

(参考資料 13) 改良地盤における補足

1. 概要
2. 改良地盤の概要
3. 各施設における改良地盤の概要
4. 改良地盤の解析用物性値の設定
 - 4.1 基本方針
 - 4.2 既設改良地盤（改良地盤④，薬液注入工法）
 - 4.2.1 原位置試験及び室内試験
 - 4.2.2 解析用物性値の設定方法
 - 4.2.3 解析用物性値の設定 追而
 - 4.3 既設改良地盤（改良地盤⑤，高圧噴射攪拌工法）
 - 4.3.1 原位置試験及び室内試験
 - 4.3.2 解析用物性値の設定方法
 - 4.3.3 解析用物性値の設定
 - 4.4 既設改良地盤（改良地盤⑥，高圧噴射攪拌工法）
 - 4.4.1 原位置試験及び室内試験
 - 4.4.2 解析用物性値の設定方法
 - 4.4.3 解析用物性値の設定 追而
 - 4.5 新設改良地盤（改良地盤①～③，薬液注入工法）
 - 4.5.1 室内配合試験
 - 4.5.2 解析用物性値の設定方法
 - 4.5.3 解析用物性値の設定
 - 4.6 新設改良地盤（改良地盤⑦，高圧噴射攪拌工法）
 - 4.6.1 室内配合試験
 - 4.6.2 解析用物性値の設定方法
 - 4.6.3 解析用物性値の設定
 - 4.7 既設改良地盤（置換コンクリート）
 - 4.7.1 解析用物性値の設定
 - 4.8 既設改良地盤（改良地盤⑧，流動化処理工法）
 - 4.8.1 防波壁（逆T擁壁）の改良地盤⑧の経緯及び役割
 - 4.8.2 供試体作製及び室内試験
 - 4.8.3 解析用物性値の設定方法
 - 4.8.4 解析用物性値の設定
5. 品質確認方針
 - （参考1）設置許可段階における防波壁（逆T擁壁）の改良地盤の解析用物性値について
 - （参考2）設置許可段階における防波壁（逆T擁壁）の改良地盤の発生応力範囲について

1. 概要

島根原子力発電所の土木構造物は、構造物の支持や構造物の変形抑制等の役割に期待して、地盤改良やコンクリートの置換を実施している。

土木構造物の評価において、これらの改良地盤を含めて解析モデルを作成する必要があることから、原位置試験及び室内試験等に基づき、改良地盤に適切な解析用物性値を設定する。

また、改良地盤に期待する役割や物性値設定の経緯に応じて品質確認方針を設定のうえ、改良地盤の品質が確保されていることを確認する。

改良地盤のうち、2022年3月31日時点において施工済みのもの（以下「既設改良地盤」という）については、施工後の原位置試験及び室内試験の試験結果を踏まえて解析用物性値を設定する。

また、2022年3月31日時点において施工中、もしくは計画中のもの（以下「新設改良地盤」という）については、室内配合試験において作製した供試体の試験結果を踏まえて解析用物性値を設定する。

新設改良地盤のうち防波壁（逆T擁壁）の改良地盤については、設置許可段階において地震動及び地殻変動による基礎地盤の傾斜が基本設計段階の目安値である1/2,000を上回るものの、施設の安全機能を損なうおそれがない地盤であることを確認したことから、「防波壁（逆T擁壁）の改良地盤の基本設計方針としては、設置許可段階において設定したPS検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）が確保されていることを三軸圧縮試験等の室内試験及び原位置試験で確認する」こととしている。

上述を踏まえ、図1-1のフローに基づき、防波壁（逆T擁壁）の改良地盤の設計及び施工を実施する。防波壁（逆T擁壁）の改良地盤は、実施工に先立って実施する室内配合試験において、三軸圧縮試験及び超音波速度測定等により解析用物性値を設定することとし、設置許可段階において設定したPS検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）が確保されていることを確認する。

また、実施工における三軸圧縮試験及びPS検層により、設置許可段階において設定したPS検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）及び室内配合試験において設定した解析用物性値が確保されていることを、設工認審査において説明する。

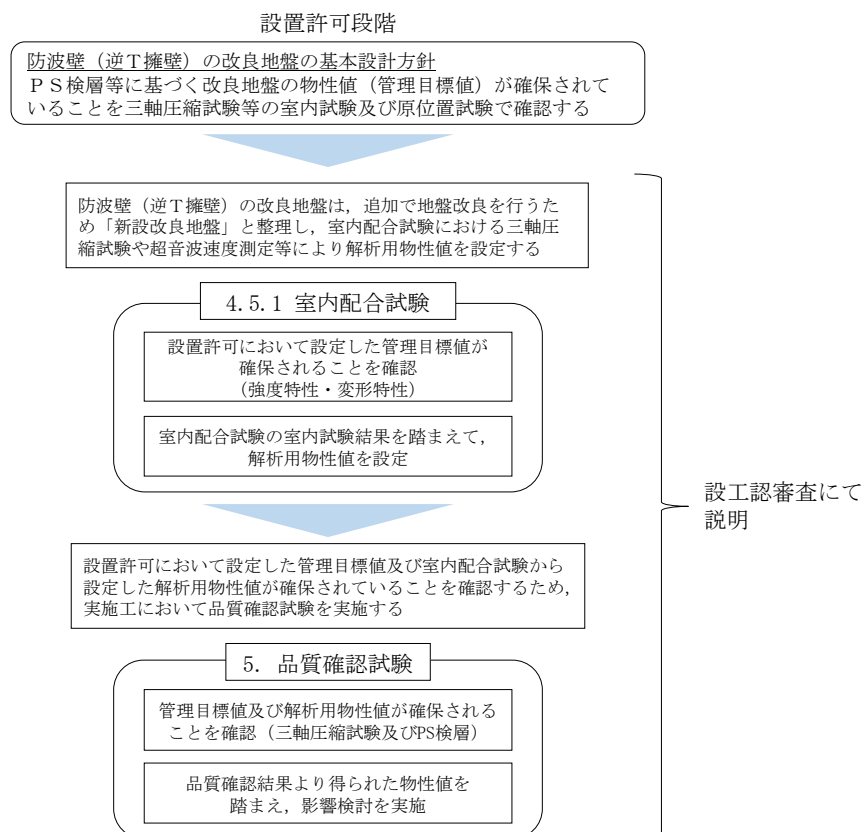


図1-1 防波壁（逆T擁壁）の改良地盤の検討フロー

2. 改良地盤の概要

2.1 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2.1-1に示す。

表 2.1-1 地盤改良工法の種類と適用地盤・効果

工法	適用地盤				工法の効果						
	粘性土	砂質土	粘性土 砂質土 の互層	有機 質土	沈下対策		安定対策				
					圧密沈 下促進	沈下量 減少	せん断 変形の 抑制	強度増 加促進	すべり 抵抗の 付与	液状化 の防止	
表層処理工法	表層排水工法										
	サンドマット工法	○			○			○	○	○	
	敷設材工法										
	浅層混合処理工法										
置換工法	掘削置換工法	○		○	○		○	○	○	○	
	強制置換工法										
押え盛土工法	押え盛土工法	○		○	○			○		○	
	緩斜面工法										
緩速載荷工法	漸増載荷工法	○		○	○			○			
	段階載荷工法										
載荷重工法	盛土荷重載荷工法								○		
	大気圧載荷工法	○		○	○						
	地下水低下工法										
パーティカル 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	○	○	○	○	○	○	○		○	○
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 2.1-1 に示す工法のうち、島根原子力発電所で適用している地盤改良工法としては、適用地盤や工法の効果とも幅広い「固結工法」を基本としている。固結工法のうち、採用した工法は深層混合処理工法（高圧噴射攪拌工法）及び薬液注入工法である。

この他、置換工法のうち、掘削置換工法（コンクリート置換工及び流動化処理工法）を採用した。

2.2 地盤改良工法の概要

島根原子力発電所で適用している地盤改良工法の概要を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 施工方法の概要 (1/2)

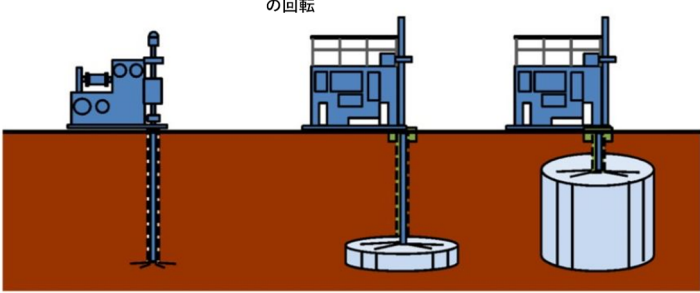
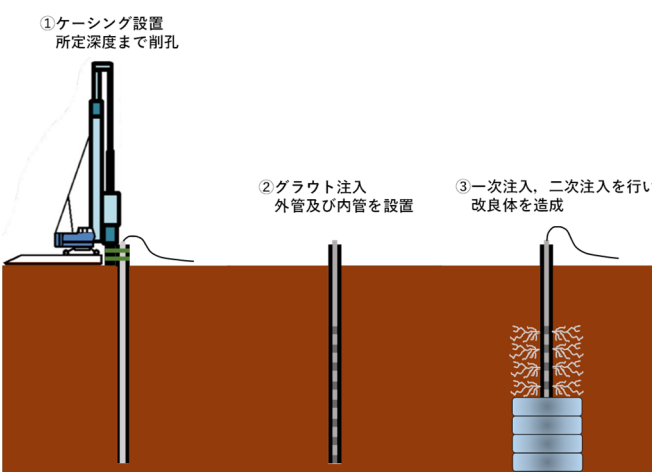
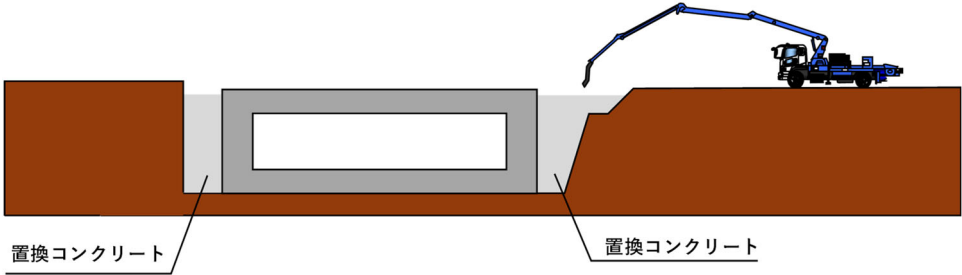
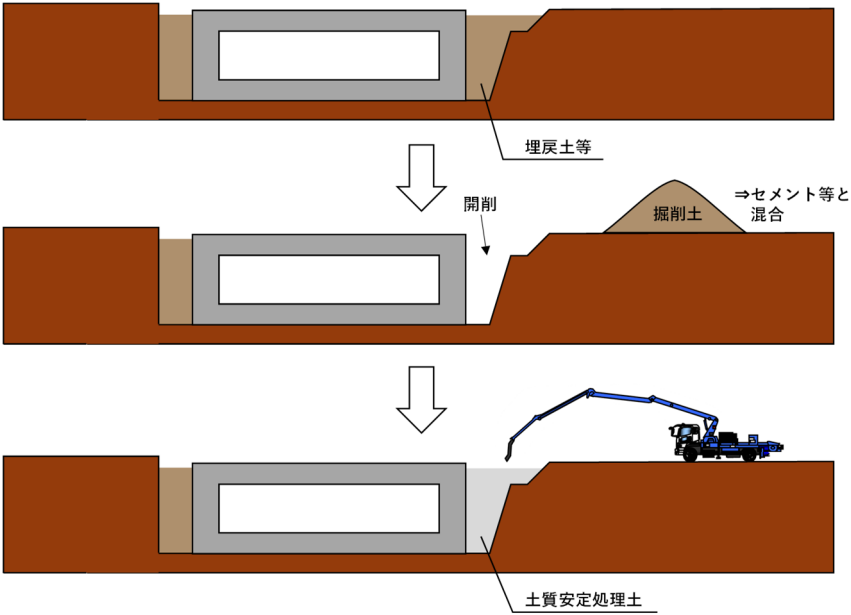
工法	概要
<p>深層混合 処理工法 (高圧噴射 攪拌工法)</p>	<p>高圧でセメントミルクを吐出し，原地盤を切削・攪拌することで改良体を造成する工法。構造物の支持や変形抑制を目的として，地上構造物及び埋設構造物があり開削が困難な防波壁（多重鋼管杭式擁壁），防波壁（波返重力擁壁）及び取水槽にて採用。</p> <div style="text-align: center;"> <p>①ガイドホール設置 所定深度まで削孔</p> <p>②機器設置 ロッド建て込み，超高压 ジェットの噴射・モニター の回転</p> <p>③②の状態を保ちつつ モニターの引き上げ， スライムの排出</p>  <p>高圧噴射攪拌工法の概要</p> </div>
<p>薬液注入 工法</p>	<p>ケーシングで削孔し，薬液を注入することで，改良体を造成する工法。地盤に注入された薬液は，地盤の土粒子構造を変えることなく，地盤内の間隙水と置き換わることにより粘着力を付加する。構造物の支持や変形抑制を目的として，地上構造物及び埋設構造物があり開削が困難な防波壁（逆T擁壁）及び防波壁（多重鋼管杭式擁壁）にて採用。</p> <div style="text-align: center;"> <p>①ケーシング設置 所定深度まで削孔</p> <p>②グラウト注入 外管及び内管を設置</p> <p>③一次注入，二次注入を行い 改良体を造成</p>  <p>薬液注入工法の概要</p> </div>

表 2.2-1 施工方法の概要 (2/2)

工法	概要
<p>掘削置換工法 (コンクリート置換工)</p>	<p>原地盤開削後にコンクリートを打設することで、改良地盤（置換コンクリート）を設置する工法。構造物の変形抑制を目的として、原地盤開削が可能な第1ベントフィルタ格納槽等にて採用。</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a foundation pit. A concrete structure is being poured into a trench. A concrete pump truck is positioned on the right, with its arm extending over the trench. Labels '置換コンクリート' (Replacement concrete) point to the concrete being poured and the existing ground. Below the diagram is the text 'コンクリート置換工の概要' (Overview of concrete replacement method).</p>
<p>掘削置換工法 (流動化処理工法)</p>	<p>原地盤開削後に、掘削土に細骨材、セメント及び水を混合して製造した流動化処理土により造成する工法。防波壁（逆T擁壁）基礎地盤の自主的な裕度向上対策として、防波壁背後の埋戻土部の液状化抑制を目的として採用。</p>  <p>The diagram illustrates a three-step process. Step 1: A trench is excavated, and the soil is labeled '掘削土' (Excavated soil). Step 2: An arrow labeled '開削' (Excavation) points to the next stage where the soil is mixed with cement and water, labeled '⇒セメント等と混合' (Mixed with cement, etc.). Step 3: An arrow points to the final stage where the treated soil is poured back into the trench, labeled '土質安定処理土' (Soil stabilization treated soil). A concrete pump truck is shown in the final stage. Below the diagram is the text '流動化処理工法の概要' (Overview of fluidized soil treatment method).</p>

3. 各施設における改良地盤の概要

各施設における改良地盤①～⑧の施工範囲を図3-1に、改良地盤の配置図を図3-2～図3-12に示す。改良地盤の地盤改良工法、目的及び解析用物性値の設定等を整理し、表3-1に示す。

表3-1に示すとおり、改良地盤の主な目的は、構造物の支持、変形抑制及び難透水性の保持に大別される。その他、防波壁の基礎地盤のすべり安定性向上のために自主対策として改良地盤を設置する。

各施設における改良地盤の施工範囲及び仕様については、各施設の要求機能を満たすように設定する。

なお、図中に記載されるMMRは、マンメイドロックの略称である。

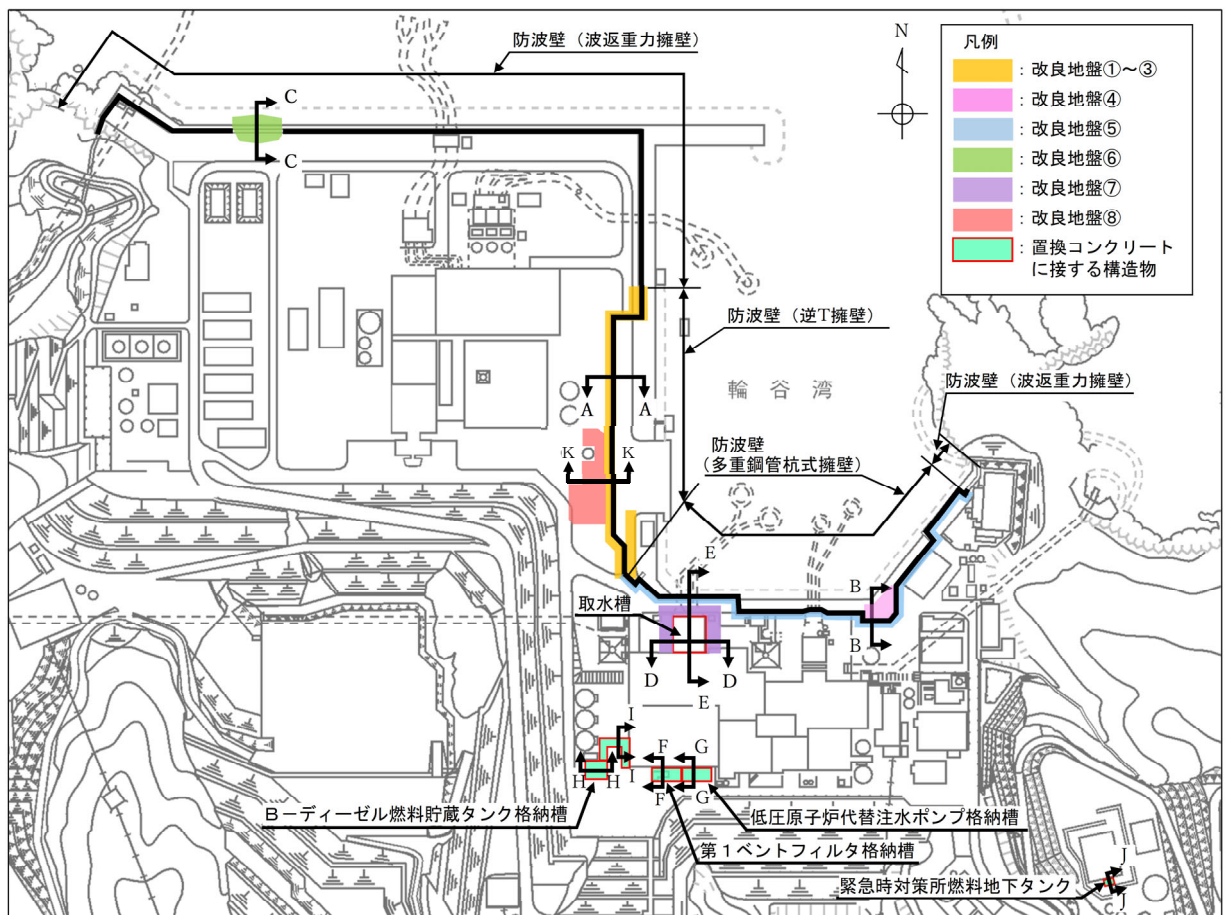


図3-1 改良地盤を設置する施設の平面配置図

(単位：m)

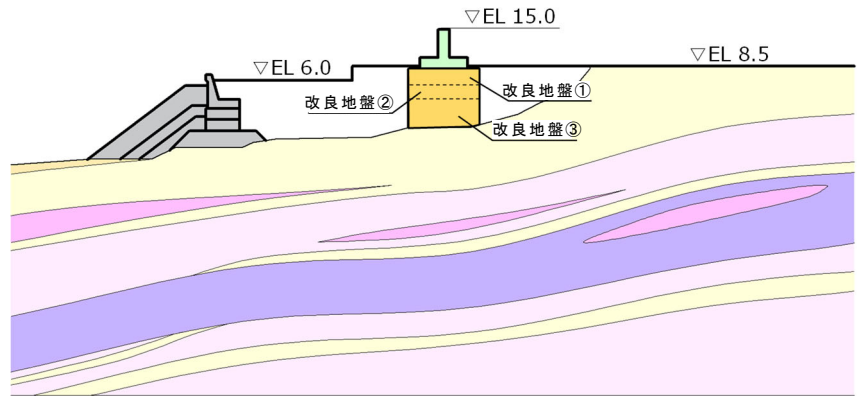
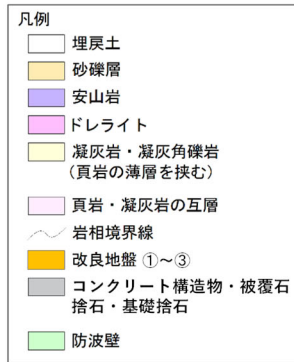


図 3-2 改良地盤の配置図

(防波壁 (逆T擁壁), A-A断面)

(単位：m)

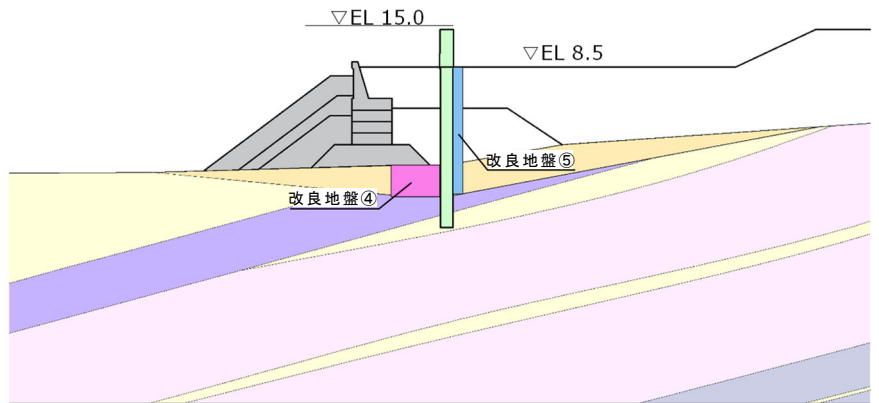
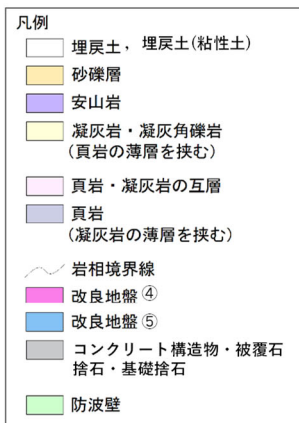


図 3-3 改良地盤の配置図

(防波壁 (多重鋼管杭式擁壁), B-B断面)

(単位：m)

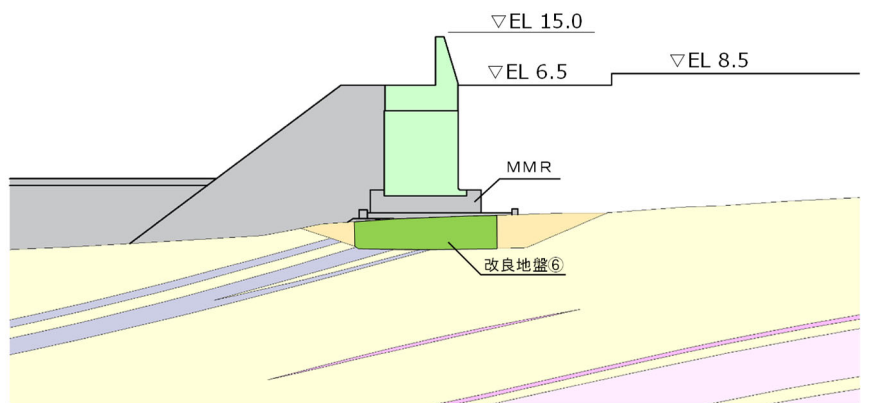


図 3-4 改良地盤の配置図

(防波壁 (波返重力擁壁), C-C断面)

(単位：m)

凡例	
埋戻土	
凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)	
頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)	
頁岩・凝灰岩の互層	
改良地盤⑦	
MMR・コンクリート構造物	
取水槽	

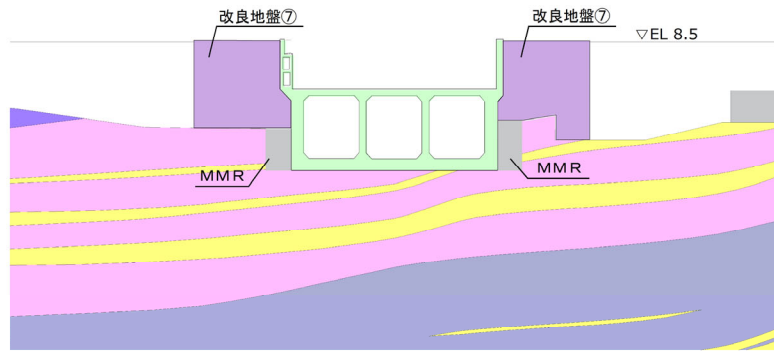


図 3-5 改良地盤の配置図
(取水槽，D-D断面)

(単位：m)

凡例	
埋戻土	
凝灰岩・凝灰角礫岩 (頁岩の薄層を挟む)	
頁岩 (凝灰岩の薄層を挟む)	
頁岩・凝灰岩の互層	
改良地盤⑦	
MMR・コンクリート構造物等	
取水槽	

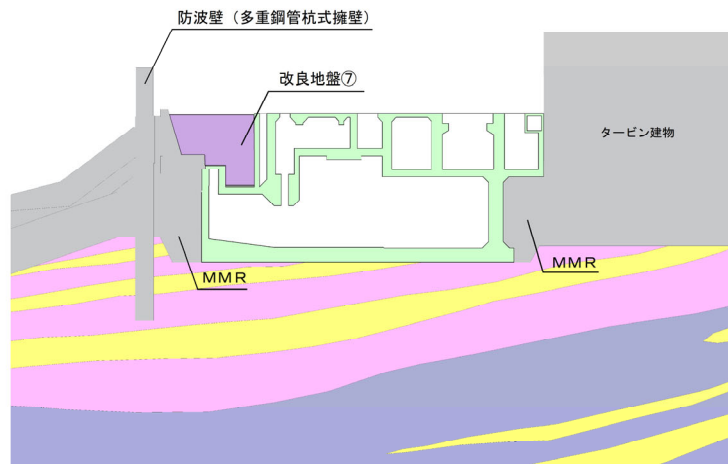


図 3-6 改良地盤の配置図
(取水槽，E-E断面)

(単位 : m)

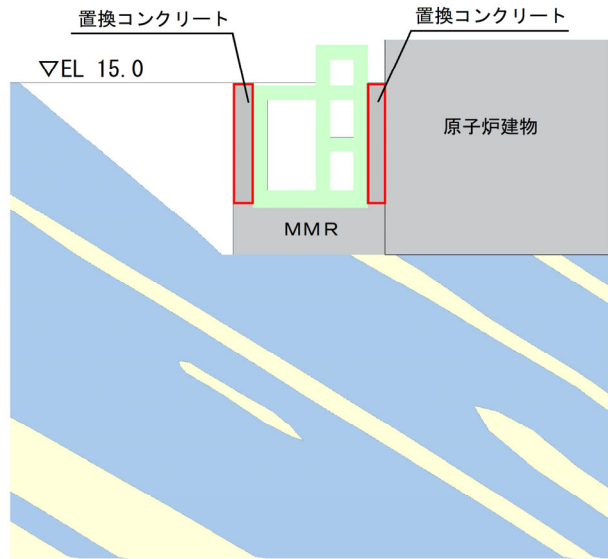
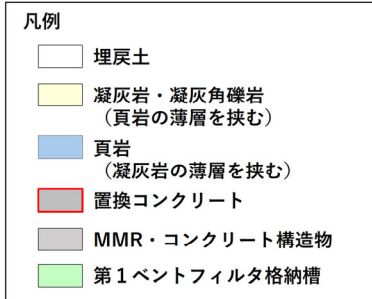


図 3-7 置換コンクリートの配置図
(第1ベントフィルタ格納槽, F-F断面)

(単位 : m)

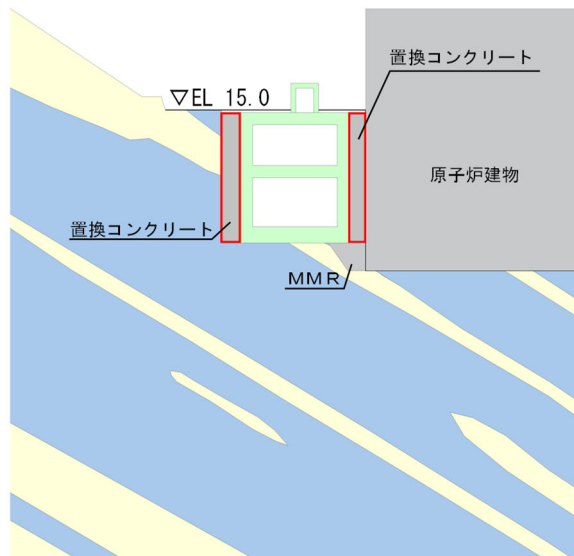
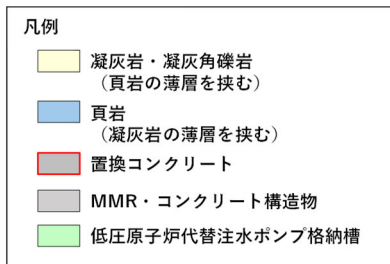


図 3-8 置換コンクリートの配置図
(低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽, G-G断面)

(単位 : m)

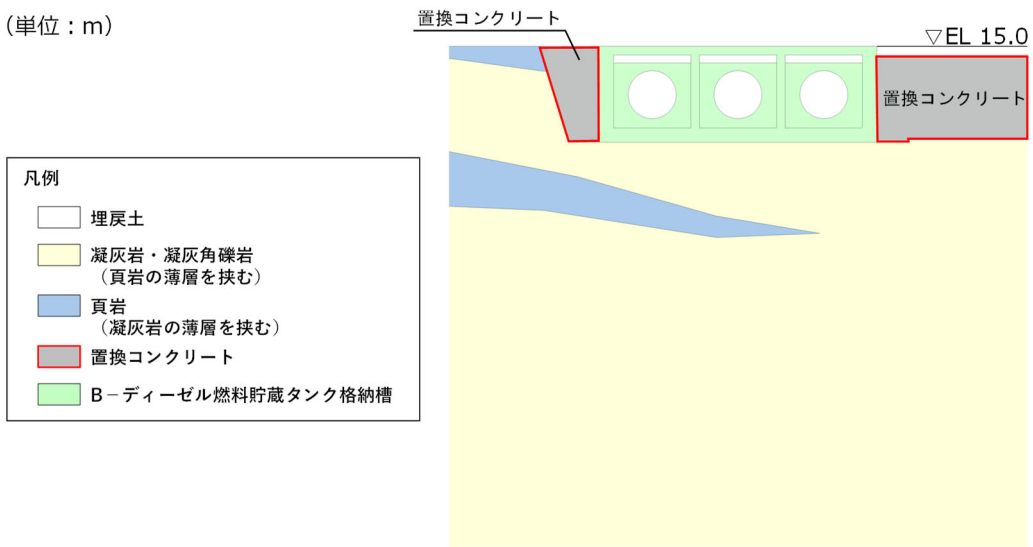


図 3-9 置換コンクリートの配置図
(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽, H-H断面)

(単位 : m)

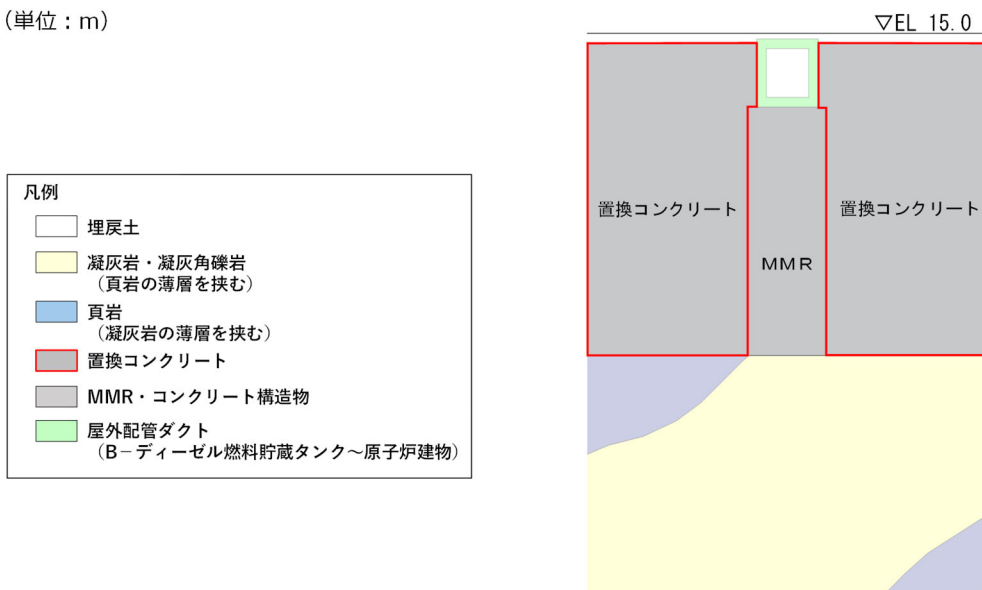


図 3-10 置換コンクリートの配置図
(屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物), I-I断面)

(単位：m)

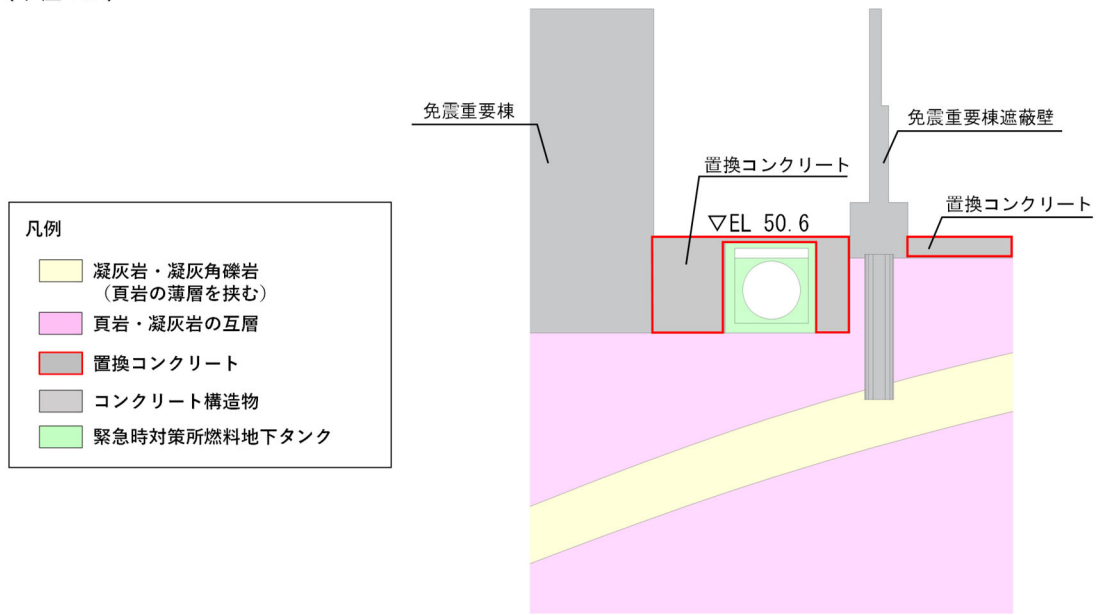


図 3-11 置換コンクリートの配置図
(緊急時対策所燃料地下タンク，J-J断面)

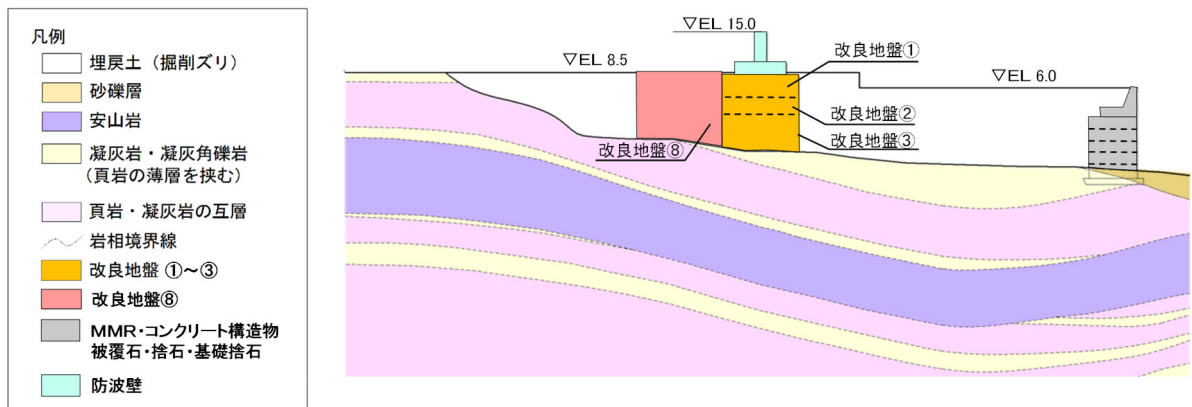


図 3-12 流動化处理土の配置図
(防波壁 (逆T擁壁)，K-K断面)

表 3-1 改良地盤の概要

凡例 赤字：室内配合試験に関する記載
青字：実施工に関する記載

対象施設	名称	既/新設	地盤改良工法	役割	物性値設定の経緯	解析用物性値設定に用いる試験方法	解析用物性値の設定方針	新設改良地盤の品質確認方法
防波壁（逆T擁壁）	改良地盤①	新設	薬液注入工法	擁壁の支持 難透水性の保持	<ul style="list-style-type: none"> ・設置許可段階の耐震重要施設等の基礎地盤の安定性評価において、防波壁（逆T擁壁）は地震動及び地殻変動による基礎地盤の傾斜が評価の目安値である1/2,000を上回るものの、PS検層等に基づく物性値（管理目標値）を設定した改良地盤であれば、施設の安全機能が損なわれないことを確認した ・設工認段階において、室内配合試験を実施し、設置許可段階において設定した物性値（管理目標値）が確保されていることを確認するとともに、試験結果を踏まえた解析用物性値を設定する ・また、実施工における三軸圧縮試験及びPS検層により、設置許可段階において設定した物性値（管理目標値）及び室内配合試験から設定した解析用物性値が確保されていることを確認する 	<ul style="list-style-type: none"> ・以下の室内配合試験において以下の試験を実施する 物理試験（密度、間隙率） 超音波速度測定 繰返し三軸試験 三軸圧縮試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・室内配合試験結果を踏まえた解析用物性値を設定する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・設置許可段階で設定した物性値（管理目標値）及び室内配合試験から設定した解析用物性値が確保されていることを確認する目的で、以下の品質確認試験を実施する 三軸圧縮試験 PS検層
	改良地盤②							
	改良地盤③							
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	改良地盤④	既設 (2013.8 竣工)	薬液注入工法	杭の変形抑制 難透水性の保持	<ul style="list-style-type: none"> ・設置許可段階の耐震重要施設等の基礎地盤の安定性評価においては、保守的に埋戻土としてモデル化した ・設工認段階の防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の詳細設計においては、杭の変形抑制及び難透水性の保持に期待した設計とするため、実施工における室内試験結果等を踏まえ、改良地盤の物性値を設定する 	<ul style="list-style-type: none"> ・以下の試験を実施する 物理試験（密度、間隙率） PS検層 繰返し三軸試験 三軸圧縮試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・試験結果を踏まえた解析用物性値を設定する。 	
	改良地盤⑤	既設 (2022.3 竣工)	高圧噴射攪拌工法	難透水性の保持	<ul style="list-style-type: none"> ・設置許可段階において、防波壁背後に難透水性の保持を役割とした改良地盤を設置することとし、薬液注入工法により計画した ・設置許可段階の耐震重要施設等の基礎地盤の安定性評価においては、保守的に埋戻土としてモデル化した ・より確実な地盤改良を行うために高圧噴射攪拌工法を採用し、施工したことから、設工認段階において、実施工における室内試験結果等を踏まえ、改良地盤の物性値を設定する 		<ul style="list-style-type: none"> ・試験結果を踏まえた解析用物性値を設定する。 	
防波壁（波返重力擁壁）	改良地盤⑥	既設 (2019.11 竣工)	高圧噴射攪拌工法	ケーソン及び擁壁の支持 (機器・配管系への影響) 難透水性の保持	<ul style="list-style-type: none"> ・設置許可段階において、ケーソン及び擁壁の支持性能並びに難透水性の保持を期待するため、高圧噴射攪拌工法による地盤改良を実施した。 ・設置許可段階の耐震重要施設等の基礎地盤の安定性評価においては、PS検層結果及び一軸圧縮試験結果を踏まえ、簡便法を実施するにあたり、C_M級岩盤相当の物性を有するものと評価した。 ・設工認段階において、実施工における室内試験結果等を踏まえ、改良地盤の物性値を設定する 	<ul style="list-style-type: none"> ・以下の室内配合試験において以下の試験を実施する 物理試験（密度、間隙率） 超音波探査 繰返し三軸試験 三軸圧縮試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・試験結果を踏まえた解析用物性値を設定する。 	
取水槽	改良地盤⑦	新設	高圧噴射攪拌工法	構造物の変形抑制 (機器・配管系への影響)	<ul style="list-style-type: none"> ・設置許可段階の耐震重要施設等の基礎地盤の安定性評価においては、埋戻土としてモデル化した ・設工認段階において、構造物の変形抑制機能を期待する改良地盤を設置することとし、高圧噴射攪拌工法を計画したことから、室内配合試験により改良地盤の物性値を設定する 		<ul style="list-style-type: none"> ・室内配合試験結果を踏まえた解析用物性値を設定する。 	
第1ペントフィルタ格納槽	置換コンクリート	既設	置換コンクリート	構造物の変形抑制 (機器・配管系への影響)		<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート標準示方書に基づき、品質管理を行う 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの設計基準強度を踏まえ、コンクリート標準示方書に基づき設定する。 	
低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽								
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽								
屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）								
緊急時対策所燃料地下タンク				構造物の変形抑制				
防波壁（逆T擁壁）	改良地盤⑧*	既設 (2022.4 完了)	流動化処理工法	基礎地盤のすべり 安定性向上 (自主対策)	<ul style="list-style-type: none"> ・設置許可段階の耐震重要施設等の基礎地盤の安定性評価においては、埋戻土としてモデル化したしたが、すべり安定性の裕度向上のため、自主的な対策として、防波壁背後を薬液注入工法により地盤改良を実施することとした。 ・設工認段階において、より確実な地盤改良を実施するため、置換工法（流動化処理工法）を採用したことから、実施工における室内試験結果等を踏まえ、改良地盤の物性値を設定し、防波壁（逆T擁壁）への影響の有無を確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・以下の試験を実施する 物理試験（密度、間隙率） PS検層 三軸圧縮試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・試験結果を踏まえた解析用物性値を設定する。 ・地盤硬化に伴う応力集中による防波壁（逆T擁壁）への影響を確認するため、試験結果よりも高い剛性を設定する。 	

注記*：改良地盤⑧による防波壁（逆T擁壁）への影響について、「補足-027-08 浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料」において説明する。

4. 改良地盤の解析用物性値の設定

4.1 基本方針

既設改良地盤（④～⑥，⑧）の解析用物性値については，施工後の原位置試験及び室内試験の試験結果を踏まえて設定する。

新設改良地盤（①～③，⑦）の解析用物性値については，改良地盤は未施工のため，室内配合試験において作製した供試体の試験結果を踏まえて設定する。

置換コンクリートの解析用物性値については，コンクリートの設計基準強度を踏まえ，文献に基づき設定する。

4.2 既設改良地盤（改良地盤④，薬液注入工法）

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の改良地盤④の役割は、「杭の変形抑制」及び「難透水性の保持」である。

既設改良地盤であることから、原位置試験及び三軸圧縮試験，繰返し三軸試験等の室内試験により解析用物性値を設定する。

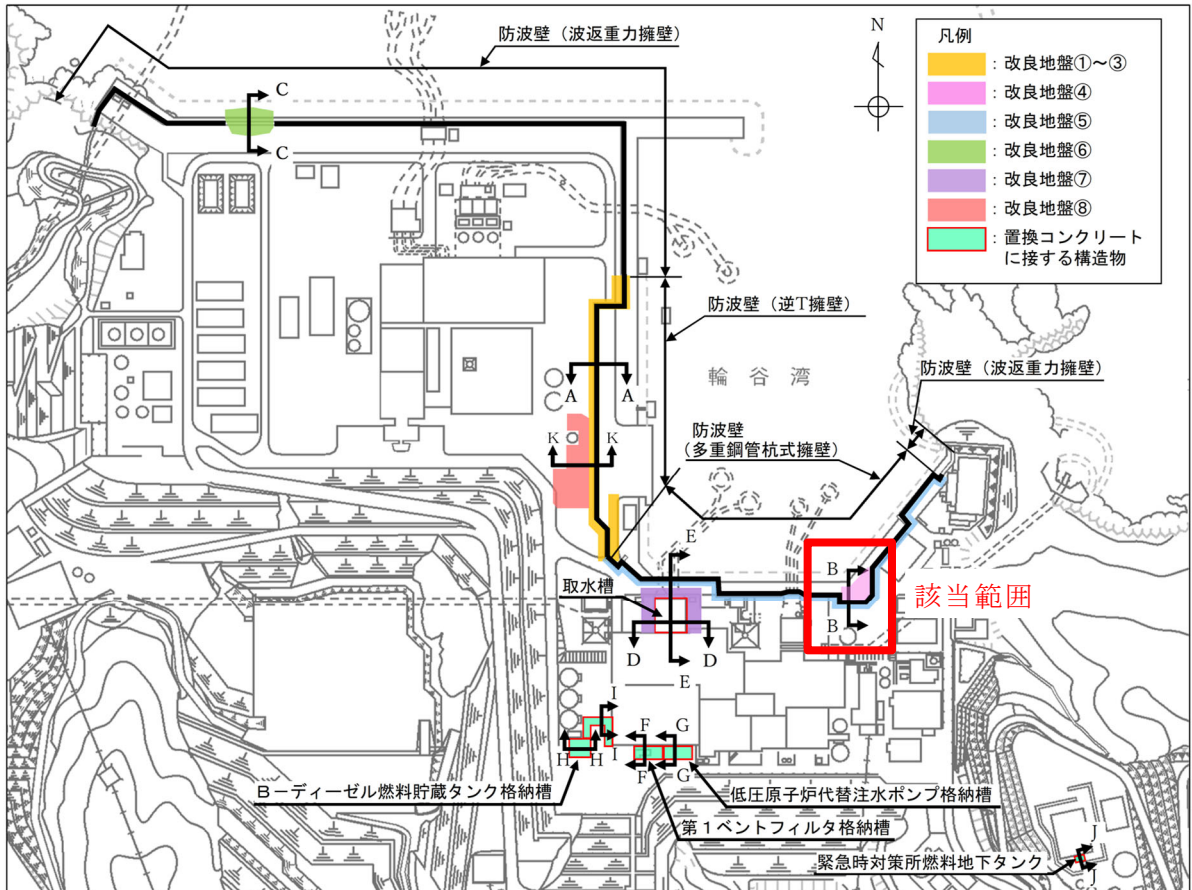


図 4.2-1 改良地盤④の平面配置図

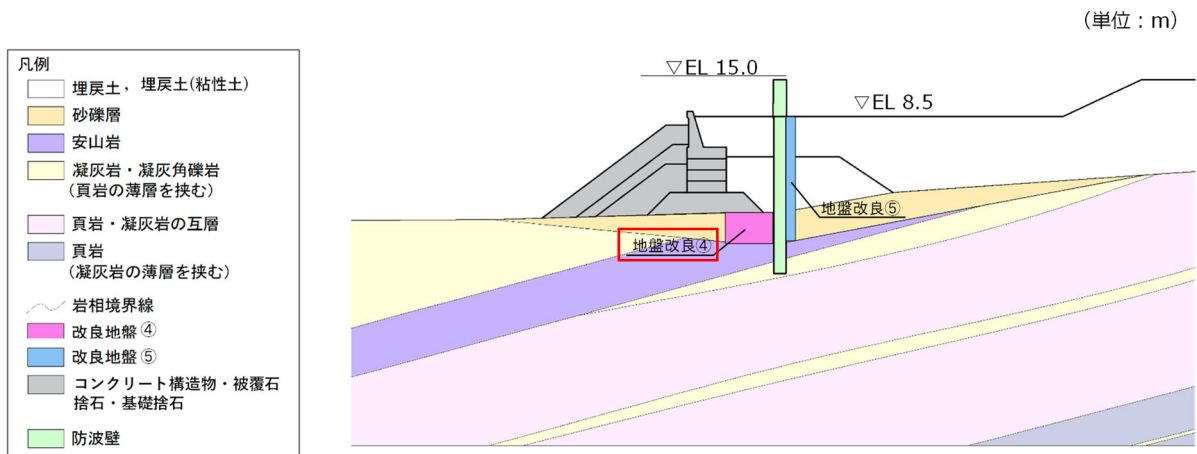


図 4.2-2 改良地盤④の配置図
(防波壁（多重鋼管杭式擁壁），B-B断面)

(参考) 13-15

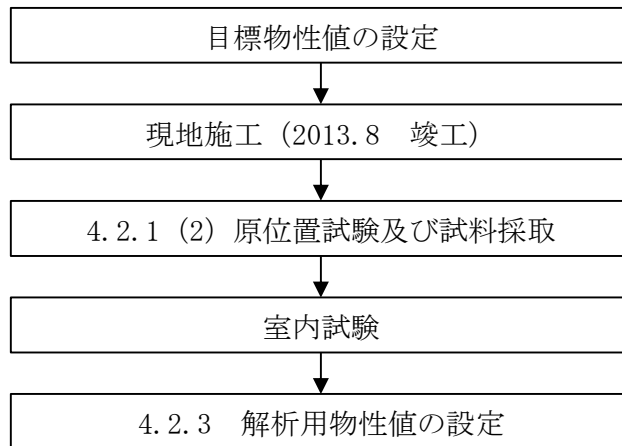


図 4.2-3 改良地盤④の解析用物性値設定のフロー

4.2.1 原位置試験及び室内試験

(1) 試験方法

原位置試験及び室内試験は、日本産業規格（J I S）又は地盤工学会（J G S）の試験基準に基づき実施する。

表 4.2.1-1 改良地盤④の試験項目及び数量

項目	規格・基準名称	試験規格	必要試験数量
飽和密度	土の湿潤密度試験方法	JIS A 1225	3 以上
間隙率	土粒子の密度試験方法	JIS A 1202	3 以上
S 波速度	地盤の弾性波速度検層方法	JGS 1122	3 以上
G/G0～ γ 関係 h～ γ 関係	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	JGS 0542	1 以上
粘着力 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧縮試験方法	JGS 0523	3 以上

(2) 原位置試験及び試料採取位置

原位置試験及び試料採取位置について、図 4.2.1-1 に示す。原位置試験及び試料採取位置は、既設構造物の配置等を踏まえ、おおむね均等になるよう配置する。

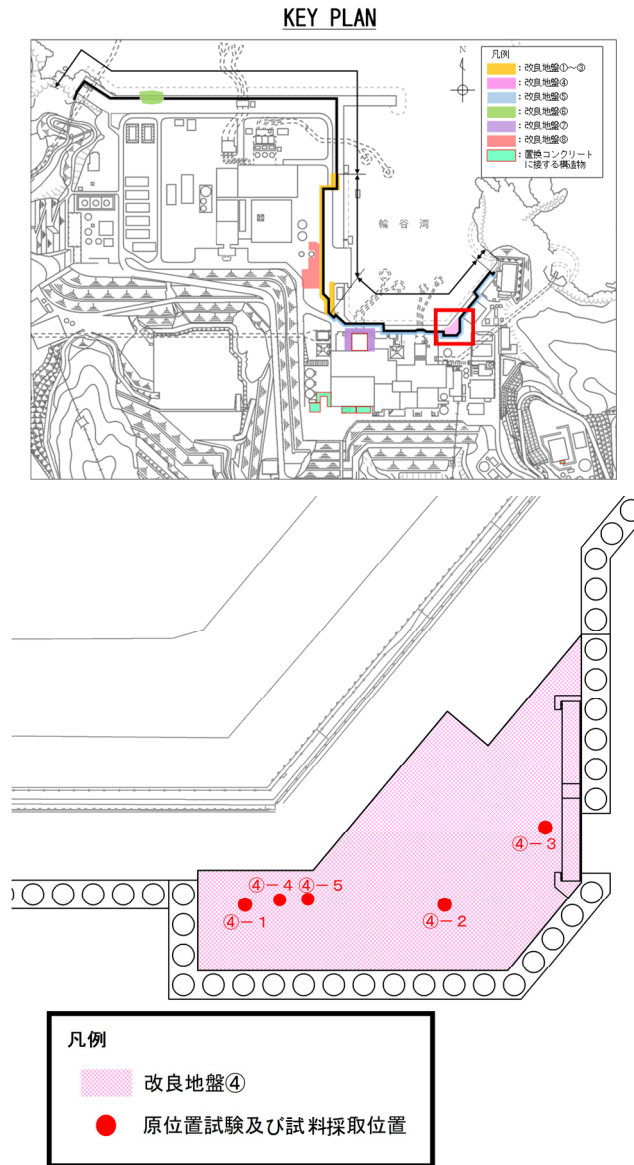


図 4.2.1-1 改良地盤④の原位置試験及び試料採取位置

4.2.2 解析用物性値の設定方法

改良地盤の解析用物性値は、改良地盤における原位置試験又は室内試験の試験結果を踏まえて設定する。

(1) 密度 ρ 及び間隙率 n

改良地盤の密度 ρ 及び間隙率 n は、室内試験の試験結果を踏まえて設定する。

(2) 動せん断弾性係数 G_{ma}

改良地盤の動せん断弾性係数 G_{ma} は、密度 ρ 、S波速度 V_s より、(式1)に基づき算定したせん断弾性係数 G_m 及び港湾技研資料に基づく(式2)のとおり設定した。

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

G_m : せん断弾性係数 (kN/m²)

ρ : 密度 (g/cm³)

V_s : S波速度 (m/s)

$$G_{ma} = G_m \cdot (\sigma_{ma}' / \sigma_m')^{0.5} \quad (\text{式2})$$

G_{ma} : 基準せん断弾性係数 (kN/m²)

σ_{ma}' : 基準平均有効拘束圧 (kN/m²)

σ_m' : 平均有効拘束圧 (kN/m²)

ここで、 $\sigma_m' = (\sigma_v' + \sigma_h') / 2 = (1 + K_0) \sigma_v' / 2$, $K_0 = 0.5$

σ_v' : 改良地盤の層中心における有効上載圧 (kN/m²)

(3) 動的変形特性

改良地盤の動的変形特性は、繰返し三軸試験の試験結果を踏まえて設定する。

有効応力解析では、ひずみ依存特性として、H-D (Hardin-Drnevich) モデルを設定するため、以下の式を用いる。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \gamma/\gamma_r} \quad (\text{式3})$$

$$h = h_{max} \left(1 - \frac{G}{G_0}\right) = \frac{h_{max} \gamma/\gamma_r}{1 + \gamma/\gamma_r} \quad (\text{式4})$$

$$\gamma_r = \frac{\tau_{ma}}{G_{ma}} = (c' + \sigma_{ma}' \cdot \tan \phi') / G_{ma} \quad (\text{式5})$$

G : せん断弾性係数

G_0 : 初期せん断弾性係数

γ : せん断ひずみ
 γ_r : 基準平均有効拘束圧時の基準ひずみ
 h_{max} : 減衰定数の上限値
 τ_{ma} : 基準平均有効拘束圧時のせん断強度
 G_{ma} : 基準平均有効拘束圧時のせん断弾性係数
 σ'_{ma} : 基準平均有効拘束圧
 c' : 粘着力 (有効応力)
 ϕ' : 内部摩擦角 (有効応力)

(4) ポアソン比 ν

改良地盤のポアソン比 ν 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)) に基づき、(式6) により算定した。

$$\nu = K_0 / (1 + K_0) \quad (\text{式6})$$

ν : ポアソン比

K_0 : 静止土圧係数 (=0.5)

(5) 粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ

改良地盤の強度特性である粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ については、三軸圧縮試験の試験結果を踏まえて設定する。

