

資料 1 - 2

泊発電所 3 号炉審査資料	
資料番号	DB04 r. 3. 14
提出年月日	令和5年5月11日

泊発電所 3 号炉

設置許可基準規則等への適合状況について
(設計基準対象施設等)

第4条 地震による損傷の防止

令和 5 年 5 月
北海道電力株式会社

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

泊発電所3号炉

施設の耐震評価に用いる地盤の液状化の評価方針

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化検討対象層の抽出
 - 2.1 敷地の地質概況
 - 2.2 埋戻土の分布
 - 2.3 砂層の分布
 - 2.4 液状化検討対象層の選定方針
 - 2.5 液状化検討対象層の選定結果
3. 液状化検討対象施設の抽出
 - 3.1 液状化検討対象施設の抽出方針
 - 3.2 液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定の観点
4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性
 - 4.1 試料採取位置の選定及び代表性確認の方針
 - 4.2 試料採取位置の選定
 - 4.3 試料採取位置の代表性確認
 - 4.3.1 埋戻土の代表性確認
 - 4.3.2 砂層の代表性確認
 - 4.3.3 液状化強度試験 試料採取位置の代表性のまとめ
 - 4.4 追加調査位置
 - 4.4.1 追加の液状化強度試験の必要性
 - 4.4.2 追加調査位置
5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定
 - 5.1 液状化強度試験方法
 - 5.2 液状化強度試験結果の分類に対する基本的考え方
 - 5.3 液状化強度試験結果
 - 5.3.1 埋戻土の液状化強度試験結果
 - 5.3.2 砂層の液状化強度試験結果
 - 5.4 基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認
 - 5.5 液状化強度特性の設定
6. 液状化影響の検討方針

- 添付資料 1 埋戻土・砂層のボーリング柱状図・コア写真及び液状化強度試験結果データ集
- 添付資料 2 液状化検討対象層の選定について(Ac 層)
- 添付資料 3 埋戻土・砂層の基本物性
- 添付資料 4 埋戻土の N 値について
- 添付資料 5 せん断波速度の代表性確認指標としての妥当性確認
- 添付資料 6 建設時における埋戻土の施工及び品質管理について
- 添付資料 7 液状化に関連する基本物性の補足
- 添付資料 8 1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の区分けについて
- 添付資料 9 粒度分布の代表性確認指標としての妥当性確認
- 添付資料 10 せん断波速度による代表性確認結果

1. 液状化評価の基本方針

本資料では、施設の耐震評価に用いる地盤の液状化影響の検討方針を示す。

耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設においては、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。

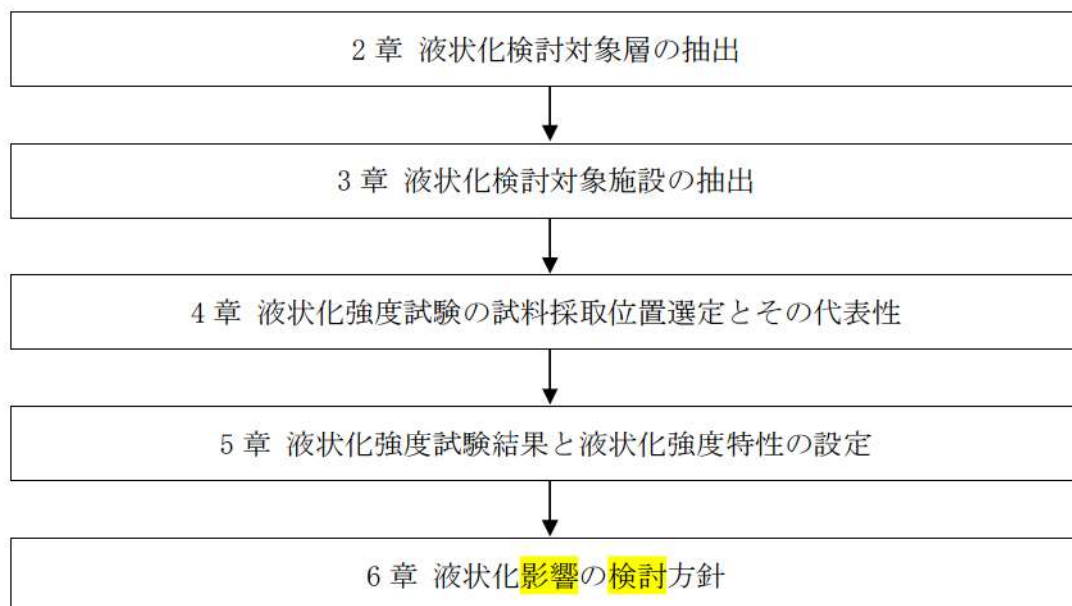
耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の設計においては、地下水排水設備の機能に期待する施設においては、その機能を考慮した設計地下水位を設定する。地下水排水設備の機能に期待しない施設においては、自然水位に基づき設定した水位又は地表面にて設計地下水位の影響を考慮する。

なお、各施設の設計地下水位は設計及び工事計画認可段階(以下、「設工認段階」という。)において設定するものとする。

泊発電所における液状化影響評価のフローを第 1.1-1 図に示す。

- ・液状化影響評価については、道路橋示方書・同解説V 耐震設計編(2002)の評価方法を基本とするが、道路橋示方書においては対象外とされているG.L. -20m 以深の土層等についても液状化強度試験を実施し、すべての埋戻土及び砂層を液状化検討対象層とすることで保守的な評価とする(2. 液状化検討対象層の抽出)。
- ・屋外の耐震重要施設(建物・構築物、屋外重要土木構造物、津波防護施設等)、常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を対象に、液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定の方針を示す(3. 液状化検討対象施設の抽出)。
- ・液状化検討対象層として抽出した埋戻土及び砂層の液状化強度試験の試料採取位置について、その周辺で実施したボーリング調査位置の物理特性と比較し、その代表性を確認する(4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性)。
- ・液状化強度試験の試料採取位置の代表性確認に当たっては、液状化検討対象施設の近傍及び埋戻しの施工時期が異なるエリアで試料採取をし、液状化強度試験を実施する(4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性)。
- ・液状化検討対象施設近傍の液状化強度試験の試料採取ができていないと判断される場合は、追加調査を計画する(4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性)。
- ・液状化強度試験結果に基づいて、地震時の地盤の状態を「液状化」、「繰返し軟化」及び「非液状化」と分類し、液状化検討対象層が「液状化」とならないこと(支持力を喪失しない、又は急激な流動変位が発生しない地盤であること)を把握する。また、累積損傷度理論を適用し、基準地震動相当の地盤の状態を模擬して液状化強度試験が実施できていることを確認する(5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定)。
- ・設置許可段階における施設の有効応力解析に用いる液状化強度特性については、実施済の敷地全体の液状化強度試験から得られる液状化強度特性を保守的(下限値)に設定して評価する(5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定)。

- ・設工認段階においては、追加調査結果を踏まえ、液状化対象施設近傍の試験結果から液状化強度特性を保守的に設定する(5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定)。
- ・液状化検討対象施設の解析手法の選定においては、有効応力解析と全応力解析のどちらが保守的な解析手法であるかを判断できない場合は、比較検討を行い、保守的な結果となる解析手法を選定する(6. 液状化影響の検討方針)。
- ・全応力解析を選定する際、有効応力解析と全応力解析の比較検討を行い、保守的な結果となる解析手法を選定する。(6. 液状化影響の検討方針)。



第 1.1-1 図 液状化影響評価フロー

2. 液状化検討対象層の抽出

2.1 敷地の地質概況

敷地の地質平面図を第 2.1-1 図に示す。敷地の基盤をなす地層は、新第三系上部中新統神恵内層であり、神恵内層を覆って第四紀中期更新世以前の海成堆積物、後期更新世の段丘堆積物及び崖錐Ⅰ堆積物、完新世の崖錐Ⅱ堆積物及び沖積層が分布する。敷地の基盤をなす地層である神恵内層は、岩相の特徴から凝灰質泥岩と火砕岩層に大別される。神恵内層の凝灰質泥岩層は、敷地北部の茶津川付近に分布し、火砕岩層は敷地全域に広く分布しており、3号原子炉建屋設置位置付近には安山岩が認められる。

発電所の埋立地盤については、敷地造成時に発生した掘削岩砕からなる埋立地盤が主体であり、施工時期、材料により1,2号埋戻土、3号埋戻土に区分される。1,2号埋戻土は、1,2号建設時の埋戻土で火砕岩主体の岩砕地盤であり、3号埋戻土は、3号建設時の埋戻土で安山岩主体の岩砕地盤である。

岸壁及び津波防護施設前面には、沖積層に相当する砂層(As1層及びAs2層)、砂礫層(Ag層)及び粘土・シルト層(Ac層)が分布している。

道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編(2012)では、「砂層、砂礫層はN値が30程度以上あれば良質な支持層と考えてよい。」とされている(下記参照)。

また、地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例では、N値と相対密度の関係が示されており、30未満は「中位の～非常に緩い」、30以上は「密な～非常に密な」とされている(下記参照)。

以上に基づき、砂層については、N値<30をAs1層、N値≥30をAs2層と分類し、それぞれの解析用物性値を設定する。

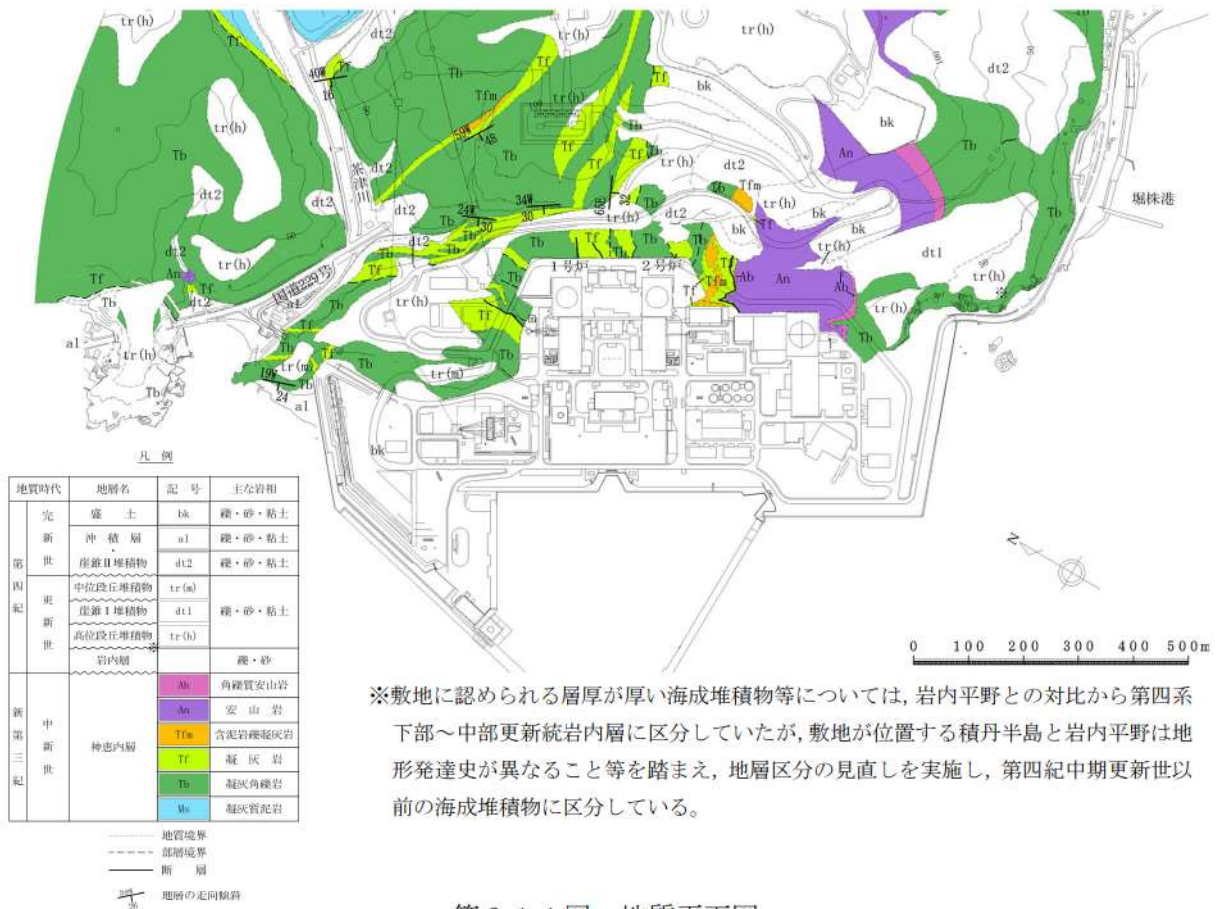
埋戻土の分布状況について平面図を第 2.1-2 図に、地質断面位置図を第 2.1-3 図に、埋戻土及び砂層のボーリング柱状図及びコア写真を添付資料 1 に示す。

地盤工学会(1998): 地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例に一部加筆

N値	相 対 密 度
0～4	非常に緩い (very loose)
4～10	緩 い (loose)
10～30	中 位 の (medium)
30～50	密 な (dense)
50以上	非常に密な (very dense)

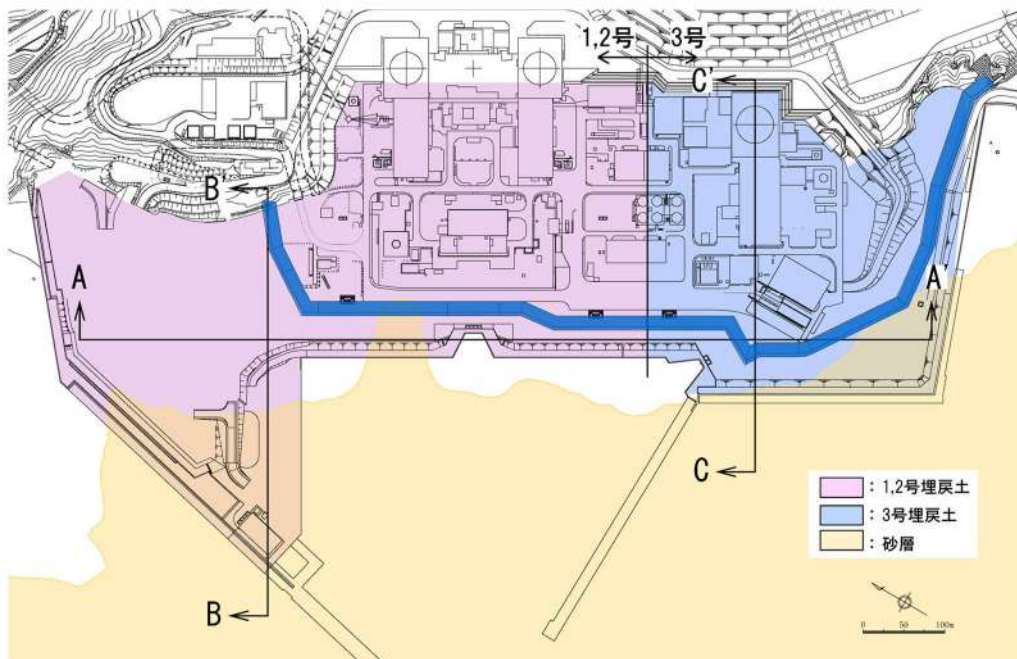
日本道路協会(2012): 道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編に一部加筆

ii) 砂層、砂れき層は N 値が 30 程度以上あれば良質な支持層と考えてよい。ただし、砂れき層ではれきをたたいて N 値が過大に出る傾向があるので、支持層の決定には十分な注意が必要である。

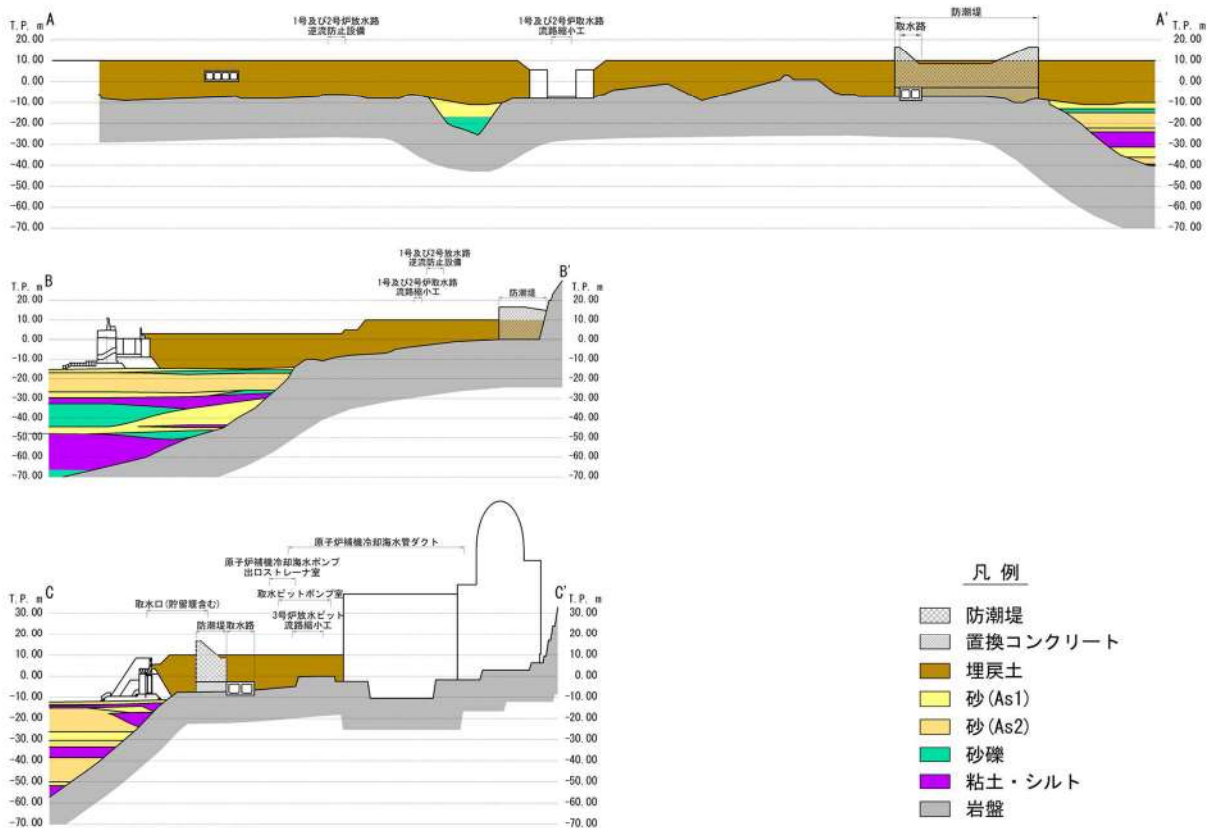


※敷地に認められる層厚が厚い海成堆積物等については、岩内平野との対比から第四系下部～中部更新統岩内層に区分していたが、敷地が位置する積丹半島と岩内平野は地形発達史が異なること等を踏まえ、地層区分の見直しを実施し、第四紀中期更新世以前の海成堆積物に区分している。

第 2.1-1 図 地質平面図



第 2.1-2 図 埋戻土の分布範囲並びに地質断面位置図



第 2.1-3 図 地質断面図

2.2 埋戻土の分布

発電所の埋立地盤については、敷地造成時に発生した掘削岩砕からなる埋立地盤が主体である。

泊発電所の埋立地盤は、施工時期、材料により、1,2号埋戻土、3号埋戻土に区分される。

1,2号埋戻土は、1,2号建設時の埋戻土で火砕岩主体の岩砕地盤であり、3号埋戻土は、3号建設時の埋戻土で安山岩主体の岩砕地盤である。

2.3 砂層の分布

各断面位置における砂層の分布の特徴は以下のとおりである。

・A-A' 断面

防潮堤付近にわずかに砂層が分布している。埋戻土の下層に砂層が分布しており、その層厚は最大 20m 程度である。

・B-B' 断面

1,2号側の防潮堤外側に一部砂層が分布している。埋戻土の下層に砂層が分布しており、その層厚は最大 23m 程度である。

・C-C' 断面

3号側の防潮堤外側に砂層が分布しており、その層厚は最大 33m 程度である。

2.4 液状化検討対象層の選定方針

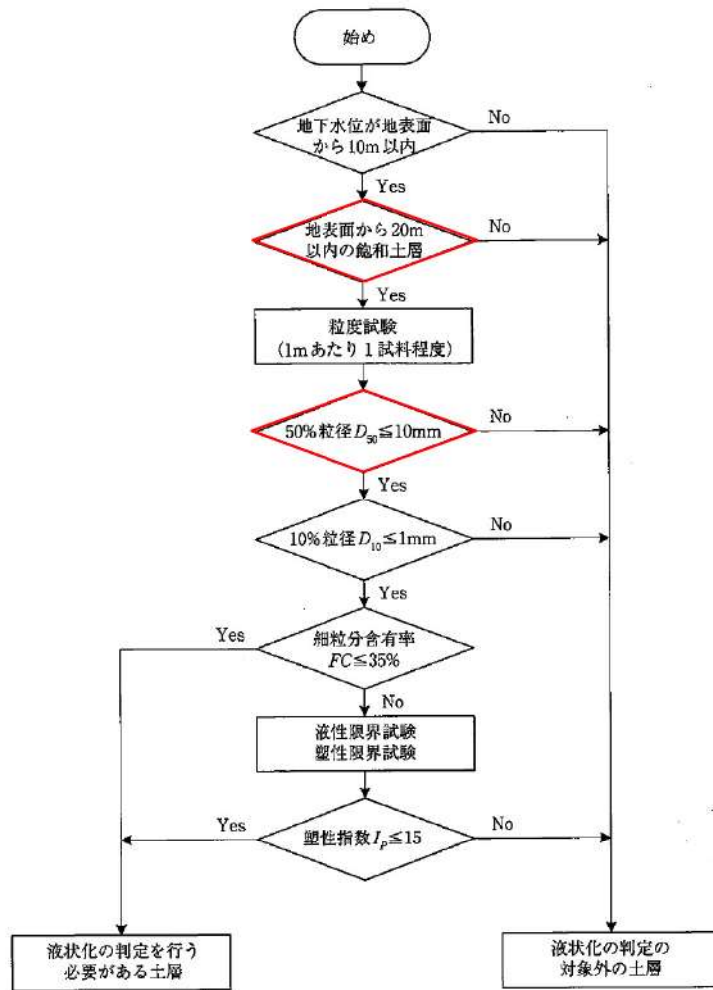
敷地の埋立地盤である埋戻土と砂層(As1層及びAs2層)、砂礫層(Ag層)、粘土・シルト層(Ac層)について、道路橋示方書に基づき、第2.4-1図に示す手順で液状化検討対象層を抽出する。

道路橋示方書では、地震時に影響を与える液状化が生じる可能性がある液状化検討対象層として、次の3つの条件すべてに該当する土層と定めている。

- ① 地下水位が G.L. -10m 以内であり、かつ G.L. -20m 以内の飽和土層
- ② 細粒分含有率が 35%以下、又は細粒分含有率が 35%を超えても塑性指数が 15 以下の土層
- ③ 平均粒径が 10mm 以下で、かつ 10%粒径が 1mm 以下である土層

液状化検討対象層の抽出は、道路橋示方書で対象としている地層を基本とし、比較的浅部の地盤等が液状化検討対象層となるが、以下の場合も含め液状化検討対象層として抽出する。

- ・ G.L. -20m 以深の飽和土層
- ・ 平均粒径が 10 mm以上の飽和土層



※本評価では、道路橋示方書において対象外となる以下の土層も評価対象とする

- ・ G. L. -20m 以深の飽和土層
- ・ 平均粒径が 10mm 以上の飽和土層

第 2.4-1 図 液状化検討対象層の抽出フロー

(道路橋示方書(2012)に一部加筆)

2.5 液状化検討対象層の選定結果

液状化検討対象層の選定結果を第 2.5-1 表に示す。道路橋示方書に基づき、液状化検討対象層として地下水位以深の 1,2 号埋戻土, 3 号埋戻土, 砂層(As1 層及び As2 層)及び砂礫層(Ag 層)を選定した。粘土・シルト層(Ac 層)については、「細粒分含有率 $F_c > 35\%$, かつ塑性指数 $I_p > 15$ 」を満足しているため液状化検討の対象外とした。

また、粘土・シルト層(Ac 層)については、建築基礎構造設計指針及び鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計に基づき、「年度分含有率 $P_c > 10\%$ 」及び「粘土分含有率 $P_c > 15\%$ 」を満足し、液状化検討の対象外とした。

なお、液状化検討対象層の選定について(Ac 層)を添付資料 2 に示す。

第 2.5-1 表 液状化検討対象層の選定結果

地質名	層相	道路橋示方書(2002) における 液状化検討対象層		泊サイトの 液状化検討 対象層	備考
		深 度	粒 度 分 布		
1,2 号埋戻土	岩 碎 (火砕岩類系)	○	○ (一部×)	○	・粒度分布により非液状化層と判定されるものもあるが、保守的に評価対象とする。
3 号埋戻土	岩 碎 (安山岩系)	○	○ (一部×)	○	・粒度分布により非液状化層と判定されるものもあるが、保守的に評価対象とする。
As1	砂 (N 値 < 30)	×	○	○	・20m 以深に分布する範囲についても保守的に評価対象とする。
As2	砂 (30 ≤ N 値)	×	○	○	・20m 以深に分布する範囲についても保守的に評価対象とする。
Ag	砂 礫	×	○ (一部×)	○	・20m 以深に分布する範囲についても保守的に評価対象とする。 ・粒度分布により非液状化層と判定されるものもあるが、保守的に評価対象とする。 ・解析用物性値は As2 層に準拠する。
Ac	粘 土 ・ シ ル ト	×	×	×	・細粒分含有率 $F_c > 35\%$ かつ塑性指数 $I_p > 15$ より、評価対象外とする。 ・粘土分含有率 $P_c > 10\%$ 以下及び粘土分含有率 $P_c > 15\%$ 以下を満足することも確認し、評価対象外とする。

※○：液状化検討対象 ×：液状化検討対象外

3. 液状化検討対象施設の抽出

3.1 液状化検討対象施設の抽出方針

屋外の耐震重要施設，常設重大事故等対処施設等の設置状況及び地下水位を考慮し，液状化の影響を検討する必要がある液状化検討対象施設を抽出する。抽出に当たっては，すべての屋外の耐震重要施設（建物・構築物，屋外重要土木構造物，津波防護施設・浸水防止設備），常設重大事故等対処施設等を対象に，網羅的に検討する。

液状化検討対象候補施設の一覧を第 3.1-1 表に，液状化検討対象候補施設，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 3.1-1 図に示す。また，屋外の耐震重要施設（建物・構築物，屋外重要土木構造物，津波防護施設・浸水防止設備）及び常設重大事故等対処施設（以下，「屋外重要土木構造物及び津波防護施設等」という）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 3.1-2 図に示す。

設工認段階で設定する設計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は，第 3.1-3 図に示す例のような，防潮堤設置後における地下水排水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三次元浸透流解析の結果を使用する。

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下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抽出の考え方を示し，設工認段階において，改めて設定した設計地下水位に基づき液状化検討対象施設の抽出を行う。

第 3.1-1 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 ^{※2}	基礎下端高さ ^{※3} (T.P. m)	地下水位の設定方針	
設計基準対象施設	建物・構築物	原子炉建屋	直接基礎	岩盤	2.8	地下水排水設備の機能に期待して、設計地下水位を設定 (建屋基礎底面に設計地下水位を設定)
		原子炉補助建屋	直接基礎	岩盤	0.3	
		ディーゼル発電機建屋	直接基礎	岩盤	4.2	
		A1, A2-燃料油貯油槽タンク室	直接基礎	岩盤	2.1	
		B1, B2-燃料油貯油槽タンク室	直接基礎	岩盤	2.0	
	屋外重要土木構造物	取水口	直接基礎	岩盤	-11.5	T.P. 0.55m ^{※4} に設定
		取水路	直接基礎	岩盤	-9.0	地表面に設定
		取水ピットスクリーン室	直接基礎	岩盤	-10.0	
		取水ピットポンプ室	直接基礎	岩盤	-12.6	
		原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室	直接基礎	岩盤	-6.0	
		原子炉補機冷却海水管ダクト	直接基礎	岩盤	-5.0	
		B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ	直接基礎	岩盤	8.3	
	津波防護施設・浸水防止設備 ^{※1}	防潮堤	直接基礎	岩盤	迫而	
		3号炉取水ピットスクリーン室防水壁	直接基礎	岩盤	0.5	
		3号炉放水ピット流路縮小工	直接基礎	岩盤	-3.0	
屋外排水路逆流防止設備		直接基礎	岩盤	3.1	地表面に設定	
1号及び2号炉取水路流路縮小工		直接基礎	岩盤	迫而		
1号及び2号炉放水路逆流防止設備		直接基礎	岩盤	迫而		
重大事故等対処施設	緊急時対策所(指揮所, 待機所)	直接基礎	岩盤	37.7	自然水位 ^{※6} に基づき設定	
	代替非常用発電機	直接基礎	岩盤	32.8		

※1 浸水防止設備については、屋外に設置される施設を対象に検討する

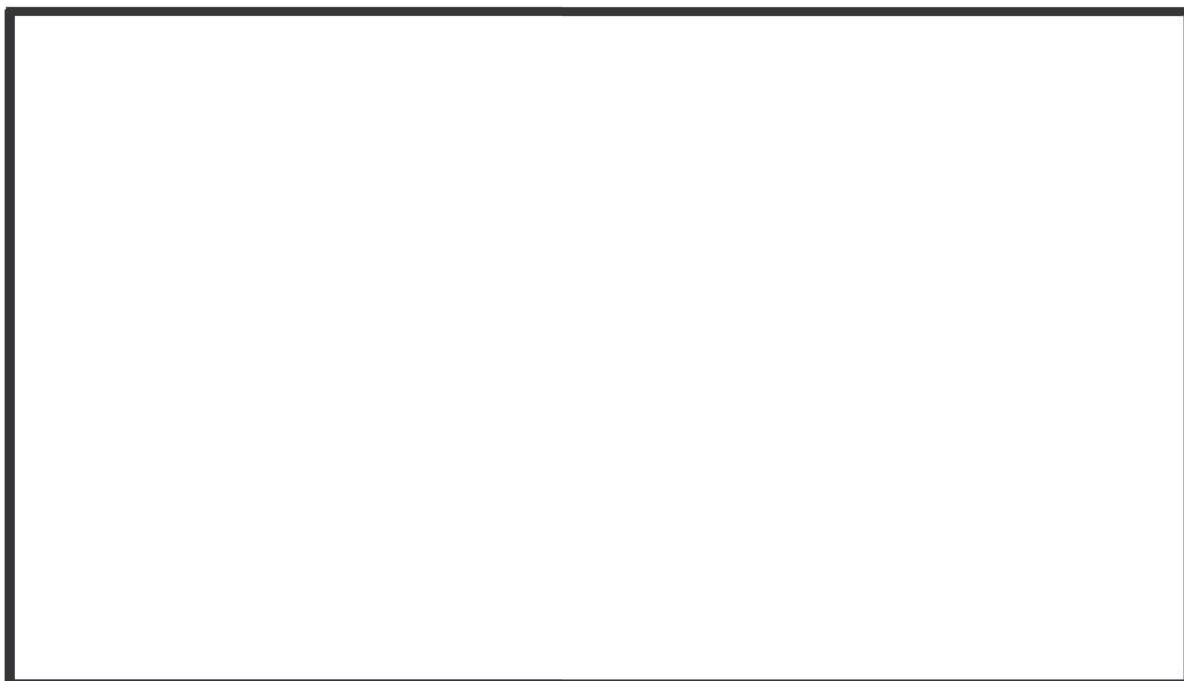
※2 置換コンクリート等を介して岩盤に支持される施設についても、岩盤に支持されているとした

※3 各施設の代表的な基礎下端高さを示す

※4 防潮堤よりも海側に設置される取水口の設計地下水位は、日本港湾協会(2007)の残留水位の設定方法に基づき、T.P. 0.55m に設定

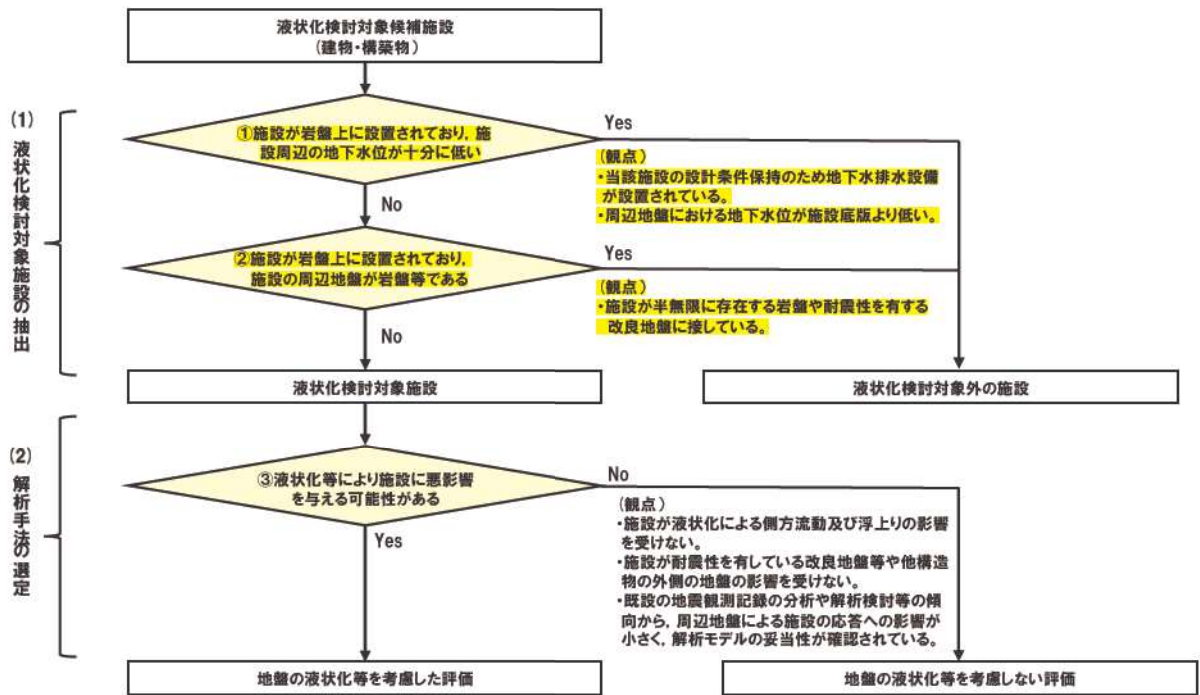
※5 防潮堤よりも海側に設置される屋外排水路逆流防止設備の設計地下水位は、朔望平均満潮位 T.P. 0.26m に設定

※6 解析条件を保守的に設定した三次元浸透流解析の予測解析水位

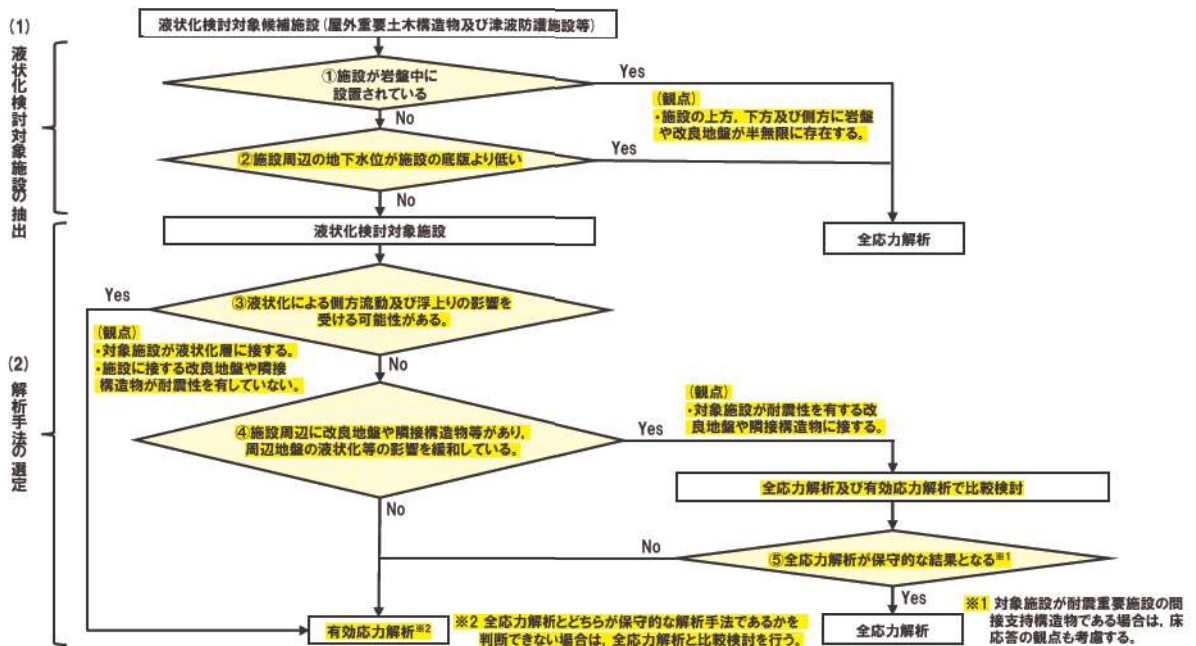


:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

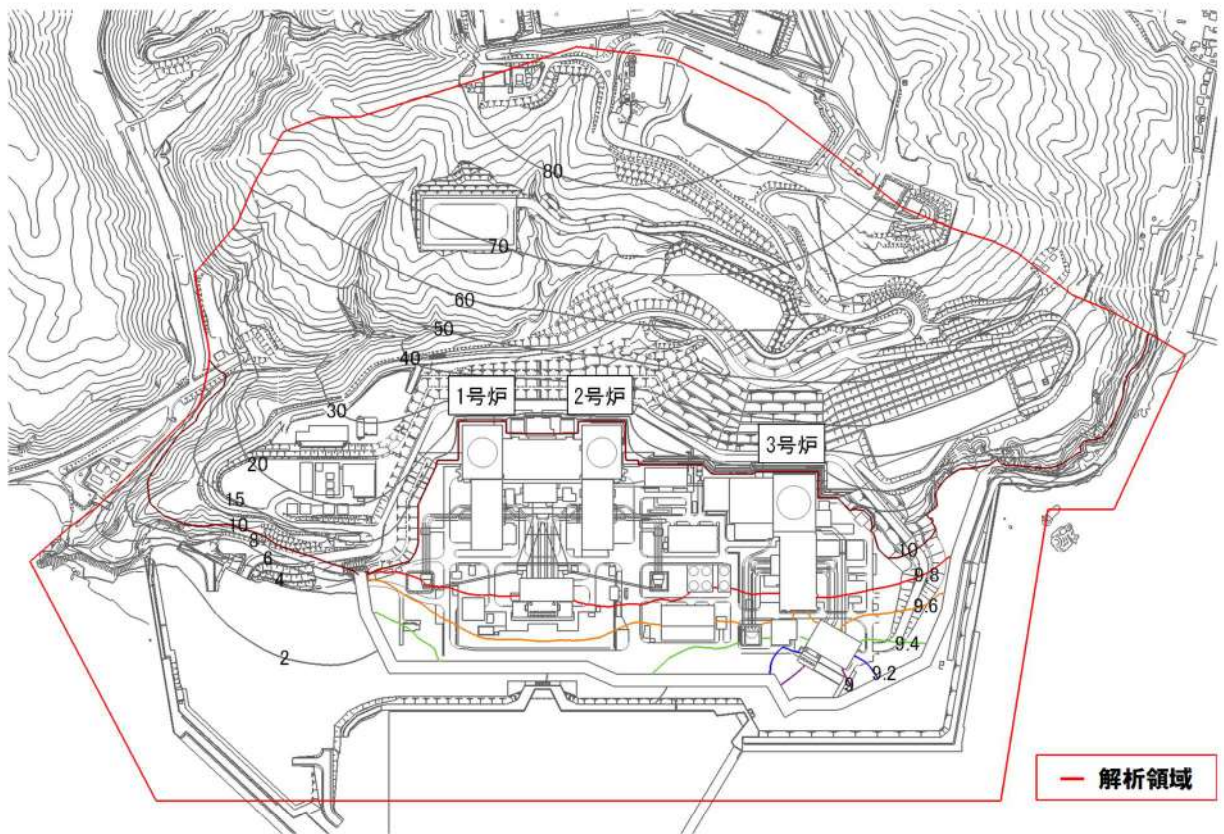
第 3.1-1 図 液状化検討対象候補施設，可搬型重大事故等対処設備
保管場所及びアクセスルート 配置図



第 3.1-2 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 3.1-2 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(屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)



第 3.1-3 図 地下水排水設備の機能に期待せずに設定した定常的な地下水位分布算定結果(例)

3.2 液状化検討対象施設の抽出及び解析手法選定の観点

液状化検討対象施設の抽出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抽出

a. 屋外の耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設(建物・構築物)

液状化検討対象施設は以下の項目で抽出する(第3.1-2図(1)の判定①, ②)。

・施設が岩盤上に設置されており, かつ, 施設周辺の地下水位が十分に低いか

・施設が岩盤上に設置されており, 施設の周辺地盤が岩盤等であるか

(観点): 当該施設の設計条件保持のため地下水排水設備が設置されている。

周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。

施設が半無限に存在する岩盤や耐震性を有する改良地盤に接している。

b. 屋外の耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設(屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)

液状化検討対象施設は以下の項目で抽出する(第3.1-2図(2)の判定①, ②)。

・施設が岩盤中に設置されているか

・施設周辺の地下水位が施設の底版より低いか

(観点): 施設の上方, 下方及び側方が岩盤や耐震性を有する改良地盤に接している。

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. 屋外の耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設(建物・構築物)

上記(1)にて抽出された施設について, 以下に示す観点より液状化等により施設に悪影響を与える恐れがあるか判断する(第3.1-2図(1)の判定③)。

(観点): 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。

既設の地震観測記録の分析や解析検討等の傾向から, 解析モデルの妥当性が確認されているか。

液状化等により施設に影響を与える可能性がある場合は, 地盤の液状化等の影響を考慮した評価を行う。

また, 対象施設が耐震重要施設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. 屋外の耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設(屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)
上記(1)にて抽出された施設について、以下に示す観点より、液状化による側方流動及び浮き上がりの影響を受ける可能性があるか判断する(第3.1-2図(2)の判定③)。

(観点)：対象施設が液状化層に接している。

施設に接する改良地盤や隣接構造物が耐震性を有していない。

液状化による側方流動及び浮き上がりの影響を受ける可能性がある場合、液状化の影響を考慮した有効応力解析を選定する。

③で液状化による側方流動及び浮き上がりの影響を受ける可能性がない場合、以下に示す観点より、施設周辺に改良地盤や隣接構造物等があり、周辺地盤の液状化等の影響を緩和しているか判断する(第3.1-2図(2)の判定④)。

(観点)：対象施設が耐震性を有する改良地盤や隣接構造物に接している(改良地盤や隣接構造物の外側に液状化層がある)。

施設周辺の改良地盤や隣接構造物等が耐震性を有し、周辺地盤の液状化等の影響を緩和している場合、液状化の影響を考慮しない全応力解析と影響を考慮する有効応力解析(耐震性を有する改良地盤や隣接構造物の外側の地盤の液状化の影響等を評価する)を実施し、その結果、保守的な結果となる方を選定する(第3.1-2図(2)の判定⑤)。

判定④で施設周辺の改良地盤等が耐震性を有していない場合、又は耐震性を有しているが周辺地盤の液状化等の影響を緩和していない場合は、液状化の影響を考慮することができる有効応力解析を選定する。なお、有効応力解析を選定する際、全応力解析とどちらが保守的な解析手法であるかを判断できない場合は、全応力解析と比較検討を行い、保守的な結果となる解析手法を選定する。

また、対象施設が耐震重要施設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、設工認段階で設定する設計地下水位に対する液状化検討対象施設の抽出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抽出した結果(例)を第3.2-1表に、抽出した液状化検討対象施設(例)の解析手法について検討した結果(例)を第3.2-2表に、各施設の設置状況を第3.2-1図～第3.2-19図に示す。設工認段階においては、すべての屋外の耐震重要施設(建物・構築物、屋外重要土木構造物、津波防護施設等)及び常設重大事故等対処施設を対象に、確定した設計地下水位を踏まえ、改めて網羅的に液状化検討対象施設を抽出し、その上で解析手法を選定する。

なお、第 3.1-2 図のフローにより抽出した液状化検討対象施設のうち、地下水位が施設底版より高く、施設と地下水が接する場合は、間隙水圧の上昇により浮き上がりの恐れが有ることから、浮き上がりに対する安全性を確認する。

また、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検討方針は本資料に基づき整理を行う。

※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「5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定」にて後述する。

第 3.2-1 表(1) 液状化検討対象施設の選定結果の例

(第 3.1-2 図(1)の①, ②)

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施設が岩盤上に設置されており、施設周辺の地下水位が十分に低い	②施設が岩盤上に設置されており、施設の周辺地盤が岩盤等である			
設計基準対象施設	建物・構築物	原子炉建屋	Yes	—	—	×
		原子炉補助建屋	Yes	—	—	×
		ディーゼル発電機建屋	Yes	—	—	×
		A1, A2-燃料油貯油槽タンク室	Yes	—	—	×
		B1, B2-燃料油貯油槽タンク室	No	Yes	施設に耐震性を有する改良地盤が接している	×

第 3.2-1 表(2) 液状化検討対象施設の選定結果の例

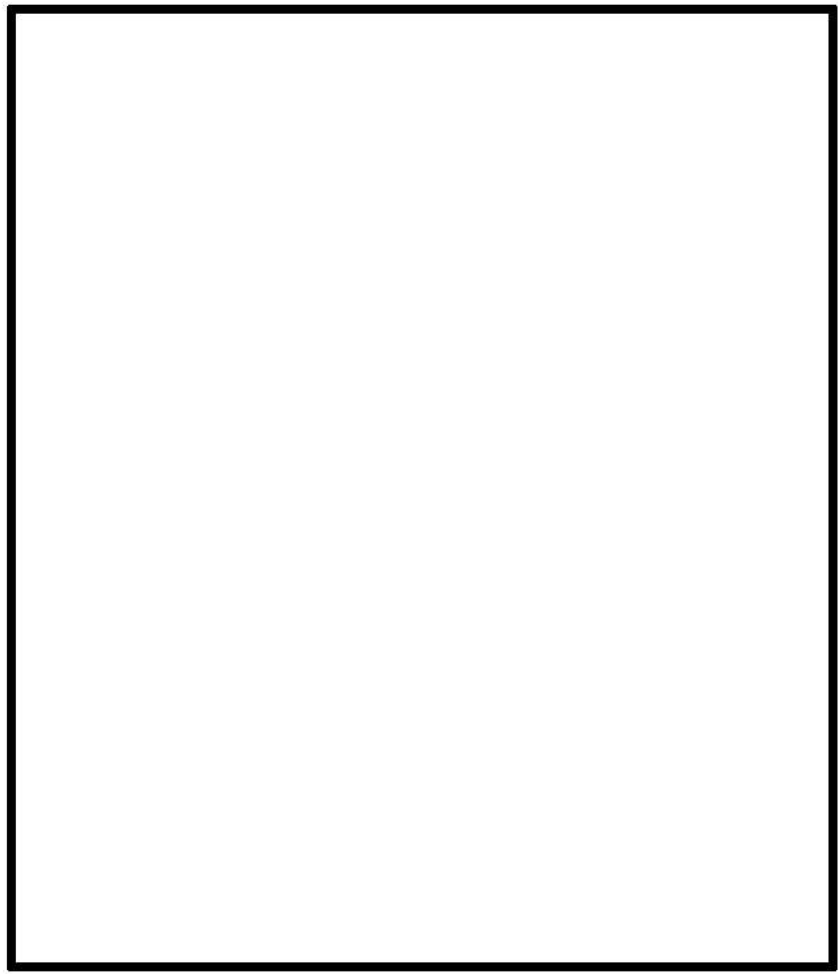
(第 3.1-2 図(2)の①, ②)

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施設の底版より低い			
設計基準対象施設	屋外重要土木構築物	取水口	No	No	T. P. 0.55m に設計地下水位を設定する。	○
		取水路	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		取水ピットスクリーン室	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		取水ピットポンプ室	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		原子炉補機冷却海水管ダクト	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
	津波防護施設・浸水防止設備	防潮堤	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		3号炉取水ピットスクリーン室防水壁	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		3号炉放水ピット流路縮小工	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		屋外排水路逆流防止設備	No	No	T. P. 0.26m に設計地下水位を設定する。	○
		1号及び2号炉取水路流路縮小工	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		1号及び2号炉放水路逆流防止設備	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		重大事故等対処施設	緊急時対策所(指揮所, 待機所)	No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。
代替非常用発電機		No	Yes	周辺地盤における地下水位が施設の設置地盤より低い。	×	

第 3.2-2 表(2) 液状化検討対象施設の解析手法選定結果の例
(屋外重要土木構造物及び津波防護施設等)

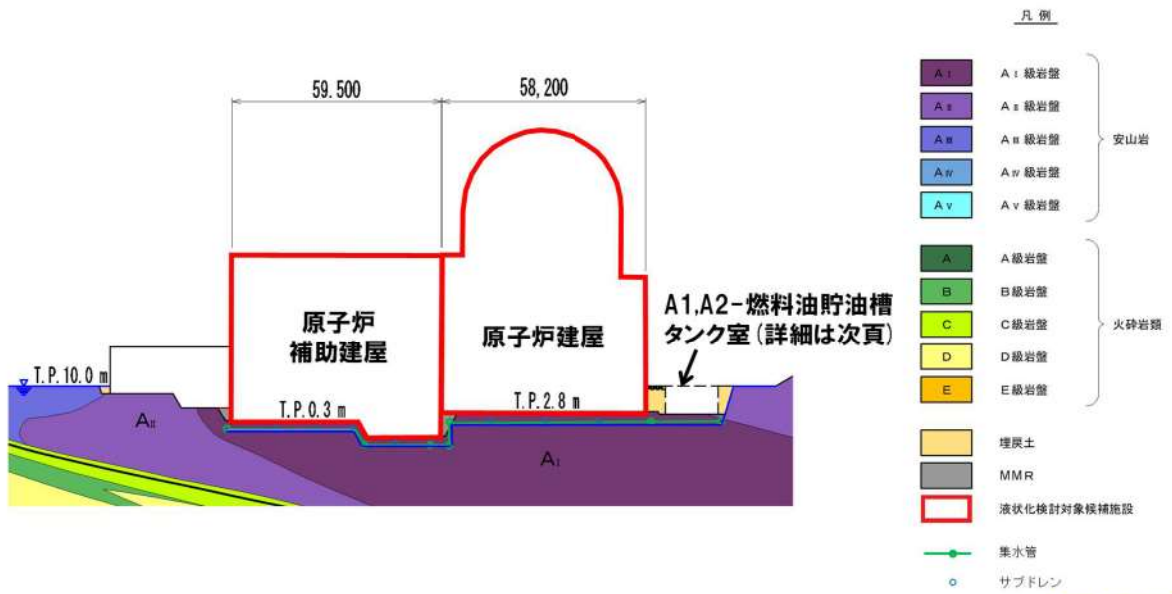
(第 3.1-2 図(2)の③, ④)

施設分類	施設名称	項目		解析手法の選定結果	
		③液状化による側方流動及び浮き上がりの影響を受け る可能性がある。	④施設周辺に改良地盤や隣接構 造物等があり、周辺地盤の液状 化等の影響を緩和している。		
設計基準 対象施設	屋外 重要 土木 構造物	取水口	Yes	—	有効応力解析
		取水路	Yes	—	有効応力解析
		取水ビットスクリーン室	Yes	—	有効応力解析
		取水ビットポンプ室	Yes	—	有効応力解析
		原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレ ーナ室	Yes	—	有効応力解析
		原子炉補機冷却海水管ダクト	Yes	—	有効応力解析
		B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽 トレンチ	Yes	—	有効応力解析
	津波 防護 施設 ・ 浸水 防止 設備	防潮堤	Yes	—	有効応力解析
		3号炉取水ビットスクリーン室防水壁	Yes	—	有効応力解析
		3号炉放水ビット流路縮小工	Yes	—	有効応力解析
		屋外排水路逆流防止設備	Yes	—	有効応力解析
		1号及び2号炉取水路流路縮小工	Yes	—	有効応力解析
		1号及び2号炉放水路逆流防止設備	Yes	—	有効応力解析

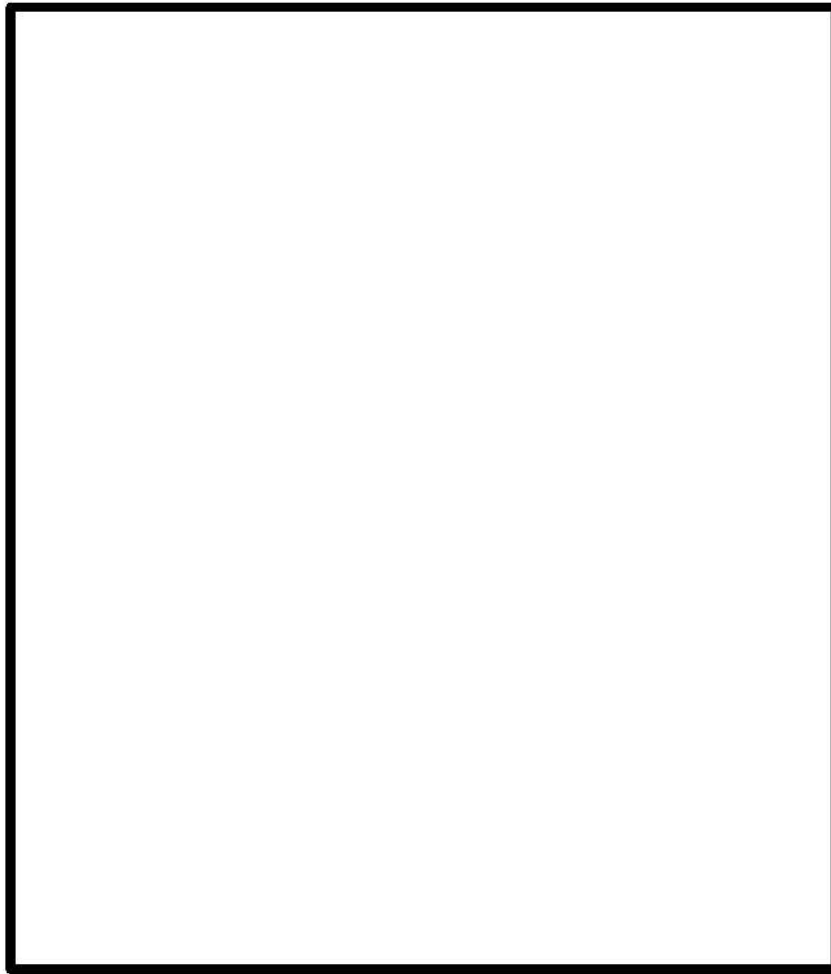


□:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

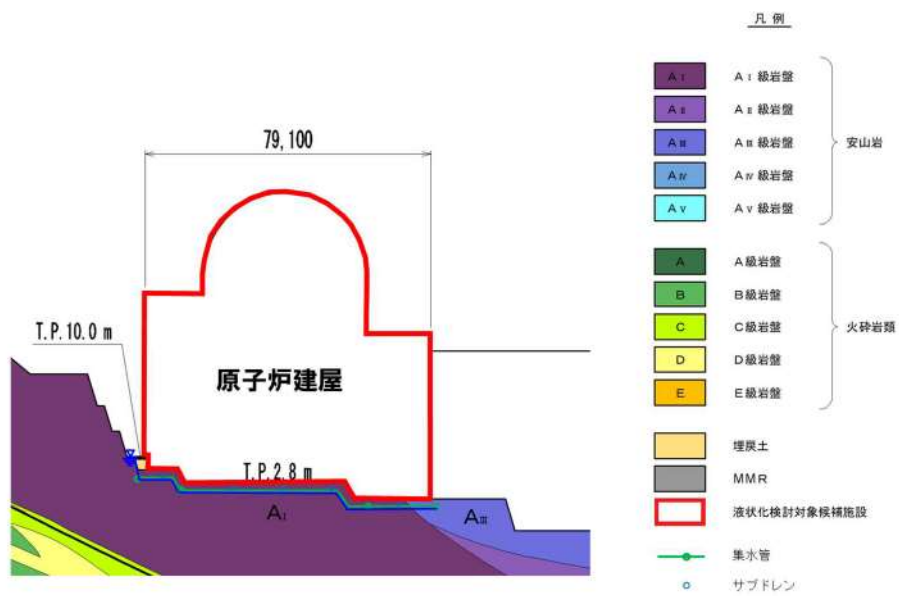


第 3.2-1 図 原子炉建屋，原子炉補助建屋，A1，A2-燃料油貯油槽タンク室断面図(①-①')

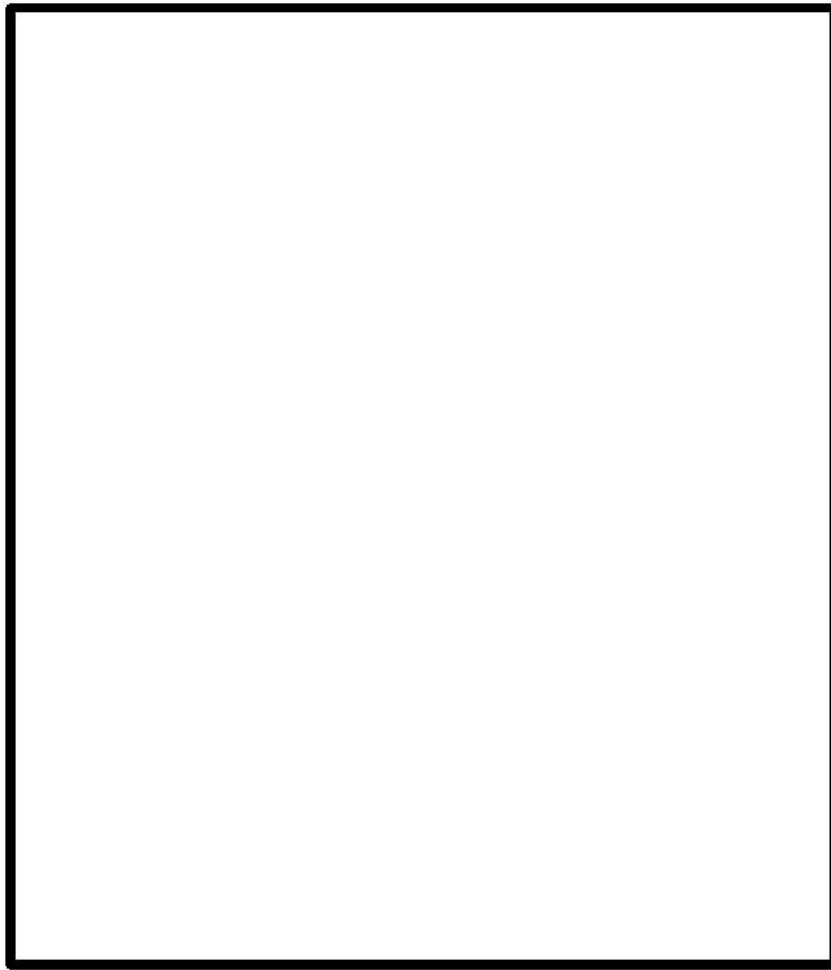


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

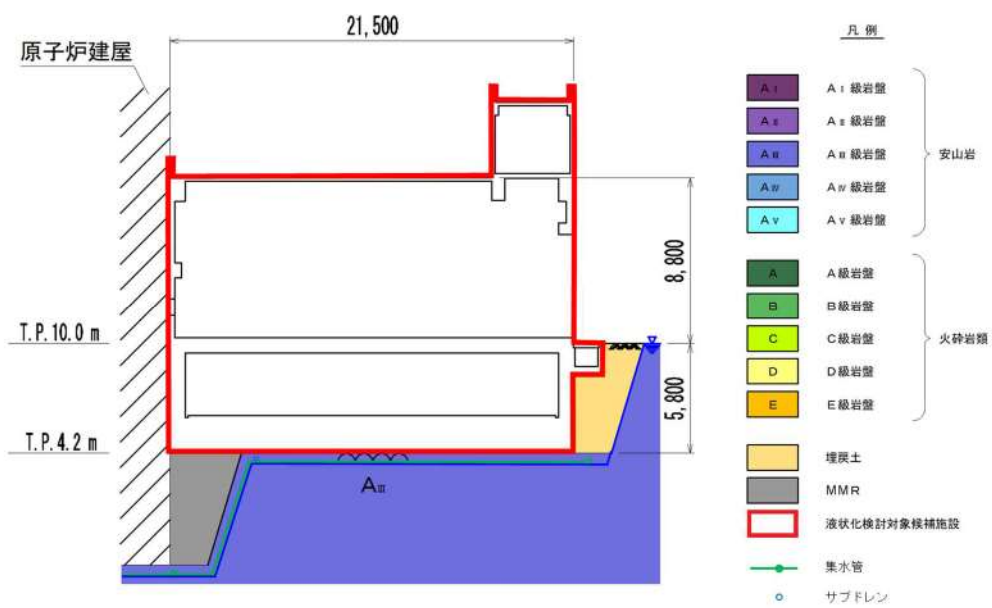


第 3.2-2 図 原子炉建屋断面図 (②-②')

