

資料 2 - 2

泊発電所 3 号炉 審査資料	
資料番号	DB04 r. 3. 6
提出年月日	令和4年11月24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 4 年 1 1 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。

第4条：地震による損傷の防止

<目 次>

今回提出範囲

第1部

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

第2部

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

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

9. 構造計画と配置計画

(別 添)

- 別添—1 設計用地震力
- 別添—2 動的機能維持の評価
- 別添—3 弾性設計用地震動・静的地震力による評価
- 別添—4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添—5 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添—6 屋外重要土木構造物等及び津波防護施設の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添—7 主要建屋の図面集
- 別添—8 入力地震動について

(別 紙)

- 別紙—1 既工認との手法の相違点の整理（設置許可変更申請段階での整理）
- 別紙—2 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討
- 別紙—3 水平2方向及び鉛直方向の地震力の適切な組合せに関する検討について
- 別紙—4 規格適用範囲外の動的機能維持の評価
- 別紙—5 地震時における燃料被覆管の閉じ込め機能の維持について
- 別紙—6 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙—7 後施工せん断補強筋による耐震補強について
- 別紙—8 屋外重要土木構造物等及び津波防護施設の耐震評価における断面選定について
- 別紙—9 地盤の液状化の評価方針について
- 別紙—10 地下水位設定方針について
- 別紙—11 地下水排水設備について

泊発電所 3 号炉

地盤の液状化の評価方針について

目 次

1. 液状化評価の基本方針
 - 1.1 設置許可基準規則第三条第1項、第2項及び第三十八条第1項、第2項に対する条文適合方針
 - 1.2 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 試料採取位置選定とその代表性
 - 4.1 液状化強度試験 試料採取位置の選定
 - 4.2 液状化強度試験 試料採取位置の代表性確認
 - 4.2.1 埋戻土の代表性確認
 - 4.2.2 砂層の代表性確認
 - 4.2.3 液状化強度試験 試料採取位置の代表性のまとめ
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. 液状化の評価方針
 - 6.1 液状化の評価方針

(参考資料)

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
2. 液状化検討対象層の選定について(Ac層)
3. 埋戻土・砂層の基本物性
4. 埋戻土のN値の取扱いについて
5. 液状化に関連する基本物性の補足

1. 液状化評価の基本方針

1.1 設置許可基準規則第三条第1項、第2項及び第三十八条第1項、第2項に対する条文適合方針

泊発電所における耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設は、直接、十分な支持性能を有する岩盤又は改良地盤で支持する(第三条及び第三十八条第1項適合)。

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、当該施設の機能が損なわれるおそれがないように設計する(第三条及び第三十八条第1項及び第2項適合)。

1.2 液状化評価の基本方針

本資料では、1.1に示す条文適合方針に基づき、耐震設計における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。

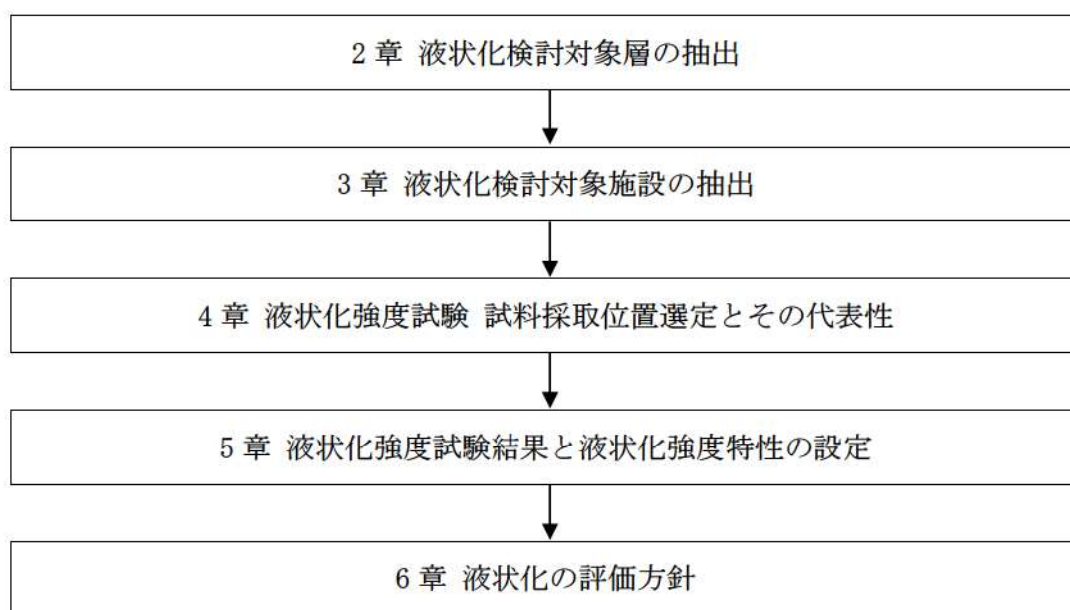
耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の設計においては、地下水排水設備の機能に期待する施設においては、その機能を考慮した設計地下水位を設定する。地下水排水設備の機能に期待しない施設においては、自然水位に基づき設定した水位又は地表面にて設計地下水位を設定し水圧の影響を考慮する。

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1.2-1図に示す。

- ・液状化評価については、道路橋示方書の液状化評価方法を基本とするが、液状化評価の対象外とされる 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、保守的に埋戻土及び砂層を液状化検討対象層とする(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、敷地全体に分布する埋戻土及び砂層の基本物性値と比較し、その代表性を確認する(4. 液状化強度試験 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)。

- ・耐震設計において、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮する場合には、有効応力解析等を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で実施した液状化強度試験結果に基づき、保守性を考慮して設定する(6. 液状化の評価方針)。
- ・なお、解析手法は液状化考慮と液状化非考慮で耐震安全性評価上どちらが保守的な評価になるかを確認した上で選定する。



第 1.2-1 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(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。

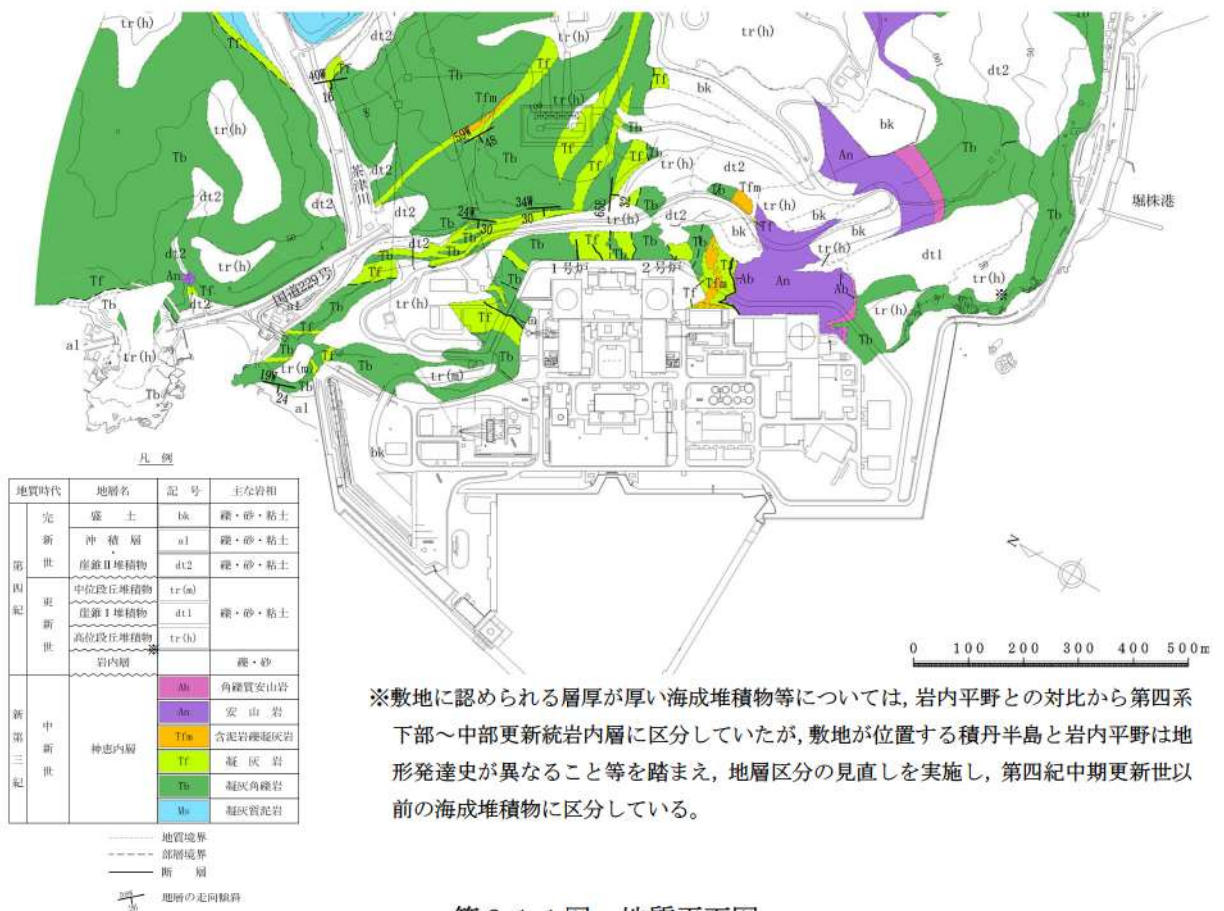
岸壁及び津波防護施設前面には、沖積層に相当する砂層(As1, As2)、砂礫層(Ag)及び粘土・シルト層(Ac)が分布している。

道路橋示方書・同解説(Ⅳ下部構造編)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。

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」ものとされている。

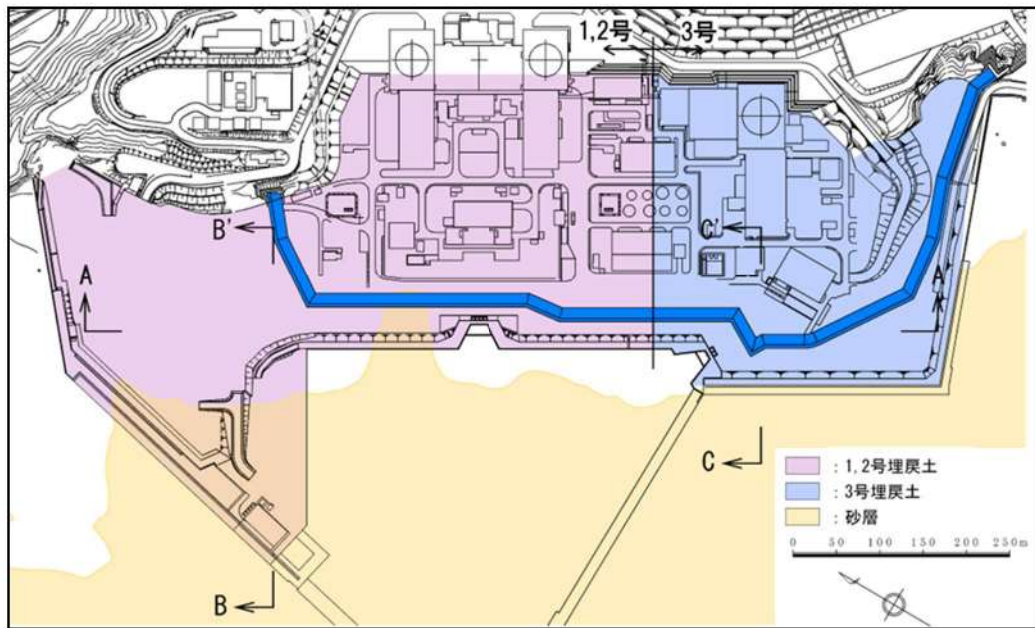
以上に基づき、砂層については、N値<30をAs1層、N値≥30をAs2層と分類した。

埋戻土の分布状況について平面図を第 2.1-2 図、地質断面位置図を第 2.1-3 図に示す。また、埋戻土及び砂層を確認したボーリング柱状図及びコア写真を参考資料1に示す。

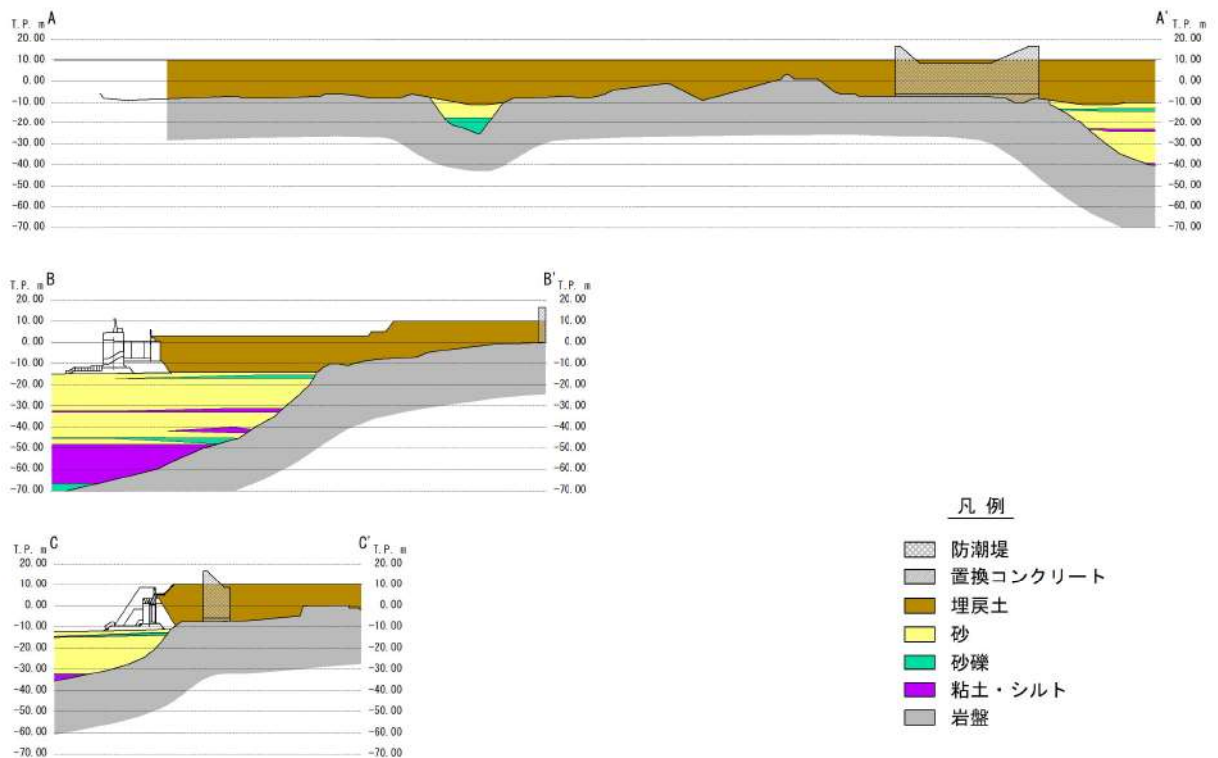


※敷地に認められる層厚が厚い海成堆積物等については、岩内平野との対比から第四系下部～中部更新統岩内層に区分していたが、敷地が位置する積丹半島と岩内平野は地形発達史が異なること等を踏まえ、地層区分の見直しを実施し、第四紀中期更新世以前の海成堆積物に区分している。

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(人工地盤)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29m程度である。

・B-B' 断面

1,2号側の防潮堤外側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33m程度である。

・C-C' 断面

3号側の防潮堤外側に砂層がわずかに分布しており、その層厚は最大20m程度である。

2.4 液状化検討対象層の選定方針

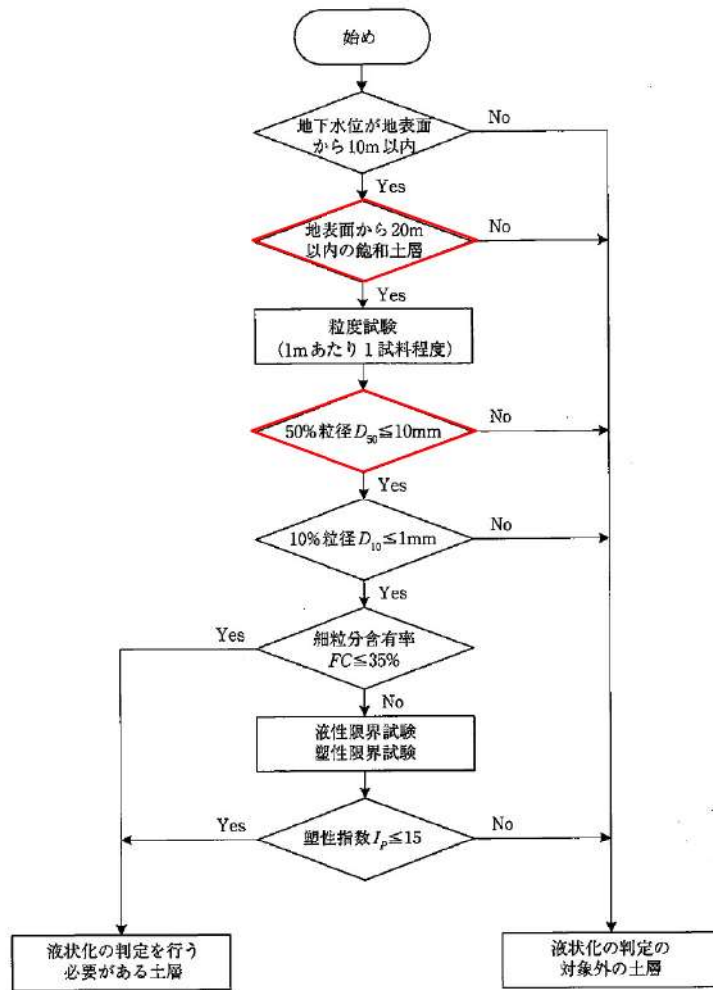
敷地の埋立地盤である埋戻土と砂層(As1, As2)、砂礫層(Ag)、粘土・シルト層(Ac)について、道路橋示方書・同解説(V耐震設計編)に基づき、第2.4-1図に示す手順で液状化検討対象層を抽出する。

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つの条件全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10mm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, As2) 及び砂礫層 (Ag) を選定した。粘土・シルト層 (Ac) 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。

なお、液状化検討対象層の選定について (Ac 層) を参考資料 2 に示す。

第 2.5-1 表 液状化検討対象層の選定結果

地層名	層 相	道路橋示方書 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。

※ ○ : 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、津波防護施設等)、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、津波防護施設等)及び常設重大事故等対処施設について、液状化検討対象施設の選定及び解析手法選定フローを第 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、第 3.1-3 図に示す例のような、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 ^{※1}	基礎下端高さ ^{※2} (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 (建屋基礎底面下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 ^{※3} 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	防潮堤	直接基礎	岩盤	追而	T.P. +0.26m ^{※3} に設定
		1, 2号炉取水ピットスクリーン室防水壁	追而	追而	追而	
		3号炉取水ピットスクリーン室防水壁	追而	追而	追而	
		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	
	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 ^{※4} に基づき設定
		代替非常用発電機	直接基礎	岩盤	+32.8	

※1 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

※2 各施設の代表的な基礎下端高さを示す

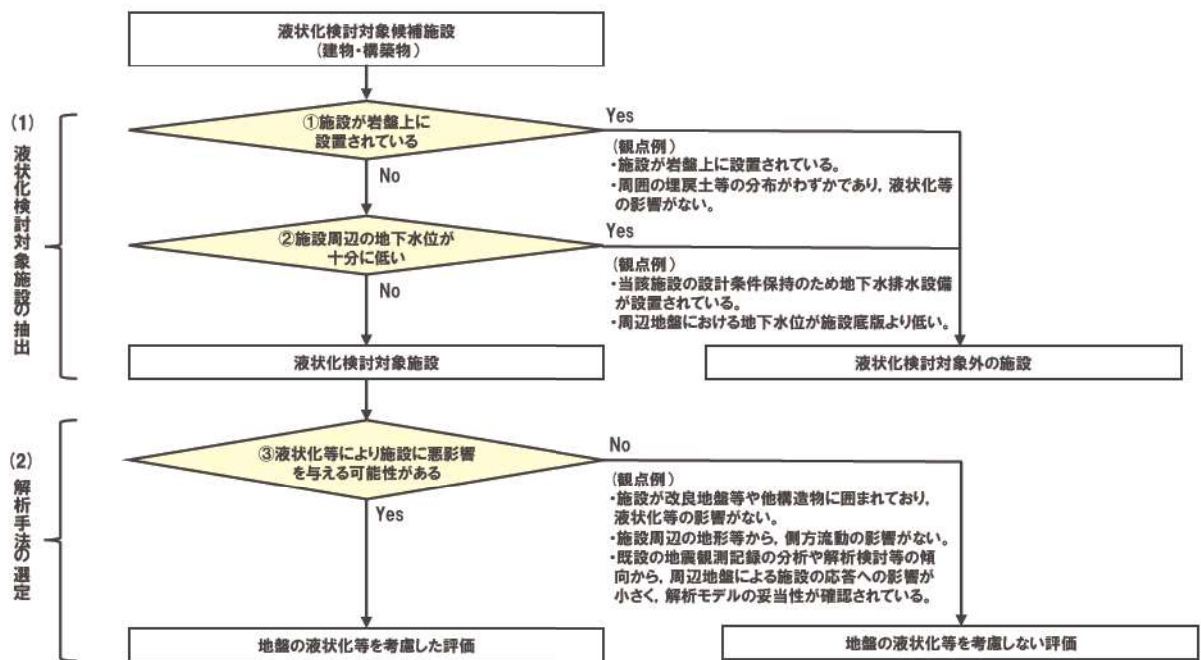
※3 防潮堤よりも海側に設置される取水口及び屋外排水路逆流防止設備の設計地下水位については、取水口は残留水位 T.P. +0.55m, 屋外排水路逆流防止設備は朔望平均満潮位 T.P. +0.26m を記載

※4 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

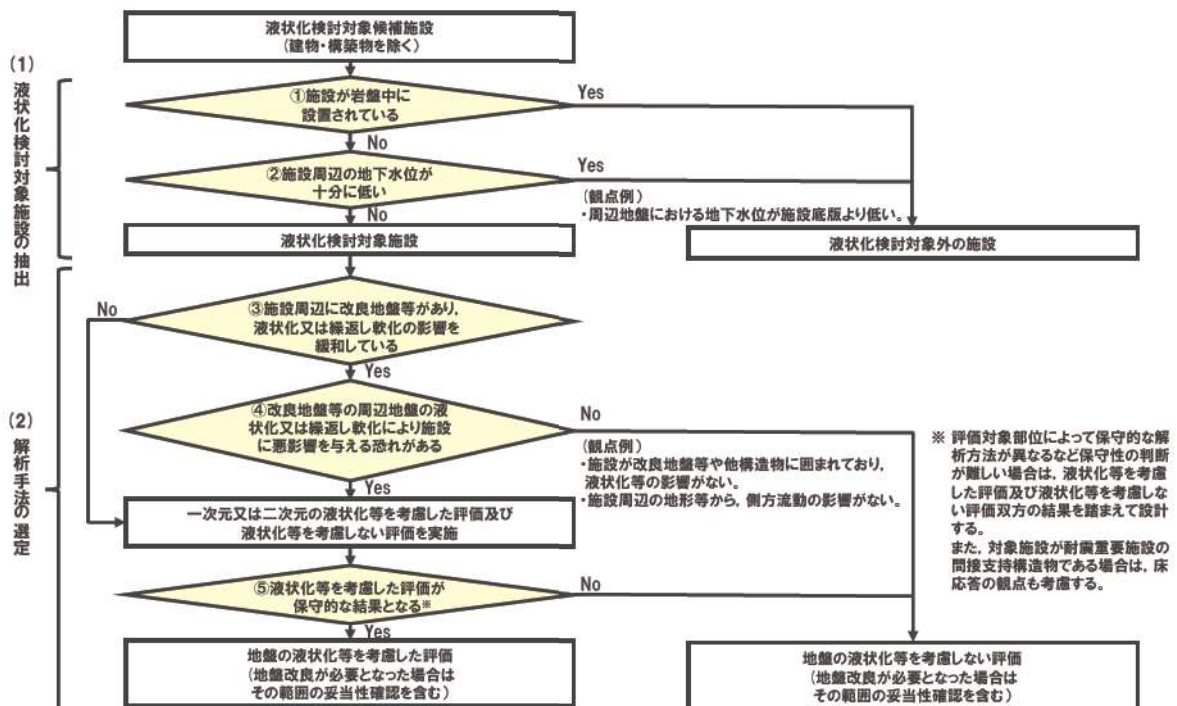


:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

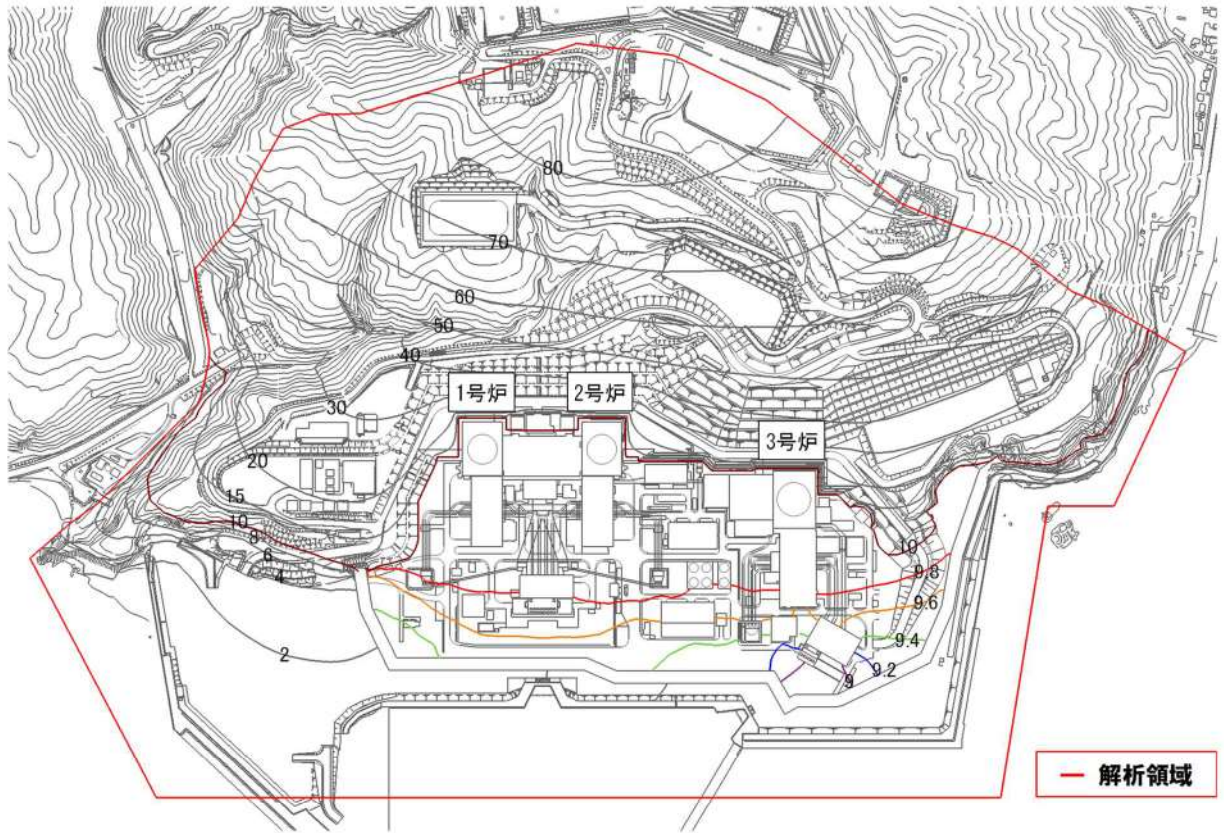
第 3.1-1 図 液状化検討対象候補施設，可搬型重大事故等対処設備
保管場所及びアクセスルート 配置図



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(建物・構築物を除く)



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①, ②)。

- ・施設が岩盤上に設置されているか
- ・施設周辺の地下水位が十分に低い

観点例：周囲の埋戻土等の分布がわずかであり、液状化等の影響がない。

周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。

b. 屋外の耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設(建物・構築物を除く)

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十分に低い

観点例：周辺地盤における地下水位が施設底版より低い。

(2) 液状化検討対象施設の解析手法の選定

a. 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、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③)。

- ・液状化等により施設に影響を与える可能性があるか

観点例：施設が改良地盤等に囲まれており、液状化等の影響がない。

施設周辺の地形等から、側方流動の影響がない。

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(建物・構築物を除く)

上記(1)にて抽出された施設について、施設周辺に改良地盤、マンメイドロック(MMR)及び他構造物(以下、「改良地盤等」という。)があり、液状化又は繰返し軟化(サイクリックモビ

リティ含む)*の影響を緩和している場合、その改良地盤等周辺の地盤の液状化又は繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)により施設に悪影響を与える恐れがあるか判断する(第 3.1-2 図(2)の③, ④)。

- ・施設周辺に改良地盤等があり、液状化又は繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)の影響を緩和しているか
- ・改良地盤等周辺の地盤の液状化又は繰返し軟化(サイクリックモビリティ含む)により施設に悪影響を与える恐れがあるか

観点例：施設が改良地盤等に囲まれており、液状化等の影響がない。

施設周辺の地形等から、側方流動の影響がない。

③で施設周辺に改良地盤等がない場合、又は④で悪影響を与える恐れがある場合は、液状化考慮と液状化非考慮で耐震安全性評価上どちらが保守的になるかを確認するため、一次元又は二次元の液状化等を考慮した評価及び液状化等を考慮しない評価を実施したうえで、それぞれの結果から構造物上下端の層間変位を比較するなどして、保守的となる解析手法を選定する。

その結果、液状化等を考慮した結果が保守的な結果となる場合は、地盤の液状化等を考慮した評価(地盤改良が必要となった場合はその範囲の妥当性確認を含む)を選定する(第 3.1-2 図(2)の⑤)。

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、地下水位が施設底板より高く、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 されている	②施設周辺の地下水位が十分に低い			
設計基準 対象施設	建物・ 構築物	原子炉建屋	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	Yes	—	—	×

第 3.2-1 表(2) 液状化検討対象施設の選定結果の例

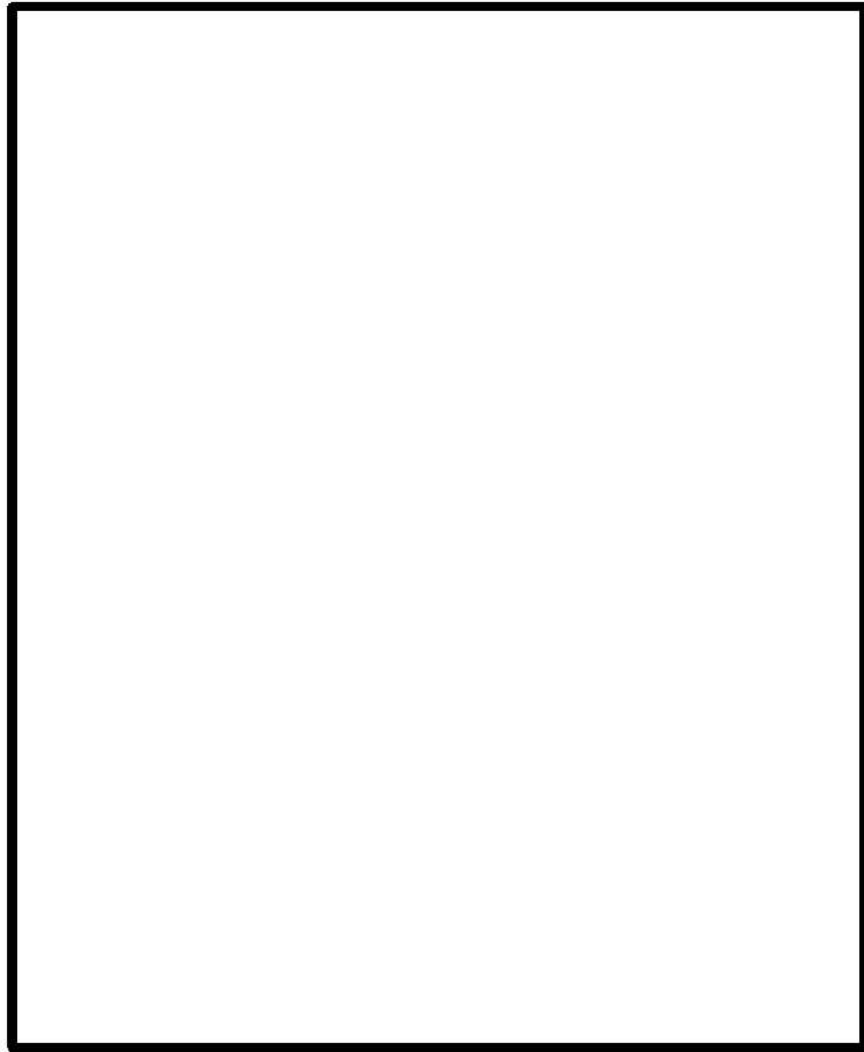
(第 3.1-2 図(2)の①, ②)

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十分に低い			
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。	○
		原子炉補助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。	○
		原子炉補助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	防潮堤	No	No	地表面に設計地下水位を設定する。	○
		1, 2 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。	○
	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。	×

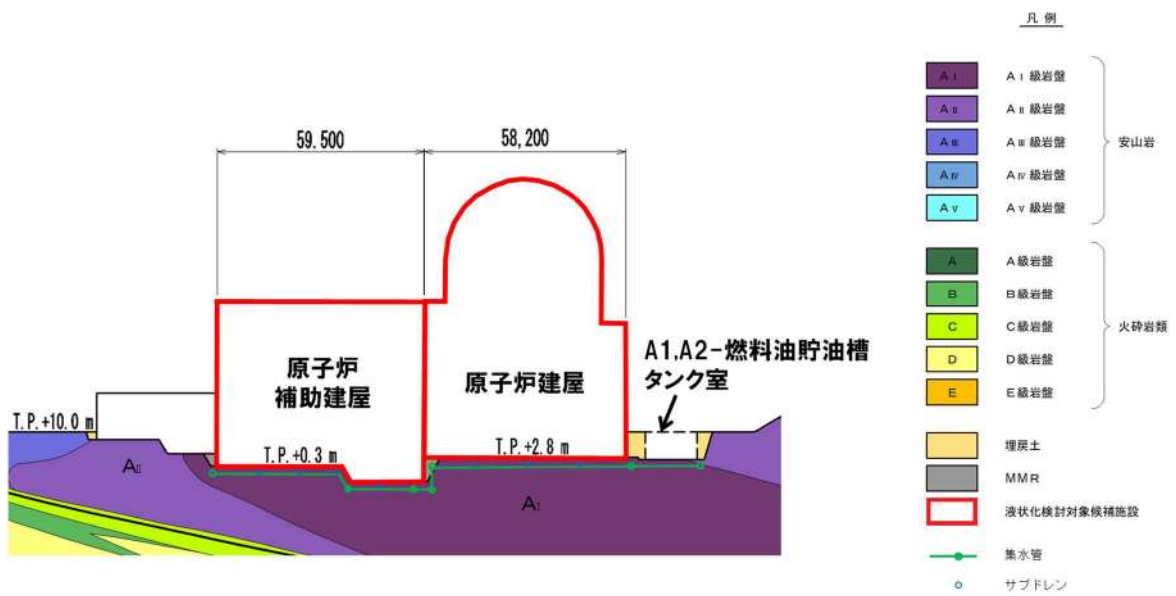
第 3. 2-2 表 (2) 液状化検討対象施設の解析手法選定結果の例 (建物・構築物を除く)

(第 3. 1-2 図 (2) の③, ④)

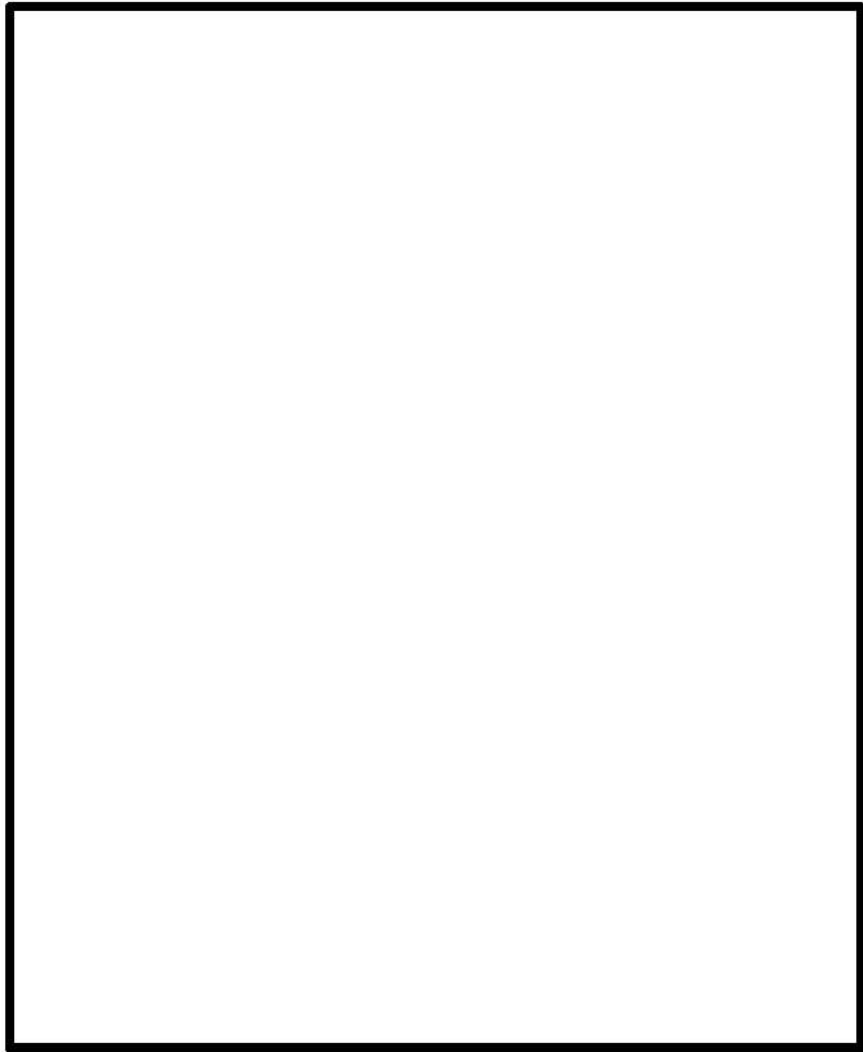
施設分類	施設名称	項目		一次元又は二次元の液状化等を考慮した評価及び液状化等を考慮しない評価を実施し、解析手法を選定 ○：対象 ×：対象外	
		③施設周辺に改良地盤等がある	④改良地盤等の周辺地盤の液状化又は繰返し軟化により施設に悪影響を与える恐れがある		
設計基準対象施設	屋外重要土木構造物	取水口	No	—	○
		取水路	No	—	○
		取水ピットスクリーン室	No	—	○
		取水ピットポンプ室	No	—	○
		原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室	No	—	○
		原子炉補機冷却海水管ダクト	No	—	○
		B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ	No	—	○
	津波防護施設	防潮堤	No	—	○
		1, 2 号炉取水ピットスクリーン室防水壁	No	—	○
		3 号炉取水ピットスクリーン室防水壁	No	—	○
		3 号炉放水ピット流路縮小工	No	—	○
		屋外排水路逆流防止設備	No	—	○



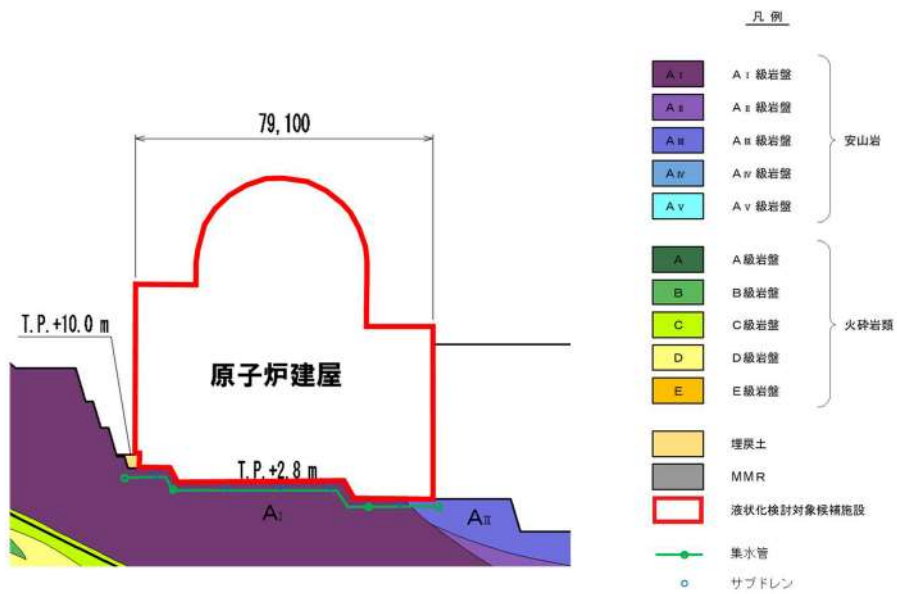
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



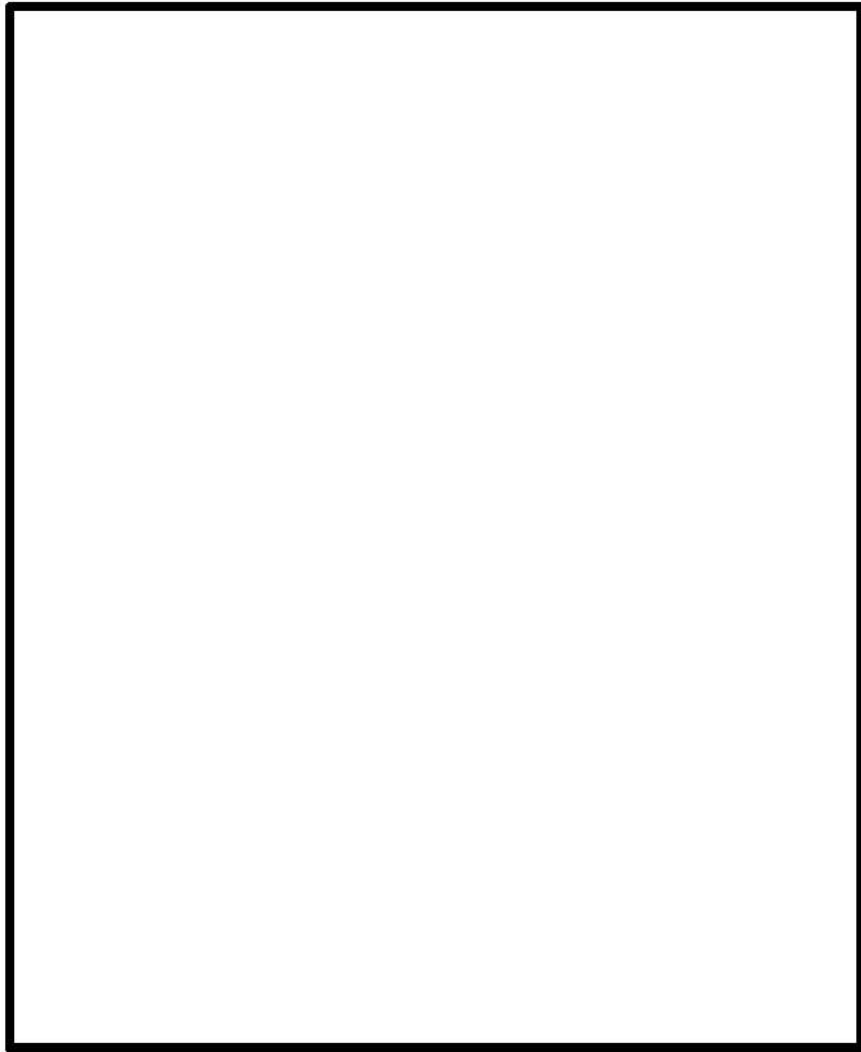
第 3.2-1 図 原子炉建屋，原子炉補助建屋，A1, A2-燃料油貯油槽タンク室断面図(東西)



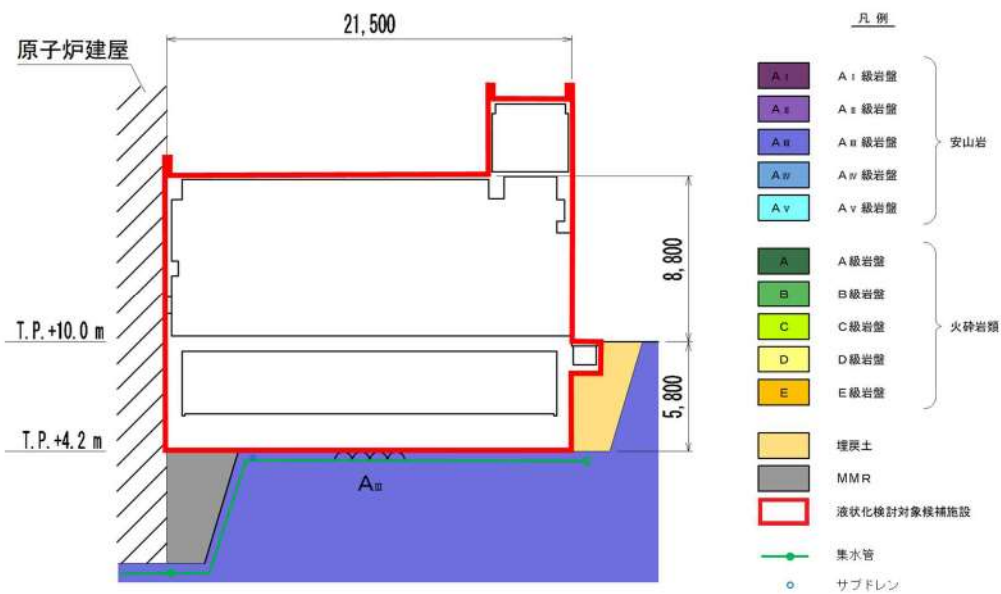
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



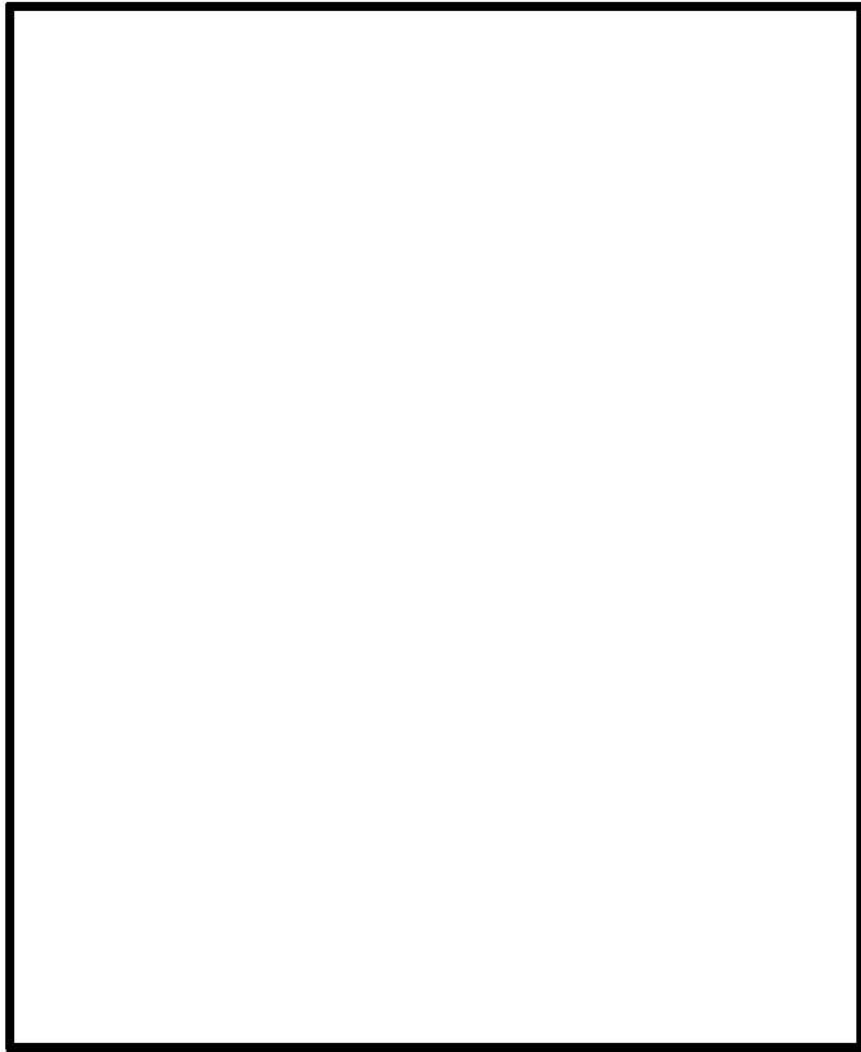
第 3.2-2 図 原子炉建屋断面図(南北)



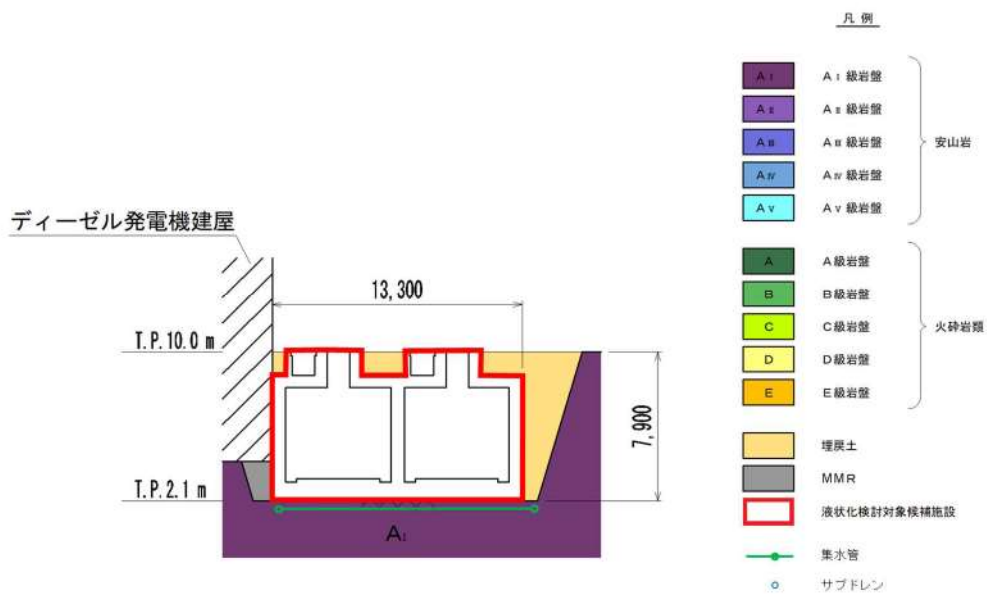
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



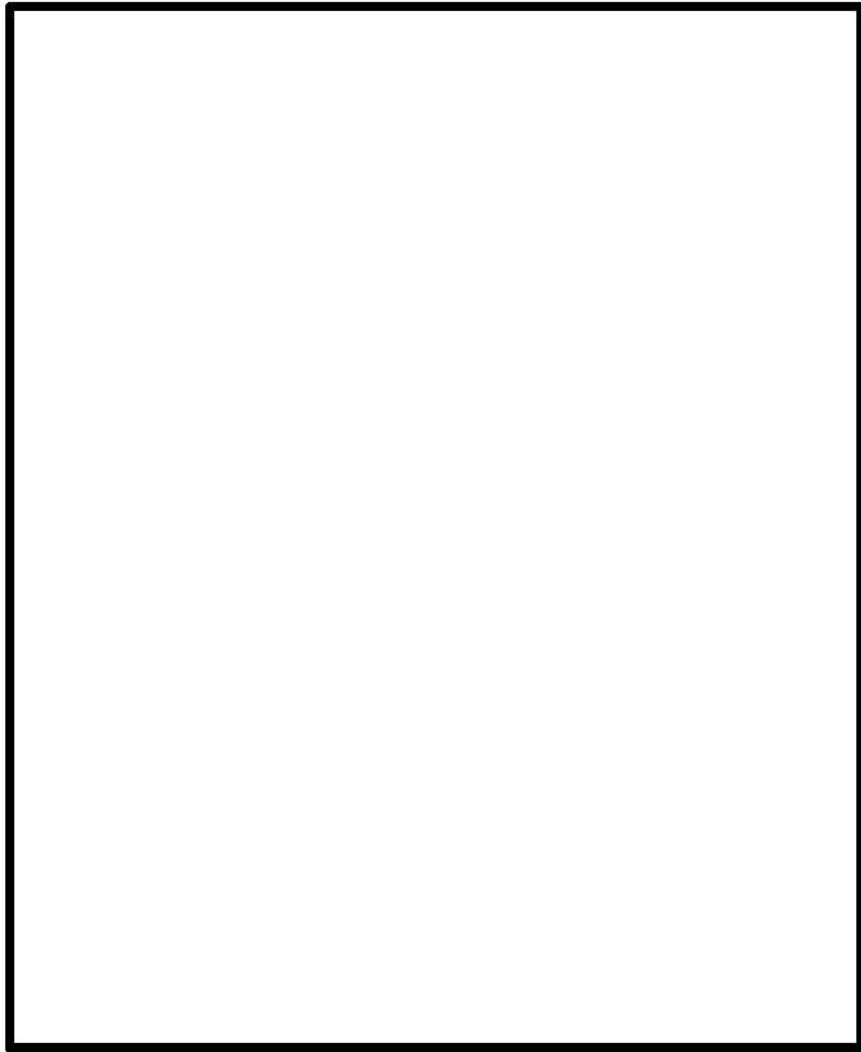
第 3.2-3 図 ディーゼル発電機建屋断面図



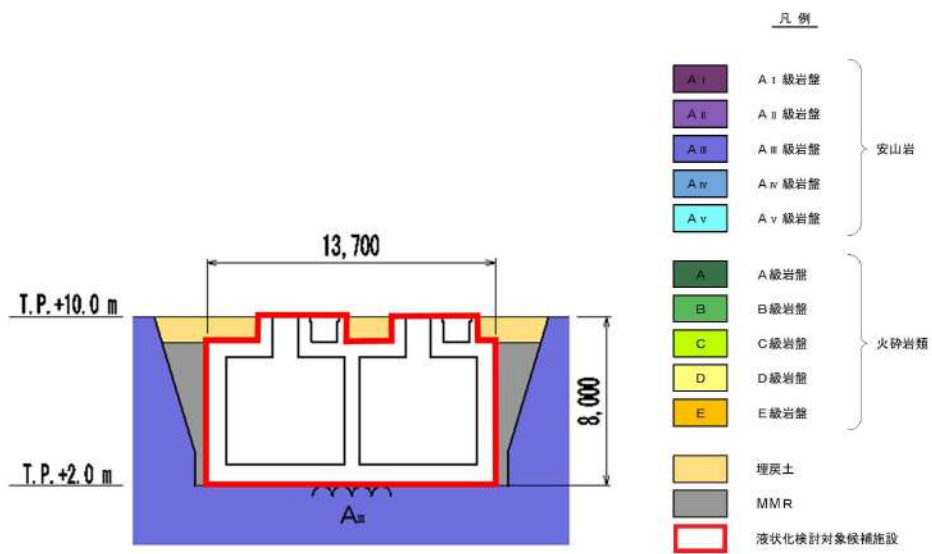
□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



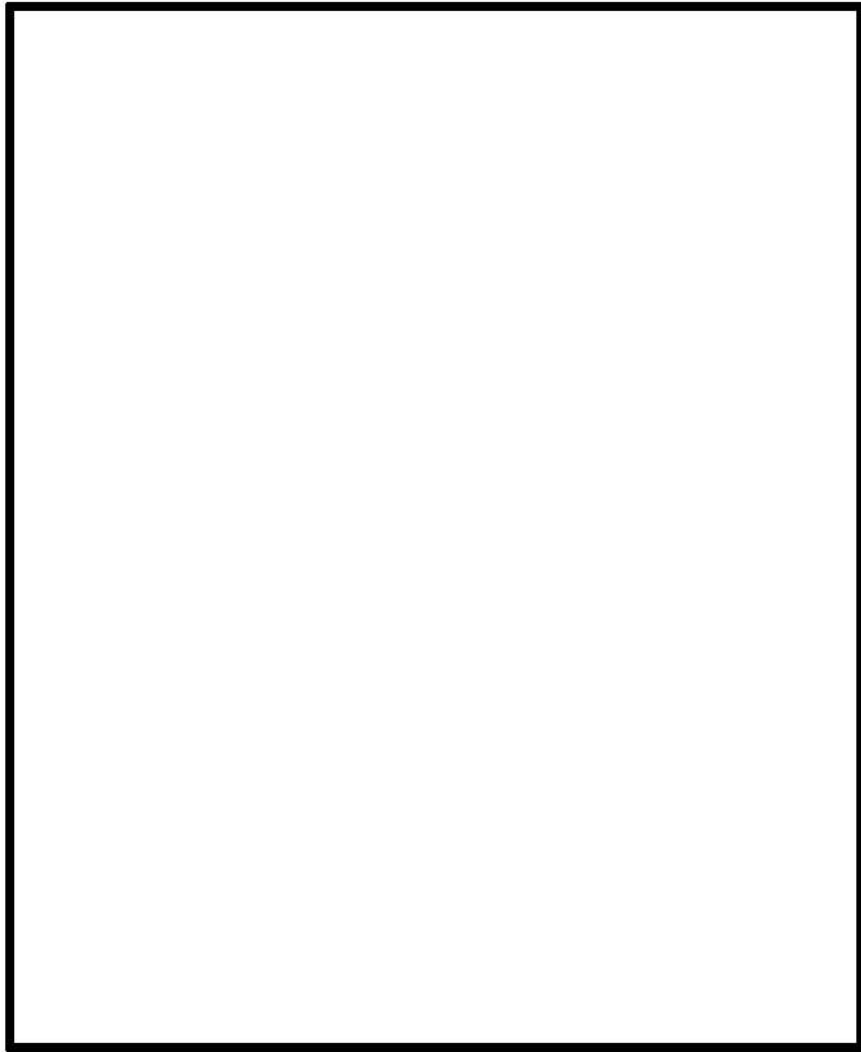
第 3.2-4 図 A1, A2-燃料油貯油槽タンク室断面図



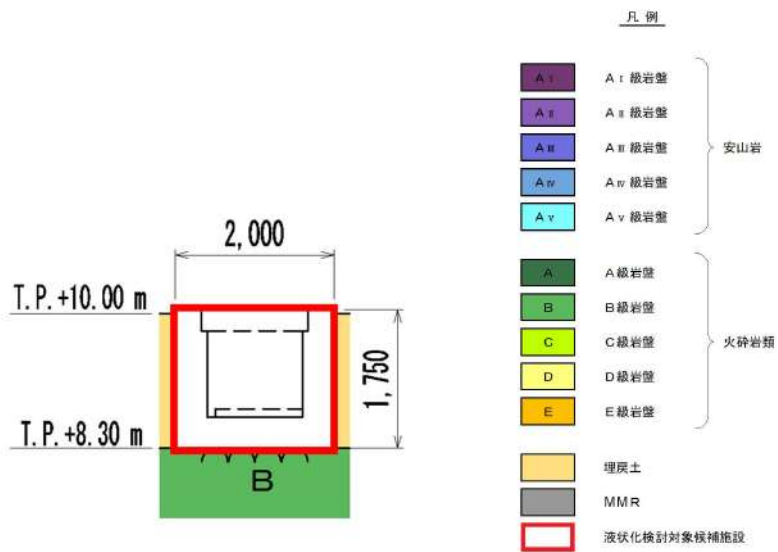
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



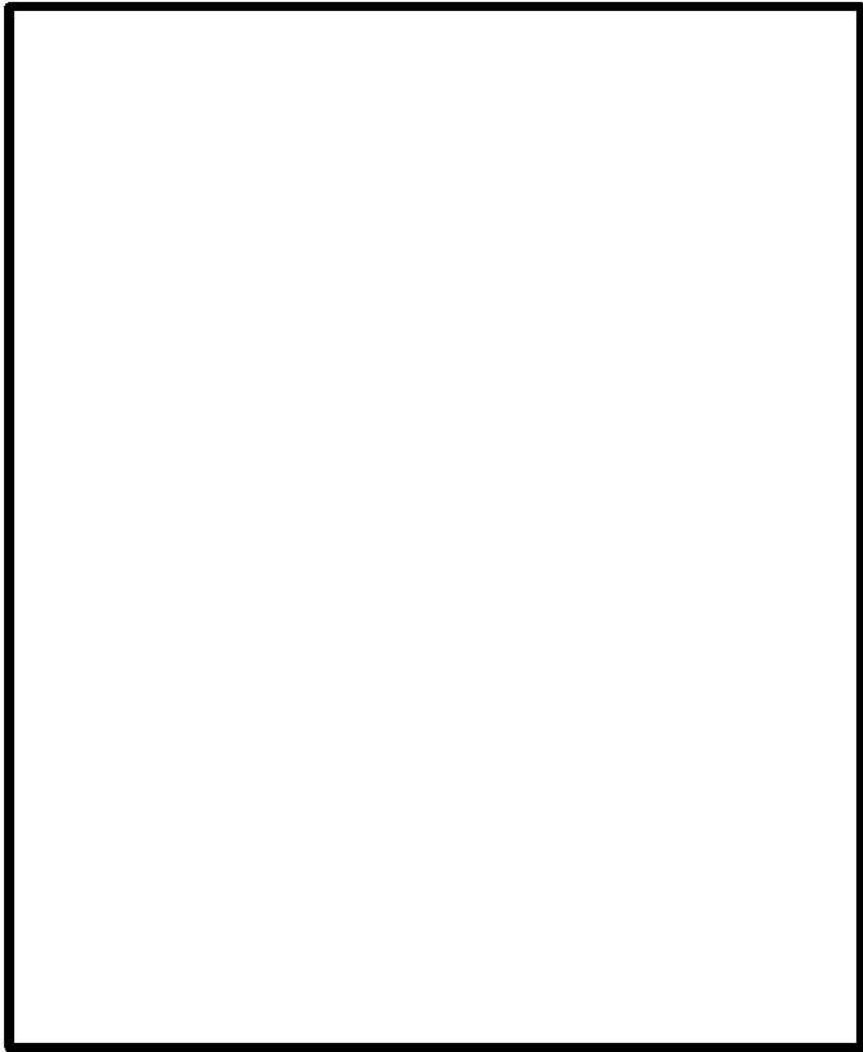
第 3.2-5 図 B1, B2-燃料油貯油槽タンク室断面図



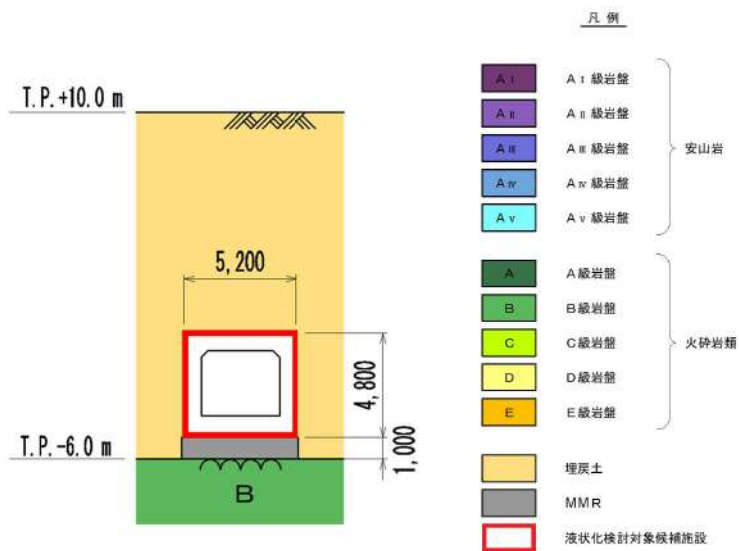
□:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



第 3.2-6 図 B1, B2-ディーゼル発電機燃料油貯油槽トレンチ断面図



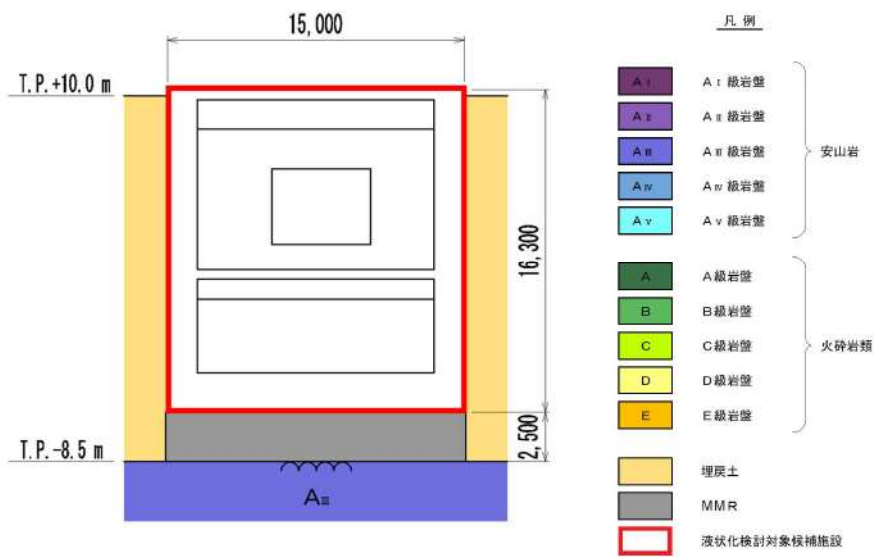
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