4.2.3 解析用物性値の設定

追而

4.3 既設改良地盤（改良地盤⑤， 高圧噴射攪拌工法）

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の改良地盤⑤の役割は、「難透水性の保持」である。

既設改良地盤であることから、原位置試験及び三軸圧縮試験，繰返し三軸試験等の室内試験により解析用物性値を設定する。

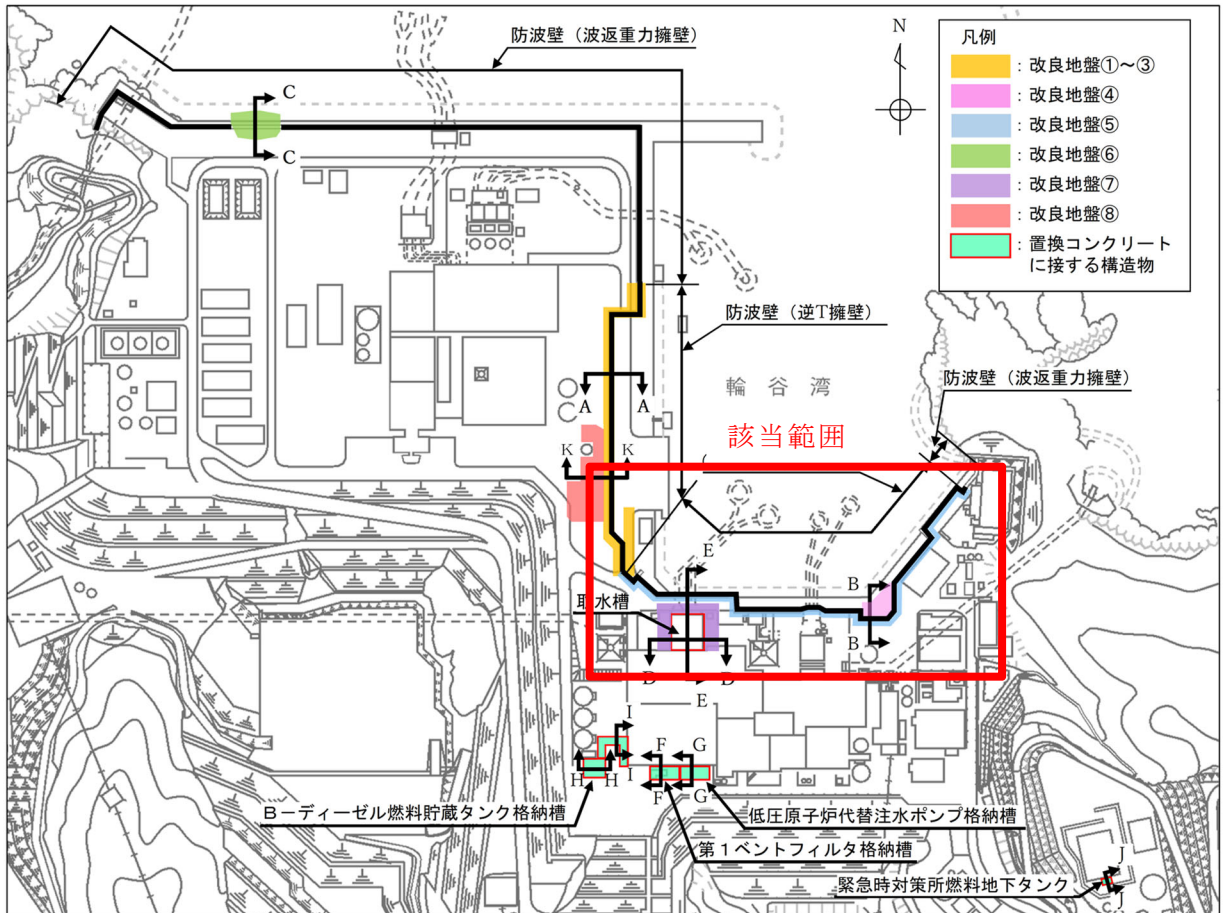


図 4.3-1 改良地盤⑤の平面配置図

(単位：m)

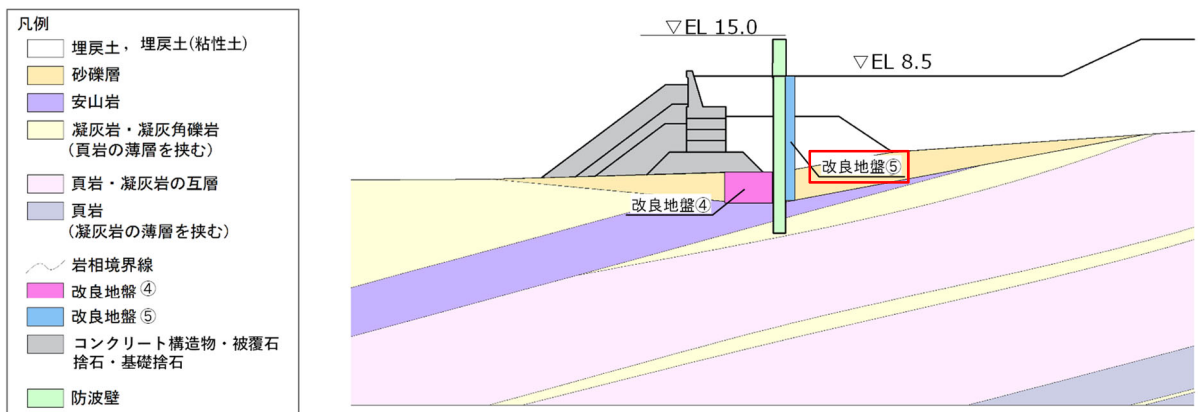


図 4.3-2 改良地盤⑤の配置図
(防波壁（多重鋼管杭式擁壁）， B - B 断面）

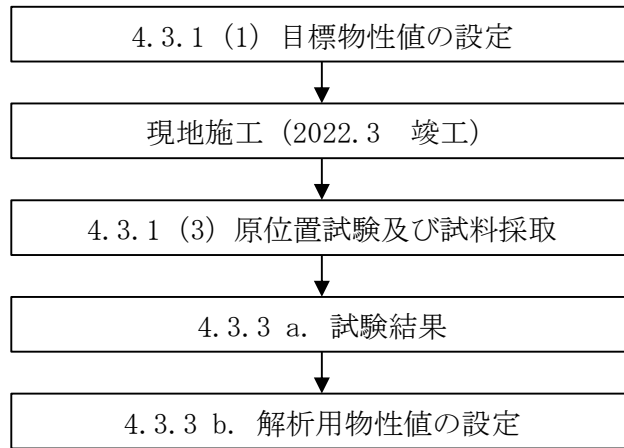


図 4.3-3 改良地盤⑤の解析用物性値設定のフロー

4.3.1 原位置試験及び室内試験

(1) 目標物性値の設定

表 4.3.1-1 のとおり目標物性値を設定する。

詳細な設定方法は「4.2.2 解析用物性値の設定方法」と同じとする。

表 4.3.1-1 改良地盤⑤における目標物性値及び設定根拠

		目標物性値	設定方法
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.11	改良前の埋戻土は、十分に締固められており、間隙比が小さいこと、改良後の体積変化はないよう施工することから、改良前の値に設定
	間隙率 n	0.45	慣用値*
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	368100	当該地盤改良の目的が難透水性の確保であるため、改良前の埋戻土相当のせん断波速度 $V_s=430$ m/sを用いて $G_m=\rho V_s^2$ により、せん断弾性係数 G_m を求め、 G_{ma} を算定 算定方法は「4.2.2 解析用物性値の設置方法」参照
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98	慣用値*
	ポアソン比 ν	0.33	港湾技研資料*に基づき、下式により算定した。 $\nu = K_0 / (1 + K_0)$ K_0 : 静止土圧係数 (=0.5)
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.095	改良前の埋戻土は、十分に締固められており、間隙比が小さいこと、改良後の体積変化はないよう施工することから、減衰定数は同等になると考え、改良前の値に設定
強度特性	粘着力 C' (kN/m ²)	1250	改良強度 $q_u=2500$ kN/m ² から、 $c = q_u/2$ により算出
	内部摩擦角 ϕ'	0	高圧噴射攪拌工法であり、C材の性質を有すると考えられることから、 $\phi' = 0$ とした

注記* : 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, 1997年6月)

(2) 試験方法

原位置試験及び室内試験は、日本産業規格（JIS）又は地盤工学会（JGS）の試験基準に基づき実施する。

表 4.3.1-2 改良地盤⑤の試験項目及び必要試験数量

項目	規格・基準名称	試験規格	必要試験数量
飽和密度	土の湿潤密度試験方法	JIS A 1225	3 以上
間隙率	土粒子の密度試験方法	JIS A 1202	3 以上
S 波速度	地盤の弾性波速度検層方法	JGS 1122	—
G/G0～ γ 関係 h～ γ 関係	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	JGS 0542	1 以上
粘着力 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧縮試験 方法	JGS 0523	3 以上

(3) 原位置試験及び試料採取位置

原位置試験及び試料採取位置について、図 4.3.1-1 に示す。既設改良地盤における原位置試験及び試料採取位置は、既設構造物の配置等を踏まえ、おおむね均等になるよう配置する。

⑤-1～⑤-4 における試験実施項目及び数量を表 4.3.1-3 に示す。



図 4.3.1-1 改良地盤⑤の原位置試験及び試料採取位置

表 4.3.1-3 各試料採取位置における試験実施項目及び数量

試験項目	採取数量				合計
	⑤-1	⑤-2	⑤-3	⑤-4	
密度試験	3	3	—	3	9
PS 検層*	5	—	12	15	32
三軸圧縮試験	—	3	—	—	3
繰返し三軸試験	—	—	1	—	1

注記* : PS 検層の測定区間長 1m を一つの試験数とみなす。

三軸圧縮試験及び繰返し三軸試験の試料を採取したボーリングコア及び試験に使用した試料の採取位置を示す。試料採取に当っては、埋戻土の岩砕及び改良体を含む位置を選定した。

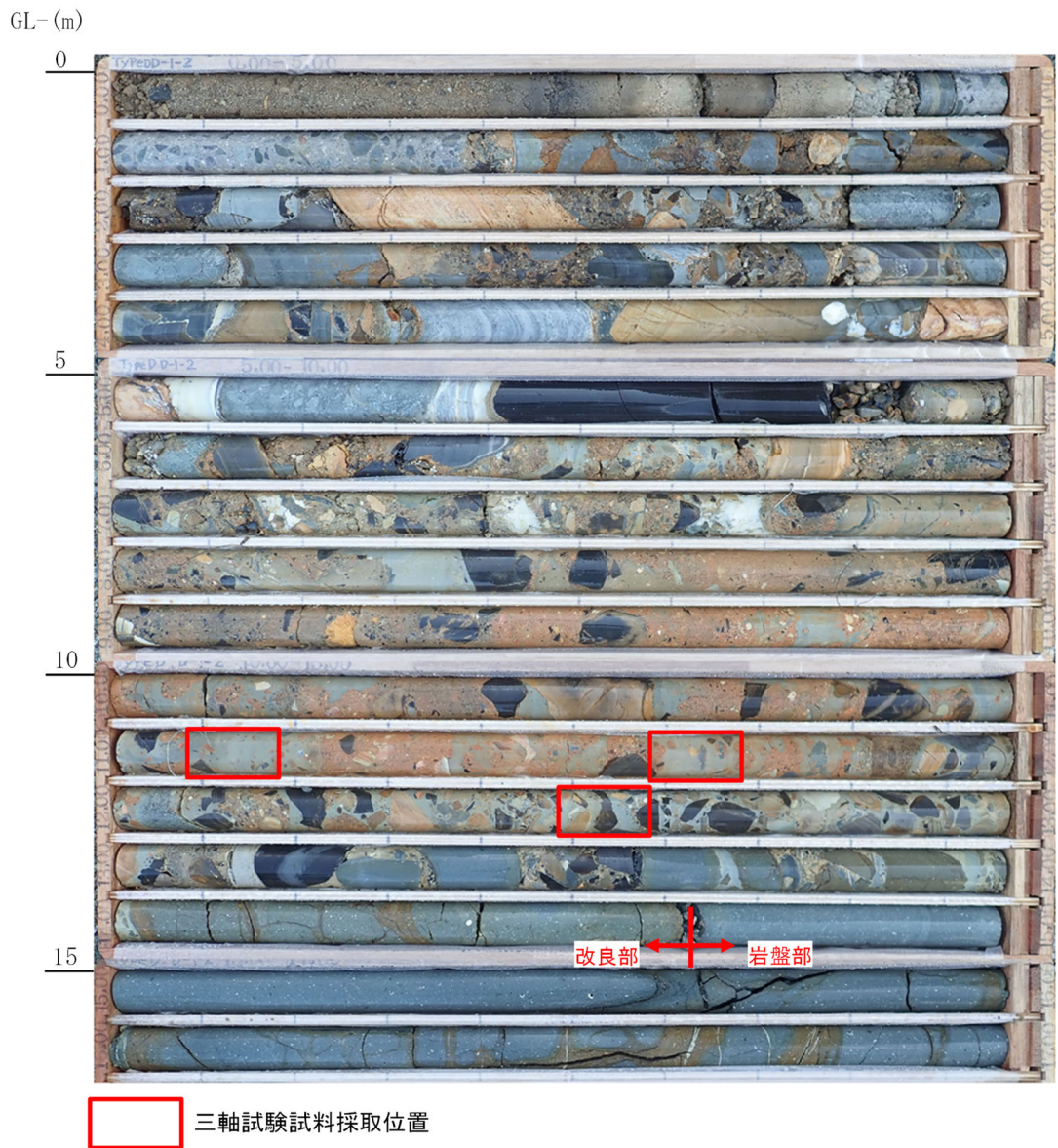


図 4.3.1-2 ボーリングコア写真⑤-2
試料採取位置

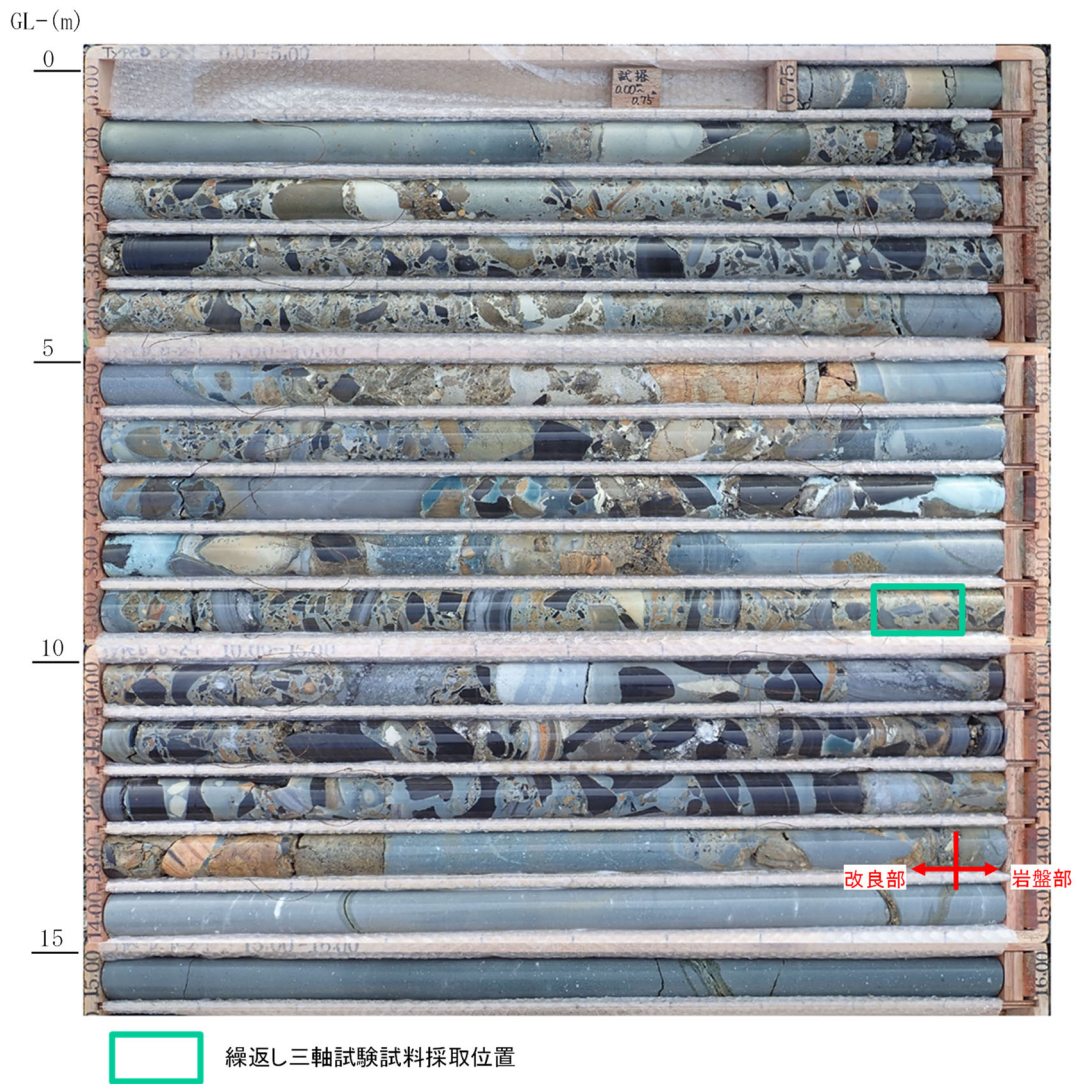
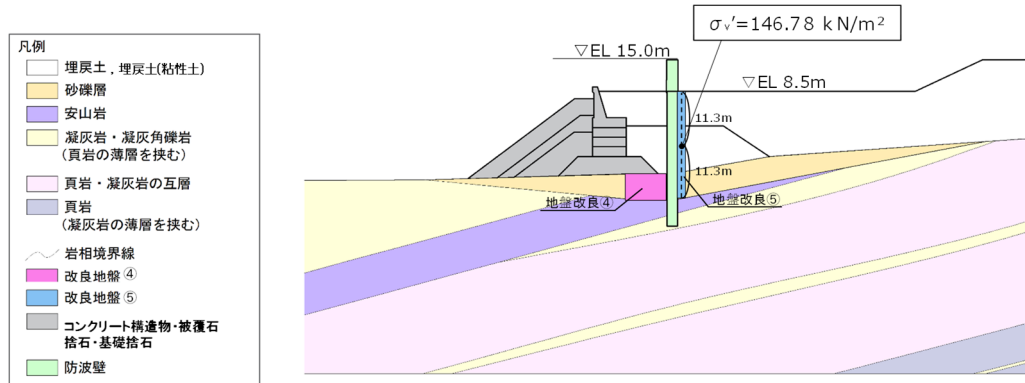


図 4.3.1-3 ボーリングコア写真⑤-3
試料採取位置

4.3.2 解析用物性値の設定方法

目標物性値及び試験結果を踏まえた解析用物性値の設定方法の詳細については、「4.2 既設改良地盤（改良地盤④，薬液注入）」と同様とする。ただし， G_{ma} の算定に用いる σ_v' は図 4.3.2-1 のとおりとする。



4.3.3 解析用物性値の設定

a. 試験結果

改良地盤⑤の室内試験における試験数量を表 4.3.3-1 に示す。また、試験結果を表 4.3.3-2～表 4.3.3-3 及び図 4.3.3-1～図 4.3.3-5 に示す。

表 4.3.3-1 改良地盤⑤の室内試験における試験数量一覧

項目	規格・基準名称	試験規格	試験数量
飽和密度	土の湿潤密度試験方法	JIS A 1225	9
間隙率	土粒子の密度試験方法	JIS A 1202	9
S 波速度	地盤の弾性波速度検層方法 (PS 検層)	JGS 1122	32*
G/G0～ γ 関係 h～ γ 関係	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	JGS 0542	1
粘着力 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧縮試験 方法	JGS 0523	3

注記* : PS 検層の測定区間長 1m を一つの試験数とみなす。

表 4.3.3-2 密度試験結果

試料採取位置	飽和密度 (g/cm ³)	間隙率
⑤-1	2.095	0.237
	2.206	0.216
	2.347	0.146
⑤-2	1.913	0.397
	1.976	0.378
	2.058	0.314
⑤-4	2.201	0.252
	2.000	0.343
	1.955	0.378
平均	2.08	0.296

表 4.3.3-3 P S 検層試験結果

試験実施位置	P 波速度 (m/s)	S 波速度 (m/s)
⑤-1	2140	830
⑤-3	2030	1070
⑤-4	2070	870
平均	2080	923

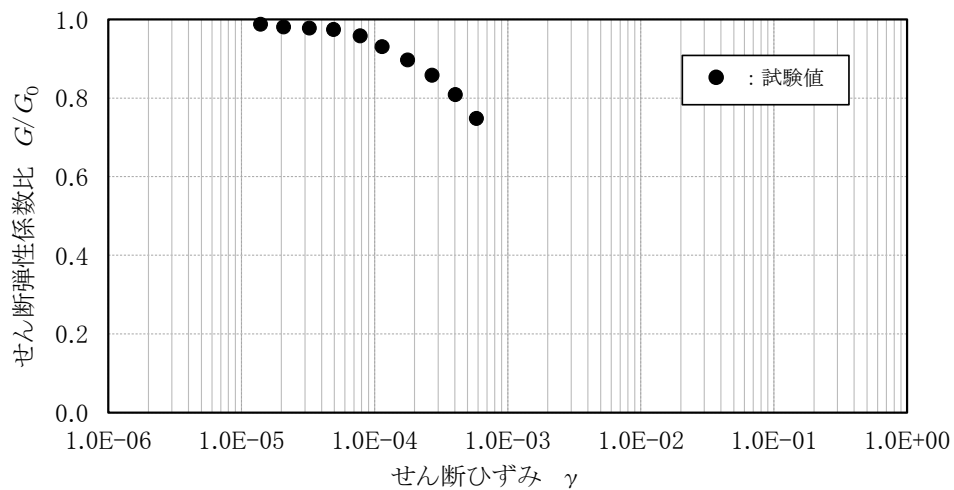


図 4.3.3-1 繰返し三軸試験結果 (G/G_0 のひずみ依存特性)

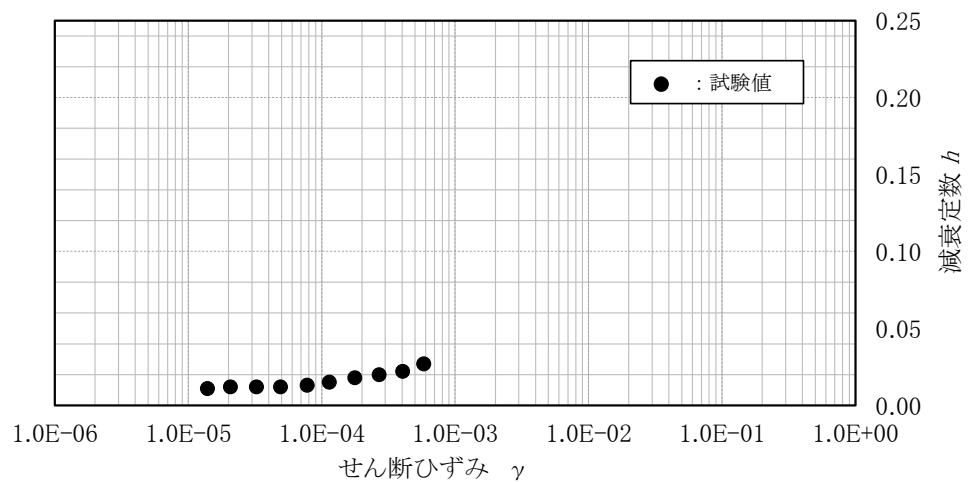


図 4.3.3-2 繰返し三軸試験結果 (減衰定数のひずみ依存特性)

図 4.3.3-3 に示す繰返し三軸試験後の供試体写真より、供試体は破壊していないことから、試験結果は妥当であると判断した。

なお、本試験では、JGS 2563「軟岩の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法」を参考に、繰返し载荷により供試体が破壊しないよう、三軸圧縮強さの 0.5 倍を超えない範囲で軸差応力を設定している。本試験結果においてせん断ひずみが 1×10^{-3} 程度の結果となった要因は、供試体の剛性が高いことにより、上記により設

定した軸差応力の範囲においてせん断ひずみが小さくなったものと考えられる。
 (図 4.3.3-1, 図 4.3.3-2 参照)

なお、今後、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価における改良地盤のせん断ひずみを確認し、試験結果範囲を逸脱しないことを確認する。



図 4.3.3-3 繰返し三軸試験後の供試体写真（改良地盤⑤）

a) 繰返し荷重過程の前に軸差応力を加える方法
 (荷重方法 1)

全ての繰返し荷重段階において、供試体に対して排水条件で軸差応力を加えたのちに繰返し荷重を行う方法である。加える軸差応力は、同じ排水条件で得られた三軸圧縮強さの 0.5 倍を超えない範囲で可能な限り小さくすることが望ましい。1 回の試験の中で軸差応力の大きさを変えないことを標準とする。

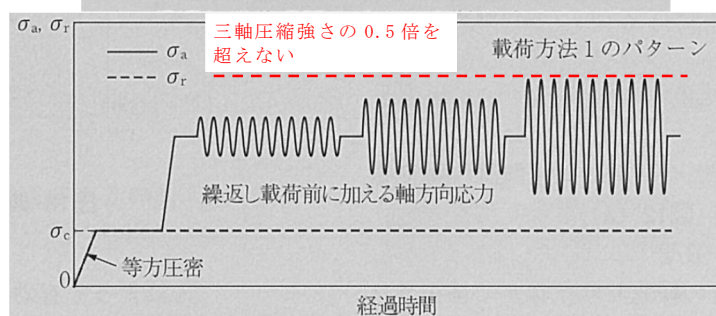


図 4.3.3-4 JGS 2563 荷重方法の模式図等（赤字で加筆）

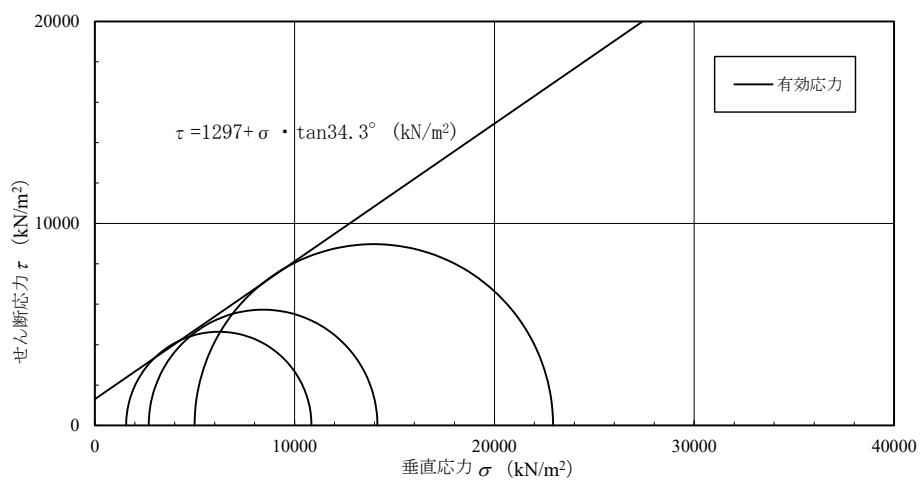


図 4.3.3-5 三軸圧縮試験結果(⑤-2)

b. 解析用物性値の設定

改良地盤⑤の室内試験における試験結果を踏まえ、解析用物性値を設定する。

(a) 密度 ρ 及び間隙率 n

室内試験で確認された密度 $\rho = 1.913 \sim 2.347 \text{g/cm}^3$ は、改良前の埋戻土の密度 2.11g/cm^3 と同等であることから、目標物性値の密度 2.11g/cm^3 を採用する。

また、間隙率 n について、室内試験における間隙率 $0.15 \sim 0.40$ よりも大きな目標物性値の間隙率 0.45 を採用する。

(b) 動せん断弾性係数 G_m

PS 検層による試験値と目標物性値との比較を表 4.3.3-4 に示す。

改良地盤⑤の改良目的は難透水性の確保であるが、防波壁背面を改良するものであり、動せん断弾性係数が小さい方が耐震評価における土圧の評価が保守的になると考えられるため、目標物性値を解析用物性値に設定する。

表 4.3.3-4 PS 検層における試験値と目標物性値との比較 (動せん断弾性係数)

	目標物性値	試験値
S 波速度 V_s (m/s)	430	936
動せん断弾性係数 G_m (kN/m^2)	368100 解析用物性値に設定	1742452

(c) 動的変形特性

改良地盤⑤について、室内配合試験における繰返し三軸試験結果、並びに目標物性値から設定した G/G_0 のひずみ依存特性及び減衰定数のひずみ依存特性を図4.3.3-6及び図4.3.3-7に示す。

試験結果は目標物性値と同等であることから目標物性値から設定した G/G_0 のひずみ依存特性及び減衰定数のひずみ依存特性を解析用物性値に設定する。

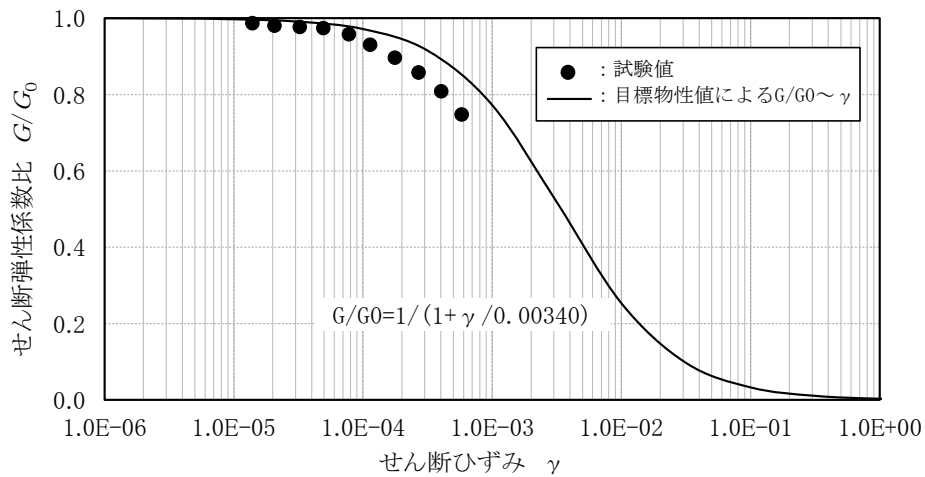


図 4.3.3-6 改良地盤⑤における G/G_0 のひずみ依存特性

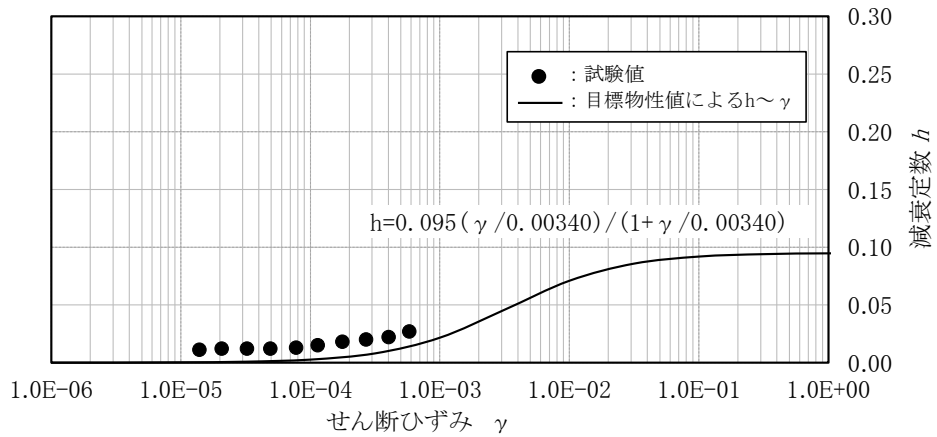


図 4.3.3-7 改良地盤⑤における減衰定数のひずみ依存特性

(d) 粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ

(式 1) により算定されるせん断強度 τ を指標とし、室内試験におけるせん断強度 τ_R が、目標物性値 (表 4.3.1-1) から算定されるせん断強度 τ_d を上回ることを確認する。

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

室内試験における試験値と目標物性値の比較を表 4.3.3-5 に示す。

試験値は、粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ とともに目標物性値を上回るため、室内試験におけるせん断強度 τ_R が、目標物性値 (表 4.3.1-1) から算定されるせん断強度 τ_d を上回ることを確認したことから、解析用物性値として、目標物性値に設定した強度特性 (表 4.3.3-4) を設定する。

表 4.3.3-5 室内試験における試験値と目標物性値との比較 (強度特性)

	目標物性値	試験値
粘着力 c (kN/m ²)	1250	1297
内部摩擦角 ϕ (°)	0 解析用物性値に設定	34.3

(e) 改良地盤⑤の解析用物性値

以上を踏まえ、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）背後の改良地盤⑤における解析用物性値を表 4.3.3-6 に、その設定根拠を表 4.3.3-7 に示す。

表 4.3.3-6 改良地盤⑤における解析用物性値

		解析用物性値 (改良地盤⑤)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.11
	間隙率 n	0.45
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	368100
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98
	ポアソン比 ν	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.095
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	1250
	内部摩擦角 ϕ'	0

注：動せん断弾性係数は代表的な数値を示す。

表 4.3.3-7 改良地盤⑤における解析用物性値の設定根拠

		設定根拠 (改良地盤⑤)
物理特性	密度 ρ	室内試験における密度は、目標物性値の密度と同等であることから、目標物性値である改良前の埋戻土の密度を設定
	間隙率 n	室内試験における間隙率は、目標物性値を下回ることから、目標物性値である改良前の埋戻土の密度を設定
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma}	PS検層におけるせん断波速度 V_s は、目標物性値を上回ることから、改良前の埋戻土のせん断波速度 $V_s=430m/s$ を用いて $G_m=\rho V_s^2$ により、せん断弾性係数 G_m を算定 算定した G_m から、港湾技術資料*の算定式に基づき基準平均有効拘束圧における動せん断弾性係数 G_{ma} を設定
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}'	慣用値*
	ポアソン比 ν	慣用値*
	減衰定数の上限値 h_{max}	室内試験における G/G_0 は目標物性値から設定した G/G_0 のひずみ依存特性の曲線を上回ることから、目標物性値である改良前の埋戻土の h_{max} を設定
強度特性	粘着力 c	室内試験における粘着力は、目標物性値を上回ることから、目標物性値である、 $c = qu/2$ より求めた粘着力を設定
	内部摩擦角 ϕ	室内試験における内部摩擦角は目標物性値を上回ることから、目標物性値である慣用値より設定した内部摩擦角を設定

注記*：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, 平成9年6月）

4.4 既設改良地盤（改良地盤⑥， 高圧噴射攪拌工法）

防波壁（波返重力擁壁）の改良地盤⑥の役割は、「ケーソン及び擁壁の支持（機器・配管系への影響）」及び「難透水性の保持」である。

既設改良地盤であることから、原位置で試料採取し、三軸圧縮試験や繰返し三軸試験等により解析用物性値を設定する。

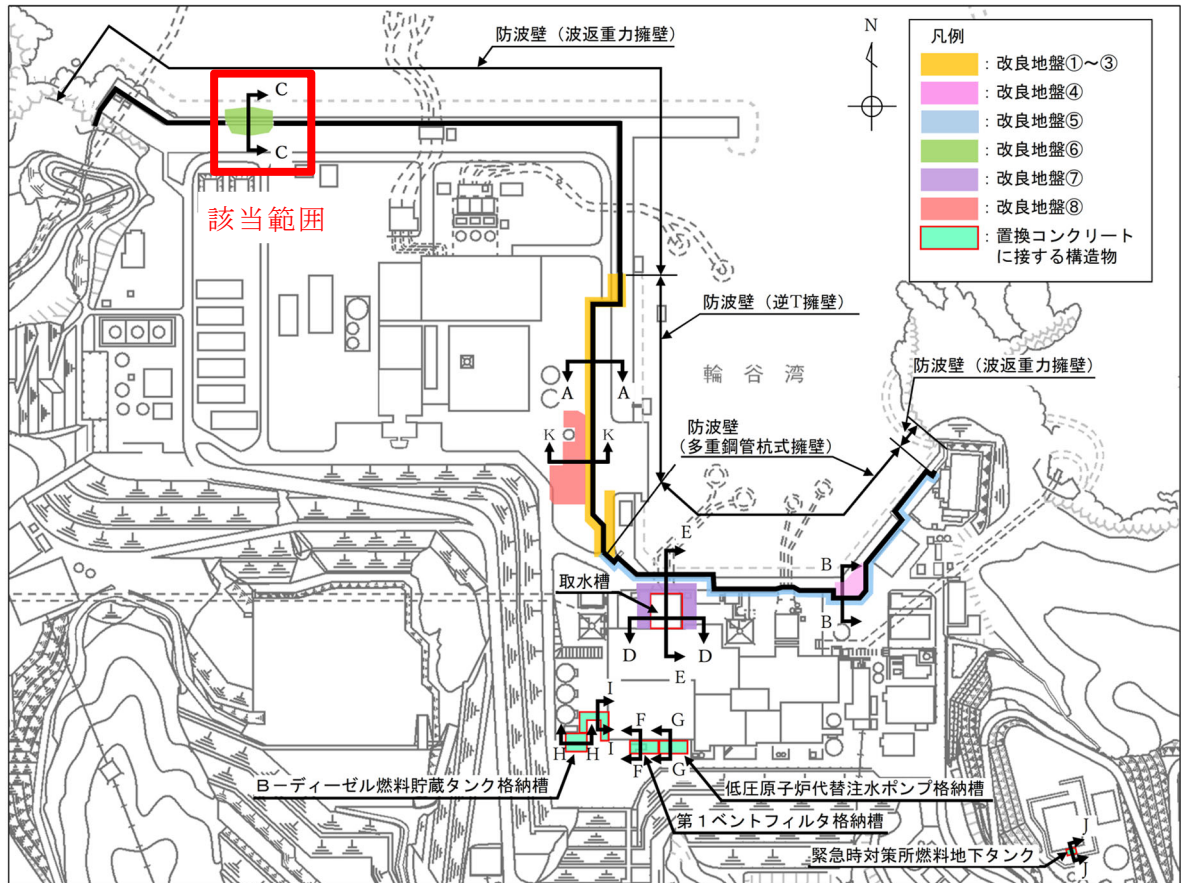


図 4.4-1 改良地盤⑥の平面配置図

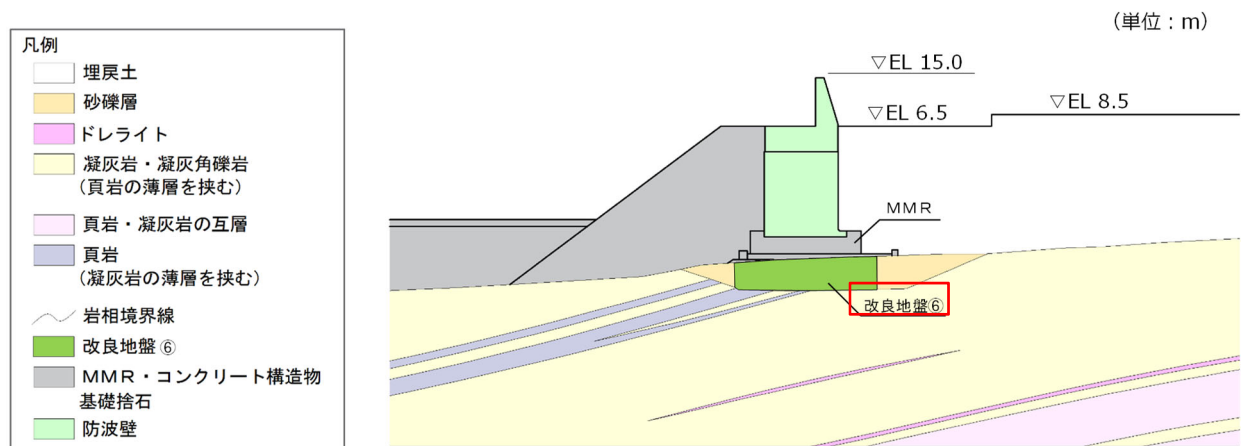


図 4.4-2 改良地盤⑥の配置図
(防波壁（波返重力擁壁）， C-C断面）

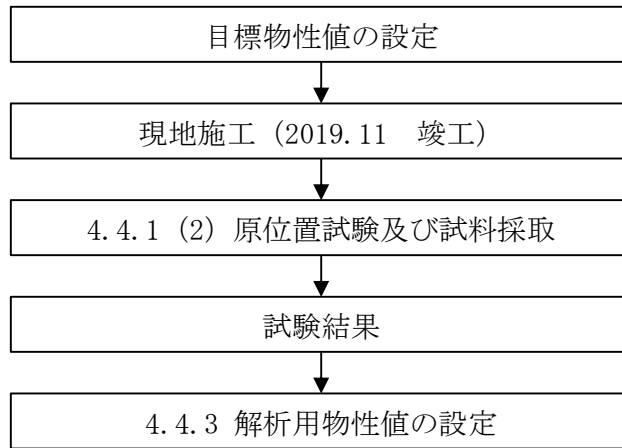


図 4.4-3 防波壁（波返重力擁壁）の改良地盤⑥の検討フロー

4.4.1 原位置試験及び室内試験

(1) 試験方法

既設改良地盤のうち改良地盤⑥における原位置試験及び室内試験は、日本産業規格（JIS）又は地盤工学会（JGS）の試験基準に基づき実施する。

表 4.4.1-1 改良地盤⑥の試験項目及び必要試験数量

項目	規格・基準名称	試験規格	必要試験数量
湿潤密度	土の湿潤密度試験方法	JIS A 1225	3 以上
間隙率	土粒子の密度試験方法	JIS A 1202	3 以上
S 波速度	地盤の弾性波速度検層方法	JGS 1122	3 以上
G/G0～ γ 関係 h～ γ 関係	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	JGS 0542	1 以上
粘着力 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧縮 試験方法	JGS 0523	3 以上

(2) 原位置試験及び試料採取位置

改良地盤⑥における原位置試験及び試料採取位置について、図4.4.1-1に示す。
改良地盤⑥における原位置試験及び試料採取位置は、既設構造物の配置等を踏まえ、
おおむね均等になるよう配置する。

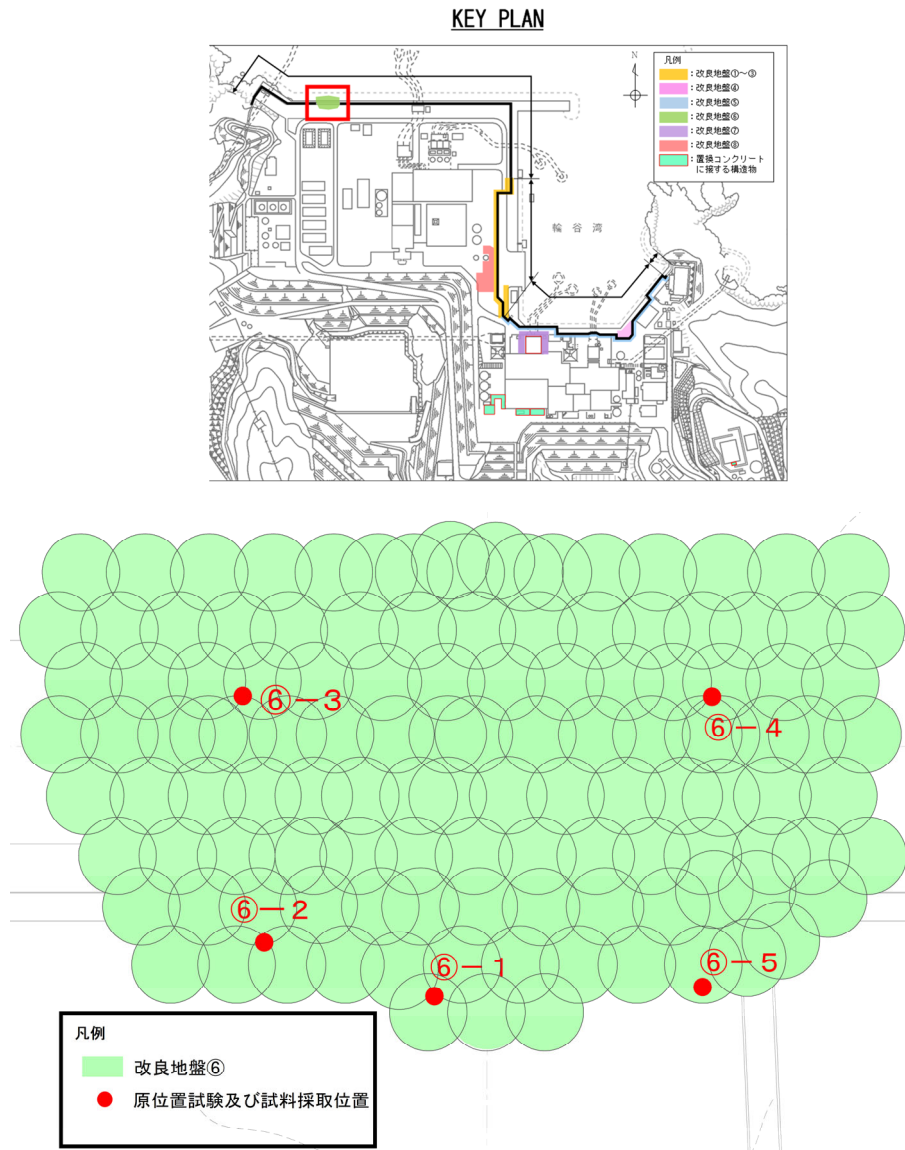


図 4.4.1-1 改良地盤⑥の原位置試験及び試料採取位置

4.4.2 解析用物性値の設定方法

目標物性値及び試験結果を踏まえた解析用物性値の設定方法の詳細については、「4.2.2 解析用物性値の設定方法」と同様とする。

4.4.3 解析用物性値の設定

追而

4.5 新設改良地盤（改良地盤①～③，薬液注入工法）

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③の役割は、「擁壁の支持」及び「難透水性の保持」である。

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③は一部施工済であるが、未改良範囲の地盤改良に加えて、施工済の範囲についても新たに設定する配合で地盤改良するため、新設改良地盤として扱い、室内配合試験における三軸圧縮試験，繰返し三軸試験等により解析用物性値を設定する。

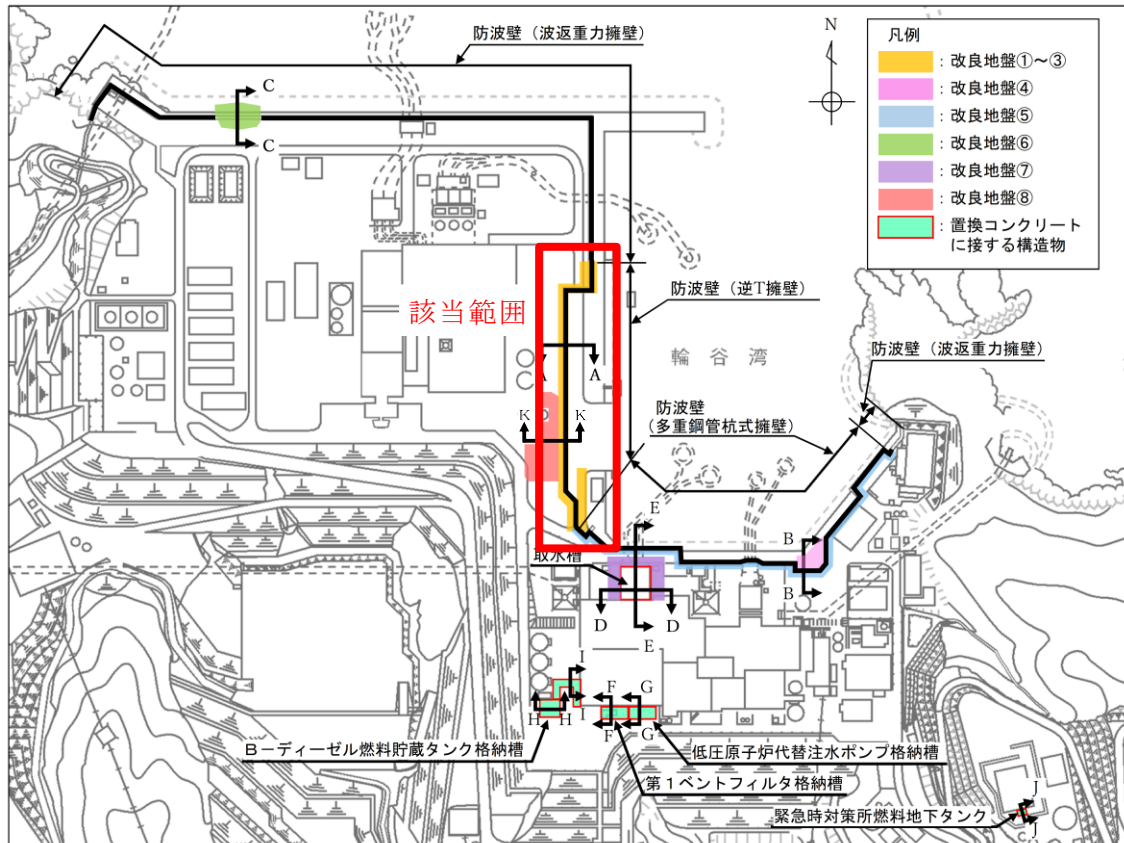


図 4.5-1 改良地盤①～③の平面配置図

(単位：m)

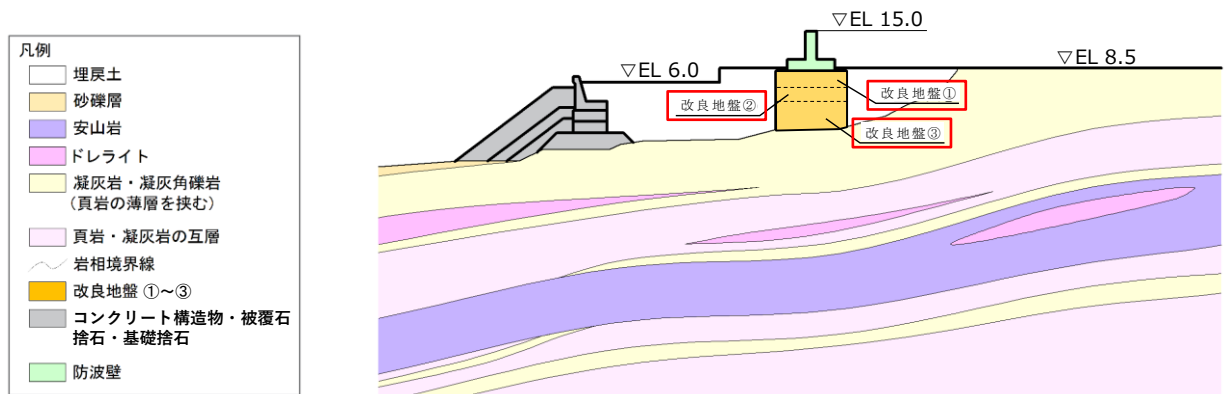


図 4.5-2 改良地盤①～③の配置図

(防波壁（逆T擁壁），A-A断面)

(参考) 13-41

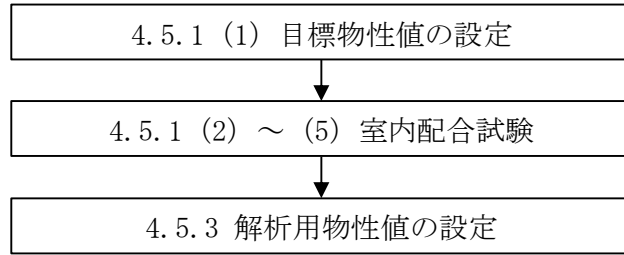


図 4.5-3 改良地盤①～③の解析用物性値設定のフロー

また、改良地盤①～③は、室内配合試験における三軸圧縮試験及び超音波速度測定により、表 4.5-1 に示す設置変更許可申請書に記載された解析用物性値を確保していることを確認する。

表 4.5-1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値
(防波壁 (逆 T 擁壁) の改良地盤を抜粋)

		物理特性	強度特性			静的変形特性		動的変形特性		減衰特性
		密度 ρ_s (g/cm ³)	せん断 強度 τ_o (N/mm ²)	内部 摩擦角 ϕ (°)	残留強度 τ (N/mm ²)	静弾性係数 E (N/mm ²)	静ポアソン 比 ν_s	動せん断 弾性係数 G _d (N/mm ²)	動ポアソン 比 ν_d	減衰定数 h
改良地盤 II (薬液注入工法)	改良地盤①	2.11	0.63	38	0.63+ $\sigma \tan 38^\circ$	1,087	0.33	G _o =409 G/G _o =1/(1+ γ /0.00027)	0.33	h= 0.0958 γ / (γ +0.00020)
	改良地盤②	2.11	0.49	41	0.49+ $\sigma \tan 41^\circ$	898	0.33	G _o =338 G/G _o =1/(1+ γ /0.00027)	0.33	
	改良地盤③	2.11	1.14	41	1.14+ $\sigma \tan 41^\circ$	2,088	0.33	G _o =785 G/G _o =1/(1+ γ /0.00027)	0.33	

4.5.1 室内配合試験

室内配合試験にあたっては、「浸透固化処理工法技術マニュアル（改訂版）（（財）沿岸技術研究センター）」に準拠し、図 4.5.1-1 のフローに沿って実施する。

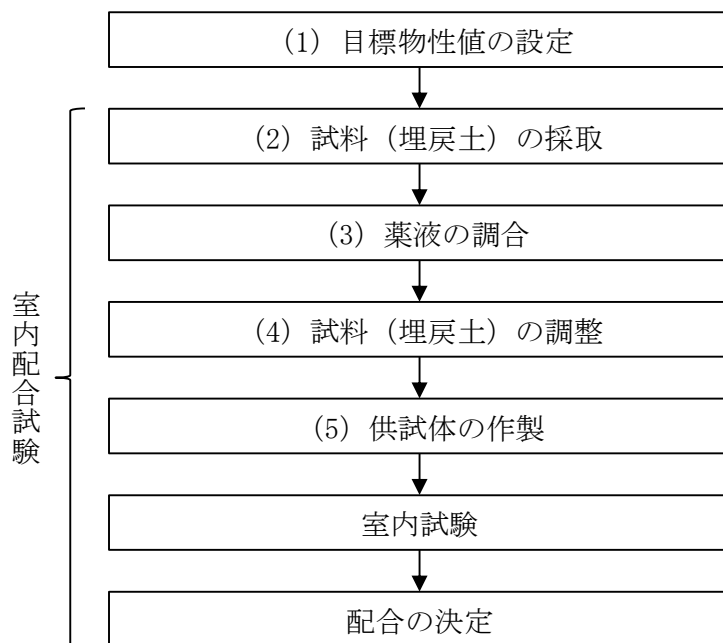


図 4.5.1-1 室内配合試験におけるフロー

(1) 目標物性値の設定

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③について、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値を目標物性値とする。

(2) 試料（埋戻土）の採取

島根原子力発電所の埋戻土は敷地造成において発生した岩砕を主体とする材料であり、敷地全体においておおむね同一な性状となることから、防波壁（逆T擁壁）の近傍の埋戻土を採取し、新設改良地盤における室内配合試験を実施する。埋戻土採取位置は、図 4.5.1-2 に示すとおり防波壁（逆T擁壁）の近傍とし、図 4.5.1-3 に示す既往ボーリング試料における埋戻土の粒径加積曲線と比較することにより、埋戻土採取位置の代表性を確認する。

KEY PLAN

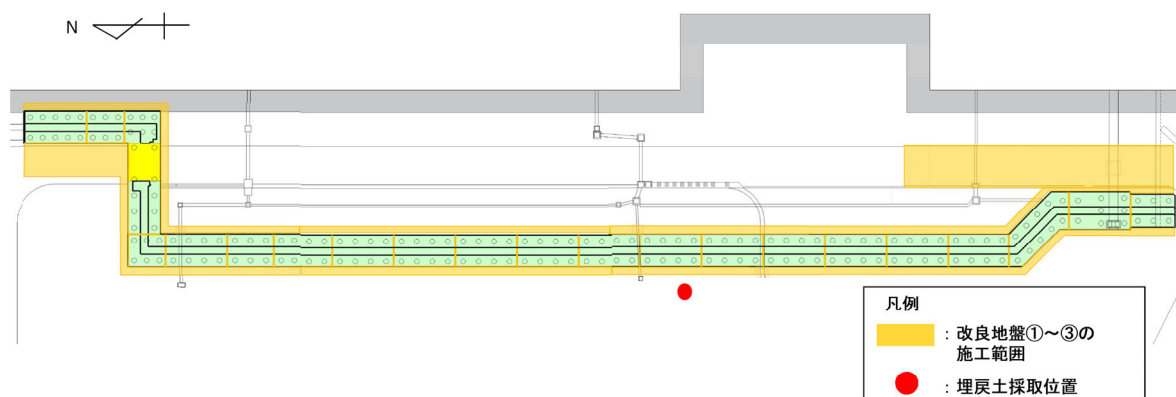
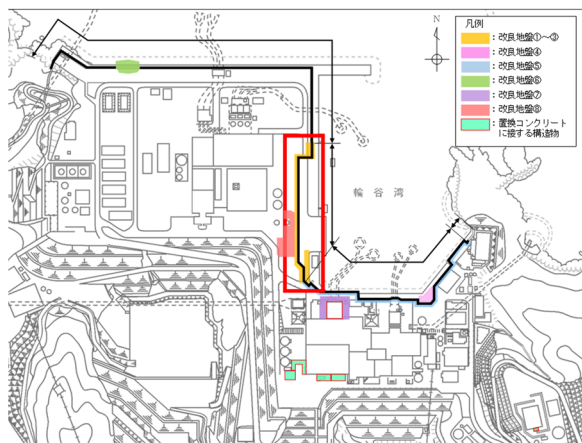
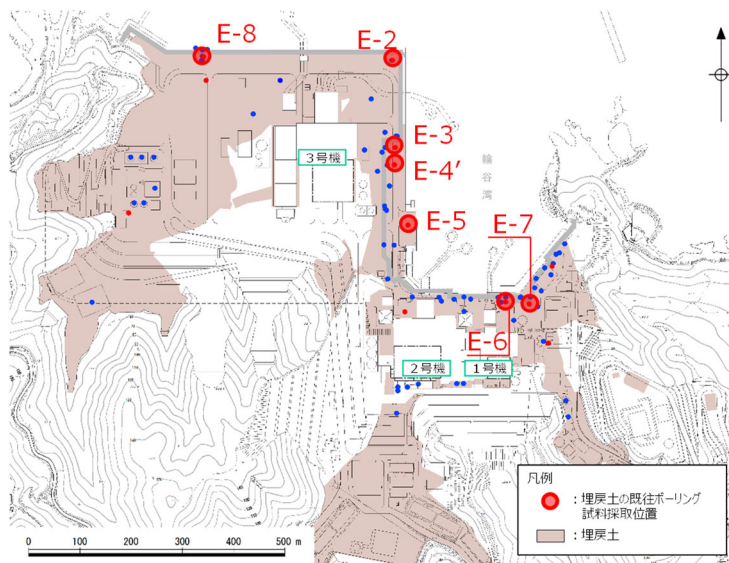


