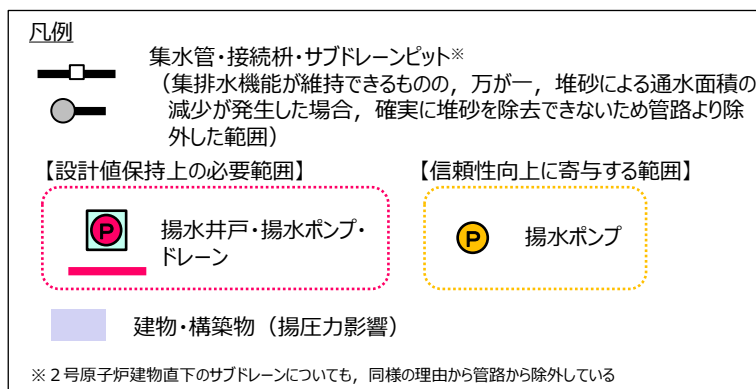
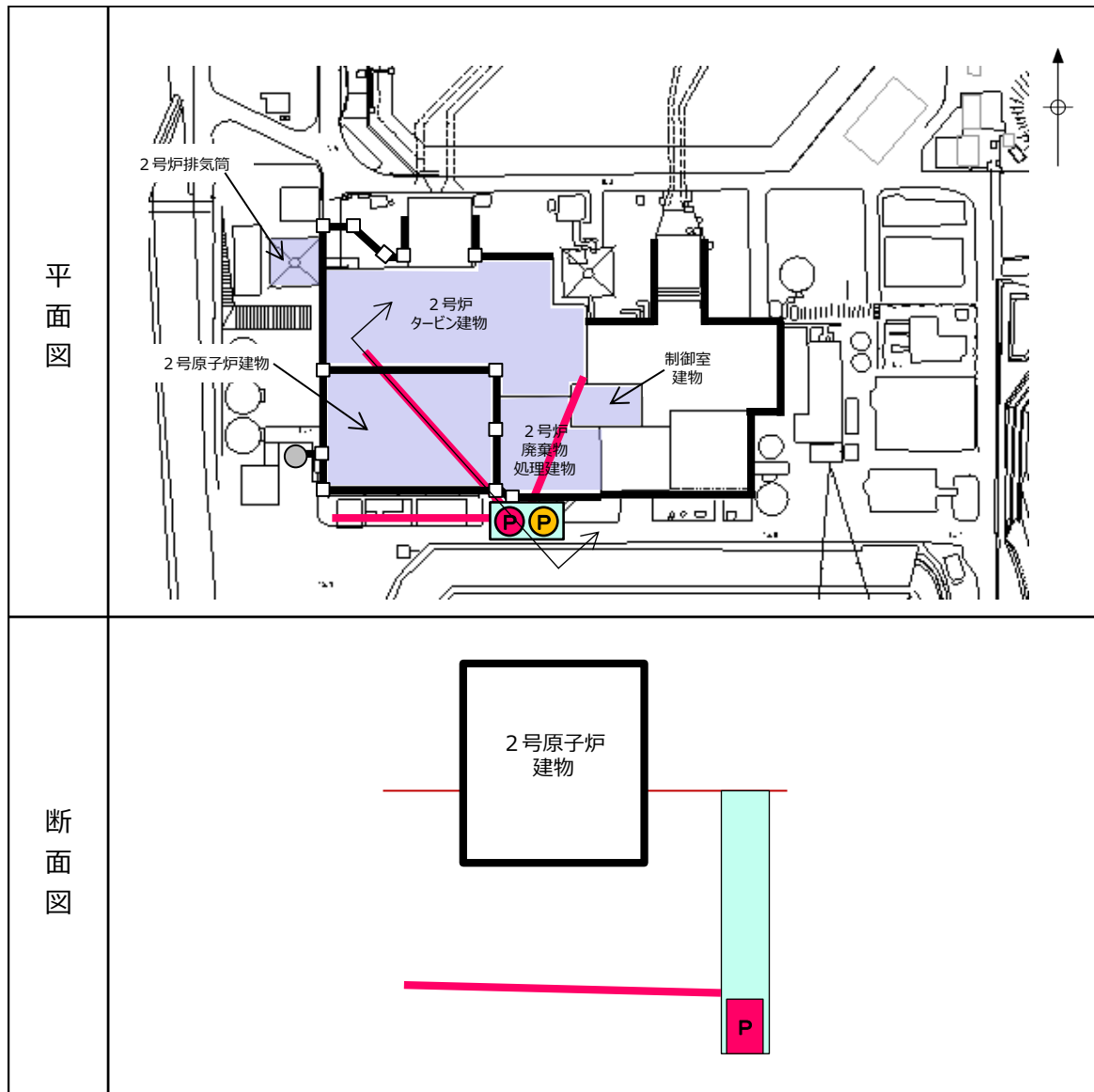
主要建物周辺に新たに設置する地下水位低下設備の配置例及び構成例を別紙 17-14 図に示す。

これは、早期に影響が現れる揚圧力影響(設置許可基準規則第 4 条)の低減に着目した建物・構築物(原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物、制御室建物及び排気筒)に対し、設置許可基準規則条文適合上必要な集水及び排水機能の範囲を示したものであり、設計値保持上の必要範囲(■)と、信頼性向上に寄与する範囲(■)にて構成される。

サブドレーン及び集水管については、耐久性及び耐震性を満たし、集・排水機能が期待でき、また、岩盤内に設置しているため、土砂供給は非常に少ないと判断している。しかしながら、万が一、堆砂による通水面積の減少が発生した場合、確実に堆砂を除去できないため管路より除外した範囲(■)については透水層(管路ではなく、砕石相当の透水係数を考慮)として取扱う。

また、揚水ポンプの故障を想定し、同等の排水能力を有する揚水ポンプを設置することにより多重化した。

なお、別紙 17-14 図は揚圧力影響(設置許可基準規則第 4 条)の低減に着目した設備構成案であるが、液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても機能が損なわれないことを確認し、機能に影響が及ぶ場合は適切な対策を講ずる設計とする。



別紙17-14図 地下水位低下設備の配置例及び構成例

設置許可基準規則第3条第2項及び第4条に係る要求事項に照らし、地下水位低下設備の集水及び排水機能に係る設備構成を検討した。

詳細設計段階においては、設計上の必要範囲が機能する場合の浸透流解析を実施し、設計地下水位を設定する(第I編及び添付資料2を参照)。

新設する地下水位低下設備の構造・配置例について補足説明資料7に示す。なお、揚水井戸及びドレーンの配置及び構造については詳細設計段階で確定する。

3. 運用管理・保守管理上の方針

(1) 運用管理及び保守管理に係る位置付け

地下水位低下設備の運用管理, 保守管理に係る事項をQMS文書に定める。具体的には, 運用管理については, 必要な手順を整備した上で管理していく。また, 保守管理については予防保全対象として管理していく。

【運用管理の方針(案)】

- QMS文書において, 地下水位低下設備が動作可能であることを定期的を確認することを定める。
- QMS文書において地下水位低下設備の運転管理方法を定める。
〈具体的な対応〉
 - ・地下水位低下設備の運用に係る体制, 確認項目・対応等を整備する。
 - ・地下水位低下設備が機能喪失した場合に, 復旧用可搬ポンプによる機動的な対応による復旧を行うための手順を定める。

①復旧用可搬ポンプの考え方

地下水位低下設備は, 重要安全施設への影響に鑑み, 高い信頼性を確保する設計とするものの, それでもなお, 動作不能が発生した場合を想定し, 復旧用可搬ポンプを配備する。

地下水位低下設備は, 常時待機状態の緩和系とは異なり, 比較的高い頻度での稼働が必要な設備である。

こうした性質を勘案して, 機器の故障が発生しても, 復旧用可搬ポンプでの対応が可能となるよう, 必要台数を配備する。(別紙17-14表参照)

別紙17-14表 資機材の配備数

項目		配備数
復旧用可搬ポンプ	・揚水ポンプ ・発電機 等	一式

【保守管理の方針(案)】

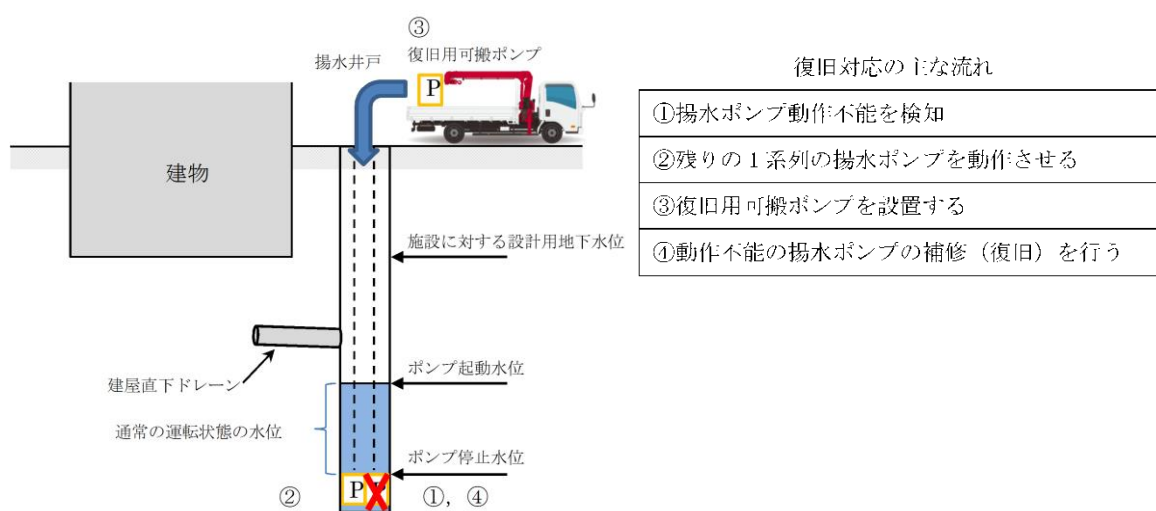
- 保全計画の策定では, 地下水位低下設備を「予防保全」の対象と位置付け管理していく。
- 機能喪失した場合に備え予め復旧用可搬ポンプを確保した上で, 機能喪失時には原因調査を行い補修する。

(2) 復旧対応の具体的な例

揚水ポンプ 1 系列が動作不能の場合における新たに設置する揚水ポンプの運用例を別紙17-15図に示す。

地下水位低下設備 1 系列が動作可能であれば、揚水井戸の水位を一定の範囲に保持することが可能であるが、1 系列が動作不能の場合は、復旧用可搬ポンプを設置し、動作不能の揚水ポンプの補修(復旧)を行う。

上記により 2 系列動作可能な状態に復帰する。



別紙17-15図 新たに設置する揚水ポンプの運用例
(揚水ポンプ 1 系列が動作不能の場合)

(3) 地下水位低下設備の具体的な試験又は検査

信頼性向上のため、試験又は検査について以下を考慮する。

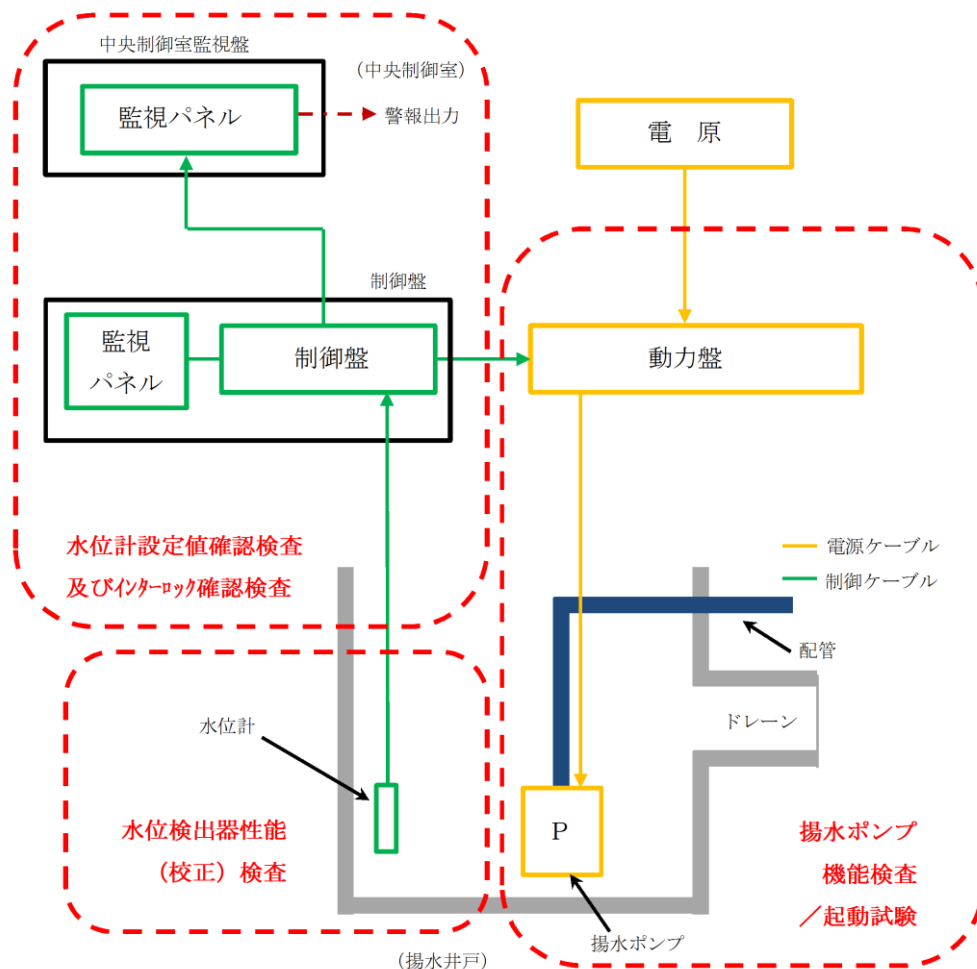
- ・ 運転中に定期的に試験又は検査ができること。
- ・ 信頼性向上の配慮により多重化した系統及び機器にあつては、各々が独立して試験又は検査ができること。

これを踏まえて、地下水位低下設備は独立して試験又は検査ができる設計とする。

地下水位低下設備に係る試験又は検査の例を別紙17-15表に、地下水位低下設備の検査項目と範囲を別紙17-16図に示す。

別紙17-15表 地下水位低下設備に係る試験又は検査の例

項目	内容	頻度
水位検出器性能（校正）検査	水位検出器の校正を行い、適切な値が伝送されることを確認する。	定期検査ごと
水位計設定値確認検査及びインターロック確認検査	水位計設定値が適切な値であること、インターロックが作動することを確認する。	定期検査ごと
揚水ポンプ機能検査	インターロックの入力信号によりポンプが起動・停止することを確認する。	定期検査ごと
揚水ポンプ起動試験	揚水ポンプが起動することを確認する。	1回／月
揚水井戸点検	ひび割れ等の変状が発生していないことを確認する。	別途、「島根原子力発電所土木建築関係設備点検手順書」にて定める
ドレーン点検	ドレーンにカメラ等を挿入し、通水面積が保持されていることを確認する。	



別紙17-16図 地下水位低下設備の試験又は検査項目と範囲

4. 信頼性向上の方針のまとめ

地下水位低下設備の設置目的と機能の重要性に鑑み、設備構成を検討した。

さらに、地下水位低下設備については、機能の目的及び機能の維持期間を踏まえ、信頼性向上に係る対策として地下水位低下設備のSs機能維持及び多重化を行う。それでもなお動作不能が発生した場合を想定し、復旧用可搬ポンプを用いて復旧を行う多段な対策によりその信頼性向上に努める。

