

本資料のうち、枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-補-E-19-0600-1_改 19
提出年月日	2021年11月8日

02-補-E-19-0600-1\_改 18 (2021年10月29日提出) からの変更箇所のみ抜粋

### 補足-600-1 【地盤の支持性能について】

## 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象施設周辺の地質等	2
3.1 評価対象施設周辺の地質	2
3.2 評価対象施設周辺の地質状況整理結果	24
3.3 敷地の地下水位分布及び耐震評価における地下水位設定方針	28
3.3.1 敷地の地下水位分布	28
3.3.2 耐震評価における設計用地下水位設定方針	33
4. 地盤の解析用物性値	194
4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値	194
4.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値	205
4.2.1 全応力解析に用いる解析用物性値	210
4.2.2 有効応力解析に用いる解析用物性値	210
4.2.3 その他の解析用物性値	264
4.2.4 地盤の物性のばらつきについて	264
5. 極限支持力	265
5.1 基礎地盤（狐崎部層・牧の浜部層・改良地盤）の極限支持力	265
5.2 直接基礎の支持力算定式	272
5.3 杭基礎の支持力算定式	273
5.4 杭基礎の支持力算定式に関する補足	273
5.4.1 道路橋示方書による極限支持力算定式を適用する構造物	273
5.4.2 道路橋示方書による極限支持力算定式（中掘り杭工法）の適用性について	273
6. 地盤の速度構造	275
6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル	275
6.2 地震応答解析に用いる地盤の速度構造モデル	278
参考資料 1-1 既設の地下水位低下設備の概要	
参考資料 1-2 屋外排水路の機能及び耐震性に係る説明方針について	
参考資料 1-3 浸透流解析モデル概要及びアウトプットと設備設計への反映事項	
参考資料 2 建設時工事計画認可段階に実施した浸透流解析について	
参考資料 3 地下水位の上昇により生じる施設等への影響評価結果	
参考資料 4 浸透流解析に用いる透水係数の設定根拠	
参考資料 5 浸透流解析におけるドレーンの有効範囲の設定結果	
参考資料 6 地下水位低下設備の概要	

- 参考資料 7 既設ドレーンの部分閉塞時の自由水面の保持について
- 参考資料 8 地下水位低下設備の施工について
- 参考資料 9 地下水位低下設備の保守管理について
- 参考資料 10 土木構造物における設計用地下水位の設定方法
- 参考資料 11 降雨に対する設計用地下水位の余裕について
- 参考資料 12 三次元浸透流解析による防潮堤沈下対策の影響予測結果
- 参考資料 13 地盤改良における補足
- 参考資料 14 液状化強度試験の詳細について
- 参考資料 15 盛土の均一性について
- 参考資料 16 2011 年東北地方太平洋沖地震における沈下実績について
- 参考資料 17 地震応答解析にて考慮する地盤物性のばらつき
- 参考資料 18 盛土・旧表土の強度特性設定の考え方
- 参考資料 19 粘土分含有率について
- 参考資料 20 浸透流解析に用いた解析コード「GETFLOWS」の適用性について
- 参考資料 21 液状化強度試験の解析上の再現について
- 参考資料 22 建物の地震応答解析に用いる地盤諸定数について
- 参考資料 23 MMR のせん断強度について
- 参考資料 24 盛土の物性値における礫分の影響について
- 参考資料 25 基準地震動  $S_s$  に対する液状化強度試験の妥当性確認
- 参考資料 26 盛土の骨格設定に関する解析上の取扱いについて
- 参考資料 27 有効応力解析の妥当性及び液状化強度特性設定の保守性について
- 参考資料 28 可搬型重大事故等対処設備の保管場所及びアクセスルート他における地質調査結果

: 本日の説明範囲

表3.3-15 (1) 土木構造物における地下水位の設定一覧

施設名称		建設時工事計画 認可時の 設計用地下水位	予測解析によ る地下水位	設計用 地下水位	備考
原子炉機器 冷却海水 配管ダクト	横断	0. P. -14. 20m	0. P. -14. 15m～ 0. P. -5. 67m	0. P. -10. 50m～ 0. P. -3. 50m	
排気筒連絡 ダクト	縦断	0. P. -8. 00m～ 0. P. +4. 50m	0. P. -7. 14m～ 0. P. +13. 44m	0. P. +5. 73m～ 0. P. +14. 80m	
	横断 (断面①)	0. P. -8. 00m	0. P. -7. 17m～ 0. P. -3. 98m	0. P. +5. 73m	
	横断 (断面②)	0. P. -8. 00m	0. P. -3. 28m～ 0. P. -1. 49m	0. P. +5. 80m	
	横断 (断面③)	0. P. -8. 00m	0. P. -2. 50m～ 0. P. -0. 53m	0. P. +5. 83m	
	横断 (断面⑤)	0. P. -1. 69m	0. P. +1. 10m～ 0. P. +7. 97m	0. P. +8. 19m～ 0. P. +9. 00m	
	横断 (断面⑦)	0. P. +0. 22m	0. P. +5. 36m～ 0. P. +10. 74m	0. P. +10. 10m～ 0. P. +12. 00m	
軽油タンク連絡ダクト		—*1	0. P. -5. 82m～ 0. P. +2. 17m	0. P. -3. 00m～ 0. P. +3. 00m	
取水路*2	縦断	0. P. -14. 10m～ 0. P. +2. 43m	0. P. -11. 60m～ 0. P. +2. 43m	0. P. -4. 53m～ 0. P. +2. 43m	
	横断 (標準部①)	0. P. +2. 43m	0. P. +1. 93m	0. P. +2. 43m	朔望平 均満潮 位
	横断 (標準部②)	0. P. +2. 43m	0. P. +0. 30m～ 0. P. +2. 16m	0. P. +2. 43m	朔望平 均満潮 位
	横断 (標準部③ (防潮堤横 断部))	0. P. +2. 43m	0. P. -4. 89m～ 0. P. -2. 26m	0. P. +2. 43m	朔望平 均満潮 位
	横断 (標準部④ (防潮堤横 断部))	0. P. +2. 43m	0. P. -6. 22m～ 0. P. -3. 17m	0. P. -1. 00m	
	曲がり部 南北	0. P. +2. 43m	0. P. -9. 57m～ 0. P. -3. 89m	0. P. -1. 01m	

注記\*1：建設時工事計画認可申請対象外

\*2：建設時工事計画認可申請時は朔望平均満潮位に地下水位を設定。予測解析（境界条件は朔望平均満潮位）では地下水位低下設備の効果により陸側の地下水位は低下。

表3.3-15 (4) 土木構造物における地下水位の設定一覧

施設名称		建設時工事計画認可時の設計用地下水位	予測解析による地下水位	設計用地下水位	備考
第3号機 海水ポンプ室	縦断	0. P. -12. 53m～ 0. P. +1. 24m	0. P. -13. 77m～ 0. P. +6. 90m	0. P. -12. 00m～ 0. P. +8. 00m	
	横断	0. P. -12. 79m～ 0. P. +1. 60m	0. P. -13. 14m～ 0. P. -4. 77m	0. P. -12. 00m～ 0. P. -2. 50m	
揚水井戸（第3号機海水ポンプ室防潮壁区画内）	南北	—*	0. P. -14. 50m～ 0. P. -8. 86m	0. P. -12. 50m～ 0. P. -7. 00m	
	東西	—*	0. P. -13. 58m～ 0. P. -7. 77m	0. P. -12. 50m～ 0. P. -4. 50m	
第3号機補機冷却海水系放水ピット		—*	0. P. -14. 86m～ 0. P. -5. 06m	0. P. -14. 00m～ 0. P. -5. 00m	
屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）		—*	0. P. +5. 84m～ 0. P. +7. 65m	0. P. +6. 00m～ 0. P. +18. 00m	

注記\*：建設時工事計画認可申請対象外

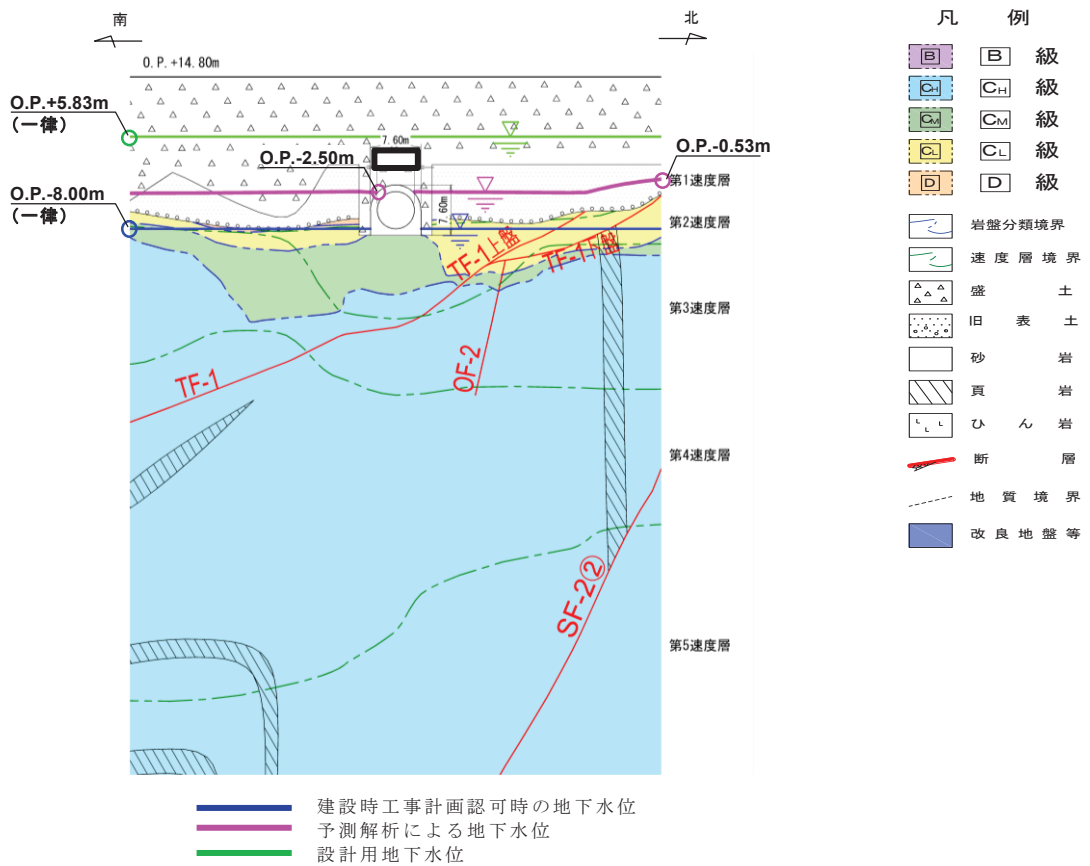


図 3.3-44(4) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面③))

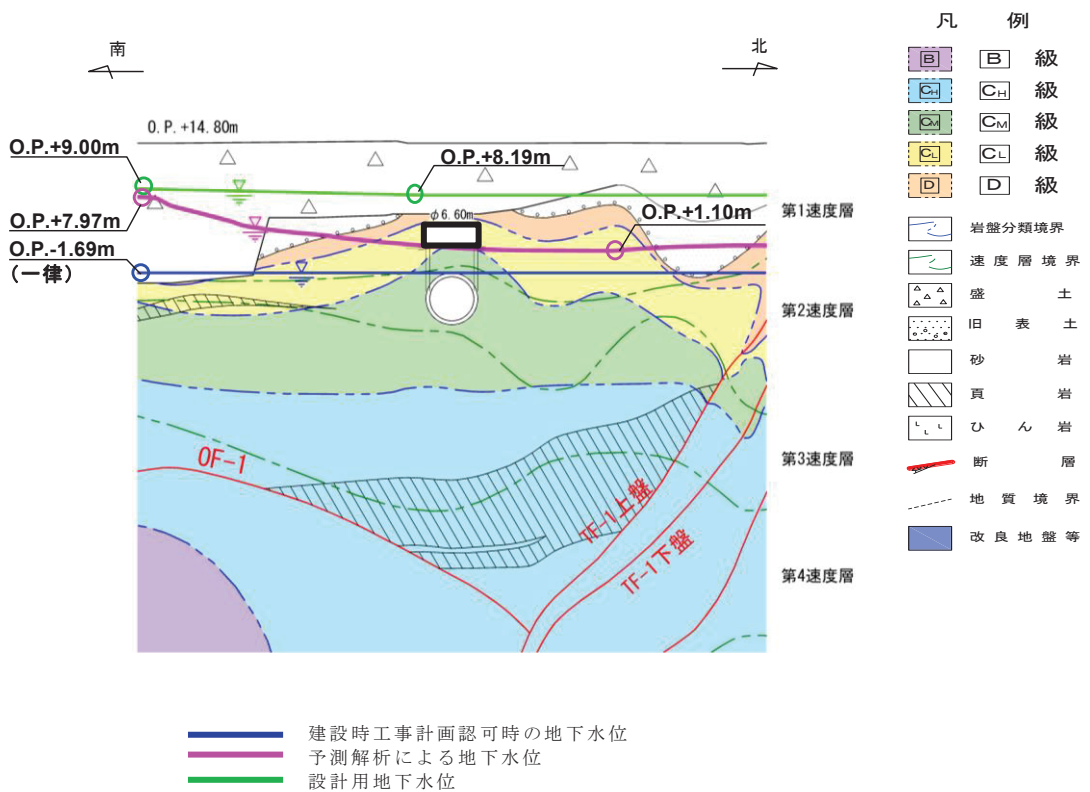


図 3.3-44(5) 排気筒連絡ダクトの設計用地下水位 (横断(断面⑤))

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

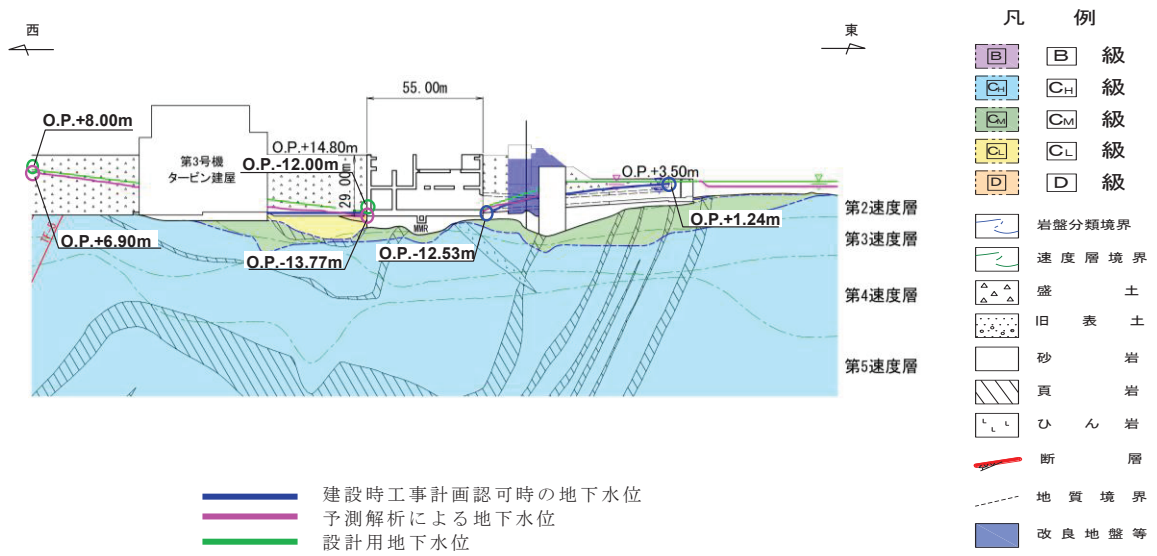


図 3.3-55(1) 第3号機海水ポンプ室の設計用地下水位 (縦断)

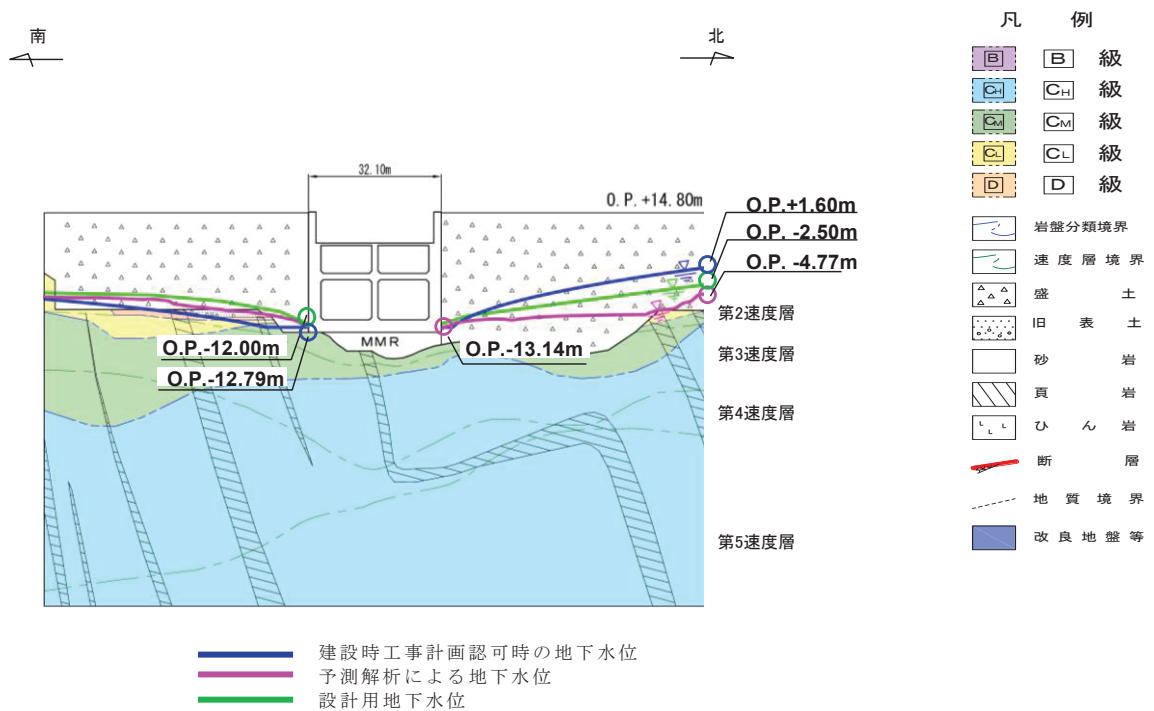


図 3.3-55(2) 第3号機海水ポンプ室の設計用地下水位 (横断)

## (参考資料4) 浸透流解析に用いる透水係数の設定根拠

### 1. 概要

本資料では、設計用地下水位の設定や排水能力の設定において参照する浸透流解析に用いる透水係数の設定根拠について示す。

### 2. 設定方針

試験結果を踏まえ、浸透流解析の各解析モデルに用いる透水係数は、試験結果等のデータに基づく変動幅の範囲で、解析目的に応じた設定を行う。

#### 2.1 地層区分毎の設定方針

盛土・旧表土及び岩盤については、建設時工事計画認可時において実施した浸透流解析における透水係数の設定方法を踏襲しモデル化することを基本とする。改良地盤、セメント改良土及び透水層（砕石）については、建設時工事計画認可時において存在しないため設定していないため。新たに取得した試験データに基づき設定する。

なお、建設時工事計画認可時の透水係数の設定根拠とその妥当性については補足1に示す。

##### (1) 盛土・旧表土

- ・ 盛土は発電所の建設工事で発生した岩砕を主体とする、硬質の岩塊を含む粗粒材料から構成され、敷地の広範囲に分布する。旧表土は主に敷地造成前の海浜砂であり、主に敷地の海側に分布する。
- ・ いずれも、物理的性質が敷地内で概ね均一と考えられることを踏まえ、建設時工事計画認可時において実施した浸透流解析における透水係数の設定方法を踏襲し、クレーガーらが提案したD20と透水係数の関係に基づき、粒度試験結果（粒径加積曲線）におけるD20（20%粒径）から透水係数を求める（以下、クレーガーらの方法、という）。
- ・ なお、盛土と旧表土は、物理的・力学的性質は異なるものの、旧表土の主要施設近傍の分布範囲は図4-1のとおり限定的であり、旧表土の透水性の影響が岩盤以浅の地下水流況へ与える影響は小さいと考えられることから、盛土と旧表土は透水性能としては区別せず、1層でモデル化する。
- ・ また、簡易手法であるクレーガーらの方法による設定については、後述するとおり、文献及び別途実施した原位置透水試験の結果との比較によって妥当であることを



確認している。

- ・ さらに、浸透流解析による本文 3.3.2(5)に示す予測解析の結果（流線図）や補足 6 に示す盛土及び旧表土の透水係数を変化させたパラメータスタディの結果から、敷地の地下水の流れは岩盤中の流れが支配的であり、地下水位評価において盛土・旧表土の透水性が支配的要因ではないことも確認している。

## (2) 岩盤

- ・ 敷地内の岩盤は、中生界ジュラ系の牡鹿層群荻の浜累層の砂岩、頁岩、砂岩頁岩互層が分布し、部分的に白亜系のひん岩が貫入している。第2号機原子炉建屋付近には狐崎砂岩頁岩部層が、第3号機原子炉建屋付近には牧の浜砂岩頁岩部層が分布している。
- ・ 岩盤は、建設時工事計画認可時における設定方法を踏襲し、狐崎部層と牧の浜部層にて区分した上で、深度方向に浅部（岩盤Ⅰ）と深部（岩盤Ⅱ）の2層に分類する。
- ・ 透水係数は、岩種や速度層等の関係性や原位置での分布状況に応じた性質を把握するために、ボーリング孔を利用して透水性を評価する原位置透水試験（ルジオン試験）により求める。
- ・ また、断層・シームについては、後述する透水試験の結果から母岩と水理特性上の有意な差がないことからモデル化しないこととする（補足 5）。

## (3) セメント改良土及び改良地盤

- ・ セメント改良土は、発電所構内で採取した掘削土にセメントを混合して製造したもので、改良地盤は、高圧噴射攪拌工法によって、発電所内の盛土、旧表土とセメントミルクを混合して造成したものである。いずれも、建設時工事計画認可時において存在していない。
- ・ 透水係数は、岩盤同様に、ボーリング孔を利用して透水性を評価する原位置透水試験（ルジオン試験）により求める。
- ・ なお、セメント改良土及び改良地盤はいずれも土砂とセメント系固化剤を混合した地盤改良体であり、後述する透水試験の結果からも、その透水性に有意な差が無いことから同一物性値にてモデル化する。

## (4) 透水層

- ・ 透水層（砕石）は、建屋外周に設置された既設ヒューム管のうち透水層（砕石）としてモデル化する範囲に適用するもので、建設時工事計画認可時において存在し

ていない。

- ・ 透水係数は、ヒューム管周辺のフィルター材（砕石）を試験体に用いた室内透水試験により求める。

(5) 構造物

- ・ 構造物は、建設時工事計画認可時においては透水係数を設定（コンクリート工学ハンドブックに基づき  $1.0 \times 10^{-11}$  (m/s)）していたが、岩盤の透水試験結果と比べても十分に小さな値であり、モデル化有無による影響は小さいと考えられるため、不透水として扱う。

## 2.2 解析モデル毎の設定方針

各解析モデルにおける透水係数の設定方針を以下に示す。

### (1) 広域モデル

- ・ ①広域モデルを用いた浸透流解析の目的は、観測等により得られた実測値\*と解析のアウトプットとの比較によるモデルの妥当性確認であることから、地下水流動場の平均的な水理特性に対応する条件（初期値）として、試験結果等の平均値にて設定する。
- ・ 実測値との比較における再現状況に応じて、透水係数によるパラメータフィッティングを行う。
- ・ ⑤平常水位予測モデル、⑥仮想豪雨評価モデルについても、①広域モデルと同様の設定とする。

注記\*：観測等により得られた実測値として、水位評価においては連続観測水位データ、地下水流入量評価においては既設の揚水ポンプ稼働実績（排水実績）から推定される地下水流入量実績を参照する。

### (2) 水位評価モデル

- ・ ②水位評価モデルを用いた浸透流解析の目的は、設計用地下水位の設定において参照する揚圧力・地下水位を高め算出することであるため、①広域モデルで妥当性を確認した透水係数に対し、解析の再現性（観測水位への追従性）が確保される範囲で更に小さく（水位が高めに評価されるよう）設定する。
- ・ 具体的には、建設時工事計画認可時の保守性に関するパラメータスタディを踏まえ、揚圧力評価における保守性の確保として、岩盤Ⅰの試験結果（平均値）に標準偏差（ $-1\sigma$ ）のばらつきを考慮する（建設時工事計画認可時の浸透流解析における設定を踏襲）。建設時工事計画認可時のパラメータスタディの結果は補足3に示す。
- ・ ④水位上昇評価モデルについても、地下水位低下設備の機能損失時における初期水位を高め算出するため、②水位評価モデルと同様の設定とする。
- ・ アクセスルート斜面モデル（⑦斜面Bモデル、⑧斜面Fモデル）についても、保守性を確保するため②水位評価モデルと同様の設定とする。

(3) 地下水流入量評価モデル

- ・ ③地下水流入量評価モデルを用いた浸透流解析の目的は、ポンプ等の排水機能に係る設計用流入量を設定することであるため、①広域モデルで妥当性を確認した透水係数に対し、地下水位低下設備（ドレーン）への地下水流入量を多めに評価するよう、透水係数を更に大きく（モデル化する全ての地層を全ての試験結果（平均値）に標準偏差（ $+1\sigma$ ）を考慮）設定する。

### 3. 透水係数の取得状況

本項では、浸透流解析でモデル化する地層区分毎の、クレーガーらの方法や透水試験による透水係数の取得状況を示す。

#### 3.1 盛土・旧表土

##### (1) クレーガーらの方法

クレーガーらの方法の概要を表4-1に、粒度試験の試料採取位置を図4-1に、クレーガーらの法に基づき算定した透水係数を表4-2に示す。

なお、クレーガーらの方法による透水係数の設定結果の妥当性として、文献および原位置試験の結果を(2)(3)に示す。また、算定に用いた粒度試験の詳細（エリア別の粒度や深度分布等）を補足2に、盛土の礫分\*の影響についての考察を補足3に示す。

注記\*：石分（粒径 75mm 以上）を含む

表 4-1 クレーガーらの方法の概要

【D20 と透水係数の関係】

D <sub>20</sub> (mm)	透水係数 k (m/s)	D <sub>20</sub> (mm)	透水係数 k (m/s)
0.005	$3.0 \times 10^{-8}$	0.18	$6.85 \times 10^{-5}$
0.01	$1.05 \times 10^{-7}$	0.2	$8.9 \times 10^{-5}$
0.02	$4.0 \times 10^{-7}$	0.25	$1.4 \times 10^{-1}$
0.03	$8.5 \times 10^{-7}$	0.3	$2.2 \times 10^{-1}$
0.04	$1.75 \times 10^{-7}$	0.35	$3.2 \times 10^{-1}$
0.05	$2.8 \times 10^{-6}$	0.4	$4.5 \times 10^{-1}$
0.06	$4.6 \times 10^{-6}$	0.45	$5.8 \times 10^{-1}$
0.07	$6.5 \times 10^{-6}$	0.5	$7.5 \times 10^{-1}$
0.08	$9.0 \times 10^{-6}$	0.6	$1.1 \times 10^{-3}$
0.09	$1.4 \times 10^{-5}$	0.7	$1.6 \times 10^{-3}$
0.1	$1.75 \times 10^{-5}$	0.8	$2.15 \times 10^{-3}$
0.12	$2.6 \times 10^{-5}$	0.9	$2.8 \times 10^{-3}$
0.14	$3.8 \times 10^{-5}$	1	$3.6 \times 10^{-3}$
0.16	$5.1 \times 10^{-5}$	2	$1.8 \times 10^{-2}$

(参考) 左の表から推定した換算式\*

$$k=0.0034 \times D_{20}^{2.2954}$$

$$(0.005 \leq D_{20} \leq 2)$$

ここで、k：透水係数(m/s)  
D<sub>20</sub>：20%粒径(mm)

注記\* クレーガーら(1945)は土質材料の粒度特性から透水係数を推定可能であると  
し、D<sub>20</sub>を用いた左記の表を提案。この表  
に対応する換算式の例として乾ら(2015)  
を参照し記載。

(土質工学ハンドブック (土質工学会) より引用)

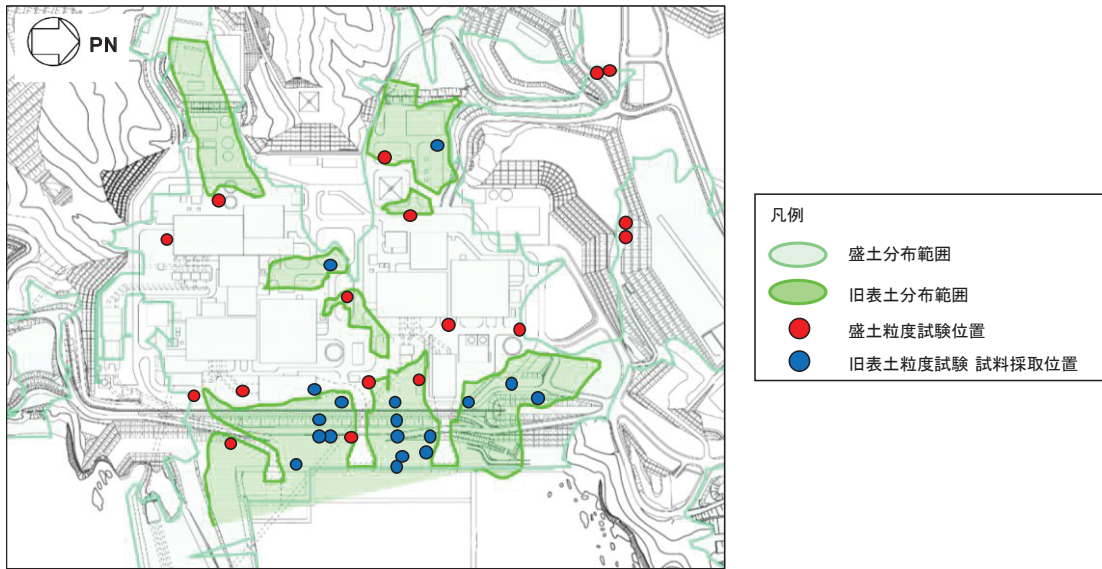


図 4-1 粒度試験試料採取位置図（盛土・旧表土）

表 4-2 クレーガーらの方法により算定した盛土・旧表土の透水係数

地層	データ数	クレーガーらの方法による換算値
		試験結果(平均値*) (m/s)
盛土	69	$1.0 \times 10^{-4}$
旧表土	89	$6.5 \times 10^{-6}$
盛土・旧表土 (合算値)	158	$2.1 \times 10^{-5}$

注記\*：平均値の算定は、各粒度試験結果についてクレーガーらの方法により透水係数に換算した上で、対数平均により算出している。

(2) 取得データの代表性

地下水ハンドブック（建設産業調査会）における一般的な未固結堆積物の透水係数を表4-3に示す。

粗砂で概ね $1.0 \times 10^{-1} \sim 1.0 \times 10^{-5}$  (m/s) 程度，中砂・細砂で概ね $1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-6}$  (m/s) 程度となっており，クレーガーらの方法により求めた盛土・旧表土の透水係数は概ね中央値となっていることから，妥当な設定結果と判断できる。なお，粒度試験データは，図4-1に示すとおり，主要施設近傍並びに敷地の全体から取得され，十分な試験データ数を有している。

