

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密
又は防護上の観点から公開できません。

東海第二発電所 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)

平成29年7月10日
日本原子力発電株式会社

目次 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)

1. 概要
2. 液状化影響の検討の基本方針
3. 敷地の地質について
4. 液状化検討対象層の抽出
5. 液状化検討対象施設の選定
6. 設置許可基準規則第三条第1項への適合性について
7. 液状化強度の試験箇所とその代表性
8. 有効応力解析の検討方針
9. 保守的な液状化強度特性(豊浦標準砂)の仮定について
10. 現状における液状化の影響評価結果

(参考)

参考1 「耐震重要施設」及び「常設重大事故等対処施設」に係る地質断面図

参考2 入力地震動

参考3 地下水位観測データについて

参考4 土槽振動実験の再現シミュレーションについて

1. 概要

1. 概要

- 設置許可基準規則第三条においては、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ことが要求されており、特に、それらが設置される地盤について、第四紀層等の砂地盤又は砂礫地盤で地下水位が高い場合には地震発生に伴う液状化の可能性を検討する必要がある。
- 東海第二発電所の地盤は、敷地南部では岩盤である新第三系である久米層上面深度が浅く、敷地北部では深いといった特徴に加えて、その上位の第四系としては、砂層、砂礫層及び非液状化層である過圧密粘土層が堆積している。
- 本資料は、前回審査会合(第481回)の指摘事項を踏まえ、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するものである。

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)

液状化に関する設置許可基準規則の要求事項について

設置許可基準規則**第三条（設計基準対象施設の地盤）**

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（設計基準対象施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの（以下「耐震重要施設」という。）にあっては、同条第三項に規定する基準地震動による地震力を含む。）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。

第三十八条（重大事故等対処施設の地盤）

重大事故等対処施設は、次に掲げる施設の区分に応じ、それぞれ次に定める地盤に設けなければならない。

一 重大事故防止設備のうち常設のもの（以下「常設重大事故防止設備」という。）であって、耐震重要施設に属する設計基準事故対処設備が有する機能を代替するもの（以下「常設耐震重要重大事故防止設備」という。）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。）基準地震動による地震力が作用した場合においても当該重大事故等対処施設を十分に支持することができる地盤

2 重大事故等対処施設（前項第二号の重大事故等対処施設を除く。次項及び次条第二項において同じ。）は、変形した場合においても重大事故等に対処するために必要な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。

設置許可基準規則解釈

（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（本規程第4条2の「耐震重要度分類」をいう。以下同じ。）の各クラスに応じて算定する地震力（第3条第1項に規定する「耐震重要施設」（本規程第4条2のSクラスに属する施設をいう。）にあっては、第4条第3項に規定する「基準地震動による地震力」を含む。）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。

なお、耐震重要施設については、上記に加え、基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれ等が発生しないことを含め、基準地震動による地震力に対する支持性能が確保されていることを確認することが含まれる。

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。

基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド**2. 基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に関する安全審査の基本方針****(1) 原子炉建屋等の基礎地盤の安定性**

原子炉建屋等が設置される地盤は、将来も活動する可能性のある断層等の露頭が無いことが確認された地盤であり、想定される地震動の地震力に対して、当該地盤に設置する耐震設計上の重要度分類Sクラスの機器及び系統を支持する建物及び構築物の安全機能が重大な影響を受けないことを確認する。具体的な確認事項は以下の通りである。

・地震発生に伴う周辺地盤の変状による建物・構築物間の不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等により、当該建物及び構築物の安全機能が重大な影響を受けないこと。

4. 基礎地盤の安定性評価**4.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価****(2) 確認事項**

・建物及び構築物が設置される地盤が第四紀層等の砂地盤又は砂礫地盤で地下水位が高い場合には、液状化の可能性を検討していること。

2. 液状化影響の検討の基本方針

2. 液状化影響の検討の基本方針

液状化影響の検討のフロー

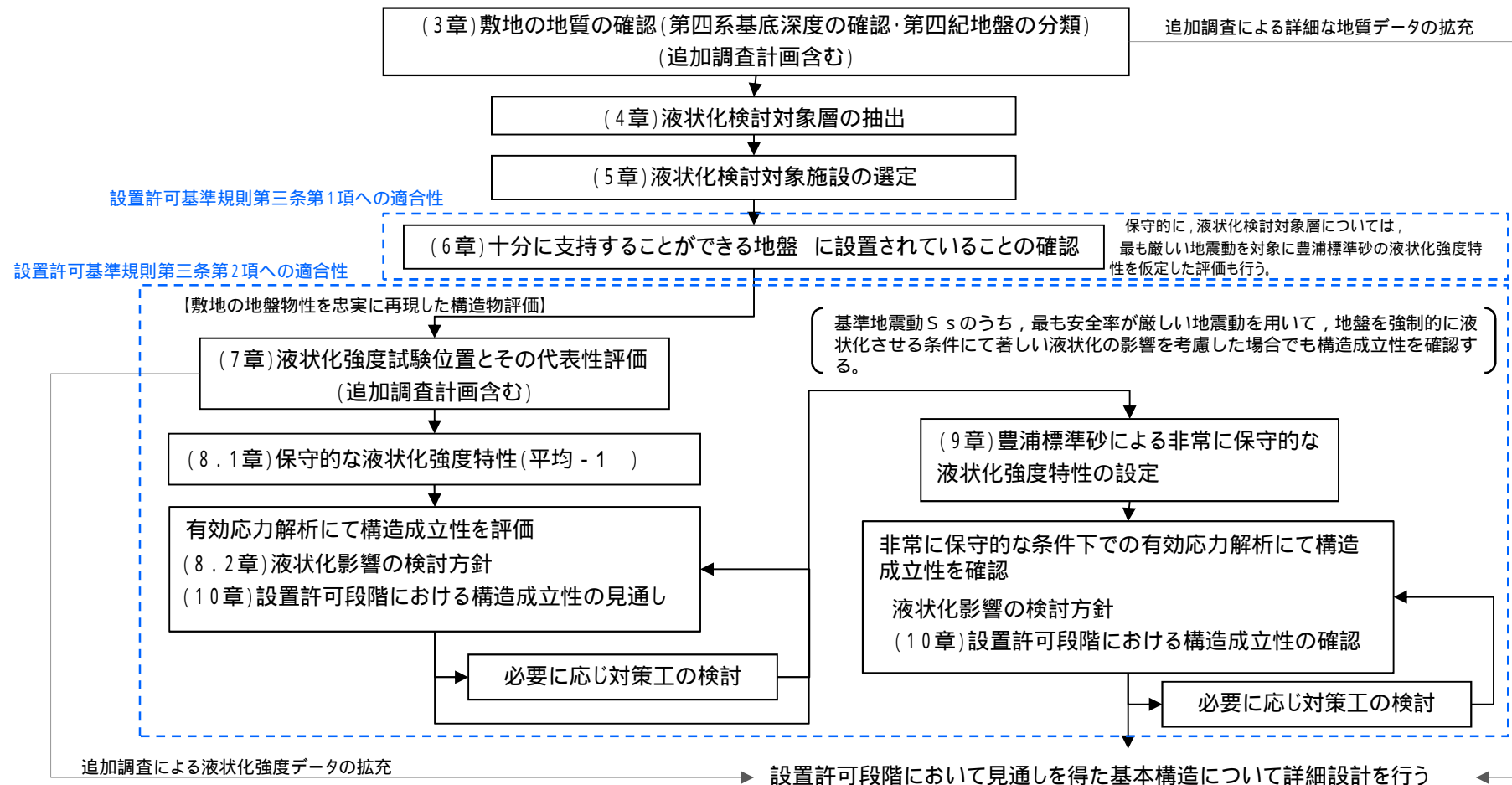
以下に液状化影響の検討のフローを示す。

液状化影響の検討においては、道路橋示方書では検討対象外とされている洪積の砂礫層及び地表面から20m 以深の沖積砂礫層についても液状化検討対象層とすることで保守的な評価を実施する。

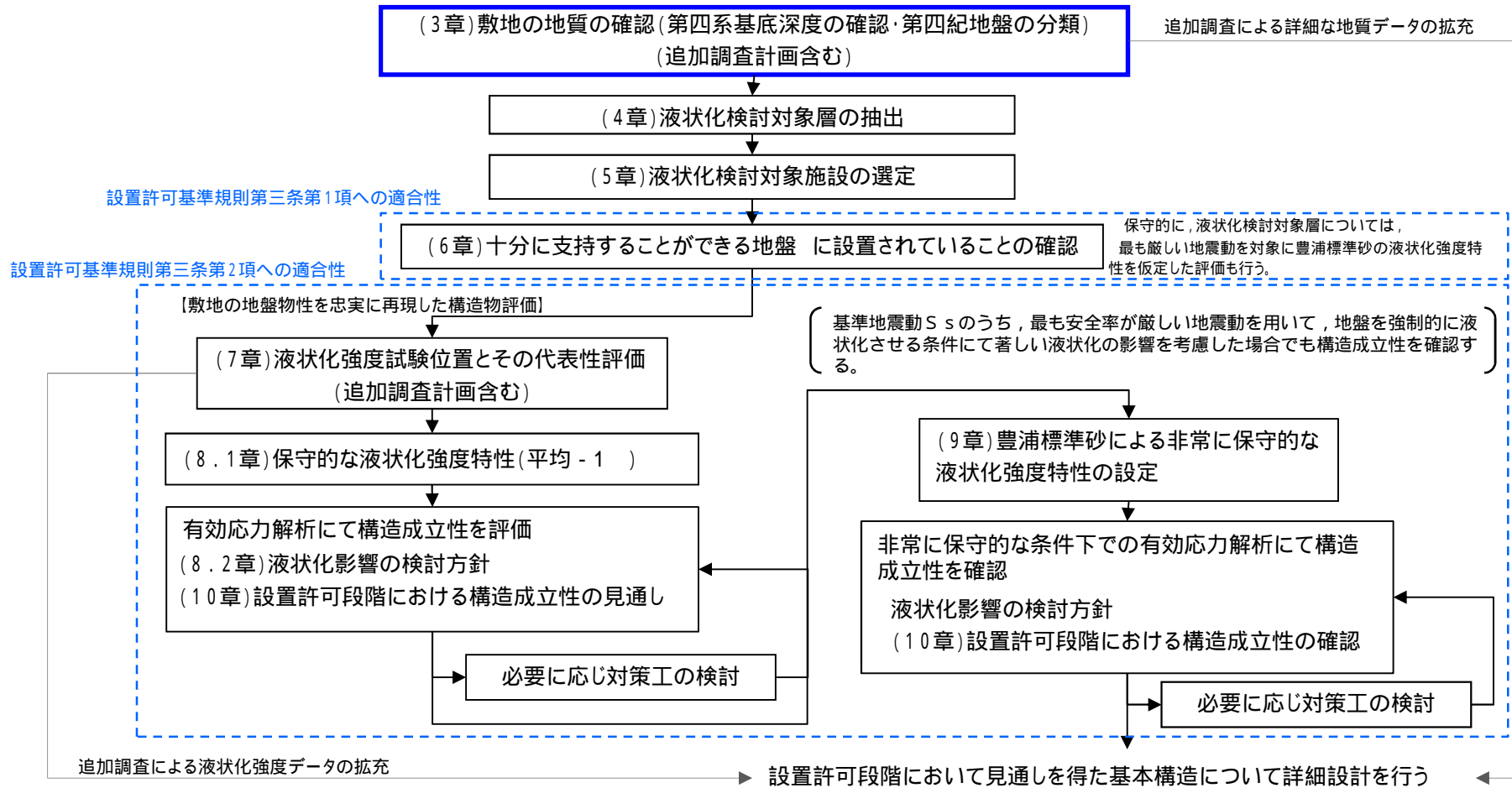
設置許可段階においては、各液状化検討対象層について、敷地の地盤物性を適正に反映した液状化強度特性(代表性を有する液状化強度試験箇所を選定し、液状化強度試験結果の平均と標準偏差を考慮した保守的設定(平均 - 1 設定))を設定し、有効応力解析により構造成立性の評価を行う。

更に、液状化検討対象層全てに対して、非常に保守的な液状化強度特性(豊浦標準砂)を設定し、上記の構造成立性評価に用いた基準地震動 S_s のうち、最も安全率が厳しい地震動を用いて、構造成立性を確認する。

工事計画認可における施設の詳細仕様は、上記の検討結果を全て反映させたものとする。



3. 敷地の地質について



敷地の地質

- 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)、白亜系的那珂湊層群、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。

地質層序表

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	砂		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～黄褐色の礫混じり砂	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L1段丘堆積物に対比される。 シルト層中の炭物質の年代： 40,830 ± 2,670年BP～48,330 ± 年BPオーバー (14C年代測定法)
					D2s-3	砂			
					D2g-3	砂礫			
					D2c-2	シルト			
					D2g-2	砂礫			
	D1	lm	ローム		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				
		D1c-1	シルト						
		D1g-1	砂礫						
	新第三系	鮮新統	東茨城層群	Hi	暗灰色～褐色の砂及びシルト 灰褐色～青灰色の砂礫		敷地西部のごく一部に分布する。		
			久米層	Km	暗オリーブ灰色の砂質泥岩		敷地全体に広く分布する。 原子炉建屋等の基礎岩盤である。		
離山層			Hn	泥岩・凝灰岩		敷地では北部を中心に久米層の下位に認められる。			
那珂湊層群			Nk	泥岩・砂岩		敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。			
白亜系		日立古生層 (日立変成岩類)	Hp	泥岩・砂岩・礫岩		1孔のボーリングで那珂湊層群の下位に認められる。			

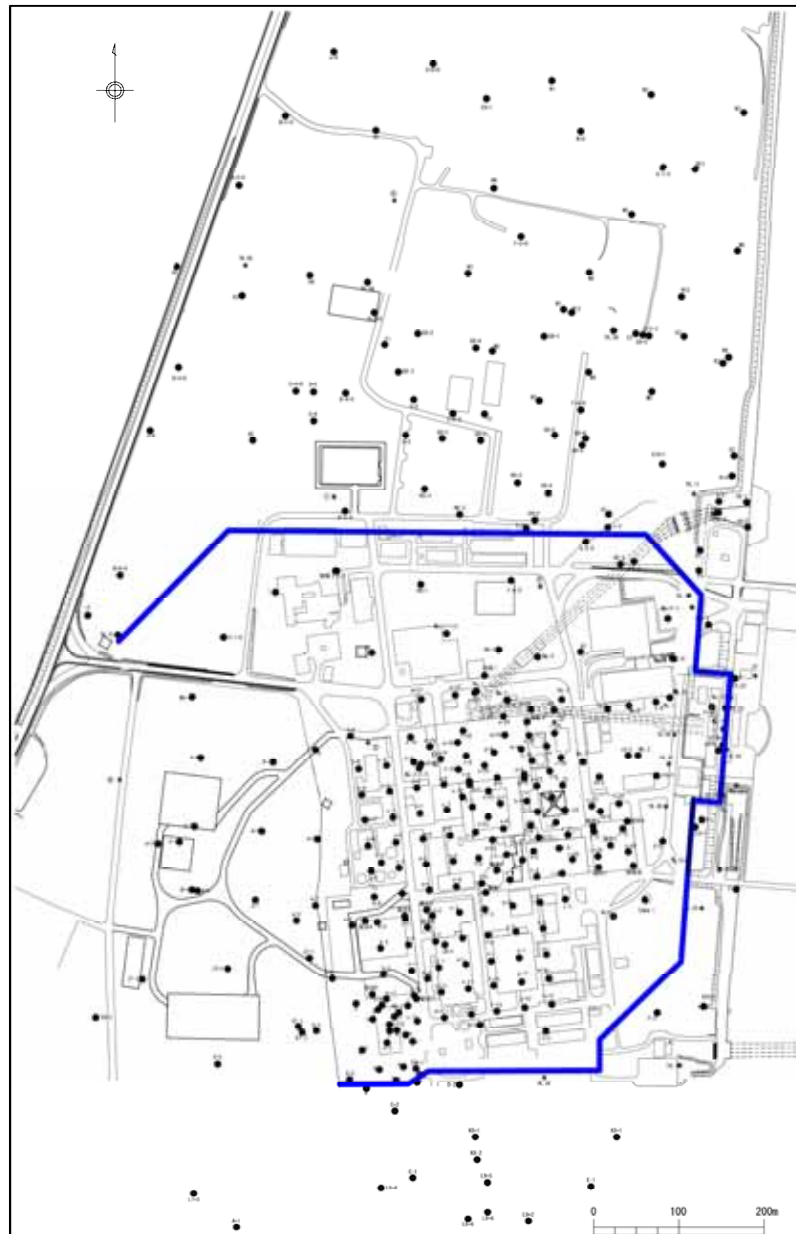
：不整合

3. 敷地の地質について

ボーリング調査位置図

- 敷地の地質・地質構造評価に係る地質調査のうち、ボーリングの位置を下図に示す。
- なお、下図については、第四系の詳細な堆積構造を把握するためのボーリングも含め全てのボーリングを示している。

注) 防潮堤設置ルート位置の詳細は、今後、現地で干渉物等の状況を考慮し、多少の変更が生じる可能性がある。

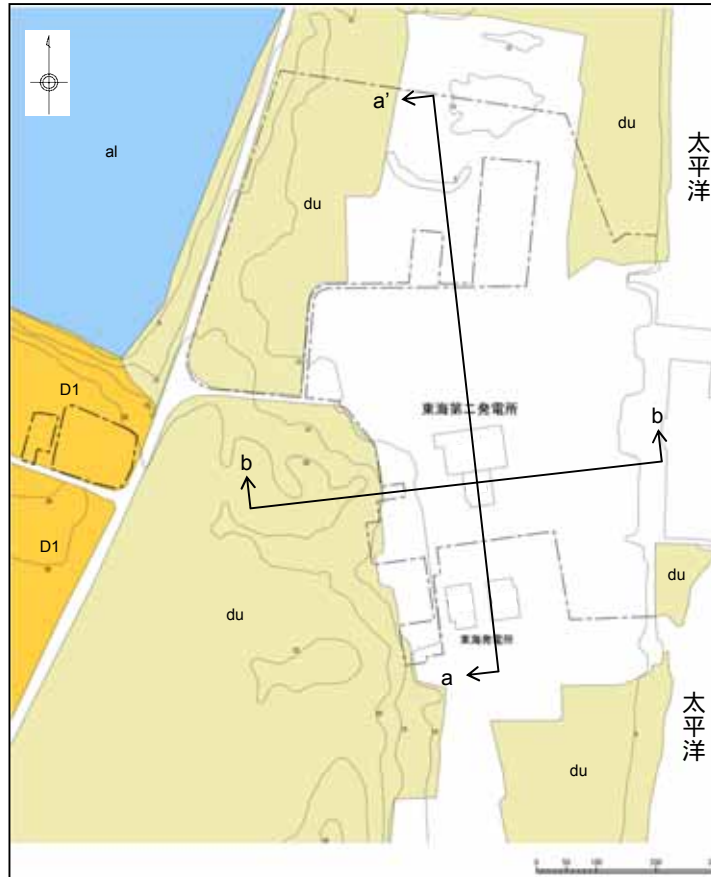


- 凡例
- : ボーリング位置
 - : 防潮堤

3. 敷地の地質について

地質平面図

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。



敷地の地質平面図

年代層序区分	地層区分	地質記号	主な層相	備考			
新生界	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～黄褐色の礫混じり砂	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				
	第四系	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L1段丘堆積物に対比される。 シルト層中の炭物質の年代: 40,830 ± 2,670年BP ~ 48,330 ± 年BPオーパー (14C年代測定法)
				D2s-3 砂			
				D2g-3 砂礫			
				D2c-2 シルト			
				D2g-2 砂礫			
				D1	lm ローム		
		鮮新統	東茨城層群	Hi	D1c-1 シルト	暗灰色～褐色の砂及びシルト 灰褐色～青灰色の砂礫	敷地西部のごく一部に分布する。
					D1g-1 砂礫		
					Km		
新第三系	離山層	Hn		泥岩・凝灰岩	敷地では北部を中心に久米層の下位に認められる。		
			Nk	泥岩・砂岩	敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。		
白亜系	那珂湊層群	Nk		泥岩・砂岩	敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。		
先白亜系	日立古生層 (日立変成岩類)	Hp		泥岩・砂岩・礫岩	1孔のボーリングで那珂湊層群の下位に認められる。		

凡例	
	盛土・埋戻土
	砂丘砂層
	沖積層
	段丘堆積物
	敷地境界線

~~~~~ : 不整合

### 3. 敷地の地質について

## 敷地の地質層序

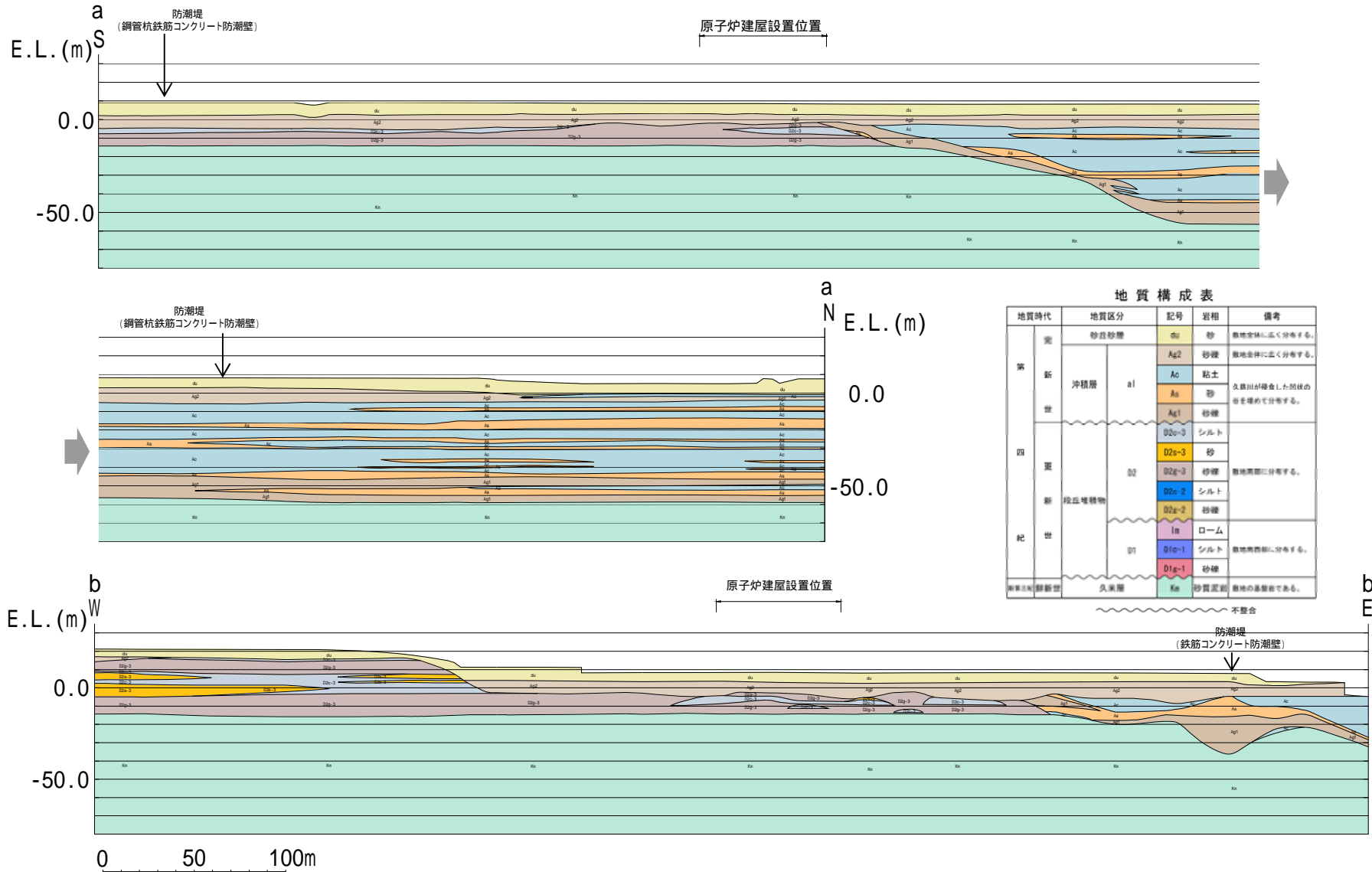
| 年代層序区分 |       | 地層区分 | 地質記号  |    | 主な層相          | 代表的なコア写真 |                                |  |
|--------|-------|------|-------|----|---------------|----------|--------------------------------|--|
| 新生界    | 第四系   | 砂丘砂層 | du    |    | 灰褐色～黄灰色の砂～中粒砂 |          |                                |  |
|        |       | 完新統  | 沖積層   | al | Ag2           | 砂礫       | 暗青灰色～灰褐色の粘土・砂<br>灰褐色～黄褐色の礫混じり砂 |  |
|        |       |      |       |    | 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               |  |
|        |       |      |       |    | D2s-3         | 砂        |                                |  |
|        |       |      |       |    | D2g-3         | 砂礫       |                                |  |
|        |       |      |       |    | D2c-2         | シルト      |                                |  |
|        |       | 更新統  | 段丘堆積物 | D1 | D2g-2         | 砂礫       | 黄褐色～青灰色の砂礫・砂・シルト               |  |
|        | lm    |      |       |    | ローム           |          |                                |  |
|        | D1c-1 |      |       |    | シルト           |          |                                |  |
|        | D1g-1 |      |       |    | 砂礫            |          |                                |  |

~~~~~ : 不整合

3. 敷地の地質について

地質断面図(第四系)

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が分布する。



3. 敷地の地質について 防潮堤縦断面図(1/4)

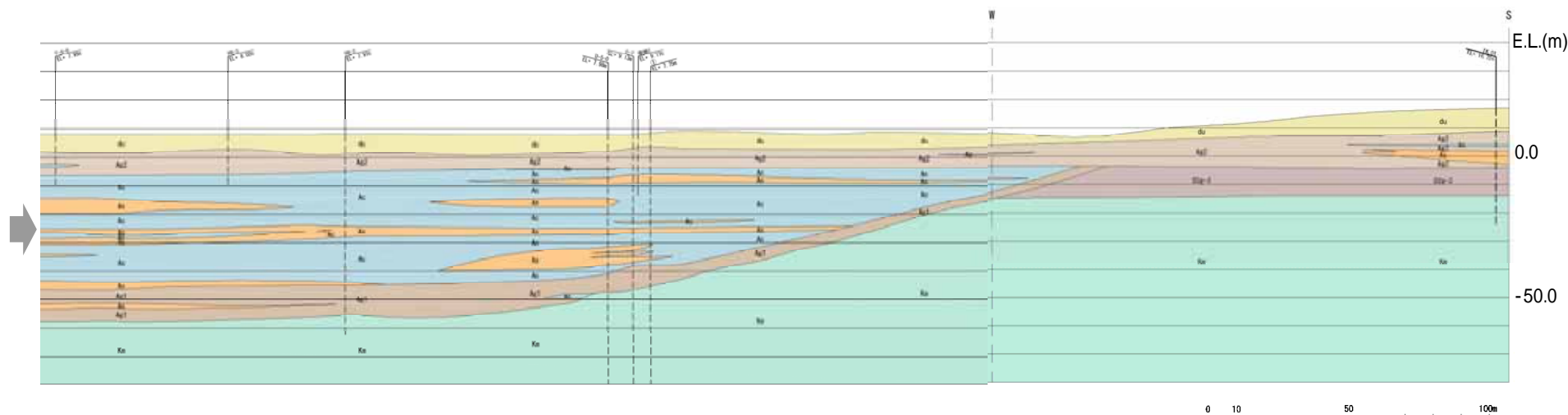
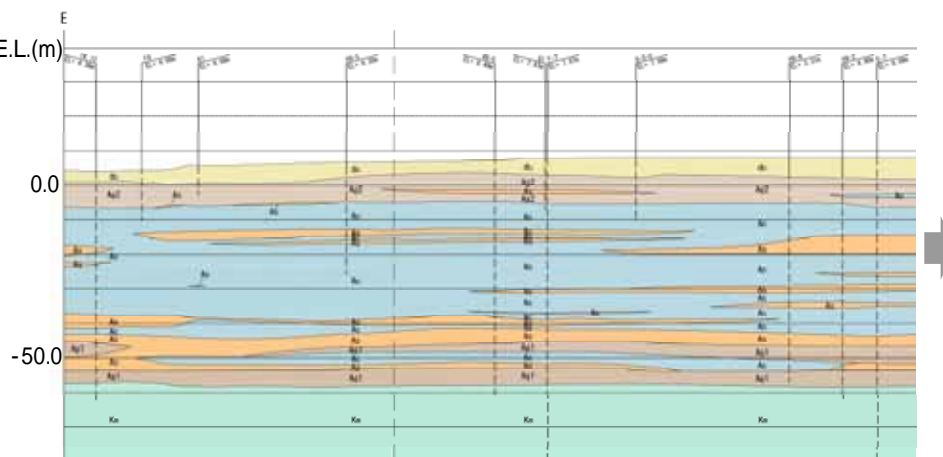
- ボーリング調査結果に基づき、防潮堤位置の地質断面図を作成した。



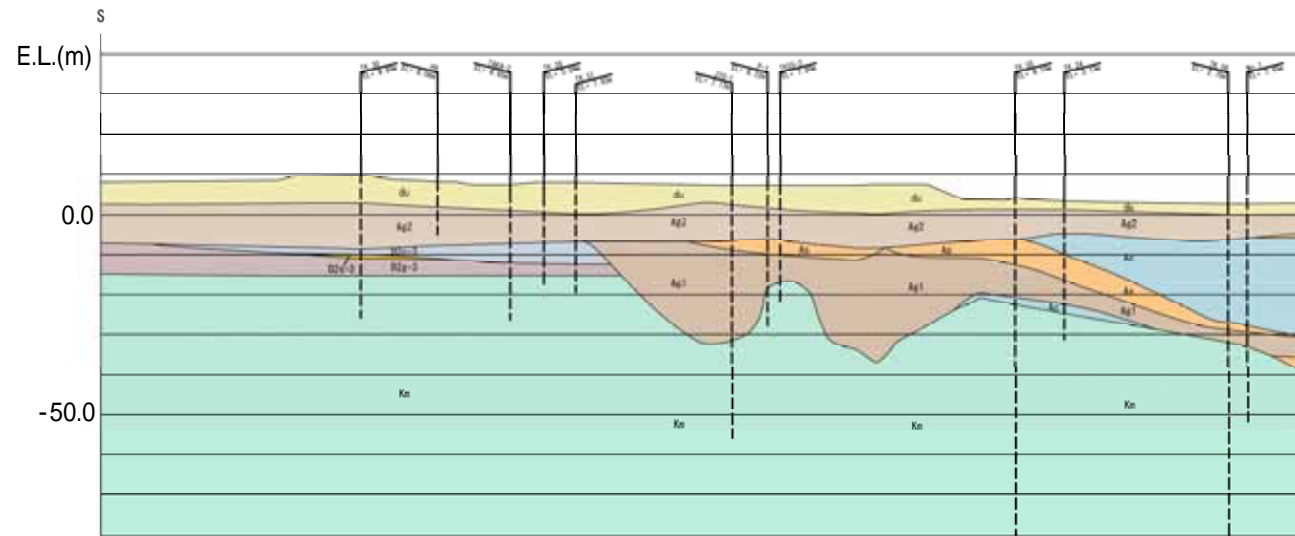
地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 | |
|------------------|-------|-----|-------|--------------|-----------------------|
| 完 | 砂丘砂層 | du | 砂 | 敷地全体に広く分布する。 | |
| | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全体に広く分布する。 | |
| 新
世 | 沖積層 | a1 | Ac | 粘土 | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |
| | | | As | 砂 | |
| | | | Ag1 | 砂礫 | |
| | | | D2c-3 | シルト | |
| 四
更
新
世 | 段丘堆積物 | D2 | D2s-3 | 砂 | 敷地東部に分布する。 |
| | | | D2g-3 | 砂礫 | |
| | | | D2c-2 | シルト | |
| | | | D2g-2 | 砂礫 | |
| | | | Im | ローム | |
| | | | D1 | D1c-1 | |
| D1g-1 | 砂礫 | | | | |
| 第三紀 鮮新世 | 久米層 | Km | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。 | |

~~~~~ 不整合



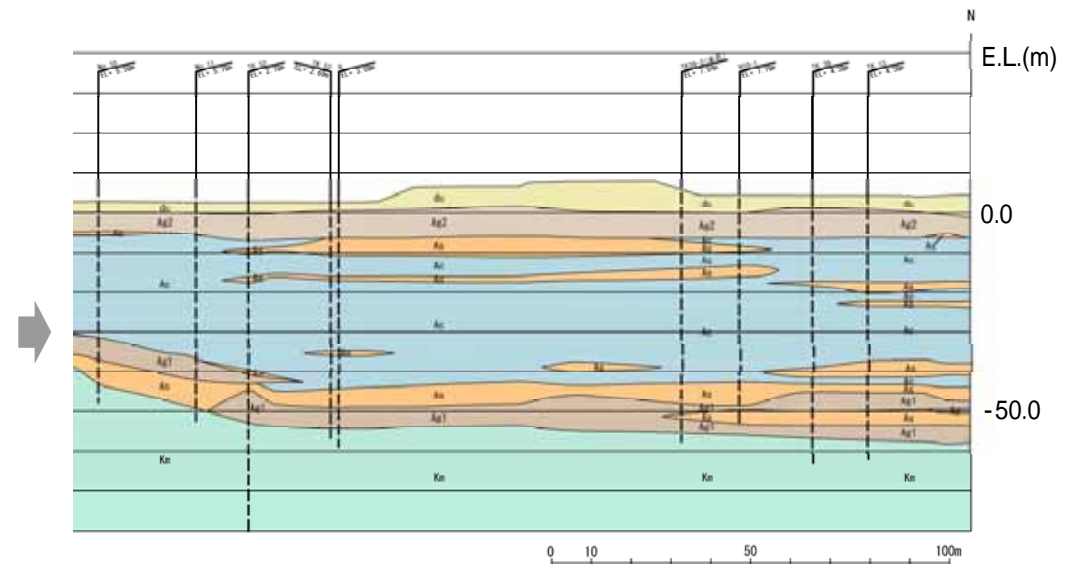
### 3. 敷地の地質について 防潮堤縦断面図(2/4)



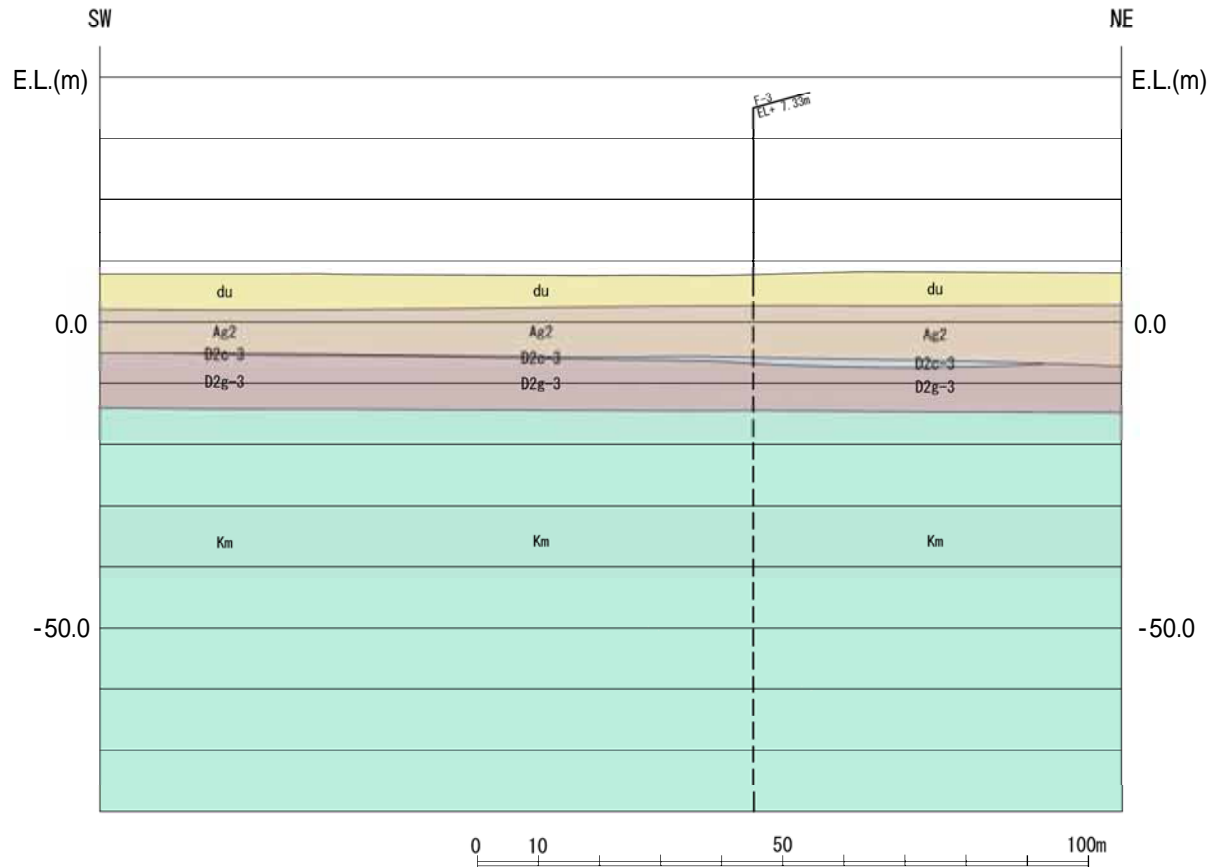
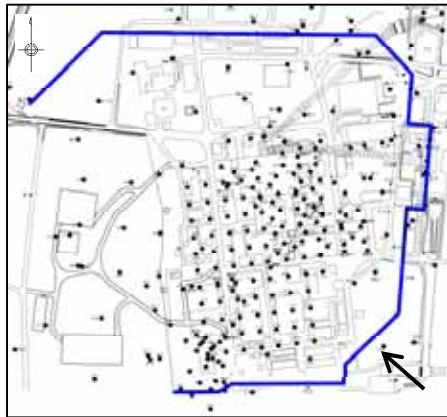
地質構成表

| 地質時代    | 地質区分 | 記号    | 岩相    | 備考         |                       |            |
|---------|------|-------|-------|------------|-----------------------|------------|
| 第四紀     | 完新世  | 砂丘砂層  | du    | 砂          | 敷地全体に広く分布する。          |            |
|         |      |       | Ag2   | 砂礫         | 敷地全体に広く分布する。          |            |
|         | 沖積層  | a1    | Ac    | 粘土         | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |            |
|         |      |       | As    | 砂          |                       |            |
|         |      |       | Ag1   | 砂礫         |                       |            |
|         | 更古世  | 段丘堆積物 | D2    | D2s-3      | シルト                   | 敷地西部に分布する。 |
|         |      |       |       | D2s-3      | 砂                     |            |
|         |      |       |       | D2g-3      | 砂礫                    |            |
|         |      |       |       | D2s-2      | シルト                   |            |
|         |      |       |       | D2g-2      | 砂礫                    |            |
| 旧石器世    | D1   | D1m   | Im    | ローム        | 敷地西部に分布する。            |            |
|         |      |       | D1s-1 | シルト        |                       |            |
|         |      |       | D1g-1 | 砂礫         |                       |            |
| 第三紀 鮮新世 | 久米層  | Kn    | 砂質泥岩  | 敷地の基盤岩である。 |                       |            |

~~~~~ 不整合



3. 敷地の地質について 防潮堤縦断面図(3/4)



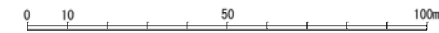
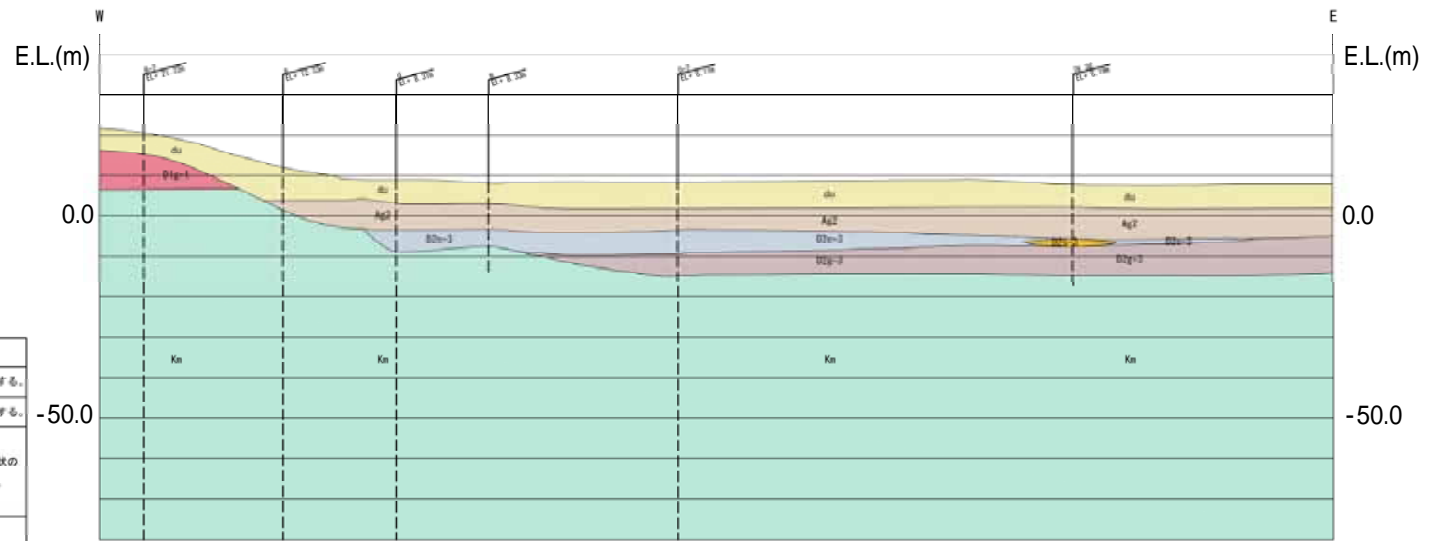
地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 | | |
|------|------|------|-------|------------|-----------------------|------------|
| 第四紀 | 全新世 | 砂丘砂層 | du | 砂 | 敷地全体に広く分布する。 | |
| | | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全体に広く分布する。 | |
| | 沖積層 | a1 | Ac | 粘土 | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 | |
| | | | As | 砂 | | |
| | | | Ag1 | 砂礫 | | |
| | 更新世 | D2 | 段丘堆積物 | D2c-3 | シルト | 敷地東部に分布する。 |
| | | | | D2s-3 | 砂 | |
| | | | | D2g-3 | 砂礫 | |
| | | | | D2c-2 | シルト | |
| | | | | D2g-2 | 砂礫 | |
| 旧石器世 | D1 | 久米層 | Im | ローム | 敷地東西部に分布する。 | |
| | | | D1c-1 | シルト | | |
| | | | D1g-1 | 砂礫 | | |
| 第三紀 | 久米層 | Km | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。 | | |

~~~~~ 不整合



### 3. 敷地の地質について 防潮堤縦断面図(4/4)



地質構成表

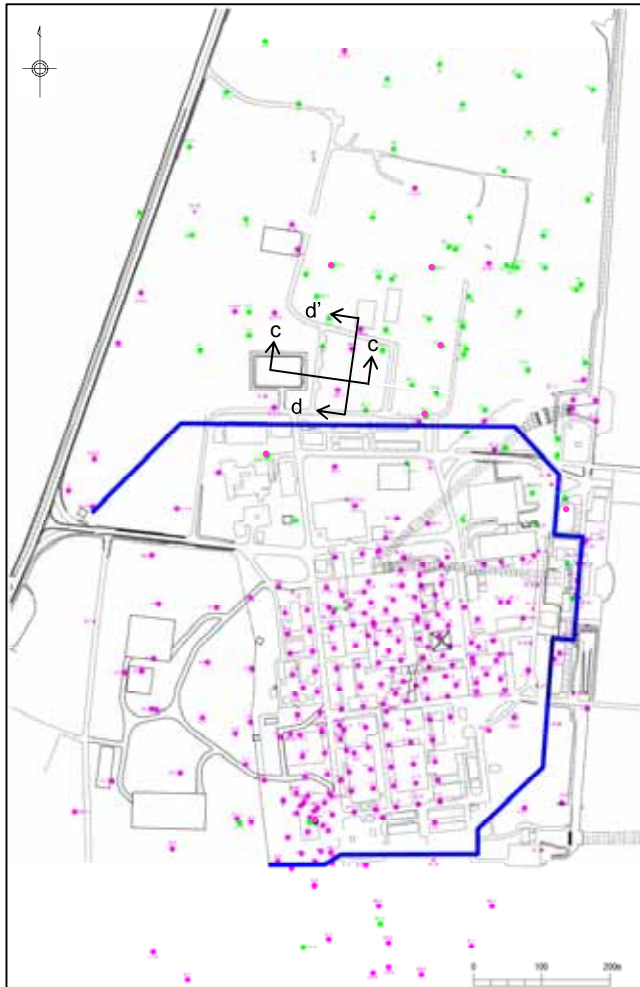
| 地質時代    | 地質区分  | 記号    | 岩相         | 備考                    |            |
|---------|-------|-------|------------|-----------------------|------------|
| 第四紀     | 沖積層   | du    | 砂          | 敷地全体に広く分布する。          |            |
|         |       | Ag2   | 砂礫         | 敷地全体に広く分布する。          |            |
|         |       | Ac    | 粘土         | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |            |
|         |       | As    | 砂          |                       |            |
|         |       | Ag1   | 砂礫         |                       |            |
|         | 段丘堆積物 | D2    | D2c-3      | シルト                   | 敷地西部に分布する。 |
|         |       |       | D2s-3      | 砂                     |            |
|         |       |       | D2g-3      | 砂礫                    |            |
|         |       | D2e-2 | D2e-2      | シルト                   |            |
|         |       |       | D2g-2      | 砂礫                    |            |
| D1      | Im    | ローム   | 敷地西部に分布する。 |                       |            |
|         | D1c-1 | シルト   |            |                       |            |
|         | D1g-1 | 砂礫    |            |                       |            |
| 第三紀 鮮新世 | 久米層   | Kn    | 砂質泥岩       | 敷地の基盤岩である。            |            |