これにより、原子炉施設に対する炉心損傷又は燃料破損等のリスクの低減を図ることができる。

第Ⅲ編 設置許可段階における構造成立性検討用の地下水位の設定

耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等について、設置許可段階における構造成立性を確認する場合、第Ⅰ編 別紙 17-4 表「耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等の地下水位の設定方針」に基づき地下水位を設定する。

なお、地下水位条件については、構造成立性に係る個別の説明資料において、他の設計条件と併せて説明する。

ドレーンの信頼性確保の検討

1. はじめに

集水機能を担うドレーンは、通水面積の減少による機能喪失リスクを考慮する必要がある。設置状況や保守管理性を踏まえ、機能を喪失する可能性のある事象を網羅的に挙げ、それらに対する対応の考え方を整理した。ドレーンの機能喪失要因と対応の考え方を添付1-1表に示す。

ドレーン構造(有孔管)に起因し経時的に状態が変化するモードとして土砂流入が考えられるが、ドレーンは耐久性・耐震性を確保したものを使用すること、有孔部から流入する土砂は非常に緩慢*に堆積することから、管の通水面積の減少による機能喪失リスクはない。さらに、今後予防保全対象として定期的な点検を実施し、点検結果を踏まえた土砂排除を行う計画とする。

土砂流入をはじめとして、機能喪失への影響が想定される全ての事象は、設計(耐久性・耐震性の確保)並びに保守管理により対処し機能維持することが可能である。

添付 1-1 表 ドレーンの機能喪失要因と対応の考え方

機能喪失への影響が想定される事象	設計・保守管理における対応の考え方と取扱い
経年劣化や地震により損傷し、断面形状を保持できなくなる。	耐久性のある材料を採用するとともに、Ss機能維持設計とする。
ドレーンの有効範囲以外からの雨水流入、その他想定以上の雨水流入により、ドレーンの集水能力が不足する。	ドレーンの集水機能の検討に当たっては、ドレーンの有効範囲外等からの雨水流入の可能性を考慮した上で流入量を確認し、必要に応じて設計に反映する。(排水機能にも係る事項であり、ポンプ・配管設計にも反映する)
土砂流入により通水面積が減少し、集・排水機能を喪失する。	十分な余裕を有する断面を有する管径を設定するとともに、定期的な点検、土砂排除を実施する。 有孔部から管内への土砂流入は微量であり、有孔部に対し管径が十分大きく、土砂堆積による通水断面の減少は非常に緩慢*に進行することから、十分な余裕を有する断面をもつことで、機能喪失には至らない。
地盤改良工事等による目詰まり等により集・排水機能を喪失する。	施工時の規制を行う。(施工方法の検討)

*ドレーンは岩盤内に設置しているため、管内への土砂供給が非常に少ない。

2. ドレーンの機能喪失事象への信頼性確保の考え方

前頁に示すドレーンの機能喪失事象の整理より保守管理性の重要性が抽出されたことから、ドレーンの敷設状況等を踏まえた保守管理方針を整理した。ドレーンの保守管理方針を添付1-2表に示す。

保守管理方針の検討においてはドレーンの構造・形状等からドレーン範囲を区分し、点検内容と異常時の対応を整理した。

添付 1-2 表 ドレーンの保守管理方針

区分	構成部位 (例)	ドレーンの点検内容		異常時の対応	
		手段	点検対象と確認内容		
I	カメラ等により部分的に確認可能	φ300mm (流末部)	目視, カメラ等	損傷等の有無, 土砂堆積状況等から, 通水断面が保持されていることを確認	詳細調査を行い, 必要な対策を実施
II	流末部※ ¹ の断面の確認により確認可能	Φ150mm Φ300mm (流末部以外)	流末部の断面を I に より確認※ ²	I より通水断面が保持されていることを確認	I の範囲と同様の状態にあるものと考え, 詳細調査を行い, 必要な対策を実施する

※1 流末部とは、サブドレーンピットとドレーンの取り合い部を表す。

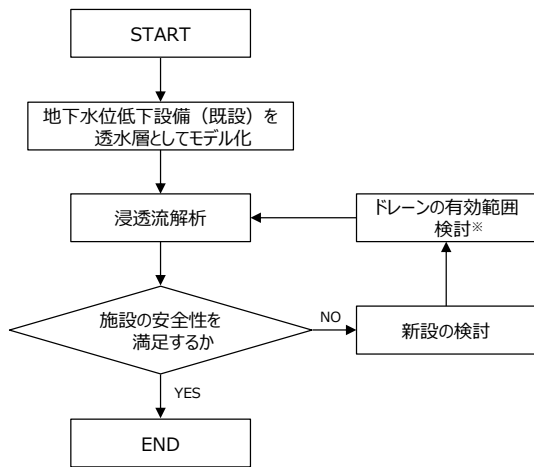
※2 以下に示す理由から、ドレーンは一定の品質が確保され、供用環境も同様と考えられるため、通常時は流末部で外観点検を行うことで異常時の検知が可能である。

- a. 施工方法・仕様の共通性：ドレーンは同時期に同一施工体制のもと設置されており、掘削した岩盤内に同様の施工管理基準のもと設置されている。
- b. 建設時記録の信頼性：ドレーンは同時期に同一施工体制のもと設置されており、開削により露出した岩盤上に同様の施工管理基準のもと設置されている。
- c. 耐久性・耐震性（Ss機能維持）が確保されている。
- d. 安定的な使用環境にある。（岩着構造、外力（土被り）の変動が小さい、地下空間のため、紫外線等の劣化要因が少ない、流入する地下水に有害物質が含まれない等）

3. 集水機能の信頼性の検討

設計地下水位の算定(浸透流解析)に用いるドレーンの有効範囲は添付1-1図に示すフローに従い設定することで信頼性を確保する。有効範囲設定の考え方は以下のとおりである。

- 既設の地下水位低下設備（サブドレーン及び集水管）については、耐久性及び耐震性を満たし、集・排水機能が期待でき、また、岩盤内に設置しているため、土砂供給は非常に少ないと判断している。しかしながら、万が一、堆砂による通水面積の減少が発生した場合、確実に堆砂を除去できないため管路より除外し、保守的に透水層として取扱う。
- 浸透流解析を踏まえ、施設の安全性を確認し、必要な範囲に新設(ドレーン及び揚水井戸)を検討する。



※新設のドレーンについて、耐久性、耐震性及び保守管理性を満足することを確認する

項目	観点
耐久性	耐用年数から供用期間中に機能維持できるか
耐震性	基準地震動Ssに対する耐震性を説明できるか
保守管理性	① 目視・カメラにより通水断面が保持できていることを説明できるか
	② 万が一、堆砂による通水面積の減少が発生した場合、確実に堆砂を除去できるか

添付 1-1 図 集水機能の検討フロー

前頁の考え方から、ドレーンの状態に対応したパターンと各観点の評価の見直し、並びに浸透流解析上の取扱いについて整理した。

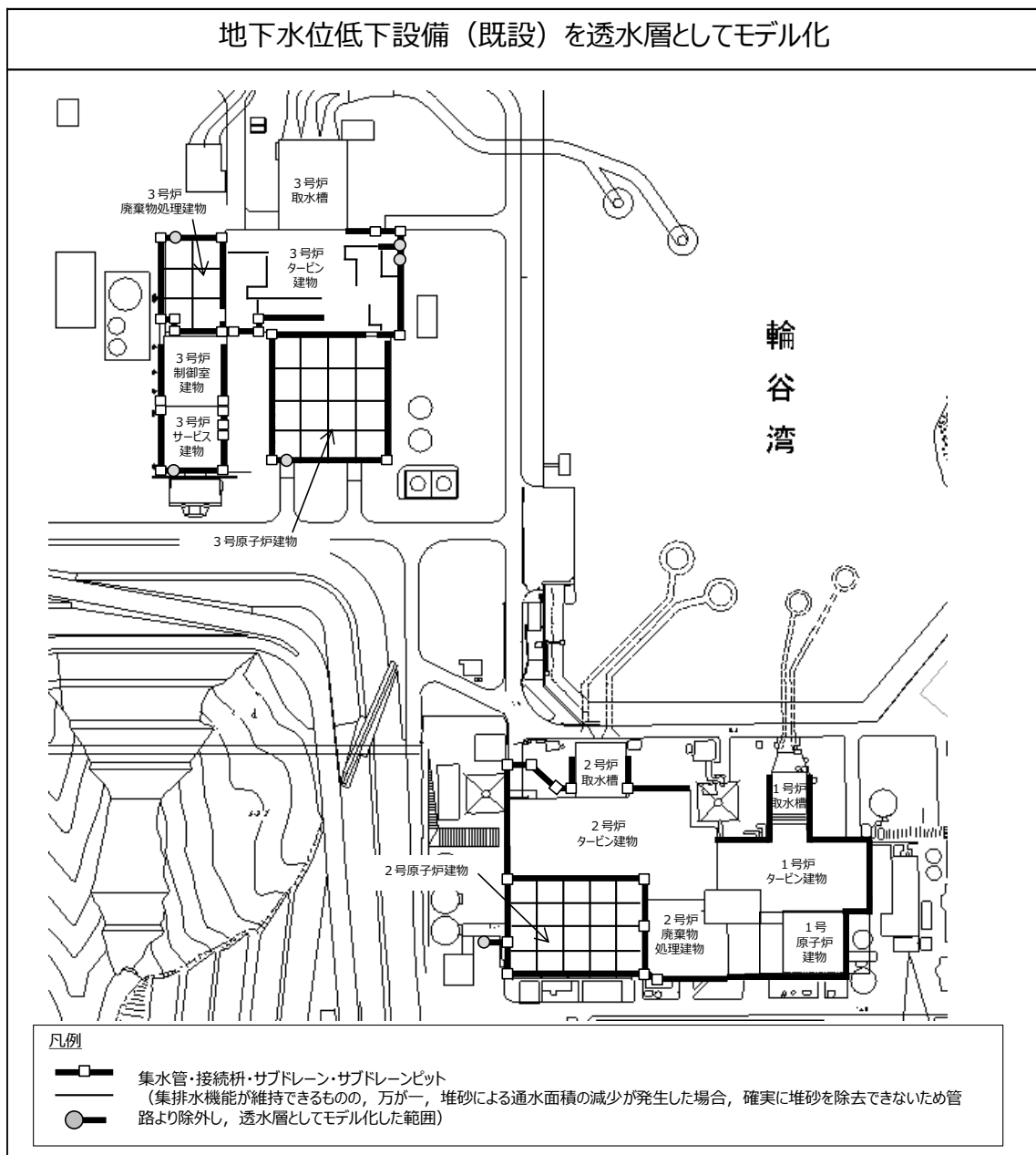
設計地下水位の設定においては、ドレーンの期待範囲を検討の上、集水経路としての役割を有する揚水井戸についても同様の考え方で信頼性を確認する。

添付 1-3 表 ドレーンの状態に対応したパターンと浸透流解析上の取扱い

ドレーンの種類	各観点に対する評価			浸透流解析上の扱い	
	耐久性	耐震性	保守管理性		
既設 (例：2号炉サブドレーン) 	○	○	×		岩盤と躯体に囲まれた範囲は保持されるが、直接的な構造確認ができないため、透水層(管路として期待せず、碎石相当の透水係数を考慮)として取り扱う。
新設する場合(例) 	○	○	○		管の耐久性・耐震性が確保され、構造を確認できることから、大気圧解放状態とする。

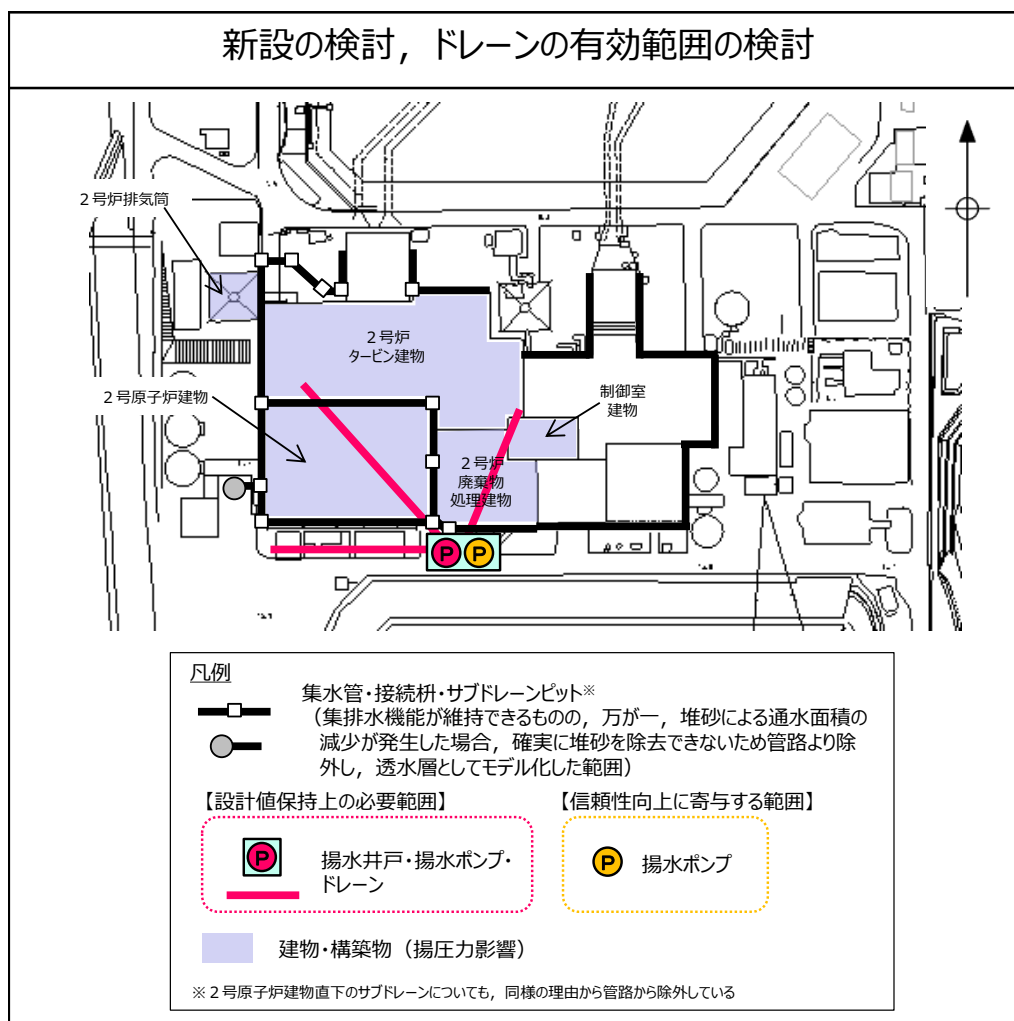
添付1-1図に示す集水機能の検討フローに基づく各プロセスの検討内容の例を示す。ここでは早期に影響が現れる施設の揚圧力影響の低減に着目し、地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備を設置することし、集水及び排水機能に係る設備構成の検討を行った。

まず、「地下水位低下設備（既設）を透水層としてモデル化」として、地下水位低下設備（既設）のうち、サブドレーン及び集水管を透水層（管路ではなく、砕石相当の透水係数を考慮）としてモデル化し、浸透流解析を実施した。解析の結果（補足説明資料4参照）から、建物・構築物の揚圧力影響低減のため、地下水位低下設備の新設が必要と判断した。管路より除外した範囲を添付 1-2 図に示す。



