

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-補-023-01 改11
提出年月日	2023年2月9日

地盤の支持性能について

2023年2月

中国電力株式会社

目次

1. 概要
 2. 基本方針
 3. 対象施設周辺の地質等
 - 3.1 対象施設周辺の地質
 - 3.2 対象施設周辺の地質状況整理結果
 - 3.3 敷地の地下水位分布及び耐震評価における地下水位設定方針
 - 3.3.1 敷地の地下水位分布
 - 3.3.2 耐震評価における設計地下水位設定方針
 4. 地盤の解析用物性値
 - 4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値
 - 4.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値
 - 4.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値
 - 4.2.2 改良地盤に用いる解析用物性値
 - 4.2.3 その他の解析用物性値
 - 4.2.4 地盤の物性のばらつきについて
 5. 極限支持力
 - 5.1 基礎地盤（岩盤）の極限支持力度
 - 5.2 直接基礎の支持力算定式
 - 5.3 杭基礎の支持力算定式
 6. 地盤の速度構造
 - 6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル
 - 6.2 地震応答解析に用いる解析モデル
-
- 参考資料 1 浸透流解析に用いた解析コード「Dtransu-3D・EL」の適用性について
- 参考資料 2-1 浸透流解析に用いる透水係数について
- 参考資料 2-2 浸透流解析に用いる有効間隙率について
- 参考資料 3 地下水位低下設備（既設）について
- 参考資料 4 非定常解析の降雨に対する感度向上についての取り組み
- 参考資料 5 地下水位観測記録について
- 参考資料 6 予測解析における降雨条件について
- 参考資料 7 地下水位低下設備（新設）について
- 参考資料 8-1 1号機建物・構築物の地下水位について
- 参考資料 8-2 土木構造物の設計地下水位の設定方法
- 参考資料 9 砂礫層の解析用物性値について

- 参考資料 10 埋戻土（粘性土）の解析用物性値について
- 参考資料 11 基礎捨石及び被覆石の解析用物性値について
- 参考資料 12 液状化強度試験の詳細について
- 参考資料 13 改良地盤における補足
- 参考資料 14 碎石の解析用物性値について
- 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
- 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
- 参考資料 17 埋戻土の骨格曲線について
- 参考資料 18 基準地震動 S_s に対する液状化強度試験の妥当性確認
- 参考資料 19 輪谷湾における海底堆積物の分布状況及び解析用物性値について

今回提出範囲：

(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
 - 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
 - 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

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。

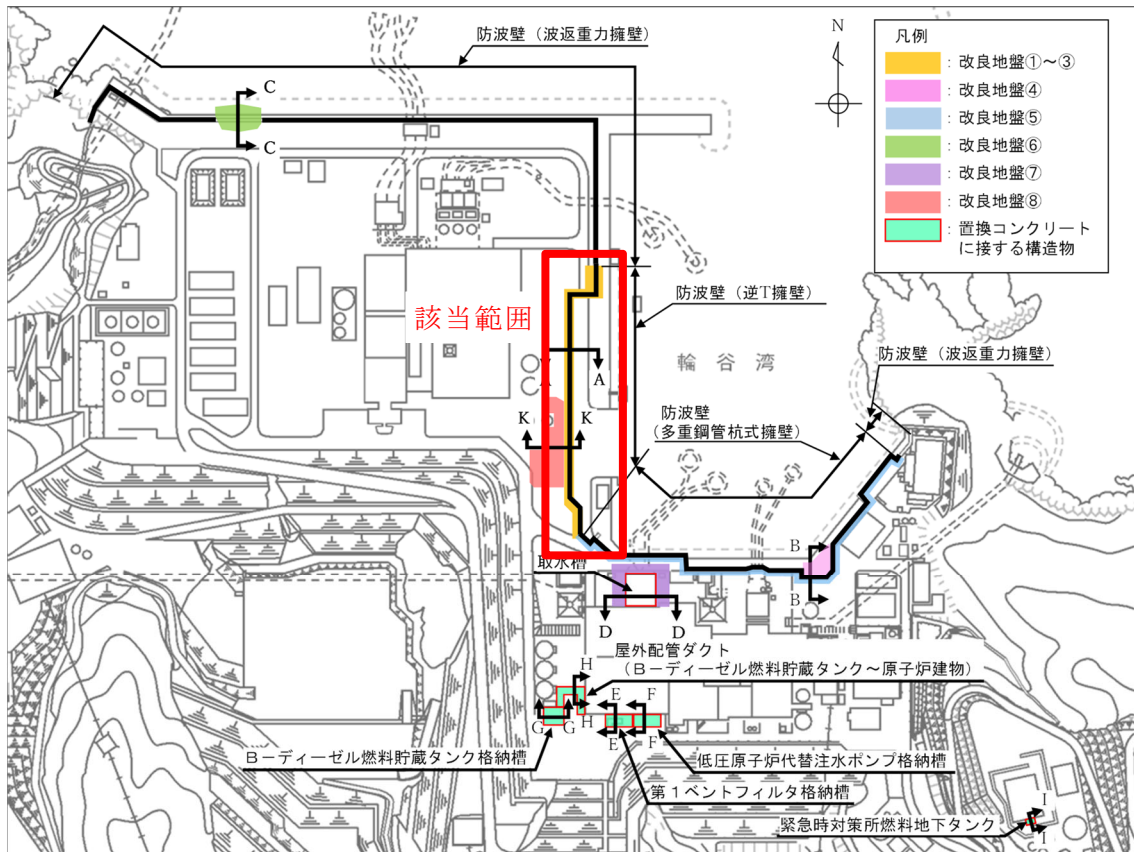


図 4.5-1 改良地盤①～③の平面配置図

(単位：m)

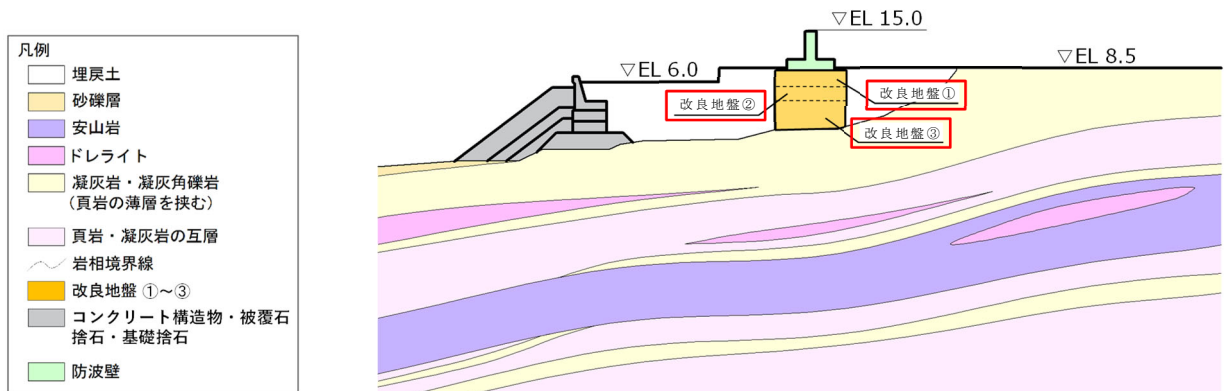


図 4.5-2 改良地盤①～③の配置図

(防波壁（逆T擁壁），A-A断面)

(参考) 13-66

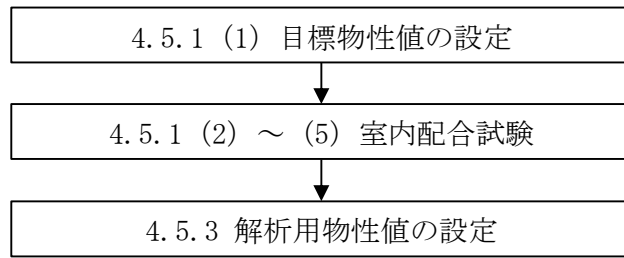


図 4.5-3 改良地盤①～③の解析用物性値設定のフロー

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		動の変形特性		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。