~~~~~ 不整合

3. 敷地の地質について

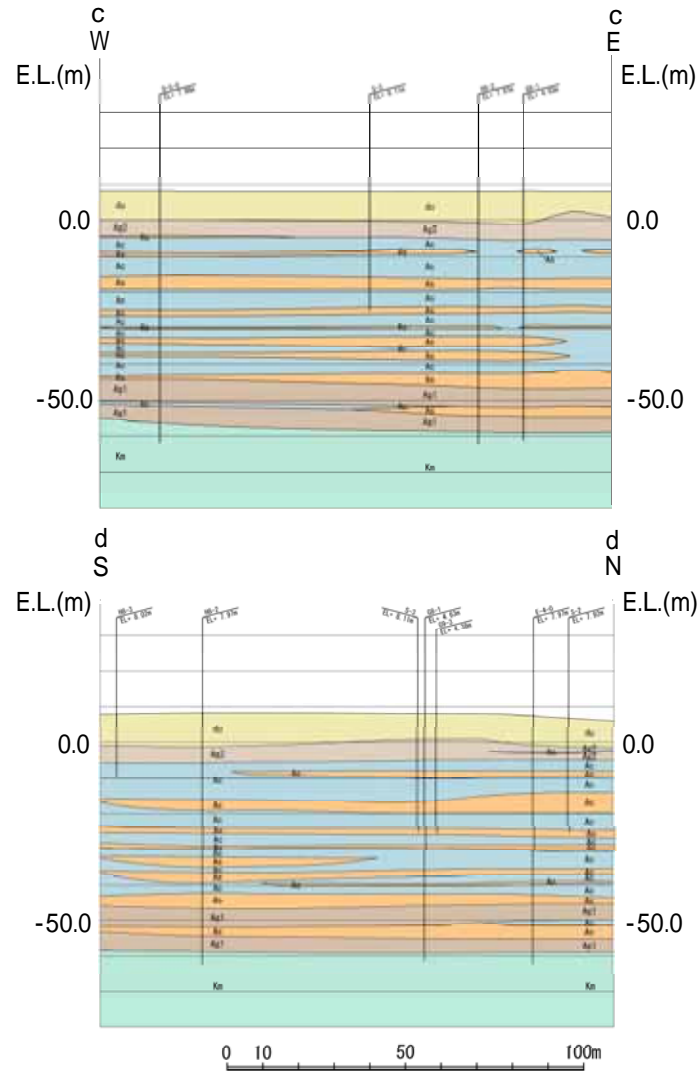
第四系の地質構造について

- 敷地に分布する第四系は概ね水平な成層構造を呈しており、地層の側方への変化の程度は緩やかで、150m程度の範囲では概ね同一の地層構成とみなすことが出来る。
- 防潮堤位置の断面図については、防潮堤の延長方向又はその直交方向で見たときに概ね150m以内の範囲にあるボーリングの結果が反映されている。



ボーリング調査位置図

| 凡例 | |
|----|--------------|
| ● | : 岩着ボーリング位置 |
| ● | : 非岩着ボーリング位置 |
| — | : 防潮堤 |



| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 |
|------------|-------|-------|------|-----------------------|
| 第四紀
新世 | 沖積層 | au | 砂 | 動物化石に乏しく分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 動物化石に乏しく分布する。 |
| | | Ac | 粘土 | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |
| | | As | 砂 | |
| 第四紀
更世 | D2 | D2e-3 | シルト | |
| | | D2e-2 | 砂 | |
| | | D2e-1 | 砂礫 | 動物化石に分布する。 |
| | | D2e-0 | シルト | |
| 第四紀
新世 | 投石堆積物 | D2e-2 | 砂礫 | |
| | | Im | ローム | |
| | | D1e-1 | シルト | 動物化石に分布する。 |
| 第四紀
旧新世 | 久米層 | D1g-1 | 砂礫 | |
| | | Ka | 砂質泥岩 | 動物の遺骸が豊富である。 |

~~~~~ 不整合

# 第四系の地質構造に関する追加調査について(1/4)

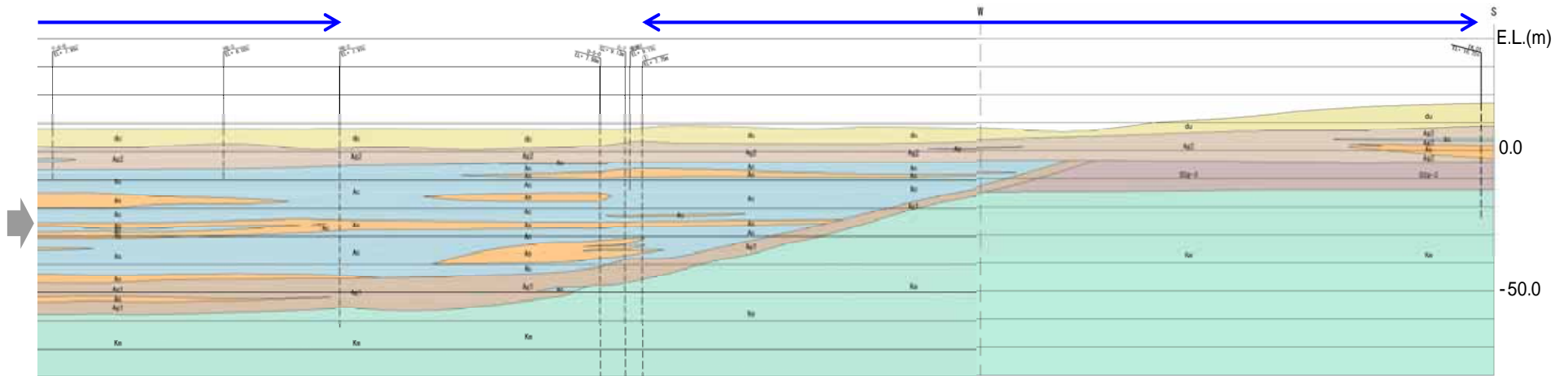
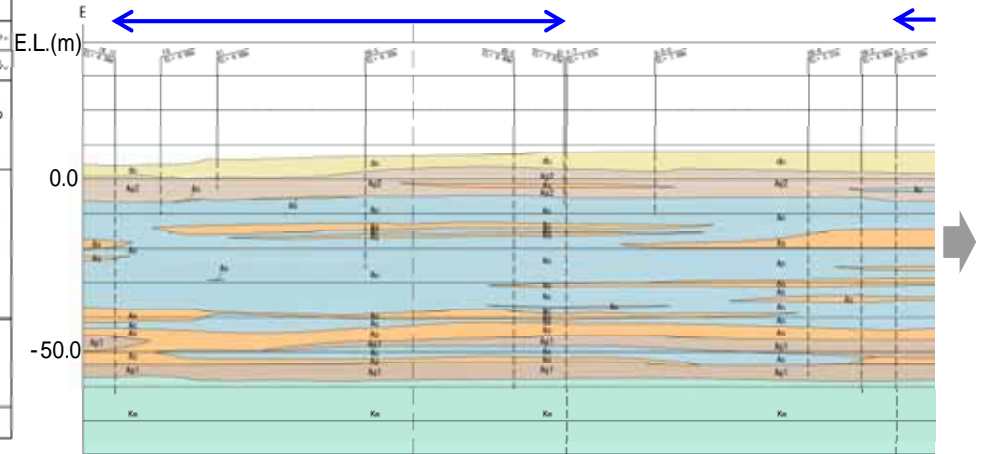
・今後、工事計画認可に向けた防潮堤の詳細設計においては、第四系の詳細な地質構成を把握するため、追加ボーリングを実施しデータ拡充を図る。



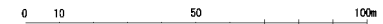
**地質構成表**

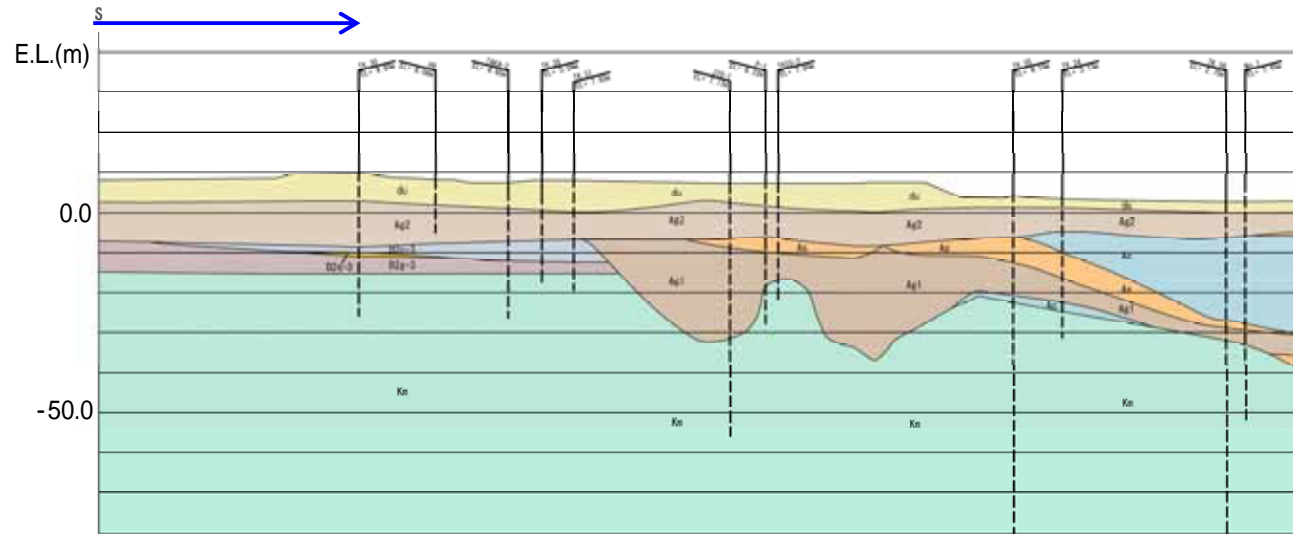
| 地質時代 | 地質区分  | 記号    | 岩相    | 備考           |                       |
|------|-------|-------|-------|--------------|-----------------------|
| 完新世  | 砂丘砂層  | du    | 砂     | 敷地全体に広く分布する。 |                       |
|      |       | Ag2   | 砂礫    | 敷地全域に広く分布する。 |                       |
| 第四紀  | 沖積層   | a1    | Ac    | 粘土           | 久慈川が侵食した凹地の谷を埋めて分布する。 |
|      |       |       | As    | 砂            |                       |
|      |       | D2    | Ag1   | 砂礫           | 敷地西部に分布する。            |
|      |       |       | D2c-3 | シルト          |                       |
| 第四紀  | 段丘堆積物 | D2s-3 | 砂     | 敷地の基盤岩である。   |                       |
|      |       | D2g-3 | 砂礫    |              |                       |
|      |       | D2c-2 | シルト   |              |                       |
|      |       | D2g-2 | 砂礫    |              |                       |
|      |       | Im    | ローム   |              |                       |
| 第四紀  | D1    | D1c-1 | シルト   | 敷地西部部に分布する。  |                       |
|      |       | D1g-1 | 砂礫    |              |                       |
|      |       | Ke    | 砂質泥岩  |              |                       |

~~~~~ 不整合



↔ : 追加ボーリング調査計画範囲



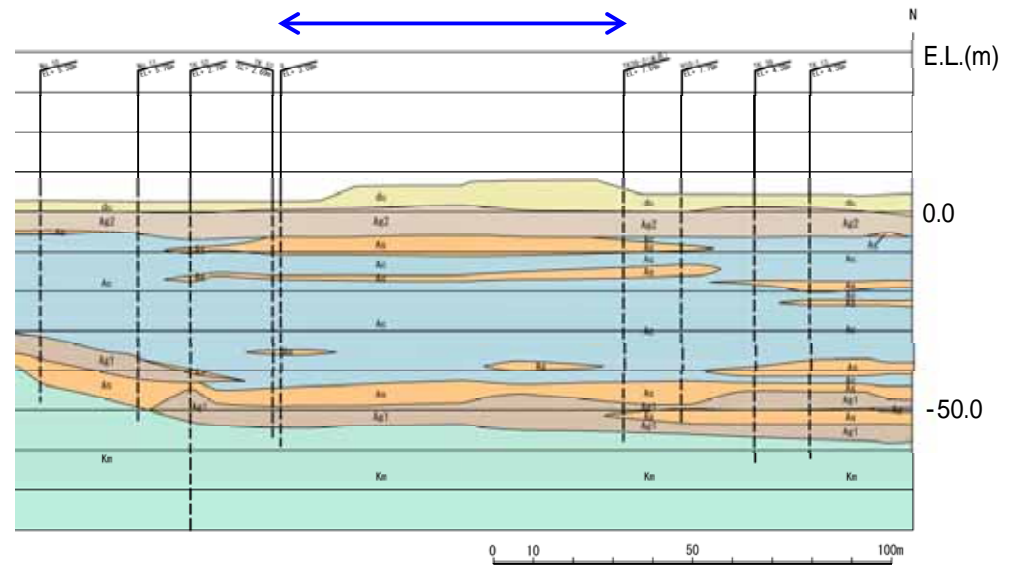


地質構成表

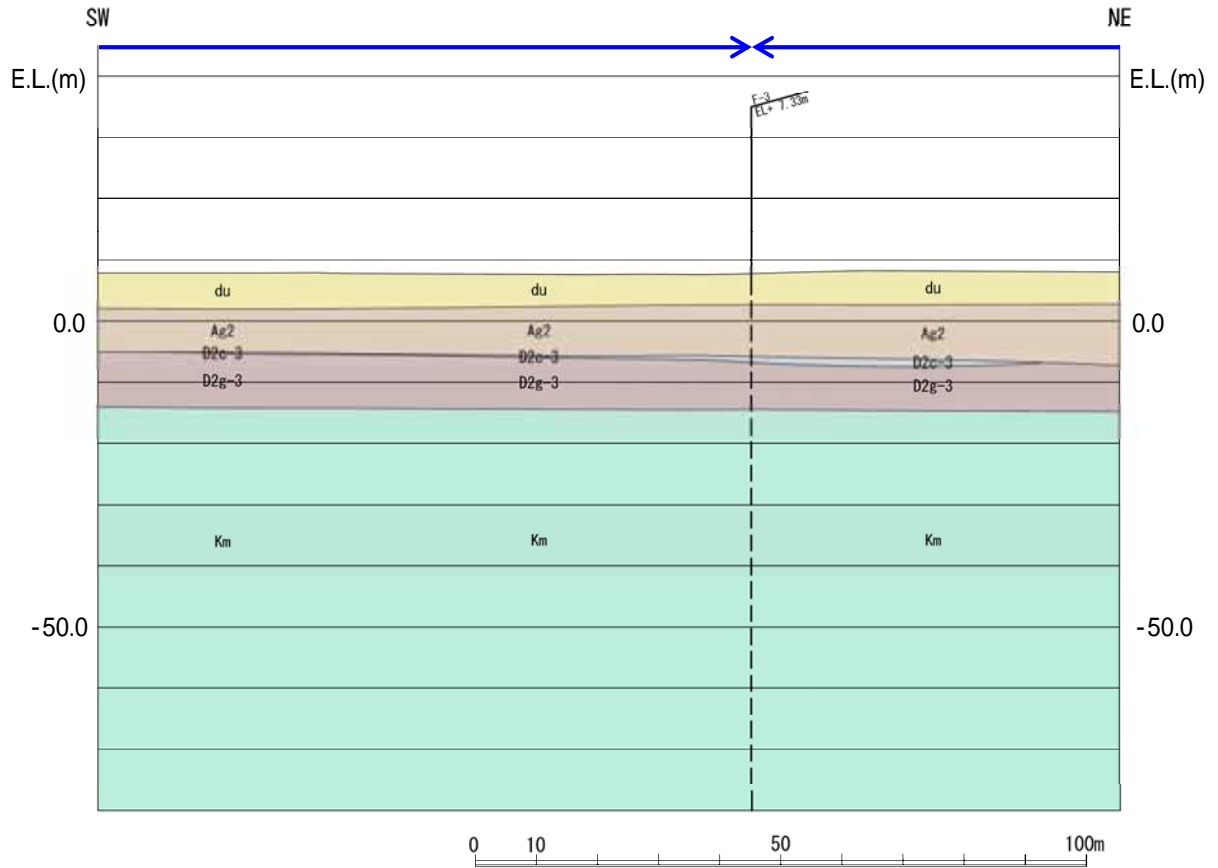
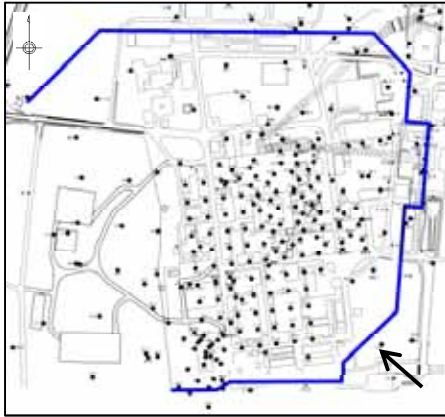
| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 | | |
|------|------|-------|-----|-------|-----------------------|-------------|
| 第四紀 | 全新世 | 砂丘砂層 | du | 砂 | 敷地全体に広く分布する。 | |
| | | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全体に広く分布する。 | |
| | | | Ac | 粘土 | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 | |
| | | | As | 砂 | | |
| | | | Ag1 | 砂礫 | | |
| | 中更新世 | 沖積層 | a1 | D2c-3 | シルト | 敷地南部に分布する。 |
| | | | | D2g-3 | 砂 | |
| | | | | D2g-2 | 砂礫 | |
| | | | | D2c-2 | シルト | |
| | | | | D2g-2 | 砂礫 | |
| | | | | Im | ローム | |
| | 新更新世 | 段丘堆積物 | D1 | D1c-1 | シルト | 敷地南西部に分布する。 |
| | | | | D1g-1 | 砂礫 | |
| | | | | Kn | 砂質泥岩 | |

~~~~~ 不整合

←→ :追加ボーリング調査計画範囲



### 3. 敷地の地質について 第四系の地質構造に関する追加調査について(3/4)

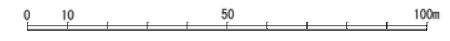
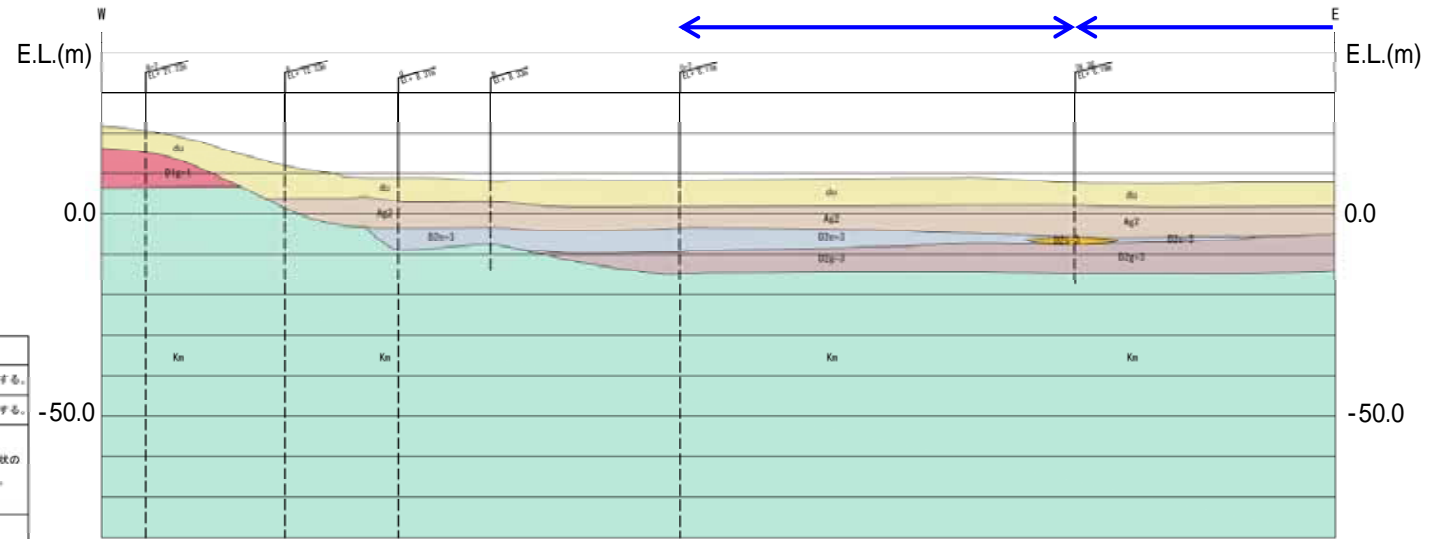


地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号     | 岩相    | 備考         |                       |            |
|------|------|--------|-------|------------|-----------------------|------------|
| 第四紀  | 全新世  | 砂丘砂層   | du    | 砂          | 敷地全体に広く分布する。          |            |
|      |      |        | Ag2   | 砂礫         | 敷地全体に広く分布する。          |            |
|      | 沖積層  | a1     | Ac    | 粘土         | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |            |
|      |      |        | As    | 砂          |                       |            |
|      |      |        | Ag1   | 砂礫         |                       |            |
|      | 更新世  | D2     | 段丘堆積物 | D2c-3      | シルト                   | 敷地東部に分布する。 |
|      |      |        |       | D2s-3      | 砂                     |            |
|      |      |        |       | D2g-3      | 砂礫                    |            |
|      |      |        |       | D2c-2      | シルト                   |            |
|      |      |        |       | D2g-2      | 砂礫                    |            |
| 旧石器世 | D1   | 新段丘堆積物 | Im    | ローム        | 敷地東西部に分布する。           |            |
|      |      |        | D1c-1 | シルト        |                       |            |
|      |      |        | D1g-1 | 砂礫         |                       |            |
| 第三紀  | 久米層  | Km     | 砂質泥岩  | 敷地の基盤岩である。 |                       |            |