図 4.5.1-2 防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③における埋戻土採取位置



埋戻土の既往ボーリング試料採取位置

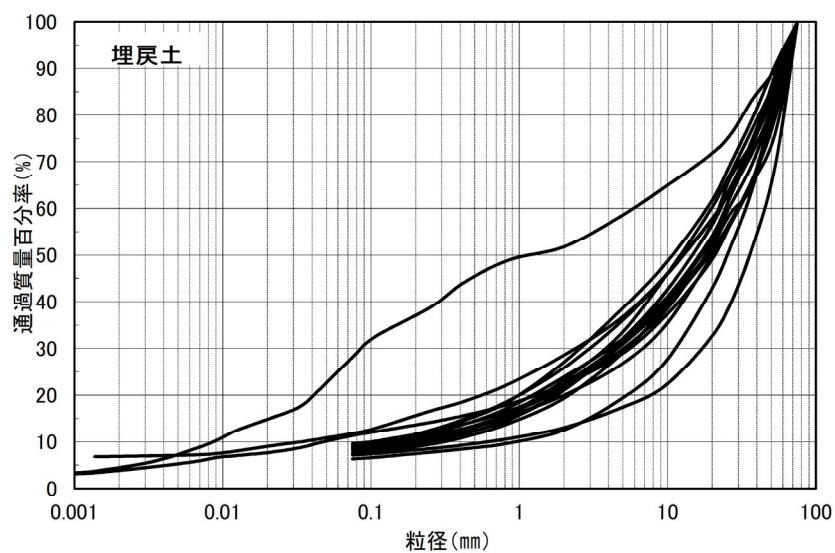


図 4.5.1-3 既往ボーリング試料における埋戻土の粒径加積曲線

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③の室内配合試験における供試体作製のため、図 4.5.1-2 に示す防波壁（逆T擁壁）近傍において採取した埋戻土の粒径加積曲線を図 4.5.1-4 に示す。図 4.5.1-3 に示す既往ボーリング試料における埋戻土の粒径加積曲線と同等であることから、防波壁（逆T擁壁）近傍において採取した埋戻土は代表性を有すると判断した。

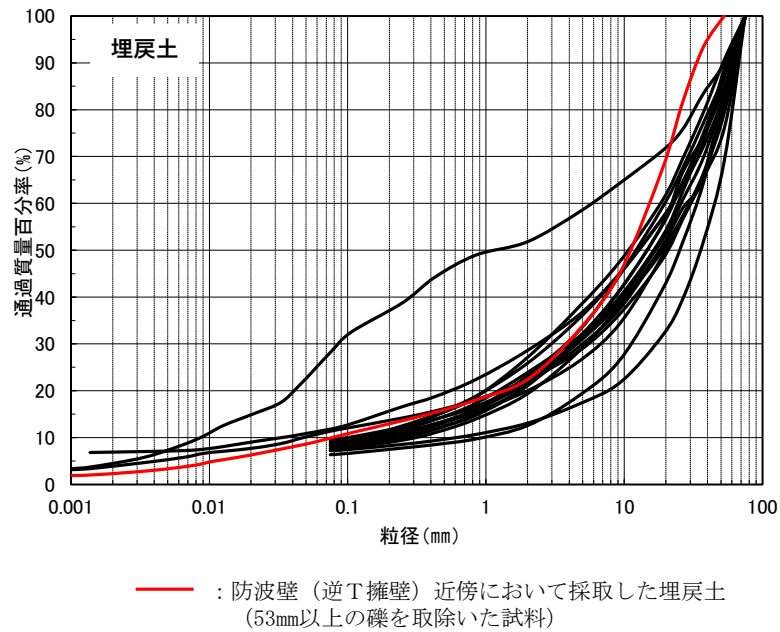


図 4.5.1-4 防波壁（逆T擁壁）近傍の埋戻土採取位置における粒径加積曲線

(3) 薬液の調合

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③は，設置許可段階において3層に区分して解析用物性値を設定していることから，室内配合試験において各区分の改良地盤における解析用物性値を確保する目的で，複数の配合において室内配合試験を実施する。表4.5.3-5に示すとおり，改良地盤①と②のS波速度は同等であることから，改良地盤①と改良地盤②の物性値の差はわずかと判断し，改良地盤①と改良地盤②の物性値を確保するための配合と改良地盤③の物性値を確保するための配合の2種類を検討した。水セメント比は，過去の施工事例を踏まえ，200%と300%を設定した。

薬液作製準備として，薬液の材料となる主材（セメント系），硬化材，反応剤，水を用意し，各材料を薬液作製器具により，表4.5.1-1に示す2種類の水セメント比で混合し，薬液を作製する。

表4.5.1-1 改良地盤①～③における薬液の水セメント比

	供試体1	供試体2
薬液の水セメント比 W/C	200%	300%
(参考) 対象とした 改良地盤の区分	改良地盤③	改良地盤①，②

(4) 試料（埋戻土）の調整

改良地盤の施工にあたっては，礫を含めて改良地盤を形成することで改良地盤全体として強度を有するが，浸透固化処理工法技術マニュアル（改訂版）（（財）沿岸技術研究センター）に準拠し，埋戻土の採取にあたり，巨礫を除いて採取する。なお，礫を含む改良地盤については，礫が基質（間隙内の薬液）よりも硬いため，十分な強度を有すると判断しているが，実施工後に採取した供試体による三軸圧縮試験結果と比較することで，礫を取除いたことによる影響を確認する。

(5) 供試体の作製

改良地盤①～③における室内配合試験の新設改良地盤の供試体の作製にあたっては、表 4.5.1-2 に示す地盤工学会（JGS）の試験基準に基づく。

表 4.5.1-2 改良地盤①～③における室内配合試験の供試体作製方法

名称	地盤改良工法	試験基準	基準名称
改良地盤①～③	薬液注入工法	JGS 0831	薬液注入による安定処理土の供試体作製方法

供試体の作製にあたっては、必要量の試料（埋戻土）を下式により算出する。

$$m = V(1 + w/100)(1 - n/100)\rho_s \times 10^{-3}$$

ここで、 m ：必要な試料の湿潤質量（g）

V ：締め固めた試料の体積（mm²）

n ：締め固めた試料の目標間隙率（%）

w ：試料の含水比（%）

ρ_s ：土粒子の密度（Mg/m³）

モールド（直径 5cm，高さ 10cm の供試体の作製可能なもの）内に薬液を貯めた後，試料（埋戻土）を落下投入して供試体を作製する。供試体の作製状況を図 4.5.1-5 に示す。



図 4.5.1-5 供試体の作製状況

(6) 試験方法

新設改良地盤の室内配合試験における試験は、日本産業規格（J I S）又は地盤工学会（J G S）の試験基準に基づき実施する。

表 4.5.1-3 改良地盤①～③の改良地盤の試験項目

項目	規格・基準名称	試験規格	必要試験数量
飽和密度	土の湿潤密度試験方法	JIS A 1225	3 以上
	岩石の密度試験方法	JGS 2132	
間隙率	土粒子の密度試験方法	JIS A 1202	3 以上
	岩石の密度試験方法	JGS 2132	
S 波速度	岩石の弾性波速度計測方法	JGS 2564	3 以上
G/G0～ γ 関係 h～ γ 関係	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	JGS 0542	1 以上
粘着力, 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧 縮試験方法	JGS 0523	3 以上

4.5.2 解析用物性値の設定方法

目標物性値及び試験結果を踏まえた解析用物性値の設定方法の詳細については、「4.2.2 解析用物性値の設定方法」と同様とする。ただし、 G_{ma} の算定に用いる $\sigma v'$ は図 4.5.2-1 のとおりとする。

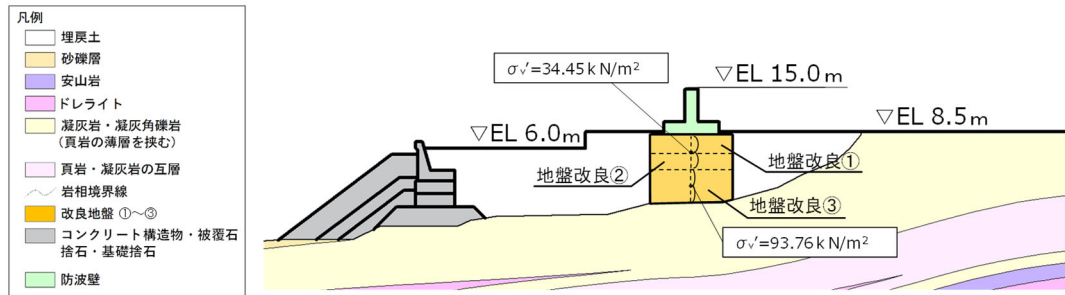


図 4.5.2-1 改良地盤①～③における G_{ma} の算定に用いる $\sigma v'$

改良地盤①～③のS波速度については、JGS 2564に基づき、室内配合試験において作製した供試体の超音波速度測定による試験結果を踏まえて $G = \rho V_s^2$ により設定する。

なお、以下の文献調査結果を踏まえ、超音波速度計測（岩石の弾性波速度計測方法（JGS 2564））により計測したS波速度を用いた動せん断弾性係数 G_{ma} の算定は妥当と判断する。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -2015（（社）日本電気協会）によると、「硬岩や軟岩の動弾性係数は、弾性波速度測定（PS検層）又は超音波速度計測等により求める」とされている。
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -2015（（社）日本電気協会）によると、原子力発電所基礎地盤における軟岩の物性値の目安として、せん断波速度 500～1900m/s が示されている。
改良地盤①～③のせん断波速度は、「4.5.3 解析用物性値の設定」の室内配合試験における V_{sf} が約 600m/s であり、軟岩に相当すると考えられる。
- ・設計用地盤定数の決め方—岩盤編—（（社）地盤工学会）によると、「動的変形係数は、ひずみレベルが微少であるため、通常の三軸圧縮試験では、精度よく測定することが困難であることから、速度検層、超音波速度試験によって求めた弾性波速度から弾性理論に基づき算出する」と記載されている。

4.5.3 解析用物性値の設定

新設改良地盤のうち、防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③の室内配合試験の結果を説明する。

a. 試験結果

改良地盤①～③の室内配合試験における試験数量を表 4.5.3-1 に示す。また、試験結果を表 4.5.3-2～表 4.5.3-3 及び図 4.5.3-1～図 4.5.3-5 に示す。

表 4.5.3-1 改良地盤①～③の室内配合試験における試料数量

項目	規格・基準名称	試験規格	試験数量	
			供試体 1 (W/C=200%)	供試体 2 (W/C=300%)
飽和密度	土の湿潤密度試験方法	JIS A 1225	3	3
	岩石の密度試験方法	JGS 2132		
間隙率	土粒子の密度試験方法	JIS A 1202	3	3
	岩石の密度試験方法	JGS 2132		
S波速度	岩石の弾性波速度計測方法	JGS 2564	3	3
G/G0～ γ 関係 h～ γ 関係	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	JGS 0542	1	1
粘着力, 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧縮試験方法	JGS 0523	3	3

表 4.6.3-2 密度試験結果

	飽和密度 (g/cm ³)	平均値	間隙率	平均値
供試体 1	2.03	2.03	0.349	0.343
	2.02		0.339	
	2.03		0.341	
供試体 2	2.02	2.00	0.369	0.366
	1.97		0.357	
	2.00		0.372	

表 4.5.3-3 改良地盤①～③における S 波速度

	S 波速度 (m/s)	平均 S 波速度 (m/s)
供試体 1	1680	1677
	1690	
	1660	
供試体 2	1450	1477
	1510	
	1470	

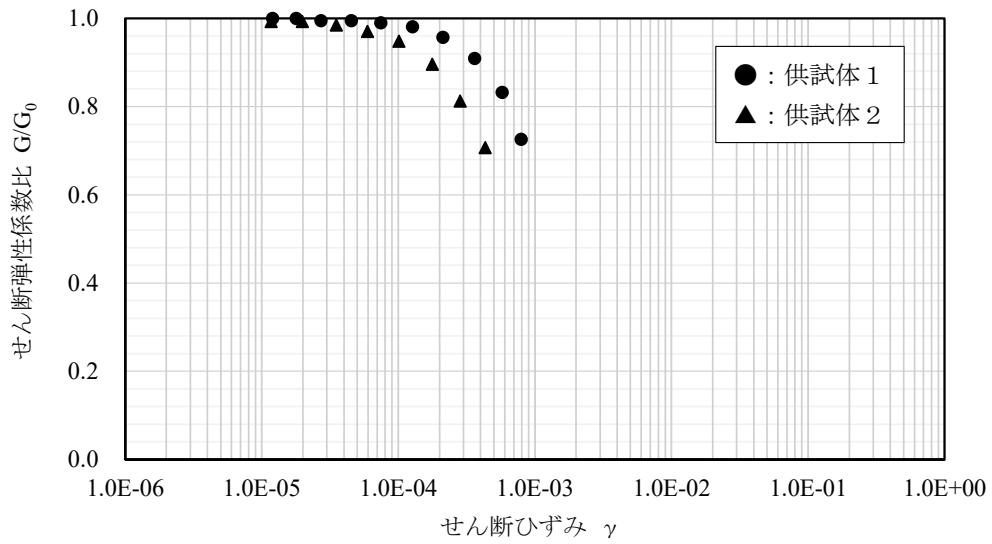


図 4.5.3-1 改良地盤①～③における G/G_0 のひずみ依存特性

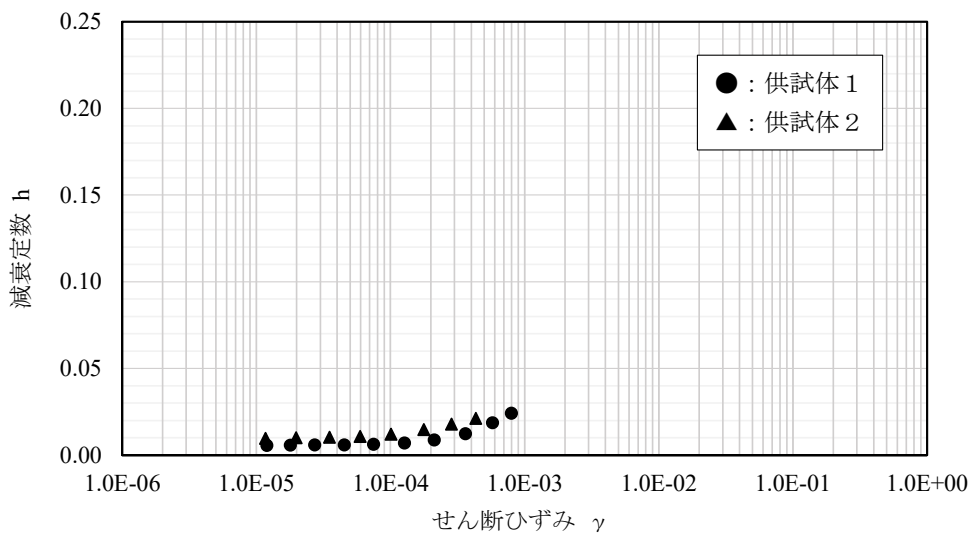


図 4.5.3-2 改良地盤①～③における減衰定数のひずみ依存特性

図 4.5.3-3 に示す繰返し三軸試験後の供試体写真より、供試体は破壊していないことから、試験結果は妥当であると判断した。

本試験では、JGS 2563「軟岩の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法」を参考に、繰返し载荷により供試体が破壊しないよう、三軸圧縮強さの 0.5 倍を超えない範囲で軸差応力を設定している。本試験結果においてせん断ひずみが 1.0×10^{-3} 程度の結果となった要因は、供試体の剛性が高いことにより、上記により設定した軸差応力の範囲においてせん断ひずみが小さくなったものと考えられる。(図 4.5.3-1~4.5.3-2 参照)

なお、防波壁(逆T擁壁)の耐震評価における改良地盤のひずみ状況を確認し、試験結果範囲を逸脱しないことを確認する。

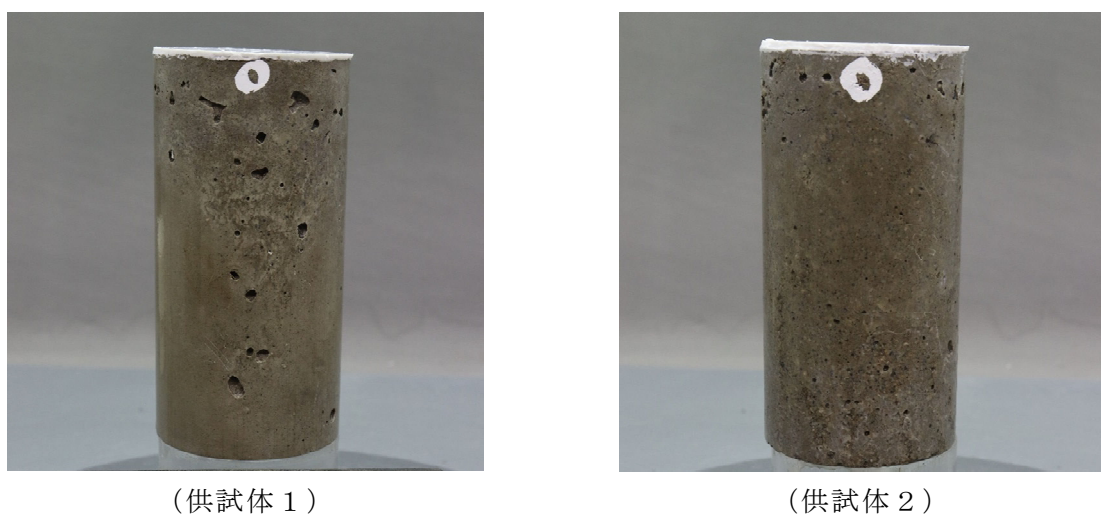


図 4.5.3-3 繰返し三軸試験後の供試体写真(改良地盤①~③)

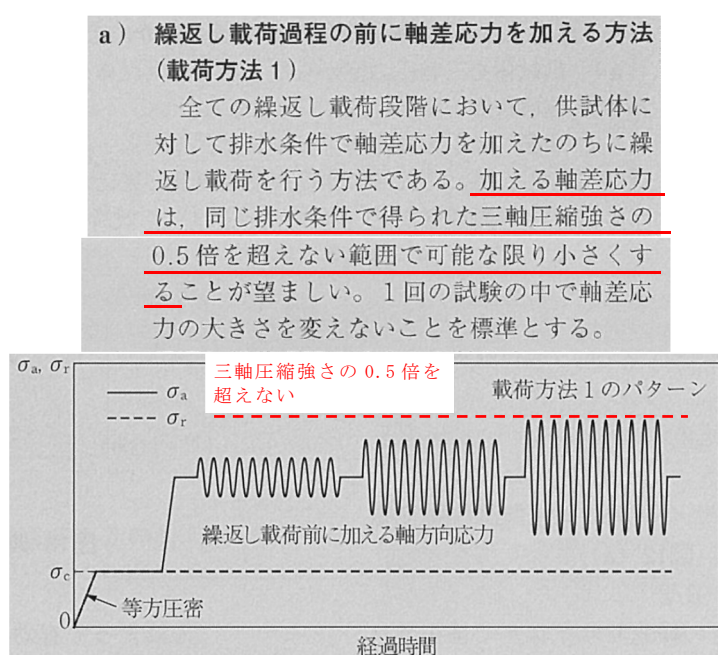
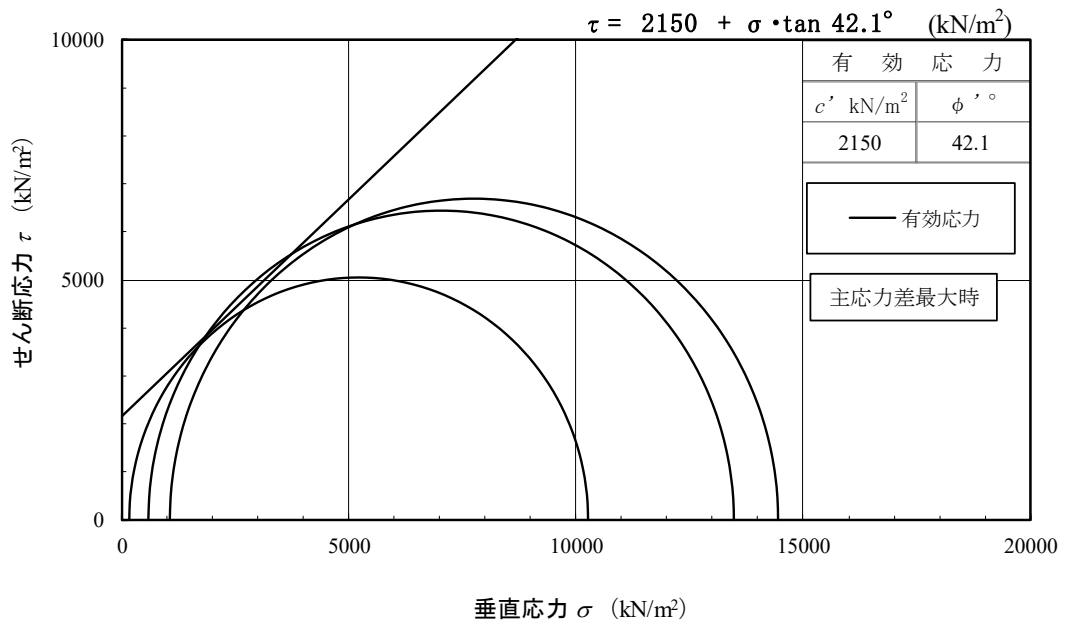
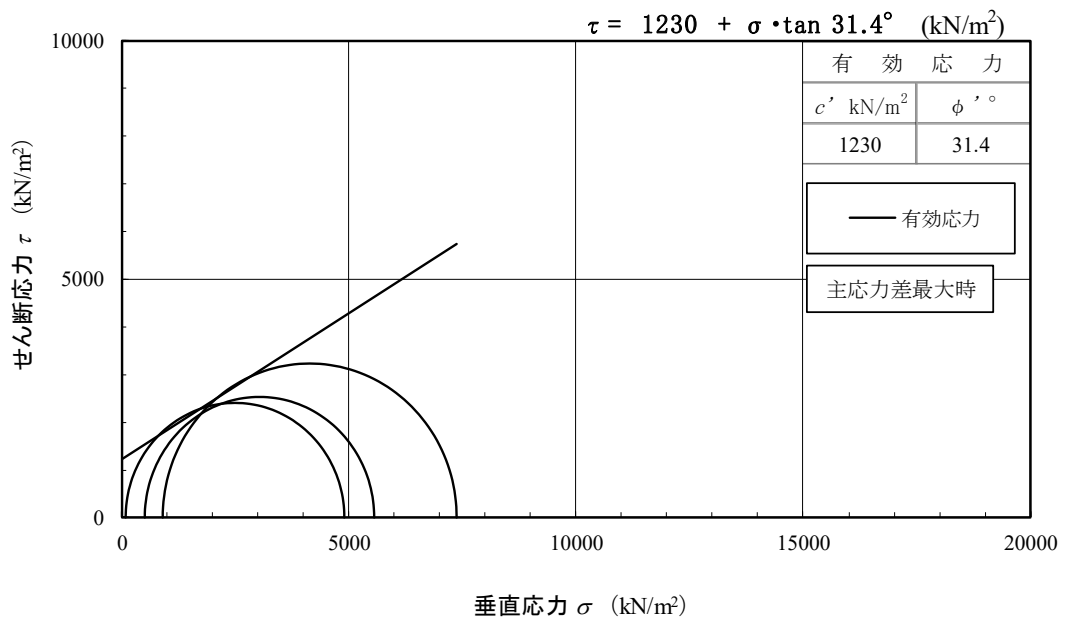


図 4.5.3-4 JGS 2563 载荷方法の模式図等(赤字で加筆)



(1) 供試体 1 の三軸圧縮試験結果



(2) 供試体 2 の三軸圧縮試験結果

図 4.5.3-5 改良地盤①～③における三軸圧縮試験結果

b. 解析用物性値の設定及び設置許可段階における管理目標値に対する確認

新設改良地盤のうち防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③について、室内配合試験における試験結果を踏まえ、解析用物性値を設定する。また、設置許可段階において設定したPS検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）として、室内配合試験における試験結果より、変形特性及び強度特性が確保されていることを確認する。

(a) 密度 ρ 及び間隙率 n

改良地盤①～③の密度 ρ について、室内配合試験で確認された密度 $\rho = 1.97 \sim 2.03 \text{g/cm}^3$ は、改良前の埋戻土の密度 2.11g/cm^3 より小さい値となっている。室内配合試験の供試体作製において、基準に従い巨礫を取除いたことによる密度の減少と判断し、原地盤の埋戻土である密度 2.11g/cm^3 を採用する。

また、改良地盤①～③の間隙率 n について、室内配合試験における供試体 1 及び 2 の間隙率 $0.341 \sim 0.372$ よりも大きな原地盤の埋戻土の間隙率 0.45 を採用する。

(b) 動せん断弾性係数 G_{ma}

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③における変形特性について、せん断弾性係数 G_{ma} の算出に用いるS波速度を指標とし、設計S波速度 V_{sd} （原位置におけるS波速度 V_{sf} ）が、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値の根拠となるS波速度（表4.5.3-3）を上回ることを確認する。

表 4.5.3-3 設置許可段階で示した原位置のS波速度

	改良地盤①	改良地盤②	改良地盤③
設置許可段階で示した 原位置のS波速度	440	400	610

原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -2015 ((社) 日本電気協会) において、「硬岩や軟岩の動弾性係数は、弾性波速度測定 (P S 検層) 又は超音波速度計測等により求める」と記載されていることから、原位置における S 波速度 V_{SF} は、供試体の S 波速度 V_{SR} と同等として考えられていると判断できる。

「速度検層によるセメント系地盤改良工法の評価について (1993)」 (以下「阿部ら (1993)」という。) によれば、北海道苫小牧市の高規格幹線道路日高自動車道における地盤改良工事を対象として、図 4-12 のとおり供試体の S 波速度と原位置における S 波速度 (P S 検層) の比較を行っている。阿部ら (1993) によれば、原位置における S 波速度 V_{SF} は、供試体の S 波速度 $V_{SR} \times 0.4 \sim 1.0$ の関係が成立しているとしている。

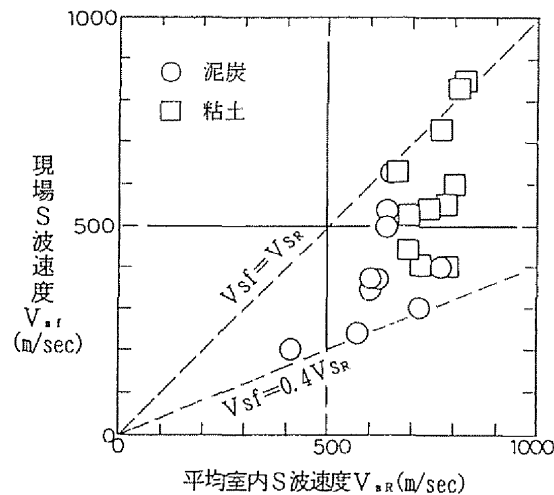


図 4.5.3-6 供試体の S 波速度と原位置における S 波速度の関係
(阿部ら (1993) より引用)

「 P S 検層による深層混合処理地盤の品質評価 (1994)」 (以下「馬場ら (1994)」という。) では、セメント系改良地盤の改良体 (直径 1m, 改良長 28m) を対象として、図 4.5.3-7 のとおり供試体の S 波速度と原位置における S 波速度 (P S 検層) の比較を行っている。馬場ら (1994) によれば、地層の別によらず、供試体の S 波速度 V_{SL} は、原位置の S 波速度 $V_{SF} \times 1.077$ の関係が見られたとしている。したがって、原位置の S 波速度 V_{SF} は、供試体の S 波速度 $V_{SL} \times 0.929$ の関係となる。

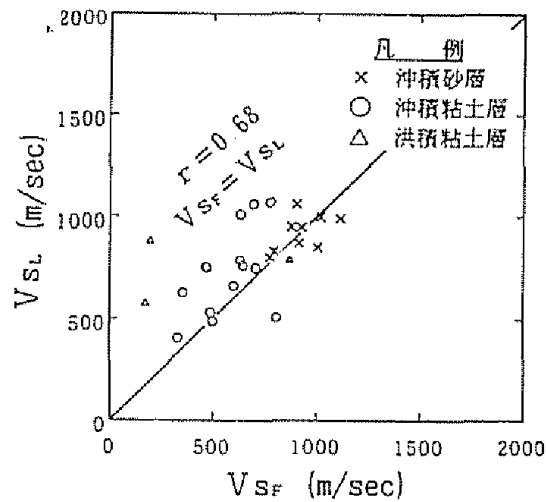


図 4.5.3-7 供試体の S 波速度と原位置における S 波速度の関係
(馬場ら(1994)より引用)

「高圧噴射攪拌によるセメント改良地盤の原位置弾性波速度に基づく品質評価(2014)」(以下「手塚ら(2014)」という。)では、表 4.5.3-4 に示す各サイトにおける改良地盤を対象として、図 4.5.3-8 のとおり供試体の S 波速度と原位置における S 波速度 (P S 検層) の比較を行っている。手塚ら(2014)によれば、阿部ら(1993)に示される「原位置における S 波速度 V_{sf} は、供試体の S 波速度 $V_{sr} \times 0.4 \sim 1.0$ の関係」と同様に、原位置における S 波速度は供試体の S 波速度よりも総じて小さな値となったとしている。

表 4.5.3-4 各サイトの改良対象土と改良条件
(手塚ら(2014)より引用)

項目	改良対象土	削孔深度	改良長	吐出量*	改良直径
東京都 品川区	シルト, 細砂, 砂礫 (沖積) 砂礫土, 細砂 (洪積)	GL-31.5m	19.1m	190L/min × 2 方向	φ 3.5m
埼玉県 比企郡	関東ローム 粘土混り砂礫 (洪積)	GL-2.8m ~7.1m	1.0m ~5.1m	154~380L/min × 1 方向	φ 3.4 ~8.6m
愛知県 東海市	細砂 (埋土) 粘性土, 砂質土 (沖積)	GL-11.4m ~17.5m	9.4m ~15.5m	200L/min × 2 方向	φ 4.0m
	細砂 (埋土) 粘性土, 砂質土 (沖積)	GL-12.0m	10.0m	200L/min × 2 方向	φ 4.0m
	細砂 (埋土) 粘性土, 砂質土 (沖積)	GL-13.0m	11.0m	200L/min × 2 方向	φ 4.0m
福島県 双葉郡	シルト質細砂 (埋土)	GL-7.0m ~7.5m	5.0m ~7.0m	314~380L/min × 1 方向	φ 3.5m

* 吐出圧はすべて 40.0MPa

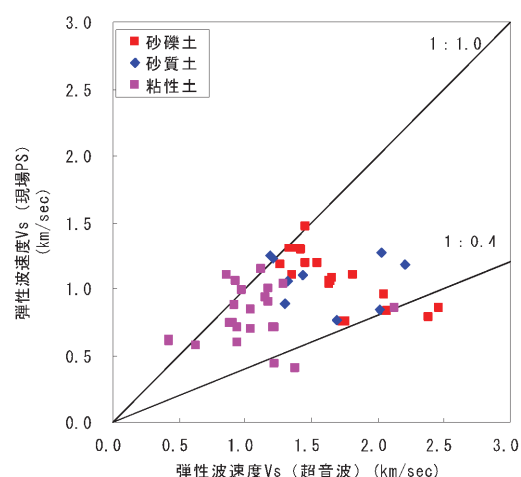


図 4.5.3-8 供試体の S 波速度と原位置における S 波速度の関係
(手塚ら(2014)より引用)

これらの既往文献を踏まえると、原地盤の土質によらず、原位置における S 波速度 V_{Sf} は、供試体の S 波速度 $V_{SR} \times 0.4 \sim 1.0$ の関係が成立すると判断できる。

設置許可段階における管理目標値に対する確認においては、既往文献を踏まえ、保守的に $V_{Sf} = V_{SR} \times 0.4$ の関係を用いて、室内配合試験における S 波速度 V_{SR} を原位置における S 波速度 V_{Sf} に換算した上で、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値の根拠となる S 波速度を上回ることを確認する。室内配合試験結果から換算された原位置における S 波速度 V_{Sf} と設置変更許可申請書に記載された解析用物性値の根拠となる S 波速度の比較結果を表 4.5.3-5 に示す。供試体 1 においては、改良地盤③における管理目標値である S 波速度を上回ることを確認した。また、供試体 2 においては、改良地盤①、②における管理目標値である S 波速度を上回ることを確認した。

以上より、島根原子力発電所の埋戻土を対象とした薬液注入工法による改良地盤は、設置変更許可申請書に記載された改良地盤①～③の物性値（管理目標値）の根拠となる S 波速度を確保できることを確認した。

表 4.5.3-5 室内配合試験による S 波速度及び
設置変更許可申請書に記載された改良地盤①～③の S 波速度との比較

	改良地盤①	改良地盤②	改良地盤③
管理目標値となる S 波速度	440	400	610
供試体 1 S 波速度 V_{Sf}^*	/		670
供試体 2 S 波速度 V_{Sf}^*	590		/

注記*：供試体 1 及び 2 の原位置における S 波速度 V_{Sf} は、超音波速度測定によって得られた S 波速度 V_{SR} に 0.4 を乗じて算定した。

構造物評価の観点では、改良地盤のせん断弾性係数が低いほど地盤剛性が低くなることから、慣性力が大きくなり保守的な評価となることが想定される。また、基礎地盤の傾斜の観点においても、せん断弾性係数が低いほど改良地盤が変形することから、傾斜が大きくなることが想定される。

よって、既往文献及び上述の観点を踏まえ、保守的に $V_{Sf} = V_{SR} \times 0.4$ の関係を用いて、改良地盤①～③の解析用物性値として設計 S 波速度 V_{sd} を表 4.5.3-6 のとおり設定し、動せん断弾性係数 G_{ma} を設定する。なお、実施工の改良地盤は設計値を上回るように施工されるため、改良地盤のばらつきを踏まえても表 4.5.3-6 における設計 S 波速度は保守的な設定となっていると判断する。

表 4.5.3-6 改良地盤①～③における設計 S 波速度

	改良地盤①	改良地盤②	改良地盤③
設計 S 波速度 V_{sd} (m/s)	590* ¹		670* ²

注記* 1：供試体 2 の平均 S 波速度 1477m/s \times 0.4 より算定

* 2：供試体 1 の平均 S 波速度 1677m/s \times 0.4 より算定

(c) 動的変形特性

改良地盤①～③について、室内配合試験における繰返し三軸試験結果、並びに目標物性値から設定した G/G_0 のひずみ依存特性及び減衰定数のひずみ依存特性を図4.5.3-9及び図4.5.3-10に示す。

試験値が目標物性値から設定した G/G_0 のひずみ依存特性の曲線を上回ることを確認したことから、目標物性値から設定した G/G_0 のひずみ依存特性及び減衰定数のひずみ依存特性を解析用物性値に設定する。

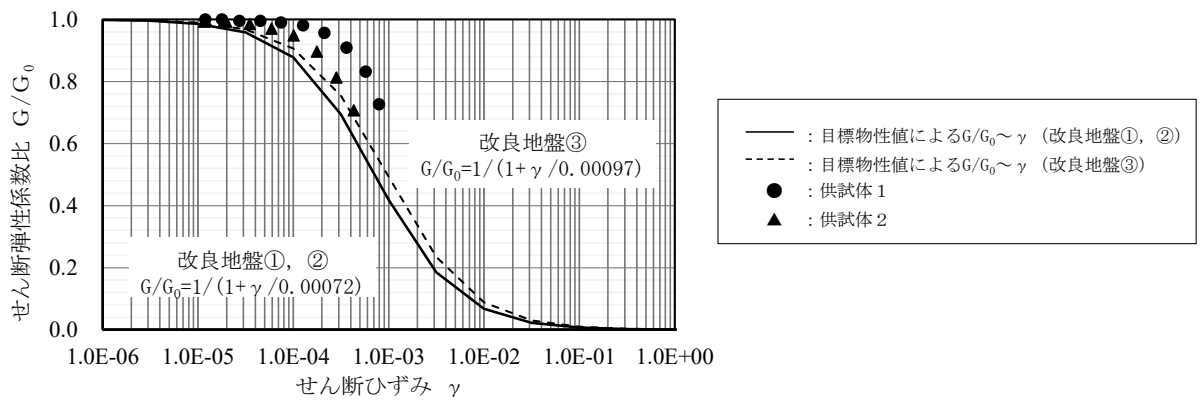


図 4.5.3-9 改良地盤①～③における G/G_0 のひずみ依存特性

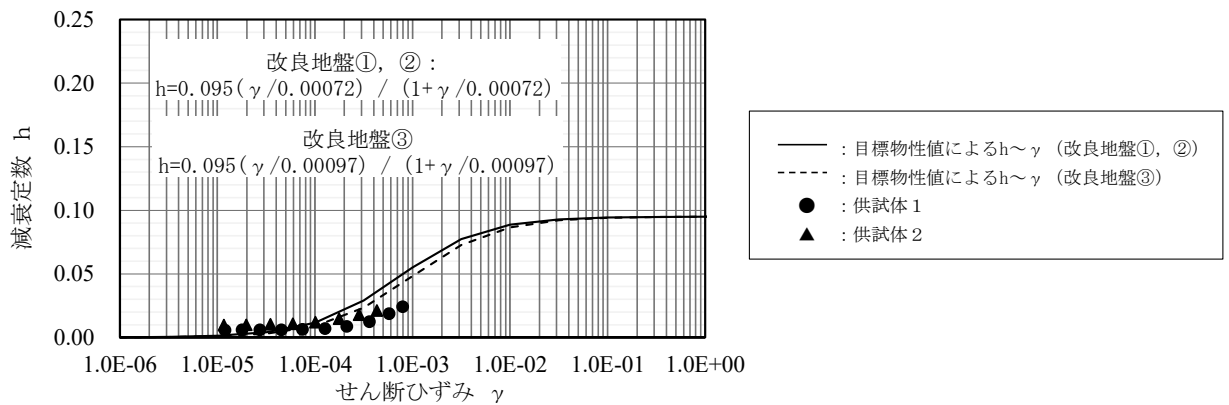


図 4.5.3-10 改良地盤①～③における減衰定数のひずみ依存特性

(d) 粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③における強度特性は、粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ を考慮するため、（式1）により算定されるせん断強度 τ を指標とし、室内配合試験におけるせん断強度 τ_R が、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値（表4.5.3-7）から算定される改良地盤①～③のせん断強度 τ_d を上回ることを確認する。

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

表 4.5.3-7 改良地盤①～③における管理目標値の算定に用いる強度特性

	改良地盤①	改良地盤②	改良地盤③
粘着力 c (kN/m ²)	628	490	1140
内部摩擦角 ϕ (°)	38.00	40.54	40.54

室内配合試験による供試体のせん断強度 τ_R 及び設置変更許可申請書に記載された改良地盤①～③のせん断強度 τ_d の比較を図4.5.3-11に示す。室内配合試験における供試体1では、地盤の垂直応力 σ に限らず改良地盤③のせん断強度 τ_d を十分上回るせん断強度 τ_R が確保されていることを確認した。また、室内配合試験における供試体2では、設置許可段階における基礎地盤の安定性評価で確認される地盤の発生応力範囲（参考1より、改良地盤①及び②において約80～450kN/m²）において改良地盤①及び②のせん断強度 τ_d を十分上回るせん断強度 τ_R が確保されていることを確認した。

以上より、島根原子力発電所の埋戻土を対象とした薬液注入工法による改良地盤は、設置変更許可申請書に記載されたPS検層等に基づく改良地盤①～③の物性値（管理目標値）である強度特性を確保できることを確認した。

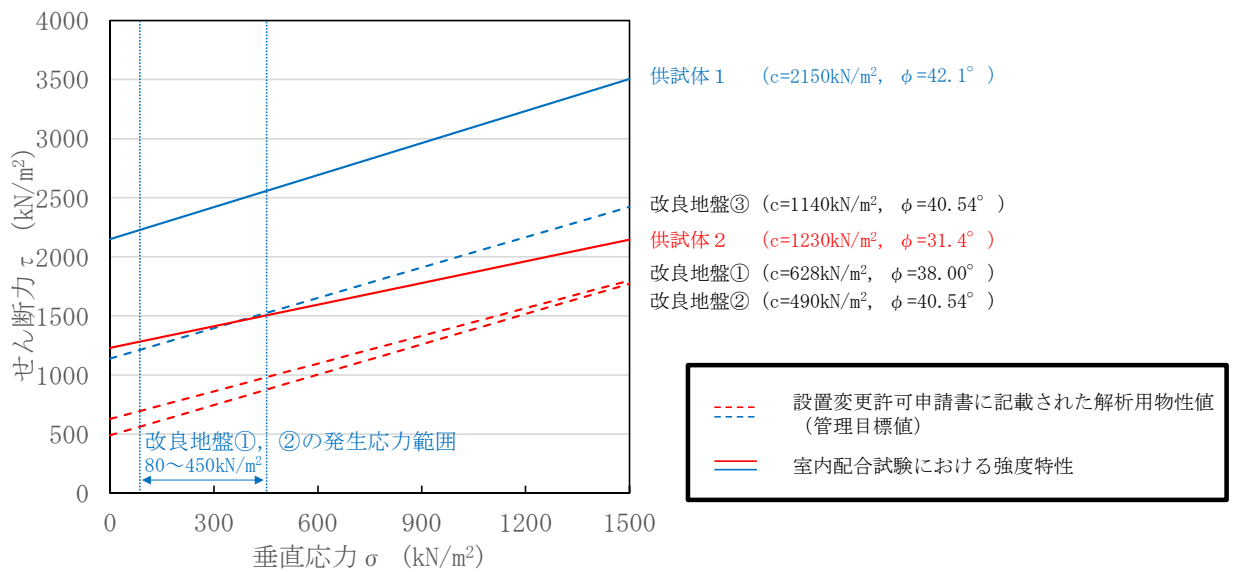


図 4.5.3-11 室内配合試験による供試体のせん断強度 τ_R 及び
設置変更許可申請書に記載された改良地盤①～③のせん断強度 τ_d との比較

改良地盤①～③の強度特性が低いほど、改良地盤の破壊や基礎地盤の傾斜の評価において厳しい評価となることから、改良地盤①～③の解析用物性値として、設置変更許可申請書に記載された強度特性（表 4.5.3-5）より、表 4.5.3-8 のとおり設定する。なお、実施工の改良地盤は設計値を上回るように施工されるため、改良地盤のばらつきを踏まえても表 4.5.3-8 における強度特性は保守的な設定となっていると判断する。

表 4.5.3-8 改良地盤①～③における粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ

対象施設	防波壁（逆 T 擁壁）		
名称	改良地盤①	改良地盤②	改良地盤③
粘着力 c (kN/m ²)	628		1140
内部摩擦角 ϕ (°)	38.00		40.54

(e) 改良地盤①～③の解析用物性値

以上を踏まえ、防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③における解析用物性値を表4.5.3-9に、その設定根拠を表4.5.3-10に示す。なお、実施工の改良地盤は設計値を上回るように施工されることから、構造物評価や改良地盤の破壊等の影響を確認する目的で、後述する品質確認結果より得られた改良地盤①～③の物性値を踏まえた影響検討を実施する。

表 4.5.3-9 改良地盤①～③における解析用物性値

対象施設		防波壁	
		逆T擁壁	
種別（工法、地盤種別）		改良地盤①、② （薬液注入）	改良地盤③ （薬液注入）
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.11	2.11
	間隙率 n	0.45	0.45
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m ²)	771300	956500
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	98	98
	ポアソン比 ν	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.095	0.095
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	628	1140
	内部摩擦角 ϕ'	38.00	40.54

注：動せん断弾性係数は代表的な数値を示す。

表 4.5.3-10 改良地盤①～③における解析用物性値の設定根拠

対象施設		防波壁	
		逆T擁壁	
種別（地盤種別）		改良地盤①～③ （薬液注入）	
物理特性	密度 ρ	室内配合試験の物理試験を踏まえ、 原地盤である埋戻土の密度を設定	
	間隙率 n	室内配合試験の物理試験を踏まえ、 原地盤である埋戻土の間隙率を設定	
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波速度は、室内配合試験及び既往文献を踏まえて設定	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}'	慣用値*	
	ポアソン比 ν	慣用値*	
	減衰定数の上限値 h_{max}	室内配合試験の繰返し三軸試験を踏まえ、 原地盤である埋戻土の h_{max} を設定	
強度特性	粘着力 c'	室内配合試験の三軸圧縮試験を踏まえ、 設置変更許可申請に記載された粘着力を設定	
	内部摩擦角 ϕ'	室内配合試験の三軸圧縮試験を踏まえ、 設置変更許可申請に記載された内部摩擦角を設定	

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

4.6 新設改良地盤（改良地盤⑦， 高圧噴射攪拌工法）

取水槽の改良地盤⑦の役割は、「構造物の変形抑制（機器・配管系への影響）」である。

新設改良地盤であることから、室内配合試験における三軸圧縮試験，繰返し三軸試験等により解析用物性値を設定する。

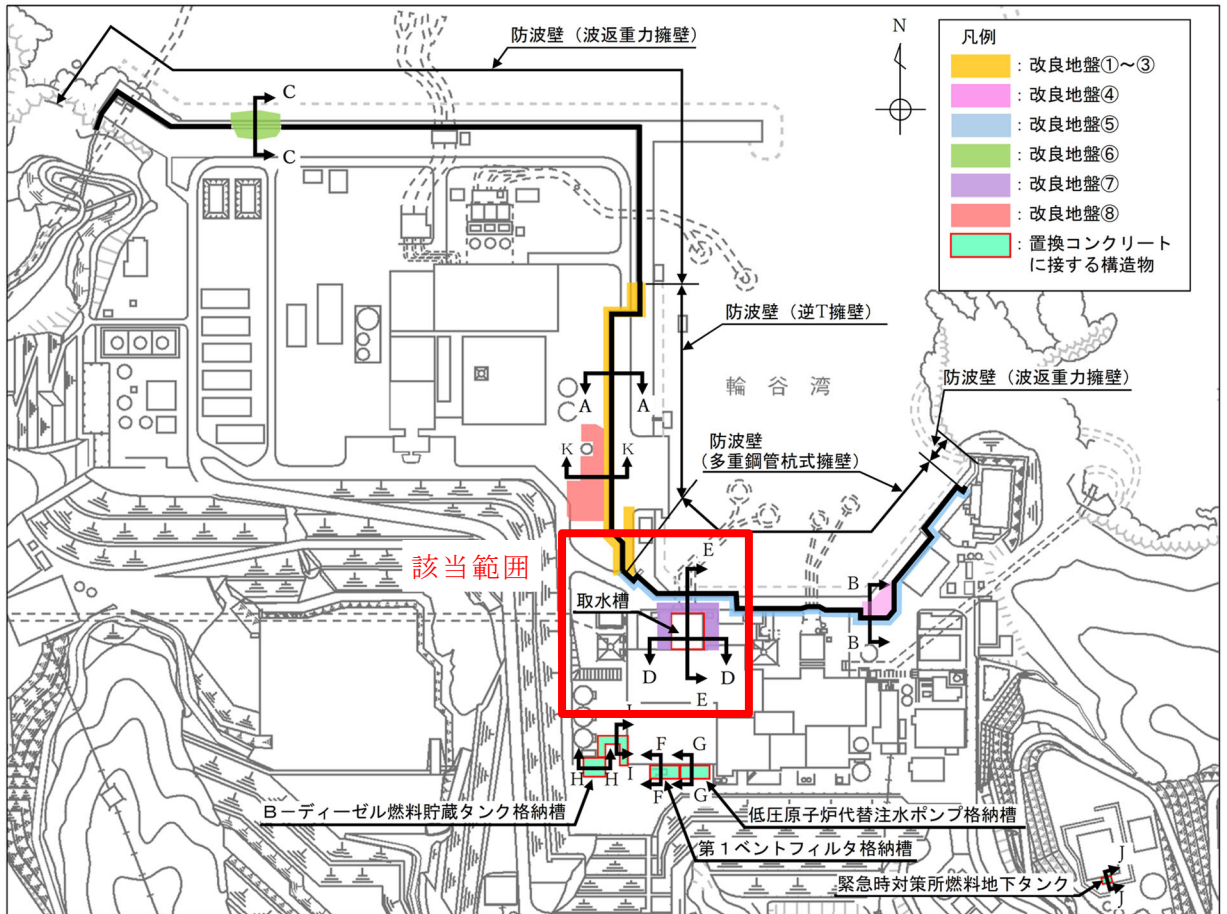


図 4.6-1 改良地盤⑦の平面配置図

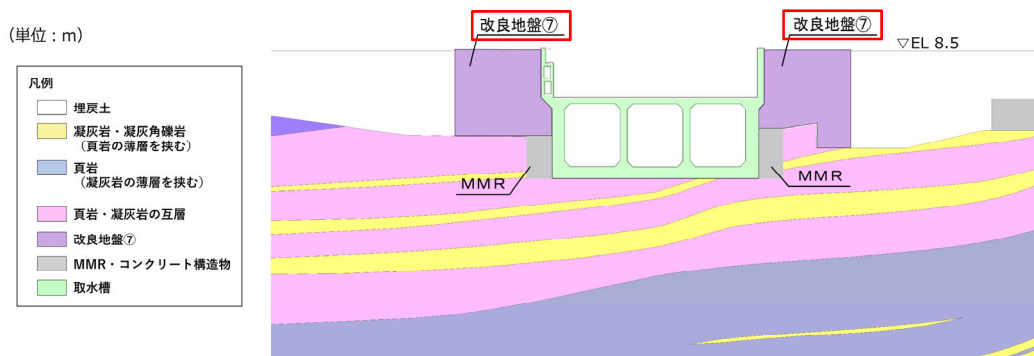


図 4.6-2 改良地盤⑦の配置図
（取水槽， D-D断面）

（参考）13-64

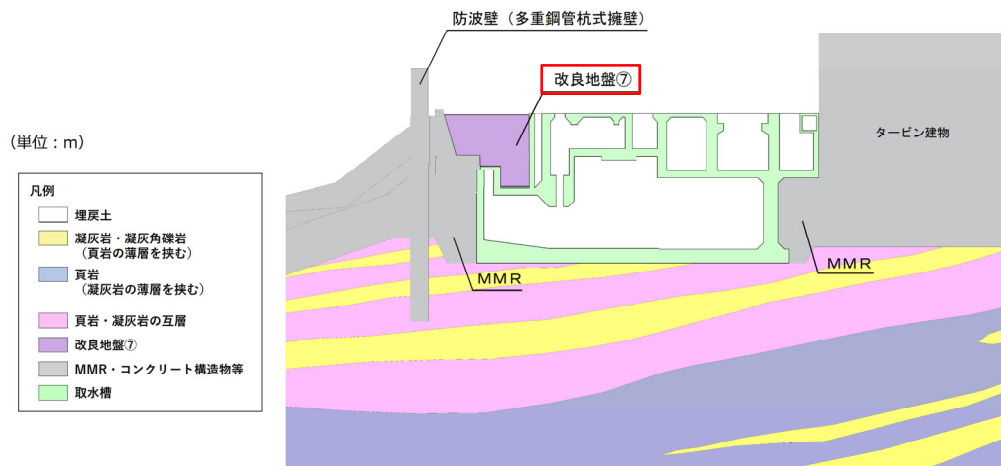


図 4.6-3 改良地盤⑦の配置図
(取水槽, E-E断面)

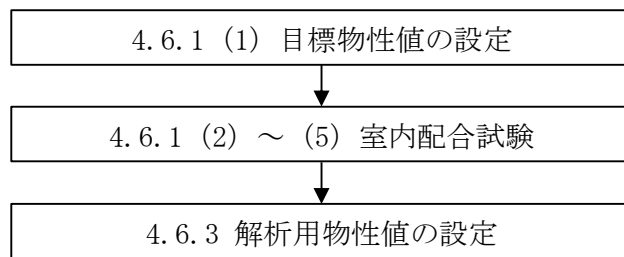


図 4.6-4 改良地盤⑦の解析用物性値設定のフロー

4.6.1 室内配合試験

取水槽の改良地盤⑦の室内配合試験にあたっては、「2018年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—（日本建築センター）」に準拠し、図4.6.1-1のフローに沿って実施する。



図 4.6.1-1 室内配合試験におけるフロー

(1) 目標物性値の設定

取水槽の改良地盤⑦について、表 4.6.1-1 のとおり目標物性値を設定する。

表 4.6.1-1 改良地盤⑦における目標物性値及び設定根拠

		目標物性値	設定根拠
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.11	改良前の埋戻土は、十分に締固められており、間隙比が小さいこと、改良後の体積変化はないよう施工することから、改良前の値に設定
	間隙率 n	0.45	慣用値*
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	1135000	変形抑制のための改良地盤であるため、 C_M 級以上の硬質地盤である解放基盤表面相当のせん断波速度 $V_s=700m/s$ を用いてせん断弾性係数 G_m を求め、港湾技研資料*の算定式に基づき基準せん断弾性係数 G_{ma} を設定
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98	慣用値*
	ポアソン比 ν	0.33	港湾技研資料*に基づき、下式により算定した。 $\nu = K_0 / (1 + K_0)$ K_0 : 静止土圧係数 (=0.5)
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.095	改良前の埋戻土は、十分に締固められており、間隙比が小さいこと、改良後の体積変化はないよう施工することから、減衰定数は同等になると考え、改良前の値に設定
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	1250	改良強度 $q_u=2500kN/m^2$ から、 $c=q_u/2$ により算出
	内部摩擦角 ϕ'	0	高圧噴射攪拌工法であり、C材の性質を有すると考えられることから、 $\phi' = 0$ とした

注記*：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, 1997年6月)

(2) 試料 (埋戻土) の採取

島根原子力発電所の埋戻土は敷地造成において発生した岩砕を主体とする材料であり、敷地全体においておおむね同一な性状となることから、取水槽の近傍の埋戻土を採取し、新設改良地盤における室内配合試験を実施する。埋戻土採取位置は、図 4.6.1-2 に示すとおり取水槽の近傍とし、図 4.6.1-3 に示す既往ボーリング試料における埋戻土の粒径加積曲線と比較することにより、埋戻土採取位置の代表性を確認する。

KEY PLAN

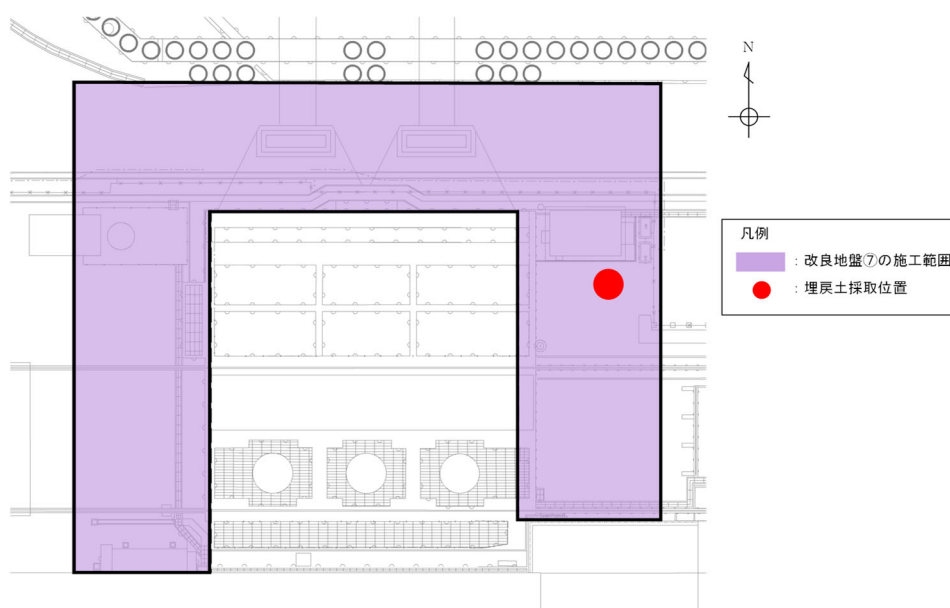
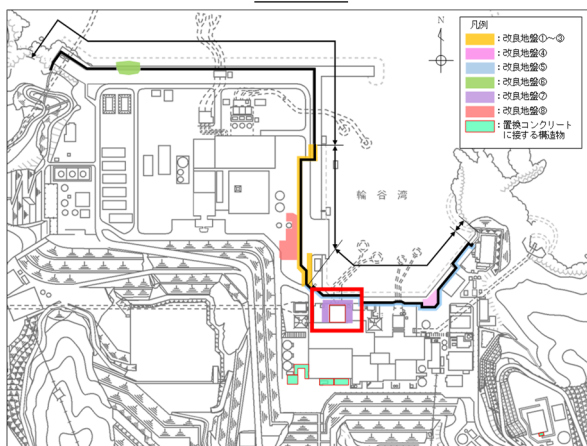
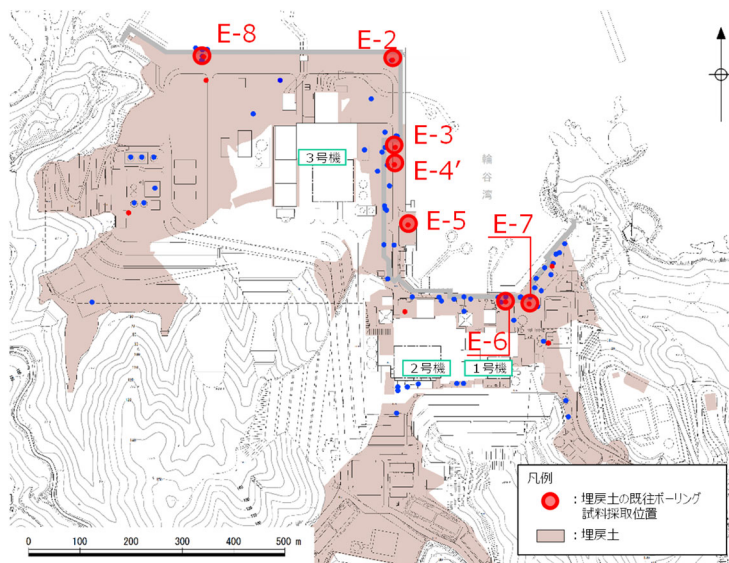