添付 1-2 図 ドレーンの有効範囲設定例
(地下水位低下設備（既設）を透水層としてモデル化)

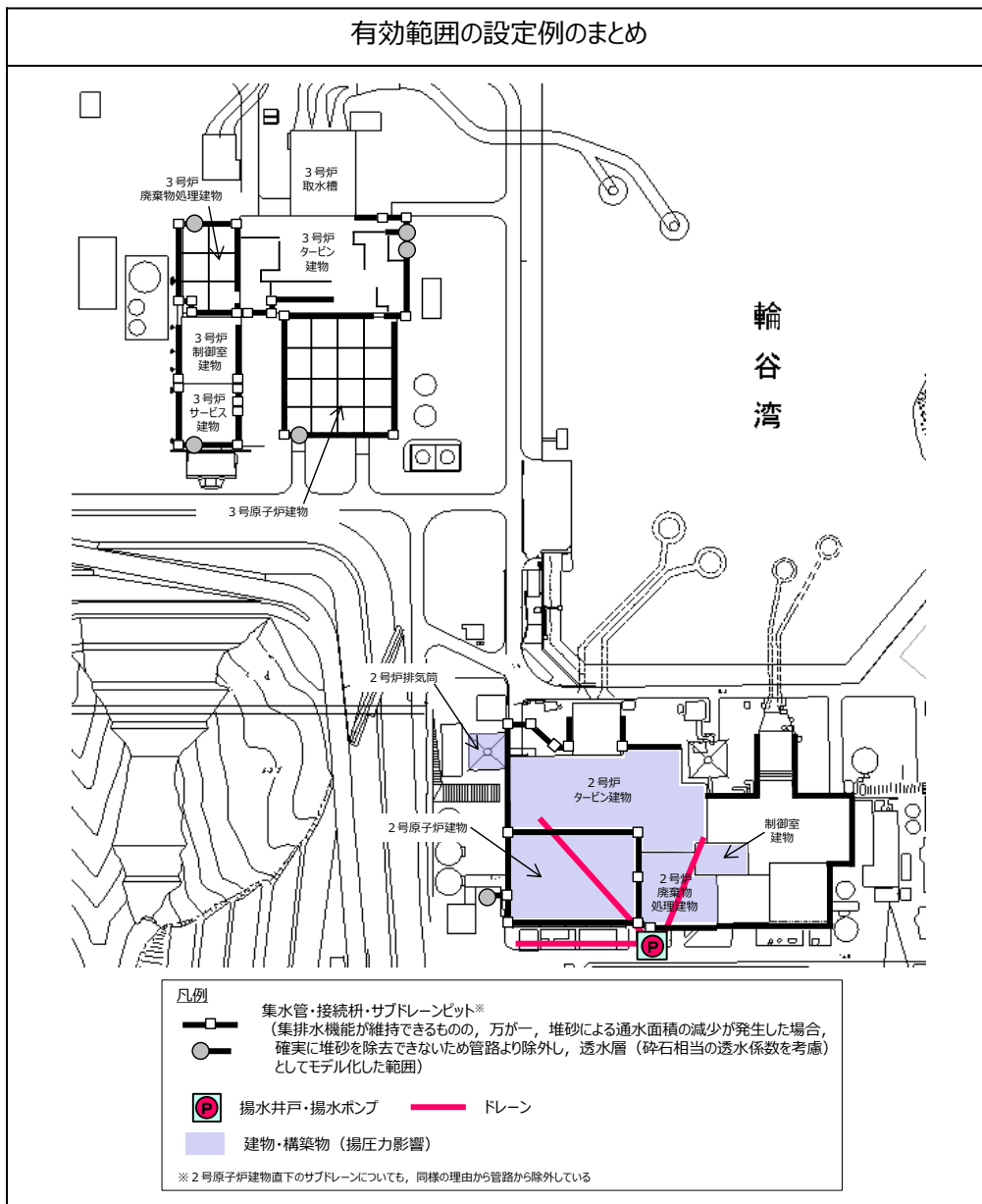
前頁の評価を踏まえ、「新設の検討，ドレーンの有効範囲の検討」の観点から，地下水位低下設備（既設）に期待できない主要建物等について，耐久性，耐震性及び保守管理性を満足するドレーンの新設を検討する。なお，ドレーンの点検性への配慮として，カメラの挿入や堆砂の除去が容易となるよう，直線状のドレーンとする。



添付 1-3 図 ドレーンの有効範囲設定例
 (新設の検討，ドレーンの有効範囲の検討)

集水機能の信頼性の詳細検討フローに基づく有効範囲の設定例を添付 1-4 図に示す。本図はこれまでに整理したドレーンの有効範囲をまとめたものであり、設置許可基準規則第 3 条第 2 項、同第 4 条の要求を考慮した設備構成例である。これは、早期に影響が現れる揚圧力影響(設置許可基準規則第 4 条)の低減に着目した建物・構築物(原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物、制御室建物及び排気筒)に対し、設置許可基準規則条文適合上必要な集・排水機能の範囲を示したものである。

サブドレーン及び集水管については、耐久性及び耐震性を満たし、集・排水機能が期待でき、また、岩盤内に設置しているため、土砂供給は非常に少ないと判断している。しかしながら、万が一、堆砂による通水面積の減少が発生した場合、確実に堆砂を除去できないため管路より除外した範囲(■)については透水層(管路ではなく、砕石相当の透水係数を考慮)として取り扱う。



添付 1-4 図 ドレーンの有効範囲設定例(まとめ)

設置変更許可段階及び工事計画認可以降の提示内容

1. 設置許可基準規則における対応条文への適合の考え方

設置許可基準規則の対応条文のうち、第 3 条(設計基準対象施設の地盤)、第 38 条(重大事故等対処施設の地盤)、第 4 条(地震による損傷の防止)及び第 39 条(重大事故等対処施設/地震による損傷の防止)に対して、基準適合の考え方と設置変更許可申請書への反映箇所、並びに工事計画認可段階における審査項目を整理した。

設置許可基準規則第 3 条は添付 2-1 表、同第 38 条は添付 2-2 表、同第 4 条は添付 2-3 表、同第 39 条は添付 2-4 表に、それぞれ基準適合の考え方と設置変更許可申請書への反映箇所、並びに工事計画認可段階における審査項目を示す。

また、設置許可基準規則第 3 条の規則の解釈を添付 2-5 表、並びに同第 4 条の規則の解釈を添付 2-6 表及び添付 2-7 表に示す。

添付2-1表 設置許可基準規則に対する基準適合の考え方と
 工事計画認可段階における提示内容第3条(設計基準対象施設の地盤)

設置許可基準規則	設置許可基準規則の解釈	基準適合の考え方		設置変更許可申請書への反映箇所	詳細設計段階における提示内容
		考え方	必要な設備等		
設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力(設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(以下「耐震重要施設」という。)及び兼用キヤスクにあっては、同条第三項に規定する基準地震動による地震力を含む。)が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。ただし、兼用キヤスクにあっては、地盤により十分に支持されなくてもその安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りでない。	(添付3-5表、主要箇所抜粋) 第3条第1項に規定する「設計基準対象施設を十分に支持することができる」とは、設計基準対象施設について、自重及び運転時の荷重等に加え、耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する設計であることをいう。耐震重要施設については、基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないことを含め、基準地震動による地震力に対する支持性能が確保されていることを確認する。	耐震重要施設の基礎地盤 ・基礎地盤の安定性評価の条件として地下水位の設定方法を記載(基準適合はこの条件を用いた安定性評価により確認)	—	添付書類六 -地盤 -地震力に対する基礎地盤の安定性評価(地下水位)	— (設置許可段階で説明) [地下水位低下設備の耐震性に関する説明書において地盤の支持性能に係る確認結果を記載]
第三条(設計基準対象施設の地盤) 2 耐震重要施設及び兼用キヤスクは、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。	(主要箇所抜粋) 「変形」とは、地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み並びに地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下、液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状をいう。	耐震重要施設の周辺地盤 ・耐震重要施設については、液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても、当該施設の安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。 ・耐震重要度の設計においては、防波壁下部を地盤改良するために地下水の流れが遮断され地下水水位が上昇するおそれがあるという島根サイト固有の状況を踏まえ地下水水位低下設備の機能を考慮した水位、自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水水位を設定する。 ・耐震設計において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。	・常設の地下水水位低下設備	添付書類六 -地盤 -周辺地盤の変状による施設への影響評価 関連 添付書類八 -安全設計/耐震設計 -耐震重要施設	・耐震性に関する説明書(第四条の審査において確認)
3 耐震重要施設及び兼用キヤスクは、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。ただし、兼用キヤスクにあっては、地盤に変位が生じてもその安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りでない。	(記載を省略)	— (地下水位設定とは関連しない)	—	—	—

添付2-2表 設置許可基準規則に対する基準適合の考え方と
 工事計画認可段階における提示内容第38条(重大事故等対処施設の地盤)

設置許可基準規則	設置許可基準規則の解釈	基準適合の考え方		設置変更許可申請書への反映箇所	詳細設計段階における提示内容	
		考え方	必要な設備等			
第三十八 条(重大 事故等対 処施設の 地盤)	<p>重大事故等対処施設は、次に掲げる施設の区分に応じ、それぞれ次に定める地盤に設けなければならない。</p> <p>一 重大事故防止設備のうち常設のもの(以下「常設重大事故防止設備」という。)であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの(以下「常設耐震重要重大事故防止設備」という。)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。)基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤</p> <p>二 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。)第四条第二項の規定により算定する地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤</p> <p>三 重大事故緩和設備のうち常設のもの(以下「常設重大事故緩和設備」という。)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。)基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤</p>	<p>1 第38条の適用に当たっては、本規程別記1に準ずるものとする。</p> <p>※別記1:第3条(設計基準対象施設の地盤)</p> <p>2 第1項第2号に規定する「第4条第2項の規定により算定する地震力」とは、本規程別記2第4条第2項から第4項までにおいて、代替する機能を有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラスに適用される地震力と同等のものとする。</p> <p>3 第1項第4号に規定する「第4条第2項の規定により算定する地震力」とは、本規程別記2第4条第2項第1号の耐震重要度分類のSクラスに適用される地震力と同等のものとする。</p>	<p>常設重大事故等対処施設の基礎地盤</p> <p>・基礎地盤の安定性評価の条件として地下水位の設定方法を記載(基準適合はこの条件を用いた安定性評価により確認)</p>	—	<p>添付書類六</p> <p>-地盤</p> <p>-地震力に対する基礎地盤の安定性評価(地下水位)</p>	—
	<p>2 重大事故等対処施設(前項第二号の重大事故等対処施設を除く。次項及び次条第二項において同じ。)は、変形した場合においても重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。</p>		<p>常設重大事故等対処施設の周辺地盤</p> <p>・常設重大事故等対処施設については、液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても、当該施設の安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。</p> <p>・常設重大事故等対処施設の設計においては、防波壁下部を地盤改良するために海側への地下水の流れが遮断され地下水水位が上昇するおそれがあるという鳥根サイト固有の状況を踏まえ地下水水位を一定の範囲に保持する地下水低下設備の機能を考慮した水位、自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水水位を設定する。</p> <p>・耐震設計において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。</p>	<p>・常設の地下水低下設備</p>	<p>添付書類六</p> <p>-地盤</p> <p>-周辺地盤の変状による施設への影響評価</p> <p>関連 添付書類八</p> <p>-安全設計/耐震設計</p> <p>-耐震重要施設</p>	<p>・耐震性に関する説明書(第四条の審査において確認)</p>
	<p>3 重大事故等対処施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。</p>		— (地下水設定とは関連しない)	—	—	—

添付2-3表 設置許可基準規則に対する基準適合の考え方と
 工事計画認可段階における提示内容第4条(地震による損傷の防止)

設置許可基準規則	設置許可基準規則の解釈	基準適合の考え方		設置変更許可申請書への反映箇所	詳細設計段階における提示内容
		考え方	必要な設備等		
第四条 (地震による損傷の防止)	設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。	(添付3-6表、添付3-7表、以下主要箇所抜粋) 1 第4条第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、ある地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲の設計がなされることをいう。	設計基準対象施設 ・設計基準対象施設は、地震力に十分耐えられる設計とする。 ・設計基準対象施設の設計においては、防波壁下部を地盤改良するために海側への地下水の流れが遮断され地下水位が上昇するおそれがあるという島根サイト固有の状況を踏まえ地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備の機能を考慮した水位、自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水位を設定する。 耐震重要施設 ・耐震重要施設については、揚圧力が作用した場合において、当該施設の安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。 あわせて、液状化、掃り込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても、当該施設の安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。 (第三条第二項をあわせて確認)	・常設の地下水水位低下設備	・耐震性に関する説明書(設計用地下水位の設定を含む)
	2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。	設計基準対象施設は、耐震重要度に応じて、以下のクラス(以下「耐震重要度分類」という。)に分類するものとする。	・耐震重要施設の設計においては、防波壁下部を地盤改良するために海側への地下水の流れが遮断され地下水位が上昇するおそれがあるという島根サイト固有の状況を踏まえ地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備の機能を考慮した水位、自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水位を設定する。 ・耐震設計において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。	本文* 添付書類八 -安全設計 -耐震設計/基本方針 -耐震重要施設 -その他発電用原子炉の付属設備 -地下水位低下設備	関連 添付書類六 -地盤 -周辺地盤の変状による施設への影響評価 ※ 耐震評価において地下水位低下設備の機能に期待することは島根サイト固有の事項であることから、設置目的や役割を本文に記載。
	3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力(以下「基準地震動による地震力」という。)に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。	一 耐震重要施設のうち、二以外のもの ・基準地震動による地震力に対して、その安全機能が保持できること。 二 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物 ・基準地震動による地震力に対して、それぞれの施設及び設備に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能及び津波監視機能をいう。)が保持できること。	・耐震重要施設の設計においては、防波壁下部を地盤改良するために海側への地下水の流れが遮断され地下水位が上昇するおそれがあるという島根サイト固有の状況を踏まえ地下水位を一定の範囲に保持する地下水位低下設備の機能を考慮した水位、自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水位を設定する。 ・耐震設計において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。	地下水位低下設備 ・地震に対し機能を保持する設計とする。 (Cクラス, Ss 機能維持)	添付書類六 -地盤 -周辺地盤の変状による施設への影響評価
	4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。		地下水位低下設備 ・地震に対し機能を保持する設計とする。 (Cクラス, Ss 機能維持)		

添付2-4表 設置許可基準規則に対する基準適合の考え方と工事計画認可段階における提示内容第39条(重大事故等対処施設/地震による損傷の防止)