表 4-3 未固結堆積物の水理条件

地 質	間 隙 率		透水係数の範囲(cm/sec)	井戸産出量	帯水層単元の型
	1 次的 (粒子)	2 次 的 (破 砕)	$10^2$ $10^0$ $10^{-2}$ $10^{-4}$ $10^{-6}$ $10^{-8}$	高 中 低	
未固結堆積物	%				
礫	30~40		-----	—	帯水層
粗 砂	30~40		-----	-----	帯水層
中 ~ 細 砂	30~35		-----	-----	帯水層
シルト	40~50	ときとしてまれ (泥のクラック)	-----	—	難透水層

(地下水ハンドブック（建設産業調査会）より引用)

(3) 原位置透水試験

別途実施した原位置透水試験の結果を表4-4に，試験位置を図4-2に示す。

試験の結果，旧表土についてはクレーガーらの方法に基づく推定値と同オーダーであり，盛土についてはやや小さい結果となっている。なお，盛土については，礫分の介入程度の違い等によりクレーガーらの方法では若干ばらつきが生じている可能性が考えられる。

しかしながら，前述のとおり，盛土と旧表土を区別せずに1層でモデル化する方針としており，合算した場合におけるクレーガーらの方法により求めた透水係数は $2.1 \times 10^{-5}$  m/sであり，同オーダーであり，設定結果としては妥当と判断できる。

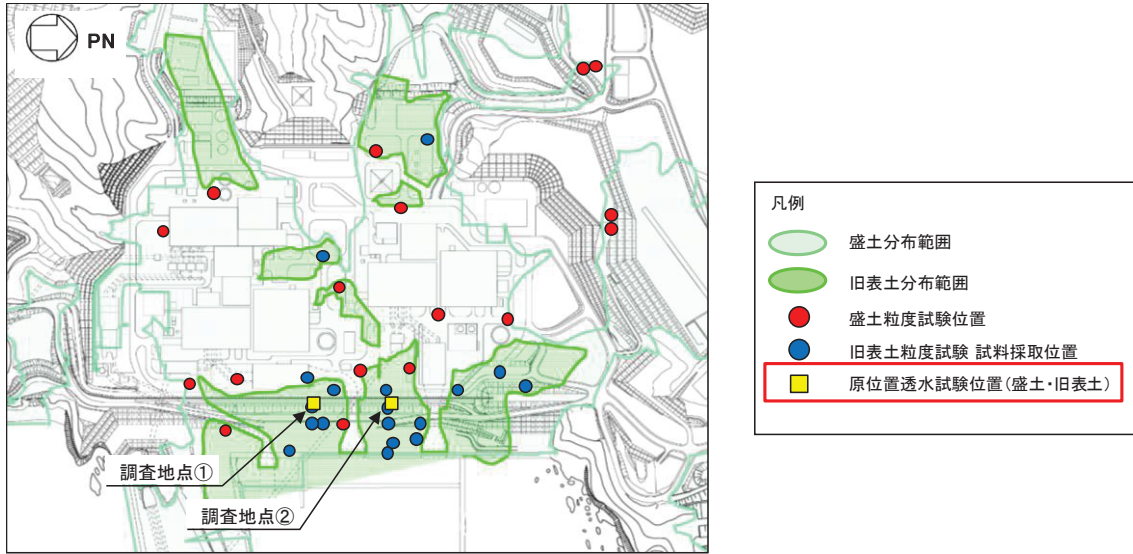


図 4-2 盛土・旧表土の原位置透水試験位置図  
 (図 4-1 に盛土・旧表土の原位置透水試験位置を追記)

表 4-4(1) 盛土・旧表土の原位置透水試験結果

地層	原位置透水試験		換算値 (クレーガーらの方法) (m/s)
	データ数	試験結果 (m/s)	
盛土	3	$0.9 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-4}$
旧表土	4	$0.7 \times 10^{-5}$	$0.7 \times 10^{-5}$



表 4-4(2) 盛土・旧表土の原位置透水試験結果（試験箇所・深度別）

調査地点	分類	深度 (m)	透水係数（原位置試験） (m/s)	備考
調査地点① G. L. : O. P. +14. 8m	盛土	G. L. -4. 0m～ G. L. -5. 0m	$1. 5 \times 10^{-5}$	砂礫（5～20mm の礫を含む）
	盛土	G. L. -18. 0m～ G. L. -19. 0m	$1. 0 \times 10^{-5}$	砂礫（10～ 20mm の礫を含 む）
	旧表土	G. L. -22. 5m～ G. L. -23. 0m	$0. 6 \times 10^{-5}$	細～中粒砂
	旧表土	G. L. -27. 0m～ G. L. -27. 5m	$2. 6 \times 10^{-5}$	砂礫（20～ 50mm の礫を含 む）
調査地点② G. L. : O. P. +14. 8m	盛土	G. L. -10. 9m～ G. L. -11. 3m	$0. 5 \times 10^{-5}$	砂礫（10～ 20mm の礫を含 む）
	旧表土	G. L. -23. 0m～ G. L. -23. 5m	$0. 3 \times 10^{-5}$	礫混じり中～ 粗粒砂
	旧表土	G. L. -27. 0m～ G. L. -27. 5m	$0. 5 \times 10^{-5}$	シルト及び砂 礫（10～40mm の礫を含む）

### 3.2 岩盤

#### (1) 原位置透水試験

原位置透水試験の概要を図4-3に、試験位置を図4-4に、表4-5に試験結果を示す。

なお、透水試験の深度方向の分布状況については補足4に、断層・シームについての水理特性の考察結果について補足5に示す。

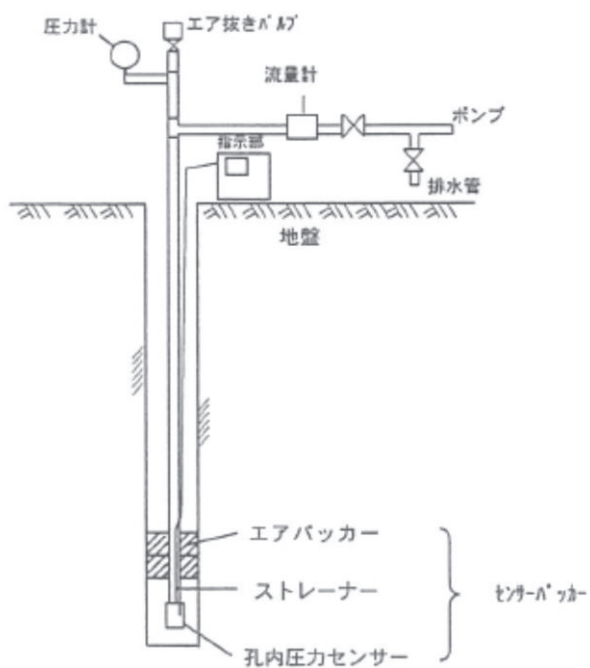


図 4-3 原位置透水試験（ルジオン試験）の概要

(ルジオンテスト技術指針・同解説（平成 18 年 7 月）（財団法人 国土技術研究センター）より引用)

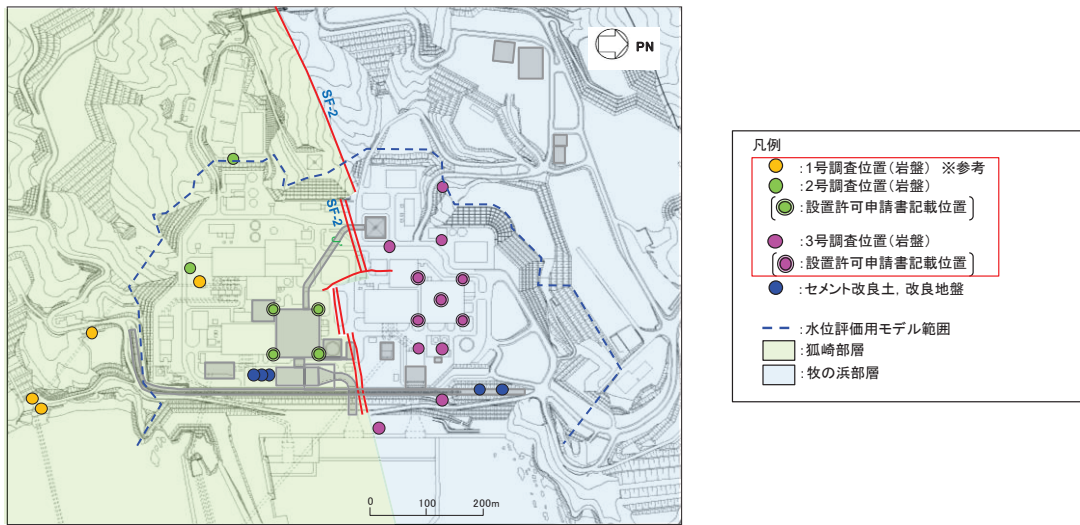


図 4-4 原位置試験位置図

表 4-5 岩盤の原位置透水試験結果

地層	データ数	試験結果(平均値) (m/s)
孤崎部層	70	$2.3 \times 10^{-7}$
牧の浜部層	127	$2.9 \times 10^{-7}$

(2) 取得データの代表性

地下水ハンドブック（建設産業調査会）における一般的な固結堆積物の透水係数を表4-6に示す。

細粒砂岩の場合、概ね $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-8}$  (m/s) 程度となっていることから、文献値等に示されている透水係数とも整合的である。なお、透水試験データは、図4-4に示すとおり、主要施設近傍並びに敷地の全体から取得されている。

表 4-6 固結堆積物の水理条件

地 質	間 隙 率		透水係数の範囲(cm/sec) $10^2$ $10^0$ $10^{-2}$ $10^{-4}$ $10^{-6}$ $10^{-8}$	井戸産出量 高 中 低	帯水層単元の型
	1 次 的 (粒子)	2 次 的 (破 砕)			
固 結 堆 積 物					
石灰岩・白雲岩	1～50	溶解、節理面	—————	—————	帯水層あるいは不透水層
粗～中粒砂岩	<20	節理、破砕	—————	—————	帯水層あるいは難透水層
細粒砂岩・泥岩	<10	節理、破砕	—————	—————	帯水層あるいは不透水層
頁岩・シルト岩	—	節理、破砕	—————	—————	不透水層あるいは帯水層

(地下水ハンドブック（建設産業調査会）より引用)

### 3.3 セメント改良土及び改良地盤

#### (1) 原位置透水試験

原位置透水試験（ルジオン試験）の試験位置を図4-5に、透水試験結果を表4-7に示す。

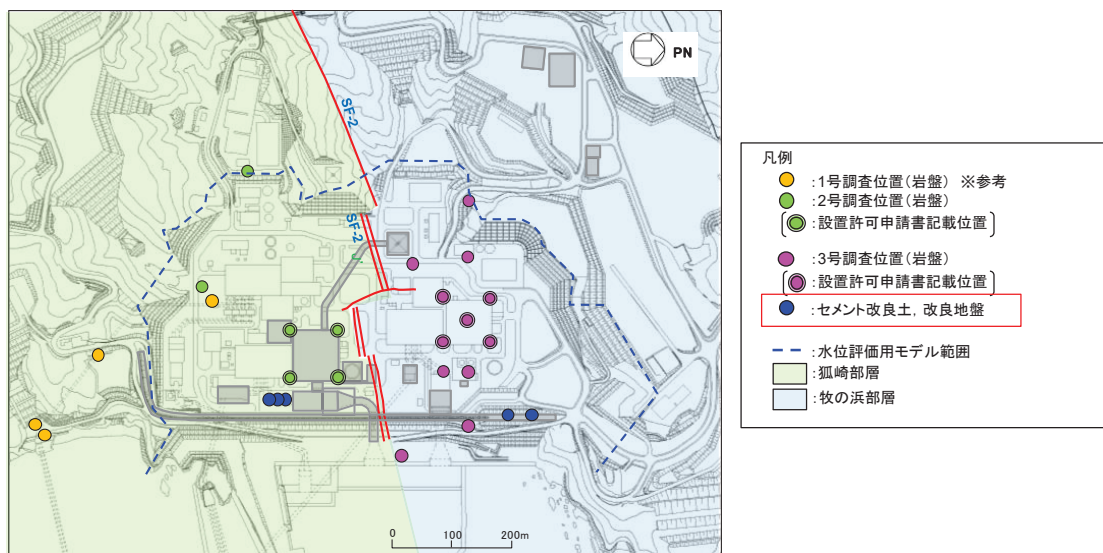


図 4-5 原位置試験位置図  
(セメント改良土・改良地盤)

表 4-7 セメント改良土及び改良地盤の原位置透水試験結果

地層	データ数	試験結果(平均値) (m/s)
セメント改良土	5	$1.7 \times 10^{-7}$
改良地盤	6	$2.4 \times 10^{-7}$

(2) 取得データの代表性

セメント改良土は、発電所構内で採取した掘削土にセメントを混合して製造したもので、改良地盤は、高圧噴射攪拌工法によって、発電所内の盛土、旧表土とセメントミルクを混合して造成したもので、いずれも一定の品質管理によって造成された人工地盤であることから、代表性の確認については、透水試験位置のPS検層の結果から算定した初期せん断剛性と解析用物性値の関係から確認する。

改良地盤及びセメント改良土の解析用物性値を表4-8に、透水試験箇所を実施したPS検層により算定した初期せん断剛性（概略値）を表4-9に示す。

いずれの試験箇所においても、初期せん断剛性（概略値）が解析用物性値よりも大きな値を得られていることから、試験箇所の代表性があると判断できる。

表 4-8 改良地盤の解析用物性値

	初期せん断剛性 $G_0$ (N/mm <sup>2</sup> ) *	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
改良地盤	1940	20.6
セメント改良土	1670	21.6

注記\* :  $G_0 = \gamma V_s^2$  (N/mm<sup>2</sup>) ここに、 $V_s$  : S波速度 (m/s)

表 4-9 試験結果に基づく初期せん断剛性（概略値）

区分	孔名	平均S波速度 (m/s)	初期せん断剛性 $G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )
改良地盤	No. 1	1160	2770
	No. 2	1120	2580
	No. 3	1200	2970
セメント改良土	No. 4	1080	2520
	No. 5	1050	2380

なお、上記のうち改良地盤について、別途、防潮堤工事において施工した改良地盤で実施した追加試験データを表4-10に、試験位置を図4-6に示す。

この結果から、前述の既往試験データと追加試験データは概ね同オーダーであることを確認している。

表 4-10 既往試験と追加試験の比較

地層	既往試験		追加試験	
	データ数	試験結果 (m/s)	データ数	試験結果 (m/s)
改良地盤	6	$2.4 \times 10^{-7}$	13	$0.5 \times 10^{-7}$

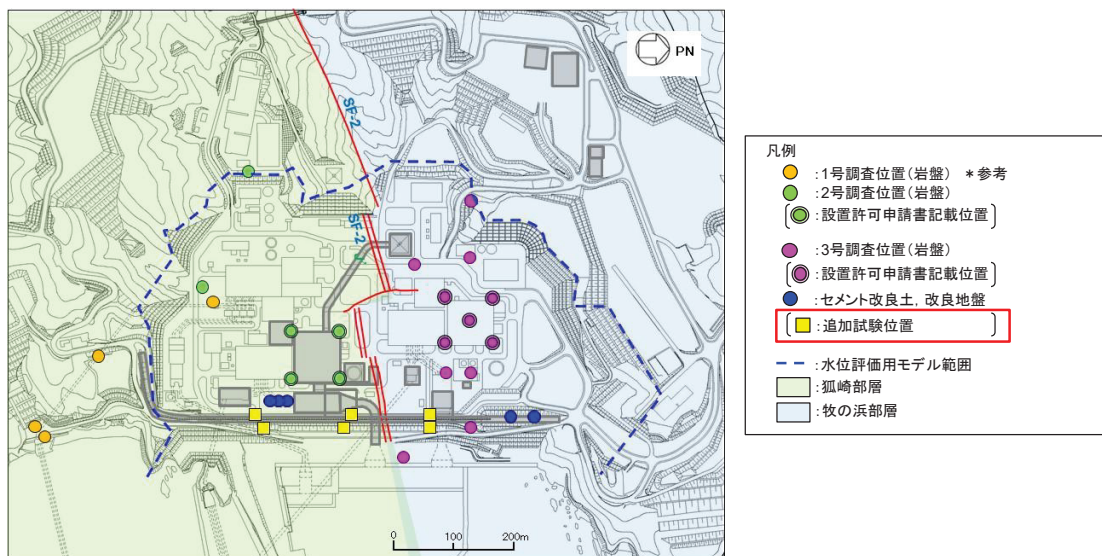


図 4-6 改良地盤の追加透水試験位置図

(図 4-4 に改良地盤の追加透水試験位置を追記)

### 3.4 透水層 (碎石)

室内透水試験の試験方法の概要を図4-7に、透水試験結果を表4-11に示す。

試験体は、ヒューム管周辺のフィルター材設置状況を図4-8に示すとおり、ヒューム管の周囲のフィルター材である碎石 (0~80mm) , 碎石 (0~40mm) のうち、相対的に細粒分が多い碎石 (0~40mm) を用いた。なお、管内空分相当の空隙を考慮し、水中落下により試験体を作成した。

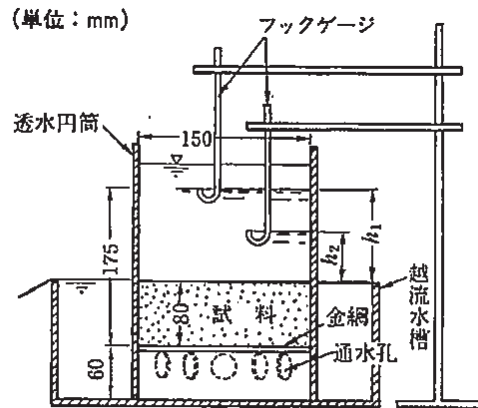


図-6.5.4 低動水勾配の変水位透水試験（大口径のスタンドパイプを用いる方法）Yemington<sup>司</sup>に加筆修正

図 4-7 室内透水試験方法の概要

（土質試験の方法と解説（地盤工学会）より引用）

表 4-11 透水層（砕石）の室内透水試験結果

地層	データ数	試験結果(平均値) (m/s)
透水層 (砕石)	10	$1.2 \times 10^{-2}$

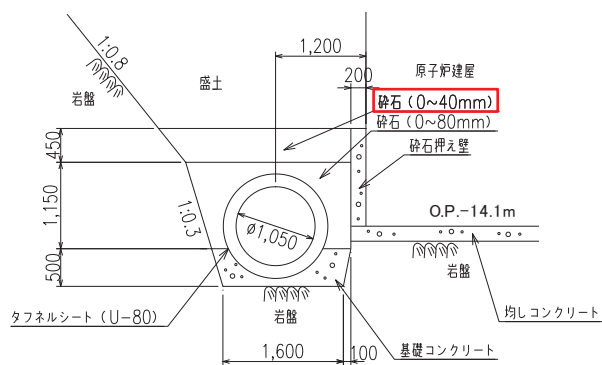


図 4-8 ヒューム管周辺のフィルター材設置状況  
（φ1050 mmヒューム管の例）

#### 4. 設定結果

透水係数の設定に用いる透水試験結果の一覧を表 4-12 に示す。2.2 に示した解析モデル毎の透水係数の設定方針に基づく設定結果を 4.1~4.3 に示す。

表 4-12 透水試験結果一覧

地層		データ数	試験結果(平均値) (m/s)	平均値 - 1 $\sigma$ (m/s)	平均値+1 $\sigma$ (m/s)
盛土・旧表土		158	$2.1 \times 10^{-5}$	$7.3 \times 10^{-7}$	$6.2 \times 10^{-4}$
狐崎 部層	岩盤 I	16	$1.6 \times 10^{-6}$	$7.2 \times 10^{-7}$	$3.7 \times 10^{-6}$
	岩盤 II	54	$1.3 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-8}$	$0.8 \times 10^{-6}$
牧の浜 部層	岩盤 I	70	$1.1 \times 10^{-6}$	$2.3 \times 10^{-7}$	$5.3 \times 10^{-6}$
	岩盤 II	57	$0.6 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-8}$	$3.0 \times 10^{-7}$
セメント改良土 ・改良地盤		11	$2.1 \times 10^{-7}$	$2.7 \times 10^{-8}$	$1.6 \times 10^{-6}$
透水層 (碎石)		10	$1.2 \times 10^{-2}$	$0.9 \times 10^{-2}$	$1.7 \times 10^{-2}$



#### 4.1 広域モデルの設定結果

広域モデルの解析に用いる透水係数を表4-13に示す。

広域モデルの目的は、前述のとおり、観測等により得られた実測値と解析のアウトプットとの比較によるモデルの妥当性確認であることから、地下水流動場の平均的な水理特性に対応する条件（初期値）として、試験結果等の平均値に基づき設定する。

表 4-13 透水係数の設定値と設定根拠（①広域モデル）

地層	設定値 (m/s)	試験値等	設定根拠	備考
盛土・旧表土	$3.0 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-5}$	粒度試験に基づくクレ ーガーらの方法により 求めた値の平均値に基 づき設定	* 1
狐崎 部層	岩盤 I	$2.0 \times 10^{-6}$	試験結果の平均値に基 づき設定	* 2
	岩盤 II	$5.0 \times 10^{-7}$	試験結果の平均値に基 づき設定	* 1
牧の浜 部層	岩盤 I	$1.0 \times 10^{-6}$	試験結果の平均値に基 づき設定	* 2
	岩盤 II	$1.0 \times 10^{-7}$	試験結果の平均値に基 づき設定	* 1
セメント改良 土・改良地盤	— (設定なし)	—	—	
透水層（碎石）	— (設定なし)	—	—	
コンクリート 構造物 (MMR 含む)	— (不透水)	—	—	* 3

注記\* 1：建設時工事計画認可時と同値

\* 2：建設時工事計画認可時の検討においては、解析の保守性を示す目的から岩盤 I を平均値 - 1 $\sigma$  に設定していたが、①広域モデルの解析目的を踏まえ、初期値として試験結果の平均値に設定

\* 3：建設時工事計画認可時においては透水係数を設定（コンクリート工学ハンドブックに基づき  $1.0 \times 10^{-11}$  (m/s)）していたが、岩盤と比べても十分に小さな値であり、影響は小さいと考えられるため不透水として扱う。

## 4.2 水位評価モデル

水位評価モデルの解析に用いる透水係数を表4-14に示す。

水位評価モデルを用いた浸透流解析の目的は、設計用地下水位の設定において参照する揚圧力・地下水位を高め算出することであるため、①広域モデルで妥当性を確認した透水係数に対し、解析の再現性（観測水位への追従性）が確保される範囲で更に小さく（水位が高めに評価されるよう）設定する。

具体的には、補足1に示す建設時工事計画認可時の設定を踏襲し、岩盤Ⅰの試験結果（平均値）に標準偏差（ $-1\sigma$ ）のばらつきを考慮する。なお、建設時工事計画認可時においては、建屋への揚圧力影響の保守性の観点で不確かさを考慮した透水係数の設定であり、液状化への影響の観点から建物・構築物及び土木構造物周辺の地下水位分布に着目した場合における保守性の確認結果については補足6に示す。

表 4-14 透水係数の設定値と設定根拠（②水位評価モデル）

地層		設定値 (m/s)	試験値等	設定根拠	備考	
盛土・旧表土		$3.0 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-5}$	粒度試験に基づくクレーガーらの方法による平均値に基づき設定	* 1	
狐崎 部層	岩盤Ⅰ	$7.0 \times 10^{-7}$	$7.2 \times 10^{-7}$	透水試験結果の平均値- $1\sigma$ に基づき設定		
	岩盤Ⅱ	$5.0 \times 10^{-7}$	$1.3 \times 10^{-7}$	透水試験結果の平均値に基づき設定		
牧の浜 部層	岩盤Ⅰ	$2.0 \times 10^{-7}$	$2.3 \times 10^{-7}$	透水試験結果の平均値- $1\sigma$ に基づき設定		
	岩盤Ⅱ	$1.0 \times 10^{-7}$	$0.6 \times 10^{-7}$	透水試験結果の平均値に基づき設定		
セメント改良土・改良地盤		$2.0 \times 10^{-7}$	$2.1 \times 10^{-7}$	透水試験結果の平均値に基づき設定		* 2
透水層（砕石）		$1.0 \times 10^{-2}$	$1.2 \times 10^{-2}$	透水試験結果の平均値に基づき設定		
コンクリート構造物（MMR含む）		— （不透水）	—	—	* 3	

注記\* 1：建設時工事計画認可時と同値。

注記\* 2：建設時工事計画認可時は設定なし。

注記\* 3：建設時工事計画認可時においては透水係数を設定（コンクリート工学ハンドブックに基づき $1.0 \times 10^{-11}$  (m/s)）していたが、岩盤と比べても十分に小さな値であり、影響は小さいと考えられるため不透水として扱う。

#### 4.3 地下水流入量評価モデル

地下水流入量評価モデルの解析に用いる透水係数を表4-15に示す。

地下水流入量評価モデルを用いた浸透流解析の目的は、ポンプ等の排水機能に係る設計用流入量を設定することであるため、①広域モデルで妥当性を確認\*1した透水係数に対し、地下水位低下設備（ドレーン）への地下水流入量を多めに評価するよう、透水係数を更に大きく設定する。

具体的には、モデル化する全ての地層を全ての試験結果（平均値）に標準偏差（+1σ）を考慮する。

注記\*1：水位評価においては透水係数を試験結果等の平均値（初期値）、地下水流入量の評価においては初期値より盛土の透水係数を大きく（+1σ）設定することにより、モデルの妥当性を確認している。

表 4-15 透水係数の設定値と設定根拠（③地下水流入量評価モデル）

地層		設定値 (m/s)	試験値等	設定根拠	備考
盛土・旧表土		$7.0 \times 10^{-4}$	$6.2 \times 10^{-4}$	粒度試験に基づくクレ-ガーらの方法による平均値+1σに基づき設定	
狐崎 部層	岩盤Ⅰ	$4.0 \times 10^{-6}$	$3.7 \times 10^{-6}$	透水試験結果の平均値+1σに基づき設定	
	岩盤Ⅱ	$1.0 \times 10^{-6}$	$0.8 \times 10^{-6}$	透水試験結果の平均値+1σに基づき設定	
牧の浜 部層	岩盤Ⅰ	$6.0 \times 10^{-6}$	$5.3 \times 10^{-6}$	透水試験結果の平均値+1σに基づき設定	
	岩盤Ⅱ	$3.0 \times 10^{-7}$	$3.0 \times 10^{-7}$	透水試験結果の平均値+1σに基づき設定	
セメント改良土・改良地盤		$2.0 \times 10^{-6}$	$1.6 \times 10^{-6}$	透水試験結果の平均値+1σに基づき設定	
透水層（碎石）		—	—	—	* 1
コンクリート 構造物 (MMR 含む)		— (不透水)	—	—	* 2

注記\*1：地下水流入量の評価においては、透水層（碎石）として扱うドレーンを含めて、既設・新設全てのドレーンを有効としたモデル化を行う。

注記\*2：建設時工事計画認可時においては透水係数を設定（コンクリート工学ハンドブックに基づき $1.0 \times 10^{-11}$  (m/s)）していたが、岩盤と比べても十分に小さな値であり、影響は小さいと考えられるため不透水として扱う。

(補足 1) 建設時工事計画認可時の透水係数の設定根拠とその妥当性について

水位評価に用いる透水係数の設定は、建設時工事計画認可時の保守性に関するパラメータスタディを踏まえ、揚圧力評価における保守性の確保として、岩盤Ⅰの試験結果(平均値)に標準偏差( $-1\sigma$ )のばらつきを考慮している。

本書では、その設定根拠と建物・構築物および土木構造物周辺の地下水位分布への影響として盛土・旧表土の物性値のばらつきを確認した結果を説明する。

(1) 建設時工事計画認可時のパラメータスタディ

建設時工事計画認可時において、浸透流解析に用いる透水係数のパラメータスタディによる保守性の検討を実施している。

パラメータスタディの概要と結果を図 4-9 及び図 4-10 に示す。

検討の結果より、建設時工事計画認可時において、最も保守的な設定として岩盤Ⅰの透水係数を試験値の平均値 $-1\sigma$ の設定としている。

(パラメータスタディ①)

- ・ 盛土・旧表土の透水係数のみを変化させた CASE T3 と CASE T4 (CASE T3 に対して、盛土・旧表土の透水係数を 1/10 倍) の結果より、盛土・旧表土の透水係数の影響は、原子炉建屋の揚圧力としては 4%程度の変化であり、設計上の影響は無視し得るほど小さいことが確認されている。

(パラメータスタディ②)

- ・ 基本ケースである CASE1 と岩盤Ⅰ・Ⅱの透水係数を変化させた CASE T5 (CASE 1 に対して、岩盤Ⅰ・Ⅱの透水係数を 1/10 倍) の結果より、岩盤Ⅰ・Ⅱともに透水係数を小さくした場合、揚圧力に変化はみられていない。
- ・ 一方で、CASE1 と岩盤Ⅰの透水係数のみを変化させた CASE T7 (CASE 1 に対して、岩盤Ⅰ・Ⅱの透水係数を 1/10 倍) の結果では、揚圧力に与える影響がみられており、CASE T5 の結果も踏まえると、透水係数の絶対値自体の大小が与える影響は軽微であり、岩盤Ⅰ・Ⅱの比率が小さいほど、揚圧力に与える影響が大きくなると考えられる。

表-4.1 解析ケース及び透水係数 — タービン建屋 — (単位: cm/sec)

ケース	地層 表層土等	岩盤		MMR	備考
		I層	II層		
CASE T1	$3.0 \times 10^{-2}$	$5.57 \times 10^{-5}$	$2.39 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-6}$	岩盤I、II層の透水係数を最小値に設定。
CASE T2	$3.0 \times 10^{-2}$	$5.57 \times 10^{-5}$	$2.39 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-8}$	岩盤I、II層の透水係数を最小値に設定。MMRは前回CASE1より2桁小さく設定。
CASE T3	$3.0 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-8}$	岩盤I、II層の透水係数を前回CASE1より1桁小さく設定。MMRは前回CASE1より2桁小さく設定。
CASE T4	$3.0 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-8}$	表層土等、岩盤I、II層の透水係数を前回CASE1より1桁小さく設定。MMRは前回CASE1より2桁小さく設定。
(前回CASE1)	$3.0 \times 10^{-2}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-6}$	

盛土・旧表土の  
透水係数を 1/10

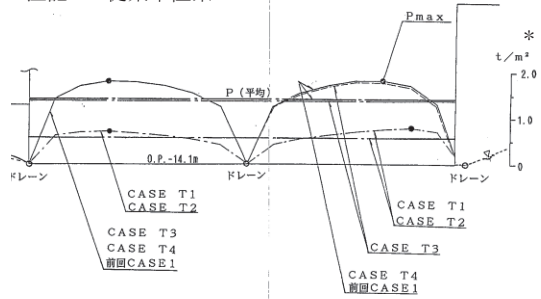
原子炉建屋

(単位: t/m<sup>2</sup>)

