

東海第二発電所 審査資料	
資料番号	PD-1-14 改 13
提出年月日	平成 29 年 9 月 20 日

東海第二発電所

地震による損傷の防止

平成 29 年 9 月
日本原子力発電株式会社

本資料のうち、は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

第4条：地震による損傷の防止

目 次

第1部

1. 基本方針

1.1 要求事項の整理

下線部：今回提出範囲

1.2 追加要求事項に対する適合性

(1) 位置、構造及び設備

(2) 安全設計方針

(3) 適合性説明

1.3 気象等

1.4 設備等

1.5 手順等

第2部

1. 耐震設計の基本方針

1.1 基本方針

1.2 適用規格

2. 耐震設計上の重要度分類

2.1 重要度分類の基本方針

2.2 耐震重要度分類

3. 設計用地震力

3.1 地震力の算定法

3.2 設計用地震力

4. 荷重の組合せと許容限界

4.1 基本方針

5. 地震応答解析の方針

5.1 建物・構築物

5.2 機器・配管系

5.3 屋外重要土木構造物

5.4 津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備 又は津波監視設備が設置された建物・構築物

6. 設計用減衰定数

7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響

8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針

9. 構造計画と配置計画

(別 添)

- 別添－1 設計用地震力
- 別添－2 動的機能維持の評価
- 別添－3 弾性設計用地震動 S_d ・静的地震力による評価
- 別添－4 上位クラス施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別添－5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針
- 別添－6 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定の考え方
- 別添－7 主要建屋の構造概要について

(別 紙)

- 別紙－1 既工認との手法の相違点の整理について（設置変更許可申請段階での整理）
- 別紙－2 原子炉建屋の地震応答解析モデルについて
- 別紙－3 原子炉建屋屋根トラス評価モデルへの弾塑性解析適用について
- 別紙－4 土木構造物の解析手法及び解析モデルの精緻化について
- 別紙－5 機器・配管系における手法の変更点について
- 別紙－6 下位クラス施設の波及的影響の検討について
- 別紙－7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について
- 別紙－8 屋外重要土木構造物の耐震評価における断面選定について
- 別紙－9 使用済燃料乾式貯蔵建屋の評価方針について
- 別紙－10 液状化影響の検討方針について
- 別紙－11 屋外二重管の基礎構造の設計方針について
- 別紙－12 既設設備に対する耐震補強について
- 別紙－13 動的機能維持評価の検討方針について

東海第二発電所

液状化影響の検討方針について

これまでの経緯及び本検討の位置づけ

第４８６回審査会合において、「液状化影響の検討方針について（現状における検討結果を含む）」により、敷地の耐震重要施設等※に関する液状化影響の検討方針について示すとともに、現状における検討結果をご説明した。

本検討は、第４８６回審査会合のコメントを踏まえ、耐震設計・耐津波設計基本方針における液状化影響の検討方針及び液状化強度特性の設定についてとりまとめたものである。

なお、第４８６回審査会合の説明にて液状化影響検討対象施設として選定し、設置許可基準規則第三条第１項への適合性の観点から岩着支持杭へ構造変更を行った施設のうち、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の基本設計方針及び構造成立性の検討結果については、「津波による損傷の防止」の添付資料２４「鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の設計方針について」に記載し、屋外二重管の基本設計方針については、「地震による損傷の防止」の別紙－１１「屋外二重管の基礎構造の設計方針について」に記載する。

※：常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）

目次

1. 液状化影響評価の検討方針の概要	・・・ 4
2. 敷地の地質について	・・・ 7
3. 液状化検討対象層の抽出	・・・ 21
3.1 液状化検討対象層の抽出	
3.2 Ac 層の液状化強度試験結果	
4. 液状化強度試験箇所とその代表性	・・・ 36
4.1 液状化強度試験箇所の選定	
4.2 液状化強度試験箇所の代表性	
4.3 室内液状化強度試験結果の R_{L20} と道路橋示方書式による R_L との比較検討	
4.4 基準地震動 S_s に対する液状化強度試験の有効性	
5. 施設毎の液状化影響検討の組合せ	・・・ 64
6. 有効応力解析の検討方針	・・・ 69
7. 保守的な液状化強度特性（豊浦標準砂）の仮定	・・・ 82
8. 設置許可基準規則第三条第 1 項，第 2 項に対する条文適合方針について	・・・ 86
9. 参考資料	
9.1 地下水位観測データについて	・・・ 88
9.2 土槽振動実験の再現シミュレーションについて	・・・ 94

1. 液状化影響評価の検討方針の概要

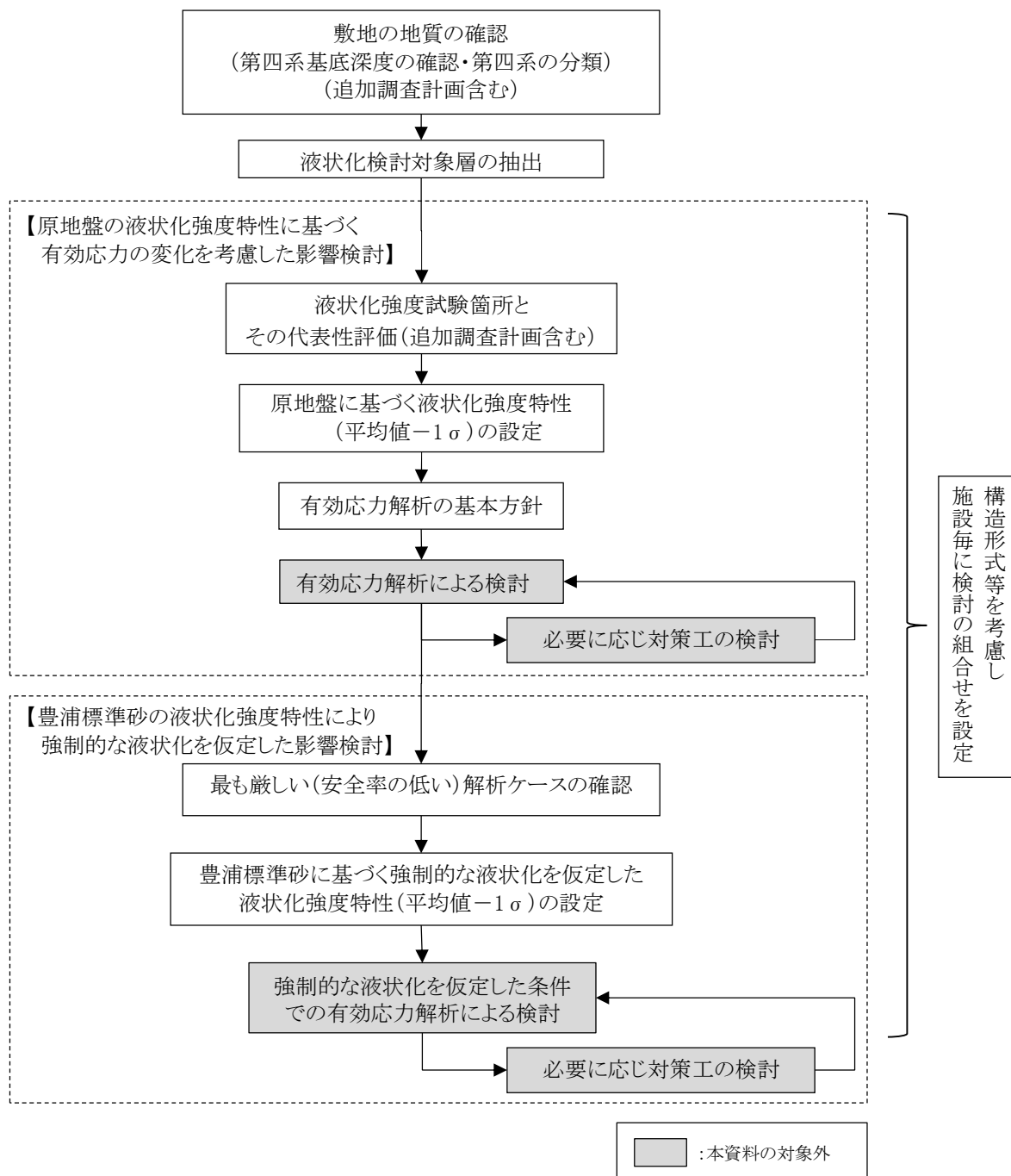
第 1.1.1 図に液状化影響評価のフローを示す。

東海第二発電所の液状化影響評価については道路橋示方書を基本とし、道路橋示方書では液状化検討対象外とされている G.L. - 20m 以深及び更新統についても液状化検討対象層として扱う。

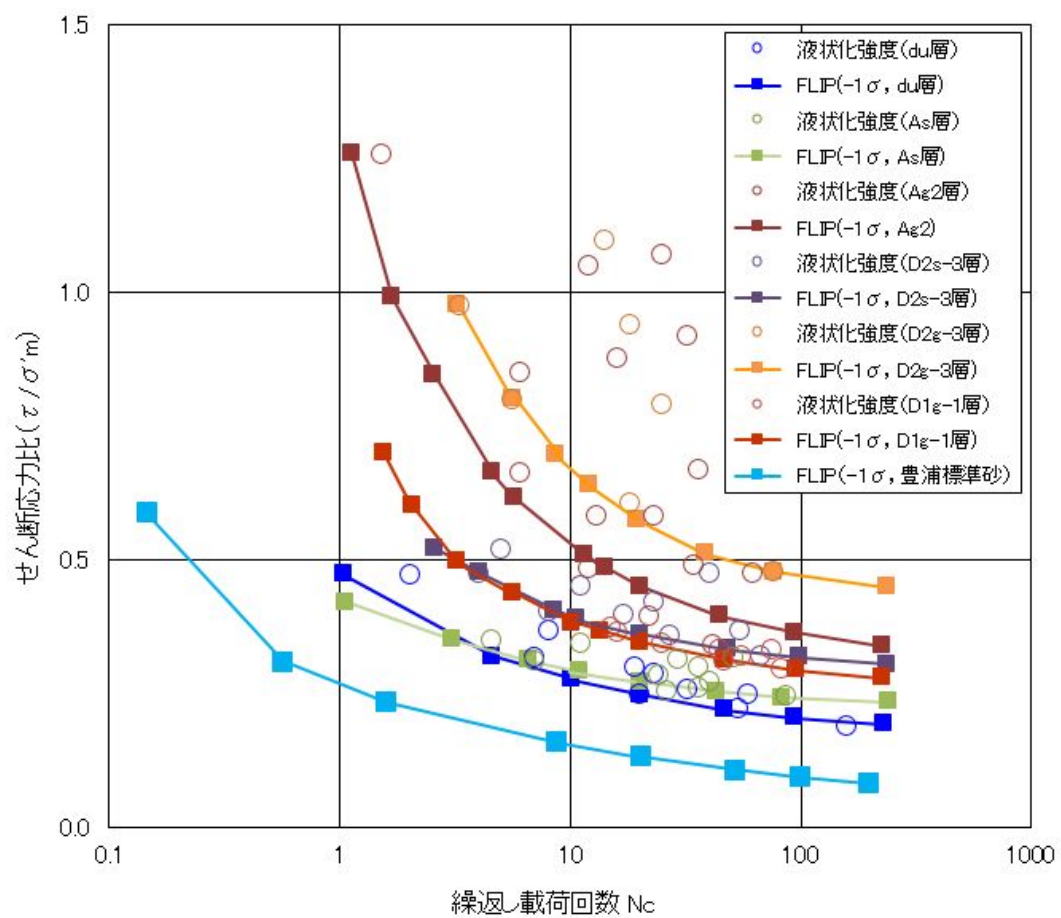
原地盤の各液状化検討対象層に対する試験結果に基づき、液状化強度特性を設定し、有効応力解析によって構造物への影響評価を実施する。設定する原地盤の各液状化検討対象層の液状化強度特性は試験データのバラツキを考慮し、液状化強度の平均値と標準偏差を考慮した保守的な設定（平均値 - 1σ ）とする。

耐震重要施設等の耐震設計において液状化影響の検討を行う場合は、原地盤の液状化強度特性（平均値 - 1σ ）を用いて基準地震動 S_s に対する有効応力解析による検討を行うことを基本とするが、より安全側の評価が必要な施設に対しては、更に、上記検討において最も厳しい（安全率が低い）解析ケースに対して、豊浦標準砂の液状化強度特性を仮定した有効応力解析による検討を追加で行う。上記の検討の組合せは、施設毎に、構造形式等を考慮し設定する。

第 1.1.2 図に原地盤の液状化強度特性（平均値 - 1σ ）と豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性の比較を示す。豊浦標準砂の液状化強度特性は原地盤の液状化強度特性（平均値 - 1σ ）を保守側で包含しており、これを用いた有効応力解析は強制的な液状化の仮定による影響を考慮した評価である。



第 1.1.1 図 液状化影響評価のフロー



第 1.1.2 図 原地盤に基づく液状化強度特性（平均値－1 σ ）と豊浦標準砂に基づく強制的な液状化を仮定した液状化強度特性（平均値－1 σ ）の比較

2. 敷地の地質について

敷地の地質層序を第 2.1.1 表に示す。敷地の地質は、下位から先白亜系の日立古生層(日立変成岩類)、白亜系の那珂湊層群、新第三系の離山層、新第三系鮮新統～第四系下部更新統の久米層、第四系更新統の東茨城層群及び段丘堆積物、第四系完新統の沖積層及び砂丘砂層からなる。

敷地の地質・地質構評価に係る地質調査のうち、ボーリング調査位置図を第 2.1.1 図に、敷地の地質平面図を第 2.1.2 図に示す。敷地に分布する地層のうち、最下位の日立古生層(日立変成岩類)は硬質な泥岩、砂岩及び礫岩からなる。那珂湊層群は硬質な泥岩、砂岩及び礫岩からなる。離山層は泥岩、凝灰岩からなる。久米層は砂質泥岩を主としている。東茨城層群と段丘堆積物は砂礫、砂及びシルトからなり、沖積層は粘土を主として砂及び礫混じり砂を挟む。各層は不整合関係で接している。砂丘砂層は均質な細～中粒砂からなり、敷地全体に広く分布する。

敷地の第四系の主な層相及び代表的なコア写真の拡大を第 2.1.2 表に示す。以降、敷地の第四系をこの層相に基づき区分する。

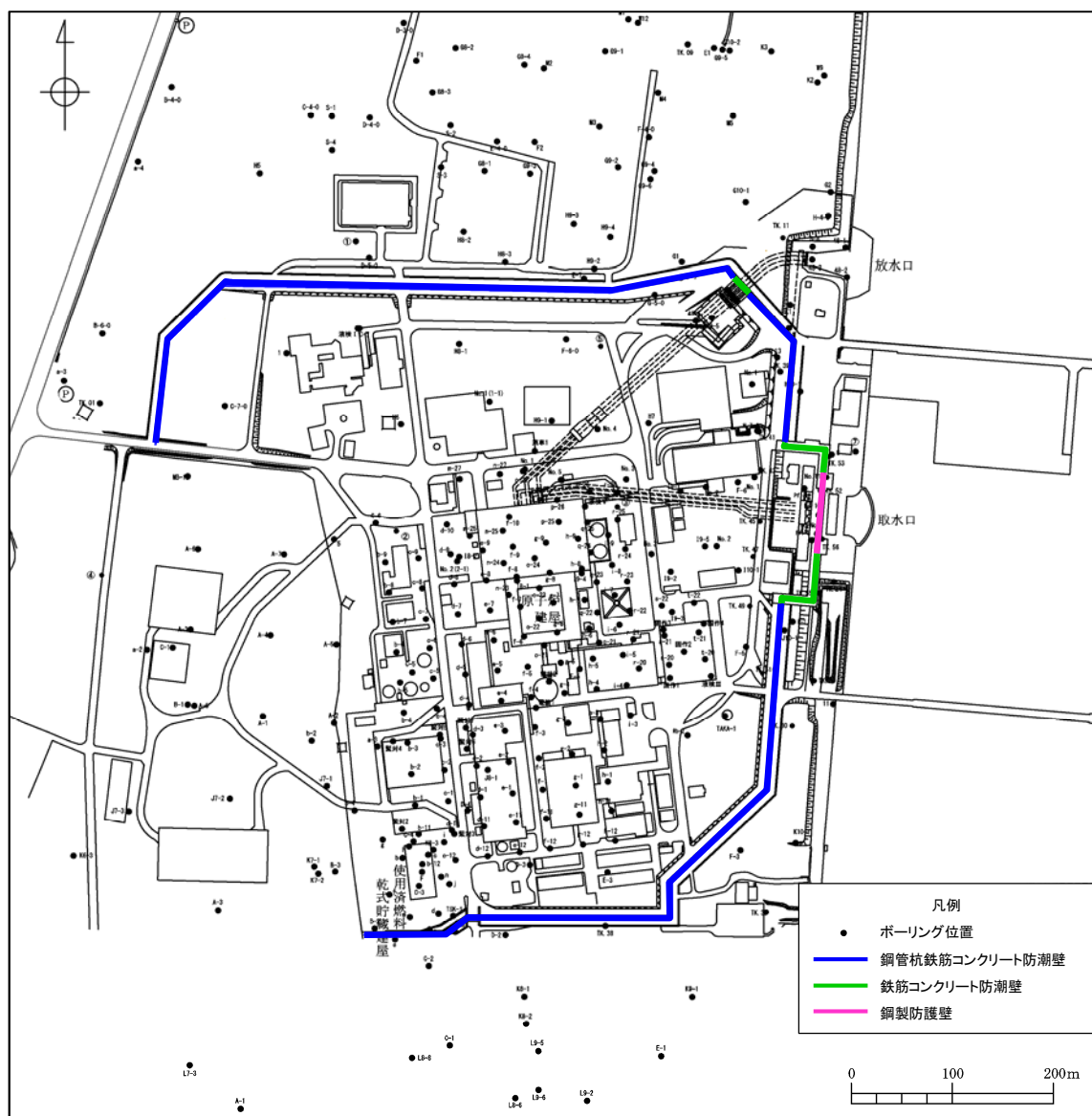
敷地の地質断面図を第 2.1.3 図に示す。敷地には、敷地全域にわたって新第三系鮮新統～第四系下部更新統の久米層が分布し、その上位に第四系更新統の段丘堆積物、第四系完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。

防潮堤設置位置の地質断面図を第 2.1.4 図～第 2.1.6 図に示す。地質断面図は、断面線から最も近いボーリング調査の結果を重視するとともに、周辺のボーリング調査で確認された地層の走向・傾斜や分布の連続性を加味して作成した。

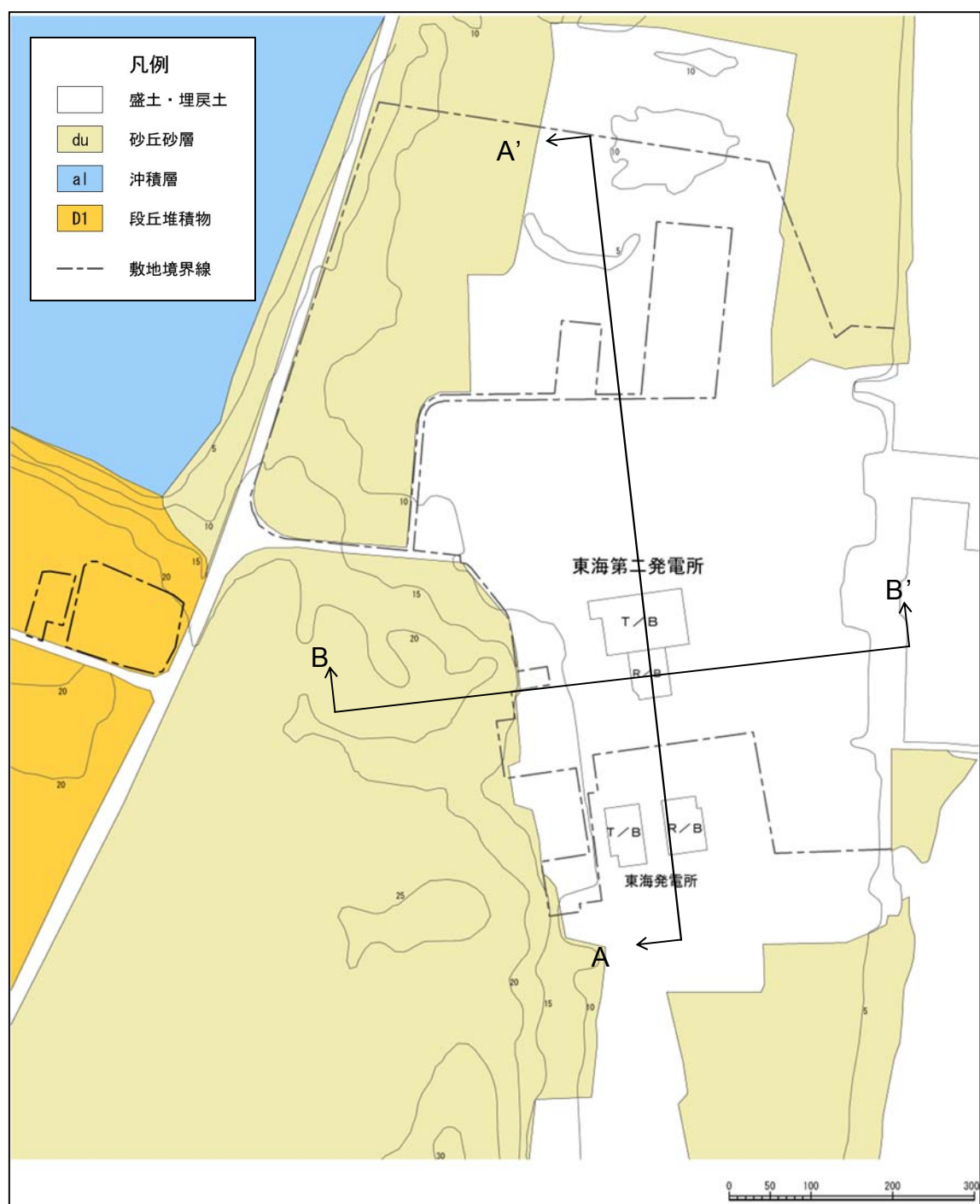
今後、追加ボーリング調査等を行い、第四系の地質構造、岩盤上面深度等について詳細に確認を行い、詳細設計にて用いられている地盤条件の妥当性を確認してゆく。追加ボーリング調査計画を第 2.1.7 ～2.1.10 図に示す。

第 2.1.1 表 地質層序

年代層序区分			地層区分	地質記号	主な層相		備 考																			
新 生 界	第四系	完新統	砂丘砂層	du	灰褐色～黄灰色の砂～中粒砂		敷地全体に広く分布する。																			
			沖積層	al	Ag2	砂礫	暗青灰色～灰褐色の粘土・砂 灰褐色～黄褐色の陸湿じり砂	最上位の砂層は敷地全体に広く分布する。 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。																		
					Ac	粘土																				
					As	砂																				
		Ag1			砂礫																					
		更新統	段丘堆積物	D2	D2c-3	シルト	黄褐色～青灰色の砂礫・砂・シルト	敷地南部に分布する。 敷地周辺のI1段丘堆積物に対比される。 シルト層中の炭物質の年代： 40830±2,670年BP～48330±年BPオーバーバー (14C年代測定法)																		
					D2s-3	砂																				
					D2g-3	砂礫																				
					D2c-2	シルト																				
					D2g-2	砂礫																				
					lm	ローム																				
		鮮新統	東茨城層群	D1	D1c-1	シルト	敷地南西部に分布する。 敷地周辺のM2段丘堆積物に対比される。 本層上部に分布する風化火山灰層に含まれる テフラの年代： ・赤城鹿沼テフラ >45,000年BP ・赤城水沼1テフラ 55,000年BP～60,000BP																			
					D1g-1	砂礫																				
					Hi	暗灰色～褐色の砂及びシルト 灰褐色～青灰色の砂礫																				
					Km	暗オリーブ灰色の砂質泥岩																				
	Hn				泥岩・凝灰岩																					
	白亜系	新第三系	鮮新統	久米層	Nk	Hp	泥岩・砂岩・礫岩	敷地では北部を中心に久米層の下位に認められる。 敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。 1孔のボーリングで那珂湊層群の下位に認められる。																		
									離山層	那珂湊層群	日立古生層 (日立変成岩類)															
												白亜系	新第三系	鮮新統	久米層	Nk	Hp	泥岩・砂岩・礫岩	敷地では北部を中心に久米層の下位に認められる。 敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。 1孔のボーリングで那珂湊層群の下位に認められる。							
																				白亜系	新第三系	鮮新統	久米層	Nk	Hp	泥岩・砂岩・礫岩
白亜系																										
