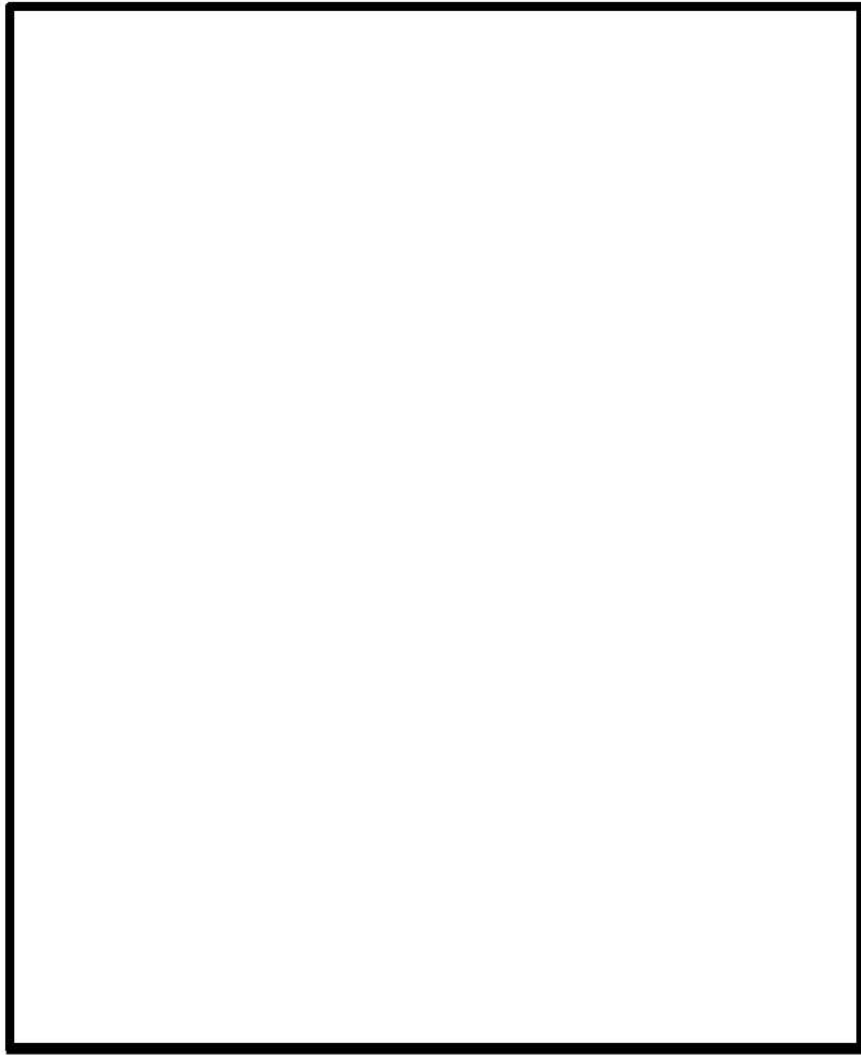
第 3.2-7 図 原子炉補機冷却海水管ダクト断面図



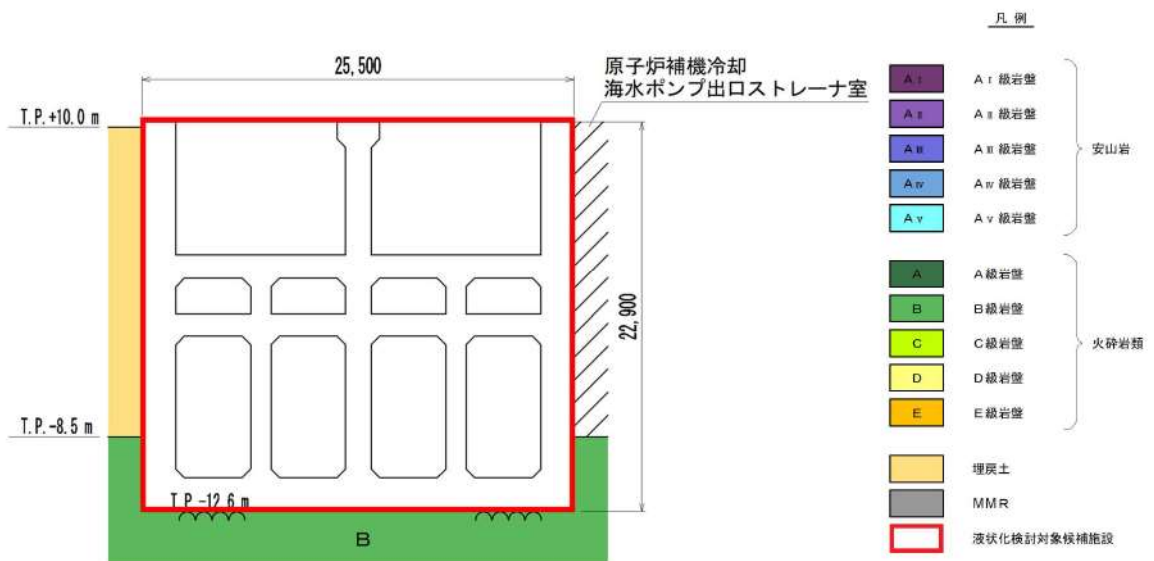
□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



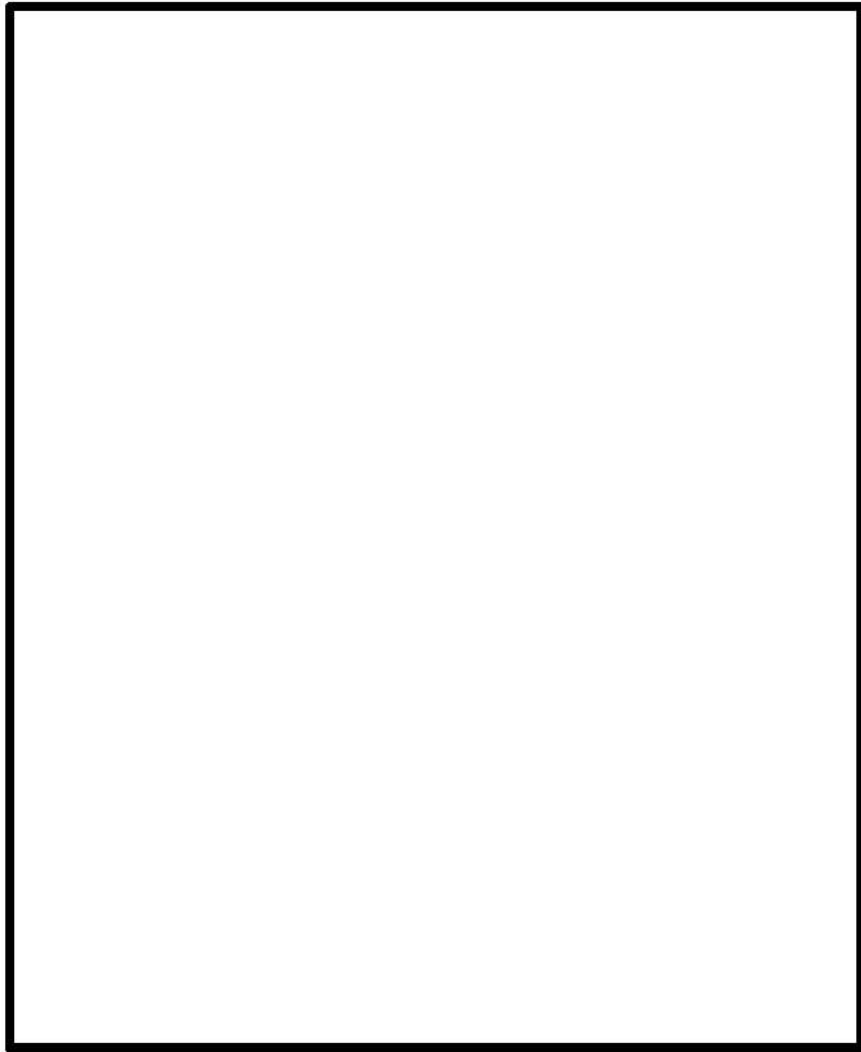
第 3.2-8 図 原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ室断面図



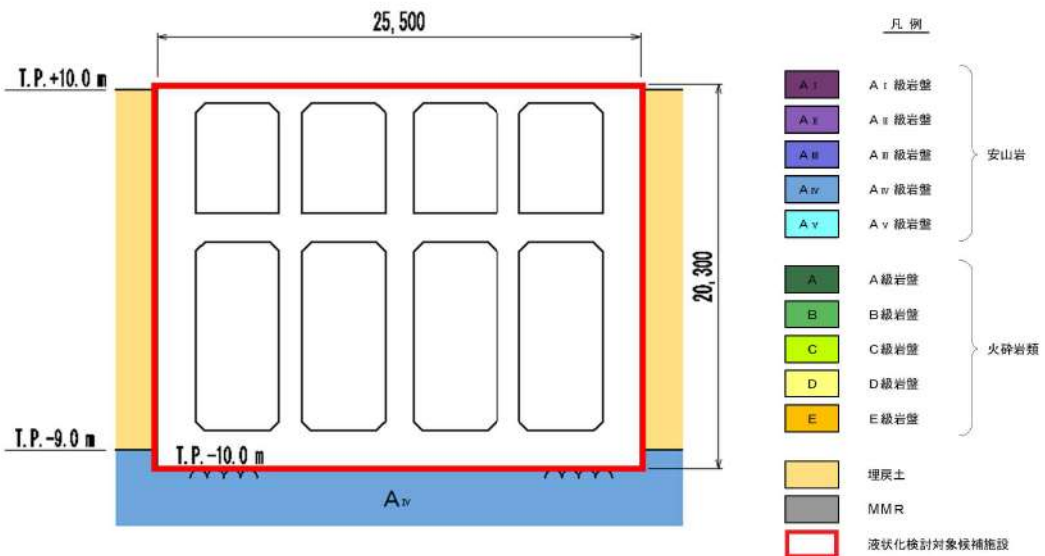
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



第 3.2-9 図 取水ピットポンプ室断面図

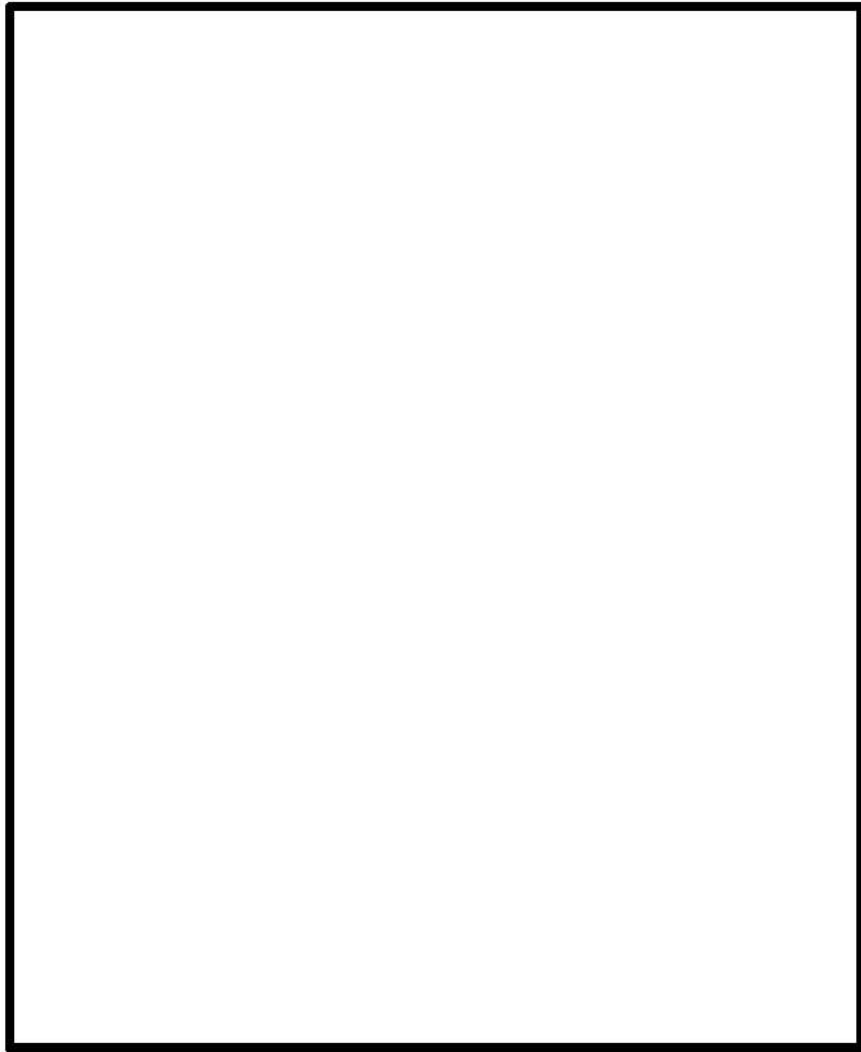


□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



第 3.2-10 図 取水ピットスクリーン室断面図

4 条-別紙 9-27



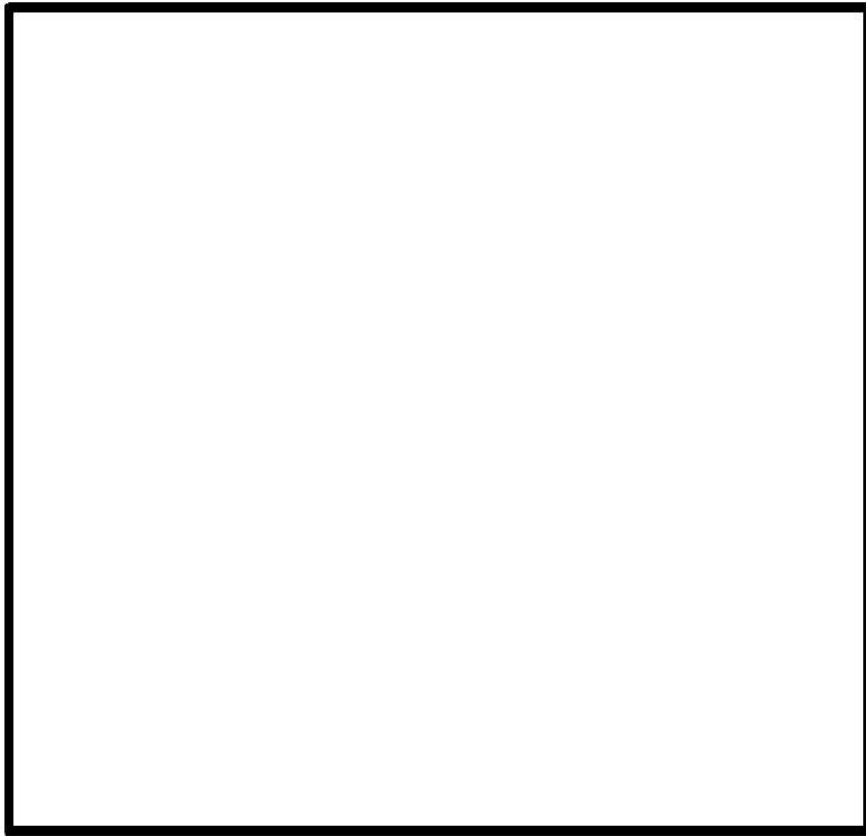
:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



追而

第 3.2-11 図 3 号炉取水ピットスクリーン室防水壁断面図

4 条-別紙 9-28



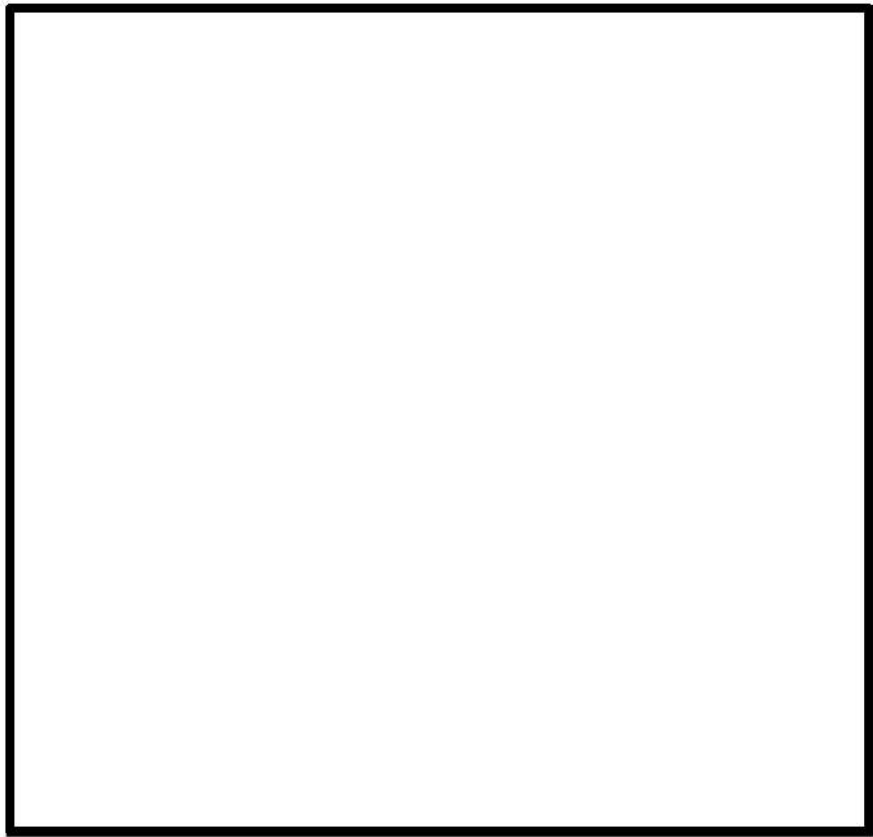
: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



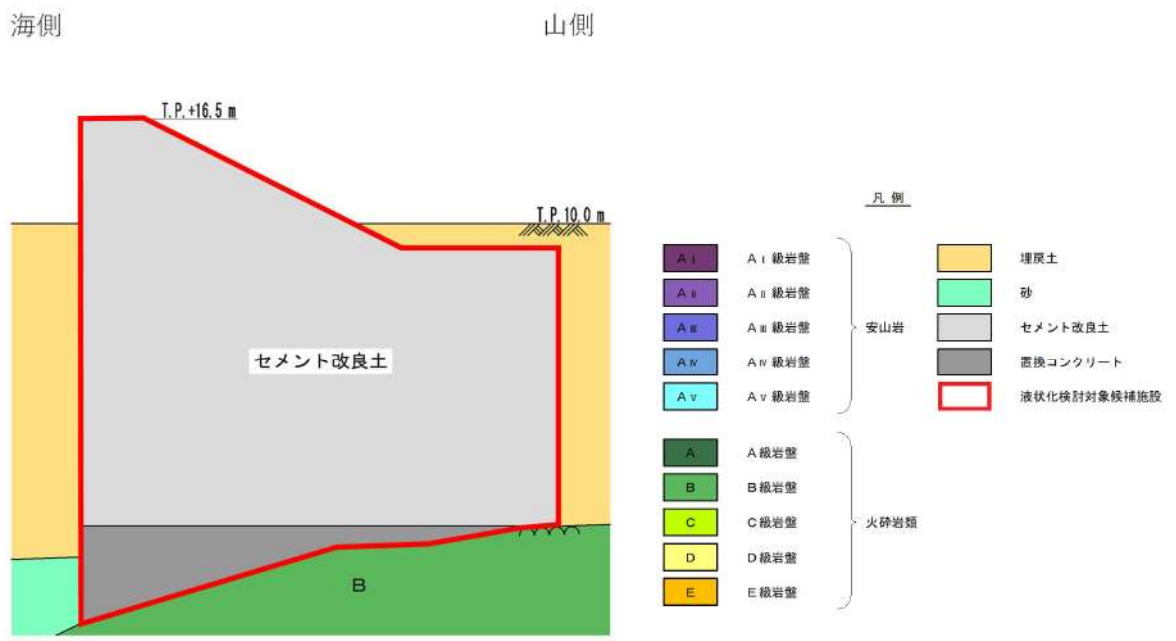
追而

第 3.2-12 図 1, 2 号炉取水ピットスクリーン室及び
1, 2 号炉取水ピットスクリーン室防水壁断面図

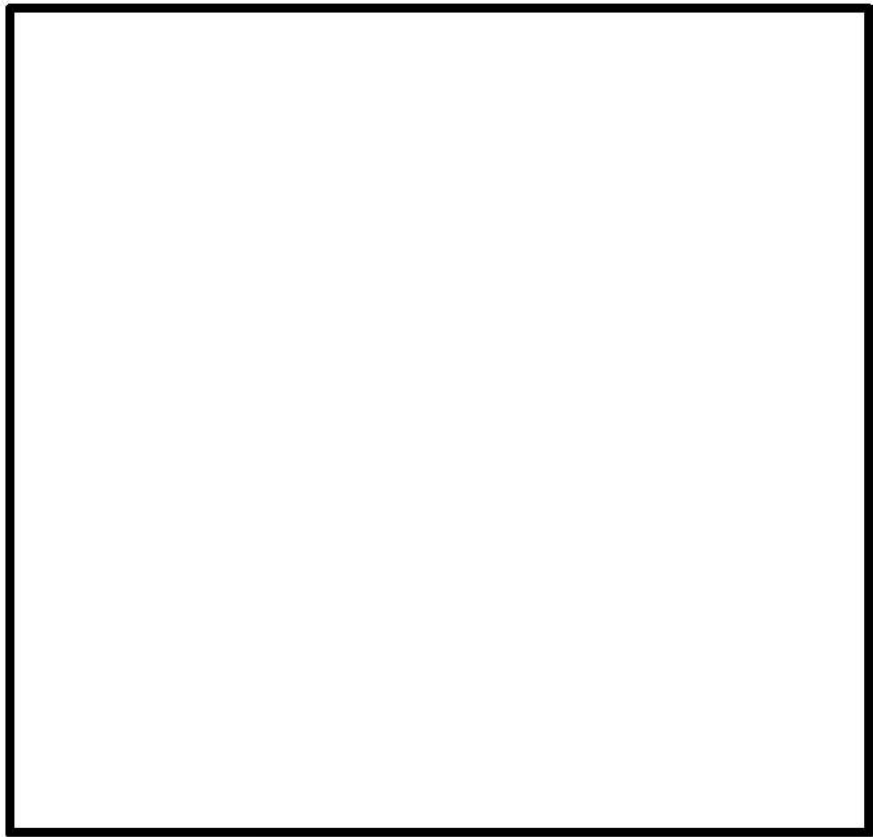
4 条-別紙 9-29



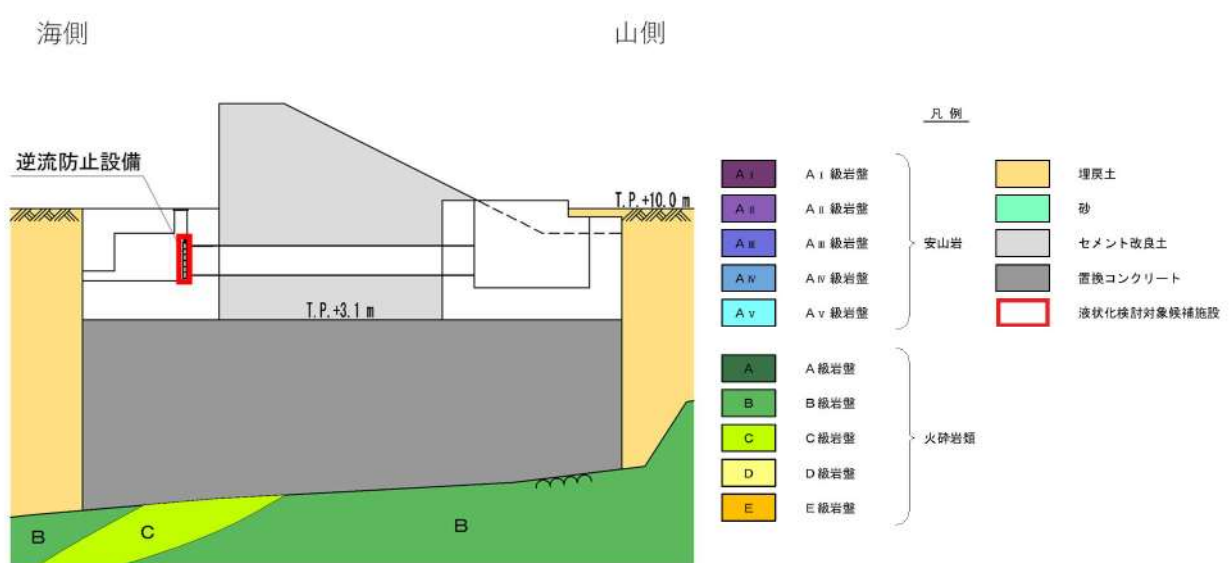
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



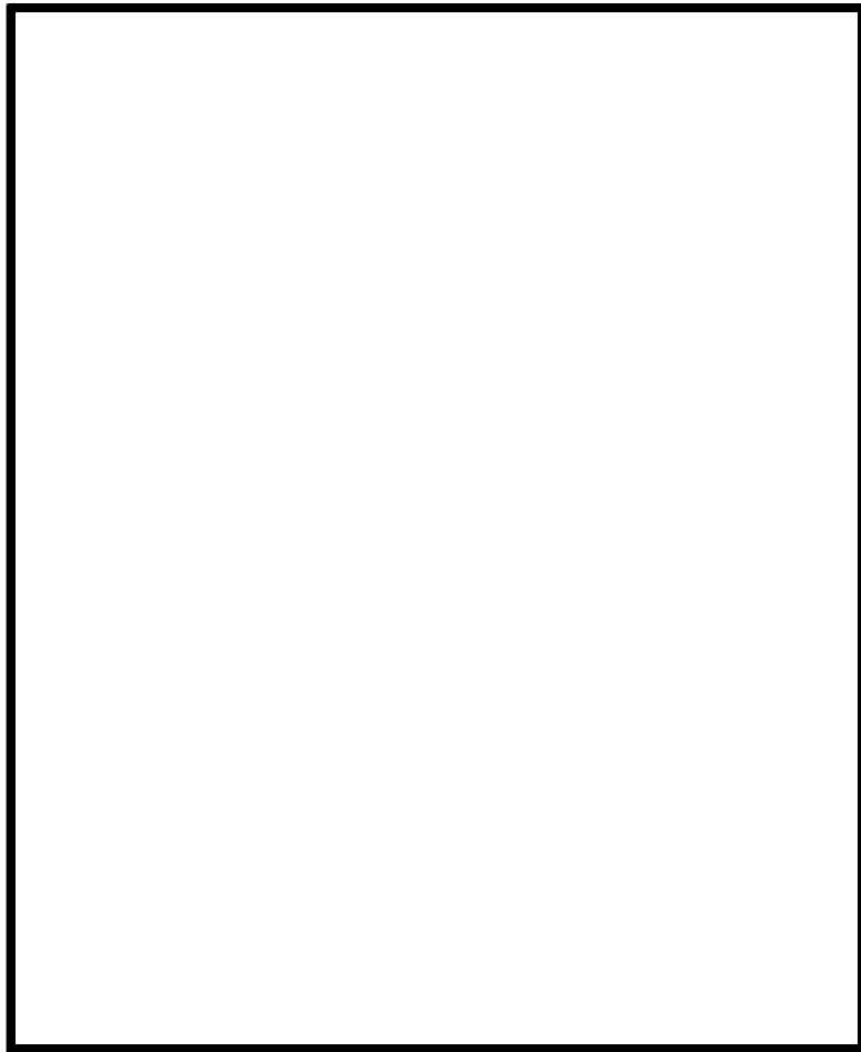
第 3.2-13 図 防潮堤断面図



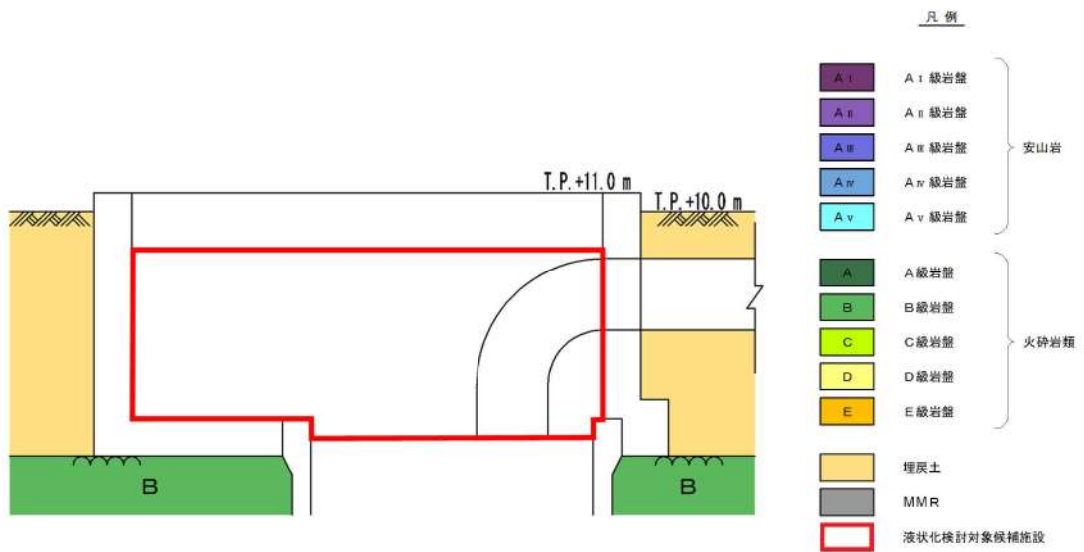
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



第 3. 2-14 図 屋外排水路逆流防止設備断面図

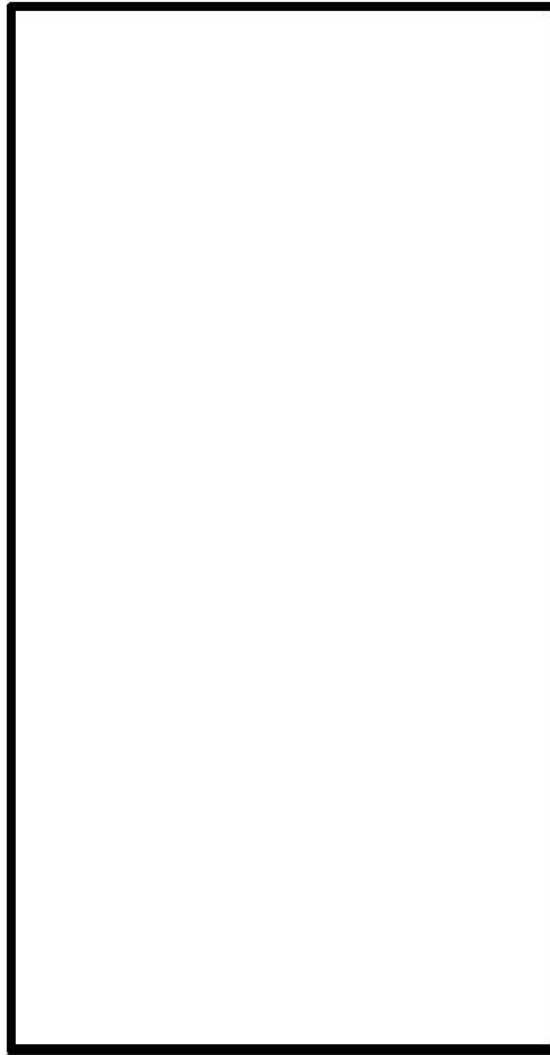


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

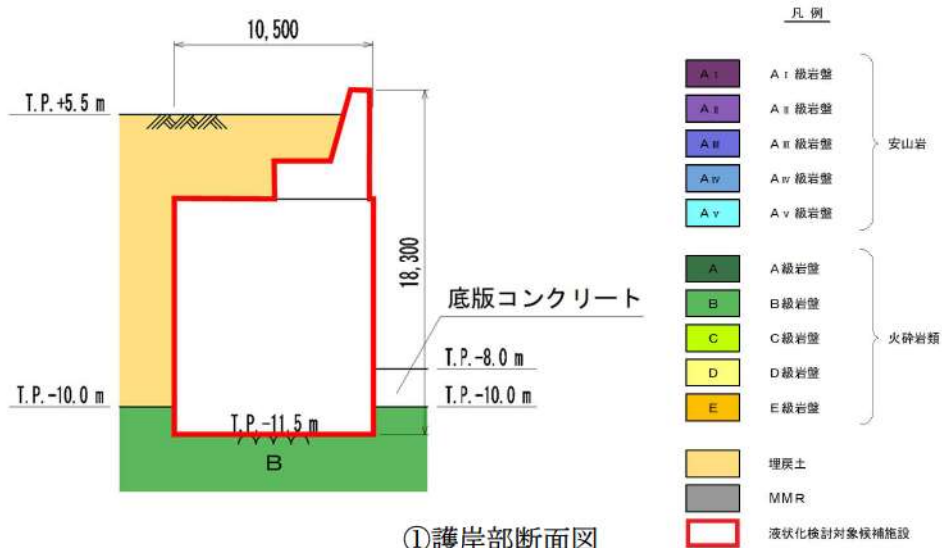


第 3.2-15 図 3 号炉放水ピット流路縮小工断面図

4 条-別紙 9-32

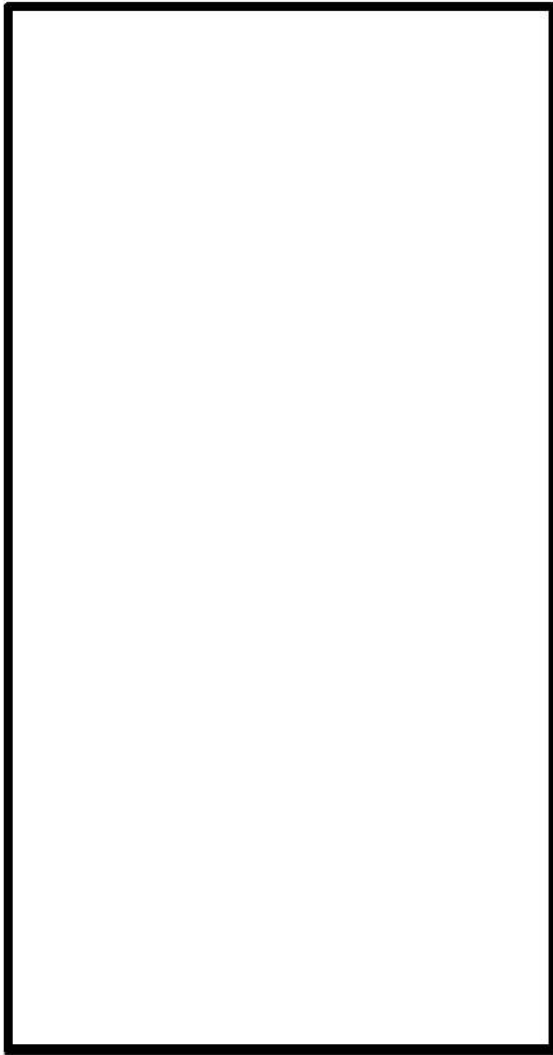


□ : 枠図みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

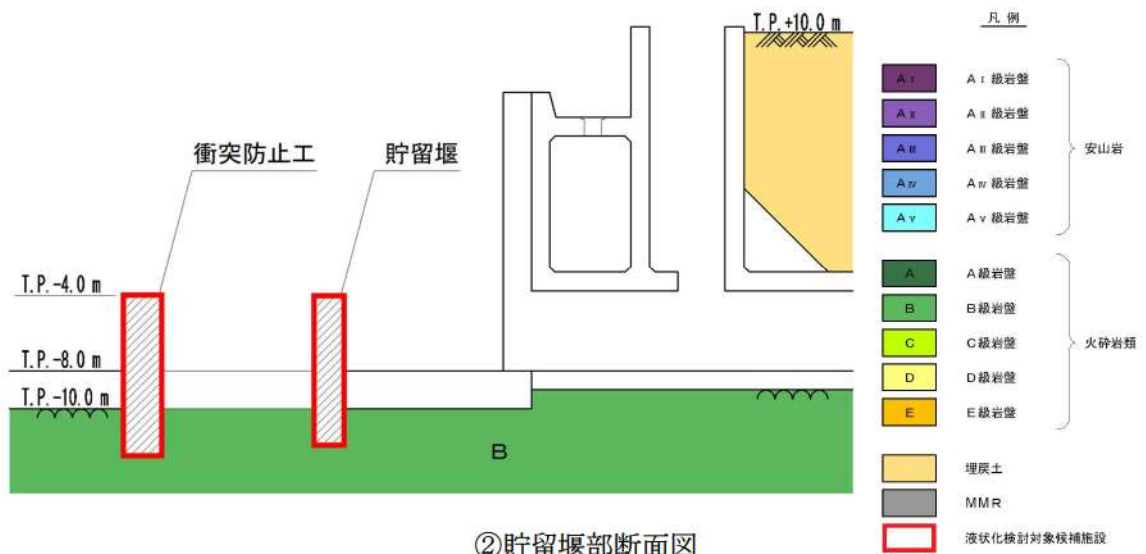


①護岸部断面図

第 3.2-16 図(1/2) 取水口断面図

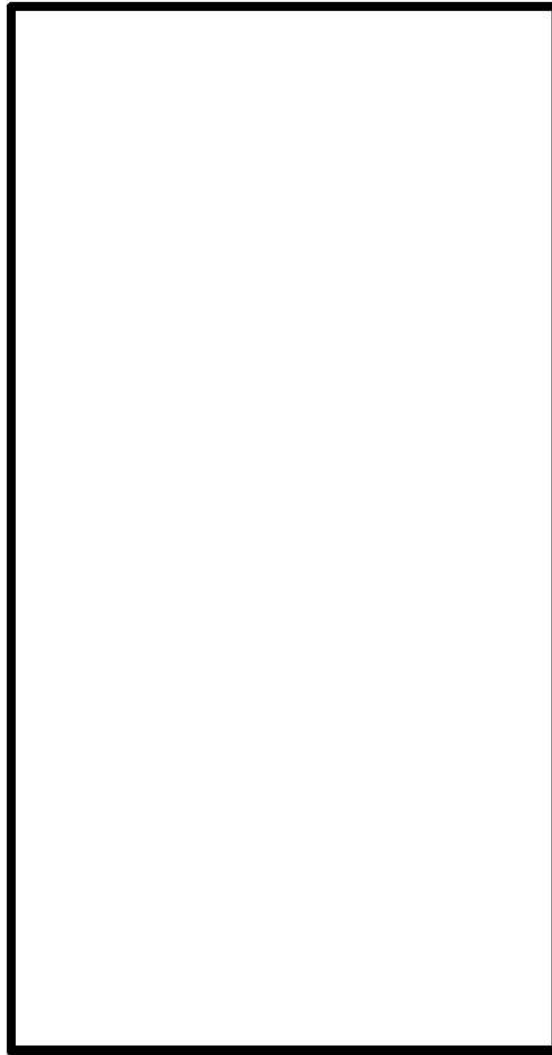


□ : 枠図みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

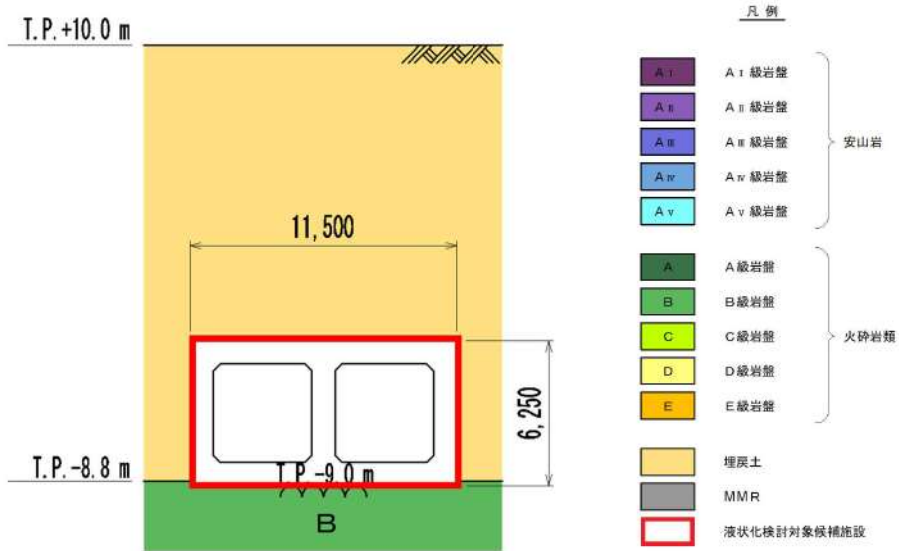


②貯留堰部断面図

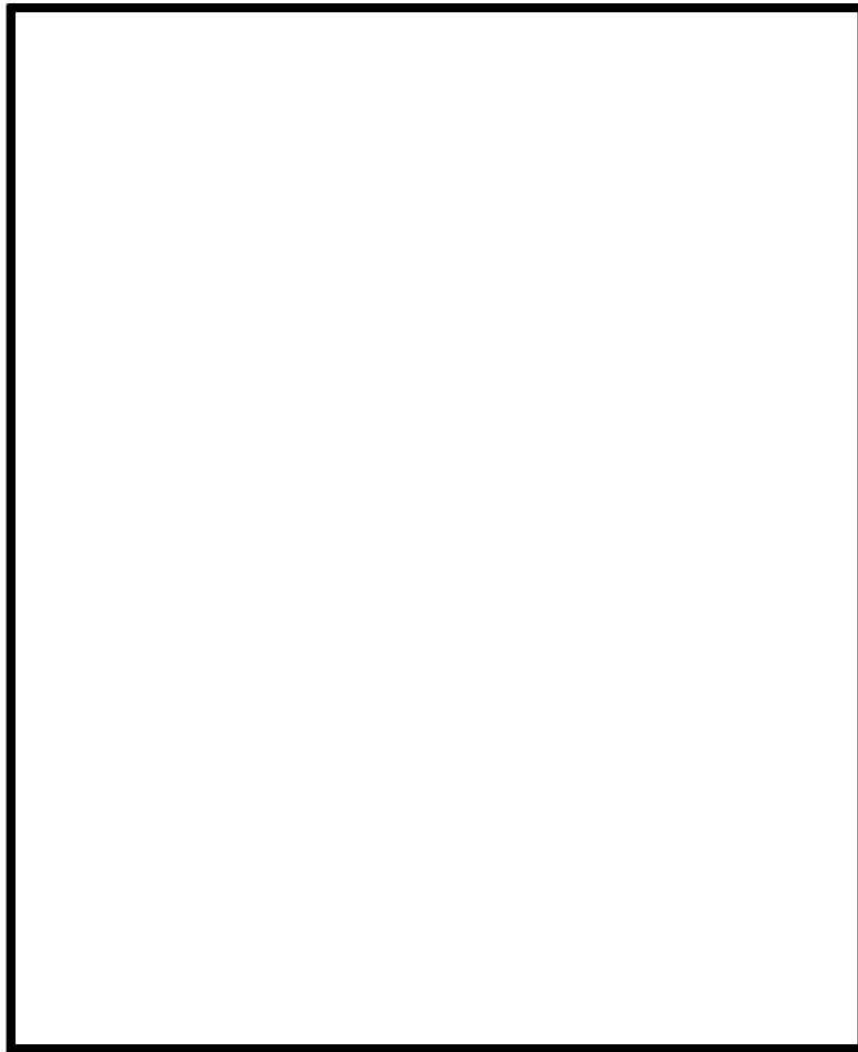
第 3.2-16 図 (2/2) 取水口断面図



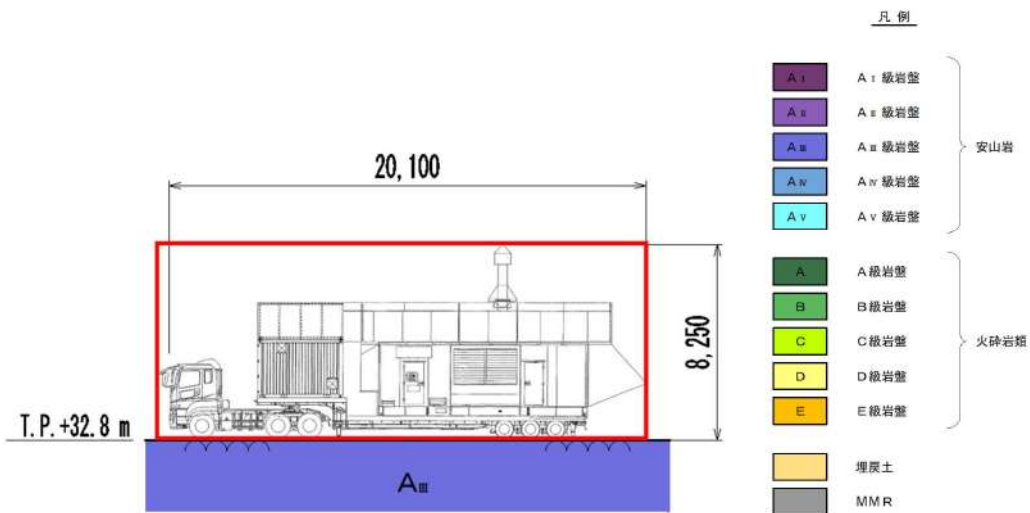
□: 枠図みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



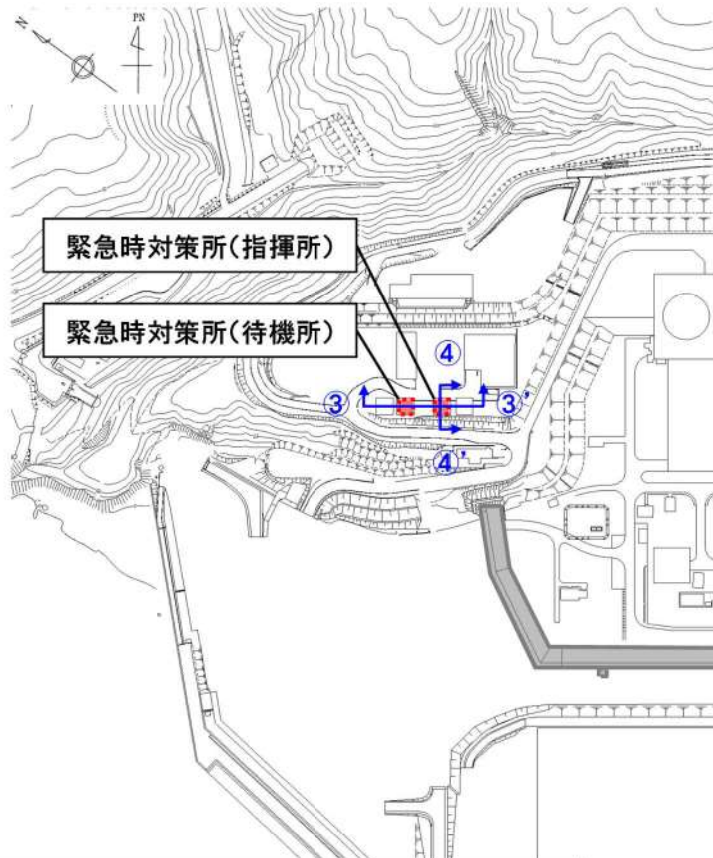
第 3.2-17 図 取水路断面図



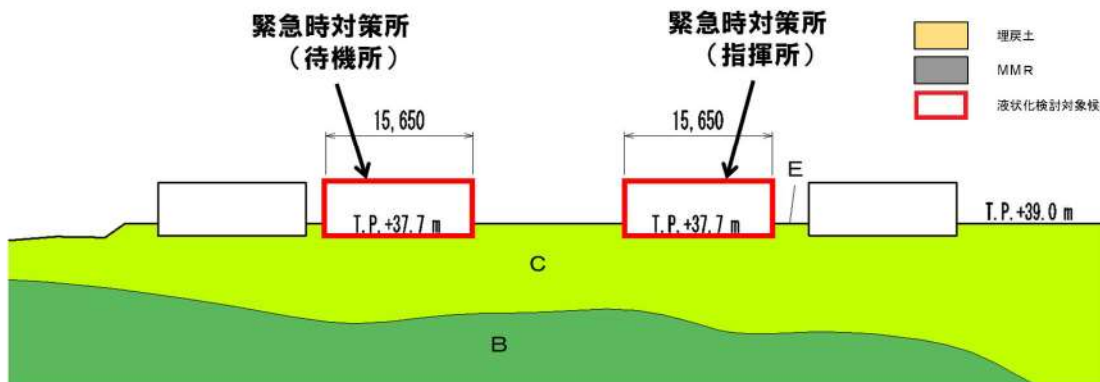
□ : 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。



第 3.2-18 図 代替非常用発電機設置位置断面図

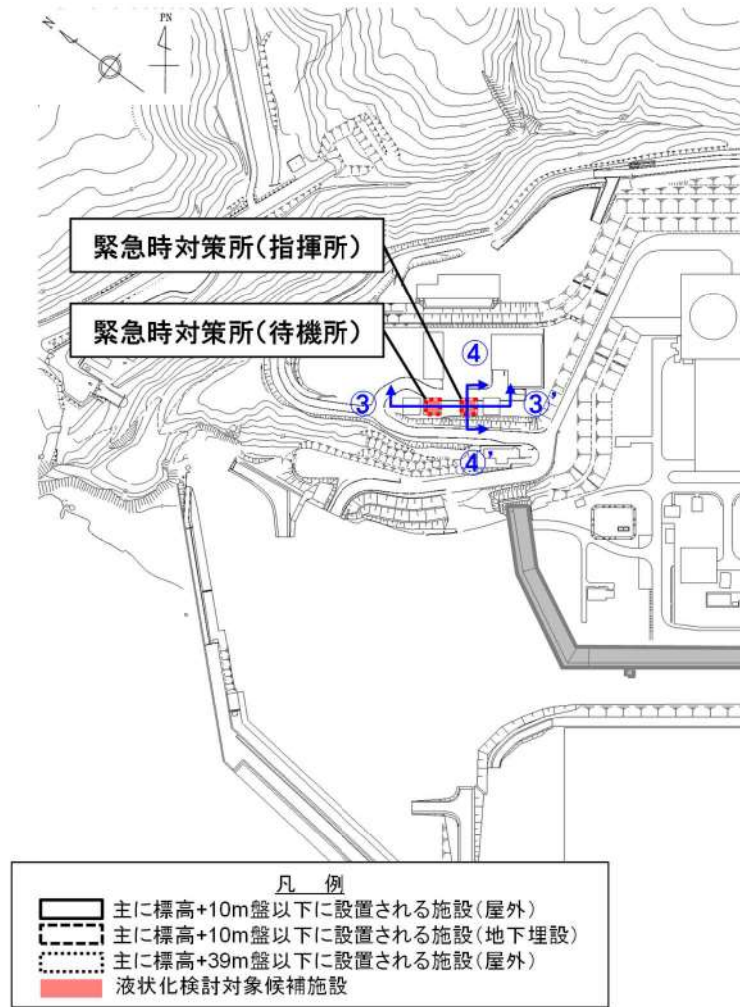


対象施設位置図

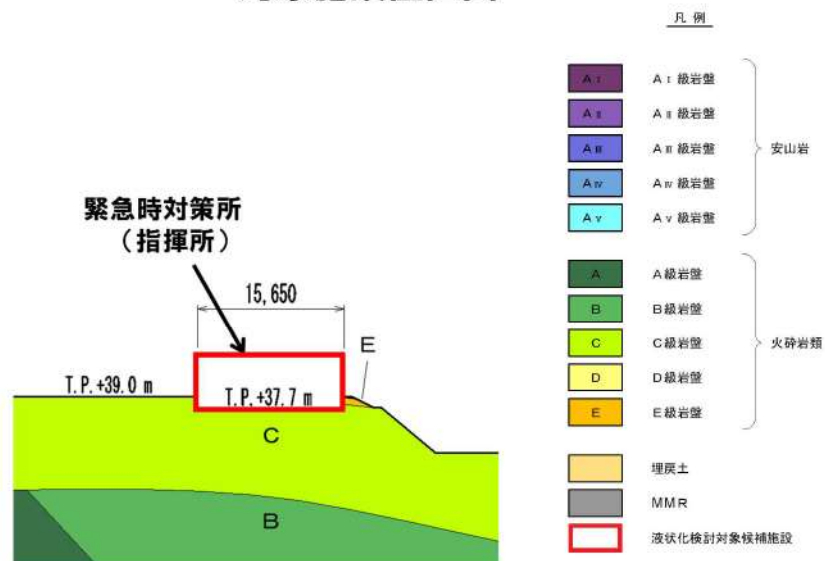


③緊急時対策所(指揮所, 待機所)断面図(東西)

第 3.2-19 図(1/2) 緊急時対策所断面図



対象施設位置図



④緊急時対策所(指揮所)断面図(南北)

第 3.2-19 図(2/2) 緊急時対策所断面図

4. 液状化強度試験 試料採取位置選定とその代表性

4.1 液状化強度試験 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。

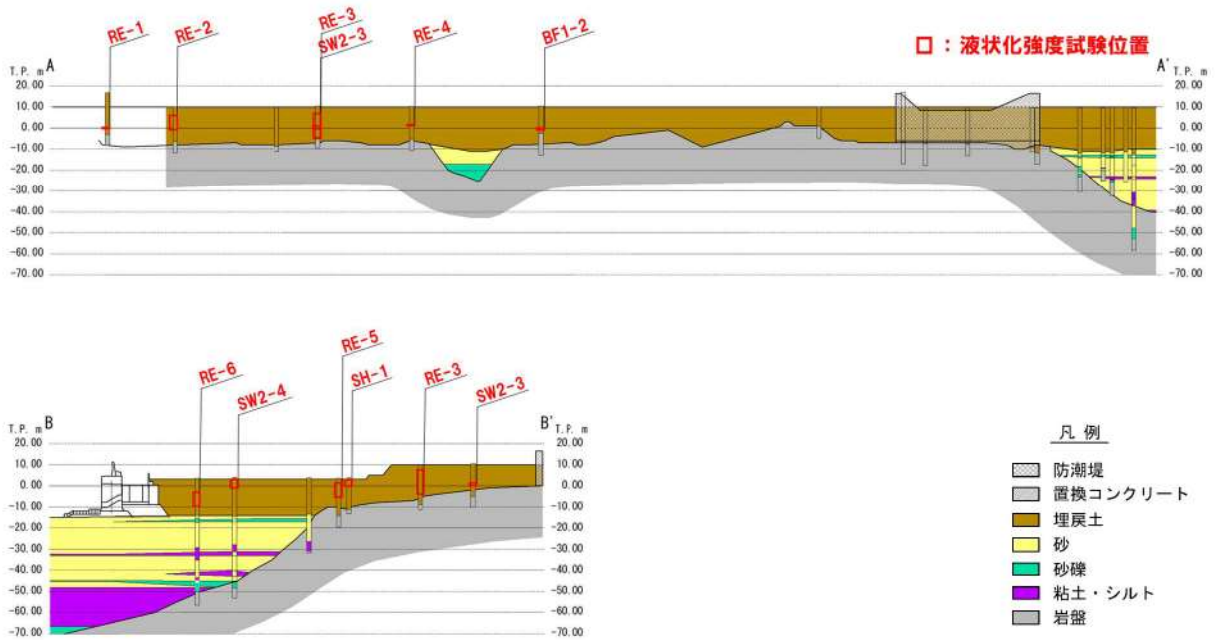
埋戻土の液状化強度試験に用いる試料採取位置は、第 4.1-1 図～第 4.1-3 図に示すとおり、「ボーリングが実施可能であること」、「試料採取が可能な位置及び深度であること」を条件に、飽和した埋戻土が分布する範囲を網羅する 10 地点(1,2 号埋戻土)と 7 地点(3 号埋戻土)を選定した。供試体は 1,2 号埋戻土及び 3 号埋戻土の地下水位前後からサンプリングしている。

砂層については、第 4.1-4 図及び第 4.1-5 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。

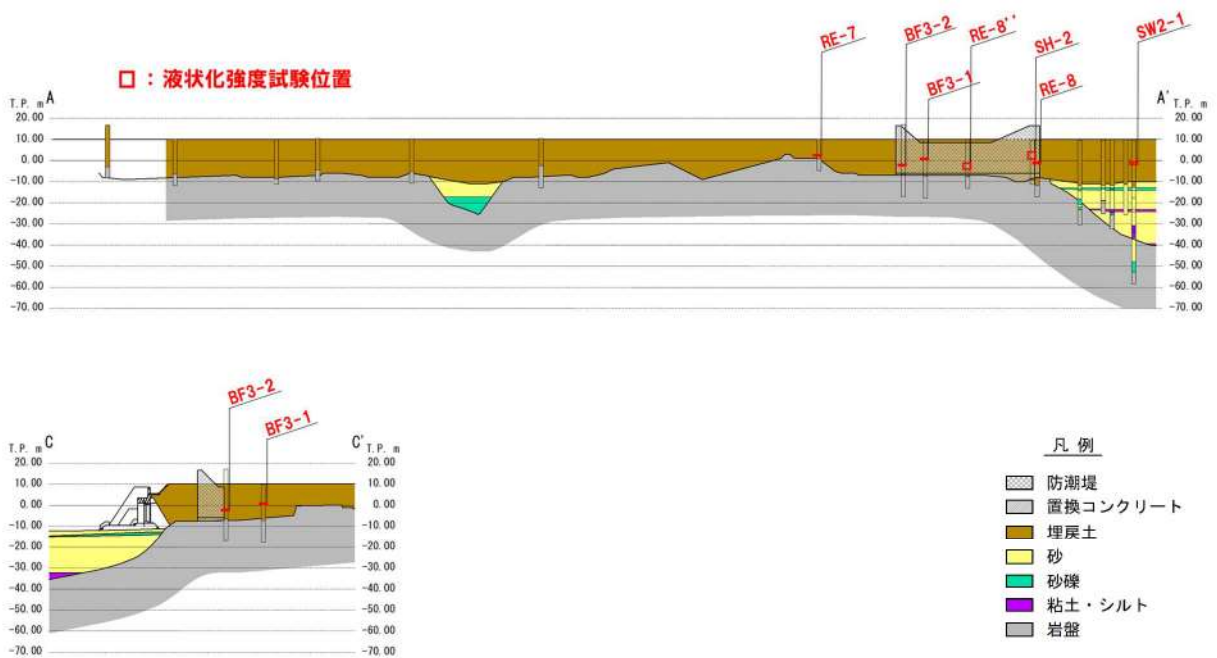


:枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 4.1-1 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. 1-2 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)

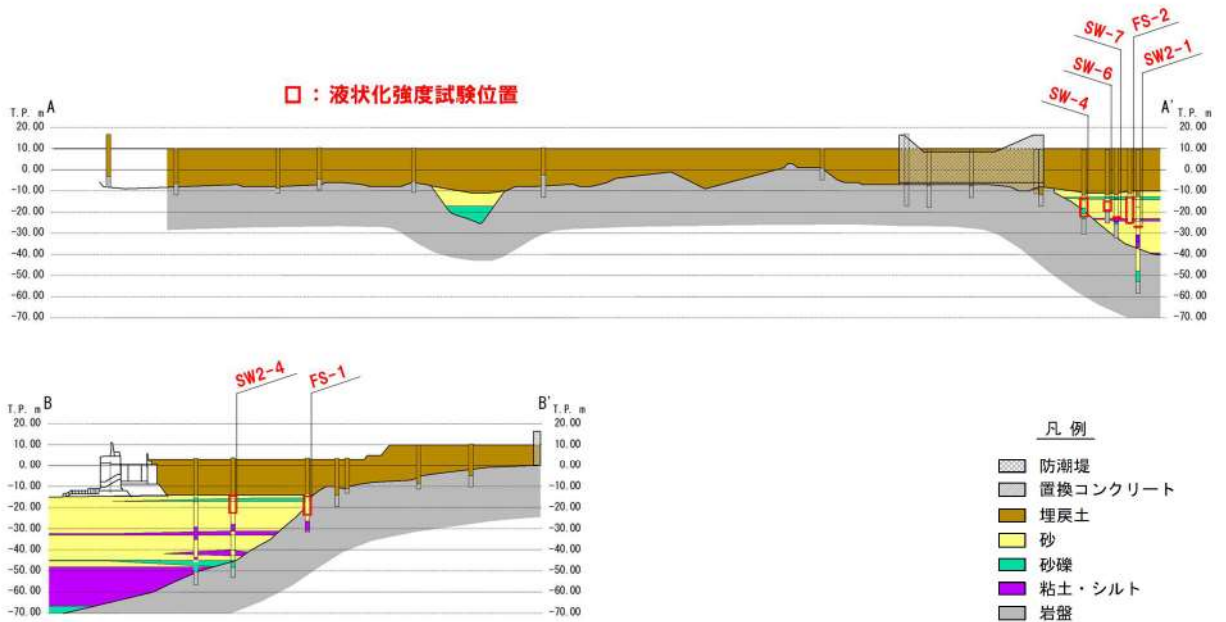


第 4. 1-3 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置断面図(3号埋戻土)



□ : 枠図みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

第 4.1-4 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置平面図(砂層)



第 4.1-5 図 液状化強度試験に用いる試料採取位置断面図(砂層)

4.2 液状化強度試験 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。

埋戻土及び砂層の基本物性に関する評価は参考資料 3 に示す。

4.2.1 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された人工地盤である。

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、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、(c) せん断波速度を選定した。

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巨礫を多く含んでいるため、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。埋戻土の N 値の取扱いについては参考資料 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。

各種文献における液状化強度とせん断波速度の相関に関する記述を第 4.2-2 表に示す。

なお、液状化に関連する基本物性の補足を参考資料 5 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

各種文献において、せん断波速度を用いた液状化強度の推定方法や、液状化強度試験の乱れの補正方法等が示されており、液状化強度比 R_L との相関が高いことから選定した。

第 4.2-1 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		

第 4.2-2 表 各種文献における液状化強度とせん断波速度の相関に関する記述

文献・論文名	液状化強度との相関に関する記載内容(抜粋)
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。
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)。
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)。
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。
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。

(1) 1, 2号埋戻土の代表性確認

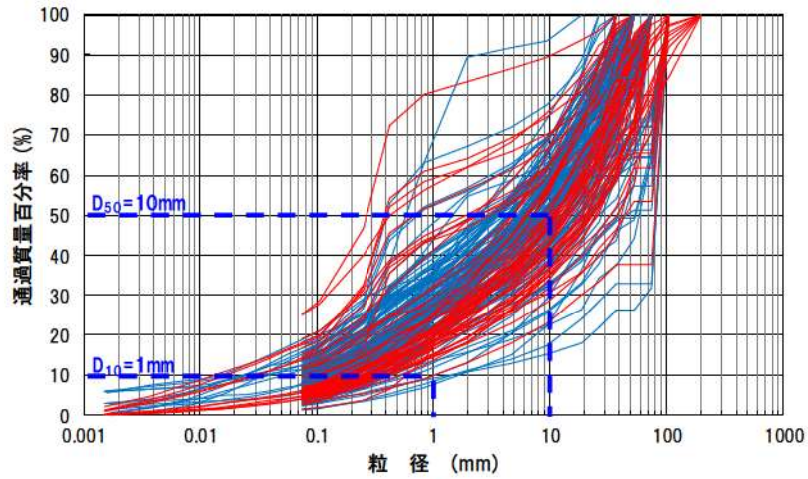
1, 2号埋戻土の液状化強度試験位置並びに周辺調査位置を第4.2-1図に示す。1, 2号埋戻土の液状化強度試験位置での各指標(粒度分布, 細粒分含有率及びせん断波速度)は, 周辺調査位置での指標と比較した結果, 同程度の範囲であるため, 1, 2号埋戻土の液状化強度試験位置には代表性があると考えられる(第4.2-2図)。

- ・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せん断波速度は, 概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

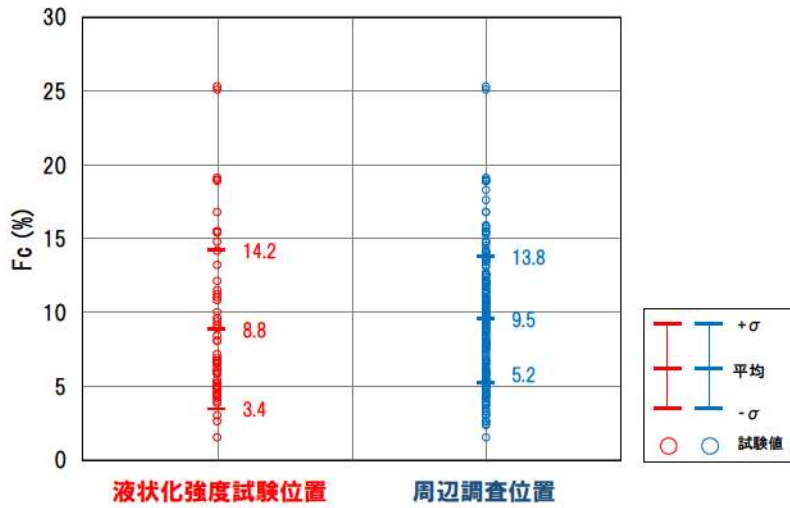


: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

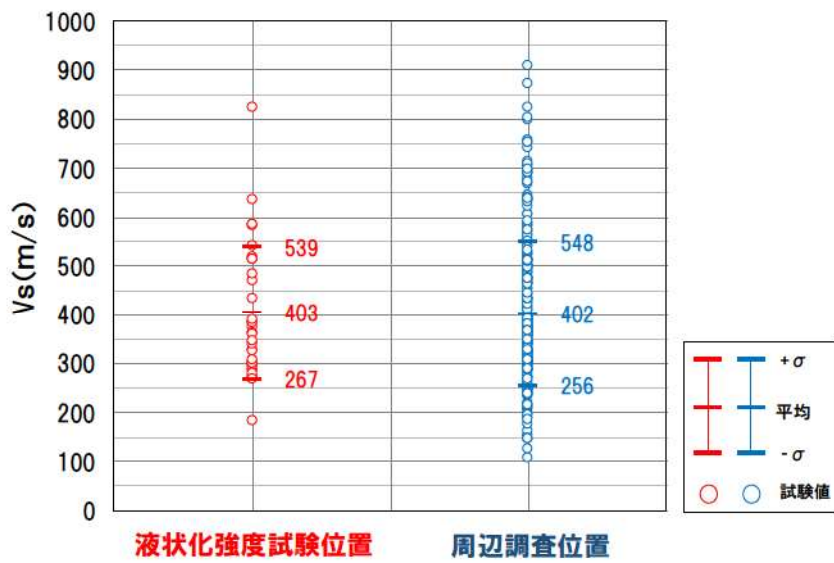
第4.2-1図 液状化強度試験位置並びに周辺調査位置(1, 2号埋戻土)



