

柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉における 液状化影響の検討方針について

平成28年9月

東京電力ホールディングス株式会社

本日のご説明内容（1/2）

| 指摘日 | コメント | 回答方針 |
|--|--|--------------------------------------|
| H28.8.4 ヒアリング | 液状化試験選定箇所の代表性確認における、N値、細粒分含有率、密度並びに粒径加積曲線についての考察を充実すること。（周辺調査箇所のデータのばらつきを踏まえても試験選定箇所の代表性があるとする論拠を明確化すること） | H28.8.25 ヒアリングにて 回答済 |
| | 大湊側洪積砂質土層Ⅰ、Ⅱ（O-1）の7号炉側N値のデータ数について確認するとともに、粒径加積曲線等に関する液状化試験箇所と周辺調査箇所との差異を踏まえた代表性についての評価とデータ拡充のための追加調査の考え方を説明すること。 | |
| | 液状化試験選定箇所の代表性確認（まとめ）については、結論を導く根拠についても示すとともに、ここでの結論がデータ拡充のための追加調査にどのように繋がっているのかが分かるよう記載を充実し説明すること。 | |
| | 追加調査を行う具体的な位置、サンプリングの対象層等についての考え方を説明すること。 | |
| H28.8.4 ヒアリング | 埋戻土層を液状化試験選定箇所の代表性確認から除外している理由を説明すること。 | 埋戻土層N値の 整理・考察を追加 (p.48~49, 51) |
| H28.8.25 ヒアリング (暫定) | N値のグラフについて、適切なスケールで示すこと。 | 記載を適正化 (p.43, 47, 55) |
| | 新期砂層・沖積層のグラフについて、凡例を明確にすること。（緑：荒浜側、紫：大湊側） | |
| | 追加調査について、N値が小さいという記載を適切に修正すること。 | 代表性確認のまとめ の考察を修正 (p.50~51) |
| 洪積砂層（A2-2, A1-1,2）の物性の違いとこれまでのデータ整理の流れとの結びつきを明確にし、差別化等をして説明すること。 | | |
| 液状化試験箇所の代表性について、粒径加積曲線のばらつきを考察に加えた上で、追加調査の必要性を検討すること。 | | |
| | 洪積砂質土層ⅠⅡを明記すること。また、細粒分含有率が同程度とは何と同程度なのか明確にすること。 | |

本日のご説明内容（2/2）

| 指摘日 | コメント | 回答方針 |
|------------------|---|---|
| H28.8.4 ヒアリング | 試験結果の整理と考察の表において、現象の整理についてはサイクリックモビリティや非液状化とする判断根拠（出典）を示し説明すること。 | 非液状化層について保守的な評価を実施 (p.85) |
| | 液状化の判定を液状化試験だけでなく解析評価（F _L 法あるいはFLIPコード）で行わない理由について説明すること。 | |
| | 洪積砂質土層Ⅰ（O-1）で示されている解析結果が全て繰り返し回数200の位置にプロットされているが、試験条件がS _s 相当の繰り返し回数となっているのか説明すること。 | 表記を適正化して再説明 (p.101~108) |
| | 洪積砂層Ⅰ、ⅡがA-1とA-2とで評価が異なる理由を説明すること。それを踏まえて、液状化パラメータの適用範囲をA-1とA-2で分ける考え方を説明すること。 | 試験結果および基本物性のバラツキなどを考慮して保守的な液状化パラメータを設定 (p.111~121) |
| | 液状化試験選定箇所の代表性確認において、周辺調査箇所の方が液状化試験箇所よりも低いN値、細粒分含有率を示す箇所があることを踏まえ、液状化パラメータの設定において保守性を確保するための考え方を説明すること。 | |
| | 個々の試験結果から設定する液状化パラメータと液状化パラメータのバラツキ（液状化強度曲線の設定）の考え方の流れを整理して説明すること。 | |
| | 非液状化層と判断している「古安田層中に挟在する砂層」（洪積砂質土層Ⅰ、Ⅱ）での追加試験で異なる結果が得られた場合の、液状化パラメータの設定方針や液状化影響の検討方針への反映方針について説明すること。それを踏まえて、6/7号炉側の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱや3/4号炉側の洪積砂層Ⅰ・Ⅱを非液状化層として設定することが保守的と言えるのか、考え方を説明すること。 | |
| | FLIPコードでサイクリックモビリティの特性も表現されることを説明すること。 | |
| | FLIPの適用性について再説明 (p.124) | |

これまでの経緯および本検討の位置づけ

【これまでの経緯】

- 第336回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（平成28年3月4日）の原子炉建屋等の基礎地盤及び周辺斜面の安定性において、取水路などを支持する古安田層※に対する支持性能の補足として、以下のようにご説明をしている。
 - ✓ 支持地盤（古安田層）は、シルト主体の地層であり、液状化が懸念される地盤ではないと判断できる。
 - ✓ 道路橋示方書・同解説（H14）や建築基礎構造設計指針（2001）では、地表面から20m以浅の沖積層を液状化判定が必要な土層としており、古安田層の一部に分布する砂層は、中期更新世の地層かつ深度20m以深の非常に密な地盤であることから、その対象とはならない。
 - ✓ ただし、この古安田層の砂層については、詳細設計段階において基準地震動Ssに対する液状化に関する詳細な検討を行う。

【本検討の位置づけ】

- 本検討は、耐震設計・耐津波設計基本方針における液状化の構造物への影響評価の考え方についてとりまとめたものである。また、構造物影響評価の考え方をご説明する上で、詳細設計段階における評価の前提となる液状化試験結果についてあわせてご説明する。なお、液状化に対する構造物への影響評価の見通しについても、次回以降ご説明を予定している。

※ 安田層下部層のMIS10～MIS7とMIS6の境界付近の堆積物については、本資料では『古安田層』と仮称する。

| | | |
|------|----------------------------------|-----|
| 1. | 液状化評価の基本方針 | 6 |
| 2. | 液状化評価対象層の抽出 | 11 |
| 3. | 液状化試験位置とその代表性 | |
| 3. 1 | 液状化試験位置の選定 | 23 |
| 3. 2 | 液状化試験選定箇所の代表性確認 | 27 |
| 3. 3 | 追加調査 | 52 |
| 4. | 液状化試験結果 | |
| 4. 1 | 液状化試験方法 | 56 |
| 4. 2 | 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方 | 60 |
| 4. 3 | 試験結果の分類 | 67 |
| 5. | 基準地震動 S_s に対する液状化判定 (F_L 法) | 86 |
| 6. | 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認 | 91 |
| 7. | 液状化強度特性の設定 | 110 |
| 8. | 液状化影響の検討方針 | 122 |
| 9. | 設置許可段階における構造物評価の見通し | |
| 9. 1 | 代表構造物の抽出 | 125 |
| 9. 2 | 取水路 | 127 |
| 9. 3 | 荒浜側防潮堤 | 131 |
| 10. | 参考文献 | 137 |
| | (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図 | |
| | ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足 | |
| | ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足 | |
| | ④ 液状化関連の文献整理 | |
| | ⑤ 液状化試験後の状況写真 | |
| | ⑥ 基準地震動 S_s の概要 | |

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
 3. 1 液状化試験位置の選定
 3. 2 液状化試験選定箇所代表性確認
 3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
 4. 1 液状化試験方法
 4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
 4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 S_s に対する液状化判定 (F_L 法)
6. 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
 9. 1 代表構造物の抽出
 9. 2 取水路
 9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献
 - (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図
 - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
 - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
 - ④ 液状化関連の文献整理
 - ⑤ 液状化試験後の状況写真
 - ⑥ 基準地震動 S_s の概要

1. 液状化評価の基本方針

【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）

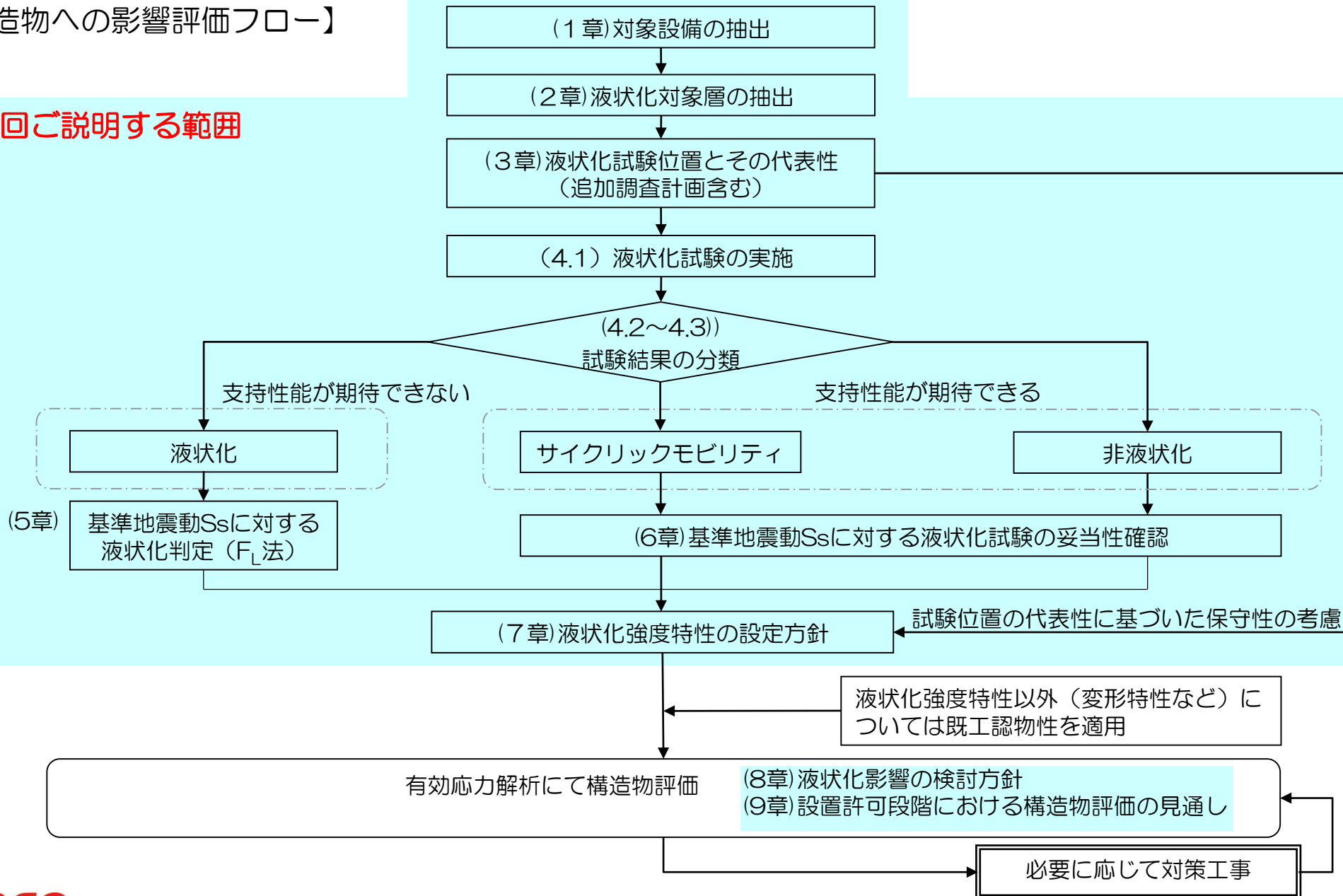
1 第3条第1項に規定する「設計基準対象施設を十分に支持することができる」とは，設計基準対象施設について，自重及び運転時の荷重等に加え，耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても，接地圧に対する十分な支持力を有する設計であることをいう。

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。

1. 液状化評価の基本方針

【構造物への影響評価フロー】

今回ご説明する範囲



1. 液状化評価の基本方針

- 道路橋示方書において液状化評価の対象外となっている洪積層についても液状化強度試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施する。
- 液状化試験に基づいて、地震時の地盤の状態を『液状化』，『サイクリックモビリティ』および『非液状化』と判定する。
- それぞれの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し、構造物への影響評価を実施する。なお、試験結果が非液状化となる土層も、念のため液状化強度特性を設定して保守的な構造物評価を実施する。
- 設定した液状化強度特性については、試験結果を基本に設定するが、基本物性のバラツキも考慮して保守的な設定とする。

| 本検討の対象砂層 | | | 道路橋示方書 における液状 化評価の対象 | 当社評価 | | |
|-------------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|---|---|
| 地層名 | 堆積年代 | 土層名 調査地点名 | | 液状化判定 | 液状化強度特性の 設定の考え方 | 液状化強度特性の 保守性 |
| 埋戻土層 | — | A-1 埋戻土層 | ○ 対象 | 液状化 | 試験結果に基づいて液 状化強度特性を設定 する。 | 試験結果を基本とし て、基本物性のバラ ツキも考慮して保守 的な設定とする。 |
| 新期砂層 ・沖積層 | 完新世 (沖積層) | A-3 新期砂層・沖積層 | | サイクリック モビリティ | | |
| 古安田層 (古安田層 中の砂層が 対象) | 更新世 (洪積層) | 新しい | × 対象外 | 非液状化 | ※ | |
| | | 古い | | | 非液状化であると考え られるが、保守的な構 造物評価を実施するた め、液状化強度特性を 設定する。 | |
| | | A-1 洪積砂層Ⅰ 洪積砂層Ⅱ | | | | |
| | | A-2 洪積砂層Ⅰ | | | | |
| | | A-2 洪積砂層Ⅱ | | | | |
| | | O-1 洪積砂質土層Ⅰ 洪積砂質土層Ⅱ | | | | |

※ A-2地点の洪積砂層Ⅰについては非液状化であると考えられるが、A-1地点の洪積砂層Ⅰ・Ⅱと同時代に堆積した地層であること、N値がA-1地点の洪積砂層Ⅱと同程度であることを踏まえ、A-1地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

1. 液状化評価の基本方針

【評価対象設備の抽出】

- 土木構造物（屋外重要土木構造物，津波防護施設，浸水防止設備，重大事故等対処施設）を対象とする。

| 設備分類 | | 設備名称 | 構造概要 | 支持層 |
|----------|-----------|--------------|------------------|----------|
| 設計基準対象施設 | 屋外重要土木構造物 | スクリーン室 | 鉄筋コンクリート構造 | 古安田層 |
| | | 取水路 | 鉄筋コンクリート構造 | 古安田層 |
| | | 補機冷却用海水取水路※1 | 鉄筋コンクリート構造 | 西山層 |
| | | 海水貯留堰※2 | 鋼管矢板構造 | 古安田層，西山層 |
| | | 軽油タンク基礎 | 鉄筋コンクリート + 杭基礎構造 | 西山層 |
| | | 燃料移送系配管ダクト | 鉄筋コンクリート + 杭基礎構造 | 西山層 |
| | 津波防護施設 | 荒浜側防潮堤 | 鉄筋コンクリート + 杭基礎構造 | 西山層 |
| | | 海水貯留堰※2 | 鋼管矢板構造 | 古安田層，西山層 |
| | 浸水防止設備 | 止水蓋，止水壁等 | 鉄筋コンクリート構造，鋼構造 | 古安田層 |
| | 重大事故等対処施設 | 常設代替交流電源設備基礎 | 鉄筋コンクリート + 杭基礎構造 | 西山層 |

※1：マンメイドロックを介して西山層に直接支持

※2：海水貯留堰は屋外重要土木構造物と津波防護施設の兼用

- 評価対象設備のうち海水貯留堰の周辺には液状化評価対象層は存在しないことから，液状化評価対象設備からは除外する。

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
 3. 1 液状化試験位置の選定
 3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認
 3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
 4. 1 液状化試験方法
 4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
 4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 S_s に対する液状化判定 (F_L 法)
6. 基準地震動 S_s に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
 9. 1 代表構造物の抽出
 9. 2 取水路
 9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献
 - (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図
 - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
 - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
 - ④ 液状化関連の文献整理
 - ⑤ 液状化試験後の状況写真
 - ⑥ 基準地震動 S_s の概要

2. 液状化評価対象層の抽出

【敷地の地質について】

- 敷地の地質は、下位から新第三系の寺泊層及び椎谷層、新第三系鮮新統～第四系下部更新統の西山層、下部更新統の灰爪層、それらを不整合で覆う中部更新統の古安田層、上部更新統の大湊砂層及び番神砂層、完新統の新时期砂層・沖積層からなる。
- 土木構造物の設置地盤に分布する砂層としては、古安田層中の砂層、新时期砂層・沖積層、埋戻土層がある。
- 古安田層は、敷地のほぼ全域にわたって分布し、主に粘土～シルトからなり、砂、砂礫等を挟在する。また、本層は、MIS10からMIS7とMIS6との境界付近の海進、海退に伴う堆積物を含むものと推定され、中部更新統と判断される。
- 新时期砂層・沖積層は、敷地のほぼ全域にわたって下位層を覆って分布している。下位層上限面に刻まれた谷を埋めるように堆積したため、場所により層厚が大きく変化している。本層は、主に未固結の淘汰の良い細粒～中粒砂からなる。現在の海浜、砂丘を形成しており、下位層を不整合に覆う。

※ MIS：海洋酸素同位体ステージ (Marine oxygen Isotope Stage)