第 2.1.1 図 ボーリング調査位置図



第 2.1.2 図 敷地の地質平面図

第 2.1.2 表 第四系の主な層相及び代表的なコア写真の拡大

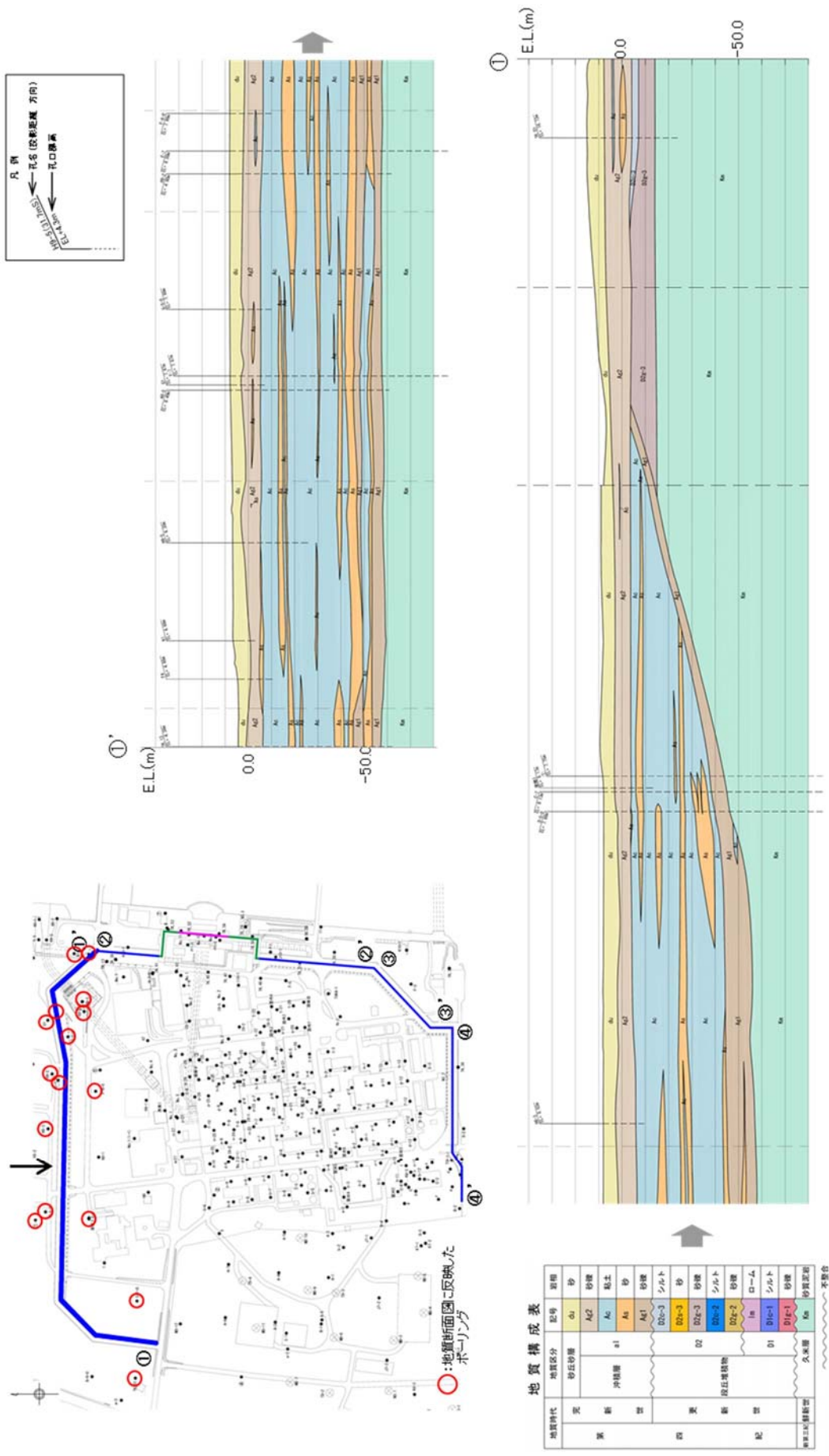
年代層序区分			地層区分	地質記号		主な層相	代表的なコア写真
新 生 界	第四系	完新統	砂丘砂層	du		灰褐色～黄灰色の砂～中粒砂	
			沖積層	al	Ag2	砂礫	
					Ac	粘土	
					As	砂	
					Ag1	砂礫	
		更新統	段丘堆積物	D2	D2c-3	シルト	
					D2s-3	砂	
					D2g-3	砂礫	
					D2c-2	シルト	
					D2g-2	砂礫	
				D1	lm	ローム	
					D1c-1	シルト	
					D1g-1	砂礫	

~~~~~ :不整合



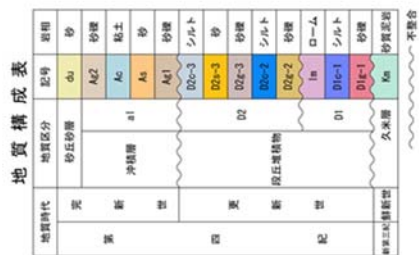




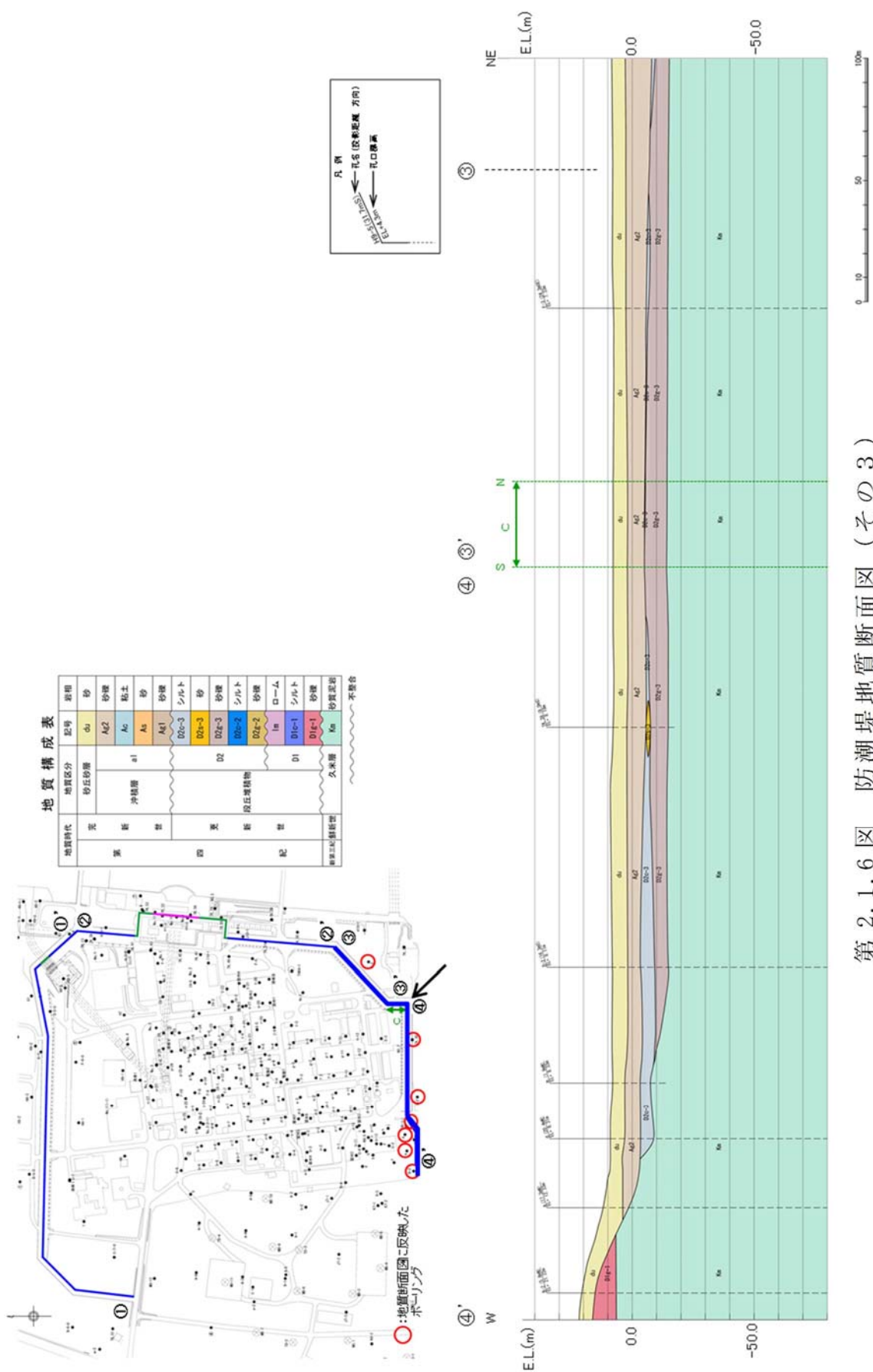


第 2.1.4 図 防潮堤地質断面図 (その 1)



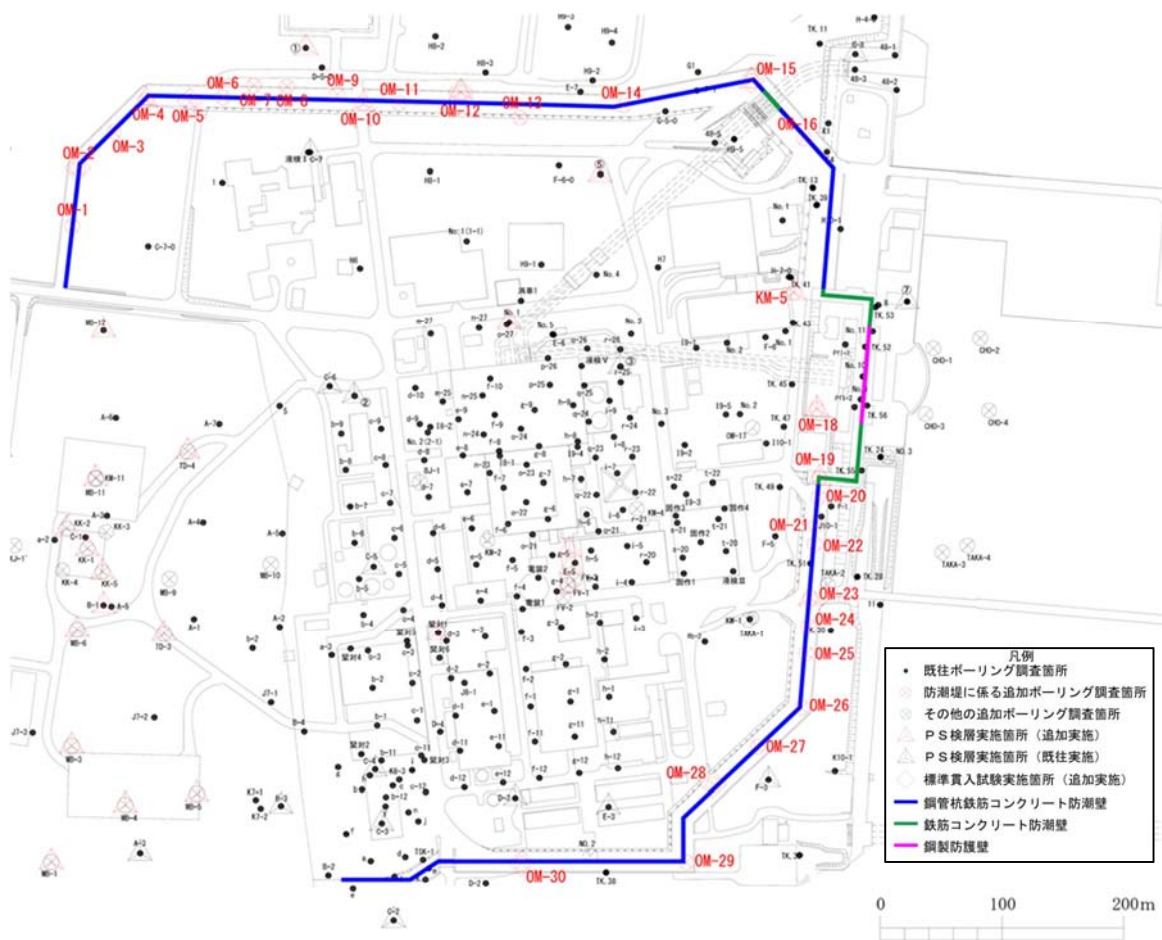






第 2.1.6 図 防潮堤地質断面図 (その 3)



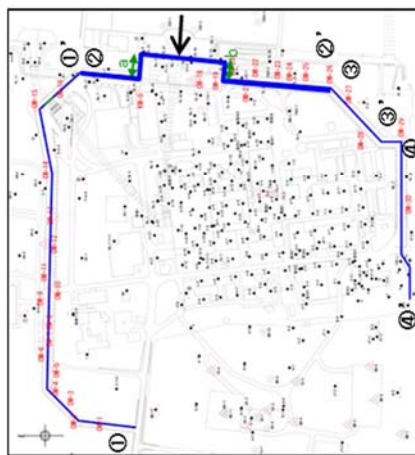


第 2.1.7 図 追加ボーリング調査計画（平面図）



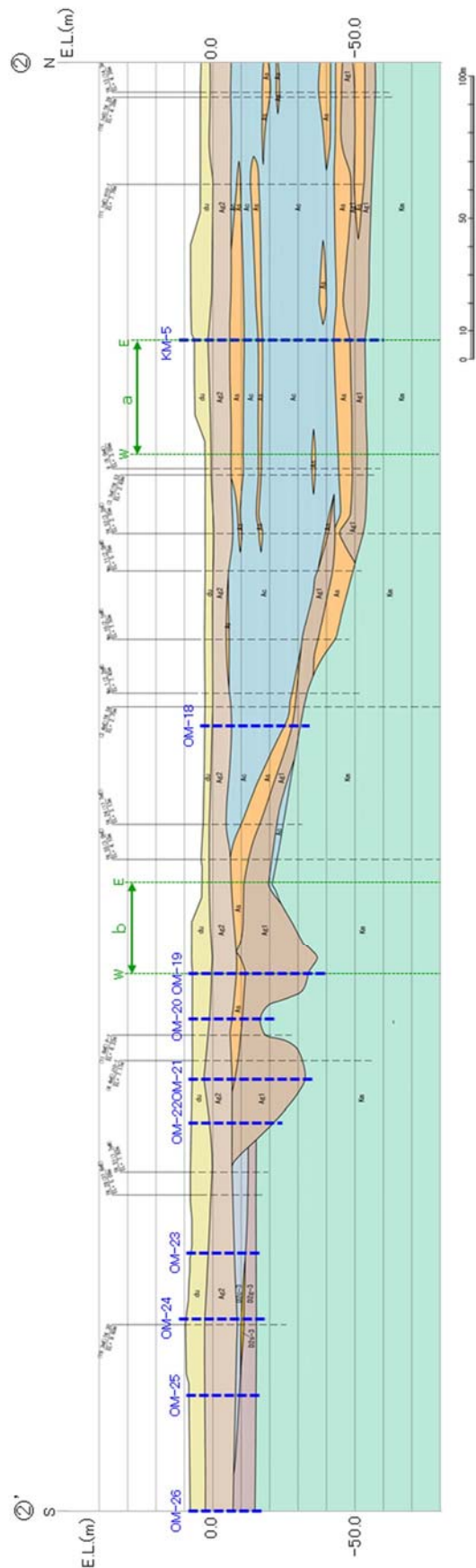






地質構成表

| 地質時代  | 地質区分 | 記号    | 説明   |
|-------|------|-------|------|
| 新 第三紀 | 沖積層  | ds    | 砂    |
|       |      | Au2   | 砂礫   |
| 新 第三紀 | 沖積層  | As    | 粘土   |
|       |      | As    | 砂    |
| 新 第三紀 | 沖積層  | Au1   | 砂礫   |
|       |      | DZc-3 | シルト  |
| 新 第三紀 | 沖積層  | DZc-3 | 砂    |
|       |      | DZc-3 | シルト  |
| 新 第三紀 | 沖積層  | DZc-2 | 砂礫   |
|       |      | DZc-2 | 砂    |
| 新 第三紀 | 沖積層  | Is    | ローム  |
|       |      | DZc-1 | シルト  |
| 新 第三紀 | 沖積層  | DZc-1 | 砂礫   |
|       |      | DZc-1 | 砂    |
| 新 第三紀 | 沖積層  | Is    | 砂質泥岩 |
|       |      | Is    | 砂質泥岩 |
| 新 第三紀 | 沖積層  | Is    | 砂質泥岩 |
|       |      | Is    | 砂質泥岩 |



第 2.1.9 図 追加ボーリング調査計画（防潮堤地質断面図 その 2）







### 3. 液状化検討対象層の抽出

#### 3.1 液状化対象層の抽出

道路橋示方書（道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，平成 24 年 3 月）では液状化検討対象層を完新統の以下の条件全てに該当する土層と定めている。

①地下水位が G.L. - 10m 以内であり，かつ G.L. - 20m 以内の飽和土層

②細粒分含有率が 35% 以下，又は細粒分含有率が 35% 以上でも塑性指数が 15 以下の土層

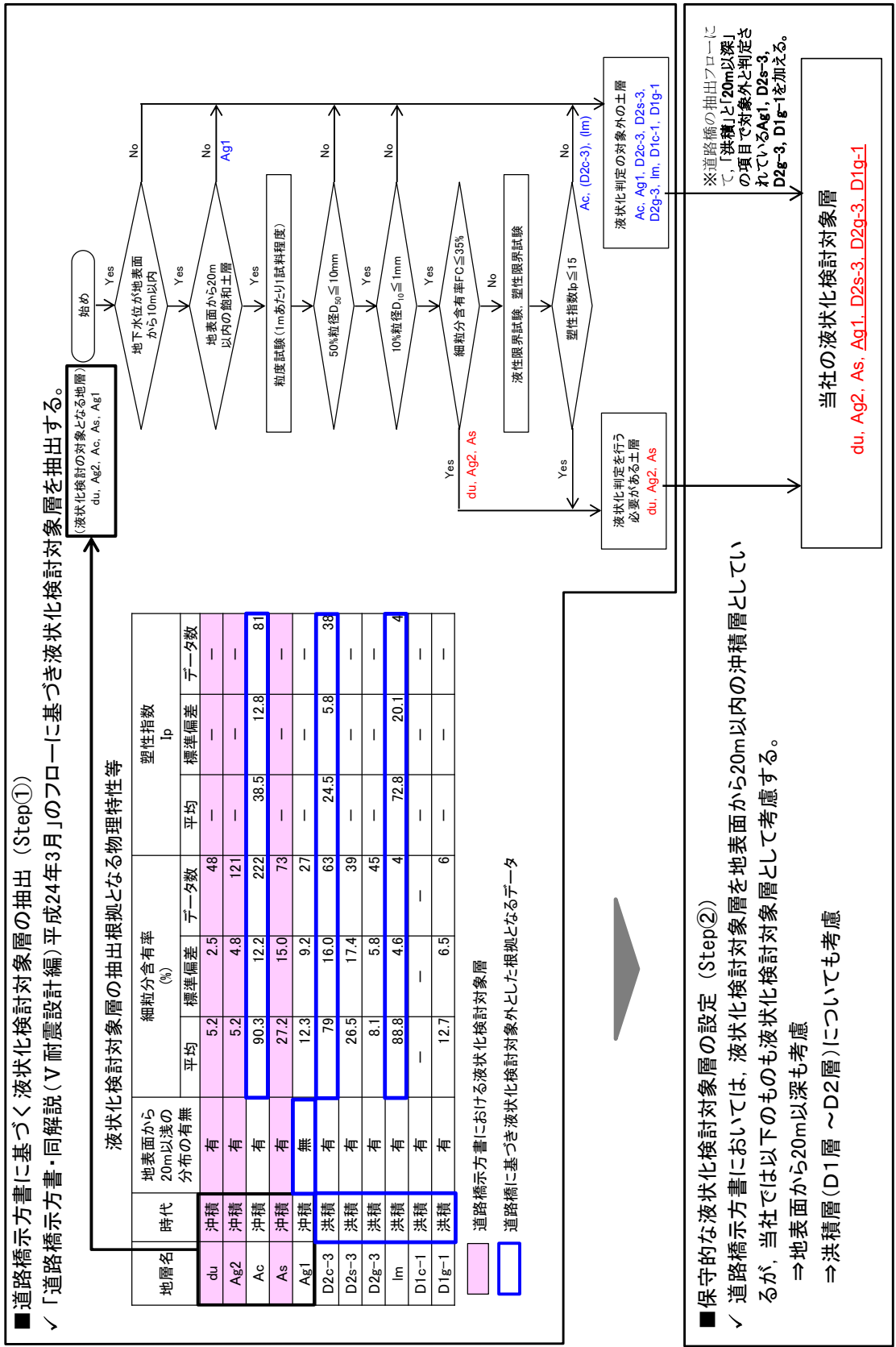
③平均粒径が 10mm 以下で，かつ 10% 粒径が 1mm 以下である土層  
上記の条件は各指針類（鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編（平成 24 年 9 月），港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 19 年））でほぼ共通している。

当該地での液状化検討対象層の抽出では，道路橋示方書で対象としている地層を基本とし，さらに，道路橋示方書では検討対象外としている更新統及び G.L. - 20m 以深の土層も抽出対象とする。

第 3.1.1 図には敷地の液状化検討対象層抽出方針，第 3.1.1 表には液状化検討対象層の抽出結果を示す。

敷地における液状化検討対象層は，du 層，Ag2 層，As 層，Ag1 層，D2s-3 層，D2g-3 層及び D1g-1 層となった。







第 3.1.1 表 液状化検討対象層の抽出結果

○:検討対象

□:保守的に検討対象とするもの

—:検討対象外



:液状化検討対象とするもの

| 地質記号 | 層相    | 道路橋示方書<br>における液状<br>化検討対象層 | 当社の液状化<br>検討対象層 | 備 考                                                     |
|------|-------|----------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------|
| du   | 砂     | ○                          | ○               |                                                         |
| al   | Ag2   | 砂礫                         | ○               |                                                         |
|      | Ac    | 粘土                         | —               |                                                         |
|      | As    | 砂                          | ○               | ・ 20m以深に分布する範囲について保守的に検討対象とする。                          |
|      | Ag1   | 砂礫                         | □               | ・ 20m以深に分布するが保守的に検討対象とする。                               |
| D2   | D2c-3 | シルト                        | —               |                                                         |
|      | D2s-3 | 砂                          | □               | ・ 洪積層であるが保守的に検討対象とする。                                   |
|      | D2g-3 | 砂礫                         | □               | ・ 洪積層であるが保守的に検討対象とする。<br>・ 20m以深に分布する範囲について保守的に検討対象とする。 |
| D1   | lm    | ローム                        | —               |                                                         |
|      | D1c-1 | シルト                        | —               |                                                         |
|      | D1g-1 | 砂礫                         | □               | ・ 洪積層であるが保守的に検討対象とする。                                   |



### 3.2 Ac 層の液状化強度試験結果

敷地の北部には砂層を間に挟在している過圧密粘土層（Ac 層）が厚く堆積している。Ac 層は細粒分含有率が 90%以上，塑性指数  $I_p$  は 30～60 を示す高塑性粘土である。前節の液状化検討対象層の抽出では Ac 層は液状化検討対象層外と分類されるが，敷地における分布範囲が広く，液状化影響検討における重要度が高いことから液状化の可能性の有無を定量的に検討することを目的として室内液状化強度試験を実施した。

室内液状化強度試験は，砂・礫質土で実施した中空繰返しねじりせん断試験により実施した。以下に試験条件を示す。

#### 【室内液状化強度試験の試験条件】

試験方法：中空繰返しねじりせん断試験

地盤材料試験の方法と解説（公益社団法人地盤工学会，2009）に基づき，繰返し回数 200 回を上限とし，両振幅せん断ひずみ 7.5%に達するまで試験を実施した。

せん断応力比は（繰返し回数 5～50 回を目安）0.36～0.80 の間で設定した。

供試体寸法：外形 70mm×内径 30mm×高さ 100mm

載荷波形：正弦波（0.02Hz）

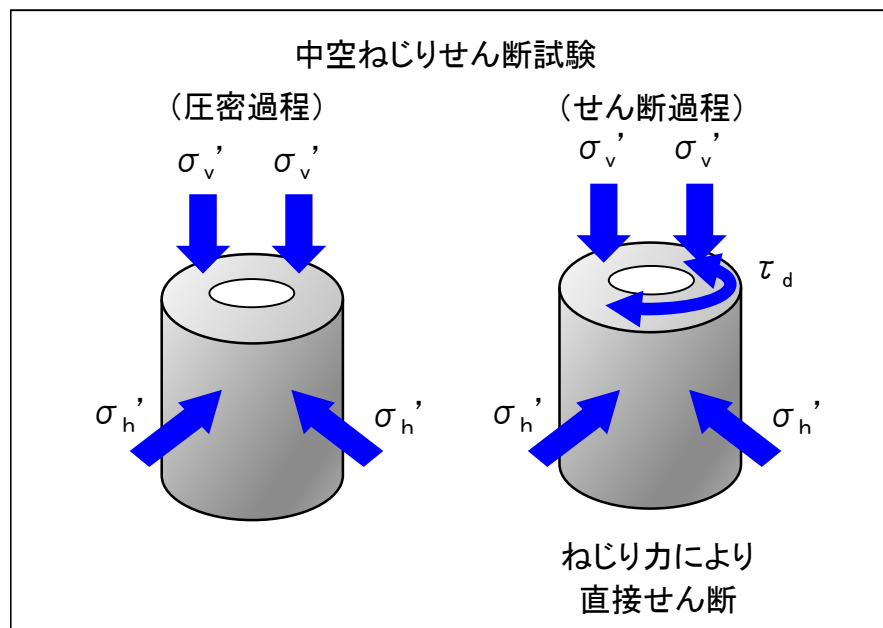
圧密圧力：供試体採取深度の有効上載圧を考慮して設定



第 3.2.1 図に中空繰返しねじりせん断試験の概要及び第 3.2.2 図に液状化強度試験試料採取箇所（Ac 層）を示す。

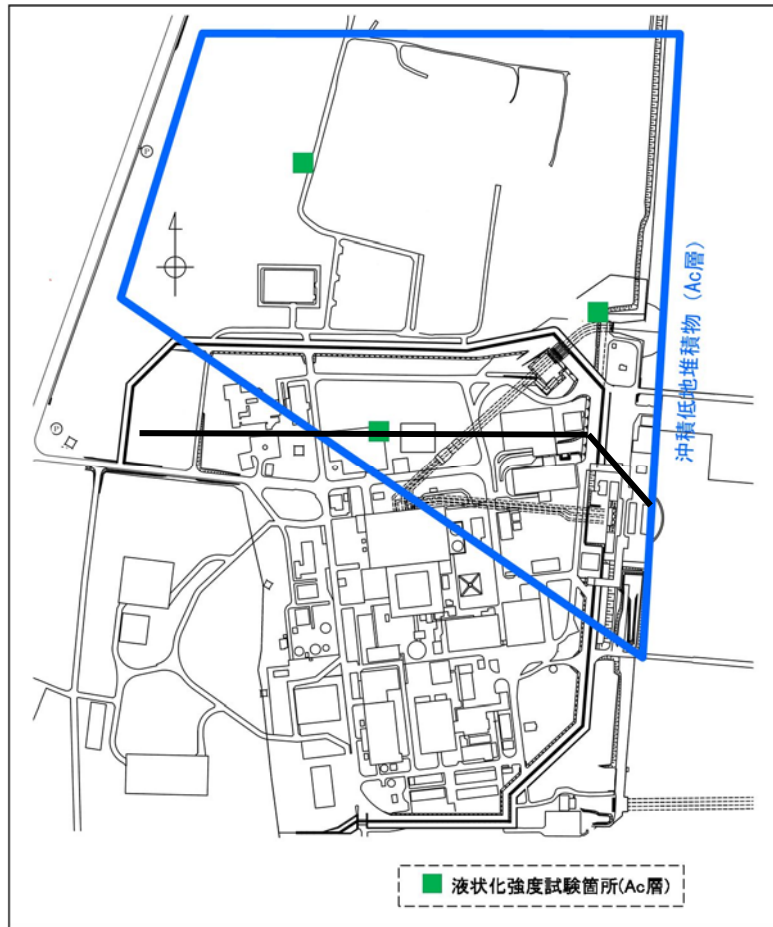
第 3.2.3 図～第 3.2.11 図に試験結果を示す。

試験を行った全ての供試体において、過剰間隙水圧比は 0.95 に達せず、Ac 層は液状化しないものであることが確認された。



第 3.2.1 図 中空繰返しねじりせん断試験の概要



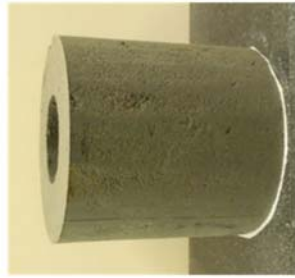


第 3.2.2 図 液化強度試験試料採取箇所（Ac 層）

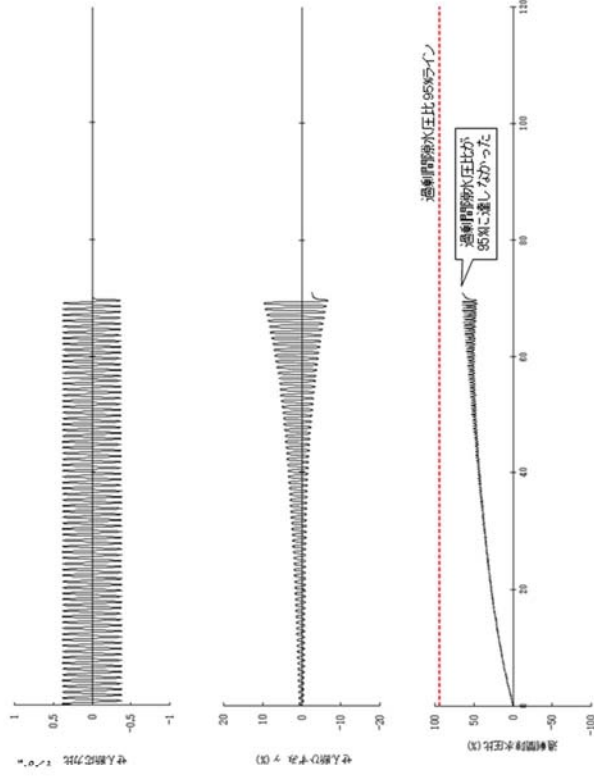


### SC-9-25(4)

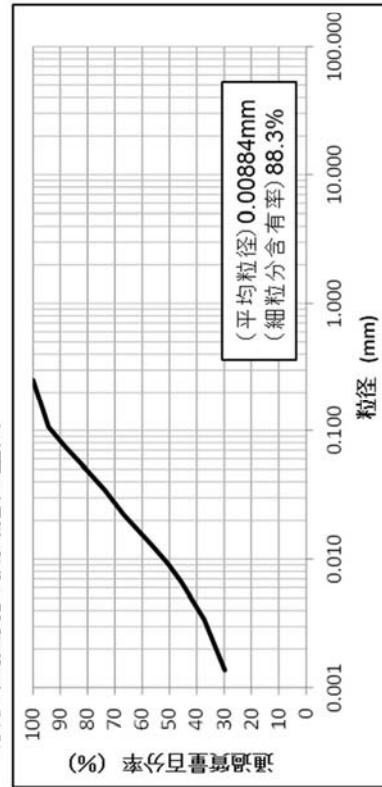
- ・深度：49.00m～50.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 90.7 \text{ kN/m}^2$



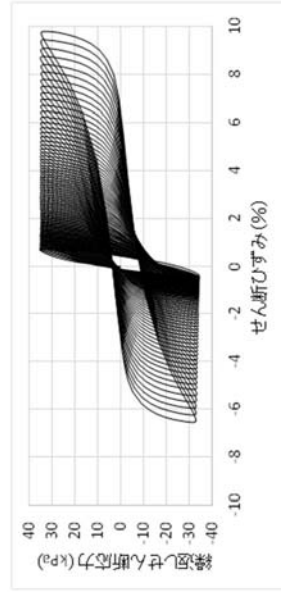
試料の写真



液状化強度試験における各計測値



試料の粒径加積曲線



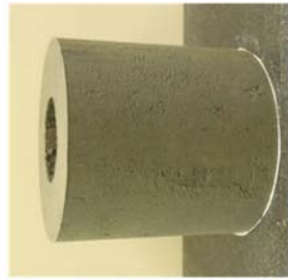
繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.3 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-9-25(4))



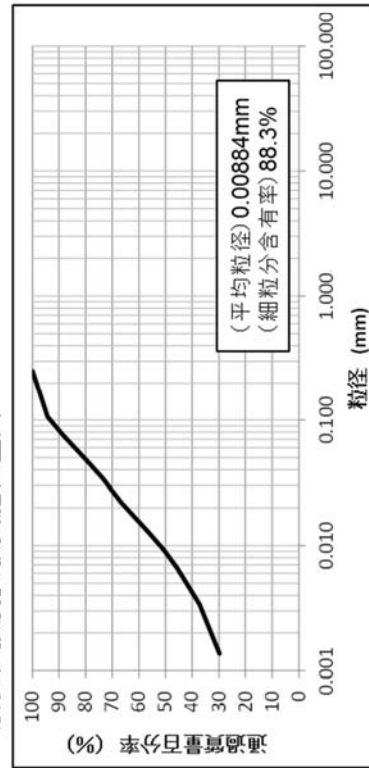
### SC-9-25(3)

- ・深度：49.00m～50.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 90.7 \text{ kN/m}^2$

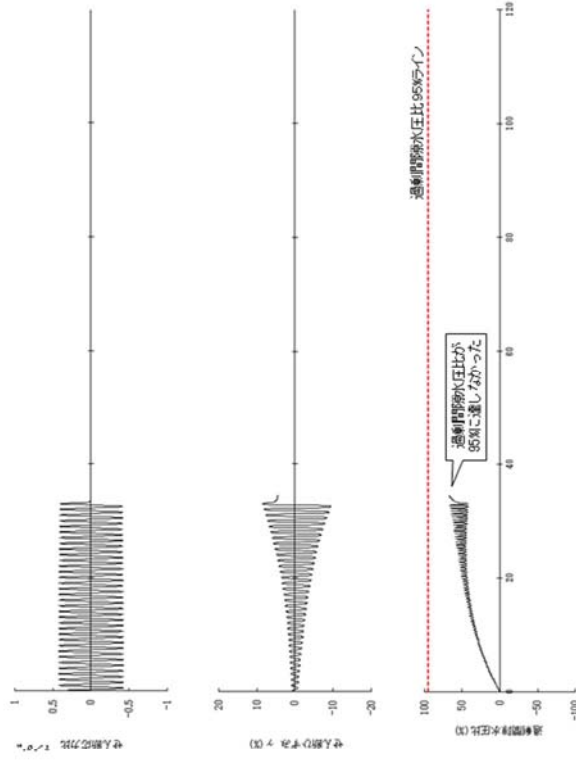


試料の写真

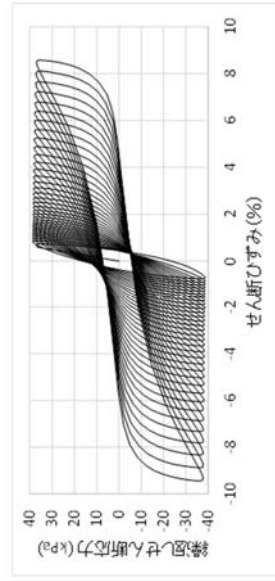
### 液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.4 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-9-25(3))



SC-9-25(2)

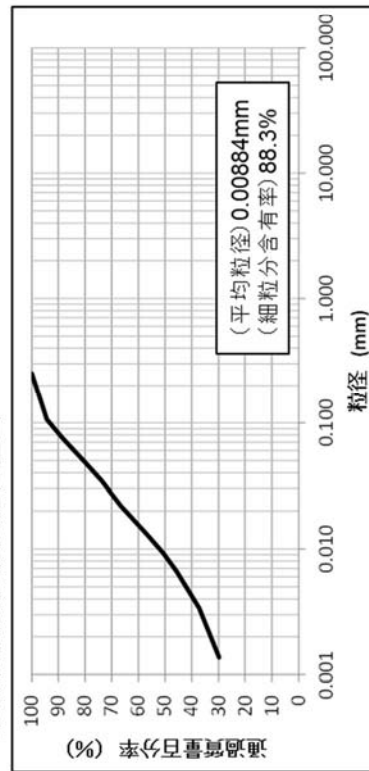
- ・深度：49.00m～50.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 90.7 \text{ kN/m}^2$



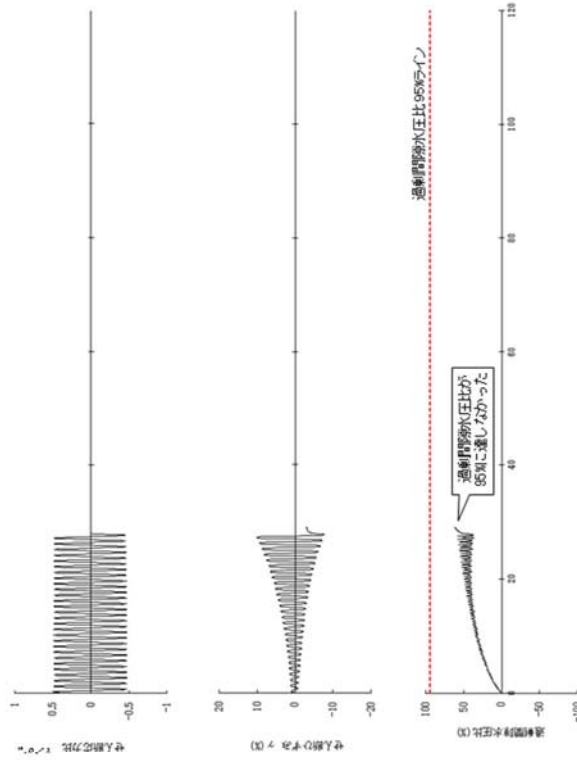
試料の写真

液状化強度試験実施位置図

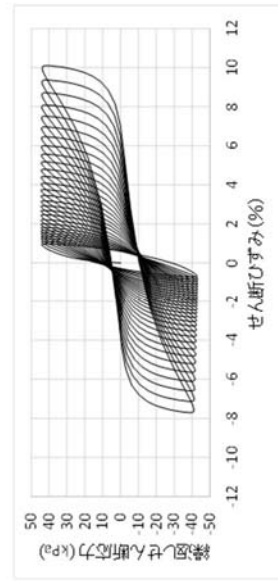
液状化強度試験面所 (Ac層)



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



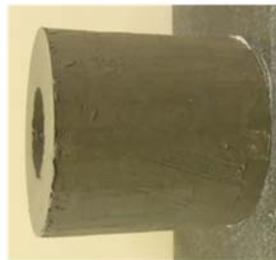
繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.5 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-9-25(2))



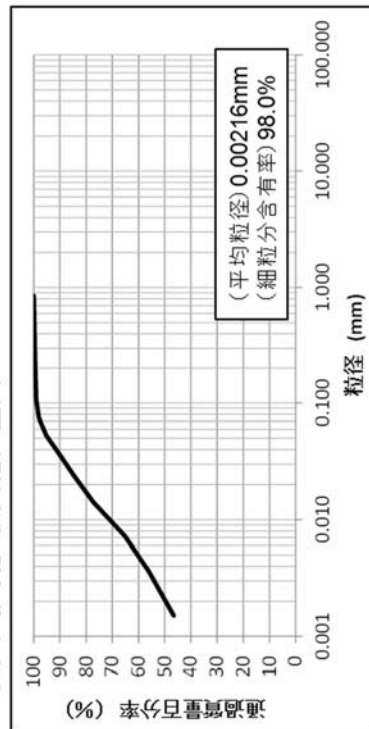
### SC-7-23～24(1)

- ・深度：28.20m～30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 84.3 \text{ kN/m}^2$

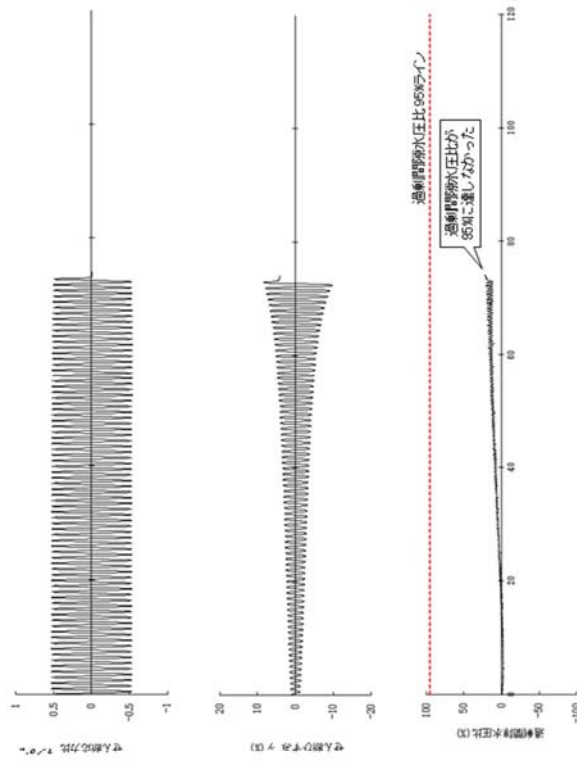


試料の写真

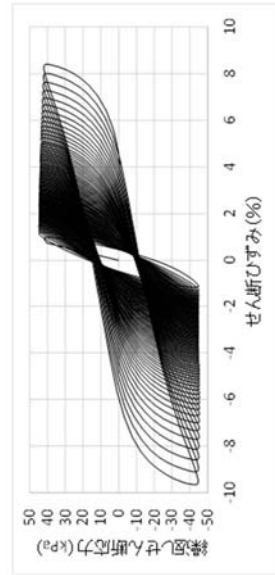
### 液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.6 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23～24(1))



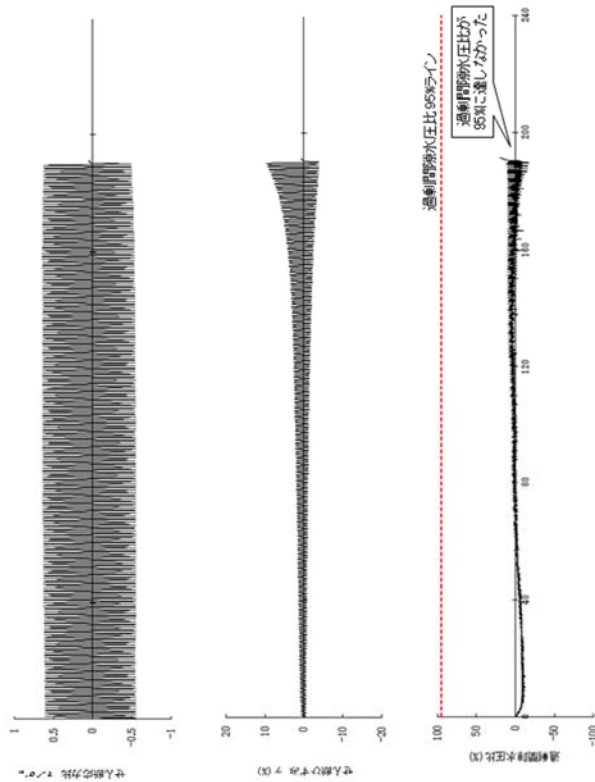
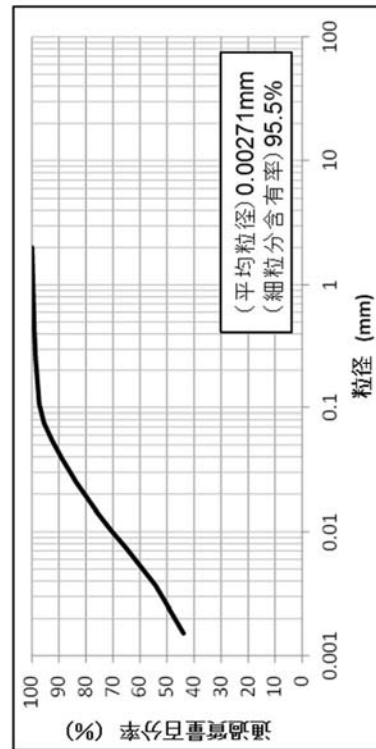
### SC-11-8～10(3)

- ・深度：9.00m～12.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 40.7\text{kN/m}^2$

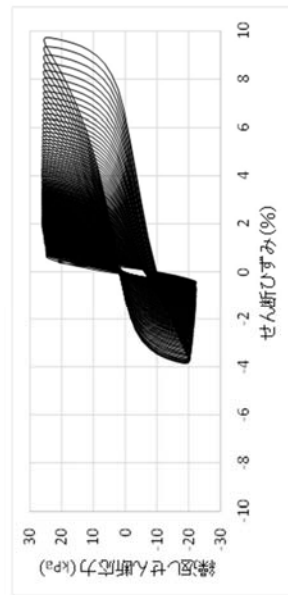


試料の写真

### 液状化強度試験実施位置図



### 液状化強度試験における各計測値



### 繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.7 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-11-8～10(3))



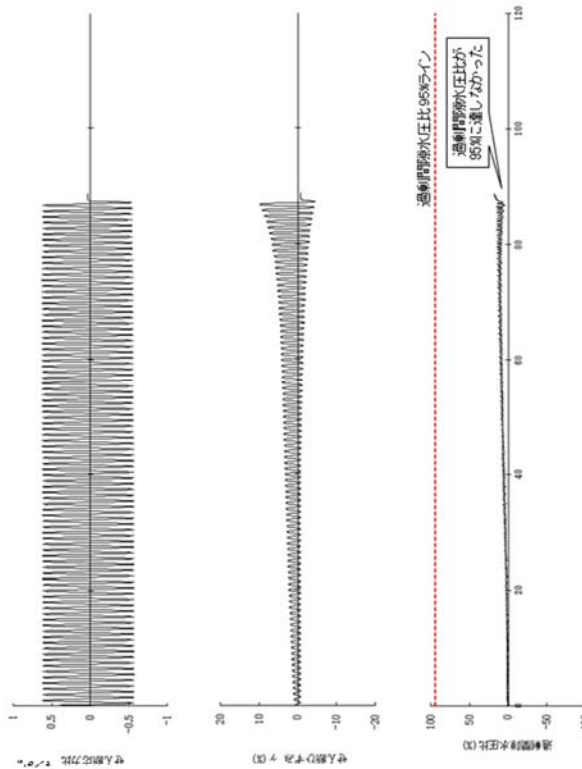
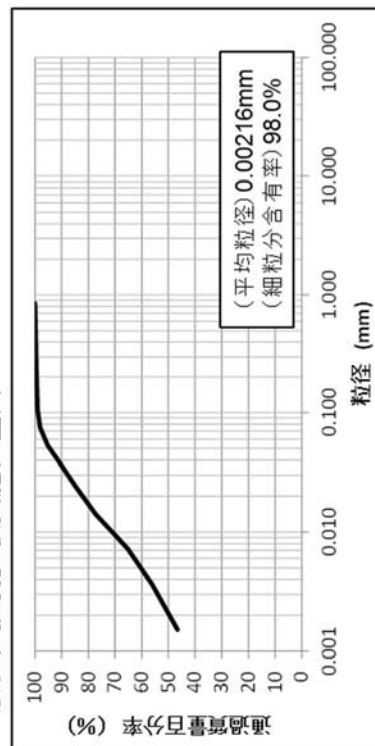
### SC-7-23～24(2)

- ・深度：28.20m～30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 81.0 \text{ kN/m}^2$

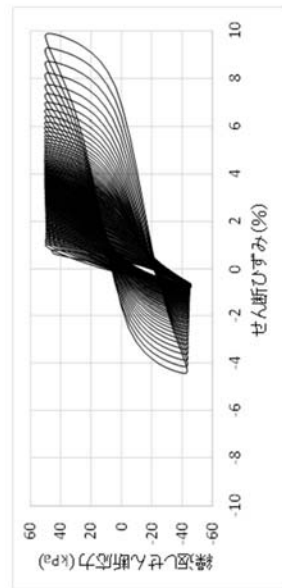


試料の写真

### 液状化強度試験実施位置図



液状化強度試験における各計測値



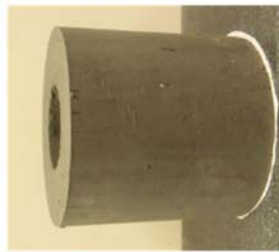
繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.8 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23～24(2))



### SC-7-23～24(3)

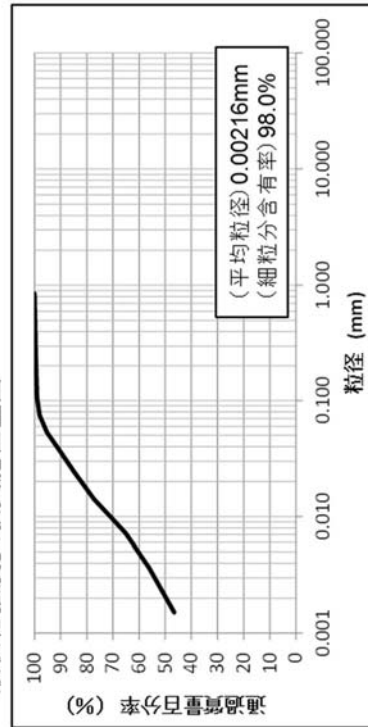
- ・深度：28.20m～30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 84.3 \text{ kN/m}^2$



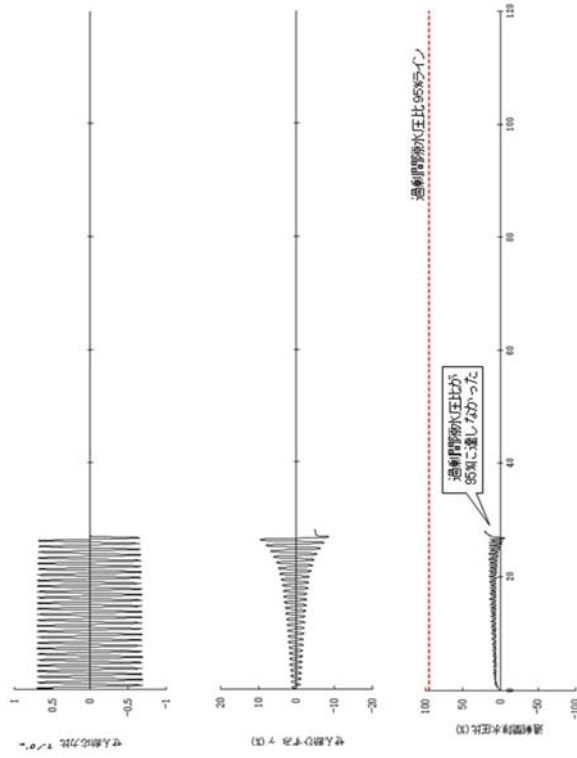
試料の写真

■ 液状化強度試験箇所(Ac層)

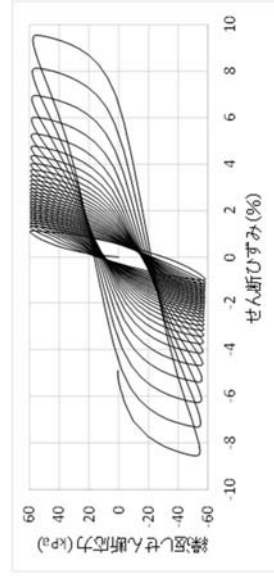
### 液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



### 液状化強度試験における各計測値



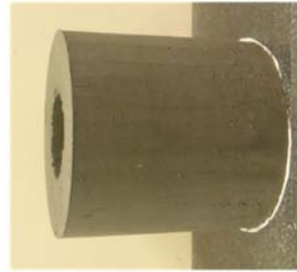
繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

### 第 3.2.9 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23～24(3))



### SC-7-23～24(4)

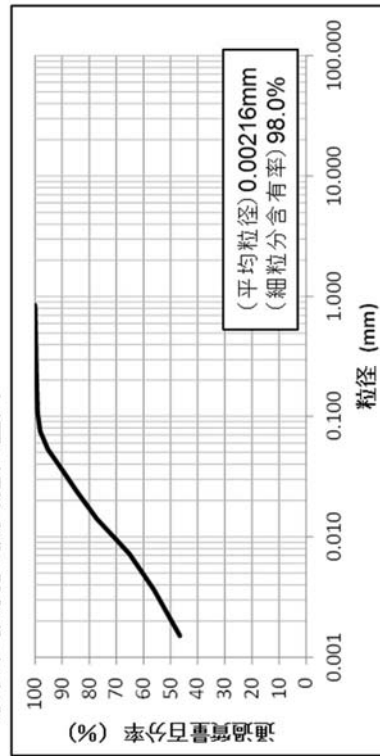
- ・深度：28.20m～30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 84.3 \text{ kN/m}^2$



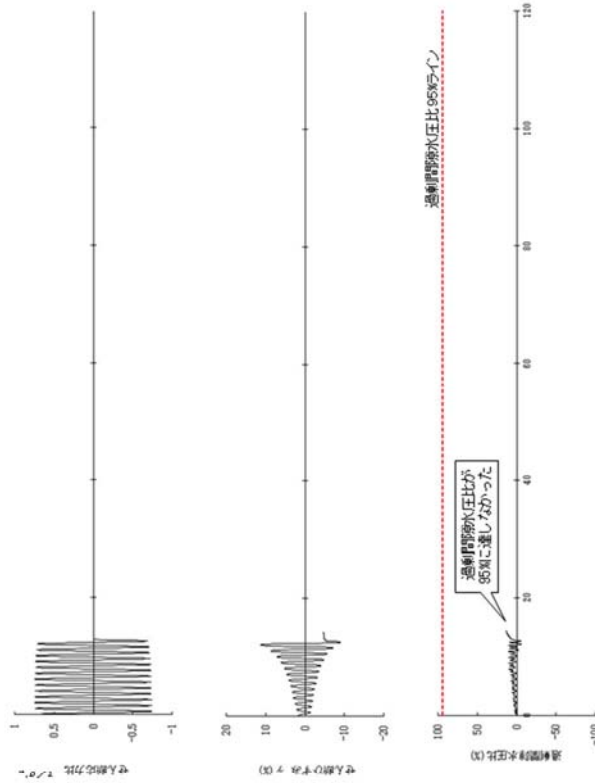
試料の写真

### 液状化強度試験実施位置図

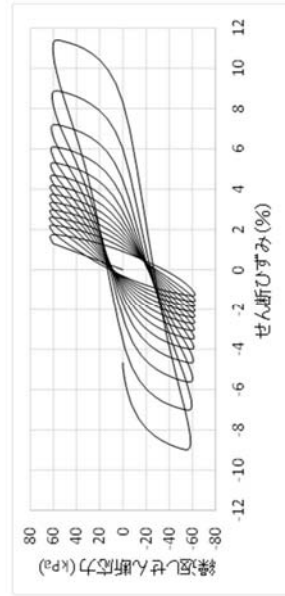
■ 液状化強度試験箇所(Ac層)



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



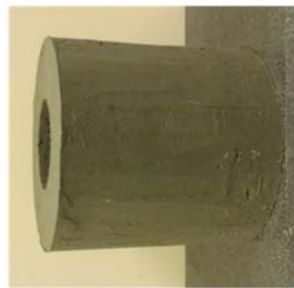
繰返しせん断力～せん断ひずみ関係

第 3.2.10 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23～24(4))



# SC-11-8～10(1)

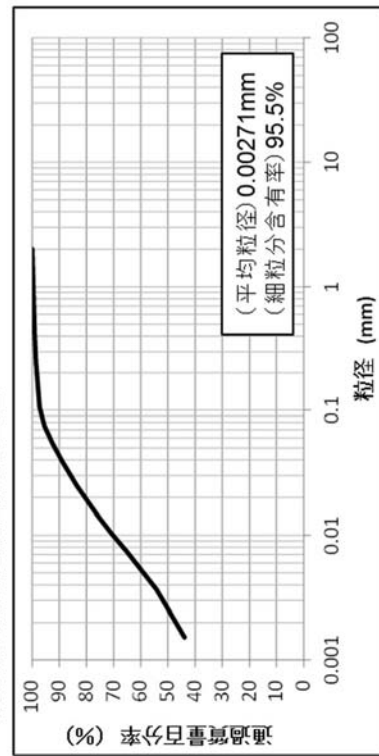
- ・深度：9.00m～12.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 40.7\text{kN/m}^2$



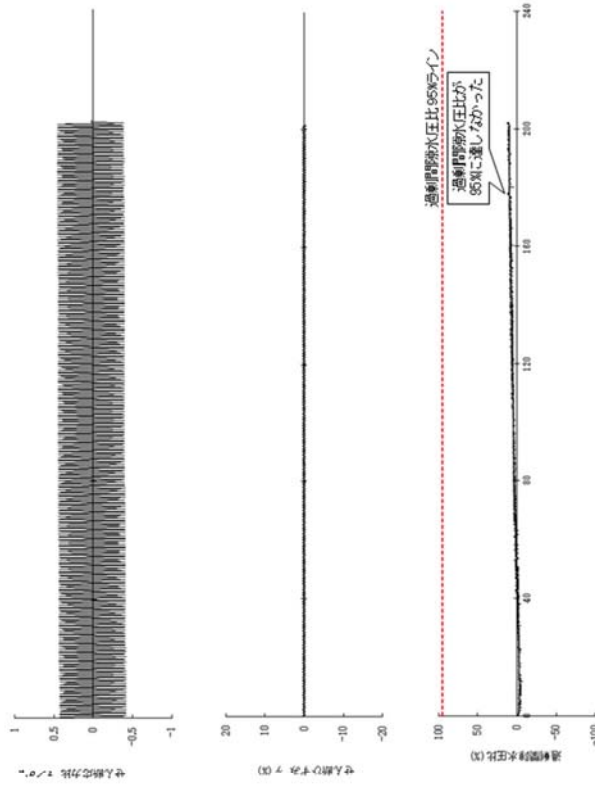
試料の写真

■ 液状化強度試験箇所(Ac層)

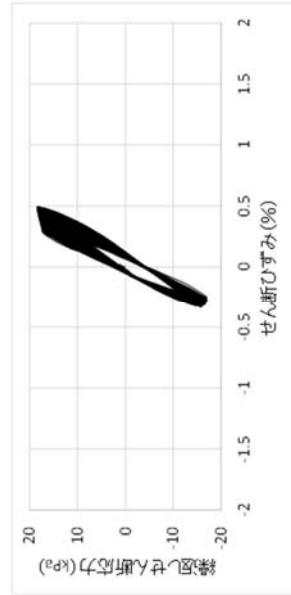
## 液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



## 液状化強度試験における各計測値



繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

第 3.2.1.1 図 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-11-8～10(1))



#### 4. 液状化強度試験箇所とその代表性

##### 4.1 液状化強度試験箇所の選定

敷地の地層分布と液状化検討対象層の抽出結果を踏まえて、室内液状化強度試験用試料採取箇所の選定を行った。

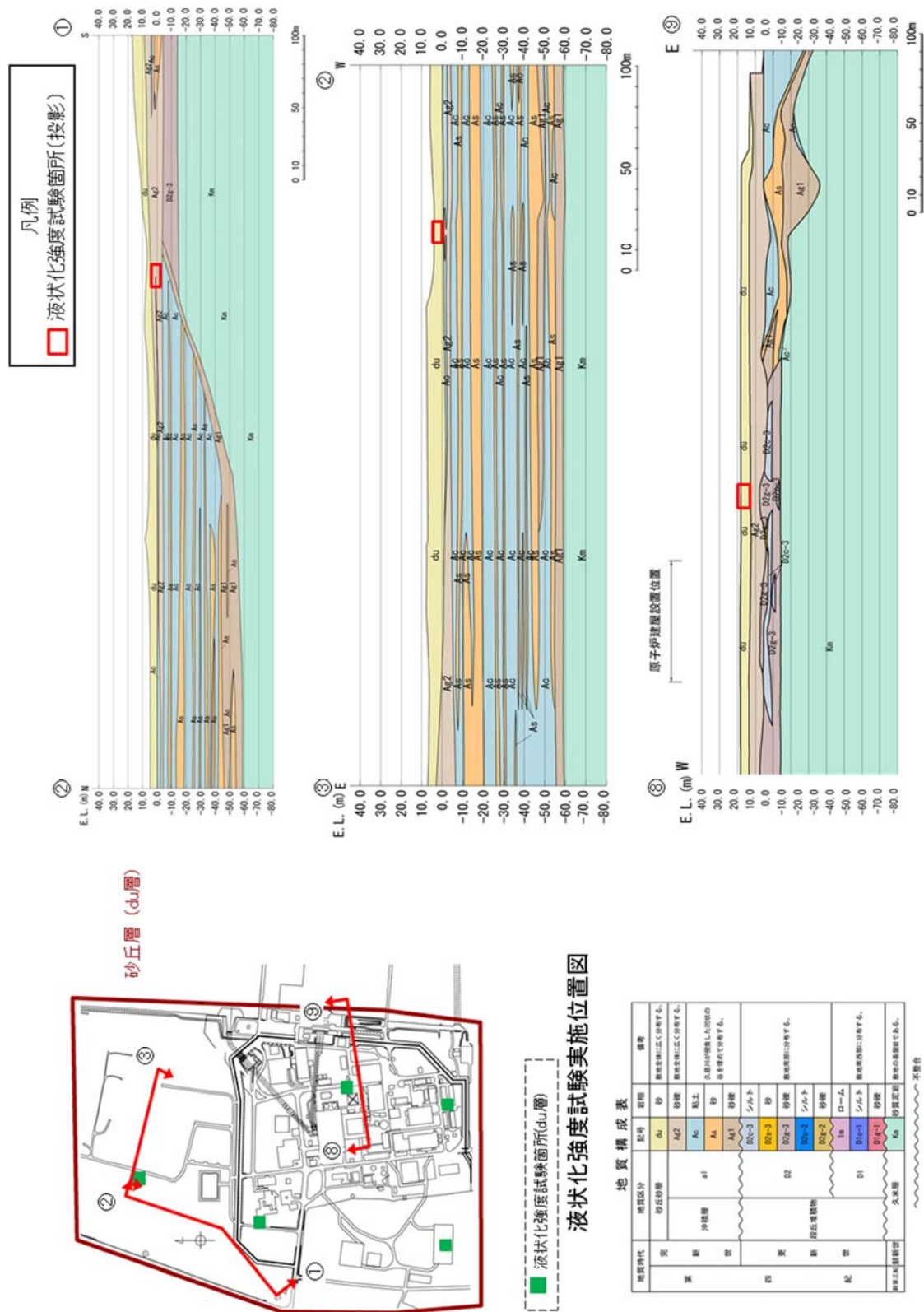
液状化強度試験の試料採取箇所の選定には、液状化強度試験試料採取箇所の  $N$  値及び細粒分含有率  $F_c$  から算定される道路橋示方書の液状化強度比  $R_L$  と、敷地全体における同層の道路橋示方書に基づく平均液状化強度比  $R_L$  と比較して保守的な値であること及び試料採取が可能な層厚を有していることを考慮した。

第 4.1.1 図に液状化強度試験試料を採取した平面位置を、第 4.1.2 図～第 4.1.8 図に各土層の液状化強度試験試料を採取した縦断位置を示す。



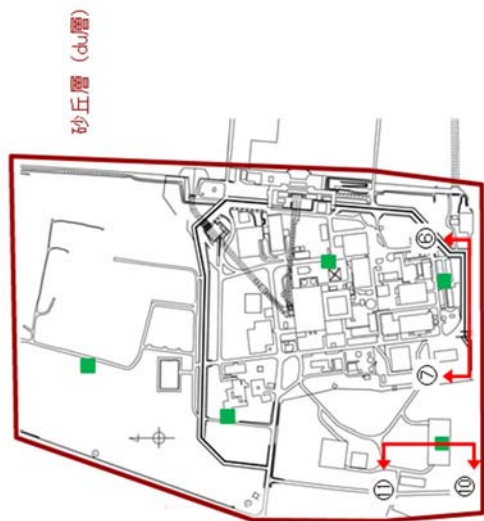
第 4.1.1 図 液状化強度試験試料採取位置





#### 第4.1.2 図 du 層の液化化強度試験試料採取位置①





砂丘層 (du層)

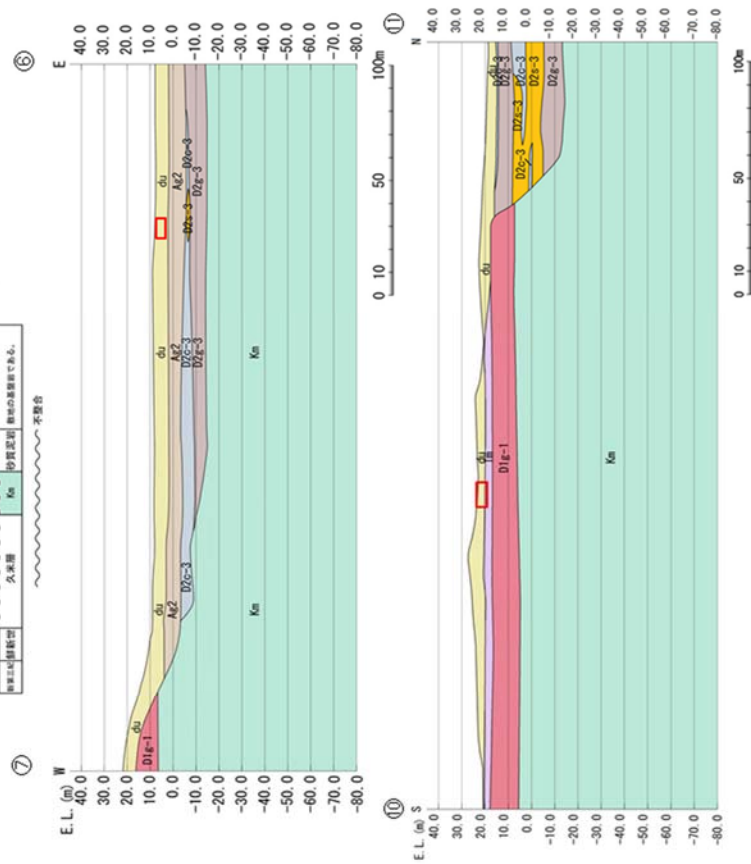


液状化強度試験実施位置図

地質構成表

| 地質時代 | 地質区分  | 記号    | 岩種   | 備考                     |
|------|-------|-------|------|------------------------|
| 第三紀  | 砂丘砂層  | du    | 砂    | 細粒至粗粒に広く分布する。          |
|      |       | A2    | 砂礫   | 細粒至粗粒に広く分布する。          |
|      | 沖積層   | Au    | 粘土   | 久慈川が侵食した段丘の頂上を埋めて分布する。 |
|      |       | Au    | 砂    |                        |
| 第四紀  | シルト   | Au    | 砂    |                        |
|      |       | D2c-3 | シルト  |                        |
|      | D2    | D2c-3 | 砂    | 細粒至粗粒に分布する。            |
|      |       | D2c-3 | 砂礫   |                        |
| 新第三紀 | 段丘堆積物 | D2c-3 | シルト  |                        |
|      |       | D2c-3 | 砂礫   |                        |
|      | D1    | ローム   |      | 細粒至粗粒に分布する。            |
|      |       | D1c-3 | シルト  |                        |
| 第四紀  | 久米層   | D1c-3 | 砂礫   |                        |
|      |       | Ka    | 砂質泥岩 | 細粒の基盤である。              |

凡例  
液状化強度試験箇所(投影)



第 4.1.3 図 du 層の液状化強度試験試料採取位置②



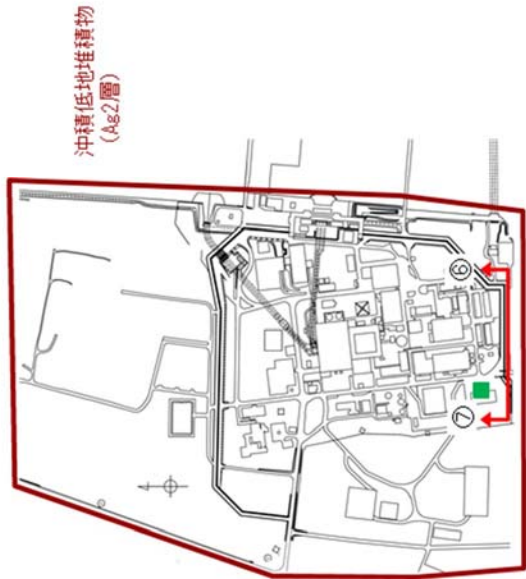
地質構成表

| 地質時代  | 地質区分 | 記号    | 岩相   | 備考                    |
|-------|------|-------|------|-----------------------|
| 第 3 紀 | 沖積層  | du    | 砂    | 礫地全体に広く分布する。          |
|       |      | Ag2   | 砂礫   | 礫地全体に広く分布する。          |
|       |      | Ac    | 粘土   | 久慈川が侵食した凹域の砂を埋めて分布する。 |
| 第 4 紀 | 沖積層  | As    | 砂    |                       |
|       |      | Ag1   | 砂礫   |                       |
|       |      | D2c-3 | シルト  |                       |
| 第 4 紀 | 沖積層  | D2c-3 | 砂    |                       |
|       |      | D2c-2 | シルト  |                       |
|       |      | D2c-1 | 砂礫   |                       |
| 第 4 紀 | 沖積層  | Im    | ローム  |                       |
|       |      | D1c-1 | シルト  |                       |
|       |      | D1c-1 | 砂礫   |                       |
| 第 4 紀 | 沖積層  | Km    | 砂質泥岩 |                       |
|       |      |       |      |                       |
|       |      |       |      |                       |

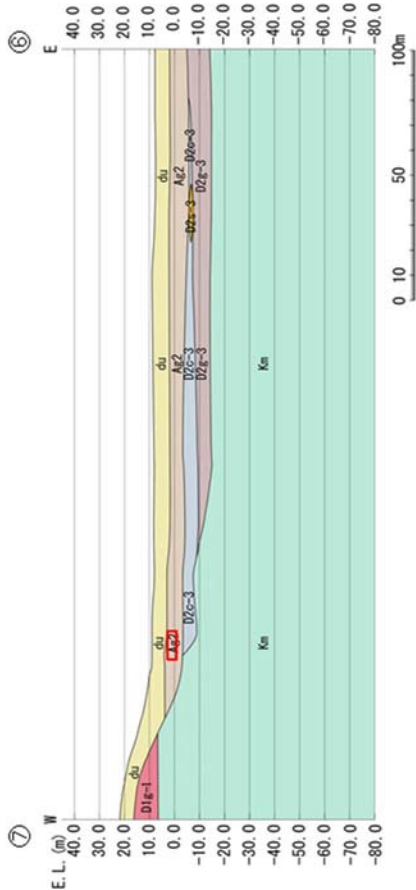
不整合

凡例

液状化強度試験箇所(投影)

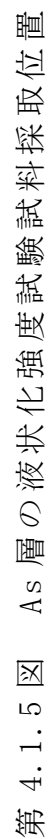


液状化強度試験実施位置図



第 4.1.4 図 Ag2 層の液状化強度試験試料採取位置



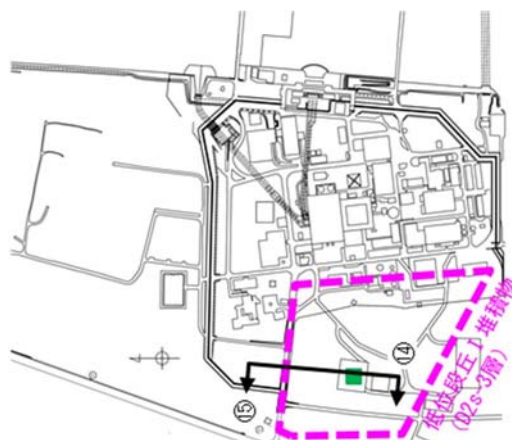
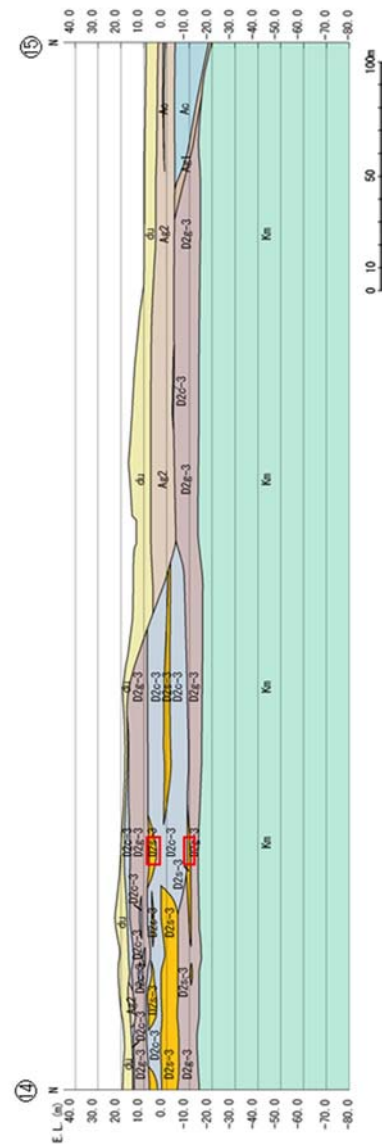




| 地質時代  | 地質区分  | 記号                | 説明                             | 備考                   |
|-------|-------|-------------------|--------------------------------|----------------------|
| 第三紀   | 沖積層   | 砂丘砂層              |                                |                      |
|       |       | A <sub>1</sub>    | 粘土                             | 動物壳体に乏しく分佈する。        |
|       |       | A <sub>2</sub>    | 砂礫                             | 動物壳体に乏しく分佈する。        |
| 第四紀   | 砂丘増進物 | A <sub>3</sub>    | 砂                              | 久留山が礫質土に似た砂を覆って分佈する。 |
|       |       | D <sub>2a-3</sub> | シルト                            |                      |
|       |       | D <sub>2a-3</sub> | 砂                              |                      |
| 第四紀   | 砂丘増進物 | D <sub>2a-3</sub> | 砂礫                             | 動物遺骸に乏分佈する。          |
|       |       | D <sub>2a-2</sub> | シルト                            |                      |
|       |       | D <sub>2a-2</sub> | 砂礫                             |                      |
| 第四紀   | 砂     | D <sub>2a-2</sub> | 砂                              |                      |
|       |       | D <sub>1a</sub>   | D <sub>1</sub> -D <sub>2</sub> |                      |
|       |       | D <sub>1a-1</sub> | シルト                            | 動物遺骸に乏分佈する。          |
| 第三紀新統 | 久米層   | D <sub>1a-1</sub> | 砂礫                             |                      |
|       |       | K <sub>6</sub>    | 砂質泥岩                           | 動物の足跡がある。            |

凡例

液状化強度試験箇所(投影)



液状化強度試験箇所(D2s-3層)

液状化強度試験実位置図

第4.1.6 図 D2s-3 層の液化強度試験試料採取位置

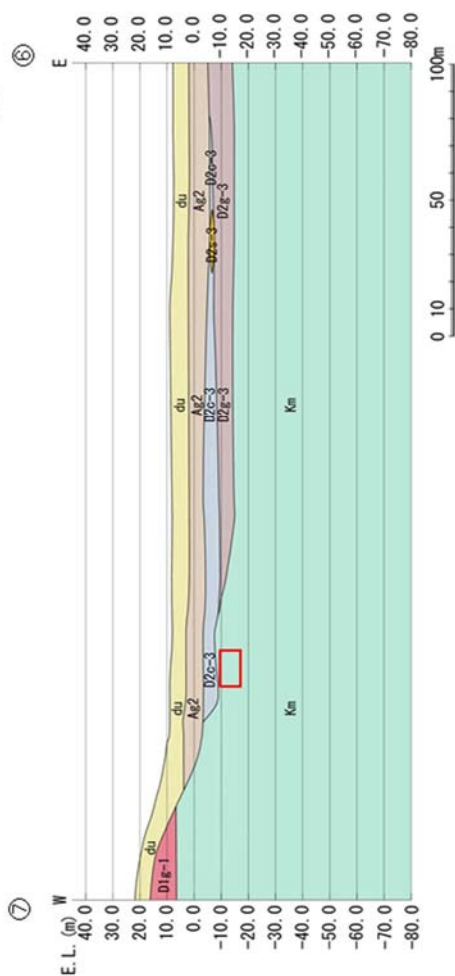




液状化強度試験実施位置図

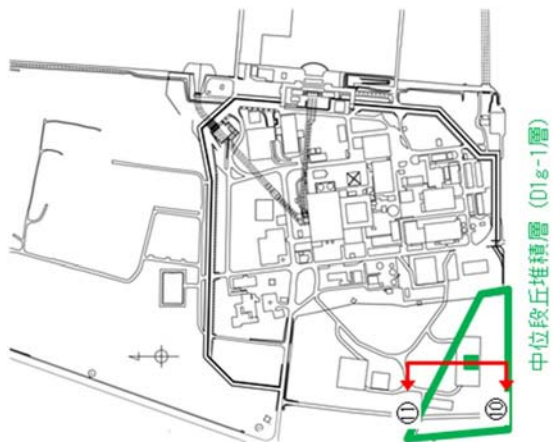
| 地質構成表   |       |       |      |
|---------|-------|-------|------|
| 地質時代    | 地質区分  | 記号    | 岩相   |
| 第 四 紀   | 沖積層   | du    | 砂    |
|         |       | Ag2   | 砂礫   |
|         |       | Ac    | 粘土   |
| 新 世     | 沖積層   | As    | 砂    |
|         |       | Ag1   | 砂礫   |
|         |       | D2g-3 | シルト  |
| 更 新 世   | D2    | D2g-3 | 砂    |
|         |       | D2g-3 | 砂礫   |
|         |       | D2g-2 | シルト  |
| 紀 世     | 段丘堆積物 | D2g-2 | 砂礫   |
|         |       | im    | ローム  |
|         |       | D1e-1 | シルト  |
| 新 世     | D1    | D1e-1 | 砂礫   |
|         |       | Ka    | 砂質泥岩 |
| 新第三紀新新世 | 久米層   | Ka    | 砂質泥岩 |

凡例  
□ 液状化強度試験箇所(投影)



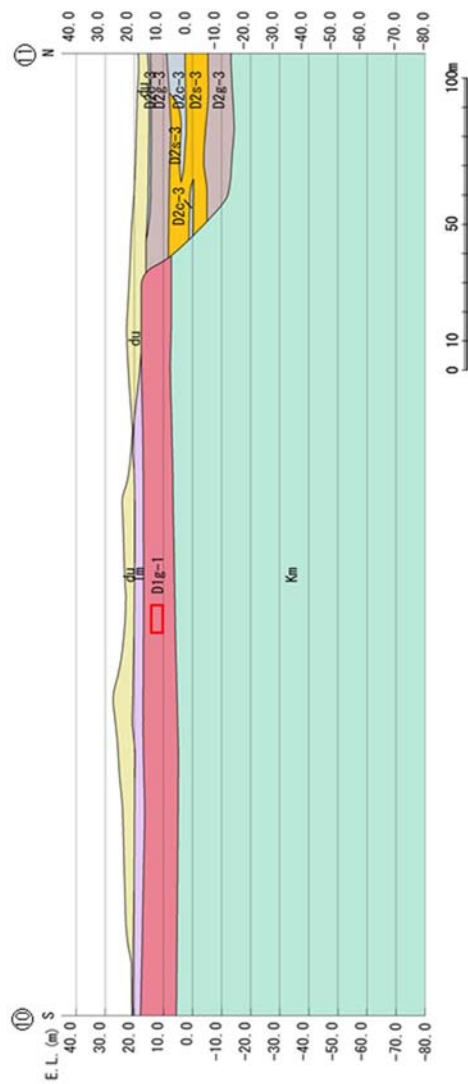
第 4. 1. 7 図 D2g-3 層の液状化強度試験試験料採取位置





■ 液状化強度試験箇所(D1g-1層)

### 液状化強度試験実施位置図



### 地質構成表

| 地質時代      | 地質区分  | 記号    | 岩相   | 備考                    |
|-----------|-------|-------|------|-----------------------|
| 第 新 世     | 砂丘砂層  | du    | 砂    | 敷地全体に広く分布する。          |
|           |       | Aq2   | 砂礫   | 敷地全体に広く分布する。          |
|           | 沖積層   | Ac    | 粘土   | 敷地全体に広く分布する。          |
|           |       | As    | 砂    | 久慈川が侵食した部域の谷を埋めて分布する。 |
| 第 四 世     | 段丘堆積物 | Aq1   | 砂礫   |                       |
|           |       | D2c-3 | シルト  |                       |
|           |       | D2s-3 | 砂    |                       |
|           |       | D2g-3 | 砂礫   | 敷地西部に分布する。            |
| 第 紀       | 段丘堆積物 | D2c-2 | シルト  |                       |
|           |       | D2s-2 | 砂礫   |                       |
|           |       | fm    | ローム  |                       |
|           |       | D1c-1 | シルト  | 敷地西部に分布する。            |
| 第 三 紀 新 世 | 久米層   | D1g-1 | 砂礫   |                       |
|           |       | Ken   | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。            |

