

(参考資料 6) 地盤改良体における補足

1. 地盤改良体の概要

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
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									
バーチカル ドレーン工法	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	サンドコンパクショ ン工法	○	○	○	○	○	○	○		○
	ンパイル工法									
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	○	○	○	○			○	○	○
	生石灰パイル工法									
	薬液注入工法									
構造物による 工法	矢板工法									
	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、柏崎刈羽原子力発電所の建物・構築物及び土木構造物で適用している地盤改良としては、適用地盤や工法の効果とも幅広く適用可能である「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（機械攪拌工法、高圧噴射攪拌工法）である。

また、一般的に置換工法とは、軟弱地盤を良質な土材料で置き換える工法であるが、土材料として陸上混練したセメント改良土を適用したものについては固結工法と同等又はそれ以上の効果を期待出来ることから採用している。以下、本資料では置換工法のうち、置換する材料としてセメント改良土を適用した工法を「置換工法」という。

なお、深層混合処理工法については、原地盤を攪拌混合する性質上、一般的に土材料の性質によって物性が異なることから、主たる対象土層の性質（砂質土・粘性土）によって分類する。地盤改良工法と対象土層の性質に係わる解釈を表 1-2 に、対象土層の分類を表 1-3 に示す。

表 1-2 地盤改良工法と対象土の性質に係わる解釈

地盤改良工法		対象土層の考慮	備考
置換工法 (セメント改良土)		考慮しない	地上混練した材料であるため対象土層の影響を受けない。
深層混合 処理工法	機械攪拌工法	考慮する	原地盤を攪拌混合する工法のため、対象土層の影響を受ける。
	高圧噴射攪拌工法	考慮する	原地盤を切削攪拌する工法のため、対象土層の影響を受ける。

表 1-3 対象土層の分類

地層名		対象土種別
埋戻土		砂質土
埋戻土Ⅱ		粘性土
沖積層 新期砂層	新期砂層	砂質土
	沖積層上部（シルト質）	粘性土
	沖積層上部（砂質）	砂質土
	沖積層下部	砂質土
古安田層	A3c層	粘性土
	A3a1層	粘性土
	A3s層	砂質土
	A2c層	粘性土
	A2a1層	粘性土
	A2s層	砂質土
	A2g層（シルト質）	粘性土
	A2g層（砂質）	砂質土
	A1c層	粘性土
A1g層	砂質土	

1.2 地盤改良体の施工方法

柏崎刈羽原子力発電所で適用している地盤改良体の施工方法の概要を表 1-4 に示す。

表 1-4 施工方法の概要(1/3)

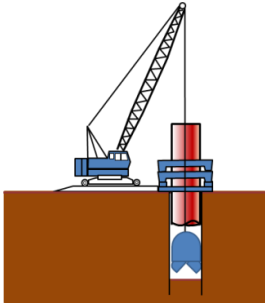
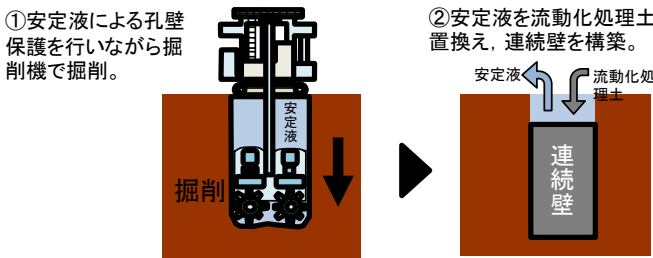
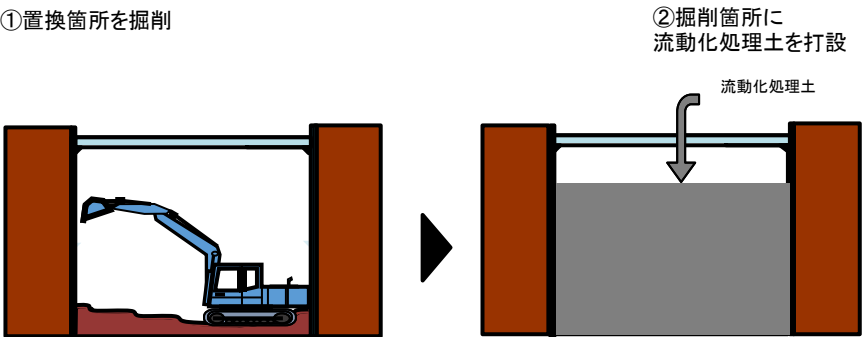
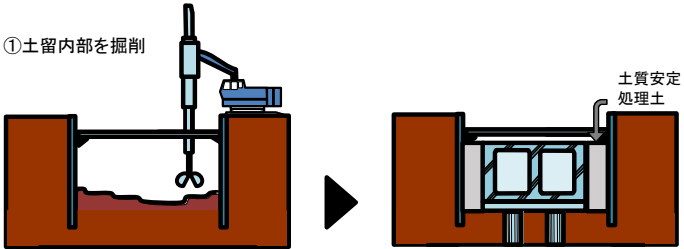
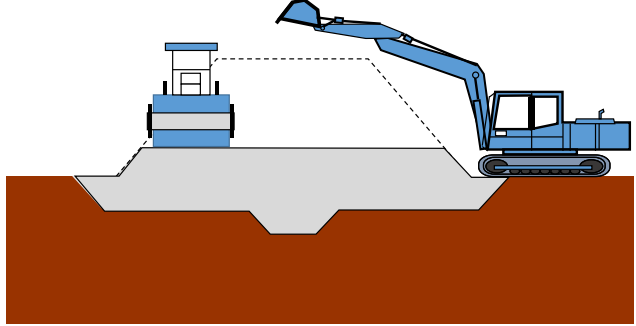
工 法	概 要
<p>置換工法 (CD 掘削工法)</p>	<p>原地盤を全周回転掘削機で開削し，流動化処理土を投入することで，改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく，開削が可能な箇所にて採用。</p>  <p>置換工法(CD 掘削工法)の概要</p>
<p>置換工法 (地中連続壁工法)</p>	<p>原地盤を水平多軸掘削機で開削し，流動化処理土を投入することで，改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく，開削が可能な箇所にて採用。</p>  <p>①安定液による孔壁保護を行いながら掘削機で掘削。 ②安定液を流動化処理土に置換え，連続壁を構築。</p> <p>置換工法(地中連続壁工法)の概要</p>
<p>置換工法 (開削工法)</p>	<p>狭隘部において，小型建機を用いて掘削した後，流動化処理土を投入し，改良体を造成する工法</p>  <p>①置換箇所を掘削 ②掘削箇所に流動化処理土を打設</p> <p>置換工法(開削工法)の概要</p>

表 1-4 施工方法の概要(2/3)

工 法	概 要
<p>機械攪拌工法</p>	<p>原地盤に攪拌翼を貫入した後、地盤とセメントミルクを攪拌混合することで改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく、貫入が可能な箇所にて採用。</p> <div style="text-align: center;"> <p>①改良箇所に攪拌翼を貫入</p> <p>②攪拌翼を引き上げながら地盤とセメントミルクを攪拌し、改良体を造成</p> <p>貫入</p> <p>引上げ攪拌</p> <p>改良体</p> <p>機械攪拌工法の概要</p> </div>
<p>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。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> <div style="text-align: center;"> <p>①ガイドホール設置 所定深度まで削孔</p> <p>②機器設置 ロッド建込み, 超高压 ジェットの噴射・モニターの回転</p> <p>③②の状態を保ちつつ モニターの引き上げ, スライムの排出</p> <p>高圧噴射攪拌工法の概要</p> </div>
<p>無筋 コンクリート</p>	<p>原地盤を開削し、無筋コンクリートを投入することで、改良体を造成する工法。地上構造物及び埋設構造物がなく、開削が可能な箇所にて採用。</p> <div style="text-align: center;"> <p>①置換箇所を掘削</p> <p>取水路</p> <p>②掘削箇所にコンクリートを打設</p> <p>コンクリート</p> <p>無筋</p> <p>取水路</p> <p>無筋コンクリートの概要</p> </div>

表 1-4 施工方法の概要(3/3)

工 法	概 要
土質安定処理土	<p>構造物側方の狭隘な掘削範囲を施工性向上のために流動化処理土で埋戻したもの。(構造物に対して機能を期待しない地盤改良体)</p>  <p>The diagram illustrates the soil stabilization process in two stages. On the left, a machine is shown excavating the interior of a pit, labeled '①土留内部を掘削'. On the right, the pit is filled with '土質安定処理土' (soil stabilization treatment soil). Below the diagram is the caption '土質安定処理土の概要'.</p>
改良盛土	<p>セメント改良土を所定の高さまで盛立てる工法。自主対策設備として設置した防潮堤の堤体として採用。(構造物に対して機能を期待しない地盤改良体)</p>  <p>The diagram shows a blue excavator-like machine with a hopper on top, depositing material into a trench. The material is shown as a grey layer on top of the brown soil. Below the diagram is the caption '改良盛土の概要'.</p>

## 2. 各施設における地盤改良体の概要

建物・構築物及び土木構造物において、地盤改良体を設置する施設の平面配置図を図 2-1 に、間接支持する設備（C クラスを除く）の有無，既設地盤改良体と新設地盤改良体の区分，地盤改良工法及び地盤改良の目的を表 2-1 に示す。

表 2-1 に示すとおり，地盤改良の主な目的は，変形抑制及び浮上り防止（構造物底面に作用する揚圧力の遮断及び構造物側面のせん断抵抗確保）に区別される。その他に，構造物側方の狭隘な掘削範囲を施工性向上のために地盤改良体で埋戻す場合や自主対策設備として設置した防潮堤の堤体として地盤改良体を用いる場合がある。なお，柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の工事計画認可申請においては，構造物の支持を目的とした地盤改良体は無い。

各施設における地盤改良体の施工範囲及び仕様については，各施設における建物・構築物及び土木構造物のそれぞれ機能要求を満たす様に設定する。詳細については，各施設における耐震計算書に示す。

各施設の地盤改良体の配置図を「2.1 建物・構築物」及び「2.2 土木構造物」に示す。

なお，地盤改良体については，2018 年 12 月時点で竣工済みのものを「既設地盤改良体」，施工中もしくは計画中のものを「新設地盤改良体」と称する。

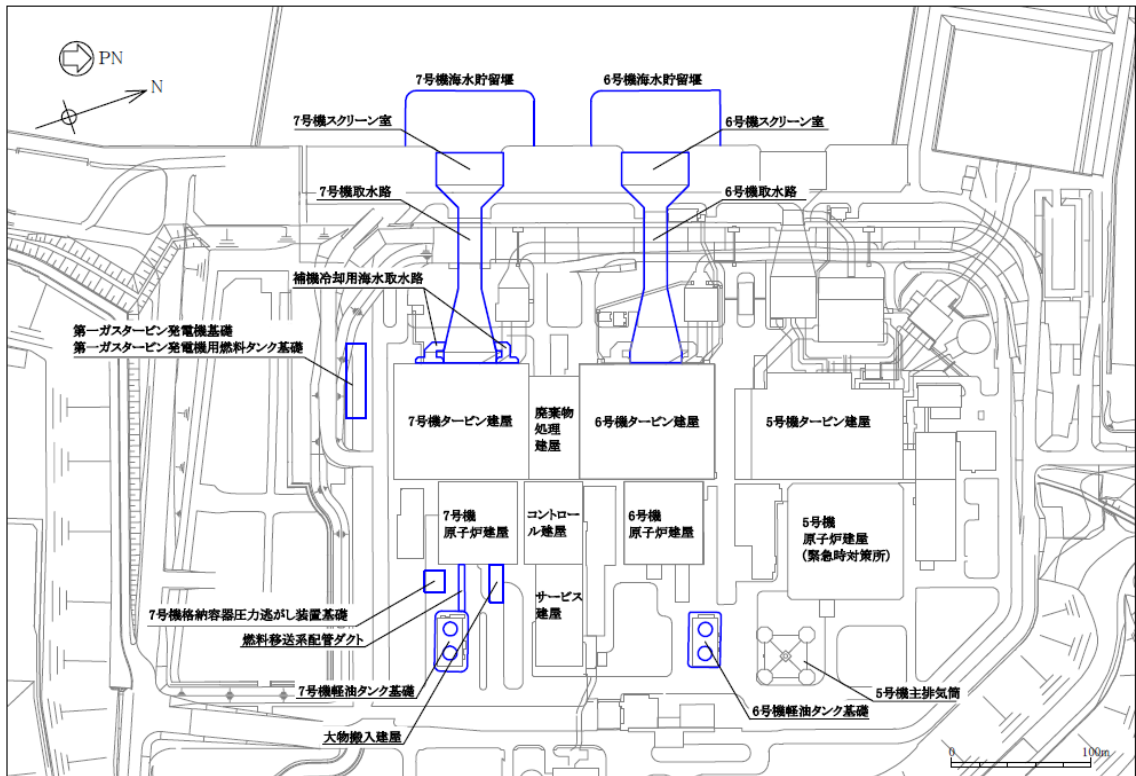


図 2-1 地盤改良体を設置する施設の平面配置図

表 2-1 地盤改良体の概要

対象施設		間接支持 する設備*	地盤改良		
			既設/新設	工法	目的
建物・構築物	大物搬入建屋	×	新設	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制
	格納容器圧力逃がし装置基礎	○	新設	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制
				置換工法 (開削工法)	
				高圧噴射攪拌工法	
土木構造物	海水貯留堰	×	既設	高圧噴射攪拌工法	変形抑制
			新設	高圧噴射攪拌工法	
	スクリーン室	×	新設	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止
	取水路	×	新設	置換工法 (地中連続壁工法)	浮上り防止
				機械攪拌工法	
				高圧噴射攪拌工法	
				無筋コンクリート	
	補機冷却用海水取水路	×	新設	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止
	軽油タンク基礎	○	既設	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制
			新設	高圧噴射攪拌工法	
	燃料移送系配管ダクト	○	既設	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制
			新設	高圧噴射攪拌工法	
	6号機海水貯留堰	×	既設	高圧噴射攪拌工法	変形抑制
			新設	高圧噴射攪拌工法	
	6号機スクリーン室	×	新設	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止
6号機取水路	×	新設	置換工法 (地中連続壁工法)	浮上り防止	
			機械攪拌工法		
			高圧噴射攪拌工法		
			無筋コンクリート		
6号機軽油タンク基礎	○	既設	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制	
		新設	高圧噴射攪拌工法		
第一ガスタービン発電機基礎、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎	○	既設	機械攪拌工法	変形抑制	
			土質安定処理土	施工性向上	
		改良盛土	防潮堤 (自主設備) 堤体		
		新設	機械攪拌工法	変形抑制	

注記\* : 間接支持する設備 (Cクラスを除く) の有無 : 有り (○), 無し (×)



## 2.1 建物・構築物

### (1) 大物搬入建屋

大物搬入建屋の地盤改良体の配置図を図 2-2 に示す。

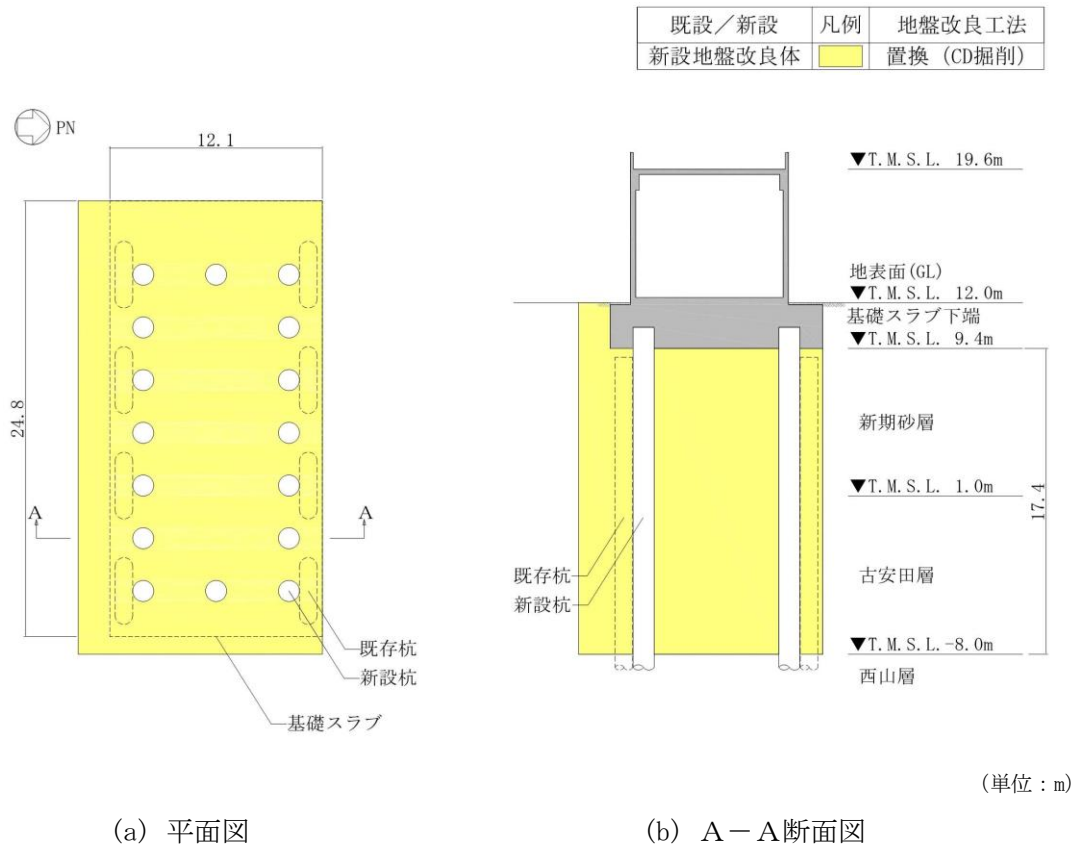
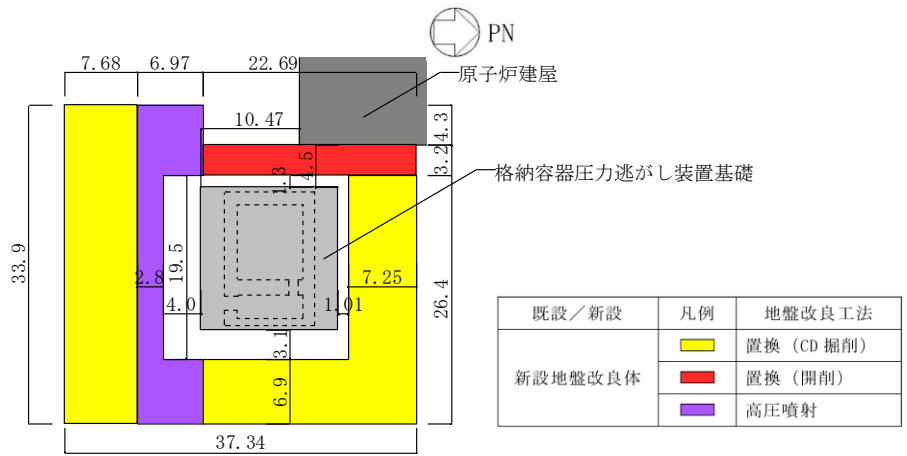


図 2-2 地盤改良体の配置図 (大物搬入建屋)

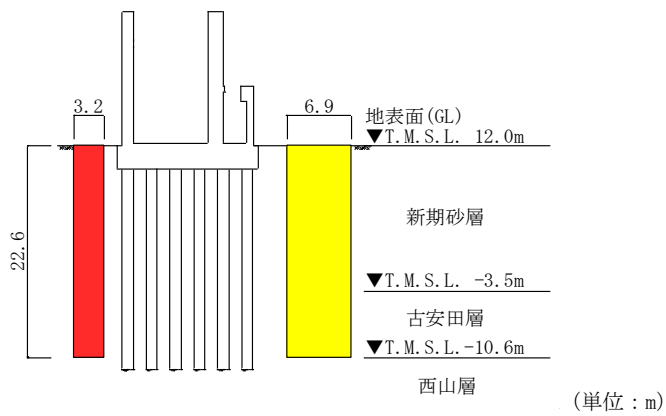
(2) 格納容器圧力逃がし装置基礎

格納容器圧力逃がし装置基礎の地盤改良体の配置図を図 2-3 に示す。



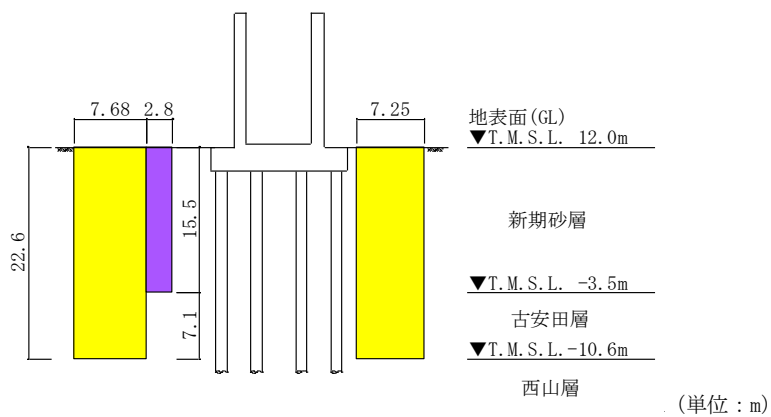
(単位 : m)

(a) 平面図



(単位 : m)

(b) A-A断面図



(単位 : m)

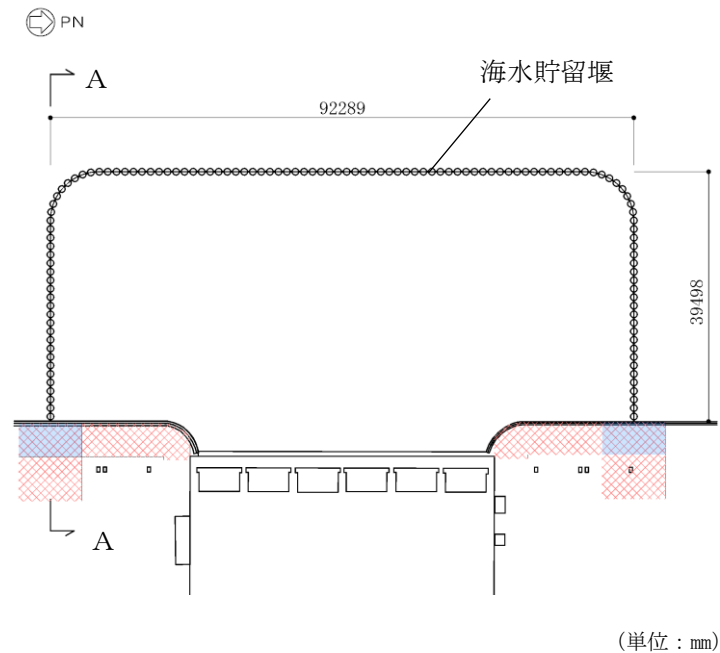
(c) B-B断面図

図 2-3 地盤改良体の配置図 (格納容器圧力逃がし装置基礎)

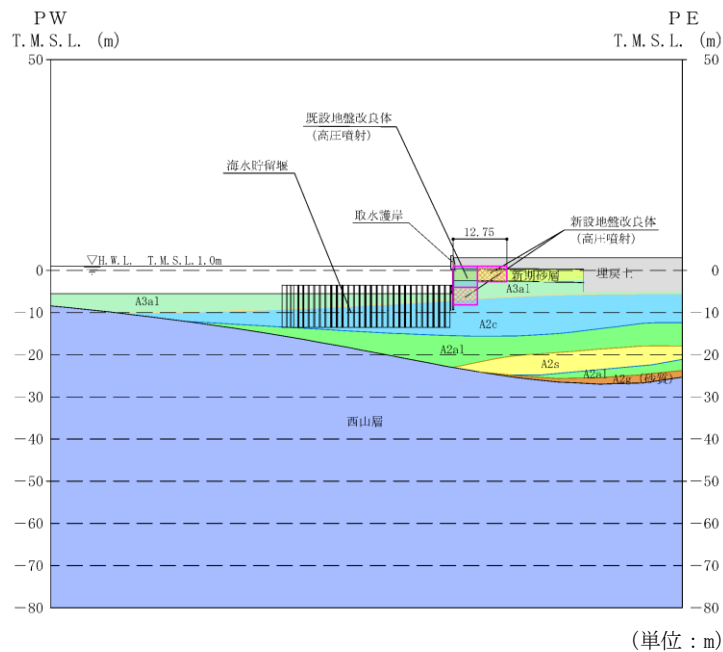
## 2.2 土木構造物

### (1) 海水貯留堰

海水貯留堰の地盤改良体の配置図を図 2-4 に、6 号機海水貯留堰の地盤改良体の配置図を図 2-5 に示す。



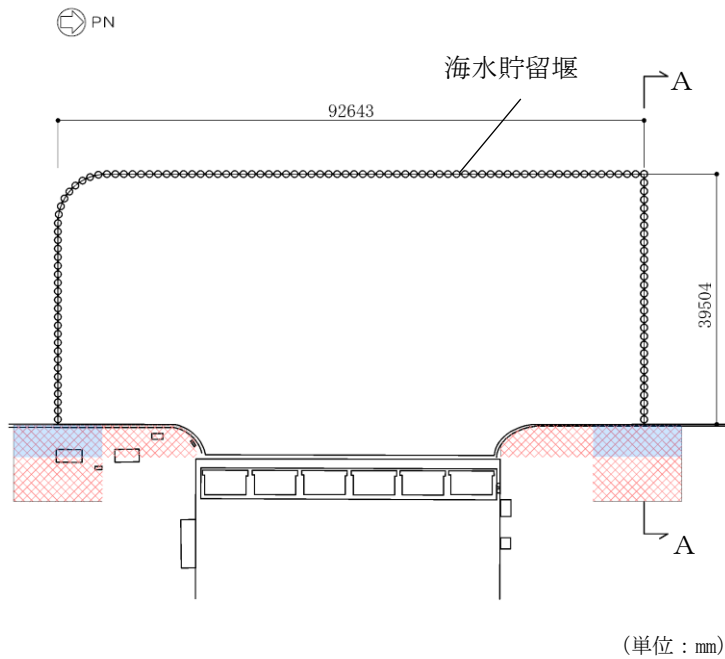
(a) 平面図



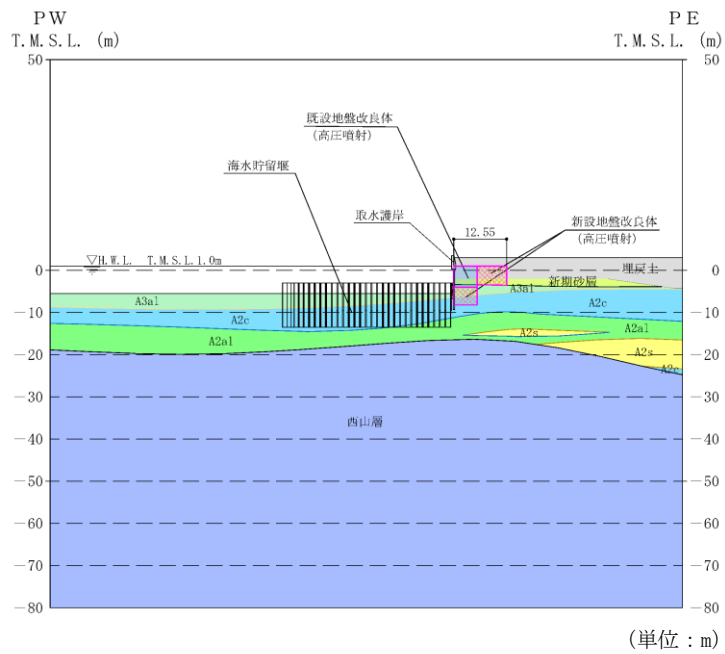
(b) A-A断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		高压喷射
新設地盤改良体		高压喷射

図 2-4 地盤改良体の配置図 (海水貯留堰)



(a) 平面図



(b) A-A断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		高压喷射
新設地盤改良体		高压喷射

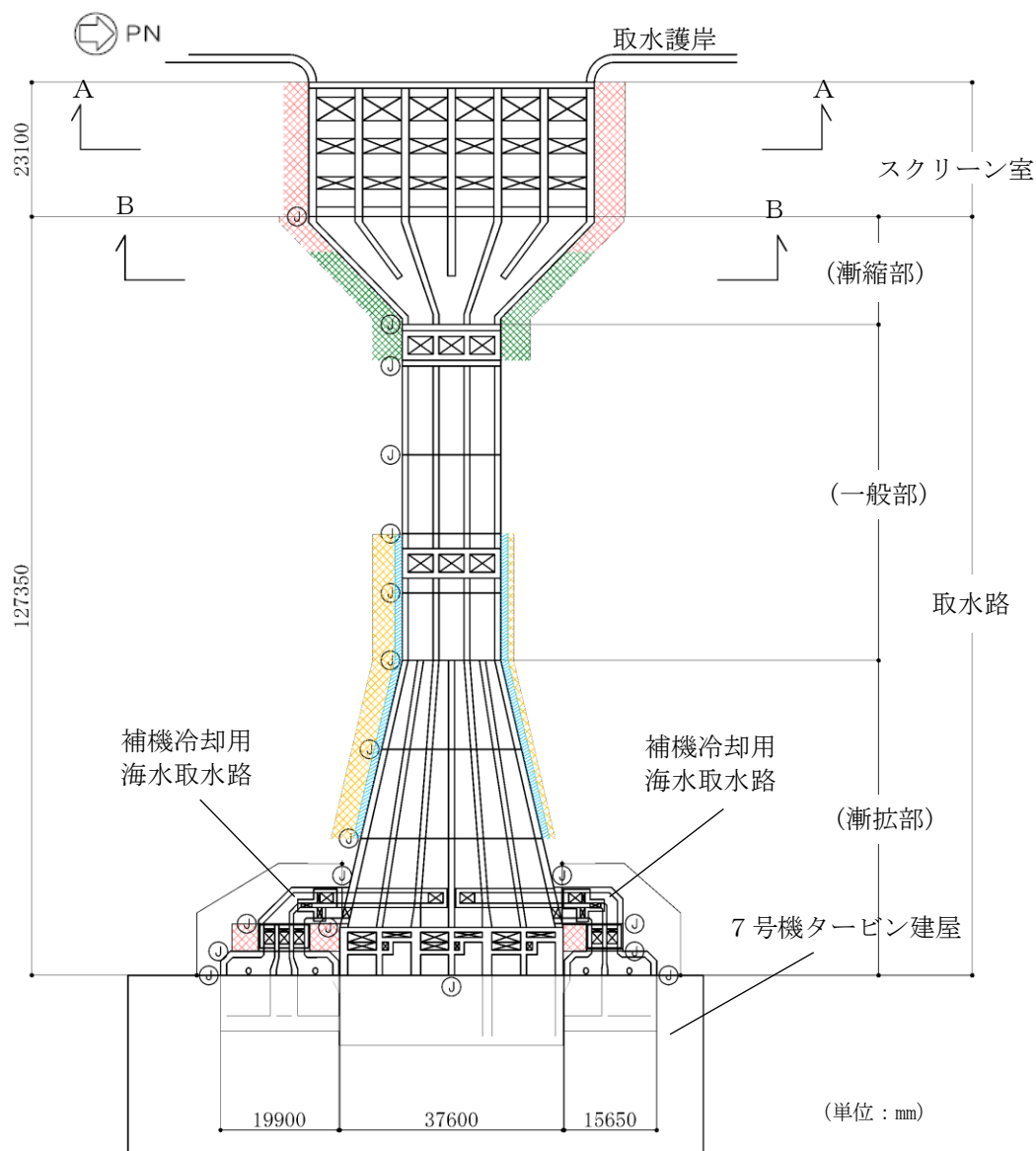
図 2-5 地盤改良体の配置図 (6号機海水貯留堰)

(2) スクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路

スクリーン室，取水路及び補機冷却用海水取水路の地盤改良体の配置図を図 2-6 に，6号機スクリーン室及び6号機取水路の地盤改良体の配置図を図 2-7 に示す。

地盤改良体の幅は，浮上り防止を目的とし構造物を不透水層に根入れする観点から，構造物側方の埋戻土層の範囲（建設時における土留め内の掘削範囲）とすることを基本とする。ただし，建設時のオープン掘削により構造物側方に埋戻土層が広範囲に分布する場合は，地盤改良体高さの1/2以上を目安に地盤改良幅を設定する。

また，図 2-7 に示すとおり，6号機取水路（一般部）北側の一部には，取水電源建屋が設置されている。取水電源建屋の設置地盤のうち取水路側方の埋戻し範囲は，建設時に地盤改良材を用いた埋戻しが実施されているが，当工事計画認可では，建設時の地盤改良の効果は期待せず，当該部分を埋戻土として評価を行う。

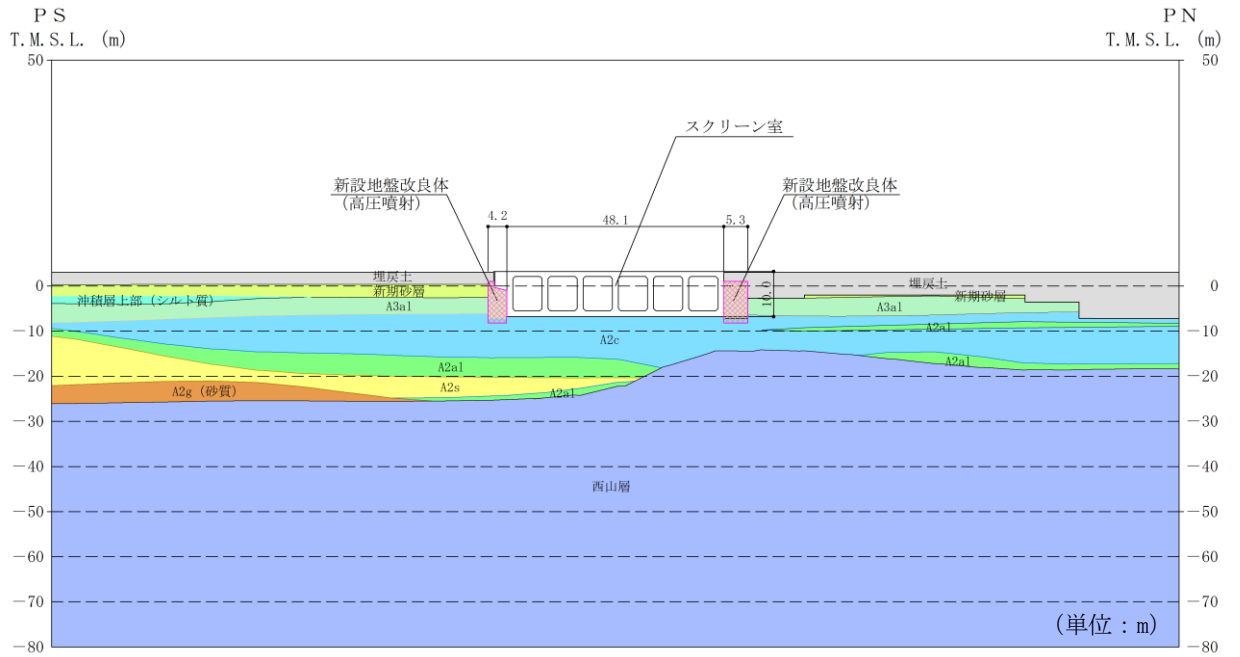


(a) 平面図

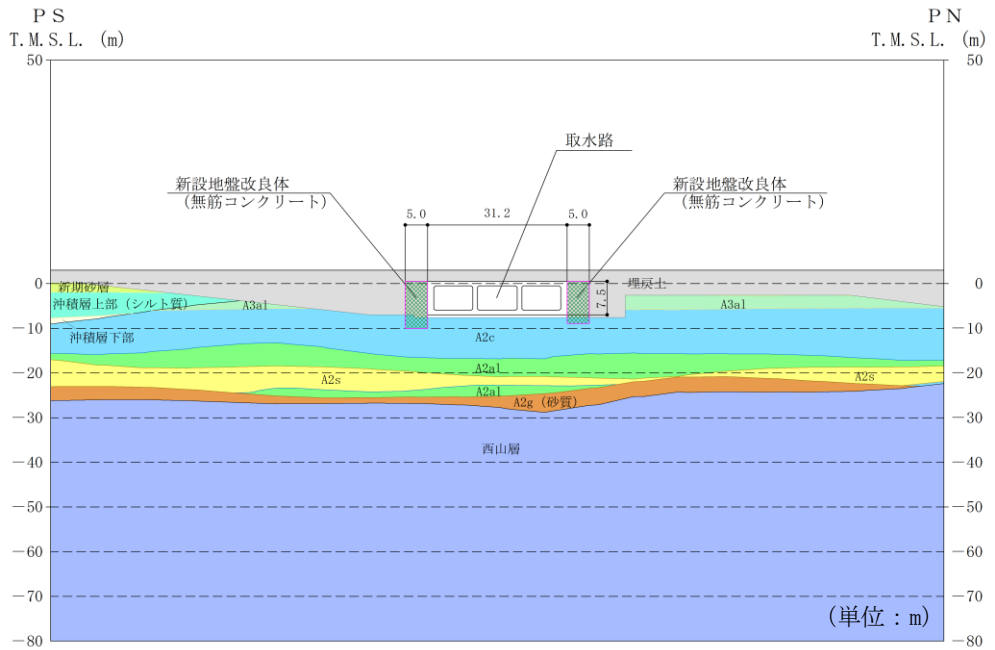
既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

注：置換工法(地中連続壁)，機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

図 2-6 地盤改良体の配置図 (スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路) (1/2)



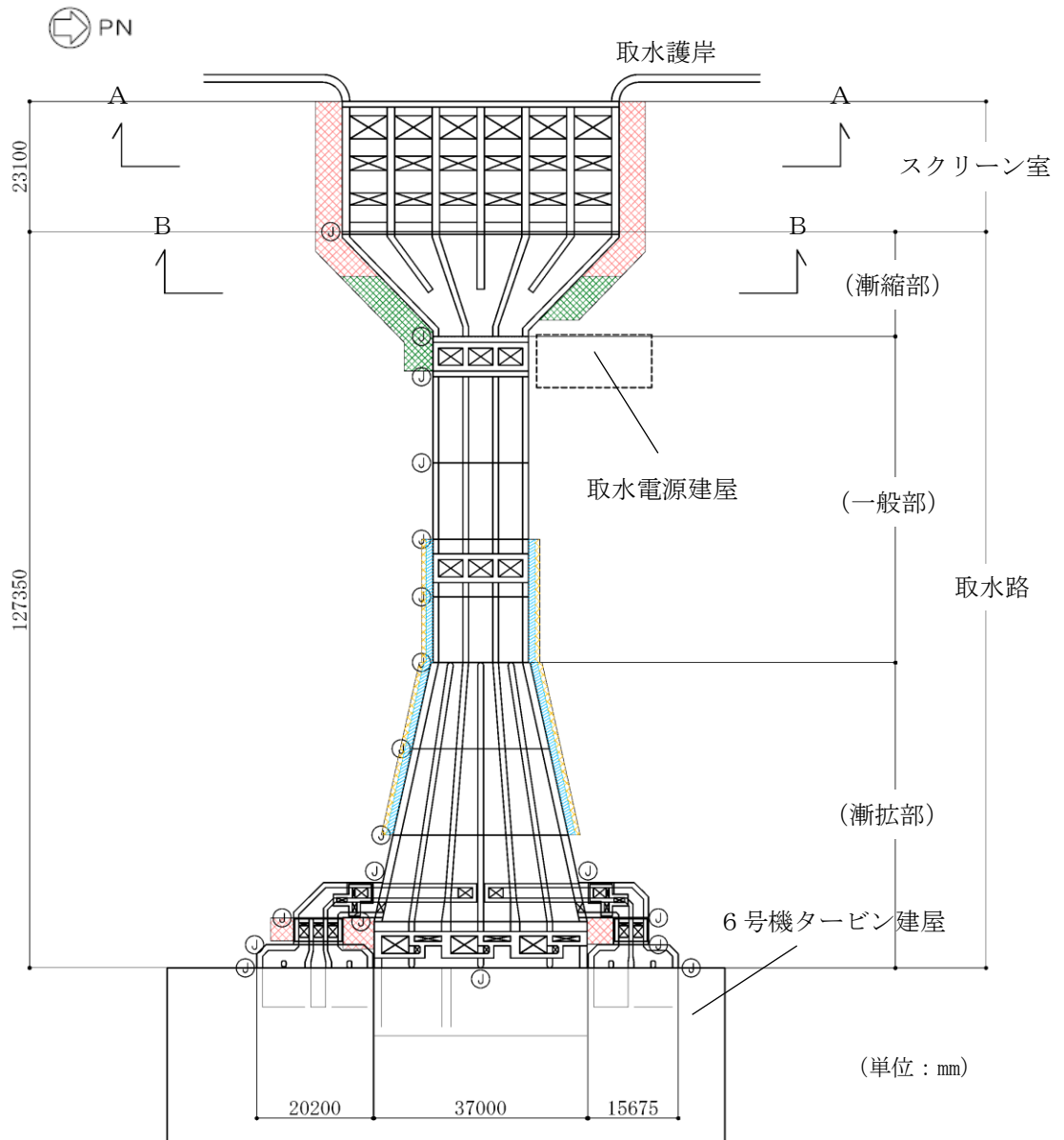
(b) A-A断面図



(c) B-B断面図

既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高压喷射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

図 2-6 地盤改良体の配置図 (スクリーン室, 取水路) (2/2)



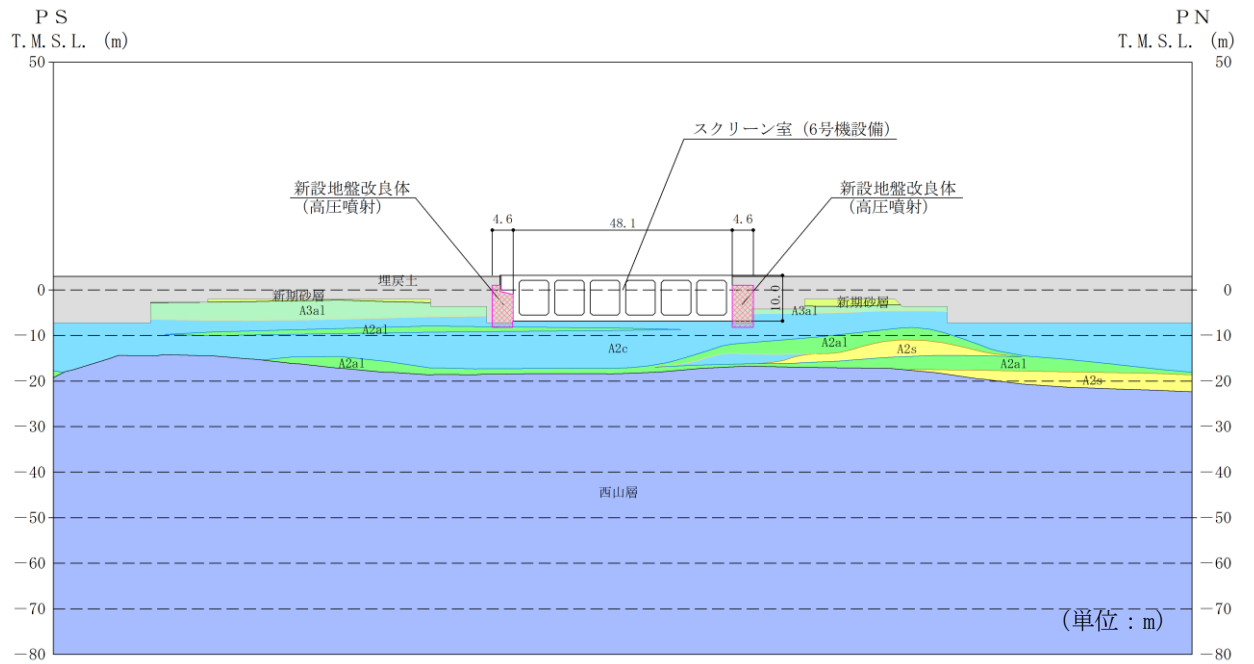
(a) 平面図

既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

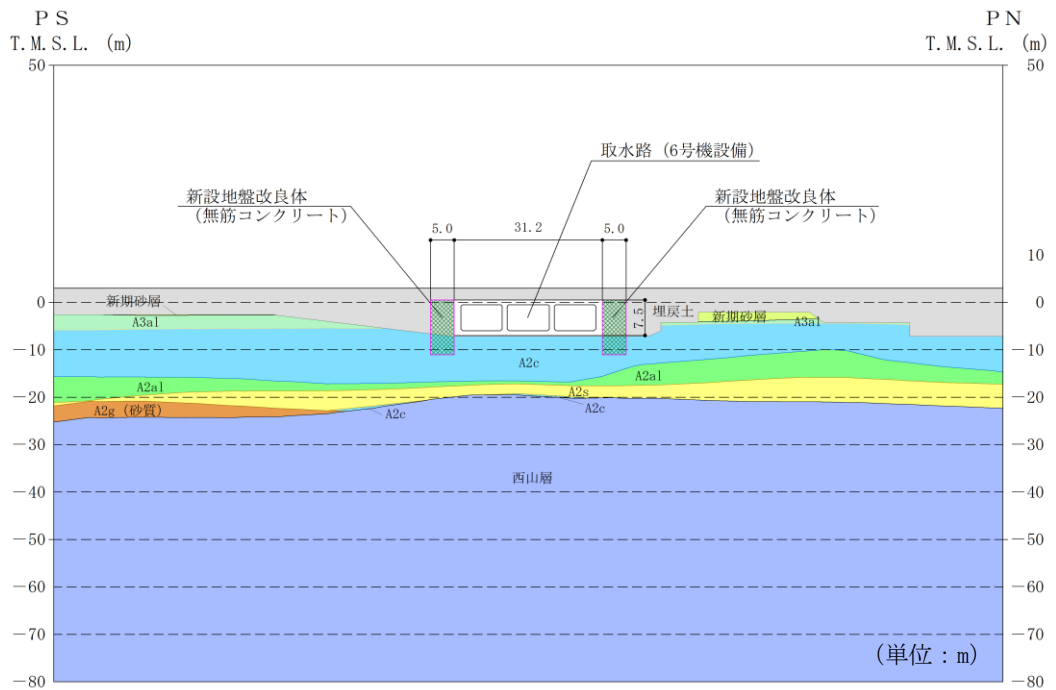
注：置換工法(地中連続壁), 機械攪拌工法の施工範囲の内, 地上構造物及び埋設構造物がある箇所では, 高圧噴射または置換(開削)を適用

図 2-7 地盤改良体の配置図 (6号機スクリーン室, 6号機取水路) (1/2)





(b) A-A断面図



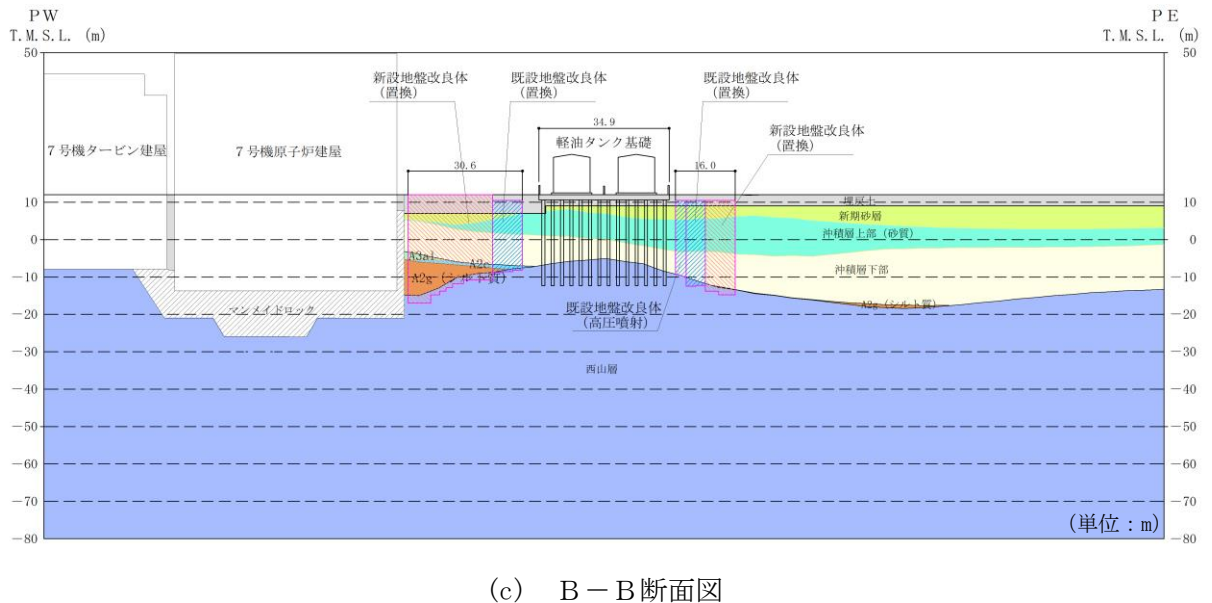
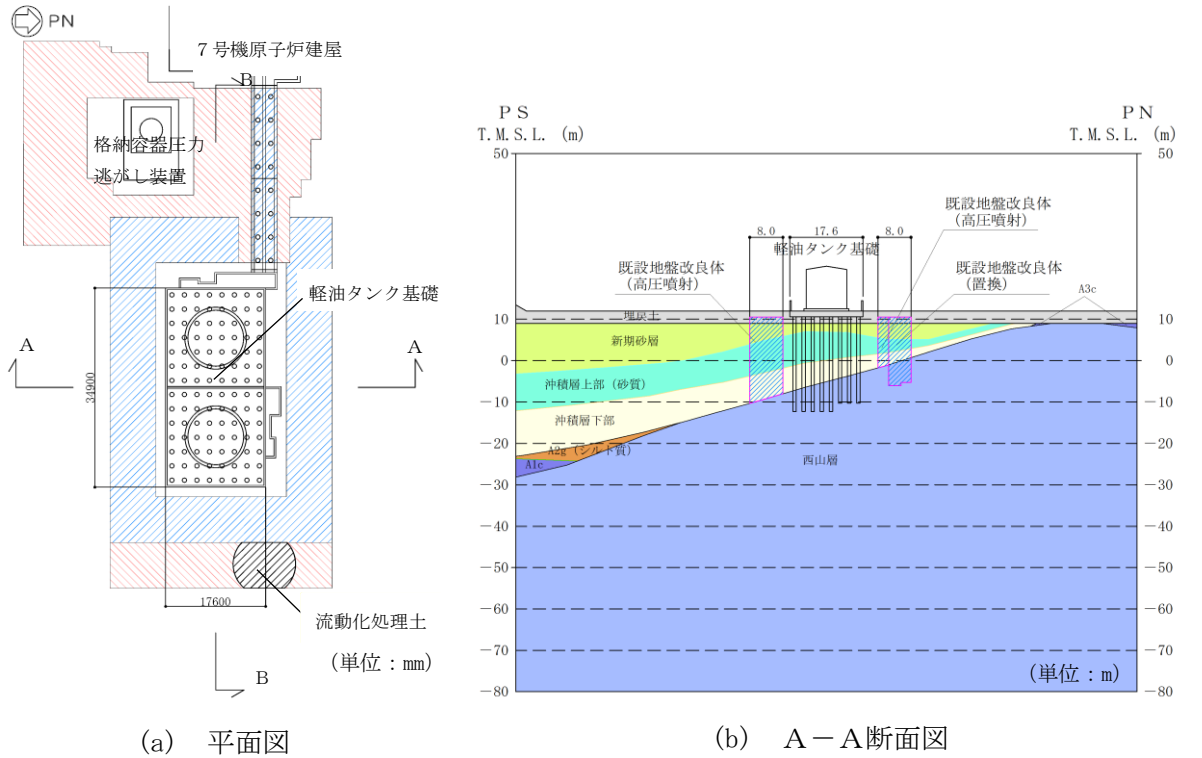
(c) B-B断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高压喷射
		无筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

図 2-7 地盤改良体の配置図 (6号機スクリーン室, 6号機取水路) (2/2)

(3) 軽油タンク基礎

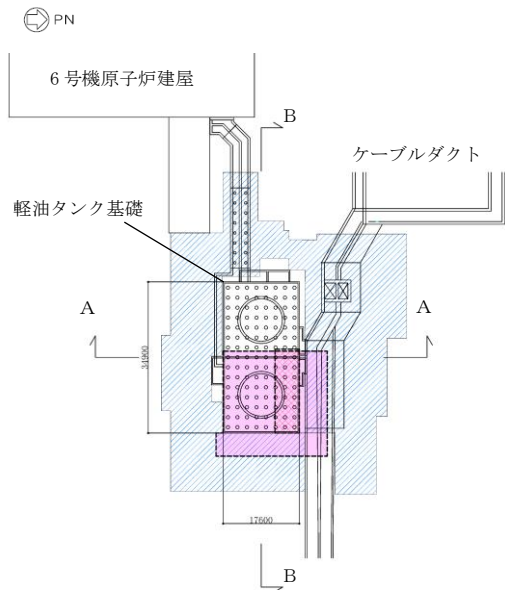
軽油タンク基礎の地盤改良体の配置図を図 2-8 に、6 号機軽油タンク基礎の地盤改良体の配置図を図 2-9 に示す。なお、軽油タンク基礎の東側の流動化処理土の埋戻土の範囲は、当工事計画認可では、流動化処理土の効果に期待せず、当該部分を空隙として評価を行う。



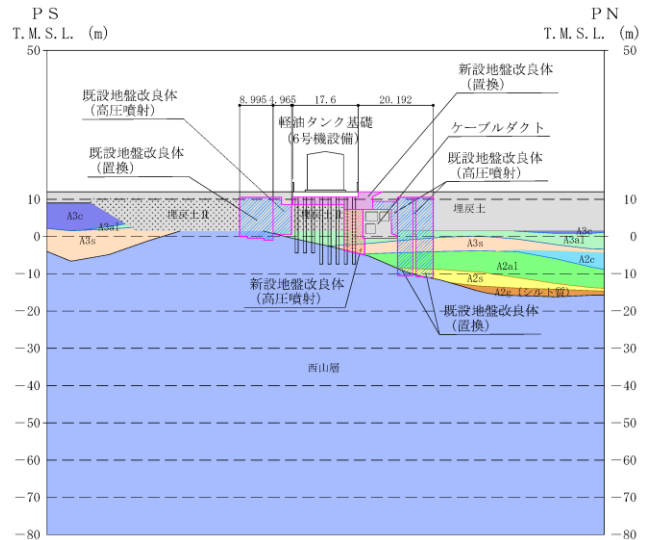
既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法(CD掘削)の施工範囲の内、上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換（開削）を適用