~~~~~ 不整合

↔ :追加ボーリング調査計画範囲



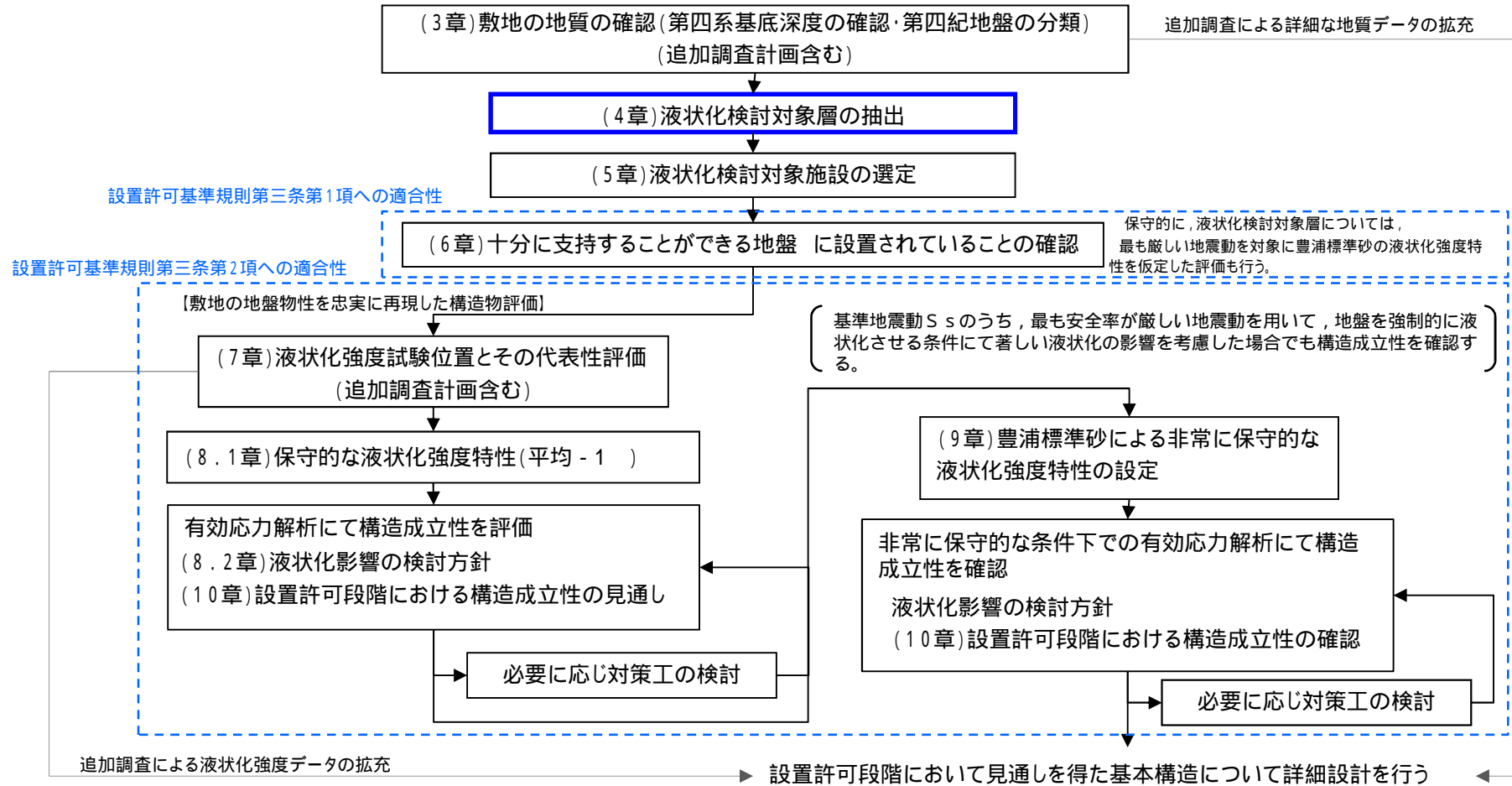
↔ : 追加ボーリング調査計画範囲

地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 | | |
|---------|------|-----|-------|------------|------------|-----------------------|
| 第四紀 | 全新世 | 沖積層 | 砂丘砂層 | du | 砂 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | | | a1 | Ag2 | 砂礫 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | | | | Ac | 粘土 | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |
| | | | | As | 砂 | |
| | | | | Ag1 | 砂礫 | |
| | 中更新世 | D2 | 段丘堆積物 | D2c-3 | シルト | |
| | | | | D2s-3 | 砂 | |
| | | | | D2g-3 | 砂礫 | 敷地西部に分布する。 |
| | | | | D2e-2 | シルト | |
| | | | | D2g-2 | 砂礫 | |
| 旧石器世 | D1 | | Im | ローム | | |
| | | | D1c-1 | シルト | 敷地西部に分布する。 | |
| | | | D1g-1 | 砂礫 | | |
| 第三紀 鮮新世 | 久米層 | Kn | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。 | | |

~~~~~ 不整合

## 4. 液状化検討対象層の抽出



## 4. 液状化検討対象層の抽出

### 液状化検討対象層の抽出

- ✓ 道路橋示方書・同解説(耐震設計編)に基づき液状化検討対象層を抽出する。
- ✓ 道路橋示方書においては、液状化検討対象層を地表面から20m以内の沖積層としているが、本評価では以下のものも対象層として考慮する。  
 地表面から20m以深も考慮  
 洪積層(D1層 ~ D2層)についても考慮

液状化判定の対象となる地層(道路橋示方書・同解説(耐震設計編))

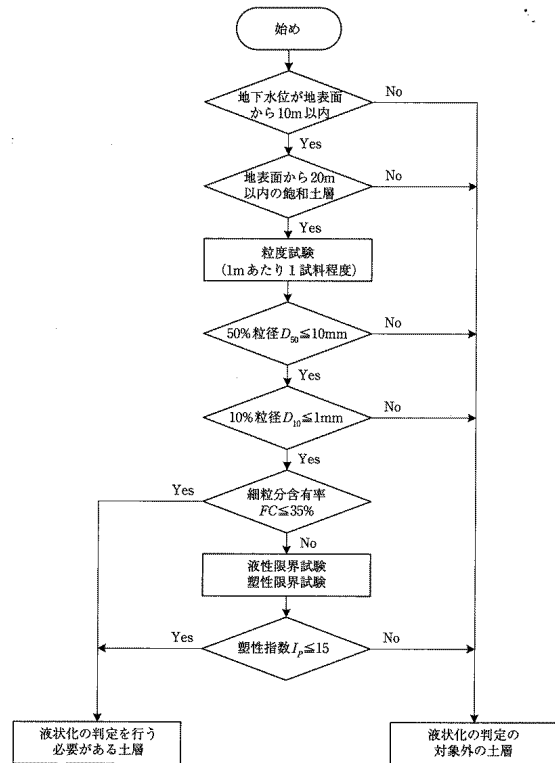
地下水位が地表面から10m以内にあり、かつ、地表面から20m以内の深さに存在する飽和土層  
 細粒分含有率が35%以下の土層、または、細粒分含有率が35%を超えても塑性指数が15以下の土層  
 50%粒径が10mm以下で、かつ、10%粒径が1mm以下である土層

: 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



液状化検討対象層の抽出フロー

(道路橋示方書・同解説(耐震設計編) 平成24年3月)

| 地質記号 | 層相    | 道路橋示方書における液状化検討対象層 | 当社の液状化検討対象層 | 備考                                                       |
|------|-------|--------------------|-------------|----------------------------------------------------------|
| du   | 砂     |                    |             |                                                          |
| al   | Ag2   |                    |             |                                                          |
|      | Ac    |                    |             |                                                          |
|      | As    |                    |             | • 20m以深に分布する範囲についても保守的に検討対象とする。                          |
| D2   | Ag1   |                    |             | • 20m以深に分布するが保守的に検討対象とする。                                |
|      | D2c-3 |                    |             |                                                          |
|      | D2s-3 |                    |             | • 洪積層であるが保守的に検討対象とする。                                    |
|      | D2g-3 |                    |             | • 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も保守的に検討対象とする。 |
| D1   | lm    |                    |             |                                                          |
|      | D1c-1 |                    |             |                                                          |
|      | D1g-1 |                    |             | • 洪積層であるが保守的に検討対象とする。                                    |



4. 液状化検討対象層の抽出

# 液状化検討対象層抽出の根拠となる物理特性

道路橋示方書・同解説(耐震設計編)に基づく液状化検討対象層抽出の根拠となる物理特性を示す。

## 液状化検討対象層の抽出

| 地層名   | 時代 | 地表面から20m以内の分布の有無 | 平均粒径 D50(mm) | 10%通過粒径 D10(mm) | 細粒分含有率 (%) | 塑性指数 Ip |
|-------|----|------------------|--------------|-----------------|------------|---------|
| du    | 沖積 | 有                | 0.384        | 0.166           | 5.2        | -       |
| Ag2   | 沖積 | 有                | 0.968        | 0.260           | 5.2        | -       |
| Ac    | 沖積 | 有                | 0.0165       | 0.00246         | 90.3       | 38.5    |
| As    | 沖積 | 有                | 0.201        | 0.0245          | 27.2       | (10.3)  |
| Ag1   | 沖積 | 無                | 3.9          | 0.128           | 12.3       | -       |
| D2c-3 | 洪積 | 有                | 0.0327       | 0.00435         | 79         | 24.5    |
| D2s-3 | 洪積 | 有                | 0.289        | 0.0199          | 26.5       | -       |
| D2g-3 | 洪積 | 有                | 6.68         | 0.239           | 8.1        | -       |
| lm    | 洪積 | 有                | 0.00493      | -               | 88.8       | 72.8    |
| D1c-1 | 洪積 | 有                | -            | -               | -          | -       |
| D1g-1 | 洪積 | 有                | 1.75         | 0.0714          | 12.7       | -       |

道路橋示方書による液状化検討対象層判定

- 液状化検討対象層
- 液状化検討対象外の土層

当社の液状化検討対象層

- 道路橋示方書における液状化検討対象層
- 道路橋示方書の液状化判定で検討対象外となるが、保守的に液状化検討対象とする層

道路橋示方書・同解説(耐震設計編)より、地表面から20m以内の洪積層を液状化検討対象層とする。

(全地層)

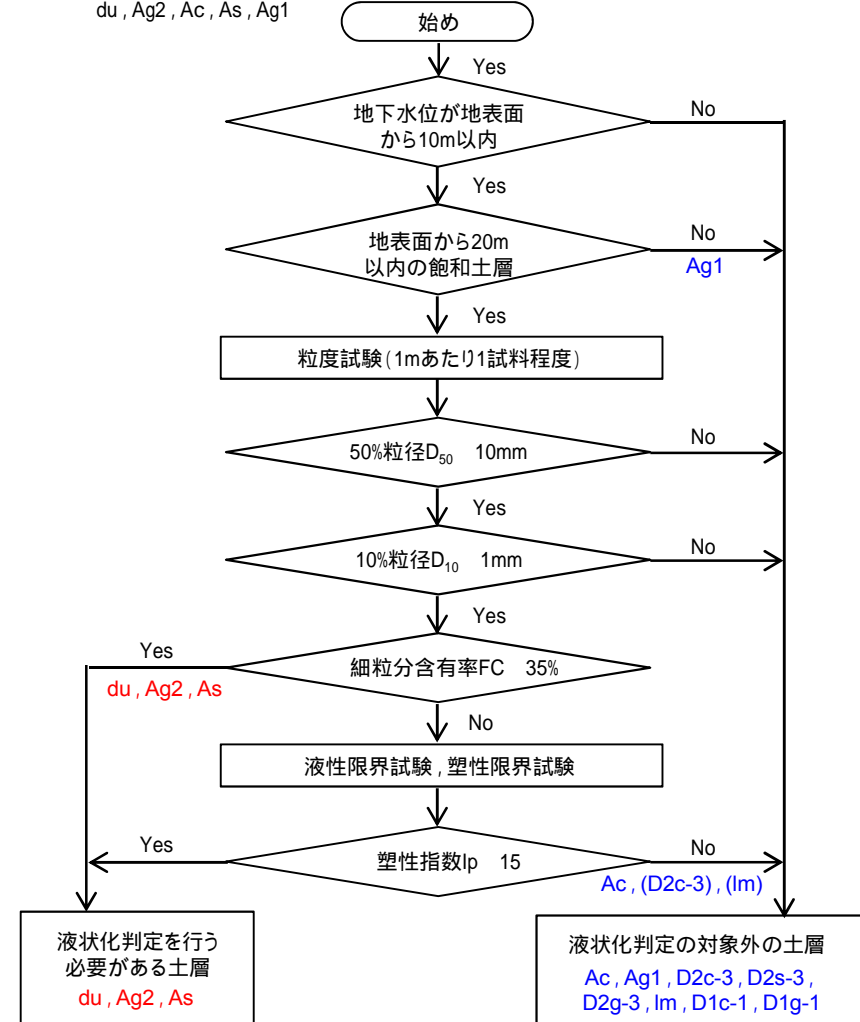
du, Ag2, Ac, As, Ag1, D2c-3, D2s-3, D2g-3, lm, D1c-1, D1g-1



(液状化検討の対象となる地層)

du, Ag2, Ac, As, Ag1

(液状化検討の対象となる地層)  
du, Ag2, Ac, As, Ag1

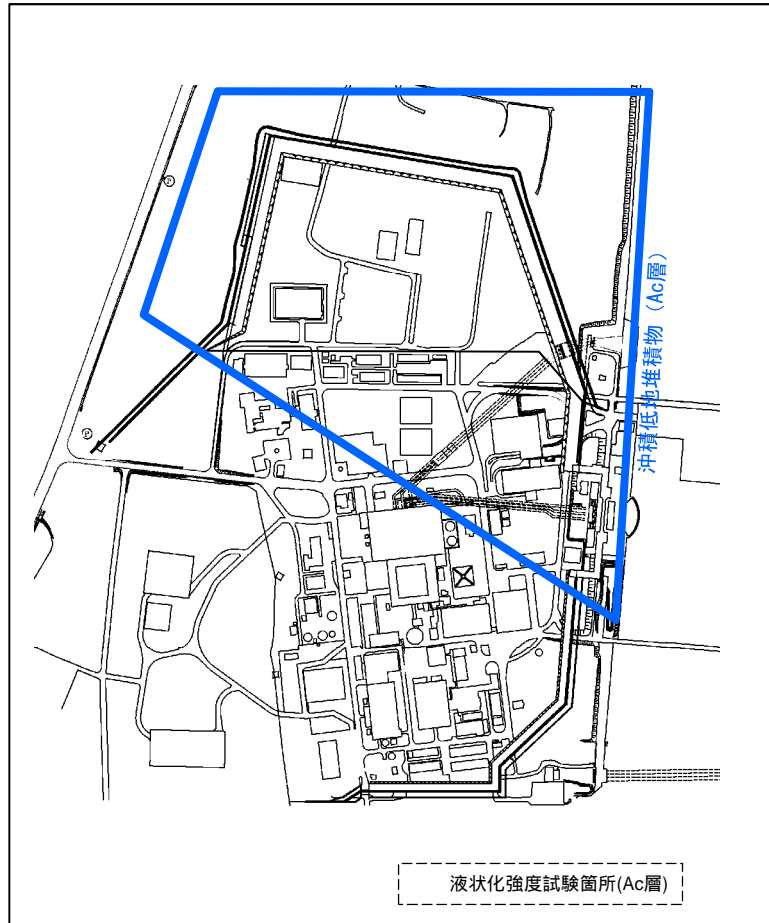


## 液状化検討対象層の抽出フロー

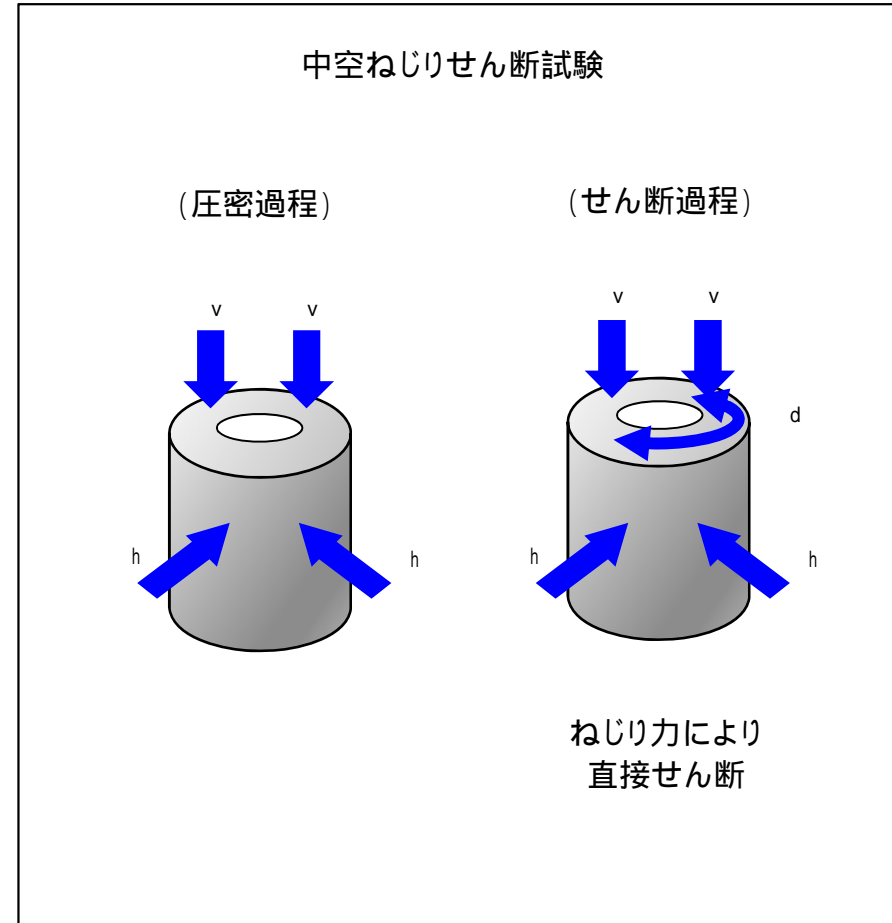
次項以降で、液状化検討対象外とした粘性土のうちAc層について、液状化強度試験により液状化の可能性を検討する。

## Ac層の液状化強度試験結果(1 / 11)

前項の検討により液状化検討対象外とした粘性土のうち、沖積層で、敷地における分布範囲も広いAc層について液状化強度試験を実施し、液状化の可能性を検討した。



液状化強度試験実施位置図



液状化強度試験方法

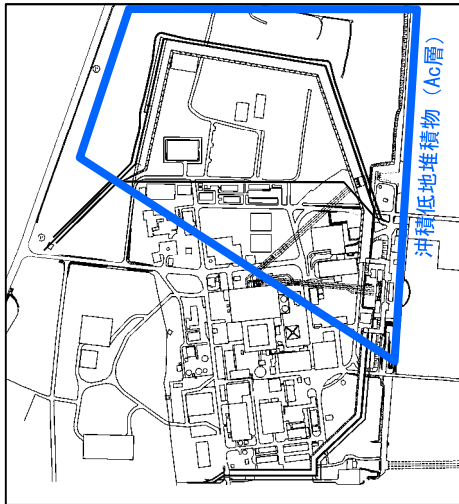
試験を実施した全ての供試体において、過剰間隙水圧比は95%に到達せず、液状化は発生しなかった。  
( 次項以降に、試験結果を掲載する。 )

4. 液状化検討対象層の抽出

Ac層の液状化強度試験結果(2 / 11)

SC-9-25(1)

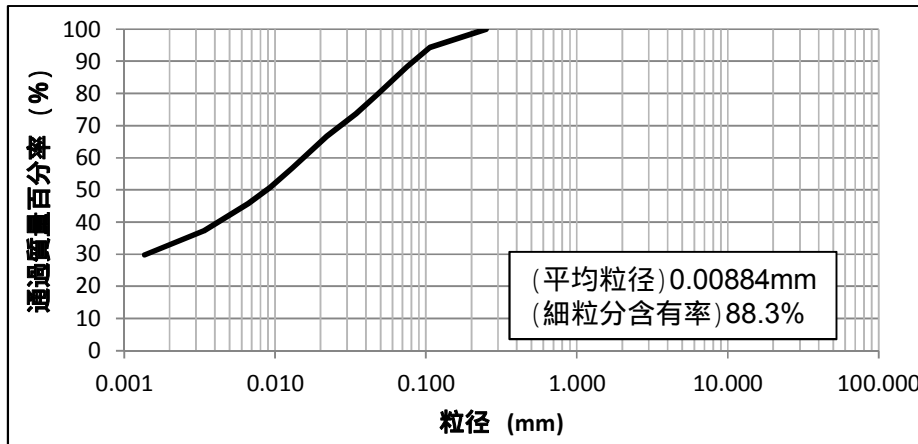
- ・深度 : 49.00m ~ 50.00m
- ・平均有効主応力 :  $\sigma_m = 94.0\text{kN/m}^2$



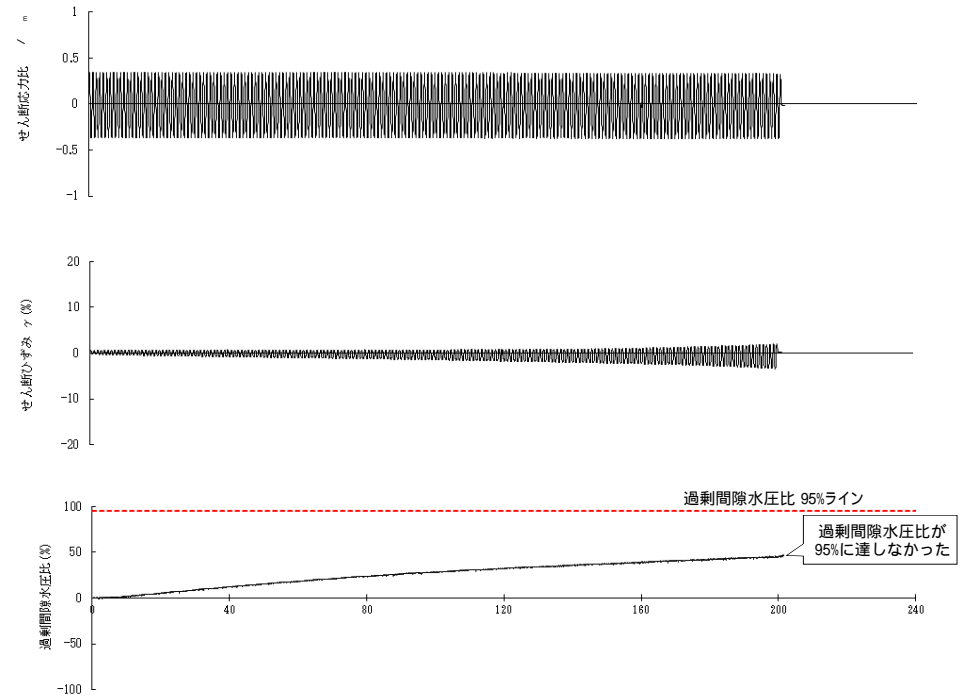
試料の写真

液状化強度試験箇所(Ac層)

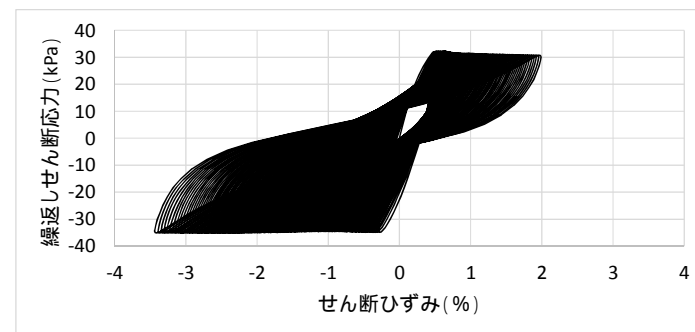
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



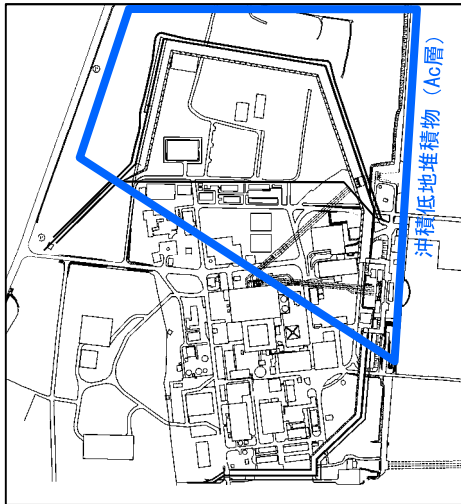
繰返しせん断応力 ~ せん断ひずみ関係

4. 液状化検討対象層の抽出

Ac層の液状化強度試験結果(3 / 11)

SC-9-25(4)

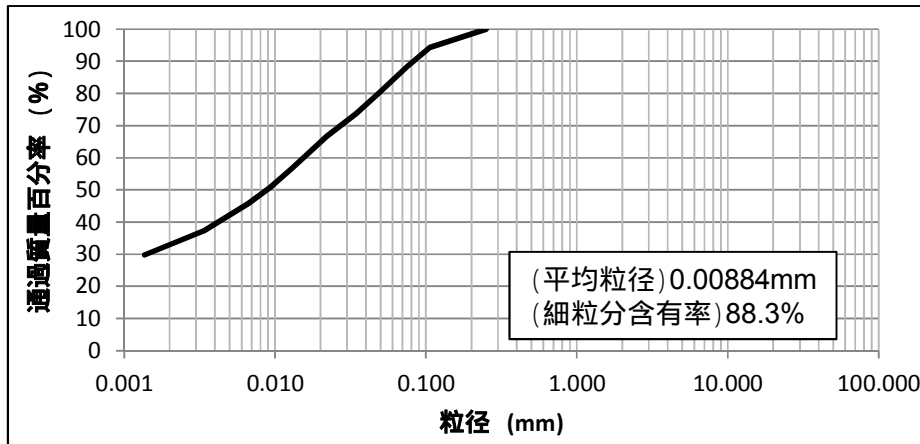
- ・深度：49.00m ~ 50.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma_m = 90.7\text{kN/m}^2$



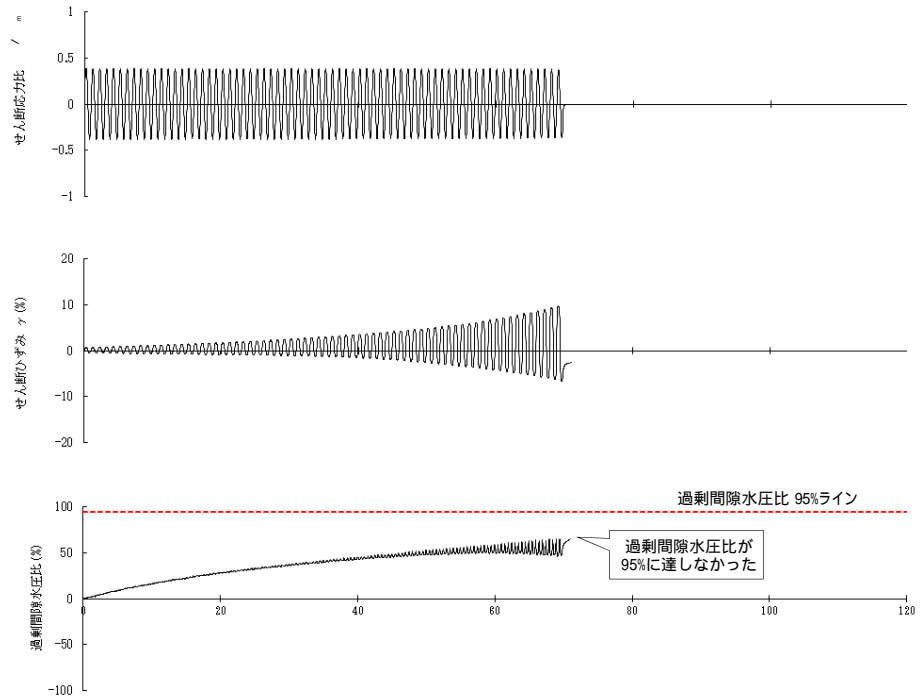
試料の写真

液状化強度試験箇所(Ac層)

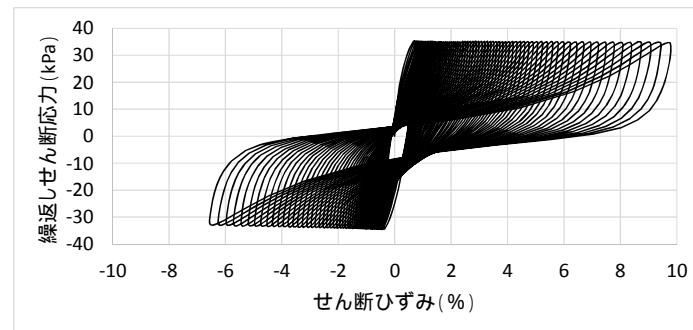
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



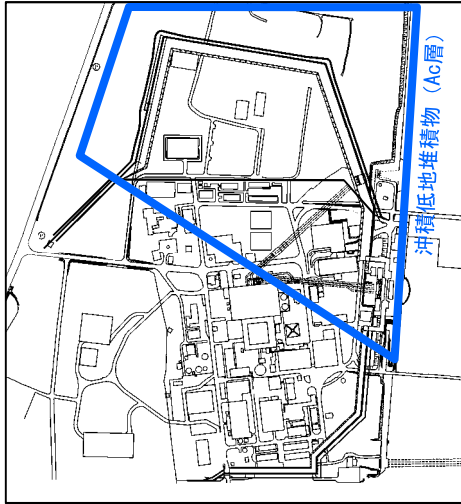
繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

4. 液状化検討対象層の抽出

Ac層の液状化強度試験結果(4 / 11)

SC-9-25(3)

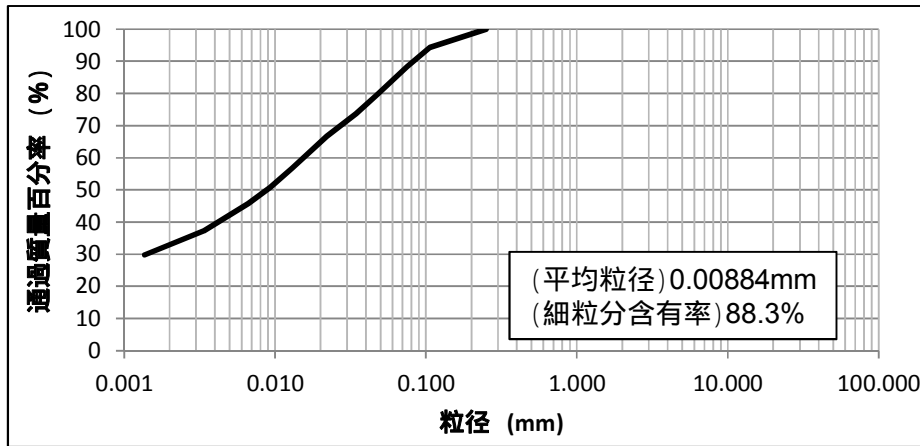
- ・深度 : 49.00m ~ 50.00m
- ・平均有効主応力 :  $\sigma_m = 90.7\text{kN/m}^2$



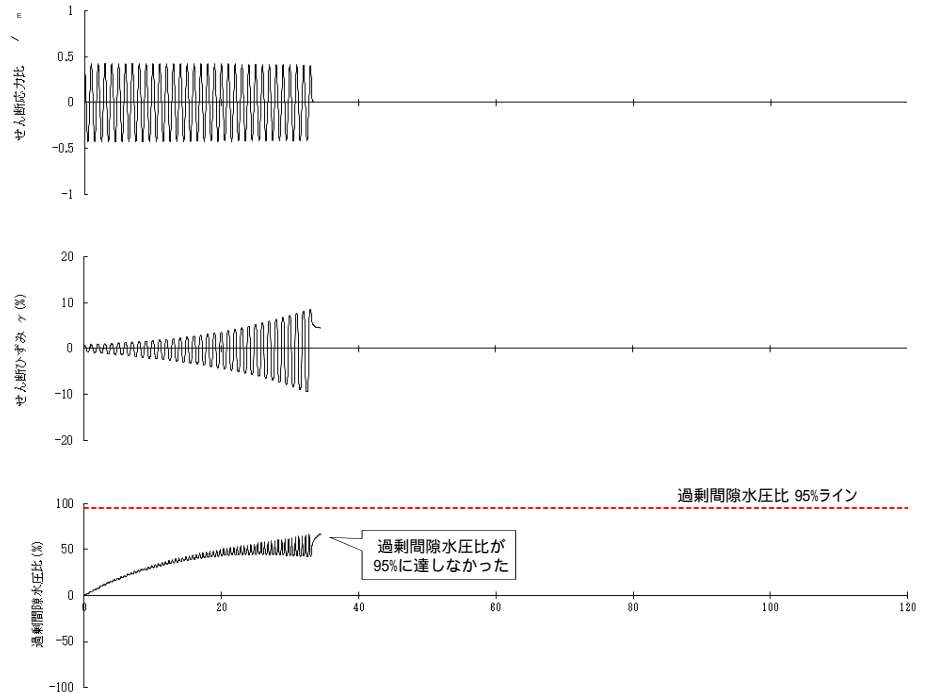
試料の写真

液状化強度試験箇所(Ac層)

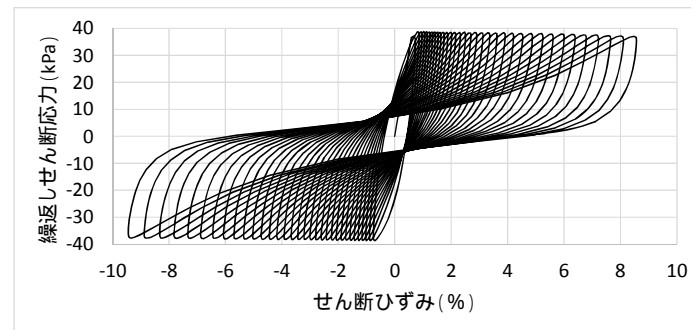
液状化強度試験実施位置図



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

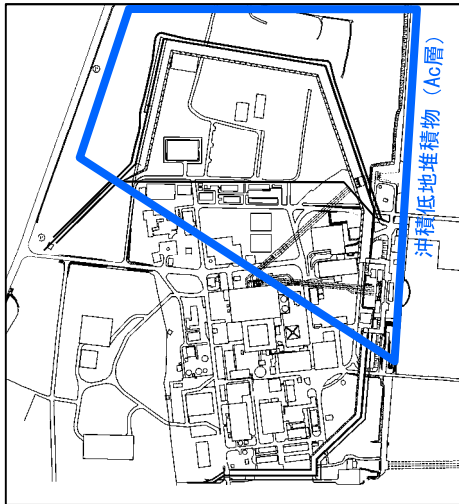
4. 液状化検討対象層の抽出

Ac層の液状化強度試験結果(5 / 11)

SC-11-8 ~ 10(1)

・深度 : 9.00m ~ 12.00m

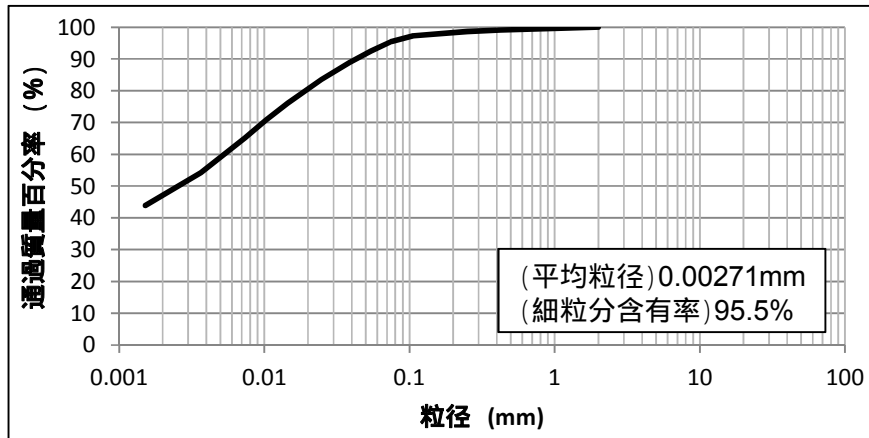
・平均有効主応力 :  $\sigma_m = 40.7\text{kN/m}^2$



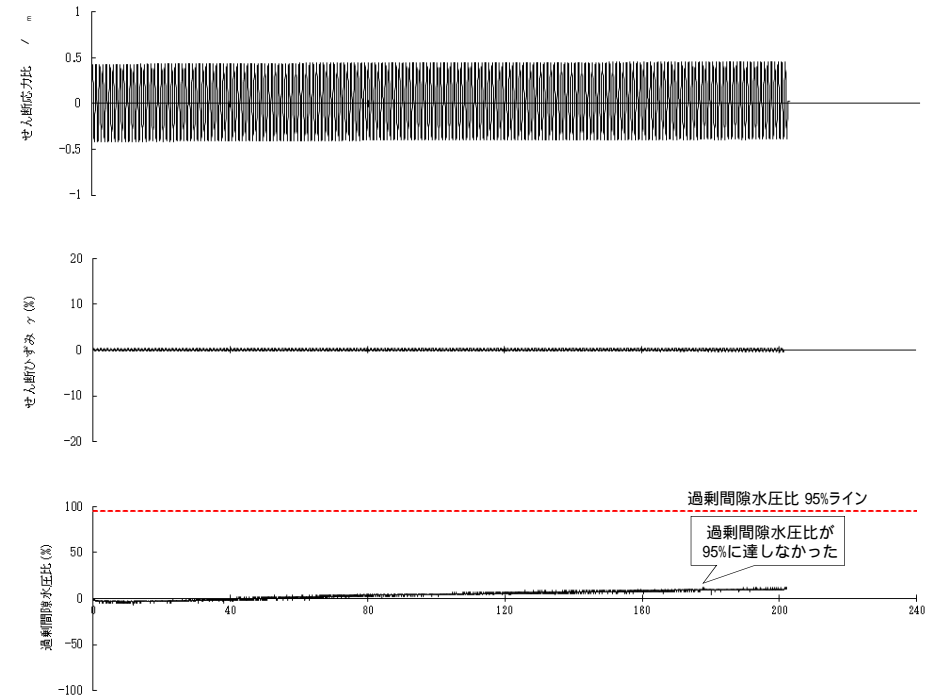
試料の写真

液状化強度試験箇所(Ac層)

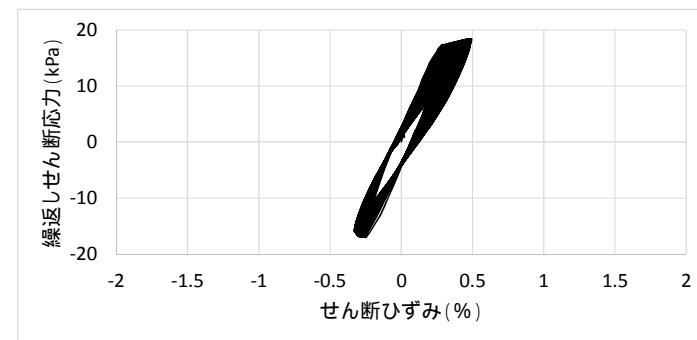
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



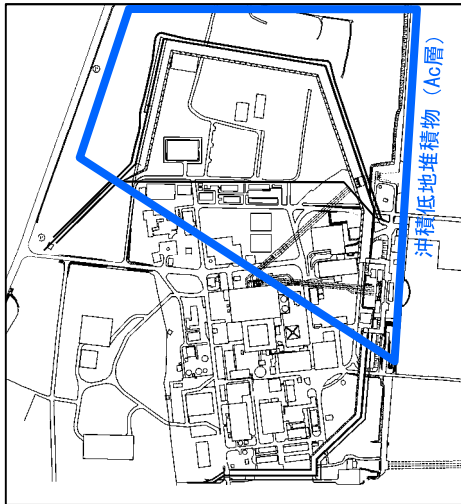
繰返しせん断応力 ~ せん断ひずみ関係

4. 液状化検討対象層の抽出

Ac層の液状化強度試験結果(6 / 11)

SC-9-25(2)

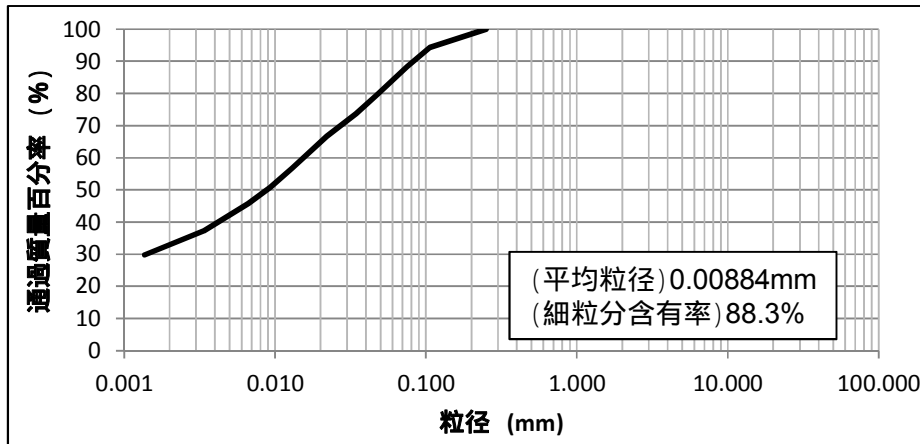
- ・深度：49.00m ~ 50.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma_m = 90.7\text{kN/m}^2$



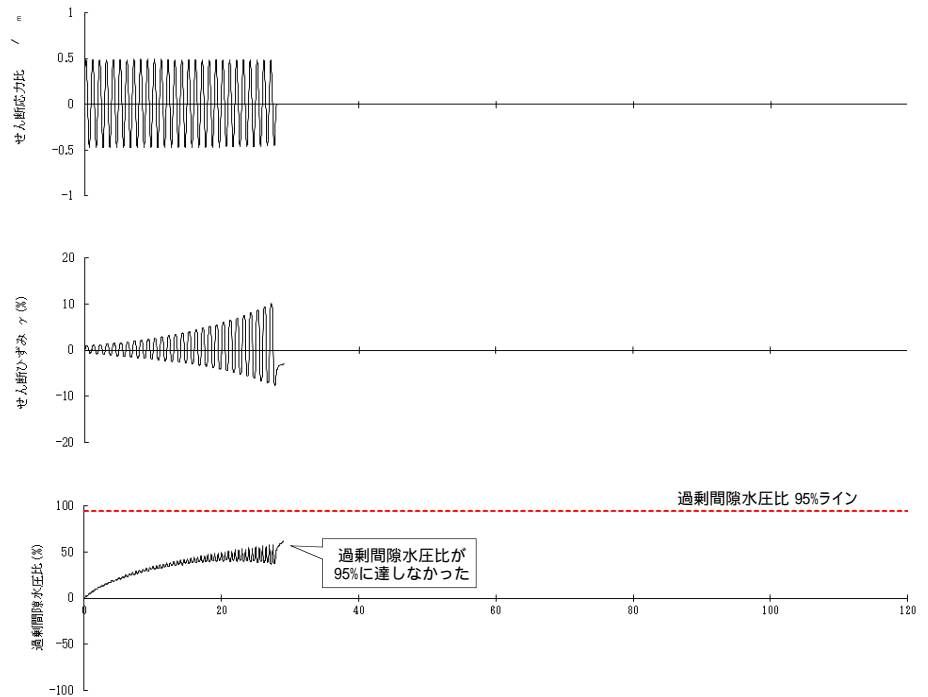
試料の写真

液状化強度試験箇所(Ac層)

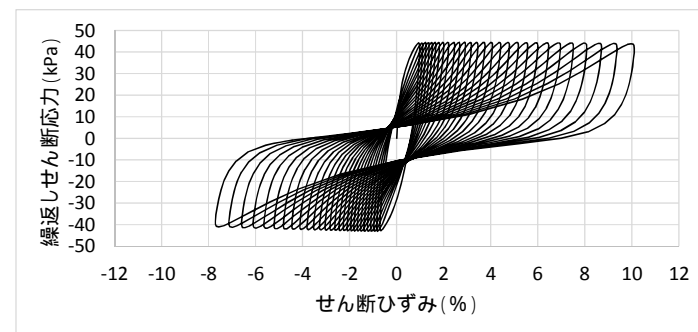
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



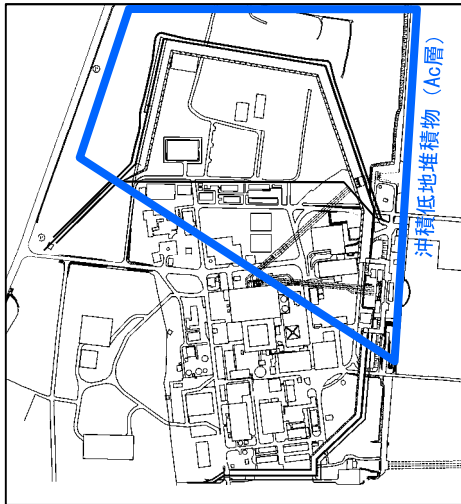
繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

4. 液状化検討対象層の抽出

Ac層の液状化強度試験結果(7 / 11)

SC-7-23 ~ 24(1)

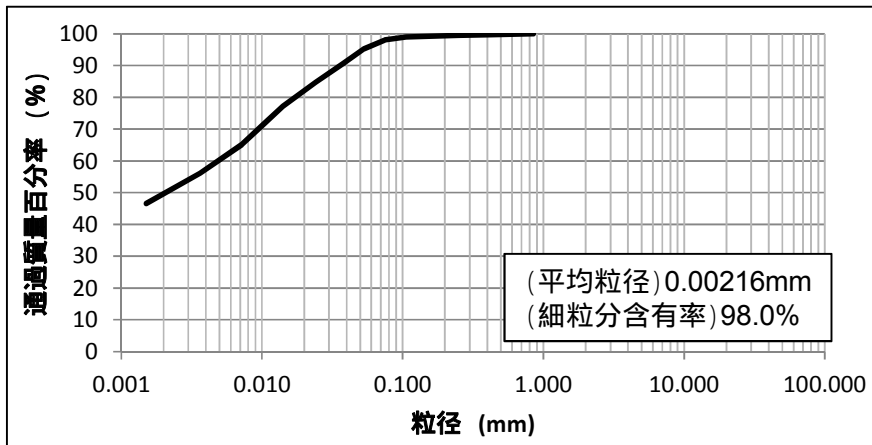
- ・深度 : 28.20m ~ 30.20m
- ・平均有効主応力 :  $\sigma_m = 84.3\text{kN/m}^2$



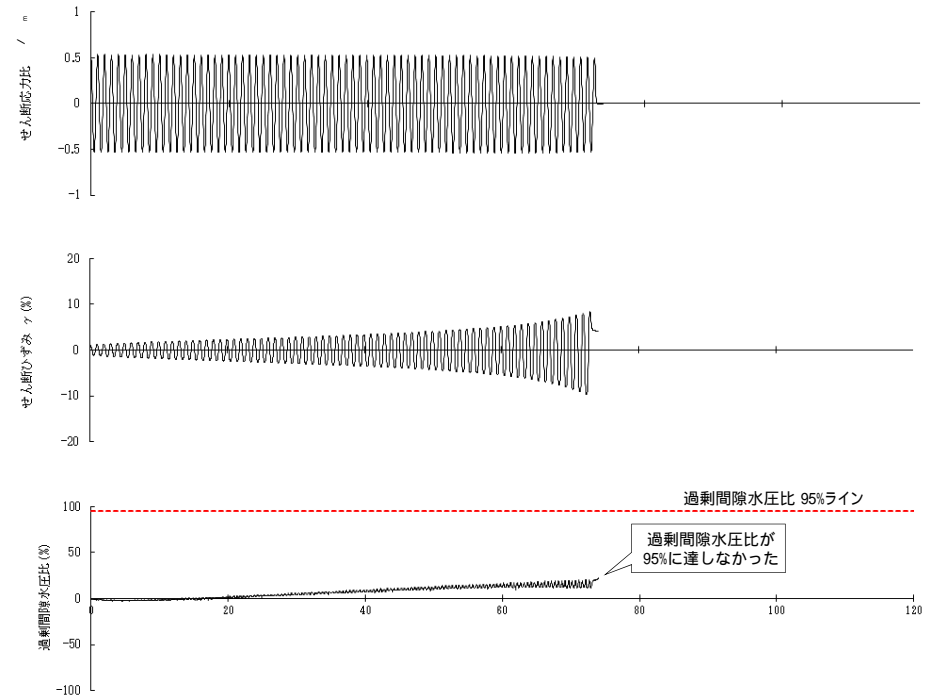
試料の写真

液状化強度試験箇所 (Ac層)

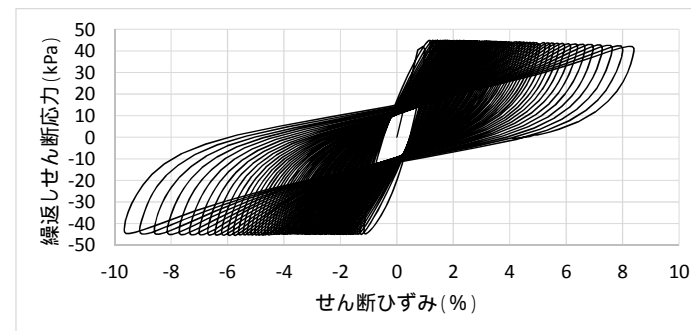
液状化強度試験実施位置図



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



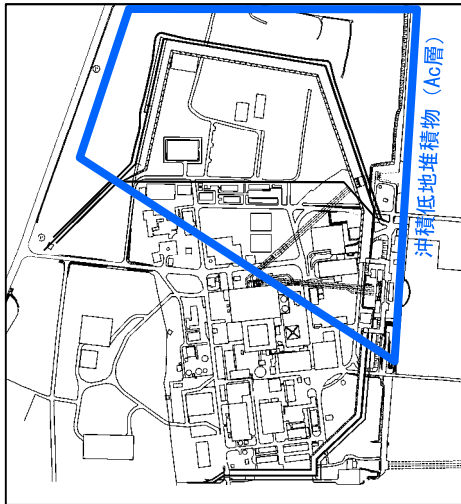
4. 液状化検討対象層の抽出

Ac層の液状化強度試験結果(8 / 11)

SC-11-8 ~ 10(3)

・深度 : 9.00m ~ 12.00m

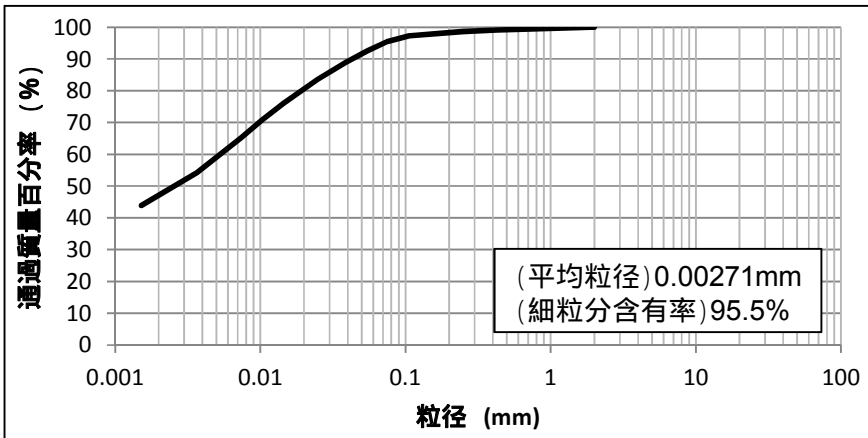
・平均有効主応力 :  $\sigma_m = 40.7\text{kN/m}^2$



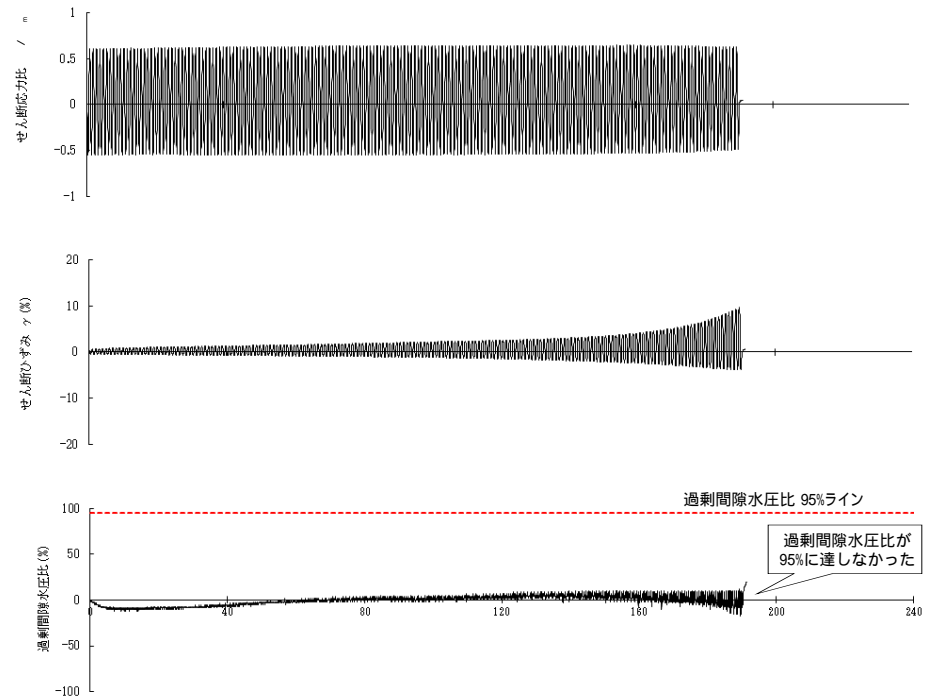
試料の写真

液状化強度試験箇所(Ac層)

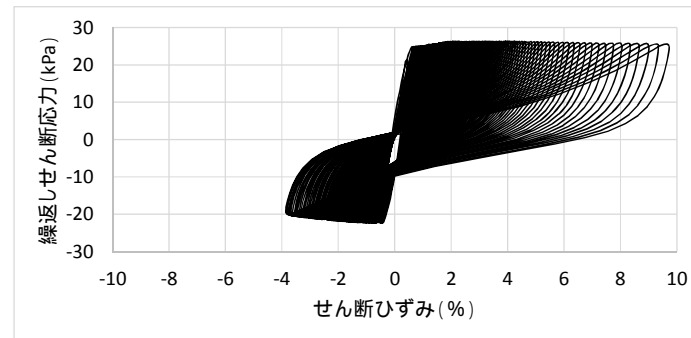
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



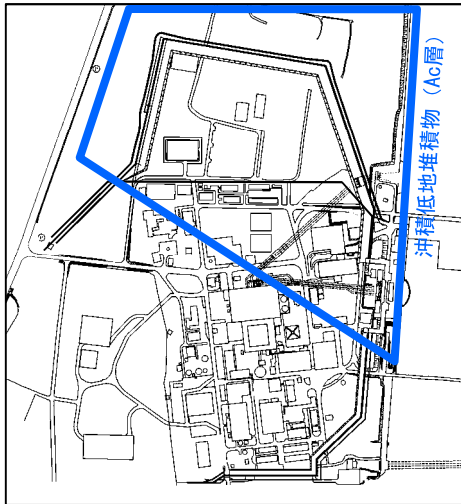
繰返しせん断応力 ~ せん断ひずみ関係

4. 液状化検討対象層の抽出

Ac層の液状化強度試験結果(9 / 11)

SC-7-23 ~ 24(2)

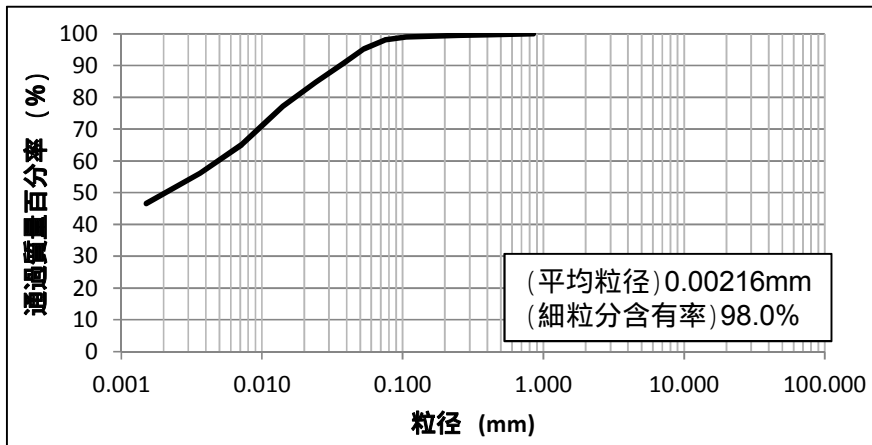
- ・深度 : 28.20m ~ 30.20m
- ・平均有効主応力 :  $\sigma_m = 81.0\text{kN/m}^2$



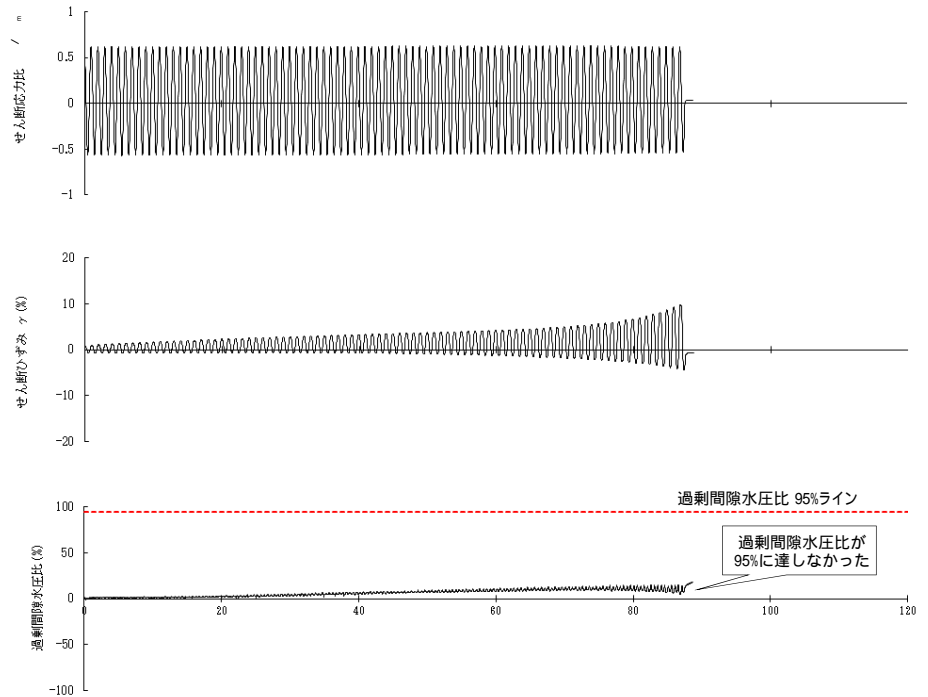
試料の写真

液状化強度試験箇所(Ac層)

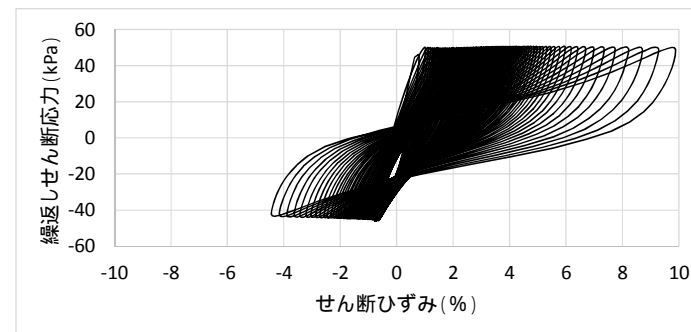
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



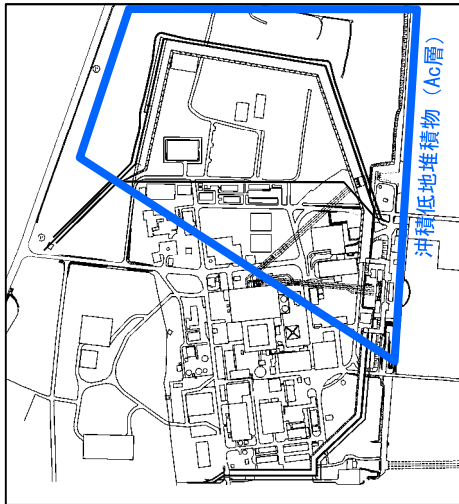
繰返しせん断応力 ~ せん断ひずみ関係

4. 液状化検討対象層の抽出

Ac層の液状化強度試験結果(10 / 11)

SC-7-23 ~ 24(3)

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

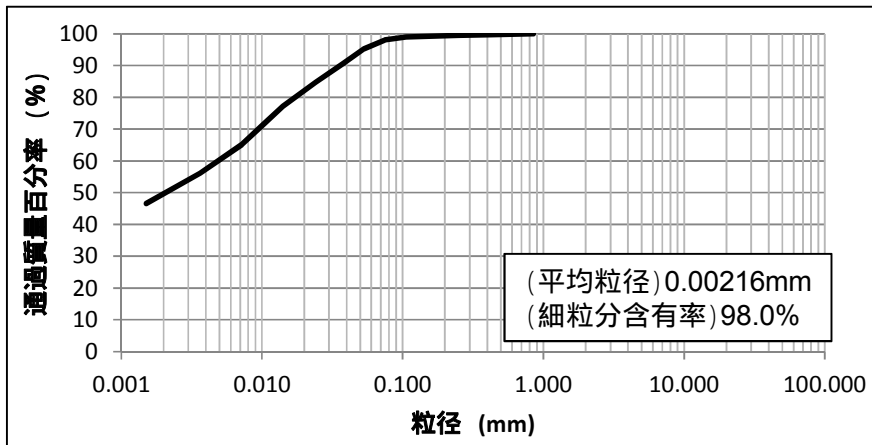


液状化強度試験箇所(Ac層)

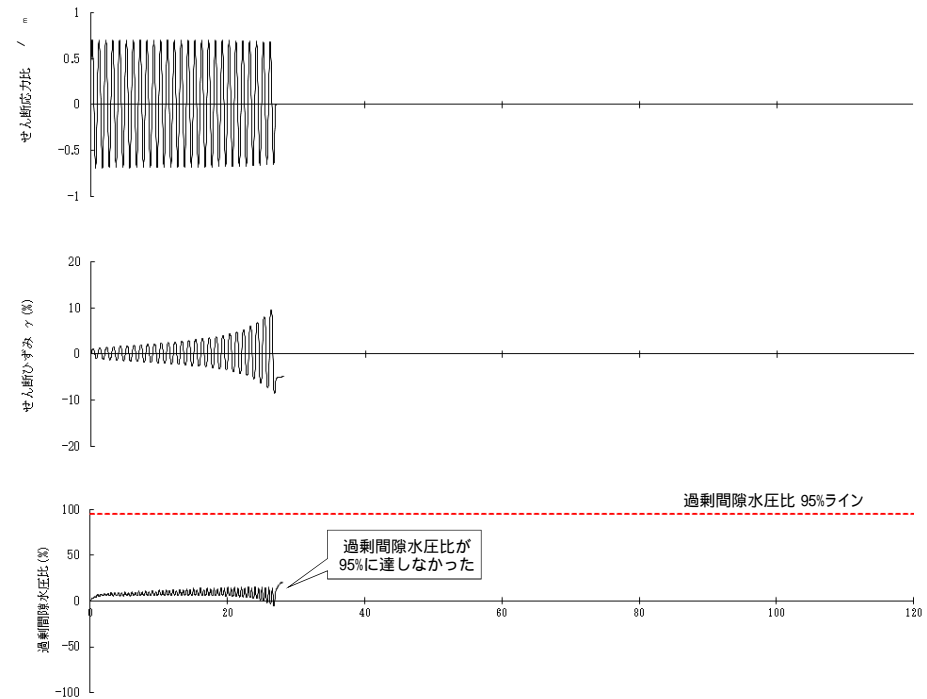
液状化強度試験実施位置図



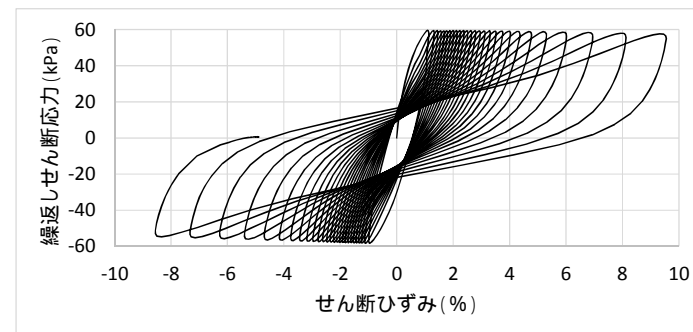
試料の写真



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値



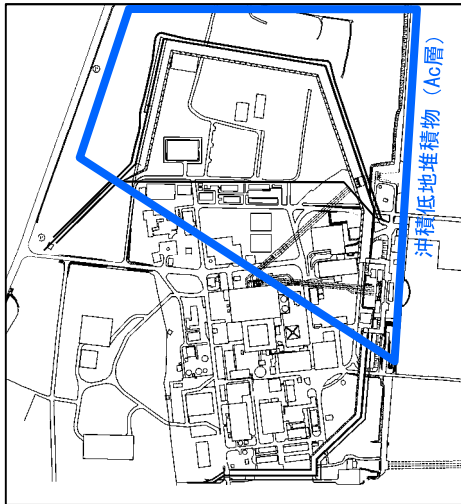
繰返しせん断応力 ~ せん断ひずみ関係

4. 液状化検討対象層の抽出

Ac層の液状化強度試験結果(11 / 11)

SC-7-23 ~ 24(4)

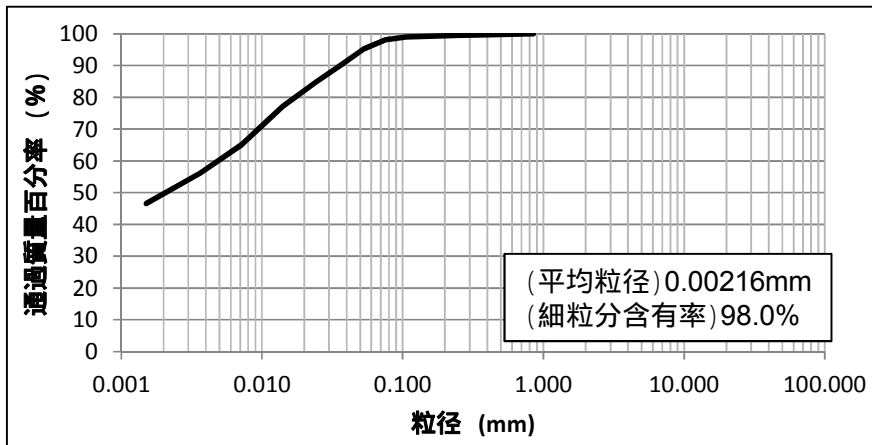
- ・深度 : 28.20m ~ 30.20m
- ・平均有効主応力 :  $\sigma_m = 84.3\text{kN/m}^2$



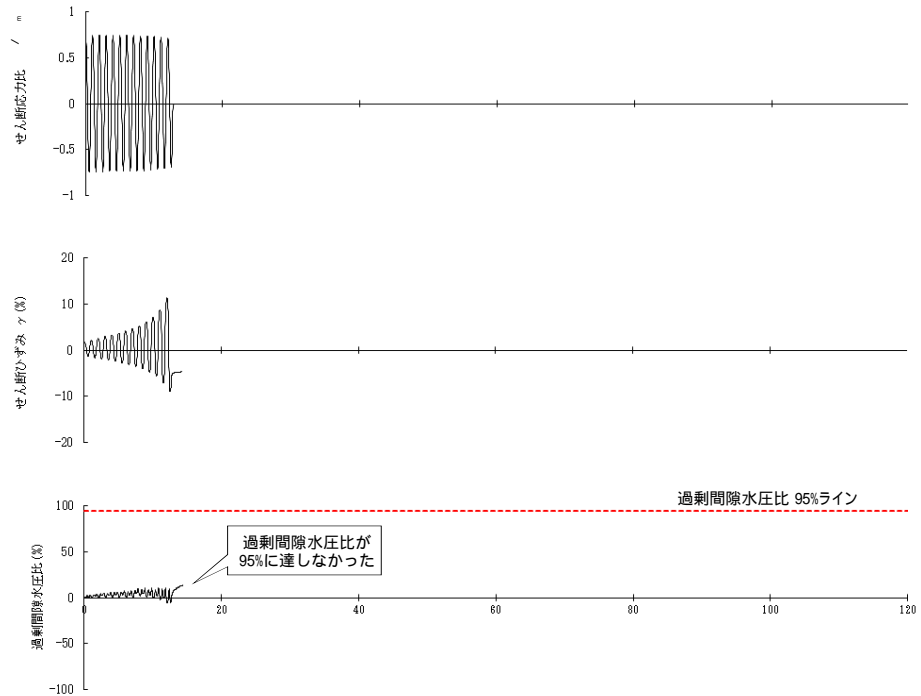
試料の写真

液状化強度試験箇所(Ac層)

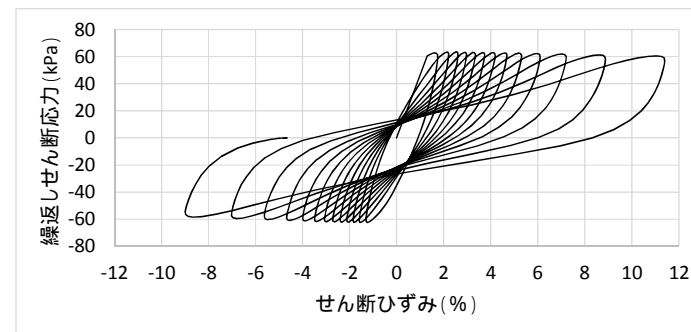
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値

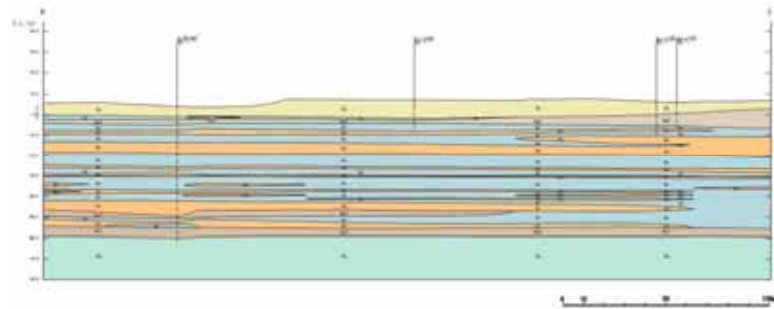


繰返しせん断応力 ~ せん断ひずみ関係

# 保守的なN値の箇所に着目した粘着力(CU条件)について(1 / 3)

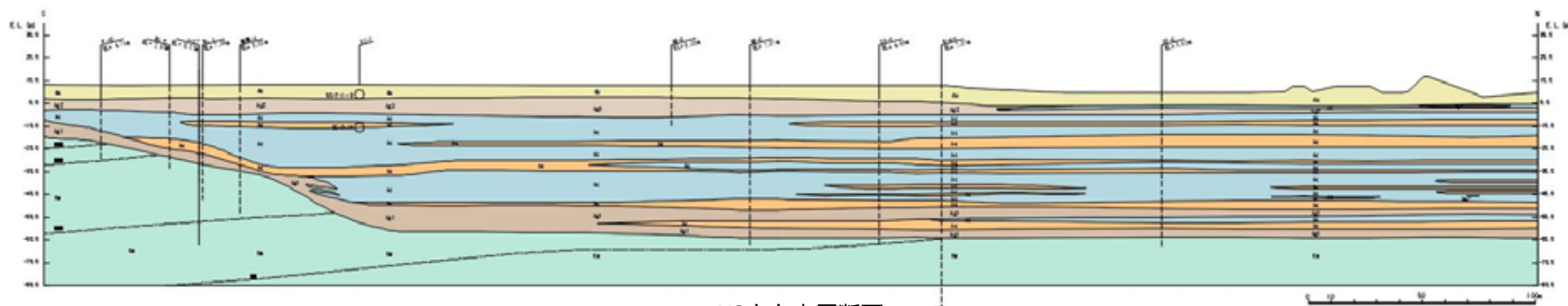
## ◆粘土層(Ac)層の分布

- 敷地のボーリング調査によれば沖積の粘土層(Ac)は、北部で層厚が厚く、ほぼ水平に分布している。
- N値 5の粘性土は、土質定数とN値との相関関係は低いことから、室内土質試験結果から求めるのが一般的である。
- (例：道路橋示方書・同解説 下部構造編(平成24), N値 5の粘性土の周面摩擦力度は三軸圧縮試験結果からの粘着力より算定)



EW方向土層断面

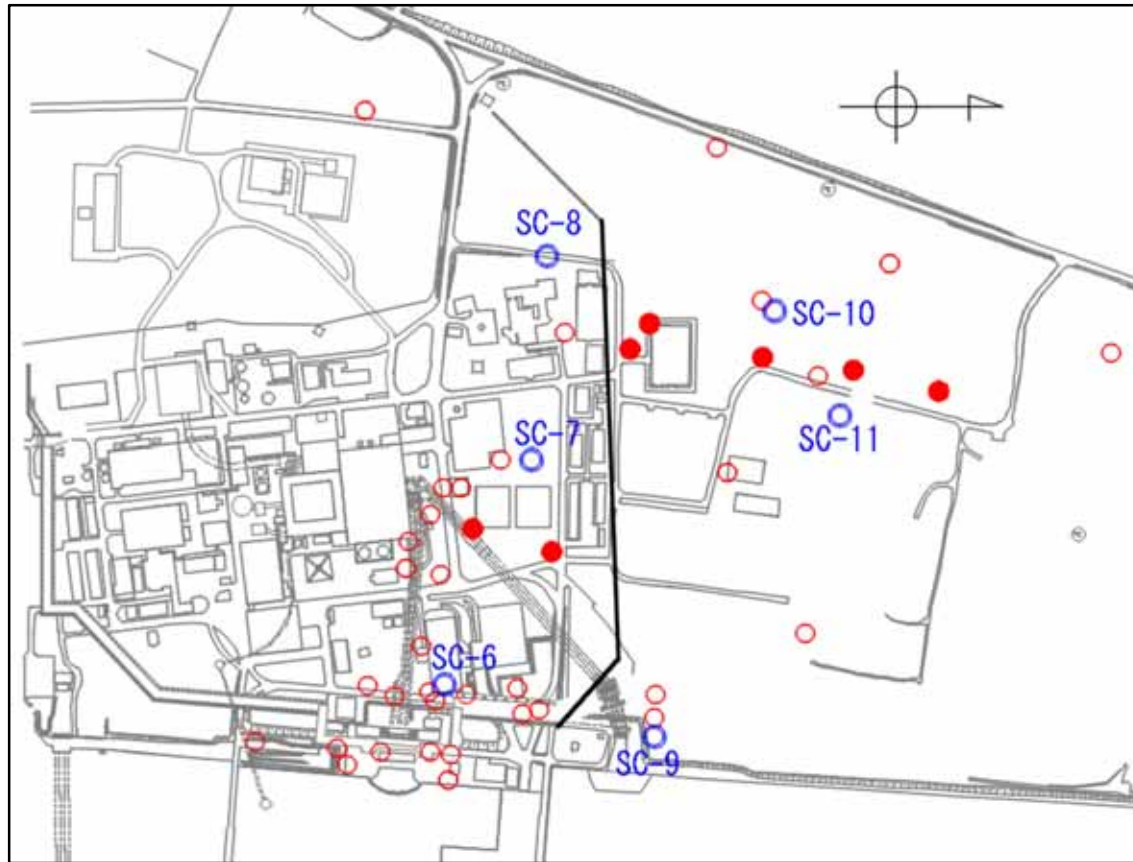
| 地質時代  | 地層区分 | 層名  | 土質 | 説明       |
|-------|------|-----|----|----------|
| 新 第三紀 | 沖積層  | 沖積地 | Ac | 軟弱な粘土質土層 |
|       |      | 沖積地 | Ac | 軟弱な粘土質土層 |
| 新 第四紀 | 沖積層  | 沖積地 | Ac | 軟弱な粘土質土層 |
|       |      | 沖積地 | Ac | 軟弱な粘土質土層 |
|       |      | 沖積地 | Ac | 軟弱な粘土質土層 |
|       |      | 沖積地 | Ac | 軟弱な粘土質土層 |
| 新 第四紀 | 沖積層  | 沖積地 | Ac | 軟弱な粘土質土層 |
|       |      | 沖積地 | Ac | 軟弱な粘土質土層 |
| 新 第四紀 | 沖積層  | 沖積地 | Ac | 軟弱な粘土質土層 |
|       |      | 沖積地 | Ac | 軟弱な粘土質土層 |



NS方向土層断面

#### 4. 液状化検討対象層の抽出

### 粘土層 (Ac) の試料採取位置の代表性と設計用粘着力の保守性について(2 / 3)

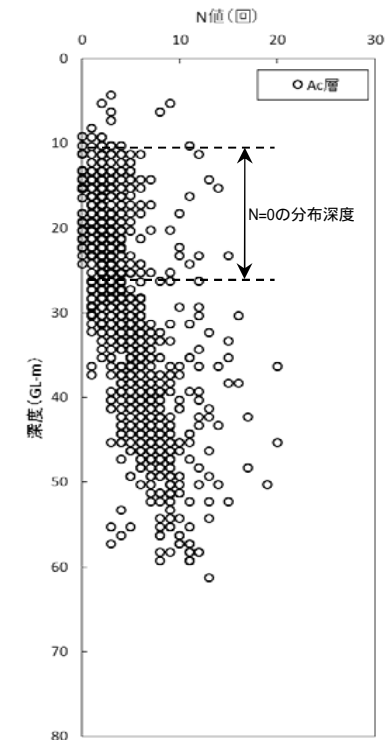


- ・サンプリング箇所は、粘土層 (Ac) の分布範囲で均等に設定している。
- ・サンプリングは粘土層 (Ac) の分布深度でのN値が低いところで行っている。
- ・サンプリング箇所のN値深度分布 (調査孔データ使用) は全データの深度分布と同様な傾向を示す。

サンプリング箇所と深度の保守性・代表性・網羅性確認

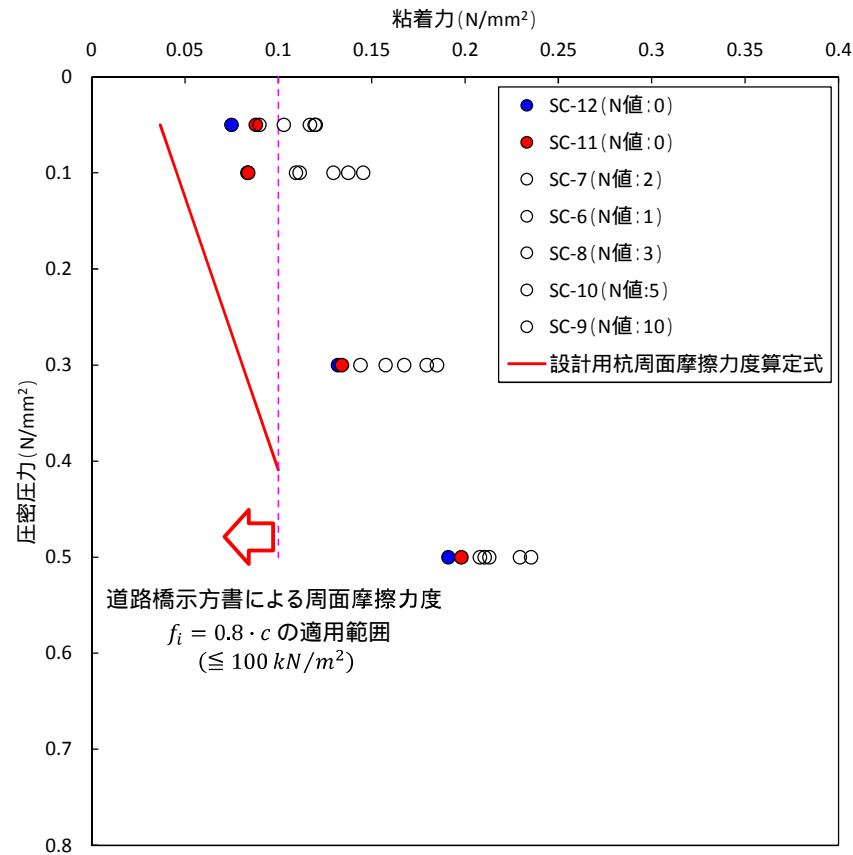
三軸圧縮試験試料サンプリング箇所

| サンプリング地点No. | 採取深度(m)       | 調査孔N値 |
|-------------|---------------|-------|
| SC-8        | 13.00 ~ 15.40 | 3     |
| SC-10       | 49.20 ~ 50.20 | 5     |
| SC-11       | 9.00 ~ 12.00  | 0     |
| SC-9        | 57.00 ~ 59.00 | 10    |
| SC-6        | 20.00 ~ 23.00 | 1     |
| SC-7        | 28.20 ~ 30.20 | 2     |
| SC-12       | 9.40 ~ 10.40  | 0     |



Ac層のN値深度分布

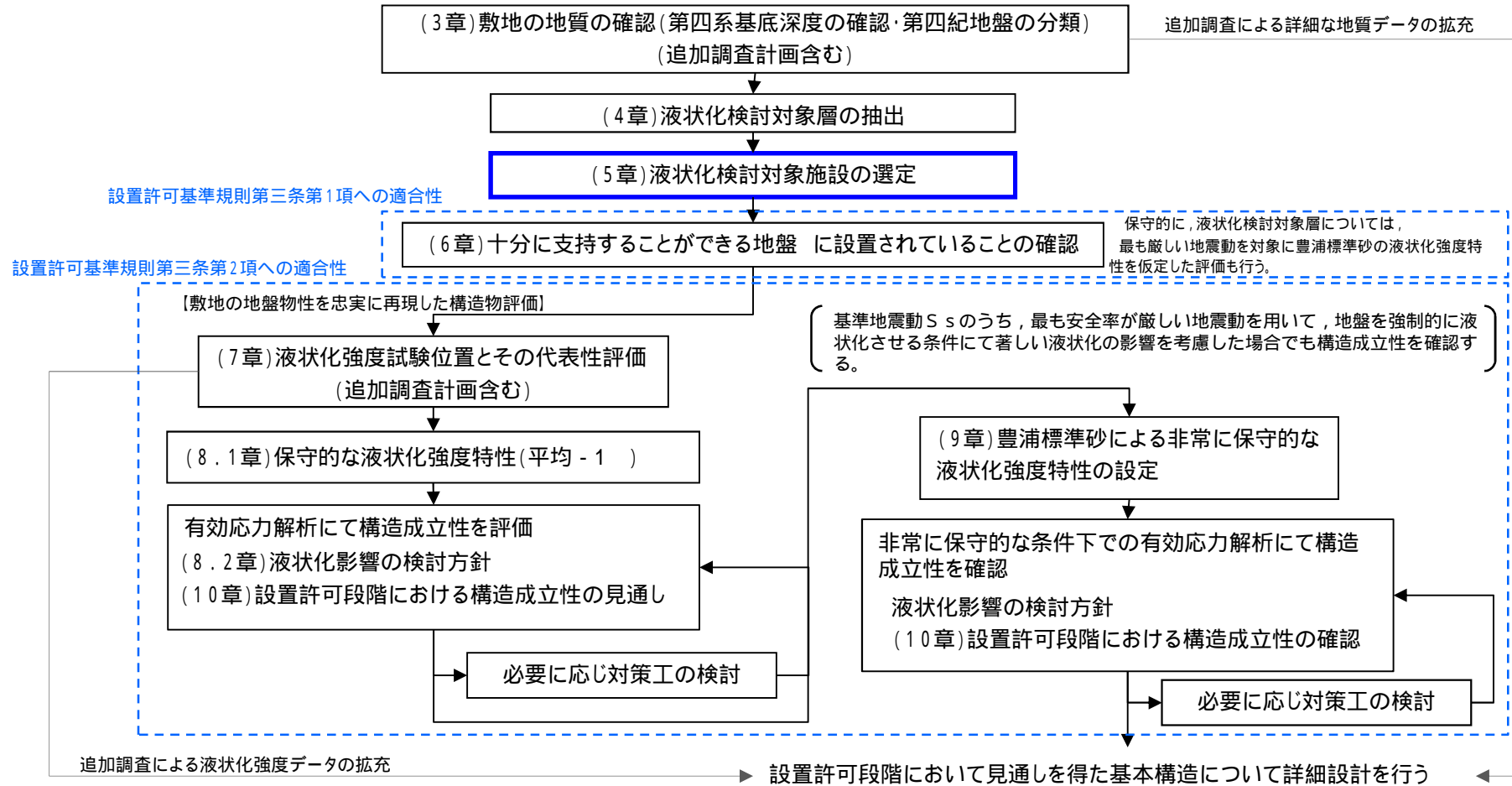
## 保守的なN値の箇所に着目した粘着力(CU条件)について(3 / 3)



圧密圧力と粘着力の関係

- サンプル箇所SC-11, SC-12は調査孔の同深度における標準貫入試験のN値が最小値となっている。
- しかしながら, 三軸圧縮試験(CU条件)結果, N値が最小値を示している位置の試料でも, 設計用杭周面摩擦力度に比べ, 十分な粘着力を有していることが確認された。

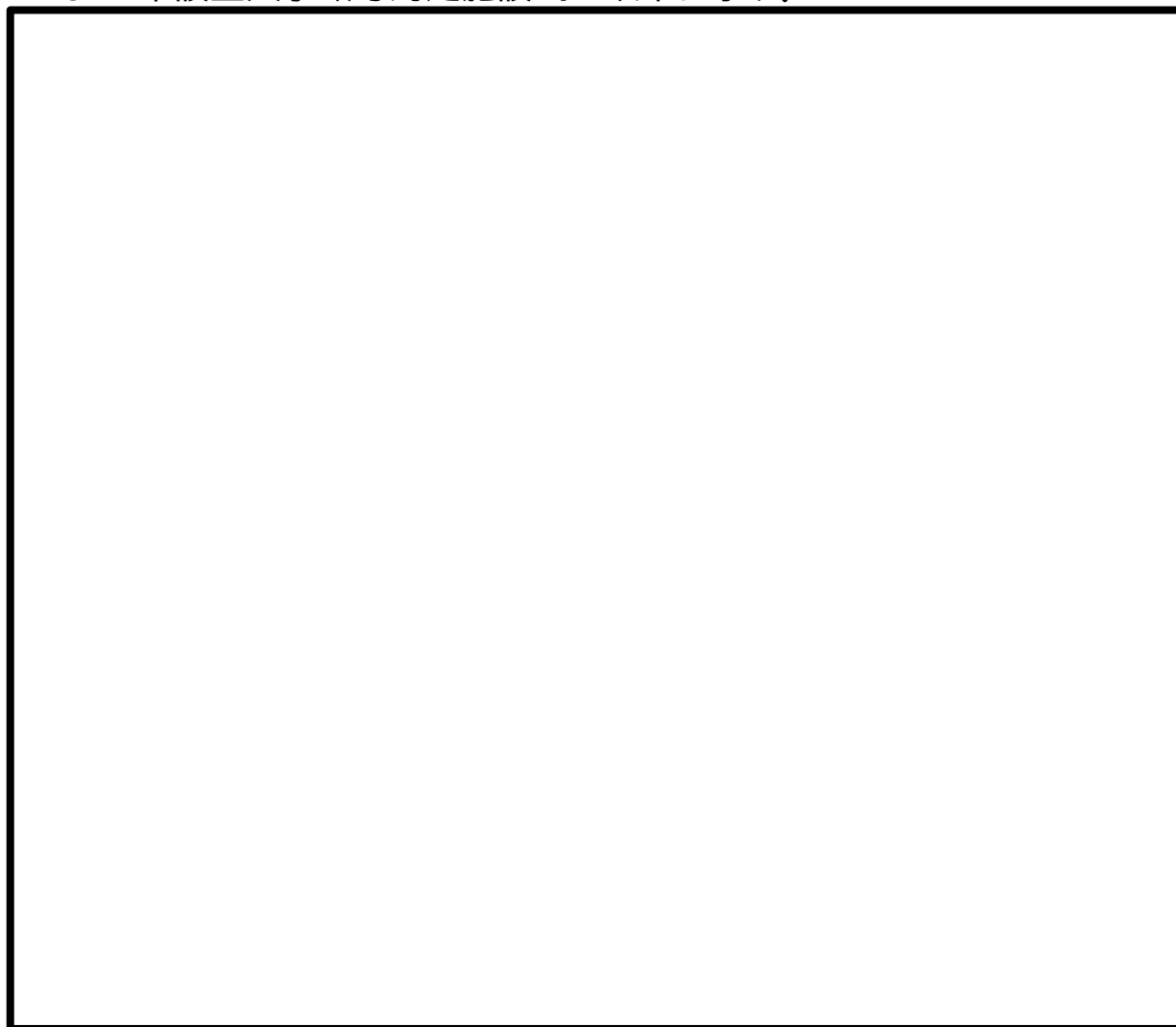
## 5. 液状化検討対象施設の選定





## 評価対象施設

設置許可基準規則3条及び4条の対象となる「耐震重要施設」及び設置許可基準規則38条及び39条の対象となる「常設重大事故等対処施設」を以下に示す。



重要施設の平面配置

[ ]は、耐震重要施設を支持する建物・構築物を示す。

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)

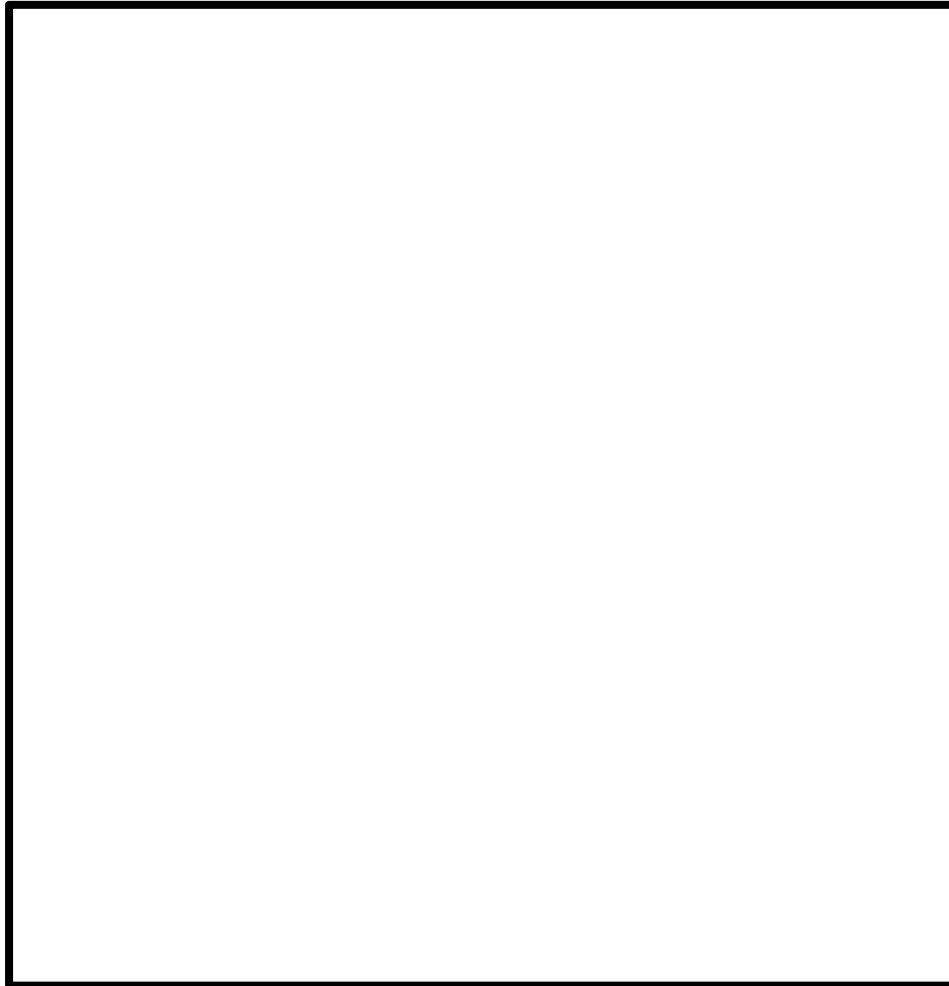
|                         |
|-------------------------|
| 耐震重要施設                  |
| 使用済燃料乾式貯蔵建屋             |
| 防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造区間) |
| 防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁構造区間)    |
| 放水路ゲート                  |
| 常設重大事故等対処施設             |
| 緊急時対策所                  |
| 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク      |
| 常設代替高圧電源装置              |
| 緊急用海水ポンプピット             |
| 緊急用海水取水管                |
| SA用海水ピット取水塔             |
| 海水引込み管                  |
| SA用海水ピット                |
| 格納容器圧力逃がし装置格納槽          |
| 常設低圧代替注水系格納槽            |
| 可搬型設備用軽油タンク             |
| 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設     |
| 原子炉建屋                   |
| 常設代替高圧電源装置電路, 燃料移送配管    |
| 軽油貯蔵タンク                 |
| 非常用海水系配管(屋外二重管)         |
| 取水構造物(取水路, 海水ポンプ室)      |
| 貯留堰                     |
| 非常用ガス処理系排気筒(排気筒)        |

# 5. 液状化検討対象施設の選定

## 液状化検討対象施設の選定

地盤の液状化の可能性を考慮した構造物への影響評価にあたっては、各構造物の基礎形式に着目し検討対象施設を選定する。

基礎地盤評価対象施設一覧



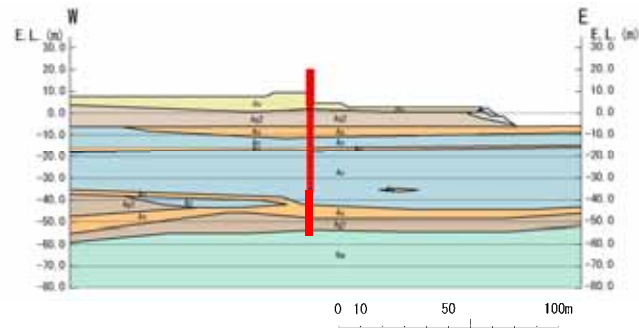
| 基礎形式                   | 施設                        |
|------------------------|---------------------------|
| 岩盤に杭構造，地中連続基礎で支持している施設 | 使用済燃料乾式貯蔵建屋               |
|                        | 緊急時対策所                    |
|                        | 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク        |
|                        | 可搬型重大事故等対処施設用軽油タンクピット(西側) |
|                        | 可搬式重大事故等対処施設用軽油タンクピット(南側) |
|                        | 非常用ガス処理系排気筒(排気筒)          |
|                        | 防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造区間)   |
|                        | 防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁構造区間)      |
|                        | 取水構造物(取水路，海水ポンプ室)         |
|                        | 貯留堰                       |
| 岩盤に直接支持している施設          | 常設代替高压電源装置                |
|                        | 緊急用海水ポンプピット               |
|                        | 緊急用海水取水管                  |
|                        | SA用海水ピット取水塔               |
|                        | 海水引込み管                    |
|                        | SA用海水ピット                  |
|                        | 格納容器圧力逃がし装置格納槽            |
|                        | 常設低圧代替注水系格納槽              |
|                        | 原子炉建屋                     |
|                        | 常設代替高压電源装置電路，燃料移送配管       |
| 軽油貯蔵タンク                |                           |
| 放水路ゲート                 |                           |
| 第四紀層に直接支持している施設        | 非常用海水系配管(屋外二重管)           |

5. 液状化検討対象施設の選定

液状化検討対象施設の選定 岩盤に杭構造，地中連続基礎で支持している施設

岩盤に杭構造及び地中連続基礎で支持している施設からは，岩盤の深い範囲に位置し第四紀層が厚いことを考慮し，防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造区間）を選定する。

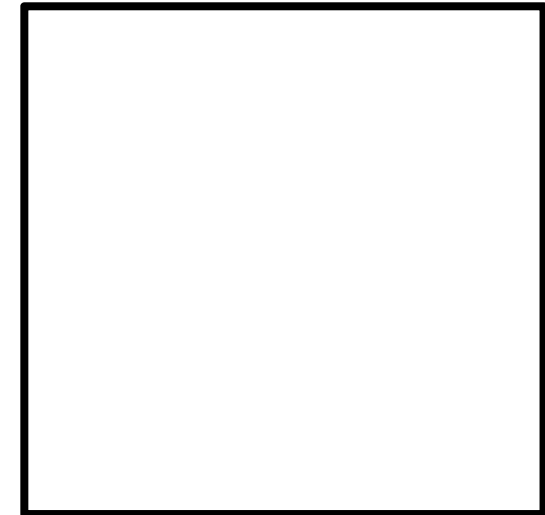
・防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造区間）（EW断面）



地質構成表

| 地質時代   | 地質区分         | 記号    | 層相   | 備考                          |
|--------|--------------|-------|------|-----------------------------|
| 第四紀    | 沖積低地<br>堆積層  | mi    | 砂    | 扇状地域に広く分布する。                |
|        |              | Ag2   | 砂礫   | 扇状地域に広く分布する。                |
|        |              | Ac    | 粘土   |                             |
|        |              | Ac    | 砂    | 久慈川が侵襲した段丘の砂を埋めて分布する。       |
| 第四紀    | 低位段丘1<br>堆積層 | Ag1   | 砂礫   |                             |
|        |              | D2g-3 | シルト  |                             |
|        |              | D2y-3 | 砂    |                             |
|        |              | D2g-3 | 砂礫   | 扇状地域に埋没段丘として分布する。           |
|        |              | D2s-3 | シルト  |                             |
| 第四紀    | 中位段丘<br>堆積層  | D2g-2 | 砂礫   |                             |
|        |              | ie    | ローム  | 扇状地の侵襲域に分布し、いわゆる扇状地土質を構成する。 |
|        |              | D2s-1 | シルト  |                             |
| 第三紀新鮮世 | 久米層          | Km    | 砂質泥岩 | 扇状地の基盤岩である。                 |