設置許可基準規則	設置許可基準規則の解釈	基準適合の考え方		設置変更許可申請書への反映箇所	詳細設計段階における提示内容	
		考え方	必要な設備等			
第三十九条 (重大事故等対処施設/地震による損傷の防止)	<p>重大事故等対処施設は、次に掲げる施設の区分に応じ、それぞれ次に定める要件を満たすものでなければならない。</p> <p>一 常設耐震重要重大事故防止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。)基準地震動による地震力に対して重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。</p> <p>二 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。)第四条第二項の規定により算定する地震力に十分に耐えることができるものであること。</p> <p>三 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。)基準地震動による地震力に対して重大事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。</p> <p>四 特定重大事故等対処施設第四条第二項の規定により算定する地震力に十分に耐えることができ、かつ、基準地震動による地震力に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものであること。</p>	<p>1 第三十九条の適用に当たっては、本規程別記2に準ずるものとする。</p> <p>※別記2・第4条(地震による損傷の防止)</p> <p>2 第1項第2号に規定する「第4条第2項の規定により算定する地震力」とは、本規程別記2第4条第2項から第4項までにおいて、代替する機能が有する設計基準事故対処設備が属する耐震重要度分類のクラスに適用される地震力と同等のものとする。</p> <p>3 第1項第4号に規定する「第4条第2項の規定により算定する地震力」とは、本規程別記2第4条第2項第1号の耐震重要度分類のSクラスに適用される地震力と同等のものとする。</p>	<p>常設重大事故等対処施設</p> <p>・常設重大事故等対処施設については、揚圧力が作用した場合において、当該施設の機能が損なわれるおそれがないように設計する。</p> <p>あわせて、液状化、挿すり込み沈下等の周辺地盤の変状を考慮した場合においても、当該施設の機能が損なわれるおそれがないように設計する。</p> <p>(第三十八条第二項をあわせて確認)</p> <p>・常設重大事故等対処施設の設計においては、防波壁下部を地盤改良するために海側への地下水の流れが遮断され地下水水位が上昇するおそれがあるという島根サイト固有の状況を踏まえ地下水水位を一定の範囲に保持する地下水水位低下設備の機能を考慮した水位、自然水位より保守的に設定した水位又は地表面にて設計用地下水水位を設定する。</p> <p>・耐震設計において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。</p> <p>地下水水位低下設備^{※2}</p> <p>・地震に対し機能を保持する設計とする。</p> <p>(Cクラス, Ss 機能維持)</p> <p>※2 地震による損傷の防止は、同一の地盤、地震に対する第4条への適合性を示すことにより確認する。</p>	<p>・常設の地下水水位低下設備</p>	<p>本文^{※1}</p> <p>添付書類八 -設置許可基準規則への適合 -第三十九条</p> <p>関連 添付書類八 -安全設計 -耐震設計/基本方針 -耐震重要施設</p> <p>-その他発電用原子炉の付属設備 -地下水水位低下設備</p> <p>添付書類六 -地盤 -周辺地盤の変状による施設への影響評価</p> <p>※1 耐震評価において地下水水位低下設備の機能に期待することは島根サイト固有の事項であることから、設置目的や役割を本文に記載。</p>	<p>・耐震性に関する説明書(設計用地下水水位の設定を含む)</p>
	<p>2 重大事故等対処施設は、第四条第三項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p>		<p>— (対象斜面なし)</p>	—	—	—

添付 2-5 表 設置許可基準規則第 3 条の規則の解釈

設置許可基準規則	設置許可基準規則の解釈	
<p>第三条 (設計基準対象施設の地盤)</p>	<p>設計基準対象施設は、次条第二項の規定により算定する地震力(設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(以下「耐震重要施設」という。))及び兼用キャスクにあっては、同条第三項に規定する基準地震動による地震力を含む。)が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。ただし、兼用キャスクにあっては、地盤により十分に支持されなくてもその安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りでない。</p>	<p>1 第3条第1項に規定する「設計基準対象施設を十分に支持することができる」とは、設計基準対象施設について、自重及び運転時の荷重等に加え、耐震重要度分類(本規程第4条2の「耐震重要度分類」をいう。以下同じ。)の各クラスに応じて算定する地震力(第3条第1項に規定する「耐震重要施設」(本規程第4条2のSクラスに属する施設をいう。))にあっては、第4条第3項に規定する「基準地震動による地震力」を含む。)が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する設計であることをいう。 なお、耐震重要施設については、上記に加え、基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないことを含め、基準地震動による地震力に対する支持性能が確保されていることを確認することが含まれる。</p>
	<p>2 耐震重要施設及び兼用キャスクは、変形した場合においてもその安全機能が損なわれないおそれがない地盤に設けなければならない。</p>	<p>2 第3条第2項に規定する「変形」とは、地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み並びに地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下、液状化及び掃すり込み沈下等の周辺地盤の変状をいう。 このうち上記の「地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み」については、広域的な地盤の隆起又は沈降によって生じるもののほか、局所的なものを含む。これらのうち、上記の「局所的なもの」については、支持地盤の傾斜及び撓みの安全性への影響が大きいおそれがあるため、特に留意が必要である。</p>
	<p>3 耐震重要施設及び兼用キャスクは、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。ただし、兼用キャスクにあっては、地盤に変位が生じてその安全機能が損なわれない方法により設けることができるときは、この限りでない。</p>	<p>3 第3条第3項に規定する「変位」とは、将来活動する可能性のある断層等が活動することにより、地盤に与えるずれをいう。 また、同項に規定する「変位が生ずるおそれがない地盤に設け」とは、耐震重要施設が将来活動する可能性のある断層等の露頭がある地盤に設置された場合、その断層等の活動によって安全機能に重大な影響を与えるおそれがあるため、当該施設を将来活動する可能性のある断層等の露頭が無いことを確認した地盤に設置することをいう。 なお、上記の「将来活動する可能性のある断層等」とは、後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できない断層等とする。その認定に当たって、後期更新世(約12～13万年前)の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。 なお、活動性の評価に当たって、設置面での確認が困難な場合には、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断すること。 また、「将来活動する可能性のある断層等」には、震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持地盤まで変位及び変形が及ぶ地すべり面を含む。</p>

注)「設置許可基準規則の解釈」欄は、炉心内の燃料被覆材及び兼用キャスクに係る条項の記載を省略している。

添付2-6表 設置許可基準規則第4条の規則の解釈(1/2)

設置許可基準規則	設置許可基準規則の解釈
<p>設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならぬ。</p>	<p>別記2のとおりとする。ただし、炉心内の燃料被覆材の放射性物質の閉じ込めの機能については以下のとおりとし、兼用キャスク貯蔵施設については別記4のとおりとする。</p> <p>一 第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力（本規程別記2第4条第4項第1号に規定する弾性設計用地震動による地震力をいう。）又は静的地震力（同項第2号に規定する静的地震力をいい、Sクラスに属する機器に対し算定されるものに限る。）のいずれか大きい方の地震力を組み合わせた荷重条件に対して、炉心内の燃料被覆材の応答が全体的におおむね弾性状態に留まることをいう。</p> <p>二 第5項に規定する「基準地震動による地震力に対して放射性物質の閉じ込めの機能が損なわれるおそれがない」とは、通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、放射性物質の閉じ込めの機能に影響を及ぼさないことをいう。</p> <p>(別記2)</p> <p>1 第4条第1項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、ある地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲の設計がなされることをいう。この場合、上記の「弾性範囲の設計」とは、施設を弾性体とみなして応力解析を行い、施設各部の応力を許容限界以下に留めることをいう。また、この場合、上記の「許容限界」とは、必ずしも厳密な弾性限界ではなく、局部的に弾性限界を超える場合を容認しつつも施設全体としておおむね弾性範囲に留まり得ることをいう。</p>
<p>第四条（地震による損傷の防止）</p> <p>2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。</p>	<p>2 第4条第2項に規定する「地震の発生によって生ずるおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度」とは、地震により発生するおそれがある設計基準対象施設の安全機能の喪失（地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。）及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度（以下「耐震重要度」という。）をいう。設計基準対象施設は、耐震重要度に応じて、以下のクラス（以下「耐震重要度分類」という。）に分類するものとする。</p> <p>一 Sクラス（以下略） 二 Bクラス（以下略） 三 Cクラス</p> <p>Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設をいう。</p> <p>3 第4条第1項に規定する「地震力に十分に耐えること」を満たすために、耐震重要度分類の各クラスに属する設計基準対象施設の耐震設計に当たっては、以下の方針によること。</p> <p>一 Sクラス（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）（以下略） 二 Bクラス（以下略） 三 Cクラス</p> <p>・静的地震力に対しておおむね弾性状態に留まる範囲で耐えること。 ・建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とすること。 ・機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時の荷重と静的地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して、応答が全体的におおむね弾性状態に留まること。</p> <p>4 第4条第2項に規定する「地震力」の「算定」に当たっては、以下に示す方法によること。（以下略）</p>

注)「設置許可基準規則の解釈」欄は、炉心内の燃料被覆材及び兼用キャスクに係る条項の記載を省略している。

添付2-7表 設置許可基準規則第4条の規則の解釈(2/2)

設置許可基準規則	設置許可基準規則の解釈
<p>3 耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれがある地震による加速度によって作用する地震力(以下「基準地震動による地震力」という。)に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p> <p>第四条 (地震による損傷の防止)</p>	<p>5 第4条第3項に規定する「基準地震動」は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとし、次の方針により策定すること。(以下略)</p> <p>6 第4条第3項に規定する「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」ことを満たすために、基準地震動に対する設計基準対象施設の設計に当たっては、以下の方針によること。</p> <p>一 耐震重要施設のうち、二以外のもの</p> <ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動による地震力に対して、その安全機能が保持できること。 ・建物・構築物については、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力との組合せに対して、当該建物・構築物が構造物全体としての変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有し、建物・構築物の終局耐力に対し妥当な安全余裕を有していること。 ・機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、その施設に要求される機能を保持すること。なお、上記により求められる荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと。また、動的機器等については、基準地震動による応答に対して、その設備に要求される機能を保持すること。具体的には、実証試験等により確認されている機能維持加速度等を許容限界とすること。 <p>なお、上記の「運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重」については、地震によって引き起こされるおそれのある事象によって作用する荷重及び地震によって引き起こされるおそれのない事象であっても、いったん事故が発生した場合、長時間継続する事象による荷重は、その事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力と組み合わせて考慮すること。</p> <p>二 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備が設置された建物・構築物</p> <ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動による地震力に対して、それぞれの施設及び設備に要求される機能(津波防護機能、浸水防止機能及び津波監視機能をいう。)が保持できること。 ・津波防護施設及び浸水防止設備が設置された建物・構築物は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重と基準地震動による地震力の組合せに対して、当該施設及び建物・構築物が構造全体として変形能力(終局耐力時の変形)について十分な余裕を有するとともに、その施設に要求される機能(津波防護機能及び浸水防止機能)を保持すること。 ・浸水防止設備及び津波監視設備は、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重等と基準地震動による地震力の組合せに対して、その設備に要求される機能(浸水防止機能及び津波監視機能)を保持すること。 ・これらの荷重組合せに関しては、地震と津波が同時に作用する可能性について検討し、必要に応じて基準地震動による地震力と津波による荷重の組合せを考慮すること。 <p>なお、上記の「終局耐力」とは、構造物に対する荷重を漸次増大した際、構造物の変形又は歪みが著しく増加する状態を構造物の終局状態と考え、この状態に至る限界の最大荷重負荷をいう。</p> <p>また、耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計すること。この波及的影響の評価に当たっては、敷地全体を俯瞰した調査・検討の内容等を含めて、事象選定及び影響評価の結果の妥当性を示すとともに、耐震重要施設の設計に用いる地震動又は地震力を適用すること。</p> <p>なお、上記の「耐震重要施設が、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわない」とは、少なくとも次に示す事項について、耐震重要施設の安全機能への影響が無いことを確認すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設置地盤及び地震応答性状の相違等に起因する相対変位又は不等沈下による影響 ・耐震重要施設と下位のクラスの施設との接続部における相互影響 ・建屋内における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響 ・建屋外における下位のクラスの施設の損傷、転倒及び落下等による耐震重要施設への影響 <p>7 第4条第3項に規定する「基準地震動による地震力」の算定に当たっては、以下に示す方法によること。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・基準地震動による地震力は、基準地震動を用いて、水平2方向及び鉛直方向について適切に組み合わせたものとして算定すること。なお、建物・構築物と地盤との相互作用、埋込み効果及び周辺地盤の非線形性について、必要に応じて考慮すること。 ・基準地震動による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮の上、適切な解析法を選定するとともに、十分な調査に基づく適切な解析条件を設定すること。 ・地震力の算定過程において建物・構築物の設置位置等で評価される入力地震動については、解放基盤表面からの地震波の伝播特性を適切に考慮するとともに、必要に応じて地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮すること。また、敷地における観測記録に基づくとともに、最新の科学的・技術的知見を踏まえて、その妥当性が示されていること。
<p>4 耐震重要施設は、前項の地震の発生によって生ずるおそれがある斜面の崩壊に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。</p>	<p>8 第4条第4項は、耐震重要施設の周辺斜面について、基準地震動による地震力を作用させた安定解析を行い、崩壊のおそれがないことを確認するとともに、崩壊のおそれがある場合には、当該部分の除去及び敷地内土木工作物による斜面の保持等の措置を講じることにより、耐震重要施設に影響を及ぼすことがないようにすることをいう。</p> <p>また、安定解析に当たっては、次の方針によること。</p> <ol style="list-style-type: none"> 一 安定性の評価対象としては、重要な安全機能を有する設備が内包された建屋及び重要な安全機能を有する屋外設備等に影響を与えるおそれのある斜面とすること。 二 地質・地盤の構造、地盤等級区分、液状化の可能性及び地下水の影響等を考慮して、すべり安全率等により評価すること。 三 評価に用いる地盤モデル、地盤パラメータ及び地震力の設定等は、基礎地盤の支持性能の評価に準じて行うこと。特に地下水の影響に留意すること。

注)「設置許可基準規則の解釈」欄は、炉心内の燃料被覆材及び兼用キャスクに係る条項の記載を省略している。

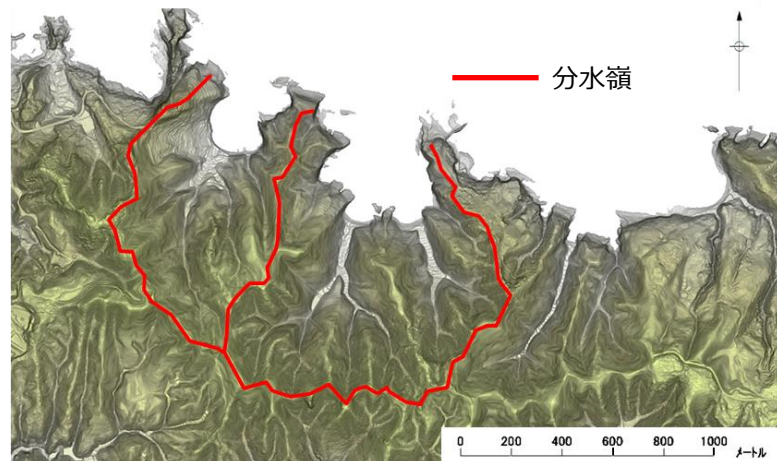
敷地の水文環境

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、補足 1-1 図及び補足 1-2 図に示すとおり、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により集水後、排水路へ排水される。