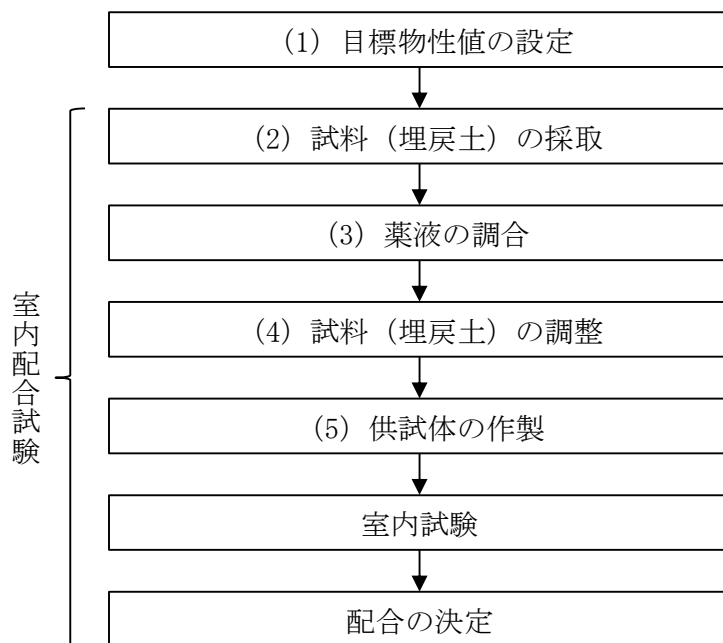


図4.5.1-1 室内配合試験におけるフロー

(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。

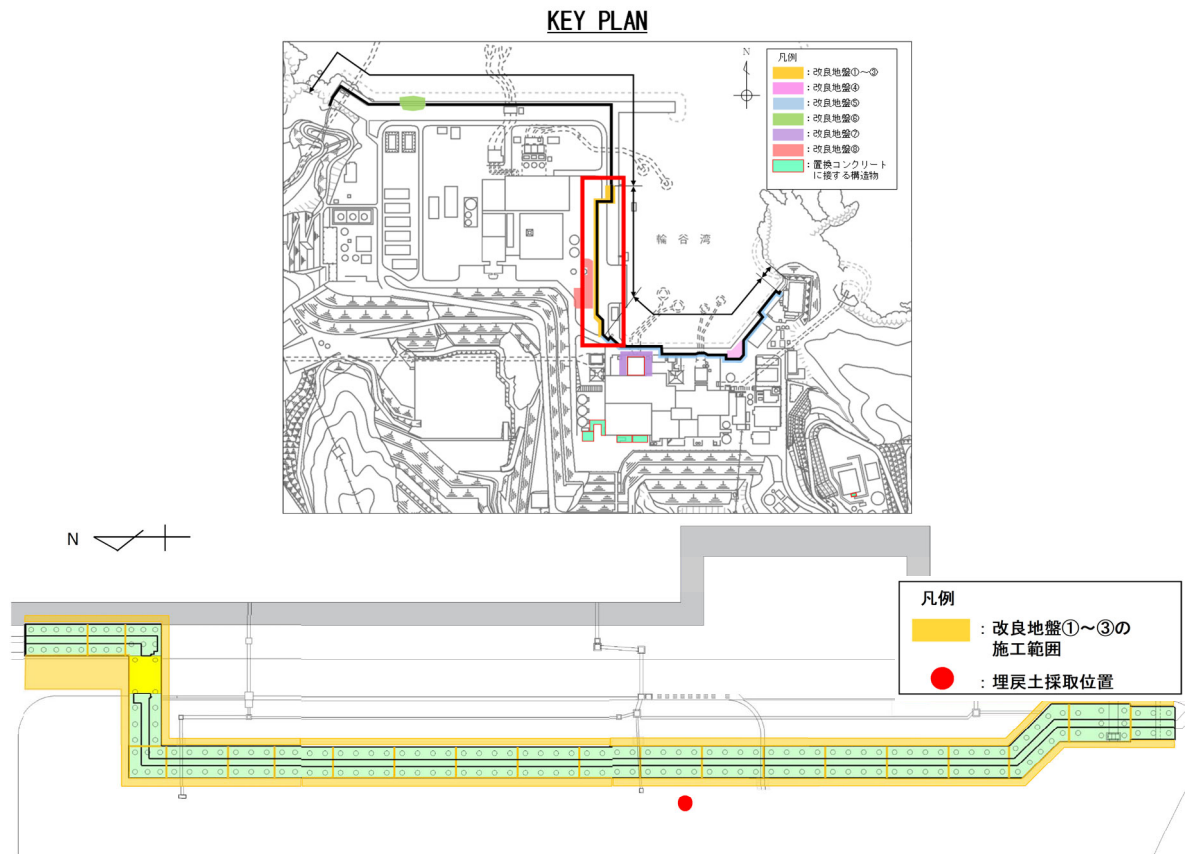
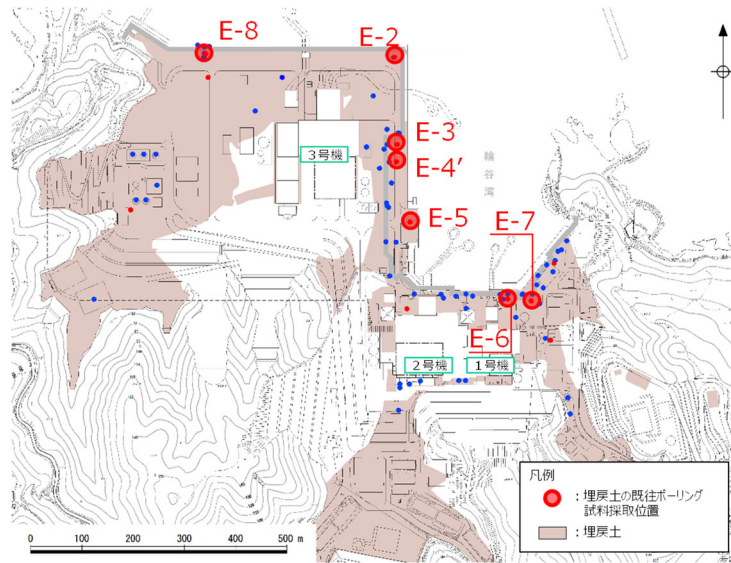