~~~~~ 不整合



5. 液状化検討対象施設の選定

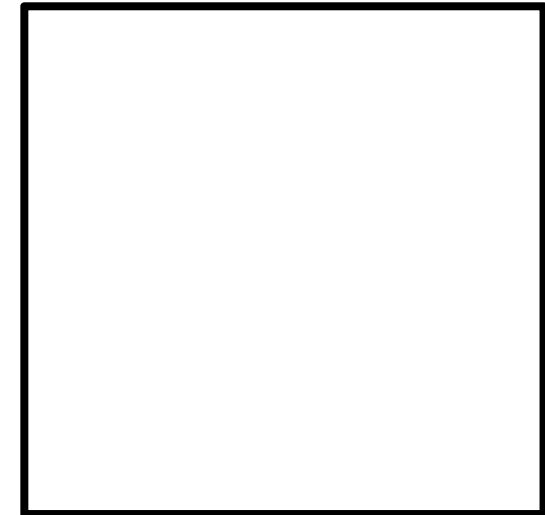
検討対象施設の選定 岩盤に直接支持している施設及び 第四紀層に直接支持している施設

岩盤に直接支持している施設及び 第四紀層に直接支持している施設からは、岩盤の深い範囲に位置し第四紀層が厚いことを考慮し、屋外二重管を選定する。

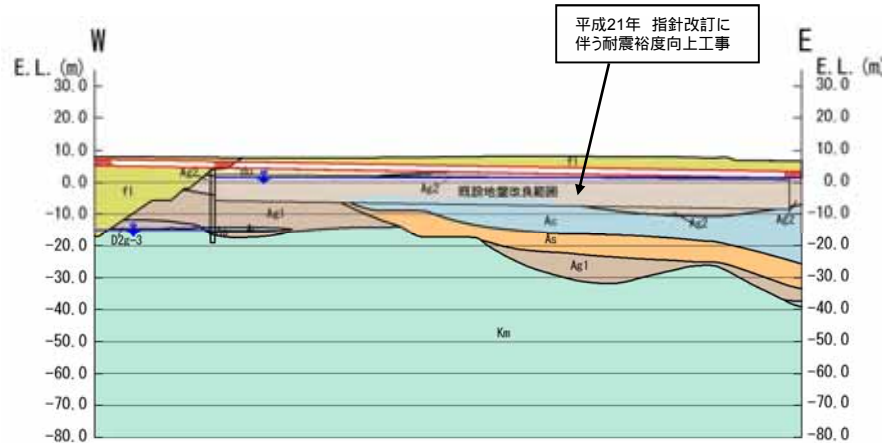
地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 層相 | 備考 |
|-------------|--------------|-------|------------------------------------|---------------------------|
| 新
鮮
世 | 沖積低地
堆積層 | As | 砂 | 質地全体に広く分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 質地全体に広く分布する。 |
| | 久慈川
堆積層 | Ac | 粘土 | |
| | | As | 砂 | 久慈川が運搬した河砂の
砂を極めて分布する。 |
| | | Ag1 | 砂礫 | |
| 第
四
紀 | 低地段丘1
堆積層 | D2e-3 | シルト | |
| | | D2e-2 | 砂 | |
| | 段丘堆積層2 | D2g-2 | 砂礫 | 質地異様に塊状構造
として分布する。 |
| | | D2g-3 | シルト | |
| | | D2g-2 | 砂礫 | |
| 中位段丘
堆積層 | Is | ローム | 質地の塊状性に分布し、
いわゆる崩壊性土質を
構成する。 | |
| | D1g-1 | シルト | | |
| | D1g-1 | 砂礫 | | |
| 第三紀新世 | 久米層 | Km | 砂質泥岩 | 質地の塊状性である。 |

~~~~~ 不整合

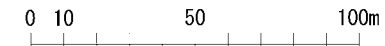
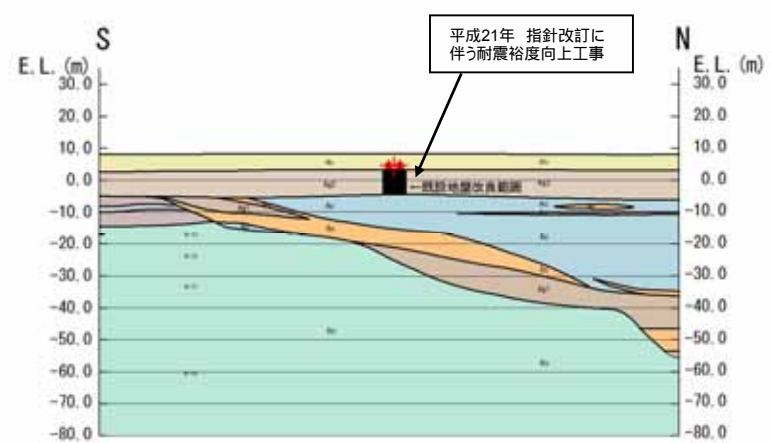


・屋外二重管 (縦断面)



flは、埋戻土である。

・屋外二重管 (横断面)



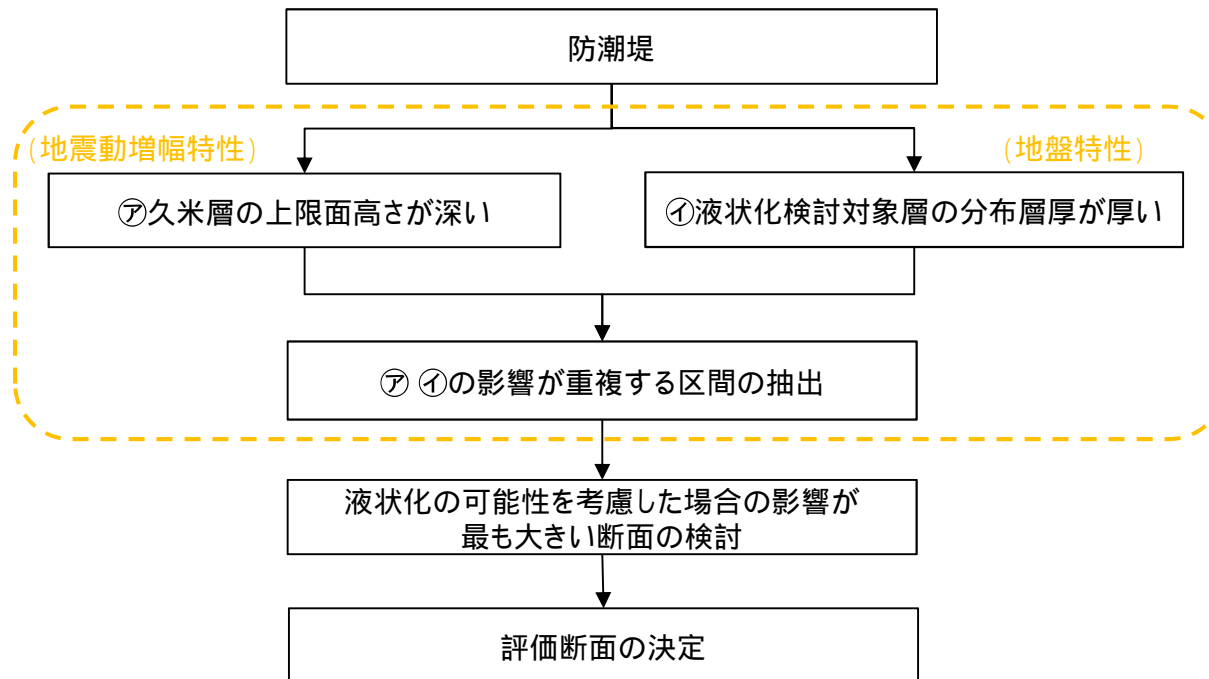
## 液状化影響検討の評価断面の選定 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁 (1 / 4)

防潮堤に対して、液状化の可能性を考慮した場合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。以下に防潮堤における評価断面の選定フローを示す。

津波に正対する範囲及び津波に正対しない範囲において選定の検討を行う。

構造物評価への液状化の影響として、第四紀層の地震動増幅特性や地盤の特徴の観点から②久米層の上限面の高さが深い区間で、かつ、①液状化検討対象層の分布層厚が厚い区間を抽出する。

② ①の観点から抽出した区間において、第四紀層の層厚に対する液状化検討対象層の分布層厚合計の比率（以下、液状化検討対象層比率と呼ぶ）が最も高い断面を、液状化の可能性を考慮した場合の影響が最も大きい断面と考え、評価断面として決定する。



## 5. 液状化検討対象施設の選定

# 液状化影響検討の評価断面の選定 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁(2/4)



— 津波に正対する防潮堤  
— 津波に正対しない防潮堤

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。          |
|             |             | Ag2   | 砂礫   | 敷地全体に広く分布する。          |
|             | 沖積層         | Ac    | 粘土   | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |
|             |             | As    | 砂    |                       |
|             |             | Ag1   | 砂礫   |                       |
| 第 四 世       | D2          | D2c-3 | シルト  | 敷地西部に分布する。            |
|             |             | D2s-3 | 砂    |                       |
|             |             | D2g-3 | 砂礫   |                       |
|             | 新 段 丘 堆 積 物 | D2c-2 | シルト  |                       |
|             |             | D2g-2 | 砂礫   |                       |
|             |             | Im    | ローム  |                       |
|             |             | D1c-1 | シルト  |                       |
| 第 三 紀 新 鮮 世 | 久米層         | D1g-1 | 砂礫   | 敷地西部に分布する。            |
|             |             | Km    | 砂質正岩 | 敷地の基盤岩である。            |