主な地表水の流れを補足 1-2 図に示す。



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

補足 1-1 図 発電所周辺の分水嶺等の分布状況



.....➡ 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）

補足 1-2 図 発電所周辺の主な地表水の流れ

地下水位の設定に係る浸透流解析における，敷地の地下水位に影響を与える降雨条件について，保守的な評価となるよう検討する。

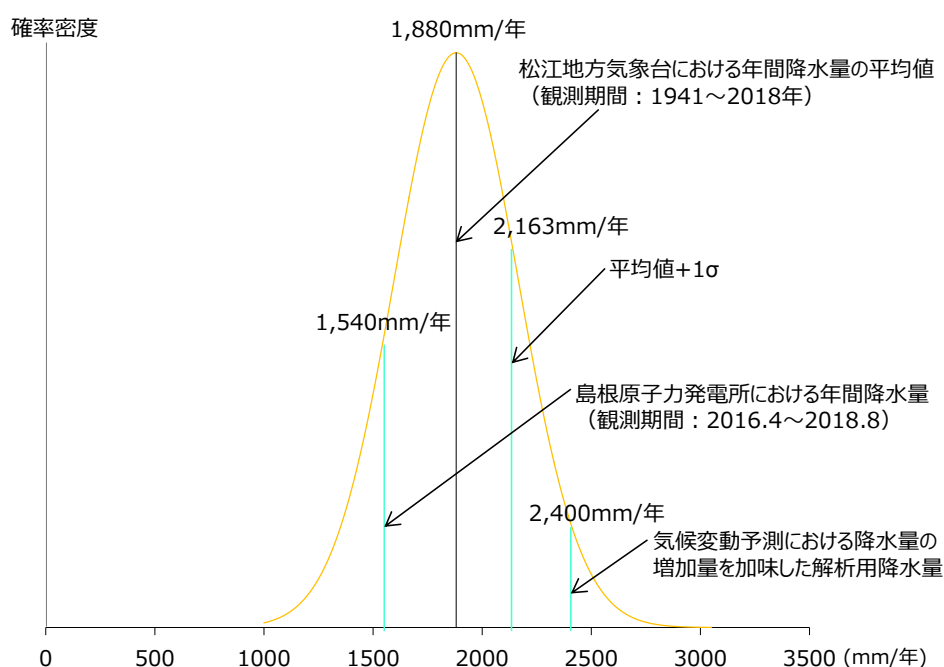
降雨条件については，島根原子力発電所が位置する島根県松江市の気象庁松江地方気象台の過去78年間（1941～2018年）の年間降水量の記録に基づき，年間降水量の平均値及びばらつきを考慮する。この期間における年間降水量の平均値は，1,880mm/年であり，ばらつきを考慮した値（平均値+1 σ ）は2,163mm/年である。

また，気象庁・環境省における今後の気候変動予測に関する分析によると，西日本日本海側において，地球温暖化が深刻に進展したシナリオでは，将来的に（2080～2100年）年間降水量が約130mm/年増加する可能性があることが報告されている。

上記を踏まえ，地下水位の設定に係る浸透流解析を実施するに当たっては，降雨条件として，2,400mm/年を用い，定常的に与えることとする。

補足 1-1 表 浸透流解析に用いる降雨条件の考え方

	降水量 (mm/年)
(参考) 島根原子力発電所における年間降水量	1,540
松江地方気象台における年間降水量の平均値	1,880
標準偏差	283
平均値+1 σ	2,163
将来的な増加量	130
気候変動予測における降水量の増加量を加味した解析用降水量	2,400



補足 1-3 図 松江市の年間降水量の正規分布

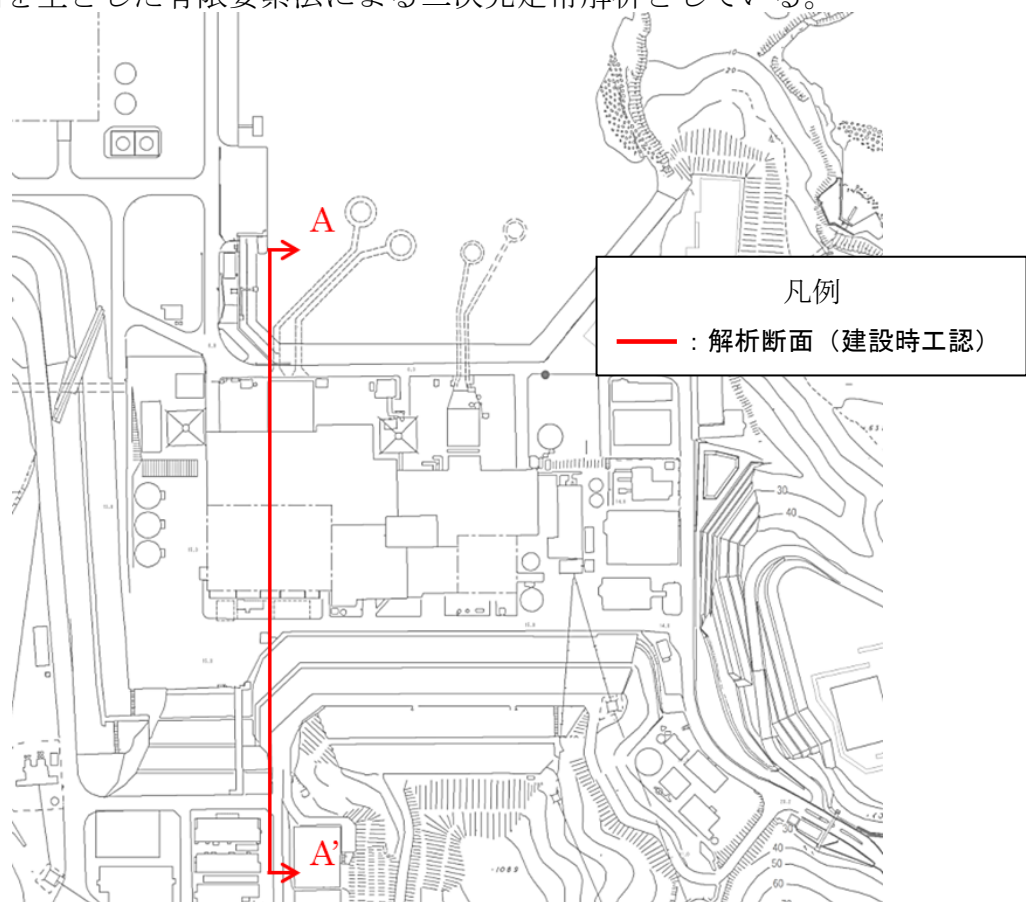
建設時工認段階の浸透流解析結果

1. 解析の目的

建設時工認において、以下の内容を把握するため、浸透流解析を実施している。

- ①地下水位低下設備の設計に使用する湧水量
- ②建物の設計に使用する揚圧力
- ③地下水位状況

地下水は海山方向の流れが支配的であることから、海山方向(補足 2-1 図の南北方向)の断面を主とした有限要素法による二次元定常解析としている。



補足 2-1 図 浸透流解析断面位置*

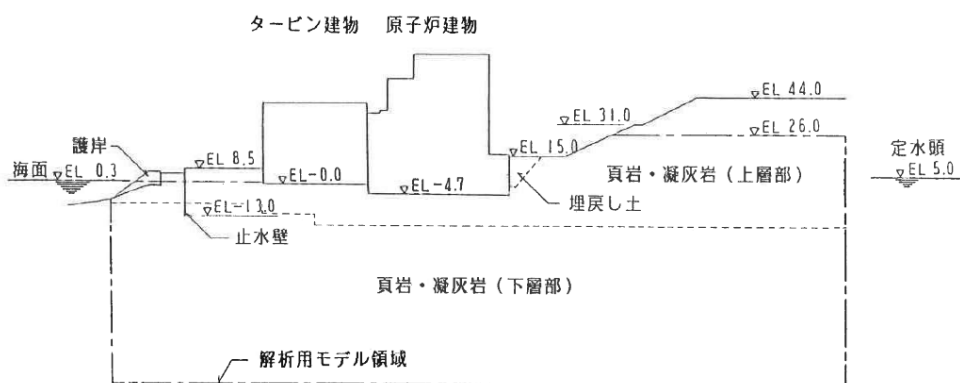
※建設時工認の浸透流解析断面は、当時の地形にてモデル化しており、現地形は異なる

2. 解析条件

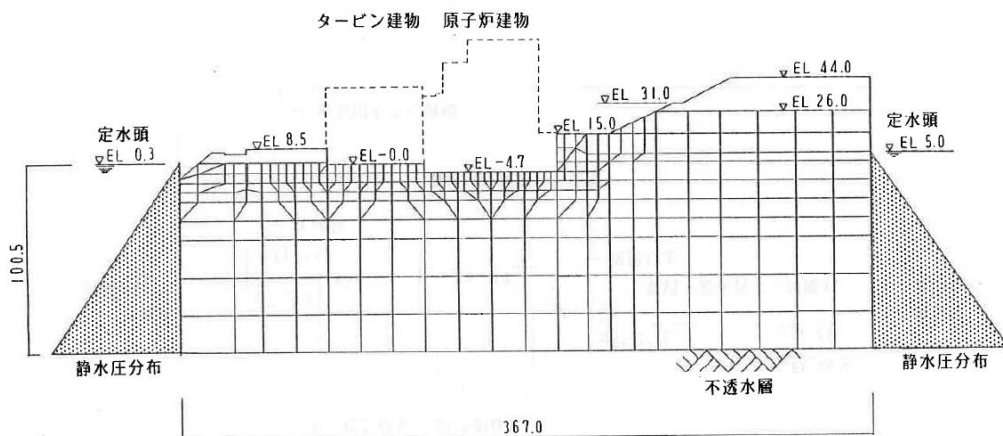
(1) 境界条件

建設時工認(定常浸透流解析)の海側境界は EL+0.3m (建設時工認の H.W.L.), 山側境界は EL+5.0m に水位を固定し, モデル下端は不透水境界として扱い, 側方境界には静水圧を作用させている。

なお, 海側には建物との間に止水壁が設置されており海水の流入を遮断する効果を考慮している。



補足 2-2 図 建物周辺地盤断面図(A-A' 断面)



補足 2-3 図 浸透流解析用モデル図(A-A' 断面)

(2) 透水係数

浸透流解析に用いた透水係数を補足 2-1 表に示す。

透水係数は、建設時工認に実施した透水試験等により設定した。

また参考として、今回、地下水位の設定に係る浸透流解析を実施するにあたり、建設時工認後に実施した透水試験等*に基づき設定した、透水係数を補足 2-2 表に示す。

補足 2-1 表 建設時工認の透水係数

(単位：cm/sec)

材 質	透水係数
頁岩・凝灰岩（上層部）	5.0×10^{-4}
頁岩・凝灰岩（下層部）	2.0×10^{-4}
護岸・止水壁	1.0×10^{-8}
埋戻し土	5.0×10^{-3}

(参考)補足 2-2 表 地下水位の設定に係る透水係数

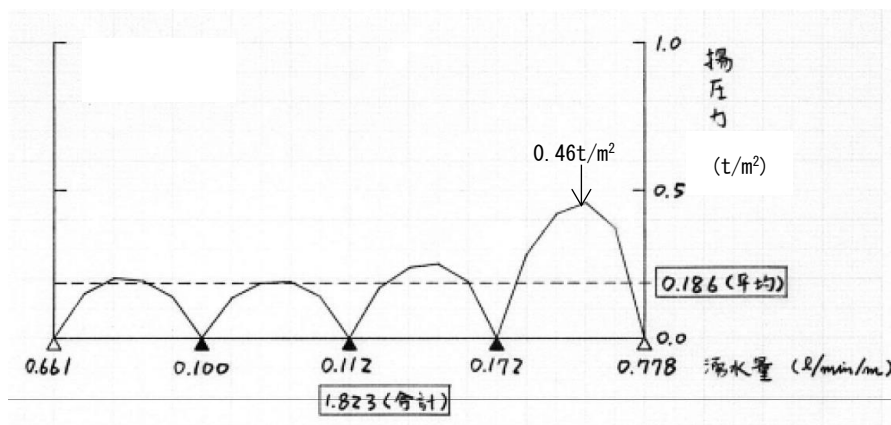
区分	透水係数 (cm/s)	考察
C _H 級 C _M 級	5×10^{-5} 6×10^{-4}	建設時工認の透水係数を概ね下回っており、施設周辺の岩盤内に地下水が滞留しやすく、建設時工認より水位が高く評価される。
構造物 改良地盤	1×10^{-5}	『管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル（改訂版）H20.8（財）港湾空間高度化環境研究センター』に基づき、不透水地層相当として設定した。
C _L 級 D級	1×10^{-3} 3×10^{-4}	建設時工認の透水係数を概ね上回っており、施設背後の地山の谷部に降った雨は、施設エリアに流入しやすく、建設時工認より水位が高く評価される。
砂礫層 埋戻し土 (掘削ズリ)	4×10^{-3} 2×10^{-1}	建設時工認では対象層としていなかったが、敷地境界までをモデル化した浸透流解析を実施するため、新たに透水係数を設定した。

*透水試験は、透水係数に影響を与えると判断した岩級区分に基づき実施した。

3. 解析結果

(1) 原子炉建物の揚圧力及び湧水量

原子炉建物における揚圧力分布を補足 2-4 図に示し、設計値との比較結果を補足 2-3 表に示す。建設時工認において、原子炉建物における揚圧力は、設計値を下回っていることを確認した。



補足 2-4 図 各ドレーンの湧水量及び揚水圧分布図(A-A'断面のうち原子炉建物)

補足 2-3 表 原子炉建物にかかる揚圧力
(設計値及び解析結果)

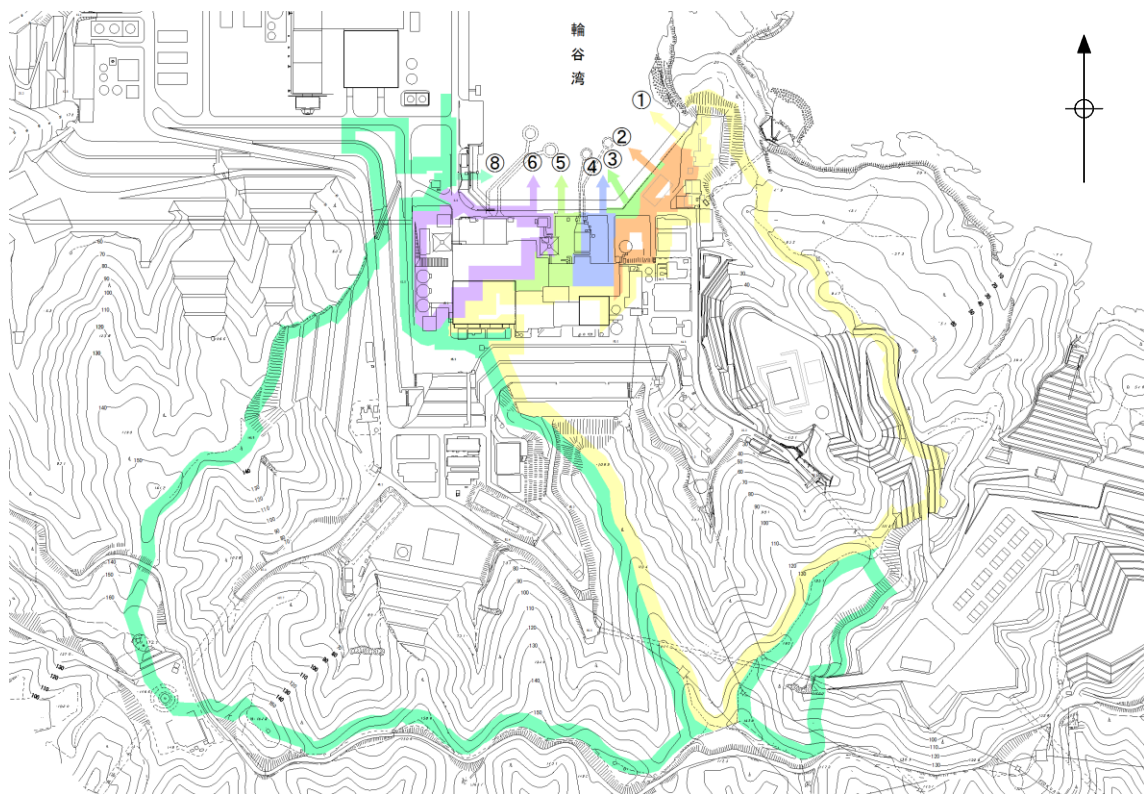
建物名称	揚圧力 (t/m ²)	
	設計値	解析結果
2号炉原子炉建物	0.8	0.186