~~~~~ 不整合

第 4.1.8 図 D1g-1 層の液状化強度試験試料採取位置

4.2 液状化強度試験選定箇所の代表性

各指針類の液状化抵抗率 F_L の簡易算定式は、地表面から深さ 20m までに分布する完新統を対象に、次式で示される。

$$F_L = \frac{R}{L}$$

ここに、 F_L は液状化抵抗率、 R は液状化強度比、 L は地震時最大せん断応力比である。第 4.2.1 表は指針類での液状化強度比 R の算定時に用いられる物性値を示しているが、基本は完新統の N 値と細粒分含有率 F_c を用いた算定式であり、平均粒径 D_{50} を用いて補正している。

以上のように液状化強度比 R は完新統の N 値、細粒分含有率 F_c 、平均粒径 D_{50} と相関があり、室内液状化強度試験試料採取箇所と敷地内全調査孔の簡易式によるそれぞれの R の算定値を比較することに基づいて代表性を示す。

本検討においては、道路橋示方書の液状化強度比 R_L の算定式を用いるとともに、原地盤の試料を用いた室内液状化強度試験で求められた繰返し回数 20 回に相当するせん断応力比を R_{L20} と表記するものとする。

また、液状化強度比の比較においては、指針類の物性値のバラツキに対する考え方を参考とし、「最小二乗法による平均的な回帰式」及びその回帰式からの標準偏差 σ を減じた「平均 -1σ 」（以下「 -1σ 値」と称す）について整理した。