敷地の地質層序表

| 時代 | 地層名 | 主な層相・岩質 | テフラ・放射年代 | | |
|-------------------|------|-----------|--|---|---|
| 第四紀 | 完新世 | 新时期砂層・沖積層 | 上部は灰白色の細～中粒砂 下部は茶褐色の細～中粒砂、腐植物を含む | 腐植 (6, 150 ± 170年) | |
| | | 後期 | 番神砂層 | 灰白色～赤褐色の中～粗粒砂 | |
| | 大湊砂層 | | 褐色～黄褐色の中～粗粒砂、シルトの薄層を含む | NG (約13万年前) Y-1 (約20万年前) | |
| | 更新世 | 古安田層 | Δ ₄ 部層 | 最上部は砂 粘土～シルト、砂を多く挟む | |
| | | | Δ ₃ 部層 | 粘土～シルト 織状粘土、有機物、砂を伴う、貝化石を含む | |
| | | | Δ ₂ 部層 | 粘土～シルト 砂、厚い砂礫、有機物を挟む | Afa-Th (約24万年前) |
| | | | Δ ₁ 部層 | 粘土～シルト 砂、砂礫を挟む | Kkt (約33-34万年前) |
| | 前期 | 灰爪層 | | 凝灰質泥岩、凝灰質砂岩、凝灰岩 | Iz (約1.5Ma) |
| | | | N ₃ 部層 | 砂質泥岩 砂岩、凝灰岩、ノジュールを挟む 貝化石を含む | |
| | | 西山層 | N ₂ 部層 | シルト質泥岩 織状泥岩、凝灰岩、ノジュールを多く挟む | Fup (約2.2Ma) Tsd (約2.3Ma) Az (約2.4Ma) |
| N ₁ 部層 | | | シルト質～粘土質泥岩 砂岩、凝灰岩、ノジュールを挟む 珪質海綿化石を含む | Nt-17 (340 ± 20万年) Nt-7 (350 ± 20万年) | |
| 鮮新世 | 後期 | 椎谷層 | 砂岩、砂岩・泥岩互層、細礫岩等を挟む | | |
| | 前期 | 寺泊層 | 黒色泥岩、砂岩・泥岩互層 | | |
| 新第三紀 | 中新世 | | | | |
| | 中期 | | | | |

~~~~~ 不整合

## 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】

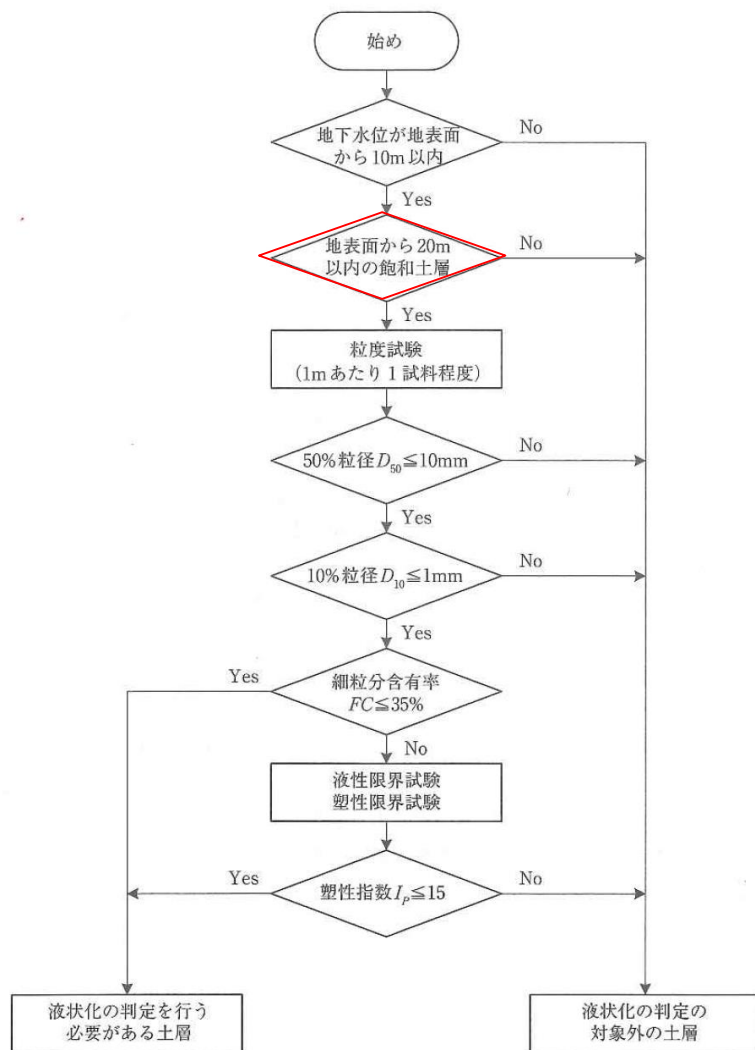


図-解8.2.1 液状化の評価を行う必要がある土層の評価の手順

### 液状化評価の対象層の抽出フロー

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

- 道路橋示方書・同解説（V耐震設計編）（社）日本道路協会，H24.3）（以下，「道路橋示方書」という）に基づいて対象層を抽出する。（左図）
- 道路橋示方書では，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。

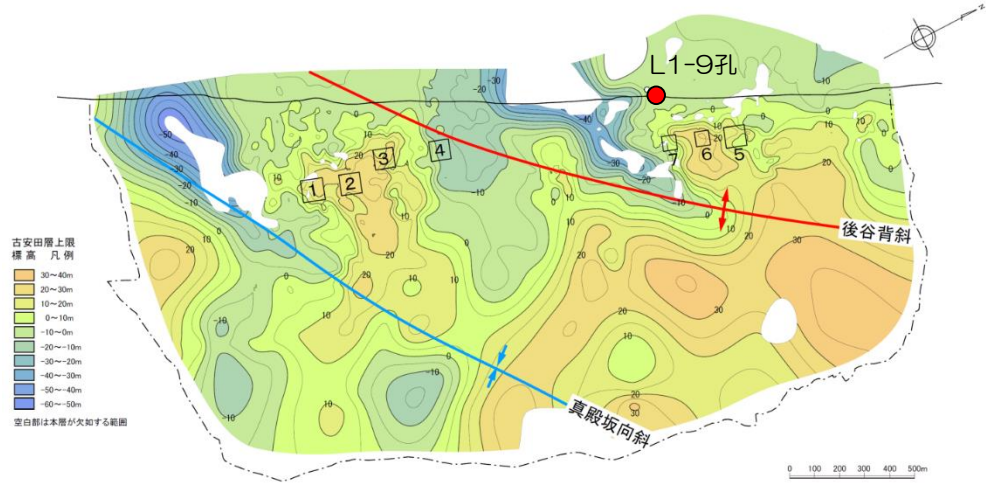
洪積層は，東北地方太平洋沖地震や兵庫県南部地震を含む既往の地震において液状化したという事例は確認されていない。洪積層は一般に $N$ 値が高く，また，続成作用により液状化に対する抵抗が高いため，一般には液状化の可能性は低い。このため，原則として洪積層は液状化の判定の対象とする必要はない。なお，ここでいう洪積層とは，第四紀のうち古い地質時代（更新世）における堆積物による土層に概ね対応すると考えてよい。

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

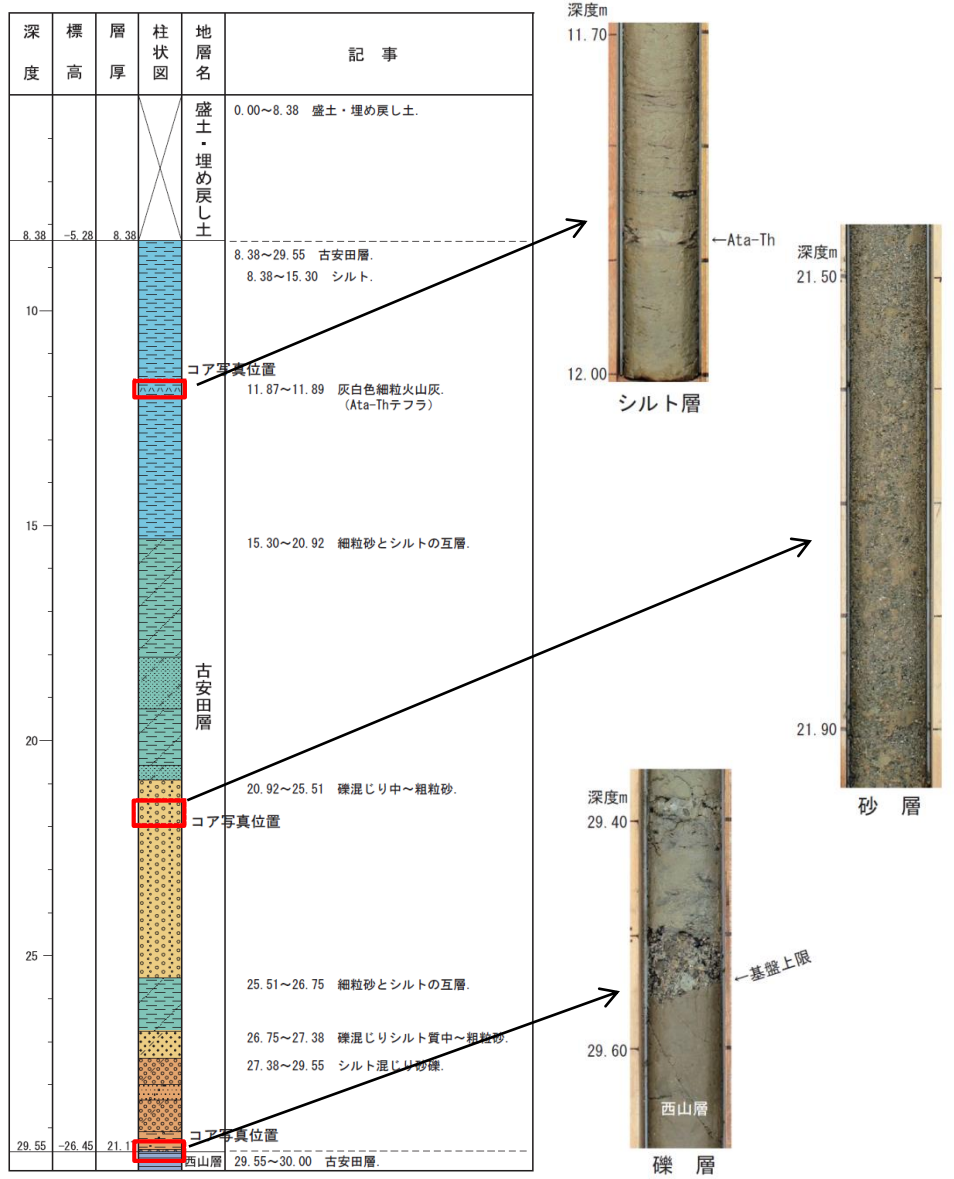
# 2. 液状化評価対象層の抽出

## 【敷地の古安田層中の砂層について】

- 敷地の古安田層は全域に広く分布しており、古安田層中の砂層は、主にAta-Thテフラを含むシルト主体のMIS7の地層に挟在している。また、MIS7の堆積物の基底には砂礫層が分布している。



古安田層上限面図

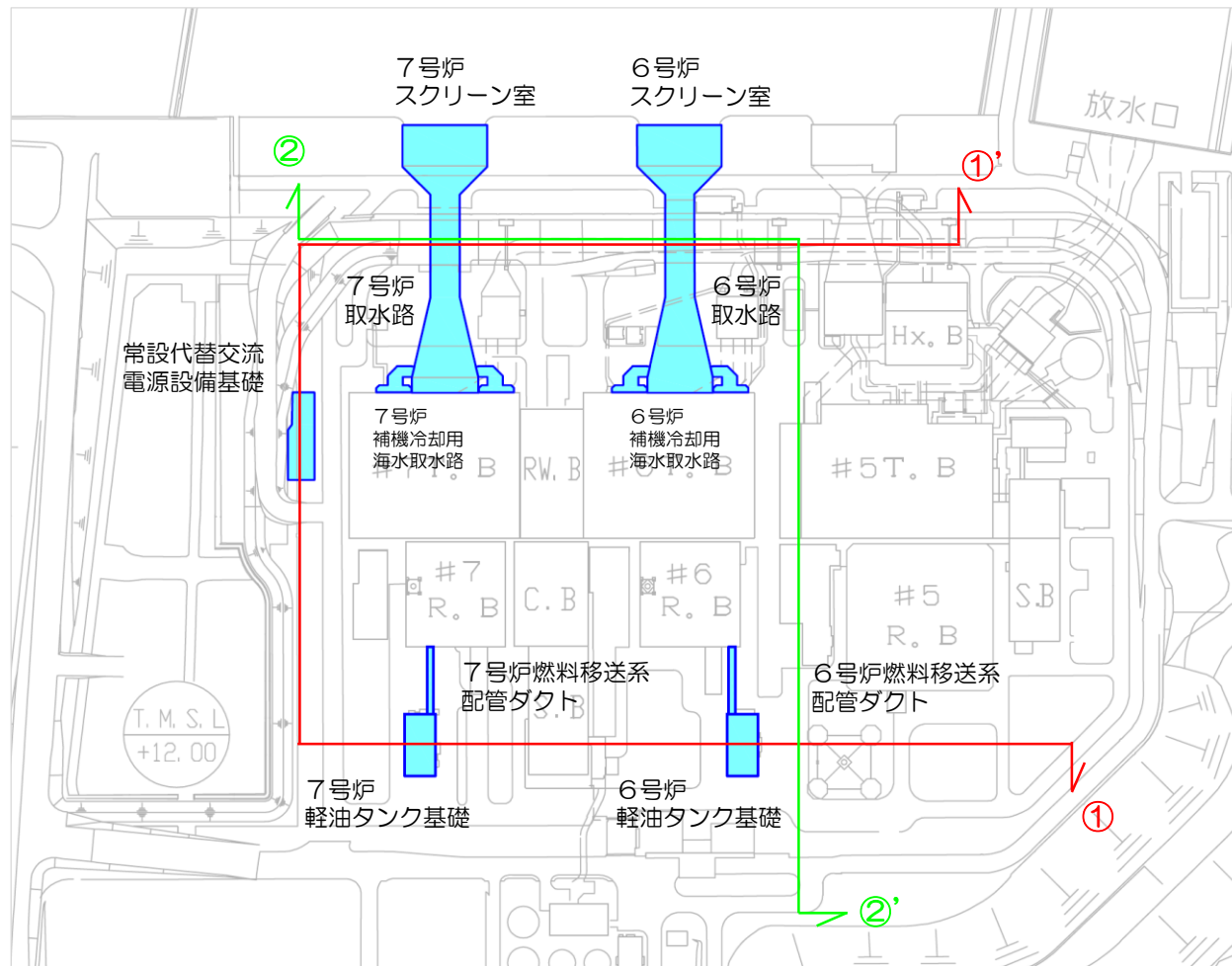


古安田層ボーリング柱状図 (L1-9孔)

## 2. 液状化評価対象層の抽出

### 【大湊側の砂層分布状況について】

- 大湊側の土木構造物のうち、スクリーン室、取水路、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎の地盤には砂層が分布している。
- これらの施設に着目して地質断面図を作成し、砂層の分布状況について整理した。



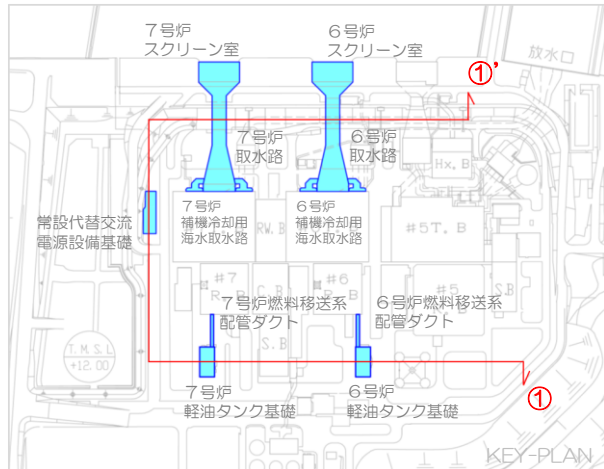
大湊側 全体平面図



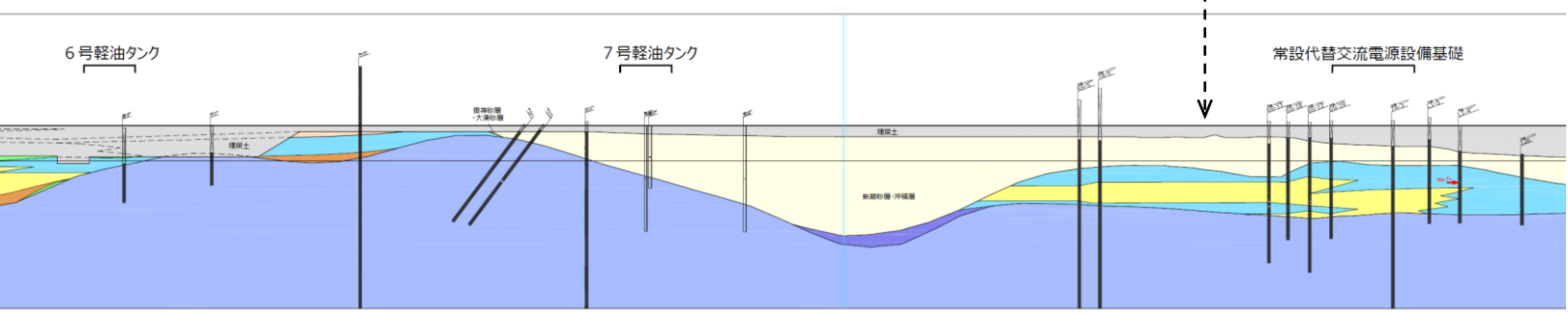
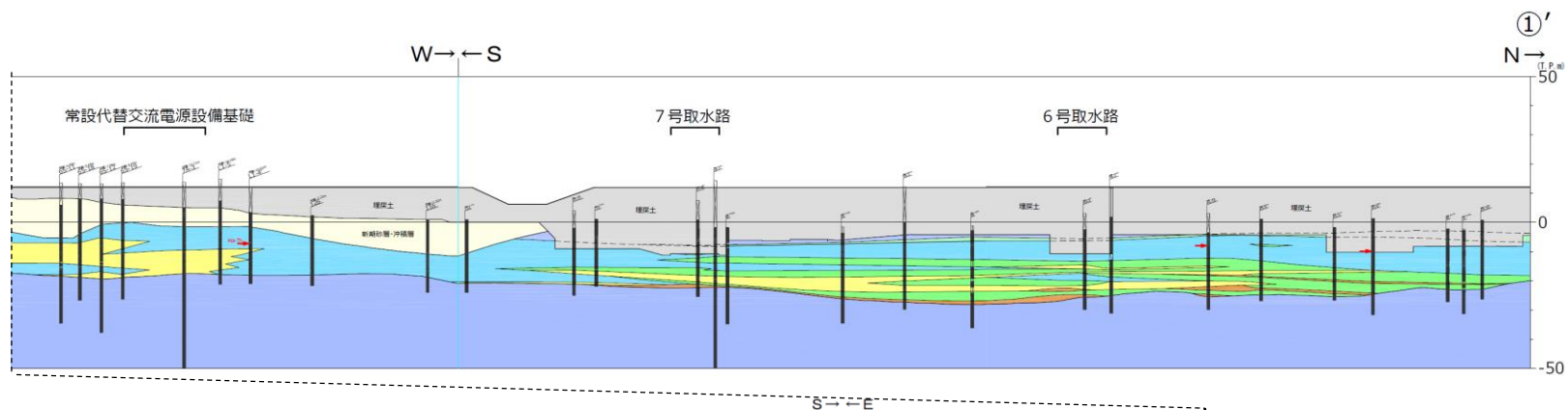
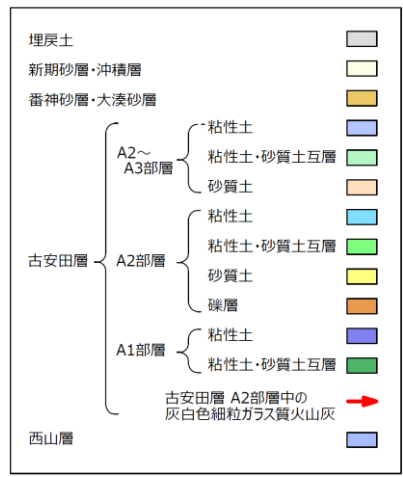
# 2. 液状化評価対象層の抽出

## 【大湊側の砂層分布状況について】

- 取水路及び常設代替交流電源設備基礎の周辺地盤については、シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部にはAta-Thテフラ (→) が同程度の標高で広く確認されること、その下部には砂層 (■) が同程度の標高に分布していることから、MIS7の同時期に堆積した地層である。
- 常設代替交流電源設備及び7号炉軽油タンク基礎の周辺地盤には、細粒～中粒砂からなる新期砂層・沖積層 (□) が分布している。



凡例




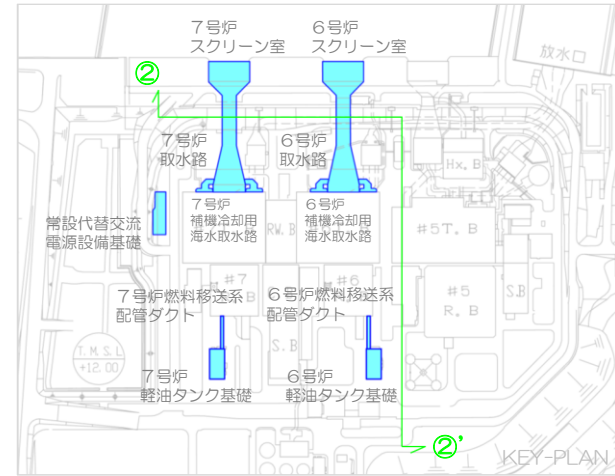
地質断面図 ① - ①' 断面



# 2. 液状化評価対象層の抽出

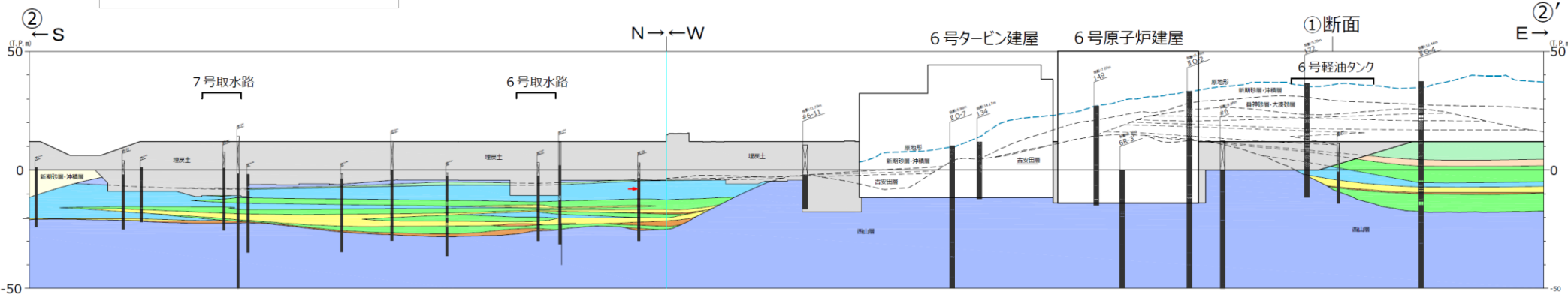
## 【大湊側の砂層分布状況について】

- 6号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤には、古安田層中の砂層が一部分布している。この砂層は、取水路付近の砂層からは西山層の高まり等により連続していないものの、古安田層中に挟在する砂層（）が同様に分布していることから、取水路付近の砂層と同様にMIS7の同時期に堆積した地層である。



### 凡例

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 埋戻土                     |           |
| 新期砂層・沖積層                |           |
| 番神砂層・大湊砂層               |           |
| A2~A3部層                 | 粘性土       |
|                         | 粘性土・砂質土互層 |
|                         | 砂質土       |
| 古安田層                    | A2部層      |
|                         | 粘性土       |
|                         | 粘性土・砂質土互層 |
|                         | 砂質土       |
|                         | 礫層        |
|                         | A1部層      |
|                         | 粘性土       |
|                         | 粘性土・砂質土互層 |
| 古安田層 A2部層中の灰白色細粒ガラス質火山灰 |           |
| 西山層                     |           |

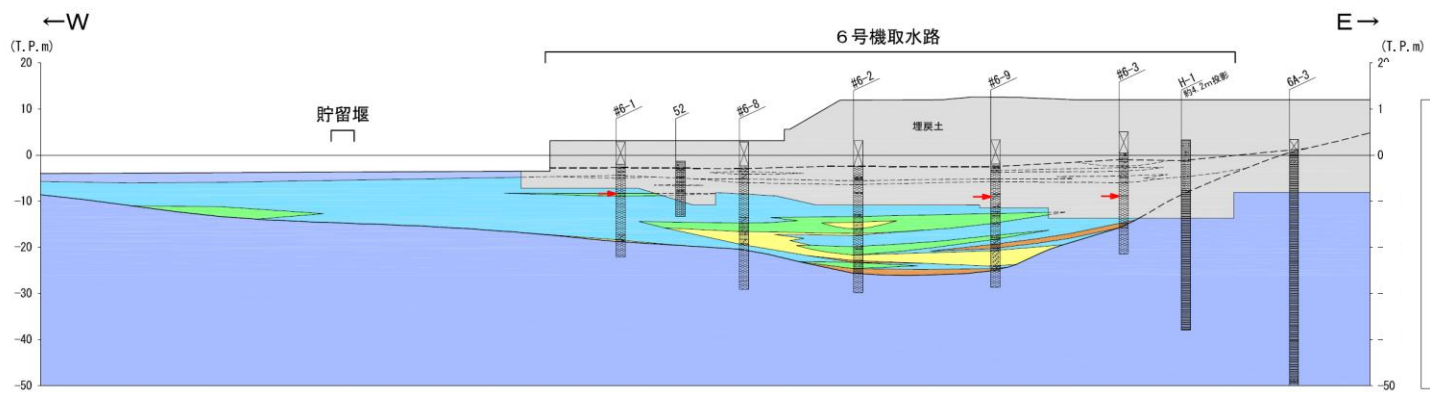


地質断面図 ② - ②' 断面

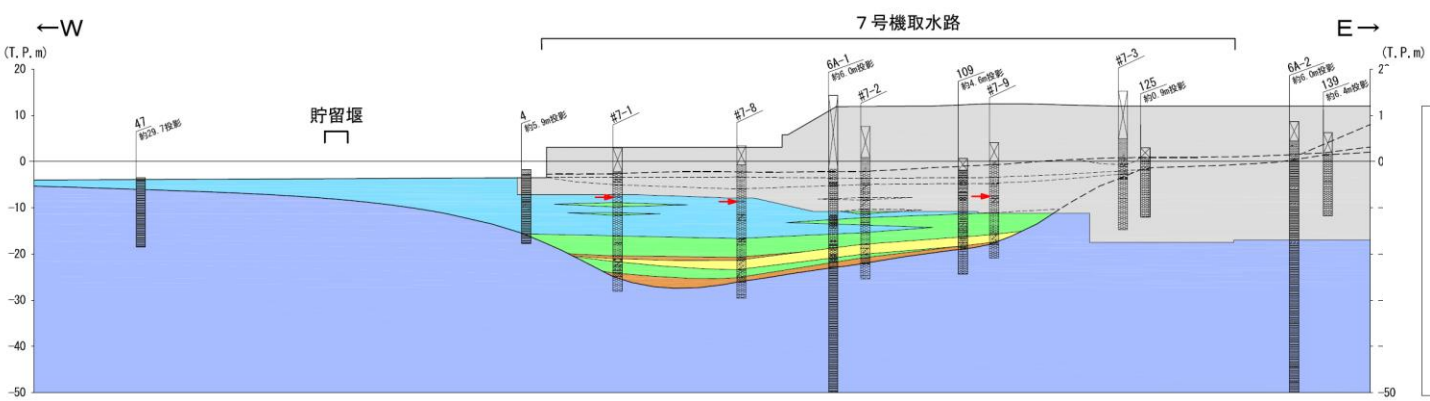
## 2. 液状化評価対象層の抽出

### 【大湊側の砂層分布状況について】

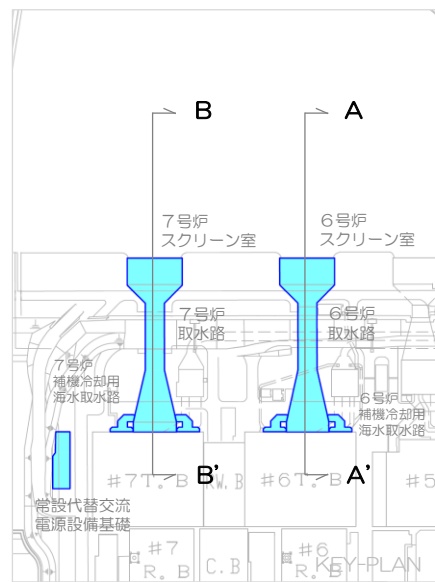
- 取水路の地盤については、シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部にはAta-Thテフラ（→）が同程度の標高で広く確認されること、その下部には砂層（□）が同程度の標高に分布していることから、MIS7の同時期に堆積した地層である。



地質断面図 A - A' 断面



地質断面図 B - B' 断面



### 凡例

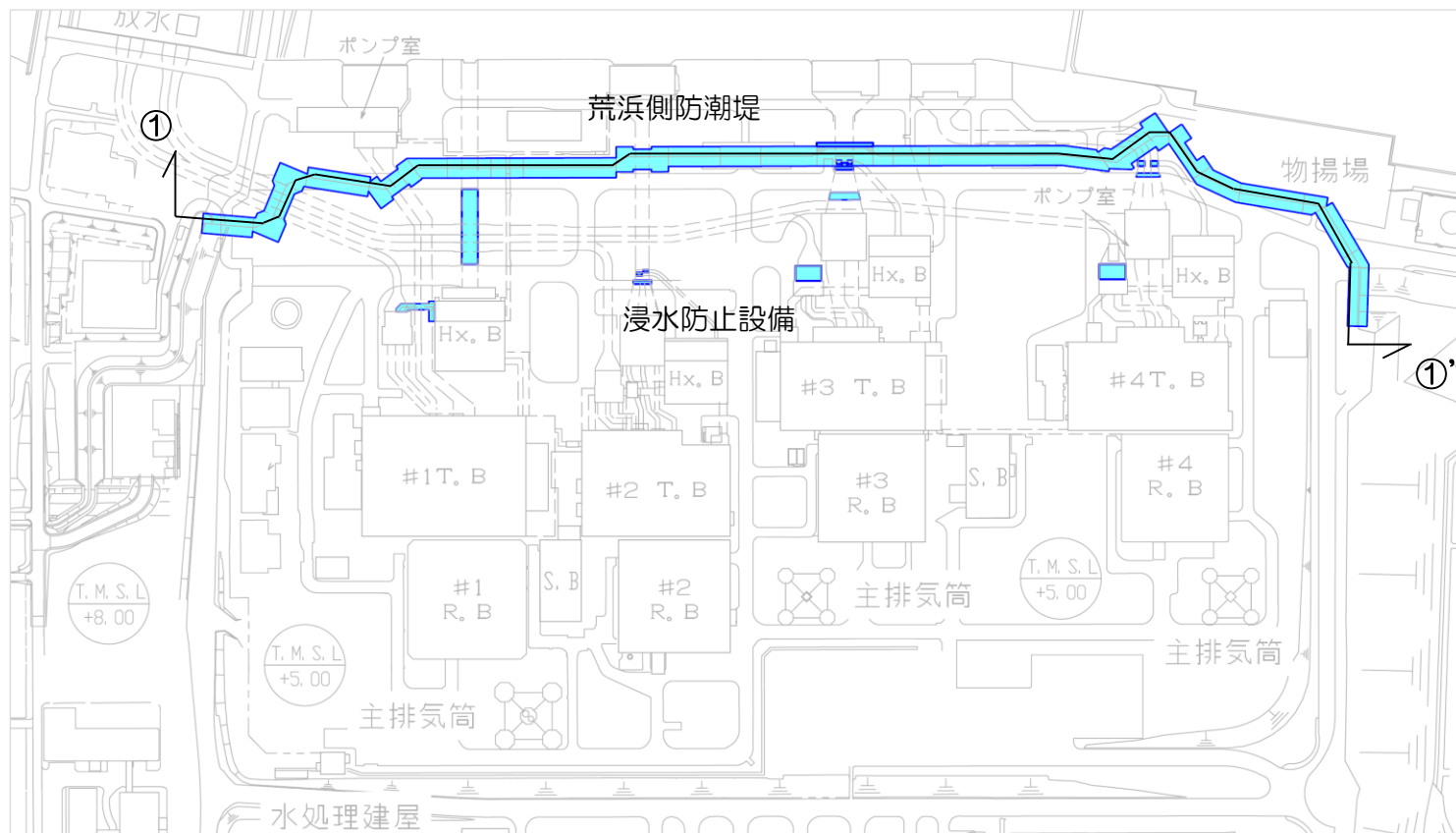
|                         |           |   |
|-------------------------|-----------|---|
| 埋戻土                     | ■         |   |
| 新期砂層・沖積層                | ■         |   |
| 番神砂層・大湊砂層               | ■         |   |
| A2～A3部層                 | 粘性土       | ■ |
|                         | 粘性土・砂質土互層 | ■ |
|                         | 砂質土       | ■ |
| 古安田層 A2部層               | 粘性土       | ■ |
|                         | 粘性土・砂質土互層 | ■ |
|                         | 砂質土       | ■ |
| A1部層                    | 粘性土       | ■ |
|                         | 粘性土・砂質土互層 | ■ |
| 古安田層 A2部層中の灰白色細粒ガラス質火山灰 | →         |   |
| 西山層                     | ■         |   |



## 2. 液状化評価対象層の抽出

### 【荒浜側の砂層分布状況について】

- 荒浜側の土木構造物のうち、荒浜側防潮堤、浸水防止設備（止水蓋、止水壁等）の設置地盤には砂層が分布している。
- いずれの施設もタービン建屋より海側に位置することから、荒浜側防潮堤の縦断方向の地質断面図を作成し、砂層の分布状況について整理した。

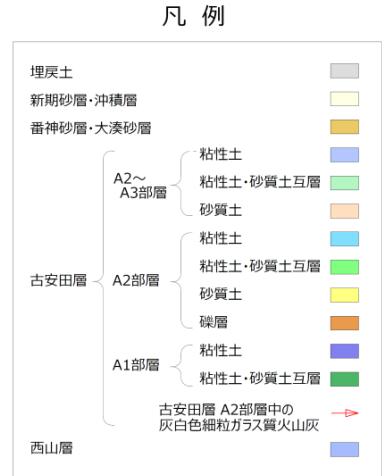
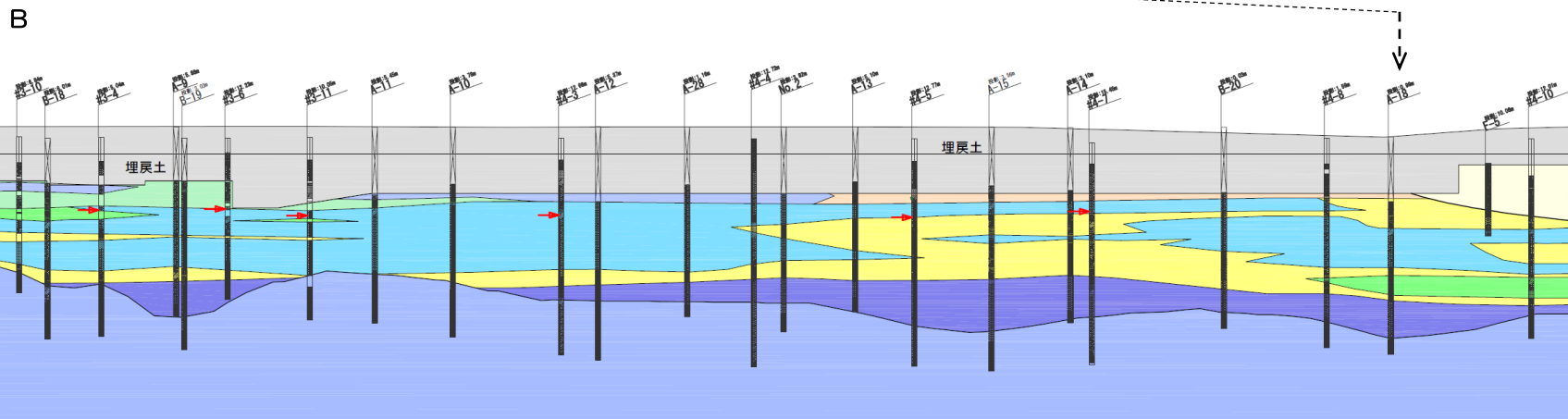
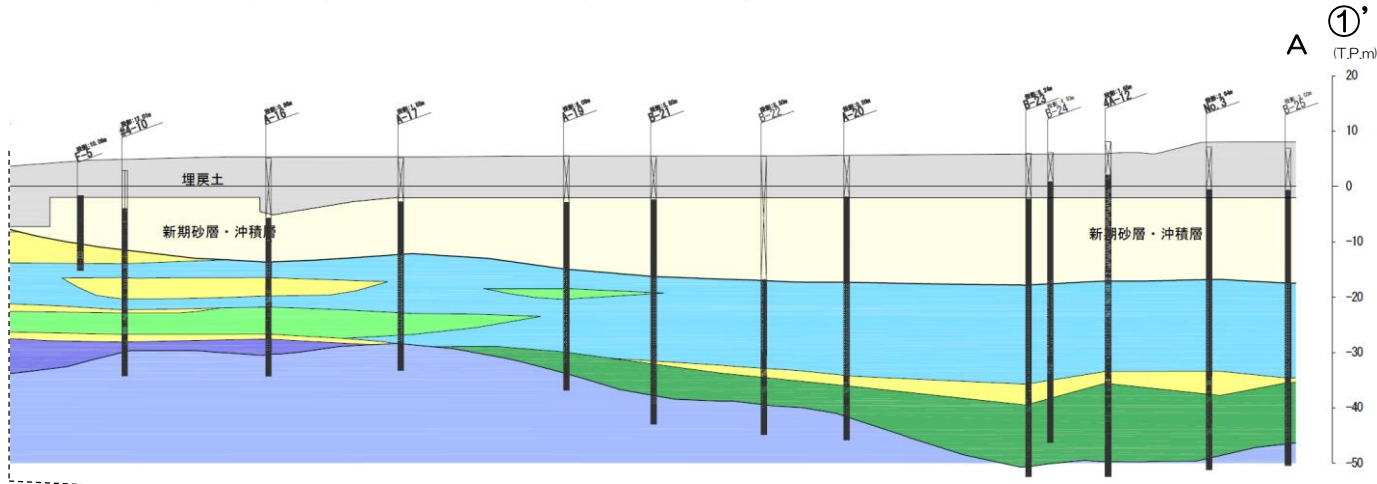
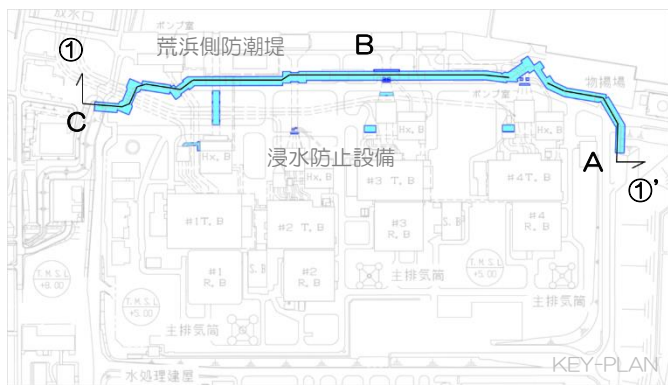


荒浜側 全体平面図

# 2. 液状化評価対象層の抽出

## 【荒浜側の砂層分布状況について】




- 3～4号炉海側の地盤には、シルト主体の古安田層中に挟在する砂層が広く分布している。この砂層が挟在するシルト層内の上部にはAta-Thテフラ（→）が広く確認されること、その下部には砂層（□）が同程度の標高に分布していることから、大湊側と同様にMIS7の同時期に堆積した地層である。
- 4号炉海側には、古安田層の上位に新期砂層・沖積層（□）が連続して分布している。

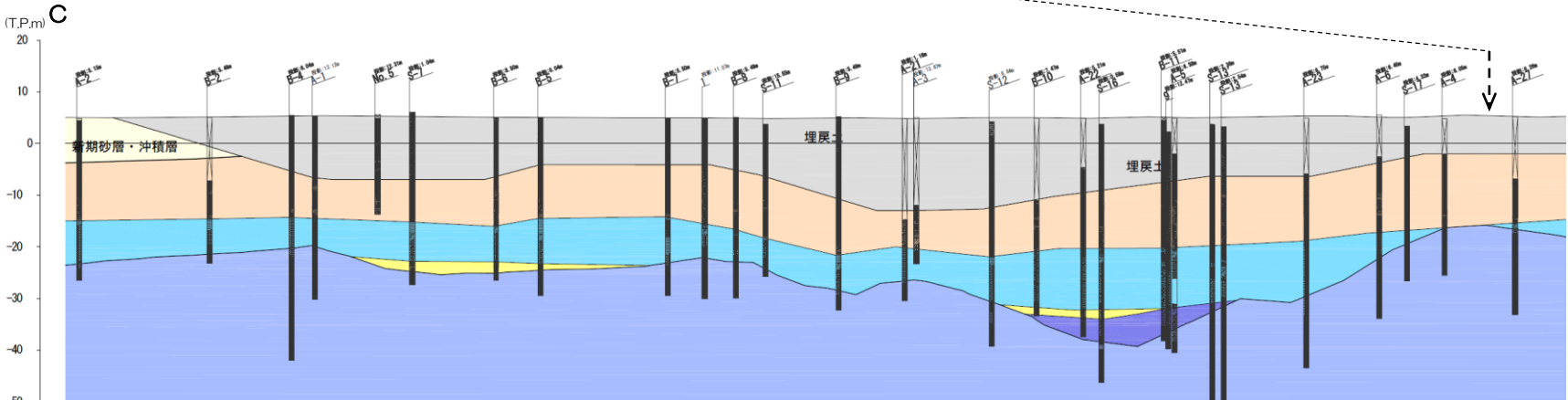
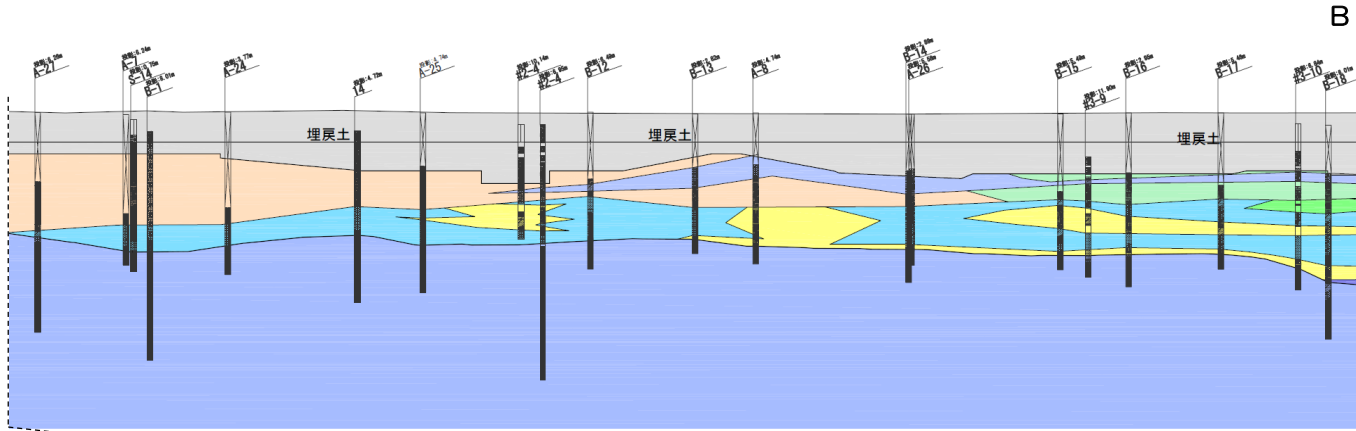
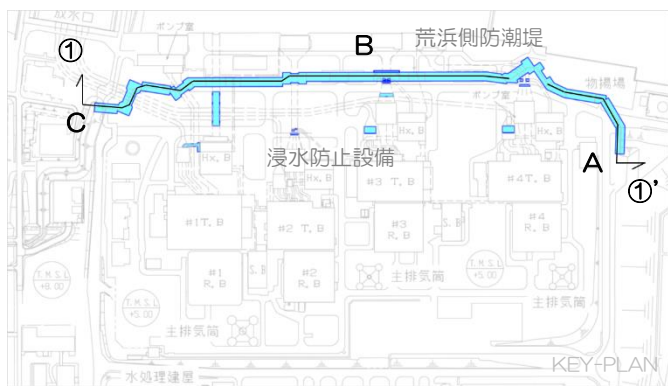


荒浜側防潮堤地質縦断面図 ① - ①' (A~B) 断面

# 2. 液状化評価対象層の抽出

## 【荒浜側の砂層分布状況について】

- 1～2号炉海側の地盤には、3～4号炉海側から連続するシルト主体の地層の上位に位置する砂層（）が概ね10m以上の厚さで連続して分布していることから、この砂層は同時期に堆積した砂層である。なお、古安田層の基底に一部分布する砂層（）は、3～4号炉海側に分布するMIS7の砂層と同じ地層と想定される。
- 1号炉海側の防潮堤端部には、4号炉海側と同様に新期砂層・沖積層（）が分布している。










凡例

|                             |           |           |
|-----------------------------|-----------|-----------|
| 埋戻土                         |           |           |
| 新期砂層・沖積層                    |           |           |
| 番神砂層・大湊砂層                   |           |           |
| 古安田層                        | A2～A3部層   | 粘性土       |
|                             |           | 粘性土・砂質土互層 |
|                             |           | 砂質土       |
|                             | A2部層      | 粘性土       |
|                             |           | 粘性土・砂質土互層 |
|                             |           | 砂質土       |
| A1部層                        | 粘性土       |           |
|                             | 粘性土・砂質土互層 |           |
| 古安田層 A2部層中の<br>灰白色細粒ガラス質火山灰 |           |           |
| 西山層                         |           |           |

荒浜側防潮堤地質縦断面図 ① - ①' (B～C) 断面

## 2. 液状化評価対象層の抽出

### 【まとめ】




- 大湊側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、古安田層中の砂層（），新期砂層・沖積層（）及び埋戻土層（）を抽出した。
- 荒浜側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、主に3～4号炉海側に分布する古安田層中の砂層（），主に1～2号炉海側に分布する古安田層中の砂層（），新期砂層・沖積層（）及び埋戻土層（）を抽出した。

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$  法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献
  - (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

# 3. 液状化試験位置とその代表性

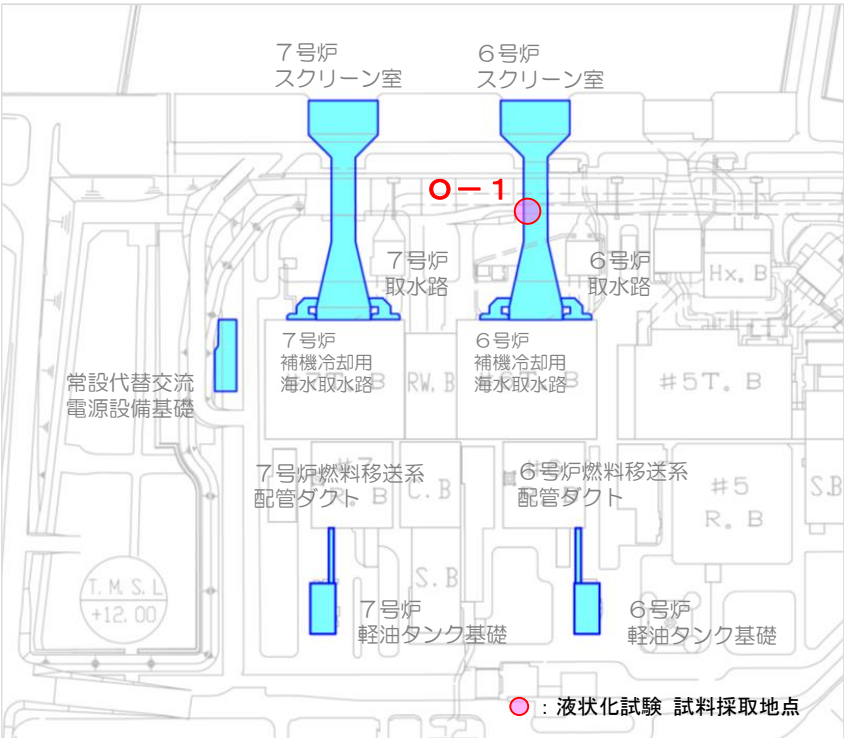
## 3. 1 液状化試験位置の選定

### 【大湊側の液状化試験位置の選定】

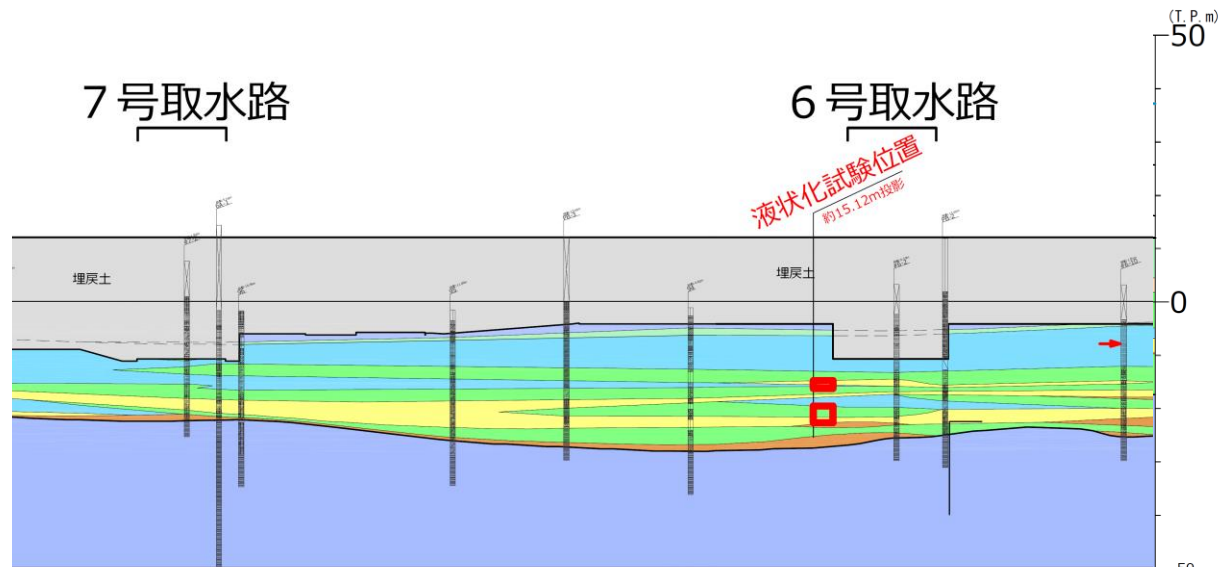
- 大湊側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、古安田層中の砂層（），新期砂層・沖積層（）及び埋戻土層（）を抽出した。
- 液状化試験については、砂層の分布状況から比較的砂層が厚く堆積している6号炉取水路付近の地点を選定し（O-1），試料を採取して液状化試験を実施した。
- 常設代替交流電源設備基礎や7号炉軽油タンク基礎等の周辺地盤に分布している新期砂層・沖積層については、敷地の全域に分布していることから4号炉で確認している新期砂層・沖積層と連続する地層であると想定される。

凡例

|                         |                                                                                     |                                                                                     |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 埋戻土                     |  |                                                                                     |
| 新期砂層・沖積層                |  |                                                                                     |
| 番神砂層・大湊砂層               |  |                                                                                     |
| A2～A3部層                 | 粘性土                                                                                 |  |
|                         | 粘性土・砂質土互層                                                                           |  |
|                         | 砂質土                                                                                 |  |
| 古安田層 A2部層               | 粘性土                                                                                 |  |
|                         | 粘性土・砂質土互層                                                                           |  |
|                         | 砂質土                                                                                 |  |
| A1部層                    | 礫層                                                                                  |  |
|                         | 粘性土                                                                                 |  |
|                         | 粘性土・砂質土互層                                                                           |  |
| 古安田層 A2部層中の灰白色細粒ガラス質火山灰 |  |                                                                                     |
| 西山層                     |  |                                                                                     |



大湊側 試料採取地点位置図 (O-1)







大湊側 試料採取位置図 (O-1)

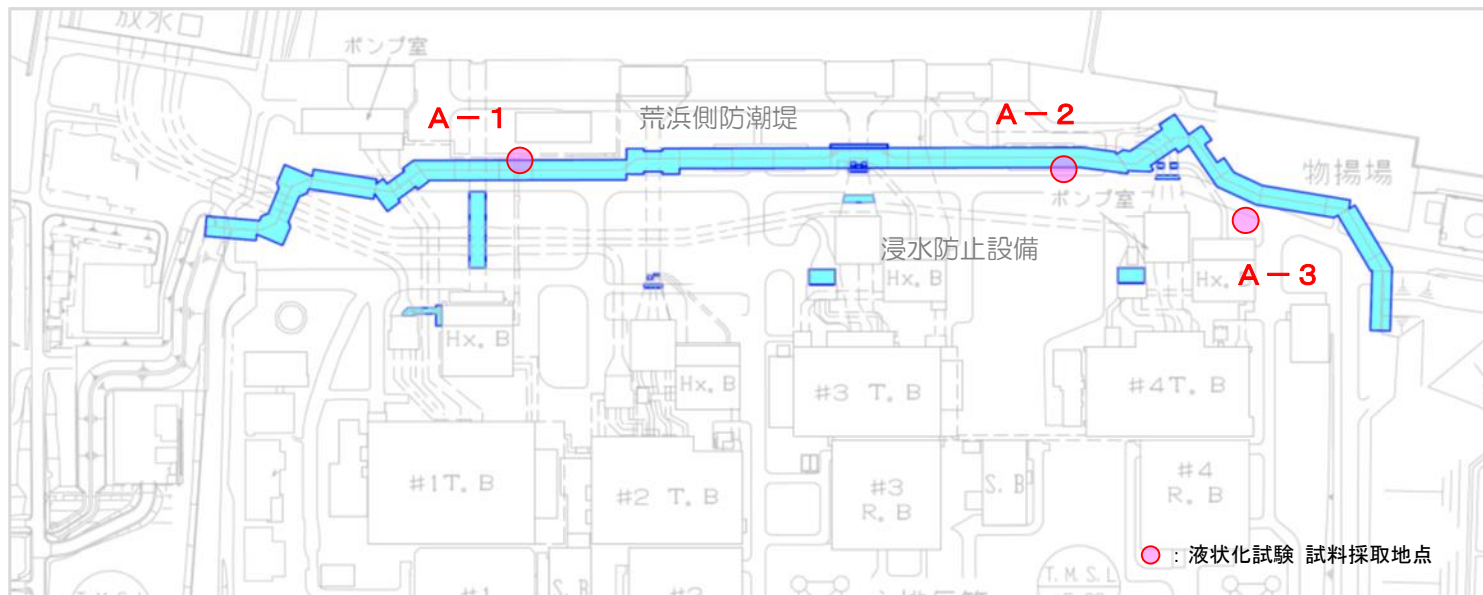


# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 1 液状化試験位置の選定

### 【荒浜側の液状化試験位置の選定】

- 荒浜側の液状化評価対象層として、砂層の分布状況から、主に3～4号炉海側に分布する古安田層中の砂層（）、主に1～2号炉海側に分布する古安田層中の砂層（）、新期砂層・沖積層（）及び埋戻土層（）を抽出した。
- 荒浜側については、砂層の分布状況から以下のとおり地点を選定し、試料を採取して液状化試験を実施した。
  - 1～2号炉海側の古安田層中の砂層は、3～4号炉海側から連続するシルト主体の地層の上位に位置する砂層が連続して分布していることから、1号側の比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（A-1）。
  - 3～4号炉海側の古安田層中の砂層は、その分布状況から4号側の比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（A-2）。
  - 新期砂層・沖積層は、10m以上の層厚で連続して分布していることから、比較的砂層が厚く堆積している地点を選定した（A-3）。



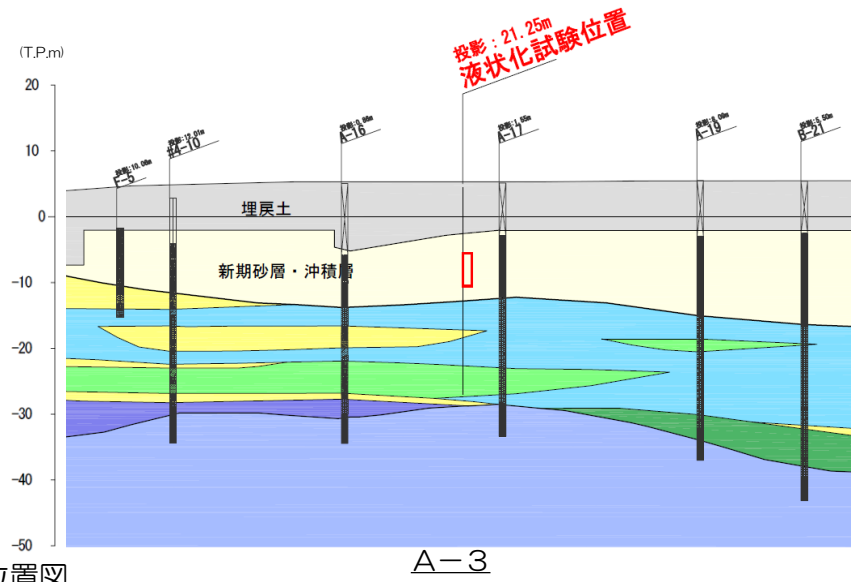
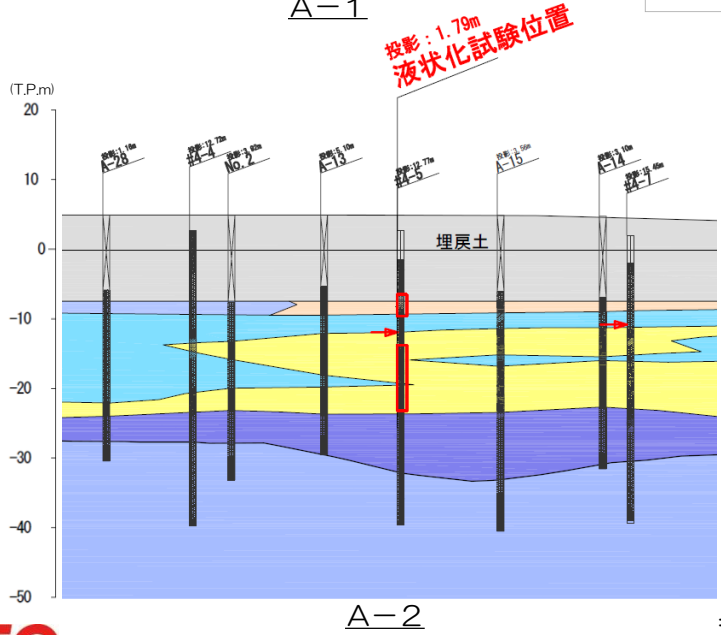
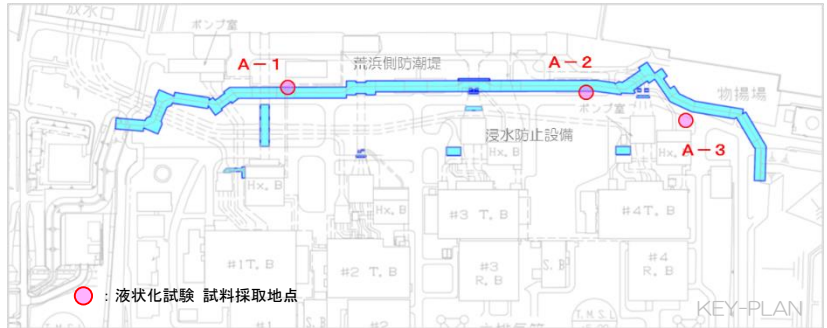
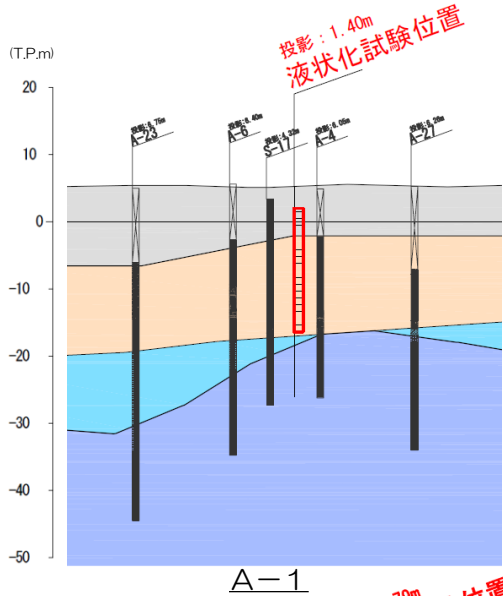
荒浜側 試料採取地点位置図（A-1，2，3）



# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 1 液状化試験位置の選定

### 【荒浜側の液状化試験位置の選定】



荒浜側 試料採取位置図

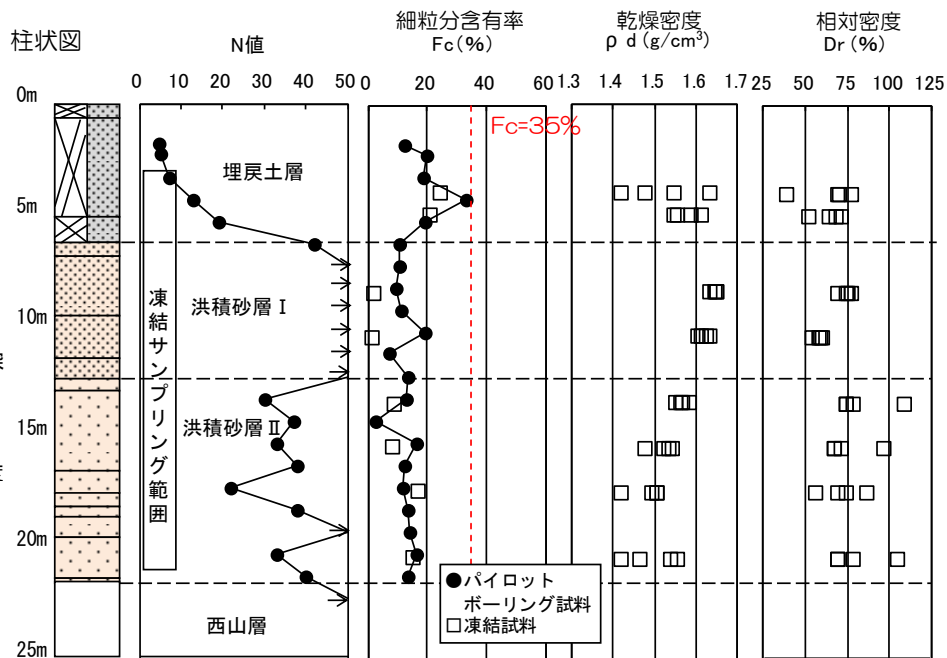
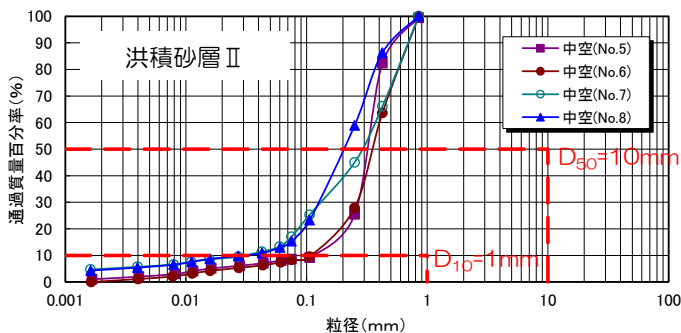
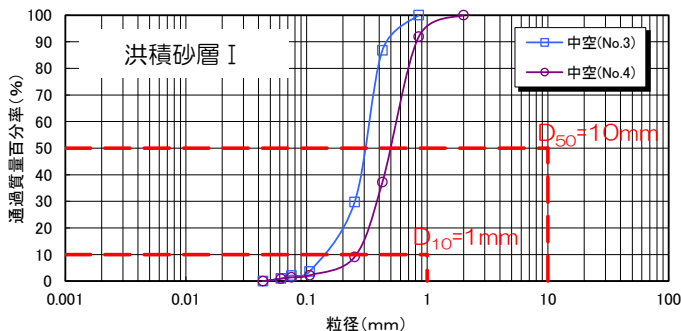
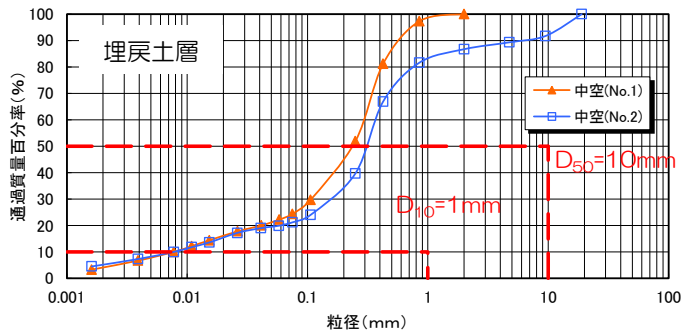
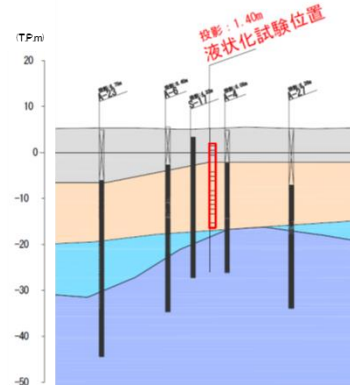
1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献  
(参考資料)
  - ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3.2 液状化試験選定箇所への代表性確認

(平成28年8月4日) 第393回ヒアリング資料再掲

【液状化試験箇所の基本物性：  
A-1 (洪積砂層 I, II, 埋戻土層)】



※古安田層中の砂層は、N値50以上の砂層（洪積砂層 I）とN値50以下の地層（洪積砂層 II）に区分して試験を実施した。

細粒分含有率：粒度0.075mm未満の土粒子の質量百分率  
 相対密度： $D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$  ,  $e_{max}$ ：最大間隙比,  $e_{min}$ ：最小間隙比,  
 $e$ ：間隙比（間隙の体積÷土粒子の体積）

※ 液状化に関連する基本物性の概要は、p.155~160に記載

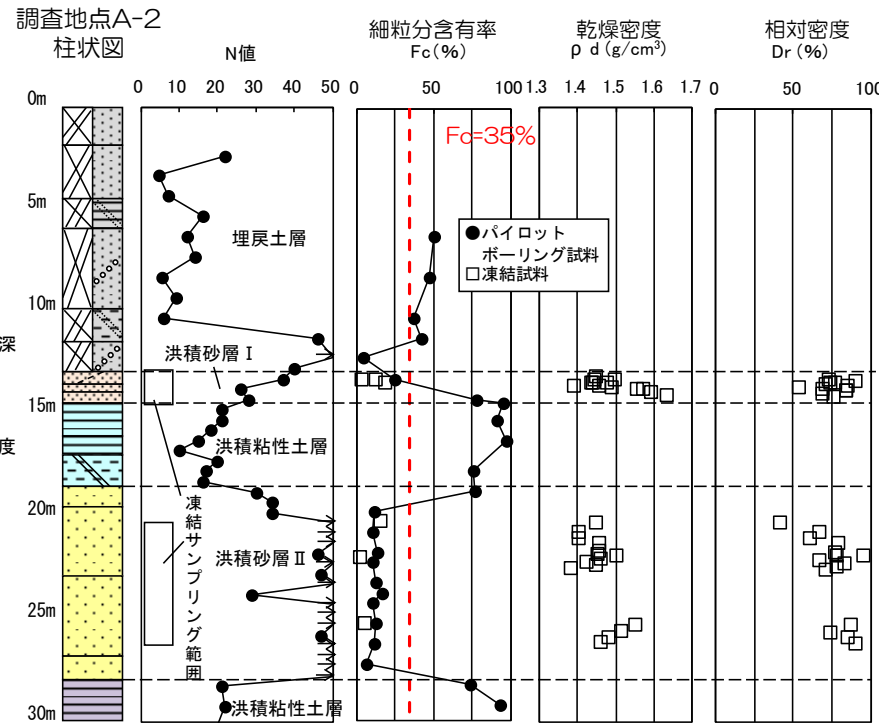
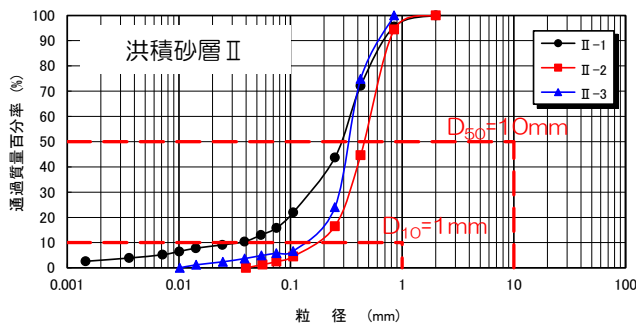
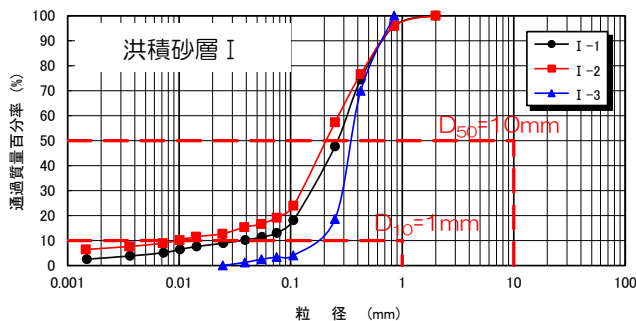
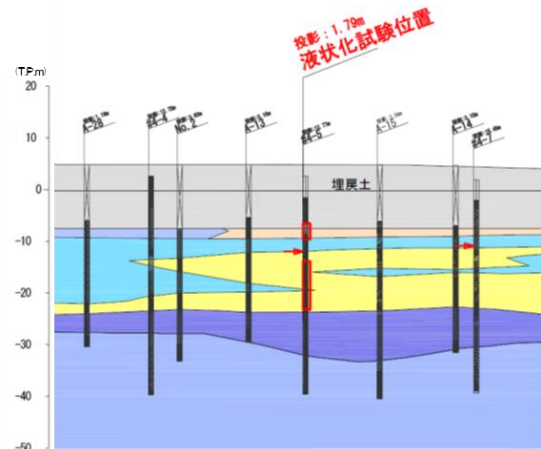


# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認

(平成28年8月4日) 第393回ヒアリング資料再掲

【液状化試験箇所の基本物性：A-2（洪積砂層 I， II）】

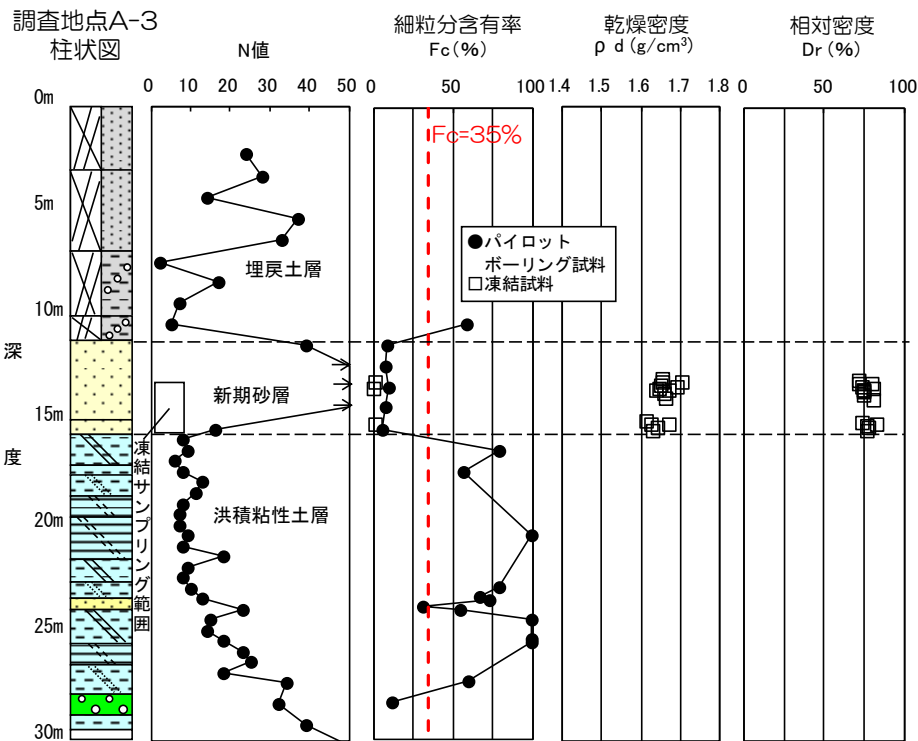
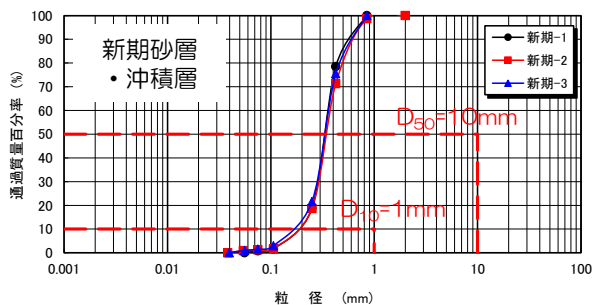
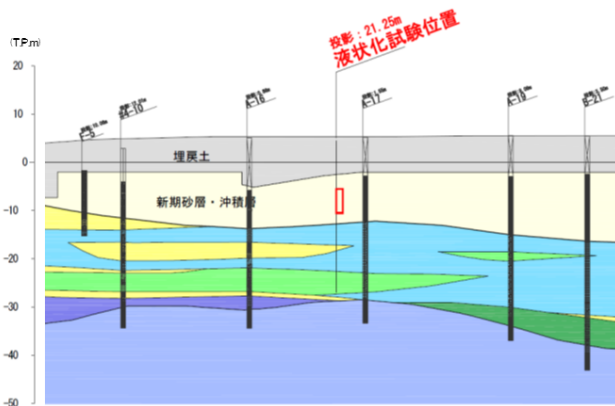
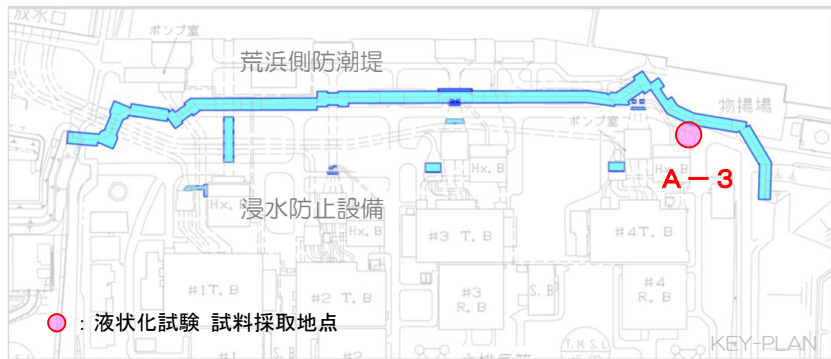


※古安田層中の砂層は、上から洪積砂層 I と洪積砂層 II に区分して試験を実施した。

# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認

【液状化試験箇所の基本物性：A-3（新时期砂層・沖積層）】

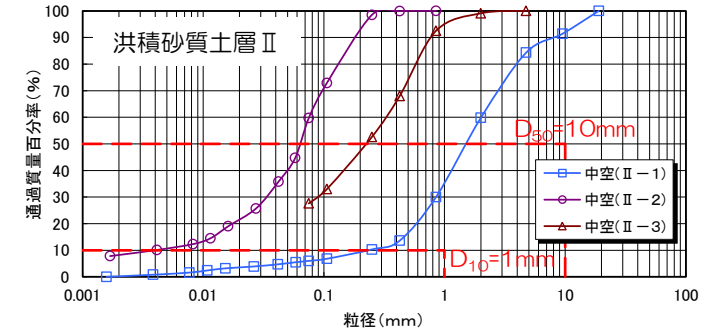
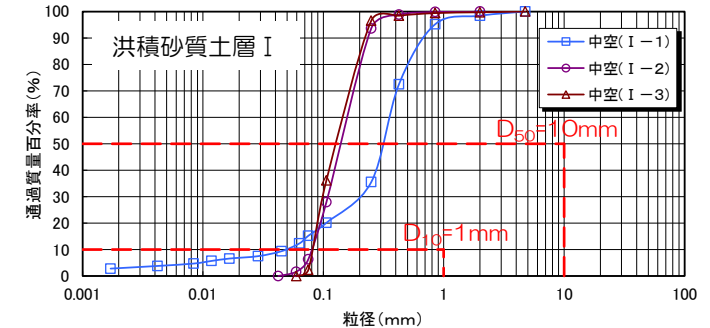
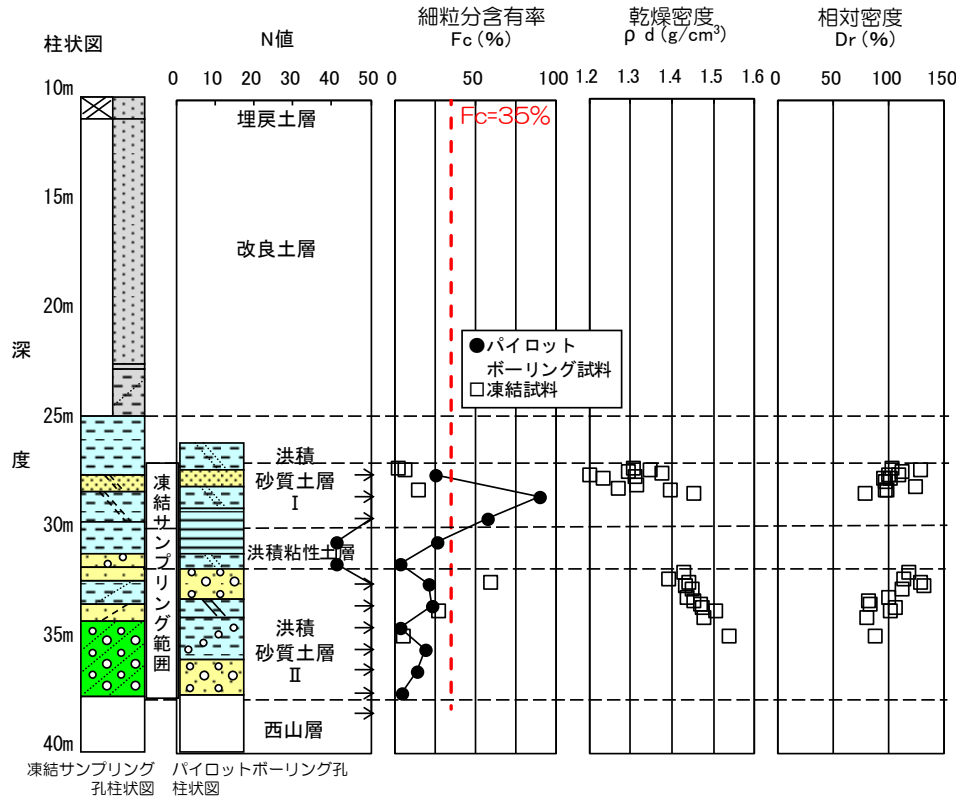
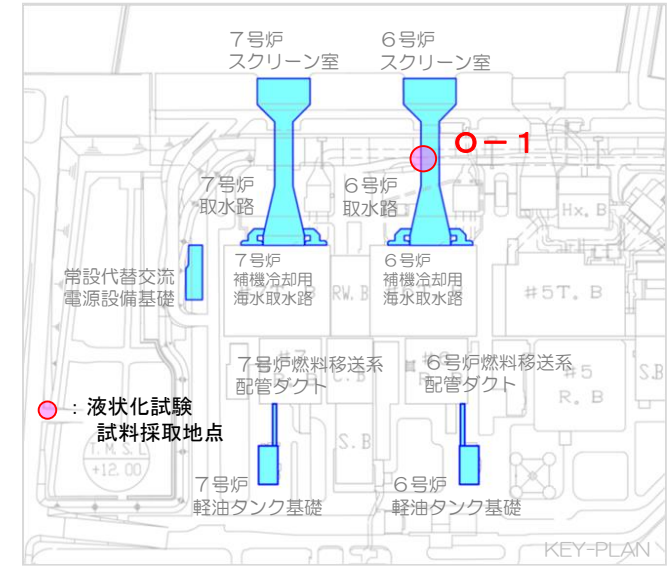
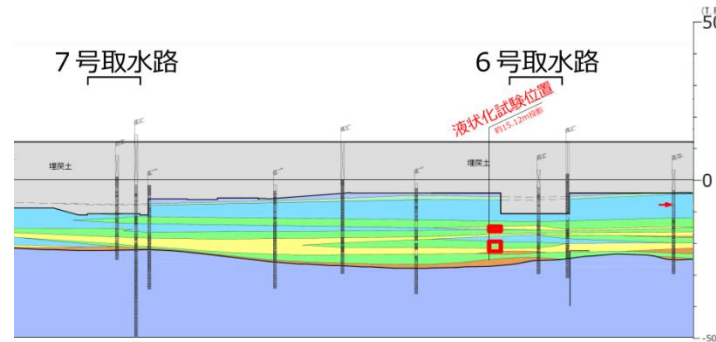


# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所への代表性確認

(平成28年8月4日) 第393回ヒアリング資料再掲

【液状化試験箇所の基本物性：O-1（洪積砂質土層 I， II）】



※古安田層中の砂層は、上から洪積砂質土層 I と洪積砂質土層 II に区分して試験を実施した。



# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認

### 【検討概要（1）比較指標について】

- 液状化試験選定箇所の代表性確認を目的に、液状化試験箇所と周辺調査箇所におけるN値や物理特性の比較、検討を行った。
  - 比較する指標としては、N値、細粒分含有率を選定し、参考指標として粒径加積曲線及び密度（相対密度、乾燥密度）を選定した。\*
  - **N値**は、各基準類の液状化判定における液状化強度比 $R_L$ の算定式がいずれもN値をパラメータとした式であり、また、有効応力解析（FLIP）の簡易パラメータ設定法にN値がパラメータとして用いられており、液状化強度比との相関が最も高いと考えられることから、指標として選定した。
  - **細粒分含有率**は、各基準類の液状化判定における液状化強度比 $R_L$ の算定式において、液状化強度比 $R_L$ を補正するパラメータとして用いられており、液状化強度比との相関が高いと考えられることから、指標として選定した。
  - 粒径加積曲線や密度（相対密度、乾燥密度）は、基本的な土の物性値であることから、参考指標として選定した。

| 基準類名                                                                                                                                  | 液状化強度比 $R_L$ の算定に用いる主物性        | 液状化強度比の補正に用いる物性               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 道路橋示方書・同解説V 耐震設計編，日本道路協会，2012<br>(下水道施設の耐震対策指針と解説，日本下水道協会，2006)<br>(河川砂防技術基準（案）同解説 設計編，日本河川協会編，1997)<br>(高圧ガス設備等耐震設計指針，高圧ガス保安協会，2000) | <b>N値</b><br>(有効上載圧を考慮した補正を行う) | 細粒分含有率 $F_c$                  |
| 港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置（その2），日本港湾協会，2007<br>(部分改訂，2012)                                                                                    |                                | 細粒分含有率 $F_c$                  |
| 建築基礎構造設計指針，日本建築学会，2001<br>(水道施設耐震工法指針・同解説，日本水道協会，1997)                                                                                |                                | 細粒分含有率 $F_c$                  |
| 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，（財）鉄道総合技術研究所，2012                                                                                                 |                                | 細粒分含有率 $F_c$<br>平均粒径 $D_{50}$ |

※ 液状化に関連する基本物性の概要は、p.155～160に記載



【(補足) 液状化判定法における液状化強度比とN値, 細粒分含有率の関係】

■ 液状化判定法 (道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 2012)

(3) 繰返し三軸強度比

繰返し三軸強度比  $R_L$  は式 (8.2.7) により算出する。

$$\left. \begin{aligned} R_L &= 0.0882 \sqrt{N_a/1.7} && (N_a < 14) \\ R_L &= 0.0882 \sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} && (14 \leq N_a) \end{aligned} \right\} \dots\dots (8.2.7)$$

<砂質土の場合>

$$N_a = c_1 N_1 + c_2 \dots\dots\dots (8.2.8)$$

$$N_1 = 170N / (\sigma_{vb}' + 70) \dots\dots\dots (8.2.9)$$

$$\left. \begin{aligned} c_1 &= 1 && (0\% \leq FC < 10\%) \\ c_1 &= (FC + 40) / 50 && (10\% \leq FC < 60\%) \\ c_1 &= FC / 20 - 1 && (60\% \leq FC) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8.2.10)$$

$$\left. \begin{aligned} c_2 &= 0 && (0\% \leq FC < 10\%) \\ c_2 &= (FC - 10) / 18 && (10\% \leq FC) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8.2.11)$$

ここに,

- $R_L$ : 繰返し三軸強度比
- $N$ : 標準貫入試験から得られるN値
- $N_1$ : 有効上載圧  $100\text{kN/m}^2$  相当に換算したN値
- $N_a$ : 粒度の影響を考慮した補正N値
- $\sigma_{vb}'$ : 標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効上載圧 ( $\text{kN/m}^2$ )
- $c_1, c_2$ : 細粒分含有率によるN値の補正係数
- $FC$ : 細粒分含有率 (%) (粒径  $75\mu\text{m}$  以下の土粒子の通過質量百分率)

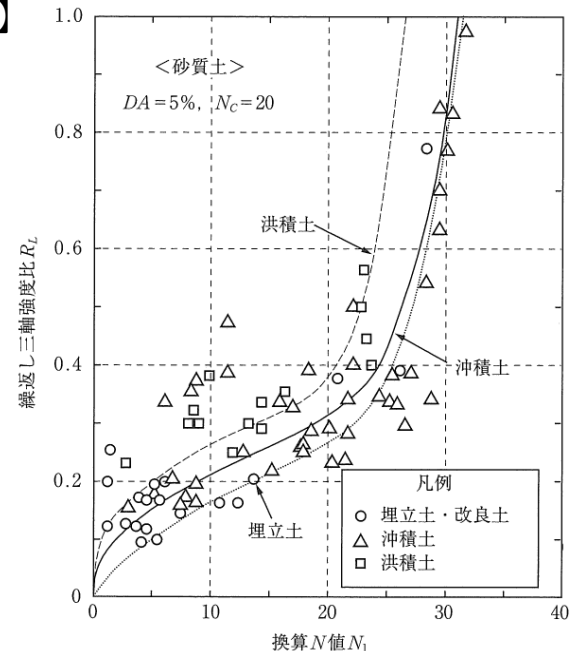


図-参6.6 砂質土の換算N値  $N_1$  と繰返し三軸強度比  $R_L$  の関係 (道路橋示方書・同解説 V耐震設計編に関する参考資料, 日本道路協会, 2015)

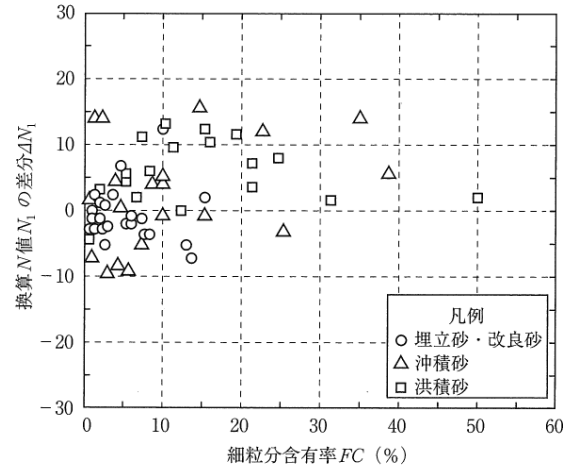


図-参6.7 砂質土の細粒分含有率と換算N値  $N_1$  の差分  $\Delta N_1$  の関係 (道路橋示方書・同解説 V耐震設計編に関する参考資料, 日本道路協会, 2015)

# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認

### 【検討概要(2) ばらつきの考え方について】

- 各基準における設計で設定する地盤物性値のばらつきに対する考え方は、「地盤工学会基準JGS4001：性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則(2006)」や「港湾の施設の技術上の基準・同解説(2007)」, 「道路橋示方書・同解説(2012)」によると、平均値を原則とし、ばらつきを考慮する場合は変動係数などに応じて設定するという考え方が示されている。
- 液状化試験箇所と周辺調査箇所のN値等の比較に際しては、各基準における地盤物性値のばらつきに対する考え方を参考に、「平均値」及び「平均値-1 $\sigma$ (以降、-1 $\sigma$ 値と称す)」について整理した。

#### 地盤工学会 基準 JGS4001

- 設計に用いる「特性値」の決定にあたっては、過去の経験にもとづき、地盤パラメータのばらつきや単純化したモデルの適用性に十分留意しなければならない。
- この特性値は、原則として導出値の平均値(期待値)である。この平均値は単なる機械的な平均値ではなく、統計的な平均値の推定誤差を勘案したものでなければならない。
- 特性値を示すにあたっては、地盤の特性を記述するために、特性値に加えて、導出値のばらつきの指標(たとえば標準誤差や変動係数)を含めることが望ましい。

#### 港湾基準 (2007)

- 性能照査に用いる地盤定数の設計用値は、原則として地盤工学会基準JGS4001に基づき、推定する。
- 地盤定数の代表値である特性値は、データ数が十分かつ導出値のばらつきが小さい場合には、原則として導出値の平均値をもって算定することができる。ただし、データ数が不足している場合(10個未満)及び導出値のばらつきが大きい場合には、導出値の平均値を補正した上で、特性値を設定する必要がある。
- 特性値は、導出値のばらつきに関する補正係数 $b_1$ を標準偏差として定義される変動係数に応じて設定することにする。

#### 道路橋 示方書 (2012)

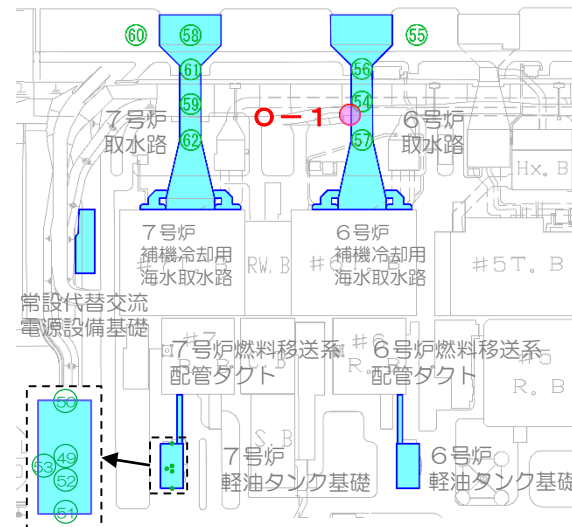
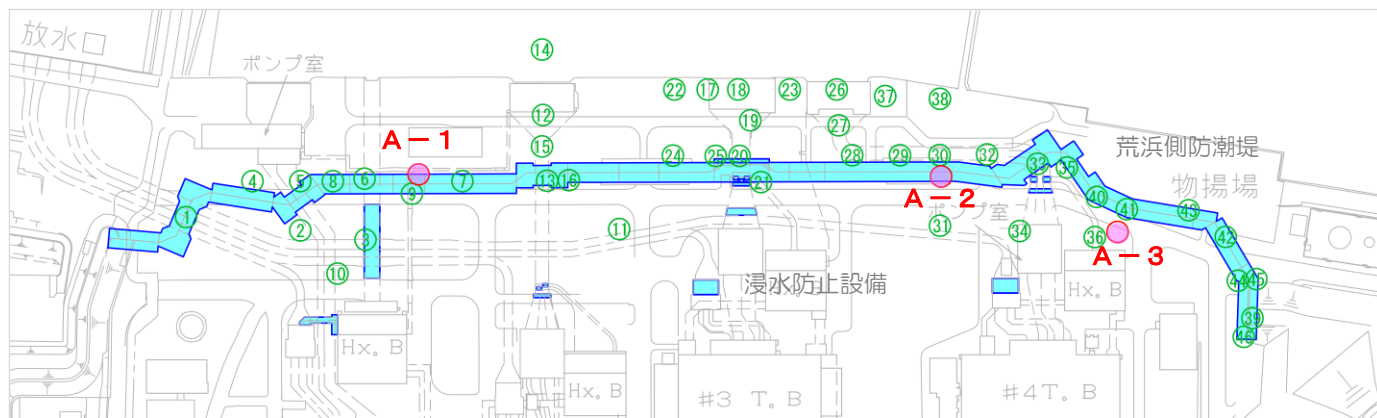
- 地盤は複雑でばらつきの大きい材料であるが、設計に用いる地盤定数は、基礎に作用する荷重に対して、その条件下で最も高い確率で起こり得る基礎の挙動を推定するものである。したがって、地盤定数は、計算式の精度や特性を顧慮したうえで、当該地盤の平均的な値と考えられるものを求めることが原則である。
- 自然地盤から得られる計測データは多様で、しかもばらつくのがふつうである。データのばらつきだけでなく、データ数を合理的に評価して設計に用いる地盤定数を定める必要がある。

# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所への代表性確認

### 【検討概要(3)】

- 液状化試験箇所と周辺調査箇所におけるN値や物理特性データは、既往の試験結果を集計、整理した。
  - 液状化試験箇所については、2007年新潟県中越沖地震後に取得した試験データを整理した。
  - 周辺調査箇所については、N値、物理特性の両方を多く取得している取水路及び軽油タンク建設時の試験データを整理した。
- 各種試験は、JISに基づき実施した。
- なお、周辺調査箇所については、以下の理由により審査会合(7/12)で示した箇所から変更した。
  - データ数の少ない荒浜側の新期砂層・沖積層について、防潮堤建設時のN値を追加して整理した。(データ数, 増)
  - 建設で掘削され現存しない深度のデータは、除外した。(データ数, 減)
  - 地質情報の精査(3次元的な地層変化の考慮等)に伴い、地層区分の見直しとデータ拡充を実施した。(データ数, 増減)
  - 埋戻土層について、防潮堤建設時のN値を追加して整理した。(データ数, 増)



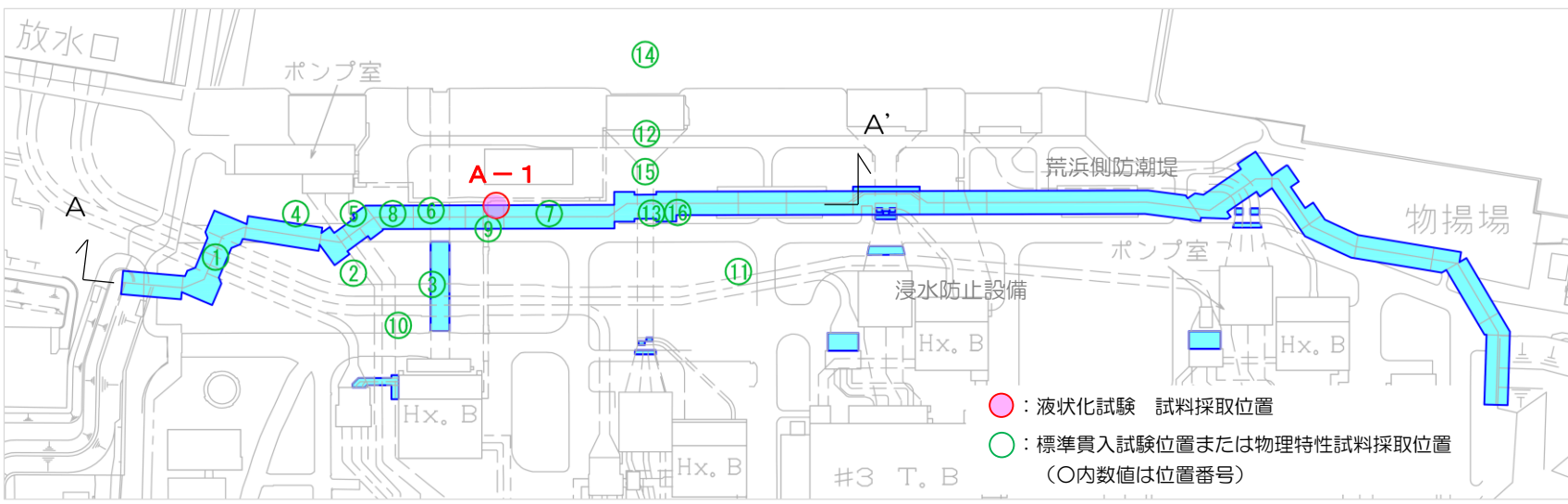
- : 液状化試験 試料採取位置
- : 標準貫入試験位置または物理特性試料採取位置  
(○内数値は位置番号, 荒浜側①~④⑥, 大湊側④⑨~⑥②)

# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所その代表性確認

### 【液状化試験選定箇所の代表性確認：荒浜側 A-1（洪積砂層 I）】

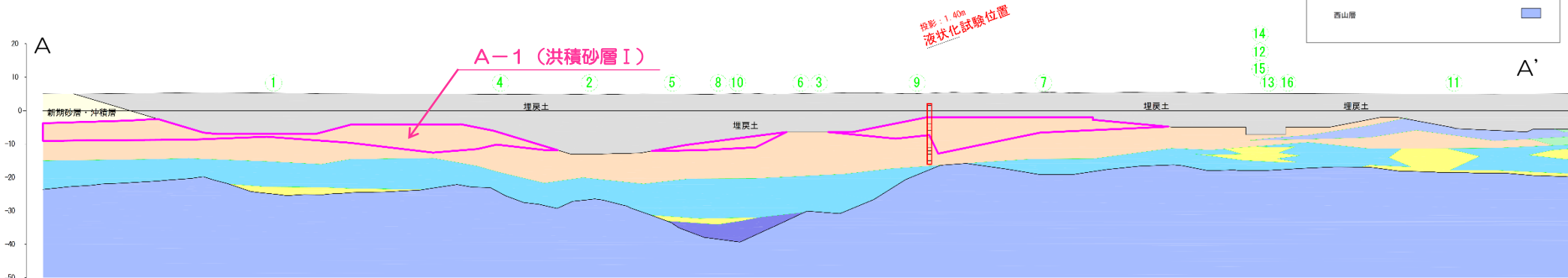
- 液状化試験を実施したA-1（洪積砂層 I）の試料採取箇所と周辺調査箇所におけるN値や物理特性の比較を行った。
- なお、A-1（洪積砂層 I）は、3～4号炉海側から連続するシルト主体の地層の上位に位置する砂層（）のうち、N値50以上の砂層を工学的に区分した層である。