~~~~~ 不整合

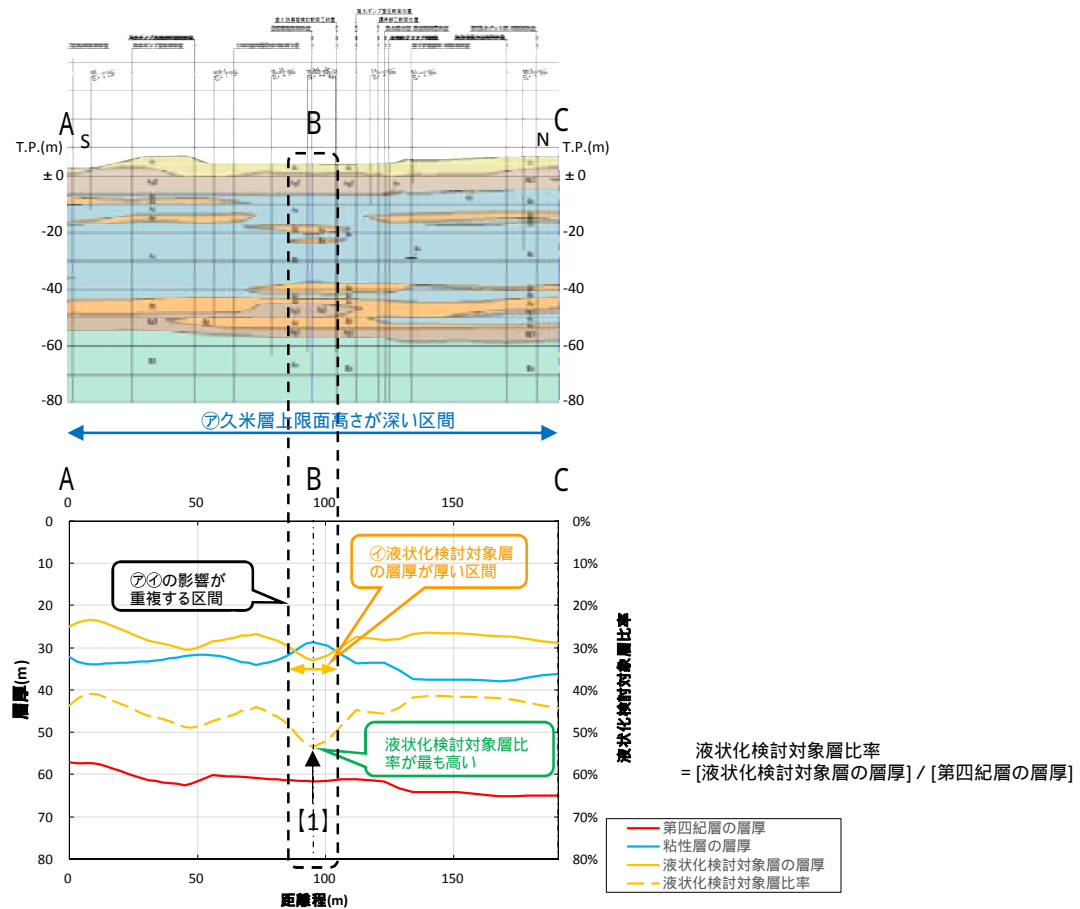
□ : 液状化検討対象層

【津波に正対する範囲 (A - B - C断面)】

⑦の観点から、久米層の上限面高さが深い区間は、A点からC点までの区間であり、標高はT.P.約-57m~T.P.約-58mである。

⑦の観点から、液状化検討対象層の分布層厚の合計が厚い区間は、B点付近であり、合計層厚は約33mである。

⑦⑧の影響が重複する区間のうち、液状化検討対象層比率が最も高い断面は地点[1]である。



5. 液状化検討対象施設の選定

液状化影響検討の評価断面の選定 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁(3/4)



— 津波に正対する防潮堤
— 津波に正対しない防潮堤

地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 |
|----------|-------|-------|------|-----------------------|
| 完新世 | 沖積層 | du | 砂 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | | Ac | 粘土 | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |
| 第四紀 | 段丘堆積物 | As | 砂 | |
| | | Ag1 | 砂礫 | |
| | | D2e-3 | シルト | |
| | | D2s-3 | 砂 | 敷地西部に分布する。 |
| | | D2g-3 | 砂礫 | |
| | | D2e-2 | シルト | |
| 紀世 | 久米層 | D2e-2 | 砂礫 | |
| | | Im | ローム | |
| | | D1e-1 | シルト | 敷地西部に分布する。 |
| | | D1g-1 | 砂礫 | |
| 新第三紀 蘇北世 | | Km | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。 |

~~~~~ 不整合

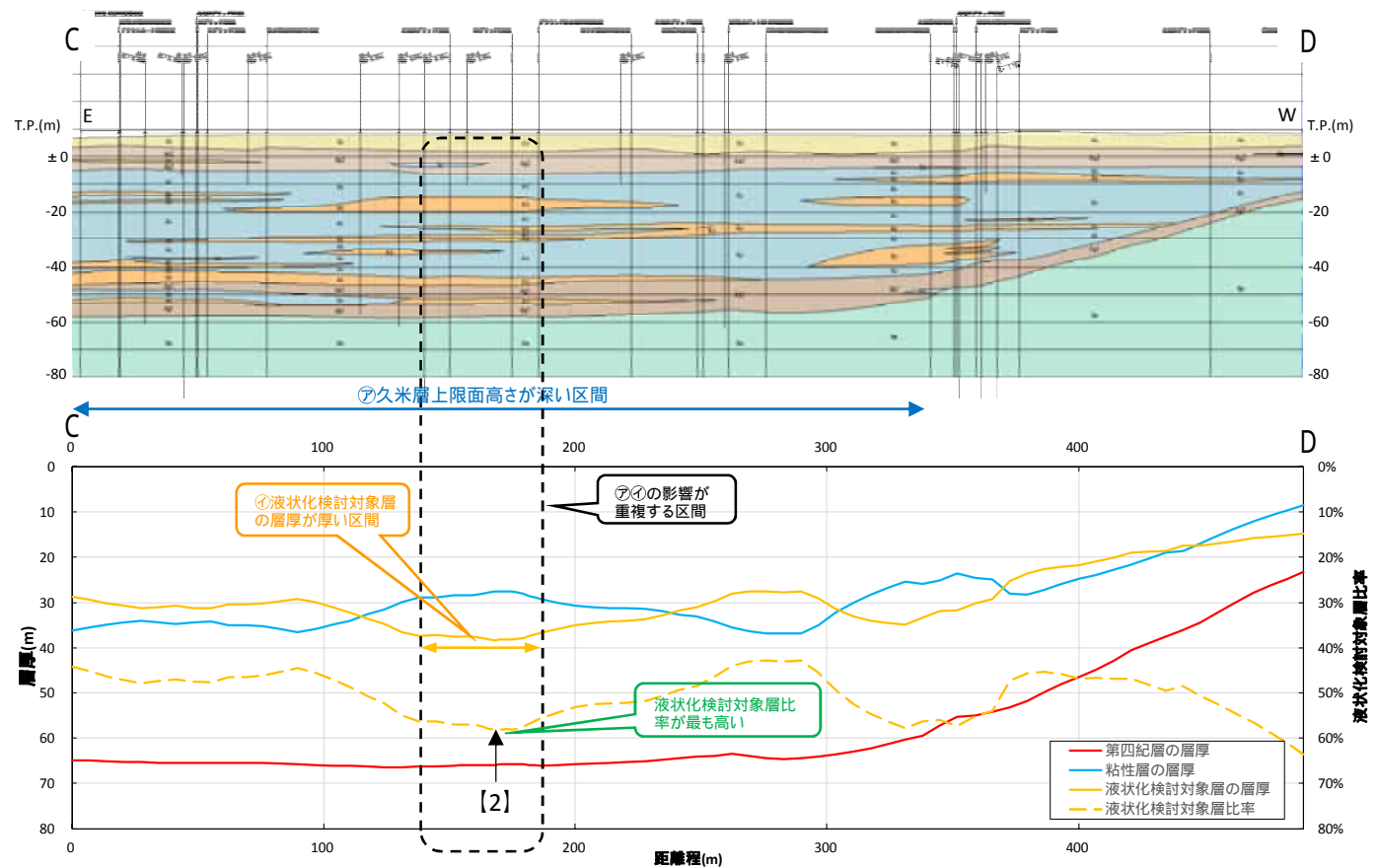
: 液状化検討対象層

【津波に正対しない範囲 (C - D断面)】

⑦の観点から、久米層の上限面高さが深い区間は、C点から西に約340mまでの区間であり、標高はT.P.約-50m ~ T.P.約-58mである。

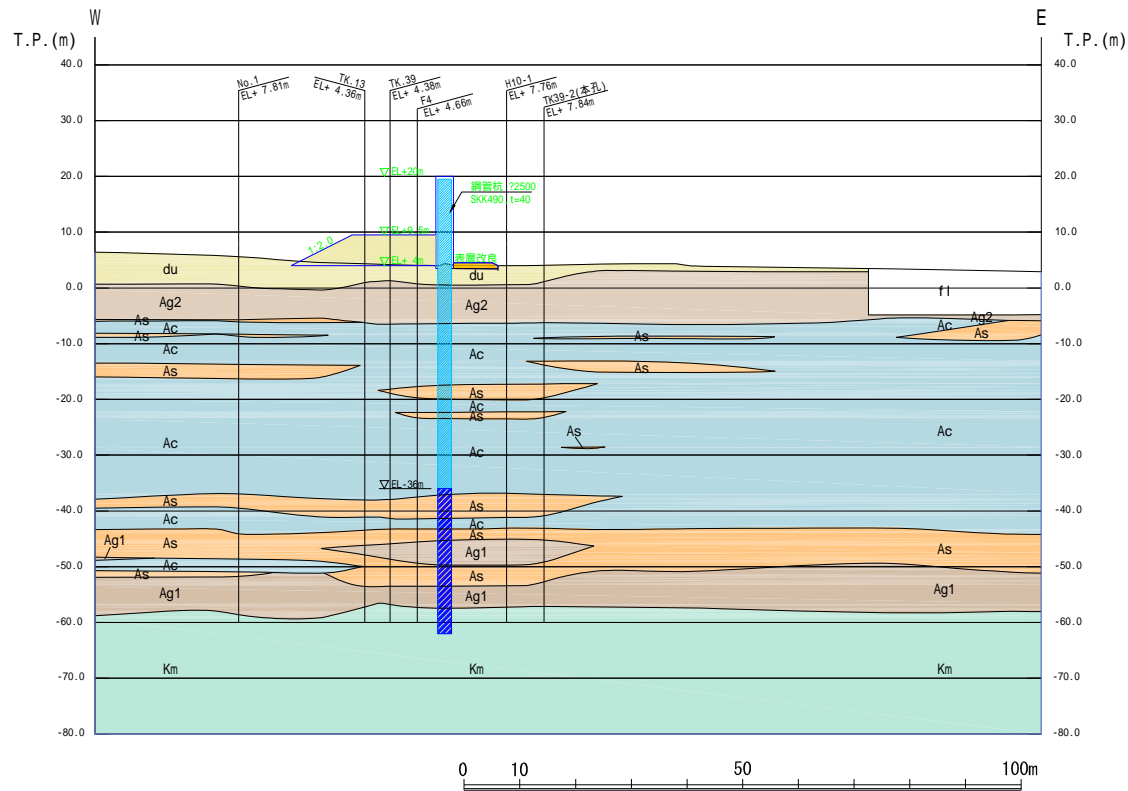
①の観点から、液状化検討対象層の分布層厚の合計が厚い区間は、C点から西に約170m付近であり、合計層厚は約38mである。

⑦①の影響が重複する区間のうち、液状化検討対象層比率が最も高い断面は地点[2]である。



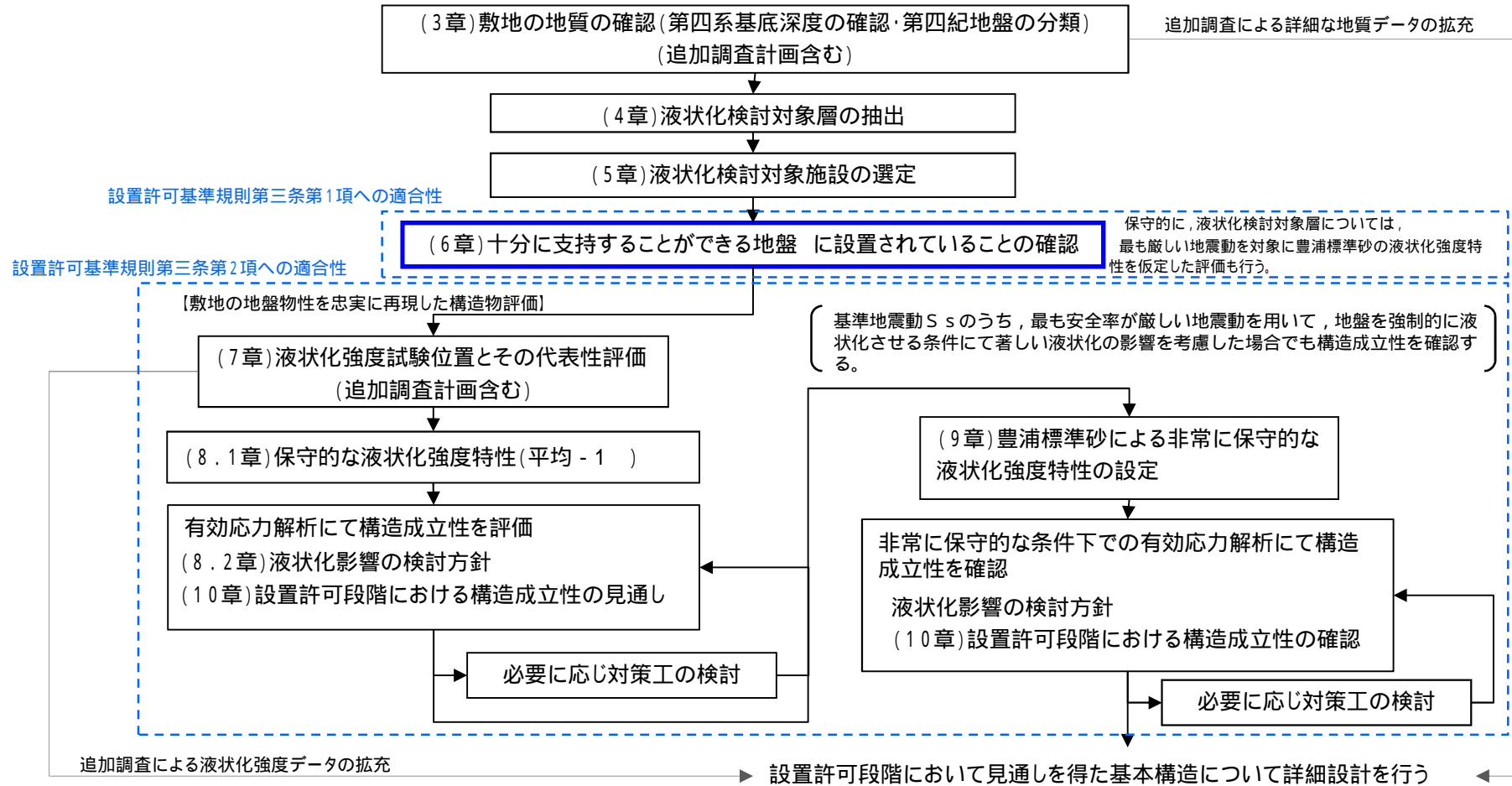
評価断面

地点【1】の液状化検討対象層比率は地点【2】のものと同程度であり、津波に正対していることから、地点【1】を評価断面とする。



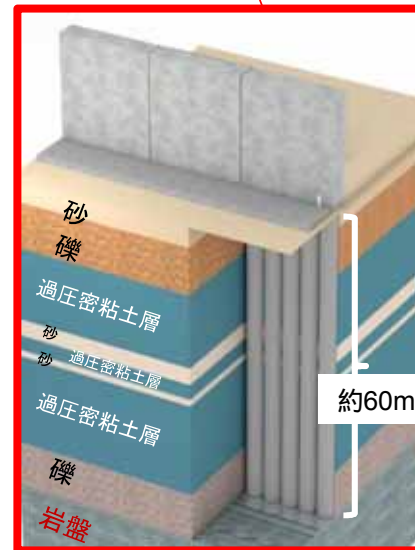
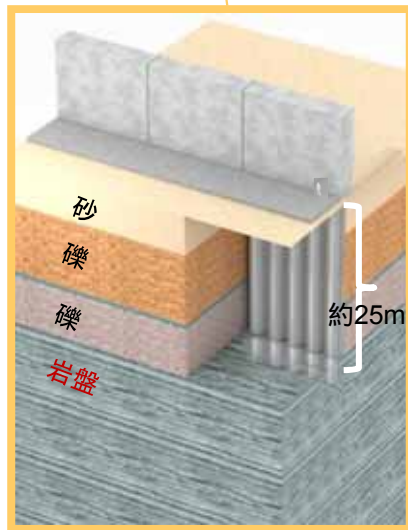
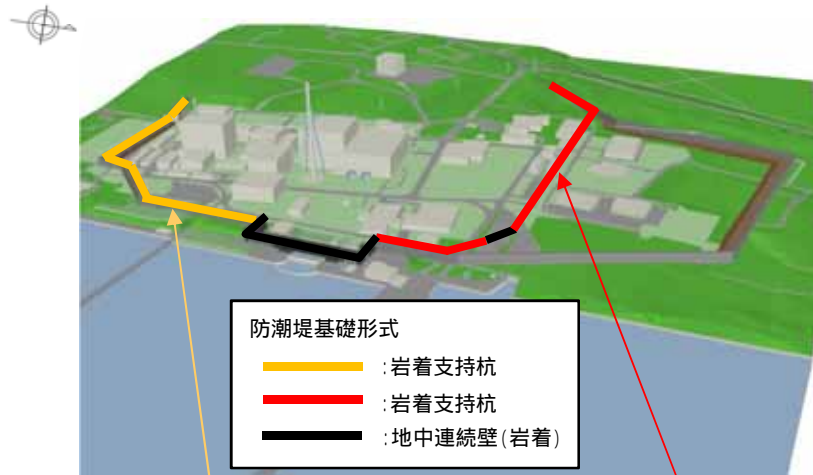


## 6. 設置許可基準規則第三条第1項への適合性について

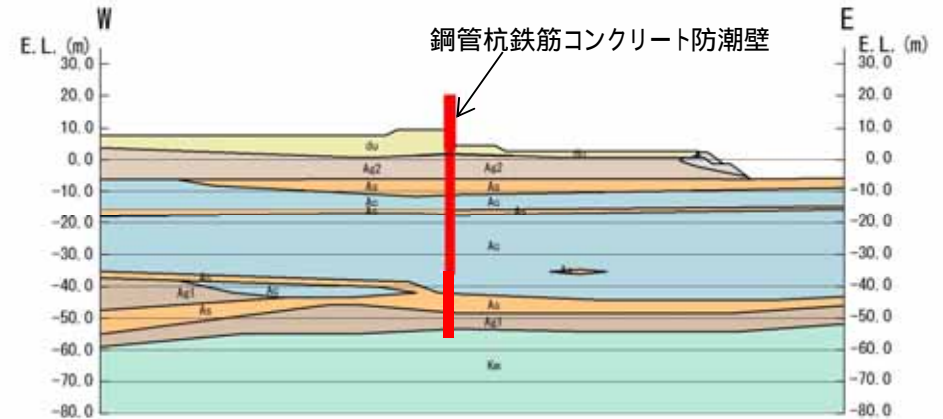


## 6. 設置許可基準規則第三条第1項への適合性について 防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)

防潮堤のうち、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、鉄筋コンクリート製の上部工を上部工の天端から連続する鋼製杭で、十分な支持性能を有する岩盤(久米層)に支持する設計とする。



概要図



断面図

地質構成表

| 地質時代        | 地質区分         | 記号    | 岩相   | 備考                                 |
|-------------|--------------|-------|------|------------------------------------|
| 新<br>世      | 沖積低地<br>堆積層  | du    | 砂    | 敷地全域に広く分布する。                       |
|             |              | Ag2   | 砂礫   |                                    |
|             |              | Au    | 粘土   |                                    |
| 四<br>新<br>世 | 低位段丘I<br>堆積層 | Au    | 砂    | 久慈川が侵食した凹状の<br>目を埋めて分布する。          |
|             |              | Ag1   | 砂礫   |                                    |
|             |              | D2e-3 | シルト  |                                    |
|             |              | D2e-2 | 砂    |                                    |
| 紀<br>世      | 中位段丘<br>堆積層  | D2e-3 | 砂礫   | 敷地南側に堆積段丘<br>として分布する。              |
|             |              | D2e-2 | シルト  |                                    |
|             |              | D2e-1 | シルト  |                                    |
| 第三紀鮮新世      | 久米層          | lm    | ローム  | 敷地の東西側に分布し、<br>いびつな傾斜段丘面を<br>構成する。 |
|             |              | D1e-1 | シルト  |                                    |
| 第三紀鮮新世      | 久米層          | D1e-1 | 砂礫   | 敷地の東縁部である。                         |
| 第三紀鮮新世      | 久米層          | Ka    | 砂質泥岩 |                                    |

~~~~~ 不整合

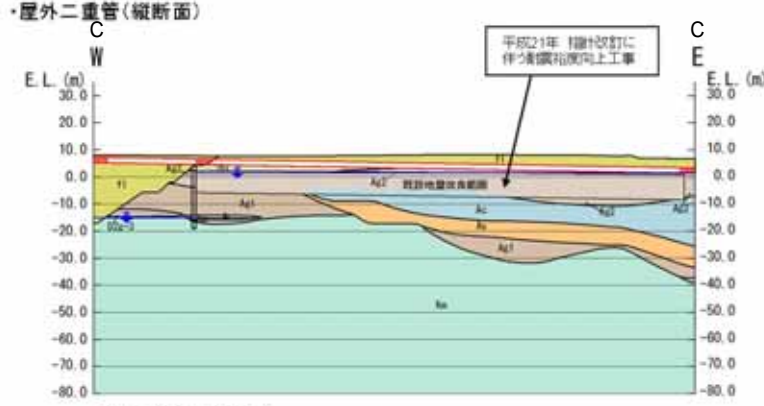
6. 設置許可基準規則第三条第1項への適合性について
屋外二重管

残留熱除去海水系(RHRS)配管及びディーゼル発電機海水系(DGSW)配管をポンプ室から原子炉建屋まで配置するため、屋外海水配管二重管(以下「屋外二重管」という)を設置している。

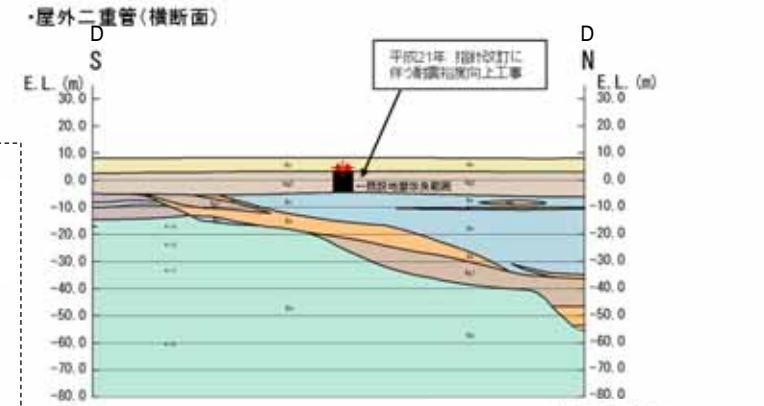
屋外二重管については、第四系地盤に直接支持している施設であり、施設直下には液状化検討対象層であるAs層、Ag1層が分布している。なお、指針改訂に伴う耐震裕度向上工事として、平成21年に地盤改良を実施している。

液状化影響評価では、液状化検討対象層を保守的に豊浦標準砂の液状化強度特性を仮定した評価を行うこと、設置許可基準規則第三条第1項への適合性の観点から、これらの施設については対策工を行い、**杭等を介して岩盤(久米層)へ支持する構造へ変更する。**

詳細な対策工については現在検討中であり、検討後に再度ご説明する。



※Hは、埋戻土である。



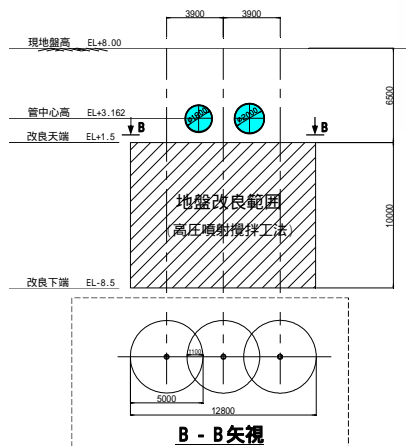
(断面位置図)

地質構成表

| 地層種別 | 地層区分 | 記号 | 名称 | 備考 |
|------|--------|------|-----|-----------|
| 第Ⅲ群 | 沖積堆積層 | As | 砂 | 液状化傾向に注意。 |
| | | Ag1 | 砂 | 液状化傾向に注意。 |
| | | Ag | 砂 | 液状化傾向に注意。 |
| | | Ar | 砂 | 液状化傾向に注意。 |
| | | At | 砂 | 液状化傾向に注意。 |
| 第Ⅳ群 | 硬質沖積層 | Si | シルト | 液状化しない。 |
| | | Si+1 | シルト | 液状化しない。 |
| | | Si+2 | シルト | 液状化しない。 |
| | | Si+3 | シルト | 液状化しない。 |
| 第Ⅴ群 | 中硬質沖積層 | Sr | シルト | 液状化傾向に注意。 |
| | | Sr+1 | シルト | 液状化傾向に注意。 |
| | | Sr+2 | シルト | 液状化傾向に注意。 |
| 第Ⅵ群 | 硬質沖積層 | St | シルト | 液状化しない。 |
| | | St+1 | シルト | 液状化しない。 |
| 第Ⅶ群 | 基岩 | Gr | 砂岩 | 液状化しない。 |
| | | Gr+1 | 砂岩 | 液状化しない。 |

地盤改良範囲説明図

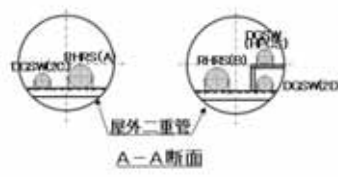
地震時に液状化を起す可能性のある地層を対象として、高压喷射攪拌工法により地盤改良を実施した。
 ・改良体数: 120本(約18,800m³)
 ・改良体径: 4.5m~5.0m



改良範囲説明図



屋外二重管配置図



| 項目 | 詳元 |
|--------|-----------|
| 材質 | SM41B |
| 内径(mm) | 2000/1800 |
| 肉厚(mm) | 20 |

平面図・配置図



基礎地盤の支持力の確認方針

基礎の支持力(道路橋示方書・同解説 平成24年3月)

- ・ 支持力公式に基づき、基礎の支持力の評価基準値を設定する。
- ・ 動的解析に基づいて求められた基礎の接地圧が評価基準値を超えていないことを確認する。

$$R_a = \frac{\gamma}{n} (R_u - W_s) + W_s - W$$

R_a : 杭頭における杭の軸方向許容押し込み支持力(kN)

n : 安全率(=1.2, キャスク指針に従いSs地震動を適用)

γ : 極限支持力算定法の相違による安全率の補正係数(=1.0, 支持力推定式を適用)

R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力(kN)

W_s : 杭で置き換えられる部分の土の有効重量(kN)

W : 杭及び杭内部の土の有効重量。

$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$$

R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力(kN)

A : 断面積(m²)

q_d : 杭先端における単位面積当たりの極限支持力度(kN/m²)

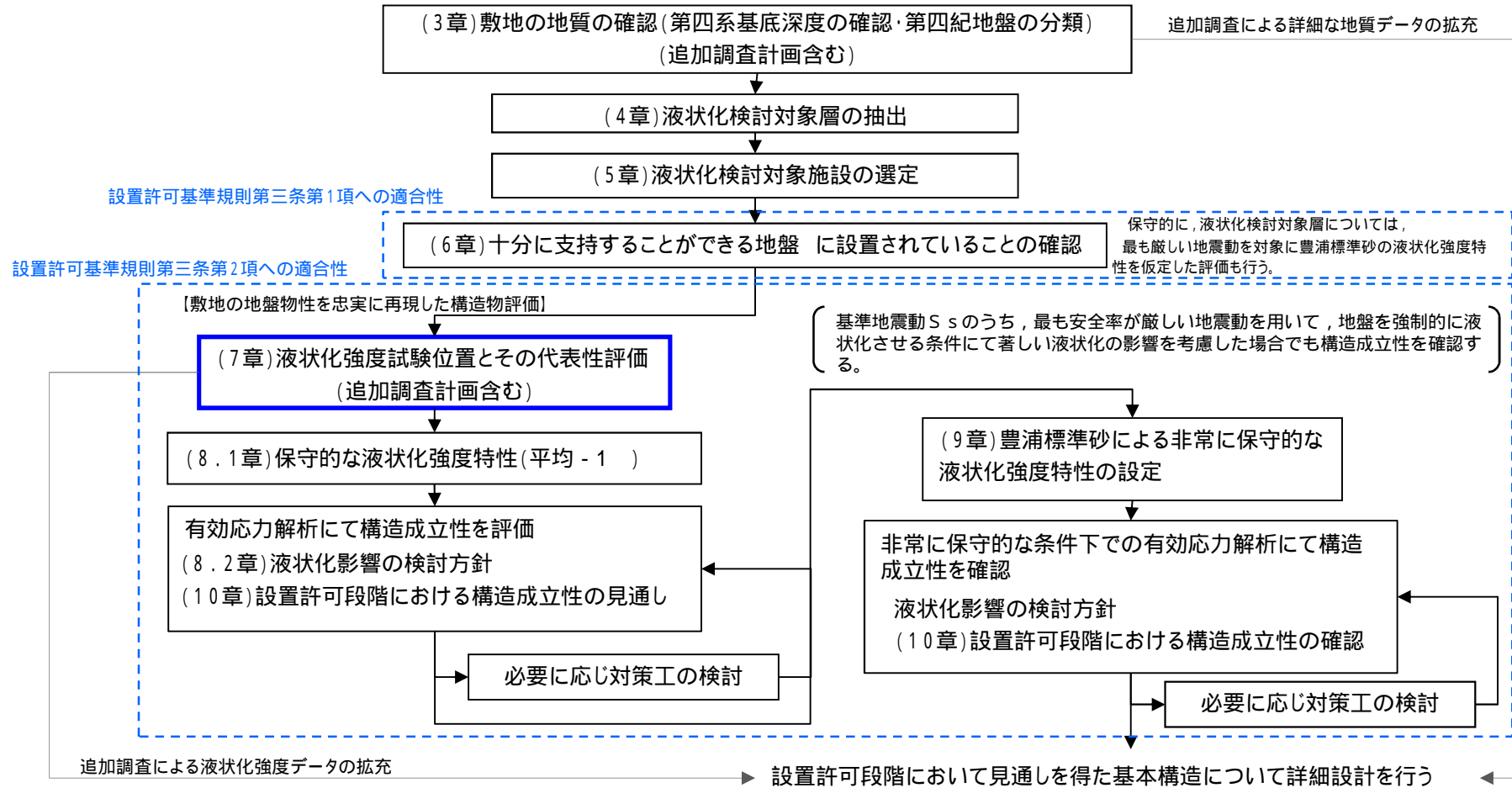
U : 杭の周長

L_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚(m) (液状化影響評価対象層の周面摩擦力は考慮しない)

f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度(kN/m²)

屋外二重管については、変更した構造形式に従い確認を行う。

7. 液状化強度の試験箇所とその代表性



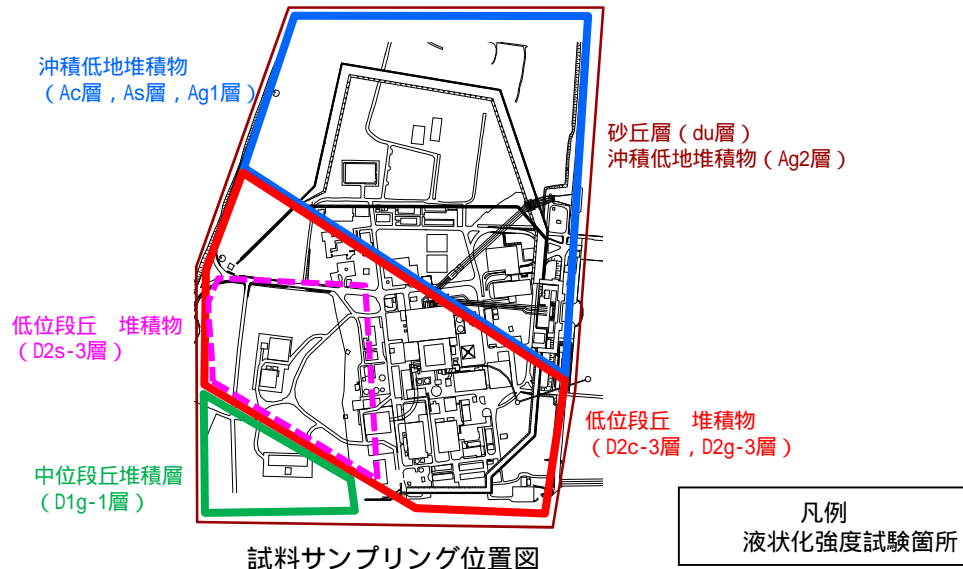
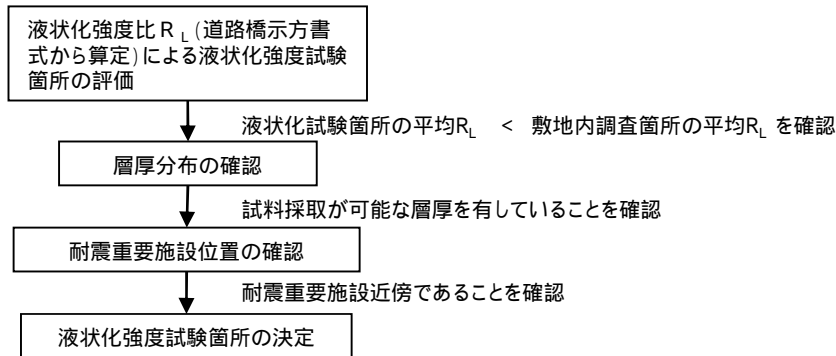
7. 液状化強度の試験箇所とその代表性 液状化強度の取得方針

有効応力解析による液状化判定等を実施するため、液状化強度を取得する。

液状化強度試験の実施箇所の決定に当たっては、以下を考慮する。

- ✓ 液状化強度試験箇所の液状化強度比 R_L は、敷地内における同層の液状化強度比 R_L と比較して保守的な位置であることを確認する。
- ✓ 液状化強度試験箇所の対象層は、試料採取が可能な層厚を有していることを確認する。
- ✓ 液状化強度試験箇所は、耐震重要施設の近傍であることを確認する。

液状化強度試験箇所の選定フロー



液状化強度比 R_L (道路橋示方書式)

液状化強度比 R_L は、道路橋示方書の式に基づき、 N 値や物理特性データを用いて算定される。

(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。

$$R_L = 0.0882 \sqrt{N_s / 1.7} \quad (N_s < 14) \quad \dots (8.2.7)$$

$$R_L = 0.0882 \sqrt{N_s / 1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_s - 14)^{4.5} \quad (14 \leq N_s)$$

ここに、

<砂質土の場合>

$$N_s = c_1 N_i + c_2 \quad \dots (8.2.8)$$

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

$$c_1 = 1 \quad (0\% \leq FC < 10\%)$$

$$c_1 = (FC + 40) / 50 \quad (10\% \leq FC < 60\%)$$

$$c_1 = FC / 20 - 1 \quad (60\% \leq FC)$$

$$c_2 = 0 \quad (0\% \leq FC < 10\%)$$

$$c_2 = (FC - 10) / 18 \quad (10\% \leq FC)$$

<れき質土の場合>

$$N_s = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2)\} N_i \quad \dots (8.2.12)$$

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_i : 有効上載圧 100kN/m² 相当に換算した N 値

N_s : 粒度の影響を考慮した補正 N 値

σ_{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 (kN/m²)

c_1, c_2 : 細粒含有率による N 値の補正係数

FC : 細粒含有率 (%) (粒径 75 μ m 以下の土粒子の通過質量百分率)

D_{50} : 50% 粒径 (mm)

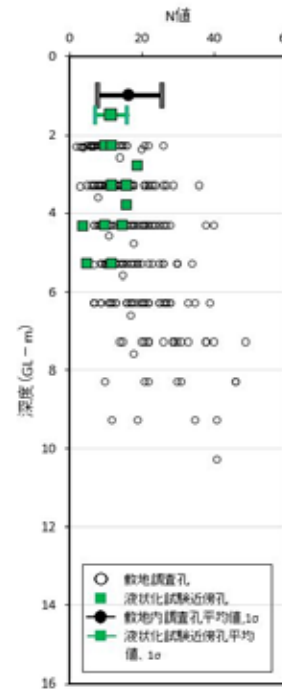
道路橋示方書・同解説 (耐震設計編) 平成 24 年 3 月より抜粋

7. 液状化強度の試験箇所とその代表性
 液状化強度試験箇所の代表性評価 (du層)

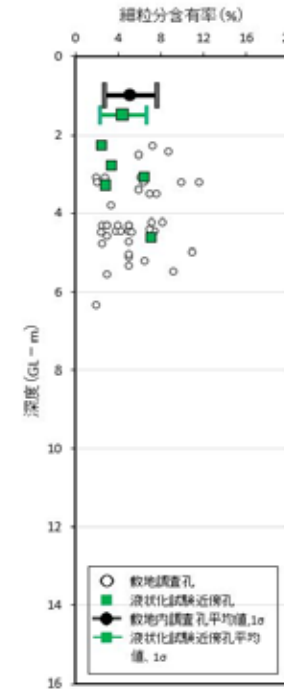


標準貫入試験位置
 液状化強度試験箇所(du層)

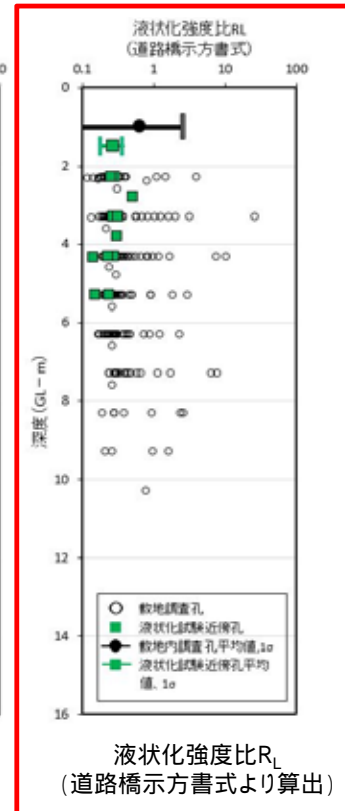
分布範囲及び調査位置



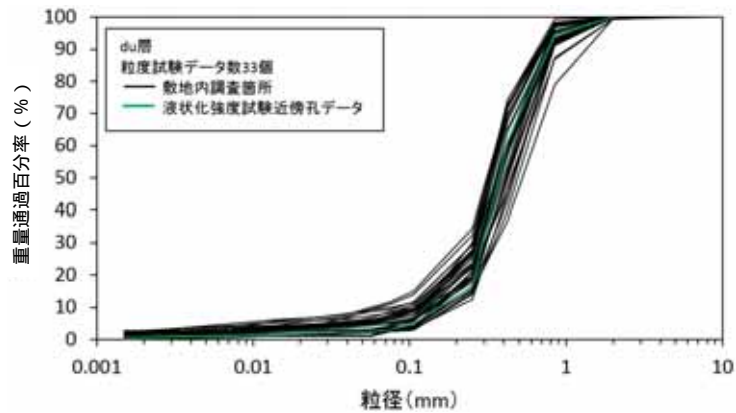
N値



細粒分含有率



液状化強度比 R_L
 (道路橋示方書式より算出)