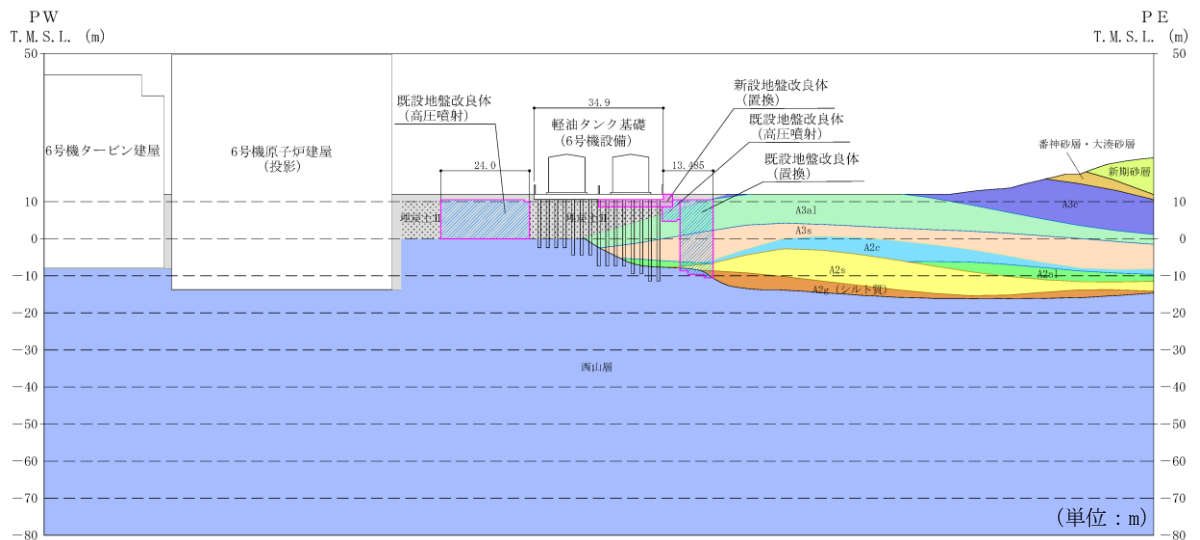
図 2-8 地盤改良体の配置図 (軽油タンク基礎)



(a) 平面図 (単位: mm)



(b) A-A断面図 (単位: m)



(c) B-B断面図

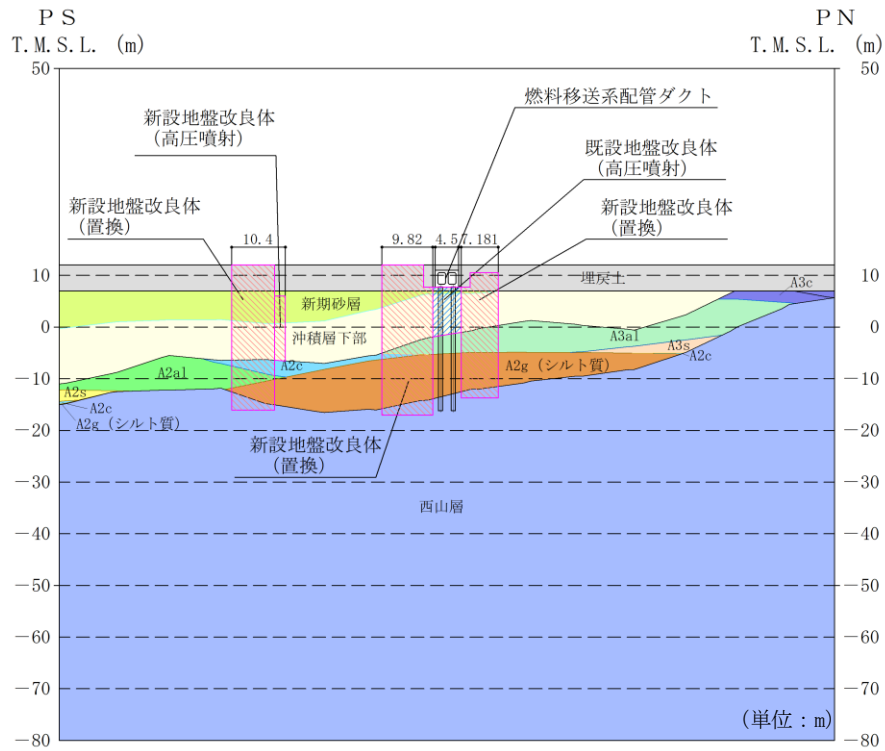
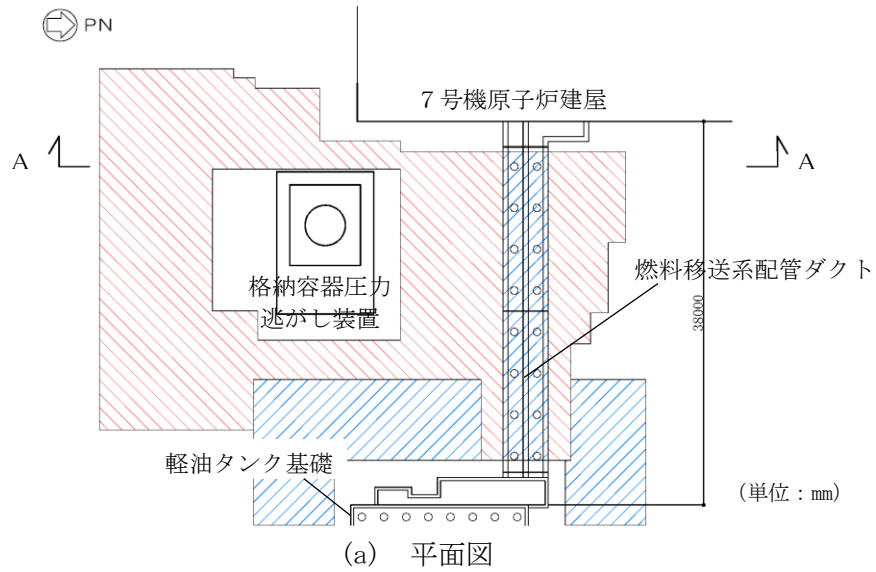
既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (開削)
		高圧噴射

注: 置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射を適用

図 2-9 地盤改良体の配置図 (6号機軽油タンク基礎)

(4) 燃料移送系配管ダクト

燃料移送系配管ダクトの地盤改良体の配置図を図 2-10 に示す。

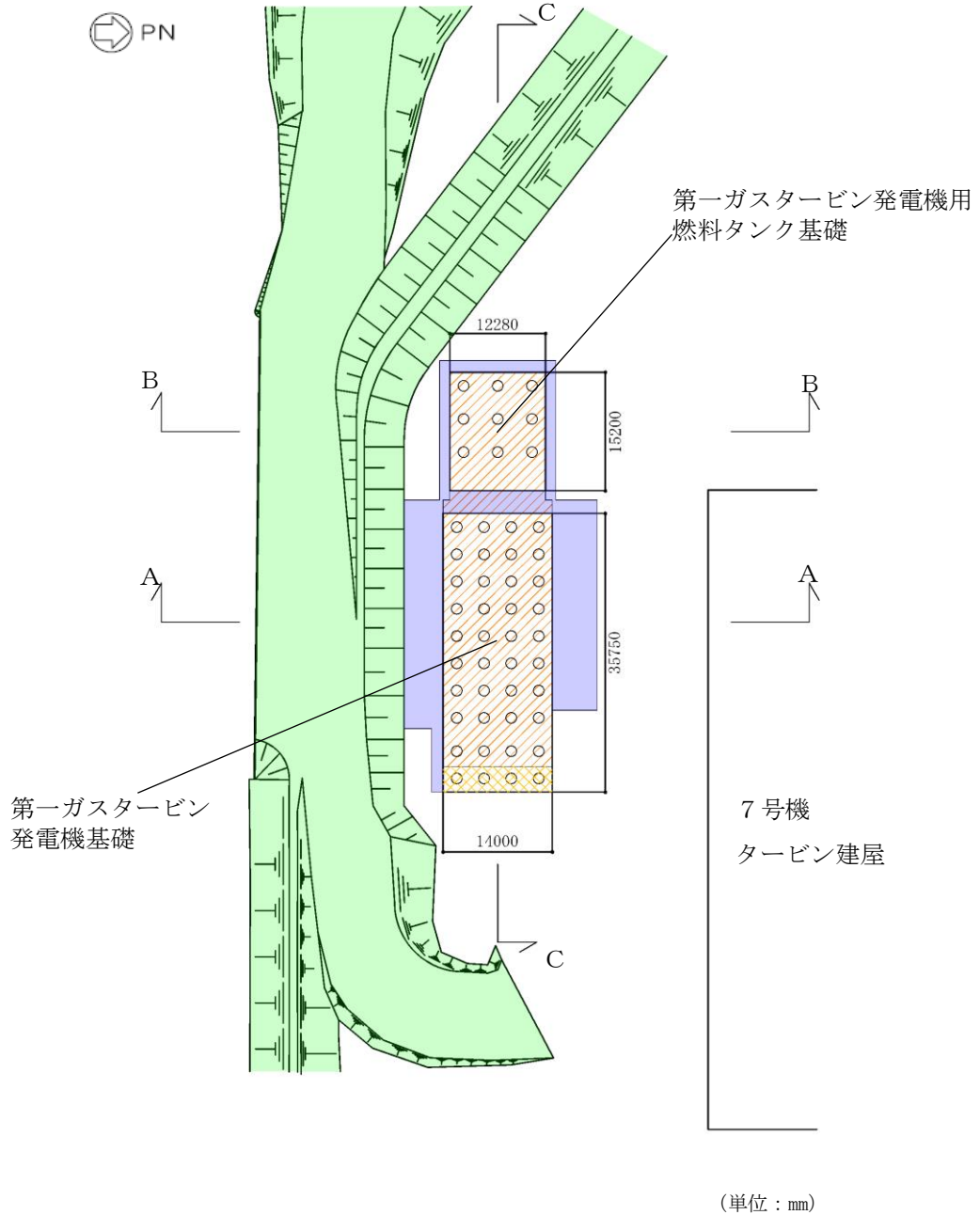


既設／新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		置換 (CD掘削)
新設地盤改良体		置換 (CD掘削)

注：置換工法 (CD掘削) の施工範囲の内、地上構造物及び埋設構造物がある箇所では、高圧噴射または置換 (開削) を適用

図 2-10 地盤改良体の配置図 (燃料移送系配管ダクト)

- (5) 第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎  
 第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎の地盤改良体の配置図を図 2-11 に示す。

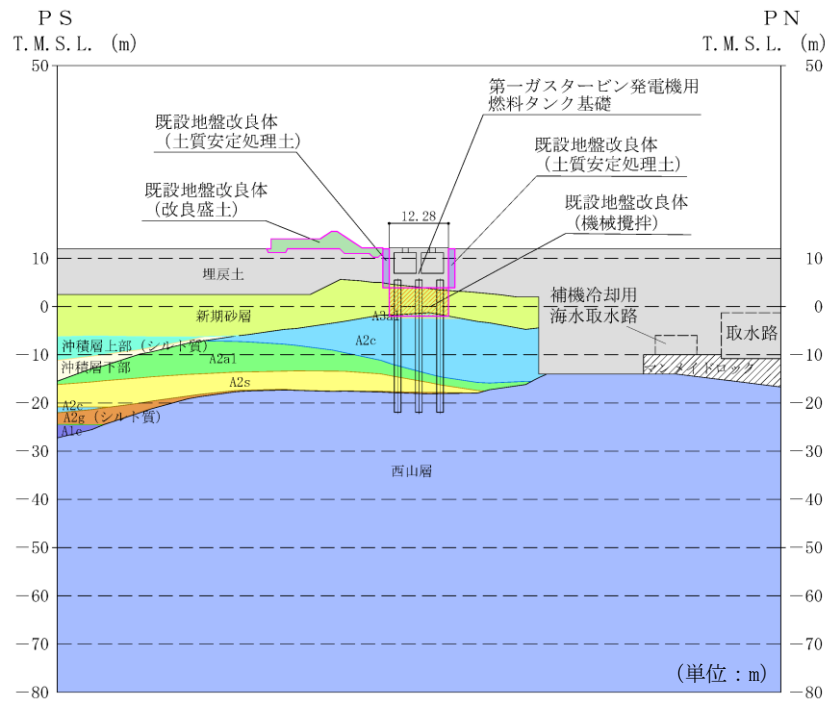


(a) 平面図

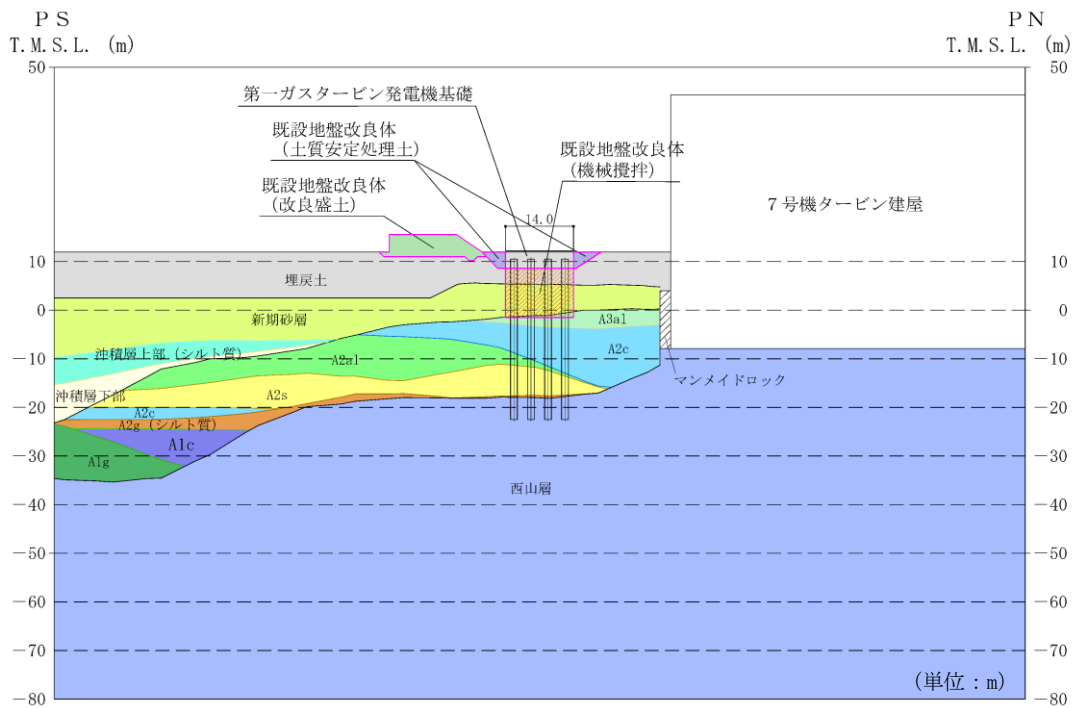
既設/新設	凡例	地盤改良工法
		機械攪拌
既設地盤改良体		土質安定処理土
		改良盛上
新設地盤改良体		機械攪拌

図 2-11 地盤改良体の配置図(1/3)

(第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)



(b) A-A断面図

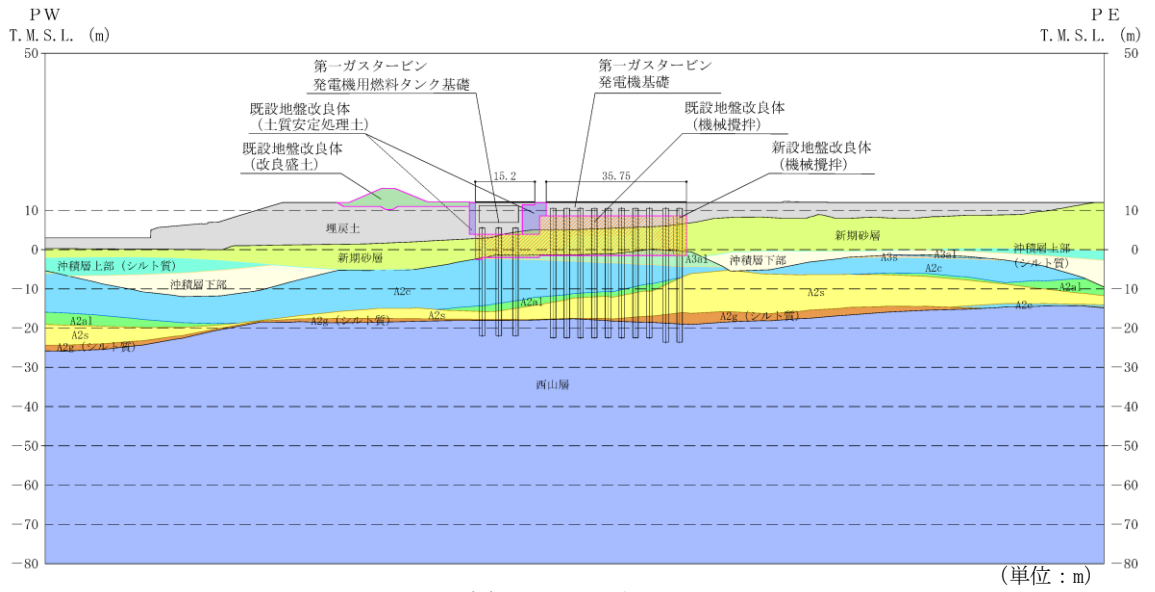


(c) B-B断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		機械攪拌
		土質安定処理土
		改良盛土
新設地盤改良体		機械攪拌

図 2-11 地盤改良体の配置図 (2/3)

(第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)



(d) C-C断面図

既設/新設	凡例	地盤改良工法
既設地盤改良体		機械攪拌
		土質安定処理土
新設地盤改良体		改良盛土
		機械攪拌

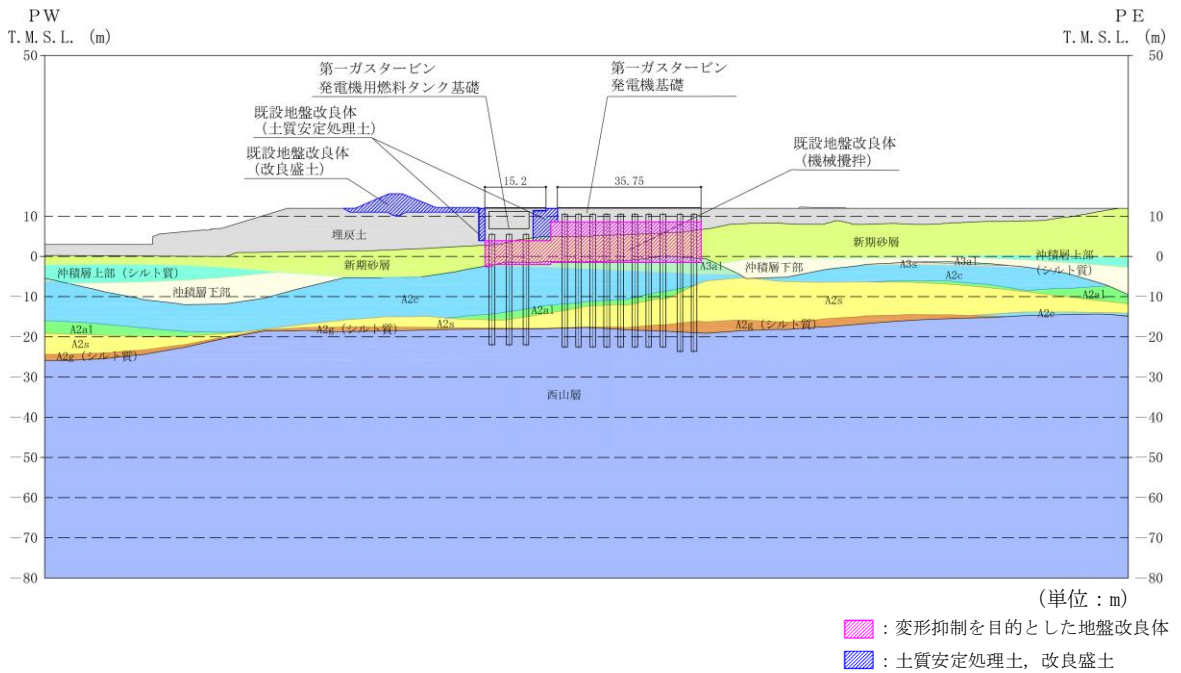
図 2-11 地盤改良体の配置図 (3/3)

(第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)

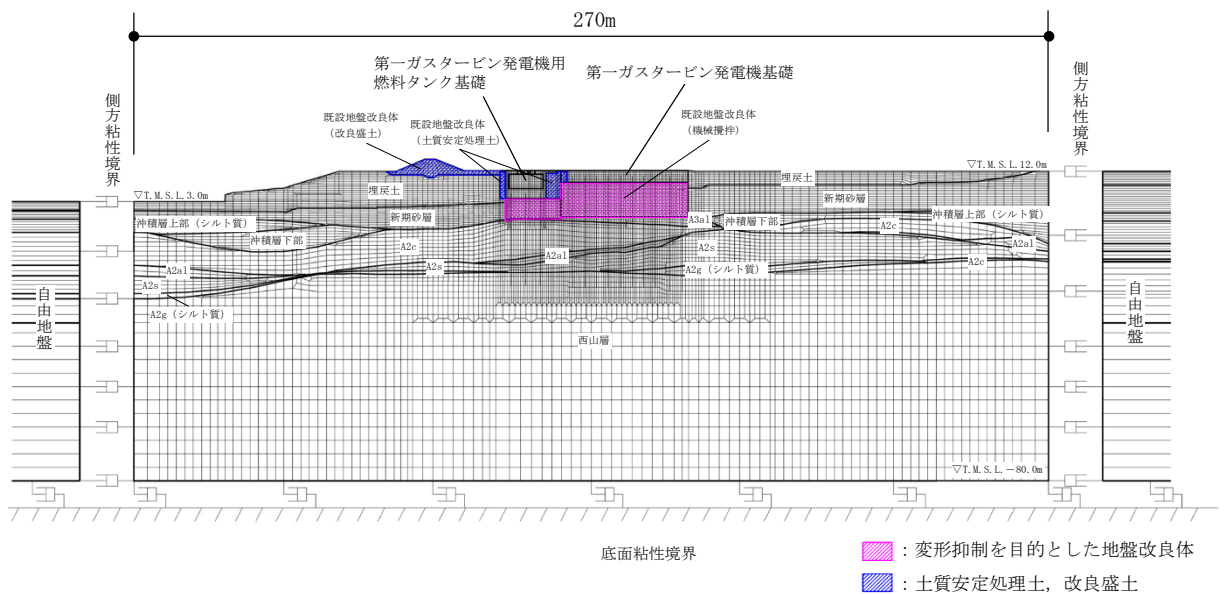
### 3. 地盤改良体のモデル化

#### 3.1 地震応答解析において考慮する地盤改良体について

地震応答解析において考慮する地盤改良体は、評価対象施設の周辺に存在する地盤改良体とする。また、構造物側方の狭隘な掘削範囲を施工性向上のために地盤改良体で埋戻す用途の土質安定処理土や自主対策設備として設置した防潮堤の改良盛土についても、影響評価の観点からモデル化する。地盤改良体のモデル化の一例を図 3-1 に示す。



(a) 地盤改良体の配置図



(b) 地震応答解析モデル

図 3-1 地盤改良体のモデル化の一例

(例：第一ガスタービン発電機基礎，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)



### 3.2 地盤改良体の境界条件

地盤改良体と地盤及び地盤改良体と構造物との間には、地震時の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、ジョイント要素を設置する。

既設地盤改良体と新設地盤改良体との間には、地盤改良体同士をラップして施工することから、ジョイント要素は配置せず、一体のものとしてモデル化する。図 3-2 に地盤改良体の配置の概念図を示す。

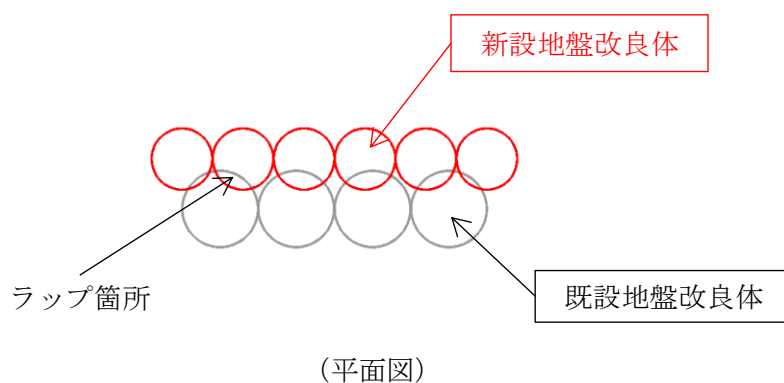


図 3-2 地盤改良体の配置（既設地盤改良体と新設地盤改良体） 概念図

### 3.3 地盤改良体の減衰定数

耐震評価に適用する有効応力解析では、履歴減衰と粘性減衰を考慮する。履歴減衰による減衰は、動的変形試験若しくは文献等に基づき地盤改良体の非線形性の程度に応じた値を設定する。地盤改良体の粘性減衰については、周辺地盤と一体的に挙動すると考えられることから、周辺地盤と同じく、Rayleigh 減衰の係数として、 $\alpha=0$ 、 $\beta=0.005$  を設定する。地盤の粘性減衰に関する考え方については、(参考資料 5) に示す。

#### 4. 解析用物性値の設定

##### 4.1 基本方針

既設地盤改良体の解析用物性値については、原位置試験及び室内試験結果に基づき設定する。地盤改良体の物理的及び力学的特性は、日本工業規格(J I S)又は地盤工学会(J G S)に基づいた試験結果から設定する。

新設地盤改良体の解析用物性値については、設計値に基づき設定することを基本とする。

##### 4.2 既設地盤改良体

###### 4.2.1 解析用物性値の設定方針

###### (1) セメント改良（置換工法，機械攪拌工法，高圧噴射攪拌工法，改良盛土）

###### a. 密度 $\rho$ 及び間隙率 $n$

既設地盤改良体（セメント改良）の密度  $\rho$  と間隙率  $n$  は、室内試験結果から設定する。

海水貯留堰の高圧噴射攪拌工法及び常設代替交流電源装置基礎（第一ガスタービン発電機基礎，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎）の機械攪拌工法の間隙率  $n$  は、高圧噴射（砂質土）における物理特性の実績値に基づき設定する。また，改良盛土の間隙率  $n$  は，置換工法と同様に，セメントと土を陸上混練する工法であることから，類似工法である置換工法の実績値に基づき設定する。

###### b. 動せん断弾性係数 $G_{ma}$

既設地盤改良体（セメント改良）の動せん断弾性係数  $G_{ma}$  は，密度  $\rho$ ，S波速度  $V_s$  より，(式1)に基づき初期せん断弾性係数  $G_0$  を設定する。

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2 \quad (\text{式1})$$

###### c. 減衰定数の上限値 $h_{max}$

有効応力解析においては，動的変形特性として減衰定数の上限値  $h_{max}$  の設定が必要となる。 $h_{max}$  の設定方法の概念図を図4-1に示す。減衰定数の上限値  $h_{max}$  については，地盤改良体の動的変形試験に基づく減衰定数  $h$  とせん断ひずみ  $\gamma$  の回帰曲線における減衰定数の上限値から設定する。

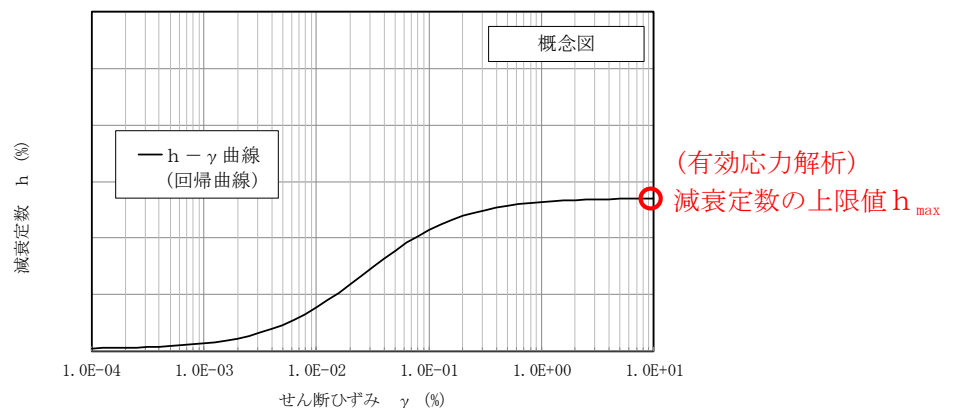
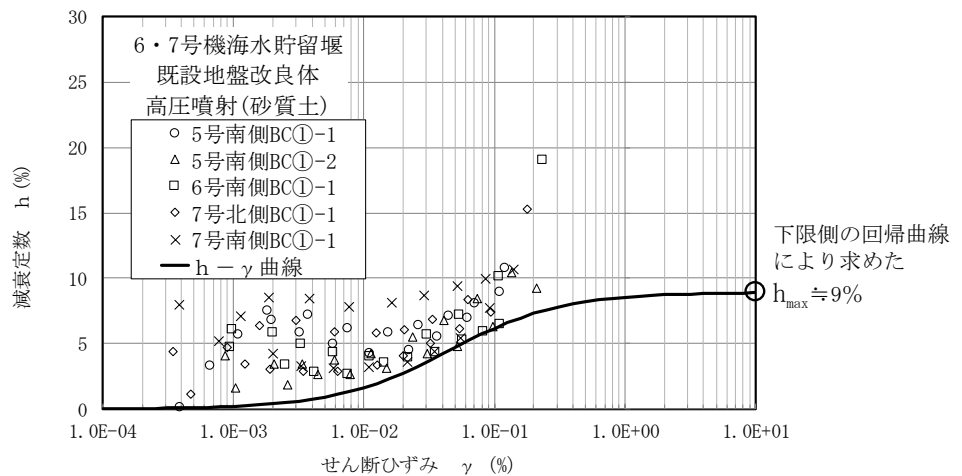


図4-1 減衰定数の上限値  $h_{max}$  の設定方法の概念図

ただし、6・7号機海水貯留堰については、他の地盤改良体と比較し試験結果のばらつきが大きいことから、試験結果のばらつきを踏まえ、動的変形試験に基づく減衰定数 $h$ とせん断ひずみ $\gamma$ の下限相当の回帰曲線から求める減衰定数の上限値 $h_{max}$ と文献（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，平成14年11月）に示される $h_{max}$ を比較して保守的に小さい方の値を設定する。

6・7号機海水貯留堰の動的変形試験結果を図4-2に示す。試験結果の下限側の回帰曲線から推定される $h_{max}$ は約9%である。また、文献では、「減衰定数は $1 \times 10^{-3}$ の軸ひずみにおいてほぼ5%~10%である」ことが示されており、文献に示される軸ひずみの最大値付近となる $1 \times 10^{-3}$ よりも大きな領域において、減衰定数は5%以上を示すものと判断できる（図4-3参照）ことから、文献に基づき $h_{max}$ は5%と設定する。

上記より、6・7号機海水貯留堰の $h_{max}$ は、動的変形試験に基づく減衰定数 $h$ とせん断ひずみ $\gamma$ の下限相当の回帰曲線から求める減衰定数の上限値 $h_{max}$ と文献に基づく $h_{max}$ を比較し、保守的に小さい値である文献の『5%』を設定する。



注：図中の $h-\gamma$ 曲線は各プロットの下限側の回帰を示す。

図4-2 減衰定数のひずみ依存特性（海水貯留堰，6号機海水貯留堰・高圧噴射（砂質土））

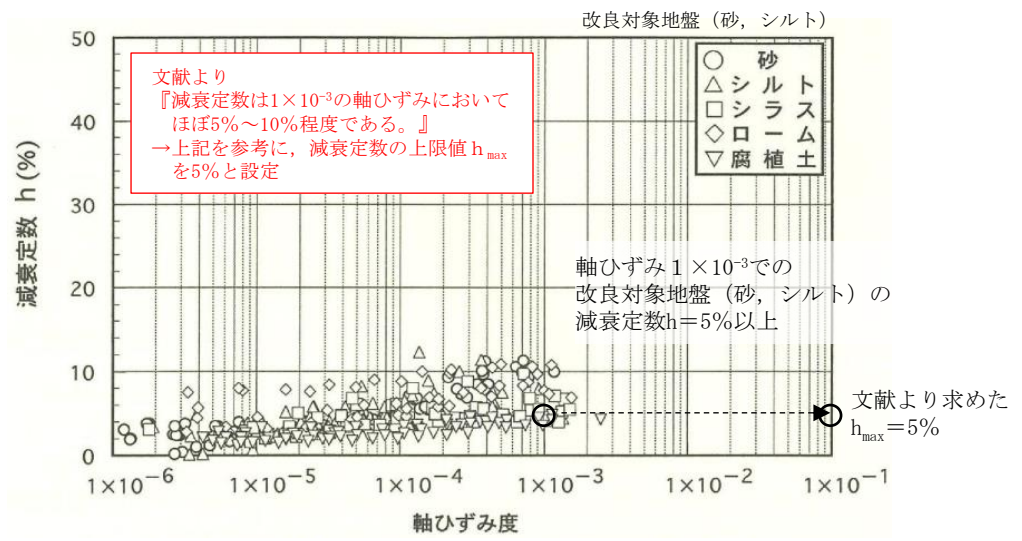


図 4-3 減衰定数のひずみ依存特性

(引用：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，平成 14 年 11 月に加筆)

d. ポアソン比  $\nu$

既設地盤改良体（セメント改良）のポアソン比  $\nu$  については、PS 検層に基づき、式(2)より設定する。

$$\nu = \frac{1 - 2 \left( V_s / V_p \right)^2}{2 \left( 1 - \left( V_s / V_p \right)^2 \right)} \quad (\text{式 2})$$

ここで、

$V_s$  : S 波速度

$V_p$  : P 波速度

e. 粘着力  $c$

既設地盤改良体（セメント改良）の粘着力  $c$  については、一軸圧縮試験結果より設定する。文献（地盤工学用語辞典）より、一軸圧縮試験の結果より求まる非排水せん断強度を粘着力として設定する。粘着力を（式3）により設定する。

$$c = \frac{q_u}{2} \quad (\text{式 3})$$

ここで、

$c$  : 粘着力

$q_u$  : 一軸圧縮強度

(2) 土質安定処理土

既設地盤改良体（土質安定処理土）に分類する地盤改良体は、S 波速度や一軸圧縮強度に関しては設計値に基づき設定し、その他の解析用物性値は文献に基づき設定する。

a. 密度  $\rho$  及び間隙率  $n$

既設地盤改良体（土質安定処理土）の密度  $\rho$  と間隙率  $n$  は、土質安定処理土は置換工法と同様に、セメントと土を陸上混練する工法であることから、類似工法である置換工法の室内試験結果から設定する。

b. 動せん断弾性係数  $G_{ma}$

既設地盤改良体（土質安定処理土）の動せん断弾性係数  $G_{ma}$  は、地盤改良体の設計値（設計基準一軸圧縮強度  $q_{ud}$ ）に基づき設定する。

具体的には、図 4-4 に示すように文献（第 2 版 流動化処理土利用技術マニュアル，独立行政法人土木研究所，平成 19 年）の一軸圧縮強度  $q_u$  と変形係数  $E_{50}$  の関係から、 $E_{50}$  を推定し、(式 4) に基づき初期せん断弾性係数  $G_0$  を設定する。

$$G_0 = \frac{E_{50}}{2(1+\nu)} \quad \text{(式 4)}$$

ここで、

$\nu$  : ポアソン比

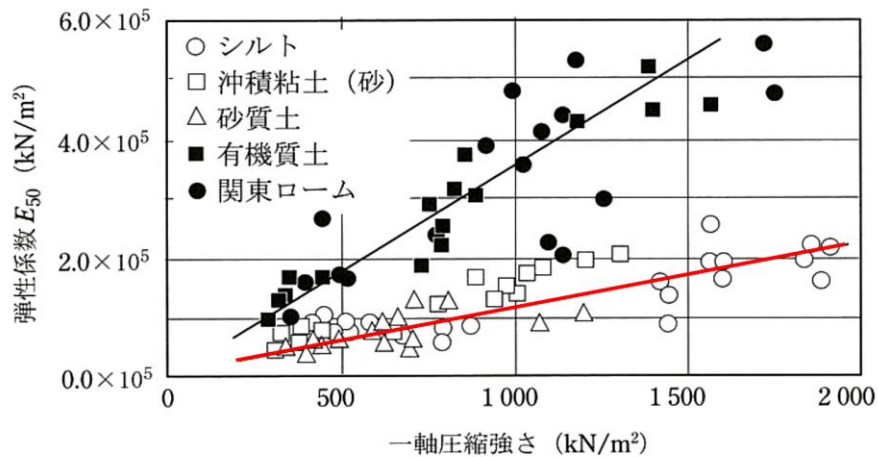


図-2.12 弾性係数の試験結果

図 4-4 流動化処理土の変形係数の推定

(引用：第 2 版 流動化処理土利用技術マニュアル，独立行政法人土木研究所，平成 19 年に加筆)

- 変形係数  $E_{50}$  の関係から初期せん断弾性係数  $G_0$  を設定することの妥当性  
 一軸圧縮強度  $q_u$  から初期せん断弾性係数  $G_0$  を設定する方法としては、以下に示す 2 通りの方法が挙げられる。

- (1) 文献の設計基準一軸圧縮強度  $q_{ud}$  と変形係数  $E_{50}$  の関係から推定した  $E_{50}$  より、(式 5) に示す変形係数  $E$  とせん断弾性係数  $G$  の関係から、 $G_0$  を推定する方法。

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (\text{式 5})$$

- (2) 密度  $\rho$ 、S 波速度  $V_s$  より、 $G = \rho \cdot V_s^2$  の関係から  $G_0$  を算定する方法

ここで、土質安定処理土の S 波速度  $V_s$  は、図 4-5 に示す文献（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、平成 14 年 11 月）の S 波速度と  $q_u$  の関係に基づき推定する。

(1) と (2) により選定した  $G_0$  の比較結果を表 4-1 に示す。

(1) と (2) を比較した結果、(1) により算定した  $G_0$  の方が (2) により算定した  $G_0$  より小さく評価される。地中埋設構造物の支配的な損傷モードは地震時の地盤のせん断変形に伴い生じる構造部材の曲げ、せん断であることから、地盤のせん断変形が生じやすい ( $G_0$  がより小さい) (1) の方法により  $G_0$  を設定する。

表 4-1 初期せん断弾性係数  $G_0$  の設定方法の比較

設定方法	初期せん断弾性係数 $G_0$ ( $\text{kN/m}^2$ )
(1) 設計基準一軸圧縮強度 $q_{ud}$ と変形係数 $E_{50}$ の関係から、 $E_{50}$ を推定し設定	$9.58 \times 10^3$
(2) 密度 $\rho$ 、文献から推定される S 波速度 $V_s$ より設定	$1.67 \times 10^5$

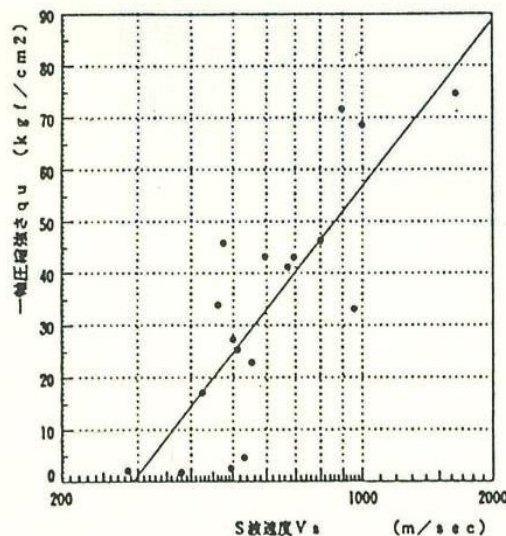


図 4-5 S 波速度と  $q_u$  の関係図

(引用：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、平成 14 年 11 月)

c. ポアソン比  $\nu$

既設地盤改良体（土質安定処理土）のポアソン比  $\nu$  は、文献（第2版 流動化処理土利用技術マニュアル, 独立行政法人 土木研究所 編, 平成19年）を参考に0.2に設定する。

d. 減衰定数の上限値  $h_{max}$

有効応力解析においては、動的変形特性として減衰定数の上限値  $h_{max}$  の設定が必要となる。既設地盤改良体（土質安定処理土）の減衰定数の上限値  $h_{max}$  は、文献（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, 平成14年11月）を参考に設定する。

文献では、図4-6に示す結果に基づき、「減衰定数は  $1 \times 10^{-3}$  の軸ひずみにおいてほぼ5%~10%である」ことが示されており、文献に示される軸ひずみの最大値付近となる  $1 \times 10^{-3}$  よりも大きな領域において、減衰定数は5%以上を示すものと判断できることから、文献に基づき  $h_{max}$  は5%と設定する。

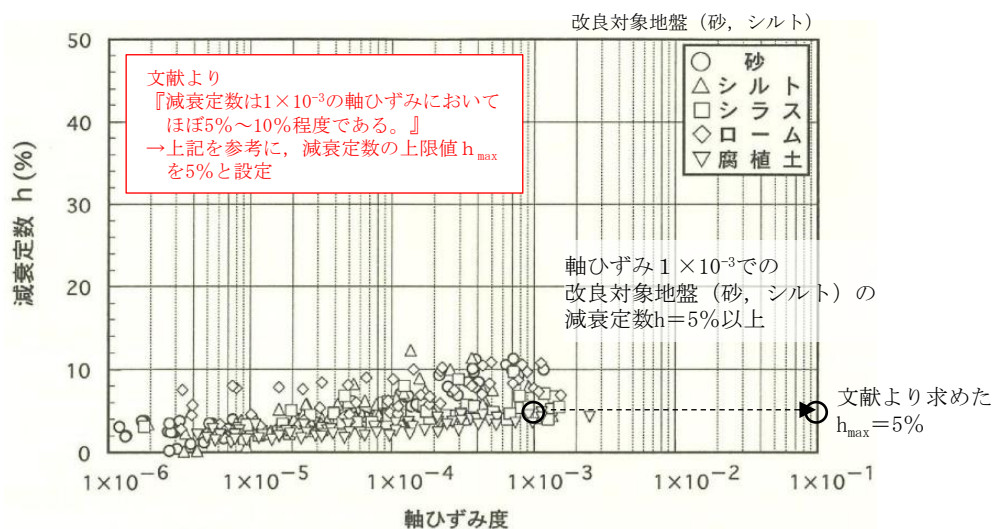


図 4-6 減衰定数のひずみ依存特性

(引用：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, 平成14年11月に加筆)

e. 粘着力  $c$

既設地盤改良体（土質安定処理土）の粘着力  $c$  については、設計一軸圧縮強度より設定する。文献（地盤工学用語辞典）より、一軸圧縮強度より求まる非排水せん断強度を粘着力として設定する。粘着力を設計一軸圧縮強度  $q_{ud}$  に基づき、(式6)より設定する。

$$c = \frac{q_{ud}}{2} \quad \text{(式6)}$$

ここで、

$c$  : 粘着力

$q_{ud}$  : 設計一軸圧縮強度



4.2.2 室内試験及び原位置試験

(1) 既設地盤改良体の試験概要

a. 試験方法

既設地盤改良体の原位置試験及び室内試験は、日本工業規格(J I S)又は地盤工学会(J G S)の試験規格に基づき実施する。既設地盤改良体の試験項目を表 4-2 に示す。

表 4-2 既設地盤改良体の試験項目

項目	試験規格	試験名称	対象施設及び種別(地盤種別)								
			6・7号機 海水 貯留堰		軽油タンク基礎, 燃料移送系 配管ダクト		第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用 燃料タンク基礎			6号機軽油タンク基礎	
			高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	機械攪拌	改良盛土	土質安定 処理土	置換	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)
湿潤密度	JGS 2132	岩石の密度試験(ノギス法)	○	-	-	○	-	-	-	-	-
	JIS A 1225	土の湿潤密度試験方法	-	○	○	-	○	-	○	○	○
間隙率	JIS A 1202	土粒子の密度試験方法	-	○	○	-	-	-	○	○	○
P波速度	JGS 1122	地盤の弾性波速度検層方法	○	○	○	○	○	-	○	○	○
S波速度	JGS 1122	地盤の弾性波速度検層方法	○	○	○	○	○	-	○	○	○
h~γ 関係	JGS 0542	地盤材料の変形特性を求める ための繰返し三軸試験方法	○	○	○	○	○	-	○	○	○
一軸 圧縮強度	JIS A 1216	土の一軸圧縮試験方法	-	○	○	-	○	-	○	○	○
	JGS 2521	岩石の一軸圧縮試験	○	-	-	○	-	-	-	-	-

注：「○」は実施した試験、「-」は実施していない試験を示す。

b. 適用基準

地盤改良体の適用工法、設置箇所及び構造物の支持機能の有無に応じて適切な諸基準・指針を適用する。地盤改良工法の基準・指針として一般的な文献を表 4-3 に、地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準を表 4-4 に示す。

柏崎刈羽原子力発電所においては、構造物の支持を目的とした地盤改良体は無いことから、「陸上工事マニュアル」又は「港湾・空港マニュアル」の何れかの基準・指針に従うものとする。

表 4-3 地盤改良工法の基準・指針

基準・指針名	基準略称
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
建築基礎構造設計指針, 日本建築学会, 2001年改定	建築基礎指針
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, 平成14年5月	建築センター指針
乾式キャスク貯蔵建屋基礎構造の設計に関する技術指針, 日本電気協会, 平成21年	JEAG4616

表 4-4 地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準 (1/2)

目的	直接支持	変形抑制
構造形式		
対象施設	無し	第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト*
適用基準	建築基礎指針, 建築センター指針, JEAG4616	陸上工事マニュアル

表 4-4 地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準 (2/2)

目的	変形抑制	変形抑制
構造形式		
対象施設	軽油タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト* 6号機軽油タンク基礎	海水貯留堰, 6号機海水貯留堰
適用基準	陸上工事マニュアル	港湾・空港マニュアル

注記\* : 燃料移送系配管ダクトについては、構造物の側方と直下に地盤改良を実施している。

c. 試験頻度

諸基準・指針における調査箇所数の目安を表 4-5 に示す。既設地盤改良体の施工数量と文献による一軸圧縮試験の調査箇所数との比較を表 4-6 に示す。参考として、その他の物性値の設定に用いた試料数を表 4-7 に示す。既設地盤改良体の供試体採取位置及びPS 検層の実施位置を(2)に示す。

試験頻度は、表 4-5 に示すとおり、諸基準・指針（「陸上工事マニュアル」又は「港湾・空港マニュアル」）を参考に、一軸圧縮試験の調査箇所数の目安に従い、地盤改良体を適用する工事状況に応じて設定する。

諸基準・指針に示される一軸圧縮試験の必要調査箇所数と既設地盤改良体における一軸圧縮試験の試料本数を比較した結果、文献による必要調査箇所数の目安を満足することを確認した。

表 4-5 諸基準・指針における必要調査箇所数の目安

基準略称	調査箇所数
陸上工事 マニュアル	設計強度毎に改良体500本未満は3本×3深度、500本以上は250本毎に1本追加。
港湾・空港 マニュアル	改良土量10,000m <sup>3</sup> に1本(上中下の3箇所)程度。

表 4-6 既設地盤改良体の施工数量と必要調査箇所数との比較

対象施設		6・7号機 海水貯留堰	軽油タンク基礎、 燃料移送系配管ダクト			第一ガスタービン発電機基礎、 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎			6号機軽油タンク基礎		
種別 (地盤種別)		高压喷射 (砂質土)	置換	高压喷射 (砂質土)	機械攪拌	改良盛土	土質安定 処理土	置換	高压喷射 (砂質土)	高压喷射 (粘性土)	
適用基準		港湾・空港 マニュアル	陸上工事 マニュアル	陸上工事 マニュアル	陸上工事 マニュアル	港湾・空港 マニュアル	—	陸上工事 マニュアル	陸上工事 マニュアル	陸上工事 マニュアル	
施工 数量	施工数量 (m <sup>3</sup> )	2790.3	12450	10297.7	5995	147429	—	16374.6	2428.2	5075.6	
	本数 (本)	58	95	102	237	—	—	204	38	134	
(A)	一軸圧縮試験本数 (本)	6	81	99	9	125	—	90	36	81	
(B)	必要本数 (本)	3	9	9	9	45	—	9	9	9	
判定 (A) > (B)		○	○	○	○	○	—	○	○	○	

表 4-7 (参考) 各物性値の設定に用いた試料数

対象施設		6・7号機 海水貯留堰	軽油タンク基礎、 燃料移送系配管ダクト		第一ガスタービン発電機基礎、 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎			6号機軽油タンク基礎			対応する 試験項目
種別 (地盤種別)		高压喷射 (砂質土)	置換	高压喷射 (砂質土)	機械攪拌	改良盛土	土質安定 処理土	置換	高压喷射 (砂質土)	高压喷射 (粘性土)	
試 料 数	湿潤密度	6	81	99	9	125	—	90	36	81	物理試験
	間隙率	—	24	28	—	—	—	24	20	20	物理試験
	P波速度	25	180	211	37	26	—	167	33	78	PS検層
	S波速度	25	180	211	37	26	—	167	33	78	PS検層
	h～γ関係	10	20	24	9	8	—	20	16	16	動的変形試験
	一軸圧縮強度	6	81	99	9	125	—	90	36	81	一軸圧縮試験

注記\*1：“—”は試験を実施していない項目を示す。

\*2：PS検層は区間1mを集計単位とした場合の試料数を示す。

- (2) 試料採取位置及び試験結果  
 a. 海水貯留堰, 6号機海水貯留堰

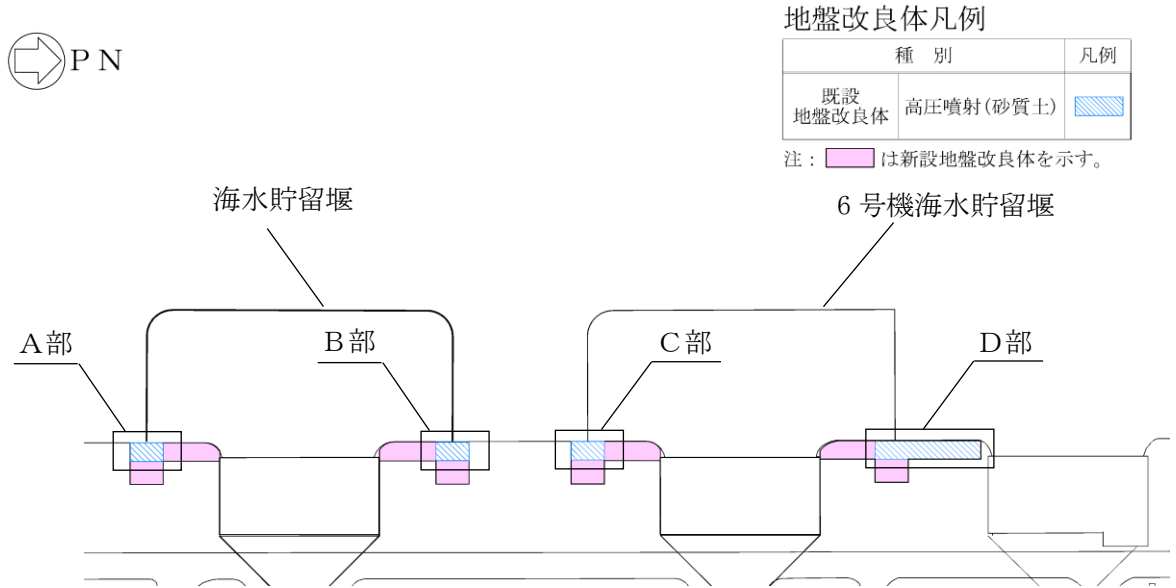


図 4-7 供試体採取及びPS 検層実施位置(全体図)  
 (海水貯留堰, 6号機海水貯留堰)

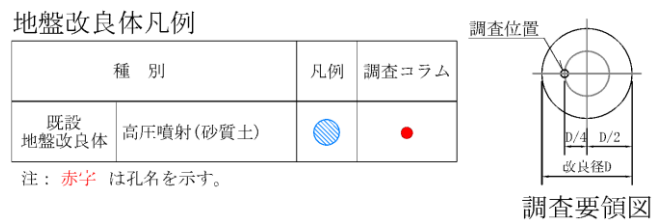
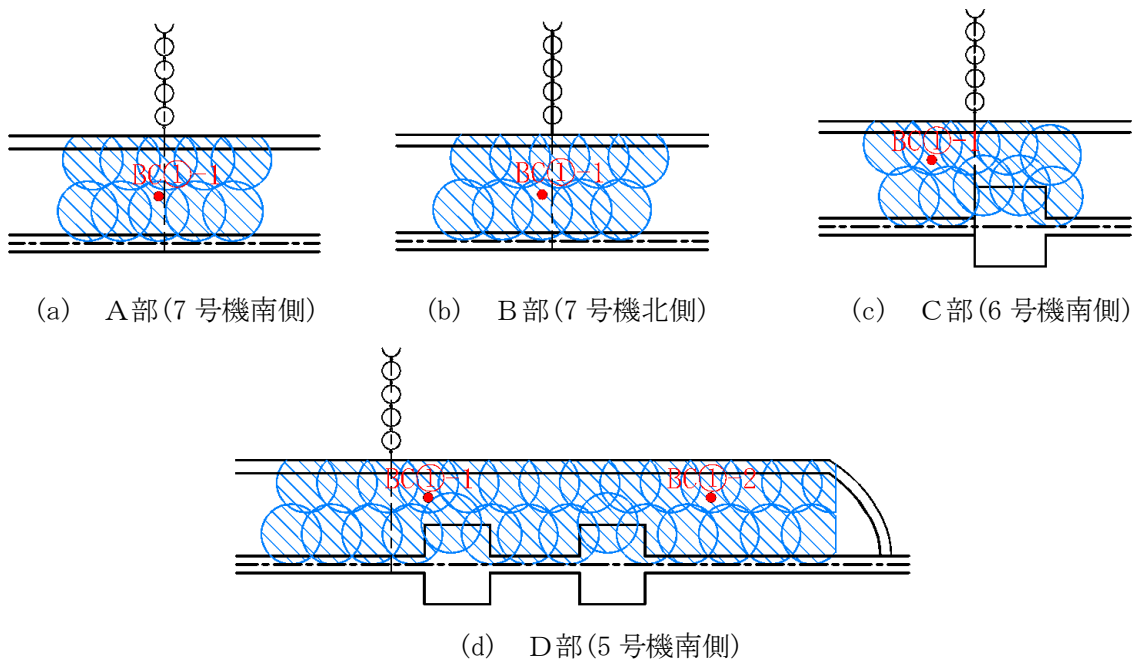


図 4-8 供試体採取及びPS 検層実施位置(拡大図)  
 (海水貯留堰, 6号機海水貯留堰)

表 4-8 既設地盤改良体の試験結果  
(海水貯留堰, 6号機海水貯留堰・高圧噴射(砂質土))

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~ $\gamma$ 関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
5号機南側BC①-1	1	1.779	-	-	1	2360	5	2032	5	929	2	図4-9を 参照の こと
5号機南側BC①-2	1	1.852	-	-	1	1160	5	2058	5	880	2	
6号機南側BC①-1	2	1.606	-	-	2	1400	5	2327	5	912	2	
7号機北側BC①-1	1	1.872	-	-	1	1770	5	2520	5	1111	2	
7号機南側BC①-1	1	1.895	-	-	1	1690	5	2328	5	1181	2	
平均値	6	1.77	-	-	6	1630	25	2253	25	1003	10	
標準偏差	0.132		-		570		263		170			
変動係数	0.075		-		0.350		0.117		0.170			