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-1（洪積砂層 I）

凡例

|                             |                                                                                                                           |                                                                                                                                     |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 埋戻土                         | <span style="background-color: #cccccc; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span> |                                                                                                                                     |
| 新期砂層・沖積層                    | <span style="background-color: #ffffcc; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span> |                                                                                                                                     |
| 香神砂層・大浜砂層                   | <span style="background-color: #f4a460; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span> |                                                                                                                                     |
| A2～A3部層                     | 粘性土                                                                                                                       | <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span>           |
|                             | 粘性土・砂質土互層                                                                                                                 | <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span>           |
|                             | 砂質土                                                                                                                       | <span style="background-color: #f4a460; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span>           |
|                             | 粘性土                                                                                                                       | <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span>           |
|                             | 粘性土・砂質土互層                                                                                                                 | <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span>           |
| 古安田層                        | A2部層                                                                                                                      | 粘性土・砂質土互層 <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span> |
|                             |                                                                                                                           | 砂質土 <span style="background-color: #ffffcc; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span>       |
|                             |                                                                                                                           | 粘性土 <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span>       |
| A1部層                        |                                                                                                                           | 粘性土 <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span>       |
|                             |                                                                                                                           | 粘性土・砂質土互層 <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span> |
| 古安田層 A2部層中の<br>灰白色細粒ガラス質火山灰 |                                                                                                                           | <span style="color: red;">→</span>                                                                                                  |
| 西山層                         | <span style="background-color: #a4c639; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em;"></span> |                                                                                                                                     |



N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-1（洪積砂層 I）

# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3.2 液状化試験選定箇所の代表性確認

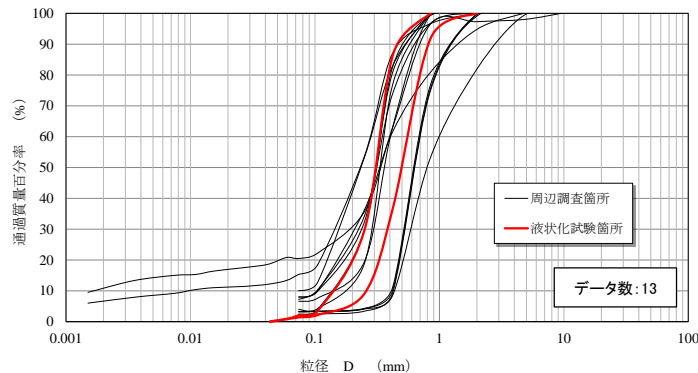
### 【液状化試験選定箇所の代表性確認：荒浜側 A-1（洪積砂層 I）】

- **N値**：液状化試験箇所と周辺調査箇所の平均値及び-1σ値は同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。

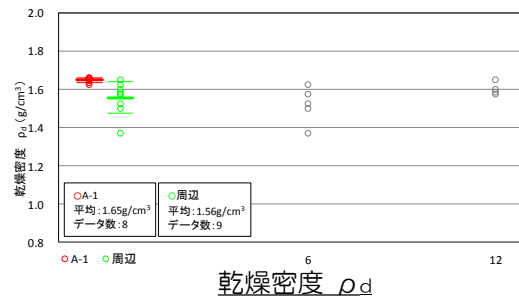
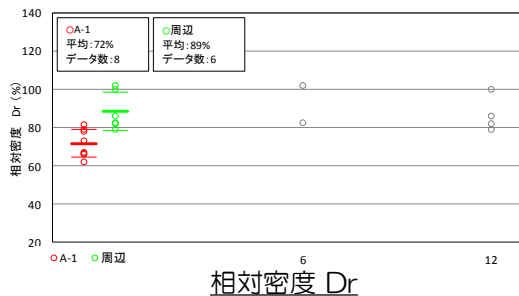
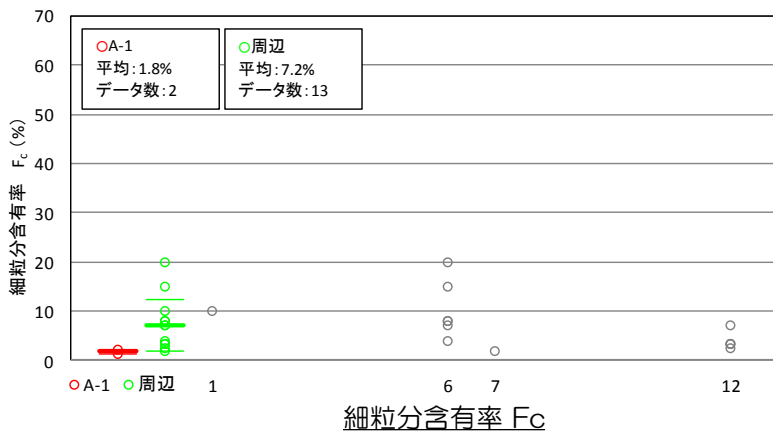
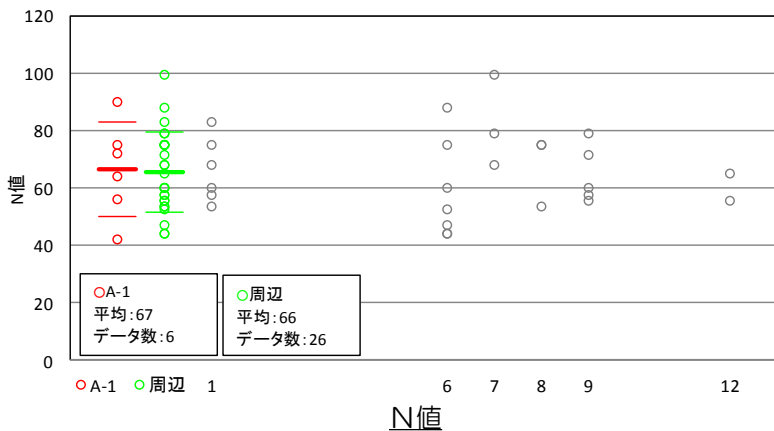
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。

乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より大きい。



粒径加積曲線



+ + + +σ  
| | | 平均値  
- - - -σ  
○ ○ ○ : 試験値

( ) 液状化試験 試料採取箇所  
( ) 周辺調査箇所：全箇所  
( ) 周辺調査箇所：各孔

N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-1（洪積砂層 I）

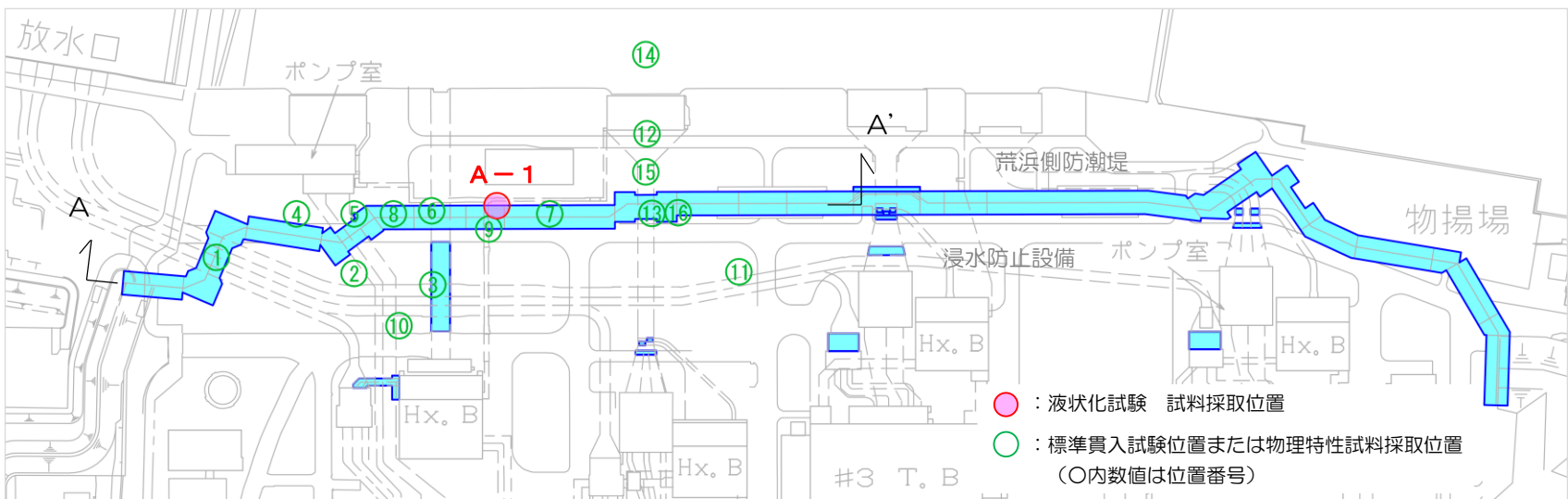


# 3. 液状化試験位置とその代表性

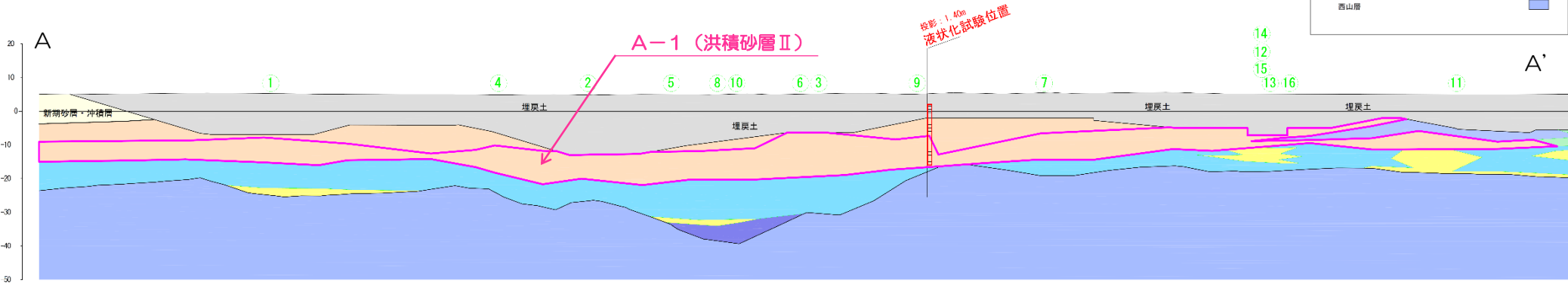
## 3.2 液状化試験選定箇所その代表性確認

### 【液状化試験選定箇所の代表性確認：荒浜側 A-1（洪積砂層Ⅱ）】

- 液状化試験を実施したA-1（洪積砂層Ⅱ）の試料採取箇所と周辺調査箇所におけるN値や物理特性の比較を行った。
- なお、A-1（洪積砂層Ⅱ）は、3～4号炉海側から連続するシルト主体の地層の上位に位置する砂層（）のうち、N値50以下の砂層を工学的に区分した層である。



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-1（洪積砂層Ⅱ）



N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-1（洪積砂層Ⅱ）

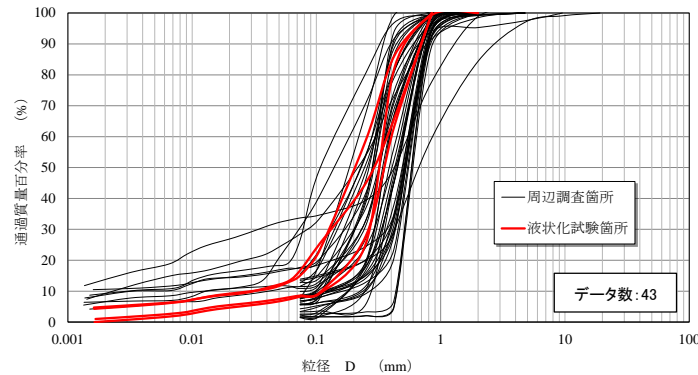
# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3.2 液状化試験選定箇所への代表性確認

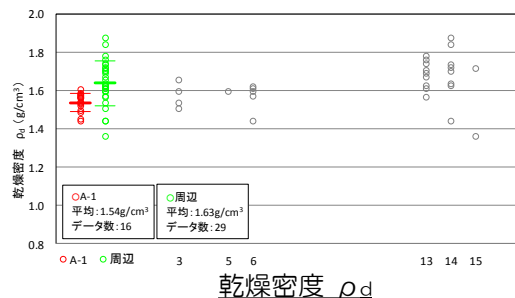
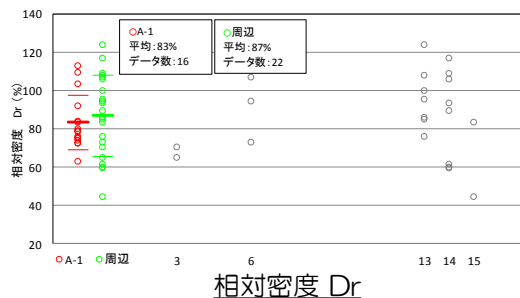
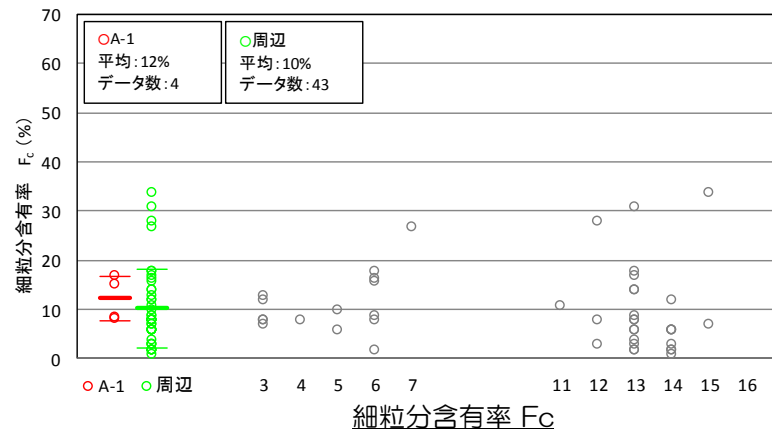
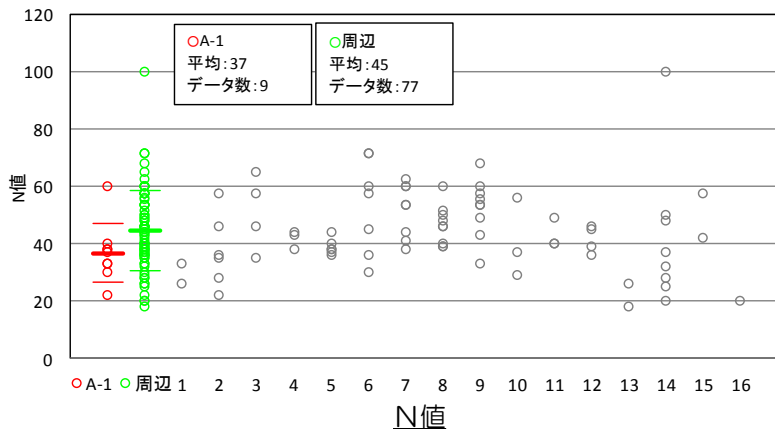
### 【液状化試験選定箇所の代表性確認：荒浜側 A-1（洪積砂層Ⅱ）】

- **N値**：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は周辺調査箇所より若干大きい（ばらつきが小さい）。

(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。  
 相対密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所と同程度である。  
 乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び-1σ値は、周辺調査箇所より小さい。



粒径加積曲線



+  $\sigma$   
■ 平均値  
-  $\sigma$   
○ ○ ○ : 試験値  
 (赤) 液状化試験 試料採取箇所  
 (緑) 周辺調査箇所: 全箇所  
 (灰) 周辺調査箇所: 各孔

N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-1（洪積砂層Ⅱ）



# 3. 液状化試験位置とその代表性

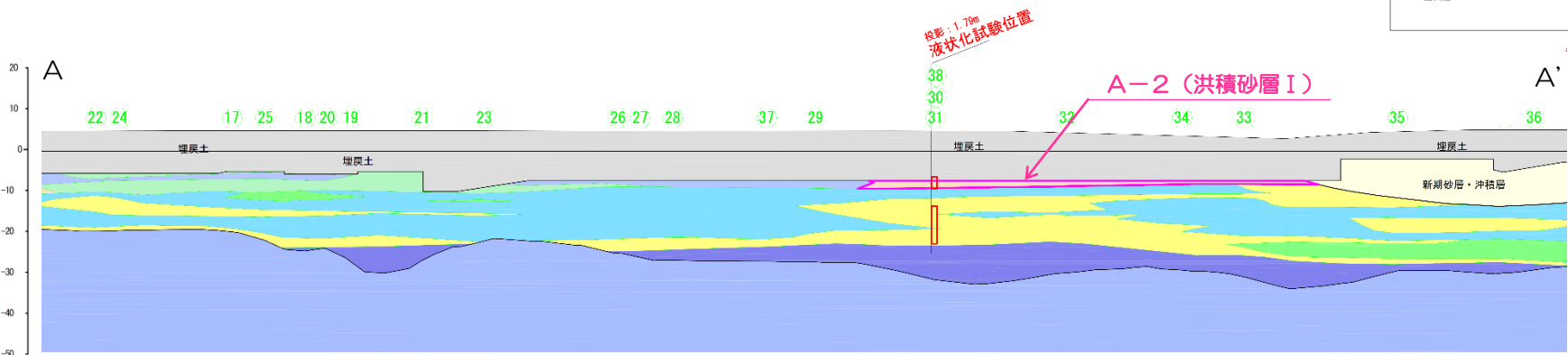
## 3.2 液状化試験選定箇所への代表性確認

### 【液状化試験選定箇所の代表性確認：荒浜側 A-2（洪積砂層 I）】

- 液状化試験を実施したA-2（洪積砂層 I）の試料採取箇所と周辺調査箇所におけるN値や物理特性の比較を行った。



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-2（洪積砂層 I）



N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-2（洪積砂層 I）

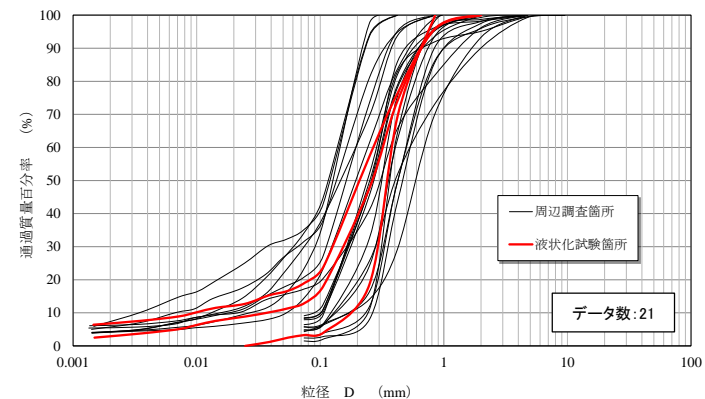
# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3.2 液状化試験選定箇所への代表性確認

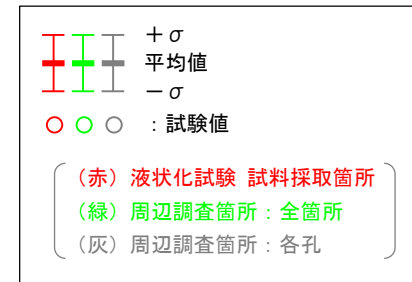
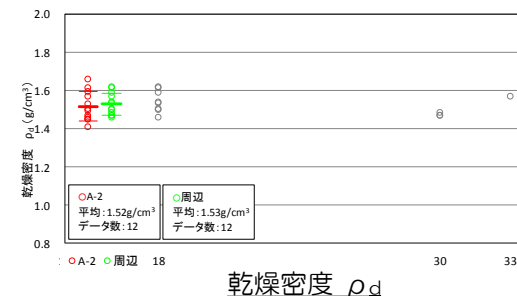
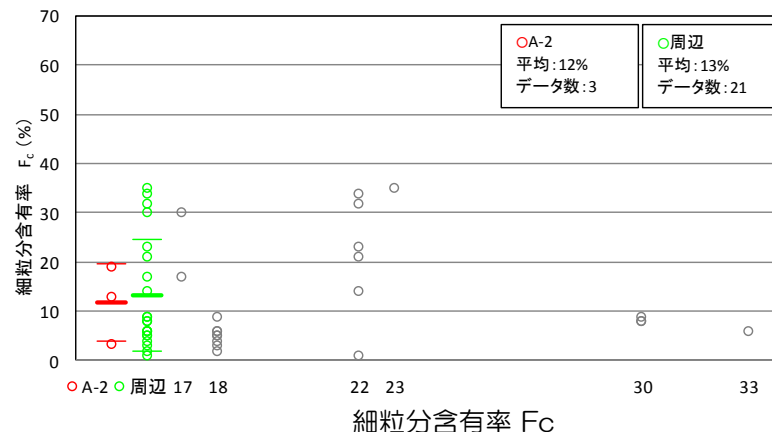
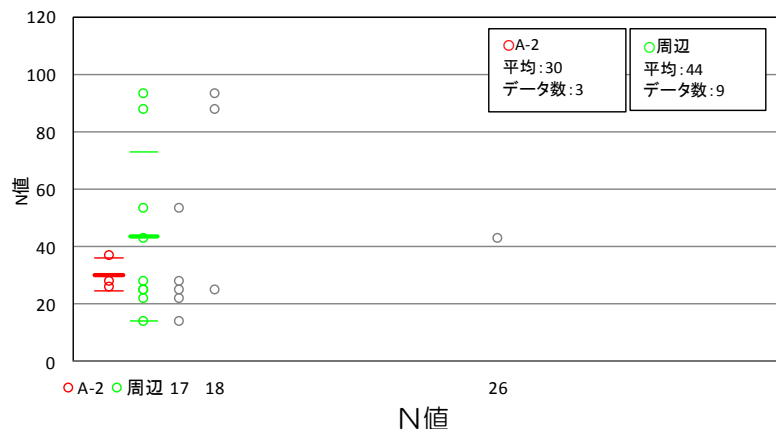
### 【液状化試験選定箇所の代表性確認：荒浜側 A-2（洪積砂層 I）】

- **N値**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より大きい（ばらつきが小さい）。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は、周辺調査箇所と同程度であり、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より若干大きい。

(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。  
 相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所と同程度である。  
 乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より若干小さい。



粒径加積曲線



N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-2（洪積砂層 I）

# 3. 液状化試験位置とその代表性

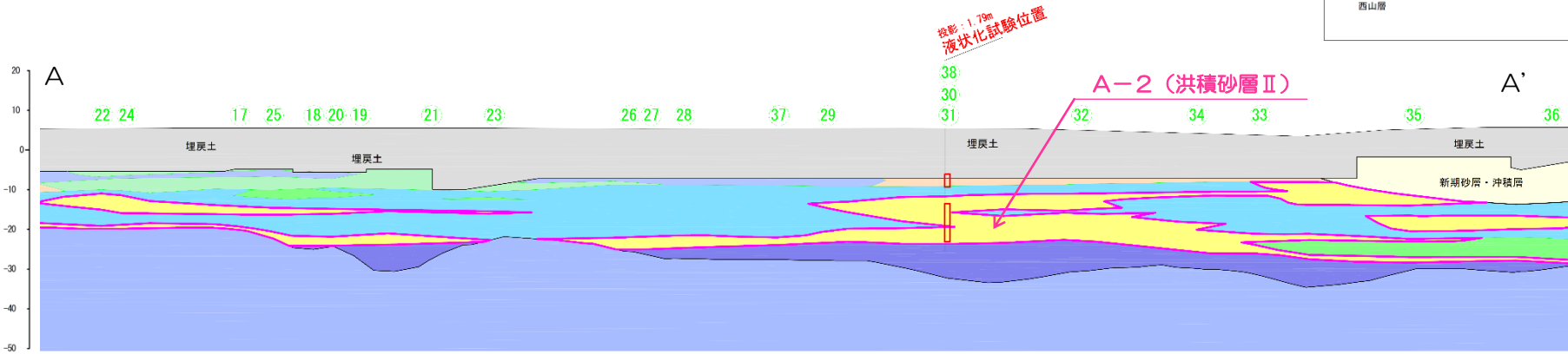
## 3.2 液状化試験選定箇所その代表性確認

【液状化試験選定箇所の代表性確認：荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅱ）】

- 液状化試験を実施したA-2（洪積砂層Ⅱ）の試料採取箇所と周辺調査箇所におけるN値や物理特性の比較を行った。



N値及び物理特性の調査位置図：荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅱ）



N値及び物理特性の整理対象層：荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅱ）

# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3.2 液状化試験選定箇所への代表性確認

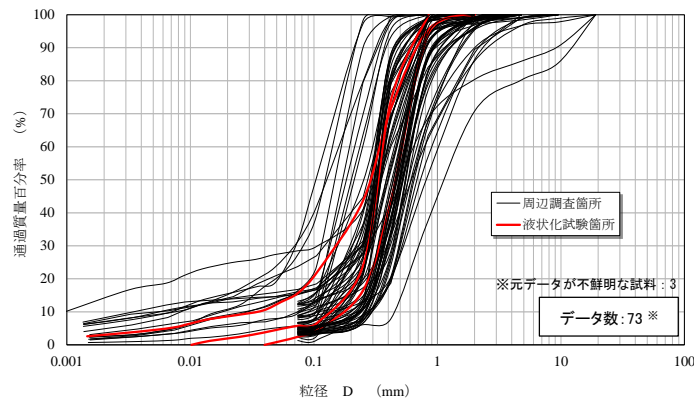
### 【液状化試験選定箇所の代表性確認：荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅱ）】

- **N値**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所と同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所と同程度であり、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より小さい。

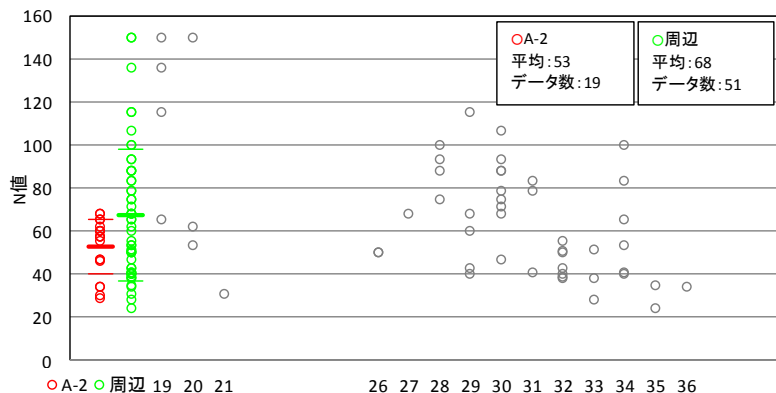
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っている。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。

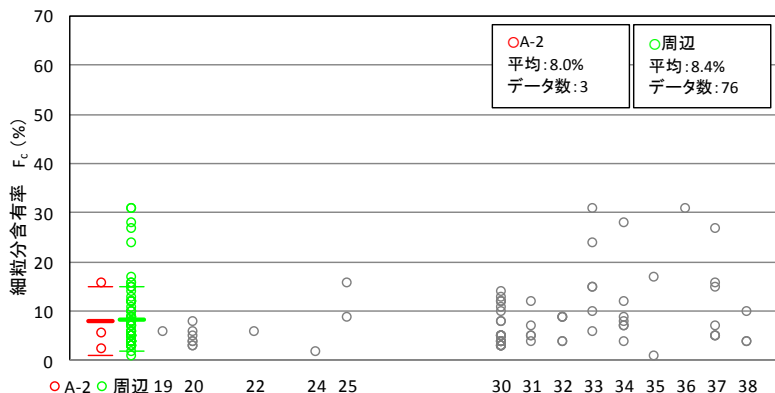
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。



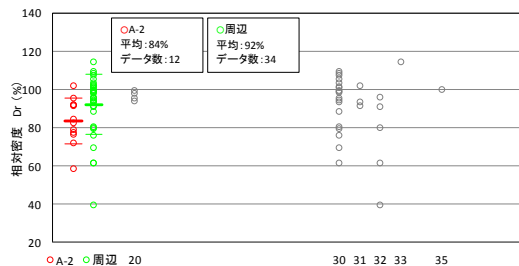
粒径加積曲線



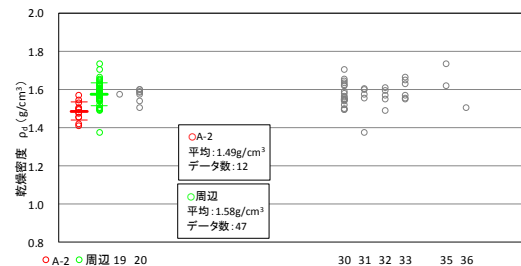
N値



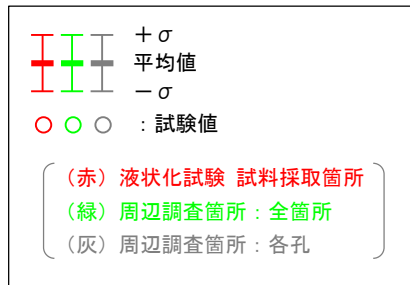
細粒分含有率  $F_c$



相対密度  $D_r$



乾燥密度  $\rho_d$



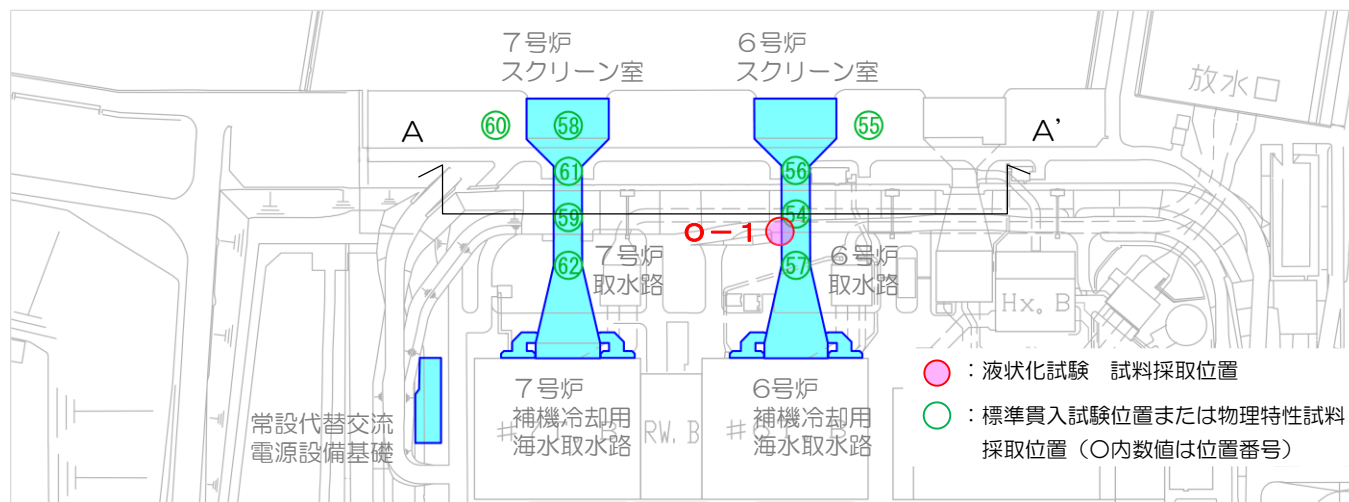
N値及び物理特性の比較 荒浜側 A-2（洪積砂層Ⅱ）

# 3. 液状化試験位置とその代表性

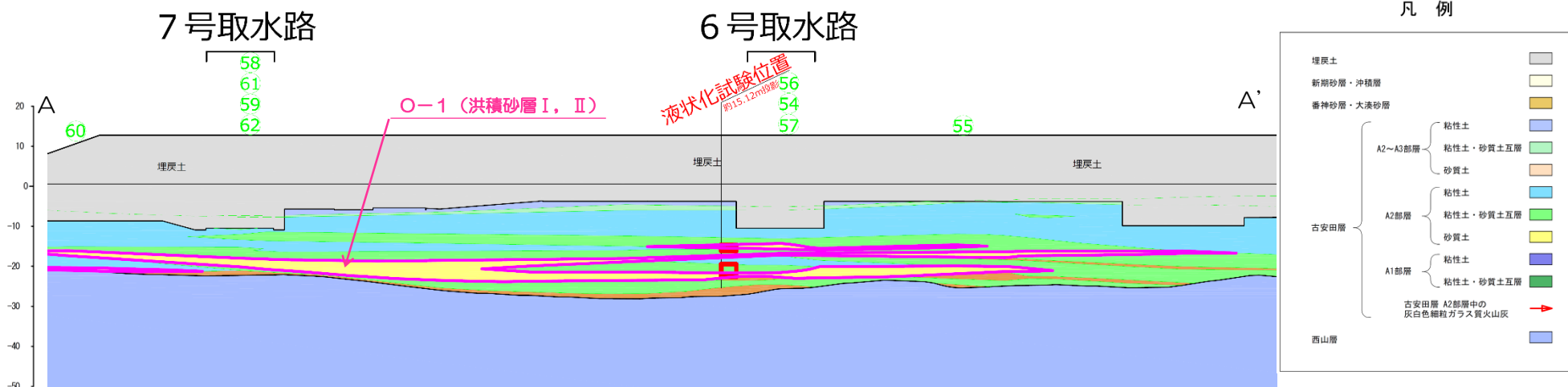
## 3.2 液状化試験選定箇所その代表性確認

【液状化試験選定箇所の代表性確認：大湊側 O-1（洪積砂質土層 I， II）】

- 液状化試験を実施したO-1（洪積砂質土層 I， II）の試料採取箇所と周辺調査箇所におけるN値や物理特性の比較を行った。



N値及び物理特性の調査位置図：大湊側 O-1（洪積砂質土層 I， II）



N値及び物理特性の整理対象層：大湊側 O-1（洪積砂質土層 I， II）

# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所への代表性確認

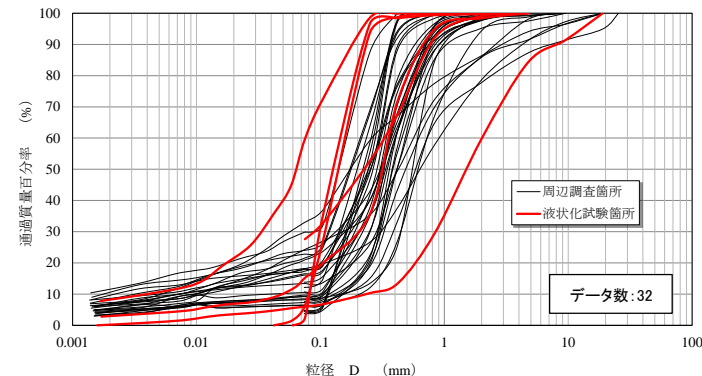
【液状化試験選定箇所の代表性確認：大湊側 O-1 (洪積砂質土層 I, II)】

- **N値**：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所と同程度である。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より大きく、 $-1\sigma$ 値は周辺調査箇所より小さい (ばらつきが大きい)。

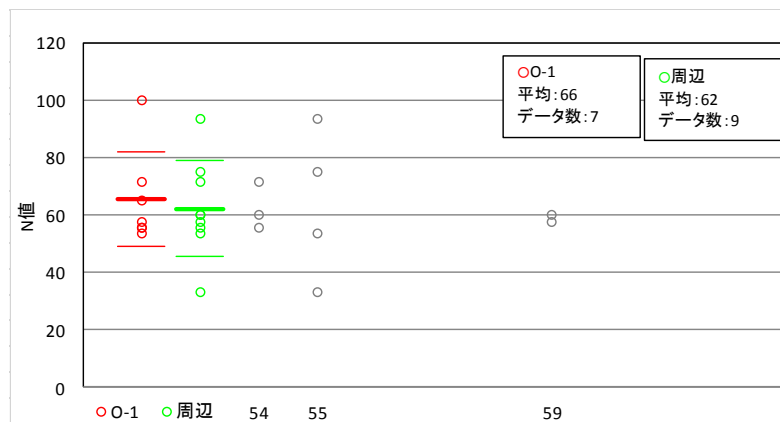
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所はばらつきが大きく、周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っていないデータがある。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より大きい。

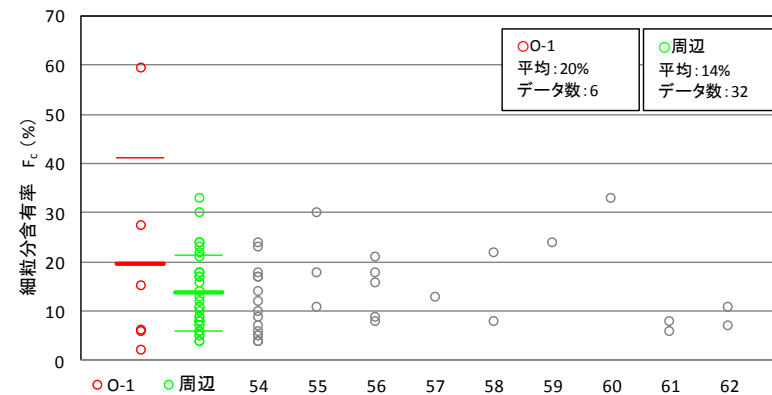
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。



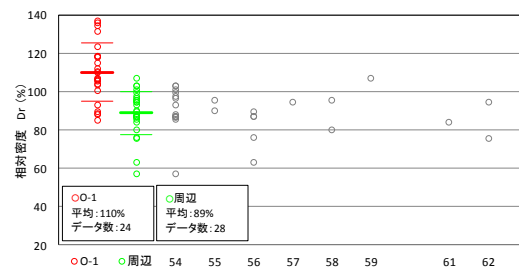
粒径加積曲線



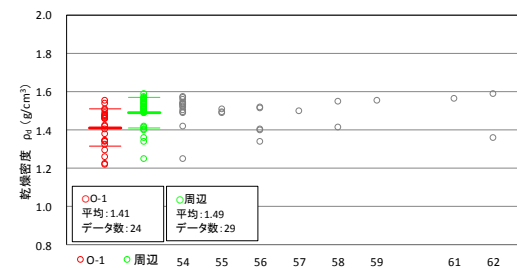
N値



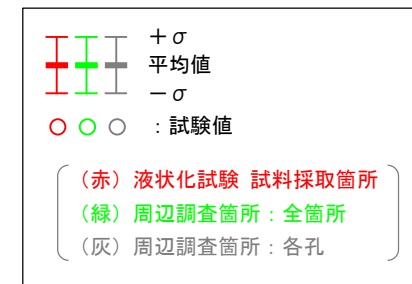
細粒分含有率  $F_c$



相対密度  $D_r$



乾燥密度  $\rho_d$



N値及び物理特性の比較 大湊側 O-1 (洪積砂質土層 I, II)

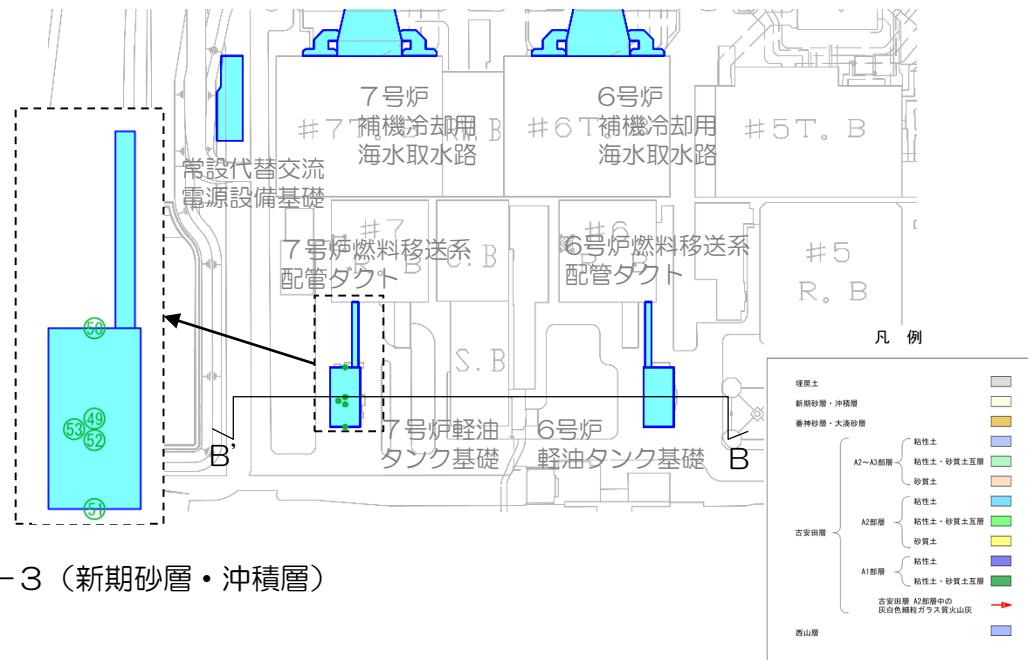


# 3. 液状化試験位置とその代表性

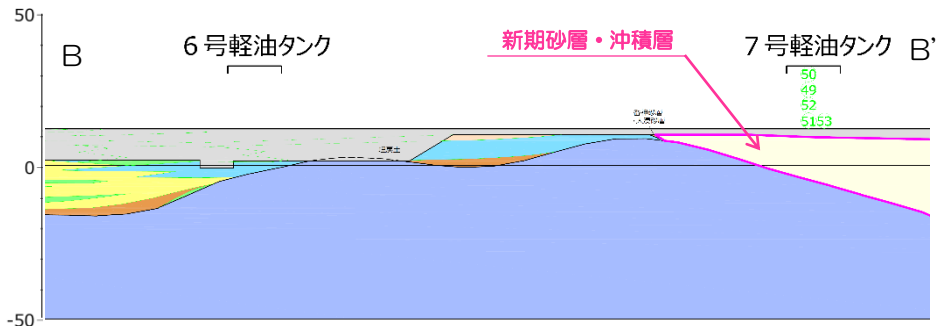
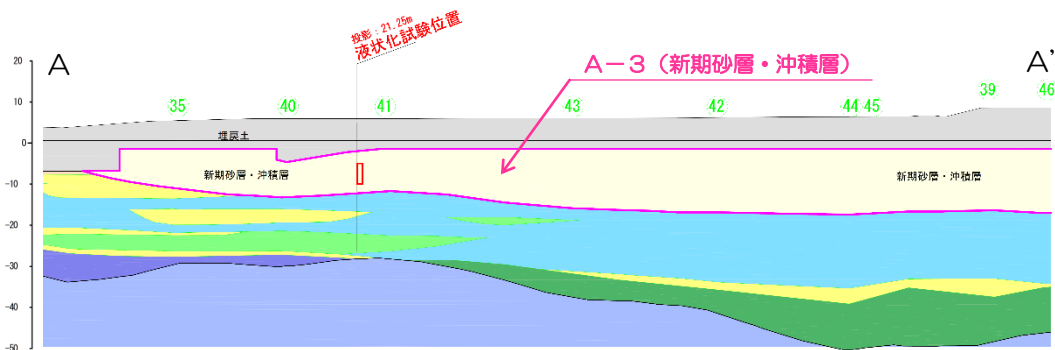
## 3. 2 液状化試験選定箇所への代表性確認

### 【液状化試験選定箇所の代表性確認：A-3（新期砂層・沖積層）】

- 液状化試験を実施したA-3（新期砂層・沖積層）の試料採取箇所と周辺調査箇所におけるN値や物理特性の比較を行った。
- なお、新期砂層・沖積層は、敷地のほぼ全域にわたって下位層を覆って分布する砂層（□）である。



N値及び物理特性の調査位置図：A-3（新期砂層・沖積層）



N値及び物理特性の整理対象層：A-3（新期砂層・沖積層）

# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3.2 液状化試験選定箇所への代表性確認

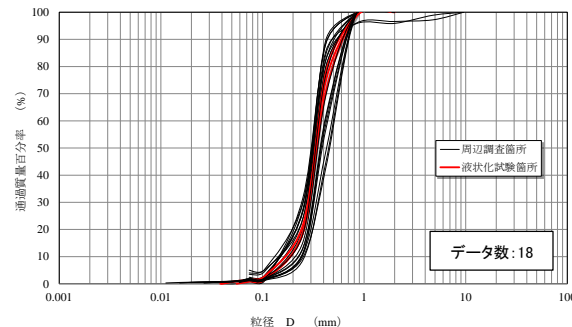
### 【液状化試験選定箇所の代表性確認：A-3（新时期砂層・沖積層）】

- **N値**：液状化試験箇所のN値は、いずれも荒浜側周辺調査箇所より小さく、下限付近であり、大湊側の周辺調査箇所より大きい。
- **細粒分含有率**：液状化試験箇所の平均値は周辺調査箇所より小さく、 $-1\sigma$ 値は荒浜側の周辺調査箇所と同程度であり、大湊側の周辺調査箇所より小さい。

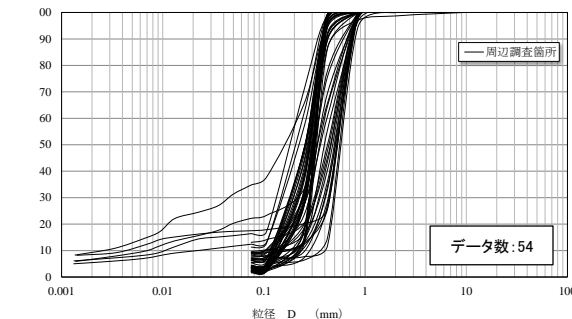
(参考) 粒径加積曲線：液状化試験箇所は周辺調査箇所のばらつきの範囲内に入っており、荒浜側はばらつきが小さく、よく一致している。

相対密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、周辺調査箇所より小さい。

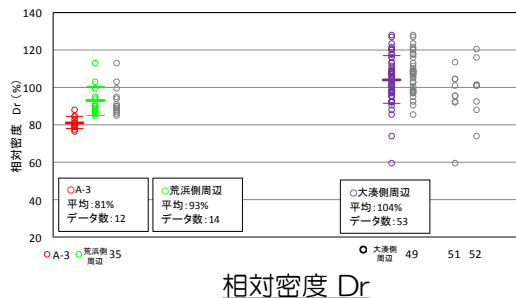
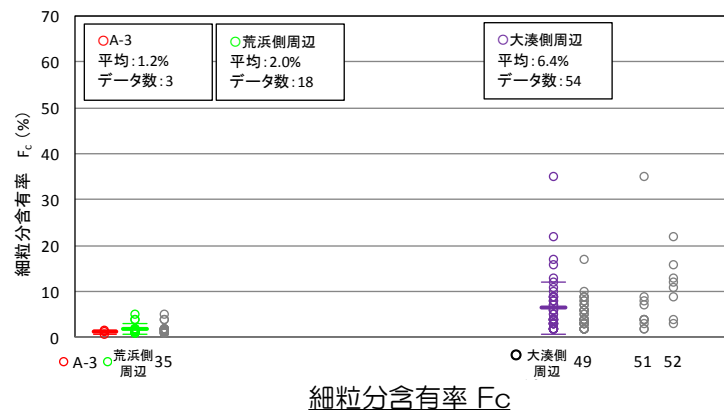
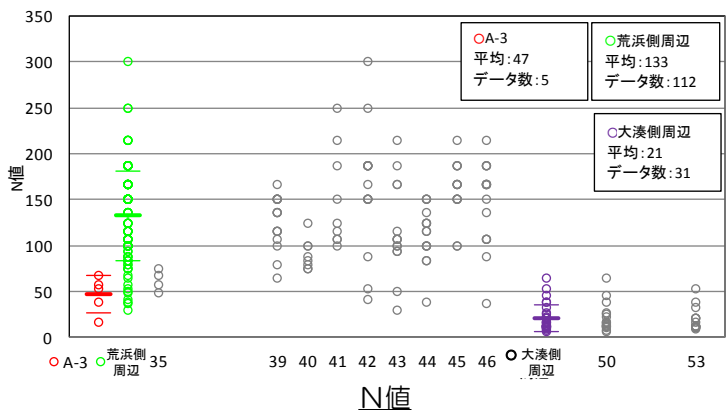
乾燥密度：液状化試験箇所の平均値及び $-1\sigma$ 値は、荒浜側の周辺調査箇所より小さく、大湊側の周辺調査箇所より大きい。



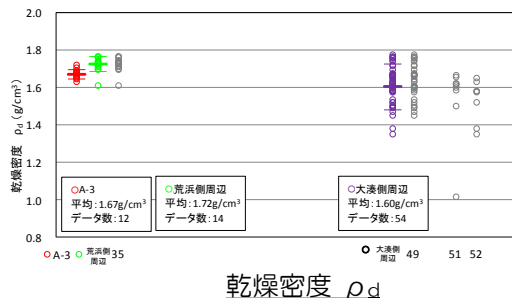
粒径加積曲線（荒浜側）



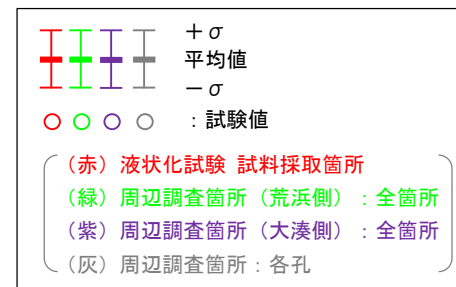
粒径加積曲線（大湊側）



相対密度  $D_r$



乾燥密度  $\rho_d$

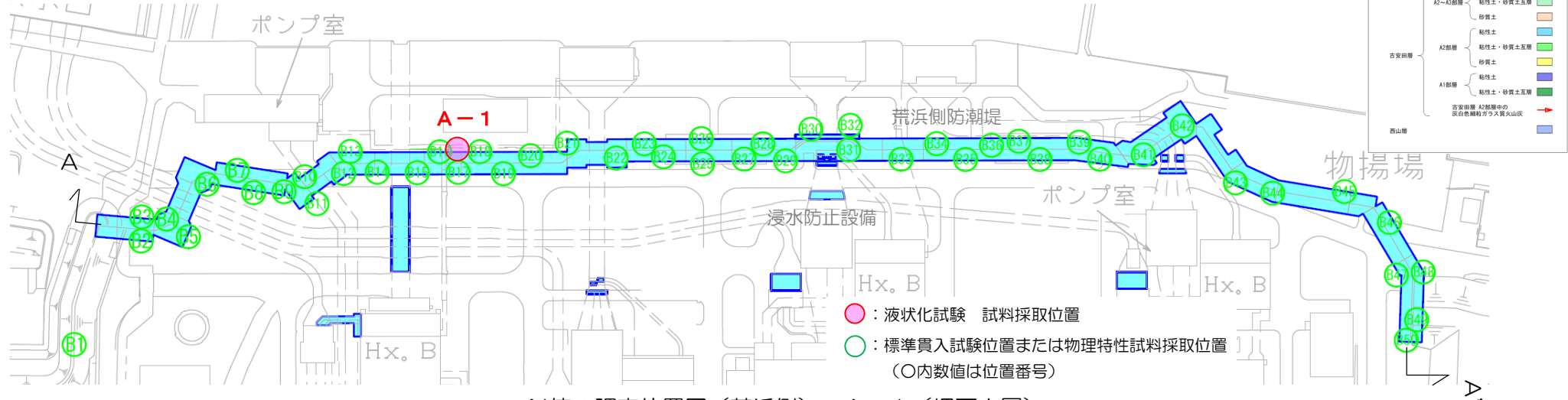


# 3. 液状化試験位置とその代表性

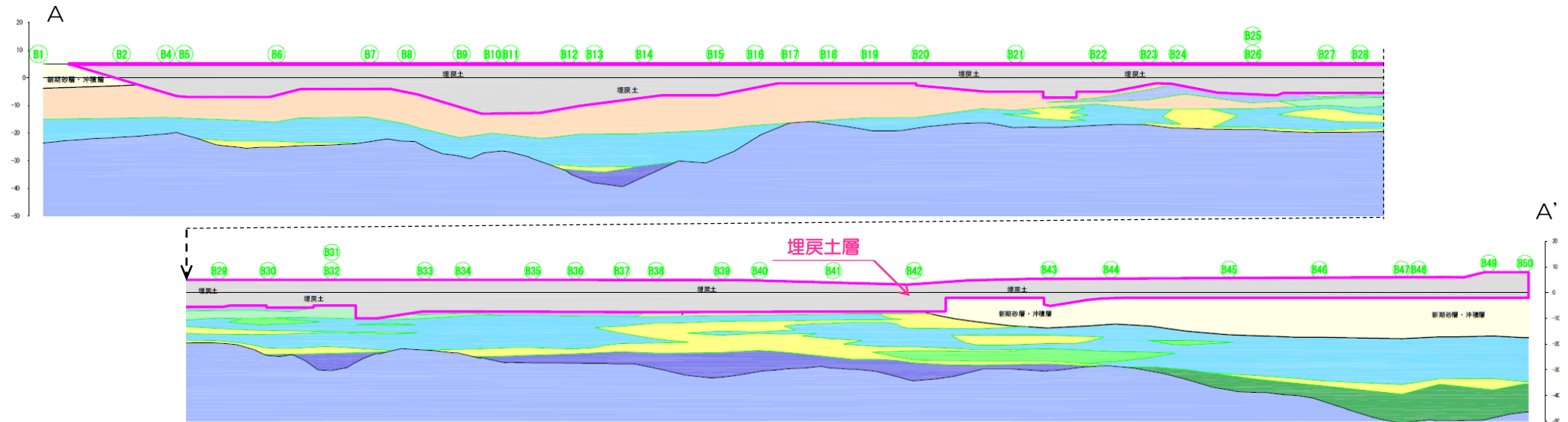
## 3.2 液状化試験選定箇所その代表性確認

【液状化試験選定箇所の代表性確認：A-1（埋戻土層）】

■ 液状化試験を実施したA-1（埋戻土層）の試料採取箇所と周辺調査箇所におけるN値の比較を行った。



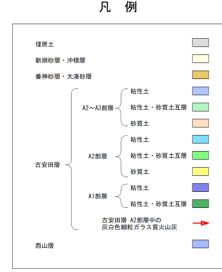
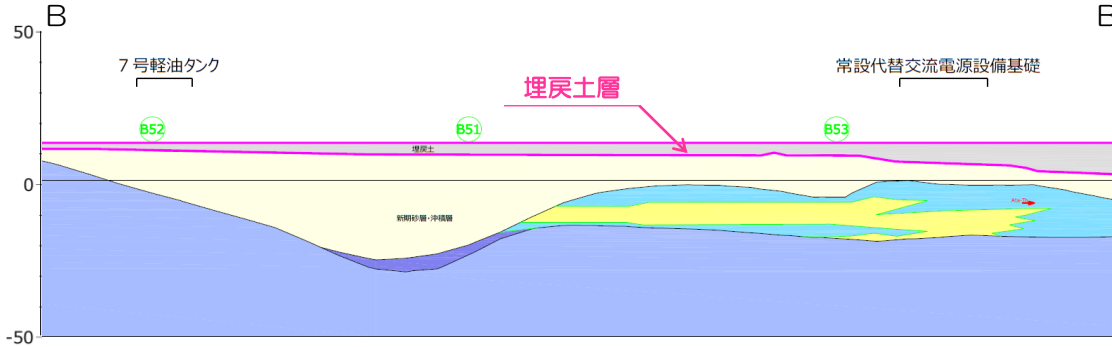
N値の調査位置図（荒浜側）：A-1（埋戻土層）



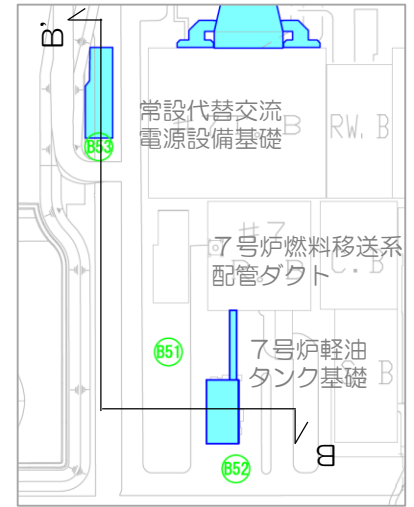
# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所その代表性確認

【液状化試験選定箇所の代表性確認：A-1（埋戻土層）】



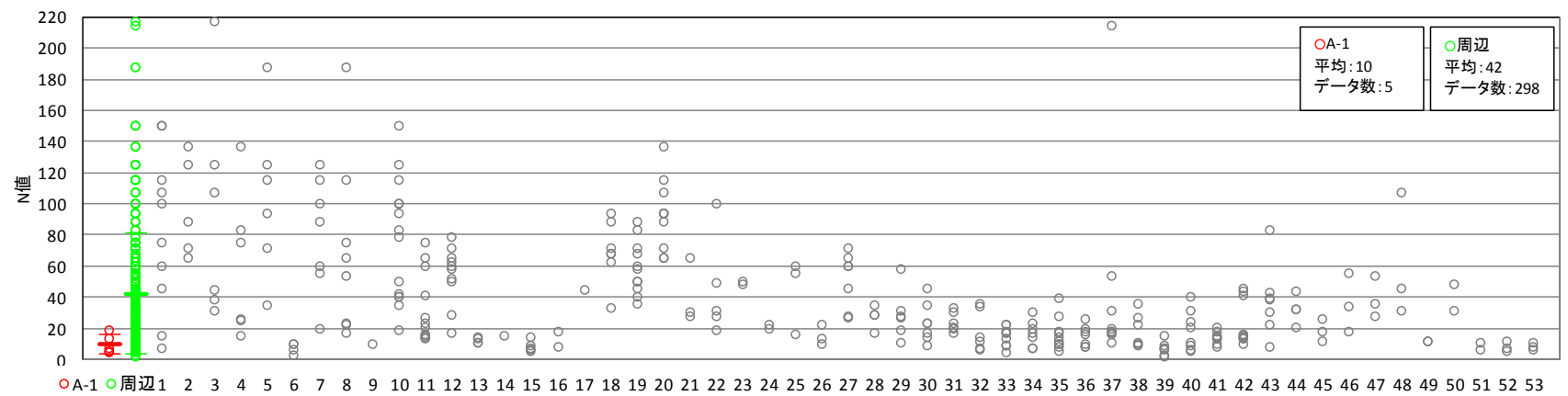
○：標準貫入試験位置または物理特性試料採取位置  
(○内数値は位置番号)



N値の整理対象層（大湊側）：A-1（埋戻土層）

N値の調査位置図（大湊側）：A-1（埋戻土層）

■ **N値**：液状化試験箇所のN値は、周辺調査箇所より小さく、下限付近である。



N値の比較 A-1（埋戻土層）

※横軸の調査位置番号については「B」を省略している。

# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所への代表性確認

### 【液状化試験選定箇所の代表性確認 (まとめ1)】

- 液状化試験箇所の代表性を確認するために、液状化強度との相関が最も高いN値及び相関が高い細粒分含有率について、平均値と-1σ値を指標として整理した。
- A-1 (洪積砂層 I) は、N値が同程度であり細粒分含有率が小さいこと、A-1 (洪積砂層 II) は、細粒分含有率が若干大きいもののN値が小さいことから、代表性を有していると評価した。ただし、当該地層は層厚が厚く分布範囲が広いことを踏まえ、データ拡充を目的とした追加調査を実施する。
- A-2 (洪積砂層 I) は、N値及び細粒分含有率の-1σ値が大きいものの、液状化強度との相関が最も高いN値の平均値は小さいことから、代表性を有していると評価した。ただし、A-2 (洪積砂層 I) は、A-1 (洪積砂層 I, II) と同時代に堆積した地層であること、N値がA-1 (洪積砂層 II) と同程度であることを踏まえ、後述する液状化試験結果から非液状化層と評価しているものの、物性設定においては保守的にサイクリックモビリティを示すA-1 (洪積砂層 II) の試験結果を用いる方針とする。
- A-2 (洪積砂層 II) は、N値及び細粒分含有率が同程度もしくは小さいことから、代表性を有していると評価した。なお、後述する液状化試験結果から非液状化層と評価しているA-2 (洪積砂層 II) は、主にサイクリックモビリティを示すA-1 (洪積砂層 I, II) 及びA-2 (洪積砂層 I) の下位に分布する砂層であり、より古い時代に堆積した砂層である。

周辺調査箇所と液状化試験箇所の関係

| 地層区分                  |      | N値 | 細粒分含有率 | 追加調査実施 |
|-----------------------|------|----|--------|--------|
| A-1<br>洪積砂層 I         | 平均値  |    |        | ○      |
|                       | -1σ値 |    |        |        |
| A-1<br>洪積砂層 II        | 平均値  |    |        | ○      |
|                       | -1σ値 |    |        |        |
| A-2<br>洪積砂層 I         | 平均値  |    |        | ※      |
|                       | -1σ値 |    |        |        |
| A-2<br>洪積砂層 II        | 平均値  |    |        | -      |
|                       | -1σ値 |    |        |        |
| O-1<br>洪積砂質土層 I, II   | 平均値  |    |        | ○      |
|                       | -1σ値 |    |        |        |
| A-3 (荒浜側)<br>新期砂層・沖積層 | 平均値  |    |        | -      |
|                       | -1σ値 |    |        |        |
| A-3 (大湊側)<br>新期砂層・沖積層 | 平均値  |    |        | ○      |
|                       | -1σ値 |    |        |        |
| A-1<br>埋戻土層           | 平均値  |    | -      | -      |
|                       | -1σ値 |    | -      |        |

- : 周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が小さい (変動率 < -10%)
- : 周辺調査箇所と液状化試験箇所が同程度 (-10% ≤ 変動率 ≤ 10%)
- : 周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が大きい (変動率 > 10%)

※ 物性設定は、保守的にA-1 (洪積砂層 II) の試験結果を用いる。



# 3. 液状化試験位置とその代表性

## 3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認

### 【液状化試験選定箇所の代表性確認（まとめ2）】

- 液状化試験箇所の代表性を確認するために、液状化強度との相関が最も高いN値及び相関が高い細粒分含有率について、平均値と-1σ値を指標として整理した。
- O-1（洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱ）は、細粒分含有率の大きい試料が1試料あることで平均値が若干大きいもののN値が同程度であることから、代表性を有していると評価した。ただし、[液状化試験箇所の粒径加積曲線が周辺調査箇所よりばらつきが大きいこと、6, 7号炉の申請であることも踏まえ、N値のデータが少ない7号取水路周辺でデータ拡充を目的とした追加調査を実施する。](#)
- A-3（新期砂層・沖積層，荒浜側）は、液状化試験箇所のN値及び細粒分含有率がいずれも周辺調査箇所より小さく、下限付近であることから、試験は保守的な箇所で実施していると評価した。
- A-3（新期砂層・沖積層，大湊側）は、細粒分含有率が小さいものの、N値が大きいことから、[大湊側の新期砂層・沖積層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。](#)
- A-1（埋戻土層）は、液状化試験箇所のN値が周辺調査箇所より小さく、下限付近であることから、試験は保守的な箇所で実施していると評価した。

周辺調査箇所と液状化試験箇所の関係

| 地層区分                 |      | N値 | 細粒分含有率 | 追加調査実施 |
|----------------------|------|----|--------|--------|
| A-1<br>洪積砂層Ⅰ         | 平均値  |    |        | ○      |
|                      | -1σ値 |    |        |        |
| A-1<br>洪積砂層Ⅱ         | 平均値  |    |        | ○      |
|                      | -1σ値 |    |        |        |
| A-2<br>洪積砂層Ⅰ         | 平均値  |    |        | ※      |
|                      | -1σ値 |    |        |        |
| A-2<br>洪積砂層Ⅱ         | 平均値  |    |        | -      |
|                      | -1σ値 |    |        |        |
| O-1<br>洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱ     | 平均値  |    |        | ○      |
|                      | -1σ値 |    |        |        |
| A-3（荒浜側）<br>新期砂層・沖積層 | 平均値  |    |        | -      |
|                      | -1σ値 |    |        |        |
| A-3（大湊側）<br>新期砂層・沖積層 | 平均値  |    |        | ○      |
|                      | -1σ値 |    |        |        |
| A-1<br>埋戻土層          | 平均値  |    | -      | -      |
|                      | -1σ値 |    | -      |        |

- : 周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が小さい (変動率 < -10%)
- : 周辺調査箇所と液状化試験箇所が同程度 (-10% ≤ 変動率 ≤ 10%)
- : 周辺調査箇所に対して液状化試験箇所が大きい (変動率 > 10%)

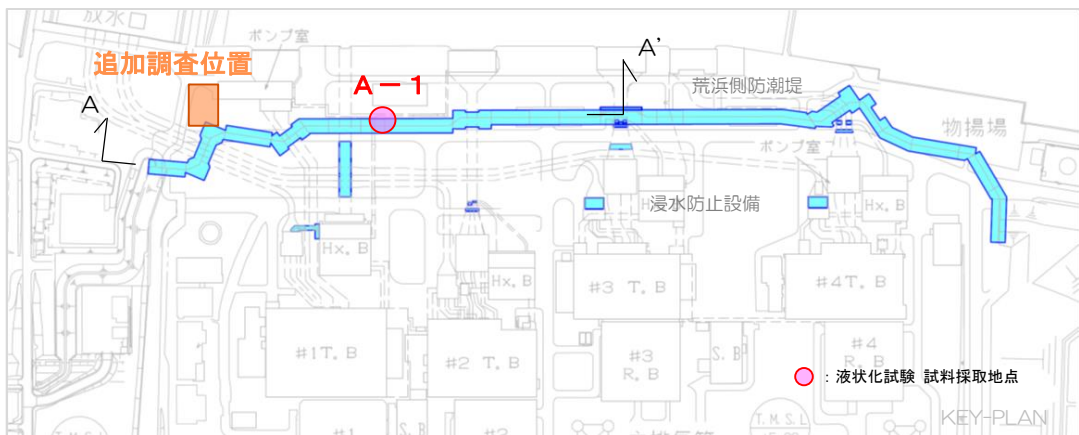
※ 物性設定は、保守的にA-1（洪積砂層Ⅱ）の試験結果を用いる。



1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所代表性確認
  - 3. 3 追加調査**
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献
  - (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

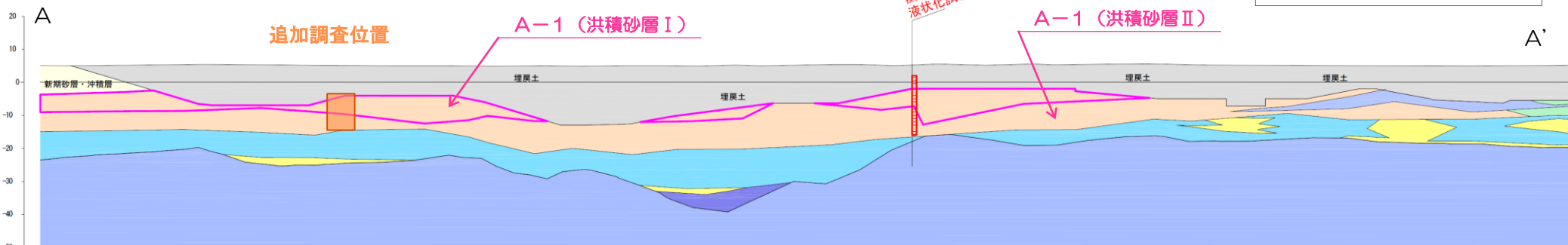
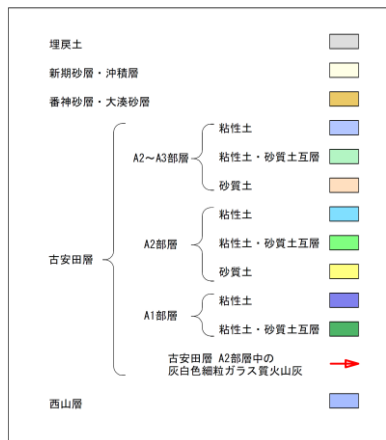
【液状化試験の追加について：荒浜側 A-1（洪積砂層 I，II），A-2（洪積砂層 I）】

- 荒浜側 A-1（洪積砂層 I，II）及びA-2（洪積砂層 I）は、地質の連続性等の評価や周辺調査箇所とのN値や細粒分含有率の比較から代表性を有していると評価した。ただし、層厚が厚く分布範囲が広いことを踏まえ、データ拡充を目的とした追加調査を実施する。
- 追加調査位置は、洪積砂層 I，IIの両層を採取できる場所を選定した。



荒浜側 調査位置図

凡例



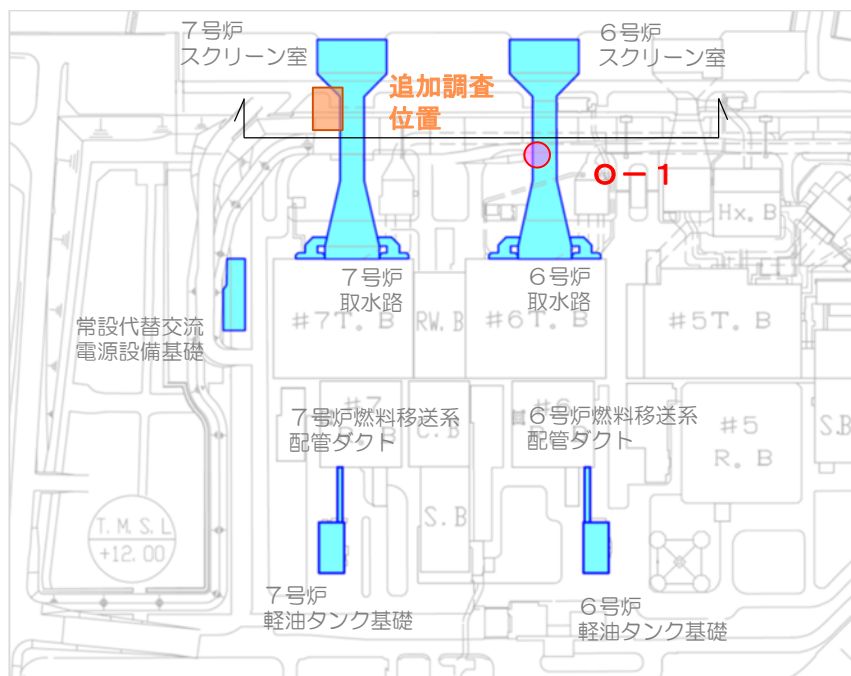
荒浜側 地質断面図

# 3. 液状化試験位置とその代表性

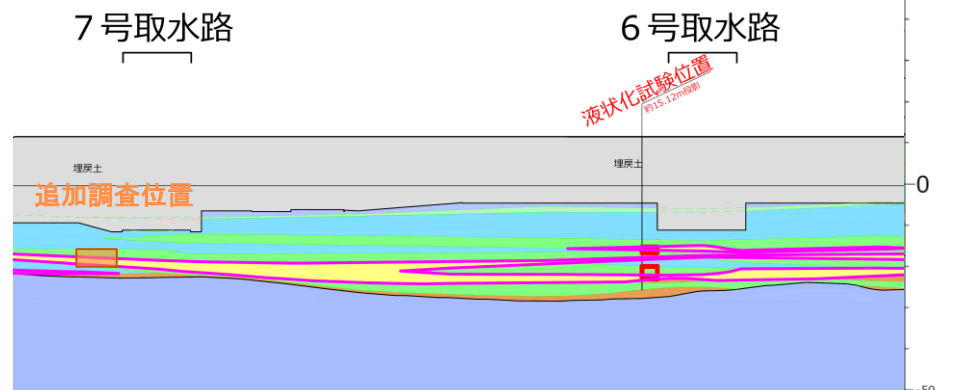
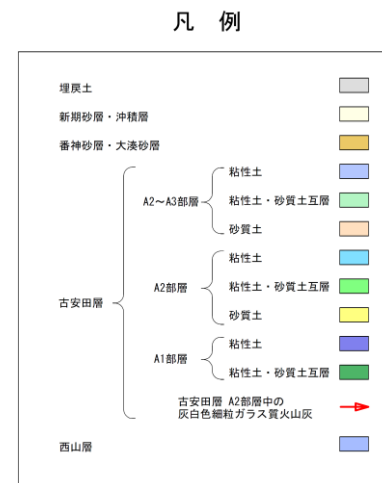
## 3. 3 追加調査

【液状化試験の追加について：大湊側，O-1（洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱ）】

- O-1（洪積砂質土層Ⅰ，Ⅱ）は，地質の連続性等の評価や周辺調査箇所とのN値や細粒分含有率の比較から代表性を有していると評価した。ただし，6，7号炉の申請であることを踏まえ，7号取水路周辺でデータ拡充を目的とした追加調査を実施する。
- 追加調査位置は，古安田層中に挟在する砂層から試料が確実に採取できるように，砂層厚の比較的厚い場所を選定した。



大湊側 調査位置図



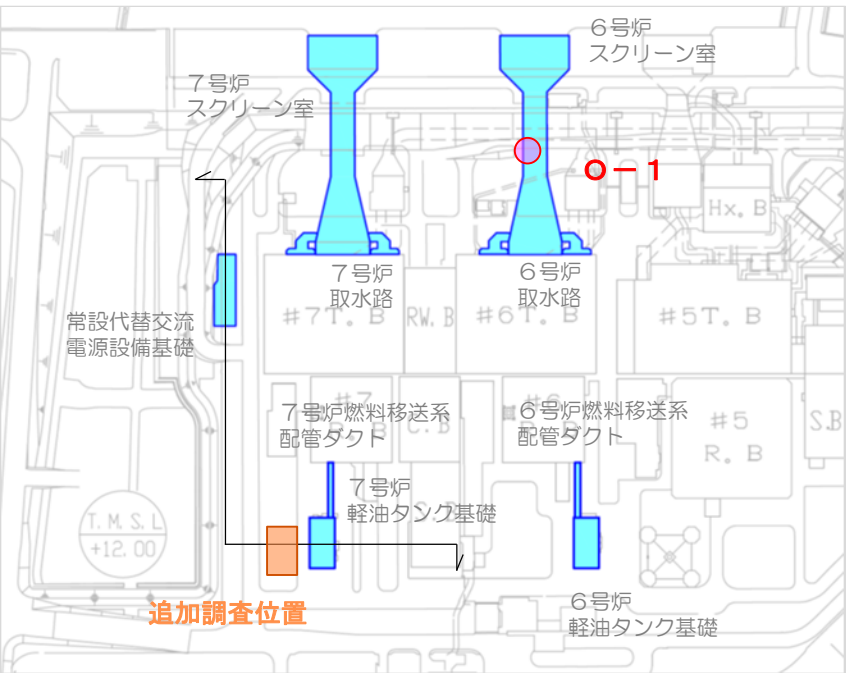
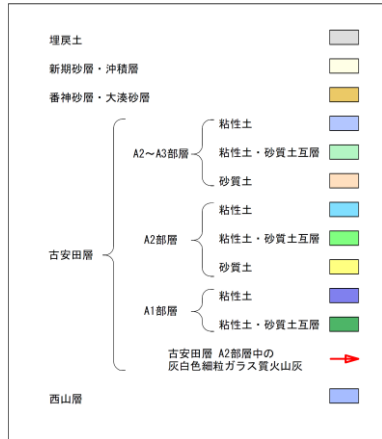
大湊側 地質断面図（6号～7号炉取水路）

## 3. 3 追加調査

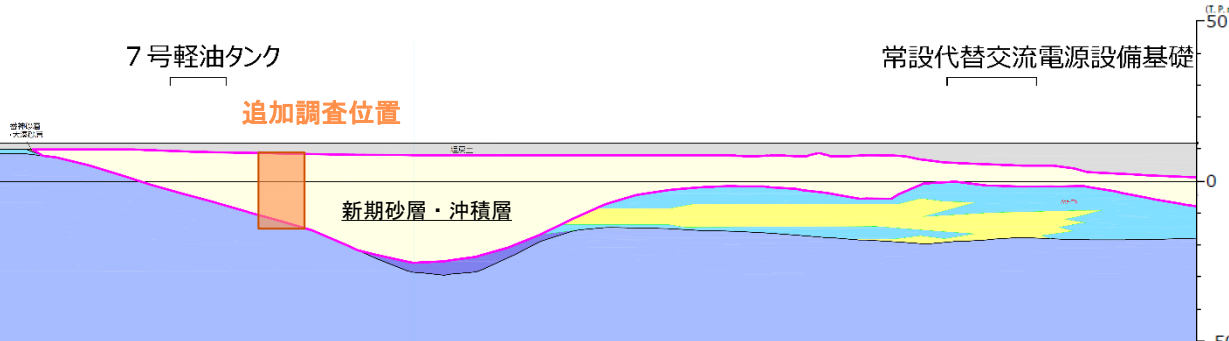
### 【液状化試験の追加について：大湊側，新期砂層・沖積層】

- A-3（新期砂層・沖積層，大湊側）は，周辺調査箇所との比較の結果，細粒分含有率が小さいもののN値が大きいことから，大湊側の新期砂層・沖積層の液状化強度を確認することを目的とした追加調査を実施する。
- 追加調査位置は，新期砂層・沖積層から試料が確実に採取できるよう，層厚の比較的厚い場所を選定した。

凡例



大湊側 調査位置図



大湊側 地質断面図 (常設代替交流電源設備基礎～7号炉軽油タンク基礎)

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献  
(参考資料)
  - ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

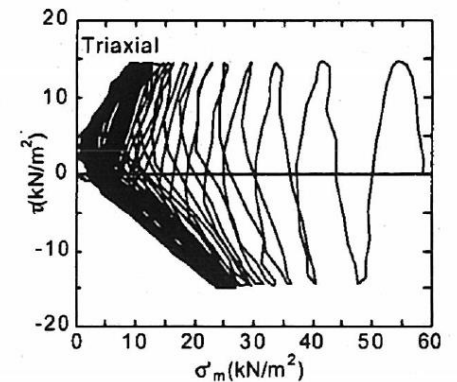