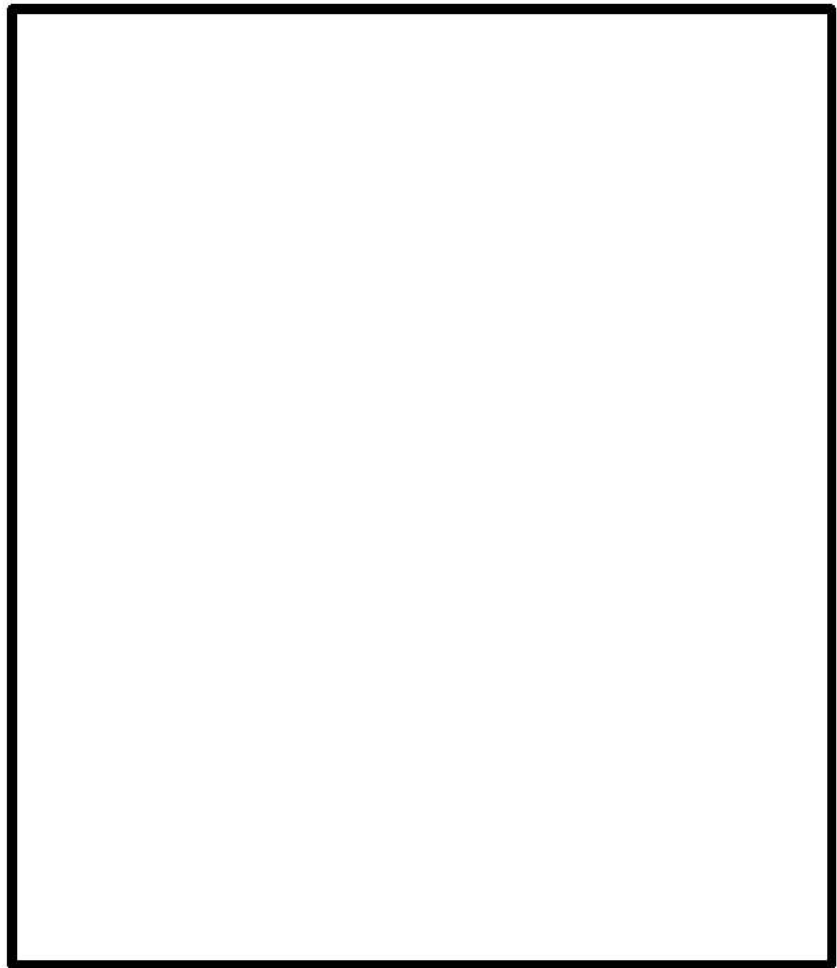


□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

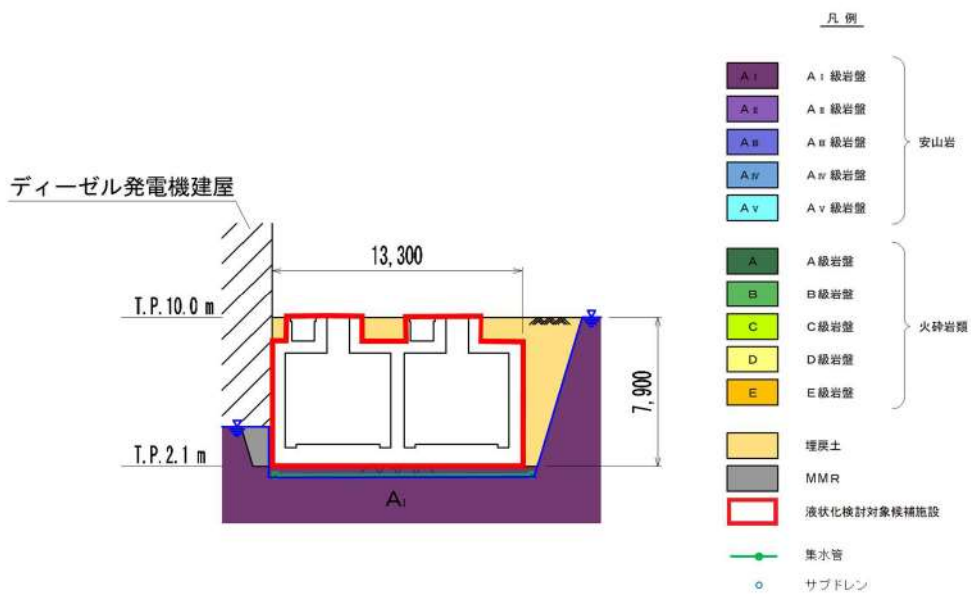


第 3.2-3 図 ディーゼル発電機建屋断面図

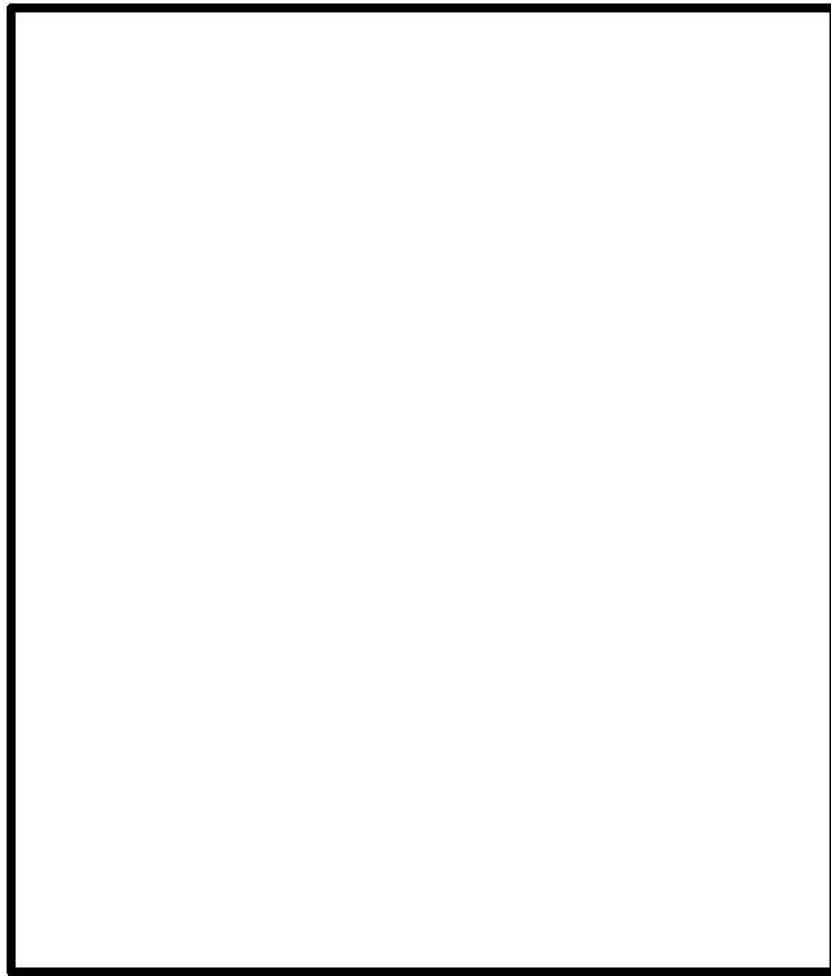


□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

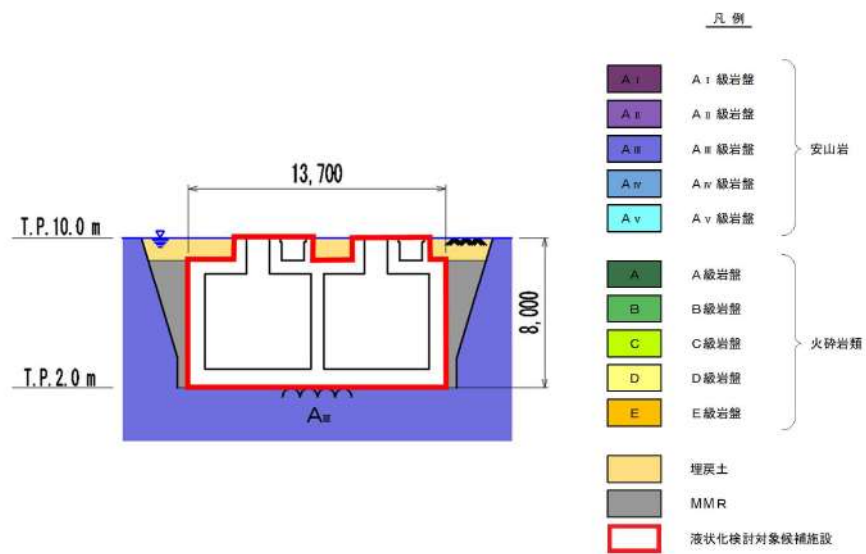


第 3.2-4 図 A1, A2-燃料油貯油槽タンク室断面図

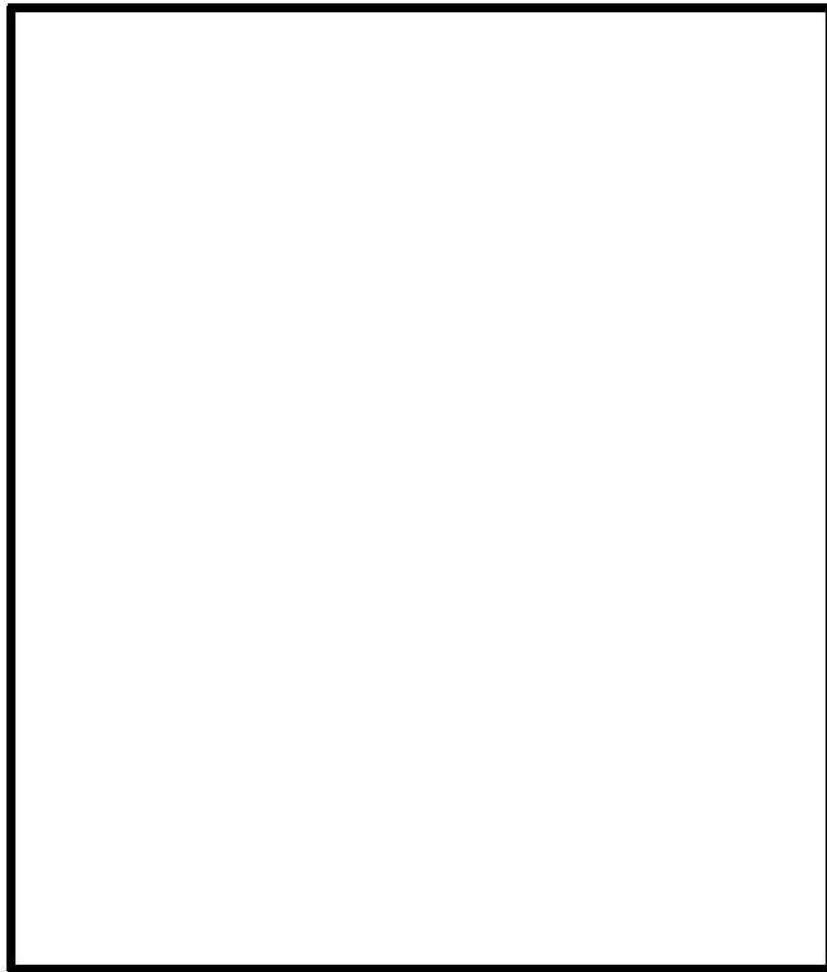


□: 枠図みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

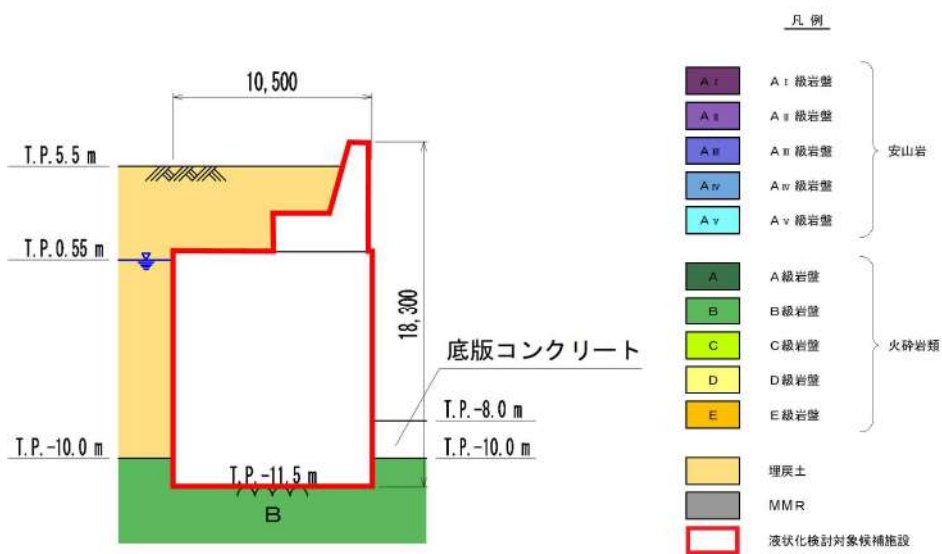


第 3.2-5 図 B1, B2-燃料油貯油槽タンク室断面図



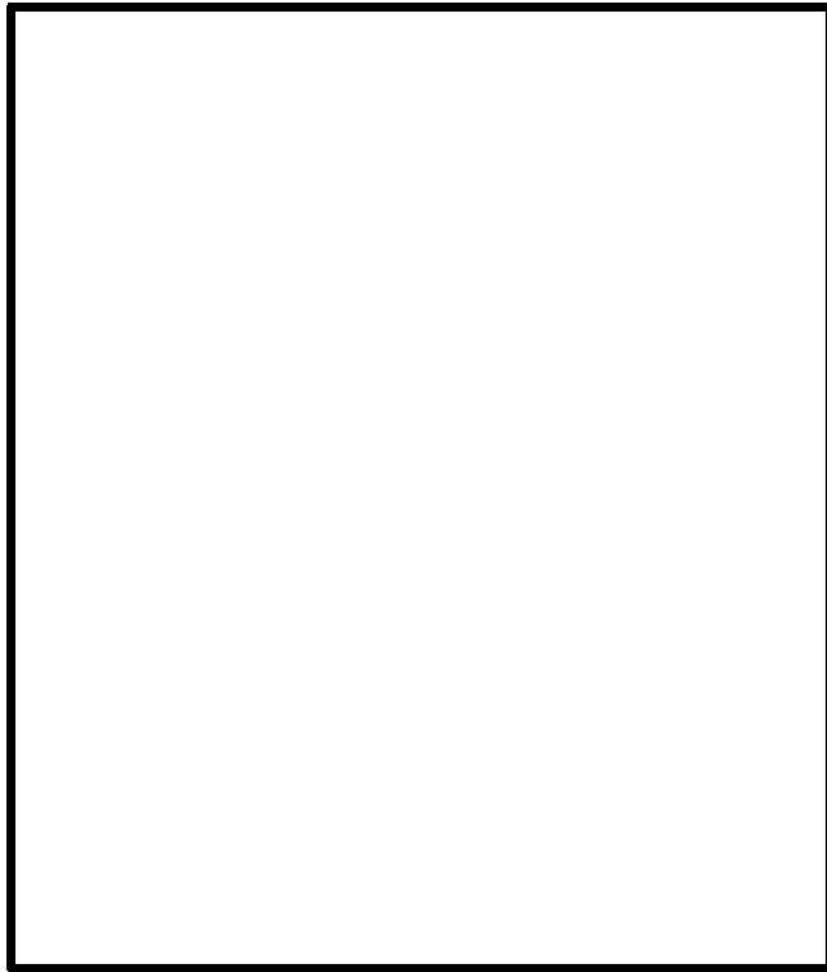
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図



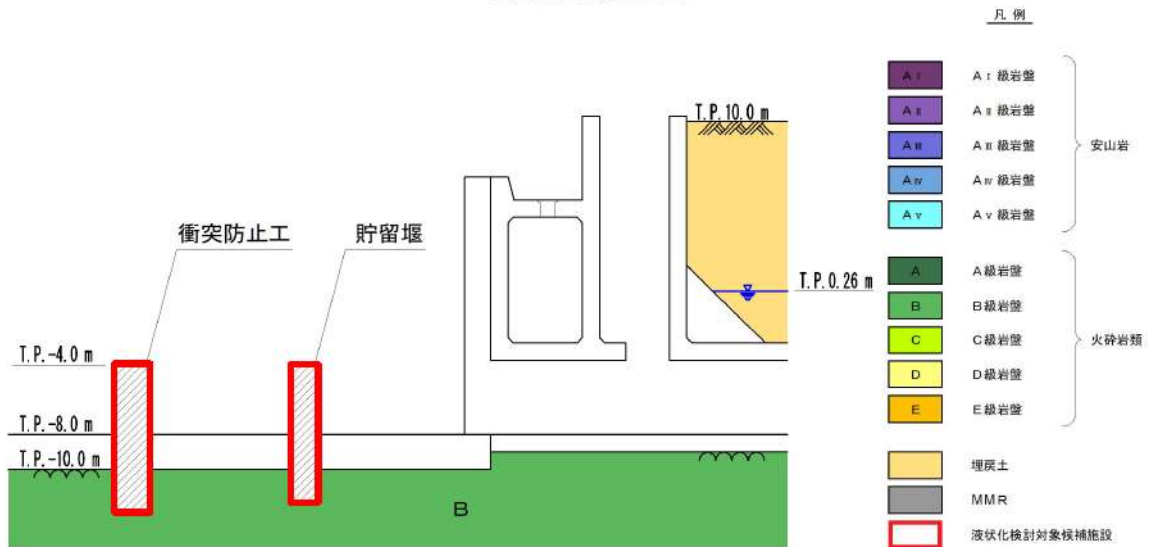
①護岸部断面図

第 3.2-6 図 (1/2) 取水口断面図



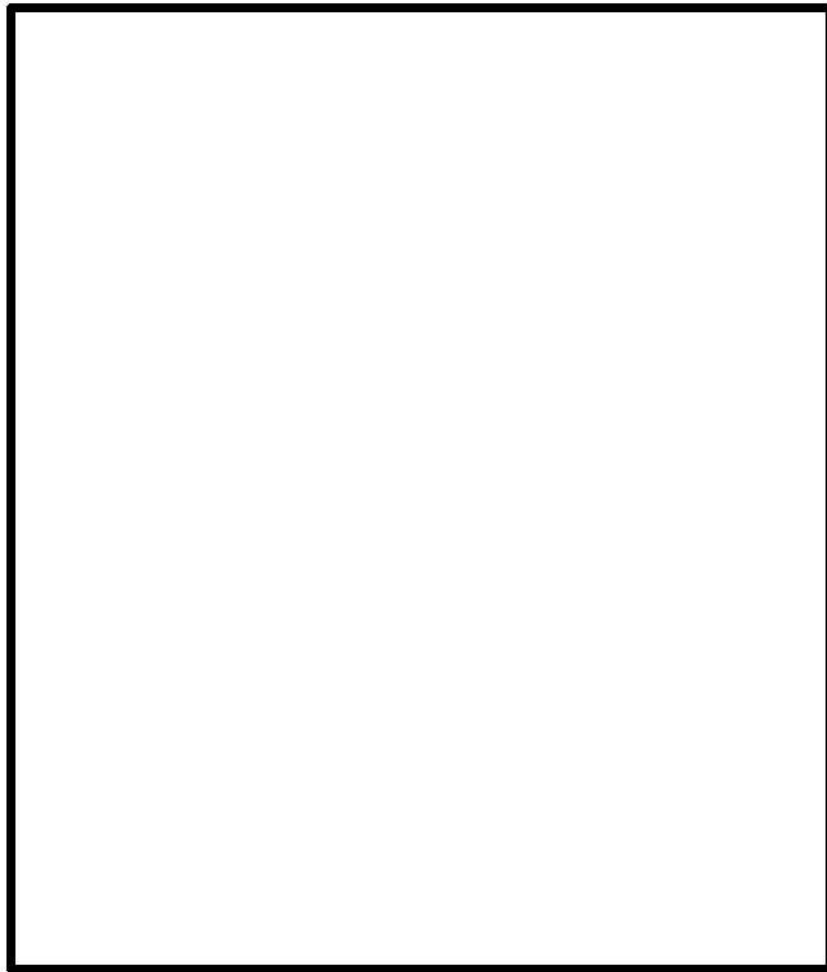
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図