図 4.5.1-2 防波壁（逆 T 擁壁）の改良地盤①～③における埋戻土採取位置



埋戻土の既往ボーリング試料採取位置

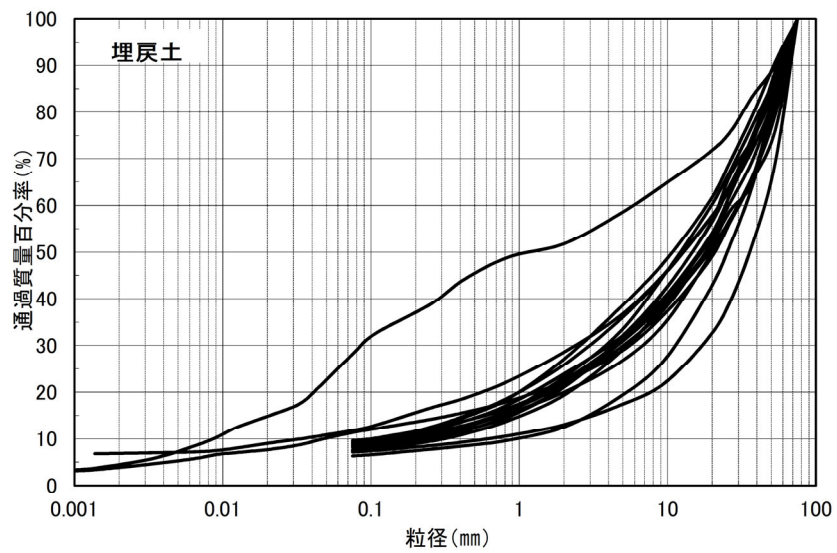


図 4.5.1-3 既往ボーリング試料における埋戻土の粒径加積曲線

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。

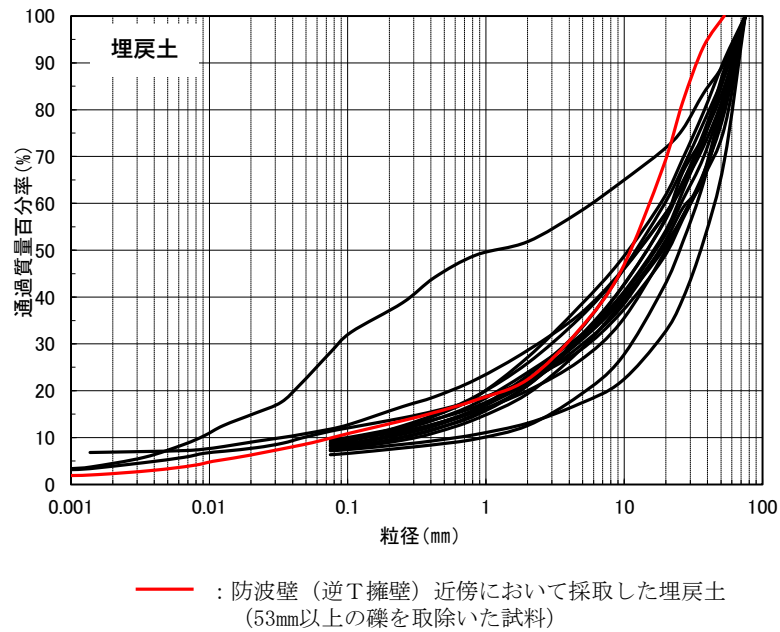


図 4.5.1-4 防波壁（逆T擁壁）近傍の埋戻土採取位置における粒径加積曲線

(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（mm³）

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 σ_v' は図 4.5.2-1 のとおりとする。

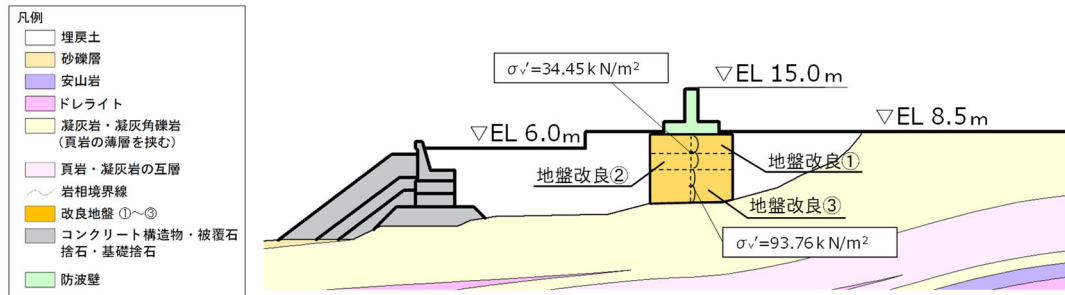


図 4.5.2-1 改良地盤①～③における G_{ma} の算定に用いる σ_v'

改良地盤①～③の S 波速度については、J G S 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（J G S 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 -1987（（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 4.5.3-2 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	

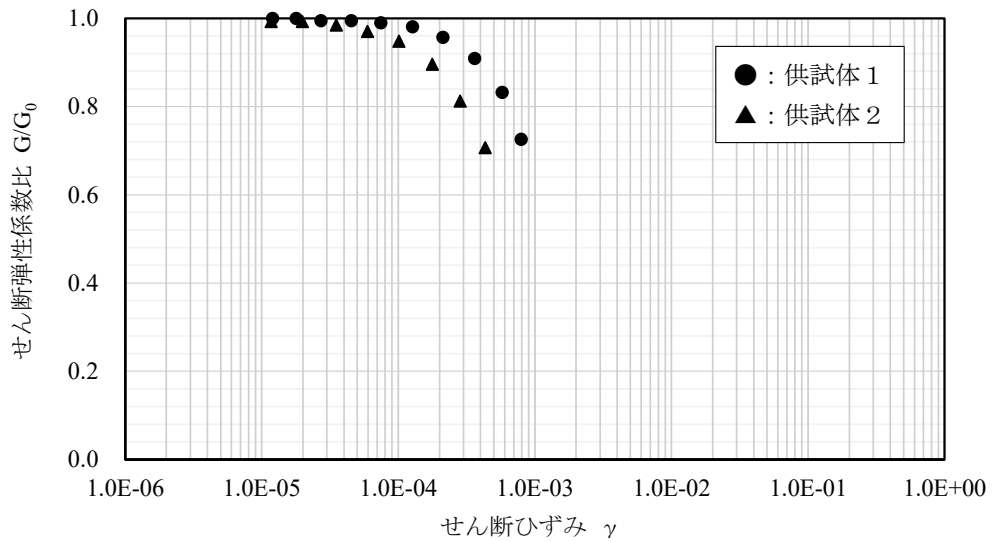


図 4.5.3-1 改良地盤①～③における G/G_0 のひずみ依存特性

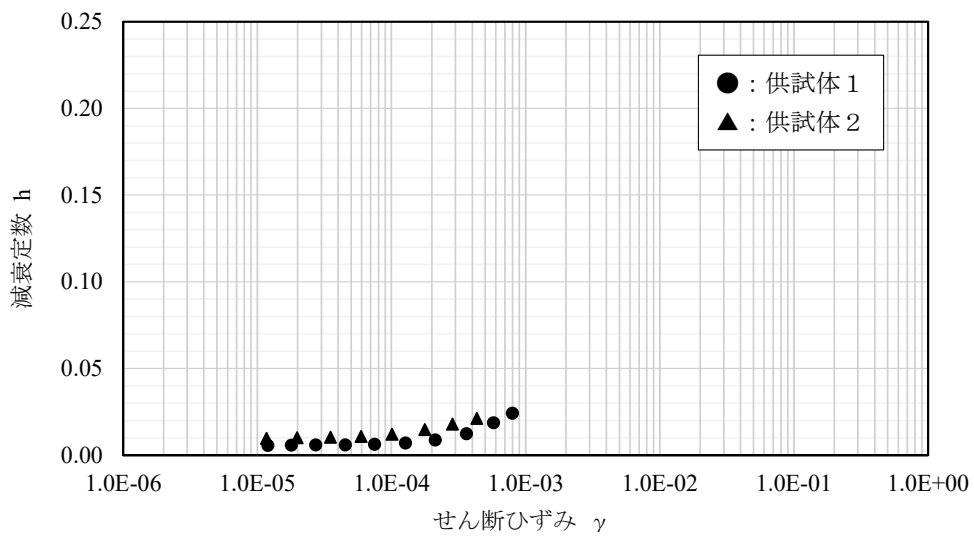


図 4.5.3-2 改良地盤①～③における減衰定数のひずみ依存特性

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。

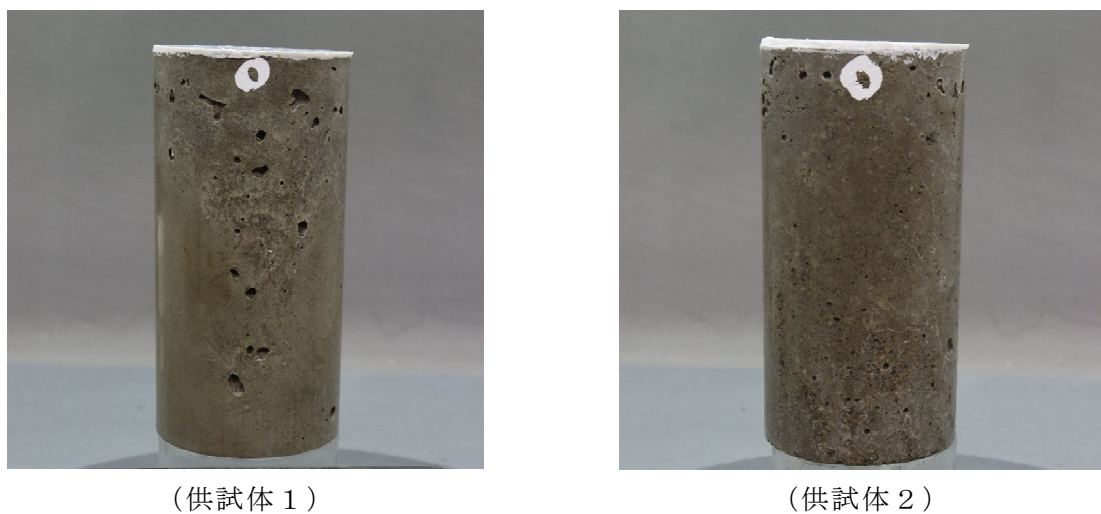


図 4.5.3-3 繰返し三軸試験後の供試体写真(改良地盤①~③)

a) 繰返し载荷過程の前に軸差応力を加える方法(载荷方法 1)