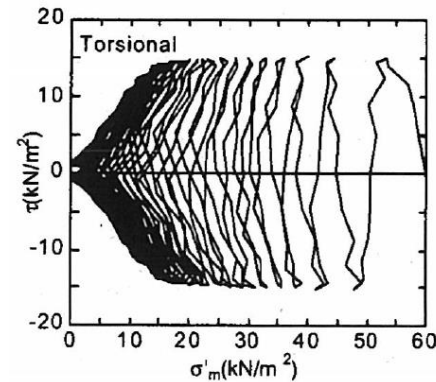
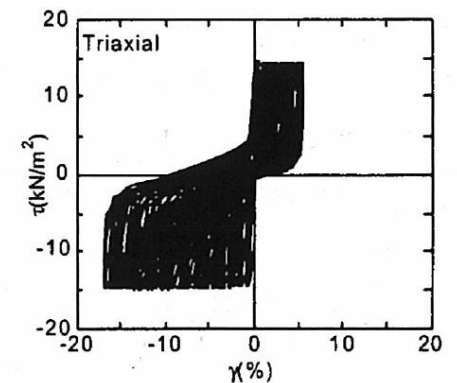
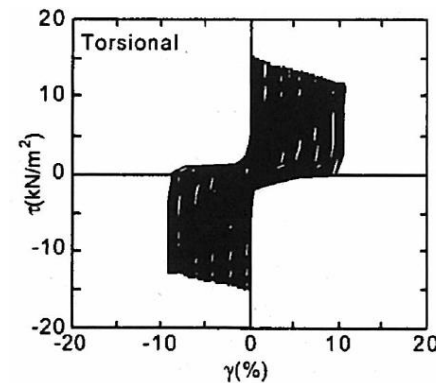
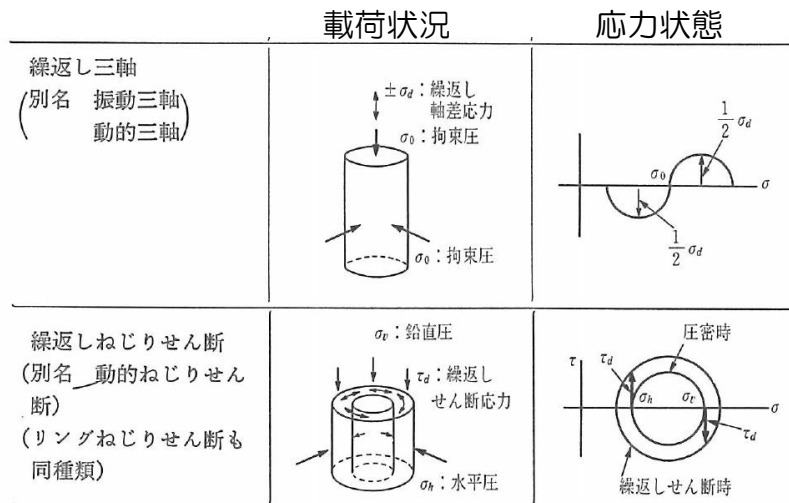
# 4. 液状化試験結果

## 4. 1 液状化試験方法

### 【液状化試験について】

- 地盤工学会では、地盤の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験方法がJGS 0541として規程されている。
- 実務的には、地盤の液状化強度特性を求める試験方法として、繰返し非排水三軸試験のほかに、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験などが用いられる。(安田, 1991)
- 三軸試験に代表される間接型せん断試験と比較して、ねじりせん断試験は比較的広範囲な応力経路またはひずみ経路を供試体に与えられる。(地盤工学会, 2009)
- 三軸試験では圧縮側と引張側で挙動が異なり、応力経路は上下では対称ではないし、ひずみの発生量も異なる。これに対してねじり試験では応力-ひずみ関係、応力経路ともほぼ対称な形をしている。(土木学会, 2003)
- 以上を踏まえ、洪積層である古安田層中の砂層やN値の比較的大きい新期砂層・沖積層を対象とした試験を実施するにあたり、高せん断応力比の液状化試験を実施する必要があることから、中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験を採用した。

液状化試験方法 (安田, 1991)



繰返しねじりせん断試験

繰返し三軸試験

繰返しねじりせん断試験と繰返し三軸試験の  
 応力-ひずみ関係 (上図) と応力経路 (下図)  
 (土木学会, 2003)



# 4. 液状化試験結果

## 4. 1 液状化試験方法

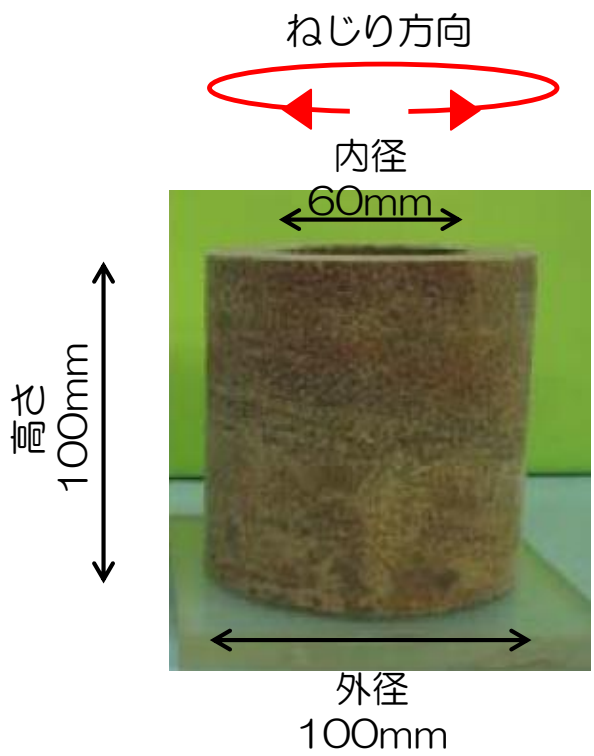
### 【試験の概要】

- 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。

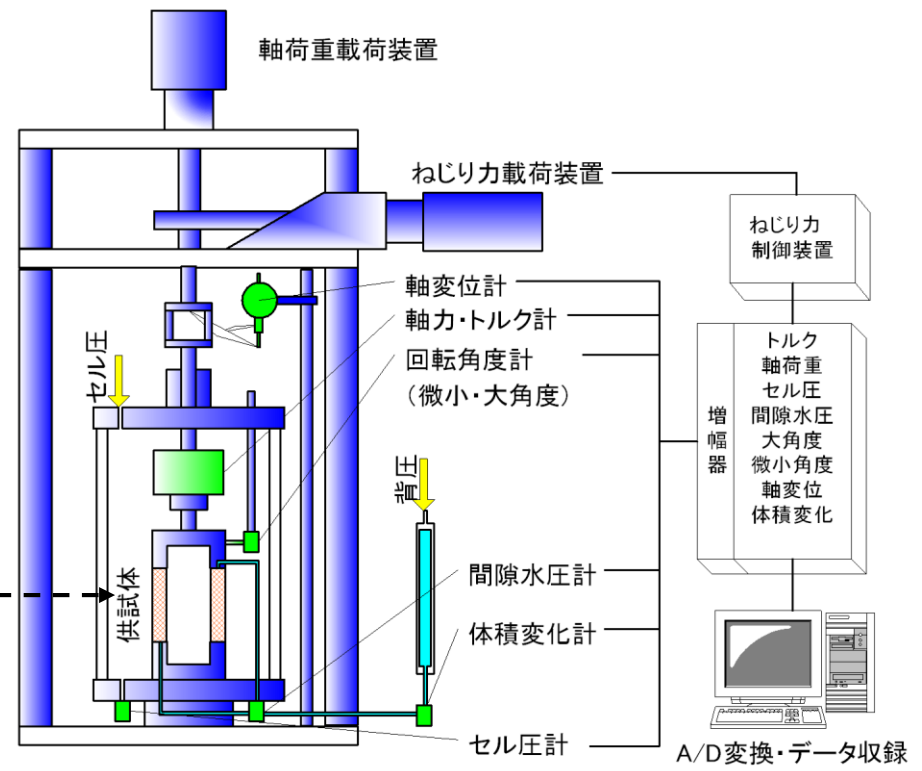
### 【試験条件】

- 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

# 4. 液状化試験結果

## 4. 1 液状化試験方法

### (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

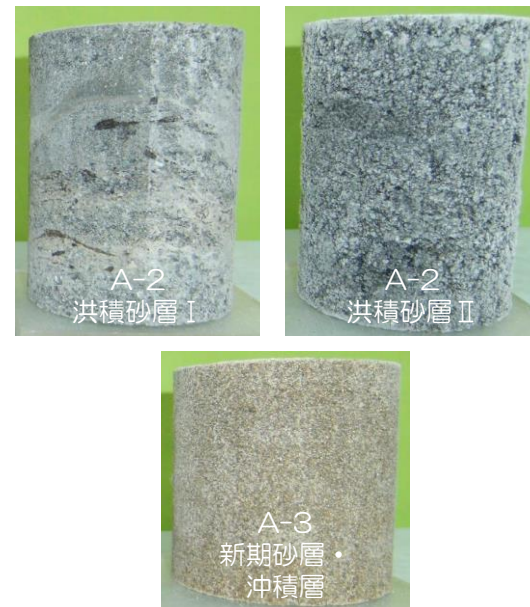
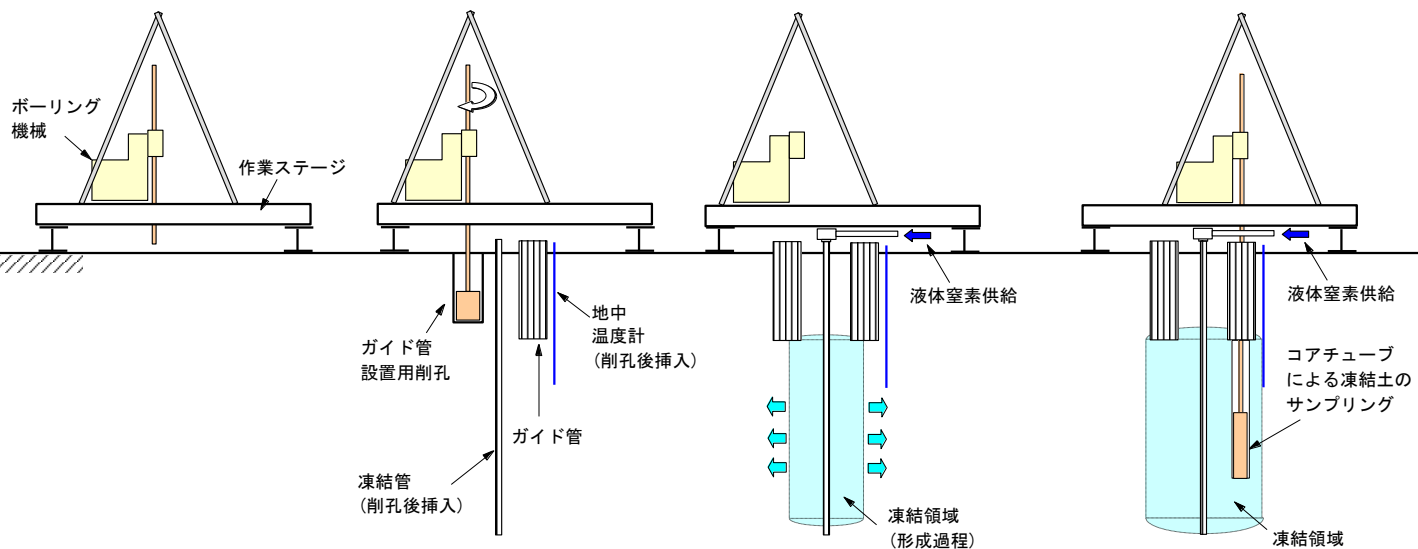


図 凍結サンプリングの概要

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・沖積層 )

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$  法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献
  - (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

## 4. 液状化試験結果

### 4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方

【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

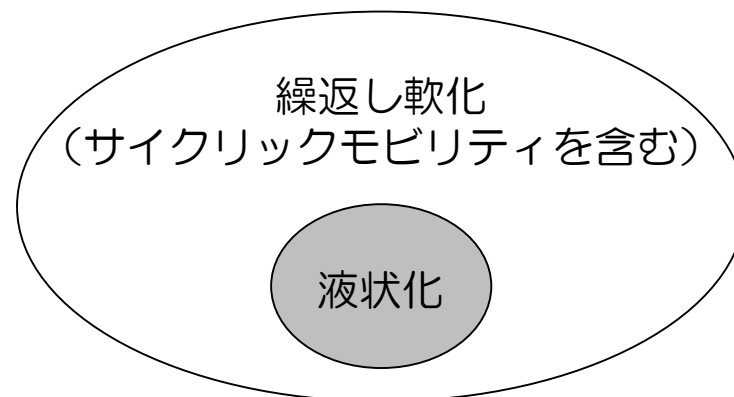
繰返し载荷による間隙水圧上昇と剛性低下によりせん断ひずみが発生し，それが繰返し回数とともに徐々に増大するが，土のもつダイレイタンスー特性や粘性のためにひずみは有限の大きさにとどまり，大きなひずみ範囲にいたるまでの流動は起きない。

#### ■ 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，ひずみが大きく成長しようとする，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。

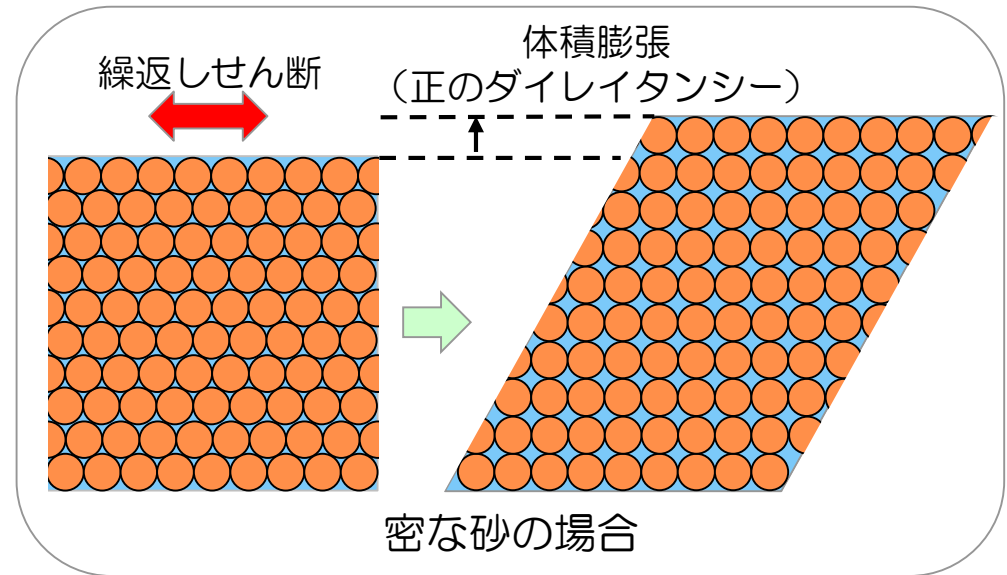
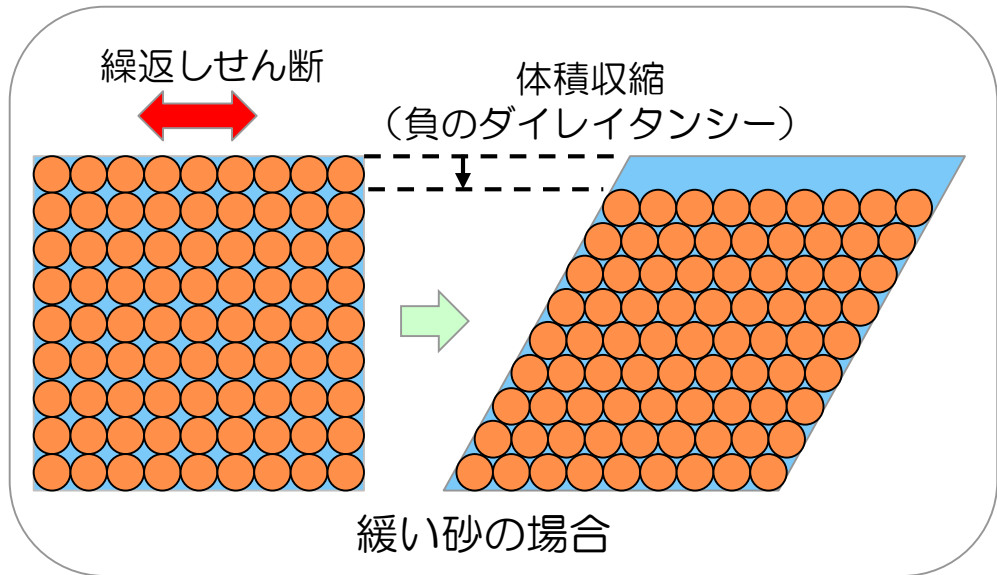
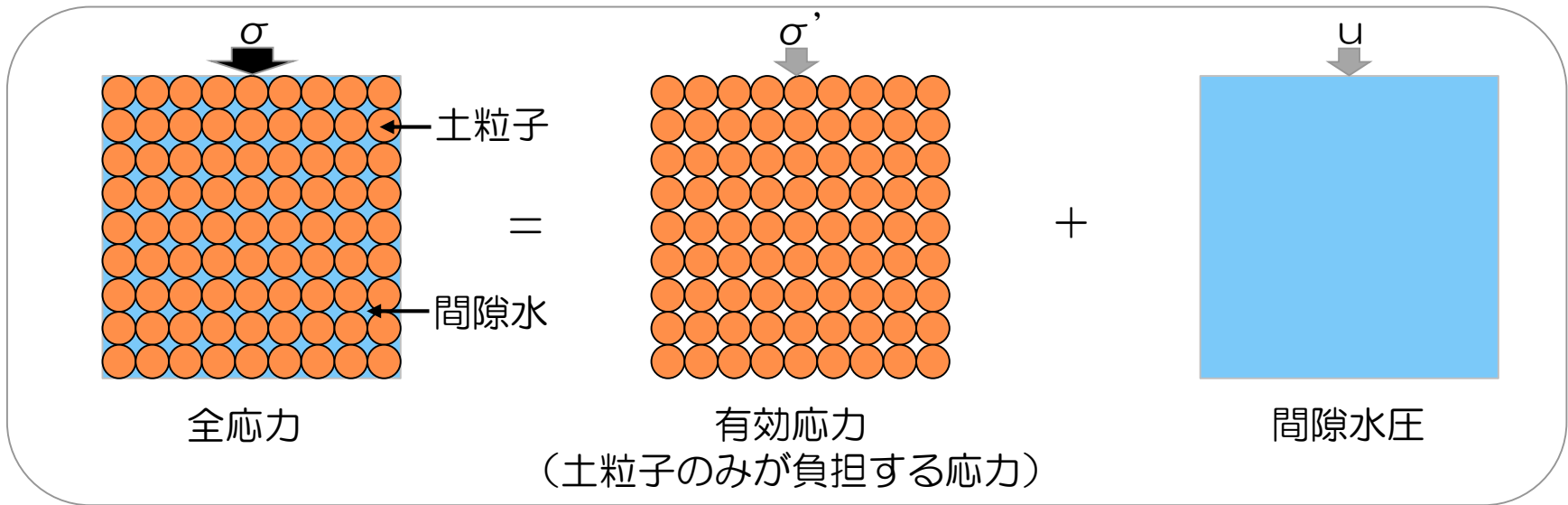
#### ■ 液状化

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。



繰返し载荷による地盤の状態

## 4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方



地盤のダイレイタンス特性の概要



## 4. 液状化試験結果

### 4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方

#### 【サイクリックモビリティについて】

一般的にサイクリックモビリティは、その現象の違いから液状化とは区別されている。

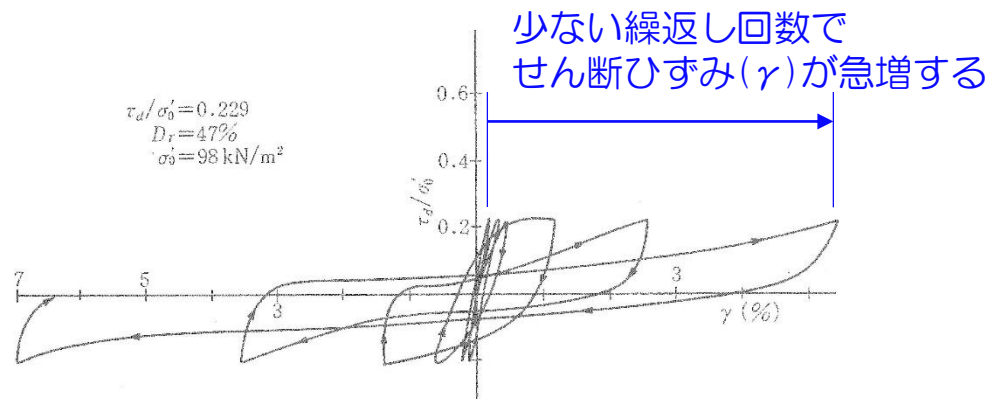
- サイクリックモビリティとは、砂などの繰返し载荷において、有効拘束圧がゼロに近づいてから、载荷時にせん断剛性の回復、除荷時に有効応力の減少を繰り返していくが、ひずみは有限の大きさととどまる現象であり、液状化とは区別して用いられることがある。(地盤工学会, 2006)
- 地盤の液状化は、ゆるい砂地盤が繰返しせん断を受け、せん断振幅が急増し、地盤全体が泥水状態となり、噴砂や噴水を伴うことが多いので、現象的にサイクリックモビリティとは異なる。(井合, 2008)
- サイクリックモビリティにおいて、有効応力がゼロになるのは、せん断応力がゼロになる瞬間だけであり、せん断応力が作用している間は有効応力が存在するので、間隙水圧比が100%に達した後でも、繰返しせん断に対して相当な剛性を保持する。(吉見, 1991)
- 密詰めの場合には大ひずみは生じない。一時的に有効拘束圧が0になっても、その後にせん断力を加えると負の過剰間隙水圧が発生して有効拘束圧が増加(回復)し、有限の小さなひずみ振幅しか発生しない。この現象を“サイクリックモビリティ”と呼んで液状化と区別することもある。(安田, 1991)



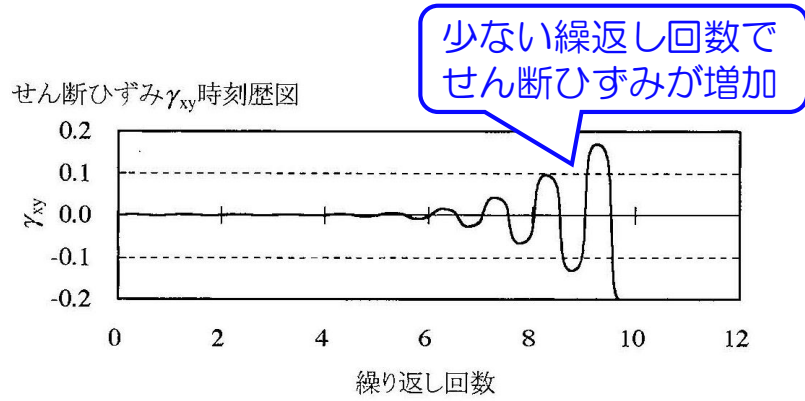
# 4. 液状化試験結果

## 4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方

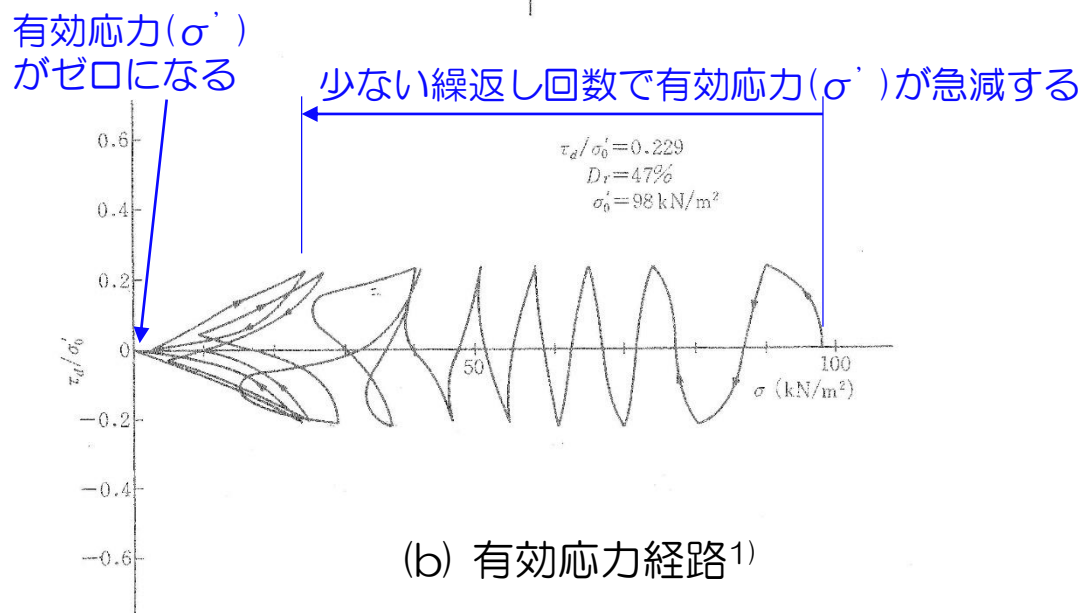
### 【液状化試験のイメージ (1)】



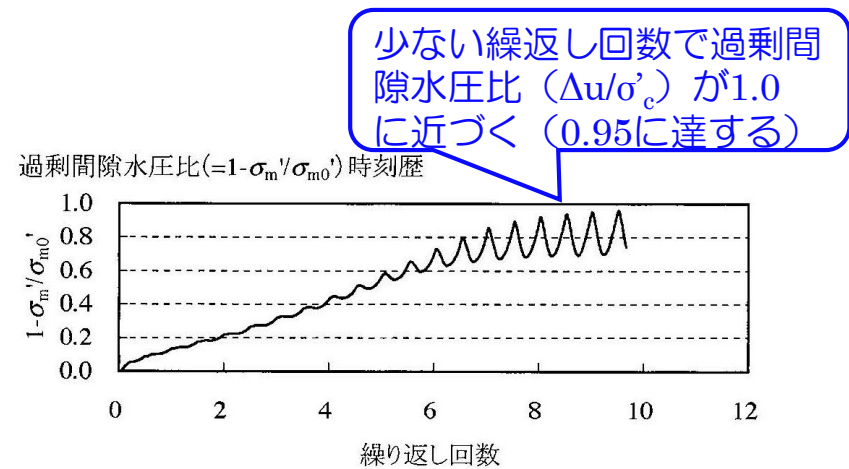
(a) せん断応力-せん断ひずみ関係<sup>1)</sup>



(c) せん断ひずみ<sup>2)</sup>



(b) 有効応力経路<sup>1)</sup>



(d) 過剰間隙水圧比<sup>2)</sup>

### 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

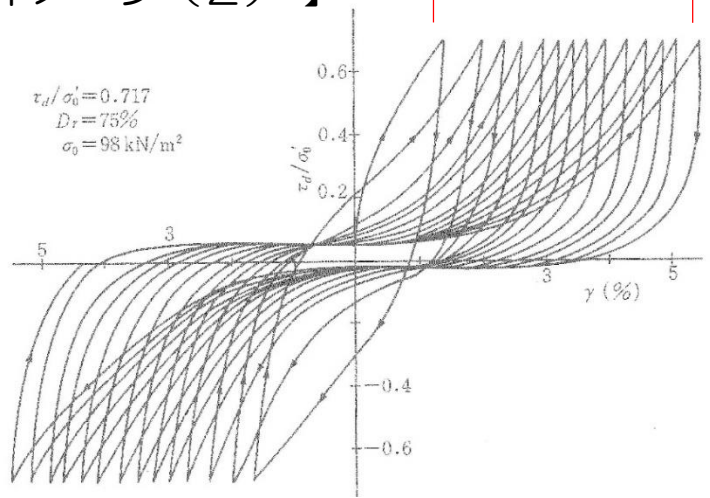
2) 井合進，飛田哲男，小堤治：砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係，京都大学防災研究所年報，第51号，pp.291-304，2008.

# 4. 液状化試験結果

## 4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方

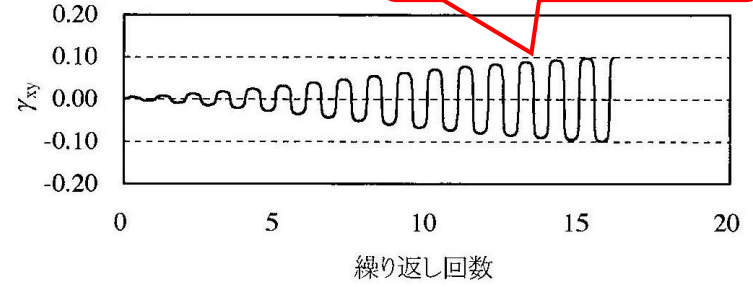
【液状化試験のイメージ (2)】

せん断ひずみ( $\gamma$ )が増加する  
のに繰返し回数を多く要する



(a) せん断応力-せん断ひずみ関係<sup>1)</sup>

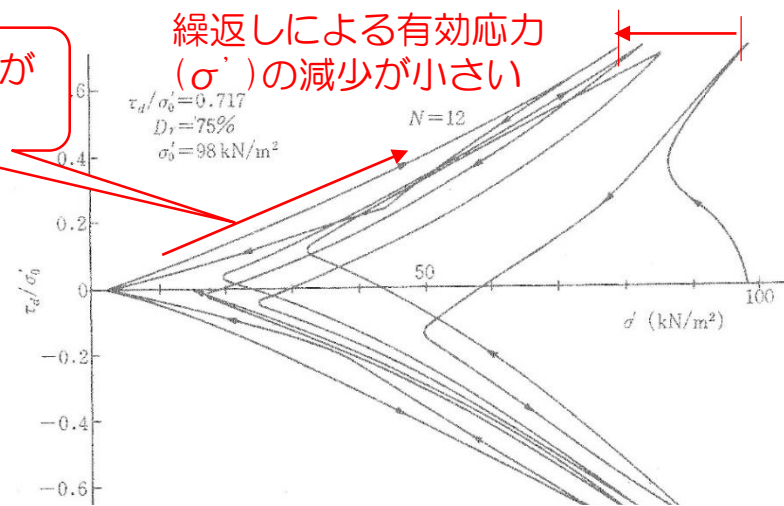
せん断ひずみ $\gamma_{xy}$ 時刻歴図



(c) せん断ひずみ<sup>2)</sup>

有効応力( $\sigma'$ )が回復する

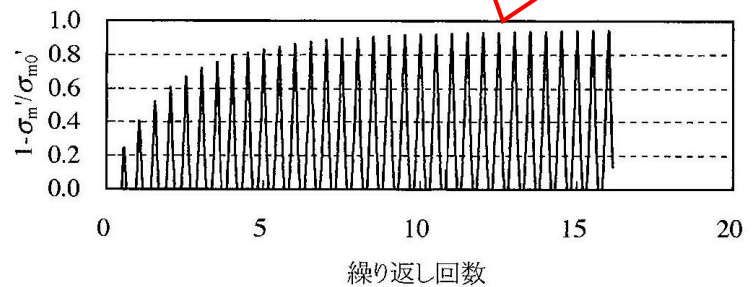
繰返しによる有効応力( $\sigma'$ )の減少が小さい



(b) 有効応力経路<sup>1)</sup>

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<sup>2)</sup>

液状化試験の例 (サイクリックモビリティの場合)

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.

余 白

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$  法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献
  - (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

### 【A-1 (埋戻土層)】

| 試料番号                                  |               | #1-0-1              |      |      |      | #1-0-2    |      |      |      |     |
|---------------------------------------|---------------|---------------------|------|------|------|-----------|------|------|------|-----|
| 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 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |               | 2.710               |      |      |      | 2.720     |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |               | 50                  |      |      |      | 100       |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |               | 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<br>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  |
| 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{u95}$              |               | 15                  | 16   | 116  | 35   | 9         | 64   | 45   | 14   |     |

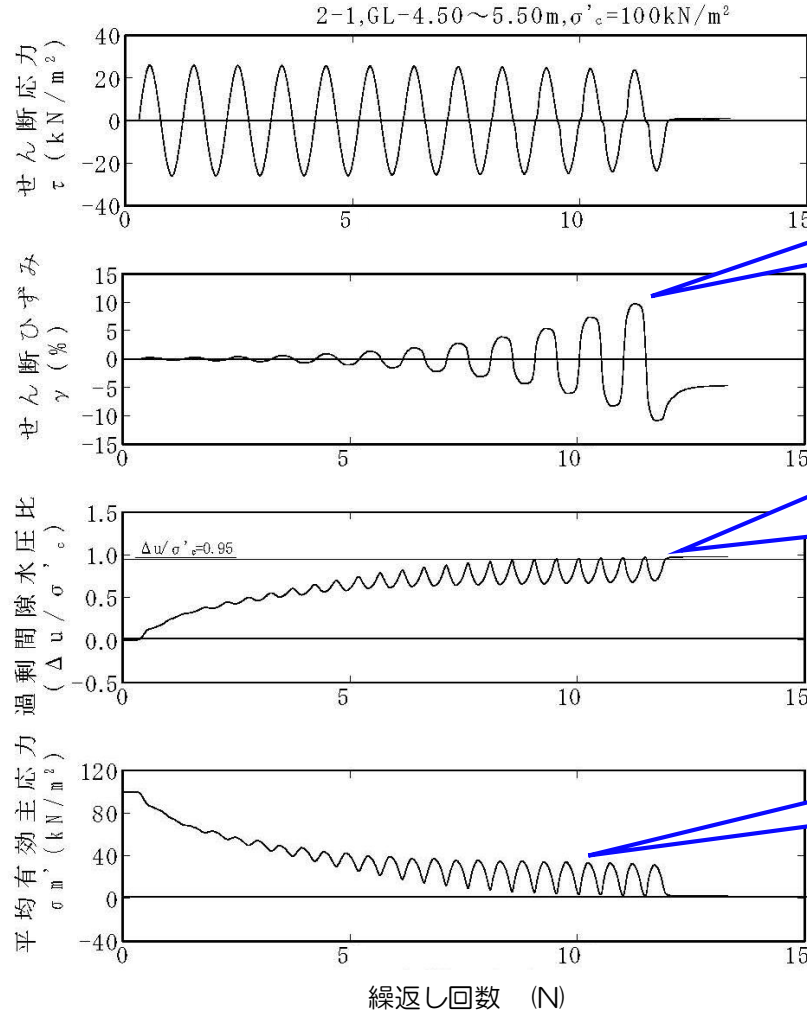
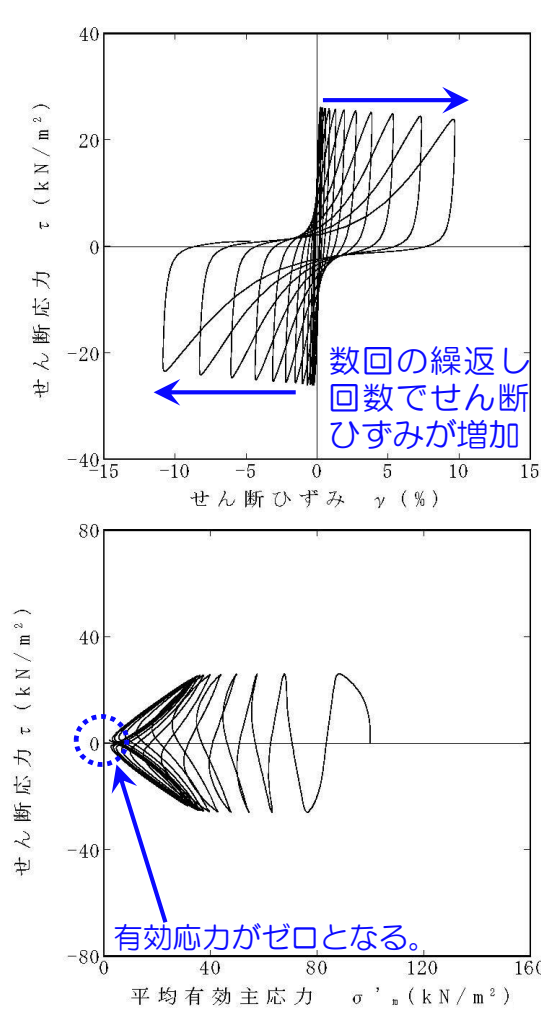
   : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
 太字 : 次ページに例示する試験結果

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

### 【A-1 (埋戻土層)】

$$\sigma'_c = 100 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_c = 0.26$$



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 ( $\Delta u / \sigma'_e$ ) が1に近づく (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 (A-1 (埋戻土層) の例)



# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

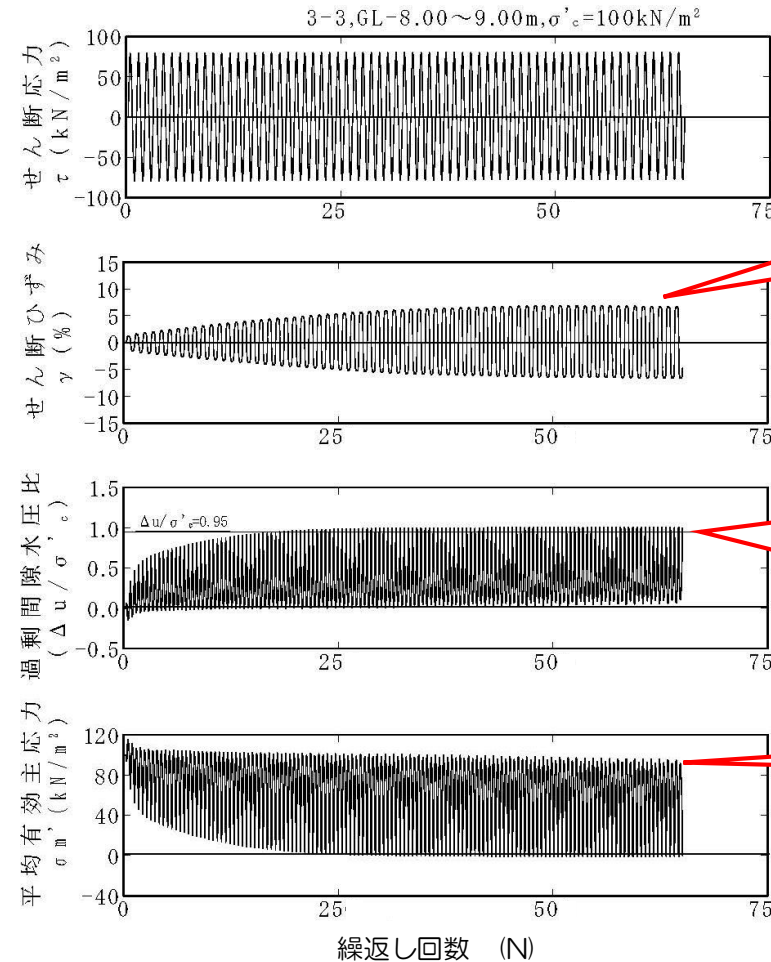
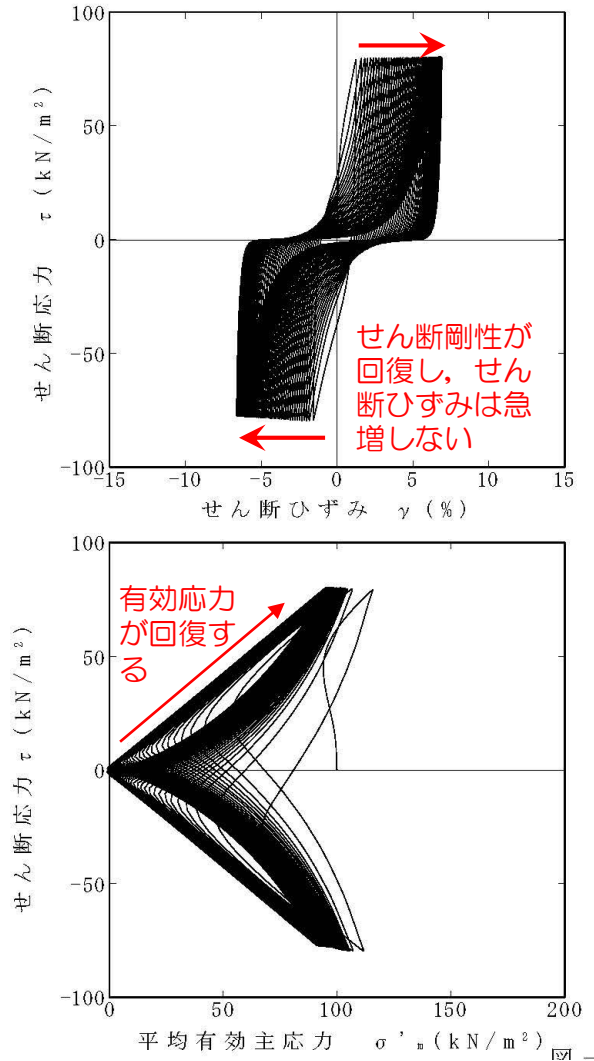
### 【A-1 (洪積砂層 I)】

| 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 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                          | 2.739               |      |      |      | 2.732       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                          | 100                 |      |      |      | 150         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |                          | 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<br>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  |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{u95}$ | 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

【A-1 (洪積砂層 I)】

$\sigma'_c = 100 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_c = 0.79$



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 (A-1 (洪積砂層 I) の例)

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

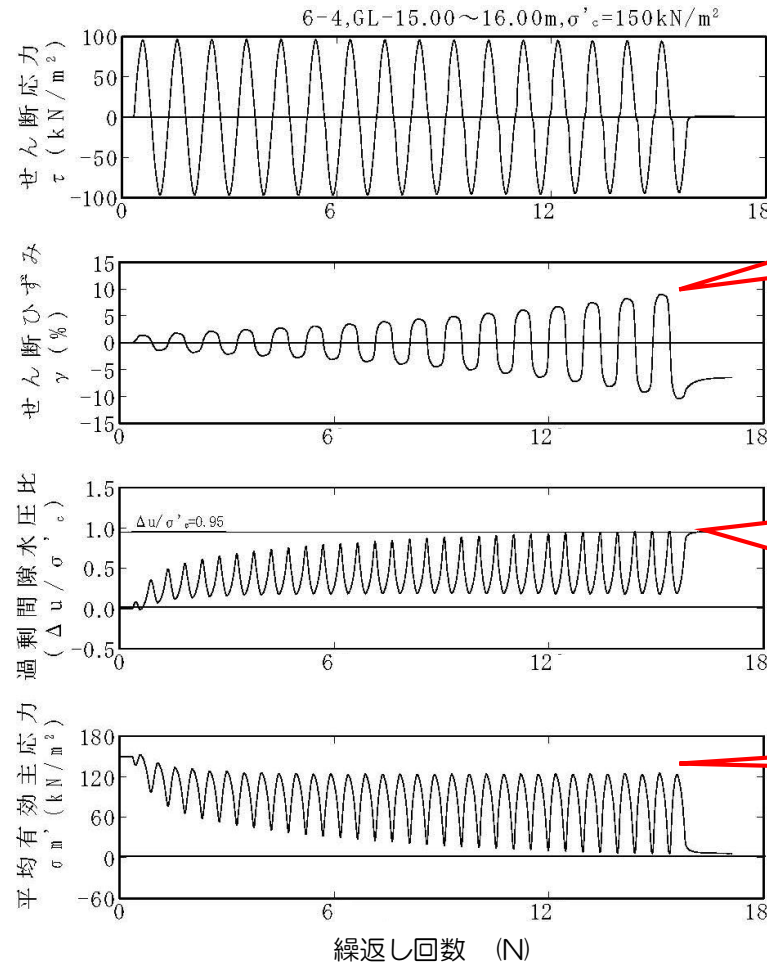
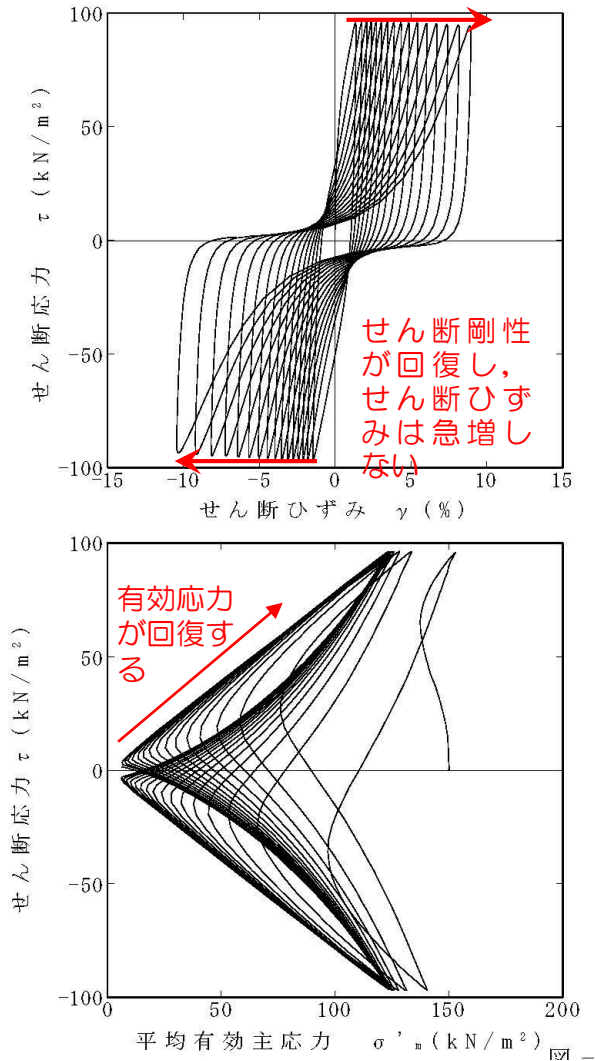
### 【A-1 (洪積砂層Ⅱ)】

| 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 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |               | 2.714          |      |      |      | 2.688       |      |      |             | 2.684       |      |      |      | 2.685       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |               | 150            |      |      |      | 150         |      |      |             | 200         |      |      |      | 200         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |               | 0.51           | 0.41 | 0.46 | 0.36 | 0.39        | 0.45 | 0.50 | <b>0.64</b> | 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<br>両振幅 | $r_{DA}=1.5\%$ | 0.4  | 0.8  | 1    | 10          | 2    | 1.5  | 0.8         | <b>0.5</b>  | 2    | 4.5  | 0.6  | 7           | 2    | 0.9  | 0.8  | 0.6 |
|                                       |               | $r_{DA}=2.0\%$ | 0.6  | 1    | 2    | 11          | 2.5  | 3.5  | 1           | <b>0.7</b>  | 3.5  | 7.5  | 0.8  | 12          | 3.5  | 1.5  | 1.5  | 0.7 |
|                                       |               | $r_{DA}=3.0\%$ | 0.9  | 4    | 2.5  | 20          | 6    | 7    | 4           | <b>1</b>    | 6.5  | 14   | 2    | 20          | 7    | 4.5  | 5    | 1.5 |
|                                       |               | $r_{DA}=7.5\%$ | 7    | 30   | 17   | 65          | 26   | 20   | 18          | <b>7</b>    | 15   | 30   | 7    | 39          | 27   | 16   | 19   | 9   |
|                                       |               | $r_{DA}=15\%$  | 16   | 56   | 32   | 102         | 48   | 37   | 33          | <b>13</b>   | 22   | 43   | 13   | 56          | 52   | 25   | 31   | 18  |
| 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{95}$               |               | 16             | 40   | 22   | 61   | 31          | 27   | 24   | <b>14</b>   | 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

### 【A-1 (洪積砂層Ⅱ)】

$$\sigma'_c = 150 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_c = 0.64$$



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 ( A-1 (洪積砂層Ⅱ) の例 )

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

### 【A-2 (洪積砂層 I)】

| 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 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |               | 2.665          |      |      |      | 2.656       |      |      |      | 2.754       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |               | 150            |      |      |      | 150         |      |      |      | 150         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |               | 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<br>両振幅 | $r_{DA}=1.5\%$ | 10   | 5    | 0.7  | 0.4         | 0.9  | 0.5  | 0.4  | 9           | 0.5  | 0.9  | 0.6  | 0.6 |
|                                       |               | $r_{DA}=2.0\%$ | 23   | 9    | 1    | 0.5         | 3    | 0.6  | 0.6  | 18          | 0.7  | 2    | 0.8  | 0.9 |
|                                       |               | $r_{DA}=3.0\%$ | 44   | 21   | 4    | 0.7         | 13   | 0.9  | 0.9  | 37          | 1    | 8    | 2    | 2.5 |
|                                       |               | $r_{DA}=7.5\%$ | 60   | 56   | 23   | 5           | 51   | 4.5  | 6.5  | 91          | 5    | 43   | 17   | 18  |
|                                       |               | $r_{DA}=15\%$  | 71   | 62   | 35   | -           | 63   | 7    | 9    | -           | 7    | -    | 29   | -   |
| 過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$                 |               | -              | -    | -    | -    | -           | -    | -    | -    | -           | -    | -    | -    |     |

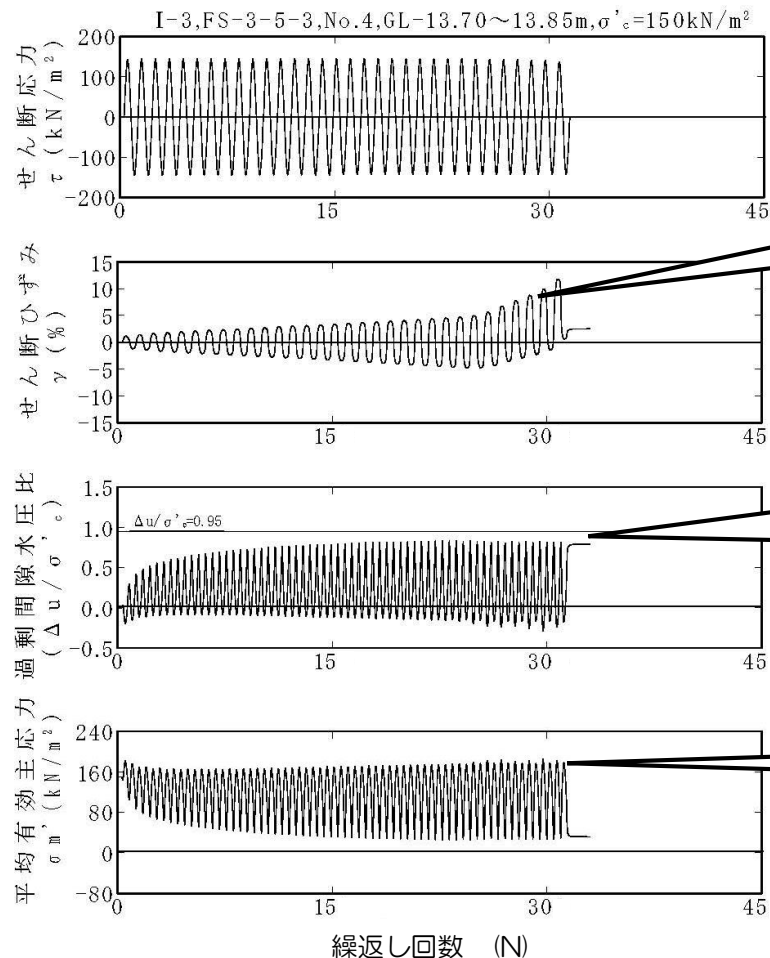
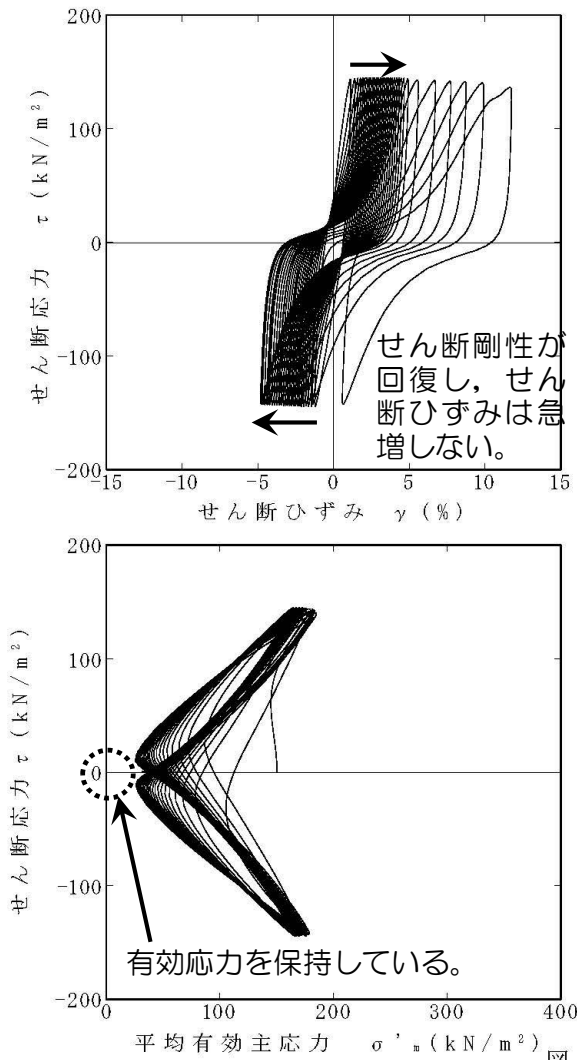
■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
太字 : 次ページに例示する試験結果

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

### 【A-2 (洪積砂層 I)】

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



中空ねじり試験結果 (A-2 (洪積砂層 I) の例)



# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

### 【A-2（洪積砂層Ⅱ）】

| 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 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |                       | 2.680          |      |      |      | 2.679       |      |      |      | 2.721       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                       | 230            |      |      |      | 230         |      |      |      | 230         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |                       | 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<br>両振幅         | $r_{DA}=1.5\%$ | 1.5  | 0.3  | 0.8  | 200         | 2.5  | 0.9  | 0.3  | 0.3         | 2    | 0.8  | 0.7  | 0.9 |
|                                       |                       | $r_{DA}=2.0\%$ | 3.5  | 0.4  | 1.5  | —           | 6    | 2    | 0.5  | 0.4         | 5.5  | 1.5  | 1    | 2.5 |
|                                       |                       | $r_{DA}=3.0\%$ | 7    | 0.7  | 3.5  | —           | 14   | 5.5  | 0.7  | 0.6         | 17   | 4.5  | 3    | 6   |
|                                       |                       | $r_{DA}=7.5\%$ | 20   | 3    | 15   | —           | 46   | 22   | 3.5  | 2           | 74   | 17   | 14   | 22  |
|                                       |                       | $r_{DA}=15\%$  | —    | 7.5  | —    | —           | 78   | —    | 6.5  | 4.5         | 110  | —    | 24   | 36  |
|                                       | 過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$ |                | —    | —    | —    | —           | 61   | —    | —    | —           | 87   | —    | —    | —   |

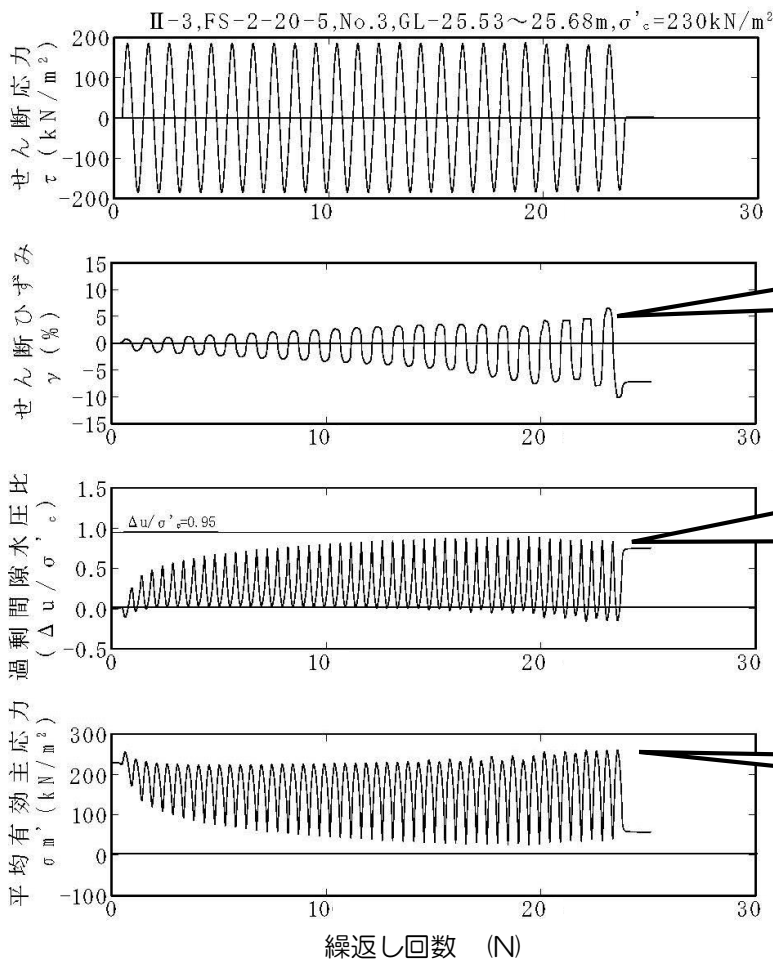
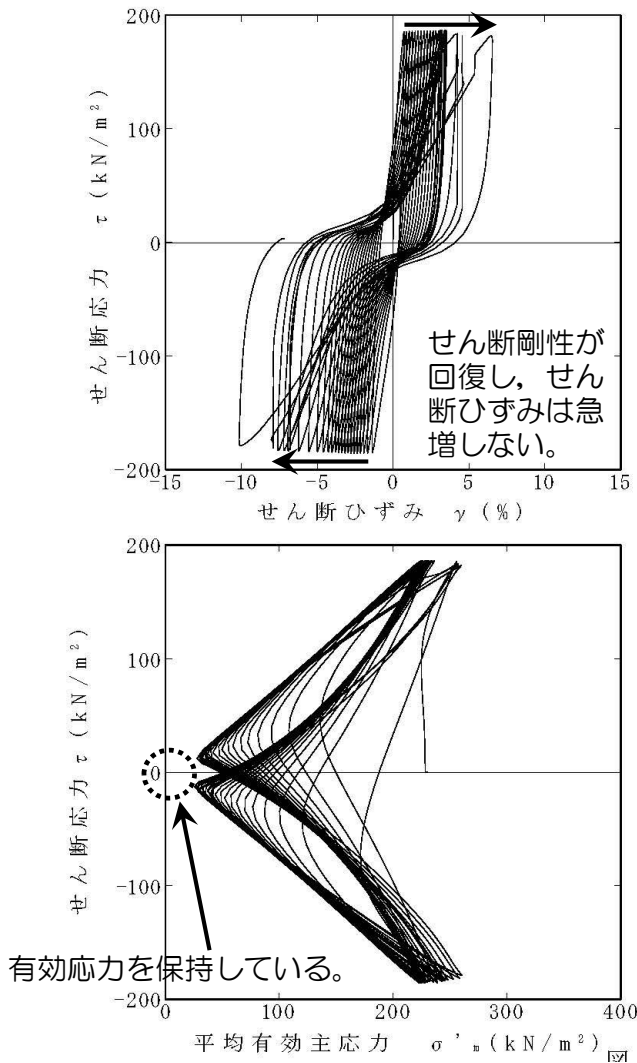
■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
太字 : 次ページに例示する試験結果

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

### 【A-2 (洪積砂層Ⅱ)】

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



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 (A-2 (洪積砂層Ⅱ) の例)

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

### 【A-3 (新期砂層・沖積層)】

| 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・沖積層       |      |      |      | 新期砂層・沖積層    |      |      |      | 新期砂層・沖積層    |      |      |      |     |
| 供試体 No.                               |               | 1              | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    | 1           | 2    | 3    | 4    |     |
| 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |               | 2.719          |      |      |      | 2.780       |      |      |      | 2.685       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |               | 150            |      |      |      | 150         |      |      |      | 150         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |               | 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<br>両振幅 | $r_{DA}=1.5\%$ | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 2           | 0.5  | 0.3  | 0.6  | 0.9         | 0.8  | 0.3  | 0.7  | 0.3 |
|                                       |               | $r_{DA}=2.0\%$ | 0.6  | 0.8  | 0.9  | 3.5         | 0.7  | 0.4  | 0.8  | 1.5         | 1.5  | 0.5  | 0.9  | 0.4 |
|                                       |               | $r_{DA}=3.0\%$ | 0.9  | 2    | 2    | 8.5         | 1    | 0.6  | 2    | 4           | 5    | 0.7  | 3    | 0.5 |
|                                       |               | $r_{DA}=7.5\%$ | 15   | 19   | 18   | 50          | 24   | 9    | 24   | 21          | 32   | 9    | 22   | 8   |
|                                       |               | $r_{DA}=15\%$  | 76   | 96   | 53   | 146         | 112  | 91   | 77   | 65          | 94   | 43   | 60   | 77  |
| 過剰間隙水圧比 95% $N_{u95}$                 |               | 28             | 28   | 30   | 40   | 38          | 44   | 34   | 24   | 38          | 25   | 28   | 39   |     |

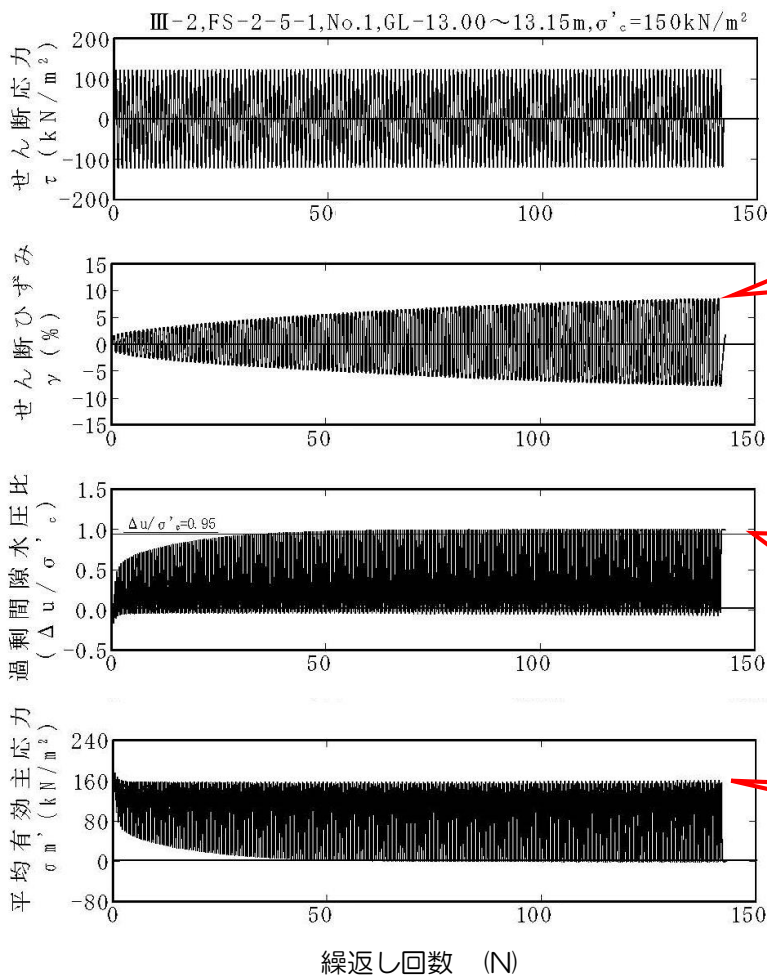
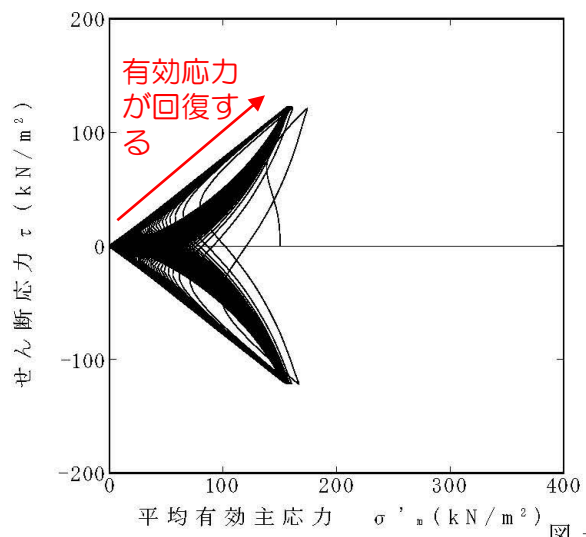
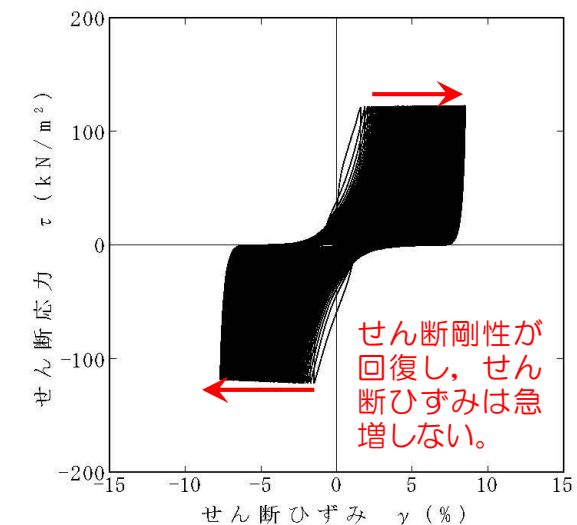
■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
太字 : 次ページに例示する試験結果

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

### 【A-3 (新期砂層・沖積層)】

$$\sigma'_{c0} = 150 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_{c0} = 0.81$$



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ( $\Delta u / \sigma'_{c0}$ ) 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 ( A-3 (新期砂層・沖積層) の例)

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

### 【O-1 (洪積砂質土層 I)】

| 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 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |               | 2.649          |      |      |      | 2.677       |      |      |      | 2.669       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |               | 363            |      |      |      | 363         |      |      |      | 363         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |               | 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<br>両振幅 | $r_{DA}=1.5\%$ | 8.5  | 0.9  | 0.5  | 0.7         | 0.9  | 0.7  | 0.5  | 0.5         | 0.5  | 42   | 200> | 0.9 |
|                                       |               | $r_{DA}=2.0\%$ | 18   | 5.5  | 0.7  | 0.9         | 6    | 1    | 0.7  | 0.7         | 0.7  | 200> | -    | 3.5 |
|                                       |               | $r_{DA}=3.0\%$ | 30   | 26   | 1.5  | 2           | 35   | 12   | 1    | 1           | 1    | -    | -    | 15  |
|                                       |               | $r_{DA}=7.5\%$ | 54   | 71   | 5    | 7           | 121  | 46   | 7    | 6           | 8.5  | -    | -    | 45  |
|                                       |               | $r_{DA}=15\%$  | -    | -    | -    | -           | 127  | 53   | -    | -           | 12   | -    | -    | -   |
| 過剰間隙水圧比 95% $N_{U95}$                 |               | -              | -    | -    | -    | -           | -    | -    | -    | -           | -    | -    | -    |     |

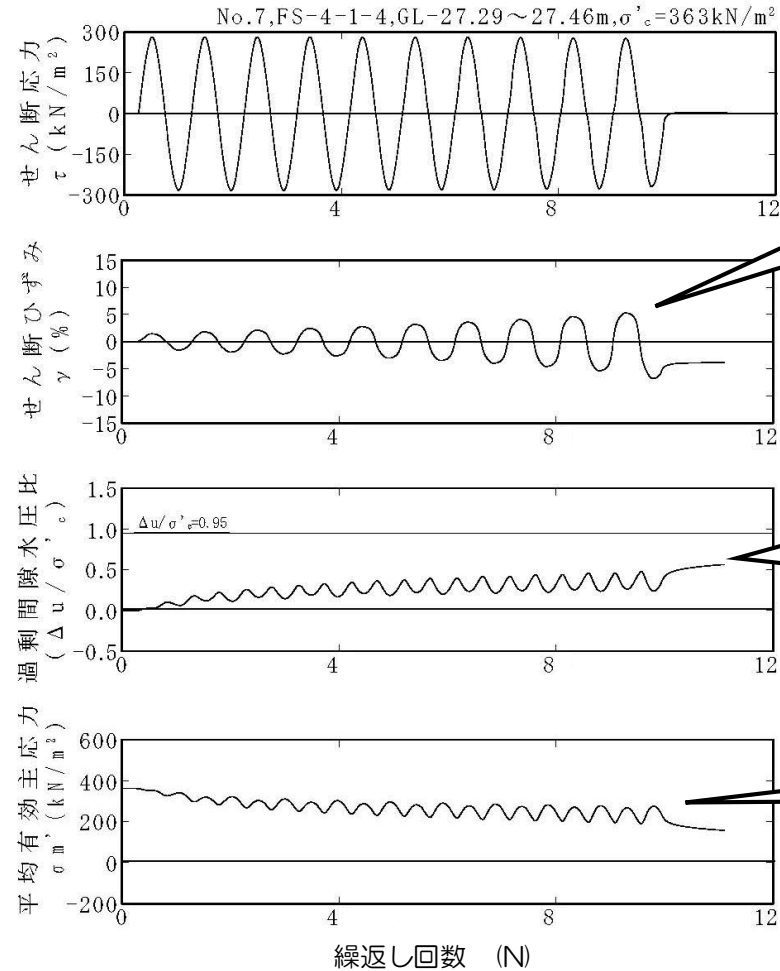
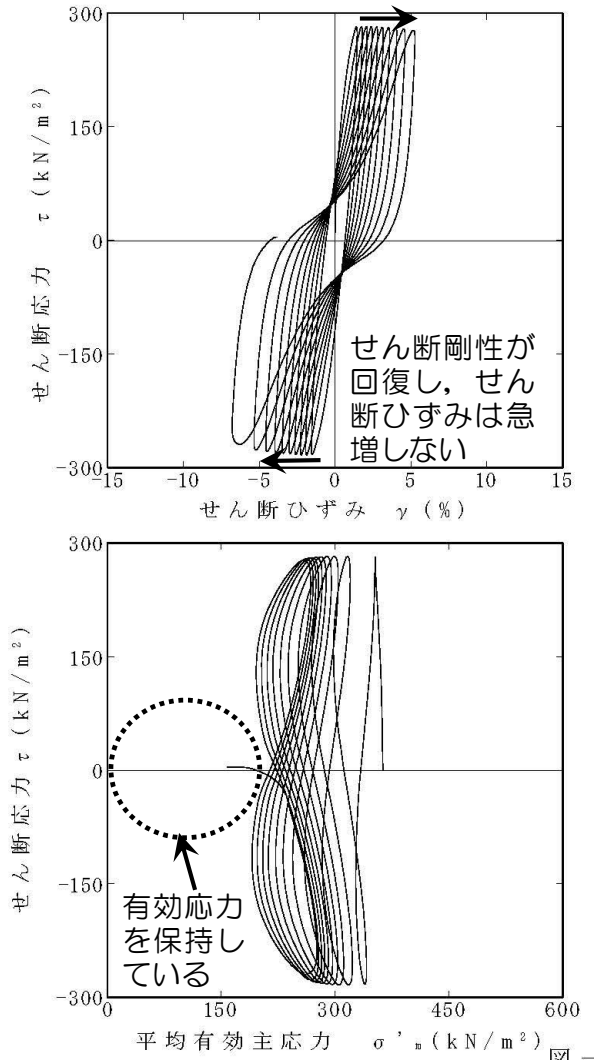
■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
太字 : 次ページに例示する試験結果

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

【O-1 (洪積砂質土層 I)】

$$\sigma'_c = 363 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_c = 0.78$$