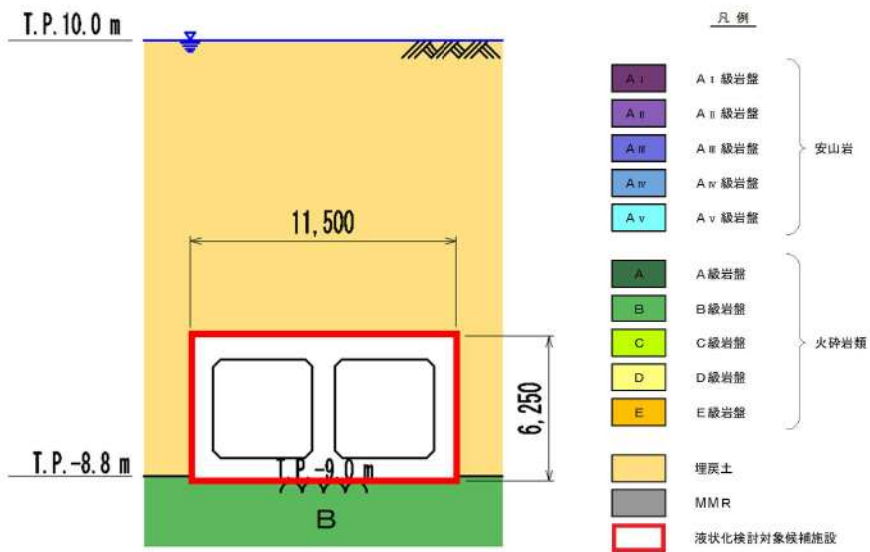
②貯留堰部断面図

第 3.2-6 図 (2/2) 取水口断面図

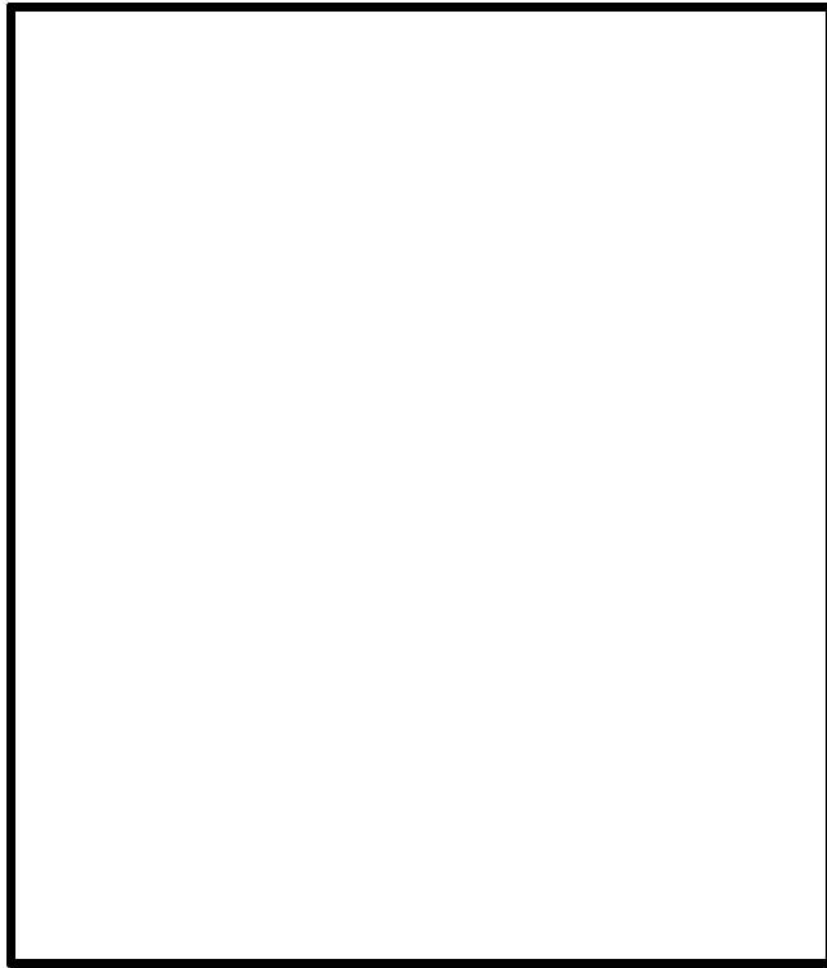


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

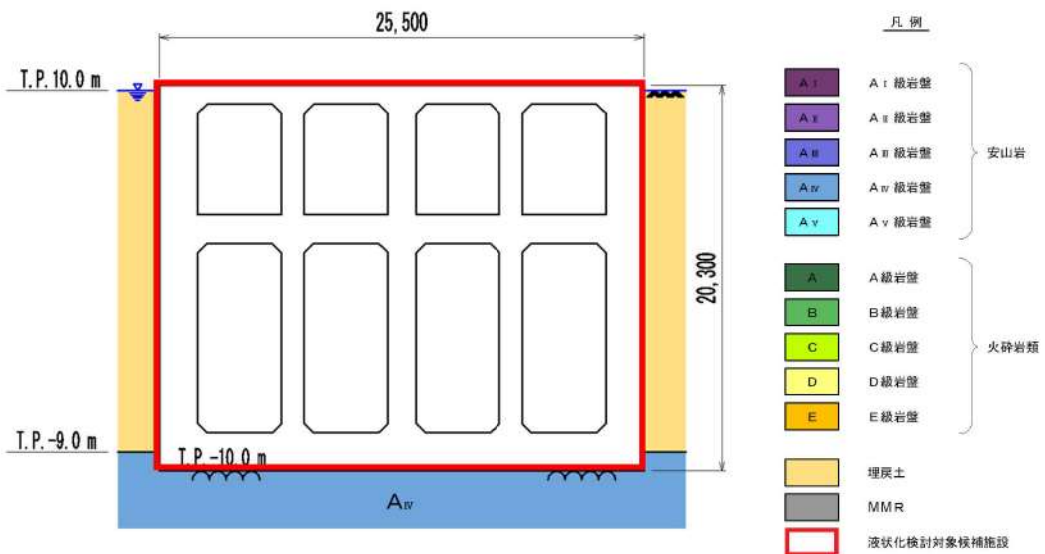


第 3.2-7 図 取水路断面図

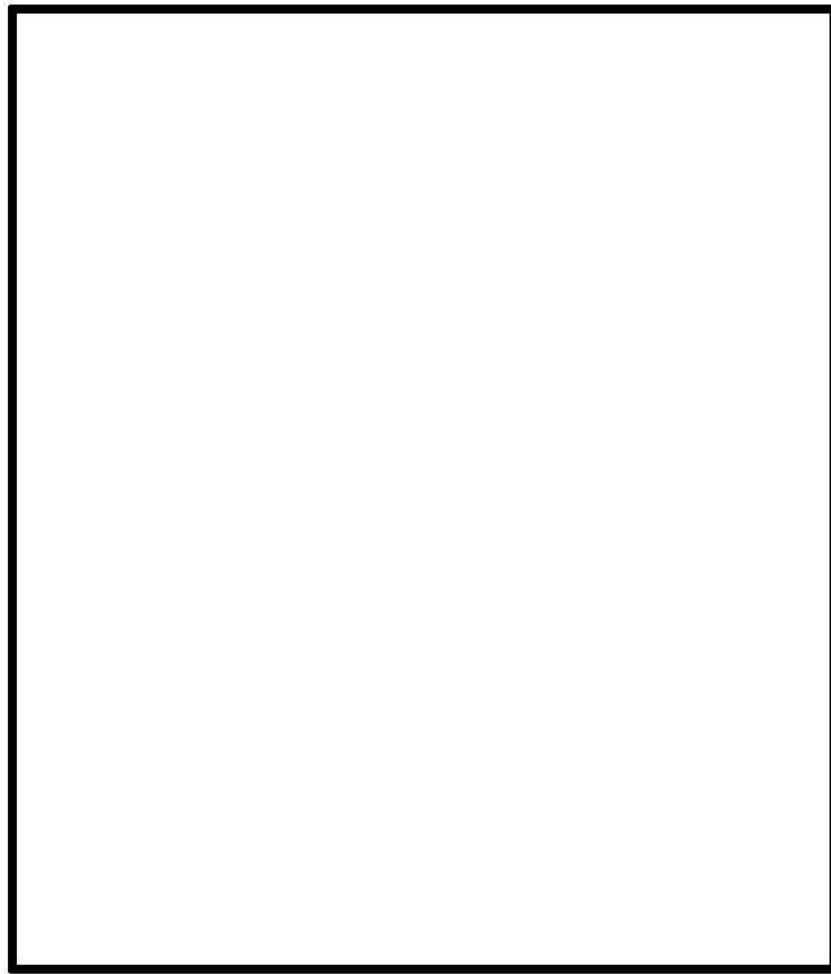


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

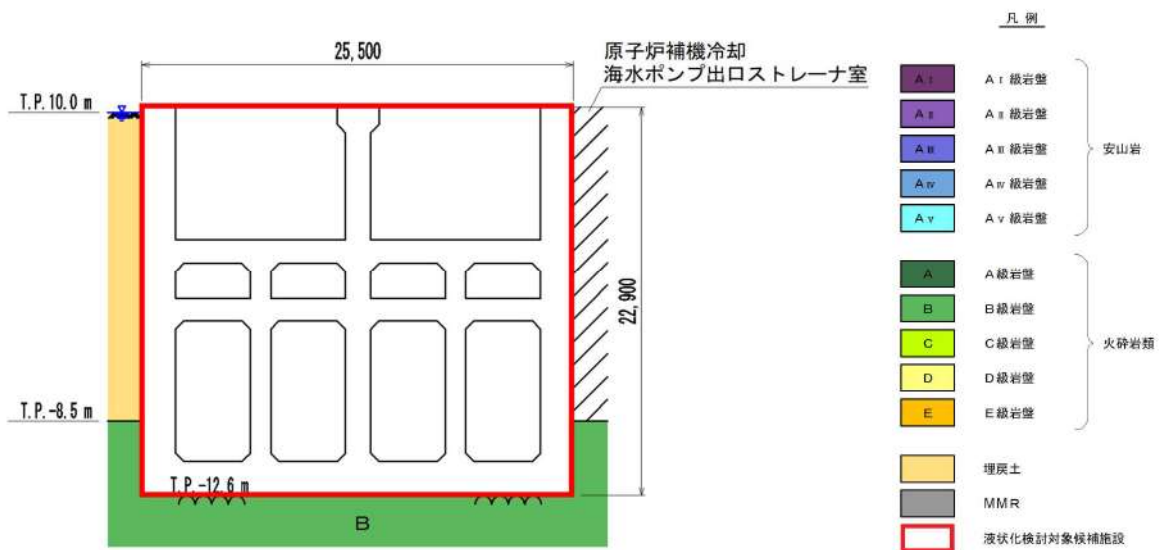


第 3.2-8 図 取水ピットスクリーン室断面図

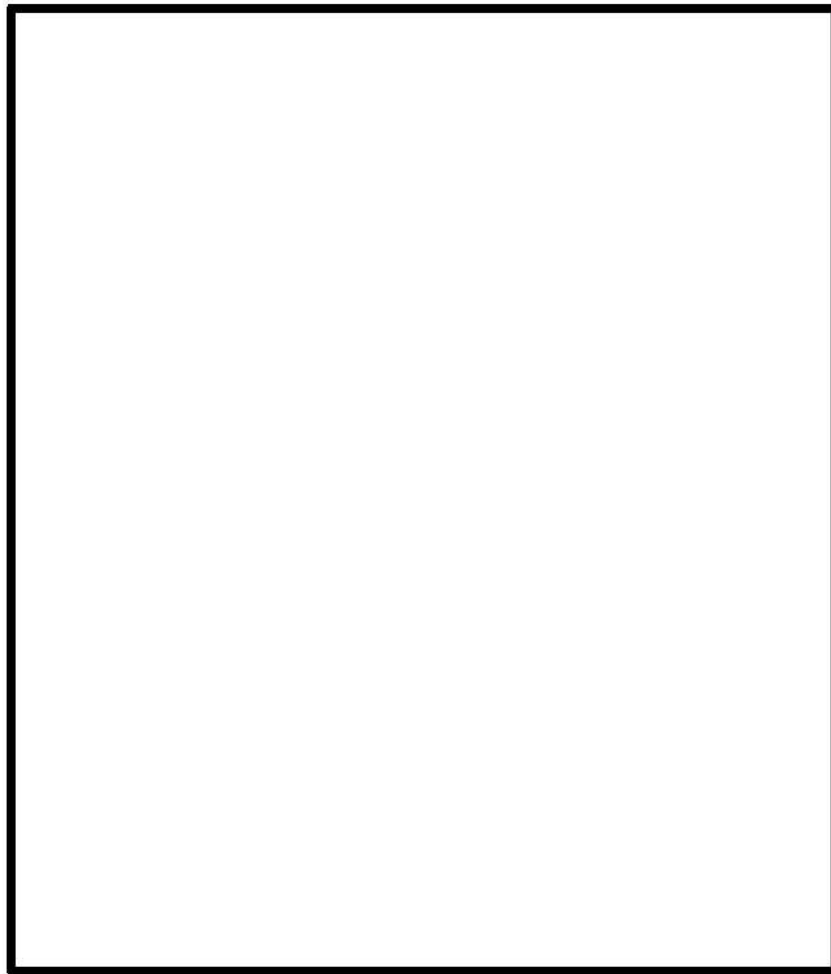


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

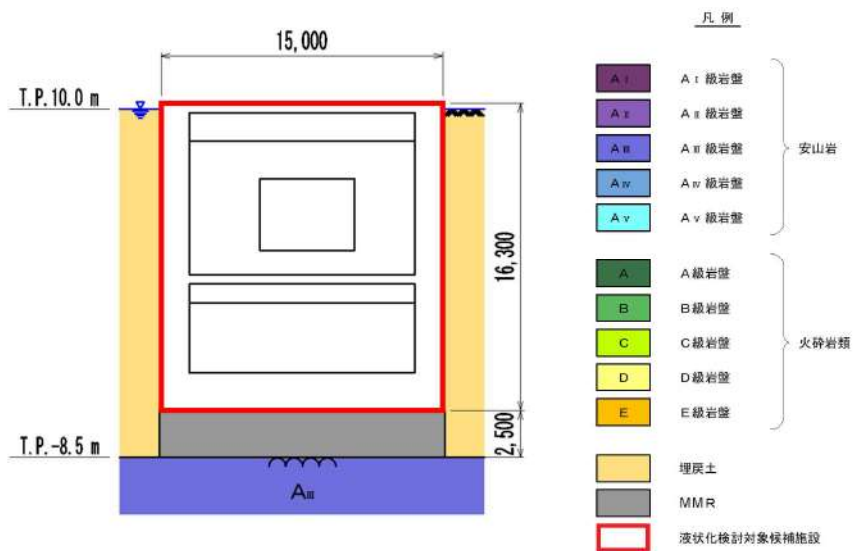


第 3.2-9 図 取水ピットポンプ室断面図

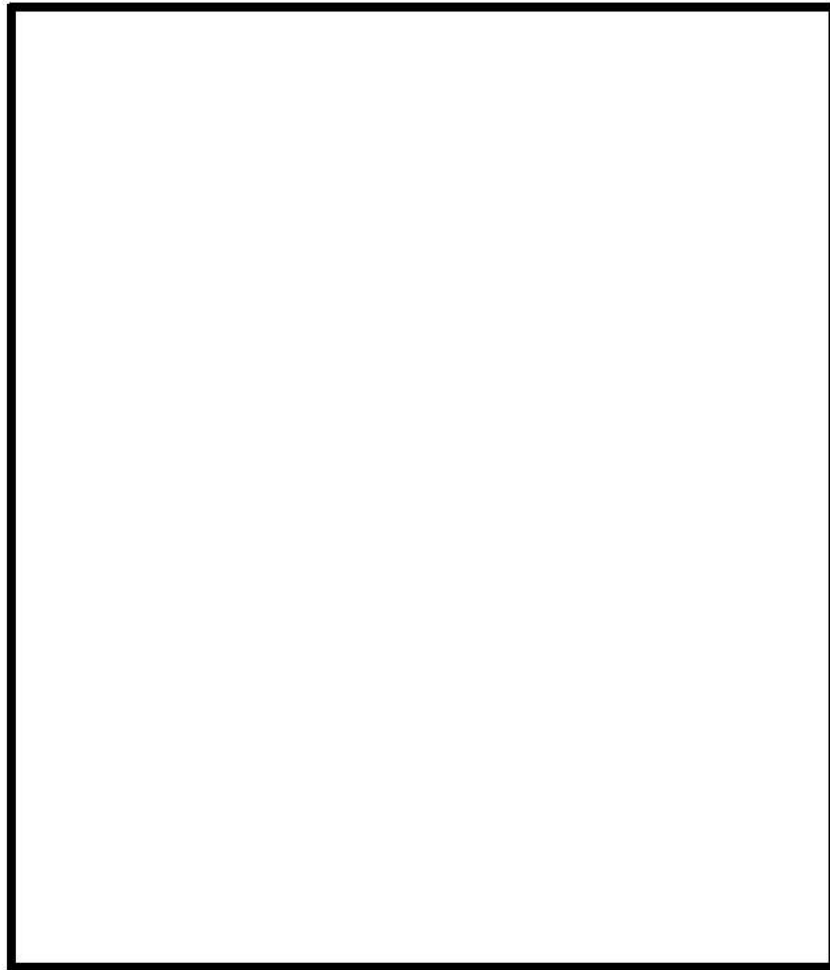


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

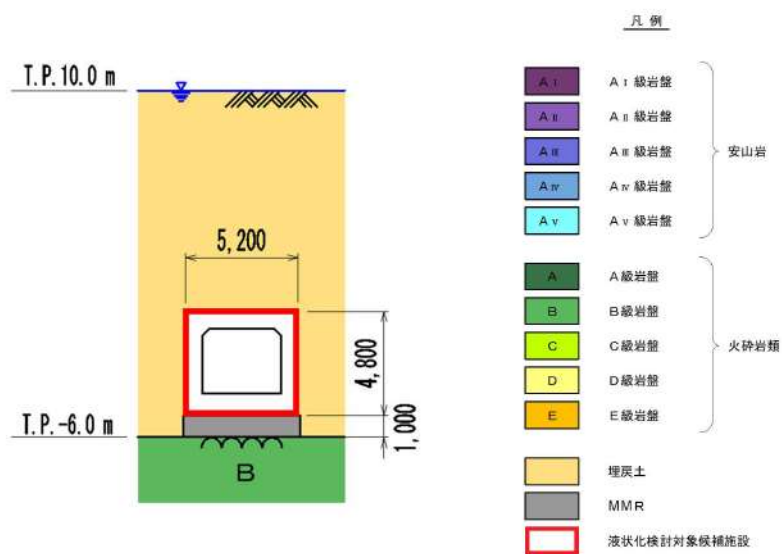


第 3.2-10 図 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室断面図

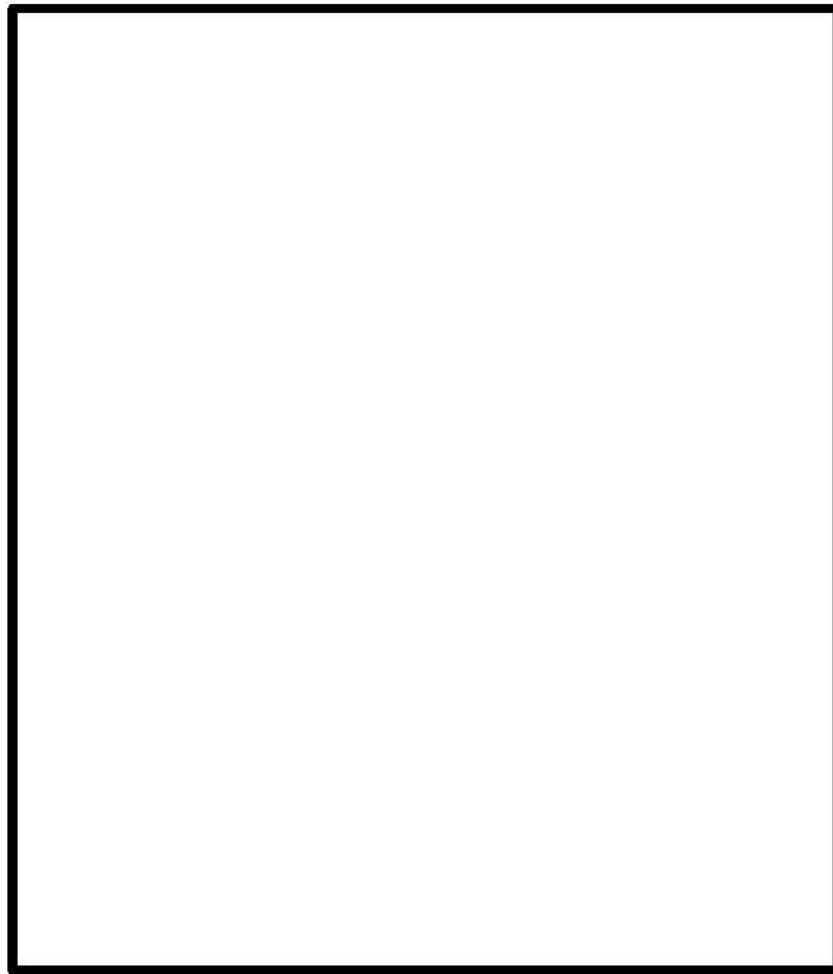


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

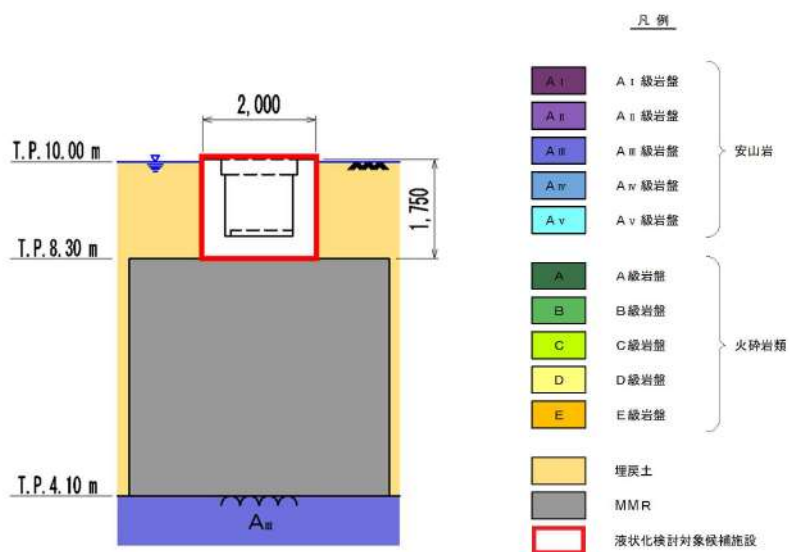


第 3.2-11 図 原子炉補機冷却海水管ダクト断面図

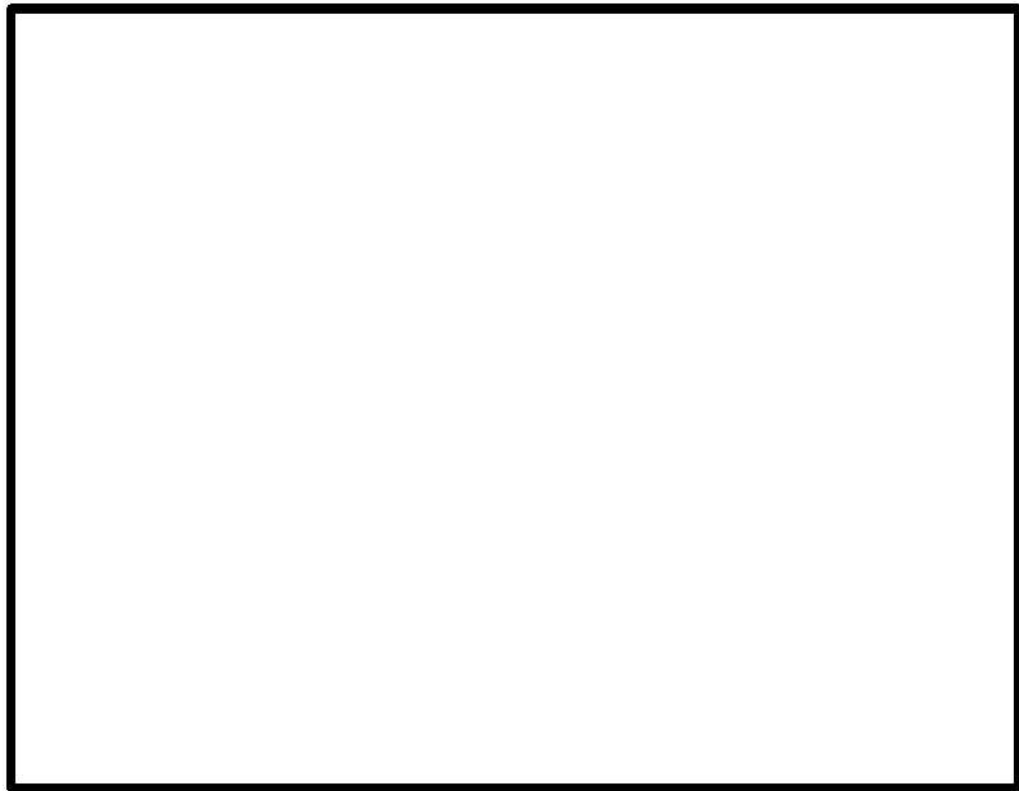


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

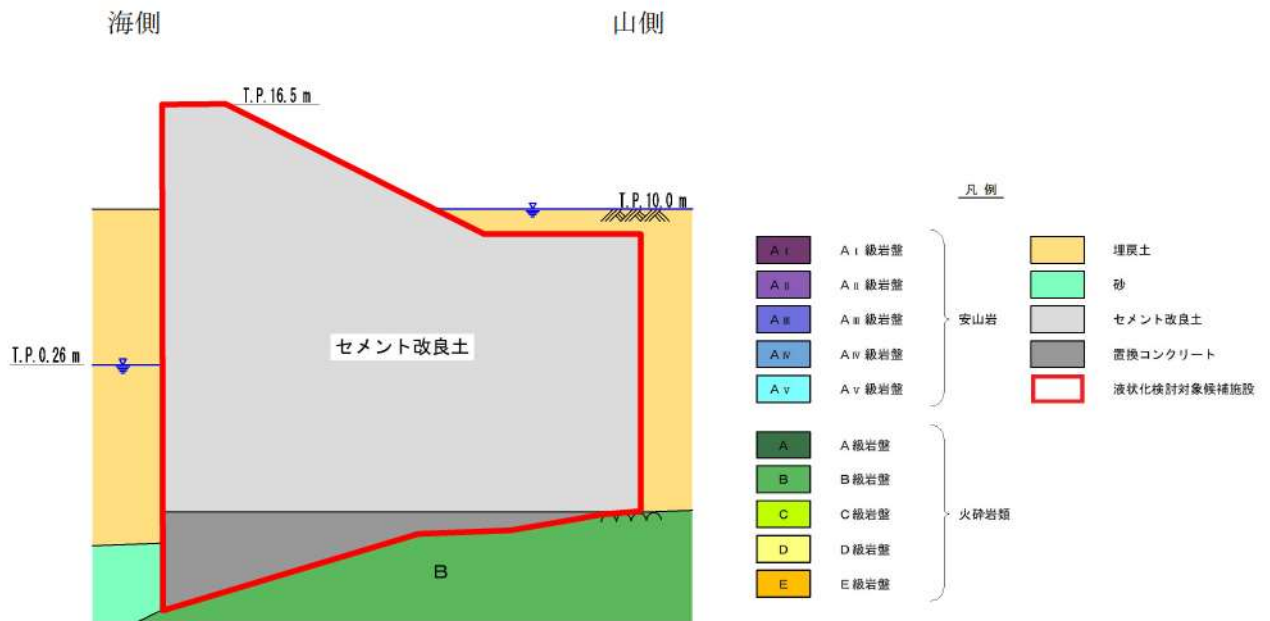


第 3.2-12 図 B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ断面図

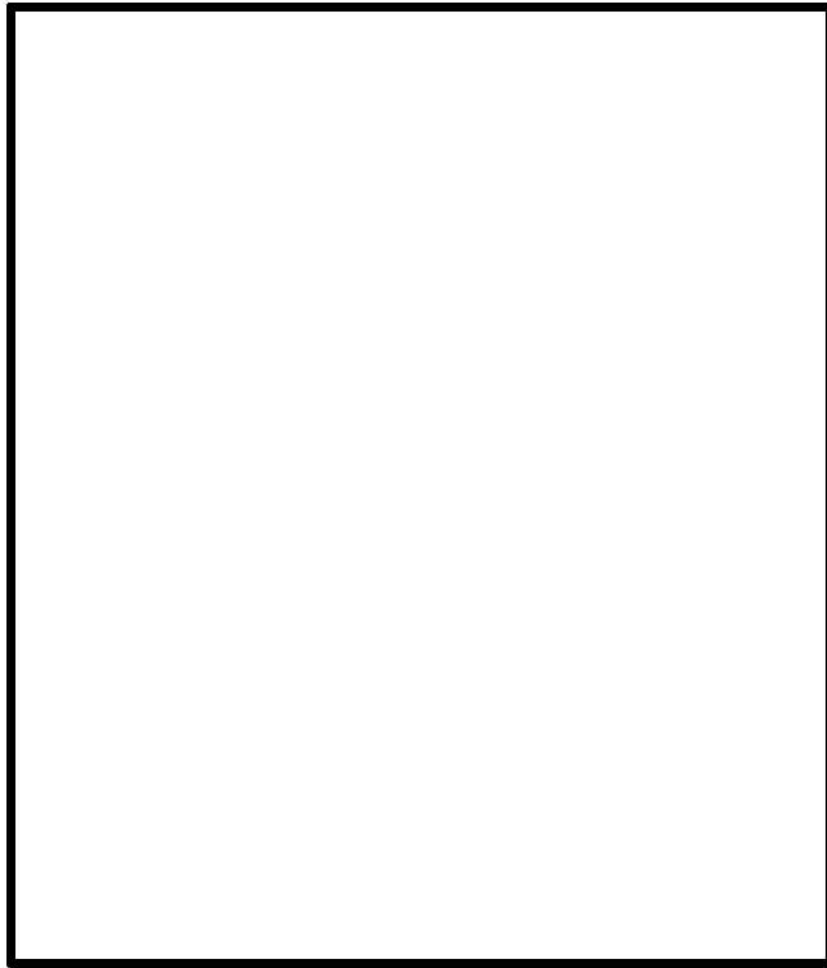


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図



第 3.2-13 図 防潮堤断面図

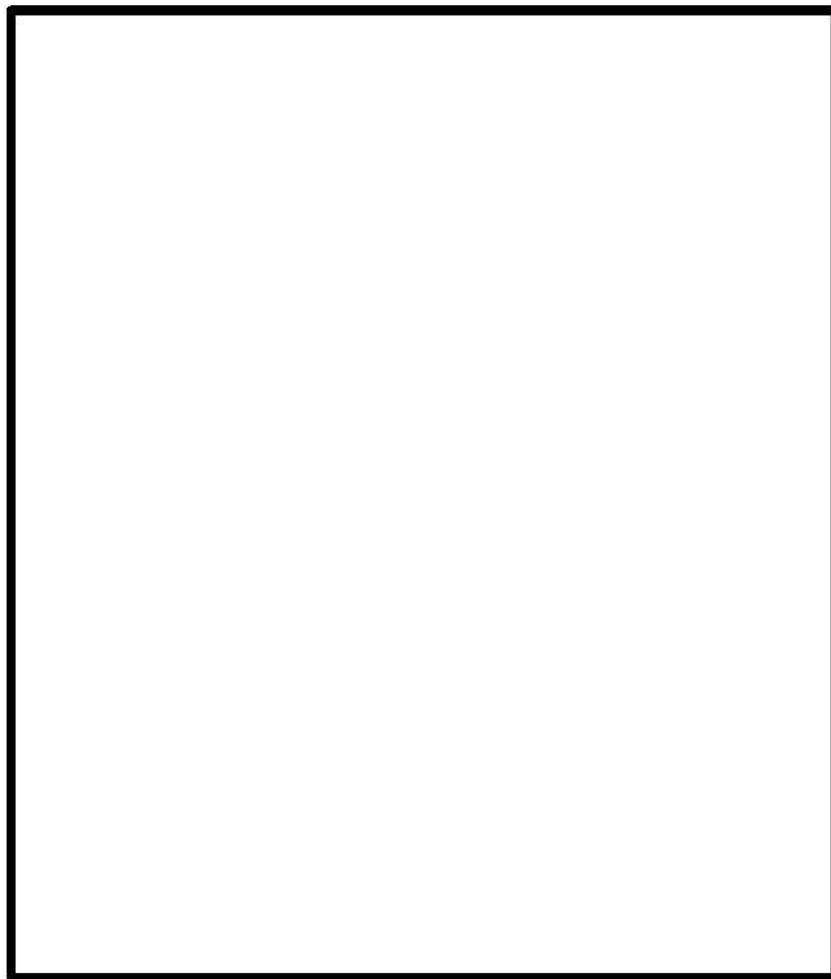


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

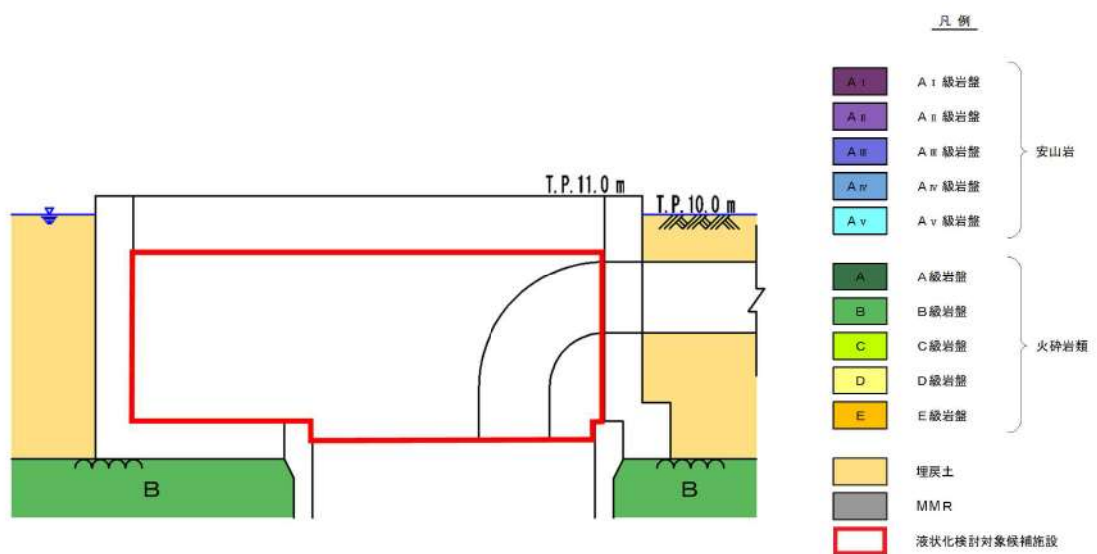


第 3.2-14 図 3 号炉取水ピットスクリーン室防水壁断面図



□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

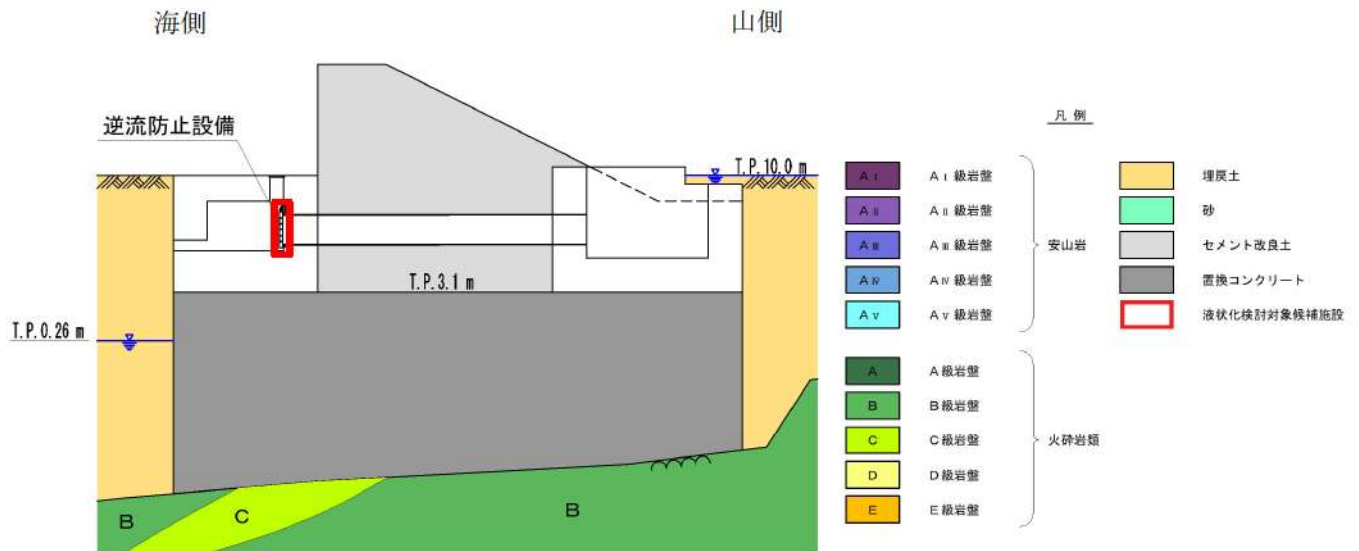


第 3.2-15 図 3号炉放水ピット流路縮小工断面図

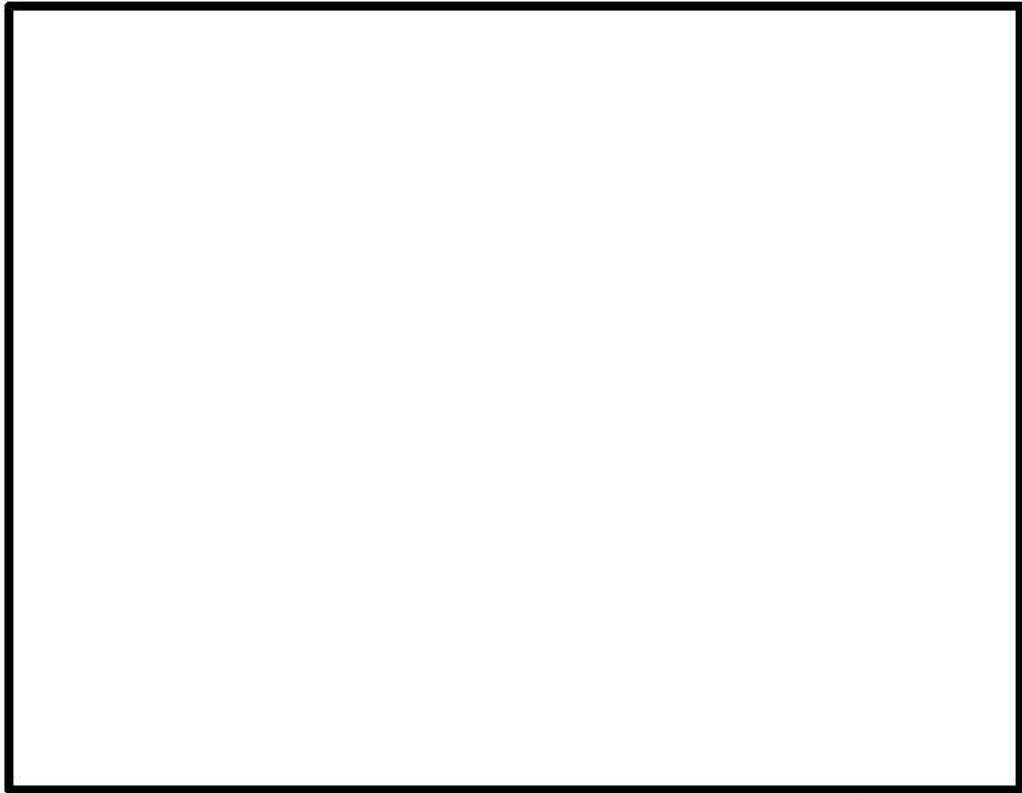


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

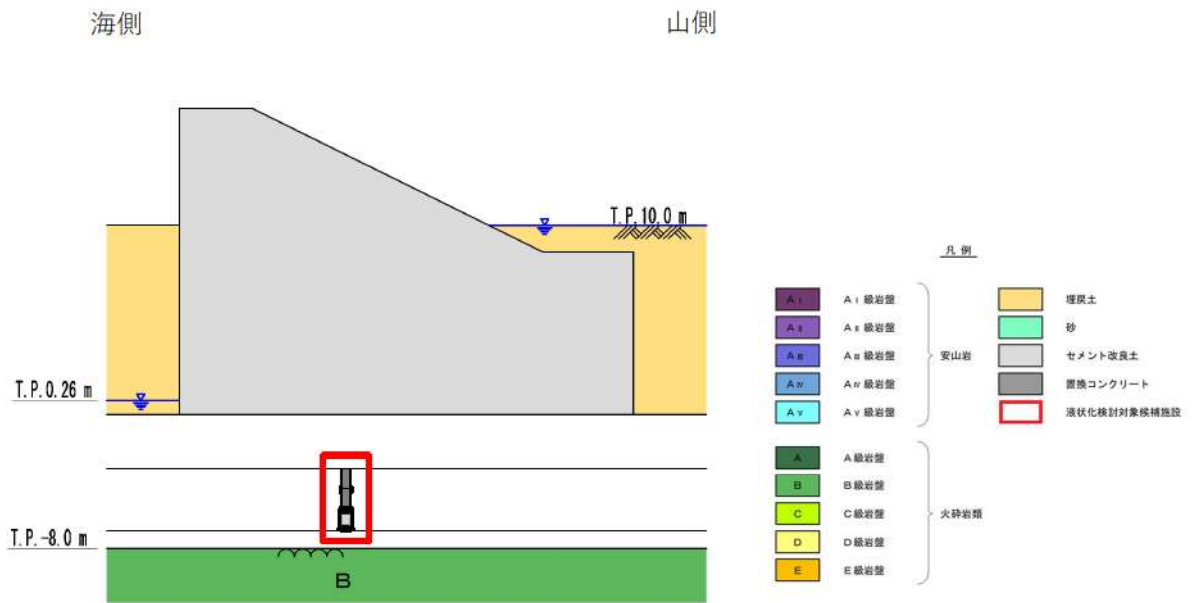


第 3. 2-16 図 屋外排水路逆流防止設備断面図

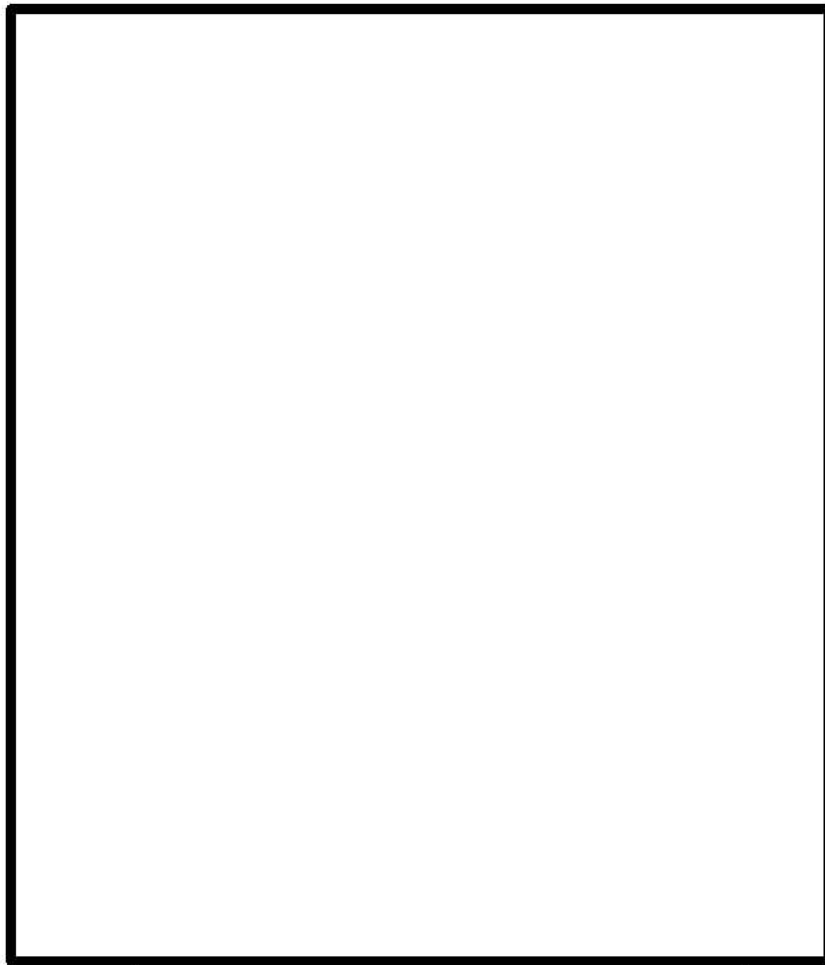


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

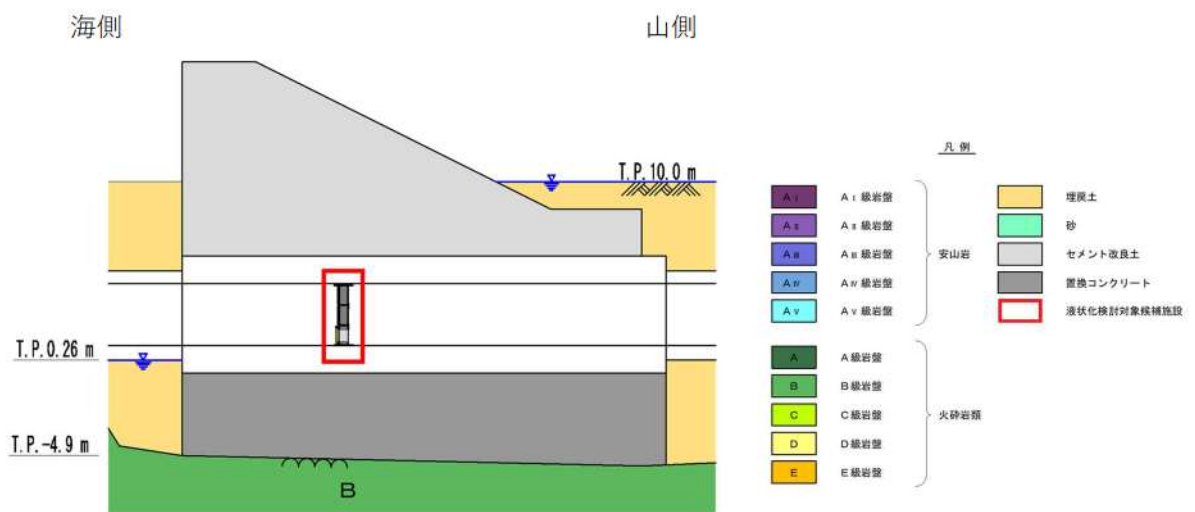


第 3.2-17 図 1 号及び 2 号炉取水路流路縮小工断面図

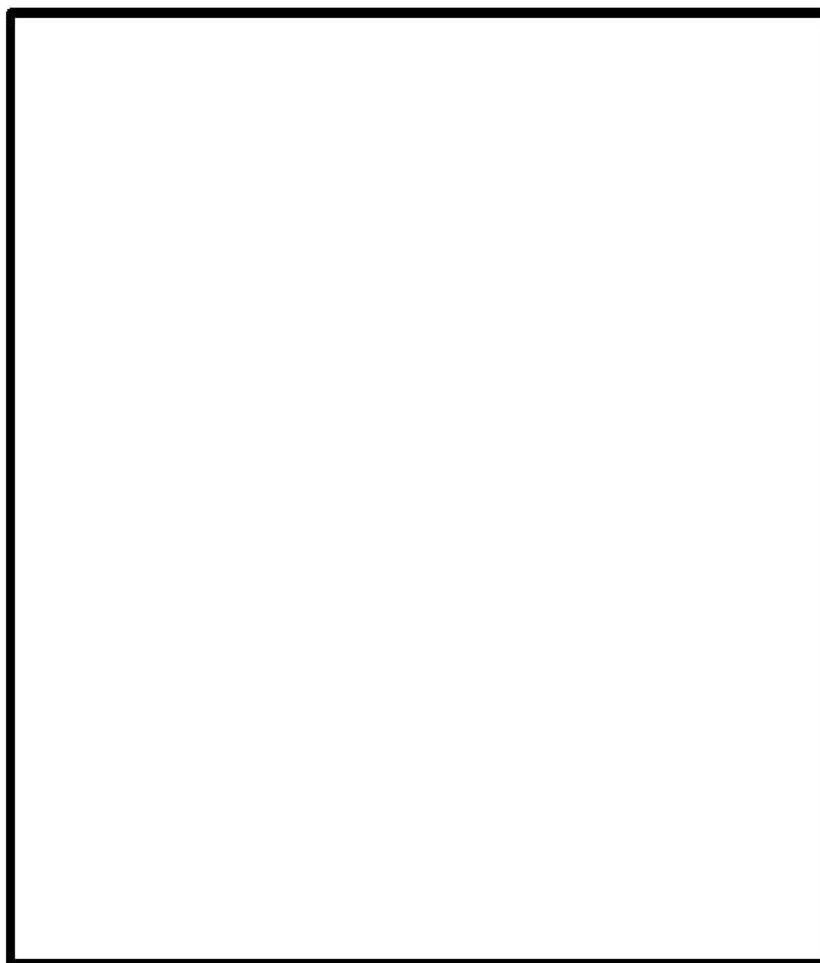


□:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図

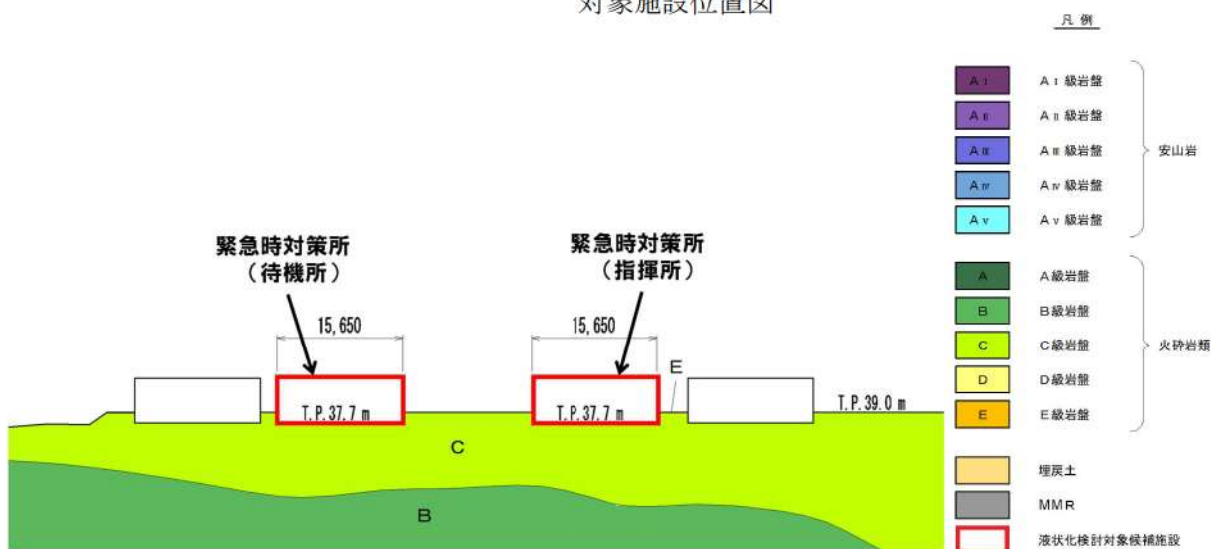


第 3.2-18 図 1 号及び 2 号炉放水路逆流防止設備断面図



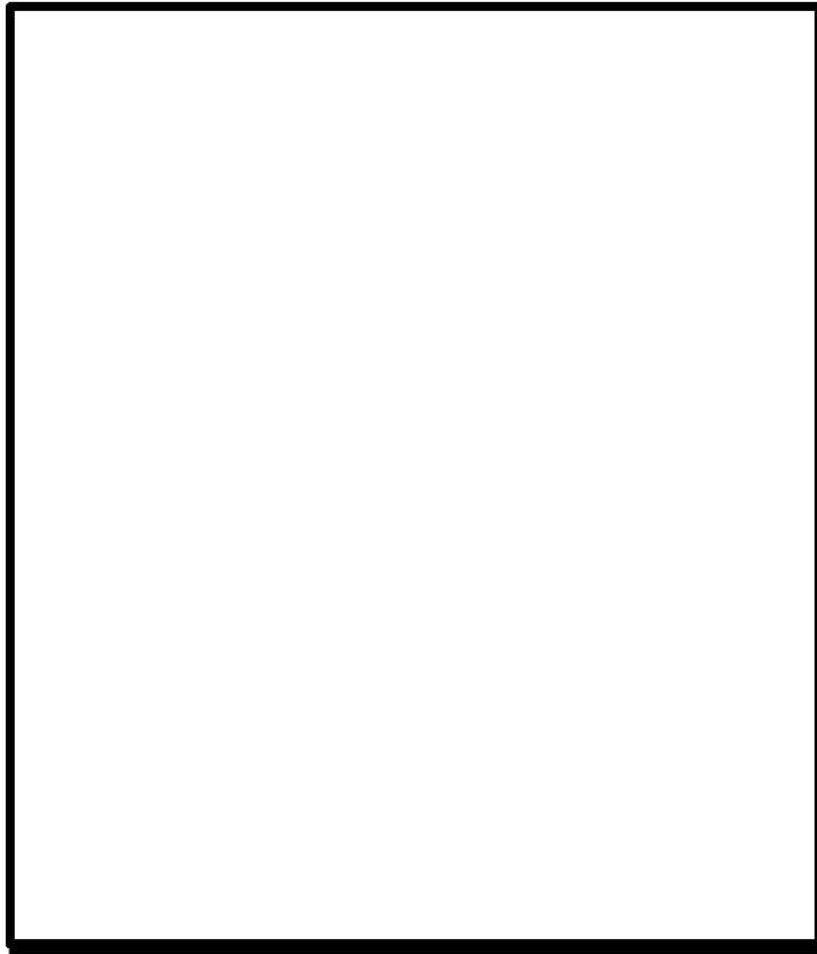
□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図



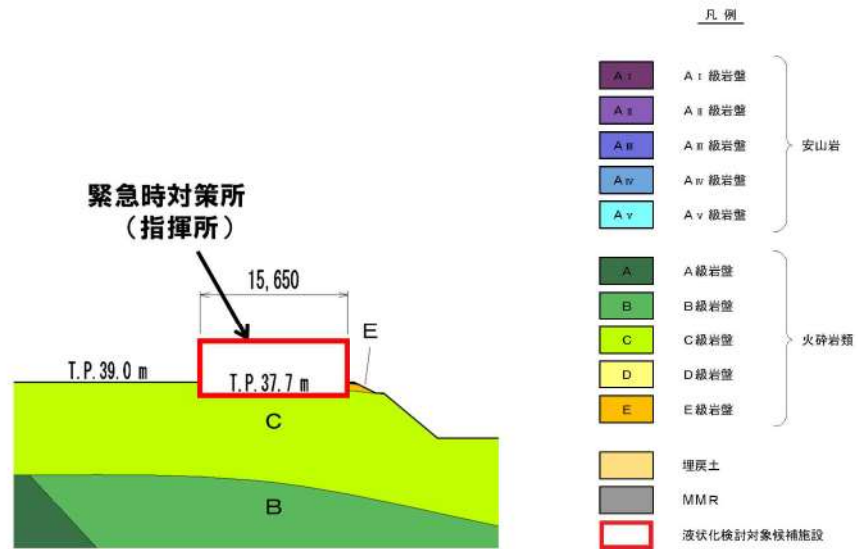
③緊急時対策所(指揮所, 待機所)断面図(③-③')

第 3.2-19 図(1/2) 緊急時対策所断面図



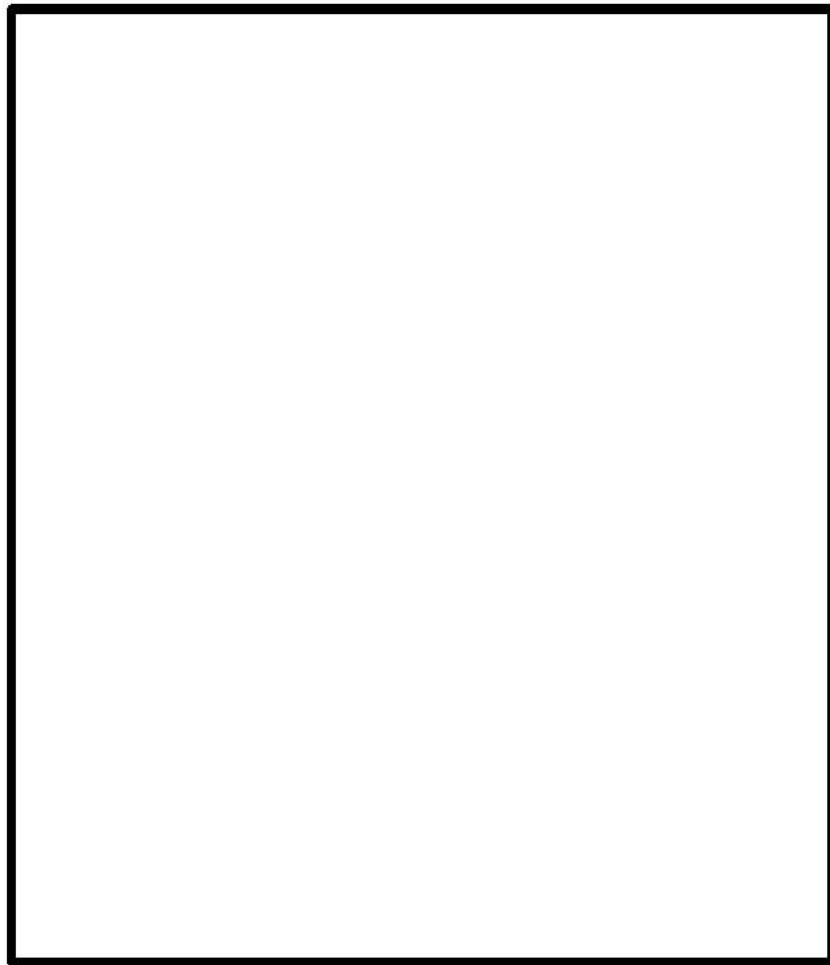
□:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図



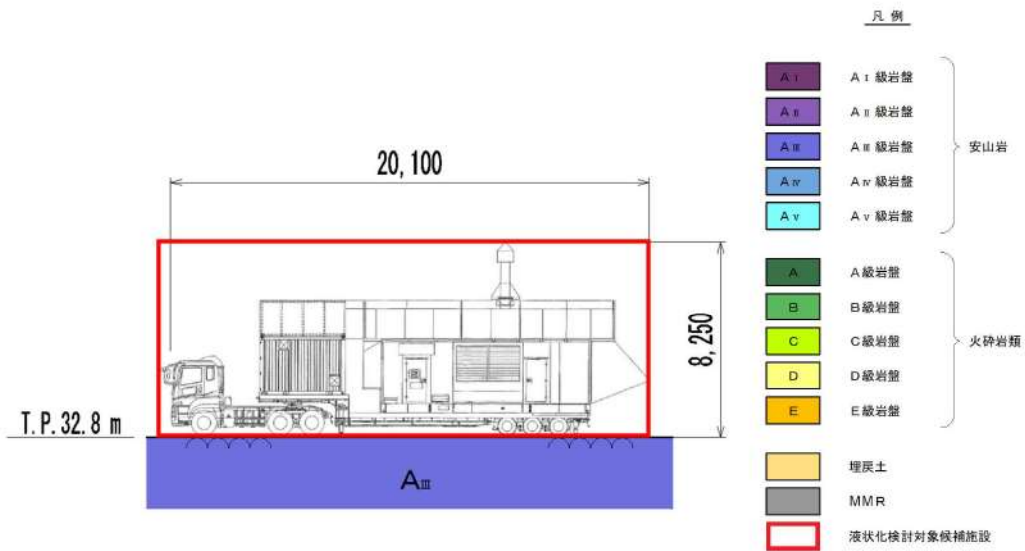
④緊急時対策所 (指揮所) 断面図 (④-④')

第 3.2-19 図 (2/2) 緊急時対策所断面図



□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

対象施設位置図



第 3.2-20 図 代替非常用発電機設置位置断面図

4. 液状化強度試験の試料採取位置選定とその代表性

4.1 試料採取位置の選定及び代表性確認の方針

液状化強度試験位置の代表性については、以下の方針に基づいて確認する。

- ・液状化強度試験の試料採取位置とその周辺で実施したボーリング調査位置(以下「周辺調査位置」という)の物理特性の比較により代表性を確認する。
- ・代表性確認の対象土層は、液状化検討対象層である 1,2 号埋戻土, 3 号埋戻土並びに As1 層及び As2 層とする。
- ・液状化強度試験の試料採取位置の代表性確認に当たっては、液状化検討対象施設の近傍及び埋戻しの施工時期が異なるエリアで試料採取をし、液状化強度試験を実施する。
- ・施設近傍の液状化強度試験の試料採取ができていないと判断される場合は、追加調査を計画する。
- ・代表性確認に用いる評価指標は、液状化強度と相関が高い指標を設定する。

4.2 試料採取位置の選定

敷地内に残存する液状化検討対象層(埋戻土・砂層)について、採取可能な試料採取位置の選定を行った。

埋戻土の液状化強度試験に用いる試料採取位置は、第 4.2-1 図～第 4.2-3 図に示すとおり、「ボーリングが実施可能であること」、「試料採取が可能な位置及び深度であること」を条件に、飽和した埋戻土が分布する範囲を網羅する 10 地点(1,2 号埋戻土)と 7 地点(3 号埋戻土)を選定した。供試体は 1,2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の地下水位前後からサンプリングしている。

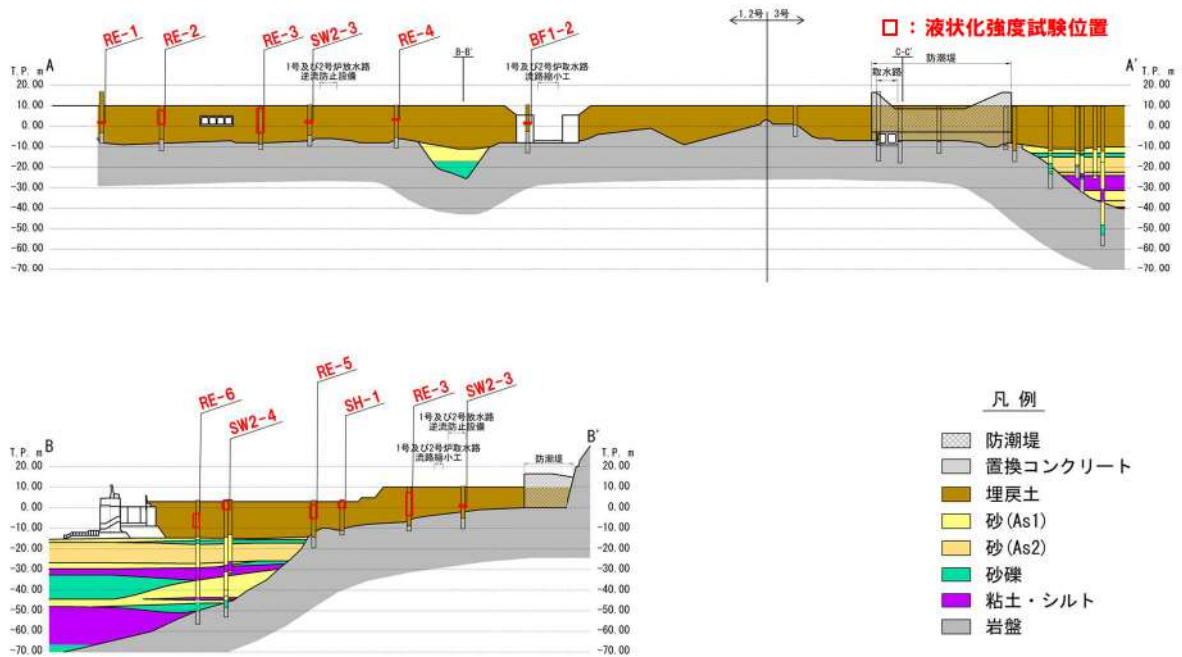
埋戻土及び砂層の周辺調査位置の物理特性に関する評価は添付資料 3 に示す。

砂層については、第 4.2-4 図及び第 4.2-5 図に示すとおり、「ボーリングが実施可能であること」、「試料採取が可能な位置及び深度であること」、「試料採取可能な層厚を有していること」を条件に、砂層が分布する範囲を網羅する 7 地点を選定した。

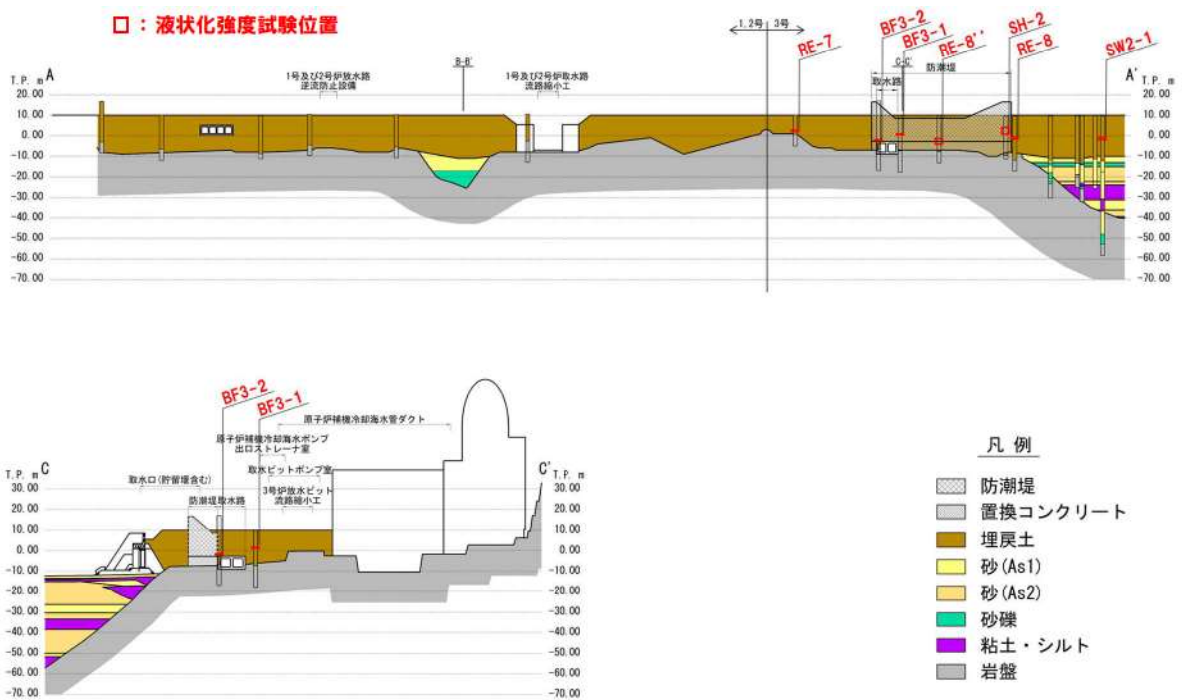


: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 4.2-1 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置平面図(埋戻土)



第 4.2-2 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置断面図(1, 2号埋戻土)

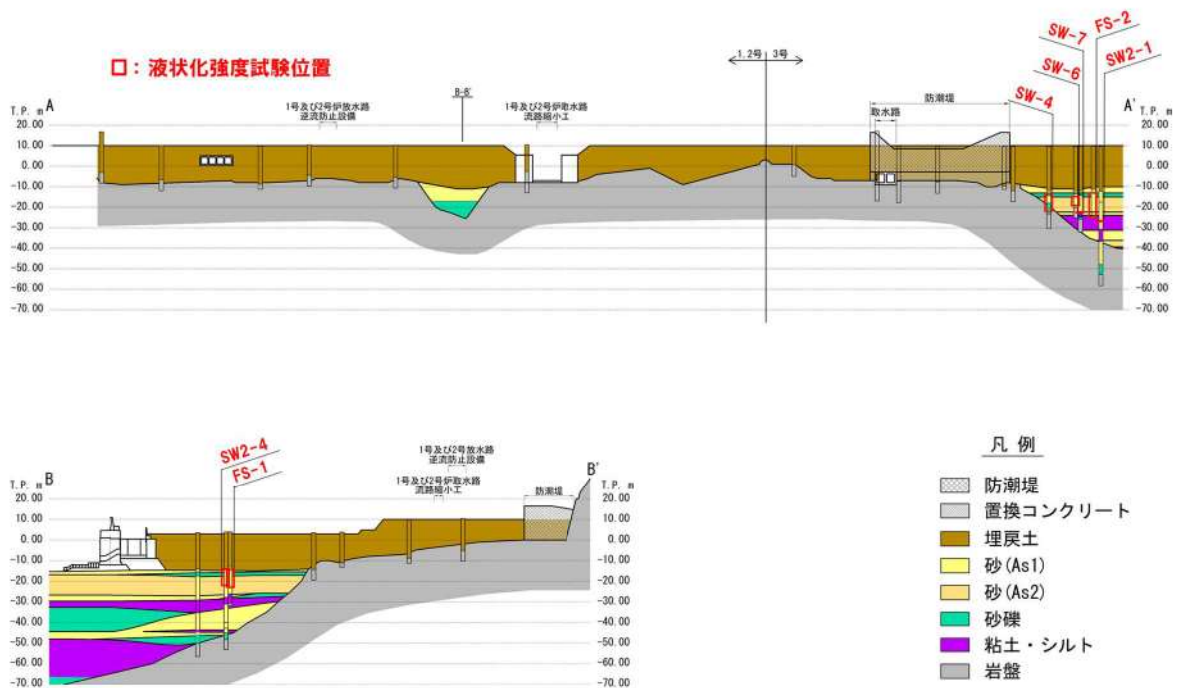


第 4.2-3 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置断面図(3号埋戻土)



□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 4.2-4 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置平面図(砂層)



第 4.2-5 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置断面図(砂層)

4.3 試料採取位置の代表性確認

選定した埋戻土と砂層の液状化試験試料の採取位置が発電所敷地内の液状化強度を代表できることを示す。

埋戻土及び砂層について、液状化強度比 R_L と相関性のある指標を抽出の上、液状化強度試験位置と敷地全体における指標の比較を行うことにより、その妥当性を確認した。

4.3.1 埋戻土の代表性確認

埋戻土については、建設時に発生した岩砕が主体であり、締固め管理して施工した地盤である。

埋戻土の液状化強度試験位置の代表性を確認することを目的として、液状化強度試験位置と敷地全体における指標を比較し検討を行った。

代表性確認において比較する指標として、本評価では液状化強度比 R_L と相関性のある(a)粒度分布、(b)細粒分含有率を選定し、せん断波速度を参考値扱いとして整理した。

なお、N値については、標準貫入試験用サンプラーの径を上回る礫が埋戻土に多く含まれているため、標準貫入試験では適正な評価が困難であることから、指標として適切ではないと判断した(詳細は添付資料4に示す。)

各指標の選定理由を以下に示す。また、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第4.2-1表に示す。

(a)粒度分布

粒径加積曲線から求められる粒度分布は、基本的な土の物性値であり、各基準類における液状化判定において平均粒径、10%粒径が用いられており、液状化強度比の相関が高いことから選定した。

(b)細粒分含有率

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 との相関が高いことから選定した。

(c)せん断波速度

せん断波速度は、一般的に液状化強度との相関があることが認められているものの、発電所敷地内の埋戻土においては、せん断波速度と液状化強度には明確な相関関係は認められないことから、せん断波速度を用いた代表性確認は参考値扱いとする(せん断波速度の代表性確認指標としての妥当性評価結果は添付資料-5、せん断波速度による代表性確認結果は添付資料10に示す)。

第 4.3-1 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	R_L 算定に用いる主物性	R_L 補正に用いる物性
道路橋示方書（V 耐震設計編）・同解説， （社）日本道路協会，平成 14 年 3 月	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），（社）日本港湾協会，2007（部 分改訂，2012）		
建築基礎構造設計指針，（社）日本建築学 会，2001		
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，2012		

(1) 1, 2号埋戻土の代表性確認

1, 2号埋戻土の液状化強度試験位置並びに周辺調査位置を第4.3-1図に示す。

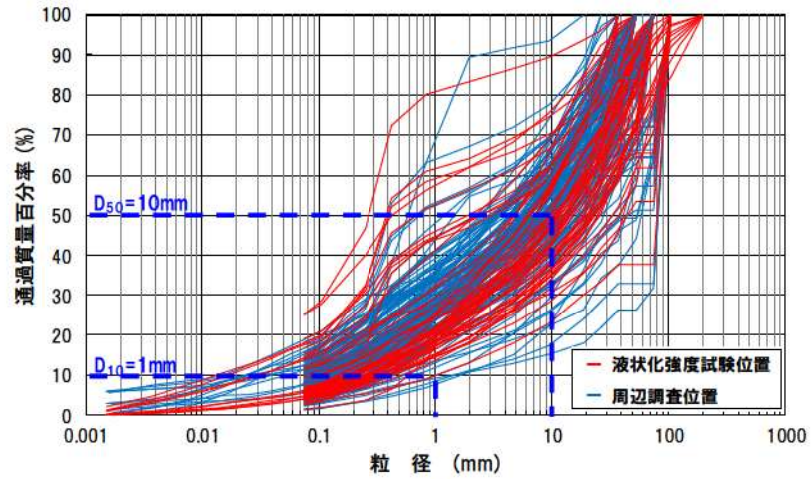
1, 2号埋戻土の液状化強度試験位置での各指標(粒度分布, 細粒分含有率)は, 周辺調査位置での指標と比較した結果, 以下に示すように同程度の範囲であるため, 1, 2号埋戻土の液状化強度試験位置は代表性があると考えられる(第4.3-2図)。

- ・液状化強度試験位置の粒度分布は, 礫質土及び砂質土の特性が認められるが, 液状化強度試験位置は礫質土及び砂質土ともに概ね粒度試験結果全体の範囲にある。
- ・液状化強度試験位置の細粒分含有率は, 概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

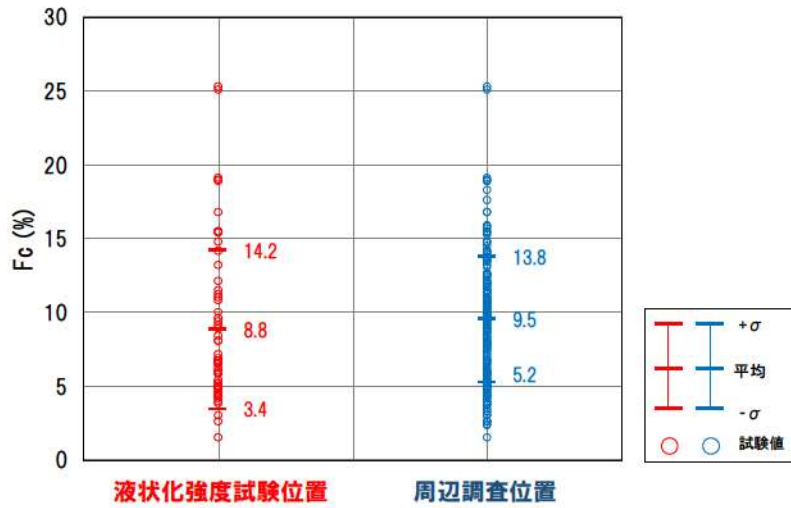


: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第4.3-1図 液状化強度試験位置並びに周辺調査位置(1, 2号埋戻土)



(a) 粒度分布



(b) 細粒分含有率

第 4.3-2 図 液化強度試験位置の基本物性の比較(1, 2 号埋戻土)

(2) 3号埋戻土の代表性確認

3号埋戻土の液状化強度試験位置並びに周辺調査位置を第4.3-3図に示す。

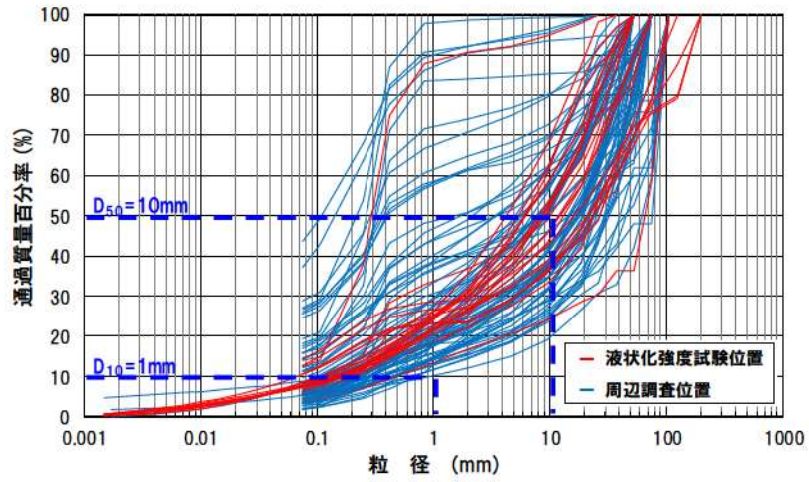
3号埋戻土の液状化強度試験位置での各指標(粒度分布, 細粒分含有率)は, 周辺調査位置での指標と比較した結果, 以下に示すように同程度の範囲であるため, 3号埋戻土の液状化強度試験位置には代表性があると考えられる(第4.3-4図)。

- ・液状化強度試験位置の粒度分布は, 礫質土及び砂質土の特性が認められるが, 液状化強度試験位置は礫質土及び砂質土ともに概ね粒度試験結果全体の範囲にある。
- ・液状化強度試験位置の細粒分含有率は, 概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

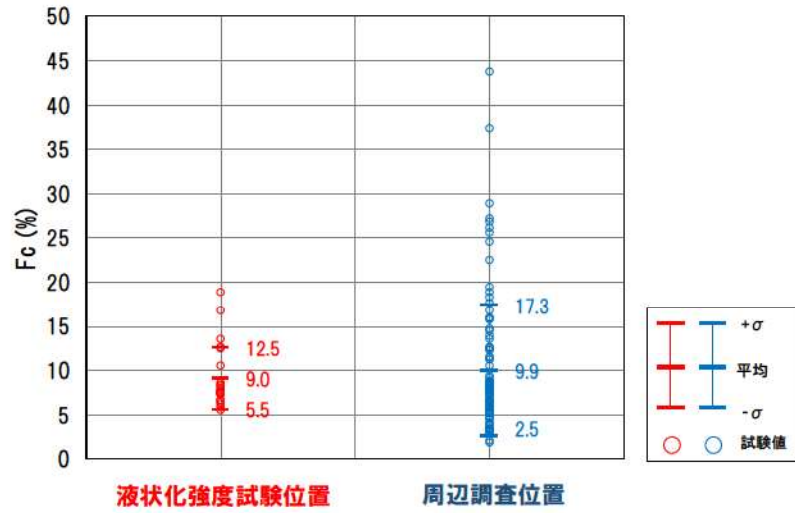


:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第4.3-3図 液状化強度試験位置並びに周辺調査位置(3号埋戻土)



(a) 粒度分布



(b) 細粒分含有率

第 4.3-4 図 液化強度試験位置の基本物性の比較(3号埋戻土)

4.3.2 砂層の代表性確認

砂層の液状化強度試験位置の代表性を確認することを目的として、液状化強度試験位置と敷地全体における指標を比較し検討を行った。

代表性確認において比較する指標として、(a)粒度分布、(b)細粒分含有率、(c)N値を選定した。

なお、各種試験は、JISに基づき実施した。

各指標の選定理由を以下に示す。

(a)粒度分布

粒径加積曲線から求められる粒度分布は、基本的な土の物性値であり、各基準類における液状化判定において平均粒径、10%粒径が用いられており、液状化強度比との相関が高いことから選定した。

(b)細粒分含有率

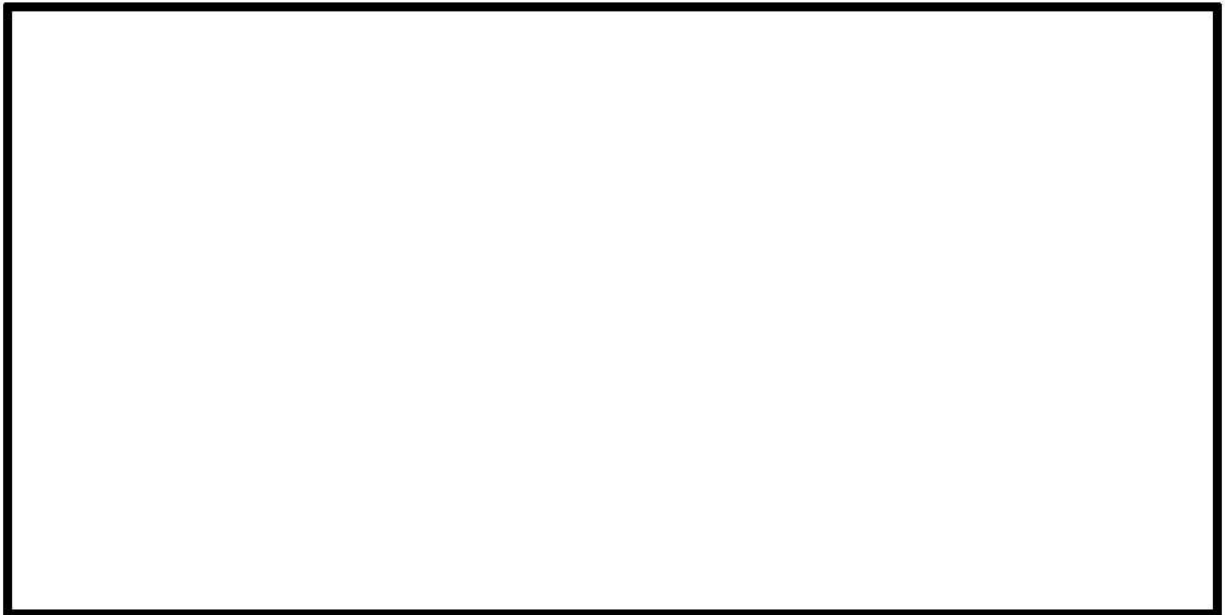
細粒分含有率は、各基準類の液状化判定における液状化強度比 R_L の算定式において、液状化強度比 R_L を補正するパラメータとして用いられており、液状化強度比 R_L との相関が高いことから選定した。

(c)N値

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、有効応力解析コード(FLIP)の簡易パラメータ設定法にN値が用いられており、液状化強度比との相関が高いことから選定した。

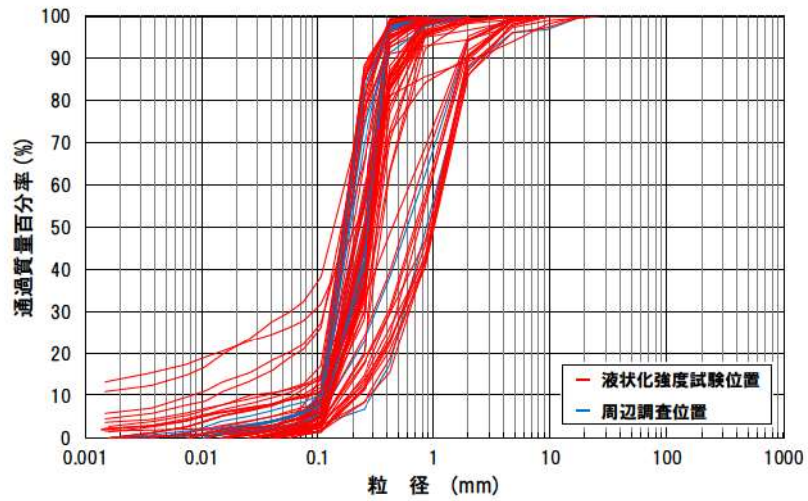
砂層の液状化強度試験位置並びに周辺調査位置を第 4.3-5 図に示す。砂層の液状化強度試験位置での各指標(粒度分布, 細粒分含有率及びN 値)は, 周辺調査位置での指標と比較した結果, 同程度の範囲であるため, 砂層の液状化強度試験位置には代表性があると考えられる(第 4.3-6 図, 第 4.3-7 図)。

- ・液状化強度試験位置の粒度分布は, 概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。
- ・液状化強度試験位置の細粒分含有率は, 概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。
- ・液状化強度試験位置の N 値は, 概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

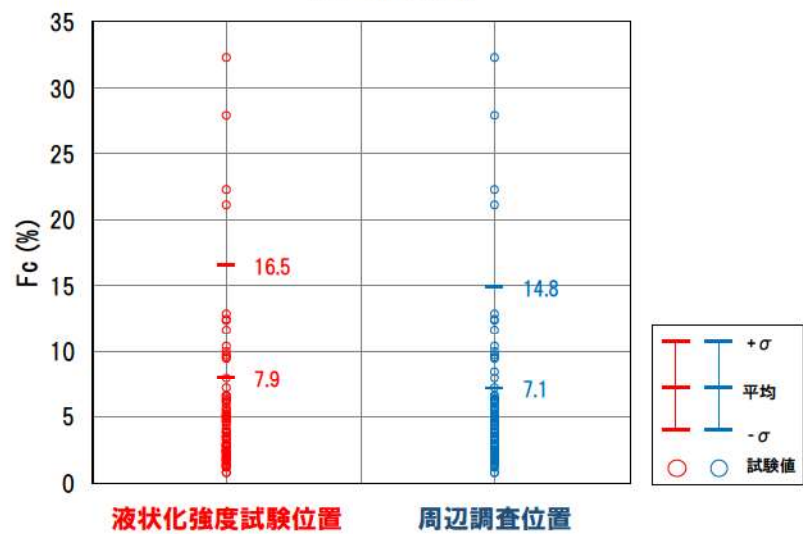


: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

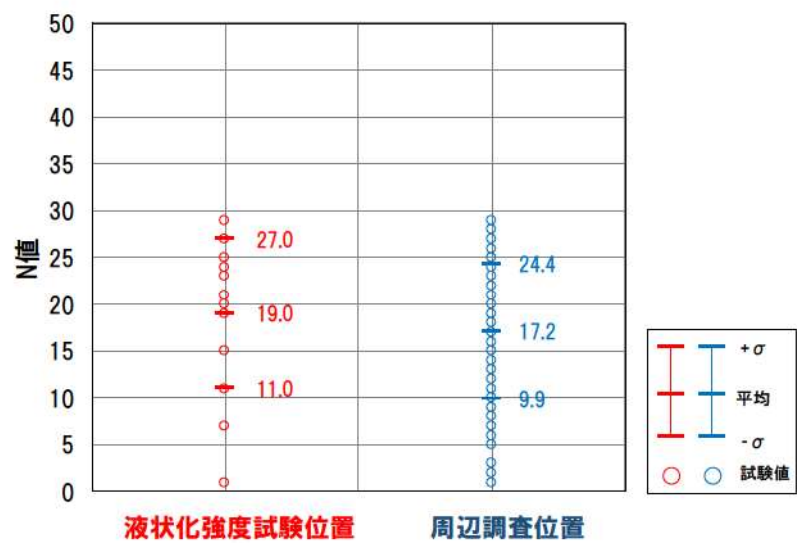
第 4.3-5 図 液状化強度試験位置並びに周辺調査位置(砂層)



(a) 粒度分布

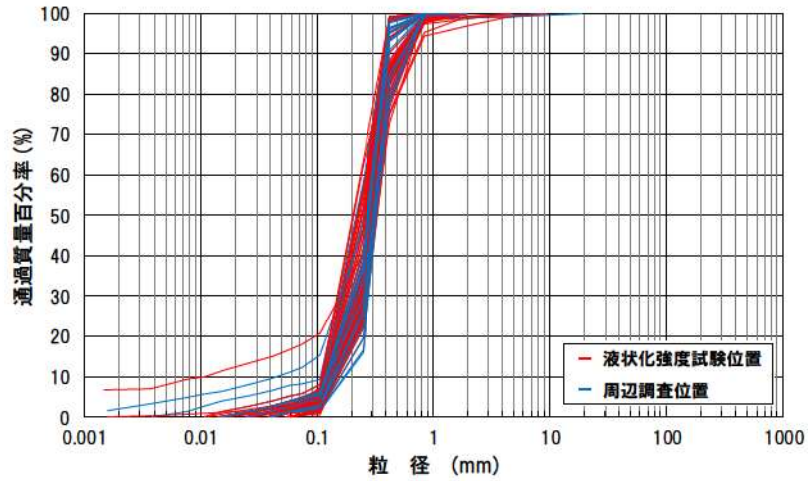


(b) 細粒分含有率

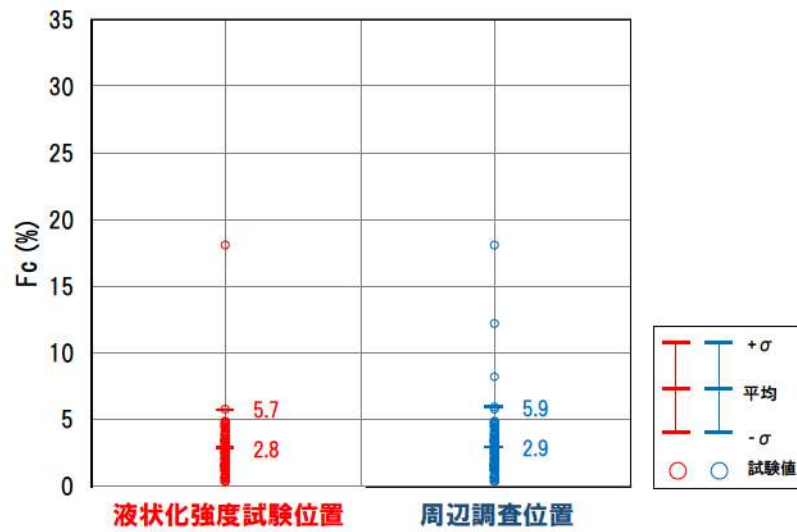


(c) N値

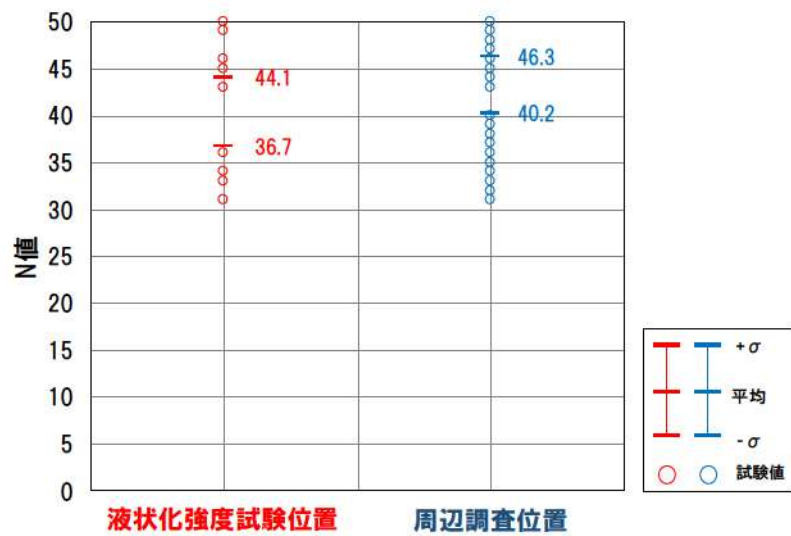
第 4.3-6 図 液化強度試験位置の基本物性の比較 (As1 層)



(a) 粒度分布



(b) 細粒分含有率



(c) N値

第 4.3-7 図 液化強度試験位置の基本物性の比較 (As2 層)

4.3.3 試料採取位置の代表性のまとめ

埋戻土及び砂層の液状化強度試験の試料採取位置の代表性について確認を行った結果、以下のとおり埋戻土及び砂層の液状化試験位置は敷地に対して代表性を有していると評価した。

なお、埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置については、設工認において、代表性確認指標として相対密度を用いた代表性確認を追加するとともに、設置許可段階における粒度分布と細粒分含有率による代表性確認結果の妥当性の確認を行う。

①埋戻土

【粒度分布】

液状化強度試験位置の粒度分布は、礫質土及び砂質土の特性が認められるが、液状化強度試験位置は礫質土及び砂質土ともに概ね粒度試験結果全体の範囲にある。

【細粒分含有率】

液状化強度試験位置の細粒分含有率は、概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

②砂層

【粒度分布】

液状化強度試験位置の粒度分布は、概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

【細粒分含有率】

液状化強度試験位置の細粒分含有率は、概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

【N値】

液状化強度試験位置のN値は、概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

4.4 追加調査位置

液状化検討対象施設近傍の液状化強度試験の試料採取ができていないと判断される場合、追加調査を実施するものとし、追加調査の候補位置の選定では、液状化検討対象施設の配置や施工時期の違いを踏まえて調査位置を選定する。

既往の液状化強度試験の試料採取位置は第 4.4-1 図に示すとおりである。



: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 4.4-1 図 既往の液状化強度試験の試料採取位置及び液状化検討対象施設

4.4.1 追加の液状化強度試験の必要性

液状化検討対象施設近傍の液状化強度試験の実施状況を確認し、追加調査を実施する施設と追加調査候補位置を第4.4-1表に整理した。

現状で既に液状化強度試験を実施している施設は追加調査は不要とし、施設近傍で液状化強度試験が実施されていない施設及び防潮堤等で施設延長が長く埋戻施工の時期が異なる範囲が存在する施設についてはデータ拡充を目的とした追加調査が必要であると判断した。

液状化検討対象施設等の近傍において、データ拡充を目的として10地点を追加調査の候補位置として選定した。

第4.4-1表 液状化検討対象施設近傍の既往の試料採取位置と追加調査候補位置

施設名称	施設近傍の液状化強度試験	追加の液状化強度試験の必要性検討	追加調査候補位置
取水口(貯留堰を含む)	—	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	①
取水路	BF3-2	対象施設近傍で液状化強度試験を実施しているため不要。	—
取水ピットスクリーン室 3号炉取水ピットスクリーン室防水壁	BF3-1	対象施設近傍で液状化強度試験を実施しているため不要。	—
取水ピットポンプ室	—	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	②
原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレナ室	—	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	②
原子炉補機冷却海水管ダクト	—	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	③, ④
B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽 トレンチ	—	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑤
1, 2号埋戻土近傍の防潮堤	SW2-3, RE-4	対象施設近傍で液状化強度試験を実施しているが、1, 2号埋戻土の施工時期が異なる範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑥, ⑦
3号埋戻土近傍の防潮堤	BF3-2, RE-8, RE-8", SH-2, RE-7, BF3-1	対象施設近傍で液状化強度試験を実施しているが、3号埋戻土の施工時期が異なる範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑧
3号炉放水ピット流路縮小工	—	対象施設建設時(3号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑨
屋外排水路逆流防止設備	RE-4, RE-7	1号炉系統及び3号炉系統の近傍で液状化強度試験を実施しているが、2号炉系統近傍に対し、1, 2号埋戻土の施工時期が既に試験を実施している箇所と異なる範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑦
1号及び2号炉取水路流路縮小工	—	対象施設建設時(1, 2号機建設時)の施工範囲において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑥
1号及び2号炉放水路逆流防止設備	SW2-3	対象施設近傍で液状化強度試験を実施しているため不要。	—
アクセスルートのうち盛土構造による 道路部	—	対象施設直下において、データ拡充を目的とした追加が必要。	⑩

①～⑩: 追加の液状化強度試験を必要と判断した施設

4.4.2 追加調査位置

追加調査を実施する液状化検討対象施設及び追加調査候補位置を第 4.4-2 図に示す。

なお、追加調査候補位置として選定した 10 地点の試料採取位置は、液状化検討対象施設の近傍、かつ採取可能な箇所を基本としている。

また、埋戻土の相対密度を用いた代表性確認を行うため、相対密度の追加調査を実施する。



: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 4.4-2 図 追加調査候補位置

5. 液状化強度試験結果と液状化強度特性の設定

5.1 液状化強度試験方法

埋戻土及び砂層に対し、地盤工学会が定める「土の繰返し非排水三軸試験方法(JGS0541)」及び「土の変形特性を求めるための中空ねじりせん断試験方法(JGS0543)」に基づき試験を実施する。試料採取は、試料の乱れを抑制するためにゲルプッシュ・サンプリングやトリプルチューブサンプリング、凍結サンプリングにより実施した。

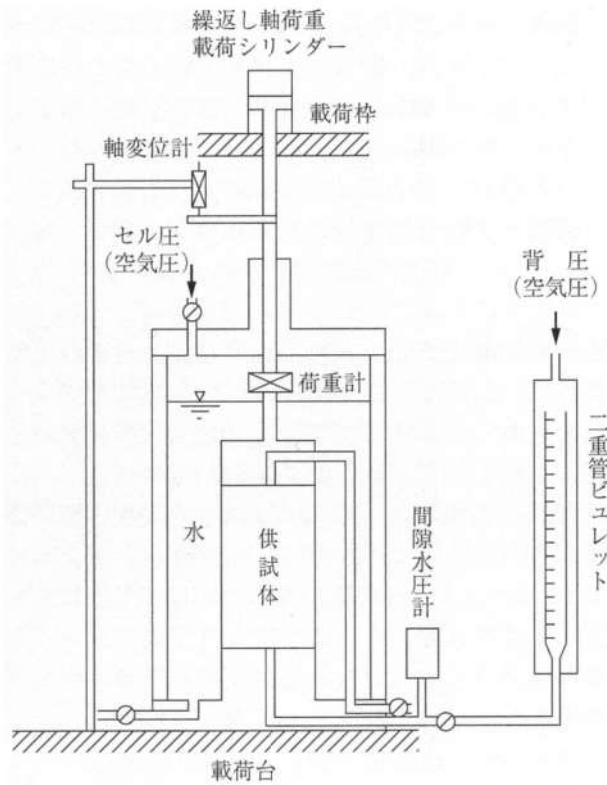
繰返し非排水三軸試験装置及び中空ねじりせん断試験装置の概要を第 5.1-1 図、第 5.1-2 図に示す。

【埋戻土】

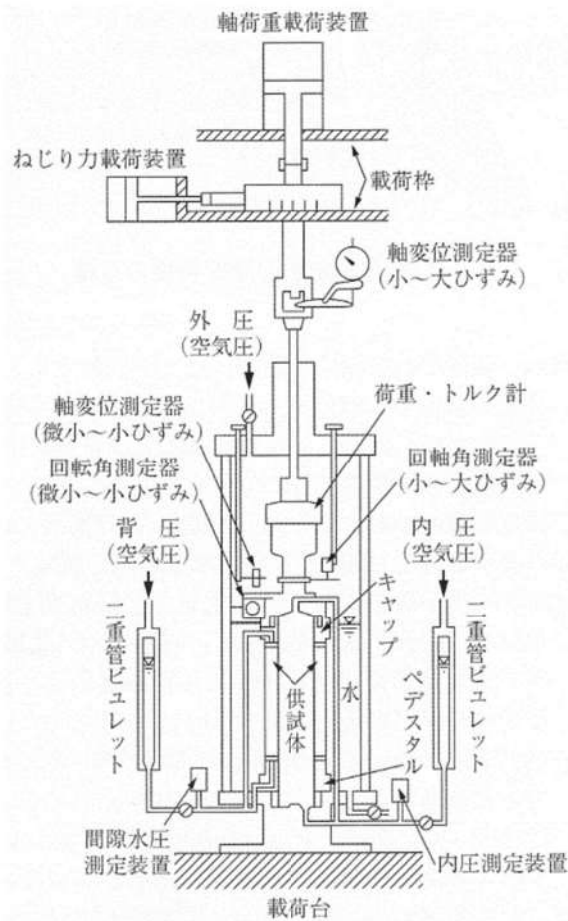
- ・液状化強度試験方法：繰返し非排水三軸試験
- ・試料採取方法：GP サンプリング
- ・供試体寸法：①直径 100mm, 高さ 200mm ②直径 300mm, 高さ 600mm
- ・載荷波形：正弦波(0.1Hz)
- ・圧密応力：200kPa(供試体採取深度の有効上載圧を考慮して設定)
- ・その他：地盤工学会(2009)地盤材料試験の方法と解説に基づき、繰返し回数 200 回を上限として、両振幅軸ひずみ 10%に達するまで試験を実施。せん断応力比を 0.200～0.908 の間で設定。

【砂層】

- ・液状化強度試験方法：繰返し非排水三軸試験、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験
- ・試料採取方法：GP サンプリング、トリプルチューブサンプリング、凍結サンプリング
- ・供試体寸法：(三軸)直径 50mm, 高さ 100mm(ねじり)外径 70mm, 内径 30mm, 高さ 100mm
- ・載荷波形：正弦波(0.1Hz, 0.2Hz)
- ・圧密応力：190～450kPa(供試体採取深度の有効上載圧を考慮して設定)
- ・その他：地盤工学会(2009)地盤材料試験の方法と解説に基づき、繰返し回数 200 回を上限として、両振幅軸ひずみ 10%(ねじりせん断試験は両振幅せん断ひずみ 15%)に達するまで試験を実施。せん断応力比を 0.152～0.686 の間で設定。



第 5. 1-1 図 繰返し非排水三軸試験装置の概要



第 5. 1-2 図 中空ねじりせん断試験装置の概要

5.2 液状化強度試験結果の分類に対する基本的考え方

泊発電所の敷地地盤は掘削岩砕を埋め戻して造成しており、液状化に対する抵抗性が比較的高いと考えられる。

また、砂層のうち特にAs2層についてはN値が30以上と比較的大きい。

以上から泊発電所の液状化検討対象層は液状化によって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「ゆるい砂」や「埋立地盤」とは異なり、ひずみの増大に伴って体積膨張を起し、ある程度の剛性と強度を回復する「ねばり」をもった挙動をされると考えられる。

そこで、泊発電所の液状化検討対象層が地震時にどのような挙動をするかを把握する目的で、液状化強度試験結果を「液状化」、「繰返し軟化(サイクリックモビリティを含む)」、「非液状化」に分類した。

液状化強度試験結果は、「①間隙水圧が上昇・蓄積する。(過剰間隙水圧比 95%を超える。）」、「②有効応力がゼロまで低下する。」、「③液体状となり流動する。(ひずみが急増する。）」、「④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。）」の4項目に該当するかどうかを判定し、第5.2-1表に基づいて分類する。

第5.2-1表 液状化強度試験結果の判定項目と分類

○：該当する
×：該当しない

判定項目 ^{※1}	液状化	繰返し軟化		非液状化
			サイクリックモビリティ	
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○	○	○	×
② 有効応力がゼロまで低下する。	○	×	○	×
③ 液体状となり流動する。 (ひずみが急増する。)	○	×	×	×
④ 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。)	×	○	○	○ or × ^{※2}

※1 土木学会地震工学委員会の定義に基づき判定項目を策定したが、液状化強度試験の結果に対して判定できるよう、括弧内の判断項目を補足した。

※2 項目の判定はするものの、「非液状化」の分類に影響は及ぼさない。

なお、液状化強度試験結果は以下に示すとおり、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」活動成果報告書を参考に分類した。

【土木学会地震工学委員会(2003)の報告書より】

(狭義の)液状化

地震の繰返しせん断力等によって、飽和した砂や砂礫等の緩い非粘性土からなる地盤内で間隙水圧が上昇・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」ともなう現象、又は「流動ポテンシャル」をもった地盤となる現象。

広義の液状化

緩い砂地盤や砂礫地盤に限定せず、密な砂地盤や密な砂礫地盤さらに粘性土地盤でも地震等を含む種々の外力によって有効応力が低下し、地盤の強度又は剛性の低下により有害な沈下や変形等が起こる現象。一般に飽和地盤が多いが、不飽和地盤においても起こる類似の現象(ただし、そのメカニズムは必ずしも解明されていない)も含むものとする。

繰返し軟化

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

サイクリック・モビリティ

繰返し載荷において土が「繰返し軟化」する過程で、限られたひずみ範囲ではせん断抵抗が小さくなっても、ひずみが大きく成長しようとする時、正のダイレイタンスー特性のためにせん断抵抗が急激に作用し、せん断ひずみの成長に歯止めがかかる現象。主に、密な砂や礫質土、過圧密粘土のように正のダイレイタンスー特性が著しい土において顕著に現れる。