ケース	揚圧力	Pmax左	Pmax右	P(平均)
CASE T1	0.71	0.79	0.57	0.57
CASE T2	0.71	0.79	0.57	0.57
CASE T3	1.75	1.72	1.37	1.37
CASE T4	1.78	1.81	1.42	1.42
(前回CASE1)	1.78	1.81	1.42	1.42

(原子炉建屋の揚圧力)

注記\*: 従来単位系



(揚圧力分布)

図 4-9 パラメータスタディ①の結果

表-4.2 解析ケース及び透水係数 — タービン建屋 —

(単位: cm/sec)

ケース	地層	表層土等	岩盤		MMR	備考
			I層	II層		
CASE T5		$3.0 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-8}$	南端ドレーンを50cm下げ、 0.P.-2.7mに設定。岩盤 I、II層の透水係数は前 回CASE1より1桁小 さく設定。
CASE T6		$3.0 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-9}$	サブドレーンを0.P.-6.0 mに追加。岩盤I、II層 の透水係数は前回CAS E1より1桁小さく設定。
CASE T7		$3.0 \times 10^{-3}$	$7.0 \times 10^{-5}$	$5.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-9}$	サブドレーンを0.P.-6.0 mに追加。岩盤I層の透 水係数は前回CASE1 より1σ小さく設定。
(前回CASE1)		$3.0 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-6}$	

岩盤 I・II 共に  
透水係数を 1/10

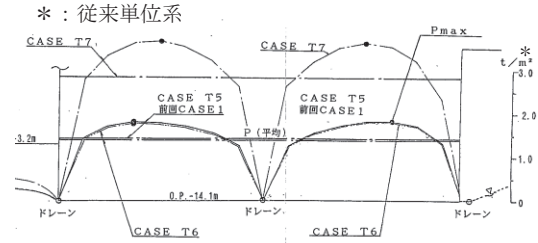
岩盤 I のみ  
透水係数を -1σ

原子炉建屋

(単位: t/m<sup>2</sup>)\*

ケース	揚圧力	Pmax左	Pmax右	P(平均)
CASE T5		1.75	1.80	1.41
CASE T6		1.73	1.80	1.39
CASE T7		3.68	3.63	2.86
(前回CASE1)		1.78	1.81	1.42

(原子炉建屋の揚圧力)



(揚圧力分布)

図 4-10 パラメータスタディ②の結果

(補足 2) 盛土・旧表土の粒度分布について

(1) 盛土

盛土の粒度分布として、図 4-11 に示すエリア別の粒径加積曲線を図 4-12 に示す。

盛土の粒度については、岩盤を掘削した材料 (300mm 以下の岩砕) を用いていることから (補足 3 参照)、JGS「石分を多く含む地盤材料の粒度試験方法」に基づき実施した現場粒度試験によるものである。なお、試験は G.L. 付近 (概ね G.L. -1m~-2m 付近) にて実施している。

この結果から、エリア毎の若干のばらつきは見られるものの、全体的に礫を主体としており、エリア毎に有意な違いは見られていない。

また、エリア別にクレーガーらの方法に基づき設定した透水係数の値を図 4-13 に示す。代表的な透水性としてはいずれのエリアも  $10^{-4}$ m/s オーダーであり、原位置透水試験の結果も踏まえ、盛土・旧表土の設定値 ( $3.0 \times 10^{-5}$ m/s) とすることは妥当である。

なお、深度方向については、表 4-4(2) に示す原位置透水試験の深度別の結果から、深度別で有意な差が見られないことから、施工時に一定の品質管理を実施していることも踏まえ、深度方向の有意な違いはないものと考えられる。

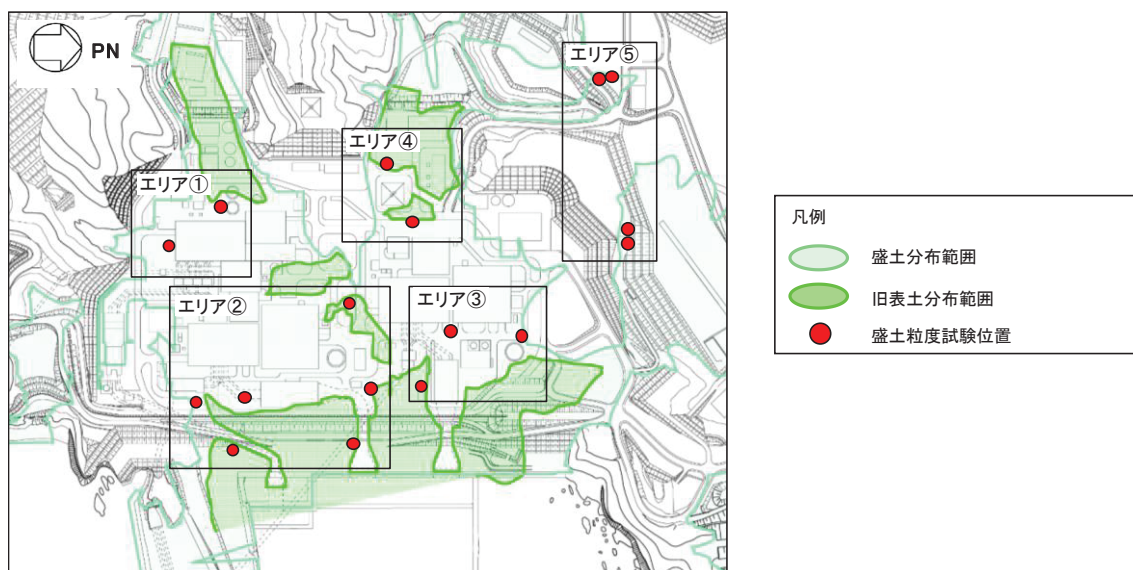


図 4-11 盛土の平面分布のエリア分類

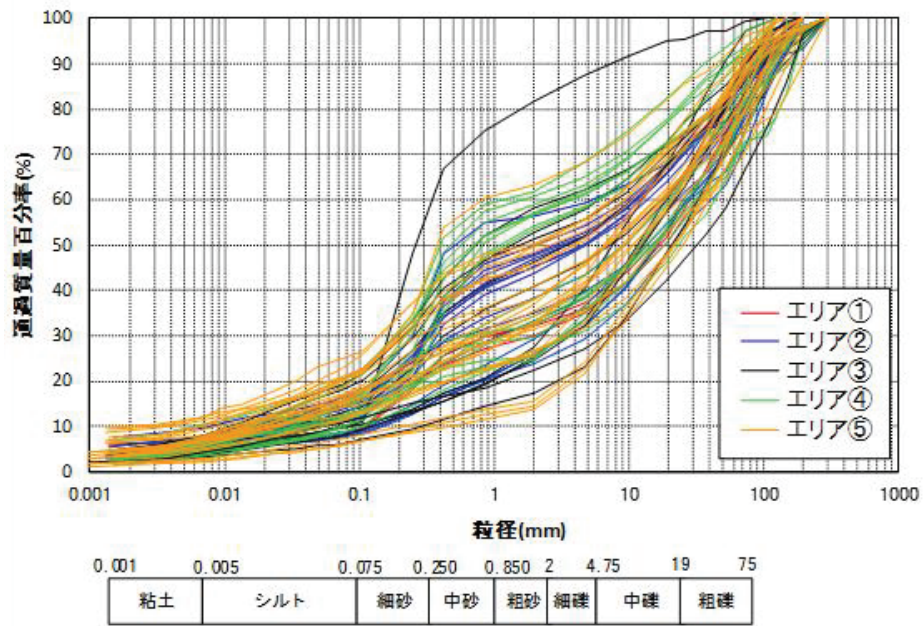


図 4-12(1) 盛土の粒径加積曲線 (全エリア)

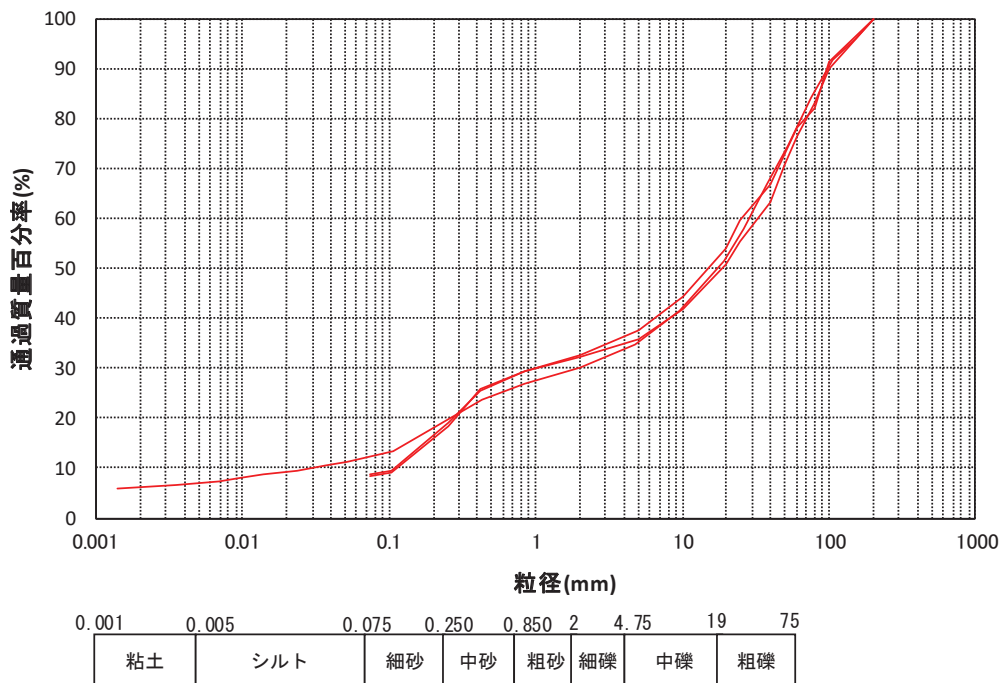


図 4-12(2) 盛土の粒径加積曲線 (エリア①)



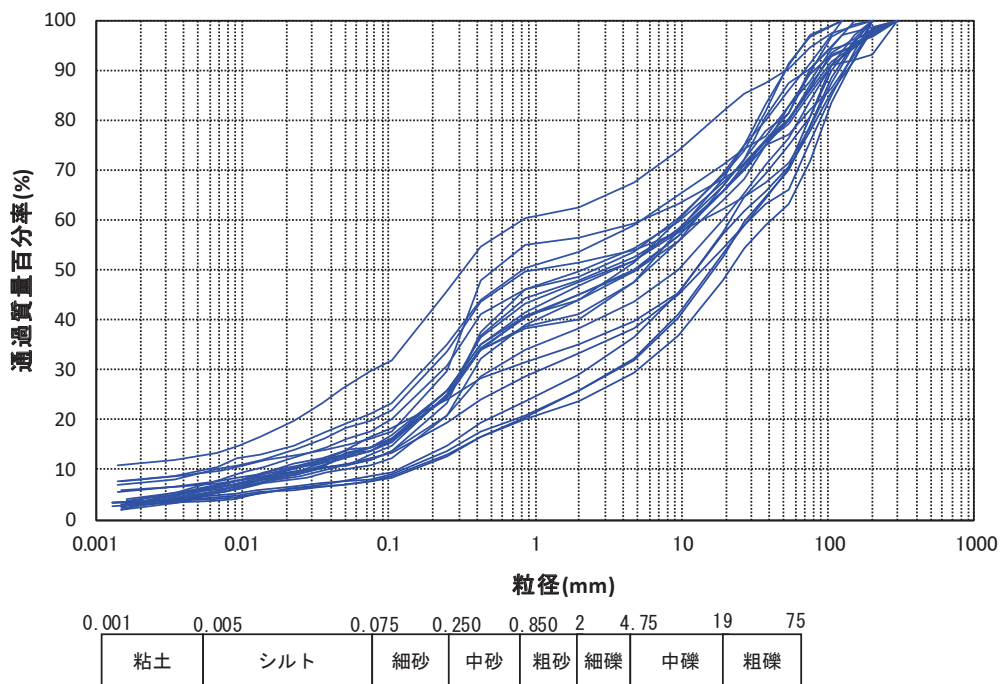


図 4-12(3) 盛土の粒径加積曲線 (エリア②)

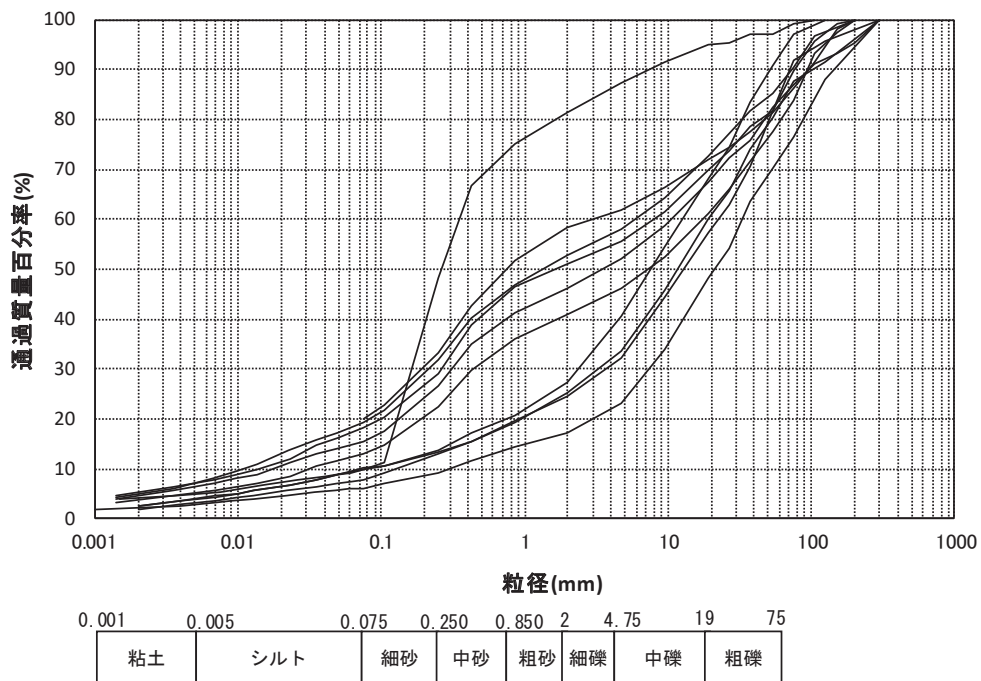


図 4-12(4) 盛土の粒径加積曲線 (エリア③)

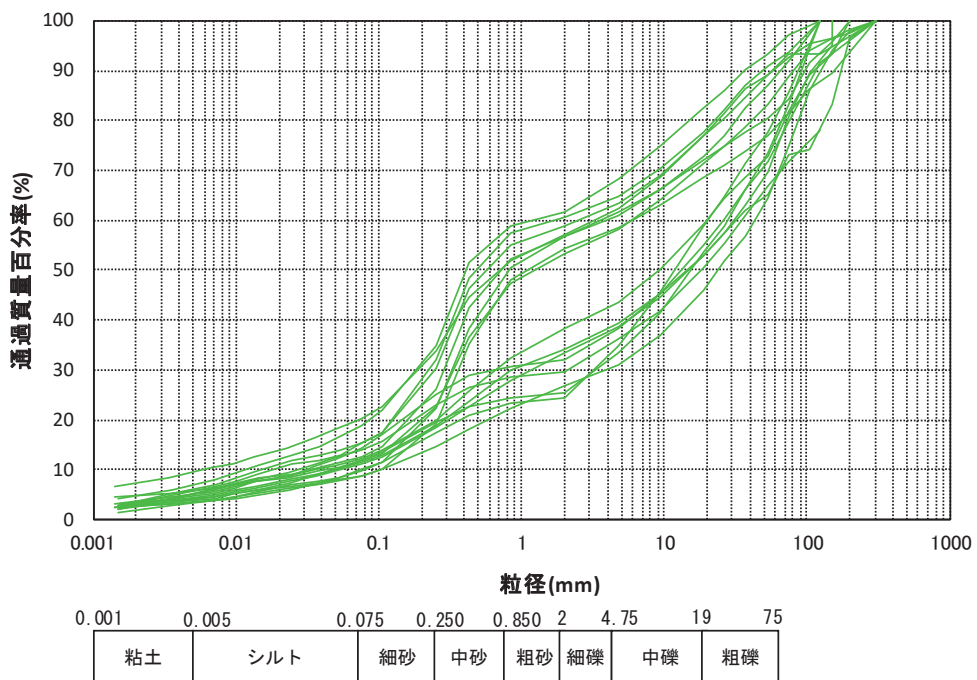


図 4-12(5) 盛土の粒径加積曲線 (エリア④)

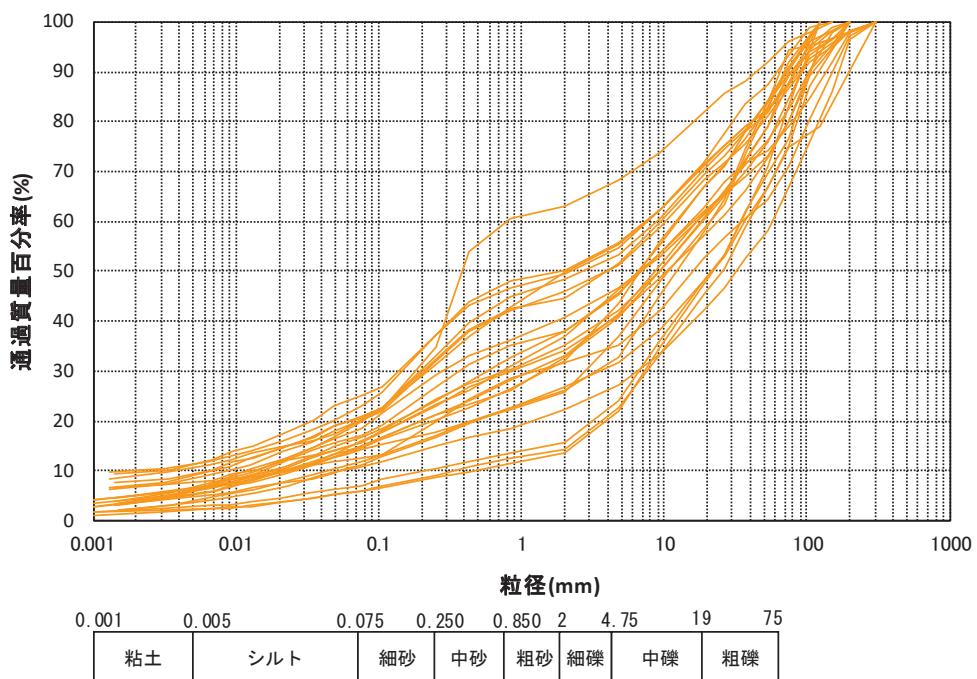


図 4-12(6) 盛土の粒径加積曲線 (エリア⑤)

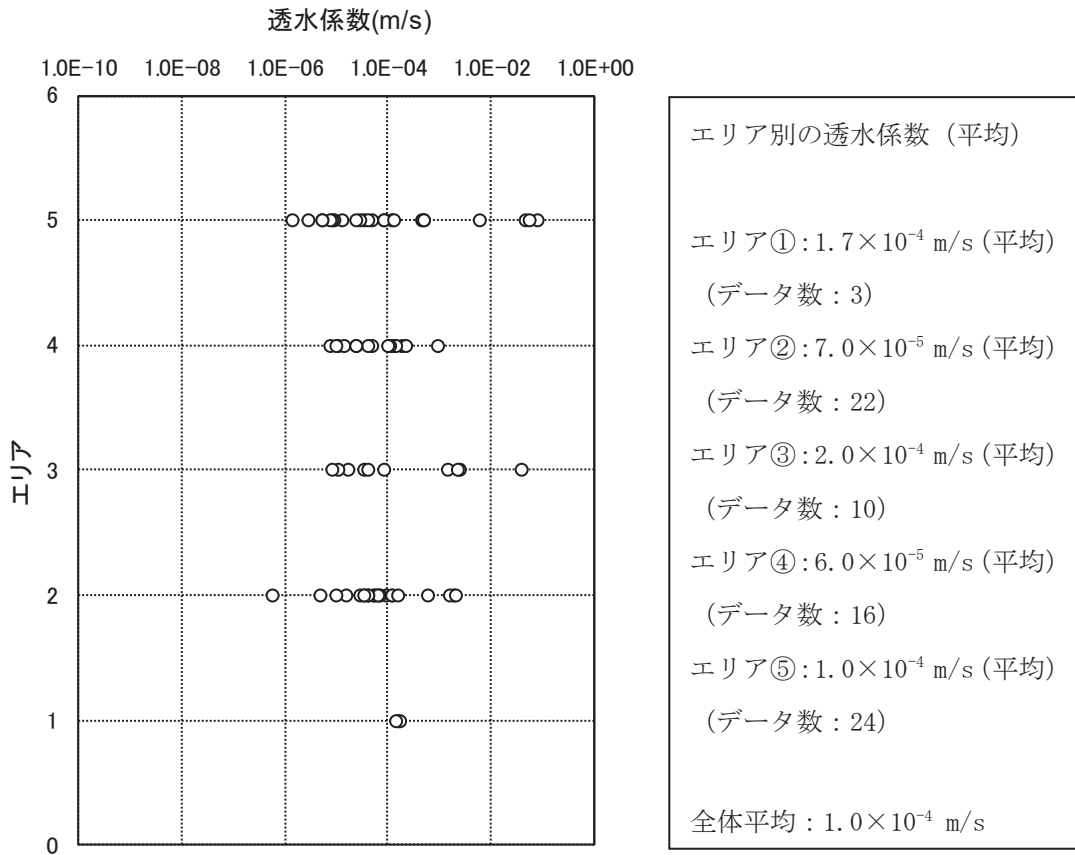


図 4-13 盛土のエリア別の透水係数 (クレーガーらの方法) の分布

(2) 旧表土

旧表土の敷地の粒度分布として、図 4-14 に示すエリア別及び深度別の粒径加積曲線を図 4-15 に示す。

この結果から、エリア毎に若干のばらつきは見られるものの、海に近いエリア 1 では粒度のそろった砂が見られ、深度方向に傾向の違いは見られず、いずれの深度でも砂質土を主体としている。山側のエリア 2 では粒度のばらつきが見られるが、粒度分布の傾向としては概ね砂質土が主体となっている。

また、クレーガーらの方法に基づき設定した透水係数の深度方向の分布を図 4-16 に示す。若干のばらつきは見られるものの、分布状況も踏まえるとエリア 1 が代表性を有しており、その値は  $10^{-5}$ m/s オーダーであるため、旧表土としての分布範囲が限定的であることや原位置透水試験の結果等も踏まえ、盛土・旧表土として一層に設定 ( $3.0 \times 10^{-5}$ m/s) することは妥当である。

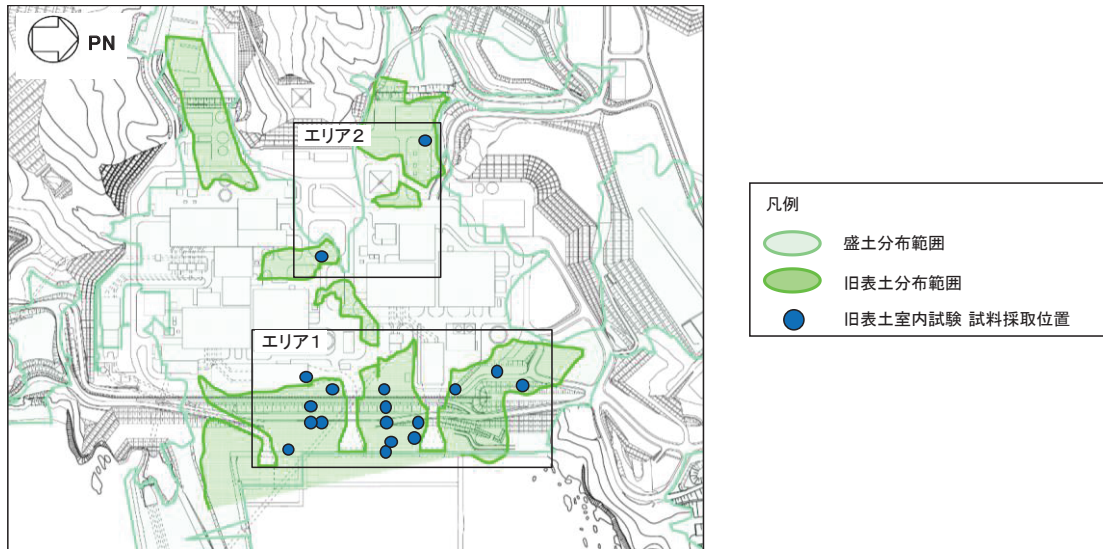


図 4-14 旧表土の平面分布のエリア分類

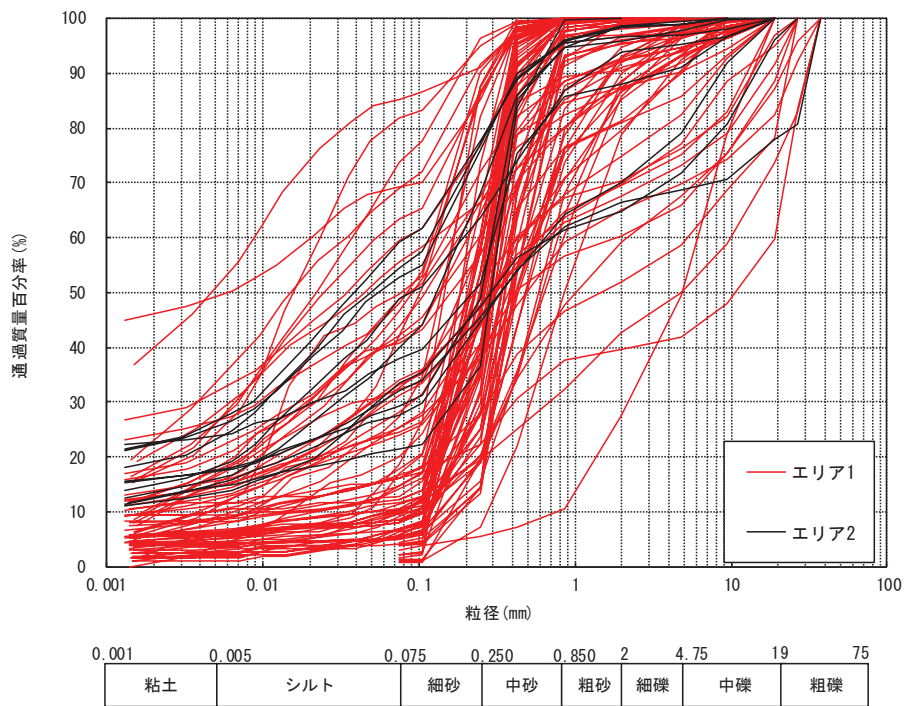


図 4-15(1) 旧表土のエリア別の粒径加積曲線 (全エリア)

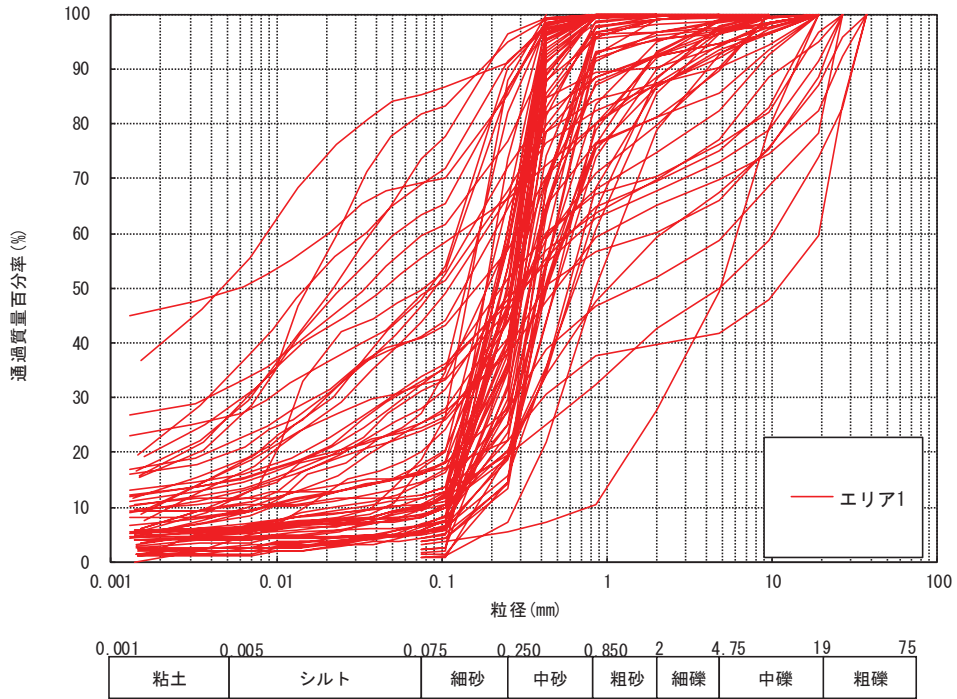


図 4-15(2) 旧表土のエリア別の粒径加積曲線 (エリア 1)

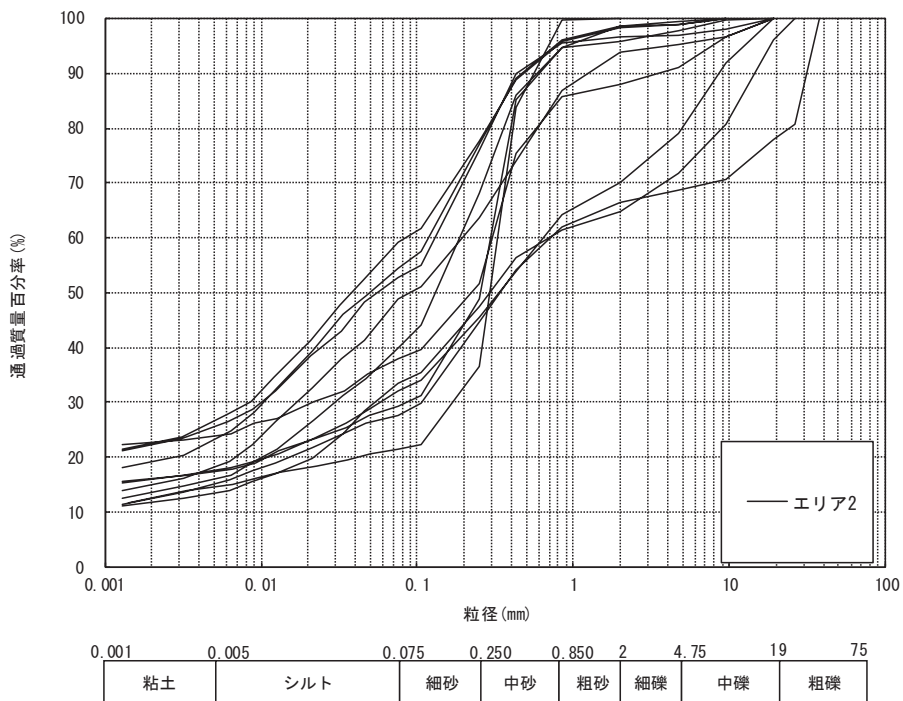


図 4-15(3) 旧表土のエリア別の粒径加積曲線 (エリア 2)