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ( $\Delta u / \sigma'_c$ ) 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 (O-1 (洪積砂質土層 I) の例)



# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

### 【O-1 (洪積砂質土層Ⅱ)】

| 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 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )  |               | 2.664               |      |      |             | 2.646       |      |      |      | 2.672       |      |      |      |     |
| 圧密圧力 $\sigma_c'$ (kN/m <sup>2</sup> ) |               | 412                 |      |      |             | 412         |      |      |      | 412         |      |      |      |     |
| せん断応力比 $\tau_d/\sigma_c'$             |               | 0.59                | 0.52 | 0.79 | <b>0.72</b> | 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<br>面振幅 | $\gamma_{DA}=1.5\%$ | 1.5  | 6.5  | 0.3         | <b>0.7</b>  | 5.5  | 0.8  | 0.6  | 1           | 1    | 2    | 0.7  | 0.9 |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=2.0\%$ | 5    | 11   | 0.5         | <b>1</b>    | 24   | 1.5  | 0.9  | 5.5         | 4    | 6    | 1    | 2   |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=3.0\%$ | 13   | 19   | 1           | <b>5</b>    | 61   | 7    | 2.5  | 17          | 14   | 15   | 3.5  | 5   |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=7.5\%$ | 36   | 38   | 2           | <b>17</b>   | 111  | 25   | 8.5  | 38          | 37   | 34   | 9.5  | 16  |
|                                       |               | $\gamma_{DA}=15\%$  | -    | -    | -           | -           | 116  | 30   | -    | -           | 43   | 43   | 11   | -   |
| 過剰間隙水圧比 95%<br>$N_{u95}$              |               | -                   | -    | -    | -           | -           | -    | -    | -    | -           | -    | -    | -    |     |

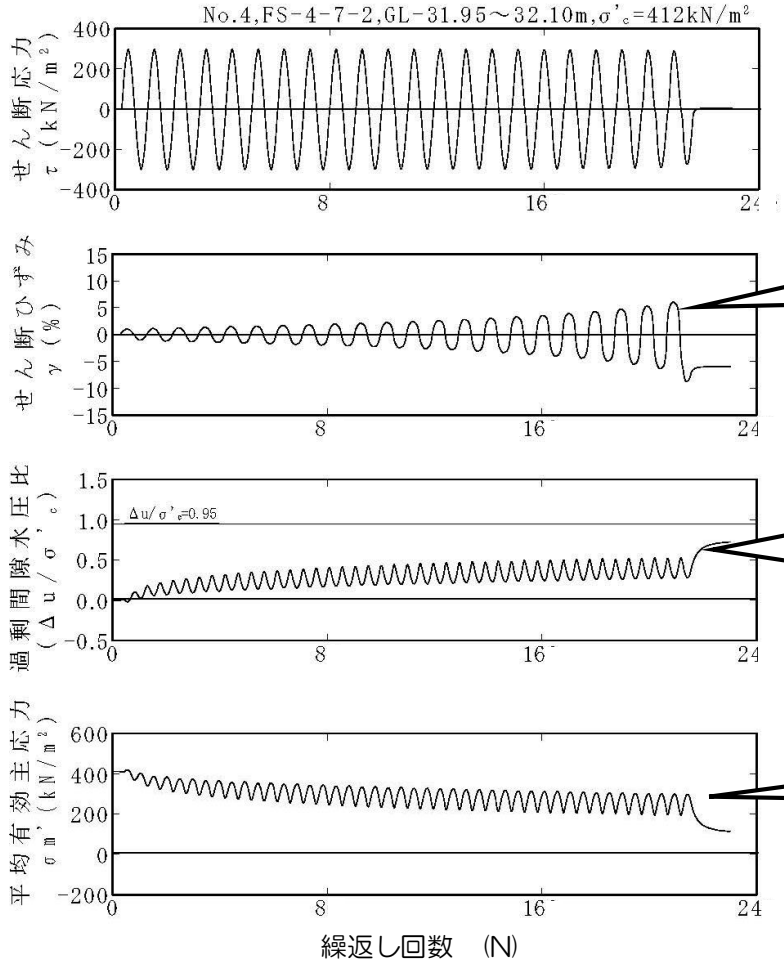
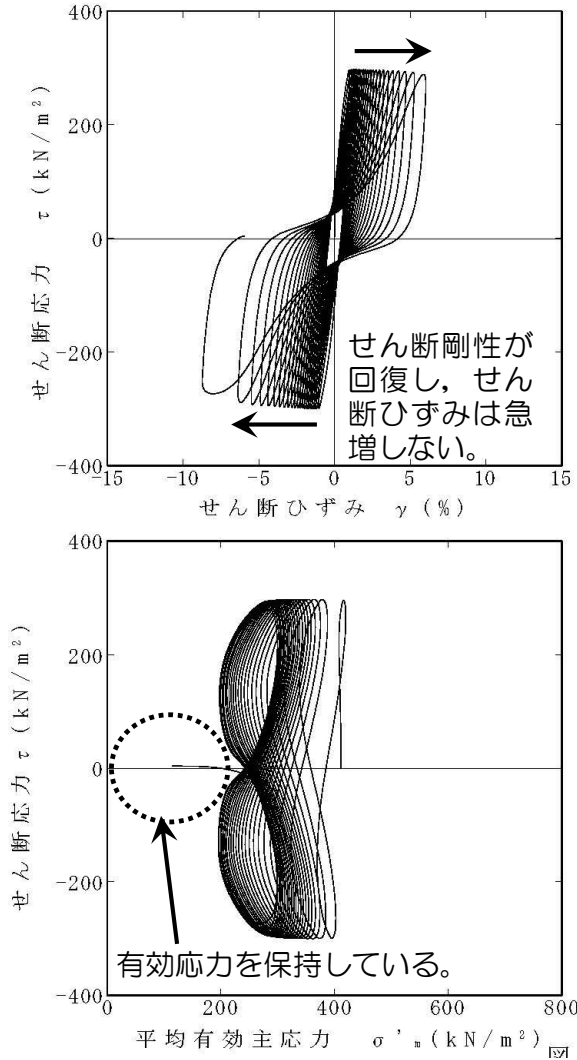
: 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)  
太字 : 次ページに例示する試験結果

# 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

【O-1 (洪積砂質土層Ⅱ)】

$$\sigma'_c = 412 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_c = 0.72$$



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 (O-1 (洪積砂質土層Ⅱ) の例)

## 4. 3 試験結果の分類

### 【試験結果の整理と考察】

- ▶ 下表に示す観点から、各地層の試験結果を、液状化・サイクリックモビリティ・非液状化に区分した。
- ▶ 古安田層のうち比較的形成年代が古い砂層（A-2（洪積砂層Ⅱ）・O-1（洪積砂質土層Ⅰ）・O-1（洪積砂層土層Ⅱ）については、過剰間隙水圧比が0.95以下で、供試体がせん断破壊していると考えられることから、非液状化である。
- ▶ 古安田層のうち比較的形成年代が新しい砂層（A-1（洪積砂層Ⅰ）・A-1（洪積砂層Ⅱ）・A-2（洪積砂層Ⅰ））は、南側（A-1）に分布する砂層はサイクリックモビリティを示すのに対して、北側（A-2）では過剰間隙水圧比が0.95以下で、供試体がせん断破壊していることから非液状化となっている。

|                          | A-1<br>埋戻<br>土層 | A-3<br>新期砂層<br>・沖積層                                                                       | A-1<br>洪積砂層Ⅰ    | A-1<br>洪積砂層Ⅱ    | A-2<br>洪積砂層Ⅰ    | A-2<br>洪積砂層Ⅱ    | O-1<br>洪積砂質土<br>層Ⅰ | O-2<br>洪積砂質土<br>層Ⅱ |
|--------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 形成時期                     | -               | 新しい  古い |                 |                 |                 |                 |                    |                    |
|                          |                 | 沖積層                                                                                       | 洪積層             |                 |                 |                 |                    |                    |
| N値おおむね50以上               | ×               | ○                                                                                         | ○               | ×               | ×               | ○               | ○                  | ○                  |
| 平均相対密度80%以上              | ×               | ○                                                                                         | ○               | ○               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| 液状化試験試料<br>採取深度 (GL m)   | -3.5~<br>-5.5   | -13.0~<br>-15.4                                                                           | -8.0~<br>-11.0  | -13.0~<br>-21.0 | -13.2~<br>-14.1 | -20.2~<br>-26.2 | -26.9~<br>-28.2    | -31.7~<br>-34.8    |
| 過剰間隙水圧比が<br>0.95※を上回らない。 | ×               | ×                                                                                         | ×               | ×               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| 過剰間隙水圧比が回復<br>する。        | ×               | ○                                                                                         | ○               | ○               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| せん断破壊発生の有無               | ×               | ×                                                                                         | ×               | ×               | ○               | ○               | ○                  | ○                  |
| 現象の整理                    | 液状化             | サイクリック<br>モビリティ                                                                           | サイクリックモ<br>ビリティ | サイクリックモ<br>ビリティ | 非液状化            | 非液状化            | 非液状化               | 非液状化               |

※JGS 0541-2000において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としていることによる。

## 4. 液状化試験結果

## 4. 3 試験結果の分類

## 【まとめ】

- 液状化試験の結果は、下表の3つに分類される。
- 埋戻土層以外の地層は、比較的N値が高く、液状化試験結果はサイクリックモビリティあるいは非液状化を示している。このことは、道路橋示方書において、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いという記載に整合する。
- なお、新期砂層・沖積層のようにN値が大きい地層や古安田層のような洪積層は、道路橋示方書における液状化判定方法の適用範囲外であると考えられることから、この方法に基づいて液状化の有無を判定できないが、試験結果を保守的に考慮して構造物の影響評価を実施することとする。（詳細は後述）

| 対象層              | A-1 (埋戻土層)                                                                                                              | A-1 (洪積砂層Ⅰ)<br>A-1 (洪積砂層Ⅱ)<br>A-3 (新期砂層・沖積層)                                                                                                | A-2 (洪積砂層Ⅰ)<br>A-2 (洪積砂層Ⅱ)<br>O-1 (洪積砂質土層Ⅰ)<br>O-1 (洪積砂質土層Ⅱ)                                                       |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 液状化試験の状況         | <ul style="list-style-type: none"> <li>過剰間隙水圧比が1.0に近づく(0.95を上回る)。</li> <li>有効応力がゼロになる。</li> <li>ひずみが急激に上昇する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>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)。</li> <li>有効応力が減少するが、回復する。</li> <li>ひずみが緩やかに上昇する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>過剰間隙水圧比が0.95を上回らない。</li> <li>有効応力を保持している。</li> <li>ひずみが緩やかに上昇する。</li> </ul> |
| 試験結果の分類          | 試験結果は、液状化である。                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>試験結果は、サイクリックモビリティである。</li> <li>有効応力が回復するため支持力が期待できる。</li> </ul>                                      | 試験結果は、非液状化である。                                                                                                     |
| 基準地震動Ssに対する液状化判定 | 基準地震動Ssに対する液状化判定(F <sub>L</sub> 法)を実施                                                                                   | 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認                                                                                                                      |                                                                                                                    |

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定（ $F_L$ 法）
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献  
(参考資料)
  - ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

# 5. 基準地震動Ssに対する液状化判定 (FL法)

【FL法による液状化判定】

- 埋戻土層を対象として、FL法による液状化判定を実施する。
- 埋戻土層の液状化強度は、先述の液状化強度特性に基づいて設定する。

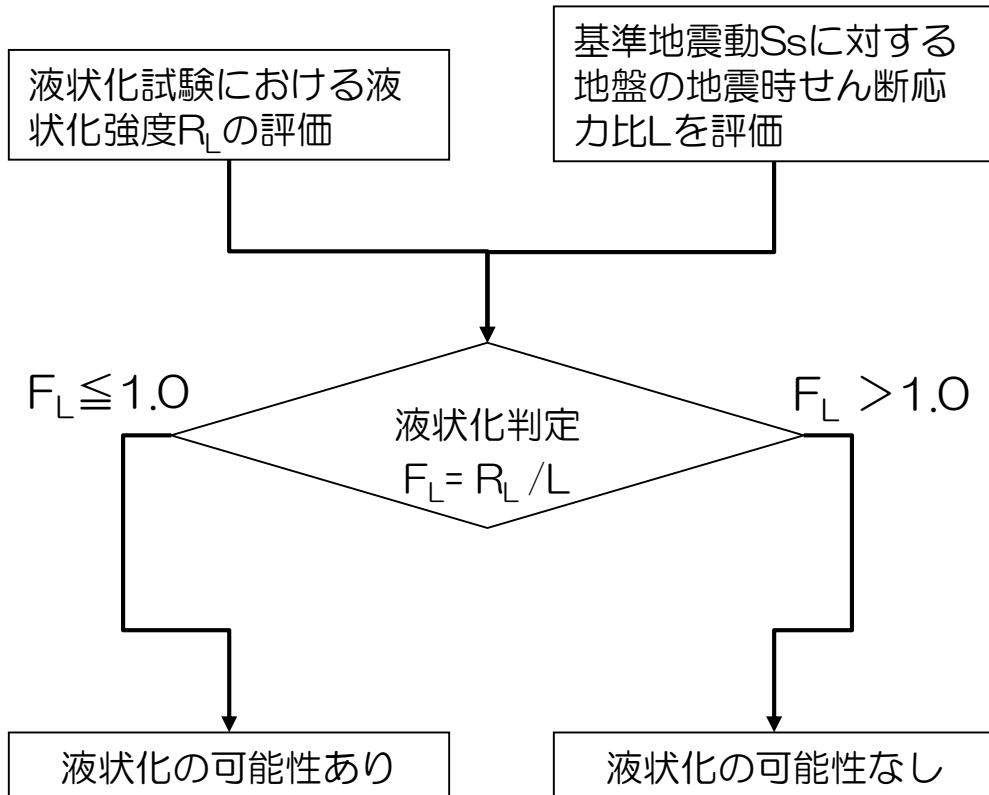


図 FL法による液状化判定のフロー

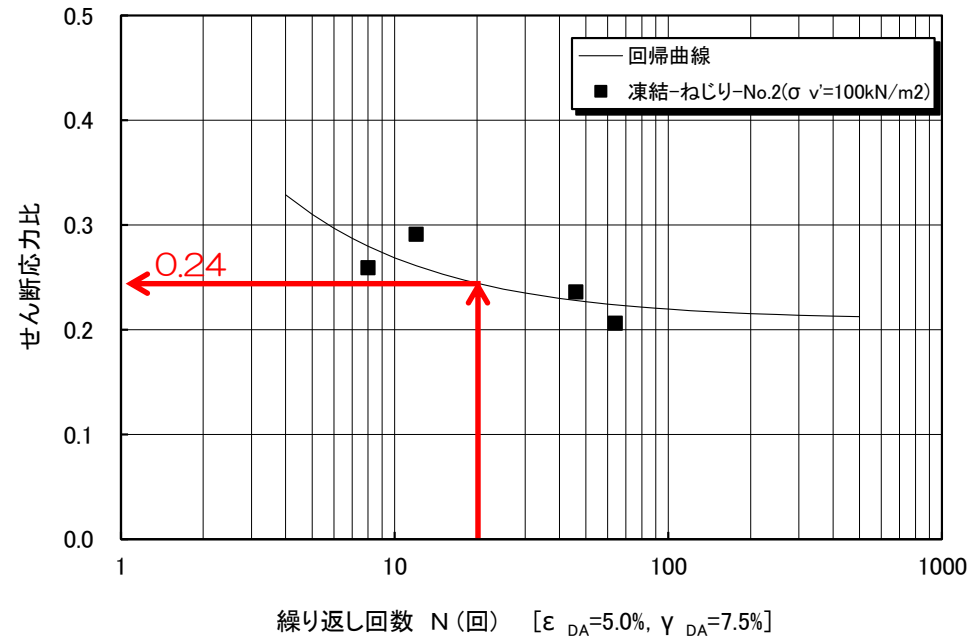


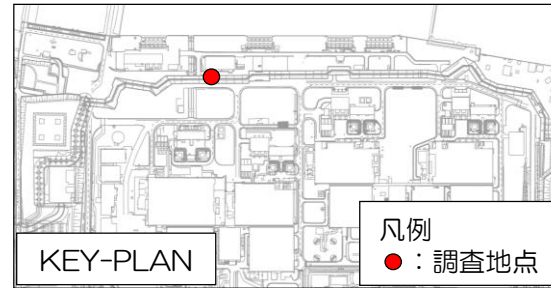
図 液状化試験における液状化強度RLの評価



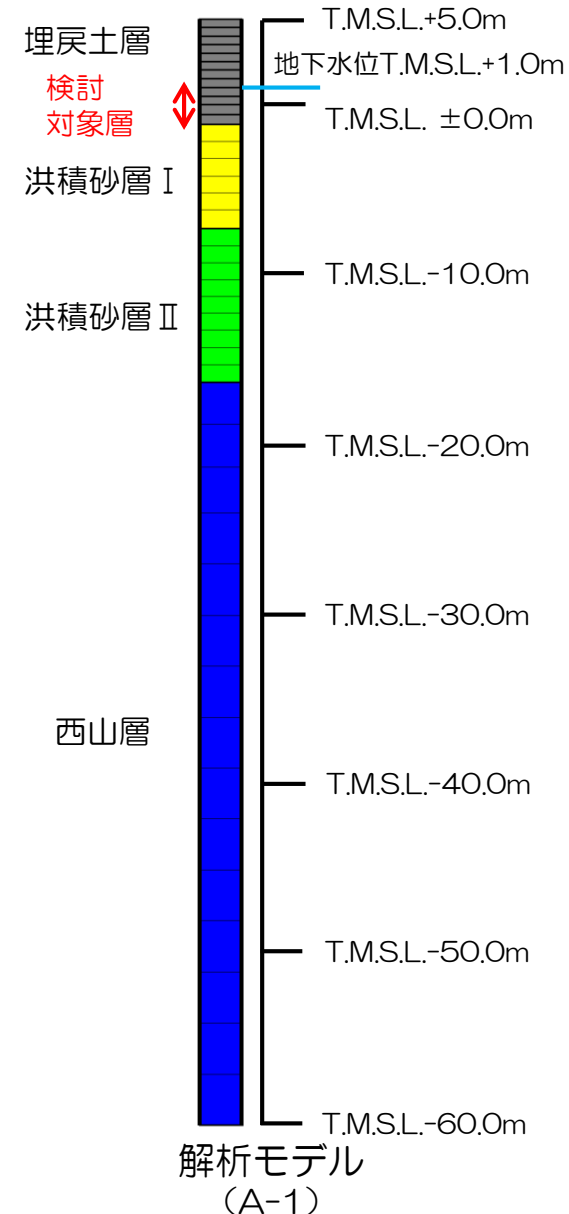
# 5. 基準地震動Ssに対する液状化判定 (FL法)

## 【解析条件】

- 下記の地盤モデルを用いて、一次元逐次非線形解析を実施した。



地盤物性値



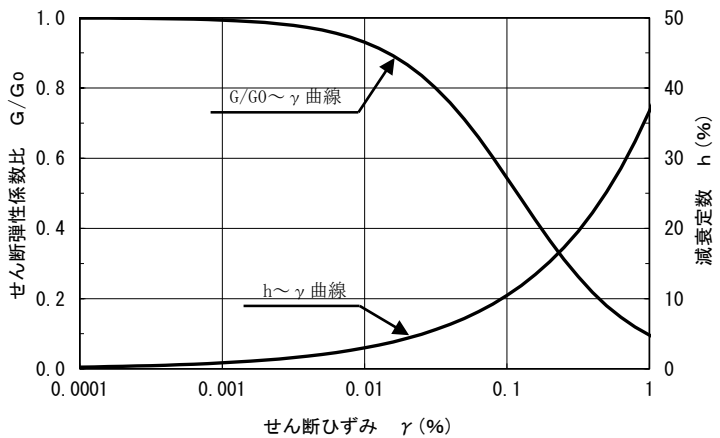
| 地層区分             |                            | 単位体積重量<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$   | 初期せん断弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数G<br>減衰定数h |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------------------|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

\* 1 : 地下水位以深の物性値

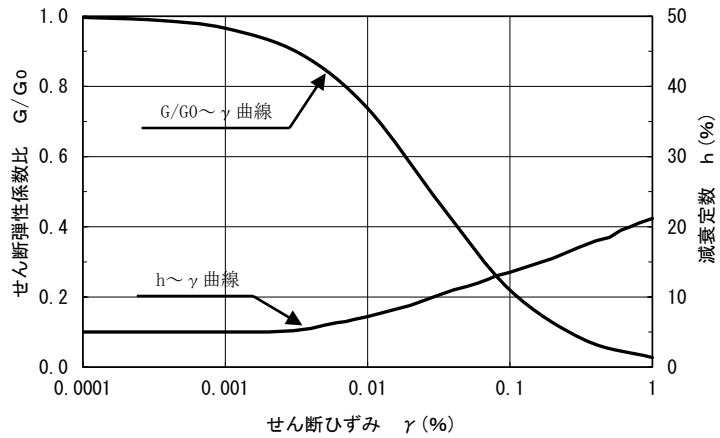
(既工認物性)

# 5. 基準地震動Ssに対する液状化判定 (FL法)

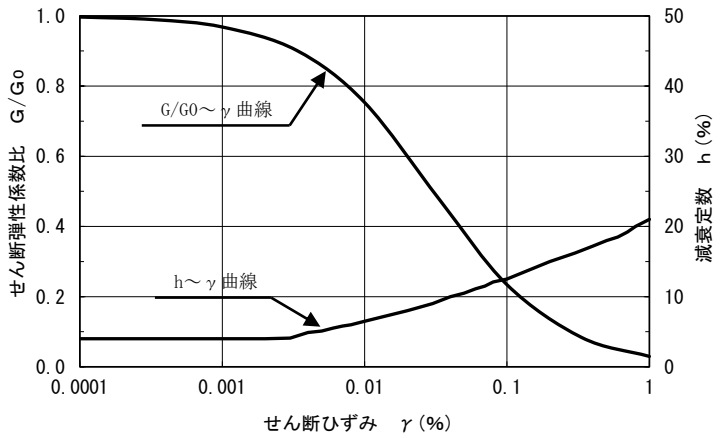
## 【解析条件】



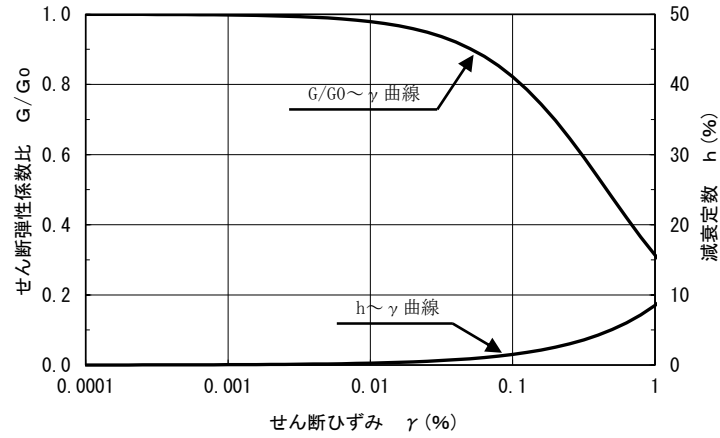
埋戻土層



洪積砂層 I



洪積砂層 II



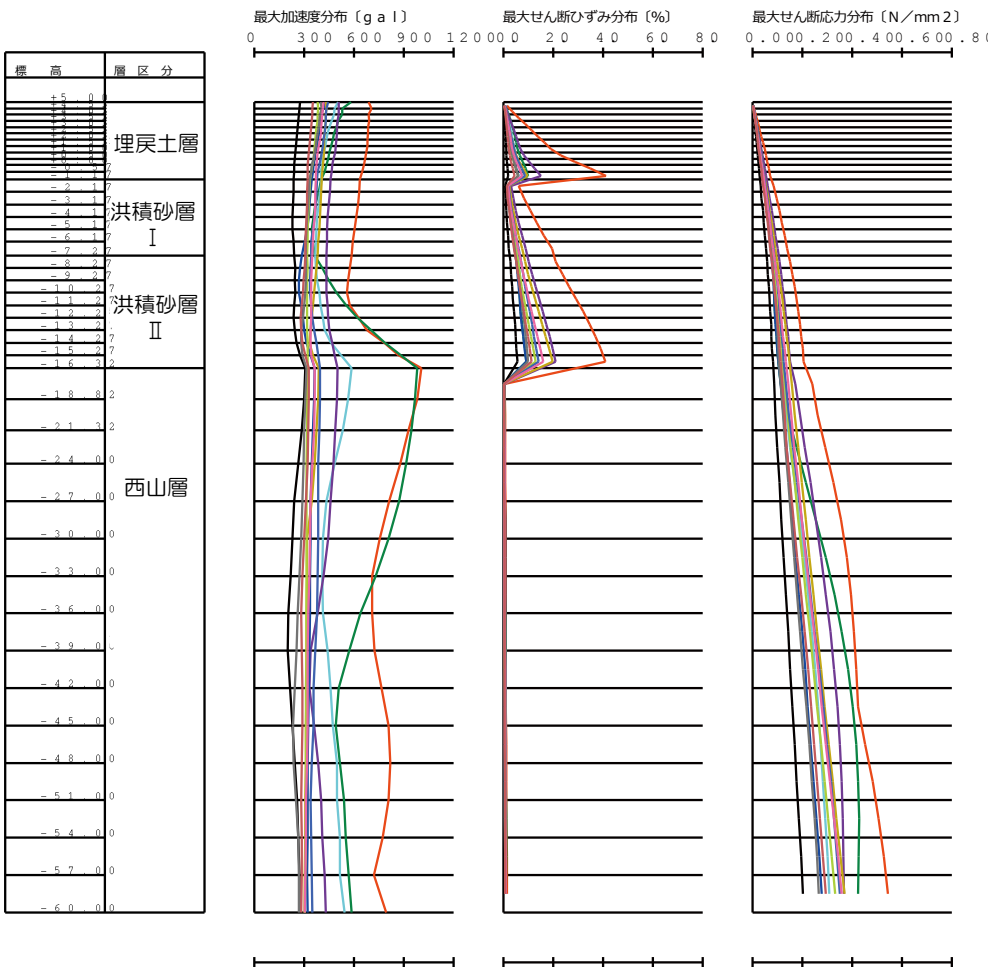
西山層

せん断剛性および減衰のひずみ依存性

# 5. 基準地震動Ssに対する液状化判定 (FL法)

## 【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



## 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 RL | FL値 =RL/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】

- FL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。

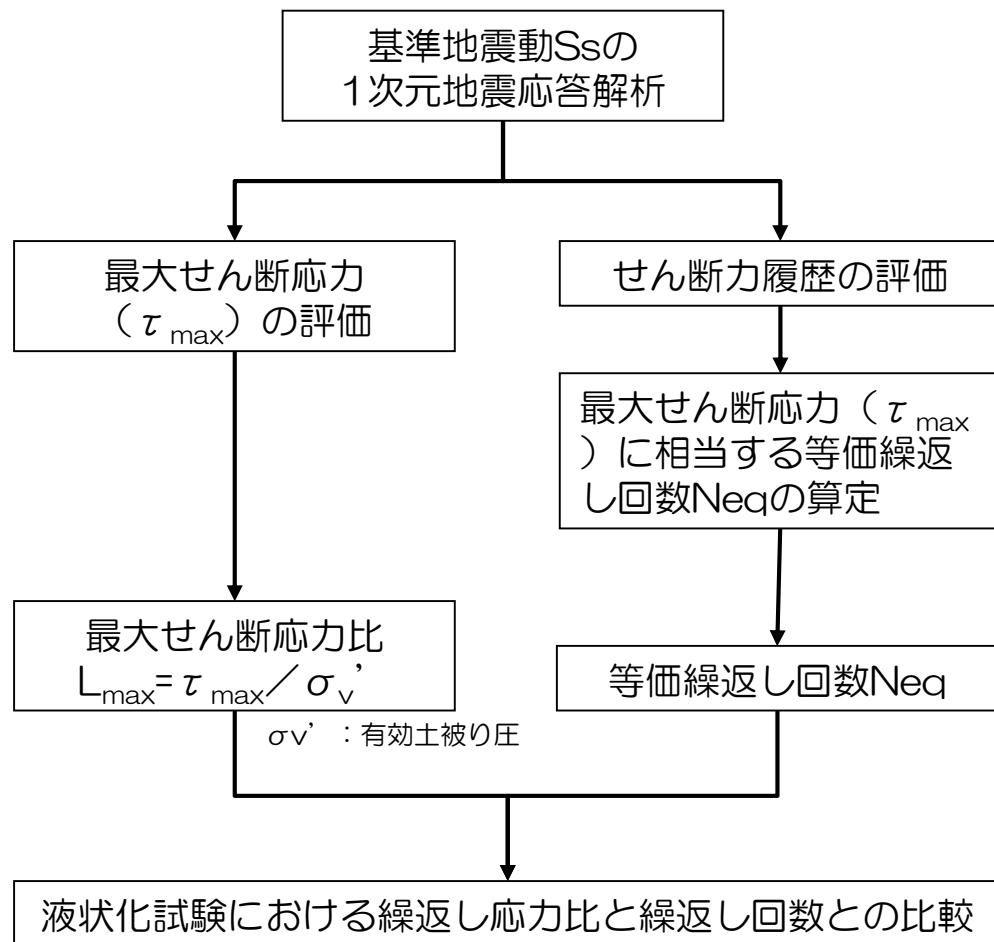
最大応答値分布

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. **基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認**
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献
  - (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

## 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

### 【検討フロー】

- 新期砂層・沖積層および古安田層中の砂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。



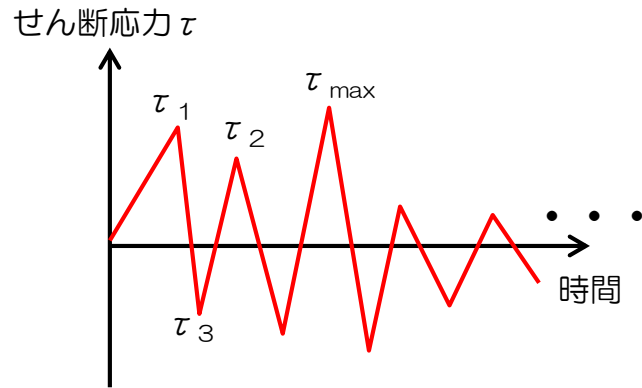
基準地震動Ssにおける最大せん断応力比と  
等価繰返し回数の評価フロー

# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

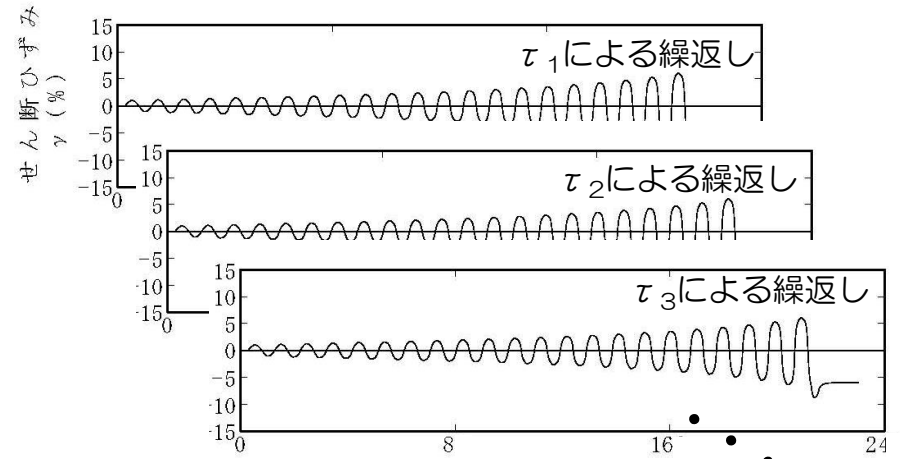
【等価繰返し回数の評価方法：吉見(1991)を参考】

吉見吉昭(1991)：砂地盤の液状化（第二版），技報堂出版，1991

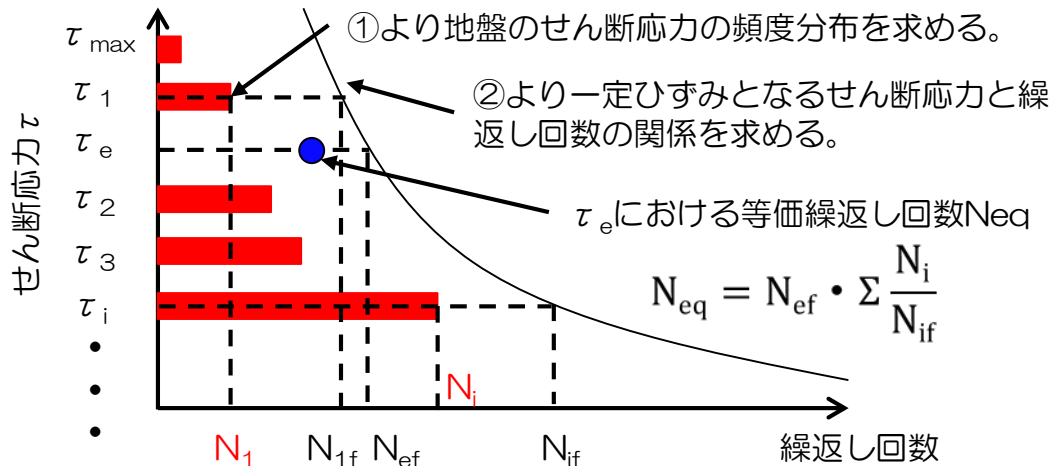
- 金属材料の疲労破壊の分野で提案された累積損傷度理論を応用して，不規則波である基準地震動Ssによって発生する地盤のせん断応力と等価な一定せん断応力およびその繰返し回数を求め，試験結果との比較を実施する。



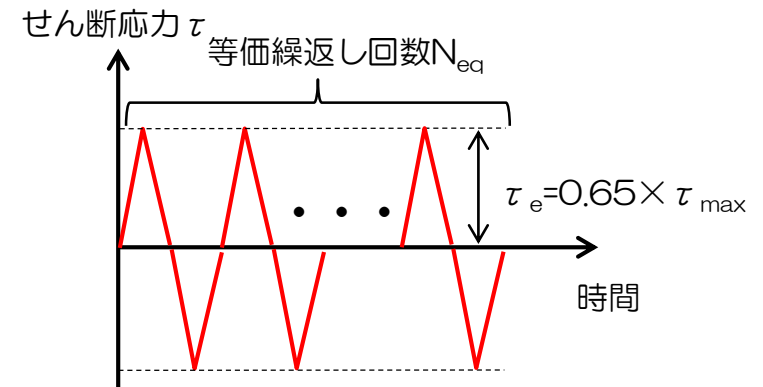
①対象地盤の地震応答解析におけるせん断応力履歴



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



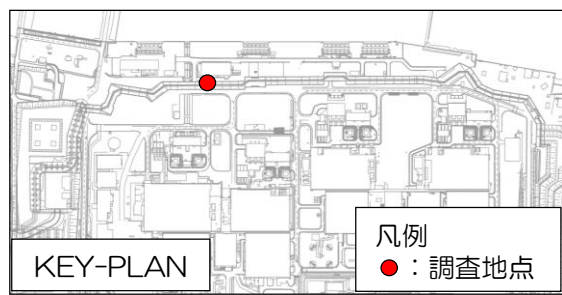
④対象地盤の地震応答解析と等価な一定せん断応力比と等価繰返し回数



# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

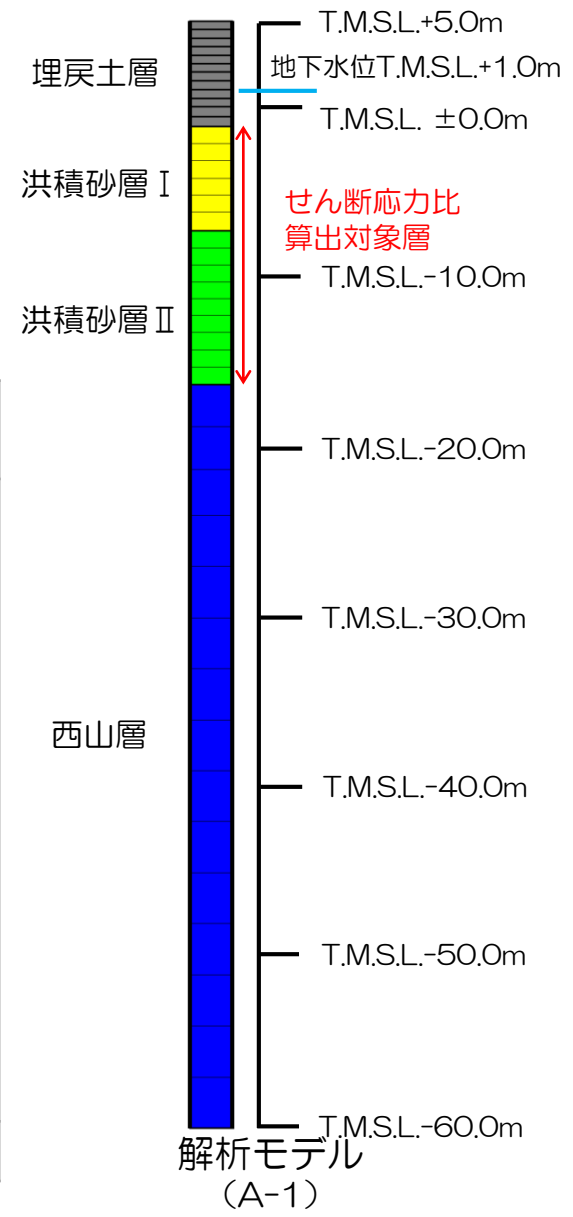
【解析条件：A-1】

- 下記の地盤モデルを用いて、一次元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<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$   | 初期せん断弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数G<br>減衰定数h |   |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------------------|---|
| 埋戻土層             |                            | 18.6<br>(19.6)*1                          | 0.33<br>(0.49)*1 | $1980 \times \sigma_v'^{0.667}$         | ひずみ依存性を<br>考慮     |   |
| 古<br>安<br>田<br>層 | 洪積砂層 I                     | 19.1                                      | 0.47             | $1.53 \times 10^5$                      |                   |   |
|                  | 洪積砂層 II                    | 18.6                                      | 0.48             | $1.49 \times 10^5$                      |                   |   |
| 西<br>山<br>層      | 西山層上限面 ~<br>T.M.S.L.-62.0m | 16.9                                      | 0.43             | $5.02 \times 10^5$                      |                   |   |
|                  | ~T.M.S.L.-77.0m            | 16.9                                      | 0.43             | $5.99 \times 10^5$                      |                   |   |
|                  | ~T.M.S.L.-103.0m           | 16.9                                      | 0.43             | $6.62 \times 10^5$                      |                   |   |
|                  | ~T.M.S.L.-128.0m           | 16.9                                      | 0.43             | $7.28 \times 10^5$                      |                   |   |
|                  | ~T.M.S.L.-192.0m           | 16.9                                      | 0.43             | $7.73 \times 10^5$                      |                   |   |
| 解放基盤             |                            | 16.9                                      | 0.43             | $9.17 \times 10^5$                      |                   | — |

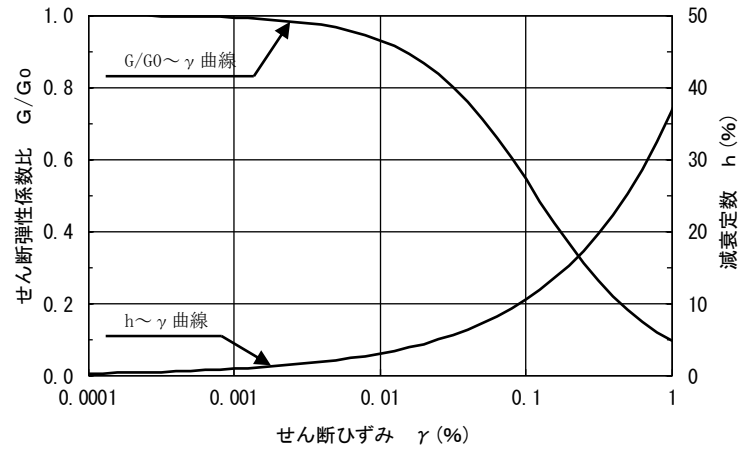


\* 1 : 地下水位以深の物性値

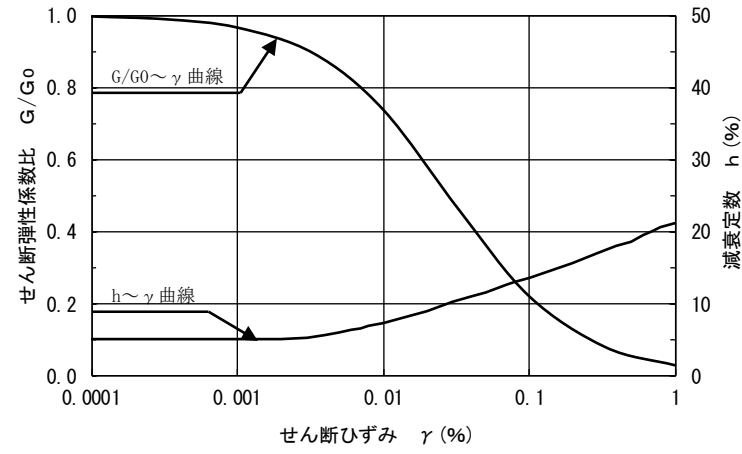
(既工認物性)

# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

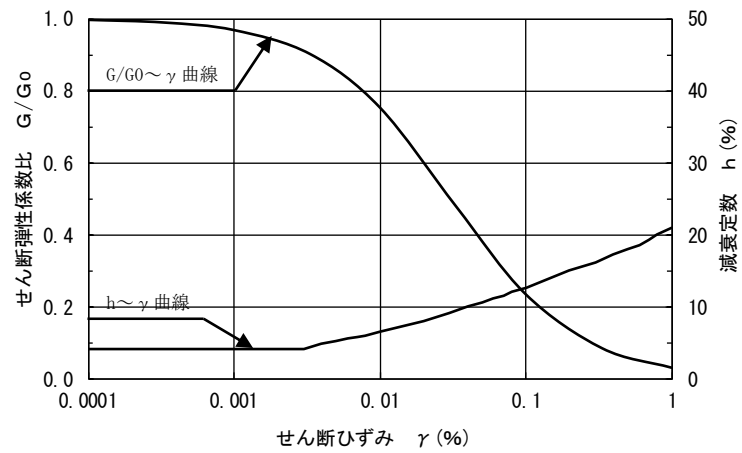
【解析条件：A-1】



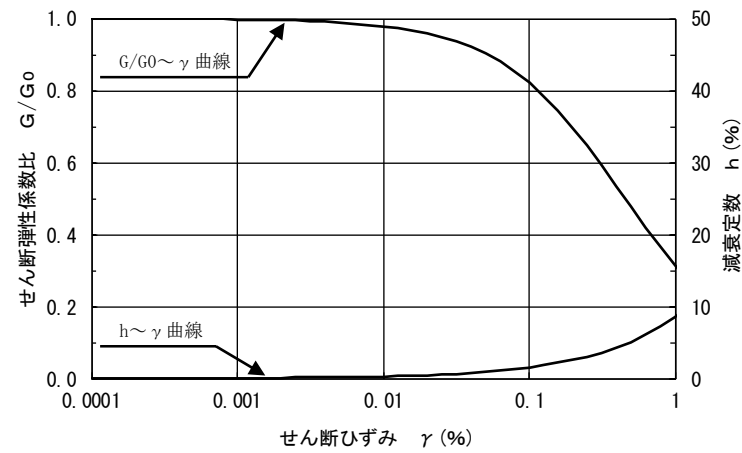
埋戻土層



洪積砂層 I



洪積砂層 II



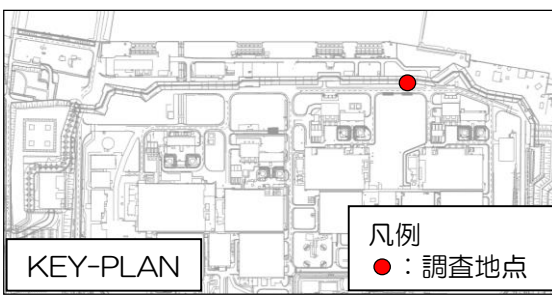
西山層

せん断剛性および減衰のひずみ依存性

# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

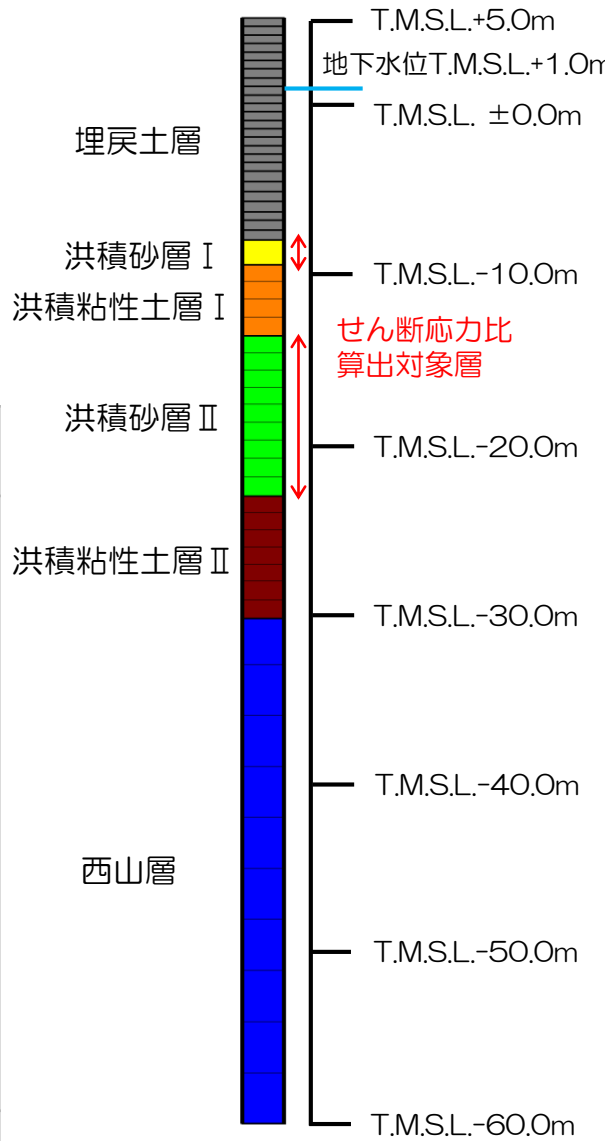
【解析条件：A-2】

- 下記の地盤モデルを用いて、一次元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<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$   | 初期せん断弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数G<br>減衰定数h |                    |
|------------------|-------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------------------|--------------------|
| 埋戻土層             | 18.6<br>(19.6)*1                          | 0.33<br>(0.49)*1 | $1980 \times \sigma_v'^{0.667}$         | ひずみ依存性を<br>考慮     |                    |
| 古<br>安<br>田<br>層 | 洪積砂層 I                                    | 18.3             | 0.47                                    |                   | $2.29 \times 10^5$ |
|                  | 洪積粘性土層 I                                  | 17.8             | 0.48                                    |                   | $1.24 \times 10^5$ |
|                  | 洪積砂層 II                                   | 18.5             | 0.48                                    |                   | $2.06 \times 10^5$ |
|                  | 洪積粘性土層 II                                 | 17.8             | 0.48                                    |                   | $1.74 \times 10^5$ |
| 西<br>山<br>層      | 西山層上限面 ~<br>T.M.S.L.-66.0m                | 15.6             | 0.46                                    |                   | $3.23 \times 10^5$ |
|                  | ~T.M.S.L.-103.0m                          | 15.8             | 0.45                                    |                   | $3.86 \times 10^5$ |
|                  | ~T.M.S.L.-150.0m                          | 16.9             | 0.44                                    |                   | $5.39 \times 10^5$ |
|                  | ~T.M.S.L.-248.0m                          | 17.4             | 0.43                                    |                   | $6.81 \times 10^5$ |
|                  | ~T.M.S.L.-285.0m                          | 17.3             | 0.42                                    |                   | $7.90 \times 10^5$ |
| 解放基盤             | 17.8                                      | 0.41             | $9.18 \times 10^5$                      | —                 |                    |



\* 1 : 地下水位以深の物性値

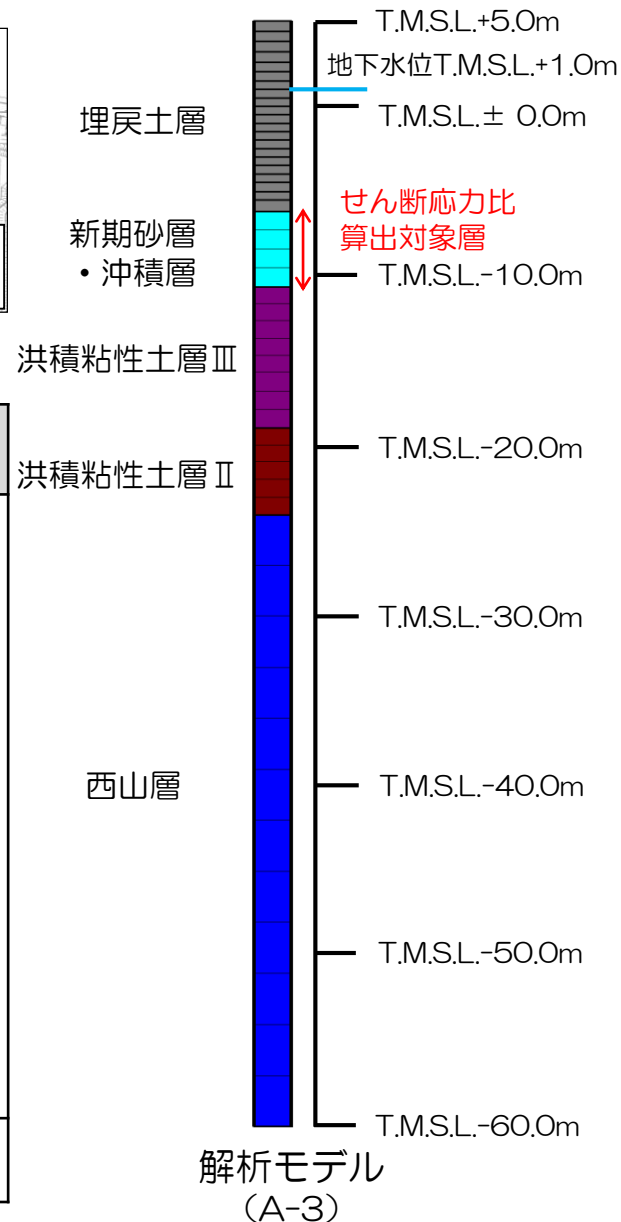
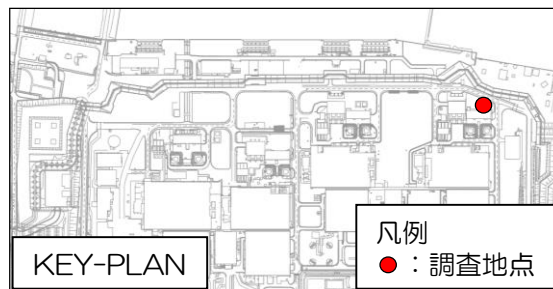
(既工認物性)

解析モデル (A-2)

# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

【解析条件：A-3】

- 下記の地盤モデルを用いて、一次元逐次非線形解析を実施した。



地盤物性値

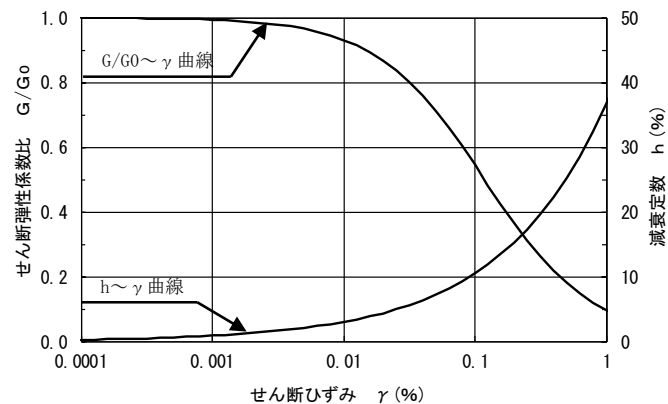
| 地層区分             |                            | 単位体積重量<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$   | 初期せん断弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数G<br>減衰定数h |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------------------|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

\* 1 : 地下水位以深の物性値

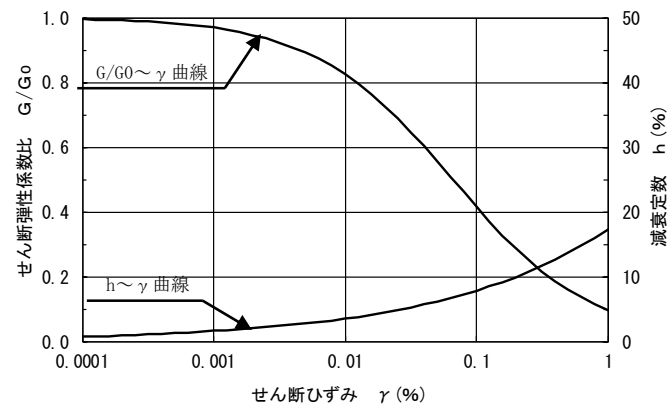
(既工認物性)

# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

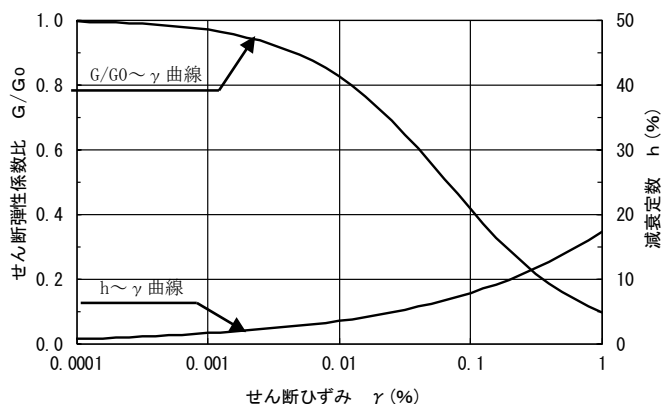
【解析条件：A-2,3】



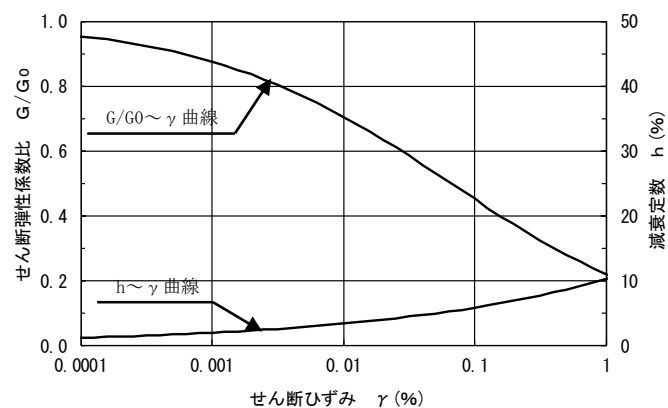
埋戻土層



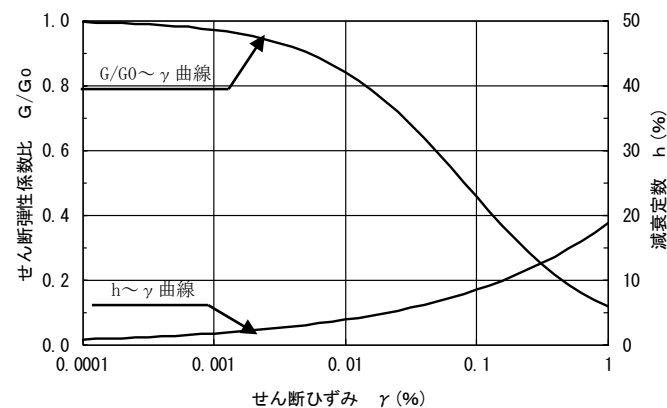
洪積砂層 I, II



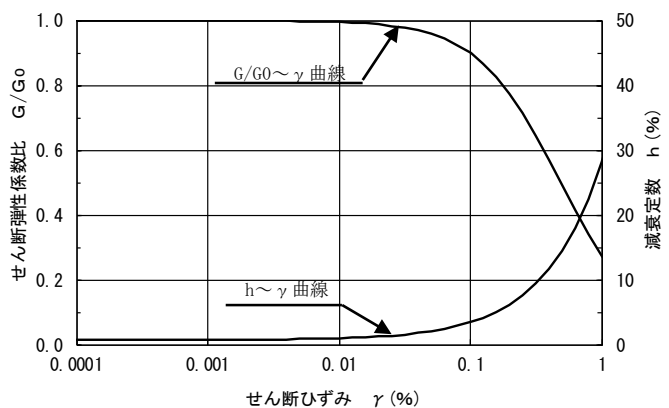
新期砂層・沖積層



洪積粘性土層 I, II



洪積粘性土層 III



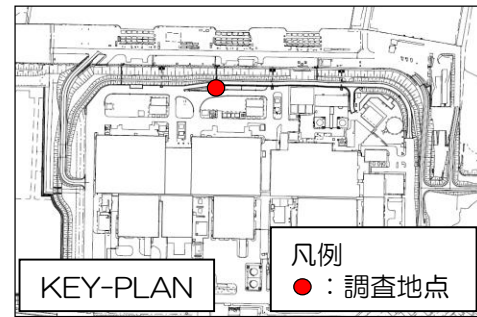
西山層

せん断剛性および減衰のひずみ依存性

# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

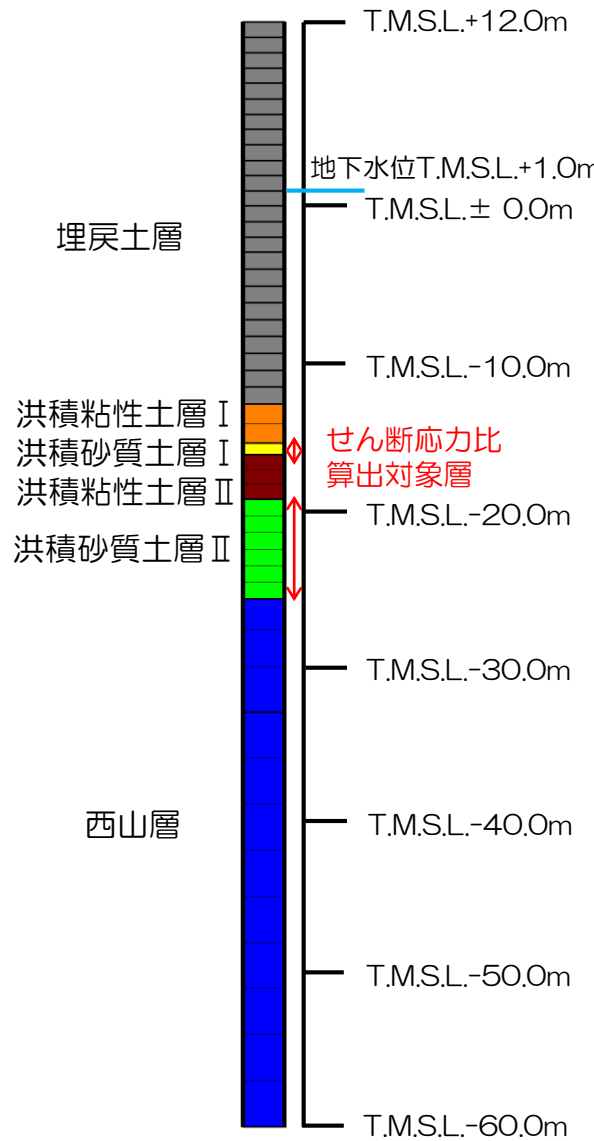
【解析条件：O-1】

- 下記の地盤モデルを用いて、一次元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<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$   | 初期せん断弾性係数<br>$G_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) | せん断弾性係数G<br>減衰定数h |
|------------------|----------------------------|-------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------|-------------------|
| 埋戻土層             |                            | 18.6<br>(19.6)*1                          | 0.41<br>(0.49)*1 | $1980 \times \sigma_v'{}^{0.667}$ *2    | ひずみ依存性を<br>考慮     |
| 古<br>安<br>田<br>層 | 洪積粘性土層Ⅰ                    | 17.8                                      | 0.49             | $9.63 \times 10^4$                      |                   |
|                  | 洪積砂質土層Ⅰ                    | 18.6                                      | 0.48             | $1.82 \times 10^5$                      |                   |
|                  | 洪積粘性土層Ⅱ                    | 17.7                                      | 0.49             | $1.13 \times 10^5$                      |                   |
|                  | 洪積砂質土層Ⅱ                    | 18.6                                      | 0.48             | $2.07 \times 10^5$                      |                   |
| 西<br>山<br>層      | 西山層上限面 ~<br>T.M.S.L.-33.0m | 17.0                                      | 0.45             | $4.16 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-90.0m            | 16.6                                      | 0.45             | $4.75 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-136.0m           | 17.3                                      | 0.43             | $6.13 \times 10^5$                      |                   |