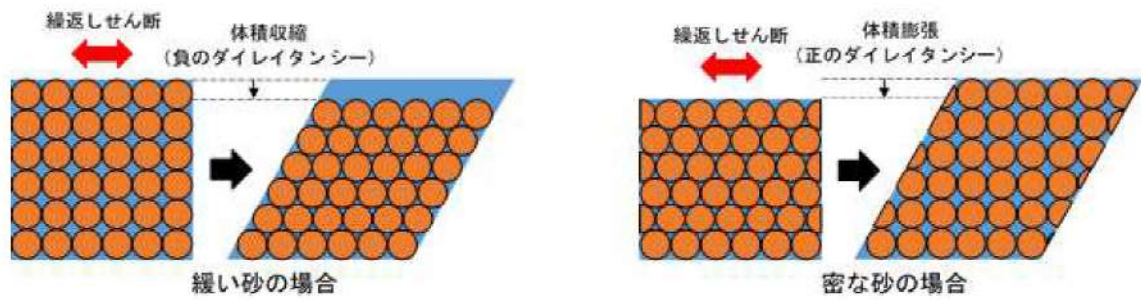
第 5.2-1 図 液状化に関連する言葉の定義
(土木学会地震工学委員会(2003)の報告書より引用)

既往文献による液状化に関する記述を第 5. 2-2 表に示す。

第 5. 2-2 表 既往文献による液状化に関する記述

文献	液状化に関する記載内容(抜粋)
土質工学用語辞典 (1985)	間隙水圧が上昇して有効応力が減少する結果, 飽和砂質土がせん断強さを失うことを液状化という。
地盤工学会(2006)	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をサイクリックモビリティといい, 液状化とは区別して用いられることがある。
安田(1991)	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。
石原(2017)	間隙水圧は徐々に上昇しているが, 最終的にこれが初期の拘束圧力 σ'_{v0} に等しくなっている時点が厳密な意味で液状化の発生ということになる。 砂質土は, その密度や細粒分の含有率によって同じ振幅の繰返し軸荷重を加えても, 間隙水圧の上昇そして軸ひずみ発生の様相が多少変わってくる。 細粒分が多い場合, 軸ひずみは増大しても間隙水圧は100%上昇しないことが多い。しかし, 土は著しく軟化し, 繰返し強度が低下しているため, 実用上この場合も液状化とみなすことが多い。本来は“繰返し軟化”というべき。
井合(2008)	密な砂地盤が繰返しせん断を受け, 過剰間隙水圧の増加に伴って, せん断ひずみ振幅が徐々に増大する現象である。 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。
吉見(1991)	ゆるい砂の液状化と異なる点は, 密な砂では, せん断ひずみがある限度を超えると, せん断によって体積が膨張しようとする傾向(正のダイレイタンス)が現れるので, 非排水条件のもとでは, せん断ひずみが大きくなると間隙水圧が減少し, したがって有効応力が回復することである。 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。 密な砂では, ゆるい砂でみられるような破局的なクイックサンドは起こらず, 有限なひずみ振幅を持つせん断変形が繰り返されるにすぎない。

なお、地盤のダイレイタンシー特性の概要を第 5.2-2 図に示す。



第 5.2-2 図 地盤のダイレイタンシー特性の概要

液状化となる試験結果の例を第 5.2-3 図に、繰返し軟化(サイクリックモビリティ)となる試験結果の例を第 5.2-4 図に示す。

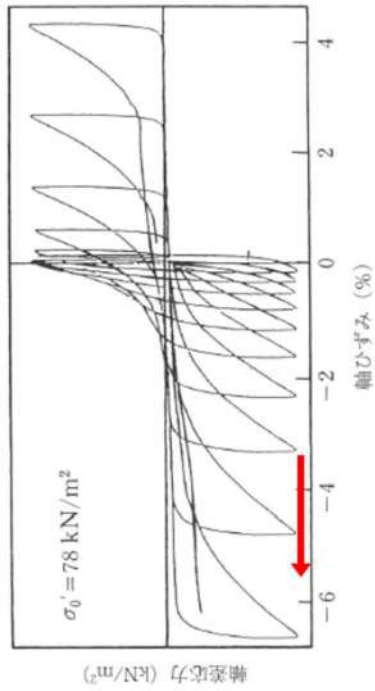
液状化に分類される事例

試験結果		液状化の判断
①	間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○
②	有効応力がゼロまで低下する。	○
③	液体状となり流動する。 (ひずみが増加する。)	○
④	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。)	×

※1 地盤工学会 (2009) : 地盤材料試験の方法と解説

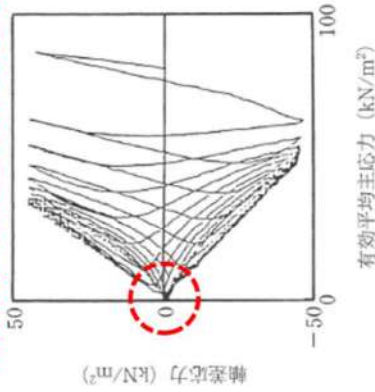
※2 井合 (2008) : サイクリックモビリティ, 地盤工学会誌

ひずみが急増大し、脆性的な破壊が生じる。



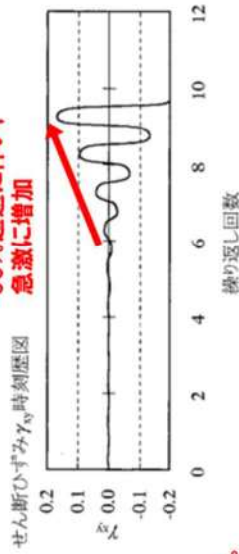
③④ 軸差応力-軸ひずみ関係※1

有効応力がゼロになり、液体状になる。



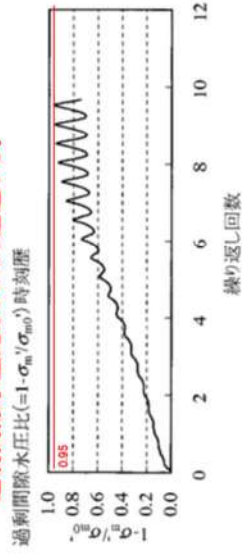
② 有効応力経路※1

せん断ひずみ γ_y 時刻履歴図
過剰間隙水圧比の
95%超過に伴い、
急激に増加



③④ せん断ひずみ-繰返し回数関係※2

過剰間隙水圧比は95%を超過する。



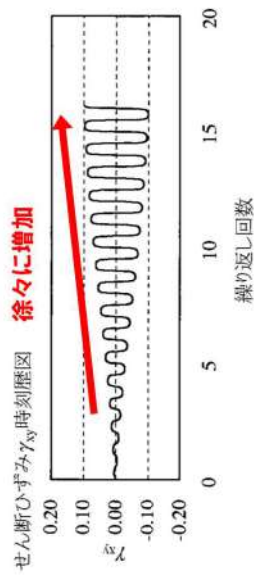
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係※2

繰返し軟化(サイクリックモビリティ)に分類される事例

試験結果	液状化の判断
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○
② 有効応力がゼロまで低下する。	○
③ 液体状となり流動する。 (ひずみが増加する。)	×
④ 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。)	○

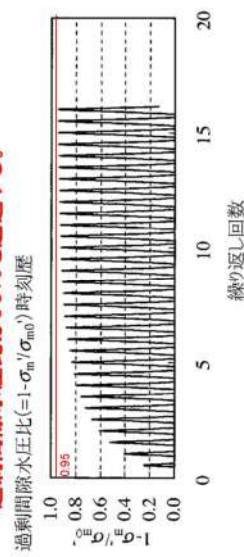
※1 地盤工学会(2009):地盤材料試験の方法と解説

※2 井合(2008):サイクリックモビリティ, 地盤工学会誌



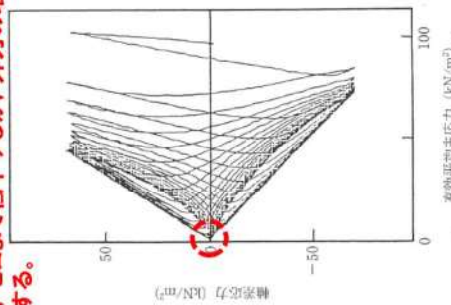
③④ せん断ひずみ-繰返し回数関係

過剰間隙水圧比は95%を超える。

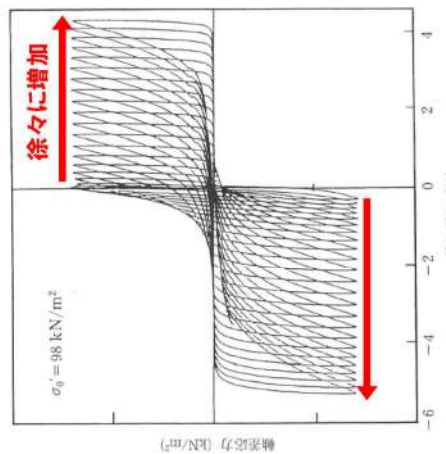


① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

一時的に、ゼロまで低下するが、外力の増加とともに回復する。



② 有効応力経路



③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

第 5.2-4 図 繰返し軟化(サイクリックモビリティ)に分類される事例

5.3 液状化強度試験結果

埋戻土及び砂層の液状化強度試験箇所平面図を第 5.3-1 図, 第 5.3-2 図に示す。



: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 5.3-1 図 液状化強度試験箇所平面図(埋戻土)



: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 5.3-2 図 液状化強度試験箇所平面図(砂層)

5.3.1 埋戻土の液状化強度試験結果

1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土に対する液状化強度試験の試験ケース，試験結果を第 5.3-1 表，第 5.3-2 表に示す。

なお，各試験ケースの個別データについては，添付資料 1 液状化強度試験結果データ集に示す。

埋戻土の液状化強度試験の結果は，すべての試験ケース(81 ケース)において，有効応力がゼロとなり液体状になるケースは無かった。また，繰返し载荷に伴い，ひずみは徐々に大きくなるが，急には増大せず，脆性的な破壊は生じなかった。繰返し载荷に伴い過剰間隙水圧が蓄積する傾向は見られたものの，せん断応力の作用によって有効応力は回復した。また，過剰間隙水圧比は，95%を超過しないケースと超過するケースが確認された。

埋戻土に対する液状化強度試験の結果は，多くのケースが「繰返し軟化」に分類されることから，液体状となり支持力を完全に喪失するような事象は発生せず，ひずみが漸増するねばり強い挙動を示すことを確認した。

埋戻土の液状化強度試験結果の代表例として，RE-3(2) 試料の供試体 No. 7 及び RE-7 試料の供試体 No. 21 の試験結果を第 5.3-3 図，第 5.3-4 図に示す。

RE-3(2) 試料の No. 7 供試体は，有効応力がゼロになることはなく，地盤が支持力を失い液状化するような事象は発生しなかった。繰返し荷重により，ひずみは漸増するものの，急に増大することはない，脆性的な破壊は生じていないと考えられる。また，過剰間隙水圧は 95%を超過せず，せん断応力作用時には正のダイレイタンシーの効果により，過剰間隙水圧は低下し，有効応力が回復していることから非液状化と判断される。

RE-7 試料の No. 21 供試体は，有効応力がゼロになることはなく，地盤が支持力を失い液状化するような事象は発生しなかった。繰返し荷重により，ひずみは漸増するものの，急に増大することはない，脆性的な破壊は生じていないと考えられる。また，過剰間隙水圧は 95%を超過するものの，頭打ちとなり 100%に達しない。せん断応力作用時には正のダイレイタンシーの効果により，過剰間隙水圧は低下し，有効応力が回復していることから繰返し軟化と判断される。

埋戻土の液状化強度試験結果に基づく繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数の関係を第 5.3-5 図に示す。

第 5.3-1 表(1/2) 液状化強度試験結果(1, 2 号埋戻土)

試料番号		SW2-3 (φ100)				SW2-4 (φ100)			BF1-2 (φ100)			
サンプリング方法		GPサンプリング				GPサンプリング			GPサンプリング			
地表からの深度 (m)		9.90~11.15				3.03~4.45			10.45~11.25			
標高 T.P. (m)		0.5~-0.75				0.87~-0.55			-0.05~-0.85			
供試体No.		16	17	18	19	5	7	8	25	26	27	28
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.681				2.741			2.706			
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		200				200			200			
繰返し載荷回数	繰返し振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_o$	0.608	0.836	0.727	0.501	0.759	0.615	0.823	0.726	0.508	0.618	0.574
	DA = 1%	12.9	0.4	0.9	6.0	2.0	9.0	0.7	1.5	19.8	2.0	3.5
	DA = 2%	27.7	0.9	2.5	13.8	12.9	28.8	3.0	5.0	39.4	4.5	8.0
	DA = 5%	42.6	3.5	9.0	38.1	32.6	55.2	12.9	12.7	77.1	9.5	16.8
	DA = 10%	—	7.5	18.9	98.7	33.8	67.7	26.0	20.6	98.9	12.8	23.6
過剰間隙水圧比95% N_{95}		11.0	2.0	2.0	6.0	6.0	6.0	2.0	3.0	23.0	3.0	6.0

試料番号		RE-1 (φ100)	RE-2 (1) (φ100)	RE-2 (2) (φ100)			RE-2 (3) (φ100)			
サンプリング方法		GPサンプリング	GPサンプリング	GPサンプリング			GPサンプリング			
地表からの深度 (m)		17.35~17.55	4.80~5.00	8.73~10.73			10.73~11.73			
標高 T.P. (m)		-0.65~-0.85	5.30~5.10	1.37~-0.63			-0.63~-1.63			
供試体No.		25	6	9	13	14	15	16	17	18
地盤材料の工学的分類		礫質土	砂質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.652	2.781	2.704	2.667	2.717	2.725	2.740	2.738	2.735
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		200	200	200			200			
繰返し載荷回数	繰返し振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_o$	0.333	0.252	0.501	0.602	0.554	0.704	0.555	0.481	0.459
	DA = 1%	17.6	9.5	68.9	1.5	0.9	0.5	0.9	2.5	3.0
	DA = 2%	30.5	13.8	99.3	5.0	3.5	0.9	3.0	7.5	6.5
	DA = 5%	45.7	19.1	123.9	13.5	10.9	3.0	10.0	23.9	15.6
	DA = 10%	—	23.7	—	—	—	—	—	—	—
過剰間隙水圧比95% N_{95}		22.0	19.0	38.0	4.0	2.0	2.0	3.0	6.0	5.0

試料番号		RE-3 (1) (φ100)				RE-3 (2) (φ100)			RE-3 (3) (φ100)			
サンプリング方法		GPサンプリング				GPサンプリング			GPサンプリング			
地表からの深度 (m)		2.80~4.23				4.40~5.70			7.45~15.56			
標高 T.P. (m)		7.00~5.57				5.40~4.10			2.35~-5.76			
供試体No.		3	5	1'	2'	6	7	8	9	11	14	18
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.706	2.688	2.708	2.698	2.703	2.765	2.756	2.750	2.709	2.717	2.728
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)		200				200			200			
繰返し載荷回数	繰返し振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_o$	0.503	0.428	0.401	0.383	0.401	0.502	0.451	0.413	0.502	0.381	0.352
	DA = 1%	1.0	0.9	4.0	2.0	18.7	1.0	1.5	2.0	0.7	0.8	3.5
	DA = 2%	3.0	2.5	10.0	4.5	45.5	4.0	3.5	5.0	1.5	2.0	7.5
	DA = 5%	5.5	5.5	26.4	8.5	75.9	11.1	9.5	14.7	3.5	4.5	18.7
	DA = 10%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
過剰間隙水圧比95% N_{95}		4.0	2.0	10.0	4.0	—	—	—	—	—	5.0	6.0

□: 試験結果を例示したケース

第 5. 3-1 表(2/2) 液状化強度試験結果(1, 2 号埋戻土)

試料番号		RE-4 (φ100)			RE-5 (1) (φ100)				RE-5 (2) (φ100)				RE-5 (3) (φ100)						
サンプリング方法		GPサンプリング			GPサンプリング				GPサンプリング				GPサンプリング						
地表からの深度 (m)		9.75~9.95			3.03~3.43				3.43~10.05				4.15~6.60						
標高 T.P. (m)		0.55~0.35			0.47~0.07				0.07~-6.55				-0.65~-3.1						
供試体No.		17			6	7			8	9	18		20		10	13	16	17	
地盤材料の工学的分類		礫質土			礫質土	礫質土			礫質土	礫質土	礫質土		礫質土		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.691			2.787	2.791			2.665	2.670	2.728		2.748		2.663	2.677	2.792	2.785	
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		200			200				200				200						
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.705			0.702	0.908			0.349	0.503	0.653		0.756		0.402	0.553	0.450	0.433	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%		1.5	11.8			0.5	25.7	9.5	0.9		0.2		10.5	0.8	2.0	2.0	
		DA = 2%		7.5	49.8			1.5	39.8	27.7	4.0		0.4		27.2	2.5	5.0	4.5	
		DA = 5%		19.8	99.0			5.5	56.7	53.6	18.6		1.0		67.1	8.5	12.8	11.3	
		DA = 10%		—	—			—	—	—		—		—		—	—	—	—
		過剰間隙水圧比95% N_{95}		5.0	—			2.0	35.0	48.0	1.0		1.0		15.0	3.0	3.0	4.0	

試料番号		RE-6 (φ100)				SH-1 (1) (φ300)				SH-1 (2) (φ300)							
サンプリング方法		GPサンプリング				GPサンプリング				GPサンプリング							
地表からの深度 (m)		7.50~14.15				1.55~2.15				2.90~3.55							
標高 T.P. (m)		-4.00~-10.65				2.25~1.65				0.90~0.25							
供試体No.		16	17	18		20		1-1	1-4	1-5		1-6	2-2	2-3	2-4	2-6	
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土		礫質土		砂質土	砂質土	砂質土		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.751	2.639	2.618		2.724		2.745	2.761	2.760		2.736	2.725	2.711	2.716	2.712	
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		200				200				200							
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.404	0.503	0.374	0.361	0.311	0.235	0.200	0.212	0.311	0.359	0.440	0.328	0.311	0.359	0.440	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%		3.5	0.5	2.5		2.0	2.0	9.0	61.9		45.9	8.0	15.9	6.0	23.6
		DA = 2%		10.0	1.5	5.5		5.0	3.5	11.0	69.7		52.7	11.6	22.8	11.6	29.2
		DA = 5%		26.2	4.5	12.6		14.0	5.5	14.0	76.0		59.2	16.6	28.9	16.8	34.8
		DA = 10%		45.0	9.5	20.6		24.6	6.5	16.8	80.9		64.9	19.8	—	—	37.9
		過剰間隙水圧比95% N_{95}		10.0	2.0	5.0		6.0	—	—	64.0		55.0	15.0	22.0	—	28.0

試料番号		SH-1 (3) (φ300)					
サンプリング方法		GPサンプリング					
地表からの深度 (m)		4.40~5.00					
標高 T.P. (m)		-0.6~-1.2					
供試体No.		3-2	3-3	3-4	3-5		
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.750	2.757	2.744	2.774		
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		200					
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.358	0.423	0.490	0.328		
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%		10.9	4.0	1.5	14.9
		DA = 2%		21.1	10.0	5.5	24.5
		DA = 5%		40.1	21.7	15.3	39.6
		DA = 10%		60.7	—	27.9	61.8
		過剰間隙水圧比95% N_{95}		19.0	12.0	—	23.0

第 5.3-2 表 液状化強度試験結果(3号埋戻土)

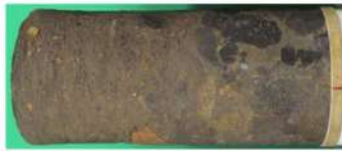
試料番号		SW2-1 (φ100)				BF3-1 (φ100)	BF3-2 (φ100)		RE-7 (φ100)	RE-8 (φ100)		
サンプリング方法		GPサンプリング				GPサンプリング	GPサンプリング		GPサンプリング	GPサンプリング		
地表からの深度 (m)		10.05~11.30				8.60~8.80	18.65~19.05		8.05~8.25	9.78~10.48		
標高 T.P. (m)		-0.35~-1.60				1.20~1.00	-1.95~-2.35		2.05~1.85	-0.08~-0.78		
供試体No.		12	13	14	15	11	21	22	21	19'	20'	21'
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	砂質土	礫質土	礫質土	礫質土
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.761				2.779	2.688		2.947	2.681	2.659	2.700
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		200				200	200		200	200		
繰返し振動比 $\sigma_d/2\sigma_c$		0.757	0.651	0.542	0.435	0.785	0.670	0.651	0.336	0.500	0.399	0.376
繰返し振動回数	軸ひすみの両振幅											
	DA = 1%	1.0	0.9	3.5	48.8	0.4	1.5	4.5	5.5	0.9	3.0	4.0
	DA = 2%	5.5	4.0	8.5	65.7	0.9	9.5	14.8	10.7	3.0	7.5	9.0
	DA = 5%	15.0	14.6	22.7	104.9	6.5	19.2	32.8	17.3	8.0	19.6	20.7
	DA = 10%	28.7	42.8	44.8	—	13.7	25.4	55.5	21.8	—	—	—
過剰間隙水圧比95% N_{95}		4.0	9.0	8.0	67.0	2.0	17.0	30.0	11.0	5.0	5.0	9.0

試料番号		RE-8'' (1) (φ100)				RE-8'' (2) (φ100)				SH-2 (φ300)			
サンプリング方法		GPサンプリング				GPサンプリング				GPサンプリング			
地表からの深度 (m)		11.12~11.80				12.25~13.45				4.77~8.40			
標高 T.P. (m)		-1.32~-2.00				-2.45~-3.65				4.98~1.30			
供試体No.		3	4	1'	3'	5	6	4'	5'	1-5	1-6	3-1	3-4
地盤材料の工学的分類		礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土	礫質土
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.633	2.651	2.628	2.626	2.633	2.654	2.622	2.655	2.738	2.751	2.683	2.675
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		200				200				200			
繰返し振動比 $\sigma_d/2\sigma_c$		0.401	0.351	0.374	0.454	0.400	0.502	0.602	0.706	0.438	0.485	0.526	0.359
繰返し振動回数	軸ひすみの両振幅												
	DA = 1%	1.5	2.0	3.5	1.5	9.5	2.0	0.8	0.7	11.8	13.7	0.6	49.6
	DA = 2%	5.0	10.0	8.5	6.5	42.8	10.5	3.0	2.0	16.6	17.7	2.0	57.0
	DA = 5%	12.8	49.6	17.9	27.5	150.4	39.2	15.1	8.5	21.0	21.9	6.0	67.0
	DA = 10%	22.0	82.8	33.2	50.8	—	74.9	36.9	—	—	24.9	—	—
過剰間隙水圧比95% N_{95}		8.0	5.0	8.0	7.0	18.0	6.0	3.0	2.0	22.0	20.0	—	52.0

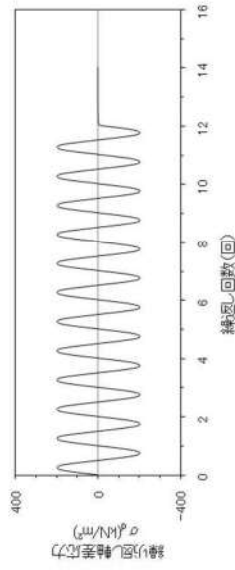
□: 試験結果を例示したケース

液状化強度試験結果(1, 2号埋戻土の非液状化の例)

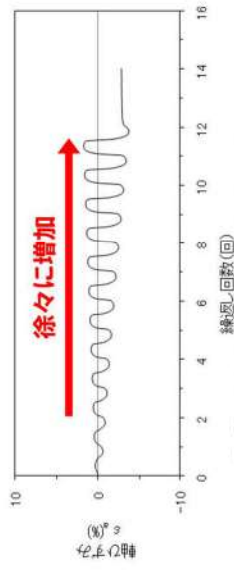
試験条件	
供試体	No.7
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	200
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.502
試験結果	
液状化の判断	
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	×
② 有効応力がゼロまで低下する。	×
③ 液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	×
④ 正のダイレイタンシー特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	○
非液状化	



試験後の供試体

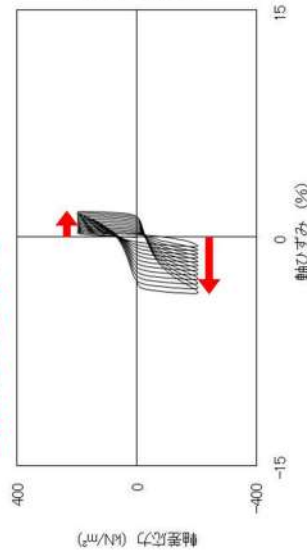


軸差応力-繰返し回数関係



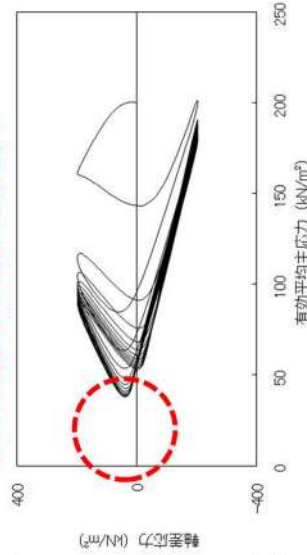
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

せん断剛性が保持され、ひずみが急激に進行することがない。



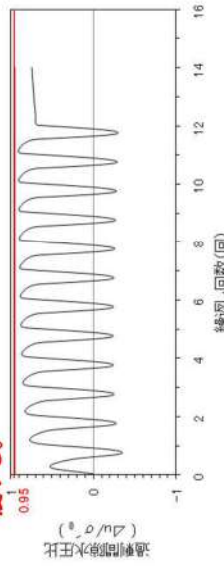
③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

繰返し載荷しても、有効応力がゼロになることはなく、液体状になることはない。



② 有効応力経路

過剰間隙水圧比は95%を超えない。せん断応力作用時には、正のダイレイタンシー効果により、過剰間隙水圧は低下し、有効応力が回復する。



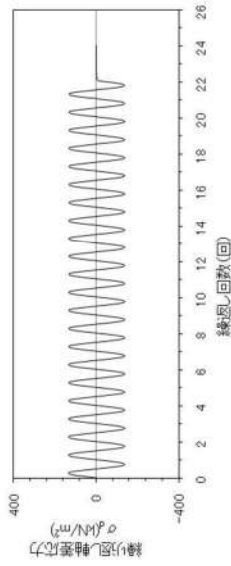
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

液状化強度試験結果(3号埋戻土の繰返し軟化の例)

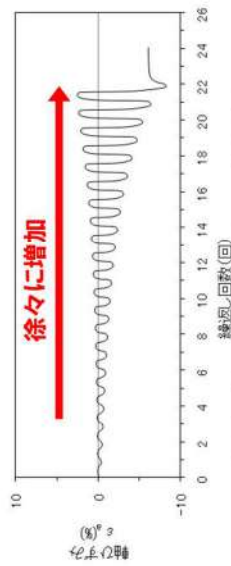
試験条件	
供試体	No.21
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	200
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.336
試験結果	
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○
② 有効応力がゼロまで低下する。	×
③ 液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	×
④ 正のダイレイタンシー特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	○
液状化の判断	
	繰返し軟化



試験後の供試体

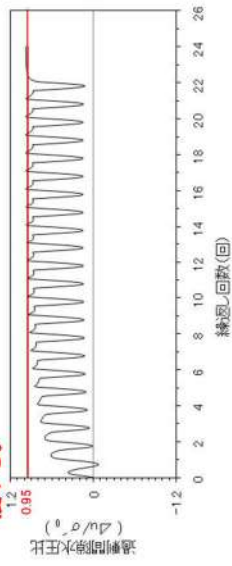


軸差応力-繰返し回数関係



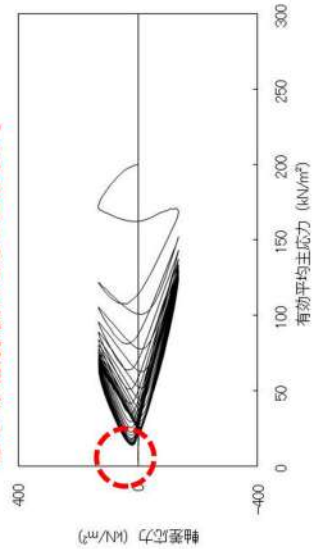
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

過剰間隙水圧比は95%を超過する。せん断応力作用時には、正のダイレイタンシー効果により、過剰間隙水圧は低下し、有効応力が回復する。



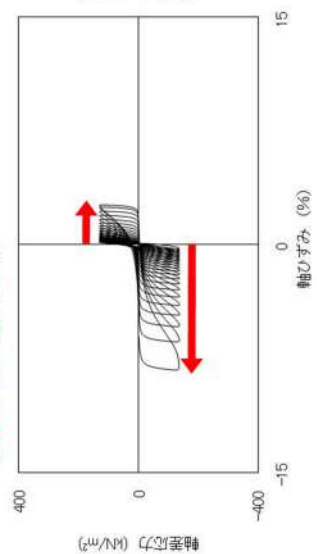
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

繰返し載荷しても、有効応力がゼロになることはなく、液体状になることはない。

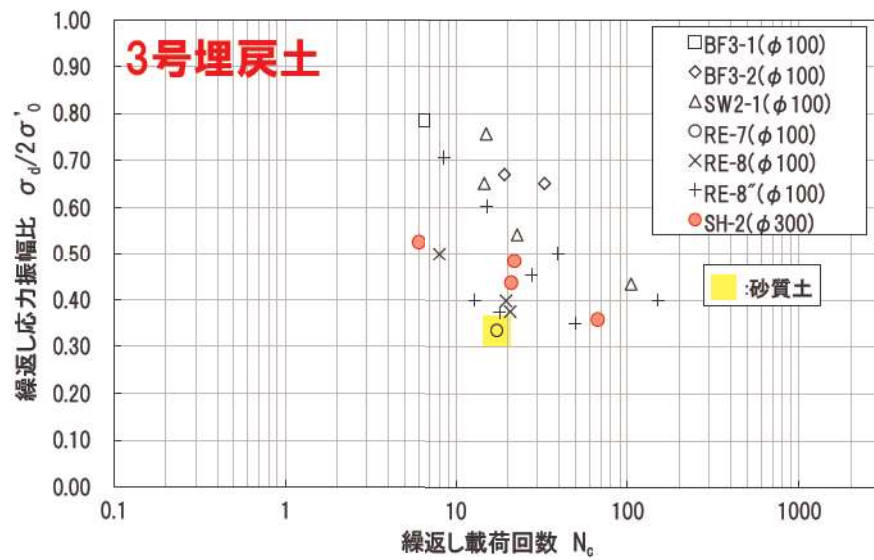
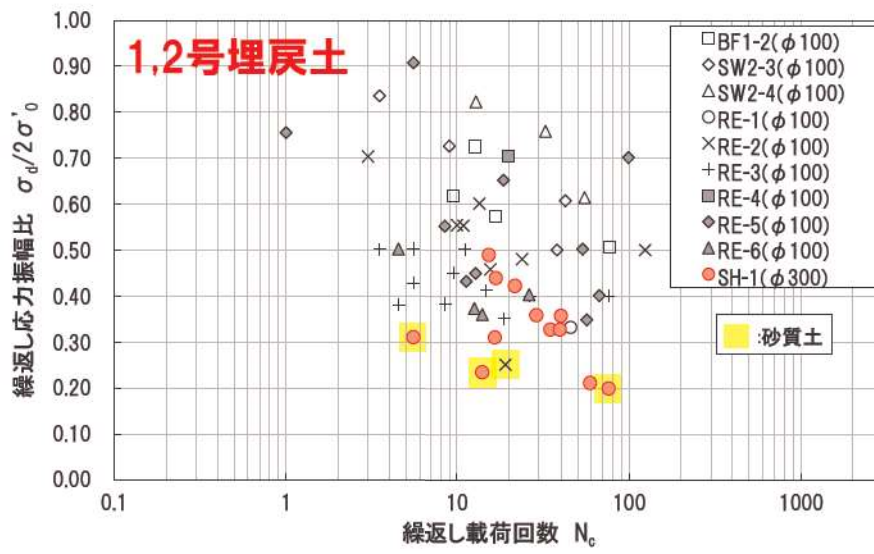


② 有効応力経路

せん断剛性が保持され、ひずみが増大に進行することがない。



③④ 軸差応力-軸ひずみ関係



第 5.3-5 図 埋戻土の液状化強度試験結果

5.3.2 砂層の液状化強度試験結果

砂層に対する液状化強度試験の試験ケース，試験結果を第 5.3-3 表，第 5.3-4 表に示す。

なお，各試験ケースの個別データについては，添付資料 1 液状化強度試験結果データ集に示す。

砂層の液状化強度試験の結果は，すべての試験ケース(203 ケース)のうち，有効応力がゼロとなり液体状になるケースはほとんど無かった。また，繰返し载荷に伴い，ひずみは徐々に大きくなるが，急には増大せず，脆性的な破壊は生じなかった。繰返し载荷に伴い過剰間隙水圧が蓄積する傾向は見られたものの，せん断応力の作用によって有効応力は回復した。また，過剰間隙水圧比は，95%を超過しないケースと超過するケースが確認された。

砂層に対する液状化強度試験の結果は，一部が「液状化」に分類されるものの大部分が「繰返し軟化」に分類されることから，全体としては液体状となり支持力を完全に喪失するような事象は発生せず，ひずみが漸増するねばり強い挙動を示すことを確認した。

砂層の液状化強度試験結果の代表例として，FS-1-④ (A-2) 三軸試料の供試体 No. 1-38-7 図，第 5.3-8 図に示す。

FS-1-④ (A-2) 三軸試料の No. 1-38 供試体は，有効応力がゼロになることはなく，地盤が支持力を失い液状化するような事象は発生しなかった。繰返し荷重により，ひずみは漸増するものの，急に増大することはないと考えられる。また，過剰間隙水圧は 95%を超過せず，せん断応力作用時には正のダイレイタンスーの効果により，過剰間隙水圧は低下し，有効応力が回復していることから非液状化と判断される。

SW2-4' (1) 試料の No. 21 供試体は，有効応力がゼロになることはなく，地盤が支持力を失い液状化するような事象は発生しなかった。繰返し荷重により，ひずみは漸増するものの，急に増大することはないと考えられる。また，過剰間隙水圧は 95%を超過するものの，頭打ちとなり 100%に達しない。せん断応力作用時には正のダイレイタンスーの効果により，過剰間隙水圧は低下し，有効応力が回復していることから繰返し軟化と判断される。

SW-7-10 試料の No. 4 供試体は，過剰間隙水圧が 95%を超え，有効応力がほぼゼロとなり，繰返し荷重によりひずみが急に増大していることから液状化と判断される。

砂層の液状化強度試験結果に基づく繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数の関係を第 5.3-9 図に示す。

第 5.3-3 表(1/3) 液状化強度試験結果(As1 層)

試料番号		SW-4-1 (φ50)		SW-4-7 (φ50)		SW-4-10 (φ50)				SW-6-5 (φ50)				
サンプリング方法		トリプルチューブサンプリング		トリプルチューブサンプリング		トリプルチューブサンプリング				トリプルチューブサンプリング				
地表からの深度 (m)		21.90~22.80		27.65~28.65		30.65~31.65				25.70~26.70				
標高 T.P. (m)		-12.20~-13.10		-17.95~-18.95		-20.95~-21.95				-16.00~-17.00				
供試体No.		2	4	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.719		2.754		2.789				2.749				
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		310		370		400				350				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.292	0.243	0.188	0.233	0.250	0.226	0.182	0.202	0.257	0.213	0.192	0.171	
繰返し載荷回数	軸ひすみの両振幅	DA = 1%	0.9	17.0	40.7	0.4	2.5	1.5	41.7	27.7	0.8	10.8	19.7	66.8
		DA = 2%	2.0	28.8	44.9	0.9	4.0	2.5	48.7	33.0	2.0	13.6	21.6	70.7
		DA = 5%	4.5	40.9	50.9	4.0	6.0	4.0	55.5	39.7	5.0	18.9	24.7	76.8
		DA = 10%	7.5	43.9	57.1	10.3	8.5	6.0	59.7	43.5	11.6	35.6	28.9	90.3
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	5.0	37.0	49.0	4.0	6.0	4.0	52.0	33.0	5.0	17.0	24.0	73.0

試料番号		SW-6-6 (φ50)				SW-6-7 (φ50)				
サンプリング方法		トリプルチューブサンプリング				トリプルチューブサンプリング				
地表からの深度 (m)		26.70~27.70				27.70~28.70				
標高 T.P. (m)		-17.00~-18.00				-18.00~-19.00				
供試体No.		1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.743				2.744				
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		360				370				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.256	0.213	0.160	0.182	0.255	0.212	0.160	0.187	
繰返し載荷回数	軸ひすみの両振幅	DA = 1%	1.5	4.5	125.9	22.9	0.6	5.5	48.6	24.5
		DA = 2%	3.0	5.5	131.9	25.5	1.5	7.5	53.5	27.8
		DA = 5%	5.5	8.0	138.7	28.8	2.5	10.6	58.8	33.6
		DA = 10%	10.0	10.5	144.7	31.5	4.0	13.8	63.7	40.9
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	5.0	7.0	135.0	27.0	3.0	10.0	55.0	31.0

試料番号		SW-7-10 (φ50)				SW2-4(2) (φ50)				SW2-4(4) (φ50)	
サンプリング方法		トリプルチューブサンプリング				GPサンプリング				GPサンプリング	
地表からの深度 (m)		32.00~33.00				22.15~22.55				26.63~26.73	
標高 T.P. (m)		-22.20~-23.20				-18.25~-18.65				-22.73~-22.83	
供試体No.		1	2	3	4	37	38	39	40	55	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.718				2.704				2.738	
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		410				260				300	
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.236	0.196	0.218	0.171	0.295	0.264	0.232	0.250	0.220	
繰返し載荷回数	軸ひすみの両振幅	DA = 1%	0.7	13.6	3.0	144.7	3.0	2.0	55.6	18.0	8.5
		DA = 2%	1.5	16.6	4.5	153.8	5.0	4.0	70.6	24.3	10.8
		DA = 5%	3.0	21.0	8.5	166.0	10.9	15.4	90.6	43.0	14.6
		DA = 10%	5.0	27.7	17.5	179.5	11.6	69.9	90.7	48.6	18.6
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	3.0	19.0	7.0	157.0	6.0	9.0	64.0	27.0	14.0

□: 試験結果を例示したケース

第 5.3-3 表(2/3) 液状化強度試験結果(As1 層)

試料番号		FS-1-② (1) 三軸 (φ50)				FS-1-② (2) 三軸 (φ50)				FS-1-② (3) 三軸 (φ50)					
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング					
地表からの深度 (m)		18.21~18.41				18.36~18.56				18.51~18.71					
標高 T.P. (m)		-14.41~-14.61				-14.56~-14.76				-14.71~-14.91					
供試体No.		1-7	2-6	3-6	4-6	1-8	2-7	3-7	4-7	1-9	2-8	3-8	4-8		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.669	2.681	2.692	2.658	2.687	2.687	2.653	2.662	2.626	2.640	2.686	2.659		
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		190				190				190					
繰返し載荷回数	繰返し振幅の両振り	繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c$		0.251	0.216	0.298	0.391	0.253	0.301	0.447	0.348	0.455	0.254	0.358	0.549
		DA = 1%	5.5	39.0	1.5	0.5	9.5	3.5	0.3	1.5	0.3	20.0	1.5	0.3	
		DA = 2%	8.5	45.0	3.0	1.5	14.0	7.5	0.7	3.0	0.6	27.0	4.5	0.7	
		DA = 5%	14.0	56.0	6.0	4.5	28.0	15.0	2.5	8.0	2.0	40.0	13.0	3.0	
		DA = 10%	24.0	62.0	11.0	7.5	41.0	25.0	4.5	13.0	4.5	61.0	17.0	6.5	
過剰間隙水圧比95% N_{95}		15.0	52.0	8.5	-	25.0	15.0	-	11.0	-	37.0	-	-		
試料番号		FS-1-② (A-1) 三軸 (φ50)				FS-1-② (A-2) 三軸 (φ50)				FS-1-④ (A-2) 三軸 (φ50)					
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング					
地表からの深度 (m)		19.95~20.21				20.20~20.42				26.85~27.11					
標高 T.P. (m)		-16.15~-16.41				-16.4~-16.62				-23.05~-23.31					
供試体No.		2-13	3-14	1-15	4-14	2-14	3-15	4-15	1-16	4-41	1-38	3-40	2-40		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.670	2.677	2.689	2.659	2.675	2.674	2.652	2.670	2.713	2.720	2.724	2.720		
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		190				190				250					
繰返し載荷回数	繰返し振幅の両振り	繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c$		0.254	0.203	0.229	0.173	0.251	0.304	0.347	0.277	0.462	0.375	0.308	0.206
		DA = 1%	4.0	26.0	6.0	813.0	21.0	4.0	0.4	5.0	0.1	0.4	0.8	0.8	
		DA = 2%	5.5	30.0	9.0	823.0	29.0	8.0	0.8	9.0	0.2	0.7	2.0	4.0	
		DA = 5%	10.0	38.0	14.0	835.0	44.0	17.0	4.0	17.0	0.6	4.0	4.0	11.0	
		DA = 10%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
過剰間隙水圧比95% N_{95}		9.0	35.0	13.0	827.0	37.0	14.0	4.0	14.0	-	-	-	9.0		
試料番号		FS-1-② (1) 中空 (φ70)				FS-1-② (2) 中空 (φ70)				FS-1-② (3) 中空 (φ70)					
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング					
地表からの深度 (m)		18.70~19.26				18.81~19.01				18.96~19.20					
標高 T.P. (m)		-14.90~-15.46				-15.01~-15.21				-15.16~-15.40					
供試体No.		4-12	1-10	2-9	3-9	4-10	1-11	2-10	3-10	4-11	1-12	3-11	2-11		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.652	2.671	2.688	2.705	2.684	2.694	2.662	2.658	2.682	2.746	2.689	2.676		
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		190				190				190					
繰返し載荷回数	繰返し振幅の両振り	繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c$		0.354	0.505	0.302	0.404	0.352	0.304	0.231	0.277	0.281	0.352	0.251	0.316
		DA = 1%	1.5	0.6	69.0	1.5	2.5	6.5	173.0	14.0	13.0	2.0	29.0	3.5	
		DA = 2%	3.0	1.5	77.0	2.5	6.0	8.5	181.0	17.0	16.0	3.0	33.0	5.0	
		DA = 5%	5.5	3.5	90.0	8.5	12.0	16.0	191.0	27.0	22.0	6.0	40.0	8.5	
		DA = 10%	11.0	11.0	112.0	26.0	22.0	32.0	205.0	48.0	32.0	13.0	54.0	15.0	
過剰間隙水圧比95% N_{95}		6.0	5.0	87.0	7.0	10.0	13.0	186.0	22.0	20.0	6.0	37.0	8.0		

□: 試験結果を例示したケース

第 5.3-3 表(3/3) 液状化強度試験結果(As1 層)

試験番号		FS-1-④ (1) 中空 (φ70)				FS-1-④ (2) 中空 (φ70)				FS-1-④ (3) 中空 (φ70)				
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング				
地表からの深度 (m)		26.06~26.36				26.21~26.51				26.44~26.68				
標高 T.P. (m)		-22.26~-22.56				-22.41~-22.71				-22.64~-22.88				
供試体No.		2-36	1-34	4-37	3-36	2-37	1-35	4-38	3-37	1-36	4-39	3-38	2-38	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.647	2.706	2.724	2.680	2.674	2.684	2.695	2.730	2.678	2.706	2.719	2.696	
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		250				250				250				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.301	0.390	0.346	0.323	0.354	0.428	0.392	0.369	0.296	0.445	0.252	0.191	
繰返し載荷回数	幅振幅 軸ひすみの	DA = 1%	117.0	1.0	4.0	4.5	46.0	0.2	3.0	4.0	4.0	0.2	10.0	272.0
		DA = 2%	132.0	2.5	6.5	7.0	62.0	0.6	5.0	7.0	5.0	0.4	13.0	279.0
		DA = 5%	151.0	4.0	10.0	12.0	92.0	1.5	8.0	15.0	7.0	1.0	15.0	284.0
		DA = 10%	175.0	6.5	15.0	20.0	136.0	3.5	12.0	33.0	9.0	2.0	18.0	288.0
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	147.0	5.0	11.0	12.0	87.0	3.0	10.0	16.0	8.0	-	15.0	282.0
試験番号		FS-2-③ (1) 三軸 (φ50)				FS-2-③ (2) 三軸 (φ50)				FS-2-③ (3) 三軸 (φ50)				
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング				
地表からの深度 (m)		22.19~22.46				22.39~22.70				22.59~22.90				
標高 T.P. (m)		-12.39~-12.66				-12.59~-12.90				-12.79~-13.10				
供試体No.		1-7	2-5	3-5	4-8	1-8	2-6	4-9	3-6	1-9	2-7	4-10	3-7	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.710	2.723	2.711	2.702	2.675	2.689	2.675	2.695	2.682	2.688	2.702	2.694	
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		330				330				330				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.301	0.252	0.197	0.227	0.251	0.153	0.202	0.223	0.250	0.202	0.152	0.177	
繰返し載荷回数	幅振幅 軸ひすみの	DA = 1%	0.5	10.0	35.0	8.0	2.0	1062.0	15.0	14.0	2.0	10.0	87.0	37.0
		DA = 2%	1.0	13.0	38.0	11.0	3.0	1071.0	18.0	17.0	2.5	12.0	90.0	40.0
		DA = 5%	4.0	18.0	44.0	15.0	7.0	1088.0	24.0	23.0	4.0	15.0	94.0	44.0
		DA = 10%	8.0	23.0	53.0	21.0	14.0	1104.0	30.0	27.0	7.0	18.0	101.0	53.0
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	4.0	15.0	39.0	12.0	6.0	1073.0	20.0	20.0	4.0	13.0	90.0	41.0
試験番号		FS-2-③ (1) 中空 (φ70)				FS-2-⑤ (1) 中空 (φ70)				FS-2-⑤ (2) 中空 (φ70)				
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング				
地表からの深度 (m)		24.42~24.95				27.98~28.23				28.13~28.48				
標高 T.P. (m)		-14.62~-15.15				-18.18~-18.43				-18.33~-18.68				
供試体No.		1-16	1-15	4-16	3-13	4-32	3-30	2-31	1-32	4-33	3-31	1-33	2-33	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.749	2.735	2.720	2.755	2.698	2.741	2.719	2.737	2.750	2.695	2.737	2.736	
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		330				380				380				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.351	0.301	0.254	0.277	0.300	0.251	0.278	0.402	0.257	0.354	0.303	0.274	
繰返し載荷回数	幅振幅 軸ひすみの	DA = 1%	6.0	8.0	25.0	58.0	6.5	42.0	44.0	0.6	79.0	2.5	2.0	43.0
		DA = 2%	8.5	11.0	29.0	68.0	8.5	52.0	50.0	1.5	84.0	4.0	3.0	45.0
		DA = 5%	14.0	17.0	35.0	84.0	13.0	73.0	59.0	3.0	89.0	8.0	5.0	48.0
		DA = 10%	26.0	30.0	44.0	116.0	18.0	118.0	68.0	5.0	94.0	18.0	6.5	50.0
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	16.0	17.0	34.0	80.0	14.0	66.0	58.0	4.0	90.0	10.0	6.0	49.0

第 5.3-4 表(1/3) 液状化強度試験結果(As2 層)

試料番号		SW-6-2 (φ50)			SW2-1(T5) (φ50)			SW2-4(1) (φ50)		SW2-4(3) (φ50)			
サンプリング方法		GPサンプリング			トリプルチューブサンプリング			GPサンプリング		GPサンプリング			
地表からの深度 (m)		23.40~24.40			36.00~37.00			18.15~18.35		23.05~24.03			
標高 T.P. (m)		-13.70~-14.70			-26.30~-27.30			-14.25~-14.45		-19.15~-20.13			
供試体No.		2	3	4	1	2	3	20	21	42	43	44	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.729			2.794			2.746		2.728			
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		330			450			220		260			
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.214	0.285	0.186	0.294	0.318	0.234	0.309	0.277	0.332	0.297	0.316	
繰返し振幅回数	軸ひすみの両振幅	DA = 1%	16.6	1.5	25.0	0.8	0.9	30.7	4.5	6.5	0.8	5.0	5.0
		DA = 2%	19.9	2.5	28.7	3.5	5.0	42.8	8.0	10.0	2.5	18.4	13.0
		DA = 5%	25.8	4.5	35.1	12.9	22.9	49.6	17.6	17.5	6.0	74.2	29.7
		DA = 10%	—	6.5	46.2	—	57.6	49.7	—	26.7	11.5	—	39.6
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	21.0	4.0	31.0	8.0	11.0	50.0	10.0	12.0	5.0	46.0	17.0

試料番号		FS-1-③ (1) 三軸 (φ50)		FS-1-③ (2) 三軸 (φ50)		FS-1-③ (3) 三軸 (φ50)		
サンプリング方法		凍結サンプリング		凍結サンプリング		凍結サンプリング		
地表からの深度 (m)		21.99~22.44		22.47~22.70		22.62~22.85		
標高 T.P. (m)		-18.29~-18.74		-18.44~-19.00		-18.92~-19.15		
供試体No.		1-18	3-17	1-19	2-18	1-20	2-19	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.692	2.694	2.681	2.678	2.682	2.668	
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		220		220		220		
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.551	0.453	0.437	0.356	0.376	0.340	
繰返し振幅回数	軸ひすみの両振幅	DA = 1%	0.6	0.6	0.6	7.0	0.6	0.6
		DA = 2%	0.6	0.7	0.6	21.0	0.7	0.6
		DA = 5%	0.8	10.0	0.8	56.0	6.0	0.7
		DA = 10%	6.0	16.0	7.0	62.0	21.0	3.0
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	—	—	4.0	49.0	8.0	2.0

試料番号		FS-1-④ (1) 三軸 (φ50)				FS-1-④ (2) 三軸 (φ50)				FS-1-④ (3) 三軸 (φ50)		
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング		
地表からの深度 (m)		25.12~25.49				25.27~25.64				25.42~25.79		
標高 T.P. (m)		-21.42~-21.79				-21.57~-21.94				-21.72~-22.09		
供試体No.		1-30	2-32	3-31	4-32	1-31	2-33	3-32	4-33	1-32	3-33	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.712	2.690	2.718	2.712	2.701	2.708	2.697	2.786	2.764	2.690	
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		250				250				250		
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.405	0.454	0.376	0.502	0.409	0.306	0.562	0.351	0.353	0.402	
繰返し振幅回数	軸ひすみの両振幅	DA = 1%	1.0	0.5	0.8	0.1	0.4	34.0	0.1	0.6	2.5	0.3
		DA = 2%	8.5	0.9	4.5	0.3	0.8	50.0	0.3	1.5	8.5	0.6
		DA = 5%	28.0	4.5	17.0	0.7	3.5	71.0	0.7	8.5	20.0	2.0
		DA = 10%	31.0	11.0	34.0	2.5	5.5	96.0	2.0	20.0	38.0	5.0
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	—	—	20.0	2.5	—	63.0	2.5	8.5	20.0	4.0

試料番号		FS-1-③ (A-1) 三軸 (φ50)				FS-1-④ (A-1) 三軸 (φ50)				
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				
地表からの深度 (m)		22.06~22.55				24.34~24.95				
標高 T.P. (m)		-18.36~-18.85				-20.64~-21.25				
供試体No.		2-17	1-17	3-28	4-27	1-25	2-27	4-30	4-29	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.670	2.659	2.696	2.750	2.719	2.726	2.729	2.723	
圧密応力 σ^c (kN/m ²)		220				250				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma^c$		0.467	0.522	0.307	0.350	0.413	0.513	0.407	0.459	
繰返し振幅回数	軸ひすみの両振幅	DA = 1%	0.5	0.3	0.7	0.7	0.7	0.8	0.4	0.4
		DA = 2%	1.0	0.6	5.0	8.0	10.0	10.0	0.8	0.8
		DA = 5%	10.0	6.0	21.0	24.0	56.0	44.0	5.0	6.0
		DA = 10%	—	—	—	—	—	—	—	—
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	—	—	18.0	19.0	51.0	43.0	—	—

□: 試験結果を例示したケース

第 5.3-4 表(2/3) 液状化強度試験結果(As2 層)

試料番号		FS-1-③ (1) 中空 (φ70)				FS-1-③ (2) 中空 (φ70)				FS-1-③ (3) 中空 (φ70)				
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング				
地表からの深度 (m)		23.06~23.36				23.29~23.81				23.70~23.96				
標高 T.P. (m)		-19.36~-19.66				-19.59~-20.11				-20.00~-20.26				
供試体No.		4-22	2-21	3-21	2-20	3-23	2-22	3-22	2-24	4-23	1-21	3-25	2-25	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.751	2.715	2.716	2.718	2.737	2.746	2.724	2.737	2.742	2.750	2.741	2.730	
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		220				220				220				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c$		0.497	0.593	0.396	0.351	0.542	0.326	0.403	0.445	0.494	0.597	0.551	0.686	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%	3.0	0.7	4.0	60.0	0.6	81.0	4.0	1.5	8.5	0.6	2.0	0.2
		DA = 2%	8.0	2.0	8.5	75.0	2.0	97.0	8.0	4.0	23.0	1.5	8.0	0.6
		DA = 5%	21.0	8.5	22.0	97.0	13.0	123.0	17.0	10.0	60.0	17.0	48.0	2.0
		DA = 10%	52.0	24.0	48.0	130.0	99.0	199.0	32.0	26.0	-	91.0	142.0	4.5
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	26.0	16.0	22.0	95.0	23.0	120.0	18.0	13.0	61.0	30.0	56.0	4.0

試料番号		FS-2-④ (1) 三軸 (φ50)		FS-2-④ (2) 三軸 (φ50)			FS-2-④ (3) 三軸 (φ50)		
サンプリング方法		凍結サンプリング		凍結サンプリング			凍結サンプリング		
地表からの深度 (m)		26.53~26.75		26.65~26.90			26.98~27.13		
標高 T.P. (m)		-16.73~-16.95		-16.85~-17.10			-17.18~-17.33		
供試体No.		1-23	3-21	1-24	2-23	3-22	4-26		
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.728	2.733	2.790	2.930	2.911	3.007		
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		360		360			360		
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c$		0.203	0.507	0.512	0.402	0.653	0.599		
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%	147.0	0.4	0.4	0.3	0.2	0.7	
		DA = 2%	154.0	0.8	0.8	0.7	0.5	3.5	
		DA = 5%	164.0	9.5	6.0	8.5	3.5	32.0	
		DA = 10%	168.0	11.0	12.0	17.0	4.5	44.0	
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	161.0	-	12.0	12.0	-	38.0	

試料番号		FS-2-⑥ (1) 三軸 (φ50)		FS-2-⑥ (2) 三軸 (φ50)			FS-2-⑥ (3) 三軸 (φ50)			
サンプリング方法		凍結サンプリング		凍結サンプリング			凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		30.43~30.60		30.58~30.90			30.73~31.05			
標高 T.P. (m)		-20.63~-20.80		-20.78~-21.10			-20.93~-21.25			
供試体No.		1-47	3-43	1-48	3-44	3-45	1-49	3-46	4-48	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.813	2.750	2.836	2.767	2.730	2.702	2.721	2.691	
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		400		400			400			
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c$		0.255	0.353	0.377	0.612	0.454	0.255	0.605	0.451	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%	8.5	0.6	0.6	0.3	0.2	3.5	0.2	0.4
		DA = 2%	40.0	2.5	3.5	0.6	0.4	5.5	0.5	0.8
		DA = 5%	170.0	18.0	30.0	4.5	0.6	10.0	2.5	11.0
		DA = 10%	-	20.0	36.0	11.0	4.0	14.0	7.0	13.0
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	108.0	-	-	9.5	-	12.0	-	-

試料番号		FS-2-④ (A-1) 三軸 (φ50)			FS-2-⑤ (A-1) 三軸 (φ50)			FS-2-⑥ (A-1) 三軸 (φ50)			
サンプリング方法		凍結サンプリング			凍結サンプリング			凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		26.98~27.23			28.83~29.13			31.35~31.62			
標高 T.P. (m)		-17.18~-17.43			-19.03~-19.33			-21.55~-21.82			
供試体No.		1-26	3-24	2-25	1-37	3-35	4-38	4-50	1-53	3-48	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.826	2.793	2.739	2.748	2.760	2.689	2.750	2.692	2.806	
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		360			380			400			
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c$		0.511	0.414	0.462	0.461	0.307	0.262	0.411	0.356	0.336	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	DA = 1%	0.4	0.8	0.5	0.6	0.9	127.0	0.3	0.3	0.3
		DA = 2%	0.9	12.0	3.0	3.0	5.0	166.0	0.6	0.5	0.7
		DA = 5%	7.0	29.0	21.0	15.0	15.0	208.0	4.0	4.0	6.0
		DA = 10%	-	-	-	-	-	208.0	-	-	-
		過剰間隙水圧比95% N_{95}	-	-	-	-	15.0	-	-	-	-

第 5.3-4 表(3/3) 液状化強度試験結果(As2 層)

試料番号		FS-2-④ (1) 中空 ($\phi 70$)				FS-2-④ (2) 中空 ($\phi 70$)				FS-2-④ (3) 中空 ($\phi 70$)			
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		26.01~26.23				26.16~26.45				25.90~26.60			
標高 T.P. (m)		-16.21~-16.43				-16.36~-16.65				-16.10~-16.80			
供試体No.		4-21	2-19	3-18	1-20	4-22	2-20	1-21	3-19	2-21	3-17	4-23	3-20
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.708	2.723	2.743	2.713	2.736	2.717	2.746	2.707	2.732	2.696	2.710	2.715
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		360				360				360			
繰返し振幅比 $\sigma_d/2\sigma_o$		0.503	0.415	0.457	0.353	0.454	0.555	0.507	0.478	0.512	0.427	0.455	0.405
繰返し振幅比 繰返し 回数の 割合	DA = 1%	0.6	3.5	1.5	7.5	9.0	0.8	0.8	2.0	0.5	4.0	0.9	21.0
	DA = 2%	1.5	8.0	4.0	11.0	30.0	2.0	2.0	7.5	1.0	8.0	1.5	26.0
	DA = 5%	3.5	23.0	18.0	16.0	81.0	6.5	8.0	30.0	3.0	19.0	4.0	33.0
	DA = 10%	8.0	58.0	58.0	22.0	168.0	18.0	31.0	-	6.0	45.0	6.5	43.0
	過剰間隙水圧比95% N_{95}	7.0	29.0	25.0	17.0	88.0	11.0	14.0	41.0	-	23.0	6.0	35.0

試料番号		FS-2-⑥ (1) 中空 ($\phi 70$)				FS-2-⑥ (2) 中空 ($\phi 70$)				FS-2-⑥ (3) 中空 ($\phi 70$)			
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング				凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		29.98~30.18				30.13~30.33				30.28~30.56			
標高 T.P. (m)		-20.18~-20.38				-20.33~-20.53				-20.48~-20.76			
供試体No.		1-44	3-40	4-44	2-43	1-45	3-41	4-45	2-44	1-46	3-42	2-45	4-46
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.723	2.755	2.696	2.748	2.709	2.714	2.747	2.773	2.730	2.764	2.769	2.740
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		400				400				400			
繰返し振幅比 $\sigma_d/2\sigma_o$		0.407	0.353	0.383	0.456	0.405	0.358	0.385	0.459	0.406	0.338	0.377	0.467
繰返し振幅比 繰返し 回数の 割合	DA = 1%	2.5	30.0	10.0	2.0	2.0	28.0	3.0	1.5	2.0	14.0	56.0	0.7
	DA = 2%	6.0	44.0	25.0	5.0	5.5	43.0	6.5	4.0	4.0	20.0	86.0	2.0
	DA = 5%	16.0	75.0	64.0	13.0	12.0	76.0	16.0	11.0	9.0	32.0	139.0	6.0
	DA = 10%	34.0	121.0	136.0	30.0	24.0	135.0	40.0	28.0	19.0	50.0	-	19.0
	過剰間隙水圧比95% N_{95}	22.0	74.0	68.0	19.0	17.0	79.0	21.0	16.0	12.0	34.0	140.0	11.0

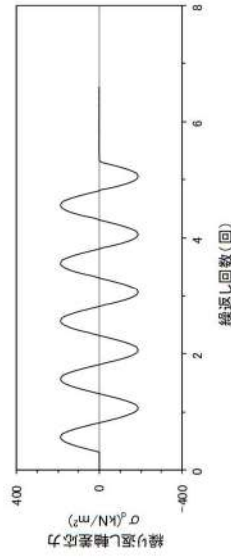
試料番号		FS-2-⑥ (4) 中空 ($\phi 70$)				FS-2-⑥ (5) 中空 ($\phi 70$)			
サンプリング方法		凍結サンプリング				凍結サンプリング			
地表からの深度 (m)		34.35~34.55				34.50~34.70			
標高 T.P. (m)		-24.55~-24.75				-24.70~-24.90			
供試体No.		4-68	2-70	3-66	1-71	4-69	2-71	3-67	1-72
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.739	2.827	2.796	2.762	2.709	2.768	2.693	2.793
圧密応力 σ_c (kN/m ²)		440				440			
繰返し振幅比 $\sigma_d/2\sigma_o$		0.411	0.357	0.384	0.309	0.357	0.305	0.256	0.491
繰返し振幅比 繰返し 回数の 割合	DA = 1%	2.0	74.0	1.5	9.5	2.5	6.0	2041.0	0.5
	DA = 2%	4.5	117.0	3.5	14.0	5.0	9.0	2290.0	0.9
	DA = 5%	9.0	232.0	7.0	26.0	12.0	17.0	2511.0	3.0
	DA = 10%	21.0	344.0	13.0	55.0	34.0	30.0	-	8.0
	過剰間隙水圧比95% N_{95}	14.0	204.0	10.0	28.0	17.0	19.0	2407.0	6.0

液状化強度試験結果(As1層)の非液状化の例)