注記\*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

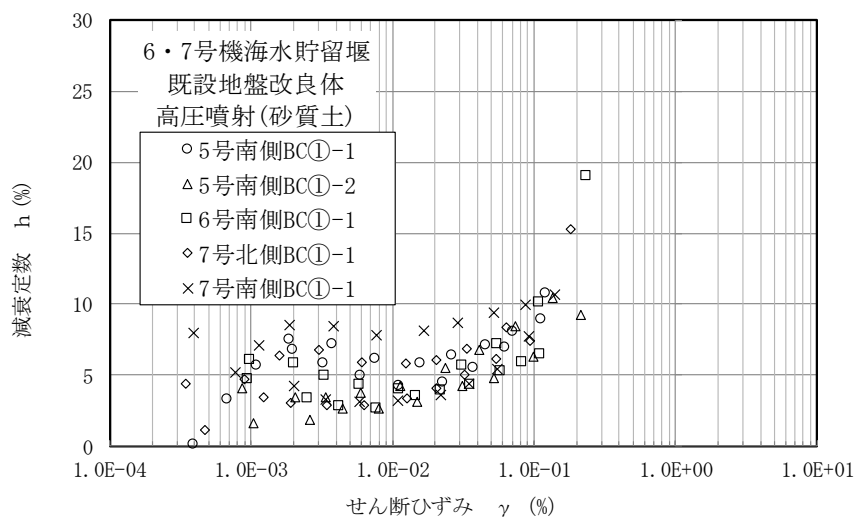
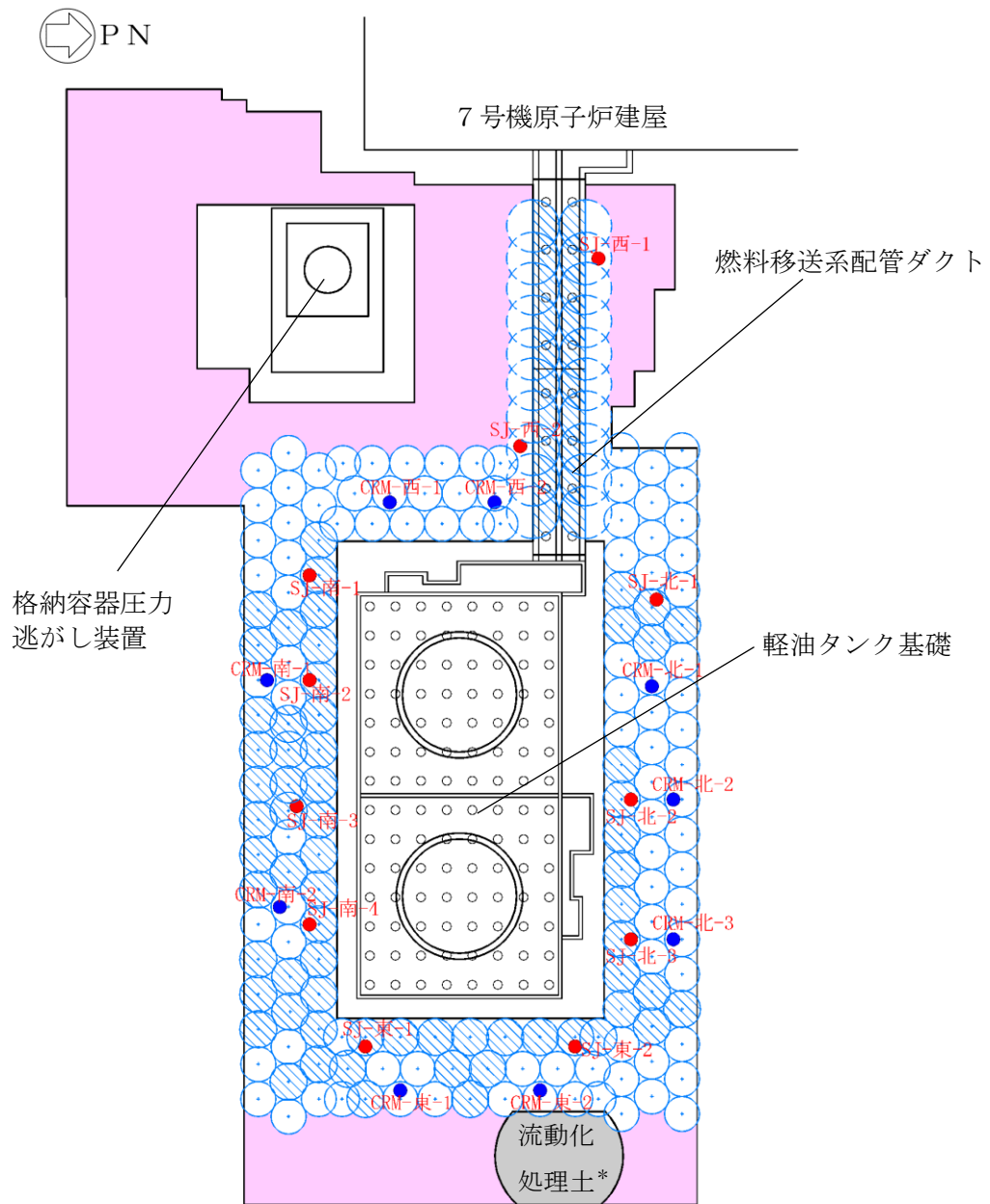


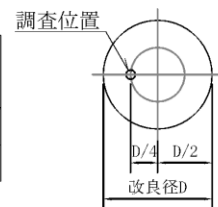
図 4-9 減衰定数のひずみ依存特性  
(海水貯留堰, 6号機海水貯留堰・高圧噴射(砂質土))

b. 軽油タンク基礎



地盤改良体凡例

種別		凡例	調査位置
既設 地盤改良体	置換	○	●
	高圧噴射(砂質土)	◐	●



調査要領図

注1:  は新設地盤改良体を示す。

注2: 赤字は孔名を示す。

注記\*: 「流動化処理土」部は既設立坑の埋戻し箇所を示す。

(解析に剛性・強度を考慮しない埋戻し材)

図 4-10 供試体採取及びPS 検層実施位置  
(軽油タンク基礎)

表 4-9 既設地盤改良体の試験結果（軽油タンク基礎・置換）

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
CRM-西-1	9	1.827	-	-	9	4452	19	2391	19	1261	-	図4-11を 参照の こと
CRM-西-2	9	1.900	4	0.479	9	5039	19	2439	19	1277	4	
CRM-南-1	9	1.839	12	0.487	9	5663	21	2506	21	1370	8	
CRM-南-2	9	1.791	-	-	9	3942	24	2374	24	1251	-	
CRM-東-1	9	1.834	-	-	9	3654	25	2265	25	1149	-	
CRM-東-2	9	1.781	4	0.544	9	4820	21	2815	21	1443	4	
CRM-北-1	9	1.908	-	-	9	5383	17	2458	17	1381	-	
CRM-北-2	9	1.822	-	-	9	4031	16	2309	16	1258	-	
CRM-北-3	9	1.940	4	0.481	9	4881	18	2516	18	1407	4	
平均值	81	1.85	24	0.49	81	4652	180	2451	180	1305	20	
標準偏差	0.059		0.025		1254		336		200			
変動係数	0.032		0.050		0.270		0.137		0.153			

注記\*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 4-10 既設地盤改良体の試験結果（軽油タンク基礎・高圧噴射(砂質土)）

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
SJ-西-1	9	1.620	4	0.646	9	3408	15	1751	15	630	4	図4-12を 参照の こと
SJ-西-2	9	1.578	4	0.596	9	2984	16	1669	16	787	4	
SJ-南-1	9	1.692	-	-	9	3087	19	2007	19	1010	-	
SJ-南-2	9	1.806	-	-	9	3390	20	2207	20	994	-	
SJ-南-3	9	1.864	4	0.467	9	4297	22	1869	22	978	4	
SJ-南-4	9	1.794	-	-	9	3242	24	1955	24	890	-	
SJ-東-1	9	1.903	12	0.458	9	3806	24	2195	24	929	8	
SJ-東-2	9	1.780	-	-	9	4239	20	1873	20	794	-	
SJ-北-1	9	1.677	-	-	9	3058	17	1734	17	741	-	
SJ-北-2	9	1.646	4	0.481	9	3154	17	2121	17	941	4	
SJ-北-3	9	1.699	-	-	9	3516	17	1997	17	807	-	
平均值	99	1.73	28	0.51	99	3471	211	1957	211	874	24	
標準偏差	0.141		0.082		894		382		260			
変動係数	0.081		0.162		0.258		0.195		0.297			

注記\*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

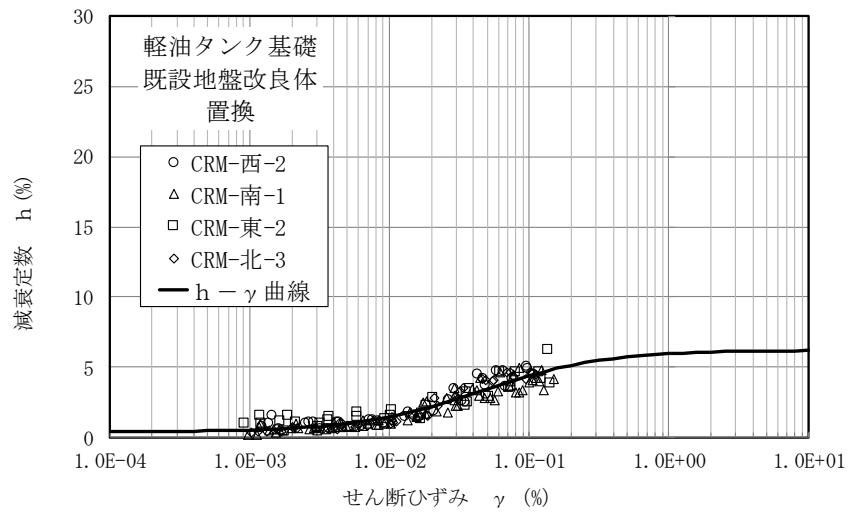


図 4-11 減衰定数のひずみ依存特性 (軽油タンク基礎・置換)

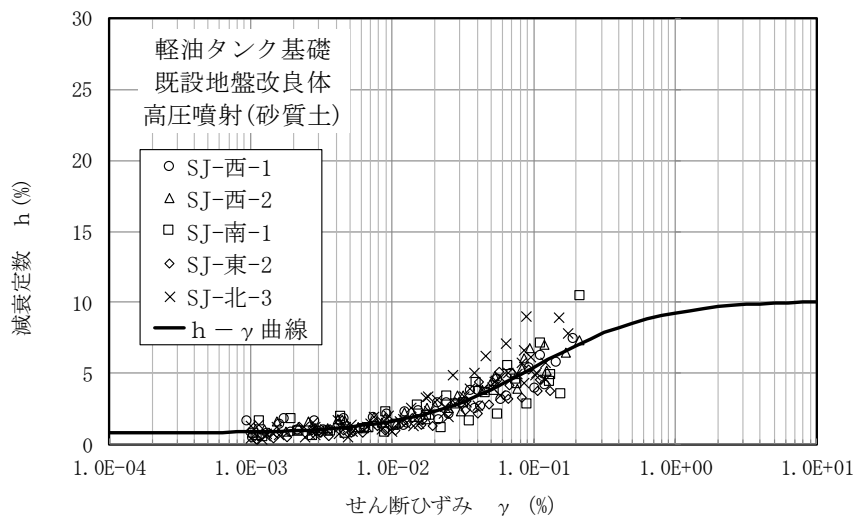
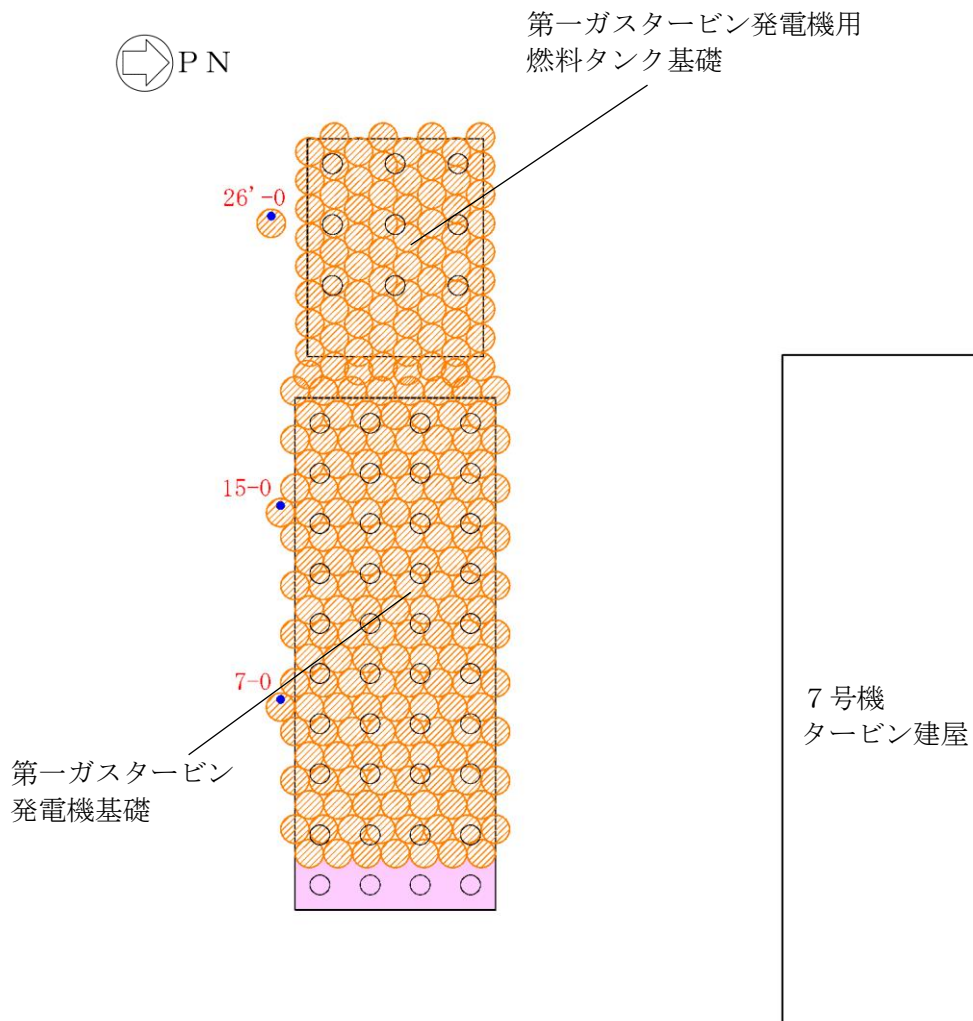


図 4-12 減衰定数のひずみ依存特性 (軽油タンク基礎・高圧噴射(砂質土))



c. 第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎



地盤改良体凡例

種 別		凡例	調査位置
既設 地盤改良体	機械攪拌		

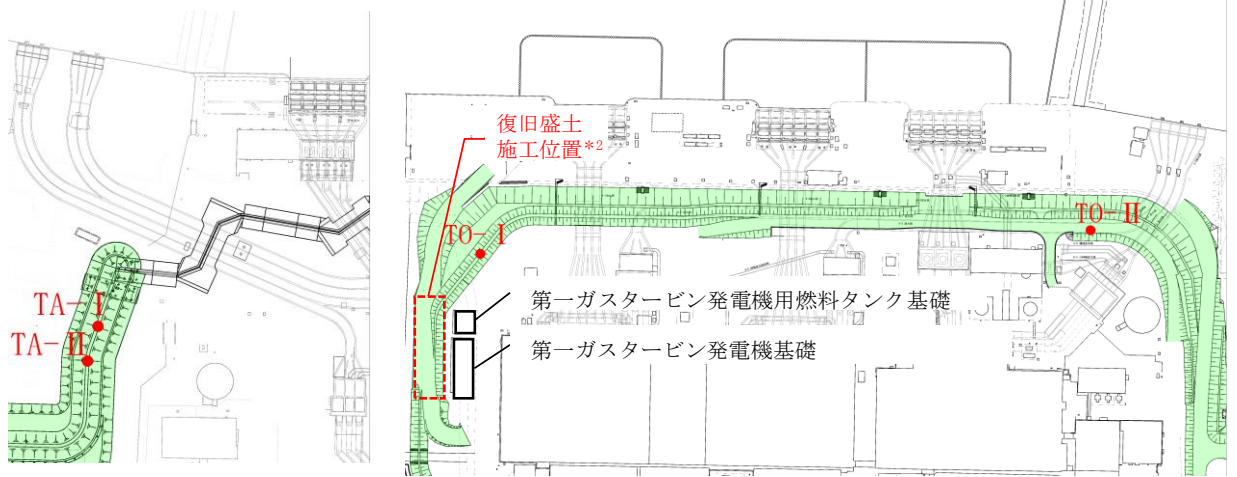
注1 : は新設地盤改良体を示す。

注2 : 赤字は孔名を示す。

図 4-13 供試体採取及びPS 検層実施位置(1/2)  
(第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)



a)位置図



b) A部\*1

c) B部

種別		凡例	調査位置
既設 地盤改良体	改良盛土		●

注：赤字は孔名を示す。

注記1\*：改良盛土の母材は、荒浜側と大湊側で同一のものを用いていることから、荒浜側においても供試体を採取している。

2\*：常設代替交流電源装置基礎（第一ガスタービン発電機基礎，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎）の設置時に防潮堤盛土を一部撤去・復旧した箇所を「復旧盛土」と称す。

図 4-13 供試体採取及びPS 検層実施位置(2/2)

(第一ガスタービン発電機基礎，第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)

表 4-11 既設地盤改良体の試験結果

(第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎・機械攪拌)

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
7-0	3	2.074	-	-	3	6013	12	1683	12	679	3	図4-14を 参照の こと
15-0	3	1.951	-	-	3	3400	12	1592	12	510	3	
26'-0	3	1.944	-	-	3	6500	13	1131	13	518	3	
平均値	9	1.99	-	-	9	5304	37	1459	37	568	9	
標準偏差	0.102		-		1981		502		294			
変動係数	0.051		-		0.373		0.344		0.518			

注記\*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 4-12 既設地盤改良体の試験結果

(第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎・改良盛土)

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *2	孔別平均 (m/s)	試料数 *2	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
TA-I	-	-	-	-	-	-	10	1803	10	1029	3	図4-15を 参照の こと
TA-II	-	-	-	-	-	-	10	1759	10	961	3	
T0-I	-	-	-	-	-	-	3	1357	3	710	1	
T0-II	-	-	-	-	-	-	3	1490	3	783	1	
防潮堤盛土*1	119	1.678	-	-	119	927	-	-	-	-	-	
復旧盛土*1	6	1.917	-	-	6	708	-	-	-	-	-	
平均値	125	1.69	-	-	125	923	26	1698	26	938	8	
標準偏差	0.200		-		634		600		334			
変動係数	0.116		-		0.687		0.353		0.356			

注記\*1: 受入れ検査時の供試体の試験結果を示す。

\*2: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

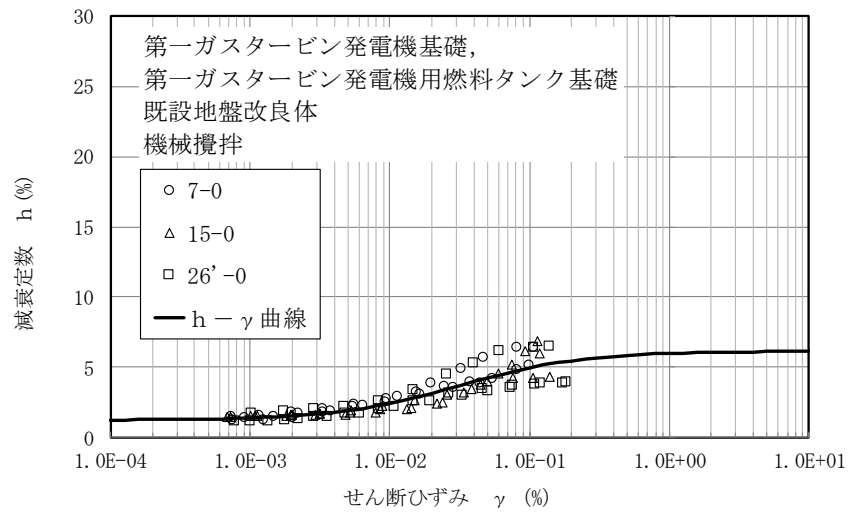


図 4-14 減衰定数のひずみ依存特性  
(第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎・機械攪拌)

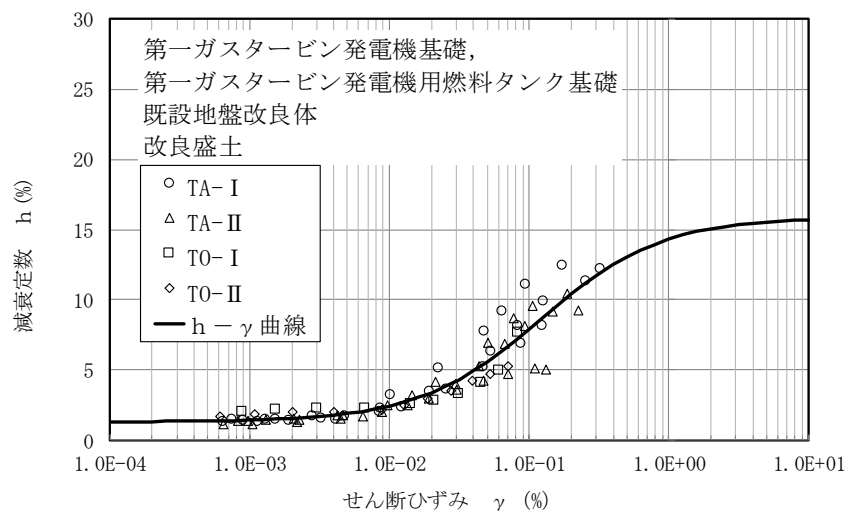
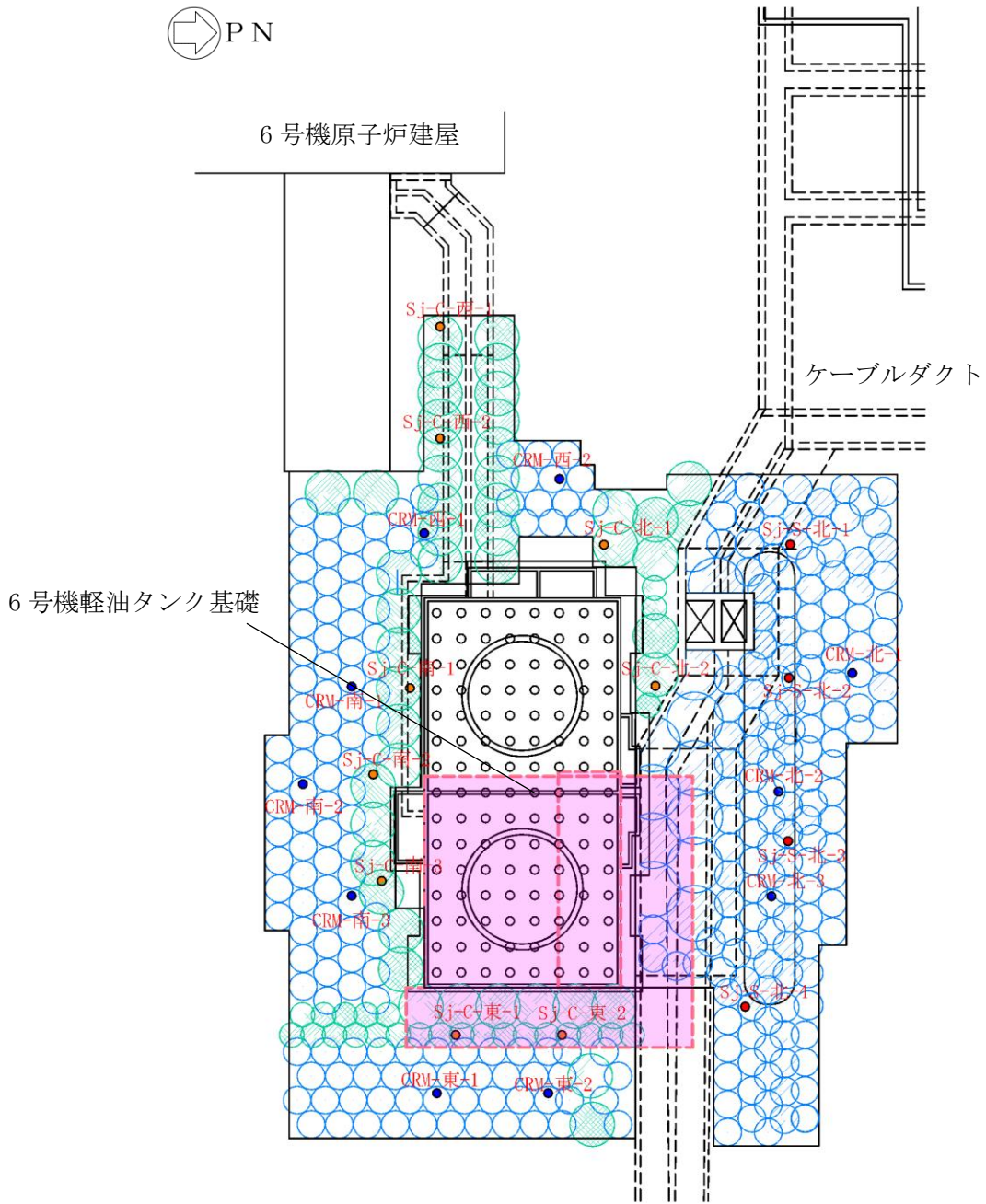


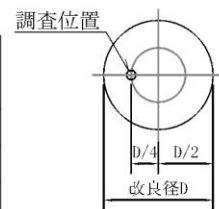
図 4-15 減衰定数のひずみ依存特性  
(第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎・改良盛土)

d. 6号機軽油タンク基礎



地盤改良体凡例

種別		凡例	調査位置
既設 地盤改良体	置換	○	●
	高圧噴射(砂質土)	⦿	●
	高圧噴射(粘性土)	⦿	●



注1 :  は新設地盤改良体を示す。

注2 : 赤字は孔名を示す。

調査要領図

図 4-16 供試体採取及びPS 検層実施位置  
(6号機軽油タンク基礎)

表 4-13 既設地盤改良体の試験結果 (6号機軽油タンク基礎・置換)

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
CRM-西-1	9	1.772	-	-	9	6216	11	2388	11	1221	-	図4-17を 参照の こと
CRM-西-2	9	1.801	4	0.506	9	7067	11	2409	11	1288	4	
CRM-南-1	9	1.756	-	-	9	6846	11	2408	11	1220	-	
CRM-南-2	9	1.804	4	0.506	9	6041	11	2414	11	1193	4	
CRM-南-3	9	1.791	-	-	9	6623	12	2427	12	1290	-	
CRM-東-1	9	1.868	-	-	9	7956	20	2593	20	1378	-	
CRM-東-2	9	1.899	12	0.460	9	7560	24	2589	24	1394	8	
CRM-北-1	9	1.994	-	-	9	9353	21	2954	21	1483	-	
CRM-北-2	9	1.910	4	0.436	9	6922	22	2908	22	1465	4	
CRM-北-3	9	1.873	-	-	9	6141	24	2665	24	1353	-	
平均値	90	1.85	24	0.47	90	7072	167	2628	167	1356	20	
標準偏差	0.079		0.027		2062		246		151			
変動係数	0.043		0.058		0.291		0.094		0.111			

注記\*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 4-14 既設地盤改良体の試験結果 (6号機軽油タンク基礎・高圧噴射(砂質土))

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
Sj-S-北-1	9	1.922	-	-	9	16002	11	2440	11	1280	-	図4-18を 参照の こと
Sj-S-北-2	9	1.876	12	0.466	9	10739	9	2120	9	1030	8	
Sj-S-北-3	9	1.854	4	0.459	9	8220	8	2260	8	1080	4	
Sj-S-北-4	9	1.819	4	0.494	9	4186	5	2210	5	1110	4	
平均値	36	1.87	20	0.47	36	9787	33	2274	33	1138	16	
標準偏差	0.095		0.026		6313		130		106			
変動係数	0.051		0.056		0.645		0.057		0.093			

注記\*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 4-15 既設地盤改良体の試験結果 (6号機軽油タンク基礎・高圧噴射(粘性土))

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
Sj-C-西-1	9	1.637	-	-	9	4047	10	1880	10	850	-	図4-19を 参照の こと
Sj-C-西-2	9	1.589	4	0.648	9	2213	10	1930	10	850	4	
Sj-C-南-1	9	1.590	-	-	9	3413	9	1760	9	690	6	
Sj-C-南-2	9	1.539	12	0.638	9	2646	10	1730	10	740	2	
Sj-C-南-3	9	1.514	-	-	9	2531	9	1730	9	680	-	
Sj-C-北-1	9	1.517	-	-	9	2986	11	1760	11	700	-	
Sj-C-北-2	9	1.590	-	-	9	2074	10	1760	10	700	-	
Sj-C-東-1	9	1.590	4	0.611	9	2007	5	1940	5	860	4	
Sj-C-東-2	9	1.604	-	-	9	3154	4	1940	4	810	-	
平均値	81	1.57	20	0.64	81	2786	78	1811	78	756	16	
標準偏差	0.073		0.048		1349		84		72			
変動係数	0.047		0.076		0.484		0.046		0.095			

注記\*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

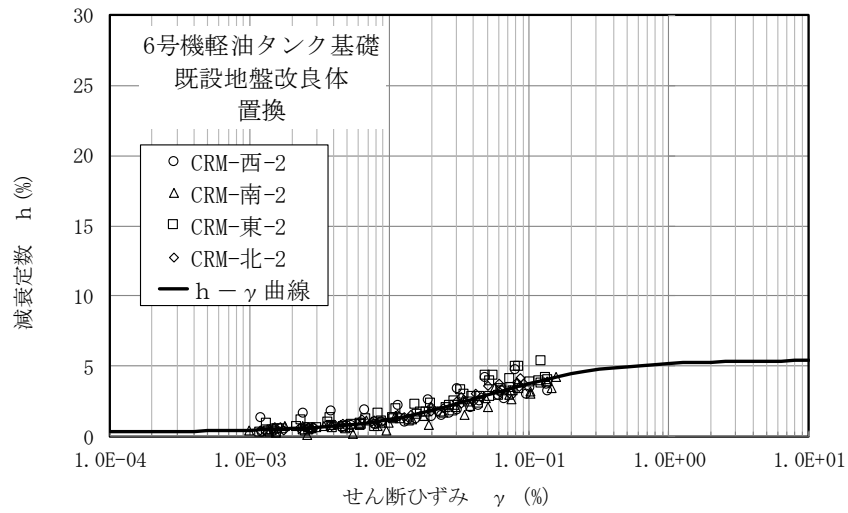


図 4-17 減衰定数のひずみ依存特性 (6号機軽油タンク・置換)

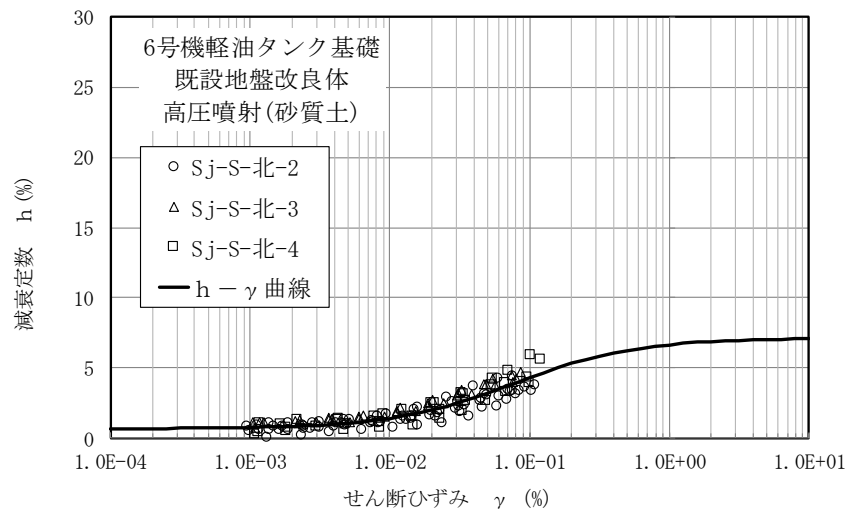


図 4-18 減衰定数のひずみ依存特性 (6号機軽油タンク・高圧噴射(砂質土))

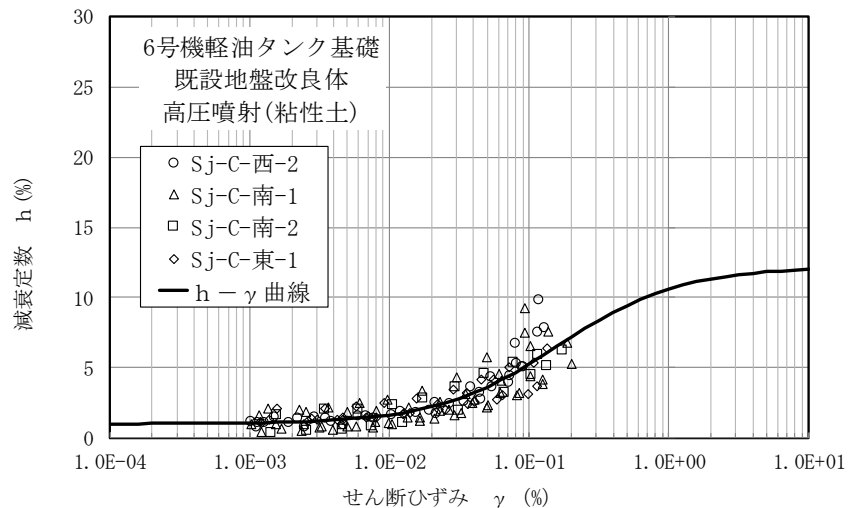


図 4-19 減衰定数のひずみ依存特性 (6号機軽油タンク・高圧噴射(粘性土))

4.2.3 解析用物性値と設定根拠との対応

既設地盤改良体の解析用物性値を表 4-16 に、その設定根拠を表 4-17 に示す。なお、本資料で示す解析用物性値は、地盤改良体の改良部の物性値を示す。地盤改良体の配置に応じた未改良部（原地盤）を含めた物性値については、各施設の耐震計算書に記載する。

表 4-16 既設地盤改良体の物性値

対象施設		6・7号機 海水貯留堰	軽油タンク基礎、 燃料移送系配管ダクト		第一ガスタービン発電機基礎、 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎			6号機軽油タンク基礎		
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	機械攪拌	改良盛土	土質安定 処理土	置換	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)
物理 特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.77	1.85	1.73	1.99	1.69	1.85	1.85	1.87	1.57
	間隙率 $n$	0.49	0.49	0.51	0.49	0.48	0.48	0.47	0.47	0.64
変形 特性	動せん断弾性係数 $G_{ms}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$1.78 \times 10^6$	$3.15 \times 10^6$	$1.32 \times 10^6$	$6.42 \times 10^5$	$1.49 \times 10^6$	$9.58 \times 10^3$	$3.40 \times 10^6$	$2.42 \times 10^6$	$8.97 \times 10^5$
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ms}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
	ポアソン比 $\nu$	0.33	0.33	0.33	0.33 (0.43)	0.33 (0.28)	0.20	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.050	0.060	0.100	0.060	0.160	0.050	0.050	0.070	0.120
強度 特性	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	815	2326	1736	2652	462	100	3536	4894	1393

注記\* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の値を表す。

表 4-17 既設地盤改良体の設定根拠

対象施設		6・7号機 海水貯留堰	軽油タンク基礎、 燃料移送系配管ダクト		第一ガスタービン発電機基礎、 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎			6号機軽油タンク基礎		
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	機械攪拌	改良盛土	土質安定 処理土	置換	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)
物理 特性	密度 $\rho$	物理試験					工法別 平均値*1	物理試験		
	間隙率 $n$	工法別 平均値*2	物理試験		工法別 平均値*2	工法別 平均値*3	工法別 平均値*3	物理試験		
変形 特性	動せん断弾性係数 $G_{ms}$	湿潤密度及びPS検層					文献*4	湿潤密度及びPS検層		
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ms}'$	慣用値								
	ポアソン比 $\nu$	慣用値			慣用値 (PS検層)*5	慣用値 (PS検層)*5	文献*4	慣用値		
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	文献*6	動的変形試験							
強度 特性	粘着力 $c$	一軸圧縮試験					設計値	一軸圧縮試験		

注記\*1 : 置換工法における湿潤密度の工法別平均値

\*2 : 高圧噴射(砂質土)における間隙率の工法別平均値

\*3 : 置換工法における間隙率の工法別平均値

\*4 : 第2版 流動化処理土利用技術マニュアル(独立行政法人土木研究所, 平成19年)

\*5 : 括弧内の数字は、地下水位以浅の値を表す。

\*6 : 改訂版 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, 平成14年11月)



#### 4.3 新設地盤改良体

##### 4.3.1 解析用物性値の設定方針

###### (1) セメント改良（置換工法，機械攪拌工法，高圧噴射攪拌工法）

新設地盤改良体（セメント改良）に分類する地盤改良体は，S 波速度や一軸圧縮強度に  
関しては設計値に基づき設定し，その他の解析用物性値は文献に基づき設定する。ただし，  
近傍に既設地盤改良体（セメント改良）があり，その地盤条件，施工方法及び設計強度が  
同一である場合は，近傍の既設地盤改良体（セメント改良）の解析用物性値を用いる。

なお，特記なき限り全応力解析における解析用物性値の設定方針と有効応力解析におけ  
る解析用物性値の設定方針は同一である。

新設地盤改良体の設計値を表 4-18 及び表 4-19 に示す。

表 4-18 新設地盤改良体の設計値（全応力解析）

対象施設		格納容器圧力 逃がし装置基礎		大物搬入 建屋
種別 (地盤種別)		置換	高圧噴射	置換
設計 値	設計一軸圧縮強度 $q_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> )	8000	8000	8000
	設計S波速度 $V_{sd}$ (kN/m <sup>2</sup> )	840	840	840

注：「-」は設計値の指定が無いことを示す。

表 4-19 新設地盤改良体の設計値（有効応力解析）

対象施設		6・7号機海水貯留堰		6・7号機 スクリーン室	6・7号機取水路， 補機冷却用海水取水路			軽油タンク基礎， 燃料移送系配管ダクト		6号機軽油タンク基礎	
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)	高圧噴射 (砂質土)	置換	機械攪拌	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (粘性土)
設計 値	設計一軸圧縮強度 $q_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> )	1000	1000	1000	1000	1000	1000	8000	8000	8000	5000
	設計S波速度 $V_{sd}$ (kN/m <sup>2</sup> )	600	600	600	-	-	-	840	840	840	800

注：「-」は設計値の指定が無いことを示す。

###### a. 動せん断弾性係数 $G_{ma}$

新設地盤改良体（セメント改良）の動せん断弾性係数  $G_{ma}$  は，密度  $\rho$ ，設計 S 波速度  
 $V_{sd}$  より，(式 7)に基づき初期せん断弾性係数  $G_0$  を設定する。

$$G_0 = \rho \cdot V_{sd}^2 \quad (式 7)$$

設計 S 波速度の指定がない地盤改良体について，砂質土を主たる改良対象土層とした  
地盤改良体については文献（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，平成 14 年 11 月）に  
基づき設計一軸圧縮強度に対応する S 波速度を設定する。

S 波速度と  $q_u$  の関係図を図 4-20 に示す。

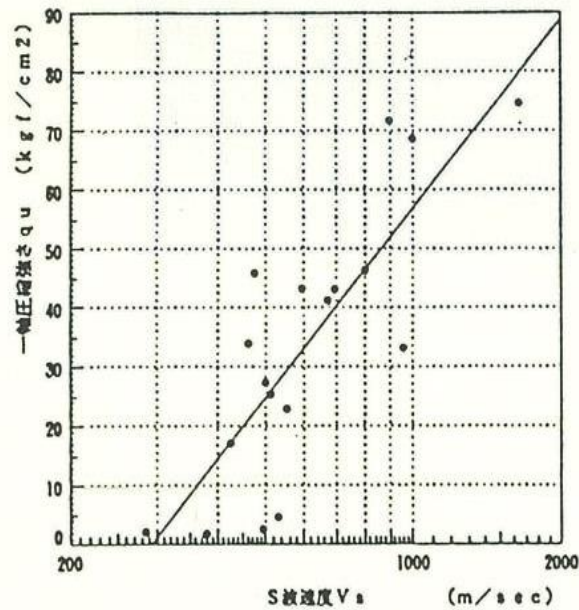


図 4-20 S波速度と  $q_u$  の関係図

(引用：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，平成 14 年 11 月)

b. 密度  $\rho$  及び間隙率  $n$

新設地盤改良体（セメント改良）の密度  $\rho$  と間隙率  $n$  については，種別毎（置換，高圧噴射）に設定する。高圧噴射工法の密度については，改良対象地盤の物理試験から設定する。

c.  $G/G_0, h \sim \gamma$  曲線（全応力解析）

全応力解析においては，動的変形特性として  $G/G_0, h \sim \gamma$  曲線の設定が必要となる。全応力解析における動的変形特性については，既設地盤改良体の動的変形試験に基づき種別毎（置換，高圧噴射）に設定する。設定に用いた既設地盤改良体の動的変形試験結果を図 4-21 に示す。

d. 減衰定数の上限値  $h_{\max}$ （有効応力解析）

有効応力解析においては，動的変形特性として減衰定数の上限値  $h_{\max}$  の設定が必要となる。有効応力解析における動的変形特性については，文献（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，平成 14 年 11 月）を参考に設定する。

文献では，図 4-6 に示す結果に基づき，「減衰定数は  $1 \times 10^{-3}$  の軸ひずみにおいてほぼ 5%~10%である」ことが示されており，文献に示される軸ひずみの最大値付近となる  $1 \times 10^{-3}$  よりも大きな領域において，減衰定数は 5%以上を示すものと判断できるとから，文献に基づき  $h_{\max}$  は 5%と設定する。

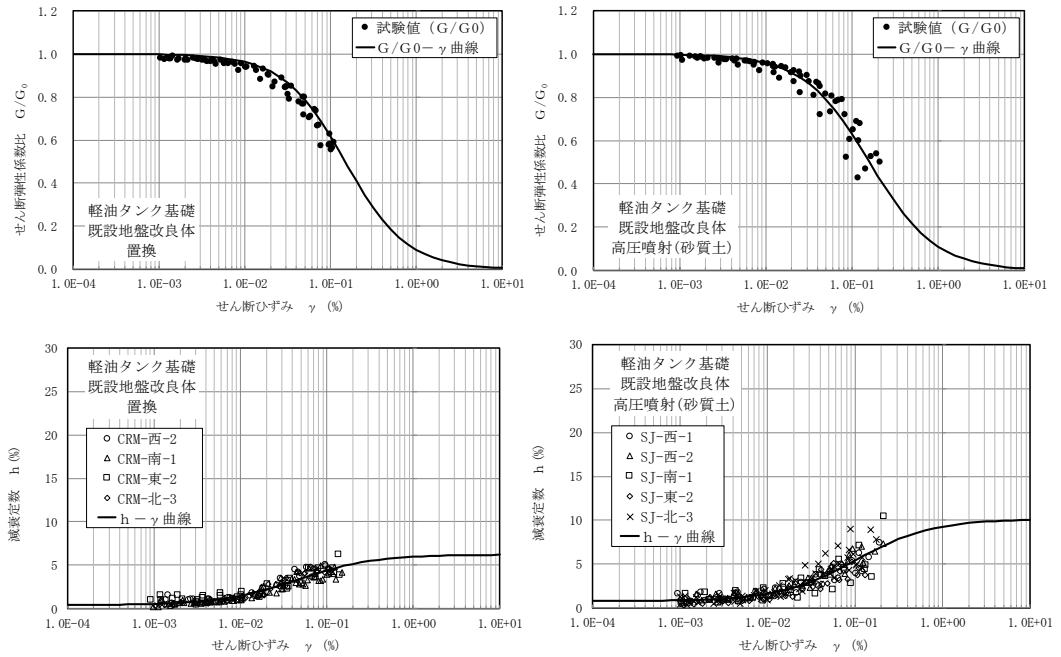


図 4-21 既設地盤改良体の動的変形試験結果  
(全応力解析の物性設定に使用)

e. ポアソン比  $\nu$

新設地盤改良体（セメント改良）のポアソン比  $\nu$  については、工法別、改良地盤種別に応じて既設地盤改良体の実績値から設定する。ただし、有効応力解析における地下水以深のポアソン比  $\nu$  は、文献（液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメタの簡易設定法（港湾技研資料 No. 869），運輸省港湾技術研究所，1997）に基づき、慣用値の 0.33 に設定する。

f. 粘着力  $c$

新設地盤改良体（セメント改良）の粘着力  $c$  については、設計一軸圧縮強度より設定する。文献（地盤工学用語辞典）より、一軸圧縮強度より求まる非排水せん断強度を粘着力として設定する。粘着力を設計一軸圧縮強度  $q_{ud}$  に基づき、(式 8) より設定する。

$$c = \frac{q_{ud}}{2} \quad \text{(式 8)}$$

ここで、

$c$  : 粘着力

$q_{ud}$  : 設計一軸圧縮強度

(2) 無筋コンクリート

新設地盤改良体（無筋コンクリート）に分類する地盤改良体は、剛性や一軸圧縮強度に関しては設計値に基づき設定し、その他の解析用物性値は文献に基づき設定する。

a. 動せん断弾性係数  $G_{ma}$

新設地盤改良体（無筋コンクリート）の動せん断弾性係数  $G_{ma}$  は、コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（土木学会，2002 年制定）（以下、「コンクリート標準示方書」という。）に基づき、表 4-20 に示すようにコンクリートの設計基準強度  $f'_{ck}$  ( $=18\text{N/mm}^2$ ) と変形係数  $E$  の関係から、(式 9) に基づき初期せん断弾性係数  $G_0$  を設定する。

$$G_0 = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (\text{式 9})$$

表 4-20 コンクリートのヤング係数

$f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )		18	24	30	40	50	60	70	80
$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	普通コンクリート	22	25	28	31	33	35	37	38
	軽量骨材コンクリート*	13	15	16	19	-	-	-	-

\* 骨材を全部軽量骨材とした場合

(引用：コンクリート標準示方書 構造性能照査編，土木学会，2002)

b. 密度  $\rho$  及び間隙率  $n$

新設地盤改良体（無筋コンクリート）の密度  $\rho$  については、コンクリート標準示方書に基づき設定する。コンクリート標準示方書に示される無筋コンクリートの密度  $\rho$  を表 4-21 に示す。なお、新設地盤改良体（無筋コンクリート）は、線形弾性体としてモデル化することから間隙率  $n$  は設定しない。

表 4-21 コンクリートの単位体積重量

材 料	単位重量 (kN/m <sup>3</sup> )	材 料	単位重量 (kN/m <sup>3</sup> )
鋼・鋳鋼・鍛鋼	77	コンクリート	22.5~23.0
鋳 鉄	71	セメントモルタル	21.0
アルミニウム	27.5	木 材	8
鉄筋コンクリート	24.0~24.5	瀝 青 材	11
プレストレストコンクリート	24.5	アスファルトコンクリート舗装	22.5
鉄筋軽量骨材コンクリート	18.0	軽量骨材コンクリート（骨材全部が軽量骨材）	16.5

(引用：コンクリート標準示方書 構造性能照査編，土木学会，2002)

c. 減衰定数の上限値  $h_{max}$

新設地盤改良体（無筋コンクリート）は線形弾性体としてモデル化することから、動的変形特性としての減衰定数の上限値  $h_{max}$  は設定しない。

d. ポアソン比  $\nu$

新設地盤改良体（無筋コンクリート）のポアソン比  $\nu$  については、コンクリート標準示方書に基づき 0.2 として設定する。

4.3.2 解析用物性値と設定根拠との対応

新設地盤改良体の物性値を表 4-22 及び表 4-23 に、設定方針との対応を表 4-24 及び表 4-25 に示す。

表 4-22 新設地盤改良体の物性値（全応力解析）

対象施設		格納容器圧力 逃がし装置基礎		大物搬入 建屋
種別		置換	高圧噴射	置換
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.85	2.05	1.85
動的 変形特性	動せん断弾性係数 $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	$1.31 \times 10^6$	$1.45 \times 10^6$	$1.31 \times 10^6$
	ポアソン比 $\nu$	0.302	0.375	0.302
	$G/G_0 - \gamma^{*1}$	$1/(1+10.1\gamma^{1.21})$	$1/(1+8.06\gamma^{1.14})$	$1/(1+10.1\gamma^{1.21})$
	$h - \gamma^{*1}$ (%)	$\gamma/(0.172\gamma + 0.00783) + 0.401$	$\gamma/(0.107\gamma + 0.0109) + 0.790$	$\gamma/(0.172\gamma + 0.00783) + 0.401$

注記\*1:  $\gamma$  はせん断歪み (%) を示す。

表 4-23 新設地盤改良体の物性値（有効応力解析）

対象施設		6・7号機海水貯留堰		6・7号機スクリーン室		6・7号機取水路, 補機冷却用海水取水路			軽油タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト		6号機軽油タンク基礎	
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)	高圧噴射 (砂質土)	無筋コン クリート	置換	機械攪拌	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (粘性土)
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.94	1.81	1.94	2.30	1.85	1.94	1.94	1.85	2.05	1.85	1.91
	間隙率 $n$	0.49	0.64	0.49	—	0.48	0.49	0.49	0.48	0.49	0.48	0.64
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{ma}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$6.98 \times 10^5$	$6.52 \times 10^5$	$6.98 \times 10^5$	$9.17 \times 10^6$	$2.40 \times 10^5$	$2.51 \times 10^5$	$6.98 \times 10^5$	$1.31 \times 10^6$	$1.45 \times 10^6$	$1.31 \times 10^6$	$1.22 \times 10^6$
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ma}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	98.0	98.0	98.0	—	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
	ポアソン比 $\nu$	0.33	0.33	0.33	0.20	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.050	0.050	0.050	—	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
強度特性	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	500	500	500	—	500	500	500	4000	4000	4000	2500

表 4-24 新設地盤改良体の設定方針との対応 (全応力解析)

対象施設		格納容器圧力逃がし装置基礎		大物搬入建屋
種別		置換	高圧噴射 (砂質土)	置換
物理特性	密度 $\rho$	工法別平均値に基づき設定	対象土層の最大値に基づき設定	工法別平均値に基づき設定
	動せん断弾性係数 $G_0$	設計S波速度、密度に基づき設定	設計S波速度、密度に基づき設定	設計S波速度、密度に基づき設定
動的変形特性	ポアソン比 $\nu$	工法別実績値 軽油タンク基礎 (置換) に基づき設定	工法別実績値 軽油タンク基礎 (高圧噴射(砂質土)) に基づき設定	工法別実績値 軽油タンク基礎 (置換) に基づき設定
	$G/G_0 - \nu$			
	$h - \nu$			

表 4-25 新設地盤改良体の設定方針との対応 (有効応力解析)

対象施設		6・7号機 海水貯留堰		6・7号機 スクリーン室	6・7号機取水路, 補機冷却用海水取水路			軽油タンク基礎, 燃料移送系配管ダクト		6号機軽油タンク基礎		
種別 (地盤種別)		高圧噴射A, B (砂質土)	高圧噴射 (粘性土)	高圧噴射 (砂質土)	無筋コン クリート	置換	機械攪拌	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (砂質土)	置換	高圧噴射 (粘性土)
物理特性	密度 $\rho$	対象土層の最大値			文献*1	工法別平均値	対象土層の最大値		工法別平均値	対象土層の最大値	工法別平均値	対象土層の最大値
	間隙率 $n$	工法別平均値			-*2	工法別平均値						
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{ba}$	設計S波速度、密度に基づき設定			文献*1	文献*4から推定したS波速度、密度に基づき設定			設計S波速度、密度に基づき設定			
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ba}'$	慣用値*3			-*2	慣用値*3						
	ポアソン比 $\nu$	慣用値*3			文献*1	慣用値*3						
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	文献*4			-*2	文献*4						
強度特性	粘着力 $c$	設計一軸圧縮強度			-*2	設計一軸圧縮強度						

注記\*1 : コンクリート標準示方書 構造性能照査編 (社団法人土木学会, 2002年)  
 \*2 : 無筋コンクリートは線形弾性体としてモデル化 (パラメータなし)  
 \*3 : 液状化による構造物被害予想プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメータの簡易設定法 (港湾技術資料No. 869) (運輸省港湾技術研究所, 平成9年6月)  
 \*4 : 改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化工材を用いた深層・浅層混合処理工法— (日本建築センター, 平成14年11月)

5. 新設地盤改良体の品質確認方針

5.1 品質確認方針

新設地盤改良体について、各新設地盤改良体の品質確認方針を表 5-1 に示す。表 5-1 に示すとおり、建物・構築物、土木構造物ともに、強度及び剛性を品質確認項目とする。

表 5-1 新設地盤改良体の品質確認方針

対象施設		新設地盤改良		品質確認項目
		工法	目的	
建物・構築物	大物搬入建屋	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制	強度及び剛性
	格納容器圧力逃がし装置基礎	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制	強度及び剛性
		置換工法 (開削工法)		
		高圧噴射攪拌工法		
土木構造物	海水貯留堰	高圧噴射攪拌工法	変形抑制	強度及び剛性
	スクリーン室	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止	強度及び剛性
	取水路	置換工法 (地中連壁壁工法)	浮上り防止	強度及び剛性
		機械攪拌工法		
		高圧噴射攪拌工法		
		無筋コンクリート		
	補機冷却用海水取水路	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止	強度及び剛性
	軽油タンク基礎	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制	強度及び剛性
		高圧噴射攪拌工法		
	燃料移送系配管ダクト	置換工法 (CD 掘削工法)	変形抑制	強度及び剛性
		高圧噴射攪拌工法		
	6号機海水貯留堰	高圧噴射攪拌工法	変形抑制	強度及び剛性
	6号機スクリーン室	高圧噴射攪拌工法	浮上り防止	強度及び剛性
	6号機取水路	置換工法 (地中連壁壁工法)	浮上り防止	強度及び剛性
機械攪拌工法				
高圧噴射攪拌工法				
無筋コンクリート				
6号機軽油タンク基礎	置換工法 (開削工法)	変形抑制	強度及び剛性	
	高圧噴射攪拌工法			
第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎	機械攪拌工法	変形抑制	強度及び剛性	

## 5.2 品質確認方法について

### 5.2.1 室内試験及び原位置試験

#### (1) 新設地盤改良体の試験概要

##### a. 試験方法

新設地盤改良体の原位置試験及び室内試験は、既設地盤改良体と同様、日本工業規格（JIS）又は地盤工学会（JGS）の試験規格に基づき実施する。新設地盤改良体の試験項目を表 4-2 に示す。

