

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉審査資料	
資料番号	KK67-0098 改02
提出年月日	平成28年5月13日

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

津波による損傷の防止について
(指摘事項に対する回答)

平成28年5月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

No.	管理番号	指摘区分	指摘日	指摘事項	備考
1	317-1	ヒアリング	H28.2.10	津波の遡上及び浸水経路を踏まえて今回の新規制基準適合性審査の対象となるSA、DB施設及びアクセスルート の範囲について整理した上で説明すること。	「回答資料1」 で回答済み (H28.02.25)
2	317-2	ヒアリング	H28.2.10	緊急時対策所等DBとSAを兼ねた設備について津波防護 の考え方を説明すること。	「回答資料1」 で回答済み (H28.02.25)
3	317-3	ヒアリング	H28.2.10	地下電気洞道について津波防護の考え方を説明すること。	「回答資料1」 で回答済み (H28.02.25)
4	317-4	ヒアリング	H28.2.10	津波の遡上経路に影響(津波集中等)を及ぼす斜面崩落等 の障害要因について整理し入力津波への影響を含め評価 結果を説明すること。	「回答資料2」 で一部回答済み (H28.02.25)
5	317-5	ヒアリング	H28.2.10	船舶の漂流想定について防波堤の施設区分や他条文との 整合をとった上で説明すること。	「回答資料3」 で一部回答済み (H28.02.25)
6	317-6	ヒアリング	H28.2.10	荒浜側防潮堤の設計の妥当性について、十分な支持力 のある地盤に設置されているか、防潮堤間の継ぎ手部等にお ける浸水防止機能の妥当性確認の方法の考え方を含めて 説明すること。	「回答資料4」 で回答済み (H28.03.02)
7	333-1	ヒアリング	H28.2.25	液状化現象による地盤沈下量の評価について、古安田層 の砂層部の液状化現象による影響等を含めて保守性を確 認すること。	「回答資料5」 で一部回 答を 実施

本日のご説明範囲

指摘事項 No.7 (管理番号 333-1)

液状化現象による地盤沈下量の評価について、古安田層の砂層部の液状化現象による影響等を含めて保守性を確認すること。

回 答

敷地海側の砂層（古安田層の砂層部含む）について液状化評価結果について別紙に示す。

以上

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開出来ません。

柏崎刈羽原子力発電所における 液状化検討について

平成28年 5月13日

東京電力ホールディングス株式会社

管理番号	指摘区分	指摘日	コメント	回答方針
333-1	ヒアリング	H28.2.25	液状化現象による地盤沈下量の評価について、古安田層の砂層部の液状化現象による影響等含めて保守性を確認する事	敷地海側の砂層（古安田層の砂層部含む）について液状化評価結果を説明 （一部回答）

1. 液状化について P 4
 - ✓ 液状化の概要（資料上の用語の定義等）
 - ✓ 液状化評価フロー

2. 液状化評価対象層の抽出 P 9
 - ✓ 液状化評価対象層の抽出フロー
 - ✓ 試料採取箇所

3. 液状化試験結果 P 21
 - ✓ 中空ねじり試験の概要
 - ✓ 液状化試験結果

4. 液状化判定 P 41
 - ✓ 埋戻土層の F_L 判定結果

5. 非液状化層に関する考察 P 46
 - ✓ 中空ねじり試験時と地震応答解析から求まるせん断応力比と繰返し回数の比較

6. まとめ P 64

【新規制基準における液状化について】

- 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則
(設計基準対象施設の地盤)

第三条 設計基準対象施設は，次条第二項の規定により算定する地震力が作用した場合においても当該設計基準対象施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。

2 耐震重要施設は，変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。

- 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則（別記1）
第3条（設計基準対象施設の地盤）

1 第3条第1項に規定する「設計基準対象施設を十分に支持することができる」とは，設計基準対象施設について，自重及び運転時の荷重等に加え，耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても，接地圧に対する十分な支持力を有する設計であることをいう。

2 第3条第2項に規定する「変形」とは，地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み並びに地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下，液状化及び揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状をいう。

(余 白)

1. 液状化について

【本資料上の用語の定義】 レベル2地震動による液状化研究小委員会活動成果報告書（土木学会，2003）を参考

■ 繰返し軟化

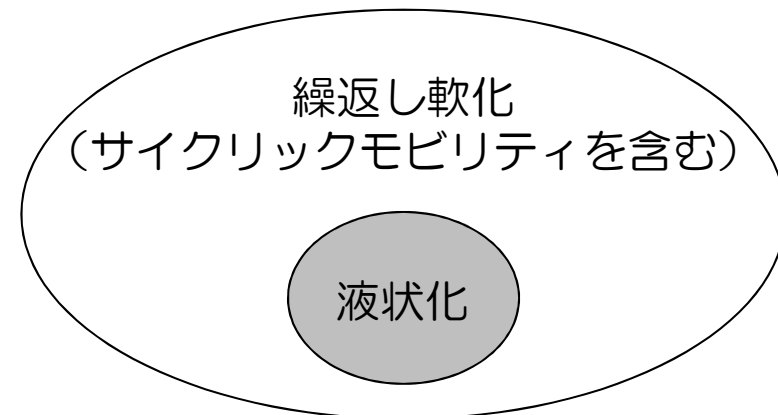
繰返し载荷による間隙水圧上昇と剛性低下によりせん断ひずみが発生し，それが繰返し回数とともに徐々に増大するが，土のもつダイレイタンスー特性や粘性のためにひずみは有限の大きさにとどまり，大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。

■ サイクリックモビリティ

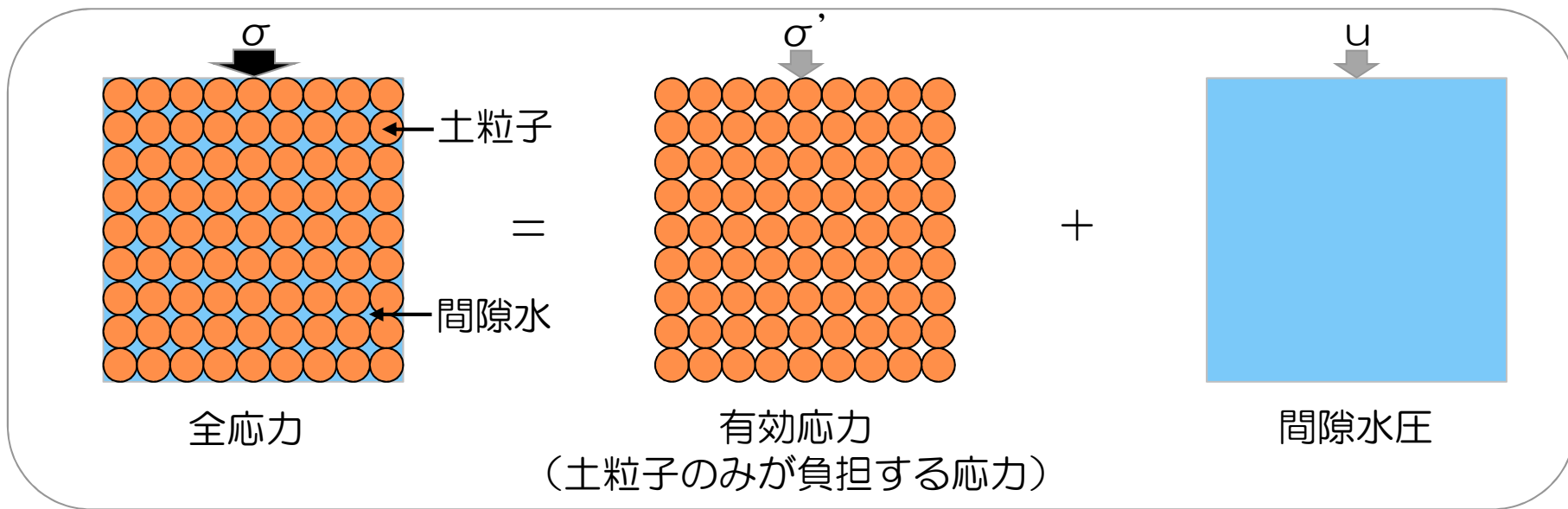
繰返し载荷において土が「繰返し軟化」する過程で，限られたひずみ範囲ではせん断抵抗が小さくなっても，ひずみが大きく成長しようとするすると，正のダイレイタンスー特性のためにせん断抵抗が急激に作用し，せん断ひずみの成長に歯止めがかかる現象。主に，密な砂や礫質土，過圧密粘土のように正のダイレイタンスー特性が著しい土において顕著に現れる。

■ 液状化

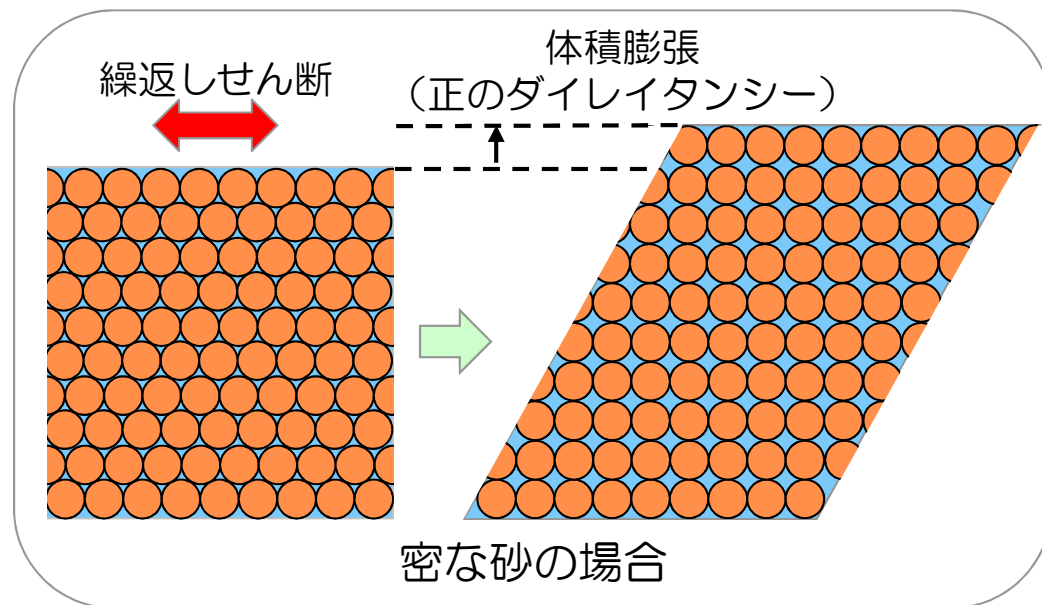
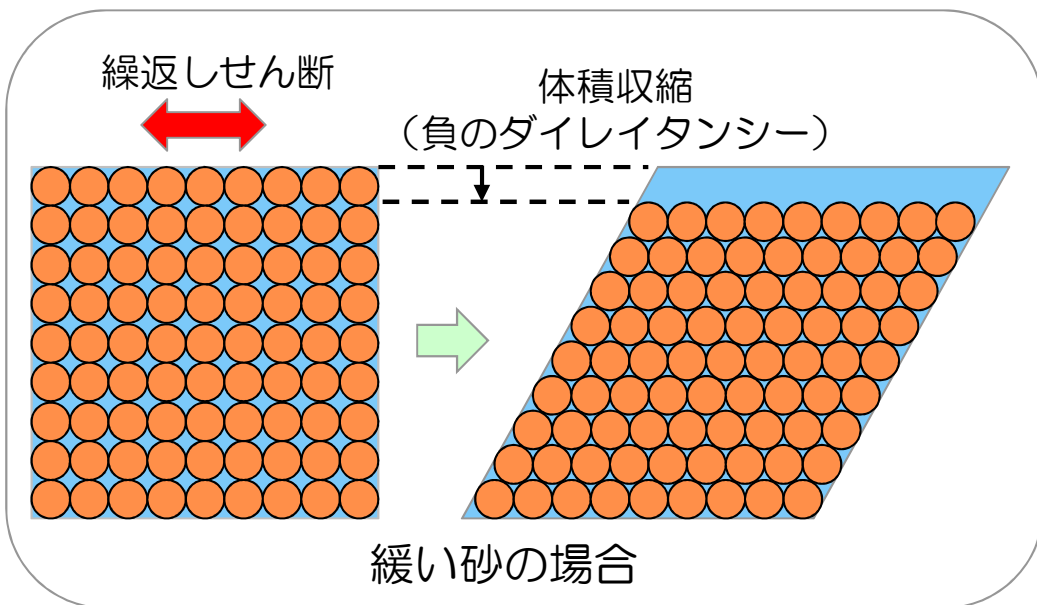
地震の繰返しせん断力などによって，飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内での間隙水圧が上昇・蓄積し，有効応力がゼロまで低下し液体状となり，その後地盤の流動を伴う現象，または流動ポテンシャルをもった地盤となる現象。



繰返し载荷による地盤の状態



地盤の強度の概要



地盤のダイレイタンス特性の概要

1. 液状化について

【液状化評価フロー】 (対象層の抽出)

液状化評価対象層の抽出※

- 『道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（(社)日本道路協会，H24.3）』に基づいて抽出

※：道路橋示方書では、『洪積層』や『GL-20m以深』の地層は液状化対象層としていないが，本評価では保守的にこれらも対象とした。

(地盤性状の評価)

液状化試験の実施

- 土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法（地盤工学会：JGS 0543-2000）

Y：液状化

試験の結果，
液状化するか？

N：液状化しない

- 繰返し軟化（サイクリックモビリティ）
- 過剰間隙水圧比が0.95を上回らない。

Ssによる液状化判定の対象層

非液状化層

(Ssに対する評価)

F_L法による液状化判定
『道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（(社)日本道路協会，H24.3）』に基づいて評価

試験時の地盤状態と基準地震動Ss時の地盤状態を比較
(基準地震動Ssにおけるせん断応力比と等価繰返し回数から，試験状態とSsを比較)

基準地震動Ssに対して
液状化するか？

Y

液状化層

N

非液状化層

2. 液状化評価対象層の抽出

【液状化評価対象層の抽出フロー】

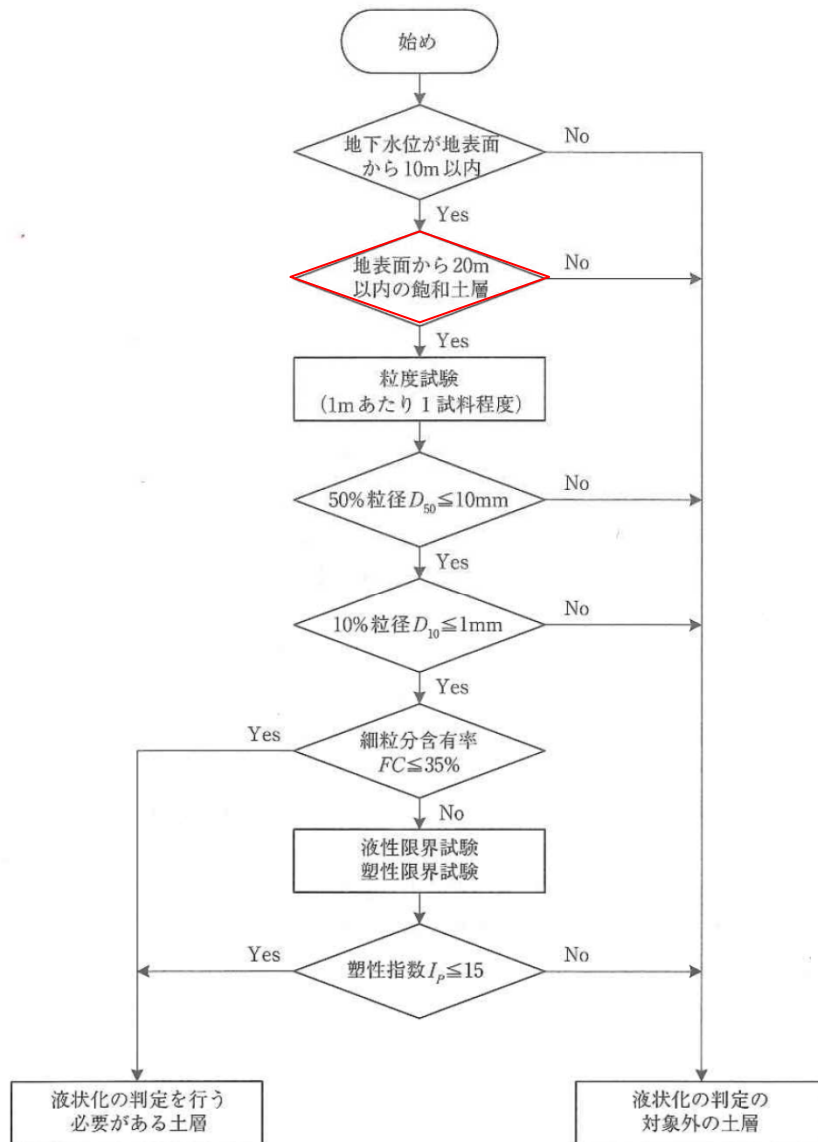


図-解8.2.1 液状化の判定を行う必要がある土層の評価の手順

液状化評価の対象層の抽出フロー

道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説
（社）日本道路協会，H24.3）一部加筆

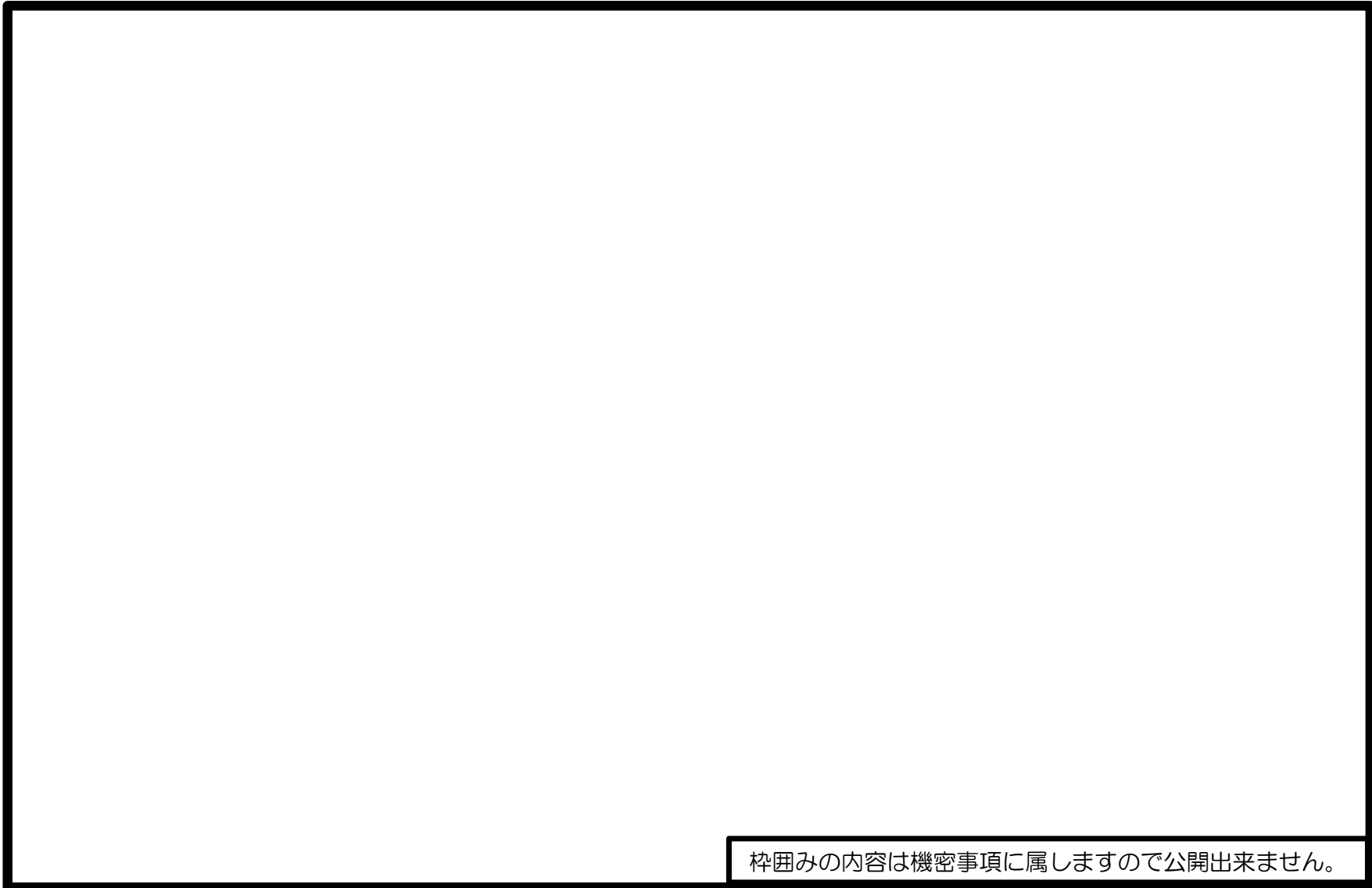
- 道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，H24.3）に基づいて対象層を抽出する。（左図）
- 道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説では，沖積層を対象としているが，本評価では洪積層（古安田層）についても，同様に抽出対象とした。また，地表面から20m以深は対象外となっているが，本評価では地表から20m以深も抽出対象とした。

洪積層は，東北地方太平洋沖地震や兵庫県南部地震を含む既往の地震において液状化したという事例は確認されていない。洪積層は一般に N 値が高く，また，続成作用により液状化に対する抵抗が高いため，一般には液状化の可能性は低い。このため，原則として洪積層は液状化の判定の対象とする必要はない。なお，ここでいう洪積層とは，第四紀のうち古い地質時代（更新世）における堆積物による土層に概ね対応すると考えてよい。

（参考：道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，H24.3）抜粋）

■ 液状化試験用試料採取地点（荒浜側）

※試料採取及び試験は中越沖地震後のH19～H20にかけて実施

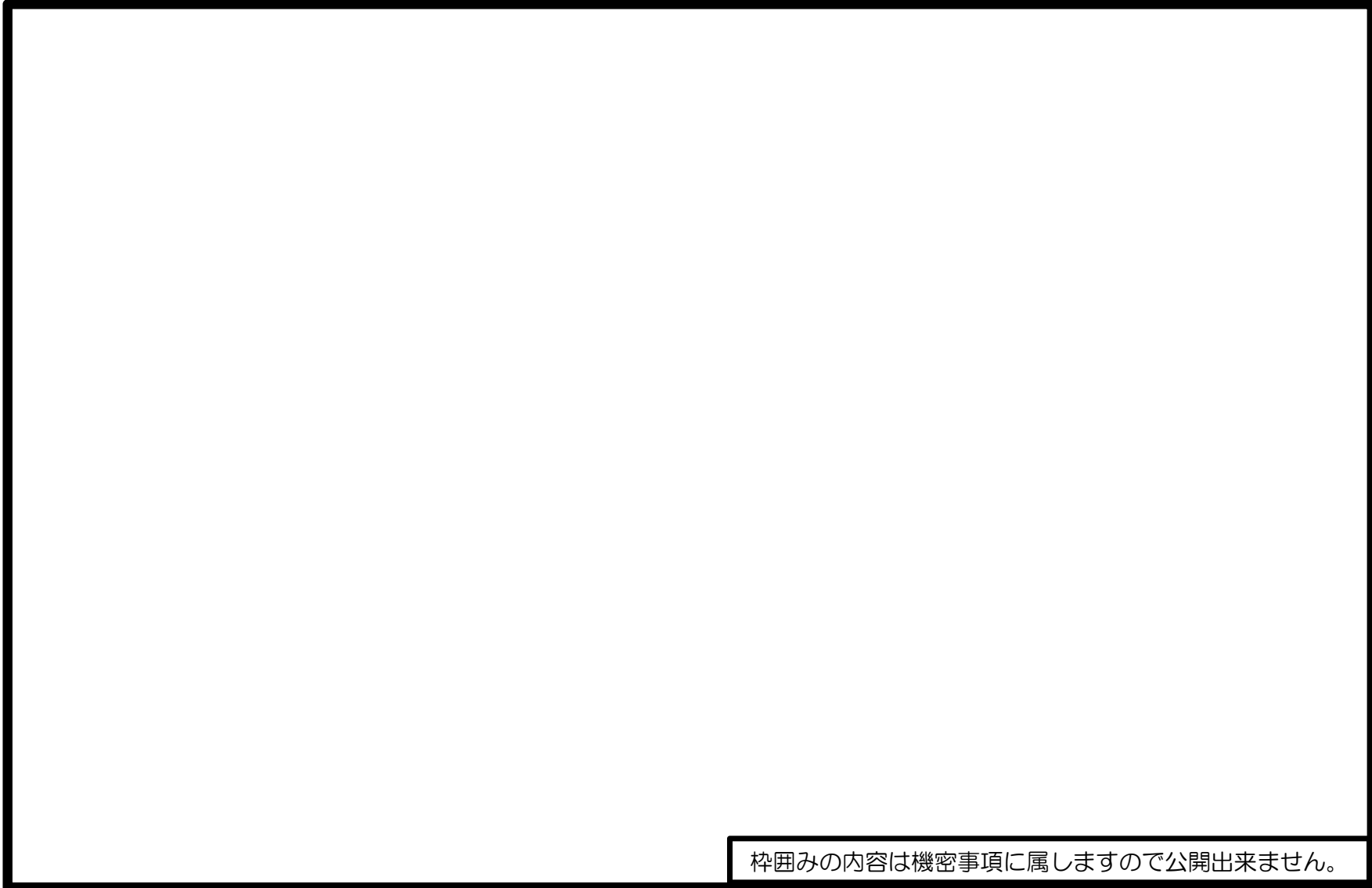


枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開出来ません。

☒ 液状化試験用試料採取地点（荒浜側）

■ 液状化試験用試料採取地点（大湊側）

※試料採取及び試験は中越沖地震後のH19～H20にかけて実施



枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開出来ません。

☒ 液状化試験用試料採取地点（大湊側）

■ 調査地点の選定等について

<評価対象層について>

- 古安田層はシルト質主体の粘性土層が主であるが、一部、半固結した砂質土層を挟んでいる。
- 今回の液状化評価の対象層は、道路橋示方書を参考にしたフローに従い、「埋戻土層」、「洪積砂層Ⅰ（古安田砂層）」、「洪積砂層Ⅱ（古安田砂層）」、「新期砂層」とした。（既工認の表記を参考に、大湊側では「洪積砂層Ⅰ・Ⅱ」を「洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱ」と表記する。）

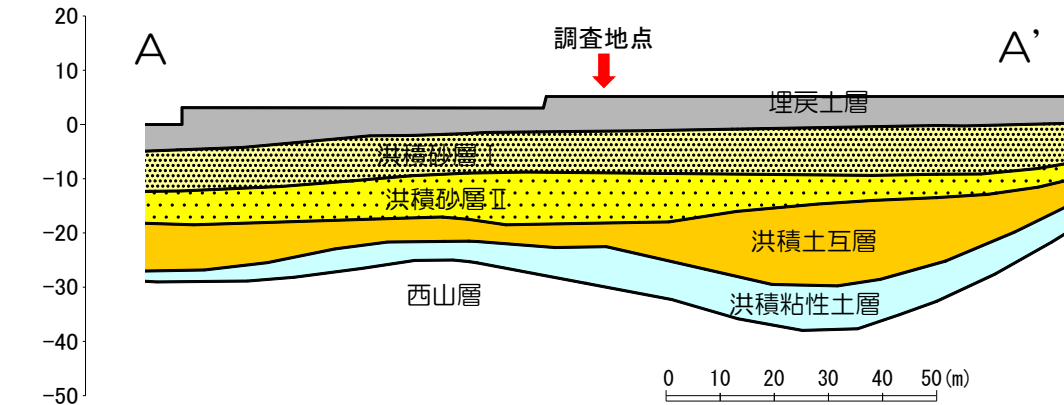
<調査地点の選定について（荒浜側）>

- 調査地点は1～4号炉取水路の既工認断面での地質分布を参考に、各対象層が比較的厚く堆積している箇所を代表地点とした。
- 1号炉から2号炉にかけては、洪積砂層Ⅰ・Ⅱが連続的に分布している。
- 洪積砂層の層厚は1号炉側で最大15m程度、2号炉側で最大10m程度となっており、1号炉側が相対的に厚くなっている。
→以上より、1・2号炉側の代表として、「1号炉非常用取水路周辺」でサンプリングを行った。
- 3号炉から4号炉にかけては、洪積砂層Ⅰ、Ⅱがレンズ状に分布している。
- 洪積砂層の層厚は3号炉側では5m未満、4号炉側では最大10m以上となっており、4号炉側が相対的に厚い。
→以上より、3・4号炉側の代表として「4号炉取水路周辺（調査地点1）」でサンプリングを行った。
- 新期砂層は4号炉側で10m程度と相対的に厚く分布する。
→以上より、新期砂層の代表地点として「4号炉取水路周辺（調査地点2）」でサンプリングを行った。