粒径加積曲線

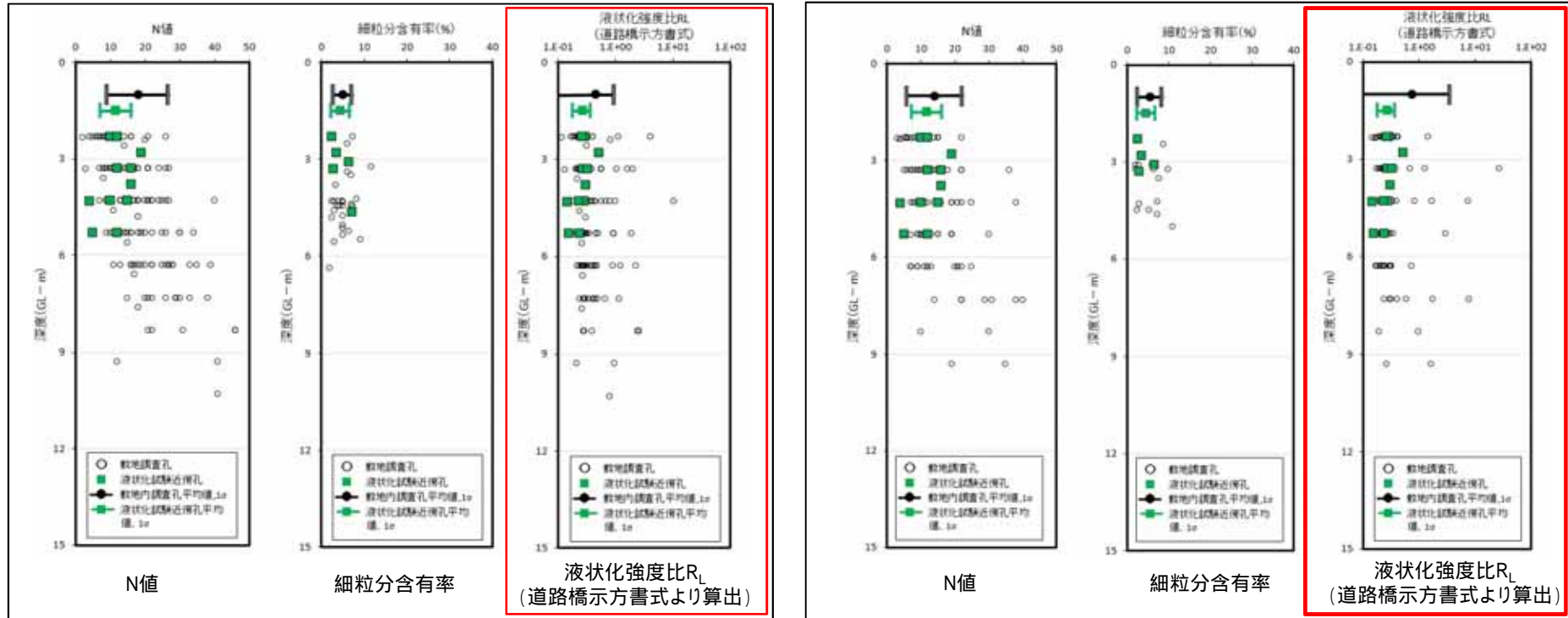
- ・液状化強度試験箇所のN値及び細粒分含有率は敷地内調査箇所の値より小さい。
- ・液状化強度試験箇所の粒径加積曲線は敷地内調査箇所の範囲内で分布している。



✓ 液状化強度比 R_L の比較により
 液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査箇所平均 R_L
 を確認した。

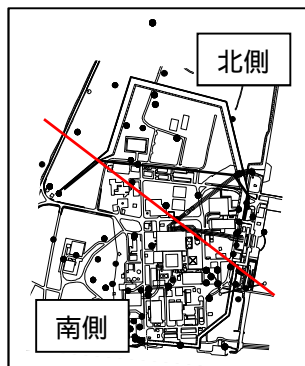
7. 液状化強度の試験箇所とその代表性 液状化強度試験箇所の代表性評価 (du層)

du層は敷地内に広く分布していることから、敷地の北側と南側でデータを区分し R_L 値の分布比較を行った。



【南側】

【北側】



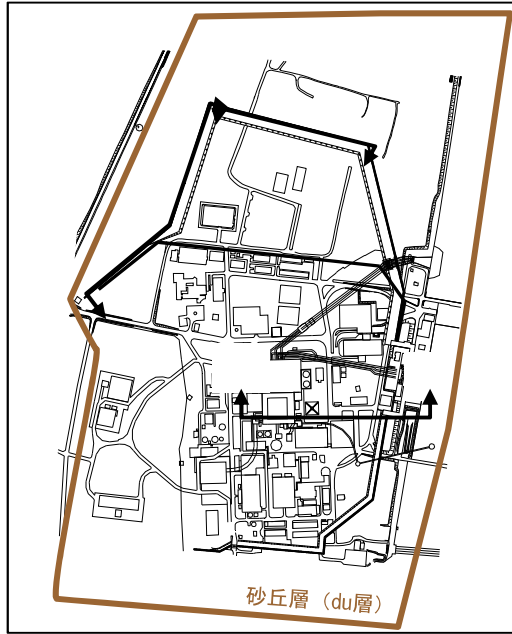
平面分割図

✓ 敷地を南北に分け、 R_L 値の比較を行った結果においても、液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査箇所平均 R_L を確認した。

7. 液状化強度の試験箇所とその代表性 液状化強度試験箇所の代表性評価 (du層)

【du層】

du層の液状化強度試験箇所が、試料採取が可能な層厚を有していること及び耐震重要施設（防潮堤等）の近傍であることを確認した。

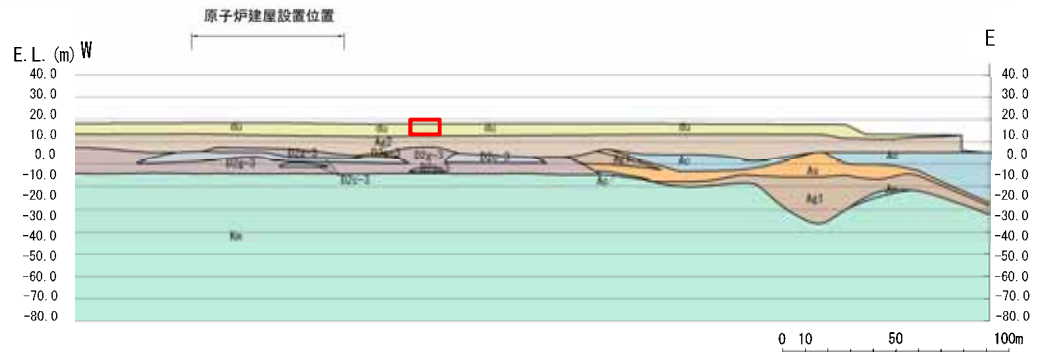
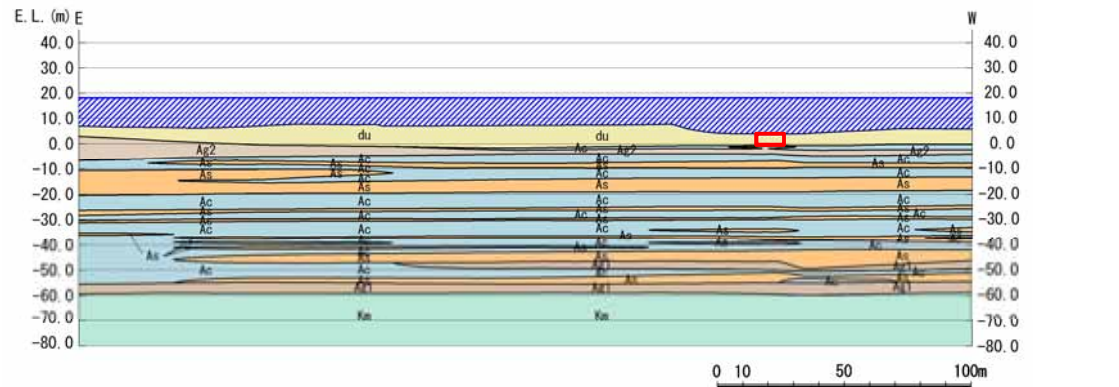
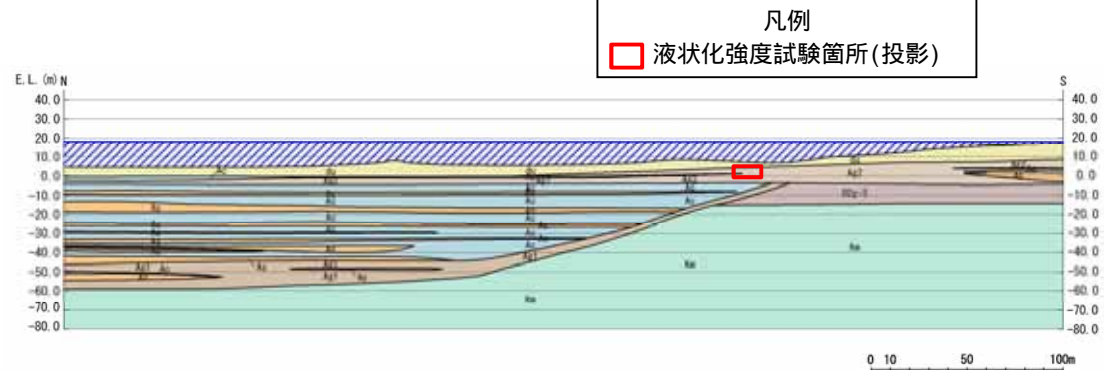
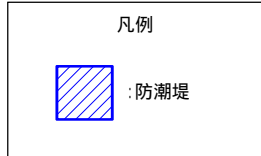


液状化強度試験箇所 (du層)

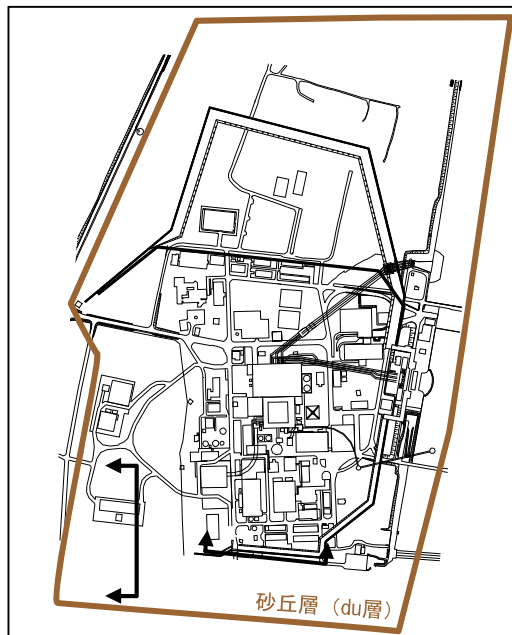
液状化強度試験実施位置図

地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 |
|------|------|-------|------|--------------|
| 新第三紀 | 沖積層 | du | 砂 | 敷設全域に広く分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 敷設全域に広く分布する。 |
| | 沖積層 | Ac | 粘土 | 敷設全域に広く分布する。 |
| | | As | 砂 | 敷設全域に広く分布する。 |
| 第四紀 | 沖積層 | Ag1 | 砂礫 | 敷設全域に広く分布する。 |
| | | D2a-3 | シルト | 敷設全域に広く分布する。 |
| | 沖積層 | D2b-3 | 砂 | 敷設全域に広く分布する。 |
| | | D2c-3 | シルト | 敷設全域に広く分布する。 |
| 第四紀 | 沖積層 | D2d-3 | シルト | 敷設全域に広く分布する。 |
| | | D2e-3 | 砂 | 敷設全域に広く分布する。 |
| | 沖積層 | Im | ローム | 敷設全域に広く分布する。 |
| | | D1a-1 | シルト | 敷設全域に広く分布する。 |
| 第四紀 | 沖積層 | D1b-1 | 砂礫 | 敷設全域に広く分布する。 |
| | | Ka | 砂質泥岩 | 敷設全域に広く分布する。 |



液状化強度試験箇所の代表性評価 (du層)

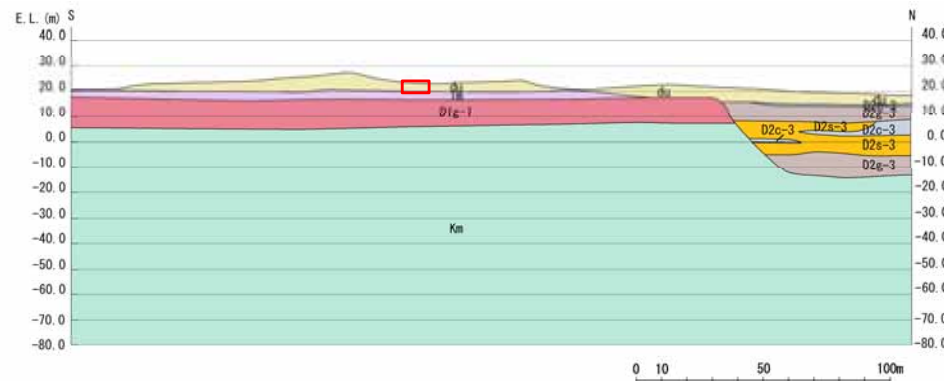
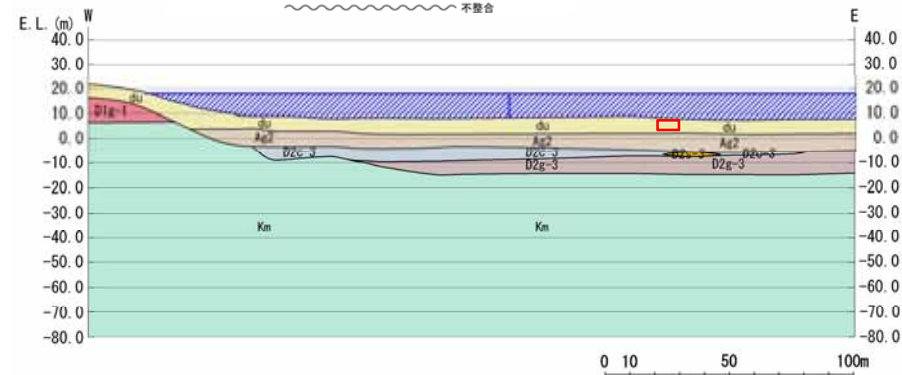
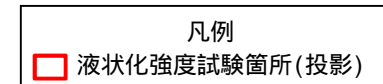
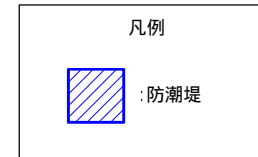


液状化強度試験箇所(du層)

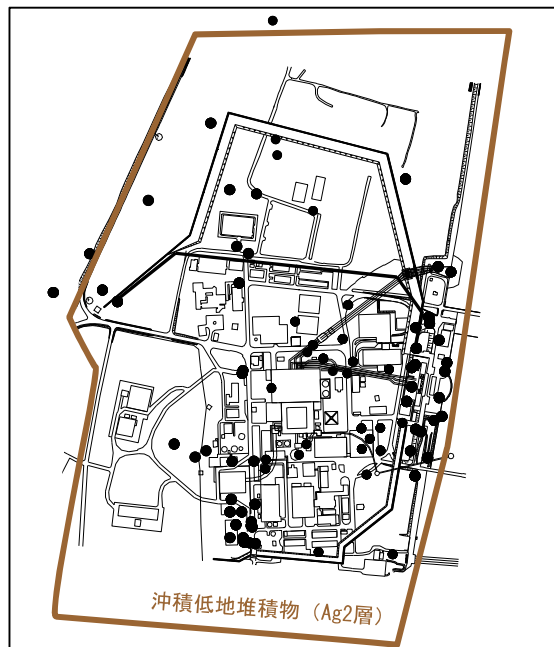
液状化強度試験実施位置図

地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 |
|------|-------|-------|------|-----------------------|
| 第四紀 | 砂丘砂層 | du | 砂 | 敷地全域に広く分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全域に広く分布する。 |
| | 沖積層 | Ac | 粘土 | 久慈川が侵食した河床の砂を埋めて分布する。 |
| | | Ag | 砂 | |
| | | Ag1 | 砂礫 | |
| 第四紀 | D2 | D2c-3 | シルト | 敷地階層に分布する。 |
| | | D2s-3 | 砂 | |
| | D2g-3 | 砂礫 | | |
| | 段丘堆積物 | D2c-2 | シルト | |
| | | D2s-2 | 砂 | |
| 第三紀 | D1 | Is | ローム | 敷地階層に分布する。 |
| | | D1c-1 | シルト | |
| | D1g-1 | 砂礫 | | |
| 第三紀 | 久米層 | Km | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。 |

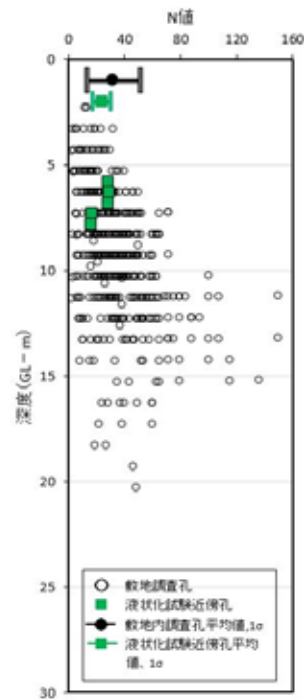


7. 液状化強度の試験箇所とその代表性
 液状化強度試験箇所の代表性評価 (Ag2層)

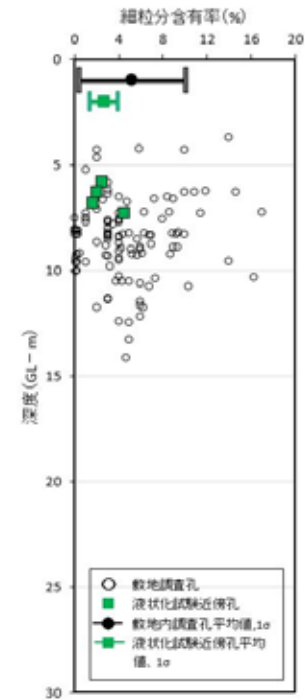


標準貫入試験位置
 液状化強度試験箇所 (Ag2層)

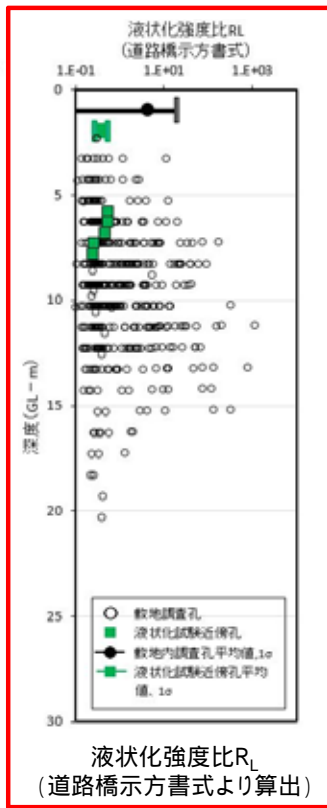
分布範囲及び調査位置



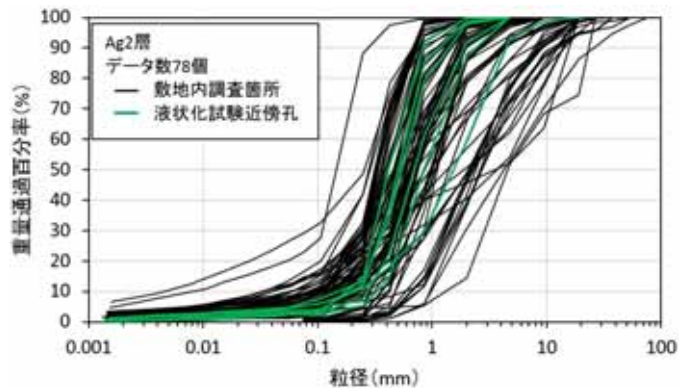
N値



細粒分含有率



液状化強度比 R_L
 (道路橋示方書式より算出)



粒径加積曲線

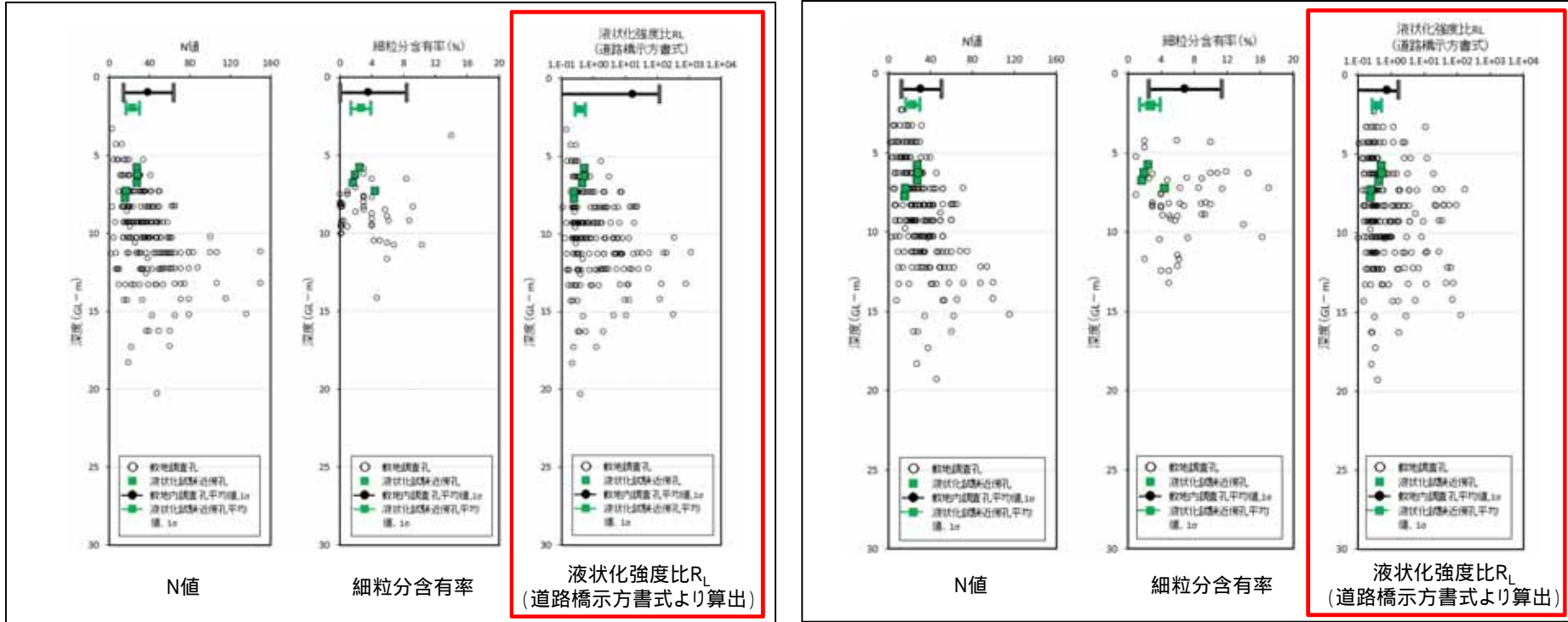
- ・ 液状化強度試験箇所のN値及び細粒分含有率は敷地内調査箇所の値より小さい。
- ・ 液状化強度試験箇所の粒径加積曲線は敷地内調査箇所の範囲内で分布している。



✓ 液状化強度比 R_L の比較により
 液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査箇所平均 R_L
 を確認した。

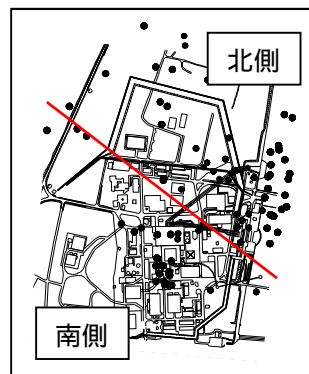
液状化強度試験箇所の代表性評価 (Ag2層)

Ag2層は敷地内に広く分布していることから、敷地の北側と南側でデータを区分し R_L 値の分布比較を行った。



【南側】

【北側】



平面分割図

✓ 敷地を南北に分け、 R_L 値の比較を行った結果においても、液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査箇所平均 R_L を確認した。

液状化強度試験箇所の代表性評価 (Ag2層)

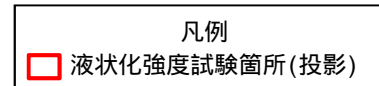
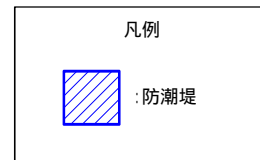
【Ag2層】

Ag2層の液状化強度試験箇所は、試料採取が可能な層厚を有していること及び耐震重要施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋等）の近傍であることを確認した。



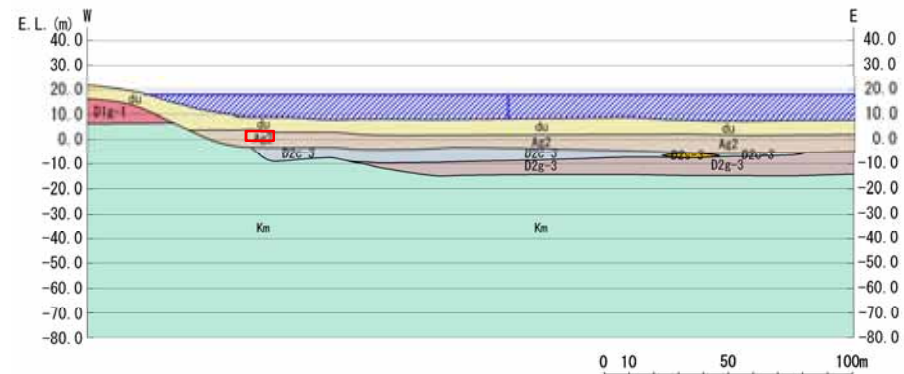
液状化強度試験箇所 (Ag2層)

液状化強度試験実施位置図

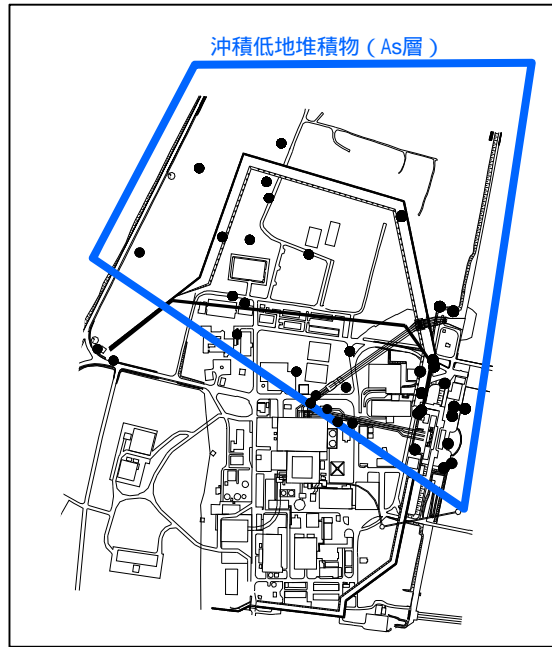


地質構成表

| 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。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | 沖積層 | Ac | 粘土 | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |
| | | As | 砂 | |
| | | Ag1 | 砂礫 | |
| 四
重
新
紀
世 | 段丘堆積物 | D2c-3 | シルト | 敷地西部に分布する。 |
| | | D2c-3 | 砂 | |
| | | D2c-3 | 砂礫 | |
| | | D2c-2 | シルト | |
| | | D2c-2 | 砂礫 | |
| | | Im | ローム | |
| | | D1 | D1c-1 | |
| D1 | D1g-1 | 砂礫 | | |
| 新第三紀 最新世 | 久米層 | Km | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。 |

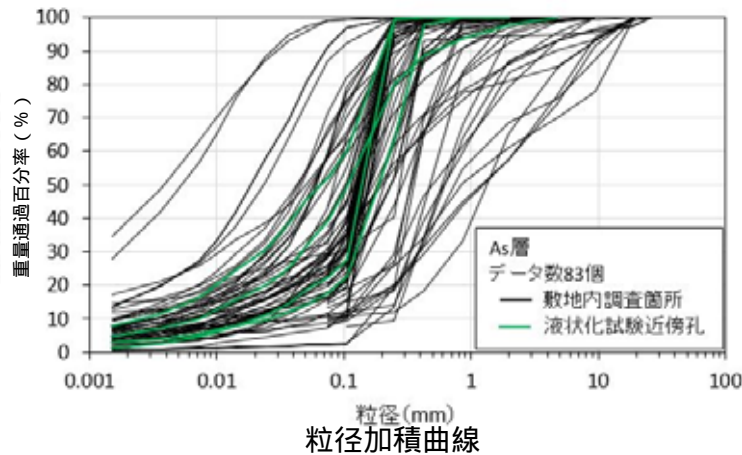


7. 液状化強度の試験箇所とその代表性 液状化強度試験箇所の代表性評価 (As層)

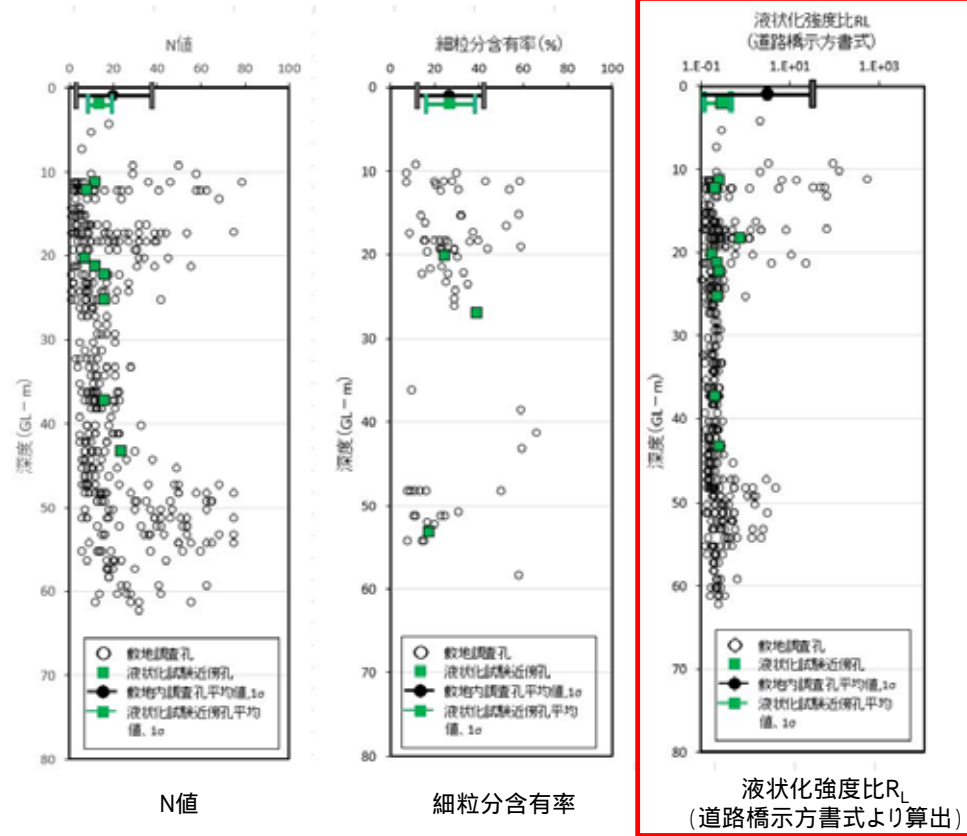


標準貫入試験位置
液状化強度試験箇所 (As層)

分布範囲及び調査位置



粒径加積曲線



N値

細粒分含有率

液状化強度比 R_L
(道路橋示方書式より算出)

- ・ 液状化強度試験箇所のN値及び細粒分含有率は敷地内調査箇所の値より小さいか同等の値を示す。
- ・ 液状化強度試験箇所の粒径加積曲線は敷地内調査箇所の範囲内で分布している。

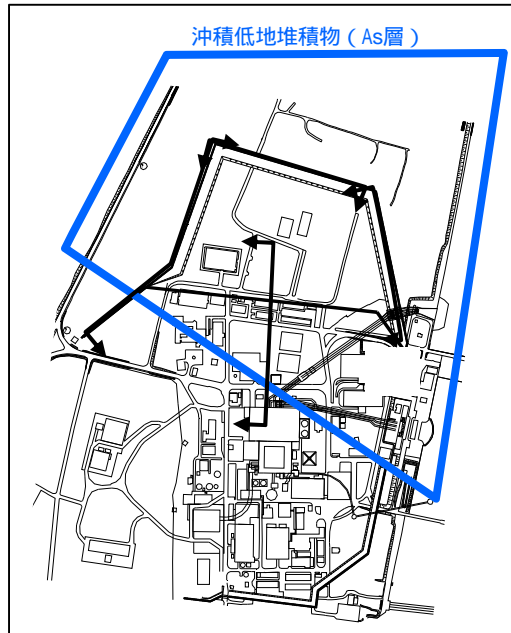


✓ 液状化強度比 R_L の比較により
液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査箇所平均 R_L
を確認した。

7. 液状化強度の試験箇所とその代表性 液状化強度試験箇所の代表性評価 (As層)

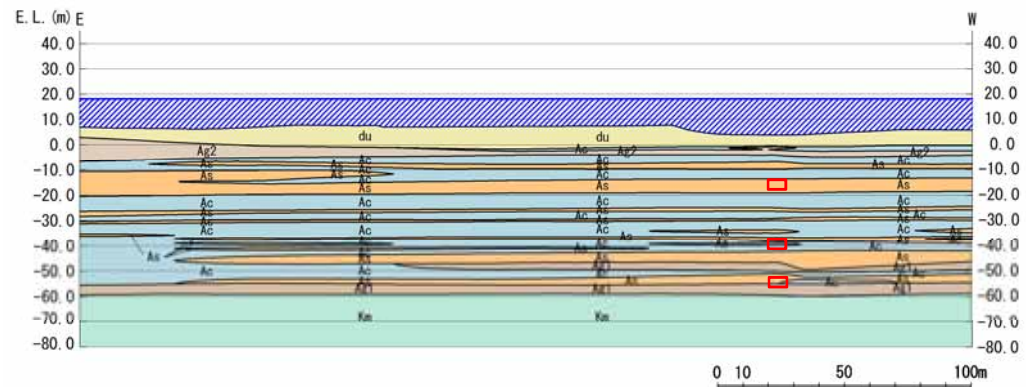
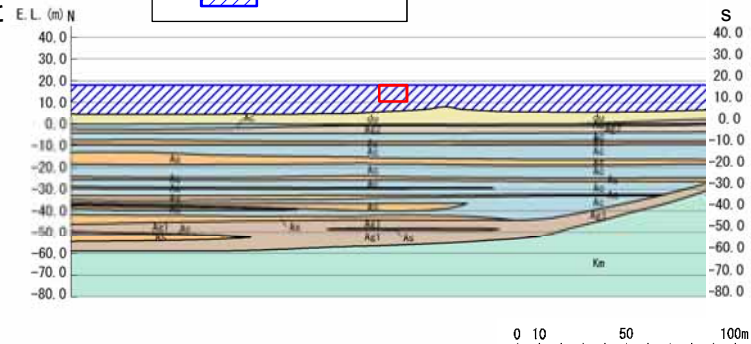
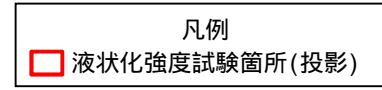
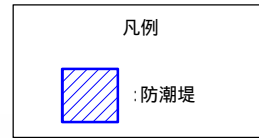
【As層】

As層の液状化強度試験箇所は，試料採取が可能な層厚を有していること及び耐震重要施設（防潮堤）の近傍であることを確認した。



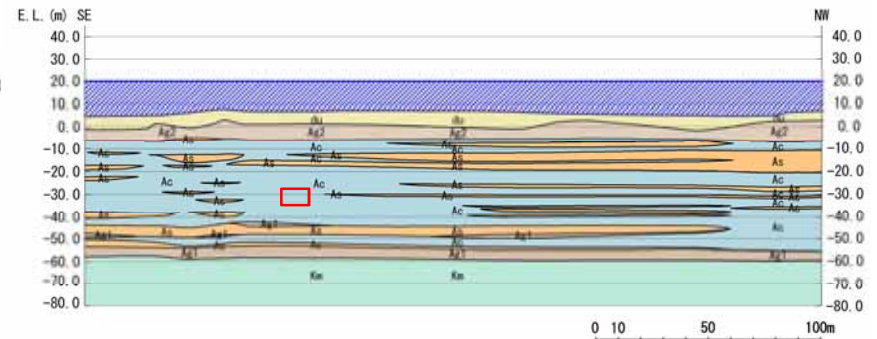
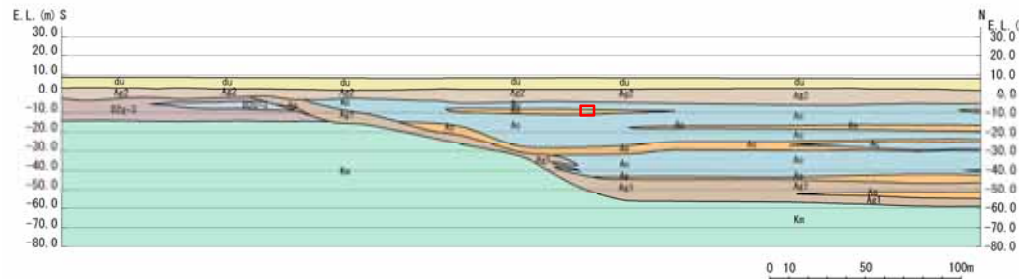
液状化強度試験箇所(As層)

液状化強度試験実施位置図

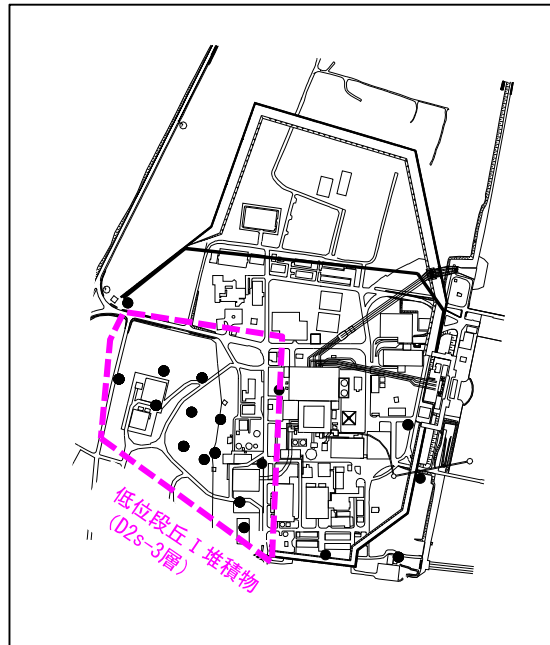


地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 |
|-------|------|-------|-----|----------------------|
| 新 第三紀 | 沖積層 | du | 砂 | 礫層等に広く分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 礫層等に広く分布する。 |
| | | Ac | 粘土 | 丸石が観察した50%以上の層厚を占める。 |
| | | As | 砂 | 砂層等に広く分布する。 |
| 旧 第三紀 | 沖積層 | Ag1 | 砂礫 | |
| | | Ag2-1 | 砂 | |
| | | Ag2-2 | シルト | |
| | | Ag2-3 | 砂礫 | 礫層等に広く分布する。 |
| 紀 新 | 沖積層 | Ag1-1 | シルト | |
| | | Ag1-2 | 砂礫 | |
| | | Ag1-3 | シルト | |
| | | Ag1-4 | 砂礫 | 礫層等に広く分布する。 |
| 紀 古 | 沖積層 | Ag1-5 | シルト | |
| | | Ag1-6 | 砂礫 | 礫層等に広く分布する。 |
| 第四紀 | 沖積層 | Kn | 沖積層 | |

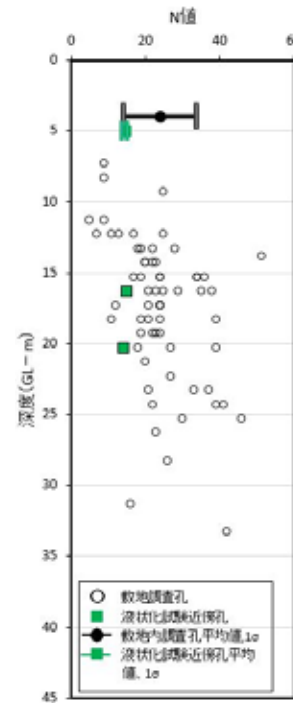


7. 液状化強度の試験箇所とその代表性
 液状化強度試験箇所の代表性評価 (D2s-3層)

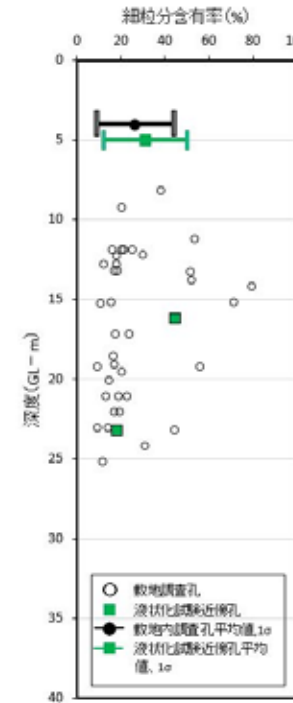


標準貫入試験位置
 液状化強度試験箇所(D2s-3層)

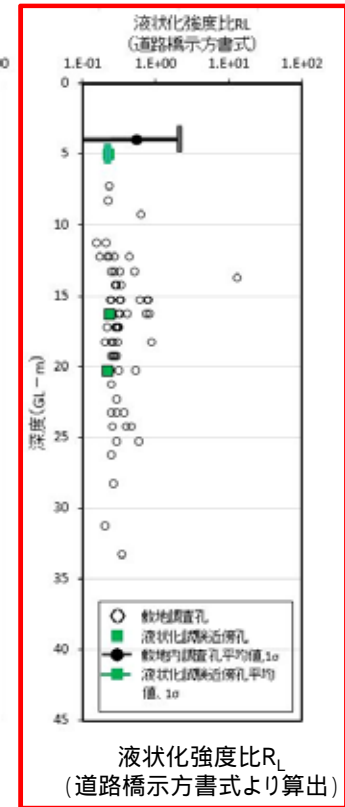
分布範囲及び調査位置



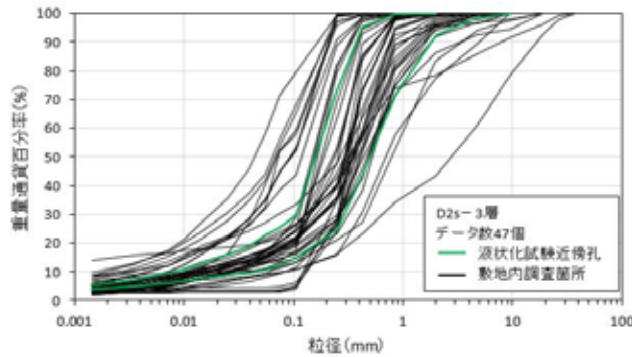
N値



細粒分含有率



液状化強度比 R_L
 (道路橋示方書式より算出)