表 5-2 新設地盤改良体の試験項目

項目	試験規格	試験名称
湿潤密度	JGS 2132	岩石の密度試験（ノギス法）
	JIS A 1225	土の湿潤密度試験方法
間隙率	JIS A 1202	土粒子の密度試験方法
P 波速度	JGS 1122	地盤の弾性波速度検層方法
	JGS 2110	パルス透過法による岩石の超音波速度試験
S 波速度	JGS 1122	地盤の弾性波速度検層方法
	JGS 2110	パルス透過法による岩石の超音波速度試験
h～γ 関係	JGS 0542	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法
一軸圧縮強度	JIS A 1216	土の一軸圧縮試験方法
	JGS 2521	岩石の一軸圧縮試験

##### b. 適用基準

新設地盤改良体の品質管理における適用基準は、既設地盤改良体と同様、地盤改良体の適用工法、設置箇所及び構造物の支持機能の有無に応じて適切な諸基準・指針を適用する。地盤改良工法の基準・指針として一般的な文献を表 5-3 に、地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準を表 5-4 に示す。

地盤改良工法に係る諸基準・指針については、地盤改良の目的及び構造形式によって分類される。品質管理については、この分類に対応する基準指針を用いて実施する。

表 5-3 地盤改良工法の基準・指針

基準・指針名	基準略称
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
建築基礎構造設計指針， 日本建築学会，2001年改定	建築基礎指針
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，平成14年5月	建築センター指針
乾式キャスク貯蔵建屋基礎構造の設計に関する技術指針， 日本電気協会，平成21年	JEAG4616



表 5-4 地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準 (1/2)

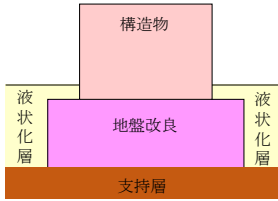
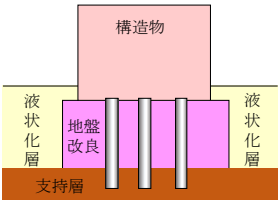
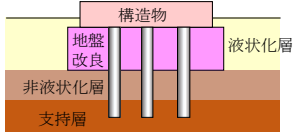
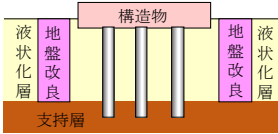

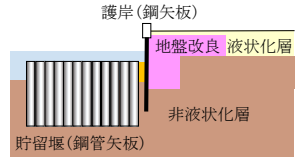
目的	直接支持	変形抑制	
構造形式			
対象施設	無し	大物搬入建屋, 6号機軽油タンク基礎* 第一ガスタービン発電機基礎	
適用基準	建築基礎指針, 建築センター指針, JEAG4616	陸上工事マニュアル	

表 5-4 地盤改良の目的及び構造形式に係る分類と適用基準 (2/2)

目的	変形抑制	浮上り防止	変形抑制
構造形式			
対象施設	格納容器圧力逃がし装置基礎, 軽油タンク基礎, 6号機軽油タンク基礎*, 燃料移送系配管ダクト	スクリーン室, 取水路, 補機冷却用海水取水路, 6号機スクリーン室, 6号機取水路	海水貯留堰, 6号機海水貯留堰
適用基準	陸上工事マニュアル	陸上工事マニュアル	港湾・空港マニュアル

注記\* : 6号機軽油タンク基礎については, 構造物の側方と直下に地盤改良を実施している。

c. 試験頻度

諸基準・指針における調査箇所数の目安を表 5-5 に示す。

試験頻度は、同表に示すとおり、諸基準・指針（「陸上工事マニュアル」又は「港湾・空港マニュアル」）を参考に、一軸圧縮試験の調査箇所の目安に従い、地盤改良体を適用する工事状況に応じて設定する。

新設地盤改良体においては、諸基準・指針に示される一軸圧縮試験の必要調査箇所数と新設地盤改良体の一軸圧縮試験の試料本数を比較し、文献による必要調査箇所数の目安を満足することを確認する。

表 5-5 諸基準・指針における必要調査箇所数の目安

基準略称	調査箇所数
陸上工事 マニュアル	設計強度毎に改良体500本未満は3本×3深度，500本以上は250本毎に1本追加。
港湾・空港 マニュアル	改良土量10,000m <sup>3</sup> に1本(上中下の3箇所)程度。

5.2.2 新設地盤改良体の解析用物性値の妥当性確認について

新設地盤改良体の施工に際しては、配合等の仕様について、既往の実績や試験施工を踏まえて設定する。

設計値に基づき解析用物性値を設定している新設地盤改良体のうち、竣工後に地盤改良体の調査や試験を実施したものについては、設計値に基づく解析用物性値の妥当性を確認する。妥当性の確認は、設計値に基づき設定した解析用物性値に対して、竣工後の調査や試験の結果に基づき設定した物性値と比較することにより検討する。

設計値に基づき解析用物性値を設定している新設地盤改良体のうち、竣工前のものについては、実施工において設計値を満足するよう、適切に品質管理を行う。

### 5.3 新設地盤改良体の事後調査結果について

新設地盤改良体として設計値に基づき解析用物性値を設定している施設のうち、竣工後の調査・試験の結果があるものについては、解析用物性値の設定が妥当であるかどうかの確認を行う。

妥当性の確認方法は、設計値に基づき設定している解析用物性値と、竣工後の試験結果を用いて既設地盤改良体と同様の物性設定を行った物性値の比較を行い、強度と剛性の観点で解析用物性値の設定が保守的であることを確認する。

#### 5.3.1 6・7号機海水貯留堰

6・7号機海水貯留堰における新設地盤改良体の事後調査位置図を図5-1に、試験結果を表5-6、表5-7及び図5-2、図5-3に、妥当性確認結果を表5-8、表5-9に、試験結果を元に既設地盤改良体と同等の整理で物性値を定めた値を表5-10、表5-11に示す。

追加調査の結果、追加調査による強度及び剛性については設計値よりも上回る結果となった。

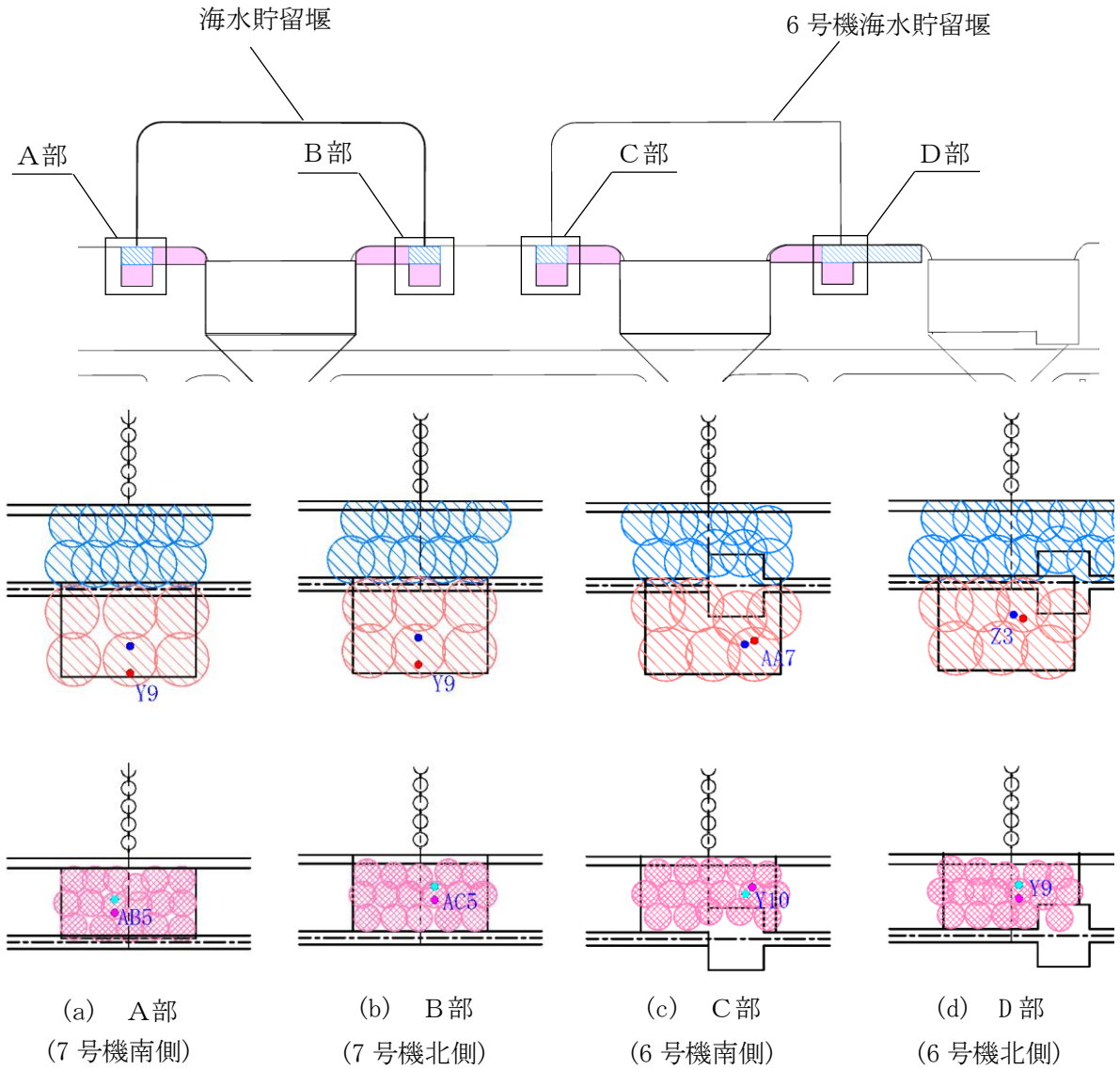
よって6・7号機海水貯留堰における新設地盤改良体については、強度・剛性の観点で現在の設定が保守的であり、新設地盤改良体の解析用物性値の設定は妥当である。



地盤改良体凡例

種別		凡例
既設地盤改良体	高压喷射(砂質土)	

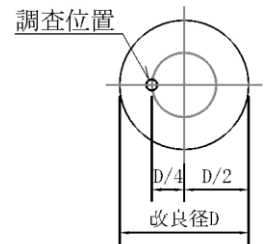
注： は新設地盤改良体を示す。



地盤改良体凡例

種別		凡例	調査位置	
			一軸圧縮試験	PS検層/室内試験
新設地盤改良体	高压喷射(砂質土)			
	高压喷射(粘性土)			

注：青字は孔名を示す。



調査要領図

図 5-1 6・7号機海水貯留堰における新設地盤改良体の調査位置図

表 5-6 6・7号機海水貯留堰／高压喷射(砂質土)における新設地盤改良体の試験結果

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
7号機南側AB5	9	1.664	6	0.558	9	1986	5	2440	5	1295	1	図5-2を 参照の こと
7号機北側AC5	9	1.848	6	0.491	9	3365	5	2962	5	1322	1	
6号機南側AA7	9	1.780	6	0.581	9	4756	5	2545	5	1287	1	
6号機北側Z3	9	1.726	6	0.524	9	4089	6	2097	6	884	1	
平均値	36	1.75	24	0.54	36	3549	21	2491	21	1182	4	
標準偏差	0.093		0.045		1664		496		288			
変動係数	0.053		0.084		0.469		0.199		0.244			

注記\*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 5-7 6・7号機海水貯留堰／高压喷射(粘性土)における新設地盤改良体の試験結果

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
7号機南側Y9	9	1.547	6	0.650	9	3256	5	1835	5	915	1	図5-3を 参照の こと
7号機北側Y9	9	1.554	6	0.640	9	2309	5	2026	5	747	1	
6号機南側Y10	9	1.610	6	0.641	9	5127	5	2236	5	931	1	
6号機北側Y9	9	1.550	6	0.656	9	2565	5	2195	5	873	1	
平均値	36	1.57	24	0.65	36	3314	20	2073	20	867	4	
標準偏差	0.049		0.034		1696		198		140			
変動係数	0.031		0.053		0.512		0.096		0.162			

注記\*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

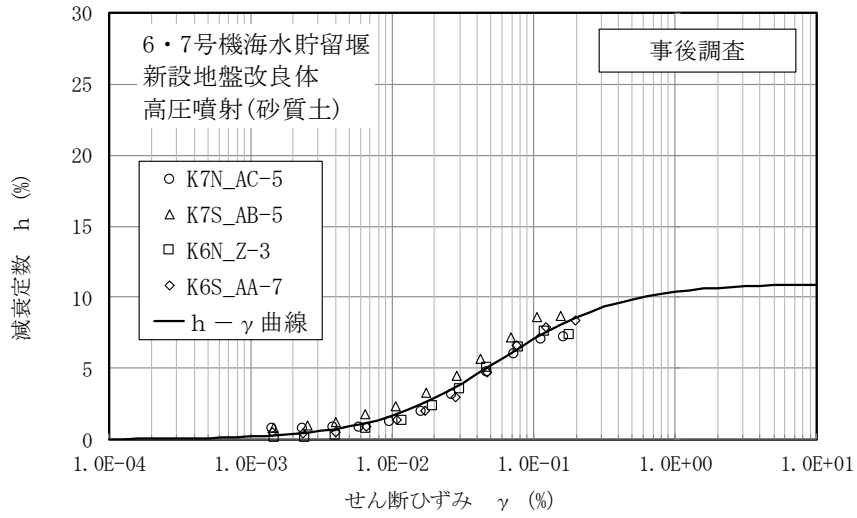


図 5-2 減衰定数のひずみ依存特性  
(6・7号機海水貯留堰／高圧噴射(砂質土))

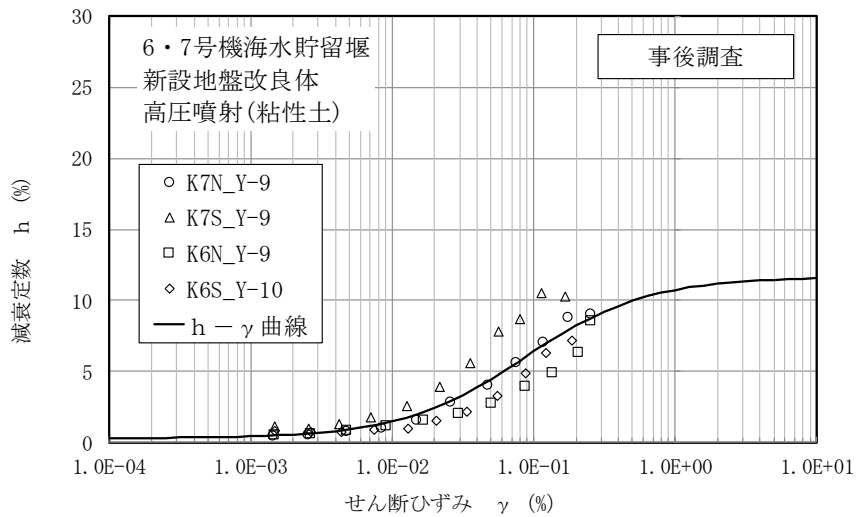


図 5-3 減衰定数のひずみ依存特性  
(6・7号機海水貯留堰／高圧噴射(粘性土))

表 5-8 妥当性確認結果(強度)

対象施設	種別	設計値 $q_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> )	事後調査結果		
			平均値 $q_{uf}$ (kN/m <sup>2</sup> )	標準偏差 $\sigma_{qu}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{uf} - \sigma_{qu}$ (kN/m <sup>2</sup> )
6・7号機 海水貯留堰	高压噴射(砂質土)	1000	3549	1664	1885
	高压噴射(粘性土)	1000	3314	1696	1618

表 5-9 妥当性確認結果(剛性)

対象施設	種別	設計値 $V_{sd}$ (kN/m <sup>2</sup> )	事後調査結果		
			平均値 $V_{sf}$ (kN/m <sup>2</sup> )	標準偏差 $\sigma_{vs}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$V_{sf} - \sigma_{vs}$ (kN/m <sup>2</sup> )
6・7号機 海水貯留堰	高压噴射(砂質土)	600	1182	288	894
	高压噴射(粘性土)	600	867	140	727

表 5-10 設計値と事後調査結果に基づく設計値との対比(高压噴射(砂質土))

名称		新設地盤改良体 (セメント改良)	新設地盤改良体の 物性設定方針 に基づく値	既設地盤改良体 (セメント改良)	事後調査結果に 基づき 設定した値
種別		高压噴射, 機械攪拌, 置換	高压噴射 (砂質土)	高压噴射, 機械攪拌, 置換, 改良盛土	高压噴射 (砂質土)
物理 特性	密度 $\rho$	[高压噴射, 機械攪拌]改良対象地盤の物理試験 [置換] 既設地盤改良体(置換)の物理試験	1.94	物理試験	1.75
	間隙率 $n$	既設地盤改良体の物理試験	0.49	物理試験	0.54
変形 特性	動せん断弾性係数 $G_{ms}$	設計S波速度, 密度に基づき設定 設計S波速度の指定が無い場合は文献 <sup>*1</sup> より推定	$6.98 \times 10^5$	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	$2.44 \times 10^6$
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ms}'$	慣用値 <sup>*2</sup>	98.0	慣用値 <sup>*2</sup>	98.0
	ポアソン比 $\nu$	慣用値 <sup>*2</sup>	0.33	慣用値 <sup>*2</sup>	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	文献 <sup>*1</sup> に基づき設定	0.050	動的変形特性に基づき設定	0.110
強度 特性	粘着力 $c$	設計一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	500	一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	1775

注記\*1: 改訂版 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, 平成14年11月)

\*2: 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法  
(港湾技術資料No. 869) (運輸省港湾技術研究所, 平成9年6月)

表 5-11 設計値と事後調査結果に基づく設計値との対比(高圧噴射(粘性土))

名 称		新設地盤改良体 (セメント改良)	新設地盤改良体の 物性設定方針 に基づく値	既設地盤改良体 (セメント改良)	事後調査結果に 基づき 設定した値
種別		高圧噴射, 機械攪拌, 置換		高圧噴射, 機械攪拌, 置換, 改良盛土	高圧噴射 (粘性土)
物理 特性	密度 $\rho$	[高圧噴射, 機械攪拌]改良対象地盤の物理試験 [置換] 既設地盤改良体(置換)の物理試験		物理試験	1.57
	間隙率 $n$	既設地盤改良体の物理試験		物理試験	0.65
変形 特性	動せん断弾性係数 $G_{ma}$	設計S波速度, 密度に基づき設定 設計S波速度の指定が無い場合は文献*1より推定		PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	$1.18 \times 10^6$
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ma}'$	慣用値*2		慣用値*2	98.0
	ポアソン比 $\nu$	慣用値*2		慣用値*2	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	文献*1に基づき設定		動的変形特性に基づき設定	0.117
強度 特性	粘着力 $c$	設計一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定		一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	1657

注記\*1: 改訂版 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, 平成14年11月)

\*2: 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法  
(港湾技研資料No. 869) (運輸省港湾技術研究所, 平成9年6月)

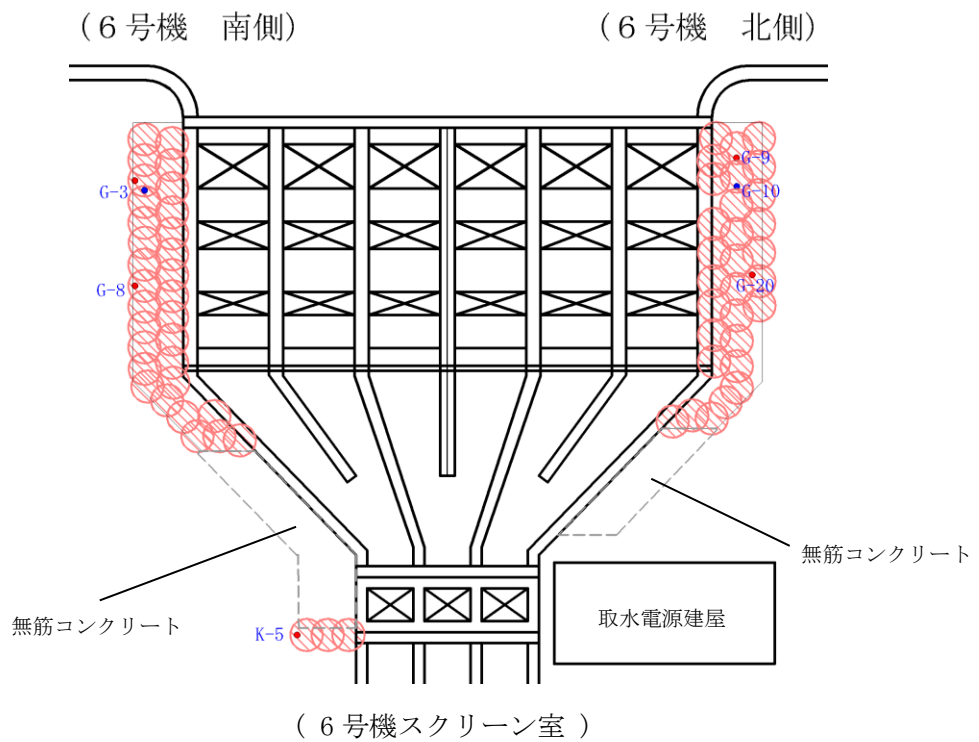
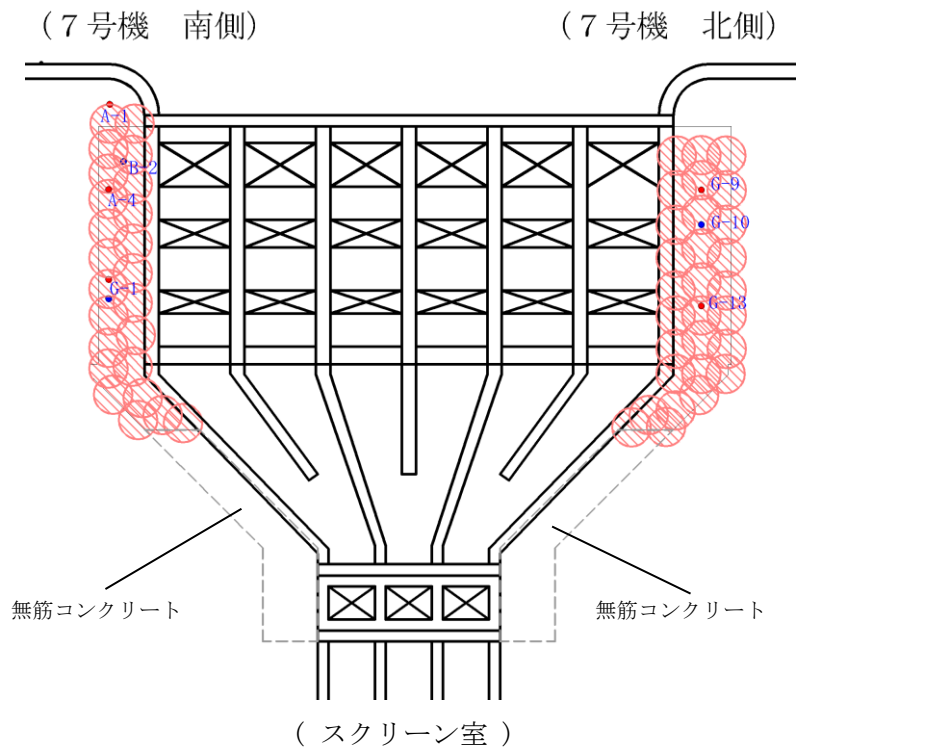


### 5.3.2 6・7号機スクリーン室

6・7号機スクリーン室における新設地盤改良体のうち高圧噴射攪拌工法の事後調査位置図を図5-4に、試験結果を表5-12、図5-5に、妥当性確認結果を表5-13、表5-14に、試験結果を元に既設地盤改良体と同等の整理で物性値を定めた値を表5-15に示す。

追加調査の結果、追加調査による強度及び剛性については設計値よりも上回る結果となった。

よって、6・7号機スクリーン室における新設地盤改良体については、強度・剛性の観点で現在の設定が保守的であり、新設地盤改良体の解析用物性値の設定は妥当である。



地盤改良体凡例

種別	凡例	調査位置	
		一軸圧縮試験	PS検層/室内試験
新設地盤改良体	高圧噴射(砂質土)	●	●

注：青字は孔名を示す。

図 5-4 6・7号機スクリーン室における新設地盤改良体の調査位置図

表 5-12 6・7号機スクリーン室／高压喷射(砂質土)における新設地盤改良体の試験結果

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~ $\gamma$ 関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
7号機南側A1	9	1.578	-	-	9	4537	-	-	-	-	-	-
7号機南側B2	-	-	-	-	-	-	10	2255	10	983	-	-
7号機南側A4	9	1.633	-	-	9	4134	-	-	-	-	-	-
7号機南側G1	9	1.565	6	0.669	9	5203	-	-	-	-	1	-
7号機北側G9	11	1.691	-	-	11	5621	10	2253	10	980	-	-
7号機北側G10	-	-	6	0.643	-	-	-	-	-	-	1	-
7号機北側G13	10	1.739	-	-	10	5963	-	-	-	-	-	-
6号機南側G3	11	1.731	6	0.644	11	6507	10	2063	10	932	1	-
6号機南側G8	11	1.771	-	-	11	5653	-	-	-	-	-	-
6号機南側K5	9	1.561	-	-	9	3358	-	-	-	-	-	-
6号機北側G9	12	1.664	-	-	12	5261	-	-	-	-	-	-
6号機北側G10	-	-	6	0.660	-	-	10	2278	10	1044	1	-
6号機北側G20	10	1.617	-	-	10	3396	-	-	-	-	-	-
平均値	101	1.66	24	0.65	101	5024	40	2212	40	985	4	-
標準偏差	0.164		0.046		2751		244		182		-	
変動係数	0.099		0.070		0.548		0.110		0.185		-	

図5-5を参照のこと

注記\*: PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

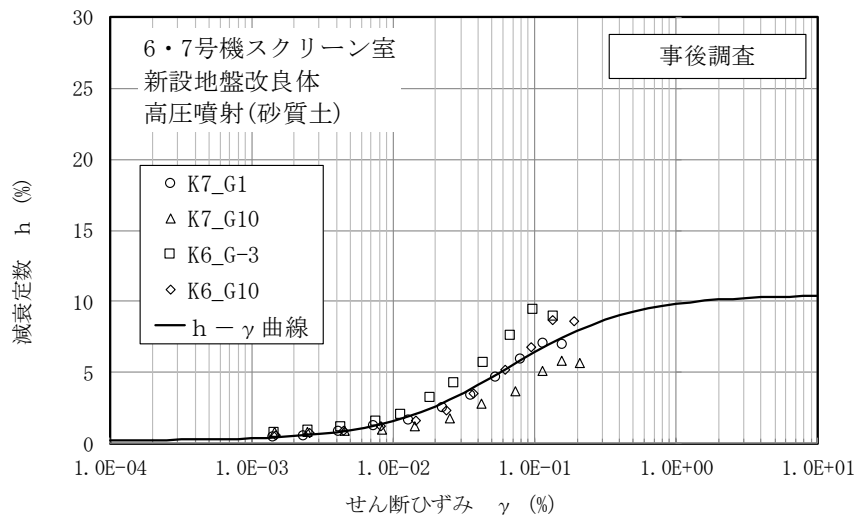


図 5-5 減衰定数のひずみ依存特性  
(6・7号機スクリーン室／高压喷射(砂質土))

表 5-13 妥当性確認結果(強度)

対象施設	種別	設計値 $q_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> )	事後調査結果		
			平均値 $q_{uf}$ (kN/m <sup>2</sup> )	標準偏差 $\sigma_{qu}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{uf} - \sigma_{qu}$ (kN/m <sup>2</sup> )
6・7号機 スクリーン室	高圧噴射(砂質土)	1000	5024	2751	2273

表 5-14 妥当性確認結果(剛性)

対象施設	種別	設計値 $V_{sd}$ (kN/m <sup>2</sup> )	事後調査結果		
			平均値 $V_{sf}$ (kN/m <sup>2</sup> )	標準偏差 $\sigma_{vs}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$V_{sf} - \sigma_{vs}$ (kN/m <sup>2</sup> )
6・7号機 スクリーン室	高圧噴射(砂質土)	600	985	182	803

表 5-15 設計値と事後調査結果に基づく設計値との対比(高圧噴射(砂質土))

名称		新設地盤改良体 (セメント改良)	新設地盤改良体の 物性設定方針 に基づく値	既設地盤改良体 (セメント改良)	事後調査結果に 基づき 設定した値
種別		高圧噴射, 機械攪拌, 置換	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射, 機械攪拌, 置換, 改良盛土	高圧噴射 (砂質土)
物理 特性	密度 $\rho$	[高圧噴射, 機械攪拌]改良対象地盤の物理試験 [置換] 既設地盤改良体(置換)の物理試験	1.94	物理試験	1.66
	間隙率 $n$	既設地盤改良体の物理試験	0.49	物理試験	0.65
変形 特性	動せん断弾性係数 $G_{ma}$	設計S波速度, 密度に基づき設定 設計S波速度の指定が無い場合は文献 <sup>*1</sup> より推定	$6.98 \times 10^5$	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	$1.61 \times 10^6$
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ma}'$	慣用値 <sup>*2</sup>	98.0	慣用値 <sup>*2</sup>	98.0
	ポアソン比 $\nu$	慣用値 <sup>*2</sup>	0.33	慣用値 <sup>*2</sup>	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	文献 <sup>*1</sup> に基づき設定	0.050	動的変形特性に基づき設定	0.104
強度 特性	粘着力 $c$	設計一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	500	一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	2512

注記\*1: 改訂版「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, 平成14年11月)

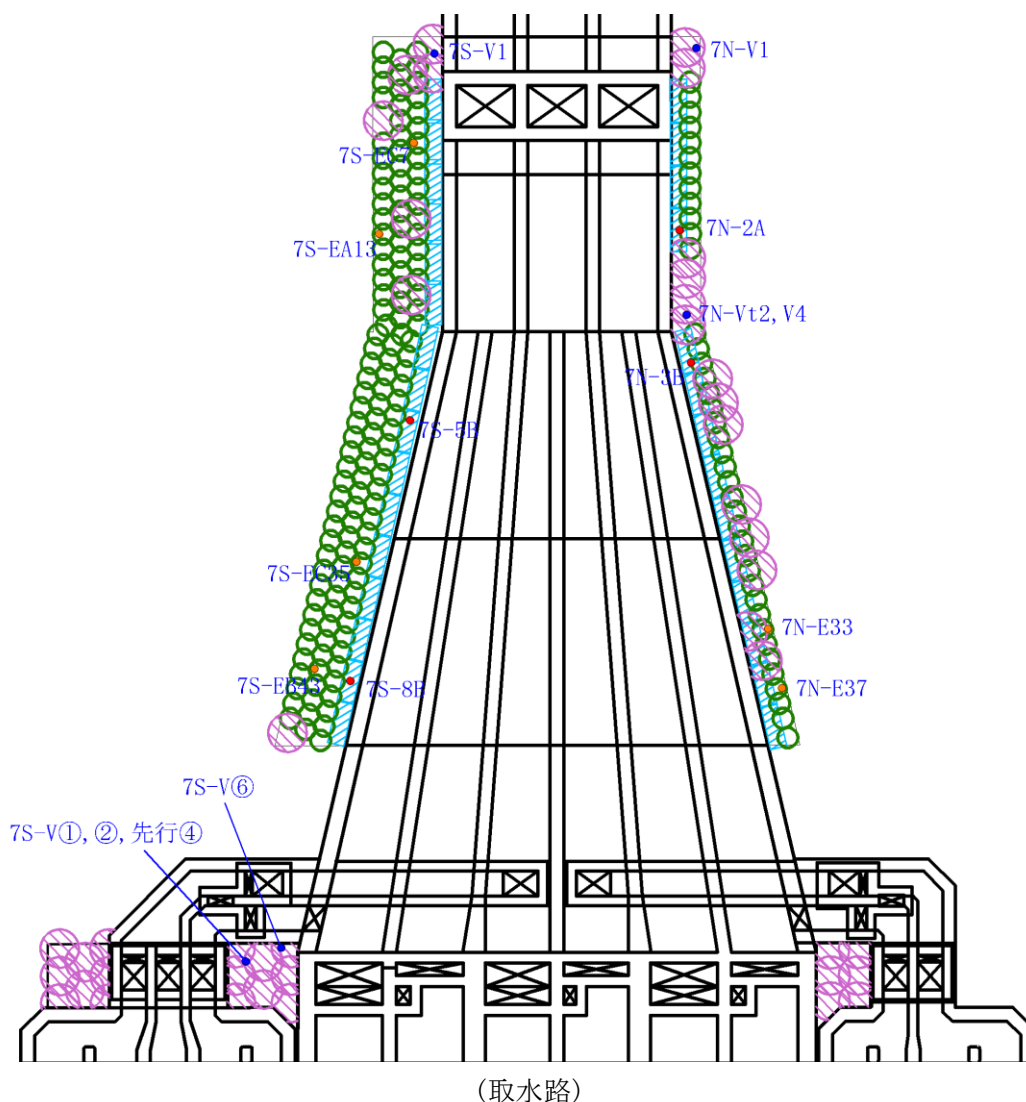
\*2: 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法  
(港湾技研資料No. 869) (運輸省港湾技術研究所, 平成9年6月)

### 5.3.3 6・7号機取水路

6・7号機取水路における新設地盤改良体の事後調査位置図を図5-6に、試験結果を表5-16～表5-18及び図5-7, 図5-8に、妥当性確認結果を表5-19に、試験結果を元に既設地盤改良体と同等の整理で物性値を定めた値を表5-20～表5-22に示す。

追加調査の結果, 追加調査による強度については設計値よりも上回る結果となった。

よって6・7号機取水路における新設地盤改良体については, 強度の観点で現在の設定が保守的であり, 新設地盤改良体の解析用物性値の設定は妥当である。

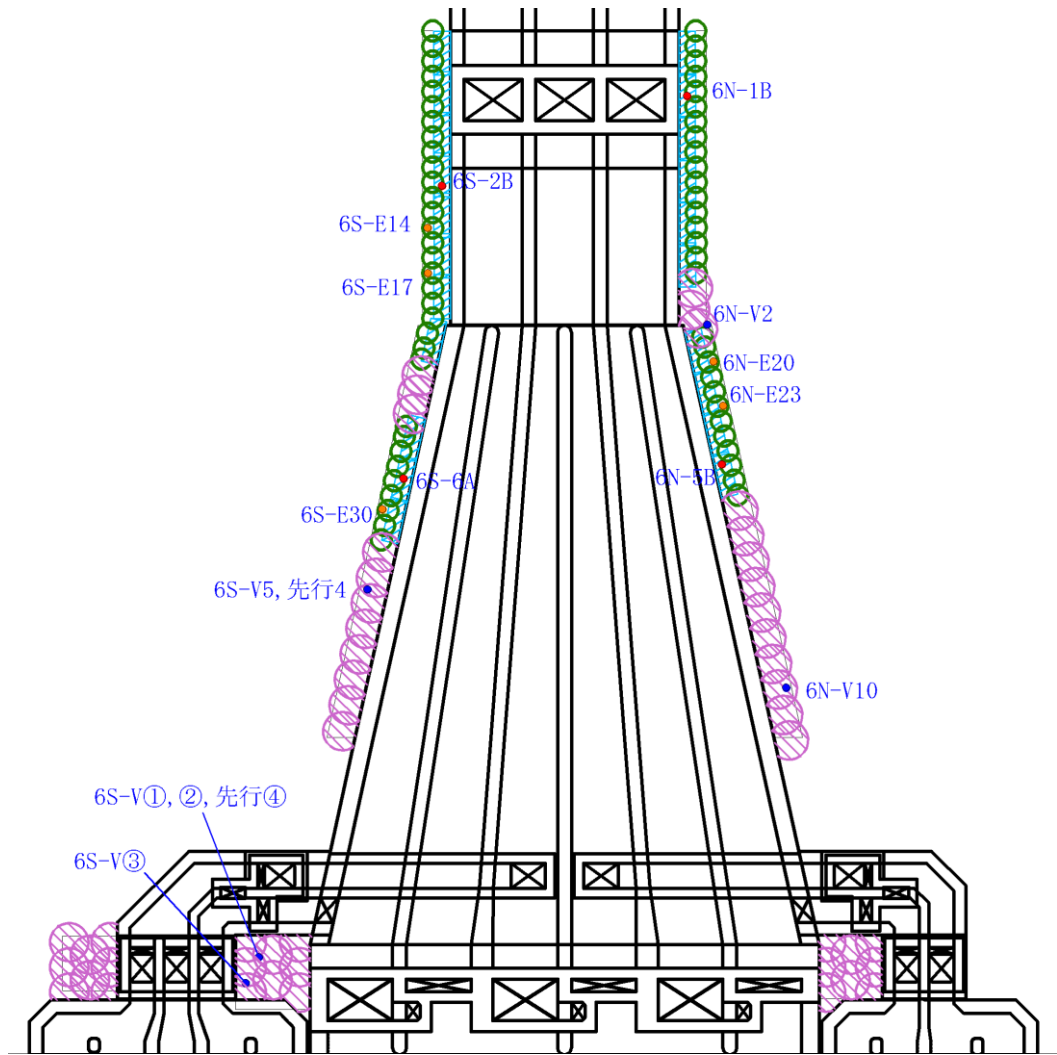


地盤改良体凡例

種 別		凡例	調査位置
新設 地盤改良体	置換		●
	高圧噴射(砂質土)		●
	機械攪拌		●

注: 青字 は孔名を示す。

図 5-6 6・7号機取水路における新設地盤改良体の調査位置図(1/2)



(6号機取水路)

地盤改良体凡例

種 別		凡例	調査位置
新設 地盤改良体	置換		●
	高压喷射(砂質土)		●
	機械攪拌		●

注：青字 は孔名を示す。

図 5-6 6・7号機取水路における新設地盤改良体の調査位置図(2/2)

表 5-16 6・7号機取水路／置換における新設地盤改良体の試験結果

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
6S-2B	-	-	-	-	9	3470	-	-	-	-	-	-
6N-5B	-	-	-	-	9	4094	-	-	-	-	-	-
7S-5B	-	-	-	-	9	4312	-	-	-	-	-	-
7N-3B	-	-	-	-	9	4743	-	-	-	-	-	-
6N-1B	3	1.795	-	-	3	3557	-	-	-	-	-	-
6S-6A	3	1.784	-	-	3	4397	-	-	-	-	-	-
7N-2A	3	1.824	-	-	3	7587	-	-	-	-	-	-
7S-8B	3	1.785	-	-	3	5153	-	-	-	-	-	-
平均値	12	1.80	-	-	48	4410	-	-	-	-	-	-
標準偏差	0.018		-		1069		-		-		-	
変動係数	0.010		-		0.243		-		-		-	

注記\*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 5-17 6・7号機取水路／機械攪拌における新設地盤改良体の試験結果

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
6S-E17	-	-	-	-	9	1938	-	-	-	-	-	-
6N-E23	-	-	-	-	9	2523	-	-	-	-	-	-
7S-EC7	-	-	-	-	9	3130	-	-	-	-	-	-
7S-EB43	-	-	-	-	9	2523	-	-	-	-	-	-
7N-E33	-	-	-	-	9	3377	-	-	-	-	-	-
6N-E20	5	1.892	-	-	3	6150	1	2740	1	986	1	1
6S-E14	5	1.937	-	-	3	4437	1	2420	1	877	1	1
6S-E30	5	1.912	-	-	3	4630	1	2440	1	850	1	1
7N-E37	5	1.907	-	-	3	4473	1	2060	1	720	1	1
7S-EA13	5	1.906	-	-	3	4210	1	2340	1	885	1	1
7S-EC35	5	1.864	-	-	3	7677	1	2610	1	1290	1	1
平均値	30	1.90	-	-	63	3219	6	2435	6	935	6	6
標準偏差	0.027		-		1722		234		194		-	
変動係数	0.014		-		0.502		0.096		0.208		-	

注記\*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表 5-18 6・7号機取水路／高压噴射(砂質土)における新設地盤改良体の試験結果

孔名	湿潤密度		間隙率		一軸圧縮強度		P波速度		S波速度		h~γ関係	
	試料数	孔別平均 (g/cm <sup>3</sup> )	試料数	孔別平均	試料数	孔別平均 (kN/m <sup>2</sup> )	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数 *	孔別平均 (m/s)	試料数	孔別平均
6S-V5, 先行4	-	-	-	-	9	3441	-	-	-	-	-	-
6S-V①, ②, 先行④	-	-	-	-	9	4072	-	-	-	-	-	-
7S-V①, ②, 先行④	-	-	-	-	9	3035	-	-	-	-	-	-
7N-Vt2, 4	-	-	-	-	9	3474	-	-	-	-	-	-
6N-V2	5	1.758	-	-	3	5620	1	2530	1	1190	1	1
6N-V10	5	1.626	-	-	3	3483	1	2050	1	871	1	1
6S-V③	5	1.649	-	-	3	6557	1	2380	1	1080	1	1
7N-V①	5	1.610	-	-	3	3230	1	2110	1	781	1	1
7S-V1	5	1.738	-	-	3	3947	1	1780	1	824	1	1
7S-V⑥	5	1.751	-	-	3	5657	1	2680	1	1260	1	1
平均値	30	1.69	-	-	54	3920	6	2255	6	1001	6	6
標準偏差	0.160		-		2049		335		203		-	
変動係数	0.095		-		0.523		0.149		0.203		-	

注記\*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

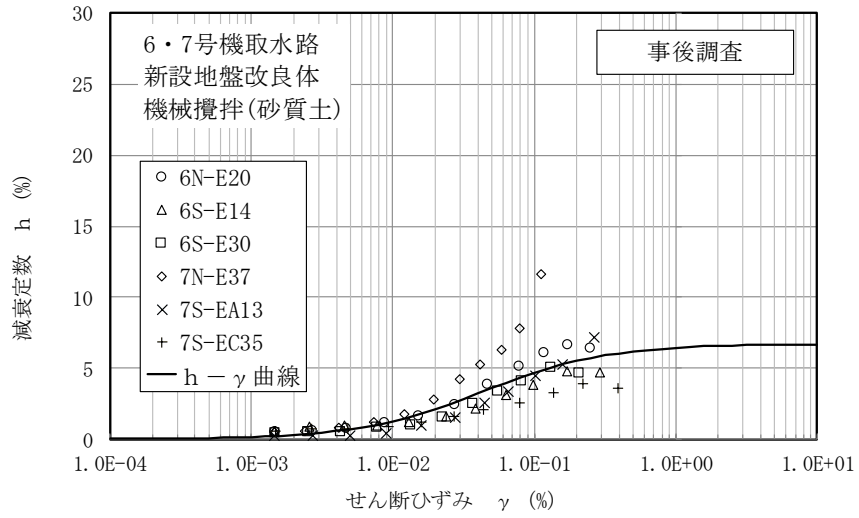


図 5-7 減衰定数のひずみ依存特性  
(6・7号機取水路／機械攪拌)

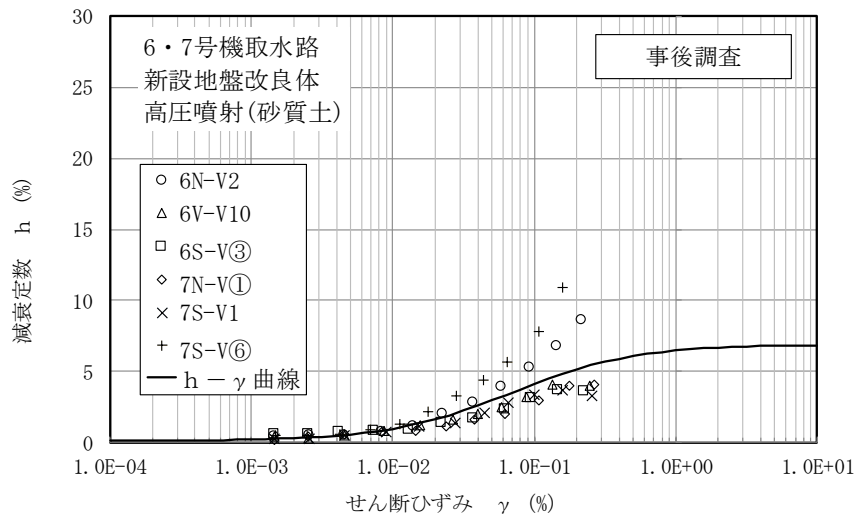


図 5-8 減衰定数のひずみ依存特性  
(6・7号機取水路／高圧噴射(砂質土))



表 5-19 妥当性確認結果(強度)

対象施設	種別	設計値 $q_{ud}$ (kN/m <sup>2</sup> )	事後調査結果		
			平均値 $q_{uf}$ (kN/m <sup>2</sup> )	標準偏差 $\sigma_{qu}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{uf} - \sigma_{qu}$ (kN/m <sup>2</sup> )
6・7号機 取水路	置換	1000	4410	1069	3341
	機械攪拌(砂質土)	1000	3219	1722	1497
	高圧噴射(砂質土)	1000	3920	2049	1871

表 5-20 設計値と事後調査結果に基づく設計値との対比(置換)

名称		新設地盤改良体 (セメント改良)	新設地盤改良体の 物性設定方針 に基づく値	既設地盤改良体 (セメント改良)	事後調査結果に 基づき 設定した値
種別		高圧噴射, 機械攪拌, 置換	置換	高圧噴射, 機械攪拌, 置換, 改良盛土	置換
物理 特性	密度 $\rho$	[高圧噴射, 機械攪拌]改良対象地盤の物理試験 [置換] 既設地盤改良体(置換)の物理試験	1.85	物理試験	1.80
	間隙率 $n$	既設地盤改良体の物理試験	0.48	物理試験	—
変形 特性	動せん断弾性係数 $G_{ma}$	設計S波速度, 密度に基づき設定 設計S波速度の指定が無い場合は文献 <sup>*1</sup> より推定	$2.40 \times 10^5$	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	—
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ms}'$	慣用値 <sup>*2</sup>	98.0	慣用値 <sup>*2</sup>	98.0
	ポアソン比 $\nu$	慣用値 <sup>*2</sup> (PS検層) <sup>*3</sup>	0.33	慣用値 <sup>*2</sup> (PS検層) <sup>*3</sup>	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	文献 <sup>*1</sup> に基づき設定	0.050	動的変形特性に基づき設定	—
強度 特性	粘着力 $c$	設計一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	500	一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	2205

注記\*1: 改訂版 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, 平成14年11月)

\*2: 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPIにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法  
(港湾技術資料No. 869) (運輸省港湾技術研究所, 平成9年6月)

\*3: 括弧内の数字は, 地下水位以浅の根拠を表す。

表 5-21 設計値と事後調査結果に基づく設計値との対比(機械攪拌(砂質土))

名称		新設地盤改良体 (セメント改良)	新設地盤改良体の 物性設定方針 に基づく値	既設地盤改良体 (セメント改良)	事後調査結果に 基づき 設定した値
種別		高圧噴射, 機械攪拌, 置換	機械攪拌 (砂質土)	高圧噴射, 機械攪拌, 置換, 改良盛土	機械攪拌 (砂質土)
物理 特性	密度 $\rho$	[高圧噴射, 機械攪拌]改良対象地盤の物理試験 [置換] 既設地盤改良体(置換)の物理試験	1.94	物理試験	1.90
	間隙率 $n$	既設地盤改良体の物理試験	0.49	物理試験	—
変形 特性	動せん断弾性係数 $G_{ma}$	設計S波速度, 密度に基づき設定 設計S波速度の指定が無い場合は文献 <sup>*1</sup> より推定	$2.51 \times 10^5$	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	$1.66 \times 10^6$
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ms}'$	慣用値 <sup>*2</sup>	98.0	慣用値 <sup>*2</sup>	98.0
	ポアソン比 $\nu$	慣用値 <sup>*2</sup> (PS検層) <sup>*3</sup>	0.33	慣用値 <sup>*2</sup> (PS検層) <sup>*3</sup>	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	文献 <sup>*1</sup> に基づき設定	0.050	動的変形特性に基づき設定	0.067
強度 特性	粘着力 $c$	設計一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	500	一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	1610

注記\*1: 改訂版 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, 平成14年11月)

\*2: 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPIにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法  
(港湾技術資料No. 869) (運輸省港湾技術研究所, 平成9年6月)

\*3: 括弧内の数字は, 地下水位以浅の根拠を表す。

表 5-22 設計値と事後調査結果に基づく設計値との対比(高圧噴射(砂質土))

名 称		新設地盤改良体 (セメント改良)	新設地盤改良体の 物性設定方針 に基づく値	既設地盤改良体 (セメント改良)	事後調査結果に 基づき 設定した値
種別		高圧噴射, 機械攪拌, 置換	高圧噴射 (砂質土)	高圧噴射, 機械攪拌, 置換, 改良盛土	高圧噴射 (砂質土)
物理 特性	密度 $\rho$	[高圧噴射, 機械攪拌]改良対象地盤の物理試験 [置換] 既設地盤改良体(置換)の物理試験	1.94	物理試験	1.69
	間隙率 $n$	既設地盤改良体の物理試験	0.49	物理試験	—
変形 特性	動せん断弾性係数 $G_{ma}$	設計S波速度, 密度に基づき設定 設計S波速度の指定が無い場合は文献 <sup>*1</sup> より推定	$6.98 \times 10^5$	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	$1.69 \times 10^6$
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ma}'$	慣用値 <sup>*2</sup>	98.0	慣用値 <sup>*2</sup>	98.0
	ポアソン比 $\nu$	慣用値 <sup>*2</sup> (PS検層) <sup>*3</sup>	0.33	慣用値 <sup>*2</sup> (PS検層) <sup>*3</sup>	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	文献 <sup>*1</sup> に基づき設定	0.050	動的変形特性に基づき設定	0.069
強度 特性	粘着力 $c$	設計一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	500	一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $c$ との 関係に基づき設定	1960

注記\*1: 改訂版 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, 平成14年11月)

\*2: 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法  
(港湾技研資料No. 869) (運輸省港湾技術研究所, 平成9年6月)

\*3: 括弧内の数字は, 地下水位以浅の根拠を表す。

6. 地盤改良体におけるばらつきの考え方

6.1 既設地盤改良体（セメント改良）

既設地盤改良体（セメント改良）については、PS 検層による S 波速度  $V_s$  に基づき、初期せん断弾性係数  $G_0$  を設定する。

ばらつきを考慮した解析ケースにおいては、各既設地盤改良体の PS 検層の結果から、S 波速度  $V_s$  の標準偏差  $\sigma$  を求め、(式 10) より  $V_s$  のばらつきを考慮した初期せん断弾性係数  $G_{0(\pm 1\sigma)}$  を設定する。

$$G_{0(\pm 1\sigma)} = \rho \cdot (V_s \pm 1\sigma)^2 \quad (\text{式 10})$$

ここで、

$\rho$  : 質量密度

6.2 既設地盤改良体（土質安定処理土）

既設地盤改良体（土質安定処理土）については、地盤改良体の設計値（設計基準一軸圧縮強度  $q_{ud}$ ）に基づき、 $G_0$  を設定する。

具体的には、図 6-1 に示すように文献（第 2 版 流動化処理土利用技術マニュアル, 独立行政法人土木研究所, 平成 19 年）の一軸圧縮強度  $q_u$  と変形係数  $E_{50}$  の関係から、 $E_{50}$  を推定し、(式 11) に基づき  $G_0$  を設定する。

$$G_0 = \frac{E_{50}}{2(1+\nu)} \quad (\text{式 11})$$

ここで、

$\nu$  : ポアソン比

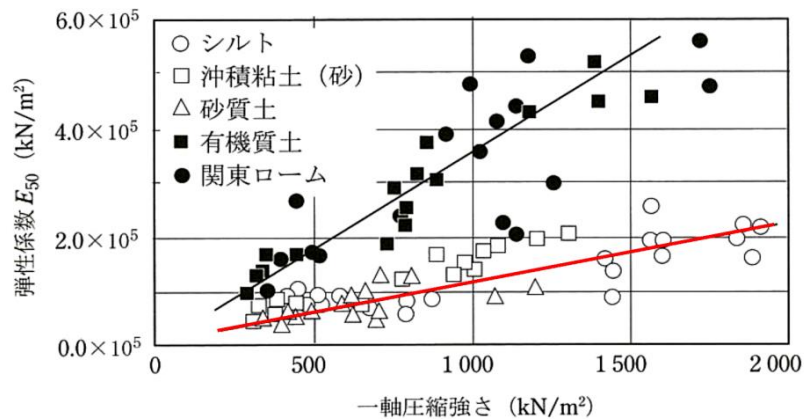


図-2.12 弾性係数の試験結果

図 6-1 流動化処理土の変形係数の推定

(引用：第 2 版 流動化処理土利用技術マニュアル, 独立行政法人土木研究所編, 平成 19 年 に加筆)

実施工の地盤改良体は、設計値を上回るように施工される。そのため、ばらつきを考慮した解析ケースにおいても、構造物評価の観点では地盤剛性を低く評価する方が地盤のせん断変形が生じやすいことから、設計値に基づき下限値相当の  $G_0$  を設定する。

また、機器・配管系を間接支持する構造物については、応答加速度及び応答変位に対する影響評価を別途実施する。

### 6.3 新設地盤改良体（セメント改良）

新設地盤改良体（セメント改良）については、地盤改良体の設計値（設計 S 波速度  $V_{sd}$ ）に基づき、 $G_0$ を設定する。

具体的には、(式 12) より  $V_{sd}$  から、 $G_0$ を設定する。

$$G_0 = \rho \cdot V_{sd}^2 \quad (\text{式 12})$$

実施工の地盤改良体は、設計値を上回るように施工される。そのため、ばらつきを考慮した解析ケースにおいても、構造物評価の観点では地盤剛性を低く評価する方が地盤のせん断変形が生じやすいことから、設計値に基づき下限値相当の  $G_0$ を設定する。

また、機器・配管系を間接支持する構造物については、応答加速度及び応答変位に対する影響評価を別途実施する。

### 6.4 新設地盤改良体（無筋コンクリート）

新設地盤改良体（無筋コンクリート）については、地盤改良体の設計値（設計基準強度  $f'_{ck}$ ）に基づき、 $G_0$ を設定する。

具体的には、表 6-1 に示すように文献（コンクリート標準示方書）のコンクリートの  $f'_{ck}$  と  $E_c$  の関係から、(式 13) に基づき  $G_0$ を設定する。

$$G_0 = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (\text{式 13})$$

表 6-1 コンクリートのヤング係数

$f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )		18	24	30	40	50	60	70	80
$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	普通コンクリート	22	25	28	31	33	35	37	38
	軽量骨材コンクリート*	13	15	16	19	-	-	-	-

\* 骨材を全部軽量骨材とした場合

(引用：コンクリート標準示方書 構造性能照査編, 社団法人土木学会, 2002 年)

実施工の地盤改良体は、設計値を上回るように施工される。そのため、ばらつきを考慮した解析ケースにおいても、構造物評価の観点では地盤剛性を低く評価する方が地盤のせん断変形が生じやすいことから、設計値に基づき下限値相当の  $G_0$ を設定する。