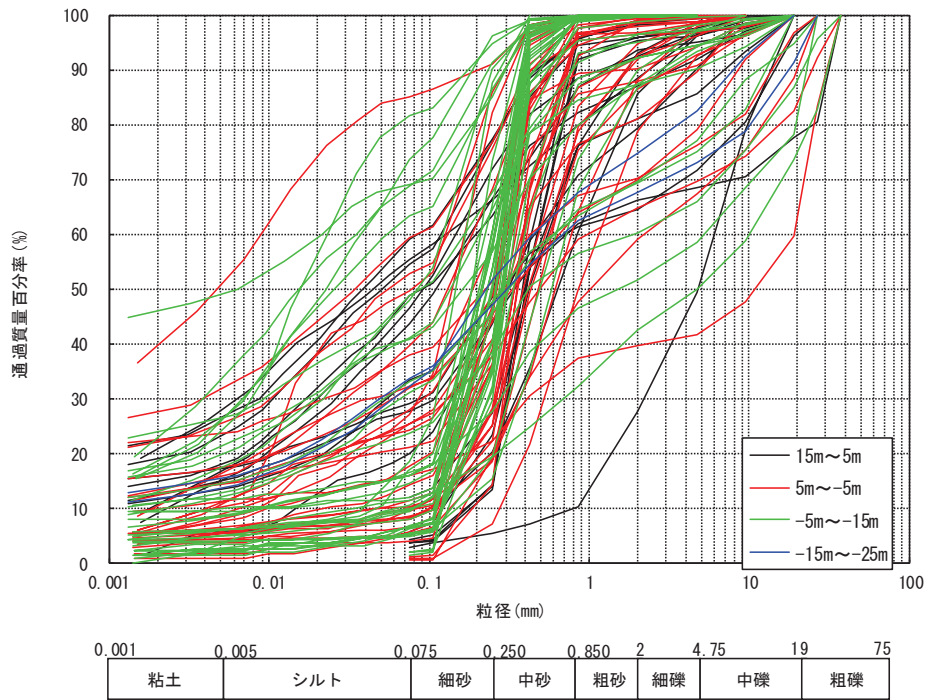


図 4-15(4) 旧表土の深度別の粒径加積曲線 (全深度)

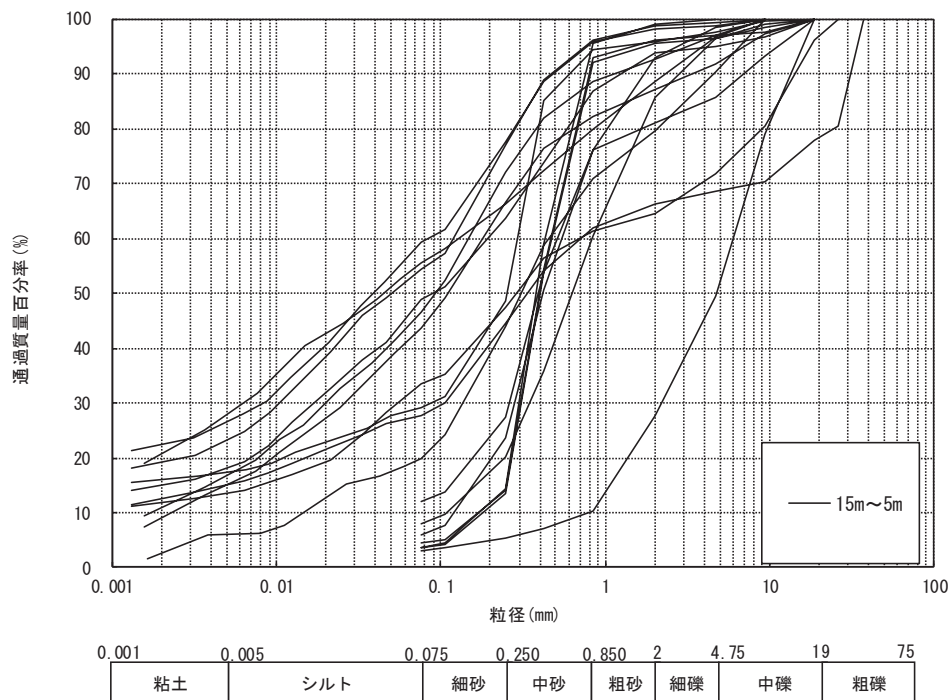


図 4-15(5) 旧表土の深度別の粒径加積曲線 (0.P. +15m~0.P. +5m)

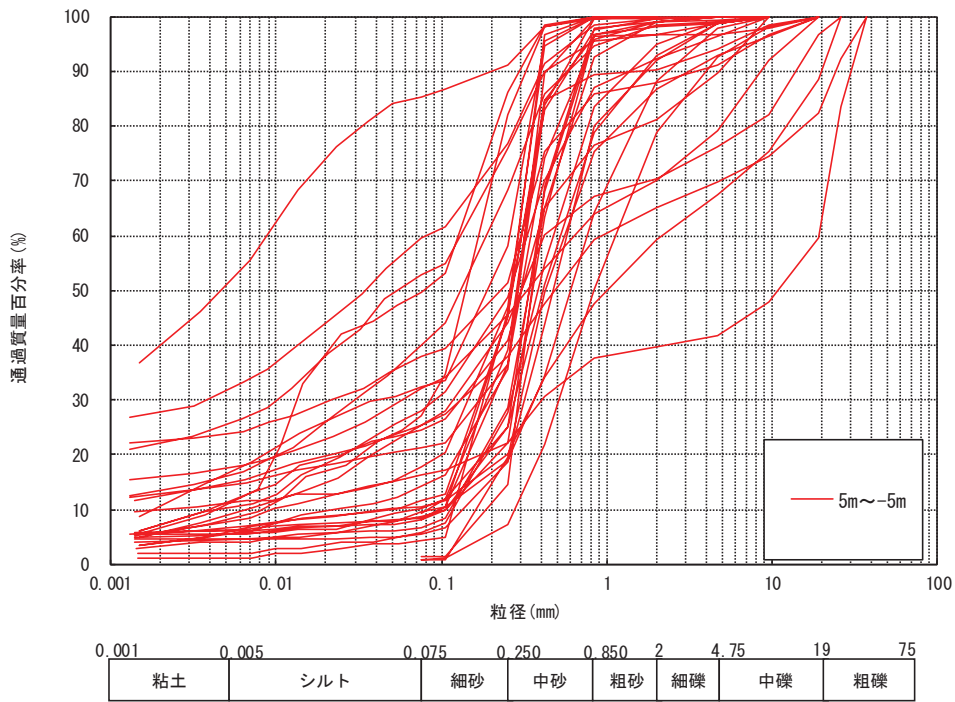


図 4-15(6) 旧表土の深度別の粒径加積曲線 (0. P. +5m~0. P. -5m)

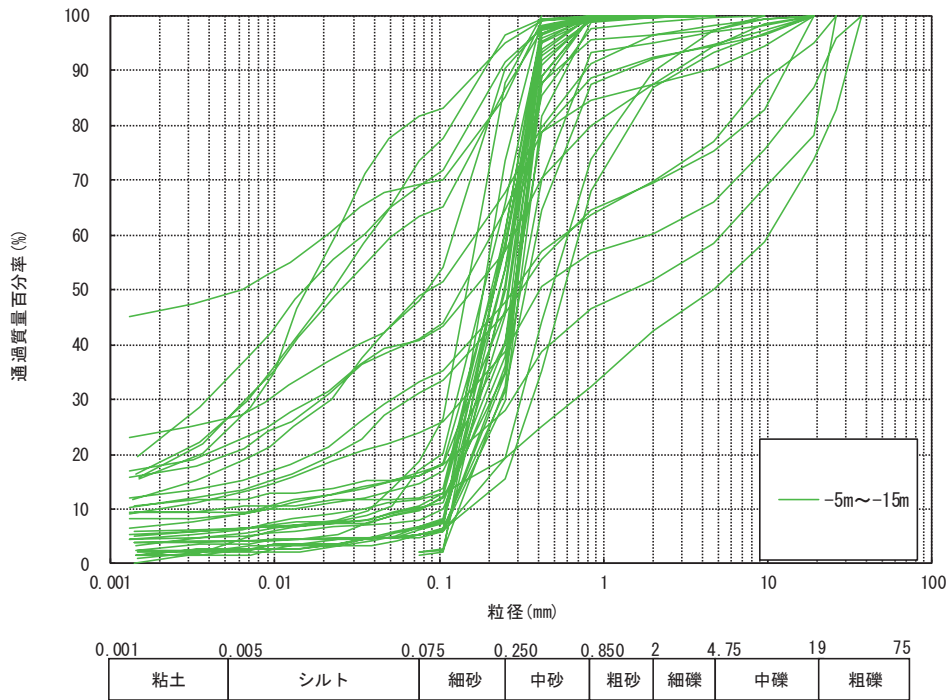


図 4-15(7) 旧表土の深度別の粒径加積曲線 (0. P. -5m~0. P. -15m)

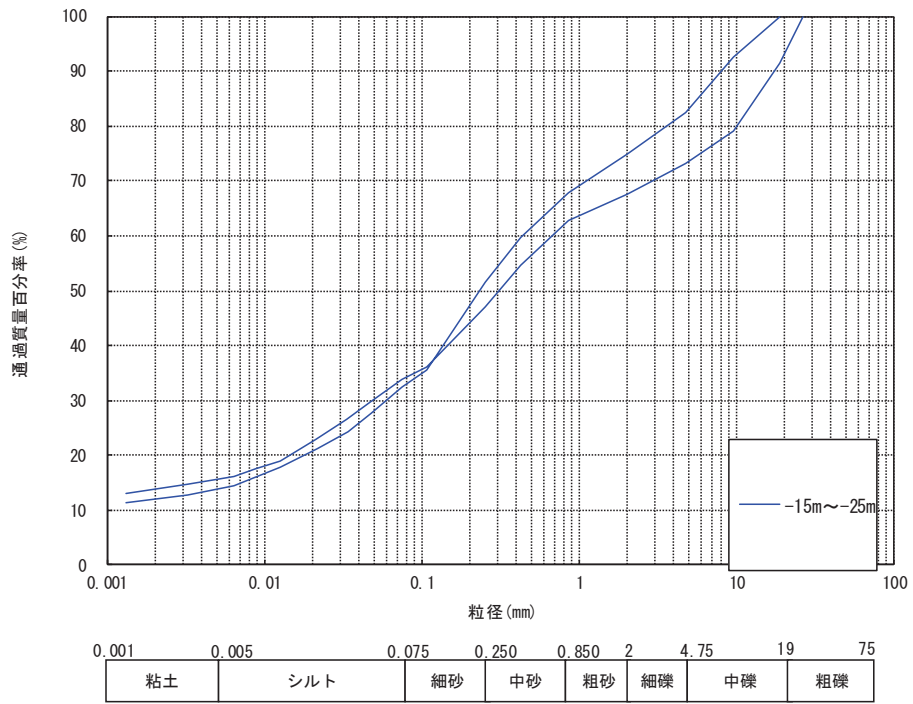


図 4-15(8) 旧表土の深度別の粒径加積曲線 (0. P. -15m~0. P. -25m)



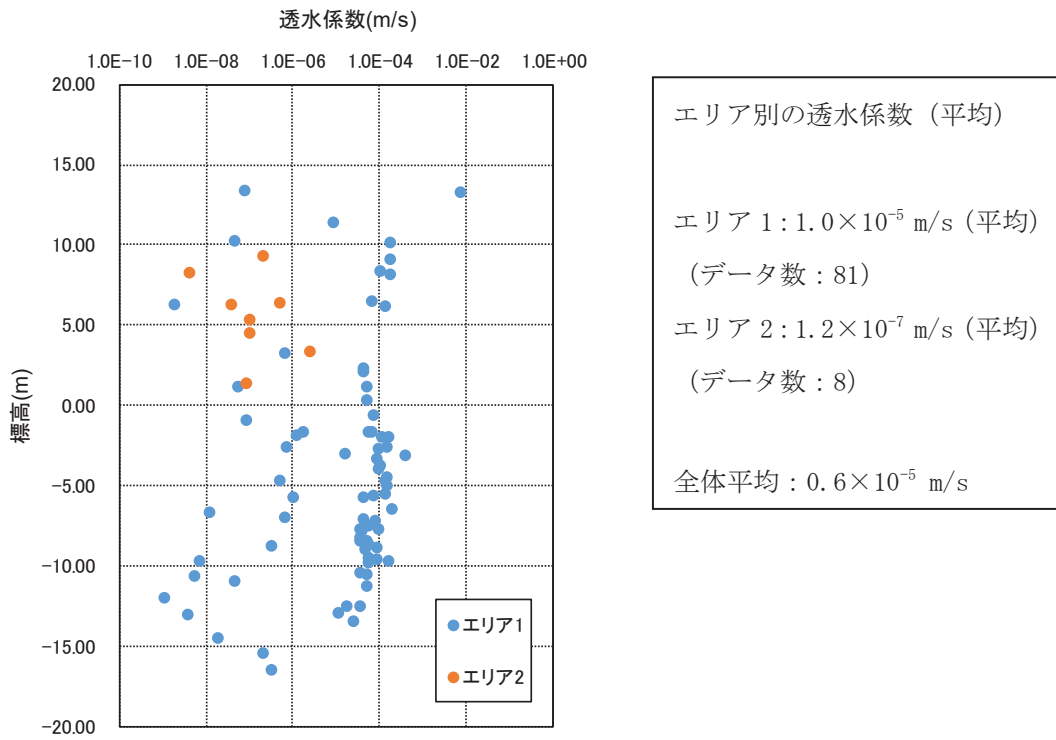


図 4-16 旧表土のエリア別の透水係数 (クレーガーらの方法) の分布

(補足 3) 盛土の礫分の影響について

本章では、盛土が建設時の岩砕を母材とし、礫分\*を含むことから、その影響が透水性に与える影響について示す。

注記\*：石分（粒径 75mm 以上）を含む

(1) 石分の含有率について

粒度試験に基づき推定した、盛土の石分含有率（粒径 75mm 以上の体積比）を表 4-16 に示す。

石分の含有率の推定は、粒度試験（JGS「石分を多く含む地盤材料の粒度試験方法」）による質量百分率及び現場密度試験並びに粗骨材の密度吸水率試験の結果を用いた。

表 4-16 盛土の石分含有率

項目	エリア①	エリア②	エリア③	エリア④	エリア⑤	全体
最大	21%	23%	16%	22%	24%	24%
平均		15%	10%	14%	12%	13%
最小		4%	2%	6%	3%	2%
データ数*	1	12	3	2	10	28

注記\*：現場密度試験や粗骨材の密度吸水率試験の実施状況により、粒度試験のデータ数とは異なる。

(2) 透水性への影響

大粒径の石分の含有が透水性へ与える影響については、まず、クレーガーの算定自体に JGS「石分を多く含む地盤材料の粒度試験方法」により石分を含めて算出した D20 の値を用いている。

未固結堆積物においては、地下水ハンドブック（表 4-3）に示されているとおり、礫等の粗粒分が多いほど透水性は大きくなる傾向となっており、石や礫等の割合が多いほど D20 の値が大きくなるため、クレーガーらの方法による推定式上も透水係数は大きくなるため、整合的である。

石分の含有が極端に多い場合には、D20 が大きくなる一方で、粒度の分布によっては間隙率が小さくなる可能性も否定できず、クレーガーらの方法で算定した透水係数が

大きめに評価される場合も考えられる。

しかしながら、表 4-16 に示すとおり石分の割合は 2%～24% (平均 13%) 程度であり、極端なばらつきも無く、粒度の分布状況から極端な偏りも見られないことから、マクロ的な観点で考えれば平均的な透水性に影響を及ぼす程ではないと判断できる。

(補足 4) 岩盤の透水係数の分類方法について

岩盤については、建設時工事計画認可段階の方針に基づき狐崎部層と牧の浜部層に分け、さらに深度方向にて岩盤Ⅰ・Ⅱの2層に分類してモデル化している。本章ではその考え方について説明する。

(基本的な考え方)

- ・ 狐崎部層と牧の浜部層における、岩盤の透水試験の深度方向の分布を図4-17に示す。多少のばらつきは見られるものの、深度方向に対して透水性が低くなる傾向が確認されることを踏まえ、深度方向に浅部(岩盤Ⅰ)と深部(岩盤Ⅱ)の2層に分類する。
- ・ 2層のモデル化の目安を把握するため、まず、平均値を境界に、浅部は平均値以上、深部は平均値以下として分類し、試験結果を整理する。
- ・ その上で、深度方向に透水性が低くなることから、概ね岩級や速度層等との一定の関係性を有するものと考えられるため、岩級や速度層境界毎に試験結果を整理し、概ね平均値を境界に整理した浅部と深部に分類した区分と対応する境界を設定する。
- ・ 設定した境界を、解析モデル上の浅部(岩盤Ⅰ)、深部(岩盤Ⅱ)の境界とし、モデル化する。

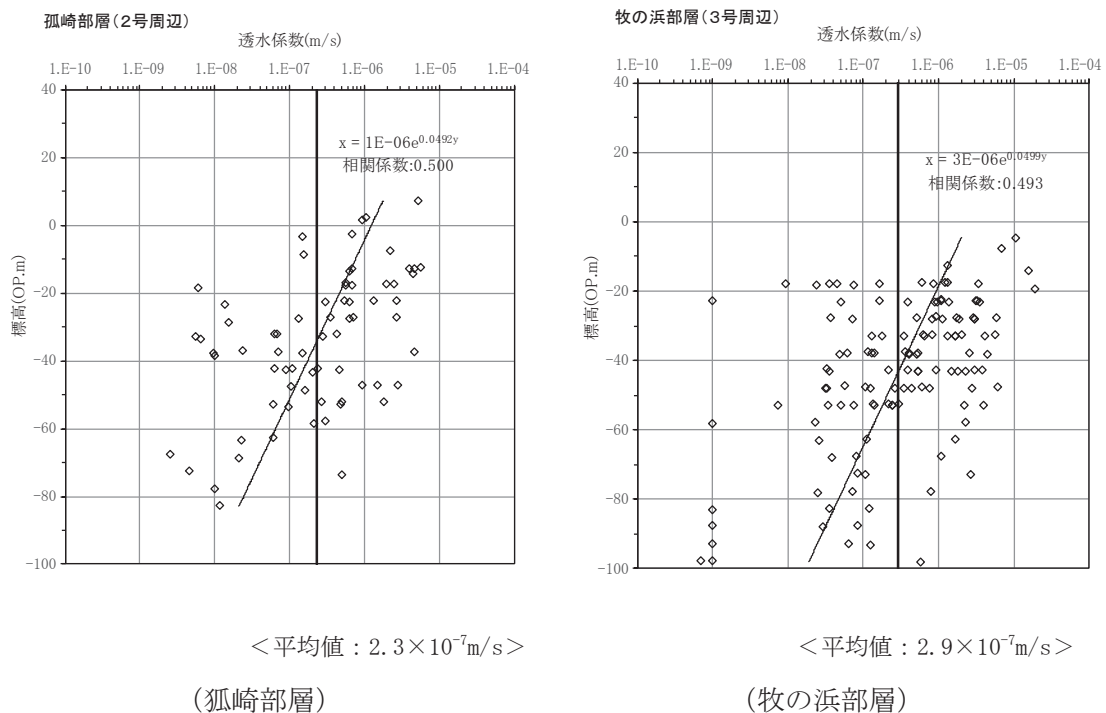


図 4-17 岩盤透水試験の深度分布

(参考) 4-37

(1) 狐崎部層

① 透水性による区分

岩盤の透水試験の累積頻度分布を図 4-18 に示す。多少のばらつきは見られるものの、概ね対数正規分布を呈することから、深度方向の分布状況も踏まえ、平均値を閾値に 2 層に分類する。

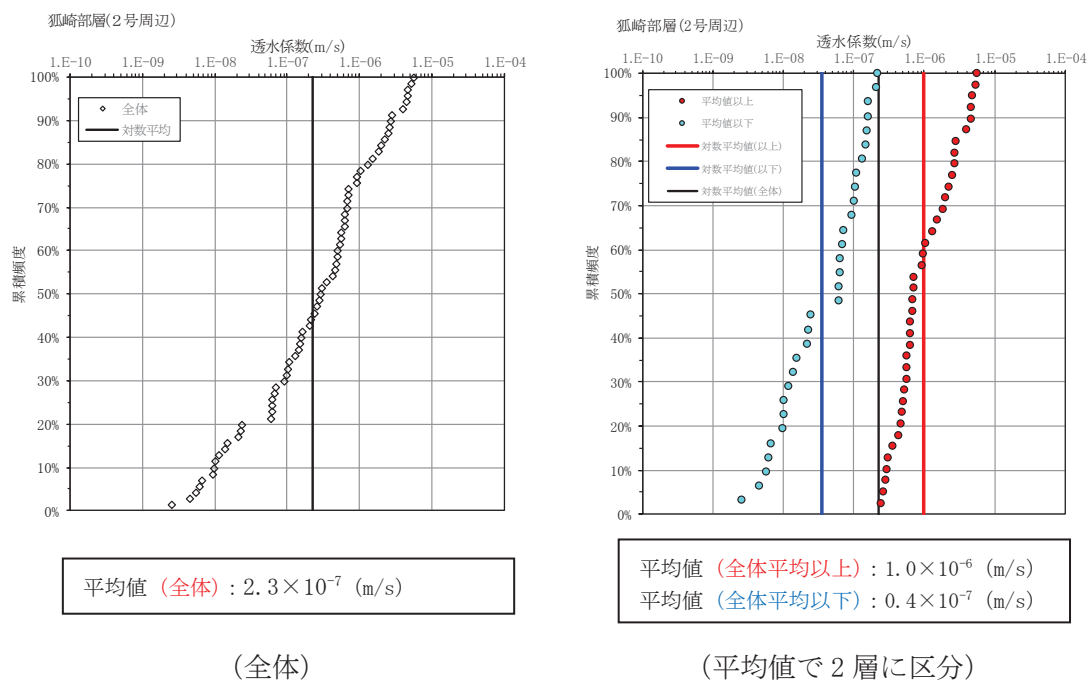


図 4-18 透水性区分における透水試験結果の整理 (狐崎部層)

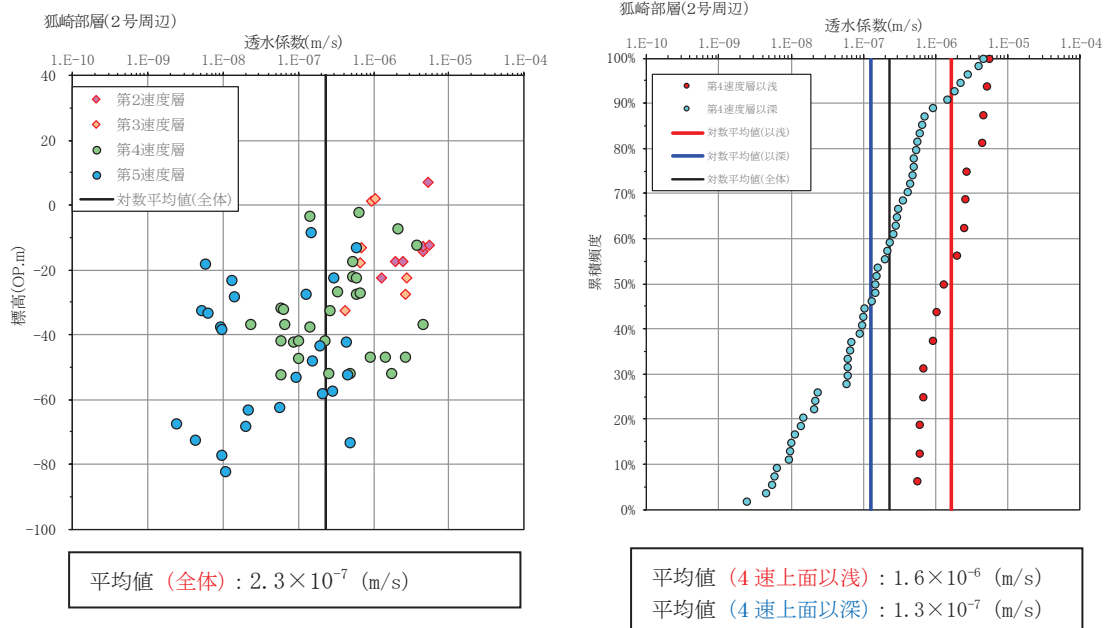
② 岩級・速度層区分による整理

①で整理した透水性による区分に対して、岩盤透水試験の結果を岩級・速度層区分にて整理した結果を表 4-17 に示す。なお、狐崎部層においては図 4-19 に示すとおり、概ね第 3 速度層までは平均値以上、第 4 速度層以深は平均値以下となっていることから第 4 速度層上面を境界とした。

透水性により区分した値と概ね対応していることから、狐崎部層においては第 4 速度層上面を境界に岩盤 I・II に分類しモデル化する。

表 4-17 透水性区分と岩級・速度層区分における透水係数の比較（狐崎部層）

地層	透水係数（平均値） (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
透水性での区分	$1.0 \times 10^{-6}$	$0.4 \times 10^{-7}$	概ね試験平均値である、 $2.3 \times 10^{-7}$ (m/s) 以上を岩盤 I，以下を岩盤 II に分類
岩級・速度層での区分 (=解析モデル)	$1.6 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-7}$	第 4 速度層上面以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類



(速度層別の分布)

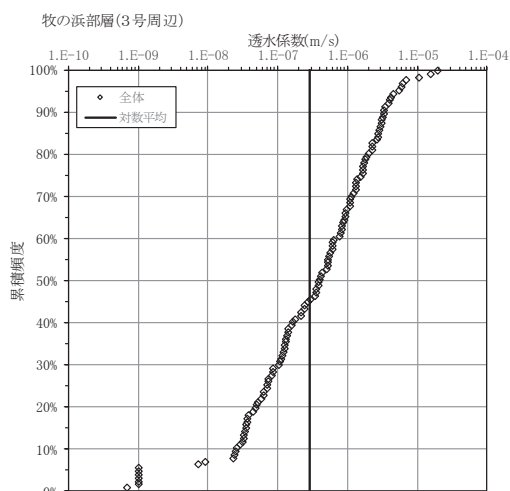
(累積頻度分布)

図 4-19 速度層区分における透水試験結果の整理（狐崎部層）

(2) 牧の浜部層

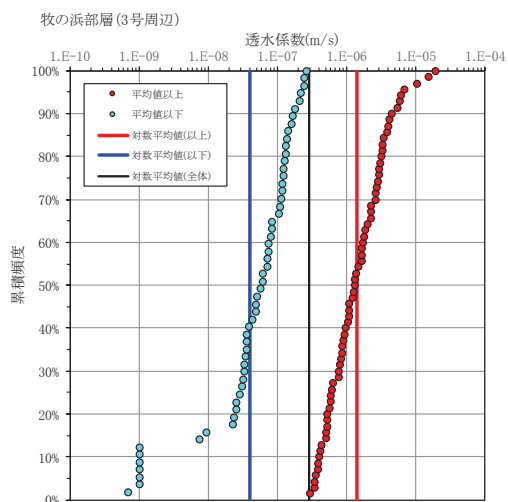
① 透水性による区分

岩盤の透水試験の累積頻度分布を図 4-20 に示す。多少のばらつきは見られるものの、概ね対数正規分布を呈することから、深度方向の分布状況も踏まえ、平均値を閾値に 2 層に分類する。



平均値 (全体) :  $2.9 \times 10^{-7}$  (m/s)

(全体)



平均値 (全体平均以上) :  $1.4 \times 10^{-6}$  (m/s)

平均値 (全体平均以下) :  $0.4 \times 10^{-7}$  (m/s)

(平均値で 2 層に区分)

図 4-20 透水性区分における透水試験結果の整理 (牧の浜部層)

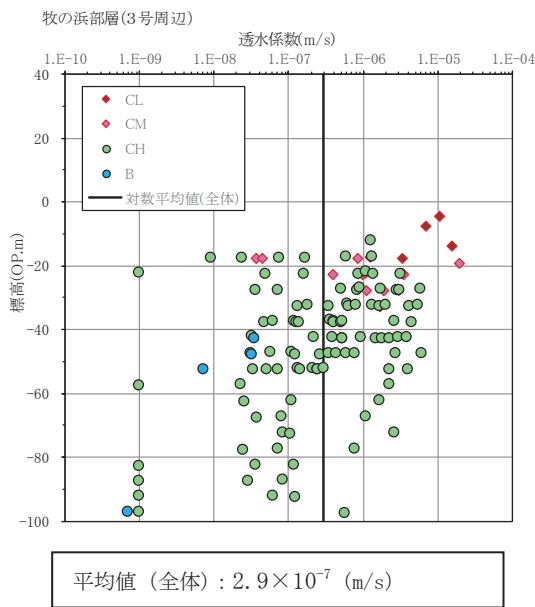
② 岩級・速度層区分による整理

①で整理した透水性による区分に対して、岩盤透水試験の結果を岩級・速度層区分にて整理した結果を表 4-18 に示す。なお、牧の浜部層においては、図 4-21 に示すとおり  $C_M$  級以浅は概ね平均値以上であるが、 $C_H$  級については  $C_H$  級上面-30m を境界とすることで、概ね平均値以上・以下に分類されるため、 $C_H$  級上面-30m を境界に整理した。

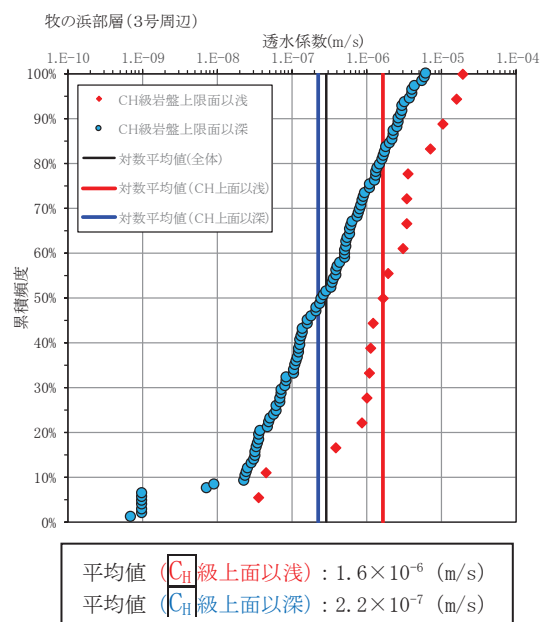
透水性により区分した値と概ね対応していることから、牧の浜部層においては  $CH$  級岩盤上面-30m を境界に岩盤 I・II に分類しモデル化する。

表 4-18 水理地質区分と岩級・速度層区分における透水係数の比較 (牧の浜部層)

地層	透水係数 (平均値) (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
透水性での区分	$1.4 \times 10^{-6}$	$0.4 \times 10^{-7}$	概ね試験平均値である、 $2.9 \times 10^{-7}$ (m/s) 以上を岩盤 I, 以下を岩盤 II に分類
岩級・速度層での区分 (=解析モデル)	$1.1 \times 10^{-6}$	$0.6 \times 10^{-7}$	$C_H$ 級岩盤上面-30m 以浅を岩盤 I, 以深を岩盤 II に分類