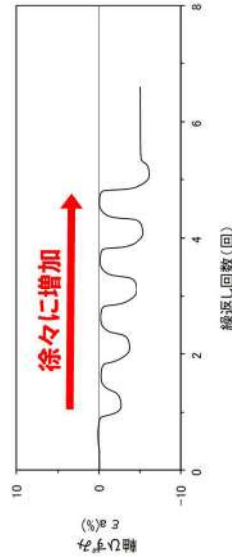
試験条件	
供試体	No.1-38
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	250
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.375
試験結果	
液状化の判断	
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	×
② 有効応力がゼロまで低下する。	×
③ 液状状となり流動する。 (ひずみが増加する。)	×
④ 正のダイレイタンシー特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	○
非液状化	



試験後の供試体

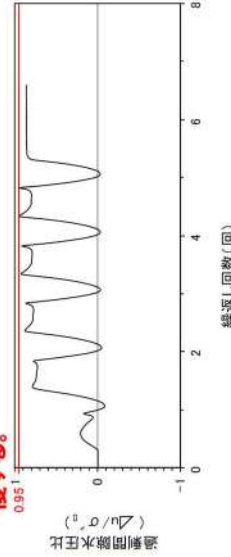


軸差応力-繰返し回数関係



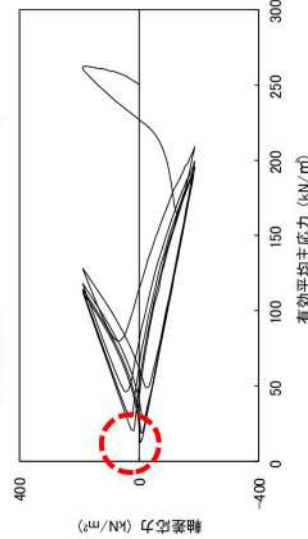
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

過剰間隙水圧比は95%を超えない。
せん断応力作用時には、正のダイレイタンシー効果により、過剰間隙水圧は低下し、有効応力が回復する。



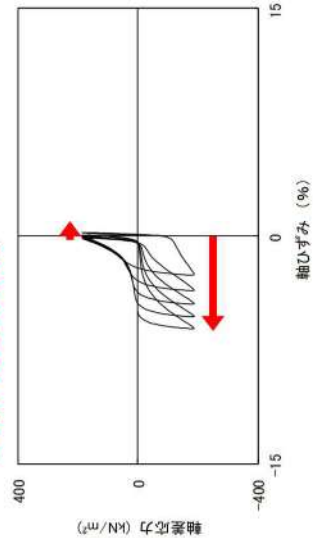
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

繰返し載荷しても、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。



② 有効応力経路

せん断剛性が保持され、ひずみが増加に進行することがない。



③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

第 5.3-6 図 As1 層の液状化強度試験結果 (FS-1-④) (A-2) 三軸試験, 供試体 No. 1-38)

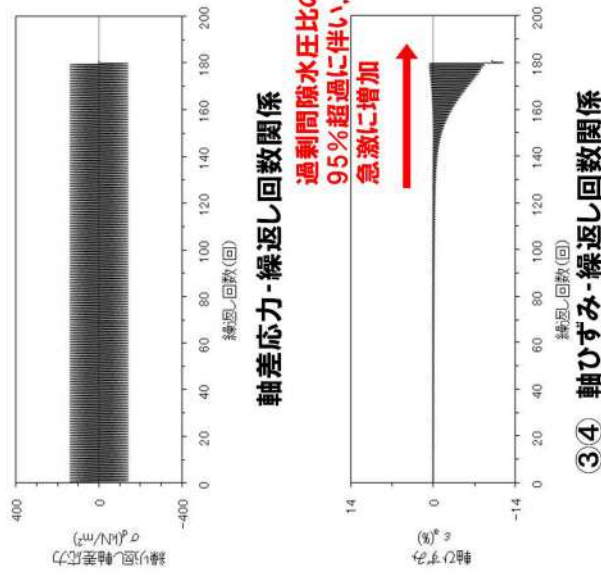
液状化強度試験結果 (As1 層の液状化の例)

試験条件		液状化の判断
供試体	No.4	
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	410	
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.171	
試験結果		液状化
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○	
② 有効応力がゼロまで低下する。	×	
③ 液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	○	
④ 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。)	×	

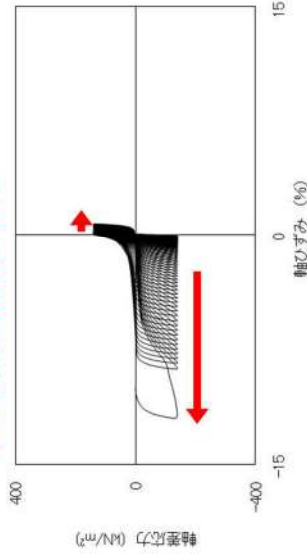
※有効応力がゼロまで低下していないが保守的に液状化に区分した。



試験後の供試体

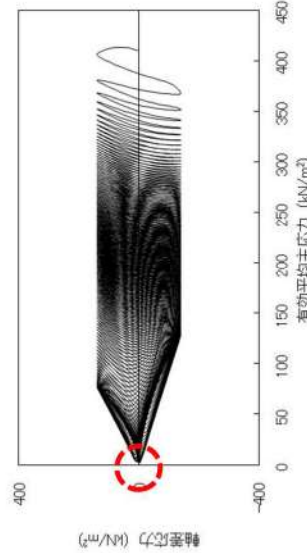


ひずみが急激に進行する。



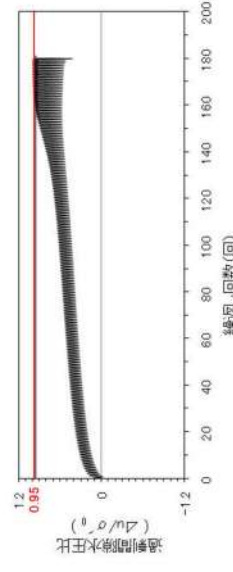
③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

有効応力がほぼゼロになる。



② 有効応力経路

過剰間隙水圧比は95%を超過する。



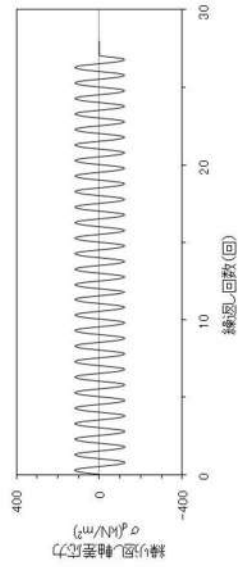
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

液状化強度試験結果 (As2層の繰返し軟化の例)

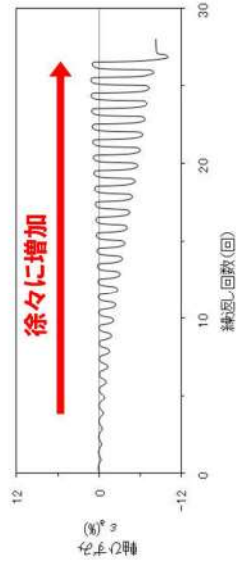
試験条件	
供試体	No.21
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	220
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.277
試験結果	
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○
② 有効応力がゼロまで低下する。	×
③ 液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	×
④ 正のダイレイタンシー特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	○
液状化の判断	
繰返し軟化	



試験後の供試体

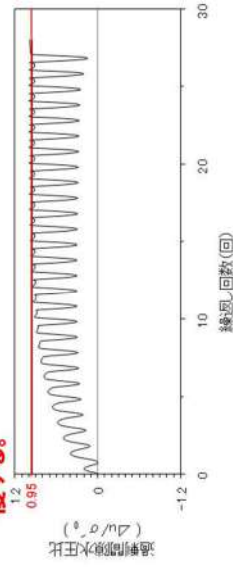


軸差応力-繰返し回数関係



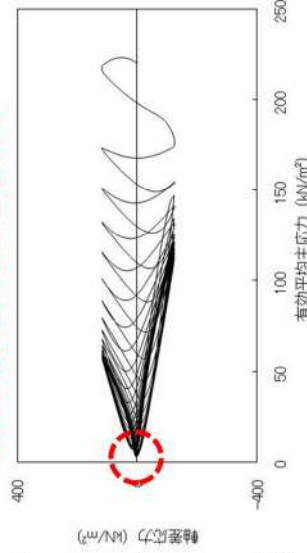
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

過剰間隙水圧比は95%を超過する。せん断応力作用時には、正のダイレイタンシー効果により、過剰間隙水圧は低下し、有効応力が回復する。



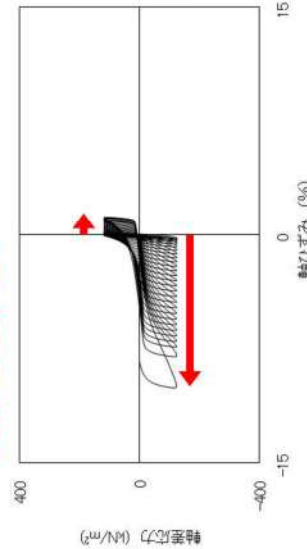
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

繰返し載荷しても、有効応力がゼロになることはなく、液体状になることはない。

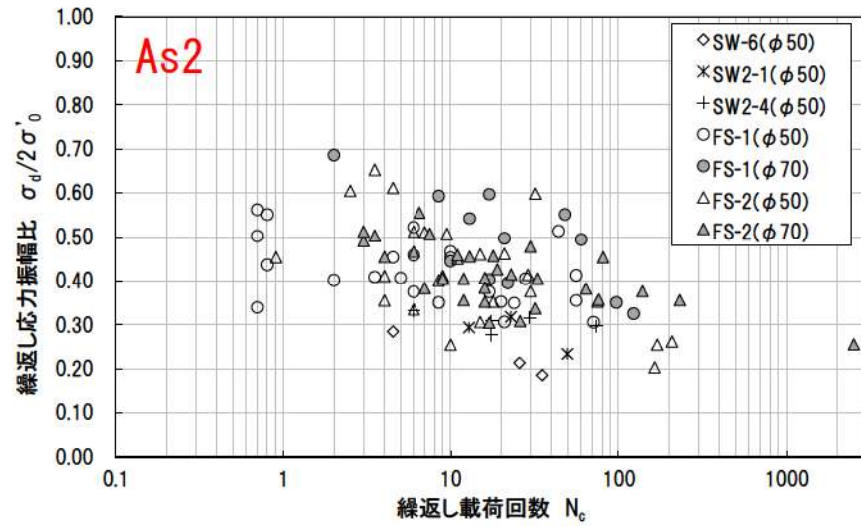
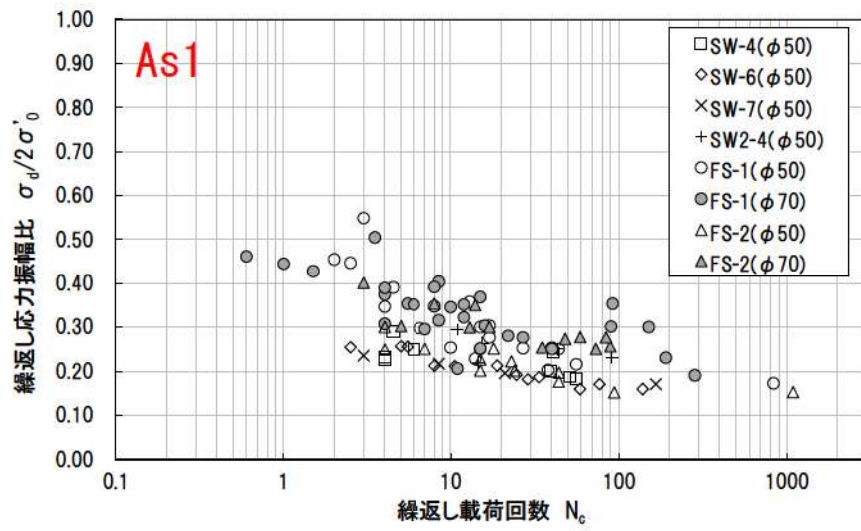


② 有効応力経路

せん断剛性が保持され、ひずみが増進に進行することがない。



③④ 軸差応力-軸ひずみ関係



第 5.3-9 図 砂層の液状化強度試験結果

5.4 基準地震動に対する液状化強度試験の妥当性確認

追而
(基準地震動の審査を踏まえて記載する)

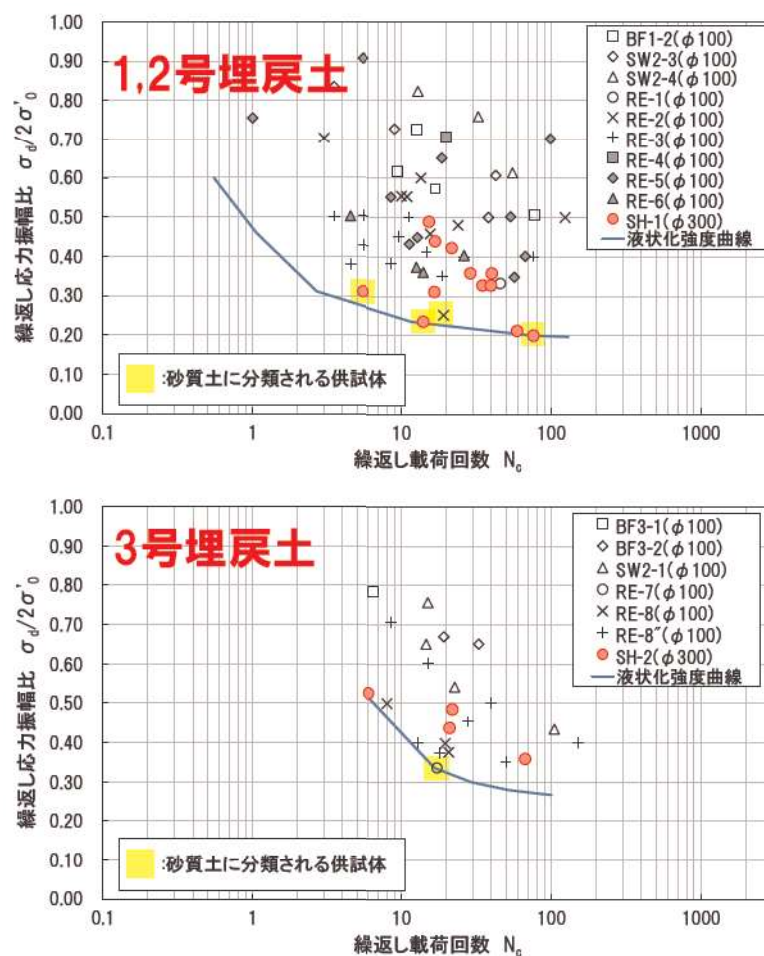
5.5 液状化強度特性の設定

液状化強度試験結果に基づく繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数との関係を第 5.5-1 図、第 5.5-2 図に示す。

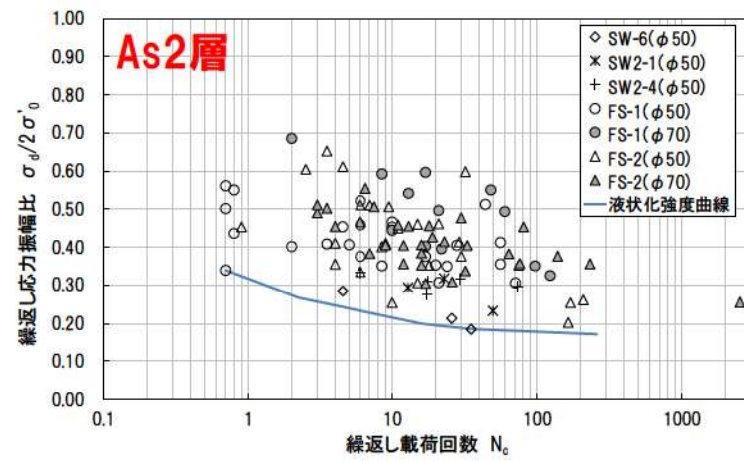
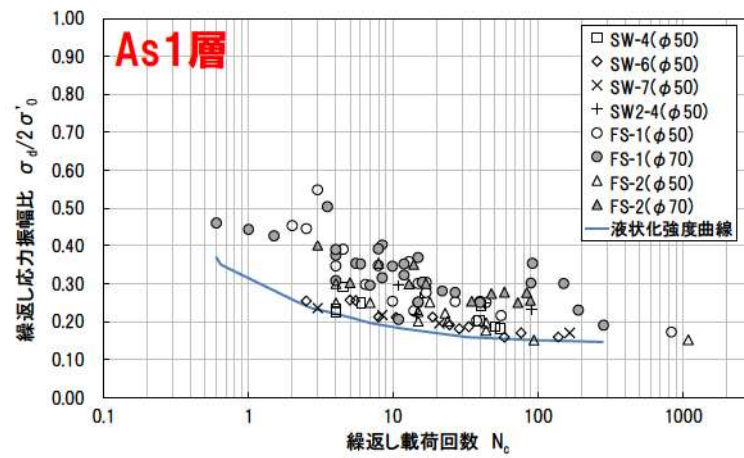
液状化強度試験結果の特徴として、埋戻土では第 5.5-1 図に示すとおり、供試体径 $\phi 100\text{mm}$ の試験結果はばらつきが大きく、 $\phi 300\text{mm}$ の試験結果はばらつきが小さい結果となっている。これは、径の小さい供試体 ($\phi 100\text{mm}$) は礫の占める比率が大きくなりやすく、液状化強度に与える影響も大きくなるため、 $\phi 100\text{mm}$ の試験は $\phi 300\text{mm}$ の試験と比較して礫の入り方のばらつきによる影響が大きいことが要因であると考えられる。また、砂質土に分類される埋戻土の液状化強度特性は低く、礫質土に分類される埋戻土の液状化強度は砂質土より高い値を示す傾向がある。

砂層については、対象施設に近い陸側で試料採取しているものの採取可能範囲が限定的である。

以上より、埋戻土において供試体径や粒度分布の違いに対して液状化強度にばらつきがあること、砂層において試料採取範囲が限定的であることを踏まえて、各土層の液状化強度特性は保守的(下限値)に設定することを基本とし、設置許可段階では 1, 2 号埋戻土、3 号埋戻土及び砂層 (As1 層及び As2 層) の各層の下限値を設定する。



第 5.5-1 図 液状化強度試験結果に基づく埋戻土の液状化強度曲線(下限値設定)



第 5.5-2 図 液状化強度試験結果に基づく砂層の液状化強度曲線(下限値設定)

6. 液状化影響の検討方針

泊発電所における施設の耐震評価においては、下記事項に基づき液状化影響を評価する。

- ・液状化影響評価については、道路橋示方書の評価方法を基本とするが、道路橋示方書においては対象外とされている G.L. -20m 以深の土層等についても液状化強度試験を実施し、すべての埋戻土、砂層を液状化検討対象層とすることで保守的な構造物の評価を実施する。
- ・埋戻土の代表性確認指標は粒度分布及び細粒分含有率を用いる。
- ・砂層の代表性確認指標は N 値、粒度分布及び細粒分含有率を用いる。
- ・すべての液状化検討対象施設近傍と施工時期の異なるエリアにおけるデータ取得を目的として液状化強度試験等の追加調査を計画する。
- ・液状化検討対象施設の解析手法の選定においては、有効応力解析と全応力解析のどちらが保守的な解析手法であるかを判断できない場合は、比較検討を行い、保守的な結果となる解析手法を選定する。
- ・全応力解析を選定する際、有効応力解析と全応力解析の比較検討を行い、保守的な結果となる解析手法を選定する(耐震性を有する改良地盤や隣接構造物の外側の地盤の液状化による影響等を評価する)。
- ・設置許可段階における施設の有効応力解析に用いる液状化強度特性については、実施済の敷地全体の液状化強度試験から得られる液状化強度特性を保守的(下限値)に設定し、1, 2 号埋戻土、3 号埋戻土及び砂層 (As1 層及び As2 層)の各層の下限値を設定する。
- ・有効応力解析においては、解析コード「FLIP」を用いることとし、解析に用いる液状化パラメータは保守的に設定した液状化強度を満足するように設定する。

なお、設工認段階においては以下の検討結果に基づく液状化影響の評価を実施する。

- ・液状化検討対象施設の選定に用いる設計地下水位は、防潮堤設置後における地下水排水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三次元浸透流解析の予測解析結果に基づく地下水位を使用する。
- ・埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置について、代表性確認指標として相対密度を用いた代表性確認を行うとともに、設置許可段階における粒度分布と細粒分含有率による代表性確認結果の妥当性を確認する。
- ・追加調査結果を踏まえ、液状化対象施設近傍の試験結果から液状化強度特性を保守的に設定する。

添付資料5 せん断波速度の代表性確認指標としての
妥当性確認

1. 液状化強度試験位置の代表性確認における指標の適用性

埋戻土の液状化強度試験位置の代表性確認については、液状化強度比 R_L と相関性のある粒度分布、細粒分含有率、せん断波速度を指標としている。そのうち、せん断波速度について、代表性確認指標として妥当性があるかについて確認を行った。

妥当性の確認に当たっては、指標として適用可能としている各種文献が泊発電所の埋戻土に対して適用性、埋戻土の液状化強度とせん断波速度の相関の観点から整理した。

2. 添付文献の適用性

(1) 既往知見の整理

せん断波速度と液状化強度の相関に関する各種文献を収集し整理した。

各種文献における記載内容を添付 5-1 表に示す。

添付 5-1 表 各種文献の整理結果

文献・論文名	液状化強度との相関に関する記載
【文献①】 地盤工学・実務シリーズ 18 液状化対策工法, (社)地盤工学会, 2004 年	N 値の信頼度が低下する砂礫地盤の液状化強度の指標として、礫地盤の調査においても信頼できる値が得られ、しかも液状化強度と相関のよい S 波速度(または初期せん断剛性)を使用する可能性も研究されている。
【文献②】 Liquefaction Potential Evaluation Based on Rayleigh Wave Investigation and Its Comparison with Field Behavior, Tokimatsu, K., Tamura, S., Kuwayama, S., 1991	貫入試験は信頼性のある評価が常に得られるとは限らず、全ての深度や全ての土質で簡便に行うことができないので、できれば SPT(標準貫入試験)に基づく関係とは別の異なる方法があることが望ましい。せん断波速度は液状化抵抗の増加とともに増えることから、この目的に適う指標である(日本語訳)。
【文献③】 Liquefaction Resistance of Soils from Shear-Wave Velocity, Andrus, R.D. and Kenneth, H., 2000	V_s と液状化抵抗の両方とも、多くの同じ要因(例えば、間隙比、応力状態、応力履歴、地質年代)によって同様に影響を受けるということから、液状化抵抗の指標として V_s を用いることには根拠がある(日本語訳)。
【文献④】 兵庫県南部地震における埋立地の液状化現象と S 波速度を用いた液状化強度の評価例, 応用地質技術年報, 塚本登士・中島俊・山本正人・村田芳信, 1997 年	まさ土のように礫を多く混入する地盤では、地盤の平均的な S 波速度を求める方法が良いと考えられる。(中略)サンプリングや従来の貫入試験の適用が難しい地盤において、S 波速度を用いた液状化強度の評価が十分適用できることが分かった。
【文献⑤】 鉄道構造物等設計標準・同解説-耐震設計-, (公財)鉄道総合技術研究所, 平成 24 年 9 月	現在、サンプリング等による供試体の乱れを評価する普遍的な方法は確立されていないが、原位置でのせん断弾性波速度 V_s から得られるせん断弾性係数 G_0s と、室内地盤材料試験において得られるせん断弾性係数 G_0e を比較する方法がその一つとして挙げられる。
【文献⑥】 CORRELATION BETWEEN UNDRAINED CYCLIC SHEAR STRENGTH AND SHEAR WAVE VELOCITY FOR GRAVELLY SOILS, MUNENORI HATANAKA, AKIHIKO UCHIDA and YOSHIO SUZUKI, 1997	沖積層の礫の場合、非排水繰返しせん断強さとせん断波速度との間には、せん断波速度の増加に伴って非排水繰返しせん断強さが増加するという、かなり良好な相関関係が認められた(日本語訳)。

(2) 泊発電所の埋戻土に対する適用性について

せん断波速度と液状化強度の関係を示す各種文献について、各種文献の対象土と埋戻土の物性値や検討条件等の比較を行い、せん断速度を代表性確認指標として用いることの適用性を整理し考察する。

考察結果は以下のとおりであり、各種文献の物性値や検討条件等の比較表を添付 5-2 表に示す。

【適用性に関する考察】

- ・各種文献で対象としている土層や実験条件等を整理した結果、せん断波速度と液状化強度特性の良好な相関関係が認められる。
- ・埋戻土と各種文献で対象としている土層や実験条件等が完全に一致する文献は確認できないが、細粒分含有率やせん断波速度等で整合する項目もある(文献④⑥の細粒分含有率や文献③⑥のせん断波速度等は埋戻土と同等と考えられる。)
- ・各種文献において提案している液状化強度の評価式は主に砂質土を対象に提案されているが、比較的粗粒分を多く含む「まさ土」を対象に大規模地震(兵庫県南部地震)における実現象との検証を行った結果でも液状化評価の再現性が示されている(文献④⑥における実現象との検証結果。)
- ・各種文献はせん断波速度を代表性確認指標として用いることの妥当性を示す参考資料になると考えられるが、実現象との検証が限定された条件下で実施されたものであること、また、液状化強度評価式の対象土層や実験条件が埋戻土と完全に一致するものではない。

添付 5-2 表 せん断波速度と液化強度の関係に関する各種文献の比較

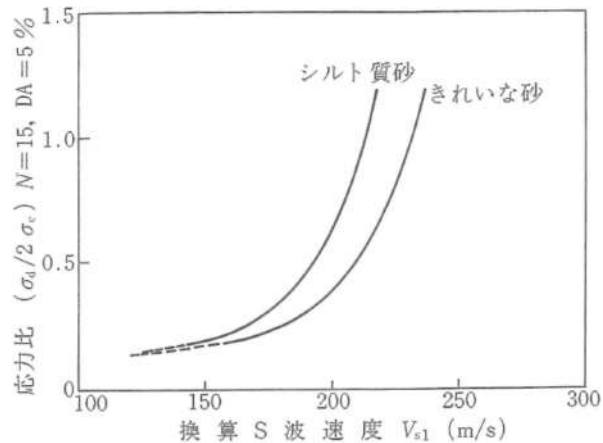
	文献①	文献②	文献③	文献④	文献⑤	文献⑥	泊発電所 1・2号埋戻土	3号埋戻土
主旨	・詳細は文献②③による 【本文献での主な記載】 ・隣地盤のN値に基づき予測法を用いようとすると過大評価してしまう危険性がある。 ・隣地盤のN値に対する補正方法や代用策が提案されているが、まだ信頼性に乏しい。 ・隣地盤の調査においても信頼できる値が得られ、液化強度強度との相関のよいVS速度を使用する可能性も研究されている(文献②③)。 ・Vsと液化強度の相関が良ければ、上記研究の考え方は、砂質土に対しても液化強度を推定可能な方法である。	本論文提案の評価式と実現象を検証して評価式の妥当性を評価。 ・新島地震(M7.5) ・対象土層は良質砂	本論文提案の評価式と実現象を検証して評価式の妥当性を評価。 ・ロマ・フリータ地震(M6.9) ・対象土層は砂質土	既存評価式(文献②)と実現象を検証して評価式の妥当性を評価。 ・兵庫県南部地震(M7.3) ・対象土層はまさ土盛土	乱れた試料の繰返し三軸試験時の補正方法を提示。	本論文提案の評価式と実現象を検証して評価式の妥当性を評価。 ・兵庫県南部地震(M7.3) ・対象土層はまさ土盛土	大規模地震	大規模地震
推奨式検討の対象土層	砂質土(きれいな砂、シルト質砂)	砂質土(きれいな砂、シルト質砂)	大部分が砂質土またはシルト	砂質土(きれいな砂、シルト質砂) ※文献②より	乱れた試料	沖積層、洪積層、まさ土	火砕岩主体の岩砕地盤	安山岩主体の岩砕地盤
物性値	物理特性(粒度など)	【評価式検討の対象土】 ・D10:0.076~0.18 ・Lc:1.5~2.2	【評価式検討の対象土】 砂質土・シルト ・Fc≦5%・28試験 ・6%≦Fc≦34%・90試験 ・Fc≧35%・71試験	【実現象検証の対象土】 ・Fc:9~17%(グラフ読み取り) ・湿潤密度 ρ:2.0g/cm ³	—	【評価式検討の対象土】 ・Fc:0.3~10.0% ・ρ d:1.67~2.25	・Fc:平均9.5%(1~25%) ・ρ d:平均1.66(1.30~2.10)	・Fc:平均10.1%(5~18%) ・ρ d:平均1.94(1.50~2.20)
	繰返し応力振幅比	【評価式検討の対象土】 σ _v /2σ _o =0.1~1.5程度(グラフ読み取り)	【評価式検討の対象土】 最大σ _v /2σ _o =0.6程度	【実現象検証の対象土】 Vs=200~240m/s	—	【評価式検討の対象土】 ※沖積層 σ _v /2σ _o =0.2~0.89(DA=2%, N=5回)	σ _v /2σ _o =0.2~0.9程度(DA=5%, N=20回)	σ _v /2σ _o =0.3~0.8程度(DA=5%, N=20回)
せん断波速度	【実現象検証の対象土】 Vs=80~250m/s程度(グラフ読み取り)	【実現象検証の対象土】 Vs=130~200m/s程度(グラフ読み取り)	【実現象検証の対象土】 Vs=200~240m/s	【実現象検証の対象土】 Vs=200~240m/s	—	【実現象検証の対象土】 Vs=200m/s前後(グラフ読み取り)	平均Vs=402m/s (Vs=200~650m/s)	平均Vs=404m/s (Vs=300~560m/s)
	N値	【実現象検証の対象土】 N=1とN=20~40の2層(グラフ読み取り)	—	【実現象検証の対象土】 概ねN=5~20と一部N=25,55(グラフ読み取り)	【実現象検証の対象土】 Vs=60~590m/s	—	平均N=21 (N=3~34, N=50以上も多数)	平均N=24 (N=15~41, N=50以上も多数)
試験条件等	・Vsは表面波探査 ・凍結サンプリング	・VsはPS検層、SCPT試験など	・VsはS波トモグラフィ解析	—	—	・VsはPS検層(DH方式, SP方式)	・VsはPS検層(ダウンホール方式) ・GPサンプリング	・VsはPS検層(ダウンホール方式) ・GPサンプリング
備考	・実被害との検証が不十分 ・隣地盤では精度の高い試料採取、液化強度試験の実施が必要。	・提案式と実現象は概ね一致。 ・表面波探査とPS検層の結果は概ね整合。	・提案式と実現象は概ね一致。	・提案式と実現象は概ね一致。	・室内試験のG _o を原位置のVsから求めるG _o に補正して試験を実施。	—	—	—
適用性	△	△	○	○	△	○	△	△

※1 各文献の物性値については、各文献で記載のある項目と値を示している(例えば、文献②の粒度特性では細粒分含有率の記載がない等)。
 ※2 適用性の判定は、埋戻土の物性値の整合性や評価式と実現象との再現性等について適用性が高いと考える項目が複数ある文献を○と記した(着色部が適用性が高いと判断した内容を示す)。

(3)各文献の概要整理

【文献①】地盤工学・実務シリーズ 18 液状化対策工法, (社)地盤工学会, 2004 年

- 液状化予測のための調査・試験方法として、標準貫入試験以外の原位置試験を用いて液状化発生を予測する方法も提案されている。
- 最近の地震被害報告によれば、透水性が高く液状化しにくいと考えられていた礫質土が液状化した事例がいくつも報告されており、このような土に対しても液状化の可能性を検討することが望まれるとされている。
- 礫質土では、サンプラーが礫に当たり、地盤強度によらず貫入抵抗が急激に増加する場合があるため、N 値に基づく簡便予測法を用いようとする、液状化強度の過大評価につながる危険性があるとされている。
- 礫質土の N 値について、補正方法や代用策が提案されているが、いずれもまだ信頼性に乏しいとされている。
- N 値の信頼度が低下する砂礫地盤の液状化強度の指標として、礫地盤の調査においても信頼できる値が得られ、しかも液状化強度と相関のよい S 波速度(又は初期せん断剛性)を使用する可能性も研究されているとされている。
- S 波速度と液状化強度の間に良い相関があれば、上記手法は砂質土に対しても適用できるとされている(S 波速度と液状化強度の関係を示す参考図は、下図の種々の砂の繰返し三軸試験結果から得られた液状化強度と換算 S 波速度との関係図が示されている)。
- 下図のグラフは室内試験の結果であり、実被害との対応はまだ十分に確認されていないとされている。
- 室内試験から粒径の大きな礫の液状化強度を精度良くとらえようとするれば、乱さない大型の礫試料の採取と、これに対する室内試験が不可欠であるとされている。



S 波速度と液状化強度の関係
(地盤工学会(2004)より引用)

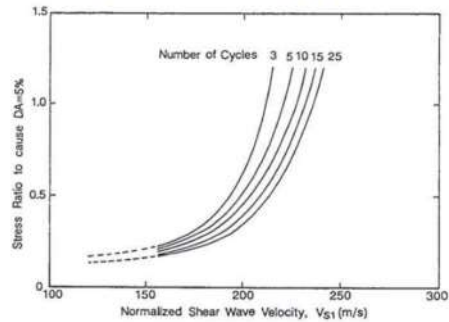
【文献②】 Liquefaction Potential Evaluation Based on Rayleigh Wave Investigation and Its Comparison with Field Behavior, Tokimatsu, K., Tamura, S., Kuwayama, S., 1991

○Tokimatsu et al. (1991)では、液状化強度の推定方法としてせん断波速度を用いた既往の評価式と、新潟地震(M7.5)の液状化事例を検証し、評価式の妥当性を検証している。

○既往の評価式ではきれいな砂、シルト質砂において、室内試験を実施し、液状化強度と正規化せん断波速度の関係を整理している。

○砂の物性及び試験条件は以下のとおりである。

- ・ 10%粒径 D10 は 0.076~0.18mm。
- ・ 均等係数 U_c は 1.5~2.2。
- ・ $\sigma_d/2\sigma_0$ は 0.1~1.5 程度 (繰返し回数 15 回, グラフ読み取り)。
- ・ 試験供試体は再構成試料で一部凍結サンプルリング試料を含む。



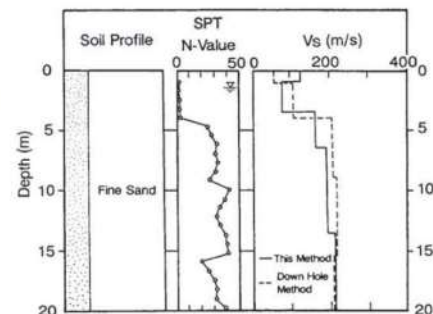
きれいな砂の液状化強度と正規化せん断波速度の関係 (Tokimatsu et al. (1991) より引用)

○液状化強度 (試験結果) と正規化せん断波速度 (既往の算定式から換算) は相関があるとされている。

○新潟地震で液状化による建物の被害が発生した地域において、表面波探査によるせん断波速度から FL 値を算定し、被害事例と比較検討を行った。

○対象土層 (良質砂) の物性は以下のとおりである。

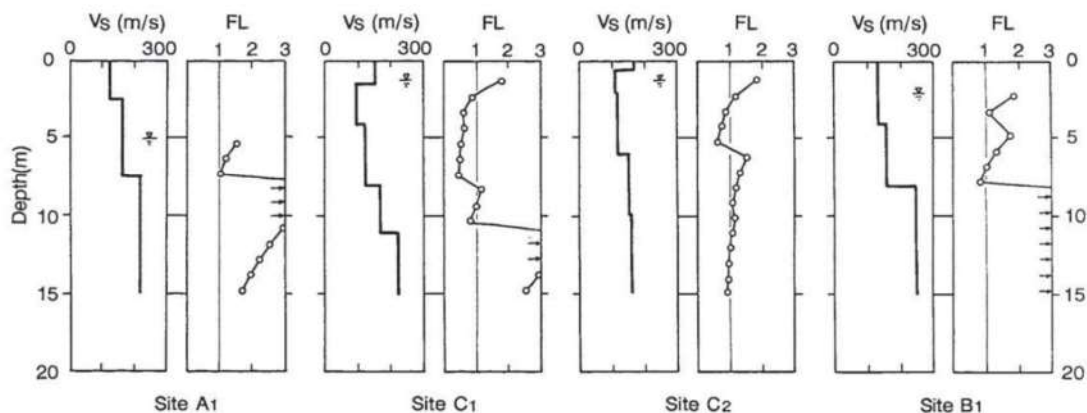
- ・ N 値は 1 程度と 20~40 程度の 2 層 (グラフ読み取り)。
- ・ せん断波速度は 80~250m/s 程度 (グラフ読み取り)。



表面波探査と PS 検層結果の比較 (Tokimatsu et al. (1991) より引用)

○表面波探査と PS 検層によるせん断波速度は概ね整合している。

○FL 値の算定結果と被害事例は概ね一致しているとされている。



せん断波速度と FL 値 (Tokimatsu et al. (1991) より引用)

【文献③】 Liquefaction Resistance of Soils from Shear-Wave Velocity, Andrus, R. D. and Kenneth, H. ,2000

○Andrus et al. (2000)では、せん断波速度を用いた液状化強度の評価手順を示し、実現象との検証を行っている。

○液状化の推定に用いる CRR-Vs1 曲線の設定において、検討対象となる条件は以下のとおりである。

- ・対象土層は砂質土、シルト、砂礫。
- ・砂質土の細粒分含有率は、 $F_c \leq 5\%$: 28 試料, $6\% \leq F_c \leq 34\%$: 90 試料, $F_c \geq 35\%$: 71 試料。
- ・対象地震はアメリカ、日本、中国、台湾の 26 地震。

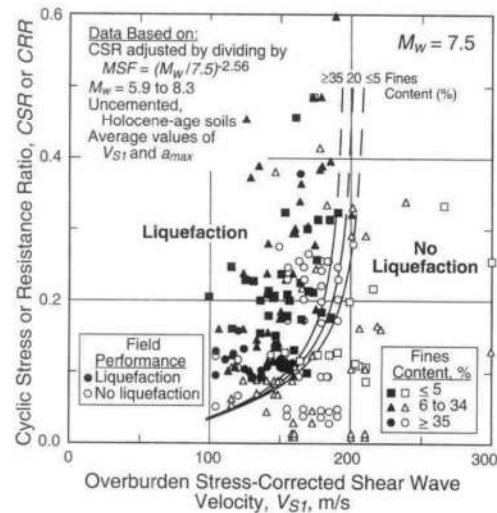
- ・ $\sigma_d/2\sigma_0$ は最大で 0.6 程度。
- ・せん断波速度は PS 検層、SCPT 試験等による。

○ロマ・プリータ地震(M6.9)を対象に、評価手順と実現象との検証を行った。

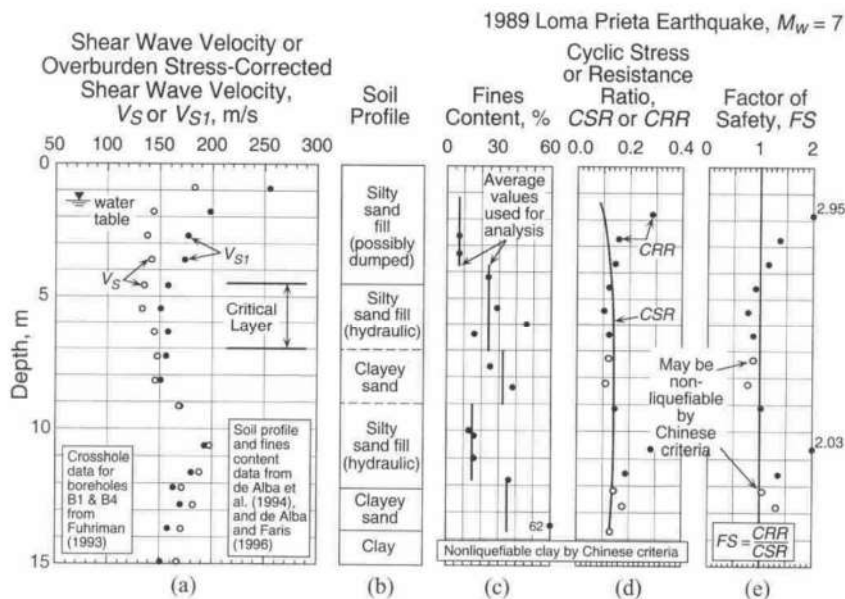
○対象土層(砂質土)の物性は以下のとおりである。

- ・S 波速度は 130~200m/s 程度(グラフ読み取り)。
- ・細粒分含有率は 7~62%程度(グラフ読み取り)。

○評価手順による適用結果と実現象は概ね一致しているとされている。



CRR-Vs1 曲線
(Andrus et al. (2000)より引用)



評価手順のロマ・プリータ地震への適用結果(Andrus et al. (2000)より引用)

Earthquake (1)	M_w (2)	NUMBER OF CASE HISTORIES BY FINES CONTENT				
		Sands and Silts			Gravels	
		≤5% (3)	6-34% (4)	≥35% (5)	≤5% (6)	6-34% (7)
1906 San Francisco, Calif.	7.7	—	4	4	4	—
1957 Daly City, Calif.	5.3	3	2	—	—	—
1964 Niigata, Japan	7.5	4	—	—	—	—
1975 Haicheng, China	7.3	—	—	6	—	—
1979 Imperial Valley, Calif.	6.5	—	9	2	—	—
1980 Chiba-ibaragi, Japan	5.9	—	1	1	—	—
1981 Westmorland, Calif.	5.9	—	9	2	—	—
1983 Borah Peak, Idaho	6.9	—	—	—	17	1
1985 Chiba-ibaragi, Japan	6.0	—	1	1	—	—
1986 Event LSST2, Taiwan	5.3	—	—	4	—	—
1986 Event LSST3, Taiwan	5.5	—	—	4	—	—
1986 Event LSST4, Taiwan	6.6	—	—	4	—	—
1986 Event LSST6, Taiwan	5.4	—	—	4	—	—
1986 Event LSST7, Taiwan	6.6	—	—	4	—	—
1986 Event LSST8, Taiwan	6.2	—	—	4	—	—
1986 Event LSST12, Taiwan	6.2	—	—	4	—	—
1986 Event LSST13, Taiwan	6.2	—	—	4	—	—
1986 Event LSST16, Taiwan	7.6	—	—	4	—	—
1987 Chiba-toho-oki, Japan	6.5	—	1	—	—	—
1987 Elmore Ranch, Calif.	5.9	—	9	2	—	—
1987 Superstition Hills, Calif.	6.5	—	9	2	—	—
1989 Loma Prieta, Calif.	7.0	19	30	14	4	—
1993 Kushiro-oki, Japan	8.3	1	1	—	—	—
1993 Hokkaido-nansei, Japan	8.3	—	2	1	1	—
1994 Northridge, Calif.	8.3	—	3	—	—	—
1995 Hyogo-ken Nanbu, Japan	6.9	1	9	—	—	9

CRR-Vs1 曲線の設定に使用した地震事例 (Andrus et al. (2000)より引用)

【文献④】兵庫県南部地震における埋立地の液状化現象と S 波速度を用いた液状化強度の評価例, 応用地質技術年報, 塚本登士・中島俊・山本正人・村田芳信, 1997 年

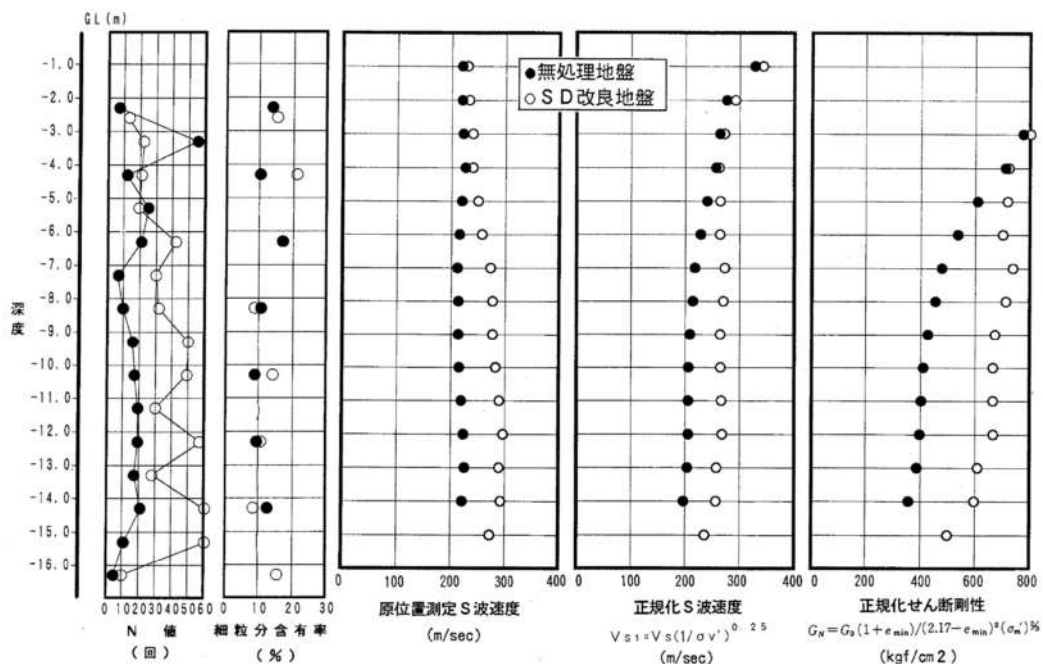
○塚本ほか(1997)では, 兵庫県南部地震(M7.3)において液状化が発生した, ポートアイランドの礫分を多く含むまさ土による埋立地において, S 波トモグラフィーを実施し, 原位置で埋立地盤の平均的せん断波速度を測定し, その結果から既存推定式(文献②の提案式)を用いて液状化強度を評価している。

○埋立土の物性は以下のとおりである。

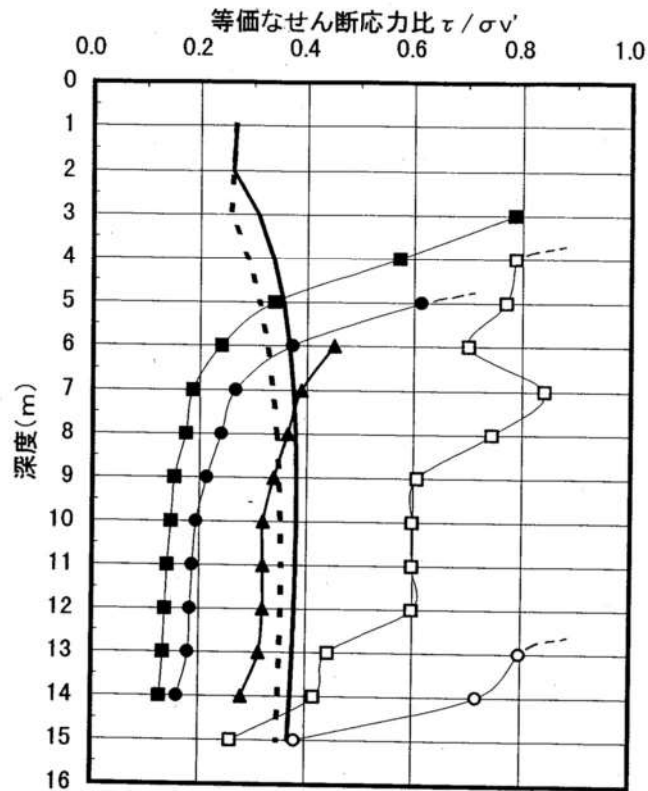
- ・ S 波速度は無処理地盤でおおむね 200~240m/s, 改良地盤で 230~300m/s。
- ・ N 値は無処理地盤で 5~20 程度(一部 N=25, 55 の層がある), 改良地盤で 10~60 程度(グラフ読み取り)。
- ・ 細粒分含有率は無処理地盤で 9~17%程度, 改良地盤で 8~21%程度(グラフ読み取り)。
- ・ 湿潤密度は $\rho_t=2.0\text{g/cm}^3$, 最小間隙比 $e_{\min}=0.30$ と仮定。

○S 波速度を用いた評価結果は, 地震に伴って発生した液状化現象や地盤沈下等の液状化の応答とよく一致したとされている。

○サンプリングや従来の貫入試験の適用が難しい地盤において, S 波速度を用いた液状化強度の評価が十分適用できることがわかったとされている。



N 値, 細粒分含有率, 原位置 S 波速度, 正規化 S 波速度, 正規化せん断剛性の深度分布図 (塚本ほか(1997)より引用)



- 無処理地盤繰り返し3回で液状化に至る等価せん断応力比
- 無処理地盤繰り返し15回で液状化に至る等価せん断応力比
- SD改良地盤繰り返し3回で液状化に至る等価せん断応力比
- SD改良地盤繰り返し15回で液状化に至る等価せん断応力比
- ▲ 正規化せん断波速度から推定される液状化を生ずるせん断応力比(無処理地盤)
- 強震記録から予測されるせん断応力比(無処理地盤)
- - 強震記録から予測されるせん断応力比(SD改良地盤)

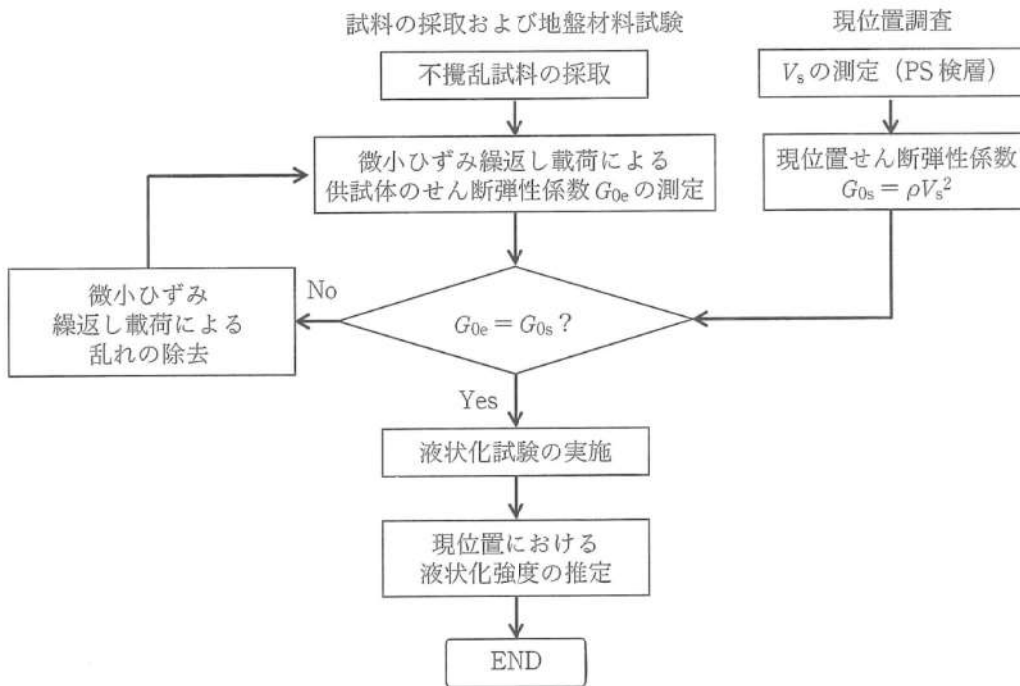
S波速度から推定される等価せん断応力比と強震記録から予測されるせん断応力比の比較
(塚本ほか(1997)より引用)

【文献⑤】 鉄道構造物等設計標準・同解説-耐震設計-, (公財) 鉄道総合技術研究所, 平成 24 年 9 月

○鉄道総合技術研究所(2012)では, L2 地震動に対する液状化判定に用いる液状化強度比 R_L は, 乱れの少ない試料を用いた室内土質試験結果から算定することが基本であるとされている。

○しかし, 一般的にはサンプリング試料には乱れが生じることが多いため, 供試体の乱れの影響の補正方法として, 以下の方法が提案されている。

- ・現在, サンプリング等による供試体の乱れを評価する普遍的な方法は確立されていないが, 原位置でのせん断弾性波速度 V_s から得られるせん断弾性係数 G_{0s} と, 室内地盤材料試験において得られるせん断弾性係数 G_{0e} を比較する方法がその一つとして挙げられる。
- ・供試体に微小せん断ひずみ履歴を与えて, せん断弾性係数 G_{0e} を原位置の PS 検層から得られた当該地盤のせん断弾性係数 G_{0s} と同程度まで増加させた後, 液状化試験を行うことで, 乱れの影響を除去して液状化強度の算定が可能である。



乱れの影響を補正した液状化試験の手順(鉄道総合技術研究所(2012)より引用)

【文献⑥】CORRELATION BETWEEN UNDRAINED CYCLIC SHEAR STRENGTH AND SHEAR WAVE VELOCITY FOR GRAVELLY SOILS, MUNENORI HATANAKA, AKIHIKO UCHIDA and YOSHIO SUZUKI, 1997

○HATANAKA et al. (1997)では、室内試験で得られた沖積層、洪積層(礫質土を主体)、まさ土の液状化強度を整理し、現地でのせん断波速度を用いた液状化強度の評価方法検討している。

○評価式の算定に用いた試験の条件は以下のとおりである。

- ・対象土層は沖積層、洪積層の礫質土及びまさ土。評価式は沖積層及びまさ土による。
- ・細粒分含有率 F_c は 0.3~10%，乾燥密度 ρ_d は 1.67~2.25g/cm³。
- ・S波速度は 60~590m/s で、PS 検層(DH方式、SP方式)による。
- ・ $\sigma_d/2\sigma_0$ は 0.2~0.89 (DA=2%，繰返し回数 5 回)※沖積層の値。

○沖積層と洪積層の試験結果はそれぞれの区分され、沖積層の試験結果で推定した液状化強度は、洪積層の下限值相当であるとされている。

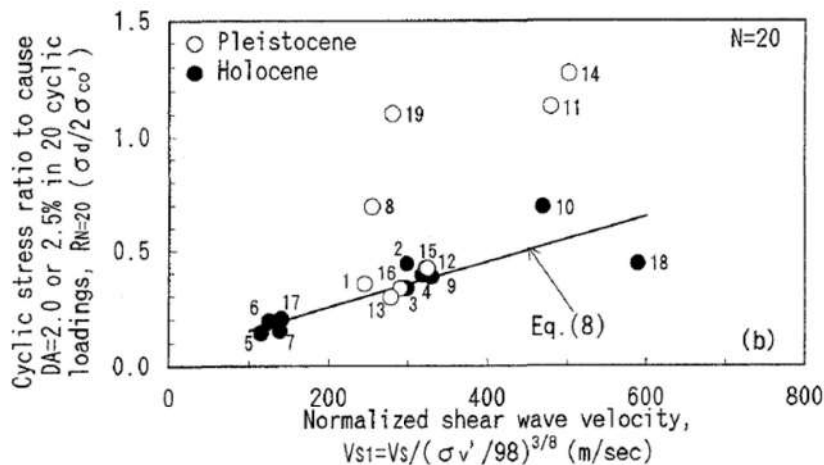
○液状化強度とせん断波速の間には良好な相関が見られるが、礫質土の物理特性の影響はほとんどないとされている。

○兵庫県南部地震(M7.3)を対象に、評価手順と実現象との検証を行った。

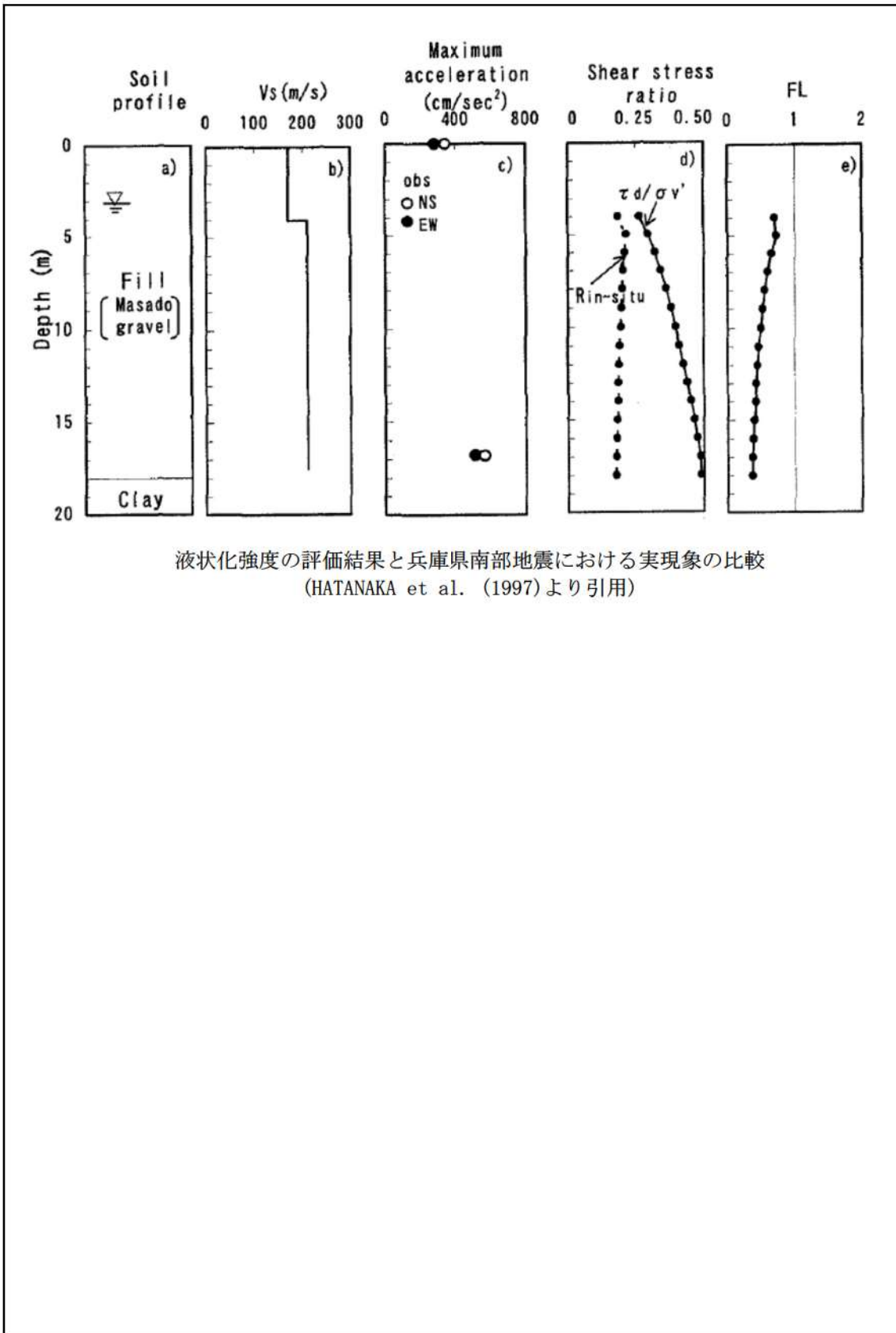
○検証を行った埋立土(まさ土)の物性は以下のとおりである。

- ・S波速度は 200m/s 前後(グラフ読み取り)で、PS 検層(DH方式、SP方式)による。

○S波速度を用いた FL 値の評価結果は、現地で発生した液状化による噴砂や地盤沈下とよく一致したとされている。



正規化せん断波速度と繰返しせん断応力の相関
(HATANAKA et al. (1997)より引用)



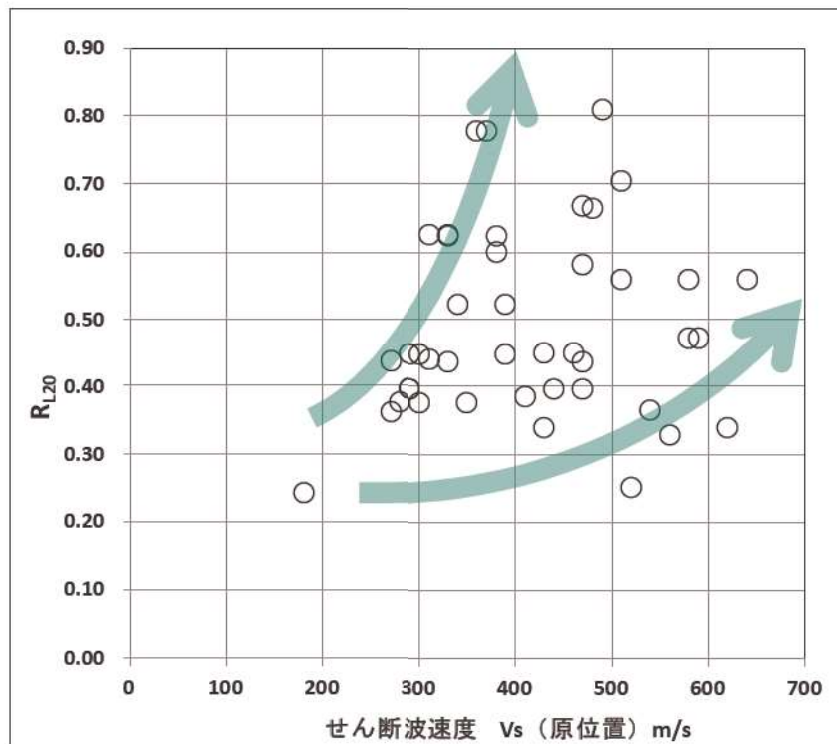
液状化強度の評価結果と兵庫県南部地震における実現象の比較
 (HATANAKA et al. (1997)より引用)