なお、新設地盤改良体（無筋コンクリート）は、取水路及び 6 号機取水路の地震応答解析において設定される解析用物性値のため、機器・配管系を間接支持する構造物の地震応答解析では用いない。

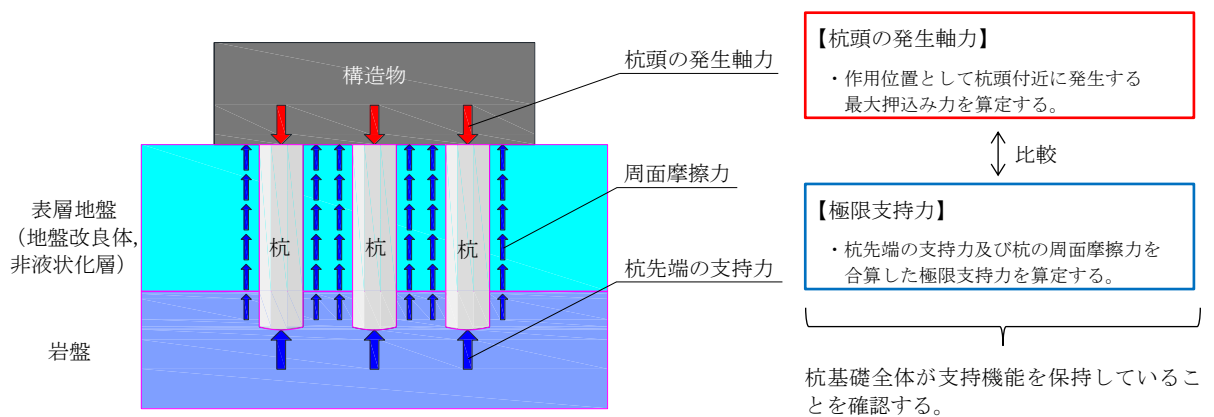
(参考資料 7) 杭基礎の支持力評価方法に関する補足

1. 押し込み力に対する杭基礎の支持力評価方法

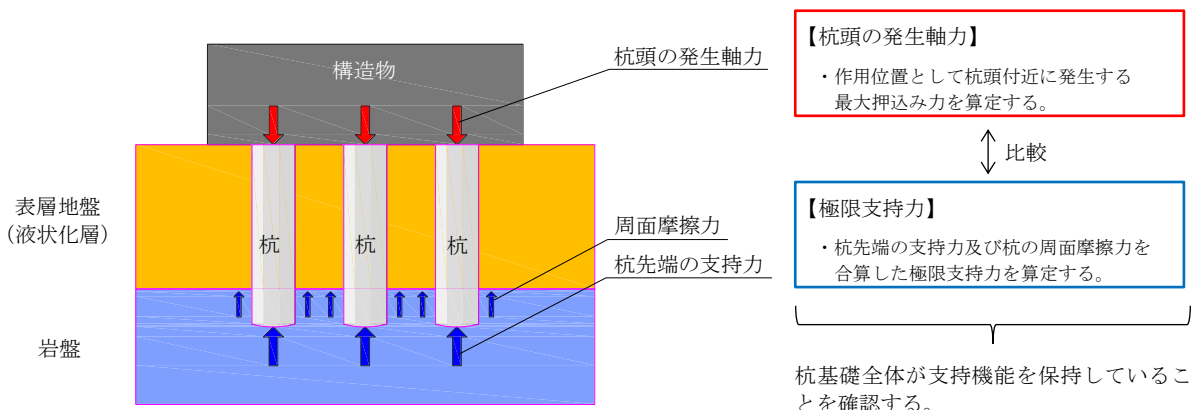
杭基礎の押し込み力に対する支持力は杭頭の発生軸力により評価を行う。

押し込み力に対する支持力評価においては、杭周面に有効応力解析により液状化すると評価された地盤（以下、液状化層という）が存在する場合は、杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、支持力評価を行う。ただし、杭周面に地盤改良体、非液状化層及び岩盤が存在する場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

図 1-1 に、押し込み力に対する支持力評価の概要を示す。



(a) 押し込み力に対し杭周面摩擦力を支持力として考慮する場合



(b) 押し込み力に対し表層地盤の杭周面摩擦力を支持力として考慮しない場合

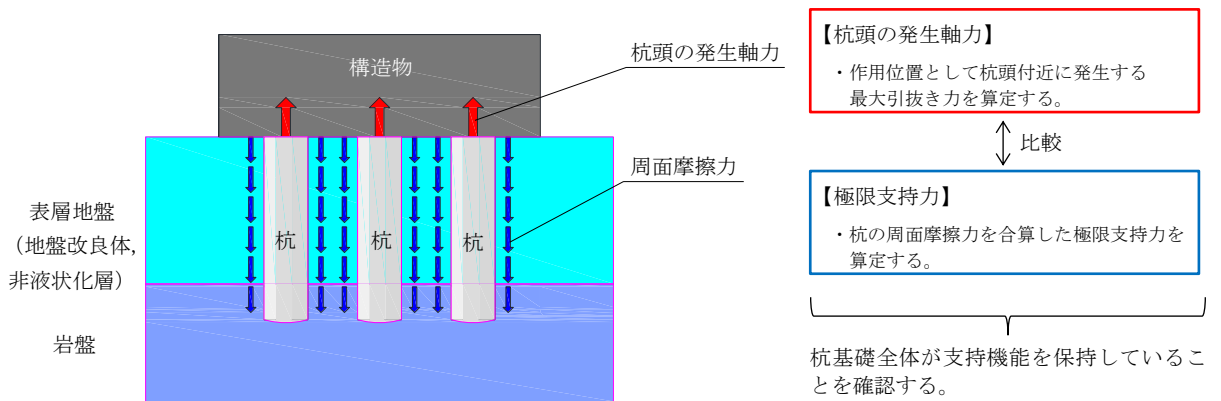
図 1-1 押し込み力に対する杭基礎の支持力評価

2. 引抜き力に対する杭基礎の支持力評価方法

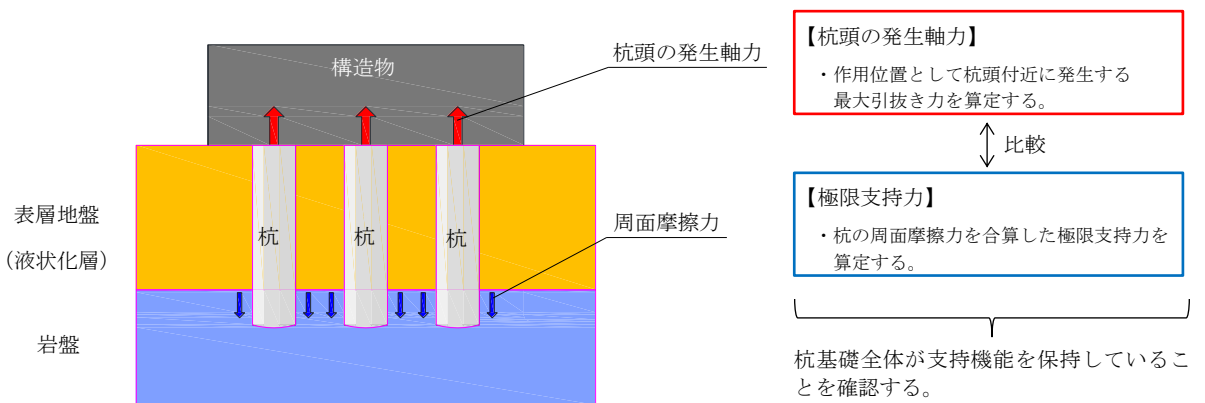
杭基礎の引抜き力に対する支持力は、杭頭の発生軸力により支持力評価を行う。

引抜き力に対する支持力評価においては、杭周面に液状化層が存在する場合は杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、支持力評価を行う。ただし、杭周面に地盤改良体、非液状化層及び岩盤が存在する場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

図 2-1 に引抜き力に対する支持力評価の概要を示す。



(a) 引抜き力に対し杭周面摩擦力を支持力として考慮する場合



(b) 引抜き力に対し表層地盤の杭周面摩擦力を支持力として考慮しない場合

図 2-1 引抜き力に対する杭基礎の支持力評価

3. 有効応力解析における杭と地盤との境界条件について

3.1 杭－地盤相互作用ばねの設定

地盤と杭の接合面に杭－地盤相互作用ばねを設けることにより，地盤と杭の接合面における，地震時の相互作用の3次元効果を2次元モデルで適切に考慮する。

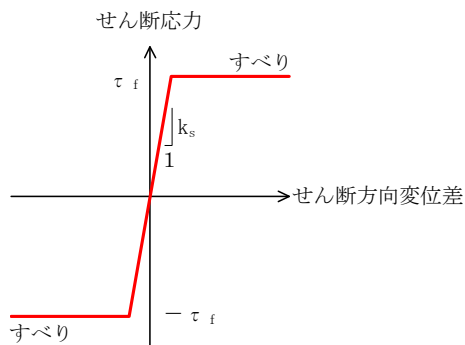
杭－地盤相互作用ばねの杭軸方向については，地盤と杭の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が発生した場合，せん断剛性をゼロとし，すべりを考慮する。図3-1に杭－地盤相互作用ばねの考え方を示す。

なお，せん断強度  $\tau_f$  は (式1) の Mohr-Coulomb 式により規定される。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi \quad (\text{式 1})$$

ここで，

- $\tau_f$  : せん断強度
- $c$  : 粘着力
- $\phi$  : 内部摩擦角



杭－地盤相互作用ばね（杭軸方向）の力学的特性

図 3-1 杭－地盤相互作用ばねの考え方

杭－地盤相互作用ばねの杭軸方向のばね定数は，数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として，表 3-1 のとおり設定する。

また，杭－地盤相互作用ばねの杭軸直角方向のばね定数については，杭径及び杭間隔より設定される\*。

注記\* : FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」

表 3-1 杭－地盤相互作用ばねのばね定数

	せん断剛性 $k_s$ ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )
杭軸方向	$1.0 \times 10^6$

### 3.2 杭先端ばねの設定

杭先端と地盤間に Hirayama\* (1990) による杭先端抵抗と杭先端変位の双曲線型の関係を杭軸方向のばねの抵抗力と変位差の関係に置き換えたばねを設けることにより、杭先端における地盤と杭の相互作用を適切に考慮する。このばねは、圧縮側の関係を取り扱うため、杭先端と地盤間の変位差が引張り状態となった場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。

杭先端ばねの杭軸方向のばねの抵抗力と変位差の関係は、(式 2) および図 3-2 に示す双曲線型の式で設定される。

$$q = z_e / (a_e + b_e \cdot z_e) \quad (\text{式 2})$$

- q : 杭先端抵抗
- $z_e$  : 杭先端変位
- $a_e$  : 基準変位を杭先端における極限支持力で除した値 ( $=0.25D_e / q_{ult}$ )
- $b_e$  : 杭先端における極限支持力の逆数 ( $=1 / q_{ult}$ )
- $D_e$  : 杭径
- $q_{ult}$  : 杭先端における極限支持力

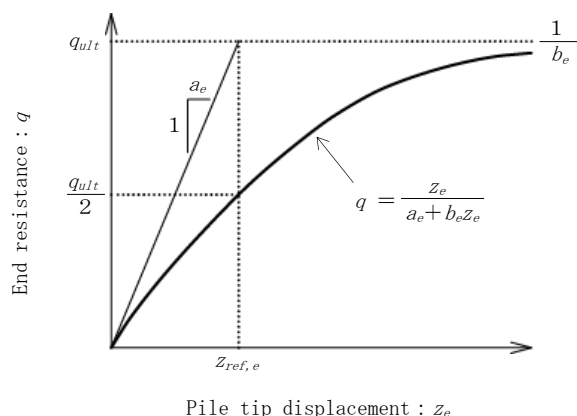


図 3-2 杭先端ばねの杭軸方向のばねの抵抗力と変位差の関係 (Hirayama (1990))

注記\* : Hirayama, H. (1990), "Load-settlement analysis for bored piles using hyperbolic transfer functions", Soils and Foundations, 30(1), 55-64.



【杭-地盤相互作用ばねの杭軸直交方向のばね定数について】

本項では、FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」に記載されている杭-地盤相互作用ばねの杭軸直交方向のばね定数の考え方を示すとともに、柏崎刈羽原子力発電所の構造物への適用性について説明する。

1. 杭-地盤相互作用ばねについて

1.1 杭-地盤相互作用ばねの概要

杭-地盤相互作用ばねのばね定数は、杭周辺地盤のせん断応力-せん断ひずみ関係に基づく杭と地盤の相対変位及び杭と地盤相互のばね力を以下のように設定するものである。

①杭周辺地盤のせん断ひずみ  $\gamma$  より、(式 3) を用いて、杭と地盤の相対変位  $u$  を求める。

$$u = D \times \beta_p \times \gamma \quad (\text{式 3})$$

ここで、

$D$  : 杭径

$\beta_p$  : 地盤のせん断ひずみから杭と地盤の相対変位を求めるための係数

②杭周辺地盤のせん断応力  $\tau$  より、(式 4) を用いて杭と地盤相互のばね力  $F$  を求める。

$$F = L \times D \times \alpha_p \times \tau \quad (\text{式 4})$$

ここで、

$L$  : ばね鉛直方向支配長

$\alpha_p$  : 地盤のせん断応力から杭と地盤相互のばね力を求めるための係数

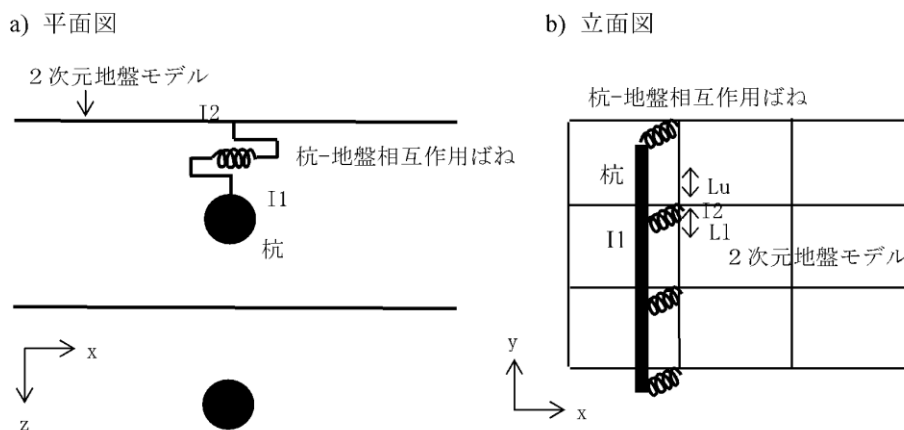


図 4-11-19 杭-地盤相互作用ばねによる 2 次元一体解析の杭モデルと地盤モデルの連結方法 (模式図)

※ I1 は杭-地盤相互作用ばね要素の杭側節点、I2 は地盤側節点、 $L_u$  はばねの上側支配長 (隣接する上側のばねまでの半分の長さ)、 $L_l$  はばねの下側支配長を表す。

注記\* : FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」より抜粋

図 3-3 杭-地盤相互作用ばねのモデル化イメージ

1.2 係数  $\beta_p$  及び係数  $\alpha_p$  の設定について

杭-地盤相互作用ばねの設定に係る係数  $\beta_p$  及び  $\alpha_p$  について、その設定方法を記載する。

- $\beta_p$  : 地盤のせん断ひずみから杭と地盤の相対変位を求めるための係数
- $\alpha_p$  : 地盤のせん断応力から杭と地盤相互のばね力を求めるための係数

杭-地盤系の3次元挙動を分析するため、杭1本分の水平断面と加振直交方向に隣接する杭との中間地点までの地盤からなる単位厚さの水平断面モデルによる解析を実施し、地盤ばねの荷重-変位関係としてモデル化している。図3-4に解析モデルの概念を、図3-5に杭間隔5Dの場合の水平断面モデルを示す。

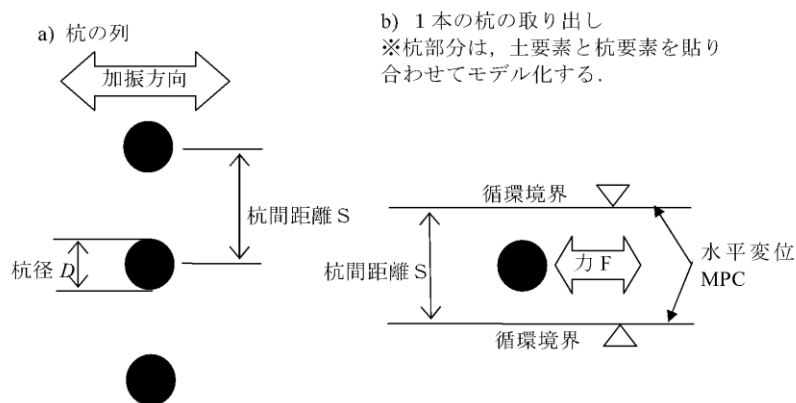
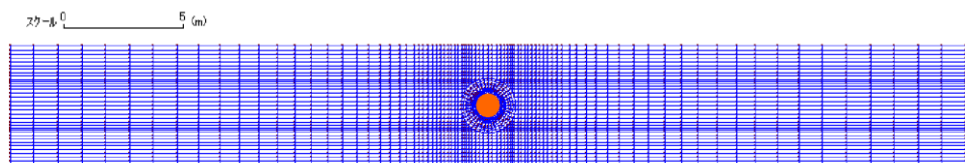


図 4-11-1 杭荷重-相対変位関係を調べるための水平断面モデル<sup>1)</sup>

注記 \* FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」より抜粋

図 3-4 水平断面モデルの概念

b) 杭間隔 5D



注記 \* FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」より抜粋

図 3-5 水平断面モデル (杭間隔 5D)

上記の解析モデルを用いて、複数の杭間隔及び地盤条件に対して圧密解析と杭の水平載荷解析を実施し、地盤ばねの荷重-変位関係を求めている。杭の水平載荷解析により求めた各係数を図 3-6 及び図 3-7 に掲載する。

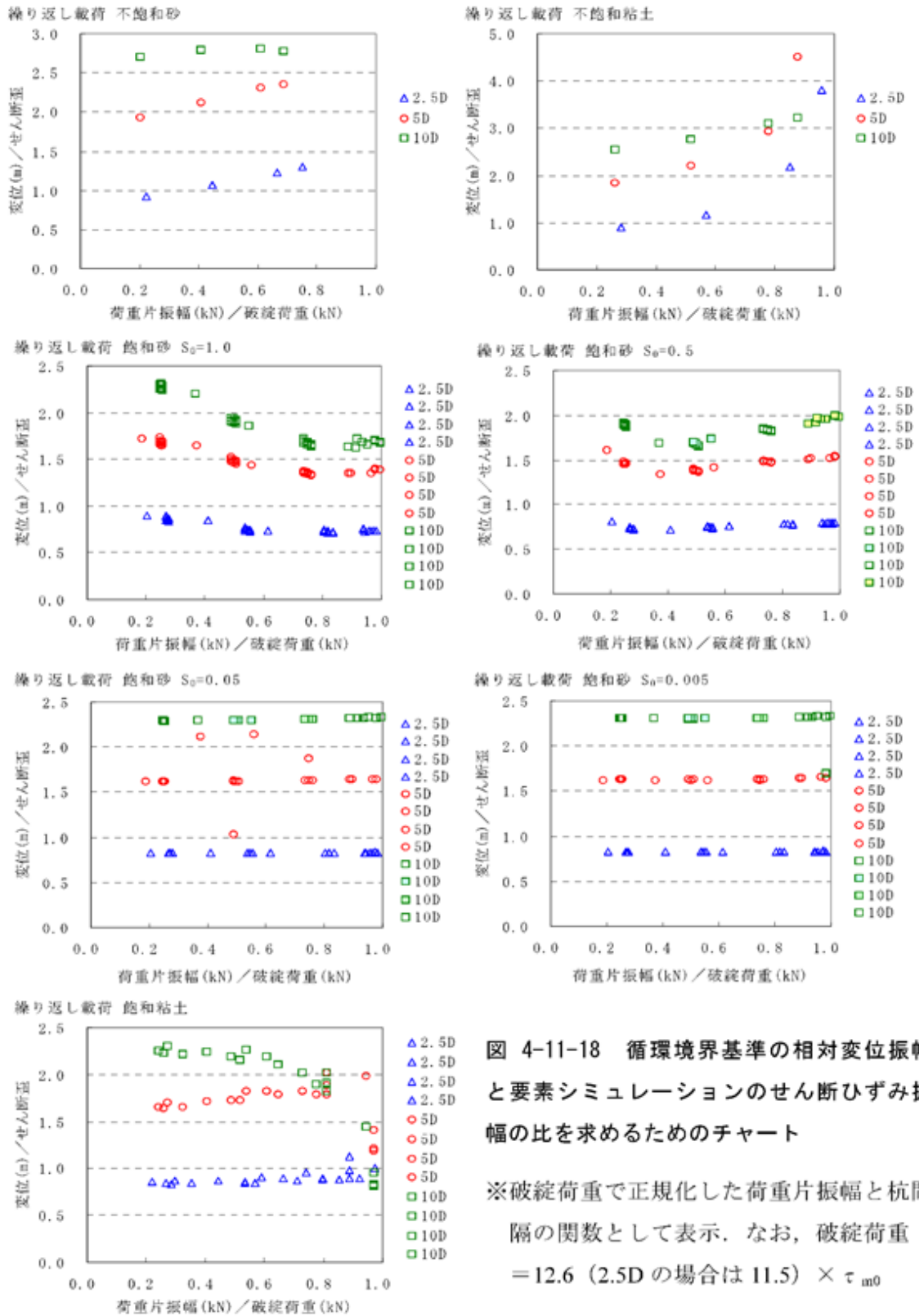


図 4-11-18 循環境界基準の相対変位振幅と要素シミュレーションのせん断ひずみ振幅の比を求めるためのチャート

※破綻荷重で正規化した荷重片振幅と杭間隔の関数として表示. なお, 破綻荷重 = 12.6 (2.5D の場合は 11.5) ×  $\tau_{m0}$

注記\*1 : グラフの Y 軸である“変位(m)/せん断歪”が係数  $\beta_p$  に相当する。

\*2 : FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」より抜粋

図 3-6 杭の水平載荷解析により求めた係数  $\beta_p$  の例

単調載荷 全17ケース×杭間隔3ケース 破綻荷重／初期せん断強度  $\tau_{m0}$

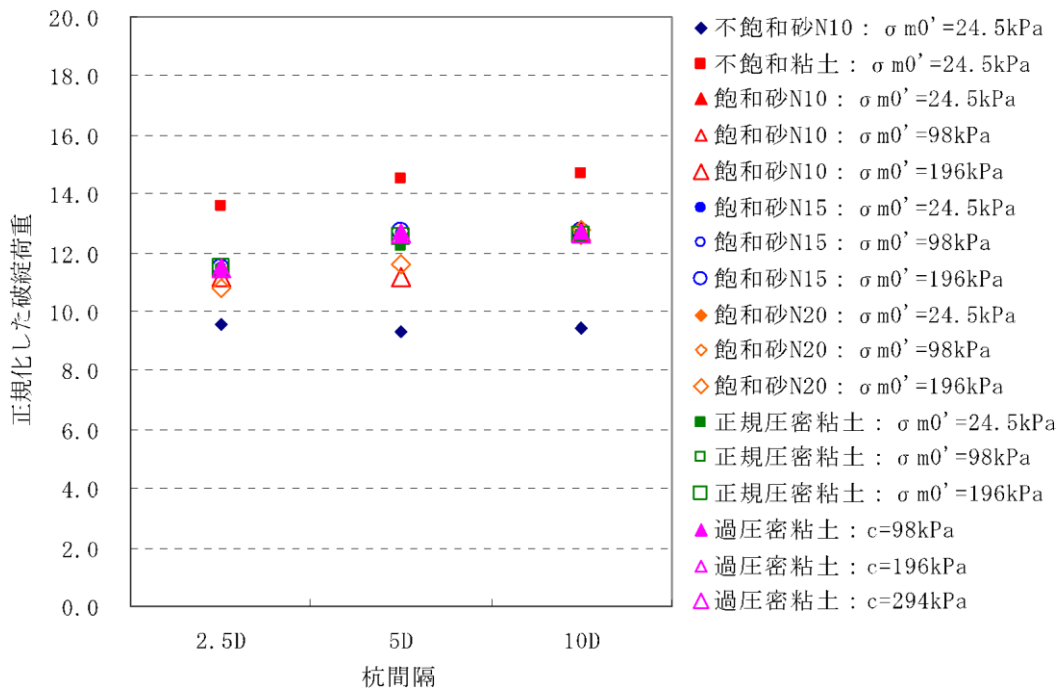


図 4-11-9 単調載荷時の（破綻荷重／初期せん断強度  $\tau_{m0}$ ）の分布

注記\*1 : グラフのY軸である“正規化した破綻荷重”が係数  $\alpha_p$  に相当する。

\*2 : FLIP 研究会 14年間の検討成果のまとめ「理論編」より抜粋

図 3-7 杭の水平載荷解析により求めた係数  $\alpha_p$  の例

2. 杭―地盤相互作用ばねの柏崎刈羽原子力発電所への適用性について

2.1 水平載荷解析における地盤条件について

杭―地盤相互作用ばねの設定に係る水平載荷解析にて検討対象とした地盤条件を表 3-2 に示す。柏崎刈羽原子力発電所の原地盤に対応する砂層（飽和状態）や、過圧密粘土（飽和状態）が対象として含まれていることが分かる。

表 3-2 水平載荷解析における検討対象地盤

表 4-11-1 検討対象とする土質および土の状態の一覧<sup>1)</sup>

間隙水	土質	地盤物性		初期有効拘束圧	過剰間隙水圧比
		等価 N 値 (N <sub>65</sub> )	せん断剛性およびせん断強度	$\sigma_{m0}'$ (kPa)	(%)
地下水以浅 (不飽和状態)	砂	10 相当	等価 N 値より設定	24.5	—
	正規圧密粘土	—	排水正規圧密強度 $\phi_f=30^\circ$	24.5	—
地下水以下 (飽和状態)	砂	10 相当	等価 N 値より設定	24.5	0, 50, 95, 99.5
				98.0	0, 50, 95, 99.5
				196.0	0, 50, 95, 99.5
		15 相当	等価 N 値より設定	24.5	0, 50, 95, 99.5
				98.0	0, 50, 95, 99.5
				196.0	0, 50, 95, 99.5
	20 相当	等価 N 値より設定	24.5	0, 50, 95, 99.5	
			98.0	0, 50, 95, 99.5	
			196.0	0, 50, 95, 99.5	
	正規圧密粘土	—	排水正規圧密強度 $\phi_f=30^\circ$	24.5	—
				98.0	—
196.0				—	
過圧密粘土	—	粘着力 c (小)	196.0	—	
			粘着力 c (中)	196.0	—
			粘着力 c (大)	196.0	—

(飽和砂及び砂礫層)  
新期砂層, 沖積層上部 (砂質), 沖積層下部, A3s 層, A2s 層, A2g 層 (砂質), A1g 層

(飽和粘性土)  
沖積層上部 (シルト質), A3c 層, A3a1 層, A2c 層, A2a1 層, A2g 層 (シルト質), A1c 層

- ※1 等価 N 値 (N<sub>65</sub>) は、有効上載圧が 65kPa の場合に換算した N 値。
- ※2 初期有効拘束圧 ( $\sigma_{m0}'$ ) は、土の想定深度に応じて設定したもので、圧密解析では、この欄で指定の拘束圧で地盤を等方圧密した。
- ※3 地下水位以下の砂地盤の場合、等方圧密後、過剰間隙水圧比欄が 0%, 50%, 95%, 99.5% に応じて液状化フロントパラメータ  $S_0$  をそれぞれ 1.0, 0.5, 0.05, 0.005 に設定し、過剰間隙水圧を所定の値まで上昇させ、その分、有効応力を減じた。この状態から始めて、 $S_0$  の値を保ったまま、杭への水平載荷解析を行った。

注記\* : FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」に一部加筆

## 2.2 水平載荷解析における杭間隔についての検討

杭の水平載荷解析では杭間隔 2.5D～10D の範囲を検討対象としている。これに対して、有効応力解析による耐震評価を実施する柏崎刈羽原子力発電所の杭基礎構造物について、その平均杭間隔を表 3-3 に示す。

柏崎刈羽原子力発電所の杭基礎構造物の平均杭間隔は約 2.5D～約 5D であり、水平載荷解析の検討範囲内である。

表 3-3 柏崎刈羽原子力発電所の杭基礎構造物における平均杭間隔

施設区分	施設名称		平均杭間隔 (断面奥行方向)
屋外重要土木構造物	7号機 軽油タンク基礎	NS 方向	3.1D
		EW 方向	2.8D
	7号機 燃料配管系配管ダクト	NS 方向	5.1D
		EW 方向	2.8D
	第一ガスタービン発電機基礎	NS 方向	2.5D
		EW 方向	2.5D
	第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎	NS 方向	3.0D
		EW 方向	3.1D

注： Dは杭径を表す。

(参考資料 9) 地質区分の詳細について

1. 概要

本項では、工事計画認可申請における地質区分の考え方、地質区分の細分化の詳細、設置変更許可申請段階における地質学的な地質区分と解析用地質区分の関係について述べる。

2. 工事計画認可申請における地質区分

工事計画認可申請における地質区分は、表 2-1 に示す設置変更許可申請段階で示した地質層序表に基づき設定することを基本とする。

工事計画認可申請では、設置変更許可申請以降に実施した追加の地質調査も踏まえ、各地質区分の粒度分布、堆積環境及び分布範囲を踏まえ、地質学的観点及び工学的観点から検討を行い、必要に応じて地層区分を細分化する。

表 2-1 設置変更許可申請書の地質層序表

時代	地層名	主な層相・岩質	テフラ・放射年代 <sup>※1</sup>		
第四紀	完新世	新期砂層・沖積層	灰白色～茶褐色の細～中粒砂，シルト層を挟在 一部は腐植質	← 腐植 (9, 910 ± 30年前)	
	後期	番神砂層	灰白色～赤褐色の中～粗粒砂		
		大湊砂層	褐色～黄褐色の中～粗粒砂， シルトの薄層を含む		
	更新世	中期	A <sub>4</sub> 部層	最上部は砂 粘土～シルト，砂を多く挟む	← 刈羽テフラ(約20万年前)
			A <sub>3</sub> 部層	粘土～シルト 縞状粘土，有機物，砂を伴う，貝化石を含む	
		A <sub>2</sub> 部層	粘土～シルト 砂，厚い砂礫，有機物を挟む	← Ata-Th (約24万年前)	
		A <sub>1</sub> 部層	粘土～シルト 砂，砂礫を挟む	← Kkt (約33～34万年前)	
	前期	灰爪層	凝灰質泥岩，凝灰質砂岩，凝灰岩	← Iz (約150万年前)	
		西山層	N <sub>3</sub> 部層	砂質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 貝化石を含む	← Fup (約220万年前)
			N <sub>2</sub> 部層	シルト質泥岩 縞状泥岩，凝灰岩，ノジュールを多く挟む	← Tsp (約230万年前) ← Az (約240万年前)
	鮮新世	N <sub>1</sub> 部層	シルト質～粘土質泥岩 砂岩，凝灰岩，ノジュールを挟む 珪質海綿化石を含む	← Nt-17 (340 ± 20万年前) ← Nt-7 (350 ± 20万年前)	
新第三紀	後期	椎谷層	砂岩，砂岩・泥岩互層，細礫岩等を挟む		
	中期	寺泊層	黒色泥岩，砂岩・泥岩互層		