(a) 粒度分布



(b) 細粒分含有率



(c) せん断波速度

第 4.2-2 図 液状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

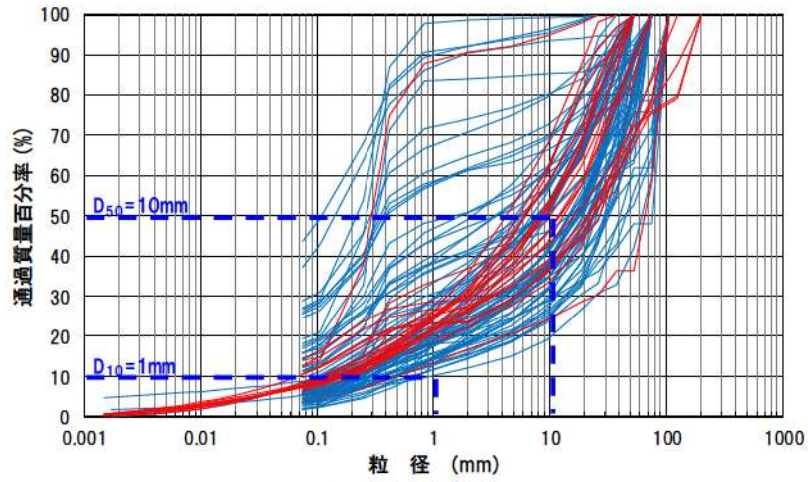
3号埋戻土の液状化強度試験位置並びに周辺調査位置を第4.2-3図に示す。3号埋戻土の液状化強度試験位置での各指標(粒度分布, 細粒分含有率及びせん断波速度)は, 周辺調査位置での指標と比較した結果, 同程度の範囲であるため, 3号埋戻土の液状化強度試験位置には代表性があると考えられる(第4.2-4図)。

- ・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せん断波速度は, 概ね周辺調査位置の範囲と同程度の範囲にある。

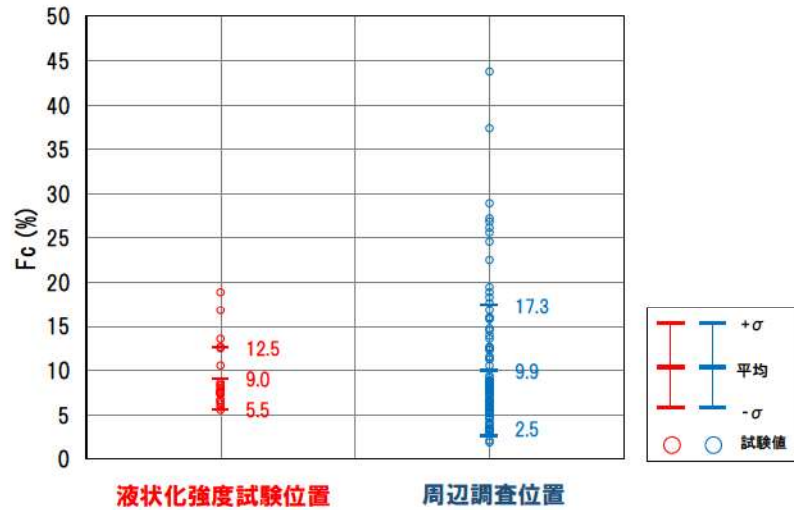


□: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

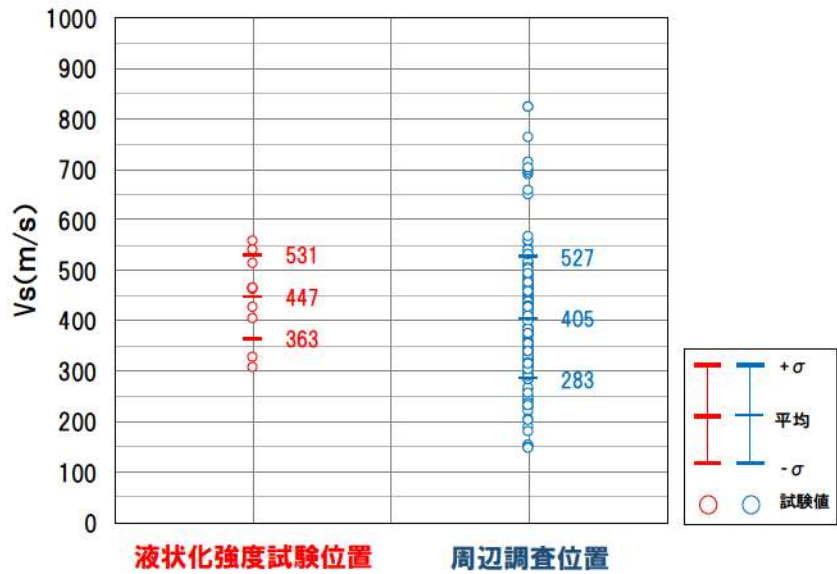
第4.2-3図 液状化強度試験位置並びに周辺調査位置(3号埋戻土)



(a) 粒度分布



(b) 細粒分含有率



(c) せん断波速度

第 4.2-4 図 液化強度試験位置の基本物性の比較(3号埋戻土)

4.2.2 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。

なお、液状化に関連する基本物性の補足について、参考資料5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。

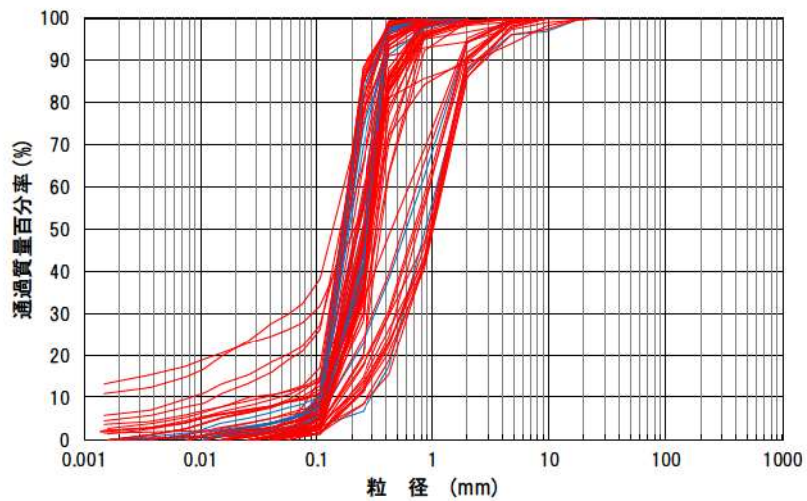
砂層の液状化強度試験位置並びに周辺調査位置を第 4.2-5 図に示す。砂層の液状化強度試験位置での各指標(粒度分布, 細粒分含有率及び N 値)は, 周辺調査位置での指標と比較した結果, 同程度の範囲であるため, 砂層の液状化強度試験位置には代表性があると考えられる(第 4.2-6 図, 第 4.2-7 図)。

- ・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。

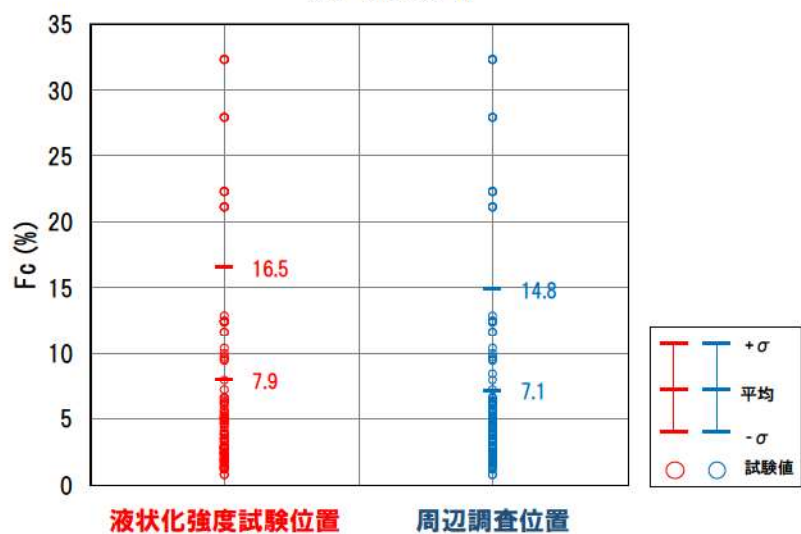


: 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

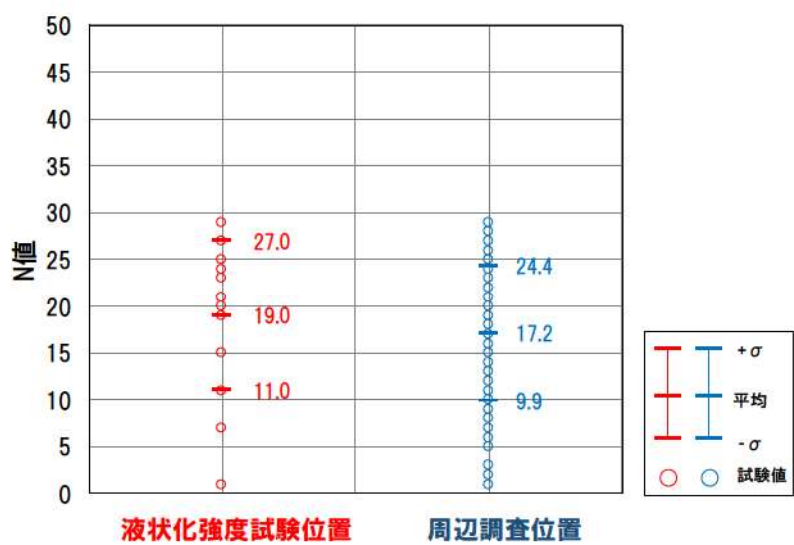
第 4.2-5 図 液状化強度試験位置並びに周辺調査位置(砂層)



(a) 粒度分布

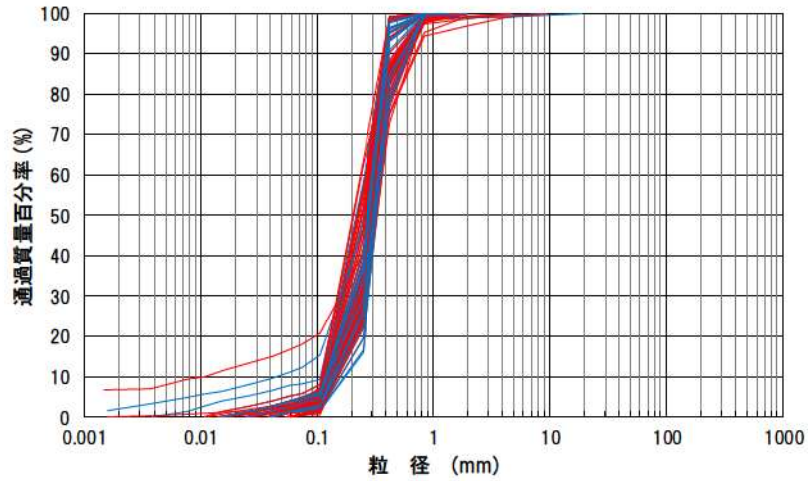


(b) 細粒分含有率

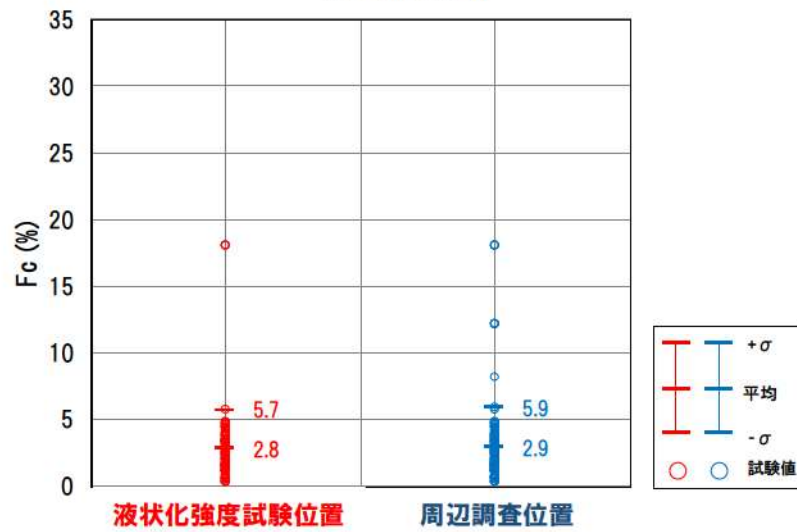


(c) N 値

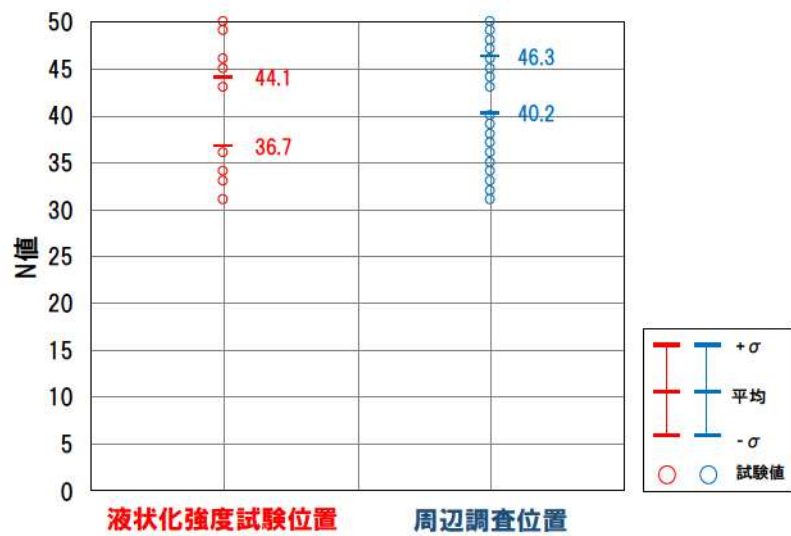
第 4.2-6 図 液化強度試験位置の基本物性の比較 (As1 層)



(a) 粒度分布



(b) 細粒分含有率



(c) N 値

第 4.2-7 図 液状化強度試験位置の基本物性の比較 (As2 層)

4.2.3 液状化強度試験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。

①埋戻土

【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。

【せん断波速度】

液状化強度試験位置のせん断波速度は、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。

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。

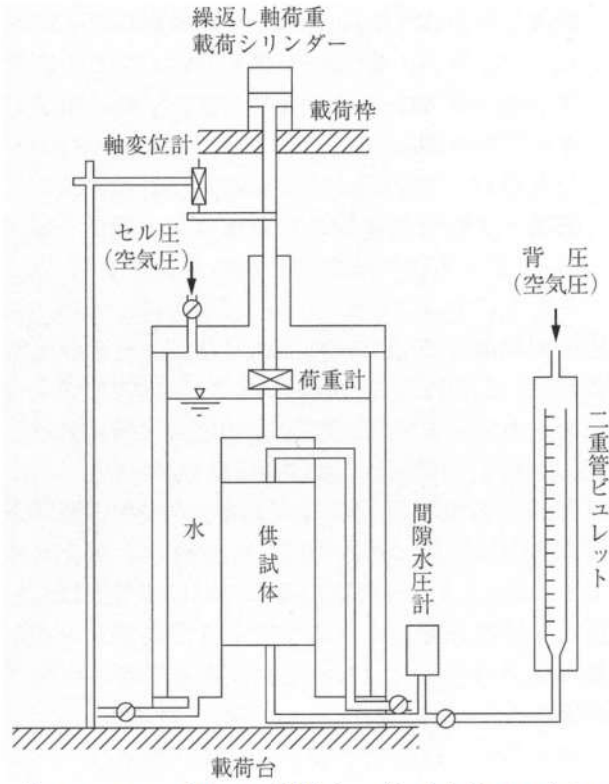
繰返し非排水三軸試験装置及び中空ねじりせん断試験装置の概要を第 5.1-1 図、第 5.1-2 図に示す。

【埋戻土】

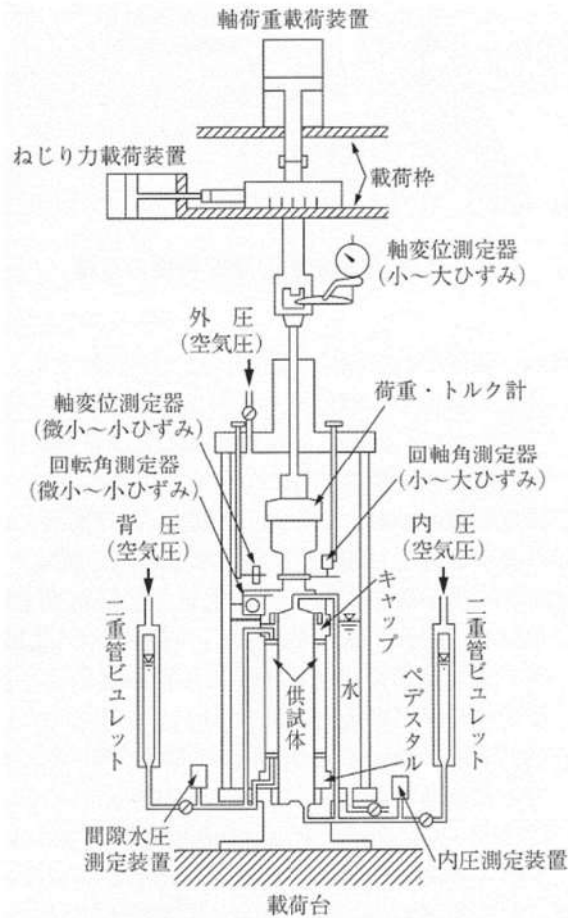
- ・液状化強度試験方法：繰返し非排水三軸試験
- ・試料採取方法：GP サンプリング
- ・供試体寸法：①直径 100mm, 高さ 200mm ②直径 300mm, 高さ 600mm
- ・載荷波形：正弦波(0.1Hz)
- ・圧密応力：200kPa(供試体採取深度の有効上載圧を考慮して設定)
- ・その他：地盤工学会(2009)地盤材料試験の方法と解説に基づき、繰返し回数 200 回を上限として、両振幅軸ひずみ 10%に達するまで試験を実施。せん断応力比を 0.200~0.908 の間で設定。

【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などによって、飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内で間隙水圧が上昇・蓄積し、有効応力がゼロまで低下し液体状となり、その後地盤の「流動」をともなう現象、または「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

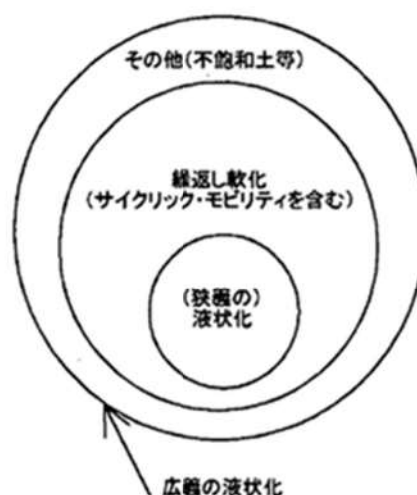
緩い砂地盤や砂礫地盤に限定せず、密な砂地盤や密な砂礫地盤さらに粘性土地盤でも地震などを含む種々の外力によって有効応力が低下し、地盤の強度または剛性の低下により有害な沈下や変形などが起こる現象。一般に飽和地盤が多いが、不飽和地盤においても起こる類似の現象(ただし、そのメカニズムは必ずしも解明されていない)も含むものとする。

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シー特性や粘性のためにひずみは有限の大きさとどまり、大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。

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くても、ひずみが大きく成長しようとする時、正のダイレイタンシー特性のためにせん断抵抗が急激に作用し、せん断ひずみの成長に歯止めがかかる現象。主に、密な砂や礫質土、過圧密粘土のように正のダイレイタンシー特性が著しい土において顕著に現れる。



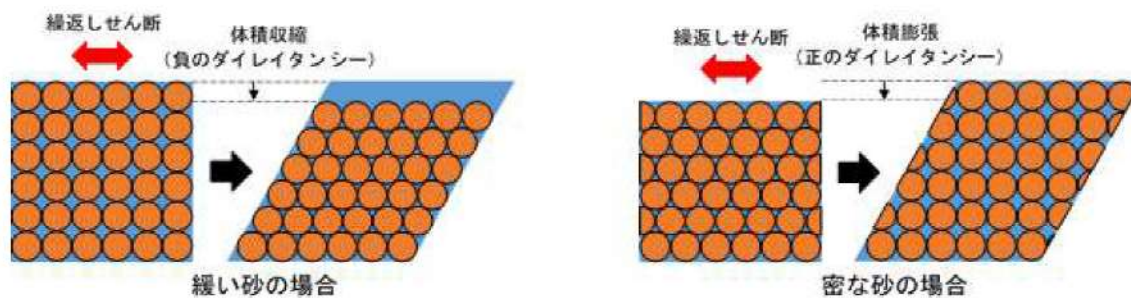
第 5.2-1 図 液状化に関連する言葉の定義
(土木学会地震工学委員会(2003)の報告書より引用)

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, その後にせん断力を加えると負の過剰間隙水圧が発生して有効拘束圧が増加(回復)し, 有限の小さなひずみ振幅しか発生しない。この現象を“サイクリックモビリティ”と呼んで液状化と区別することもある。
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'_{0} 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のので, 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に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。

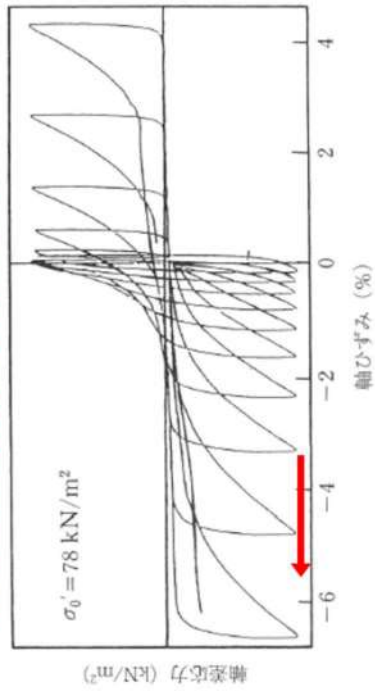
液状化に分類される事例

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。)	×

※1 地盤工学会 (2009) : 地盤材料試験の方法と解説

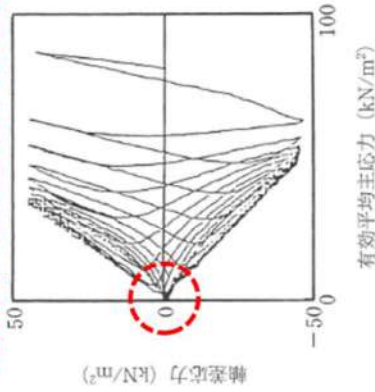
※2 井合 (2008) : サイクリックモビリティ, 地盤工学会誌

ひずみが急増大し、脆性的な破壊が生じる。



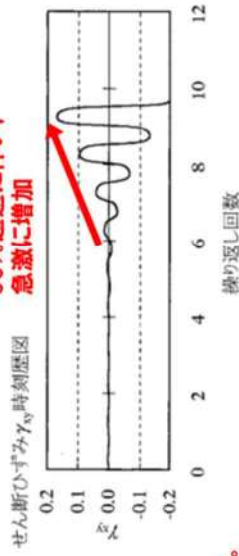
③④ 軸差応力-軸ひずみ関係※1

有効応力がゼロになり、液体状になる。



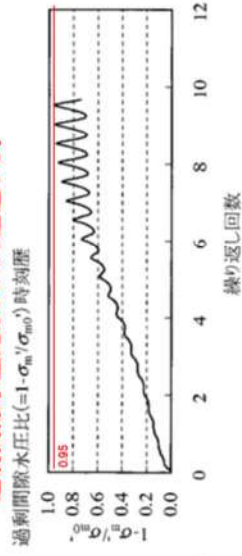
② 有効応力経路※1

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。



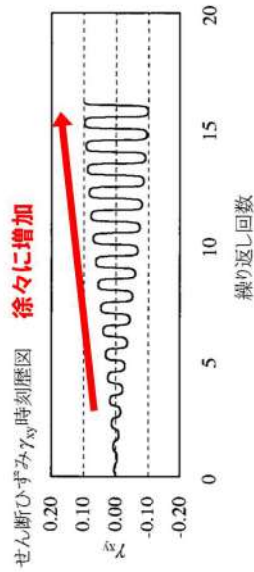
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係※2

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ン特性により せん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	○

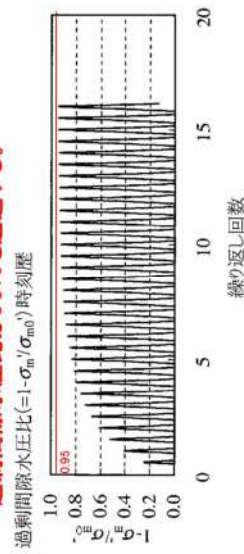
※1 地盤工学会 (2009) : 地盤材料試験の方法と解説

※2 井合 (2008) : サイクリックモビリティ, 地盤工学会誌



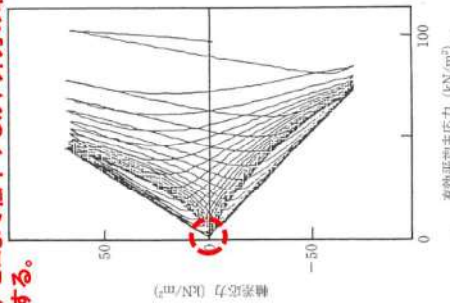
③④ せん断ひずみ-繰返し回数関係

過剰間隙水圧比は95%を超過する。

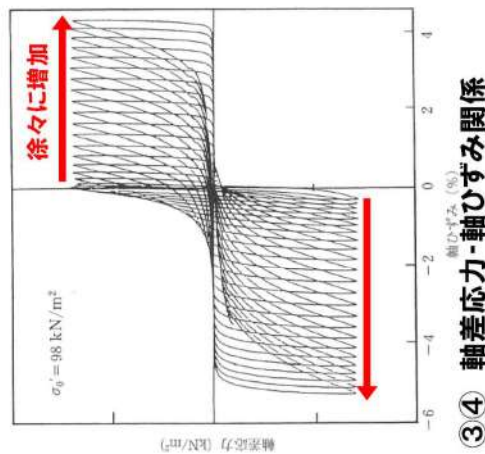


① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

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

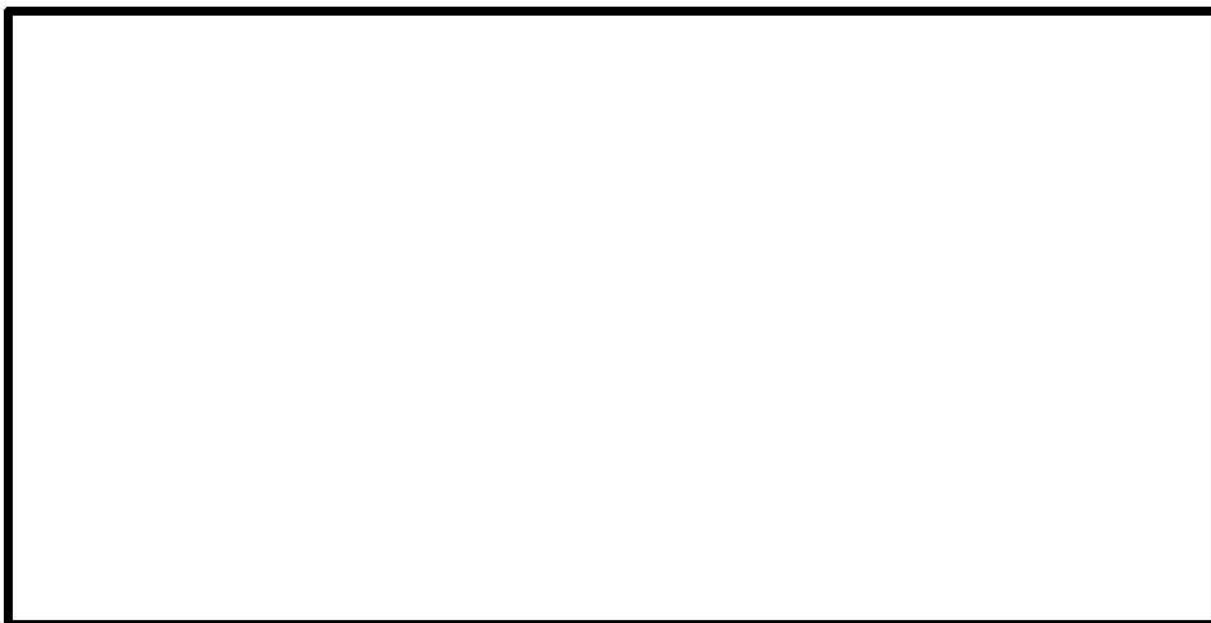
5.3 液状化強度試験結果

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，参考資料 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，全ての試験ケース(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との関係を第 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	
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				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_o$		0.608	0.836	0.727	0.501	0.759	0.615	0.823	0.726	0.508	0.618	0.574	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	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	
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				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_o$		0.333		0.252		0.501	0.602	0.554	0.704	0.555	0.481	0.459	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	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	
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				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_o$		0.503	0.428	0.401	0.383	0.401	0.502	0.451	0.413	0.502	0.381	0.352	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	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			
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	両振幅 軸ひすみの	DA = 1%		1.5 11.8		0.5 25.7		9.5 0.9		0.2 10.5		0.8 2.0		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 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 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 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			
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 0.328	
繰返し載荷回数	両振幅 軸ひすみの	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											
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	両振幅 軸ひすみの	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'
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		
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c$		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 両振幅 軸ひずみの 繰返し 回数	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	
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				
繰返応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_c$		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 両振幅 軸ひずみの 繰返し 回数	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	

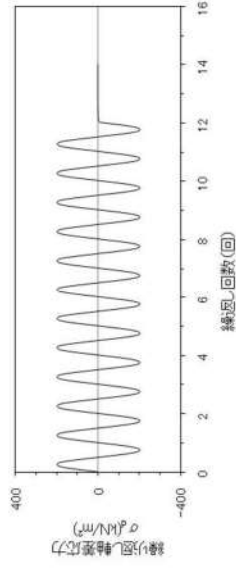
□: 試験結果を例示したケース

液状化強度試験結果(1, 2号埋戻土の非液状化の例)

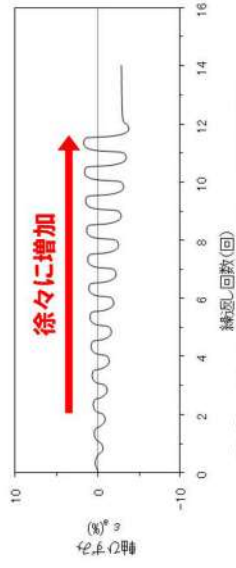
試験条件	
供試体	No.7
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	200
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.502
試験結果	
液状化の判断	
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	X
② 有効応力がゼロまで低下する。	X
③ 液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	X
④ 正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	O
非液状化	



試験後の供試体

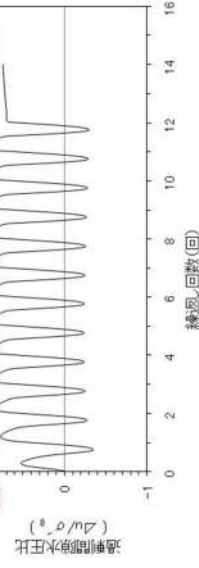


軸差応力-繰返し回数関係



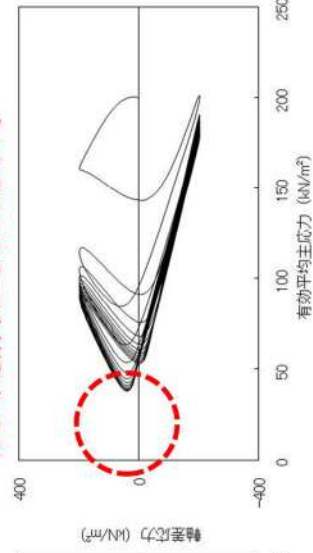
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

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



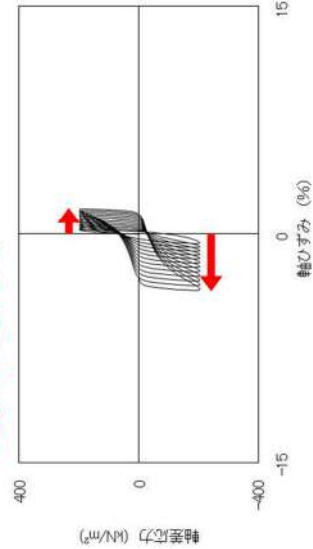
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

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、ひずみが増すに進行することがない。



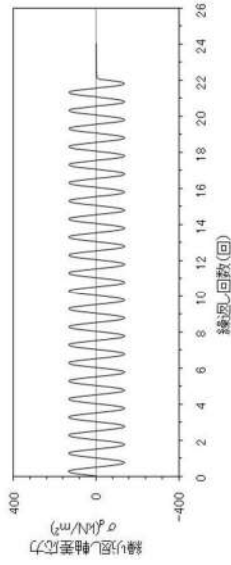
③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

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。)	○
液状化の判断	
繰返し軟化	



試験後の供試体

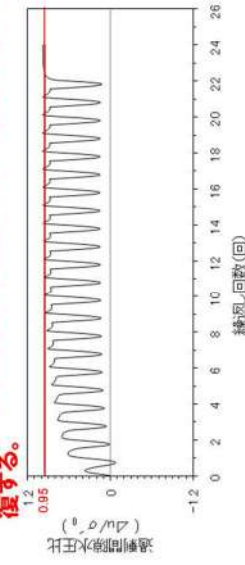


軸差応力-繰返し回数関係



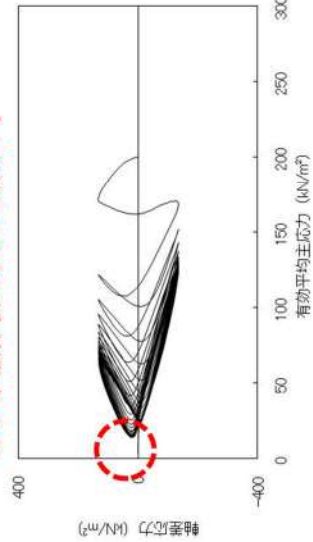
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

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



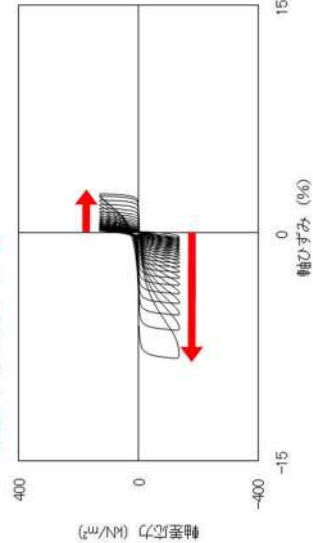
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

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。

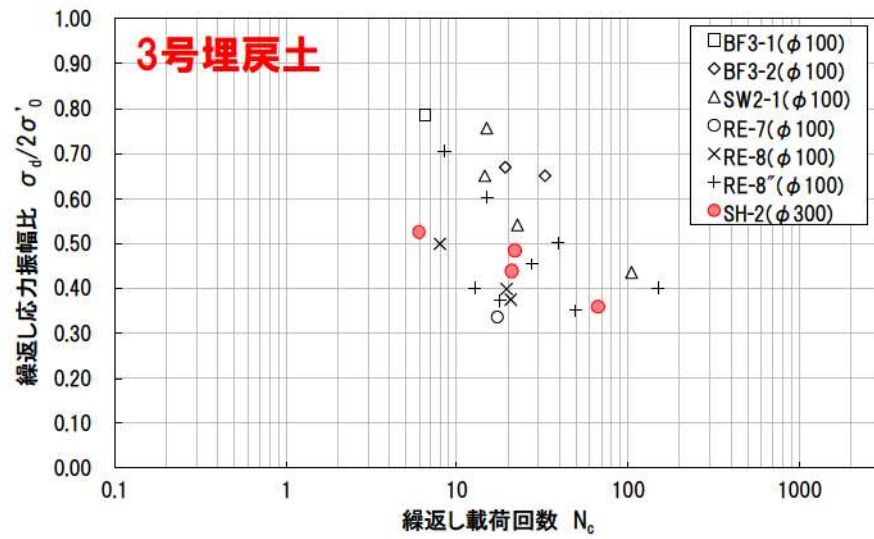
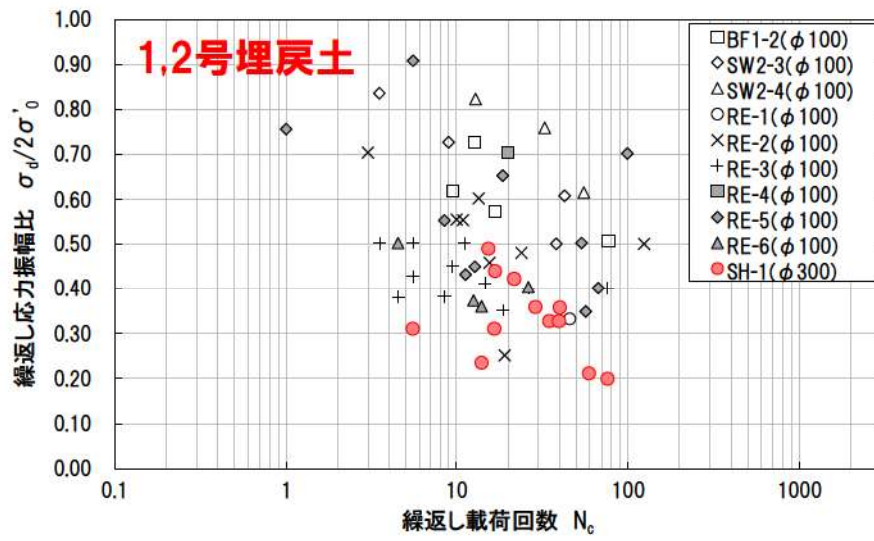


② 有効応力経路

せん断剛性が保持され、ひずみが急激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，参考資料 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，全ての試験ケース(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，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，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_{u95}	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_{u95}	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_{u95}	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	
繰返し載荷回数	軸ひすみの両振幅	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	
繰返し載荷回数	軸ひすみの両振幅	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	
繰返し載荷回数	軸ひすみの両振幅	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	
繰返し載荷回数	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	
繰返し載荷回数	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	
繰返し載荷回数	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	
繰返し載荷回数	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	-	-

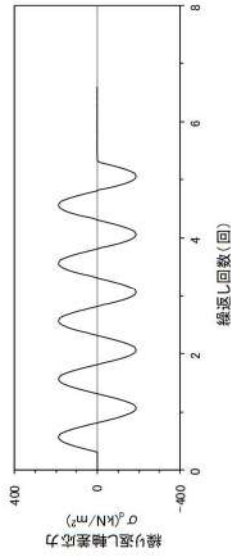
試料番号		FS-2-④ (A-1) 三軸(φ50)			FS-2-⑤ (A-1) 三軸(φ50)			FS-2-⑥ (A-1) 三軸(φ50)			
サンプリング方法		凍結サンプリング			凍結サンプリング			凍結サンプリング			
地表からの深度(m)		26.98~27.23			28.83~29.13			31.35~31.62			
標高 T.P.(m)		-17.18~-17.43			-19.03~-19.33			-21.55~-21.82			
供試体No.		1-26	3-24	2-25	1-37	3-35	4-38	4-50	1-53	3-48	
土粒子の密度 ρ_s (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	-	-	-	-

液状化強度試験結果(As1層の非液状化の例)

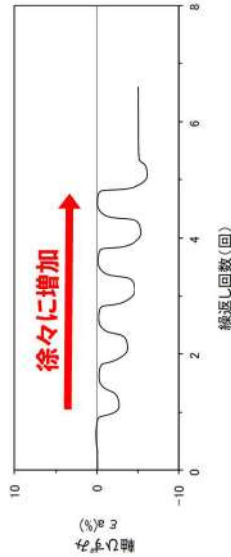
試験条件	
供試体	No.1-38
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	250
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.375
試験結果	
液状化の判断	
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	×
② 有効応力がゼロまで低下する。	×
③ 液状状となり流動する。 (ひずみが増加する。)	×
④ 正のダイレイタンシー特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	○
非液状化	



試験後の供試体

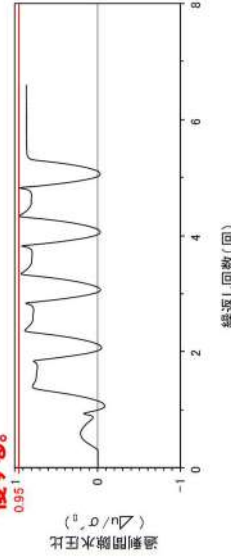


軸差応力-繰返し回数関係



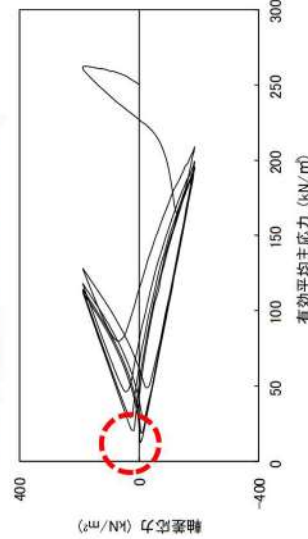
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

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。



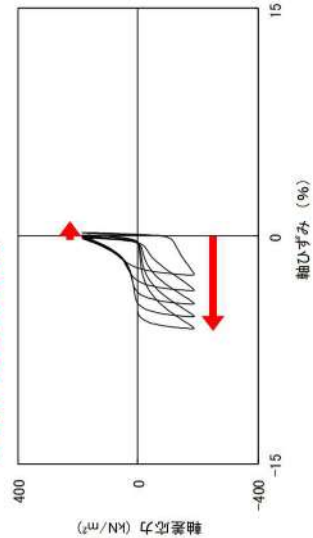
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

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)

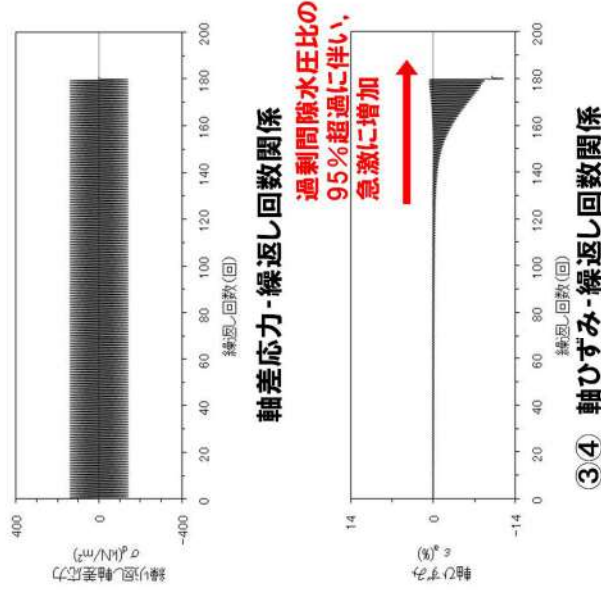
液状化強度試験結果 (As1 層の液状化の例)

試験条件	
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	
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	
	液状化

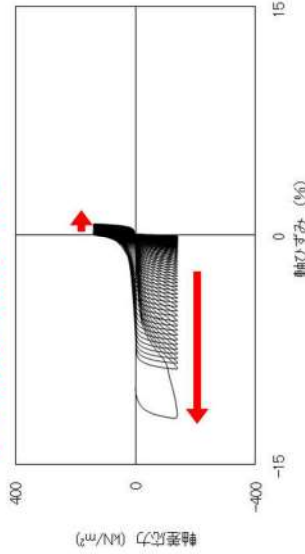
※有効応力がゼロまで低下していないが保守的に液状化に区分した。



試験後の供試体

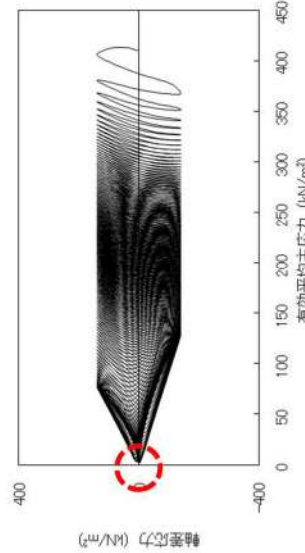


ひずみが急激に進行する。



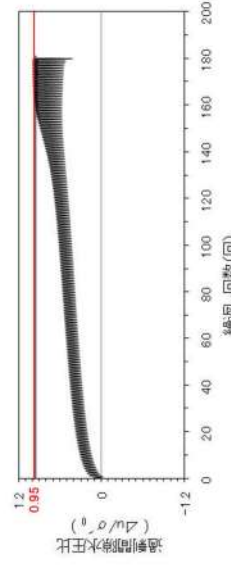
③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

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。



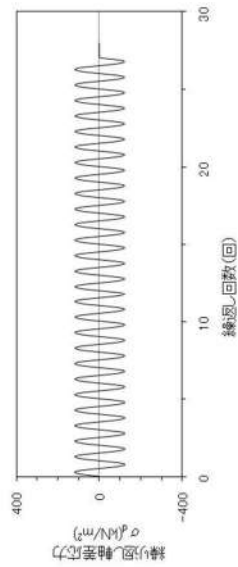
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

液状化強度試験結果 (As2層の繰返し軟化の例)

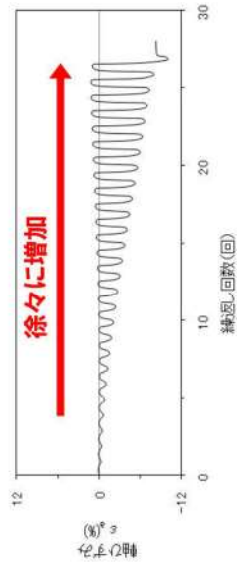
試験条件	
供試体	No.21
圧密応力 σ'_c (kN/m ²)	220
繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma'_0$	0.277
試験結果	
液状化の判断	
① 間隙水圧が上昇・蓄積する。 (過剰間隙水圧比95%を超える。)	○
② 有効応力がゼロまで低下する。	×
③ 液体状となり流動する。 (ひずみが増す。)	×
④ 正のダイレイタンスー特性によりせん断抵抗が作用する。 (有効応力が回復する。)	○
繰返し軟化	



試験後の供試体

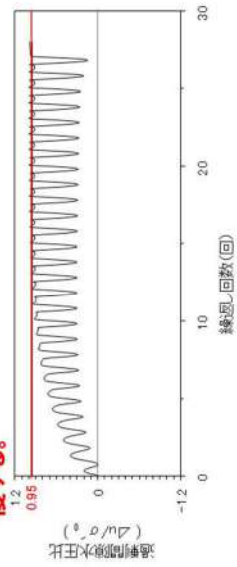


軸差応力-繰返し回数関係



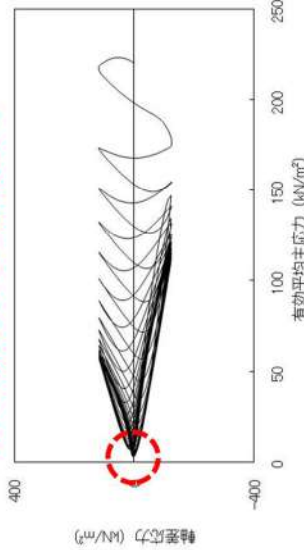
③④ 軸ひずみ-繰返し回数関係

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



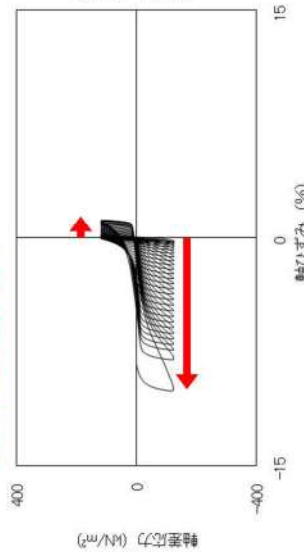
① 過剰間隙水圧比-繰返し回数関係

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。



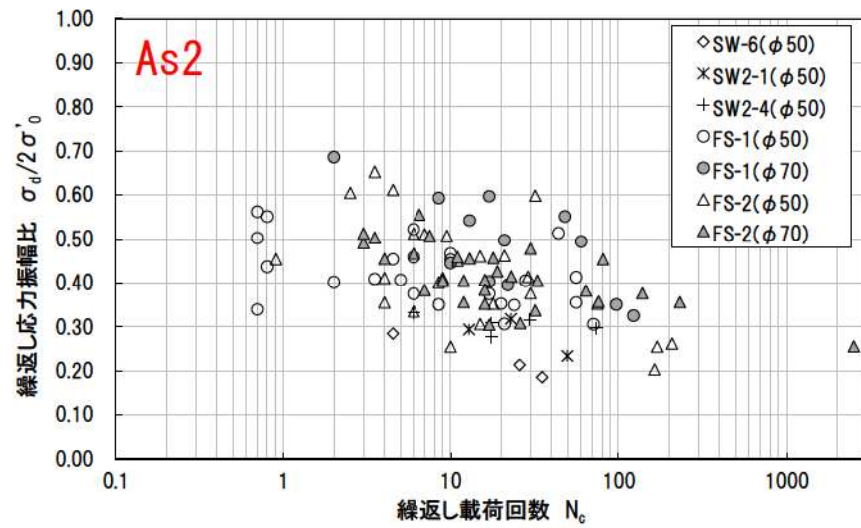
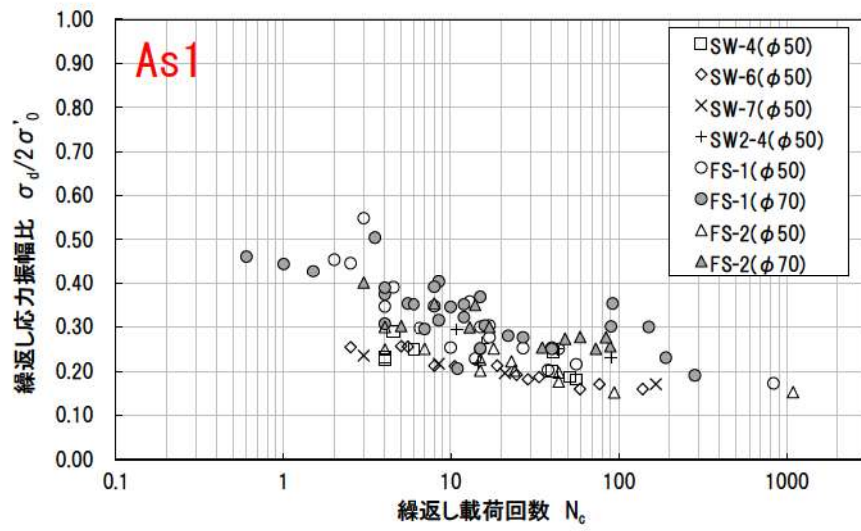
② 有効応力経路

せん断剛性が保持され、ひずみが増進することがない。



③④ 軸差応力-軸ひずみ関係

第 5.3-8 図 As1層の液状化強度試験結果 (SW2-4' (1) 試料, 供試体 No. 21)



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

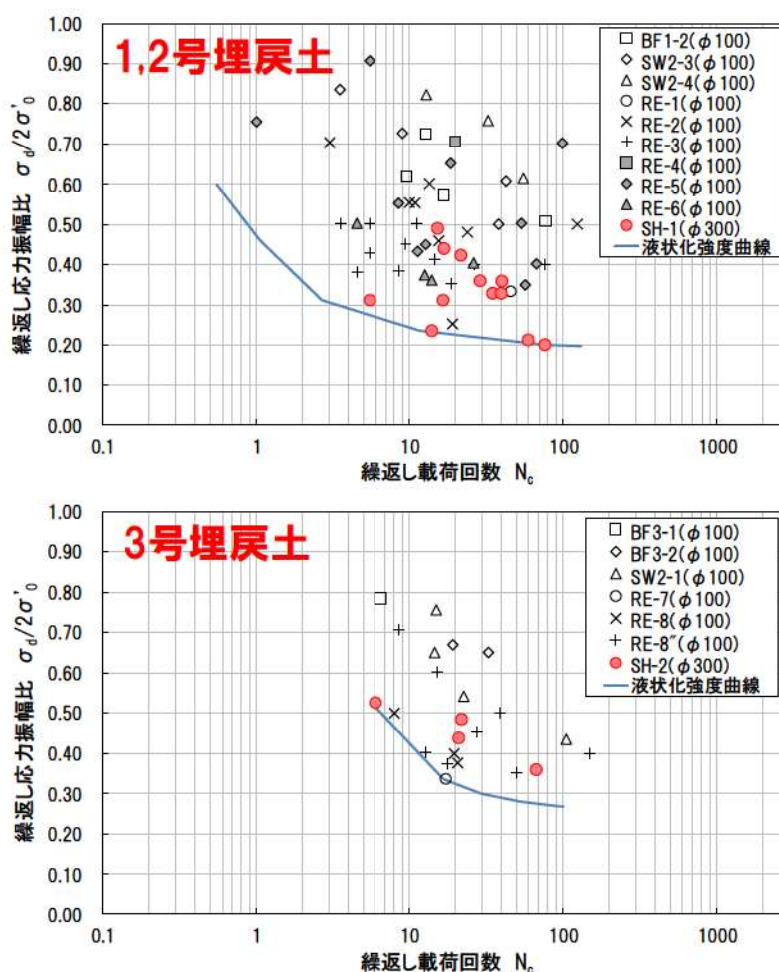
追而
(基準地震動の審査を踏まえて記載する)

5.5 液状化強度特性の設定

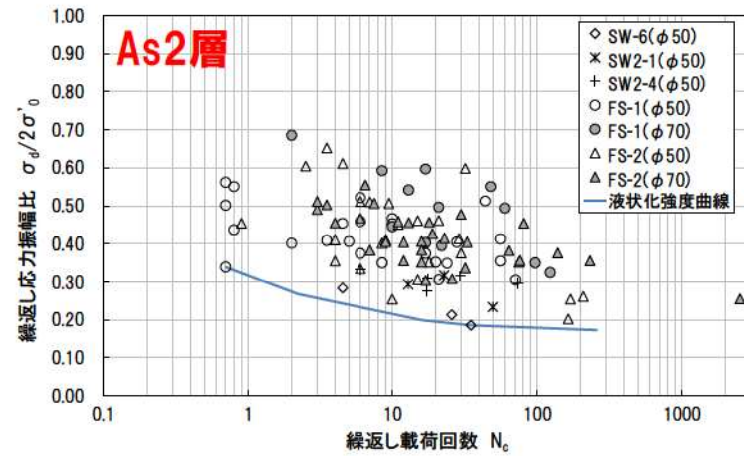
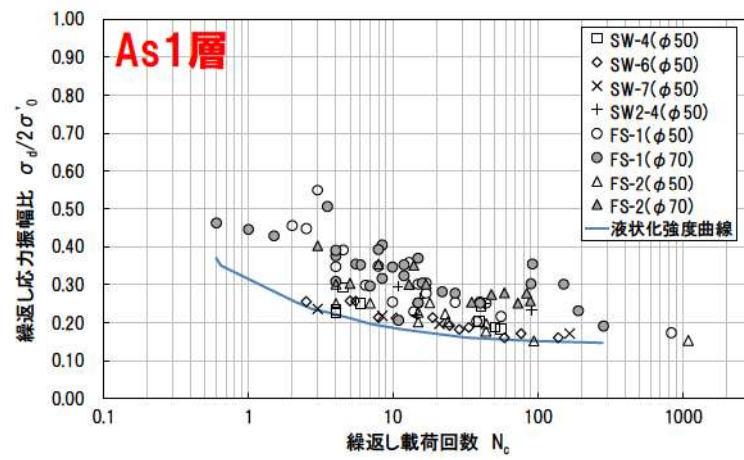
液状化強度試験結果に基づく繰返し応力振幅比と繰返し载荷回数との関係を第 5.5-1 図、第 5.5-2 図に示す。

埋戻土については、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くなっている。一般に、供試体に礫が多く入った方が液状化強度は大きく測定されるため、小さい供試体 ($\phi 100\text{mm}$) に礫が多く入った場合、供試体に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。一方、大きい供試体 ($\phi 300\text{mm}$) に礫が多めに入ったとしても、供試体に礫の占める比率に与える影響は小さい供試体 ($\phi 100\text{mm}$) に比べて小さいため、礫の入り方のばらつきによる影響が $\phi 300\text{mm}$ の試験では小さいと考えられる。これらの供試体径におけるばらつきを踏まえて、液状化強度特性を下限値で設定することを基本とする。

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ことを勘案して、液状化強度特性を下限値で設定することを基本とする。



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. 液状化の評価方針

6.1 液状化の評価方針

泊発電所におけ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参考に、道路橋示方書においては液状化評価の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、全ての埋戻土、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。

また、施設ごとに地下水排水設備を考慮の上設定した地下水位及び液状化検討対象層の分布状況を踏まえて、検討の必要性を判断する。

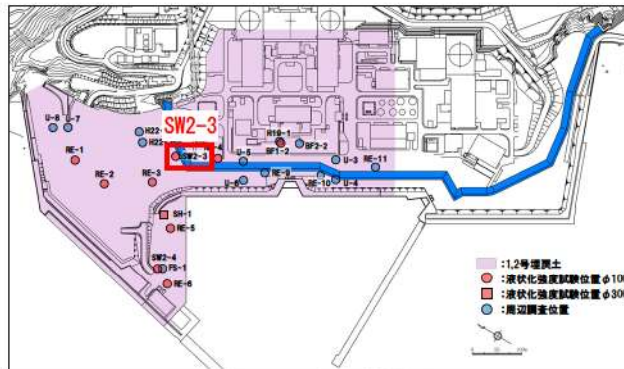
有効応力解析に用いる液状化強度特性については、敷地全体の液状化強度試験から得られる液状化強度特性を保守的(下限値)に設定する。

なお、液状化考慮と液状化非考慮で耐震安全性評価上どちらが保守的な評価となるかを確認するため、液状化等を考慮した評価と考慮しない評価の結果を比較して、解析手法を選定する。

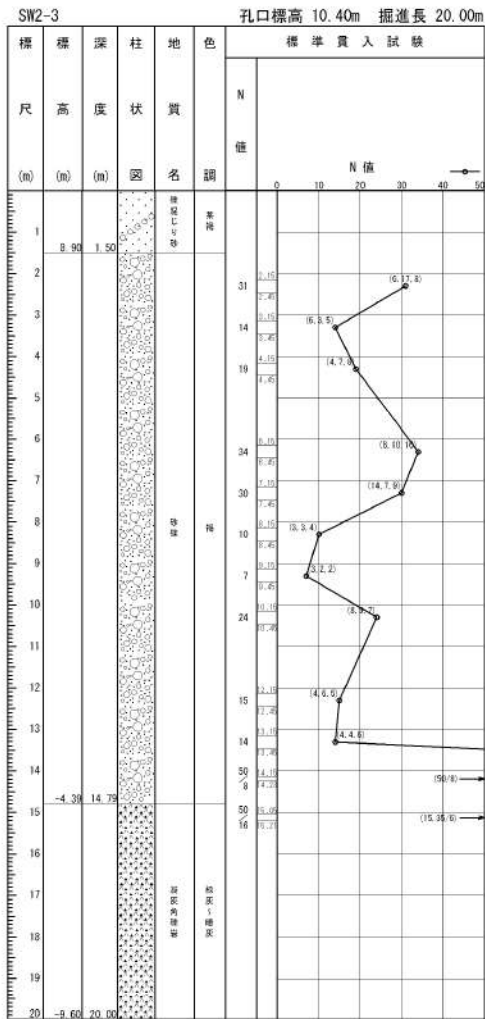
有効応力解析においては、解析コード「FLIP」を用いることとし、解析に用いる液状化パラメータは保守的に設定した液状化強度を満足するように設定する。

参考資料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

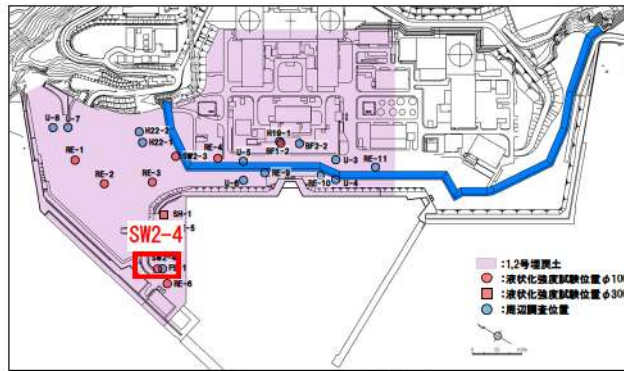
1. 埋戻土・砂層のボーリング柱状図・コア写真
- (1) 1,2号埋戻土のボーリング柱状図・コア写真



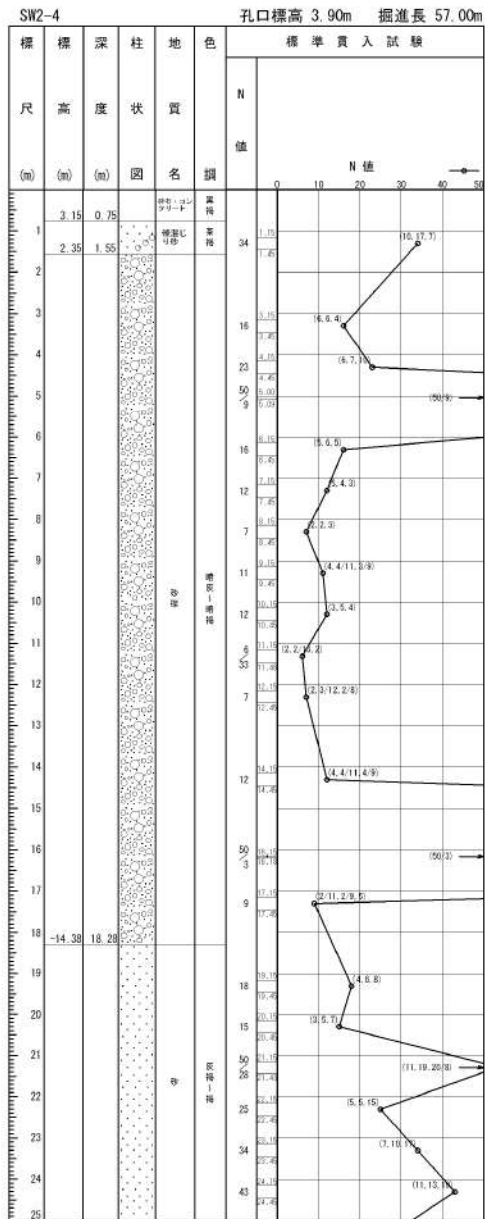
ボーリング平面位置図



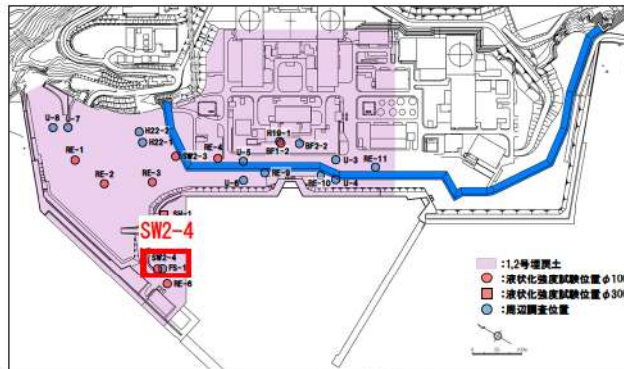
参考 1-1 図 ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-3)



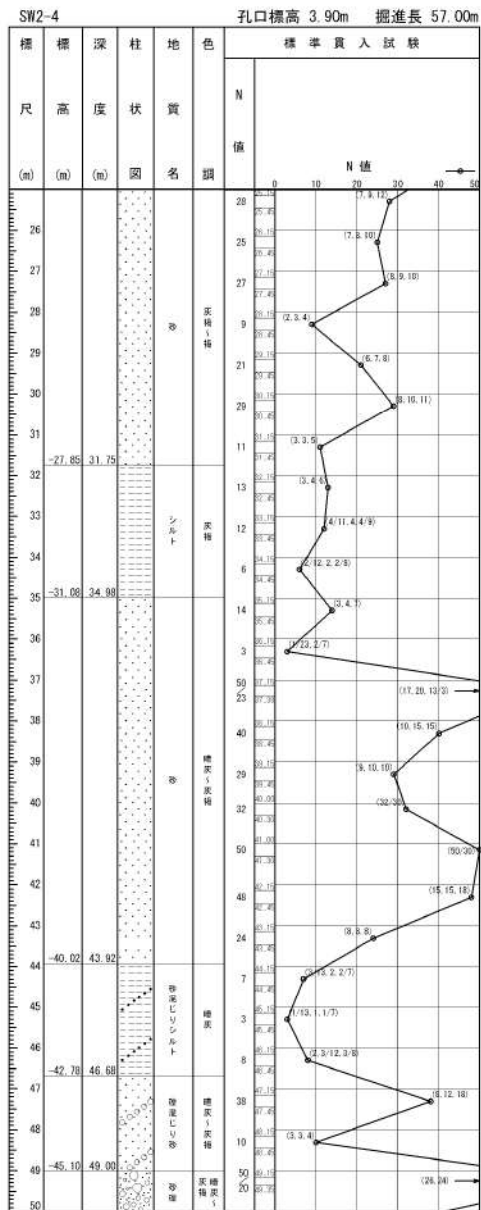
ボーリング平面位置図



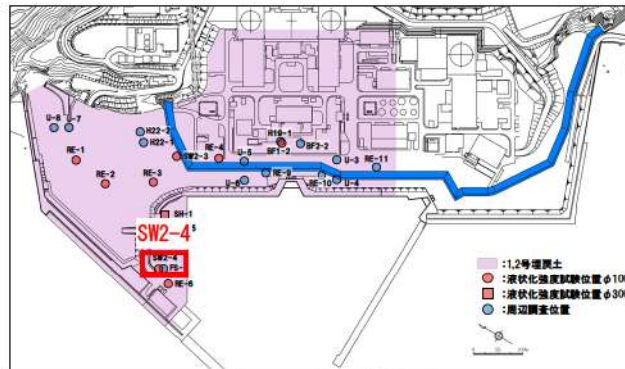
参考 1-2 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-4)