全ての繰返し载荷段階において、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载荷を行う方法である。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。

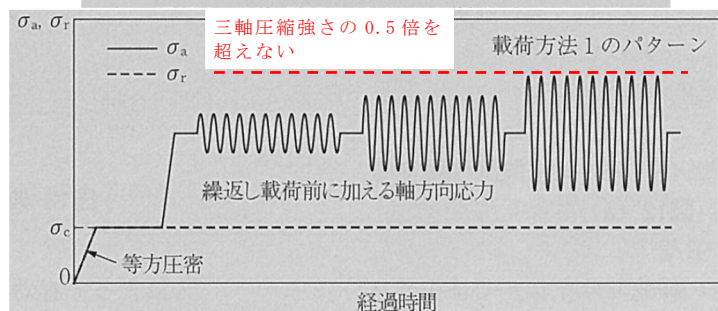
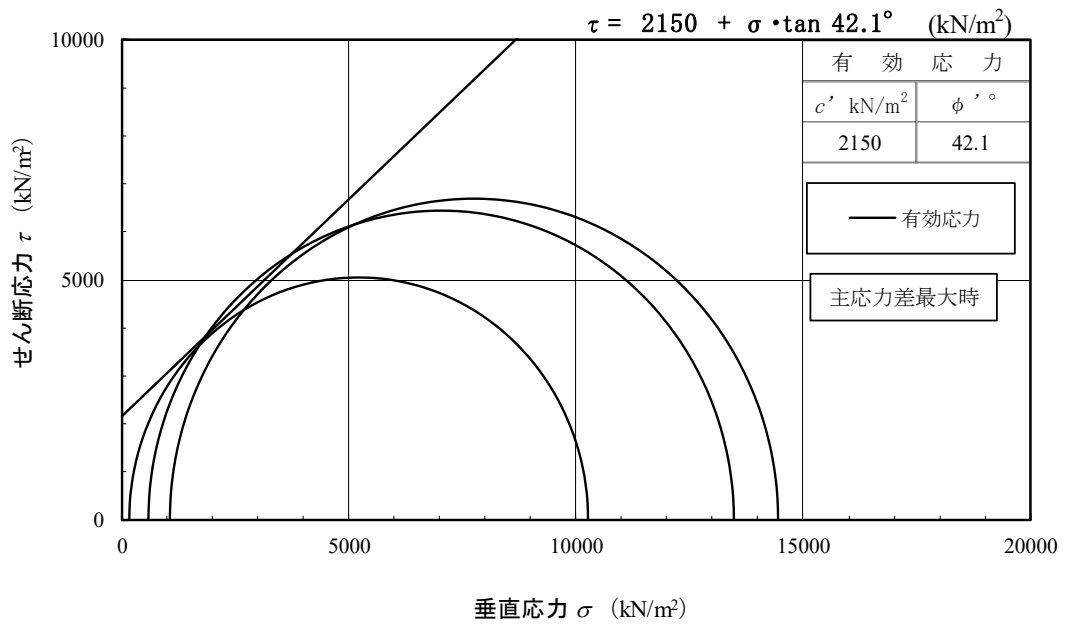
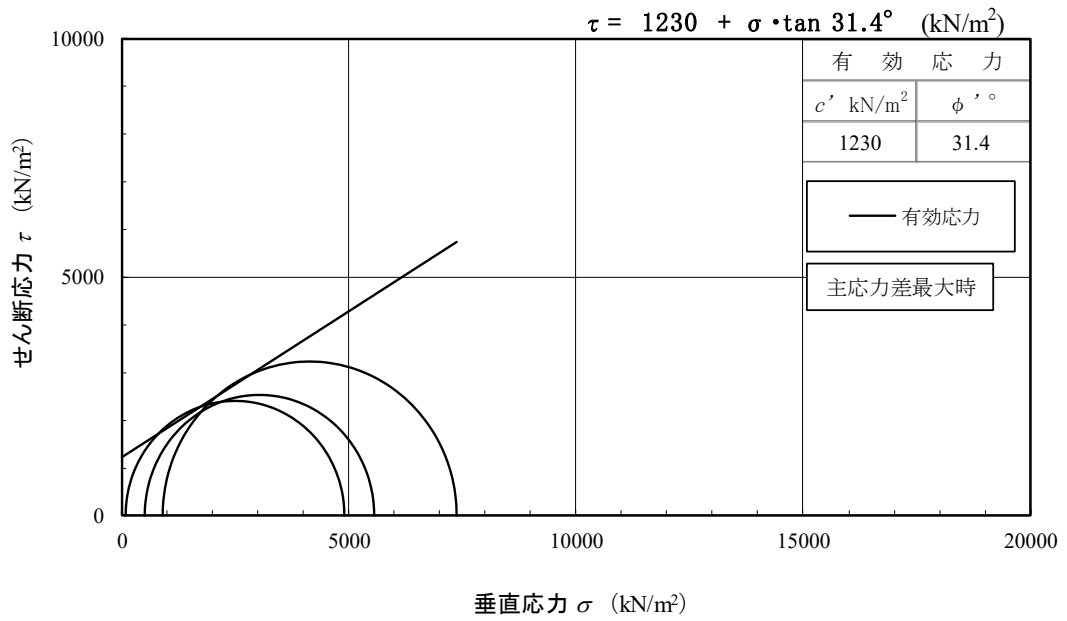


図 4.5.3-4 JGS 2563 载荷方法の模式図等(赤字で加筆)



(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4.5.3-4）を上回ることを確認する。

表 4.5.3-4 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。

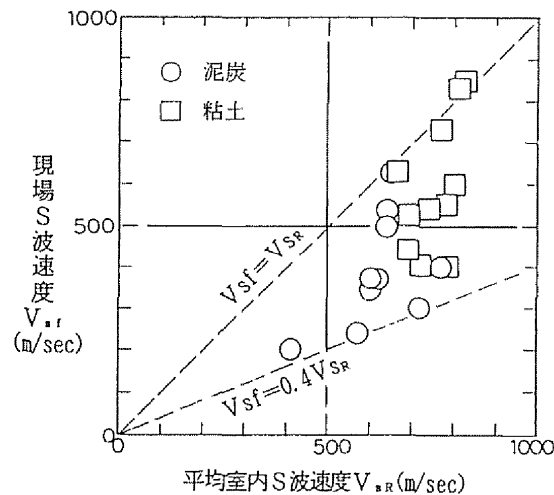


図 4.5.3-6 供試体の S 波速度と原位置における S 波速度の関係
(阿部ら (1993) より引用)

「 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。

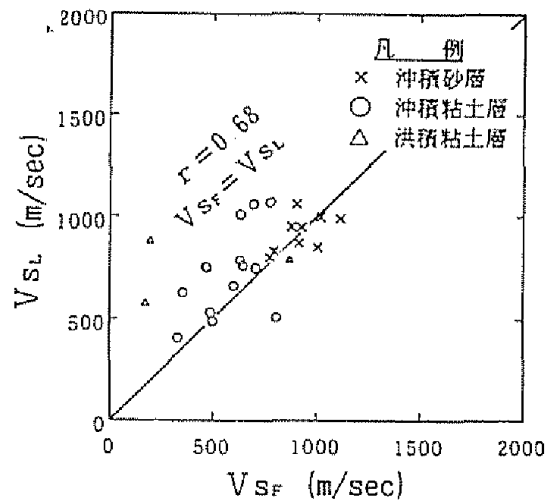


図 4.5.3-7 供試体の S 波速度と原位置における S 波速度の関係
(馬場ら(1994)より引用)

「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 4.5.3-5 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 4.5.3-5 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