図 4.6.1-2 取水槽の改良地盤⑦における埋戻土採取位置



埋戻土の既往ボーリング試料採取位置

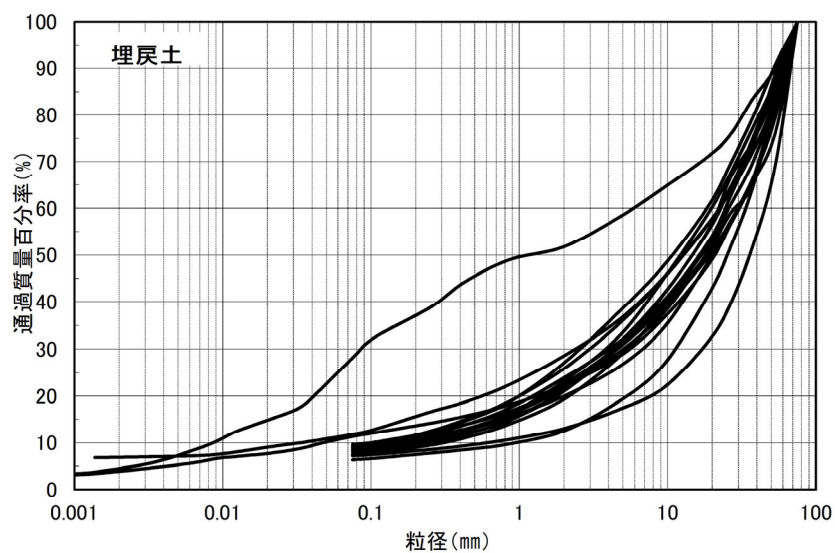


図 4.6.1-3 既往ボーリング試料における埋戻土の粒径加積曲線

取水槽の改良地盤⑦の室内配合試験における供試体作製のため、図 4.6.1-2 に示す取水槽近傍において採取した埋戻土の粒径加積曲線を図 4.6.1-4 に示す。図 4.6.1-3 に示す既往ボーリング試料における埋戻土の粒径加積曲線と同等であることから、取水槽近傍において採取した埋戻土は代表性を有すると判断した。

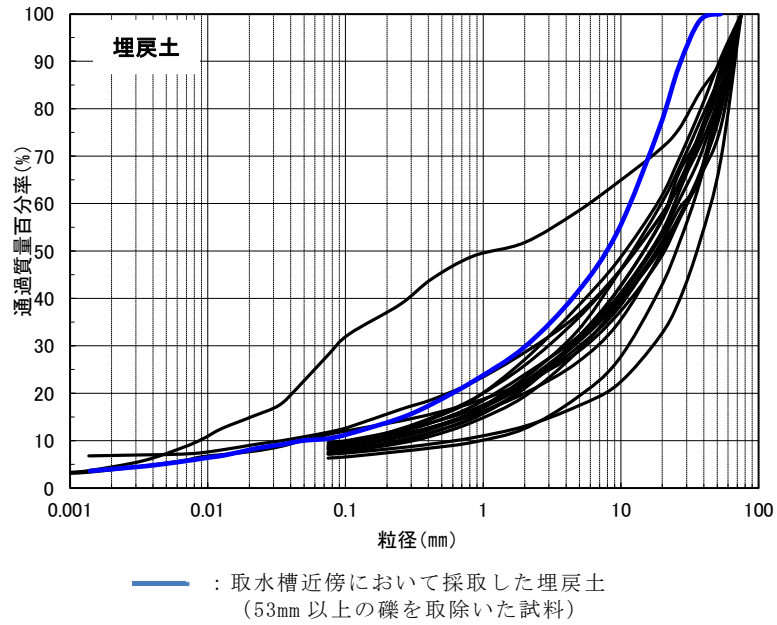


図 4.6.1-4 取水槽近傍の埋戻土採取位置における粒径加積曲線

(3) 安定材の調合

安定材として，水セメント比 90% でセメント，混和材，水を調合する。

(4) 試料（埋戻土）の調整

改良地盤の施工にあたっては，礫を含めて改良地盤を形成することで改良地盤全体として強度を有するが，浸透固化処理工法技術マニュアル（改訂版）（（財）沿岸技術研究センター）に準拠し，埋戻土の採取にあたり，巨礫を除いて採取する。なお，実施工後に採取した現地の供試体による室内試験結果と比較することで，礫を取除いたことによる影響を確認する。

(5) 供試体の作製

改良地盤⑦における室内配合試験の新設改良地盤の供試体の作製にあたっては、表 4.6.1-2 に示す地盤工学会（JGS）の試験基準に基づく。

表 4.6.1-2 新設改良地盤における室内配合試験の供試体作製方法

名称	地盤改良工法	試験基準	基準名称
改良地盤⑦	深層混合処理工法 (高圧噴射攪拌工法)	JGS 0821	安定処理土の締固めをしない供試体作製方法

所定量の試料（埋戻土）及び安定材をミキサーにより混合し、均一な安定処理土にする。安定処理土をモールド（直径 5cm，高さ 10cm の供試体を作製可能なもの）に 3 層程度に分けて入れ、各層ごとに気泡の除去を行い、供試体を作製する。

供試体の作製状況を図 4.6.1-5 及び図 4.6.1-6 に示す。



図 4.6.1-5 供試体の作製状況（混合中）



図 4.6.1-6 供試体の作製状況（作製後）

(6) 試験方法

改良地盤⑦の室内配合試験における試験は、日本産業規格（J I S）又は地盤工学会（J G S）の試験基準に基づき実施する。

表 4.6.1-3 改良地盤⑦の試験項目

項目	規格・基準名称	試験規格	必要試験数量
飽和密度	土の湿潤密度試験方法	JIS A 1225	3 以上
	岩石の密度試験方法	JGS 2132	
間隙率	土粒子の密度試験方法	JIS A 1202	3 以上
	岩石の密度試験方法	JGS 2132	
S 波速度	岩石の弾性波速度計測方法	JGS 2564	3 以上
G/G0~ γ 関係 h~ γ 関係	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	JGS 0542	1 以上
一軸圧縮 強度	土の一軸圧縮試験方法	JIS A 1216	3 以上
	岩石の一軸圧縮試験方 法	JGS 2521	
粘着力, 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧 縮試験方法	JGS 0523	3 以上

4.6.2 解析用物性値の設定方法

目標物性値及び試験結果を踏まえた解析用物性値の設定方法の詳細については、「4.2.2 解析用物性値の設定方法」と同様とする。ただし、 G_{ma} の算定に用いる σ_v' は図 4.6.2-1 のとおりとする。

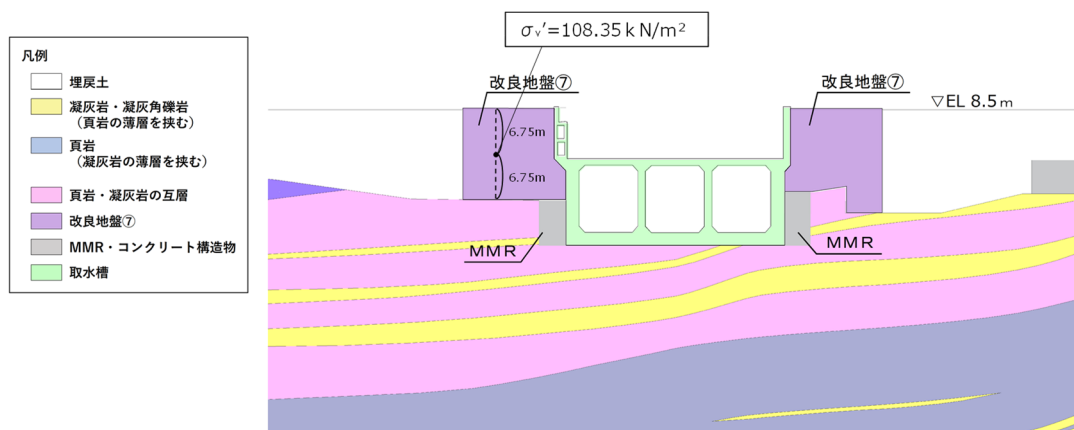


図 4.6.2-1 改良地盤⑦における G_{ma} の算定に用いる σ_v'

改良地盤⑦の S 波速度については、室内配合試験において作製した供試体の超音波速度測定による試験結果を踏まえて設定する。

なお、以下の文献調査結果を踏まえ、超音波速度計測（岩石の弾性波速度計測方法（JGS 2564））により計測した S 波速度を用いた動せん断弾性係数 G_{ma} の算定は妥当と判断する。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -2015（（社）日本電気協会）によると、「硬岩や軟岩の動弾性係数は、弾性波速度測定（P S 検層）又は超音波速度計測等により求める」とされている。
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -2015（（社）日本電気協会）によると、原子力発電所基礎地盤における軟岩の物性値の目安として、せん断波速度 500～1900m/s が示されている。
改良地盤⑦のせん断波速度は、「4.6.3 解析用物性値の設定」の室内配合試験における V_{sf} が 720m/s であり、軟岩に相当すると考えられる。
- ・設計用地盤定数の決め方—岩盤編—（（社）地盤工学会）によると、「動的変形係数は、ひずみレベルが微少であるため、通常の三軸圧縮試験では、精度よく

測定することが困難であることから、速度検層、超音波速度試験によって求めた弾性波速度から弾性理論に基づき算出する」と記載されている。

4.6.3 解析用物性値の設定

新設改良地盤のうち，取水槽の改良地盤⑦の室内配合試験の結果を説明する。

a. 試験結果

改良地盤⑦の室内配合試験における試験数量を表 4.6.3-1 に示す。また，試験結果を表 4.6.3-2～表 4.6.3-3 及び図 4.6.3-1～図 4.6.3-5 に示す。

表 4.6.3-1 改良地盤⑦の室内配合試験における試料数量

項目	規格・基準名称	試験規格	試料数量
飽和密度	土の湿潤密度試験方法	JIS A 1225	3
	岩石の密度試験方法	JGS 2132	
間隙率	土粒子の密度試験方法	JIS A 1202	3
	岩石の密度試験方法	JGS 2132	
S波速度	岩石の弾性波速度計測方法	JGS 2564	4
G/G0～ γ 関係 h～ γ 関係	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	JGS 0542	1
粘着力， 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧 縮試験方法	JGS 0523	3

表 4.6.3-2 密度試験結果

	飽和密度 (g/cm ³)	間隙率
供試体 1	2.09	0.353
供試体 2	2.08	0.356
供試体 3	2.07	0.363
平均	2.08	0.357

表 4.6.3-3 改良地盤⑦における S 波速度

	S 波速度 (m/s)	平均 S 波速度 (m/s)
改良地盤⑦	1790	1810
	1840	
	1790	
	1820	

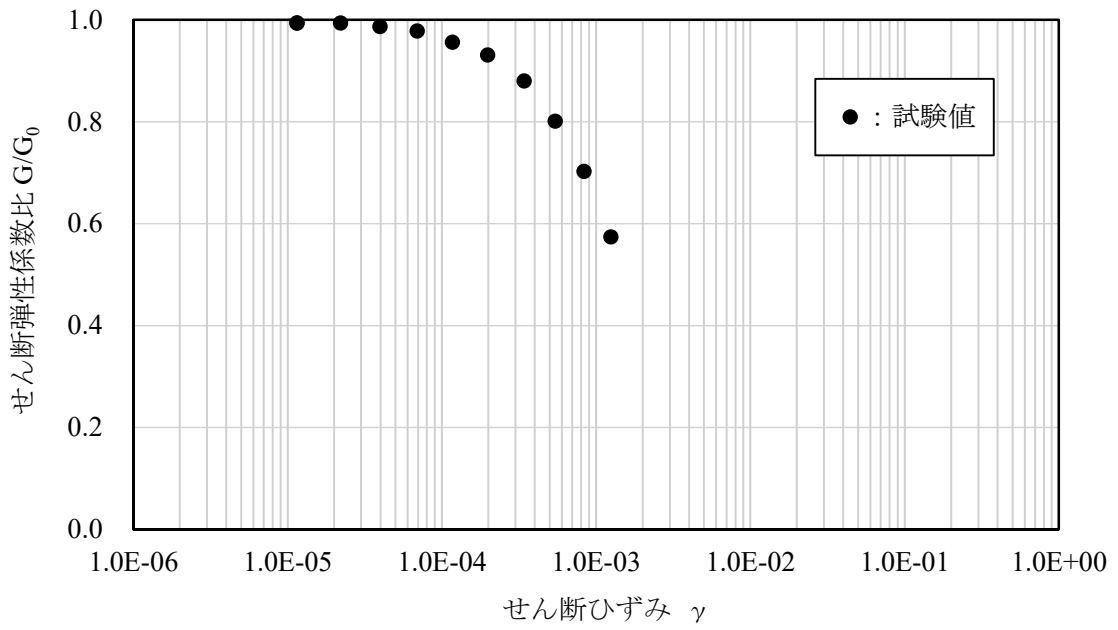


図 4.6.3-1 改良地盤⑦における G/G_0 のひずみ依存特性

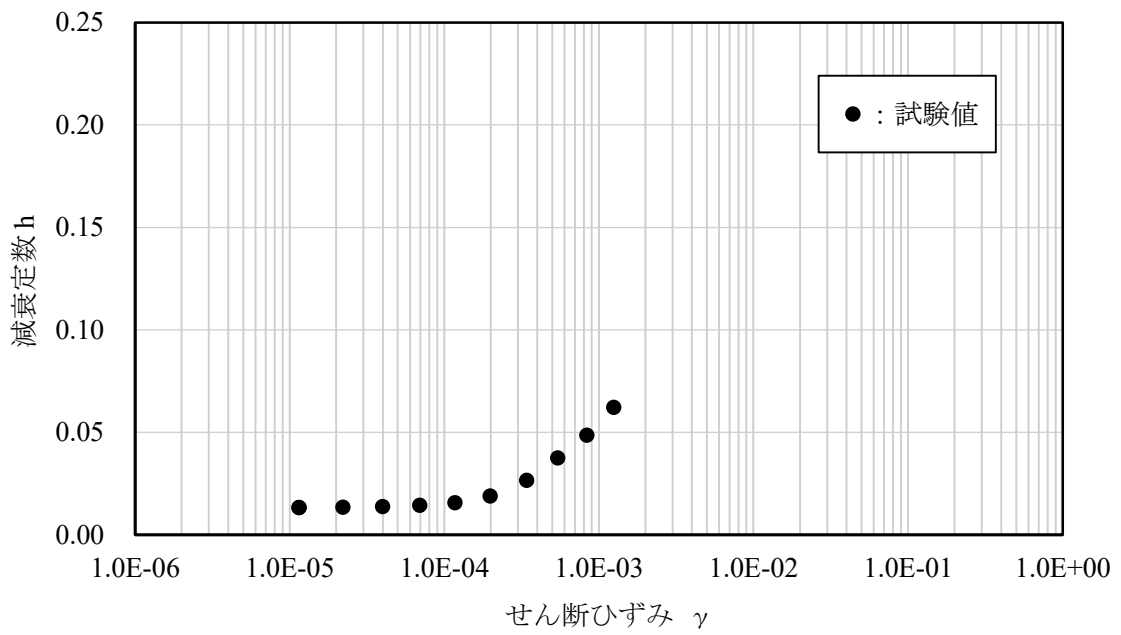


図 4.6.3-2 改良地盤⑦における減衰定数のひずみ依存特性

図 4.6.3-3 に示す繰返し三軸試験後の供試体写真より，供試体は破壊していないことから，試験結果は妥当であると判断した。

本試験では，JGS 2563「軟岩の変形特性を求めるための繰返し三軸試験方法」を参考に，繰返し荷重により供試体が破壊しないよう，三軸圧縮強さの 0.5 倍を超えない範囲で軸差応力を設定している。本試験結果においてせん断ひずみが 1.0×10^{-3} 程度の結果となった要因は，供試体の剛性が高いことにより，上記により設定した軸差応力の範囲においてせん断ひずみが小さくなったものと考えられる（図 4.6.3-1～図 4.6.3-2 参照）。

なお，今後，取水槽の耐震評価における改良地盤のせん断ひずみを確認し，試験結果範囲を逸脱しないことを確認する。



図 4.6.3-3 繰返し三軸試験後の供試体写真（改良地盤⑦）

a) 繰返し荷重過程の前に軸差応力を加える方法
(荷重方法 1)

全ての繰返し荷重段階において，供試体に対して排水条件で軸差応力を加えたのちに繰返し荷重を行う方法である。加える軸差応力は，同じ排水条件で得られた三軸圧縮強さの 0.5 倍を超えない範囲で可能な限り小さくすることが望ましい。1 回の試験の中で軸差応力の大きさを変えないことを標準とする。

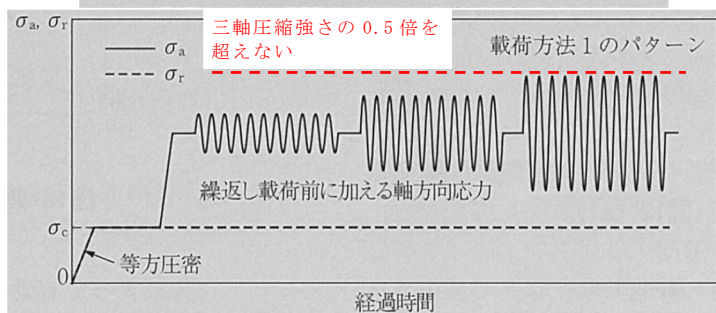


図 4.6.3-4 JGS 2563 荷重方法の模式図等（赤字で加筆）

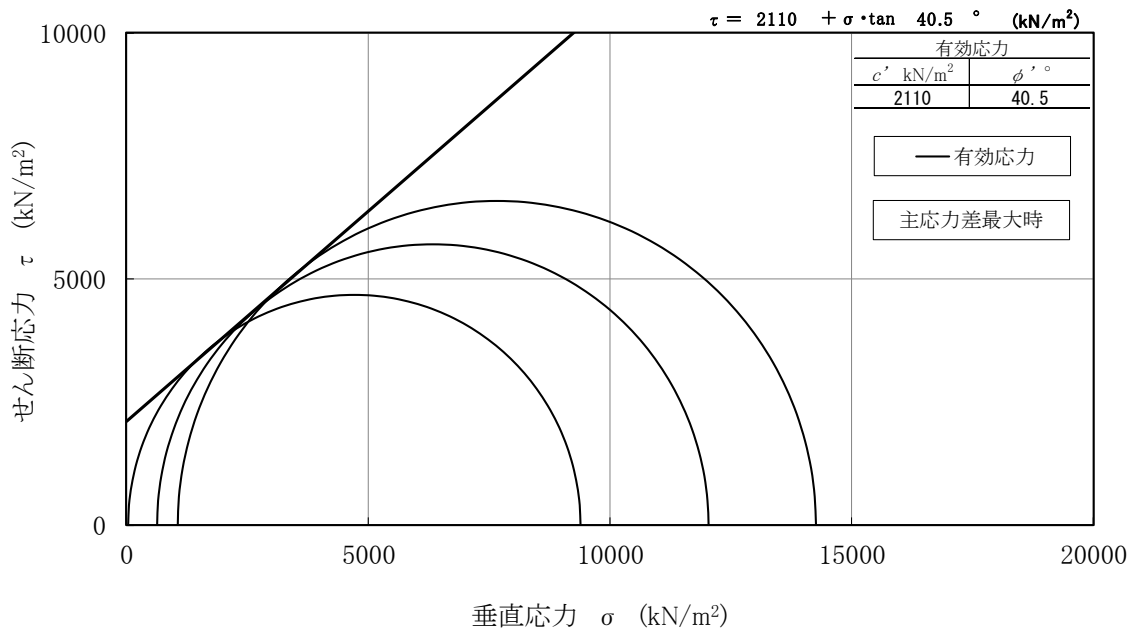


図 4.6.3-5 改良地盤⑦における三軸圧縮試験結果

b. 解析用物性値の設定

新設改良地盤のうち取水槽の改良地盤⑦について、室内配合試験における試験結果を踏まえ、解析用物性値を設定する。

(a) 密度 ρ 及び間隙率 n

改良地盤⑦の密度 ρ について、室内配合試験で確認された密度 $\rho = 2.07 \sim 2.09 \text{g/cm}^3$ は、改良前の埋戻土の密度 2.11g/cm^3 より小さい値となっている。室内配合試験の供試体作製において、基準に従い巨礫を取除いたことによる密度の減少と判断し、原地盤の埋戻土である密度 2.11g/cm^3 を採用する。

また、改良地盤⑦の間隙率 n について、室内配合試験における間隙率 $0.353 \sim 0.363$ よりも大きな原地盤の埋戻土の間隙率 0.45 を採用する。

(b) 動せん断弾性係数 G_{ma}

改良地盤⑦について、室内配合試験において作成した供試体の超音波速度測定による試験値と目標物性値との比較を表 4.6.3-4 に示す。

改良地盤⑦は変形抑制を目的に取水槽側面を改良する改良地盤であり、動せん断弾性係数が小さい方が耐震評価における土圧の評価が保守的になると考えられることから、目標物性値を解析用物性値に設定する。なお、実施工の改良地盤は設計値を上回るように施工されるため、改良地盤のばらつきを踏まえても表 4.6.3-4 における動せん断弾性係数は保守的な設定となっていると判断する。

表 4.6.3-4 室内配合試験における試験値と目標物性値との比較（動せん断弾性係数）

	目標物性値	試験値
S波速度 V_s (m/s)	700	720*
動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m^2)	1135000 解析用物性値に設定	1201000

注記*：平均S波速度 $1810 \text{m/s} \times 0.4$ より算定

(c) 動的変形特性

改良地盤⑦について、室内配合試験における繰返し三軸試験結果、並びに目標物性値から設定した G/G_0 のひずみ依存特性及び減衰定数のひずみ依存特性を図4.6.3-6及び図4.6.3-7に示す。

試験値が目標物性値から設定した G/G_0 のひずみ依存特性の曲線を上回ることを確認したことから、目標物性値から設定した G/G_0 のひずみ依存特性及び減衰定数のひずみ依存特性を解析用物性値に設定する。

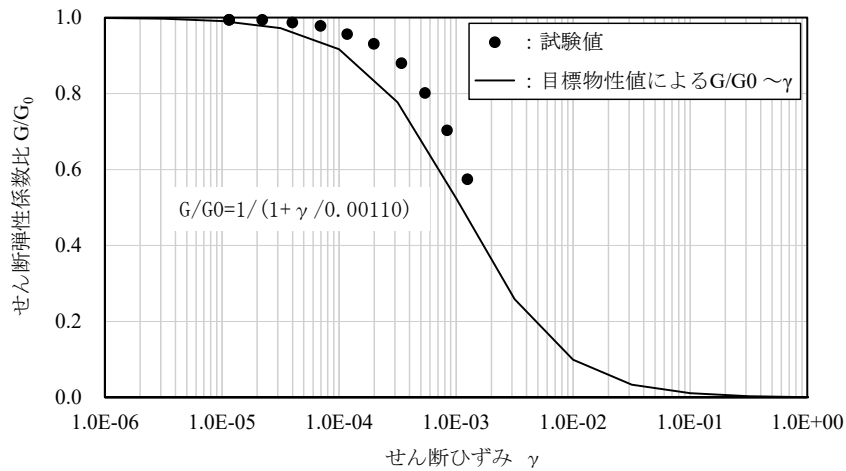


図 4.6.3-6 改良地盤⑦における G/G_0 のひずみ依存特性

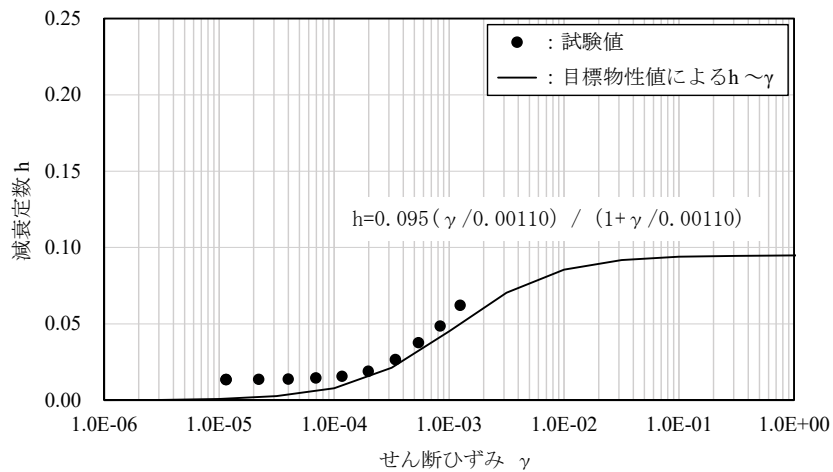


図 4.6.3-7 改良地盤⑦における減衰定数のひずみ依存特性

(d) 粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ

(式1)により算定されるせん断強度 τ を指標とし、室内試験におけるせん断強度 τ_R が、目標物性値 (表 4.6.1-1) から算定されるせん断強度 τ_d を上回ることを確認する。

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

室内試験における試験値と目標物性値の比較を表 4.6.3-5 に示す。

試験値は、粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ とともに目標物性値を上回るため、室内試験におけるせん断強度 τ_R が、目標物性値 (表 4.6.1-1) から算定されるせん断強度 τ_d を上回ることを確認したことから、解析用物性値として、目標物性値に設定した強度特性 (表 4.6.3-5) を設定する。

なお、実施工の改良地盤は設計値を上回るように施工されるため、改良地盤のばらつきを踏まえても表 4.6.3-5 における強度特性は保守的な設定となっていると判断する。

表 4.6.3-5 室内試験における試験値と目標物性値との比較 (強度特性)

	目標物性値	試験値
粘着力 c (kN/m ²)	1250	2110
内部摩擦角 ϕ (°)	0 解析用物性値に設定	40.5

(e) 改良地盤⑦の解析用物性値

以上を踏まえ、取水槽の改良地盤⑦における解析用物性値を表 4.6.3-6 に、その設定根拠を表 4.6.3-7 に示す。なお、実施工の改良地盤は設計値を上回るように施工されることから、構造物評価や改良地盤の破壊等の影響を確認する目的で、後述する品質確認結果より得られた改良地盤⑦の物性値を踏まえた影響検討を実施する。

表 4.6.3-6 改良地盤⑦における解析用物性値

		解析用物性値 (改良地盤⑦)
物理特性	密度 ρ (g/cm^3)	2.11
	間隙率 n	0.45
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms} (kN/m^2)	1135000
	基準平均有効拘束圧 σ'_{ms} (kN/m^2)	98
	ポアソン比 ν	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.095
強度特性	粘着力 c' (kN/m^2)	1250
	内部摩擦角 ϕ'	0

注：動せん断弾性係数は代表的な数値を示す。

表 4.6.3-7 改良地盤⑦における解析用物性値の設定根拠

		設定根拠 (改良地盤⑦)
物理特性	密度 ρ	室内配合試験における密度は、巨礫を除去したことにより、目標物性値の密度より小さくなっていると判断し、目標物性値である改良前の埋戻土の密度を設定
	間隙率 n	室内配合試験における間隙率は、目標物性値を下回ることから、目標物性値である改良前の埋戻土の間隙率を設定
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ms}	室内配合試験におけるせん断波速度 V_s は、目標物性値を上回ることから、目標物性値である解放基盤表面相当のせん断波速度 $V_s=700\text{m}/\text{s}$ を用いて、 $G_m=\rho V_s^2$ よりせん断弾性係数 G_m を算定。算定した G_m から、港湾技研資料*の算定式に基づき基準平均有効拘束圧における動せん断弾性係数 G_{ms} を設定。
	基準平均有効拘束圧 σ'_{ms}	慣用値*
	ポアソン比 ν	室内配合試験におけるポアソン比は、目標物性値と同等であることから、目標物性値である慣用値*より設定したポアソン比を設定
	減衰定数の上限値 h_{max}	室内配合試験における G/G_0 は、目標物性値から設定した G/G_0 のひずみ依存特性の曲線を上回ることから、目標物性値である改良前の埋戻土の h_{max} を設定
強度特性	粘着力 c'	室内配合試験における粘着力は、目標物性値を上回ることから、目標物性値である $c=qu/2$ より求めた粘着力を設定
	内部摩擦角 ϕ'	室内配合試験における内部摩擦角は、目標物性値を上回ることから、目標物性値である慣用値より設定した内部摩擦角を設定

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

4.7 既設改良地盤（置換コンクリート）

置換コンクリートは，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。

置換コンクリートのモデル化及び評価方針について，置換コンクリートの形状や周囲状況等に応じて決定する。置換コンクリートの幅が置換コンクリートの高さと同程度以上，又は隣接構造物や岩盤に囲まれている場合，置換コンクリートとしてモデル化する。ただし，置換コンクリートの幅が薄く，置換コンクリートの周囲に埋戻土が広く存在する場合，土木構造物の耐震評価において保守的に埋戻土としてモデル化する。

置換コンクリートの強度特性及び評価方法については，「補足-026-01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」において説明する。

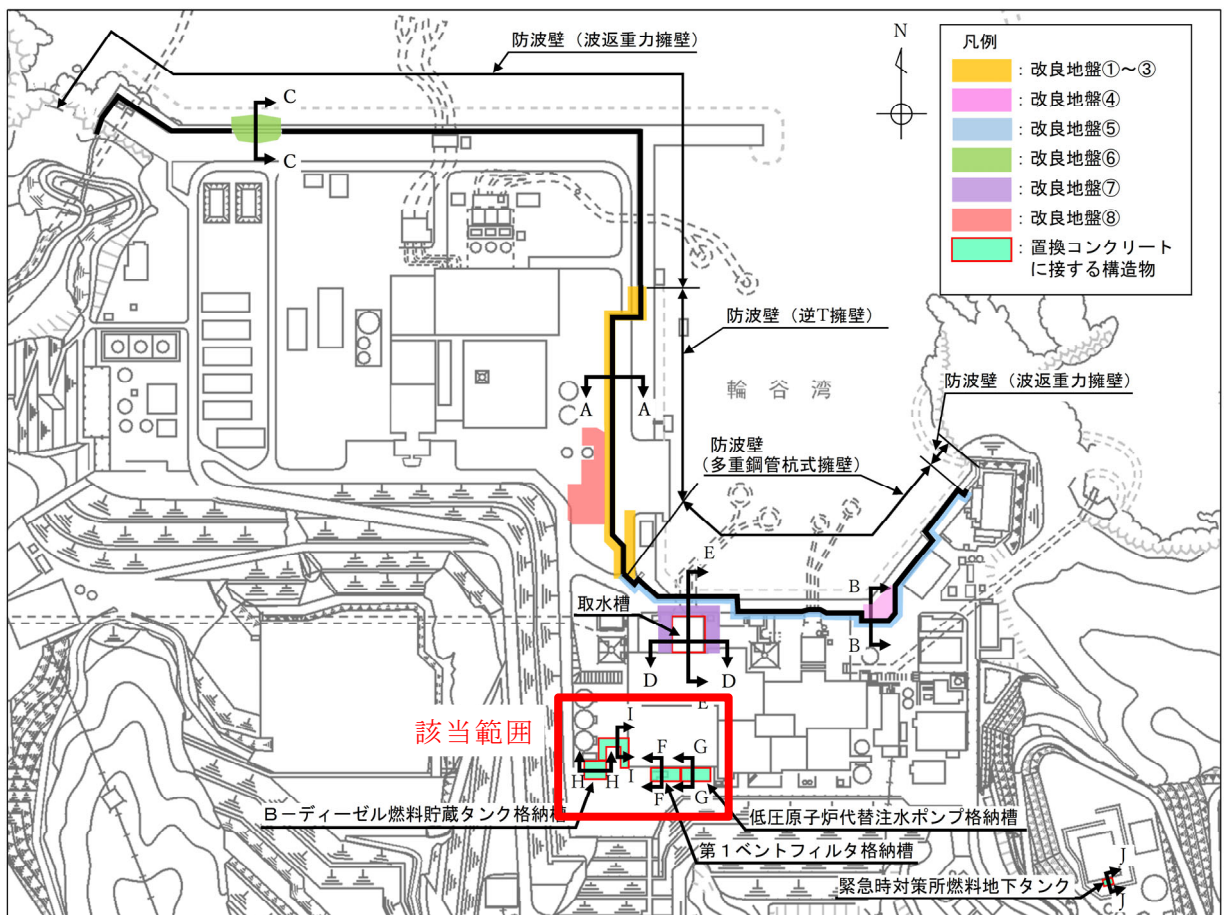
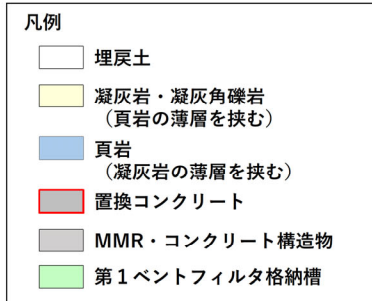


図 4.7-1 置換コンクリートの平面配置図

(単位 : m)



注記* : 埋戻土としてモデル化

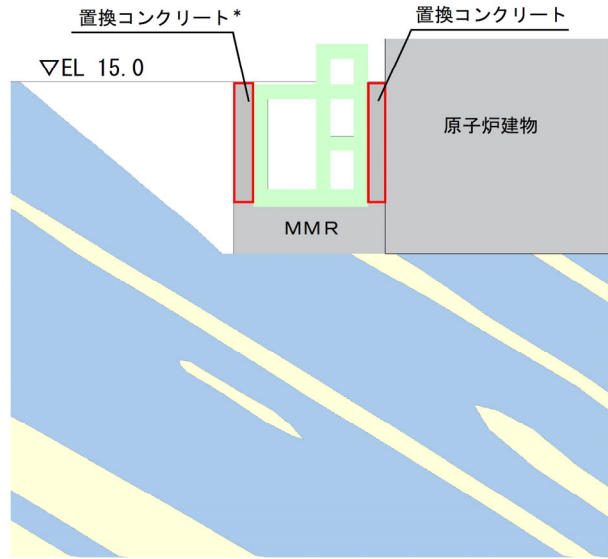


図 4.7-2 置換コンクリートの配置図
(第1ベントフィルタ格納槽, F-F断面)

(単位 : m)

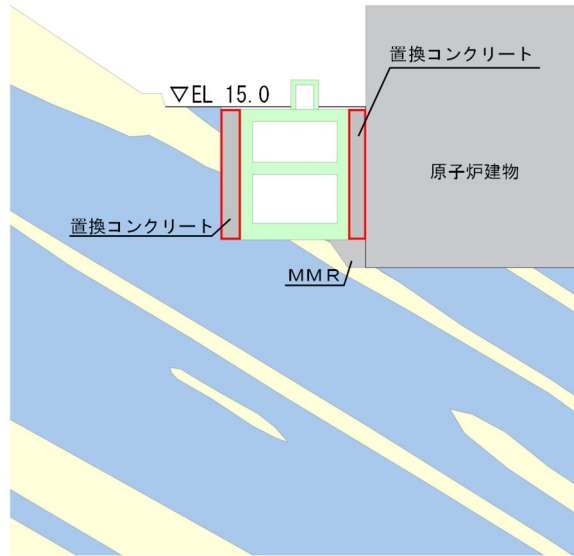
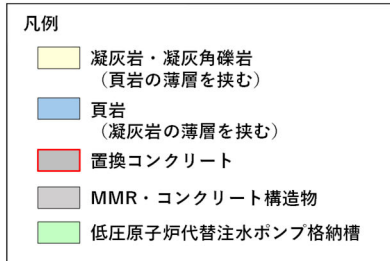


図 4.7-3 置換コンクリートの配置図
(低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽, G-G断面)

4.7.1 解析用物性値の設定

a. ヤング係数 E

置換コンクリートのヤング係数 E 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 4.7.1-1 に示すようにコンクリートの設計基準強度 f'_{ck} とヤング係数 E の関係から設定する。

表 4.7.1-1 コンクリートのヤング係数

		f'_{ck} (N/mm ²)							
		18	24	30	40	50	60	70	80
E_c (kN/mm ²)	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 ρ 及び間隙率 n

置換コンクリートの密度 ρ については、コンクリート標準示方書に基づき、4.7.1-2 に示すように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を用いて設定する。なお、置換コンクリートは、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 4.7.1-2 コンクリートの単位体積重量

材 料	単位重量 (kN/m ³)	材 料	単位重量 (kN/m ³)
鋼・铸鋼・鍛鋼	77	コンクリート	22.5~23.0
铸鉄	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}

置換コンクリートは、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 h_{max} は設定せず、減衰定数を 3% に設定する。

d. ポアソン比 ν

置換コンクリートのポアソン比 ν 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。

4.8 既設改良地盤（改良地盤⑧，流動化処理工法）

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤⑧の役割は、「基礎地盤のすべり安定性向上（自主対策）」である。

既設改良地盤であることから、原位置試験等により解析用物性値を設定する。

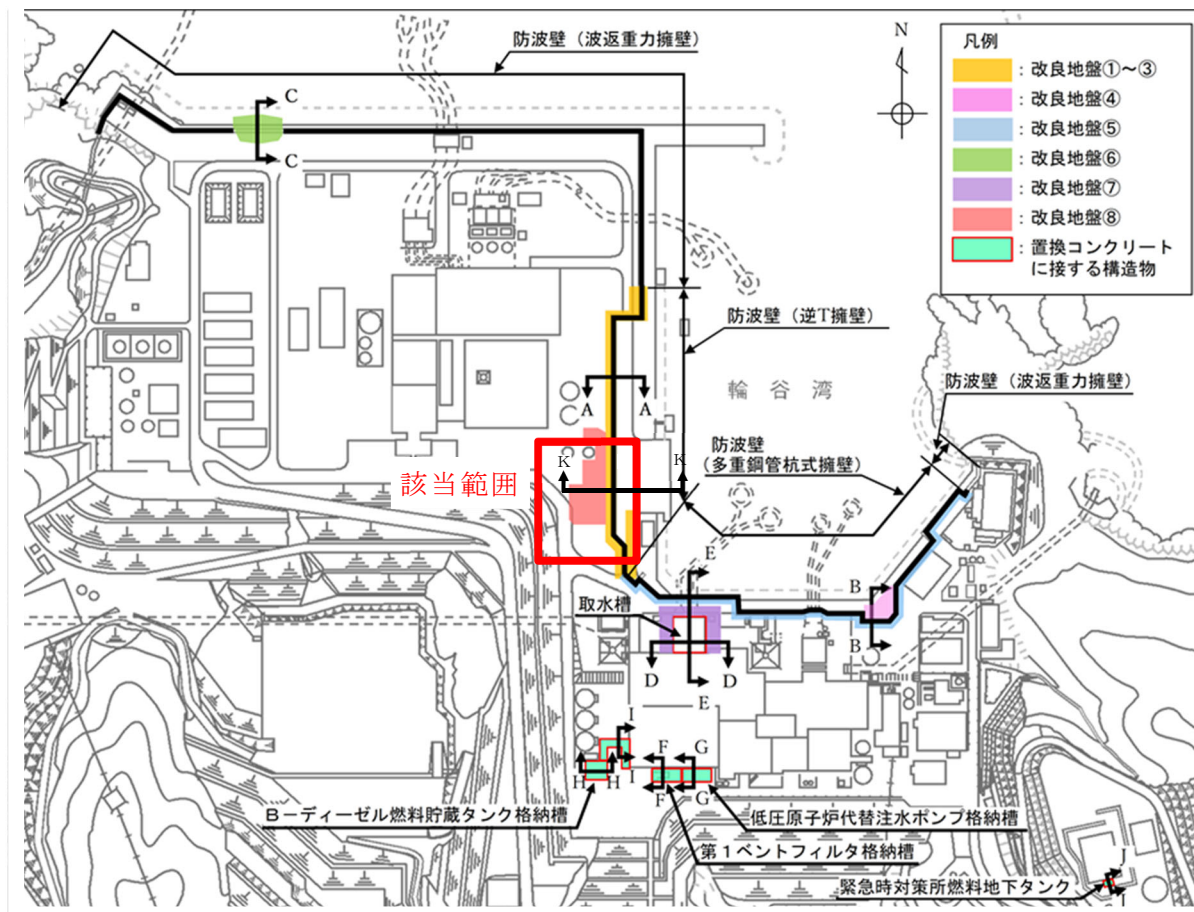


図 4.8-1 改良地盤⑧の平面配置図

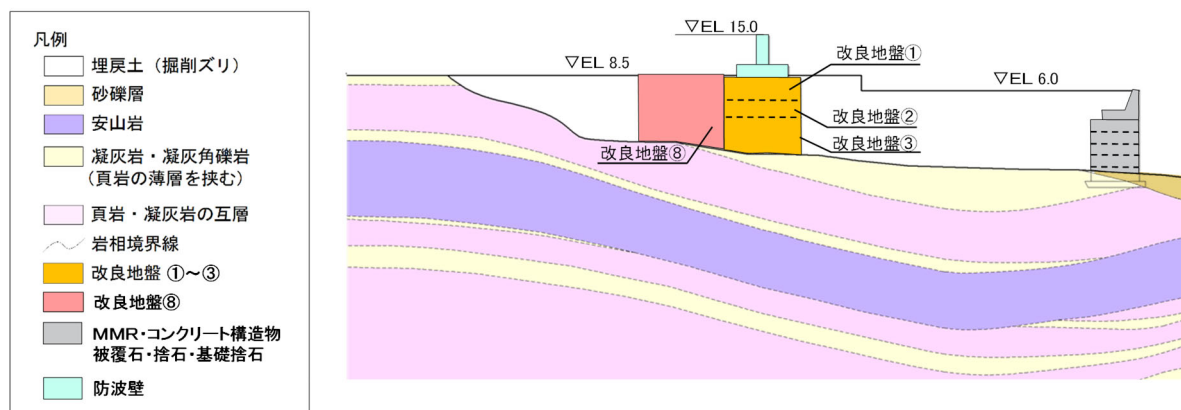


図 4.8-2 改良地盤⑧の配置図
（防波壁（逆T擁壁），K-K断面）

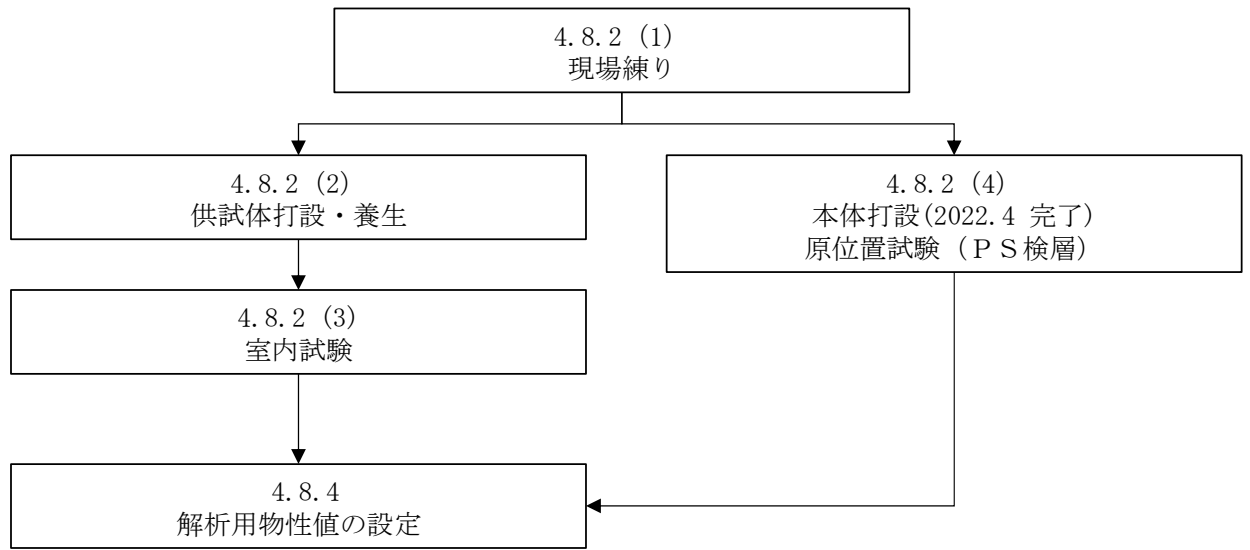
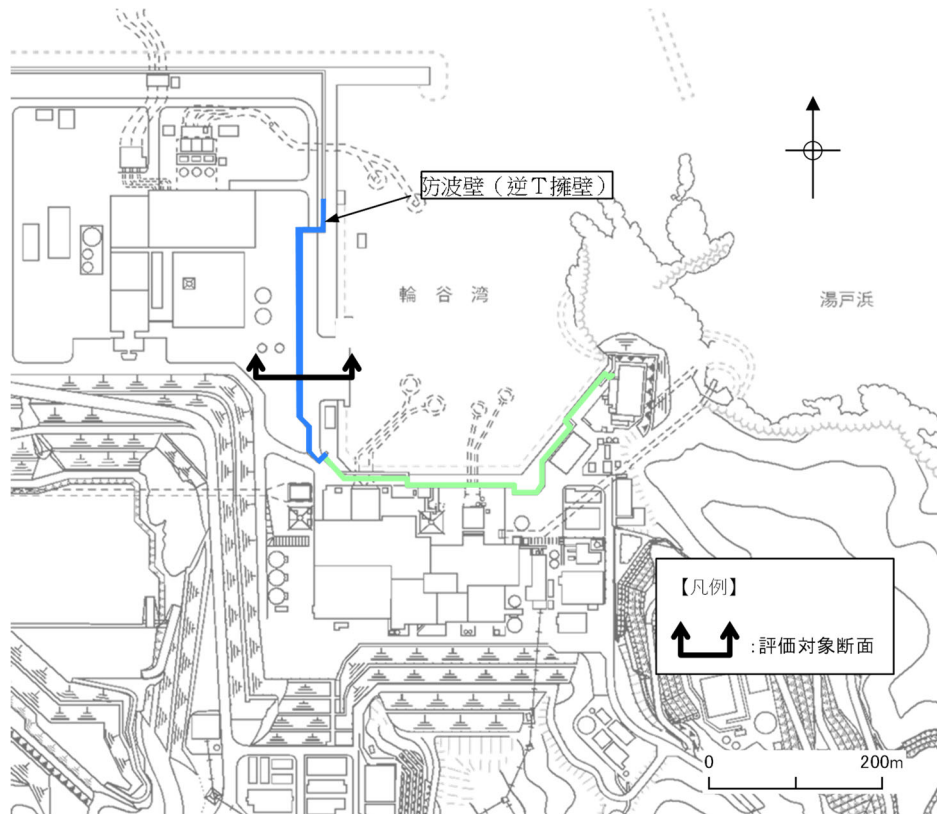


図 4.8-3 防波壁（逆 T 擁壁）の改良地盤⑧の検討フロー

4.8.1 防波壁（逆T擁壁）の改良地盤⑧の経緯及び役割

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤⑧については、設置許可審査において、液状化影響を考慮した防波壁（逆T擁壁）基礎地盤の安定解析（全応力解析）を実施した結果、最小すべり安全率が1.52と評価基準値1.5を満足するものの、裕度が小さい結果となったことから、液状化抑制を目的とした自主的な裕度向上対策として、「薬液注入工法」により地盤改良を行うこととしたものである（図4.8.1-1参照）。



すべり面形状	基準地震動 ^{*1}	すべり安全率【平均強度】 ^{*2}	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】 ^{*2}
<p>B25-26シームを通るすべり面</p>	Ss-D (-, -)	1.88 [8.98]	1.52 [8.98]

【凡例】
■ : C₁級岩盤 ■ : C₂級岩盤 ■ : C₃級岩盤 ■ : D級岩盤
■ : 埋戻土、盛土 ■ : 改良地盤① ■ : 改良地盤② ■ : 改良地盤③
— : シーム — : すべり面^{*3}

注記*1: 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

*2: []は、発生時刻(秒)を示す。

*3: 破線は液状化影響を考慮する範囲

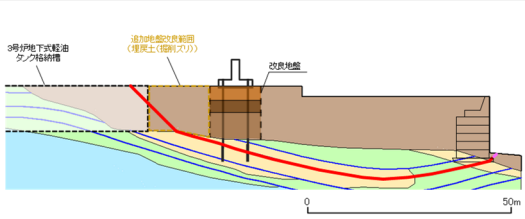
*4: グラウンドアンカーはモデル化せず、安全率算定時にグラウンドアンカーによる緊張力を考慮する。

図4.8.1-1 防波壁（逆T擁壁）基礎地盤の安定解析結果

設置許可段階では、埋戻土の骨格構造を変えない「薬液注入工法」を選択したことから、解析用物性値は埋戻土と同値に設定し、液状化影響を考慮せずすべり安全率を算定した（表 4.8.1-1 参照）。

その結果、液状化抑制によってすべり安全率は 1.52 から 1.67 に向上した（表 4.8.1-1 参照）。

表 4.8.1-1 防波壁（逆 T 擁壁）基礎地盤の安定解析結果（改良地盤⑧考慮）

すべり面形状	基準地震動 *1	すべり安全率【平均強度】*2	すべり安全率【ばらつきを考慮した強度】*2
 <p>B25・26シームを通るすべり面</p>	Ss-D (+,+)	2.02 [13.14]	1.67 [13.14]

- 【凡例】
- : C₁級 岩盤 ■ : C₂級 岩盤 ■ : C₃級 岩盤 ■ : D級 岩盤
 - : 埋戻土、盛土 ■ : 改良地盤① ■ : 改良地盤② ■ : 改良地盤③
 - : シーム — : すべり面 *3

- 注記 *1: 基準地震動(+,+)は反転なし, (-,+)は水平反転, (+,-)は鉛直反転, (-,-)は水平反転かつ鉛直反転を示す。
 *2: []は、発生時刻(秒)を示す。
 *3: 破線は液状化影響を考慮する範囲
 *4: グラウンドアンカーはモデル化せず、安全率算定時にグラウンドアンカーによる緊張力を考慮する。

設置許可審査後、改良地盤⑧の施工計画を検討した結果、改良範囲に既設の埋設物がないことも踏まえ、より確実に液状化抑制対策を行うため、埋戻土を掘削してセメントと混合して置き換える「流動化処理工法」に工法を変更することとした。

設工認審査においても、設置許可審査と同様に、改良地盤⑧の改良範囲は埋戻土として評価することを基本とするが、地盤改良により剛性が大きくなると想定されるため、防波壁（逆 T 擁壁）への影響の有無を確認するため、解析用物性値を設定する。

4.8.2 供試体作製及び室内試験

供試体作製、室内試験及び解析用物性値の設定にあたっては、図 4.8-3 のフローにより実施した。

(1) 現場練り

使用材料は、埋戻土と同じ材料である、敷地造成において発生した岩砕を用いるが、流動化処理土利用技術マニュアル（平成 19 年/第 2 版）（（独）土木研究所・(株)流動化処理工法総合管理編）に準拠し、粒径 40mm 以下に粒度調整する（図 4.8.2-1 参照）。

現場練り材料の水セメント比は、施工事例を踏まえ、84%に設定した。

○主材（原料土）

主材および原料土は、原料となる発生土（建設汚泥を含む）を指し、主材は流動化処理土の配合設計を行うときに適用し、原料土は流動化処理土をプラントで製造するときに適用する。

主材は流動化処理土の原料土となる土砂であり、建設事業にともなって発生するほぼ全ての土が主材として適用できる。ただし土質安定処理をせず直接再利用できる良質土、例えば第 1・2 種建設発生土は、従来どおりの再利用の方法がコスト面で有利になることが多い。一方、従来、不良土として扱われていた細粒分を多く含む含水比が 40～80%の粘土・シルトや泥土（第 4 種建設発生土および泥土）、土取り場から採取した細粒分や有害物質を含まない浄水場の汚泥、河川、湖沼等の底質土は、その処理・処分にコストが発生する。これらを流動化処理土の主材として用いると、処分費が不要となり結果として建設コストが抑制される。

良質土と低品質土が発生するときは、発生土全体の使用量を多くするため、良質な土をより多く、例えば第 4 種より粗粒分の多い第 3 種を優先的に使うほうが、発生土の再利用率が多くなりリサイクル効果があがる。ただし、礫や砂を含む良質の発生土を使うには十分な細粒分を確保する必要がある。細粒分が不足するとブリーディングが起り固化強度が安定しない。礫の粒径については最大 40 mm 程度のものまで主材として利用できる。

また、主材は土壤汚染対策法などで指定された有害物質を含まないこと、建設汚泥を使う

5

図 4.8.2-1 流動化処理土利用技術マニュアル（平成 19 年/第 2 版）
（（独）土木研究所・(株)流動化処理工法総合管理編）抜粋

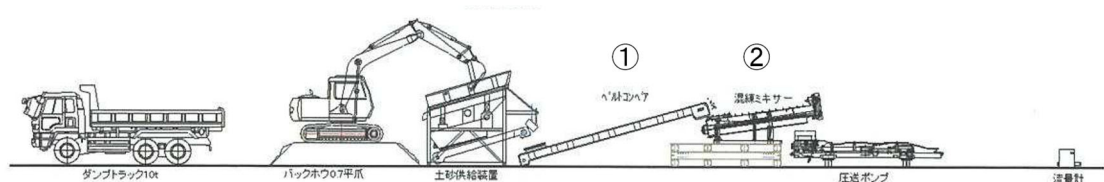
(2) 供試体打設・養生

流動化処理土利用技術マニュアル（平成 19 年/第 2 版）（（独）土木研究所・㈱流動化処理工法総合管理編）によると、品質管理に際し「製造時または打設時に吐出口から試料を採取し、モールドに詰めて供試体を作製し、所定の材令において試験を行う」とされている。

改良地盤⑧は、粒度調整を行い、水、セメントと混合しており、コンクリートに似た均質材料であることから、供試体打設・養生は同マニュアルに準拠して現地施工に併せて実施することとした。

供試体作製に当っては、現地打設のための流動化処理土プラント吐出口から型枠に流し込み、養生ハウスにて所定の材令(28日)まで養生した(図 4.8.2-2 参照)。

供試体の養生状況や、室内試験実施前の供試体状況を図 4.8.2-3 に示す。



① ベルトコンベア(土砂供給状況)



② 連続混練装置



現地打設状況



供試体作製状況

図 4.8.2-2 流動化処理土製造・打設・供試体作製状況



改良地盤⑧の供試体の養生状況
(供試体寸法：直径20cm×高さ40cm)



改良地盤⑧の供試体
室内試験実施前の状況写真

図 4.8.2-3 改良地盤⑧の供試体状況

(3) 試験方法

解析用物性値を設定するための物性試験は、日本産業規格（JIS）又は地盤工学会（JGS）の試験基準に基づき実施する（表 4.8.2-1）。

表 4.8.2-1 改良地盤⑧の試験項目

項目	規格・基準名称	試験規格	必要試験数量
飽和密度	密度試験 (浸水+減圧脱気)	JGS 2132	3以上
間隙率	密度試験 (浸水+減圧脱気)	JGS 2132	3以上
S波速度	地盤の弾性波速度検層方法 (PS検層)	JGS 1122	—*
粘着力, 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧縮試験方法	JGS 0523	3以上

注記*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

(4) 原位置試験位置

原位置試験位置を図 4.8.2-4 に示す。既設改良地盤における原位置試験は、既設構造物の配置等を踏まえ、おおむね均等な配置となるよう 3 地点 (⑧-1~⑧-3) で調査を実施する。

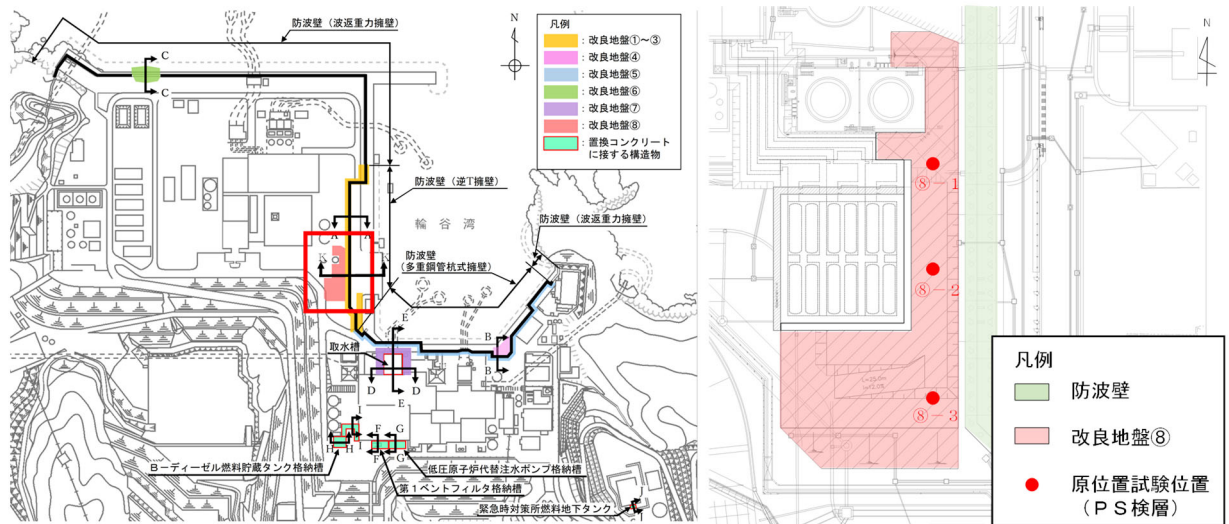


図 4.8.2-4 改良地盤⑧の原位置試験位置 (P S 検層)

⑧-1~⑧-3 における原位置試験の項目及び数量を表 4.8.2-2 に示す。

表 4.8.2-2 ⑧-1~⑧-3 における試験実施項目及び数量

試験項目	数量 (m) *		
	⑧-1	⑧-2	⑧-3
PS 検層	10	11	13

注記* : P S 検層の測定区間長 1m を一つの試料数と見なす。

4.8.3 解析用物性値の設定方法

試験結果を踏まえた解析用物性値の設定方法の詳細については、「4.2.2 解析用物性値の設定方法」と同様とする。

ただし、4.8.4 (1) に示す三軸圧縮試験結果を踏まえ、改良地盤⑧は線形材料と見なすことができるため、FLIPに入力する解析用物性値として、弾性係数Eを以下の式に基づき設定する。

$$E = 2(1 + \nu)G \quad (\text{式1})$$

$$G = \rho V_s^2 \quad (\text{式2})$$

E : 弾性係数 (kN/m²)