※1 テフラの名称・年代は、岸ほか (1996) などによる。  
 ※2 安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物に対する仮称。

~~~~~ 不整合

なお、設置変更許可申請段階の地質区分のうち、古安田層については、表 2-2 に示すとおり、層相毎に「粘性土」、「粘性土・砂質土互層」、「砂質土」、「礫層」と区分していた。工事計画認可申請においては、簡便のため、それぞれの層相の名称を表 2-2 に示す対応とする。

表 2-2 工事計画認可申請における古安田層の呼称

| 時代  |     | 設置変更許可申請段階における地質区分 |                   | 工事計画認可申請における呼称 | 層相         |         |
|-----|-----|--------------------|-------------------|----------------|------------|---------|
| 第四紀 | 更新世 | 古安田層               | A <sub>3</sub> 部層 | 粘性土            | A3c 層      | シルト     |
|     |     |                    |                   | 粘性土・砂質土互層      | A3a1 層     | 砂・シルト互層 |
|     |     |                    |                   | 砂質土            | A3s 層      | 砂       |
|     |     | A <sub>2</sub> 部層  | 粘性土               | A2c 層          | シルト        |         |
|     |     |                    | 粘性土・砂質土互層         | A2a1 層         | 砂・シルト互層    |         |
|     |     |                    | 砂質土               | A2s 層          | 砂          |         |
|     |     |                    | 礫層                | A2g 層          | 砂礫         |         |
|     |     | A <sub>1</sub> 部層  | 粘性土               | A1c 層          | シルト        |         |
|     |     |                    | 礫層*               | A1g 層*         | シルト質砂礫～砂礫* |         |

注記\* : A1 部層の礫層については、設置変更許可申請段階の地質断面図には出現していない。

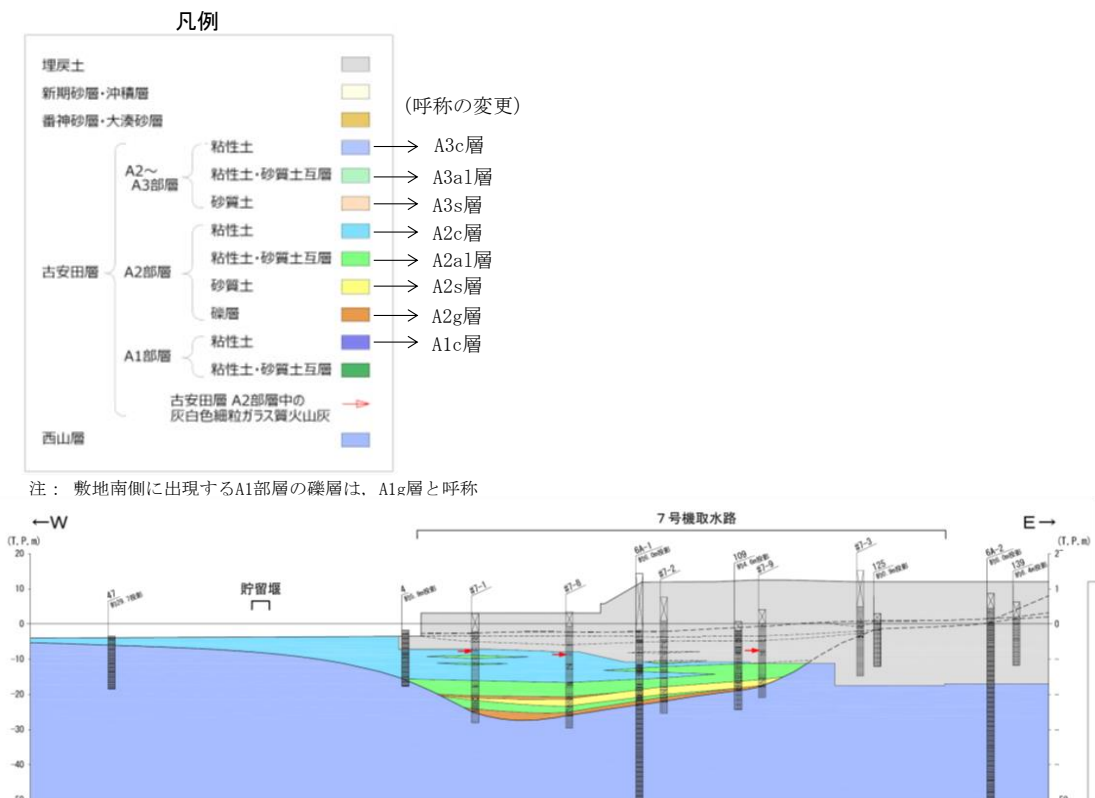


図 2-1 設置変更許可申請段階における地質断面図と地質区分の呼称

(発電用原子炉設置変更許可申請 (原管発官 25 第 192 号) に係る審査資料の  
第 4 条：地震による損傷の防止 別紙-11：液状化影響の検討方針について (耐震) より抜粋)



### 3. 地質区分の細分化の検討

#### 3.1 敷地内地質調査による各地質区分の粒度分布

図 3-1 に、設置変更許可申請以降の調査も含めた物理試験調査孔の位置図を示す。図 3-2 に、細分化を行う前の設置変更許可申請段階の地質区分で整理した粒度分布を示す。

同図より、各地質区分のうち、古安田層の「A3 部層の粘性土層 (A3c 層)」、  
「A2 部層の粘性土層 (A2c 層)」及び「A1 部層の粘性土層 (A1c 層)」は、すべての試料の細粒分含有率  $F_c$  が 35% を超えており、シルトが主体的である。「A3 部層の粘性土・砂質土互層 (A3a1 層)」及び「A2 部層の粘性土・砂質土互層 (A2a1 層)」は、粘性土、砂質土の互層のため、粘性土主体で一部砂質土を含む。「A3 部層の砂質土層 (A3s 層)」及び「A2 部層の砂質土層 (A2s 層)」は、平均的な粒度分布は細粒分含有率  $F_c$  が 35% 以上であるものの、細粒分含有率  $F_c$  が 35% を下回る砂質土を多く含むことを確認した。

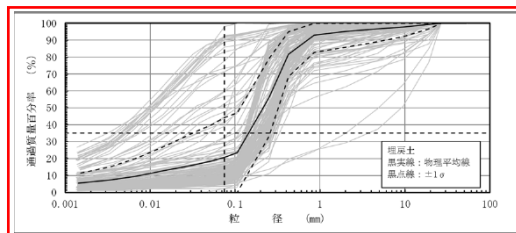
上記に示した地質区分については、粒度分析の結果が地質学的な層相区分と整合しており、工学的観点からも区分の妥当性を確認した。

一方、「埋戻土」、「新期砂層・沖積層」、古安田層の「A2g 層」及び「A1g 層」については、粒度分布の偏り、または、3.2 に後述するように堆積環境に起因する性状の差異が認められる。このため、これらの地質区分については、設置変更許可申請段階の地質区分から、地質学的観点および工学的観点から、細分化を検討する。

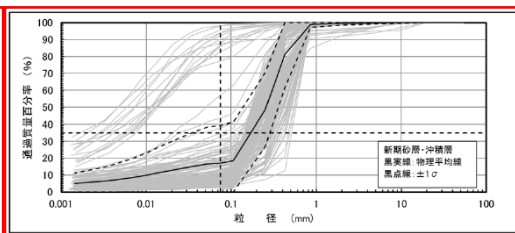
ただし、敷地南側に出現する A1g 層については、図 3-3 に示すように分布範囲が対象施設（第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎）から十分に離れており、耐震評価における影響は小さいと考えられる。このため、A1g 層については、細粒分含有率が多いものの、設計上の配慮として全体を礫層（液状化検討対象層）として扱う。



図 3-1 敷地内の物理試験調査孔位置図

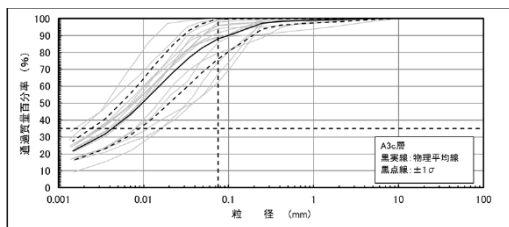


(a) 埋戻土 [埋戻土・埋戻土II]

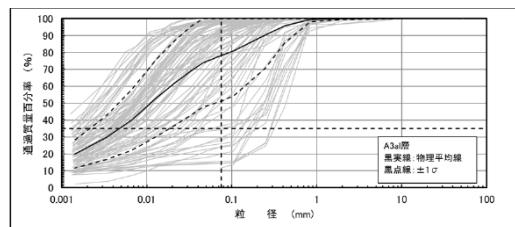


(b) 新期砂層・沖積層 [新期砂層・沖積層上部(シルト質)・沖積層上部(砂質)・沖積層下部]

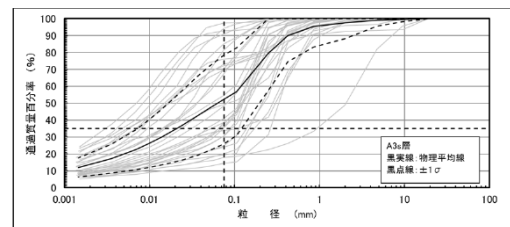
   : 地質区分の細分化を検討する地層



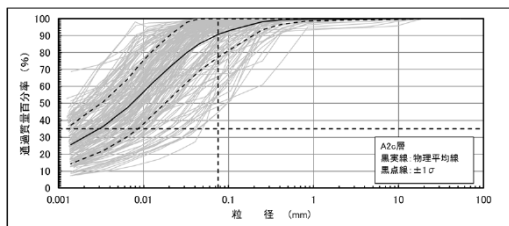
(c) A3部層粘性土 [A3c層]



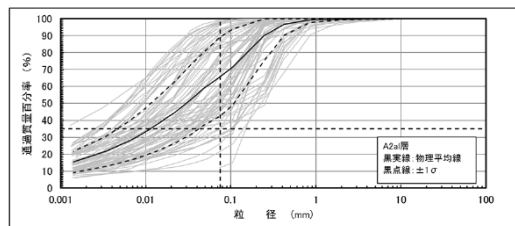
(d) A3部層粘性土・砂質土互層 [A3al層]



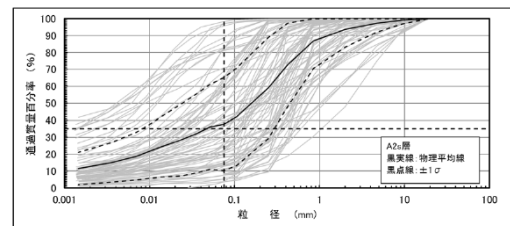
(e) A3部層砂質土 [A3s層]



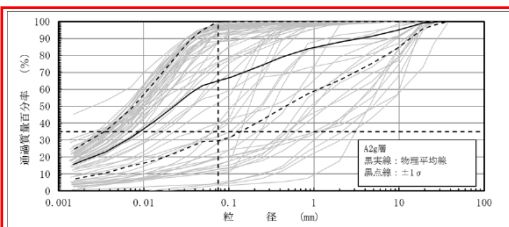
(f) A2部層粘性土 [A2c層]



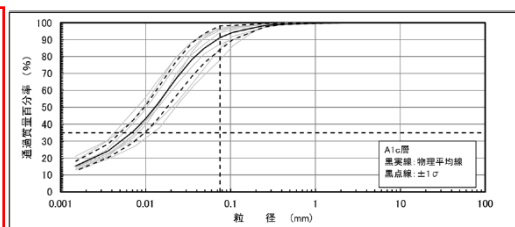
(g) A2部層粘性土・砂質土互層 [A2al層]



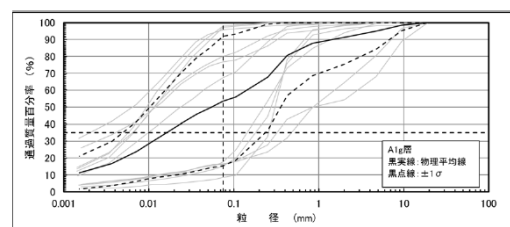
(h) A2部層砂質土 [A2s層]



(i) A2部層礫層 [A2g層]



(j) A1部層粘性土 [A1c層]



(k) A1部層粘性土・砂質土互層 [A1g層]

注：〔 〕内は工事計画認可申請における地質区分の呼称を示す。

図 3-2 設置変更許可申請段階（細分化前）の地質区分で整理した粒度分布

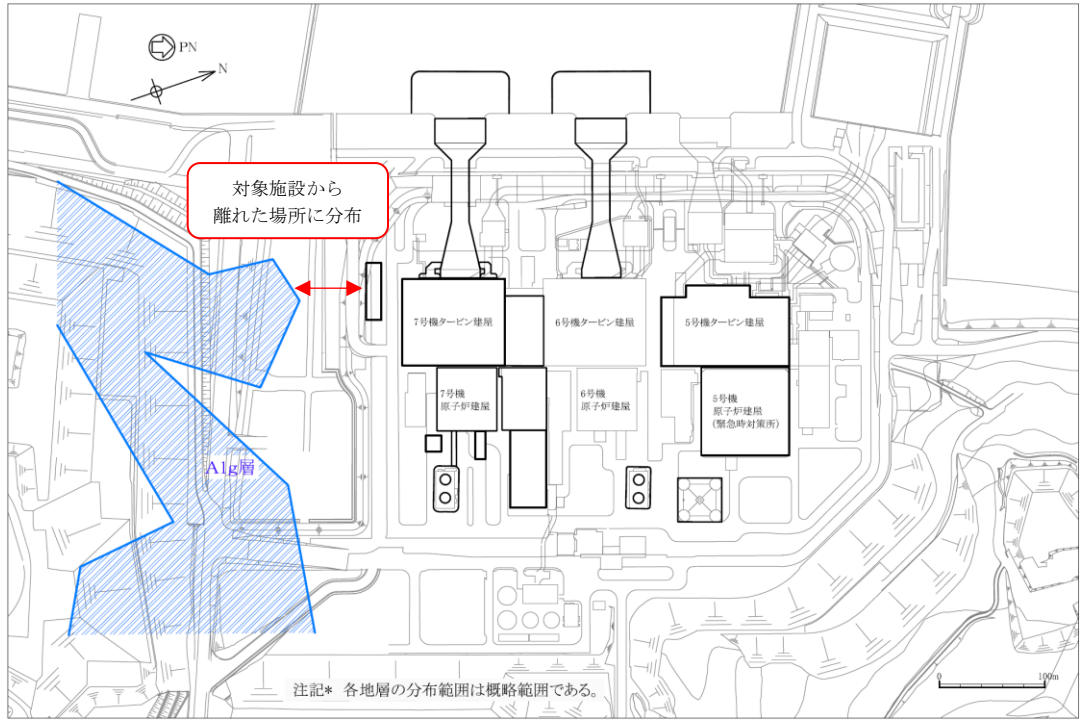


図 3-3 A1g 層の出現範囲

### 3.2 地質区分の細分化

設置変更許可申請段階の地質区分のうち、「埋戻土」、「新期砂層・沖積層」及び古安田層の「A2部層の礫層（A2g層）」について、地質区分の細分化を検討する。

#### 3.2.1 埋戻土

##### (1) 分布範囲

埋戻土は、発電所建設時における敷地の掘削土を起源とする埋戻し材料であり、敷地全体に分布している。その多くが砂を主体とした性状であるが、6号機軽油タンク基礎周辺の埋戻土は、西山層岩砕を起源とした埋戻し材料であり、シルトを主体としており、これを埋戻土Ⅱとして区分する。埋戻土及び埋戻土Ⅱの概略分布を図3-4に示す。

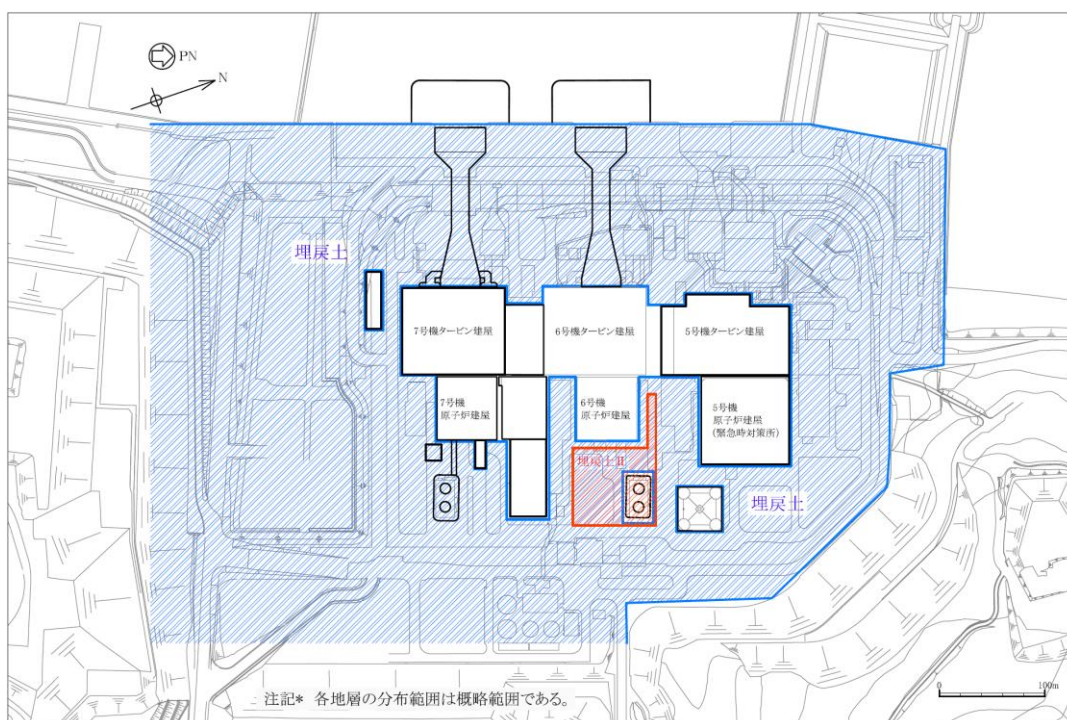


図 3-4 埋戻土及び埋戻土Ⅱの概略分布

##### (2) 地質学的観点（コア観察）

埋戻土と埋戻土Ⅱのコア写真を図3-5に示す。埋戻土は、砂を主体としており茶褐色を呈し、まれに礫やシルトを含む。一方、埋戻土Ⅱは、シルト主体で灰白色を呈し、一部茶褐色を呈し砂を含む。色調や性状からも両者には明確な違いが認められる。



(a) 埋戻土のコア写真 (GTG-P2)



(b) 埋戻土Ⅱのコア写真 (S0-P3)

図 3-5 埋戻土・埋戻土Ⅱのコア写真

(3) 工学的観点 (粒度分析結果)

コア観察で性状の異なる2種の埋戻土の粒度分布を図 3-6 に示す。粒度分析の結果、埋戻土は砂質土を主体としているのに対し、埋戻土Ⅱは粘性土を主体としていることが確認された。埋戻土の細粒分含有率は15.5%，埋戻土Ⅱは90.6%である。これより、6号機軽油タンク基礎周辺におけるシルトを主体とした埋戻土については、有効応力解析において適切な評価を行うため、地質区分を埋戻土Ⅱとして区分した。

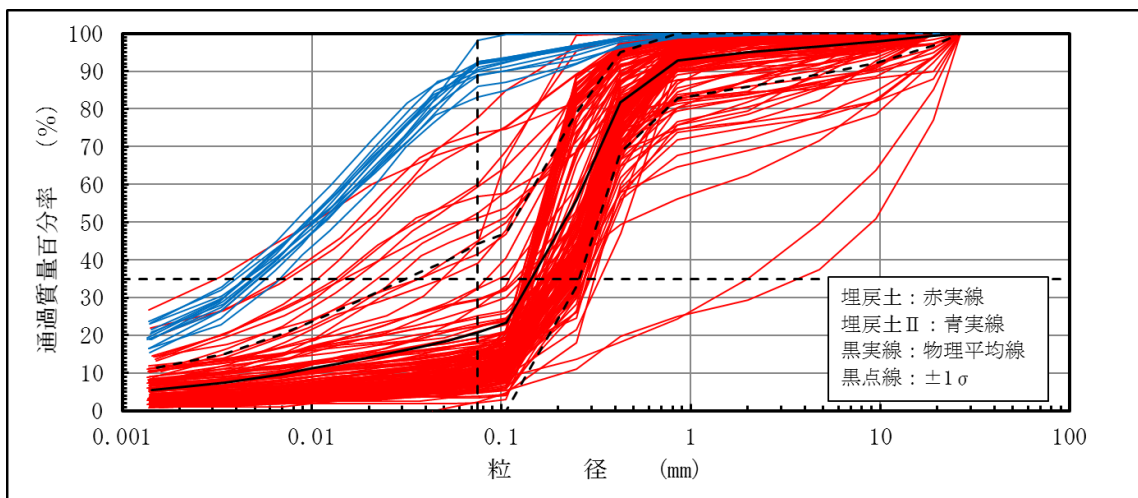


図 3-6 埋戻土と埋戻土Ⅱの粒度分布

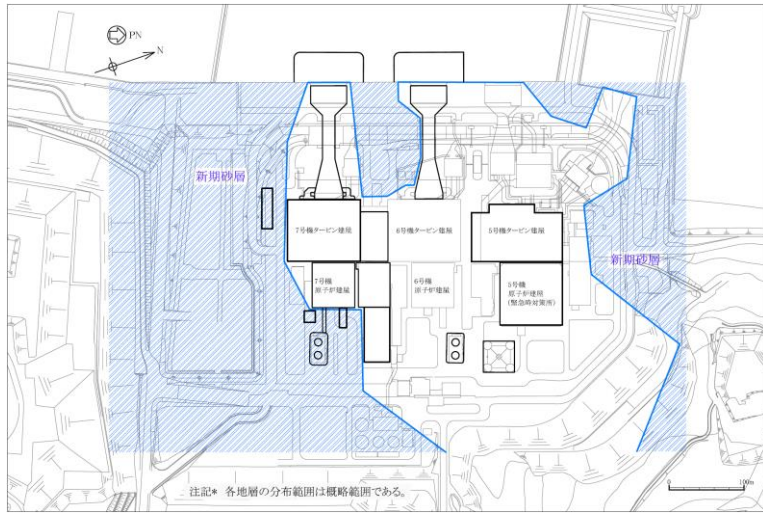
### 3.2.2 新期砂層・沖積層

#### (1) 分布範囲

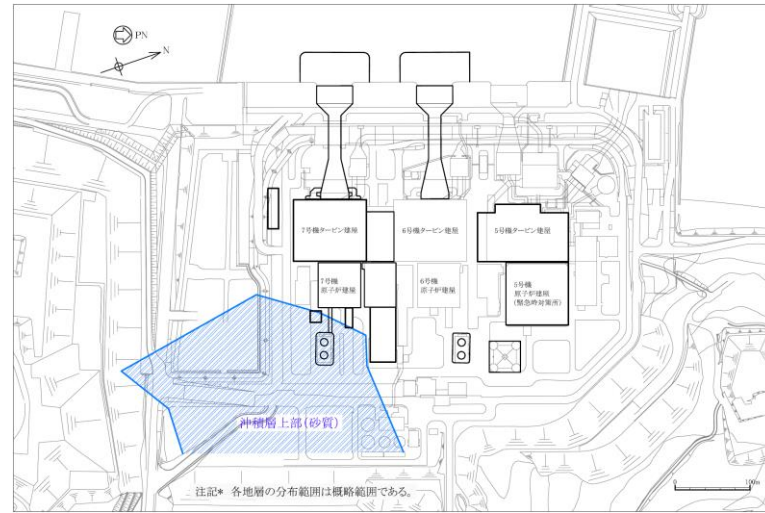
新期砂層・沖積層は、敷地に広く分布する砂を主体とする地層であり、沖積層は主に敷地南側に、新期砂層は沖積層や古安田層を覆って敷地全体に分布する。

地質学的観点から、下位より沖積層下部、沖積層上部、新期砂層に区分する。さらに、沖積層上部については、砂主体の沖積層上部（砂質）とシルト主体の沖積層上部（シルト質）に区分する。

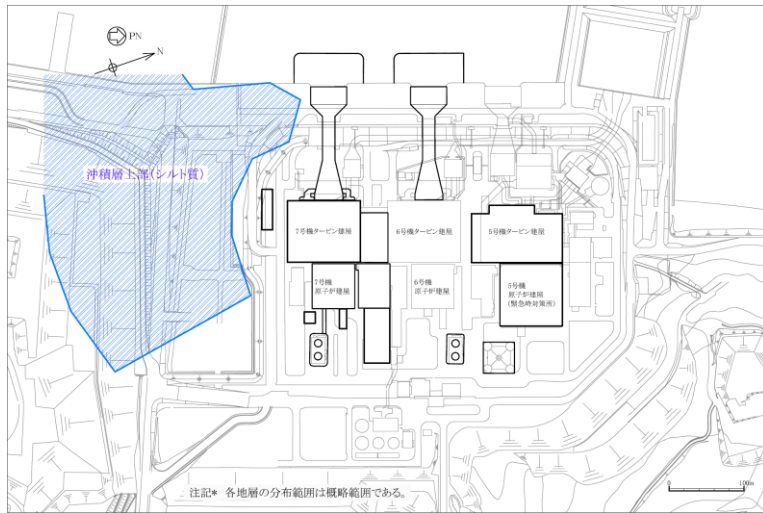
新期砂層、沖積層上部（砂質）、沖積層上部（シルト質）及び沖積層下部の概略分布を図3-7に示す。



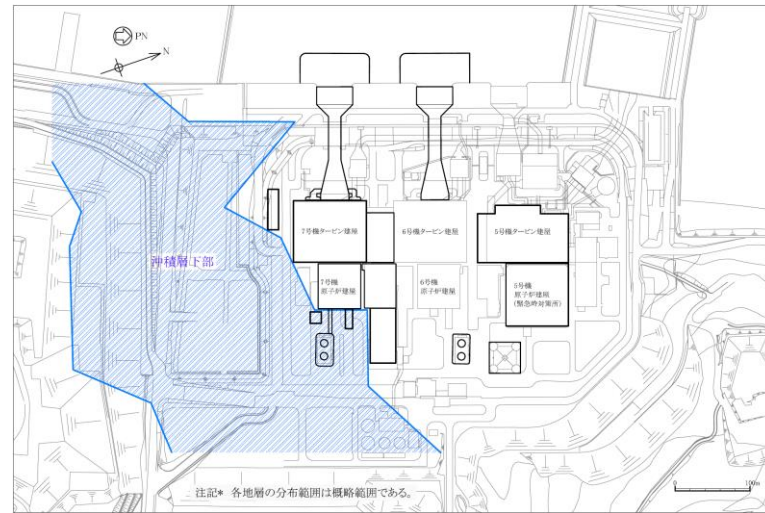
(a) 新期砂層



(b) 沖積層上部 (砂質)



(c) 沖積層上部 (シルト質)



(d) 沖積層下部

図 3-7 新期砂層，沖積層上部（砂質），沖積層上部（シルト質）及び沖積層下部の概略分布



(2) 地質学的観点（コア観察）

沖積層下部, 沖積層上部（砂質）, 沖積層上部（シルト質）及び新期砂層のコア写真を図 3-8 に示す。沖積層下部は砂を主体としており黄褐色を呈し, シルト分を若干含む。沖積層上部（砂質）は砂を主体としており黄褐色を呈し, シルトの薄層を挟む。沖積層上部（シルト質）はシルト～腐植質シルトを主体としており暗灰色を呈する。新期砂層は砂を主体としており暗灰～黒褐色を呈する。



(a) 沖積層下部 (S0-P1)



(b) 沖積層上部（砂質）(S0-P1)



(c) 沖積層上部（シルト質）(GTG-P5)



(d) 新期砂層のコア写真 (S0-P1)

図 3-8 沖積層下部, 沖積層上部（砂質）, 沖積層上部（シルト質）及び新期砂層のコア写真

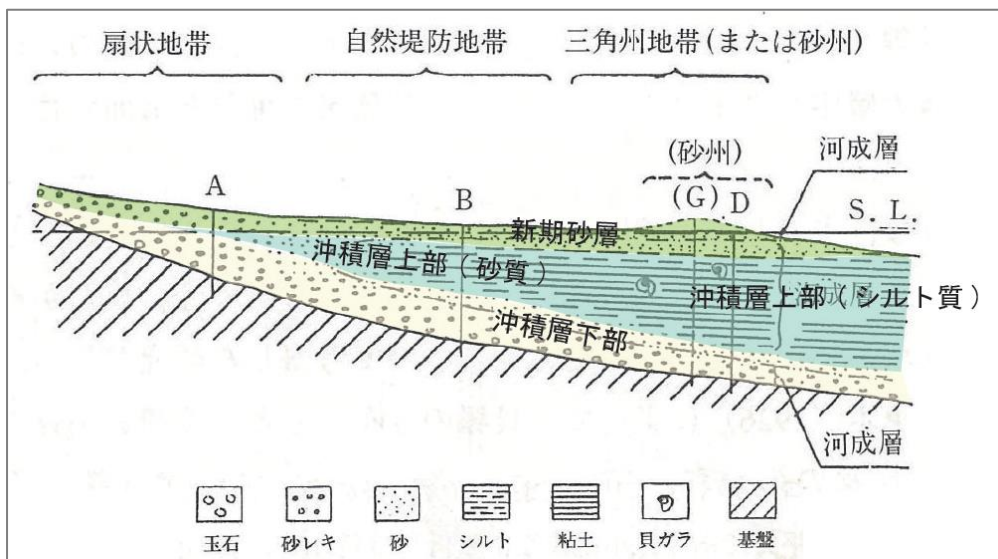
(3) 地質学的観点（堆積環境）

新期砂層・沖積層は、その堆積メカニズムから沖積層下部、沖積層上部及び新期砂層に細分化できる。図 3-9 に沖積層の模式断面図を示す。

沖積層下部は、砂を主体とする堆積物であり、河成堆積物と判断される。沖積層上部は、砂～シルトからなり、河成～湖沼成堆積物（淡水～汽水）と判断される。新期砂層は、沖積層上部及び沖積層下部を覆う砂を主体とする堆積物であり、主に砂丘堆積物と判断される。

このうち沖積層上部については、砂主体の地層とシルト主体の地層が認められる。沖積層上部（砂質）と沖積層上部（シルト質）の層相の違いは、図 3-9 に示すような同年代における堆積環境の違いによるものと考えられ、沖積層上部（砂質）は、相対的に内陸部に位置する軽油タンク付近に分布し、沖積層上部（シルト質）は海側に位置する第一ガスタービン発電機付近に分布する。

したがって沖積層上部については、有効応力解析を実施するにあたり、砂主体の地層を沖積層上部（砂質）とし、シルト主体の地層を沖積層上部（シルト質）に細分化した。



注：池田(1964)に一部加筆

図 3-9 沖積層の模式断面図

(4) 工学的観点（粒度分析結果）

沖積層上部（シルト質）と沖積層上部（砂質）の粒度分布を図 3-10 に示す。粒度分析の結果、沖積層上部（シルト質）は粘性土を主体としているのに対し、沖積層上部（砂質）は砂質土を主体としていることが確認された。沖積層上部（シルト質）の細粒分含有率は 94.7%，沖積層上部（砂質）は 31.0%である。

これより、沖積層上部については、有効応力解析において適切な評価を行うため、地質区分を沖積層上部（シルト質）と沖積層上部（砂質）として区分した。

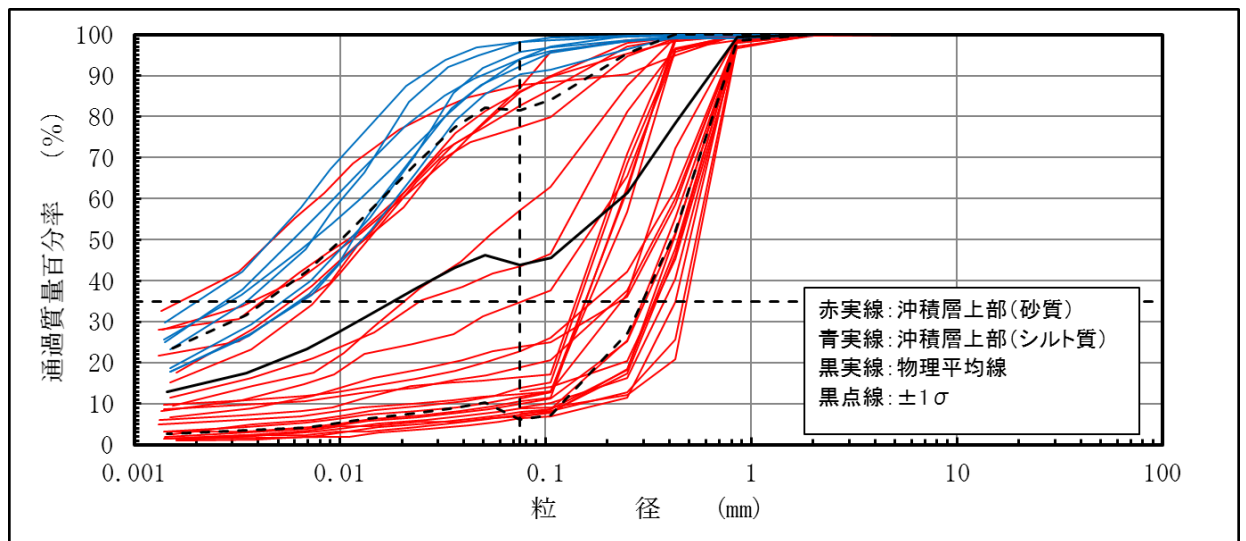
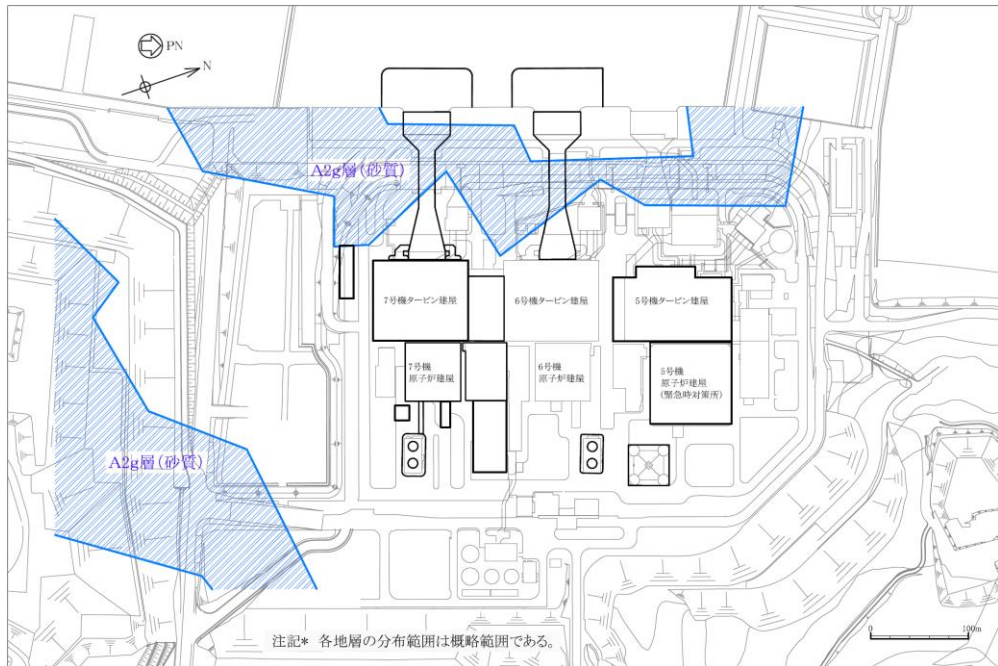


図 3-10 沖積層上部（シルト質）と沖積層上部（砂質）の粒度分布

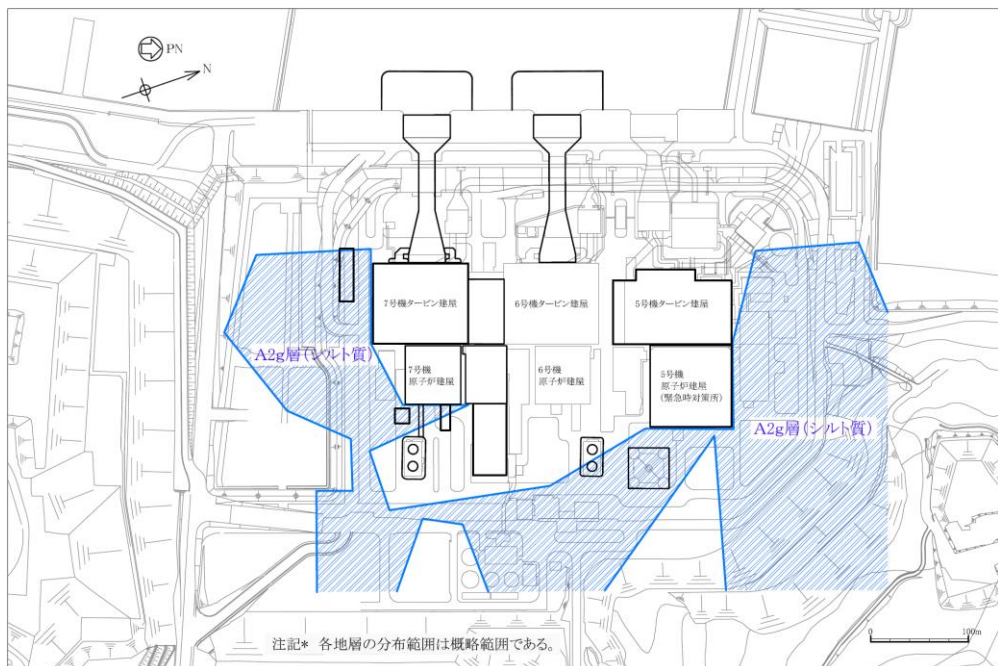
### 3.2.3 古安田層 A2 部層 礫層 (A2g 層)

#### (1) 分布範囲

古安田層 A2 部層 礫層 (A2g 層) は、対象施設直下及び直近において西山層を覆う礫層である。地質学的観点から、A2g 層のうち、砂や砂礫を主体とする地層を A2g 層 (砂質) とし、シルトを主体とする地層を A2g 層 (シルト質) として区分する。分布範囲を図 3-11 に示す。



(a) A2g 層 (砂質)



(b) A2g 層 (シルト質)

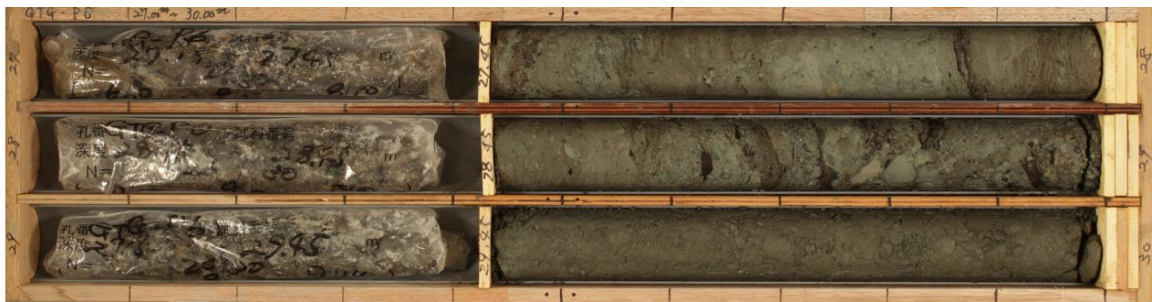
図 3-11 A2g 層 (砂質) 及び A2g 層 (シルト質) の概略分布

(2) 地質学的観点（コア観察）

A2g 層（砂質），A2g 層（シルト質）のコア写真を図 3-12 に示す。A2g 層（砂質）は、灰色を呈し、砂や砂礫からなり礫は硬質礫を主体とする。一方，A2g 層（シルト質）は、オリーブ灰色を呈し、基質はシルトで硬質礫は少なく泥岩礫が多い。



(a) A2g 層（砂質）のコア写真（FS02-P2）



(b) A2g 層（シルト質）（GTG-P6）

図 3-12 A2g 層（砂質）及び A2g 層（シルト質）のコア写真

(3) 地質学的観点（堆積環境）

A2g 層は、A2 部層の堆積サイクルにおいて砂礫を主体とする地層であるが、一部に基盤岩の西山層が礫状～土砂状を呈し多く含むところが認められる。図 3-13 に A2g 層の堆積模式図を示す。

A2g 層は、谷底部において川の流れて運搬された砂や砂礫を主体とするが、斜面部では西山層が崩れた泥岩礫やシルトを多く含むと考えられ、堆積環境により砂主体の堆積物とシルト主体の堆積物が認められる。

図 3-14 に示すように A2g 層（砂質）は西山層上限面の谷を埋めて認められることが多く取水路付近に分布し、A2g 層（シルト質）は西山層上限面の斜面に認められることが多く、第一ガスタービン発電機付近や軽油タンク付近に分布する。

したがって A2g 層については、有効応力解析を実施するにあたり、砂や砂礫を主体とする A2g 層（砂質）とシルトや泥岩礫を主体とする A2g 層（シルト質）に細分化した。

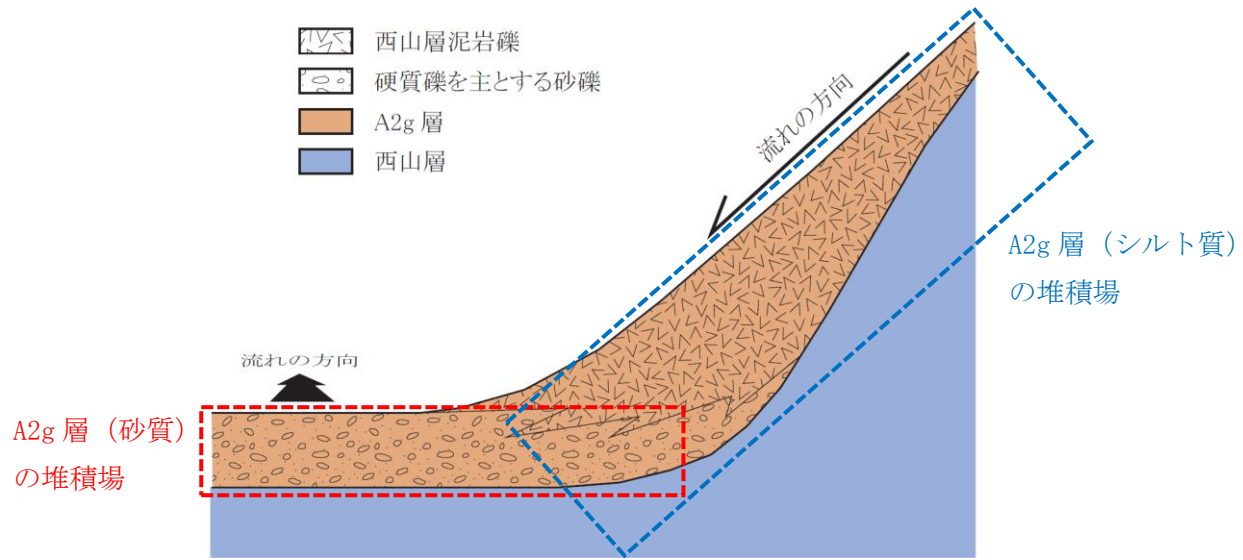


図 3-13 A2g層の堆積模式図

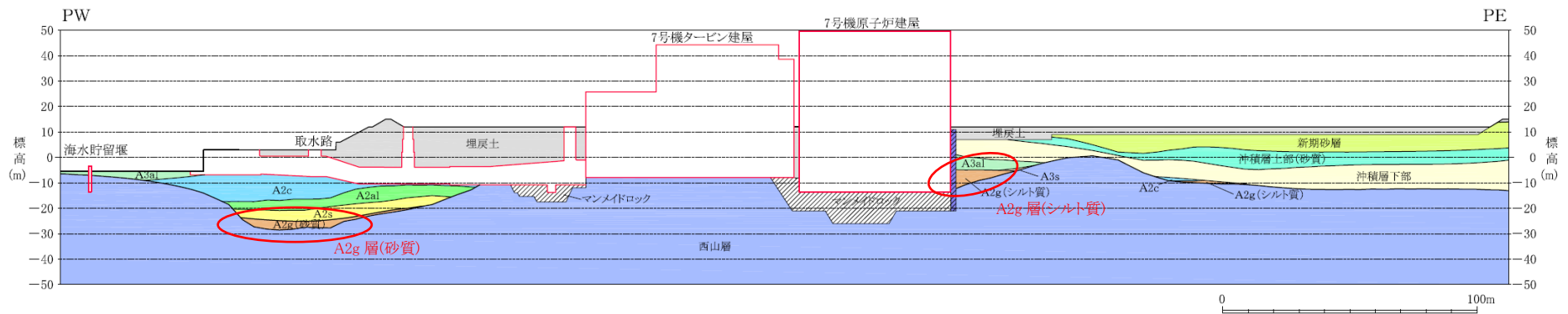


図 3-14 汀線直交 地質断面図 (原子炉建屋炉心直交) (再掲)

(4) 工学的観点（粒度分析結果）

A2g層（シルト質）とA2g層（砂質）の粒度分布を図3-15に示す。粒度分析の結果、A2g層（シルト質）は粘性土を主体としているのに対し、A2g層（砂質）は砂質土を主体としていることが確認された。A2g層（シルト質）の細粒分含有率は77.6%、A2g層（砂質）は26.5%である。

これより、A2g層については、有効応力解析において適切な評価を行うため、地質区分をA2g層（シルト質）とA2g層（砂質）として区分した。

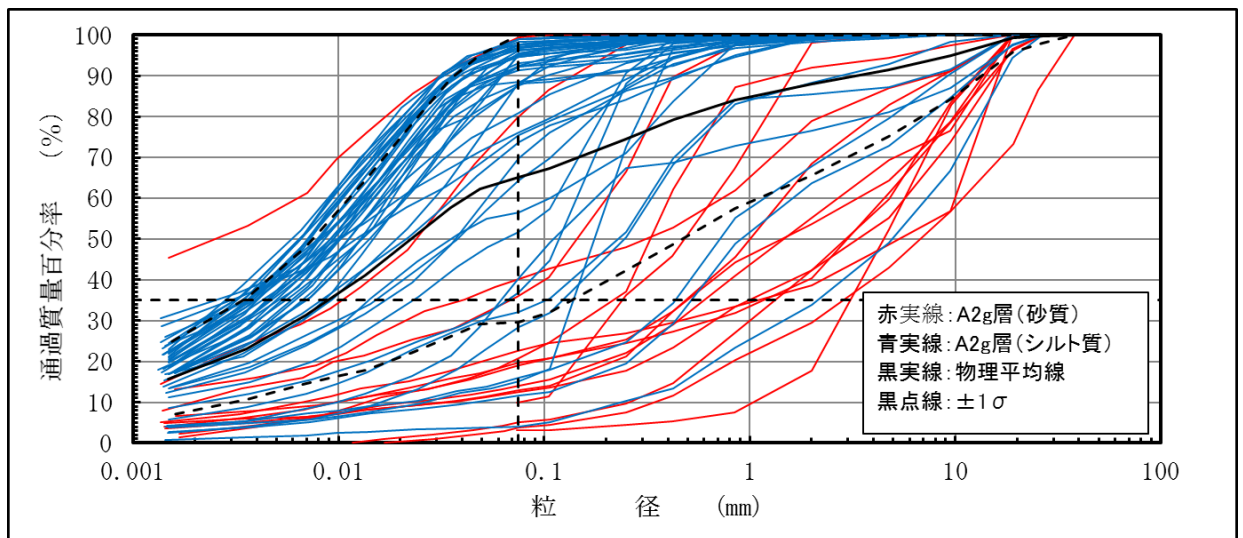


図 3-15 A2g層（シルト質）とA2g層（砂質）の粒度分布

### 3.2.4 まとめ

工事計画認可申請における地質区分は、設置変更許可申請段階の地質区分を基本とする。このうち、「埋戻土」、「新期砂層・沖積層」、「古安田層のA2部層の礫層」については、分布範囲の特徴及び粒度分布により、地質学的観点及び工学的観点から地層区分を細分化することが適切であると判断した。表 3-1 に、工事計画認可申請における有効応力解析に用いる地質区分を示す。

表 3-1 工事計画認可申請における有効応力解析に用いる地質区分

| 時代          | 設置変更許可申請書<br>における地質区分                 |                   | 工事計画認可申請<br>における地質区分            | 主な層相       |           |
|-------------|---------------------------------------|-------------------|---------------------------------|------------|-----------|
| —           | 埋戻土<br><small>粒度分析による細分化</small>      |                   | 埋戻土                             | 砂          |           |
|             |                                       |                   | 埋戻土Ⅱ                            | シルト        |           |
| 完<br>新<br>世 | 新期砂層・沖積層<br><small>堆積環境による細分化</small> |                   | 新期砂層                            | 砂          |           |
|             |                                       |                   | 沖積層上部(シルト質)                     | シルト        |           |
|             |                                       |                   | 沖積層上部(砂質)                       | 砂          |           |
|             |                                       |                   | 沖積層下部                           | 砂          |           |
| 第<br>四<br>紀 | 更<br>新<br>世                           | A <sub>3</sub> 部層 | 粘性土                             | A3c層       | シルト       |
|             |                                       |                   | 粘性土・砂質土互層                       | A3a1層      | 砂・シルト互層   |
|             |                                       |                   | 砂質土                             | A3s層       | 砂         |
|             |                                       | A <sub>2</sub> 部層 | 粘性土                             | A2c層       | シルト       |
|             |                                       |                   | 粘性土・砂質土互層                       | A2a1層      | 砂・シルト互層   |
|             |                                       |                   | 砂質土                             | A2s層       | 砂         |
|             |                                       |                   | 礫層<br><small>堆積環境による細分化</small> | A2g層(シルト質) | シルト質砂礫    |
|             |                                       |                   |                                 | A2g層(砂質)   | 砂礫        |
|             |                                       | A <sub>1</sub> 部層 | 粘性土                             | A1c層       | シルト       |
|             |                                       |                   | 礫層                              | A1g層       | シルト質砂礫～砂礫 |

  : 工事計画認可申請において細分化する地層



4. 設置変更許可段階で示した地質学的な地質区分と解析用地質区分の関係について

前述 2. で示した設置変更許可申請段階の地質区分は、地質層序表に基づき設定した地質区分『地質学的な地質区分』である。一方、設置変更許可申請段階においては、この他、耐震評価に用いる地質区分として『解析用地質区分』を設定していた。これは、既工認にて各地質区分の力学的特性に応じて設定された地質区分である。設置変更許可申請段階における地質学的な地質区分と解析用地質区分の関係を表 4-1 に示す。

工事計画認可申請では、有効応力解析を実施するにあたり、設置変更許可申請段階の地質層序表に基づく地質学的な地質区分を基本とする。

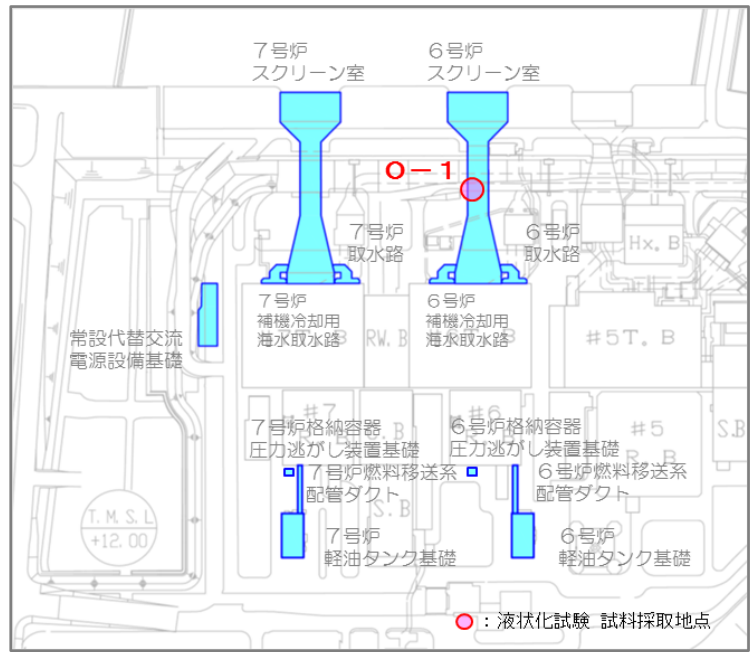
なお、設置変更許可申請段階で示した『大湊側：0-1 地点』（図 4-1 参照）における液状化強度試験は、解析用地質区分の洪積砂質土層（Ⅰ）及び洪積砂質土層（Ⅱ）にて採取した試料に対して実施されたものであり、工事計画認可申請における地質区分では A2s 層に該当する。このため、大湊側：0-1 地点の液状化強度試験の結果は、工事計画認可申請における A2s 層の液状化強度試験の試験結果に反映している。

表 4-1 設置変更許可申請段階における解析用地質区分との対応関係

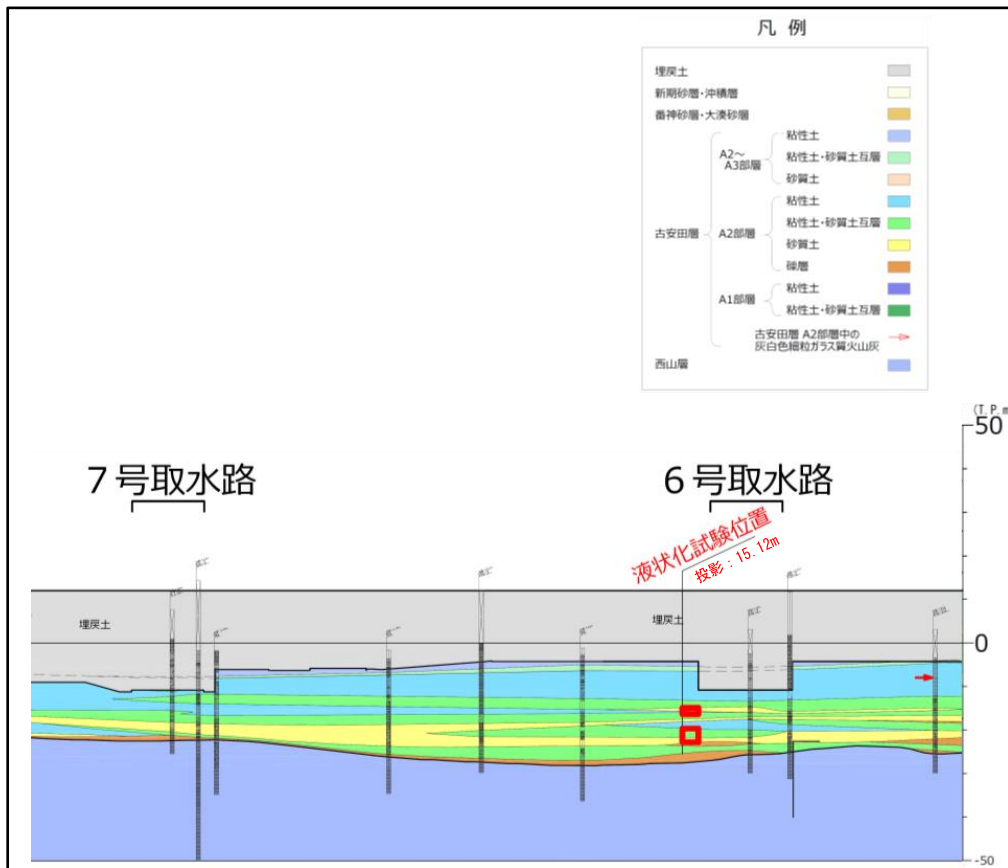
| 時代  |     | 設置変更許可申請段階における地質学的な地質区分 |                   | 大湊側：6,7号機 取水路         |                            |          |
|-----|-----|-------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|----------|
|     |     |                         |                   | 設置変更許可申請段階における解析用地質区分 | 工事計画認可申請における地質区分（有効応力解析用）  |          |
| —   |     | 埋戻土                     |                   | 埋戻土                   | 埋戻土                        |          |
| 第四紀 | 更新世 | 古安田層                    | A <sub>3</sub> 部層 | 粘性土                   | 洪積粘性土層（Ⅰ）*1                | A3c層     |
|     |     |                         |                   | 粘性土・砂質土互層             |                            | A3a1層    |
|     |     |                         |                   | 砂質土                   |                            | A3s層     |
|     |     |                         | A <sub>2</sub> 部層 | 粘性土                   | 洪積粘性土層（Ⅱ）<br>洪積粘性土層（Ⅲ）     | A2c層     |
|     |     |                         |                   | 粘性土・砂質土互層             | 洪積粘性土層（Ⅱ）<br>洪積粘性土層（Ⅲ）     | A2a1層    |
|     |     |                         |                   | 砂質土                   | 洪積砂質土層（Ⅰ）*2<br>洪積砂質土層（Ⅱ）*2 | A2s層     |
|     |     | 礫層                      |                   |                       | 洪積砂質土層（Ⅰ）<br>洪積砂質土層（Ⅱ）     | A2g層（砂質） |
|     |     | 新第三紀                    | 鮮新世               | 西山層                   | 西山層                        | 西山層      |

注記\*1：既工認では、A<sub>3</sub>部層は粘性土を主体としており、砂層は薄く、応答解析上無視し得ると判断し、1層の粘性土層として扱っている。

\*2：設置変更許可申請段階で示した大湊側、0-1地点の液状化強度試験を実施した地層



(a) 試料採取位置 平面図



(b) 試料採取位置 断面図 (O-1)

図 4-1 大湊側 液状化強度試験 試料採取地点位置図

(発電用原子炉設置変更許可申請 (原管発官 25 第 192 号) に係る審査資料の  
第 4 条 : 地震による損傷の防止 別紙-11 : 液状化影響の検討方針について (耐震) より抜粋)

(参考資料9) マンメイドロックの設計について

## 1. 概要

原子炉建屋等の基礎岩盤の一部は、マンメイドロックで置き換えることにより、基礎岩盤の安定性の向上を図っている。このマンメイドロックについては、「西山層と同等以上の力学的特性と有する」材料として設計し、室内試験により物性値を設定している。

本項では、西山層と同等以上の力学的特性を有する置き換え材料として設計されたマンメイドロックの設計の考え方について記す。

## 2. マンメイドロックの設計について

置き換え材料としては、コンクリートが一般的であるが、柏崎刈羽原子力発電所の基礎岩盤は、西山層であり、工学的な分類では軟岩である。このため、柏崎刈羽地点でコンクリートを置き換え材料として使用した場合、強度は泥岩に比べて十分に大きいため問題とならないが、

- ① 剛性については、コンクリートでは泥岩の数十倍も堅いため、周辺の岩盤よりも大きな力を負担（場合によっては、破壊）する一方、応力がスムーズに伝達されずに局所的に集中する。
- ② 単位体積重量については、コンクリートの方が1.5倍程度大きいため、地震時の慣性力は周辺の岩盤よりも大きく、また、偏心している場合には振動性状が複雑となる。といった問題が生じることが予想される。

このため、置き換え材料として次のような材料を使用することとした。

- ① 西山層泥岩と同等以上の強度特性があること。
- ② 長期的な安定性が保証されたセメントコンクリート系の材料であること。
- ③ 単位体積重量、変形特性については、西山層泥岩と同程度であること。

このような置き換え材料を使用する時、地震時の応答特性は周辺の岩盤と同等となり、原子炉建屋に及ぼす影響も同等となる。また、原子炉建屋に働く力は、マンメイドロックを介して西山層に確実に伝達され、マンメイドロック周辺の西山層との間での変形や力の伝達はスムーズとなる。

上記より、マンメイドロックは、西山層と同等以上の力学的特性と有する置き換え材料として設計されたものである。

3. マンメイドロックの物性値及びその根拠  
 マンメイドロックの配合を表 3-1 に、解析用物性値を表 3-2 に示す。  
 マンメイドロックの解析用物性値の設定根拠を、表 3-3 に示す。

表 3-1 マンメイドロックの配合

| 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     | 単位体積重量               |
|--------------------------|-----|-----|-----|----------------------|
| 西山泥岩                     | 新期砂 | 固化材 | 水   | (g/cm <sup>3</sup> ) |
| 230                      | 700 | 180 | 597 | 1.71                 |

注： 固化材の構成割合は、クリンカー62%，スラグ20%，石膏18%である（重量比）。

表 3-2 マンメイドロックの解析用物性値

| 物性値  |                                   | マンメイドロック                                 |                           |                           |
|------|-----------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|      |                                   | 原子炉建屋                                    | コントロール建屋下                 |                           |
| 物理特性 | 密度<br>$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.75                                     | 1.75                      |                           |
| 変形特性 | 静的変形特性                            | 変形係数<br>$E_0$ (N/mm <sup>2</sup> )       | 1160                      | 1020                      |