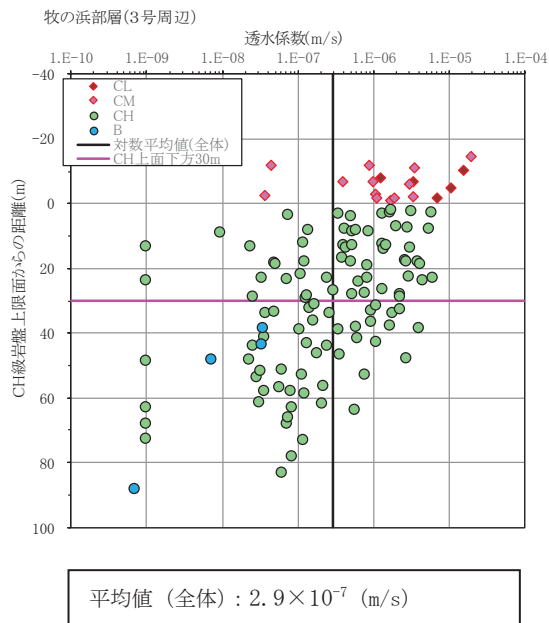
(深度分布)



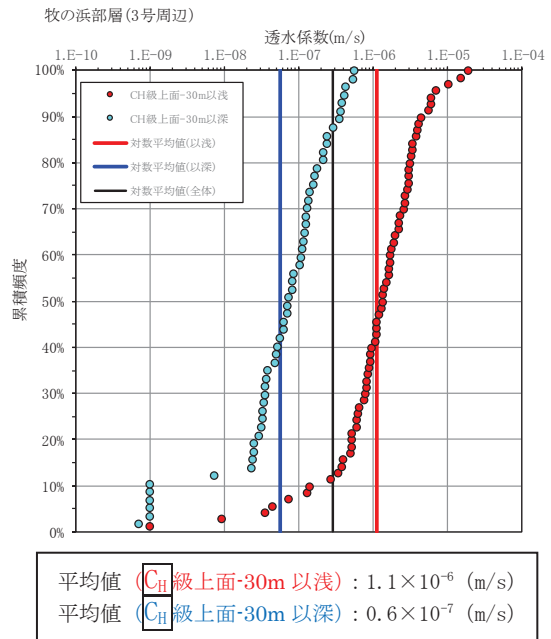
(累積頻度分布)

図 4-21 (1) 岩級区分における透水試験結果の整理 (牧の浜部層)





(深度分布)



(累積頻度分布)

図 4-21 (2) 岩級区分における透水試験結果の整理 (牧の浜部層)

(CH 級上面-30m を境界に再整理)

(補足 5) 破碎部の透水性について

本章では、岩盤の透水試験において確認した断層・シーム等の破碎部を含む区間における透水性と浸透流解析上モデル化していないことの妥当性について説明する。

(1) 破碎部の透水性について

岩盤の透水試験は、図 4-22 に示す調査位置において、深度方向に概ね 5m 区間毎に実施している。その試験結果を、破碎部\* (断層・シーム等) を含む試験区間とそれ以外の試験区間で分類した結果を表 4-19 及び図 4-23 に示す。

この結果から、狐崎部層、牧の浜部層のいずれにおいても、破碎部を含む試験区間と含まない試験区間で有意な違いが見られていない。よって、破碎部とその周辺の母岩部で有意な透水性の違いが無いと考えられることから、破碎部・母岩部の双方の試験データを考慮し透水係数を設定している。

注記\* : 図 4-22 に示す設置許可申請書に記載されたボーリング孔 (◎) および主要断層のうち TF-1 断層を確認したボーリング孔において確認されている破碎部。

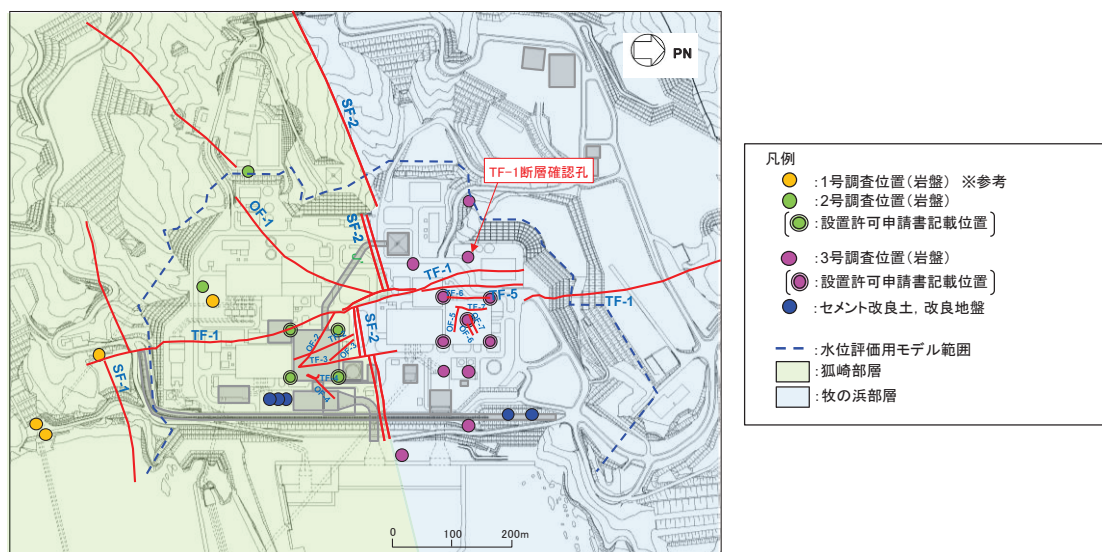


図 4-22 岩盤の原位置透水試験位置図

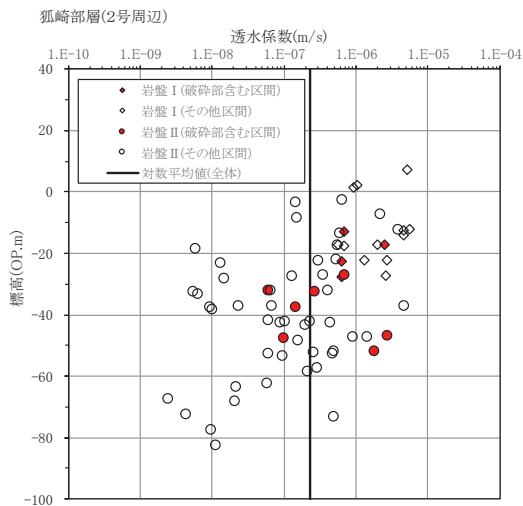
(図 4-4 に地表および基礎掘削での主要断層位置を追記)

表 4-19(1) 破砕部を含む区間とその他の区間における透水係数（狐崎部層）

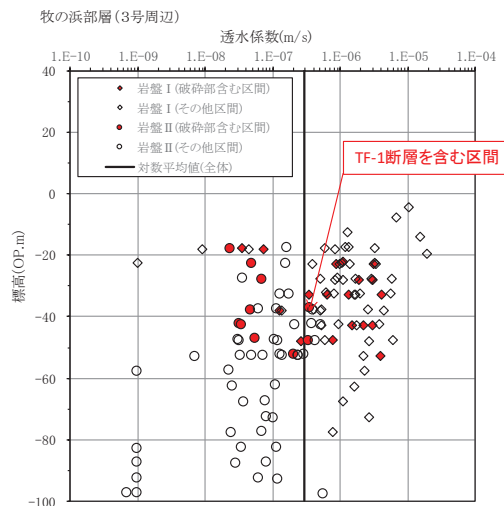
地層	透水係数（平均値） (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
破砕部を含む区間	$0.9 \times 10^{-6}$	$3.7 \times 10^{-7}$	岩盤透水試験結果（狐崎部層）のうち，破砕部を含む区間のデータについて，第 4 速度層上面以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類
その他の区間	$2.0 \times 10^{-6}$	$1.1 \times 10^{-7}$	上記以外のデータについて，第 4 速度層上面以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類
全ての区間	$1.6 \times 10^{-6}$	$1.3 \times 10^{-7}$	

表 4-19(2) 破砕部を含む区間とその他の区間における透水係数（牧の浜部層）

地層	透水係数（平均値） (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
破砕部を含む区間	$0.9 \times 10^{-6}$	$0.8 \times 10^{-7}$	岩盤透水試験結果（牧の浜部層）のうち，破砕部を含む区間のデータについて， $C_H$ 級岩盤上面-30m 以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類
その他の区間	$1.2 \times 10^{-6}$	$0.5 \times 10^{-7}$	上記以外のデータについて， $C_H$ 級岩盤上面-30m 以浅を岩盤 I，以深を岩盤 II に分類
全ての区間	$1.1 \times 10^{-6}$	$0.6 \times 10^{-7}$	



(狐崎部層)



(牧の浜部層)

図 4-23 破砕部有無における透水試験結果の整理

(2) 浸透流解析における破碎部の扱い

浸透流解析における岩盤については、破碎部等の不連続面と考えられる地質構造についてはモデル化せずに、表 4-20 に示す透水係数を与えた一様な多孔質媒体としてモデル化している。

これは、前述のとおり、透水試験結果から有意な透水性への影響が無いことに加え、揚圧力や地下水位分布の評価においては、モデル化しない方が、地下水位が保守的に（水位を高め）に評価されるものと考えられるためである。

揚水ポンプ等の排水能力の設計をする場合においても、透水試験結果から有意な透水性への影響が無いことに加え、試験結果（平均値）に標準偏差（+1σ）のばらつきを考慮しており、破碎部を含む区間の試験結果に比べても大きな透水性を与えており、保守的に（湧水量が多めに）評価されていると考えられる。

よって、破碎部を含めて多孔質媒体でモデル化することは、評価の目的に照らして妥当である。

表 4-20(1) 破碎部を有する区間の試験結果と地下水流入量評価に用いる  
透水係数の比較（狐崎部層）

区分	透水係数（平均値） (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
破碎部を含む区間の 試験結果	$0.9 \times 10^{-6}$	$3.7 \times 10^{-7}$	
排水能力設定用の 設定値	$4.0 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-6}$	岩盤 I：試験平均値+1σ 相当，岩盤 II：試験平均値+1σ 相当

表 4-20(2) 破碎部を有する区間の試験結果と地下水流入量評価に用いる  
透水係数の比較（牧の浜部層）

区分	透水係数（平均値） (m/s)		備考
	岩盤 I	岩盤 II	
破碎部を含む区間の 試験結果	$0.9 \times 10^{-6}$	$0.8 \times 10^{-7}$	
排水能力設定用の 設定値	$6.0 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-7}$	岩盤 I：試験平均値+1σ 相当，岩盤 II：試験平均値+1σ 相当

(補足 6) ②水位評価モデルの設定値の妥当性について

②水位評価モデルの透水係数は、補足 1 に示す建設時工事計画認可時の検討結果を踏まえ、建屋へ作用する揚圧力を大きく算出する観点から設定（岩盤 I を $-1\sigma$ ）している。

本資料では、揚圧力影響の観点で不確かさを考慮した上記の透水係数の設定が、液状化への影響の観点からも保守的となっていることを確認するために、透水係数の設定による建物・構築物及び土木構造物周辺の地下水位分布に着目した影響について確認する。

なお、透水係数の設定値の妥当性については、本文「3.3.2 (4)」及び「3.3.2 (5).d」において①広域モデルを用いて観測水位と解析水位の比較により確認しており、本検討は予測解析（②水位評価モデル）における保守性の確保の観点での検討（感度解析）である。

よって、影響確認は、②水位評価モデルに対して、盛土が O.P. +14.8m 盤に広範囲に分布する状況を踏まえ、解析領域内の地下水位に与える影響を概観するため、盛土・旧表土の試験結果（平均値）に標準偏差（ $-1\sigma$ ）のばらつきを考慮した解析を実施し、予測解析との解析地下水位の比較を行う。確認対象構造物は、2号機周辺エリアは2号機海水ポンプ室、3号機周辺エリアは3号機海水ポンプ室、O.P. +14.8m 盤の山側エリアは排気筒連絡ダクトを代表施設として影響を確認する。

解析ケース毎の透水係数の設定を表 4-21 に、解析結果（地下水位分布の比較）を図 4-24 に示す。

確認の結果、各エリアの代表とした3施設において、盛土・旧表土の透水係数のばらつきを考慮した解析水位（CASE2）に比べて、岩盤 I の透水係数のばらつきを考慮した②水位評価モデルの解析水位（CASE1=②水位評価モデル）が保守的な（高めの）解析水位となっており、地下水位分布へ与える盛土・旧表土の物性値のばらつきが与える影響は、岩盤 I に比べ相対的に小さいことを確認した。

以上より、予測解析に用いる②水位評価モデルにおいて十分な保守性を確保していることを確認した。

なお、本結果から、盛土・旧表土の透水係数の設定が地下水位分布へ与える支配的要因にはならず、前述のクレーガーらの方法で設定した盛土・旧表土の透水係数と原位置透水試験の違いや盛土と旧表土の透水係数の違い等についても、仮に考慮した場合でも設計用地下水位に対して及ぼす影響は小さいと判断できる。

表 4-21 影響確認ケースの条件 (透水係数)

ケース名	透水係数 (m/s)			概要	
	盛土・ 旧表土	岩盤*			改良地盤・ セメント改良土
		岩盤 I	岩盤 II		
CASE1	$3.0 \times 10^{-5}$ (平均値)	狐： $7.0 \times 10^{-7}$ 牧： $2.0 \times 10^{-7}$ (平均値-1 $\sigma$ )	狐： $5.0 \times 10^{-7}$ 牧： $1.0 \times 10^{-7}$ (平均値)	$2.0 \times 10^{-7}$ (平均値)	予測解析 (②水位 評価モデル) に用 いている設定値
CASE2	$2.0 \times 10^{-6}$ (平均値-1 $\sigma$ )	狐： $2.0 \times 10^{-6}$ 牧： $1.0 \times 10^{-6}$ (平均値)	狐： $5.0 \times 10^{-7}$ 牧： $1.0 \times 10^{-7}$ (平均値)	$2.0 \times 10^{-7}$ (平均値)	影響確認ケース

注記\*：狐：狐崎部層，牧：牧の浜部層を指す。

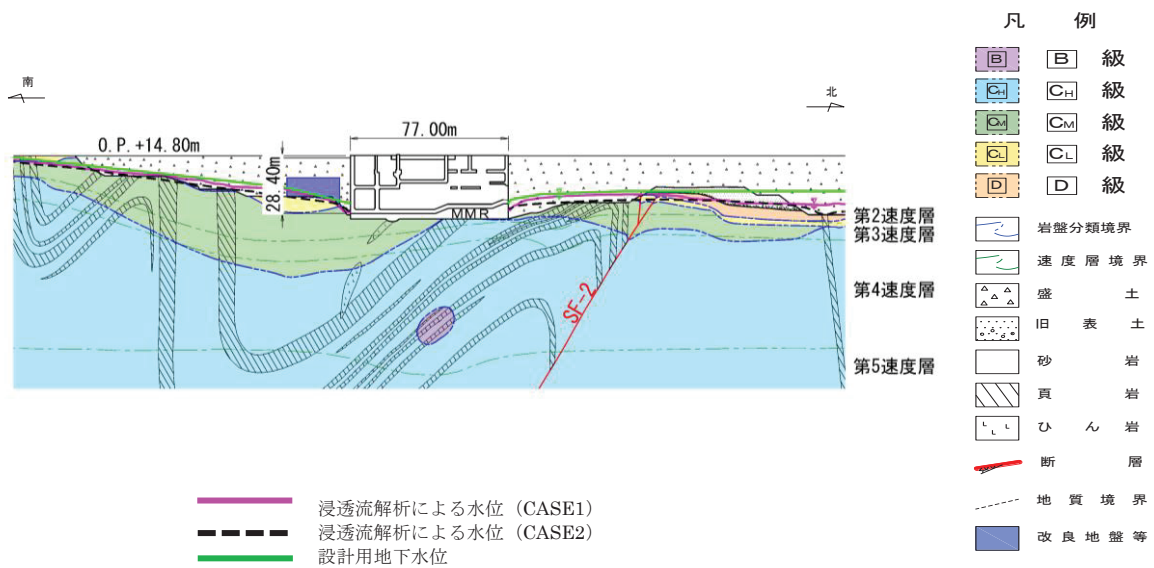


図 4-24(1) 2号機海水ポンプ室 (南北断面) における  
設計用地下水位と浸透流解析水位 (CASE1, 2) の比較

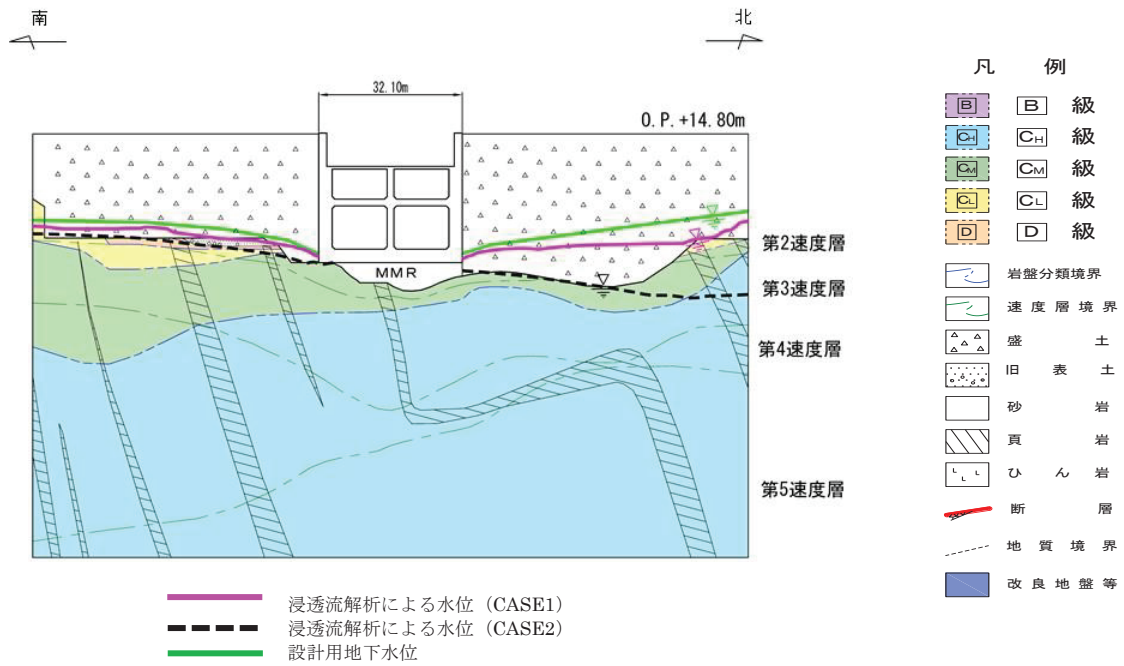


図 4-24(2) 3号機海水ポンプ室 (南北断面) における  
設計用地下水位と浸透流解析水位 (CASE1, 2) の比較

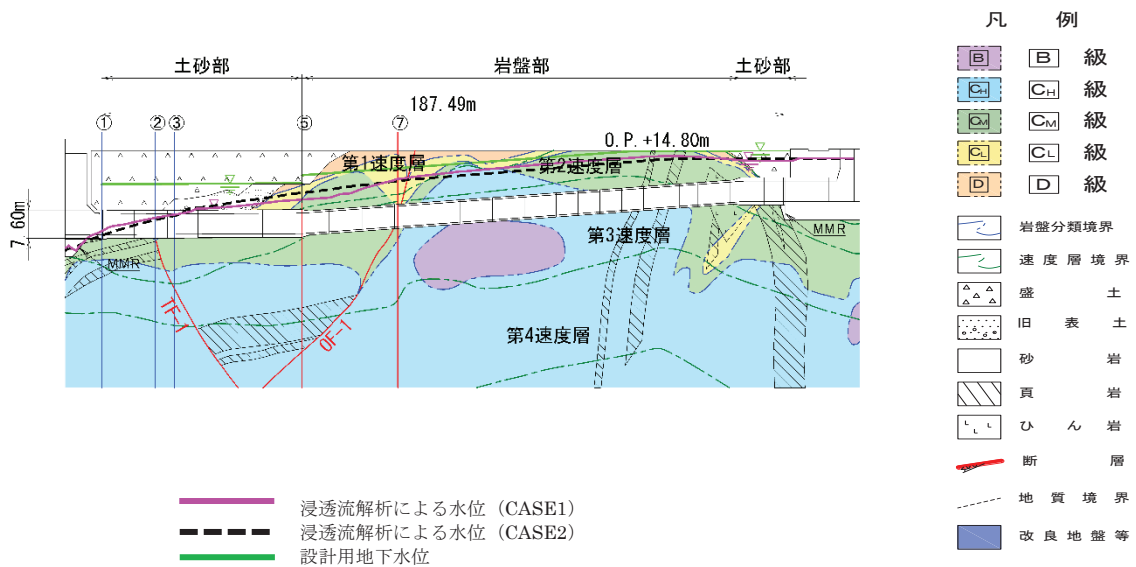


図 4-24(3) 排気筒連絡ダクト (縦断面) における  
設計用地下水位と浸透流解析水位 (CASE1, 2) の比較

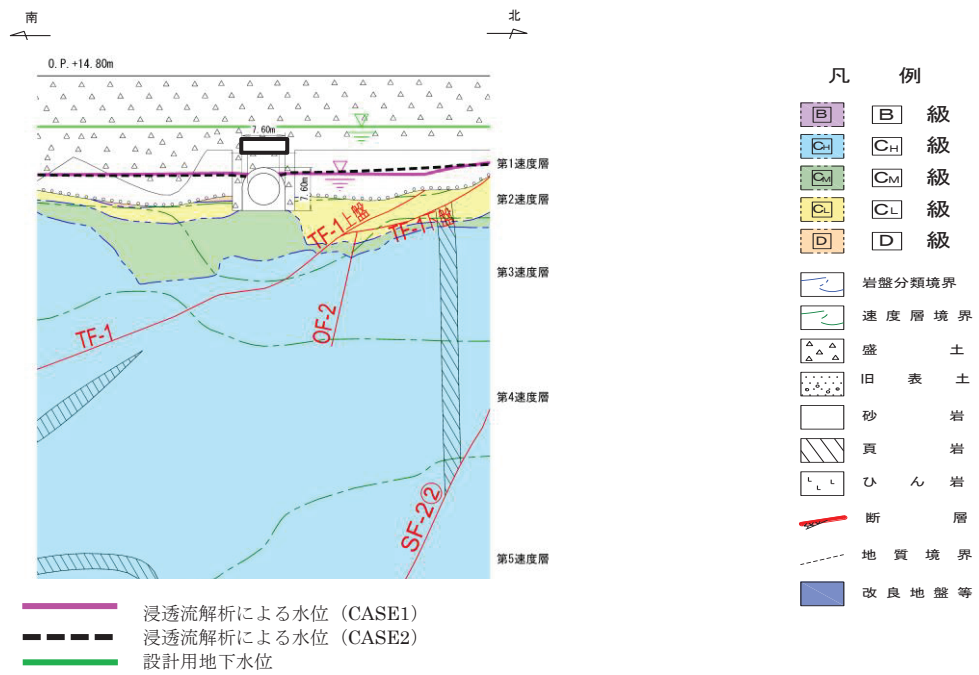


図 4-24(4) 排気筒連絡ダクト (横断 ((断面③)) における  
設計用地下水位と浸透流解析水位 (CASE1, 2) の比較

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。



(参考資料 1 3) 地盤改良における補足

1. 地盤改良の概要

1.1 地盤改良工法の種類と適用地盤

地盤改良工法については、文献（陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル改訂版，（財）土木研究センター，平成 16 年 3 月）では，以下の項目により分類づけられる。

- ① 対策工法を必要とする理由，目的，期待する効果
- ② 地盤の性状
- ③ 構造物の性質
- ④ 現場条件，周辺環境

地盤改良工法の種類と適用地盤・効果を表 1-1 に示す。

表 1-1 地盤改良工法の種類と適用地盤・効果

工法	適用地盤				工法の効果					
	粘性土	砂質土	粘性土 砂質土 の互層	有機 質土	沈下対策		安定対策			
					圧密沈 下促進	沈下量 減少	せん断 変形の 抑制	強度増 加促進	すべり 抵抗の 付与	液状化 の防止
表層処理工法										
表層排水工法										
サンドマット工法	○			○				○	○	
敷設材工法										
浅層混合処理工法										
置換工法										
掘削置換工法	○		○	○		○	○		○	
強制置換工法										
押え盛土工法										
押え盛土工法	○		○	○				○	○	
緩斜面工法										
緩速載荷工法										
漸増載荷工法	○		○	○				○		
段階載荷工法										
載荷重工法										
盛土荷重載荷工法										
大気圧載荷工法	○		○	○	○			○		
地下水低下工法										
パーティクル										
サンドドレーン工法	○		○	○	○			○	○	
ボード系ドレーン工法										
サンドコンパ										
クション工法	○	○	○	○	○	○	○		○	○
バイル工法										
締固め工法										
振動棒工法		○				○			○	○
動圧密工法										
固結工法										
深層混合処理工法	○	○	○	○		○	○	○	○	○
生石灰バイル工法										
薬液注入工法										
矢板工法										
構造物による工法										
打設グイ工法	○	○	○	○		○	○		○	
スラブ工法										
カルバート工法										

(引用：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル 改訂版，

(財)土木研究センター，平成 16 年 3 月)

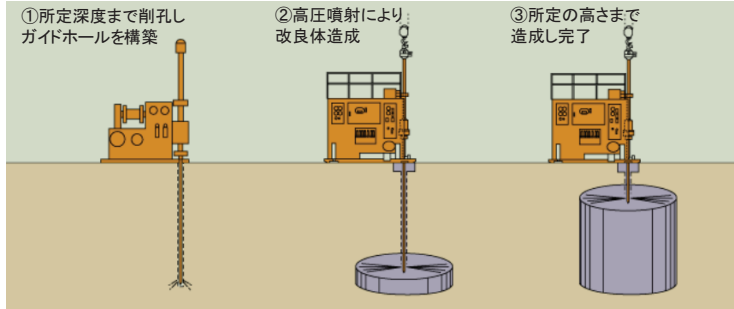

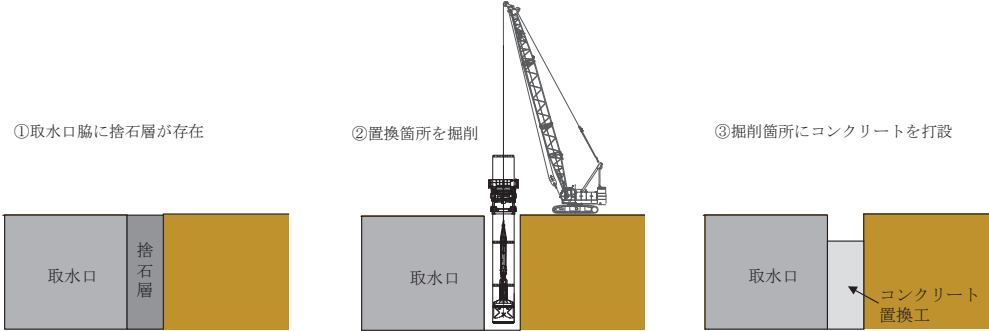
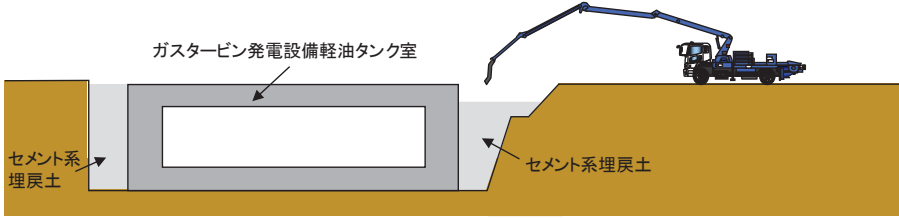
表 1-1 に示す工法のうち、女川原子力発電所で適用している地盤改良工法としては、適用地盤や工法の効果とも幅広い「固結工法」を基本としている。固結工法のうち、主に採用した工法は深層混合処理工法（高圧噴射攪拌工法）であり、この工法によるものを改良地盤と呼称する。

この他、置換工法として、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の前面にはセメント改良土、取水口脇については捨石層を置換するためにコンクリート置換工、ガスタービン発電設備軽油タンク室にはセメント系埋戻土を採用した。

## 1.2 地盤改良の施工方法

女川原子力発電所で適用している地盤改良の施工方法の概要を表 1-2 に示す。

表 1-2 地盤改良の施工方法の概要

地盤	概要
<p>改良地盤 (高圧噴射攪拌工法)</p>	<p>高圧でセメントミルクを吐出し，原地盤を切削・攪拌することで改良体を造成する工法（高圧噴射攪拌工法）。地上構造物及び埋設構造物がある，開削が困難な箇所にて採用。</p>  <p>①所定深度まで削孔しガイドホールを構築 ②高圧噴射により改良体造成 ③所定の高さまで造成し完了</p> <p>出典：SUPERJET研究会HP</p>
<p>セメント改良土</p>	<p>発電所構内で採取した掘削土にセメントを混合して製造したセメント改良土により造成する工法。</p>  <p>セメント改良土</p>
<p>コンクリート置換工 (取水口)</p>	<p>原地盤開削後にコンクリート置換工を構築することで改良体を造成する工法（コンクリート置換工法*）。構造物周辺に捨石層が存在する等，高圧噴射攪拌工法では改良が困難な箇所にて採用。</p>  <p>①取水口脇に捨石層が存在 ②置換箇所を掘削 ③掘削箇所にコンクリートを打設</p> <p>取水口 捨石層 取水口 取水口 コンクリート置換工</p>
<p>セメント系埋戻土 (ガスタービン発電設備軽油タンク室)</p>	<p>細骨材，セメント，水を混合して製造したセメント系埋戻土により造成する工法。</p>  <p>ガスタービン発電設備軽油タンク室 セメント系埋戻土 セメント系埋戻土</p>

注記\*：取水口脇の捨石層を置換するために実施。

2. 各施設における地盤改良の概要

地盤改良の施工範囲を図 2-1 に、地盤改良の概要を表 2-1 に示す。表 2-1 に示すとおり、地盤改良の主な目的・効果は、支持地盤、変形抑制、液状化対策等に区別される。各施設における地盤改良の範囲を図 2-2～図 2-21 に示す。