ν : ポアソン比

G : せん断弾性係数 (kN/m²)

ρ : 密度 (g/cm³)

V_s : S波速度 (m/s)

4.8.4 解析用物性値の設定

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤⑧の室内試験及び原位置試験（PS検層）の結果を説明する。

（1）試験結果

改良地盤⑧の各試験数量を表4.8.4-1に示す。また、密度試験結果を表4.8.4-2に、原位置試験（PS検層）におけるS波速度を表4.8.4-3に、三軸圧縮試験結果を図4.8.4-1～4に示す。

なお、図4.8.4-2～4に示すとおり、三軸圧縮試験の応力ひずみ関係（ $\sigma - \varepsilon$ ）では、明瞭なピークが認められ、直線性を示すことから、線形材料と見なすことができる。

表4.8.4-1 改良地盤⑧の各試験数量

	試験項目	規格・基準名称	試験規格	試験数量
改良地盤⑧	飽和密度	密度試験 (浸水+減圧脱気)	JGS 2132	3
	間隙率	密度試験 (浸水+減圧脱気)	JGS 2132	3
	S波速度	地盤の弾性波速度検層方法 (PS検層)	JGS 1122	34*
	粘着力, 内部摩擦角	土の圧密非排水三軸圧縮試験方法	JGS 0523	12

注記*：PS検層の測定区間長1mを一つの試料数と見なす。

表4.8.4-2 改良地盤⑧の密度試験結果

	湿潤密度 (g/cm ³)	間隙率
改良地盤⑧	1.90	0.446
	1.90	0.443
	1.87	0.465
平均	1.89	0.452

表 4.8.4-3 改良地盤⑧の P S 検層試験結果

	P 波速度 (m/s)	S 波速度 (m/s)
⑧-1	2630	1310
	2480	1290
	2800	1430
⑧-2	3000	1650
	2330	1300
	2060	1150
⑧-3	2150	1170
	2540	1400
	2710	1510
平均	2522	1357

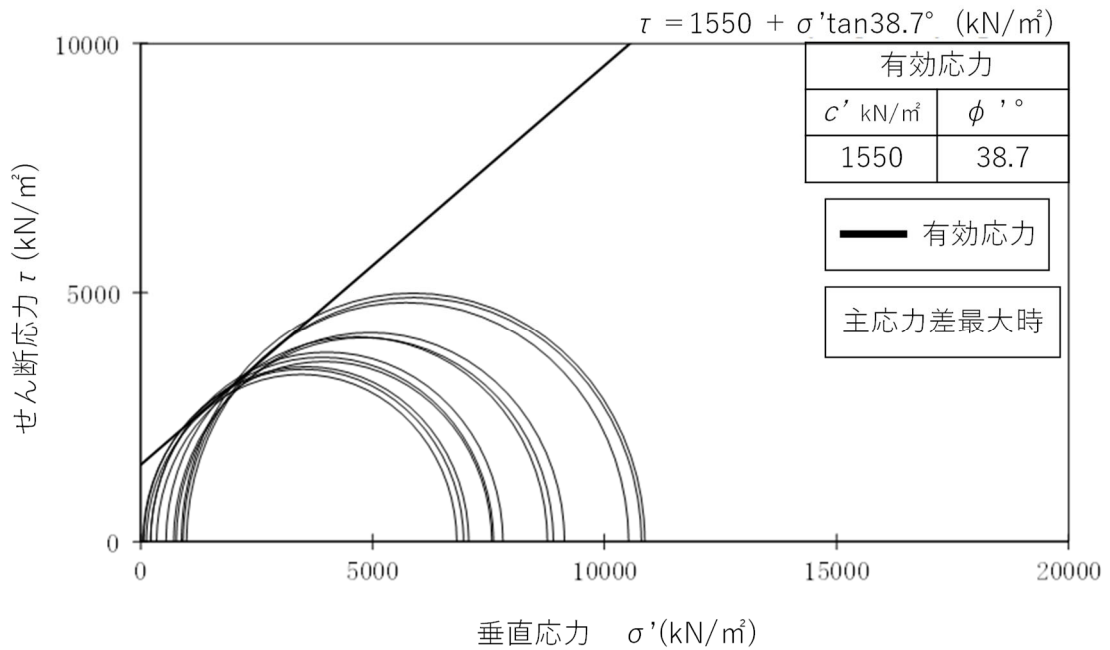


図 4.8.4-1 改良地盤⑧における三軸圧縮試験結果

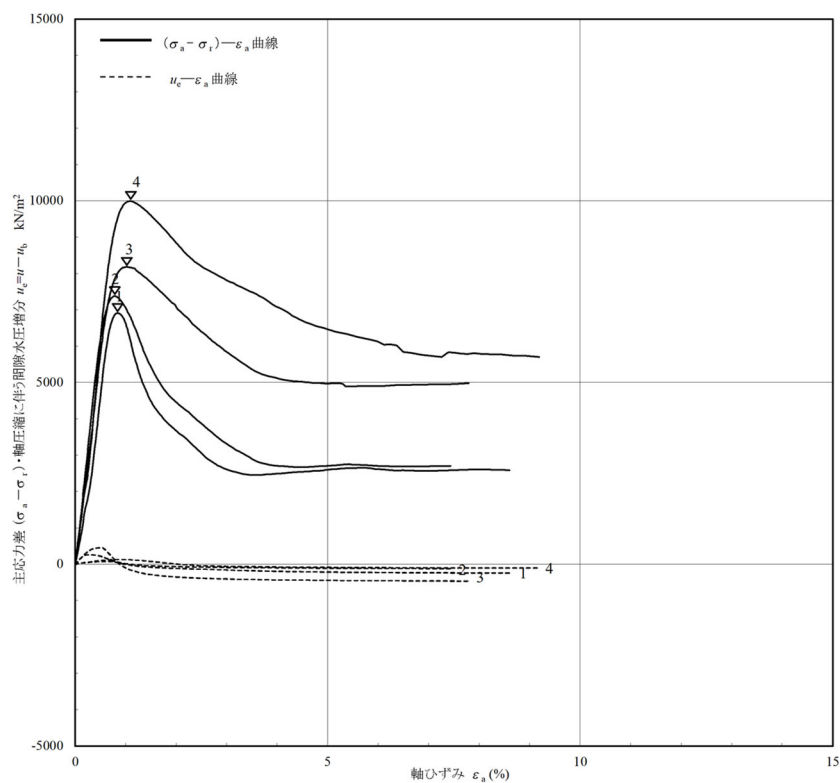


図 4.8.4-2 改良地盤⑧における三軸圧縮試験結果
応力ひずみ関係 ($\sigma - \varepsilon$) (その 1)

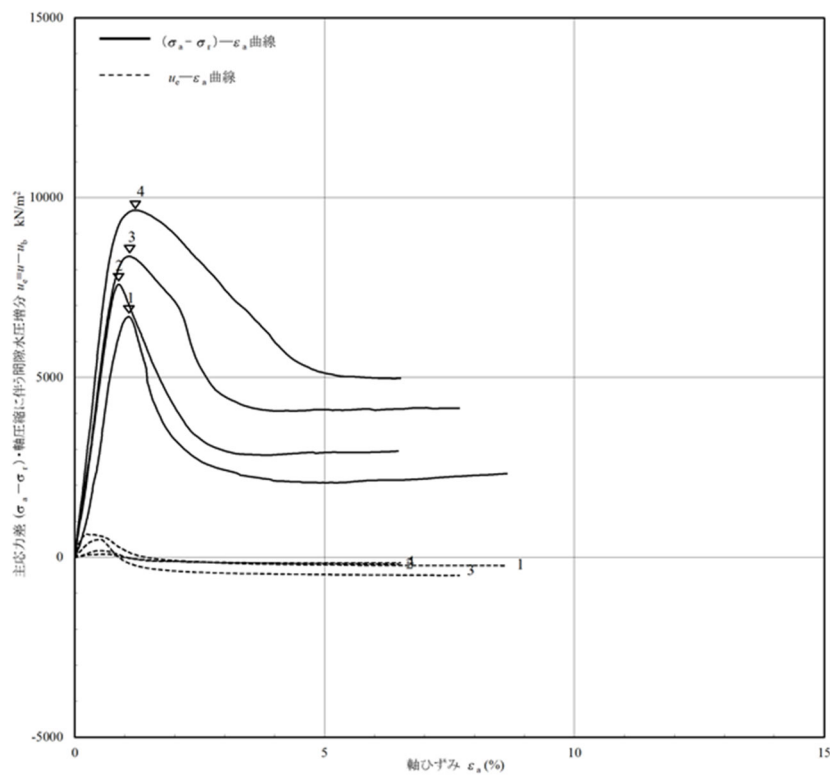


図 4.8.4-3 改良地盤⑧における三軸圧縮試験結果
応力ひずみ関係 ($\sigma - \varepsilon$) (その 2)

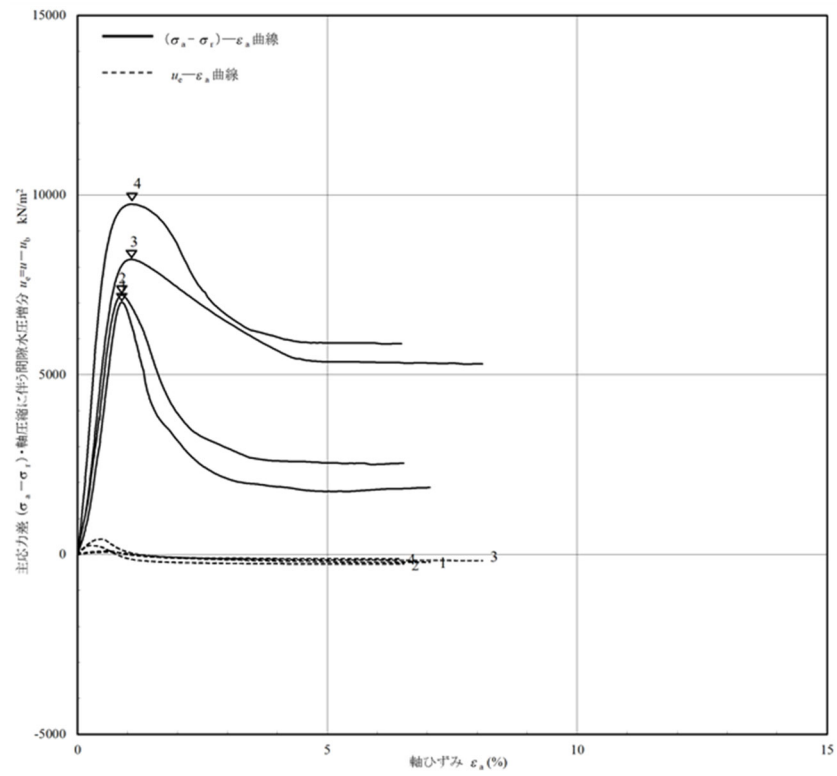


図 4.8.4-4 改良地盤⑧における三軸圧縮試験結果
応力ひずみ関係 ($\sigma - \varepsilon$) (その 3)

(2) 解析用物性値の設定

新設改良地盤のうち防波壁（逆T擁壁）の改良地盤⑧について、室内試験及び原位試験（PS検層）における試験結果を踏まえ、解析用物性値を設定する。

(a) 密度 ρ 及び間隙率 n

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤⑧の密度 ρ について、室内試験で確認された密度 $\rho = 1.89\text{g/cm}^3$ は、改良前の埋戻土の密度 2.11g/cm^3 より小さい値となっている。流動化処理土利用技術マニュアルの基準に従い粒径 40mm 以下を主材とし、均質な強度発現を得るために水セメント比を 84% に設定していることによる密度の減少と判断し、均質な流動化処理土である改良地盤⑧の密度 1.89g/cm^3 を採用する。

また、改良地盤⑧の間隙率 n について、室内試験における間隙率 0.452 は改良前の埋戻土の間隙率 0.45 とほぼ同程度であるため、改良地盤⑧の間隙率は 0.45 を採用する。

(b) 弾性係数 E

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤⑧における弾性係数 E は、密度試験及びPS検層に基づいて表 4.8.4-4 に示すとおり、弾性係数 E を設定した。

表 4.8.4-4 改良地盤⑧における弾性係数 E

	算定値
弾性係数 E (kN/m ²)	9.25×10^6

(c) 粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤⑧における強度特性は、三軸圧縮試験に基づいて表 4.8.4-5 に示すとおり、粘着力 c' 及び内部摩擦角 ϕ を設定した。

表 4.8.4-5 改良地盤⑧における粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ

	試験値
粘着力 c' (kN/m ²)	1550
内部摩擦角 ϕ (°)	38.7

(d) 改良地盤⑧の解析用物性値

以上を踏まえ、防波壁（逆T擁壁）の改良地盤⑧における解析用物性値を表 4.8.4-6 に、その設定根拠を表 4.8.4-7 に示す。

表 4.8.4-6 改良地盤⑧における解析用物性値

		解析用物性値 (改良地盤⑧)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.89
	間隙率 n	0.45
変形特性	弾性係数 E (kN/m ²)	9.25×10 ⁶
	ポアソン比 ν	0.33
強度特性	粘着力 C' (kN/m ²)	1550
	内部摩擦角 ϕ'	38.7°

表 4.8.4-7 改良地盤⑧における解析用物性値の設定根拠

		設定根拠
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	室内試験の物理試験結果に基づいて、密度を設定
	間隙率 n	室内試験の物理試験結果に基づいて、間隙率を設定
変形特性	弾性係数 E (kN/m ²)	室内試験の密度試験及び原位置試験の P S 検層に基づいて、弾性係数を設定
	ポアソン比 ν	慣用値*
強度特性	粘着力 C' (kN/m ²)	室内試験の三軸圧縮試験結果に基づいて、粘着力を設定
	内部摩擦角 ϕ'	室内試験の三軸圧縮試験結果に基づいて、内部摩擦角を設定

注記* : 4.2.2 参照

5. 品質確認方針

新設改良地盤の品質確認においては、期待する役割や物性値設定の経緯に応じて品質確認方針を設定のうえ、改良地盤の解析用物性値が確保されていることを確認する。

なお、置換コンクリートについては、コンクリート標準示方書に基づき品質確認を実施する。

5.1 品質確認準拠基準について

地盤改良工法の基準・指針として一般的な文献を表 5.1-1 に示す。

高圧噴射攪拌工法による改良地盤は、高圧噴射攪拌工法の品質確認に係る詳細な記載がされている建築センター指針を踏まえて品質確認を行う。また、薬液注入工法による改良地盤は、薬液注入工法の品質確認に係る詳細な記載がされている浸透処理固化マニュアルを踏まえて品質確認を行う。

なお、他基準・指針における考え方も参考にして品質確認を行う。

表 5.1-1 地盤改良工法の基準・指針

地盤改良 工法	基準・指針名	基準略称
高圧噴射 攪拌工法	2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—, 日本建築センター	建築センター指針
	建築基礎のための地盤改良設計指針案, 日本建築学会, 2006	建築基礎指針
	乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程, 日本電気協会, 平成 21 年	J E A C 4 6 1 6
	陸上工事における新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・空港における新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
薬液注入 工法	浸透固化処理工法技術マニュアル (改訂版), (財) 沿岸技術研究センター, 2010	浸透固化マニュアル
	薬液注入工法 設計・施工指針, 日本薬液注入協会, 平成元年 6 月	薬液注入指針

5.2 品質確認試験の頻度

地盤改良工法に対する諸基準・指針における必要調査箇所数を表 5.2-1 に示す。

高圧噴射攪拌工法による改良地盤は、建築センターに記載される試験頻度の目安を踏まえて、改良地盤の施工数量に応じて品質確認試験を実施する。また、薬液注入工法による改良地盤は、浸透固化マニュアルに記載される試験頻度の目安を踏まえ、改良地盤の施工数量に応じて品質確認試験を実施する。

表 5.2-1 諸基準・指針における必要調査箇所数

地盤改良 工法	基準略称	試験頻度の目安
高圧噴射 攪拌工法	建築センター指針	検査対象層（改良範囲内の各土質）に対して、100本の改良コラム 1 箇所以上かつ 1 検査対象群に 1 箇所以上。
薬液注入 工法	浸透固化マニュアル	改良土量 5000m ³ 未満は 3 箇所程度、5000m ³ 以上は 2500m ³ 増えるごとに 1 箇所追加する程度。

5.3 品質確認項目

防波壁（逆T擁壁）について、設置許可段階において地震動及び地殻変動による基礎地盤の傾斜が基本設計段階の目安値である 1/2,000 を上回ることを確認したことから、防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③は、設置許可段階において設定したPS検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）が確保されていることを確認する目的で、実施工における強度特性及び変形特性を確認する。また、改良地盤の実施工において4.3.2で設定した解析用物性値が確保されていることを確認する目的で変形特性及び強度特性を確認する。

取水槽の改良地盤⑦に期待する役割として構造物の変形抑制があること、取水槽に設置される機器・配管系の床応答への影響の観点から、変形特性を確認する。また、改良地盤の実施工において4.3.2で設定した解析用物性値が確保されていることを確認する目的で強度特性を確認する。

新設改良地盤における役割及び品質確認項目を表5.3-1に示す。

表 5.3-1 新設改良地盤における役割及び品質確認項目

対象施設	名称	役割	品質確認項目
防波壁 (逆T擁壁)	改良地盤①	擁壁の支持 難透水性の保持	強度特性 変形特性
	改良地盤②		
	改良地盤③		
取水槽	改良地盤⑦	構造物の変形抑制 (機器配管系への影響)	変形特性 強度特性*

注記*：実施工において解析用物性値が確保されていることを確認する目的で実施

改良地盤①～③における解析用物性値は、設置許可段階において設定したPS検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）を包絡又は同等となるよう設定していることから、実施工において解析用物性値が確保されていることを確認することで、設置許可段階において設定した管理目標値が確保されることが確認できる。

以上より、強度特性については、改良地盤の実施工におけるせん断強度が、解析用物性値として設定したせん断強度を上回ることを確認する。変形特性については、動的変形特性のうち支配的なパラメタである初期せん断弾性係数が大きいほうが変形抑制に寄与することから、初期せん断弾性係数の算出に用いるS波速度に着目し、原位置のS波速度 V_s が設計S波速度 V_{sd} を上回ることを確認する。

表5.3-2に改良地盤①～③の管理目標値を示す。

表 5.3-2 改良地盤①～③の管理目標値

		管理目標値	
		強度特性 τ (kN/m)	変形特性 設計 S 波速度 V_{sd} (m/s)
防波壁 (逆 T 擁壁)	改良地盤①・②	$\tau = 628 + \sigma \tan 38.00^\circ$	590
	改良地盤③	$\tau = 1140 + \sigma \tan 40.54^\circ$	670

5.4 品質確認方法

防波壁 (逆 T 擁壁) の改良地盤①～③及び取水槽の改良地盤⑦の品質確認方法として、強度特性は三軸圧縮試験により算定されるせん断強度が解析用物性値を上回ることを確認する。また、変形特性は、P S 検層により原位置の S 波速度 V_s が設計 S 波速度 V_{sd} を上回ることを確認する。

新設改良地盤における品質確認方法を、表 5.4-1 に示す。

表 5.4-1 新設改良地盤における品質確認方法

対象施設	名称	品質確認項目	試験規格
防波壁 (逆 T 擁壁)	改良地盤①	強度特性 変形特性	土の圧密非排水三軸圧縮試験方法 (JGS 0523)
	改良地盤②		地盤の弾性波速度検層方法 (JGS 1122)
	改良地盤③		
取水槽	改良地盤⑦	強度特性 変形特性	土の圧密非排水三軸圧縮試験方法 (JGS 0523)
			地盤の弾性波速度検層方法 (JGS 1122)

新設改良地盤における施工数量(計画)と必要調査箇所数との比較を表 5.4-2 及び表 5.4-3 に示す。新設改良地盤の品質確認においては、既設構造物の配置等を踏まえ、おおむね均等な配置となるよう品質確認位置を設定する。また、表 5.4-2 及び表 5.4-3 に示すとおり、新設改良地盤の品質確認における調査箇所数は、建築センター指針又は浸透固化マニュアルによる必要調査箇所数の目安を満足するように選定する。

なお、原地盤には巨礫が多く含まれるため、改良地盤の試料採取時に、削孔器具と礫が接触し、礫と基質(間隙内の薬液)の境界が弱体化するため、不攪乱状態での採取が困難であることが想定されるが、浸透固化マニュアルにおいて、改良土量に関わらず、3箇所程度以上の品質確認を実施する記載を踏まえ、改良地盤の物性値のばらつきを考慮し、3試料以上の三軸圧縮試験を実施する。

改良地盤①～③の品質確認結果について、施工の進捗に合わせ、「補足 023-01 地盤の支持性能について」にて説明する。

表 5.4-2 防波壁(逆T擁壁)の改良地盤①～③の
施工数量と必要調査箇所数との比較

対象施設	防波壁(逆T擁壁)
工法	薬液注入工法
施工数量	約 47,000m ³
必要調査箇所数	PS 検層 : 20 本 三軸圧縮試験 : 3 試料以上

表 5.4-3 取水槽の改良地盤⑦の
施工数量と必要調査箇所数との比較

対象施設	取水槽
工法	高圧噴射攪拌工法
施工数量	コラム約 300 本
必要調査箇所数	PS 検層 : 3 本 三軸圧縮試験 : 3 試料以上

(参考1)

設置許可段階における防波壁（逆T擁壁）の改良地盤の解析用物性値について

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③において、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値のうち変形特性及び強度特性の設定方法について説明する。

1. 変形特性及び強度特性の設定方法

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③について、薬液注入工法で改良を行っており、変形特性は、図1に示すPS検層結果に基づき、3層に区分して設定している。

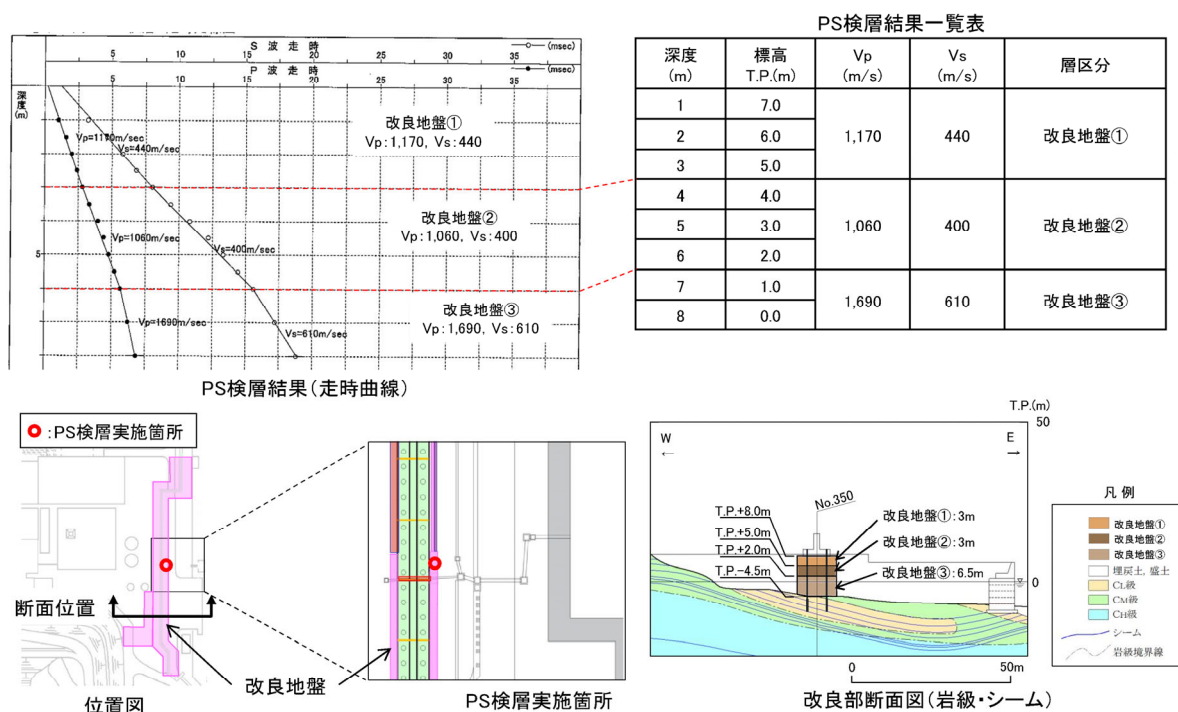


図1 防波壁（逆T擁壁）の変形特性

(資料 6-1 島根原子力発電所2号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価より抜粋)

また、改良地盤①～③の強度特性は、改良地盤①～③は薬液注入工法を採用していることから、文献（浸透固化処理工法技術マニュアル（改訂版）、沿岸技術研究センター）に基づき、改良地盤①～③の粘着力 c は、（式 1）により設定している。粘着力 c の算定に用いる設計一軸圧縮強度 q_{ud} については、設置許可段階で示した S 波速度 V_s を踏まえ、表 1 に示す（式 2）～（式 5）により設定した。

薬液注入工法による改良地盤の内部摩擦角 ϕ は、地盤に注入された薬液が、地盤の土粒子構造を変えることなく、地盤内の間隙水と置き換わることを踏まえ、原地盤の内部摩擦角 ϕ を設定した。

$$c = \frac{q_{ud}}{2 \cdot \tan(45 + \phi/2)} \quad (\text{式 1})$$

表 1 （式 2）～（式 5）及び根拠とした文献

式	根拠とした文献
$q_{ud} = E_{50}/100$ (式 2)	溶液型薬液注入工法の液状化対策への適用（港湾空港技術研究所報告 vol. 41, No. 2）
$E_{50} = E/\alpha = E/4$ (式 3)	道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編
$E = 2(1 + \nu)G$ (式 4)	港湾の施設の技術上の基準・同解説
$G = \rho V_{sd}^2$ (式 5)	港湾の施設の技術上の基準・同解説

(参考 2)

設置許可段階における防波壁（逆 T 擁壁）の改良地盤の発生応力範囲について

防波壁（逆 T 擁壁）の改良地盤①～③における室内配合試験の三軸圧縮試験結果において、設置変更許可申請書に記載された P S 検層等に基づく物性値（管理目標値）である強度特性が確保されることを確認するため、せん断強度を指標としている。

室内配合試験におけるせん断強度が、改良地盤の発生応力範囲内において管理目標値であるせん断強度が確保されていることを確認するため、設置許可段階の基礎地盤の安定性評価における改良地盤①～③の発生応力範囲を確認する。

基礎地盤の安定性評価においては、基準地震動 S s に対する 2 次元地震応答解析を用いており、防波壁（逆 T 擁壁）における基礎地盤の安定性評価の評価結果を図 1 に示すとおり、評価基準値である 1.5 を上回ることを確認している。当該解析結果を用い、改良地盤①～③の発生応力範囲を確認した。

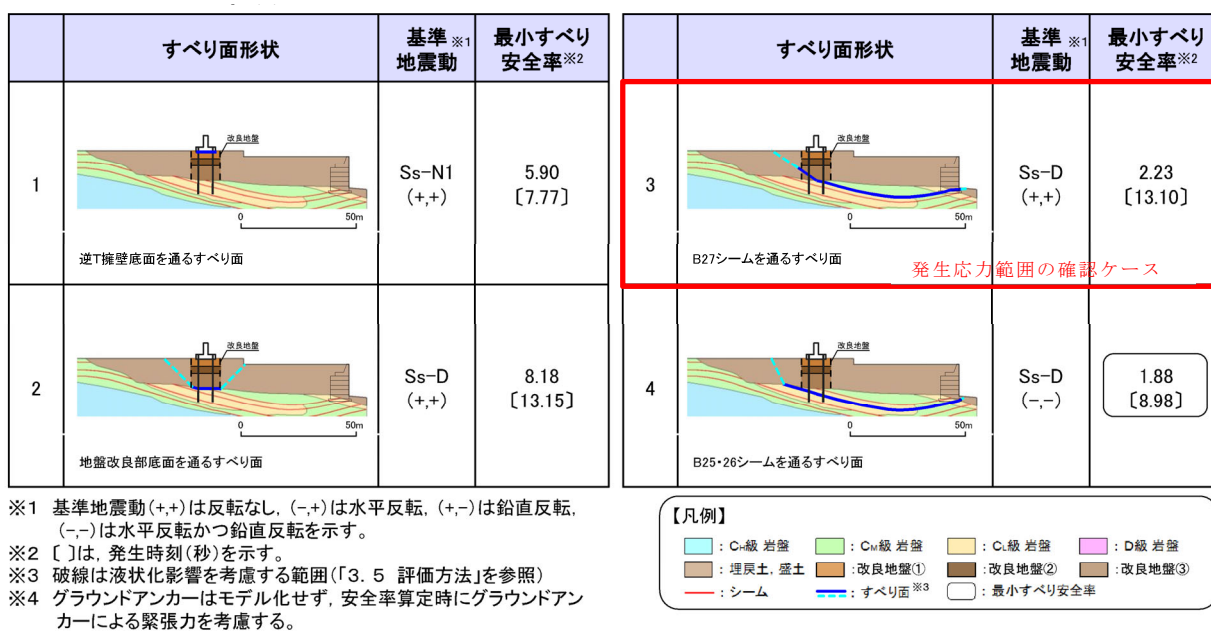
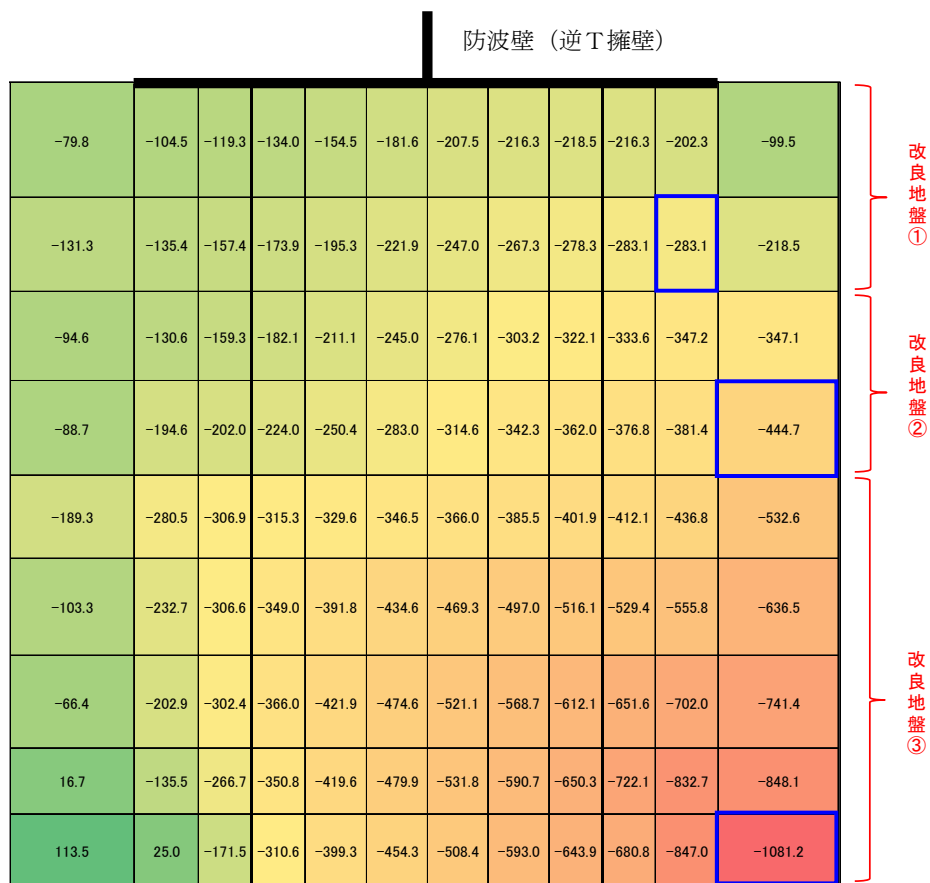


図 1 防波壁（逆 T 擁壁）における基礎地盤の評価結果

(資料 6-1 島根原子力発電所 2 号炉 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価より抜粋)

図1に示す評価ケースのうち、すべり面が改良地盤を通過するケース3について、改良地盤内の最大主応力を図2に示す。改良地盤の発生応力範囲は、改良地盤①及び②では約80～450kN/m²であり、改良地盤③では約20～1100kN/m²であることを確認した。



: 改良地盤における地盤内の最大主応力

図2 防波壁（逆T擁壁）の改良地盤における最大主応力
（図1におけるケース3）

当該発生応力範囲内において，室内配合試験で実施した三軸圧縮試験結果について，設置変更許可申請書に記載されたP S 検層等に基づく物性値（管理目標値）である強度特性と比較を行った結果，図3に示すとおり管理目標値を上回ることを確認した。

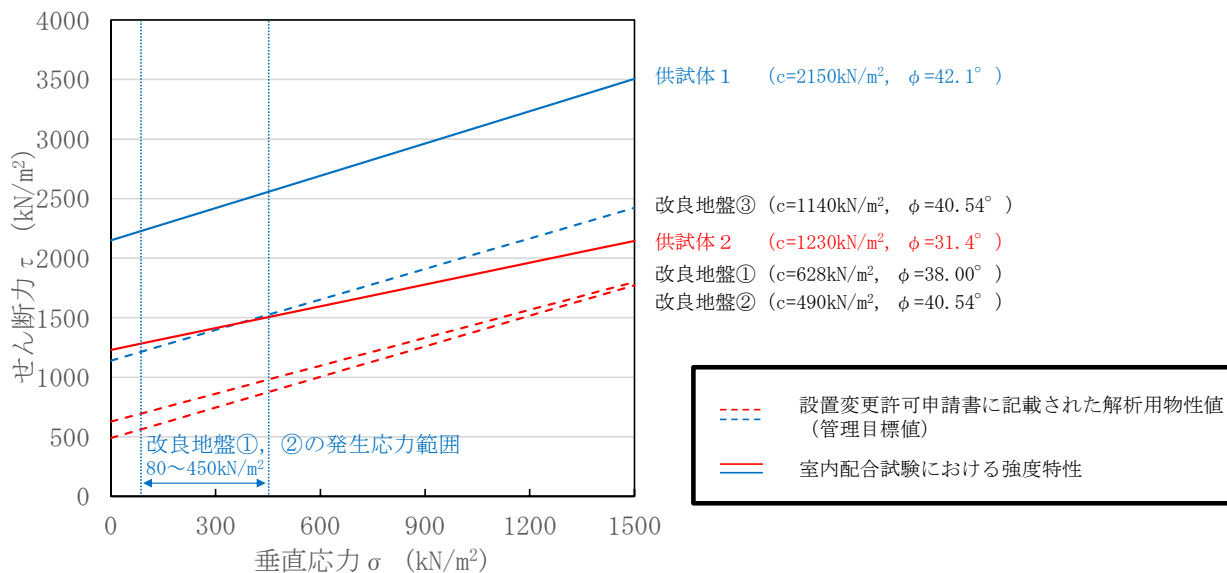


図3 室内配合試験による供試体のせん断強度 τ_R 及び
設置変更許可申請書に記載された改良地盤①～③のせん断強度 τ_d との比較

(参考資料 14) 砕石の解析用物性値について

1. 島根原子力発電所における砕石について

島根原子力発電所の取水管の埋戻しに使用している砕石は、粒径 20～80mm を使用している。また、管底部は充填しやすい粒径 5～20mm を使用しており、空隙が生じないよう潜水士がジェットポンプを使用して充填している。

砕石の解析用物性値は、島根原子力発電所の取水管の埋戻しに使用している砕石と同様の材料を用いた室内試験を踏まえて設定する。

2. 砕石の解析用物性値の設定

2.1 設定方針

砕石の解析用物性値については、室内試験の試験結果を踏まえて設定する。

2.2 試験方法

試料は取水管に使用された砕石と同じ産地である出雲市古志町の砕石を使用した。また、室内試験においては、管底部の埋戻しに使用した粒径 5～20mm の砕石を使用した。

(1) 密度

砕石の密度については、水中落下させた砕石の密度試験により求める。密度試験は、図 2-1 に示すとおり、 $D=30\text{cm}$ 、 $H=70\text{cm}$ のモールドを用いて、水中落下高さ 1.5m の条件にて実施する。

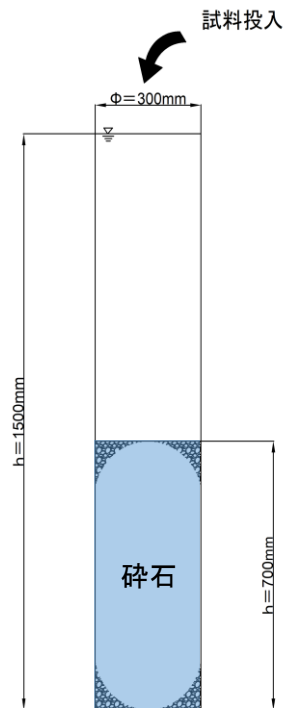


図 2-1 試験概要図

(2) 動的変形特性

碎石の動的変形特性について、地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験（JGS 0542）により確認する。繰返し三軸試験における供試体の作製は、粗粒土の三軸試験の供試体作製方法（JGS 0530）に準じ、凍結した供試体の作製（φ100mm×H200mm）を行った。図2-2に碎石（粒径5～20mm）を用いて作製した供試体状況写真の一例を示す。



図2-2 作製した供試体の一例

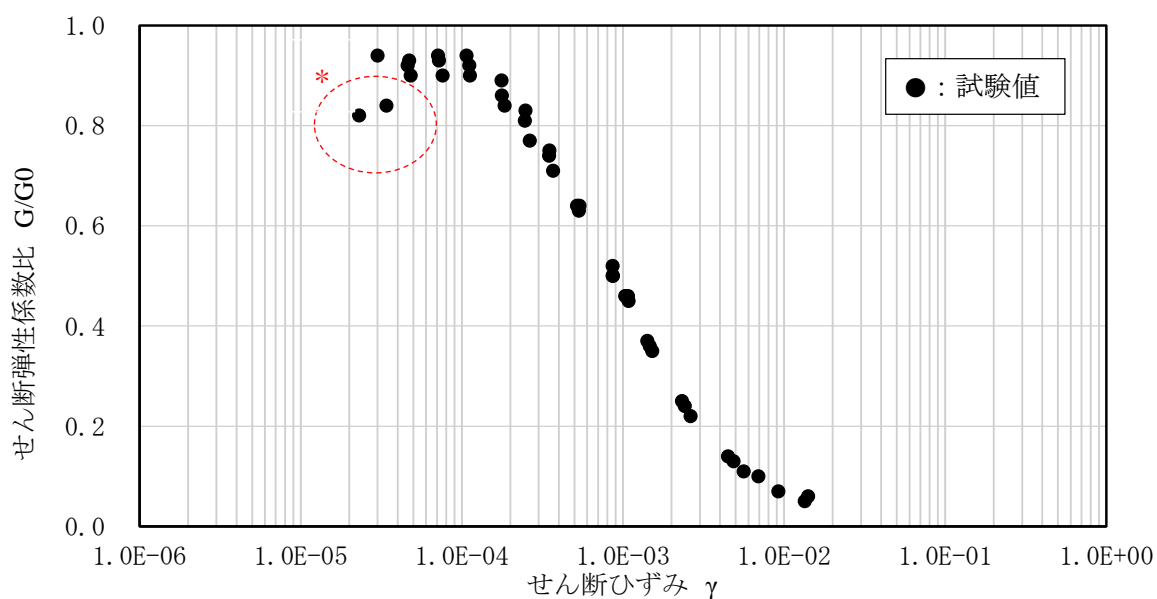
2.3 試験結果

碎石の室内試験結果について、表2-2に示す。また、碎石の繰返し三軸試験結果における G/G_0 のひずみ依存特性を図2-3に、減衰定数のひずみ依存特性を図2-4に示す。

表2-2 碎石の室内試験における試験結果

回数	湿潤密度 (g/cm ³)	動せん断弾性係数 (kN/m ²)	G/G ₀ ～γ関係 h～γ関係
1回目	1.569	66,700	図2-3 図2-4 参照
2回目	1.561	68,500	
3回目	1.560	67,600	
平均値	1.563	67,600	—

(参考) 14-3



注記* : 载荷初期において、ペDESTALと供試体端面のなじみの影響で、見かけ上低くなった

図 2-3 砕石における G/G_0 のひずみ依存特性

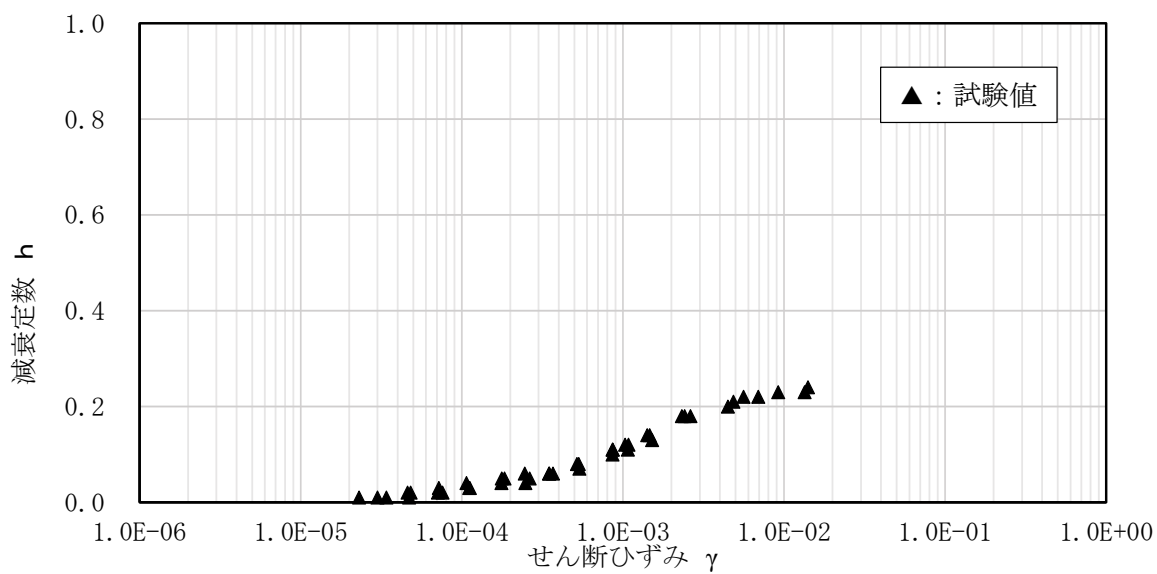


図 2-4 砕石における減衰定数のひずみ依存特性

(参考) 14-4

2.4 解析用物性値の設定方針

砕石の解析用物性値は，島根県古志町産の砕石を用いた室内試験結果を踏まえて設定する。

(1) 密度 ρ

砕石の密度 ρ は，砕石における室内試験の試験結果を踏まえて設定する。

(2) 動せん断弾性係数 G_0 及び動的変形特性

砕石の動せん断弾性係数 G_0 及び動的変形特性は，砕石における繰返し三軸試験の試験結果を踏まえて設定する。

(3) ポアソン比 ν

砕石のポアソン比 ν は，埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版）（財団法人沿岸開発技術研究センター，平成9年）に基づき，慣用値であるポアソン比 $\nu=0.45$ を設定する。

2.5 解析用物性値の設定

(1) 密度 ρ

砕石の密度 ρ について，室内試験で確認された密度 $\rho = 1.56\text{g/cm}^3$ を採用する。

(2) 動せん断弾性係数 G_0

室内試験で確認された砕石の動せん断弾性係数 G_0 の平均値は $67,600\text{ kN/m}^2$ ，標準偏差 σ は 900 kN/m^2 となり，ほとんどばらつきがないことを確認した。よって，砕石の動せん断弾性係数 G_0 については，平均値である $G_0=67,600\text{ kN/m}^2$ を採用する。

(3) 動的変形特性

砕石において，室内試験における繰返し三軸試験結果を踏まえ， G/G_0 のひずみ依存特性（図2-5）及び減衰定数のひずみ依存特性（図2-6）を設定する。

ひずみ依存特性として，修正 GHE モデルを設定するため，以下の式を用いる。

$$\frac{\tau}{\tau_f} = \frac{\frac{Y}{Y_r}}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \left(\frac{Y}{Y_r} \right)}$$

ここに，

Y_r : 基準ひずみ ($=\tau_f/G_{\max}$)

(参考) 14-5

$C_1(x)$, $C_2(x)$ は補正係数で、繰り返し载荷試験から得られた $G/G_{max} \sim \gamma$ 関係にフィッティングするよう決定する。ここで、 x は正規化ひずみで、 $x = \gamma / \gamma_r$ である。 γ_r は基準ひずみで、モール・クーロンの破壊規準によるせん断強度 τ_f を初期せん断係数 G_{max} で除した値 ($\gamma_r = \tau / G_{max}$)であり、せん断強度に漸近する骨格が設定される。

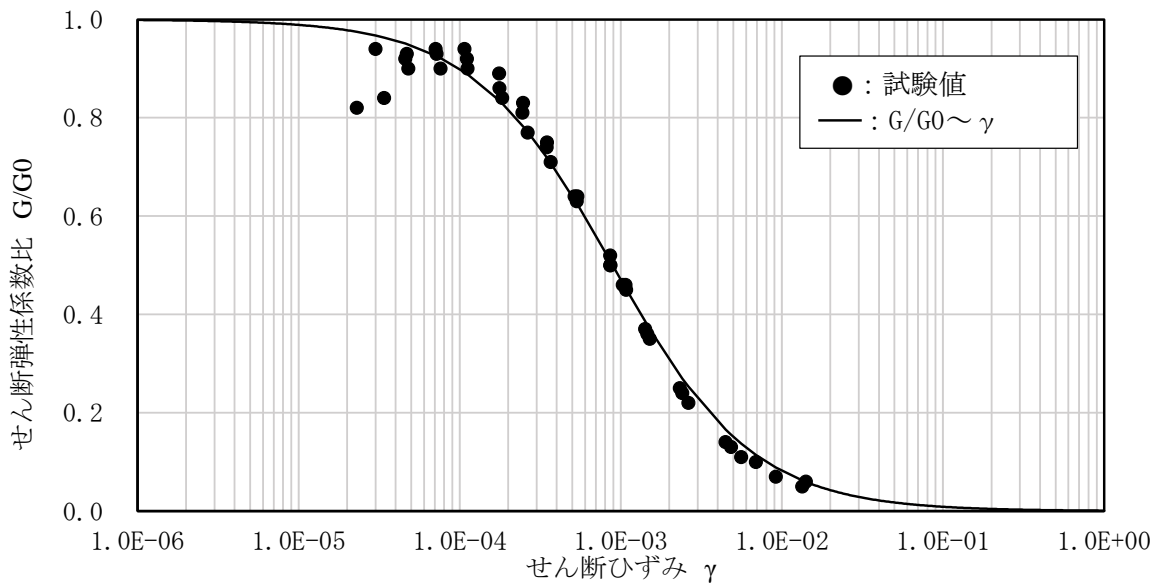


図 2-5 砕石における G/G_0 のひずみ依存特性

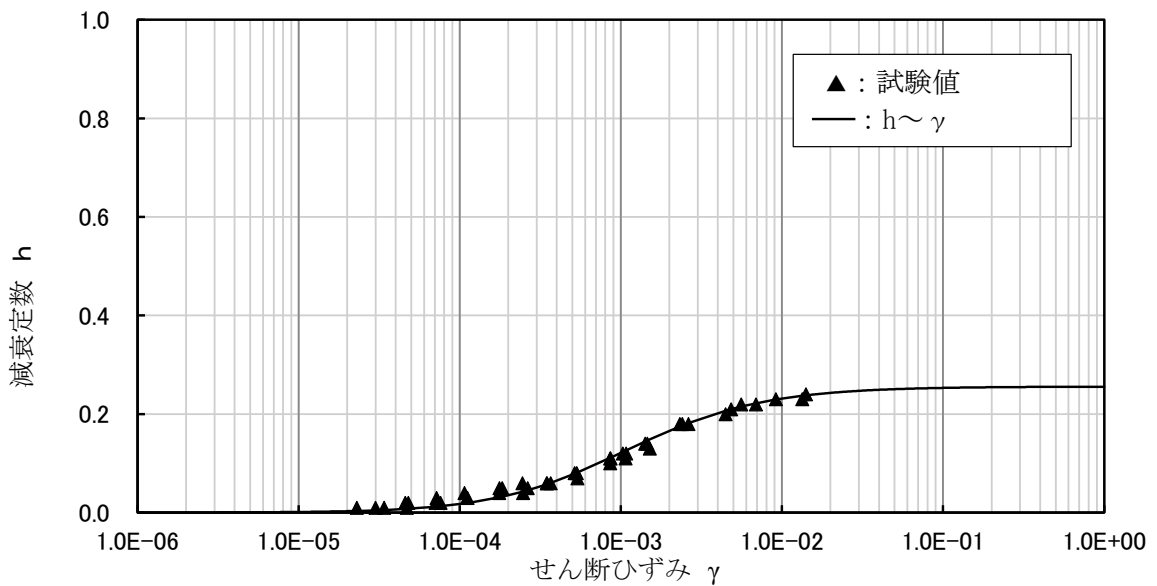


図 2-6 砕石における減衰定数のひずみ依存特性

(参考) 14-6

(4) 砕石の解析用物性値

以上を踏まえ、取水管の埋戻しに使用している砕石の解析用物性値を表 2-3 に、その設定根拠を表 2-4 に示す。

表 2-3 砕石における解析用物性値

対象施設		取水管
種別 (地盤種別)		砕石
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.56
変形特性	動せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	67,600
	ポアソン比 ν	0.45
	基準ひずみ $\gamma_{0.5}$	8.89×10^{-2}
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.2557

注： γ はせん断ひずみ (%) を示す。

表 2-4 砕石における解析用物性値の設定根拠

対象施設		取水管
種別 (地盤種別)		砕石
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	密度試験
変形特性	動せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	繰返し三軸試験
	ポアソン比 ν	慣用値*
	基準ひずみ $\gamma_{0.5}$	繰返し三軸試験
	減衰定数の上限値 h_{max}	繰返し三軸試験

注記*：埋立地の液状化対策ハンドブック(改訂版)(財団法人沿岸開発技術研究センター,平成9年)

3. 碎石の動せん断弾性係数の妥当性について

「大型せん断リング土槽振動実験によるレキ材の動的変形特性（港湾技研資料 No663）」（以下「港湾技研資料」という。）では、碎石のようなレキ材を対象として振動実験により動的変形特性を推定しており、他の文献における動的変形特性と比較している。港湾技研資料の概要について、補足 1 に示す。

碎石等のせん断弾性係数 G_0 について、以下の式で示される。

$$G_0 = A \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} (\sigma)^B$$

港湾技研資料では、他の文献における碎石等のせん断弾性係数 G_0 の算定において設定された A と B の値について、表 3-1 のとおり整理している。他の文献を対象とした材料の粒径分布を図 3-1 に示す。他の文献の G_0 の各種推定式の値と港湾技研資料で示される S 波速度から求めた G_0 の比較を表 3-2 に示す。

港湾技研資料によると、図 3-1 及び表 3-2 より、田中他(1986)の④粒度（以下④粒度という。）の粒径分布を境として、④粒度より大きい粒径を含む材料の G_0 (267～473kgf/cm²) が、④粒度より小さい粒径を含む材料の G_0 (128～165kgf/cm²) より大きい傾向があると記載されている。よって、碎石のようなレキ材において、粒径が大きいほどせん断弾性係数が大きくなることが想定される。

島根原子力発電所の取水管の埋戻しに使用している碎石は、粒径 20～80mm を使用しており、管底部は充填しやすい粒径 5～20mm を使用している。粒径 20～80mm の碎石のせん断弾性係数は、粒径 5～20mm の碎石のせん断弾性係数よりも大きくなることが想定されることから、粒径 5～20mm の碎石における室内試験結果から解析用物性値を設定することは保守的な設定と判断した。

表 3-1 他の文献における G_0 推定式の定数
(港湾技研資料より引用)

研究者名	材料	推定式の定数		推定式の σ' の種類	試験時の σ' の値 (kgf/cm ²)
		A	B		
国生他 (1980)	砕石材	1300	0.55	有効拘束圧	0.5~3
	円レキ材	840	0.60		
西他 (1983)	砂レキ	500	0.60	〃	〃
田中他 (1985)	レキ25%材	471	0.62		
	レキ50%材	488	0.60	〃	0.5~6.0
西尾他 (1985)	A 砕石	710	0.44		
田中他 (1986)	④ 粒度	564	0.434	平均有効主応力	0.5~3.0
	捨石材				
	④ 粒度				
西他 (1988)	円レキ材	713	0.498	〃	〃
	⑤ 粒度	375	0.540		
菅原他 (1989)	レキ50%材	532	0.62	〃	0.038~0.28
	砕石	350	0.67		
	東京レキ層	400	0.67	〃	〃

$$\text{推定式: } G_0 = A \cdot \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \cdot (\sigma')^B$$

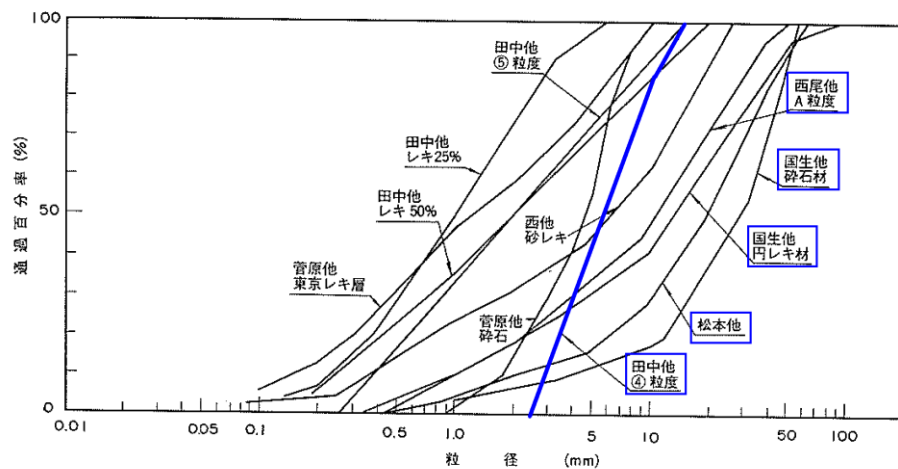


図 3-1 他の文献における各種材料の粒径分布曲線
(港湾技研資料に一部加筆：青枠にて④粒度より大きい粒径の材料の文献値を示す)

表 3-2 他の文献において推定された G_0 と S 波速度から求めた G_0
 (港湾技研資料に一部加筆：青枠にて④粒度より大きい粒径の材料の文献値を示す)

各種推定式		各種推定式の G_0 の値(kgf/cm ²)		
研究者名	材 料	粒調碎石	1号碎石	釜石割石
国生他 (1980)	碎石材	494	473	359
	円レキ材	286	273	207
西 他 (1983)	砂レキ	149	142	107
田中他 (1985)	レキ25%材	153	146	111
	レキ50%材	166	159	120
西尾他 (1985)	A 碎石	344	331	253
田中他 (1986)	④粒度 捨石材	277	267	204
	④粒度 円レキ材	304	292	222
	⑤粒度	146	140	106
	レキ50%材	173	165	125
菅原他 (1989)	碎石	134	128	96
	東京レキ層	153	146	110
本実験の V_s より推定		103	191	266

表 3-1 に示される推定式の定数を用い、圧密圧力を変化させた場合についてせん断弾性係数 G_0 を計算した結果を図 3-3 に示す。今回実施した碎石の室内試験結果は、他の文献と比較して整合がとれていることを確認した。

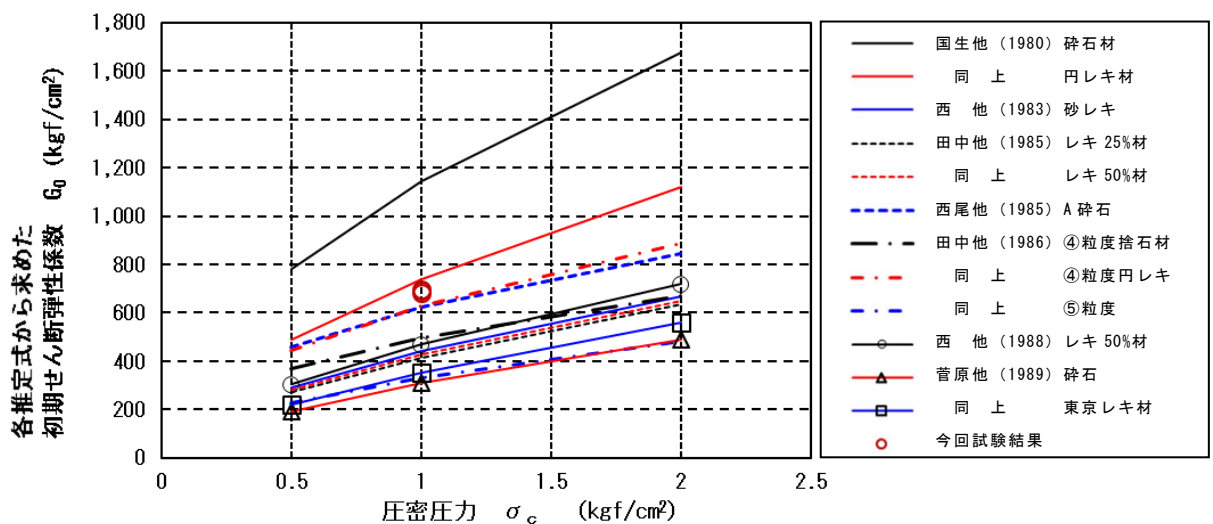


図 3-3 各推定式から求めた初期せん断弾性係数と今回試験結果の比較

(補足1) 港湾技研資料の概要

「大型せん断リング土槽振動実験によるレキ材の動的変形特性（港湾技研資料 No663）」（以下「港湾技研資料」という。）では、碎石のようなレキ材を対象として振動実験により動的変形特性を推定している。港湾技研資料の振動実験の概要について以下に示す。