第 4.2.1 表 各指針類における液状化強度比 R_{L20} と基本物性の関係

| 指針類名 | 液状化強度比 R_{L20} の
算定に用いる
主な物性 | 液状化強度比 R_{L20} 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，平成 24 年
(下水道施設の耐震対策指針と解説，日本下水道協会，2014)
(河川砂防技術基準(案)同解説，日本河川協会編，1997)
(高圧ガス設備等耐震設計指針，高圧ガス保安協会，平成 24 年) | N 値 | 細粒分含有率 F_c
平均粒径 D_{50} |
| 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，平成 19 年(部分改正平成 24 年) | | 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
(水道施設耐震工法指針・解説，日本水道協会，2009) | | 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，平成 24 年 | | 細粒分含有率 F_c
平均粒径 D_{50} |

4.3 室内液状化強度試験結果の R_{L20} と道路橋示方書式による R_L との比較検討

1) 概要

各土質について、敷地全体の調査孔の N 値及び細粒分含有率 F_c から道路橋示方書式で算定される R_L と、室内液状化強度試験試料採取箇所の近傍調査孔の N 値及び細粒分含有率 F_c から道路橋示方書式で算定される R_L とを比較し、室内液状化強度試験試料採取箇所の代表性を確認する。

各土質について代表性を確認した液状化強度試験試料採取箇所の不攪乱試料を用いた室内液状化強度試験を実施する。

各土質について、液状化強度試験試料採取箇所の近傍調査孔の N 値及び細粒分含有率 F_c から道路橋示方書式で算定される R_L と、室内液状化強度試験データに基づき平均 -1σ で設定する原地盤の $F L I P$ の液状化強度特性とを比較し、有効応力解析に用いる液状化強度特性の保守性を確認する。

さらに、より一層保守的に地盤を強制的に液状化させる解析条件を仮定した影響評価検討のため、敷地の原地盤には存在しない均質さで極めて液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度試験データを全て包含する $F L I P$ の液状化強度特性も設定する。

各土質について、液状化強度試験試料採取箇所の近傍調査孔の N 値及び細粒分含有率 F_c から道路橋示方書式で算定される R_L と、豊浦標準砂を対象に設定した $F L I P$ の液状化強度特性は最も保守的に液状化の影響検討を行える仮定となっていることを確認する。

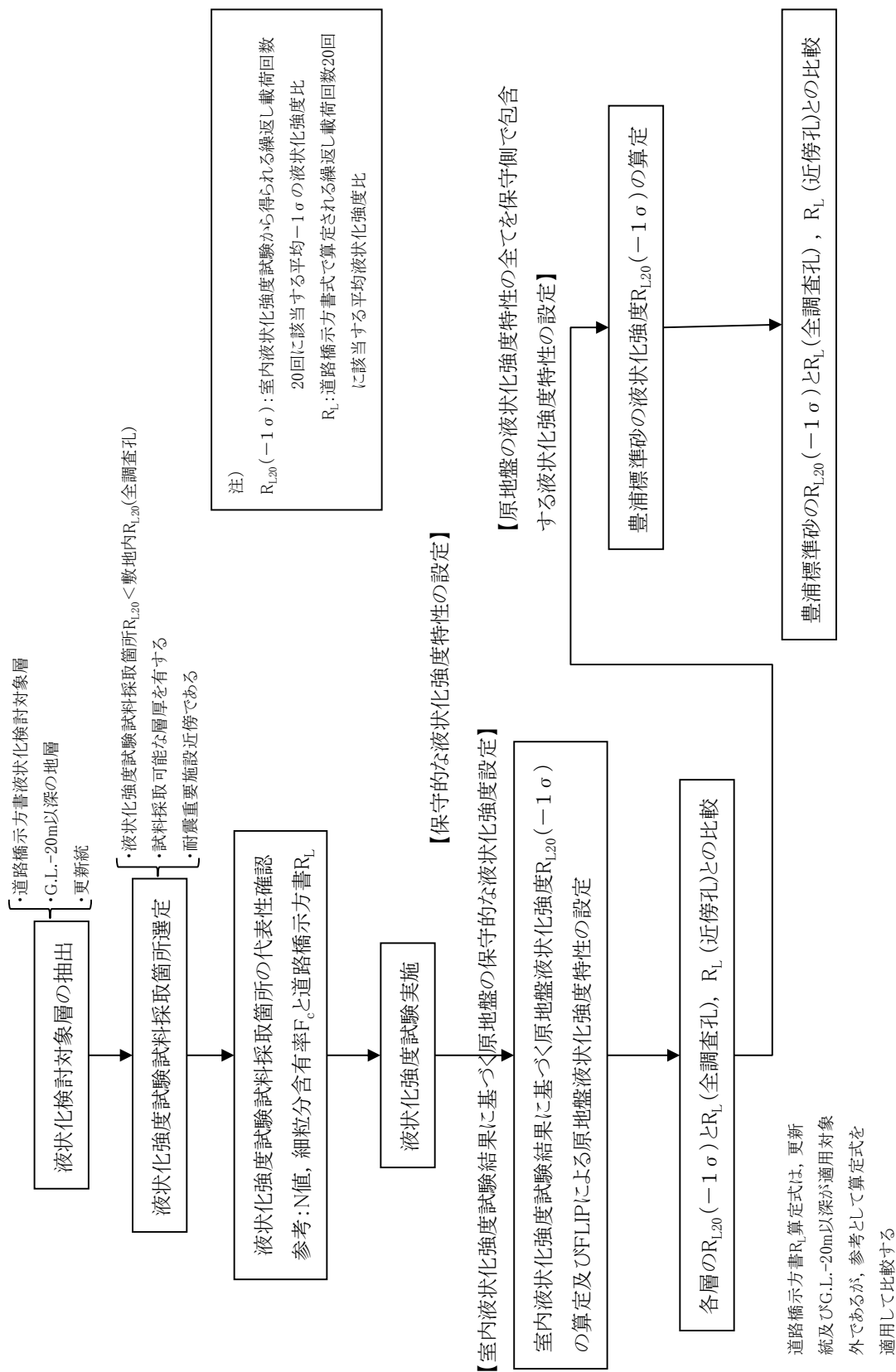
道路橋示方書の R_L の算定式は、更新統及び $G.L. - 20m$ 以深が適

用対象外であるものの、本資料では更新統及び G.L. - 20m 以深についても道路橋示方書の R_L の算定式を用い、原地盤の室内液状化強度試験データから平均 -1σ で設定した F L I P の液状化強度特性及びより一層保守側で強制的に液状化させる仮定となる豊浦標準砂の液状化強度試験データを全て包含する F L I P の液状化強度特性とを比較することで、保守的な液状化の影響検討が可能な F L I P の液状化強度特性の設定となっていることを確認する。

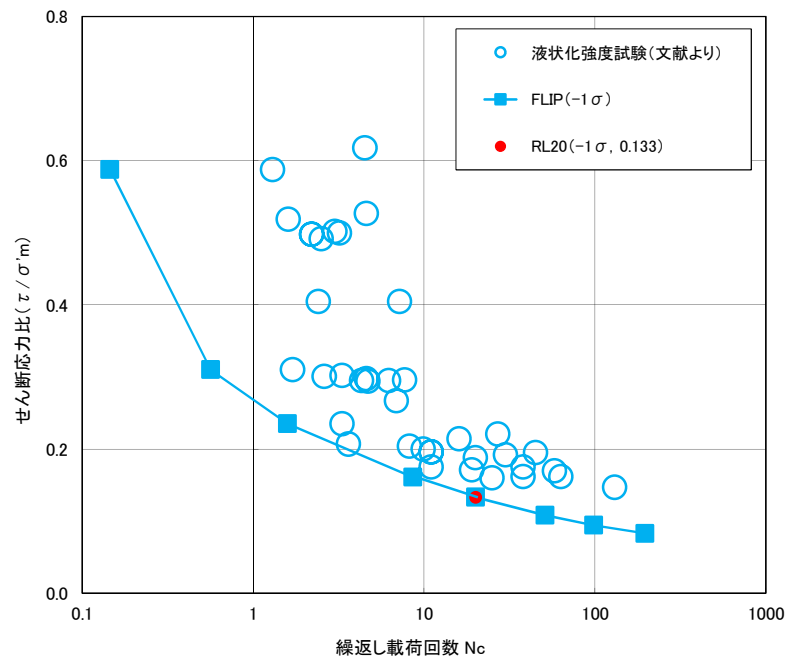
第 4.3.1 表に液状化強度特性の設定について示す。第 4.3.1 図に液状化強度比較検討フローを示す。また、第 4.3.2 図に F L I P による豊浦標準砂の液状化強度特性 (-1σ) を示す。さらに、第 4.3.3 図に東海第二発電所の原地盤の液状化強度試験データとその全てを保守側で包含する F L I P の液状化強度特性 (-1σ , 豊浦標準砂) との比較を示す。

第 4.3.1 表 液状化強度特性の設定

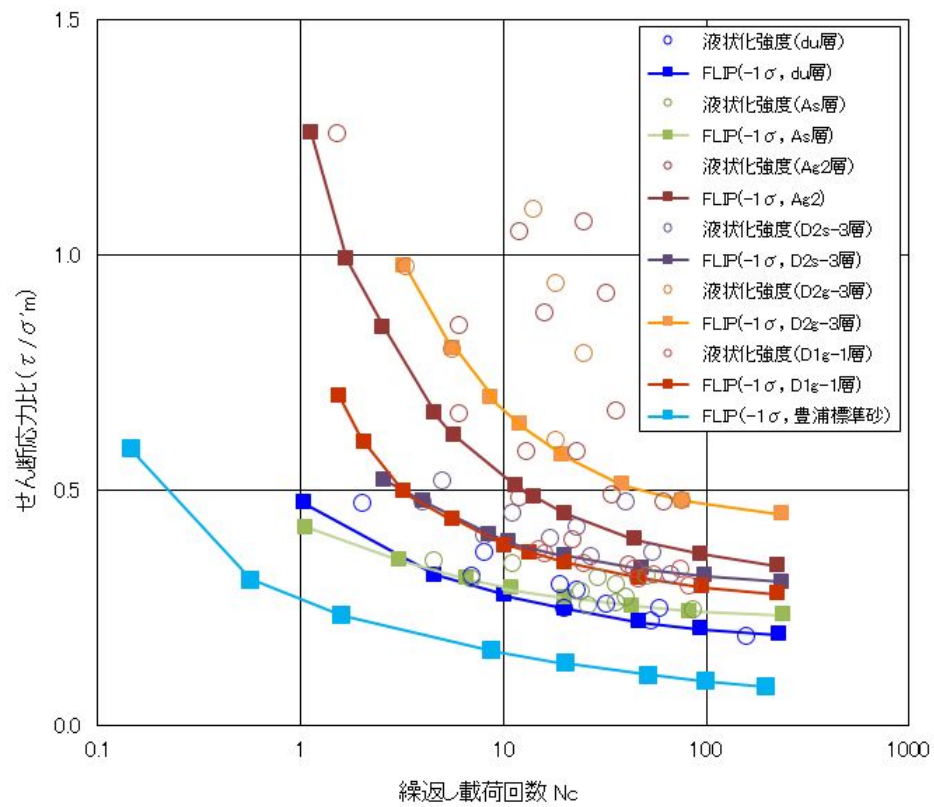
| 液状化強度特性の比較対象土層 | | | 道路橋示方書における液状化検討対象か否かの区分 | 有効応力解析に適用する平均-1 σ の液状化強度特性及びそれら全てを保守側で包含する液状化強度特性の仮定 | |
|----------------|-------|----|-------------------------|---|--|
| 堆積年代 | 土層名 | 層相 | | 原地盤の保守的な液状化強度特性の設定 | 原地盤の液状化強度特性の全てを保守側で包含する液状化強度特性の仮定 |
| 完新統 | du | 砂 | 対象 | 原地盤試料の液状化強度試験結果に基づき平均-1 σ の液状化強度特性を設定 | 敷地には存在しない均質で液状化しやすい豊浦標準砂の液状化強度試験データを保守側で包含する液状化強度特性を仮定 |
| | Ag2 | 砂礫 | 対象 | | |
| | As | 砂 | G. L. -20mまで対象 | | |
| 更新統 | D2g-3 | 砂礫 | 対象外 | 原地盤試料の液状化強度試験結果に基づき平均-1 σ の液状化強度特性を設定 | |
| | D2s-3 | 砂 | 対象外 | | |



第 4.3.1 図 液状化強度比較検討フロー



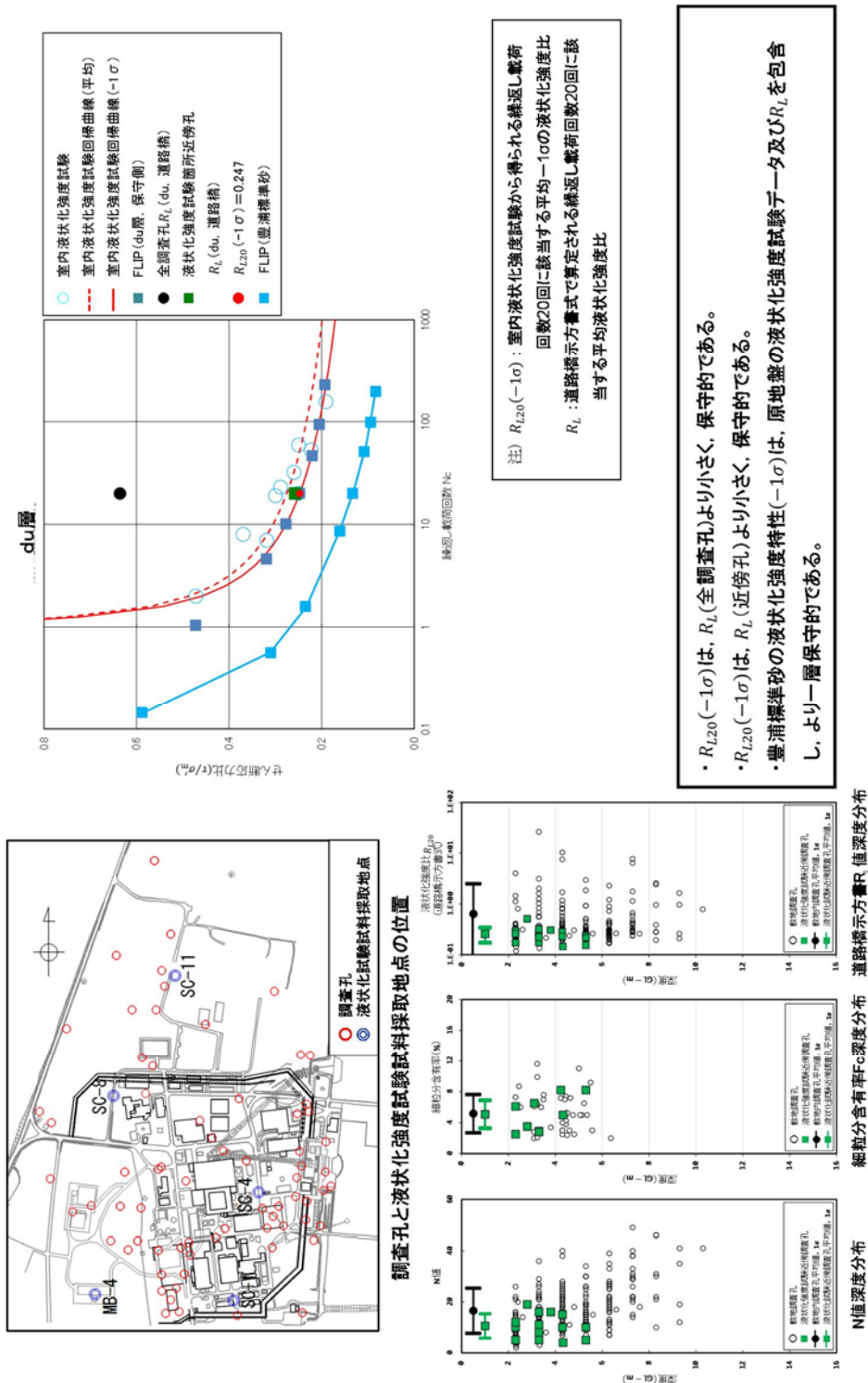
第 4.3.2 図 F L I P による豊浦標準砂の液状化強度特性



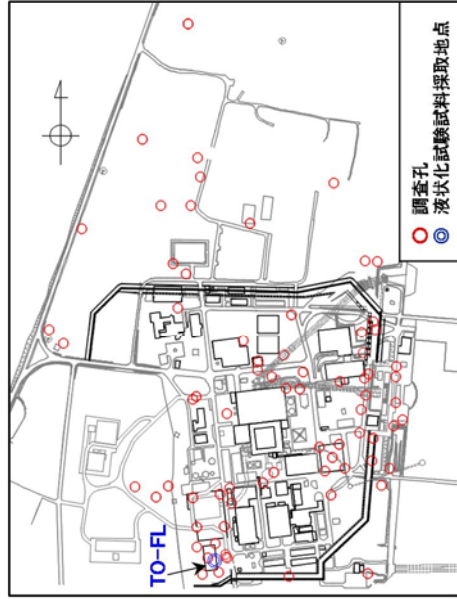
第 4.3.3 図 東海第二発電所の原地盤の液状化強度試験データとその
全てを保守側で包含する F L I P の液状化強度特性（豊浦標準砂）

2) 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_L との比較

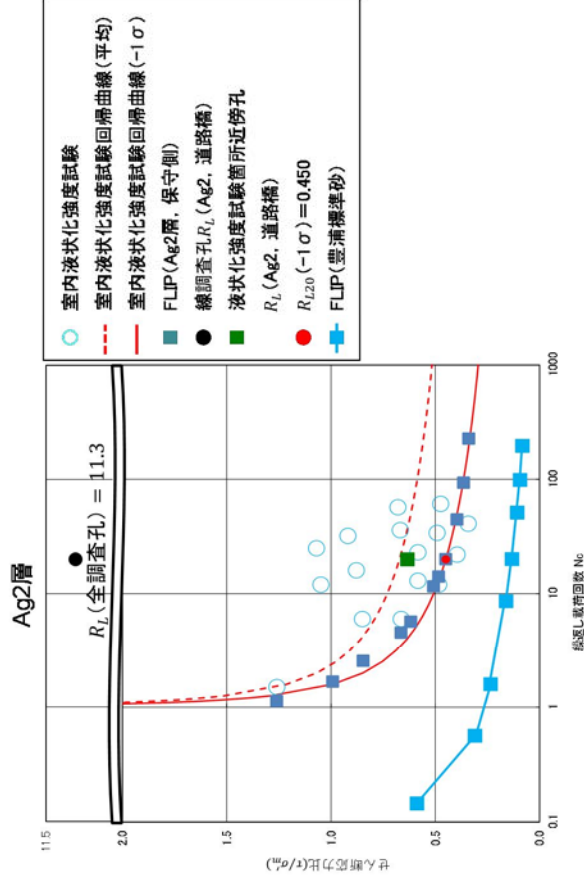
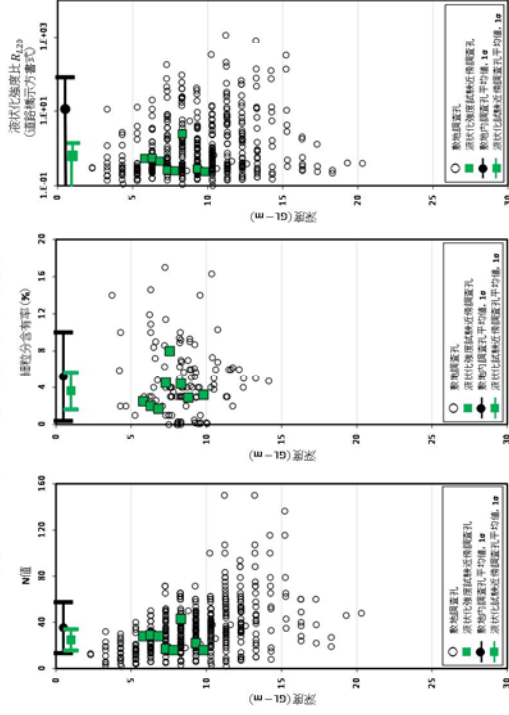
第 4.3.4 図～第 4.3.8 図に液状化検討対象層の室内液状化強度試験結果と敷地内調査孔の道路橋示方書式で算定される R_L との比較結果を示す。



第 4.3.4 図 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_{L20} と比較検討（du 層）



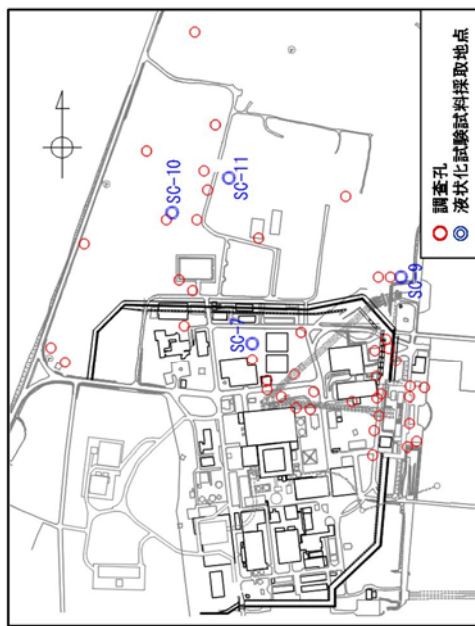
調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置



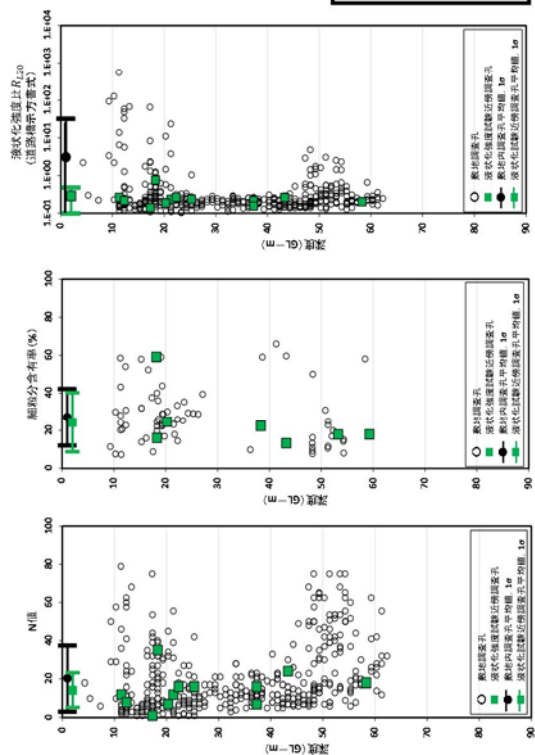
注) $R_{L20}(-1\sigma)$: 室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均 -1σ の液状化強度比
 R_L : 道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

- $R_{L20}(-1\sigma)$ は、 R_L (全調査孔)より小さく、保守的である。
- $R_{L20}(-1\sigma)$ は、 R_L (近傍孔)より小さく、保守的である。
- 豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)は、原地盤の液状化強度試験データ及び R_L (全調査孔)、 R_L (近傍孔)を包含し、より一層保守的である。

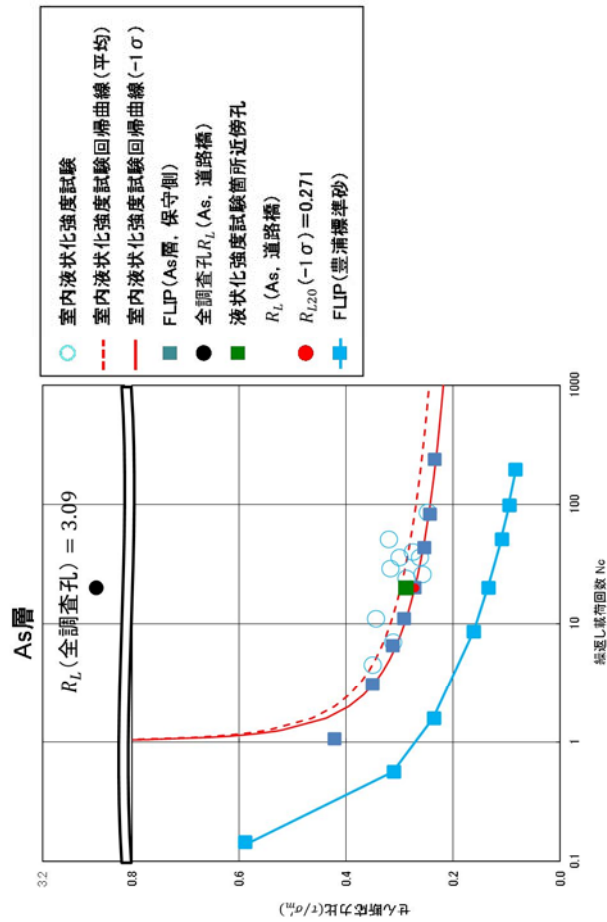
第 4.3.5 図 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_{L20} との比較検討 (Ag2 層)



調査孔と液状化強度試験試料採取地点の位置



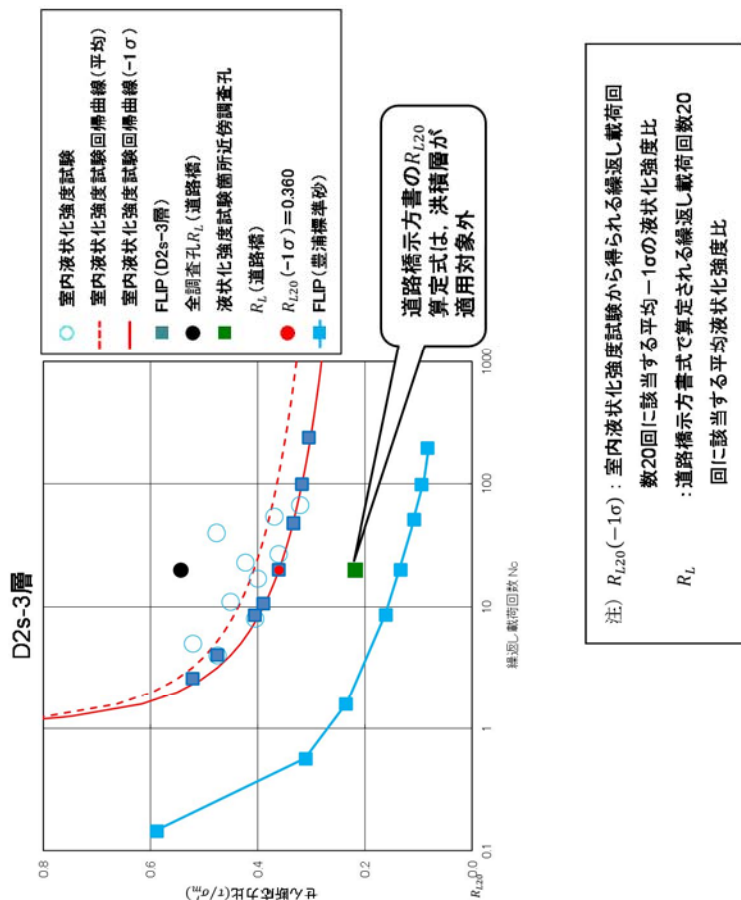
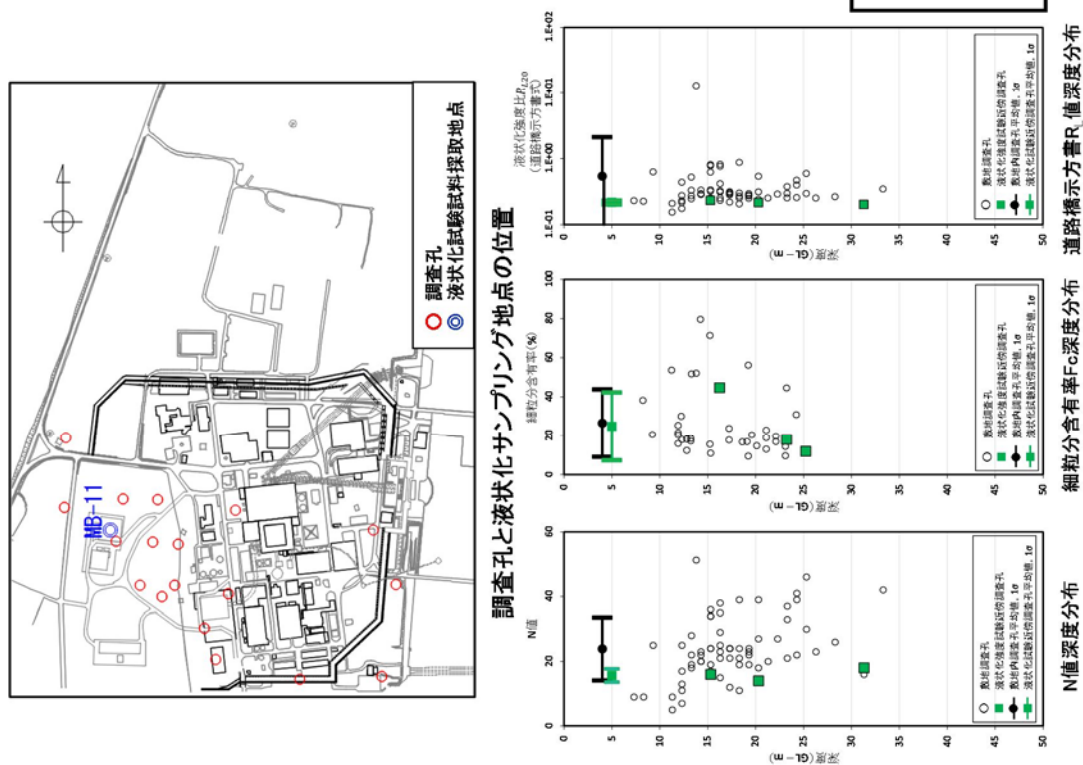
N値深度分布
細粒分含有率Fc深度分布
道路橋示方書 R_L 値深度分布



注) $R_{L20}(-1\sigma)$: 室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均 -1σ の液状化強度比
 R_L : 道路橋示方書で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

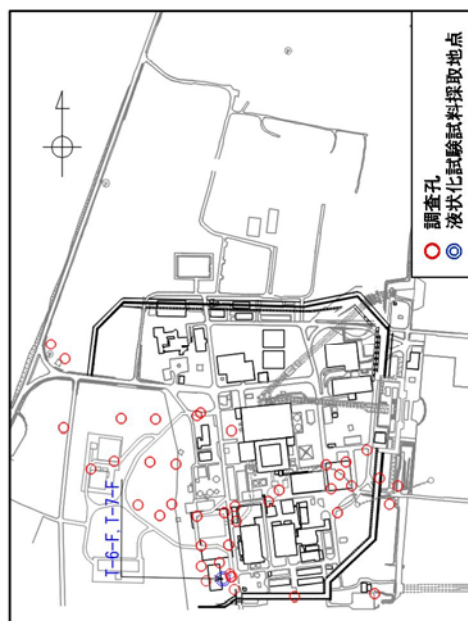
- $R_{L20}(-1\sigma)$ は、 R_L (全調査孔)より小さく、保守的である。
- $R_{L20}(-1\sigma)$ は、 R_L (近傍孔)より小さく、保守的である。
- 豊浦標準砂の液状化強度特性(-1σ)は、原地盤の液状化強度試験データ及び R_L (全調査孔)、平均 R_L (近傍孔)を包含し、より一層保守的である。

第 4.3.6 図 液状化強度設定 (As 層) 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式のよる R_{L20} との比較検討 (As 層)

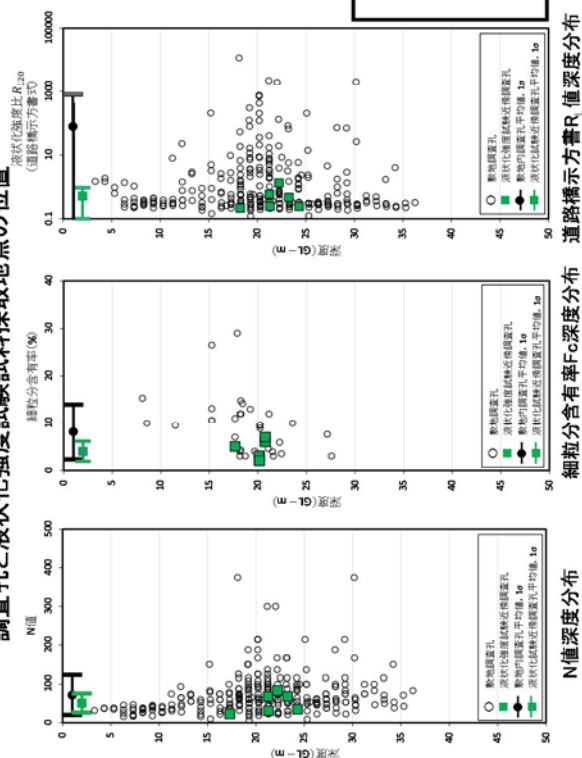


・ $R_{L20} (-1\sigma)$ は、N値とFcを用いての R_L (全調査孔) より小さく、保守的である。
 ・ $R_{L20} (-1\sigma)$ は、N値とFcを用いての R_L (近傍孔) よりやや大き目であるものの、豊浦標準砂の液状化強度特性 (-1σ) は、原地盤の液状化強度試験データ及び R_L (全調査孔)、 R_L (近傍孔) を包含し、より一層保守的である。

第 4.3.7 図 液状化強度設定 (D2s-3 層) 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_{L20} との比較検討 (D2s-3 層)



調査孔と液状化強度試験試験採取地点の位置

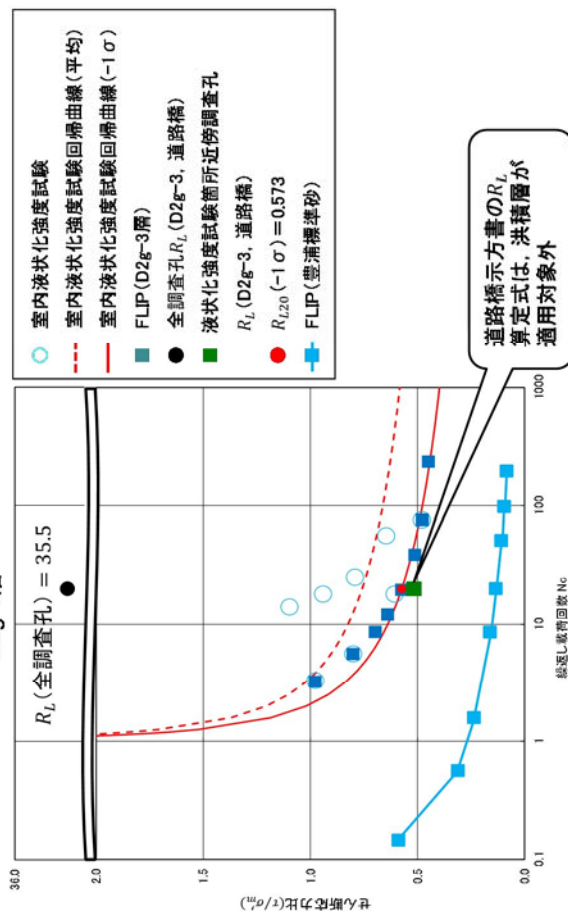


道路橋示方書 R_L 値深度分布

細粒分含有率 F_c 深度分布

N値深度分布

D2g-3層



道路橋示方書の R_L 算定式は、洪積層が適用対象外

注) $R_{L20}(-1\sigma)$: 室内液状化強度試験から得られる繰返し載荷回数20回に該当する平均 -1σ の液状化強度比
 R_L : 道路橋示方書式で算定される繰返し載荷回数20回に該当する平均液状化強度比