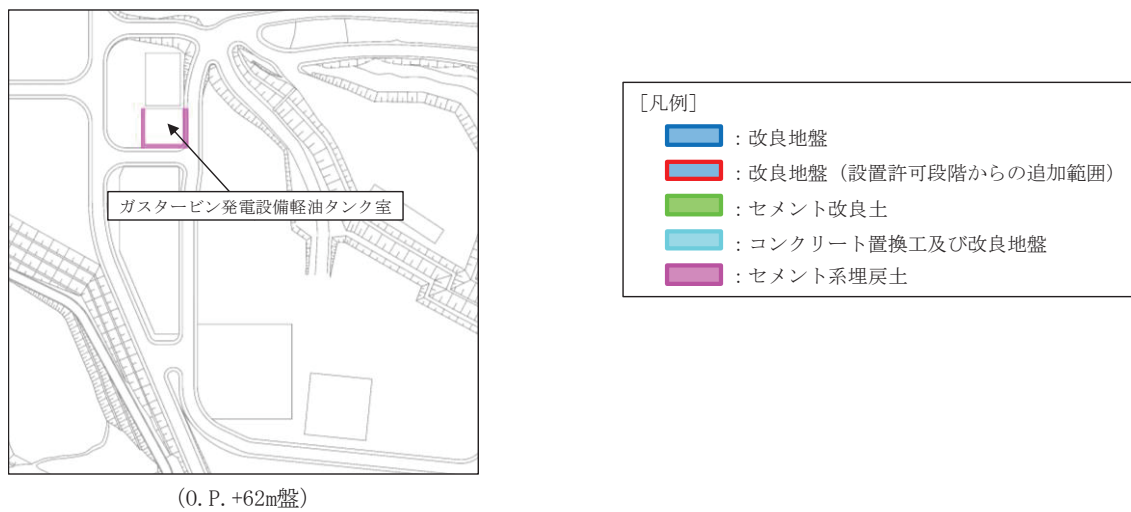
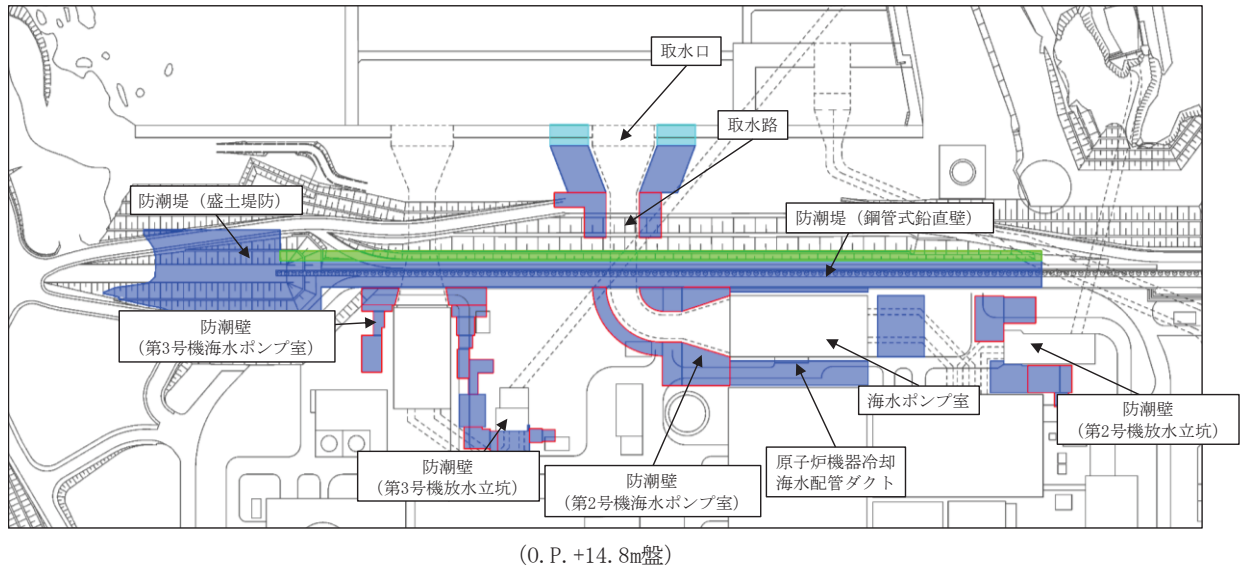


図 2-1 地盤改良の施工範囲

表 2-1 地盤改良の概要

対象施設	地盤改良	
	工法	目的・効果
取水口	コンクリート置換工	変形抑制・液状化対策
	高圧噴射攪拌工法	
取水路	高圧噴射攪拌工法	変形抑制・液状化対策
海水ポンプ室	高圧噴射攪拌工法	変形抑制・液状化対策
原子炉機器冷却海水配管ダクト	高圧噴射攪拌工法	変形抑制
防潮堤（鋼管式鉛直壁）	高圧噴射攪拌工法	支持地盤・変形抑制・液状化対策・止水性に寄与
	セメント改良土	
防潮堤（盛土堤防）	高圧噴射攪拌工法	支持地盤・液状化対策・止水性に寄与
防潮壁（第2号機海水ポンプ室）	高圧噴射攪拌工法	変形抑制・液状化対策
防潮壁（第2号機放水立坑）	高圧噴射攪拌工法	変形抑制・液状化対策
防潮壁（第3号機海水ポンプ室）	高圧噴射攪拌工法	変形抑制・液状化対策
防潮壁（第3号機放水立坑）	高圧噴射攪拌工法	変形抑制・液状化対策
揚水井戸	セメント系埋戻土	埋戻し材
ガスタービン発電設備軽油タンク室	セメント系埋戻土	液状化対策・埋戻し材

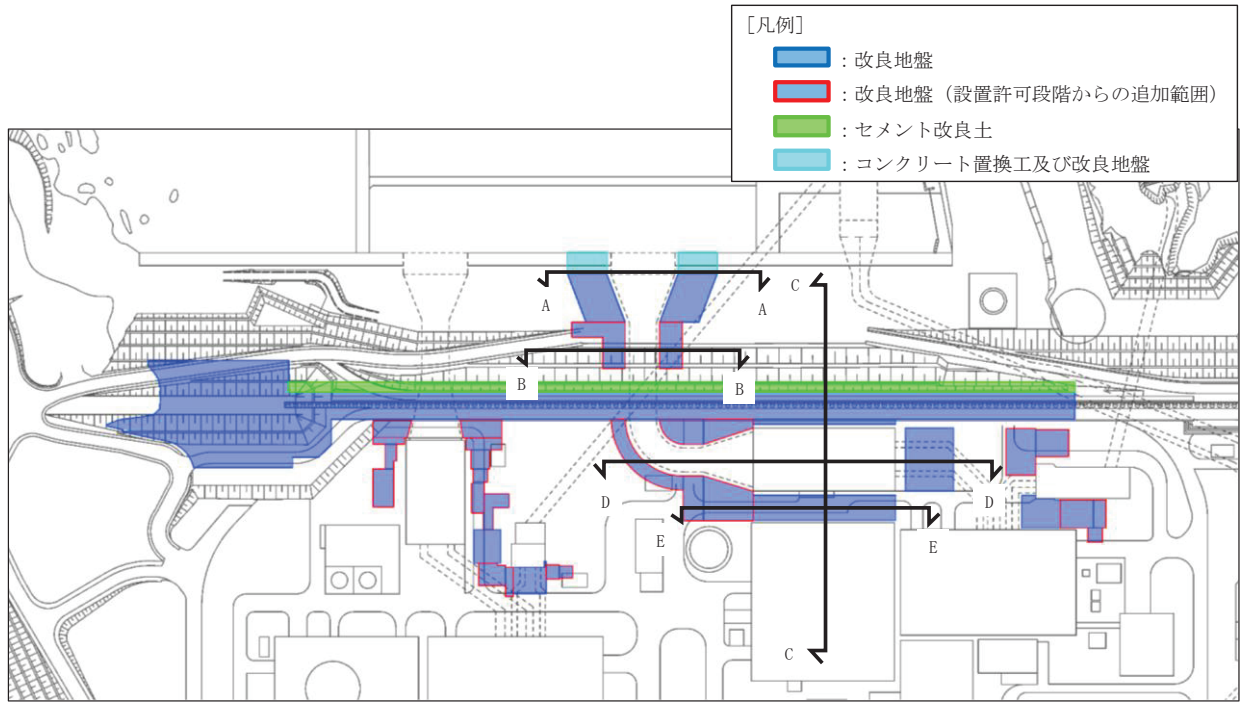


図 2-2 各施設における地盤改良の範囲（取水口，取水路，海水ポンプ室，原子炉機器冷却海水配管ダクト）

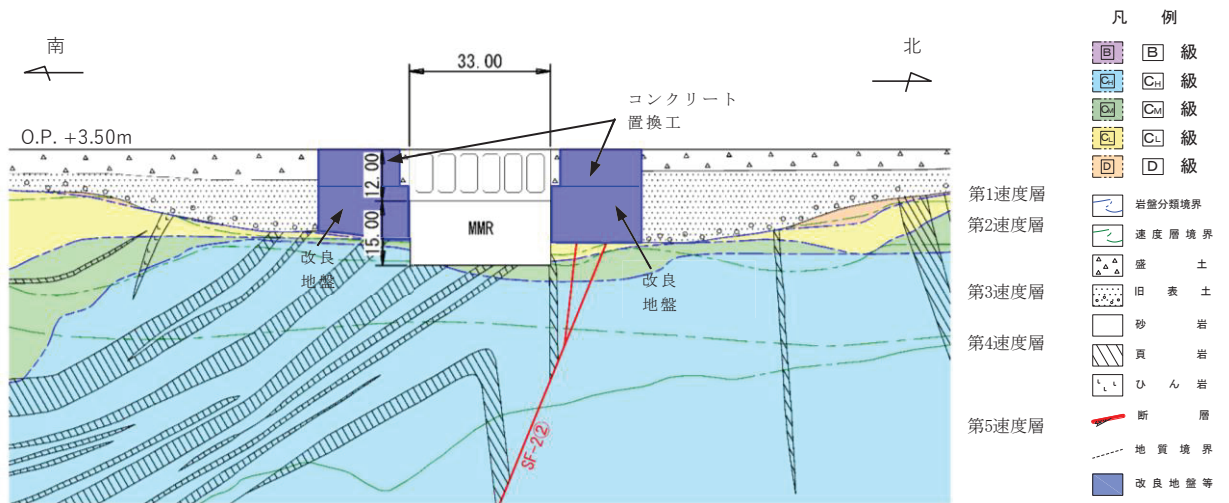


図 2-3 地盤改良の範囲（取水口，A-A 断面）

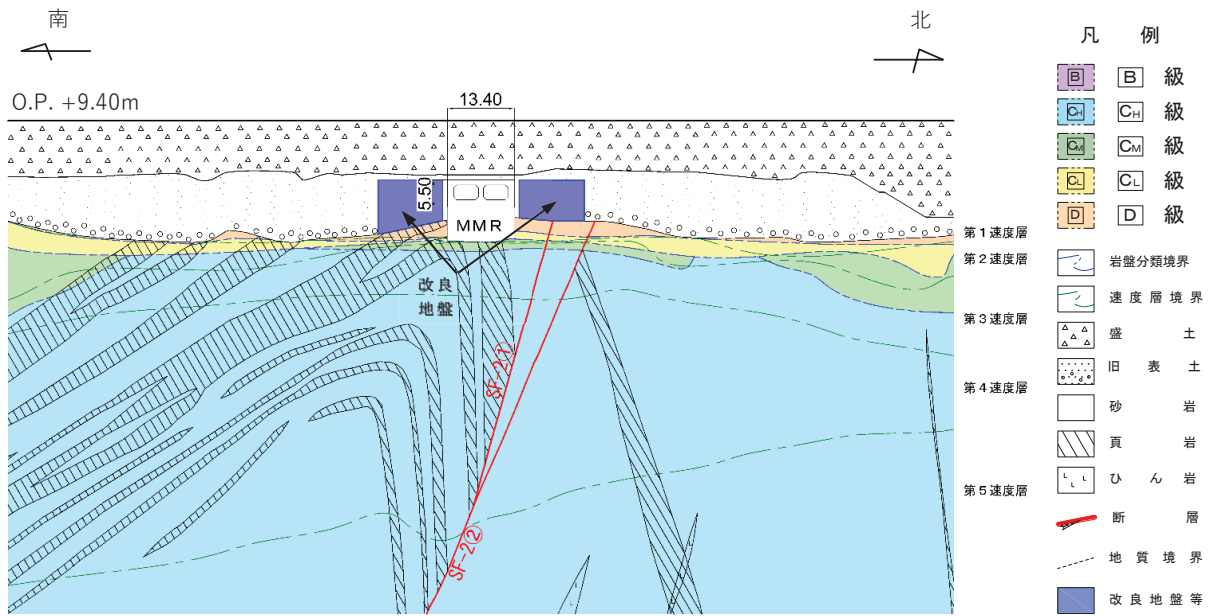


図 2-4 地盤改良の範囲（取水路，B-B断面）

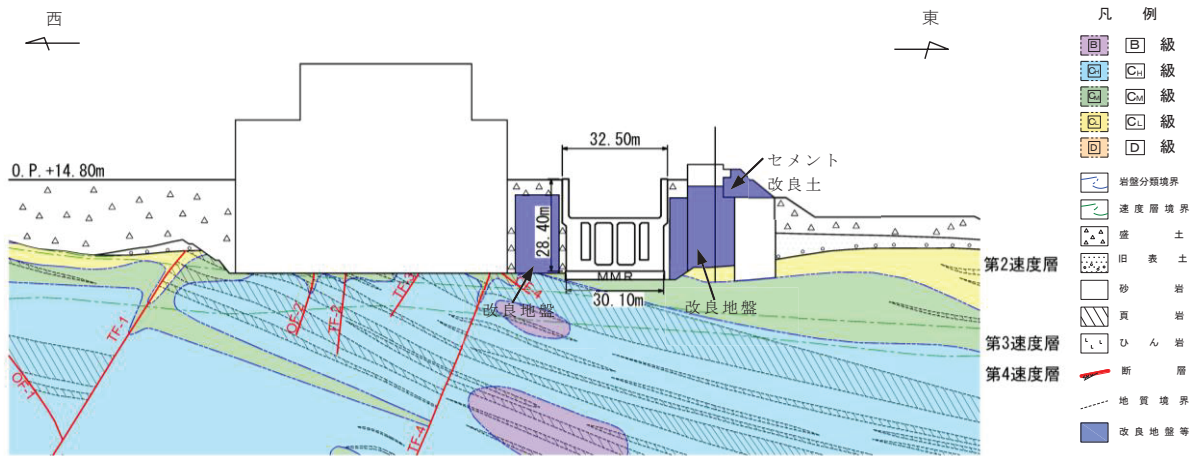


図 2-5 地盤改良の範囲（海水ポンプ室横断，C-C断面）

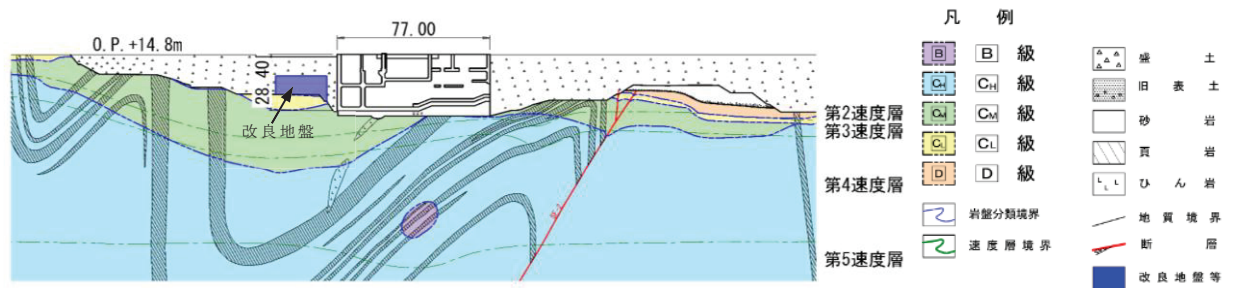


図 2-6 地盤改良の範囲（海水ポンプ室横断，D-D断面）



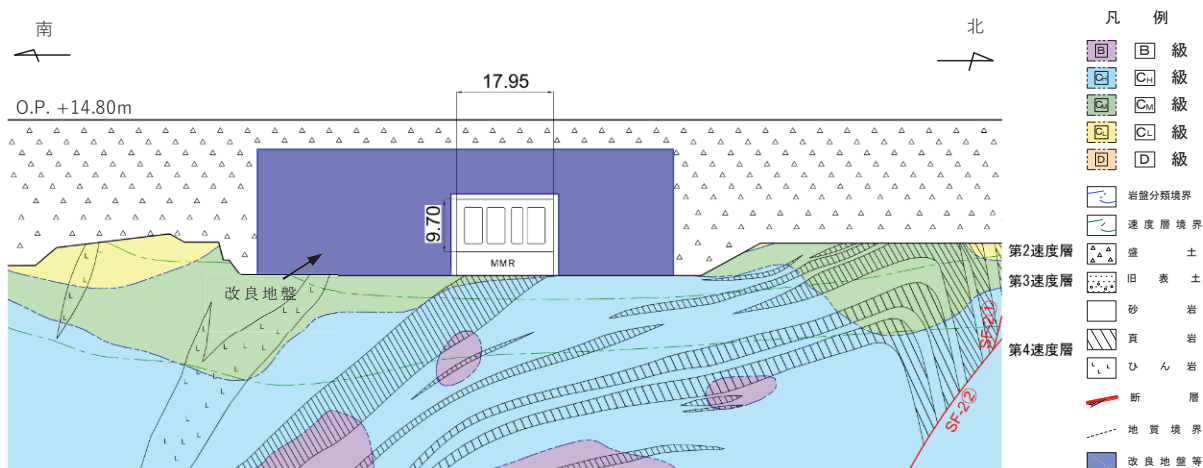


図 2-7 地盤改良の範囲（原子炉機器冷却海水配管ダクト，E-E 断面）

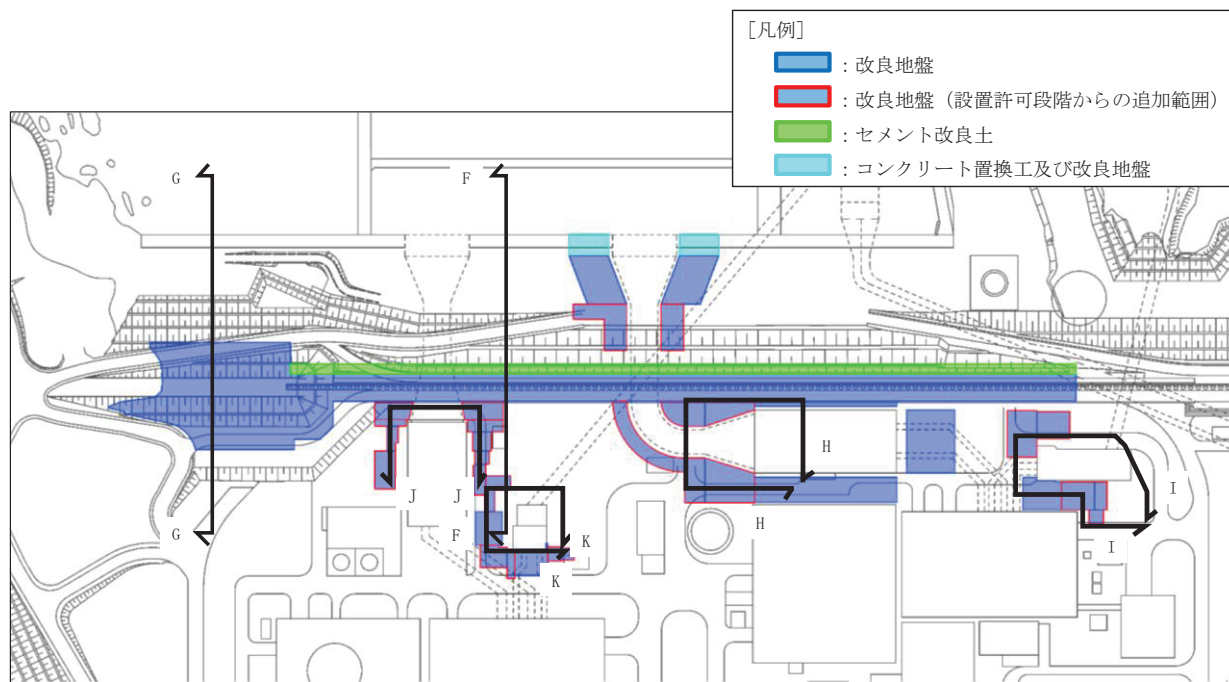
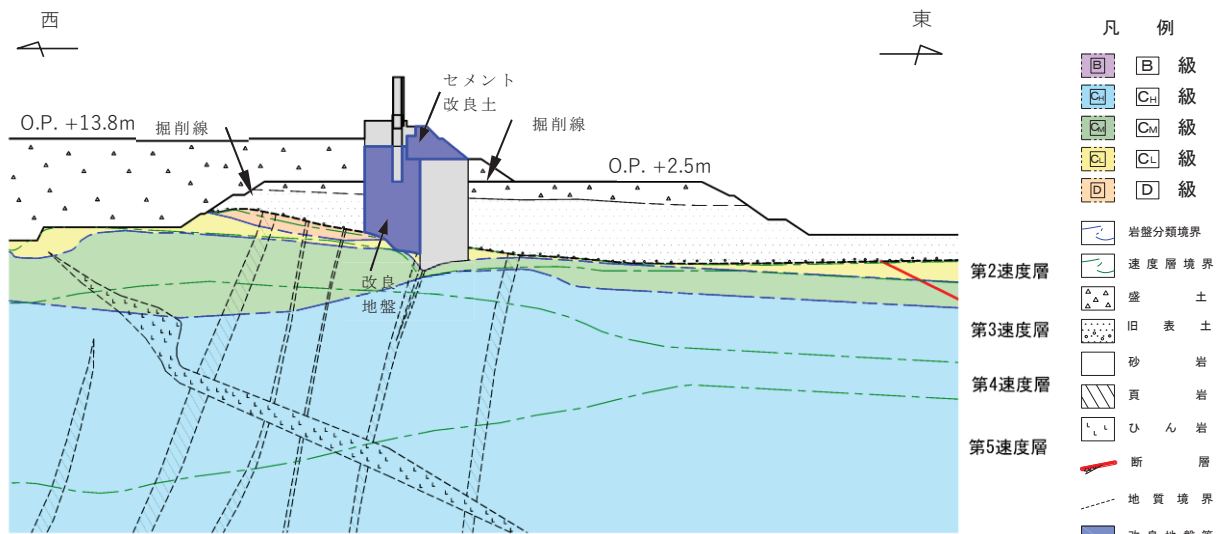
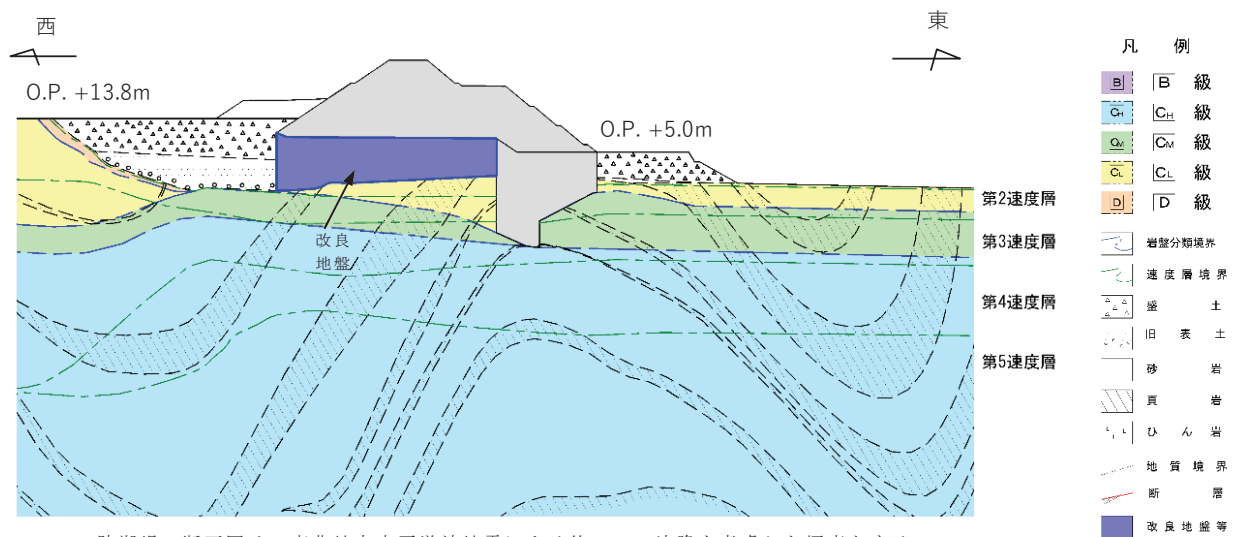


図 2-8 各施設における地盤改良の範囲（防潮堤，防潮壁）



\* : 防潮堤の断面図は、東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を考慮した標高とする。

図 2-9 地盤改良の範囲（防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部，F-F 断面）



\* : 防潮堤の断面図は、東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を考慮した標高とする。

図 2-10 地盤改良の範囲（防潮堤（盛土堤防），G-G 断面）

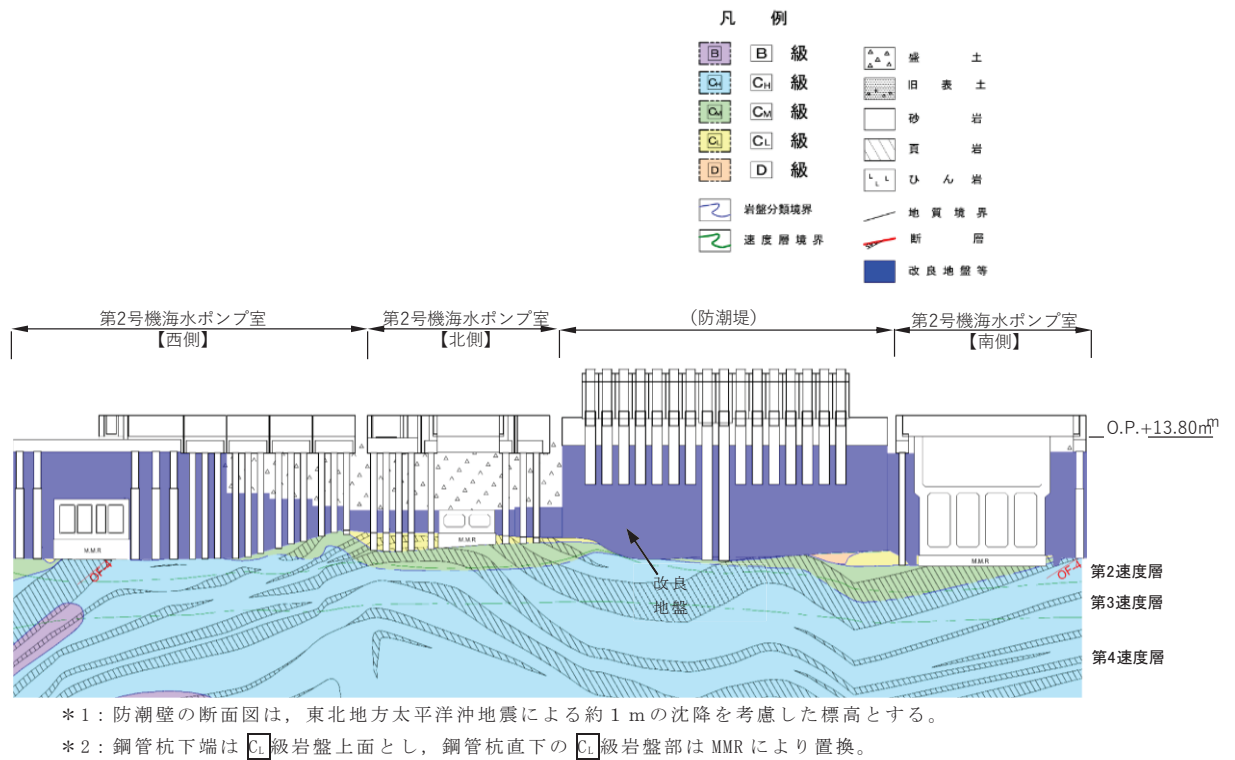


図 2-11 地盤改良の範囲（防潮壁（第 2 号機海水ポンプ室），H-H 断面）

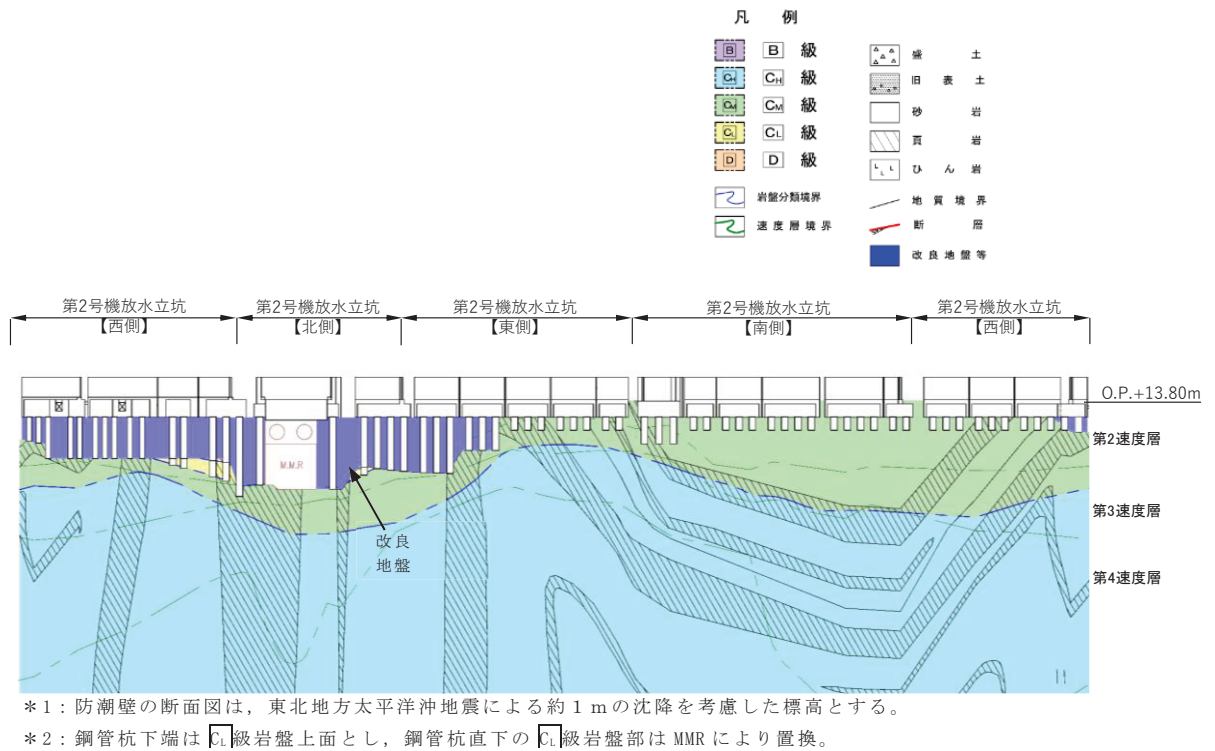
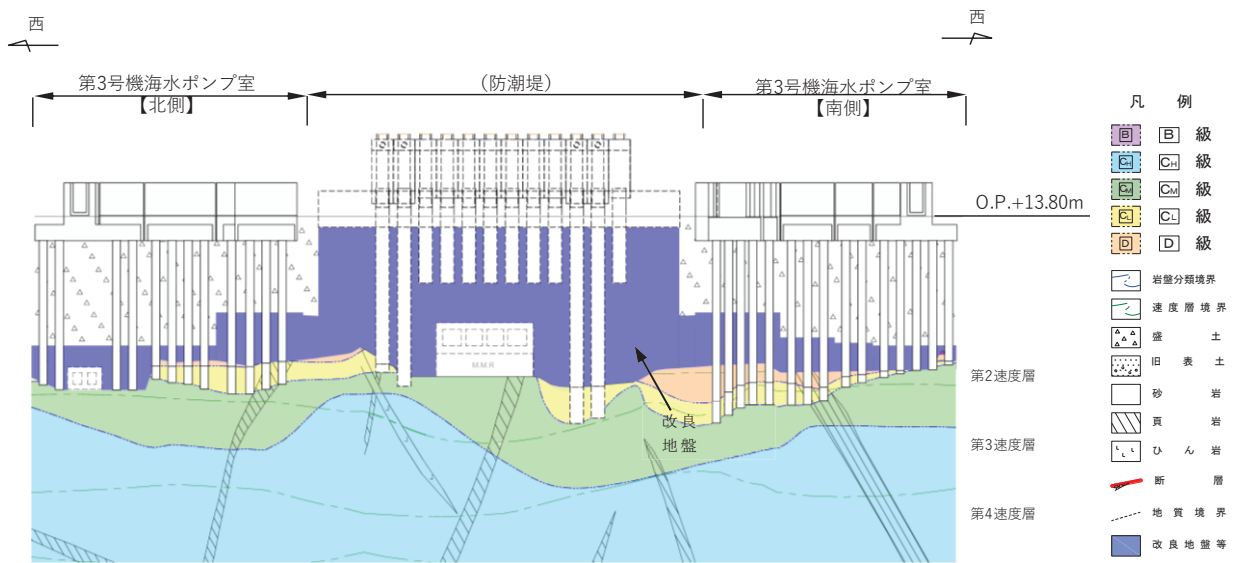
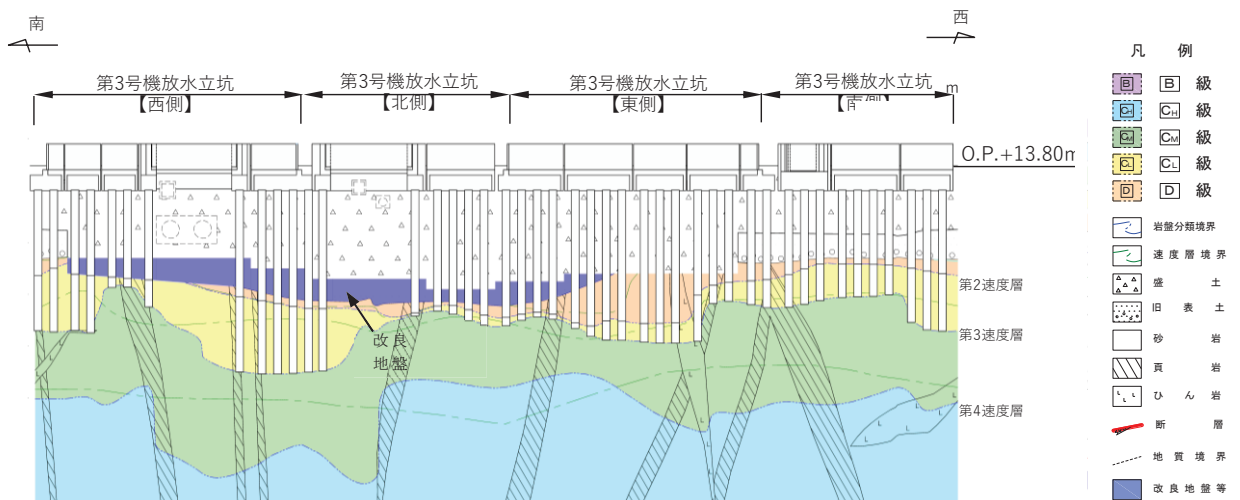