構内排水路の概要

発電所の敷地は、発電所敷地内の集水エリアとして補足 3-1 図に示すとおり分水嶺等を境に分割できる。

これに対応して幹線排水路を配置しており、降雨の際の表面水を構内排水路を通じて幹線排水路へ集水し、海へ排水することとしている。

補足 3-1 表に示す幹線排水路の排水能力は、気象庁松江地方気象台（松江市）における既往最大 1 時間雨量の 77.9mm/h を考慮しても十分排水可能となるよう設定している。



補足 3-1 図 発電所敷地内の集水エリア

補足 3-1 表 幹線排水路の仕様と排水能力

水路番号	種類	77.9mm/h降水時の 雨水流入量[m ³ /s]	通水可能流量 [m ³ /s]
①※1	ヒューム管 Φ1500	5.3	7.90
②	ヒューム管 Φ800	0.22	2.41
③	ヒューム管 Φ800	0.033	2.41
④	ヒューム管 Φ800	0.12	2.41
⑤	ヒューム管 Φ800	0.11	2.41
⑥	ヒューム管 Φ800	0.55	2.41
⑧※2	ボックスカルバート 1500-1500	7.5	15.03

※1 一部、ヒューム管（Φ1600）の箇所あり

※2 一部、ボックスカルバート（2000-2000）の箇所あり

三次元浸透流解析による 3 号炉北側の防波壁周辺の地盤改良後の影響確認

1. 地下水位低下設備(既設)を考慮した場合の地下水位分布

(1) 解析条件等

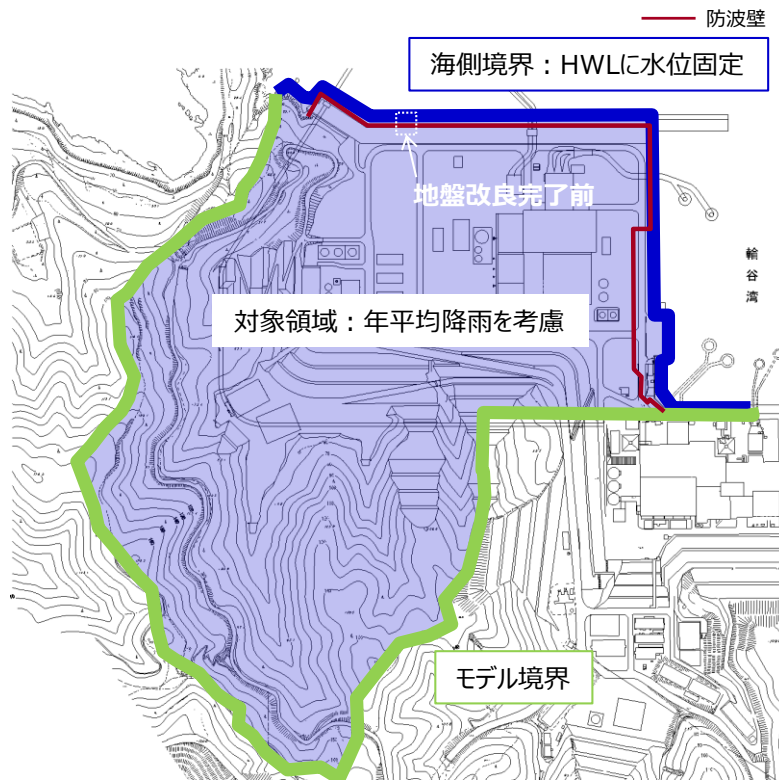
a. 領域とモデル化範囲

再現解析を実施した期間において, 防波壁周辺の地盤改良工事が完了していない 3 号炉エリアを対象とし, 敷地境界の分水嶺から防波壁までを解析領域とする。領域内の構造物*, 地下水位低下設備をモデル化する。

3 号炉北側の防波壁周辺の状態は, 防波壁周辺の地盤改良完了前とする。

三次元浸透流解析の範囲等を補足 4-1 図に示す。

※耐震裕度向上等の目的で実施した地盤改良等は, 難透水層としてモデル化する。



補足 4-1 図 三次元浸透流解析の範囲等

b. 透水係数

透水係数は、補足 4-1 表に示すとおり、透水試験の結果等に基づき設定する。なお、補足説明資料 2 に示す建設時工認段階の評価に用いた設定値と比較しても保守的であることを確認している。

補足 4-1 表 透水試験結果等一覧

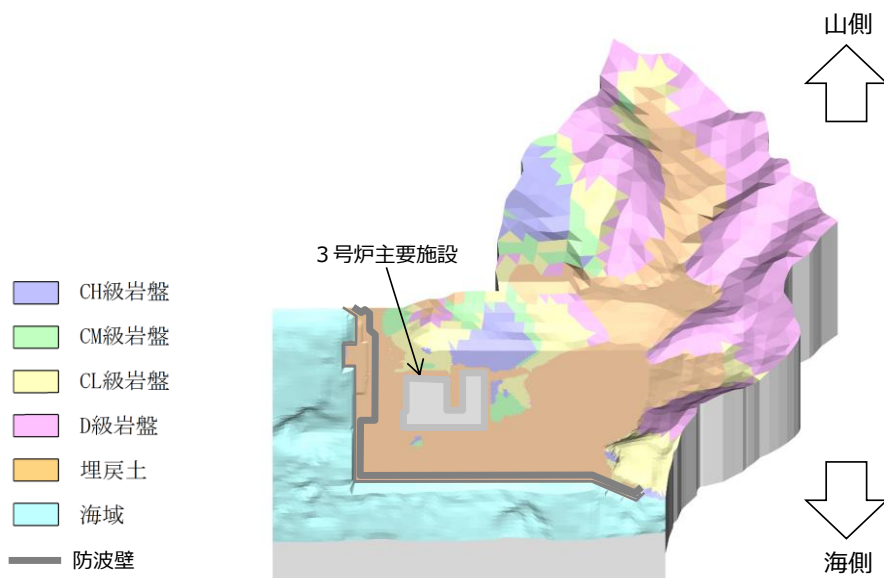
区分	透水試験結果等 (cm/s)	設定方法	考察
D級	2.8×10^{-4}	粒度試験に基づき、クレーガーの方法により設定 (D ₂₀ =0.05mm)	尾根付近に分布する強風化した岩であり、原子炉建物周辺には分布していないため、建設工認後の粒度試験により新たに透水係数を設定した。
C _L 級	1.0×10^{-3}	透水試験に基づき設定	割れ目が卓越した岩であり、原子炉建物周辺には分布していないため、建設工認後の透水試験結果を踏まえ新たに透水係数を設定した。
C _M 級	5.6×10^{-4}	透水試験に基づき設定	建設時工認の透水係数と概ね同等又は下回っており、施設周辺の岩盤内に地下水が滞留しやすく、建設時工認より水位が高く評価される。
C _H 級	4.5×10^{-5}		
構造物、改良地盤	1.0×10^{-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) H20.8 (財) 港湾空間高度化環境研究センター』に基づき、不透水性地層相当(難透水層)として設定	左記マニュアルによると、不透水材料として透水係数が 1×10^{-5} cm/s 以下であり、適切な厚さを持つことで不透水性地層と同等以上の遮水の効力を発揮できるとされていることから、構造物の透水係数を不透水性地層とした。また、改良地盤の透水係数を不透水性地層相当(難透水層)として設定することにより、施設周辺に地下水が滞留しやすく、建設時工認より水位が高く評価される。
砂礫層	3.6×10^{-3}	透水試験に基づき設定	建設時工認の透水係数と概ね同等又は上回っており、施設背後の地山の谷部に降った雨は、施設エリアに流入しやすく、建設時工認より水位が高く評価される。
埋戻土(掘削スリ)	1.7×10^{-1}	透水試験に基づき設定	

c. 解析条件

解析条件として、降雨条件は島根原子力発電所における観測降雨とし、海域は H. W. L. (EL+0.46m) に静水圧固定境界とする。

(2) 解析モデル

解析モデルの概要を補足 4-2 図に示す。地盤改良完了前モデル及び地盤改良完了後モデルの違いは防波壁周辺の地盤改良の有無のみであり、他の条件は同一である。



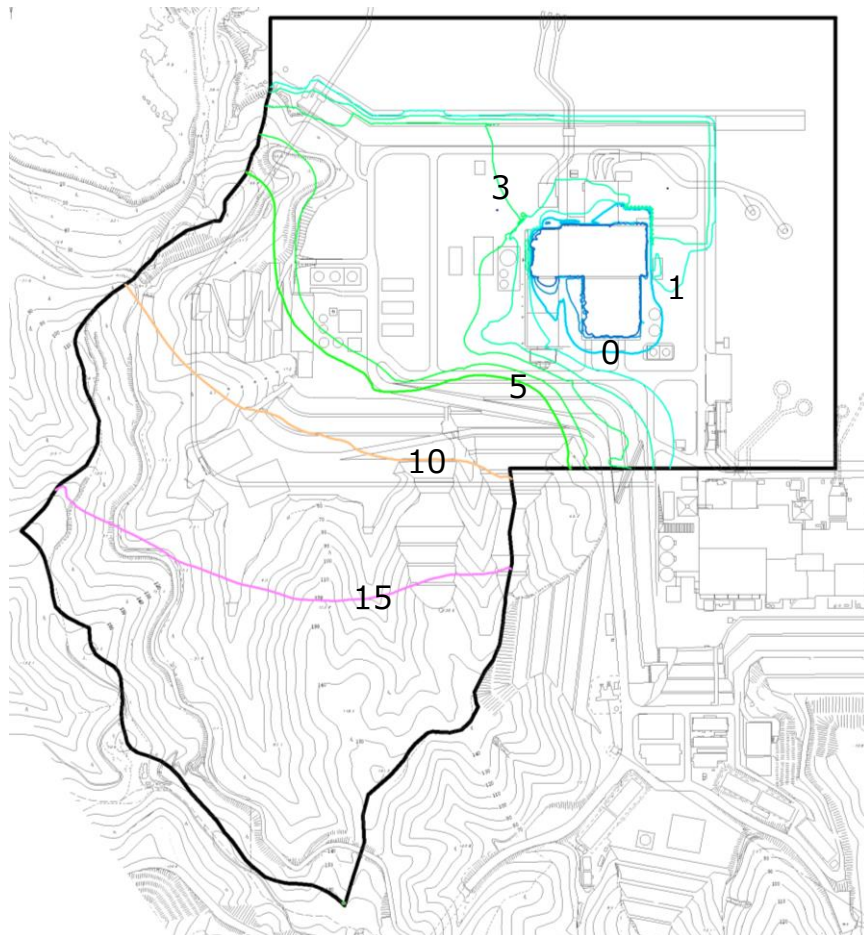
補足 4-2 図 解析モデルの概要

a. 定常状態(地盤改良前モデル)

3号炉北側の防波壁周辺の地盤改良完了前における地下水位のコンター図を補足4-3図に示す。

これによると、解析領域境界より3号炉建物に向かって地下水位は緩やかに下降しており、地下水位低下設備による水位低下効果が確認できる。

地下水位観測記録によると、3号炉北側の防波壁近傍において、地下水位は概ねEL+1~3mで推移している。地下水位の上昇要因は、防波壁の設置及び周辺の地盤改良並びに降雨が考えられ、一方で、下降要因として、地下水位低下設備による水位低減効果が考えられる。これらの地下水位上昇・下降要因が釣り合うことにより、地下水位が平衡状態に保持されていると考えられる。この傾向は、以下の解析結果においても確認された。



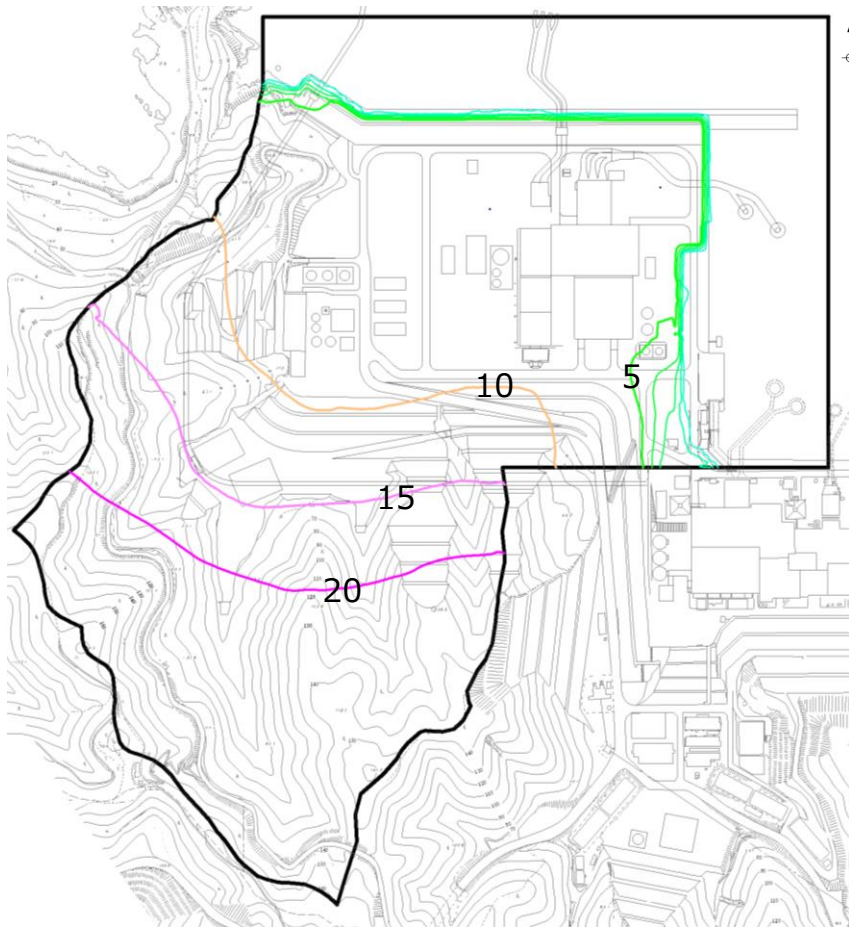
補足4-3図 三次元浸透流解析結果(定常状態・地盤改良完了前モデル)

b. 定常状態(地盤改良完了後モデル)

3号炉北側の防波壁周辺の地盤改良完了後における地下水位のコンター図を補足4-4図に示す。

2号設置変更許可申請では、3号炉建物周辺の地下水位低下設備に期待しないため、地下水位低下設備を保守的に考慮しない。また、降雨条件として、気象庁松江地方気象台における年間降水量に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、降水量を設定した。

防波壁近傍において、地下水位は概ね EL+5m 程度であり、地表面まで上昇しないことを確認した。



補足 4-4 図 三次元浸透流解析結果(定常状態・地盤改良完了後モデル)