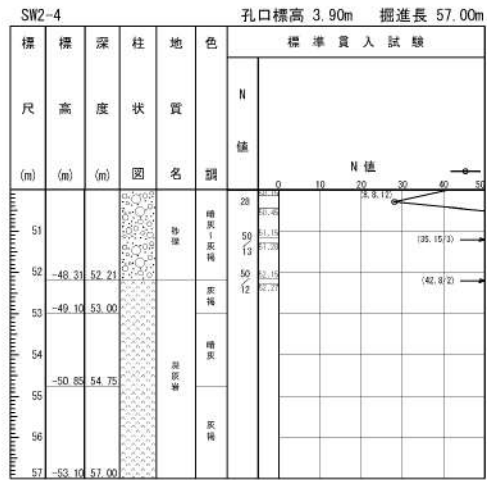
ボーリング平面位置図



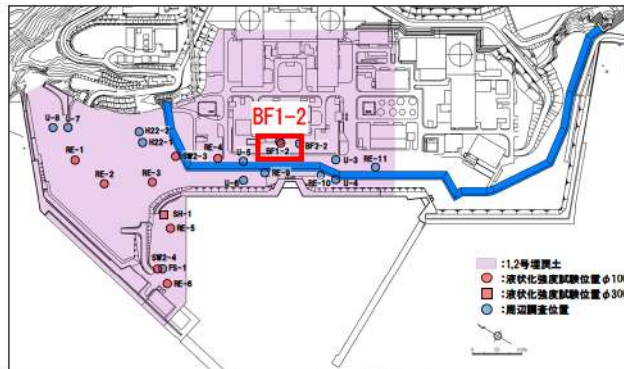
参考 1-2 図(2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-4)



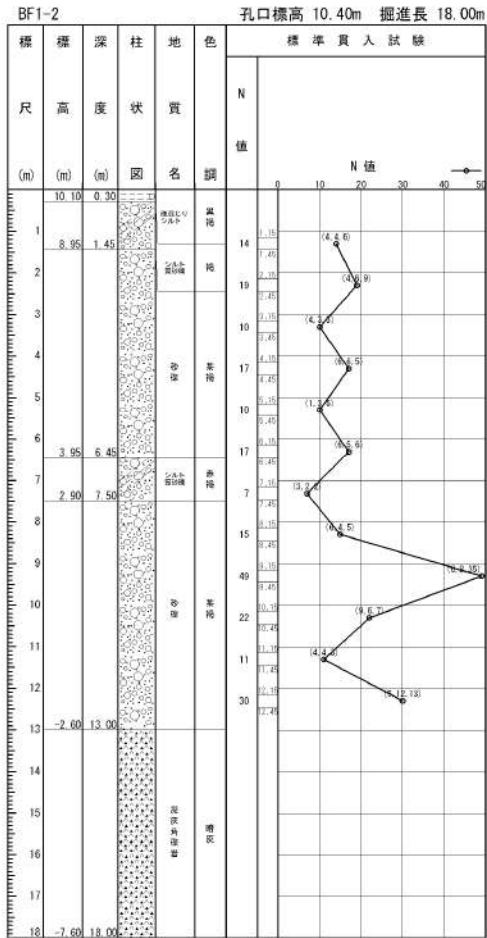
ボーリング平面位置図



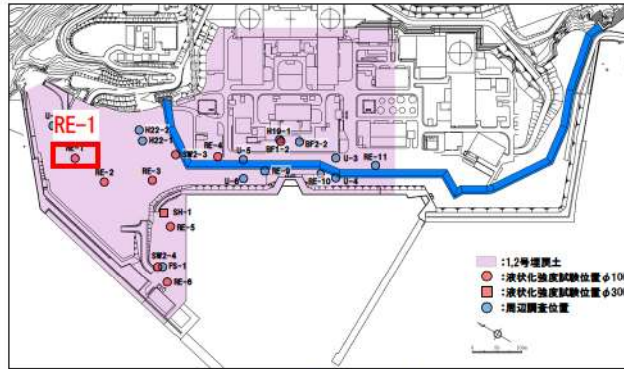
参考 1-2 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-4)



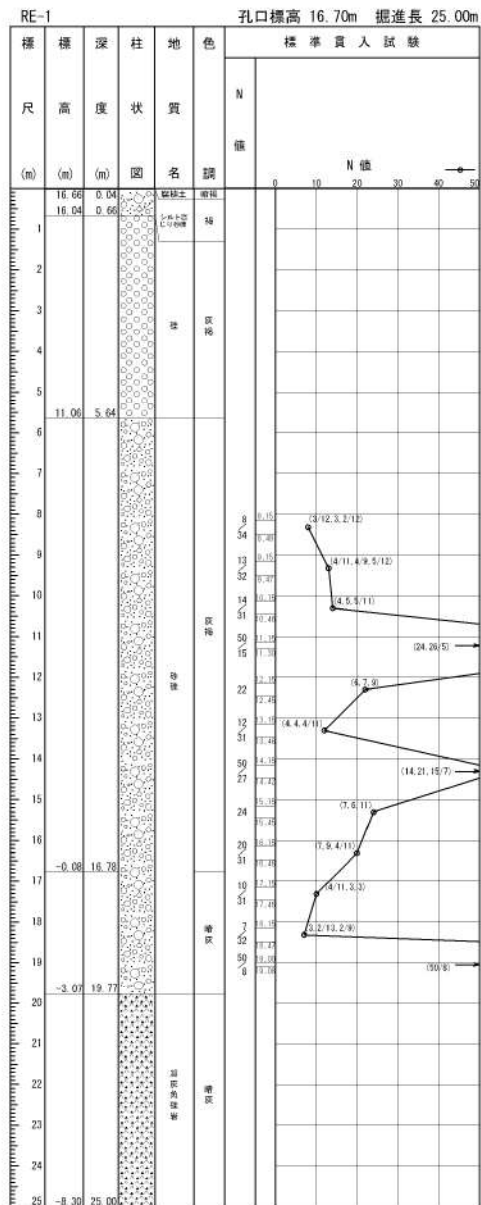
ボーリング平面位置図



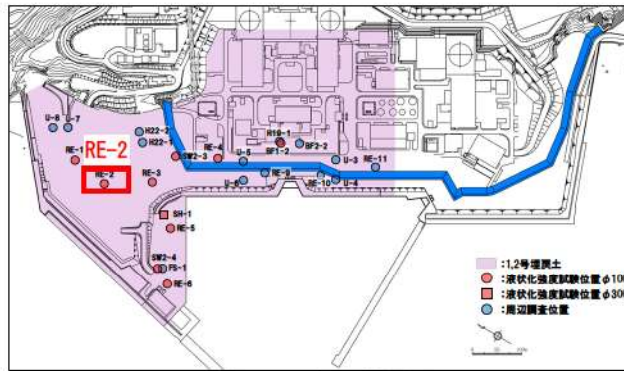
参考 1-3 図 ボーリング柱状図・コア写真 (BF1-2)



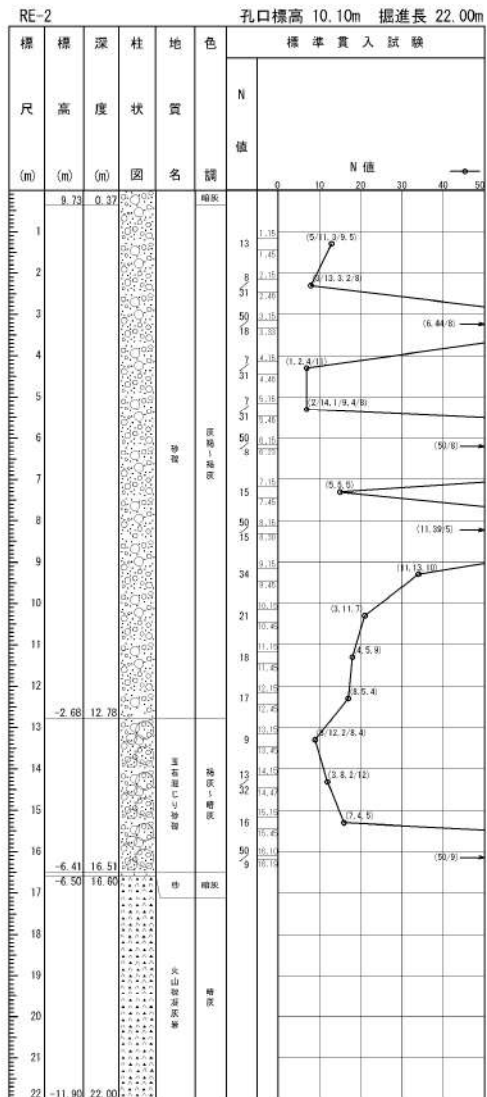
ボーリング平面位置図



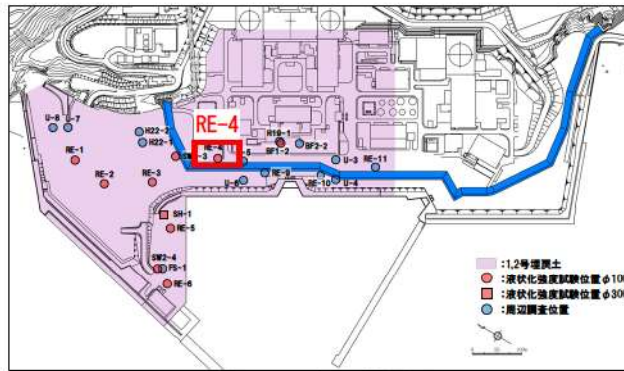
参考 1-4 図 ボーリング柱状図・コア写真 (RE-1)



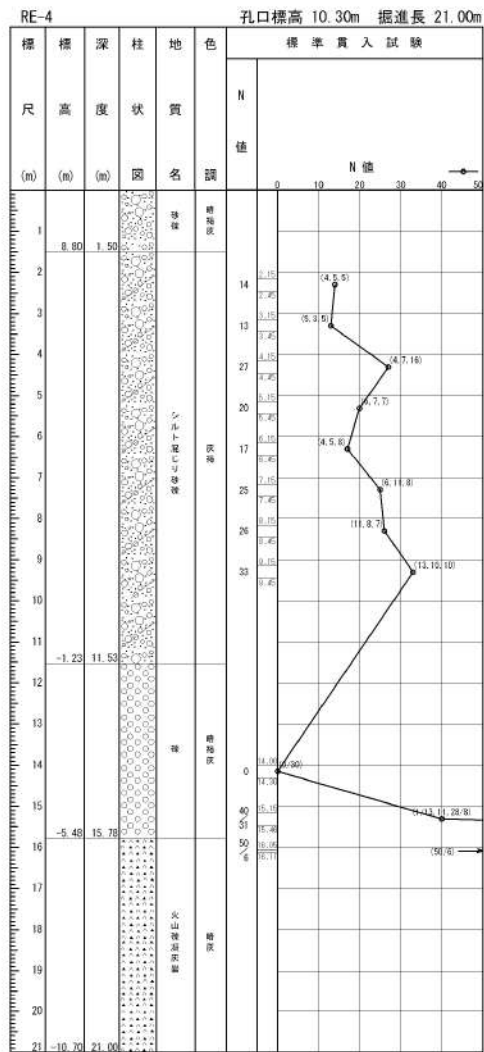
ボーリング平面位置図



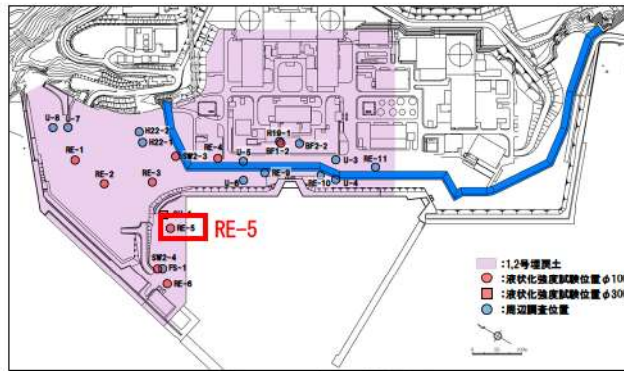
参考 1-5 図 ボーリング柱状図・コア写真 (RE-2)



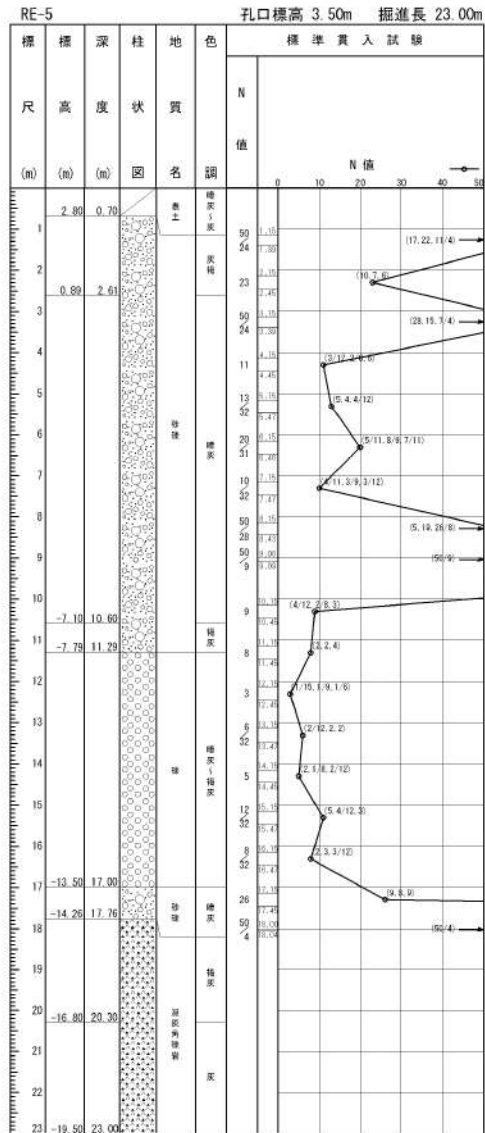
ボーリング平面位置図



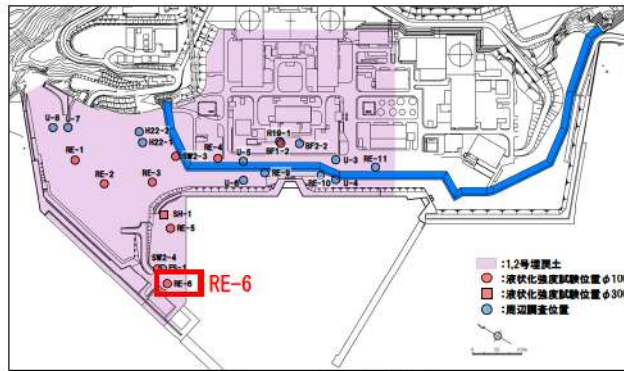
参考 1-7 図 ボーリング柱状図・コア写真 (RE-4)



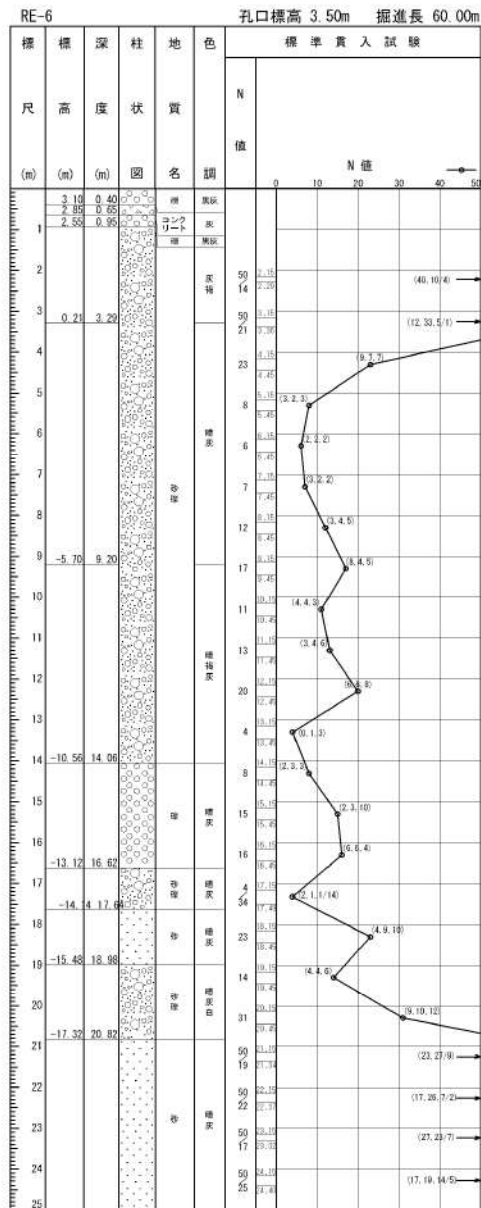
ボーリング平面位置図



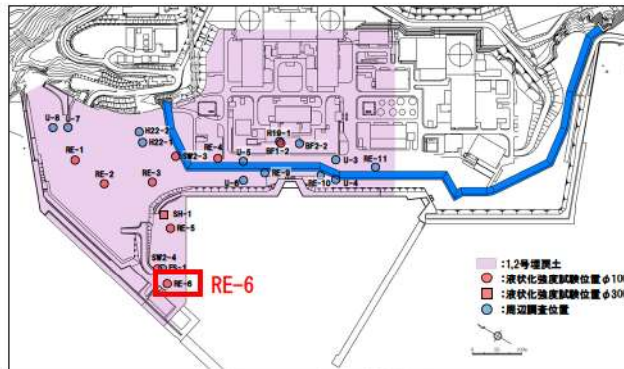
参考 1-8 図 ボーリング柱状図・コア写真 (RE-5)



ボーリング平面位置図

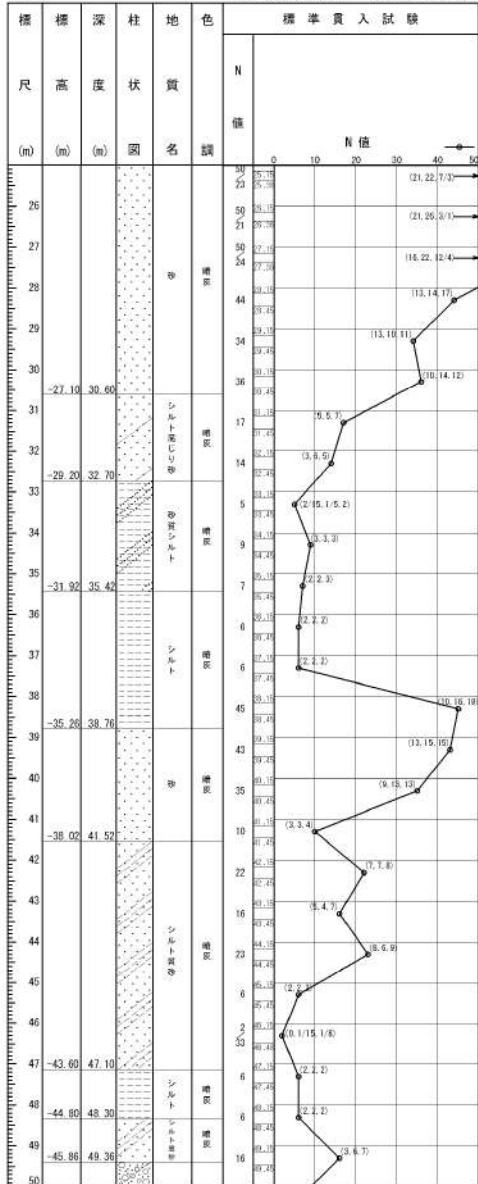


参考 1-9 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (RE-6)

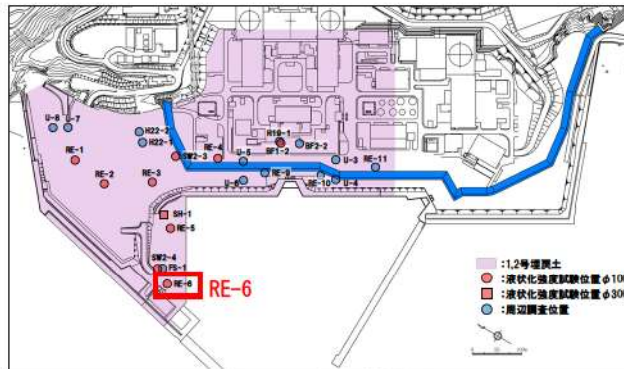


ボーリング平面位置図

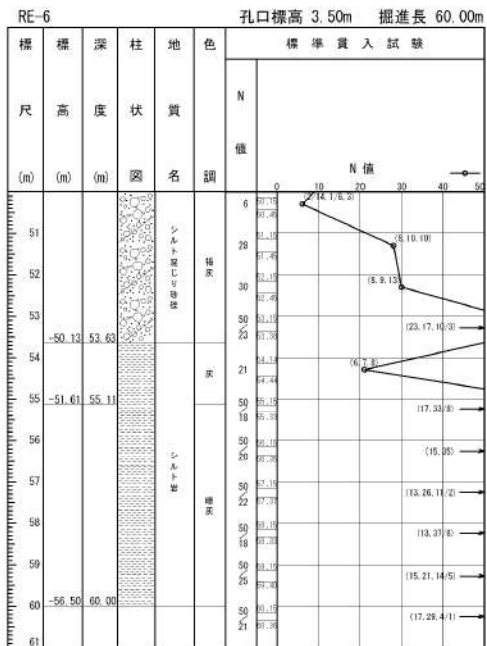
RE-6 孔口標高 3.50m 掘進長 60.00m



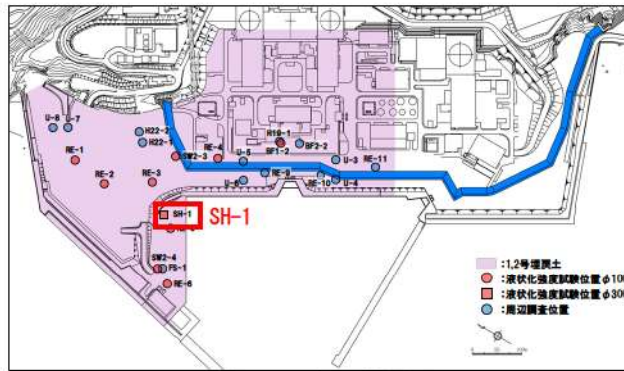
参考 1-9 図(2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (RE-6)



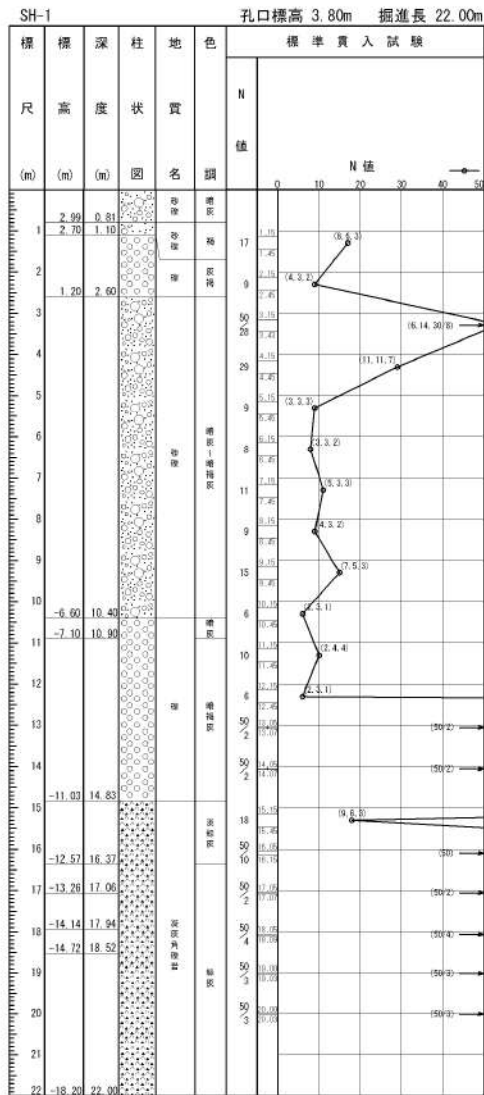
ボーリング平面位置図



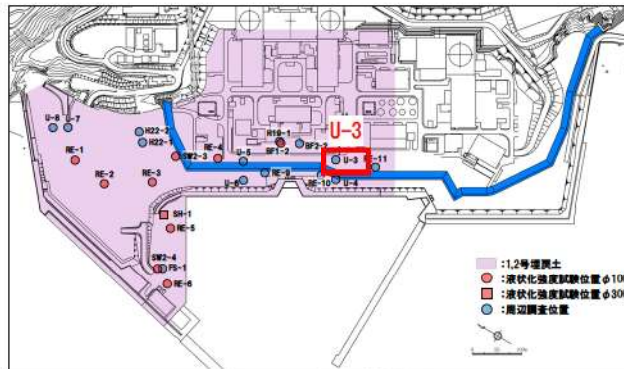
参考 1-9 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (RE-6)



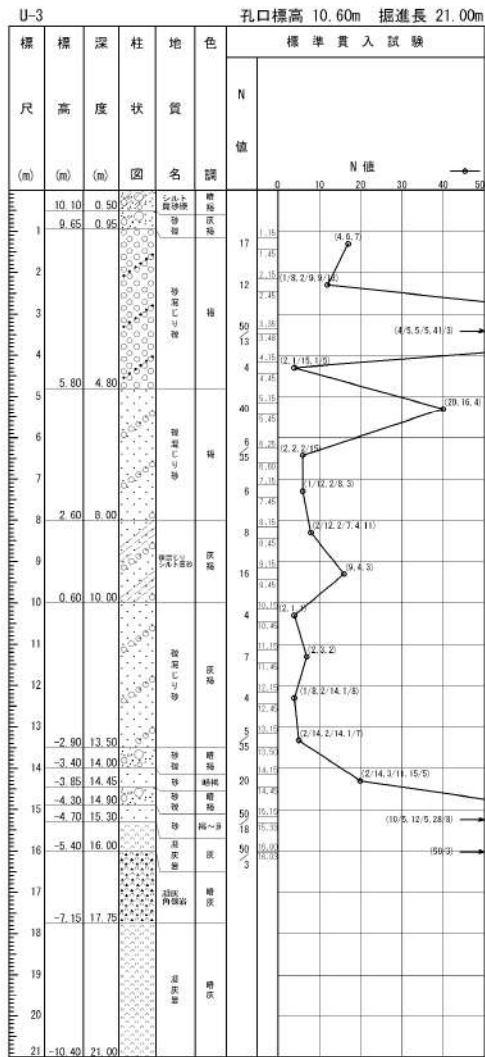
ボーリング平面位置図



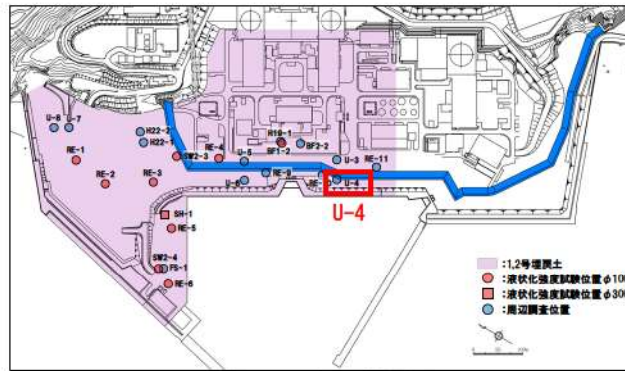
参考 1-10 図 ボーリング柱状図・コア写真 (SH-1)



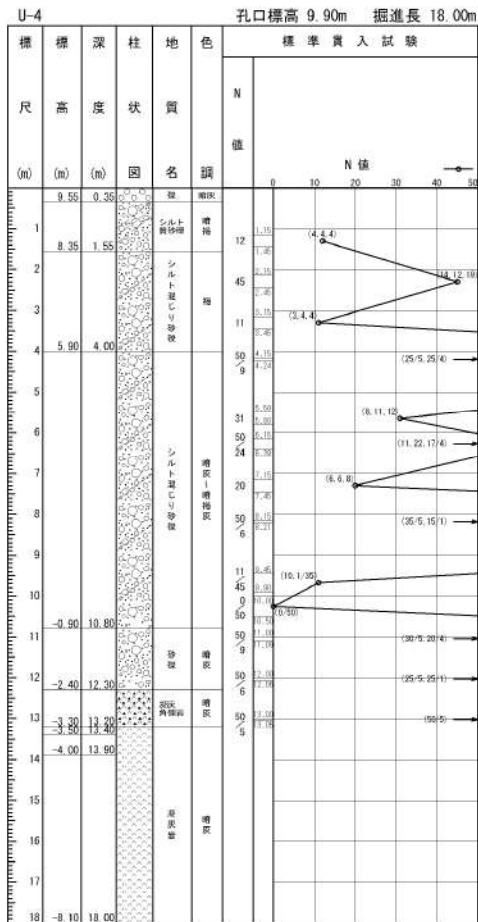
ボーリング平面位置図



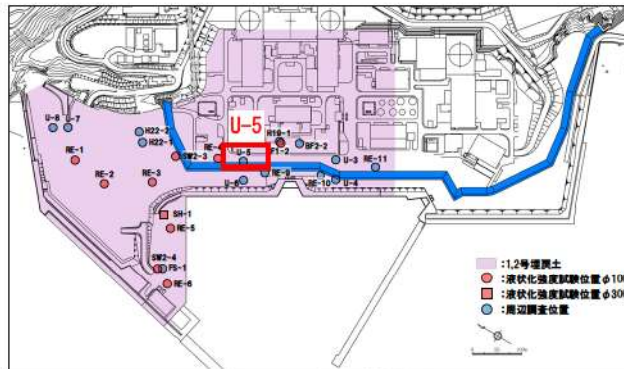
参考 1-11 図 ボーリング柱状図・コア写真 (U-3)



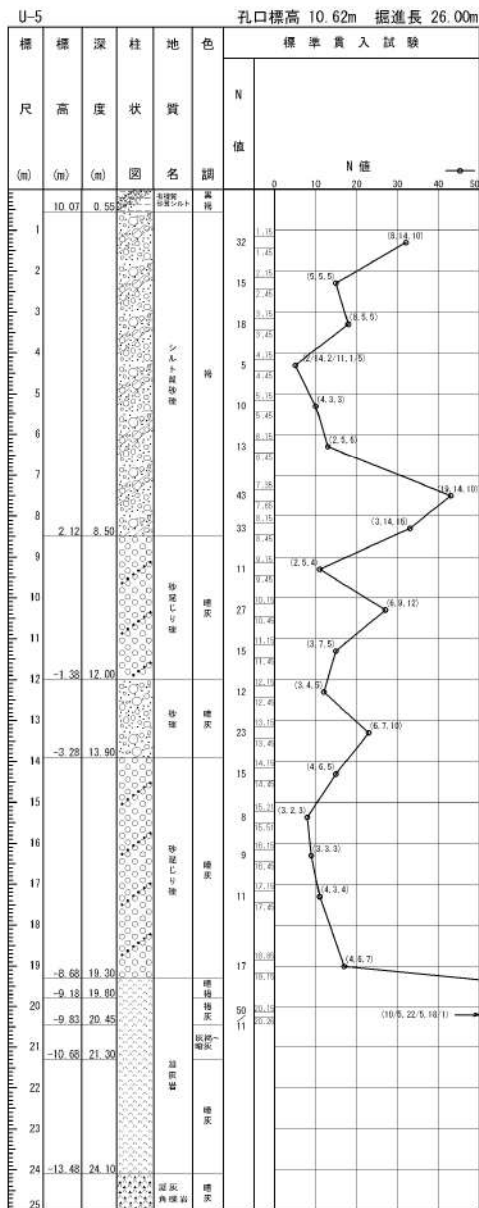
ボーリング平面位置図



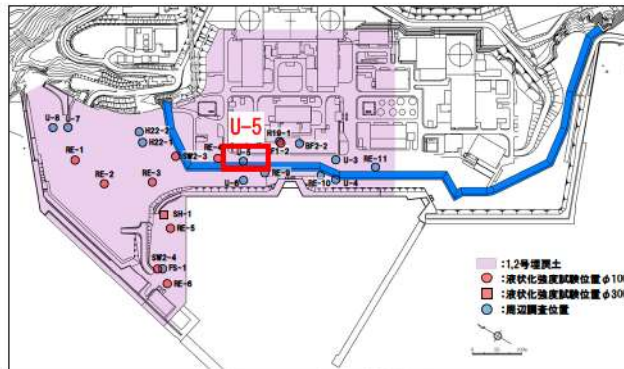
参考 1-12 図 ボーリング柱状図・コア写真 (U-4)



ボーリング平面位置図



参考1-13 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (U-5)



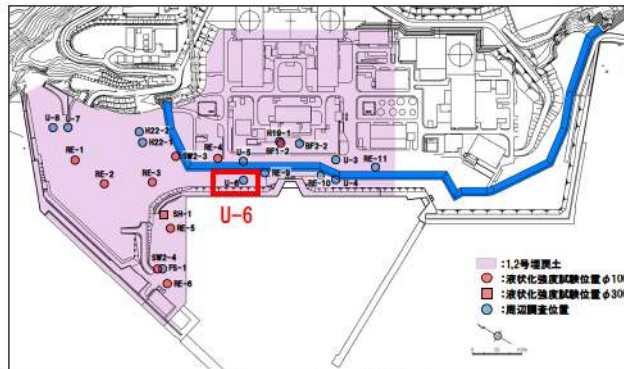
ボーリング平面位置図

U-5 孔口標高 10.62m 掘進長 26.00m

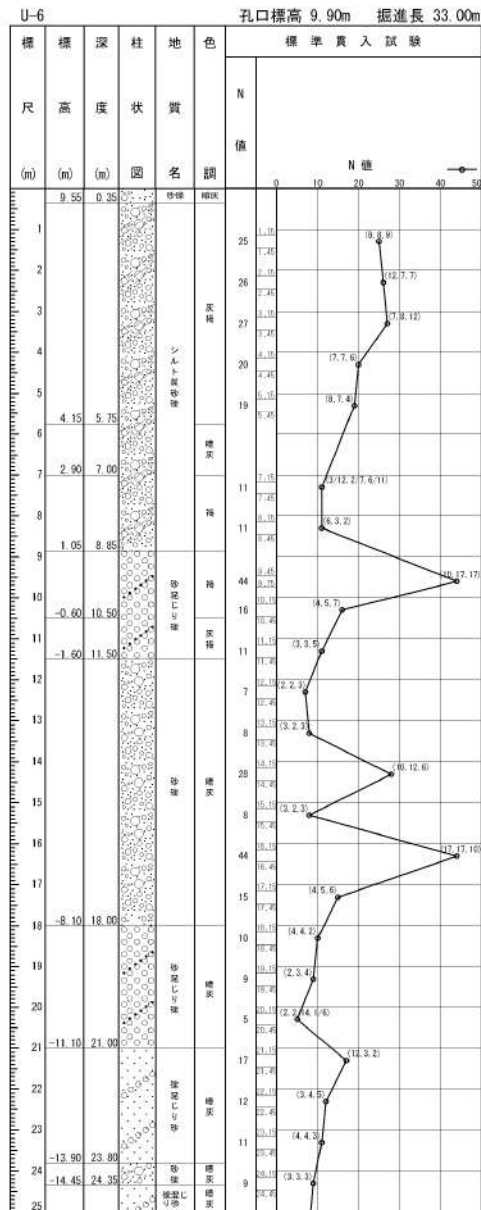
標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	柱状図	地質名	地色	標準貫入試験	
						N 値	N 値
26	15.38	26.00	深部高層層				



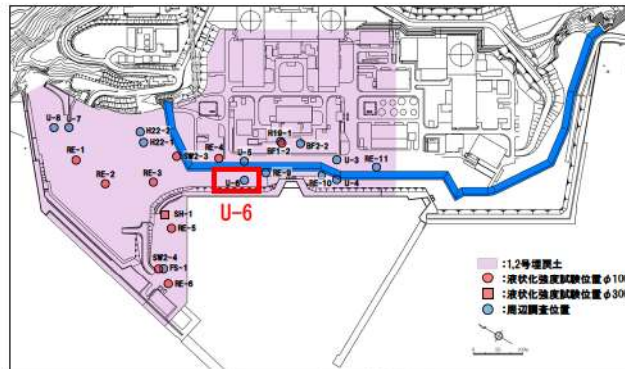
参考 1-13 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (U-5)



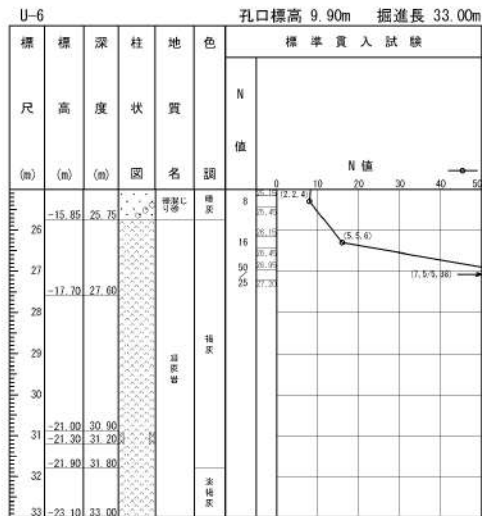
ボーリング平面位置図



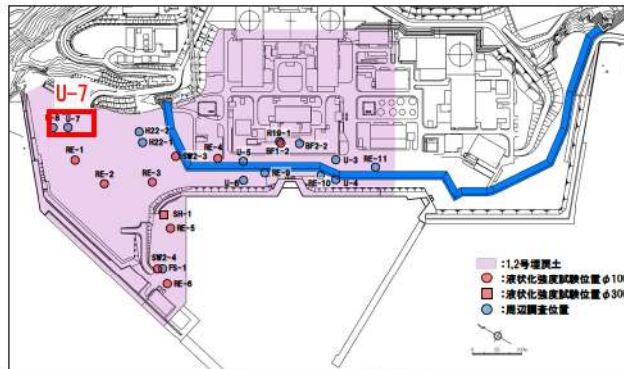
参考 1-14 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (U-6)



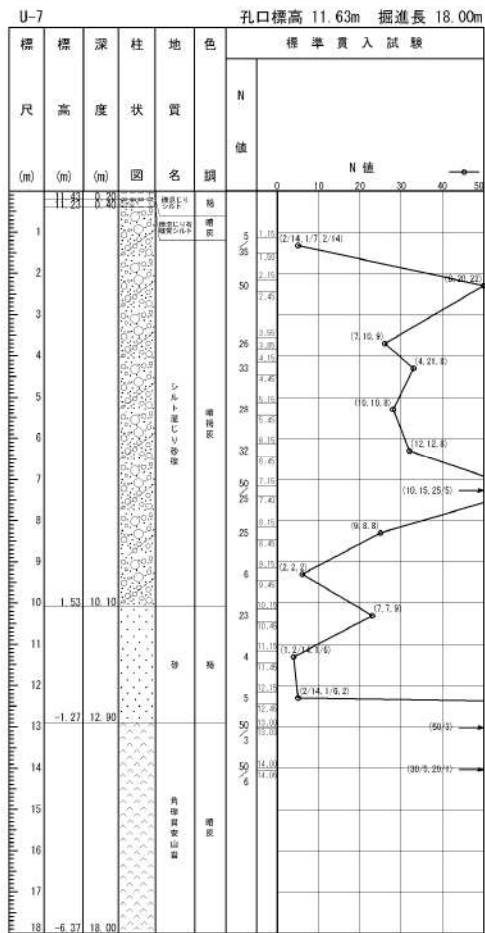
ボーリング平面位置図



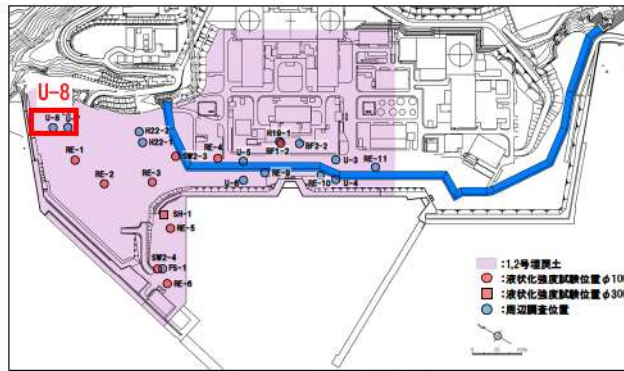
参考 1-14 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (U-6)



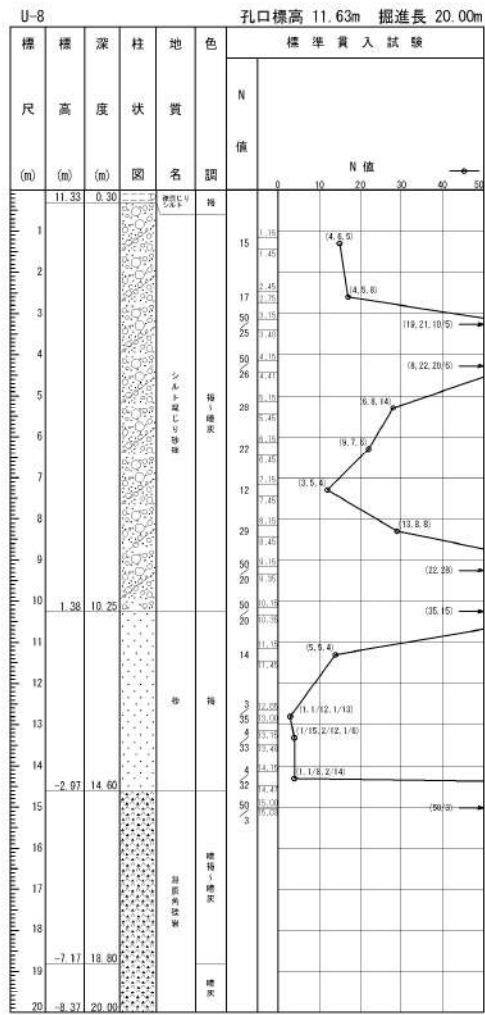
ボーリング平面位置図



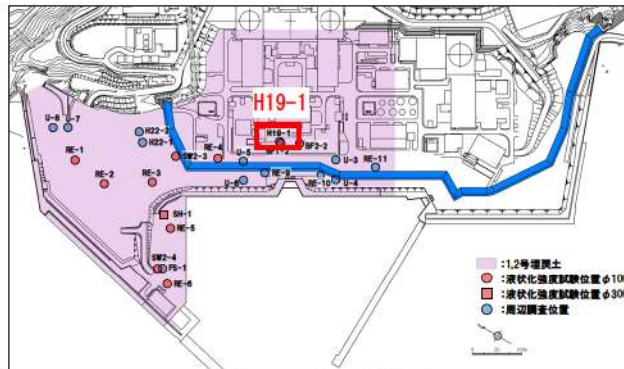
参考 1-15 図 ボーリング柱状図・コア写真 (U-7)



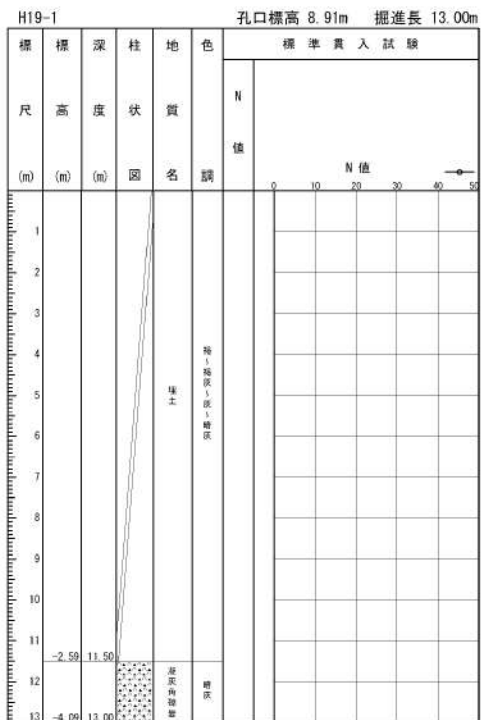
ボーリング平面位置図



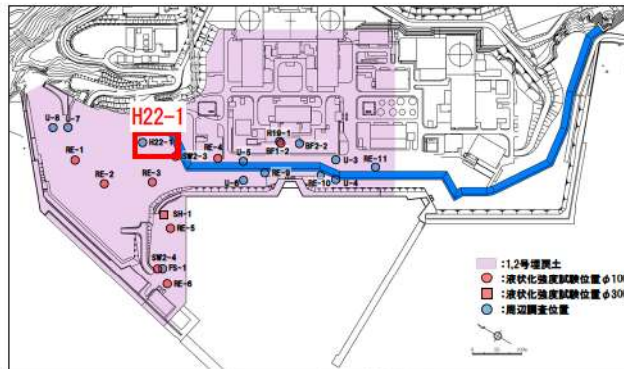
参考 1-16 図 ボーリング柱状図・コア写真 (U-8)



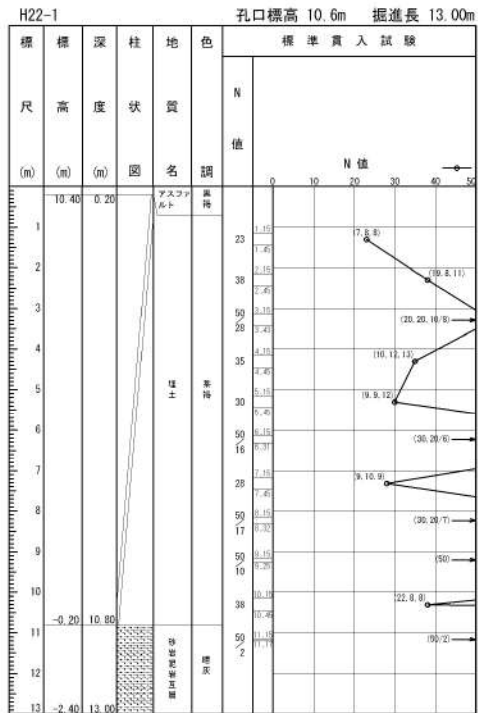
ボーリング平面位置図



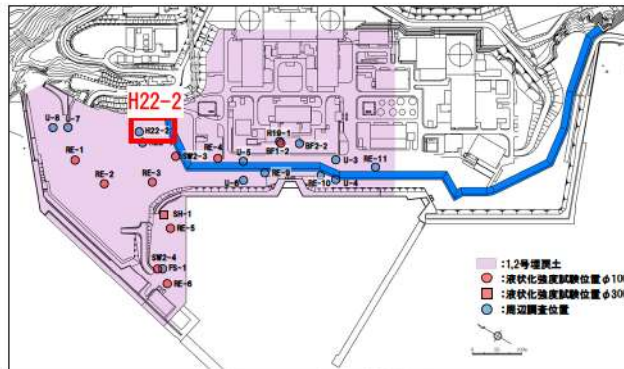
参考 1-17 図 ボーリング柱状図・コア写真 (H19-1)



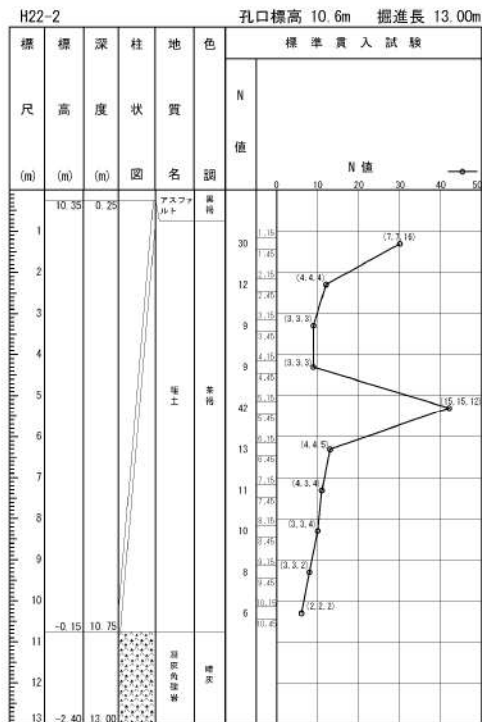
ボーリング平面位置図



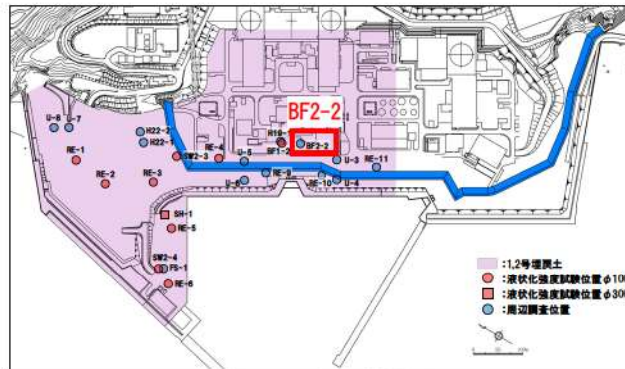
参考 1-18 図 ボーリング柱状図・コア写真 (H22-1)



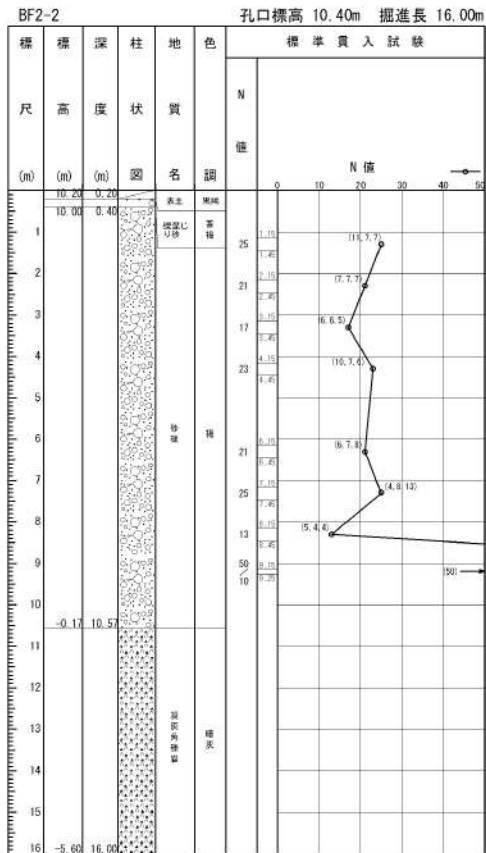
ボーリング平面位置図



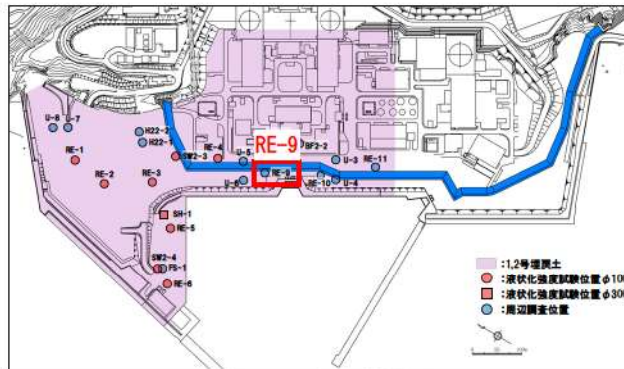
参考 1-19 図 ボーリング柱状図・コア写真 (H22-2)



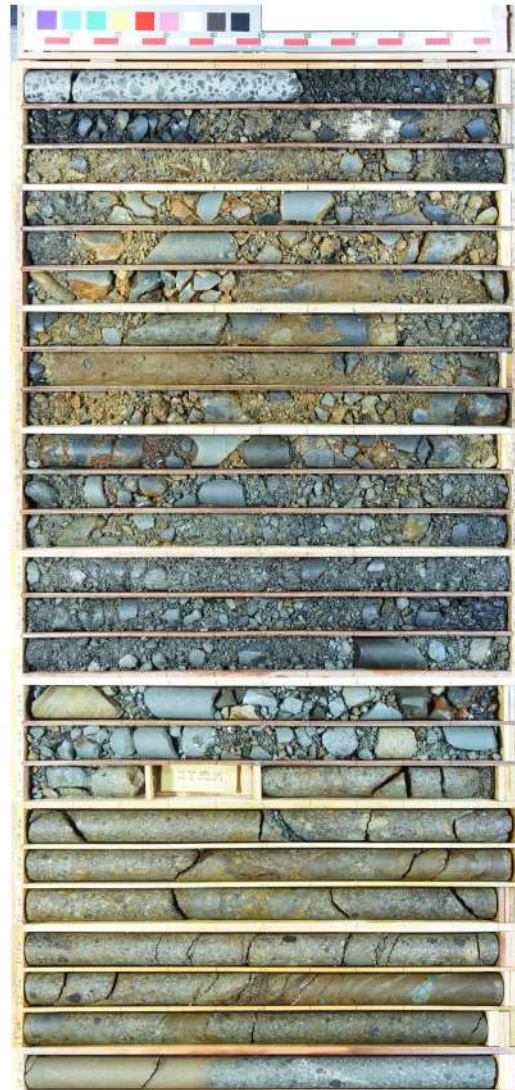
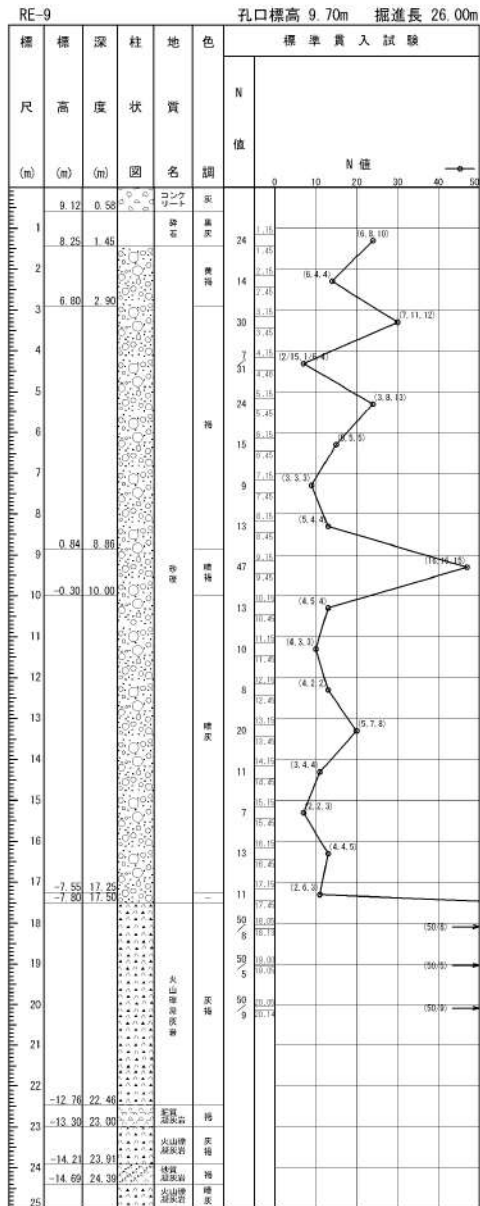
ボーリング平面位置図



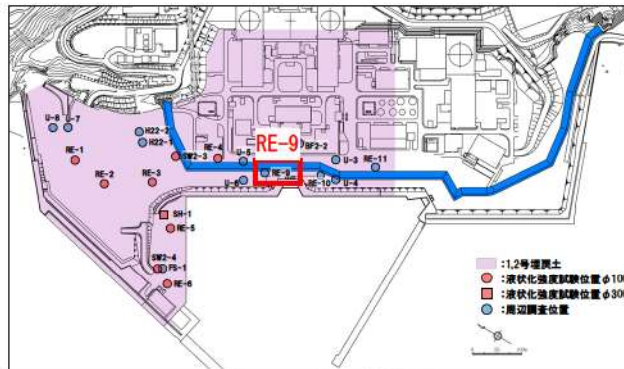
参考 1-20 図 ボーリング柱状図・コア写真 (BF2-2)



ボーリング平面位置図



参考 1-21 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (RE-9)



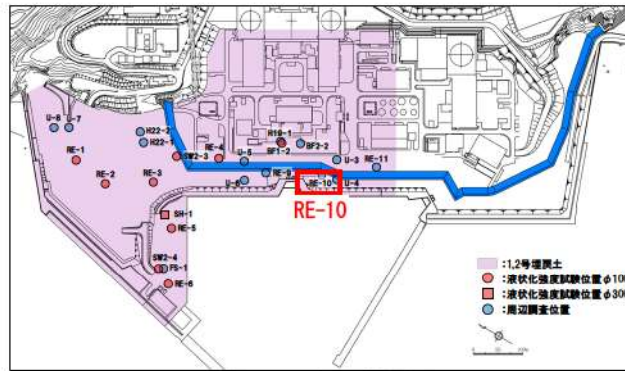
ボーリング平面位置図

RE-9 孔口標高 9.70m 掘進長 26.00m

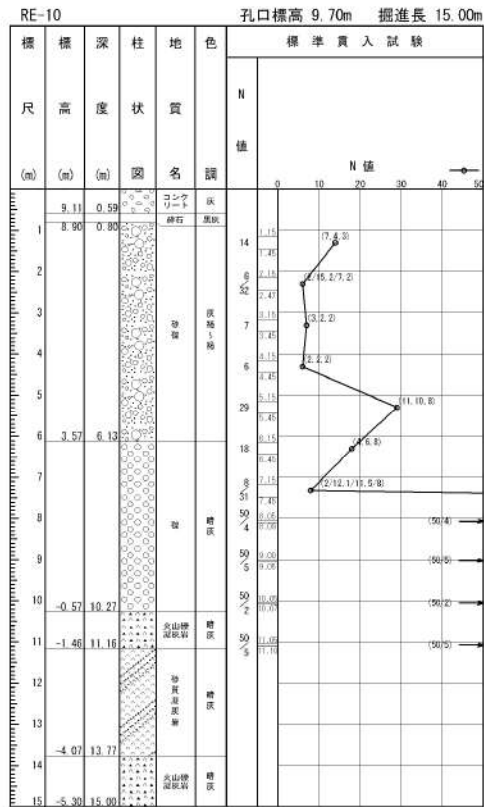
標尺	標高 (m)	深 度 (m)	柱 状 図	地 質 名	色 調	標準貫入試験					
						N 値	N 値				
	-15.85	25.55		相 変		0	10	20	30	40	50
	-16.30	26.00		東福							



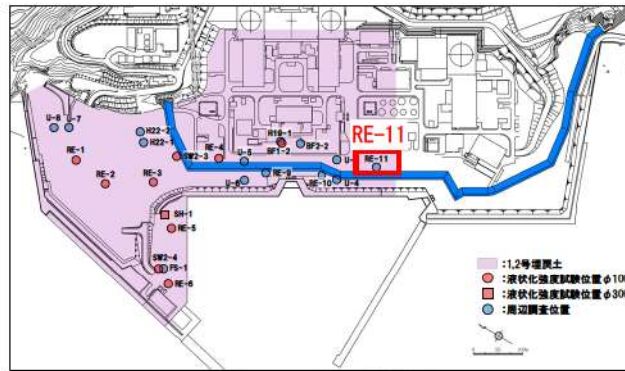
参考 1-21 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (RE-9)



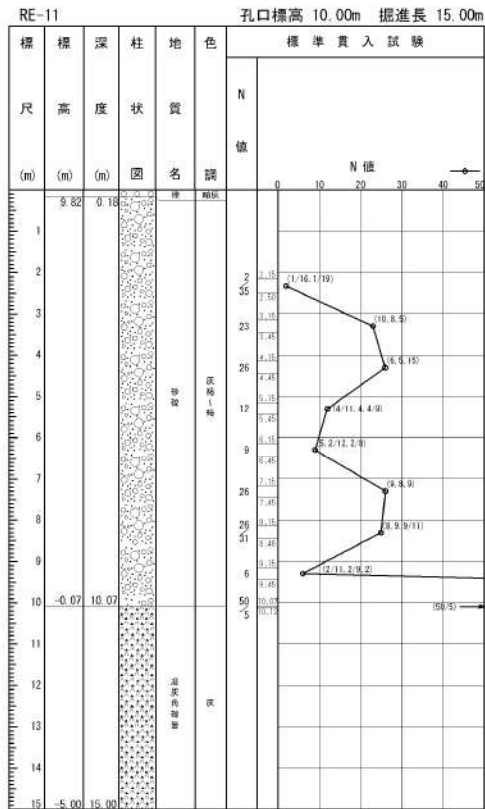
ボーリング平面位置図



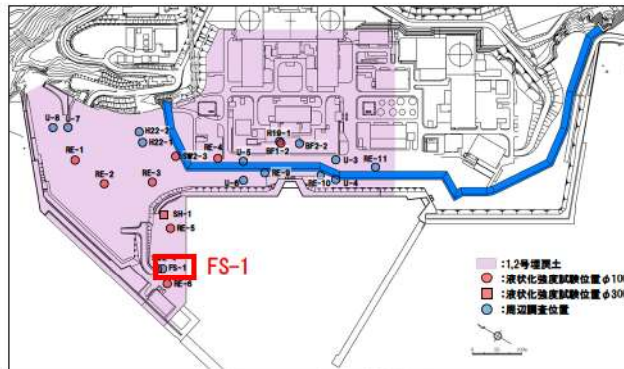
参考 1-22 図 ボーリング柱状図・コア写真 (RE-10)



ボーリング平面位置図

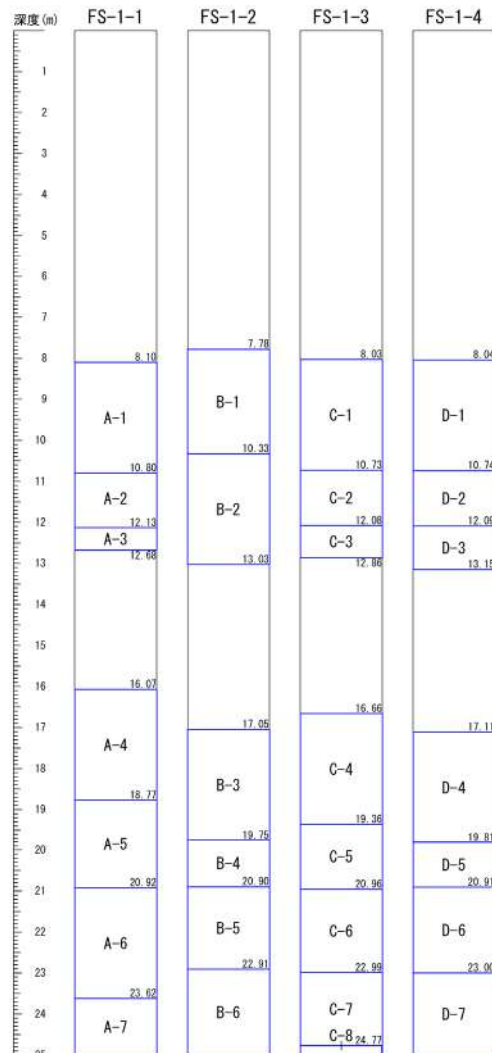
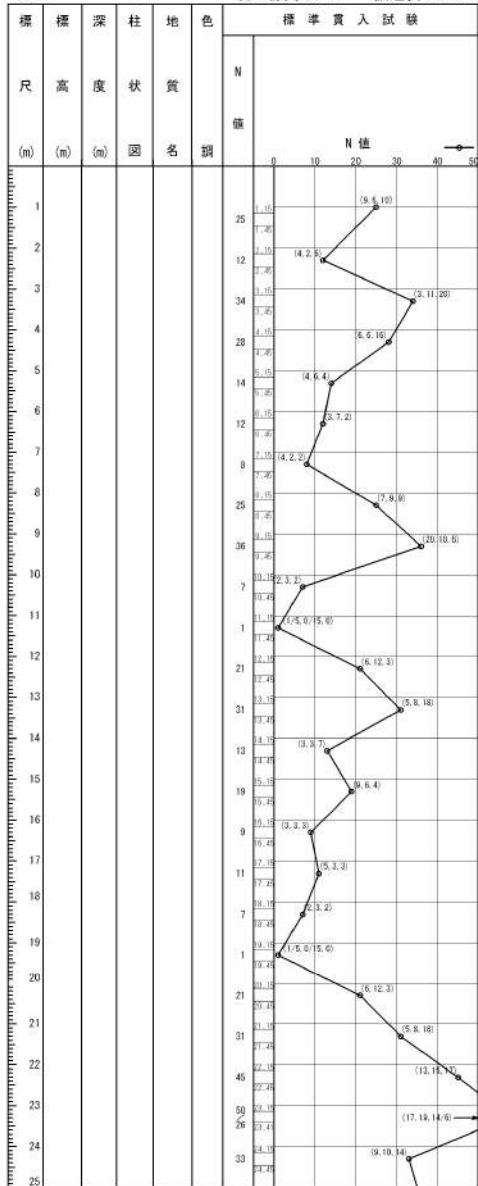


参考 1-23 図 ボーリング柱状図・コア写真 (RE-11)



ボーリング平面位置図

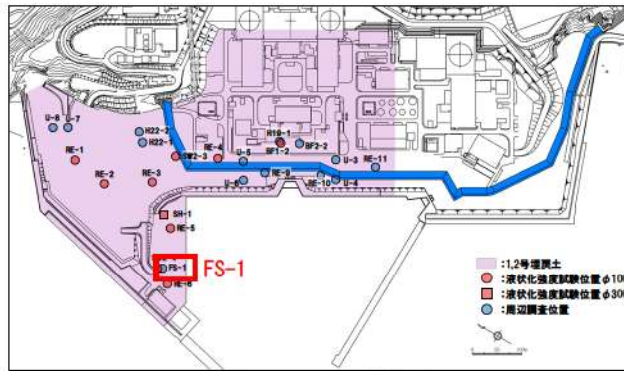
FS-1 孔口標高 3.7m 掘進長 35.50m



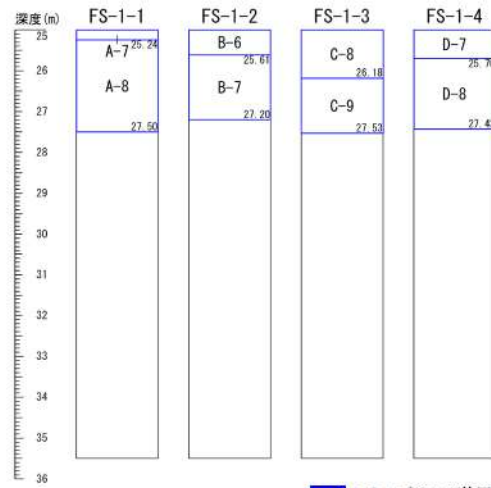
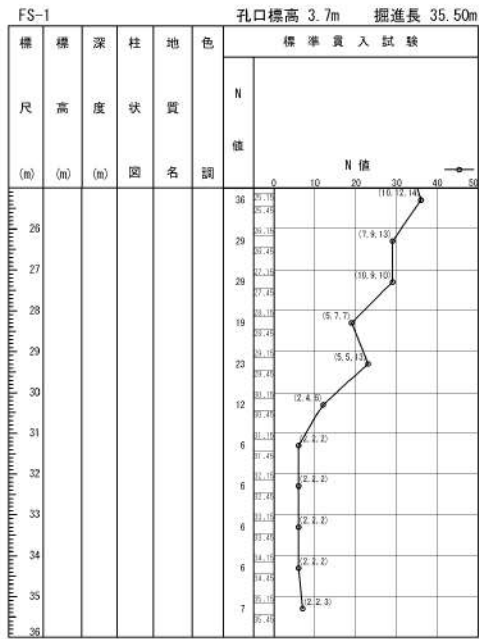
□ : サンプル位置