|                  | ~T.M.S.L.-155.0m           | 19.3                                      | 0.42             | $8.33 \times 10^5$                      |                   |
| 解放基盤             |                            | 19.9                                      | 0.42             | $1.05 \times 10^6$                      |                   |



解析モデル (O-1)

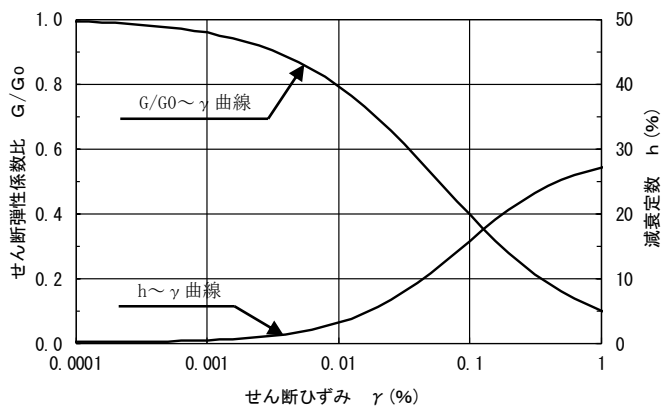
\* 1 : 地下水位以深の物性値  
\* 2 : 下限値  $2.75 \times 10^4$  kN/m<sup>2</sup>

(既工認物性)

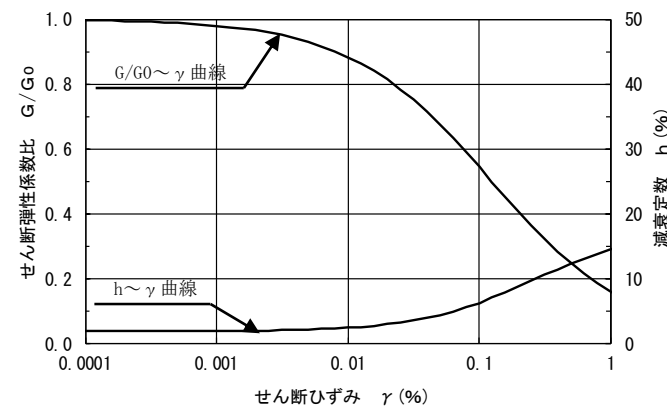


# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

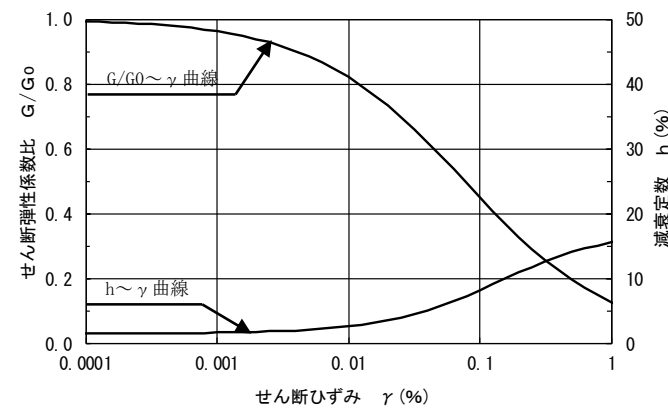
【解析条件：O-1】



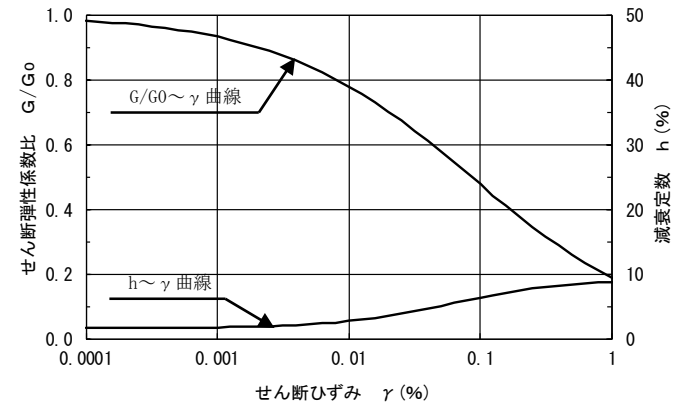
埋戻土層



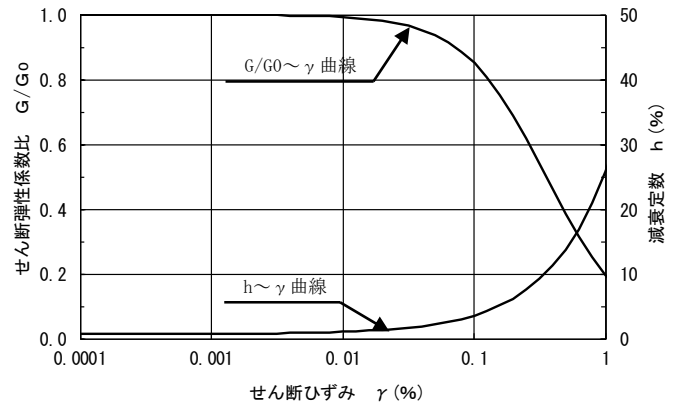
洪積粘性土層 I



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

# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

## 【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 | A-1                                        |                 |                                            |                 |                                            |                 |                                            |                 | A-2              |                 |                  |                 | A-3              |                 | O-1              |                 |                  |                 |
|---------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
|         | 洪積砂層Ⅰ<br>(土被り圧<br>100kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅰ<br>(土被り圧<br>150kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅱ<br>(土被り圧<br>150kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅱ<br>(土被り圧<br>200kN/m <sup>2</sup> 相当) |                 | 洪積砂層Ⅰ            |                 | 洪積砂層Ⅱ            |                 | 新期砂層・沖積層         |                 | 洪積砂質土層Ⅰ          |                 | 洪積砂質土層Ⅱ          |                 |
|         | L <sub>max</sub>                           | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub>                           | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub>                           | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub>                           | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> | L <sub>max</sub> | N <sub>eq</sub> |
| 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             | -※1             | 0.46             | -※1             |
| Ss2EW   | 0.55                                       | 15.0            | 0.55                                       | 17.6            | 0.52                                       | 19.1            | 0.47                                       | 24.2            | 0.53             | -※1             | 0.64             | 126.8           | 0.55             | 20.4            | 0.32             | -※1             | 0.34             | -※1             |
| Ss2NS   | 0.52                                       | 17.8            | 0.53                                       | 17.9            | 0.53                                       | 19.1            | 0.51                                       | 20.3            | 0.53             | -※1             | 0.60             | -※1             | 0.56             | 20.9            | 0.25             | -※1             | 0.25             | -※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             | -※1             | 0.44             | -※1             |
| Ss4EW   | 0.49                                       | 20.9            | 0.50                                       | 20.7            | 0.50                                       | 22.1            | 0.47                                       | 25.1            | 0.48             | -※1             | 0.53             | -※1             | 0.48             | 60.9            | 0.34             | -※1             | 0.37             | -※1             |
| Ss4NS   | 0.34                                       | -※1             | 0.36                                       | 23.9            | 0.37                                       | 40.9            | 0.37                                       | 31.3            | 0.39             | -※1             | 0.42             | -※1             | 0.40             | -※1             | 0.22             | -※1             | 0.23             | -※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             | -※1             | 0.48             | -※1             |
| Ss5NS   | 0.49                                       | 3.7             | 0.51                                       | 5.1             | 0.53                                       | 4.7             | 0.53                                       | 4.9             | 0.52             | -※1             | 0.61             | -※1             | 0.54             | 4.4             | 0.24             | -※1             | 0.25             | -※1             |
| Ss6EW   | 0.54                                       | 22.5            | 0.57                                       | 22.7            | 0.57                                       | 20.4            | 0.57                                       | 20.3            | 0.57             | -※1             | 0.62             | -※1             | 0.59             | 22.6            | 0.40             | -※1             | 0.44             | -※1             |
| Ss6NS   | 0.48                                       | 12.8            | 0.50                                       | 16.5            | 0.50                                       | 14.8            | 0.49                                       | 14.7            | 0.52             | -※1             | 0.57             | -※1             | 0.53             | 10.8            | 0.27             | -※1             | 0.27             | -※1             |
| Ss7EW   | 0.53                                       | 18.8            | 0.56                                       | 17.3            | 0.58                                       | 15.3            | 0.59                                       | 14.2            | 0.58             | -※1             | 0.67             | 38.7            | 0.62             | 15.1            | 0.48             | -※1             | 0.51             | -※1             |
| Ss7NS   | 0.45                                       | 5.0             | 0.48                                       | 6.8             | 0.50                                       | 5.3             | 0.50                                       | 5.5             | 0.51             | -※1             | 0.56             | -※1             | 0.52             | 7.1             | 0.29             | -※1             | 0.31             | -※1             |
| Ss8     |                                            |                 |                                            |                 |                                            |                 |                                            |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                 | 0.33             | -※1             | 0.35             | -※1             |

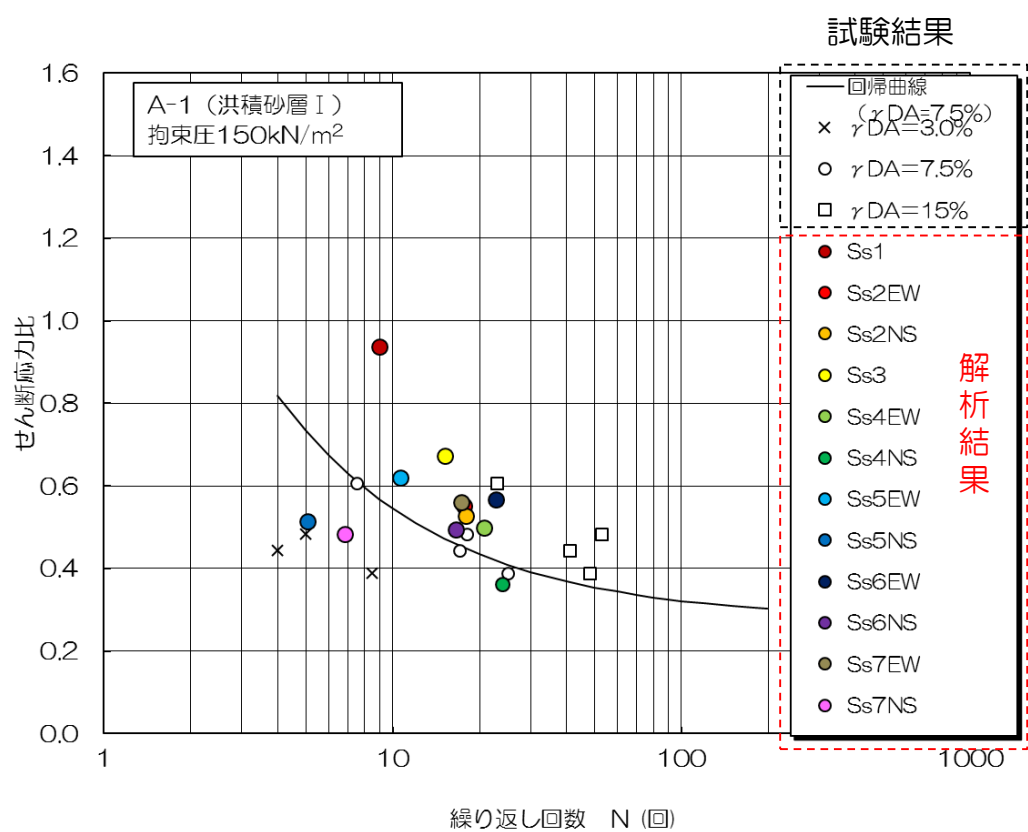
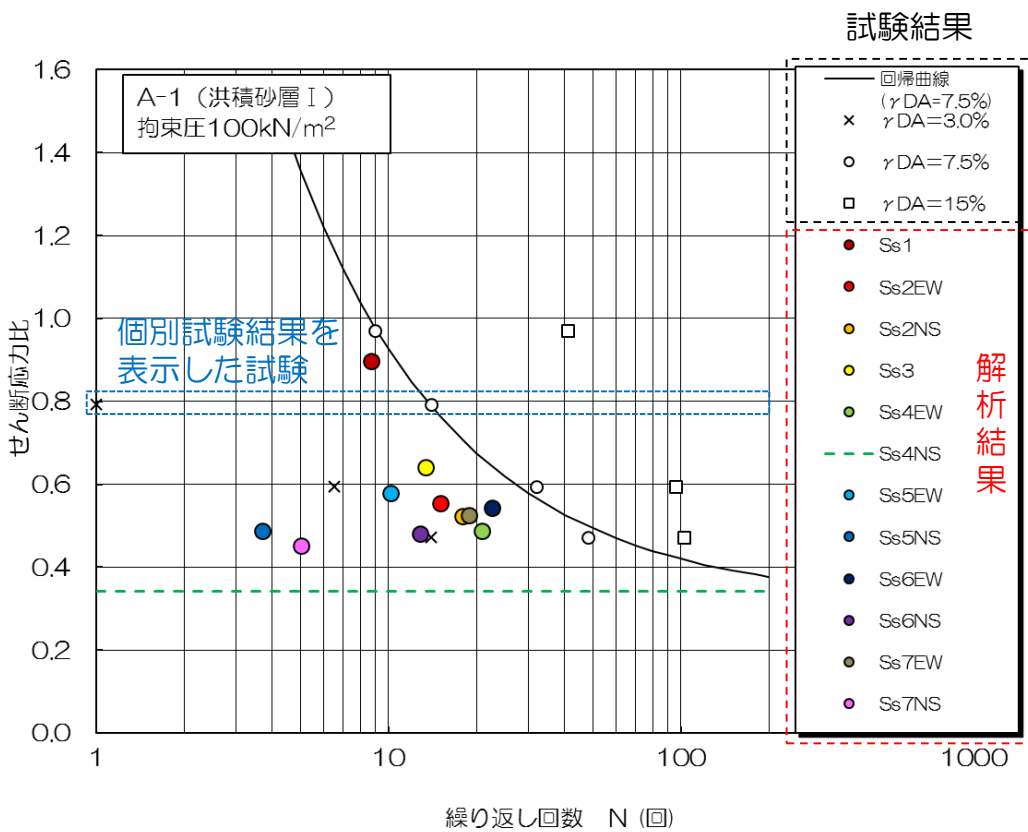
最大せん断応力比： $L_{max} = \tau_{max} / \sigma'_v$ ， $\tau_{max}$ ：最大せん断応力， $\sigma'_v$ ：有効土被り圧， $N_{eq}$ ：等価繰返し回数

- ※1 解析から得られる最大せん断応力比 ( $L_{max}$ ) が、試験結果から設定した回帰曲線の繰返し回数200回の値よりも小さいものについては、累積損傷度理論にも基づく繰返し回数の評価が出来ないため「-」と表記
- ※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。 $\tau_e \times 3 / (1 + 2K_0) = 0.65 \times 3 / 2 \times \tau_{max} \doteq \tau_{max}$ ， $\tau_e$ ：等価せん断応力

# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

【比較評価：A-1（洪積砂層Ⅰ）】

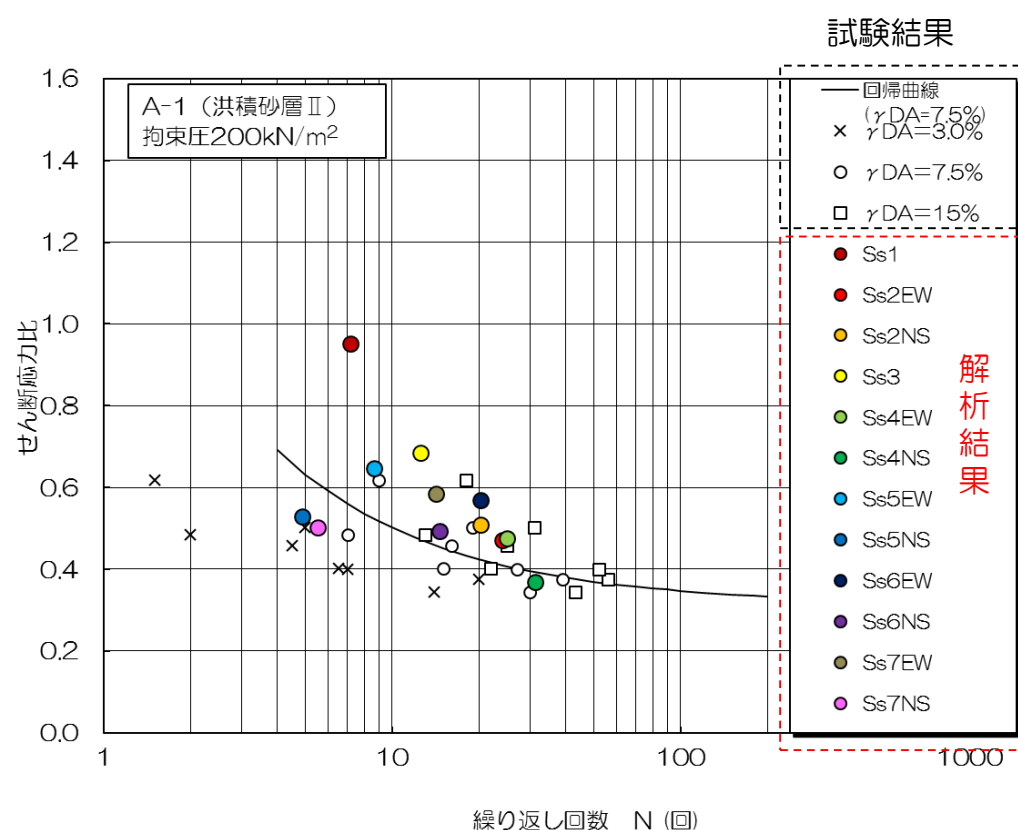
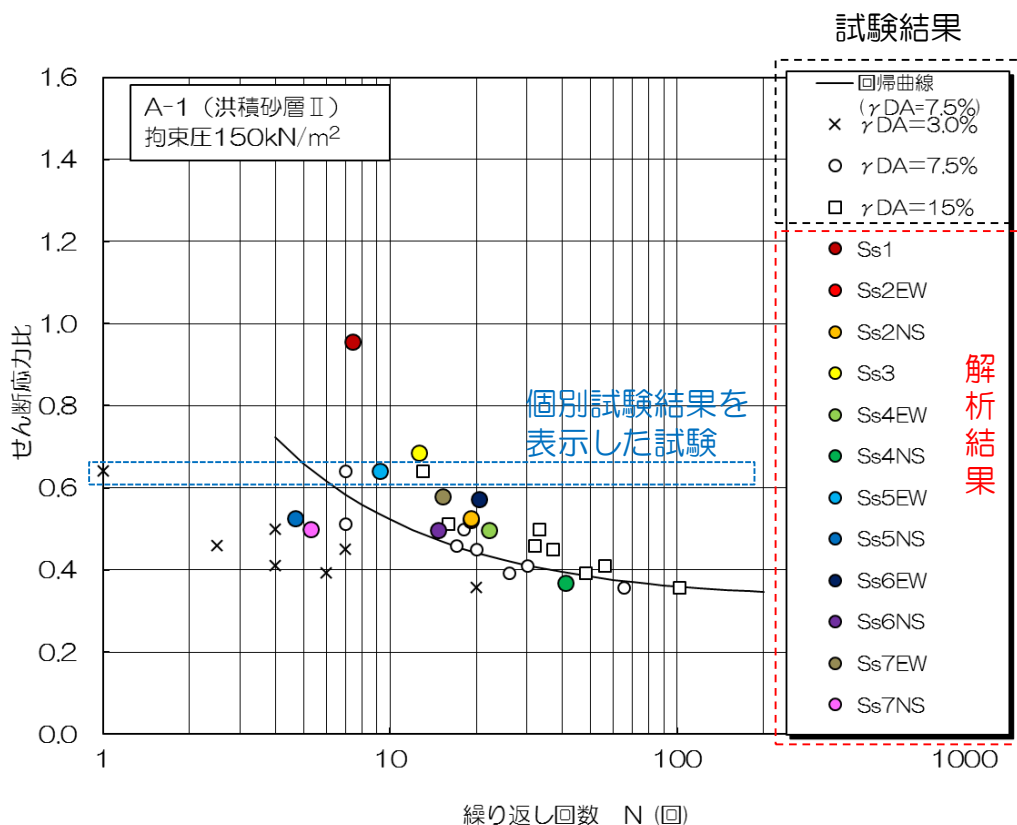
- 多くの解析結果において想定される地盤内のせん断応力比が，実施したせん断応力比の範囲内あるいはそれ以下となっており，実施した試験がSs相当以上の地盤状態を再現していると考えられる。
- Ss-1, Ss-3およびSs-5EWの高拘束圧部（150kN/m<sup>2</sup>）において想定される地盤のせん断応力比は，試験実施範囲以上のせん断応力比となる。ただし，せん断応力と繰返し回数の関係が試験結果を大きく逸脱するものではないと考えられる。また，試験結果はサイクリックモビリティを示し，強いせん断を受けることで有効応力が回復することから，試験結果を上回るせん断応力比が作用しても同様にサイクリックモビリティを示すと考えられる。



# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

【比較評価：A-1（洪積砂層Ⅱ）】

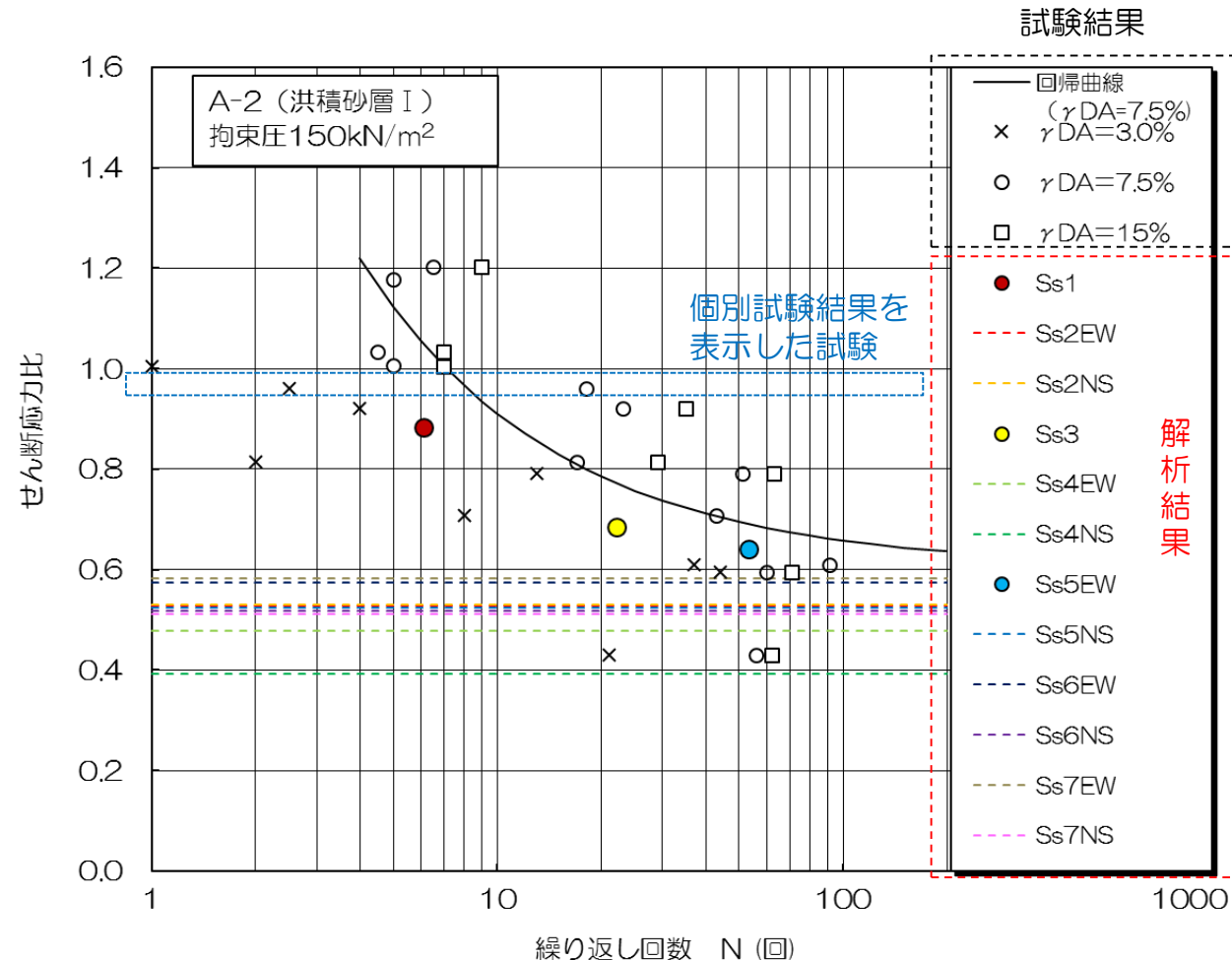
- 多くの解析結果において想定される地盤内のせん断応力比が，実施したせん断応力比の範囲内あるいはそれ以下となっており，実施した試験がSs相当以上の地盤状態を再現していると考えられる。
- Ss-1, Ss-3およびSs-5EWにおいて想定される地盤のせん断応力比は，試験実施範囲以上のせん断応力比となる。ただし，せん断応力と繰返し回数の関係が試験結果を大きく逸脱するものではないと考えられる。また，試験結果はサイクリックモビリティを示し，強いせん断を受けることで有効応力が回復することから，試験結果を上回るせん断応力が作用しても同様にサイクリックモビリティを示すと考えられる。



# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

【比較評価：A-2（洪積砂層Ⅰ）】

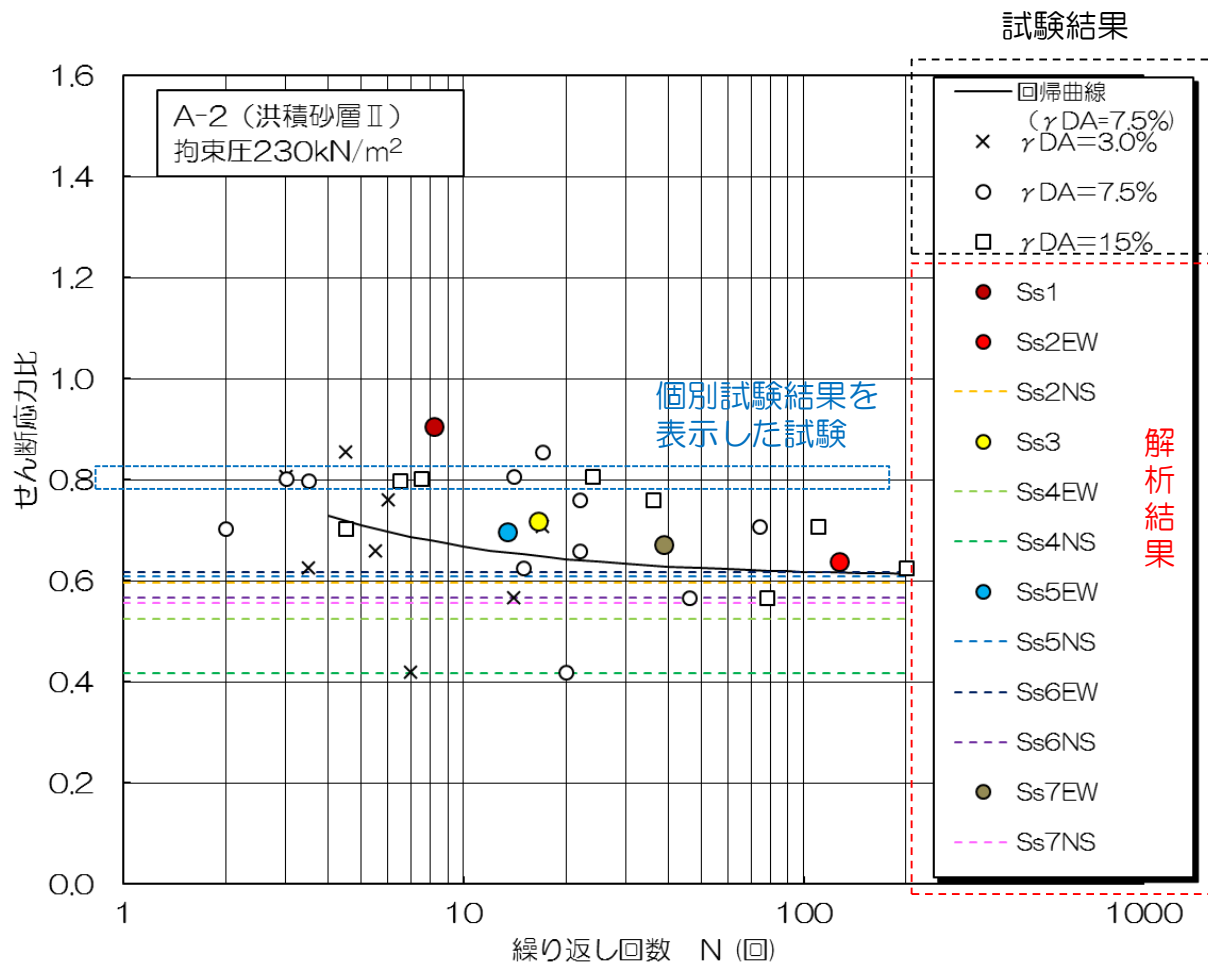
- 全ての解析結果において想定される地盤内のせん断応力比が、実施したせん断応力比の範囲内あるいはそれ以下となっており、実施した試験がSs相当以上の地盤状態を再現していると考えられる。



# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

【比較評価：A-2（洪積砂層Ⅱ）】

- 多くの解析結果において想定される地盤内のせん断応力比が，実施したせん断応力比の範囲内あるいはそれ以下となっており，実施した試験がSs相当以上の地盤状態を再現していると考えられる。
- Ss-1において想定される地盤のせん断応力比は，試験実施範囲以上のせん断応力比となる。ただし，せん断応力と繰返し回数との関係が試験結果を大きく逸脱するものではないと考えられる。また，試験結果はせん断破壊を示し，試験結果を上回るせん断応力が作用しても同様にせん断破壊を示すと考えられる。

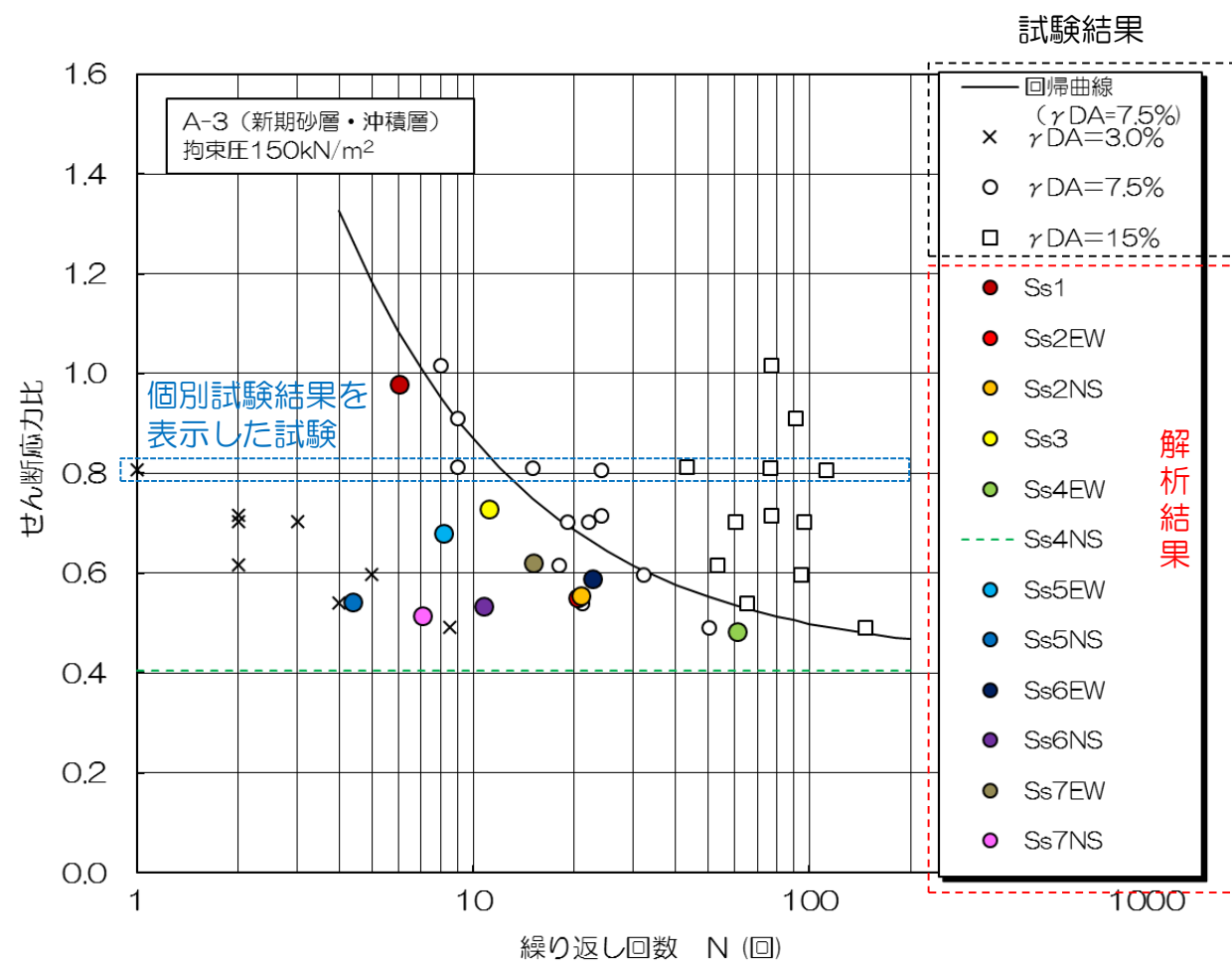




# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

【比較評価：A-3（新期砂層・沖積層）】

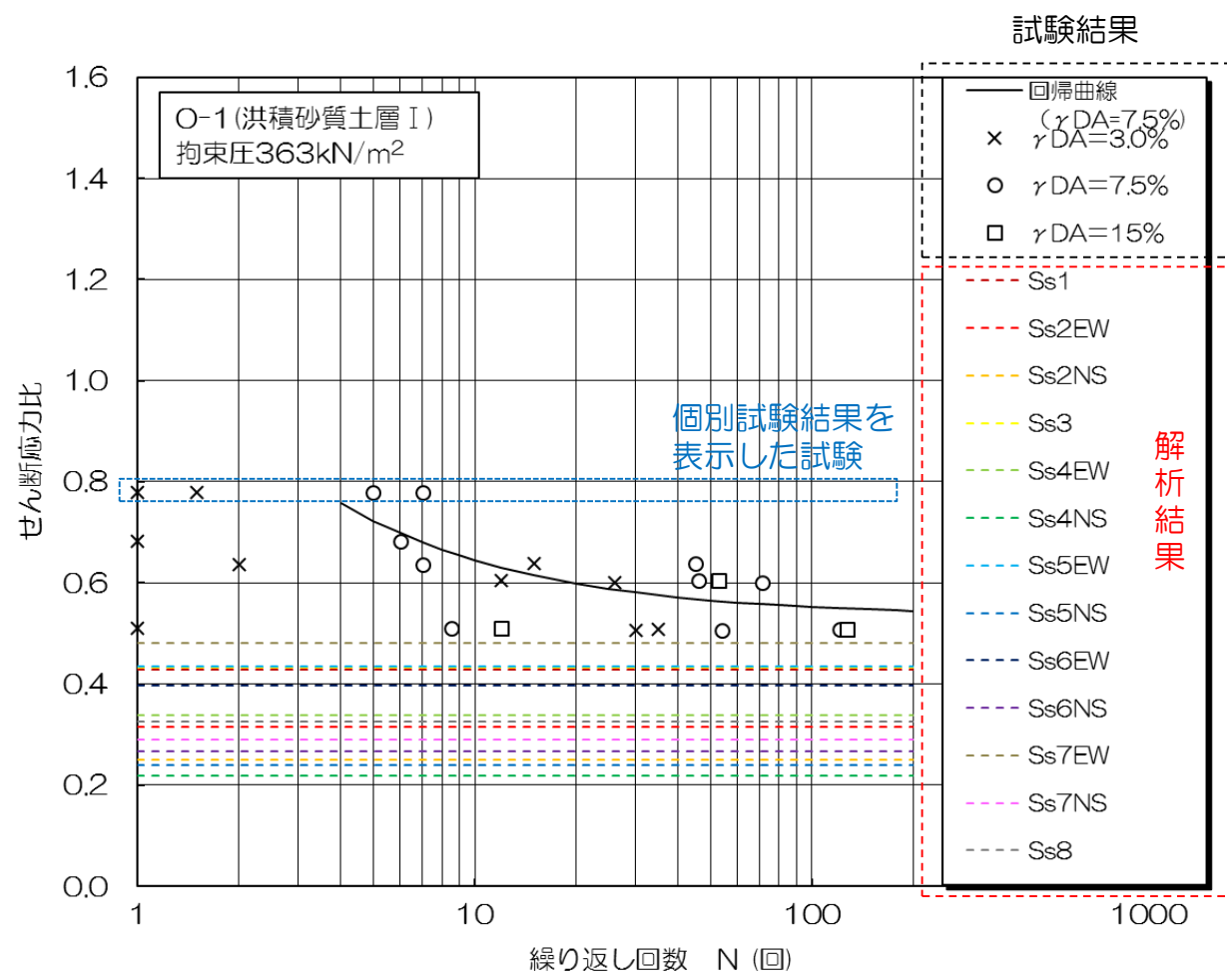
- 全ての解析結果において想定される地盤内のせん断応力比が、実施したせん断応力比の範囲内あるいはそれ以下となっており、実施した試験がSs相当以上の地盤状態を再現していると考えられる。



# 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

【比較評価：O-1（洪積砂質土層Ⅰ）】

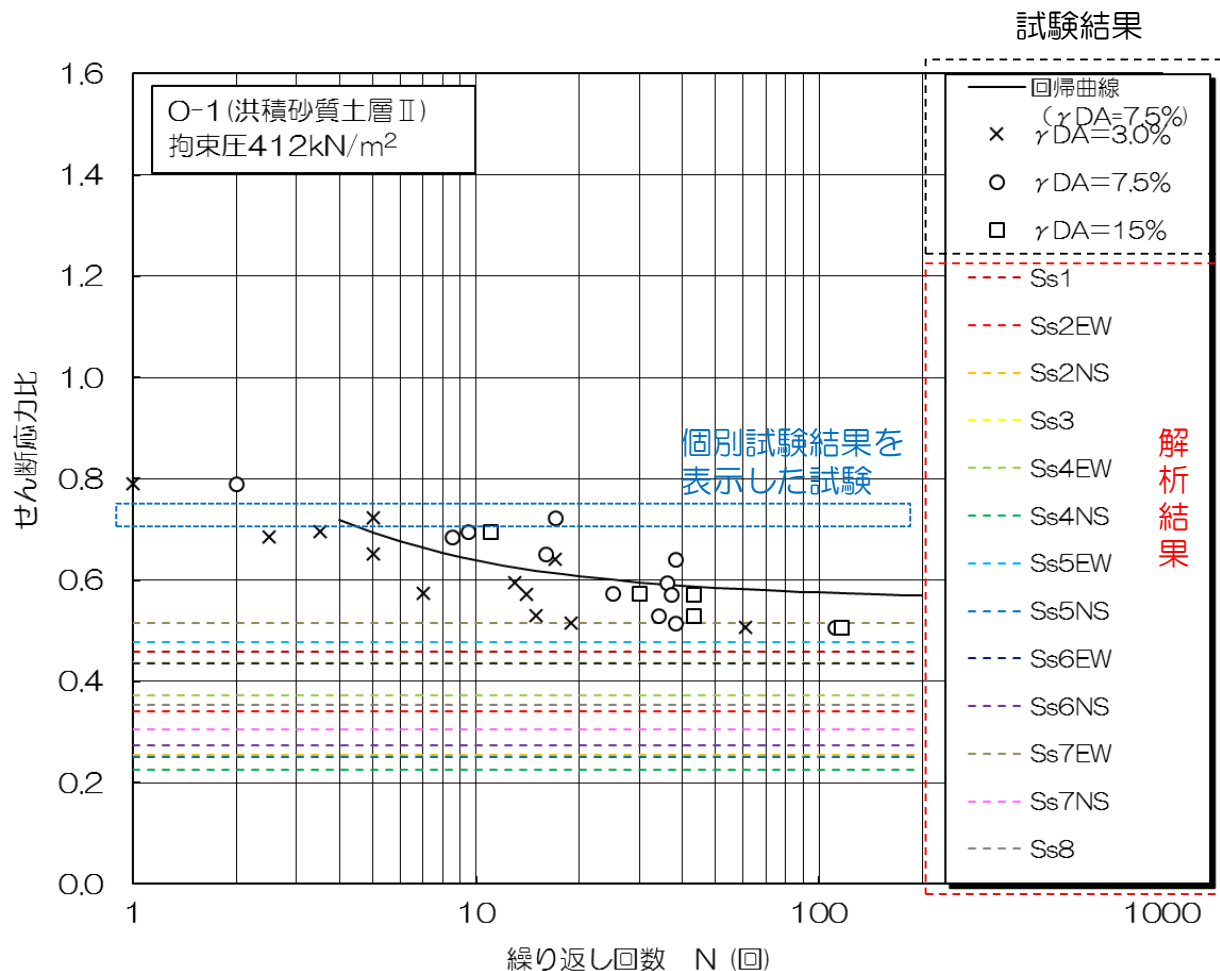
- 全ての解析結果において想定される地盤内のせん断応力比が、実施したせん断応力比の以下となっており、実施した試験がSs相当以上の地盤状態を再現していると考えられる。



## 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

【比較評価：O-1（洪積砂質土層Ⅱ）】

- 全ての解析結果において想定される地盤内のせん断応力比が、実施したせん断応力比の以下となっており、実施した試験がSs相当以上の地盤状態を再現していると考えられる。



## 6. 基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認

### 【まとめ】

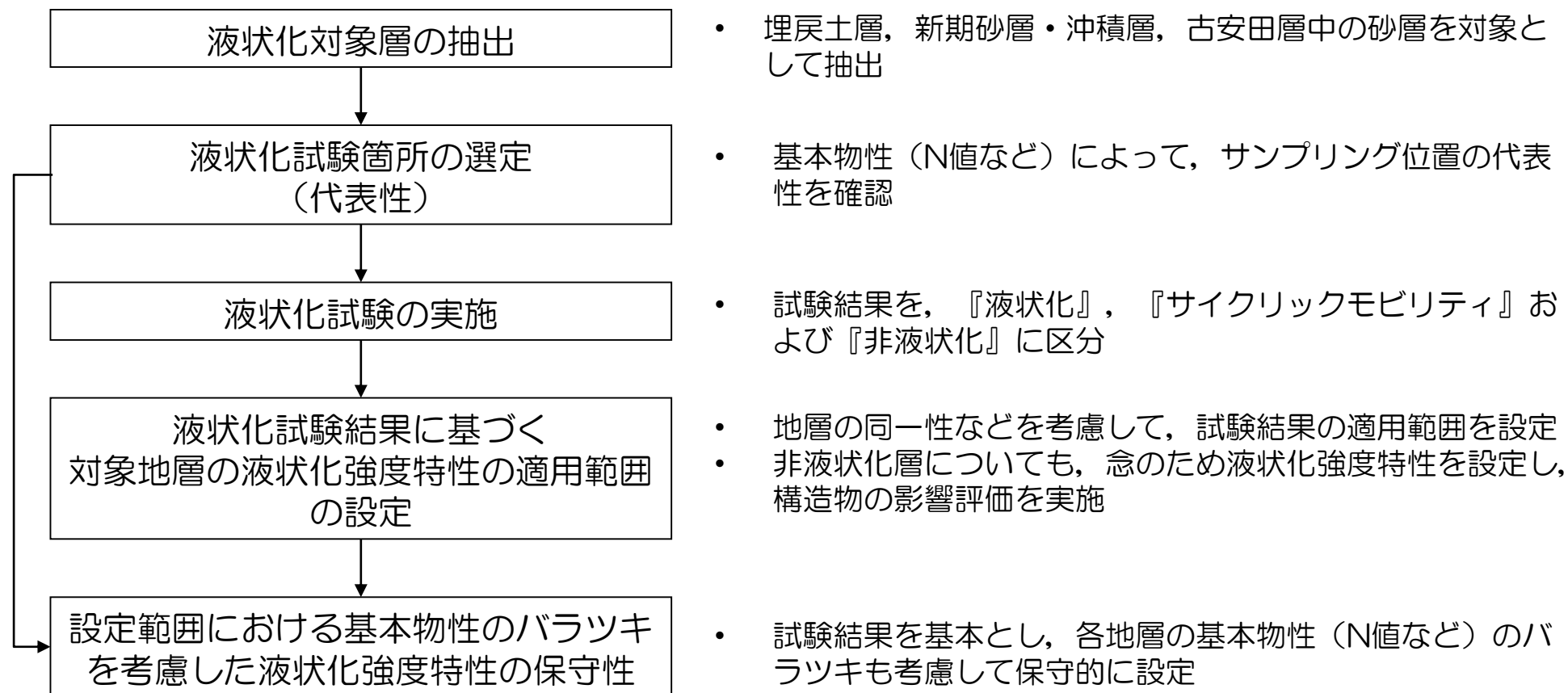
- 新期砂層・沖積層および古安田層中の砂層における中空ねじり試験の結果は、基準地震動Ss時のせん断応力比と等価繰返し回数と同等レベルである。
- よって、今回実施した試験は、当該地盤に基準地震動Ss相当が作用した状態を再現できている判断される。

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献  
(参考資料)
  - ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

## 7. 液状化強度特性の設定

### 【液状化強度特性の適用する範囲の基本的考え方】

- 地層の同一性などを考慮して各土層で実施した試験結果をそれぞれに適用し、各土層の液状化強度特性を設定して、構造物の影響評価を実施する。
- 試験結果が非液状化となる土層についても、念のため試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し、構造物の影響評価を実施することで、保守性を確保する。
- 各土層での液状化強度特性は、液状化試験を基本として、各土層で得られた基本物性のバラツキも考慮することで、保守的な設定とする。

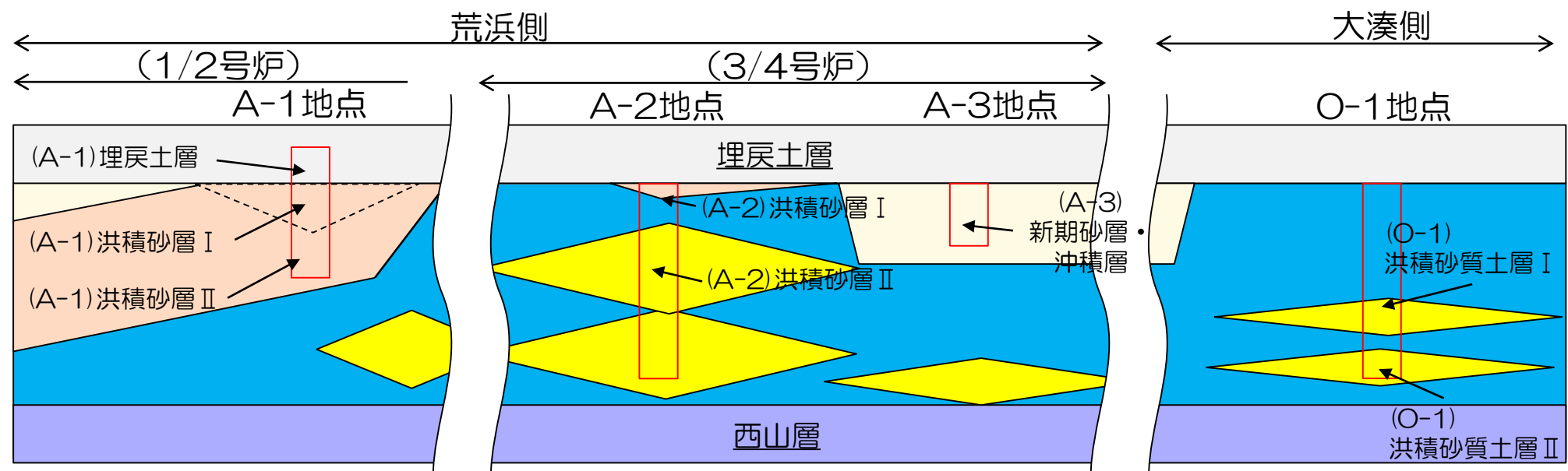




# 7. 液状化強度特性の設定

## 【液状化強度特性の適用する範囲】

- 埋戻土層については、A-1地点の埋戻土層の試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。
- 新期砂層・沖積層の荒浜側については、A-3地点の新期砂層・沖積層の試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。大湊側については、追加試験に基づいて液状化強度特性を設定する。



地質断面の概要と調査位置の概要

## 7. 液状化強度特性の設定

- 1/2号炉側の古安田層中の砂層のうち比較的新しいもの（A3s）については、A-1地点の洪積砂層ⅠおよびⅡの試験結果を適用する。
- 3/4号炉側の古安田層中の砂層のうち比較的新しいもの（A3s）については、試験結果が非液状化であるが、地層の同一性を考慮して、A-1地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。（※1）
- 古安田層中の砂層のうち比較的古いもの（A2s）については、試験結果が非液状化であるが、念のため液状化強度特性を設定した構造物影響評価を実施する。液状化強度特性は、荒浜側についてはA-2地点の洪積砂層Ⅱに、大湊側はO-1地点の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。（※2）
- 液状化評価の対象とならない地層については、既工認物性を適用して構造物影響評価を実施する。（※3）

液状化強度特性を設定する地層と設定の基となる試験結果の関係

| 今回対象構造物 |          | 1号炉側<br>防潮堤など   | 2号炉側<br>防潮堤など        | 3/4号炉側<br>防潮堤など  | 6/7号炉<br>取水路・軽油タンク基礎・GTG基礎<br>など |
|---------|----------|-----------------|----------------------|------------------|----------------------------------|
| 対象地層    | 埋戻土層     | A-1<br>埋戻土層     |                      |                  |                                  |
|         | 新期砂層・沖積層 | A-3<br>新期砂層・沖積層 |                      |                  | [追加調査]<br>新期砂層・沖積層               |
|         | 古安田層     | A3s             | N値<br>平均50以上         | A-1<br>洪積砂層Ⅰ     | (出現しない)                          |
|         |          |                 | N値<br>平均50以下         | A-1<br>洪積砂層Ⅱ(※1) |                                  |
|         |          | A2s             | A-2<br>洪積砂層Ⅱ<br>(※2) |                  | O-1<br>洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱ<br>(※2)         |
|         |          | 洪積粘性土層          | (非液状化層)(※3)          |                  |                                  |
|         | 西山層      | (非液状化層)(※3)     |                      |                  |                                  |

## 7. 液状化強度特性の設定

### 【液状化強度特性の保守性の考え方】

- 3章で説明した液状化試験の代表性の結果を踏まえて、液状化対象となる土層を2つに大別して、液状化強度特性の保守性を考慮する。

### 液状化強度特性の保守性の考え方

液状化試験箇所のN値が周辺調査箇所のN値  
の下限相当となっている土層  
(埋戻土層, 新期砂層・沖積層(荒浜側))

液状化試験箇所の基本物性が、周辺調査箇所  
の下限相当となっていることから、試験結果を  
各土層の代表値とすることが保守的と考えられ  
る。ただし、試験結果の下限に相当する液状化  
強度 $R_L$ を評価して、これを満足する液状化強度  
特性を設定することで、さらに保守的な設定と  
する。

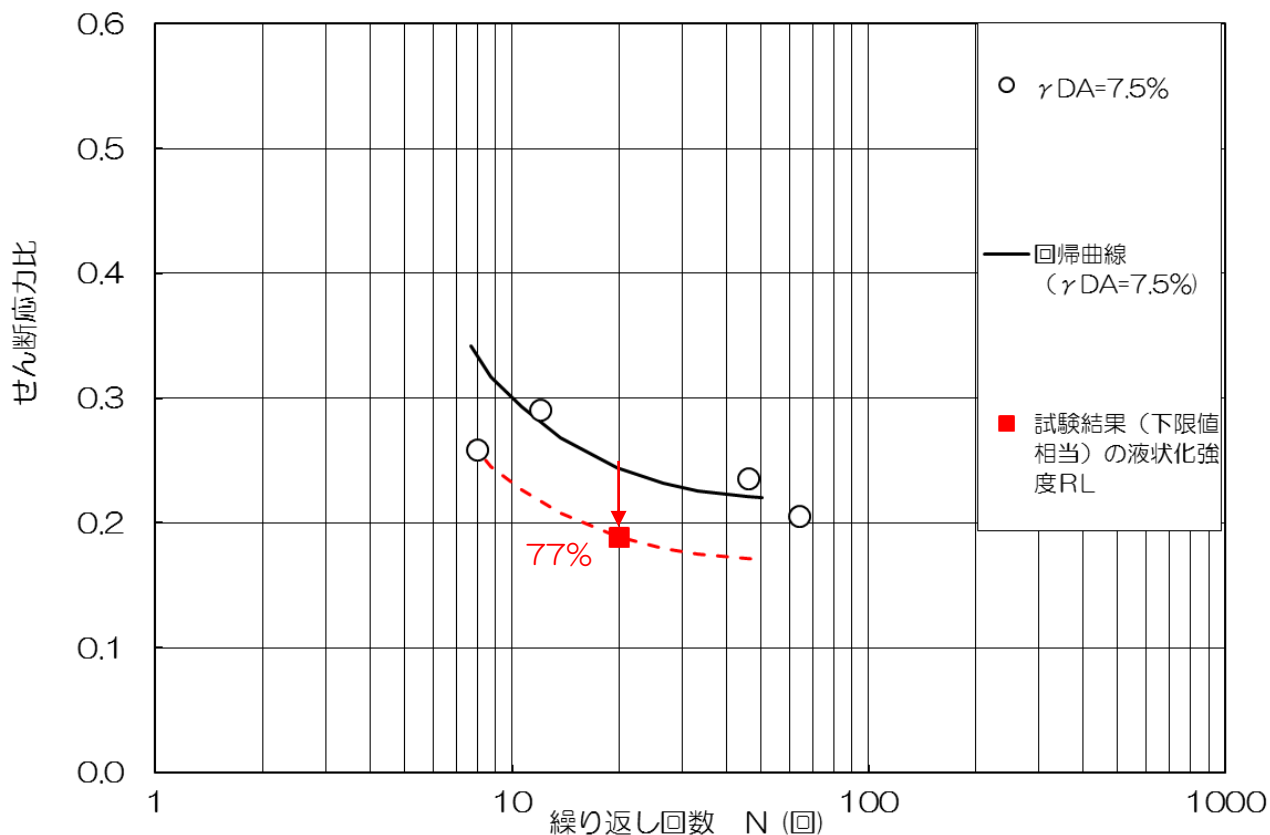
液状化試験箇所のN値が周辺調査箇所のN値  
と同程度となっている土層  
(古安田層中の砂層)

液状化試験箇所の基本物性が、周辺調査箇所  
と同程度になっているところから、試験結果を各  
土層の代表値とすることは妥当であると考えら  
れる。ただし、N値のバラツキを液状化試験の  
バラツキと仮定して液状化強度 $R_L$ を保守的に低  
減させ、これを満足する液状化強度特性を設定  
する。

## 7. 液状化強度特性の設定

### 【A-1 (埋戻土層)】

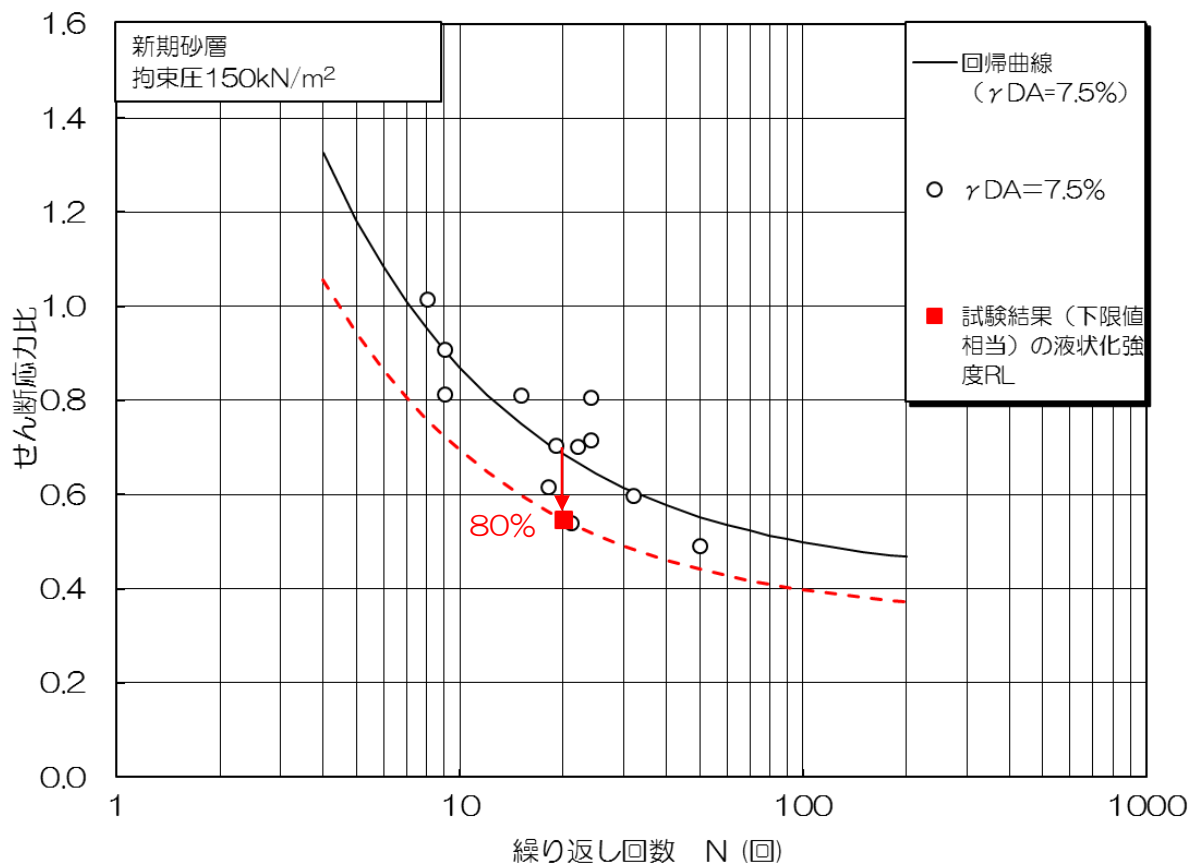
- 埋戻土層の液状化試験箇所のN値は、周辺箇所のN値の下限相当となっているため、液状化試験の下限値に相当する液状化強度 $R_L$ を評価し、保守的な液状化強度特性を設定することとした。
- 液状化試験の下限値に相当する液状化強度 $R_L$ は0.19となり、これを満足するように液状化強度特性を設定する。



## 7. 液状化強度特性の設定

### 【A-3（新期砂層・沖積層）】

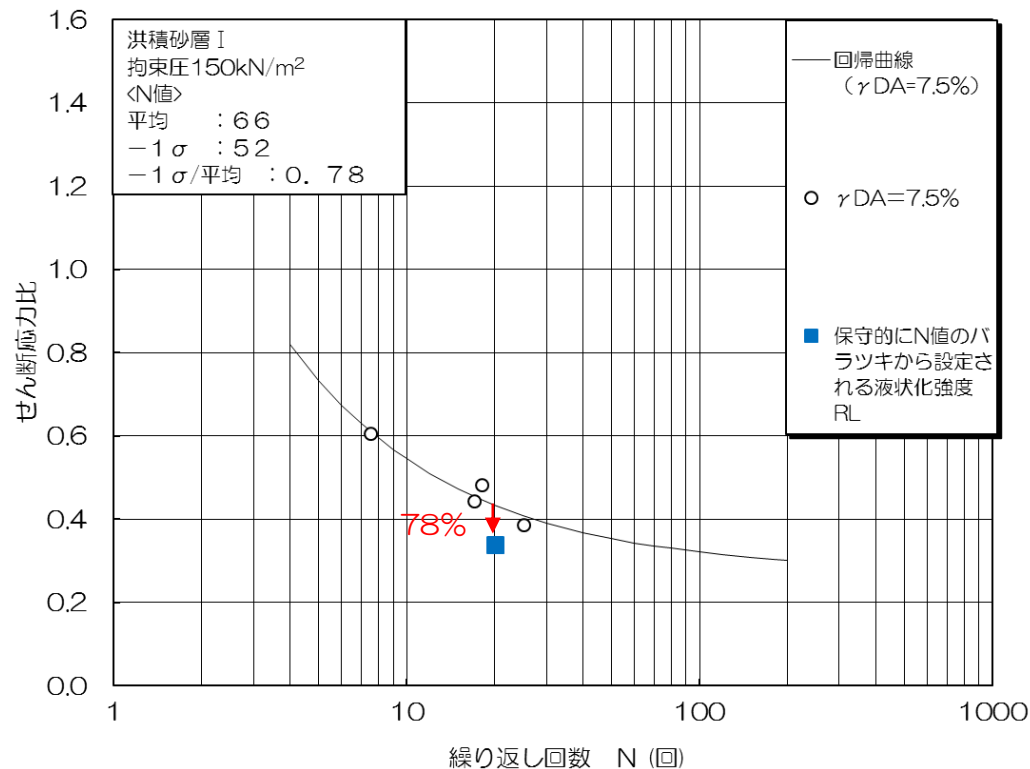
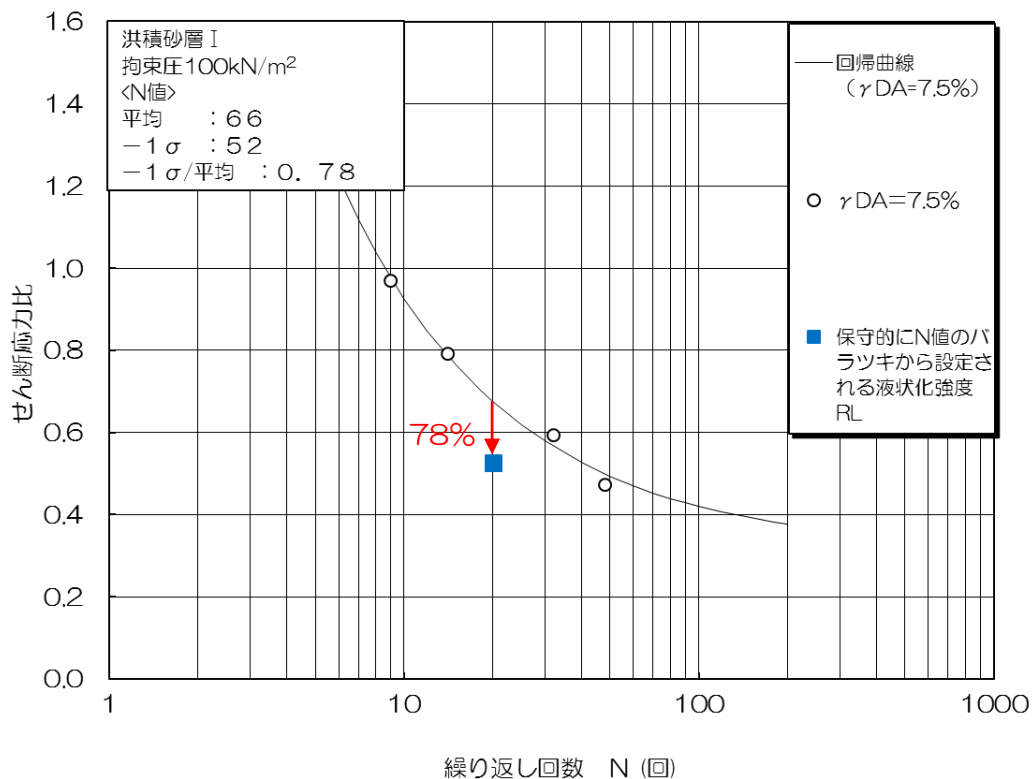
- A-3地点の新期砂層・沖積層の液状化試験箇所でのN値は、周辺箇所でのN値よりも小さいため、液状化試験の下限値に相当する液状化強度 $R_L$ を評価し、保守的な液状化強度特性を設定することとした。
- 液状化試験の下限値に相当する液状化強度 $R_L$ は0.55となり、これを満足するように液状化強度特性を設定する。



# 7. 液状化強度特性の設定

## 【A-1 (洪積砂層 I)】

- A-1地点の洪積砂層 I の液状化試験箇所のN値は、周辺箇所のN値と同程度であるため、液状化試験に基づく液状化強度 $R_L$ をN値のバラツキを考慮して低減することで、保守的な液状化強度特性を設定することとした。
- N値のバラツキを考慮して低減した液状化強度 $R_L$ は0.53 (拘束圧100kN/m<sup>2</sup>) および0.34 (拘束圧150kN/m<sup>2</sup>) となり、これを満足するように液状化強度特性を設定する。



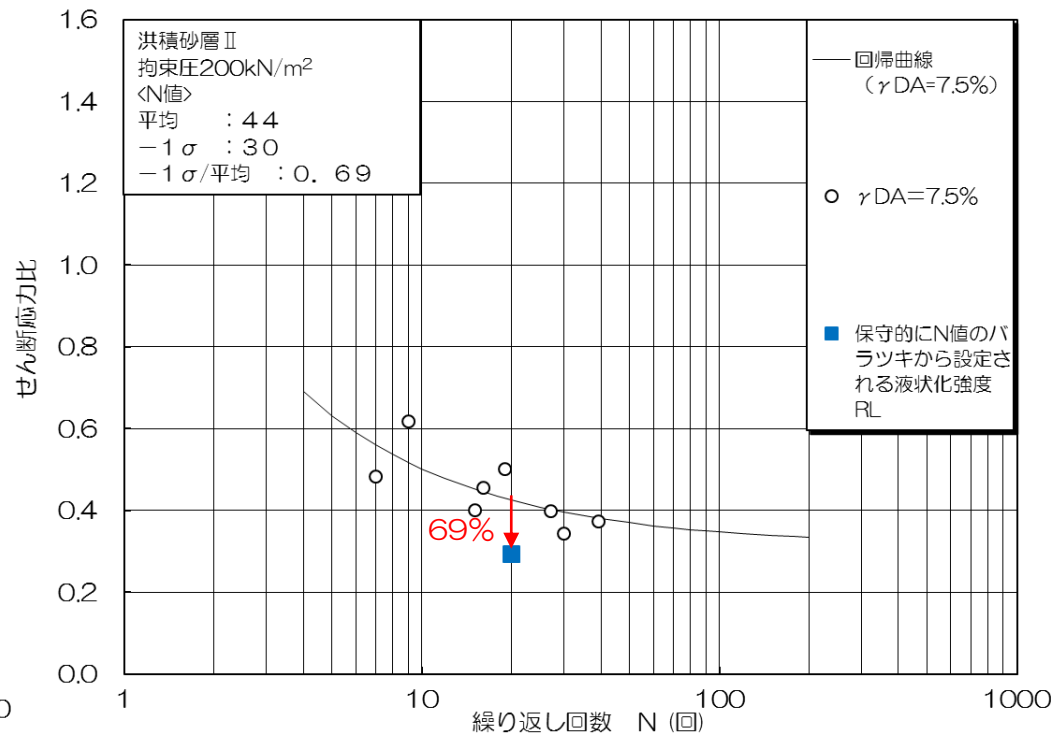
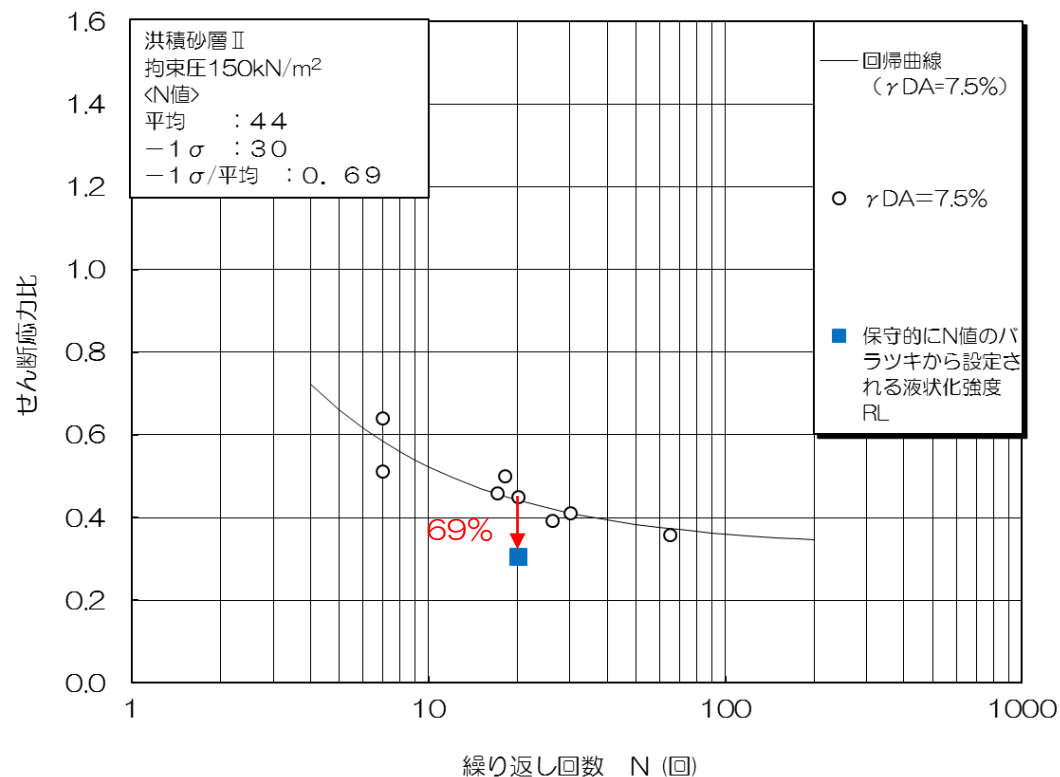
液状化強度 $R_L$ とは、繰り返し回数20回で軸ひずみ両振幅が5% (せん断ひずみ両振幅7.5%) に達するのに要するせん断応力振幅を初期有効拘束圧で除いた比である。



## 7. 液状化強度特性の設定

### 【A-1 (洪積砂層Ⅱ)】

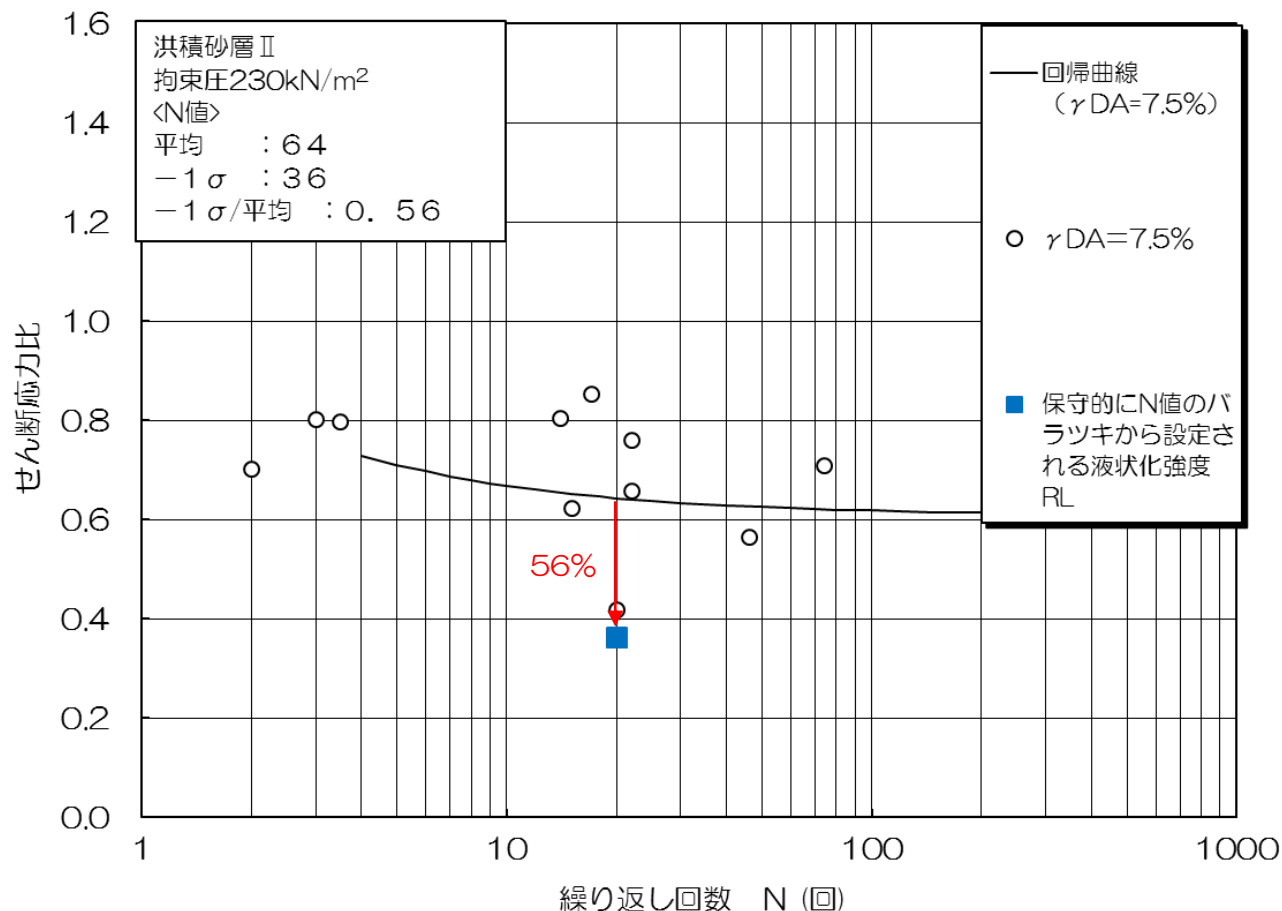
- A-1地点の洪積砂層Ⅱの液状化試験箇所のN値は、周辺箇所のN値と同程度であるため、液状化試験に基づく液状化強度 $R_L$ をN値のバラツキを考慮して低減することで、保守的な液状化強度特性を設定することとした。
- N値のバラツキを考慮して低減した液状化強度 $R_L$ は0.30 (拘束圧150kN/m<sup>2</sup>) および0.29 (拘束圧200kN/m<sup>2</sup>) となり、これを満足するように液状化強度特性を設定する。



## 7. 液状化強度特性の設定

### 【A-2 (洪積砂層Ⅱ)】

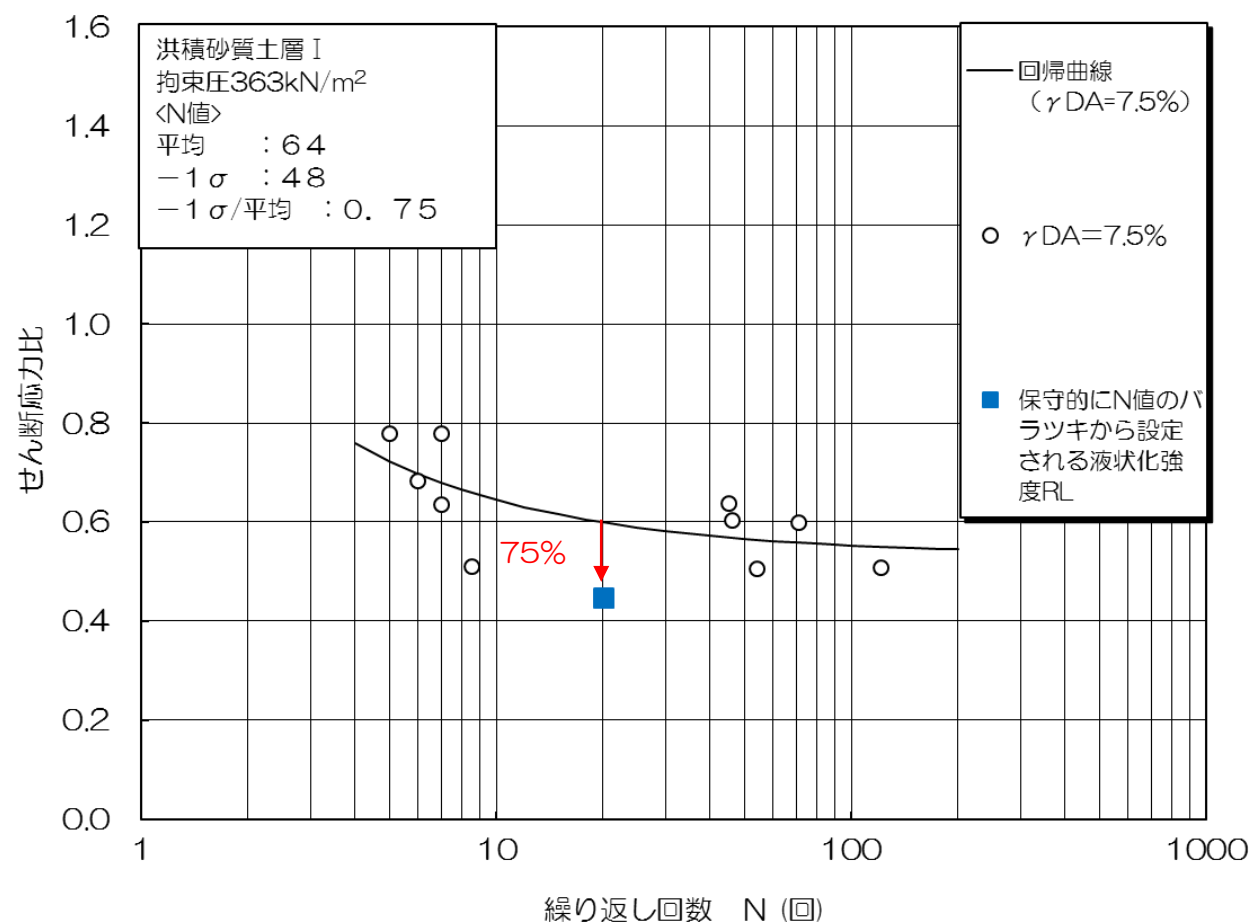
- A-2地点の洪積砂層Ⅱの液状化試験箇所のN値は、周辺箇所のN値と同程度であるため、液状化試験に基づく液状化強度 $R_L$ をN値のバラツキを考慮して低減することで、保守的な液状化強度特性を設定することとした。
- N値のバラツキを考慮して低減した液状化強度 $R_L$ は0.36となり、これを満足するように液状化強度特性を設定する。



# 7. 液状化強度特性の設定

## 【O-1 (洪積砂質土層 I)】

- O-1 地点の洪積砂質土層 I の液状化試験箇所でのN値は、周辺箇所のN値と同程度であるため、液状化試験に基づく液状化強度 $R_L$ をN値のバラツキを考慮して低減することで、保守的な液状化強度特性を設定することとした。
- N値のバラツキを考慮して低減した液状化強度 $R_L$ は0.45となり、これを満足するように液状化強度特性を設定する。

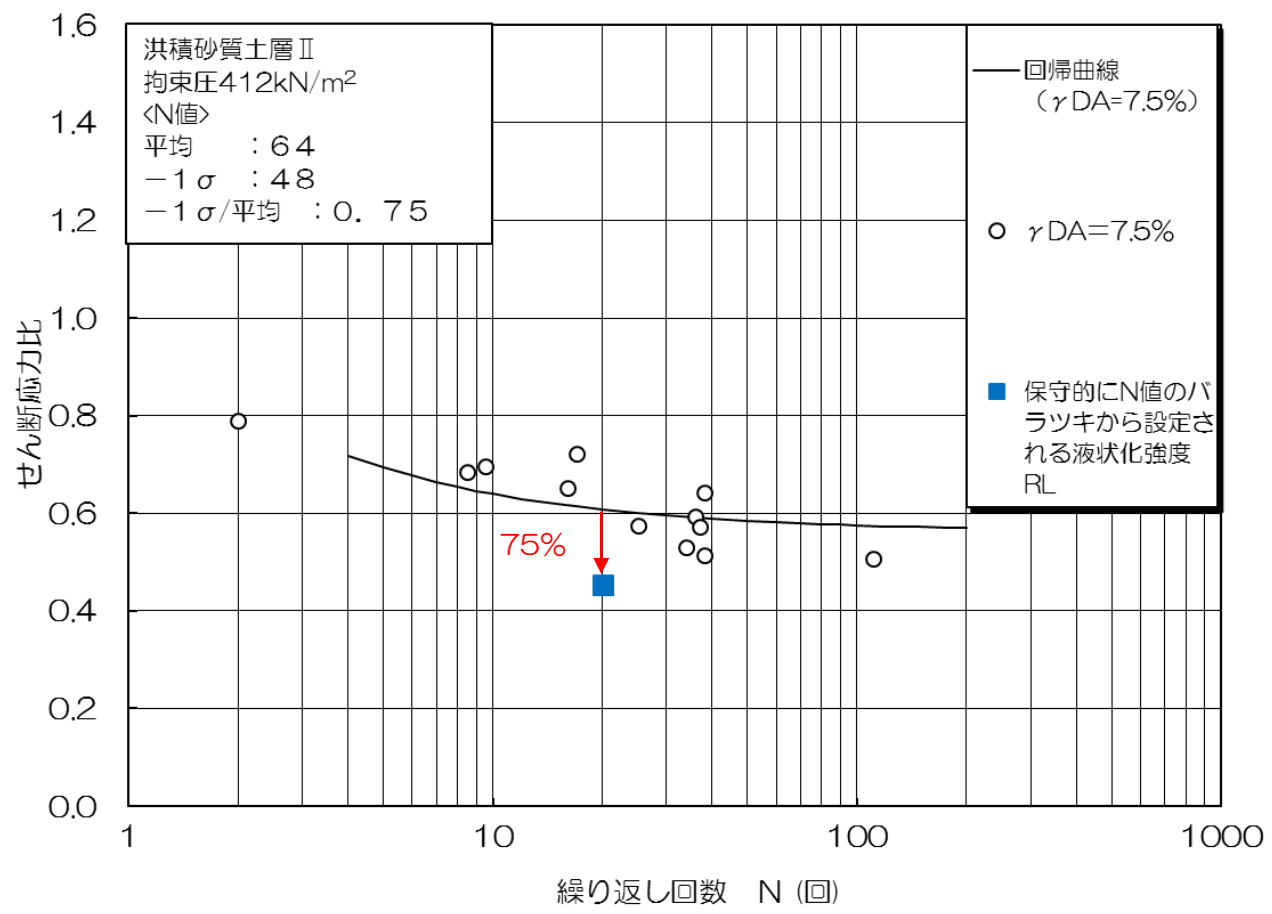


液状化強度 $R_L$ とは、繰り返し回数20回で軸ひずみ両振幅が5% (せん断ひずみ両振幅7.5%) に達するのに要するせん断応力振幅を初期有効拘束圧で除した比である。

# 7. 液状化強度特性の設定

## 【O-1 (洪積砂質土層Ⅱ)】

- O-1地点の洪積砂質土層Ⅱの液状化試験箇所のN値は、周辺箇所のN値と同程度であるため、液状化試験に基づく液状化強度 $R_L$ をN値のバラツキを考慮して低減することで、保守的な液状化強度特性を設定することとした。
- N値のバラツキを考慮して低減した液状化強度 $R_L$ は0.45となり、これを満足するように液状化強度特性を設定する。



液状化強度 $R_L$ とは、繰り返し回数20回で軸ひずみ両振幅が5%（せん断ひずみ両振幅7.5%）に達するのに要するせん断応力振幅を初期有効拘束圧で除した比である。

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献
  - (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

## 8. 液状化影響の検討方針

- 道路橋示方書において液状化評価の対象外となっている洪積層についても液状化強度試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施した。
- 液状化試験に基づいて、地震時の地盤の状態を『液状化』，『サイクリックモビリティ』および『非液状化』と判定した。
- それぞれの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し、構造物への影響評価を実施する。なお、試験結果が非液状化となる土層も、念のため液状化強度特性を設定して保守的な構造物評価を実施する。
- 設定した液状化強度特性については、試験結果を基本に設定するが、基本物性のバラツキも考慮して保守的な設定とする。

| 本検討の対象砂層                      |              |                           | 道路橋示方書<br>における液状化<br>評価の対象 | 当社評価            |                                               |                                     |
|-------------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|
| 地層名                           | 堆積年代         | 調査地点名<br>土層名              |                            | 液状化判定           | 液状化強度特性の<br>設定の考え方                            | 液状化強度特性の<br>保守性                     |
| 埋戻土層                          | —            | A-1<br>埋戻土層               | ○<br>対象                    | 液状化             | 試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。                        | 試験結果を基本として、基本物性のバラツキも考慮して保守的な設定とする。 |
| 新期砂層<br>・沖積層                  | 完新世<br>(沖積層) | A-3<br>新期砂層・沖積層           |                            | サイクリック<br>モビリティ |                                               |                                     |
| 古安田層<br>(古安田層<br>中の砂層が<br>対象) | 更新世<br>(洪積層) | 新しい                       | ×<br>対象外                   | 非液状化            | ※                                             |                                     |
|                               |              | 古い                        |                            |                 | 非液状化であると考えられるが、保守的な構造物評価を実施するため、液状化強度特性を設定する。 |                                     |
|                               |              | A-1<br>洪積砂層Ⅰ<br>洪積砂層Ⅱ     |                            |                 |                                               |                                     |