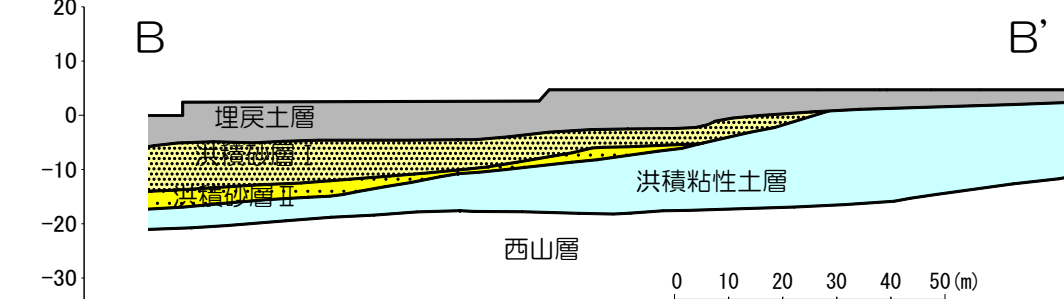
2. 液状化評価対象層の抽出

■ 対象地点の選定について（荒浜側）

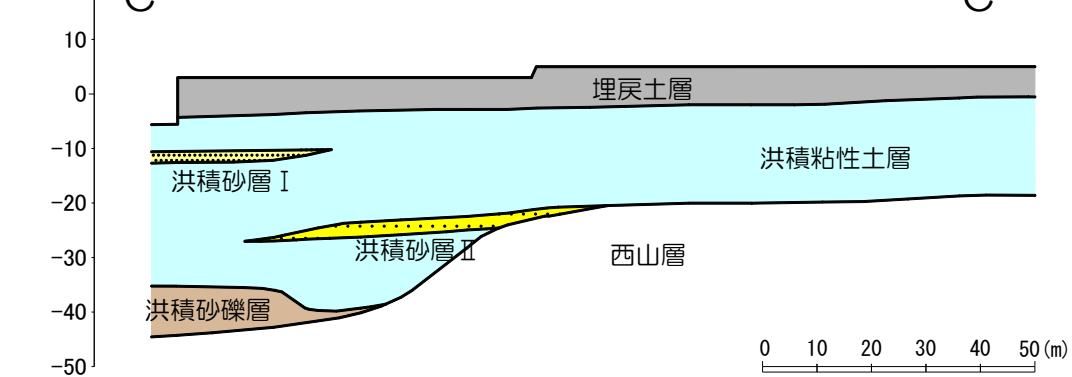
1号炉非常用取水路縦断面図（A-A' 断面）



2号炉取水路縦断面図（B-B' 断面）



3号炉取水路縦断面図（C-C' 断面）



4号炉取水路縦断面図（D-D' 断面）

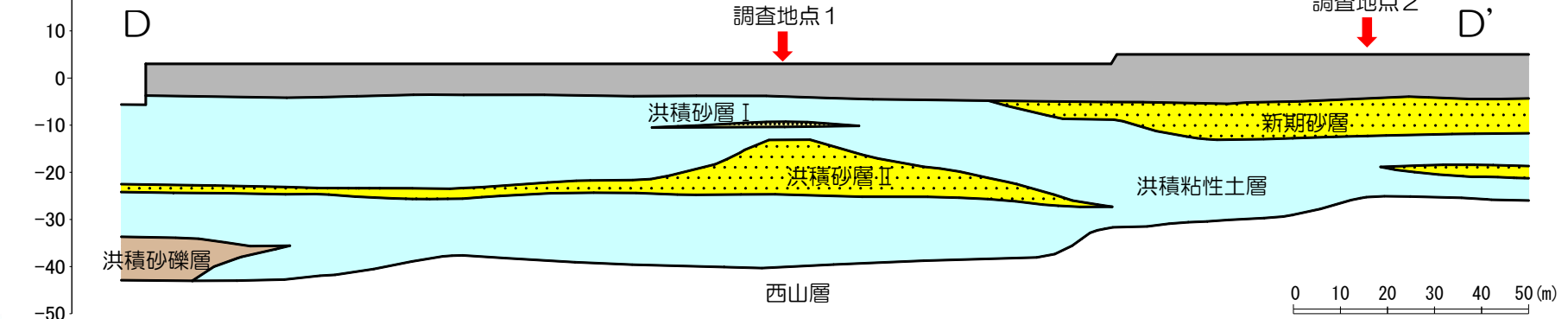


図 荒浜側取水路縦断面図（取水路平行方向）

2. 液状化評価対象層の抽出

■ 対象地点の選定について（荒浜側）

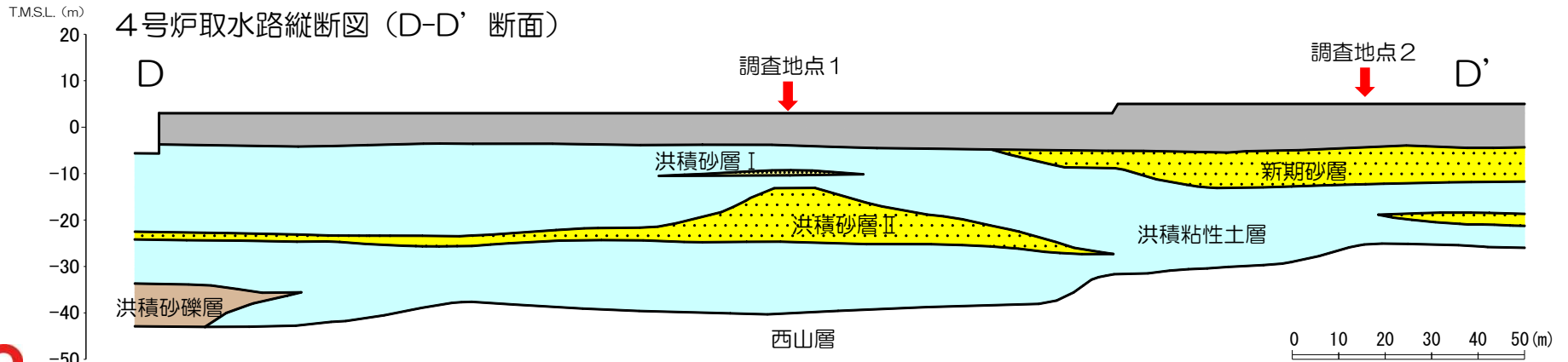
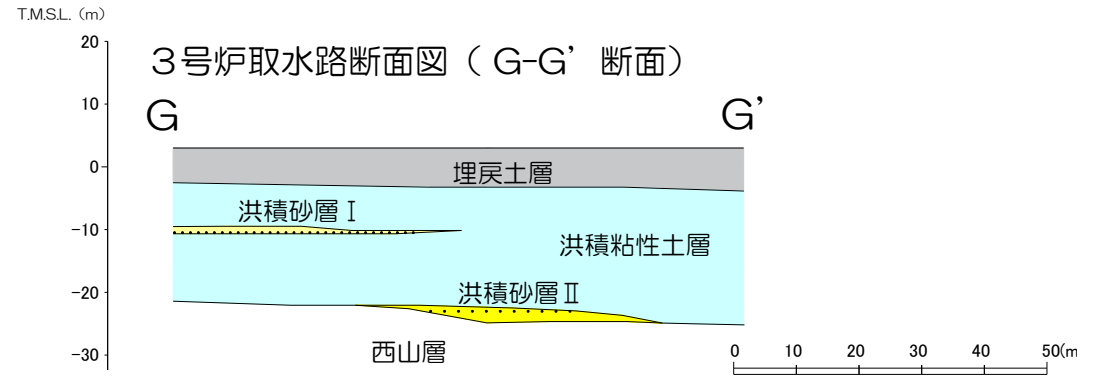
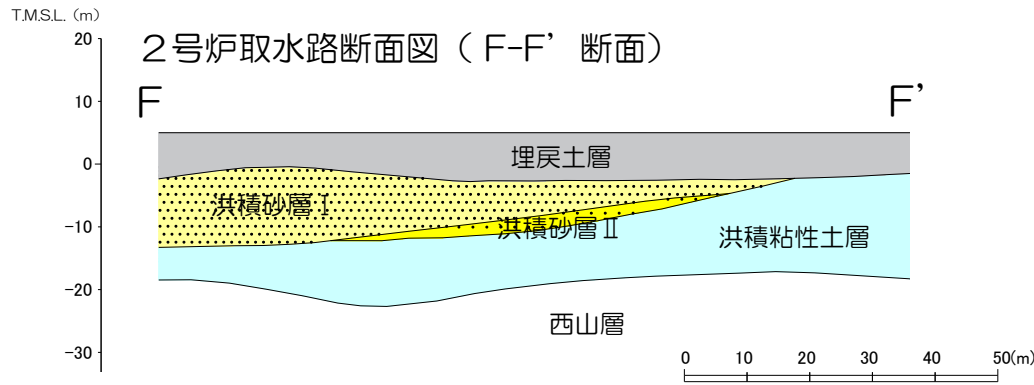
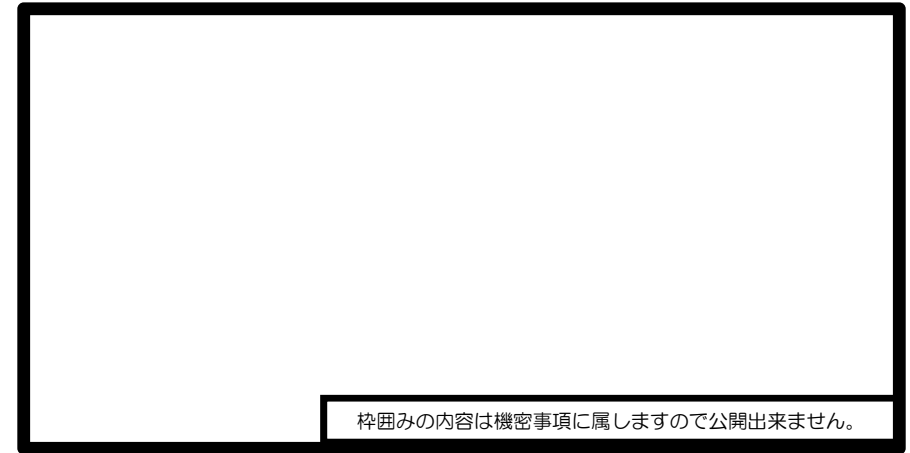
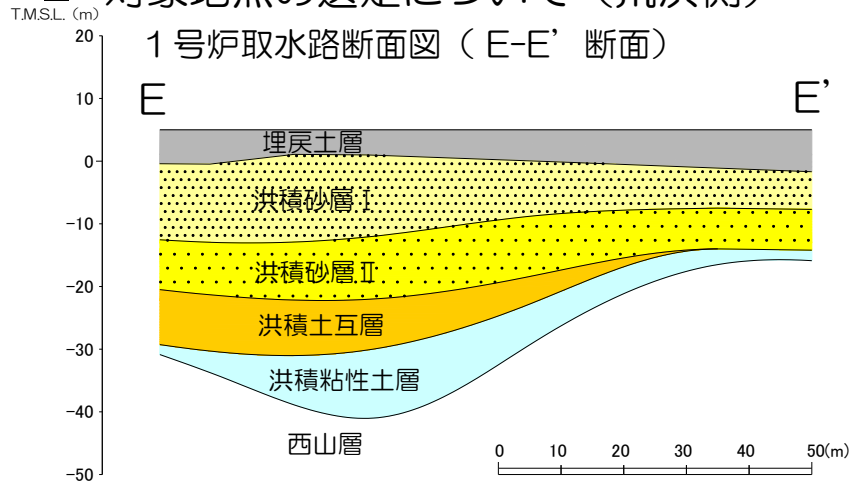


図 荒浜側取水路断面図(取水路直交方向)

2. 液状化評価対象層の抽出

■ 調査地点の選定について

<調査地点の選定について（大湊側）>

- 大湊側の調査地点は5～7号炉の取水路工認断面の地質分布を参考に選定した。
- 大湊側の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱについては，6号炉取水路付近で最大5m以上と相対的に厚く堆積している。
→以上より，大湊側の代表として「6号炉取水路周辺」でサンプリングを行った。

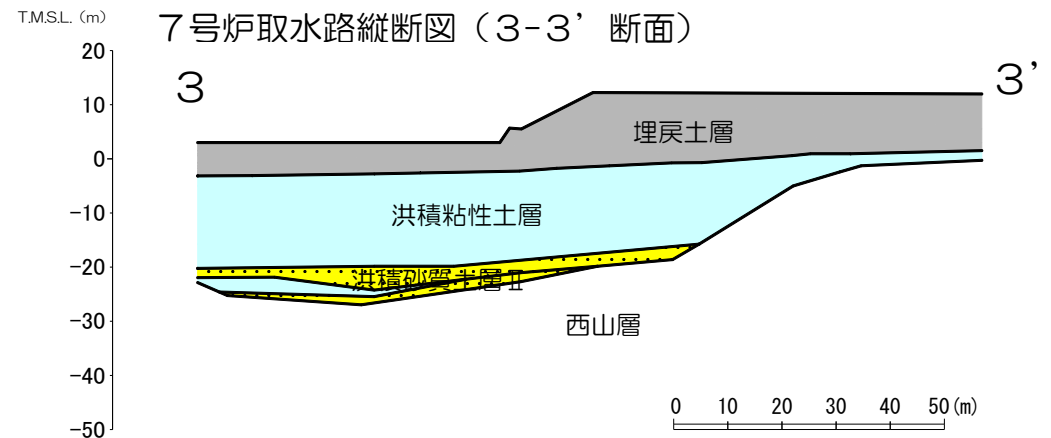
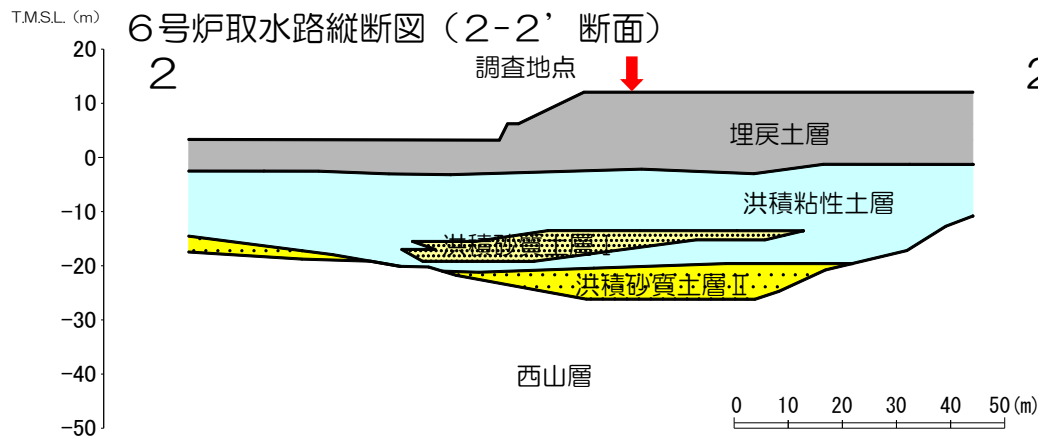
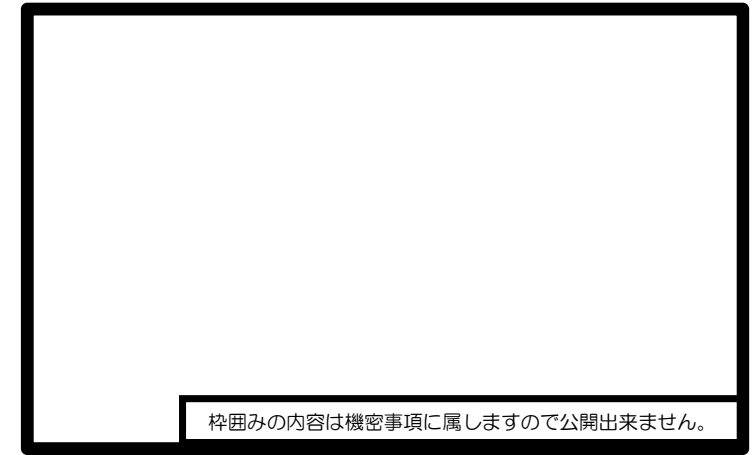
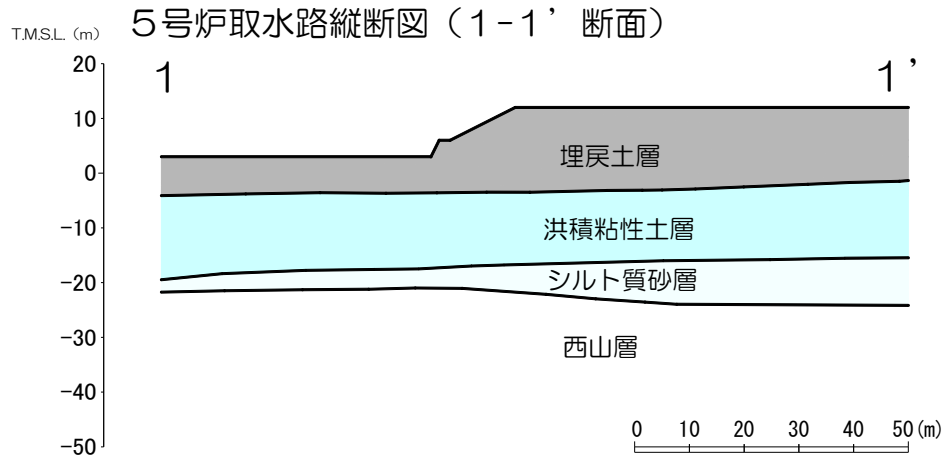


図 大湊側取水路縦断図（取水路平行方向）

■ 対象地点の選定について（大湊側）

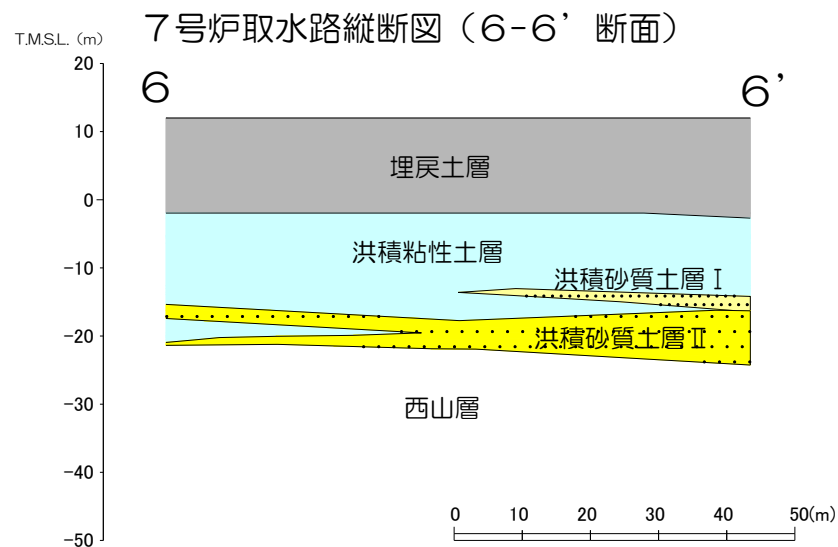
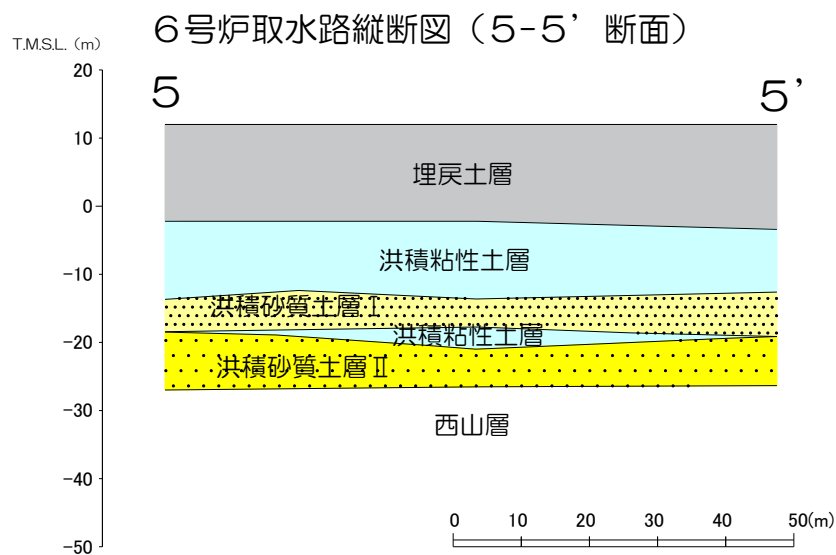
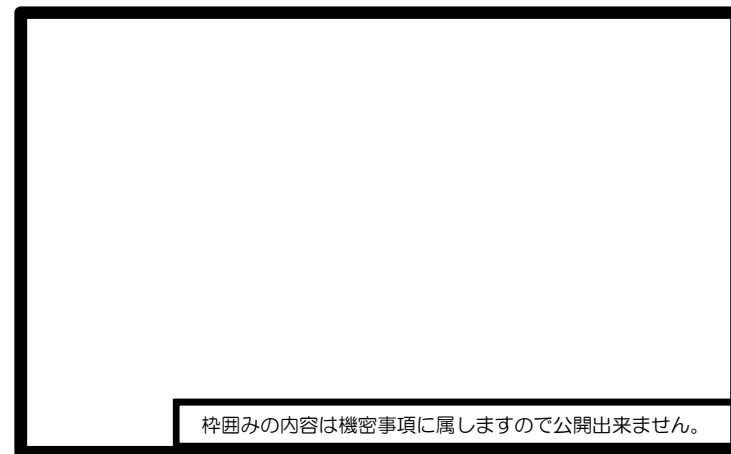
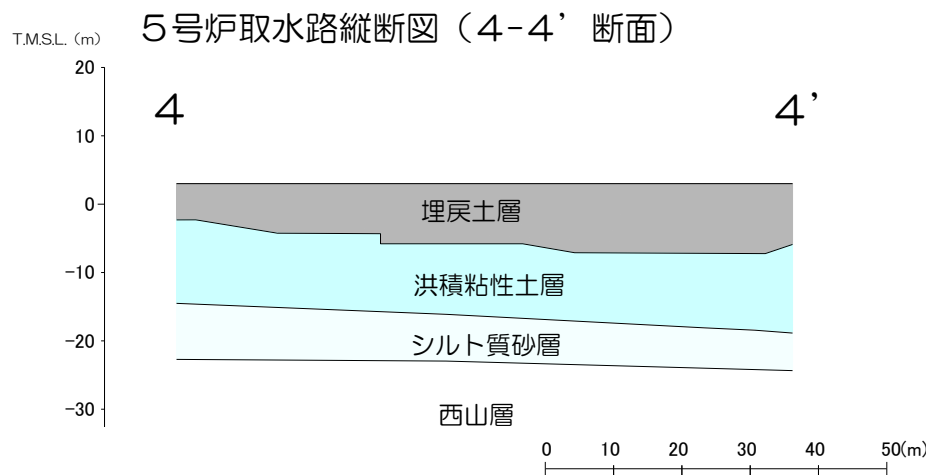


図 大湊側取水路断面図（取水路直交方向）

(参考) 凍結サンプリングの概要

- 凍結サンプリングは、砂・砂質土地盤や砂礫地盤を対象に高品質な不攪乱試料を採取する手法。
- 凍結管に液体窒素を流し込み、ゆっくりと地盤を凍結させた後に、コアサンプリングを行う。
- サンプリング手順は以下の通り
 - ① 既往調査より対象土層の厚い箇所を確認し、凍結サンプリング計画地点を決定。
 - ② 凍結サンプリング計画地点近傍にてパイロットボーリング（孔径φ86mm）を行い、サンプリング対象層の深度を確認。
 - ③ 液体窒素を流し込み、地中温度計が0度付近になるまで地盤の凍結を行う。
 - ④ 凍結が確認された後、コアチューブによる試料のサンプリングを行う。

(1) 作業ステージ・機械設置

(2) 凍結管・ガイド管・温度計設置

(3) 地盤凍結

(4) 凍結土のサンプリング

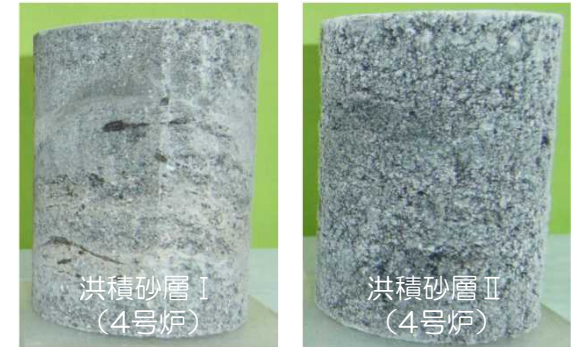
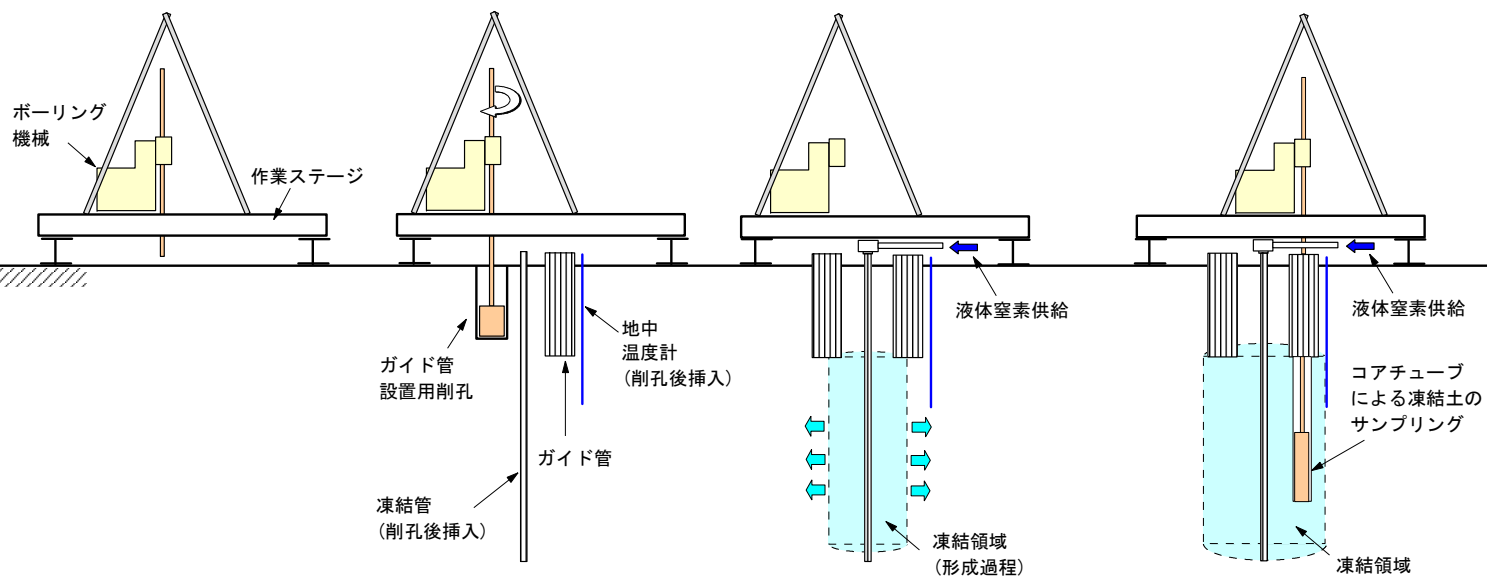
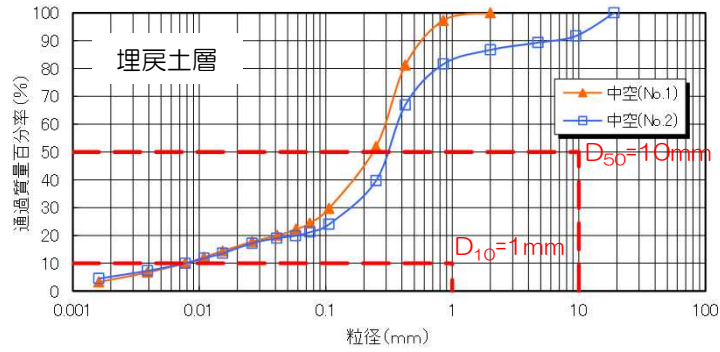


図 凍結サンプリングの概要

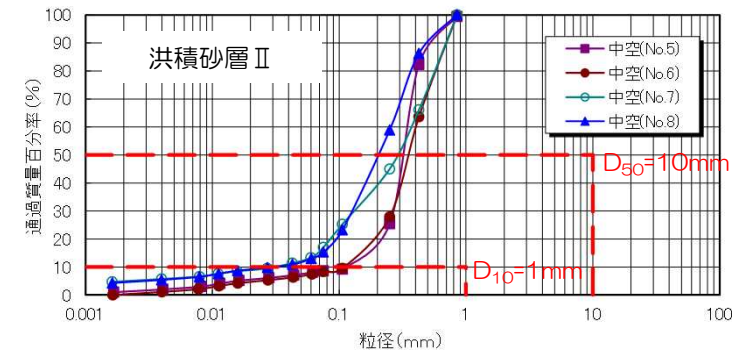
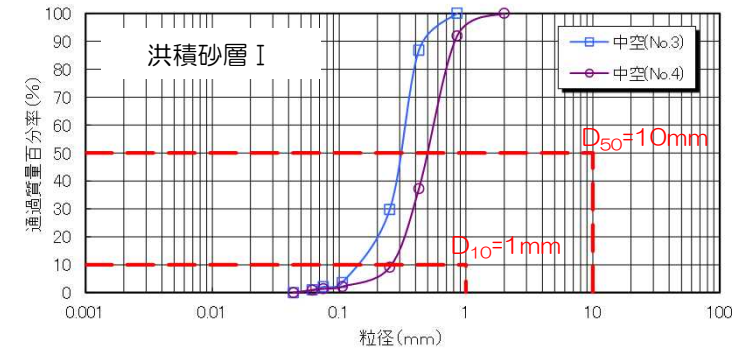
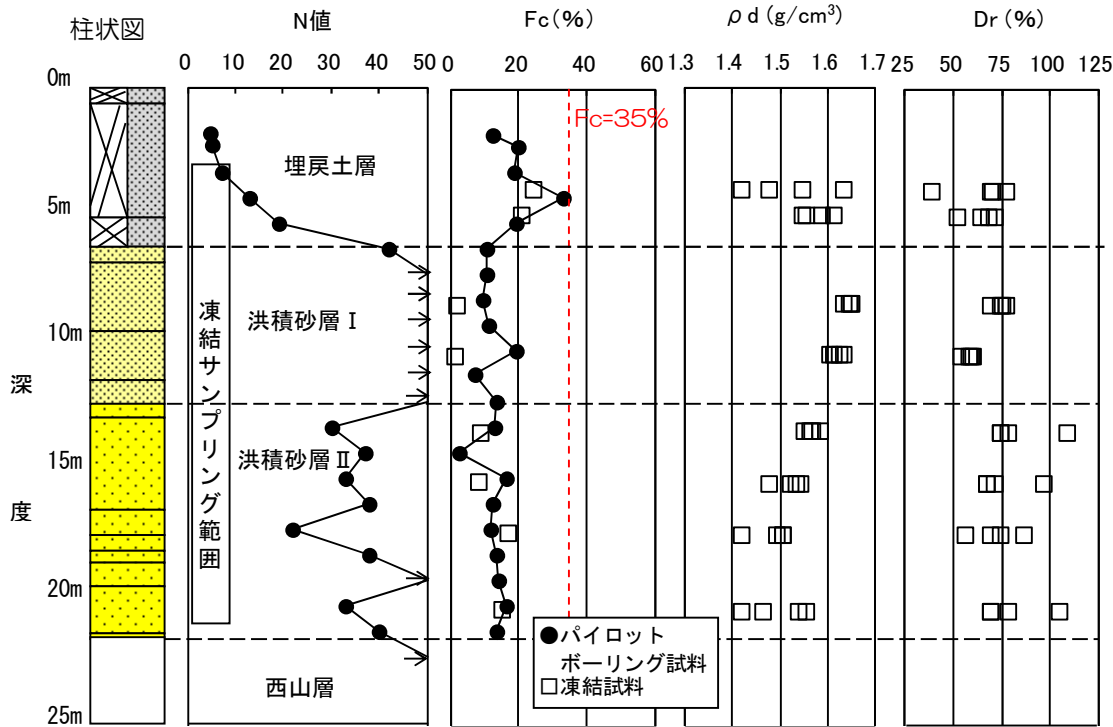
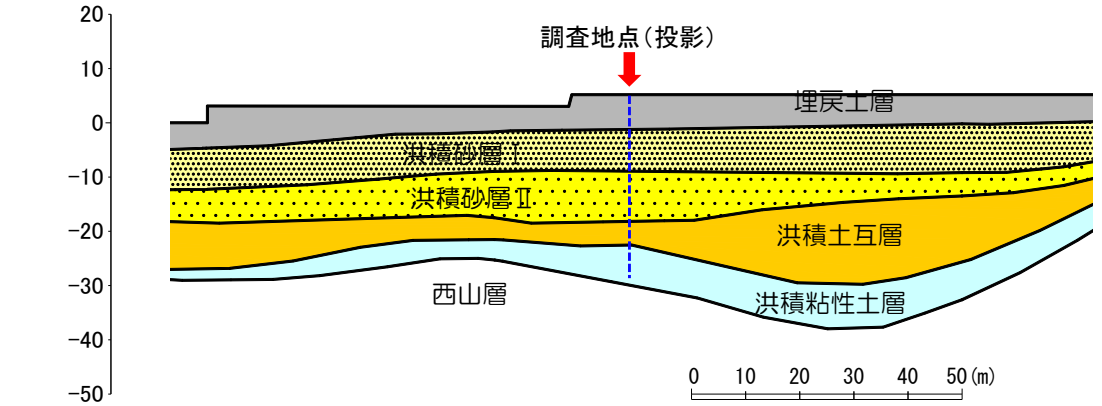
図 試験供試体例 (左上：洪積砂層 I
右上：洪積砂層 II
下：新期砂層)