図 2-12 地盤改良体の配置図（防潮壁（第 2 号機放水立坑），I-I 断面）



\*1: 防潮壁の断面図は、東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を考慮した標高とする。  
 \*2: 鋼管杭下端は C<sub>n</sub> 級岩盤上面とし、鋼管杭直下の C<sub>n</sub> 級岩盤部は MMR により置換。

図 2-13 地盤改良の範囲（防潮壁（第3号機海水ポンプ室），J-J 断面）



\*1: 防潮壁の断面図は、東北地方太平洋沖地震による約1mの沈降を考慮した標高とする。  
 \*2: 鋼管杭下端は C<sub>n</sub> 級岩盤上面とし、鋼管杭直下の C<sub>n</sub> 級岩盤部は MMR により置換。

図 2-14 地盤改良の範囲（防潮壁（第3号機放水立坑），K-K 断面）

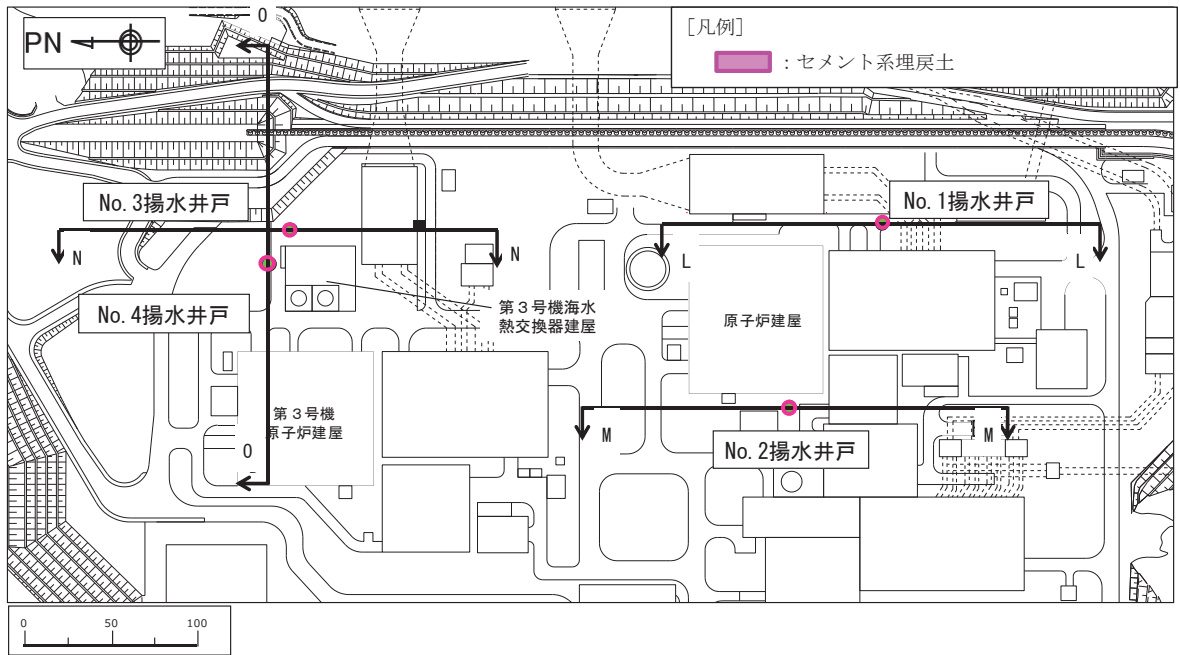


図 2-15 各施設における地盤改良の範囲（揚水井戸）

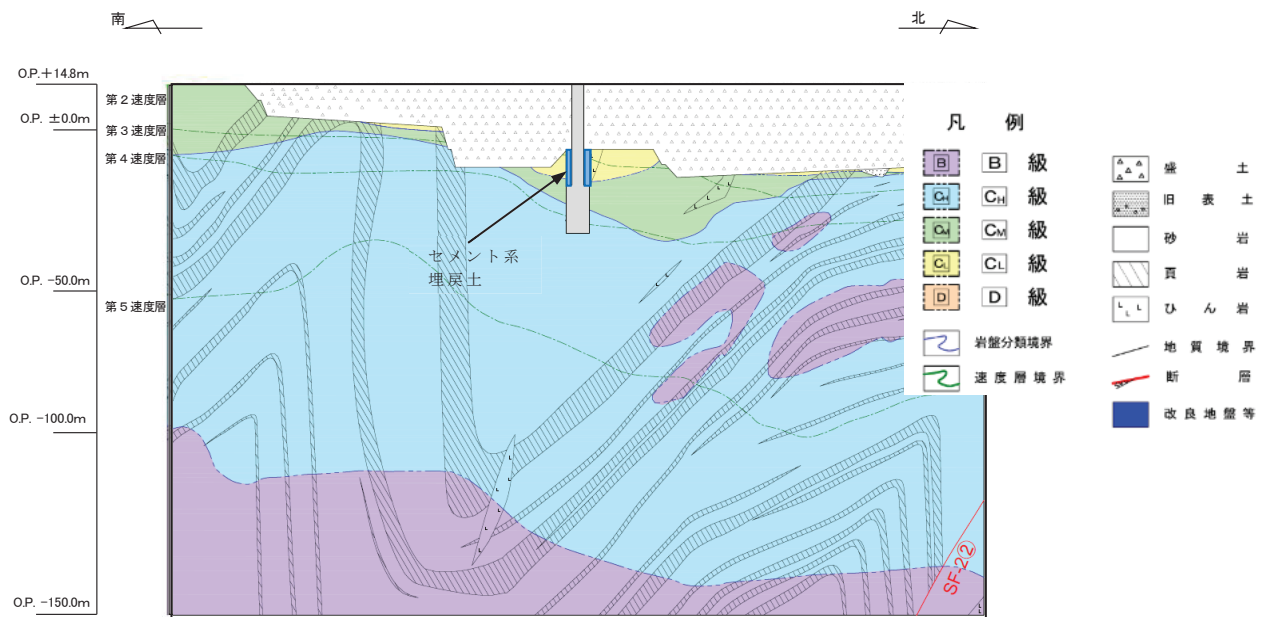


図 2-16 地盤改良の範囲（No. 1 揚水井戸，L-L 断面）

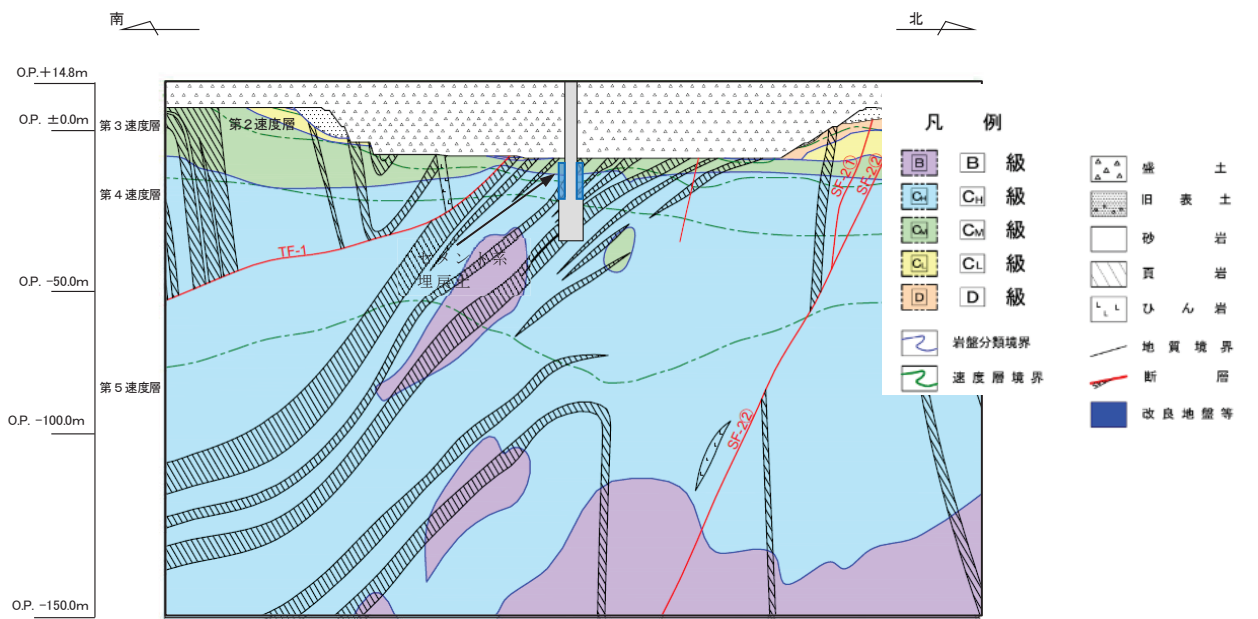


図 2-17 地盤改良の範囲 (No. 2 揚水井戸, M-M 断面)

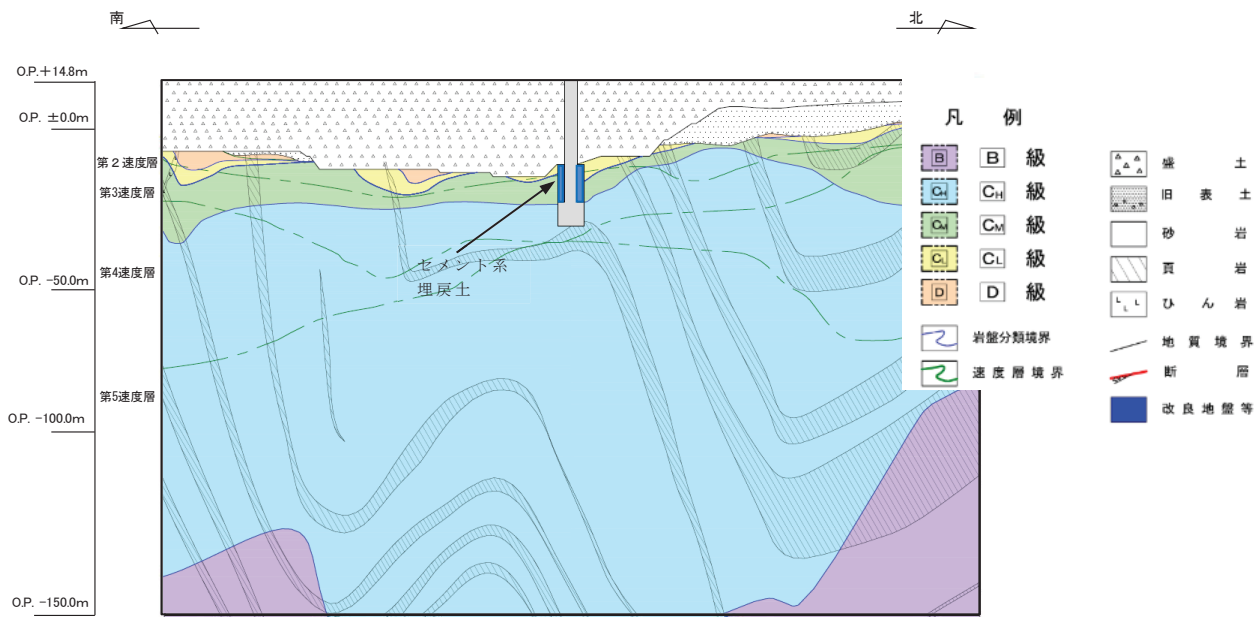


図 2-18 地盤改良の範囲 (No. 3 揚水井戸, N-N 断面)

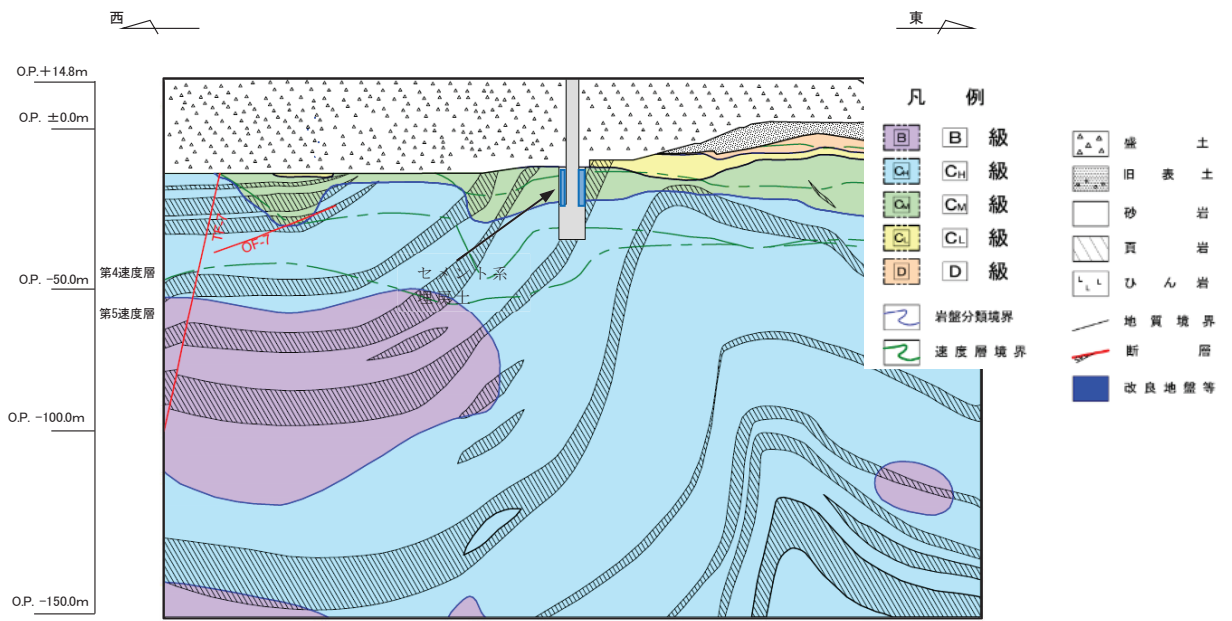


図 2-19 地盤改良の範囲 (No. 4 揚水井戸, 0-0 断面)

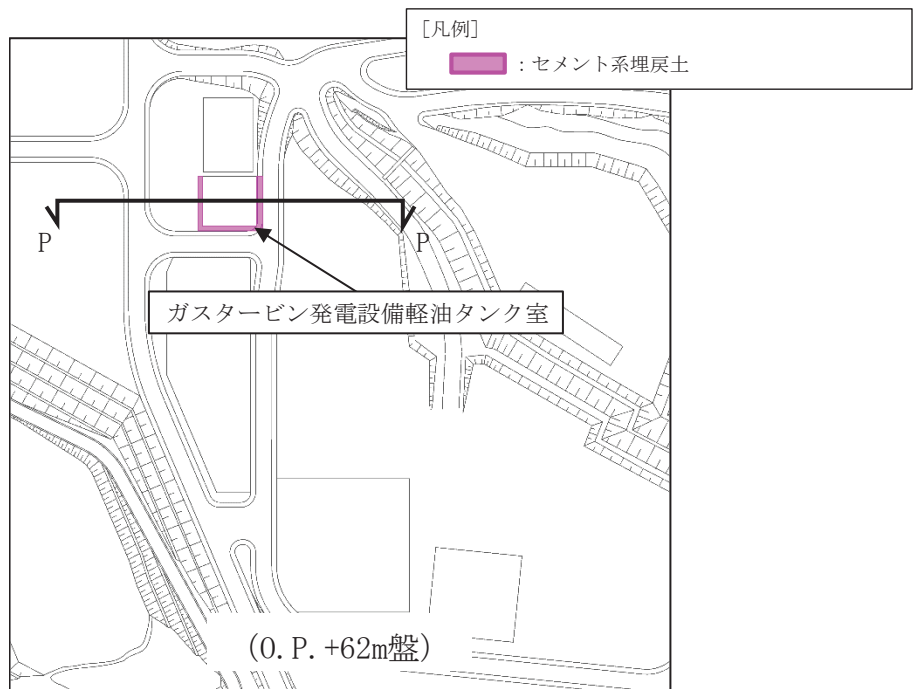


図 2-20 各施設における地盤改良の範囲（ガスタービン発電設備軽油タンク室）

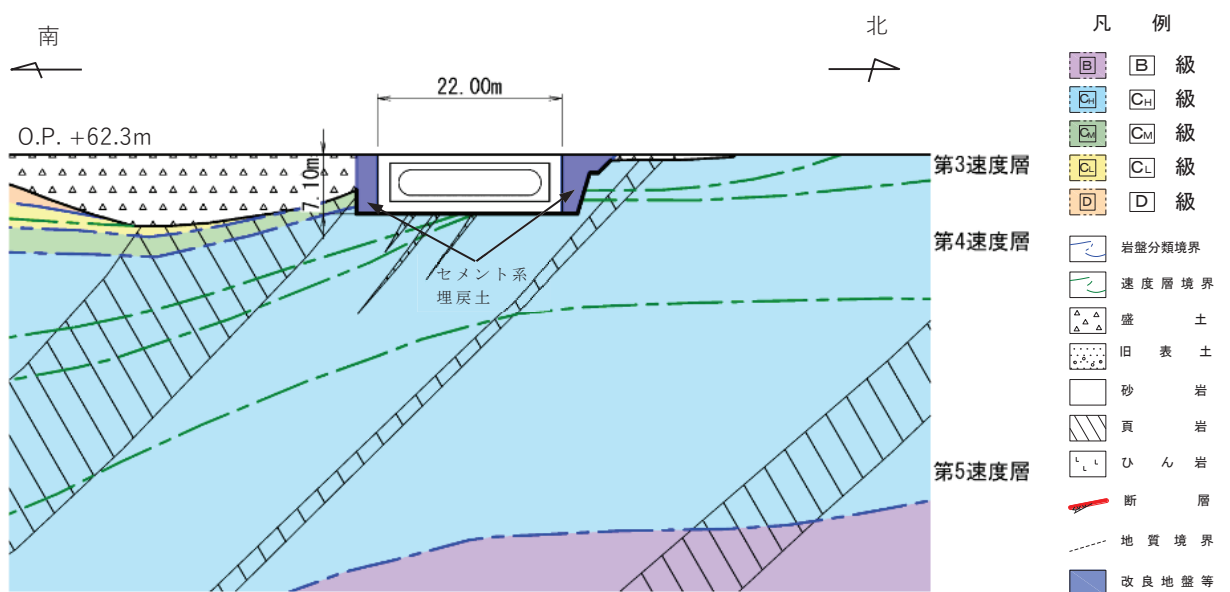


図 2-21 地盤改良の範囲（ガスタービン発電設備軽油タンク室，P-P 断面）



### 3. 改良地盤の目的及び構造形式に係る分類

防潮堤（鋼管式鉛直壁）及び防潮堤（盛土堤防）に設置する改良地盤（高圧噴射攪拌工法）は、支持地盤としての役割を有する。その他の箇所に設置する改良地盤（高圧噴射攪拌工法）は、変形抑制としての役割を有する。改良地盤（高圧噴射攪拌工法）の目的及び構造形式に係る分類を表 3-1 に示す。

なお、コンクリート置換工については、開削及びコンクリートによる置換であり、構造物同様、コンクリート標準示方書に基づいた品質管理を行うことで所定の品質を確保する。

表 3-1(1) 改良地盤（高圧噴射攪拌工法）の目的及び構造形式に係る分類（1/2）

目的	支持地盤	
構造形式		
対象施設	防潮堤（鋼管式鉛直壁）	防潮堤（盛土堤防）

表 3-1(2) 改良地盤（高圧噴射攪拌工法）の目的及び構造形式に係る分類（2/2）

目的	支持地盤以外（変形抑制・液状化対策・止水性に寄与）	
構造形式		
対象施設	取水口，取水路，海水ポンプ室， 原子炉機器冷却海水配管ダクト	防潮堤（鋼管式鉛直壁），防潮壁（第 2号機海水ポンプ室，第2号機放水立 坑，第3号機海水ポンプ室，第3号機 放水立坑）

#### 4. 支持地盤としての改良地盤の品質確認

防潮堤（盛土堤防）及び防潮堤（鋼管式鉛直壁）の基礎地盤の一部は、改良地盤として設計されており、設置変更許可申請書において、改良地盤は基礎地盤の安定性評価の対象となっている。

改良地盤は、設置変更許可後に施工するため、基礎地盤の安定性評価に用いる解析用物性値は、改良地盤の試験施工により造成された試験施工体を対象として各種試験を実施して物性値を設定している。

設置変更許可申請書に記載された基礎地盤の安定性評価に変更が無いことを確認するため、改良地盤の物性値については、品質管理方針を示した上で、所定の物性値が確保されていることを施工時の品質管理で確認することとしている。

4.1 で設置変更許可申請書の記載内容を再掲し、4.2 で改良地盤の品質確認方針を示す。その後、4.3 で防潮堤の施工進捗を踏まえた改良地盤の品質確認結果と、基礎地盤の安定性評価に変更が無いことを確認した結果を示す。

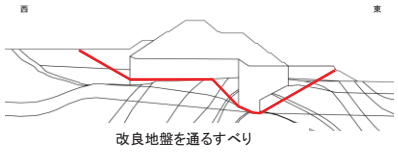
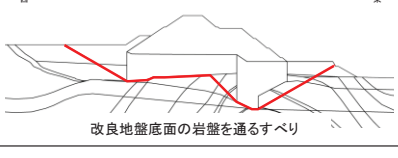
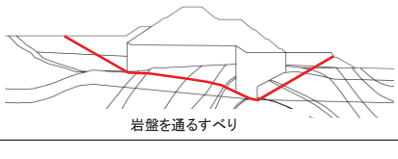
##### 4.1 設置変更許可申請書の記載

設置変更許可申請書の添付書類六において、基礎地盤の安定性評価を実施した防潮堤（盛土堤防）及び防潮堤（鋼管式鉛直壁）一般部のすべりに対する評価結果を図 4-1 と図 4-2 にそれぞれ示す。

すべりに対する評価は、平均物性を用いた評価に加え、地盤物性のばらつきを考慮した評価として平均値 $-1\sigma$ 強度に対する評価を実施している。

防潮堤直下の改良地盤に期待する役割としては、支持地盤の機能に加え、変形抑制を主要な機能としている。変形特性の代表的な物性値としては、初期せん断弾性係数が挙げられる。

改良地盤の主要な解析用物性値と試験方法を表 4-1 に示す。また、解析用物性値を設定した三軸圧縮試験結果と引張強さ試験結果を図 4-3 と図 4-4 にそれぞれ示す。初期せん断弾性係数については、PS 検層によるせん断弾性波速度の平均値である  $V_s=960\text{m/s}$  より算定している。

すべり面形状		基準地震動※2 (位相)	発生時刻 (秒)	最小すべり安全率
1	 改良地盤を通るすべり	Ss-D2 (+,-)	13.53	5.5
2	 改良地盤底面の岩盤を通るすべり	Ss-D2 (+,-)	13.53	4.3
3	 岩盤を通るすべり	Ss-D2 (+,-)	13.53	3.3 (2.9) [3.2]

— : すべり面

— : 断層・シーム

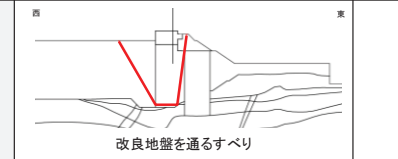
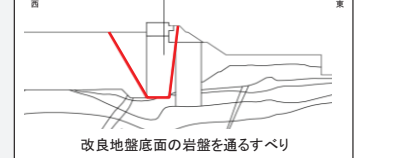
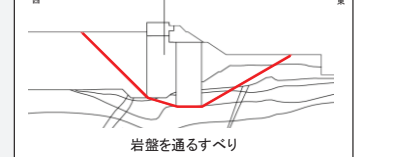
○ は最小すべり安全率

( ) は地盤物性のばらつきを考慮した安全率

[ ] は静的非線形解析による安全率

※2: 基準地震動の(+,+)は正位相,  
(-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転,  
(-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

図 4-1 すべりに対する評価結果（防潮堤（盛土堤防）  
（第 778 回審査会合（令和元年 9 月 27 日）資料 1-7-1 p.142 抜粋）

すべり面形状		基準地震動※2 (位相)	発生時刻(秒)	最小すべり安全率
1	 改良地盤を通るすべり	Ss-N1 (+,+)	7.60	3.5
2	 改良地盤底面の岩盤を通るすべり	Ss-N1 (+,+)	7.59	3.0
3	 岩盤を通るすべり	Ss-D1 (+,-)	25.47	2.9 (2.7) [3.0]

— : すべり面

— : 断層・シーム

○ は最小すべり安全率

( ) は地盤物性のばらつきを考慮した安全率

[ ] は静的非線形解析による安全率

※2: 基準地震動の(+,+)は正位相,  
(-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転,  
(-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

図 4-2 すべりに対する評価結果（防潮堤（鉛直壁鉛直壁）  
（第 778 回審査会合（令和元年 9 月 27 日）資料 1-7-1 p.143 抜粋）

表 4-1 改良地盤の主な解析用物性値と試験方法\*

項目	解析用物性値	
	平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	平均 - 1 σ (N/mm <sup>2</sup> )
せん断強度, τ	1.39 + σ tan22.1° 三軸圧縮試験 (JGS 0523)	1.38 + σ tan22.1° 三軸圧縮試験 (JGS 0523)
引張強度, σ <sub>t</sub>	0.65 岩石の引張強さ試験方法 (JIS M0303)	0.45 岩石の引張強さ試験方法 (JIS M0303)
初期せん断 弾性係数, G <sub>0</sub>	1940 PS 検層 (JGS 1122)	—

注記\* : 第 778 回審査会合 (令和元年 9 月 27 日) 資料 1-7-1, 資料 1-7-2 より記載

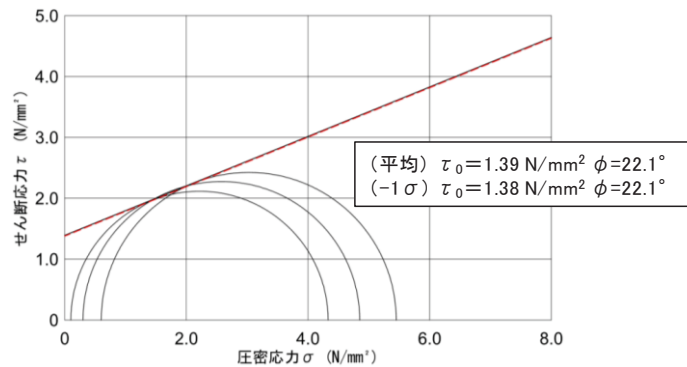


図 4-3 改良地盤の三軸圧縮試験結果

(第 778 回審査会合 (令和元年 9 月 27 日) 資料 1-7-2 p. 55 抜粋)

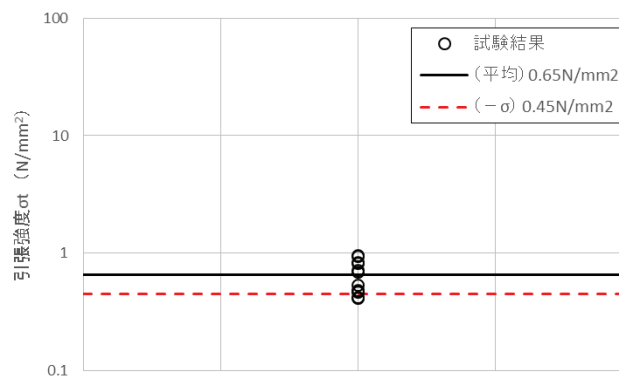


図 4-4 改良地盤の引張強さ試験結果

(第 778 回審査会合 (令和元年 9 月 27 日) 資料 1-7-2 p. 56 抜粋)

## 4.2 改良地盤の品質確認方針

### 4.2.1 品質確認項目

改良地盤の品質確認項目は、基礎地盤の安定性評価に支配的な要因が強度特性であること及び改良地盤に期待する主要な機能として変形抑制があることに鑑み、改良地盤の強度特性と変形特性とする。