なお、本章に示す図表は、港湾技研資料より引用している。

大型せん断リング土槽は内径 1900mm、外径 1940mm、高さ 30mm のアルミリングを 64 段重ねた、高さ 2060mm の円筒形の土槽である。アルミリング間にはφ2.43mm のローラベアリングが 1 リングに 8 箇所取り付けられ、リング間の摩擦が低減される構造になっている。大型せん断リングは振動台の上に組み立てられた。大型せん断リング土槽の構造図を図 1 に、振動台の性能を表 1 に示す。

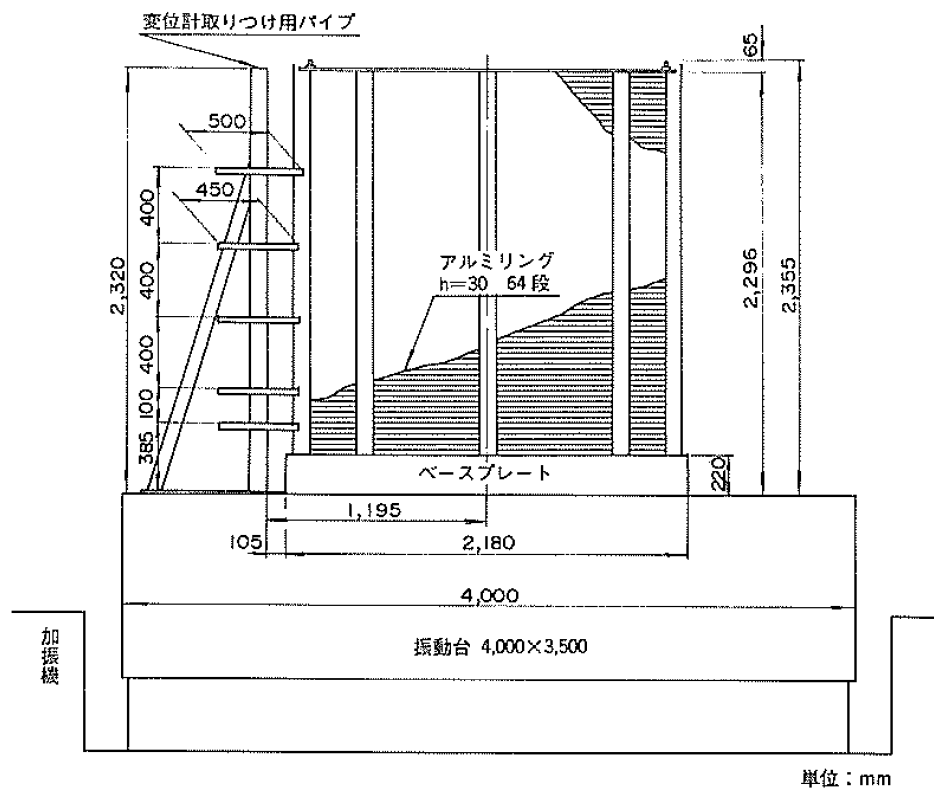


図 1 大型せん断リング土槽の構造図

表 1 振動台の性能

振動方向		水平一方向
最大加振力	(tf・G)	18
可動部重量	(tf)	15 (無搭載時)
最大搭載重量	(tf)	25
周波数範囲	(Hz)	0.5 ~ 100
最大振幅	(mm)	±50
最大速度	(cm/s)	25
最大加速度	(G)	0.45 (25tf搭載時)
振動波形		正弦波および任意波形
加速度波形歪率 (%)		5以下 (1~50Hz) 10以下 (1~100Hz)
位相角精度	(度)	±20 (1~50Hz)
ノイズレベル		2Gal 以下
振動台寸法	(m)	4 × 3
台支特方式		三方向静圧油軸受
駆動方式		動電方式

振動実験の対象として、秋田港砂，粒度調整碎石（粒調碎石），道路用1号碎石（1号碎石），釜石産割石（釜石割石）の4種類が選定されており，各試料の物理試験結果を表2に，粒径分布曲線を図2に示す。また，各試料の材料物性を表3に示す。

表 2 物理試験結果

材 料 名	秋田港砂	粒調碎石	1号碎石	釜石割石
比重 (g/cm ³)	2.637	2.650	2.68	2.740
吸水量 (%)	—	1.98	2.88	—
D ₆₀ (mm)	0.168	8.7	56.0	80
D ₁₀ (mm)	0.121	0.18	37.5	51
均等係数 U _c	1.4	48.3	1.5	1.6
e _{max}	1.279	0.885	0.885	0.960
e _{min}	0.802	0.355	0.423	0.508

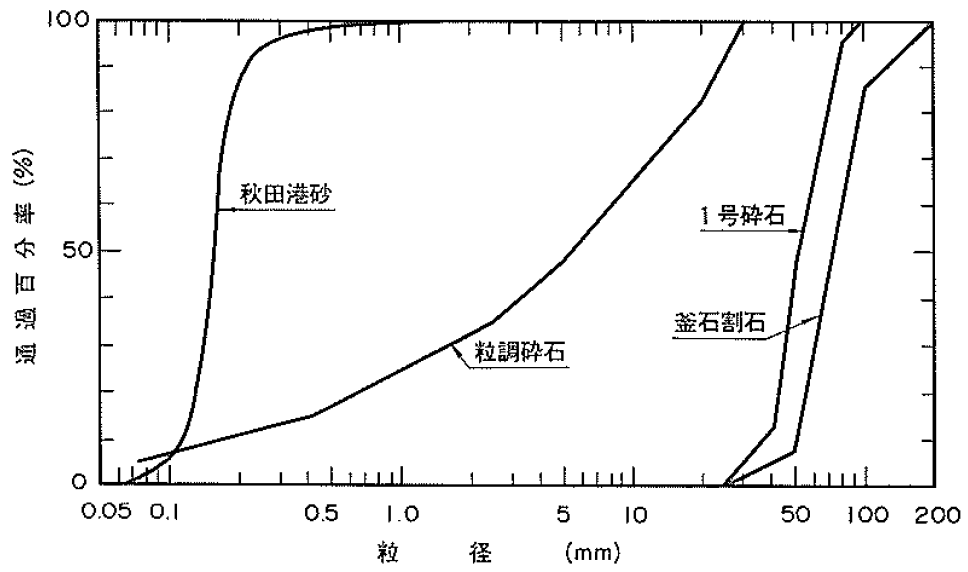


図2 粒径分布曲線

表3 各試料の材料物性

実験ケース	B-1	B-2	B-3	B-4
材料名	秋田港砂	粒調碎石	1号碎石	釜石割石
単位体積重量 (gf/cm^3)	1.349	1.659	1.572	1.497
間隙比	0.955	0.698	0.705	0.830
相対密度 (%)	67.9	35.3	38.9	28.8

実験として、S波速度測定実験及び共振実験が実施されている。

S波速度測定実験は、大型せん断リング土槽の底部である振動台を掛け矢で叩き、その振動をせん断リング土槽内に埋設した加速度計で測定することとし、共振実験前と共振実験後に実施している。S波速度測定結果を表4に示す。

表4 S波速度測定結果

実験ケース		B-1	B-2	B-3	B-4
開始前	No.1	83.8m/s	79.3m/s	109.4m/s	133.3m/s
	2	82.2	76.6	106.7	133.3
	3	84.4	78.4	108.3	130.6
	4	87.7	79.3	111.0	132.1
	平均	84.5	78.4	108.9	132.3
終了後	No.1	—	82.2	98.7	148.7
	2	—	81.6	92.5	138.8
	3	—	79.9	95.3	145.1
	4	—	81.3	99.6	143.2
	平均	—	81.3	96.5	144.0

共振実験は、振動数を段階的に変化させながら正弦波加振を繰り返し行い、せん断リング土槽内の応答加速度を測定する実験である。入力正弦波は、振動数は1Hz～50Hz、最大加速度は5、25、50、100、200、300galとしている。共振実験における各入力加速度における共振振動数を表5に示す。

表5 各入力加速度における共振振動数

入力加速度 (Gal)	共振振動数 (Hz)			
	秋田港砂	粒調碎石	1号碎石	釜石割石
5	9.0	9.0	11.0	—
25	7.3	6.8	9.0	—
50	6.4	6.0	8.0	11.0
100	4.6	4.5	6.5	9.0
200	2.7	2.7	4.6	6.0
300	—	—	2.7	3.6

S波速度測定結果及び共振実験結果より、以下の式を用いてせん断弾性係数を求めている。

$$G = \rho(V_s)^2 = \rho(4Hf)^2$$

ここで、 G はせん断弾性係数、 ρ は密度、 V_s はS波速度、 H はせん断リング土槽の高さ、 f は一次の共振振動数である。

初期せん断弾性係数 G_0 は、ひずみ極微小時はS波速度の測定結果より求めており、それ以降は共振実験の結果から求めている。実験より求めたせん断弾性係数を表6に示す。

表6 実験より求めたせん断弾性係数

入力加速度 (Gal)	せん断弾性係数 (kgf/cm ²)			
	秋田港砂	粒調碎石	1号碎石	釜石割石
(S波速度からの値)	99.5	103.0	190.6	266.2
5	71.4	87.8	124.2	—
25	46.3	50.5	83.2	—
50	35.5	39.0	65.7	118.3
100	18.9	22.6	42.7	79.2
200	6.6	8.1	22.0	35.2
300	—	—	7.7	12.6

せん断弾性係数は拘束圧の関数とされており、深さ方向に変化するが、せん断リング土槽で平均的な一つのせん断弾性係数を与えることとした。このときの拘束圧としてはせん断リング土槽の高さの半分の値を仮定している。

せん断弾性係数とひずみレベルとの関係に併せ、減衰定数とひずみレベルの関係を確認するため、せん断リング土槽をモデル化した有限要素モデルの地震応答計算を実施している。地震応答計算は、表5に記載している共振振動数に最も近い振動数の正弦波の振動台加速度記録を入力し、表6のせん断弾性係数を与えた図3の有限要素モデルにより実施している。応答加速度の計算値が測定値と一致するように減衰定数を定め、この計算結果よりせん断弾性係数リング土槽のひずみレベルを求めた。

このように求めたせん断弾性係数のひずみ依存特性を図4に、減衰定数のひずみ依存特性を図5に示す。なお、図4及び図5の曲線は、他の文献で得られた曲線が記載されており、港湾技研資料におけるせん断弾性係数及び減衰ひずみ依存特性がほぼ一致したことが記載されている。

なお、港湾技研資料では、地震応答計算の詳細な解析条件が記載されていないことから、再現解析を実施し、港湾技研資料における解析条件を推定した。港湾技研資料における解析条件の確認について、補足2に示す。

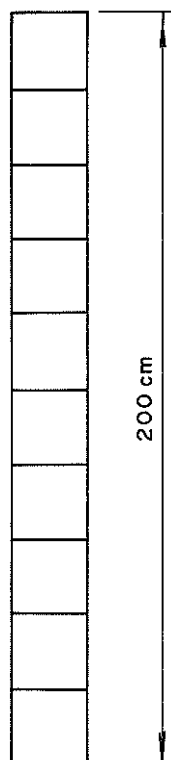


図3 有限要素モデル

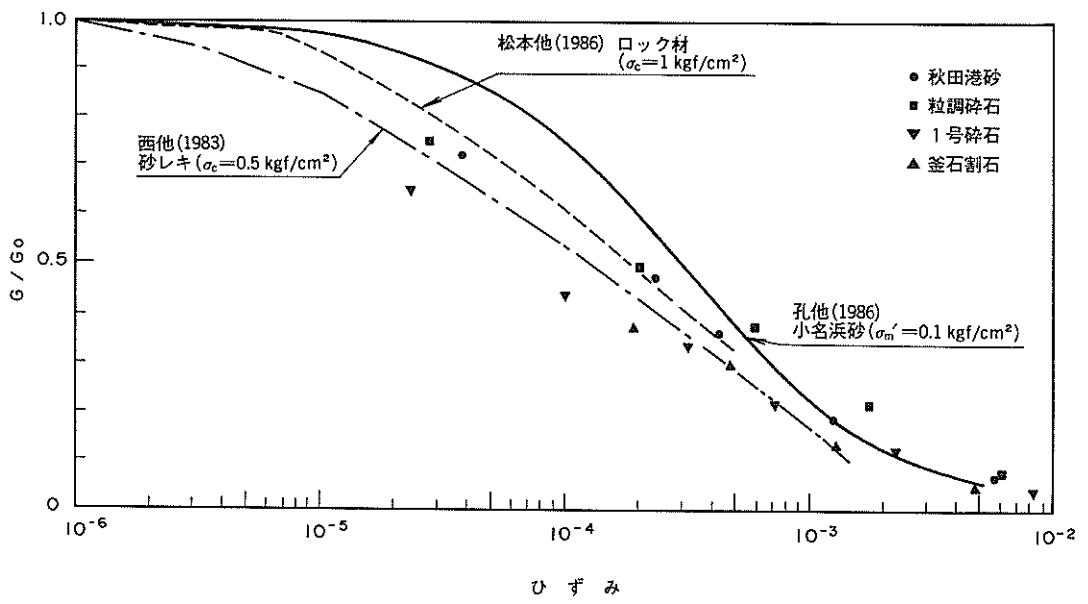


図4 せん断弾性係数のひずみ依存特性

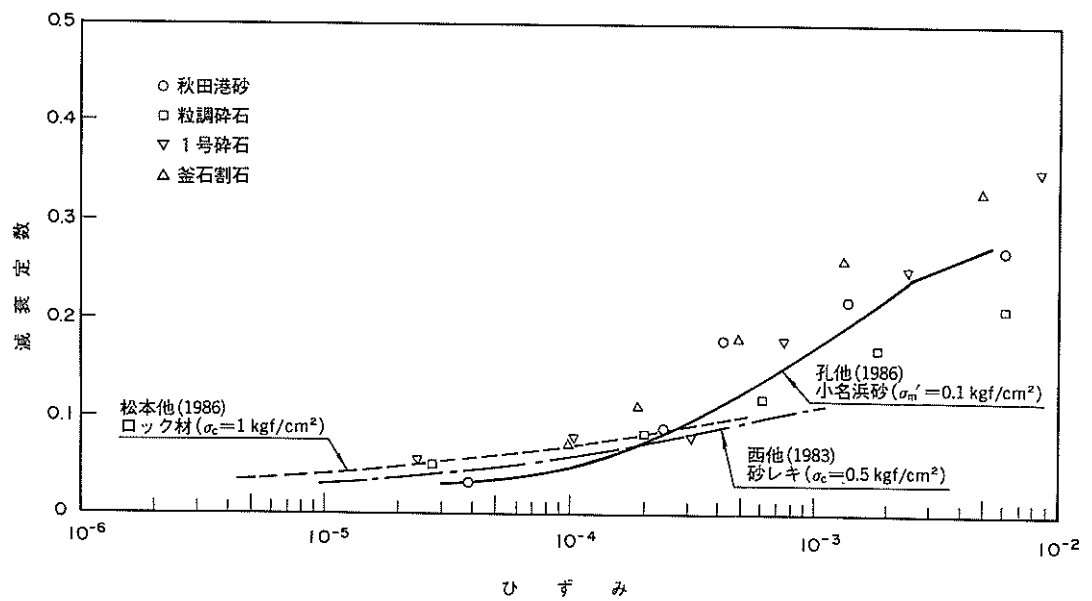


図5 減衰定数のひずみ依存特性

(補足2) 港湾技研資料の地震応答計算における解析条件の確認

港湾技研資料では、振動実験から得られた実験結果を踏まえ、地震応答計算により、せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性を推定しているが、地震応答計算の詳細な解析条件が記載されていない。本資料では、港湾技研資料における地震応答計算の解析条件を推定するため、再現解析を実施した。

再現解析に用いる解析コードは、TDAPⅢ (ver3.04) とした。

再現解析における解析モデルは、(補足1) 図3に示す有限要素モデルに倣い、図1に示すように1辺20cmの正方形となる平面ひずみ要素を10個積み重ねた200cmのモデルとした。

港湾技研資料における有限要素モデルの地震応答計算に関する詳細な解析条件が記載されていないことから、港湾技研資料で実施された振動実験に用いられた大型せん断リング土槽はアルミリングが積み重なって構成された円筒形の土槽であること、また振動台の上に大型せん断リング土層が設置されることを踏まえ、底版部の2節点は完全拘束とし、その他の節点においても回転方向を拘束する条件とした。

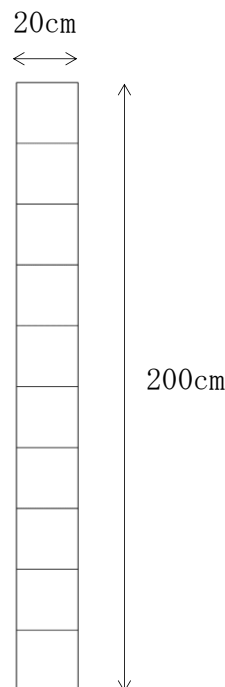


図1 再現解析に用いた解析モデル

港湾技研資料に記載される1号砕石を代表として再現解析を実施することとし、図1における解析モデルに対し、港湾技研資料の振動実験と同様に、表1に示される正弦波を解析モデルに対して水平方向に加振した。

平面ひずみ要素に与える砕石の解析用物性値として、表2及び表3のとおり設定した。表2の解析用物性値は、各入力速度に対して実験等から求まる物性値を港湾技研資料から読み取り設定し、線形解析を実施する。また、表3の解析用物性値は、港湾技研資料のせん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性を踏まえて動的変形特性を設定し、非線形解析を実施する。

表1 再現解析において解析モデルに加振した正弦波

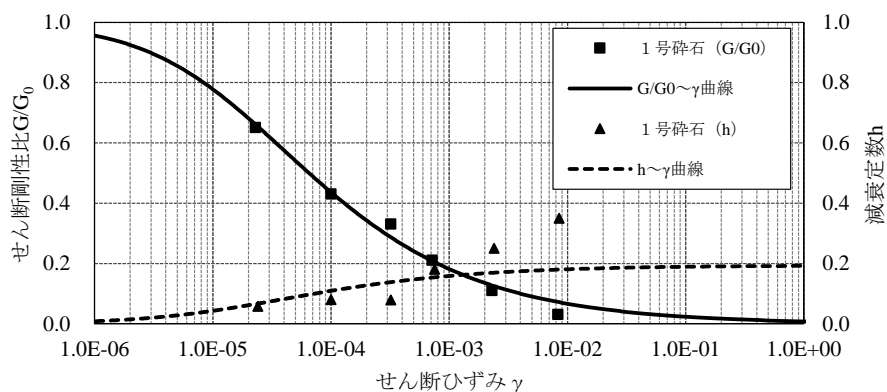
解析ケース	1	2	3	4	5	6
最大加速度 (gal)	5	25	50	100	200	300
共振振動数 (Hz)	11.0	9.0	8.0	6.5	4.6	2.7

表2 再現解析における砕石の解析用物性値 (線形解析)

解析ケース	入力加速度 (gal)	共振振動数 (Hz)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断弾性係数 (kN/m ²)	減衰定数
1	5	11.0	15.4	0.45	12400	0.060
2	25	9.0			8320	0.077
3	50	8.0			6570	0.076
4	100	6.5			4270	0.170
5	200	4.6			2200	0.240
6	300	2.7			770	0.340

表3 再現解析における砕石の解析用物性値 (非線形解析)

解析ケース	入力加速度 (gal)	共振振動数 (Hz)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	変形特性 G/G ₀ ~ γ , h ~ γ
1	5	11.0	15.4	0.45	初期せん断弾性係数 G ₀ =19000kN/m ² 変形特性は下図参照
2	25	9.0			
3	50	8.0			
4	100	6.5			
5	200	4.6			
6	300	2.7			



(参考) 14-19

港湾技研資料の振動実験における沈下量と再現解析における沈下量を比較した結果を図2に示す。また、港湾技研資料の振動実験における沈下計位置を図3に示す。線形解析及び非線形解析ともに入力加速度 200gal まで実験結果とおおむね整合しており、入力加速度 300gal においては非線形解析が実験結果とおおむね整合する結果が得られた。

以上より、港湾技研資料における地震応答計算の解析条件は、再現解析において設定した解析条件と同等であると判断した。

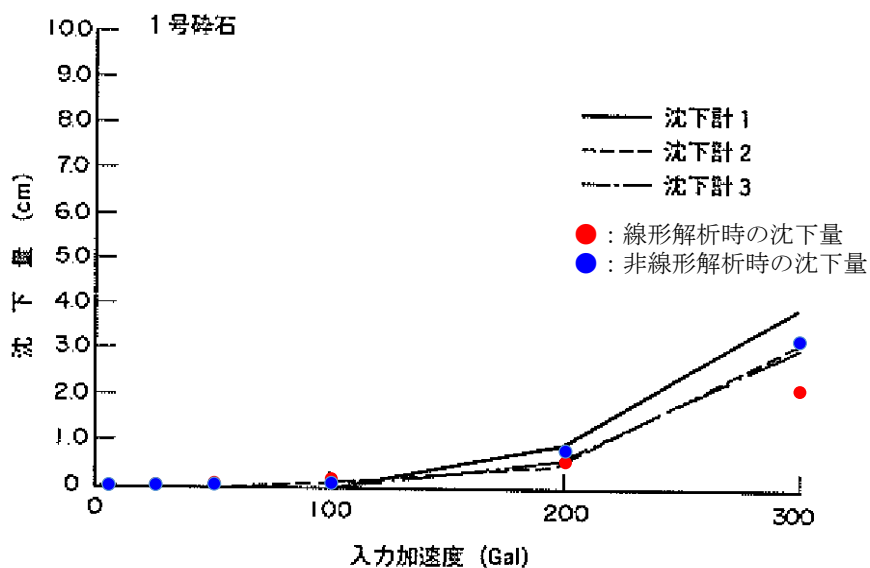


図2 沈下量における実験結果と再現解析の比較
(港湾技研資料に一部加筆)

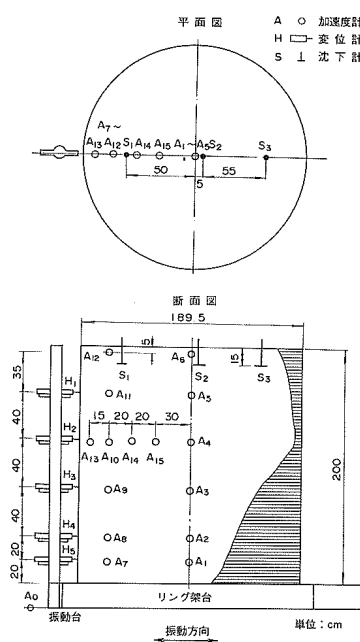


図3 港湾技研資料の振動実験における沈下計位置
(参考) 14-20

(参考資料 15) 地震応答解析にて考慮する地盤物性のばらつき

1. 地震応答解析における地盤物性のばらつき

地震応答解析においては、構造物の周囲に分布する岩盤、埋戻土及び旧表土に対し、動せん断弾性係数等の地盤物性のばらつきを考慮した耐震評価を実施する。

動せん断弾性係数等の地盤物性のばらつきは、各種試験結果に基づき算定する。

1.1 地盤物性のばらつきの設定方法

1.1.1 岩盤 (C_H級, C_M級, C_L級)

P S 検層結果に基づく原子炉建物基礎地盤の速度層構造を図 1-1 及び図 1-2 に示す。C_H級, C_M級及びC_L級岩盤における動せん断弾性係数 G_d 等の地盤物性のばらつきは、図 1-1 に示す P S 検層結果のばらつきを考慮し算定する。各ボーリング孔における P S 検層の結果の詳細を補足 1 に示す。

各ボーリング孔で測定された P 波速度 (設計値) 及び S 波速度 (設計値) の標準偏差及び変動係数を表 1-1 のとおり算出した。耐震評価において考慮する P 波速度及び S 波速度のばらつきについては、表 1-1 の結果を踏まえ、1~2 層は 20%、3~6 層は 10% にそれぞれ設定した。

耐震評価に用いる動せん断弾性係数 G_d 等の地盤物性のばらつきの算定結果を表 1-2 に示す。

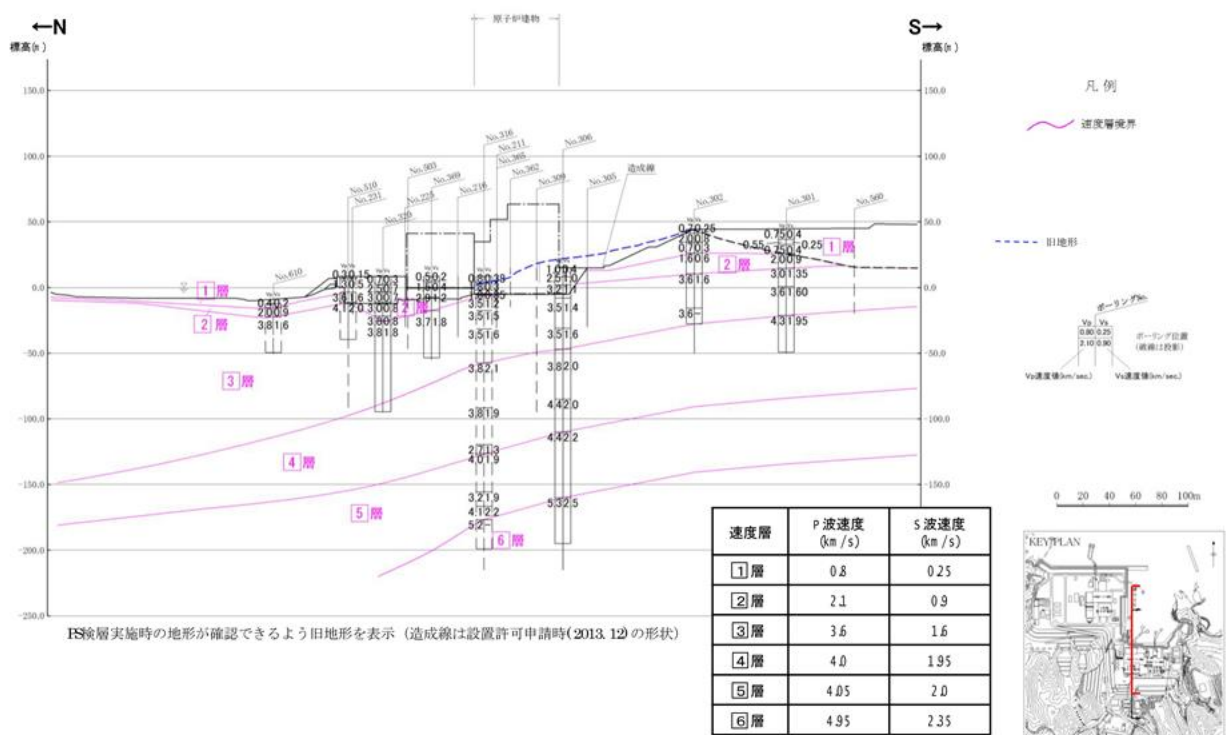


図 1-1 原子炉建物基礎地盤の速度層断面図 (南北断面)
(参考) 15-1

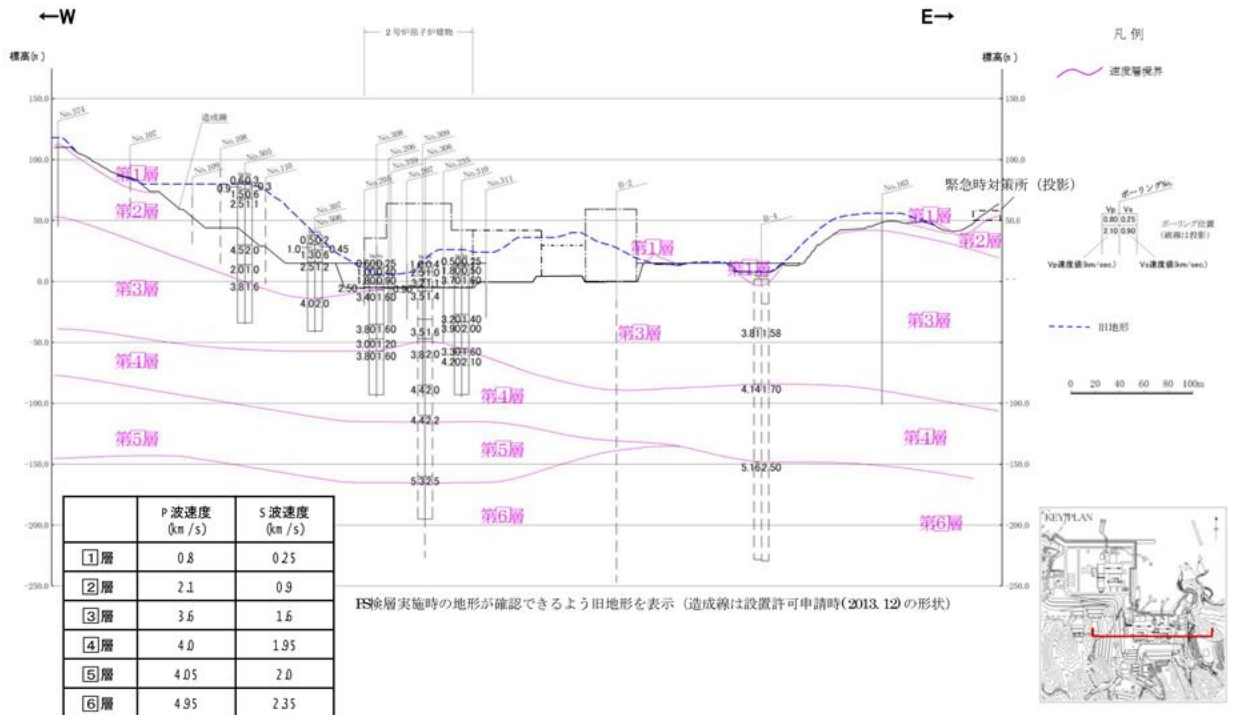


図 1-2 原子炉建物基礎地盤の速度層断面図（東西断面）

表 1-1(1) P S 検層結果に基づく P 波速度の標準偏差及び変動係数

速度層	P 波速度 V_p (km/s)	標準偏差 σ (km/s)	変動係数 (%)
①層	0.80	0.024	3
②層	2.10	0.400	19
③層	3.60	0.097	3
④層	4.00	0.078	2
⑤層	4.05	0.180	4
⑥層	4.95	0.400	8

表 1-1(2) P S 検層結果に基づく S 波速度の標準偏差及び変動係数

速度層	S 波速度 V_s (km/s)	標準偏差 σ (km/s)	変動係数 (%)
①層	0.25	0.058	21
②層	0.90	0.197	21
③層	1.60	0.130	8
④層	1.95	0.017	1
⑤層	2.00	0.088	4
⑥層	2.35	0.130	6

(参考) 15-2

表 1-2(1) P波速度のばらつき算定結果

速度層	P波速度 (m/s)		
	平均- σ	平均	平均+ σ
1層	640	800	960
2層	1680	2100	2520
3層	3240	3600	3960
4層	3600	4000	4400
5層	3645	4050	4455
6層	4455	4950	5445

表 1-2(2) S波速度のばらつき算定結果

速度層	S波速度 (m/s)		
	平均- σ	平均	平均+ σ
1層	200	250	300
2層	720	900	1080
3層	1440	1600	1760
4層	1755	1950	2145
5層	1800	2000	2200
6層	2115	2350	2585

表 1-2(3) 動せん断弾性係数 G_d のばらつき算定結果

速度層	動せん断弾性係数 G_d (N/mm^2)		
	平均- σ	平均	平均+ σ
1層	0.89×10^2	1.31×10^2	1.89×10^2
2層	1.22×10^3	1.90×10^3	2.75×10^3
3層	5.19×10^3	6.40×10^3	7.75×10^3
4層	7.70×10^3	9.51×10^3	11.47×10^3
5層	8.59×10^3	10.59×10^3	12.85×10^3
6層	12.75×10^3	15.79×10^3	19.02×10^3

(参考) 15-3

1.1.2 D級岩盤，埋戻土及び旧表土

(1) D級岩盤，埋戻土及び旧表土におけるばらつき算定方法

D級岩盤，埋戻土及び旧表土のばらつきは，初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきを考慮する。 G_0 のばらつきは以下の方法で算定する（図 1-3）。

- ・動的三軸圧縮試験結果に基づき，両対数軸上で回帰式と試験結果の残差の標準偏差 σ を求める。
- ・指数関数の係数を $\pm \sigma$ し，ばらつきを考慮した G_0 を算定する（べき級数は固定）。

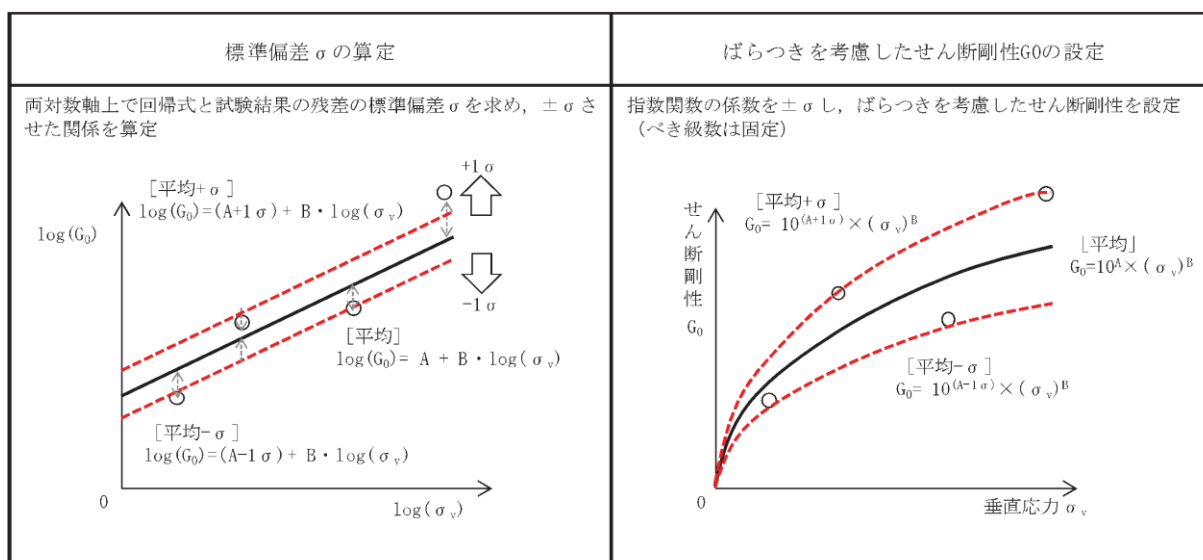


図 1-3 ばらつきを考慮したせん断剛性 G_0 の算定方法

(2) D級岩盤の G_0 のばらつき

(1)に基づき算定したD級岩盤の初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきを表 1-3 及び図 1-4 に示す。

表 1-3 初期せん断弾性係数 G_0 のばらつき算定結果 (D級岩盤)

	初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)
平均+ σ	$G_0=183 \sigma^{0.49}$
平均	$G_0=148 \sigma^{0.49}$
平均- σ	$G_0=119 \sigma^{0.49}$
変動係数	23.6%

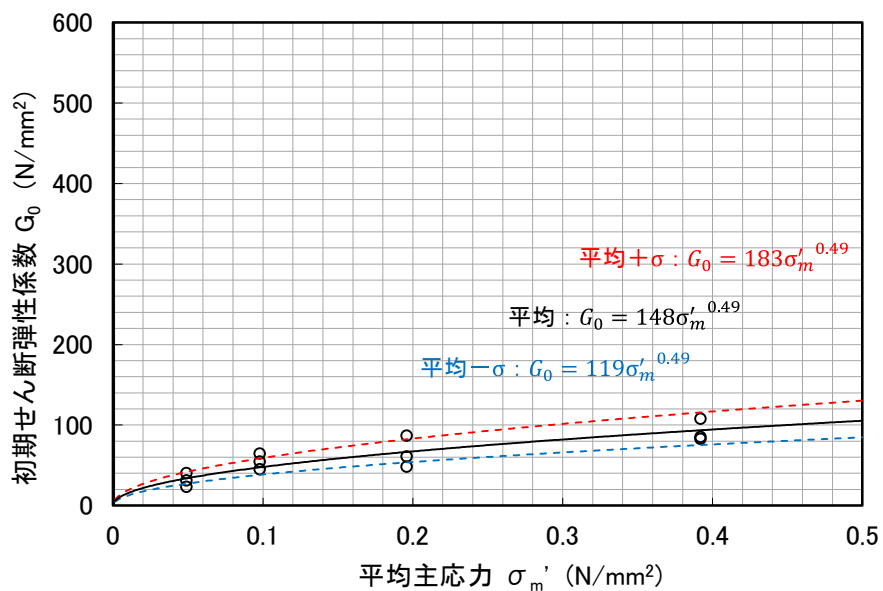


図 1-4 初期せん断弾性係数 G_0 の拘束圧依存関係 (D級岩盤)

(3) 埋戻土の G_0 のばらつき

(1)に基づき算定した埋戻土の初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきを表 1-4 及び図 1-5 に示す。

表 1-4 初期せん断弾性係数 G_0 のばらつき算定結果 (埋戻土)

	初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)
平均+ σ	$G_0=776 \sigma^{0.66}$
平均	$G_0=749 \sigma^{0.66}$
平均- σ	$G_0=723 \sigma^{0.66}$
変動係数	3.6%

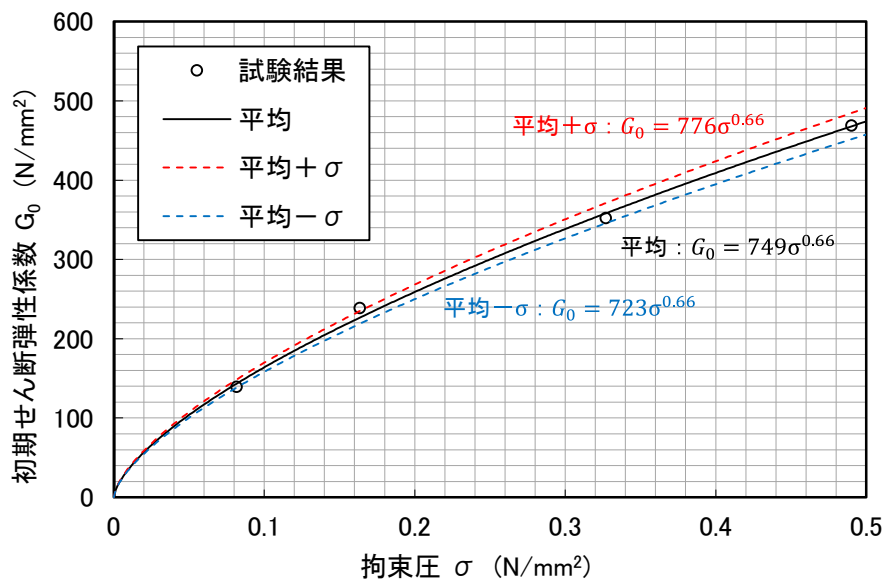


図 1-5 初期せん断弾性係数 G_0 の拘束圧依存関係 (埋戻土)

D級岩盤，旧表土に比べ，変動係数が小さい要因として現地の埋戻土は十分に締固めて施工されているため，ばらつきが少なくなったものと考えられる。図1-6に，耐震重要施設等の基礎地盤の安定性評価に係る設置許可審査において示した現場施工方法を示す。

・現場施工方法においては，現場転圧試験を実施し，締固めエネルギー $E_c = 1$ (乾燥密度: 1.95g/cm^3)を満足できる施工方法として，転圧回数6回を決定した。
 ・転圧回数が多くなるほど，乾燥密度 ρ_d が増加する傾向が見られ，6回転圧以上では乾燥密度の増加傾向が小さくなることから，6回転圧で十分に締固めされていることが確認できる。

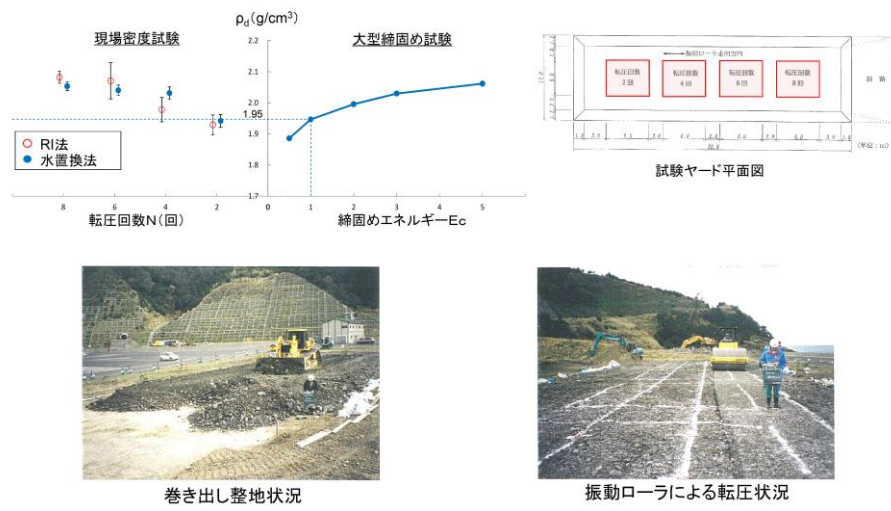


図1-6 設置許可審査で示した埋戻土の現場施工方法 (2021年6月18日 耐震重要施設等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係るまとめ資料抜粋)

(3) 旧表土の G_0 のばらつき

(1)に基づき算定した旧表土の初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきを表 1-5 及び図 1-6 に示す。

表 1-5 初期せん断弾性係数 G_0 のばらつき算定結果 (旧表土)

	初期せん断弾性係数 G_0 (N/mm ²)
平均+ σ	$G_0=278 \sigma^{0.61}$
平均	$G_0=240 \sigma^{0.61}$
平均- σ	$G_0=207 \sigma^{0.61}$
変動係数	15.8%

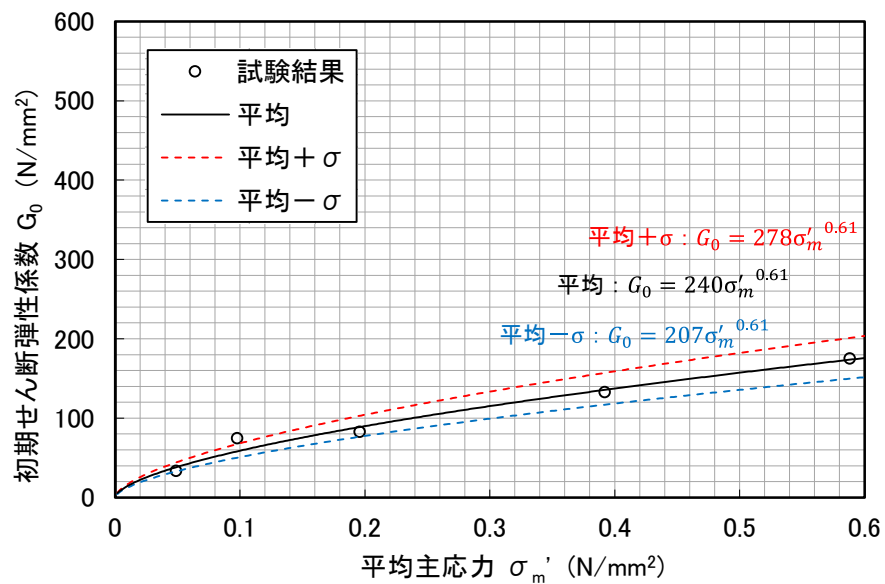


図 1-7 初期せん断弾性係数 G_0 の拘束圧依存関係 (旧表土)

1.1.3 砂礫層及び埋戻土（粘性土）

防波壁の耐震評価に用いる解析コードFLIPにおける砂礫層及び埋戻土（粘性土）について、初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきについて以下のとおり検討する。解析コードFLIPでは、 G_0 は（式1）のように定義される。

$$G_0 = G_{ma} (\sigma_m' / \sigma_{ma}')^m \quad (\text{式1})$$

ここで、 σ_{ma}' は各地層の基準平均有効拘束圧（地層中心の有効拘束圧の平均値）、 σ_m' は有効拘束圧、 G_{ma} は基準初期せん断弾性係数（ $\sigma_m' = \sigma_{ma}'$ における値）、べき定数の m は初期せん断弾性係数 G_0 の有効応力依存性を示す係数 0.5* とする。

注記*：森山年一，井合進，Hanlong Liu，一井康二，佐藤幸博：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, 1997.

砂礫層及び埋戻土（粘性土）における基準初期せん断弾性係数 G_{ma} は、PS 検層により S 波速度に基づき算定する。砂礫層及び埋戻土（粘性土）については、PS 検層結果に基づく S 波速度（平均値 - 1σ ）よりも安全側に設計 S 波速度を設定することで、初期せん断弾性係数 G_0 のばらつきは考慮しない方針とする。

砂礫層及び埋戻土（粘性土）について、PS 検層結果及び標準偏差を表 1-6 に示す。また、解析用物性値に用いる設計 S 波速度との比較を表 1-7 に示す。表 1-7 により、設計 S 波速度は、PS 検層結果から得られた S 波速度（平均 - σ ）よりも安全側に設定していることを確認した。

表 1-6 砂礫層及び埋戻土（粘性土）の PS 検層結果及び標準偏差

	データ数	平均値 (m/s)	標準偏差
砂礫層	13	524	61
埋戻土(粘性土)	43	451	60

表 1-7 砂礫層及び埋戻土（粘性土）の S 波速度のばらつき算定結果及び設計値

	S 波速度 (m/s)			
	平均 - σ	平均	平均 + σ	設計値
砂礫層	463	524	585	400
埋戻土(粘性土)	391	451	511	300

(参考) 15-9

2. 有効応力解析に用いる液状化強度特性のばらつき

耐震評価において、有効応力解析を実施する場合、液状化検討対象層である埋戻土及び砂礫層の液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえたうえで実施した液状化強度試験結果よりも保守的な液状化強度特性を設定することで、有効応力解析に用いる液状化強度特性のばらつきを考慮しない方針とする。

図 2-1 及び図 2-2 に示すとおり、簡易設定法に基づく液状化強度特性が、試験結果の下限値を下回るように設定していることから、液状化強度特性のばらつきは考慮しない。

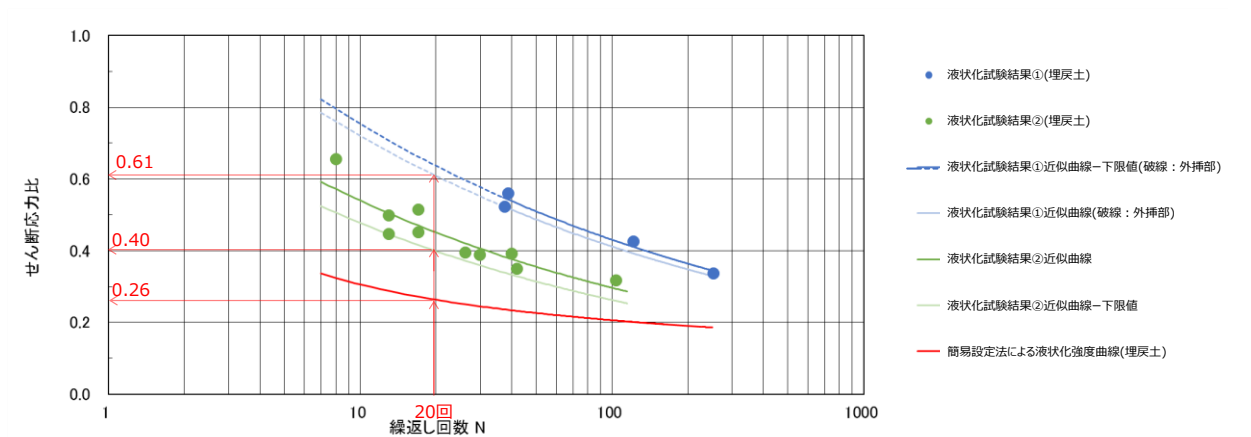


図 2-1 簡易設定法及び液状化強度試験結果による液状化強度曲線の比較（埋戻土）

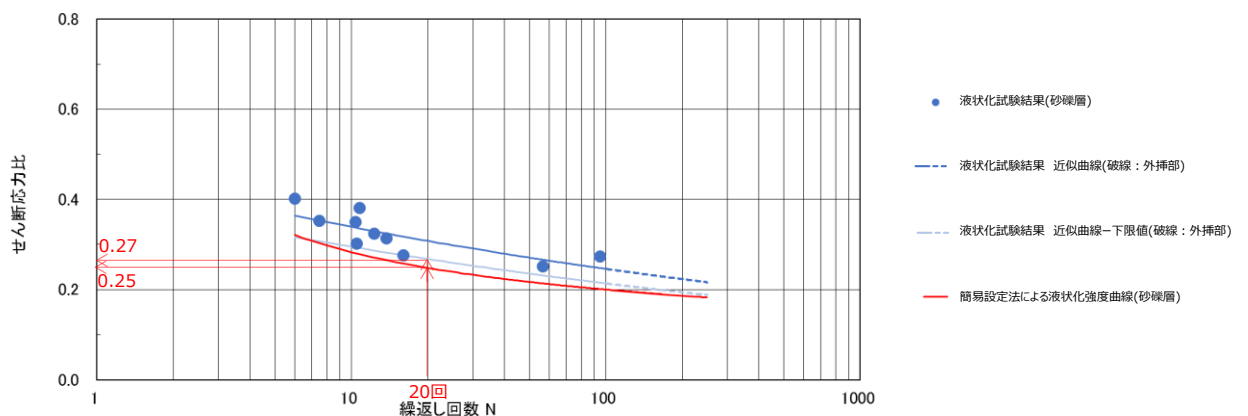


図 2-2 簡易設定法及び液状化強度試験結果による液状化強度曲線の比較（砂礫層）

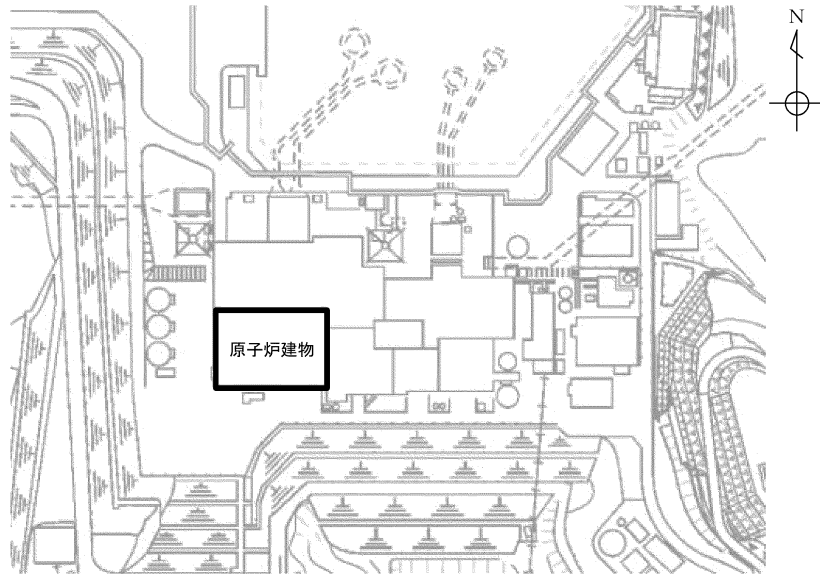
3. 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース

建物・建築物における地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースの詳細は、「補足－024 工事計画に係る説明資料（建物・構築物の地震応答計算書）」に示す。

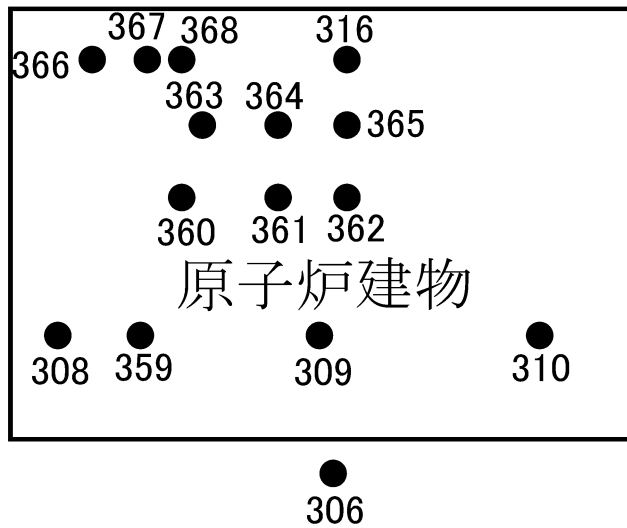
また、土木構造物における地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースの詳細は、「補足－026－01 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」及び「補足－027－08 浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料」に示す。

(補足1) 岩盤におけるP S 検層結果の詳細について

C_H級、C_M級及びC_L級岩盤における動せん断弾性係数G_d等の地盤物性のばらつきは、図1に示すボーリング孔におけるP S 検層により算定した。各孔におけるP S 検層結果の詳細を表1～4に示す。



(全体図)



(詳細図)

図1 P S 検層位置図

(参考) 15-12

表1 各孔におけるP S検層結果の詳細(深度ごとのP波速度の平均値)

観測孔 No.	306	308	309	310	316	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368
	1.0	0.6	1.1	0.5	0.8	0.6	0.8	0.55	0.55	0.8	0.65	0.75	0.6	0.7	0.7
	2.5	1.8	2.0	1.8	1.8	1.5	1.0	1.0	2.0	—	1.5	1.8	1.1	1.0	1.0
	3.26	3.4	3.5	3.7	—	3.5	—	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	—	—
	3.5	3.4	3.5	3.7	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
	3.5	3.4	3.5	3.55	3.5										
	3.5	3.6	3.86	3.69	3.5										
	3.59	3.56	3.91	3.9	3.5										
	3.8	3.24	4.0	3.78	3.57										
	3.8	3.8	4.0	4.2	3.8										
	3.8	3.8	4.0	4.2	3.8										
	4.1	3.8	4.0	4.2	3.8										
	4.4	3.8	4.0	4.2	3.8										
	4.4				3.8										
	4.4				3.74										
	4.4				3.15										
	4.4				4.0										
	4.4				4.0										
	4.4				3.64										
	5.3				3.51										
	5.3				4.48										
	5.3				5.2										
	5.3				5.2										

↑

観測孔 No.	306	308	309	310	316	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368
	0.83														
	2.12														
	3.48														
	3.50														
	3.49														
	3.63														
	3.69														
	3.67														
	3.92														
	3.92														
	3.98														
	4.04														
	4.10														
	4.07														
	3.77														
	4.20														
	4.20														
	4.02														
	4.40														
	4.89														
	5.25														
	5.25														

+15
+5
-4.7
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
-110
-120
-130
-140
-150
-160
-170
-180
-190
-200

表2 各孔におけるP S検層結果の詳細(深度ごとのS波速度の平均値)

観測孔 No.	306	308	309	310	316	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368
	0.4	0.32	0.4	0.25	0.34	0.25	0.3	0.25	0.2	0.25	0.25	0.3	0.25	0.25	0.25
	1.0	0.9	0.9	0.5	0.85	-	1.2	0.7	0.9	-	1.0	0.9	0.9	1.2	-
	1.1		1.2												
	1.4	1.6	1.5	1.6	-	1.4	-	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	-	1.5
	1.4	1.6	1.5	1.6	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5
	1.4	1.6	1.5	1.54	1.5										
	1.58	1.6	1.68	1.82	1.58										
	1.72	1.48	1.73	2.0	1.6										
	2.0	1.32	2.0	1.9	1.72										
	2.0	1.6	2.0	2.1	2.1										
	2.0	1.6	2.0	2.1	2.1										
	2.0	1.6	2.0	2.1	2.1										
	2.0	1.6	2.0	2.1	1.93										
	2.0				1.9										
	2.2				1.87										
	2.2				1.51										
	2.2				1.9										
	2.2				1.9										
	2.2				1.9										
	2.5				2.0										
	2.5				2.2										
	2.5														
	2.5														
	2.5														

↑

深度ごとのS波速度の平均値 Vs(km/s)	標準偏差 σ(km/s)	変動係数 (%)
0.28	0.058	21
0.94	0.197	21
1.49	0.066	4
1.49	0.059	4
1.50	0.072	4
1.65	0.103	6
1.70	0.193	11
1.78	0.286	16
1.96	0.207	11
1.96	0.207	11
1.96	0.207	11
1.92	0.192	10
1.95	0.070	3
2.03	0.223	11
1.85	0.488	26
2.05	0.212	10
2.05	0.212	10
2.05	0.212	10
2.25	0.354	16
2.35	0.212	9
2.50		

表3 P S 検層結果から速度層ごとに作成したP波速度

深度ごとのP波速度の平均値 Vp(km/s)	差分	速度層ごとに策定したP波速度 Vp(km/s)	標準偏差 σ (km/s)	変動係数 (%)	速度層
0.83	—	0.80	0.024*	3*	①層
2.12	1.29				
3.48	1.36	2.10	0.400*	19*	②層
3.50	0.02				
3.49	-0.01	3.60	0.097	3	③層
3.63	0.14				
3.69	0.06				
3.67	-0.02				
3.92	0.25				
3.92	0.00				
3.98	0.06	4.00	0.078	2	④層
4.04	0.06				
4.10	0.06				
4.07	-0.03				
3.77	-0.30	4.05	0.180	4	⑤層
4.20	0.43				
4.20	0.00				
4.02	-0.18				
4.40	0.38	4.95	0.400	8	⑥層
4.89	0.49				
5.25	0.36				
5.25	—				
5.25	—				