※FS-1 は標準貫入試験のみ実施

参考 1-24 図 (1/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



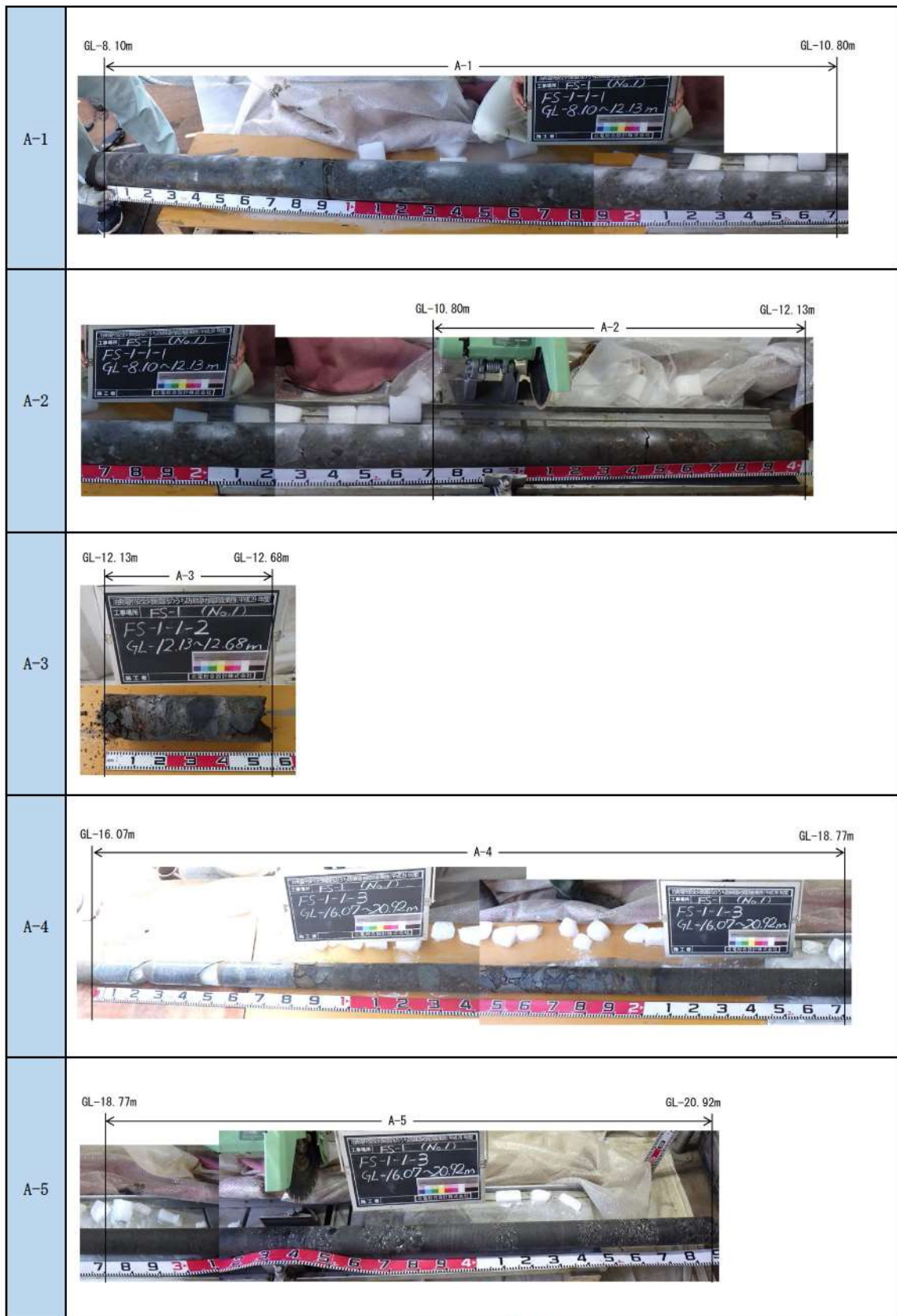
ボーリング平面位置図



□ : サンプル位置

※FS-1 は標準貫入試験のみ実施

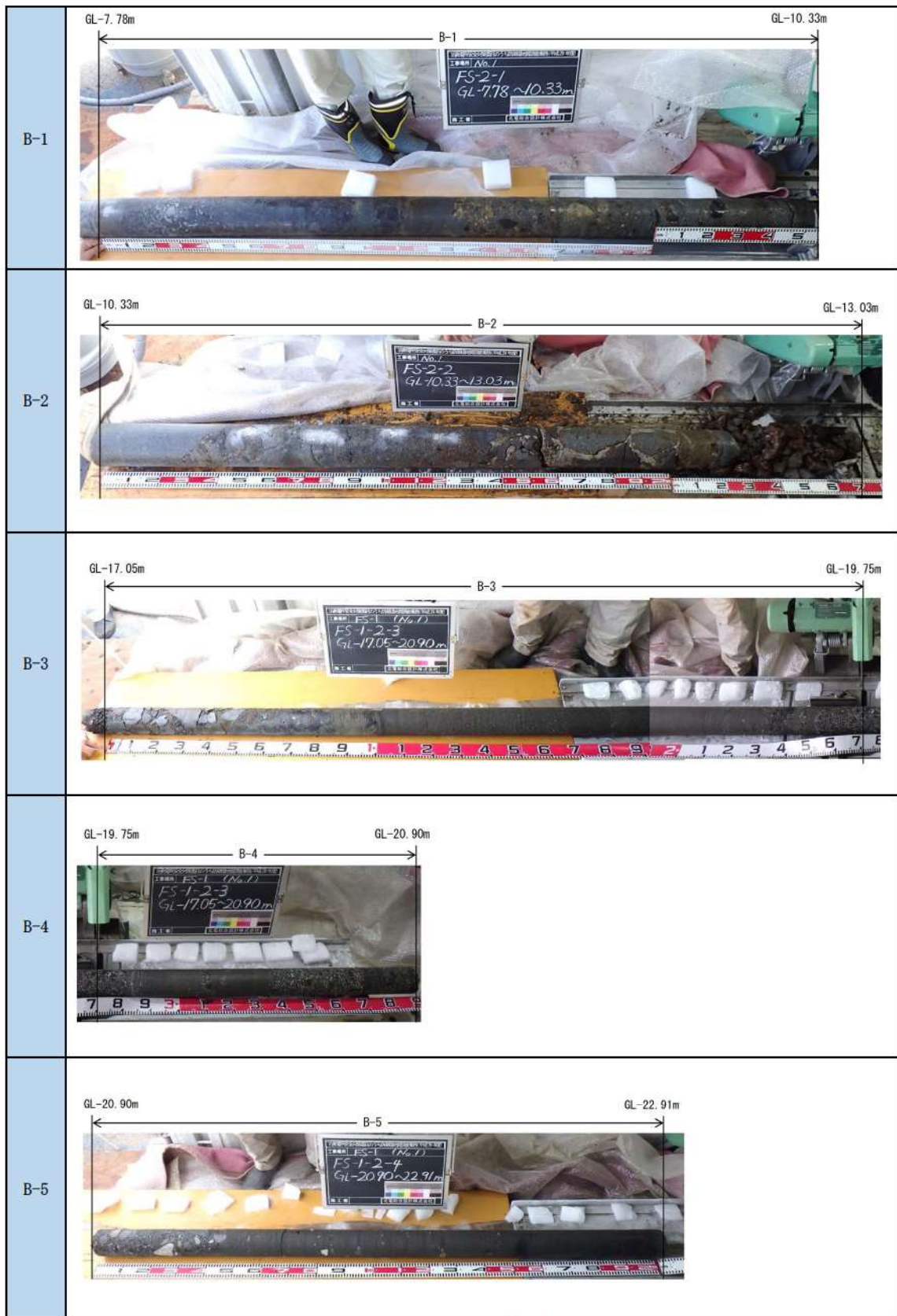
参考 1-24 図(2/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



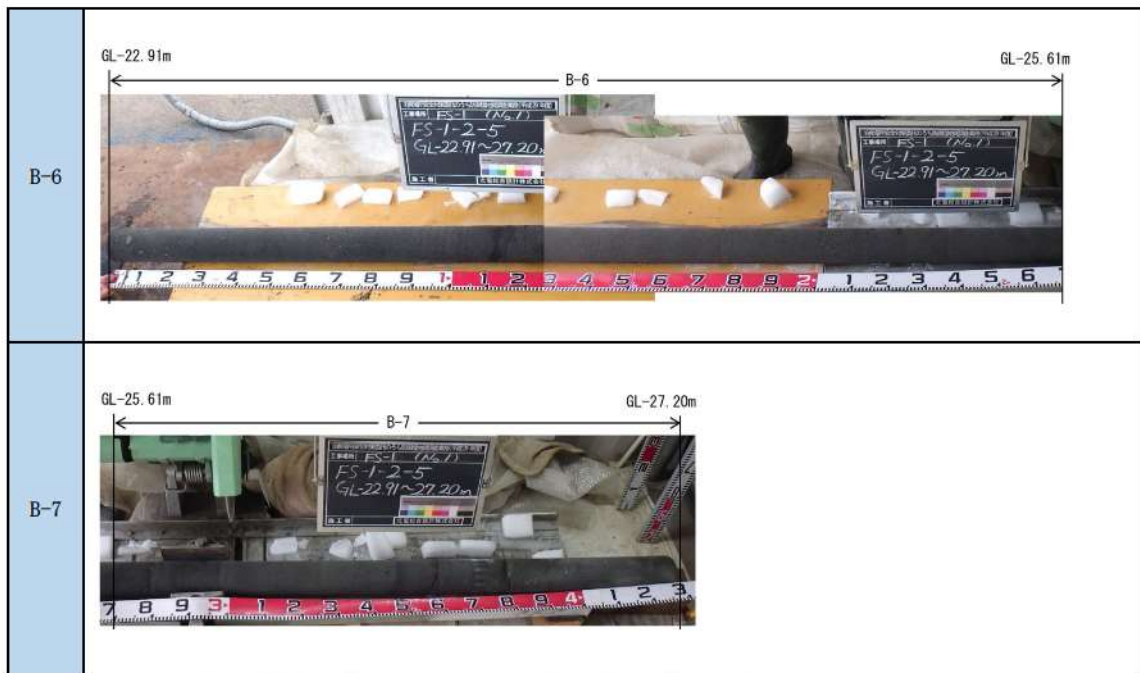
参考 1-24 図(3/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



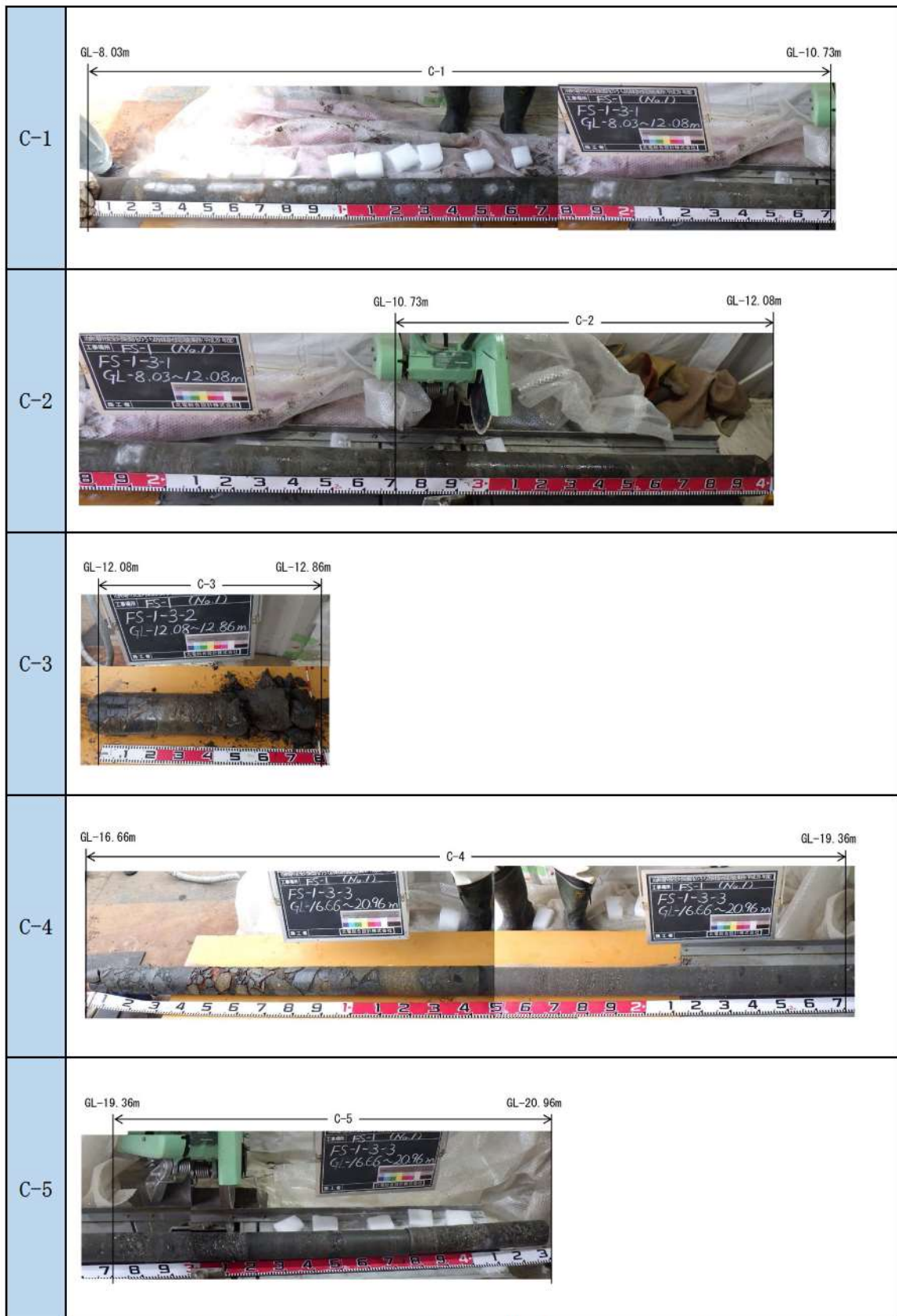
参考 1-24 図(4/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



参考 1-24 図(5/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



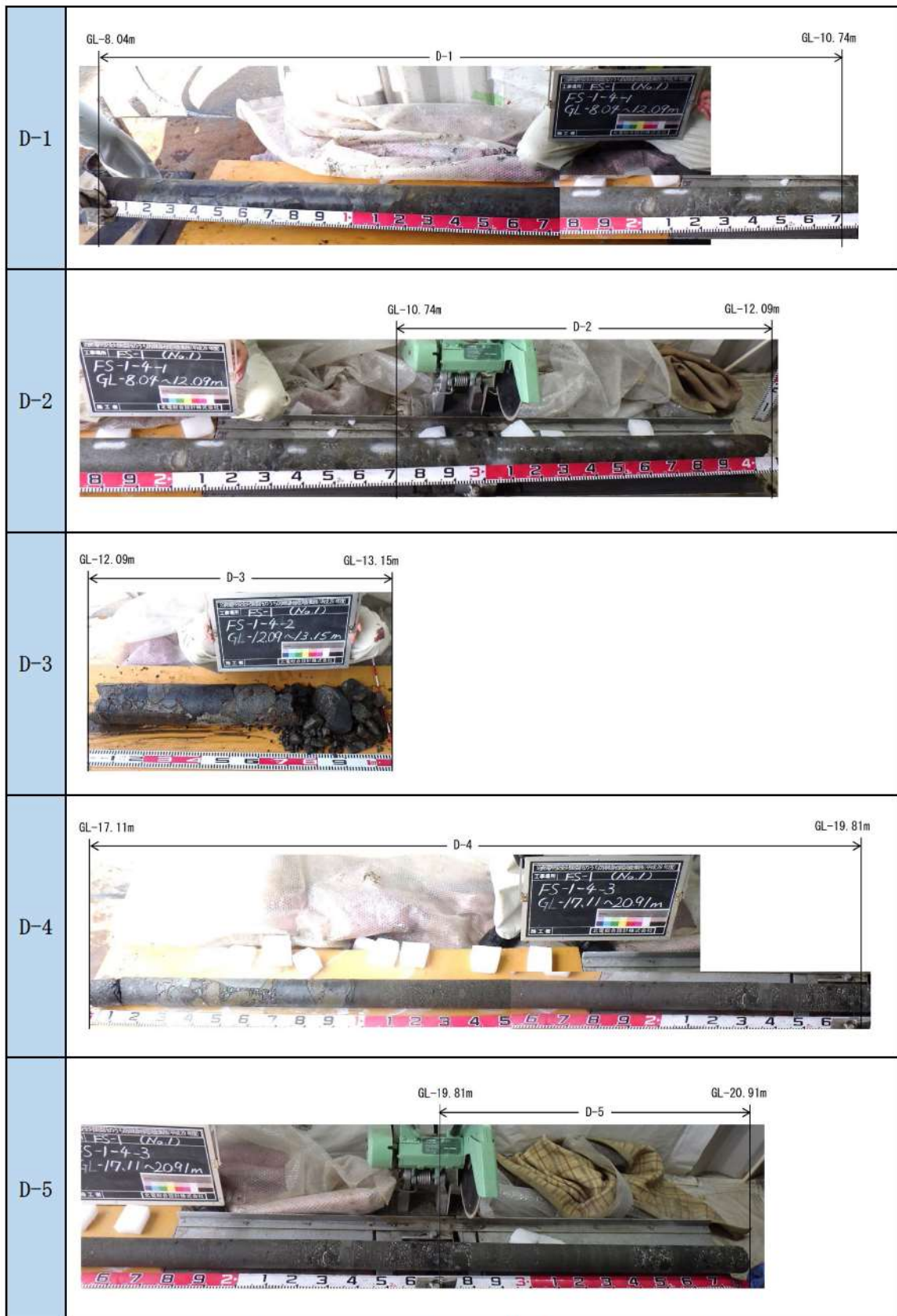
参考 1-24 図(6/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



参考 1-24 図(7/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)

C-6	
C-7	
C-8	
C-9	

参考 1-24 図(8/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)

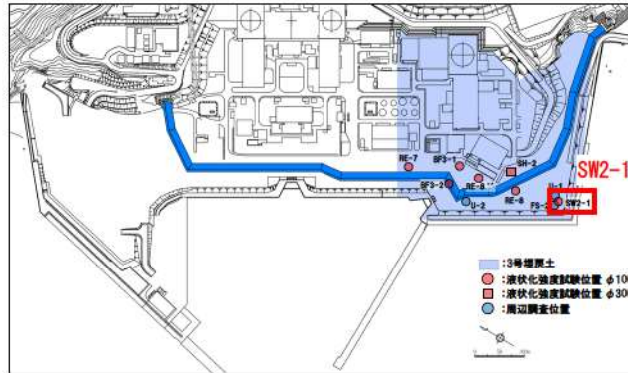


参考 1-24 図(9/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)

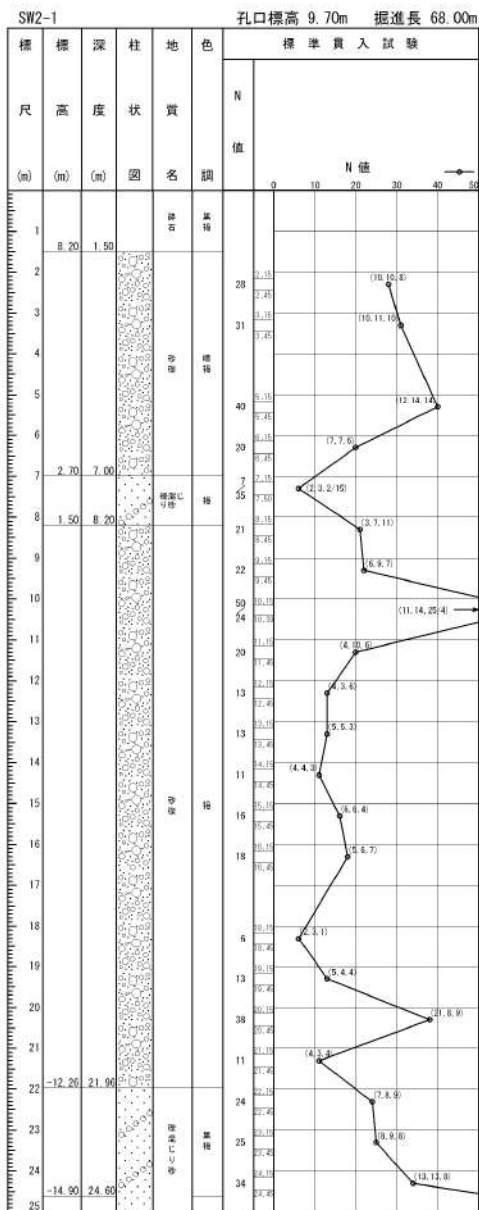


参考 1-24 図(10/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)

1. 埋戻土・砂層のボーリング柱状図・コア写真
 - (2) 3号埋戻土のボーリング柱状図・コア写真

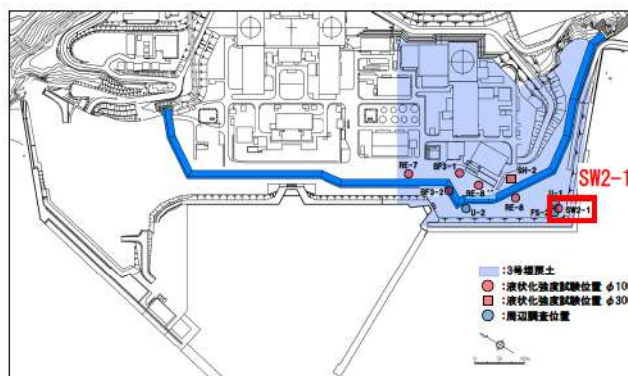


ボーリング平面位置図

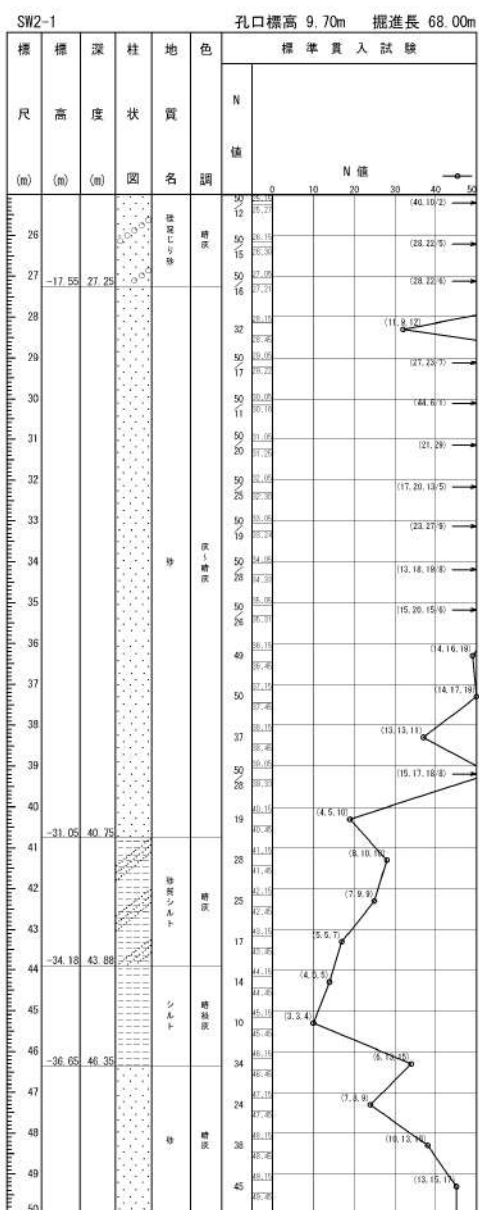


参考 1-25 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-1)

4条-別紙9-参 1-43

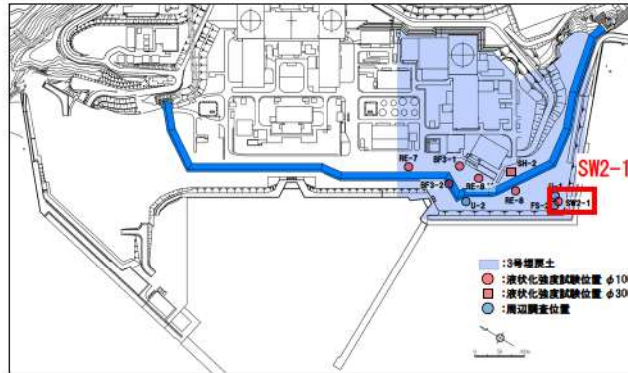


ボーリング平面位置図

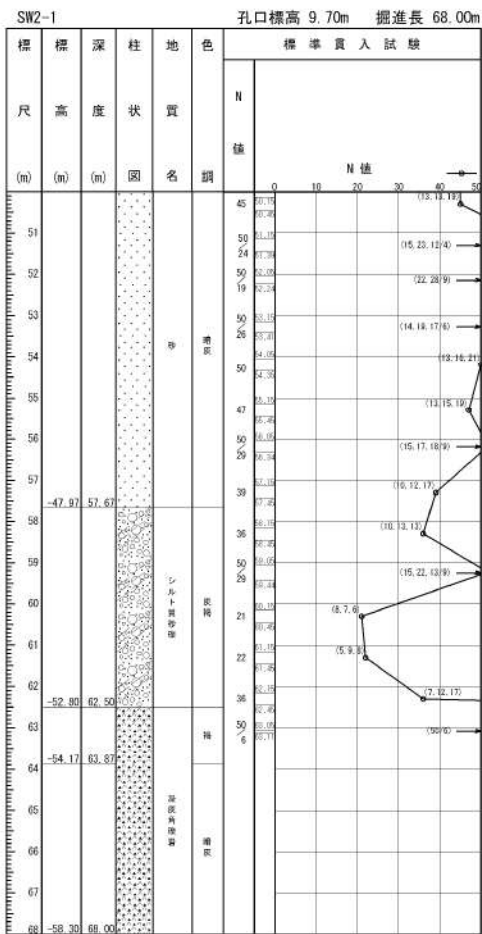


参考 1-25 図(2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-1)

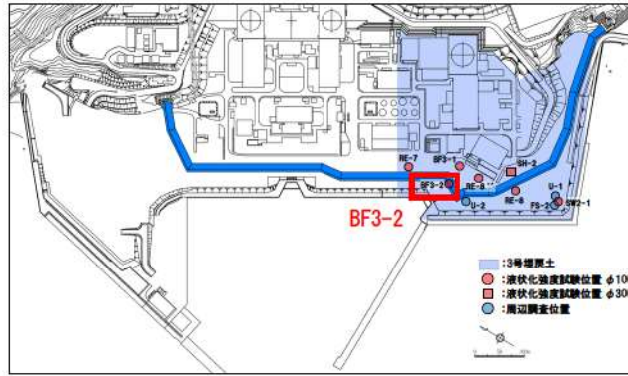
4条-別紙9-参 1-44



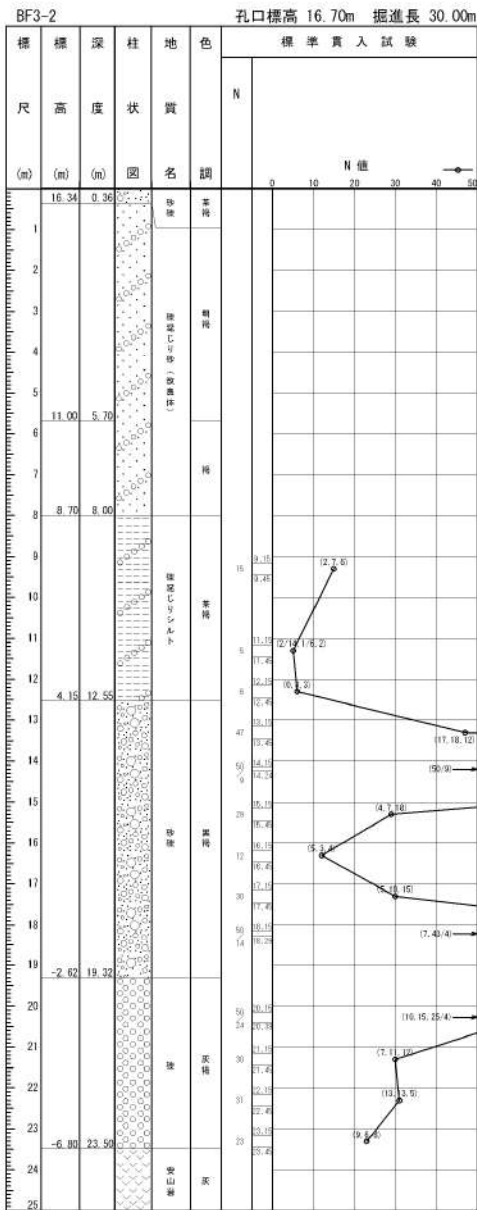
ボーリング平面位置図



参考 1-25 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-1)

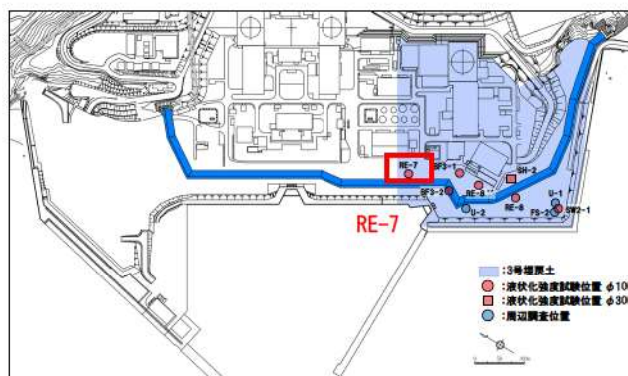


ボーリング平面位置図

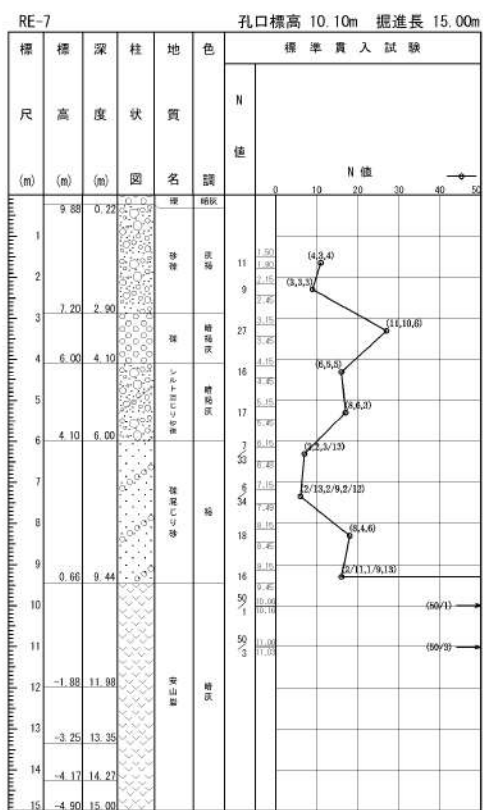


参考 1-27 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (BF3-2)

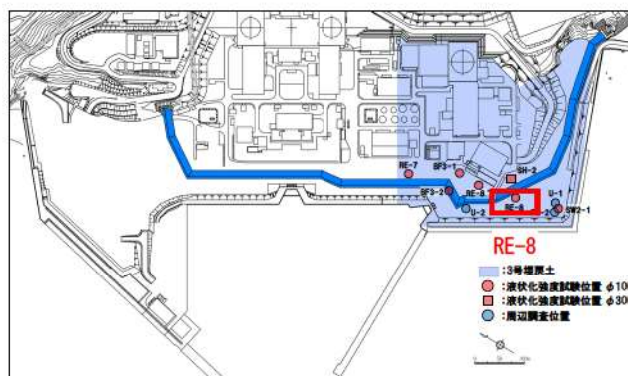
4条-別紙9-参 1-47



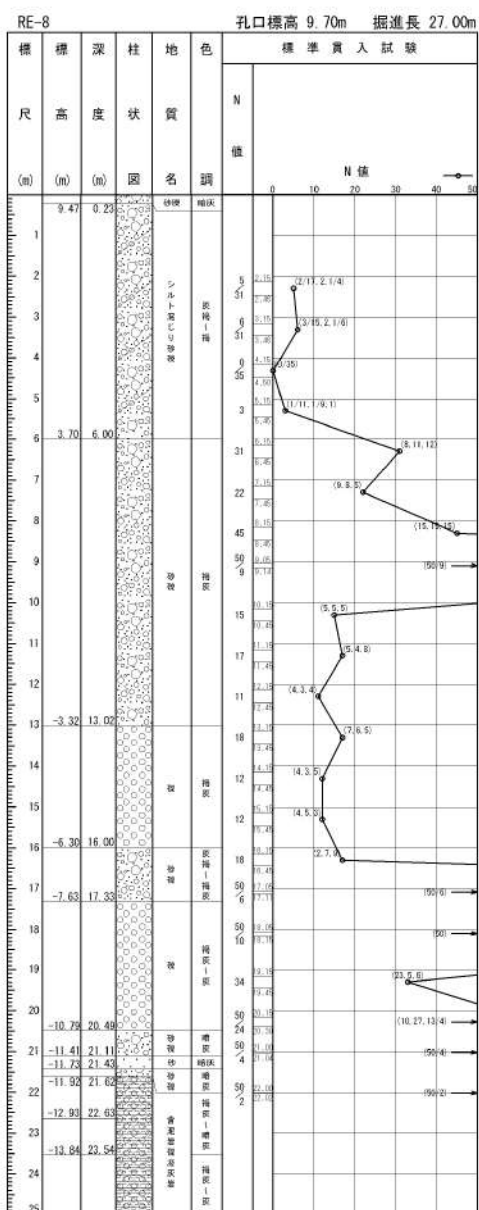
ボーリング平面位置図



参考 1-28 図 ボーリング柱状図・コア写真 (RE-7)

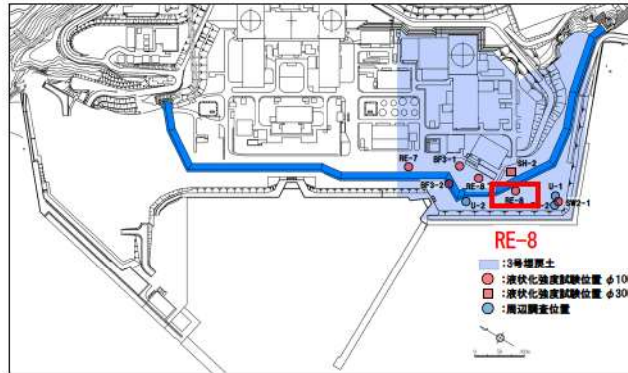


ボーリング平面位置図



参考 1-29 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (RE-8)

4 条-別紙 9-参 1-50



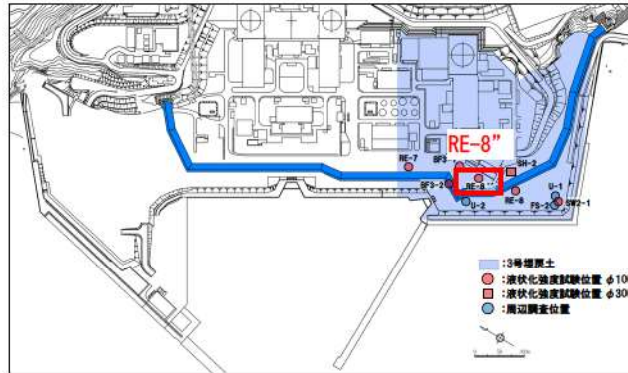
ボーリング平面位置図

RE-8 孔口標高 9.70m 掘進長 27.00m

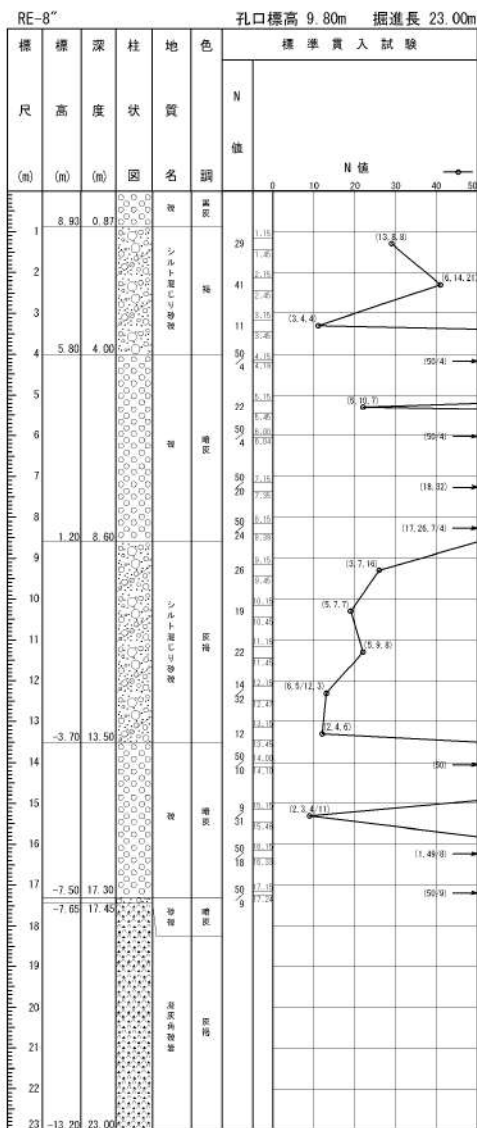
標尺	標高 (m)	深 度 (m)	柱 状 図	地 質 名	色 調	標準貫入試験	
						N 値	N 値
	26			流砂層	褐色		
	27	17.30		砂質土	黄褐色		
		27.00					



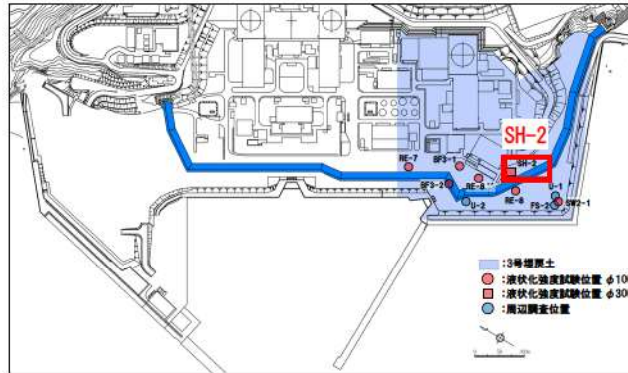
参考 1-29 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (RE-8)



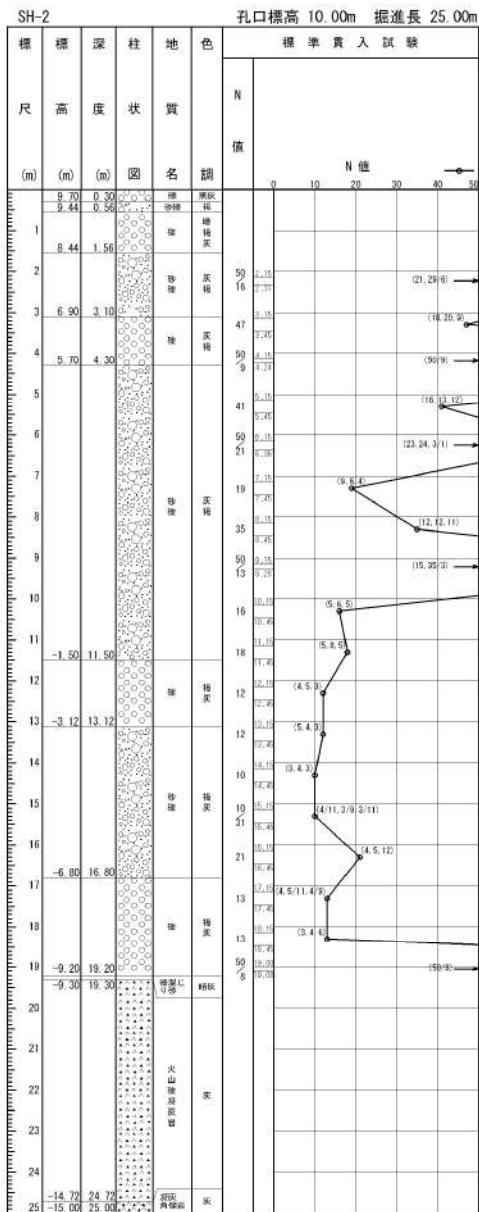
ボーリング平面位置図



参考 1-30 図 ボーリング柱状図・コア写真 (RE-8")

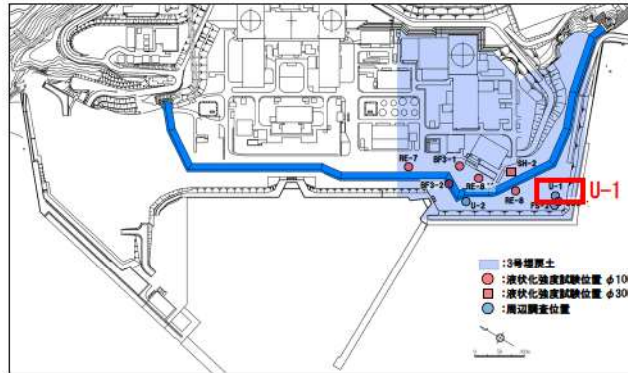


ボーリング平面位置図

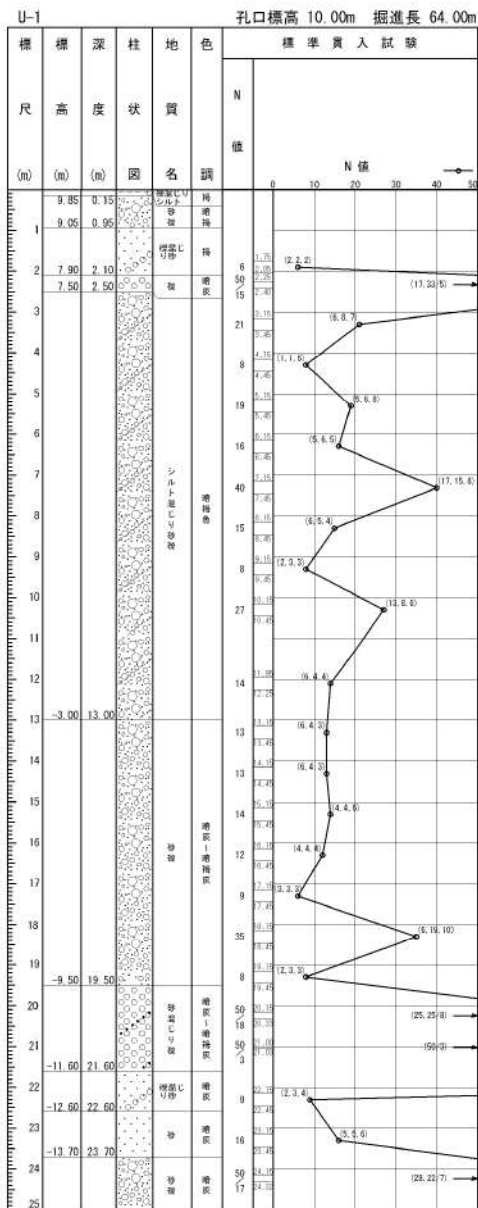


参考 1-31 図 ボーリング柱状図・コア写真 (SH-2)

4 条-別紙 9-参 1-53

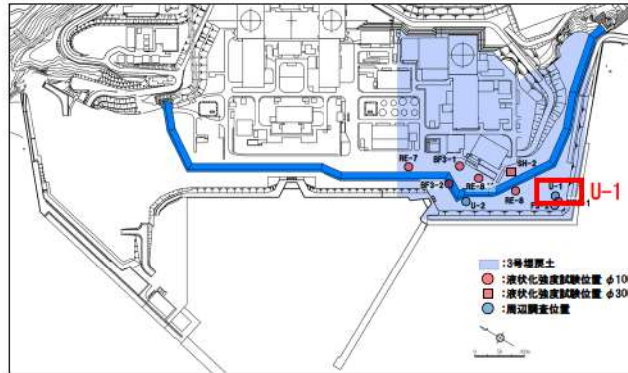


ボーリング平面位置図

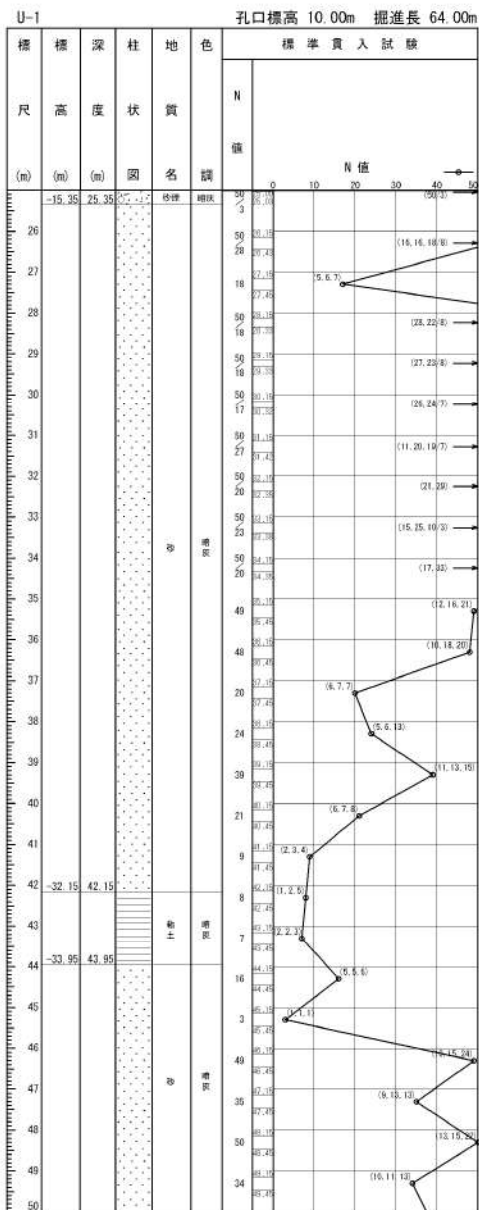


参考 1-32 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (U-1)

4条-別紙9-参 1-54

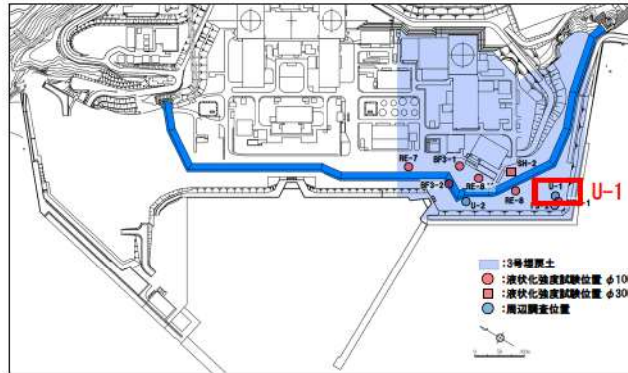


ボーリング平面位置図

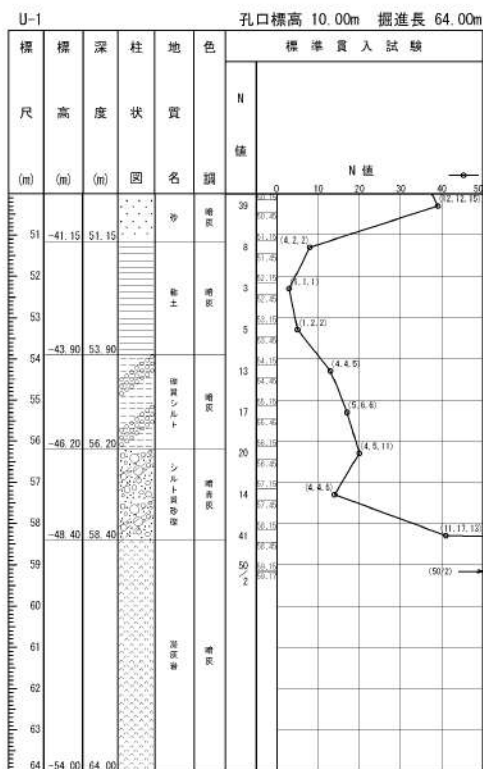


参考 1-32 図(2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (U-1)

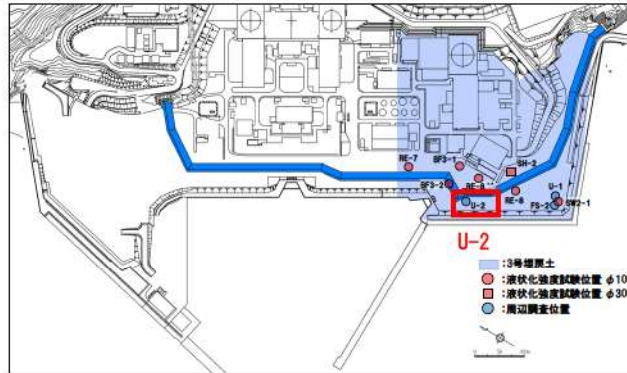
4条-別紙9-参 1-55



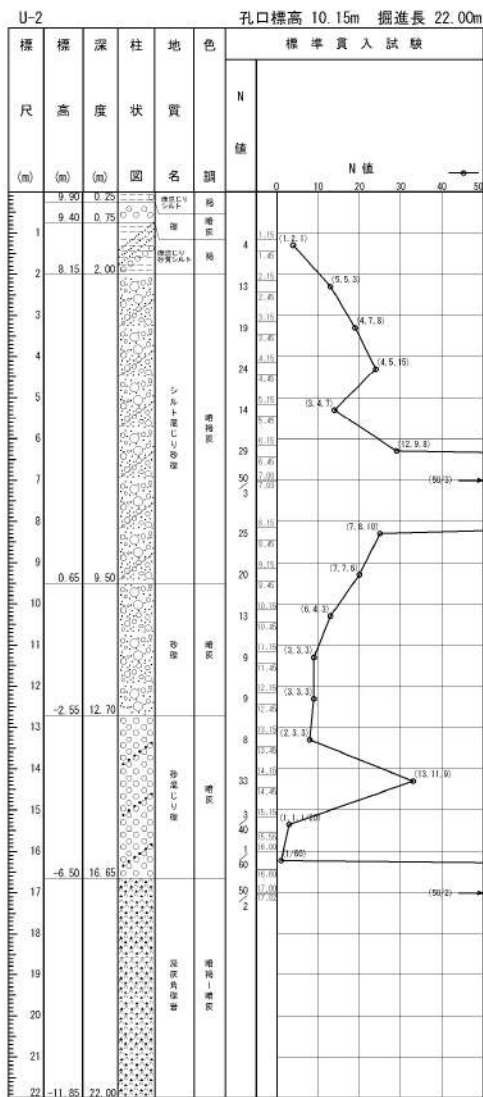
ボーリング平面位置図



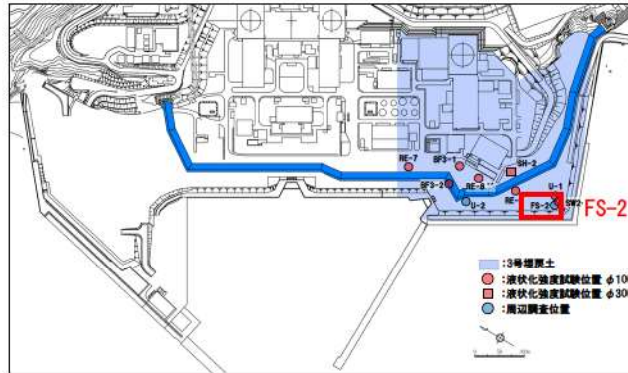
参考 1-32 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (U-1)



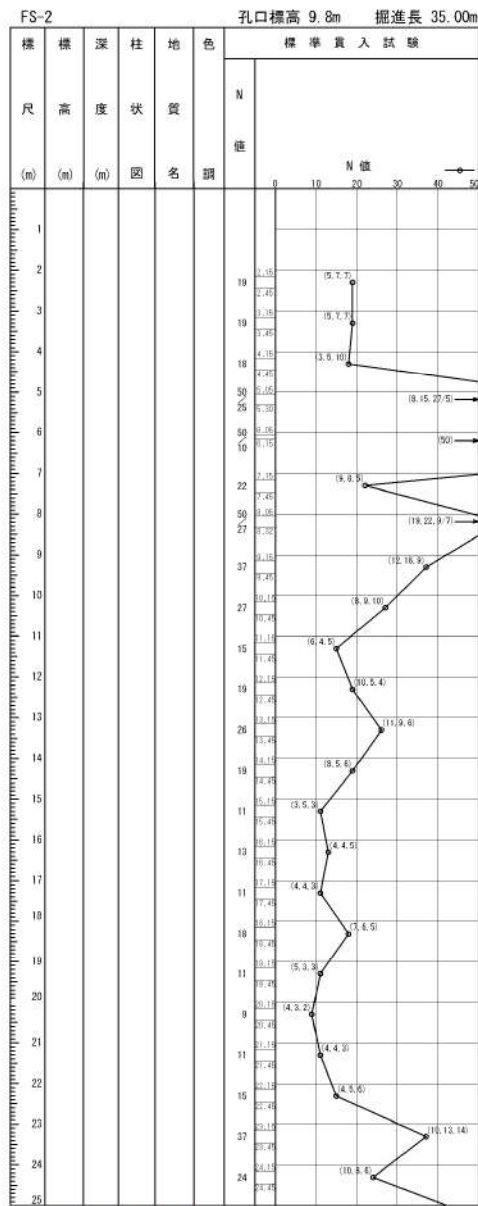
ボーリング平面位置図



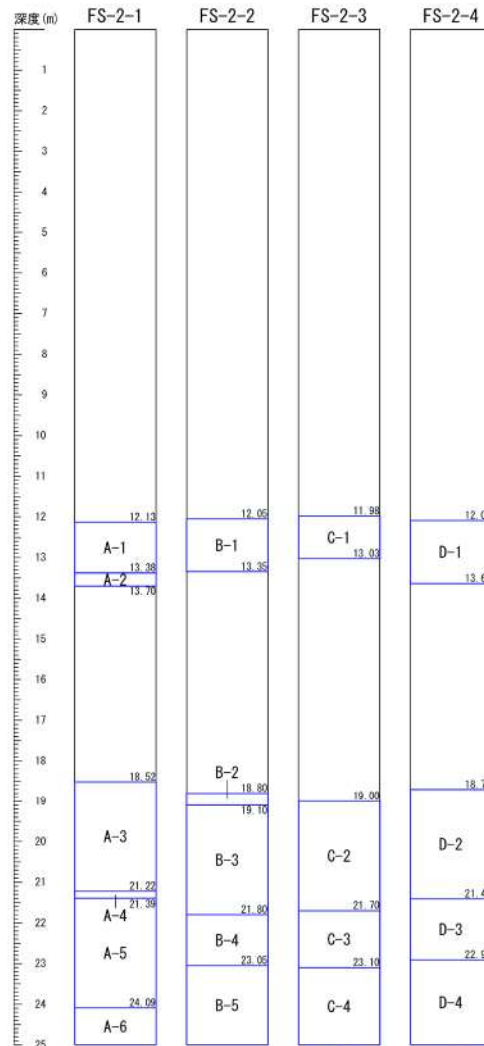
参考 1-33 図 ボーリング柱状図・コア写真 (U-2)



ボーリング平面位置図

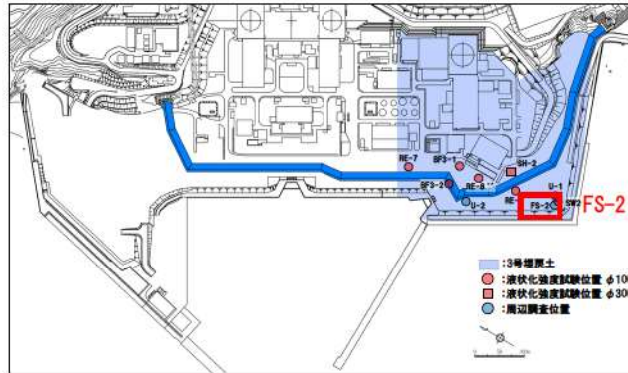


※FS-2 は標準貫入試験のみ実施

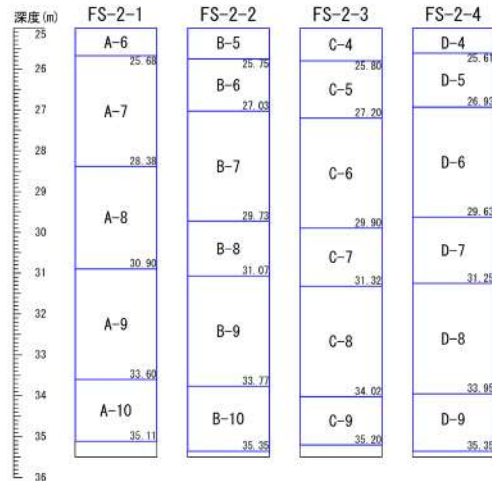
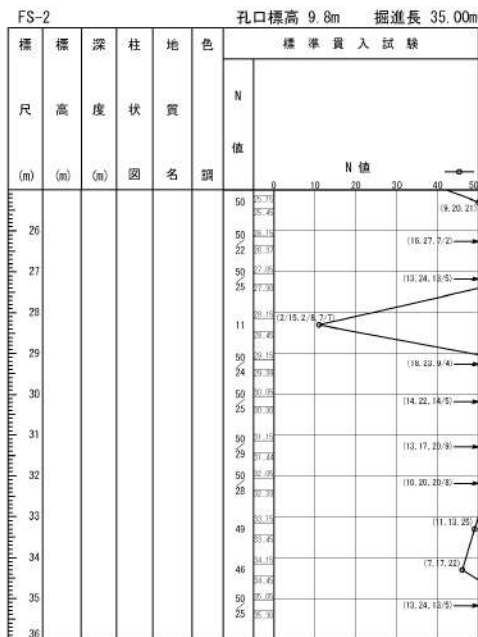


□ : サンプル位置

参考 1-34 図(1/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



ボーリング平面位置図



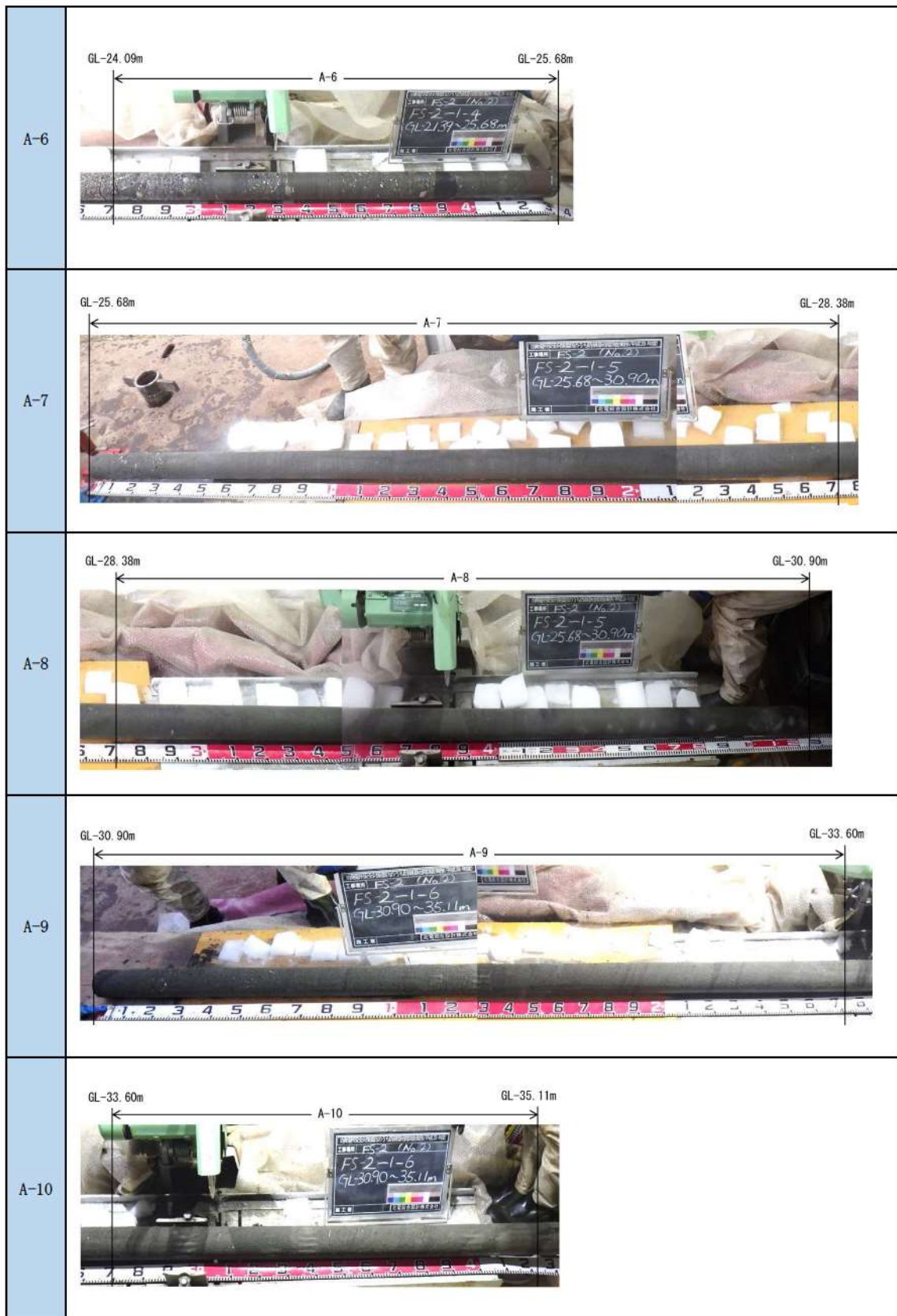
※FS-2 は標準貫入試験のみ実施

□ : サンプル位置

参考 1-34 図(2/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)

A-1	
A-2	
A-3	
A-4	
A-5	

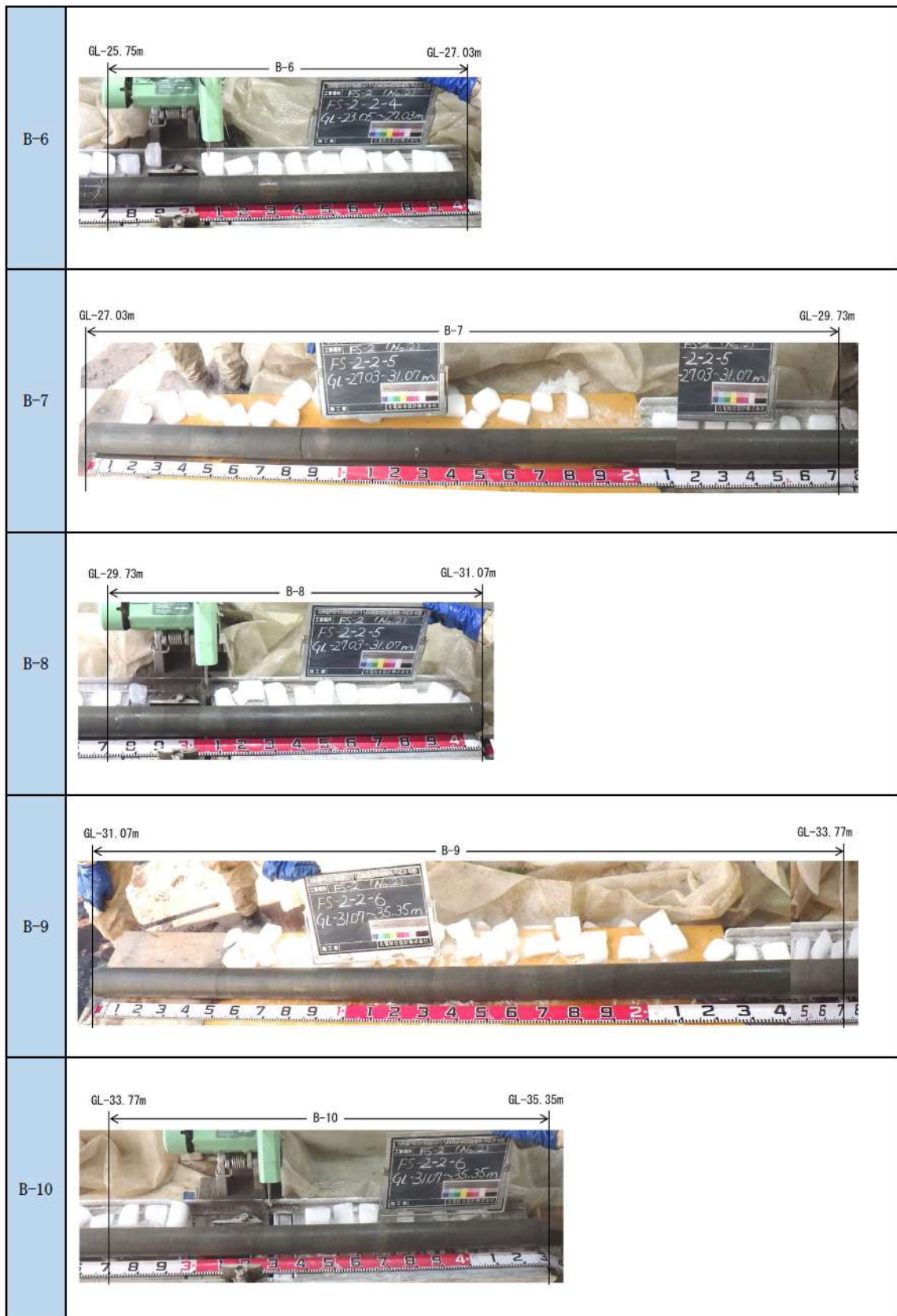
参考 1-34 図 (3/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