・ $R_{L20}(-1\sigma)$ は、N値とFcを用いての R_L (全調査孔) より小さく、保守的である。
 ・ $R_{L20}(-1\sigma)$ は、N値とFcを用いての R_L (近傍孔) よりやや大き目であるものの、豊浦標準砂の液状化強度特性 (-1σ) は、原地盤の液状化強度試験データ及び R_L (全調査孔), R_L (近傍孔) を包含し、より一層保守的である。

第 4.3.8 図 室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_{L20} との比較検討 (D2g-3 層)

3) まとめ

敷地内の液状化検討対象層に対して、原地盤採取試料の室内液状化強度試験結果（ -1σ ）及び豊浦標準砂の液状化強度特性（ -1σ ）と敷地内全調査孔、及び液状化強度試験箇所近傍調査孔の道路橋示方書による R_L との比較検討を行った。

- ・ 各土層の室内液状化強度試験結果 R_{L20} （ -1σ ）は、何れの土層においても、道路橋示方書による敷地内全調査孔の平均 R_L （全調査孔）より小さく保守的である。
- ・ 完新統（du 層，As 層，Ag2 層）の液状化強度試験結果 R_{L20} （ -1σ ）は、道路橋示方書による液状化強度試験箇所近傍調査孔の平均 R_L （近傍孔）より小さく保守的である。
- ・ 更新統（D2g-3 層，D2s-3 層）の液状化強度試験結果 R_{L20} （ -1σ ）は、道路橋示方書による液状化強度試験箇所近傍調査孔の平均 R_L （近傍孔）よりやや大きめの値を示している。
しかし、道路橋示方書の R_L 算定式は、完新統の N 値及び細粒分含有率 F_c と完新統の液状化強度比との関係から定められた式であり、更新統の液状化強度が一般的に高めの傾向となる要因である年代効果の続成作用等の影響を考慮できる評価式になっておらず、更新統は本来適用対象外である。
- ・ よって、完新統の N 値及び細粒分含有率 F_c に基づく道路橋示方書の R_L 算定式をあえて更新統に適用した場合には、室内の液状化強度試験結果よりやや小さ目に R_L を評価する結果となっている。
- ・ 豊浦標準砂の液状化強度特性（ -1σ ）は、原地盤の液状化強

度試験データ及び道路橋示方書式による液状化強度試験箇所近傍調査孔の平均 R_L （近傍孔）を包含しており，より一層保守的である。

- ・ 現在実施中の追加調査を踏まえ，今後も引き続き検討していく。

4.4 基準地震動 S_s に対する液状化強度試験の有効性

敷地で採取された試料を用いて実施した液状化強度試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態（繰返し応力および繰返し回数）を模擬していることを確認するため、累積損傷度理論を適用し、評価検討を行った。

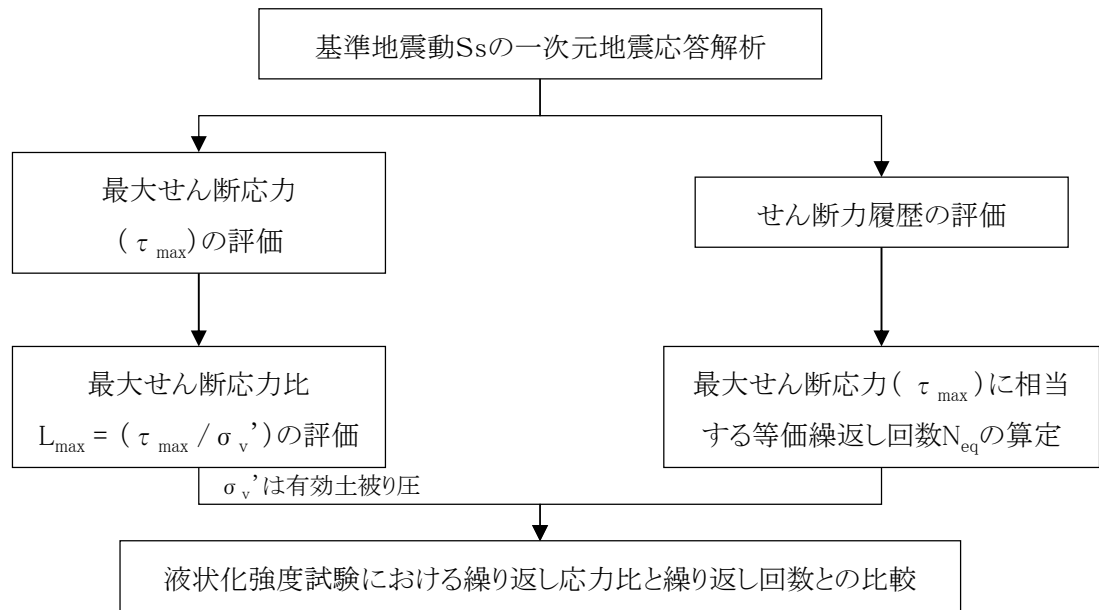
第 4.4.1 図に累積損傷度理論に基づく評価フローを、第 4.4.2 図に累積損傷度理論による等価繰返し回数の評価方法を示す。

液状化強度試験結果から各せん断応力比（ L ）に対して所定のせん断ひずみとなる繰返し回数を整理し、取水口南側・北側、海水ポンプ室南側・北側の地盤モデルを用いて実施した一次元有効応力解析結果を累積損傷度理論に基づいて整理した最大せん断応力比（ L_{max} ）及び等価繰返し回数（ N_{eq} ）と比較検討を行った。

第 4.4.3 図～第 4.4.6 図には各土層の評価結果を示す。

du 層、Ag2 層及び Ag1 層の評価結果より、解析結果による最大せん断応力比（ L_{max} ）と等価繰返し回数（ N_{eq} ）は、試験で実施したせん断応力比と繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動 S_s -D1 相当の試験が実施出来ている。

As 層の評価結果より、液状化強度試験はせん断応力比が小さい（繰返し回数 100 回以上）のデータを包含していないことから、すべてのデータを十分保守側に包含する豊浦標準砂の F L I P の液状化強度特性（ -1σ ）を用いた有効応力解析を実施し、耐震評価を行うこととする。



第 4.4.1 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価フロー

◆ 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価

- ・累積損傷度理論は、金属の疲労破壊の分野で提案されたものである。

1回の荷重 τ_i により、損傷度 $\{1/N_f(\tau_i)\}$ が生じ、 N_i 回の繰返し荷重により損傷度が累積して

$$D = \frac{N_i}{N_{if}(\tau_i)} \geq 1.0$$

で疲労破壊に達する。

- ・繰返し荷重 τ_i が N_i 回作用したことによるのと同等の効果を、別の応力レベル τ_e によって得るために必要な繰返し回数(等価繰返し回数) N_e は以下のように定義される。

$$N_e = \frac{N_i}{N_{if}} N_{ef}$$

ここに、

N_i : せん断応力 τ_i の繰返し回数

N_{if} : せん断強度 τ_i での繰返し回数

N_e : せん断応力 τ_e の繰返し回数

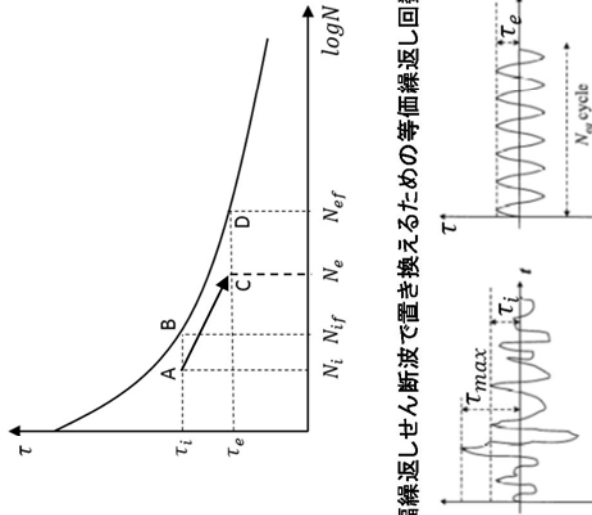
N_{ef} : τ_e なる等価振幅応力を加えた場合の破壊までの繰返し回数

- ・複数の τ_i を有する不規則波全体を等価一定せん断応力 τ_e なる単一応力レベルでの当振幅繰返しせん断波で置き換えるための等価繰返し回数 N_{eq}

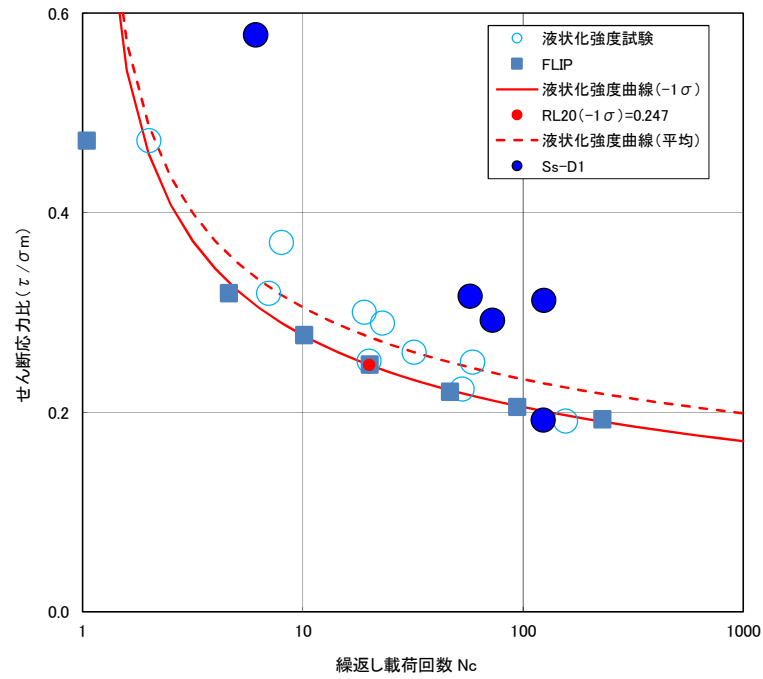
$$\tau_e = 0.65 \times \tau_{max}$$

$$N_{eq} = \sum N_e = N_{ef} \sum \left(\frac{N_i}{N_{if}} \right)$$

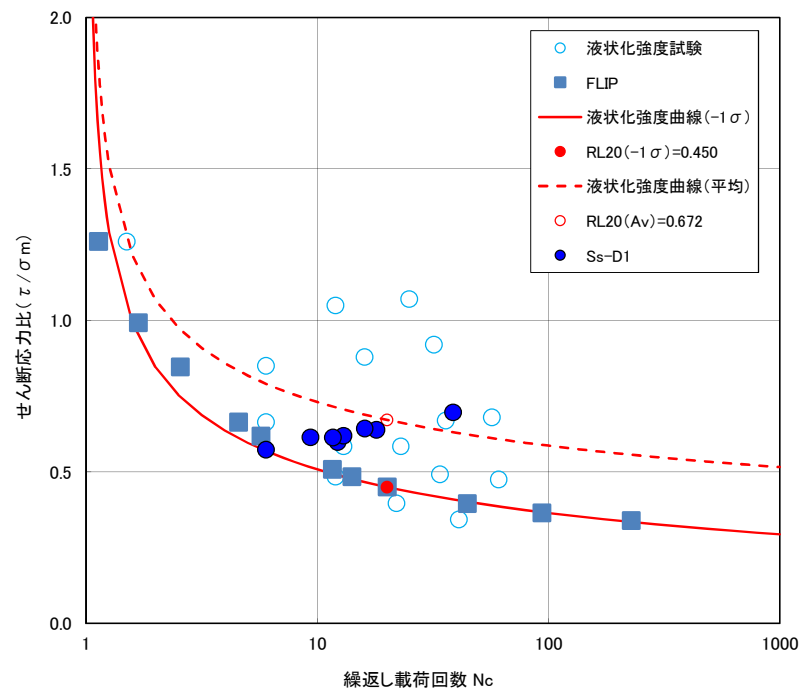
- ・あるしべル未満のせん断応力は、 N_{if} が大きいいため $(N_i/N_{if}) \approx 0$ となり、ほとんど破壊に寄与しない。今回の検討では、液状化強度試験の最大繰返し回数200回に相当するせん断応力を設定し、そのせん断力以下は対象外とした。



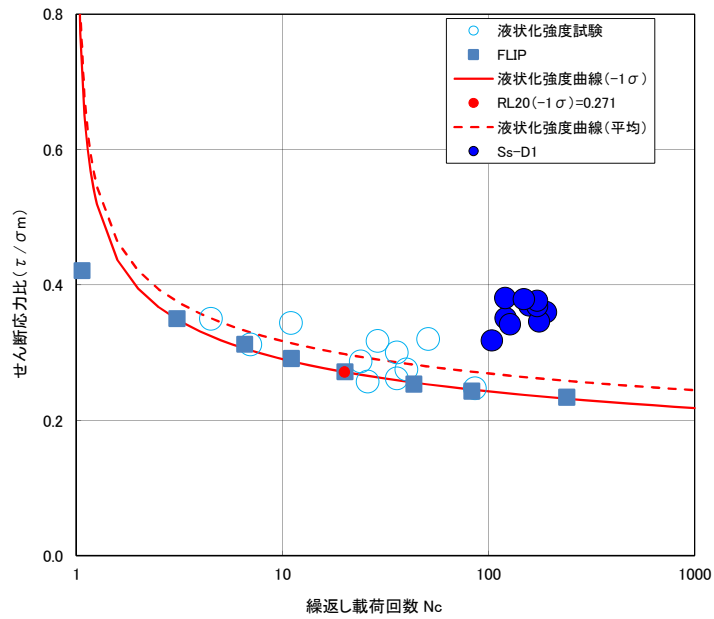
第 4.4.2 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法



第 4.4.3 図 累積損傷度理論に基づく評価結果
(取水口・海水ポンプ室, du 層)

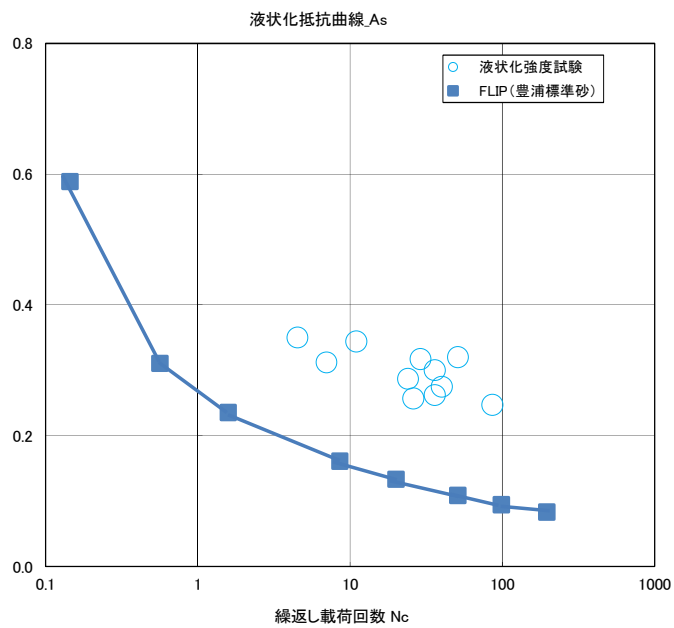


第 4.4.4 図 累積損傷度理論に基づく評価結果
(取水口・海水ポンプ室, Ag2 層)



(a) 試験データの -1σ 保守側の回帰曲線を再現対象とした

FLIPの液状化強度特性

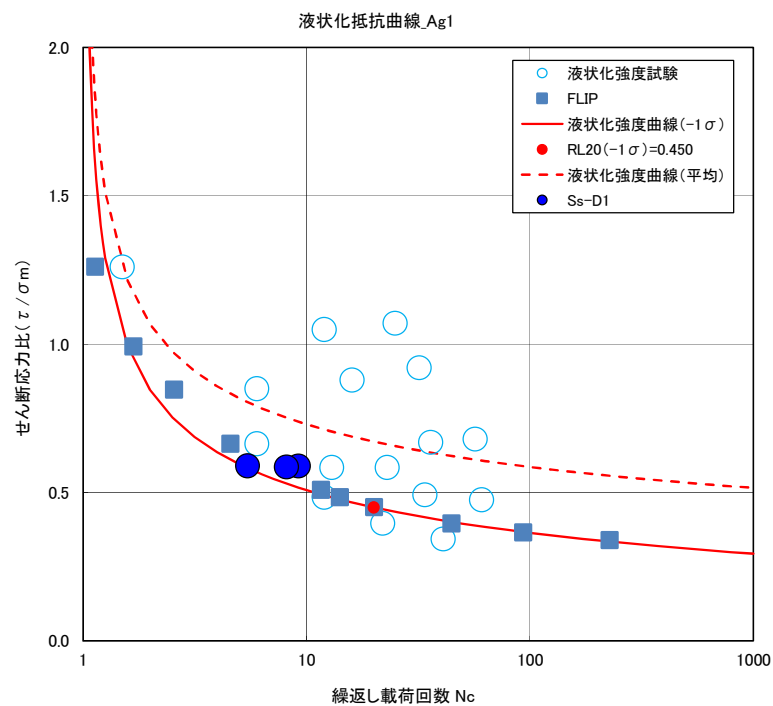


(b) 全ての試験データを保守側に包含する

豊浦標準砂のFLIPの液状化強度特性

第 4.4.5 図 累積損傷度理論に基づく評価結果

(取水口・海水ポンプ室, As 層)



第 4. 4. 6 図 累積損傷度理論に基づく評価結果
(取水口・海水ポンプ室, Ag1 層)

5. 施設毎の液状化影響検討の組合せ

1) 概要

施設の構造形式等を考慮し、施設毎の詳細設計における液状化影響検討の組合せを設定する。

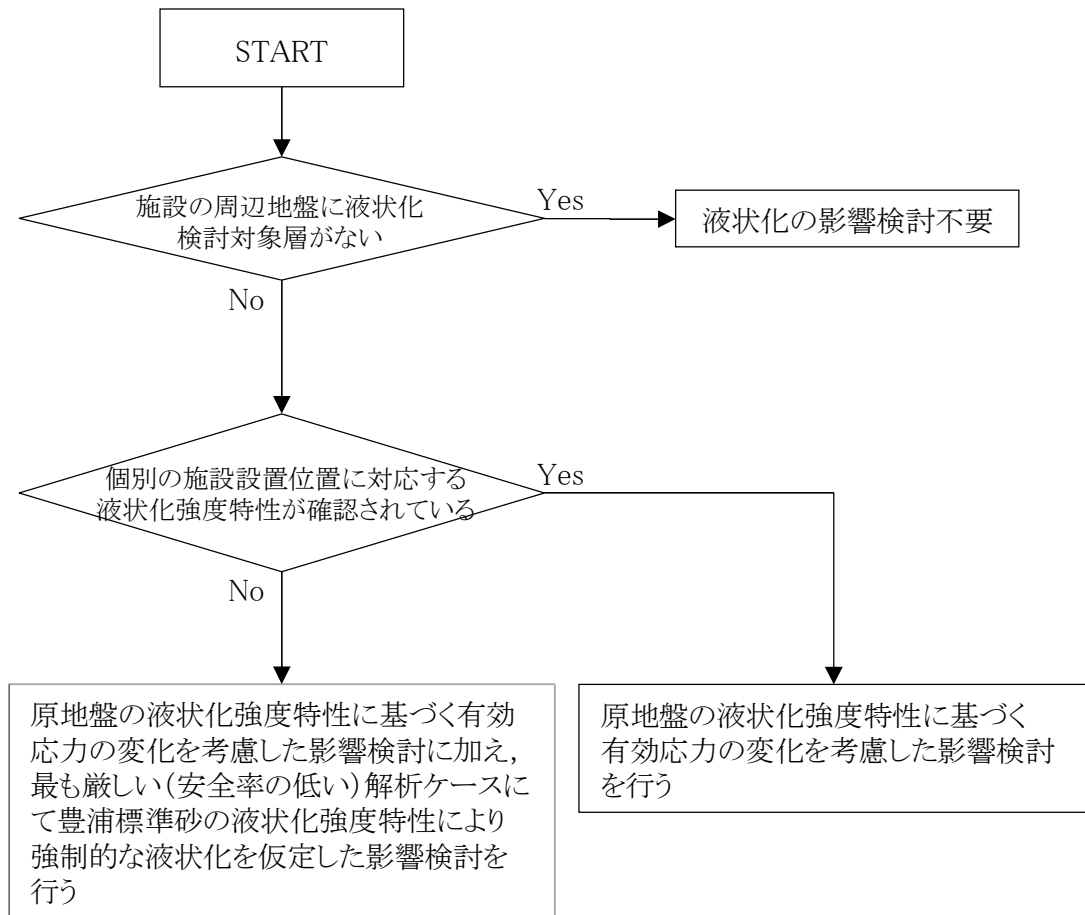
2) 液状化影響検討の組合せの設定方針

液状化影響検討の組合せの設定フローを第 5.1.1 図に示す。

施設の詳細設計において、その周辺地盤に液状化検討対象層が存在しない場合は、液状化の影響検討は不要とする。

上記に該当しない施設のうち液状化の影響が大きいと考えられる杭基礎構造の施設について、個別の施設設置位置に対応する液状化強度特性が確認されている場合は、基準地震動 S_s に対して、原地盤の液状化強度特性 (-1σ) を用いた有効応力解析による検討を行う (①)。個別の施設設置位置に対応する液状化強度特性が確認されない場合は、更に、上記の検討において最も厳しい (安全率が低い) 解析ケースに対して、豊浦標準砂の液状化強度特性 (-1σ) により強制的な液状化を仮定した影響検討を追加で行う (②)。

なお、杭基礎構造以外の施設についても、①及び②の検討により、液状化の影響の程度を確認する。



第 5.1.1 図 液状化影響検討の組合せの設定フロー

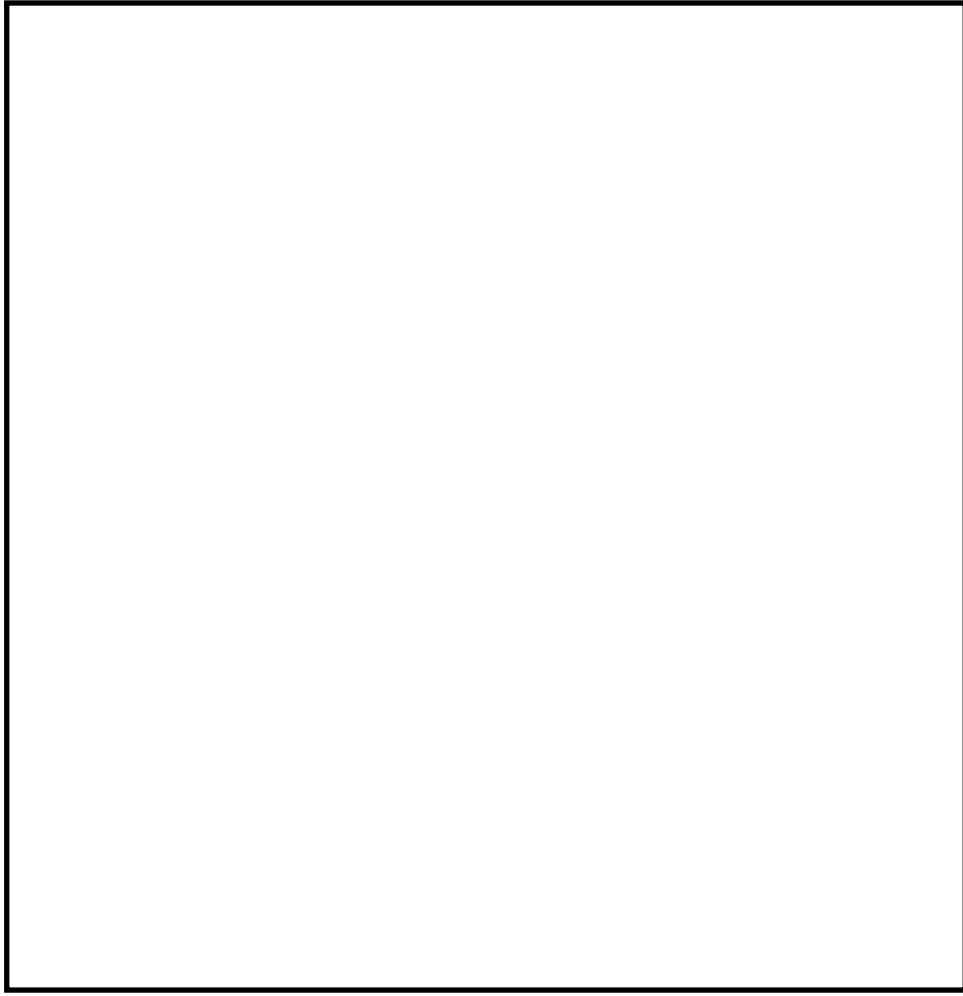
3) 各施設毎の液状化影響検討の組合せ

対象施設の設置位置，液状化強度試験用資料採取箇所及び対象層を第 5.1.2 図に示す。詳細設計段階の液状化影響評価については，第 5.1.1 図に従い検討を行う。

また，第 5.1.3 図に追加で実施する液状化強度試験の計画を示す。今後，当該試験結果を踏まえ，詳細設計にて用いられている液状化強度特性の妥当性を確認してゆく。



第 5.1.2 図 各施設の設置位置，液状化強度試験用資料採取箇所及び
対象層



第 5.1.3 図 追加液状化強度試験計画

6. 有効応力解析の検討方針

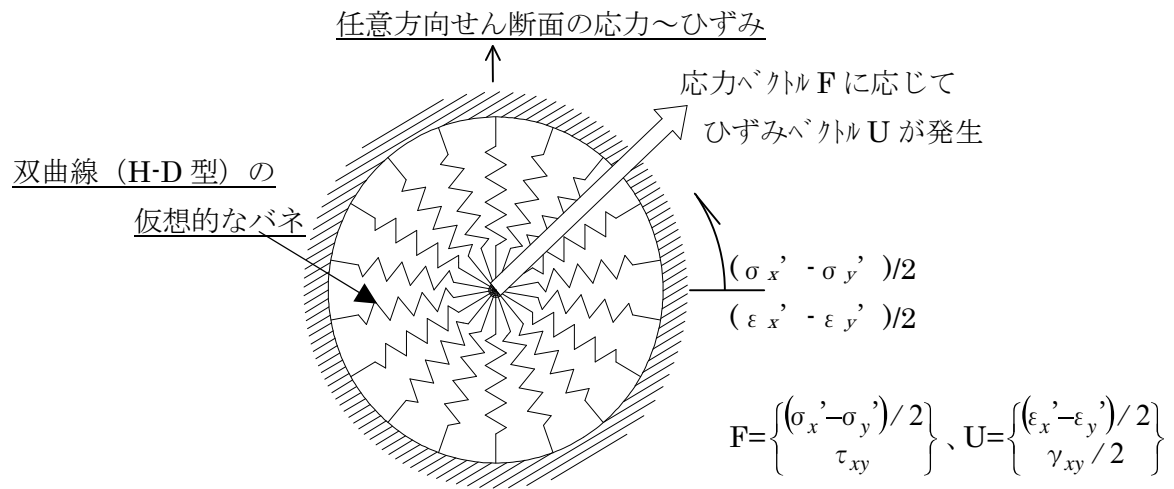
1) 有効応力解析コード「F L I P」について

有効応力解析コード「F L I P (Finite element analysis of Liquefaction Program)」は、1988 年に運輸省港湾技術研究所(現、(独) 港湾空港技術研究所)において開発された平面ひずみ状態を対象とする有効応力解析法に基づく、2 次元地震応答解析プログラムである。F L I P の主な特徴として、以下の 5 点が挙げられる。

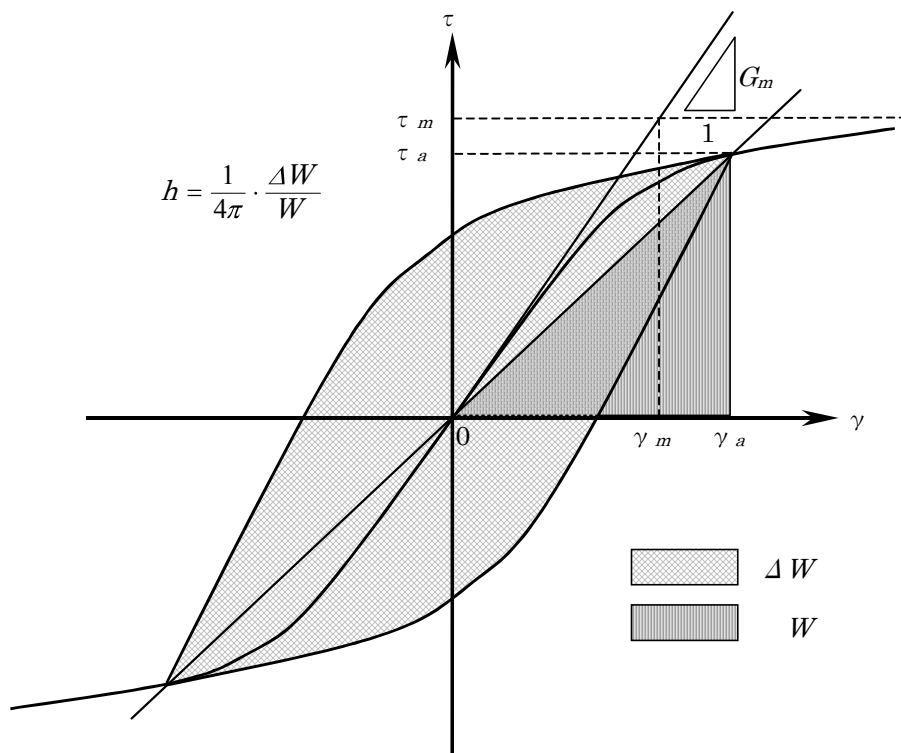
- ① 有限要素法に基づくプログラムである。
- ② 平面ひずみ状態を解析対象とする。
- ③ 地盤の液状化を考慮した地震応答解析を行い、部材断面力や残留変形等を計算する。
- ④ 土の応力-ひずみモデルとしてマルチスプリングモデルを採用している。
- ⑤ 液状化現象は有効応力法により考慮する。そのため、必要な過剰間隙水圧発生モデルとして井合モデルを用いている。

砂の変形特性を規定するマルチスプリングモデルは、任意方向のせん断面において仮想的な単純せん断バネの作用があるものとし、これらのせん断バネの作用により、土全体のせん断抵抗が発揮されるものである。土の応力-ひずみ関係は、このせん断バネの特性によって種々の表現が可能であるが、「F L I P」では双曲線 (Hardin-Drnevich) 型モデルを適用している。また、履歴ループについては、その大きさを任意に調整可能なように拡張した Masing 則を用いている。第 6.1.1 図にマルチスプリングモデルの概念図を、第 6.1.2 図に非排水条件での土の応力-ひずみ関係の

概念図を示す。



第 6.1.1 図 マルチスプリングモデルの概念図



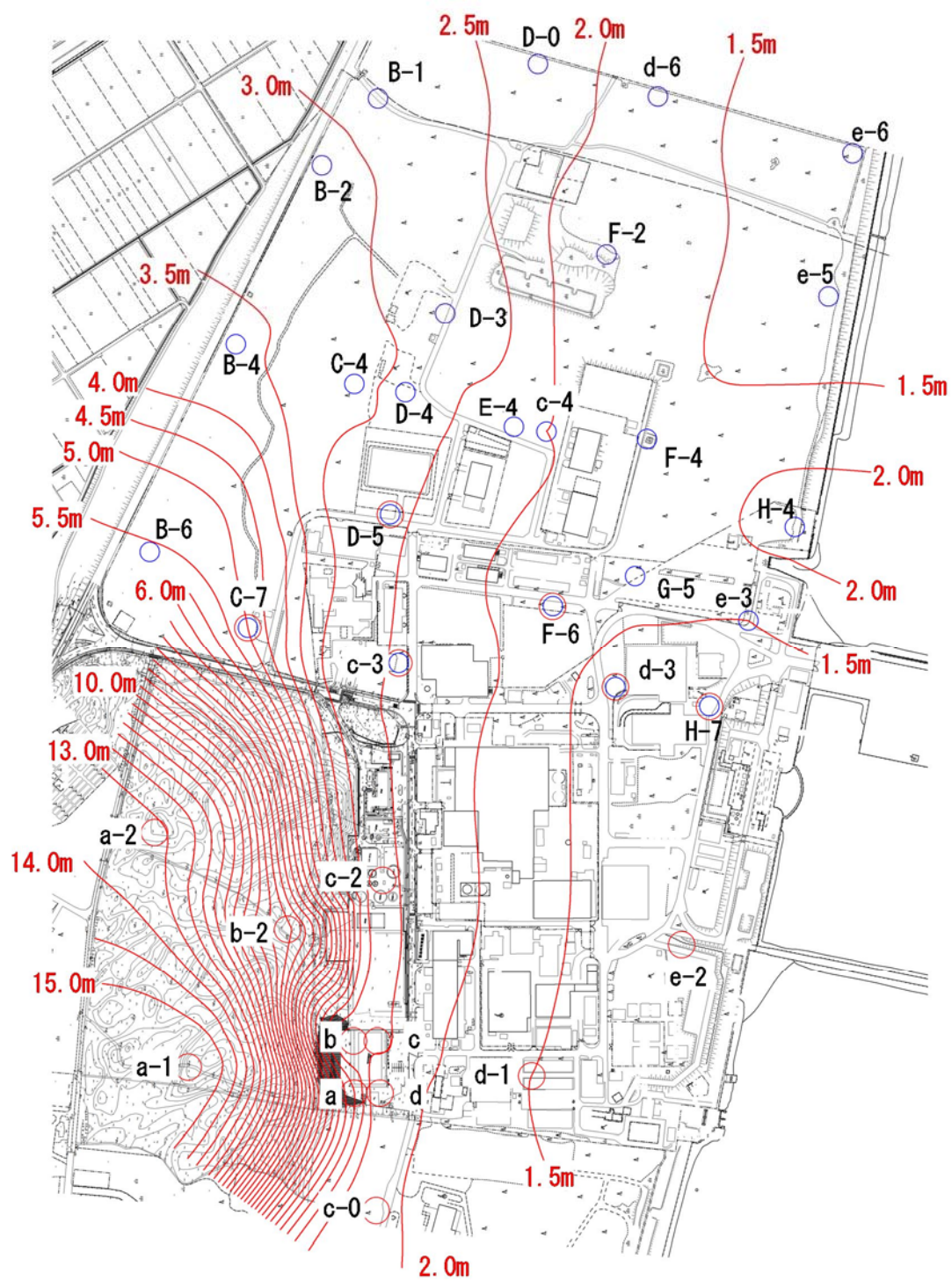
第 6.1.2 図 非排水条件での土の応力－ひずみ関係の概念図

2) 有効応力解析における地下水位分布について

有効応力解析においては、敷地内の観測最高推移に基づき地下水位を設定する。地下水位については、平成 29 年 6 月時点でのデータを用いて取り纏めを行い、地下水位コンター図を作成した。