注記* : 表1における各孔のP S 検層結果より算定

表4 P S 検層結果から速度層ごとに作成したS波速度

深度ごとのS波速度の平均値 Vs(km/s)	差分	速度層ごとに策定したS波速度 Vs(km/s)	標準偏差 σ (km/s)	変動係数 (%)	速度層
0.28	—	0.25	0.058*	21*	①層
	0.66				
0.94	0.55	0.90	0.197*	21*	②層
1.49	0.00				
1.49	0.01	1.60	0.130	8	③層
1.50	0.15				
1.65	0.05				
1.70	0.08				
1.78	0.18				
1.96	0.00				
1.96	0.00	1.95	0.017	1	④層
1.96	-0.04				
1.92	0.03				
1.95	0.08				
2.03	-0.18	2.00	0.088	4	⑤層
1.85	0.20				
2.05	0.00				
2.05	0.00				
2.05	0.20	2.35	0.130	6	⑥層
2.25	0.10				
2.35	0.15				
2.50	—				
—	—				

注記* : 表2における各孔のP S 検層結果より算定

(参考資料 16) 入力地震動の設定に用いる地下構造モデルのエリア区分について

1. 地下構造モデル設定の概要

島根原子力発電所における設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設の配置図を図1-1に示す。

島根原子力発電所の敷地は、1，2号機が位置するエリアと3号機が位置するエリアに分かれ、それぞれボーリング調査等を行っており、入力地震動の設定においては、設置許可段階でそれぞれのエリアにおける地質・地質構造の調査結果に基づいて設定した地下構造モデルの地盤物性を用いる。

本資料では、それぞれのエリアにおける地質・地質構造と地下構造モデルの概要及び各対象施設へ適用する地下構造モデルを示す。

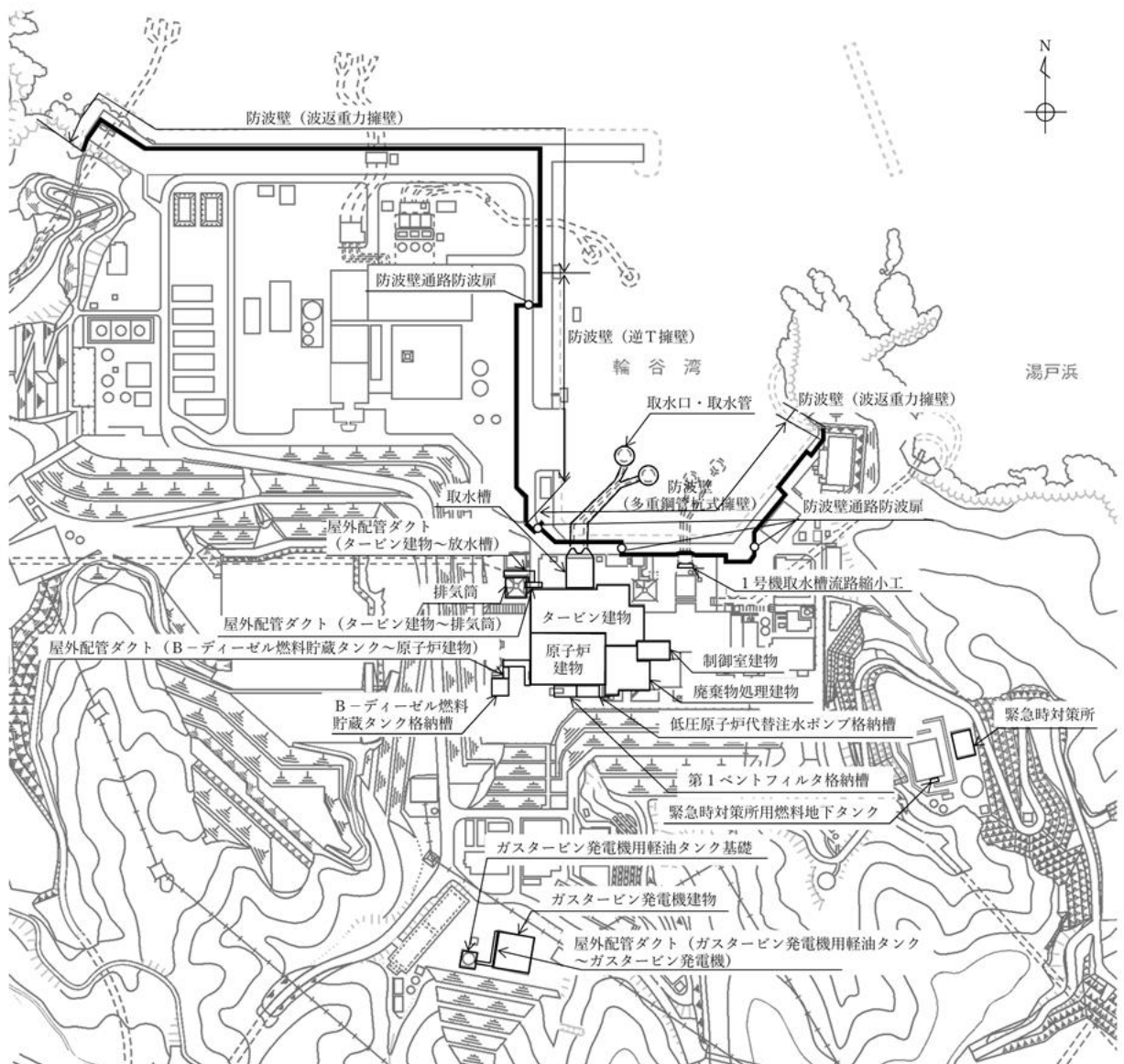


図1-1 対象施設の配置図

(参考) 16-1

2. 敷地の地質・地質構造

2.1 地質調査

敷地地盤の地質は、新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類及びそれらを覆う第四紀の崖錐堆積物等から構成される。

敷地の南部には、ほぼ東西方向の軸を持つ背斜構造が認められ、敷地地盤を構成する成相寺層は、北に約 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ で傾斜している。発電所敷地周辺の地質平面図を図 2-1 に示す。

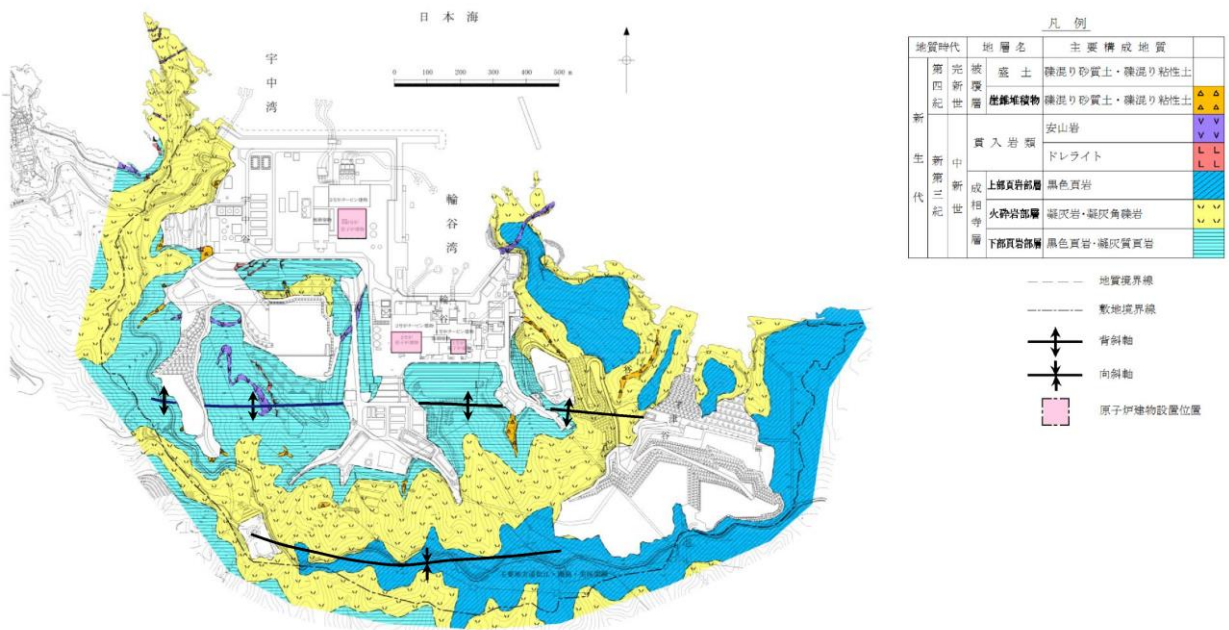


図 2-1 発電所敷地地盤の地質平面図

(参考) 16-2

2.2 速度層断面

1, 2号機が位置するエリアと3号機が位置するエリアの速度層断面図を図2-2及び図2-3に示す。いずれも設置許可段階で示したとおり, 1, 2号機が位置するエリアの速度値の設定にあたっては, 図2-4に示す位置で実施した2号機原子炉建物範囲のPS検層結果に基づき設定した。3号機が位置するエリアの速度値の設定にあたっては, 図2-4に示す位置で実施した3号機原子炉建物範囲のPS検層結果に基づき設定した。

また, 参考として, それぞれのエリアの岩相・岩級区分図を図2-5～図2-8に示す。

敷地の地下構造としては, 硬質な成相寺層が敷地の地下深部まで十分な広がりをもって分布しており, 東西方向はほぼ水平成層であり, 南北方向は北に緩やかに傾斜しているが, 大局的に見てほぼ水平な構造とみなすことができる。

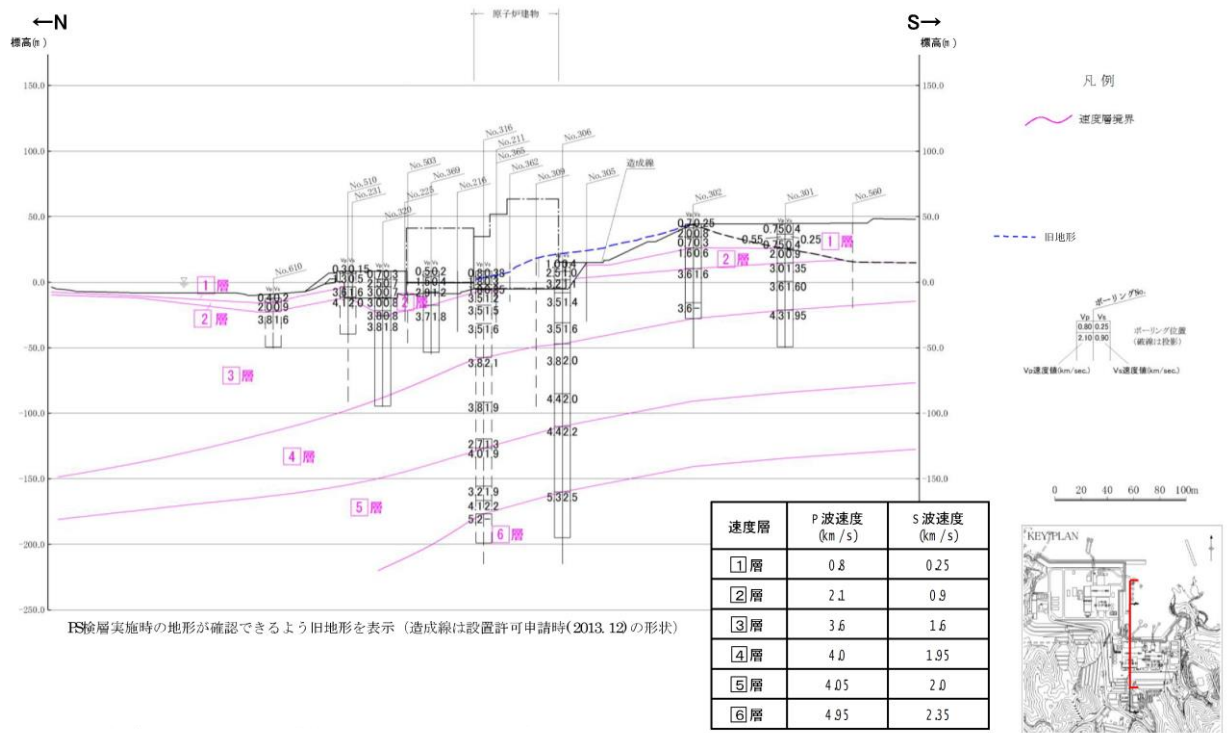


図 2-2 (1) 1, 2号機が位置するエリアの速度層断面図：南北断面

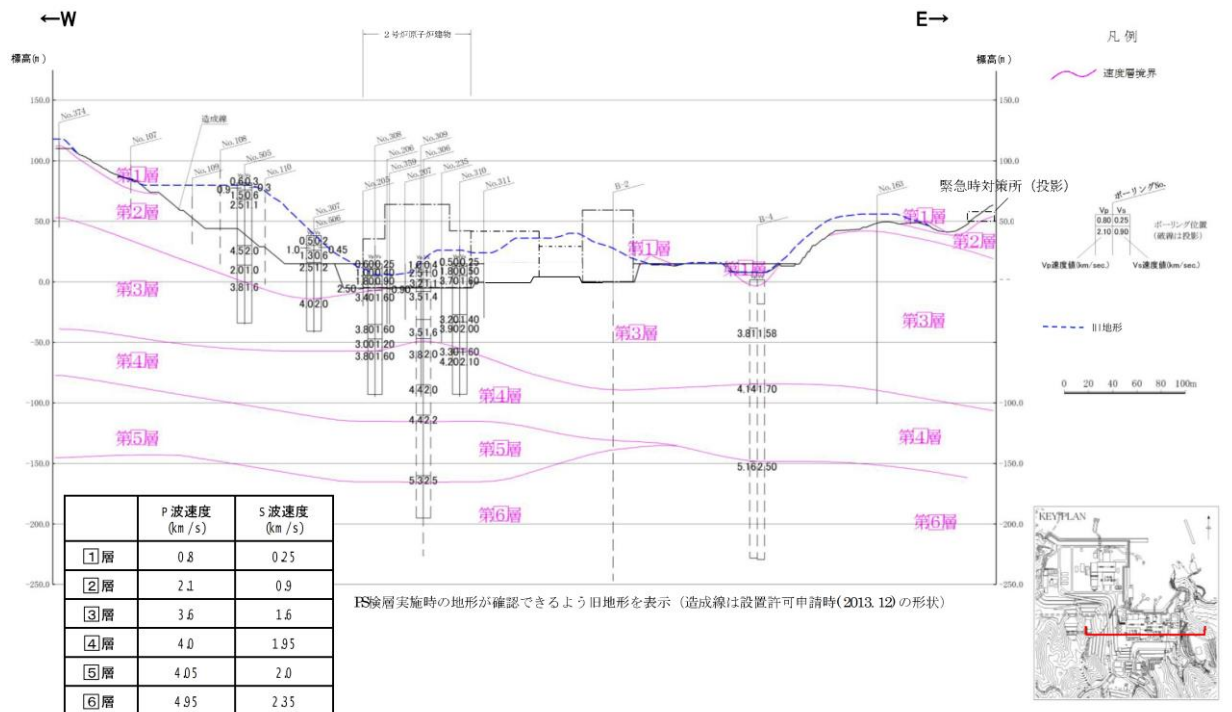


図 2-2 (2) 1, 2号機が位置するエリアの速度層断面図：東西断面

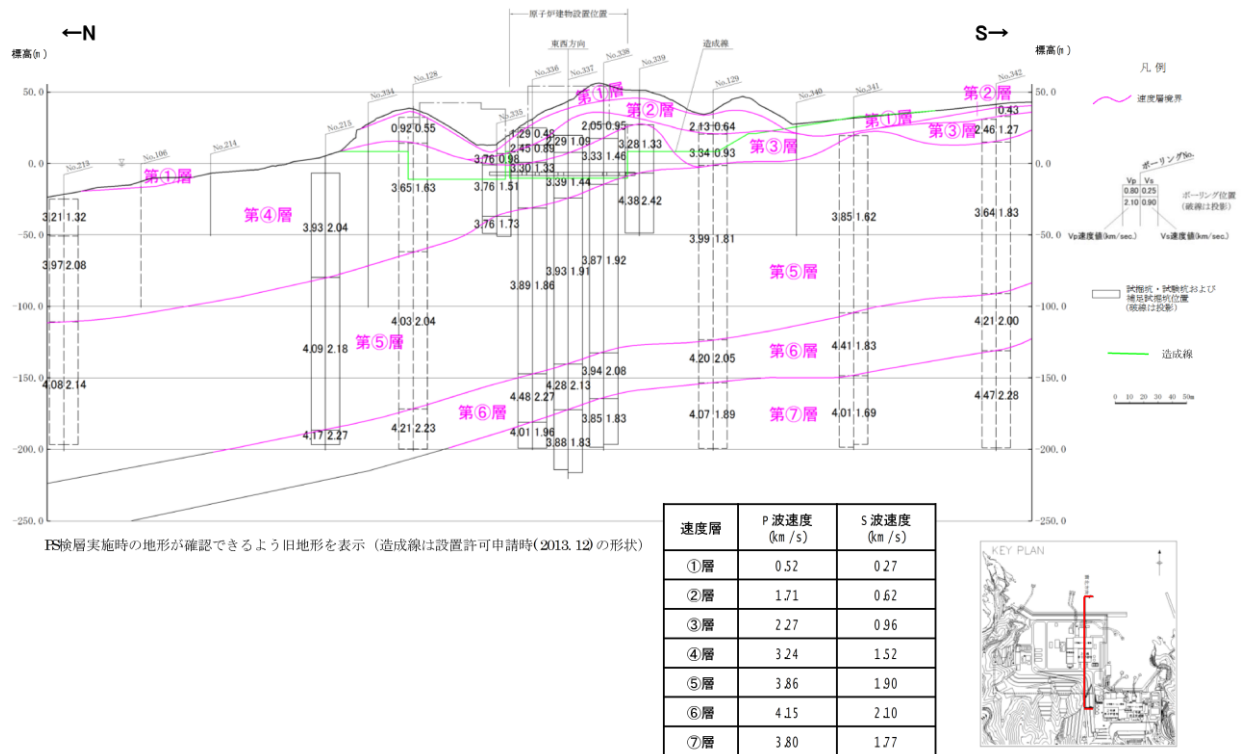


図 2-3 (1) 3号機が位置するエリアの速度層断面図：南北断面

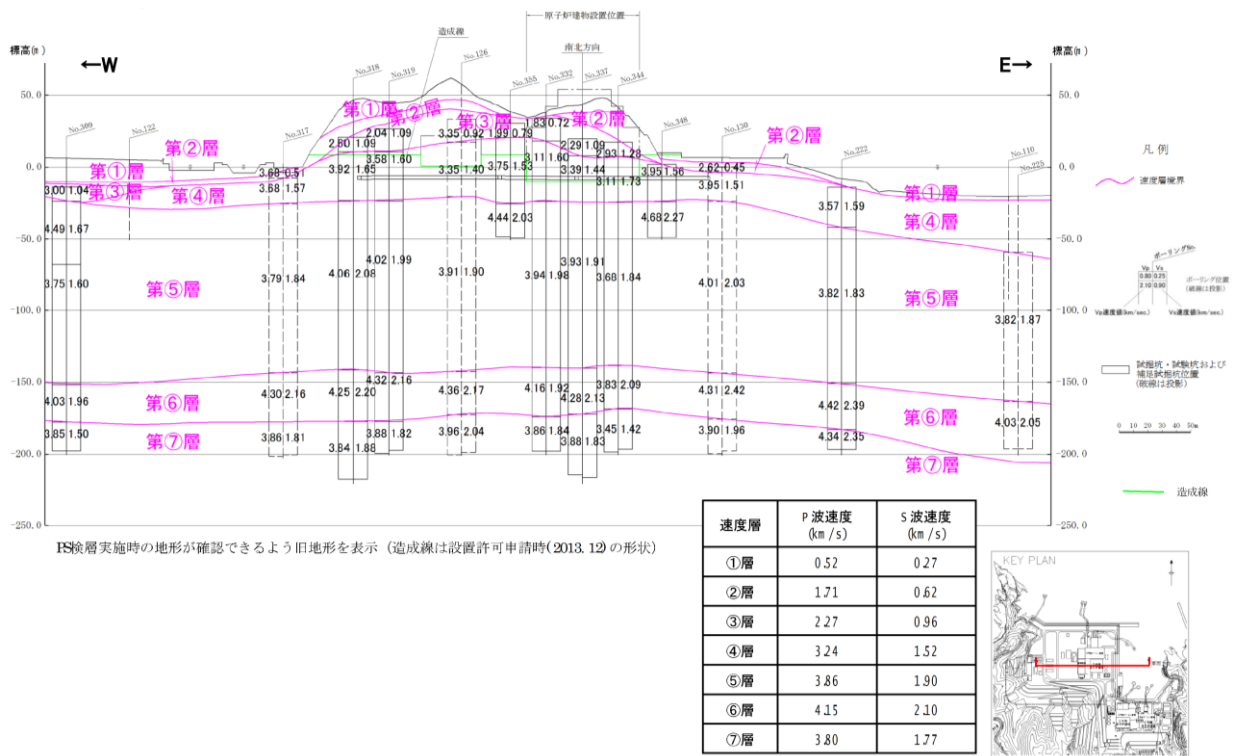
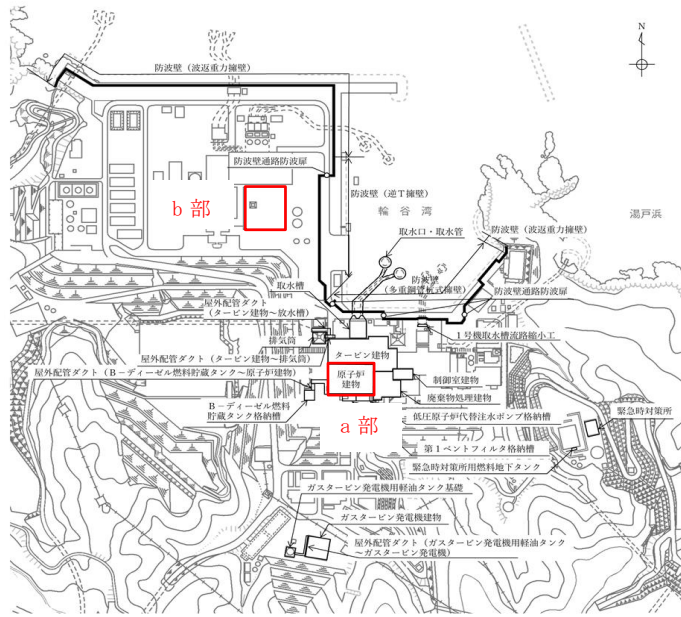
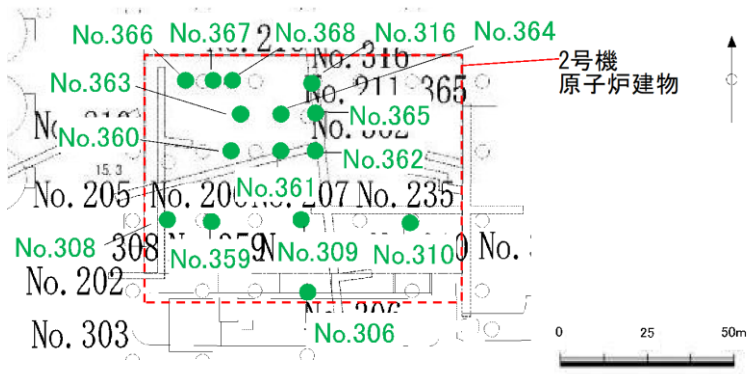


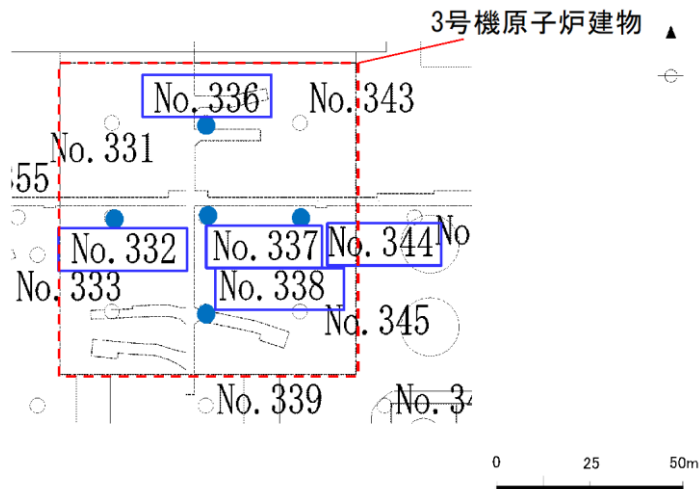
図 2-3 (2) 3号機が位置するエリアの速度層断面図：東西断面



(1) P S 検層実施位置図



(2) a 部拡大 (2号機原子炉建物範囲の P S 検層実施位置)



(3) b 部拡大 (3号機原子炉建物範囲の P S 検層実施位置)

図 2-4 速度値設定のための P S 検層実施位置図
(参考) 16-6

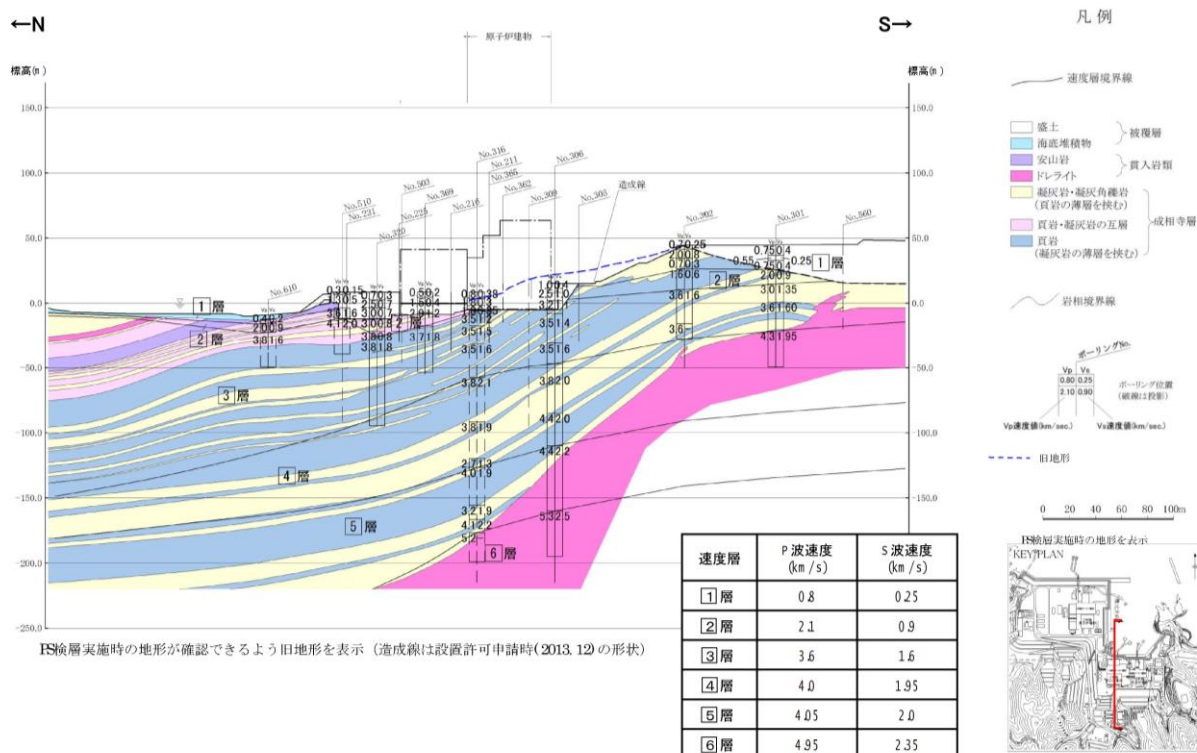


図 2-5 (1) 1, 2号機が位置するエリアの岩相区分図：南北断面

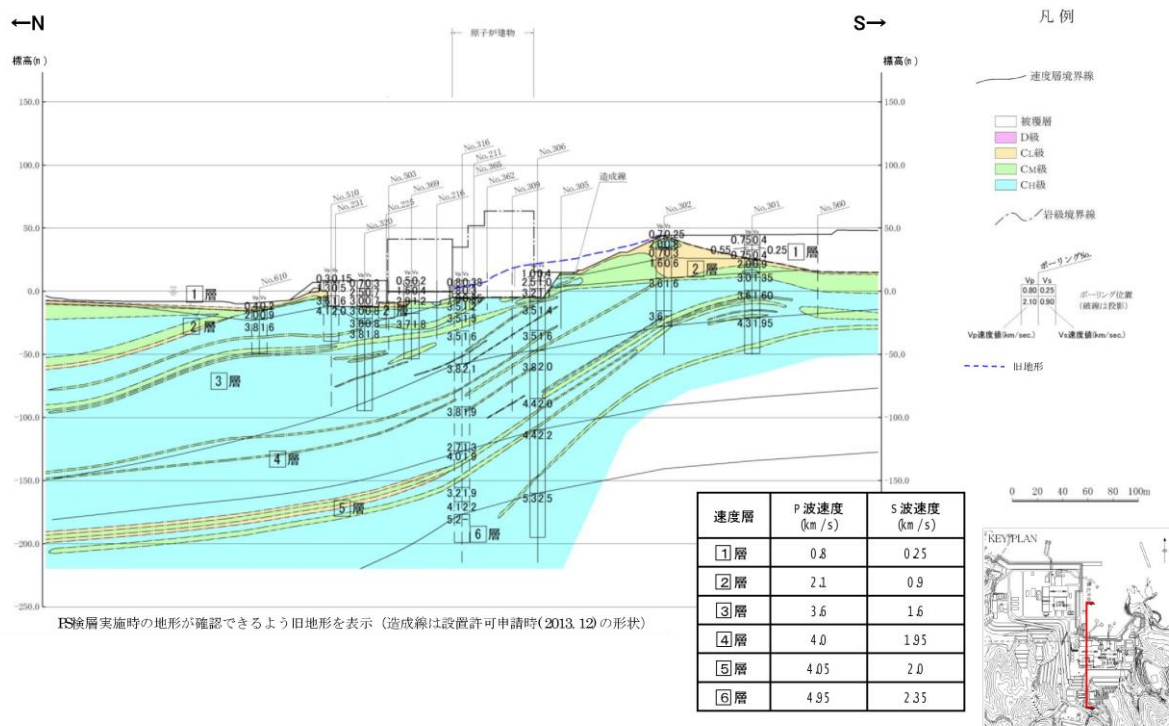


図 2-5 (2) 1, 2号機が位置するエリアの岩級区分図：南北断面

(参考) 16-7

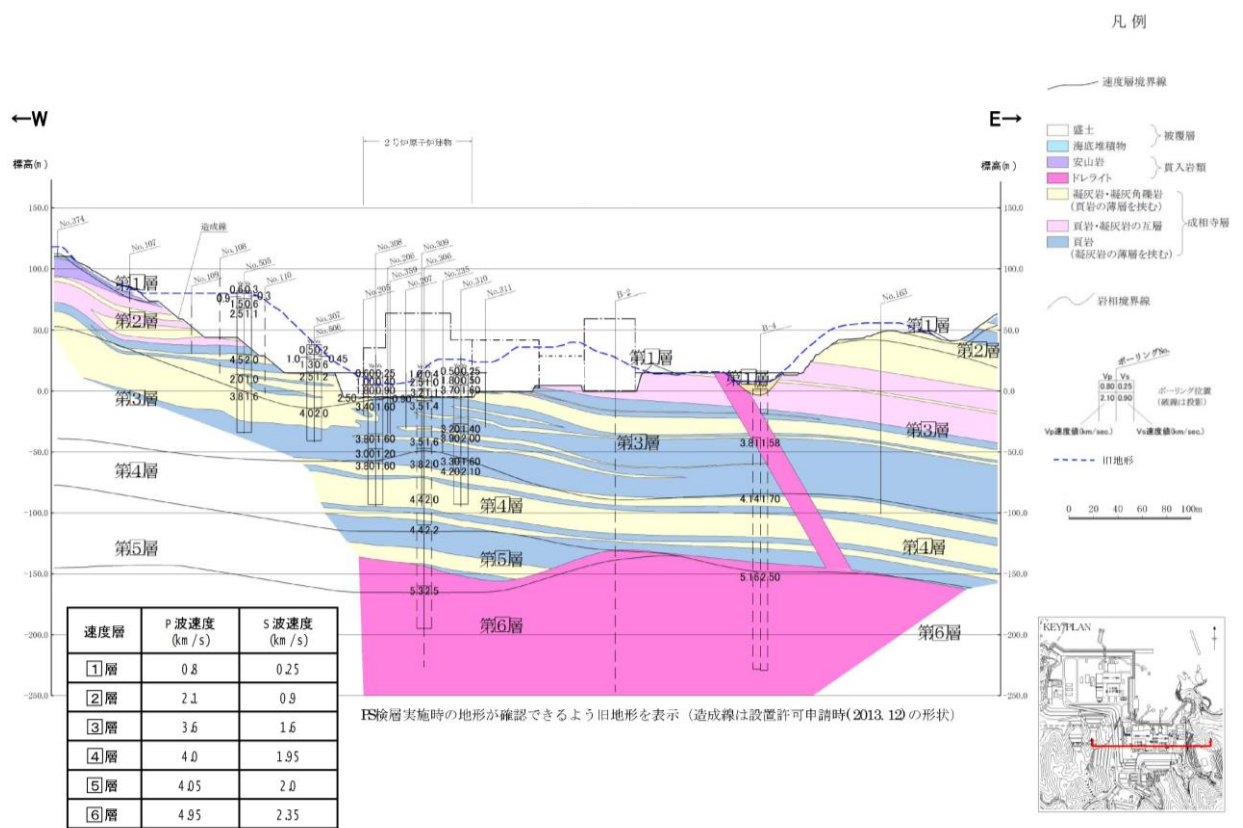


図 2-6 (1) 1, 2号機が位置するエリアの岩相区分図：東西断面

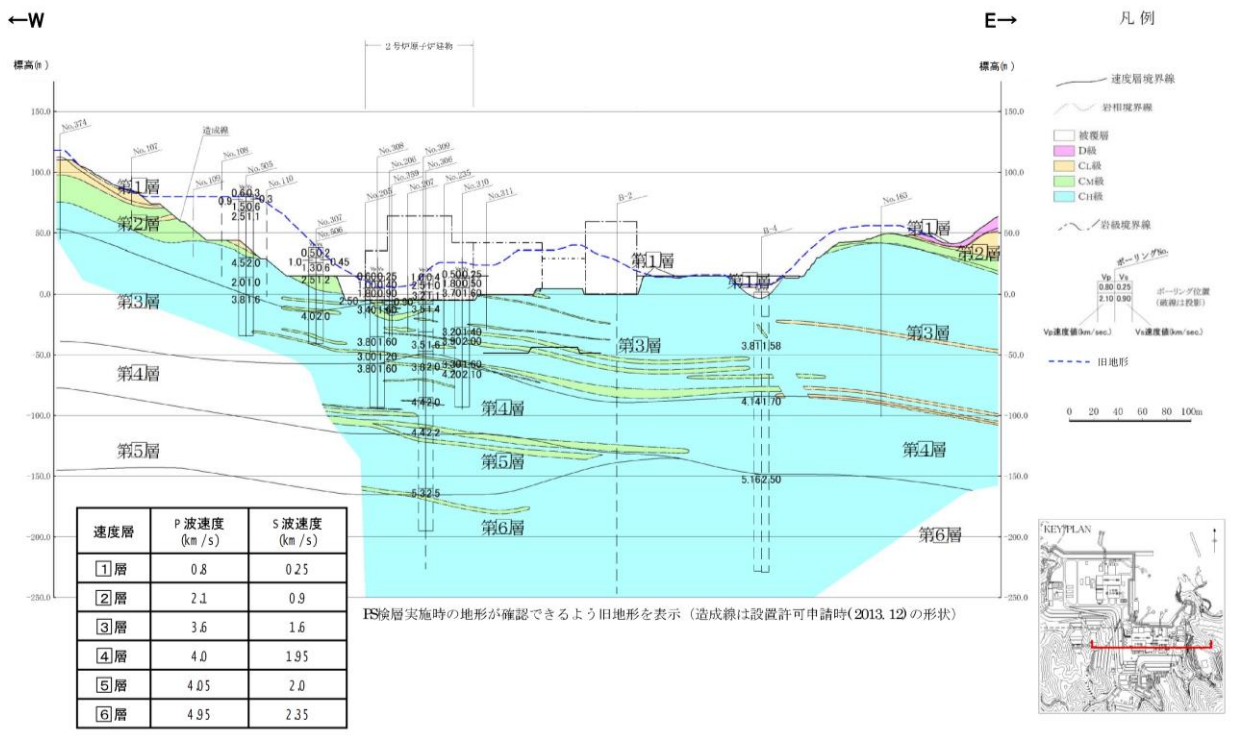


図 2-6 (2) 1, 2号機が位置するエリアの岩級区分図：東西断面

(参考) 16-8

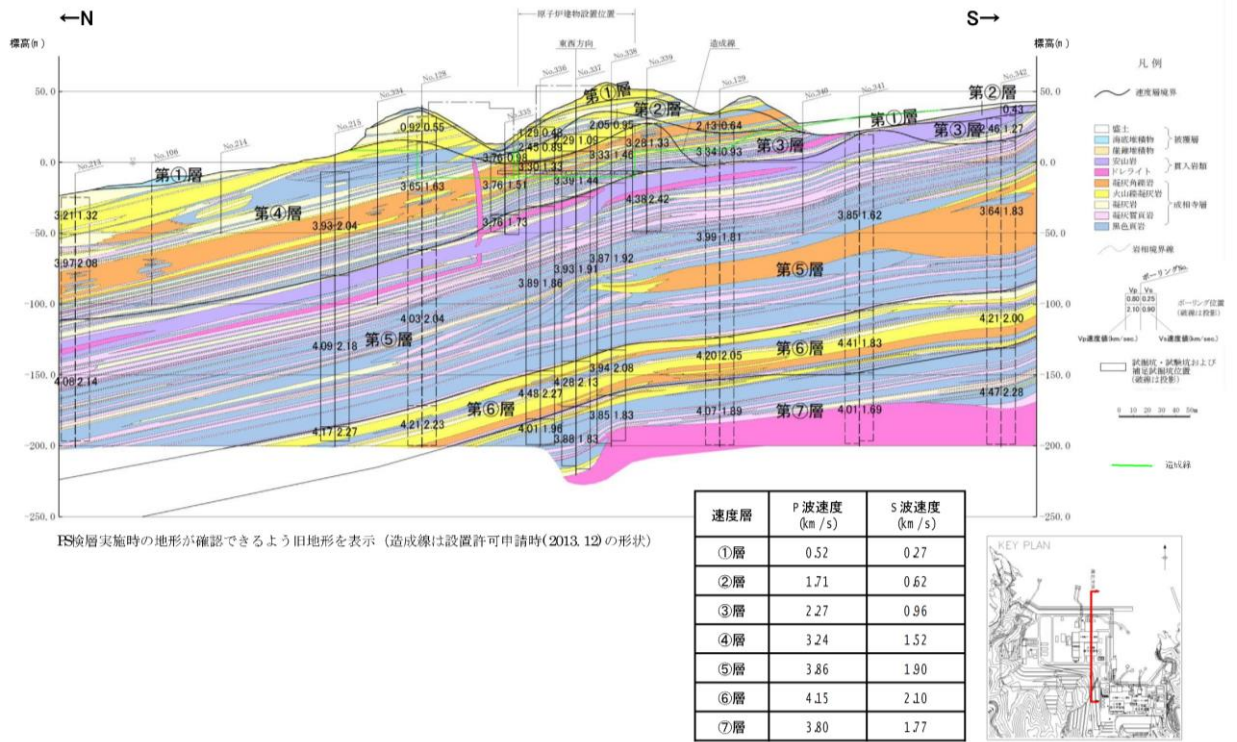


図 2-7 (1) 3号機が位置するエリアの岩相区分図：南北断面

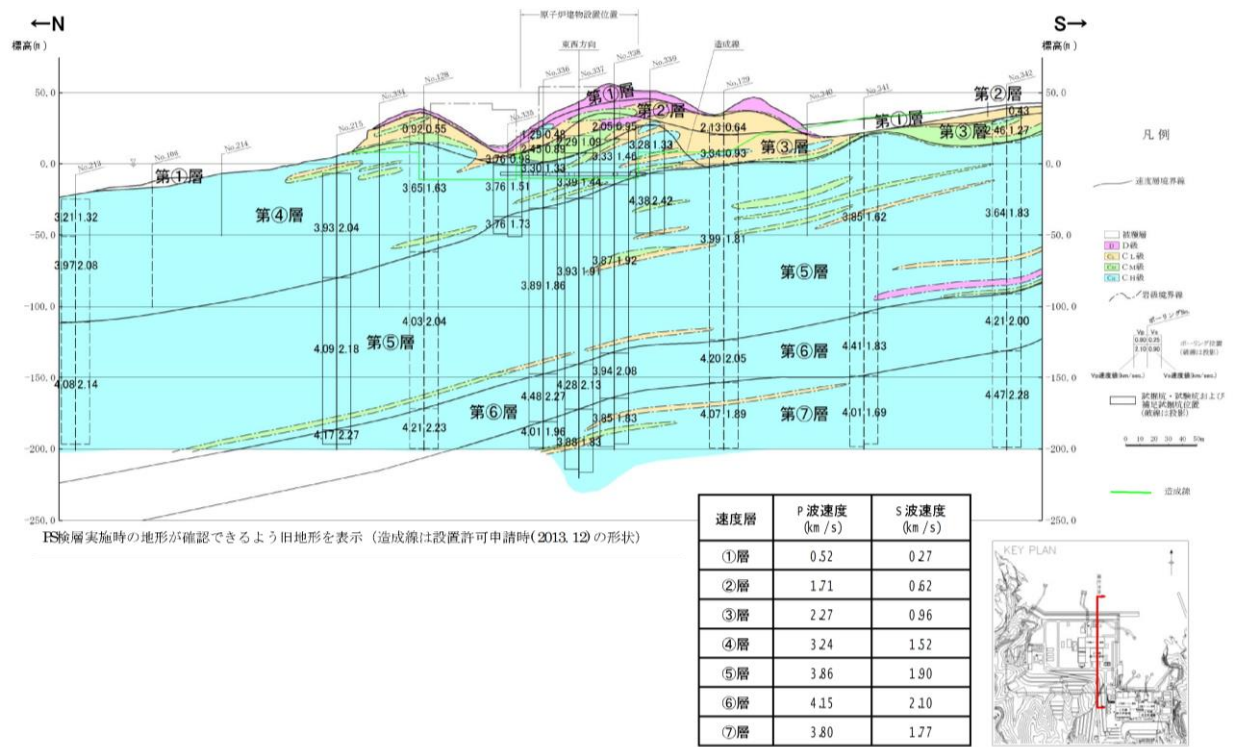


図 2-7 (2) 3号機が位置するエリアの岩級区分図：南北断面

(参考) 16-9

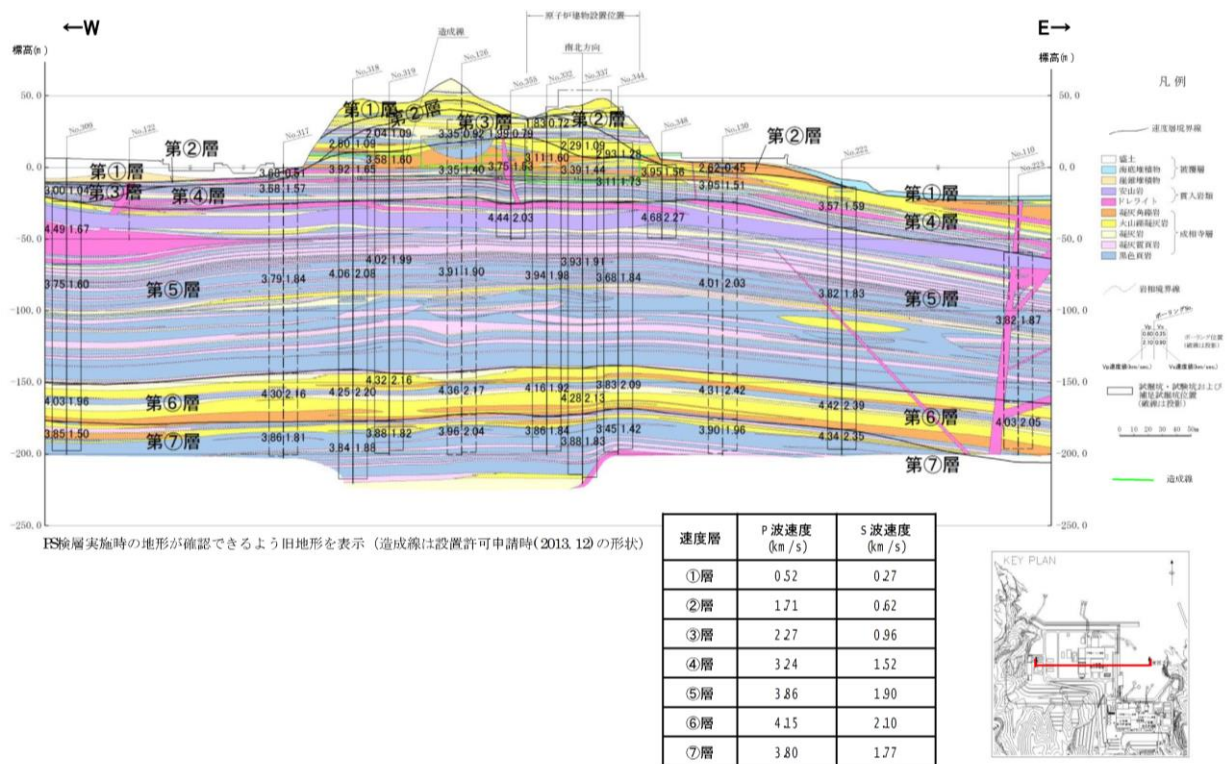


図 2-8 (1) 3号機が位置するエリアの岩相区分図：東西断面

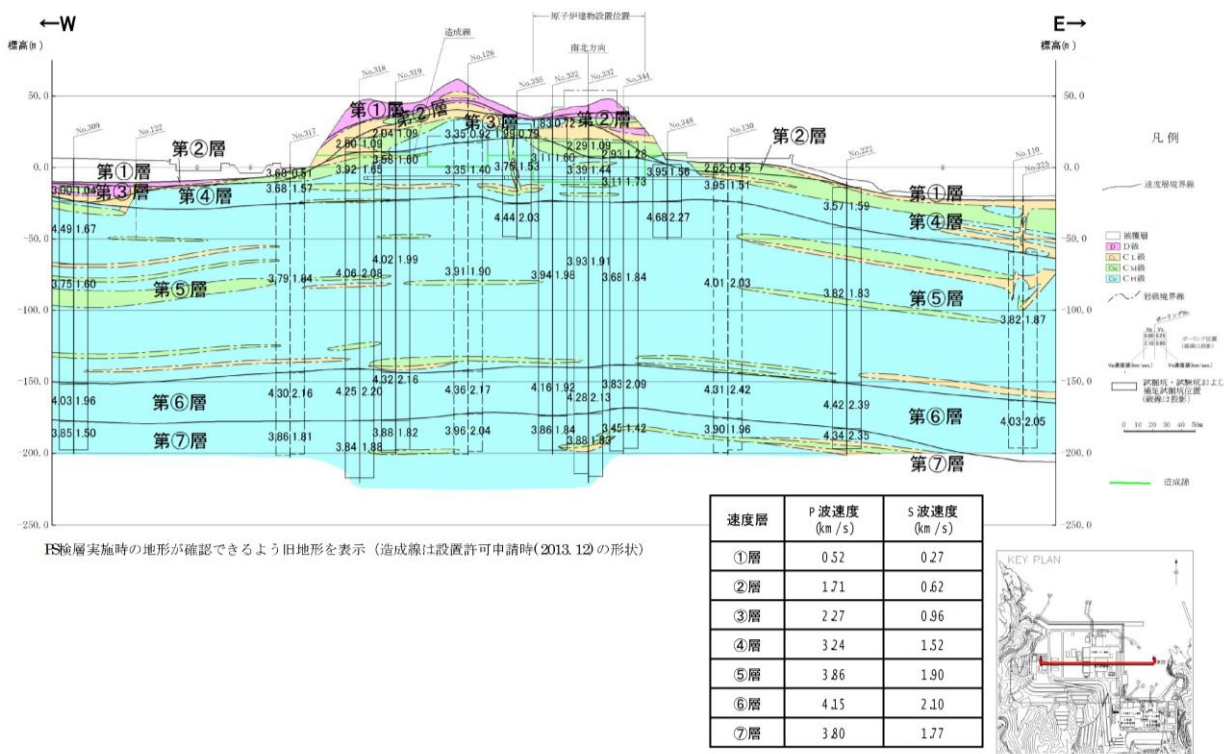


図 2-8 (2) 3号機が位置するエリアの岩級区分図：東西断面

(参考) 16-10

3. 地下構造モデルの設定

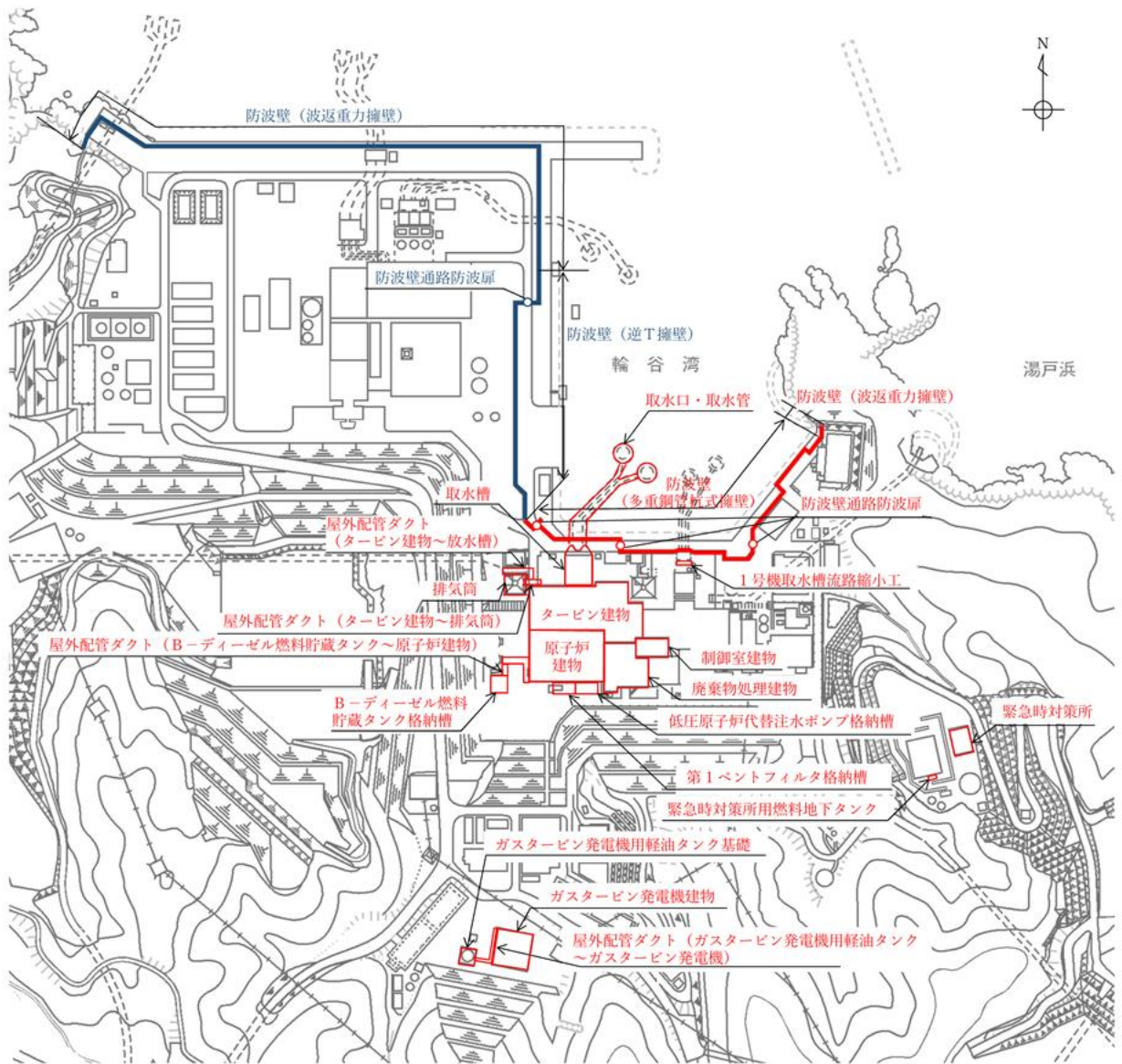
入力地震動の設定に当たっては、それぞれのエリアにおける地質・地質構造の調査結果に基づく地下構造モデルを表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定した。また、各対象施設へ適用する地下構造モデルを図 3-1 及び表 3-3 に示す。

表 3-1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル
(1, 2号機エリア)

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
①層	0.80	0.25	20.6	0.446
②層	2.10	0.90	23.0	0.388
③層	3.60	1.60	24.5	0.377
④層	4.00	1.95	24.5	0.344
⑤層	4.05	2.00	26.0	0.339
⑥層	4.95	2.35	27.9	0.355

表 3-2 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル
(3号機エリア)

速度層	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
①層	0.52	0.27	22.4	0.45
②層	1.71	0.62	23.3	0.42
③層	2.27	0.96	23.4	0.39
④層	3.24	1.52	24.5	0.36
⑤層	3.86	1.90	25.2	0.34
⑥層	4.15	2.10	24.4	0.33
⑦層	3.80	1.77	25.1	0.36



凡例

- : 1, 2号機エリア
 の評価対象施設
- : 3号機エリア
 の評価対象施設

図 3-1 対象施設における地下構造モデルの区分図

(参考) 16-12

表 3-3 対象施設における地下構造モデル

施設名		1, 2号機 エリア	3号機 エリア
建物・構築物	原子炉建物	○	
	タービン建物	○	
	廃棄物処理建物	○	
	制御室建物	○	
	排気筒	○	
	緊急時対策所	○	
	ガスタービン発電機建物	○	
土木構築物	取水槽	○	
	取水管	○	
	取水口	○	
	屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	○	
	屋外配管ダクト（タービン建物～放水槽）	○	
	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽	○	
	屋外配管ダクト（B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）	○	
	防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	○	
	防波壁（逆T擁壁）		○
	防波壁（波返重力擁壁）	○	○
	1号機取水槽流路縮小工	○	
	防波壁通路防波扉	○	○
	第1ベントフィルタ格納槽	○	
	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	○	
	緊急時対策所用燃料地下タンク	○	
	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	○	
	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	○	

(参考) 16-13

(参考資料 17) 埋戻土の骨格曲線について

設置変更許可申請書における大型三軸圧縮試験等に基づく埋戻土の動的変形特性については、構造物の耐震安全性評価においても適切に反映する必要がある。本資料では、有効応力解析及び全応力解析にて設定する動的変形特性の設定方法の概要を示す。

また、大ひずみ領域における埋戻土の動的変形特性のデータ取得のため、繰返し三軸試験を追加実施し、埋戻土の動的変形特性の妥当性を確認する。

1. 動的変形特性の設定方法

1.1 有効応力解析

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。

(1) H-D モデルの考え方

Hardin と Drnevich は自分たちの行った粘土から砂までの幅広い材料に対する実験結果を整理する方法として次の式を示した。

$$\tau = \frac{\gamma}{\frac{1}{G_0} + \frac{\gamma}{\tau_f}} = \frac{G_0 \gamma}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r}}$$

この式は双曲線モデルと呼ばれる。ここで、 G_0 は初期せん断弾性係数、 τ_f はせん断強度である。この関係を図示すると、図 1-1 のようになる。すなわち式は初期せん断弾性係数が G_0 でせん断応力が τ_f に漸近するような双曲線である。

この実験式は、実験値との適合性も高いので、実験値の整理方法として多用されており、Hardin-Drnevich モデル、H-D モデルと呼ばれる。*

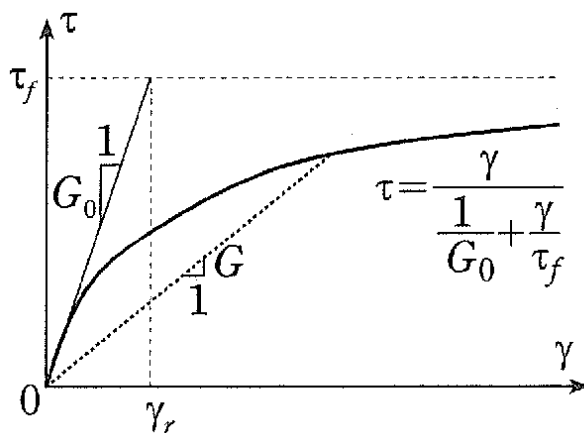


図 1-1 双曲線モデル*

注記* : 地盤の地震応答解析 (吉田, 鹿島出版会)

(参考) 17-1

(2) H-D モデルによる動的変形特性の設定

解析に用いる埋戻土の動的変形特性（動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性）は、図 1-2 に示すとおり試験結果を H-D モデルで適切に設定している。

また、大ひずみ領域における埋戻土の動的変形特性のデータ取得のため、繰返し三軸試験を追加実施し、埋戻土の動的変形特性の妥当性を確認する。詳細については、次章で説明する。

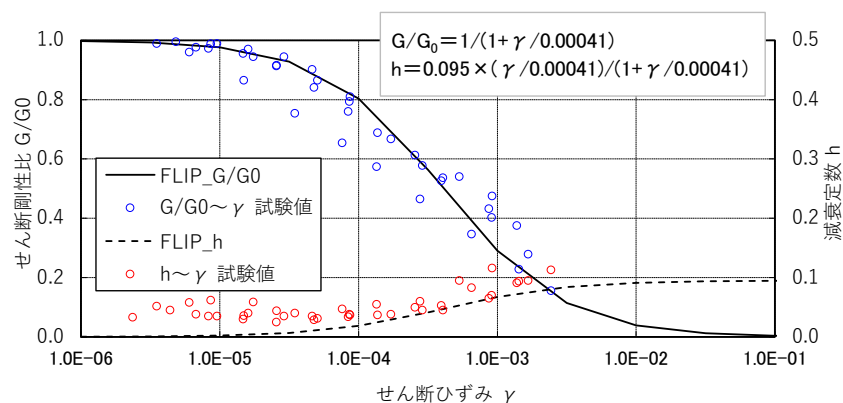


図 1-2 埋戻土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性
(H-D モデル)