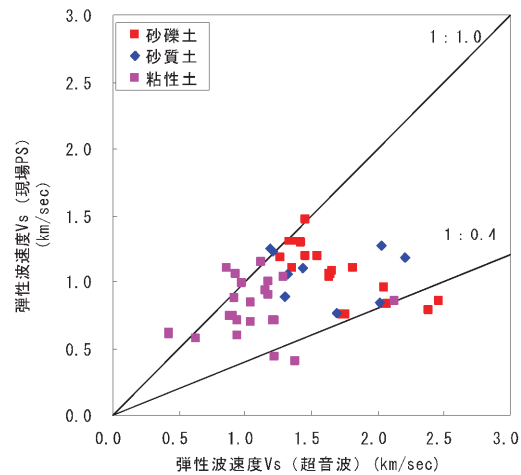


図 4.5.3-8 供試体の S 波速度と原位置における S 波速度の関係
(手塚ら(2014)より引用)

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 4.5.3-6 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 4.5.3-6 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}^*	590		670
供試体 2 S 波速度 V_{Sf}^*			

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 4.5.3-7 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 4.5.3-7 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 4.5.3-7 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 × 0.4 より算定

* 2：供試体 1 の平均 S 波速度 1677m/s × 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。

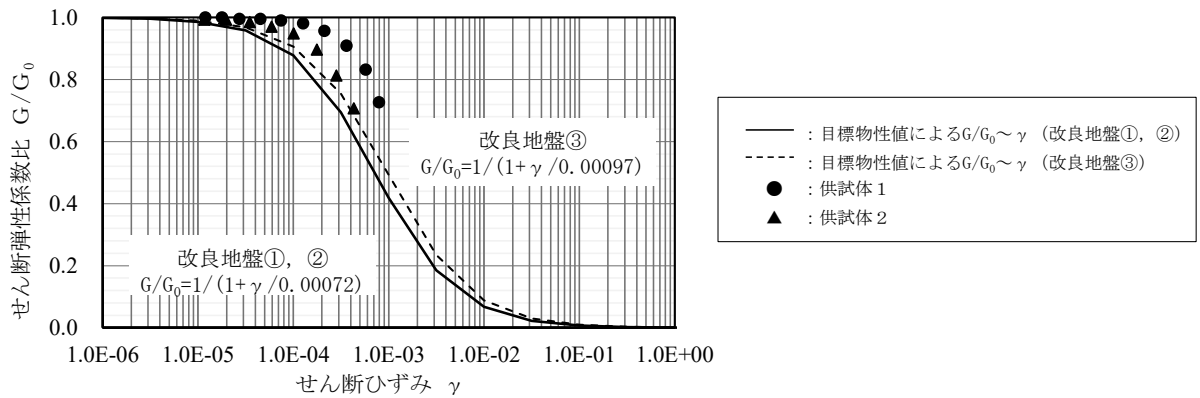


図4.5.3-9 改良地盤①～③における G/G_0 のひずみ依存特性

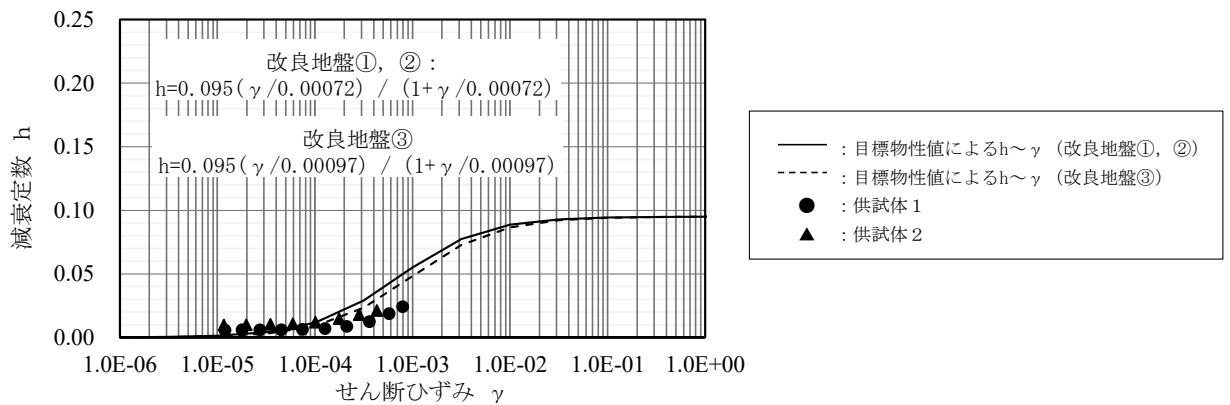


図4.5.3-10 改良地盤①～③における減衰定数のひずみ依存特性

(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4.5.3-8）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 4.5.3-8 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。

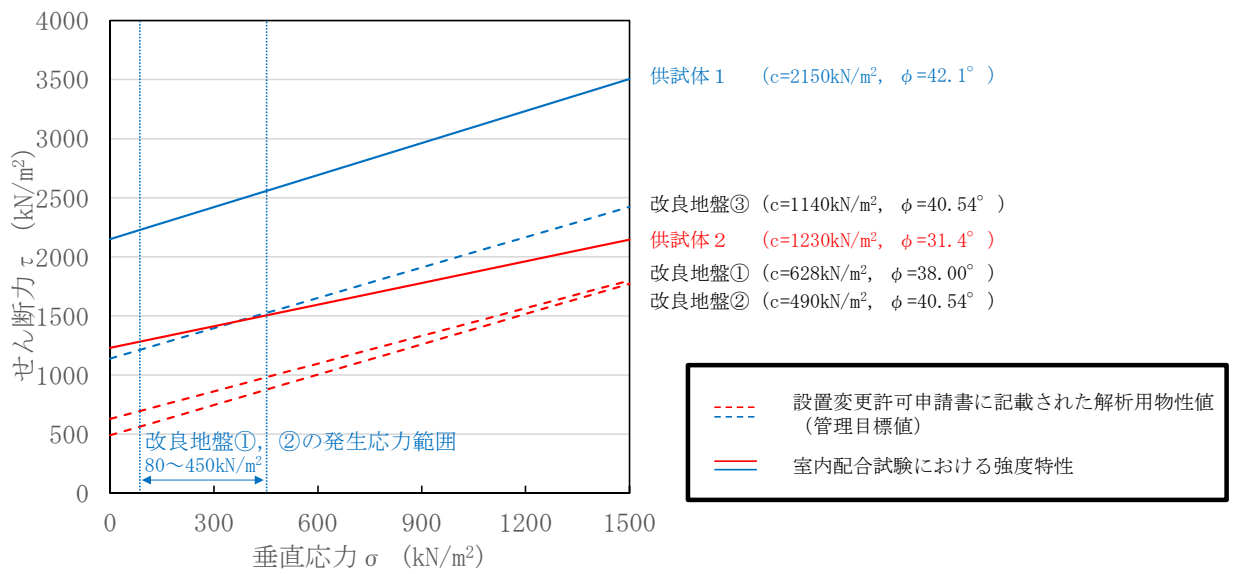


図 4.5.3-11 室内配合試験による供試体のせん断強度 τ_R 及び
設置変更許可申請書に記載された改良地盤①～③のせん断強度 τ_d との比較

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 4.5.3-8）より、表 4.5.3-9 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 4.5.3-9 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 4.5.3-9 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）		
	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4.5.3-10に、その設定根拠を表4.5.3-11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 4.5.3-10 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 4.5.3-11 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）

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。

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

5.5 品質確認結果

(1) 原位置試験及び試料採取位置

防波壁（逆T擁壁）の改良地盤①～③の品質確認のために実施する原位置試験及び試料採取位置について、図 5.5-1 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、おおむね均等な配置となるよう配置する。