第 6.1.3 図に観測最高地下水位コンター図、第 6.1.1 表に最高水位一覧表を示す。

防潮堤の設置に伴い、防潮堤内部における地下水位の上昇が想定されるため、有効応力解析においては地下水位を地表面に設定して行うものとする。



第 6.1.3 図 観測最高地下水位コンター図

第 6.1.1 表 観測最高地下水位一覧表

| 観測孔名 | 計測期間 | 観測最高地下水位
(T. P. + m) | 観測最高地下水位
計測時期 |
|------|----------------------|-------------------------|------------------|
| a | 1995～1999 | 3.49 | 1998 年 10 月 8 日 |
| b | 1995～1999 | 2.52 | 1998 年 9 月 25 日 |
| c | 1995～1999 | 2.53 | 1998 年 9 月 22 日 |
| d | 1995～1999 | 2.28 | 1998 年 9 月 22 日 |
| a-1 | 1995～1999, 2004～2009 | 15.42 | 2006 年 8 月 7 日 |
| a-2 | 2004～2009 | 13.60 | 2006 年 7 月 28 日 |
| b-2 | 2004～2009 | 9.06 | 2006 年 7 月 30 日 |
| c-0 | 1995～1999, 2004～2009 | 2.05 | 1998 年 9 月 19 日 |
| c-2 | 1995～1999, 2004～2017 | 2.58 | 2012 年 7 月 7 日 |
| c-3 | 2004～2017 | 2.49 | 2012 年 7 月 7 日 |
| c-4 | 2004～2017 | 2.00 | 2012 年 6 月 25 日 |
| d-1 | 1995～1999, 2004～2009 | 1.50 | 1998 年 9 月 18 日 |
| d-3 | 2004～2017 | 1.44 | 2013 年 10 月 27 日 |
| d-6 | 2004～2017 | 1.58 | 2013 年 10 月 28 日 |
| e-2 | 2004～2017 | 1.38 | 2006 年 10 月 8 日 |
| e-3 | 2004～2017 | 1.50 | 2013 年 10 月 16 日 |
| e-5 | 2004～2017 | 1.30 | 2013 年 10 月 21 日 |
| e-6 | 2004～2017 | 1.26 | 2013 年 10 月 21 日 |
| B-1 | 2005～2017 | 2.90 | 2006 年 7 月 30 日 |
| B-2 | 2005～2017 | 3.09 | 2006 年 7 月 30 日 |
| B-4 | 2005～2017 | 3.56 | 2006 年 7 月 31 日 |
| B-6 | 2005～2017 | 5.51 | 2006 年 8 月 17 日 |
| C-4 | 2005～2017 | 3.17 | 2012 年 6 月 27 日 |
| C-7 | 2005～2017 | 4.99 | 2006 年 8 月 18 日 |
| D-0 | 2006～2017 | 2.37 | 2012 年 6 月 22 日 |
| D-3 | 2005～2017 | 2.88 | 2006 年 10 月 7 日 |
| D-4 | 2006～2017 | 2.76 | 2012 年 6 月 25 日 |
| D-5 | 2006～2017 | 2.54 | 2012 年 7 月 16 日 |
| E-4 | 2006～2017 | 2.26 | 2012 年 6 月 25 日 |
| F-2 | 2005～2015 | 1.74 | 2013 年 10 月 30 日 |
| F-4 | 2005～2017 | 1.55 | 2013 年 10 月 27 日 |
| F-6 | 2005～2017 | 1.77 | 2012 年 6 月 24 日 |
| G-5 | 2005～2017 | 1.53 | 2013 年 10 月 27 日 |
| H-4 | 2006～2017 | 2.13 | 2013 年 10 月 16 日 |
| H-7 | 2005～2017 | 1.33 | 2013 年 10 月 27 日 |

3) 液状化判定に係る評価基準値について

有効応力解析コード「F L I P」での地震応答解析結果により算出される各地盤要素の間隙水圧に対し，液状化の定義を明確にした上で，評価基準値を以下のように設定し，液状化判定を行う。

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（土木学会，2003）では，地盤の液状化の事象の定義として，以下のよう

に記載されている。

- ・地震の繰り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。

液状化判定の評価基準値を設定するにあたり，規格・基準における液状化と過剰間隙水圧に関する記載事例を調査した。地盤材料試験の方法と解説（公益社団法人地盤工学会，2009）では，液状化と関連する過剰間隙水圧について，以下のように記載されている。

- ・各繰り返しサイクルにおける過剰間隙水圧 Δu の最大値が有効拘束圧 σ_0' の 95%になった時の繰り返し載荷回数 N_{u95} を求める。
（土の液状化強度特性を求めるための繰り返し非排水三軸試験（p. 703～749））

これらの知見を踏まえて，過剰間隙水圧を指標とした液状化の評価基準値について，“液状化の定義”及び“規格・基準における記載事例”に基づき，以下のように設定する。

- ・過剰間隙水圧 Δu の最大値が有効拘束圧 σ_0' の 95%に達した状

態を液状化と判定する。

第 6.1.4 図に液状化パラメータ設定の流れ，第 6.1.2 表に各層の液状化パラメータを示す。

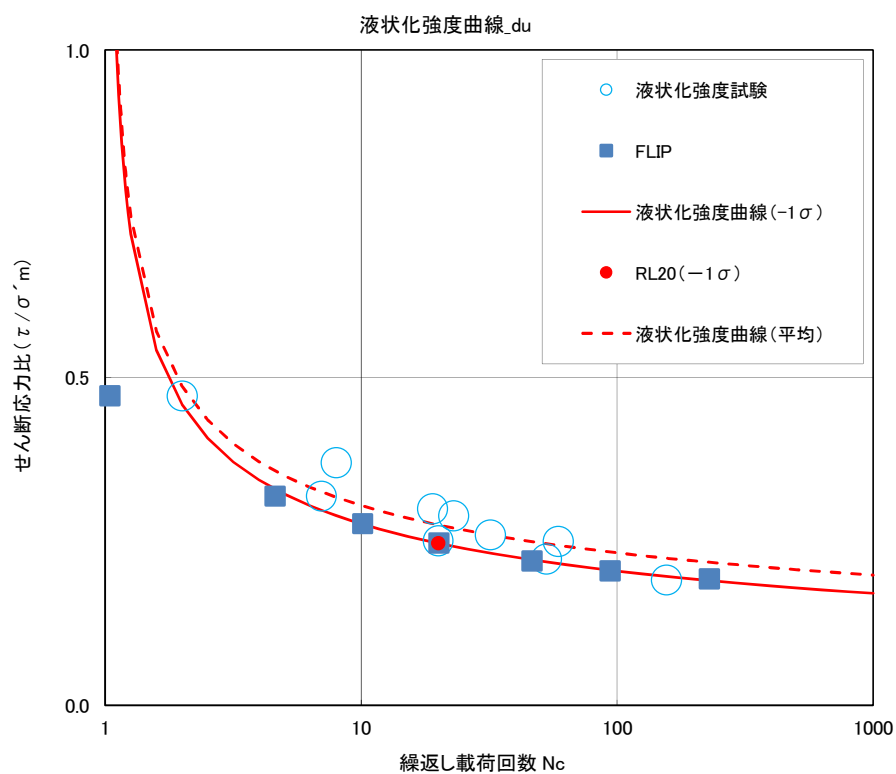
液状化パラメータの設定は，室内試験（液状化強度試験，三軸圧縮試験（CD 条件），動的変形試験）および原位置試験（PS 検層）により動的変形特性を求め，その後「F L I P」による要素シミュレーションにより液状化強度特性を求めている。

第 6.1.5 図～第 6.1.11 図に液状化強度試験結果に基づき，保守側の設定した各層の「F L I P」の液状化強度特性を示す。

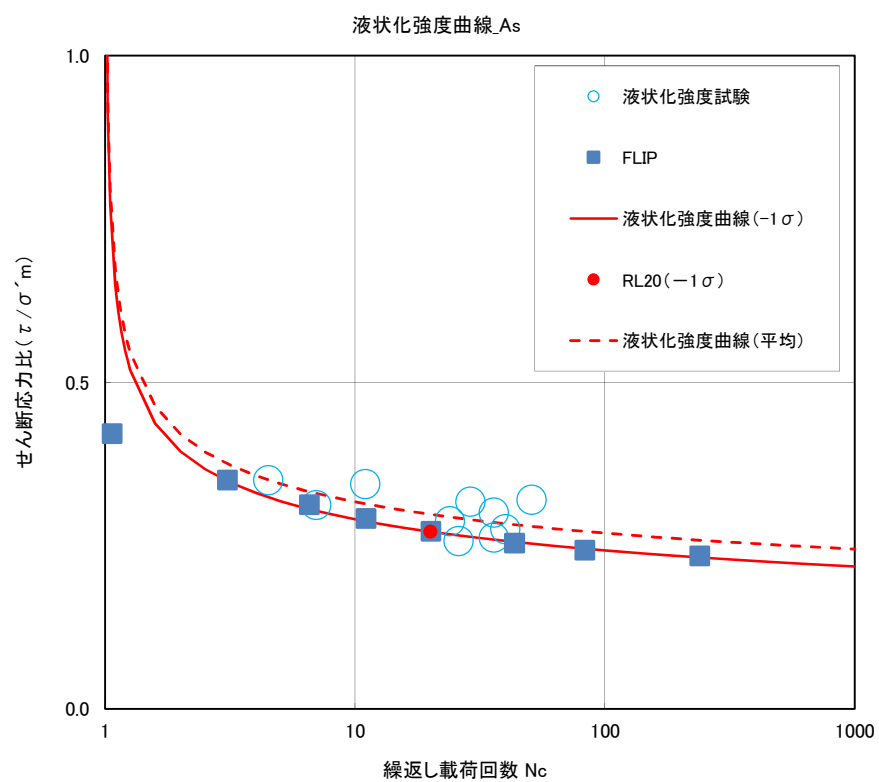
第 6.1.2 表 各層の液状化パラメータ

| | 間隙比
e | 基準平均有効
主応力 σ'_{ma}
[kN/m ²] | 基準初期
せん断剛性 G _{ma}
[kN/m ²] | 最大履歴減衰率
h _{max} | ϕ_p
[度] | S ₁ | W ₁ | P ₁ | P ₂ | C ₁ |
|-------|----------|--|---|-----------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | | | | | |
| 埋戻土 | 0.75 | 358
(312)
※()は地下水位以浅 | 253,529
(220,739)
※()は地下水位以浅 | 0.220 | 34.8 | 0.047 | 6.5 | 1.26 | 0.80 | 2.00 |
| | du | 358
(312)
※()は地下水位以浅 | 253,529
(220,739)
※()は地下水位以浅 | 0.220 | 34.8 | 0.047 | 6.5 | 1.26 | 0.80 | 2.00 |
| | Ag2 | 497
(299)
※()は地下水位以浅 | 278,087
(167,137)
※()は地下水位以浅 | 0.233 | 34.9 | 0.028 | 56.5 | 9.00 | 0.60 | 3.40 |
| | Ac | 480 | 121,829 | 0.200 | 非液状化層 | | | | | |
| As | 1.20 | 378 | 143,284 | 0.216 | 38.3 | 0.046 | 6.9 | 1.00 | 0.75 | 2.27 |
| Ag1 | 0.67 | 814
(814)
※()は地下水位以浅 | 392,073
(392,073)
※()は地下水位以浅 | 0.221 | 34.9 | 0.029 | 51.6 | 12.00 | 0.60 | 3.35 |
| D2c-3 | 1.09 | 696 | 285,223 | 0.186 | 非液状化層 | | | | | |
| D2s-3 | 0.79 | 966 | 650,611 | 0.192 | 33.4 | 0.048 | 17.6 | 4.80 | 0.96 | 3.15 |
| D2g-3 | 0.43 | 1,167
(1,167)
※()は地下水位以浅 | 1,362,035
(1,362,035)
※()は地下水位以浅 | 0.130 | 41.4 | 0.030 | 45.2 | 8.00 | 0.60 | 3.82 |
| lm | 2.80 | 223 | 35,783 | 0.151 | 非液状化層 | | | | | |
| D1c-1 | 1.09 | 696 | 285,223 | 0.186 | 非液状化層 | | | | | |
| D1g-1 | 0.67 | 1,695
(1,710)
※()は地下水位以浅 | 947,946
(956,776)
※()は地下水位以浅 | 0.233 | 34.9 | 0.020 | 10.5 | 7.00 | 0.50 | 2.83 |

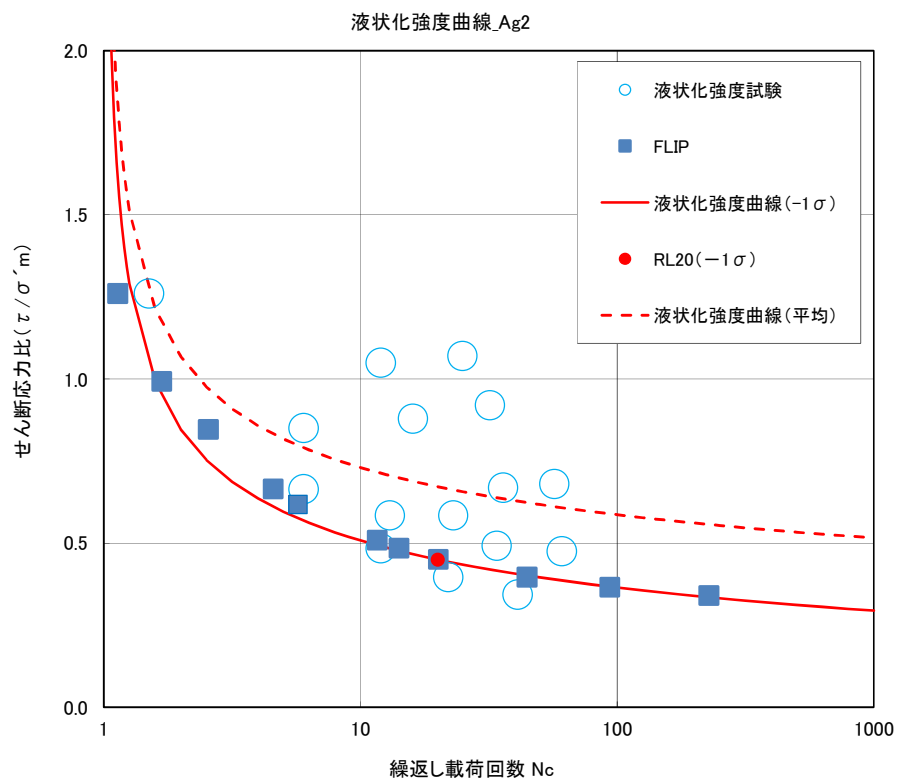
第四系



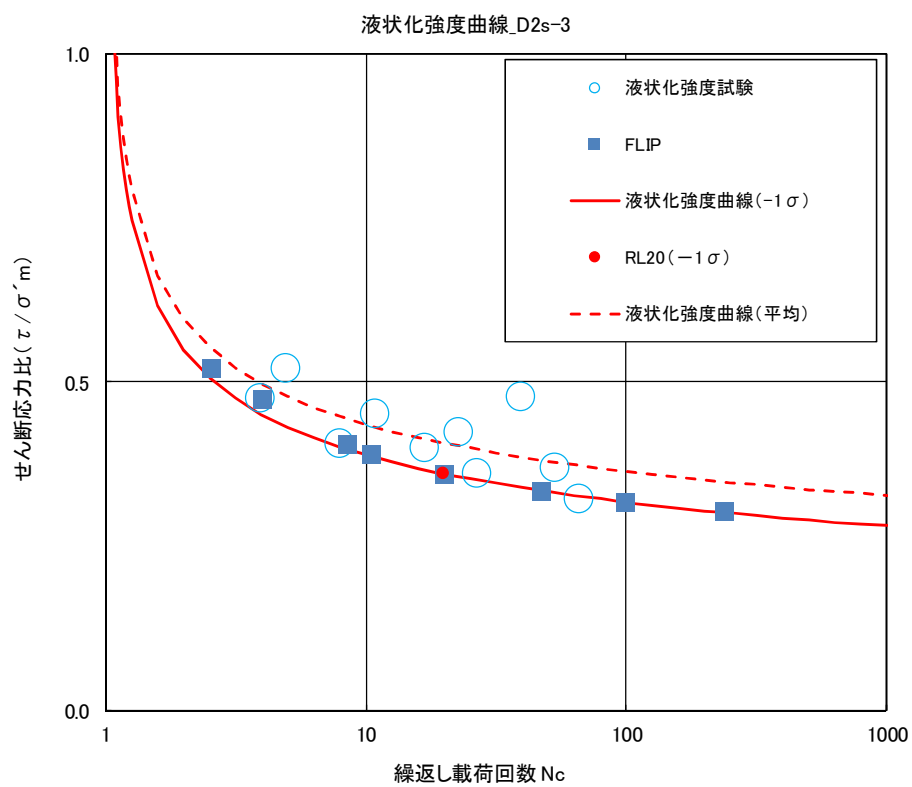
第 6.1.5 図 液状化強度特性 (du 層)



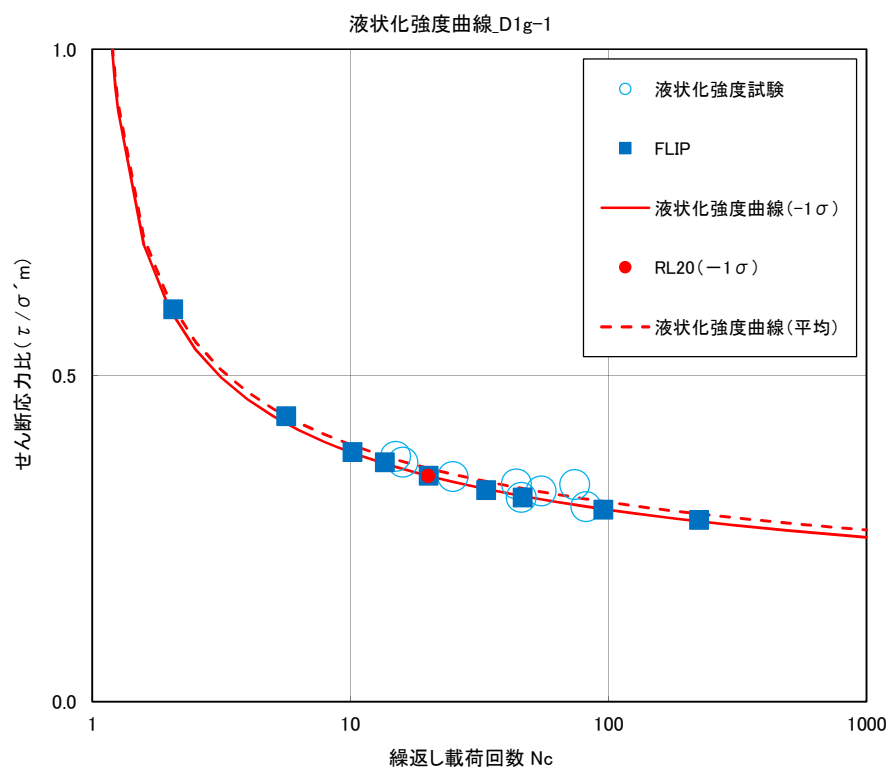
第 6.1.6 図 液状化強度特性 (As 層)



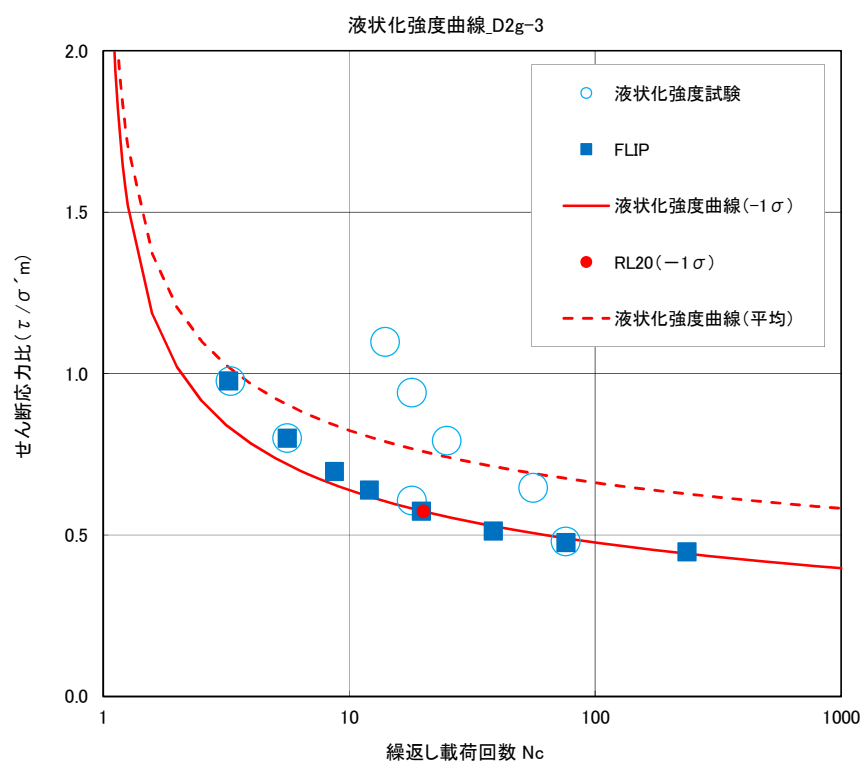
第 6.1.7 図 液状化強度特性 (Ag2 層)



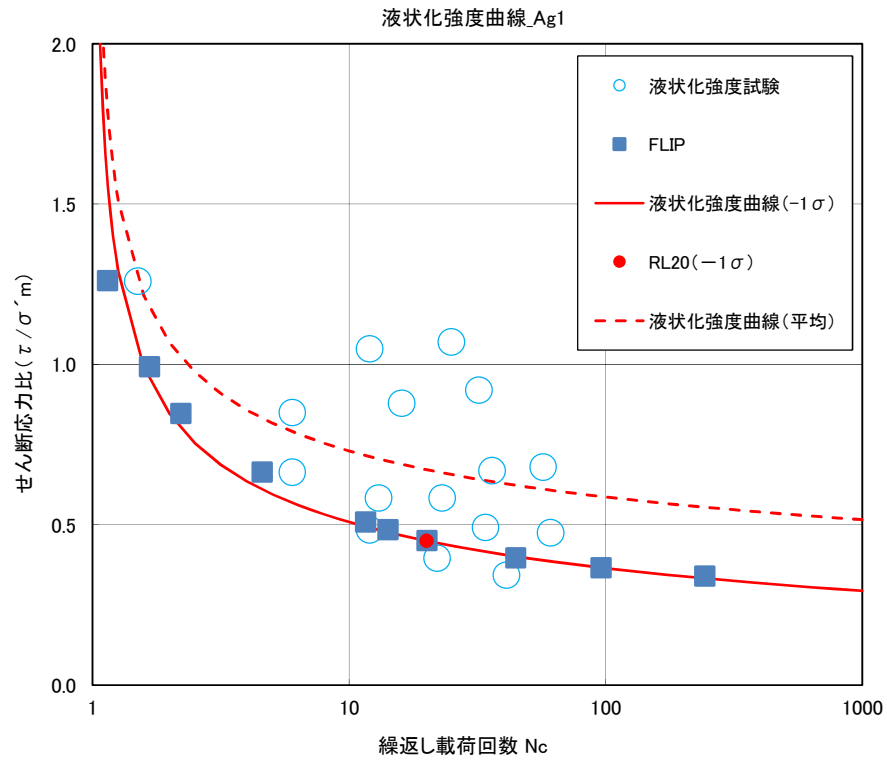
第 6.1.8 図 液状化強度特性 (D2s-3 層)



第 6.1.9 図 液状化強度特性 (D1g-1 層)



第 6.1.10 図 液状化強度特性 (D2g-3 層)



第 6.1.11 図 液状化強度特性 (Ag1 層)

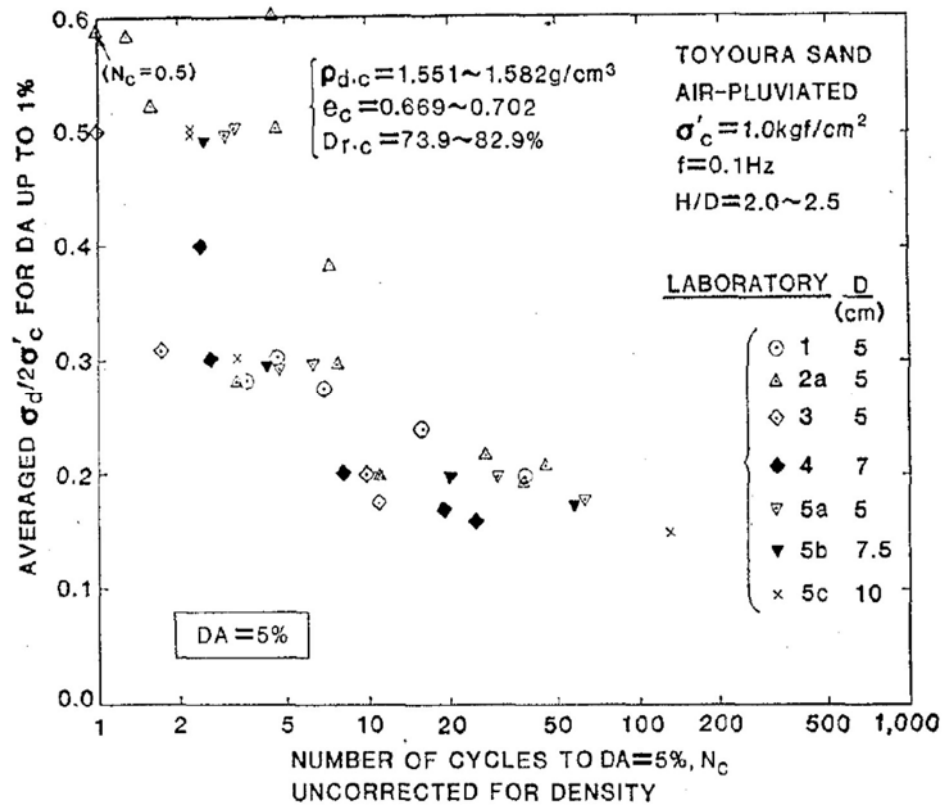
7. 保守的な液状化強度特性（豊浦標準砂）の仮定

液状化評価に用いる豊浦標準砂の強度特性は、文献（CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM[Soils and Foundations, JSSMFE. 26-3. (1986)]）から引用した相対密度 73.9～82.9%の豊浦標準砂の液状化強度試験データに対し、それらを全て包含し、より一層保守側となるように「F L I P」を用いて液状化特性を設定する。

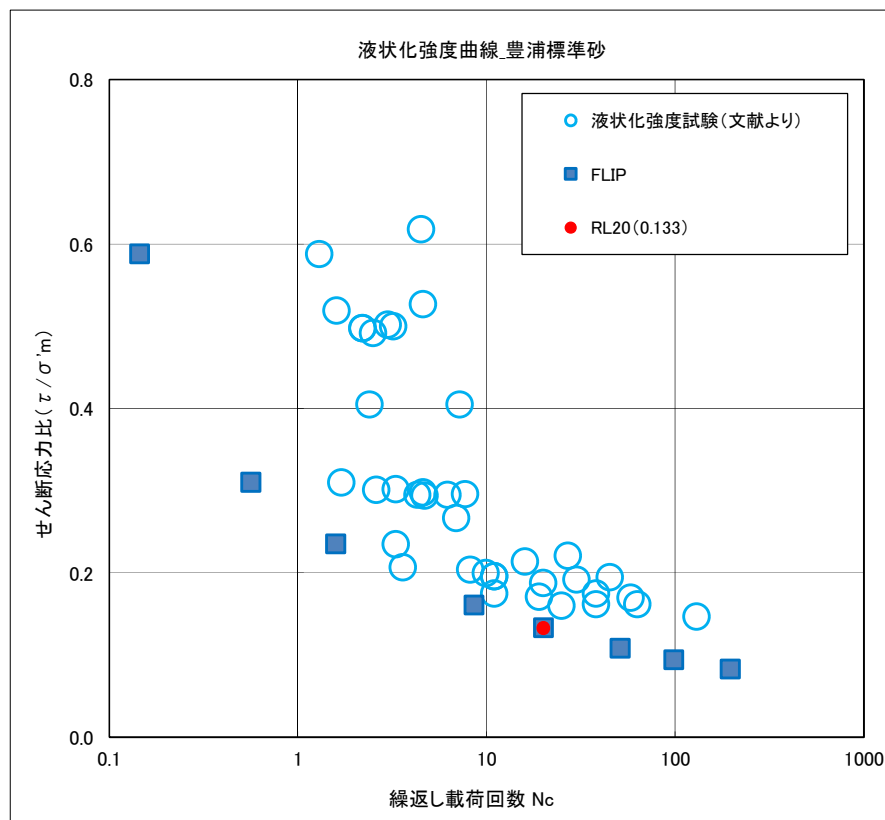
第 7.1.1 図に豊浦標準砂の液状化強度試験データ、第 7.1.2 図に F L I P による豊浦標準砂の保守的な液状化強度特性を示す。

F L I P を用いて、より一層保守側の液状化影響評価を行うため、東海第二発電所の全地層の液状化強度試験データを非常に保守側に包含する液状化強度特性（豊浦標準砂）を F L I P に仮定した有効応力解析を行い、耐震評価を実施する。第 7.1.3 図に豊浦標準砂の液状化強度特性と原地盤の液状化強度試験データの比較を示す。

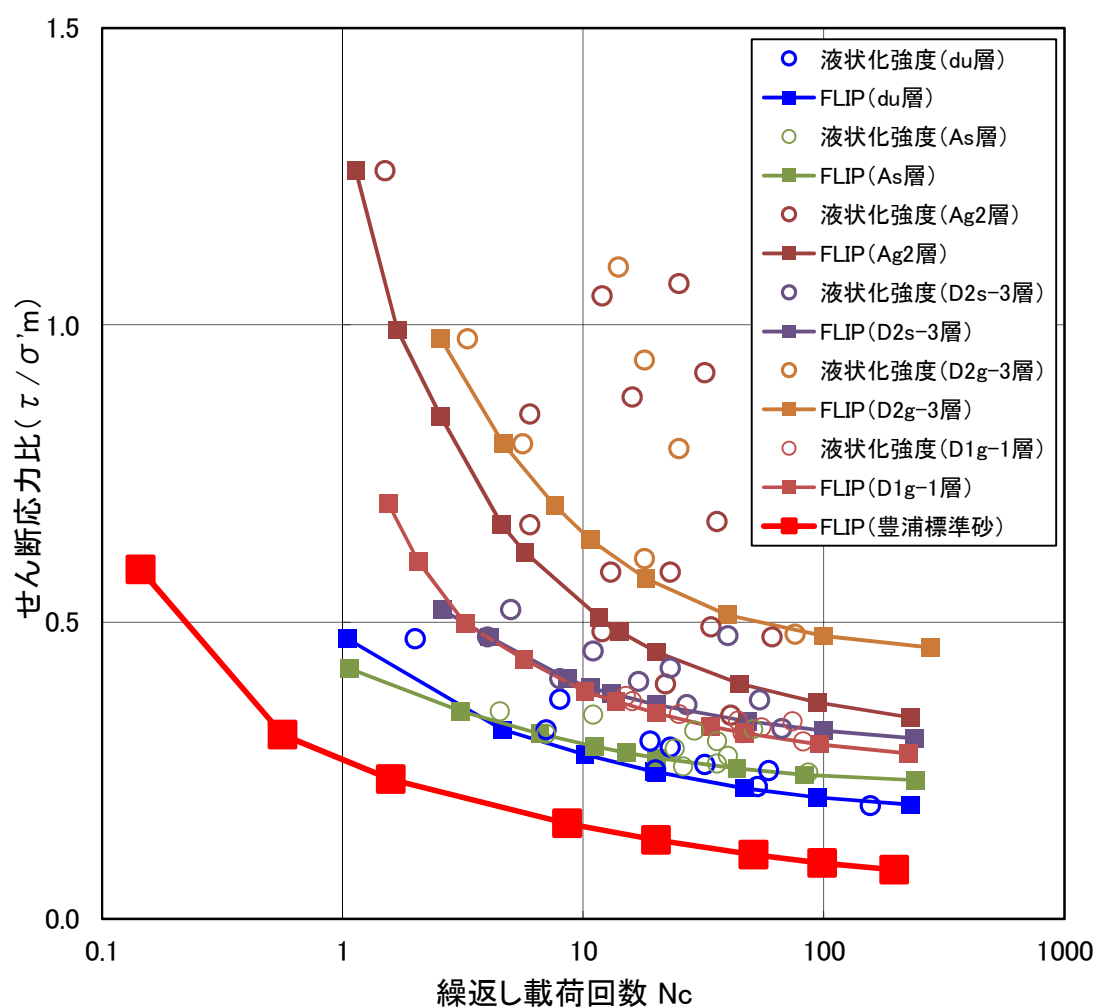
豊浦標準砂と液状化評価対象層である du 層及び As 層の比較を実施した。第 7.1.1 表に平均粒径と細粒分含有率の比較、第 7.1.4 図～第 7.1.5 図に粒径加積曲線による比較を示す。豊浦標準砂と du 層及び As 層の粒度分布について比較した結果、豊浦標準砂は細粒分含有率が低く、均質な粒径であることから、より液状化し易い砂であるといえる。



第 7.1.1 図 豊浦標準砂の液状化強度試験データ



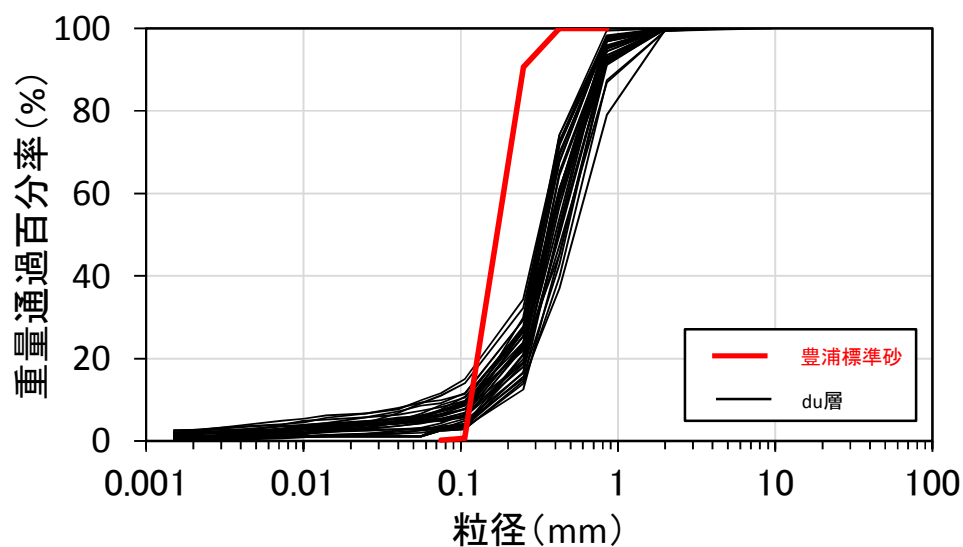
第 7.1.2 図 F L I P による豊浦標準砂の保守的な液状化強度特性



第 7.1.3 図 豊浦標準砂と原地盤の液状化強度特性の比較

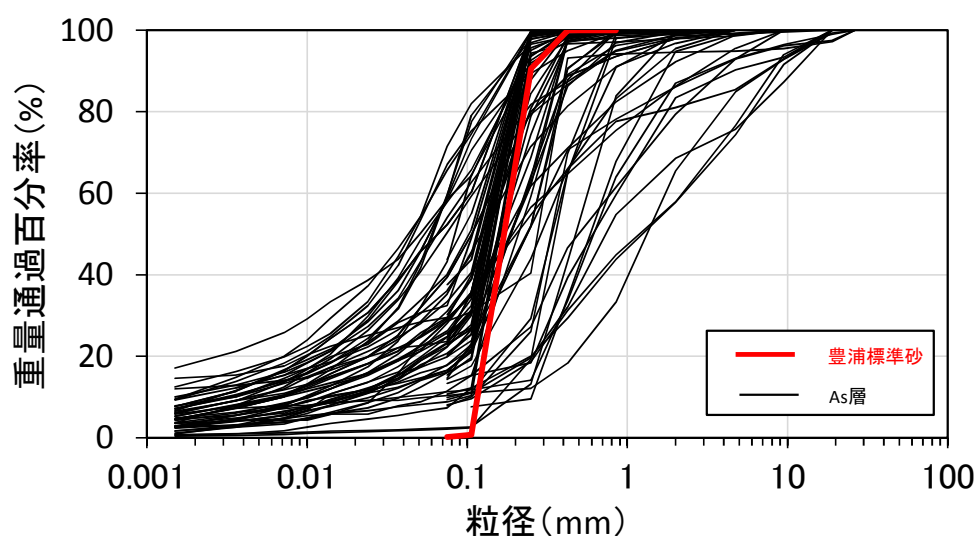
第 7.1.1 表 平均粒径と細粒分含有率の比較

| | 平均粒径 (mm) | 細粒分含有率 (%) |
|-------|-----------|------------|
| 豊浦標準砂 | 0.202 | 0.24 |
| du 層 | 0.384 | 5.2 |
| As 層 | 0.201 | 2.1～71.5 |