2. 埋戻土の液状化強度とせん断波速度の相関について

埋戻土について、液状化強度とせん断波速度が相関関係にあるかを確認した。液状化強度とせん断波速度の相関に関する確認結果は、以下のとおりである。

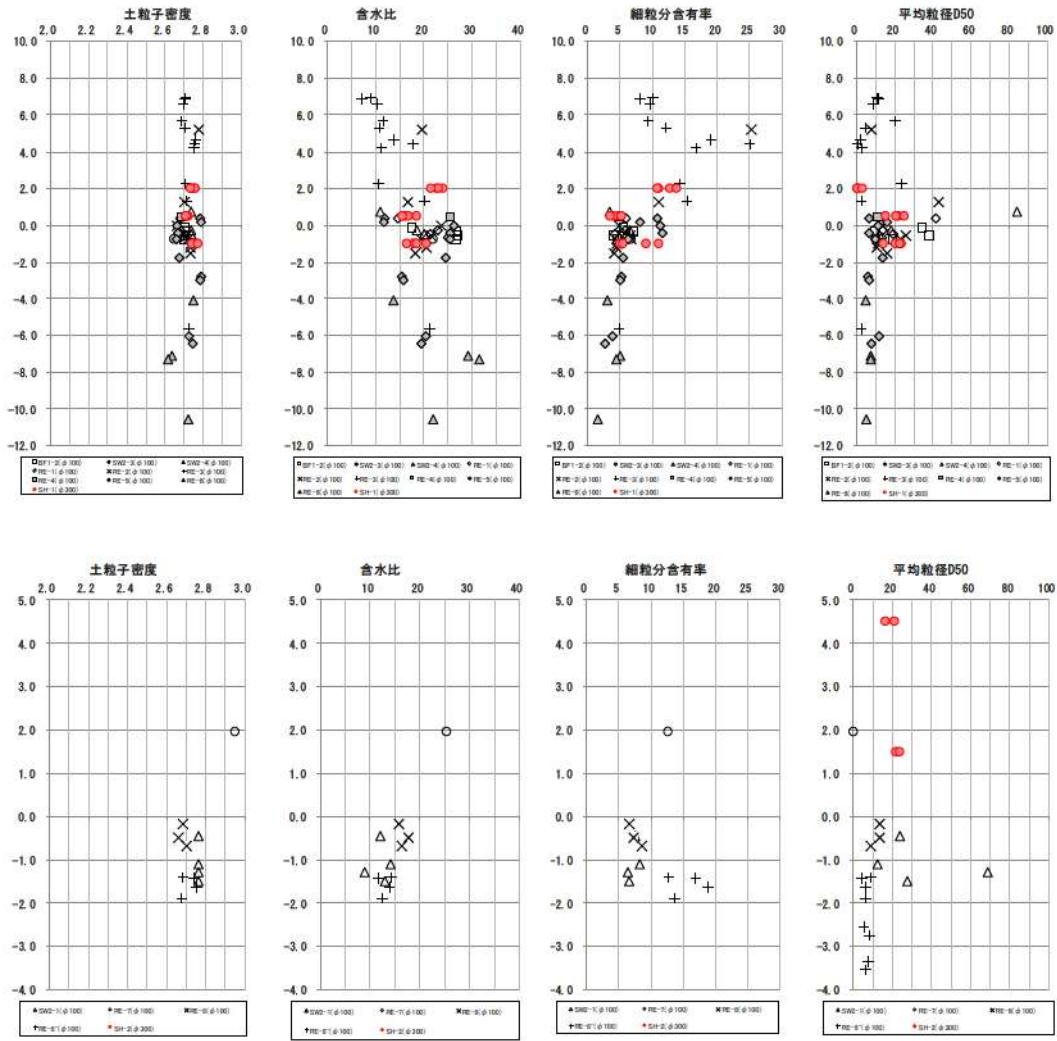
【液状化強度とせん断波速度の相関に関する考察】

- ・埋戻土の液状化強度とせん断波速度の関係は添付 5-1 図に示すとおりであり、全体的な傾向としてはせん断波速度 V_s の増大に伴って液状化強度 R_{L20} も増加する傾向を示している。
- ・せん断波速度と液状化強度の相関について、ある程度の相関は確認できるものの、一般的に強い相関があるとされる傾向を示すにはデータのばらつきが大きい。



※上図に示すデータは1,2号埋戻土と3号埋戻土すべての埋戻土のデータを対象に作成したものである。なお、1,2号埋戻土と3号埋戻土の含水比や細粒分含有率等の物性値に大きな違いはないことを確認しており、両者を区別なく用いることは妥当であると判断した(添付5-2図参照)。

添付 5-1 図 埋戻土の液状化強度とせん断波速度の関係図



添付 5-2 図 1,2 号埋戻土と 3 号埋戻土の物性値の比較
(上段 : 1,2 号埋戻土 下段 : 3 号埋戻土)

3. まとめ

埋戻土のせん断波速度を用いた液状化強度試験位置の代表性確認結果は、以下の検討結果より参考値扱いとして整理する。

また、今後、追加の液状化強度試験を行うことから、追加の試験結果も踏まえた試料採取位置の代表性確認指標について、設工認段階で改めて説明する。

(1) 泊発電所の埋戻土への適用性について

- ・各種文献において、せん断波速度と液状化強度特性の良好な相関関係があることが示されている。
- ・細粒分含有率やせん断波速度等において部分的に埋戻土と整合する項目もあり、粗粒分を含む「まさ土」を対象にした実現象との検証を行った結果でも液状化評価の再現性が示されている。
- ・各種文献はせん断波速度を代表性確認指標として用いることの妥当性を示す参考資料にできるものと考えるが、実現象との検証が限定された条件下で実施されたものであり、また、液状化強度評価式の対象土層や実験条件が埋戻土と完全に一致するものではない。

(2) 埋戻土の液状化強度とせん断波速度の相関について

- ・埋戻土の液状化強度とせん断波速度の相関は、全体的な傾向としてはせん断波速度 V_s の増大に伴って液状化強度 R_{L20} も増加する傾向を示している。
- ・埋戻土のせん断波速度と液状化強度の相関について、ある程度の相関は確認できるものの、一般的に強い相関があるとされる傾向を示すには、データのばらつきが大きい。

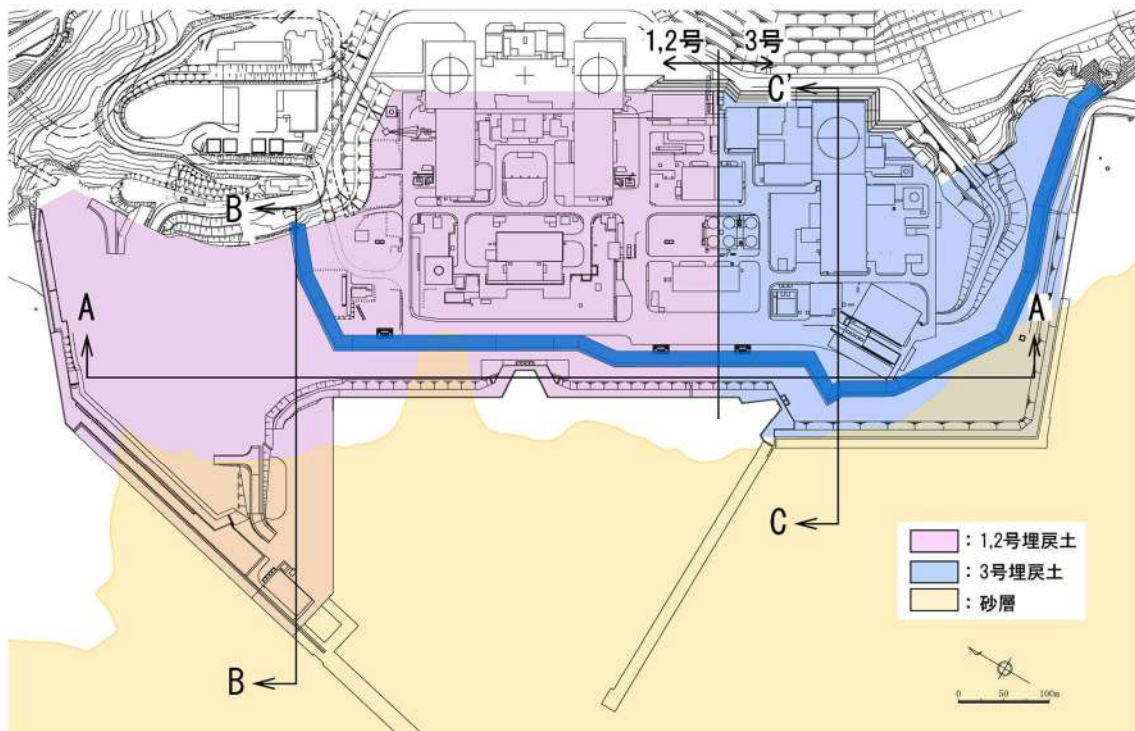
添付資料6 建設時における埋戻土の
施工及び品質管理について

1. 概要

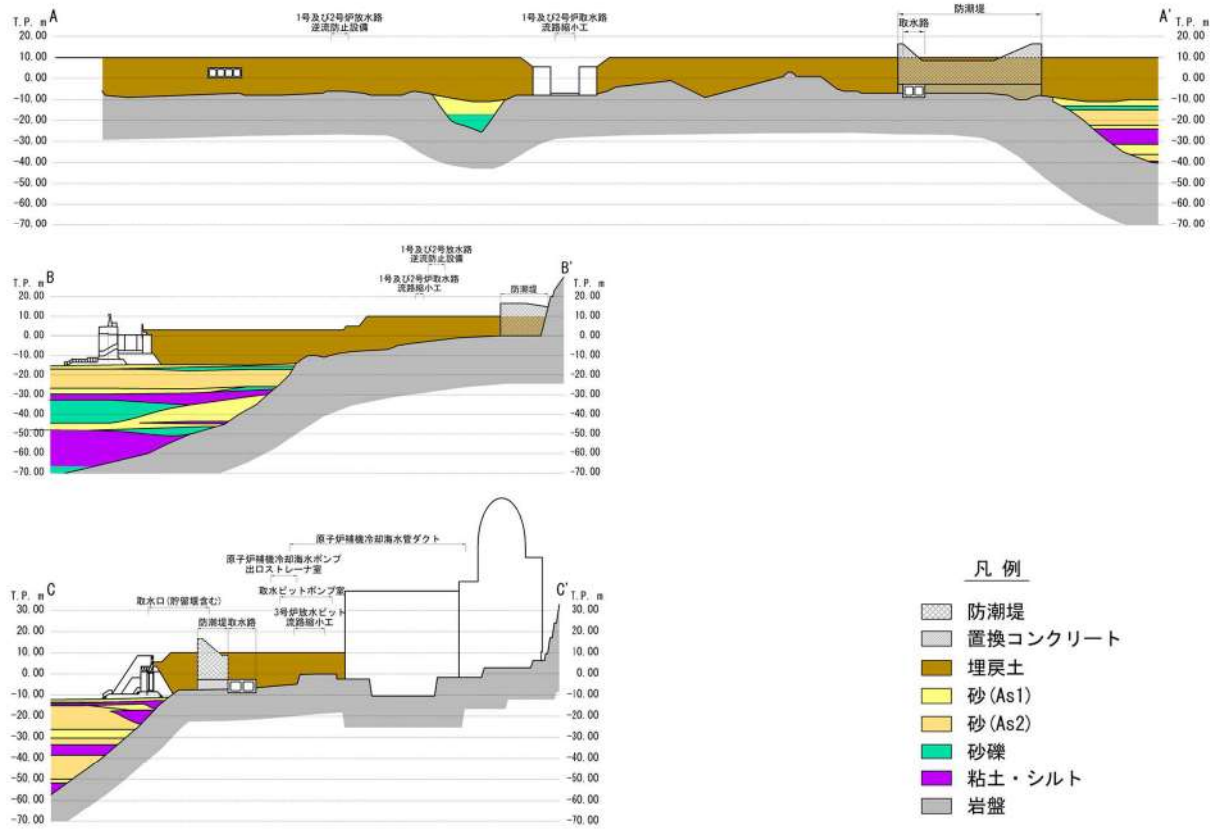
発電所の埋立地盤については、敷地造成時に発生した掘削岩砕からなる埋立地盤(人工地盤)が主体であり、施工時期、材料により1,2号埋戻土,3号埋戻土に区分される。1,2号埋戻土は、1,2号建設時の埋戻土で火砕岩主体の岩砕地盤であり、3号埋戻土は、3号建設時の埋戻土で安山岩主体の岩砕地盤である。

本資料では、建設時における埋戻土の施工及び品質管理について示す。

1,2号埋戻土及び3号埋戻土の範囲を、添付6-1図,添付6-2図に示す。



添付 6-1 図 埋戻土の範囲(平面図)



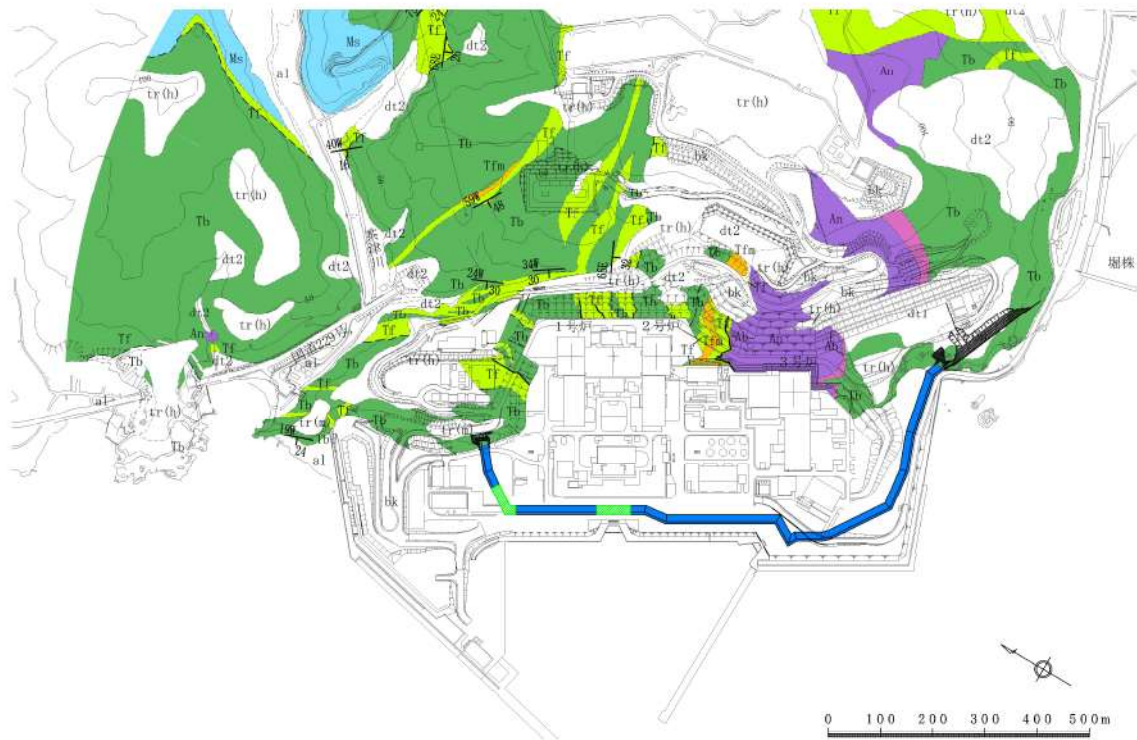
添付 6-2 図 埋戻土の範囲(断面図)

2. 埋戻土の材料

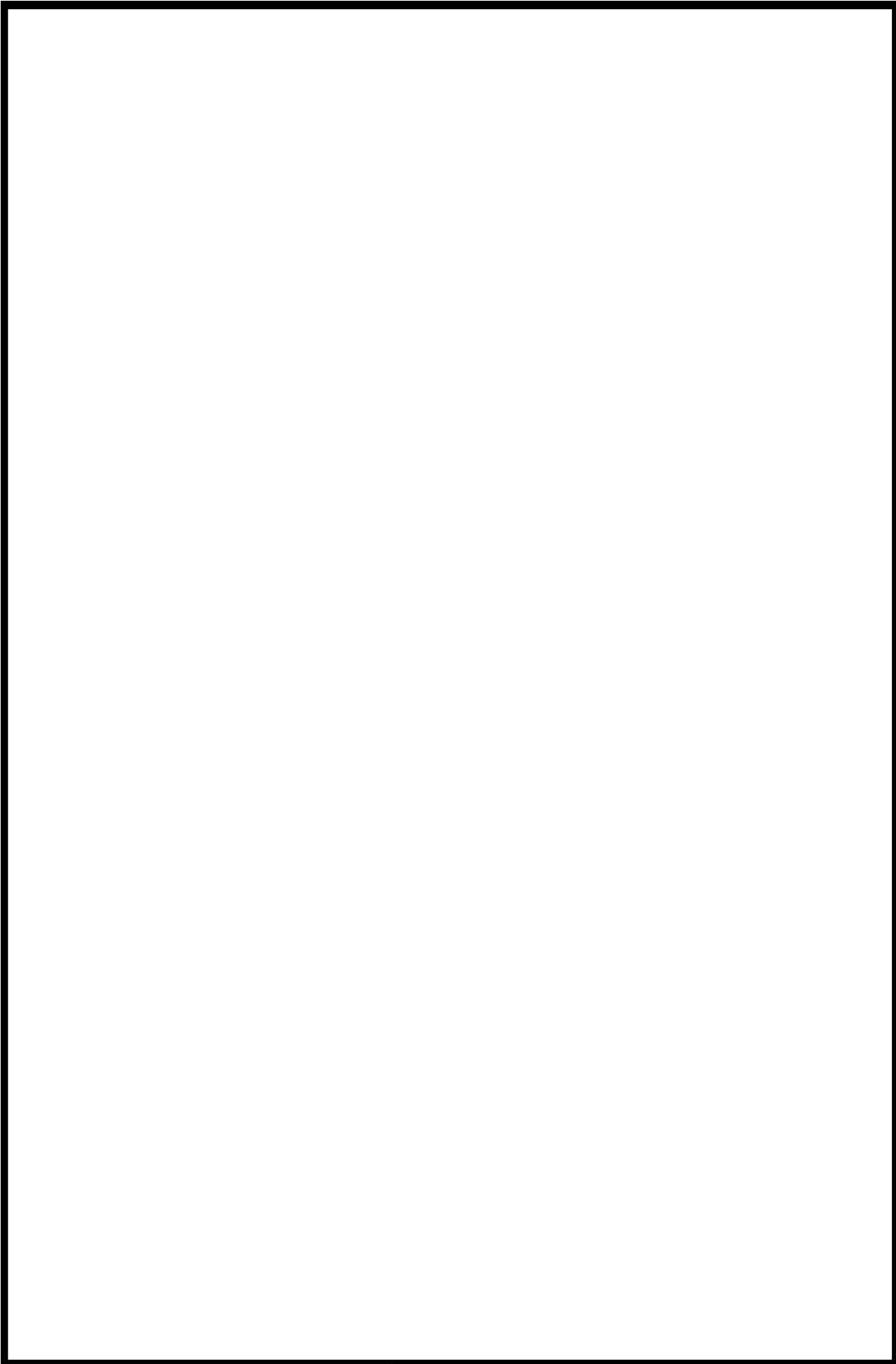
1, 2 号埋戻土の材料(岩砕)は, 火砕岩主体であり, 発電所の西斜面丘陵地の一部, 1, 2 号原子炉補助建屋, タービン建屋及びそれらに付帯する諸設備の敷地造成並びに基礎掘削から発生したものである。

3 号埋戻土の材料(岩砕)は, 安山岩主体であり, 3 号原子炉建屋, タービン建屋等及びそれらに付帯する諸設備の敷地造成並びに基礎掘削から発生したものである。

3 号炉建設時の掘削状況を添付 6-4 図に示す。



添付 6-3 図 敷地の地質平面図



: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

添付 6-4 図 3 号炉取水設備の掘削状況

3. 埋戻土の施工及び品質管理

3.1 施工及び品質管理を踏まえた埋戻土の範囲

1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土は、建設当時の施工及び品質管理の状況を踏まえると以下の 2 つに分けられる。

- ・発電所建設時に敷地の埋立及び整地のために埋戻された範囲(以下、「埋立整地工事による範囲」という。)
- ・取放水設備等を設置するために、埋立整地工事による埋戻土を掘削し、取放水設備設置後に埋戻仕様に基つき埋戻された範囲(以下、「取放水設備工事による範囲」という。)

1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の埋立整地工事による範囲及び取放水設備工事による範囲における 1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の施工及び品質管理について以下のとおり整理した。

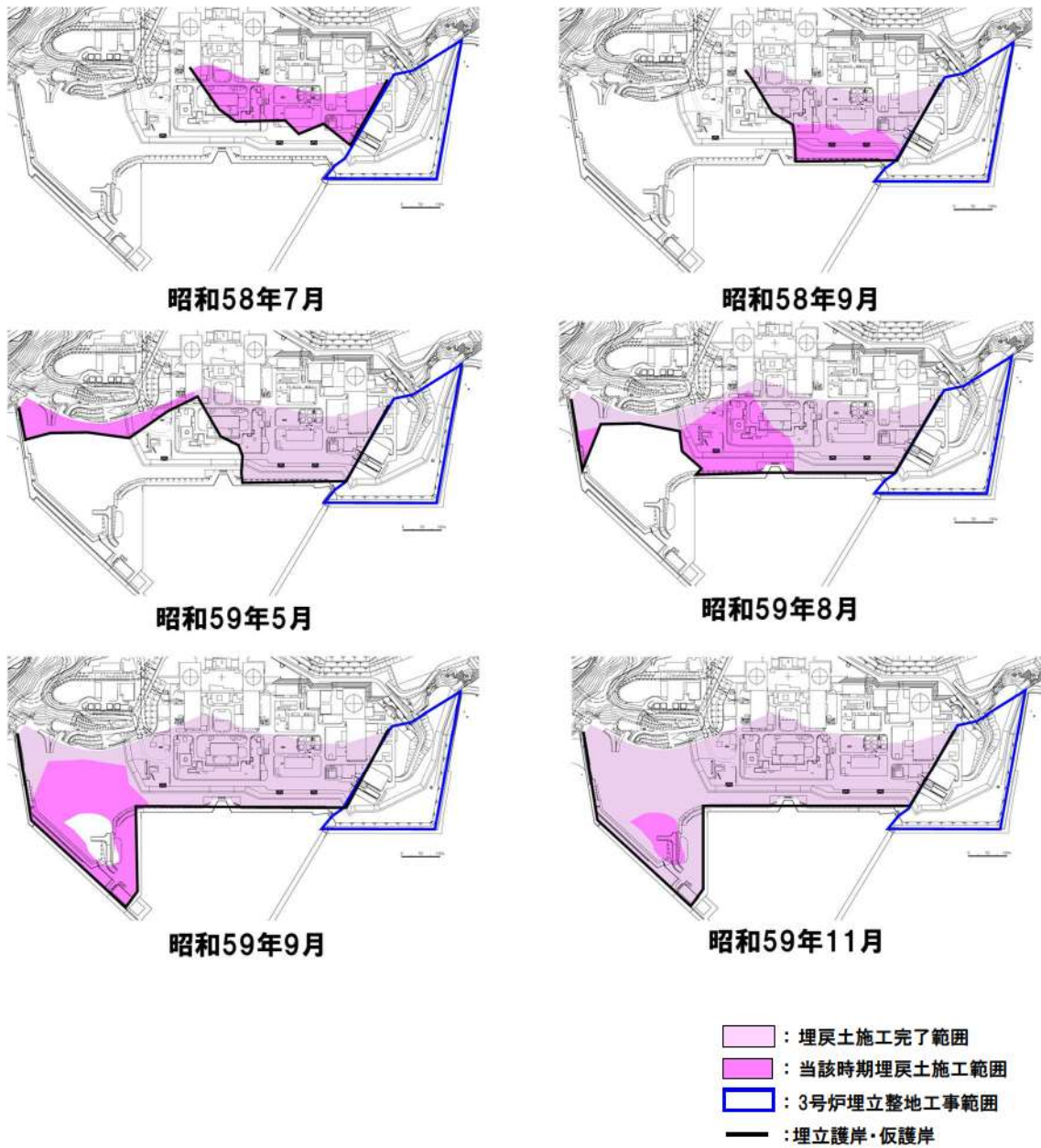
(1) 1, 2 号埋戻土の施工及び品質管理

a. 埋立整地工事による範囲

埋立整地工事は、埋立護岸・仮護岸を設置した範囲から順に施工を行い、所定の形状と高さに仕上げた。

施工は、昭和 58 年 5 月から昭和 60 年 5 月まで行われ、発電所建設時の敷地造成等で発生した岩砕の埋戻土の押土・敷均し・転圧はブルドーザにより行った。

1, 2 号埋戻土の埋立整地工事による施工状況を添付 6-5 図に示す。



添付 6-5 図 1, 2 号埋戻土の埋立整地工事による施工時期及び施工範囲

b. 取放水設備工事による範囲

取放水設備工事における埋戻は、構造物の構築後に、コンクリートが設計基準強度以上となったことを確認してから行った。

施工は、埋戻仕様にに基づきブルドーザによるまき出し後に、振動ローラによる締固めを行った。

1, 2号埋戻土の取放水設備工事による範囲の埋戻仕様を添付 6-1 表に、1, 2号取放水設備施工範囲を添付 6-6 図に示す。

添付 6-1 表 1, 2号埋戻土の取放水設備工事による範囲の埋戻仕様

締固め機械	振動ローラ 4t～8t
まき出し厚	30cm
転圧回数	6 回以上



: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

添付 6-6 図 1, 2号埋戻土の取放水設備工事による施工範囲

(2) 3号埋戻土の施工及び品質管理

a. 埋立整地工事による範囲

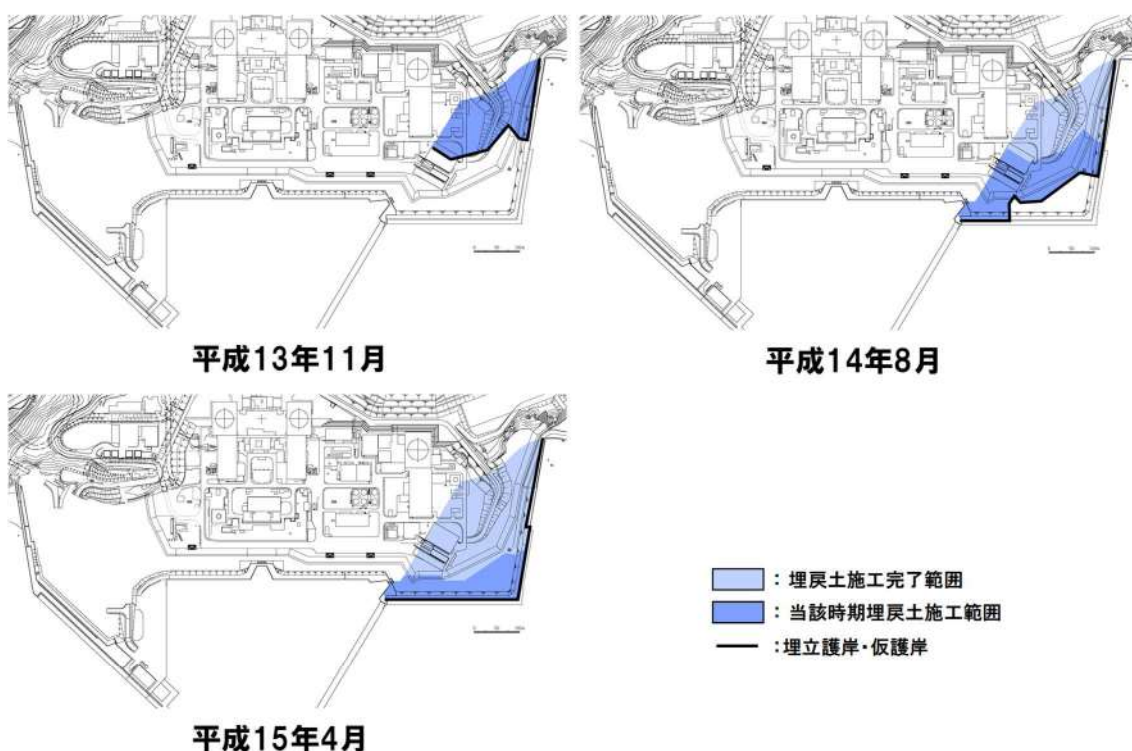
埋立整地工事は、埋立護岸・仮護岸を設置した範囲から順に施工を行い、所定の形状と高さに仕上げた。

施工は、平成13年6月から平成15年4月まで行われ、埋戻仕様に基づきブルドーザにより押土・敷均し・転圧を行った。

3号埋戻土の埋立整地工事による範囲の埋戻仕様を添付6-2表、施工状況を添付6-7図に示す。

添付6-2表 3号埋戻土の埋立整地工事による範囲の埋戻仕様

締固め機械	ブルドーザ
まき出し厚	50cm
転圧回数	3回以上



添付6-7図 3号埋戻土の埋立整地工事による施工時期及び施工範囲

b. 取放水設備工事による範囲

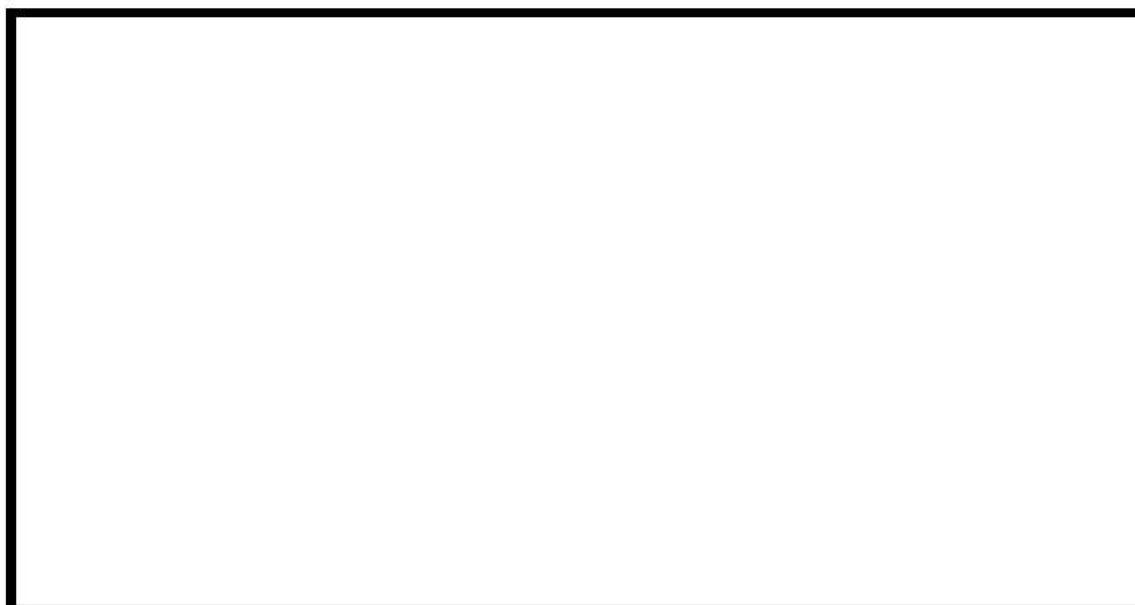
取放水設備工事における埋戻は、構造物の構築後に、コンクリートが設計基準強度以上となったことを確認してから行った。

施工は、埋戻仕様にに基づきブルドーザによるまき出し後に、振動ローラによる締固めを行った。

3号埋戻土の取放水設備工事による範囲の埋戻仕様を添付6-3表に、3号取放水設備施工範囲を添付6-8図に示す。

添付6-3表 3号埋戻土の取放水設備工事による範囲の埋戻仕様

施工箇所	一般部	狹隘部
締固め機械	振動ローラ 10t	振動ローラ 1t
まき出し厚	30cm	30cm
転圧回数	6回以上	8回以上



: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

添付6-8図 3号埋戻土の取放水設備工事による施工範囲

3.2 まとめ

埋戻土の施工及び品質管理の整理結果を踏まえ、埋戻土の粒度のばらつきの傾向について以下に取りまとめる。

a. 1,2号埋戻土

埋立整地工事による範囲は、比較的大きな粒径の材料でも転圧可能なブルドーザにより埋戻しを行ったため、粒度のばらつきが大きい。

取放水設備工事による範囲は、埋戻仕様でまき出し厚を設定し、比較的小さい粒径の材料を用いて埋戻しを行う必要があったことから、粒度のばらつきが小さい。

b. 3号埋戻土

埋立整地工事による範囲は、埋戻仕様でまき出し厚を設定したものの、取放水設備による範囲と比較してまき出し厚を大きく設定したことから、粒度のばらつきが比較的大きい。

取放水設備工事による範囲は、埋戻仕様でまき出し厚を設定し、比較的小さい粒径の材料を用いて埋戻しを行う必要があったことから、粒度のばらつきが小さい。

添付資料 8 1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の
区分けについて

1. 1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の区分けについて

発電所の埋立地盤については、敷地造成時に発生した掘削岩砕からなる埋立地盤(人工地盤)が主体であり、施工時期、材料により 1, 2 号埋戻土, 3 号埋戻土に区分される。

範囲の区分けについては、3 号炉建設時の原子炉建屋, タービン建屋等の基礎掘削及び取放水設備の掘削範囲から 1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の区分けをした。

3 号炉建設時の掘削範囲は、概ね直線的に区分けされる。

3 号炉建設時の掘削範囲図を添付 8-1 図に示す。



: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

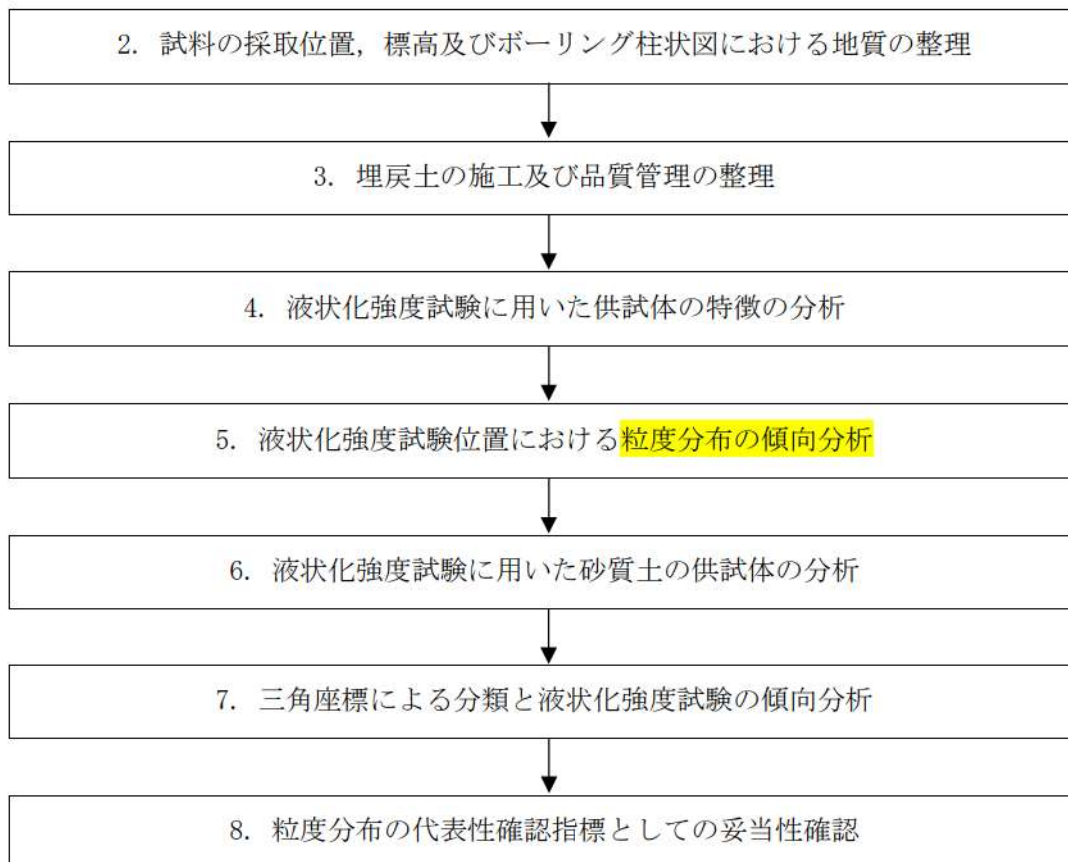
添付 8-1 図 3 号炉建設時の掘削範囲図

添付資料 9 粒度分布の代表性確認指標としての
妥当性確認

1. 粒度分布の代表性確認指標としての妥当性確認フロー

埋戻土の液状化強度試験の試料採取位置における粒度分布の代表性確認指標としての妥当性確認について以下のとおり検討する。また、妥当性確認フローを添付 9-1 図に示す。

- ・ 粒度試験に用いた試料を液状化強度試験に用いた試料とそれ以外の試料に区別した上で、採取位置、標高、ボーリング柱状図における地質及び地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類(以下、「三角座標による分類」という)について、ボーリング孔ごとに整理し、試料採取位置の平面分布、深度分布及び地質を整理する(2. 試料の採取位置、標高及びボーリング柱状図における地質の整理)。
- ・ 1, 2 号埋戻土及び 3 号埋戻土において発電所建設時の埋立整地工事と取放水設備設置後の埋戻しの施工及び品質管理を整理し、埋戻土の粒度のばらつき等への影響を確認する(3. 埋戻土の施工及び品質管理の整理)。なお、埋戻土の施工及び品質管理の整理結果について、本章では結果のみを記載するものとし、詳細は添付資料-6 を参照するものとする。
- ・ 整理結果を踏まえて、液状化強度試験に用いた供試体の特徴の分析を行い、供試体の地質ごとの平面分布及び深度分布の傾向を確認し、ばらつきがある場合はばらつきの原因を確認する(4. 液状化強度試験に用いた供試体の特徴の分析)。
- ・ 粒度試験結果を 1, 2 号埋戻土と 3 号埋戻土に分けて、粒度分布の傾向分析を行い、粒度分布のばらつき、液状化強度試験に用いた供試体の粒度分布が粒度試験結果全体の範囲に含まれているかを確認する(5. 液状化強度試験位置における粒度分布の分布傾向の分析)。
- ・ 液状化強度試験に用いた供試体のうち砂質土の供試体について供試体写真を基に分析を行い、砂分等の構成を確認する(6. 液状化強度試験に用いた砂質土の供試体の分析)。
- ・ 液状化強度試験結果について、三角座標による分類を踏まえた傾向分析を行い、地質ごとの傾向を確認する(7. 三角座標による分類と液状化強度試験の傾向分析)。
- ・ 分析結果を踏まえ、埋戻土の粒度分布と液状化強度に相関関係が認められ、代表性確認指標として粒度分布を用いることが妥当であることを確認する(8. 粒度分布の代表性確認指標としての妥当性確認)。



添付 9-1 図 粒度分布の代表性確認指標としての妥当性確認フロー

2. 試料の採取位置，標高及びボーリング柱状図における地質の整理

2.1 ボーリング孔ごとの整理

粒度分布の代表性確認指標としての**妥当性を確認するための**基礎資料として，ボーリング孔ごとに粒度試験に用いた試料の採取位置，標高及びボーリング柱状図における地質等について整理する。

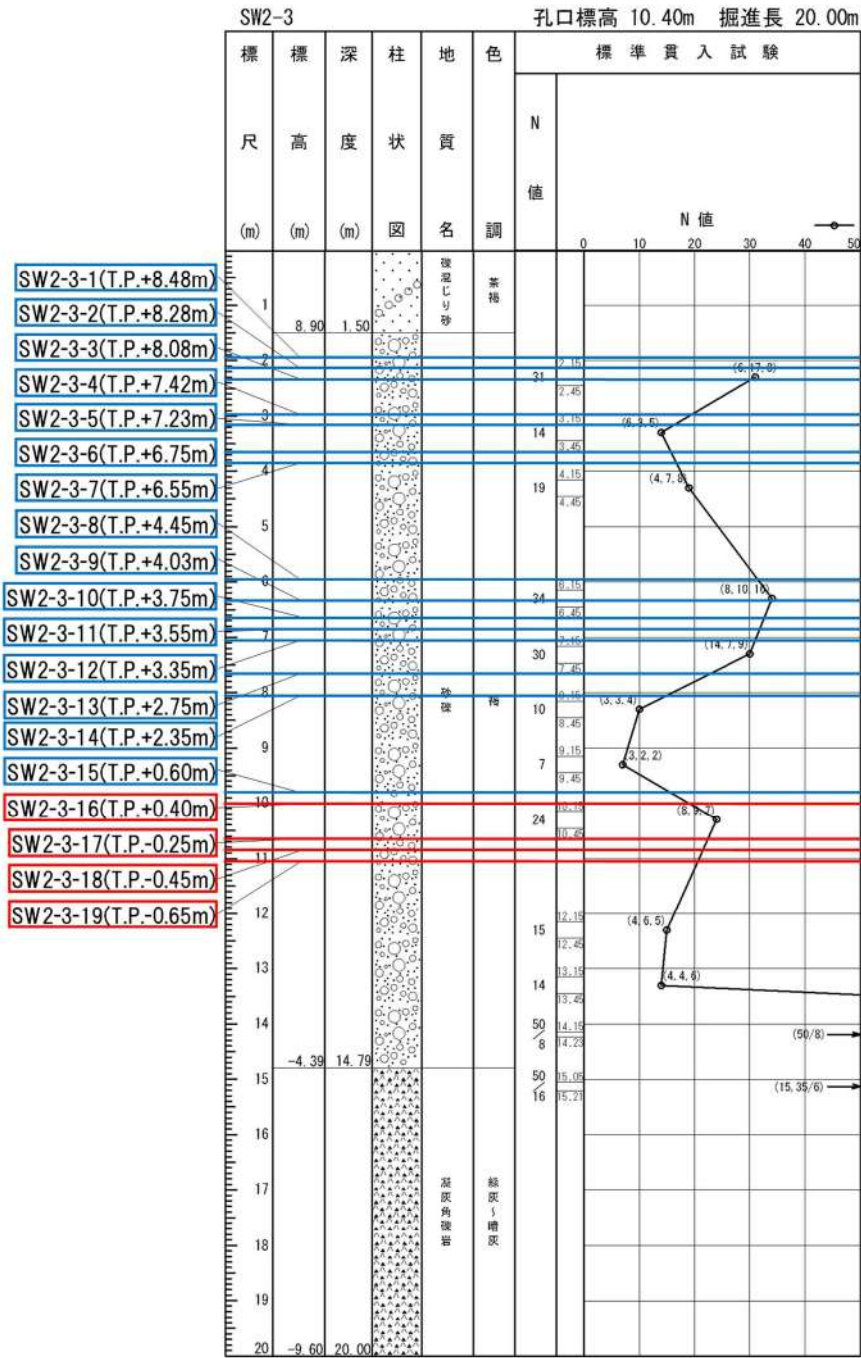
(1) SW2-3(1, 2号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置，標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図，粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-2 図，添付 9-3 図及び添付 9-4 図に示す。

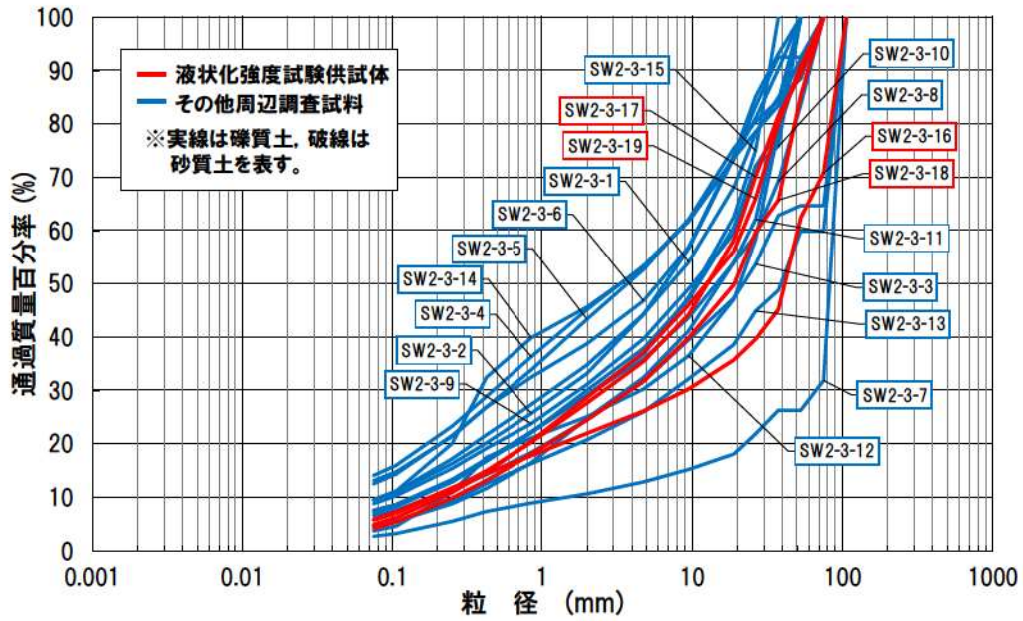
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 1, 2 号炉の取放水設備工事により埋戻じされた範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 8.48m～-0.65m で，液状化強度試験の供試体は T.P. 0.40m～-0.65m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は砂礫である。
- ・ 粒度特性は，粒度分布のばらつきが小さいこと，地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類(以下，「三角座標による分類」という。)では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取しており，その粒度分布は他の礫質土の粒度分布の範囲に含まれる。

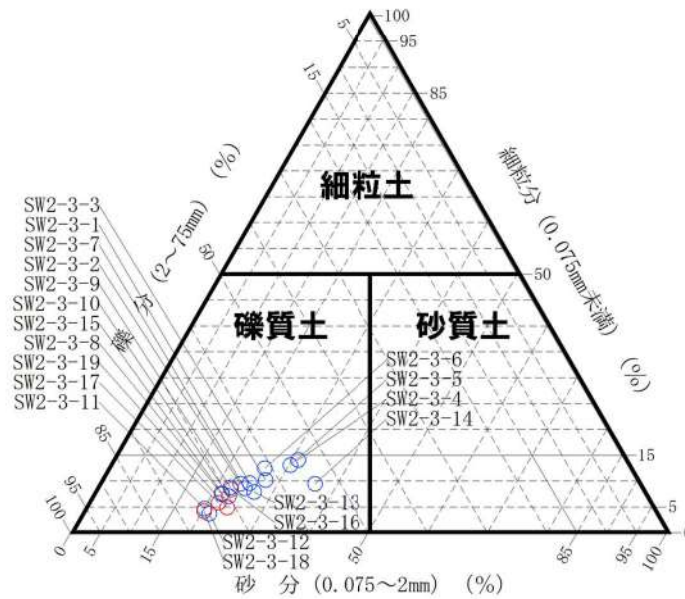


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-2 図 ボーリング柱状図(SW2-3)



添付 9-3 図 粒度分布 (SW2-3)



添付 9-4 図 三角座標による分類 (SW2-3)

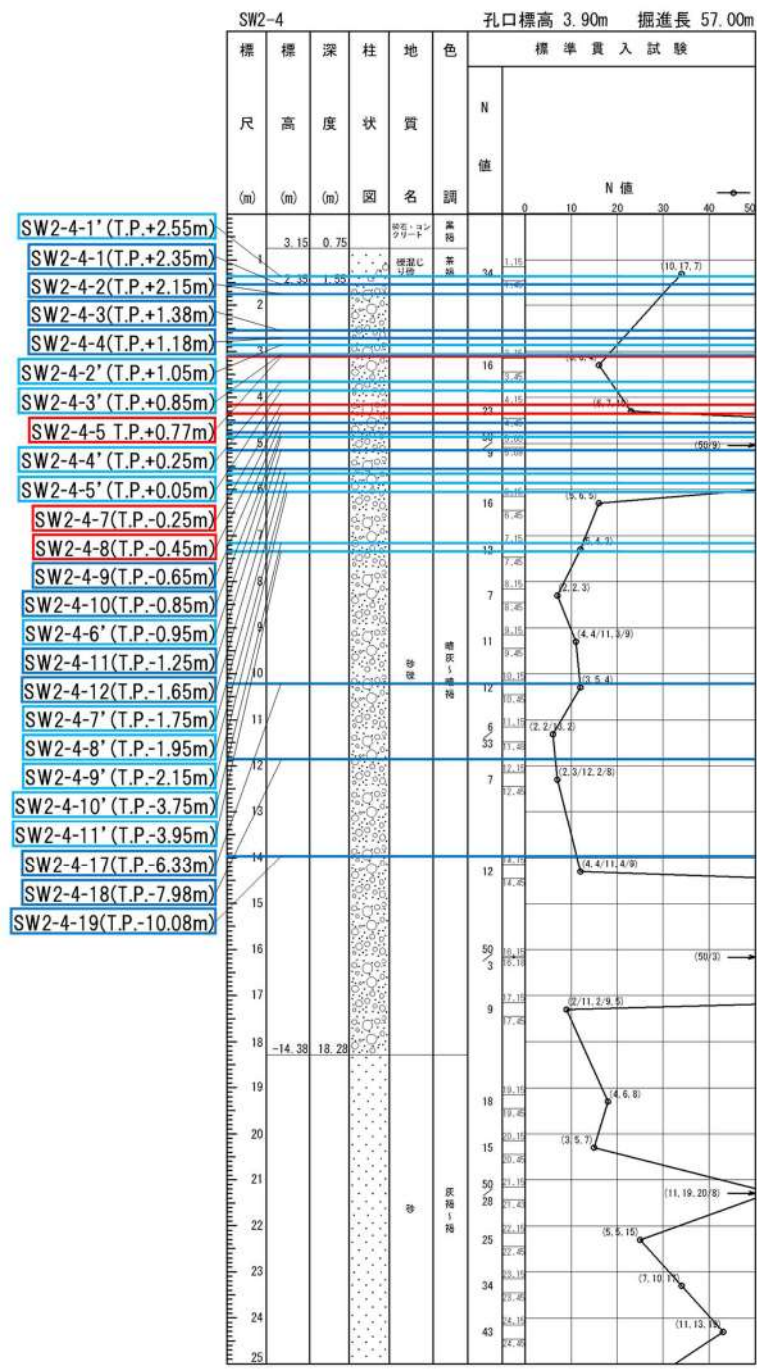
(2) SW2-4(1, 2号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-5 図, 添付 9-6 図及び添付 9-7 図に示す。

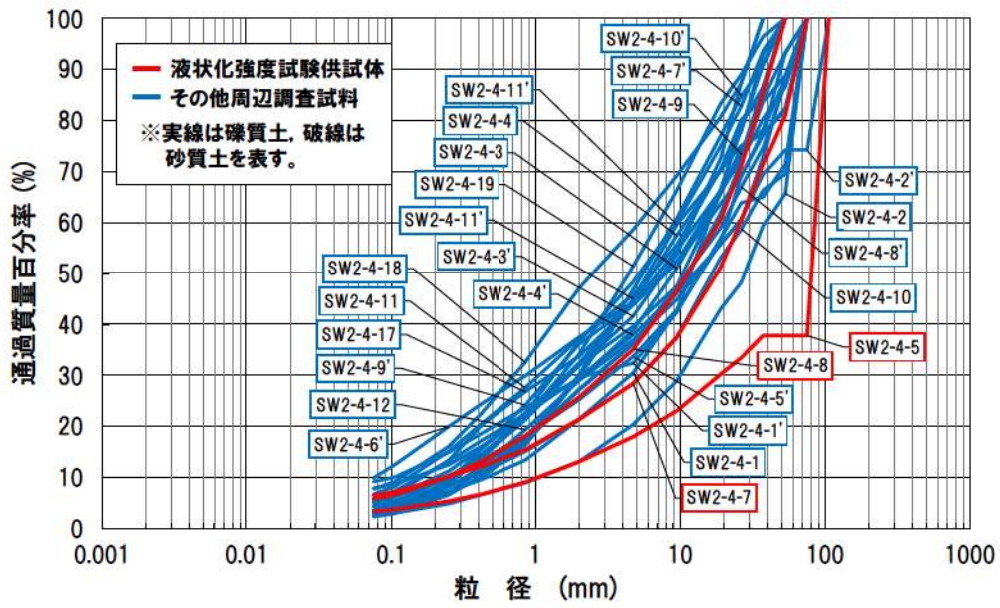
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 1, 2 号炉の埋立整地工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T. P. 2. 55m～-10. 08m で, 液状化強度試験の供試体は T. P. 0. 77m, T. P. -0. 25m～-0. 45m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は砂礫である。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが小さく, 三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取しており, 1つの供試体で礫質土の粒度分布の範囲で最も高い粒度を示すものの, 全体としては概ね他の礫質土の粒度分布と同じ範囲に含まれる。

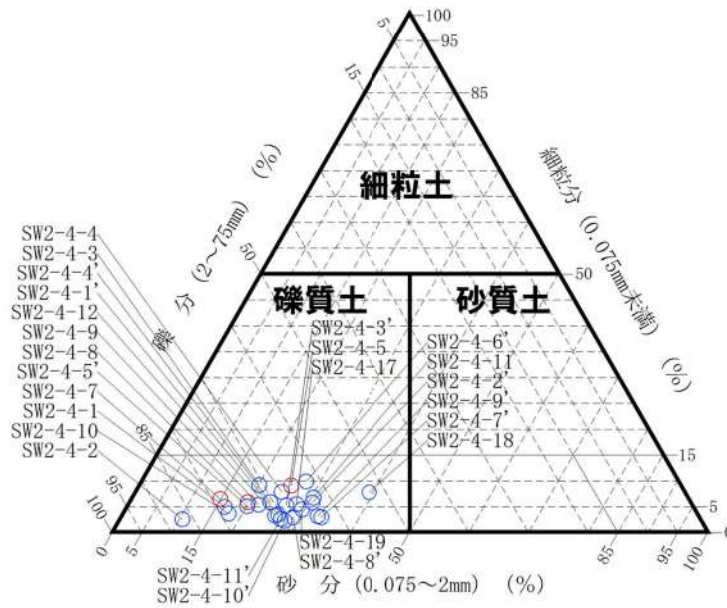


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-5 図 ボーリング柱状図(SW2-4)



添付 9-6 図 粒度分布 (SW2-4)



添付 9-7 図 三角座標による分類 (SW2-4)

(3) BF1-2(1, 2号埋戻土)

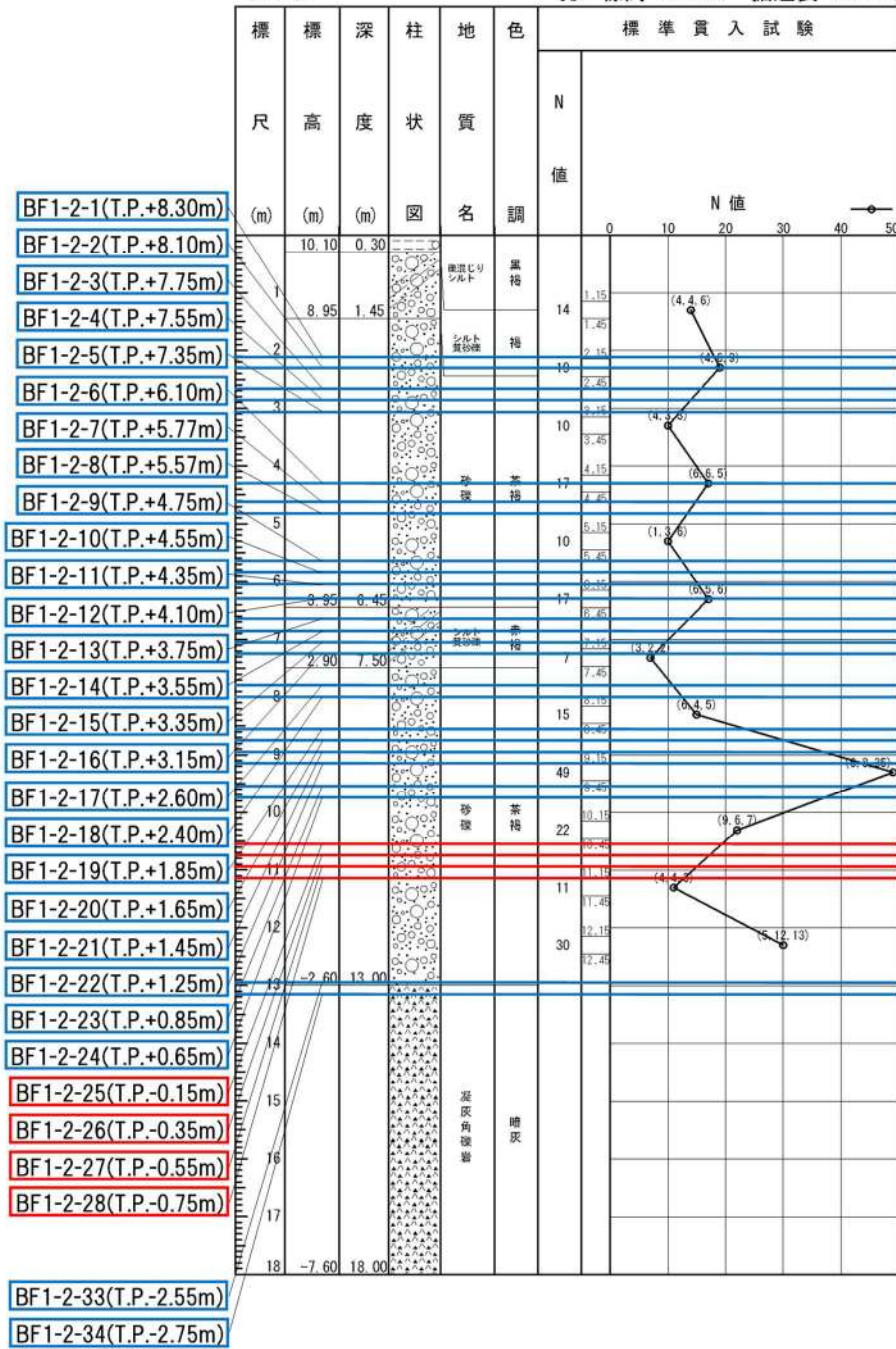
本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-8 図, 添付 9-9 図及び添付 9-10 図に示す。

【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

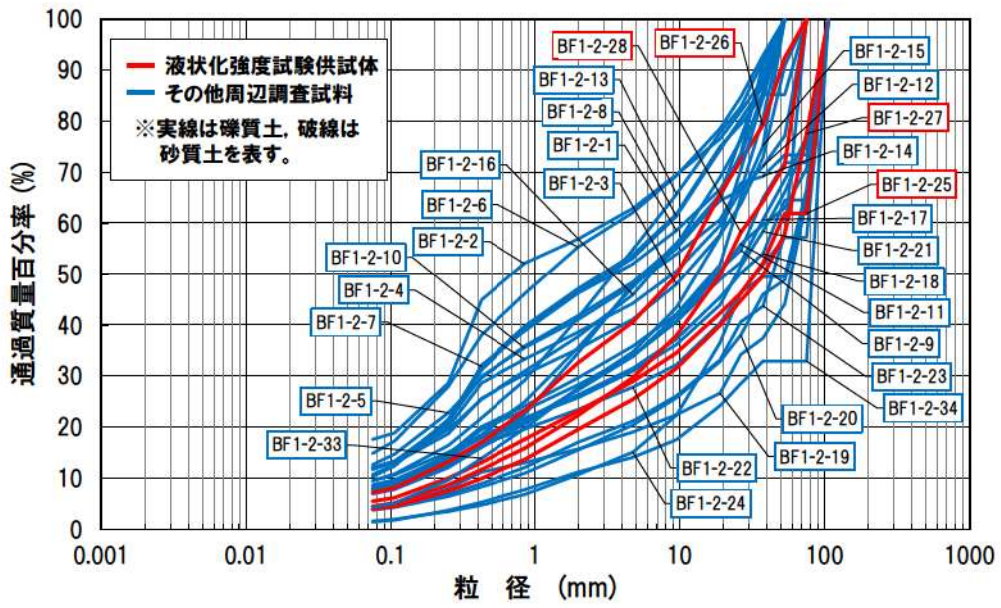
- ・ 試料採取位置は 1, 2 号炉の取放水設備工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 8.30m \sim -0.75m で, 液状化強度試験の供試体は T.P. -0.15m \sim -0.75m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は砂礫及びシルト質砂礫である。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが小さいこと, 三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取しており, その粒度分布は他の礫質土の粒度分布の範囲に含まれる。

BF1-2 孔口標高 10.40m 掘進長 18.00m

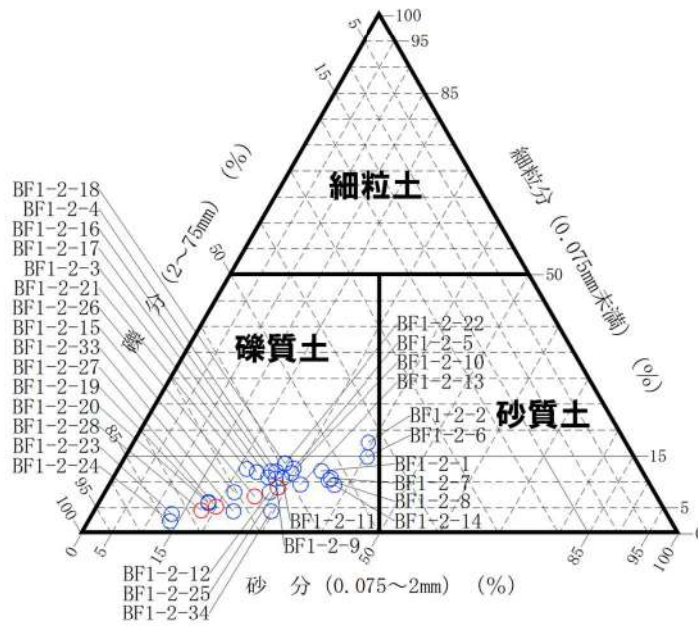


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-8 図 ボーリング柱状図 (BF1-2)



添付 9-9 図 粒度分布 (BF1-2)



添付 9-10 図 三角座標による分類 (BF1-2)

(4) RE-1(1,2号埋戻土)