品質確認における試験実施項目及び数量を表 5.5-1 に示す。

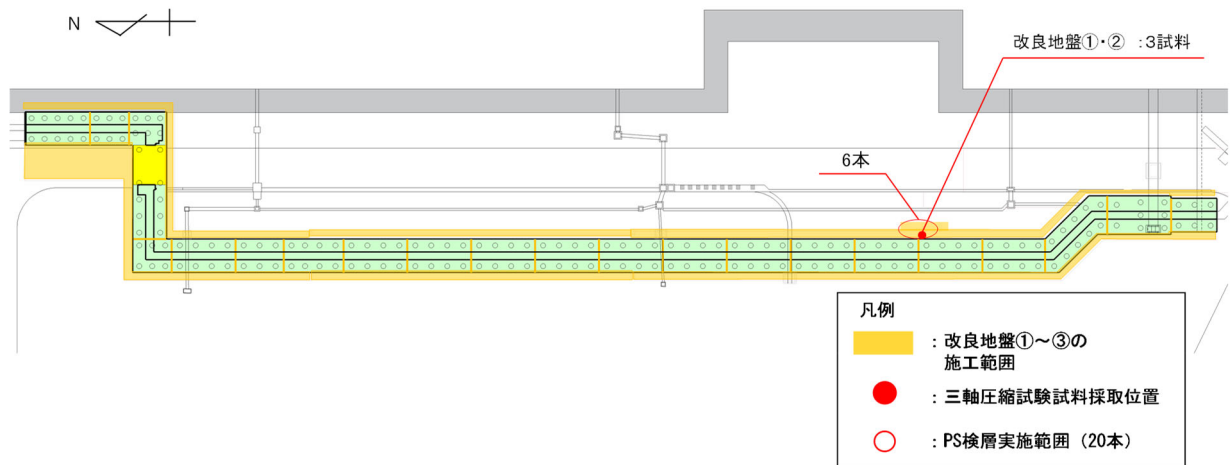


図 5.5-1 改良地盤①～③の品質確認のために実施する原位置試験及び試料採取位置

表 5.5-1 改良地盤①～③の品質確認試験における試験数量

試験項目	試験数量	
	改良地盤①・②	改良地盤③
PS 検層	20 本	
三軸圧縮試験	3 試料	3 試料

表 5.5-1 に示す PS 検層及び三軸圧縮試験数量のうち、今回報告出来ていない試験結果（PS 検層：残り 14 本，三軸圧縮試験：改良地盤③の 3 試料）については追而とする。

(2) 試験結果

防波壁（逆 T 擁壁）の改良地盤①～③の品質確認試験の試験結果を表 5.5-2～表 5.5-3 及び図 5.5-2～図 5.5-3 に示す。

表 5.5-2 PS 検層試験結果(改良地盤①・②)

試験実施位置 (本)	改良地盤	P 波速度 (m/s)		S 波速度 (m/s)	
		試料数*	速度値	試料数*	速度値
1	改良地盤①・②	3.5	2463	3.5	960
2		3.5	2571	3.5	946
3		3.5	2377	3.5	949
4		3.5	2424	3.5	957
5		3.5	2386	3.5	974
6		3.5	2477	3.5	949
加重平均			2450		956

注記* : PS 検層の測定区間長 1m を一つの試験数とみなす。

PS 検層（試験数量 20 本）のうち，残り 14 本の試験結果については追而とする。

表 5.5-3 PS 検層試験結果(改良地盤③)

試験実施位置 (本)	改良地盤	P 波速度 (m/s)		S 波速度 (m/s)	
		試料数*	速度値	試料数*	速度値
1	改良地盤③	7.5	2575	7.5	1053
2		7.5	2567	7.5	1079
3		7.5	2672	7.5	1037
4		7.5	2682	7.5	1053
5		7.5	2676	7.5	1065
6		7.5	2617	7.5	1049
加重平均			2631		1056

注記* : PS 検層の測定区間長 1m を一つの試験数とみなす。

PS 検層（試験数量 20 本）のうち，残り 14 本の試験結果については追而とする。

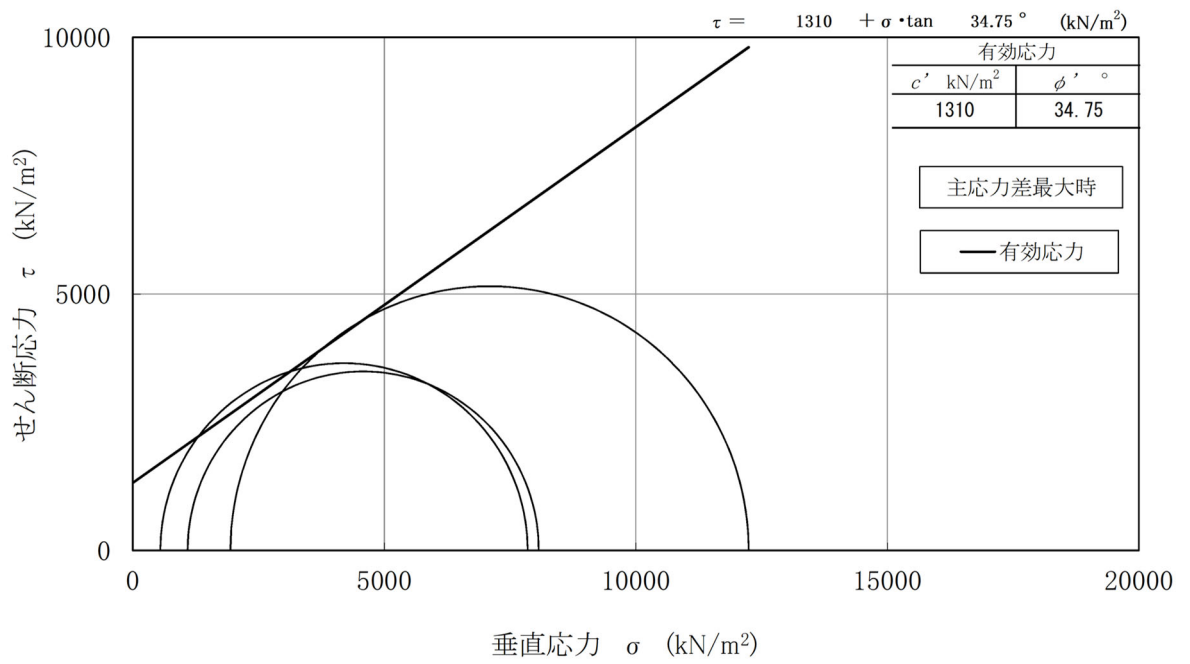


図 5.5-2 三軸圧縮試験結果 (改良地盤①・②)

追而

図 5.5-3 三軸圧縮試験結果 (改良地盤③)

(3) 改良地盤①～③の試験結果と管理目標値との対比

防波壁（逆 T 擁壁）の改良地盤①～③の試験結果と品質管理の管理目標値との対比結果を表 5.5-4 及び図 5.5-4～図 5.5-5 に示す。

PS 検層の S 波速度の試験値は、管理目標値を上回っており、改良地盤の解析用物性値が確保されていることを確認した。

三軸圧縮試験の試験値は、図 5.5-6 及び図 5.5-7 に示す防波壁（逆 T 擁壁）の 2 次元動的 FEM 解析（FLIP 及び FLUSH）の発生応力範囲において、管理目標値を上回っていることを確認した。

表 5.5-4 PS 検層試験結果と品質管理の管理目標値との対比

改良地盤	試験結果	管理目標値
	S 波速度（加重平均） Vsd(m/s)	設計 S 波速度 Vsd(m/s)
改良地盤①・②	956	590
改良地盤③	1056	670