2. 液状化評価対象層の抽出

【基本物性（1号炉非常用取水路地盤）】

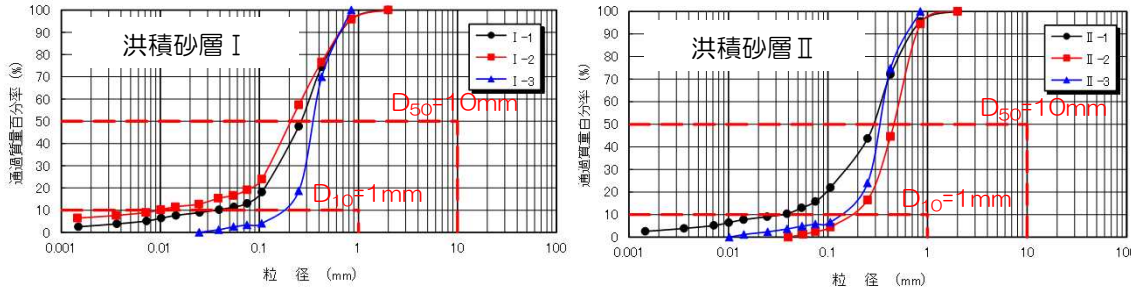


1号炉非常用取水路縦断面図

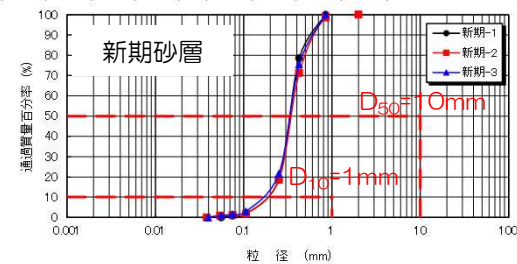
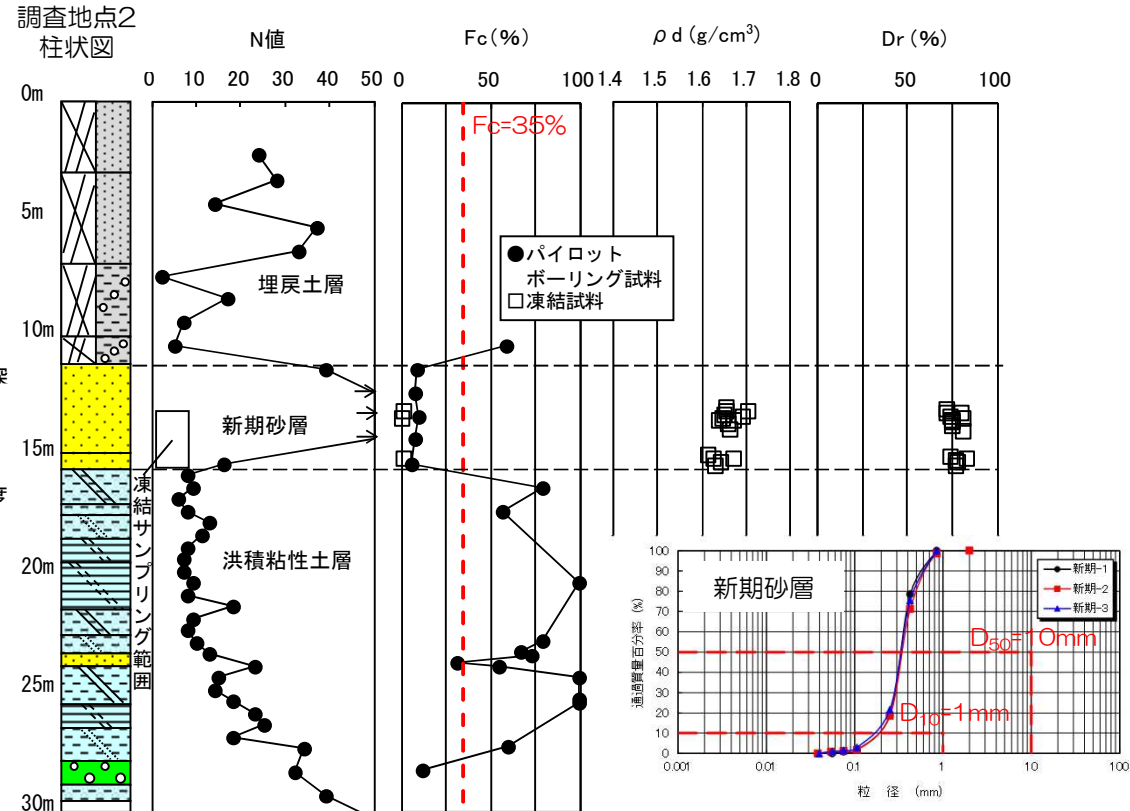
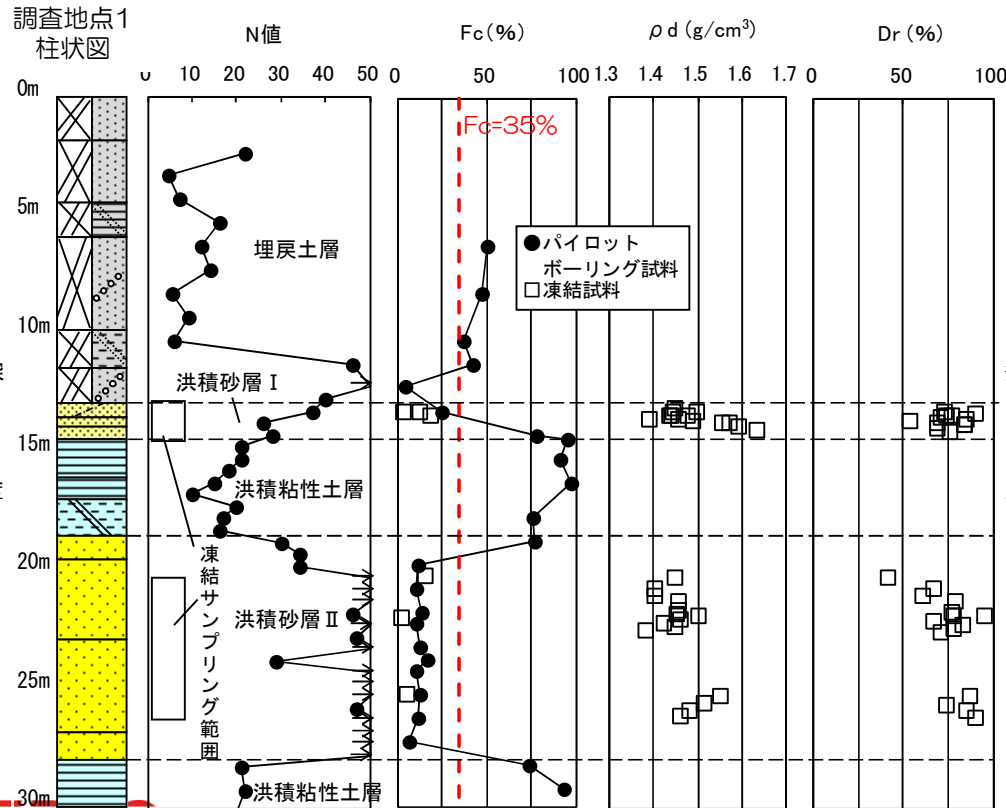
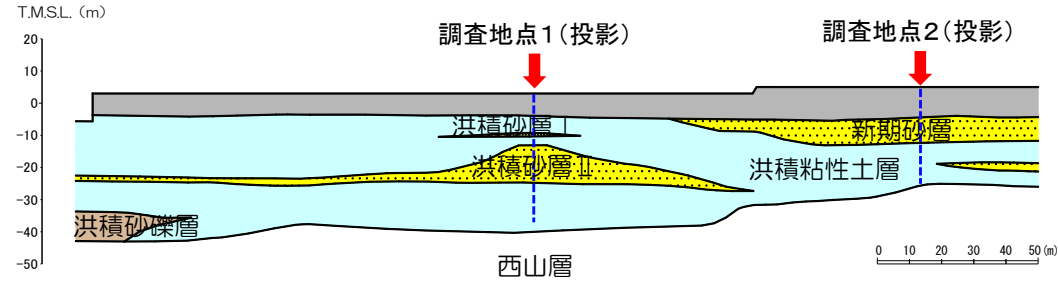


2. 液状化評価対象層の抽出

【基本物性（4号炉取水路地盤）】

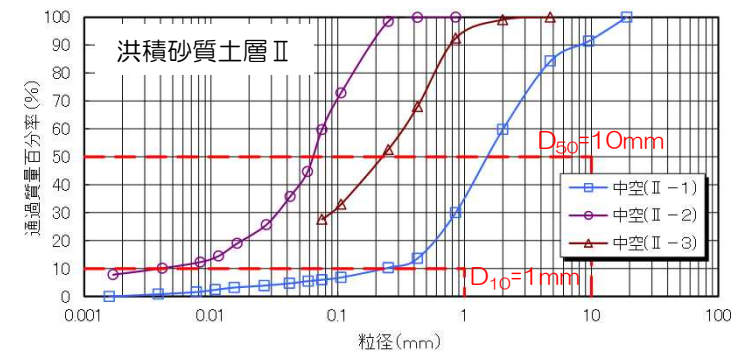
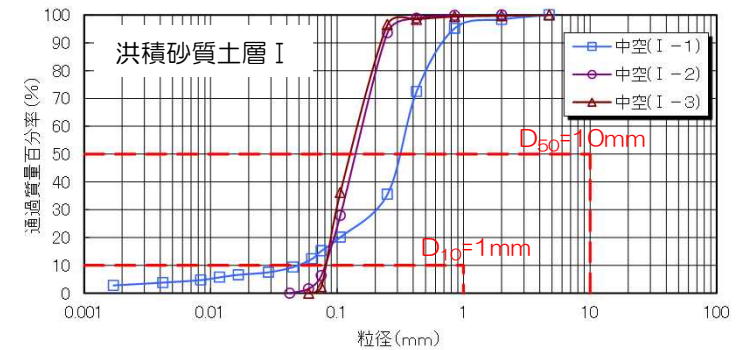
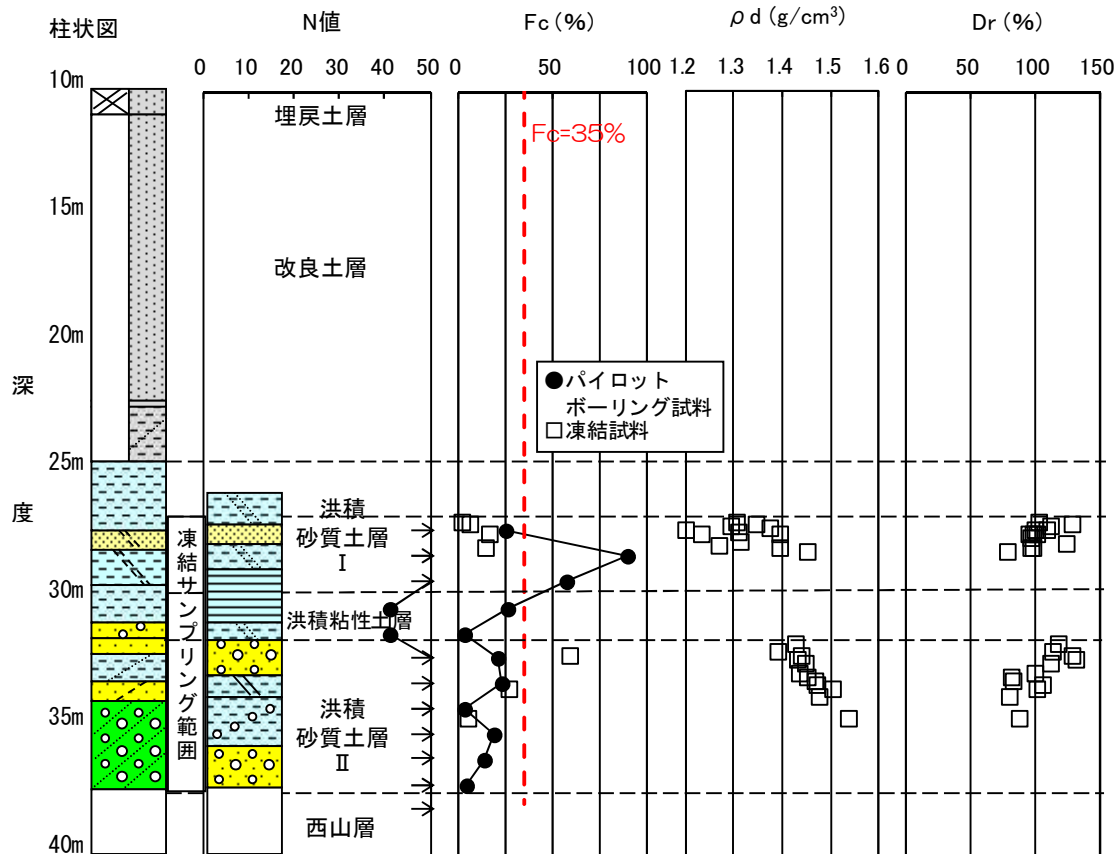
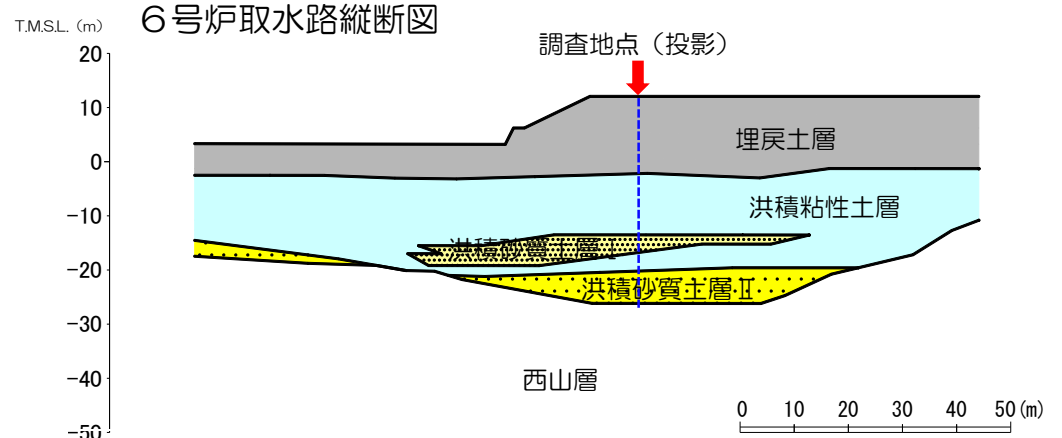


4号炉取水路縦断面図



2. 液状化評価対象層の抽出

【基本物性（6号炉取水路地盤）】



3. 液状化試験結果

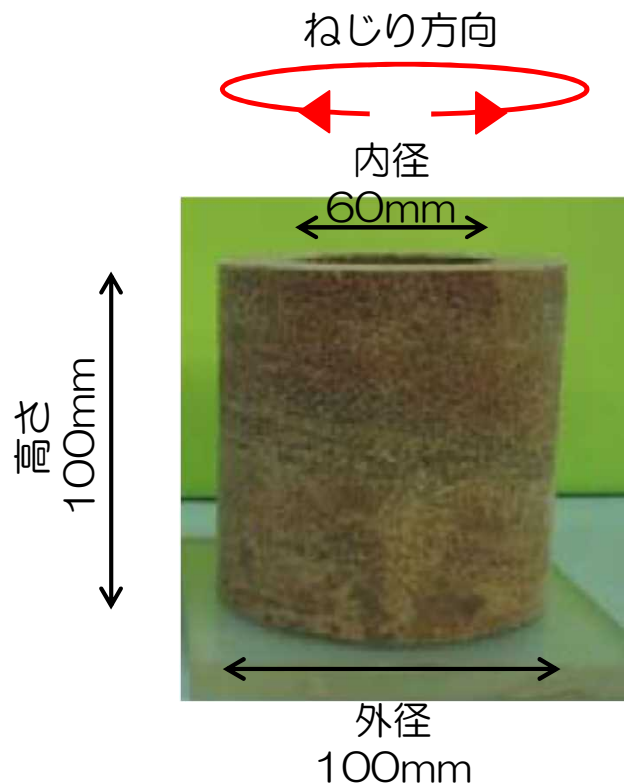
【試験の概要】

- 土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験方法（地盤工学会：JGS 0543-2000）（以下，中空ねじり試験という。）を参考に実施。

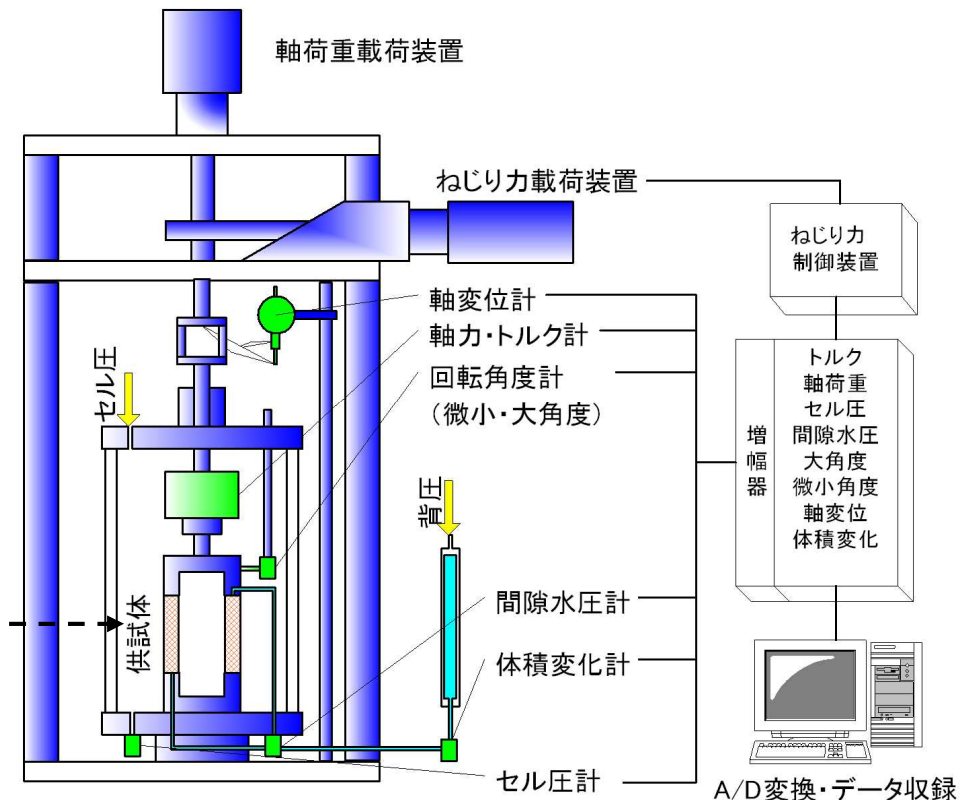
【試験条件】

- 供試体寸法：外径100mm（内径60mm），高さ100mm（一部供試体は，外径70mm（内径30mm），高さ100mm）
- 载荷波形：正弦波（0.1Hz）
- 拘束圧：供試体平均深度の有効土被り圧を考慮して設定

- 繰返し回数200回を上限として，過剰間隙水圧比0.95および両振幅せん断ひずみ15%に達するまで試験を実施。（JGS 0541-2000を参考）
- 所定の両振幅せん断ひずみ（1.5%，2%，3%，7.5%，15%）および過剰間隙水圧比0.95の繰返し回数を評価。（JGS 0541-2000を参考）



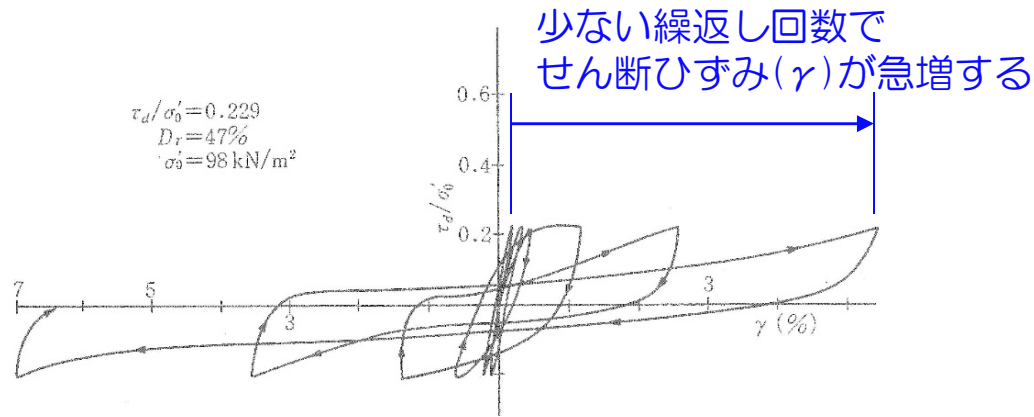
中空ねじり試験供試体写真



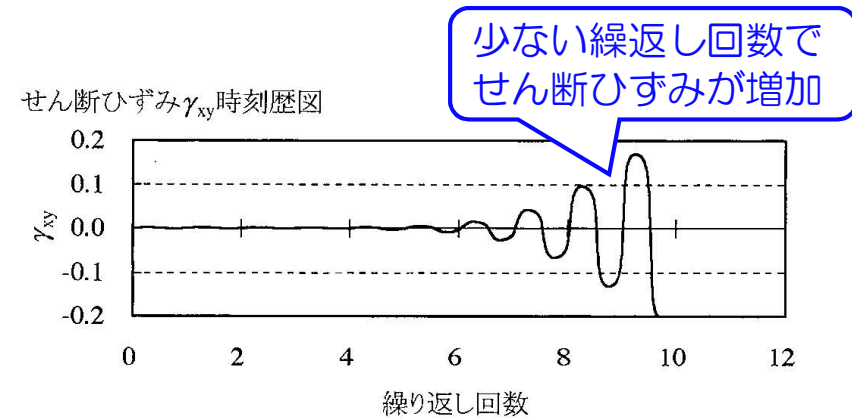
中空ねじり試験機の概要

3. 液状化試験結果

【液状化試験のイメージ（1）】



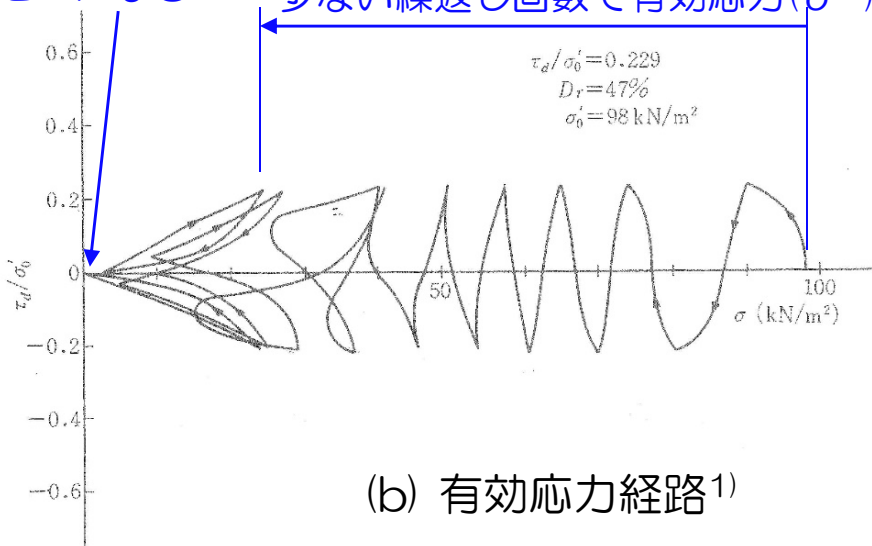
(a) せん断応力-せん断ひずみ関係¹⁾



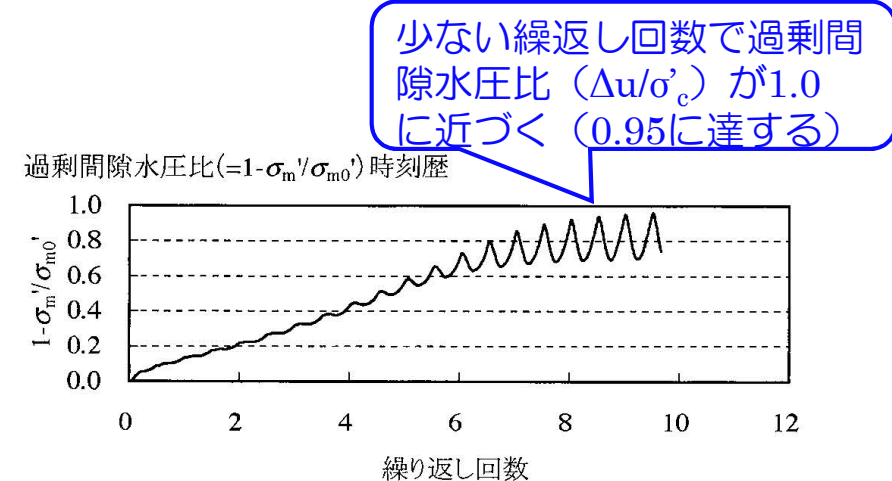
(c) せん断ひずみ²⁾

有効応力(σ')がゼロになる

少ない繰返し回数で有効応力(σ')が急減する



(b) 有効応力経路¹⁾



(d) 過剰間隙水圧比²⁾

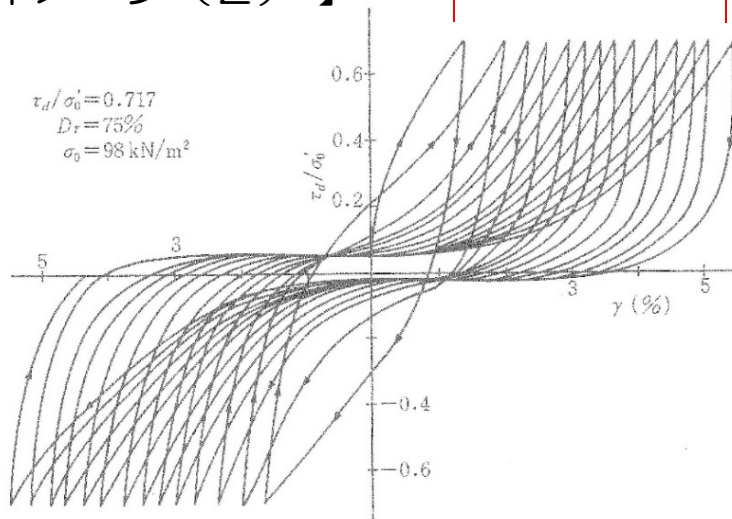
液状化試験の例（液状化する場合）

1) 永瀬英生：多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性，東京大学博士論文，1984

2) 井合進，飛田哲男，小堤治：砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係，京都大学防災研究所年報，第51号，pp.291-304，2008.

3. 液状化試験結果

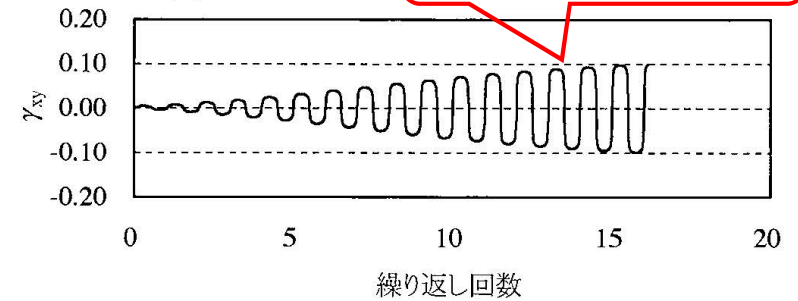
【液状化試験のイメージ (2)】



(a) せん断応力—せん断ひずみ関係¹⁾

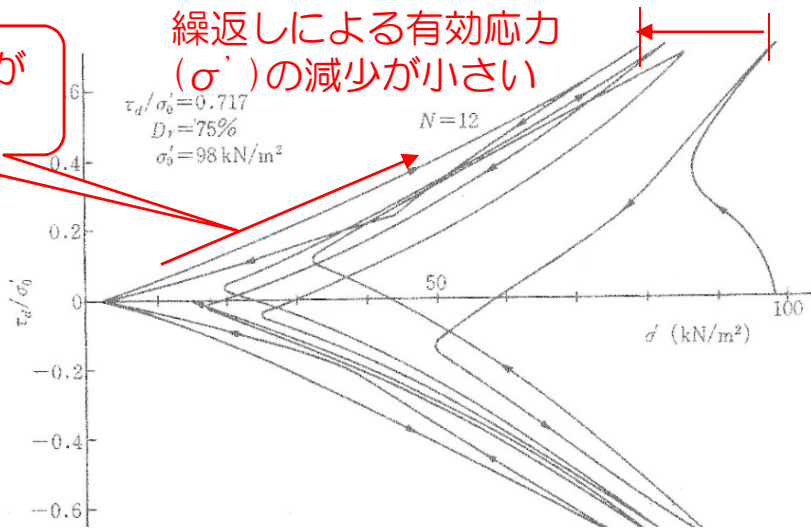
せん断ひずみ(γ)が増加する
のに繰返し回数を多く要する

せん断ひずみ γ_{xy} 時刻歴図



(c) せん断ひずみ²⁾

有効応力(σ')が
回復する

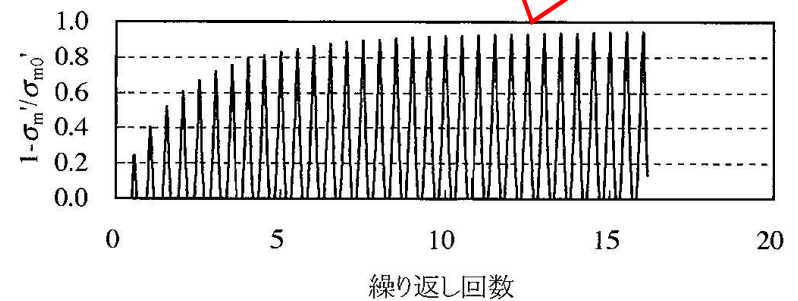


(b) 有効応力経路¹⁾

液状化試験の例 (サイクリックモビリティの場合)

過剰間隙水圧比が
上昇と下降を繰り返す。

過剰間隙水圧比($=1-\sigma'_m/\sigma'_{m0}$)時刻歴



(d) 過剰間隙水圧比²⁾

1) 永瀬英生：多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性，東京大学博士論文，1984

2) 井合進，飛田哲男，小堤治：砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンス関係，京都大学防災研究所年報，第51号，pp.291-304，2008.