粒径加積曲線

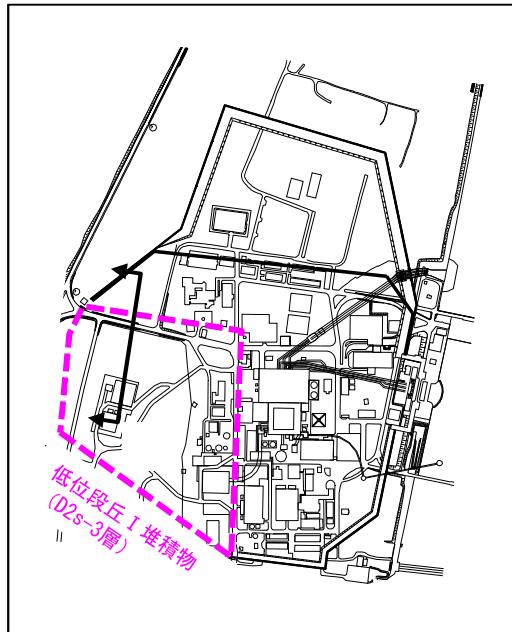
- ・液状化強度試験箇所のN値は小さく、細粒分含有率は敷地内調査箇所値の範囲内で分布するものの、平均値は若干大きくなっている。
- ・液状化強度試験箇所の粒径加積曲線は敷地内調査箇所の範囲内で分布している。



✓ 液状化強度比 R_L の比較により
 液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査箇所平均 R_L
 を確認した。

【D2s-3層】

D2s-3層の液状化強度試験箇所は、試料採取が可能な層厚を有していること及び耐震重要施設（緊急時対策所）の近傍であることを確認した。



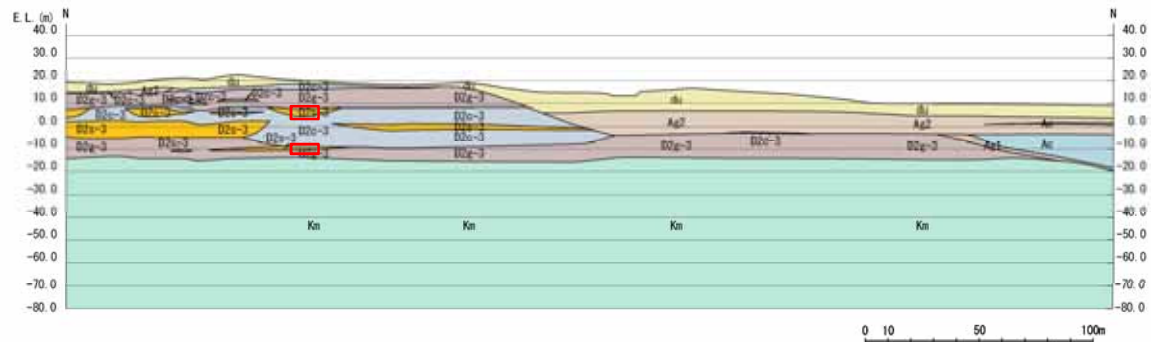
液状化強度試験箇所 (D2s-3層)

液状化強度試験実施位置図

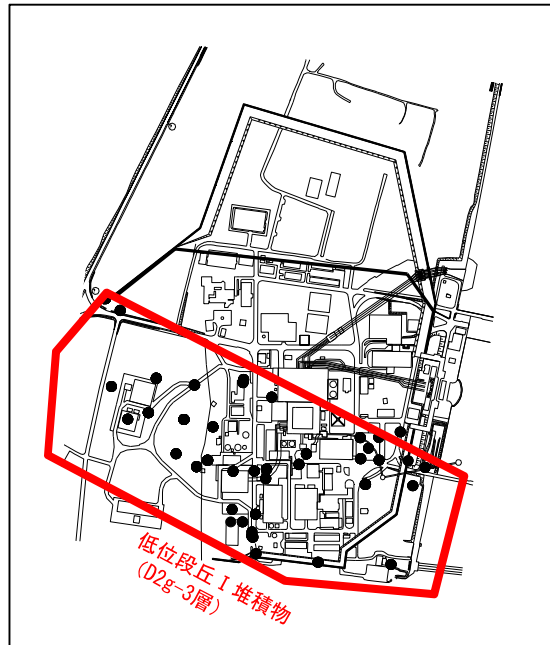
凡例
□ 液状化強度試験箇所 (投影)

地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 |
|------------------|-------|-------|------|---------------------------|
| 新
世 | 沖積層 | au | 砂 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | | Ac | 粘土 | |
| | | As | 砂 | 久慈川が侵食した凹地の
底を埋めて分布する。 |
| 四
葉
新
世 | 段丘堆積物 | D2o-3 | シルト | |
| | | D2s-3 | 砂 | |
| | | D2g-3 | 砂礫 | 敷地両側に分布する。 |
| | | D2o-2 | シルト | |
| | | D2g-2 | 砂礫 | |
| | | Im | ローム | |
| | | D1o-1 | シルト | 敷地西側に分布する。 |
| D1g-1 | 砂礫 | | | |
| 新第三紀 更新世 | 久米層 | Kn | 砂質泥岩 | 敷地の基盤層である。 |

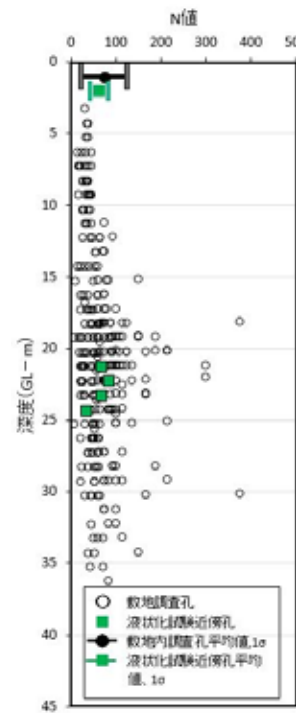


液状化強度試験箇所の代表性評価 (D2g-3層)

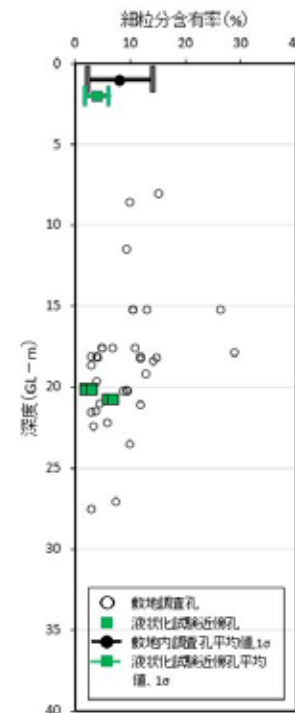


標準貫入試験位置
液状化強度試験箇所 (D2g-3層)

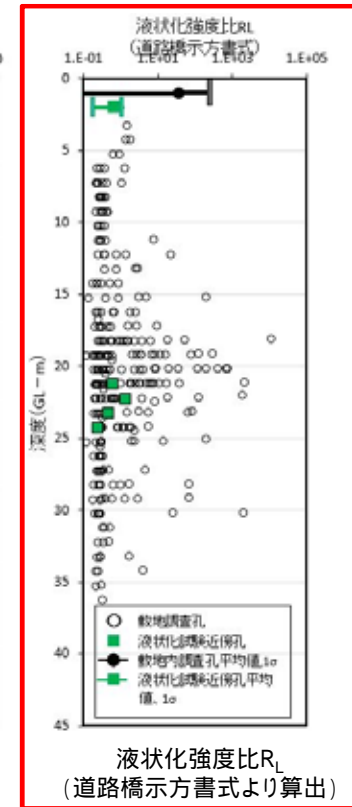
分布範囲及び調査位置



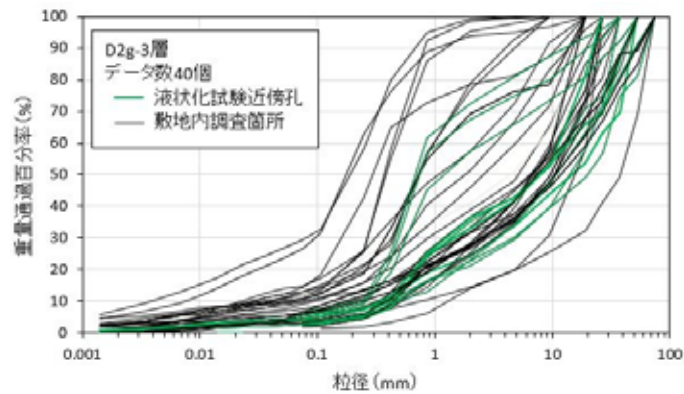
N値



細粒分含有率



液状化強度比 R_L
(道路橋示方書式より算出)



粒径加積曲線

- ・液状化強度試験箇所のN値及び細粒分含有率の平均値は敷地内調査箇所の値より小さい。
- ・液状化強度試験箇所の粒径加積曲線は敷地内調査箇所の範囲内で分布している。

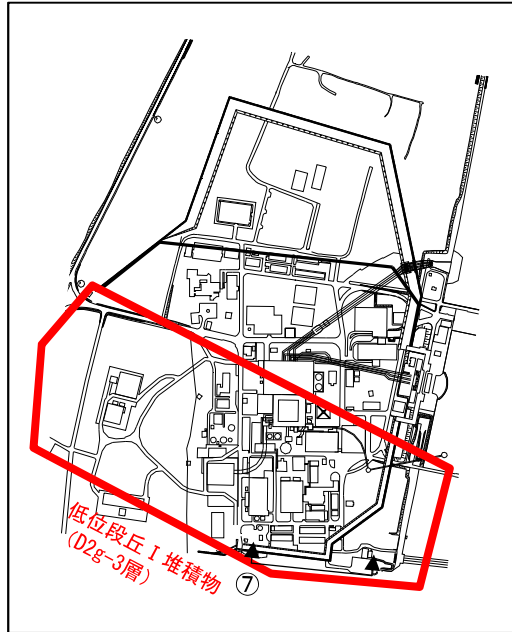


✓ 液状化強度比 R_L の比較により
液状化強度試験箇所平均 $R_L <$ 敷地内調査箇所平均 R_L
を確認した。

液状化強度試験箇所の代表性評価 (D2g-3層)

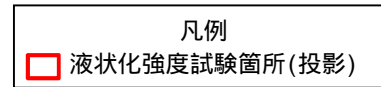
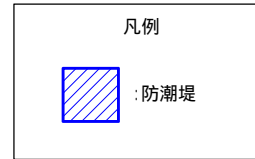
【D2g-3層】

D2g-3層の液状化強度試験箇所は、試料採取が可能な層厚を有していること及び耐震重要施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋等）の近傍であることを確認した。



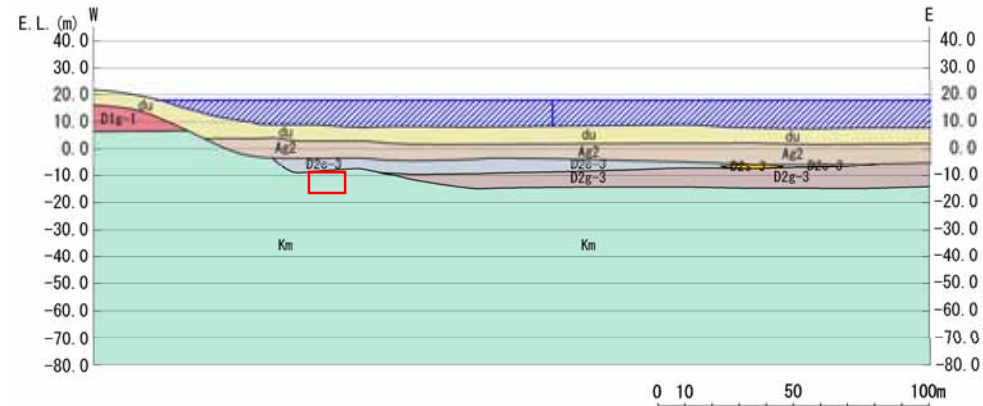
液状化強度試験箇所 (D2g-3層)

液状化強度試験実施位置図



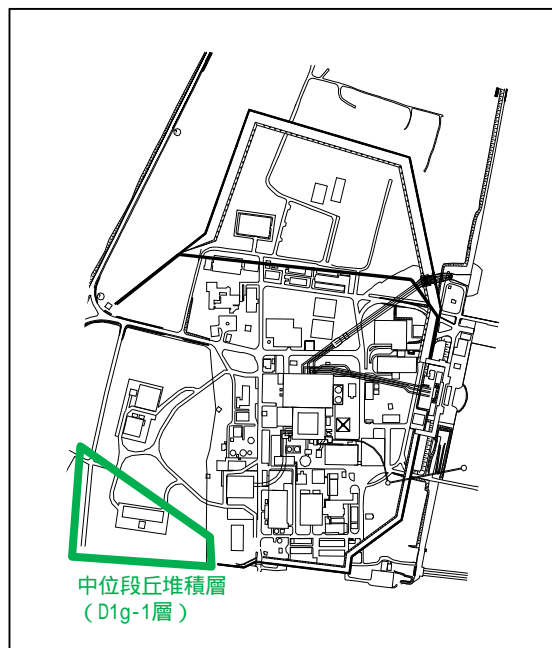
地質構成表

| 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。 | |
| | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全域に広く分布する。 | |
| | 沖積層 | al | Ac | 粘土 | 久慈川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |
| | | As | 砂 | | |
| | | Ag1 | 砂礫 | | |
| 第
四
更
新
世 | 段丘堆積物 | D2c-3 | シルト | 敷地西部に分布する。 | |
| | | D2s-3 | 砂 | | |
| | | D2g-3 | 砂礫 | | |
| | | D2e-2 | シルト | | |
| | | D2a-2 | 砂礫 | | |
| | | lm | ローム | | |
| | | D1 | D1e-1 | | シルト |
| D1g-1 | 砂礫 | | | | |
| 第
三
紀 | 久米層 | Km | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。 | |



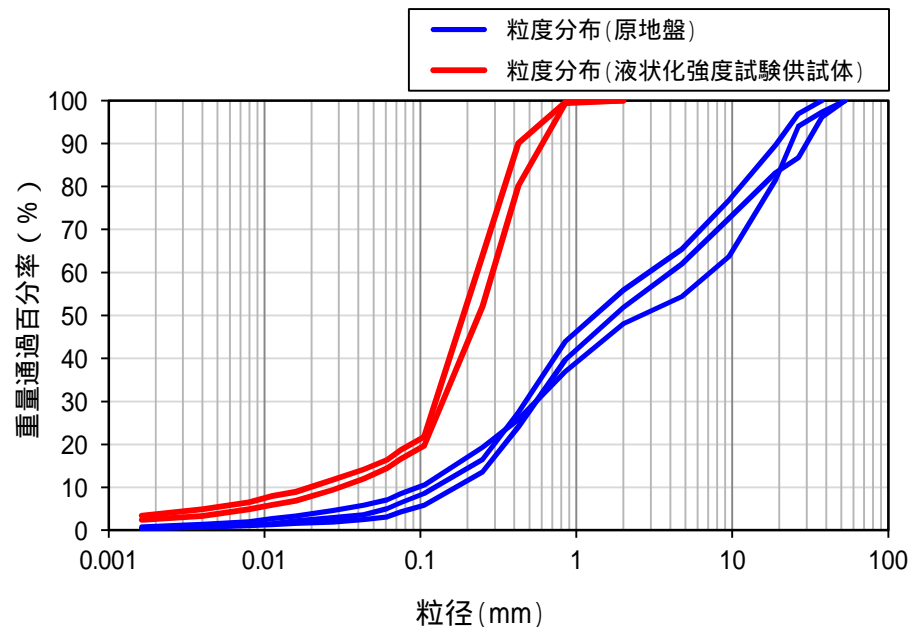
液状化強度試験箇所の代表性評価(D1g-1層)

D1g-1層については、敷地内で標準貫入試験を実施していないことから、原地盤と液状化強度試験供試体の粒度分布を比較することで、その保守性を確認する。



液状化強度試験箇所(D1g-1層)

分布範囲及び調査位置



・液状化強度試験の供試体は、(試験への適応粒径の観点から)原地盤と比べ細粒なものを選定しており、液状化強度としては保守側の設定となっている。

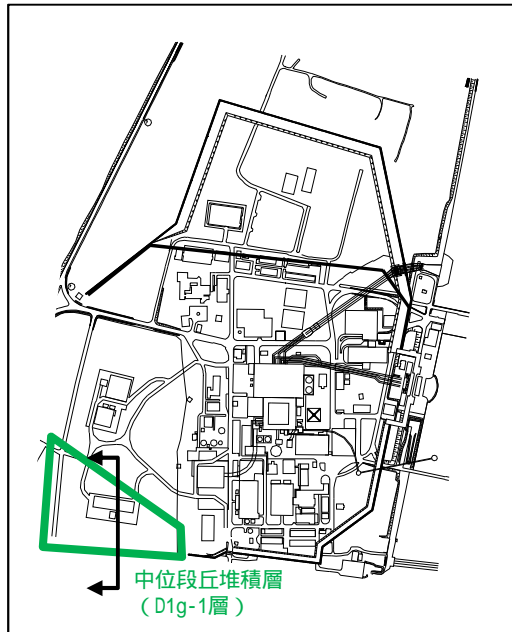


✓ 粒度分布の比較により
液状化強度試験供試体の粒度分布 < 原地盤の粒度分布
を確認した。

液状化強度試験箇所の代表性評価(D1g-1層)

【D1g-1層】

D1g-1層の液状化強度試験箇所は、試料採取が可能な層厚を有していること及び耐震重要施設（使用済燃料乾式貯蔵建屋等）の近傍であることを確認した。



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 | 敷地全域に広く分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全域に広く分布する。 |
| | 沖積層 | Ac | 粘土 | 久積川が侵食した凹状の谷を埋めて分布する。 |
| | | As | 砂 | |
| | | Ag1 | 砂礫 | |
| 第 四 世 | D2 | D2c-3 | シルト | |
| | | D2s-3 | 砂 | |
| | | D2g-3 | 砂礫 | 敷地南部に分布する。 |
| | 新 段丘堆積物 | D2e-2 | シルト | |
| | | D2g-2 | 砂礫 | |
| | | Im | ローム | |
| 紀 世 | D1 | D1c-1 | シルト | 敷地南西部に分布する。 |
| | | D1g-1 | 砂礫 | |
| 第三紀 新新世 | 久米層 | Km | 砂質泥岩 | 敷地の基盤岩である。 |

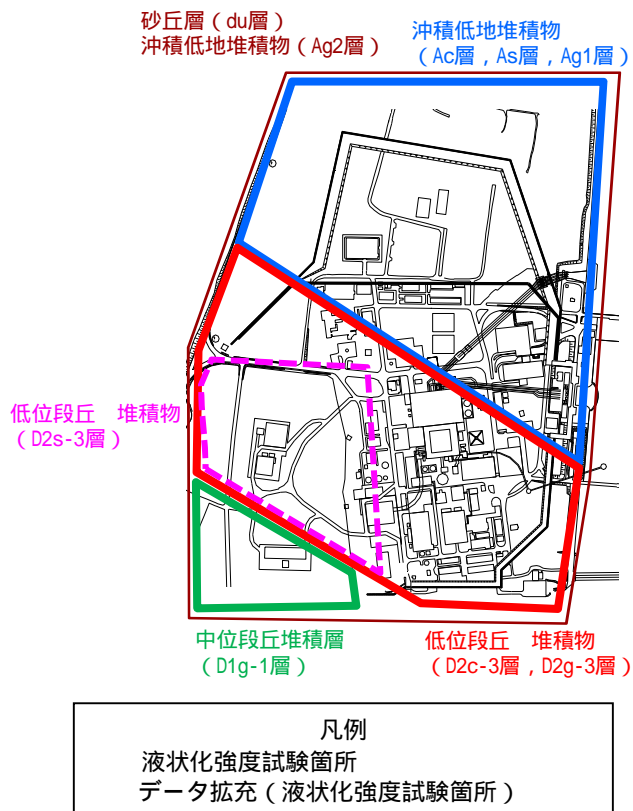
凡例

□ 液状化強度試験箇所(投影)

液状化強度試験箇所の代表性評価(まとめ)

液状化強度試験箇所の代表性を確認するため、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、液状化強度試験箇所と周辺調査箇所との比較を行い整理した。

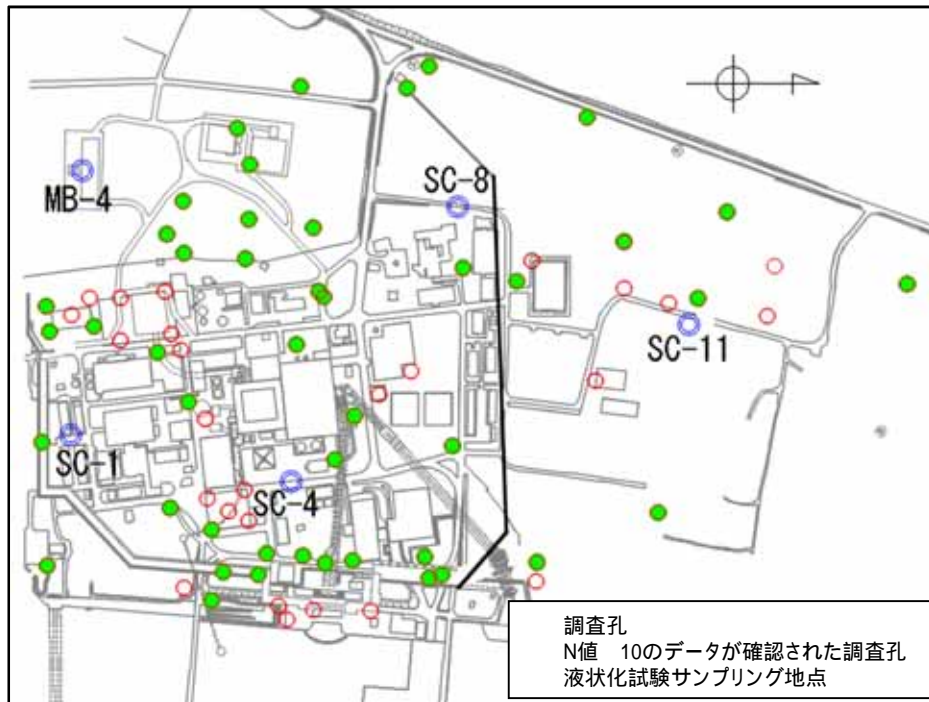
今後、工事認可に向けた防潮堤の詳細設計においては、第四系の液状化強度を把握するため、追加サンプリングを実施しデータの拡充を図る。



| 地層名 | 代表性の評価 |
|--------|---|
| du層 | <ul style="list-style-type: none"> du層の液状化強度試験箇所は、敷地内調査箇所と比べてN値及び細粒分含有率の平均値が小さく、これらから道路橋示方書式により算定される液状化強度比が小さいことから、代表性を有していると評価した。 |
| Ag2層 | <ul style="list-style-type: none"> Ag2層の液状化強度試験箇所は、敷地内調査箇所と比べてN値及び細粒分含有率の平均値が小さく、これらから道路橋示方書式により算定される液状化強度比が小さいことから、代表性を有していると評価した。 |
| As層 | <ul style="list-style-type: none"> As層の液状化強度試験箇所は、敷地内調査箇所と比べてN値の平均値は小さく、細粒分含有率の平均値がほぼ同等であるが、これらから道路橋示方書式により算定される液状化強度比が小さいことから、代表性を有していると評価した。 |
| Ag1層 | <ul style="list-style-type: none"> Ag1層は、分布深度が深く、硬質な巨礫を含む砂礫層であるため試料採取が困難である。 Ag1層はAg2層と同時代に堆積した砂礫層であることやN値がAg2層より大きいこと等を踏まえ、物性設定においては、保守的にAg2層の試験結果を用いる方針とする。 |
| D2s-3層 | <ul style="list-style-type: none"> D2s-3層の液状化強度試験箇所は、敷地内調査箇所と比べて細粒分含有率の平均値が若干大きい、N値の平均値は小さく、これらから道路橋示方書式により算定される液状化強度比が小さいことから、代表性を有していると評価した。 |
| D2g-3層 | <ul style="list-style-type: none"> D2g-3層の液状化強度試験箇所は、敷地内調査箇所と比べてN値及び細粒分含有率の平均値が小さく、これらから道路橋示方書式により算定される液状化強度比が小さいことから、代表性を有していると評価した。 |
| D1g-1層 | <ul style="list-style-type: none"> 液状化強度試験供試体の粒度分布は原地盤よりも小さいことから、液状化強度としては保守側の設定であり、代表性を有していると評価した。 |

保守的なN値の箇所に着目したdu層の液状化強度について(1/2)

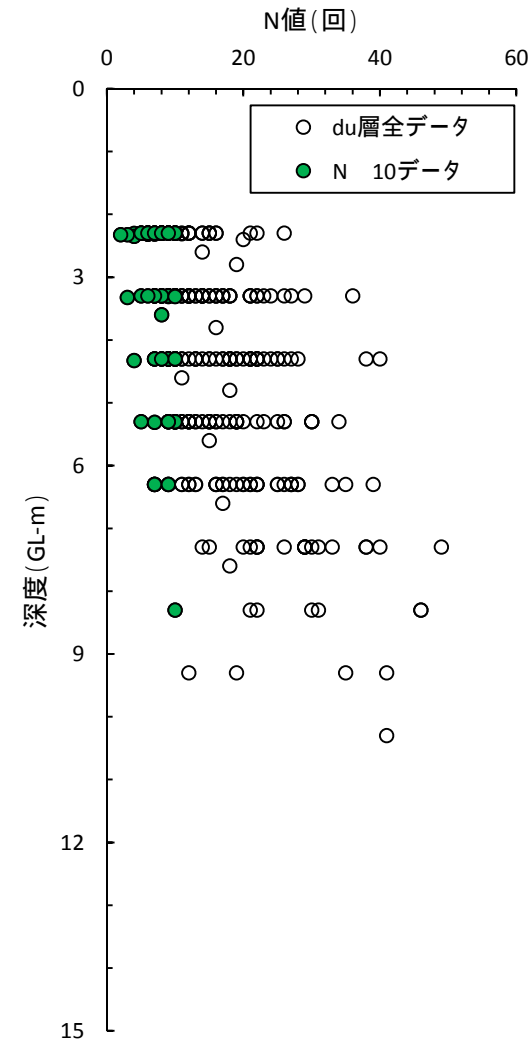
1. du層



N 10のデータを含む調査孔と液状化サンプリング地点の位置

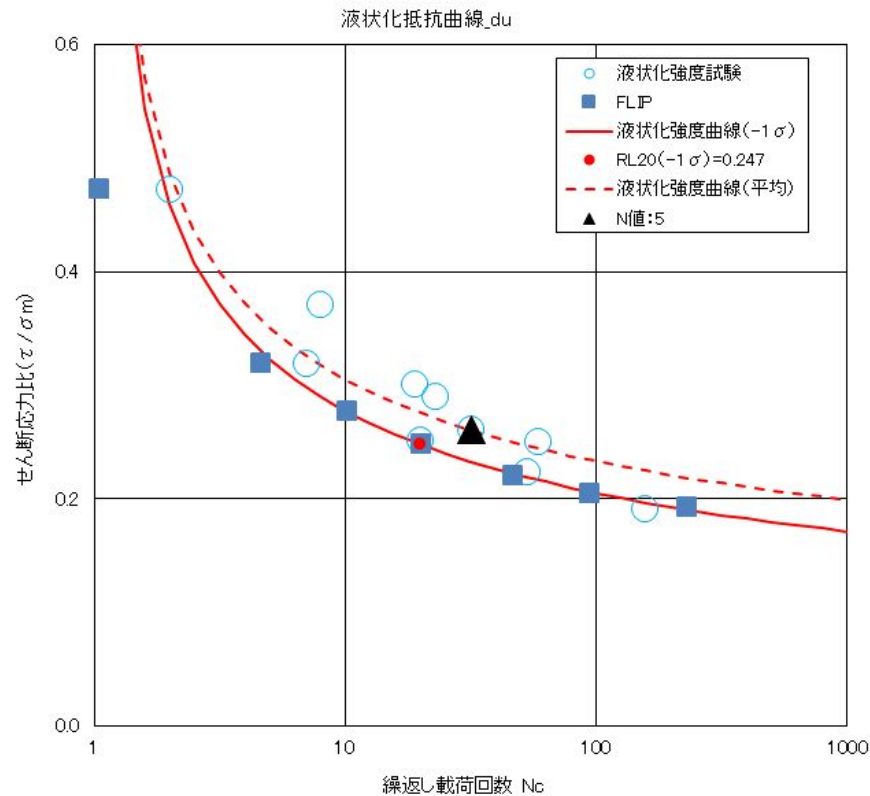
液状化強度試験試料サンプリング地点のN値

| サンプリング地点No. | 深度(m) | 調査孔N値 |
|-------------|-----------|-------|
| SC-8 | 5.1 ~ 5.8 | 10 |
| SC-11 | 2.2 ~ 4.5 | 9 |
| SC-4 | 2.0 ~ 3.0 | 5 |
| SC-1 | 3.0 ~ 4.0 | 10 |
| MB-4 | 2.0 ~ 4.2 | 8 |



N値深度分布

保守的なN値の箇所に着目したdu層の液状化強度について(2 / 2)

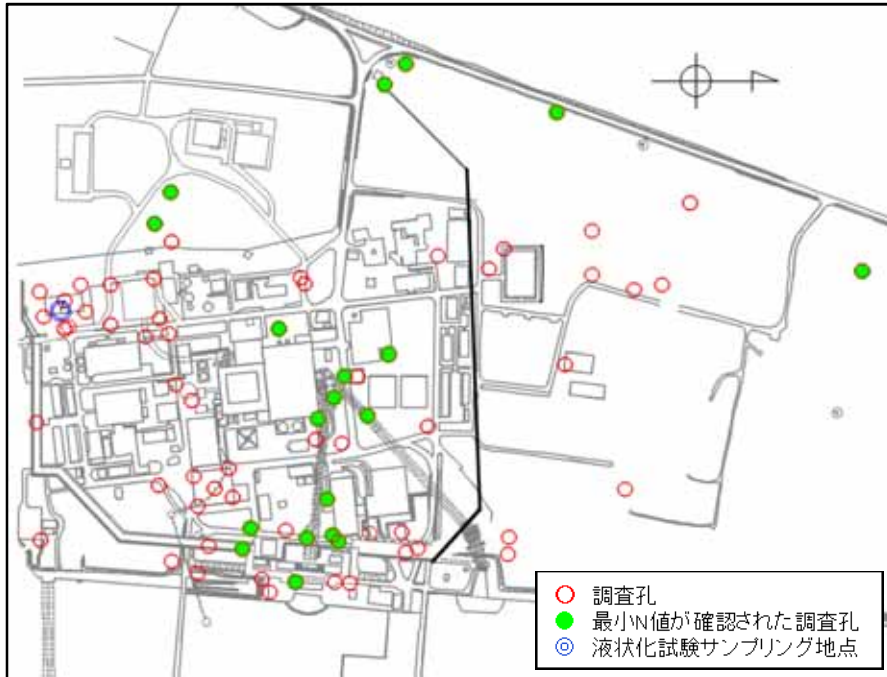


du層の液状化強度試験結果

- ・ du層は、敷地全体にGL-10m前後で広く分布し、N値の範囲は最大49回、最小2回である。
- ・ 液状化強度試験用サンプリングは、GL-2.0m ~ -5.80mで行い、N値は保守的な値である5 ~ 10の範囲から採取していることを確認した。
- ・ サンプリング箇所の最も保守的な最小N値5の試料の試験結果(SC-4)は、他箇所と比較して同等な液状化強度を有することを確認した。

保守的なN値の箇所に着目したAg2層の液状化強度について(1/2)

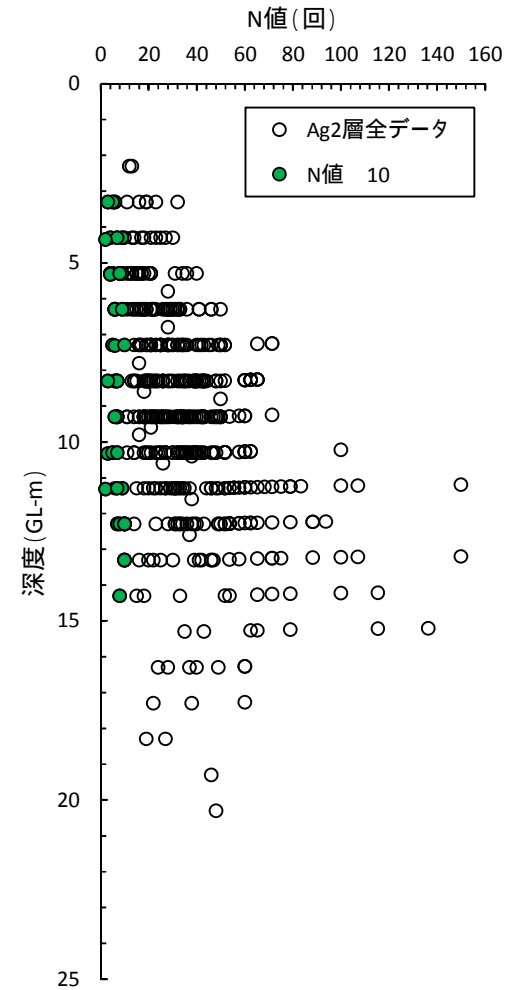
2.Ag2層



N 10のデータを含む調査孔と液状化サンプリング地点の位置

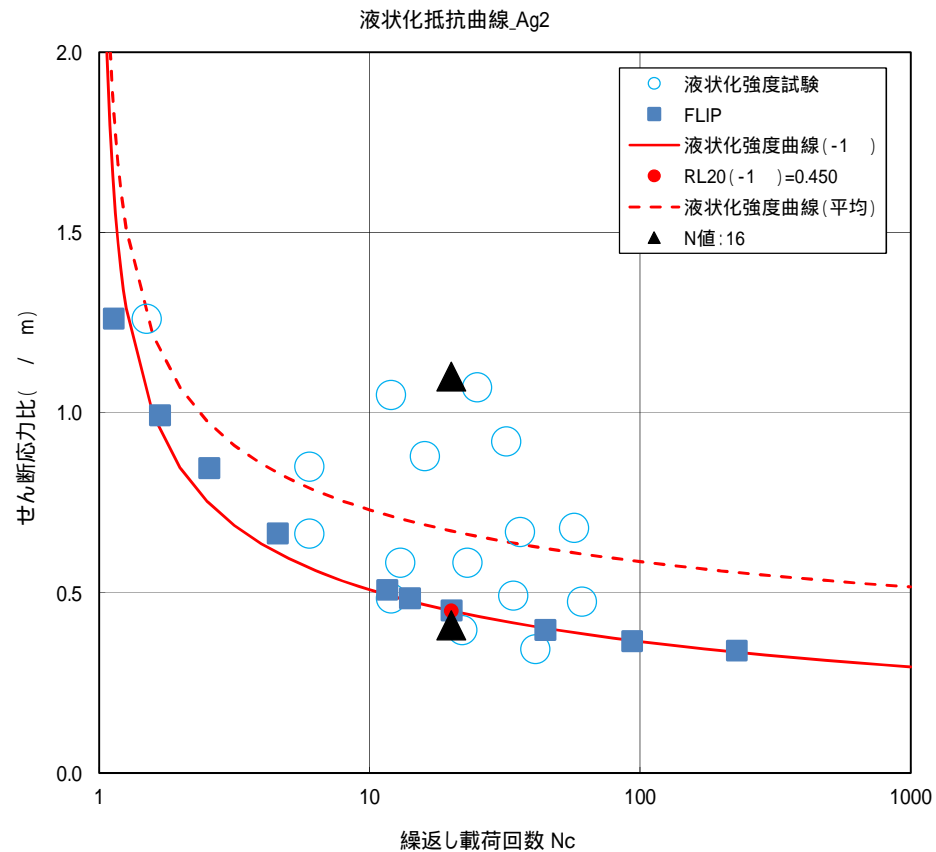
液状化強度試験試料サンプリング地点のN値

| サンプリング地点No. | 深度(m) | 調査孔N値 |
|-------------|--------------|-------|
| FL1-1 | 7.95 ~ 8.20 | 16 |
| TO-FL1 | 8.20 ~ 8.40 | 43 |
| TO-FL2 | 9.10 ~ 9.55 | 22 |
| TO-FL3 | 9.45 ~ 10.20 | 16 |



N値深度分布

保守的なN値の箇所に着目したAg2層の液状化強度について(2/2)



Ag2層の液状化強度試験結果

・サンプリングは、GL-7.95m~-10.20mで連続的に行われ、近傍孔のデータからN値は16~43である。
 ・N値が比較的低い(N値:16)の液状化強度試験結果は、バラツキはあるものの、他試験結果と同等な液状化強度を有する判断した。

保守的なN値の箇所に着目したAs層の液状化強度について(1/2)

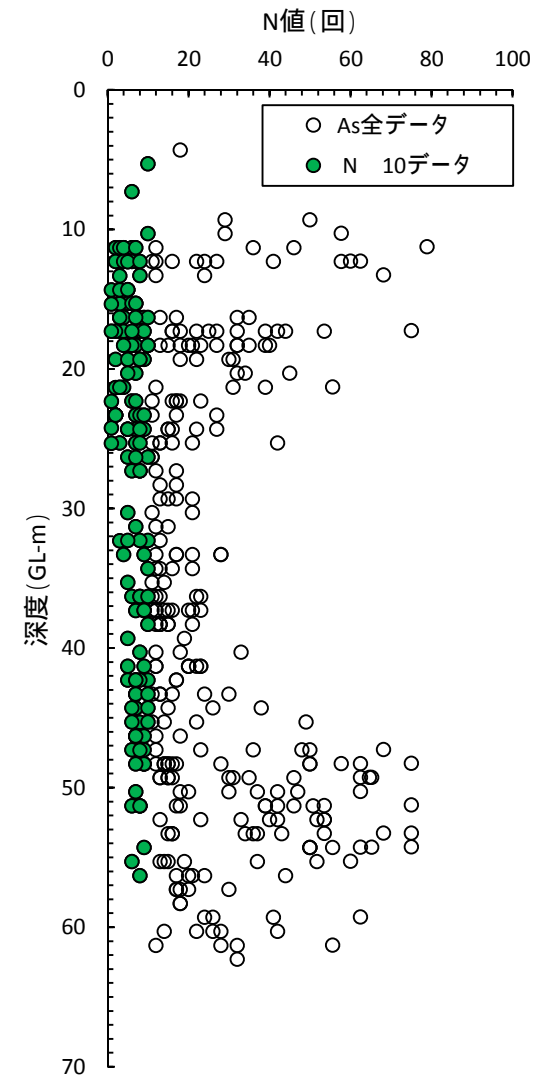
3.As層



N 10のデータを含む調査孔と液状化サンプリング地点の位置

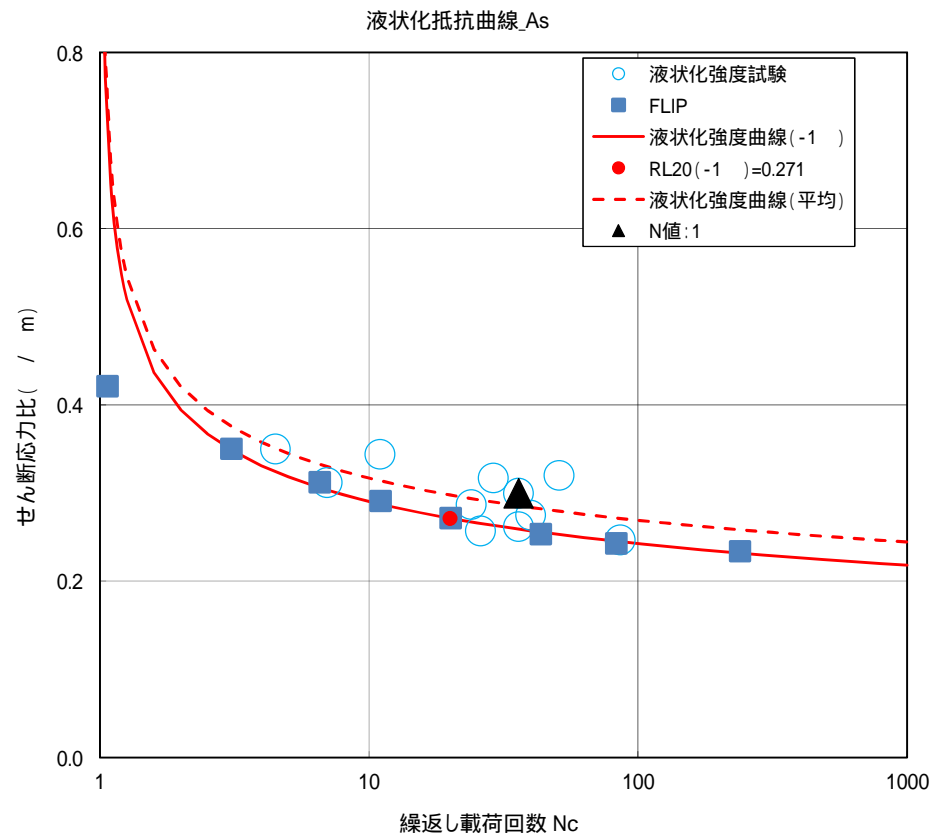
液状化強度試験試料サンプリング地点のN値

| サンプリング地点No. | 深度(m) | 調査孔N値 |
|-------------|-------------|-------|
| SC-11-19~20 | 20.00~24.00 | 7 |
| SC-11-32 | 43.00~44.00 | 24 |
| SC-11-47 | 59.00~60.00 | 18 |
| SC-9 | 37.45~38.00 | 7 |
| SC-10 | 17.40~18.30 | 1 |
| SC-7 | 17.55~18.55 | 35 |



N値深度分布

保守的なN値の箇所に着目したAs層の液状化強度について(2/2)