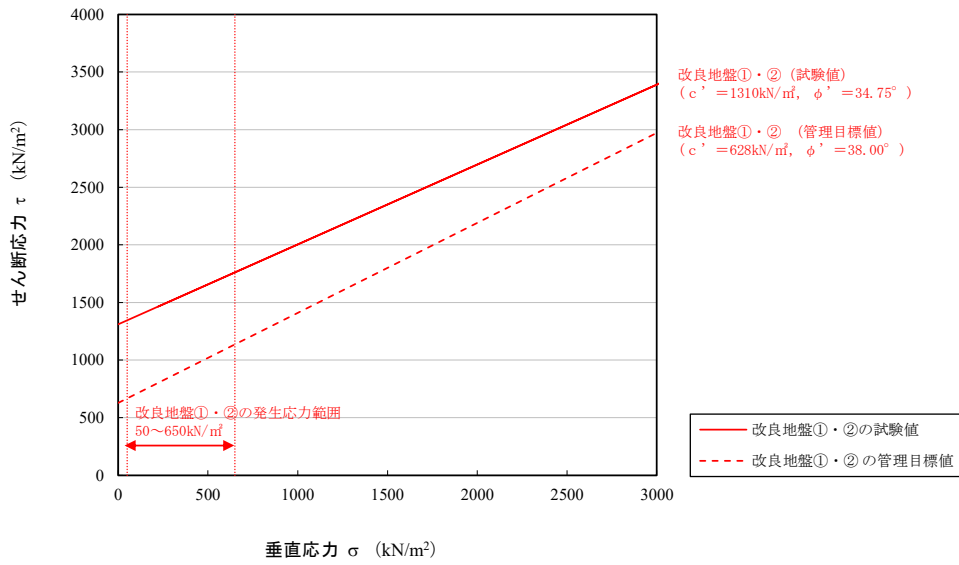


図 5.5-4 三軸圧縮試験結果 (改良地盤①・②) と品質管理の管理目標値との対比

追而

図 5.5-5 三軸圧縮試験結果 (改良地盤③) と品質管理の管理目標値との対比

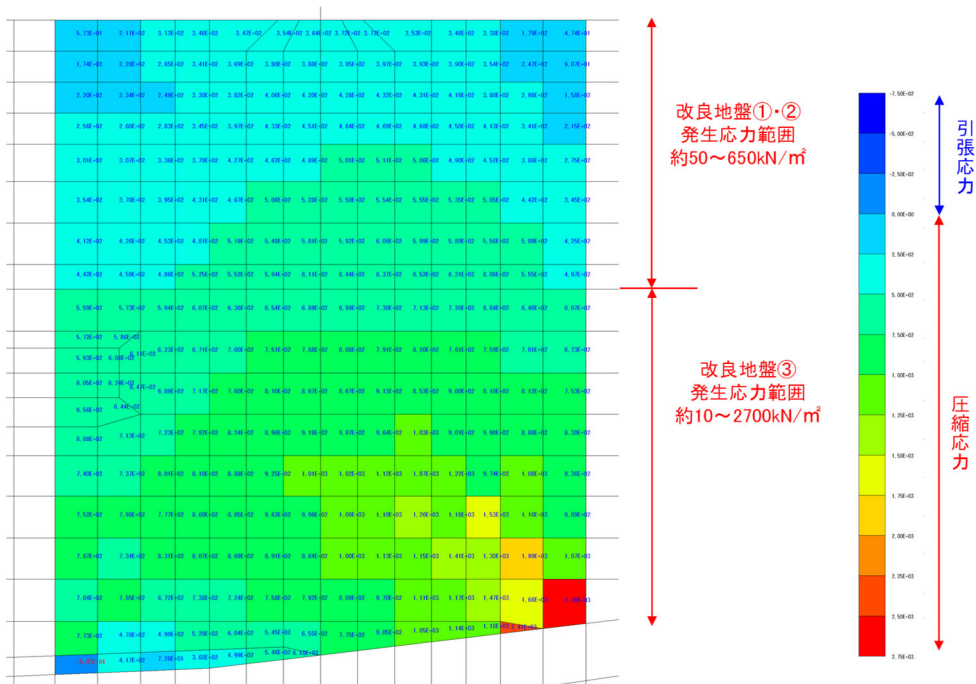


図 5.5-6 防波壁（逆T擁壁）の改良地盤における最大主応力（④-④断面）

（2次元動的FEM解析（FLIP））

（改良地盤の内的安定すべり安全率最小断面及びびケース）

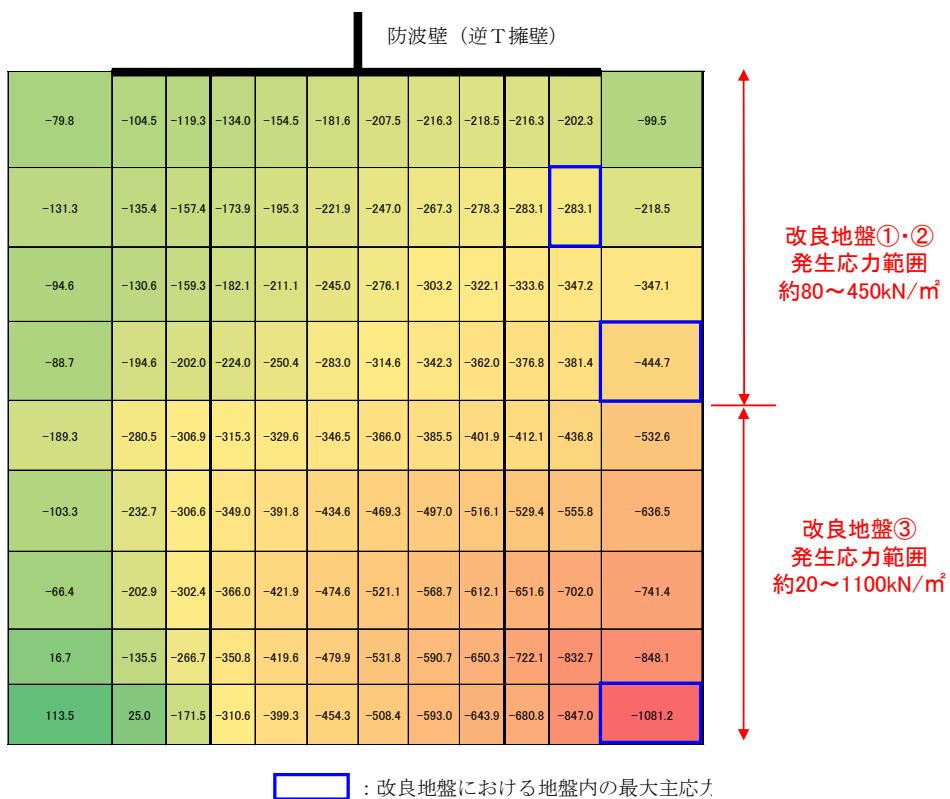


図 5.5-7 防波壁（逆T擁壁）の改良地盤における最大主応力

（2次元動的FEM解析（FLUSH））

（改良地盤を通るすべり安全率最小ケース，参考2参照）

(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 P S 検層結果に基づき、3 層に区分して設定している。