3. 液状化試験結果

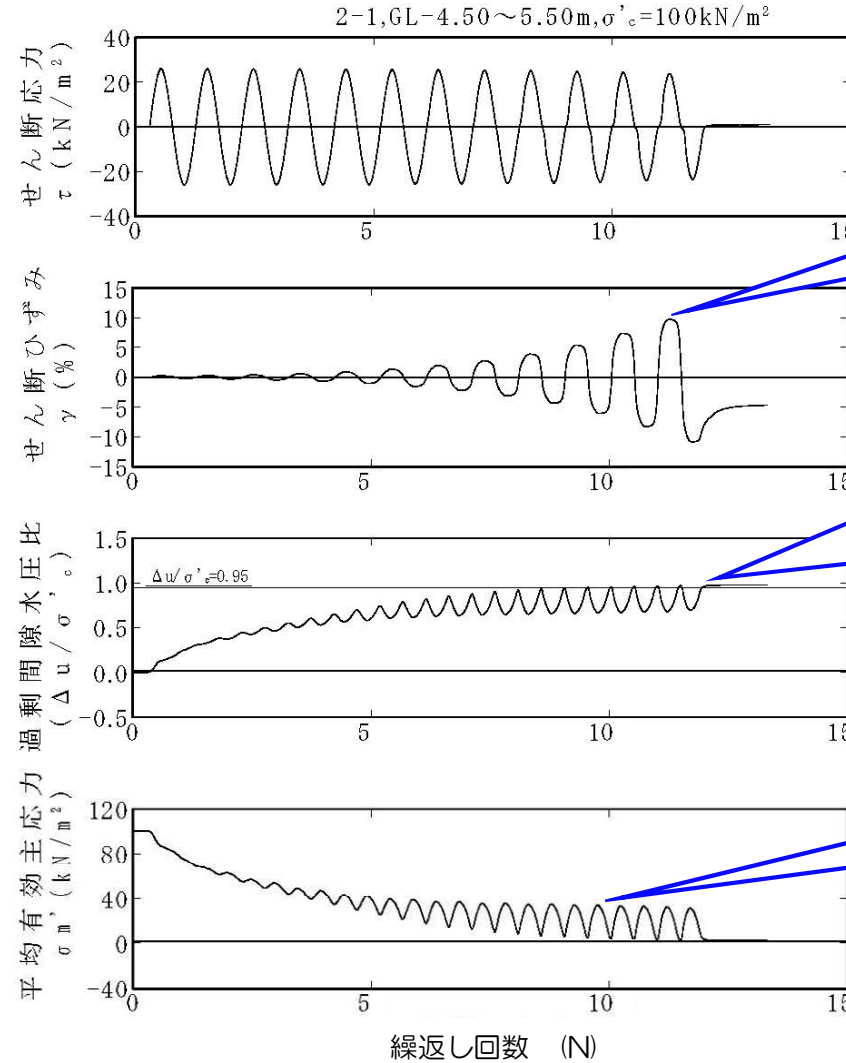
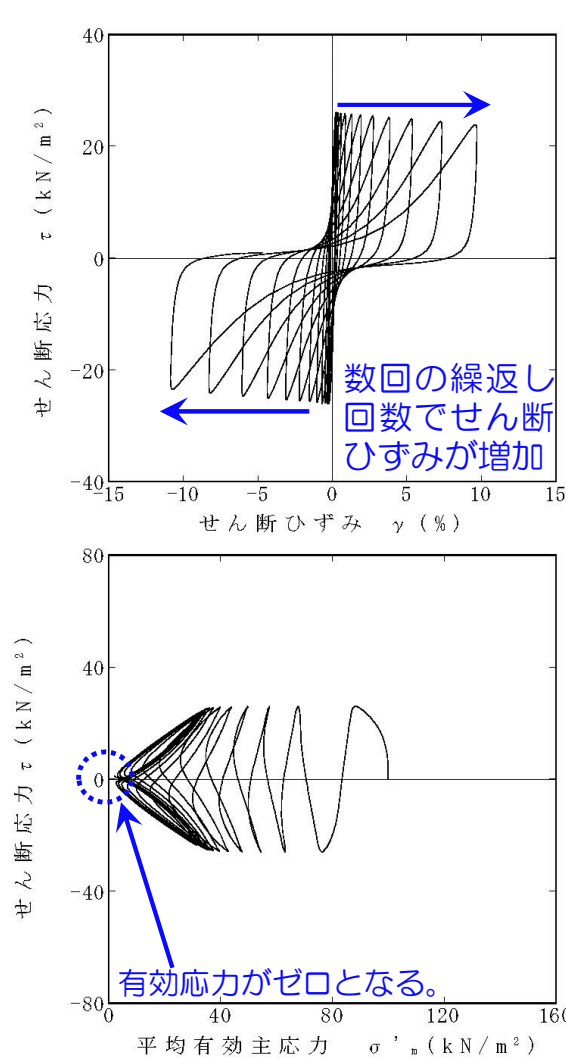
【埋戻土層（1号炉非常用取水路周辺）】

試料番号		#1-O-1				#1-O-2				
深度 G.L.- (m)		3.50~4.50				4.50~5.50				
土質材料		埋戻土層				埋戻土層				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.710				2.720				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		50				100				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.25	0.30	0.20	0.35	0.26	0.21	0.24	0.29	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	7.5	5.5	103	3.5	4.5	54	29	5.5
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	8.5	7	106	5	5	56	32	6.5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	10	9	111	7.5	6	59	36	8
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	16	15	119	27	8	64	46	12
		$\gamma_{DA}=15\%$	21	23	127	109	10	68	54	15
		間隙水圧比 95% N_{U95}	15	16	116	35	9	64	45	14

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
 太字 : 次ページに例示する試験結果

3. 液状化試験結果

【埋戻土層（1号炉非常用取水路周辺）】 $\sigma'_c=100\text{kN/m}^2$, $\tau_d/\sigma'_c=0.26$



数回の繰返し回数でせん断ひずみが増加

数回の繰返し回数で過剰間隙水圧比 ($\Delta u/\sigma'_c$) が1に近く (0.95に達する)

有効応力が徐々に減少する

中空ねじり試験結果（1号炉非常用取水路周辺 埋戻土層の例）

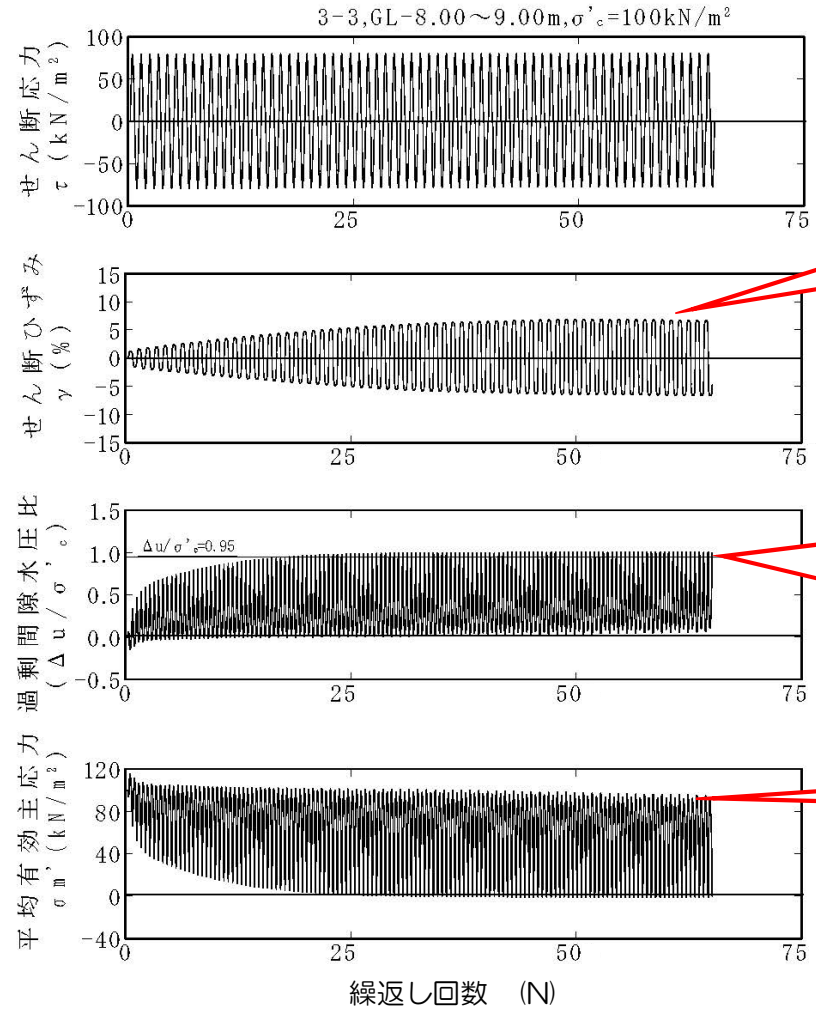
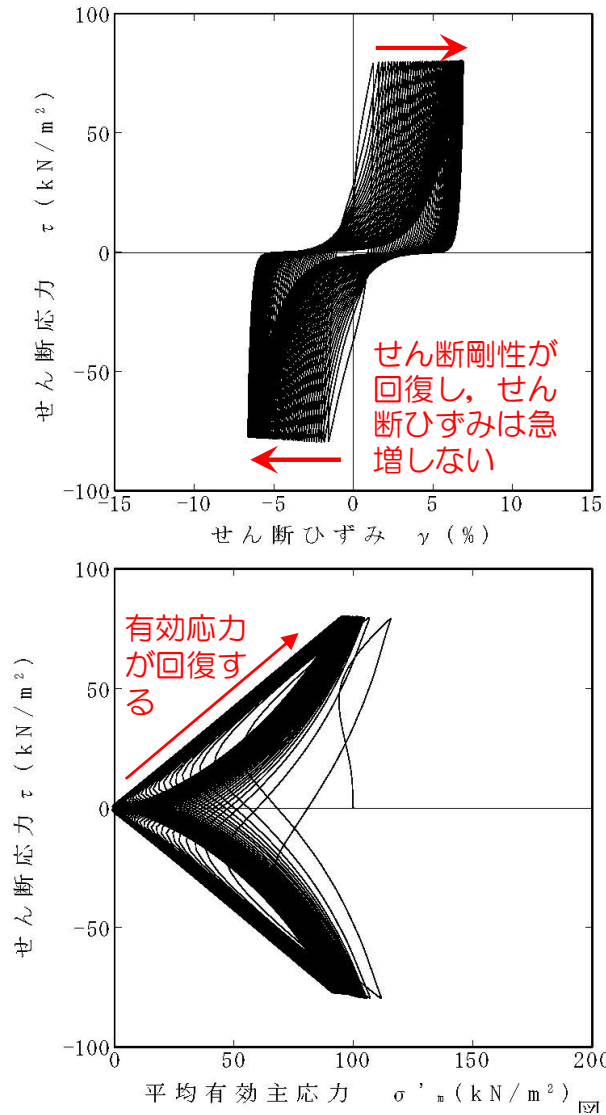


【洪積砂層Ⅰ（1号炉非常用取水路周辺）】

試料番号		#1-1-1				#1-1-2				
深度 G.L.- (m)		8.00~9.00				10.00~11.00				
土質材料		洪積砂層Ⅰ				洪積砂層Ⅰ				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.739				2.732				
圧密圧力 σ'_c (kN/m ²)		100				150				
せん断応力比 τ_d/σ'_c		0.47	0.59	0.79	0.97	0.48	0.61	0.44	0.39	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	4	0.9	0.5	0.3	1.5	0.5	0.9	3
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	6.5	2	0.7	0.5	2.5	0.6	1.5	5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	14	6.5	1	0.7	5	0.9	4	8.5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	48	32	14	9	18	7.5	17	25
		$\gamma_{DA}=15\%$	102	96	—	41	53	23	41	48
	間隙水圧比 95% N_{u95}		40	31	18	19	21	15	22	25

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
 太字 : 次ページに例示する試験結果

【洪積砂層 I (1号炉非常用取水路周辺)】 $\sigma'_c=100\text{kN/m}^2$, $\tau_d/\sigma'_c=0.79$



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u/\sigma'_c$) が、上昇と下降を繰り返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

有効応力が回復する。

中空ねじり試験結果 (1号炉非常用取水路周辺 洪積砂層 I の例)

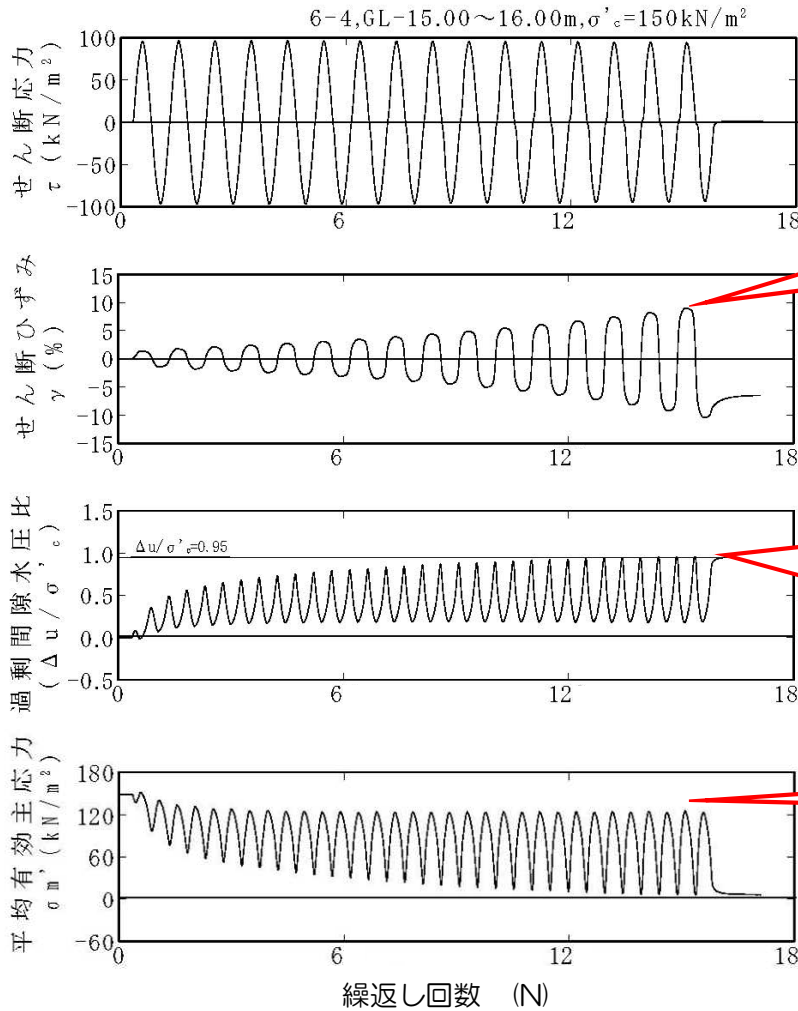
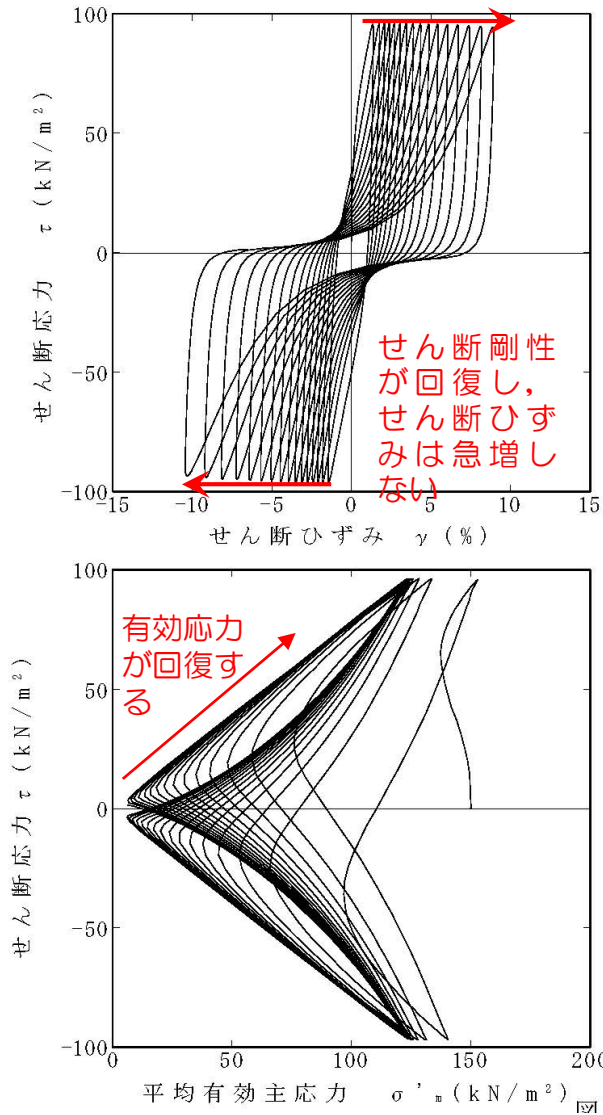
3. 液状化試験結果

【洪積砂層Ⅱ（1号炉非常用取水路周辺）】

試料番号		#1-2-1				#1-2-2				#1-2-3				#1-2-4				
深度 G.L.- (m)		13.00~14.00				15.00~16.00				17.00~18.00				20.00~21.00				
土質材料		洪積砂層Ⅱ				洪積砂層Ⅱ				洪積砂層Ⅱ				洪積砂層Ⅱ				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.714				2.688				2.684				2.685				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		150				150				200				200				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.51	0.41	0.46	0.36	0.39	0.45	0.50	0.64	0.40	0.35	0.48	0.38	0.40	0.46	0.50	0.62	
繰返回数	せん断ひずみ 面振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	0.4	0.8	1	10	2	1.5	0.8	0.5	2	4.5	0.6	7	2	0.9	0.8	0.6
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	0.6	1	2	11	2.5	3.5	1	0.7	3.5	7.5	0.8	12	3.5	1.5	1.5	0.7
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	0.9	4	2.5	20	6	7	4	1	6.5	14	2	20	7	4.5	5	1.5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	7	30	17	65	26	20	18	7	15	30	7	39	27	16	19	9
		$\gamma_{DA}=15\%$	16	56	32	102	48	37	33	13	22	43	13	56	52	25	31	18
間隙水圧比 95% N_{U95}		16	40	22	61	31	27	24	14	19	33	13	42	31	22	30	-	

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
 太字 : 次ページに例示する試験結果

【洪積砂層Ⅱ（1号炉非常用取水路周辺）】 $\sigma'_c = 150 \text{ kN/m}^2$, $\tau_d / \sigma'_c = 0.64$



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が、上昇と下降を繰り返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

有効応力が回復する。

中空ねじり試験結果（1号炉非常用取水路周辺 洪積砂層Ⅱの例）

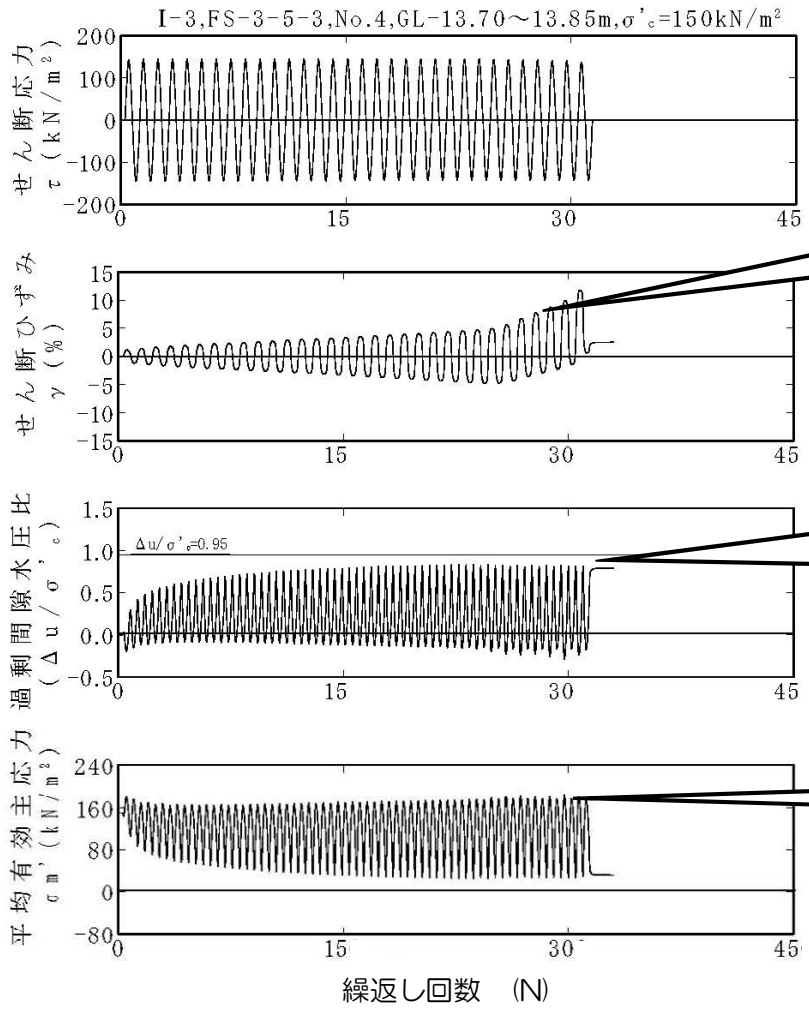
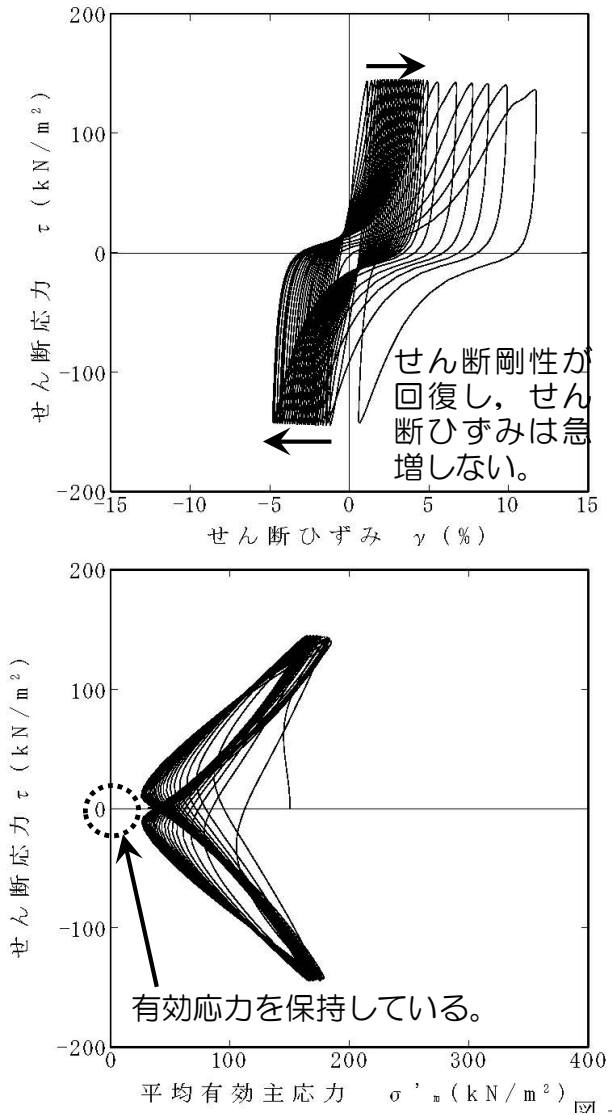
【洪積砂層Ⅰ（4号炉取水路周辺）】

試料番号		#4-1-1				#4-1-2				#4-1-3				
深度 G.L.- (m)		13.20~14.14				13.36~13.99				13.21~13.85				
土質材料		洪積砂層Ⅰ				洪積砂層Ⅰ				洪積砂層Ⅰ				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.665				2.656				2.754				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		150				150				150				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.60	0.43	0.92	1.18	0.79	1.03	1.20	0.61	1.01	0.71	0.81	0.96	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	10	5	0.7	0.4	0.9	0.5	0.4	9	0.5	0.9	0.6	0.6
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	23	9	1	0.5	3	0.6	0.6	18	0.7	2	0.8	0.9
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	44	21	4	0.7	13	0.9	0.9	37	1	8	2	2.5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	60	56	23	5	51	4.5	6.5	91	5	43	17	18
		$\gamma_{DA}=15\%$	71	62	35	—	63	7	9	—	7	—	29	—
	間隙水圧比 95% N_{u95}		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
 太字 : 次ページに例示する試験結果

【洪積砂層 I (4号炉取水路周辺)】

$\sigma'_c = 150 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_c = 0.96$



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が上昇と下降の繰返し, 0.95に達しない。

有効応力が回復する。

中空ねじり試験結果 (4号炉取水路周辺 洪積砂層 I の例)

3. 液状化試験結果

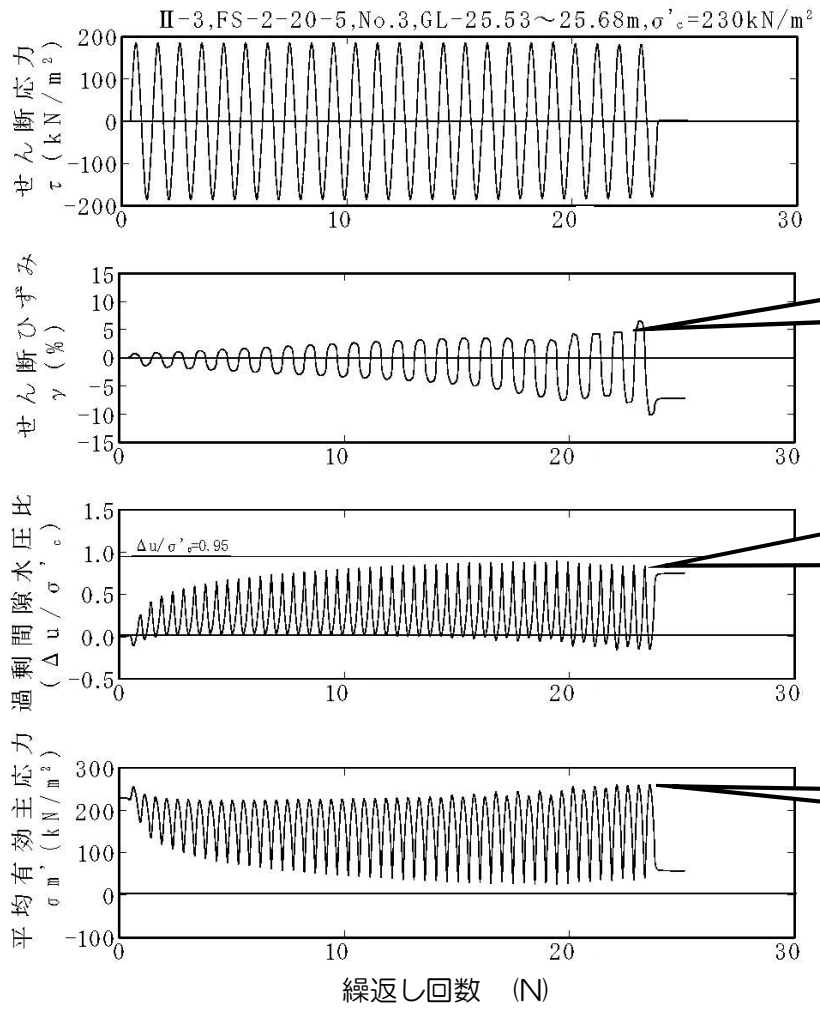
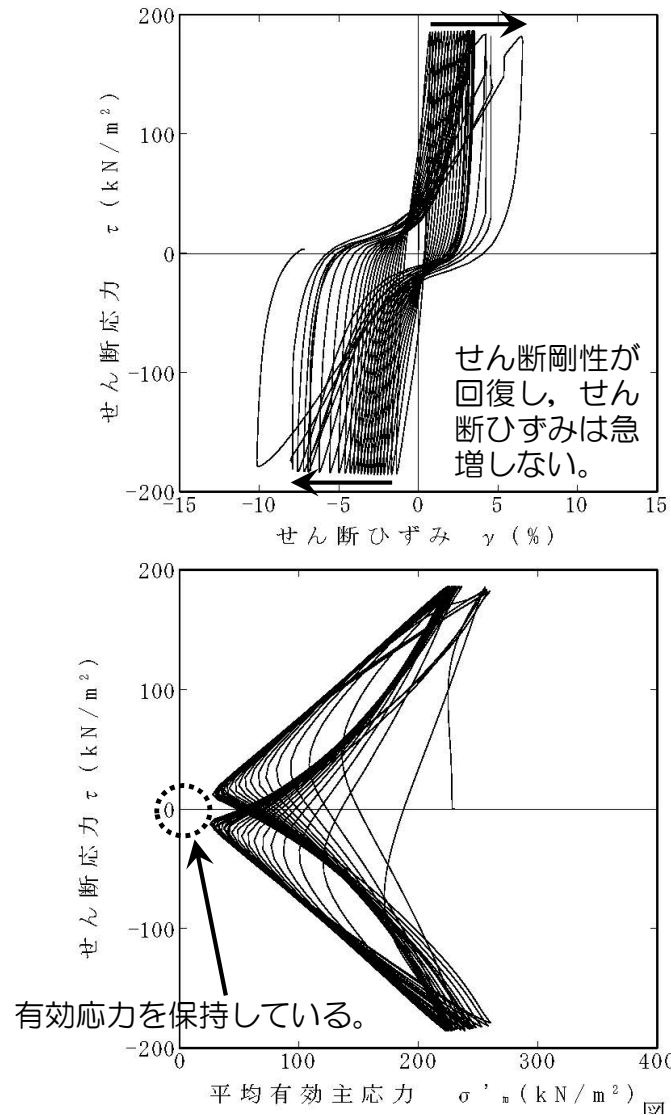
【洪積砂層Ⅱ（4号炉取水路周辺）】