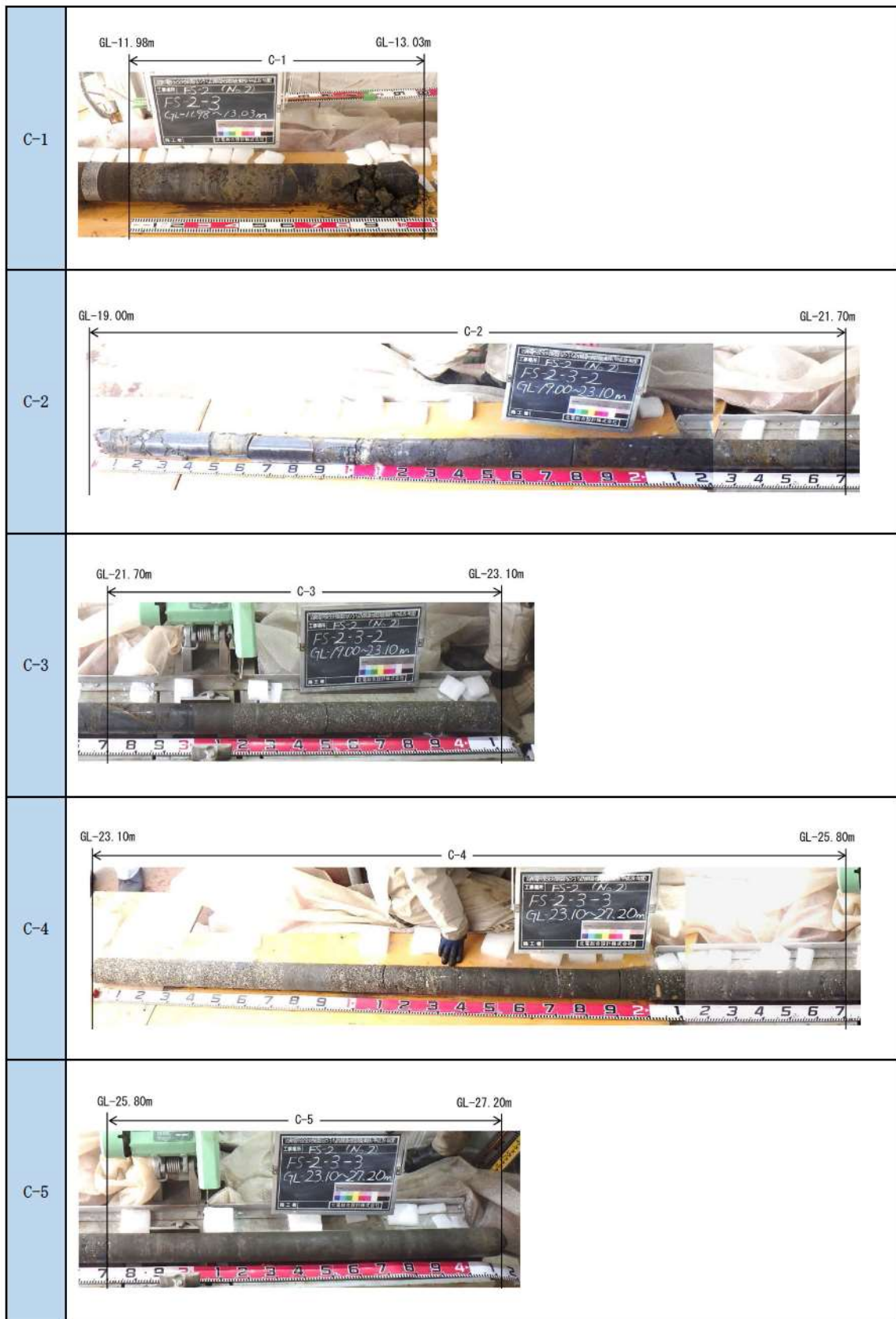
参考 1-34 図(4/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



参考 1-34 図(5/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



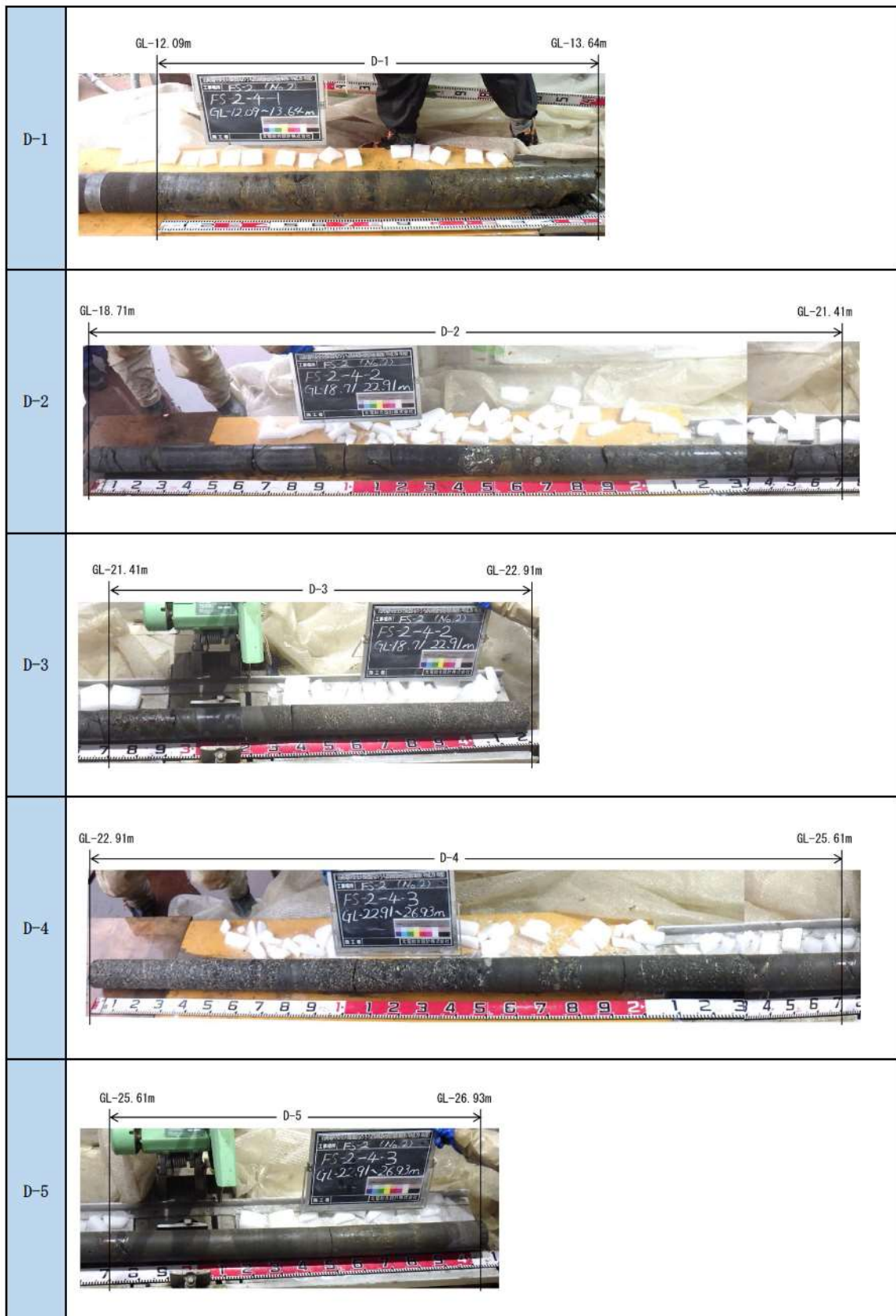
参考 1-34 図(6/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



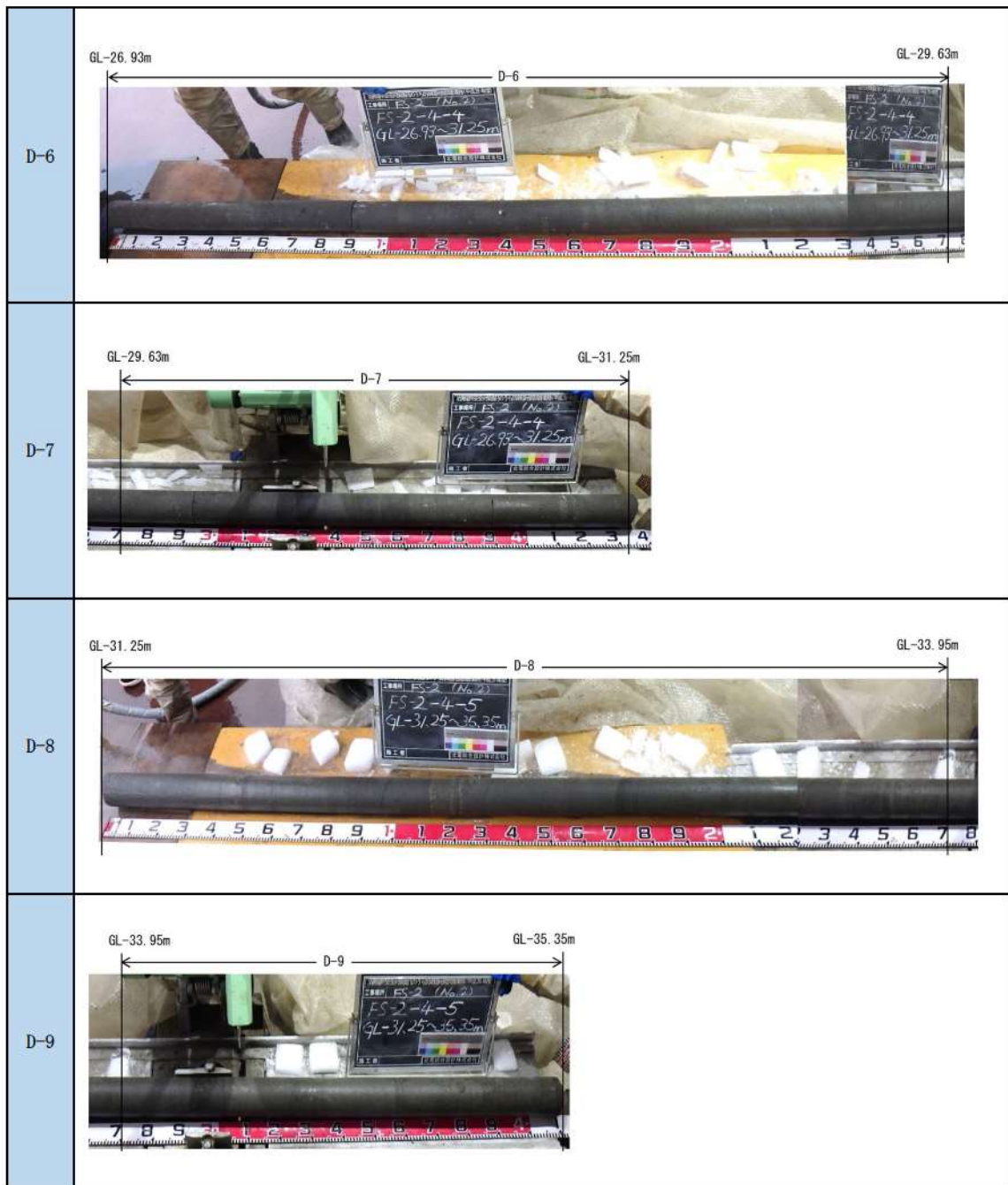
参考 1-34 図(7/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



参考 1-34 図(8/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



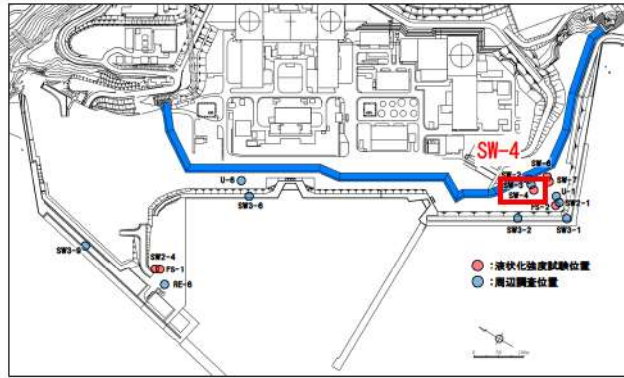
参考 1-34 図(9/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



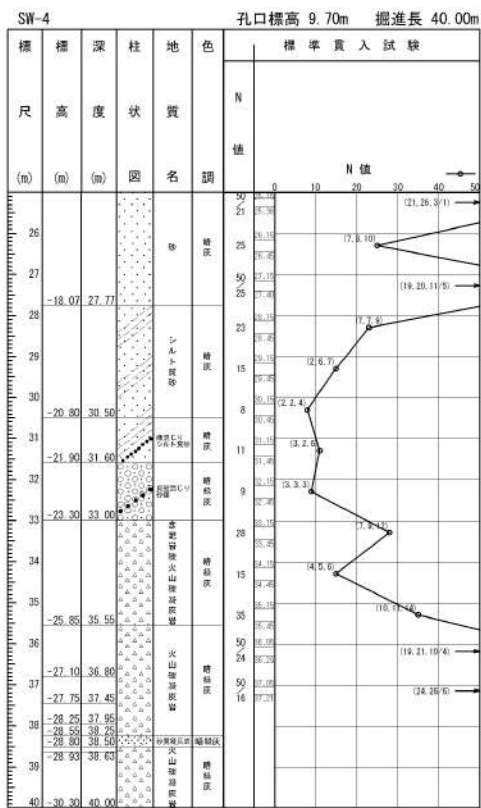
参考 1-34 図(10/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)

1. 埋戻土・砂層のボーリング柱状図・コア写真

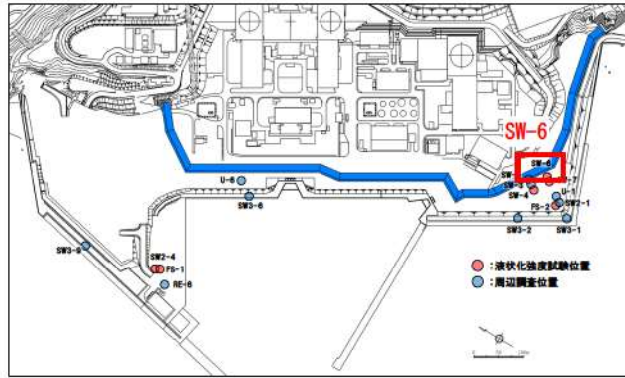
(3) As1 層のボーリング柱状図・コア写真



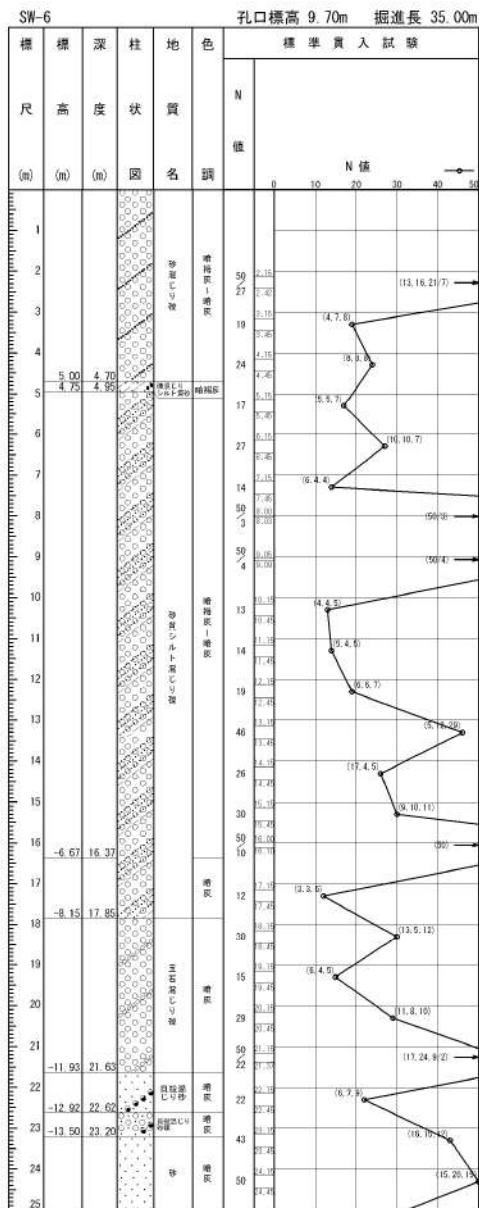
ボーリング平面位置図



参考 1-35 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-4)

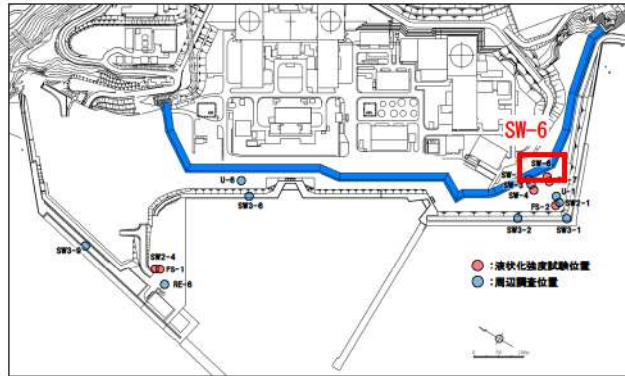


ボーリング平面位置図

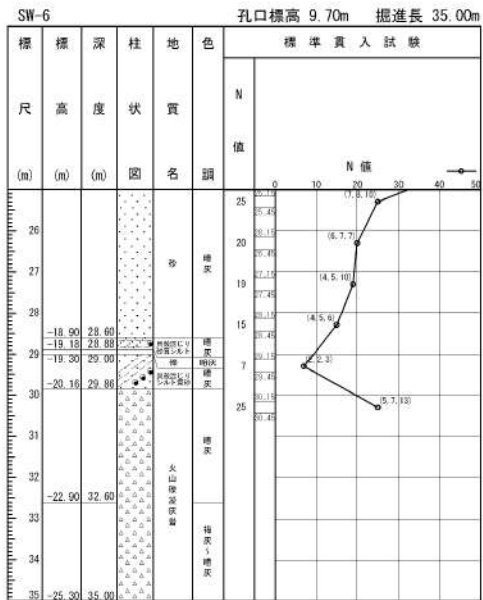


参考 1-36 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-6)

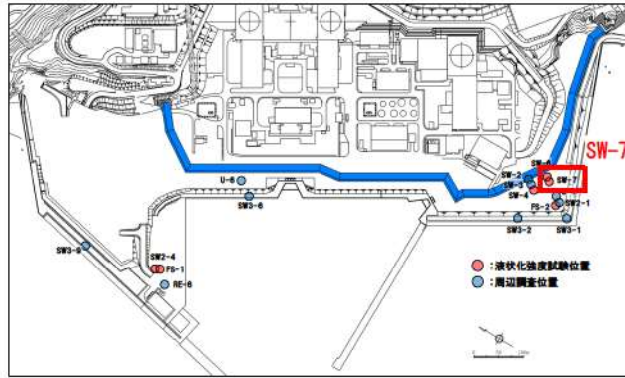
4条-別紙9-参 1-71



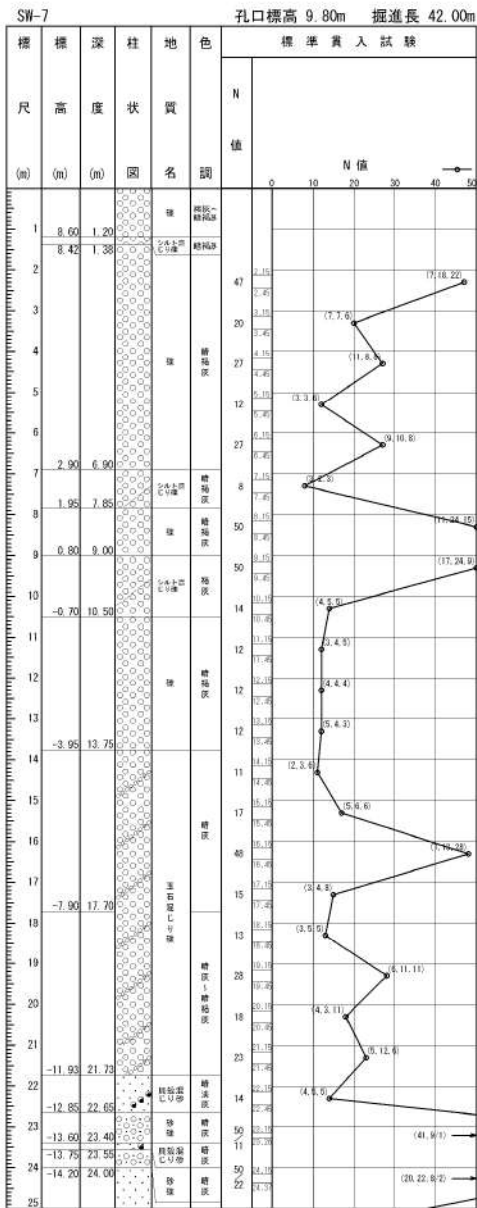
ボーリング平面位置図



参考 1-36 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-6)

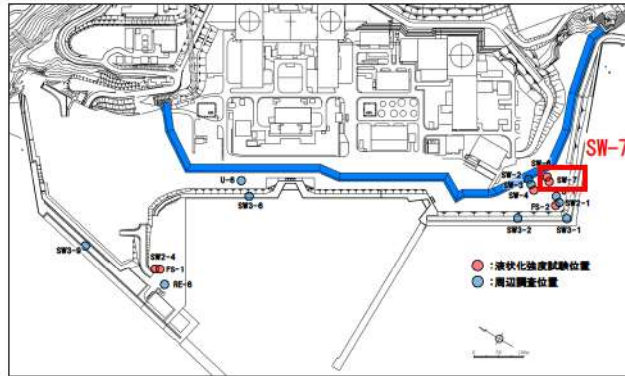


ボーリング平面位置図

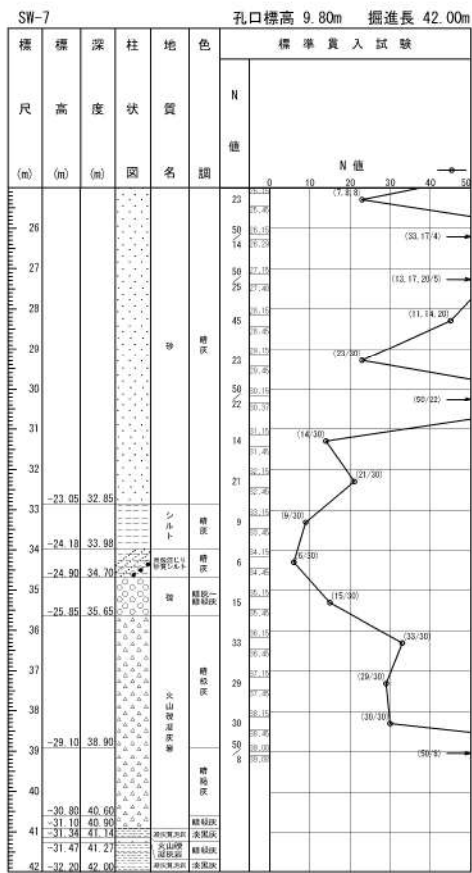


参考 1-37 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-7)

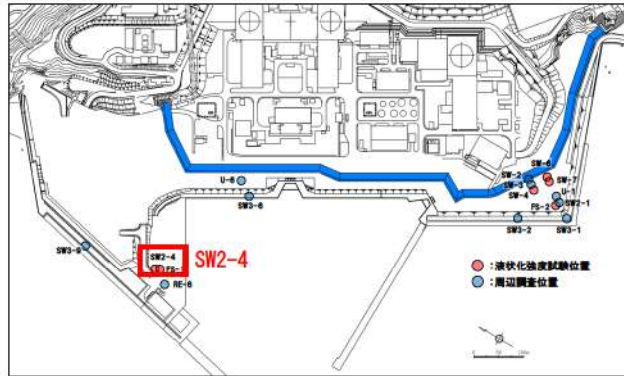
4条-別紙9-参 1-73



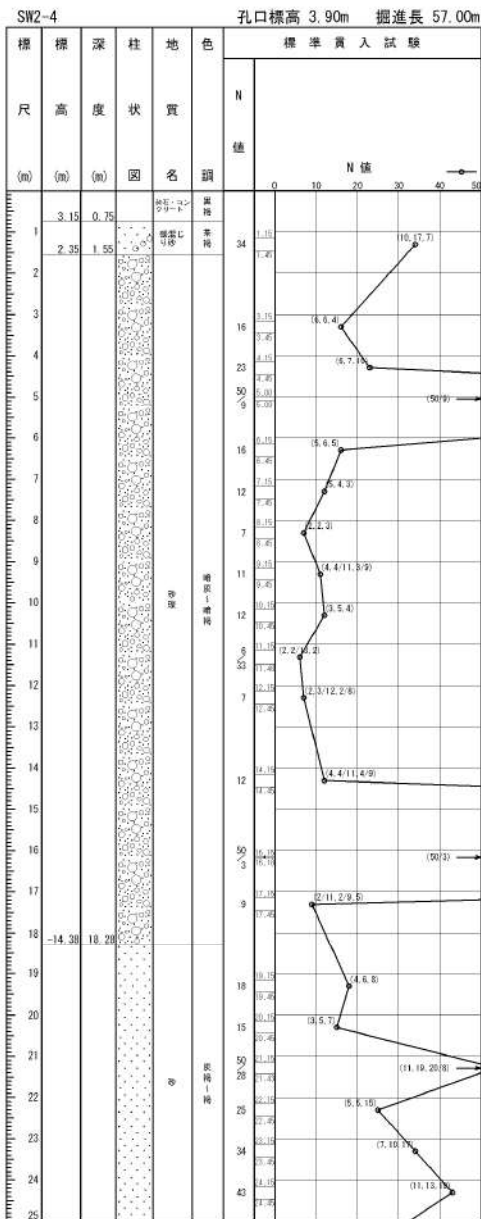
ボーリング平面位置図



参考 1-37 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-7)

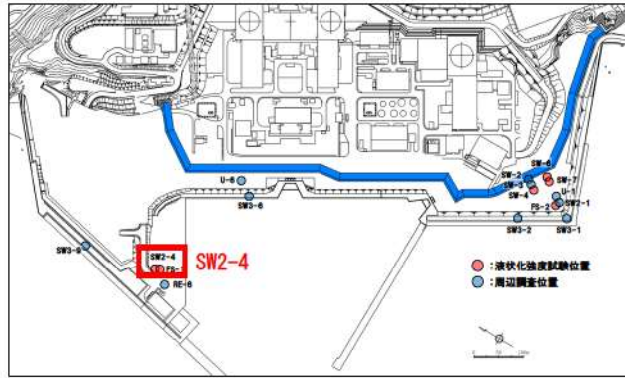


ボーリング平面位置図

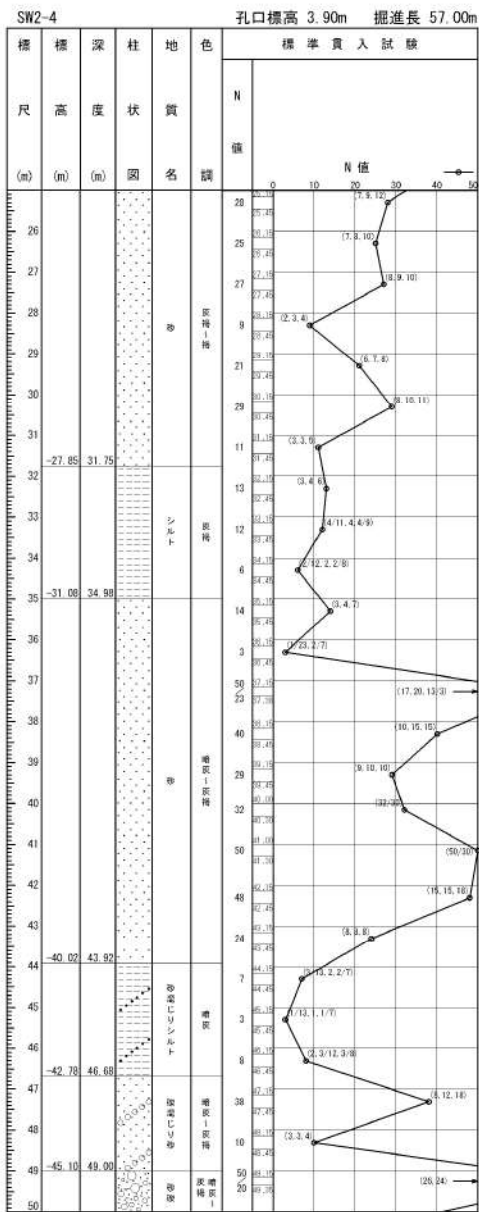


参考 1-38 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-4)

4 条-別紙 9-参 1-75

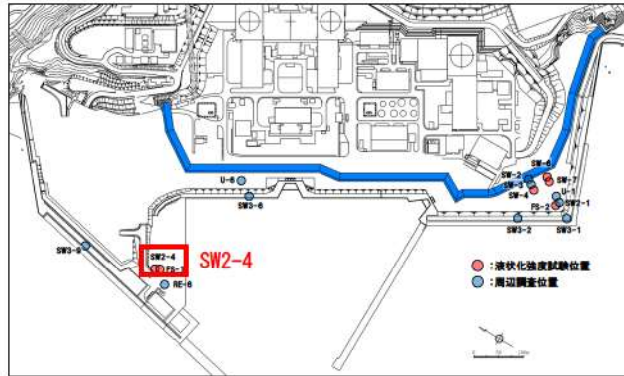


ボーリング平面位置図



参考 1-38 図(2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-4)

4条-別紙9-参 1-76



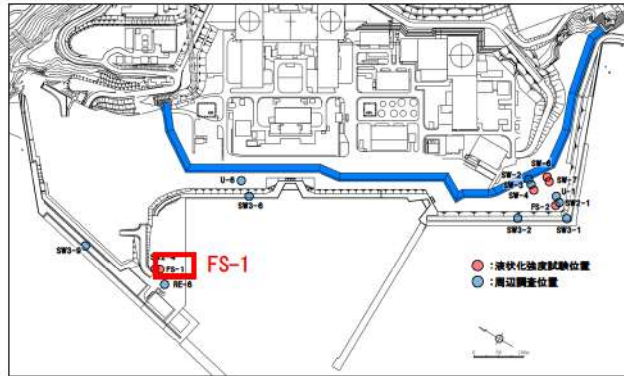
ボーリング平面位置図

SW2-4 孔口標高 3.90m 掘進長 57.00m

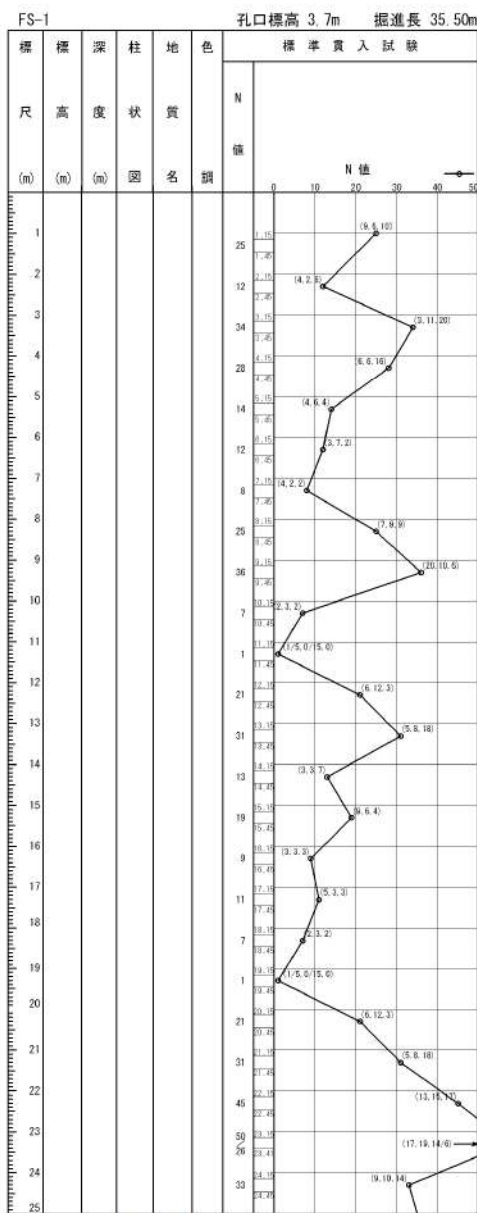
標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	柱状図	地質名	色調	標準貫入試験	
						N 値	N 値
51			砂	中硬土		28	30
						30	35
52	-48.31	52.21	砂	中硬土		13	15
						15	20
53	-49.16	53.00	砂	中硬土		12	12
						12	12
54			砂	中硬土			
55	-50.85	54.75					
56			砂	中硬土			
57	-53.10	57.00					



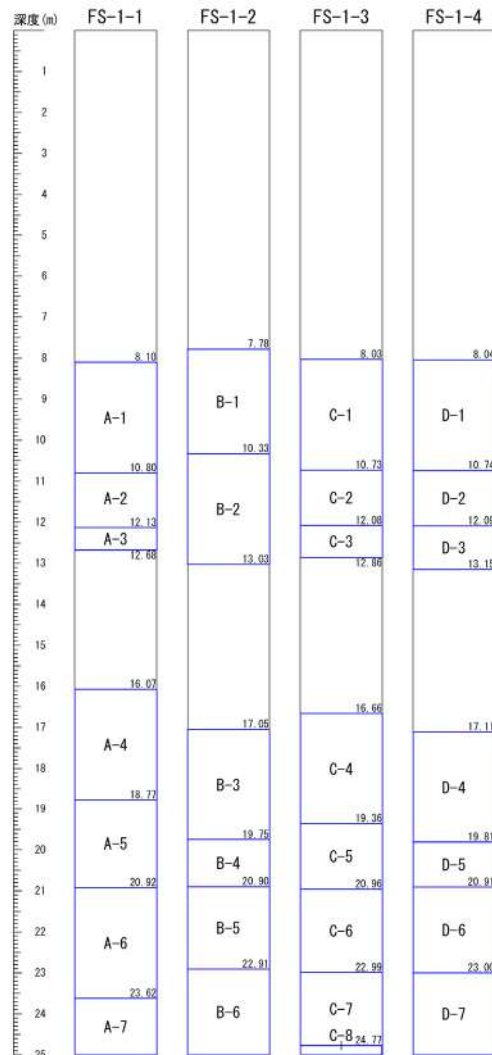
参考 1-38 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-4)



ボーリング平面位置図

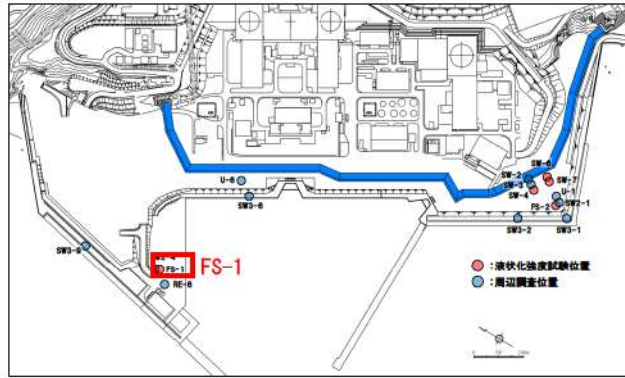


※FS-1 は標準貫入試験のみ実施

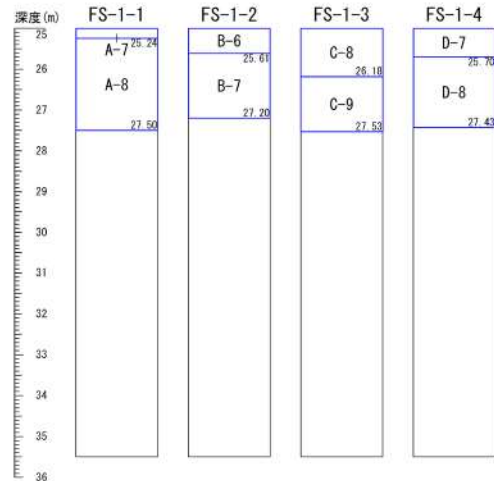
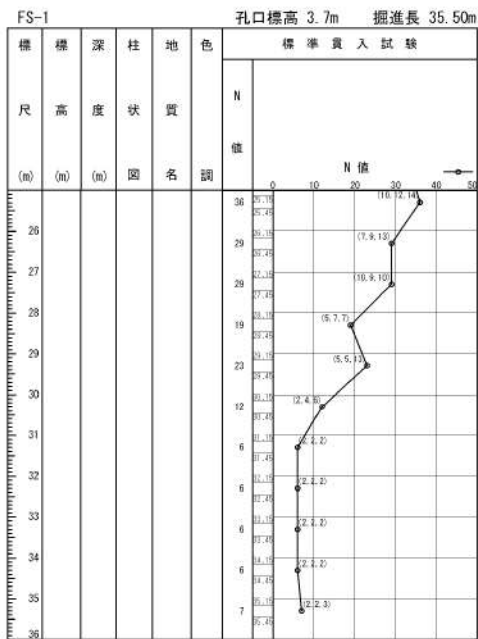


□ : サンプル位置

参考 1-24 図(1/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



ボーリング平面位置図



※FS-1 は標準貫入試験のみ実施

□ : サンプル位置

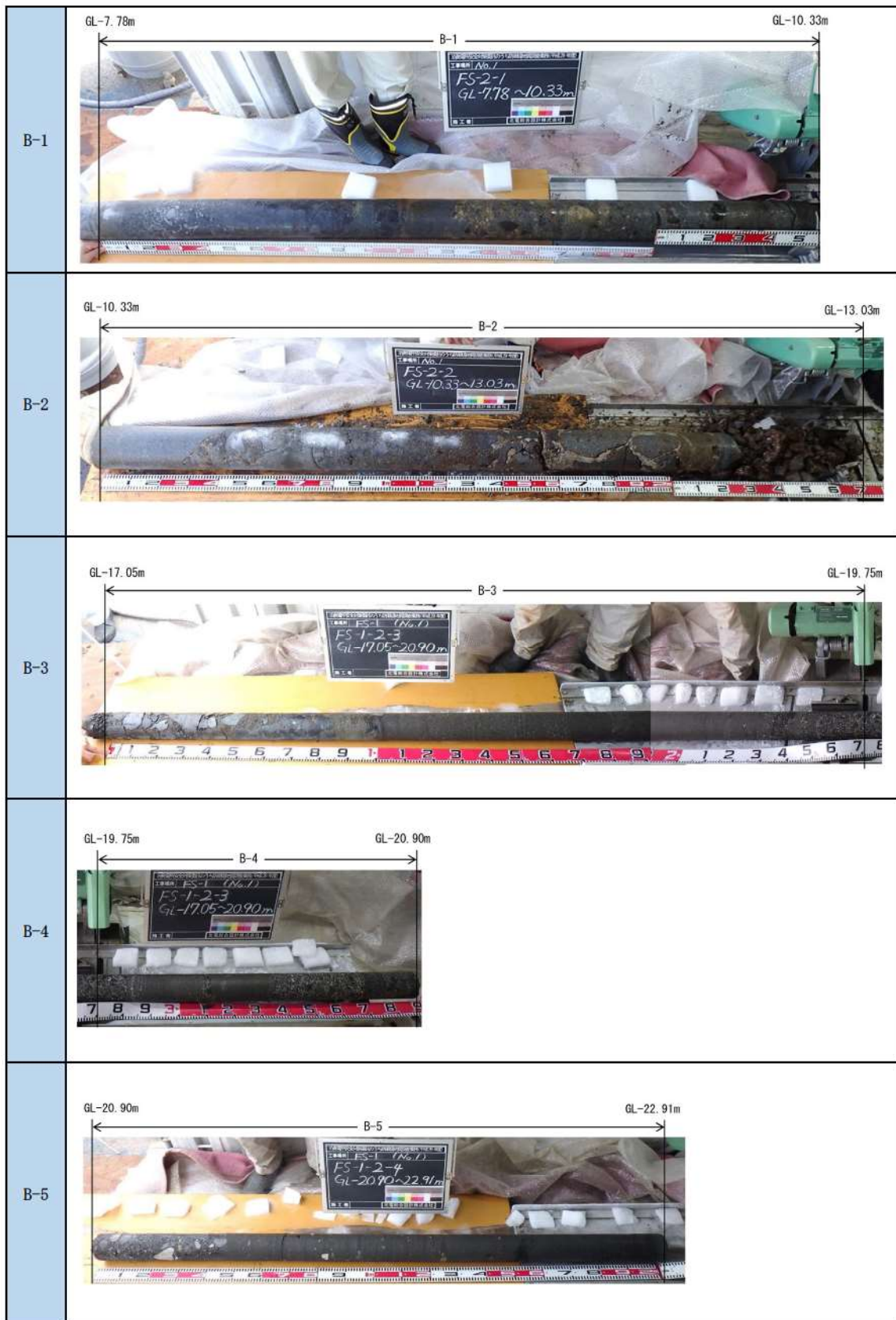
参考 1-24 図 (2/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



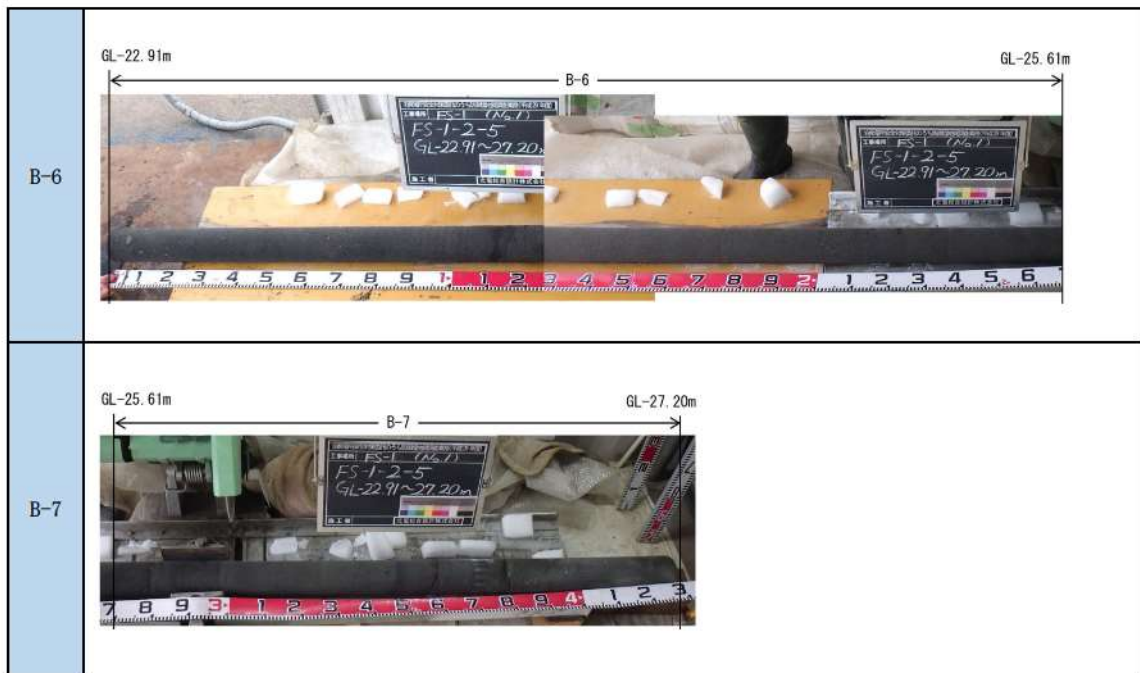
参考 1-24 図 (3/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



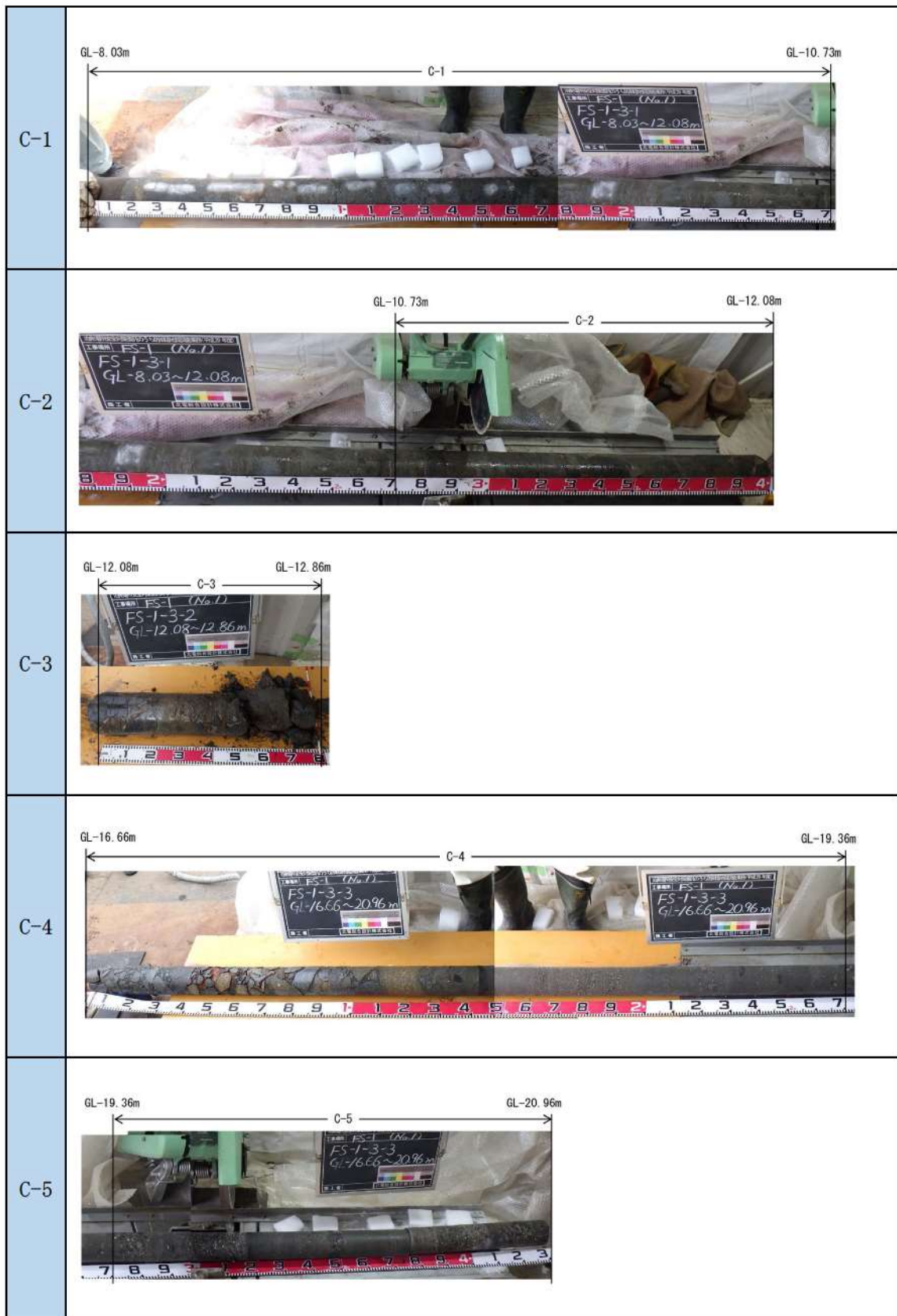
参考 1-24 図(4/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



参考 1-24 図(5/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



参考 1-24 図(6/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



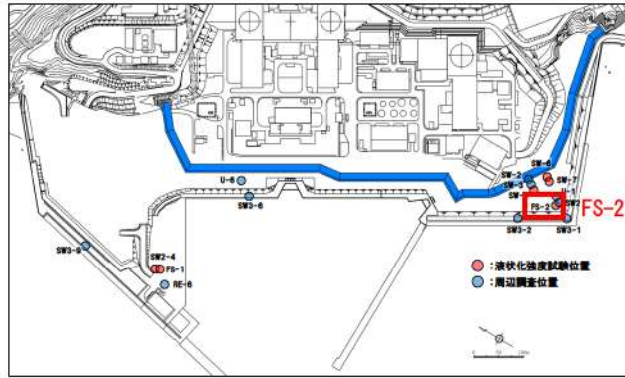
参考 1-24 図(7/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)

C-6	
C-7	
C-8	
C-9	

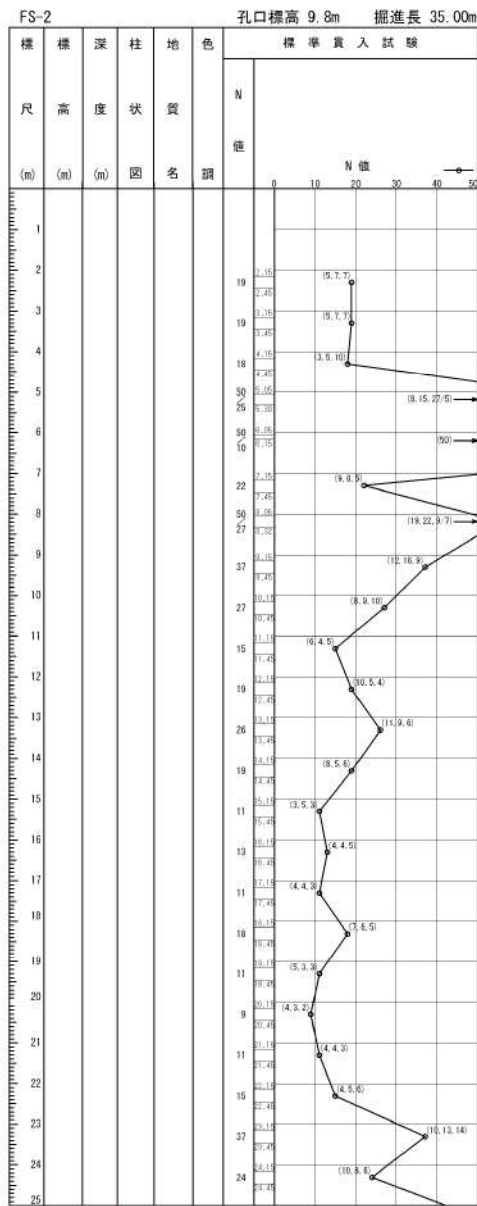
参考 1-24 図(8/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



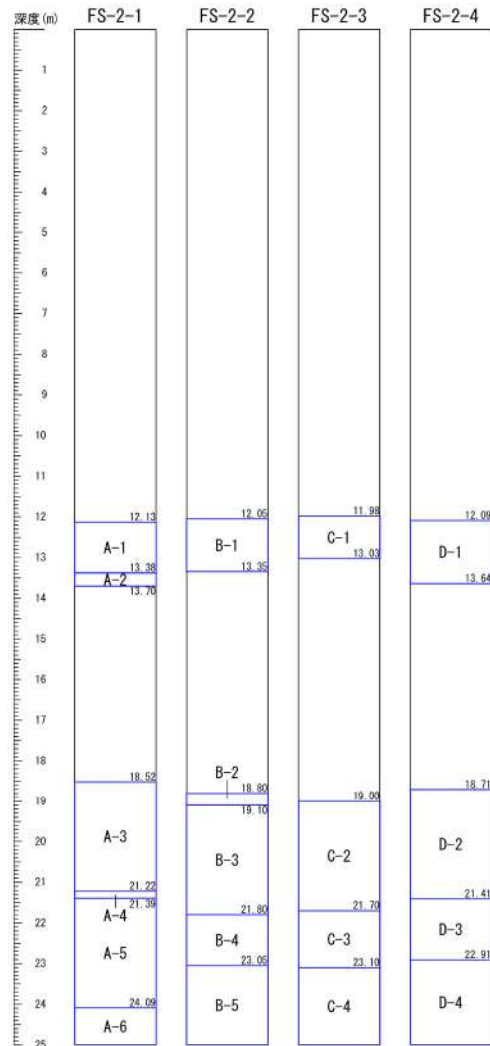
参考 1-24 図(10/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



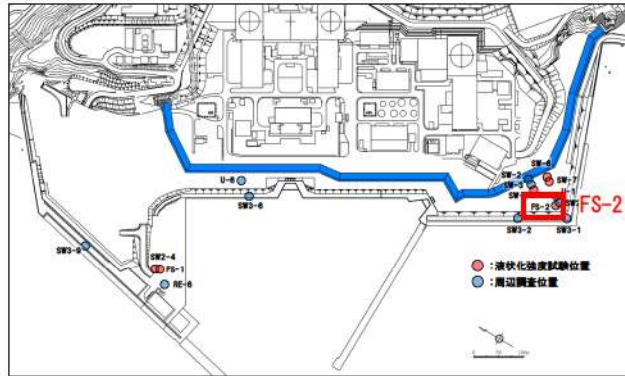
ボーリング平面位置図



※FS-2 は標準貫入試験のみ実施



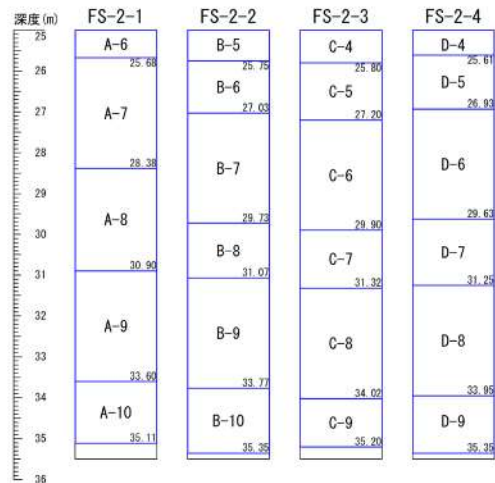
参考 1-34 図(1/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



ボーリング平面位置図

FS-2 孔口標高 9.8m 掘進長 35.00m

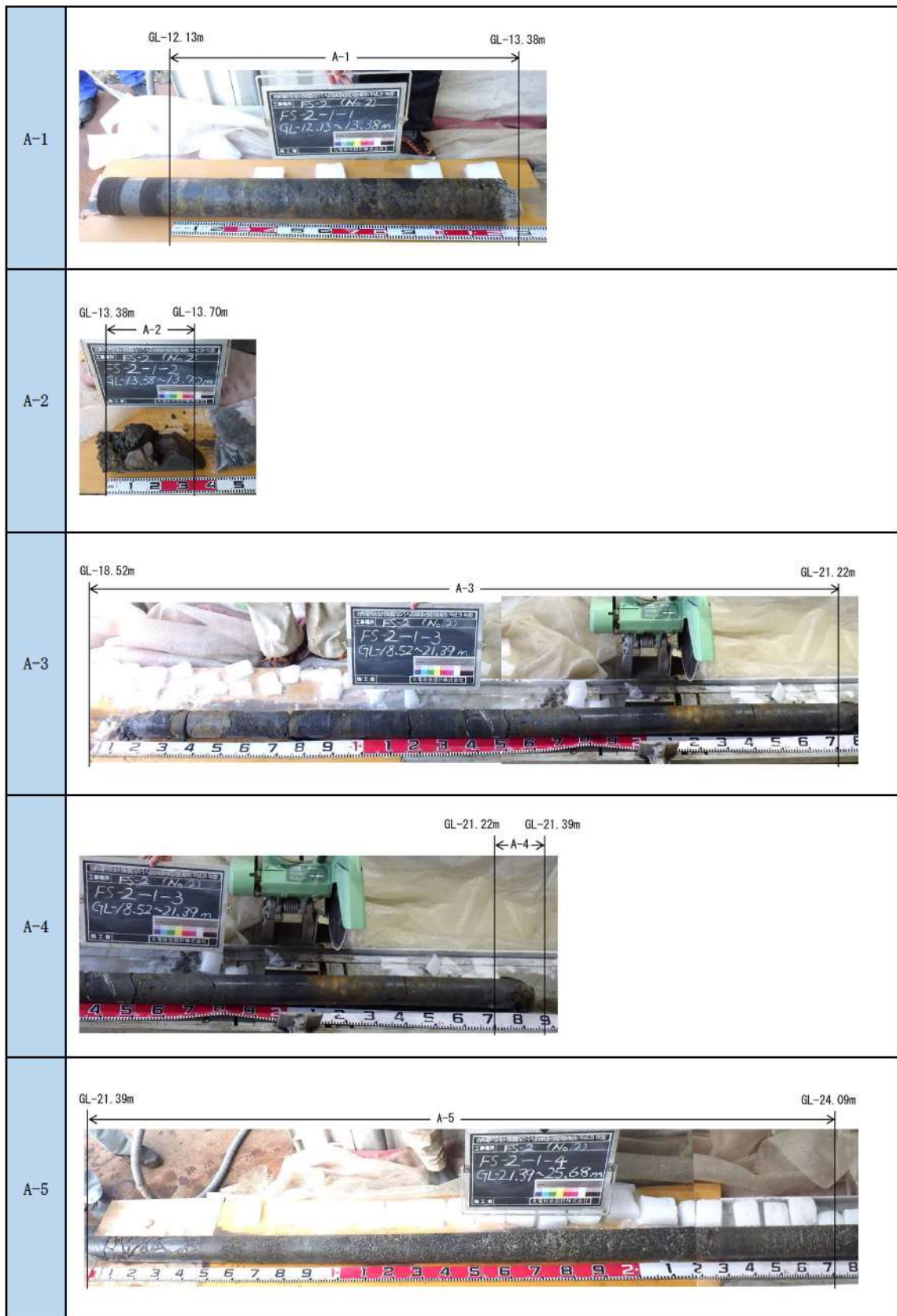
標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	柱状図	地質名	色調	標準貫入試験	
						N 値	N 値
26	25.73	26				19.20	21.11
27	25.46	27				16.27	17.72
28	25.37	28				13.24	15.05
29	25.28	29				2.15	2.77
30	25.11	30				18.22	19.41
31	25.05	31				14.22	14.93
32	24.99	32				13.17	13.93
33	24.92	33				10.20	10.94
34	24.85	34				11.14	11.25
35	24.78	35				7.17	7.22
36	24.71	36				13.24	13.93



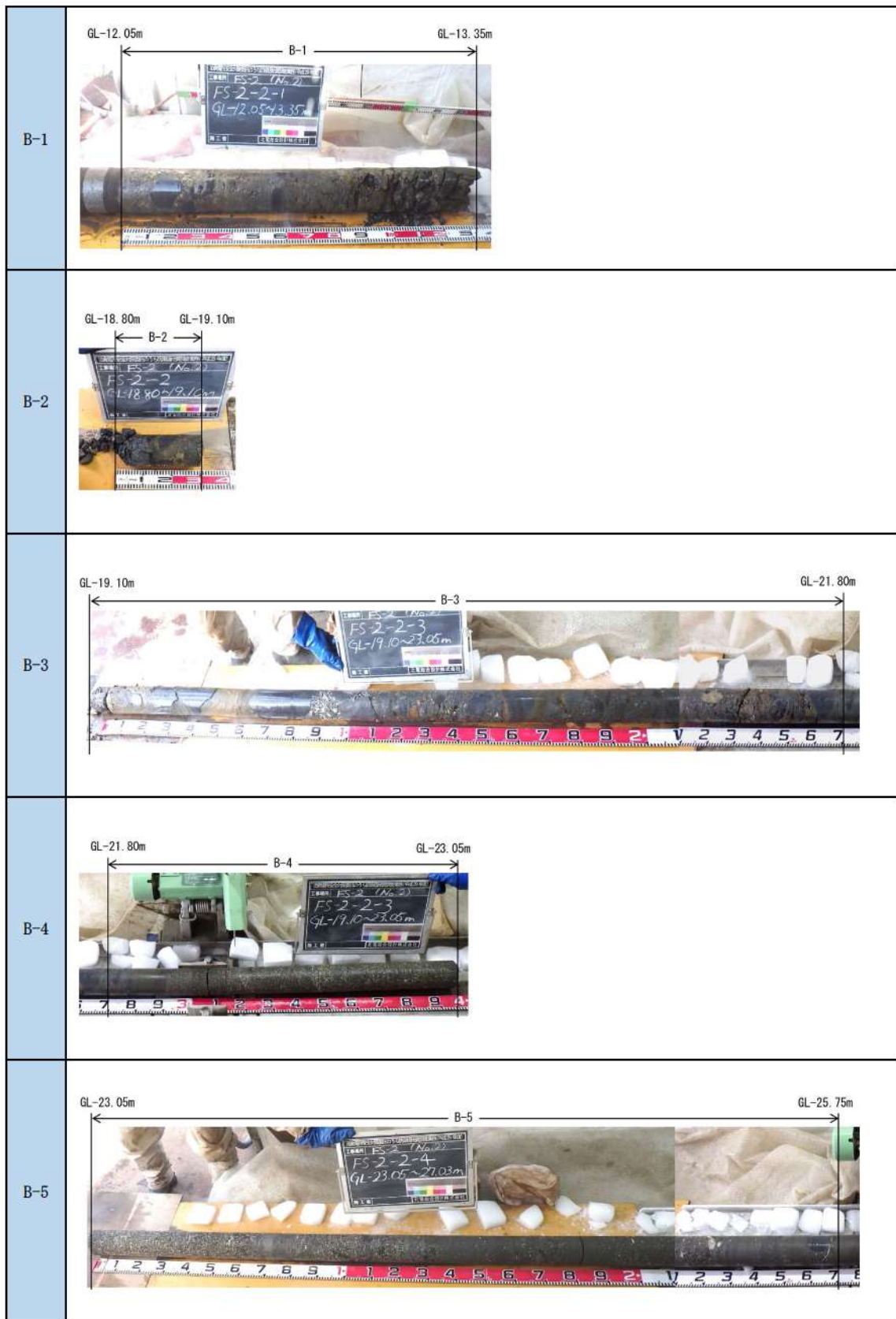
※FS-2 は標準貫入試験のみ実施

□ : サンプル位置

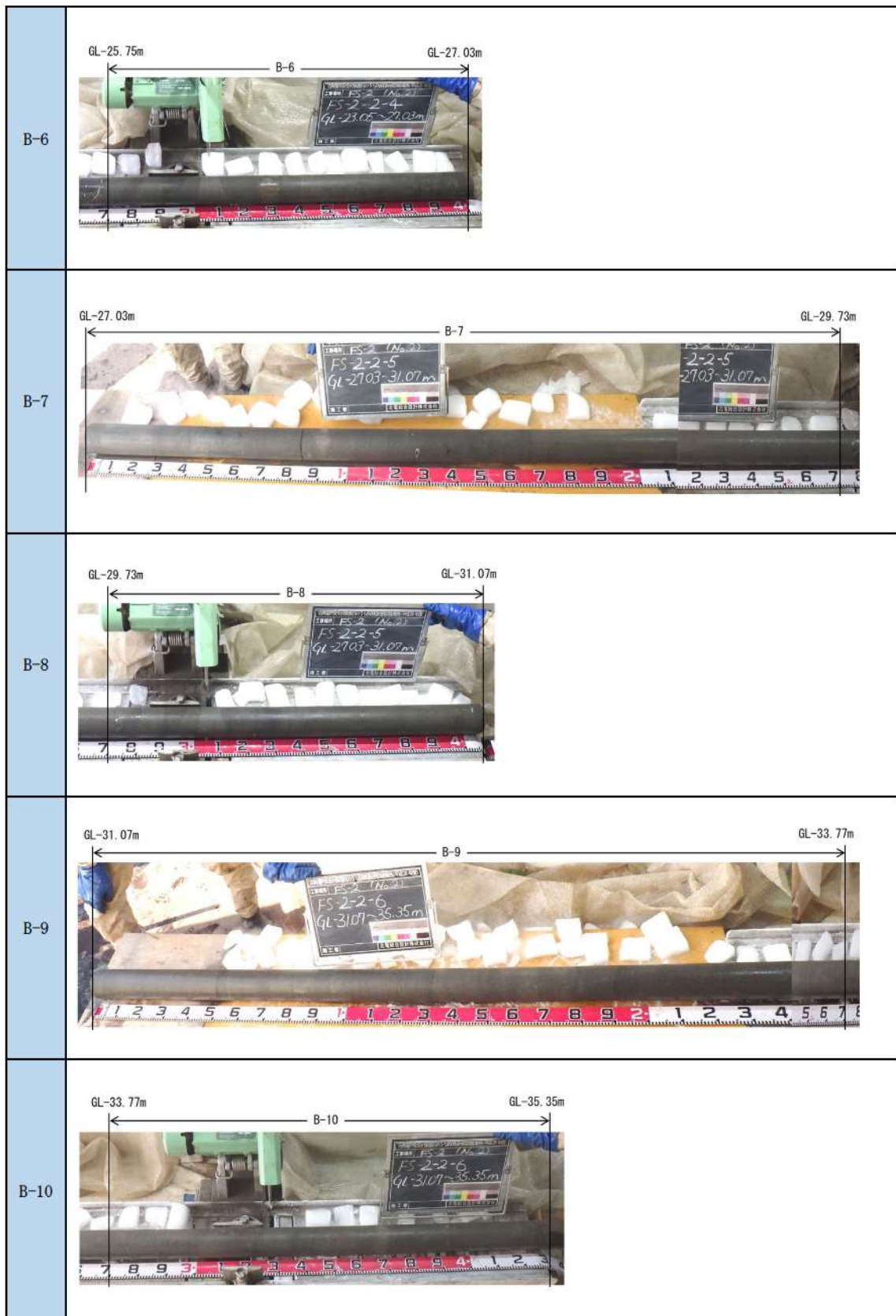
参考 1-34 図(2/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