※豊浦標準砂の粒度については，文献（豊浦砂の粒度分布（土木学会第 64 回年次学術講演会，平成 21 年 9 月））より引用

第 7.1.4 図 粒径加積曲線による比較（du 層）



※豊浦標準砂の粒度については，文献（豊浦砂の粒度分布（土木学会第 64 回年次学術講演会，平成 21 年 9 月））より引用

第 7.1.5 図 粒径加積曲線による比較（As 層）

8. 設置許可基準規則第三条第1項，第2項に対する条文適合方針について

8.1 第三条第1項，第2項の条文適合に係る耐震重要施設等[※]の設計方針

当社における耐震重要施設等[※]は，直接または杭を介して十分な支持性能を有する岩盤（久米層）で支持する。（第1項適合）

杭基礎構造部物においては，豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化を仮定した場合においても，支持機能及び杭本体の構造が成立するよう設計する。また，液状化を仮定した際の地盤変状を考慮した場合においても，その安全機能が損なわれないよう，適切な対策を講ずる設計とする。（第1項及び第2項適合）

8.2 上記の設計方針を踏まえた基礎地盤安定性評価方針

(1) 基礎地盤のすべり

耐震重要施設[※]の基礎杭については，豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化を仮定した場合においても，杭体の構造が成立するよう設計することから，仮に基準地震動 S_s により地盤変状が生じたとしても杭体の健全性が確保される。すなわち，杭体の健全性を担保するということは，その杭体を貫通横断するようなすべりは発生し得ないということである。ゆえに，基礎杭構造を有する耐震重要施設[※]については，基礎杭の先端以深の支持岩盤を通る仮想すべり面を対象としたすべりに対する安定性評価を実施し，安全性を確認する。

(2) 基礎地盤の支持力

耐震重要施設[※]の基礎杭については，仮に基準地震動 S_s により

地盤変状が生じたとしても杭体の健全性が確保されるよう設計する。すなわち、耐震設計において、強制的な液状化を仮定する有効応力解析により求められた基礎杭による基礎岩盤への押込み接地圧に対する支持力評価を行うと共に、杭体の健全性を確認する。

また、基礎地盤の安定性評価において、第四紀層の周面摩擦力を考慮しない仮定において、等価線形解析に基づく基礎杭の基礎岩盤部における支持力評価を行い、安全性を確認する。

※：常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設（特定重大事故等対処施設を除く）

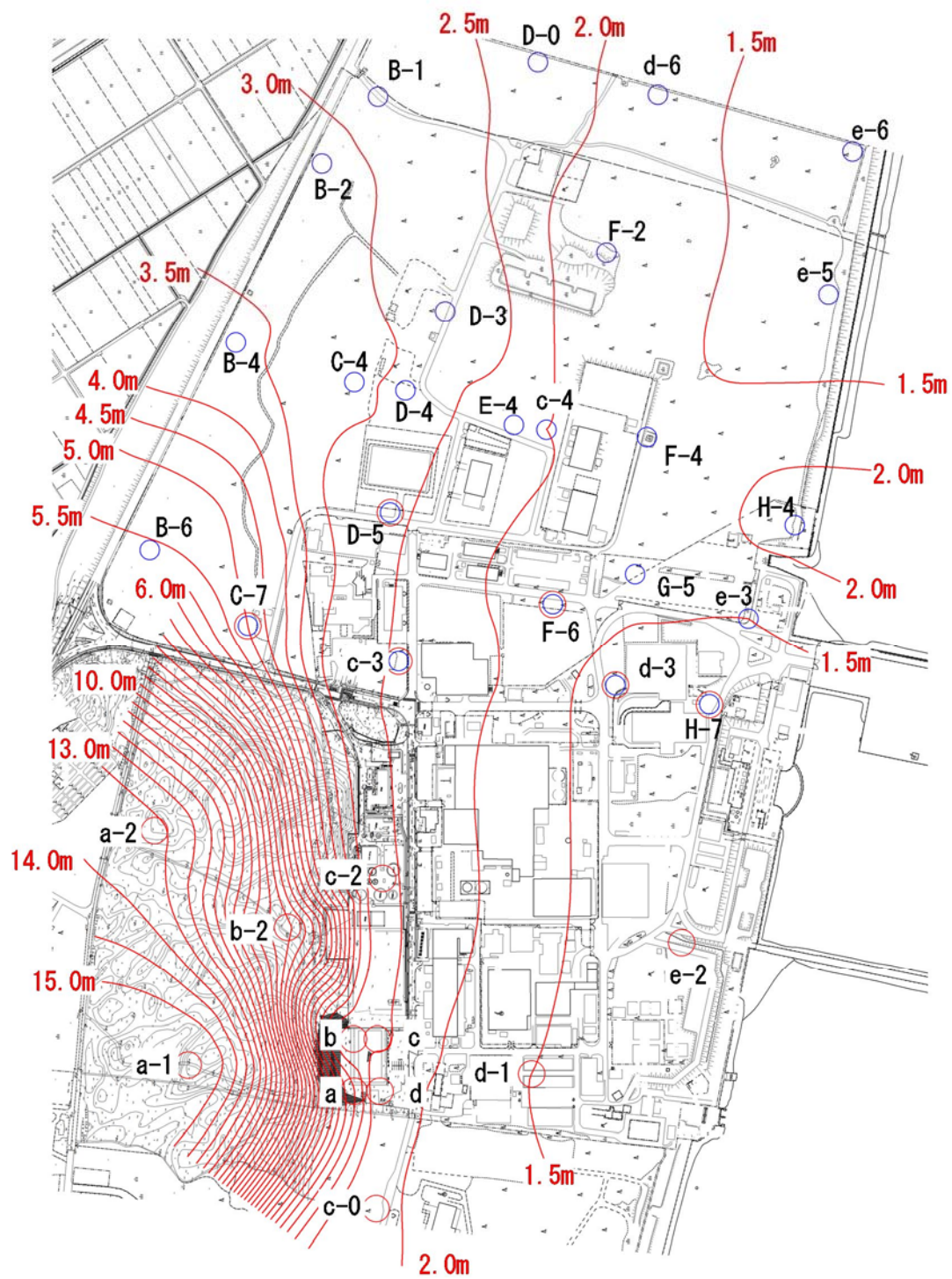
9. 参考資料

9.1 地下水位観測データについて

有効応力解析においては，敷地内の観測最高水位に基づき地下水位を設定する。地下水位については，平成 29 年 6 月時点でのデータを用いて取り纏めを行い，地下水位コンター図を作成した。

第 9.1.1 図に観測最高地下水位コンター図，第 9.1.1 表に最高水位一覧表を示す。

このうち，堆積層が厚く分布している敷地北側の地点の観測記録を第 9.1.2 図～第 9.1.4 図に示す。

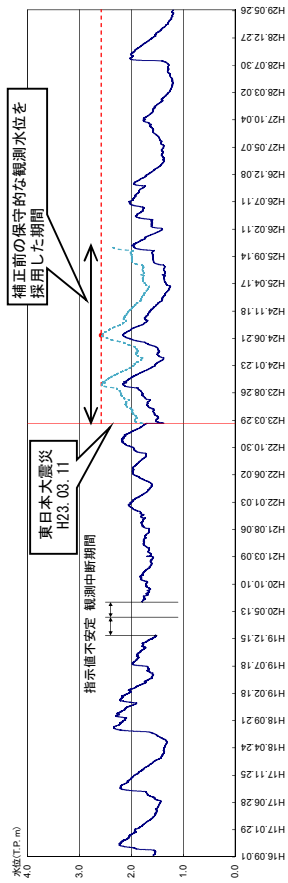


第 9.1.1 図 観測最高地下水位コンター図

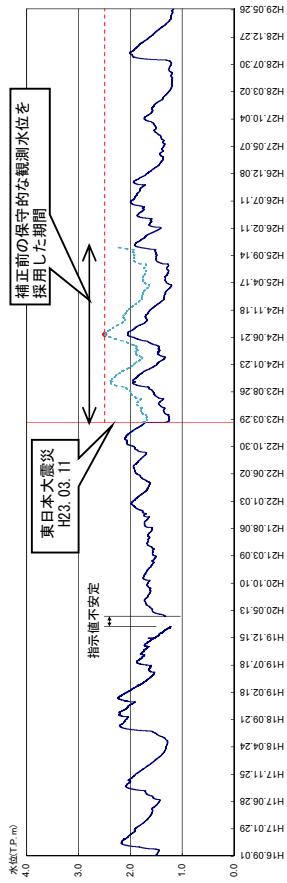
第 9.1.1 表 観測最高地下水位一覧表

| 観測孔名 | 計測期間 | 観測最高地下水位
(T. P. + m) | 観測最高地下水位
計測時期 |
|------|----------------------|-------------------------|------------------|
| a | 1995～1999 | 3.49 | 1998 年 10 月 8 日 |
| b | 1995～1999 | 2.52 | 1998 年 9 月 25 日 |
| c | 1995～1999 | 2.53 | 1998 年 9 月 22 日 |
| d | 1995～1999 | 2.28 | 1998 年 9 月 22 日 |
| a-1 | 1995～1999, 2004～2009 | 15.42 | 2006 年 8 月 7 日 |
| a-2 | 2004～2009 | 13.60 | 2006 年 7 月 28 日 |
| b-2 | 2004～2009 | 9.06 | 2006 年 7 月 30 日 |
| c-0 | 1995～1999, 2004～2009 | 2.05 | 1998 年 9 月 19 日 |
| c-2 | 1995～1999, 2004～2017 | 2.58 | 2012 年 7 月 7 日 |
| c-3 | 2004～2017 | 2.49 | 2012 年 7 月 7 日 |
| c-4 | 2004～2017 | 2.00 | 2012 年 6 月 25 日 |
| d-1 | 1995～1999, 2004～2009 | 1.50 | 1998 年 9 月 18 日 |
| d-3 | 2004～2017 | 1.44 | 2013 年 10 月 27 日 |
| d-6 | 2004～2017 | 1.58 | 2013 年 10 月 28 日 |
| e-2 | 2004～2017 | 1.38 | 2006 年 10 月 8 日 |
| e-3 | 2004～2017 | 1.50 | 2013 年 10 月 16 日 |
| e-5 | 2004～2017 | 1.30 | 2013 年 10 月 21 日 |
| e-6 | 2004～2017 | 1.26 | 2013 年 10 月 21 日 |
| B-1 | 2005～2017 | 2.90 | 2006 年 7 月 30 日 |
| B-2 | 2005～2017 | 3.09 | 2006 年 7 月 30 日 |
| B-4 | 2005～2017 | 3.56 | 2006 年 7 月 31 日 |
| B-6 | 2005～2017 | 5.51 | 2006 年 8 月 17 日 |
| C-4 | 2005～2017 | 3.17 | 2012 年 6 月 27 日 |
| C-7 | 2005～2017 | 4.99 | 2006 年 8 月 18 日 |
| D-0 | 2006～2017 | 2.37 | 2012 年 6 月 22 日 |
| D-3 | 2005～2017 | 2.88 | 2006 年 10 月 7 日 |
| D-4 | 2006～2017 | 2.76 | 2012 年 6 月 25 日 |
| D-5 | 2006～2017 | 2.54 | 2012 年 7 月 16 日 |
| E-4 | 2006～2017 | 2.26 | 2012 年 6 月 25 日 |
| F-2 | 2005～2015 | 1.74 | 2013 年 10 月 30 日 |
| F-4 | 2005～2017 | 1.55 | 2013 年 10 月 27 日 |
| F-6 | 2005～2017 | 1.77 | 2012 年 6 月 24 日 |
| G-5 | 2005～2017 | 1.53 | 2013 年 10 月 27 日 |
| H-4 | 2006～2017 | 2.13 | 2013 年 10 月 16 日 |
| H-7 | 2005～2017 | 1.33 | 2013 年 10 月 27 日 |

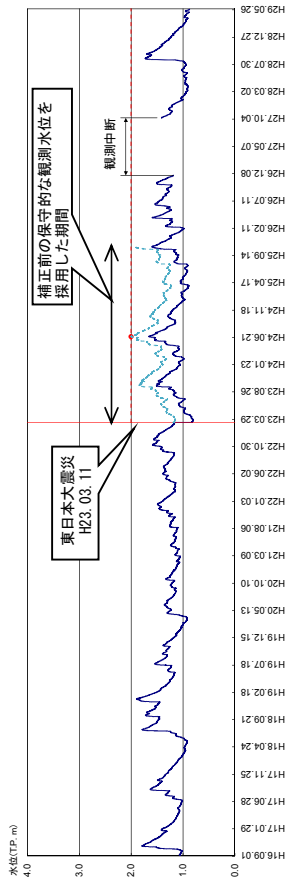
・c-2



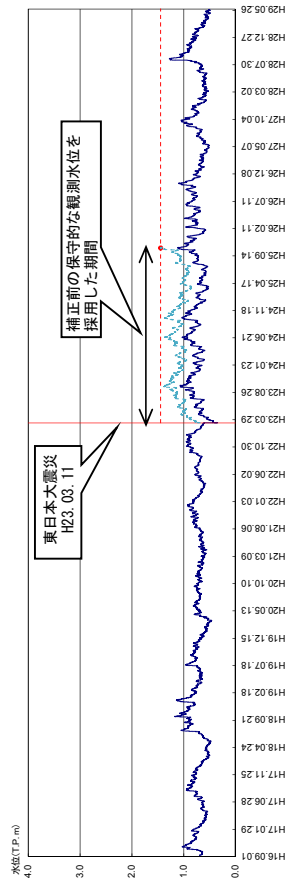
・c-3



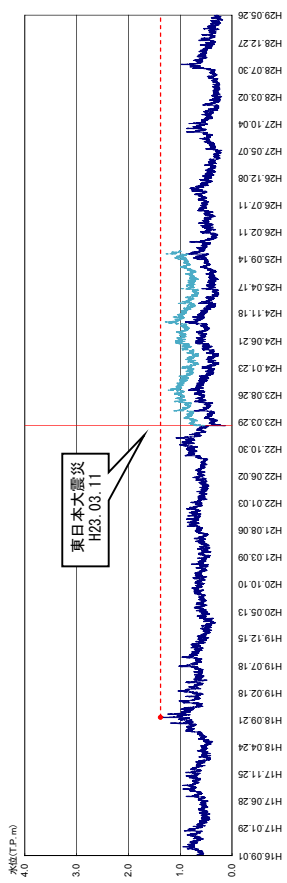
・c-4



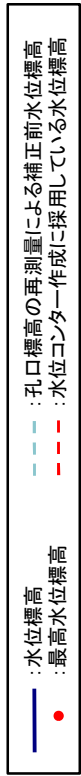
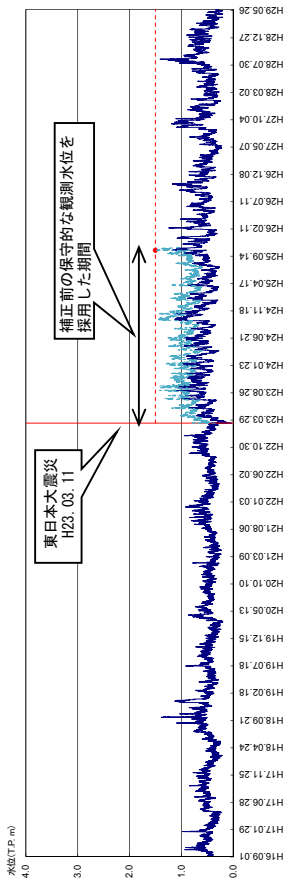
・d-3



・e-2

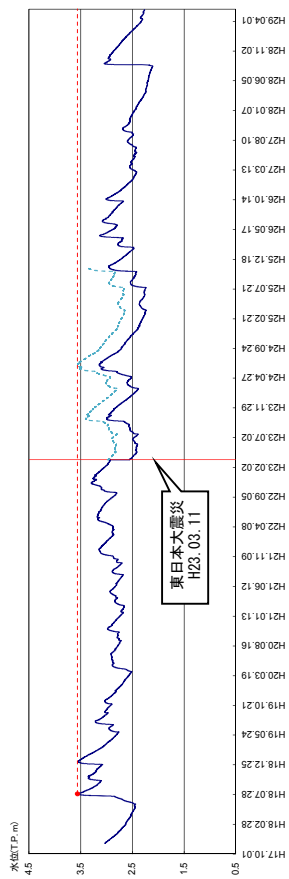


・e-3

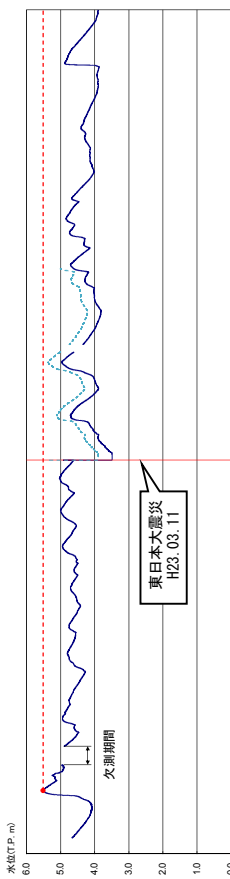


第9.1.2 図 地下水位観測記録

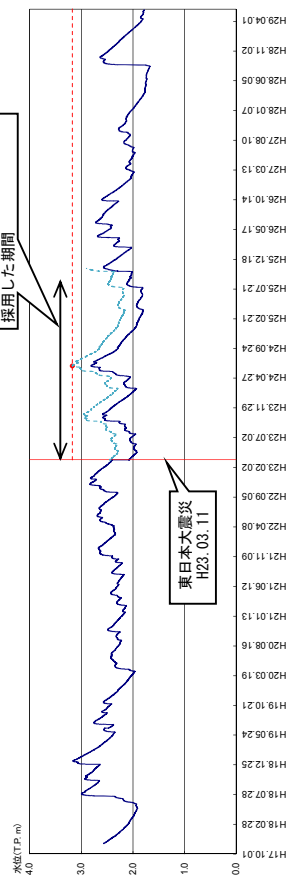
・B-4



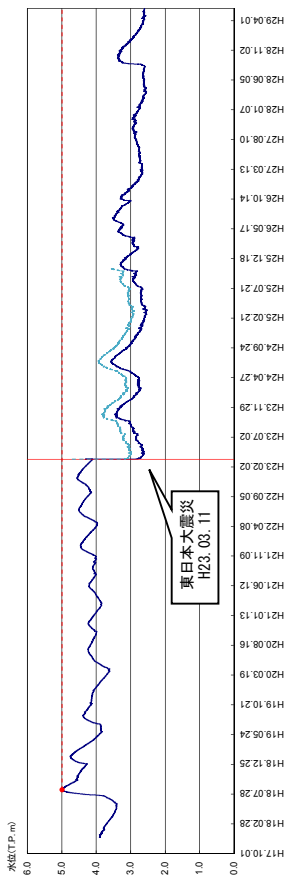
・B-6



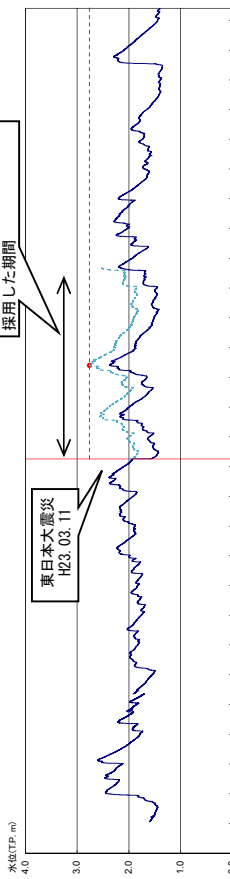
・C-4



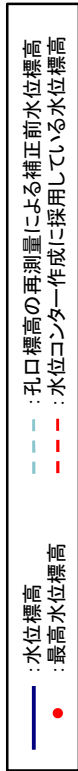
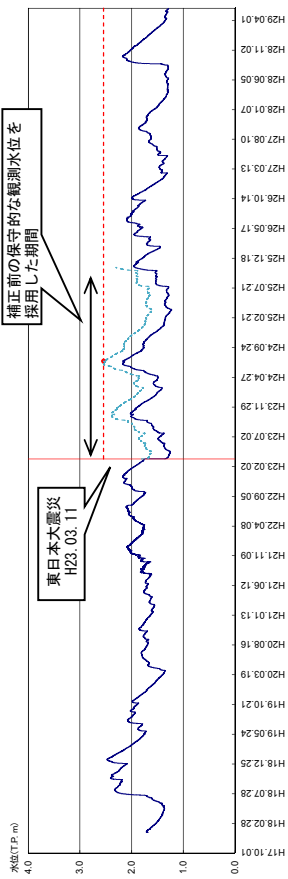
・C-7



・D-4

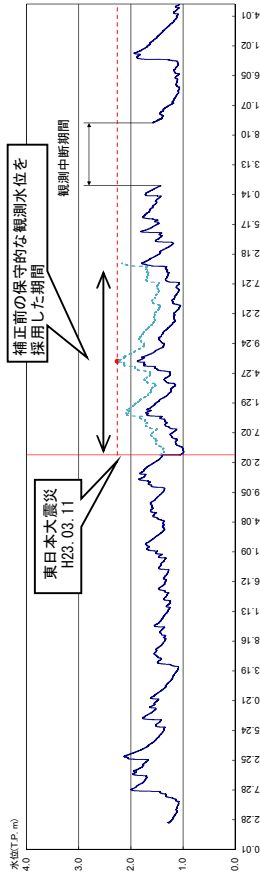


・D-5

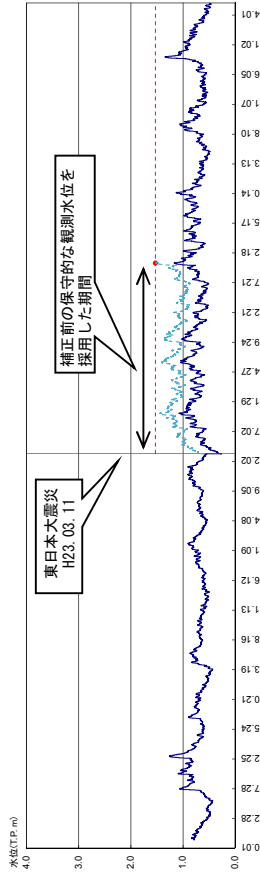


第 9.1.3 図 地下水位観測記録

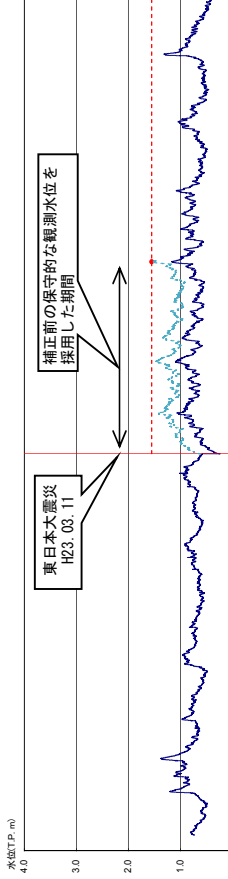
・E-4



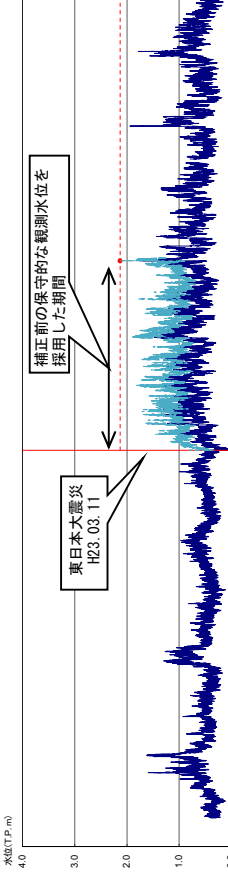
・G-5



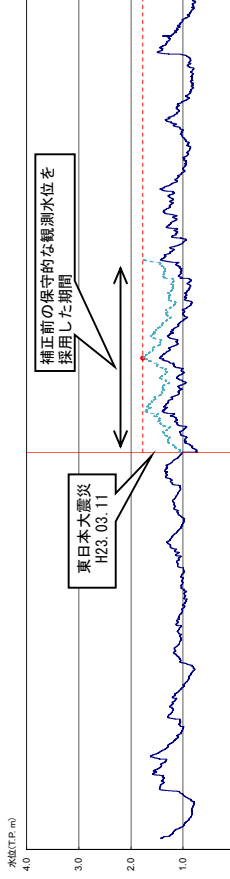
・F-4



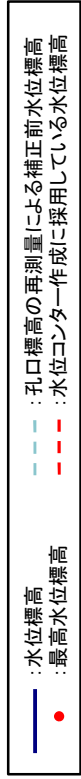
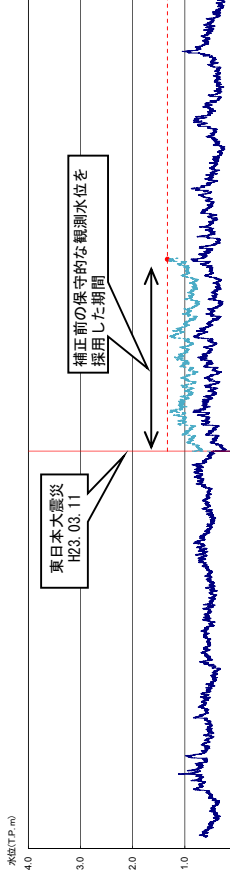
・H-4



・F-6



・H-7



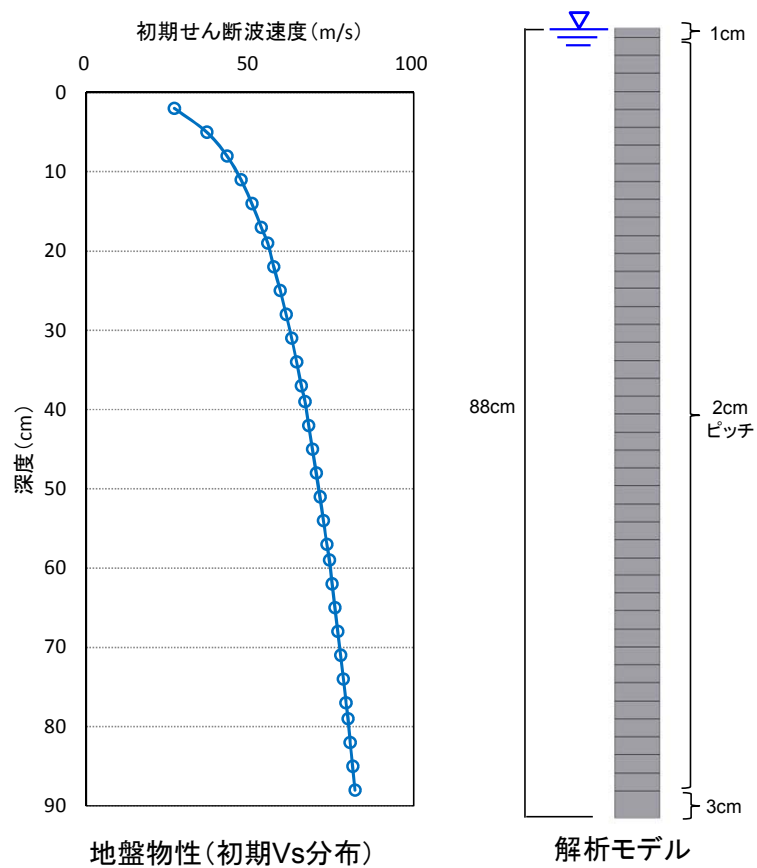
第 9.1.4 図 地下水位観測 記録

9.2 土槽振動実験の再現シミュレーションについて

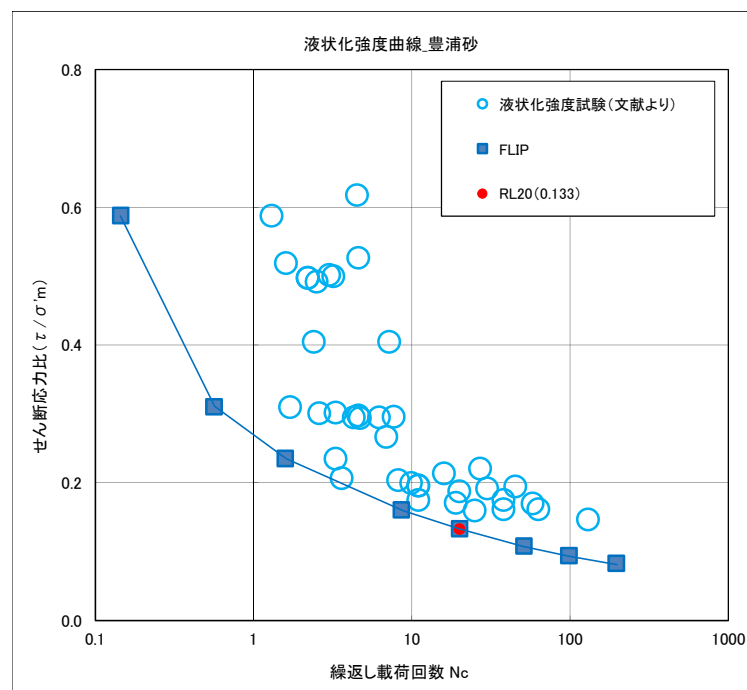
有効応力解析による豊浦標準砂の液状化判定結果の妥当性を確認するために、豊浦標準砂を用いた土槽振動実験（藤川等（1993 年））及び F L I P による再現シミュレーションを実施した。土槽振動実験及び F L I P による再現シミュレーションは、日本海中部地震（1983 年）の加速度時刻歴を用いて実施した。

実験に用いた土槽は、内のりで高さ 90cm、直径 120cm の円柱形のせん断土槽である。模型地盤は乾燥状態の豊浦標準砂を空中落下法で作成し、地盤中の空気を二酸化炭素に置換えた後に水を注入して地盤を飽和させている。深度 88 cm 位置に日本海中部地震（1983 年）の加速度時刻歴を入力している。入力レベルの大きさにより複数の加振レベルを設定しているが、本実験では 78gal 及び 153gal の 2 レベルを再現対象とした。測定計器は、ひずみゲージ式加速度計及び間隙水圧計を、土槽底面より定ピッチにて設置している。第 9.2.1 図に土槽振動実験装置の概要を示す。

F L I P による 1 次元地盤モデルを用いて地震応答解析を実施した。解析においては、豊浦標準砂の液状化パラメータについては、文献（CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM[Soils and Foundations, JSSMFE.26-3. (1986)]）の試験データを包含し、保守的となる設定とした。第 9.2.2 図に解析モデルを、第 9.2.3 図に豊浦標準砂の液状化パラメータを示す。



第 9.2.2 図 解析モデル



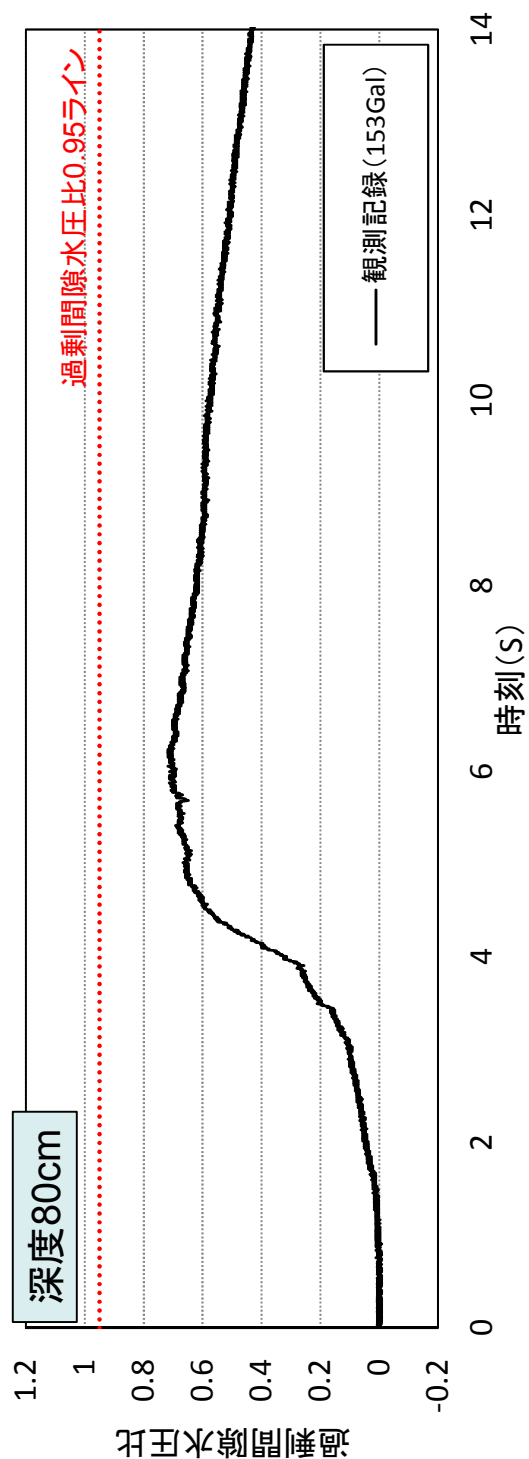
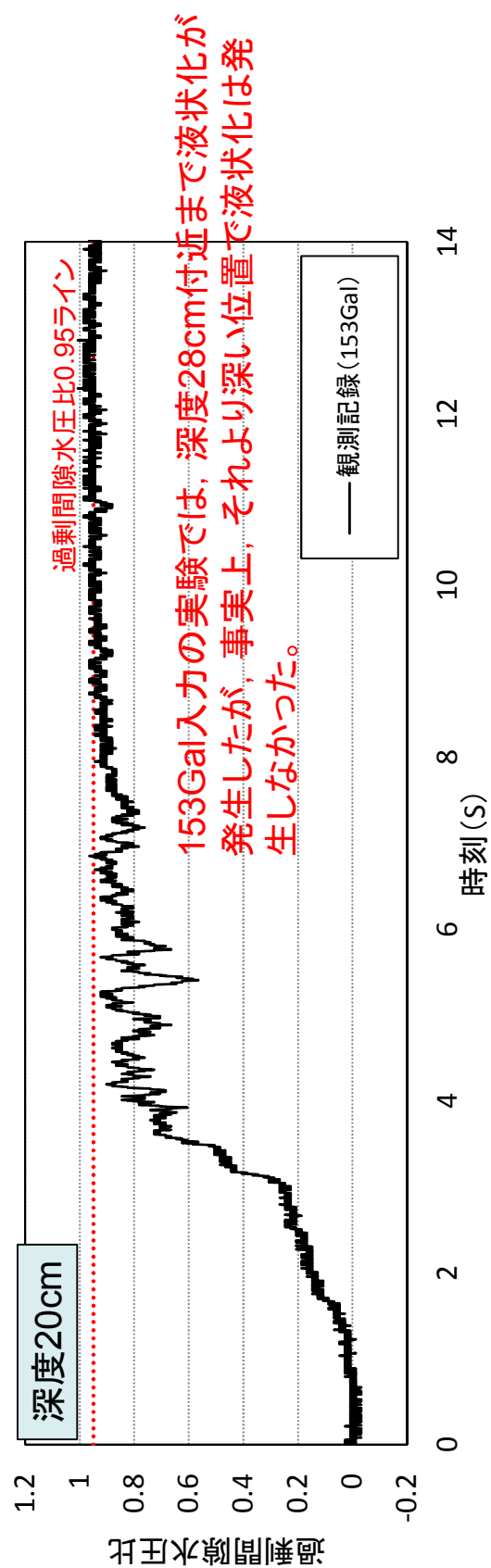
第 9.2.3 図 豊浦標準砂の液状化パラメータ