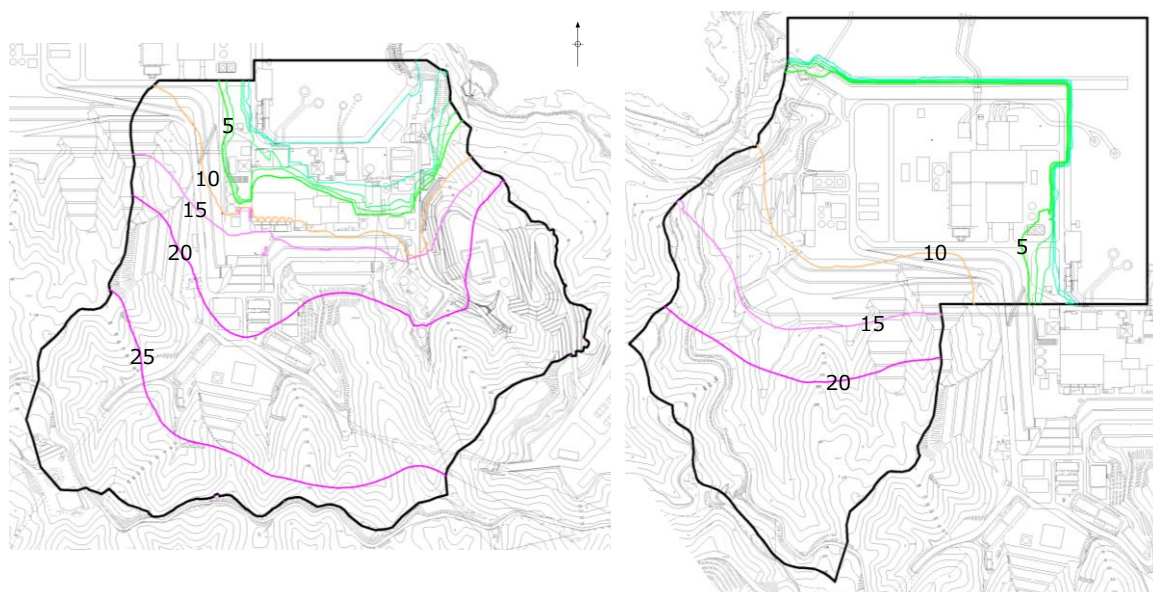
2. 地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位分布

地下水位低下設備が機能しない状態が継続した場合の定常的な地下水位分布を予測した浸透流解析の結果を補足 4-5 図に示す。

浸透流解析における降水量の設定条件として、気象庁松江地方気象台における年間降水量に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、降水量を設定する。海域は H. W. L. (EL+0.46m) に静水圧固定境界を設定した。また、透水係数は再現解析で保守性が確認された値とした。

防波壁周辺の地盤改良により敷地内から海側への排水経路が遮断されることから、敷地内に流入した地下水が滞留し、この結果、地下水位が上昇する。

なお、難透水層である防波壁及び防波壁下部の地盤改良を介して、敷地内と海域の水位 (EL+0.46m) がバランスしており、敷地の山側から海側に向かう流動場が形成されることを確認した。



1, 2号炉エリア

3号炉エリア

補足 4-5 図 地下水位低下設備が機能しない場合の地下水位分布算定結果

3. 地下水位低下設備が機能しない場合の影響

耐震評価において地下水位の影響を受ける可能性のある施設等について、設置許可基準規則の該当条項及び審査区分と、地下水位が上昇した場合の常時及び地震時の影響を評価した（既工認の設計における地下水位との相対比較による）。

補足 4-2 表 地下水位低下設備の機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項（基礎地盤・周辺斜面、建物・構築物）

対象施設	設置許可基準規則			適合性審査において地下水位低下設備の機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項		(参考) 既設置許可における地下水位の扱い	
	3条 38条	4条4項 39条2項	43条	常時	地震時 すべり安定性への影響	設計用地下水位	設計への 反映事項
基礎地盤・ 周辺斜面 ^{※1}	○ (基礎地盤)	○ (周辺斜面)	○ (周辺斜面)	—	地表面 ^{※2} に設定しているため影響なし	原子炉基礎地盤 の地下水位を EL0mに設定	—

施設等	耐震クラス 検討用地震動	設置許可基準規則 ^{※7}	適合性審査において地下水位低下設備の機能に期待しない場合の 影響及び設置許可基準規則の該当条項		(参考) 建設時工認等の設計における地下水位の扱い		
			常時	地震時	設計用揚圧力	設計への反映事項	
原子炉建物 (直接基礎)	S ^{※3}	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小	地下外壁の設計では、地下水位が低下している状態として地下水圧を考慮していないため、基礎スラブ上面レベルを上回る地下水位となった場合には、地下水圧が上昇し、躯体の耐震性に影響が生じる可能性がある。 [4条(3条2項),39条(38条2項)]	設計地下水位（設計用揚圧力）を上回る場合には、基礎スラブの耐震性（間接支持機能）を確保できない可能性がある。 [4条,39条]	揚圧力0.8t/m ² 建物基礎底面 EL-4.7m	地下水位低下設備の効果を見込んだ地下水位を考慮して耐震評価を実施
タービン建物 (直接基礎)	B ^{※4} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小			揚圧力2.0t/m ² 建物基礎底面 EL0.0m	地下水位低下設備の効果を見込んだ地下水位を考慮して耐震評価を実施
廃棄物処理建物 (直接基礎)	B ^{※4} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小			揚圧力2.0t/m ² 建物基礎底面 EL0.0m	地下水位低下設備の効果を見込んだ地下水位を考慮して耐震評価を実施
制御室建物 (直接基礎)	S ^{※5}	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小			揚圧力0.0t/m ² 建物基礎底面 EL+0.1m	地下水位低下設備の効果を見込んだ地下水位を考慮して耐震評価を実施
排気筒 (直接基礎)	S ^{※6} C ^{※4} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小			揚圧力0.0t/m ² 排気筒基礎底面 EL+2.0m	地下水位低下設備の効果を見込んだ地下水位を考慮して耐震評価を実施

※1 基礎地盤・周辺斜面の評価は設置許可段階において実施。
 ※2 原子炉建物基礎地盤の安定性評価における地下水位設定については、原子炉建物及びタービン建物の地下水位は基礎上面とし、取水槽及び周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面に設定。（添付資料6）
 ※3 原子炉機のみ耐震Sクラス。それ以外については、耐震Sクラス設備等の間接支持構造物。
 ※4 耐震Sクラス設備等の間接支持構造物。
 ※5 中央制御室遮断のみ耐震Sクラス。それ以外については、耐震Sクラス設備等の間接支持構造物。
 ※6 排気筒（非常用ガス処理系用）のみ耐震Sクラス。
 ※7 A条(B条)の表示は、A条の適合確認をもってB条の適合確認が合わせて可能であることを示す。

補足 4-2 表 地下水位低下設備の機能に期待しない場合の影響及び設置許可基準規則の該当条項（屋外重要土木構造物・津波防護施設・重大事故等対処施設）

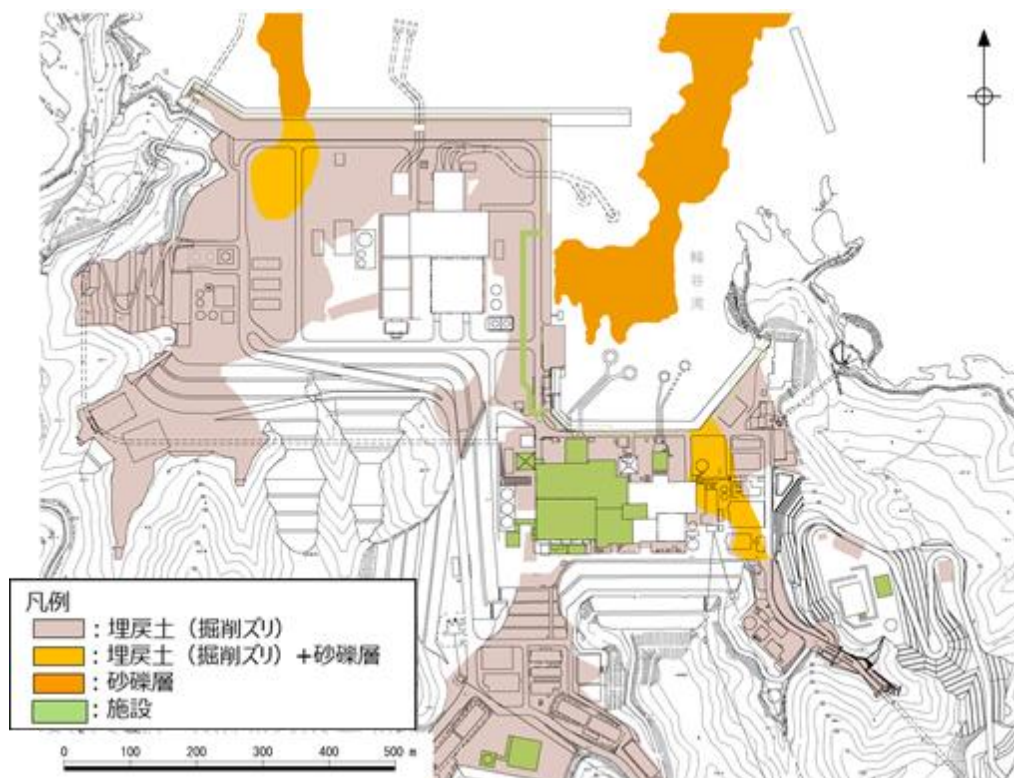
設備名称	基礎	耐震クラス 検討用 地震動	設置許可基準規則 ^{※4}	適合性審査において地下水位低下設備の機能に期待しない場合の 影響及び設置許可基準規則の該当条項		(参考) 建設時工認等の設計における地下水位の扱い	
				常時	地震時 液状化影響(周辺地盤) ^{※4}	設計用地下水位	設計への反映事項
取水槽	直接基礎	— ^{※1} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	EL+0.3m	耐震評価に用いる地震応答解析の解析条件として考慮
屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)	直接基礎	— ^{※1} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	EL+0.3m	耐震評価に用いる地震応答解析の解析条件として考慮
ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎	直接基礎	— ^{※1} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小	躯体周辺はマンメイドロック(MMR)で埋め戻すため、耐震性への影響は軽微。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	—	(既工認対象外)
燃料移送系配管ダクト	直接基礎	— ^{※1} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小	躯体周辺はマンメイドロック(MMR)で埋め戻すため、耐震性への影響は軽微。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	—	(既工認対象外)
屋外配管ダクト (復水貯蔵タンク～原子炉建物)	直接基礎	— ^{※1} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小	躯体周辺はマンメイドロック(MMR)で埋め戻すため、耐震性への影響は軽微。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	—	(既工認対象外)
防波壁(多重鋼管杭式擁壁)	杭基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響 小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	—	(既工認対象外)
防波壁(鋼管杭式逆T擁壁)	杭基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響 小	杭周辺は改良地盤であるため、耐震性への影響は軽微。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	—	(既工認対象外)
防波壁(波返重力擁壁)	直接基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響 小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	—	(既工認対象外)
1号炉取水槽流路縮小工	直接基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響 小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	—	(既工認対象外)
防波扉(防波壁通路防波扉)	杭基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響 小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	—	(既工認対象外)
1号放水連絡通路防波扉	直接基礎	— ^{※2} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項), 5条,40条	影響 小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項),5条,40条]	—	(既工認対象外)
第1バントフィルタ格納槽	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小	有効応力の減少に伴う周辺地盤の剛性低下により、土圧、加速度が変化し、耐震性に影響が生じる可能性がある。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	—	(既工認対象外)
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 小	躯体周辺はマンメイドロック(MMR)で埋め戻すため、耐震性への影響は軽微。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	—	(既工認対象外)
緊急時対策所建物	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 なし	高台に設置されているため、影響なし。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	—	(既工認対象外)
緊急時対策所用燃料地下タンク	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 なし	高台に設置されているため、影響なし。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	—	(既工認対象外)
ガスタービン発電機建物	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 なし	高台に設置されているため、影響なし。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	—	(既工認対象外)
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 なし	高台に設置されているため、影響なし。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	—	(既工認対象外)
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)	直接基礎	— ^{※3} (Ss)	4条(3条2項), 39条(38条2項)	影響 なし	高台に設置されているため、影響なし。[4条(3条2項),39条(38条2項)]	—	(既工認対象外)

※1 屋外重要土木構造物 ※2 津波防護施設 ※3 重大事故等対処施設 ※4 A条(B条)の表示は、A条の適合確認をもってB条の適合確認が合わせて可能であることを示す。

(参考) 埋戻土 (掘削ズリ)・砂礫層と対象施設の配置との関係

液状化等による影響(設置許可基準規則第3条第2項)の観点から、埋戻土 (掘削ズリ)・砂礫層の分布と対象施設の配置との関係を補足 4-6 図に示すとおり確認した。

なお、島根原子力発電所における埋戻土 (掘削ズリ)・砂礫層は、液状化強度試験結果から「非液状化」または「繰返し軟化 (サイクリックモビリティ含む)」と分類され、有効応力がゼロまで低下して液体状とはならず、ひずみが漸増する粘り強い挙動を示すことが確認されている。



補足 4-6 図 施設等の配置と埋戻土 (掘削ズリ)・砂礫層の分布

なお、液状化影響の評価については、「別紙 11 液状化影響の検討方針について」に基づき評価を行う方針とし、その概要は以下のとおりである。

- ・液状化等の周辺地盤の変状による施設への影響評価においては、施設周辺の地下水位や地盤等の状況を踏まえて、液状化検討対象施設を抽出する。
- ・抽出した液状化検討対象施設に対し、液状化等による影響が及ぶおそれがある場合は、有効応力解析または全応力解析を行い、保守的な解析手法を選定する。
- ・液状化を考慮する場合の評価は、地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮した評価(有効応力解析等)によるものとし、有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定することを基本とする。

基礎地盤の安定性評価における地下水位設定の考え方

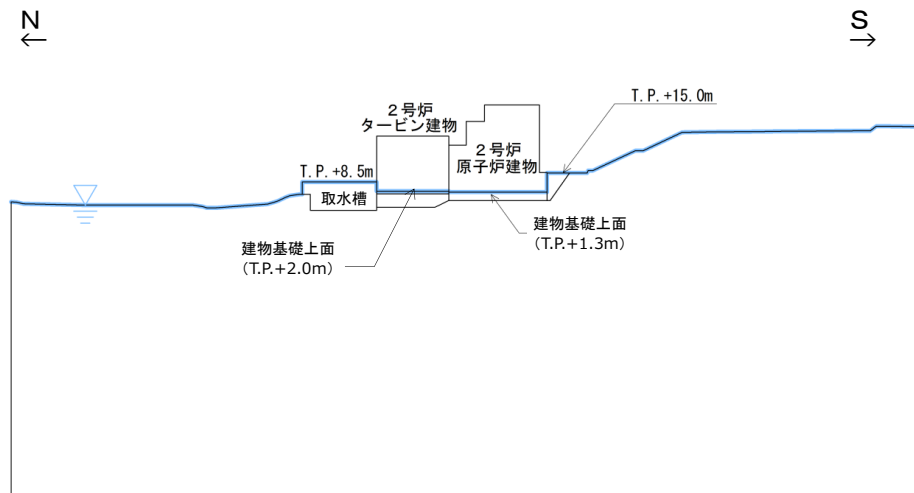
1. 地下水位の設定

補足 5-1 図に示すとおり, 原子炉建物基礎地盤の安定性評価における地下水位の設定については, 原子炉建物及びタービン建物の地下水位は基礎上面とし, 取水槽及び周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面とした。