|      |                                   | 静ポアソン比<br>$\nu$                          | 0.44                      | 0.45                      |
|      | 動変形特性                             | 初期動せん断弾性係数<br>$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 2110                      | 1990                      |
|      |                                   | 動ポアソン比<br>$\nu_d$                        | 0.36                      | 0.36                      |
|      |                                   | 動せん断弾性係数のひずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$   | $1/(1+4.30\gamma^{1.00})$ | $1/(1+4.30\gamma^{1.00})$ |
|      | 減衰定数のひずみ依存特性<br>$h \sim \gamma$   | $19.0\gamma^{0.60}$                      | $19.0\gamma^{0.60}$       |                           |
| 強度特性 | ピーク強度                             | $C_u$<br>(N/mm <sup>2</sup> )            | 1.84                      | 1.84                      |
|      |                                   | $\phi_u$<br>(°)                          | 0                         | 0                         |
|      |                                   | $\sigma_t$<br>(N/mm <sup>2</sup> )       | 0.666                     | 0.666                     |
|      | 残留強度                              | $C_{ur}$<br>(N/mm <sup>2</sup> )         | 1.38                      | 1.38                      |

注1： P は、平均有効拘束圧 (N/mm<sup>2</sup>) を示す。

注2：  $\gamma$  は、せん断ひずみ (%) を示す。

表 3-3 マンメイドロックの解析用物性値の設定根拠

| 物性値  |            | マンメイドロック                                   |                                            |
|------|------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
|      |            | 原子炉建屋                                      | コントロール建屋下                                  |
| 物理特性 |            | 密度<br>$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )          | • 密度試験結果<br>(土質工学会編「土質試験法」に準拠)             |
| 変形特性 | 静的<br>変形特性 | 変形係数<br>$E_0$ (N/mm <sup>2</sup> )         | • 三軸圧縮試験結果<br>(土質工学会編「土質試験法」に準拠)           |
|      |            | 静ポアソン比<br>$\nu$                            | • 三軸圧縮試験結果                                 |
|      | 動的<br>変形特性 | 初期動せん断弾性係数<br>$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )   | • 弾性波速度測定試験<br>(物理探鉱技術協会編「岩石試料の速度測定要綱」に準拠) |
|      |            | 動ポアソン比<br>$\nu_d$                          | • 弾性波速度測定試験<br>(物理探鉱技術協会編「岩石試料の速度測定要綱」に準拠) |
|      |            | 動せん断弾性係数の<br>ひずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$ | • 動的単純せん断試験 (変形試験)                         |
|      |            | 減衰定数のひずみ依存特<br>性<br>$h \sim \gamma$        | • 動的単純せん断試験 (変形試験)                         |
| 強度特性 | ピーク強度      | $C_u$<br>(N/mm <sup>2</sup> )              | • 三軸圧縮試験結果<br>(土質工学会編「土質試験法」に準拠)           |
|      |            | $\phi_u$<br>(°)                            |                                            |
|      |            | $\sigma_t$<br>(N/mm <sup>2</sup> )         | • 圧裂引張強度試験<br>(J I S M 0303に準拠)            |
|      | 残留強度       | $C_{ur}$<br>(N/mm <sup>2</sup> )           | • 三軸圧縮試験結果<br>(土質工学会編「土質試験法」に準拠)           |

#### 4. 建物・構築物におけるマンメイドロックの扱いについて

建物・構築物（原子炉建屋，コントロール建屋）の基礎地盤の一部においては，マンメイドロックを施工している。

前述のとおり，マンメイドロックは，建屋の基礎地盤の置き換え材料として西山層と同等以上の力学的特性を有するものとして設計されたものであることから，建物・構築物の地震応答解析における建屋基礎地盤の解析用物性値は，マンメイドロックの物性値は用いず，西山層の物性を用いる。なお，地震応答解析における材料物性の不確かさについては，西山層のばらつきとして考慮している。

また，建屋側面の一部に，埋戻し材料としてマンメイドロックを施工している部位もあるが，地震応答解析モデルにおける地盤ばねの算定においては原地盤を成層地盤として扱っている。

5. 屋外重要土木構造物におけるマンメイドロックの扱い

屋外重要土木構造物の耐震評価では、地盤と構造物の相互作用を考慮した2次元FEM解析を用いることから、マンメイドロックの形状や物性値を反映し、モデル化する。

5.1 マンメイドロックのモデル化

屋外重要土木構造物においてマンメイドロックを解析モデルに反映している施設の一覧を表5-1に示す。取水路（漸拡部）及び補機冷却用海水取水路については、マンメイドロック上に支持されている。一例として、補機冷却用海水取水路の解析モデルを図5-1に示す。その他の施設においては、原子炉建屋やタービン建屋等の基礎地盤置き換えや埋戻材等として施工されたマンメイドロックが、施設の周辺に設置されている。

いずれの施設も、マンメイドロックは平面ひずみ要素としてモデル化する。

表 5-1 マンメイドロックを解析モデルに反映している施設一覧

| 施設                                   | 地震応答解析   | モデル化    | マンメイドロックと施設との位置関係                |
|--------------------------------------|----------|---------|----------------------------------|
| 6, 7号機 スクリーン室                        | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 | 無し                               |
| 6, 7号機 取水路                           | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 | 一部区間で直接支持                        |
| 補機冷却用海水取水路                           | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 | 全区間で直接支持                         |
| 6, 7号機 軽油タンク                         | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 | 施設から離れた位置<br>(タービン建屋・原子炉建屋) に現れる |
| 燃料移送系配管ダクト                           | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 |                                  |
| 第一ガスタービン発電機基礎<br>第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 | 2次元FEM解析 | 平面ひずみ要素 |                                  |

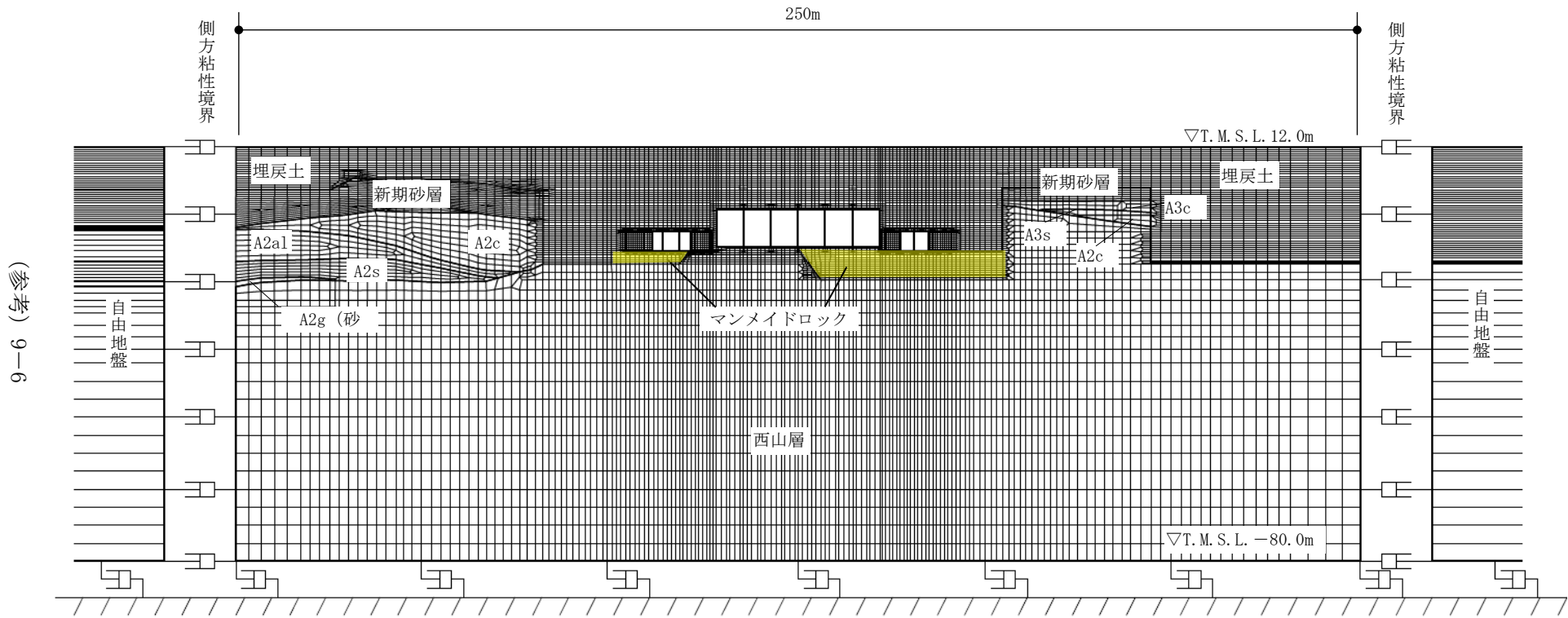


図 5-1 補機冷却用海水取水路の解析モデル



## 5.2 解析用物性値

マンメイドロックの解析用物性値は、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値に基づき設定する。屋外重要土木構造物の有効応力解析に用いるマンメイドロックの解析用物性値を表 5-2 に示す。

同表に基づき、2次元FEMモデルにおけるマンメイドロックの解析用物性値は、原子炉建屋及びタービン建屋に対しての設置位置（建屋側方、建屋直下）に応じて設定する。

表 5-2 マンメイドロックの解析用物性値

| 名 称      |                                              | マンメイドロック<br>(建屋側方)                                                                  | マンメイドロック<br>(建屋下)                                             |
|----------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 対象施設     |                                              | 軽油タンク基礎、取水路、<br>燃料移送系配管ダクト、<br>第一ガスタービン発電機基礎、<br>第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎、<br>6号機軽油タンク基礎 | 軽油タンク基礎、<br>補機冷却用海水取水路、<br>燃料移送系配管ダクト、<br>第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎 |
| 物理<br>特性 | 密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )               | 1.75                                                                                |                                                               |
|          | 間隙率 $n$                                      | 0.56                                                                                |                                                               |
| 変形<br>特性 | 動せん断弾性係数 $G_m$ (kN/m <sup>2</sup> )          | $1.91 \times 10^6$ *1                                                               | $2.11 \times 10^6$ *2                                         |
|          | 基準平均有効拘束圧 $\sigma_{m'}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 98.0                                                                                |                                                               |
|          | ポアソン比 $\nu$                                  | 0.36                                                                                |                                                               |
|          | 減衰定数の上限値 $h_{max}$                           | 0.190                                                                               |                                                               |
| 強度<br>特性 | 粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )                 | 1840                                                                                |                                                               |
|          | 内部摩擦角 $\phi$ (°)                             | 0.0                                                                                 |                                                               |

注記\*1：マンメイドロック試験結果

$$G_0 = 19460 + 414 \times P \quad (P : \text{圧密圧力 (kg/cm}^2\text{)})$$

建屋側方： $P = 0$  (kg/cm<sup>2</sup>)として、

$$G_0 = (19460 + 414 \times 0) \times 9.80665 = 190,837 \approx 1.91 \times 10^6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

\*2：\*1と同じく

建屋下： $P = 5$  (kg/cm<sup>2</sup>)として、

$$G_0 = (19460 + 414 \times 5) \times 9.80665 = 211,137 \approx 2.11 \times 10^6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

### 5.3 ばらつきの設定

屋外重要土木構造物は地中埋設構造物であり、構造物の地震時の変形は、主に上載地盤から地盤構造物間の摩擦を介して作用する頂版せん断力及び側方地盤から作用する土圧によって生じ、これらの作用力は地盤のせん断弾性係数に大きく依存する。したがって、屋外重要土木構造物の耐震評価においてばらつきを考慮する物性値は、地盤の初期せん断弾性係数 $G_0$ とする。

柏崎刈羽原子力発電所7号機の工事計画認可において申請対象となる屋外重要土木構造物のうち、取水路、補機冷却用海水取水路及び取水路（6号機設備）は、マンメイドロックに直接支持されるが、構造物側方及び上方にマンメイドロックは配置されていないことから、マンメイドロックのばらつきが構造物の耐震評価に与える影響は軽微であると考えられる。一方、機器・配管系への応答加速度の観点からも、取水路、補機冷却用海水取水路及び取水路（6号機設備）は、間接支持するSクラス設備が無いことから、地震応答解析においてマンメイドロックのばらつきは考慮しない。

また、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト及び第一ガスタービン発電機基礎の地震応答解析モデルの一部にマンメイドロックが存在するが、これらのマンメイドロックについては、評価対象構造物と直接接しない離れた場所に位置することから、構造物の耐震評価及び機器・配管系への応答加速度に与える影響は軽微であると考えられる。

以上の点を踏まえ、屋外重要土木構造物の地震応答解析においては、マンメイドロックの初期せん断弾性係数 $G_0$ のばらつきは考慮しない。

(参考資料 10) 液状化抵抗曲線の回帰曲線 (平均-1 $\sigma$ 強度) を下回る試験データについて

### 1. はじめに

有効応力解析に用いる液状化強度特性は、地盤のばらつきを踏まえ、保守的に液状化抵抗曲線の回帰曲線 (平均-1 $\sigma$ 強度) と同等となるように設定する。

図 1-1 に、古安田層 (A2s 層) の液状化強度試験結果及び有効応力解析 (FLIP) における液状化強度特性を示す。同図に示すとおり、A2s 層の液状化強度試験結果の中には、液状化抵抗曲線の回帰曲線 (平均-1 $\sigma$ 強度) を下回る結果を示す供試体が少数存在する。

本項では、これら A2s 層の液状化抵抗曲線の回帰曲線 (平均-1 $\sigma$ 強度) を下回る供試体について、供試体の採取位置と評価対象施設との位置関係を整理した上で、供試体の土質性状及び採取箇所の地層の連続性等を検討する。

なお、その他の液状化検討対象層 (埋戻土、新期砂層、沖積層上部 (砂質)、沖積層下部) については、液状化抵抗曲線の回帰曲線 (平均-1 $\sigma$ 強度) を下回る供試体はない。

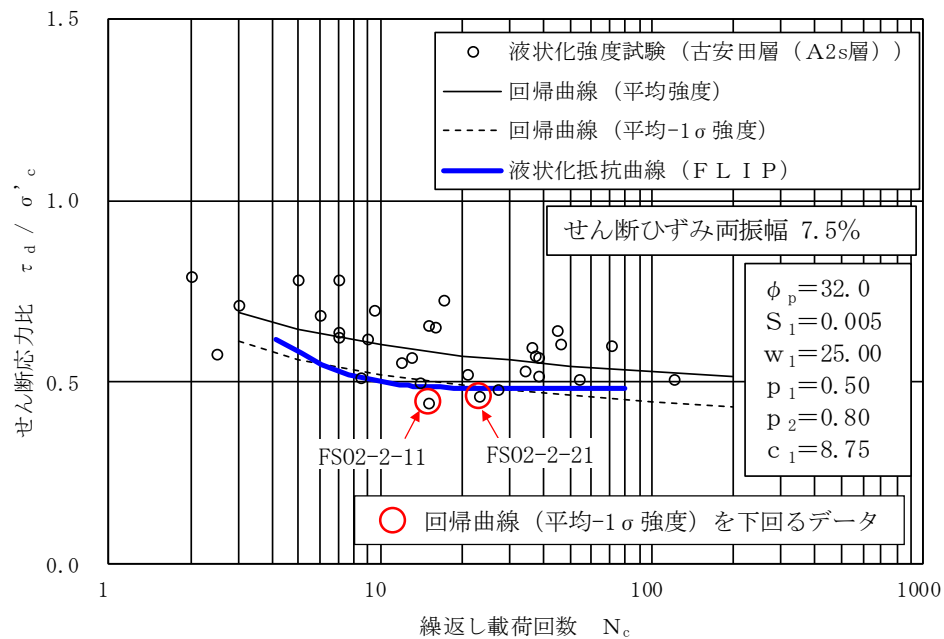


図 1-1 液状化強度試験結果及び有効応力解析における液状化強度特性 (A2s 層)

2. 液状化抵抗曲線の回帰曲線（平均-1σ強度）を下回る供試体について

2.1 検討方針

A2s層に対する液状化抵抗曲線の回帰曲線（平均-1σ強度）を下回る供試体の「土質性状の特異性」及び「地層の連続性」について検討する。

供試体の検討項目を表 2-1 に示す。

表 2-1 液状化抵抗曲線の回帰曲線（平均-1σ強度）を下回る供試体の検討項目

| 項目       | 検討事項                                                | 比較指標                      |
|----------|-----------------------------------------------------|---------------------------|
| 土質性状の特異性 | A2s層において、当該供試体がその他の液状化強度試験供試体と比べて、土質性状として特異性の有しているか | 物理特性（粒度分布、粒度組成）及び力学特性(N値) |
| 地層の連続性   | A2s層において、当該供試体の特徴を示す地層が広範囲に分布しているか                  | ボーリング柱状図                  |

2.2 検討対象とする供試体の選定

図 2-1 に示すとおり、有効応力解析 (FLIP) における液状化強度特性 (平均-1σ強度) を下回る供試体として、「FS02-2-11」及び「FS02-2-21」に着目し、「土質性状の特異性」及び「地層の連続性」を検討する。

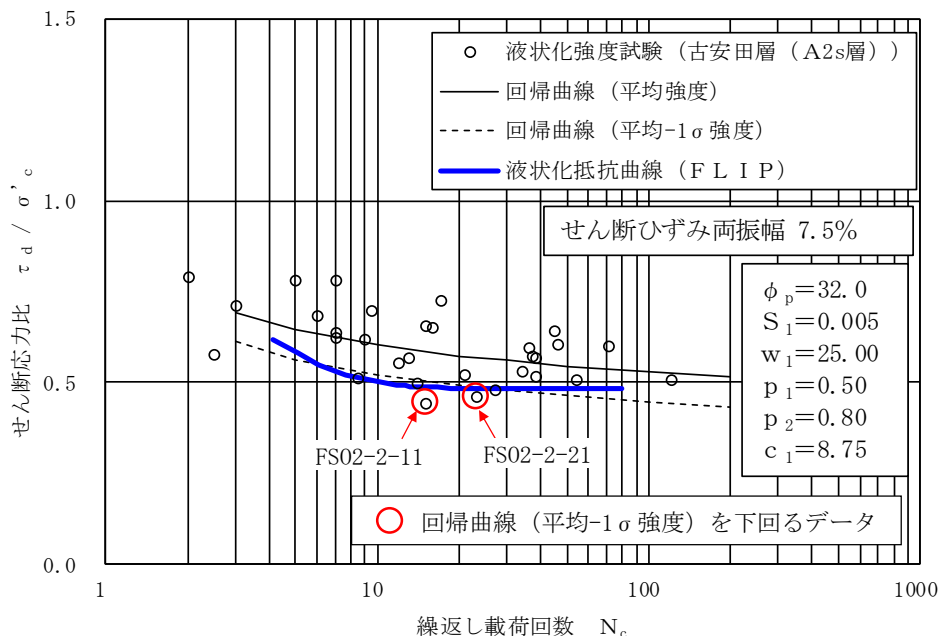


図 2-1 A2s 層の液状化強度試験結果

### 2.3 供試体の採取位置

液状化抵抗曲線の回帰曲線（平均 $-1\sigma$ 強度）を下回る供試体の採取位置を図 2-2 に示す。当該供試体（FS02-2-11 及び FS02-2-21）は、スクリーン室や取水路の近傍に位置する「FS02-2 孔」において凍結サンプリングにより採取した。

パイロットボーリング（FS02-P2 孔）の柱状図を図 2-3 に、凍結サンプリング採取コアの写真及び観察スケッチを図 2-4～図 2-5 に示す。

A2s 層は、砂を主体とし、一部に礫やシルト層を含む地層である。液状化強度試験に用いる供試体は、A2s 層の中でも砂分が多い箇所から採取しており、当該供試体（FS02-2-11 及び FS02-2-21）は、「礫混じり粗砂」と観察される箇所から採取し、外観からは巨礫やシルト層を介在するなどの特異性は認められない。

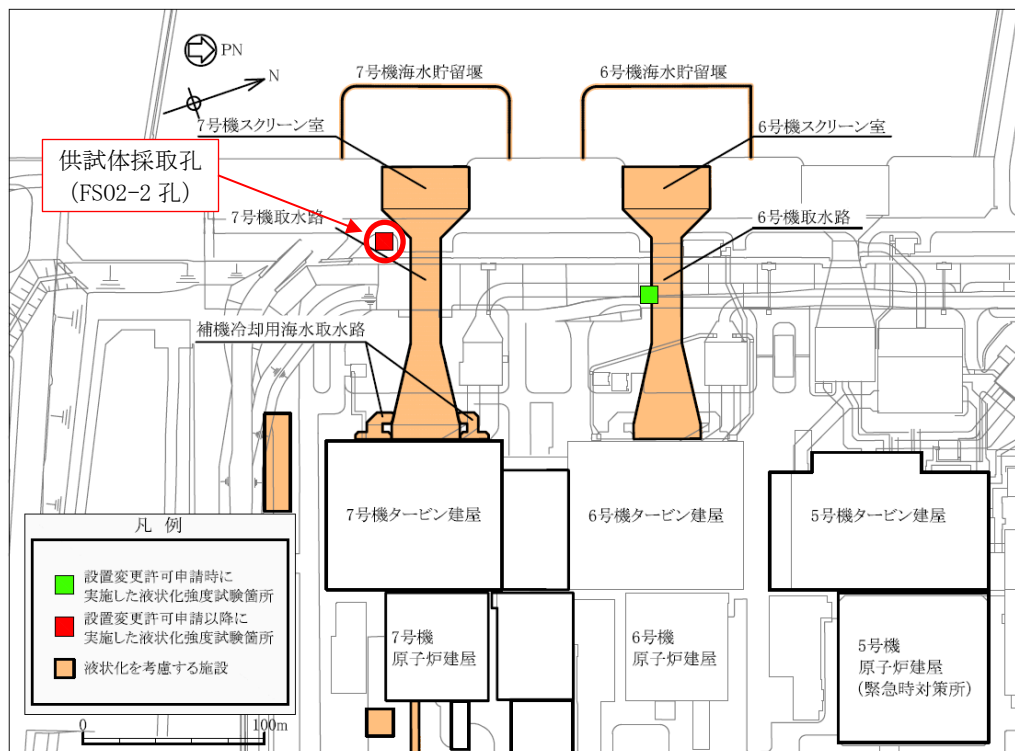


図 2-2 A2s 層の供試体の採取位置



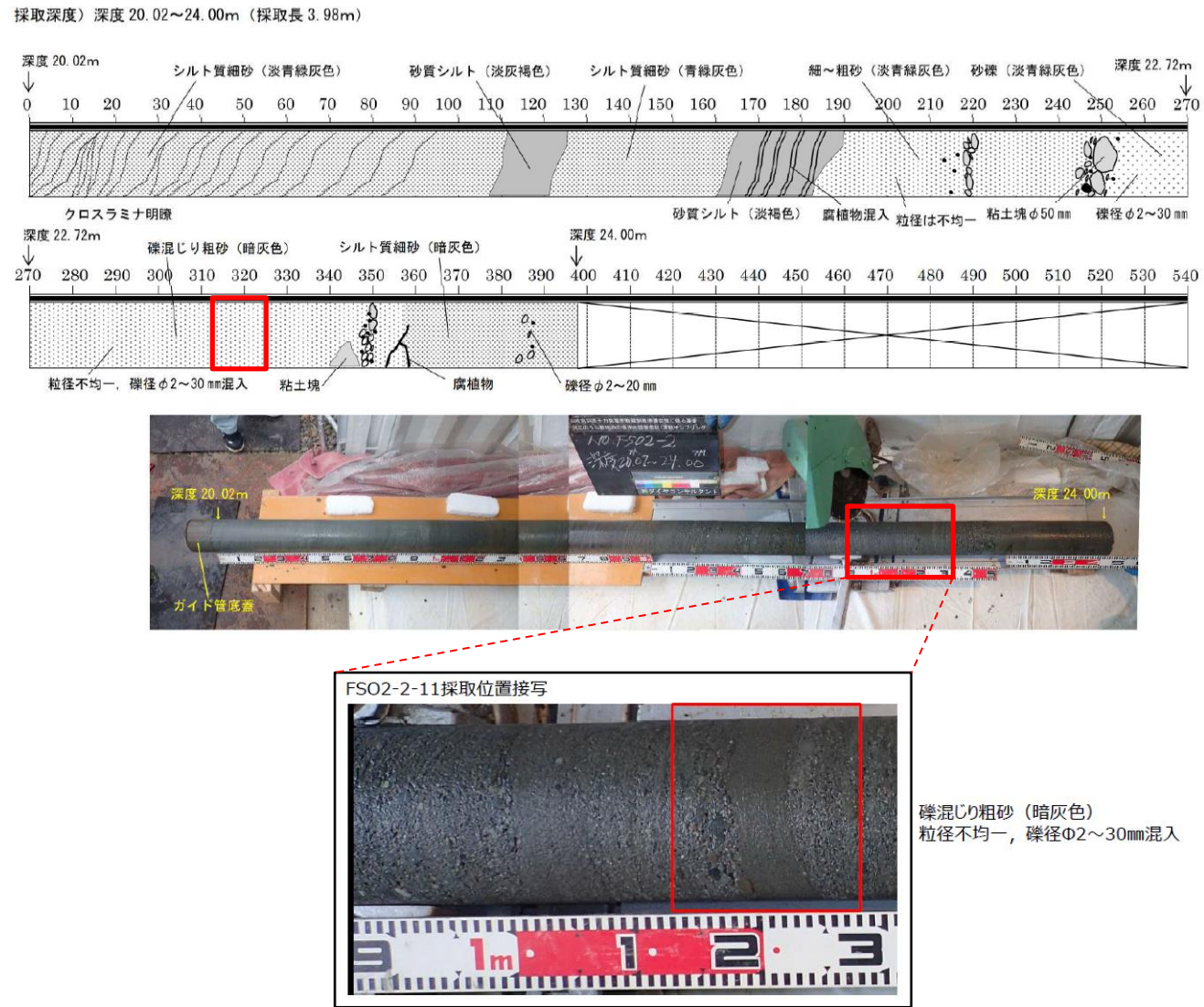


図 2-4 凍結サンプリング写真及び観察スケッチ (供試体番号 : FSO2-2-11)

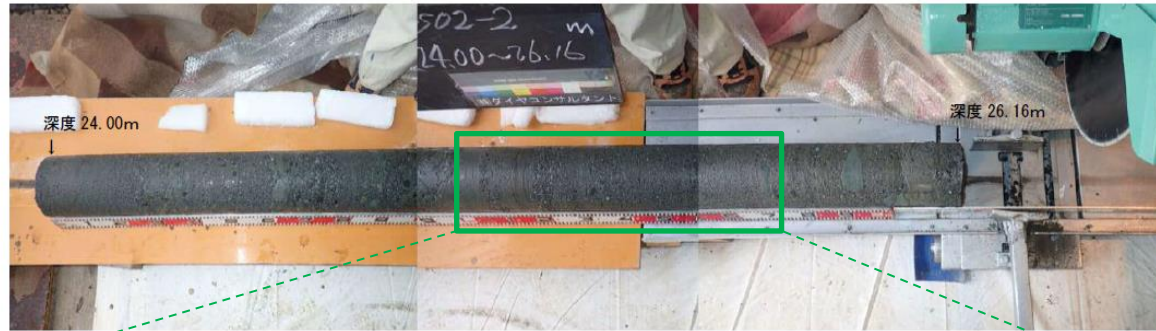
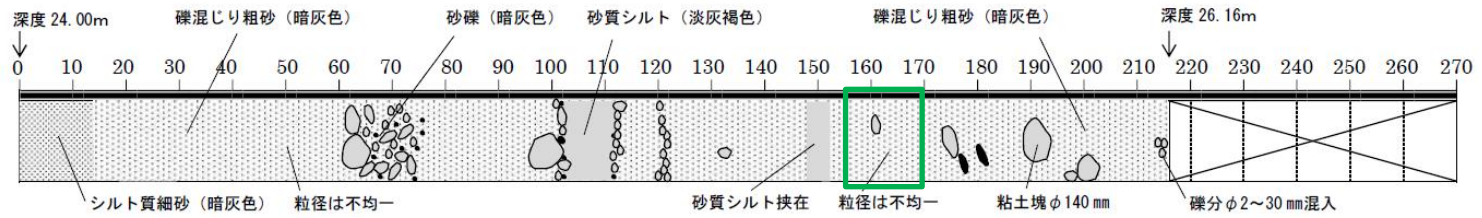


図 2-5 凍結サンプリング写真及び観察スケッチ (供試体番号: FS02-2-21)



#### 2.4 液状化強度試験結果

液状化抵抗曲線の回帰曲線 $-1\sigma$ を下回る供試体「FS02-2-11」及び「FS02-2-21」の液状化強度試験結果を図 2-6 及び図 2-7 に示す。

「FS02-2-11」及び「FS02-2-21」ともに、せん断ひずみは緩やかに上昇しており、平均有効取応力 $\sigma'_m$ が 0 に近づかず、過剰間隙水圧比が上昇と下降を繰り返し 0.95 を超えないことから、現象としては液状化に至っていないものと考えられる。

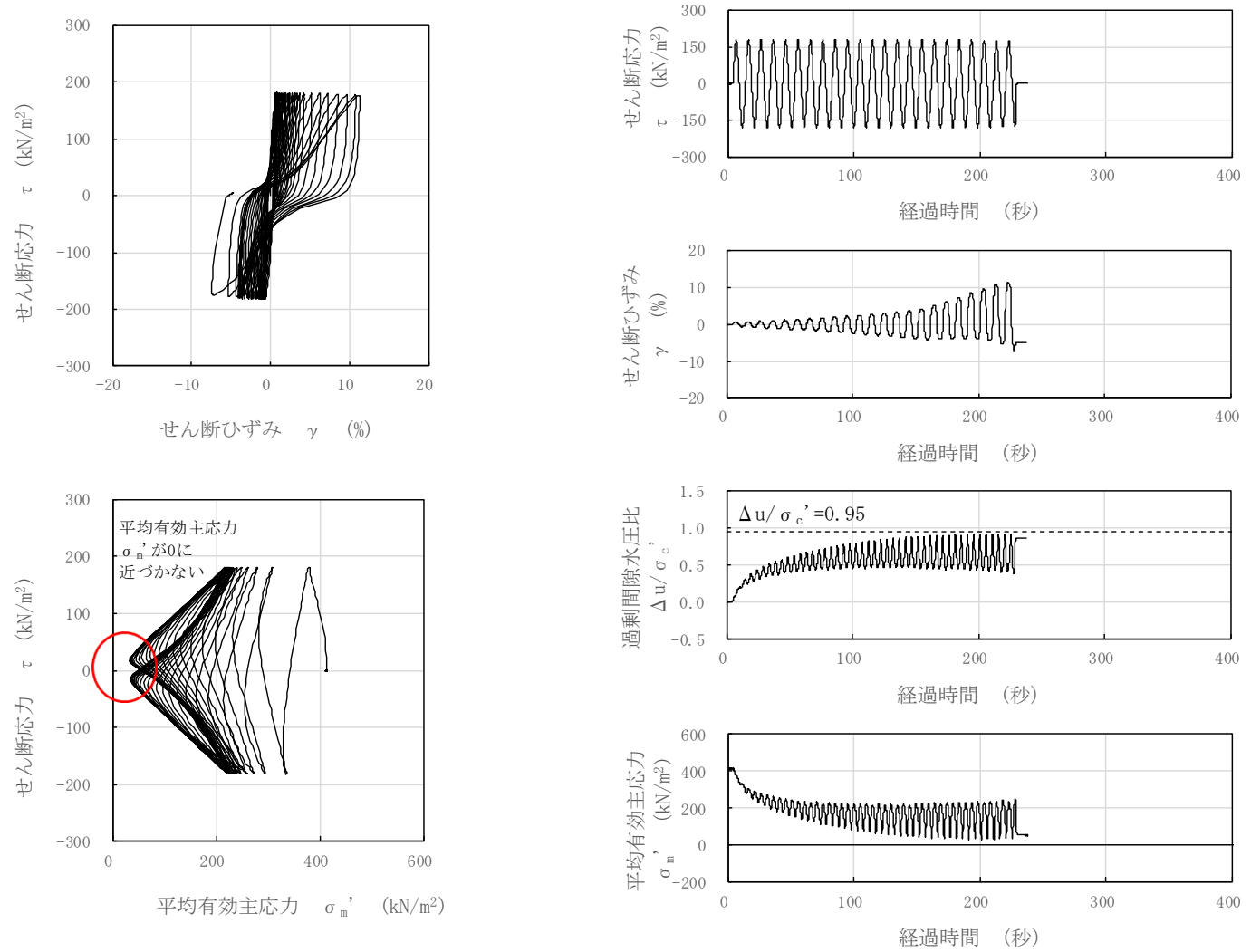


図 2-6 液状化試験結果 (A2s 層, FS02-2-11, GL. -23.15~23.30m, 有効拘束圧 412kN/m<sup>2</sup>, せん断応力比=0.440)

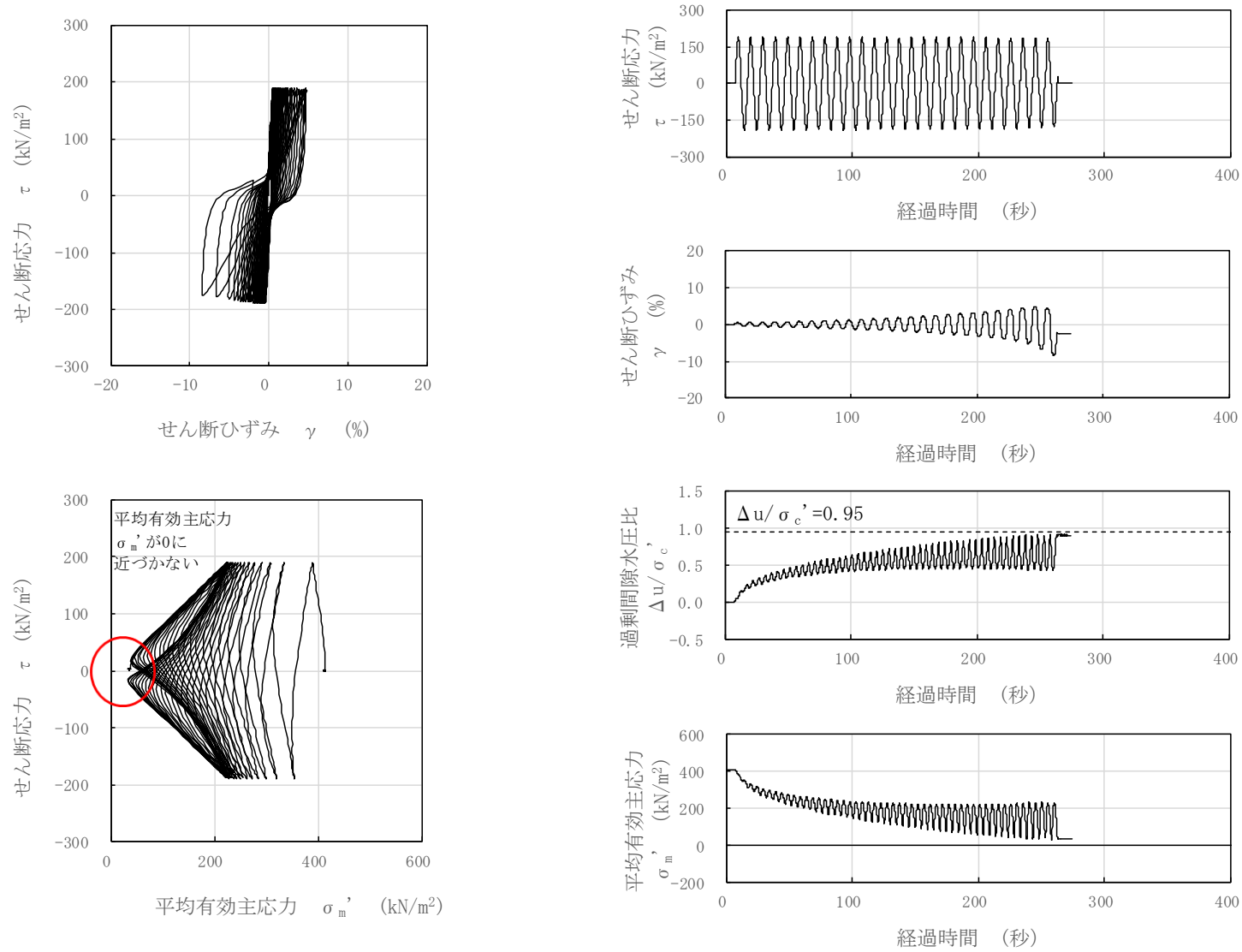


図 2-7 液状化試験結果 (A2s 層, FS02-2-21, GL. -25.55~25.70m, 有効拘束圧 412kN/m<sup>2</sup>, せん断応力比=0.460)

## 2.5 液状化抵抗曲線の回帰曲線-1σを下回る供試体の土質性状

### 2.5.1 土質性状の特異性

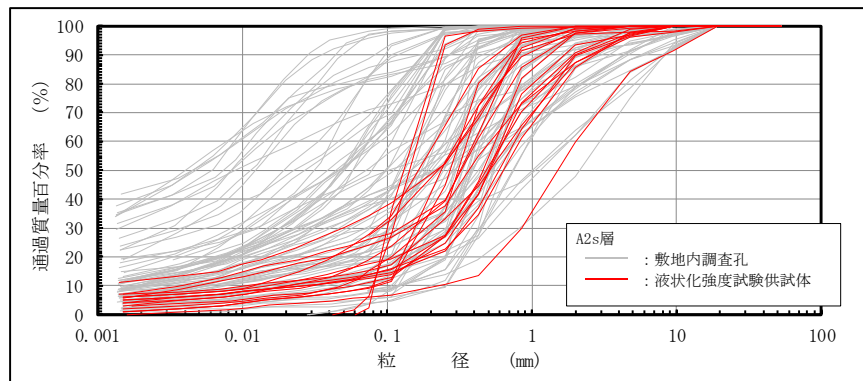
#### (1) 物理特性の比較

FS02-2-11 及び FS02-2-21 の粒度分布を図 2-8 に、粒度組成を表 2-2 に示す。

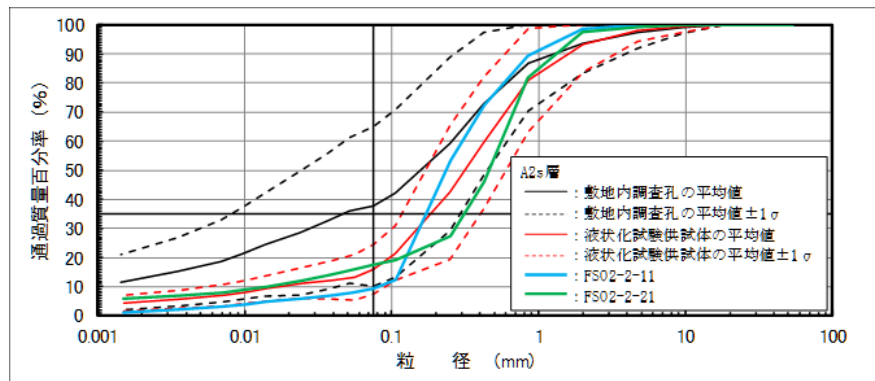
粒度分布については、図 2-8(b) に示すように、FS02-2-11 及び FS02-2-21 の粒度分布は、液状化強度試験供試体の平均値±1σ 以内に概ね収まっている。

細粒分含有率については、FS02-2-11 は 9.4% と供試体全体の平均値 16.0% と比較してやや低いものの、ばらつき (-1σ) の範囲内にあり、FS02-2-21 は 17.5% と供試体全体の平均値 16.0% に近い値である。

上記より、供試体 FS02-2-11 及び FS02-2-21 について、他の液状化強度試験供試体と比べて、物理特性の観点からは特異性はないと評価できる。



(a) A2s 層 (敷地全体)



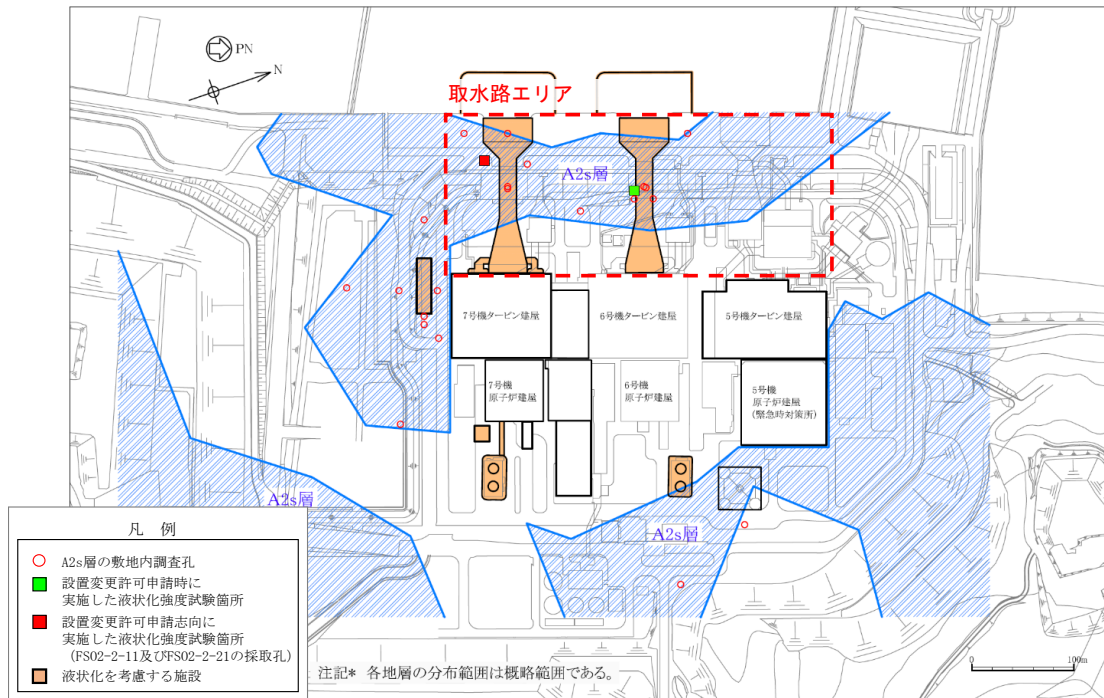
(b) A2s 層 (液状化強度試験供試体)

図 2-8 粒度分布の比較

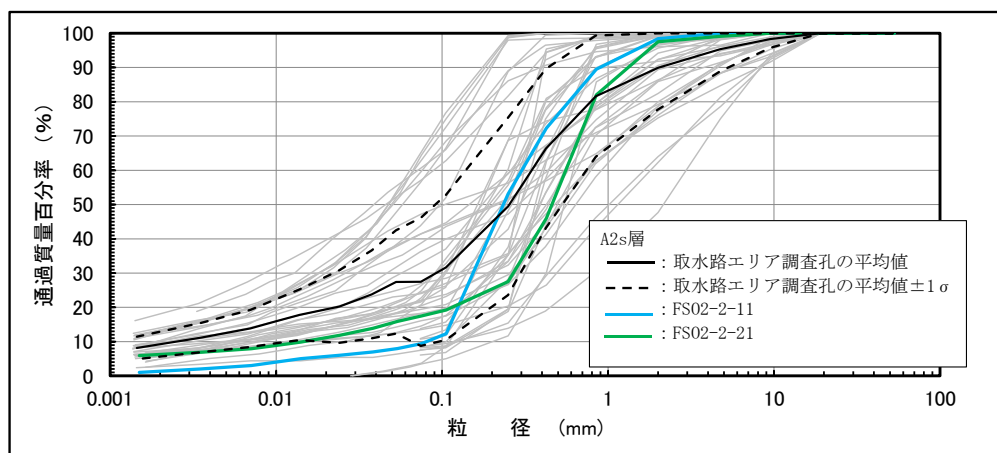
表 2-2 粒度組成

| 対象       |           | 礫分 (2mm 以上)<br>(%) |        | 砂分 (2.0~0.075mm)<br>(%) |        | 細粒分含有率 (0.075mm 以下)<br>(%) |        |
|----------|-----------|--------------------|--------|-------------------------|--------|----------------------------|--------|
|          |           | 平均値                | 標準偏差 σ | 平均値                     | 標準偏差 σ | 平均値                        | 標準偏差 σ |
| A2s<br>層 | 敷地全体      | 6.4                | 10.4   | 55.9                    | 25.2   | 37.7                       | 27.4   |
|          | 供試体全体     | 6.8                | 9.5    | 77.2                    | 10.9   | 16.0                       | 8.5    |
|          | FS02-2-11 | 1.6                | —      | 89.0                    | —      | 9.4                        | —      |
|          | FS02-2-21 | 2.5                | —      | 80.0                    | —      | 17.5                       | —      |

また、供試体 FS02-2-11 及び FS02-2-21 について、採取孔周辺の取水路エリアにおける粒度分布と比較した結果を図 2-9 に示す。これより、供試体 FS02-2-11 及び FS02-2-21 は、採取孔周辺の調査孔の粒度分布と比較しても、概ね $\pm 1\sigma$  のばらつきの範囲内にあり、特異性はないと評価できる。



(a) A2s 層の調査孔と供試体 (FS02-2-11, FS02-2-21) 採取孔の位置図



(b) 粒度分布の比較

(取水路エリア調査孔 VS FS02-2-11, FS02-2-21)

図 2-9 取水路周辺エリアとの比較

(2) 力学特性（N値）の比較

図 2-10 に、A2s 層のN値の深度分布図を示す。図中には、液状化抵抗曲線の回帰曲線  $-1\sigma$  を下回る供試体を採取した FS02-2 孔（FS02-2 孔）の近傍で実施したパイロット孔（FS02-P2 孔）におけるN値を示す。

上記より、供試体 FS02-2-11 及び FS02-2-21 の採取深度におけるN値は、液状化強度試験供試体のN値のばらつきの範囲内にあると判断できることから、力学特性の観点から特異性はないと評価できる。

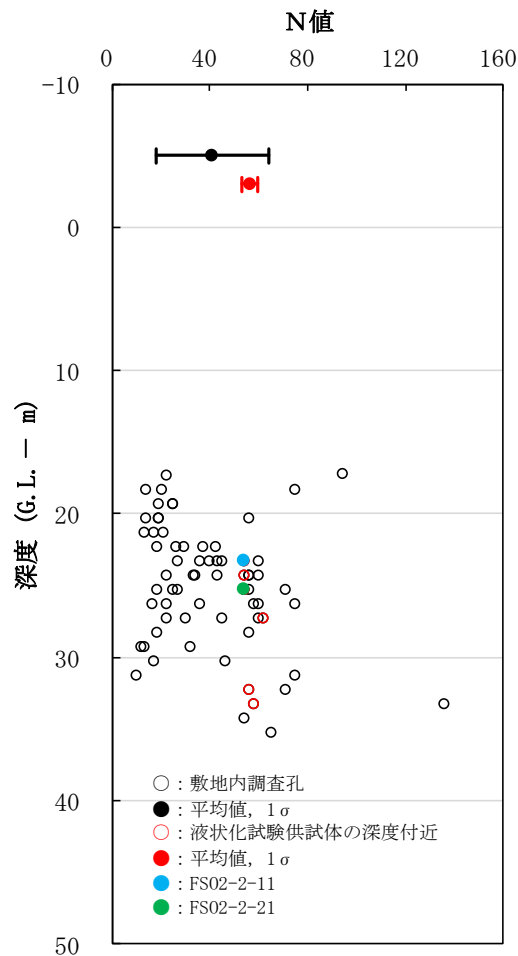


図 2-10 N値の深度分布図（A2s 層）

## 2.5.2 地層の連続性

液状化抵抗曲線の回帰曲線 $-1\sigma$ を下回る供試体について、供試体採取孔（FSO2-P2）近傍のボーリング孔に着目し、地層の連続性を検討する。

図 2-11 にボーリング孔の採取位置を、図 2-12～図 2-14 に各孔のボーリング柱状図を示す。

ボーリング柱状図では、液状化抵抗曲線の回帰曲線 $-1\sigma$ を下回る供試体の層相は「礫主体の砂礫」と判別している。供試体採取孔の近傍孔に着目した場合、礫主体の層相は一部確認されるものの、砂礫は広範囲に連続して分布していないことがわかる。

上記より、液状化抵抗曲線の回帰曲線 $-1\sigma$ を下回る供試体が採取された土層は、近傍孔のボーリング柱状図の層相から判断すると、広範囲に連続して分布している可能性は低いものと判断できる。

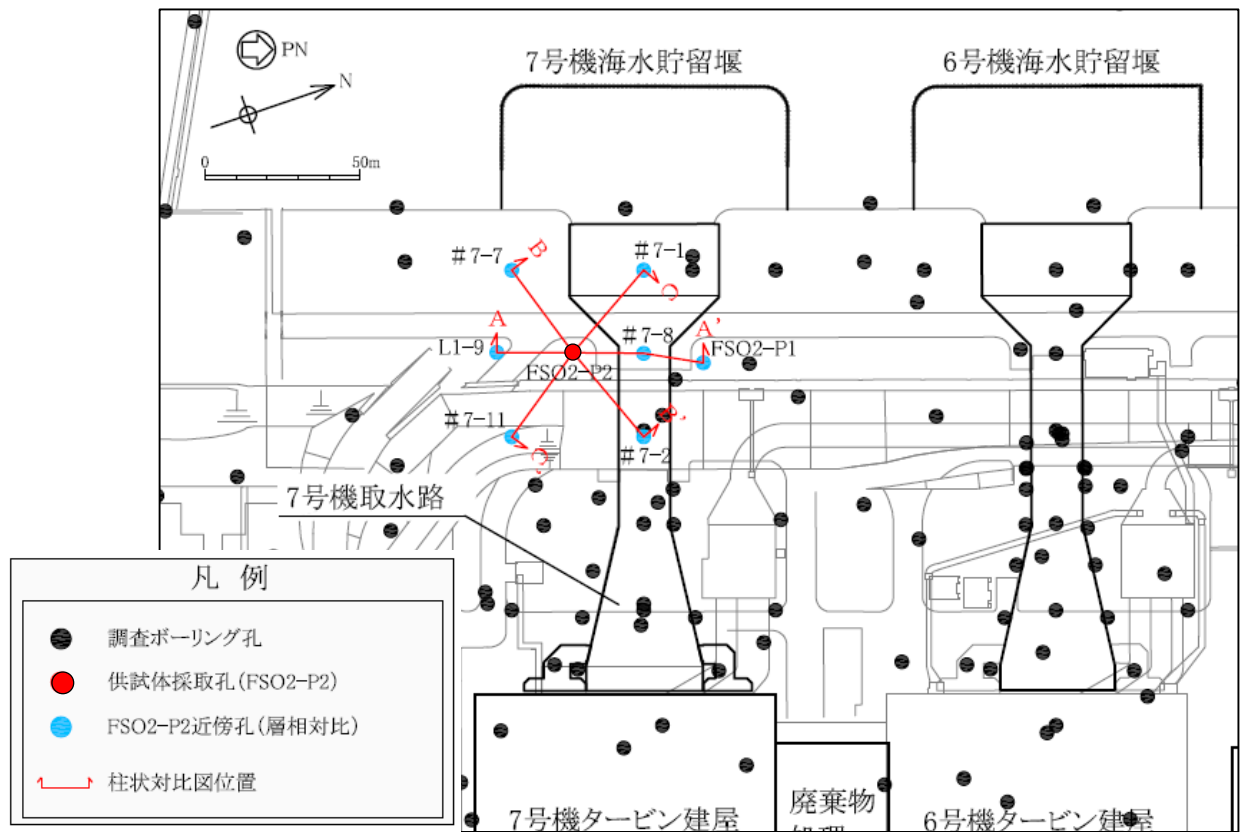


図 2-11 ボーリング孔の位置図（拡大）

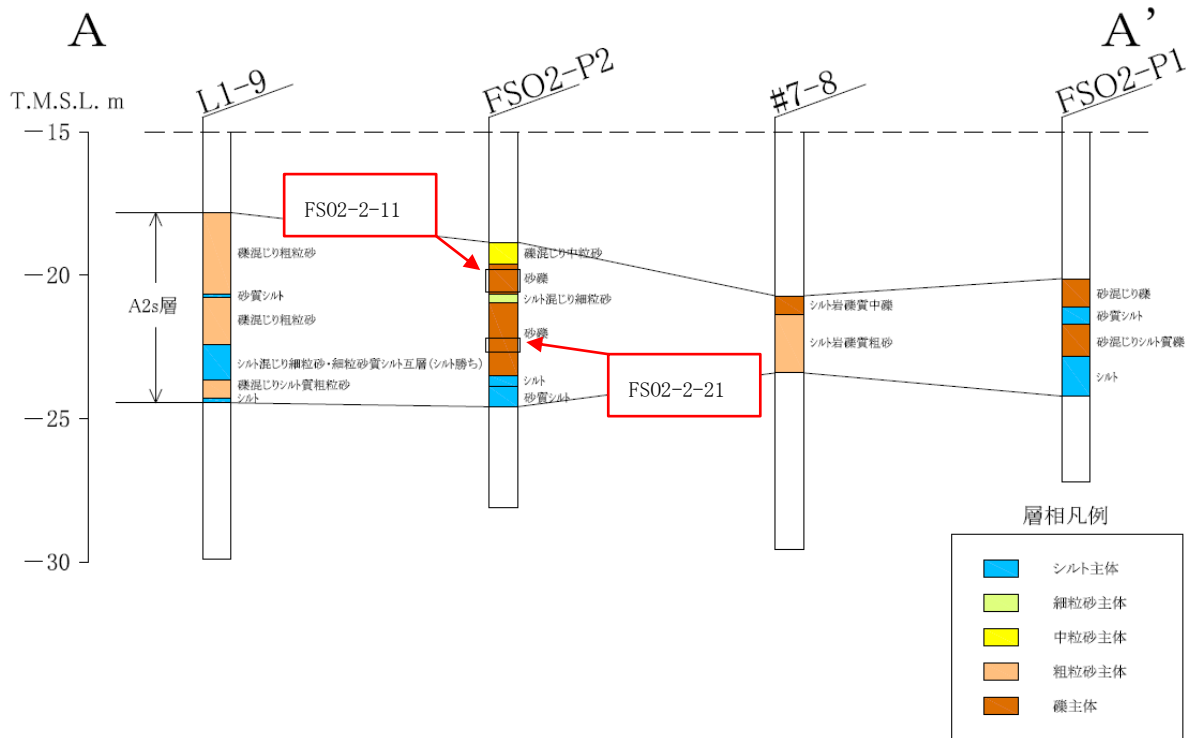


図 2-12 ボーリング柱状図 (A-A' 断面)

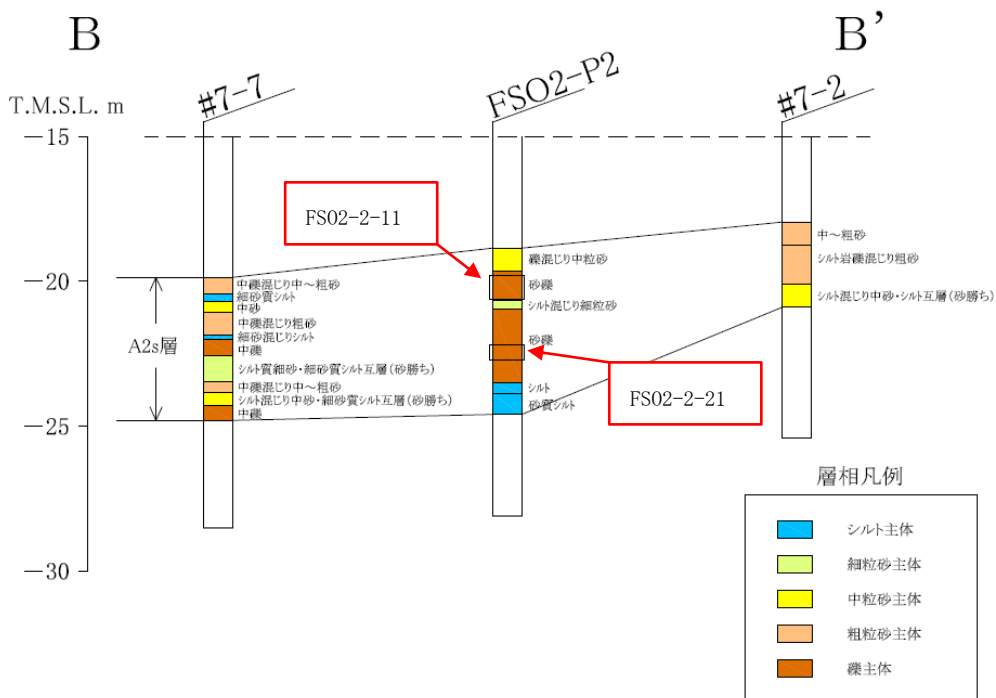


図 2-13 ボーリング柱状図 (B-B' 断面)



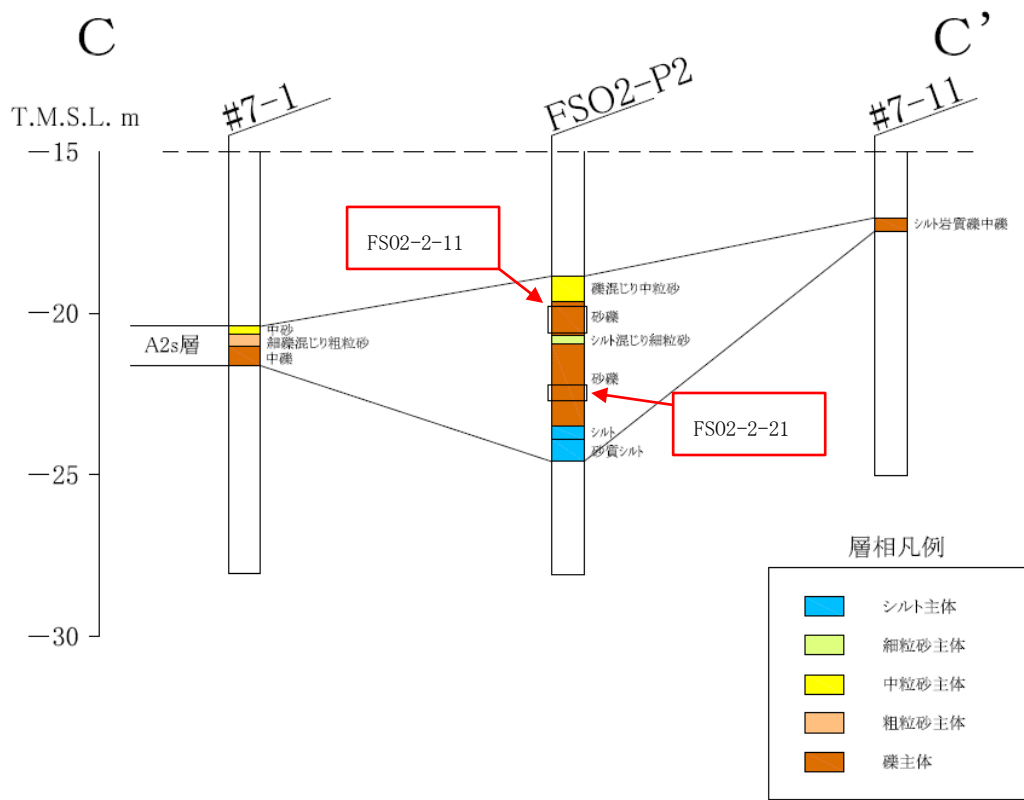


図 2-14 ボーリング柱状図 (C-C' 断面)

### 3. 液状化抵抗曲線の回帰曲線（平均 $-1\sigma$ 強度）を下回る試験データの感度分析

前述 2. に示したとおり，液状化抵抗曲線の回帰曲線（平均 $-1\sigma$ 強度）を下回る試験データは，土質性状としては A2s 層のばらつきの範囲内であり，広範囲に連続して分布していないと判断でき，当該データについては設計上考慮する必要性は低いと考えられる。

仮に，平均 $-1\sigma$ 強度を下回る試験データ（下限値相当）を設計上考慮した場合においても，液状化強度特性の差異は僅かであることから，耐震評価への影響は限定的であると考えられる。

本節では，平均 $-1\sigma$ 強度を下回る試験データ（下限値相当）を用いた地震応答解析を実施し，その感度を確認することにより，構造物の耐震評価に及ぼす影響の要否を定量的に評価する。

#### 3.1 感度分析の解析条件

解析断面は，供試体の採取孔（FS02-2 孔）の近傍にある対象施設のうち，構造物直下の A2s 層が最も厚い「7 号機 取水路（一般部）」（B-B 断面）を代表として選定した。解析断面を図 3-1 に示す。

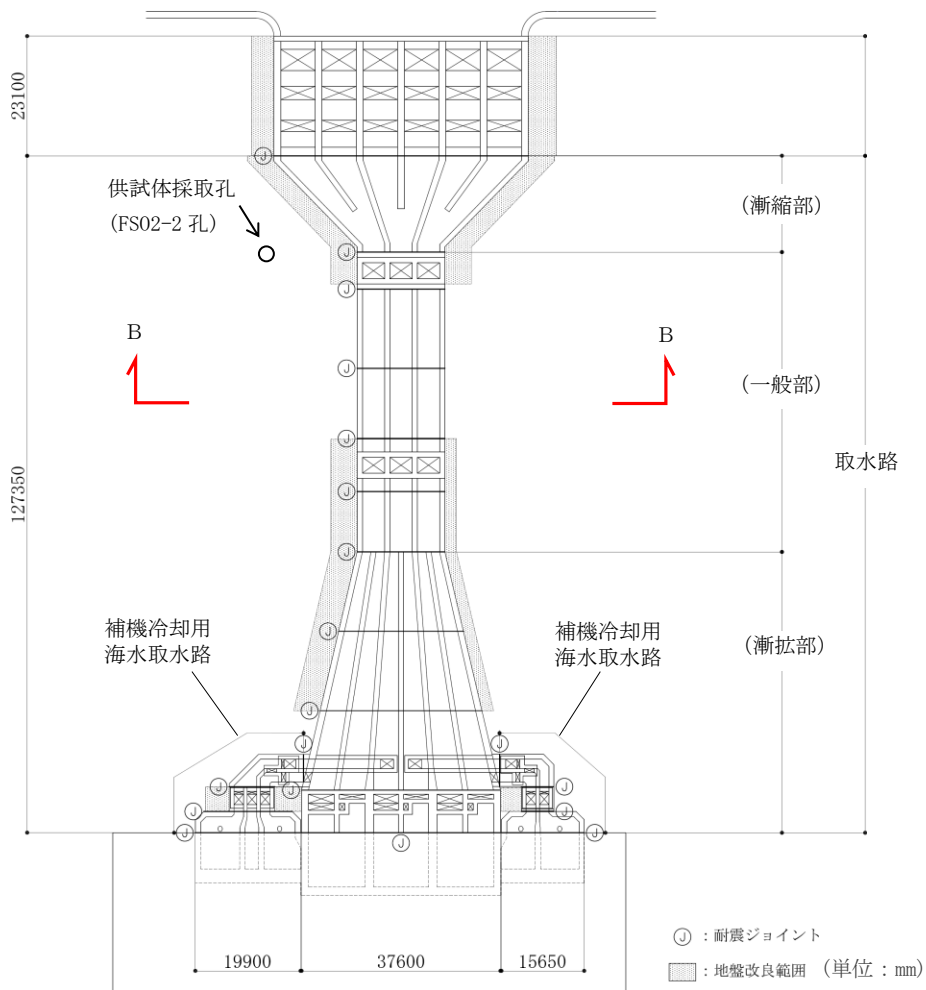