1.2 全応力解析

全応力解析では、動的変形試験に基づくせん断骨格及び減衰のひずみ依存特性，静的強度試験に基づくせん断強度を考慮することで，微小ひずみから大ひずみ（せん断強度）に至るまで広いひずみ領域において実験値にフィッティング可能な GHE モデルに，履歴法則として改良した Masing 則を適用した双曲線型の非線形モデルである修正 GHE モデルを用いる。

(1) 修正 GHE モデルにおける骨格曲線

骨格曲線には，龍岡・澁谷が提案した GHE モデルを用いる。

$$\frac{\tau}{\tau_f} = \frac{\frac{\gamma}{\gamma_r}}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \left(\frac{\gamma}{\gamma_r} \right)} \quad , \quad \text{または} \quad y = \frac{x}{\frac{1}{C_1} + \frac{x}{C_2}}$$

ここに，

x : 正規化ひずみ ($= \gamma / \gamma_r$)

γ_r : 基準ひずみ ($= \tau_f / G_{\max}$)

x , y は正規化ひずみ，正規化せん断応力で， $x = \gamma / \gamma_r$, $y = \tau / \tau_f$ である。 γ_r は基準ひずみで，モール・クーロンの破壊規準によるせん断強度 τ_f を初期せん断係数 G_{\max} で除した値 ($\gamma_r = \tau_f / G_{\max}$) であり，せん断強度に漸近する骨格が設定される。

なお， $C_1(x)$, $C_2(x)$ は補正係数で，繰り返し载荷試験から得られた $G/G_{\max} \sim \gamma$ 関係にフィッティングするよう決定する。図 1-3 及び図 1-4 に適用例を示す。

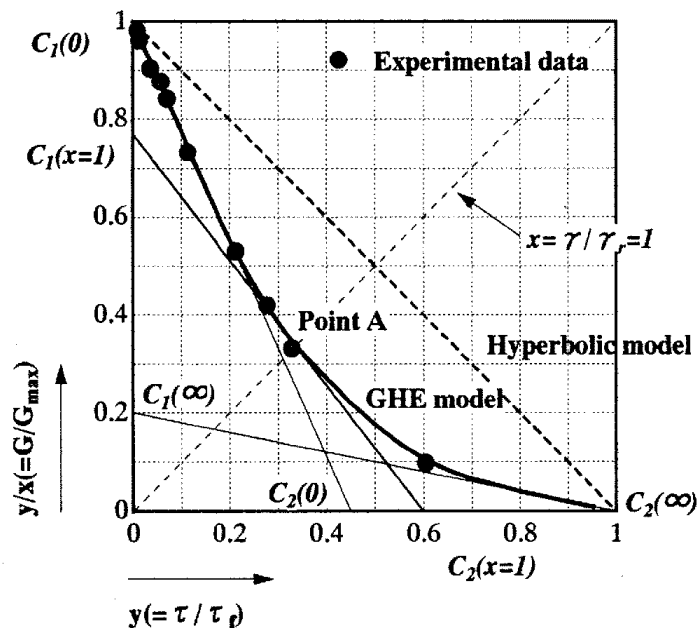


図 1-3 GHE モデルのパラメータ決定例 ($y-x$ 関係図)
(参考) 17-3

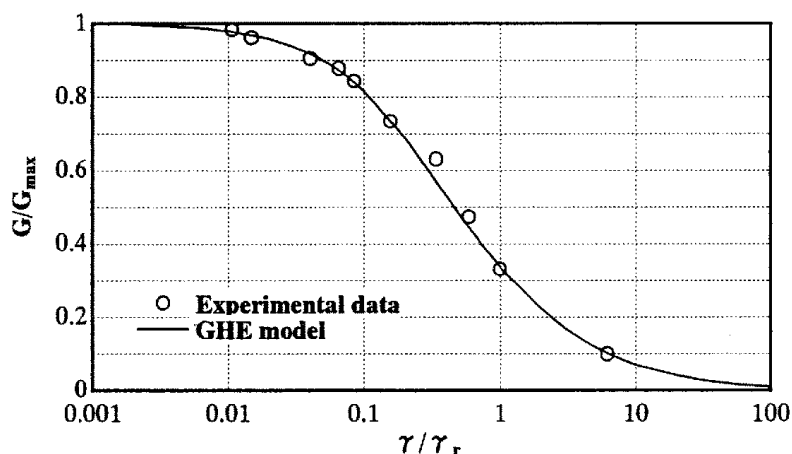
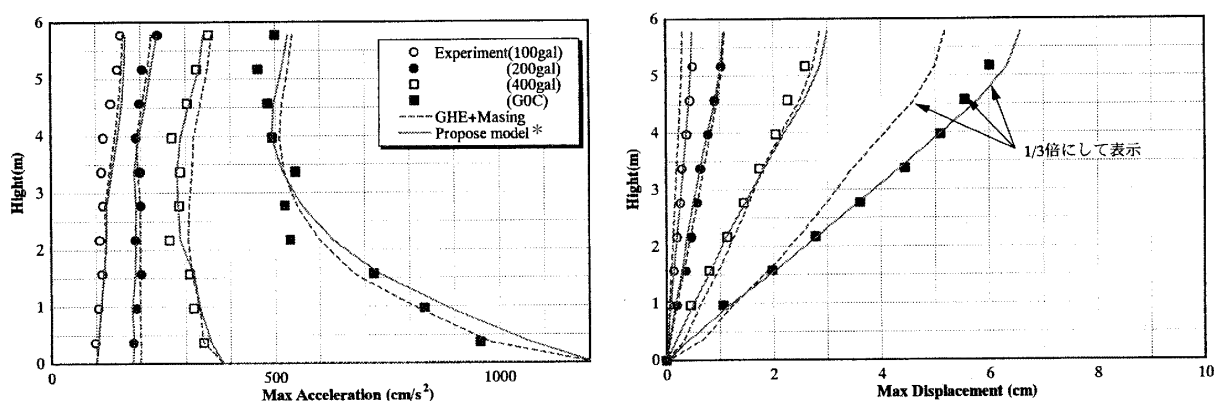


図 1-4 GHE モデルによる $G/G_{\max} \sim \gamma$ のフィッティング例

(2) 振動実験との比較

西村・室野は、大型せん断土槽を用いた振動実験のシミュレーションにより、修正 GHE モデルの検証を行っている。実験には大型振動台 (12×12m) を用い、その上に深さ 6m、長さ 12m、幅 3.5m の大型せん断土槽を設置した。入力波は、振幅レベルが 100, 200, 400Gal の振幅漸増型の正弦波、L2 地震を対象とした耐震設計用の GOC 波である。

図 1-5 に実験と解析結果の比較を示す。修正 GHE モデルによる解析は、いずれの入力レベルにおいても、最大加速度、最大変位とも実験値を再現性良くシミュレーションできており、修正 GHE モデルの有効性が確認されている。



注記* : Propose model : 修正 GHE モデル

図 1-5 振動実験と修正 GHE モデルの比較

(参考) 17-4

(3) 修正 GHE モデルによる動的変形特性の設定

解析に用いる埋戻土の動的変形特性（動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性）は、図 1-6 に示すとおり試験結果を修正 GHE モデルで適切に設定している。

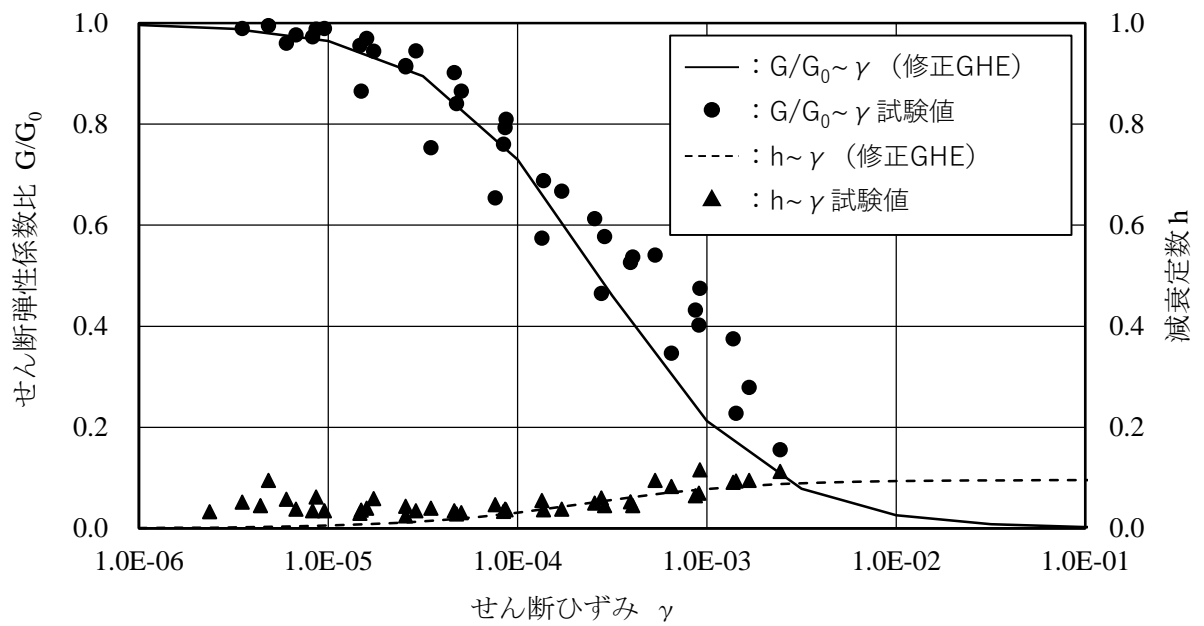


図 1-6 埋戻土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性
(修正 GHE モデル)

2. 大ひずみ領域における埋戻土の動的変形特性の妥当性

埋戻土の動的変形試験結果に基づき設定した動的変形特性においては、図 2-1 に示すとおり、せん断ひずみ約 2.4×10^{-3} までデータを取得できているものの、それを越えるひずみ領域では試験結果が得られていない。

本章では、繰返し三軸試験を追加実施し、大ひずみ領域における埋戻土の動的変形特性の妥当性を確認する。

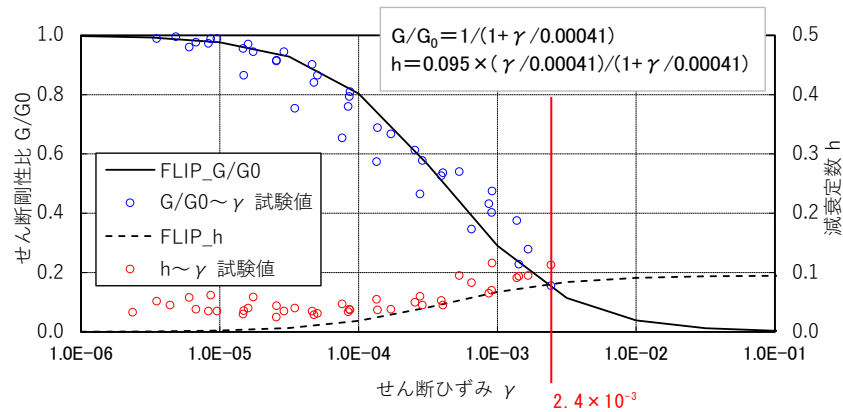


図 2-1 埋戻土・盛土の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存特性

2.1 追加実施した繰返し三軸試験の概要

(1) 試験方法

埋戻土の動的変形特性の確認に当たっては、地盤工学会（JGS）の試験基準に基づき、表 2-1 の項目について実施する。

表 2-1 埋戻土の試験項目

項目	規格・基準名称	試験規格
G/G0～ γ 関係	土の変形特性を求めるための繰返し	JGS 0542
h～ γ 関係	三軸試験方法	

(2) 試料採取位置

埋戻土の試料採取位置について、図 2-2 に示す。

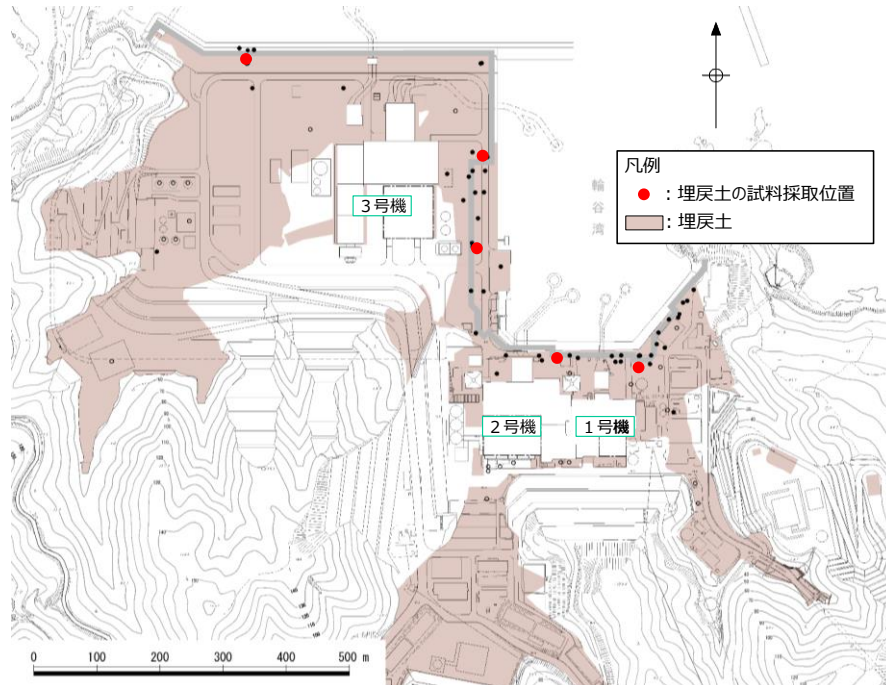


図 2-2 埋戻土の試料採取位置

2.2 追加実施した繰返し三軸試験の結果

1.1 で示した H-D モデルで設定した動的変形特性と追加実施した動的変形試験の結果の比較を図 2-2 に示す。また、埋戻土の繰返し三軸試験後の供試体写真を図 2-3 に示す。

追加実施した繰返し三軸試験においてせん断ひずみ約 1.0×10^{-2} までデータを取得できており、大ひずみ領域においても、埋戻土の動的変形特性は、追加実施した繰返し三軸試験結果と比較して保守的な設定であることを確認した。また、図 2-3 に示す繰返し三軸試験後の供試体写真より、供試体は破壊していないことから試験結果は妥当であると判断した。

よって、大ひずみ領域においても埋戻土の動的変形特性は妥当であると判断した。

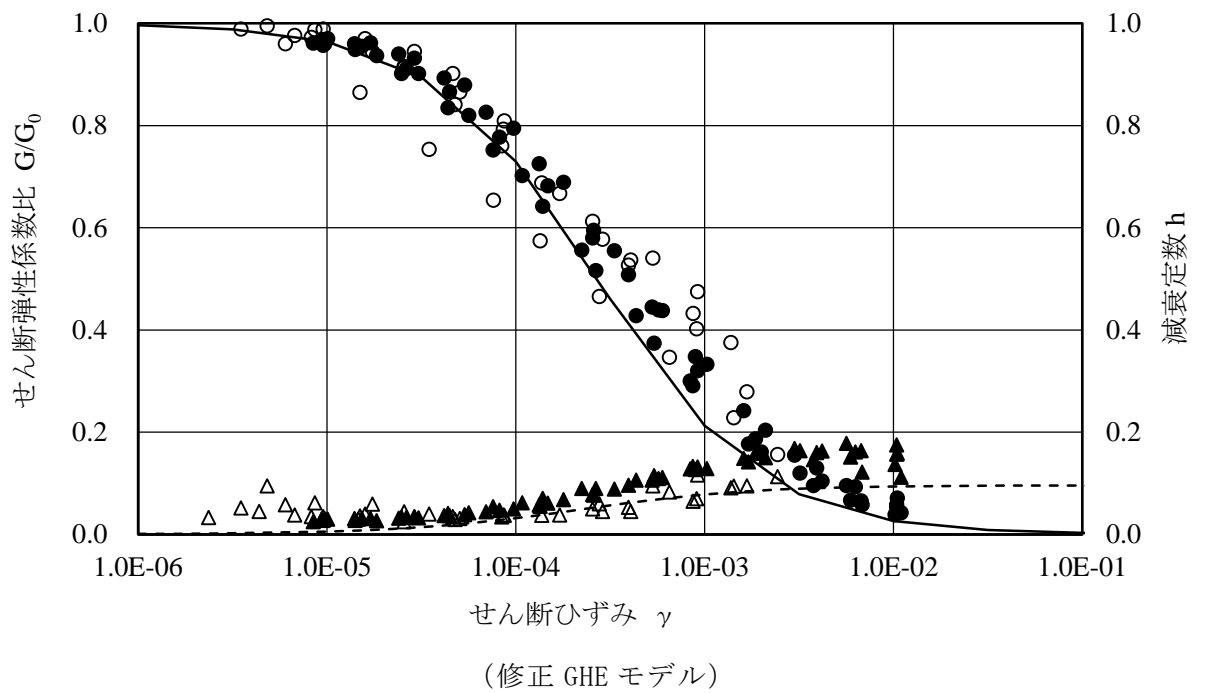
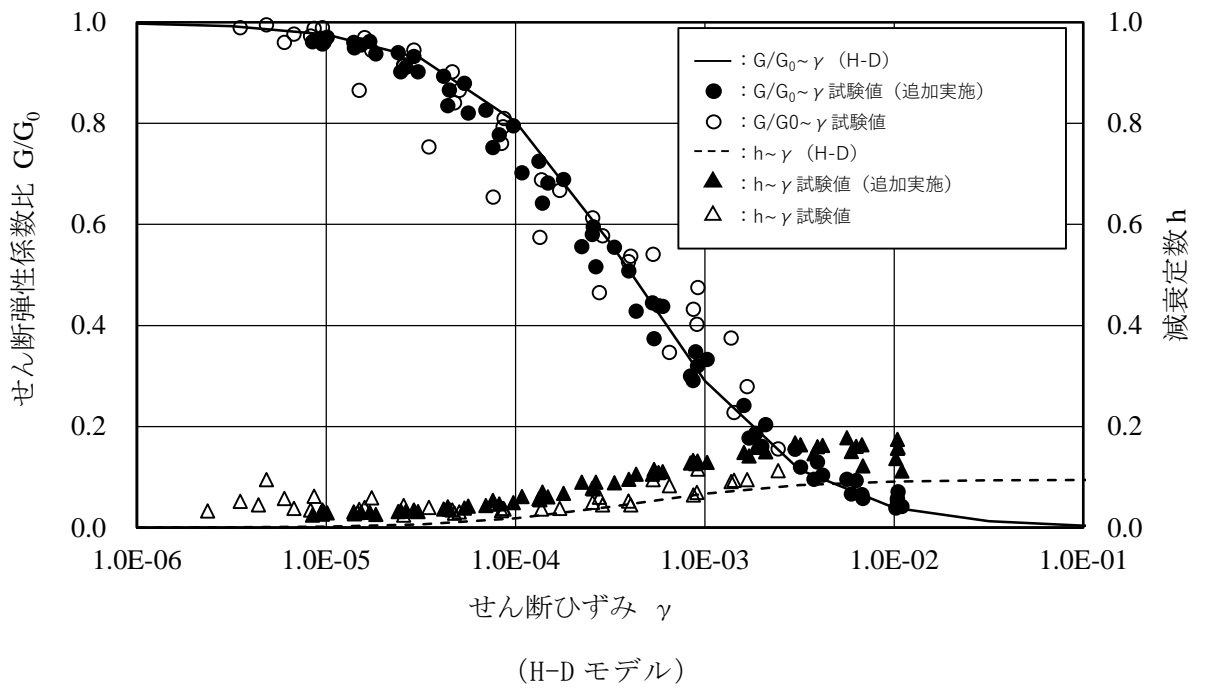


図 2-2 追加実施した繰返し三軸試験の結果



図 2-3 埋戻土における繰返し三軸試験後の供試体写真

1. 概要

島根原子力発電所における埋戻土及び砂礫層について、液状化強度試験結果より繰返し軟化（サイクリックモビリティ含む）又は非液状化であることを確認した。液状化強度試験実施箇所が多い埋戻土について、液状化強度試験結果が基準地震動 S_s 相当の地盤状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることを確認する。

2. 累積損傷度理論による等価繰返し回数の評価方法について

累積損傷度理論に基づく評価フローを図 2-1、累積損傷度理論による等価繰返し回数の評価方法を図 2-2 に示す。

液状化試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることについて、地震応答解析によって確認する。

図 2-3 に基準地震動 S_s の加速度時刻歴波形（水平方向）を示す。

敷地ごとに震源を特定して策定する地震動による基準地震動（ $S_s - D$, $S_s - F1$, $S_s - F2$ ）においては、繰返し応力及び繰返し回数に着目し、水平最大加速度が大きく、継続時間が長い地震動が液状化評価において最も厳しいと考えられることから、 $S_s - D$ を選定する。よって、累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価において、 $S_s - D$, $S_s - N1$, $S_s - N2 (NS)$, $S_s - N2 (EW)$ を選定する。

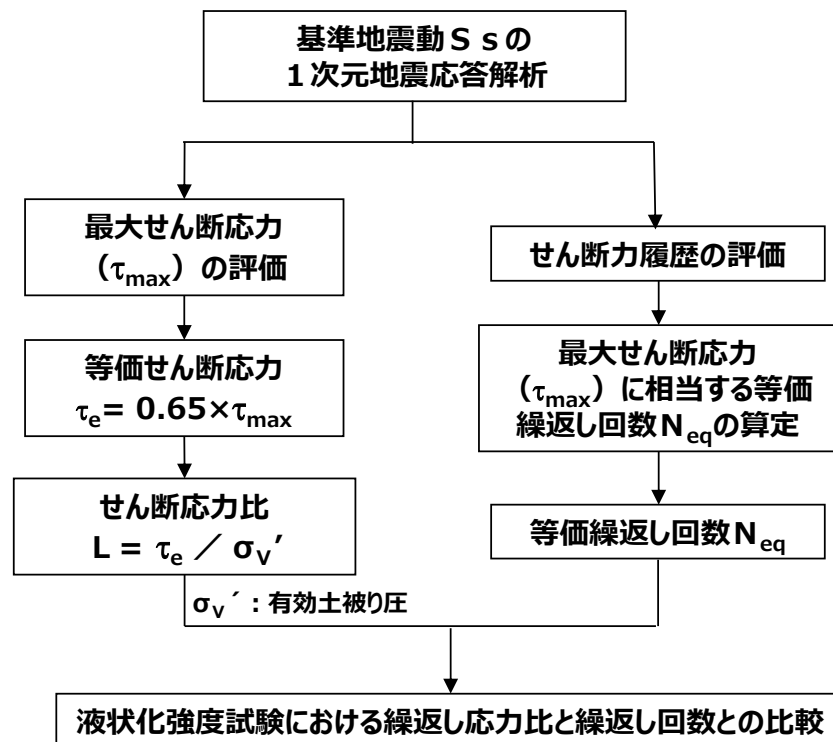
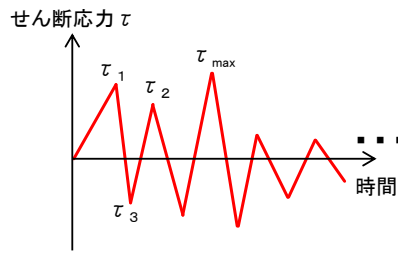
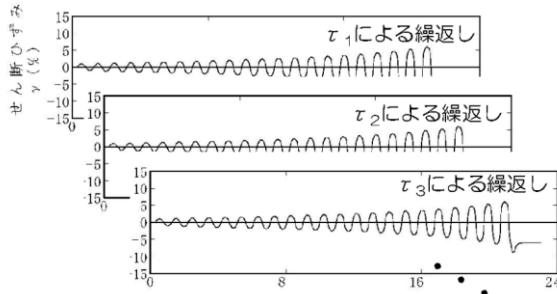


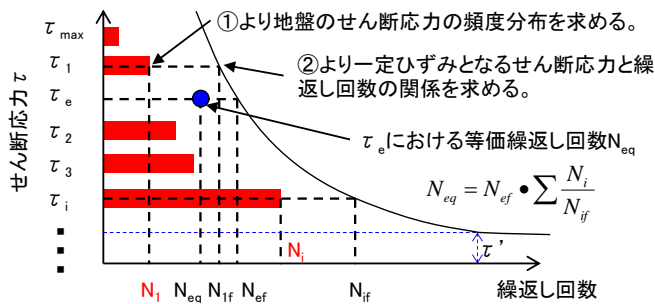
図 2-1 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価フロー
(参考) 18-1



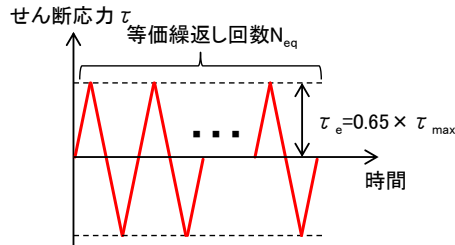
①対象地盤の地震応答解析におけるせん断応力履歴



②試験による一定せん断応力振幅時の繰返し回数とせん断ひずみ



③累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法



④対象地盤の地震応答解析と等価な一定せん断応力比と等価繰返し回数

図 2-2 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法

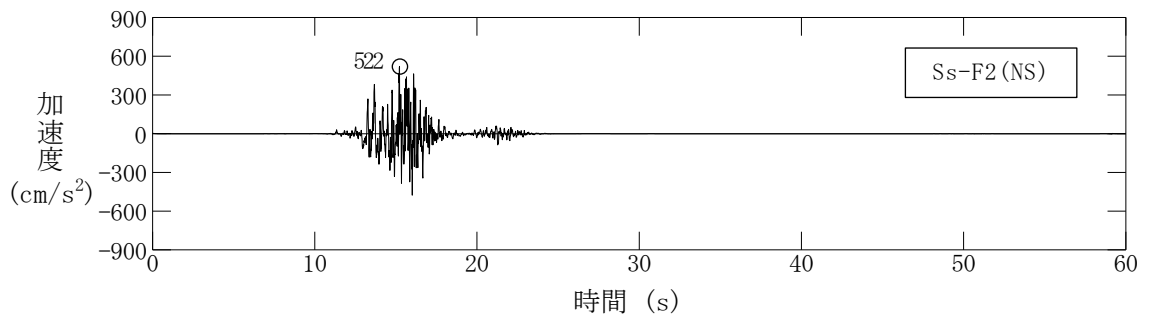
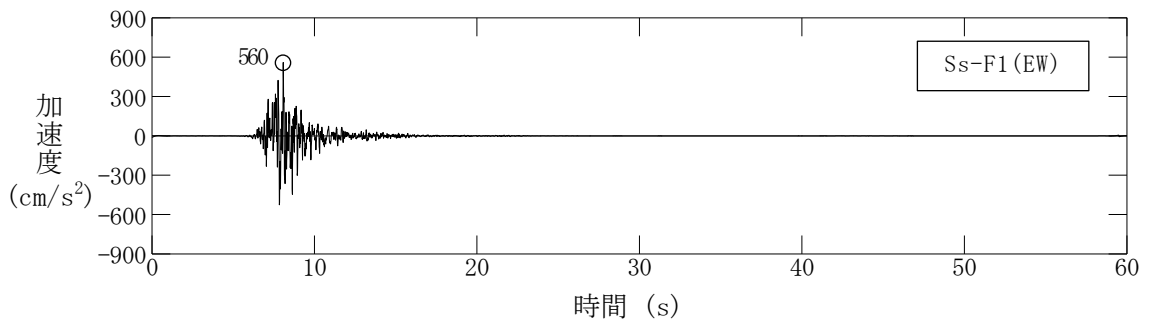
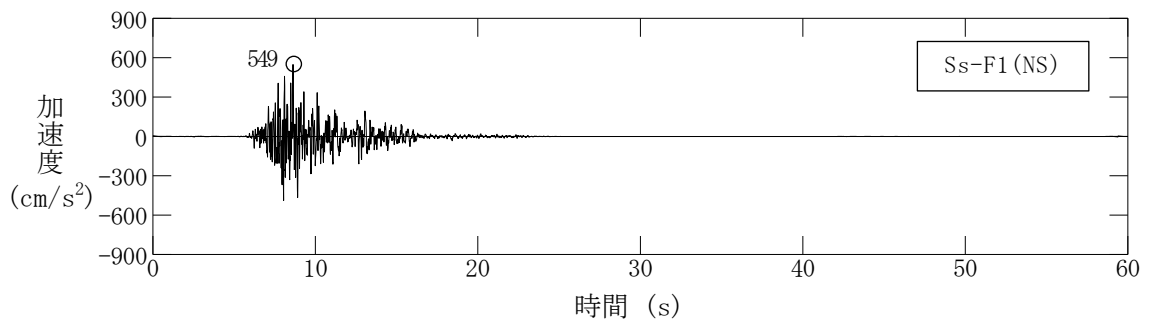
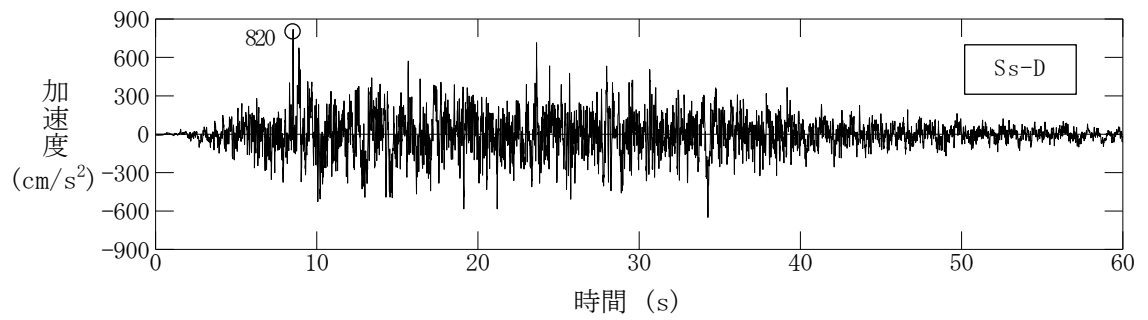


図 2-3 基準地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）
 (S s - D, S s - F 1 (N S), S s - F 1 (E W), S s - F 2 (N S))

(参考) 18-3

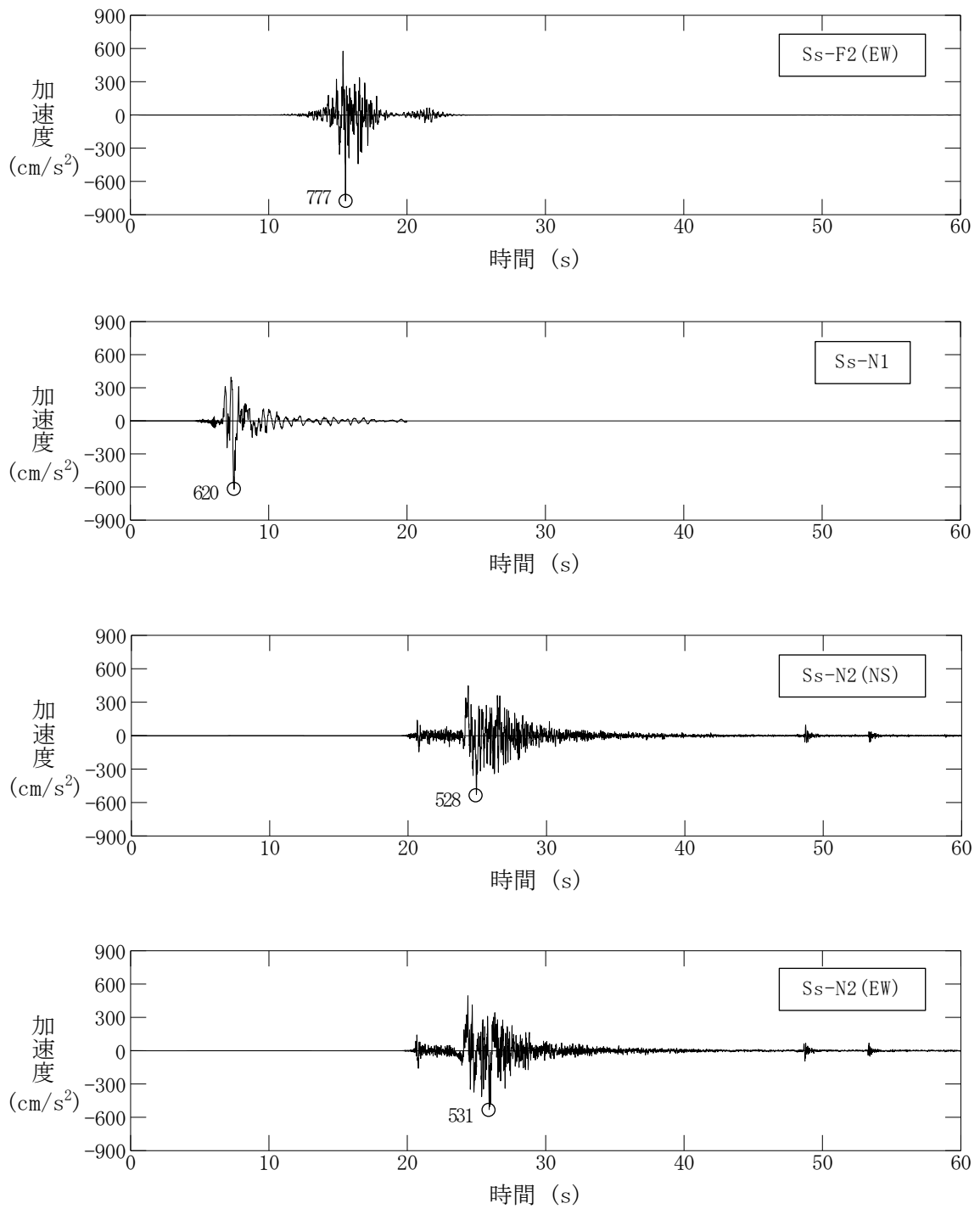


図 2-4 基準地震動の加速度時刻歴波形（水平方向）
 (S s - F 2 (E W) , S s - N 1 , S s - N 2 (N S) , S s - N 2 (E W))

(参考) 18-4

一次元地震応答解析結果から累積損傷度理論による等価せん断応力と等価繰返し回数の算出にあたっては、埋立地の液状化対策ハンドブック（改訂版）（財団法人沿岸開発技術研究センター，平成9年）より下式を用いる。図2-5に示す模式図のとおり，最大せん断応力 τ_{max} より等価せん断応力 τ_e 及び等価繰返し回数 N_{eq} を算定する。液状化強度試験の妥当性確認にあたっては，せん断応力比 L と等価繰返し回 N_{eq} の関係を比較する。

$$\tau_i = L_i \times \sigma_v \times \frac{3}{1 + 2K_0}$$

$$\tau_e = 0.65 \times \tau_{max}$$

$$N_{eq} = N_{ef} \times \sum \frac{N_i}{N_{if}}$$

$$L = \frac{\tau_e}{\sigma_v}$$

ここで， L ：せん断応力比

σ_v ：有効上載荷重

K_0 ：静止土圧係数 (=0.5)

τ_e ：等価せん断応力

τ_{max} ：最大せん断応力

N_{eq} ： τ_e における等価繰返し回数

N_i ：せん断応力を大きいほうから並べた i 番目の τ_i における繰返し回数

N_{if} ： τ_i の液状化強度曲線に対応する繰返し回数

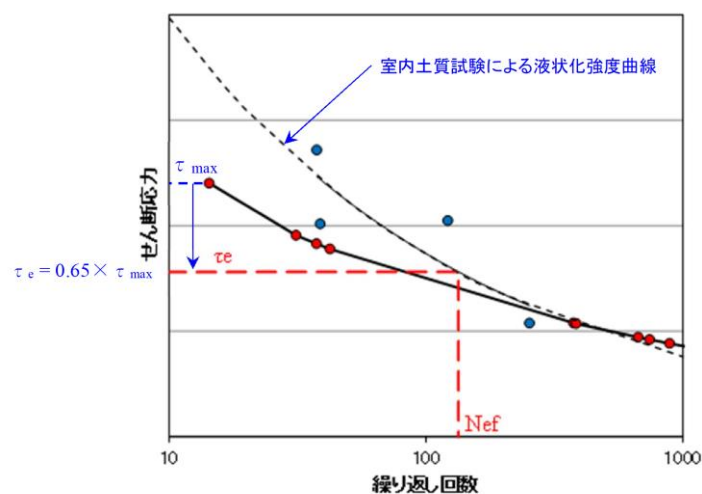


図2-5 累積損傷度理論による等価せん断応力と等価繰返し回数の算出の模式図

(参考) 18-5

3. 一次元地震応答解析実施位置

埋戻土に対する液状化強度試験は、埋戻土が3号機西側から1,2号機東側までの全域に分布していることから、網羅性を確保するため、広い範囲において実施した。基準地震動 S_s の一次元地震応答解析を実施する位置について、敷地の広範囲にわたって設置されている防波壁に着目し、防波壁縦断方向において埋戻土が厚くなる地点を選定することとした。

液状化強度試験試料採取位置及び一次元実施応答解析を実施する比較地点を図3-1に、各地点の解析用物性値及び解析モデルを図3-2に示す。

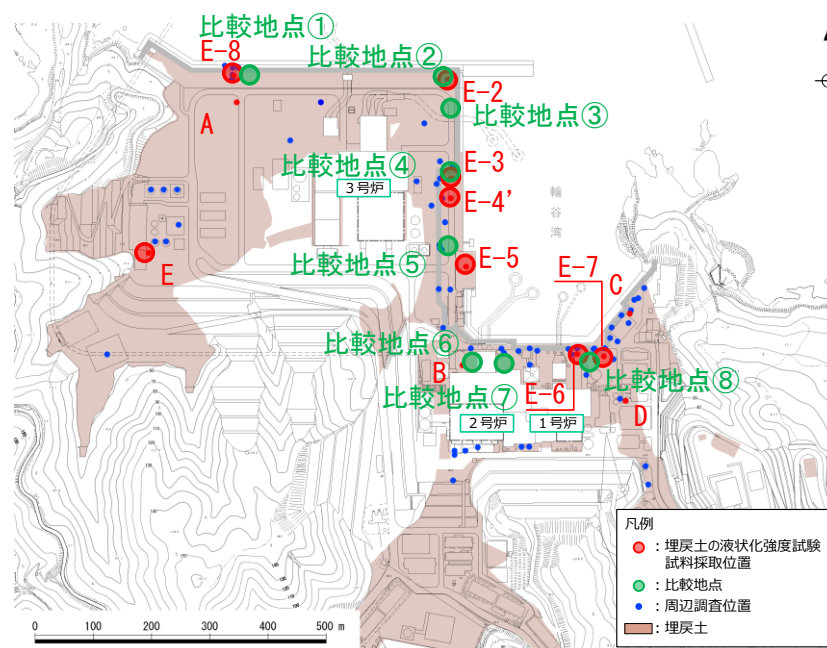
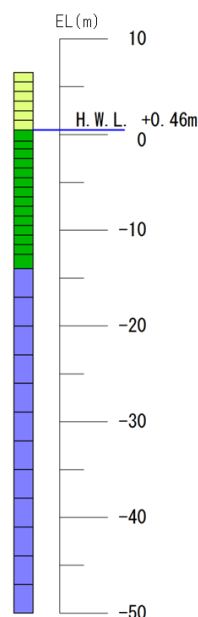


図3-1 液状化強度試験試料採取位置

地盤物性値

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

注記* : 埋戻土 $G_0=749\sigma_v^{0.66}(\text{N/mm}^2)$

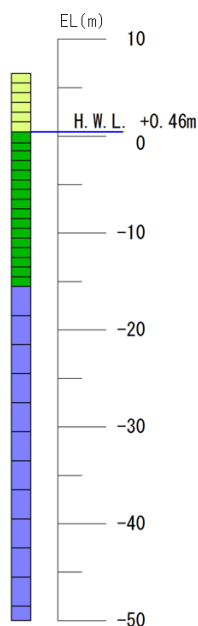
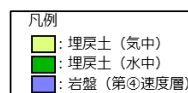


(a) 基本物性 (比較地点①)

地盤物性値

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

注記* : 埋戻土 $G_0=749\sigma_v^{0.66}(\text{N/mm}^2)$

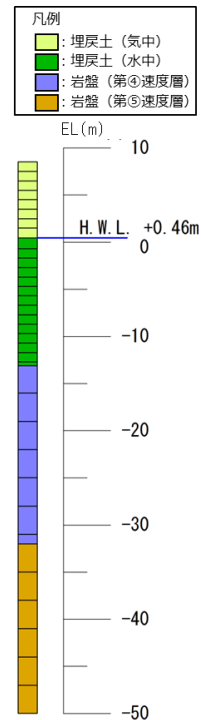


(b) 基本物性 (比較地点②)

図 3-2 解析用物性値及び解析モデル(1)

地盤物性値

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

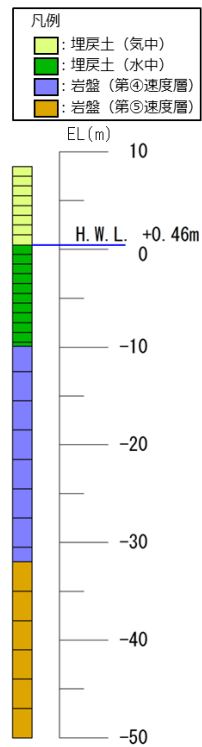


注記*: 埋戻土 $G_0=749\sigma_v^{0.66}$ (N/mm²)

(c) 基本物性 (比較地点③)

地盤物性値

土層	標高 (EL. m)	深度 (G.L. -m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0^* (kN/m ²)
				飽和、湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)		
埋戻土(気中)	8.500 ~ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500 ~ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500 ~ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500 ~ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500 ~ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500 ~ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500 ~ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
1.500 ~ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700	
埋戻土(水中)	0.460 ~ -0.500	9.000	162.672	20.7	10.6	—	225900
	-0.500 ~ -1.500	10.000	173.060	20.7	10.6	—	235300
	-1.500 ~ -2.500	11.000	183.660	20.7	10.6	—	244800
	-2.500 ~ -3.500	12.000	194.260	20.7	10.6	—	254000
	-3.500 ~ -4.500	13.000	204.860	20.7	10.6	—	263100
	-4.500 ~ -5.500	14.000	215.460	20.7	10.6	—	272000
	-5.500 ~ -6.500	15.000	226.060	20.7	10.6	—	280700
	-6.500 ~ -7.500	16.000	236.660	20.7	10.6	—	289300
	-7.500 ~ -8.500	17.000	247.260	20.7	10.6	—	297800
	-8.500 ~ -9.500	18.000	257.860	20.7	10.6	—	306200
	-9.500 ~ -9.892	18.392	265.238	20.7	10.6	—	311900
岩盤 (第④速度層)	-9.892 ~ -12.500	21.000	286.093	24.5	14.4	1520	—
	-12.500 ~ -15.500	24.000	326.470	24.5	14.4	1520	—
	-15.500 ~ -18.500	27.000	369.670	24.5	14.4	1520	—
	-18.500 ~ -21.500	30.000	412.870	24.5	14.4	1520	—
	-21.500 ~ -24.500	33.000	456.070	24.5	14.4	1520	—
	-24.500 ~ -27.500	36.000	499.270	24.5	14.4	1520	—
岩盤 (第⑤速度層)	-27.500 ~ -30.500	39.000	542.470	24.5	14.4	1520	—
	-30.500 ~ -32.000	40.500	574.870	24.5	14.4	1520	—
	-32.000 ~ -35.000	43.500	608.320	25.2	15.1	1900	—
	-35.000 ~ -38.000	46.500	653.620	25.2	15.1	1900	—
	-38.000 ~ -41.000	49.500	698.920	25.2	15.1	1900	—
	-41.000 ~ -44.000	52.500	744.220	25.2	15.1	1900	—
	-44.000 ~ -47.000	55.500	789.520	25.2	15.1	1900	—
-47.000 ~ -50.000	58.500	834.820	25.2	15.1	1900	—	



注記*: 埋戻土 $G_0=749\sigma_v^{0.66}$ (N/mm²)

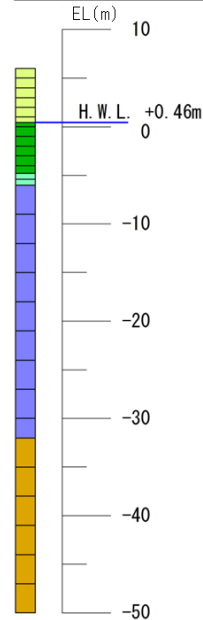
(d) 基本物性 (比較地点④)

図 3-2 解析用物性値及び解析モデル(2)

地盤物性値

土層	標高 (EL.m)	深度 (G.L.-m)	有効上載荷重 σ_v (kN/m ²)	単位体積重量		せん断波速度 V_s (m/s)	初期せん断弾性係数 G_0^* (kN/m ²)
				飽和, 湿潤 γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	水中 γ' (kN/m ³)		
埋戻土(気中)	6.000 ~ 5.000	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	5.000 ~ 4.000	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	4.000 ~ 3.000	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	3.000 ~ 2.000	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	2.000 ~ 1.000	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	1.000 ~ 0.460	5.540	103.292	19.6	—	—	167400
埋戻土(水中)	0.460 ~ 0.000	6.000	111.022	20.7	10.6	—	175600
	0.000 ~ -1.000	7.000	118.760	20.7	10.6	—	183600
	-1.000 ~ -2.000	8.000	129.360	20.7	10.6	—	194200
	-2.000 ~ -3.000	9.000	139.960	20.7	10.6	—	204600
	-3.000 ~ -4.000	10.000	150.560	20.7	10.6	—	214700
	-4.000 ~ -4.804	10.804	160.121	20.7	10.6	—	223600
岩盤 (第②速度層)	-4.804 ~ -5.400	11.400	168.316	23.3	13.2	620	—
	-5.400 ~ -6.000	12.000	176.210	23.3	13.2	620	—
岩盤 (第④速度層)	-6.000 ~ -9.000	15.000	201.770	24.5	14.4	1520	—
	-9.000 ~ -12.000	18.000	244.970	24.5	14.4	1520	—
	-12.000 ~ -15.000	21.000	288.170	24.5	14.4	1520	—
	-15.000 ~ -18.000	24.000	331.370	24.5	14.4	1520	—
	-18.000 ~ -21.000	27.000	374.570	24.5	14.4	1520	—
	-21.000 ~ -24.000	30.000	417.770	24.5	14.4	1520	—
	-24.000 ~ -27.000	33.000	460.970	24.5	14.4	1520	—
	-27.000 ~ -30.000	36.000	504.170	24.5	14.4	1520	—
岩盤 (第⑤速度層)	-30.000 ~ -32.000	38.000	540.170	24.5	14.4	1520	—
	-32.000 ~ -35.000	41.000	577.220	25.2	15.1	1900	—
	-35.000 ~ -38.000	44.000	622.520	25.2	15.1	1900	—
	-38.000 ~ -41.000	47.000	667.820	25.2	15.1	1900	—
	-41.000 ~ -44.000	50.000	713.120	25.2	15.1	1900	—
	-44.000 ~ -47.000	53.000	758.420	25.2	15.1	1900	—
	-47.000 ~ -50.000	56.000	803.720	25.2	15.1	1900	—

注記*: 埋戻土 $G_0=749\sigma_v^{0.66}(N/mm^2)$

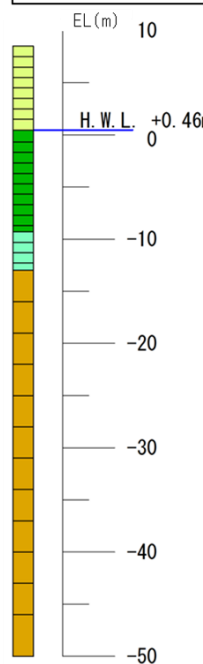


(e) 基本物性 (比較地点⑤)

地盤物性値

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

注記*: 埋戻土 $G_0=749\sigma_v^{0.66}(N/mm^2)$



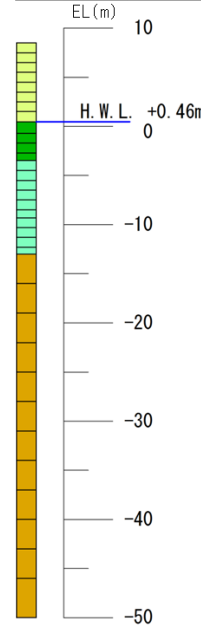
(f) 基本物性 (比較地点⑥)

図 3-2 解析用物性値及び解析モデル(3)

(参考) 18-9

地盤物性値

土層	標高 (EL. m)	深度 (G.L. -m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)
				飽和, 湿潤	水中		
				γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)		
埋戻土(気中)	8.500 ~ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500 ~ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500 ~ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500 ~ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500 ~ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500 ~ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500 ~ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
埋戻土(水中)	1.500 ~ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700
	0.460 ~ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700 ~ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
岩盤 (第②速度層)	-1.700 ~ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
	-2.700 ~ -3.498	11.998	195.309	20.7	10.6	—	254900
	-3.498 ~ -4.500	13.000	206.002	23.0	12.9	900	—
	-4.500 ~ -5.500	14.000	218.915	23.0	12.9	900	—
	-5.500 ~ -6.500	15.000	231.815	23.0	12.9	900	—
	-6.500 ~ -7.500	16.000	244.715	23.0	12.9	900	—
	-7.500 ~ -8.500	17.000	257.615	23.0	12.9	900	—
	-8.500 ~ -9.300	17.800	269.225	23.0	12.9	900	—
	-9.300 ~ -10.300	18.800	280.835	23.0	12.9	900	—
	-10.300 ~ -11.300	19.800	293.735	23.0	12.9	900	—
	-11.300 ~ -12.300	20.800	306.635	23.0	12.9	900	—
岩盤 (第③速度層)	-12.300 ~ -13.000	21.500	317.600	23.0	12.9	900	—
	-13.000 ~ -16.000	24.500	343.715	24.5	14.4	1600	—
	-16.000 ~ -19.000	27.500	386.915	24.5	14.4	1600	—
	-19.000 ~ -22.000	30.500	430.115	24.5	14.4	1600	—
	-22.000 ~ -25.000	33.500	473.315	24.5	14.4	1600	—
	-25.000 ~ -28.000	36.500	516.515	24.5	14.4	1600	—
	-28.000 ~ -31.000	39.500	559.715	24.5	14.4	1600	—
	-31.000 ~ -34.000	42.500	602.915	24.5	14.4	1600	—
	-34.000 ~ -37.000	45.500	646.115	24.5	14.4	1600	—
	-37.000 ~ -40.000	48.500	689.315	24.5	14.4	1600	—
	-40.000 ~ -43.000	51.500	732.515	24.5	14.4	1600	—
-43.000 ~ -46.000	54.500	775.715	24.5	14.4	1600	—	
-46.000 ~ -50.000	58.500	826.115	24.5	14.4	1600	—	

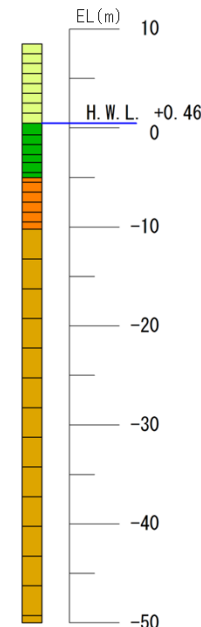


注記*: 埋戻土 $G_0=749\sigma_v^{0.66}$ (N/mm²)

(g) 基本物性 (比較地点⑦)

地盤物性値

土層	標高 (EL. m)	深度 (G.L. -m)	有効上 載荷重 σ_v' (kN/m ²)	単位体積重量		せん断 波速度 V_s (m/s)	初期 せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)
				飽和, 湿潤	水中		
				γ_{sat}, γ_t (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)		
埋戻土(気中)	8.500 ~ 7.500	1.000	9.800	19.6	—	—	35370
	7.500 ~ 6.500	2.000	29.400	19.6	—	—	73050
	6.500 ~ 5.500	3.000	49.000	19.6	—	—	102300
	5.500 ~ 4.500	4.000	68.600	19.6	—	—	127800
	4.500 ~ 3.500	5.000	88.200	19.6	—	—	150800
	3.500 ~ 2.500	6.000	107.800	19.6	—	—	172200
	2.500 ~ 1.500	7.000	127.400	19.6	—	—	192300
埋戻土(水中)	1.500 ~ 0.460	8.040	147.392	19.6	—	—	211700
	0.460 ~ -0.700	9.200	163.732	20.7	10.6	—	226900
	-0.700 ~ -1.700	10.200	175.180	20.7	10.6	—	237200
砂礫層(水中)	-1.700 ~ -2.700	11.200	185.780	20.7	10.6	—	246600
	-2.700 ~ -3.500	12.000	195.320	20.7	10.6	—	254900
	-3.500 ~ -4.500	13.000	204.860	20.7	10.6	—	263100
	-4.500 ~ -5.012	13.512	212.874	20.7	10.6	—	269800
	-5.012 ~ -5.500	14.000	218.174	20.7	10.6	—	278200
岩盤 (第③速度層)	-5.500 ~ -6.500	15.000	226.060	20.7	10.6	—	288900
	-6.500 ~ -7.500	16.000	236.660	20.7	10.6	—	299400
	-7.500 ~ -8.500	17.000	247.260	20.7	10.6	—	310000
	-8.500 ~ -9.500	18.000	257.860	20.7	10.6	—	320800
	-9.500 ~ -10.249	18.749	267.130	20.7	10.6	—	331000
	-10.249 ~ -13.249	21.749	292.699	24.5	14.4	1600	—
	-13.249 ~ -16.249	24.749	335.899	24.5	14.4	1600	—
岩盤 (第③速度層)	-16.249 ~ -19.249	27.749	379.099	24.5	14.4	1600	—
	-19.249 ~ -22.249	30.749	422.299	24.5	14.4	1600	—
	-22.249 ~ -25.249	33.749	465.499	24.5	14.4	1600	—
	-25.249 ~ -28.249	36.749	508.699	24.5	14.4	1600	—
	-28.249 ~ -31.249	39.749	551.899	24.5	14.4	1600	—
	-31.249 ~ -34.249	42.749	595.099	24.5	14.4	1600	—
	-34.249 ~ -37.249	45.749	638.299	24.5	14.4	1600	—
	-37.249 ~ -40.249	48.749	681.499	24.5	14.4	1600	—
	-40.249 ~ -43.249	51.749	724.699	24.5	14.4	1600	—
	-43.249 ~ -46.249	54.749	767.899	24.5	14.4	1600	—
	-46.249 ~ -49.249	57.749	811.099	24.5	14.4	1600	—
-49.249 ~ -50.000	58.500	838.107	24.5	14.4	1600	—	



注記*: 埋戻土 $G_0=749\sigma_v^{0.66}$ (N/mm²), 砂礫層 $G_0=240\sigma_v^{0.61}$ (N/mm²)

(h) 基本物性 (比較地点⑧)

図 3-2 解析用物性値及び解析モデル(4)
(参考) 18-10

4. 累積損傷度理論による等価繰返し回数算出結果

累積損傷度理論による等価繰返し回数算出結果を表 4-1 及び図 4-1 に示す。

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

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

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

表 4-1 地震応答解析における最大せん断応力と等価繰返し回数

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

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

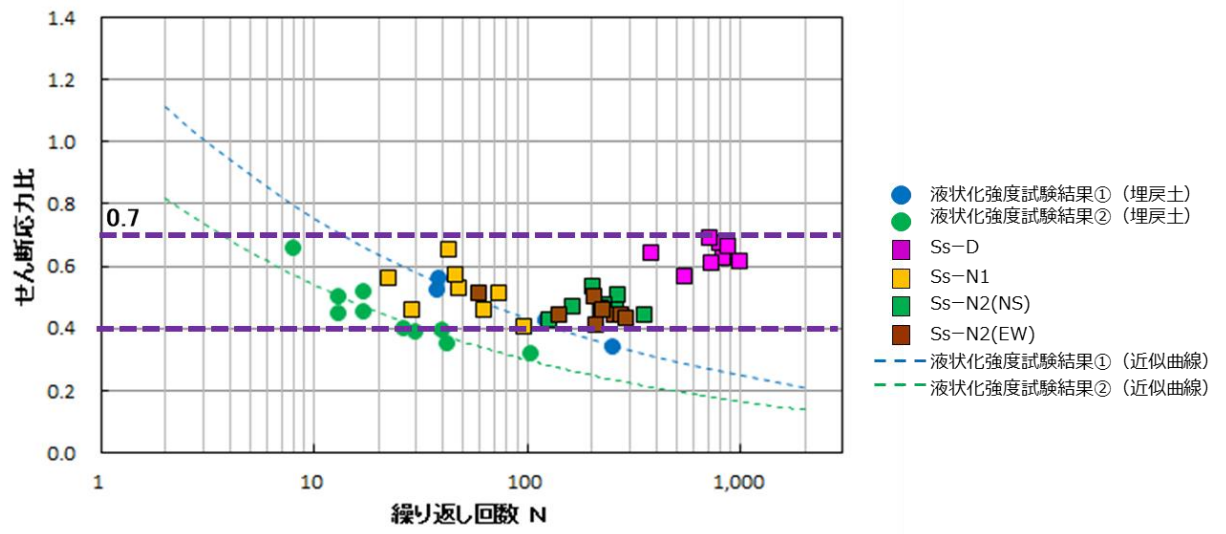


図 4-1 累積損傷度理論に基づく評価結果