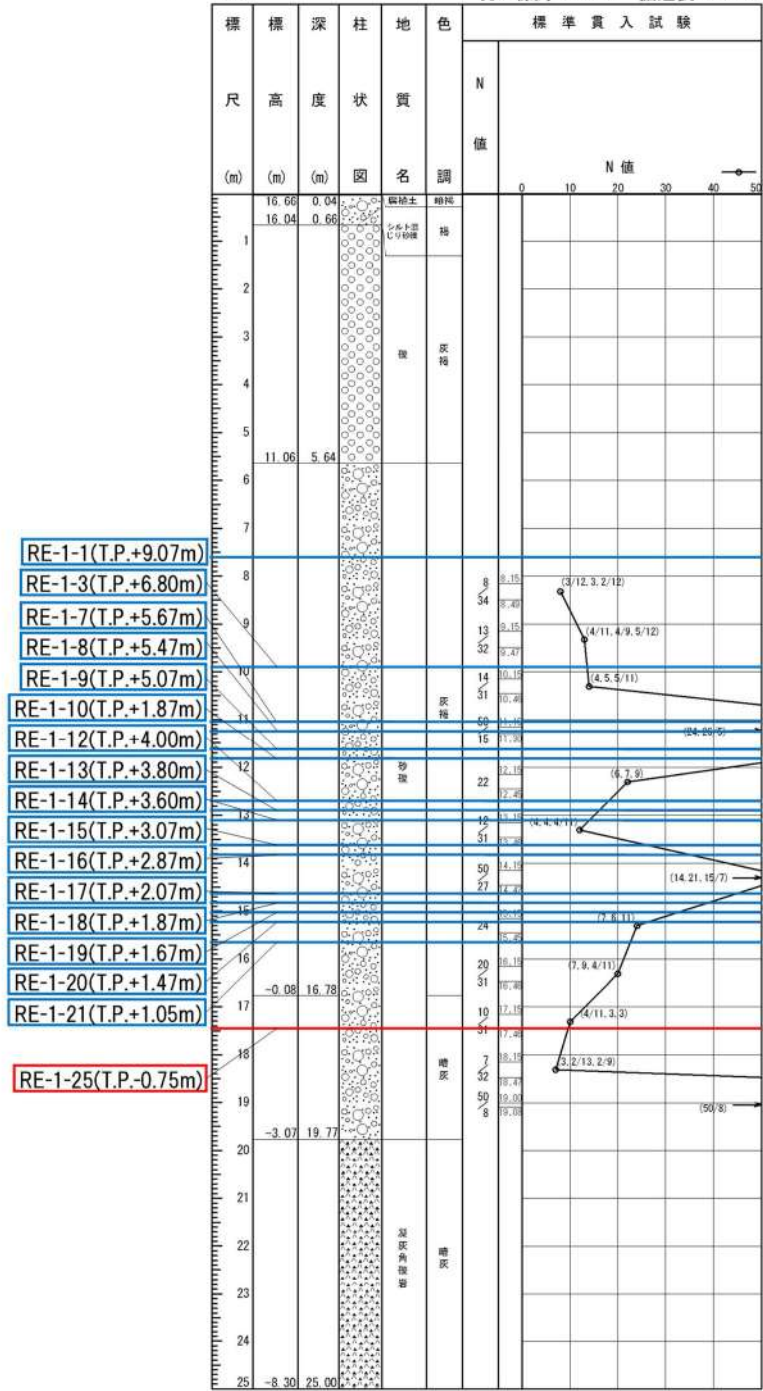
本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-11 図, 添付 9-12 図及び添付 9-13 図に示す。

【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

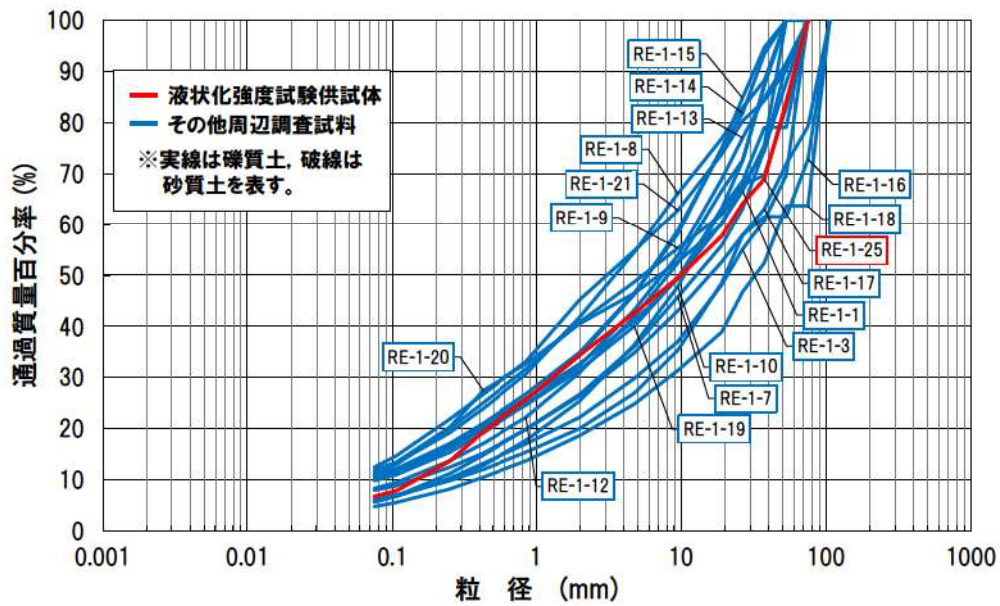
- ・ 試料採取位置は 1,2 号炉の埋立整地工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 9.07m~-0.75m で, 液状化強度試験の供試体は T.P. -0.75m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は砂礫である。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが小さいこと, 三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取しており, その粒度分布は他の礫質土の粒度分布の範囲に含まれる。

RE-1 孔口標高 16.70m 掘進長 25.00m

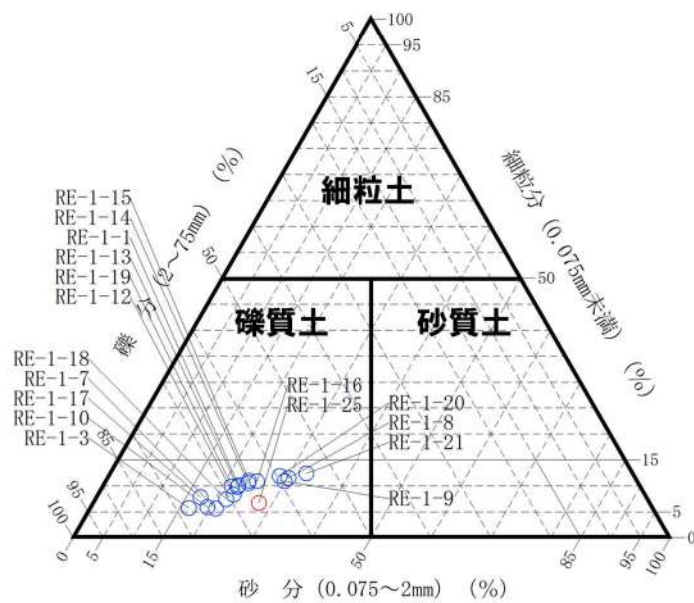


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-11 図 ボーリング柱状図(RE-1)



添付 9-12 図 粒度分布 (RE-1)



添付 9-13 図 三角座標による分類 (RE-1)

(5) RE-2(1, 2号埋戻土)

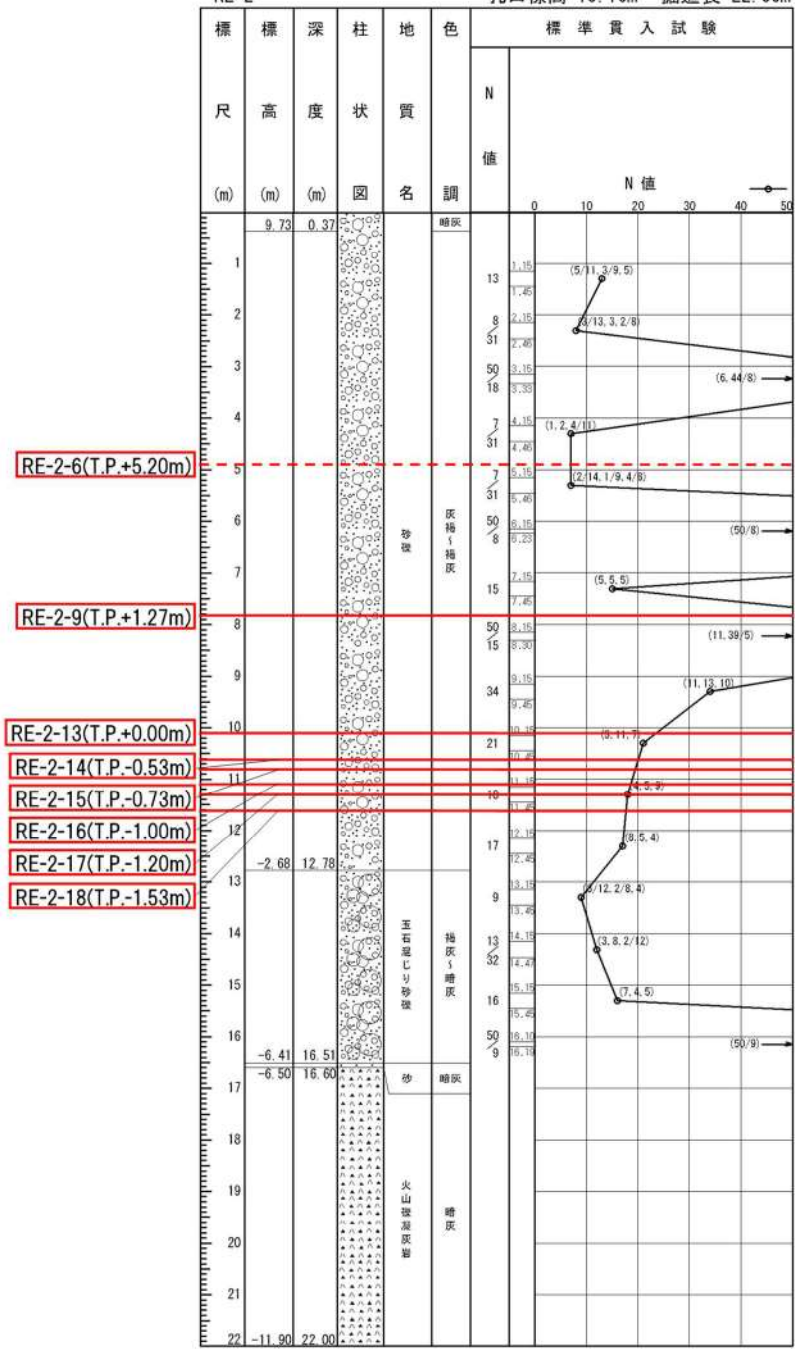
本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-14 図, 添付 9-15 図及び添付 9-16 図に示す。

【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

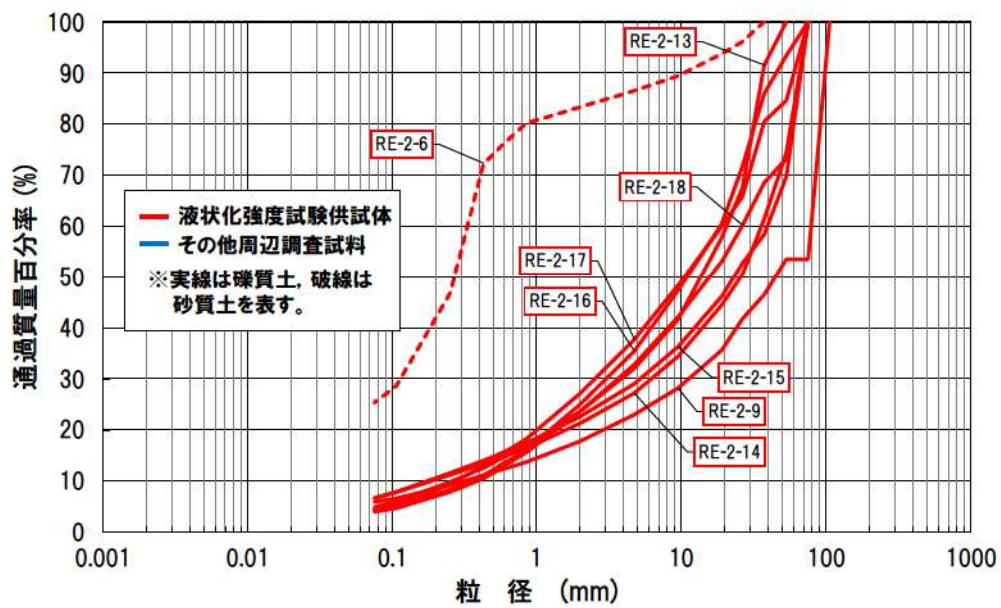
- ・ 試料採取位置は 1, 2 号炉の埋立整地工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 5.20m～-1.53m で, 液状化強度試験の供試体も粒度試験と同じ標高から採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は礫である。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが大きいこと, 三角座標による分類では礫質土と砂質土で構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土及び砂質土のそれぞれから採取している。

RE-2 孔口標高 10.10m 掘進長 22.00m

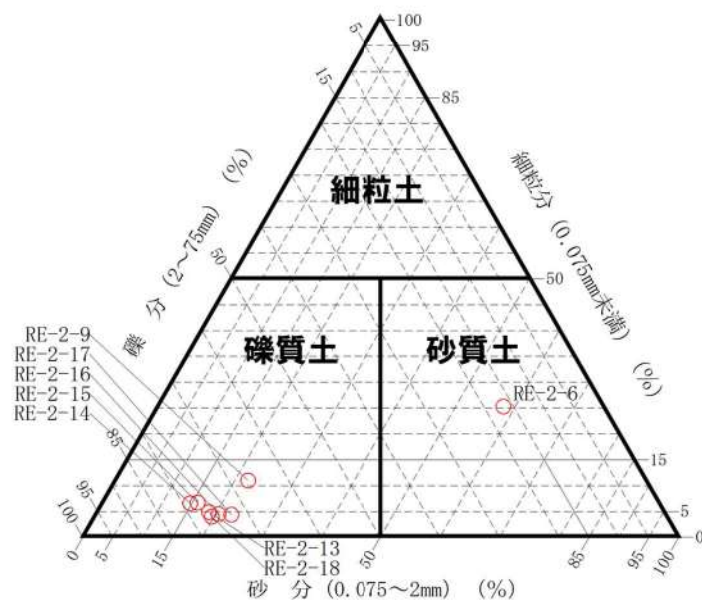


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-14 図 ボーリング柱状図(RE-2)



添付 9-15 図 粒度分布 (RE-2)



添付 9-16 図 三角座標による分類 (RE-2)

(6) RE-3(1, 2号埋戻土)

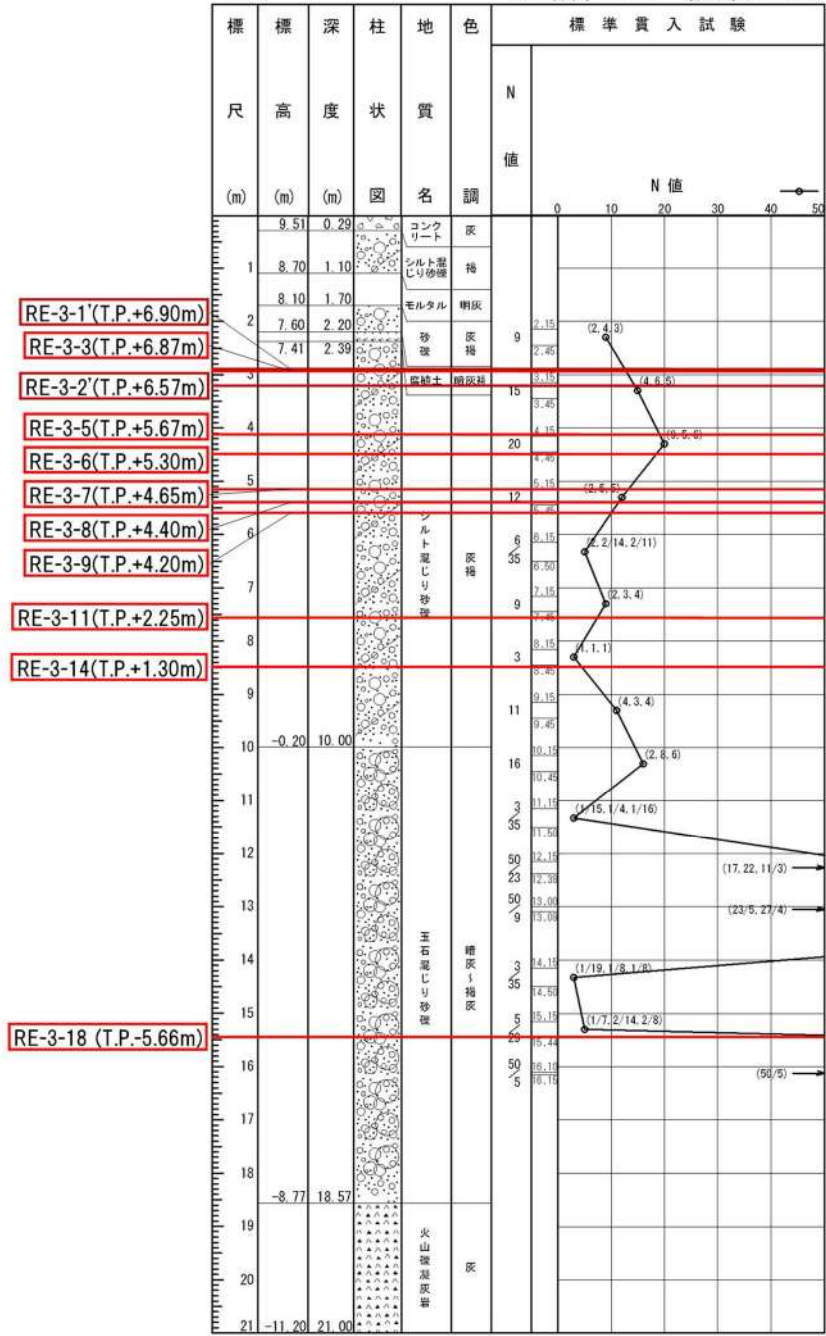
本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-17 図, 添付 9-18 図及び添付 9-19 図に示す。

【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

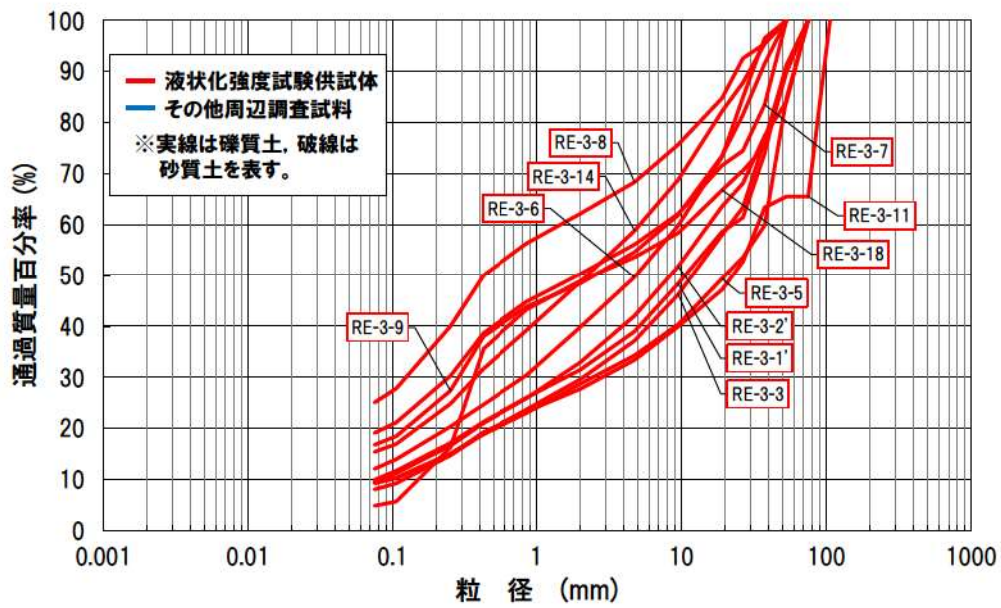
- ・ 試料採取位置は 1, 2 号炉の取放水設備工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 6.90m～-5.66m で, 液状化強度試験の供試体も粒度試験と同じ標高から採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質はシルト混じり砂礫及び玉石混じり砂礫である。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが小さいこと, 三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取している。

RE-3 孔口標高 9.80m 掘進長 21.00m

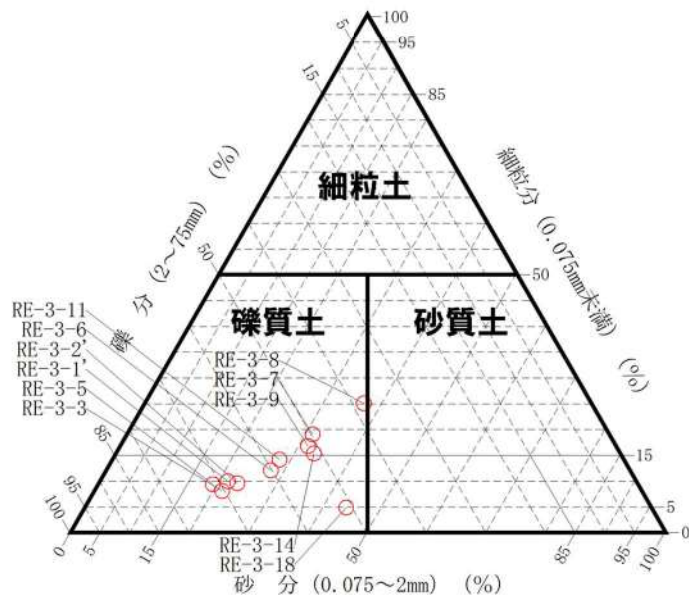


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-17 図 ボーリング柱状図(RE-3)



添付 9-18 図 粒度分布 (RE-3)



添付 9-19 図 三角座標による分類 (RE-3)

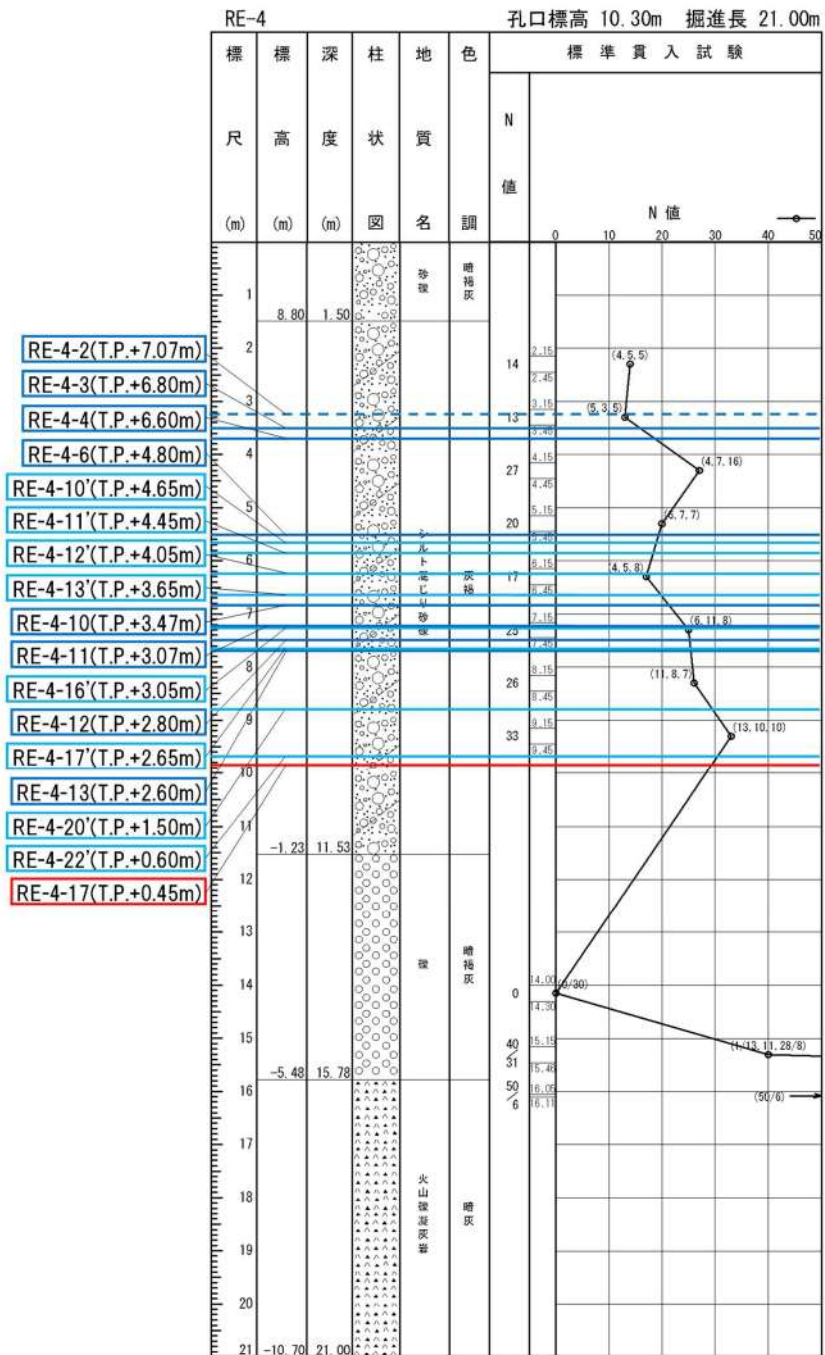
(7) RE-4(1, 2号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-20 図, 添付 9-21 図及び添付 9-22 図に示す。

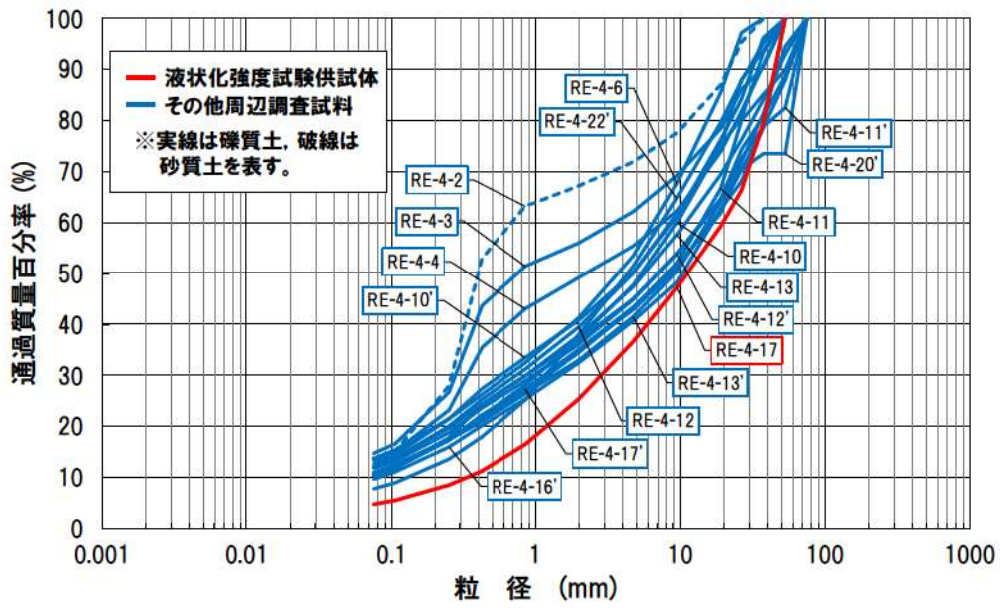
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 1, 2 号炉の取放水設備工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 7.07m~+0.45m で, 液状化強度試験の供試体は T.P. 0.45m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質はシルト混じり砂礫である。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが大きいこと, 三角座標による分類では礫質土と砂質土で構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取しており, 概ね他の礫質土の粒度分布と同じ範囲に含まれる。

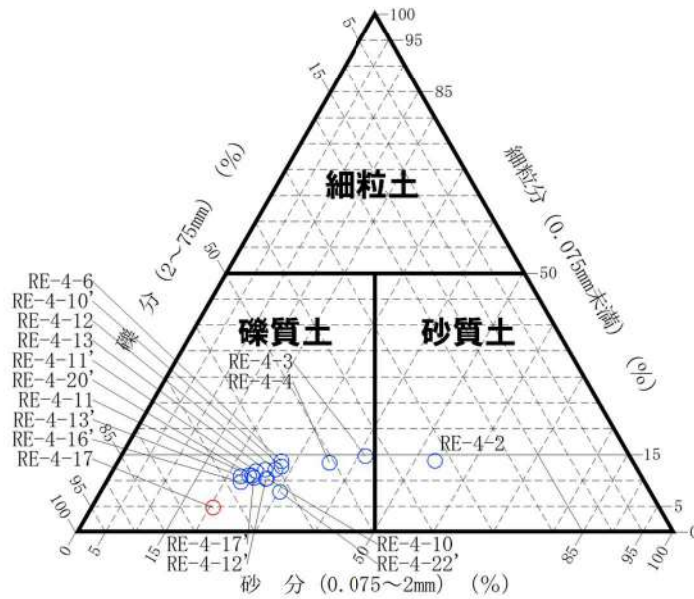


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-20 図 ボーリング柱状図(RE-4)



添付 9-21 図 粒度分布 (RE-4)



添付 9-22 図 三角座標による分類 (RE-4)

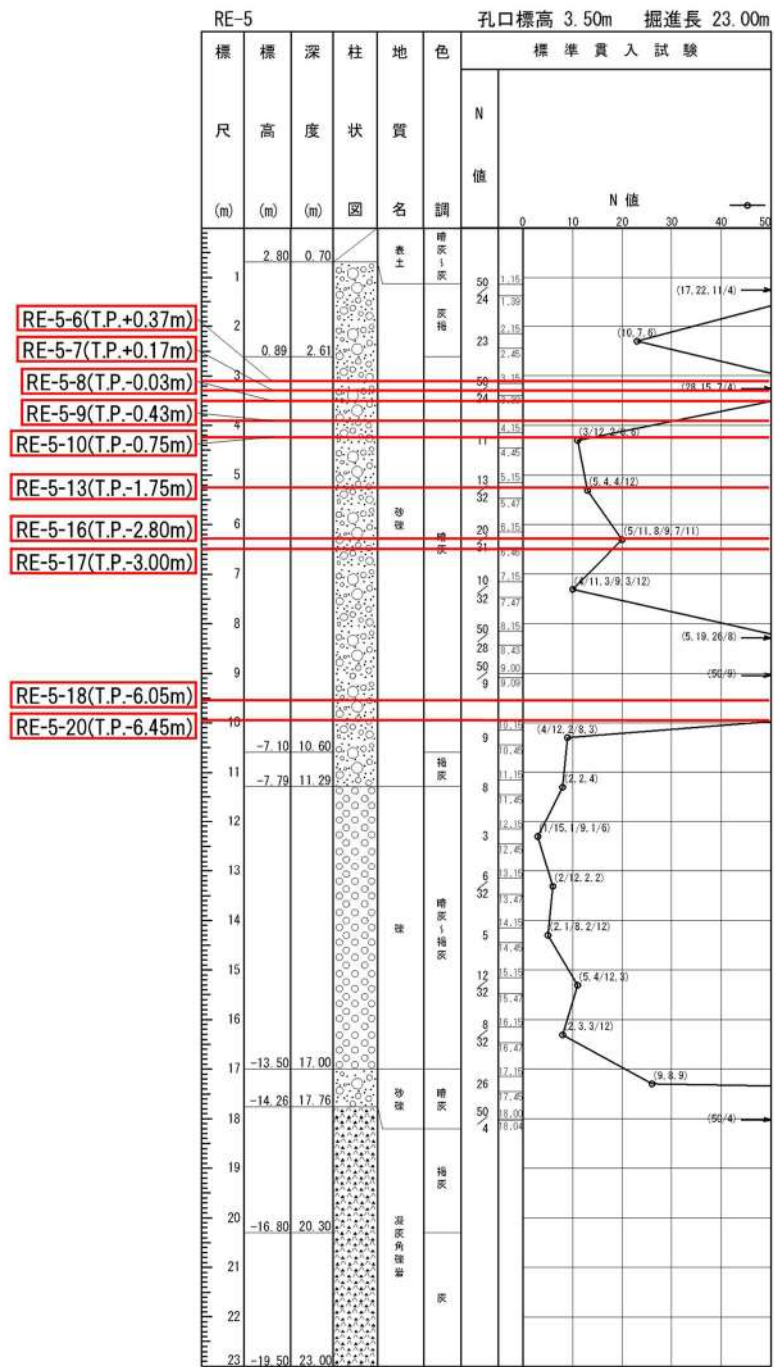
(8) RE-5(1, 2号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-23 図, 添付 9-24 図及び添付 9-25 図に示す。

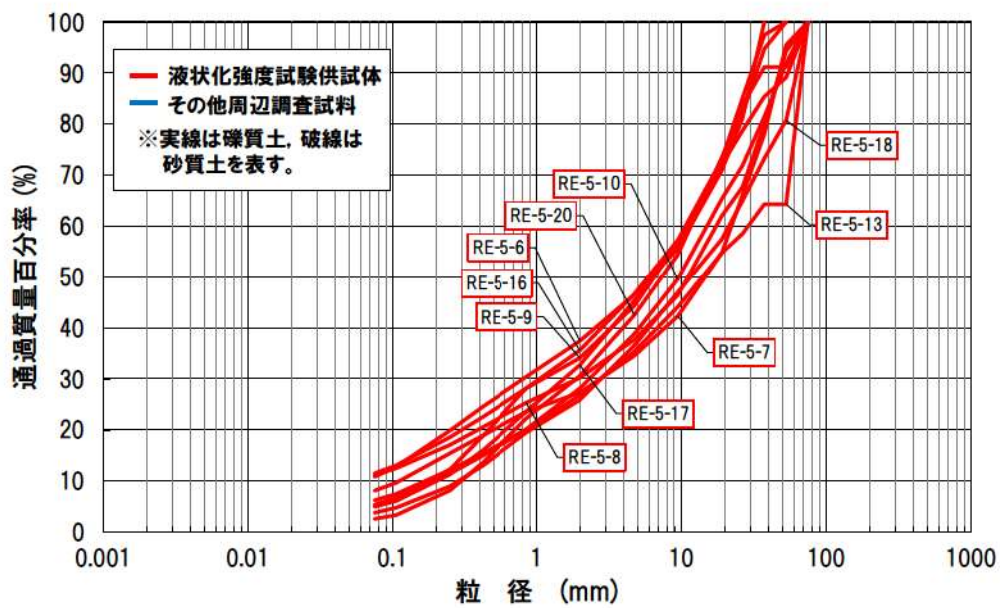
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 1, 2 号炉の埋立整地工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 0. 37m～-6. 45m で, 液状化強度試験の供試体も粒度試験と同じ標高から採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は砂礫である。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが小さいこと, 三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取している。

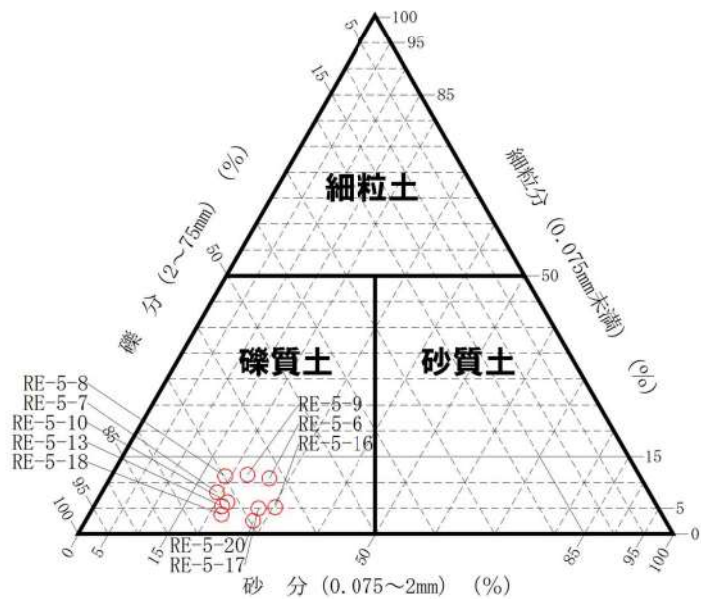


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-23 図 ボーリング柱状図(RE-5)



添付 9-24 図 粒度分布 (RE-5)



添付 9-25 図 三角座標による分類 (RE-5)

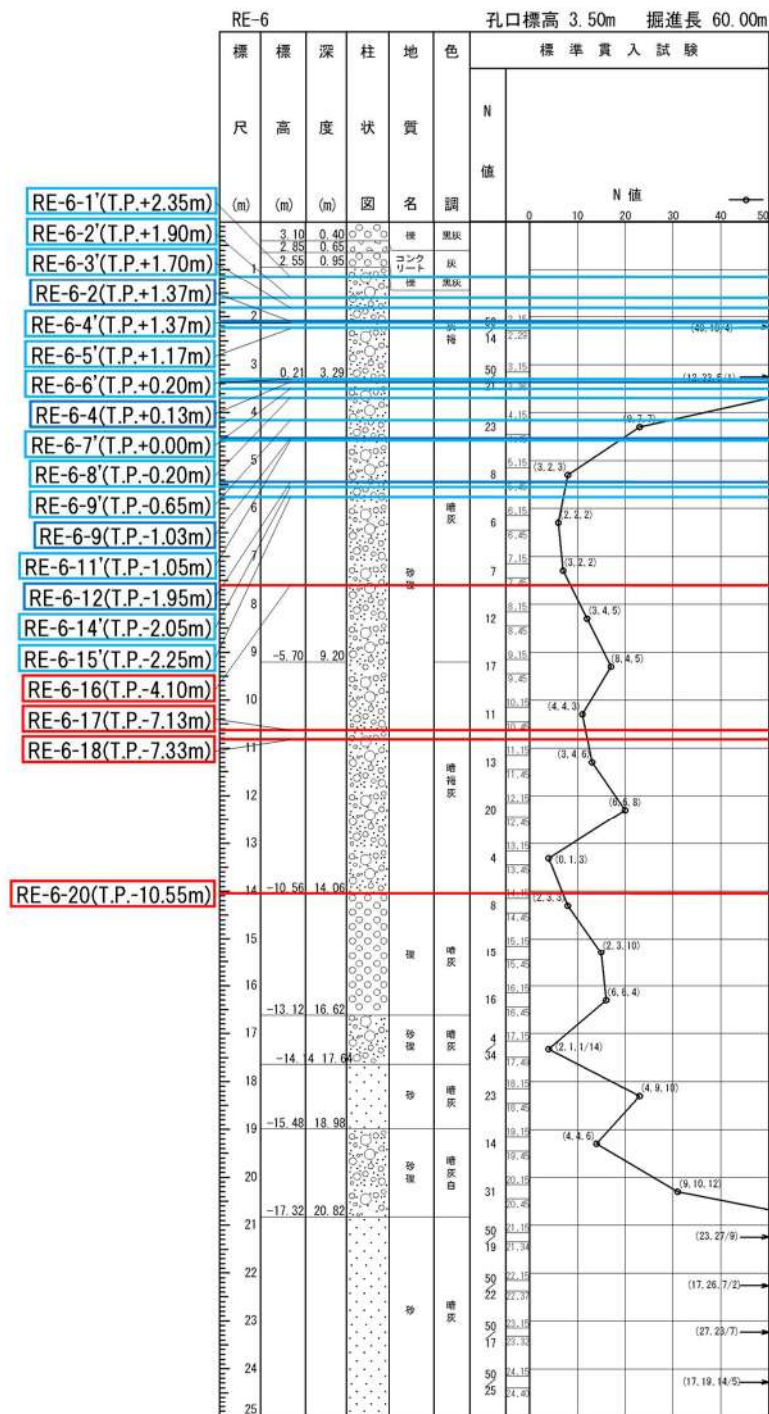
(9) RE-6(1, 2号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-26 図, 添付 9-27 図及び添付 9-28 図に示す。

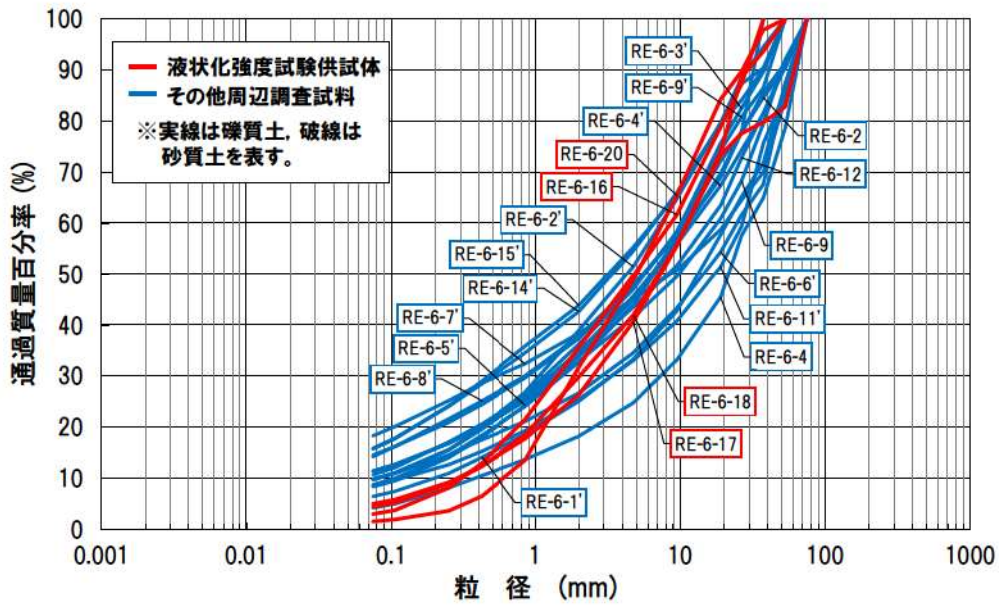
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 1, 2 号炉の埋立整地工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T. P. 2. 35m～-10. 55m で, 液状化強度試験の供試体は T. P. -4. 10m～-10. 55m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は砂礫である。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが小さいこと, 三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取しており, その粒度分布は他の礫質土の粒度分布の範囲に含まれる。

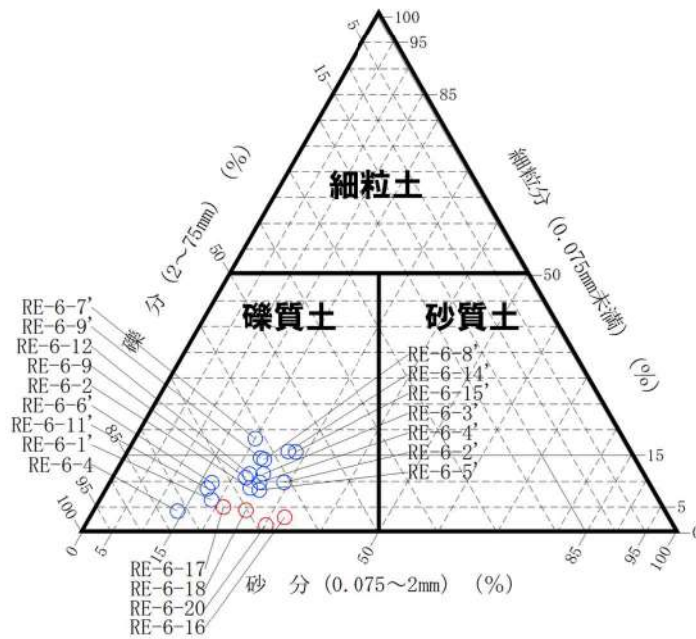


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-26 図 ボーリング柱状図(RE-6)



添付 9-27 図 粒度分布 (RE-6)



添付 9-28 図 三角座標による分類 (RE-6)

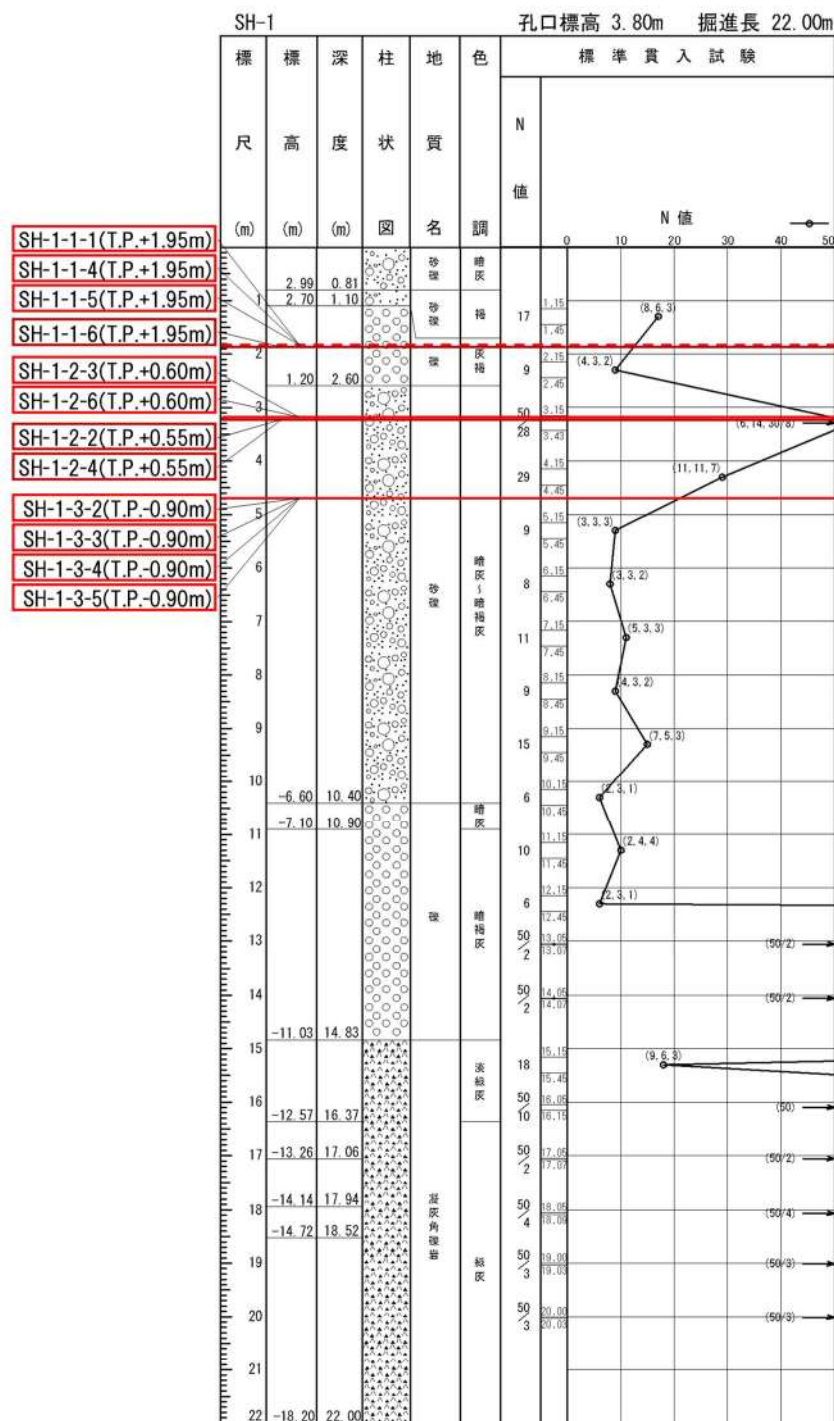
(10) SH-1(1, 2号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-29 図, 添付 9-30 図及び添付 9-31 図に示す。

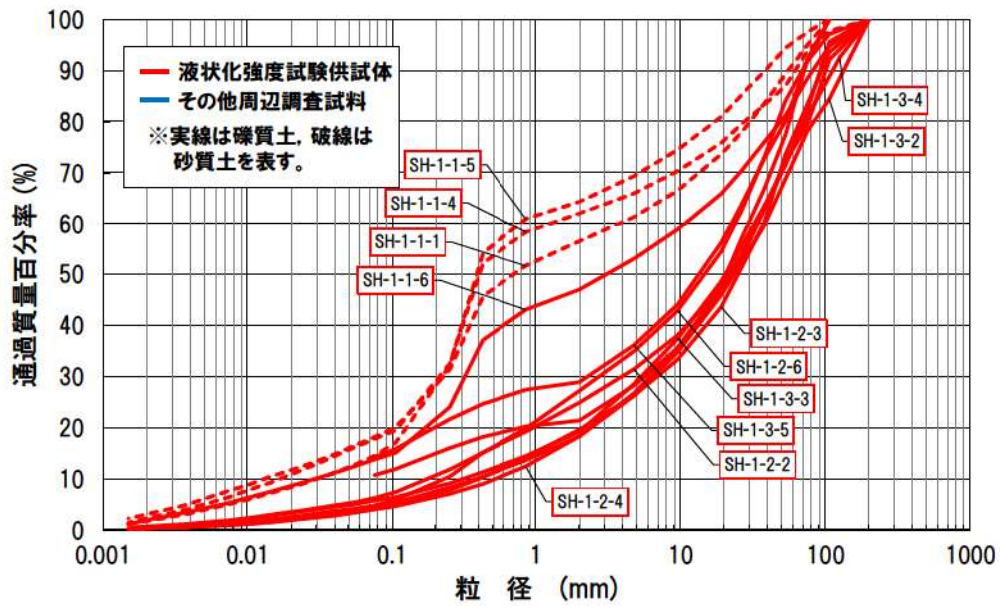
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 1, 2 号炉の埋立整地工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T. P. 1. 95m~-0. 90m で, 液状化強度試験の供試体も粒度試験と同じ標高から採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は礫及び砂礫である。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが大きいこと, 三角座標による分類では礫質土と砂質土で構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土及び砂質土のそれぞれから採取している。

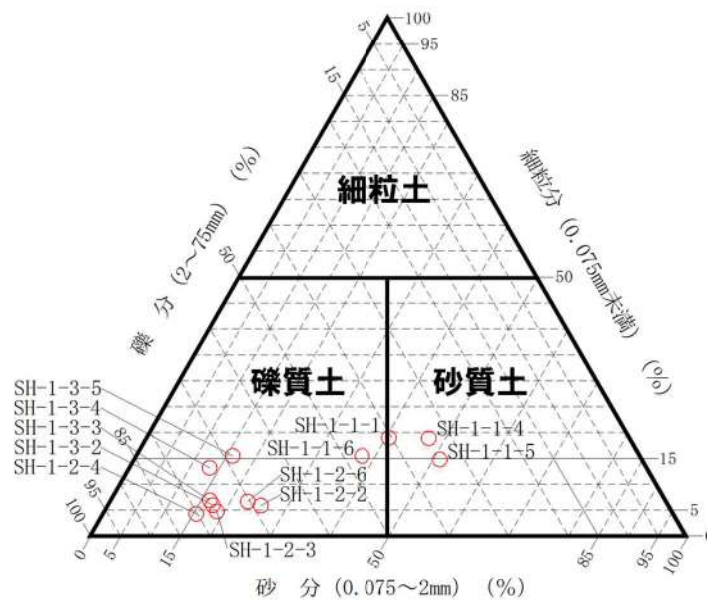


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-29 図 ボーリング柱状図(SH-1)



添付 9-30 図 粒度分布 (SH-1)



添付 9-31 図 三角座標による分類 (SH-1)

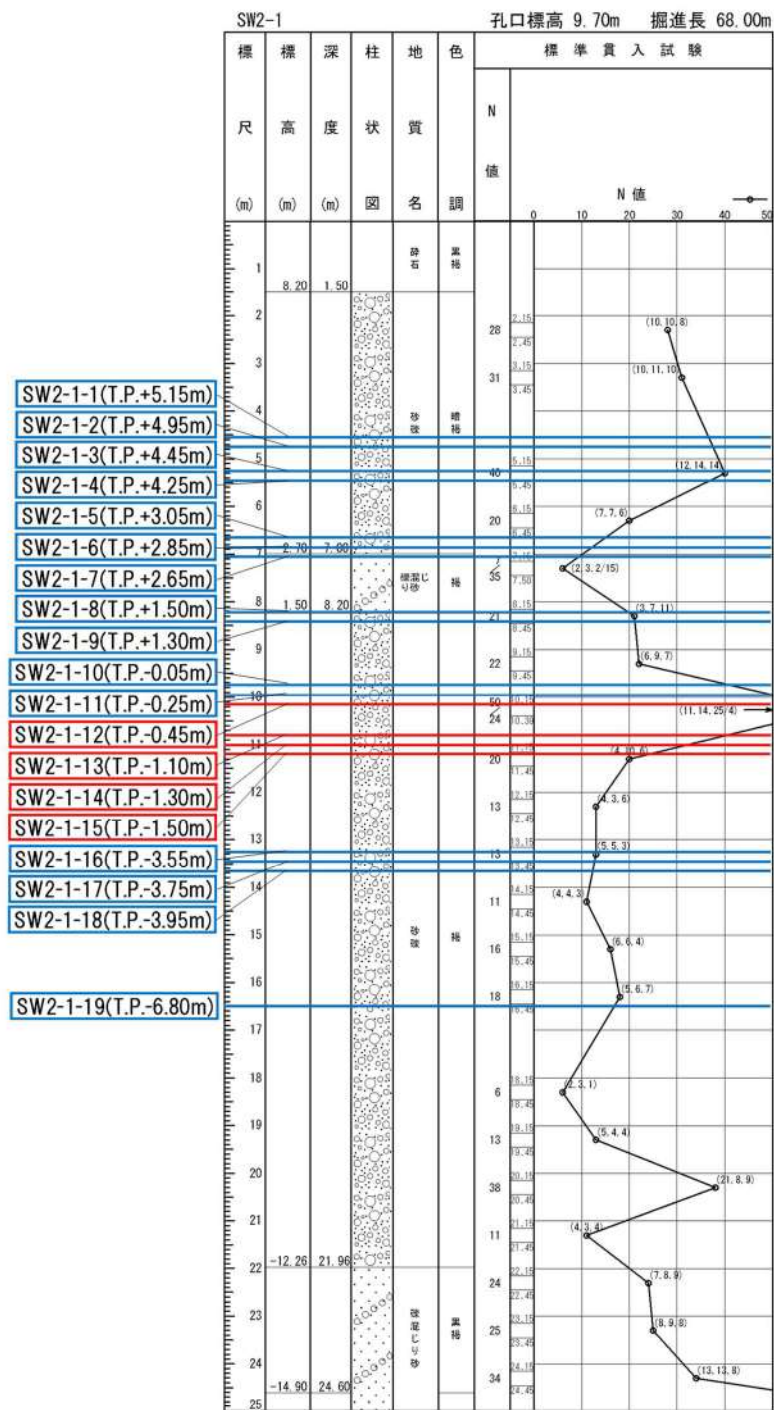
(11) SW2-1(3号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置、標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図、粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-32 図、添付 9-33 図及び添付 96-34 図に示す。

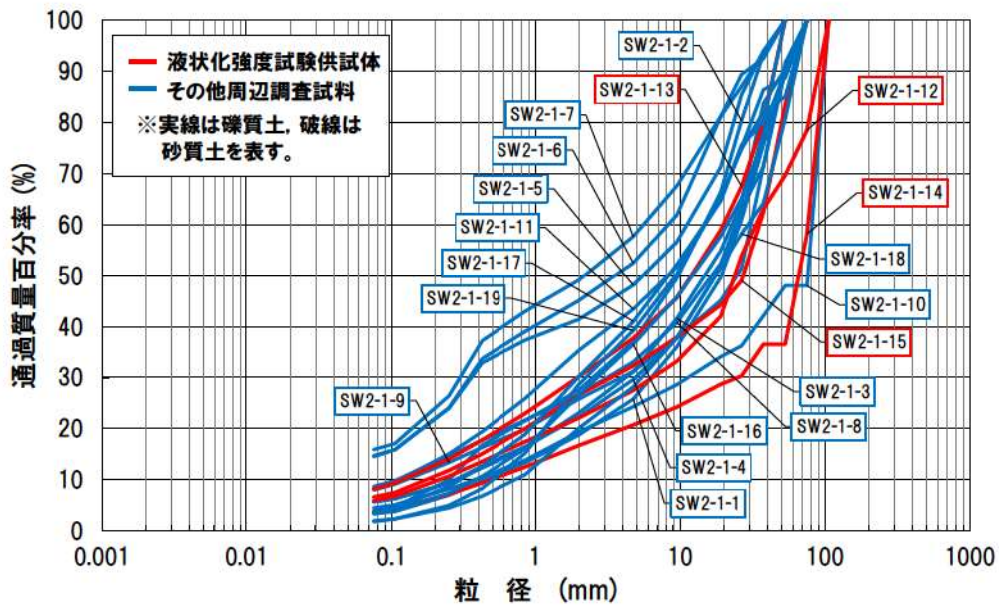
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 3 号炉の埋立整地工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 5.15m～-6.80m で、液状化強度試験の供試体は T.P. -0.45m～-1.50m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は砂礫及び礫混じり砂である。
- ・ 粒度特性は、粒度分布のばらつきが小さいこと、三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取しており、概ね他の礫質土の粒度分布と同じ範囲に含まれる。

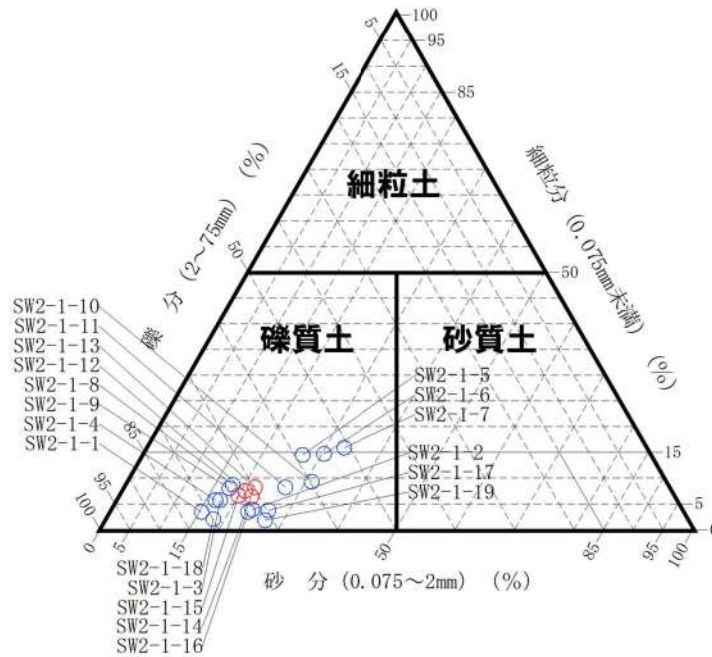


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-32 図 ボーリング柱状図(SW2-1)



添付 9-33 図 粒度分布 (SW2-1)



添付 9-34 図 三角座標による分類 (SW2-1)

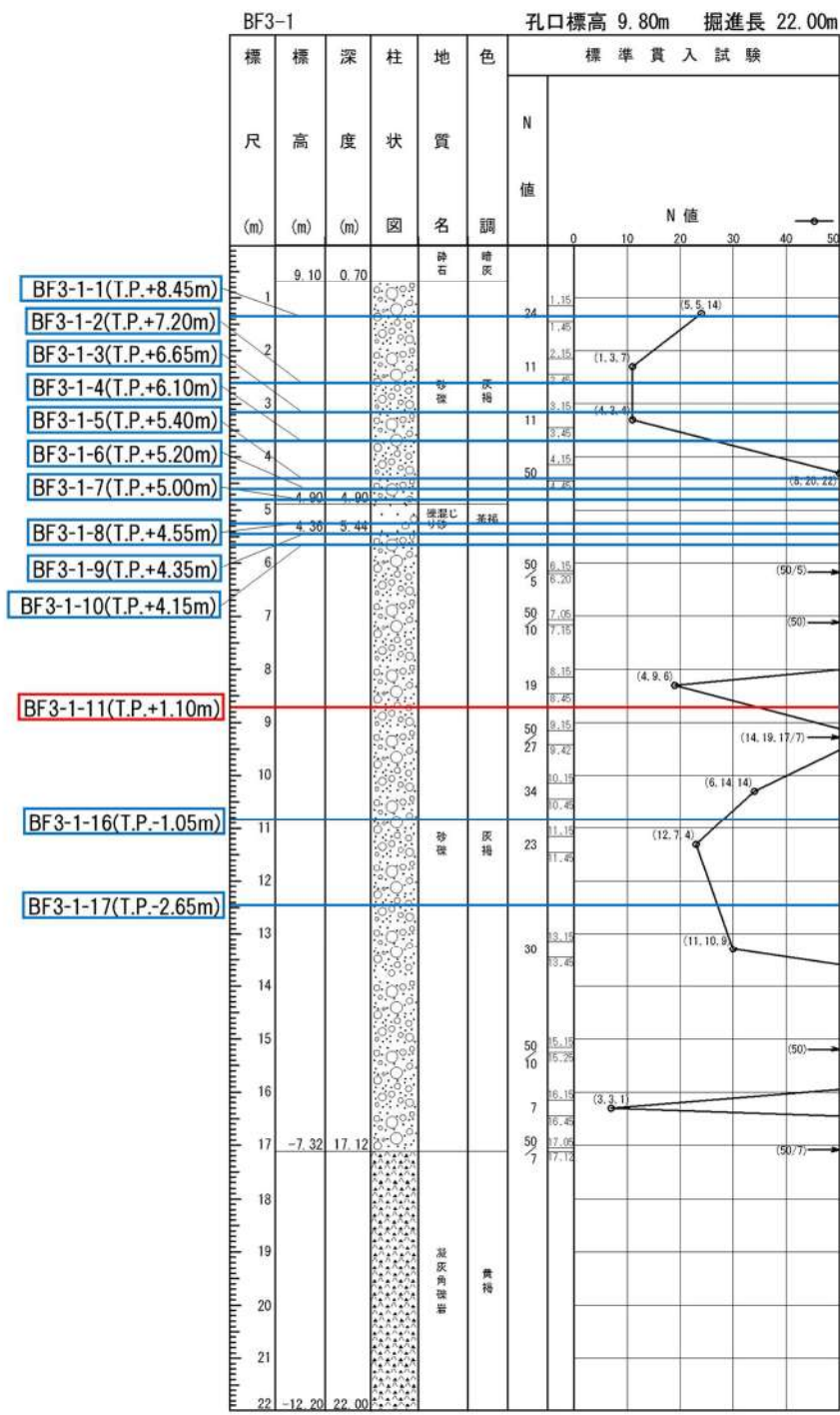
(12) BF3-1(3号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置、標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図、粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-35 図、添付 9-36 図及び添付 9-37 図に示す。