第 9.2.4 図に土槽振動実験結果を示す。入力レベル 78gal においては、全深度において液状化は発生しなかったが、入力レベル 153gal においては、深度 28 cm 付近まで液状化が発生したが、それより深い位置で液状化は発生しなかった。

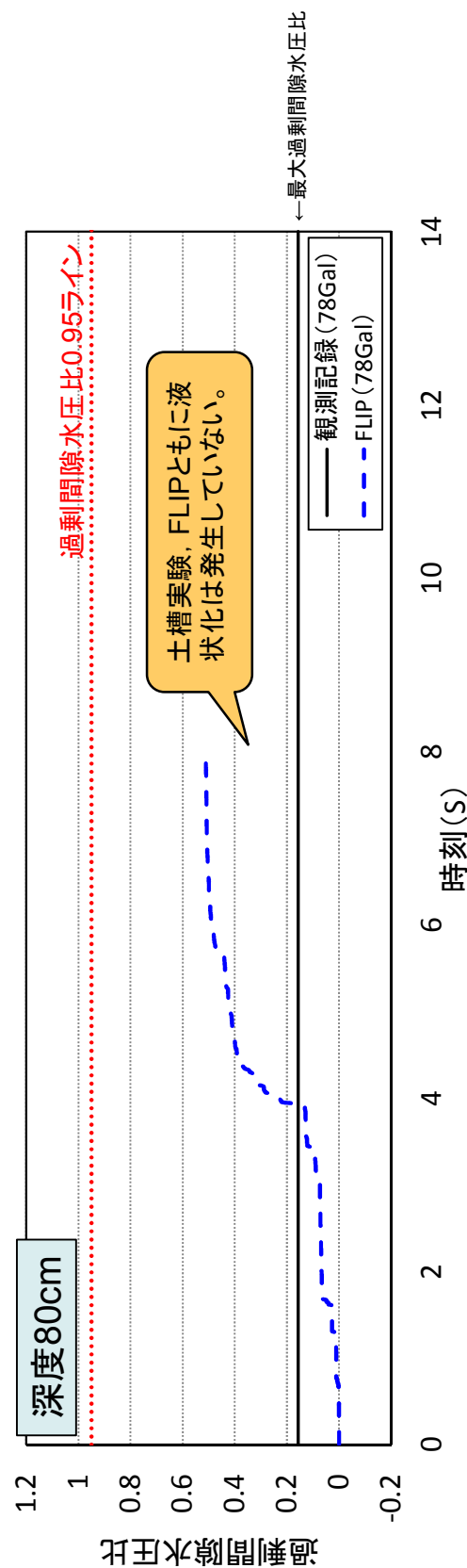
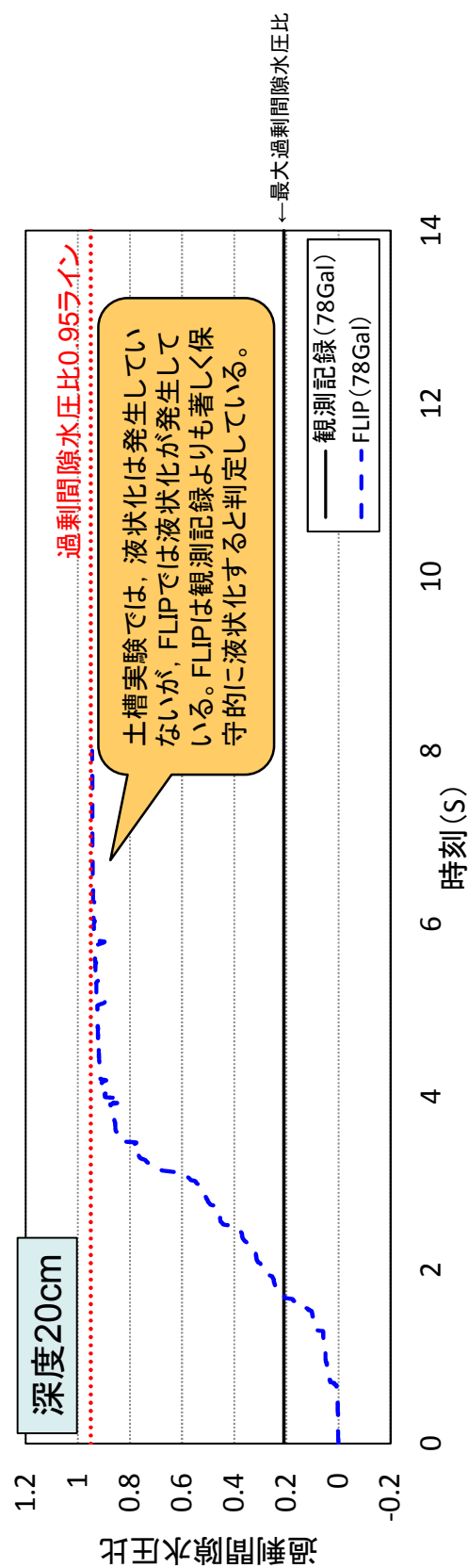
豊浦標準砂の全液状化強度試験データを包含する十分に保守側の液状化パラメータを用いて、F L I P による土槽振動実験記録の再現シミュレーションを実施した結果、実験事実として豊浦標準砂の液状化を確認した入力レベル 153gal のみでなく、実験で液状化が発生しなかった入力レベル 78gal についても、F L I P は保守的に液状化が発生するものと判定する結果となった。これにより、F L I P による液状化判定の保守性を確認した。第 9.2.5 図に実験結果とシミュレーション結果との比較を示す。

第 9.2.6 図に土槽実験における入力地震動と観測記録波形の比較、第 9.2.7 図に入力レベルにおける加速度応答等の比較結果、第 9.2.8 図に入力レベルにおける最大値深度分布図を示す。

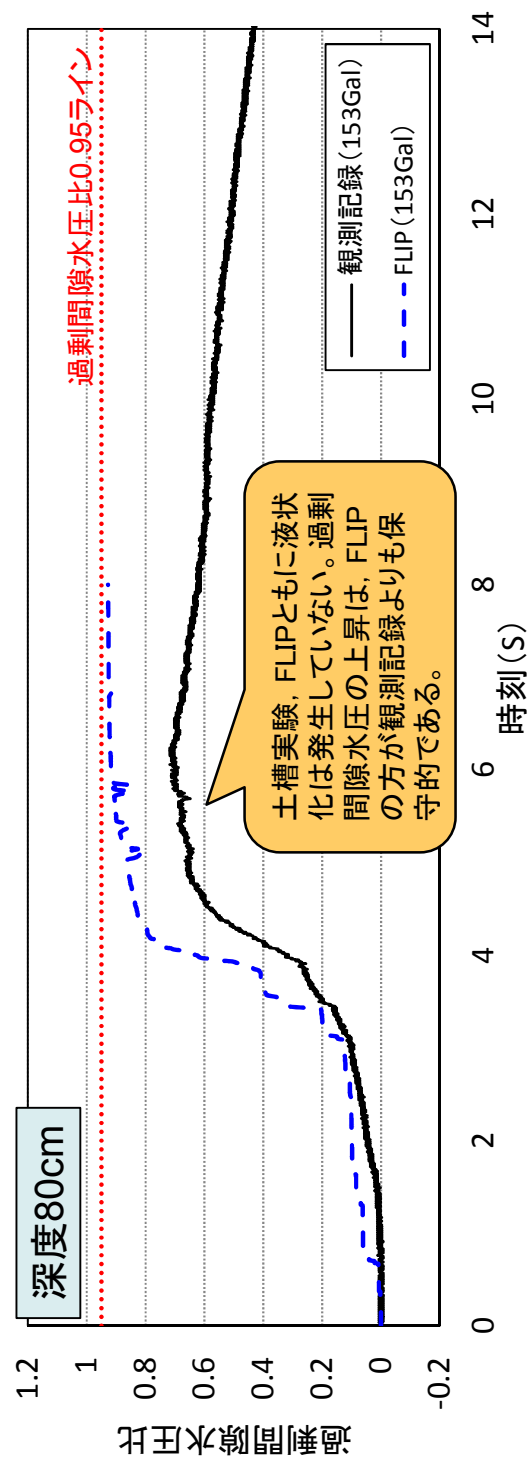
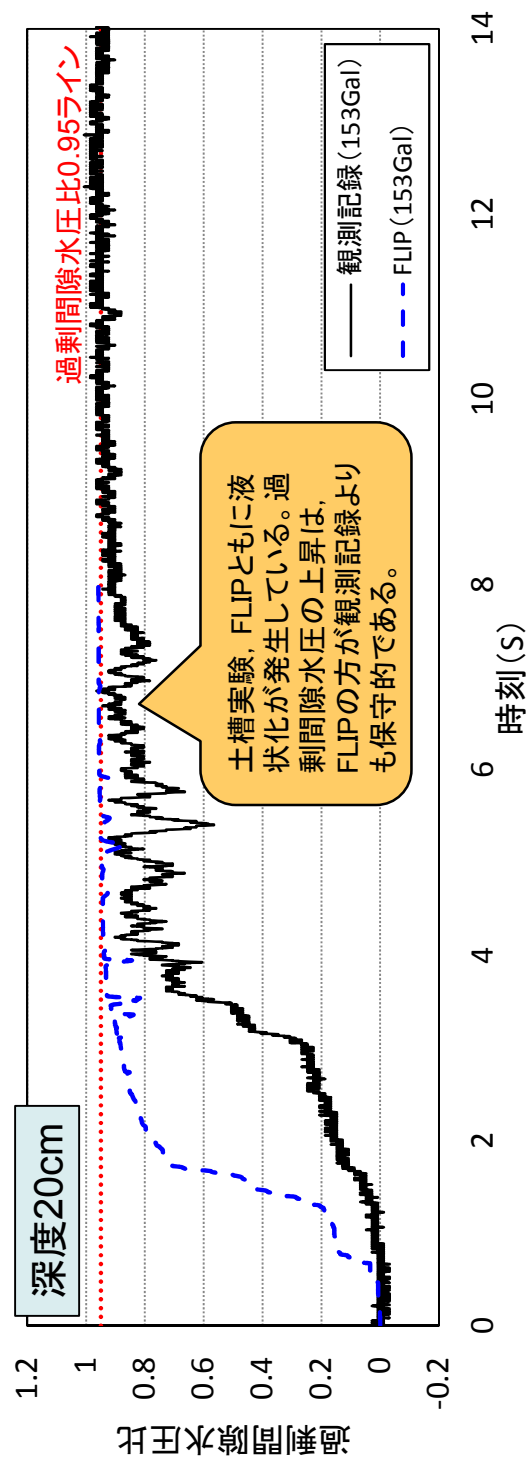
F L I P において、平均的な液状化強度特性よりもかなり保守側の液状化強度特性を用いた場合は、観測記録にみられるサイクリックモビリティ現象に起因するパルス的な応答加速度波形は再現されない結果となり、F L I P は観測記録よりも液状化しやすい側の傾向を示し、これに伴って、地盤の変形やせん断ひずみは大きめに評価され、加速度応答は小さめに評価されることが確認された。



第 9.2.4 図 土槽振動実験結果

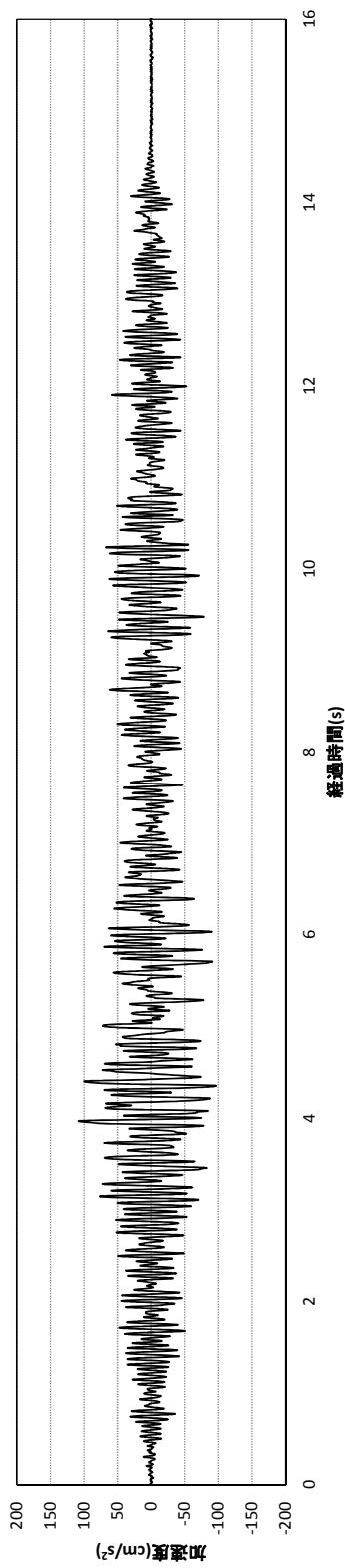


第 9.2.5.1 図 土槽振動実験結果とシミュレーション結果との比較

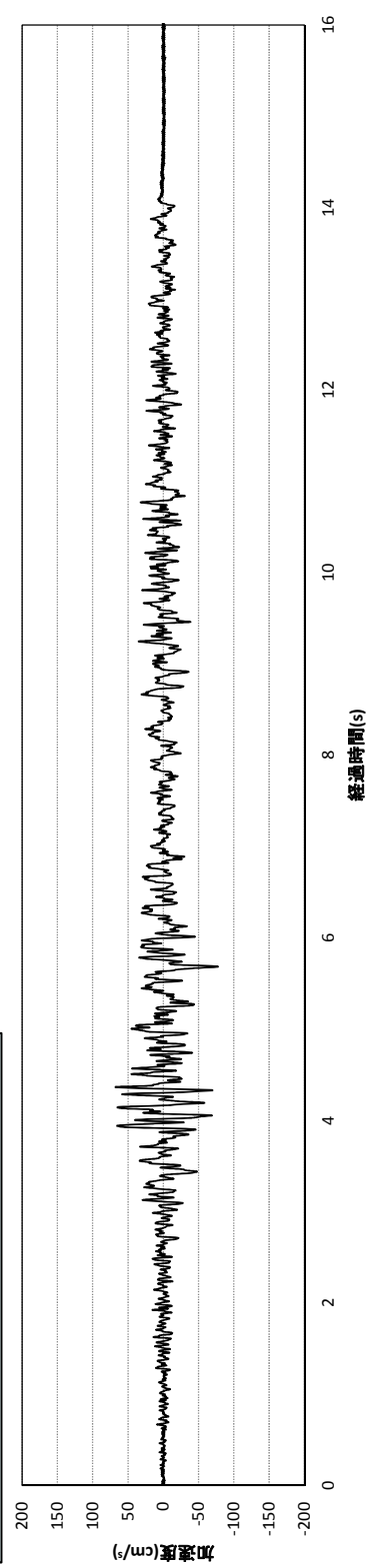


第 9.2.5.2 図 土槽振動実験結果とシミュレーション結果との比較

観測記録波形(深度8cm)

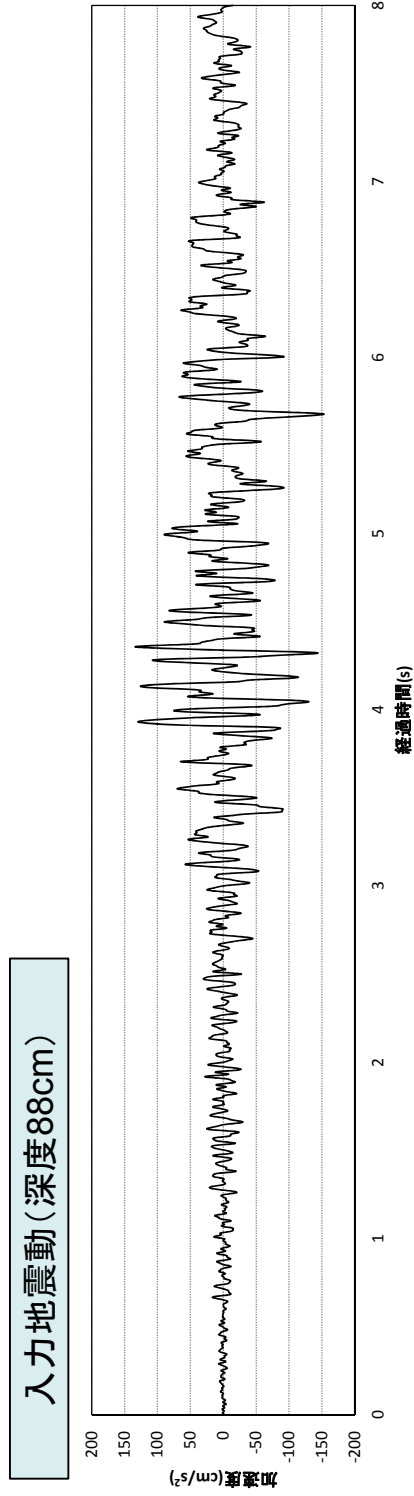
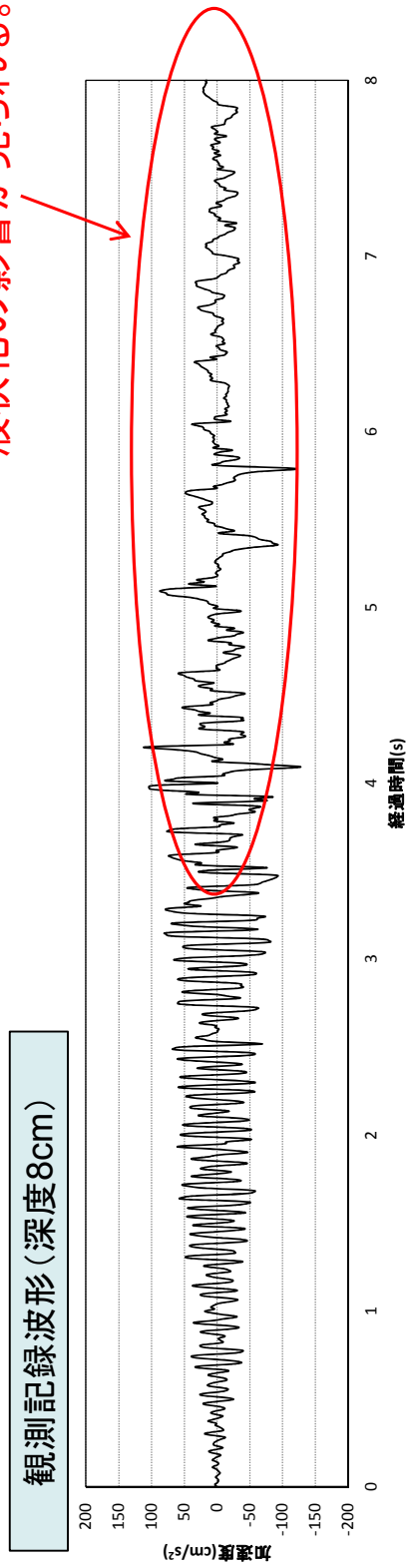


入力地震動(深度88cm)

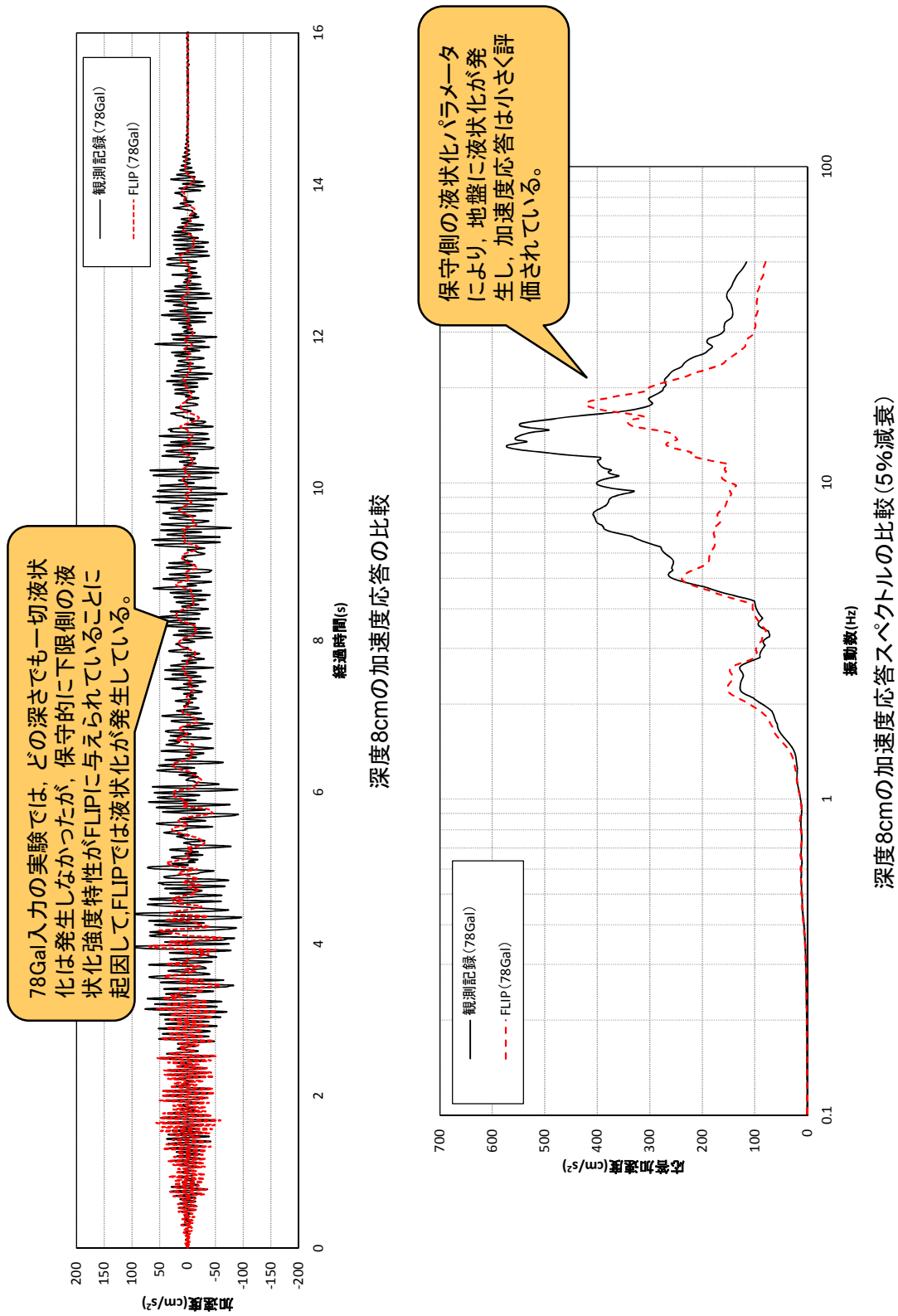


第 9.2.6.1 図 土槽振動実験における入力地震動と観測記録波形との比較

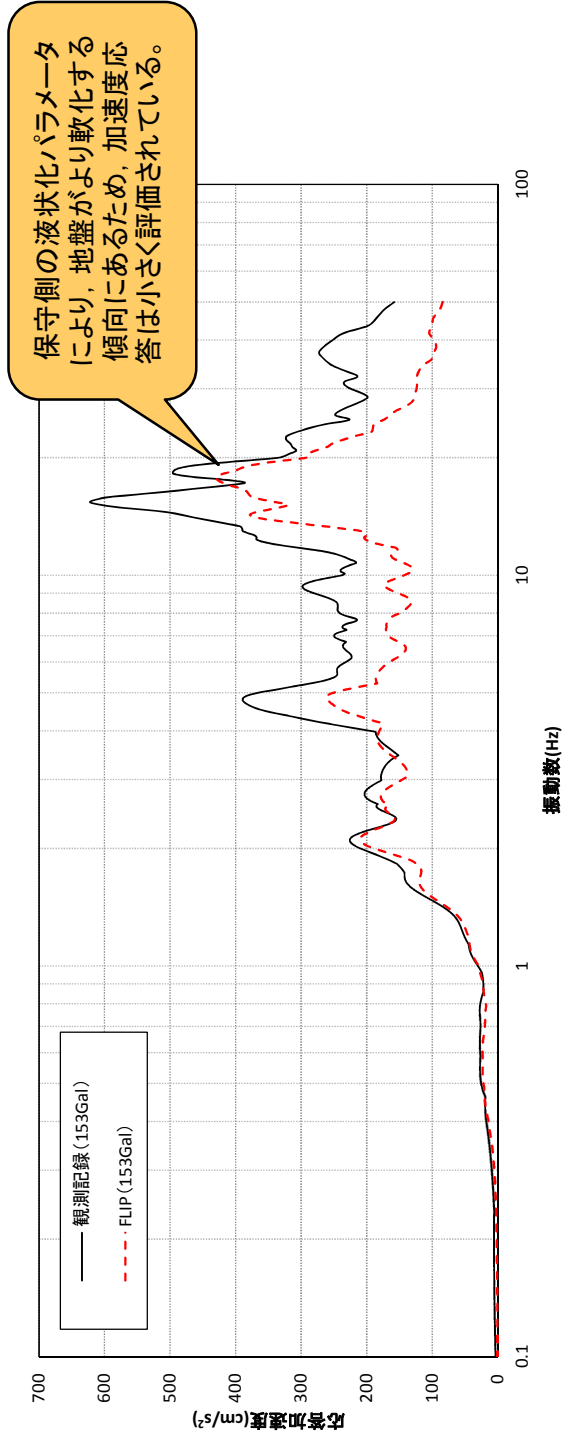
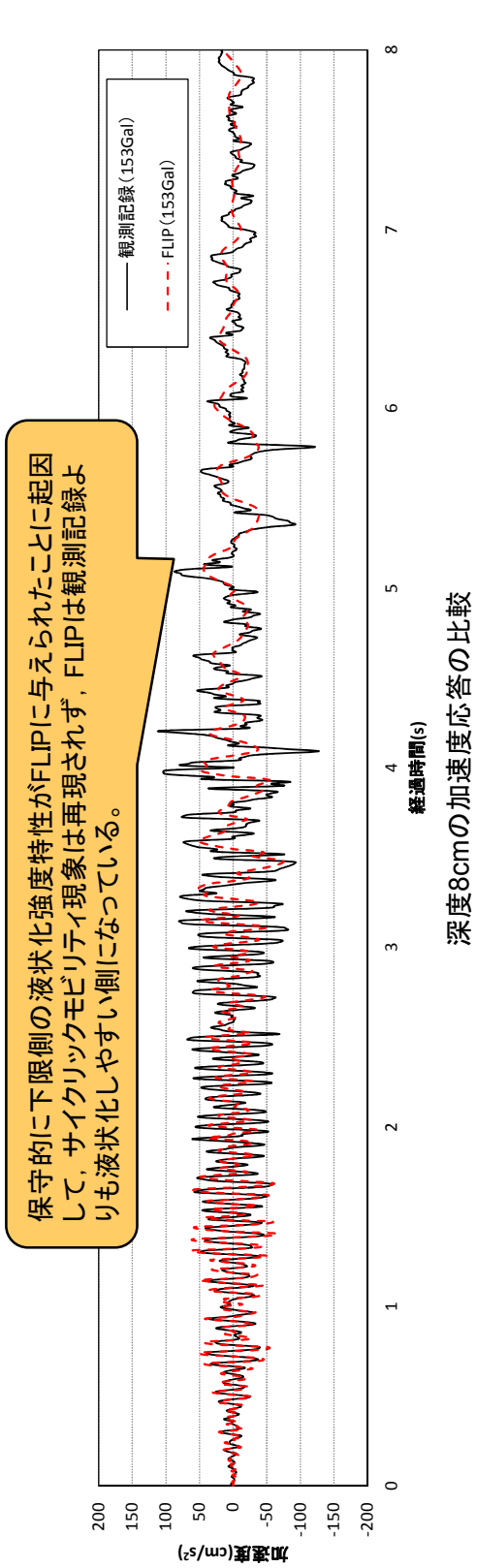
液状化の影響が見られる。



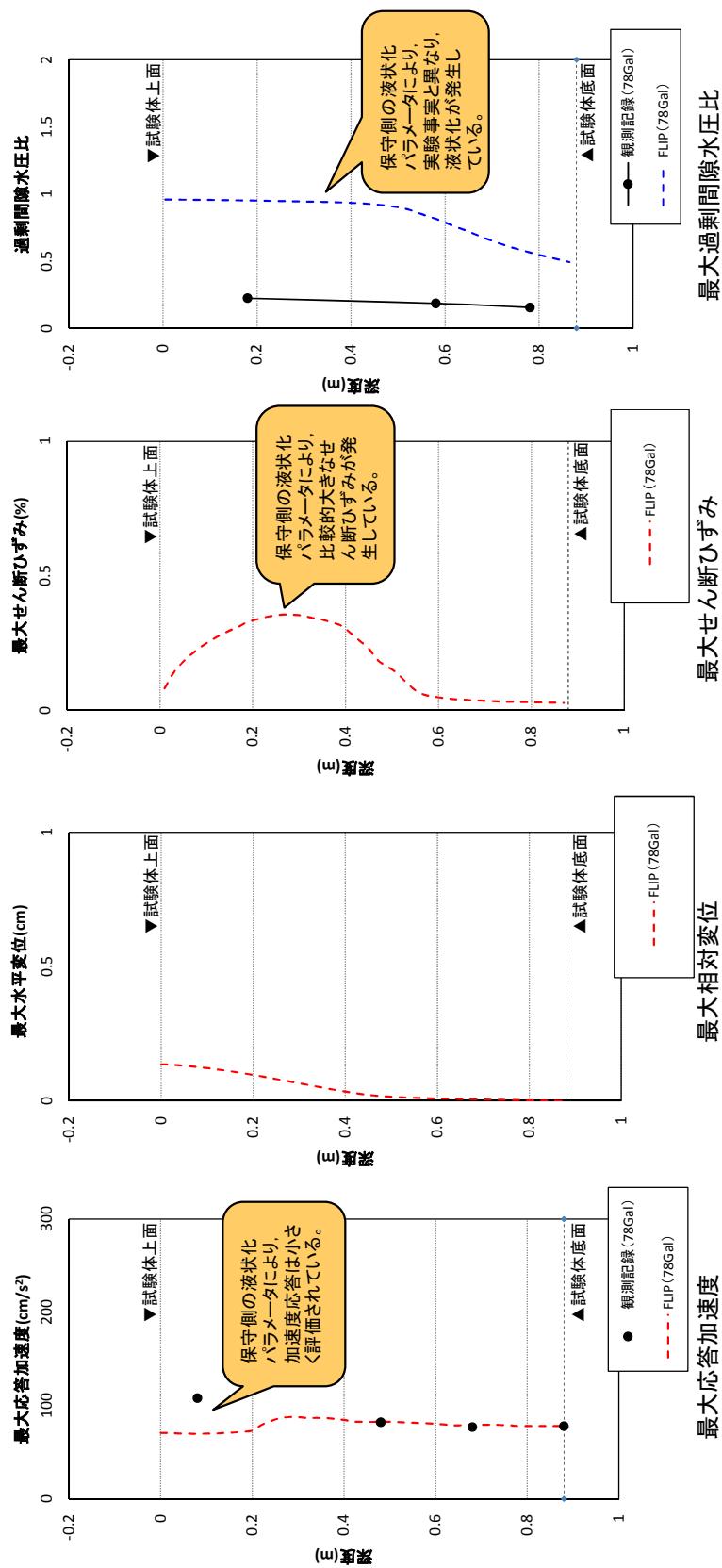
第 9.2.6.2 図 土槽振動実験における入力地震動と観測記録波形との比較



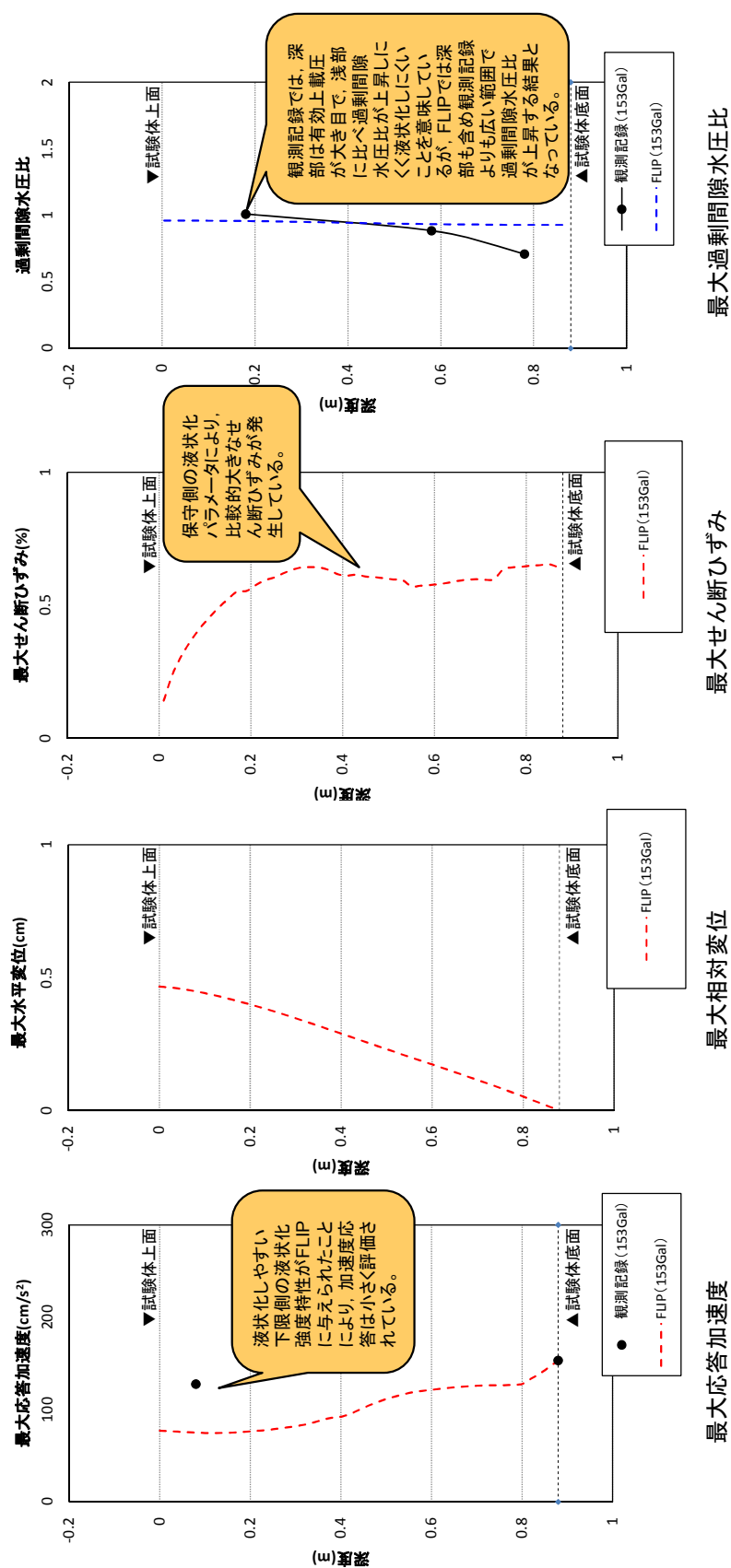
第 9.2.7.1 図 入力レベルにおける加速度応答等の比較結果



第 9.2.7.2 図 入力レベルにおける加速度応答等の比較結果
深度8cmの加速度応答スペクトルの比較 (5%減衰)



第 9.2.8.1 図 入力レベルに最大値深度分布図



第 9.2.8.2 図 入力レベルに最大値深度分布図