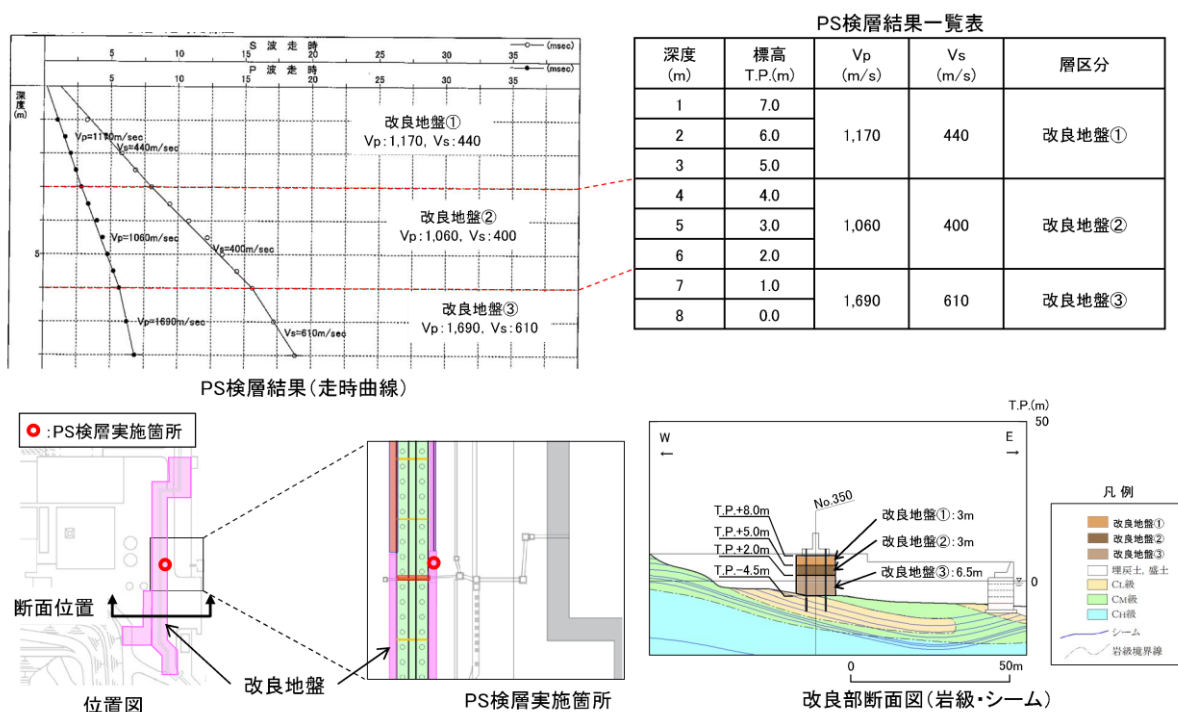


図 1 防波壁（逆 T 擁壁）の変形特性

(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。

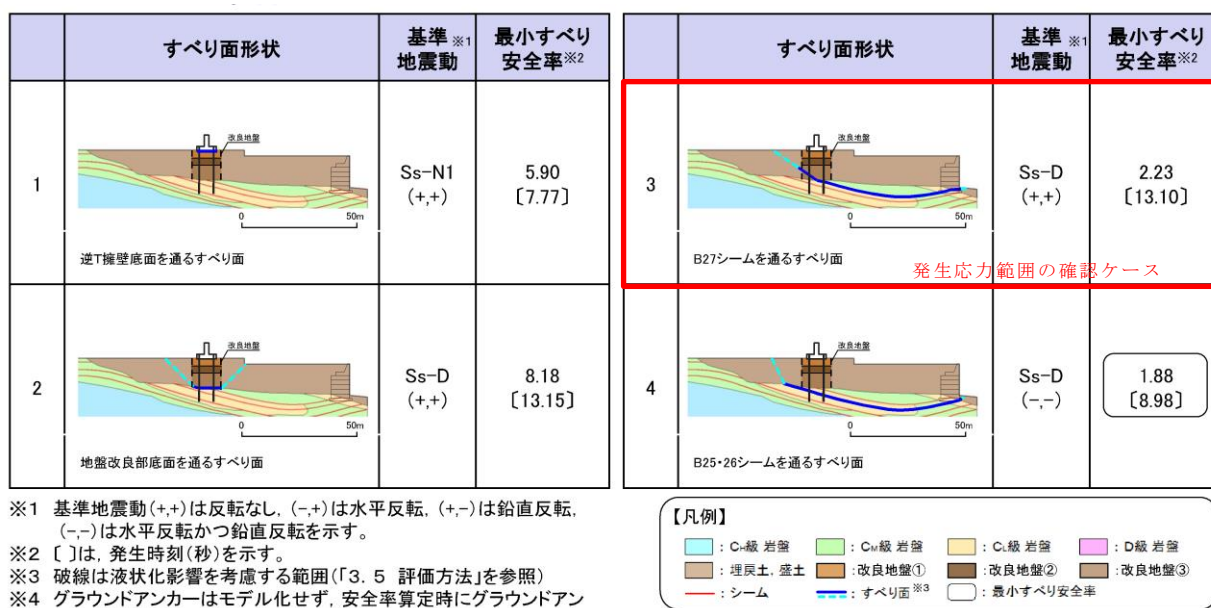
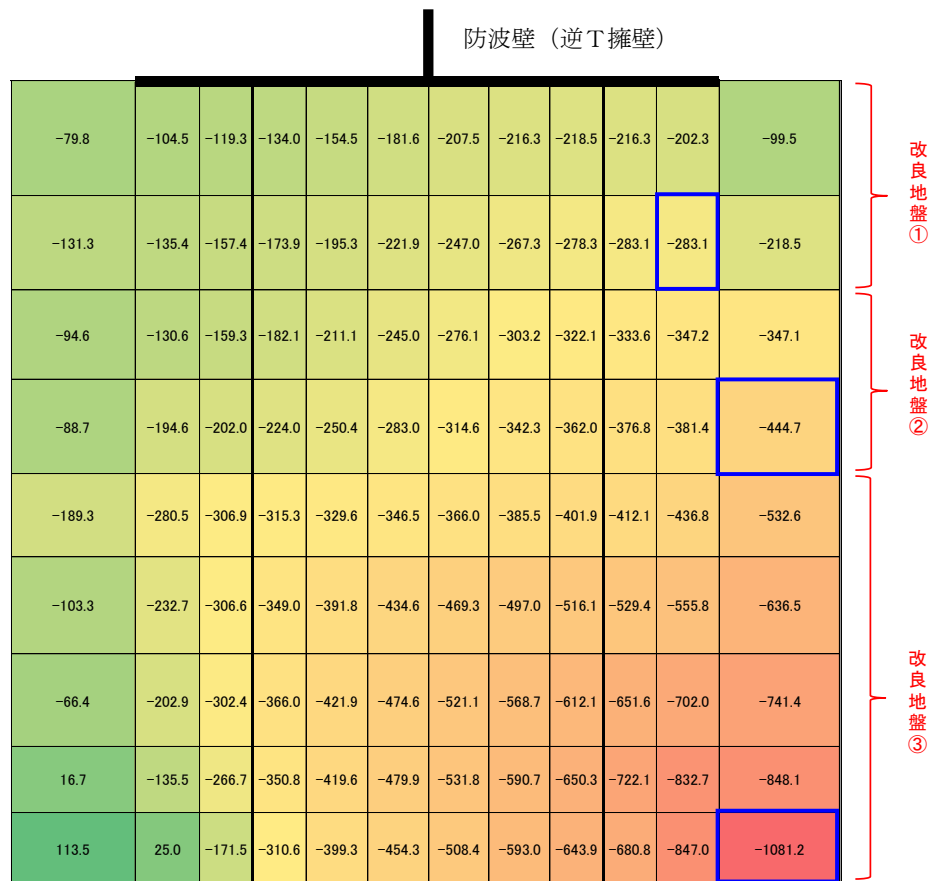


図1 防波壁（逆T擁壁）における基礎地盤の評価結果

(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。

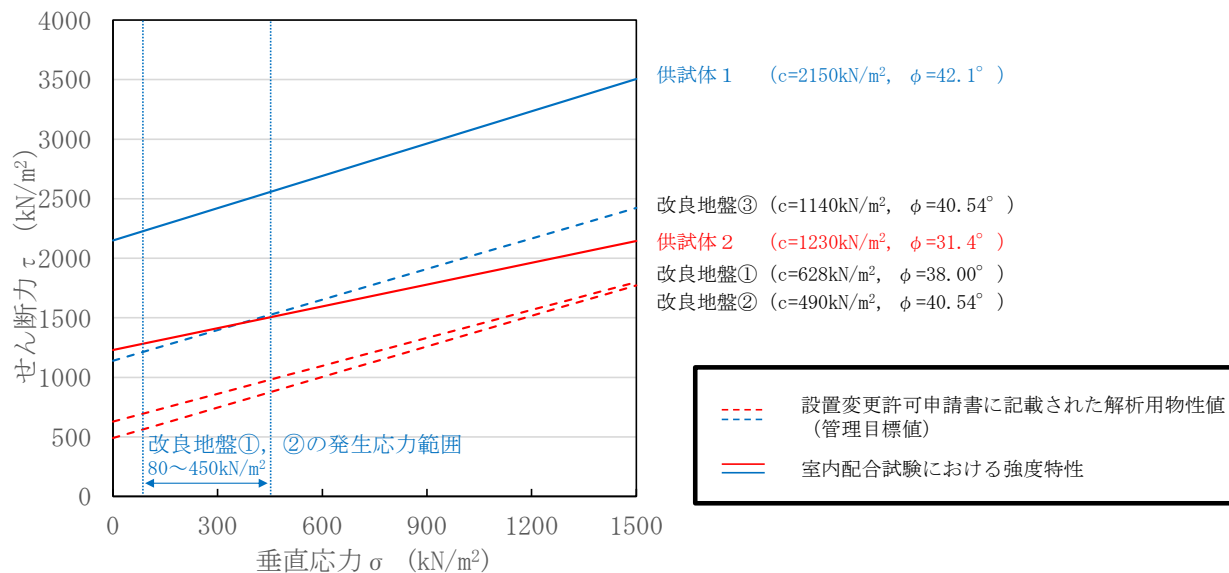


図3 室内配合試験による供試体のせん断強度 τ_R 及び
設置変更許可申請書に記載された改良地盤①～③のせん断強度 τ_d との比較