|                               |              | A-2<br>洪積砂層Ⅰ              |                            |                 |                                               |                                     |
|                               |              | A-2<br>洪積砂層Ⅱ              |                            |                 |                                               |                                     |
|                               |              | O-1<br>洪積砂質土層Ⅰ<br>洪積砂質土層Ⅱ |                            |                 |                                               |                                     |

※ A-2地点の洪積砂層Ⅰについては非液状化であると考えられるが、A-1地点の洪積砂層Ⅰ・Ⅱと同時代に堆積した地層であること、N値がA-1地点の洪積砂層Ⅱと同程度であることを踏まえ、A-1地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。



## 8. 液状化影響の検討方針

- 構造物の影響評価については、液状化に伴う影響を考慮するため、有効応力解析を実施する。有効応力解析においては、解析コード「FLIP」を用いる。
- 液状化試験結果に基づいて保守的に設定した液状化強度を満足するように、FLIPの液状化パラメータを設定し、構造物の影響評価を実施する。
- 解析コード「FLIP」については、lai et.al(1992) およびlai et.al(1995)において、液状化およびサイクリックモビリティを示す地層についての適用性が検証されている。
- lai et.al(1992)においては、サイクリックモビリティが観察された砂の繰返しねじり試験結果に対して、解析コード「FLIP」を用いた解析を実施し、解析結果が室内試験結果と良い対応を示したと報告している。
- lai et.al(1995)においては、解析コード「FLIP」を用いて、1993年釧路沖地震の再現解析を実施している。1993年釧路沖地震の観測波はサイクリックモビリティの影響を示すスパイク状の地震波となっており、解析コード「FLIP」において地震観測値の密な地盤の液状化パラメータを設定することで、サイクリックモビリティの影響を示す観測値を再現することができたと報告している。
- 影響評価の結果によっては、必要に応じて追加対策を実施する。

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所の代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献
  - (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

## 9. 1 代表構造物の抽出

### 【液状化影響を検討する代表構造物】

- 設置許可段階における有効応力解析の見直しについては、各構造物の基礎形式および地層構成に着目し、代表構造物について解析結果を示す。
- 直接基礎構造物の代表としては、①地中埋設構造物は液状化に伴う土圧変動の影響が大きいこと、②支持地盤が古安田層であることから、「取水路・スクリーン室」を抽出し、構造物周辺地盤の液状化の影響を評価する。
- 杭基礎構造の代表としては、①杭長が長いこと、②大湊側よりも荒浜側の方が基準地震動が大きいことから、「荒浜側防潮堤」を抽出し、構造物周辺地盤の液状化およびサイクリックモビリティの影響を評価する。

| 設備分類      | 設備名称         | 基礎形式（杭長）     | 構造概要       | 支持地盤               | 設置場所 |    |
|-----------|--------------|--------------|------------|--------------------|------|----|
| 設計基準対象施設  | 屋外重要土木構造物    | 取水路・スクリーン室   | 直接基礎       | 鉄筋コンクリート構造         | 古安田層 | 大湊 |
|           |              | 補機冷却用海水取水路※1 | 直接基礎       | 鉄筋コンクリート構造         | 西山層  | 大湊 |
|           |              | 軽油タンク基礎      | 杭基礎（約20m）  | 鉄筋コンクリート構造         | 西山層  | 大湊 |
|           |              | 燃料移送系配管ダクト   | 杭基礎（約25m）  | 鉄筋コンクリート構造         | 西山層  | 大湊 |
|           | 津波防護施設       | 荒浜側防潮堤       | 杭基礎（約60m）  | 鉄筋コンクリート構造         | 西山層  | 荒浜 |
|           | 浸水防止設備       | 止水蓋，止水壁等     | 直接基礎       | 鉄筋コンクリート構造，<br>鋼構造 | 古安田層 | 荒浜 |
| 重大事故等対処施設 | 常設代替交流電源設備基礎 | 杭基礎（約30m）    | 鉄筋コンクリート構造 | 西山層                | 大湊   |    |

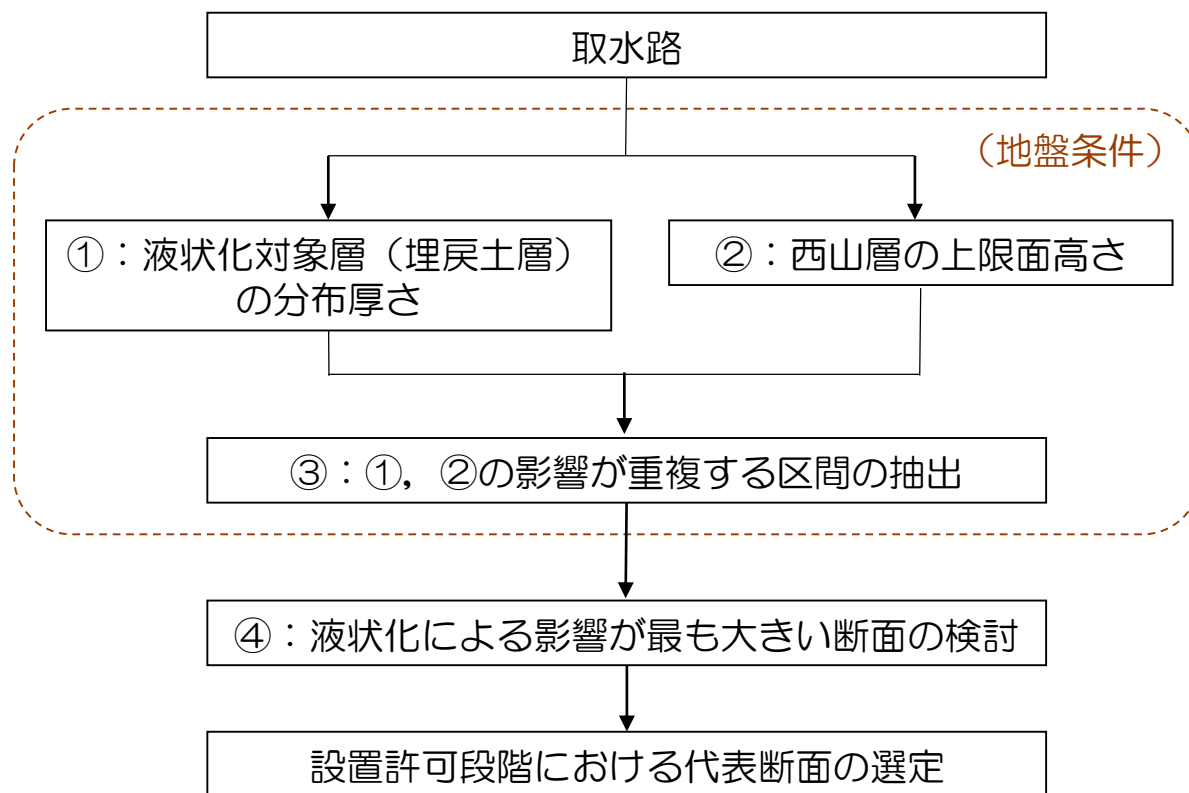
※1：マンメイドロックを介して西山層に支持

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献  
(参考資料)
  - ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

## 9. 2 取水路

### 【影響評価断面の選定】

- 「取水路・スクリーン室」について液状化による設備への影響の見通しとして、以下の観点およびフローに基づき、液状化現象の影響が最も大きいと考えられる断面を選定し、構造物の評価を実施する。
- 地盤条件の観点から、①液状化対象層（埋戻土層）の分布厚さ、西山層より浅部の地盤での地震動増幅特性を考慮し②西山層の上限面の高さに着目し、代表断面を選定する。

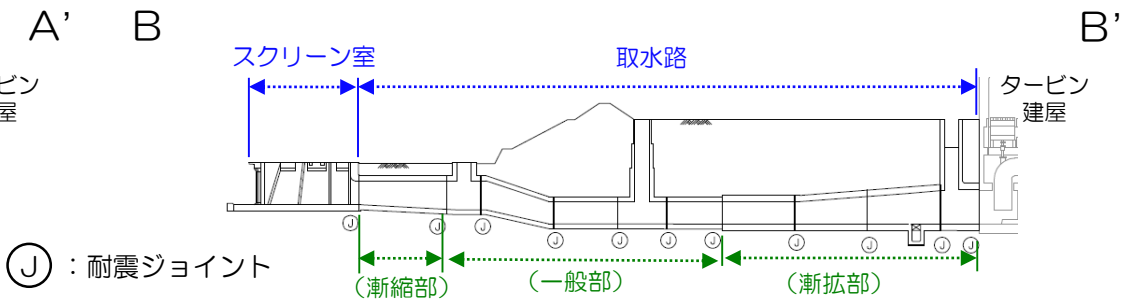
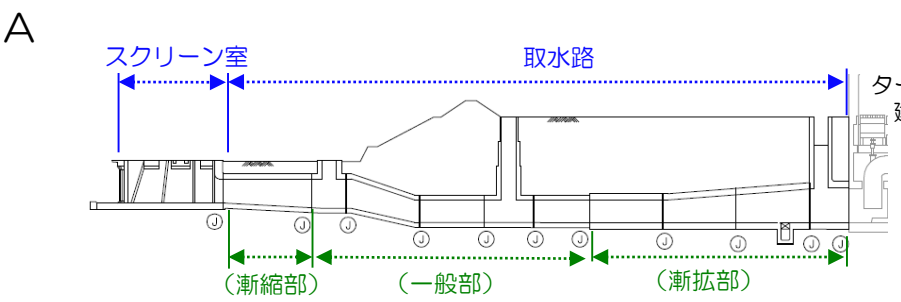
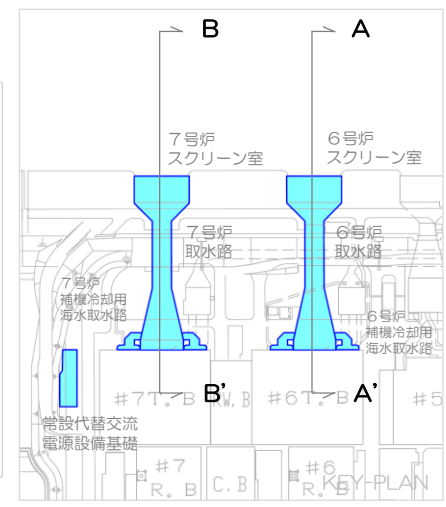


代表断面の選定フロー（取水路）

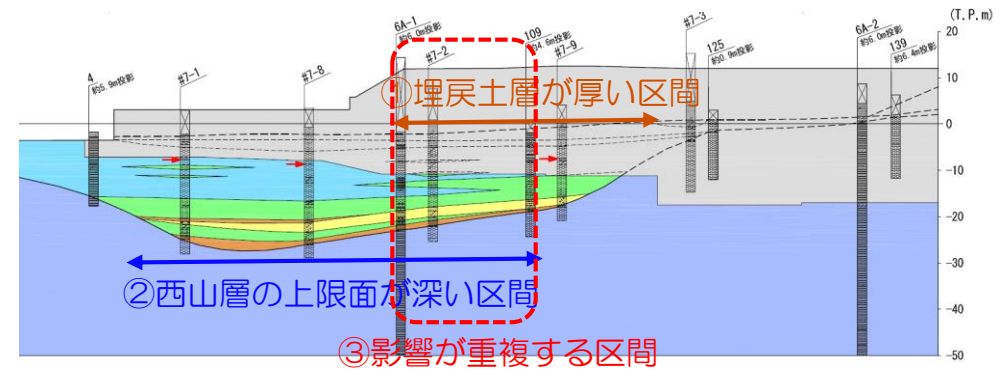
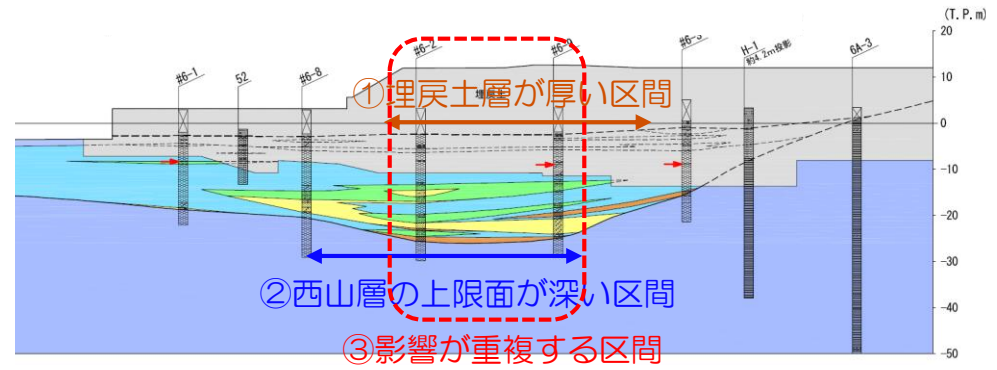
## 9. 2 取水路

【影響評価断面の選定】 p128：代表断面の選定フロー（取水路）①～③

- 対象構造物：6/7号炉取水路・スクリーン室
- ①：液状化対象層の分布厚さは、埋戻土層の分布厚さであり、6/7号炉ともに取水路（一般部）から取水路（漸拡部）にかけて厚くなっている。
- ②：西山層の上限面高さは、6号炉では取水路（一般部）において、7号炉では取水路（漸縮部）から取水路（一般部）にかけて、深くなっている。
- ③：両者の影響が重複する区間として、6/7号炉ともに取水路のうち一般部の区間が抽出される。



⑪：耐震ジョイント



TEPCO 6号炉取水路縦断図（A-A' 断面）

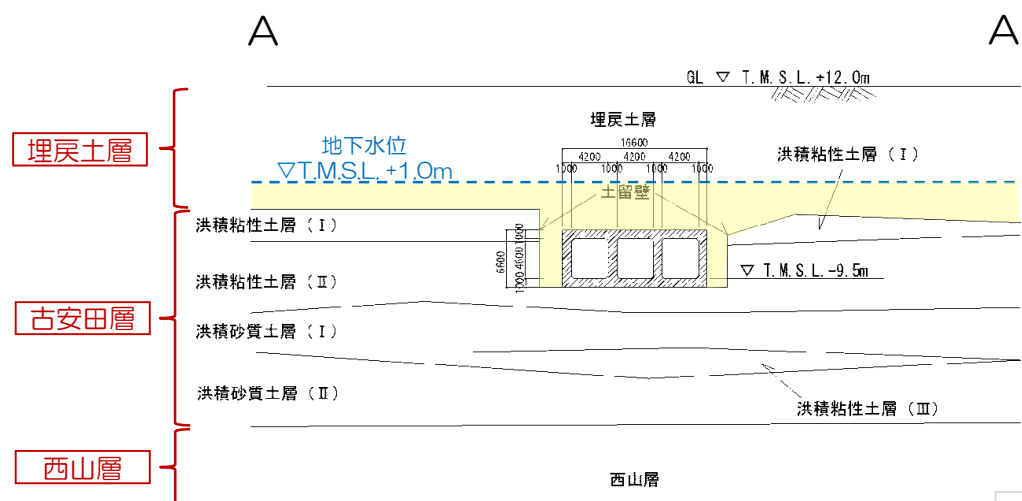
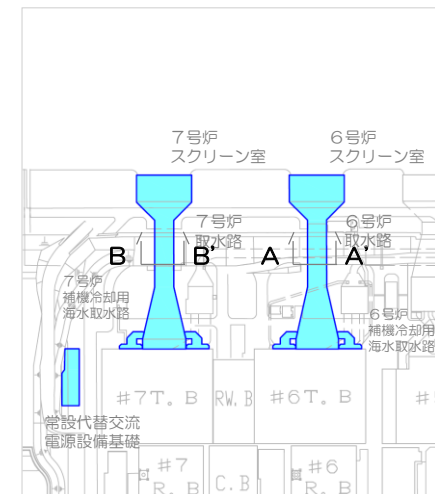
7号炉取水路縦断図（B-B' 断面）



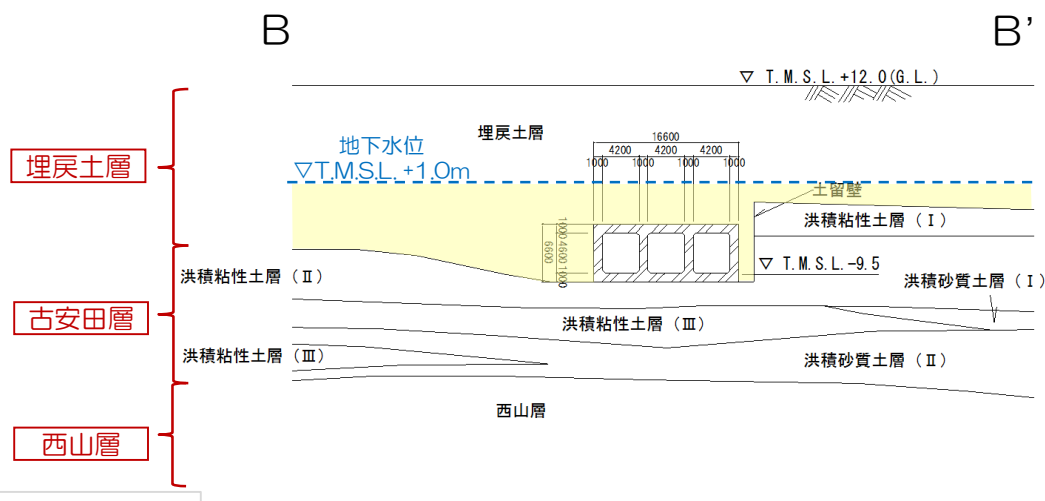
## 9. 2 取水路

【影響評価断面の選定】 p128：代表断面の選定フロー（取水路）④

- 6号炉の取水路（一般部）断面は、掘り込まれた古安田層中に設置されている。
- 7号炉の取水路（一般部）断面は、古安田層を掘り込んでいるものの、南側の側方は埋戻土層となっている。
- ④：構造物側方に分布する古安田層の変形抑制効果を考慮すると、取水路（一般部）は、6号炉よりも7号炉の方が、液状化現象が構造物の耐震性に与える影響が大きいと考えられる。
- 以上のことから、代表断面として、7号炉取水路（一般部）を選定し、2次元有効応力解析（FLIP）による評価を実施する。



6号炉取水路（一般部）断面図（A-A' 断面）



7号炉取水路（一般部）断面図（B-B' 断面）

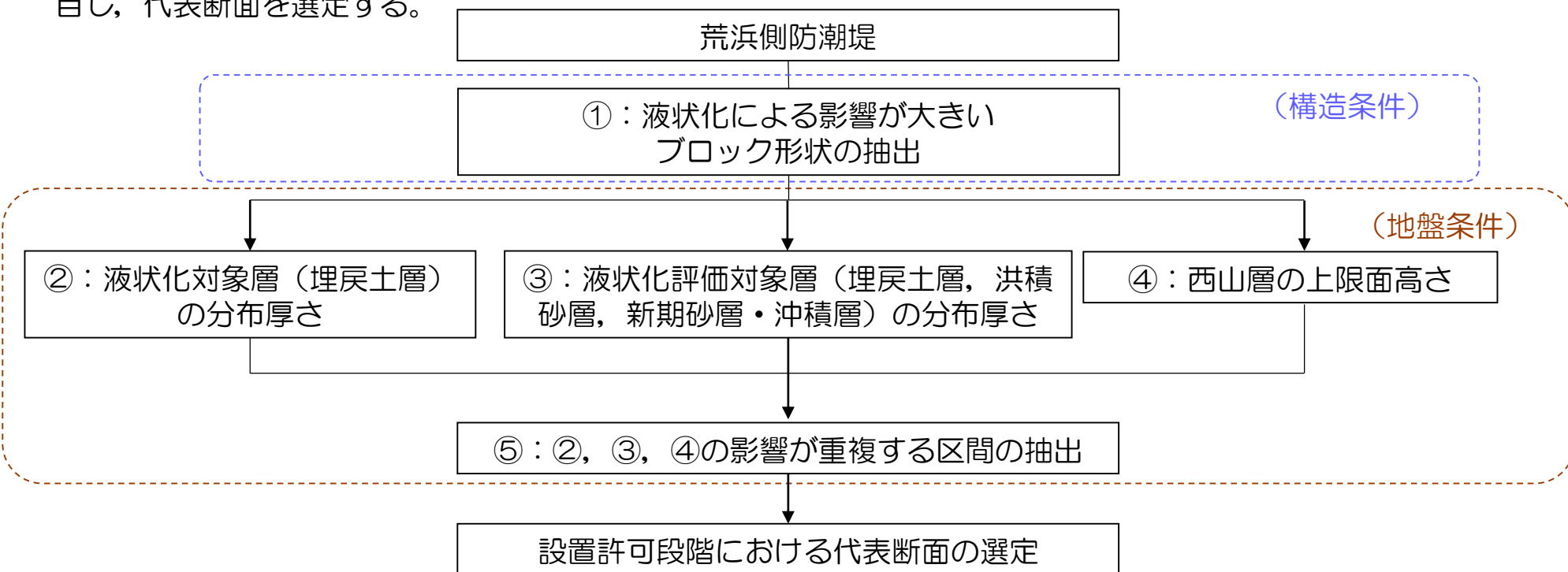
(凡例)  
 液状化層

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献  
(参考資料)
  - ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

## 9. 3 荒浜側防潮堤

### 【影響評価断面の選定】

- 「荒浜側防潮堤」について液状化による設備への影響の見通しとして、以下の観点およびフローに基づき、液状化現象の影響が最も大きいと考えられる断面を選定し、構造物の評価を実施する。
- 構造条件の観点から、荒浜側防潮堤の鉄筋コンクリート擁壁部は長手方向にブロック分割されていることを踏まえ、①液状化による影響が大きいブロック形状を抽出する。
- 地盤条件の観点から、②：液状化対象層（埋戻土層）の分布厚さ、③：液状化評価対象層（埋戻土層、洪積砂層、新期砂層・沖積層）の分布厚さおよび西山層より浅部の地盤での地震動増幅特性を考慮した④：西山層の上限面の高さに着目し、代表断面を選定する。

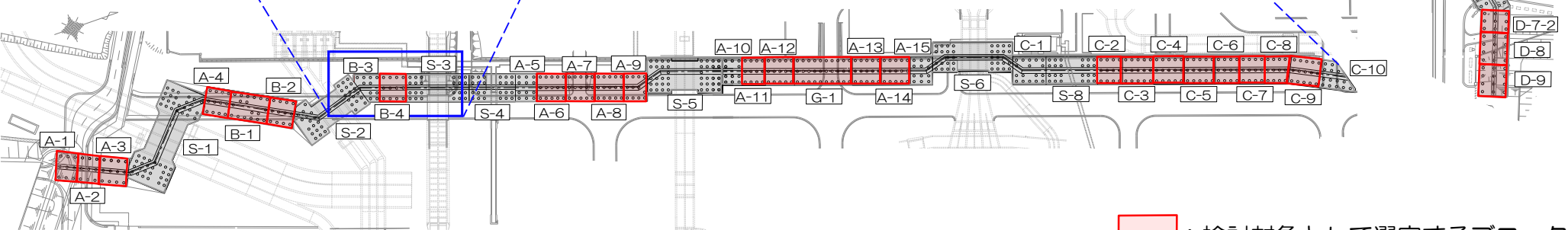
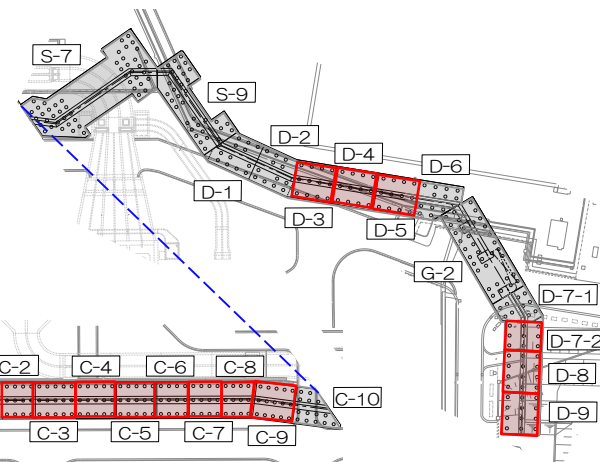
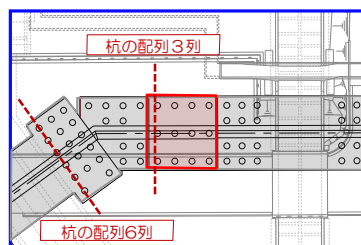
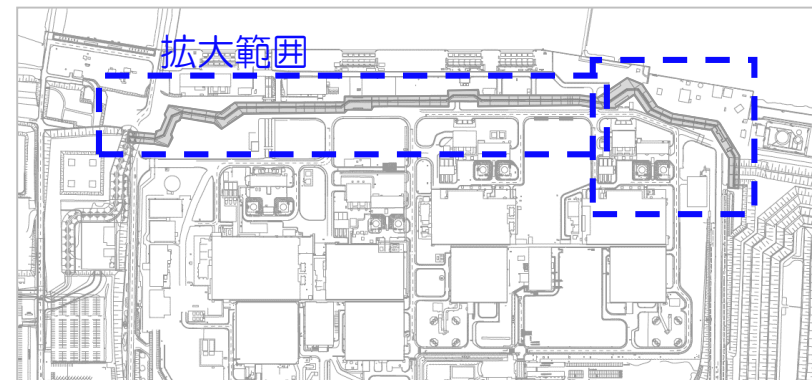


代表断面の選定フロー（荒浜側防潮堤）

## 9. 3 荒浜側防潮堤

【影響評価断面の選定】 p132：代表断面の選定フロー（荒浜側防潮堤）①

- 荒浜側防潮堤の鉄筋コンクリート擁壁部は長手方向にブロック分割されている。
- 防潮堤の短軸方向の杭の配列に着目すると、ブロック毎に差異があり、3～6列の配置となっている。
- ①：短軸方向断面における杭に対する液状化による土圧の影響を考慮すると、杭の配列が3列と最も少ないブロックが、構造物の耐震性に与える影響が大きいと考えられる。
- 以上のことから、短軸方向断面における杭の配列が3列と最も少ないブロックから代表断面を選定する。



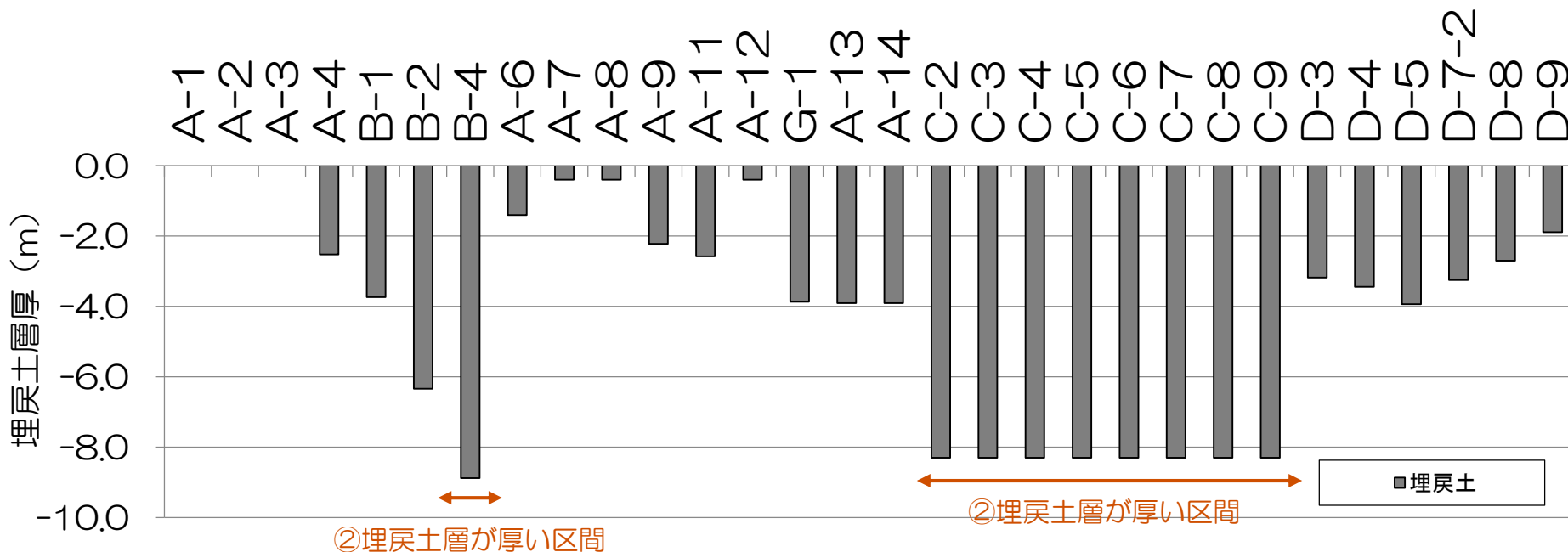
検討対象として選定するブロック

：検討対象として選定するブロック

## 9. 3 荒浜側防潮堤

【影響評価断面の選定】 p132：代表断面の選定フロー（荒浜側防潮堤）②

- 対象構造物：荒浜側防潮堤
- ②：液状化対象層である埋戻土層は、1号炉海側および3、4号炉海側において、その分布が厚くなっている。

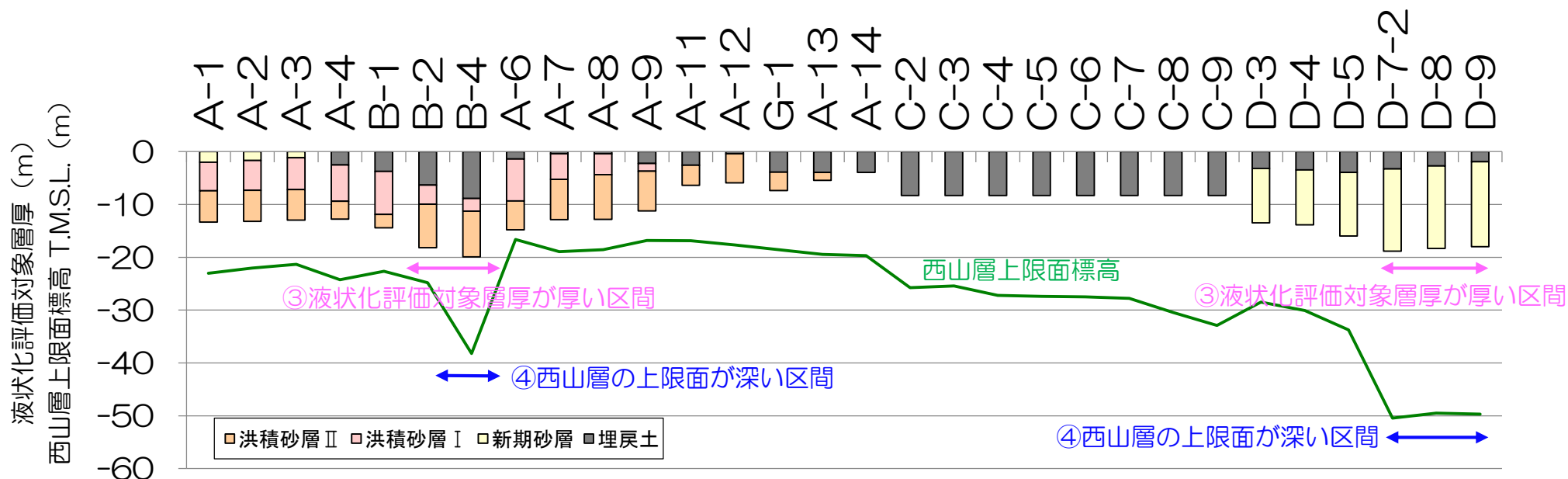


防潮堤設置地盤条件（埋戻土層）

## 9. 3 荒浜側防潮堤

【影響評価断面の選定】 p132：代表断面の選定フロー（荒浜側防潮堤）③，④

- 対象構造物：荒浜側防潮堤
- ③：液状化評価対象層の分布厚さは、埋戻土層、洪積砂層、新期砂層・沖積層の分布厚さであり、1号炉海側および4号炉北側において、その分布が厚くなっている。
- ④：西山層の上限面高さは、1号炉海側および4号炉北側において、深くなっている。



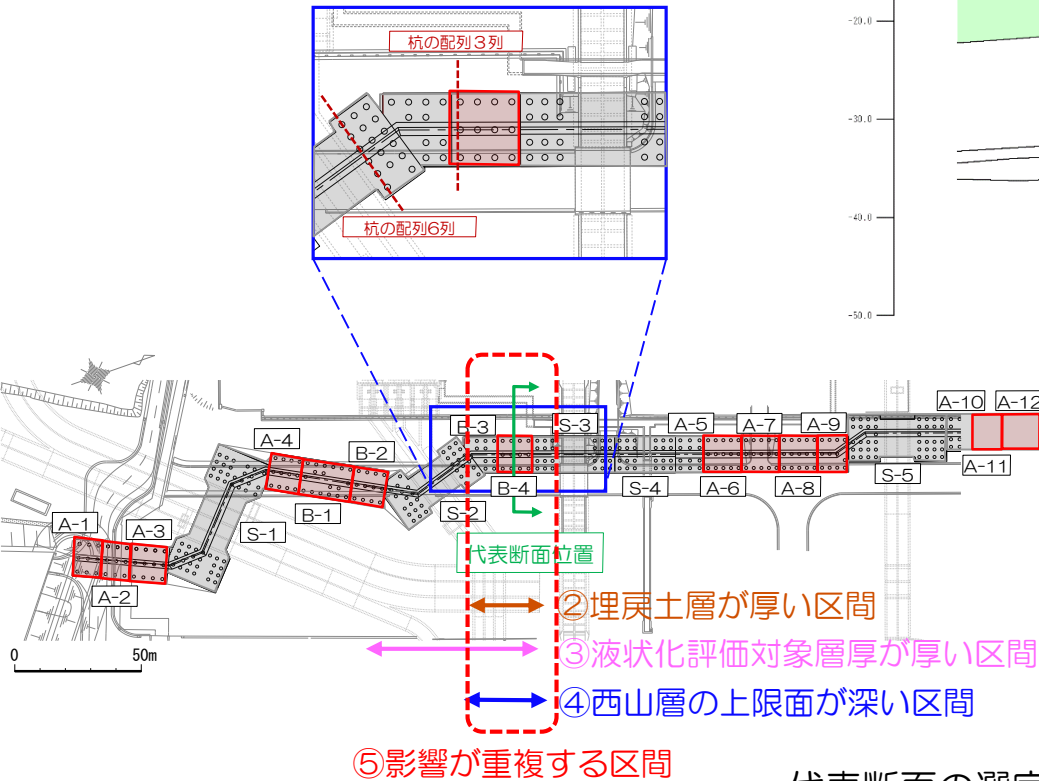
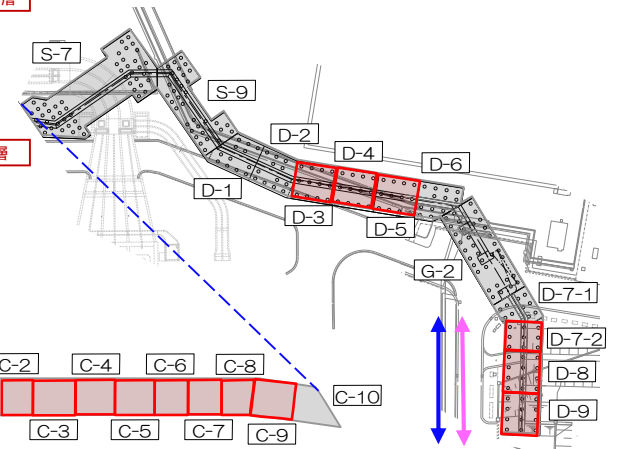
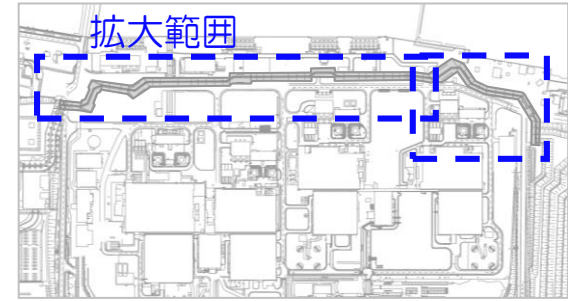
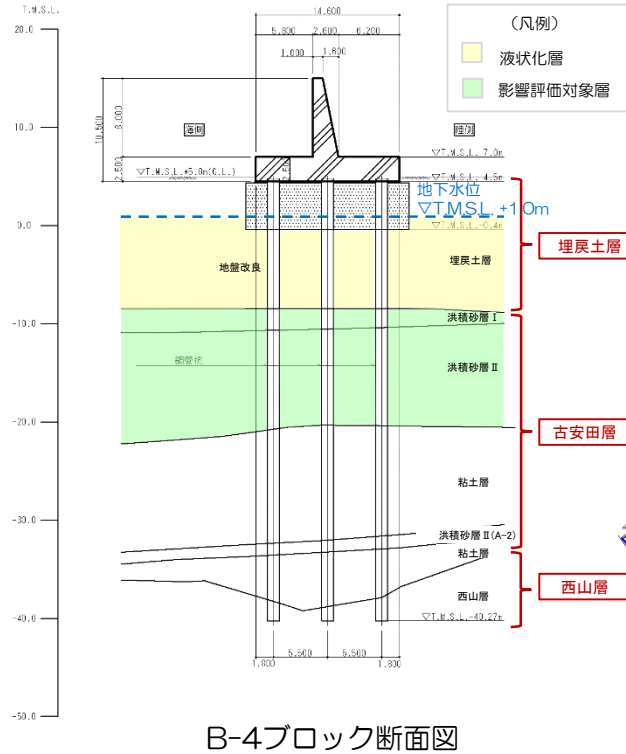
防潮堤設置地盤条件（液状化評価対象層，西山層上限面標高）



## 9. 3 荒浜側防潮堤

【影響評価断面の選定】 p132：代表断面の選定フロー（荒浜側防潮堤）⑤

- ⑤：②，③，④の影響が重複する区間として，1号炉海側のB-4ブロックが抽出される。
- ⑤にて抽出された1号炉海側のB-4ブロックを代表断面として選定し，2次元有効応力解析（FLIP）による評価を実施する。



□：検討対象として選定するブロック

代表断面の選定（荒浜側防潮堤）

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献
  - (参考資料) ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

## 10. 参考文献

- (社)日本道路協会(2012) : 道路橋示方書・同解説(V耐震設計編), 平成24年3月
- 安田進(1991) : 液状化の調査から対策工まで, 鹿島出版会, 1991年5月
- 地盤工学会(2009) : 地盤材料試験の方法と解説, 平成21年11月
- 土木学会(2003) : 過剰間隙水圧の発生過程が地盤の地震応答に与える影響, 土木学会地震工学委員会レベル2地震動による液状化研究小委員会 レベル2地震動による液状化に関するシンポジウム論文集, pp397-400, 2003年6月
- 地盤工学会(2000) : 土質試験の方法と解説(第一回改訂版), 平成12年3月
- 地盤工学会(2006) : 地盤工学用語辞典, pp219-220, 平成18年3月
- 井合進(2008) : サイクリックモビリティCyclic Mobility, 地盤工学会誌, 56-8, 2008年8月
- 吉見吉昭(1991) : 砂地盤の液状化(第二版), 技報堂出版, 1991年, 5月
- 永瀬英生(1984) : 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
- 井合進, 飛田哲男, 小堤治(2008) : 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シー関係, 京都大学防災研究所年報, 第51号, pp.291-304, 2008.
- 日本港湾協会(2007) : 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 平成19年7月
- lai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. (1992) : STRAIN SPACE PLASTICITY MODEL FOR CYCLIC MOBILITY, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol,32, No. 2, pp.1-15.
- lai, S., Morita, T., Kameoka, T., Matsunaga, Y. and Abiko, K. (1995) : RESPONSE OF A DENSE SAND DEPOSIT DURING 1993 KUSHIRO-OKI EARTHQUAKE, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol,35, No. 1, pp.115-131.
- 龍岡文夫(1980) : サイクリック・モビリティ(Cyclic Mobility), 土と基礎, 28-6, 1980年6月
- 国生剛治, 吉田保夫, 西好一, 江刺靖行(1983) : 密な砂地盤の地震時安定性評価法の検討(その1) 密な砂の動的強度特性, 電力中央研究所報告 研究報告:383025, 昭和58年10月
- 鉄道総合技術研究所(2012) : 鉄道構造物等設計標準・同解説, 平成24年9月

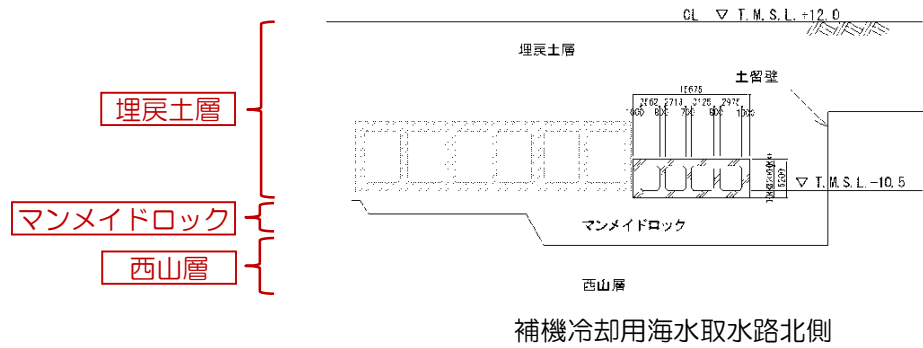
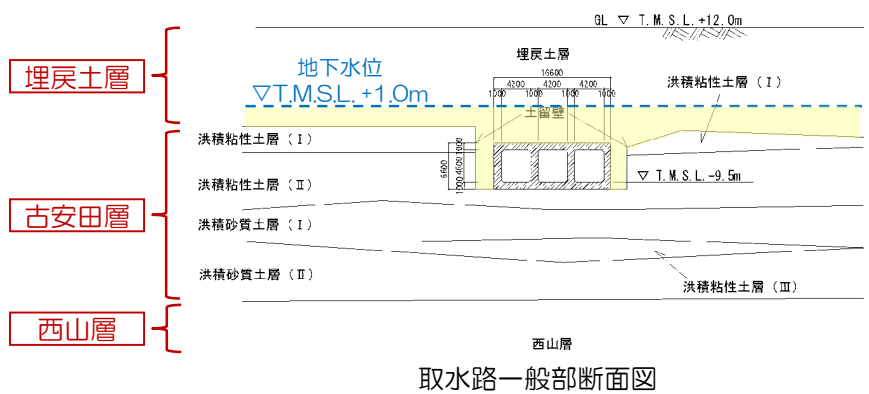
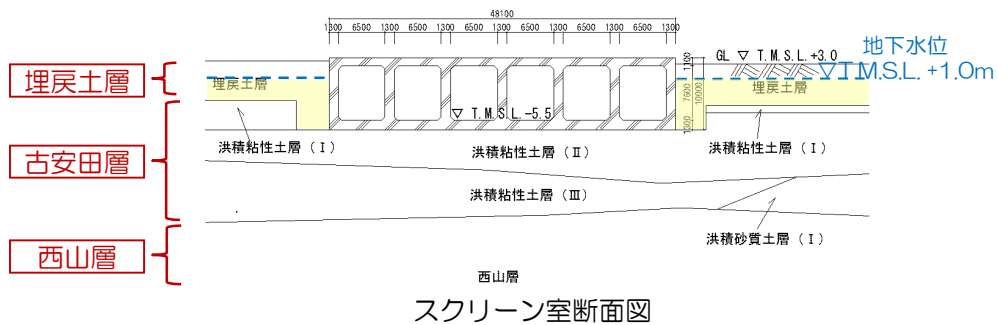
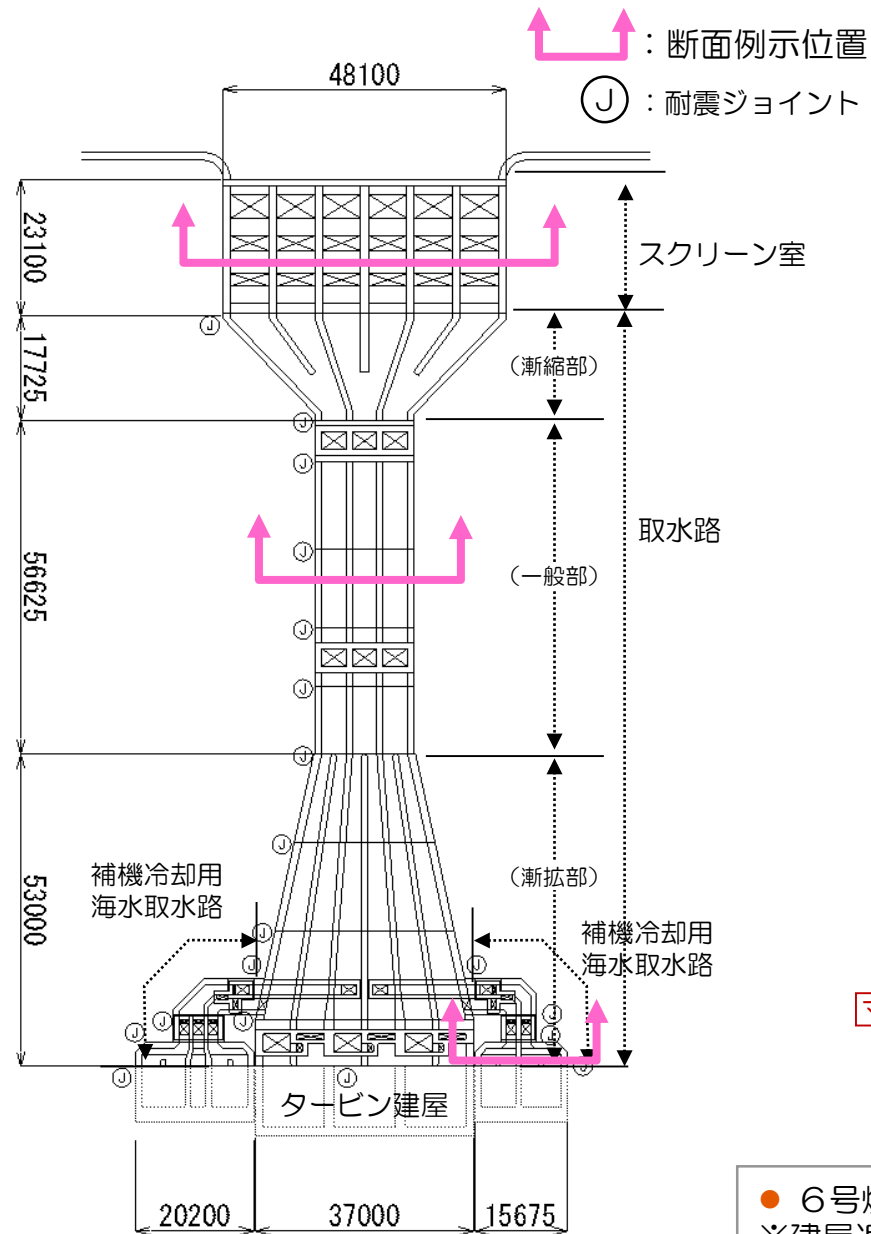
以上

1. 液状化評価の基本方針
2. 液状化評価対象層の抽出
3. 液状化試験位置とその代表性
  3. 1 液状化試験位置の選定
  3. 2 液状化試験選定箇所代表性確認
  3. 3 追加調査
4. 液状化試験結果
  4. 1 液状化試験方法
  4. 2 液状化試験結果の分類に対する基本的考え方
  4. 3 試験結果の分類
5. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化判定 ( $F_L$ 法)
6. 基準地震動 $S_s$ に対する液状化試験の妥当性確認
7. 液状化強度特性の設定
8. 液状化影響の検討方針
9. 設置許可段階における構造物評価の見通し
  9. 1 代表構造物の抽出
  9. 2 取水路
  9. 3 荒浜側防潮堤
10. 参考文献  
(参考資料)
  - ① 評価対象構造物の断面図
  - ② 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足
  - ③ 液状化に関連する基本物性に関する補足
  - ④ 液状化関連の文献整理
  - ⑤ 液状化試験後の状況写真
  - ⑥ 基準地震動 $S_s$ の概要

# ① 評価対象構造物の断面図

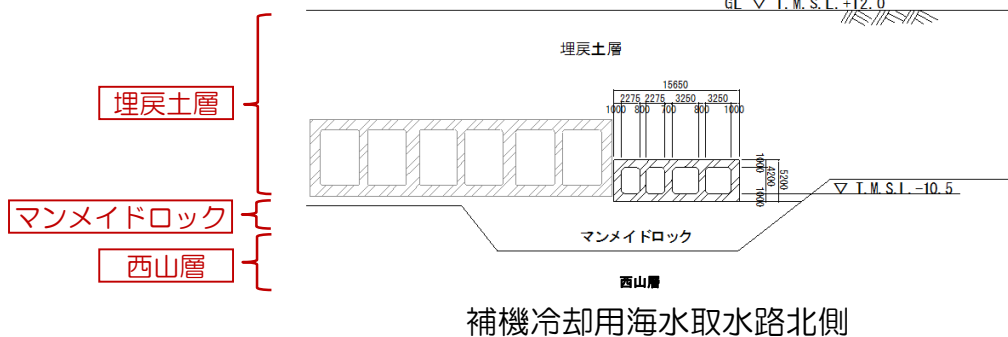
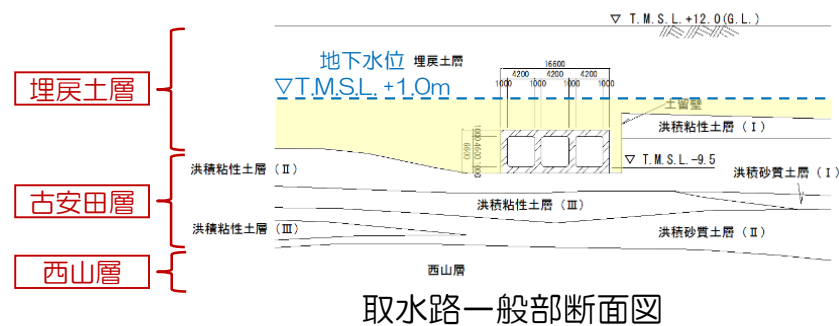
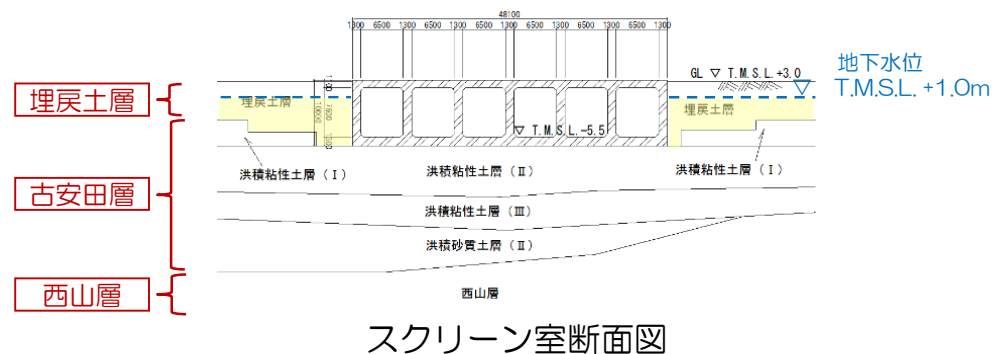
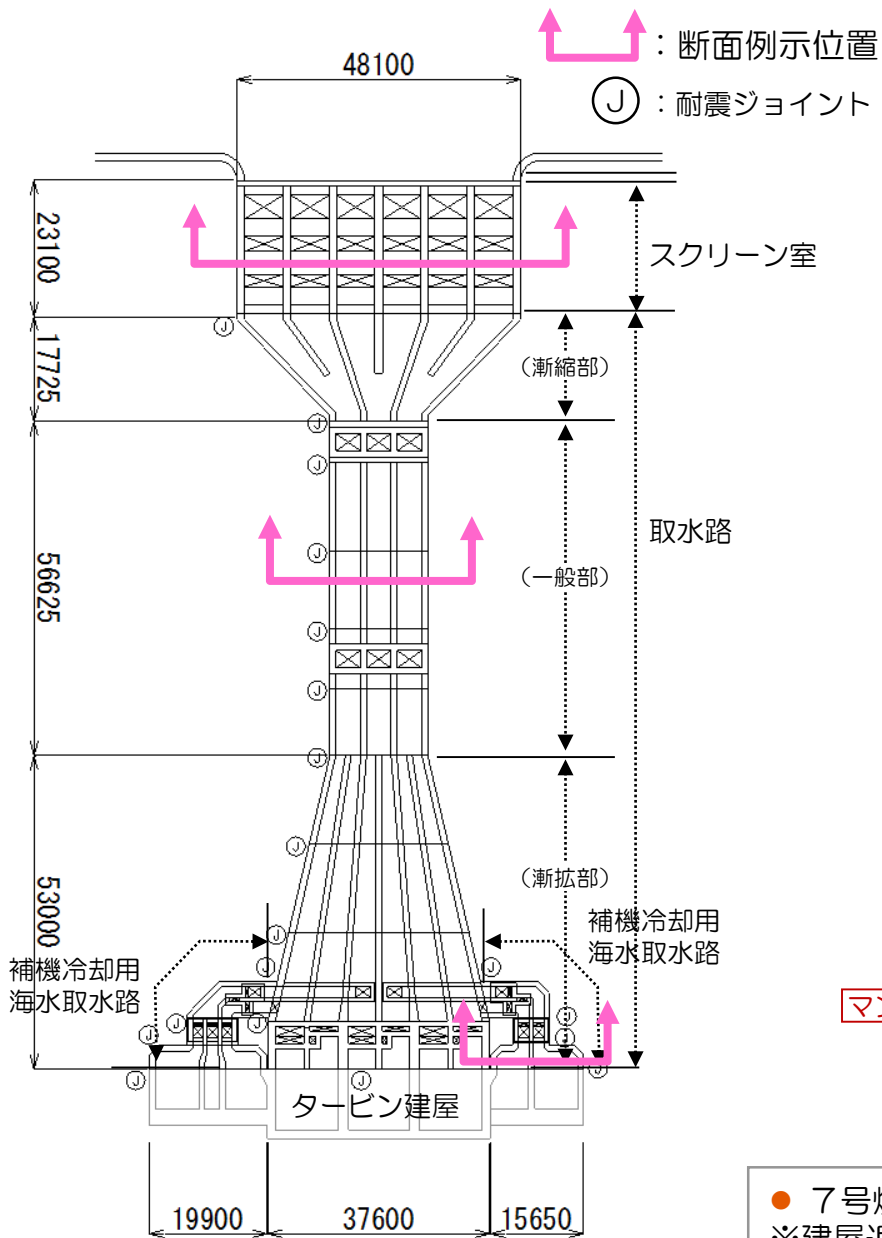


# (参考) 6号炉取水路断面図

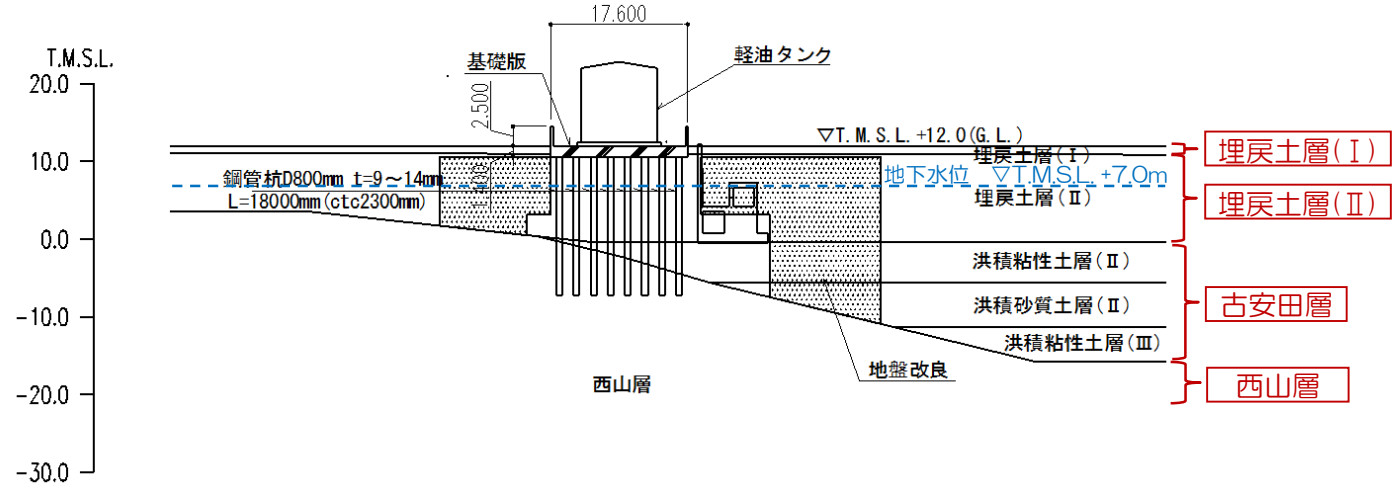
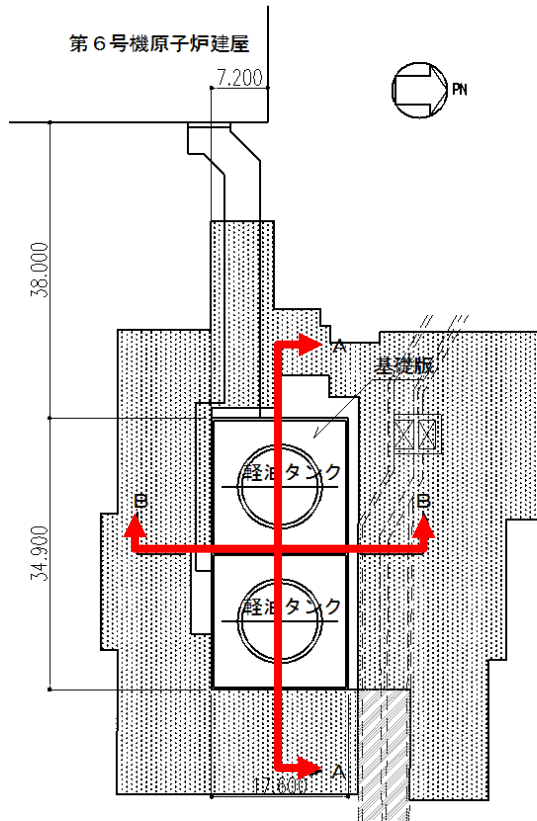


● 6号炉取水路の周辺には、地下水位以下に液状化層（埋戻土層）が存在する。  
 ※建屋近傍については、サブドレンにより地下水位は十分に低下している。

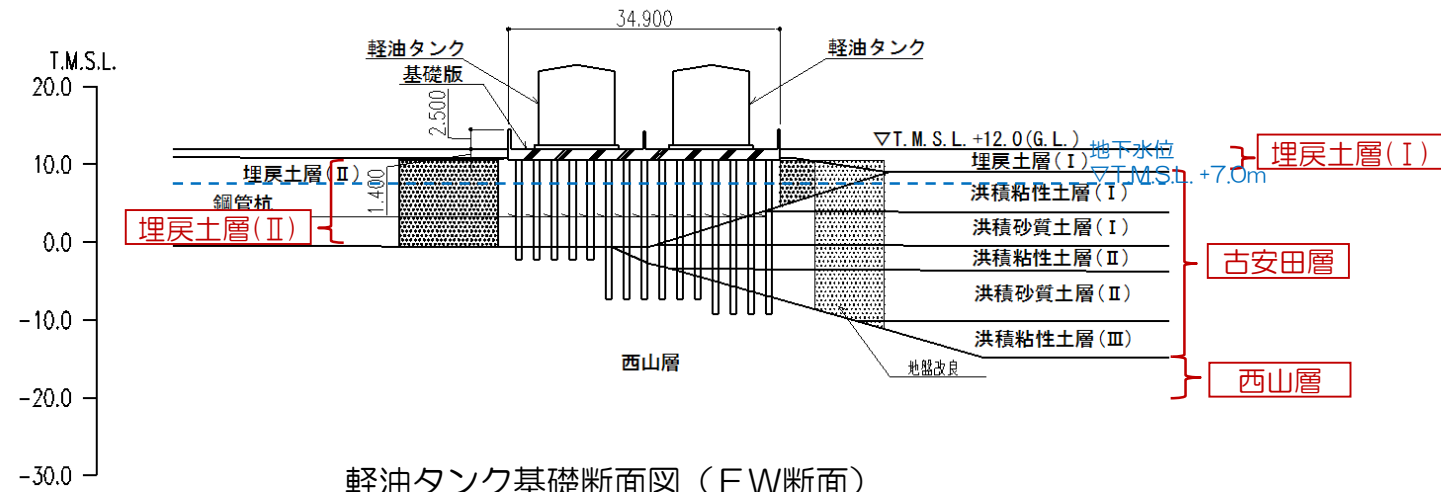
# (参考) 7号炉取水路断面図



● 7号炉取水路の周辺には、地下水位以下に液状化層（埋戻土層）が存在する。  
※建屋近傍については、サブドレンにより地下水位は十分に低下している。

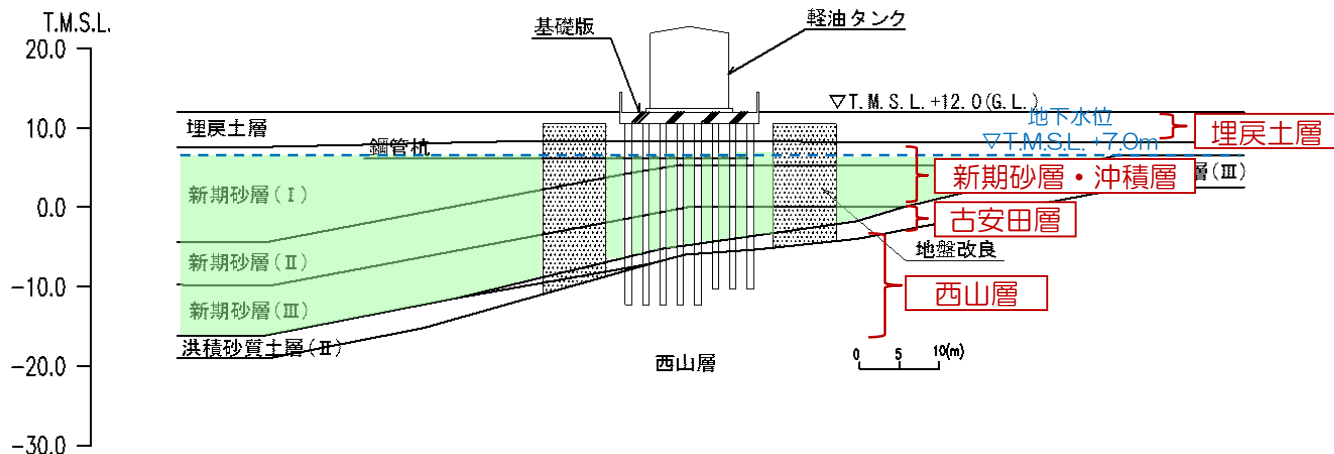
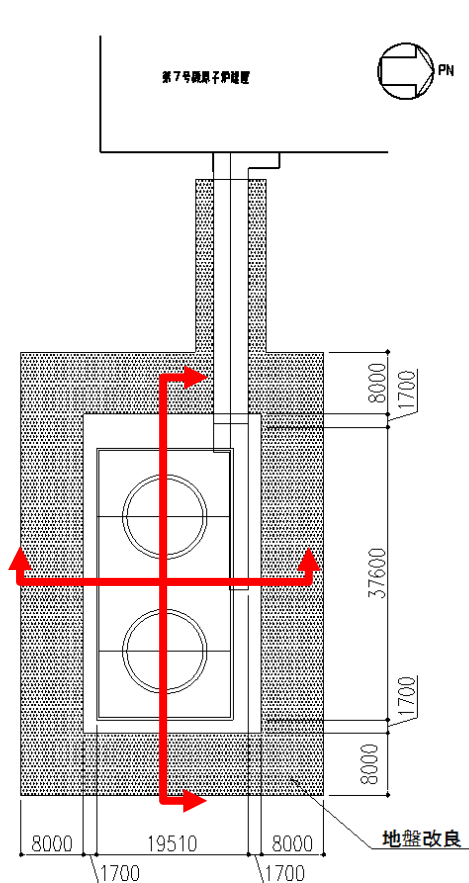


軽油タンク基礎断面図 (NS断面)

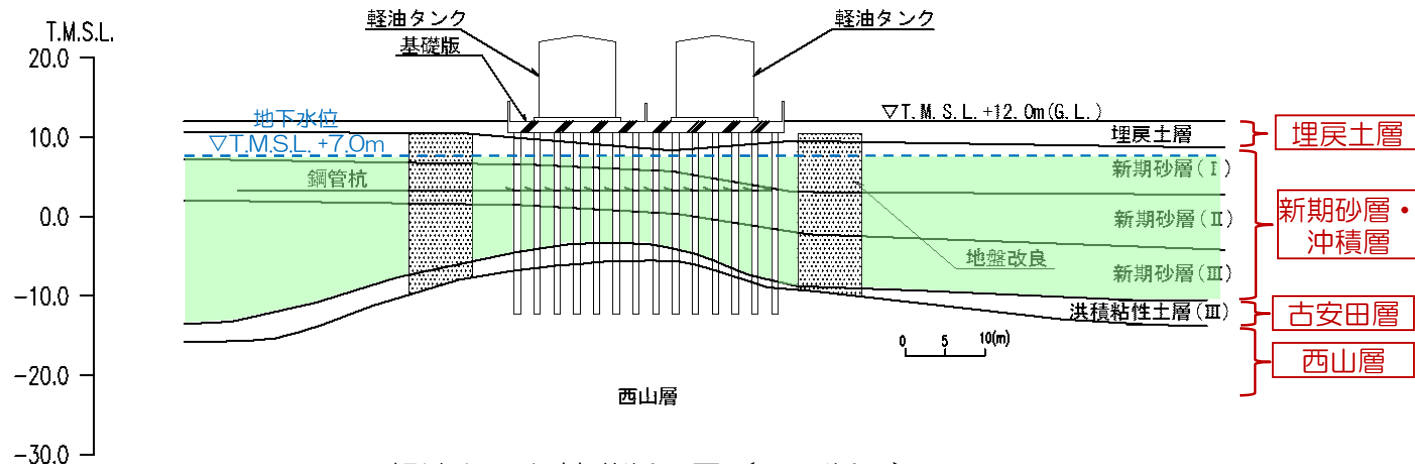


軽油タンク基礎断面図 (EW断面)

● 6号炉軽油タンク基礎の周辺には、地下水位以下に液状化層および影響評価対象層は存在しない。  
 ※埋戻土層(II)は、建設時に掘削した西山層(泥岩)を埋め戻したものである。



軽油タンク基礎断面図 (NS断面)

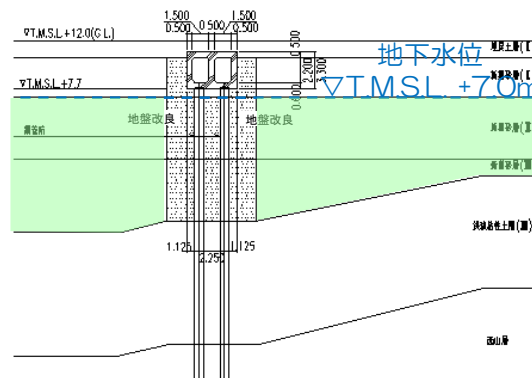
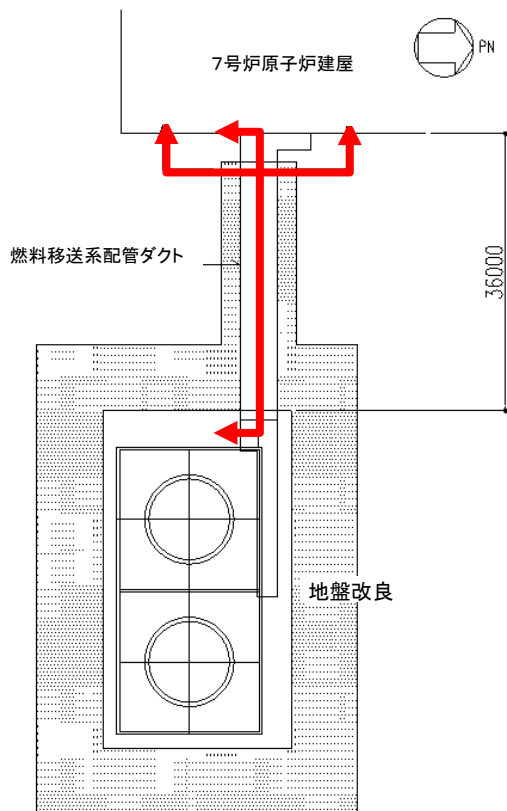


軽油タンク基礎断面図 (EW断面)

- 7号炉軽油タンク基礎の周辺には、地下水位以下に影響評価対象層（新期砂層・沖積層）が存在する。

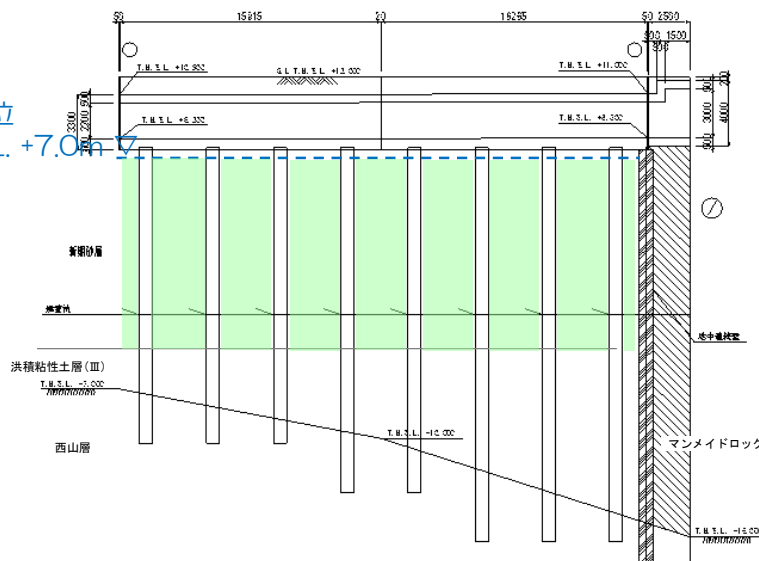


# (参考) 7号炉燃料移送系配管ダクト断面図



燃料移送系配管ダクト断面図

地下水位  
T.M.S.L.+7.0m

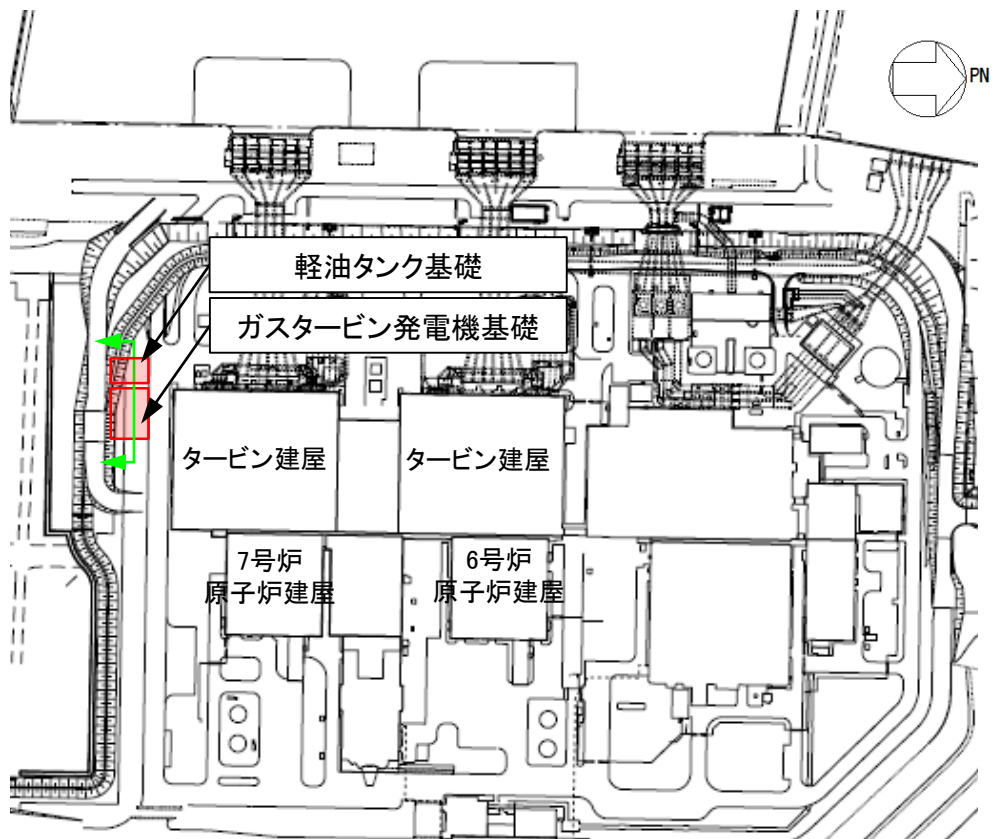


燃料移送系配管ダクト縦断面図

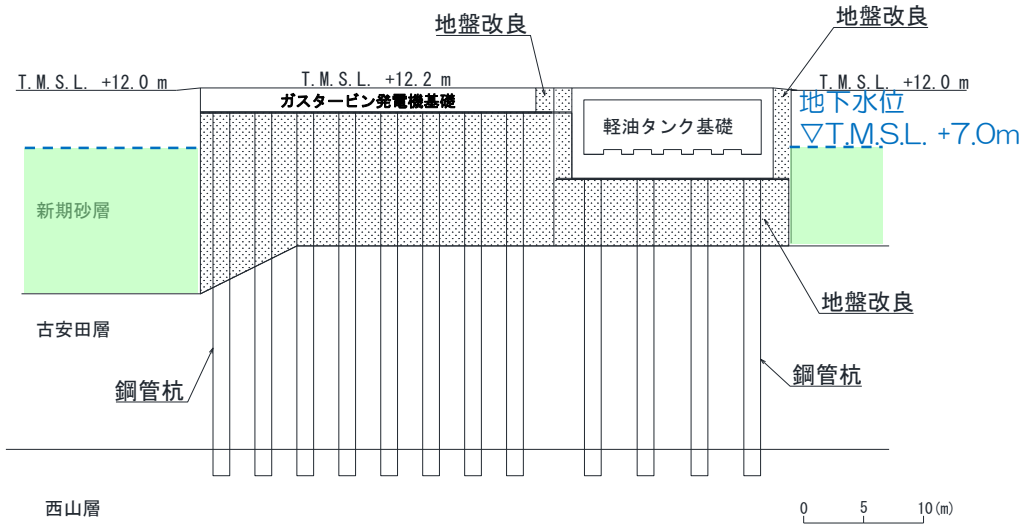
- 7号炉燃料移送系配管ダクトの周辺には、地下水位以下に影響評価対象層（新期砂層・沖積層）が存在する。



# (参考) 常設代替交流電源設備基礎断面図



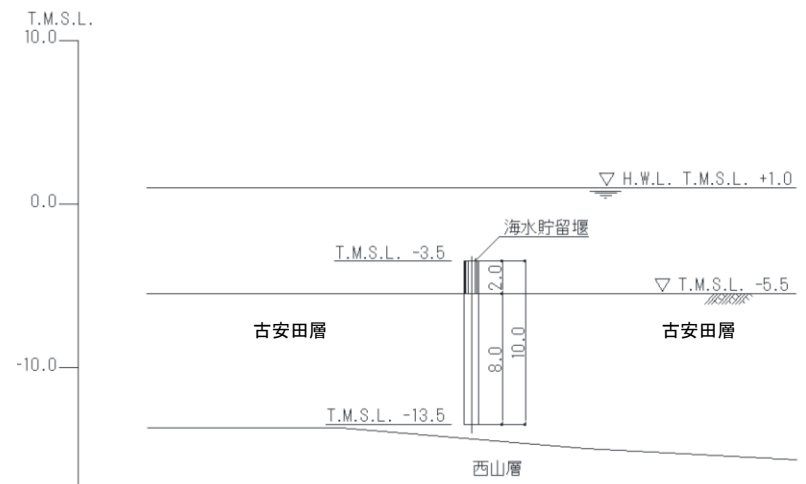
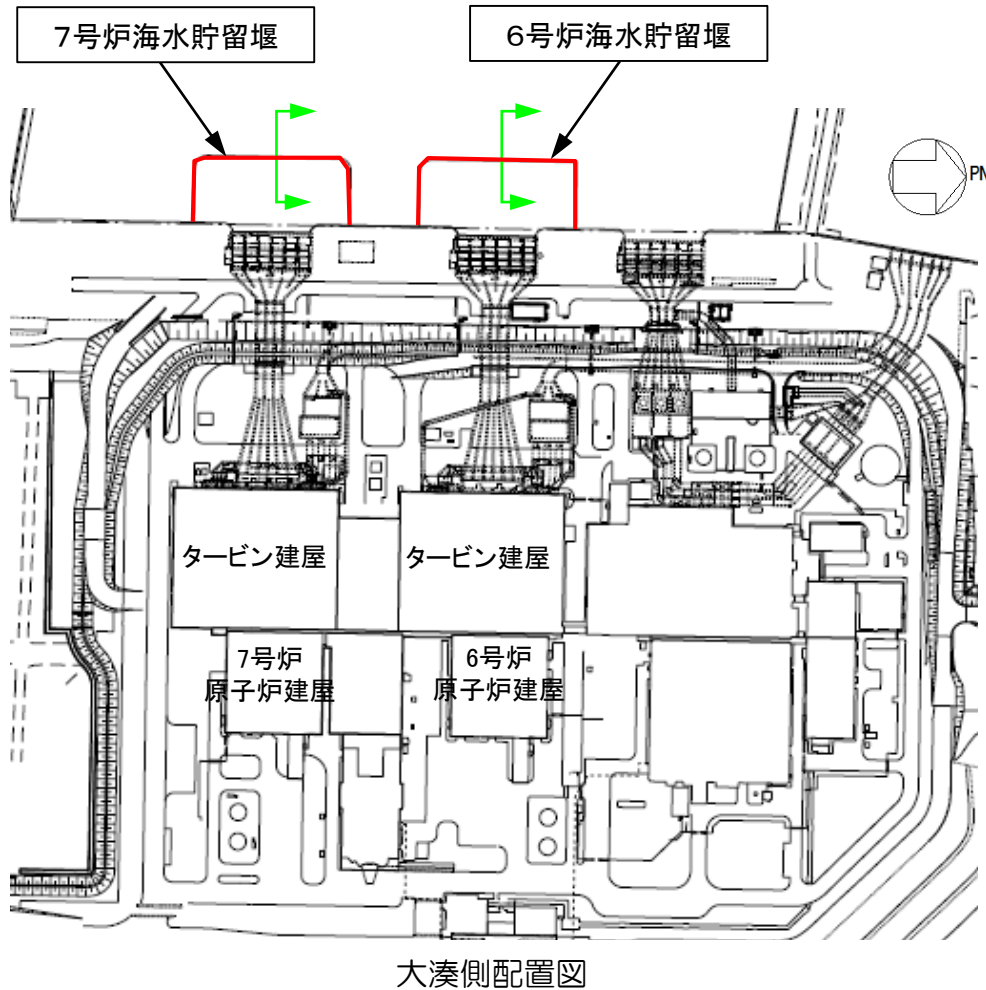
大湊側配置図



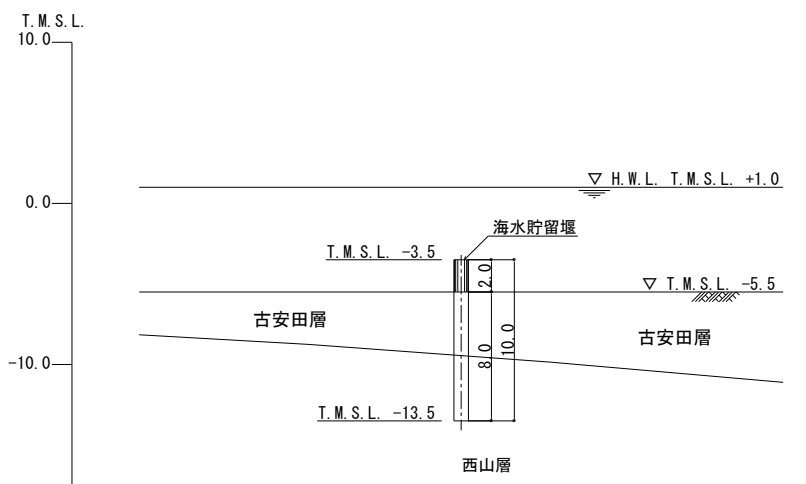
常設代替交流電源設備基礎断面図 (EW断面)

● 常設代替交流電源設備基礎の周辺には、地下水位以下に影響評価対象層（新期砂層・沖積層）が存在する

# (参考) 海水貯留堰



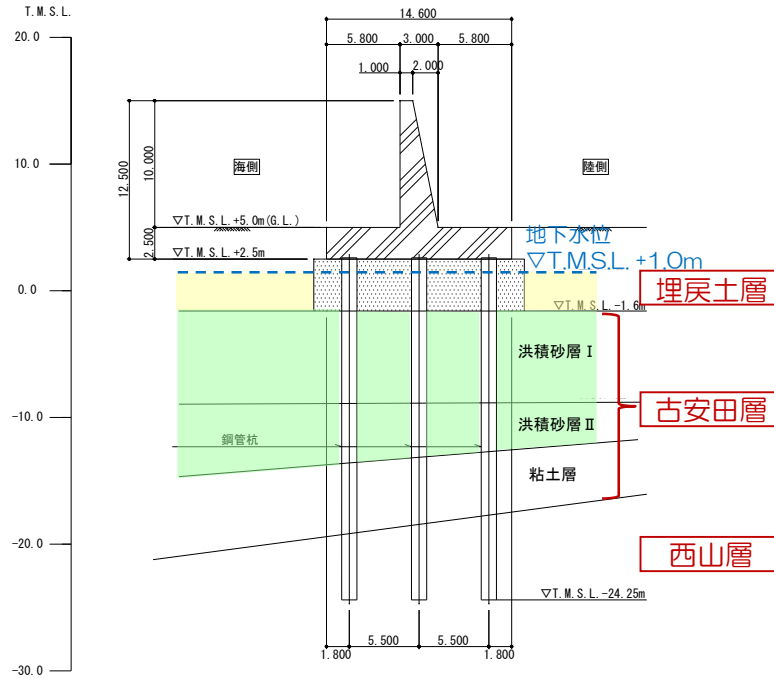
6号炉海水貯留堰断面図 (単位：m)



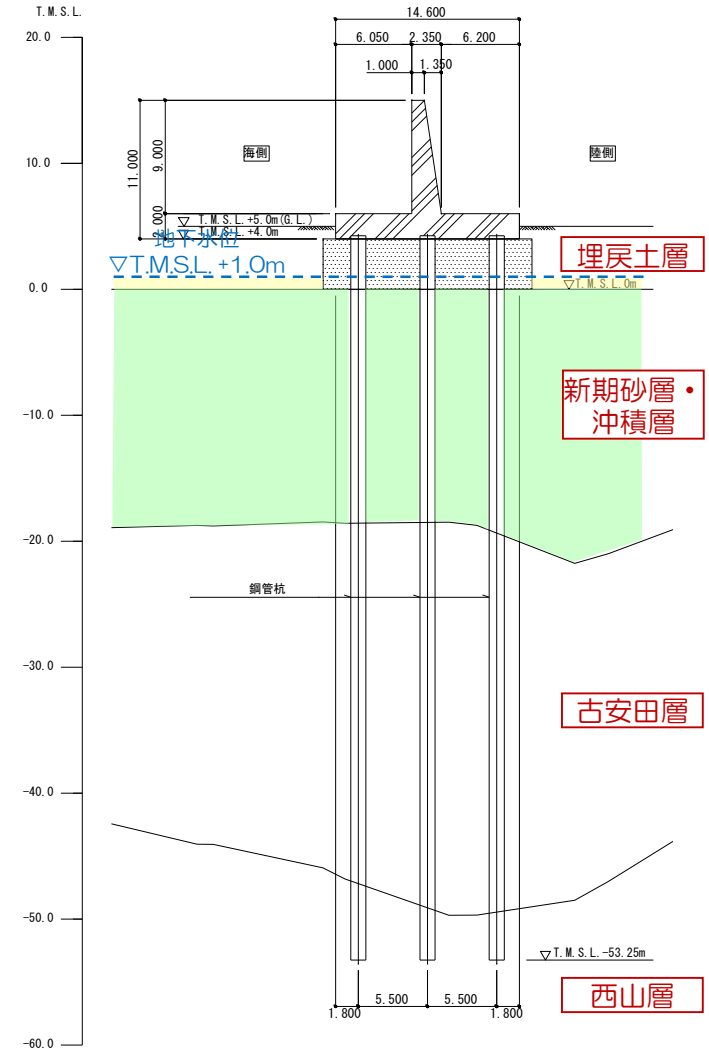
7号炉海水貯留堰断面図 (単位：m)

● 海水貯留堰の周辺には、液状化層および影響評価対象層は存在しない。

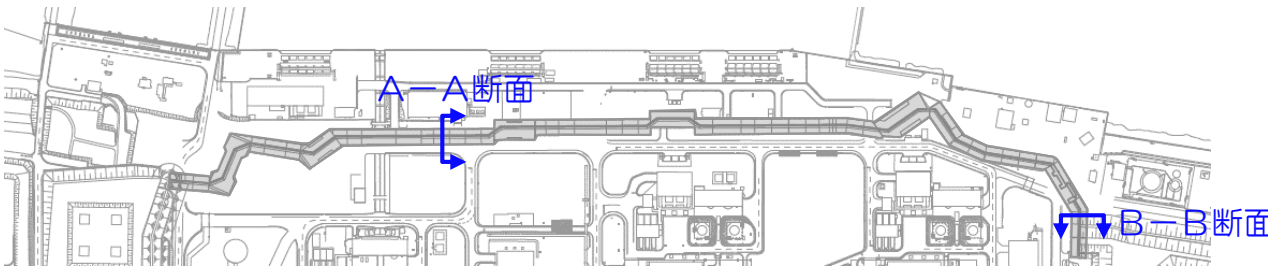
- (凡例)
- 液状化層
  - 影響評価対象層



A-A断面



B-B断面



断面位置図

- 荒浜側防潮堤の周辺には、地下水位以下に液状化層（埋戻土層）および影響評価対象層（新期砂層・沖積層，古安田層（洪積砂層））が存在する。

## ②荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足

# (参考) 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足

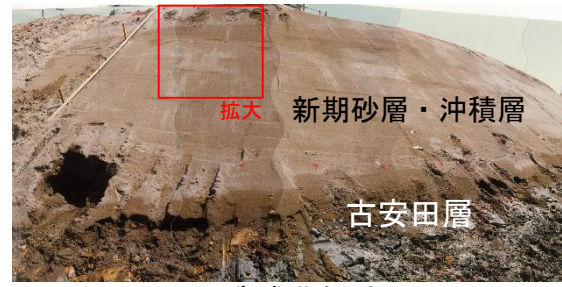
## 【荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足 (1)】

■ 新期砂層・沖積層は、敷地のほぼ全域にわたって下位層を覆って分布している。下位層上限面に刻まれた谷を埋めるように堆積したため、場所により層厚が大きく変化している。本層は、主に未固結の淘汰の良い細粒～中粒砂からなる。現在の海浜、砂丘を形成しており、下位層を不整合に覆う。

敷地の地質層序表

| 時代  | 地層名      | 主な層相・岩質                             | テフラ・放射年代                                   |                                             |
|-----|----------|-------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 完新世 | 新期砂層・沖積層 | 上部は灰白色の細～中粒砂<br>下部は茶褐色の細～中粒砂、腐植物を含む | 腐植 (6, 150±170年)                           |                                             |
|     | 番神砂層     | 灰白色～赤褐色の中～粗粒砂                       |                                            |                                             |
| 第四紀 | 大湊砂層     | 褐色～黄褐色の中～粗粒砂、シルトの薄層を含む              | NG (約13万年前)                                |                                             |
|     | 古安田層     | A <sub>1</sub> 部層                   | 最上部は砂<br>粘土～シルト、砂を多く挟む                     | y-l (約20万年前)                                |
|     |          | A <sub>2</sub> 部層                   | 粘土～シルト<br>織状粘土、有機物、砂を伴う、貝化石を含む             |                                             |
|     |          | A <sub>3</sub> 部層                   | 粘土～シルト<br>砂、厚い砂礫、有機物を挟む                    | Ata-Th (約24万年前)                             |
|     |          | A <sub>4</sub> 部層                   | 粘土～シルト<br>砂、砂礫を挟む                          | Kkt (約33-34万年前)                             |
|     | 灰爪層      | 凝灰質泥岩、凝灰質砂岩、凝灰岩                     | Iz (約1.5Ma)                                |                                             |
|     | 西山層      | N <sub>1</sub> 部層                   | 砂質泥岩<br>砂岩、凝灰岩、ノジュールを挟む<br>貝化石を含む          |                                             |
|     |          | N <sub>2</sub> 部層                   | シルト質泥岩<br>織状泥岩、凝灰岩、ノジュールを多く挟む              | Fup (約2.2Ma)<br>Tsp (約2.3Ma)<br>Az (約2.4Ma) |
|     |          | N <sub>3</sub> 部層                   | シルト質～粘土質泥岩<br>砂岩、凝灰岩、ノジュールを挟む<br>珪質海綿化石を含む | Nt-17 (340±20万年)<br>Nt-7 (350±20万年)         |
|     |          | 椎谷層                                 | 砂岩、砂岩・泥岩互層、細礫岩等を挟む                         |                                             |
| 鮮新世 | 寺泊層      | 黒色泥岩、砂岩・泥岩互層                        |                                            |                                             |

----- 不整合



2号造成北側法面



2号造成北側法面 (新期砂層・沖積層拡大)

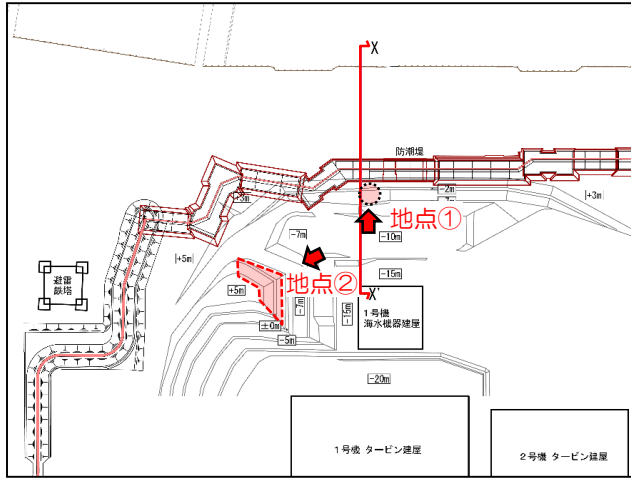


敷地の地質図

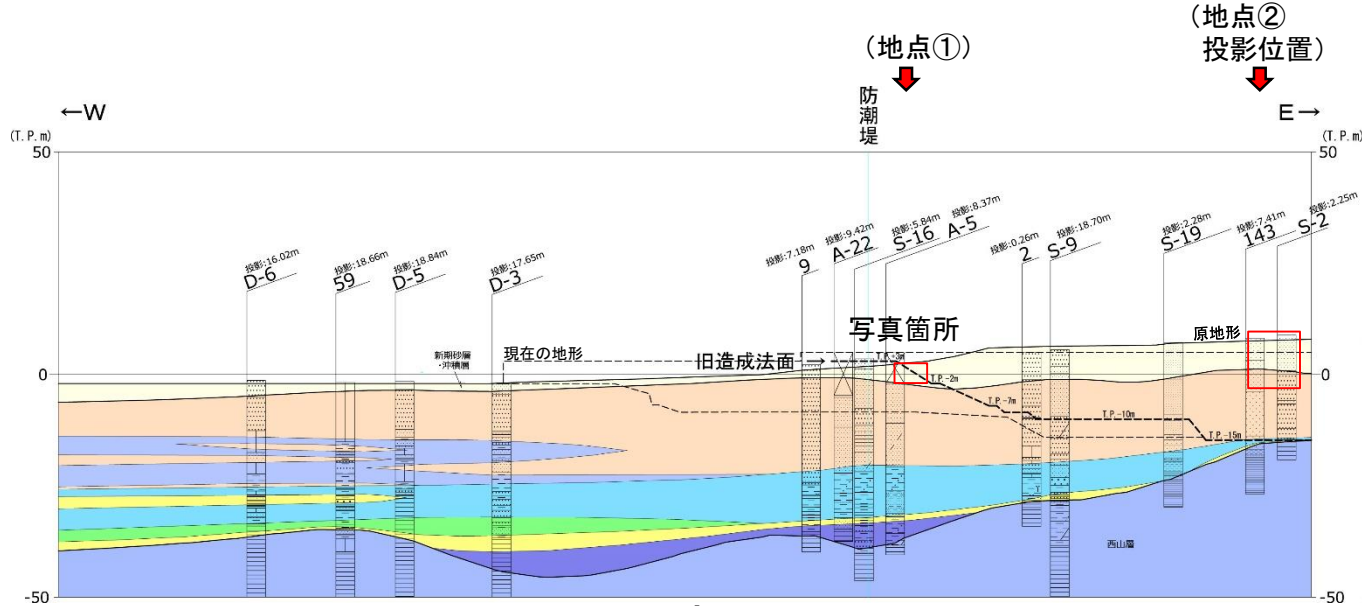


## 【荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足 (2)】

- 新期砂層・沖積層は、防潮堤付近で確認されており、比較的淘汰が良く、固結の程度が低い。



位置図



X-X' 断面



1号海水機器建屋西側法面 T. M. S. L. +3m~-2m

新期砂層・沖積層 (地点①)

地質凡例

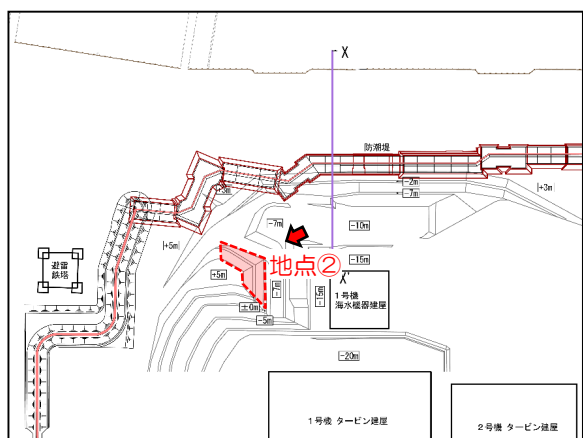
|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 埋戻土                               |           |
| 新期砂層・沖積層                          |           |
| 番神砂層・大湊砂層                         |           |
| A <sub>2</sub> ~A <sub>3</sub> 部層 | 粘性土       |
|                                   | 粘性土・砂質土互層 |
|                                   | 砂質土       |
| 古安田層                              | 粘性土       |
|                                   | 粘性土・砂質土互層 |
|                                   | 砂質土       |
| A <sub>1</sub> 部層                 | 粘性土       |
|                                   | 粘性土・砂質土互層 |
|                                   | 砂質土       |
| 西山層                               |           |



# (参考) 荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足

## 【荒浜側の古安田層中の砂層に関する補足 (3)】

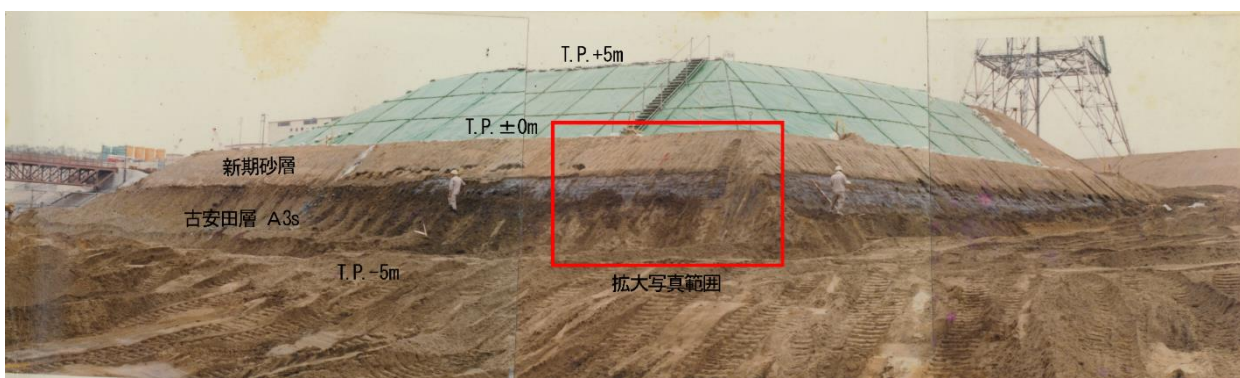
- 1号海水機器建屋南側法面では、古安田層中に砂質土が確認されている。この砂質土には最上部に腐植質シルトを挟在する箇所があり、上位の新时期砂層・沖積層と不整合で境している。ここでは新时期砂層・沖積層と古安田層の不整合が、T.M.S.L.-2m付近に確認されている。
- 古安田層中の砂質土には、葉理が認められ、新时期砂層・沖積層に比べシルト質で固結の程度が高い。



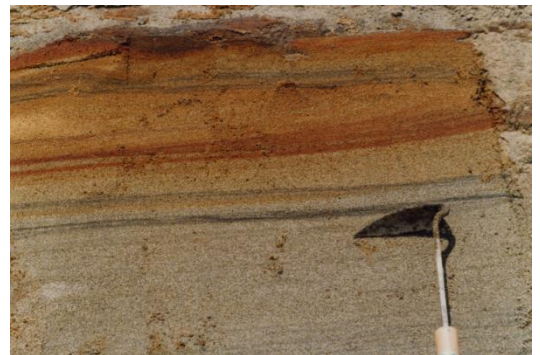
位置図



新时期砂層・沖積層と古安田層地層境界



1号海水機器建屋南側法面 T.M.S.L. ±0~-5m全景 (地点②)



1号海水機器建屋南側法面 T.M.S.L. -5m~-7m 古安田層砂質土 (地点②)

## ③液状化に関連する基本物性に関する補足

## 【参考】液状化に関連する基本物性

### 【N値（標準貫入試験）について】

#### N値とは

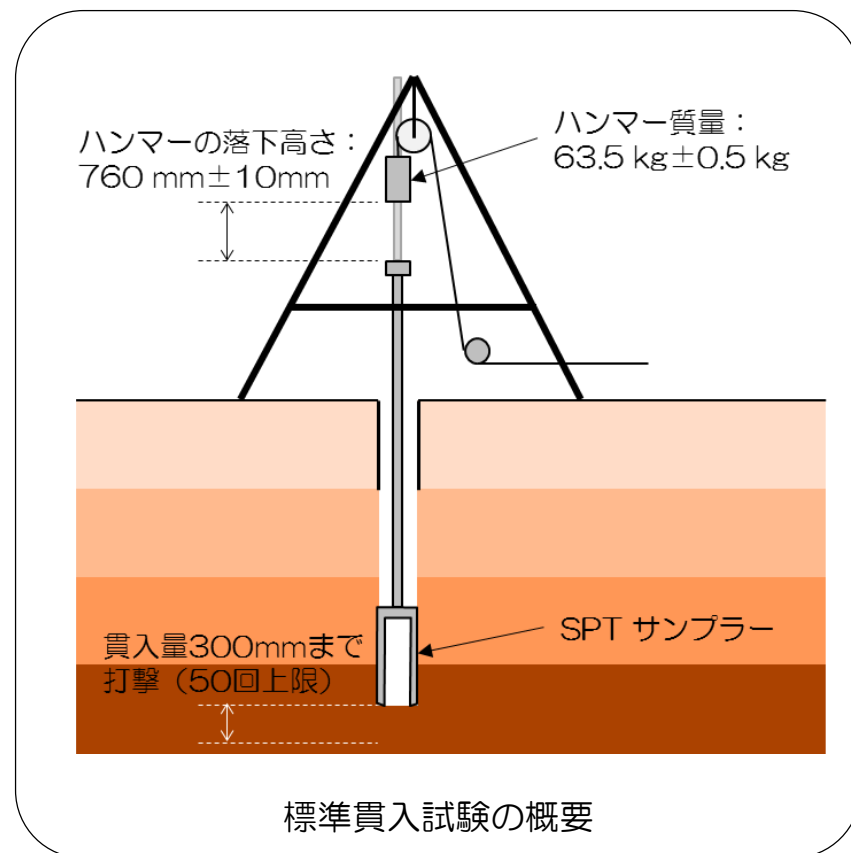
- N値は、原位置で行う標準貫入試験により求まる値であり、地盤の硬さ・強度や締まりの程度の評価に用いられる。N値が高い方が地盤が硬く・密であり、小さい方が地盤が軟らかく・疎である。
- N値は、地盤上または地盤中に構築する構造物の設計等において、地盤の強度（内部摩擦角 $\phi$ 、粘着力 $c$ 、支持力度、液状化強度など）や地盤の剛性（S波速度、弾性係数など）を推定するために一般的に用いられている。

#### 試験方法

- 標準貫入試験は、「標準貫入試験方法」(JIS A 1219:2001)に基づいて実施する。
- 試験は、質量 $63.5\text{ kg} \pm 0.5\text{ kg}$ のハンマーを $760\text{ mm} \pm 10\text{ mm}$ の高さから落下させて、SPT サンプラーを打ち込む。50回を打撃回数の限度として、300mm貫入するに必要な打撃回数（N値）を求める。
- また、打撃回数50回において、貫入量が300mm未満のものについては、以下の換算によりN値を評価した。

$$N\text{値} = \frac{300\text{mm}}{\text{打撃回数50回における打ち込み深度(mm)}} \times 50$$

(例) 打撃回数50回において打ち込み深度が200mmの場合のN値は75となる。



## (参考) 液状化に関連する基本物性

### 【細粒分含有率 (Fc) について】

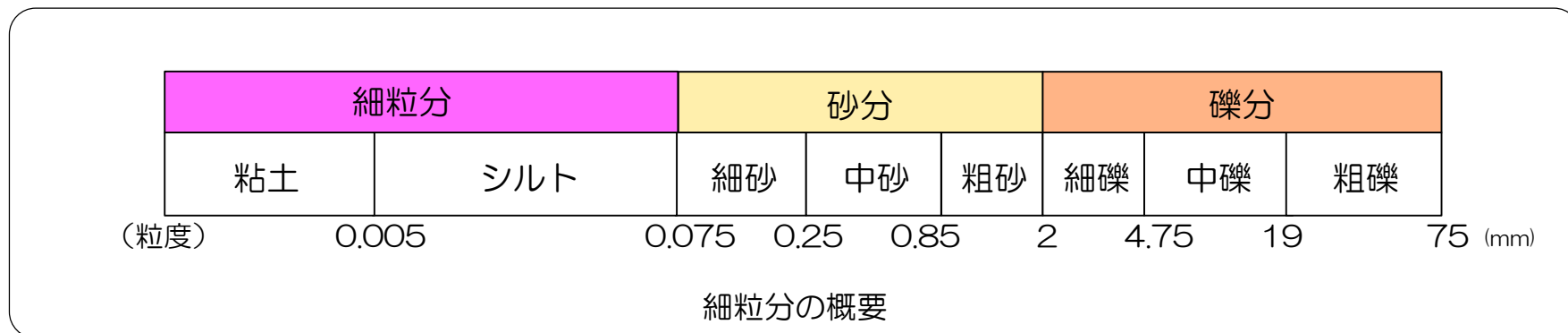
#### 細粒分含有率 (Fc) とは

- 細粒分含有率 (Fc) は、地盤を構成する土粒子の全質量に対する細粒分（粒径0.075mm未満）の質量割合であり、土質材料を分類する際の指標として用いられ、液状化判定の対象層選定の指標としても用いられる。
- 細粒分含有率 (Fc) は、土質材料の分類以外にも、液状化強度の推定など地盤の工学的性質に及ぼす細粒分の影響を検討する際のパラメータとしてよく用いられている。また、盛土材の適否を検討する際にも細粒分含有率が用いられる。

#### 試験方法

- 細粒分含有率試験は、「土の細粒分含有率試験方法」(JIS A 1223:2000)に基づいて実施する。
- 試料の乾燥質量 ( $m_s$ ) を測定する。次に、ふるい目開き0.075mmに残った試料の乾燥質量 ( $m_{0s}$ ) を測定し、細粒分含有率 (Fc) を評価する。

$$F_c = \frac{m_s - m_{0s}}{m_s} \times 100$$



## (参考) 液状化に関連する基本物性

### 【乾燥密度及び間隙比について】

#### 乾燥密度、間隙比とは

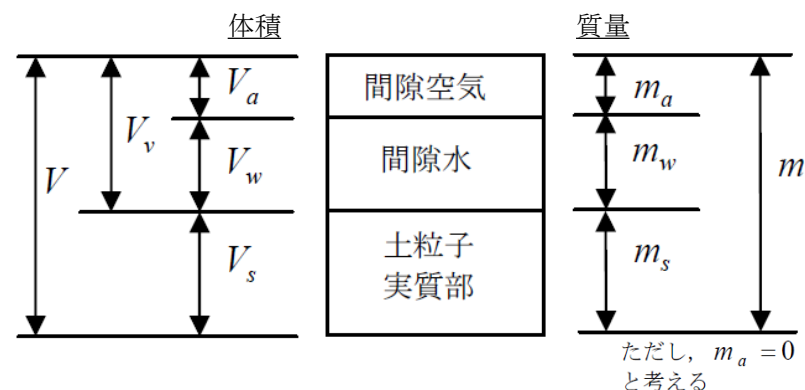
- 乾燥密度、間隙比は、土の湿潤密度、含水比試験及び土粒子の密度試験から求まる湿潤密度、含水比及び土粒子の密度から算出され、土の締まり具合を表す基本的な土の物性値である。なお、間隙比は相対密度の算出にも用いられる。

#### 試験方法

- 湿潤密度は「土の湿潤密度試験方法」(JIS A 1225:2009)に、含水比は「土の含水比試験方法」(JIS A 1203:2009)に、土粒子の密度は「土粒子の密度試験方法」(JIS A 1202:2009)に基づいて実施する。
- 「土の湿潤密度試験方法」においては、乱さない供試体の質量と体積を室内で直接測定して求める。「土の含水比試験方法」においては、試料の乾燥前後の質量を測定して求める。「土粒子の密度試験方法」においては、土粒子の質量と体積を測定して求める。
- 乾燥密度( $\rho_d$ )及び間隙比( $e$ )は、下式により算出する。

$$\rho_d = (\rho_t / (1 + w/100)) = m_s / V$$

$$e = (\rho_s / \rho_d) - 1 = V_v / V_s$$



土の湿潤密度

$$\rho_t = m / V$$

土の乾燥密度

$$\rho_d = m_s / V$$

土粒子の(質量)密度

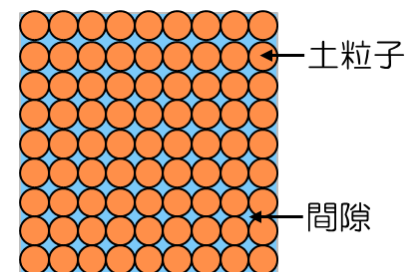
$$\rho_s = m_s / V_s$$

含水比(%)

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100$$

間隙比

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$



地盤内の土粒子と間隙のイメージ



# (参考) 液状化に関連する基本物性

## 【相対密度 (Dr) について】

### 相対密度とは

- 相対密度は、下式で定義される地盤の締まりを表す指標である。相対的に、相対密度が大きい方が地盤は密で、小さい方が疎である。
- 砂の相対密度は、力学特性を表すパラメータとして利用されている。なお、相対密度はそれぞれの密度の誤差が相対密度に大きな誤差となって反映されるという特徴を持っており、特に細粒分を多く含む場合には誤差が大きくなる特性がある。

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

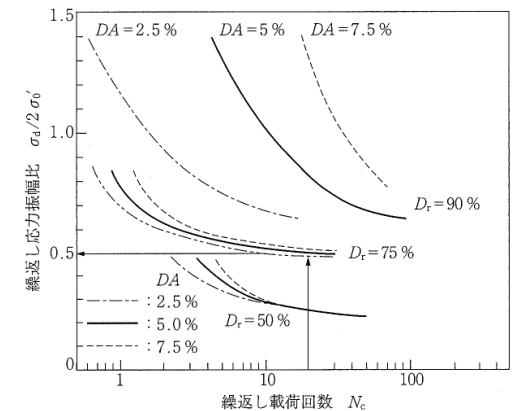
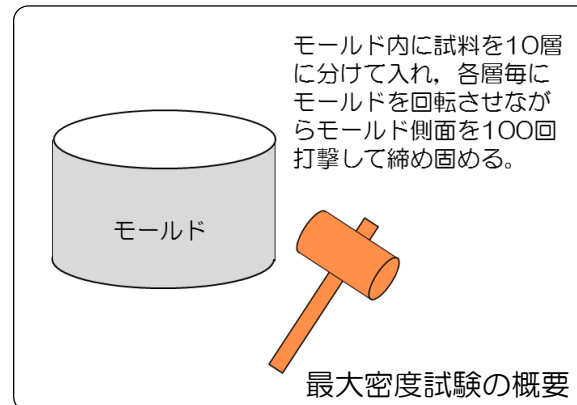
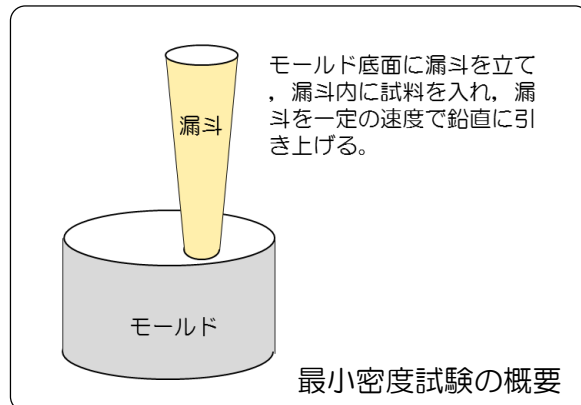
$e$  : 試料の間隙比 (間隙の体積÷土粒子の体積)

$e_{\max}$  : 最小密度試験による試料の間隙比

$e_{\min}$  : 最大密度試験による試料の間隙比

### 試験方法

- 最大、最小密度の試験は、「砂の最小密度・最大密度試験方法」(JIS A 1224:2000)に基づいて実施する。
- 「砂の最小密度・最大密度試験方法」においては、「2mmふるいを通過し、75 $\mu$ mふるいに95%以上残留する砂」を基本としており、採取した試料のうち粒径2mm以上の礫を除去して試験を実施した。
- 地盤工学会(2000)によれば、「更新世中期や前期に堆積した砂のように極めて密な砂の場合、相対密度は100%を越えることが普通である。」とされている。



液状化強度曲線の形状と土の特性の関係  
(地盤材料試験の方法と解説(社)地盤工学会, 2009)



## (参考) 液状化に関連する基本物性

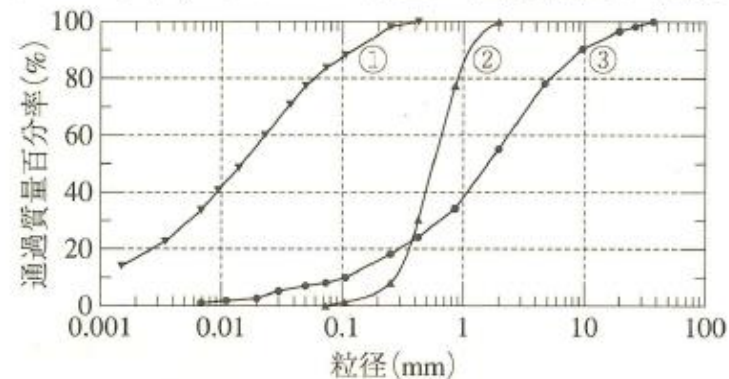
### 【粒径加積曲線について】

#### 粒径加積曲線とは

- 土を構成する土粒子の粒度の分布状態を粒度といい、土粒子の分布状態を粒径とその粒径より小さい粒子の質量百分率の関係を示した曲線を粒径加積曲線という。
- 粒径加積曲線は、土の締固め特性や透水性及び液状化強度などの力学的性質の推定、建設材料としての適性の判定や掘削工・基礎工などの施工法の決定などに利用されている。

#### 試験方法

- 土の粒度試験は、「土の粒度試験方法」(JIS A 1204:2009)に基づいて実施する。