試料番号		#4-2-1				#4-2-2				#4-2-3				
深度 G.L.- (m)		20.20~21.96				21.96~22.62				25.15~26.23				
土質材料		洪積砂層Ⅱ				洪積砂層Ⅱ				洪積砂層Ⅱ				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.680				2.679				2.721				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		230				230				230				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.42	0.80	0.63	0.36	0.57	0.66	0.80	0.70	0.71	0.86	0.81	0.76	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	1.5	0.3	0.8	200	2.5	0.9	0.3	0.3	2	0.8	0.7	0.9
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	3.5	0.4	1.5	-	6	2	0.5	0.4	5.5	1.5	1	2.5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	7	0.7	3.5	-	14	5.5	0.7	0.6	17	4.5	3	6
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	20	3	15	-	46	22	3.5	2	74	17	14	22
		$\gamma_{DA}=15\%$	-	7.5	-	-	78	-	6.5	4.5	110	-	24	36
		間隙水圧比 95% N_{u95}	-	-	-	-	61	-	-	-	87	-	-	-

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
 太字 : 次ページに例示する試験結果

【洪積砂層Ⅱ（4号炉取水路周辺）】

$\sigma'_c = 230 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_c = 0.81$



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が上昇と下降の繰返し, 0.95に達しない。

有効応力が回復する。

中空ねじり試験結果（4号炉取水路周辺 洪積砂層Ⅱ の例）

3. 液状化試験結果

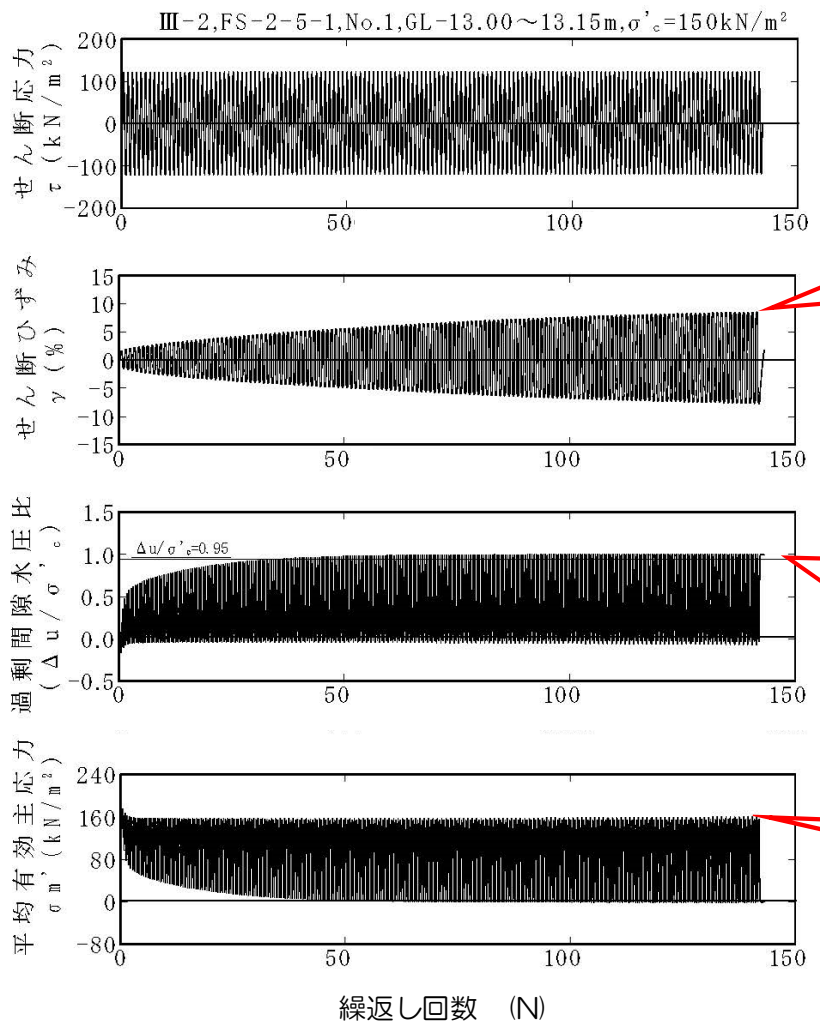
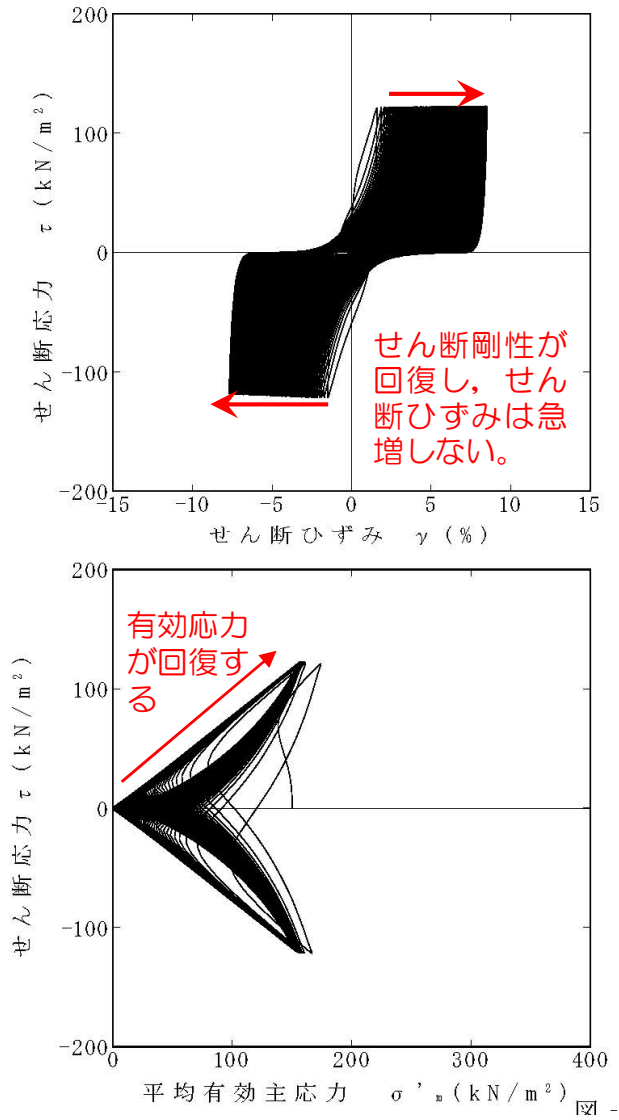
【新期砂層（4号炉取水路周辺）】

試料番号		#4-3-1				#4-3-2				#4-3-3				
深度 G.L.- (m)		13.04~13.51				13.00~13.68				14.96~15.43				
土質材料		新期砂層				新期砂層				新期砂層				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.719				2.780				2.685				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		150				150				150				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.81	0.70	0.62	0.49	0.81	0.91	0.72	0.54	0.60	0.81	0.70	1.02	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	0.5	0.6	0.7	2	0.5	0.3	0.6	0.9	0.8	0.3	0.7	0.3
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	0.6	0.8	0.9	3.5	0.7	0.4	0.8	1.5	1.5	0.5	0.9	0.4
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	0.9	2	2	8.5	1	0.6	2	4	5	0.7	3	0.5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	15	19	18	50	24	9	24	21	32	9	22	8
		$\gamma_{DA}=15\%$	76	96	53	146	112	91	77	65	94	43	60	77
	間隙水圧比 95% N_{u95}		28	28	30	40	38	44	34	24	38	25	28	39

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
 太字 : 次ページに例示する試験結果

【新期砂層（4号炉取水路周辺）】

$\sigma'_c = 150 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_c = 0.81$



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が、上昇と下降を繰り返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

有効応力が回復する。

中空ねじり試験結果（4号炉取水路周辺 新期砂層 の例）

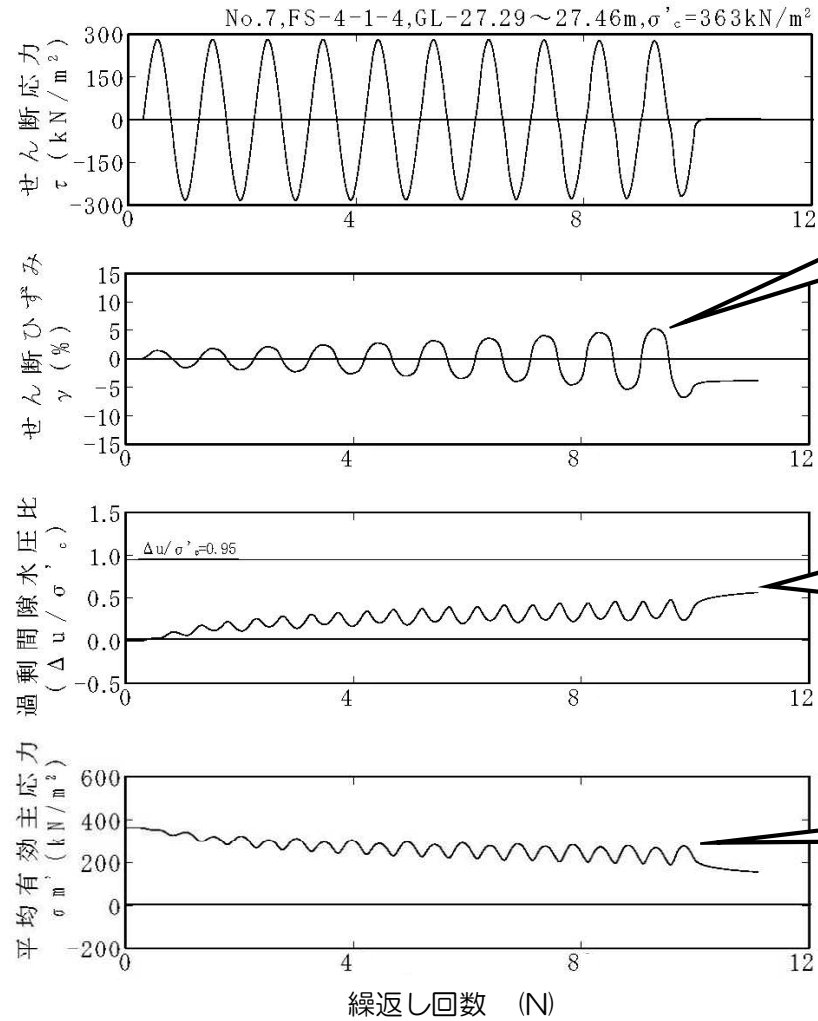
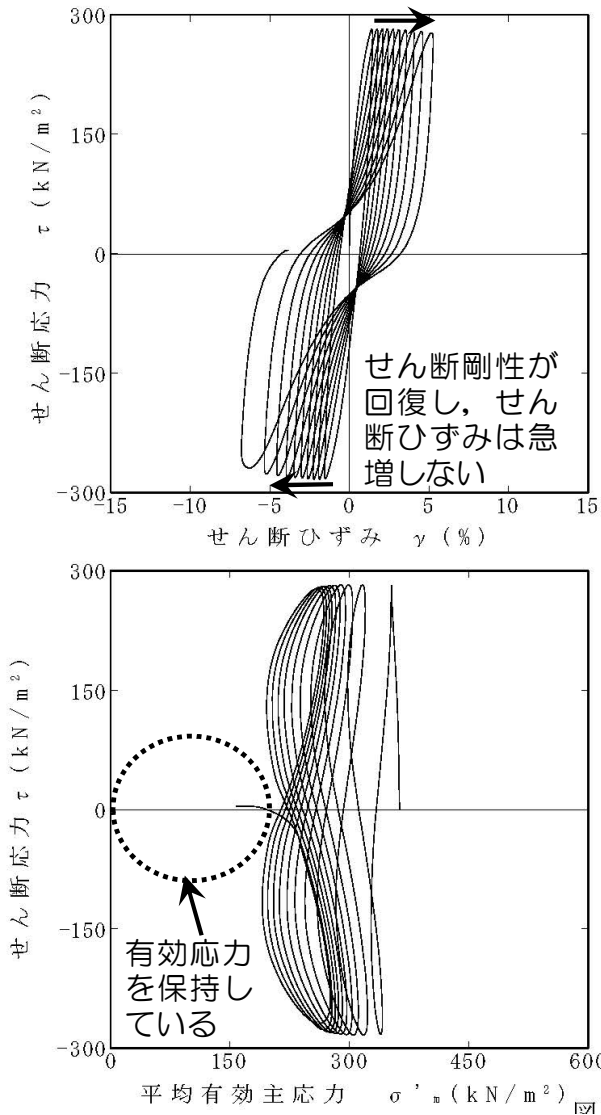
3. 液状化試験結果

【洪積砂質土層Ⅰ（6号炉取水路周辺）】

試料番号		#6-1-1				#6-1-2				#6-1-3				
深度 G.L.- (m)		27.68~28.16				26.95~27.63				26.88~27.48				
土質材料		洪積砂質土層Ⅰ				洪積砂質土層Ⅰ				洪積砂質土層Ⅰ				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.649				2.677				2.669				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		363				363				363				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.51	0.60	0.78	0.64	0.51	0.61	0.78	0.68	0.51	0.46	0.35	0.64	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	8.5	0.9	0.5	0.7	0.9	0.7	0.5	0.5	0.5	42	200	0.9
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	18	5.5	0.7	0.9	6	1	0.7	0.7	0.7	200	-	3.5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	30	26	1.5	2	35	12	1	1	1	-	-	15
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	54	71	5	7	121	46	7	6	8.5	-	-	45
		$\gamma_{DA}=15\%$	-	-	-	-	127	53	-	-	12	-	-	-
	間隙水圧比 95% N_{u95}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

: 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
 太字：次ページに例示する試験結果

【洪積砂質土層 I (6号炉取水路周辺)】 $\sigma'_{c0}=363\text{kN/m}^2$, $\tau_d/\sigma'_{c0}=0.78$



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u/\sigma'_{c0}$) が上昇と下降の繰返し, 0.95に達しない。

有効応力を保持している。

中空ねじり試験結果 (6号炉取水路周辺 洪積砂質土層 I の例)

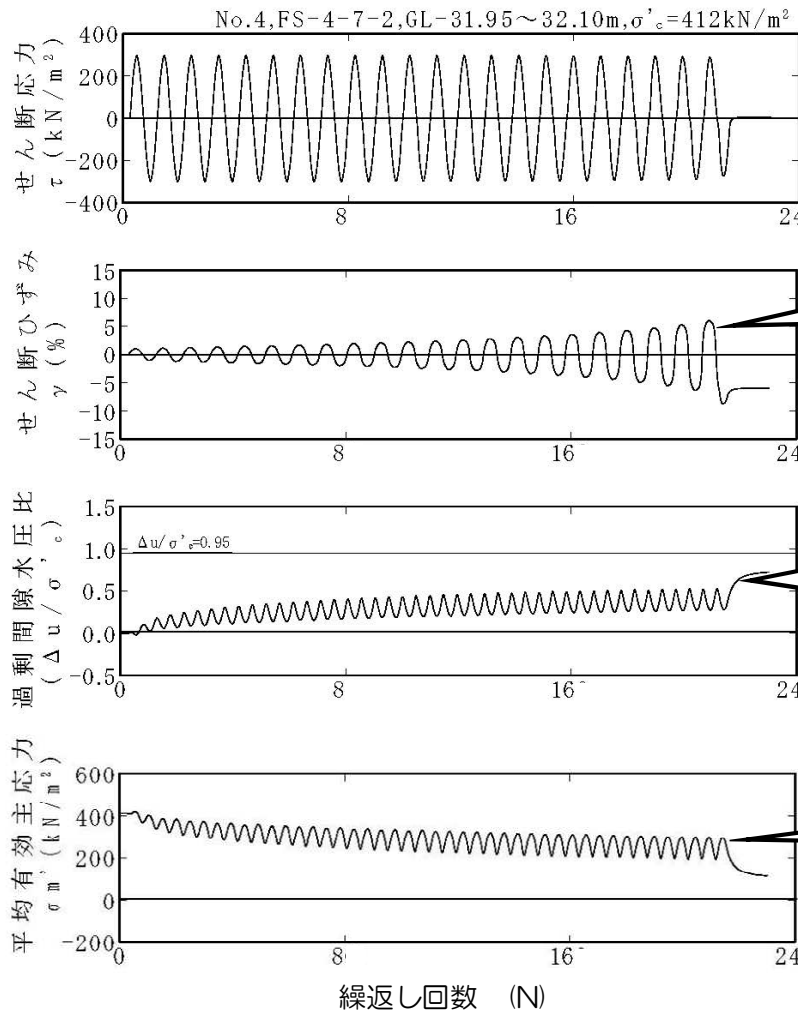
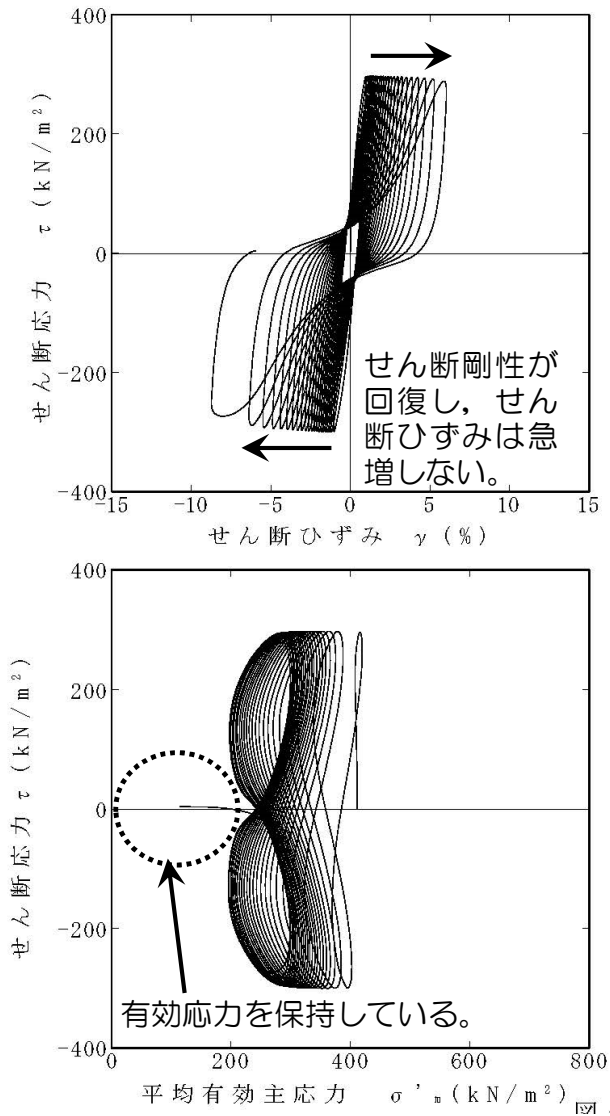
3. 液状化試験結果

【洪積砂質土層Ⅱ（6号炉取水路周辺）】

試料番号		#6-2-1				#6-2-2				#6-2-3				
深度 G.L.- (m)		31.65~34.75				32.10~32.95				32.95~33.55				
土質材料		洪積砂質土層Ⅱ				洪積砂質土層Ⅱ				洪積砂質土層Ⅱ				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.664				2.646				2.672				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		412				412				412				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.59	0.52	0.79	0.72	0.51	0.58	0.69	0.64	0.57	0.53	0.70	0.65	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	1.5	6.5	0.3	0.7	5.5	0.8	0.6	1	1	2	0.7	0.9
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	5	11	0.5	1	24	1.5	0.9	5.5	4	6	1	2
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	13	19	1	5	61	7	2.5	17	14	15	3.5	5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	36	38	2	17	111	25	8.5	38	37	34	9.5	16
		$\gamma_{DA}=15\%$	-	-	-	-	116	30	-	-	43	43	11	-
	間隙水圧比 95% N_{u95}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を越えるもの）
太字 : 次ページに例示する試験結果

【洪積砂質土層Ⅱ（6号炉取水路周辺）】 $\sigma'_c=412\text{kN/m}^2$, $\tau_d/\sigma'_c=0.72$



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u/\sigma'_c$) が上昇と下降を繰り返し、0.95に達しない。

有効応力を保持している。

中空ねじり試験結果（6号炉取水路周辺 洪積砂質土層Ⅱ の例）

【まとめ】

- 液状化試験の試験結果から，以下の表のように液状化判定の対象層と非液状化層に分類される。
- 新期砂層および古安田層中の砂層は，比較的N値が高く，液状化試験結果は繰返し軟化を示している。このことは，道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（(社)日本道路協会，H24.3）において，一般にN値が高く，続成作用を受けている洪積層などは，液状化に対する抵抗が高いため，一般には液状化の可能性は低く，原則として液状化の判定の対象としていないことと整合している。
- 液状化層である埋戻土について，基準地震動Ssに対する液状化の可能性を評価する。

対象層	埋戻土層	洪積砂層Ⅰ（1号） 洪積砂層Ⅱ（1号） 新期砂層（4号）	洪積砂層Ⅰ（4号） 洪積砂層Ⅱ（4号） 洪積砂質土層Ⅰ（6号） 洪積砂質土層Ⅱ（6号）
液状化試験の状況	<ul style="list-style-type: none"> • 過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を上回る）。 • 有効応力がゼロになる。 • ひずみが急激に上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し，上昇時に1.0に近づく（0.95を上回る）。 • 有効応力が減少するが，回復する。 • ひずみが緩やかに上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 過剰間隙水圧比が0.95を上回らない。 • 有効応力を保持している。 • ひずみが緩やかに上昇する。
現象の整理	試験の結果は，液状化である。	試験結果は，繰返し軟化（サイクリックモビリティ）である。	試験の結果，有効応力を保持している。
液状化評価	Ssによる液状化判定の対象層	非液状化層	

4. 液状化判定

【 F_L 法による液状化判定】

- 埋戻土層を対象として、 F_L 法による液状化判定を実施する。

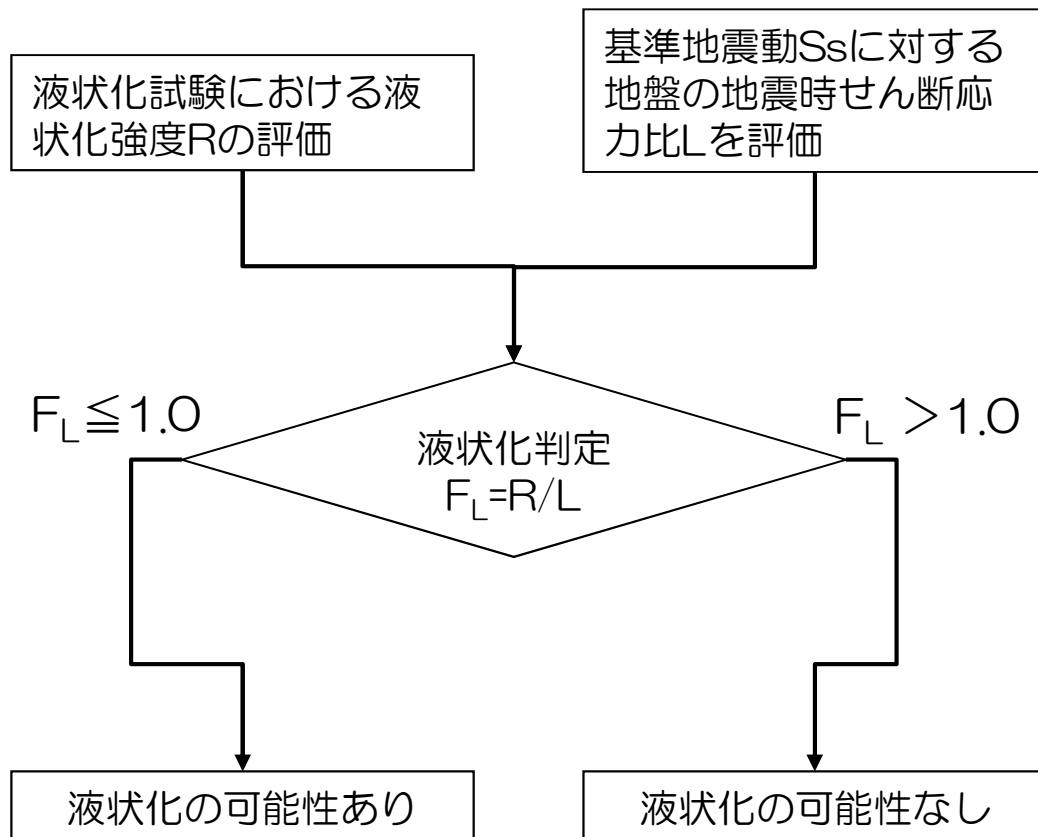
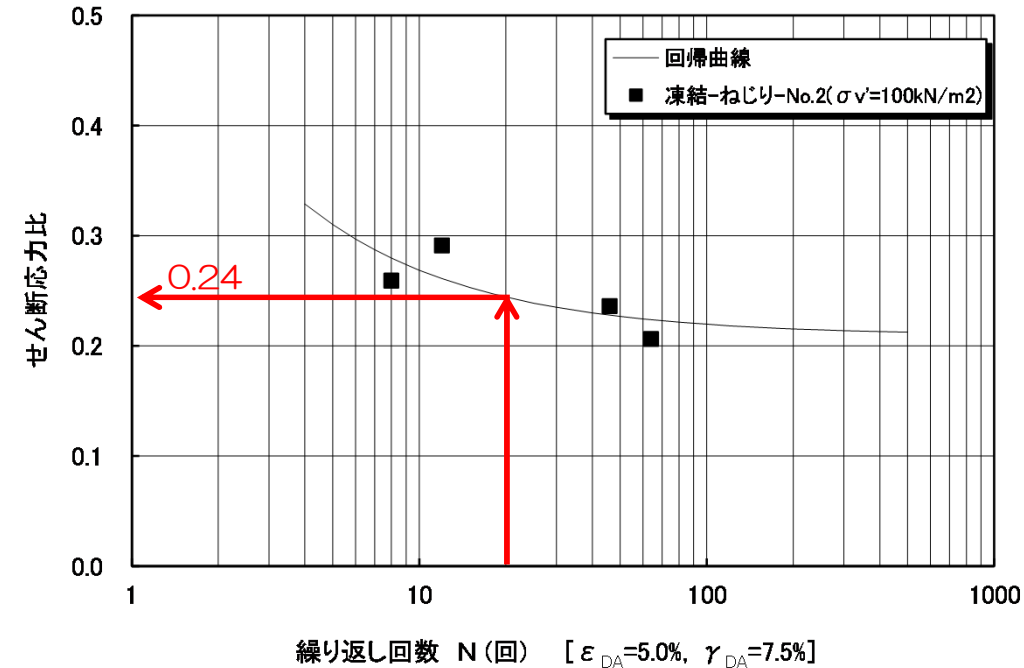


図 F_L 法による液状化判定のフロー



※Rは、せん断ひずみ両振幅7.5%の液状化曲線の繰返し回数20回に相当するせん断応力比とする。

図 液状化試験における液状化強度Rの評価

4. 液状化判定

【解析条件】

- 下記の地盤モデルを用いて、逐次非線形解析を実施した。

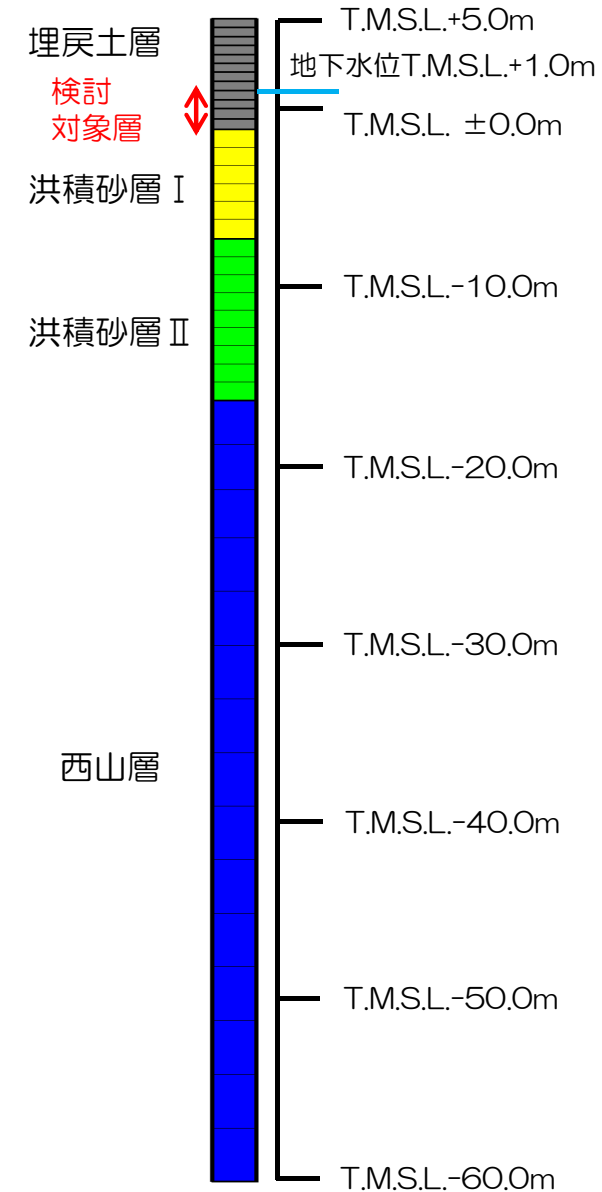


地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G 減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.33 (0.49)*1	$1980 \times \sigma_v'^{0.667}$	ひずみ依存性を 考慮
古 安 田 層	洪積砂層Ⅰ	19.1	0.47	1.53×10^5	
	洪積砂層Ⅱ	18.6	0.48	1.49×10^5	
西 山 層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-62.0m	16.9	0.43	5.02×10^5	
	~T.M.S.L.-77.0m	16.9	0.43	5.99×10^5	
	~T.M.S.L.-103.0m	16.9	0.43	6.62×10^5	
	~T.M.S.L.-128.0m	16.9	0.43	7.28×10^5	
	~T.M.S.L.-192.0m	16.9	0.43	7.73×10^5	
	~T.M.S.L.-284.0m	16.9	0.43	8.20×10^5	
解放基盤		16.9	0.43	9.17×10^5	—