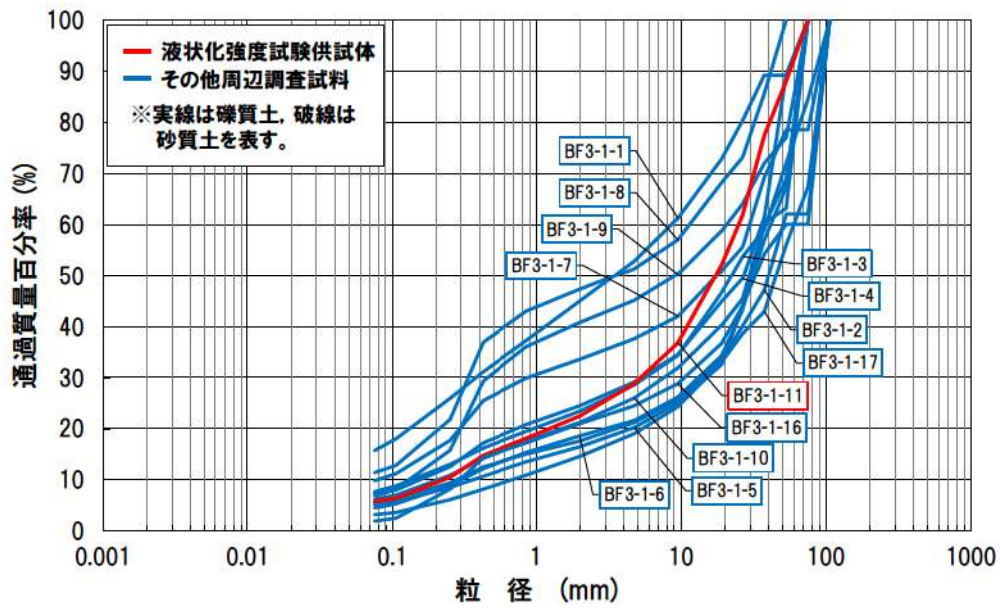
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 3 号炉の取放水設備工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 8.45m～-2.65m で、液状化強度試験の供試体は T.P. 1.10m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は砂礫及び礫混じり砂である。
- ・ 粒度特性は、粒度分布のばらつきが小さいこと、三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取しており、その粒度分布は他の礫質土の粒度分布の範囲に含まれる。

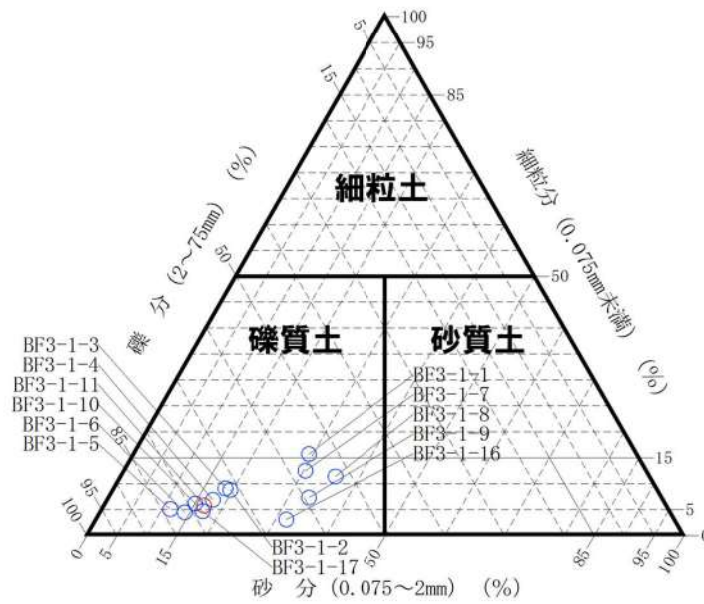


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-35 図 ボーリング柱状図 (BF3-1)



添付 9-36 図 粒度分布 (BF3-1)



添付 9-37 図 三角座標による分類 (BF3-1)

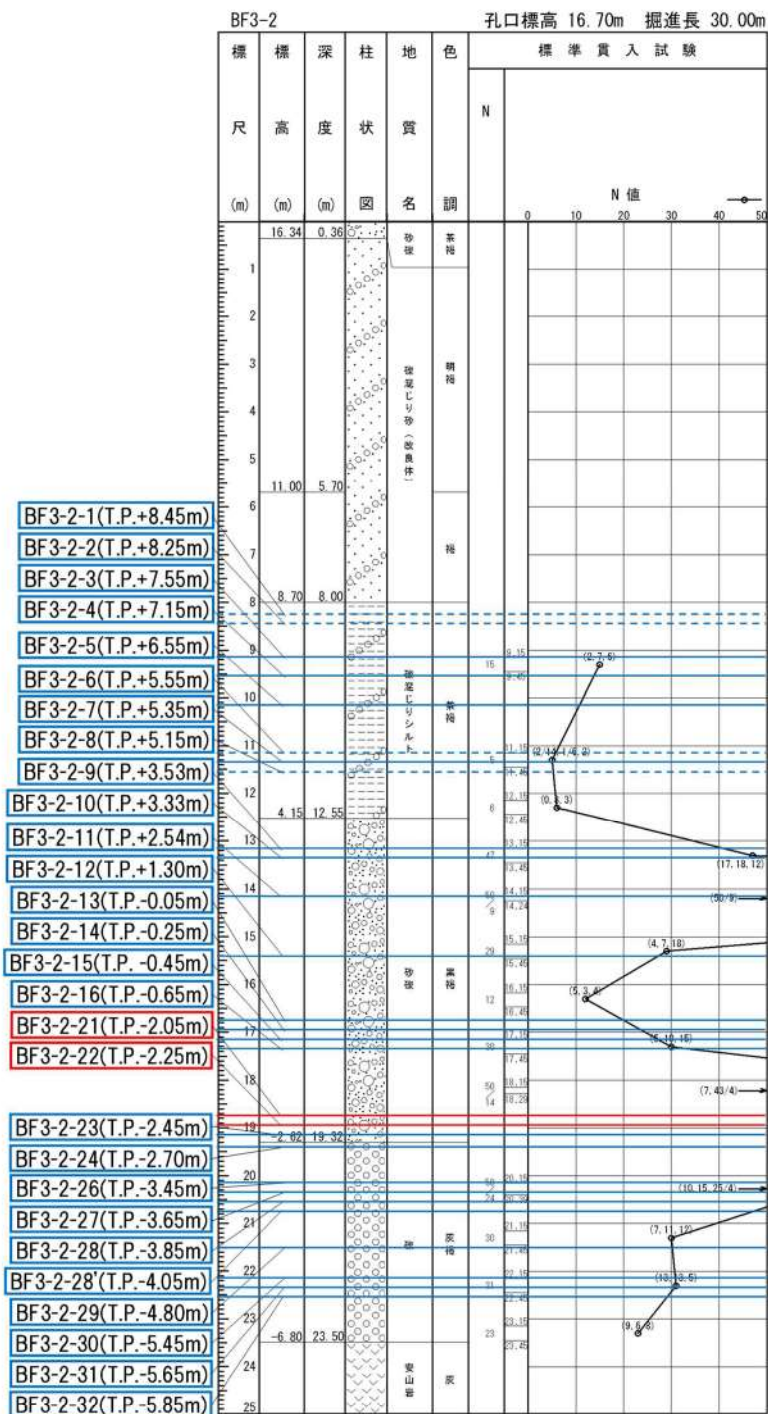
(13) BF3-2(3号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-38 図, 添付 9-39 図及び添付 9-40 図に示す。

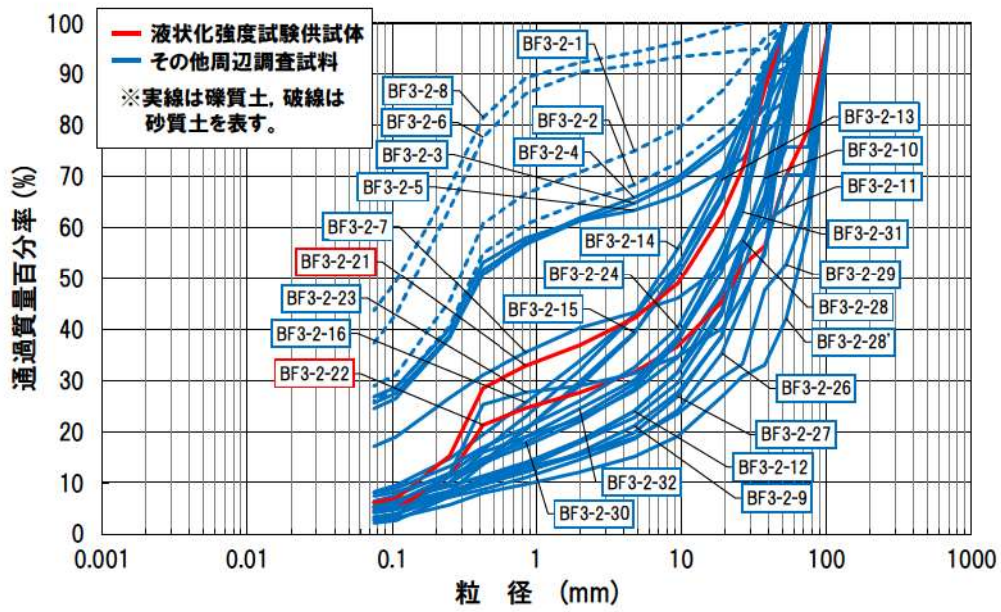
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 3 号炉の取放水設備工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T. P. 8.45m～-5.85m で, 液状化強度試験の供試体は T. P. 2.05m～+2.25m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は礫, 砂礫及び礫混じりシルトである。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが大きいこと, 三角座標による分類では礫質土と砂質土で構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取しており, その粒度分布は他の礫質土の粒度分布の範囲に含まれる。

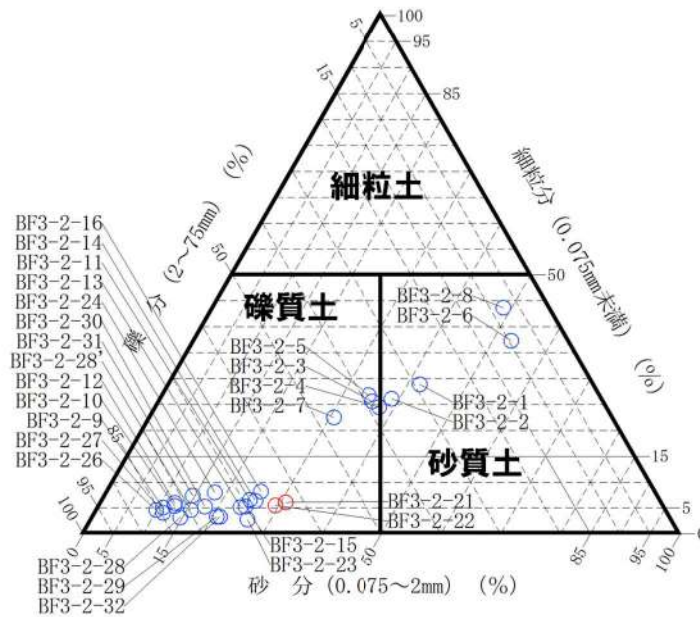


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-38 図 ボーリング柱状図 (BF3-2)



添付 9-39 図 粒度分布 (BF3-2)



添付 9-40 図 三角座標による分類 (BF3-2)

(14) RE-7(3号埋戻土)

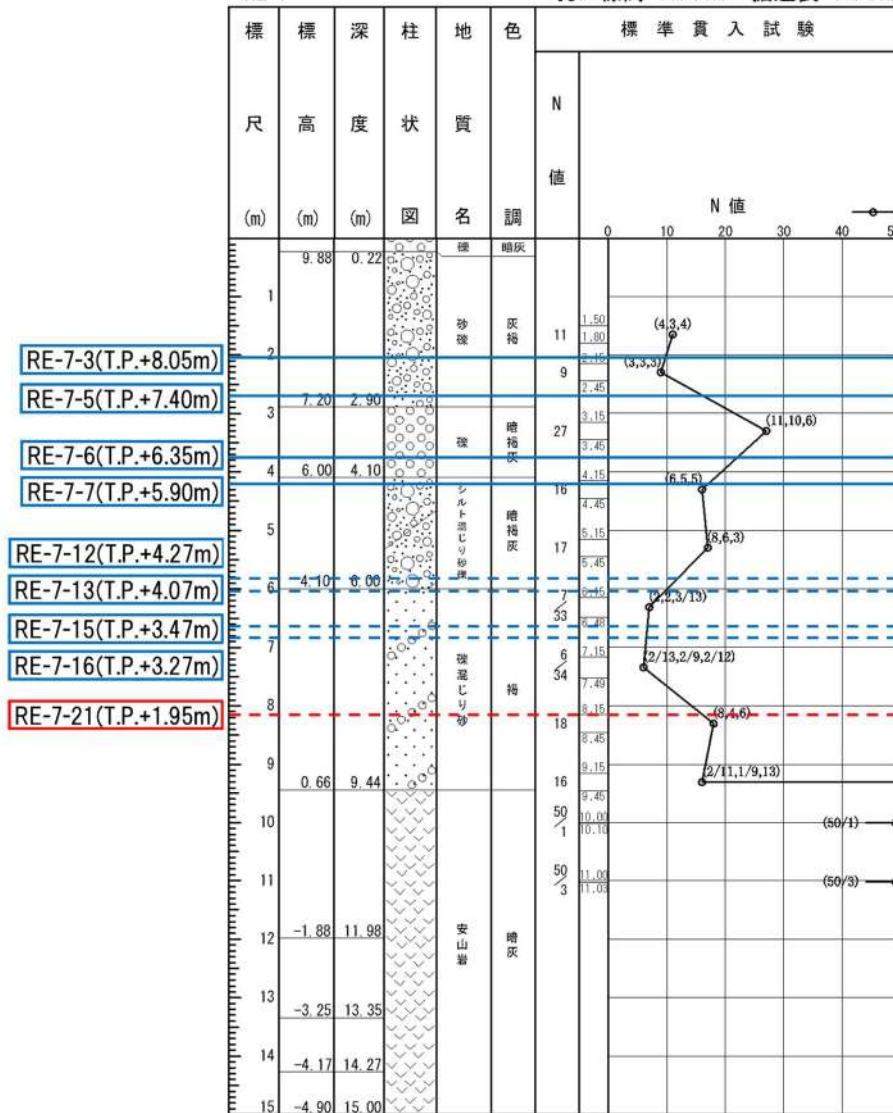
本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置、標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図、粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-41 図、添付 9-42 図及び添付 9-43 図に示す。

【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

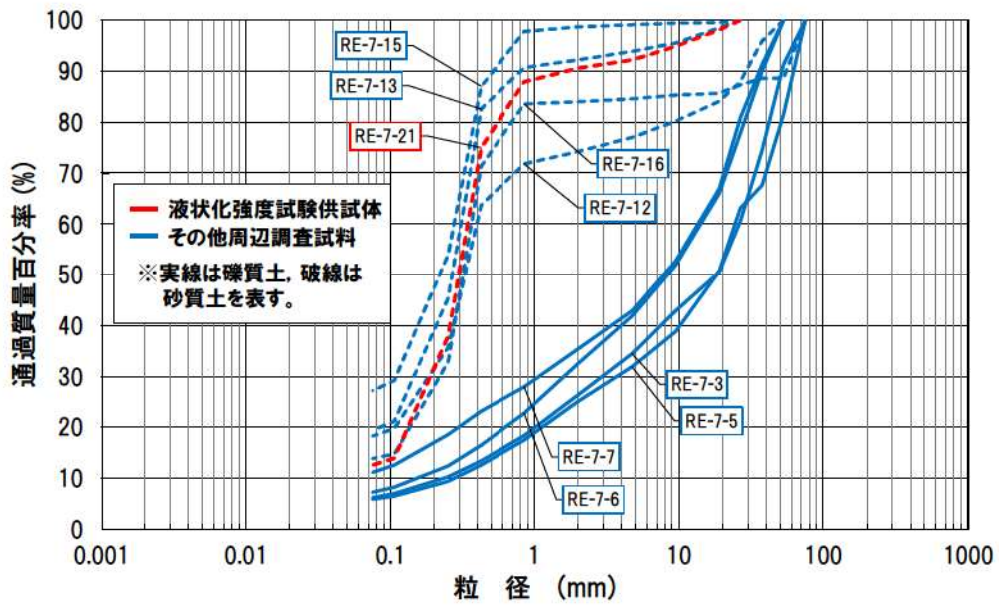
- ・ 試料採取位置は T.P. 5.50m 程度以深が 1,2 号炉の埋立整地工事により埋戻された範囲であり、それ以浅は 3 号炉の取放水設備工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 8.05m～1.95m で、液状化強度試験の供試体は T.P. 1.95m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は礫、砂礫、シルト混じり砂礫及び礫混じり砂である。
- ・ 粒度特性は、粒度分布のばらつきが大きいこと、三角座標による分類では礫質土と砂質土で構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は砂質土から採取しており、その粒度分布は他の砂質土の粒度分布の範囲に含まれる。

RE-7 孔口標高 10.10m 掘進長 15.00m

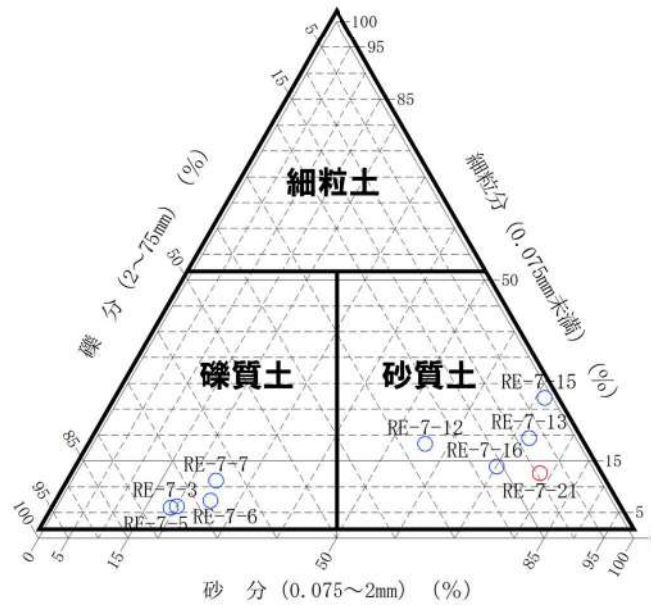


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-41 図 ボーリング柱状図 (RE-7)



添付 9-42 図 粒度分布 (RE-7)



添付 9-43 図 三角座標による分類 (RE-7)

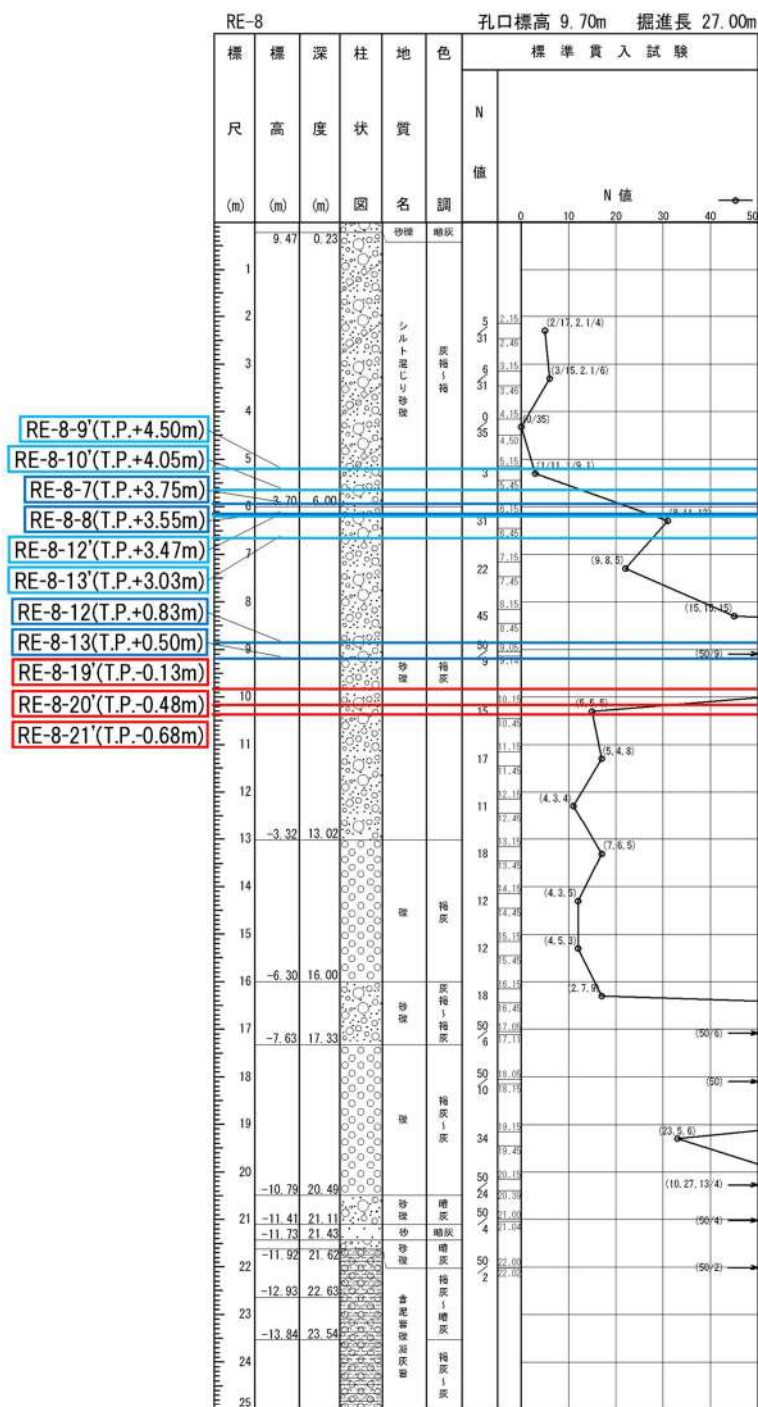
(15) RE-8(3号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置、標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図、粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-44 図、添付 9-45 図及び添付 9-46 図に示す。

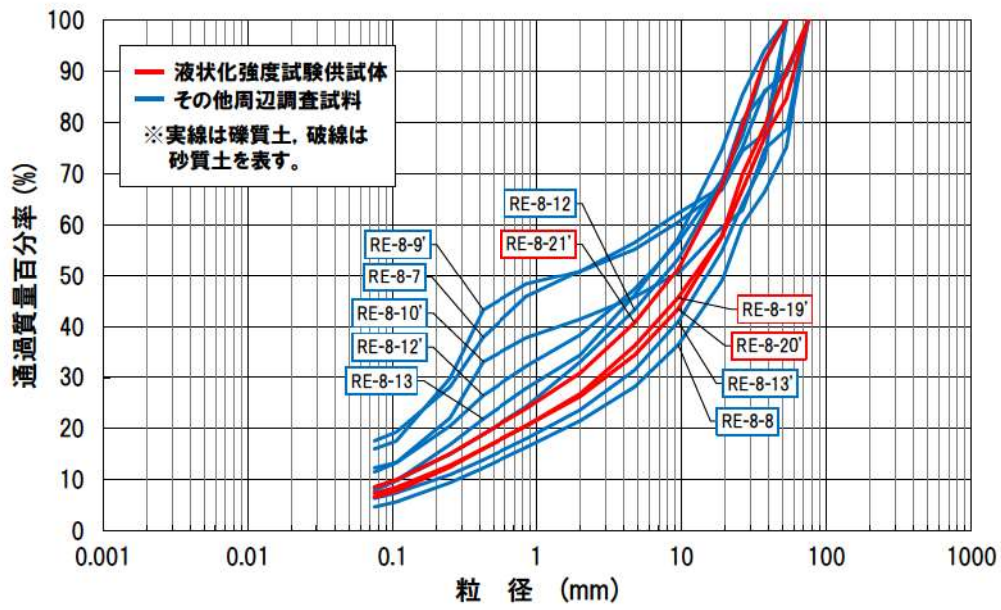
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 3 号炉の埋立整地工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T. P. 4.50m \sim -0.68m で、液状化強度試験の供試体は T. P. -0.13 \sim -0.68m で採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は砂礫及びシルト混じり砂礫である。
- ・ 粒度特性は、粒度分布のばらつきが小さいこと、三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取しており、その粒度分布は他の礫質土の粒度分布の範囲に含まれる。

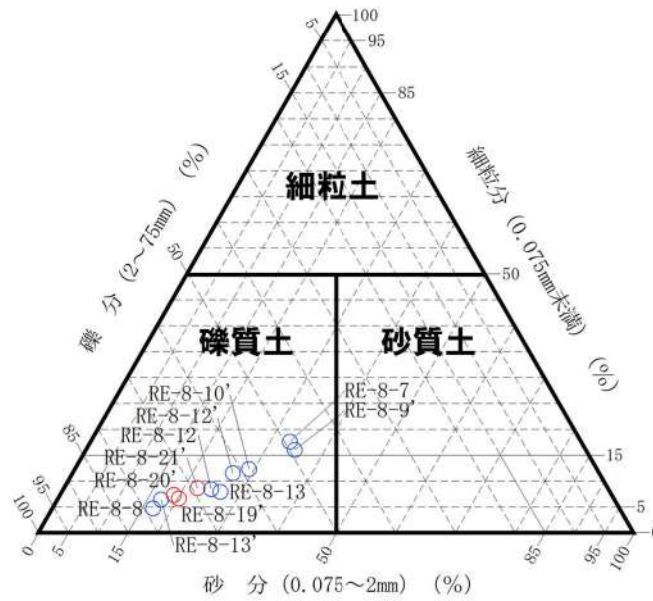


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-44 図 ボーリング柱状図(RE-8)



添付 9-45 図 粒度分布 (RE-8)



添付 9-46 図 三角座標による分類 (RE-8)

(16) RE-8” (3号埋戻土)

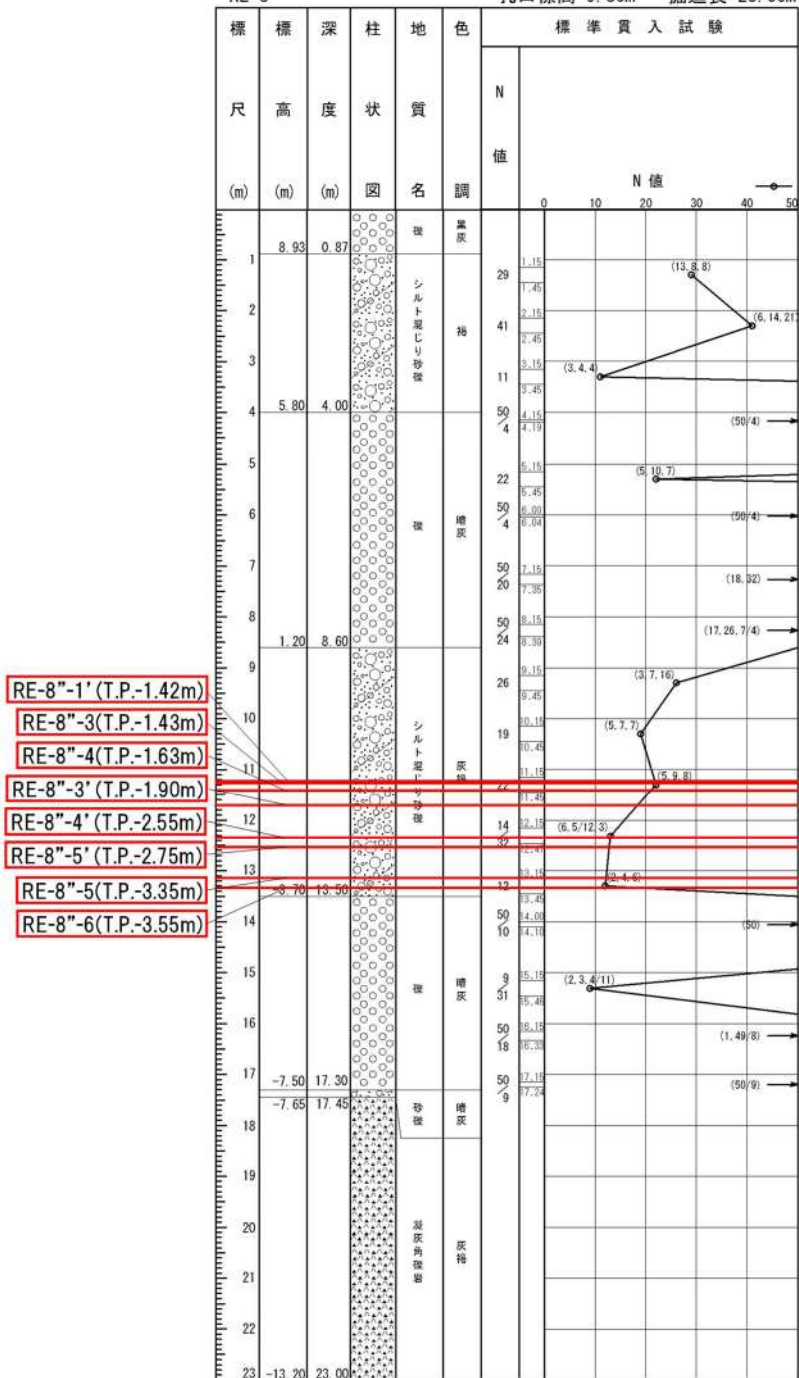
本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置, 標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図, 粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-47 図, 添付 9-48 図及び添付 9-49 図に示す。

【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

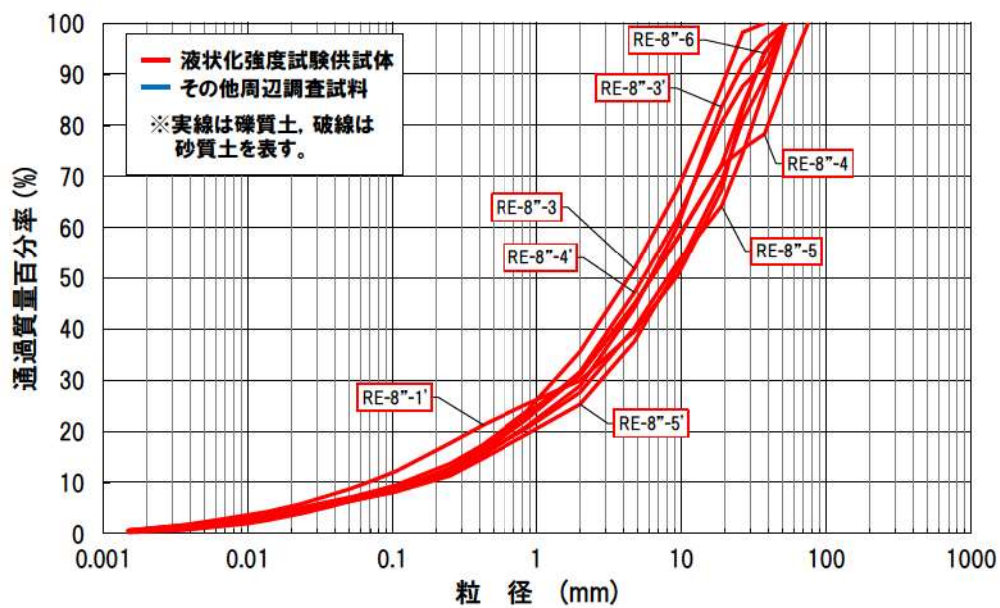
- ・ 試料採取位置は 3 号炉の取放水設備工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T. P. -1. 42m～-3. 55m で, 液状化強度試験の供試体も粒度試験と同じ標高から採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質はシルト混じり砂礫である。
- ・ 粒度特性は, 粒度分布のばらつきが小さいこと, 三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取している。

RE-8'' 孔口標高 9.80m 掘進長 23.00m

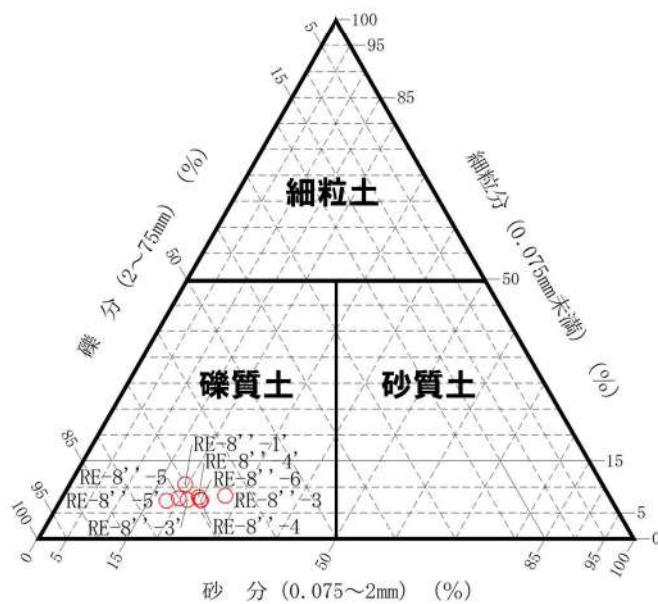


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-47 図 ボーリング柱状図 (RE-8'')



添付 9-48 図 粒度分布 (RE-8'')



添付 9-49 図 三角座標による分類 (RE-8'')

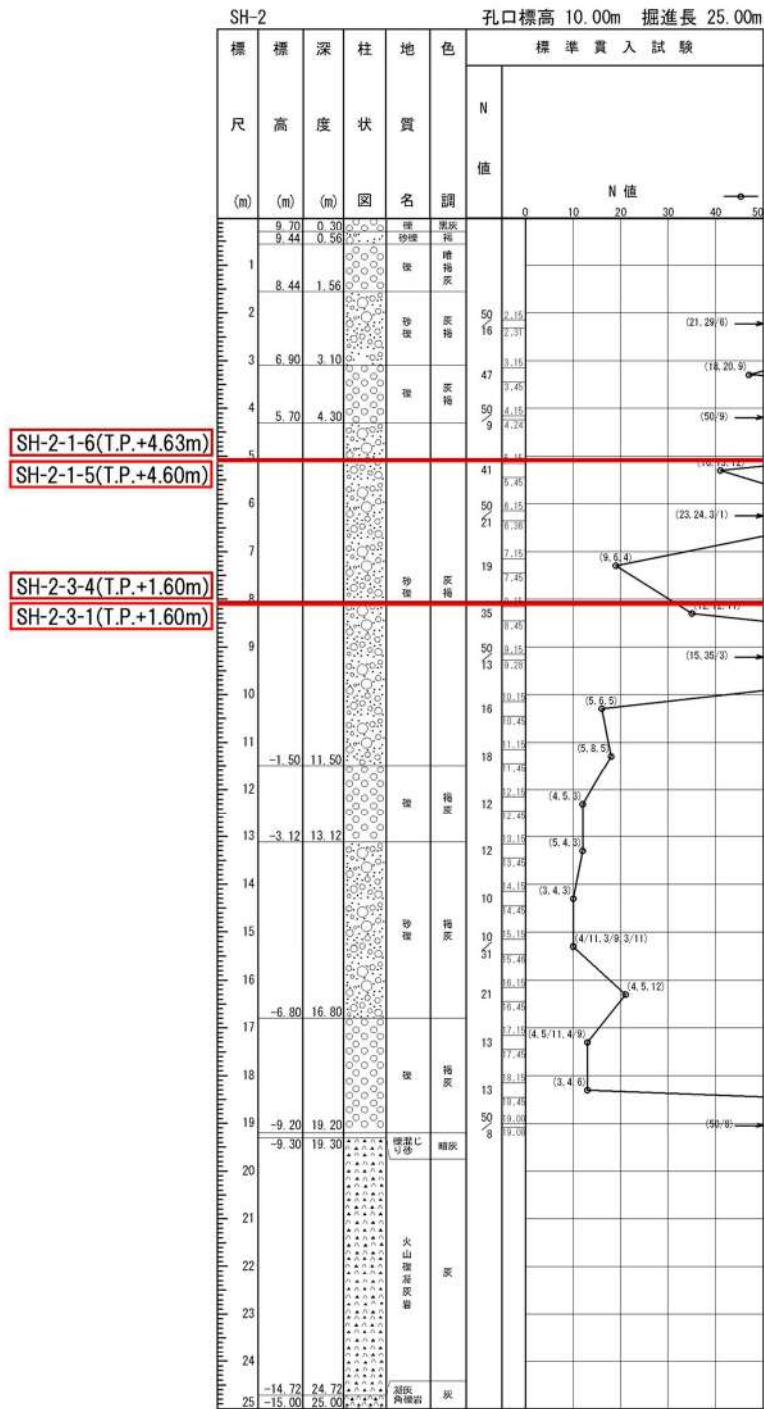
(17) SH-2(3号埋戻土)

本ボーリングにおける粒度試験の試料の採取位置、標高及びボーリング柱状図における地質とともに液状化強度試験の供試体について以下のとおり整理した。

本ボーリングにおける柱状図、粒度分布及び三角座標による分類(地盤工学会 JGS0051 に基づく地盤材料の工学的分類)をそれぞれ添付 9-50 図、添付 9-51 図及び添付 9-52 図に示す。

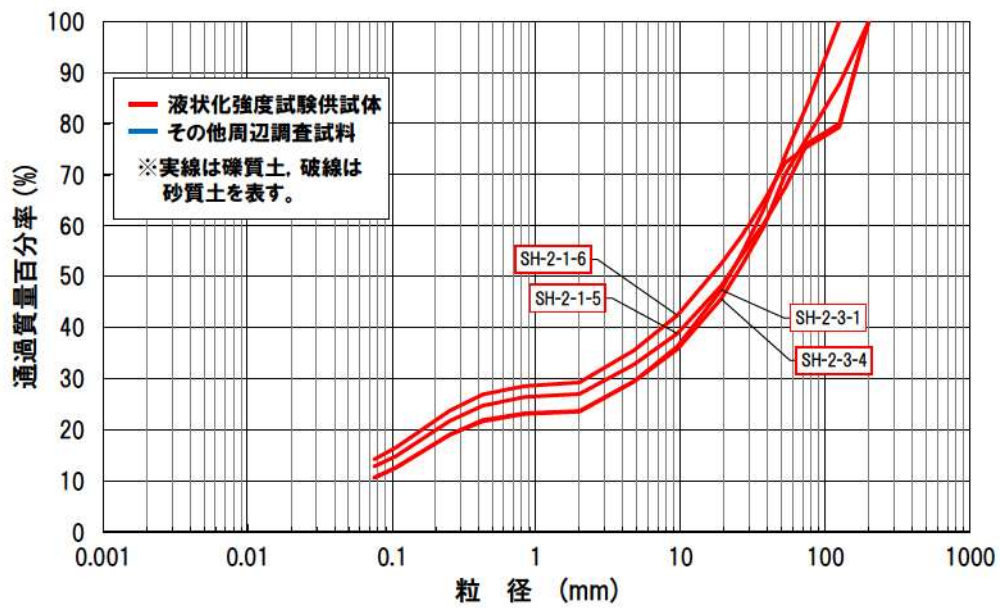
【粒度試験に用いた試料の採取位置等について】

- ・ 試料採取位置は 3 号炉の埋立整地工事により埋戻された範囲である。
- ・ 試料採取標高は T.P. 4.63m～+1.60m で、液状化強度試験の供試体も粒度試験と同じ標高から採取している。
- ・ ボーリング柱状図における粒度試験を実施した範囲の地質は砂礫である。
- ・ 粒度特性は、粒度分布のばらつきが小さいこと、三角座標による分類では礫質土のみで構成されていることを確認した。
- ・ 液状化強度試験の供試体は礫質土から採取している。

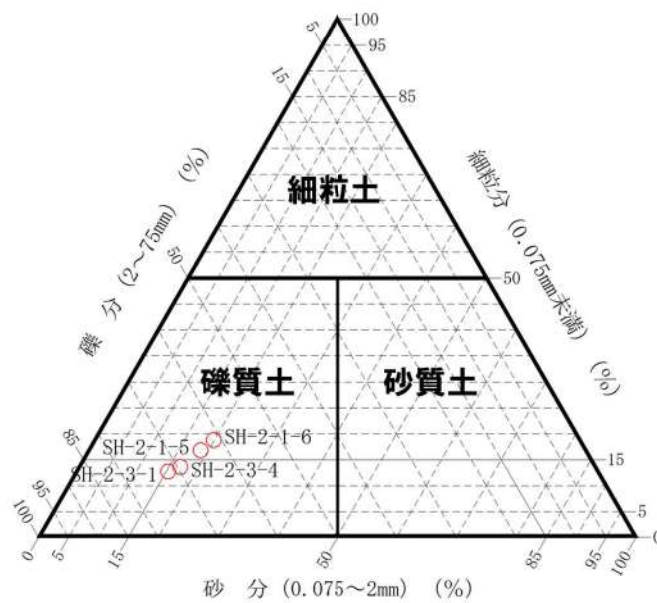


※ボーリング柱状図の地質名は、コア採取時に観察者が肉眼で判断したものであり、地盤材料の工学的分類結果による地質名と異なる場合がある。

添付 9-50 図 ボーリング柱状図(SH-2)



添付 9-51 図 粒度分布 (SH-2)



添付 9-52 図 三角座標による分類 (SH-2)

2.2 試料の採取位置，標高及びボーリング柱状図における地質の整理(まとめ)

(1) まとめ

発電所敷地内における埋戻土の粒度試験に用いた試料の採取位置，標高及びボーリング柱状図における地質は以下のとおりである。

a. 試料の採取位置及び標高について

- ・ 試料採取位置は 1, 2 号及び 3 号埋戻土の平面的に広範囲に分布している。
- ・ 試料採取標高は T. P. 9. 07m～T. P. -10. 55m であり，埋戻土の深度方向に広範囲に分布している。

b. ボーリング柱状図における地質及び粒度特性について

- ・ ボーリング柱状図において粒度試験を実施した深度の地質は礫，砂礫，シルト混じり砂礫等の礫質土が多くを占め，一部で礫混じり砂や礫混じりシルト等が認められる。
- ・ 三角座標による分類及び粒度分布において，埋戻土の地質は多くを占める礫質土と一部の砂質土で構成されていることを確認した。

c. 液状化強度試験の供試体について

- ・ 液状化強度試験の試料採取標高は T. P. 6. 90m～T. P. -10. 55m であり，埋戻土の深度方向に広範囲に分布している。
- ・ 液状化強度試験の供試体は大部分を礫質土から採取しており，一部で砂質土からも採取している。

(2) 考察

ボーリング柱状図における地質及び粒度分布より，埋戻土は礫質土が主体であり，一部で砂質土が含まれることを確認した。

液状化強度試験の供試体の試料採取位置の平面分布及び深度分布は，粒度試験に用いた試料と同様に，礫質土と一部の砂質土から採取していることを確認した。

また，砂質土に分類される埋戻土の供試体採取位置に，平面分布及び深度分布の一定の傾向は認められないことを確認した。

3. 埋戻土の施工及び品質管理の整理

「2. 試料の採取位置，標高及びボーリング柱状図における地質の整理」と同様に粒度分布の代表性確認指標としての妥当性検討を行うための基礎資料として，埋戻土の施工及び品質管理について整理を行う。

整理結果の詳細は添付資料-6 を参照するものとし，本章では，埋戻土の施工及び品質管理の整理結果に基づく埋戻土の粒度のばらつきの傾向に関するまとめを以下に示すものとする。

3.1. 1,2号埋戻土

埋立整地工事による範囲は，比較的大きな粒径の材料でも転圧可能なブルドーザにより埋戻しを行ったため，粒度のばらつきが大きい。

取放水設備工事による範囲は，埋戻仕様でまき出し厚を設定し，比較的小さい粒径の材料を用いて埋戻しを行う必要があったことから，粒度のばらつきが小さい。

3.2. 3号埋戻土

埋立整地工事による範囲は，埋戻仕様でまき出し厚を設定したものの，取放水設備による範囲と比較してまき出し厚を大きく設定したことから，粒度のばらつきが比較的大きい。

取放水設備工事による範囲は，埋戻仕様でまき出し厚を設定し，比較的小さい粒径の材料を用いて埋戻しを行う必要があったことから，粒度のばらつきが小さい。

4. 液状化強度試験に用いた供試体の特徴の分析

「2. 試料の採取位置，標高及びボーリング柱状図における地質の整理」及び「3. 埋戻土の施工及び品質管理の整理」の結果より，液状化強度試験に用いた供試体の特徴は以下のとおりである。

- ・礫質土の供試体が多くを占め，一部に砂質土の供試体があり，砂質土の供試体採取位置の平面分布及び深度分布に一定の傾向は認められない(添付 9-57 図に液状化強度試験の供試体に砂質土が確認されたボーリング調査位置を示す。)
- ・砂質土の供試体採取位置は，3号炉より1,2号炉の埋立整地工事の範囲から採取したものが多く，これは，ブルドーザによりまき出し厚や転圧回数等の品質管理規定がない施工が行われたことから，供試体を採取する位置により粒度の小さい埋戻土が出現し易くなっていることが要因であると考えられる。
- ・RE-2の採取位置は1,2号炉の埋立整地工事で埋戻した範囲であり，ブルドーザにより埋戻したことから，粒度のばらつきが大きい。採取深度 T. P. 5. 20m は砂質土が多く含まれていたと考えられる。
- ・SH-1の採取位置は1,2号炉の埋立整地工事で埋戻した範囲であり，ブルドーザにより埋戻したことから，粒度のばらつきが大きい。採取深度 T. P. 1. 95m は砂質土が多く含まれていたと考えられる。
- ・RE-7の採取位置は T. P. 5. 50m 程度以深が1,2号炉の埋立整地工事で埋戻した範囲であり，それ以浅は3号炉の取放水設備工事で埋戻した。1,2号炉の埋立整地工事で埋戻した範囲は RE-2 及び SH-1 と同様にブルドーザにより埋戻したことから，ばらつきが大きい。採取深度 T. P. 1. 95m は砂質土が多く含まれていたと考えられる。



□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

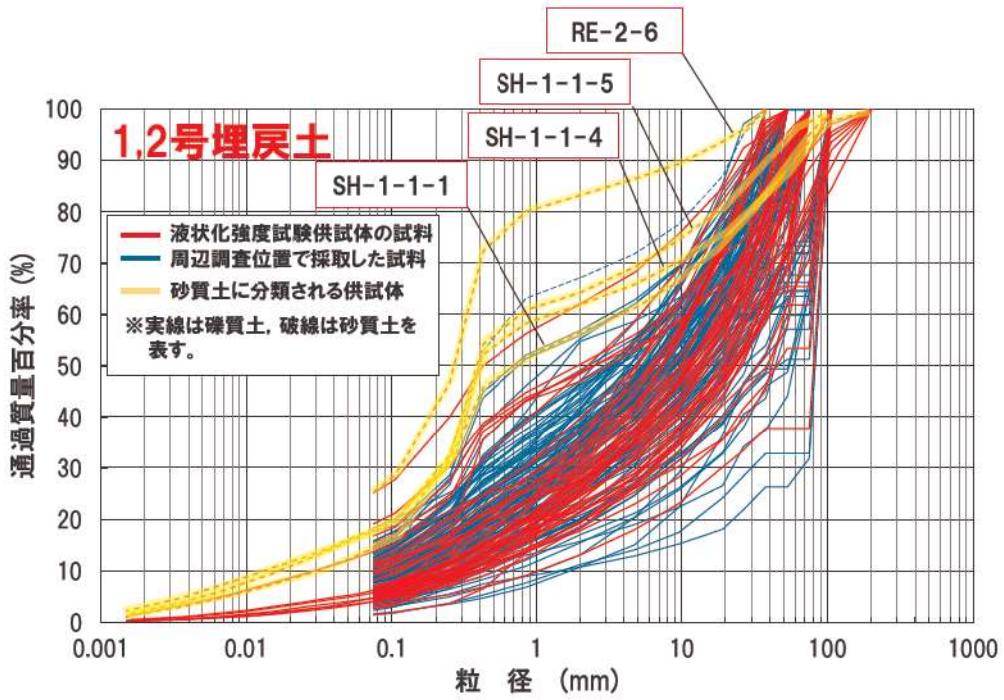
添付 9-57 図 液状化強度試験の供試体に砂質土が確認されたボーリング調査位置

5. 液状化強度試験位置における粒度分布の傾向分析

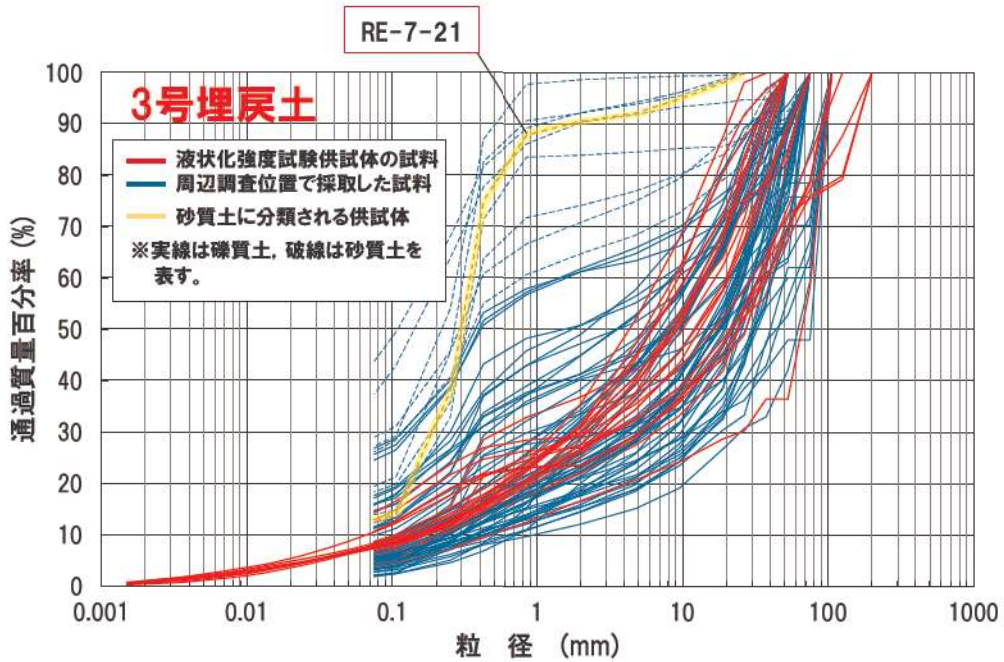
発電所敷地内で実施した1,2号埋戻土及び3号埋戻土の全粒度試験結果を添付9-58図及び添付9-59図に示す。同図において液状化強度試験を実施した供試体の粒度を赤線で示し、このうち砂質土に分類された供試体の粒度分布を黄色線で示している。

粒度分布における液状化強度試験の供試体の分布傾向は以下のとおりである。

- ・液状化強度試験の供試体の粒度分布は、礫質土が多くを占め、一部砂質土が存在する。
- ・液状化強度試験の供試体の粒度分布はばらつきがあるものの、礫質土及び砂質土ともに概ね粒度試験結果全体の範囲に含まれている。



添付 9-58 図 粒度分布 (1, 2 号埋戻土)








添付 9-59 図 粒度分布 (3 号埋戻土)

6. 液状化強度試験に用いた砂質土の供試体の分析

液状化強度試験に用いた砂質土に分類される供試体について、供試体写真により基質や粒径等を確認した結果、砂質土に分類される供試体は、比較的粒径の小さい砂分を主体とする材料で構成されている。

添付 9-4 表に供試体写真と各供試体の基質及び粒径等を示す。

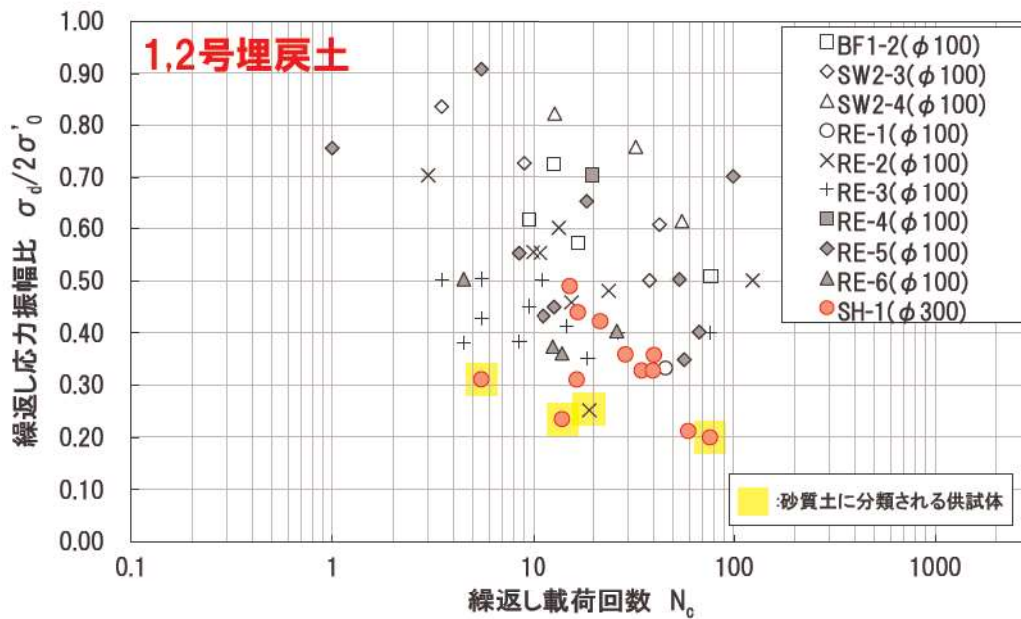
添付 9-4 表 供試体写真と各供試体の基質及び粒径等

試料採取位置	供試体 No.	供試体写真	基質及び粒径等
1, 2 号 埋 戻 土	RE-2	RE-2-6 	基質はシルト質な細～中砂主体で、礫は中礫粒径以下(最大 50 mm程度)の亜角礫が散在する。
	SH-1	SH-1-1-1 	基質はシルト質な細～中砂主体で、礫は中～粗礫粒径(最大 100 mm程度)の亜角～亜円礫が散在する。
		SH-1-1-4 	基質はシルト質な細～中砂主体で、礫は中～粗礫粒径(最大 200 mm程度)の亜角礫が点在する。
		SH-1-1-5 	基質はシルトが混じる細～中砂主体で、礫は中～粗礫粒径(最大 100 mm程度)の亜角礫が散在する。
3 号 埋 戻 土	RE-7	RE-7-21 	基質は中砂主体に細砂が混じる。礫は 20 mm以下の中礫主体(最大 30 mm程度)の円～角礫が点在する。

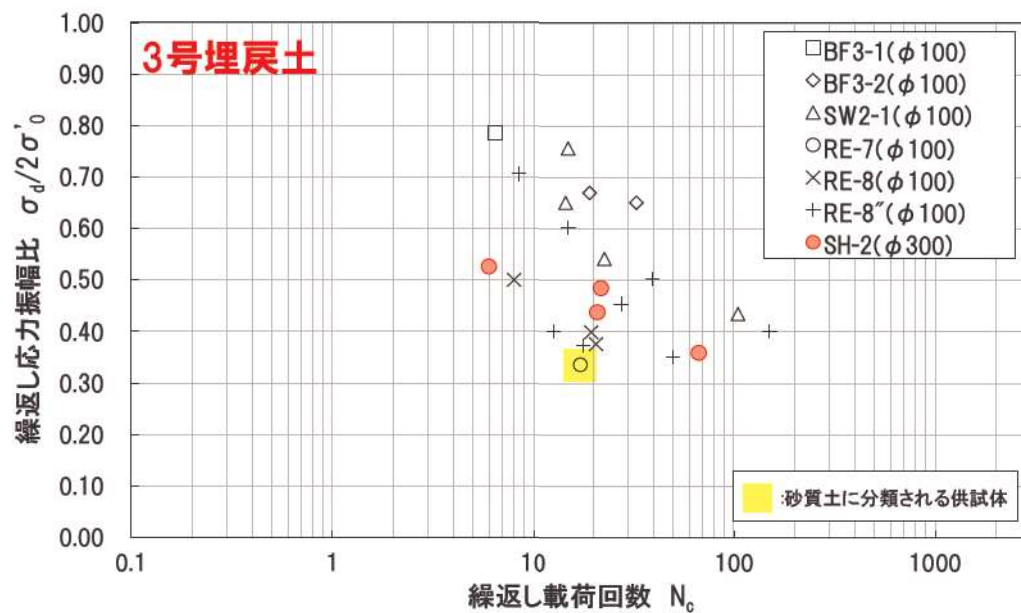
7. 三角座標による分類と液状化強度試験結果の傾向分析

1, 2号及び3号埋戻土の液状化強度試験結果を添付9-60図及び添付9-61図に示す。

液状化強度試験結果について、三角座標による分類(礫質土及び砂質土)を踏まえた傾向の分析結果として、砂質土の液状化強度は低い値を示す傾向であり、礫質土の液状化強度は砂質土と比較すると高い値を示す傾向である。



添付9-60図 液状化強度試験結果(1,2号埋戻土)



添付9-61図 液状化強度試験結果(3号埋戻土)

8. 粒度分布の代表性確認指標としての妥当性確認

地盤の粒度特性は、液状化強度を評価する際、平均粒径や10%粒径が用いられるなど、一般的に、液状化強度特性と相関が高いと言われている。

本添付資料では、埋戻土の粒度分布を代表性確認指標として用いることの妥当性を確認するため、埋戻土の粒度特性と液状化強度の相関について検討を行い、前述の「4. 整理結果に基づく各種分析」の結果より、埋戻土の粒度分布と液状化強度試験結果について以下のことを確認した。

- ・埋戻土の粒度分布は敷地全体でばらついている。
- ・液状化強度試験は粒度分布のばらつきを網羅して実施している。
- ・埋戻土は三角座標による分類では砂質土及び礫質土で構成される。
- ・液状化強度試験の結果は、砂質土は液状化強度が低い傾向があり、礫質土は液状化強度が砂質土と比較して高い傾向がある。
- ・液状化強度は、砂質土で低い値、礫質土で高い値を示す傾向があり、粒度分布と液状化強度には相関関係が認められる。

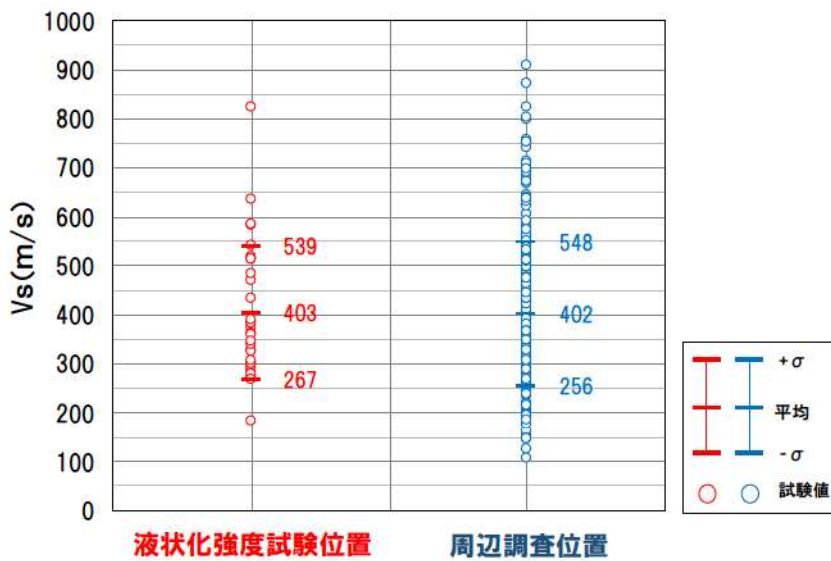
以上より、埋戻土の粒度分布と液状化強度には相関関係が認められることから、液状化強度試験の試料採取位置の代表性確認指標として粒度分布を用いることは妥当であると判断する。

添付資料 10 せん断波速度による代表性確認結果

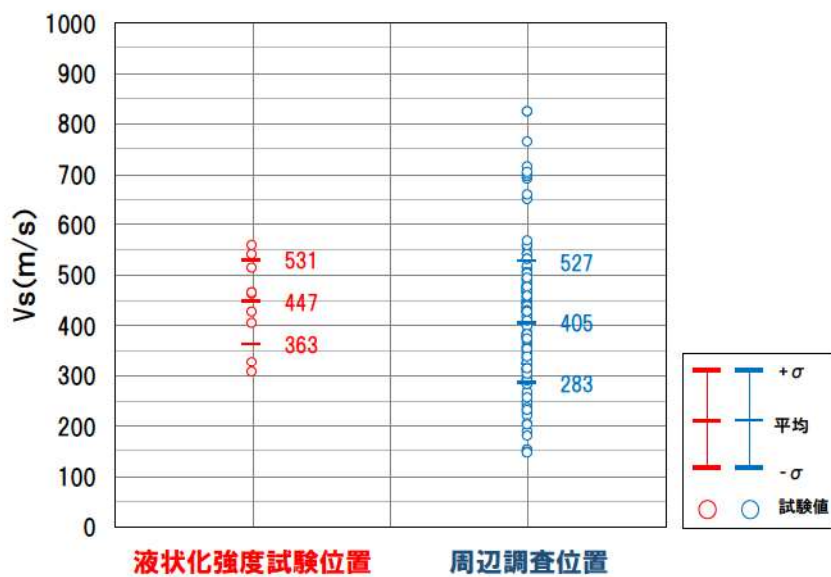
1. せん断波速度による代表性確認結果

1, 2号埋戻土の液状化強度試験位置でのせん断波速度について、周辺調査位置でのせん断波速度と比較した結果、概ね同程度の範囲であるため、1, 2号埋戻土の液状化強度試験位置には代表性があると考えられる(添付 10-1 図)。

また、同様に、3号埋戻土液状化強度試験位置でのせん断波速度についても、周辺調査位置のせん断波速度と概ね同程度の範囲であるため、3号埋戻土の液状化強度試験位置には代表性があると考えられる(添付 10-2 図)。



添付 10-1 図 液状化強度試験位置のせん断波速度の比較(1, 2号埋戻土)



添付 10-2 図 液状化強度試験位置のせん断波速度の比較(3号埋戻土)