なお, その他の耐震重要施設及び重大事故等対処施設の基礎地盤の安定性評価における地下水位の設定についても同様の考え方で設定する。

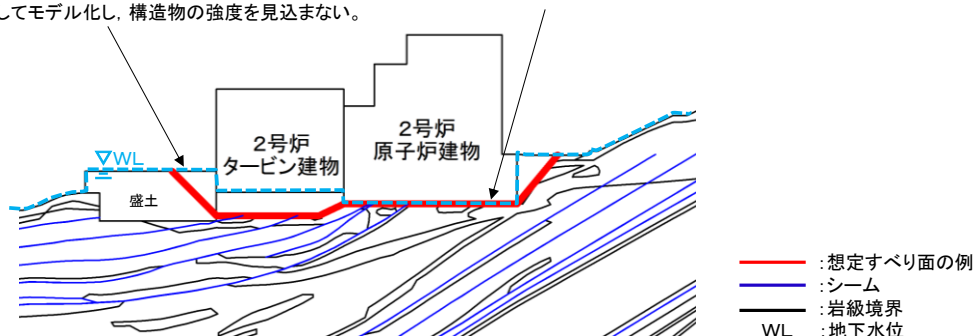
基礎地盤のすべりに対する評価においては, 地下水位以深の埋戻土・盛土が地震動により繰り返し軟化し強度が低下する可能性を考慮し, 岩盤部のみのすべりに対する検討を実施する。(補足 5-2 図にイメージ図を示す。)

また, 周辺地盤の液状化等の変状については, 周辺地盤の液状化等による地盤変状を考慮した場合でも, 当該施設の機能が損なわれないよう設計することとし, 設置許可基準規則第 4 条へ適合することを確認する。



補足 5-1 図 原子炉建物基礎地盤の地下水位

周辺地盤の地下水位は保守的な評価として地表面に設定する。取水槽等は盛土としてモデル化し, 構造物の強度を見込まない。 原子炉建物及びタービン建物の地下水位は, 建物基礎上面とする。



補足 5-2 図 基礎地盤安定性評価における地下水位設定イメージ

現行の重要度分類上の位置付けの整理

1. 設置許可基準規則における耐震重要度分類

耐震重要度分類指針の観点から地下水位低下設備に関する信頼性向上について以下のとおり整理を行った。

設置許可基準規則における耐震重要度分類の考え方を補足 6-1 表に示す。

- ・設計基準対象施設の耐震重要度は、設置許可基準規則上、その重要度に応じたクラス分類(S, B, C), また、それらに該当する施設が示されており、地下水位低下設備は、Sクラス設備及びBクラス設備のいずれにも該当しないため、Cクラスに分類できる。
- ・第 I 編に示した機能喪失時の影響確認の結果を踏まえ、原子炉建物基礎等の間接支持構造物の耐震性を確保する観点から、地下水位低下設備の耐震性については、間接支持構造物に要求される耐震性(S s 機能維持)を考慮する。
- ・以上を踏まえ、地下水位低下設備の耐震重要度分類については、Cクラスに分類し、基準地震動 S s に対して機能維持させる設計とする。

補足 6-1 表 設置許可基準規則における耐震重要度分類の考え方

耐震クラス	定義	対象とする施設の例	該当
S	地震により発生するおそれがある事象に対して、原子炉を停止し、炉心を冷却するために必要な機能を持つ施設、自ら放射性物質を内蔵している施設、当該施設に直接関係しておりその機能喪失により放射性物質を外部に拡散する可能性のある施設、これらの施設の機能喪失により事故に至った場合の影響を緩和し、放射線による公衆への影響を軽減するために必要な機能を持つ施設及びこれらの重要な安全機能を支援するために必要となる施設、並びに地震に伴って発生するおそれがある津波による安全機能の喪失を防止するために必要となる施設であって、その影響が大きいもの	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器・配管系 ・使用済燃料を貯蔵するための施設 ・原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を付加するための施設、及び原子炉の停止状態を維持するための施設 ・原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設等 	×
B	安全機能を有する施設のうち、機能喪失した場合の影響がSクラス施設と比べ小さい施設	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設 ・放射性廃棄物を内蔵している施設(ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に与える放射線の影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則(昭和 53 年通商産業省令第 77 号)第 2 条第 2 項第 6 号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。)等 	×
C	Sクラスに属する施設及びBクラスに属する施設以外の一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設	—	○

設置許可基準規則の観点から地下水位低下設備に関する信頼性向上について以下のとおり整理を行った。

- ・設置許可基準規則第 2 条における以下の定義から、地下水位低下設備は安全機能を有するものではない。
- ・また、安全機能を有するものではないことから、安全施設にも該当しない。

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置, 構造及び設備の基準に関する規則に おける定義

第二条

五「安全機能」とは、発電用原子炉施設の安全性を確保するために必要な機能であつて、次に掲げるものをいう。

イ その機能の喪失により発電用原子炉施設に運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故が発生し、これにより公衆又は従事者に放射線障害を及ぼすおそれがある機能

ロ 発電用原子炉施設の運転時の異常な過渡変化又は設計基準事故の拡大を防止し、又は速やかにその事故を収束させることにより、公衆又は従事者に及ぼすおそれがある放射線障害を防止し、及び放射性物質が発電用原子炉を設置する工場又は事業所（以下「工場等」という。）外へ放出されることを抑制し、又は防止する機能

ハ「安全施設」とは、設計基準対象施設のうち、安全機能を有するものをいう。

設置許可基準規則における安全施設に該当しないことから、地下水位低下設備が有する機能に着目し、設備の位置づけについての観点から発電用軽水型原子炉施設の安全機能の重要度分類に関する審査指針（以下「重要度分類指針」という。）に基づく整理を行った。

- ・地下水位低下設備が有する機能について安全機能の重要度分類指針における位置づけを確認した結果、以降に示すとおり、安全機能を有する構築物、系統及び機器に該当しないことを確認した。

2. 安全機能の重要度分類

(1) 安全機能の区分

安全機能を有する構築物, 系統及び機器を, それが果たす安全機能の性質に応じて, 次の2種に分類される。

①その機能の喪失により, 原子炉施設を異常状態に陥れ, もって一般公衆ないし従事者に過度の放射線被ばくを及ぼすおそれのあるもの(異常発生防止系。以下「PS」という。)

②原子炉施設の異常状態において, この拡大を防止し, 又はこれを速やかに収束せしめ, もって一般公衆ないし従事者に及ぼすおそれのある過度の放射線被ばくを防止し, 又は緩和する機能を有するもの(異常影響緩和系。以下「MS」という。)

(2) 重要度分類

重要度分類指針では, PS 及び MS のそれぞれに属する構築物, 系統及び機器を, その有する安全機能の重要度に応じ, それぞれクラス1, クラス2 及びクラス3に分類している。安全上の機能別重要度分類を補足6-2表に示す。

なお, 重要度分類指針においては, 所要の安全機能を直接果たす構築物, 系統及び機器を「当該系」, 当該系が機能を果たすのに直接, 間接に必要な構築物, 系統及び機器を「関連系」と定義している。

補足6-2表 安全上の機能別重要度分類

重要度による分類	機能による分類	安全機能を有する構築物, 系統及び機器		安全機能を有しない構築物, 系統及び機器
		異常の発生防止の機能を有するもの (PS)	異常の影響緩和の機能を有するもの (MS)	
安全に関連する構築物, 系統及び機器	クラス1	PS-1	MS-1	—
	クラス2	PS-2	MS-2	
	クラス3	PS-3	MS-3	
安全に関連しない構築物, 系統及び機器		—	—	安全機能以外の機能のみを行うもの

(3) 地下水位低下設備の重要度分類上の位置付け

重要度分類指針の分類に基づき、地下水位低下設備の位置付けを整理した結果、『安全に関連する構築物、系統及び機器』に分類されないため、『安全機能以外の機能のみを行うもの』と整理できる。

安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と地下水位低下設備の位置付けを補足 6-3 表～補足 6-5 表に示す。

補足 6-3 表 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と地下水位低下設備の位置付け

分類	定義	機能	地下水位低下設備の位置付け
クラス 1	PS-1 その損傷又は故障により発生する事象によって、(a) 炉心の著しい損傷、又は (b) 燃料の大量の破損を引き起こすおそれのある構築物、系統及び機器	(1) 原子炉冷却材圧力バウンダリ機能	該当しない
		(2) 過剰反応度の印加防止機能	該当しない
		(3) 炉心形状の維持機能	該当しない
	MS-1 (1) 異常状態発生時に原子炉を緊急に停止し、残留熱を除去し、原子炉冷却材圧力バウンダリの過圧を防止し、敷地周辺公衆への過度の放射線の影響を防止する構築物、系統及び機器	(1) 原子炉の緊急停止機能	該当しない
		(2) 未臨界維持機能	該当しない
		(3) 原子炉冷却材圧力バウンダリの加圧防止機能	該当しない
		(4) 原子炉停止後の除熱機能	該当しない
		(5) 炉心冷却機能	該当しない
	安全上必須なその他の構築物、系統及び機器	(6) 放射性物質の閉じ込め機能、放射線の遮へい及び放出低減機能	該当しない
		(1) 工学的安全施設及び原子炉停止系への作動信号の発生機能	該当しない
	(2) 安全上特に重要な関連機能	該当しない	

補足 6-4 表 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と地下水位低下設備の位置付け

分類	定義	機能	地下水位低下設備の位置付け
クラス 2	(1) その損傷又は故障により発生する事象によって、炉心の著しい損傷又は燃料の大量の破損を直ちに引き起こすおそれはないが、敷地外への過度の放射性物質の放出のおそれのある構築物、系統及び機器	(1) 原子炉冷却材を内蔵する機能(ただし、原子炉冷却材圧力バウンダリから除外されている計装等の小口径のもの及びバウンダリに直接接続されていないものは除く。)	該当しない
		(2) 原子炉冷却材圧力バウンダリに直接接続されていないものであって、放射性物質を貯蔵する機能	該当しない
		(3) 燃料を安全に取り扱う機能	該当しない
	(2) 通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時に作動を要求されるものであって、その故障により、炉心冷却が損なわれる可能性の高い構築物、系統及び機器	(1) 安全弁及び逃がし弁の吹き止り機能	該当しない
		(1) PS-2 の構築物、系統及び機器の損傷又は故障により敷地周辺公衆に与える放射線の影響を十分小さくするようにする構築物、系統及び機器	(1) 燃料プール水の補給機能
	(2) 異常状態への対応上特に重要な構築物、系統及び機器	(2) 放射性物質放出の防止機能	該当しない
		(1) 事故時のプラント状態の把握機能	該当しない
(2) 異常状態の緩和機能		該当しない	
	(3) 制御室外からの安全停止機能	該当しない	

補足 6-5 表 安全上の機能別重要度分類に係る定義及び機能と
地下水位低下設備の位置付け

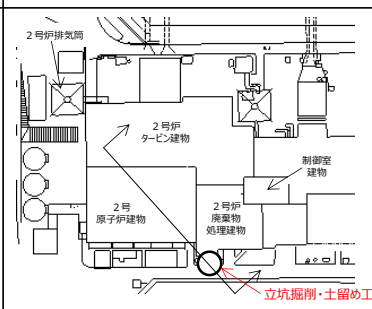
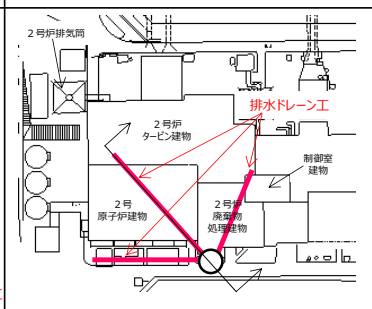
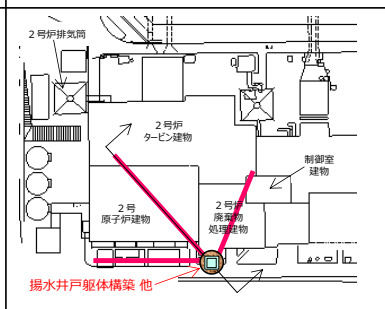
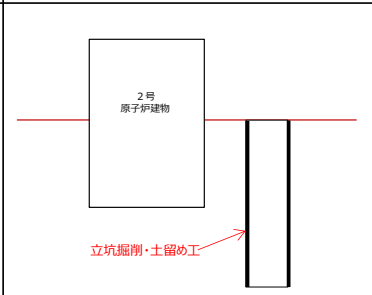
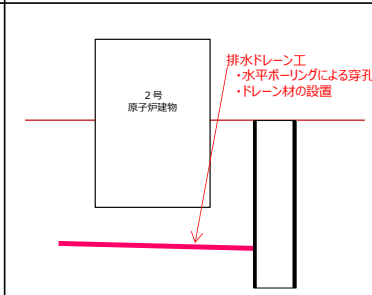
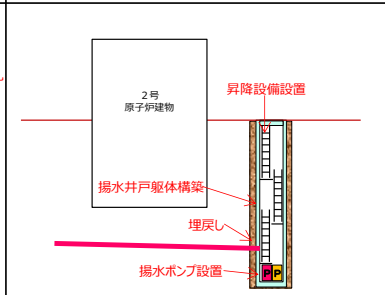
分類	定義	機能	地下水位低下設備の位置付け	
クラス 3	(1) 異常状態の起因事象となるものであって、P S - 1 及び P S - 2 以外の構築物、系統及び機器	(1) 原子炉冷却材保持機能 (P S - 1, P S - 2 以外のもの。)	該当しない	
		(2) 原子炉冷却材の循環機能	該当しない	
		(3) 放射性物質の貯蔵機能	該当しない	
		(4) 電源供給機能 (非常用を除く。)	該当しない	
		(5) プラント計測・制御機能 (安全保護機能を除く。)	該当しない	
		(6) プラント運転補助機能	該当しない	
	(2) 原子炉冷却材中放射性物質濃度を通常運転に支障のない程度に低く抑える構築物、系統及び機器	(1) 核分裂生成物の原子炉冷却材中への放散防止機能	該当しない	
		(2) 原子炉冷却材の浄化機能	該当しない	
	MS - 3	(1) 運転時の異常な過度変化があっても、MS - 1, MS - 2 とあいまって、事象を緩和する構築物、系統及び機器	(1) 原子炉圧力の上昇の緩和機能	該当しない
			(2) 出力上昇の抑制機能	該当しない
(3) 原子炉冷却材の補給機能			該当しない	
(2) 異常状態への対応に必要な構築物、系統及び機器	緊急時対策上重要なもの及び異常状態の把握機能	該当しない		

新設揚水井戸・ドレーンの構造・配置及び施工例

新設するドレーンは添付資料 2 に示すフローに基づき、耐久性、耐震性及び保守管理性を満足する設計とする。また、新設揚水井戸については、ドレーンの点検性への配慮として、揚水井戸とドレーンの取り合い部へのアクセスが容易であり、十分な作業空間を確保するよう設計する。

2号原子炉建物周辺に新設揚水井戸を新設するが、南東側に配置する場合を例とした配置、構造イメージ及び施工手順を補足 7-1 図に示す。

なお、揚水井戸及びドレーンの配置及び構造については、詳細設計段階で確定する。

施工手順 (案)	①立坑掘削・土留め工	②排水ドレーン工	③揚水井戸躯体構築 他
配置図 (案)	<ul style="list-style-type: none"> 立坑掘削 円形ライナープレートによる土留め設置 	<ul style="list-style-type: none"> 水平ボーリングによる穿孔 ドレーン材の設置 	<ul style="list-style-type: none"> 揚水井戸躯体構築 躯体周囲の埋戻し 揚水ポンプ、付帯設備(配管、昇降設備等)設置 
構造イメージ	 <p>立坑掘削・土留め工</p>	 <p>排水ドレーン工 ・水平ボーリングによる穿孔 ・ドレーン材の設置</p>	 <p>昇降設備設置 揚水井戸躯体構築 埋戻し 揚水ポンプ設置</p>

補足 7-1 図 新設揚水井戸・ドレーンの構造・配置及び施工例