* 1 : 地下水位以深の物性値

(既工認物性)

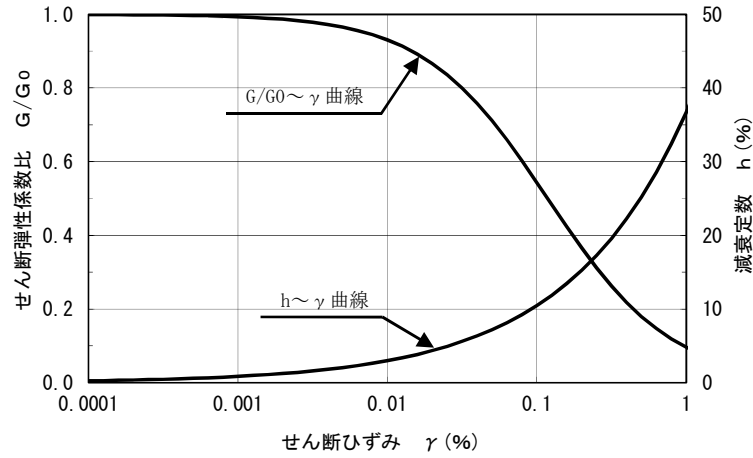


解析モデル

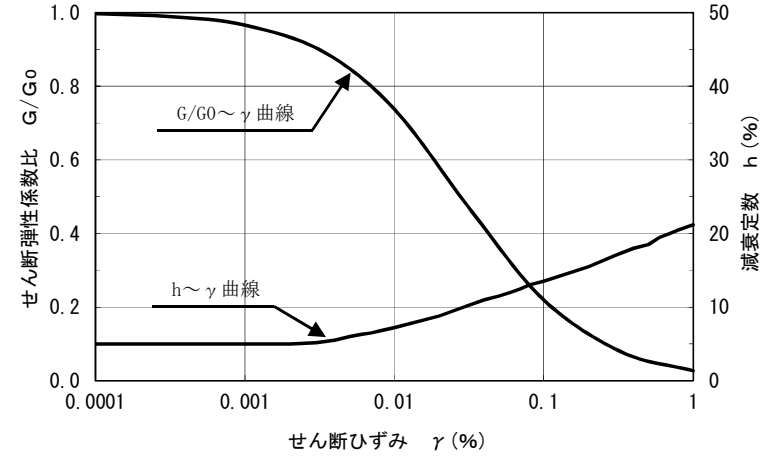
(1号炉非常用取水路周辺
凍結サンプリング孔)

4. 液状化判定

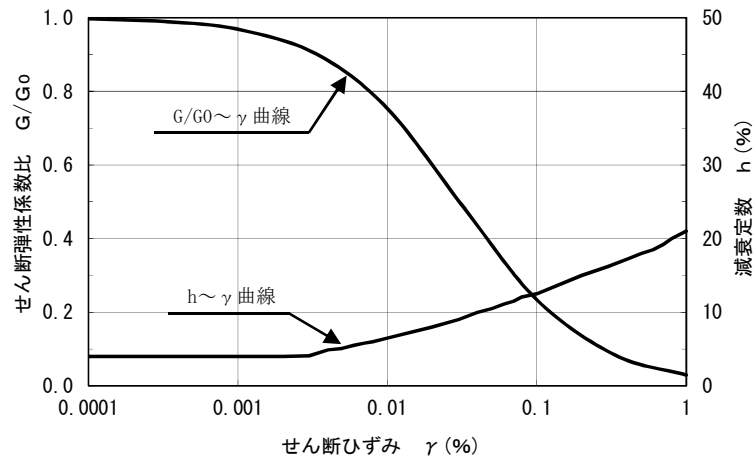
【解析条件】



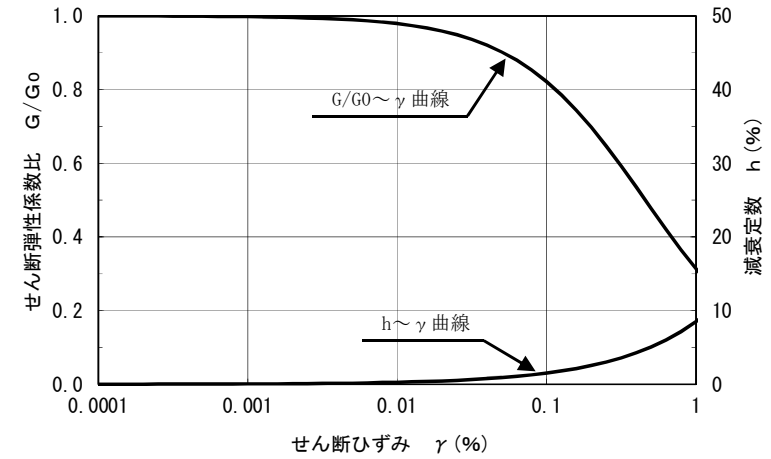
埋戻土層



洪積砂層 I



洪積砂層 II

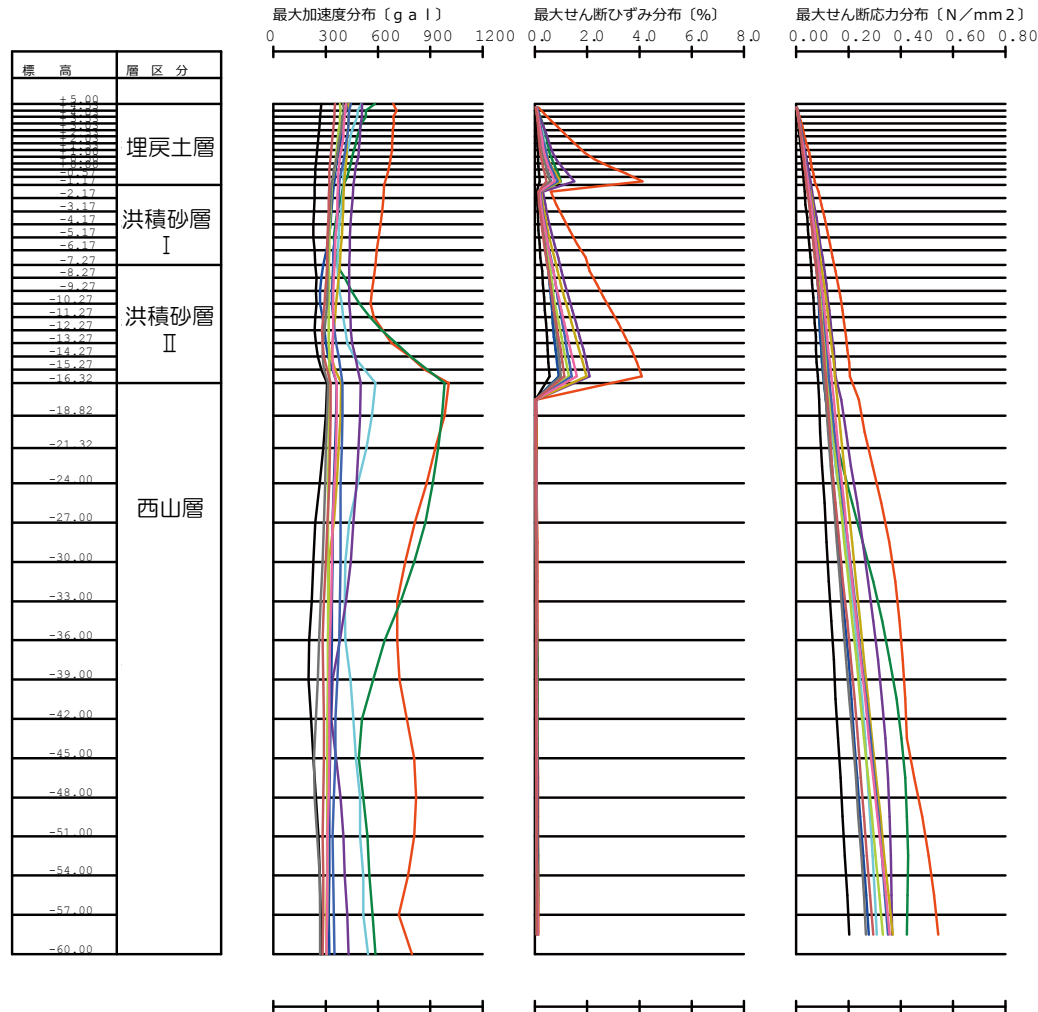


西山層

せん断剛性および減衰のひずみ依存性

【液状化判定結果】

- Ss-1
- Ss-2EW
- Ss-2NS
- Ss-3
- Ss-4EW
- Ss-4NS
- Ss-5EW
- Ss-5NS
- Ss-6EW
- Ss-6NS
- Ss-7EW
- Ss-7NS



最大応答値分布

液状化判定結果

基準地震動Ss	最大せん断応力比 L	液状化強度 R	F _L 値 =R/L	評価
Ss1	0.76	0.24	0.32	液状化
Ss2EW	0.51		0.47	液状化
Ss2NS	0.47		0.51	液状化
Ss3	0.57		0.42	液状化
Ss4EW	0.44		0.55	液状化
Ss4NS	0.30		0.80	液状化
Ss5EW	0.51		0.47	液状化
Ss5NS	0.44		0.55	液状化
Ss6EW	0.49		0.49	液状化
Ss6NS	0.43		0.56	液状化
Ss7EW	0.47		0.51	液状化
Ss7NS	0.40		0.60	液状化

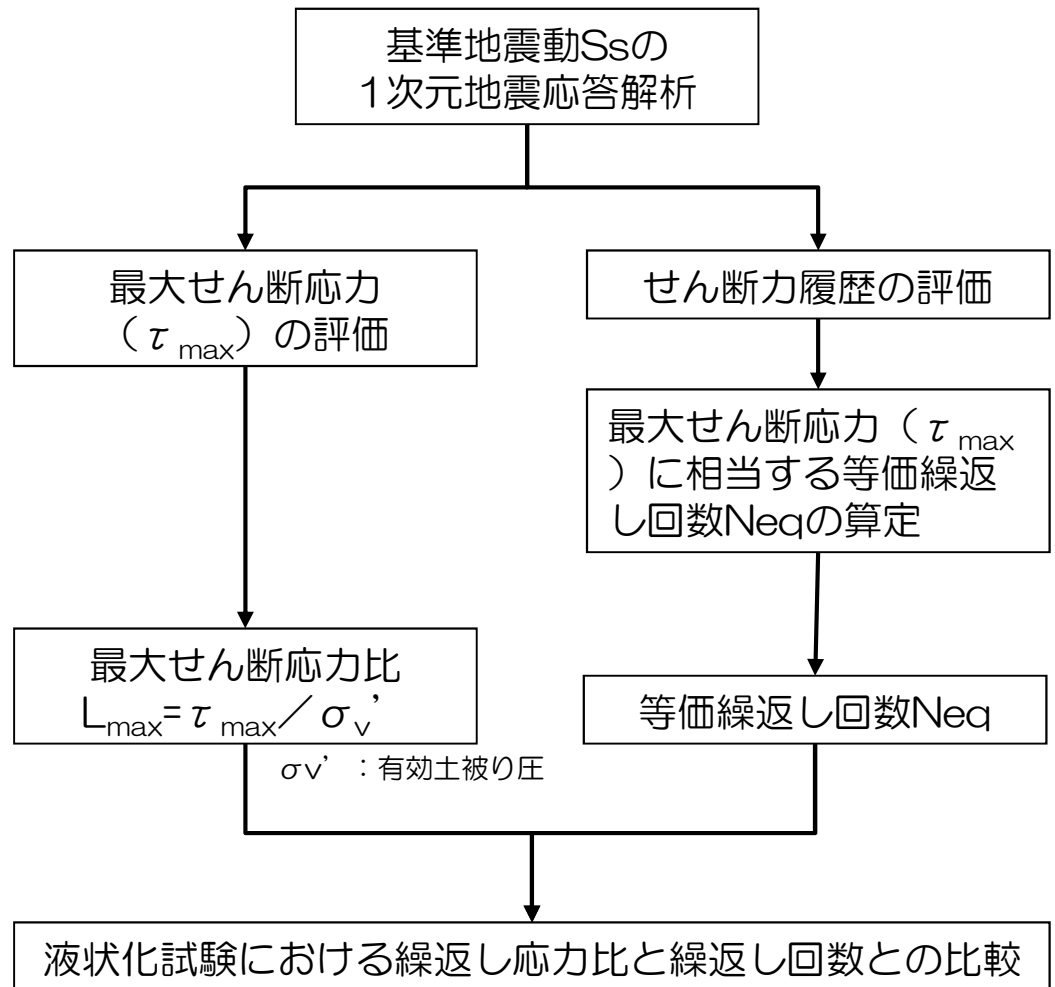
【まとめ】

- F_L法による液状化判定の結果，埋戻土層は基準地震動Ssに対して液状化する可能性がある。

(余 白)

【検討フロー】

- 非液状化層の中空ねじり試験の状態（繰返し応力および繰返し回数）と、基準地震動Ssが地盤に作用した際の地盤状態を比較し、試験条件が基準地震動Ss相当となっていることを目的として、右記のフローに基づいた評価を実施した。



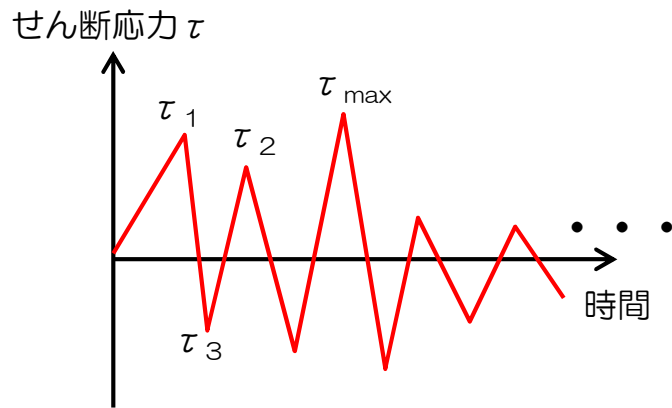
基準地震動Ssにおける最大せん断応力比と等価繰返し回数の評価フロー

5. 非液状化層に関する考察

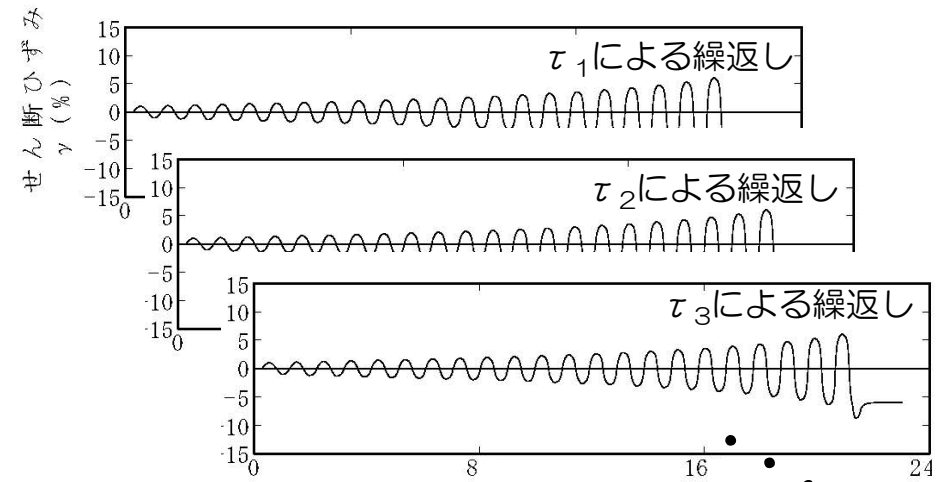
【等価繰返し回数の評価方法：吉見(1991)を参考】

吉見吉昭：砂地盤の液状化（第二版），技報堂出版，1991

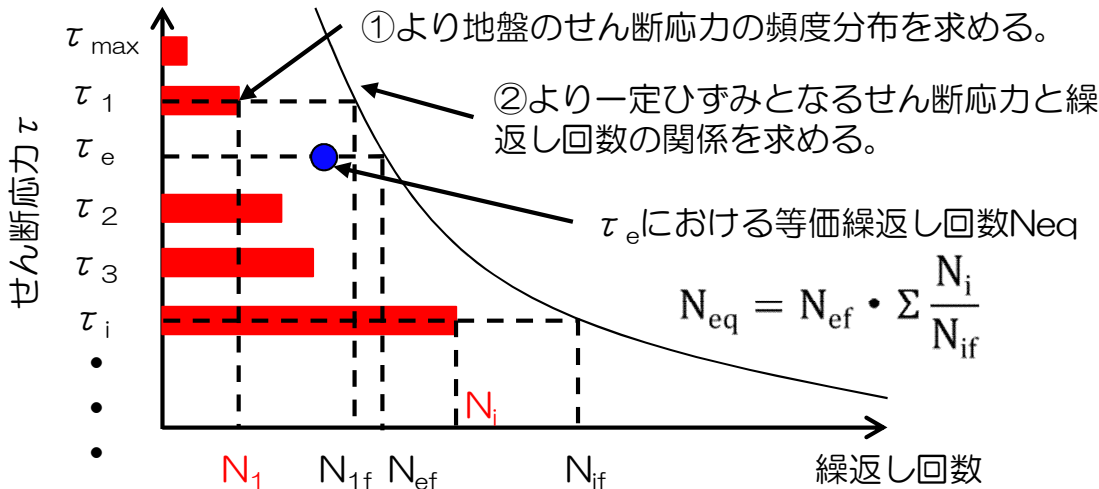
- 金属材料の疲労破壊の分野で提案された累積損傷度理論を応用して，不規則波である基準地震動 S_s によって発生する地盤のせん断応力と，等価な一定せん断応力の繰返し回数を求め，試験結果との比較を実施する。



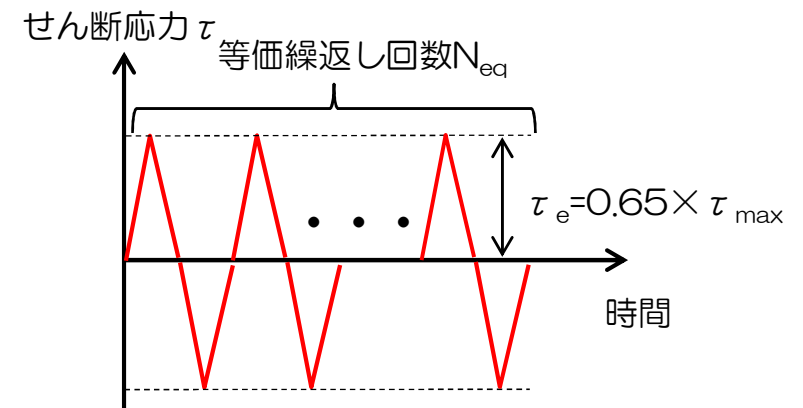
①対象地盤の地震応答解析におけるせん断応力履歴



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

5. 非液状化層に関する考察

【解析条件：1号炉非常用取水路周辺】

- 下記の地盤モデルを用いて、逐次非線形解析を実施した。

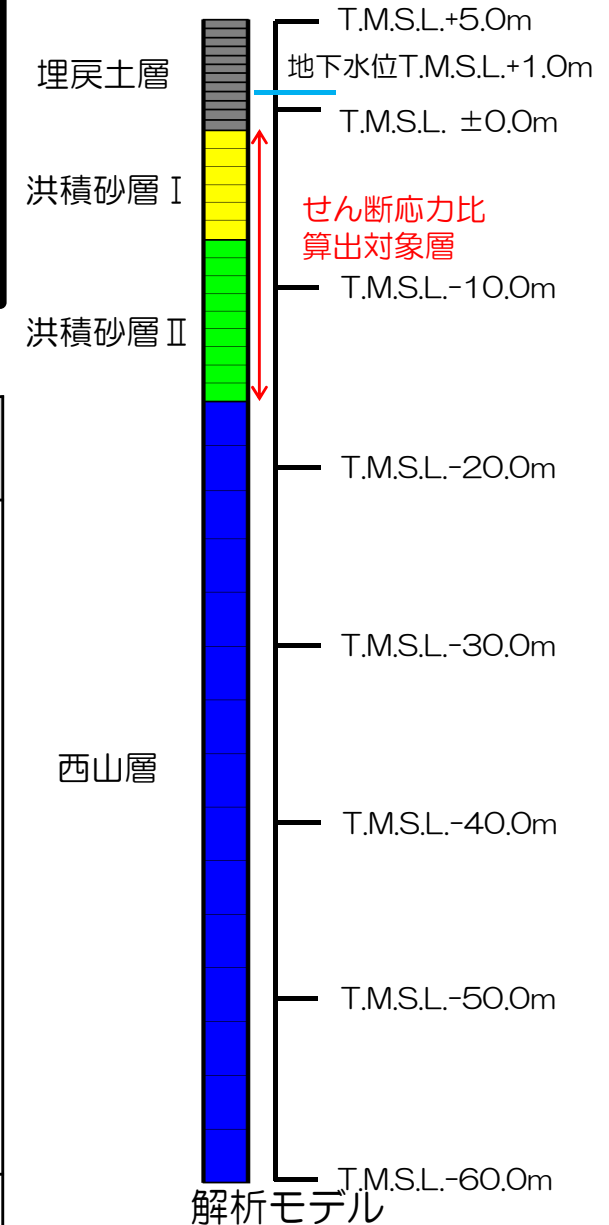


地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G 減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.33 (0.49)*1	$1980 \times \sigma_v' \cdot 0.667$	ひずみ依存性を 考慮
古 安 田 層	洪積砂層 I	19.1	0.47	1.53×10^5	
	洪積砂層 II	18.6	0.48	1.49×10^5	
西 山 層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-62.0m	16.9	0.43	5.02×10^5	
	~T.M.S.L.-77.0m	16.9	0.43	5.99×10^5	
	~T.M.S.L.-103.0m	16.9	0.43	6.62×10^5	
	~T.M.S.L.-128.0m	16.9	0.43	7.28×10^5	
	~T.M.S.L.-192.0m	16.9	0.43	7.73×10^5	
解放基盤		16.9	0.43	9.17×10^5	-

* 1 : 地下水位以深の物性値

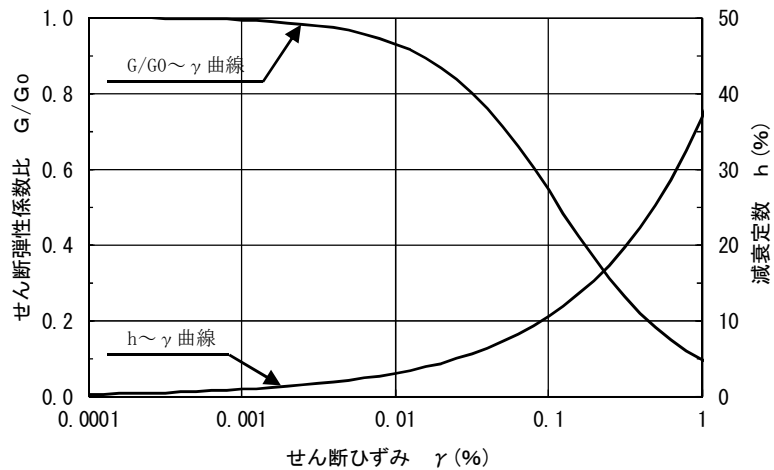
(既工認物性)



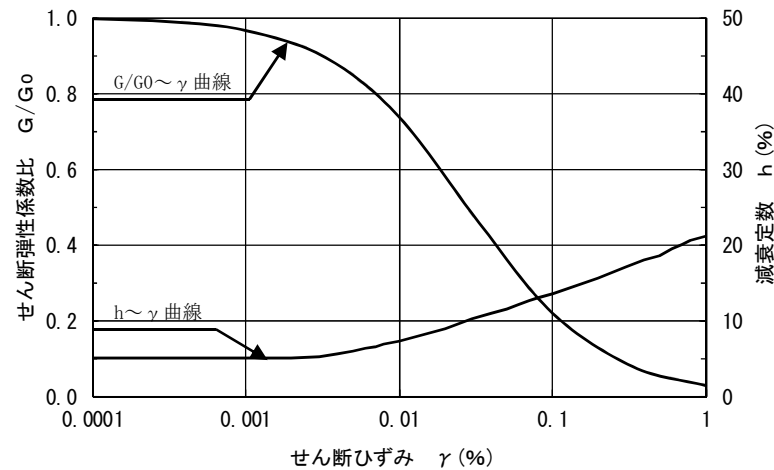
解析モデル
(1号炉非常用取水路周辺
凍結サンプリング孔)

5. 非液状化層に関する考察

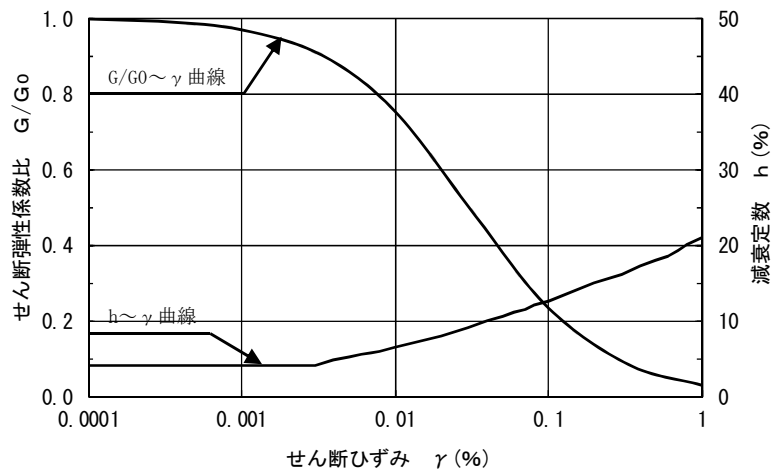
【解析条件：1号炉非常用取水路周辺】



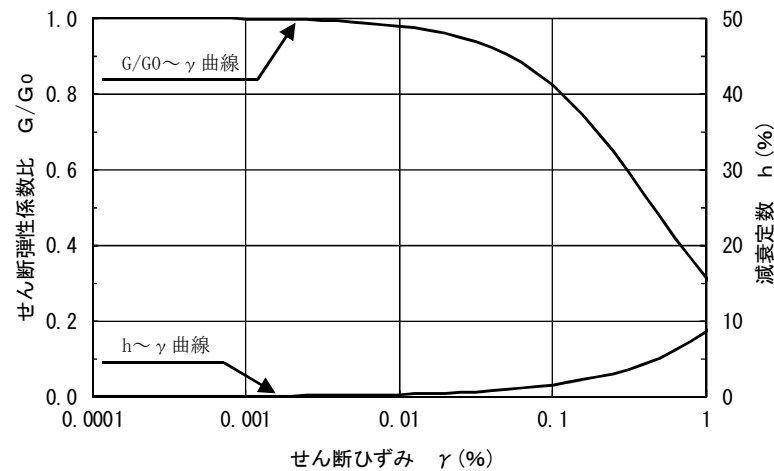
埋戻土層



洪積砂層 I



洪積砂層 II



西山層

せん断剛性および減衰のひずみ依存性

5. 非液状化層に関する考察

【解析条件：4号炉取水路周辺】

- 下記の地盤モデルを用いて、逐次非線形解析を実施した。

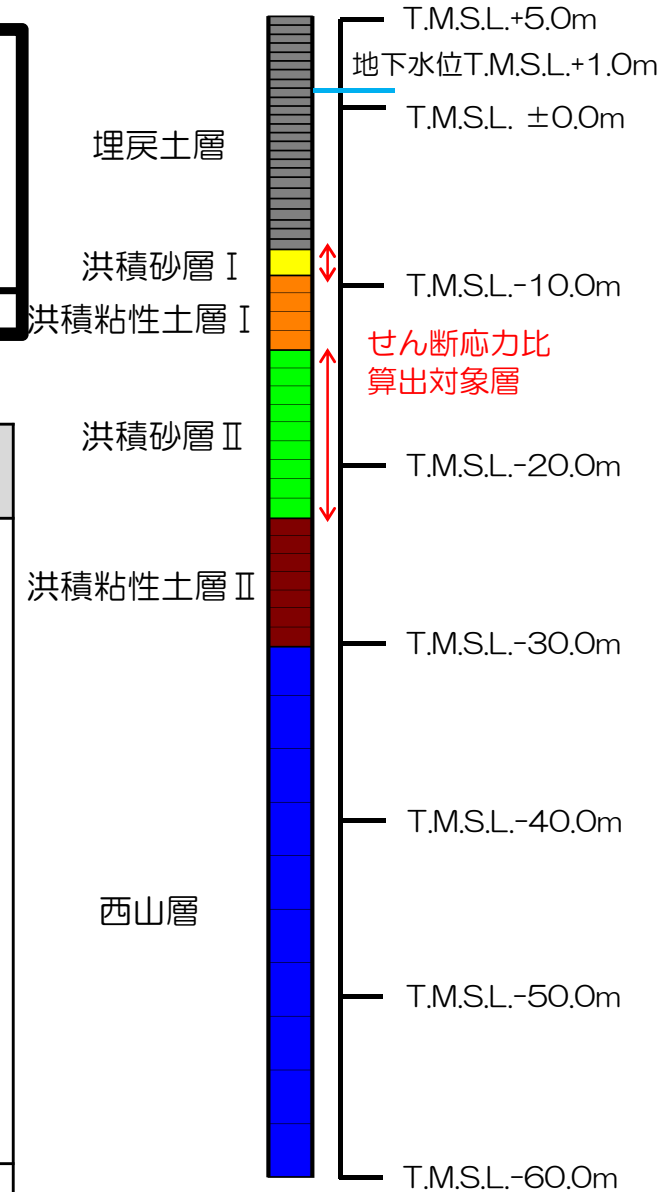


地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G 減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.33 (0.49)*1	$1980 \times \sigma_v'^{0.667}$	ひずみ依存性を 考慮
古 安 田 層	洪積砂層Ⅰ	18.3	0.47	2.29×10^5	
	洪積粘性土層Ⅰ	17.8	0.48	1.24×10^5	
	洪積砂層Ⅱ	18.5	0.48	2.06×10^5	
	洪積粘性土層Ⅱ	17.8	0.48	1.74×10^5	
西 山 層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-66.0m	15.6	0.46	3.23×10^5	
	~T.M.S.L.-103.0m	15.8	0.45	3.86×10^5	
	~T.M.S.L.-150.0m	16.9	0.44	5.39×10^5	
	~T.M.S.L.-248.0m	17.4	0.43	6.81×10^5	
	~T.M.S.L.-285.0m	17.3	0.42	7.90×10^5	
解放基盤		17.8	0.41	9.18×10^5	—