参考 1-34 図 (3/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



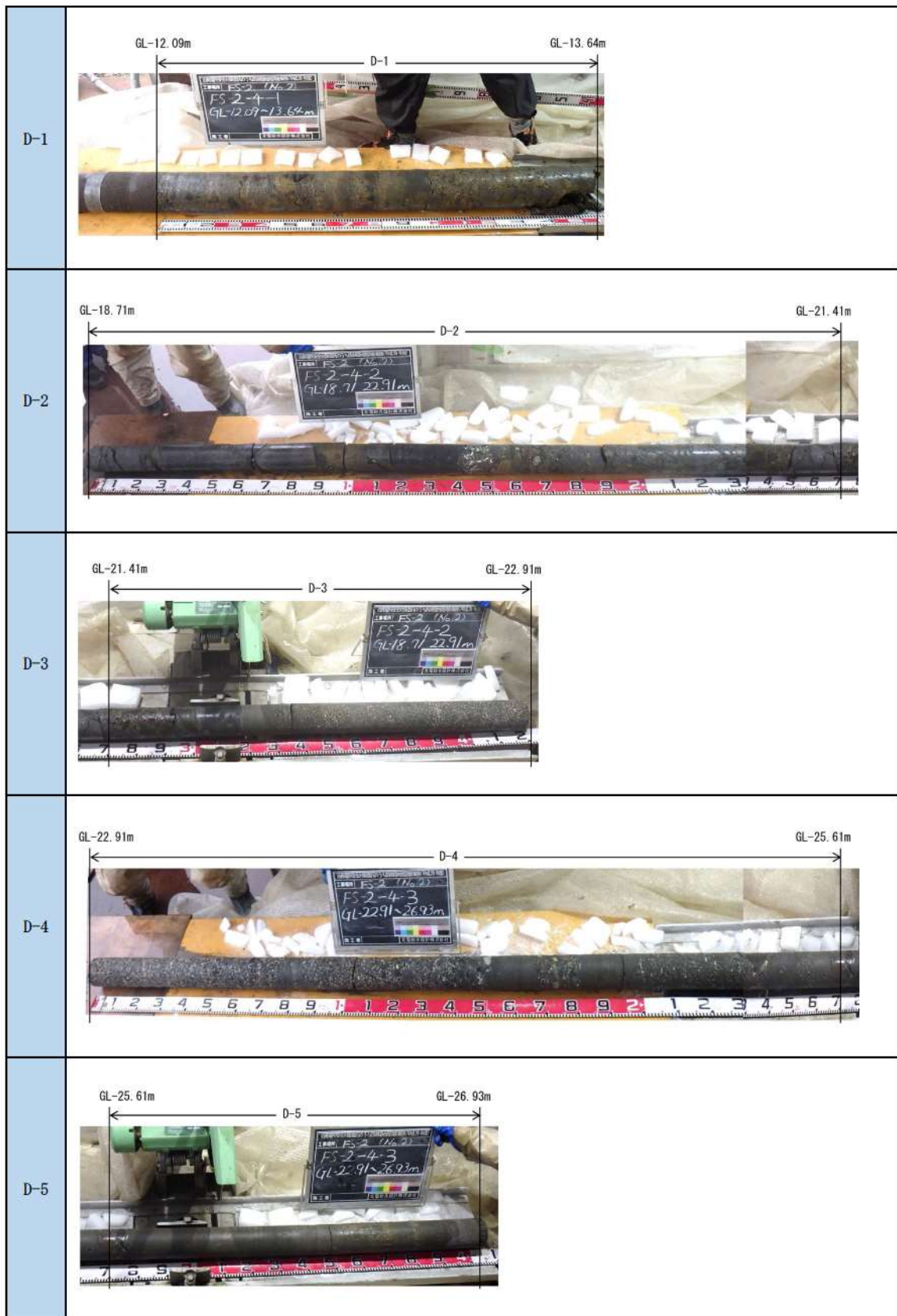
参考 1-34 図 (5/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



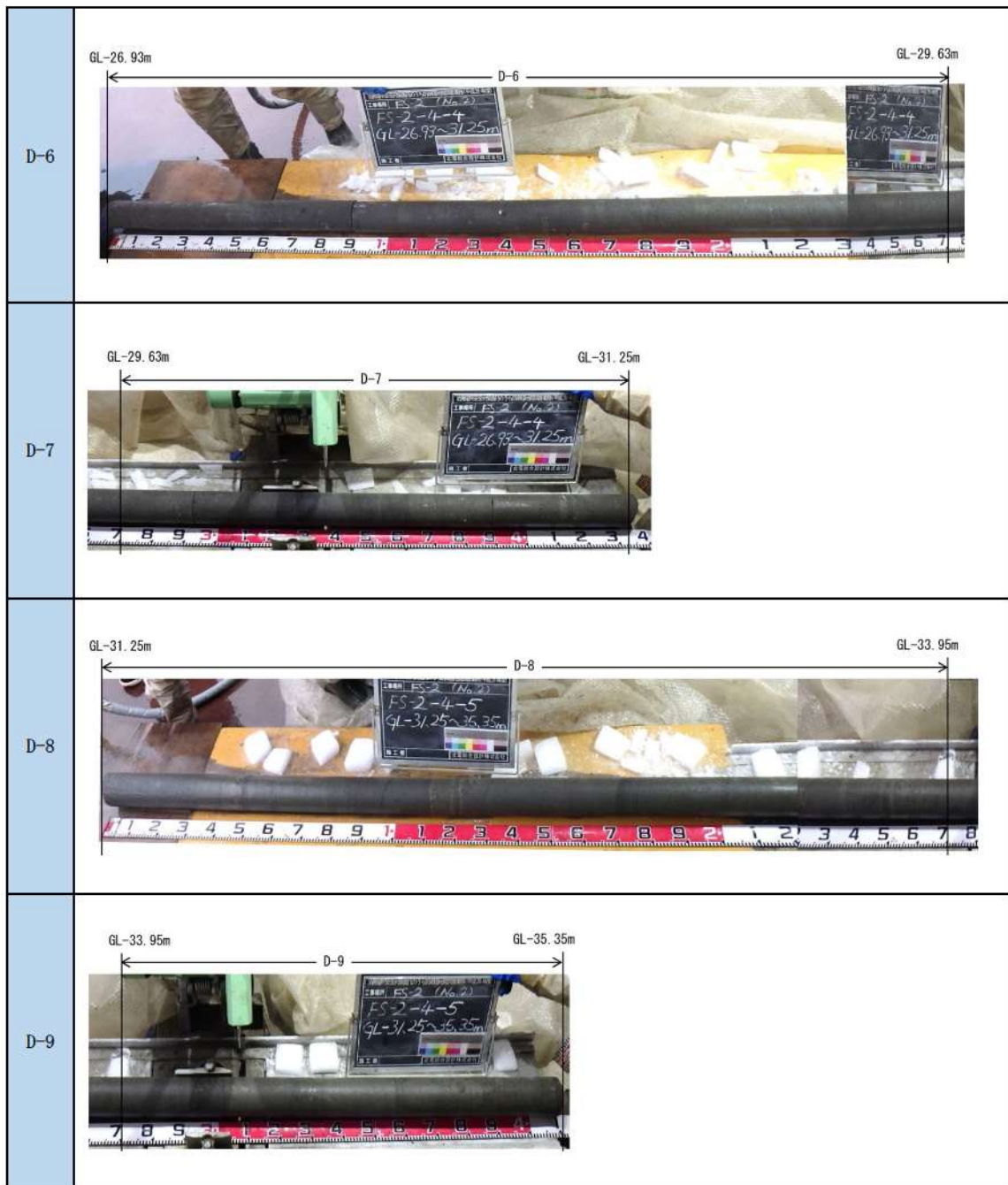
参考 1-34 図(6/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



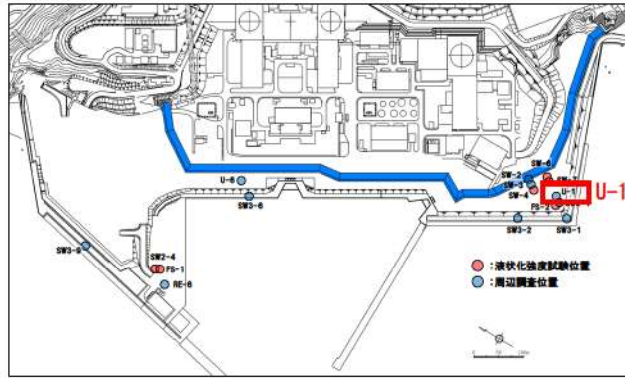
参考 1-34 図(8/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



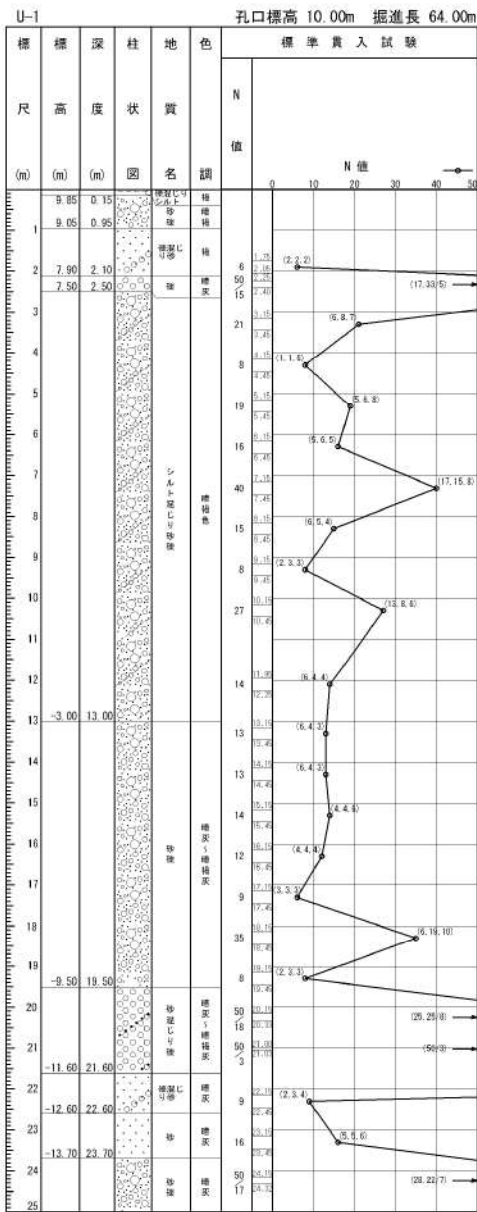
参考 1-34 図(9/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



参考 1-34 図(10/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)

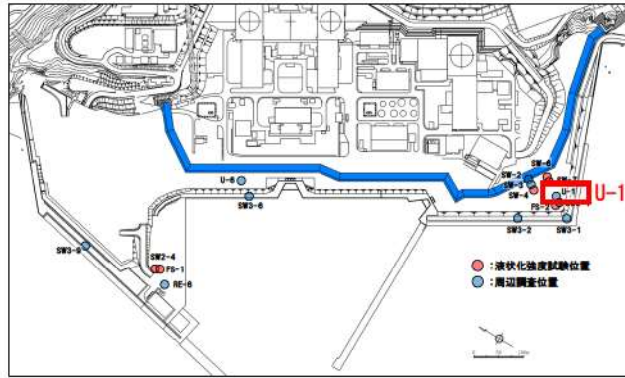


ボーリング平面位置図

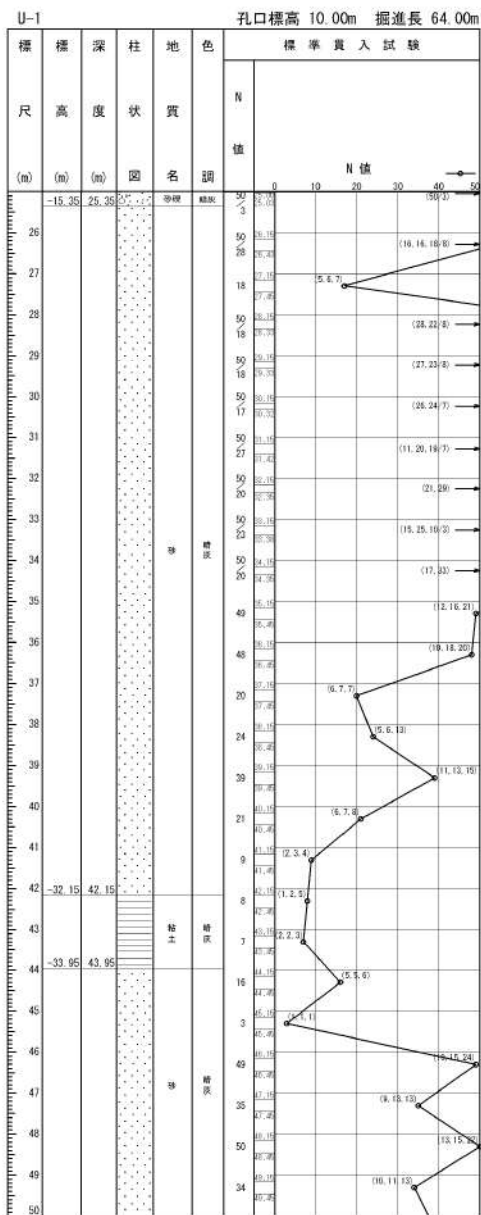


参考 1-41 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (U-1)

4条-別紙9-参 1-98

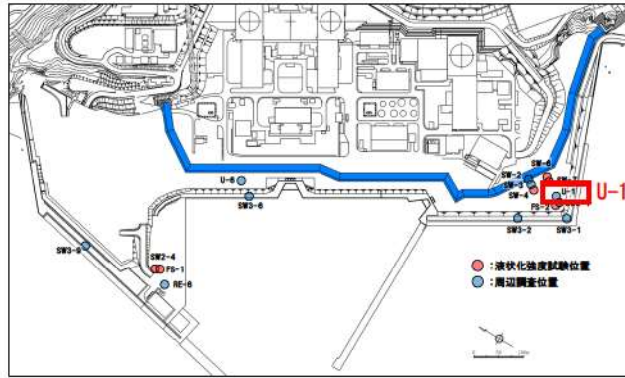


ボーリング平面位置図

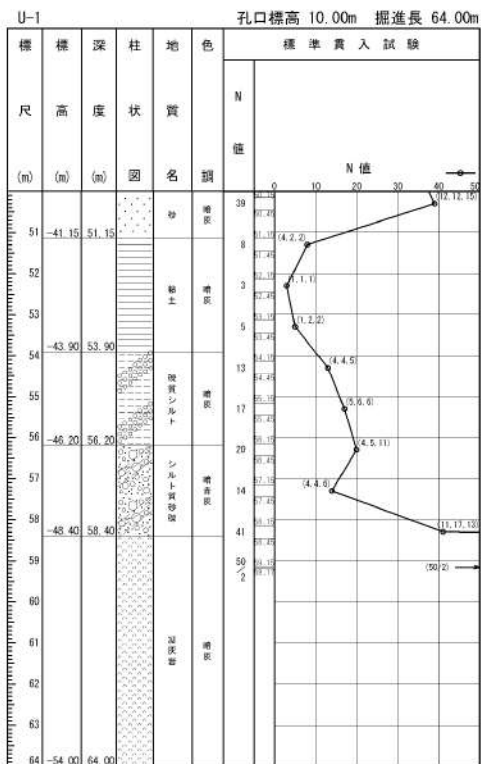


参考 1-41 図(2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (U-1)

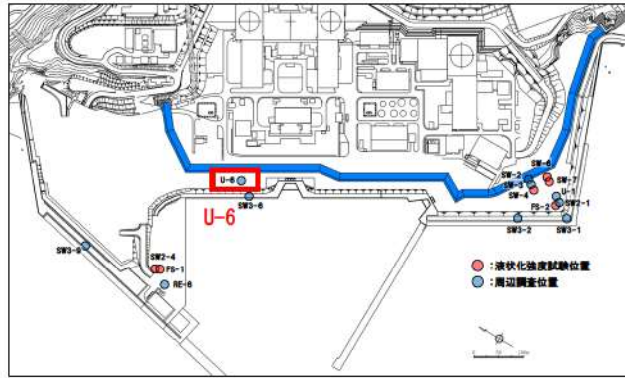
4条-別紙9-参 1-99



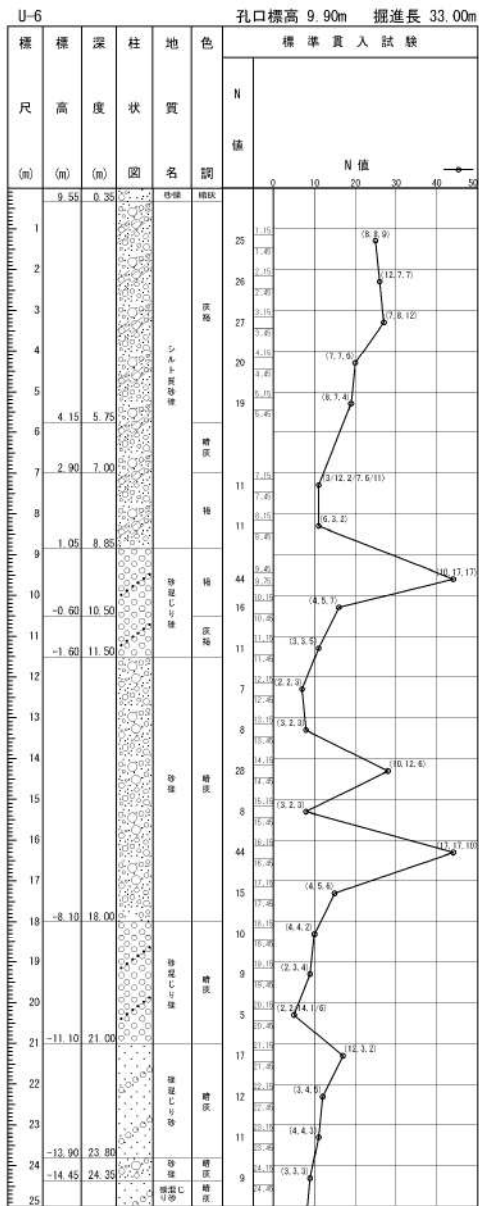
ボーリング平面位置図



参考 1-41 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (U-1)

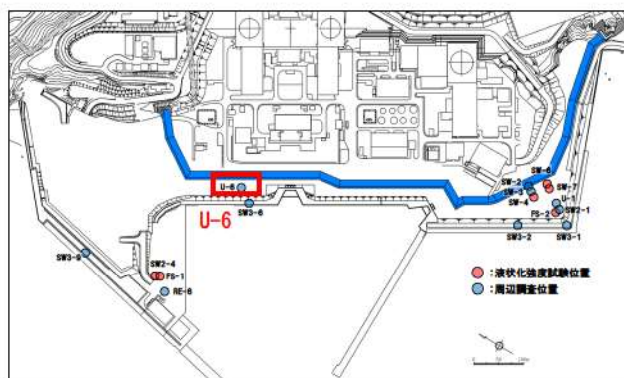


ボーリング平面位置図

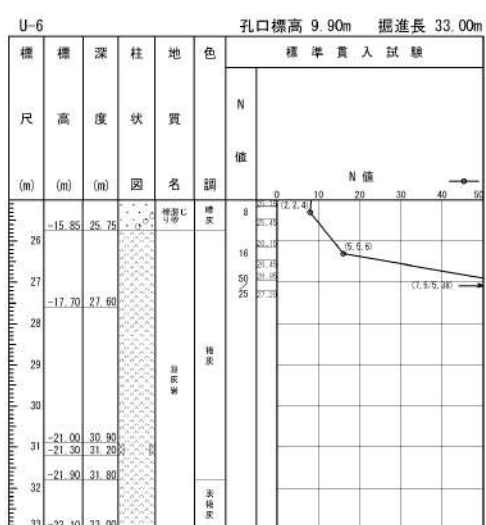


参考 1-42 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (U-6)

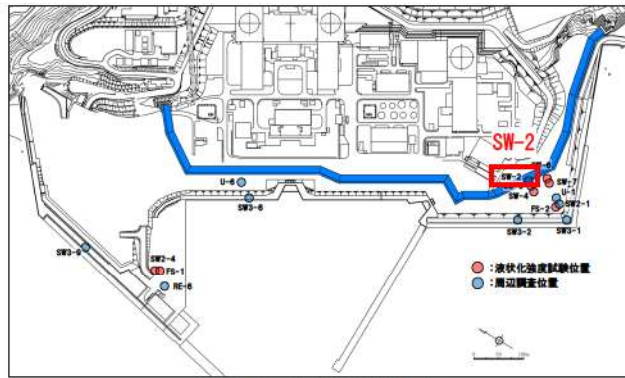
4条-別紙9-参 1-101



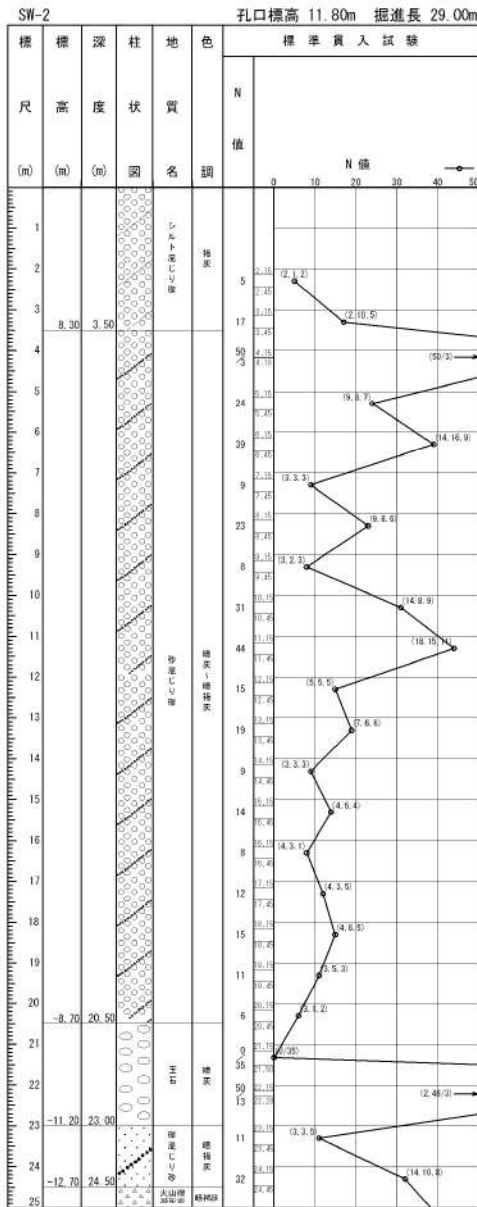
ボーリング平面位置図



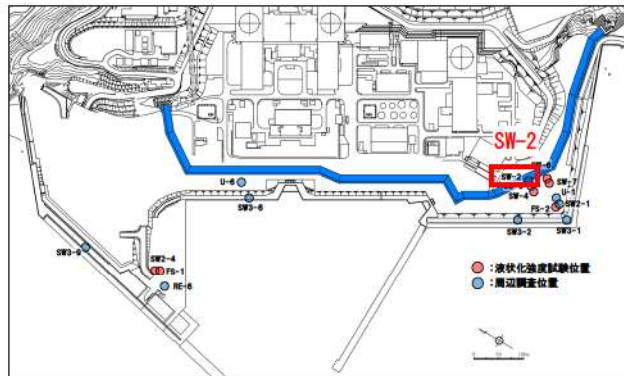
参考 1-42 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (U-6)



ボーリング平面位置図



参考 1-43 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-2)



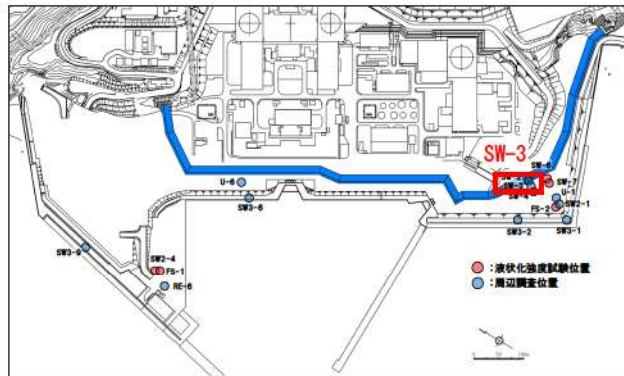
ボーリング平面位置図

SW-2 孔口標高 11.80m 掘進長 29.00m

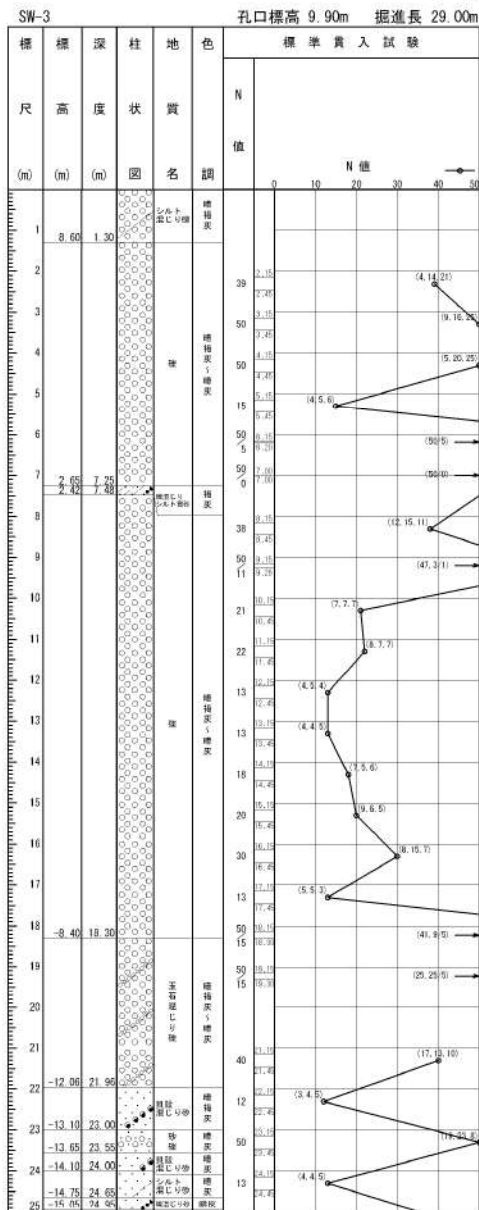
標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	柱状図	地質	色	標準貫入試験	
						N 値	N 値
	-13.70	25.50		市街砂	41	0	0
26				火山噴出物 灰土層	50	0	0
27					50	0	0
28					50	0	0
29	-17.20	29.00			50	0	0



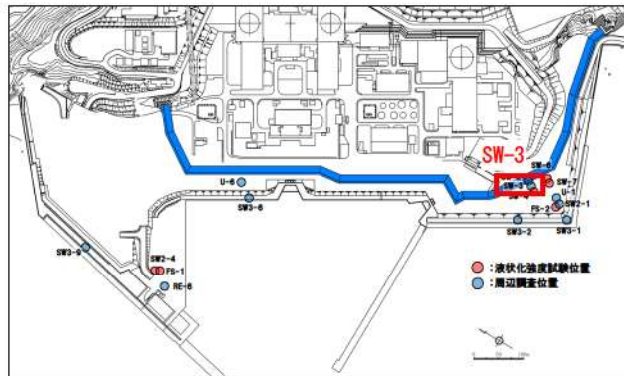
参考 1-43 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-2)



ボーリング平面位置図



参考 1-44 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-3)



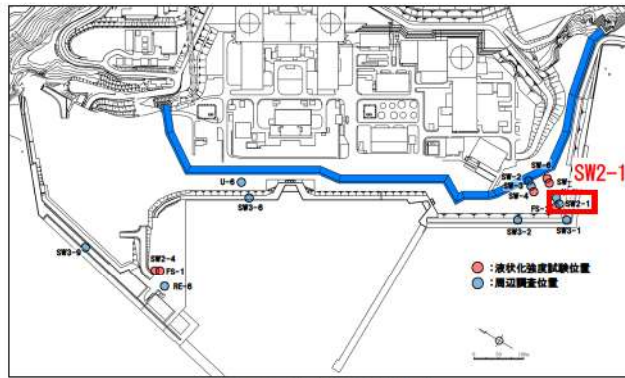
ボーリング平面位置図

SW-3 孔口標高 9.90m 掘進長 29.00m

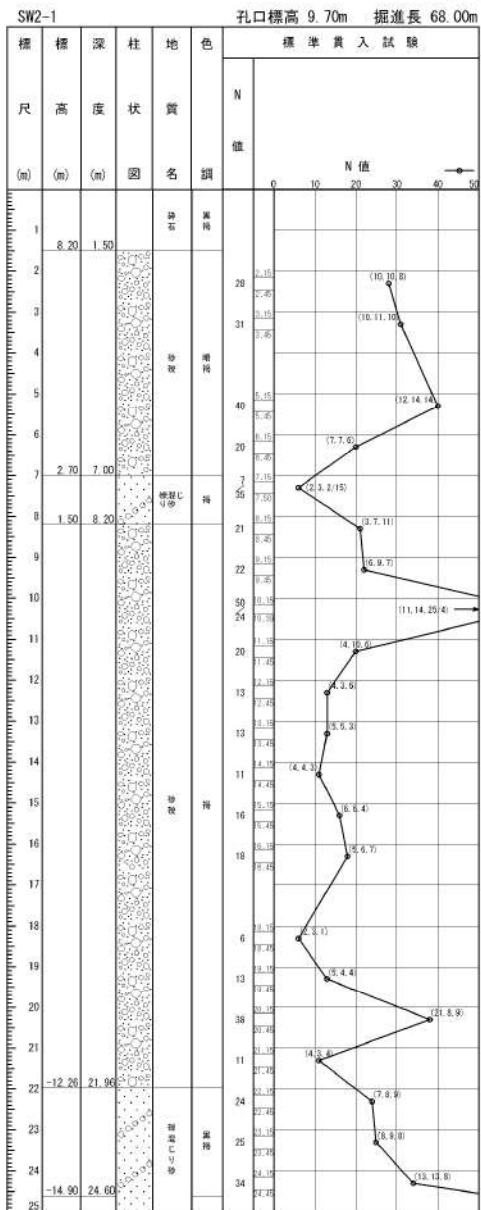
標尺	標高 (m)	深度 (m)	柱状図	地質名	色調	標準貫入試験	
						N 値	N 値
				音成層状火山砕岩灰地	褐色	45	35.1
26	-16.65	26.55					
27	-18.10	28.00					
28	-19.10	29.00					
29	-19.10	29.00					



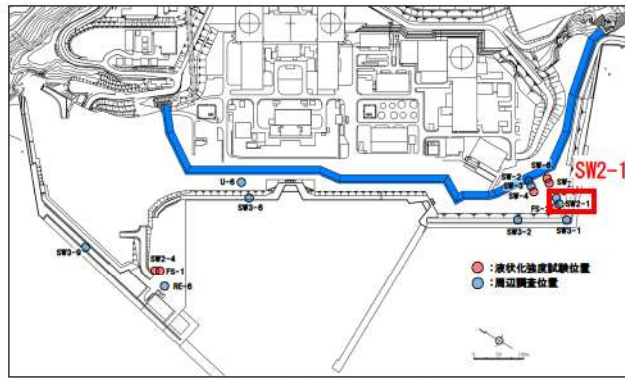
参考 1-44 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-3)



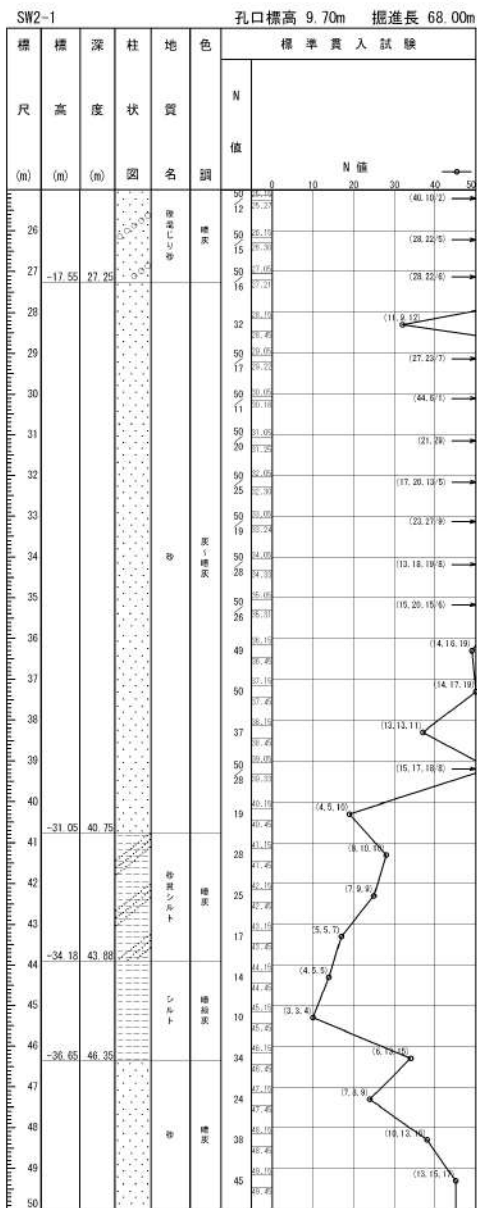
ボーリング平面位置図



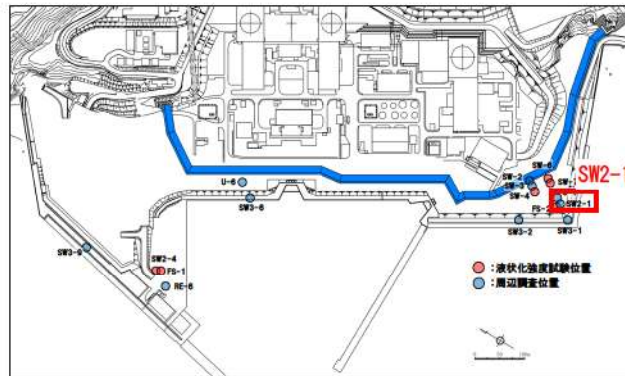
参考 1-45 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-1)



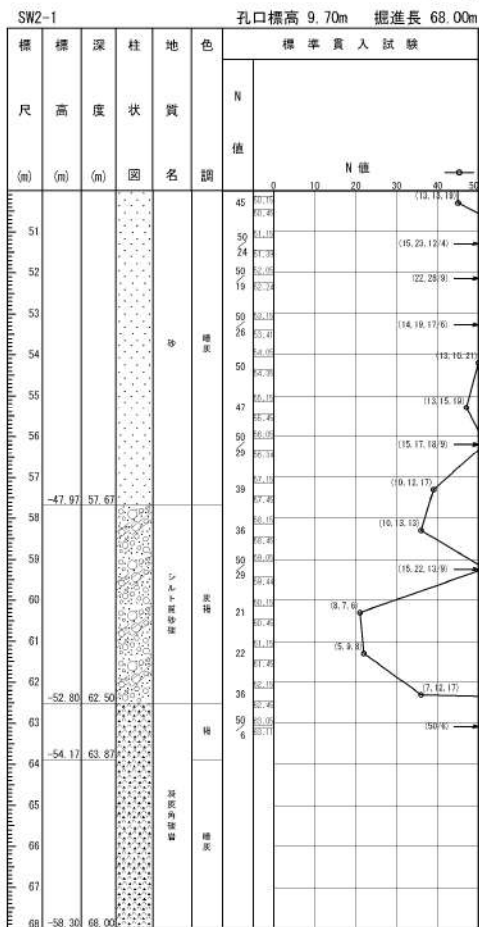
ボーリング平面位置図



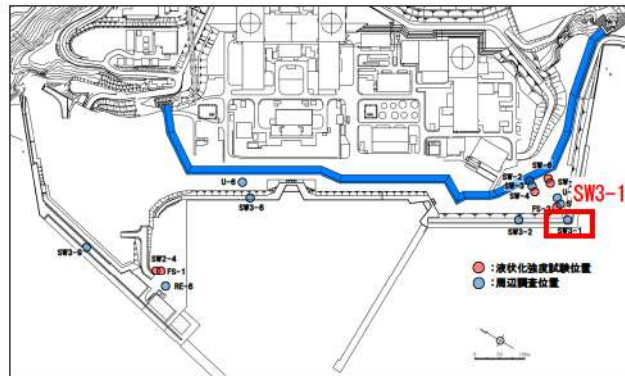
参考 1-45 図 (2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-1)



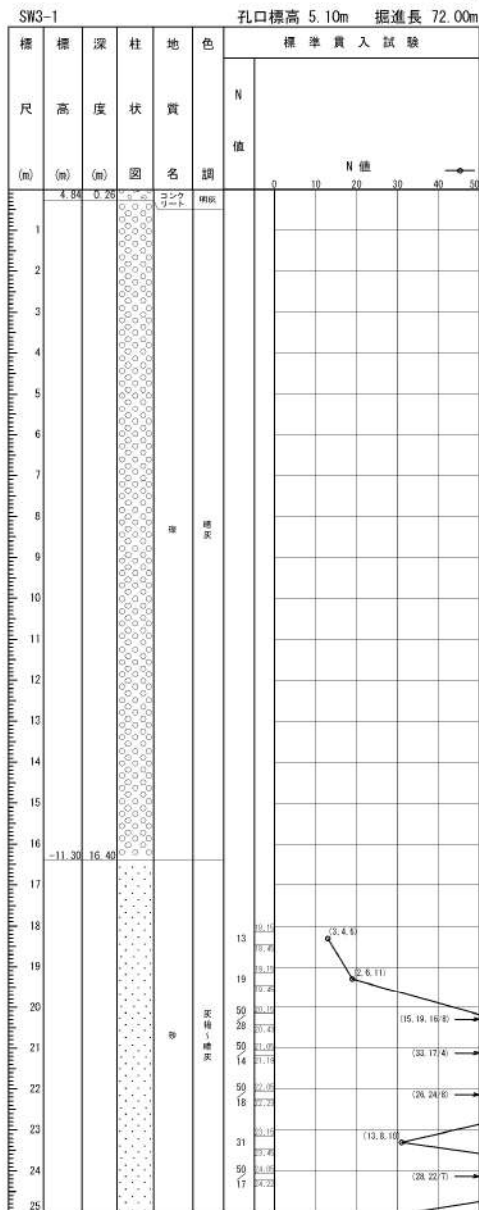
ボーリング平面位置図



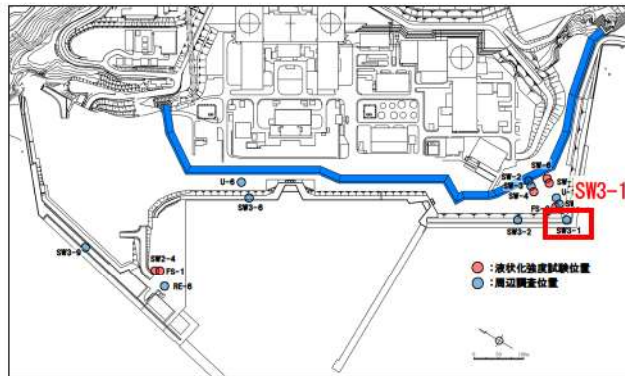
参考 1-45 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-1)



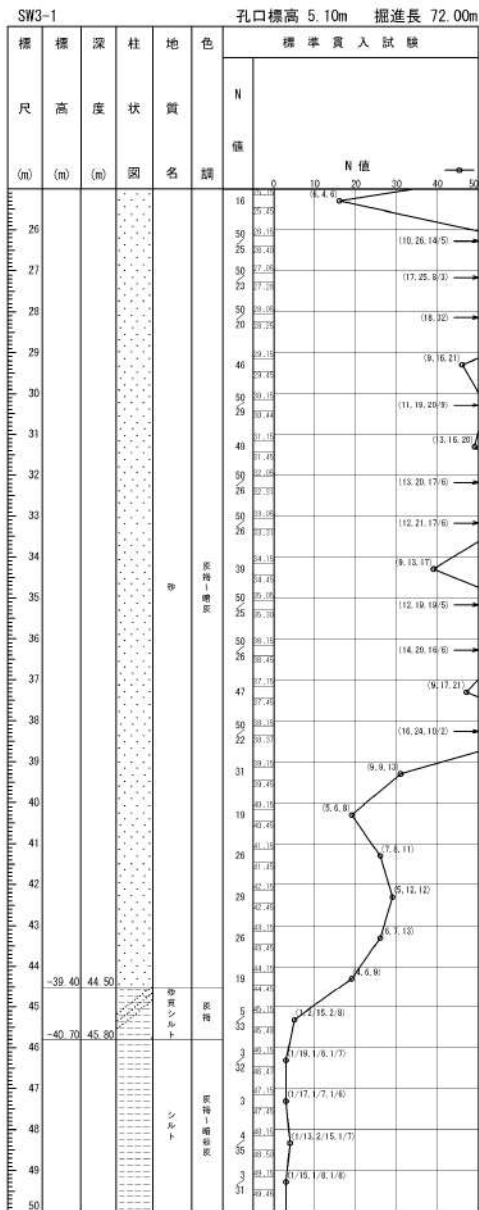
ボーリング平面位置図



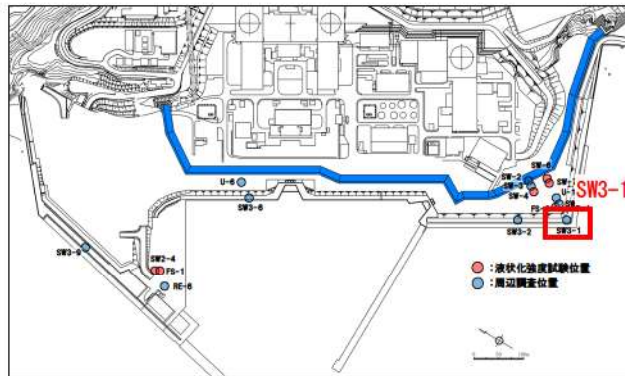
参考 1-46 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW3-1)



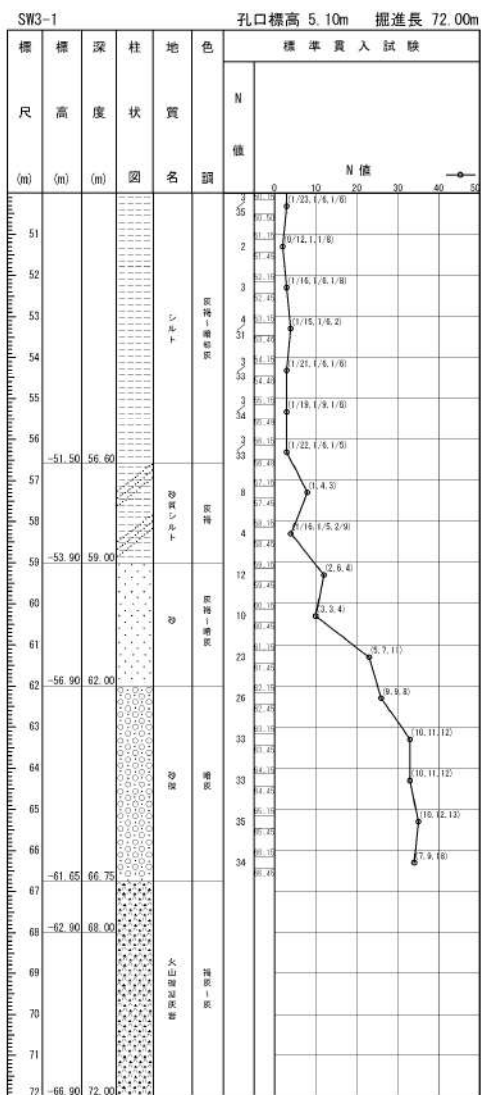
ボーリング平面位置図



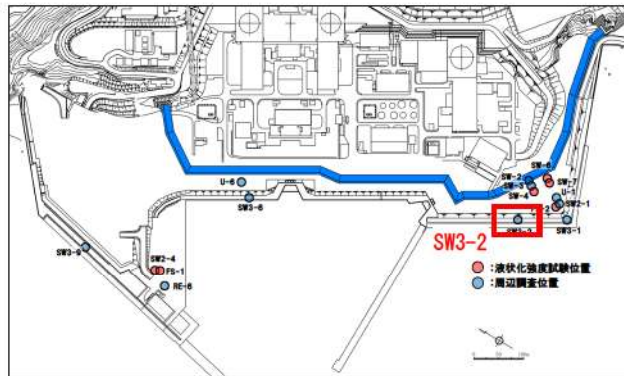
参考 1-46 図(2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW3-1)



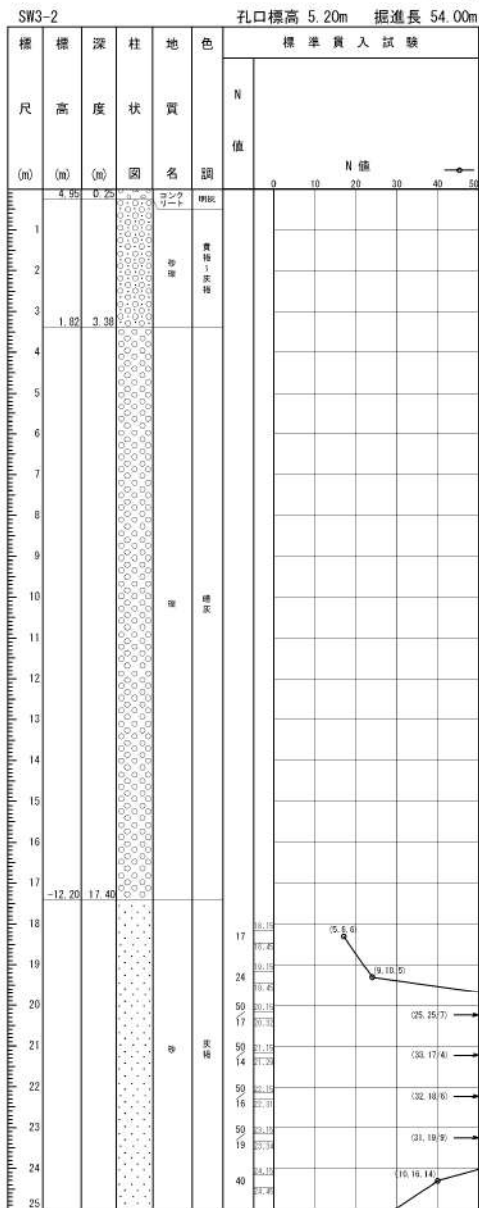
ボーリング平面位置図



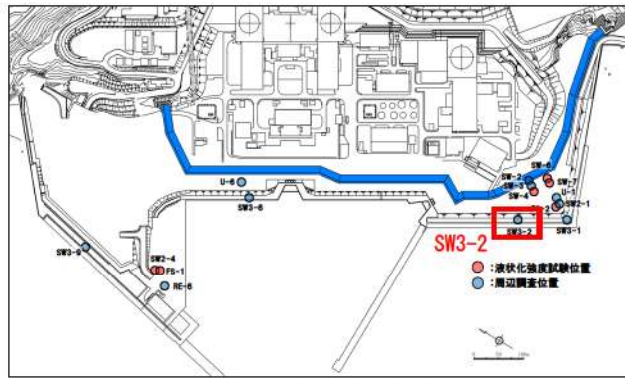
参考 1-46 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW3-1)



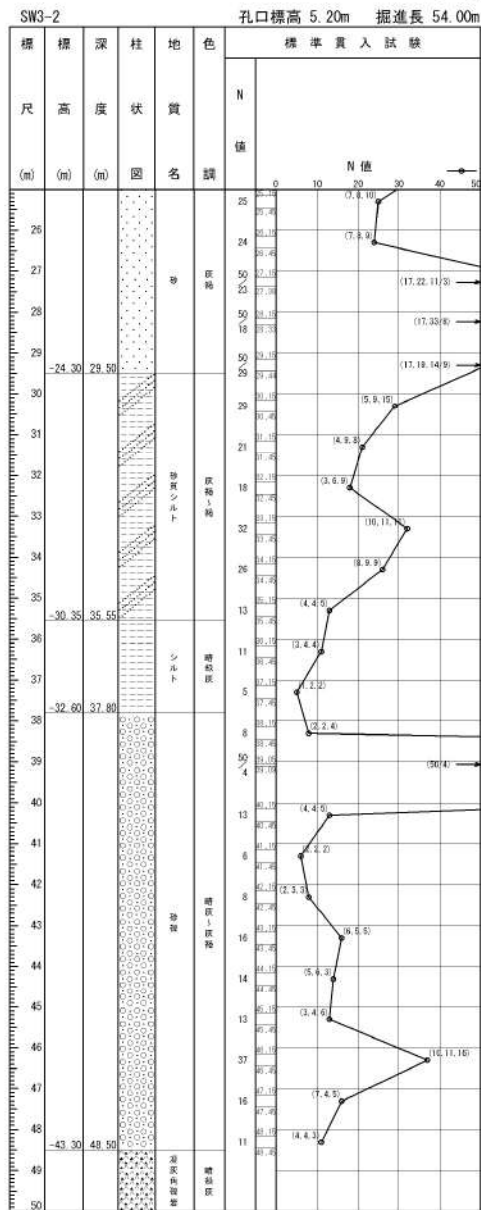
ボーリング平面位置図



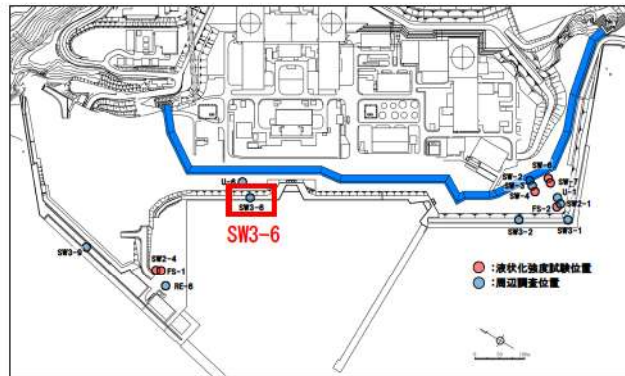
参考 1-47 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW3-2)



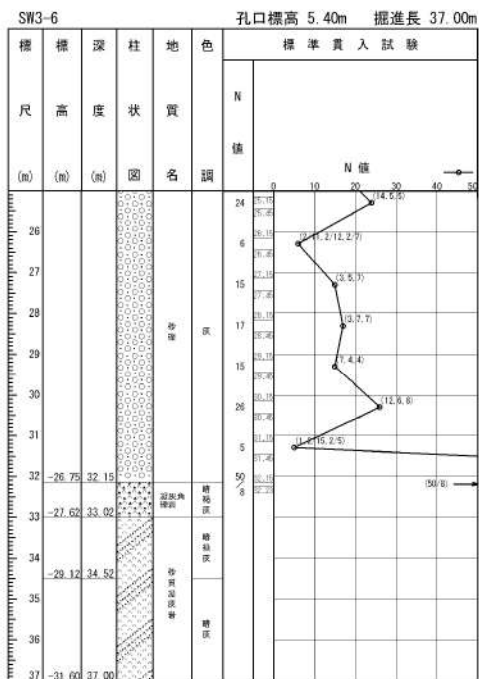
ボーリング平面位置図



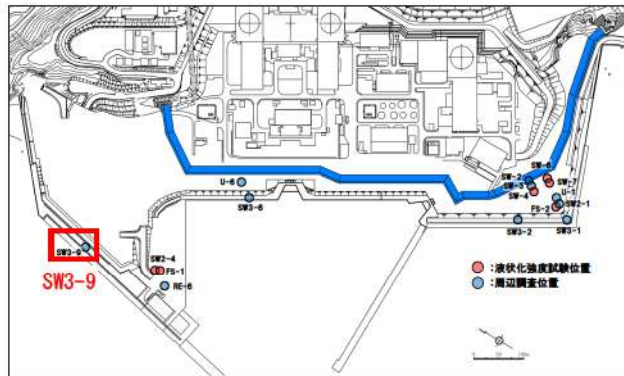
参考 1-47 図 (2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW3-2)



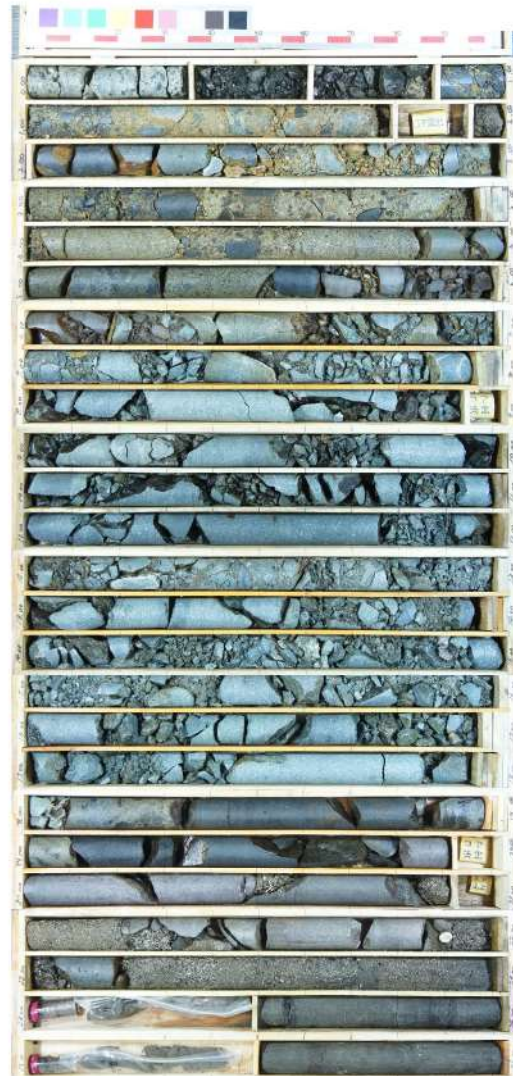
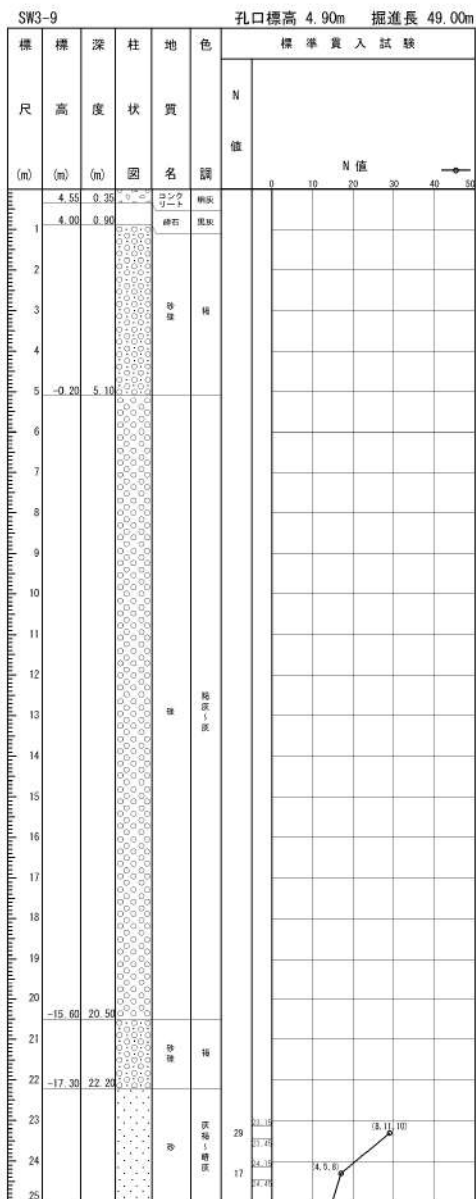
ボーリング平面位置図



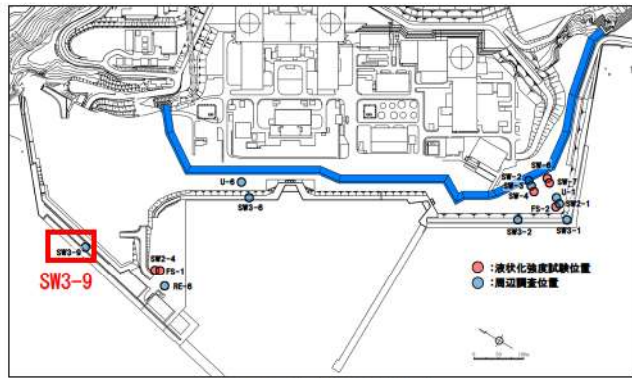
参考 1-48 図 (2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW3-6)



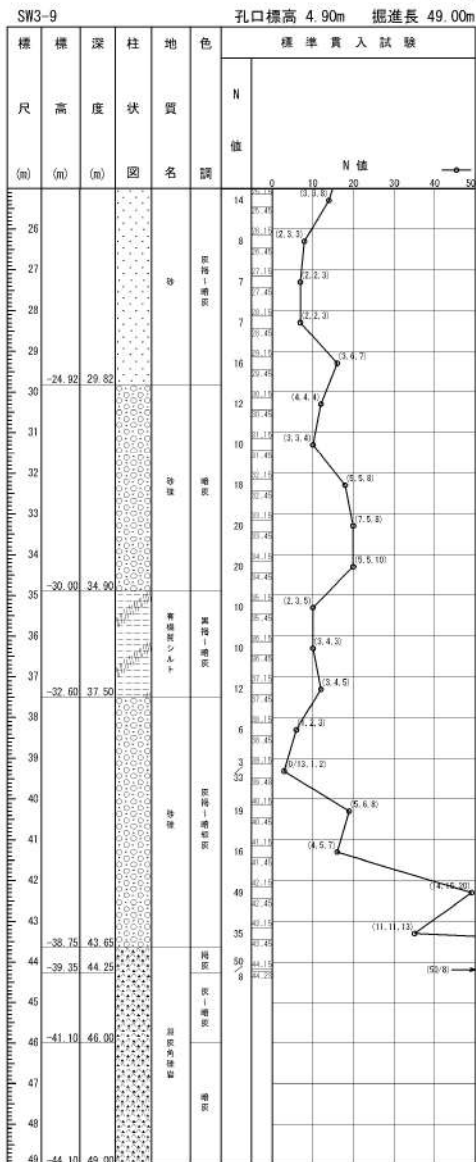
ボーリング平面位置図



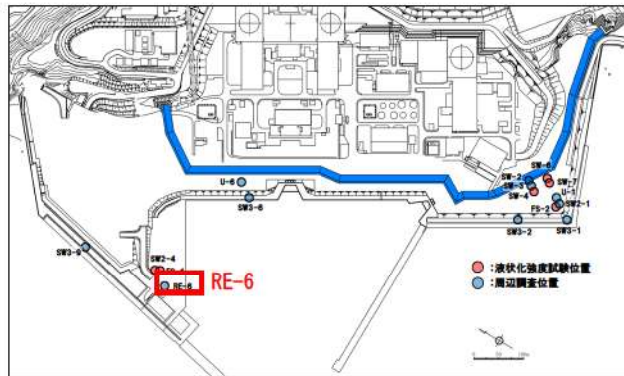
参考 1-49 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW3-9)



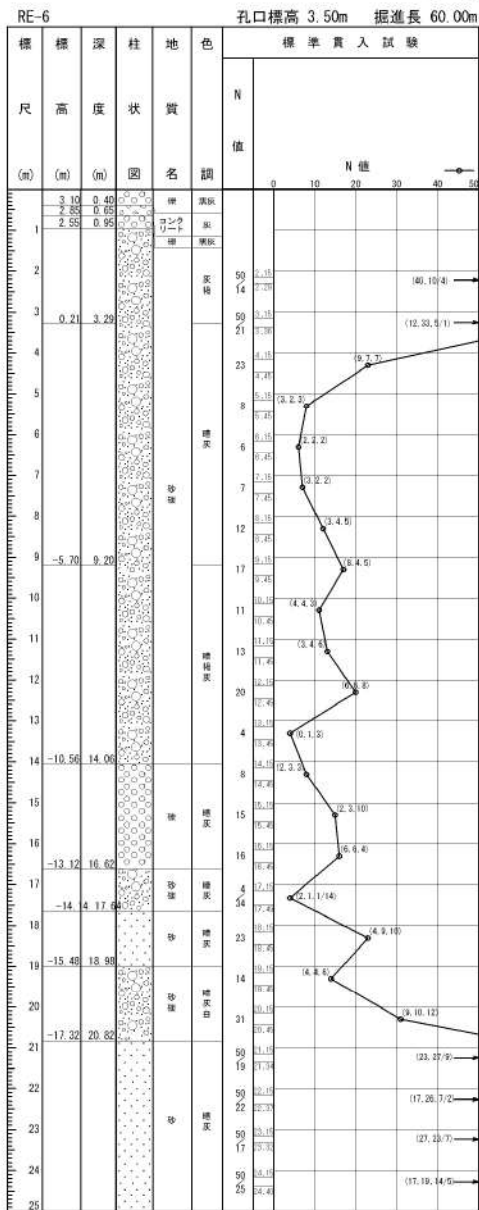
ボーリング平面位置図



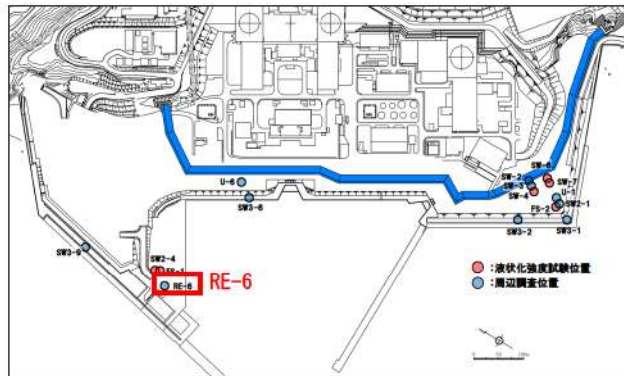
参考 1-49 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW3-9)



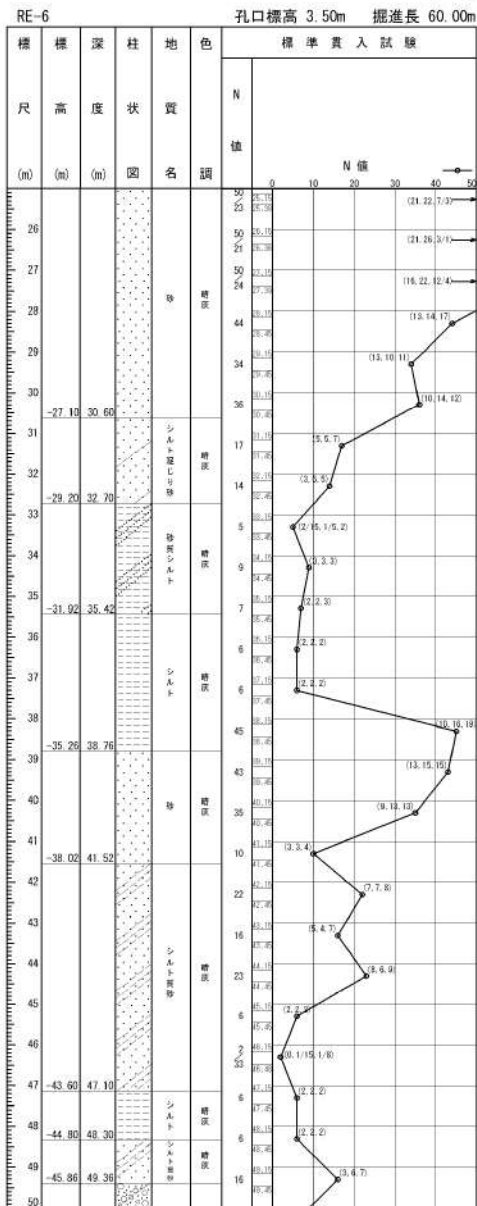
ボーリング平面位置図



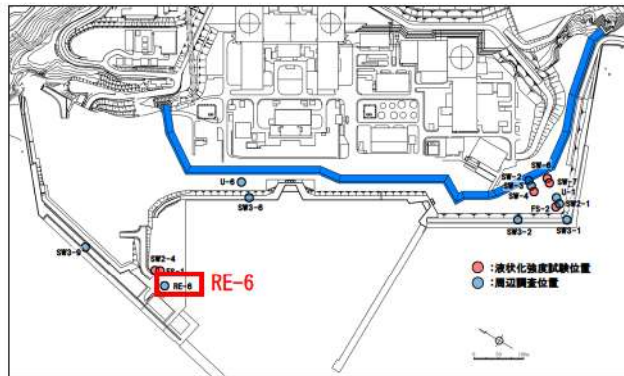
参考 1-50 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (RE-6)



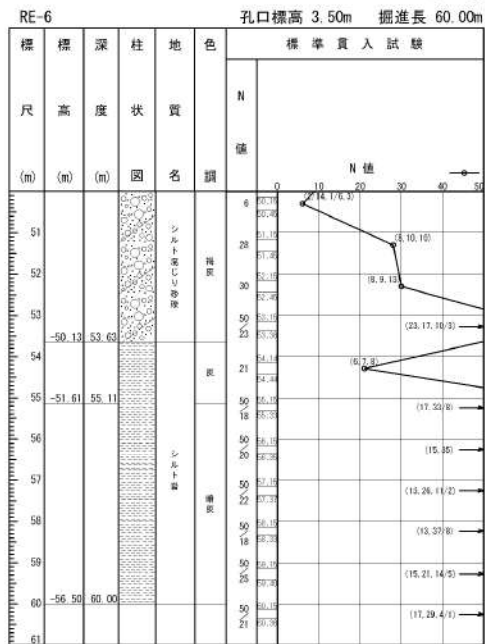
ボーリング平面位置図



参考 1-50 図(2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (RE-6)