感度分析では，同図に分布する A2s 層を下限値相当の液状化強度特性を設定する。感度分析に用いる下限値相当の液状化強度特性を図 3-2 に示す。

平均 $-1\sigma$ 強度を用いた耐震評価の詳細については，KK7 補足-027 資料 5「スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路の耐震安全性評価」に示す。

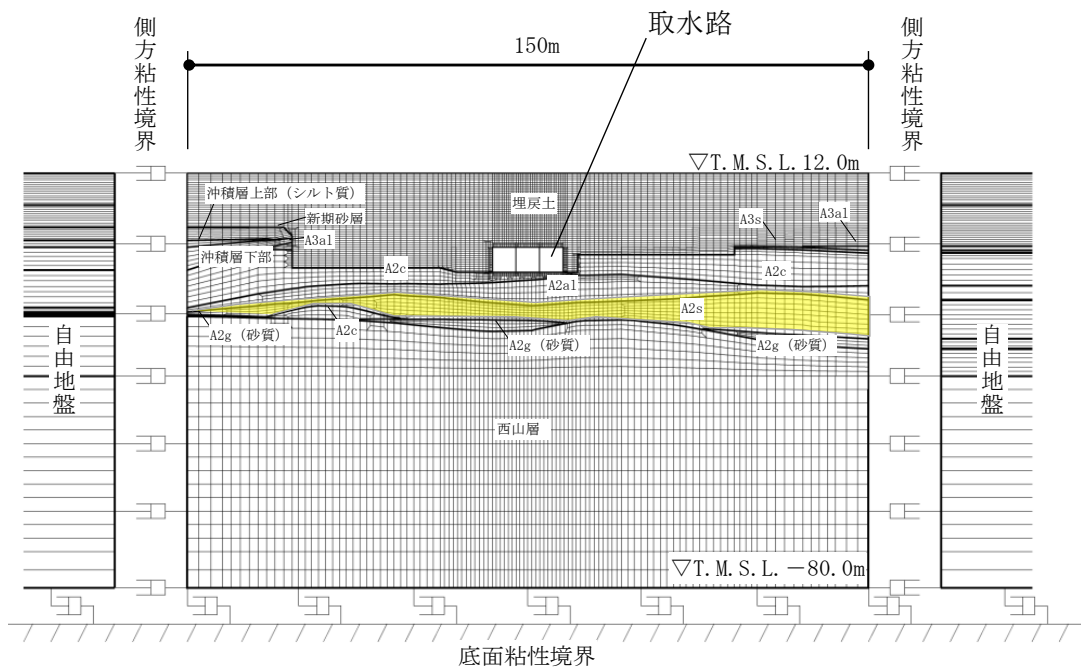
入力地震動には，7 号機 取水路（一般部）における平均 $-1\sigma$ 強度を用いた耐震評価において，加速度が比較的大きな「S s -1（++）」を感度解析の代表波として選定する。

感度分析の解析条件を表 3-1 に示す。

感度分析では，A2s 層の液状化強度特性を平均（ $-1\sigma$ ）強度とした「基本ケース」と，液状化強度特性を下限値相当とした「下限値ケース」を比較する。感度分析の比較ケースの条件を表 3-2 に示す。



(a) 解析断面位置図



(b) 解析モデル図 (B-B 断面)

図 3-1 解析断面 (取水路 (一般部))

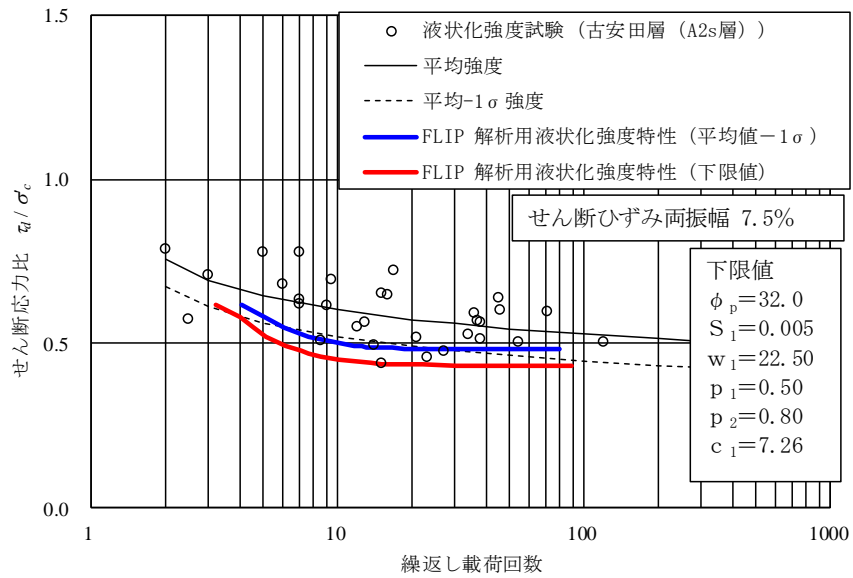


図 3-2 影響検討における液状化強度特性（下限値）の設定

表 3-1 感度分析の解析条件

| 項目    | 条件           |
|-------|--------------|
| 解析断面  | 7号機 取水路（一般部） |
| 入力地震動 | S s -1 (++)  |
| 地盤剛性  | 平均値          |

表 3-2 感度分析の比較ケースの条件

|        |             |
|--------|-------------|
| 解析ケース  | 液状化強度特性の設定  |
| 基本ケース  | 平均 (-1σ) 強度 |
| 下限値ケース | 下限値相当       |

### 3.2 感度分析の結果

取水路（一般部）の構造と評価部位を図 3-3 に示す。照査結果を表 3-3 に、最大せん断ひずみ分布図の比較を図 3-4 に、過剰間隙水圧比分布図の比較を図 3-5 に示す。

照査結果から、曲げ照査及びせん断力照査ともに、基本ケースと下限値ケースとの間に差異がないことを確認した。A2s 層は構造物の下方に分布し、離れた位置にあることから、構造物の応力状態に影響を与えなかったものと考えられる。

基本ケースと下限値ケースにおいて、最大せん断ひずみは、構造物下方に分布する A2s 層で 2% 程度と大きなひずみが発生していること、また、最大過剰間隙水圧比は構造物下方に分布する A2s 層で 60~90% 程度と、両者は概ね同様の傾向を示していると考えられる。

これより、A2s 層の液状化強度特性の差異（平均 $-1\sigma$ 強度と下限値相当）が耐震評価に与える影響は僅かであり、対象施設の耐震評価において、下限値相当の液状化強度特性を考慮する必要はないと判断できる。

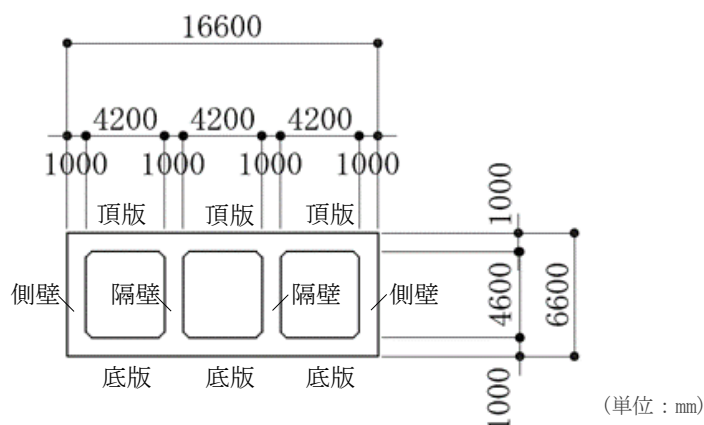
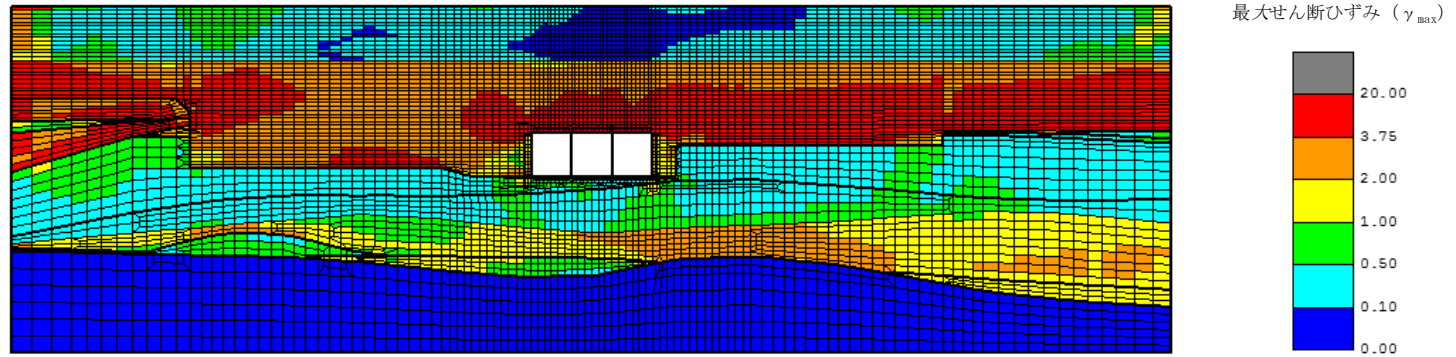


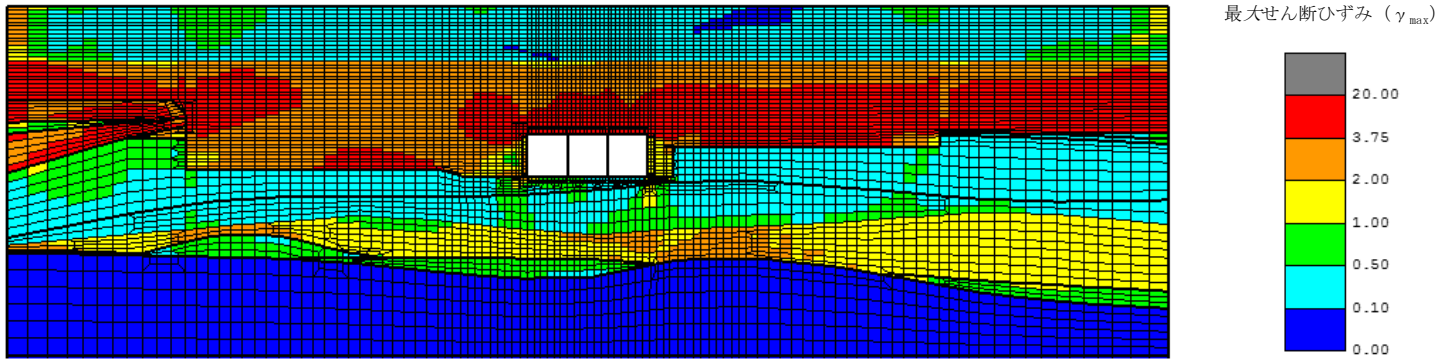
図 3-3 取水路（一般部）の構造と評価部位

表 3-3 照査結果の比較一覧（取水路（一般部）B-B断面，S<sub>s</sub>-1（++））

|        | 部位 | 基本ケース                 |                       |      | 下限値ケース                |                       |      |
|--------|----|-----------------------|-----------------------|------|-----------------------|-----------------------|------|
|        |    | R <sub>d</sub>        | R <sub>L</sub>        | 照査値  | R <sub>d</sub>        | R <sub>L</sub>        | 照査値  |
| 曲げ照査   | —  | 2.34×10 <sup>-3</sup> | 1.00×10 <sup>-2</sup> | 0.24 | 2.32×10 <sup>-3</sup> | 1.00×10 <sup>-2</sup> | 0.24 |
|        | 部位 | 基本ケース                 |                       |      | 下限値ケース                |                       |      |
|        |    | V <sub>d</sub>        | V <sub>yd</sub>       | 照査値  | V <sub>d</sub>        | V <sub>yd</sub>       | 照査値  |
| せん断力照査 | 頂版 | 1153                  | 2693                  | 0.43 | 1153                  | 2695                  | 0.43 |
|        | 底版 | 1264                  | 2901                  | 0.44 | 1262                  | 2903                  | 0.44 |
|        | 側壁 | 1096                  | 1554                  | 0.71 | 1102                  | 1560                  | 0.71 |
|        | 隔壁 | 841                   | 926                   | 0.91 | 837                   | 926                   | 0.91 |

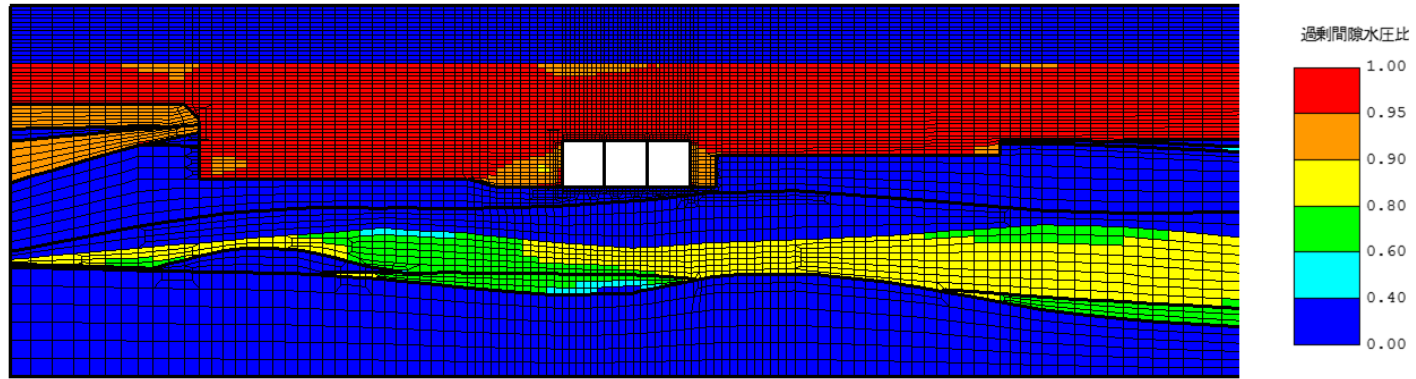


(a) 基本ケース

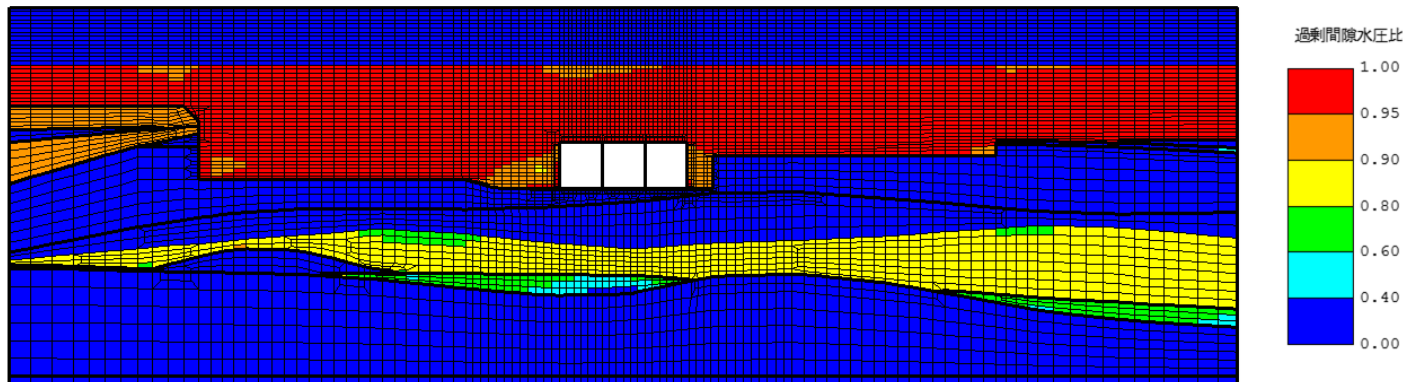


(b) 下限値ケース

図 3-4 最大せん断ひずみ分布図



(a) 基本ケース



(b) 下限値ケース

図 3-5 過剰間隙水圧比分布図

#### 4. まとめ

本検討では、A2s 層の液状化抵抗曲線の回帰曲線（平均 $-1\sigma$ 強度）を下回る供試体について、供試体の採取位置と評価対象施設との位置関係を整理した上で、供試体の土質性状及び採取箇所  
の地層の連続性等を検討した。

検討では、液状化抵抗曲線の回帰曲線（平均 $-1\sigma$ 強度）を下回る供試体について、土質性状の特異性を検討するため、粒度分布や粒度組成、N値等を比較した。その結果、当該供試体は、A2s 層の液状化強度試験の供試体のばらつきの範囲であり、特異性は認められないと判断できる。

また、当該供試体について、隣接ボーリング孔の観察記録から地層の連続性を確認した。その結果、当該供試体を採取した土層（礫主体の砂礫）は、広範囲に連続して分布していないと判断できる。

以上のことから、液状化抵抗曲線の回帰曲線（平均 $-1\sigma$ 強度）を下回る供試体は、土質性状としてはA2s 層のばらつきの範囲内にあり、広範囲に連続して分布していないことを確認した。

さらに、定量的な評価として、A2s 層の平均 $-1\sigma$ 強度を下回る試験データ（下限値相当）を考慮した感度分析を実施した。その結果、液状化強度特性の差異が耐震評価に影響を与えないことを確認したことから、現在の設定は妥当であると評価できる。



(参考) 供試体「FS02-2-9」について

図 4-1 に示すように、有効応力解析 (FLIP) における液状化強度特性 (平均値 (-1 $\sigma$ ) 強度) を下回る供試体は、「FS02-2-11」と「FS02-2-21」の他に、「FS02-2-9」が存在する。

ただし、「FS02-2-9」については、図 4-2 に示すように、液状化強度試験の初期段階で急激なひずみの局所化が発生しており、液状化に至る前にせん断破壊が発生したものと考えられることから、検討対象からは除外した。

なお、当該データのように、液状化に至る前にせん断破壊の発生した試験については、液状化と異なる現象でひずみが増大したものであるが、設計上の配慮として、液状化強度特性の設定においては、液状化に先行して発生したせん断破壊時の繰り返し回数を用いて回帰曲線を作成している。

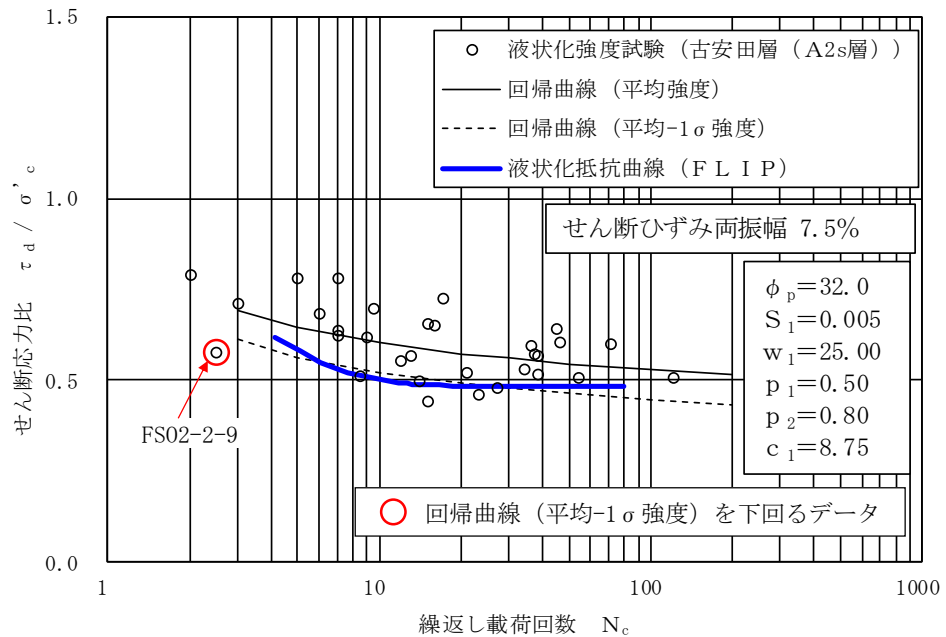


図 4-1 A2s 層の液状化強度試験結果

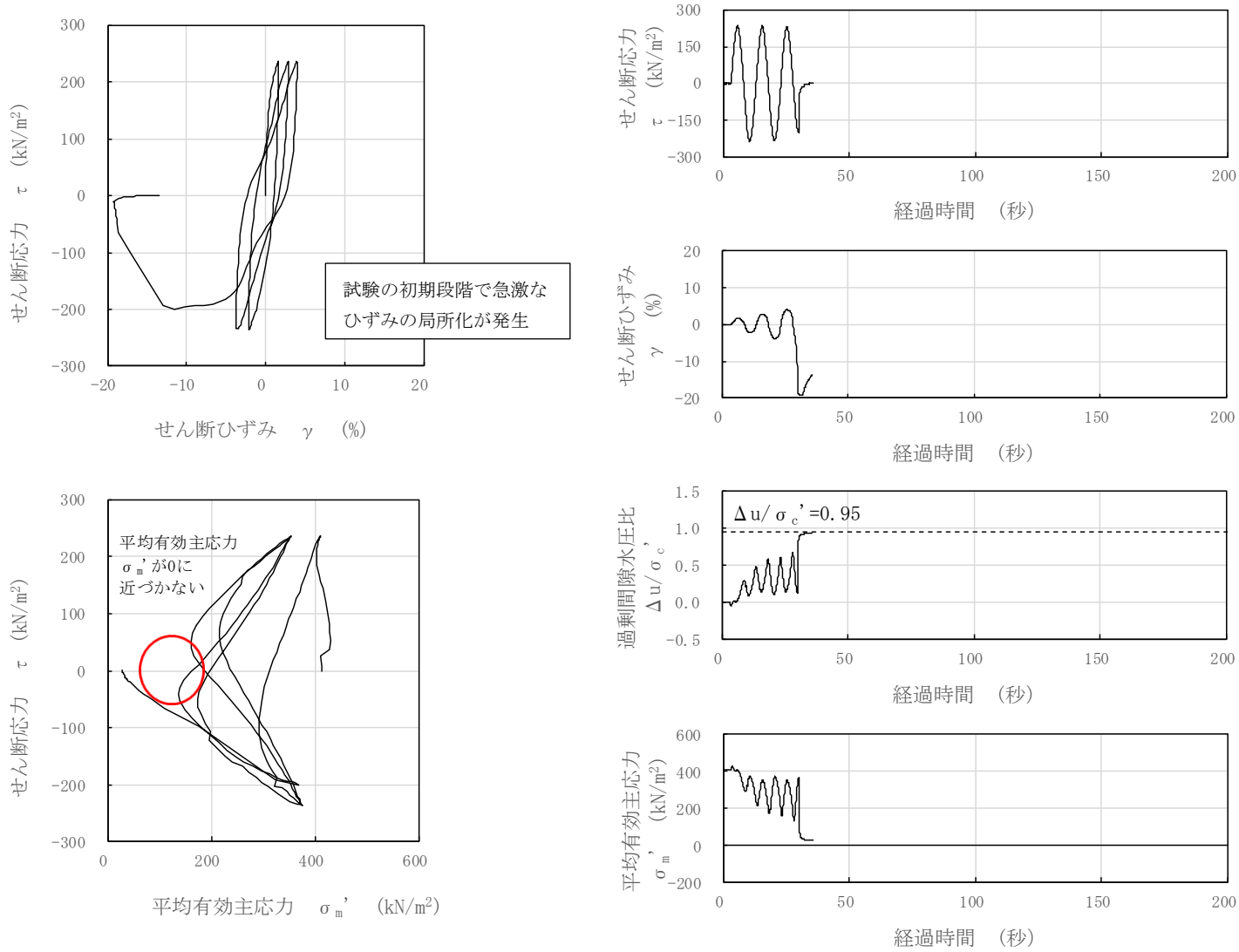
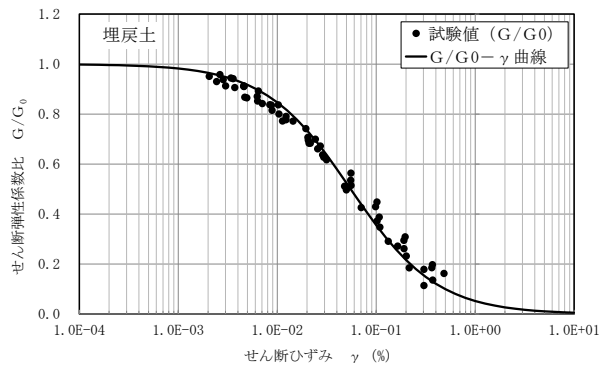


図 4-2 (参考) 液状化試験結果 (A2s 層, FS02-2-9, GL. -22.85~23.00m, 有効拘束圧 412kN/m<sup>2</sup>, せん断応力比=0.575)

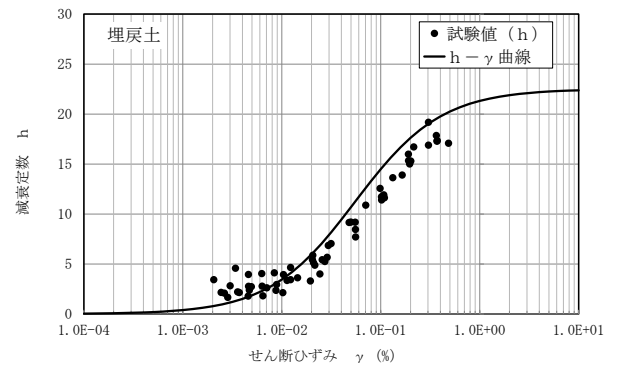
(参考資料 1 1) H-D モデルと試験結果の動的変形特性の比較

1. H-D モデルと試験結果に基づく動的変形特性の比較

有効応力解析コード「FLIP」では、地盤の非線形特性について「H-D モデル」が適用される。解析に用いる地盤の非線形特性と試験結果に基づく動的変形試験の比較を図 1-1～図 1-4 に示す。これより、H-D モデルと試験結果は概ね整合していることを確認した。

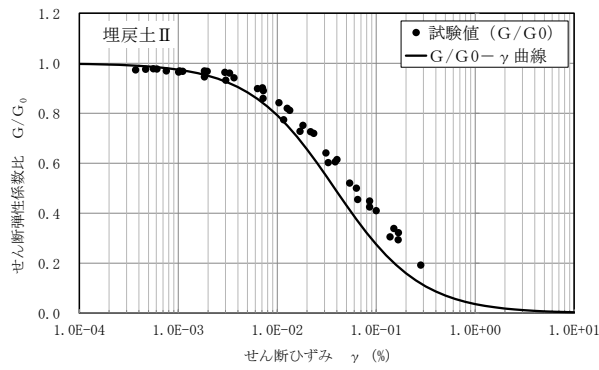


a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線

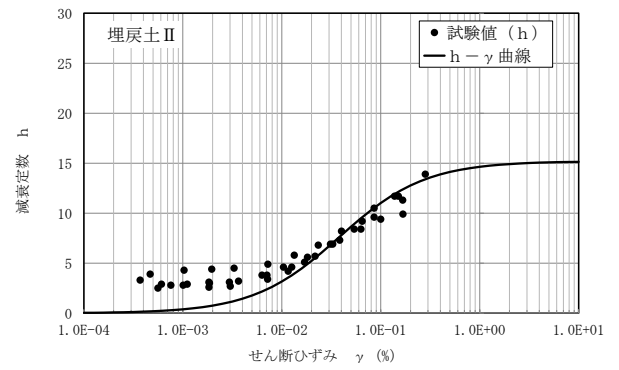


b.  $h \sim \gamma$  曲線

(a) 埋戻土

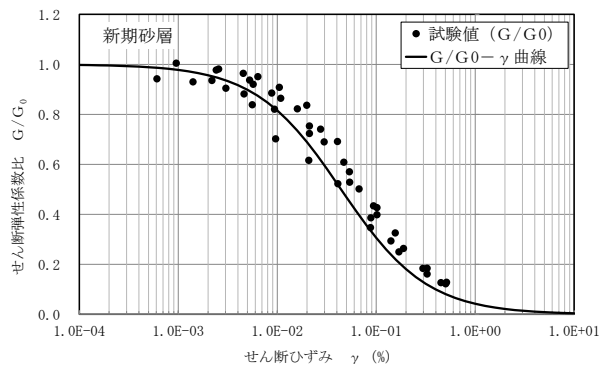


a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線

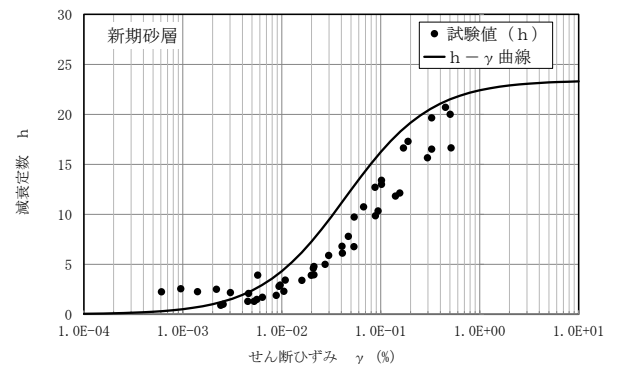


b.  $h \sim \gamma$  曲線

(b) 埋戻土 II



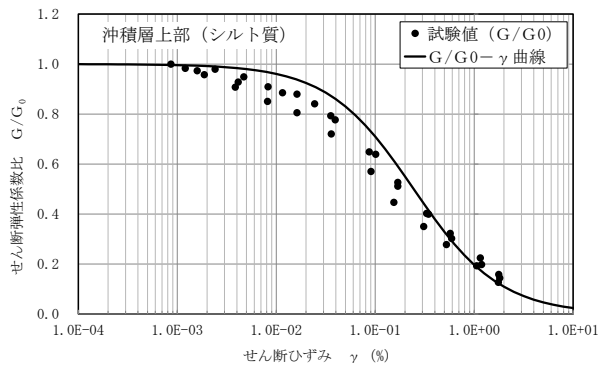
a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線



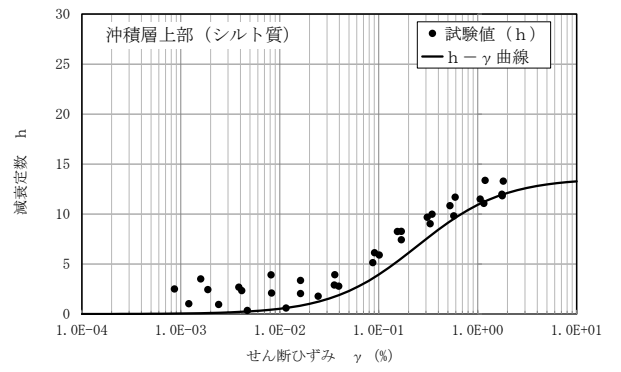
b.  $h \sim \gamma$  曲線

(c) 新期砂層

図 1-1 H-D モデルと試験結果に基づく動的変形特性

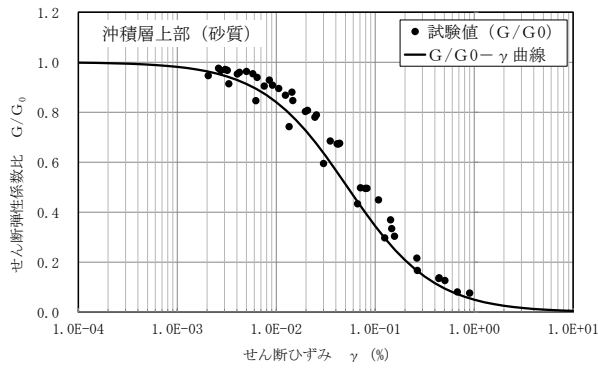


a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線

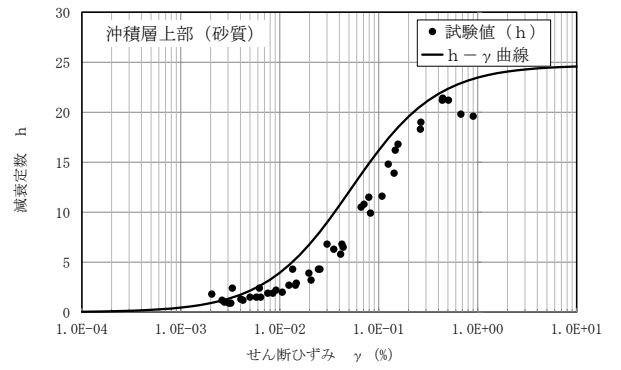


b.  $h \sim \gamma$  曲線

(d) 沖積層上部 (シルト質)

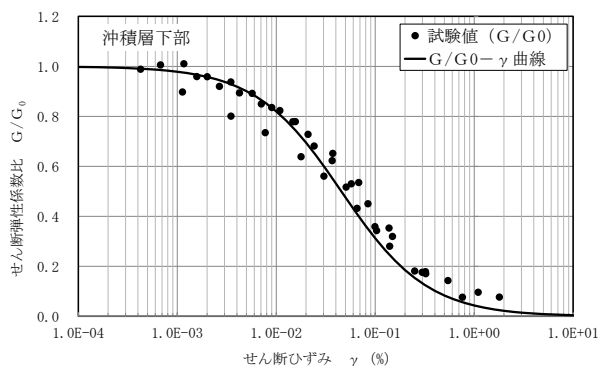


a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線

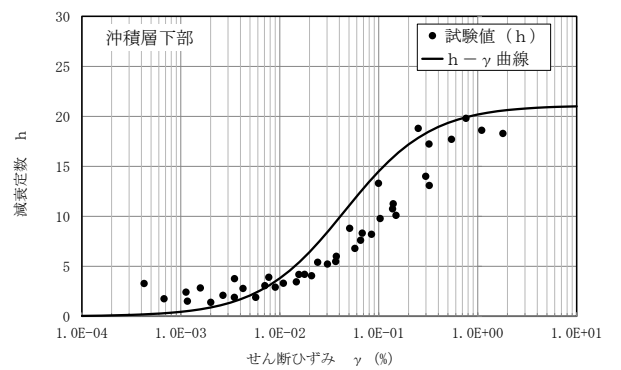


b.  $h \sim \gamma$  曲線

(e) 沖積層上部 (砂質)



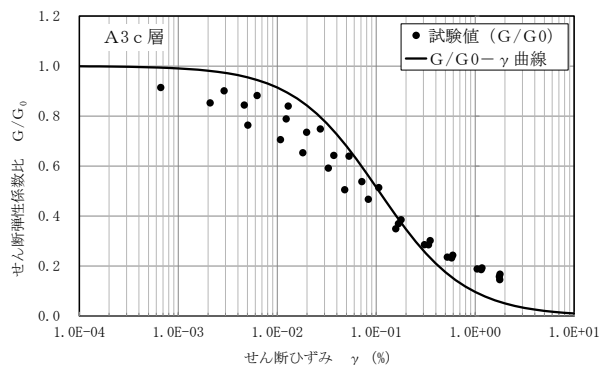
a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線



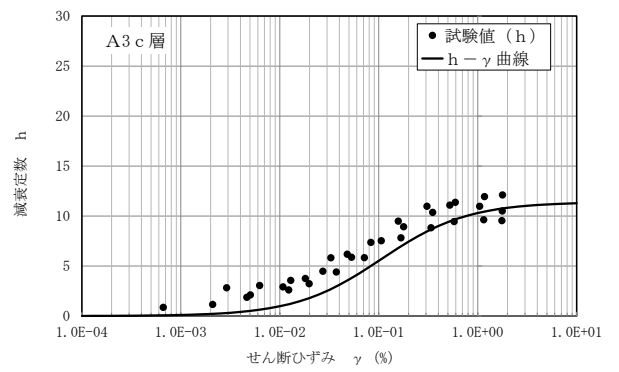
b.  $h \sim \gamma$  曲線

(f) 沖積層下部

図 1-2 H-D モデルと試験結果に基づく動的変形特性

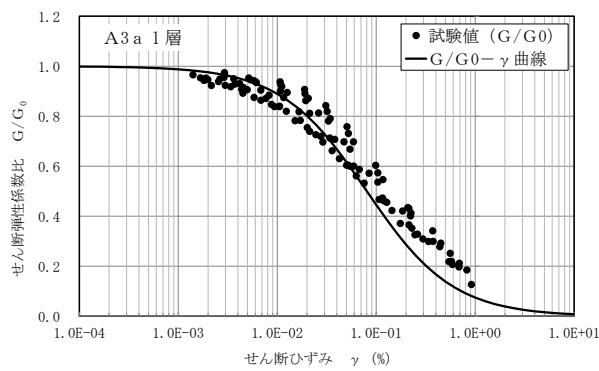


a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線

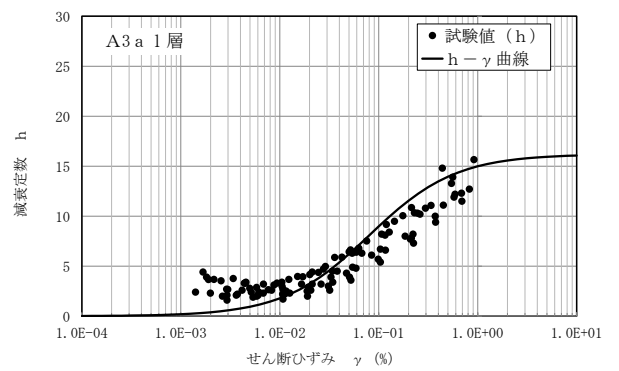


b.  $h \sim \gamma$  曲線

(g) A3c 層

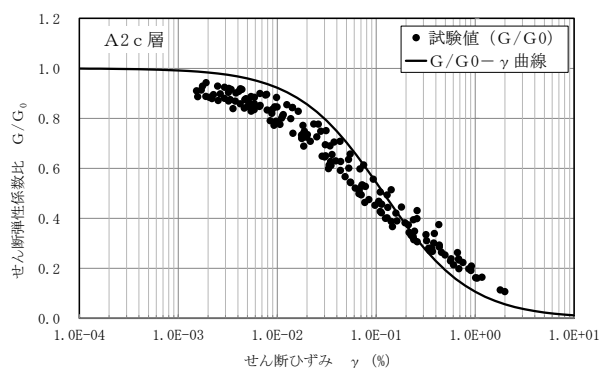


a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線

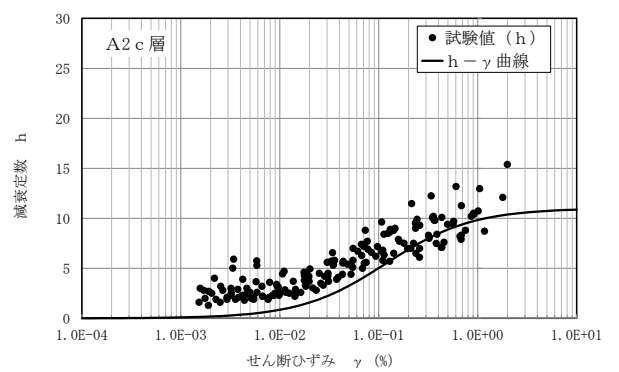


b.  $h \sim \gamma$  曲線

(h) A3a 1 層



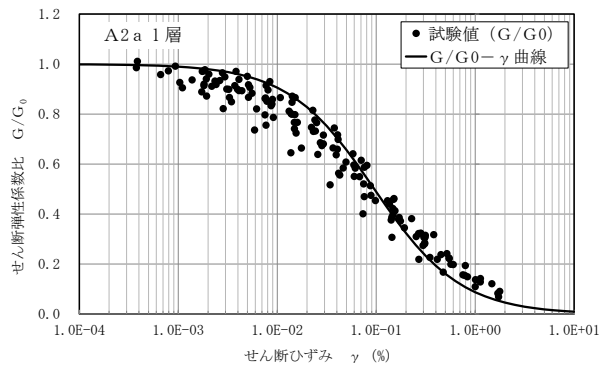
a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線



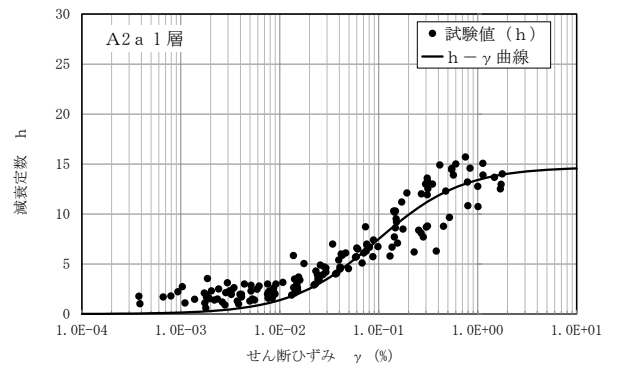
b.  $h \sim \gamma$  曲線

(i) A2c 層

図 1-3 H-D モデルと試験結果に基づく動的変形特性

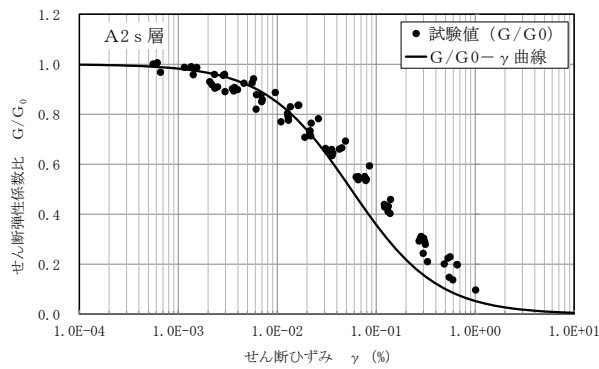


a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線

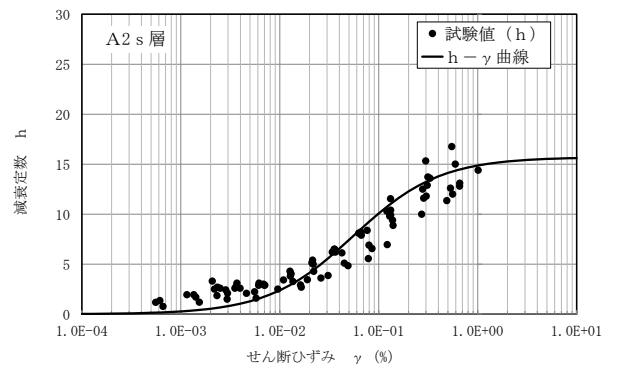


b.  $h \sim \gamma$  曲線

(j) A2a 1層



a.  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線



b.  $h \sim \gamma$  曲線

(k) A2s 層

図 1-4 H-D モデルと試験結果に基づく動的変形特性

(参考資料12) 建物・構築物の地震応答解析に用いる地盤諸定数について

## 1. 概要

本資料は、原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋及び廃棄物処理建屋（以下、「原子炉建屋等」という。）の地震応答解析に用いる水平成層地盤モデル及び物性値の諸定数の設定について説明するものである。

原子炉建屋等の地震応答解析に用いる初期地盤定数を表1-1に示す。水平成層地盤モデルにおける地層の構成は、深部より西山層、古安田層及び新期砂層であり、建設工認時の6,7号機原子炉建屋の直下におけるボーリング（以下、「炉心ボーリング」という。）の結果に基づき設定している。表1-1に示す各地層の地盤物性値は、前述のとおり、炉心ボーリングの結果に基づき設定しているものであり、建設工認時より変更はない。また、各地層のせん断剛性のひずみ依存特性  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線及び減衰定数のひずみ依存特性  $h \sim \gamma$  曲線は、設置変更許可申請書にも記載されている。これらの地盤物性値の設定根拠を以降の「2. 地盤調査結果及び試験結果」及び「3. 解析に用いる地盤の物性値」に示す。

表 1-1 初期地盤定数

| 標高<br>T. M. S. L.<br>(m) | 地層   | せん断波<br>速度<br>$V_s$<br>(m/s) | 単位体積<br>重量<br>$\gamma_t$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$ | せん断剛性の<br>ひずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$ 曲線 | 減衰定数の<br>ひずみ依存性<br>$h \sim \gamma$ 曲線<br>(%) |
|--------------------------|------|------------------------------|--------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|
| +12.0                    | 新期砂層 | 150                          | 16.1                                             | 0.347          | $1/(1+10.95\gamma^{0.81})$                 | $\gamma/(0.031\gamma+0.002)$                 |
| +8.0                     |      | 200                          | 16.1                                             | 0.308          |                                            |                                              |
| +4.0                     | 古安田層 | <u>330</u>                   | 17.3                                             | <u>0.462</u>   | $1/(1+5.39\gamma^{0.77})$                  | $24.8\gamma^{0.56}$                          |
| -6.0                     | 西山層  | <u>490</u>                   | <u>17.0</u>                                      | <u>0.451</u>   | $1/(1+4.10\gamma^{1.37})$                  | $25.0\gamma^{0.94}+0.7$                      |
| -33.0                    |      | <u>530</u>                   | <u>16.6</u>                                      | <u>0.446</u>   |                                            |                                              |
| -90.0                    |      | <u>590</u>                   | <u>17.3</u>                                      | <u>0.432</u>   |                                            |                                              |
| -136.0                   |      | <u>650</u>                   | <u>19.3</u>                                      | <u>0.424</u>   |                                            |                                              |
| -155.0                   | 椎谷層  | <u>720</u>                   | <u>19.9</u>                                      | <u>0.416</u>   | $1/(1+5.76\gamma^{0.69})$                  | $\gamma/(0.065\gamma+0.004)+0.7$             |
| $\infty$                 |      |                              |                                                  |                |                                            |                                              |

注記\*1：引用元にてSI単位となっていない数値はSI単位化している。

\*2：ハッチング箇所は、設置変更許可申請書に記載されている。

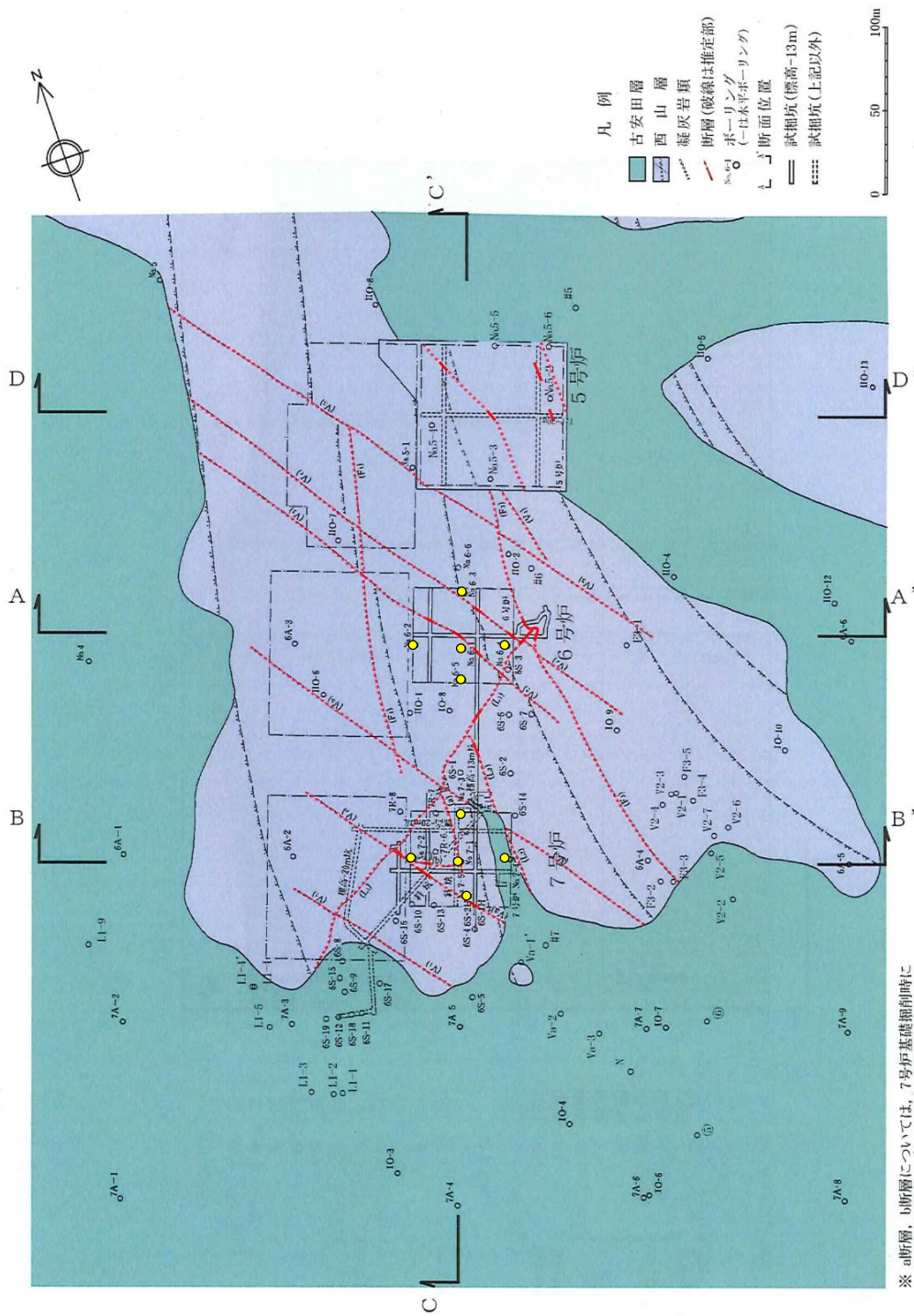
\*3：下線箇所は、炉心ボーリングに基づき設定している。



## 2. 地盤調査結果及び試験結果

### 2.1 地盤調査結果

原子炉建屋等の地震応答解析に用いる水平成層地盤モデルの設定根拠である炉心ボーリングの位置を図2-1に示す。



※ a断層, b断層については, 7号炉基礎掘削時にすべて取り除いており, 現在は存在しない。  
 ※ 5号炉の地質水平断面については, 5号炉試掘坑 (標高-25m~-30m) の水平断面を記載。

第3.4.2-8図 大湊側地質水平断面図 (標高-13m)

● : 炉心ボーリングの位置を示す。

図2-1 地質断面及び炉心ボーリングの位置

## 2.2 試験結果

解析に用いる地盤物性値は、せん断波速度（以下、「S波速度」という。） $V_s$ 、粗密波速度（以下、「P波速度」という。） $V_p$ 、単位体積重量 $\gamma_t$ 、ポアソン比 $\nu$ であり、その物性値は炉心ボーリングから採取した試料による試験結果と炉心ボーリングを用いて実施したP S 検層結果を基に設定しており、試験結果は建設工認時と同一である。表2-1に地盤物性値の設定根拠を示す。

S波速度 $V_s$ 及びP波速度 $V_p$ はP S 検層結果または超音波速度試験結果から、単位体積重量 $\gamma_t$ は炉心ボーリングから採取した試料による物理試験結果から設定し、ポアソン比 $\nu$ はS波速度 $V_s$ 及びP波速度 $V_p$ を用いた評価式により設定している。以降に各地層の物性値の設定根拠を示す。

表2-1 地盤物性値の設定根拠

| 地層   | 地盤物性値                                   | 試験名      | 備考                     |
|------|-----------------------------------------|----------|------------------------|
| 西山層  | 単位体積重量 $\gamma_t$                       | 物理試験     | 「3.1 西山層の物性値」に設定根拠を示す  |
|      | S波速度 $V_s$<br>P波速度 $V_p$<br>ポアソン比 $\nu$ | P S 検層結果 | 「3.1 西山層の物性値」に設定根拠を示す  |
| 古安田層 | 単位体積重量 $\gamma_t$                       | 物理試験     | 設置変更許可申請書に記載がある        |
|      | S波速度 $V_s$<br>P波速度 $V_p$<br>ポアソン比 $\nu$ | P S 検層結果 | 「3.2 古安田層の物性値」に設定根拠を示す |
| 新期砂層 | 単位体積重量 $\gamma_t$                       | 物理試験     | 設置変更許可申請書に記載がある        |
|      | S波速度 $V_s$<br>P波速度 $V_p$<br>ポアソン比 $\nu$ | 超音波速度試験  | 「3.3 新期砂層の物性値」に設定根拠を示す |

### 3. 解析に用いる地盤の物性値

#### 3.1 西山層の物性値

西山層の物性値のうち、せん断剛性のひずみ依存特性  $G/G_0 \sim \gamma$  曲線及び減衰定数のひずみ依存特性  $h \sim \gamma$  曲線は設置変更許可申請書に記載されたものと同一であり、建設工認時より変更はない。

一方で、その他の物性値は、建設工認時より変更はないが、設置変更許可申請書には記載がないため、主にこれらの設定根拠を以降に示す。

西山層の解析に用いる地盤の物性値の設定にあたっては、地盤の深度方向に物性の変化が認められることから、S波速度に着目して解放基盤表面までの間を4層に分割している。

##### (1) S波速度 $V_s$ 及びP波速度 $V_p$ の設定

図3-1に西山層のS波速度  $V_s$  及びP波速度  $V_p$  の深度方向分布を示し、これに基づきS波速度  $V_s$  及びP波速度  $V_p$  は、炉心ボーリングを用いて実施したP-S検層の結果を層区分毎に平均することにより設定している。

##### (2) 単位体積重量 $\gamma_t$ の設定

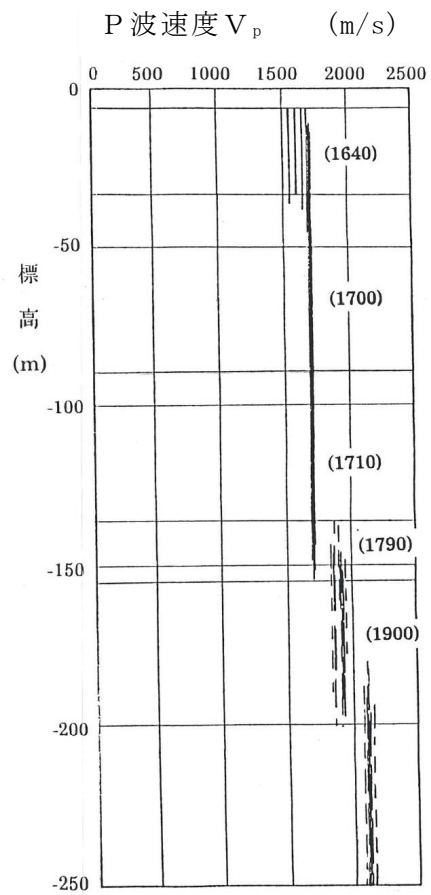
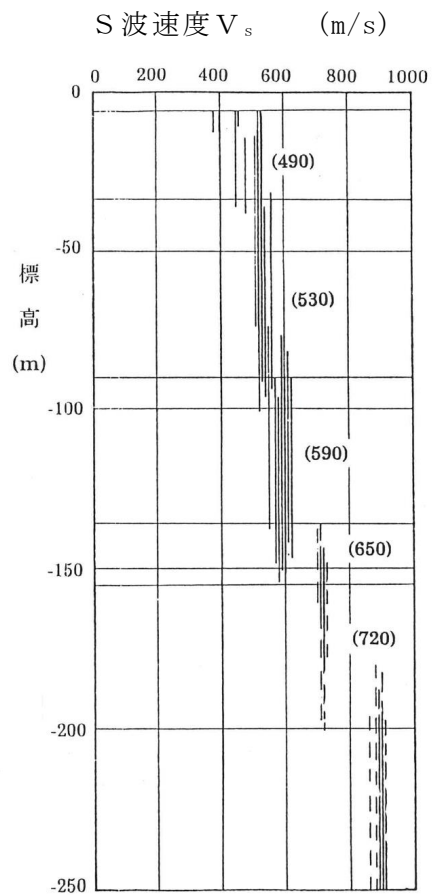
図3-2に西山層における単位体積重量の深度方向分布を示し、これに基づき単位体積重量  $\gamma_t$  は、採取した試料による物理試験の結果を層区分毎に平均することにより設定している。

##### (3) ポアソン比 $\nu$ の設定

S波速度  $V_s$  及びP波速度  $V_p$  を用いて次式により設定している。

$$\nu = \frac{0.5 \cdot \left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left( \frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

| 標高<br>T. M. S. L.<br>(m) | 地層   |
|--------------------------|------|
| +12.0                    | 新期砂層 |
| +8.0                     |      |
| +4.0                     | 古安田層 |
| -6.0                     | 西山層  |
| -33.0                    |      |
| -90.0                    |      |
| -136.0                   |      |
| -155.0                   |      |
| -155.0                   | 椎谷層  |



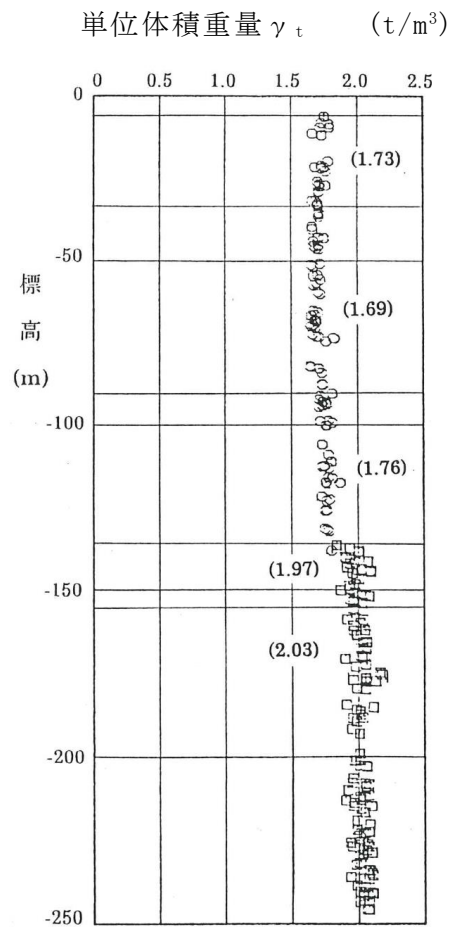
( ) 内の数値は設定値を示す。

(a) S 波速度  $V_s$  の分布

(b) P 波速度  $V_p$  の分布

図 3-1 西山層の S 波速度  $V_s$  及び P 波速度  $V_p$  の設定値

| 標高<br>T. M. S. L.<br>(m) | 地層   |
|--------------------------|------|
| +12.0                    | 新期砂層 |
| +8.0                     |      |
| +4.0                     | 古安田層 |
| -6.0                     | 西山層  |
| -33.0                    |      |
| -90.0                    |      |
| -136.0                   |      |
| -155.0                   | 椎谷層  |



単位体積重量  $\gamma_t$  の分布

図 3-2 西山層の単位体積重量  $\gamma_t$  の設定値

### 3.2 古安田層の物性値

古安田層の物性値のうち、単位体積重量 $\gamma_t$ 、せん断剛性のひずみ依存特性 $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線及び減衰定数のひずみ依存特性 $h \sim \gamma$ 曲線は設置変更許可申請書に記載されたものと同じであり、建設工認時より変更はない。

一方で、その他の物性値は、建設工認時より変更はないが、設置変更許可申請書には記載がないため、主にこれらの設定根拠を以降に示す。

#### (1) S波速度 $V_s$ 及びP波速度 $V_p$ の設定

図3-3に古安田層の弾性波速度の深度方向分布を示し、これに基づきS波速度 $V_s$ 及びP波速度 $V_p$ は、炉心ボーリングを用いて実施したPS検層の結果を平均することにより設定している。

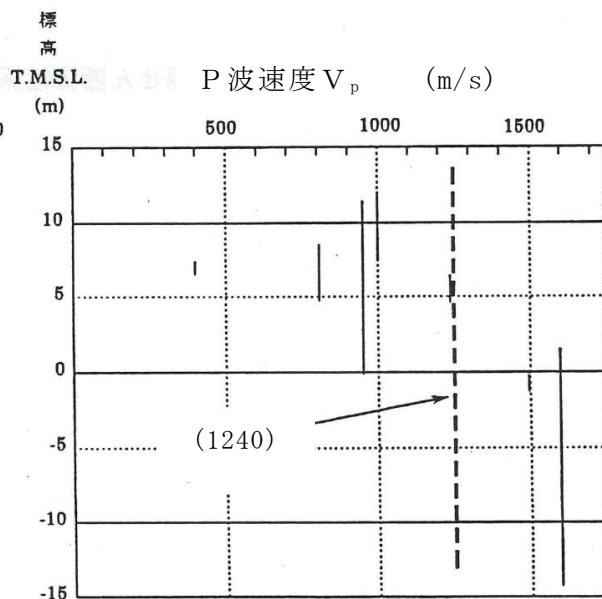
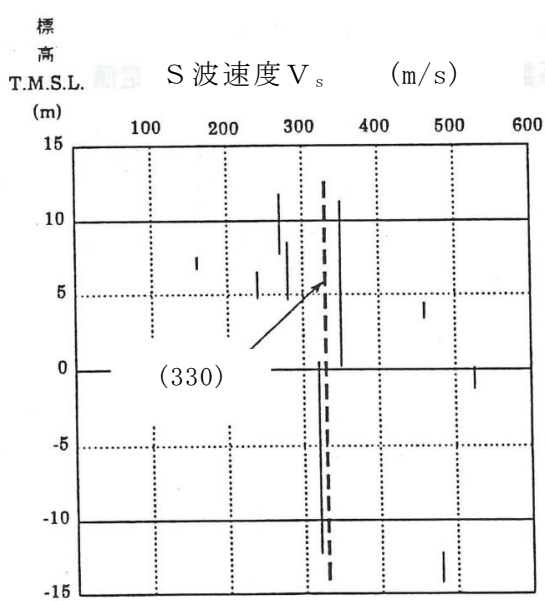
#### (2) 単位体積重量 $\gamma_t$ の設定

採取した試料による物理試験の結果を平均することにより設定しており、三軸圧縮試験の供試体の単位体積重量の平均値を用いた。

#### (3) ポアソン比 $\nu$ の設定

せん断波速度 $V_s$ 、P波速度 $V_p$ を用いて次式により設定している。

$$\nu = \frac{0.5 \cdot \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1}$$



( ) 内の数値は設定値を示す。

(a) S波速度  $V_s$  の分布

(b) P波速度  $V_p$  の分布

図3-3 古安田層のS波速度  $V_s$  及びP波速度  $V_p$  の設定値



### 3.3 新期砂層の物性値

新期砂層の物性値のうち，単位体積重量 $\gamma_t$ ，せん断剛性のひずみ依存特性 $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線及び減衰定数のひずみ依存特性 $h \sim \gamma$ 曲線は設置変更許可申請書に記載されたものと同じであり，建設工認時より変更はない。

一方で，S波速度 $V_s$ ，P波速度 $V_p$ 及びポアソン比 $\nu$ は，建設工認時より変更はないが，設置変更許可申請書には記載がないため，主にこれらの設定根拠を以降に示す。

#### (1) ポアソン比 $\nu$ の設定

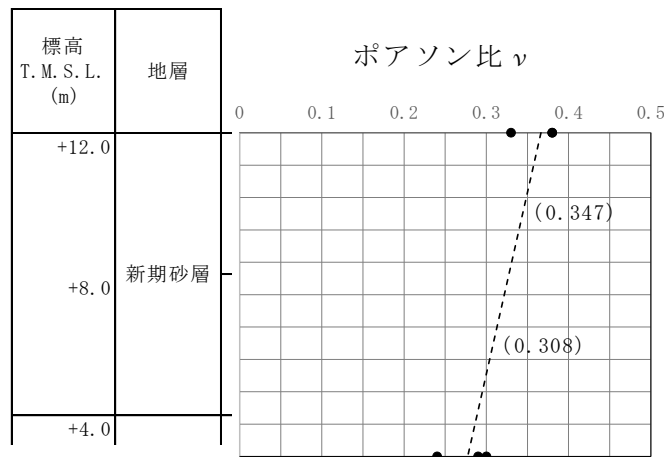
採取した試料による超音波速度試験の結果を基に設定しており，図3-4に示すように，ポアソン比 $\nu$ は拘束圧によって増加または減少する傾向が認められたことから，新期砂層を上下二層に分け，各層の層厚の中心における拘束圧に対応したポアソン比 $\nu$ を設定している。

#### (2) S波速度 $V_s$ 及びP波速度 $V_p$ の設定

前述のポアソン比 $\nu$ 及び超音波速度試験により設定した初期せん断弾性係数 $G_0$ と等価なS波速度 $V_s$ 及びP波速度 $V_p$ を求め設計値として設定している。

#### (3) 単位体積重量 $\gamma_t$ の設定

採取した試料による物理試験の結果を層区分毎に平均することにより設定しており，三軸圧縮試験の供試体の単位体積重量の平均値を用いた。



●は超音波速度試験結果を示す。  
 ( ) 内の数値は設定値を示す。

図3-4 新期砂層のポアソン比  $\nu$  の設定値