* 1：地下水位以深の物性値

(既工認物性)



解析モデル

(4号炉取水路周辺
凍結サンプリング孔①)

5. 非液状化層に関する考察

【解析条件：4号炉取水路周辺】

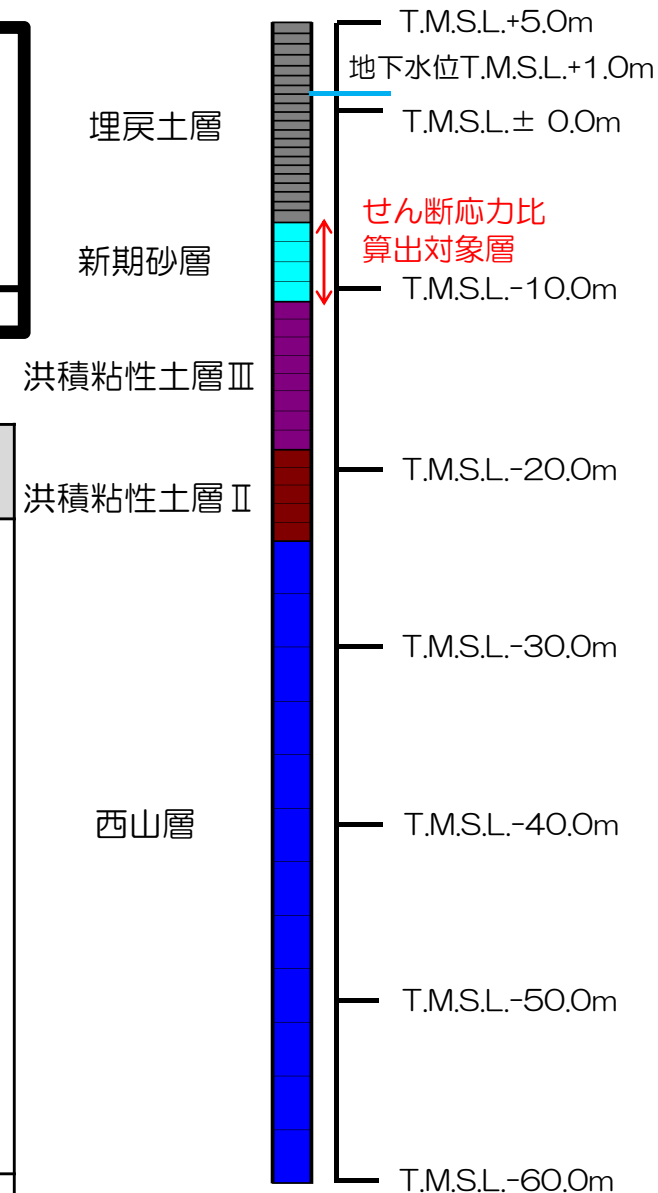
- 下記の地盤モデルを用いて、逐次非線形解析を実施した。



地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G 減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.33 (0.49)*1	$1980 \times \sigma_v'^{0.667}$	ひずみ依存性を 考慮
新期砂層		19.9	0.48	1.82×10^5	
古 安 田 層	洪積粘性土層Ⅲ	17.8	0.49	8.82×10^4	
	洪積粘性土層Ⅱ	17.8	0.48	1.74×10^5	
西 山 層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-66.0m	15.6	0.46	3.23×10^5	
	~T.M.S.L.-103.0m	15.8	0.45	3.86×10^5	
	~T.M.S.L.-150.0m	16.9	0.44	5.39×10^5	
	~T.M.S.L.-248.0m	17.4	0.43	6.81×10^5	
	~T.M.S.L.-285.0m	17.3	0.42	7.90×10^5	
解放基盤		17.8	0.41	9.18×10^5	

(既工認物性)



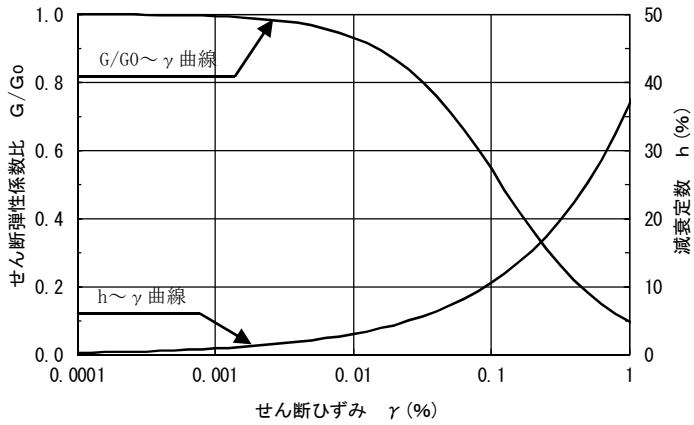
解析モデル

(4号炉取水路周辺
凍結サンプリング孔②)

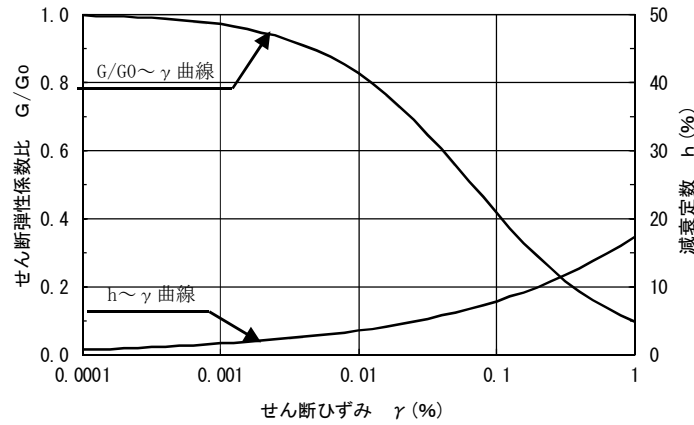
*1：地下水位以深の物性値

5. 非液状化層に関する考察

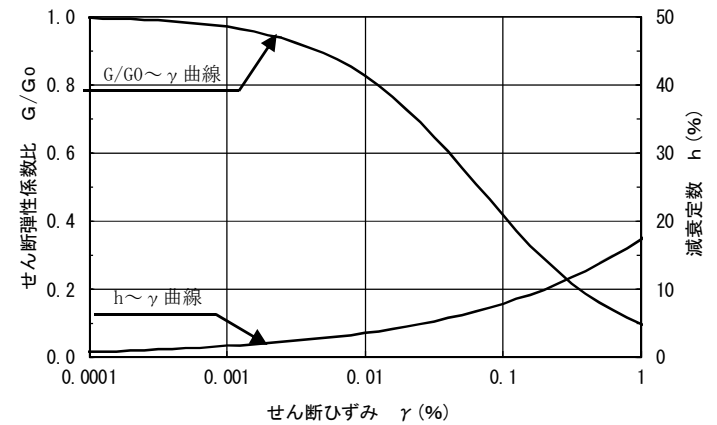
【解析条件：4号炉取水路周辺】



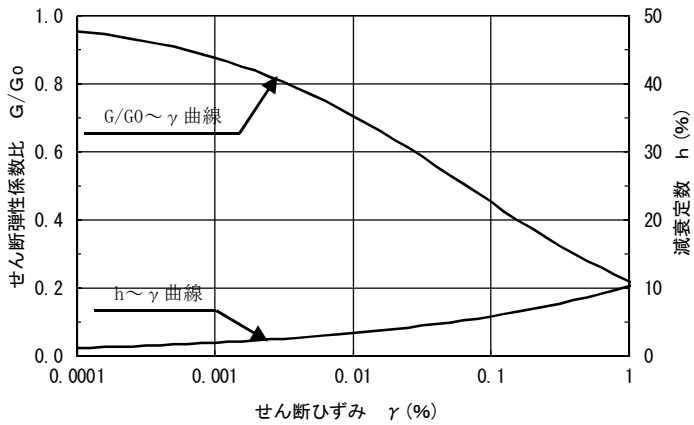
埋戻土層



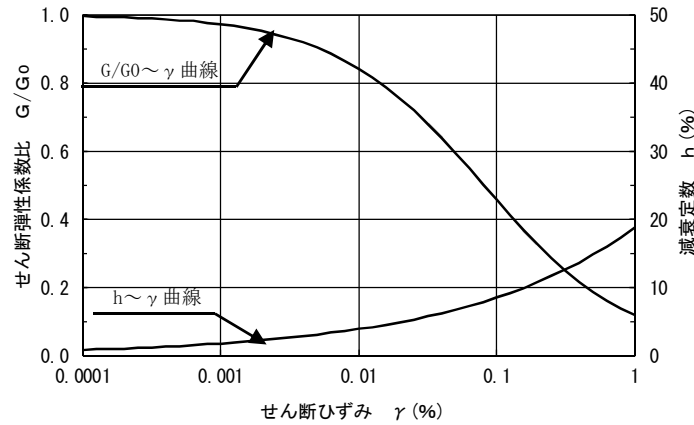
洪積砂層 I, II



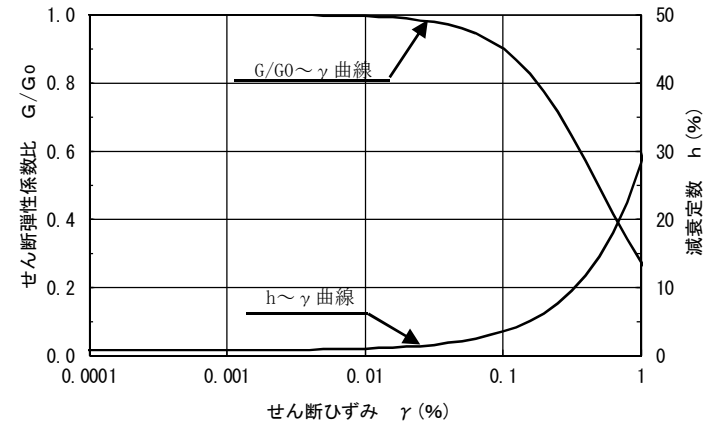
新期砂層



洪積粘性土層 I, II



洪積粘性土層 III



西山層

せん断剛性および減衰のひずみ依存性

5. 非液状化層に関する考察

【解析条件：6号炉取水路周辺】

- 下記の地盤モデルを用いて、逐次非線形解析を実施した。



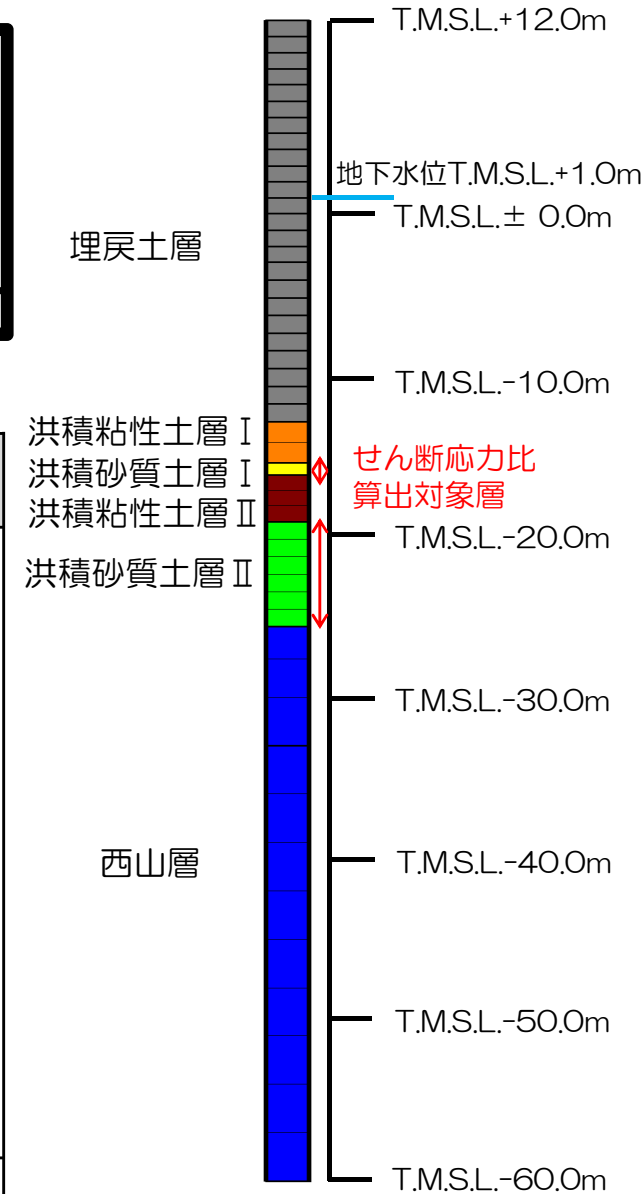
地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G 減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.41 (0.49)*1	$1980 \times \sigma_v'^{0.667}$ *2	ひずみ依存性を 考慮
古 安 田 層	洪積粘性土層Ⅰ	17.8	0.49	9.63×10^4	
	洪積砂質土層Ⅰ	18.6	0.48	1.82×10^5	
	洪積粘性土層Ⅱ	17.7	0.49	1.13×10^5	
	洪積砂質土層Ⅱ	18.6	0.48	2.07×10^5	
西 山 層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-33.0m	17.0	0.45	4.16×10^5	
	~T.M.S.L.-90.0m	16.6	0.45	4.75×10^5	
	~T.M.S.L.-136.0m	17.3	0.43	6.13×10^5	
	~T.M.S.L.-155.0m	19.3	0.42	8.33×10^5	
解放基盤		19.9	0.42	1.05×10^6	

* 1：地下水位以深の物性値

* 2：下限値 2.75×10^4 kN/m²

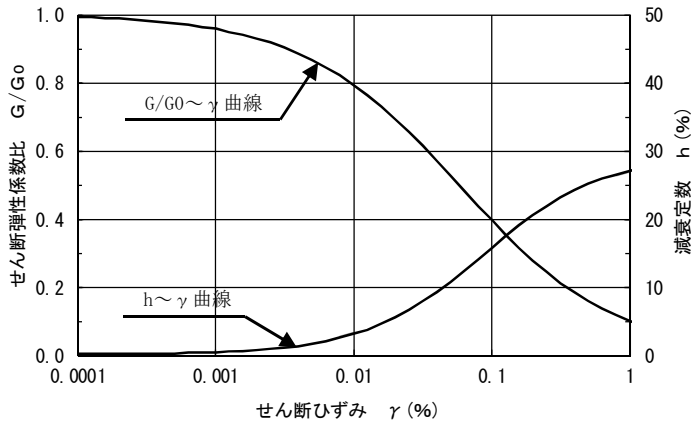
(既工認物性)



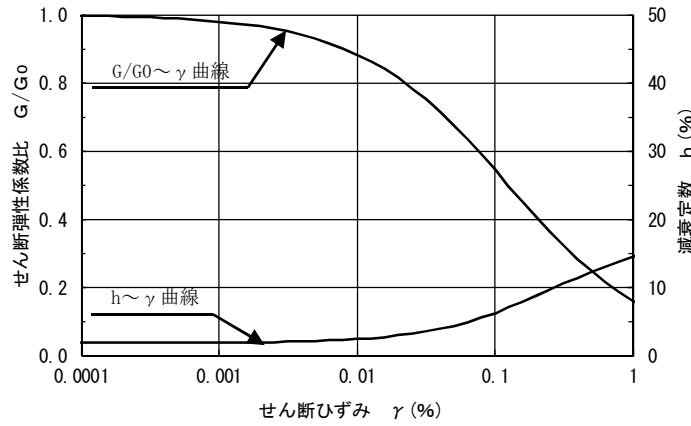
解析モデル
(6号炉取水路周辺
凍結サンプリング孔)

5. 非液状化層に関する考察

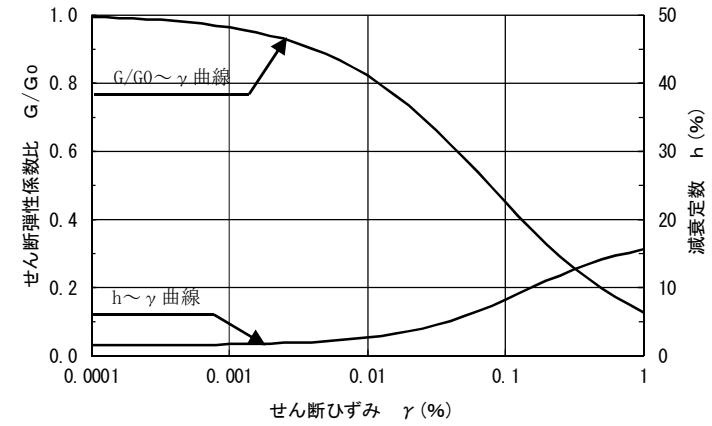
【解析条件：6号炉取水路周辺】



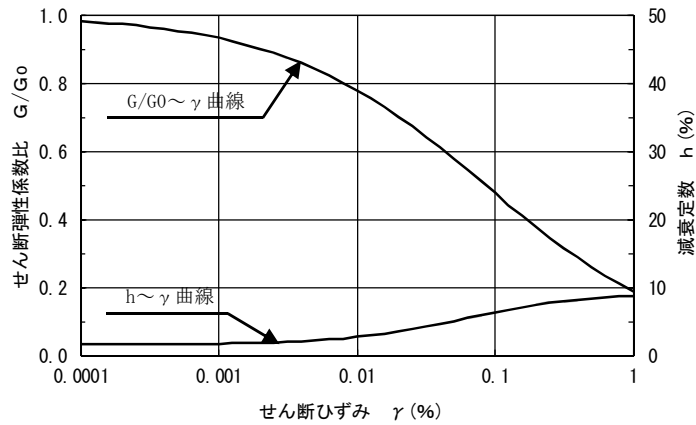
埋戻土層



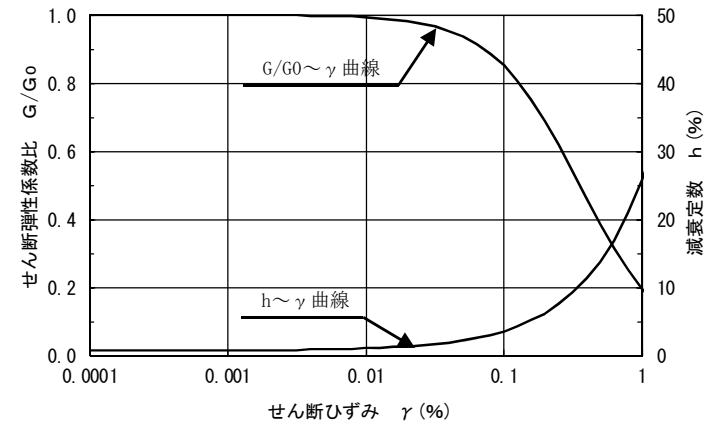
洪積粘性土層 I



洪積砂質土層 I, II



洪積粘性土層 II



西山層

せん断剛性および減衰のひずみ依存性

5. 非液状化層に関する考察

【解析結果】

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Ss	1号炉非常用取水路周辺								4号炉取水路周辺						6号炉取水路周辺			
	洪積砂層Ⅰ (土被り圧 100kN/m ² 相当)		洪積砂層Ⅰ (土被り圧 150kN/m ² 相当)		洪積砂層Ⅱ (土被り圧 150kN/m ² 相当)		洪積砂層Ⅱ (土被り圧 200kN/m ² 相当)		洪積砂層Ⅰ		洪積砂層Ⅱ		新期砂層		洪積砂質土層Ⅰ		洪積砂質土層Ⅱ	
	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}
Ss1	0.90	8.7	0.94	9.0	0.96	7.4	0.95	7.2	0.88	6.1	0.91	8.2	0.98	6.0	0.43	200*1	0.46	200*1
Ss2EW	0.55	15.0	0.55	17.6	0.52	19.1	0.47	24.2	0.53	200*1	0.64	126.8	0.55	20.4	0.32	200*1	0.34	200*1
Ss2NS	0.52	17.8	0.53	17.9	0.53	19.1	0.51	20.3	0.53	200*1	0.60	200*1	0.56	20.9	0.25	200*1	0.25	200*1
Ss3	0.64	13.3	0.67	15.1	0.68	12.6	0.69	12.5	0.68	22.1	0.72	16.6	0.73	11.2	0.43	200*1	0.44	200*1
Ss4EW	0.49	20.9	0.50	20.7	0.50	22.1	0.47	25.1	0.48	200*1	0.53	200*1	0.48	60.9	0.34	200*1	0.37	200*1
Ss4NS	0.34	200*1	0.36	23.9	0.37	40.9	0.37	31.3	0.39	200*1	0.42	200*1	0.40	200*1	0.22	200*1	0.23	200*1
Ss5EW	0.58	10.1	0.62	10.6	0.64	9.2	0.65	8.6	0.64	53.1	0.70	13.5	0.68	8.2	0.44	200*1	0.48	200*1
Ss5NS	0.49	3.7	0.51	5.1	0.53	4.7	0.53	4.9	0.52	200*1	0.61	200*1	0.54	4.4	0.24	200*1	0.25	200*1
Ss6EW	0.54	22.5	0.57	22.7	0.57	20.4	0.57	20.3	0.57	200*1	0.62	200*1	0.59	22.6	0.40	200*1	0.44	200*1
Ss6NS	0.48	12.8	0.50	16.5	0.50	14.8	0.49	14.7	0.52	200*1	0.57	200*1	0.53	10.8	0.27	200*1	0.27	200*1
Ss7EW	0.53	18.8	0.56	17.3	0.58	15.3	0.59	14.2	0.58	200*1	0.67	38.7	0.62	15.1	0.48	200*1	0.51	200*1
Ss7NS	0.45	5.0	0.48	6.8	0.50	5.3	0.50	5.5	0.51	200*1	0.56	200*1	0.52	7.1	0.29	200*1	0.31	200*1
Ss8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.33	200*1	0.35	200*1

最大せん断応力比： $L_{max} = \tau_{max} / \sigma'_v$ ， τ_{max} ：最大せん断応力， σ'_v ：有効土被り圧， N_{eq} ：等価繰返し回数

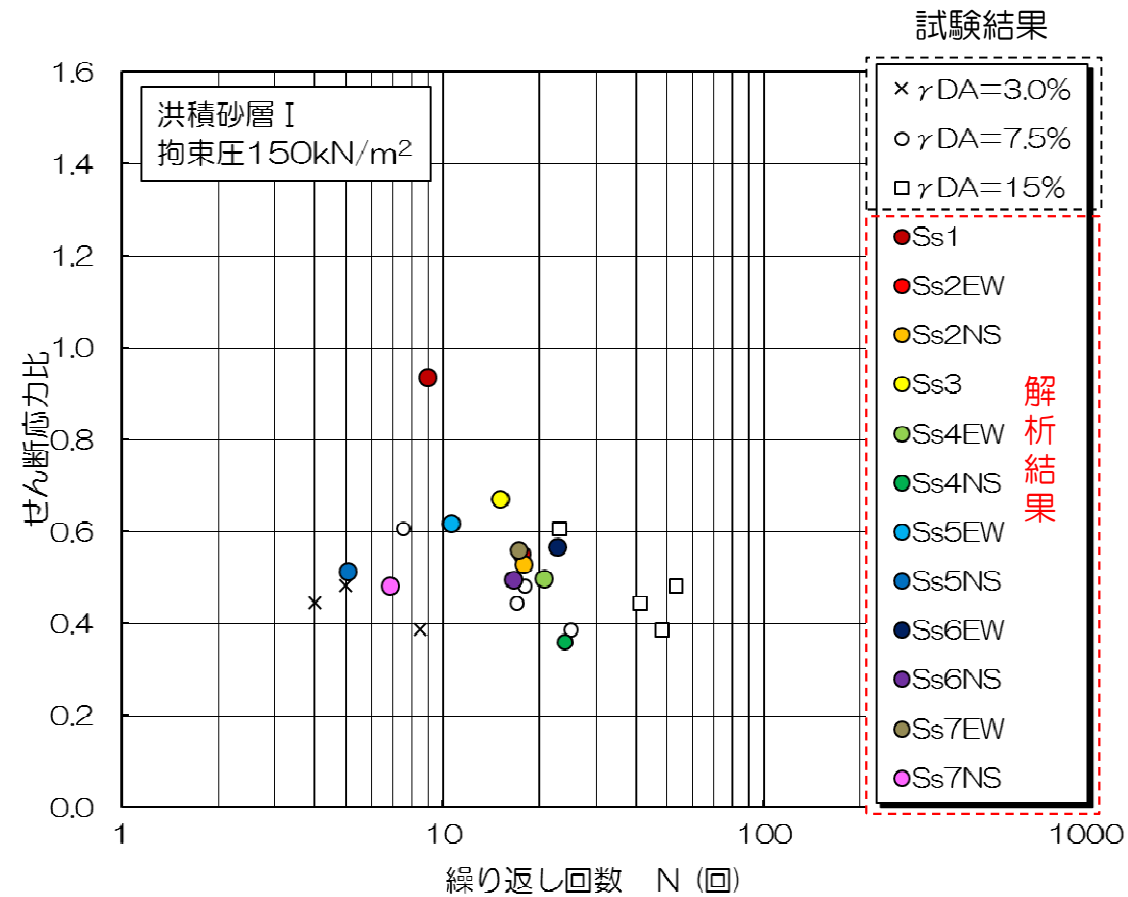
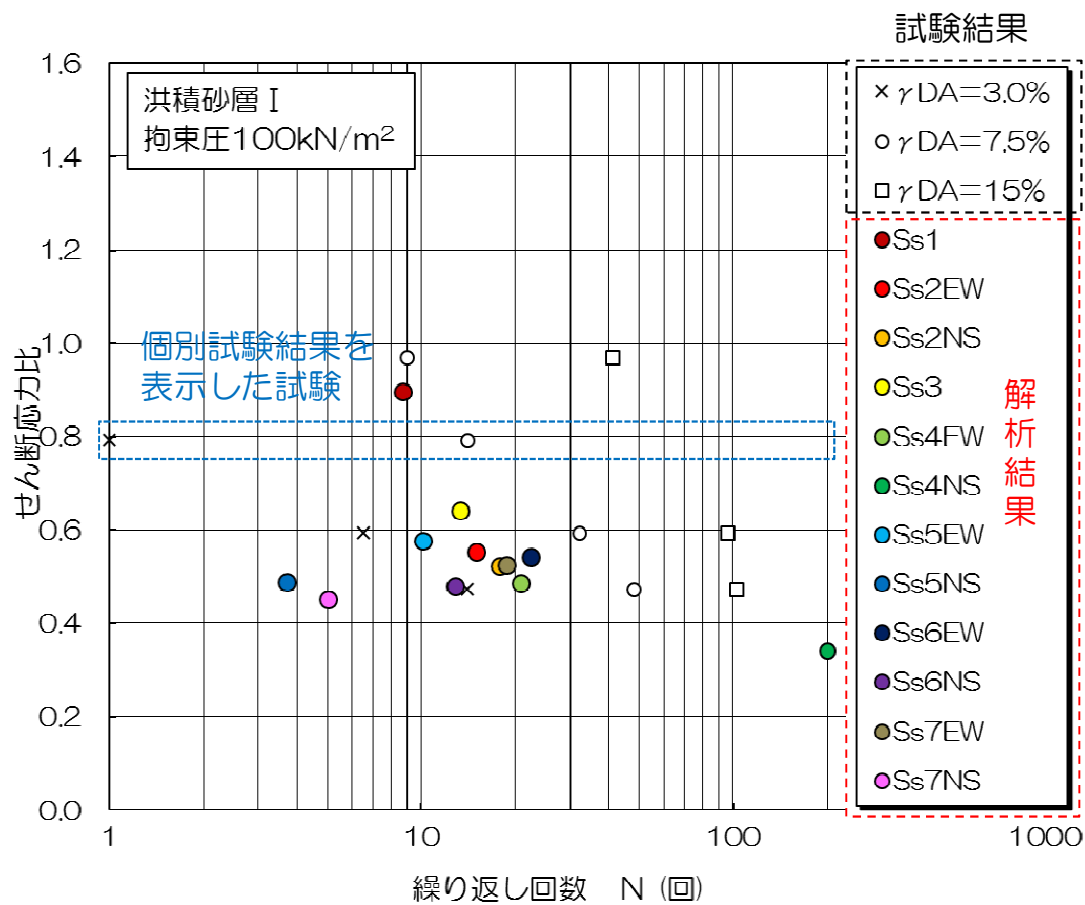
※1 試験におけるせん断応力比と繰返し回数の関係から求まる繰返し回数200回のせん断応力比 (R_{200}) に対して、解析から得られる最大せん断応力比 (L_{max}) が小さい場合は、その最大せん断応力比に相当する等価繰返し回数 (N_{eq}) を200回とした。

※2 試験は等方等圧試験であり、実地盤と応答解析を比較するため、静止土圧係数 (K_0 ：一般値0.5) により、等価せん断応力を補正して最大せん断応力を等価繰返し回数と対比する。 $\tau_e \times 3 / (1 + 2K_0) = 0.65 \times 3 / 2 \times \tau_{max} \doteq \tau_{max}$ ， τ_e ：等価せん断応力