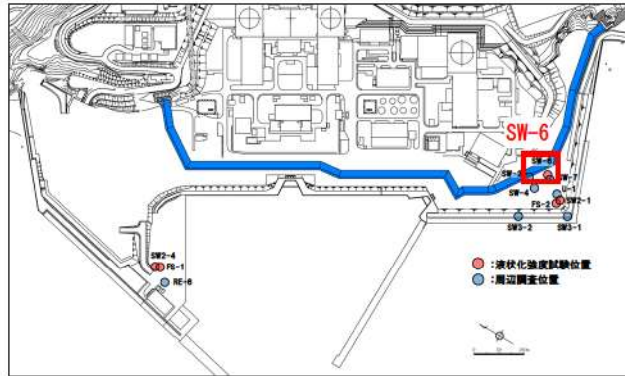
ボーリング平面位置図



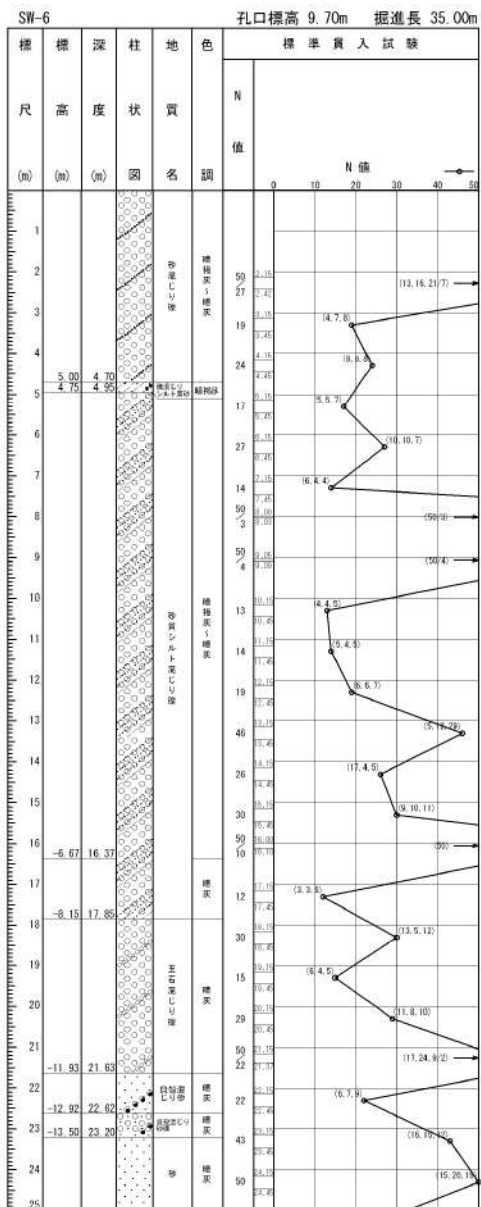
参考 1-50 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (RE-6)

1. 埋戻土・砂層のボーリング柱状図・コア写真

(4) As2 層のボーリング柱状図・コア写真

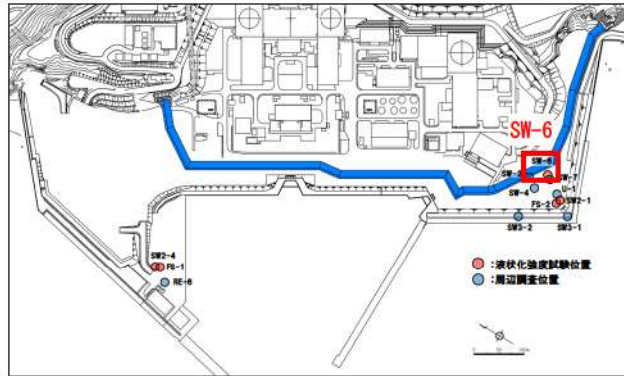


ボーリング平面位置図

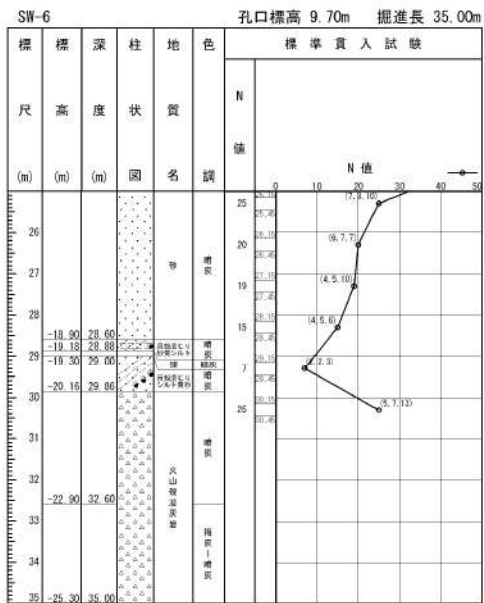


参考 1-51 図(1/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-6)

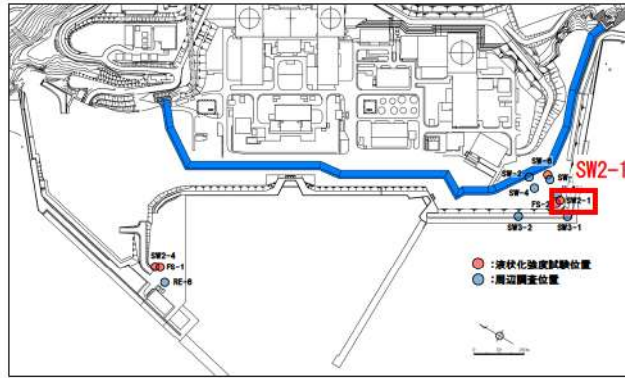
4条-別紙9-参 1-124



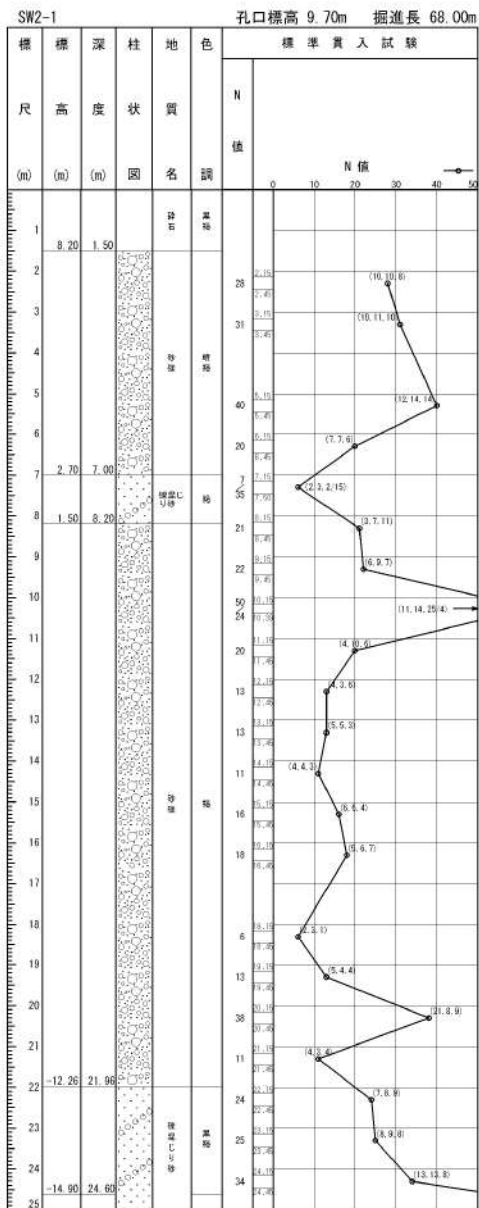
ボーリング平面位置図



参考 1-51 図(2/2) ボーリング柱状図・コア写真 (SW-6)

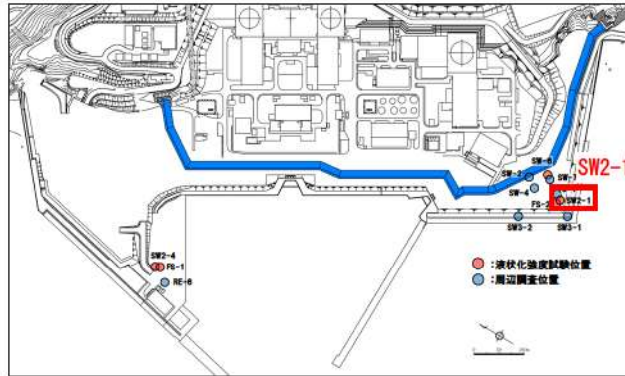


ボーリング平面位置図

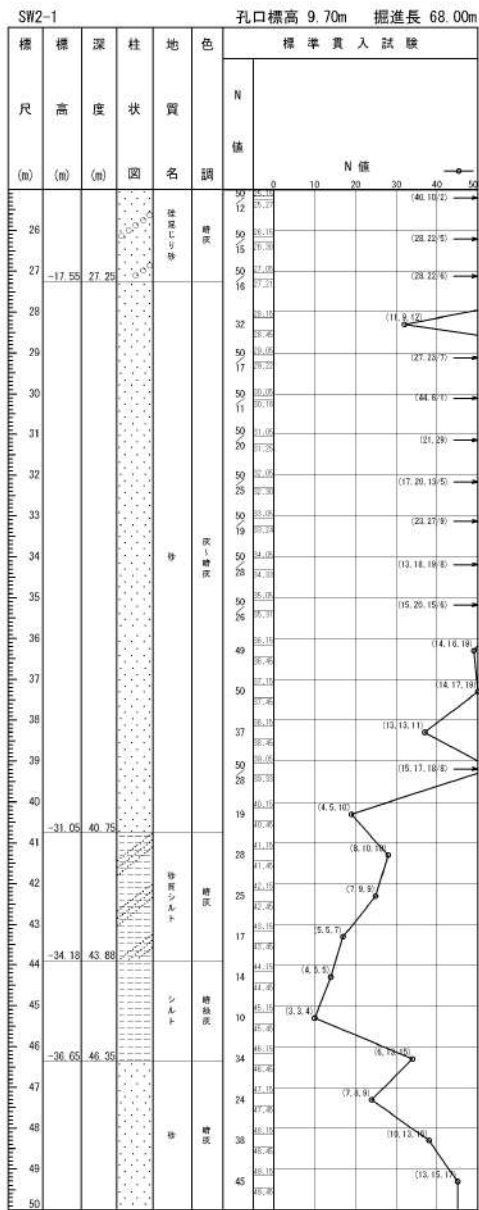


参考 1-52 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-1)

4 条-別紙 9-参 1-126

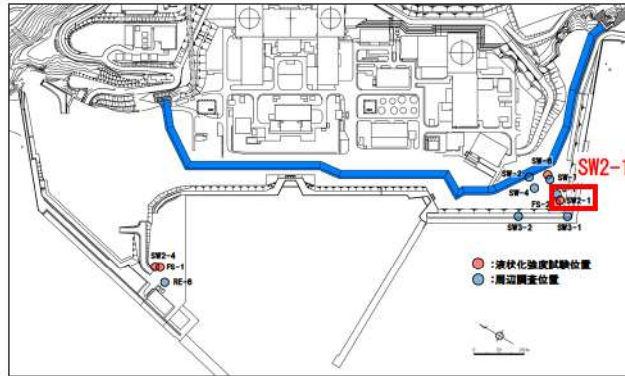


ボーリング平面位置図

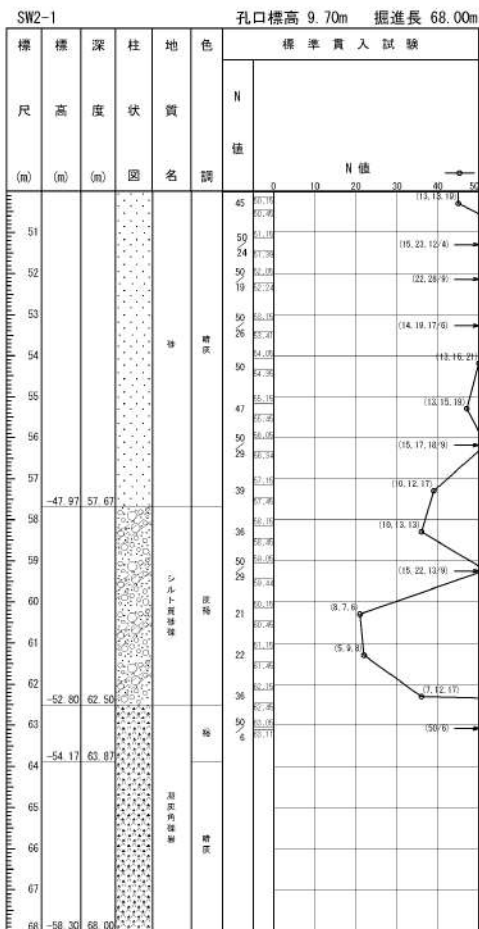


参考 1-52 図(2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-1)

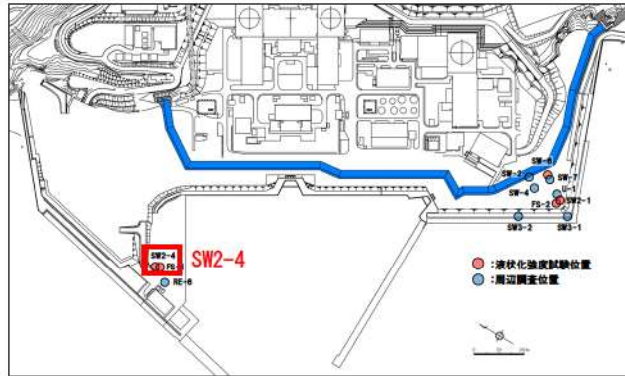
4条-別紙9-参 1-127



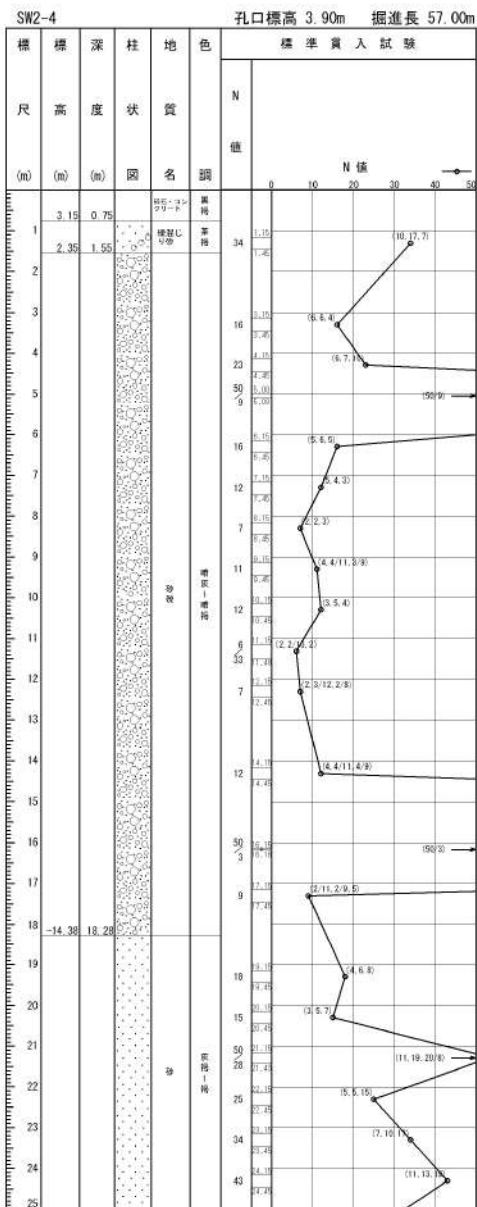
ボーリング平面位置図



参考 1-52 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-1)

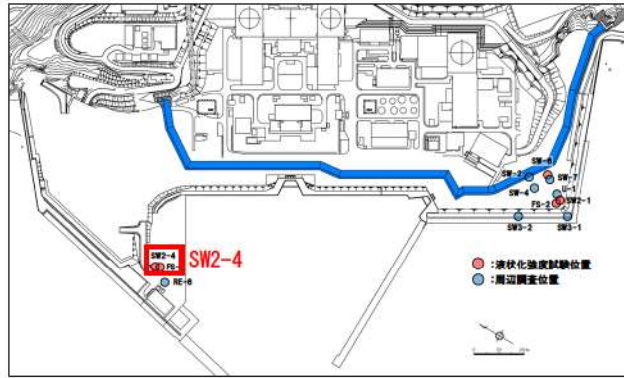


ボーリング平面位置図

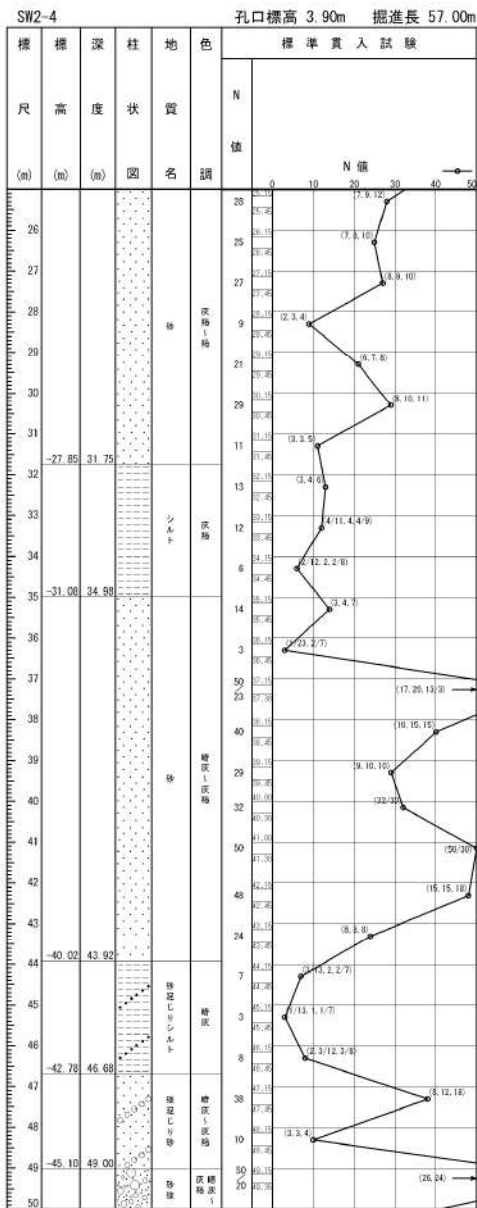


参考 1-53 図(1/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-4)

4 条-別紙 9-参 1-129

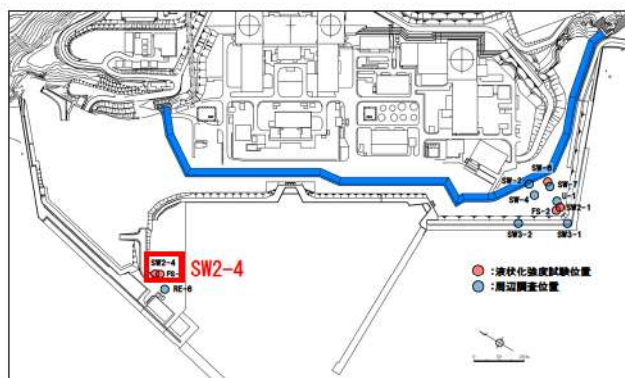


ボーリング平面位置図



参考 1-53 図(2/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-4)

4条-別紙9-参 1-130



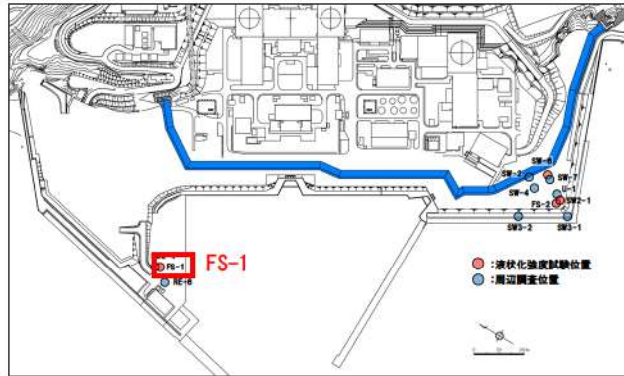
ボーリング平面位置図

SW2-4 孔口標高 3.90m 掘進長 57.00m

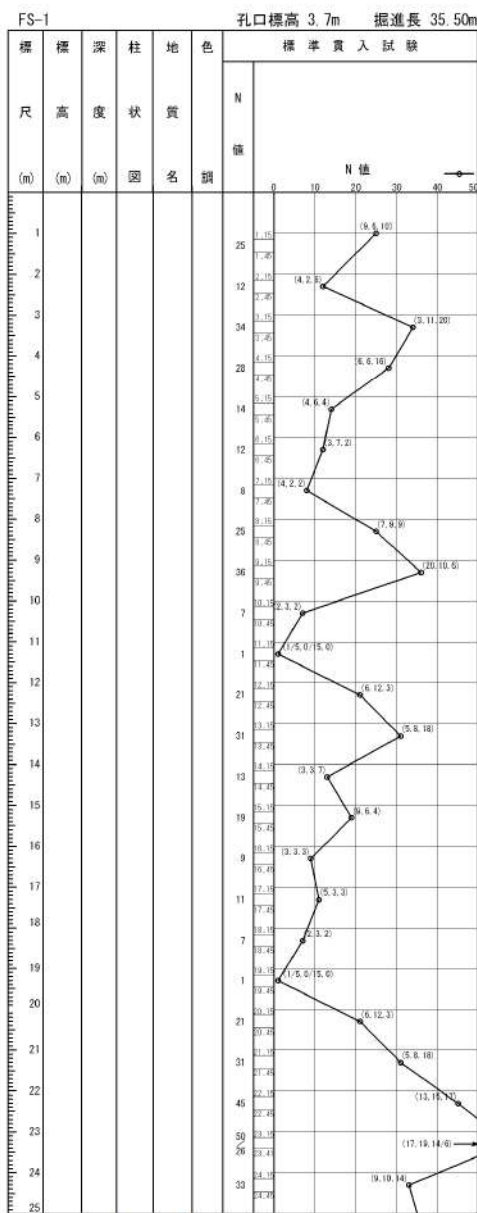
標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	柱状	地質	色調	標準貫入試験	
						N 値	N 値
51			砂	中砂	28	28.0	
52	-48.31	52.21	砂	中砂	13	13.0	(36.15/2)
53	-49.10	53.00	砂	中砂	12	12.0	(42.8/2)
54			砂	中砂			
55	-50.85	54.75	砂	中砂			
56			砂	中砂			
57	-53.10	57.00	砂	中砂			



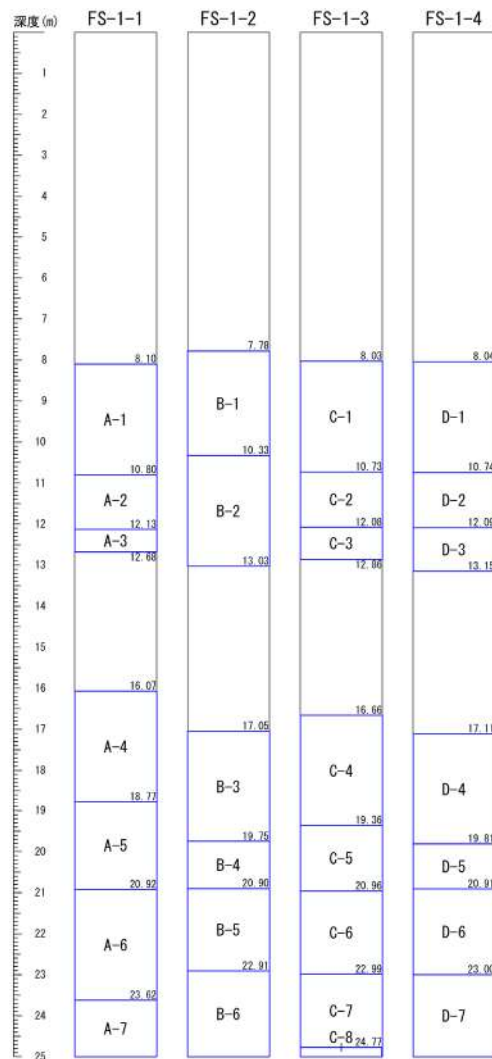
参考 1-53 図(3/3) ボーリング柱状図・コア写真 (SW2-4)



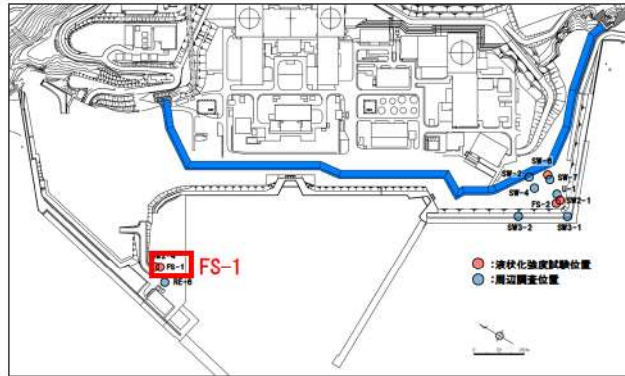
ボーリング平面位置図



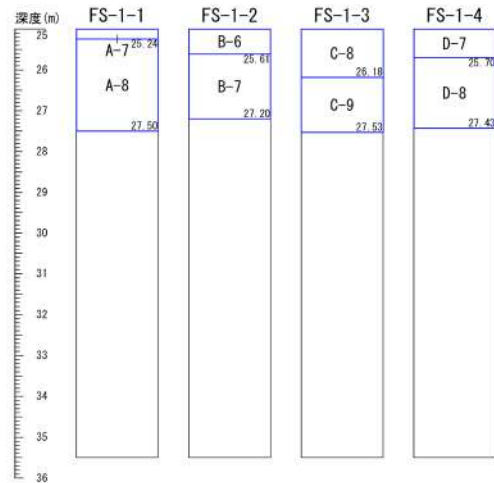
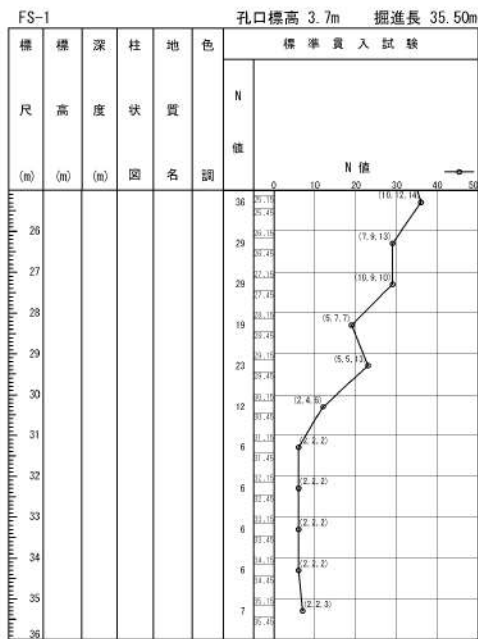
※FS-1 は標準貫入試験のみ実施



参考 1-24 図(1/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



ボーリング平面位置図



※FS-1 は標準貫入試験のみ実施

□ : サンプル位置

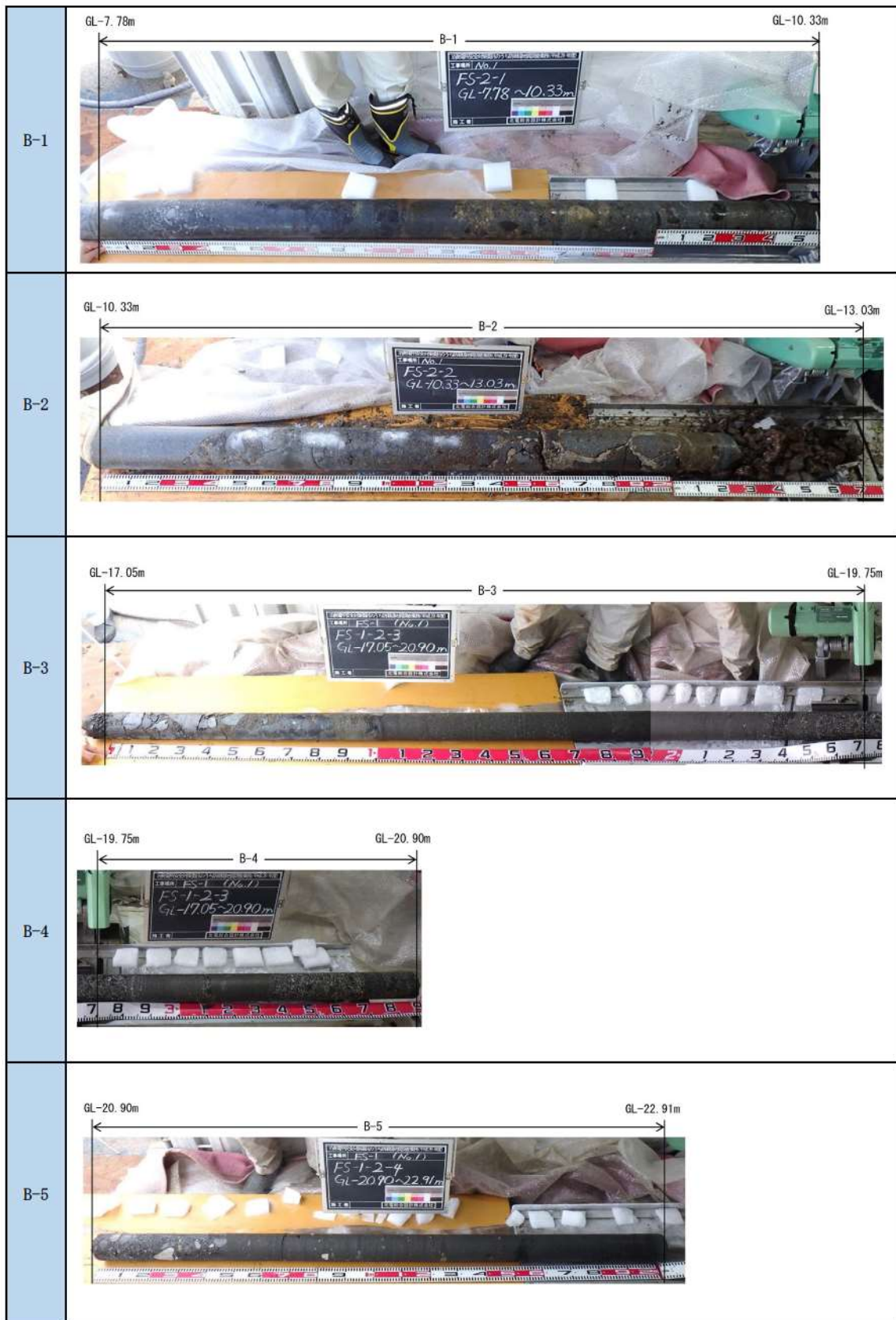
参考 1-24 図 (2/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



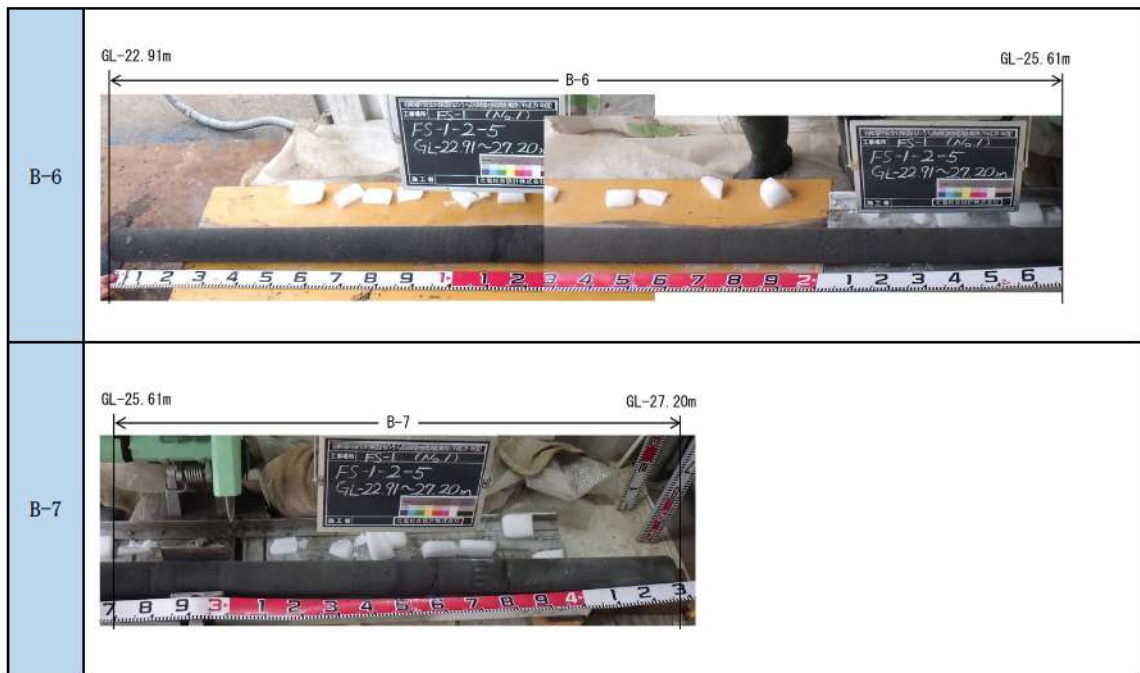
参考 1-24 図(3/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



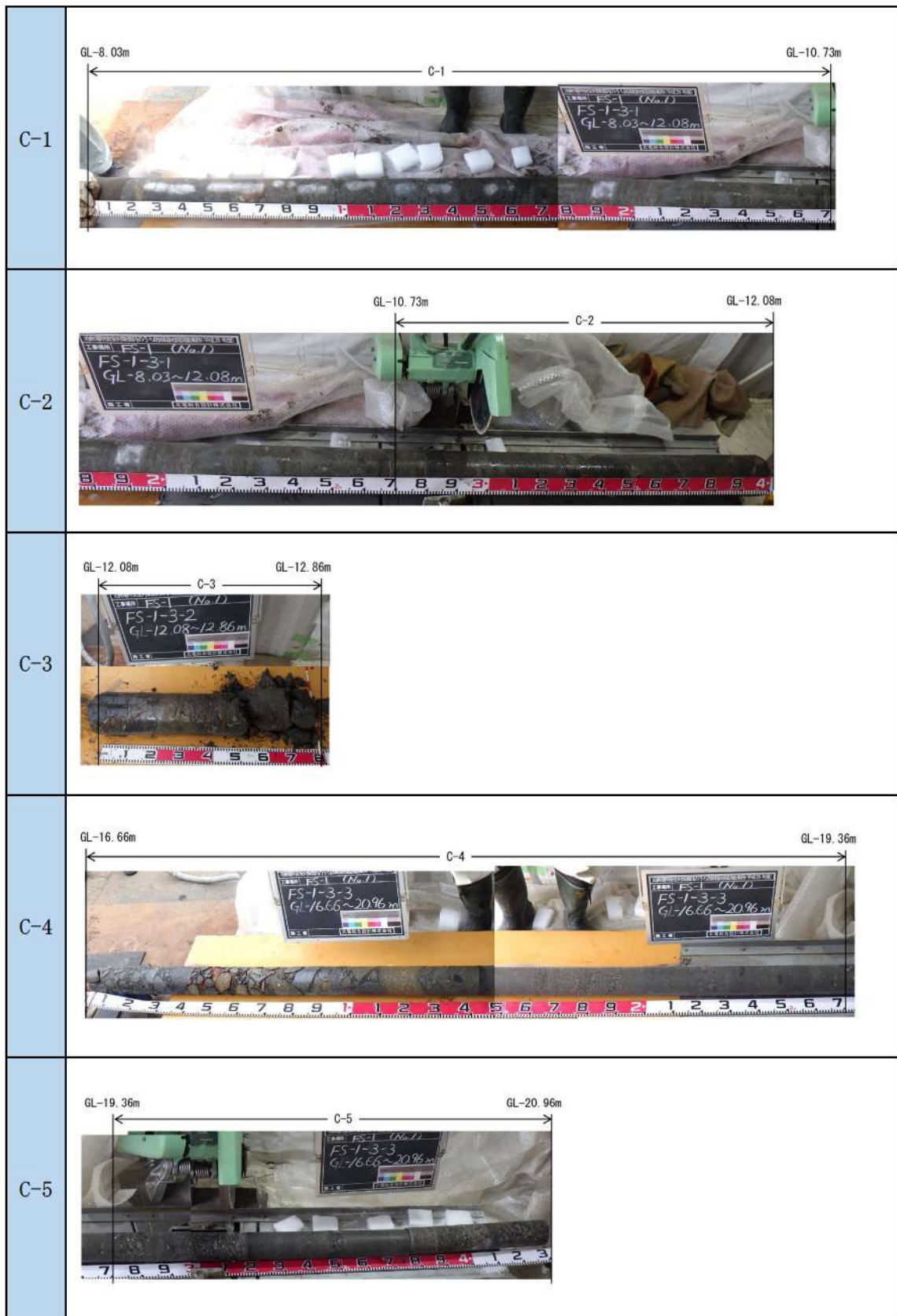
参考 1-24 図(4/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



参考 1-24 図(5/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



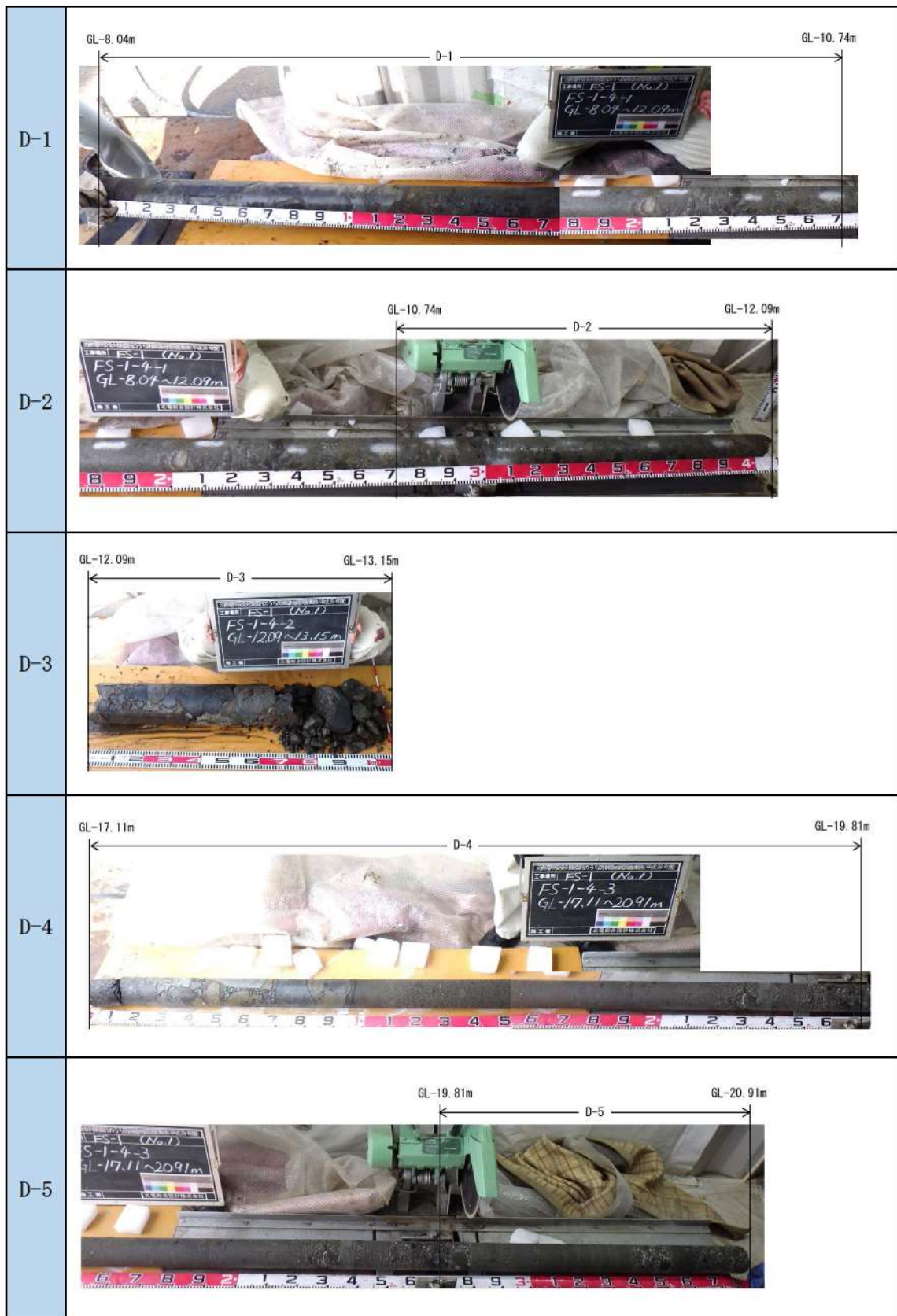
参考 1-24 図(6/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



参考 1-24 図(7/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)

C-6	
C-7	
C-8	
C-9	

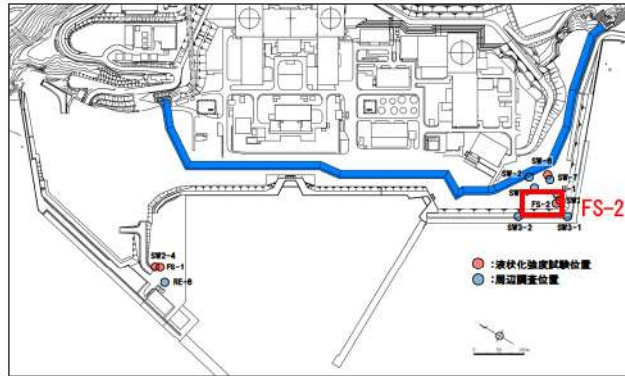
参考 1-24 図(8/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



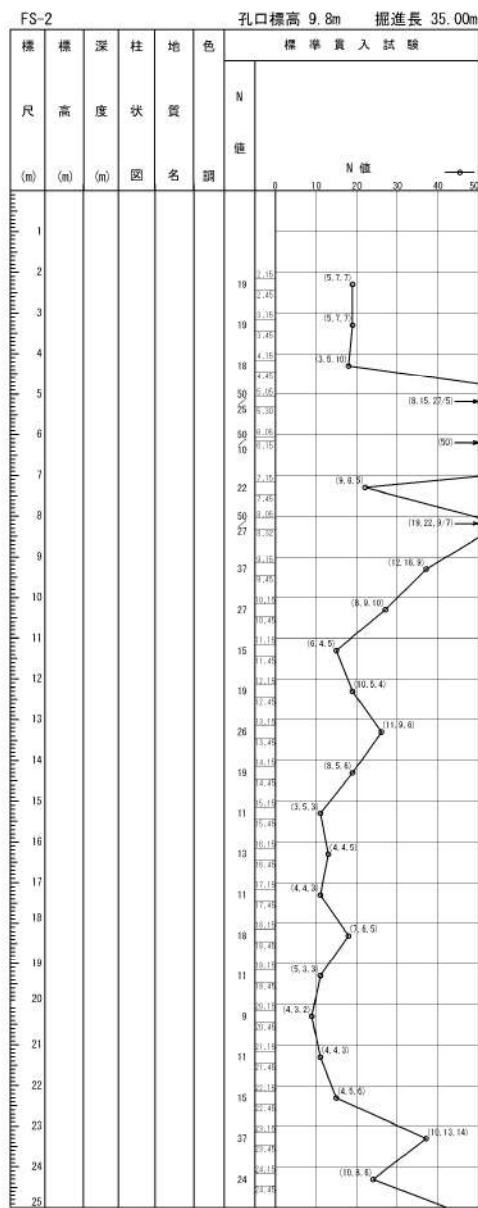
参考 1-24 図(9/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



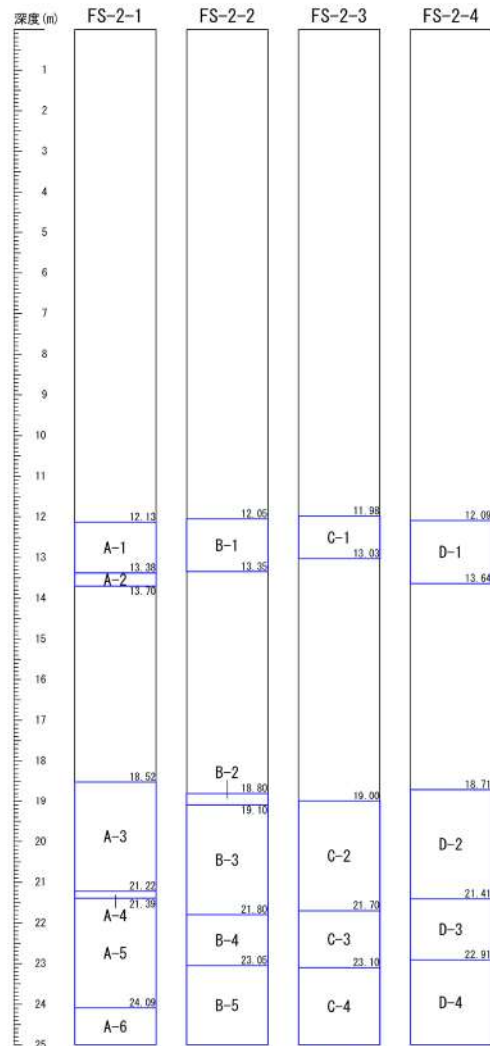
参考 1-24 図(10/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-1)



ボーリング平面位置図

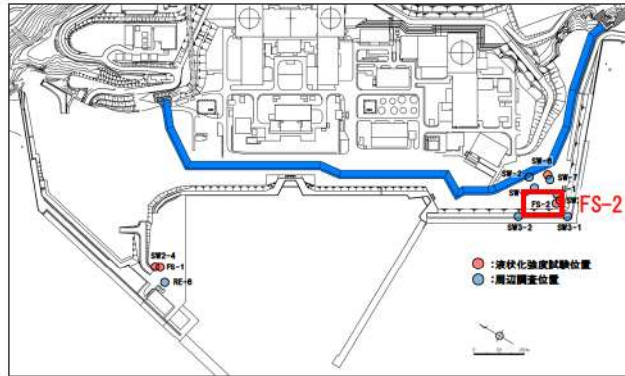


※FS-2 は標準貫入試験のみ実施



□ : サンプル位置

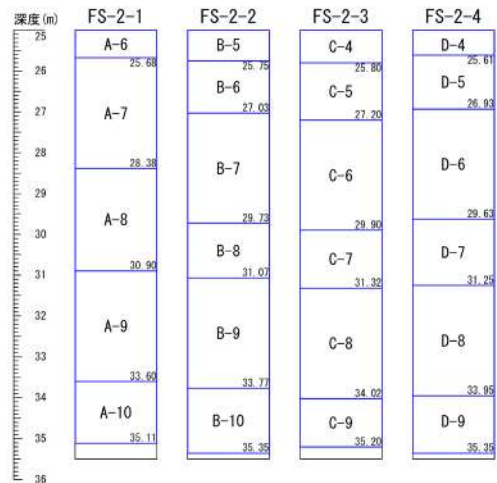
参考 1-34 図(1/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



ボーリング平面位置図

FS-2 孔口標高 9.8m 掘進長 35.00m

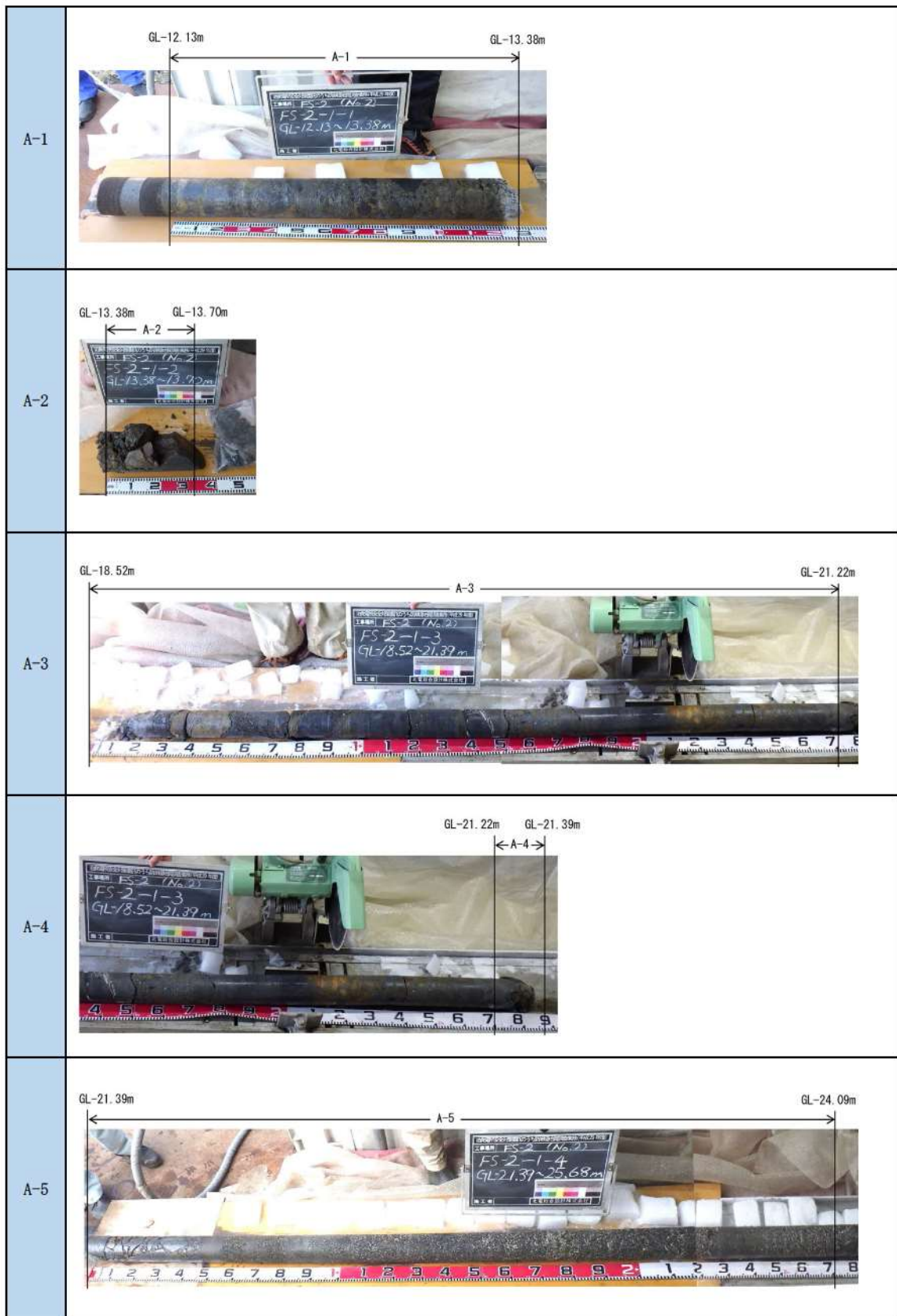
標尺 (m)	標高 (m)	深度 (m)	柱状 (m)	地質 (m)	色 (m)	標準貫入試験	
						N 値	N 値
						0	50
						5.73	(9, 20, 21)
						8.46	
						16.15	(16, 27, 7/2)
						22.37	
						22.28	
						27.38	(13, 24, 13/5)
						27.38	
						28.11	(2, 15, 2, 8, 2/7)
						31.41	
						32.11	
						33.38	(18, 22, 9/4)
						33.38	
						33.05	(14, 22, 14/5)
						33.39	
						33.11	(13, 17, 20/9)
						37.44	
						32.22	
						32.38	(10, 20, 20/8)
						32.38	
						33.11	(11, 14, 25)
						33.47	
						34.11	(7, 7, 22)
						34.41	
						35.07	
						35.31	(13, 24, 13/5)
						35.31	



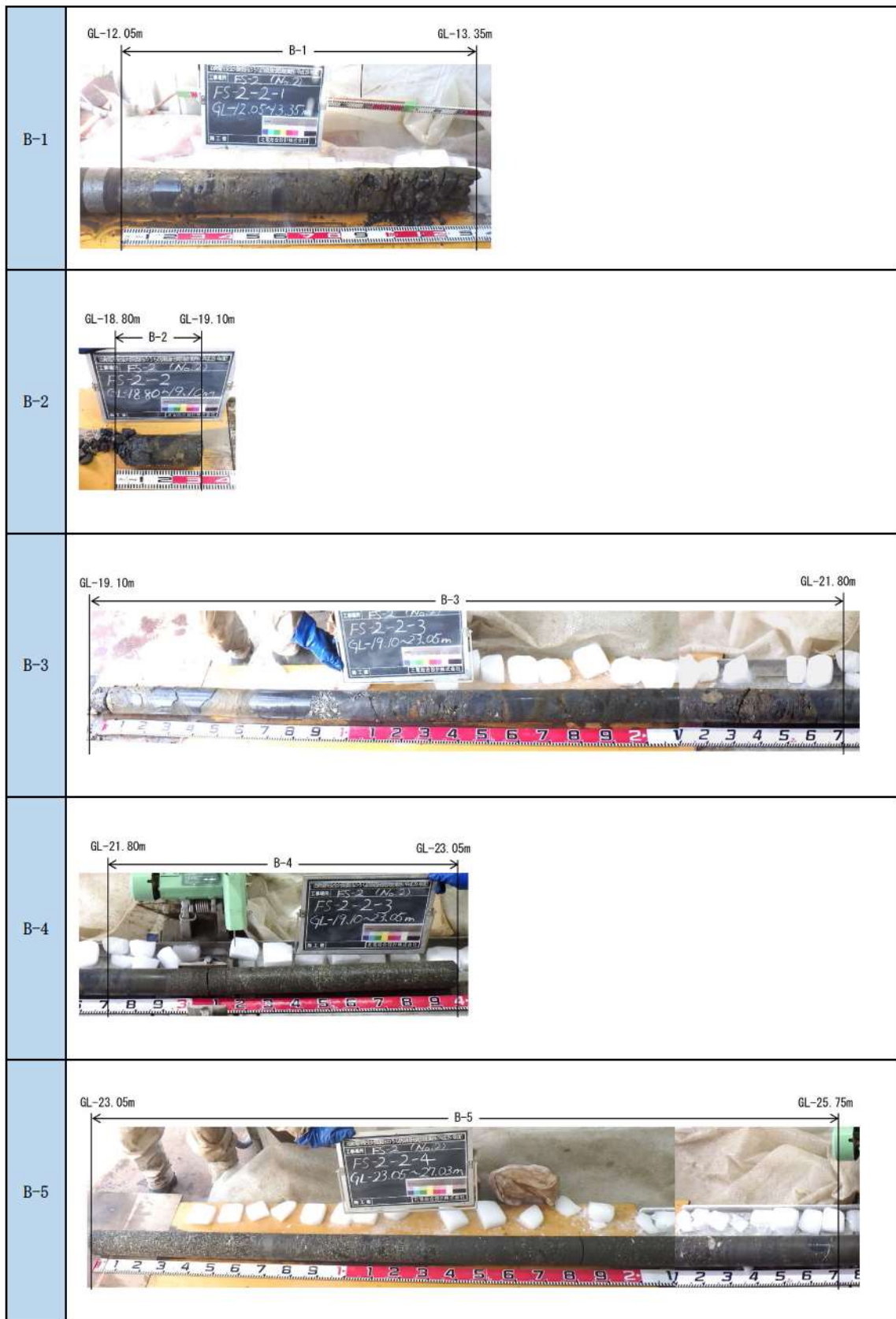
※FS-2 は標準貫入試験のみ実施

□ : サンプル位置

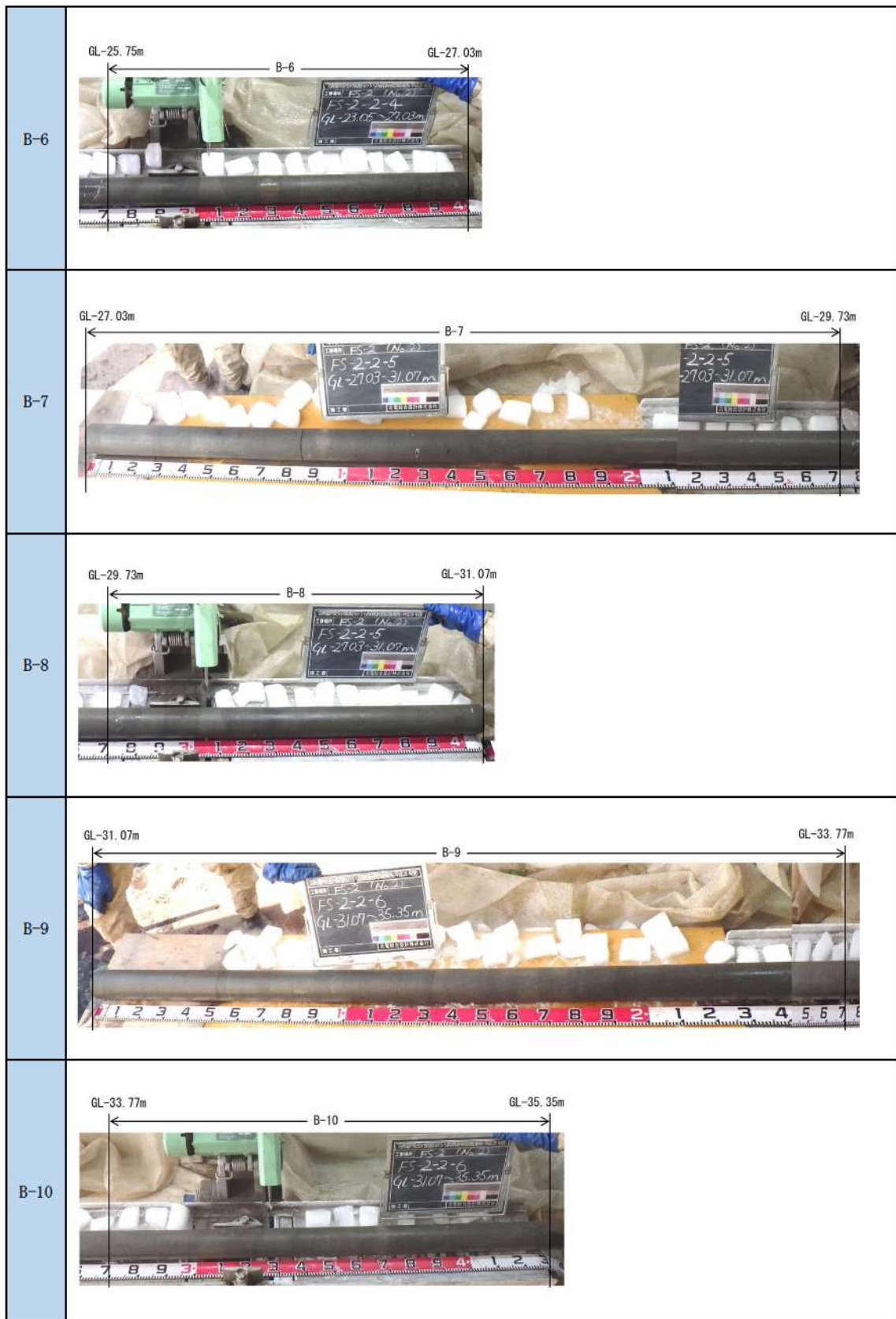
参考 1-34 図 (2/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



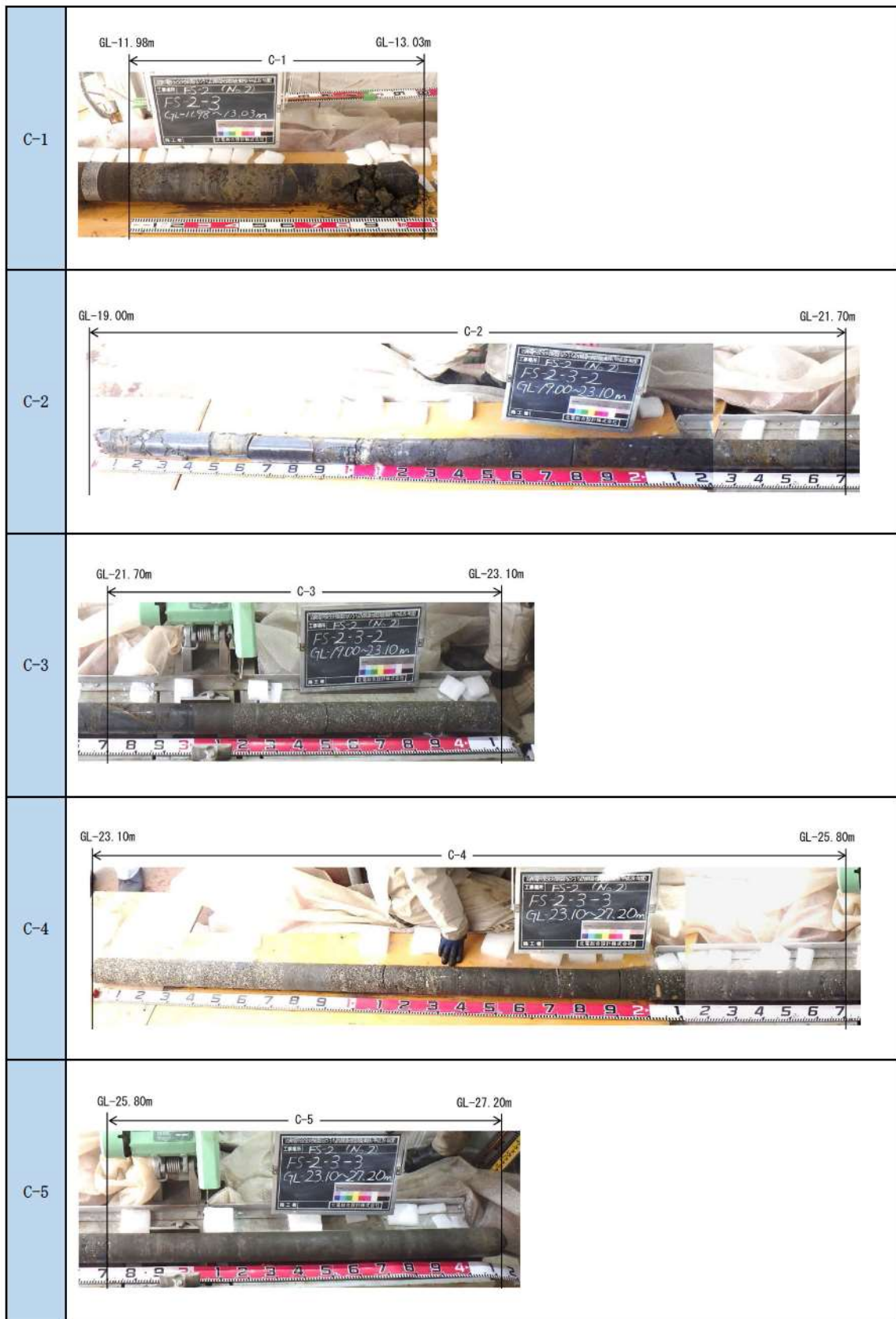
参考 1-34 図 (3/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



参考 1-34 図(5/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



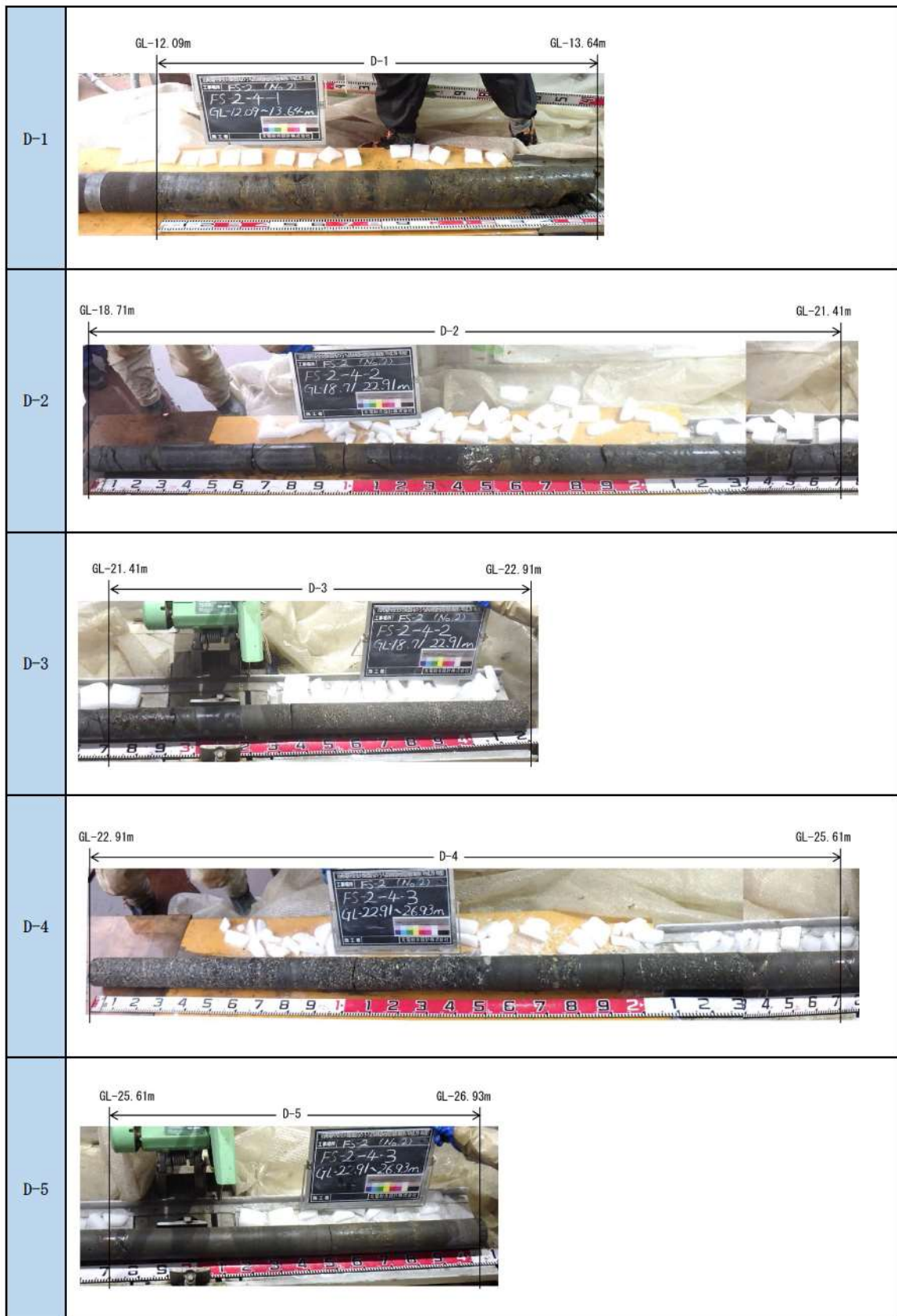
参考 1-34 図(6/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



参考 1-34 図(7/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



参考 1-34 図(8/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)



参考 1-34 図(9/10) ボーリング柱状図・コア写真 (FS-2)