- 「土の粒度試験方法」においては、粒径2mm以上の土粒子はふるい分析を、2mm未満の土粒子は沈降分析を行った後に古い分析を行う。



粒径加積曲線の例

## ④液状化関連の文献整理

# 試験方法

安田進：液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，1991年5月

表 3-3 室内液状化試験装置の種類と特徴

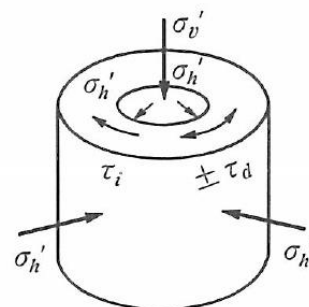
| 項目<br>種類                                      | 応力状態        | モデル円 | 応力経路<br>(全応力)<br>1→2→3→4 | 拘束状態                                               | ひずみ状態                                              | 繰返し荷重              |                    |
|-----------------------------------------------|-------------|------|--------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| 原地盤                                           |             |      |                          | 異方応力状態<br>( $K_0$ 圧密)<br>(初期せん断応力が加わることもある)        | 平面ひずみ<br>単純せん断変形                                   | 多方向ランダム波           |                    |
| 繰返し三軸<br>(別名 振動三軸<br>動的三軸)                    |             |      |                          | 等方応力状態                                             | 軸対称変形                                              | 一方向正弦波             |                    |
| 繰返しねじりせん断<br>(別名 動的ねじりせん断)<br>(リングねじりせん断も同種類) |             |      |                          | 等方または異方<br>応力状態<br>( $K_0$ 圧密可)<br>(初期せん断応力も加えられる) | 平面ひずみ<br>単純せん断変形                                   | 一方向<br>正弦波またはランダム波 |                    |
| 繰返し単純せん断                                      | NGI 型       |      |                          |                                                    | 異方応力状態<br>(準 $K_0$ 圧密;<br>$K_0$ 未知)<br>(初期せん断応力も可) | 平面ひずみ<br>単純せん断変形   | 多方向<br>正弦波またはランダム波 |
|                                               | Cambridge 型 |      |                          |                                                    | 異方応力状態<br>( $K_0$ 圧密)<br>(初期せん断応力も可)               | 平面ひずみ<br>単純せん断変形   | 一方向<br>正弦波またはランダム波 |

## (参考) 液状化関連の文献整理

安田進：液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，1991年5月

### 繰返しねじりせん断装置（動的ねじりせん断装置）

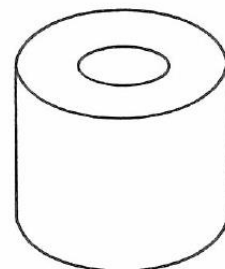
- 繰返しねじりせん断試験では中空円筒や中実円柱の供試体を用い，これにねじりせん断力を加える。
- 円筒や円柱では半径方向にせん断ひずみの値が異なってくるため，その影響をなるべく少なくするため，中空円筒の供試体の方がよく用いられる。
- 供試体には図3-8 (a) に示したように初期の拘束圧や初期せん断力を加えておいた後，繰返しせん断力を加える。
- 地盤内での応力状態に合わせて異方応力（軸圧と側圧が異なる）にしたり，斜面内や構造物下の地盤の状態を再現するために初期せん断力を加えたり，さらに，側圧でも外圧と内圧とを違って三主応力が異なるようにすることができる。



$\sigma_v'$ ：有効鉛直圧  
 $\sigma_h'$ ：有効水平圧  
 $\tau_i$ ：初期せん断力  
 $\tau_d$ ：繰返しせん断力

通常の液状化試験では  
 $\sigma_v' = \sigma_h' = \sigma_0'$  と等方に  
 することが多い

(a) 応力状態



自由 (平面応力)

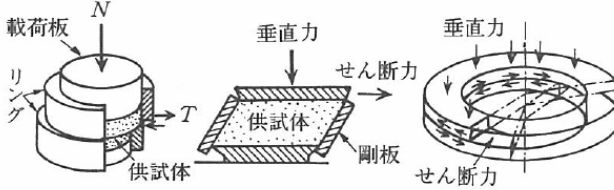
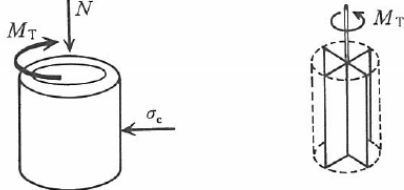
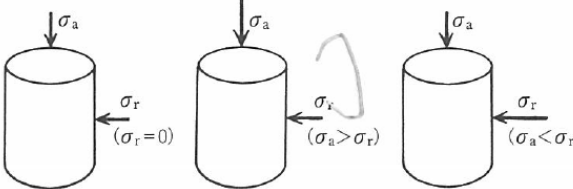
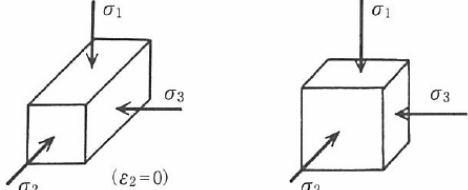
拘束 (平面ひずみ)

(b) 側方変位拘束条件

図 3-8 繰返しねじりせん断試験における応力，側方変位拘束条件

地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，平成21年11月

表-7.1.1 せん断試験の種類

|          | 種類                                                                                                                                       | 試験の原理                                                                                | 応力の載荷方法                                                |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| せん断応力載荷型 | 土の一面せん断試験 (第4章)<br>単純せん断試験 (第8章)<br>リングせん断試験 (第8章)<br>岩盤不連続面の一面せん断試験 (第12章)                                                              |    | 特定のせん断または供試体の境界面に垂直力とせん断力を直接載荷 (主応力方向変化)               |
|          | ねじりせん断試験 (第5章)<br>繰返しねじりせん断試験 (第7章)<br>室内ベーンせん断試験 (第8章)                                                                                  |    |                                                        |
| 主応力載荷型   | 土の一軸圧縮試験 (第2章)<br>三軸圧縮試験 (第3章)<br>三軸伸張試験 (第3章)<br>繰返し三軸試験 (第6, 7章)<br>岩石の一軸圧縮試験 (第9章)<br>岩 (岩石) の三軸圧縮試験 (第10章)<br>圧裂による岩石の引張り強さ試験 (第11章) |   | 供試体の境界面に主応力を載荷し，結果として生じるせん断断面上の垂直応力・せん断応力を算定 (主応力方向固定) |
|          | 平面ひずみ試験 (第8章)<br>三主応力制御試験 (第8章)                                                                                                          |  |                                                        |



## (参考) 液状化関連の文献整理

地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，平成21年11月

### 第5章 ねじりせん断試験

- ▶ねじりせん断試験は，中空円筒供試体の上または下端にトルクを加えて円周方向にねじることによって供試体全体にせん断変形を与える試験であり，直接型せん断試験の一種である。
- ▶他の直接型せん断試験と比較すると，供試体の側方応力条件が明確であることと供試体の水平・鉛直面に共役なせん断応力を確実に作用させることができるという利点を有する。したがって，供試体に作用する主応力の大きさと方向が容易に求められる。
- ▶三軸試験に代表される間接型せん断試験と比較して以下のような利点を有する。
  - ①主応力方向が連続的に回転するような応力状態も再現することができる。
  - ②軸方向に対して直角方向にせん断できる。
  - ③比較的広範囲な応力経路またはひずみ経路を供試体に与えられる。
- ▶ねじりせん断試験では，制御できる応力の自由度が大きいことから，さまざまな応力状態のもとでの土の基本的な挙動を明らかにすることができる。

## (参考) 液状化関連の文献整理

澤田俊一，三上武子，吉田望，竹島康人，藤井紀之：過剰間隙水圧の発生過程が地盤の地震応答に与える影響，土木学会地震工学委員会レベル2地震動による液状化研究小委員会 レベル2地震動による液状化に関するシンポジウム論文集，pp397-400，2003年6月

- 現在液状化強度を求めるために最も普通に行われている振動三軸試験では，図2.1 (b)に示すように側圧を一定に保ったまま軸力を変動させせん断応力を変動させるものであり，せん断応力の変動とともに有効拘束圧も変化する。
- より原位置に近い応力状態を再現できる試験機に中空ねじり試験機がある。この試験では図2.1 (c)に示すように軸力，側圧を一定に保ったまません断応力を加えるので，試料の半径方向の応力変動が無視できるとすればほぼ実地盤に対応している。
- 三軸試験では圧縮側と引っ張り側で挙動が異なり，応力経路は上下では対象ではないし，ひずみの発生量も異なる。これに対してねじり試験では応力-ひずみ関係，応力経路ともほぼ対称な形をしている。

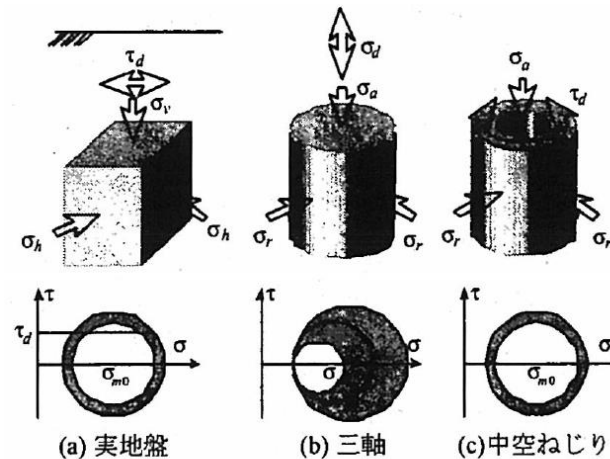


図2.1 室内試験における応力状態

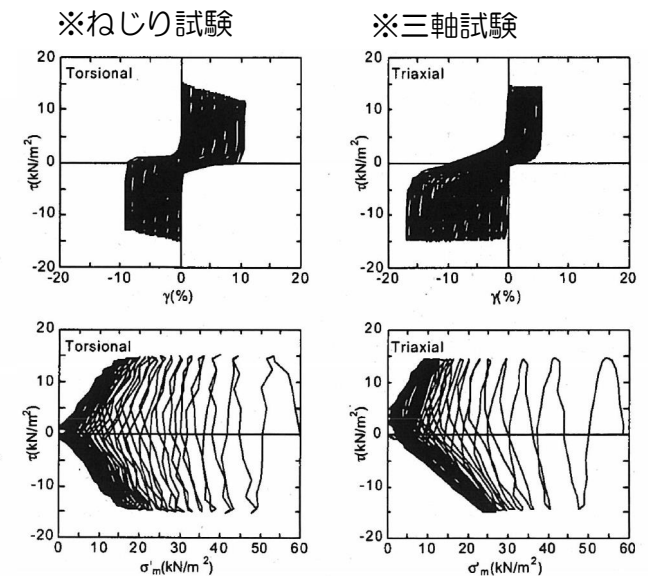


図3.3 三軸試験と中空ねじり試験の代表的な応力-ひずみ関係と応力経路

# サイクリックモビリティ (密な砂地盤における挙動)

## (参考) 液状化関連の文献整理

社団法人地盤工学会：地盤工学用語辞典，pp219-220，平成18年3月

### サイクリックモビリティー

cyclic mobility

砂などの繰返し载荷において、有効拘束圧 (effective confining pressure) がゼロに近づいてから、载荷時にせん断剛性 (shear modulus) の回復、除荷時に有効応力\*の減少を繰り返していくが、ひずみ\*は有限の大きさとどまる現象をサイクリックモビリティーといい、液状化\*とは区別して用いられることがある。地震のような繰返しせん断応力を受ける場合には、有効拘束圧がゼロかそれに近いところで大きなひずみが生じる。一方ではひずみが大きくなると、再び剛性が回復してくるので、いわゆる液状化状態ではなくなる。有効拘束圧がゼロの付近でどの程度大きなひずみが発生するかは、主に砂の密度と繰返し载荷でのせん断応力の大きさや繰返し回数 (number of cycles)に依存しており、密度が小さいほど、また、液状化以後に繰返しせん断応力が大きく、繰返し回数が多いほど大きなひずみが発生する。逆に、密度の大きい砂では、一時的に有効拘束圧がゼロまたはその近くになっても、引き続く载荷に対して大きいひずみが発生しない。

## (参考) 液状化関連の文献整理

龍岡文夫：サイクリック・モビリティ (Cyclic Mobility) , 土と基礎, 28-6, 1980年6月

### 液状化 (密な砂の場合)

- ▶ やや密な砂では、図-1に示すように一時的に $\sigma'$  がゼロになっても、図-1中のA→Bのように引き続きせん断応力を供試体に加えても、供試体のひずみが無限に大きくなるわけではない。
- ▶ 密な砂では、せん断応力が働いていない時に、一時的に有効拘束圧がゼロになってもせん断応力が加わり、せん断ひずみが生ずると体積が膨張しようとするダイレイタンスーの現象が生じる。
- ▶ 非排水状態にある飽和砂のように等体積状態であれば、体積膨張しようとするれば、負の過剰間隙水圧が発生することになり、有効拘束圧が増加することになる。図-1の場合でもA→Bのプロセスで過剰間隙水圧が大幅に減少している。したがって、有効拘束圧の増加に伴うせん断抵抗力の増加が生ずることになる。この傾向は密な砂ほど大きくなる。
- ▶ 非排水状態での繰返し荷重に対する飽和砂の強度は密になるほど、特に間隙水圧の上昇そのもので定義するのは適切ではなく、発生したひずみの大きさで、定義する方がよりよいということになる。

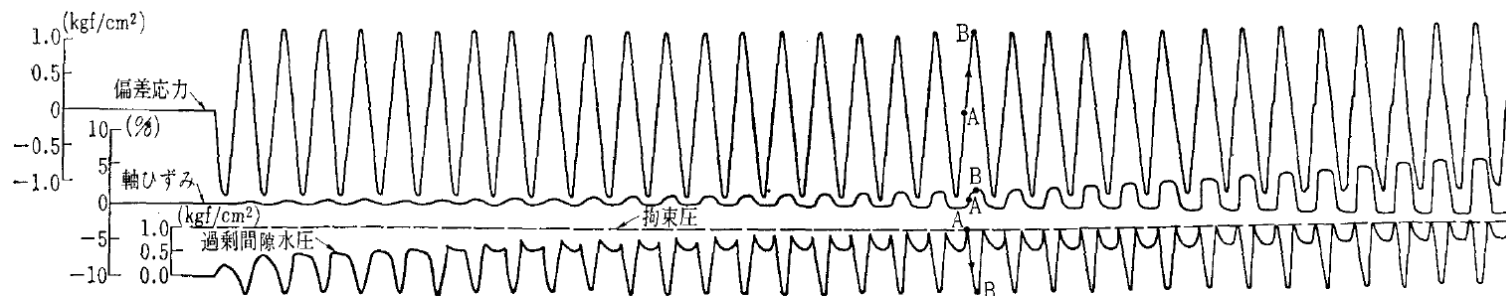


図-1 不飽和状態 ( $w=8\%$ ) でタンピングして作製した Monterey No. 0 砂の振動三軸試験結果 ( $D_r=79\%$ , 背圧  $1 \text{ kgf/cm}^2$ , 初期圧密応力  $\sigma_c'=1 \text{ kgf/cm}^2$ , 偏差応力比  $\sigma_{dp}/2\sigma_c'=0.55$ , 供試体寸法: 高さ  $153 \text{ mm}$ , 直径  $61 \text{ mm}$ , 空圧式繰返し荷重 ( $1 \text{ Hz}$ ))。



井合進：サイクリックモビリティCyclic Mobility, 地盤工学会誌, 56-8, 2008年8月

### 液状化（密な砂の場合）

- ▶ サイクリックモビリティとは、「密な砂地盤が繰り返しせん断を受け、過剰間隙水圧の増加に伴って、せん断ひずみ振幅が徐々に増大する現象である。」としている（図-1）。
- ▶ 地盤の液状化は、ゆるい砂地盤が繰り返しせん断を受け、せん断振幅が急増し、地盤全体が泥水状態となり、噴砂や噴水を伴うことが多いので、現象的にサイクリックモビリティとは異なる。
- ▶ 密な砂では、ゆるい砂でみられるようなひずみの急増は見られず、変形が限定される傾向が著しい。この点で、サイクリックモビリティ現象を示す密な砂地盤は、構造設計における ductility（ねばり）の効果と同等の工学的特性を有するものと評価される。

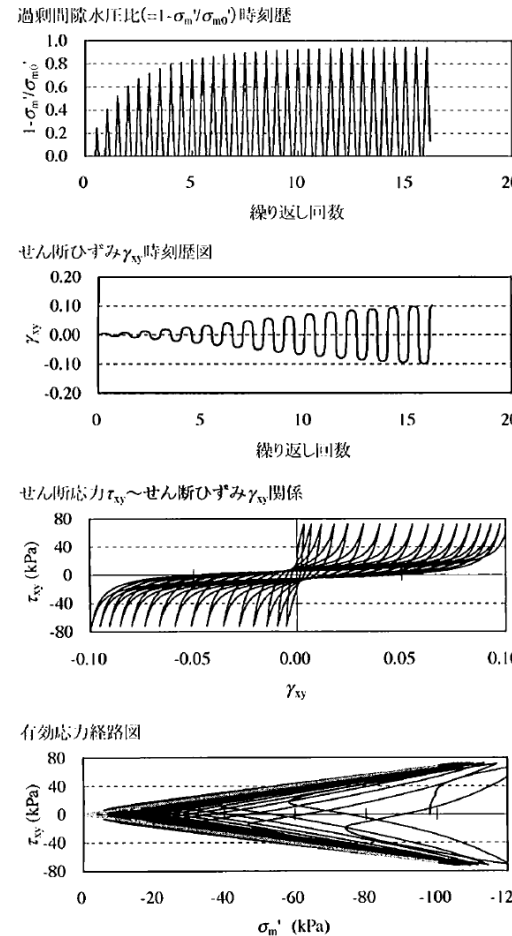


図-1 密な砂の非排水繰返しせん断挙動の例<sup>1)</sup>

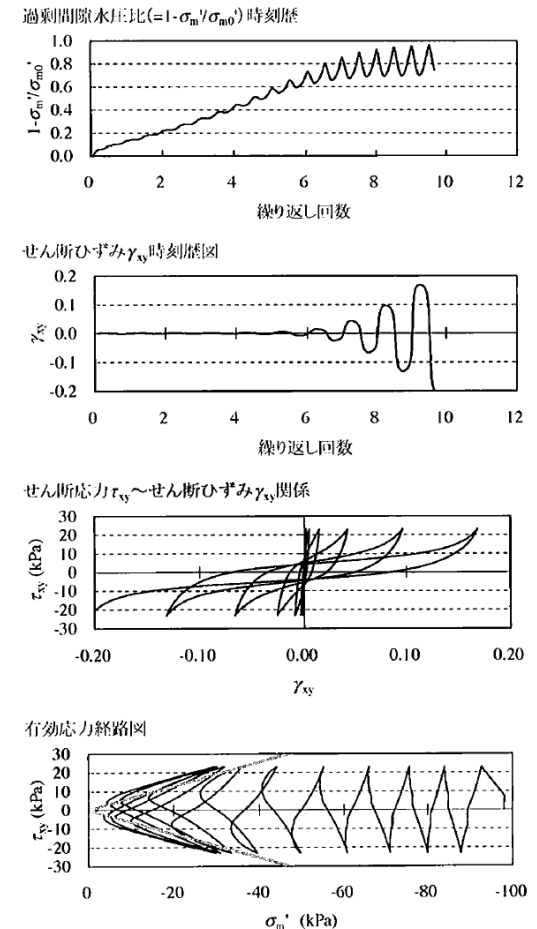


図-2 ゆるい砂の非排水繰返しせん断挙動の例<sup>1)</sup>



## (参考) 液状化関連の文献整理

吉見吉昭：砂地盤の液状化（第二版），技報堂出版，1991年5月

間隙水圧上昇を伴う繰返しせん断変形（サイクリックモビリティ）

- ▶ ゆるい砂の液状化と異なる点は，密な砂では，せん断ひずみがある限度を超えると，せん断によって堆積が膨張しようとする傾向（正のダイラタンシー）が現れるので，非排水条件のもとでは，せん断ひずみが大きくなると間隙水圧が減少し，したがって有効応力が回復することである。
- ▶ その結果，間隙水圧比が100%に達した後の過剰間隙水圧は，図-2.11に示すような変動を示す。
- ▶ すなわち，有効応力がゼロになるのは，せん断応力がゼロになる瞬間だけであり，せん断応力が作用している間は有効応力が存在するので，間隙水圧比が100%に達した後でも，繰返しせん断に対して相当な剛性を保持する。
- ▶ 密な砂では，緩い砂で見られるような破局的なクイックサンドは起こらず，有限なひずみ振幅をもつせん断変形が繰り返されるにすぎない。

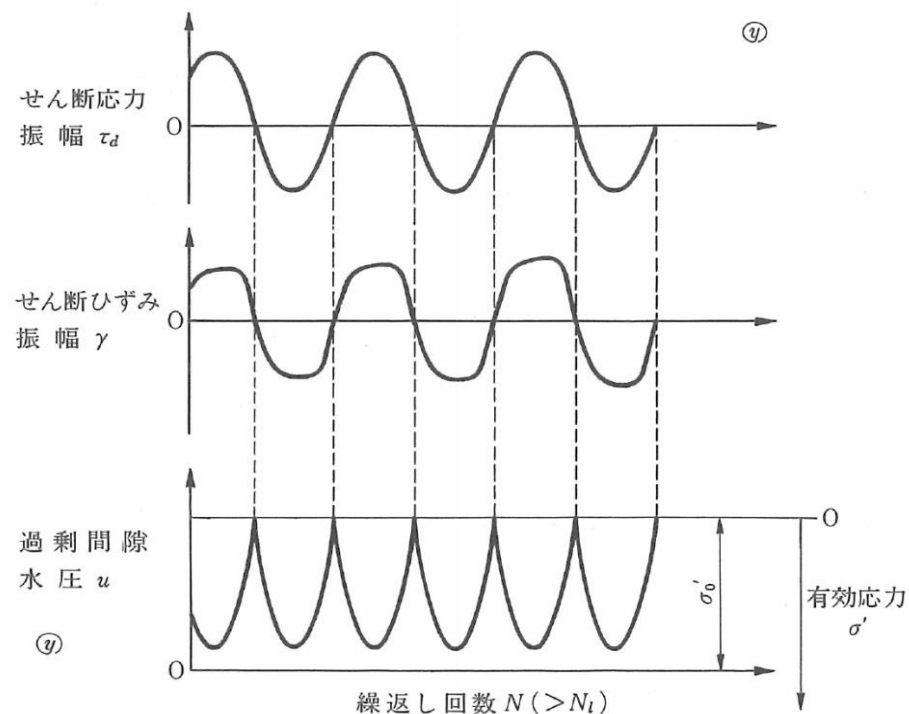


図-2.11 密な飽和砂の繰返し単純せん断試験において，間隙水圧比が100%に達した後のせん断ひずみと過剰間隙水圧の変化(模式図)

安田進：液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，1991年5月

### サイクリックモビリティー

- ゆる詰めと密詰めでの応力経路と応力～ひずみ関係を示すと図4-5となる。ゆる詰めの場合は応力経路が原点に近づいてゆき有効拘束圧が0になった後，せん断力が加わると，大きなひずみが発生する。
- 密詰めの場合には大ひずみは生じない。一時的に有効拘束圧が0になっても，その後にせん断力を加えると負の過剰間隙水圧が発生して有効拘束圧が増加（回復）し，有限の小さなひずみ振幅しか発生しない。この現象を“サイクリックモビリティー”と呼んで液状化と区別することもある。

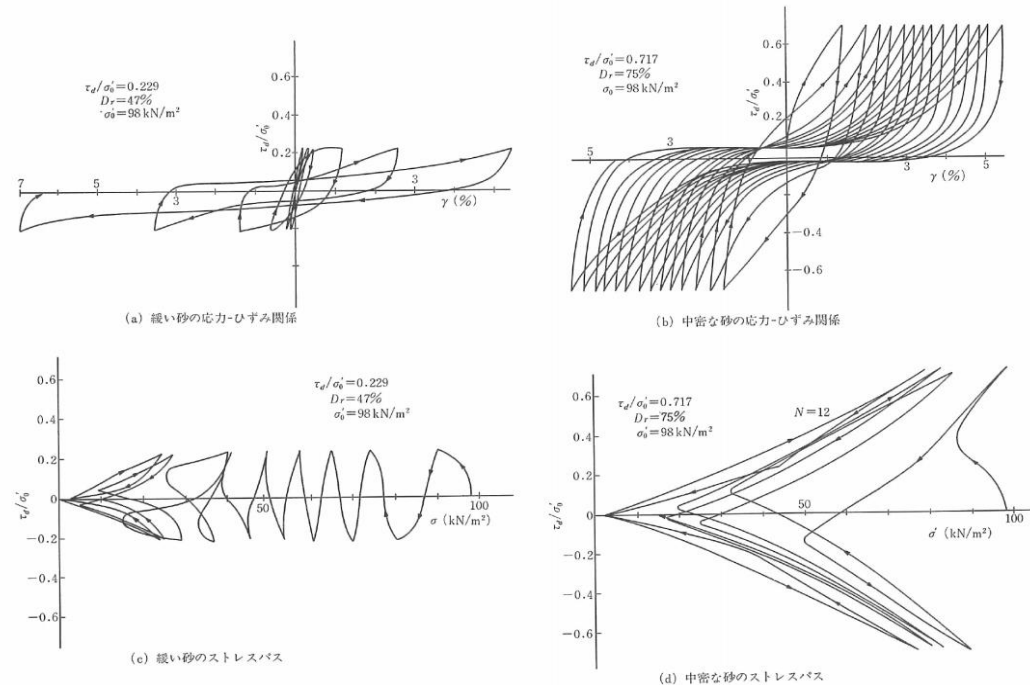


図 4-5 ゆる詰めと密な試料の応力経路および応力～ひずみ関係の比較（繰返しねじりせん断試験，富士川砂）<sup>3)</sup>

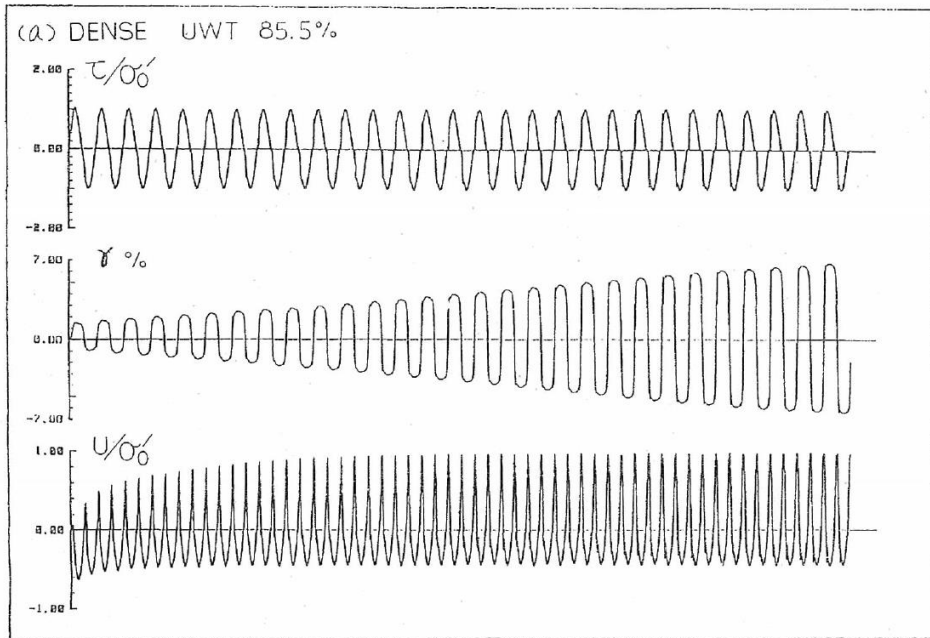
## (参考) 液状化関連の文献整理

国生剛治, 吉田保夫, 西好一, 江刺靖行: 密な砂地盤の地震時安定性評価法の検討 (その1) 密な砂の動的強度特性, 電力中央研究所報告 研究報告: 383025, 昭和58年10月

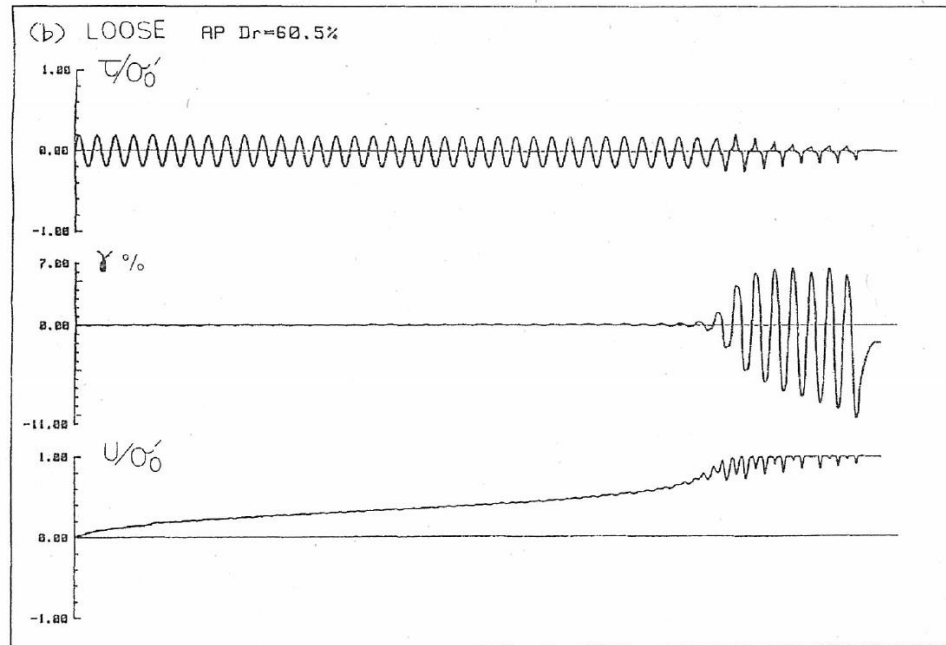
### 液状化 (密な砂の特徴)

- ゆるい砂では応力径路がいわゆる「変相線」を越えた時点から除荷される時に砂が言わば泥水液体状となり, 流動性を帯びてひずみが無限に生じる。
- 密な砂では応力径路が「変相角」を越えてからも液体状にならずせん断応力の除荷載荷に応じて破壊線に平行に応力径路が移動し有効応力がくり返し回復するようないわゆる“Cyclic Mobility”現象を示す。

#### ※密な砂



#### ※ゆるい砂



## (参考) 液状化関連の文献整理

国生剛治, 吉田保夫, 西好一, 江刺靖行: 密な砂地盤の地震時安定性評価法の検討 (その1) 密な砂の動的強度特性, 電力中央研究所報告 研究報告: 383025, 昭和58年10月

### 液状化 (密な砂の特徴)

あるひずみ振幅の範囲内ではせん断抵抗が非常に低下し、一見、ゆるい砂と同様な挙動を示すが、その範囲を越えると有効応力が回復してくるために急激にせん断抵抗が増すことになる。载荷のくり返し数が増すに従って、このひずみ範囲は徐々に増大するが、ゆるい砂のようにひずみが急激にのびることは決してない。

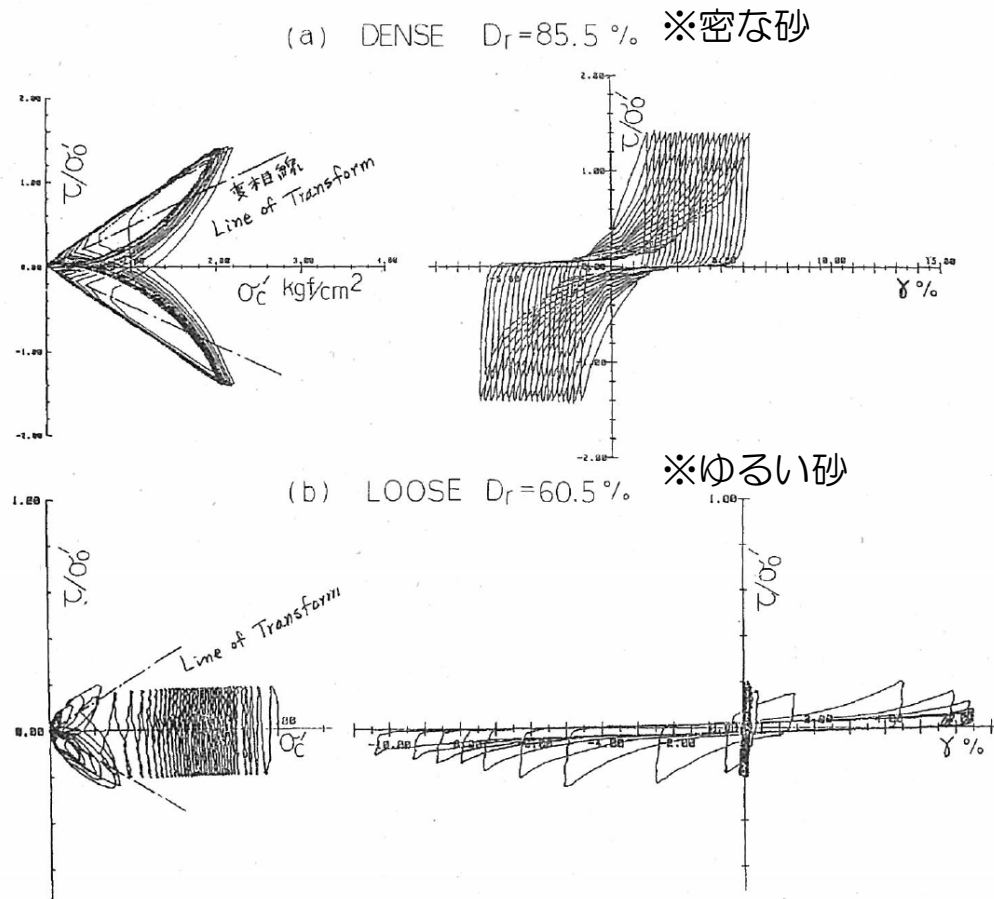


図3-2 密な砂(a)とゆるい砂(b)の中空ねじりせん断試験による有効応力径路(左側)と応力・ひずみ関係  
Effective Stress Path and Stress - Strain Curve for Dense Sand (a) and Loose Sand (b)

# 有効応力解析に関する記載



# (参考) 液状化関連の文献整理

## 社団法人日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成19年7月

### 第5章 係留施設

#### 1 総説

【省令】(通則)

第二十五条 係留施設は、船舶の安全かつ円滑な利用を図るものとして、地象、気象、海象その他の自然状況及び船舶の航行その他の当該施設周辺の水域の利用状況に照らし、適切な場所に設置するものとする。

【省令】(係留施設に関し必要な事項)

第三十四条 この章に規定する国土交通大臣が定める要件その他の係留施設の要求性能に関し必要な事項は、告示で定める。

【告示】(係留施設)

第四十七条 係留施設の要求性能に関し省令第三十四条の告示で定める事項は、次条から第七十三条までに定めるとおりとする。

#### 1. 1 総論

- (1) 係留施設には、岸壁、栈橋、物揚場、浮栈橋、船揚場、係船浮標、係船杭、ドルフィン、デタッチドピア及びエアークッション艇発着施設等がある。岸壁、栈橋及び物揚場のうち、地震対策の観点から特に重要な施設でその耐震性能を強化する必要がある施設を耐震強化施設といい、地震動の作用後に当該施設に求められる機能に応じて、耐震強化施設(特定(緊急物資輸送対応))、耐震強化施設(特定(幹線貨物輸送対応))、耐震強化施設(標準(緊急物資輸送対応))に分類される。
- (2) 係留施設の構造形式は、自然条件、利用条件、施工条件及び経済性等を考慮して決定する。係留施設の構造形式は、重力式係船岸、矢板式係船岸、自立矢板式係船岸、二重矢板式係船岸、棚式係船岸、根入れを有するセル式係船岸、置きセル式係船岸、直杭式横栈橋、斜め組杭式横栈橋、ジャケツト式栈橋等に分類される。
- (3) 係留施設のレベル1地震動及びレベル2地震動に対する標準的な性能照査順序の例を図-1.1.1及び図-1.1.2に示す。なお、詳細については、構造形式ごとの記述を参照することができる。

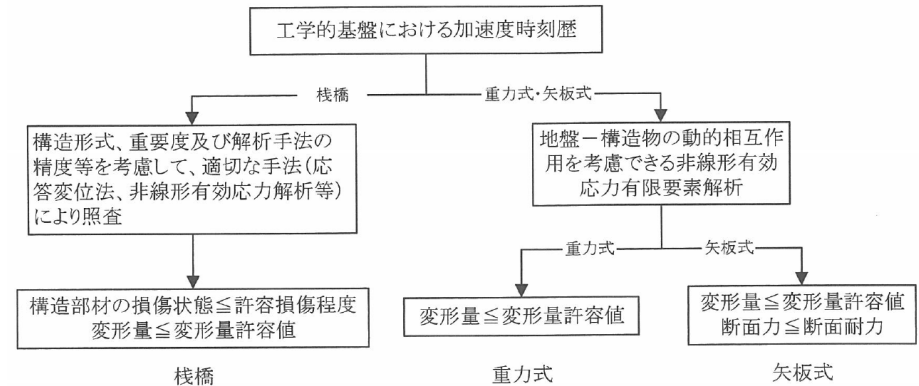


図-1.1.2 レベル2地震動に対する性能照査順序の例



## (参考) 液状化関連の文献整理

## 社団法人日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成19年7月

## (9) 地震動に対する性能照査（詳細法）

- ① 重力式岸壁のレベル2地震動に対する耐震性能照査は、適切な地震応答解析あるいは実験により具体的に施設の変形量等を算定して行う。なお、レベル2地震動に関する偶発状態における変形量の標準的な限界値については、本編第5章1.4耐震強化施設のレベル2地震動に対する変形量の限界値の標準的な考え方を参照して、適切に設定することができる。

施設の変形等に対する性能照査手法は、大別すると、地震応答解析による方法と、振動台等による振動実験による方法の二種類がある。

## (a) 地震応答解析による方法

地震応答解析は表-2.2.3のように分類できる。以下に、この分類にしたがって、各種の地震応答解析法を説明する。地震応答解析手法によっては、変形等の照査を行う目的には適さないものもあるため、下記の説明を踏まえて、目的に応じた解析手法を選択する必要がある。

表-2.2.3 地震応答解析の分類

|                    |                               |
|--------------------|-------------------------------|
| 解析法<br>(飽和地盤の取り扱い) | 有効応力解析法、全応力解析法<br>(固層及び液層、固層) |
| 計算対象領域 (次元)        | 一次元、二次元、三次元                   |
| 一般的な計算モデル          | 重複反射モデル、質点モデル、有限要素モデル         |
| 材料特性               | 線形、等価線形、非線型                   |
| 計算領域               | 時間領域解析法、周波数領域解析法              |

## 1) 有効応力解析法と全応力解析法

液状化の予測・判定という観点や、土の変形挙動の予測という観点から見ると、地震応答解析は有効応力解析法に基づくものと全応力解析法に基づくものに分けることができる。特に、地震動作用時の港湾の施設の変形予測に際しては、地盤内の過剰間隙水圧の発生に伴う有効応

力の減少（その極端な状態が液状化である）を考慮する必要がある場合が多い。これは、有効応力の減少など土の応力状態の変化に伴い、土の応力-ひずみ関係や減衰特性などが変化し、地盤の変形特性や応答特性が変化するためである。有効応力解析法は地盤に発生する過剰間隙水圧を計算により直接求めることができる方法であるが、全応力解析法では過剰間隙水圧の変化が計算されない。このため、例えば地盤の地震応答の計算において、ある程度以上の過剰間隙水圧（条件にもよるが、過剰間隙水圧比で概ね0.5以上）が発生する場合には、全応力解析法による計算結果は実際の地震応答とかなり異なる可能性が大きい。

単なる地震応答計算であれば、簡便な全応力解析法を実務で用いることも多いが、液状化の発生が懸念されるような港湾の施設の変形照査においては、有効応力解析法を用いることが基本である。

## 公益財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説，平成24年9月

### 7.3 地盤応答解析

#### 7.3.1 一般

地点依存の動的解析により，表層地盤の挙動を算定する際は，建設地点の土の動力学特性や地層構成などに基づき，動的解析により求めるものとする。ただし，詳細な検討を必要としない場合等は，簡易解析法により算定してもよい。

#### 7.3.3 動的解析による方法

##### 7.3.3.1 一般

動的解析による方法により表層地盤の挙動を算定する場合は，土の動力学特性および地盤を適切にモデル化した時刻歴非線形動的解析法によるのがよい。

##### 7.3.3.4 地盤の液状化の可能性のある場合

液状化の可能性のある地盤では，過剰間隙水圧の上昇に伴う有効応力の低下を考慮した有効応力解析による動的解析法を用いて表層地盤の挙動を評価するのがよい。

#### 【解説】

液状化の可能性のある地盤における地盤の動的解析手法は，基本的には有効応力法による時刻歴動的解析法を用いるのがよい。有効応力法では，地盤を土と水に分けて考える。有効応力法に用いられる基礎

方程式は，土に関する釣合式，水に関する釣合式，および水の流入・流出と土骨格の体積変化の関係などを考慮している。

液状化は，過剰間隙水圧の上昇に伴い地盤の有効応力が減少し，地盤の剛性や強度が極端に低下する現象である。しかし，密度の大きい地盤では過剰間隙水圧が上昇して一時的に有効応力が減少してもサイクリックモビリティにより，地盤の剛性や強度が回復する。このように液状化は複雑な現象であり，これを表現するため，様々な地盤構成則が提案されている。それらには大きく分けて以下のタイプがある。

- 1) ひずみを弾性成分と塑性成分に分け，降伏，塑性化および硬化に関する三つの関数により，応力-ひずみ関係とダイレイタンス-関係を一体化して考慮する。
- 2) ひずみを弾性・塑性成分に分けず，せん断応力とせん断ひずみの関係を一つの数式で表現し，ダイレイタンス特性は別途モデル化する<sup>例として1),2)</sup>。そのため，2)の方法は1)の方法に比べて理論的な厳密さに欠ける点があるが，必要なパラメータの設定方法が比較的容易であるなどの利点があり，適切に用いられれば実務上十分な精度を有している。

上述したように，有効応力解析は地盤を土と水に分けて考えるので，原理的には最も精度が高い解析法であるが，解析に用いられるパラメータの数が多く，その設定には精緻な地盤諸数値を必要とする。そのため，原位置でサンプリングした乱れの少ない試料を用いた詳細な室内土質試験を実施してパラメータを設定しなければ，解析手法と解析条件の精度のバランスに差が生じることもある。したがって，有効応力解析を実施して地盤の挙動を評価する際には，各パラメータが解析結果に与える感度を十分に勘案する必要がある。

#### 参考文献

- 1) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 2, pp. 1-15, 1992.
- 2) 福武毅芳・松岡元：任意方向繰返し単純せん断における応力・ひずみ関係，土木学会論文集，No. 463/III-22号，pp. 75-84, 1993.

lai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T (1992): STRAIN SPACE PLASTICITY MODEL FOR CYCLIC MOBILITY, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol,32, No. 2, pp.1-15.

lai et.al(1992)は、サイクリックモビリティが観察された砂の繰返しねじり試験結果に対して、有効応力解析プログラムFLIPを用いた解析を実施した。その結果、FLIPによる解析結果は、室内試験結果と良い対応を示したと報告している。

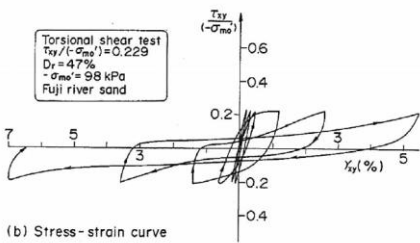
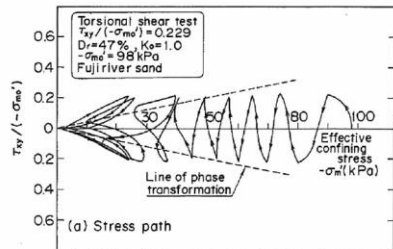


Fig. 1. Stress path and stress-strain curve for loose sand obtained from the cyclic torsion shear test (after Ishihara, 1985)

実験結果

ゆるい砂 (相対密度Dr=47%)

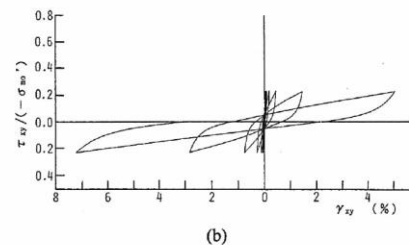
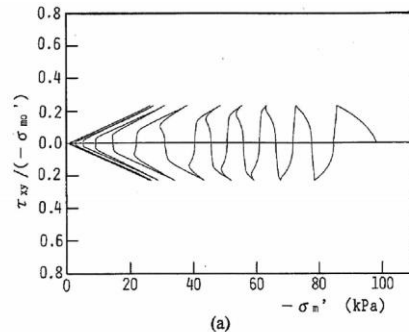


Fig. 9. Computed results of loose sand to be compared with the laboratory results in Fig. 1. (a) Stress path, (b) Stress strain curve

解析結果

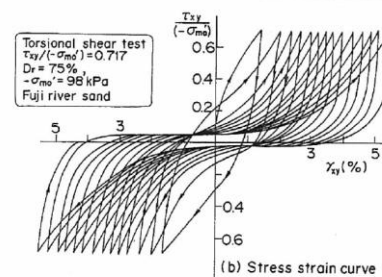
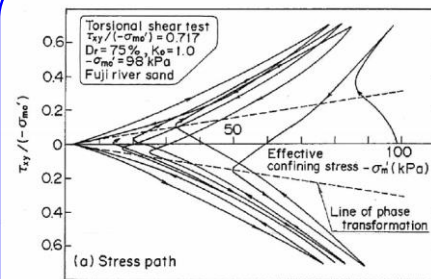


Fig. 2. Stress path and stress-strain curve for dense sand obtained from the cyclic torsion shear test (after Ishihara, 1985)

実験結果

密な砂 (相対密度Dr=75%)

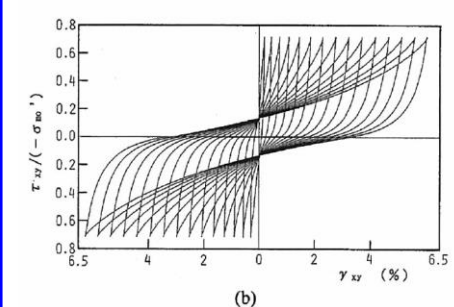
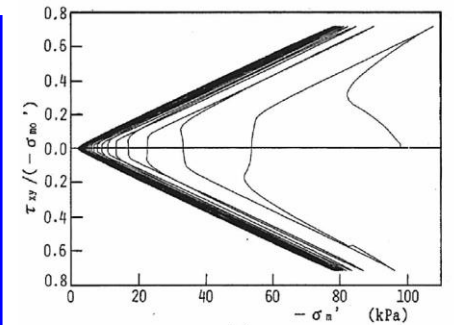


Fig. 10. Computed results of dense sand to be compared with the laboratory results in Fig. 2. (a) Stress path, (b) Stress strain curve

解析結果

lai, S., Morita, T., Kameoka, T., Matsunaga, Y. and Abiko, K. (1995): RESPONSE OF A DENSE SAND DEPOSIT DURING 1993 KUSHIRO-OKI EARTHQUAKE, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol.35, No. 1, pp.115-131.

lai et.al(1995)は、有効応力解析プログラムFLIPを用いて、1993年釧路沖地震のシミュレーション解析を実施した。本検討では、密な地盤に対して液状化パラメータを設定している。FLIPによる地表面加速度は、サイクリックモビリティの影響を示す観測値を再現することができたと報告している。

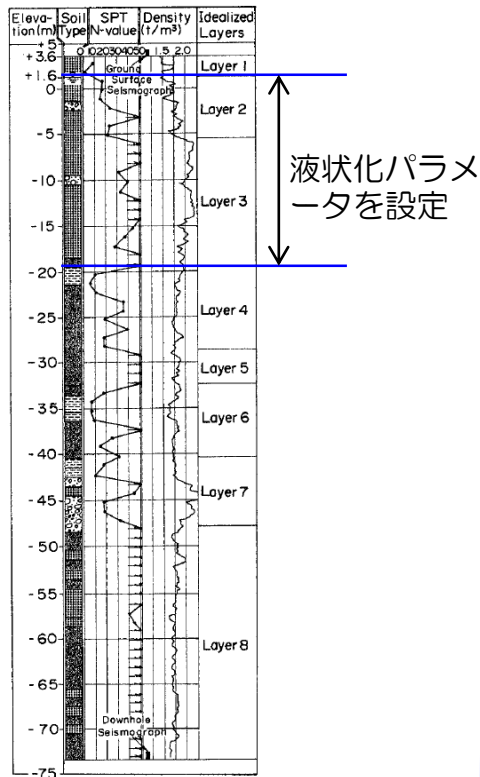


Fig. 21. Idealized soil layers for response analysis  
解析モデル

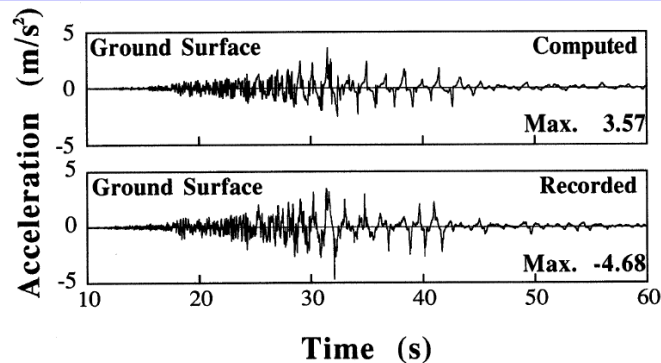


Fig. 24. Recorded and computed accelerations at the ground surface

地表面加速度の比較 (上段: 解析値, 下段: 観測値)

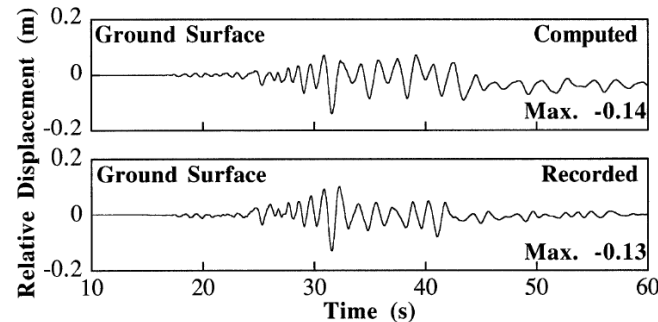


Fig. 25. Recorded and computed displacements at the ground surface relative to the base at a depth of 77 meters

地表面変位の比較 (上段: 解析値, 下段: 観測値)

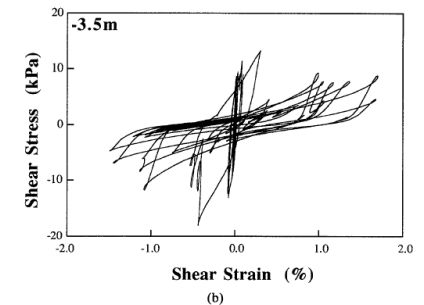
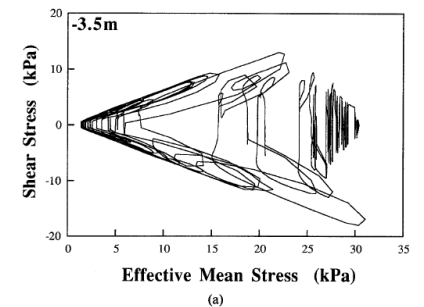


Fig. 26. Computed stress path and stress-strain relation at a depth of 3.5 meters in Layer 2; (a) stress paths and (b) stress strain relation

解析値の一例

(上段: 有効応力経路, 下段: せん断応力-せん断ひずみ関係)

## ⑤液状化試験後の状況写真







## (参考) 液状化試験後の状況写真

### 【液状化試験後の状態】

- 埋戻土層は、供試体側面に流動化の影響によると思われるしわが確認できる。
- 新期砂層・沖積層の供試体側面にも埋戻土層と同様にしわが確認できる。
- A-1 (洪積砂層Ⅰ)の供試体側面にも埋戻土層と同様にしわが確認できるが、より深部のA-2 (洪積砂層Ⅱ)では大きな変状が認められない。
- A-2 (洪積砂層Ⅰ)およびA-2 (洪積砂層Ⅱ)の供試体側面には、せん断破壊によると思われる変状がみられ、試験結果においてもせん断破壊により急激にひずみが進行している。
- O-1 (洪積砂質土層Ⅰ)およびO-2 (洪積砂質土層Ⅱ)の供試体側面には、大きな変状が認められないものの、試験結果においてはせん断破壊により急激にひずみが進行している。



## (参考) 液状化試験後の状況写真

|                                                                                   |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| A-1 (埋戻土層)                                                                        | A-3 (新期砂層・沖積層)                                                                      | A-1 (洪積砂層 I)                                                                         | A-1 (洪積砂層 II)                                                                        |
|   |   |   |   |
| 供試体側面にしわが確認される。                                                                   | 供試体側面にしわが確認される。                                                                     | 供試体側面にしわが確認される。                                                                      | 供試体側面に大きな変状は認められない。                                                                  |
| A-2 (洪積砂層 I)                                                                      | A-2 (洪積砂層 II)                                                                       | O-1 (洪積砂質土層 I)                                                                       | O-1 (洪積砂質土層 II)                                                                      |
|  |  |  |  |
| 供試体側面にせん断破壊による変状が認められる。                                                           | 供試体側面にせん断破壊による変状が認められる。                                                             | 供試体側面に大きな変状は認められない。                                                                  | 供試体側面に大きな変状は認められない。                                                                  |