5. 非液状化層に関する考察

【比較評価：洪積砂層 I（1号炉非常用取水路周辺）】

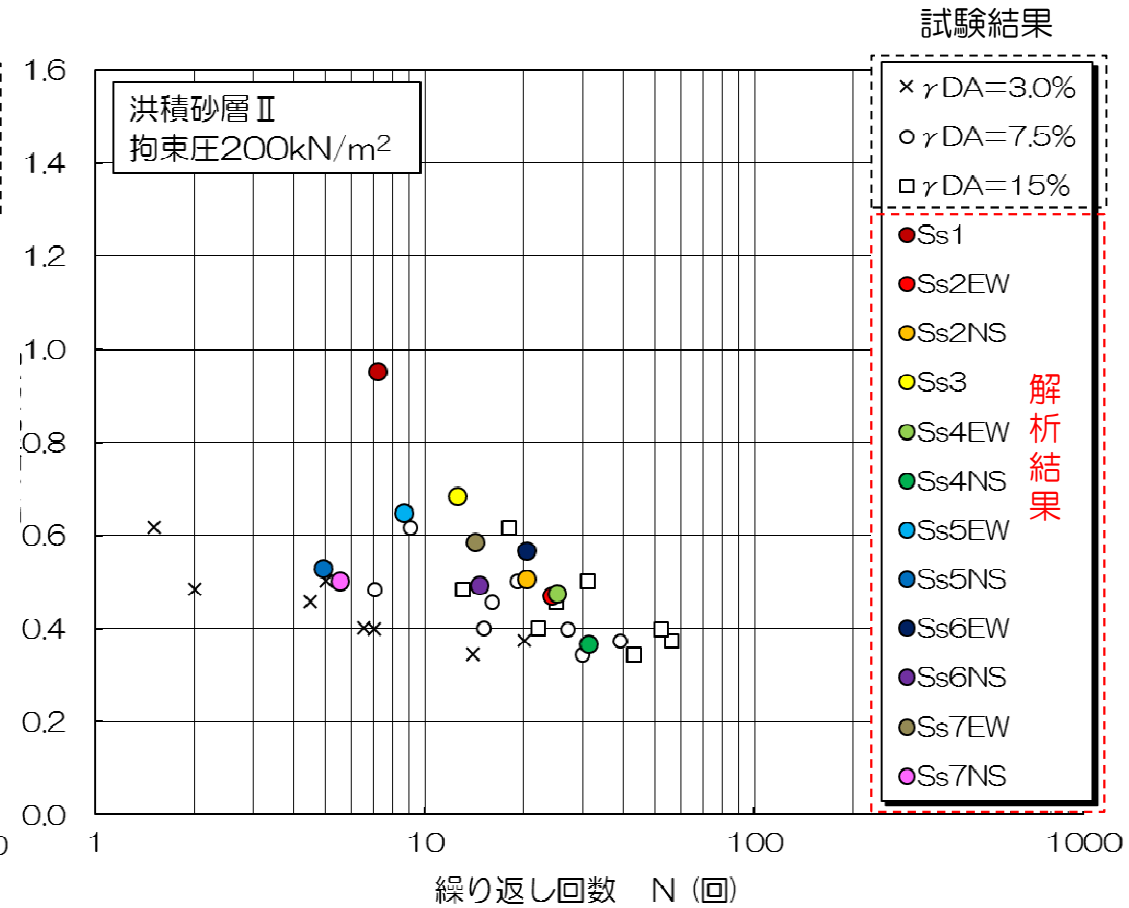
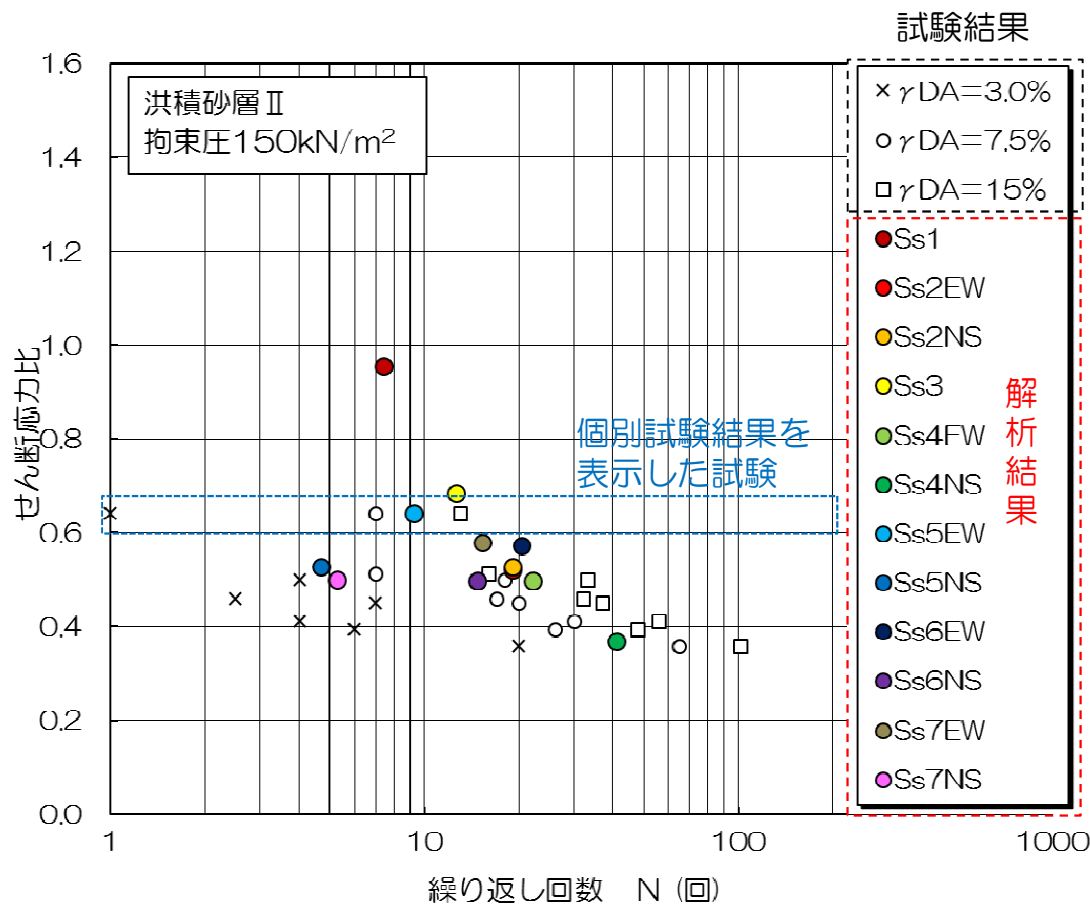
- 試験条件は，基準地震動Ss相当のせん断応力比および繰返し回数となっている。



5. 非液状化層に関する考察

【比較評価：洪積砂層Ⅱ（1号炉非常用取水路周辺）】

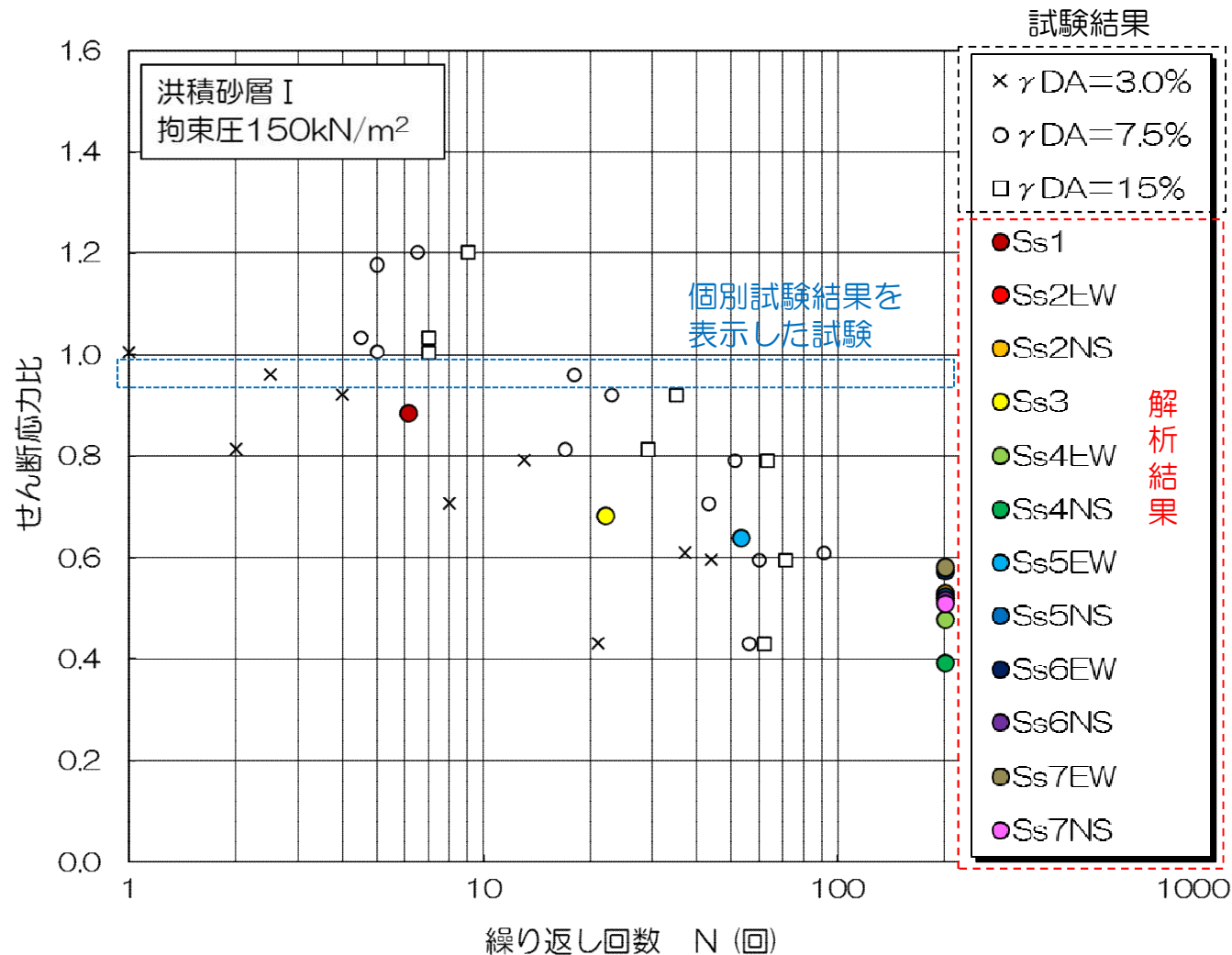
- 試験条件は、基準地震動Ss相当のせん断応力比および繰返し回数となっている。



5. 非液状化層に関する考察

【比較評価：洪積砂層Ⅰ（4号炉取水路周辺）】

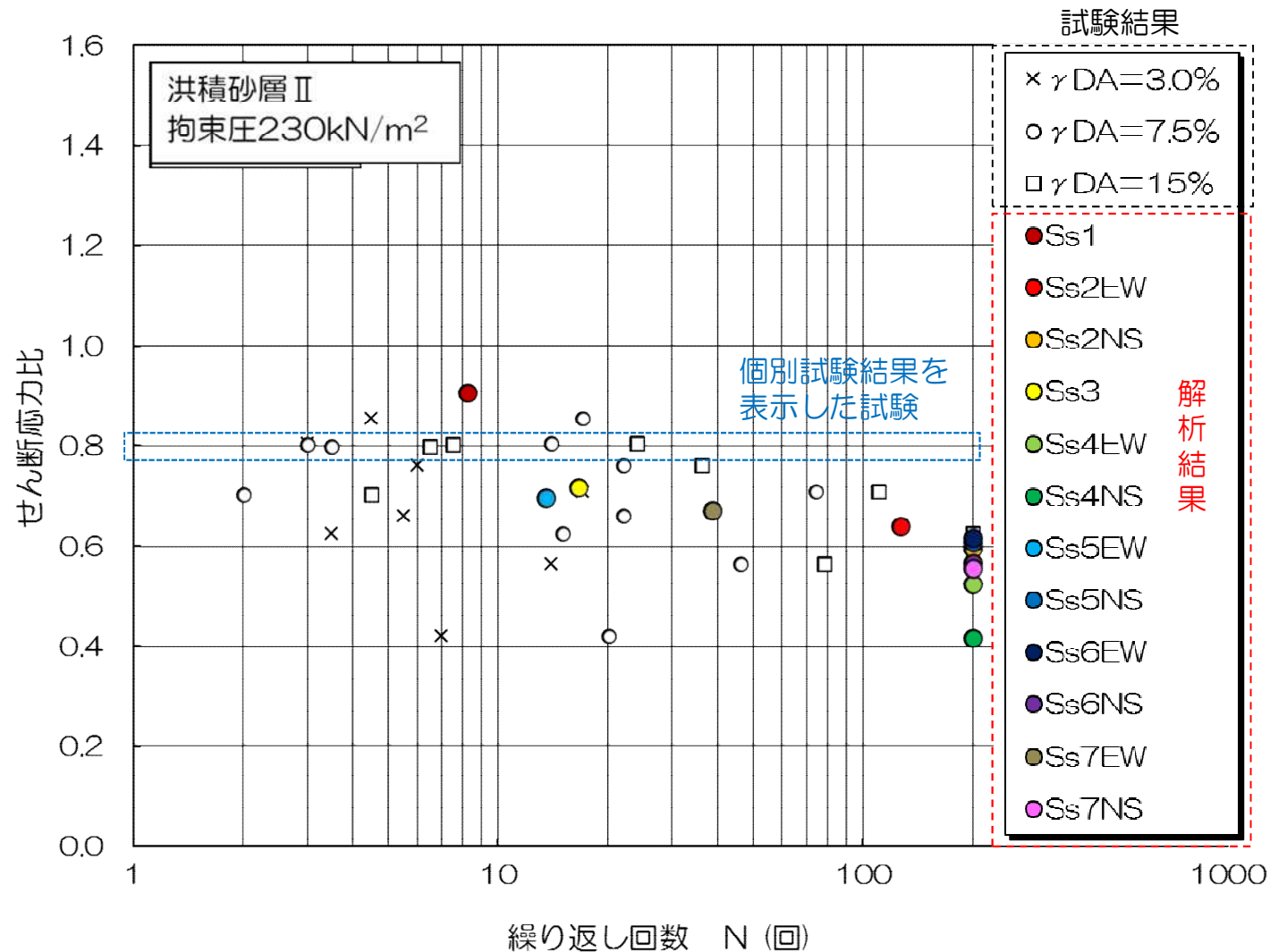
- 試験条件は、基準地震動Ss相当のせん断応力比および繰返し回数となっている。



5. 非液状化層に関する考察

【比較評価：洪積砂層Ⅱ（4号炉取水路周辺）】

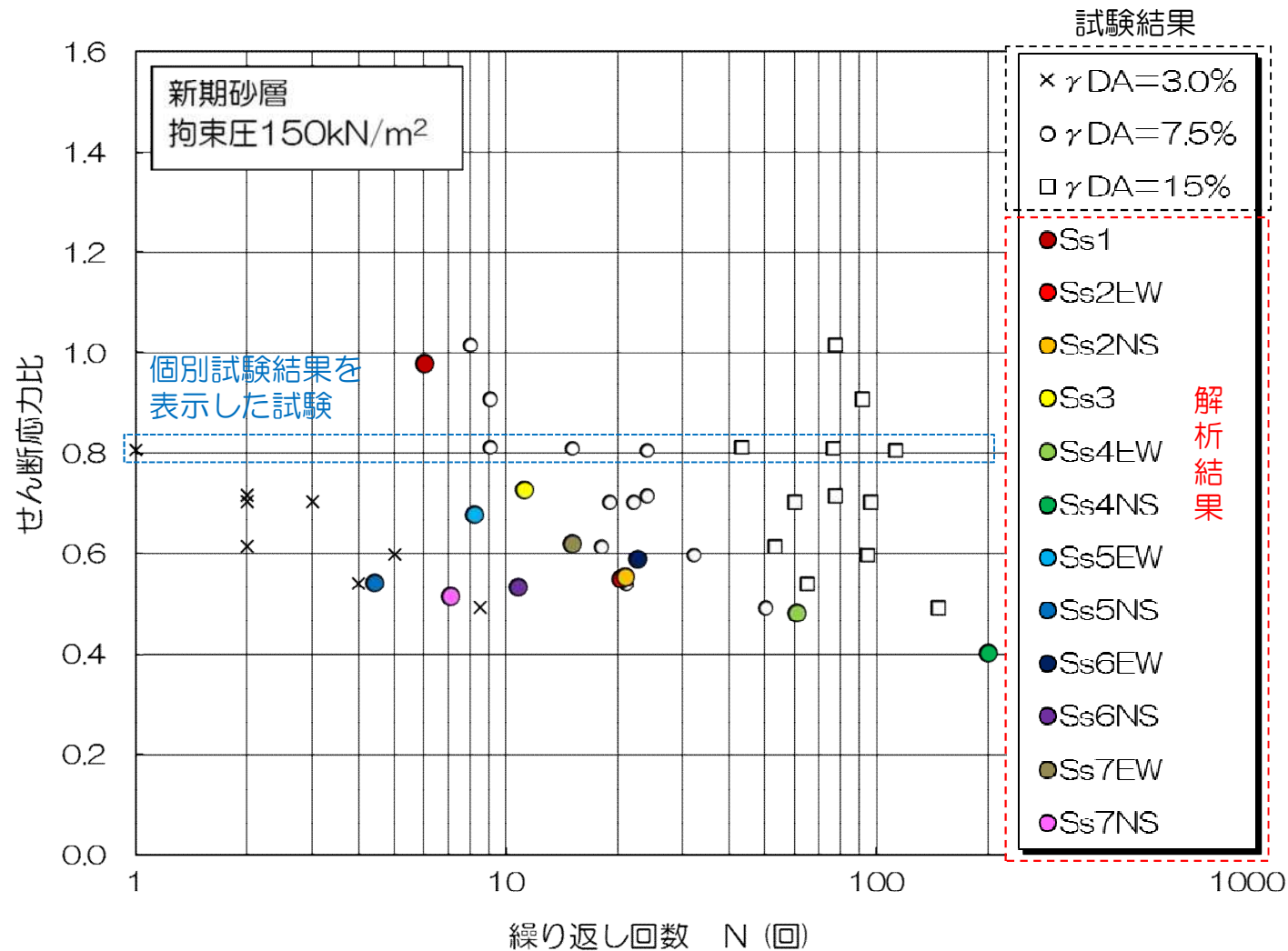
- 試験条件は、基準地震動Ss相当のせん断応力比および繰返し回数となっている。



5. 非液状化層に関する考察

【比較評価：新期砂層（4号炉取水路周辺）】

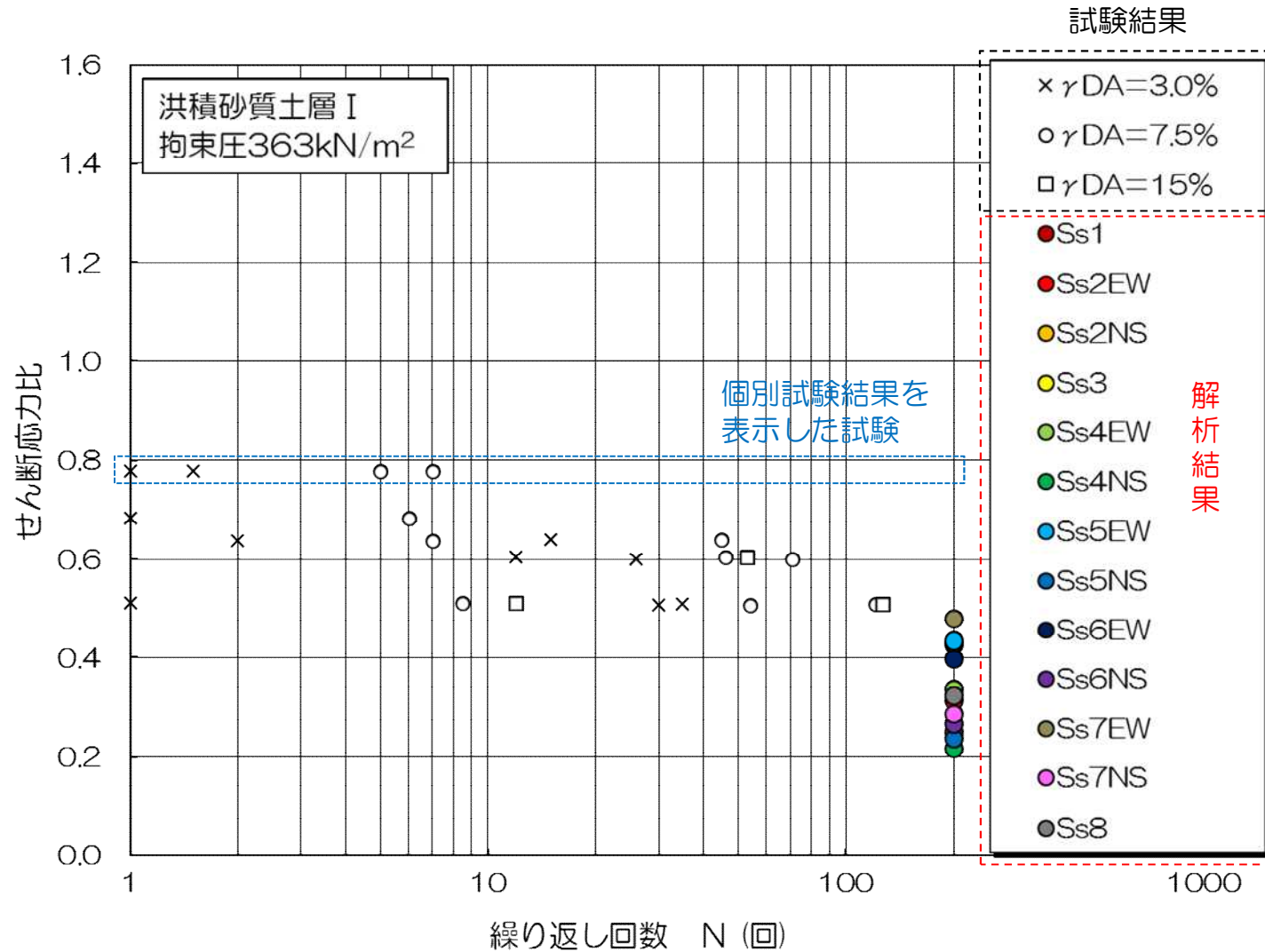
- 試験条件は、基準地震動Ss相当のせん断応力比および繰返し回数となっている。



5. 非液状化層に関する考察

【比較評価：洪積砂質土層 I（6号炉取水路周辺）】

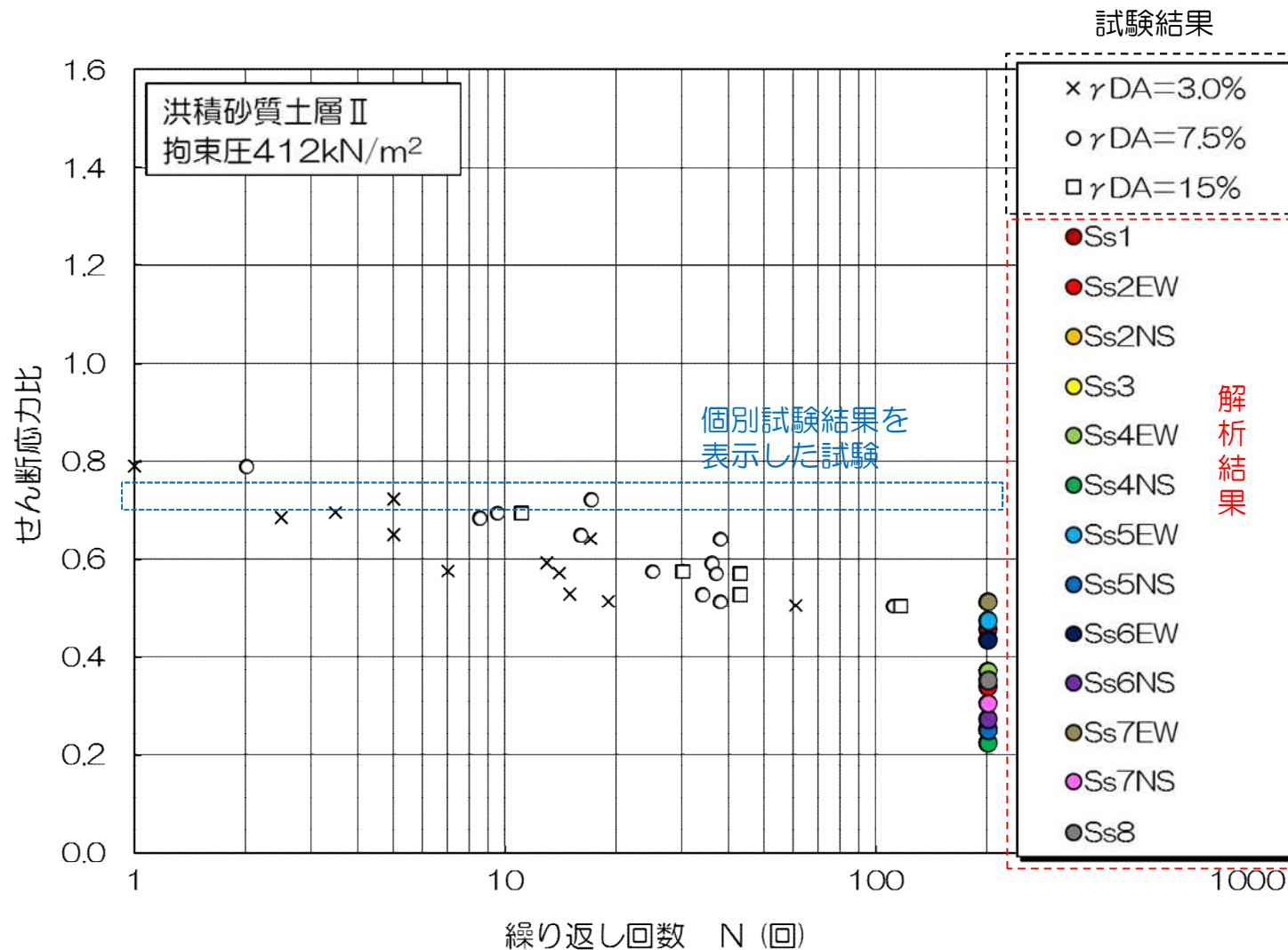
- 試験条件は、基準地震動Ss相当のせん断応力比および繰返し回数となっている。



5. 非液状化層に関する考察

【比較評価：洪積砂質土層Ⅱ（6号炉取水路周辺）】

- 試験条件は、基準地震動Ss相当のせん断応力比および繰返し回数となっている。



【まとめ】

- 非液状化層（新期砂層および古安田層中の砂層）における中空ねじり試験の結果は，基準地震動 S_s 時のせん断応力比と等価繰返し回数と同等レベルである。
- よって，基準地震動 S_s が当該地盤に作用した場合，試験と同様の状態となり，液状化する可能性はない。

【まとめ】

対象層	埋戻土層	洪積砂層Ⅰ（1号） 洪積砂層Ⅱ（1号） 新期砂層（4号）	洪積砂層Ⅰ（4号） 洪積砂層Ⅱ（4号） 洪積砂質土層Ⅰ（6号） 洪積砂質土層Ⅱ（6号）
液状化試験の状況	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が1.0に近づく（0.95を上回る）。 有効応力がゼロになる。 ひずみが急激に上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づく（0.95を上回る）。 有効応力が減少するが、回復する。 ひずみが緩やかに上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が0.95を上回らない。 有効応力を保持している。 ひずみが緩やかに上昇する。
現象の整理	試験の結果は、液状化である。	試験結果は、繰返し軟化（サイクリックモビリティ）である。	試験の結果、有効応力を保持している。
液状化評価	S _s による液状化判定の対象層	非液状化層	
F _L 法による液状化判定	液状化層	—	
構造物評価の考え方	✓ 地下水位以下の埋戻土層については、液状化層として評価し、液状化が構造物に与える影響を確認する。	✓ 新期砂層及び古安田層中の砂層については、非液状化層として、構造物評価を実施する。	

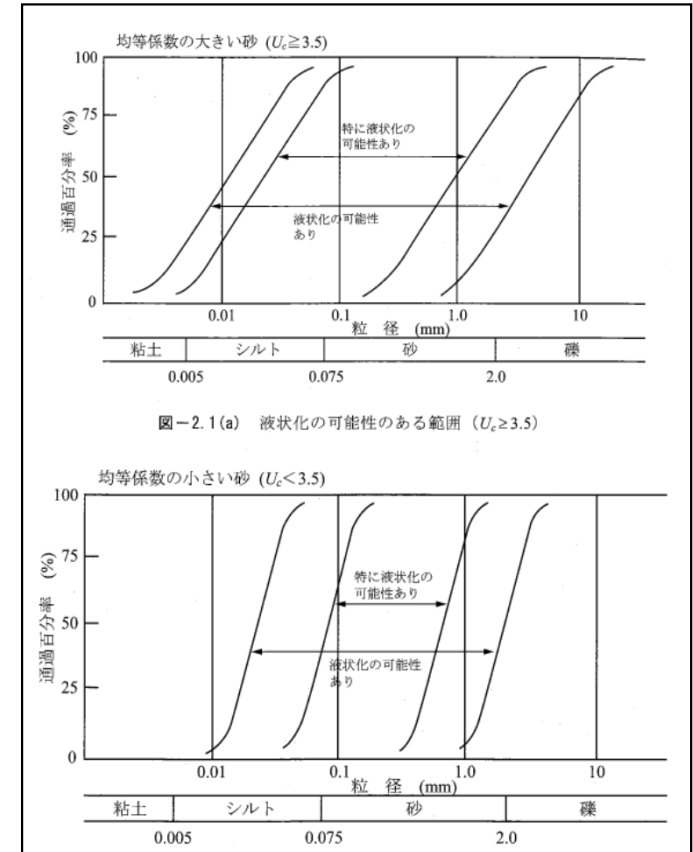
以上

(1) 液状化の判定を行う必要がある土層

沖積層の土層で次の3つの条件全てに該当する場合には、地震時に橋に影響を与える液状化が生じる可能性があるため、(2)の規定によって液状化の判定を行わなければならない。

- 1) 地下水位が地表面から10m以内にあり、かつ、地表面から20m以内の深さに存在する飽和土層
- 2) 細粒分含有率 FC が35%以下の土層、又は、 FC が35%を超えても塑性指数 I_p が15以下の土層
- 3) 50%粒径 D_{50} が10mm以下で、かつ、10%粒径 D_{10} が1mm以下である土層

道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（(社)日本道路協会，2012）一部抜粋



(1) 対象とすべき土層

液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、一般に地表面から20m程度以浅の沖積層で、考慮すべき土の種類は、細粒分含有率が35%以下の土とする。ただし、埋立地盤など人工造成地盤では、細粒分含有率が35%以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分(0.005mm以下の粒径を持つ土粒子)含有率が10%以下、または塑性指数が15%以下の埋立あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫は液状化の可能性が否定できないので、そのような場合にも液状化の検討を行う。

建築基礎構造設計指針（(社)日本建築学会，2001）一部抜粋

港湾の施設の技術上の基準・同解説（上・下）
（(社)日本港湾協会，2007）一部抜粋