強度特性については、防潮堤の基礎地盤となる改良地盤の実施工におけるせん断強度及び引張強度が、表 4-1 に示したそれぞれの解析用物性値の平均強度及び平均値－1σ強度を上回ることにより確認する。

変形特性については、動的変形特性のうち支配的なパラメタである初期せん断弾性係数が大きい方が変形抑制に寄与することから、設置変更許可申請書の平均値を上回ることを確認する。また、詳細設計段階で設定した平均値－1σについても上回ることを併せて確認する。

### 4.2.2 品質確認準拠基準について

地盤改良工法，設置箇所及び構造物の支持機能の有無に応じて適切な基準・指針を適用する。

深層混合処理工法の基準・指針として一般的な文献を表 4-2 に示す。

女川原子力発電所における深層混合処理工法は、いずれも高圧噴射攪拌工法であり、本工法の品質管理に係る詳細な記載がされている建築センター指針を適用する。

なお、他基準・指針における考え方も参考にして品質確認を行う。

表 4-2 地盤改良工法の基準・指針（深層混合処理工法）

基準・指針名	基準略称
2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 —セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—，日本建築センター	建築センター指針
建築基礎のための地盤改良設計指針案，日本建築学会，2006	建築基礎指針
乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程，日本電気協会，平成 21 年	J E A C 4 6 1 6
陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル 改訂版，（財）土木研究センター，平成 16 年 3 月	陸上工事マニュアル
港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル，（財）沿岸技術研究センター，平成 26 年 10 月	港湾・空港マニュアル

#### 4.3 品質確認試験

##### 4.3.1 試験頻度

深層混合処理工法に対する諸基準・指針における必要調査箇所数を表 4-3 に示す。改良地盤（高圧噴射攪拌工法）における品質確認試験の頻度は、表 4-3 に示す建築センター指針の必要調査箇所数を満足するように、各構造物の改良地盤の施工数量に応じて設定する。

表 4-3 諸基準・指針における必要調査箇所数（深層混合処理工法）

基準略称	試験頻度の目安
建築センター指針	検査対象層（改良範囲内の各土質）に対して、100本の改良コラムに1箇所以上かつ1検査対象群に1箇所以上。
（以下参考）	
建築基礎指針	改良体100本ごとに1本以上。
J E A C 4 6 1 6	改良柱300本ごとに1本以上。
陸上工事マニュアル	設計強度ごとに改良体500本未満は3本×3深度、500本以上は250本ごとに1本追加。
港湾・空港マニュアル	改良土量10000m <sup>3</sup> ごとに1本程度。

#### 4.3.2 試験方法

##### (1) 方針

改良地盤（高圧噴射攪拌工法）の品質確認試験及び基準値を表 4-4 に示す。

強度の確認指標について、建築センター指針及び他基準・指針においては、一軸圧縮強度  $q_u$  を指標としている。一方、女川原子力発電所の改良地盤の強度は、図 4-3 に示した三軸圧縮試験から算定したせん断強度  $\tau_0$  及び内部摩擦角  $\phi$  を設定している。実施工の進捗に合わせた頻度・時間間隔で三軸圧縮試験を実施することは困難であることを踏まえ、せん断強度  $\tau_0$  及び内部摩擦角  $\phi$  と一軸圧縮強度  $q_u$  の相関関係を使用することにより、解析用物性値に相当する一軸圧縮強度  $q_u$  を算定して指標とする。なお、相関関係を使用せず、直接設置変更許可申請書に記載のせん断強度を上回ることを確認する目的で、後述する三軸圧縮試験を実施する。

##### (2) 品質確認試験及び基準値

三軸圧縮試験による強度（ $\tau_0$ 、 $\phi$ ）と一軸圧縮強度  $q_u$  の相関関係は、設置変更許可申請書に記載のせん断強度を求めた試料と同じ仕様とした室内再構成試料に対し、三軸圧縮試験と一軸圧縮試験を実施して設定した。両者の試験結果を表 4-5 及び表 4-6 にそれぞれ示す。

せん断強度  $\tau_0$  と一軸圧縮強度  $q_u$  の相関関係及び内部摩擦角  $\phi$  と一軸圧縮強度  $q_u$  の相関関係を図 4-5 に示す。改良地盤のせん断強度  $\tau_0$  と一軸圧縮強度  $q_u$  及び内部摩擦角  $\phi$  と一軸圧縮強度  $q_u$  の相関関係はそれぞれ次式で示される関係にある。

$$\tau_0 = 0.343 \times q_u \quad \dots \text{せん断強度 } \tau_0 \text{ と一軸圧縮強度 } q_u \text{ の相関関係}$$

$$\phi = 20.235 + 0.470 \times q_u \quad \dots \text{内部摩擦角 } \phi \text{ と一軸圧縮強度 } q_u \text{ の相関関係}$$

したがって、解析用物性値の平均せん断強度  $\tau_0$  ( $1.39\text{N/mm}^2$ ) に対応する一軸圧縮強度  $q_u$  は  $4.1\text{N/mm}^2$  と算定され、平均  $-1\sigma$  せん断強度  $\tau_0$  ( $1.38\text{N/mm}^2$ ) に対応する一軸圧縮強度  $q_u$  も同じく、 $4.1\text{N/mm}^2$  と算定される。内部摩擦角  $\phi$  ( $22.1^\circ$ ) に対応する一軸圧縮強度  $q_u$  は  $4.1\text{N/mm}^2$  と算定される。

つまり一軸圧縮強度  $q_u$  が  $4.1\text{N/mm}^2$  あれば、三軸圧縮試験による強度（ $\tau_0$ 、 $\phi$ ）を上回ることとなる。

引張強度  $\sigma_t$  については、解析用物性値と同じく、岩石の引張強さ試験により確認することとし、岩石の引張強さ試験から得られる引張強度  $\sigma_t$  が、解析用物性値以上であることを確認する。



初期せん断弾性係数  $G_0$  は、PS 検層から得られる  $G_0$  ( $G_0 = \rho V_s^2$ ) の平均値及び平均  $-1\sigma$  を確認する。

なお、実施工における改良地盤の仕様は地盤状況に応じ、試験施工以上の仕様としている。

表 4-4 改良地盤（高圧噴射攪拌工法）の品質確認試験及び基準値

項目	解析用物性値		基準値	
	平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	平均 - 1 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )	平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	平均 - 1 $\sigma$ (N/mm <sup>2</sup> )
せん断強度, $\tau_0$	1.39 三軸圧縮試験 (JGS 0523)	1.38 三軸圧縮試験 (JGS 0523)	一軸圧縮強度 $q_u$ 4.1 以上 土の一軸圧縮試験 (JIS A1216)	一軸圧縮強度 $q_u$ 4.1 以上 土の一軸圧縮試験 (JIS A1216)
内部摩擦角, $\phi$	22.1° 三軸圧縮試験 (JGS 0523)	22.1° 三軸圧縮試験 (JGS 0523)	一軸圧縮強度 $q_u$ 4.1 以上 土の一軸圧縮試験 (JIS A1216)	一軸圧縮強度 $q_u$ 4.1 以上 土の一軸圧縮試験 (JIS A1216)
引張強度, $\sigma_t$	0.65 岩石の引張強さ試験方法 (JIS M0303)	0.45 岩石の引張強さ試験方法 (JIS M0303)	0.65 以上 岩石の引張強さ試験方法 (JIS M0303)	0.45 以上 岩石の引張強さ試験方法 (JIS M0303)
初期せん断 弾性係数, $G_0$	1940 PS 検層 (JGS 1122)	1210* PS 検層 (JGS 1122)	1940 以上 PS 検層 (JGS 1122)	1210 以上 PS 検層 (JGS 1122)

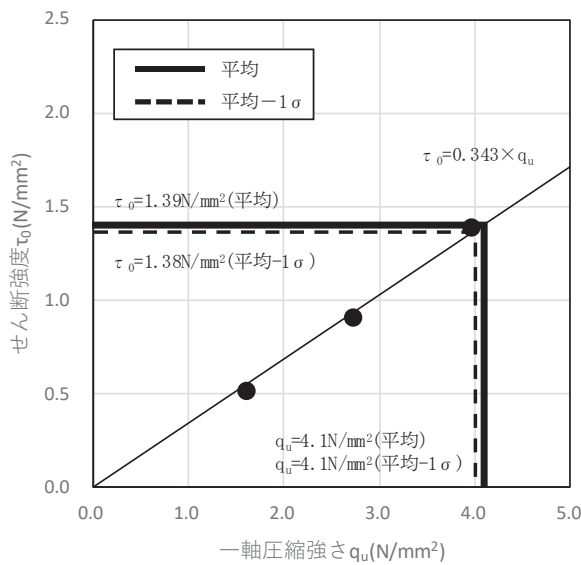
注記\* : 詳細設計段階で設定した解析用物性値

表 4-5 室内再構成試料に対する一軸圧縮試験結果

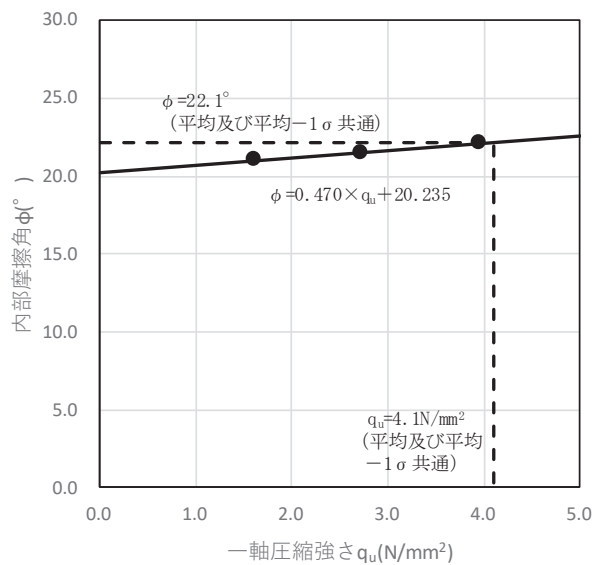
	供試体 A 群	供試体 B 群	供試体 C 群
試験数量	6	3	3
一軸圧縮強度 $q_u$ ( $N/mm^2$ )	1.61	2.73	3.96
最大値 ( $N/mm^2$ )	1.72	2.81	4.05
最小値 ( $N/mm^2$ )	1.50	2.60	3.78

表 4-6 室内再構成試料に対する三軸圧縮試験結果

	供試体 A 群	供試体 B 群	供試体 C 群
試験数量 (拘束圧, $N/mm^2$ )	3 (0.1, 0.3, 0.6)	3 (0.1, 0.3, 0.6)	3 (0.1, 0.3, 0.6)
せん断強度 $\tau_0$ ( $N/mm^2$ )	0.52	0.91	1.39
内部摩擦角 $\phi$ ( $^\circ$ )	21.0	21.5	22.1



(a)  $\tau_0$  と  $q_u$  の関係



(b)  $\phi$  と  $q_u$  の関係

図 4-5 せん断強度 ( $\tau_0$ ,  $\phi$ ) と一軸圧縮強度  $q_u$  の相関

(3) 三軸圧縮試験による確認

設置許可申請書の改良地盤の強度が三軸圧縮試験により設定されていることに対し、品質確認試験は相関関係を設定して一軸圧縮強度で確認していることを踏まえ、相関関係を利用しなくても強度が確保できていることを確認するため、20,000m<sup>3</sup>に1回程度（全4回程度）を目安に三軸圧縮試験を実施し、算定されるせん断強度が設置変更許可申請書の値を上回ることを確認する。

(4) 改良状況の確認

防潮堤置換コンクリート設置に伴う掘削箇所及びボーリングコアにより、地盤改良の改良状況を確認する。

(5) 基準値を下回った場合の対応

品質確認試験の中で設定した基準値を下回った場合や、防潮堤置換コンクリート設置に伴う掘削箇所及びボーリングコアにより未改良範囲が確認された場合の対応として、それらの原因の考察（局所的な地盤条件等）を行った上で、必要に応じて補修を行う。

#### 4.4 新規に施工した改良地盤の品質確認結果

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の改良地盤のうち、これまでにデータ確認済みの品質確認結果を以下に示す。

##### 4.4.1 品質確認位置

防潮堤（鋼管式鉛直壁）における改良地盤の品質確認位置を図 4-6 に、改良地盤の施工数量と必要調査箇所数との比較を表 4-7 に示す。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）の改良地盤の品質確認においては、図 4-6 に示すとおり、防潮堤の改良地盤範囲の中から構造物配置も踏まえた上で、おおむね汀線方向（南北方向）に均等な配置となるように、全 16 箇所（品質管理断面①～品質管理断面⑯）での調査を実施する。

また、表 4-7 に示すとおり、防潮堤（鋼管式鉛直壁）の品質確認における調査箇所数は、建築センター指針による必要調査箇所数の目安を満足するように選定する。

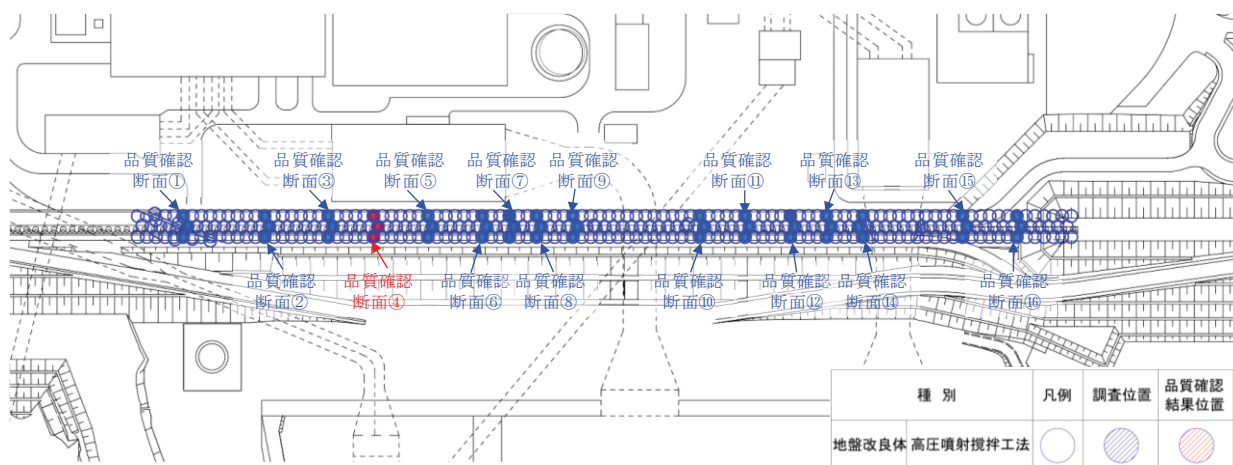


図 4-6 防潮堤（鋼管式鉛直壁）における改良地盤の品質確認位置

表 4-7 防潮堤（鋼管式鉛直壁）における改良地盤の施工数量と必要調査箇所数

対象構造物		防潮堤
種別		高圧噴射攪拌工法
適用基準		建築センター指針
施工数量	施工数量 (m <sup>3</sup> )	約 68,000
	施工本数 (本)	320
(A)	調査箇所数 (箇所)	16
(B)	必要調査箇所数 (箇所)	4
判定 (A) > (B)		○

#### 4.4.2 品質確認結果 (データ確認済みの範囲)

防潮堤（鋼管式鉛直壁）における改良地盤の調査箇所のうち、データを取得できている品質確認断面④について品質確認結果を示す。品質確認断面④の断面図及び試料採取位置の深度分布を図 4-7 に示す。

品質確認結果を表 4-8 及び表 4-9 に示す。データを取得できている改良地盤については、品質確認結果より基準値を満足していることを確認した。

また、改良地盤施工後のボーリングコア採取位置を図 4-8 に、ボーリングコア写真を図 4-9 に示す。図 4-9 に示すとおり、改良地盤施工箇所は十分改良できているとあり、また、既設改良地盤と追加改良地盤の境界についても密着していることが確認できる。

なお、その他の品質確認断面については、改良地盤施工後に順次試験を実施し、品質確認を行う。

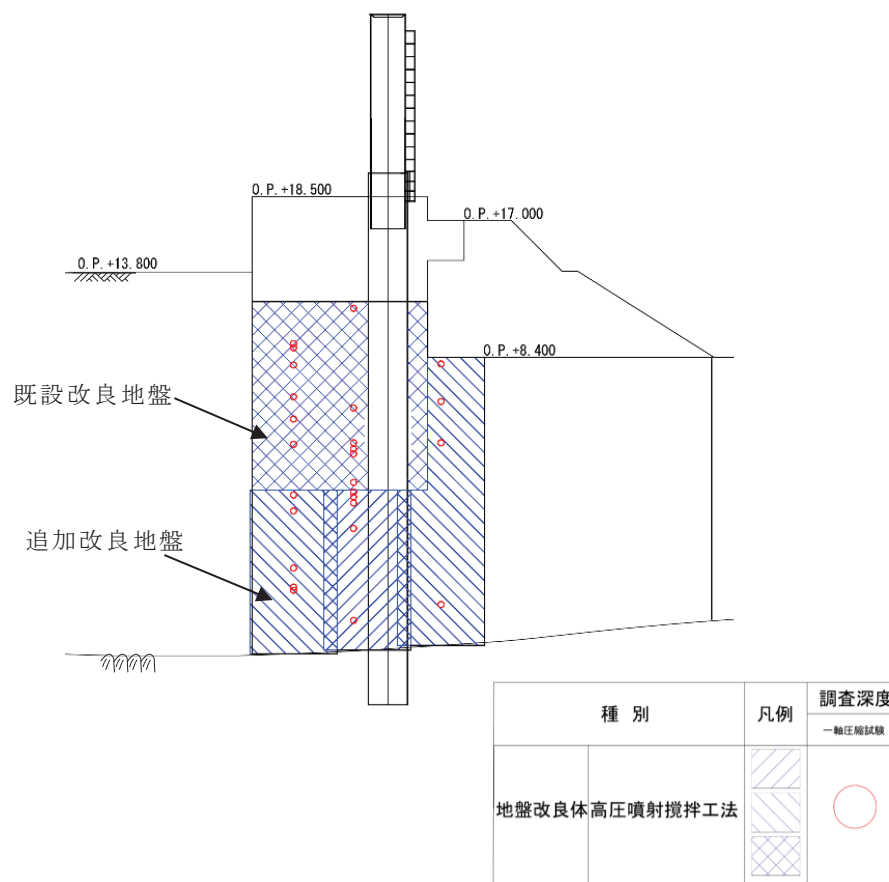


図 4-7 品質確認断面④の断面図及び試料採取位置の深度分布（一軸圧縮強度試験の例）

表 4-8(1) 品質確認断面④における改良地盤の品質確認結果（一軸圧縮強度）

試料数 (本)	品質確認結果		基準値		判定
	平均値* (N/mm <sup>2</sup> )	平均-1σ (N/mm <sup>2</sup> )	平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	平均-1σ (N/mm <sup>2</sup> )	
25	11.00	5.88	4.1 以上	4.1 以上	OK

注記\*：標準偏差  $\sigma = 5.13 \text{ N/mm}^2$

表 4-8(2) 品質確認断面④における改良地盤の品質確認結果（引張強度）

試料数 (本)	品質確認結果		基準値		判定
	平均値* (N/mm <sup>2</sup> )	平均-1σ (N/mm <sup>2</sup> )	平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	平均-1σ (N/mm <sup>2</sup> )	
25	1.14	0.63	0.65 以上	0.45 以上	OK

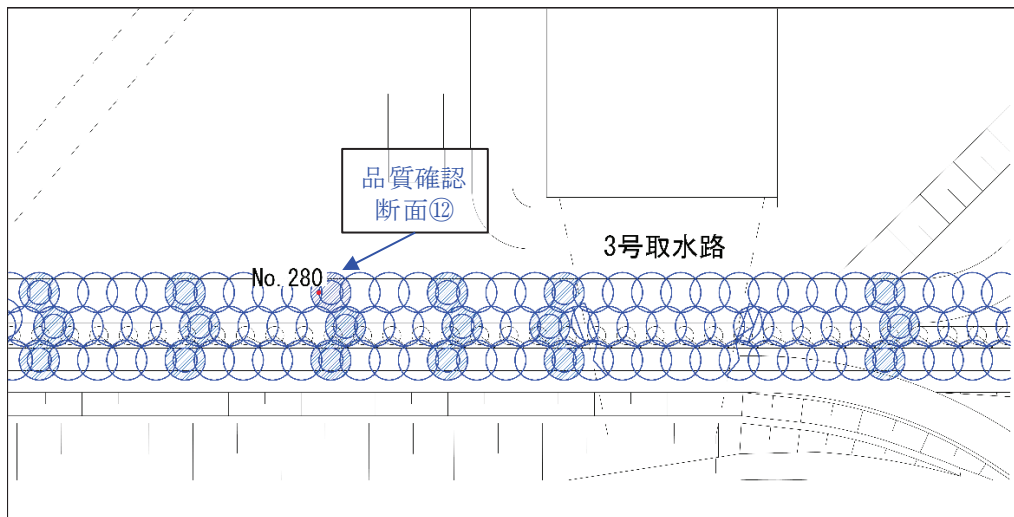
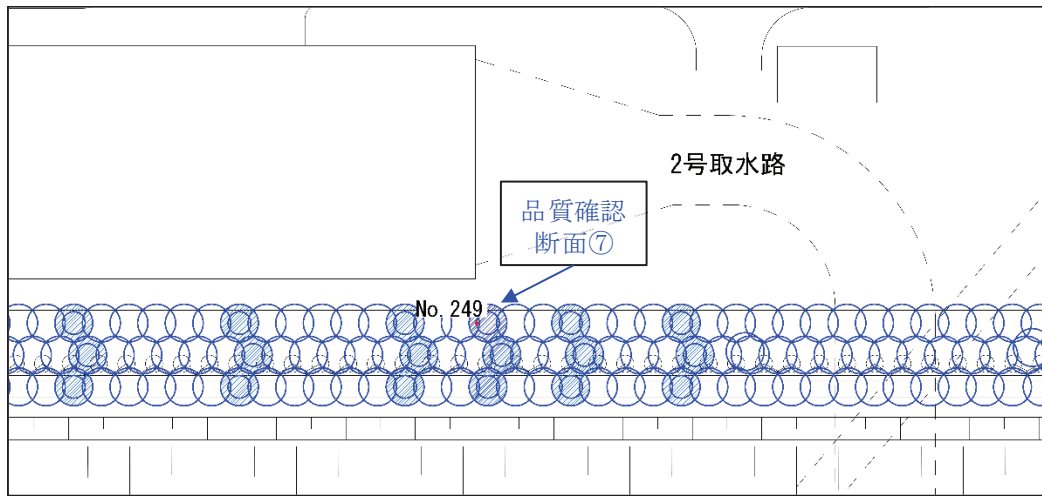
注記\*：標準偏差  $\sigma = 0.51 \text{ N/mm}^2$

表 4-9 品質確認断面④における改良地盤の品質確認結果（初期せん断弾性係数）

試料数* <sup>1</sup> (箇所)	品質確認結果		基準値		判定
	平均値* <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	平均-1σ (N/mm <sup>2</sup> )	平均値 (N/mm <sup>2</sup> )	平均-1σ (N/mm <sup>2</sup> )	
20	4025	2852	1940 以上	1210 以上	OK

注記\* 1：PS 検層の測定区間長 1m を一つの試料数と見なす。

\* 2：標準偏差  $\sigma = 1173 \text{ N/mm}^2$



種 別	凡例	調査位置	コア採取位置
地盤改良体 高圧噴射攪拌工法	○	◐	●

図 4-8 ボーリングコア採取位置



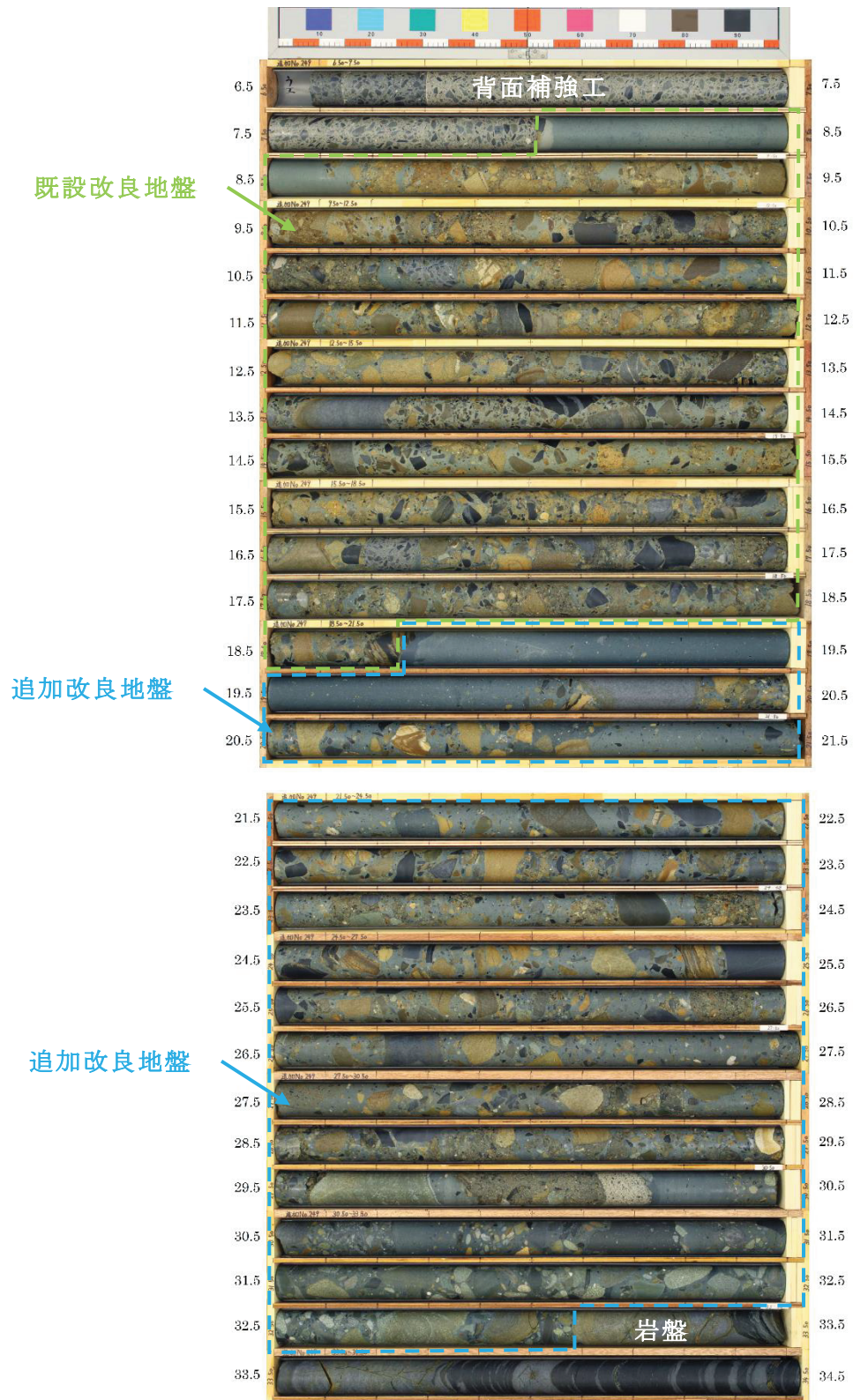


図 4-9(1) ボーリングコア写真 (No. 249)

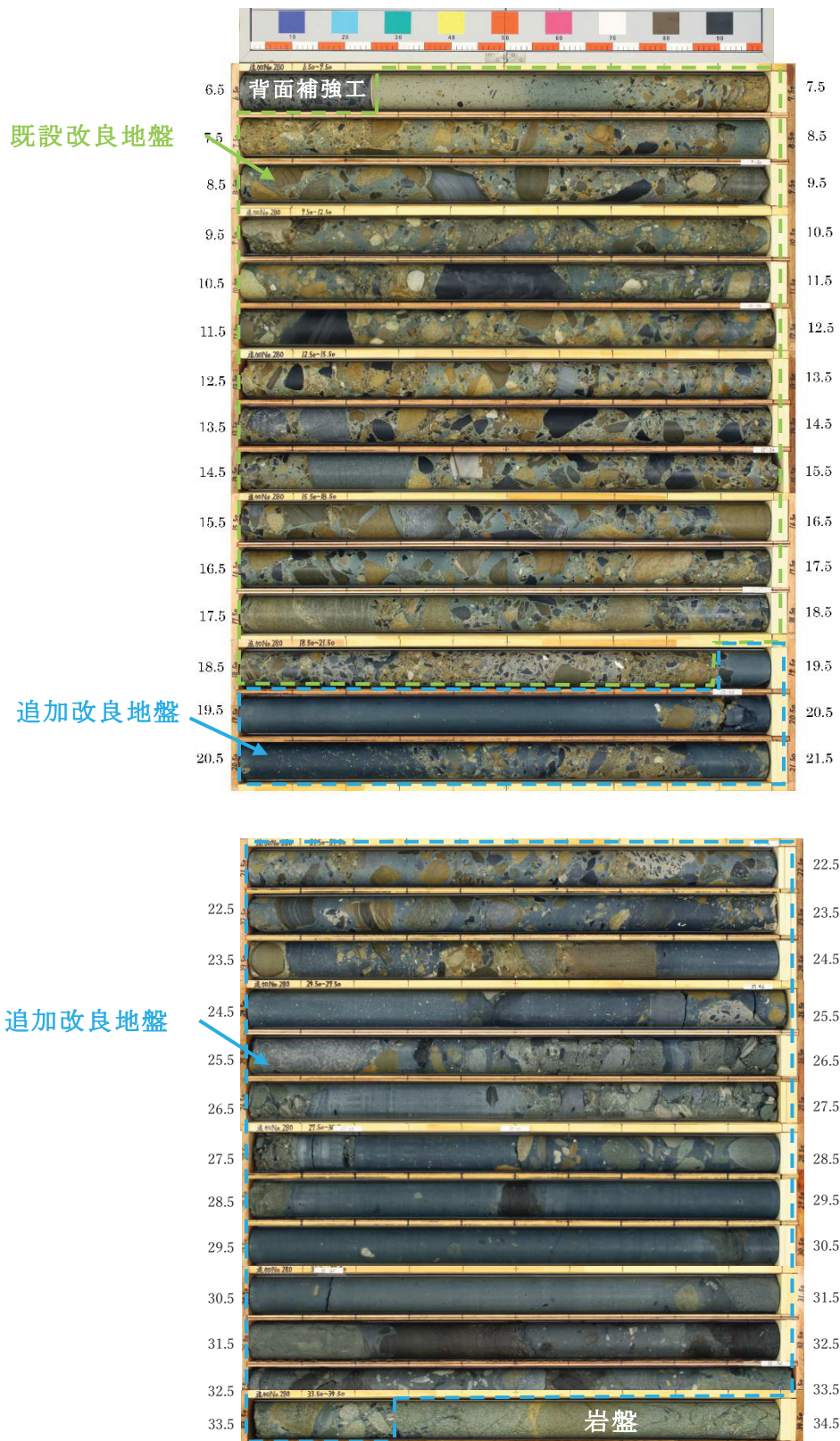


図 4-9(2) ボーリングコア写真 (No. 280)