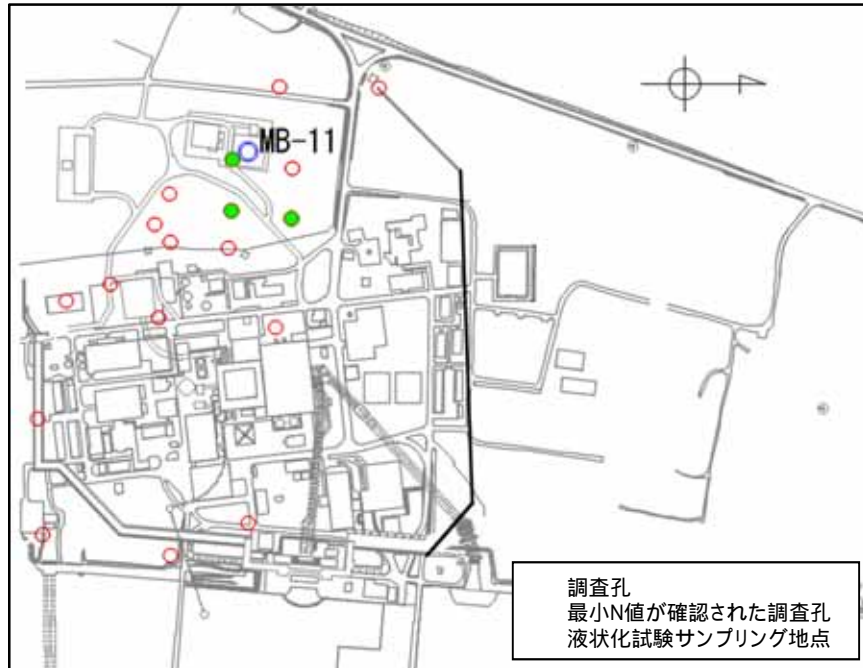


As層の液状化強度試験結果

- ・液状化強度試験用サンプリングは、N値1～34の範囲で、全深度にかけて行った。特にN 10は3箇所・2深度で、最下部のGL-60mでは最小N値(N=18)で実施した。
- ・N値 10の試料(SC-11-19～20, SC-9, SC-10)の液状化試験結果はN値が高い他試料とほぼ同等な液状化強度を有すると判断できる。
- ・以上の結果、液状化強度試験結果は保守性と代表性を有すると判断した。

保守的なN値の箇所に着目したD2s-3層の液状化強度について(1/2)

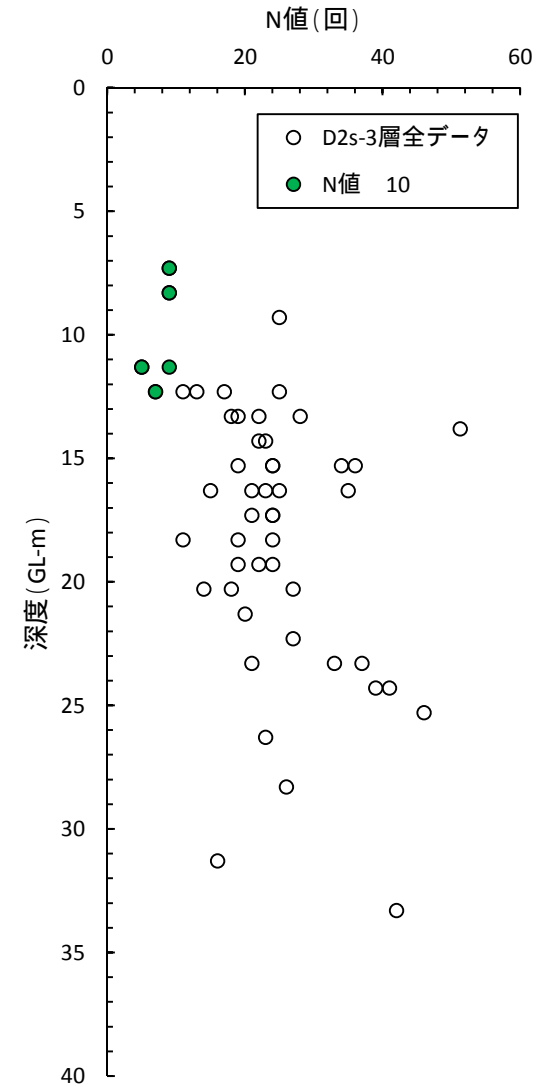
4.D2s-3層



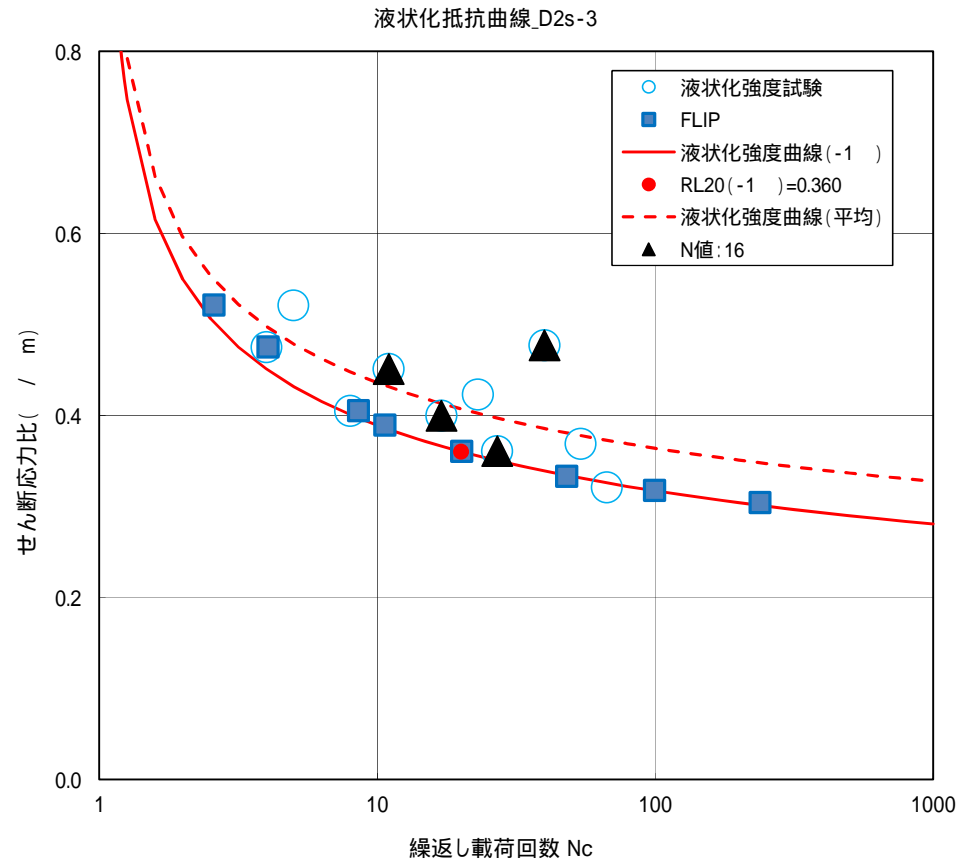
N 10のデータを含む調査孔と液状化サンプリング地点の位置

液状化強度試験試料サンプリング地点のN値

| サンプリング地点No. | 深度(m) | 調査孔N値 |
|----------------|---------------|-------|
| MB-11 -27 ~ 28 | 2.00 ~ 3.80 | - |
| MB-11 -44 | 14.54 ~ 15.46 | 16 |
| MB-11 -2 ~ 3 | 30.00 ~ 31.00 | 18 |



保守的なN値の箇所に着目したD2s-3層の液状化強度について(2/2)



D2s-3層の液状化強度試験結果

- ・D2s-3は、敷地の南部の高台に主に分布し、N値は5～51の範囲の値を示す。
- ・サンプリングは、D2s-3層の分布範囲で、比較的低いN値を示す場所で行った。
- ・液状化強度試験結果は、広いせん断応力比の範囲で実施出来、N値および採取深度によらず同様な液状化強度を有すると判断した。
- ・以上の結果、液状化強度試験はD2s-3層の分布範囲で比較的低いN値の範囲で採取された試料を用いており、保守性を持っていると判断した。

保守的なN値の箇所に着目したD2g-3層の液状化強度について(1/2)

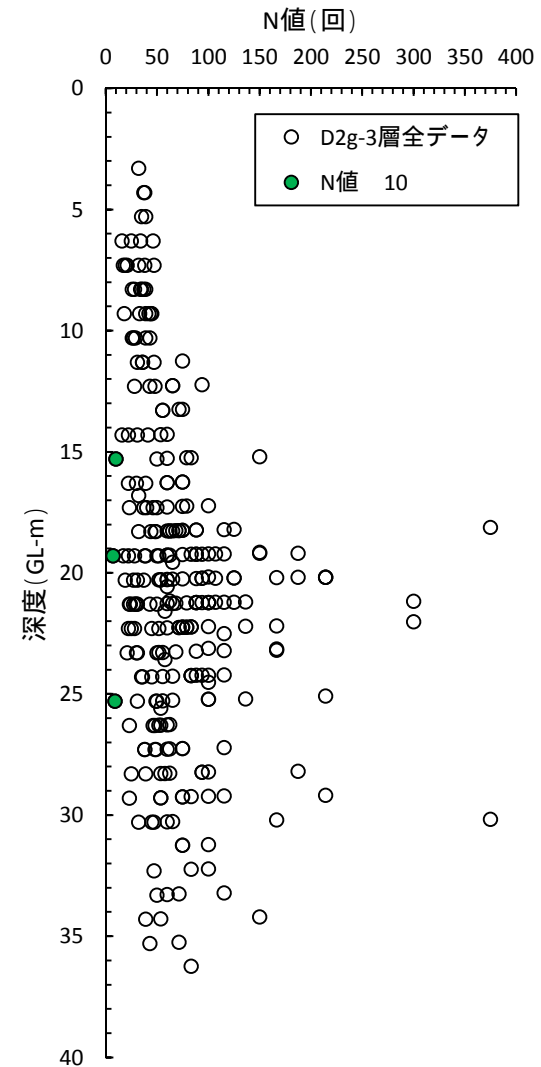
5.D2g-3層



N 10のデータを含む調査孔と液状化サンプリング地点の位置

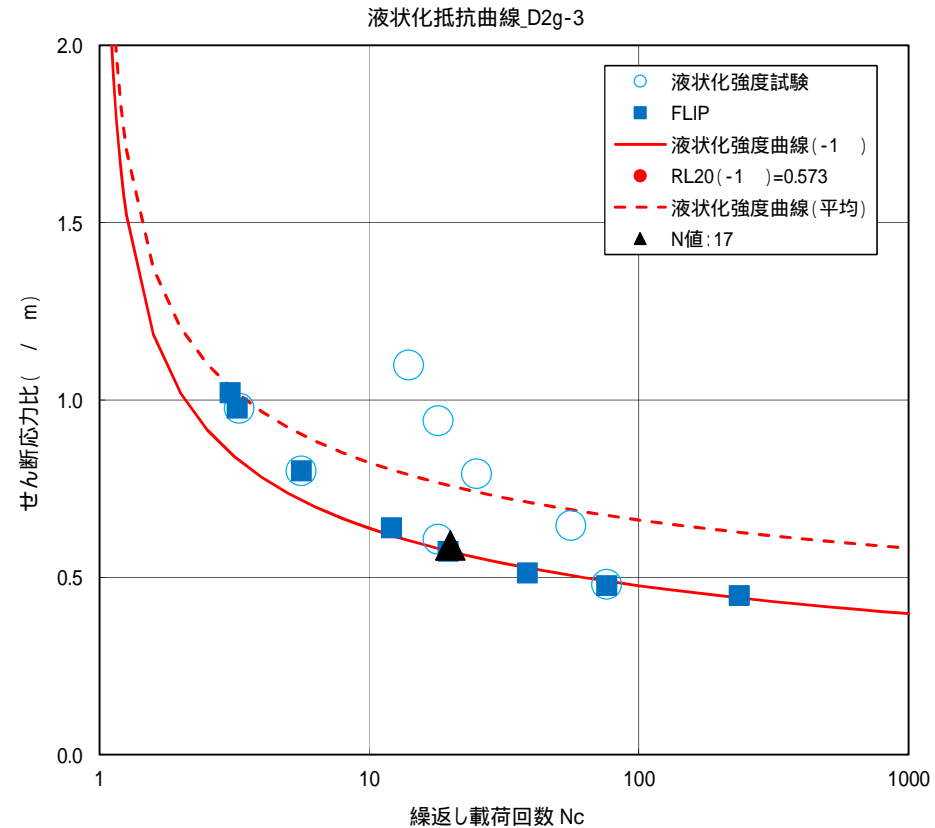
液状化強度試験試料サンプリング地点のN値

| サンプリング地点No. | 深度(m) | 調査孔N値 |
|-------------|---------------|-------|
| T-6-F | 17.50 ~ 17.80 | 17 |
| T-7-F | 20.00 ~ 20.30 | 31 |



N値深度分布

保守的なN値の箇所に着目したD2g-3層の液状化強度について(2/2)



D2g-3層の液状化強度試験結果

- ・洪積礫質土層(D2g-3)は、敷地の南部に分布し、N値は7～375の範囲の値を示し、非常に密な地盤である。
- ・サンプリングは、D2g-3層の比較的低いN値を示す調査孔の周辺で行った。
- ・試験結果はバラツキはあるものの、広いせん断応力比の範囲で実施し、十分な液状化強度が調べられている。
- ・液状化強度試験は、D2g-3層の分布範囲で比較的低いN値の範囲で採取された試料を用いており、保守性を持っていると判断できる。

保守的なN値の箇所に着目したD1g-1層の液状化強度について(1/2)

6.D1g-1層

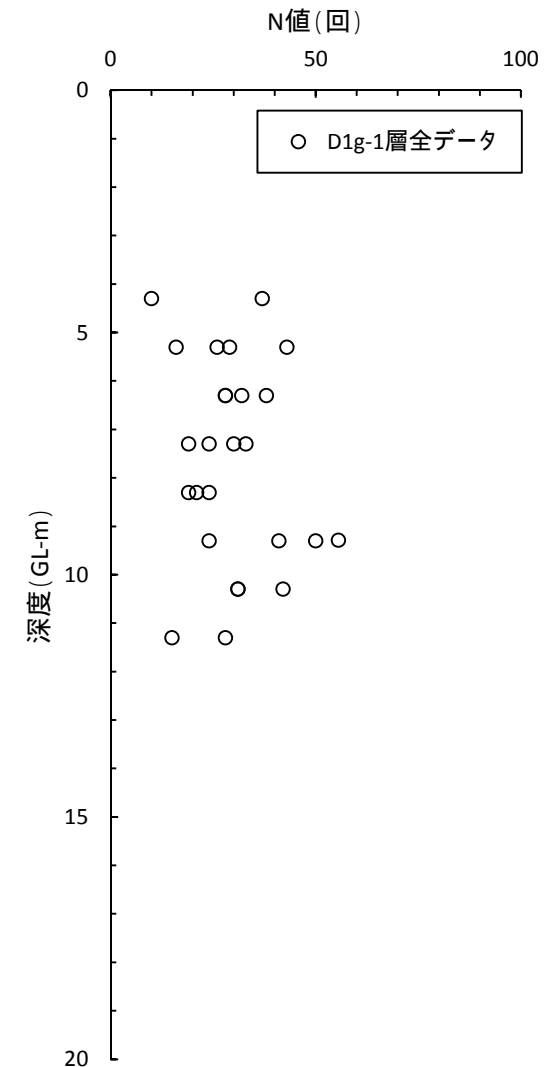


N 10のデータを含む調査孔と液状化サンプリング地点の位置

液状化強度試験試料サンプリング地点のN値

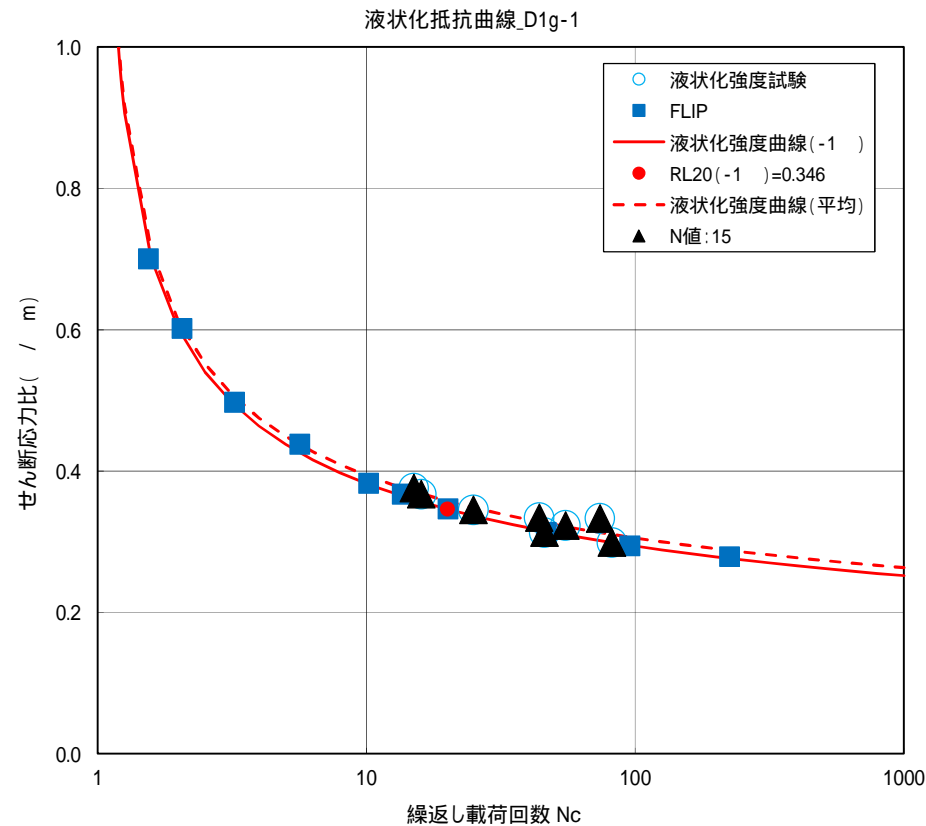
| サンプリング地点No. | 深度(m) | 調査孔N値 |
|-------------|---------------|-------|
| MB-4 -30 | 16.80 ~ 17.60 | 15 |
| MB-4 -49 | 16.70 ~ 17.70 | 15 |

注) 洪積礫質土層(D1g-1)は敷地内では確認できておらず、敷地外のデータを用いる。
サンプリング地点からデータを用いた調査孔までは391m離れている。



N値深度分布およびサンプリング深度

保守的なN値の箇所に着目したD1g-1層の液状化強度について(2/2)

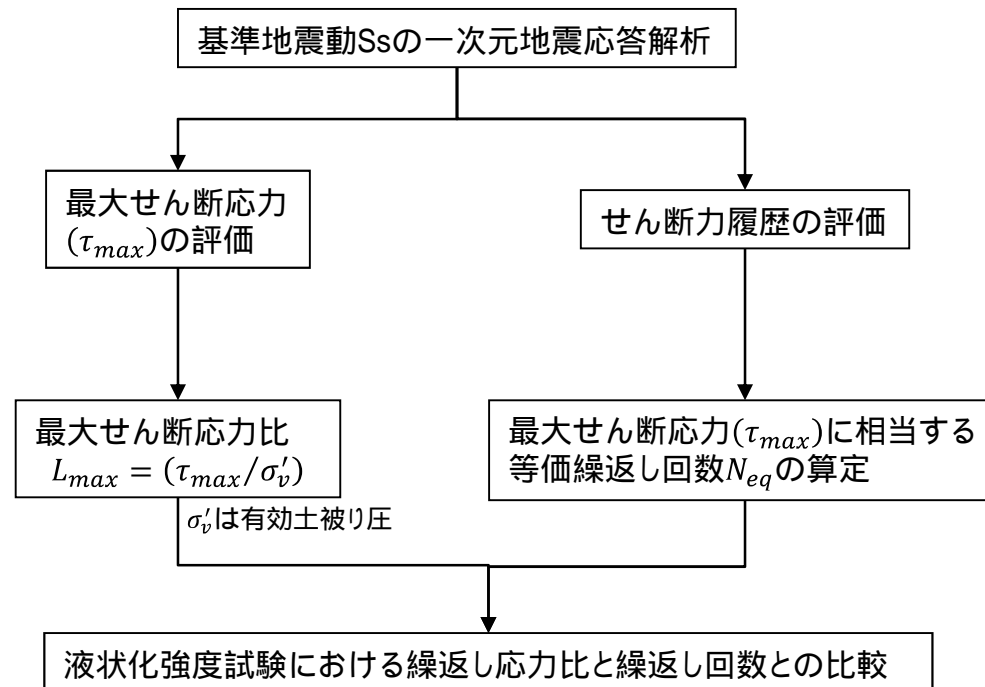


D1g-1層の液状化強度試験結果

- ・D1g-1は敷地の高台の限られた場所で分布し、敷地外調査孔のデータを使ってN値を整理した。
- ・サンプリングは、D1g-1のGL-16.7～-17.7mで行われた。採取深度のN値に関しては、地形等の条件から標高で比較して判断した。
- ・液状化強度試験は、D2s-3層の分布範囲で比較的N値の低い範囲で採取された試料を用いており、保守性を持っている。

基準地震動Ssに対する液状化強度試験の有効性確認 (1 / 10)

- ✓ 液状化強度試験が基準地震動Ss相当の地盤の状態(繰返し応力と繰返し回数)を模擬していることを確認する。
- ✓ 累積損傷度理論に基づき,地震応答解析結果(せん断応力比)を用いて評価を行う。評価フローを以下に示す。



基準地震動Ssに対する液状化強度試験の有効性確認 (2 / 10)

◆ 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

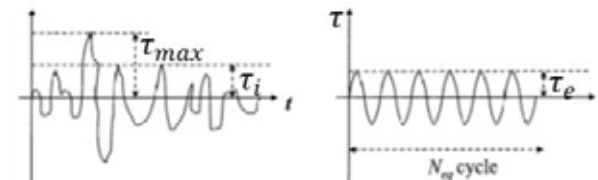
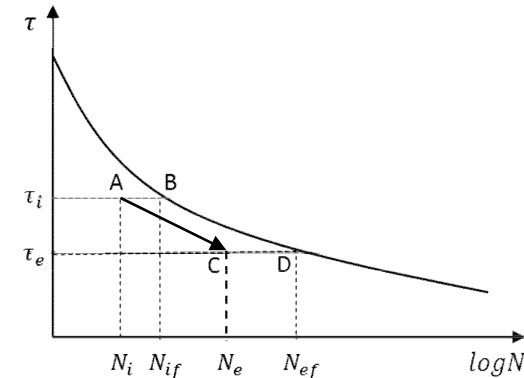
N_e : せん断応力 τ_e の繰返し回数

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}

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

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

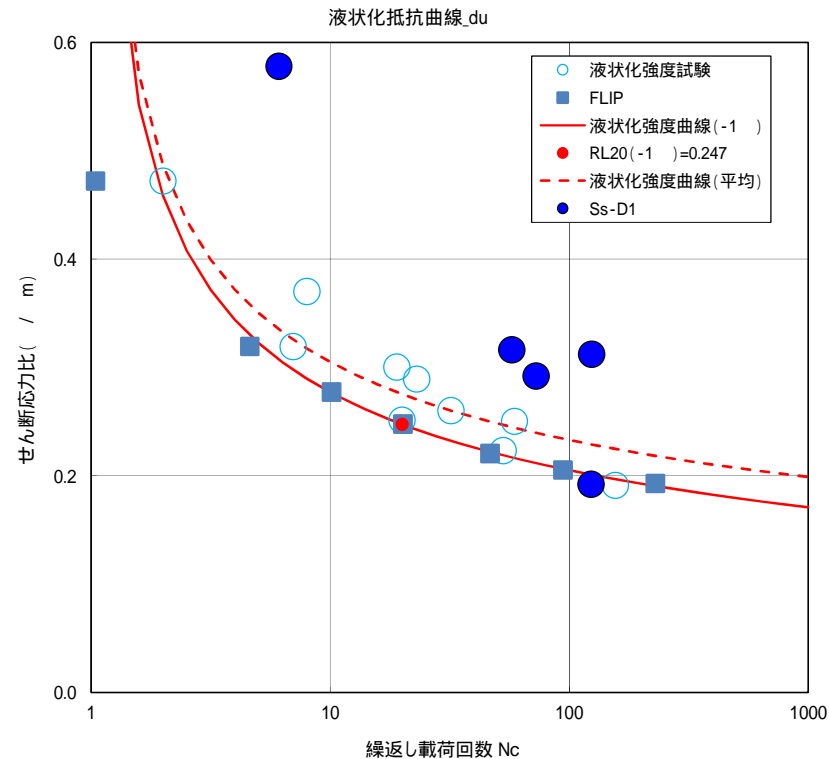


・ あるレベル未満のせん断応力は、 N_{if} が大きいため $(N_i/N_{if}) \approx 0$ となり、ほとんど破壊に寄与しない。今回の検討では、液状化強度試験の最大繰返し回数200回に相当するせん断応力を設定し、そのせん断力以下は対象外とした。

基準地震動Ssに対する液状化強度試験の有効性確認 (7 / 10)

【比較評価: du】

- ✓ 海水ポンプ室および取水口のdu層について、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、一次元有効応力解析の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}) と等価繰返し回数(N_{eq}) と比較した。
- ✓ 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および繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動Ss-D1相当の試験が実施出来ている。

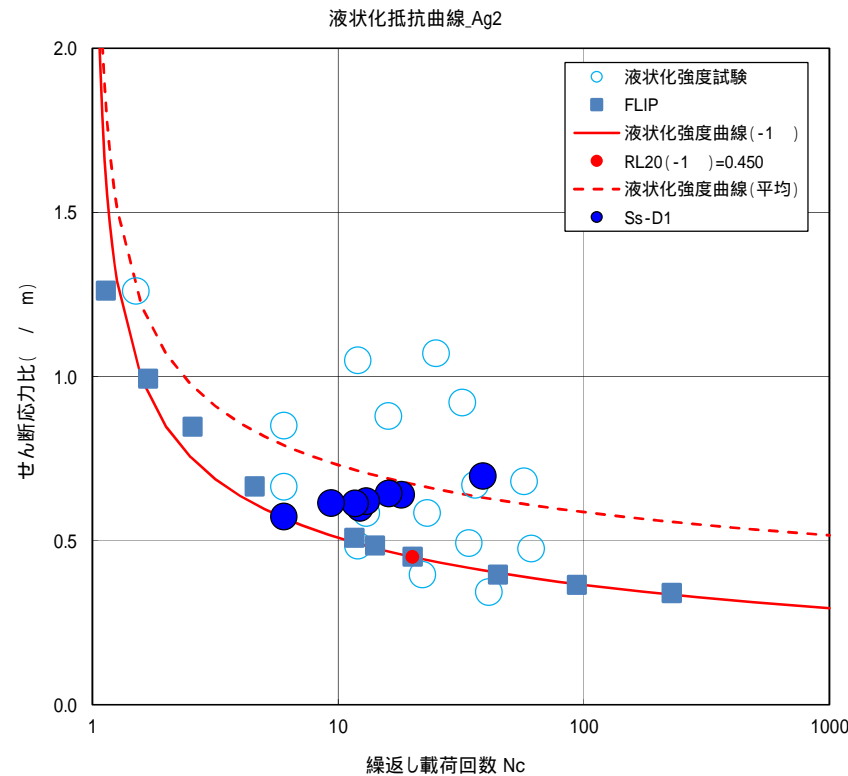


累積損傷度理論に基づく評価結果 (取水口・海水ポンプ室 du層)

基準地震動Ssに対する液状化強度試験の有効性確認 (8 / 10)

【比較評価: Ag2層】

- ✓ 海水ポンプ室および取水口のAg2層について、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、一次元逐次解析の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}) および等価繰返し回数(N_{eq}) と比較した。
- ✓ 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および繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動Ss-D1相当の試験が実施出来ている。

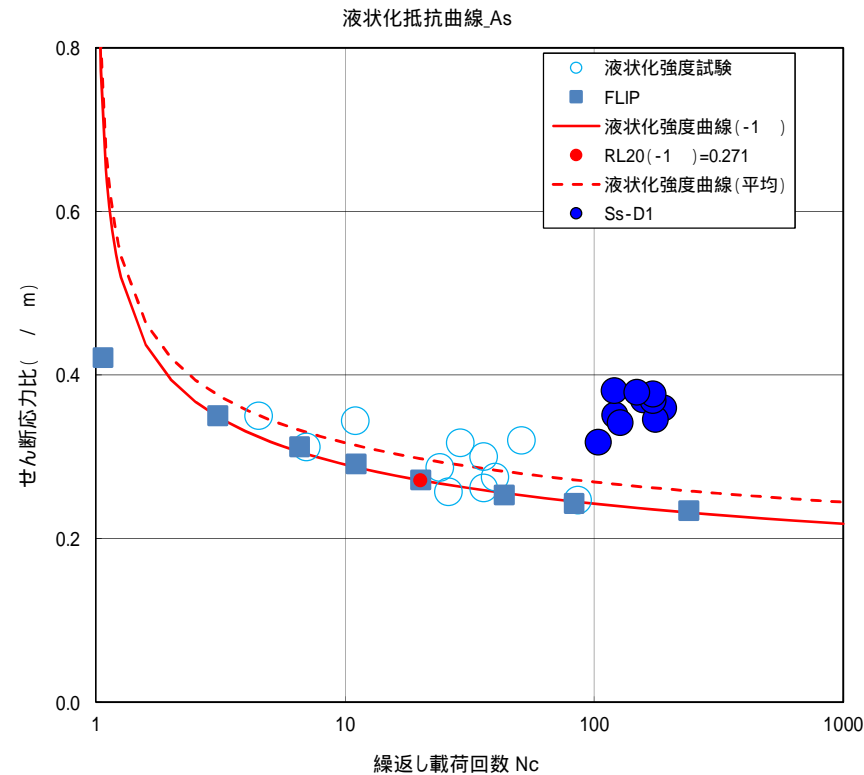


累積損傷度理論に基づく評価結果 (取水口・海水ポンプ室 Ag2層)

基準地震動Ssに対する液状化強度試験の有効性確認 (9 / 10)

【比較評価: As層】

- ✓ 海水ポンプ室および取水口のAs層について、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、一次元有効応力解析の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}) および等価繰返し回数(N_{eq}) と比較した。
- ✓ 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および繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動Ss-D1相当の試験が実施出来ている。

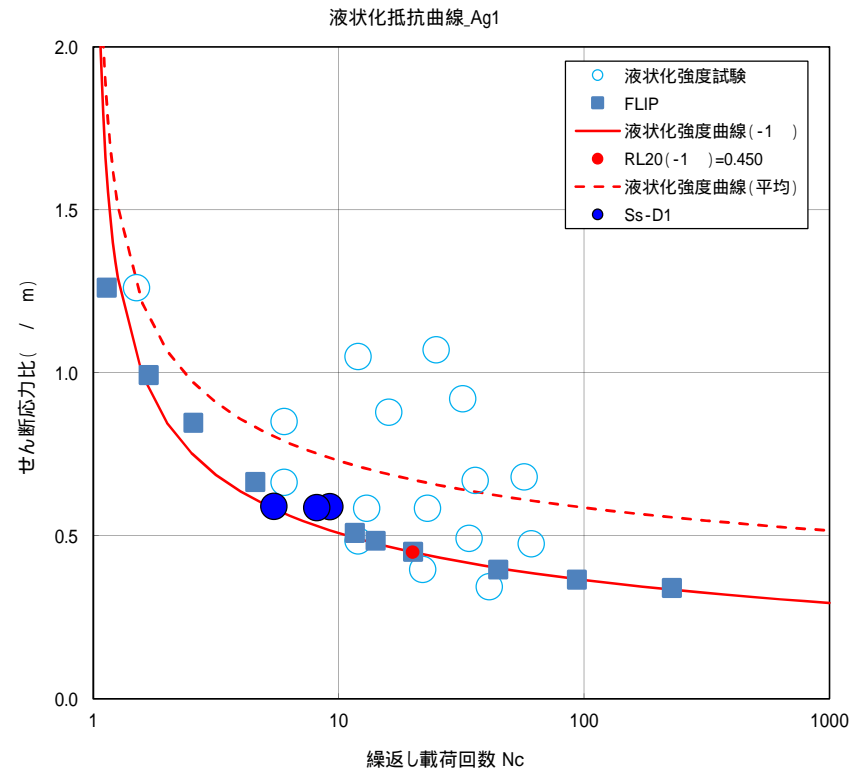


累積損傷度理論に基づく評価結果 (取水口・海水ポンプ室 As層)

基準地震動Ssに対する液状化強度試験の有効性確認 (10 / 10)

【比較評価: Ag1】

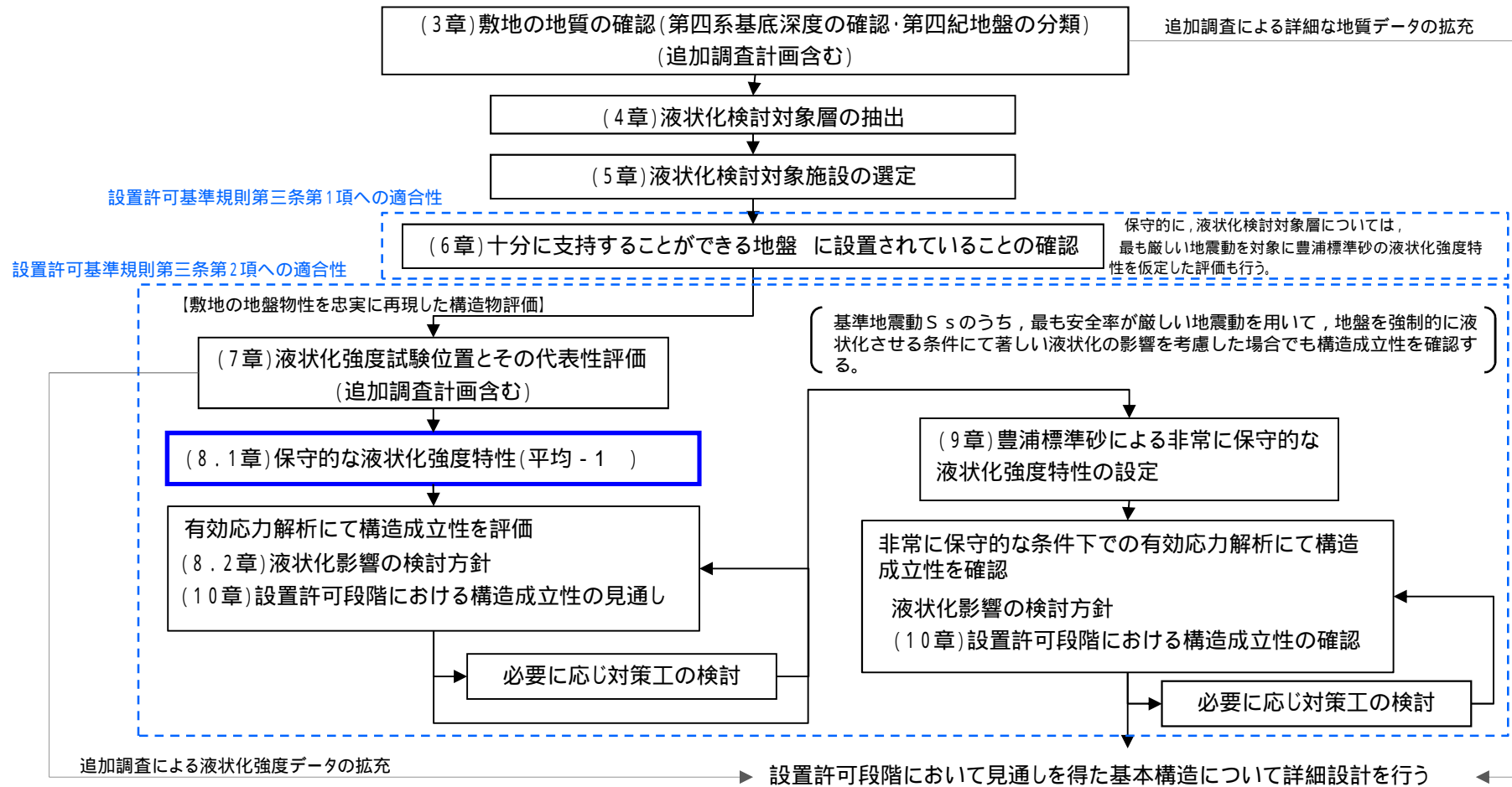
- ✓ 海水ポンプ室および取水口のAg1層について、試験結果から各せん断応力比(L) に対して所定のせん断ひずみとなる繰返し回数を整理し、次元有効応力解析の結果を累積損傷度理論に基づいて整理した最大せん断応力比(L_{max}) および等価繰返し回数(N_{eq}) と比較した。
- ✓ 解析結果による最大せん断応力比(L_{max}) と等価繰返し回数(N_{eq}) は、試験で実施したせん断応力および繰返し回数と同程度であり、概ね基準地震動Ss-D1相当の試験が実施出来ている。



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)

8. 有効応力解析の検討方針

8.1 保守的な液状化強度特性(平均 - 1)の設定について



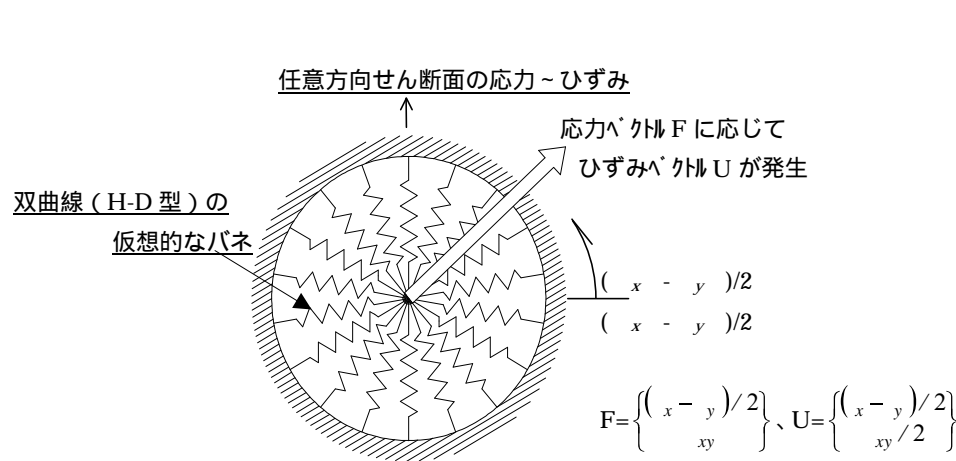
解析コード「FLIP」の構成則と特徴

- ・ FLIP (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。
- ・ FLIPの主な特徴として, 以下の ~ を挙げることが出来る。

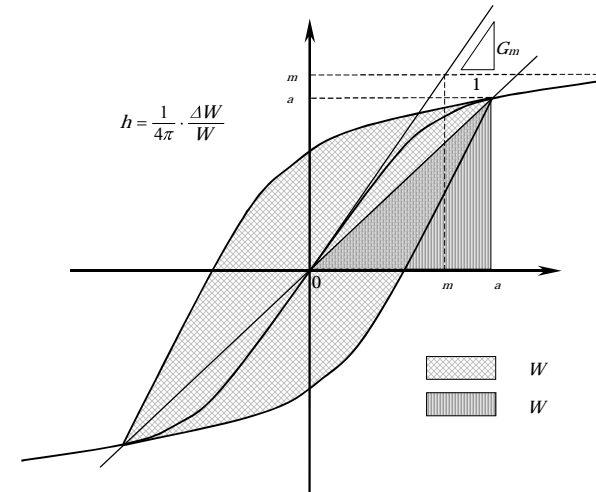
有限要素法に基づくプログラムである。
 平面ひずみ状態を解析対象とする。
 地盤の液状化を考慮した地震応答解析を行い, 部材断面力や残留変形等を計算する。
 土の応力 - ひずみモデルとして, マルチスプリングモデルを採用している。
 液状化現象は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧発生モデルとして井合モデルを用いている。

砂の応力 - ひずみモデル(マルチスプリングモデル)

- ・ 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, 「FLIP」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。



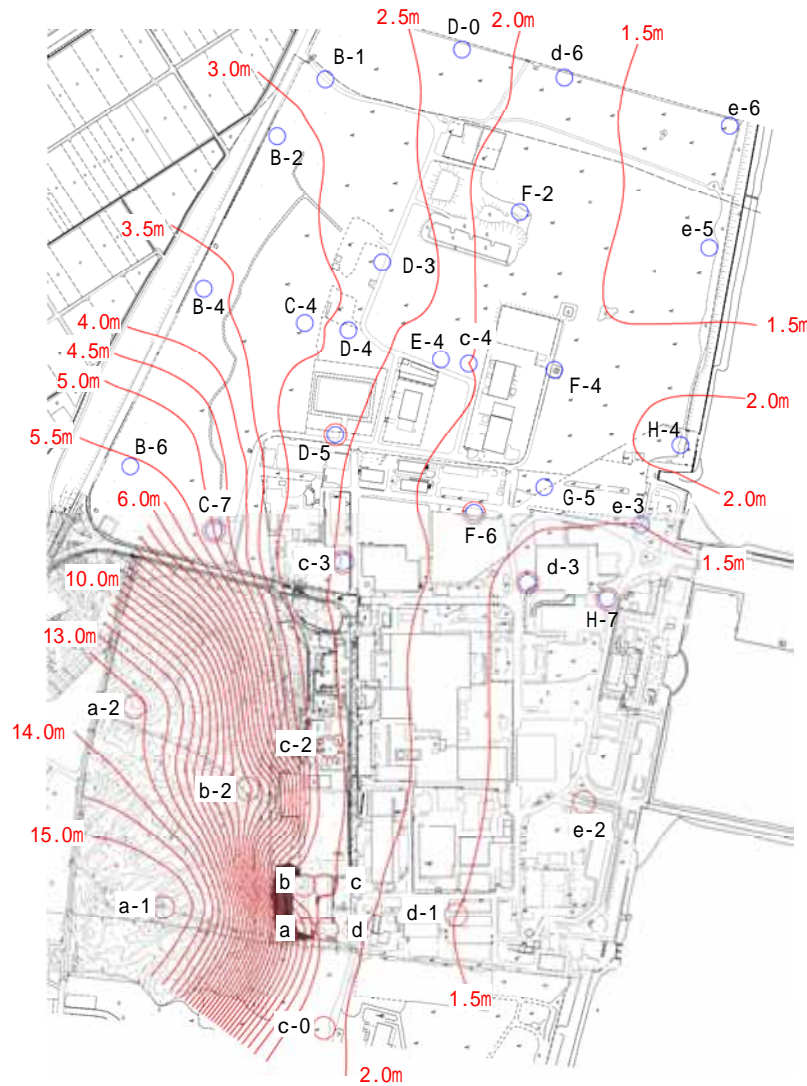
マルチスプリングモデルの概念図



非排水条件での土の応力 - ひずみ関係の概念図

地下水位分布

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。
(2017年6月時点にてデータの取り纏めを行い,コンターを作成)



観測最高地下水位コンター図(T.P + m)

| 観測孔名 | 計測期間 | 最高水位
(T.P. + m) | 最高水位
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 |

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「FLIP」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。

液状化の定義

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(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。

【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。

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

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。

【土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(p.730～749)】

各繰返しサイクルにおける過剰間隙水圧 u の最大値が有効拘束圧 σ_0 の95%になったときの繰返し載荷回数 N_{u95} を求める。

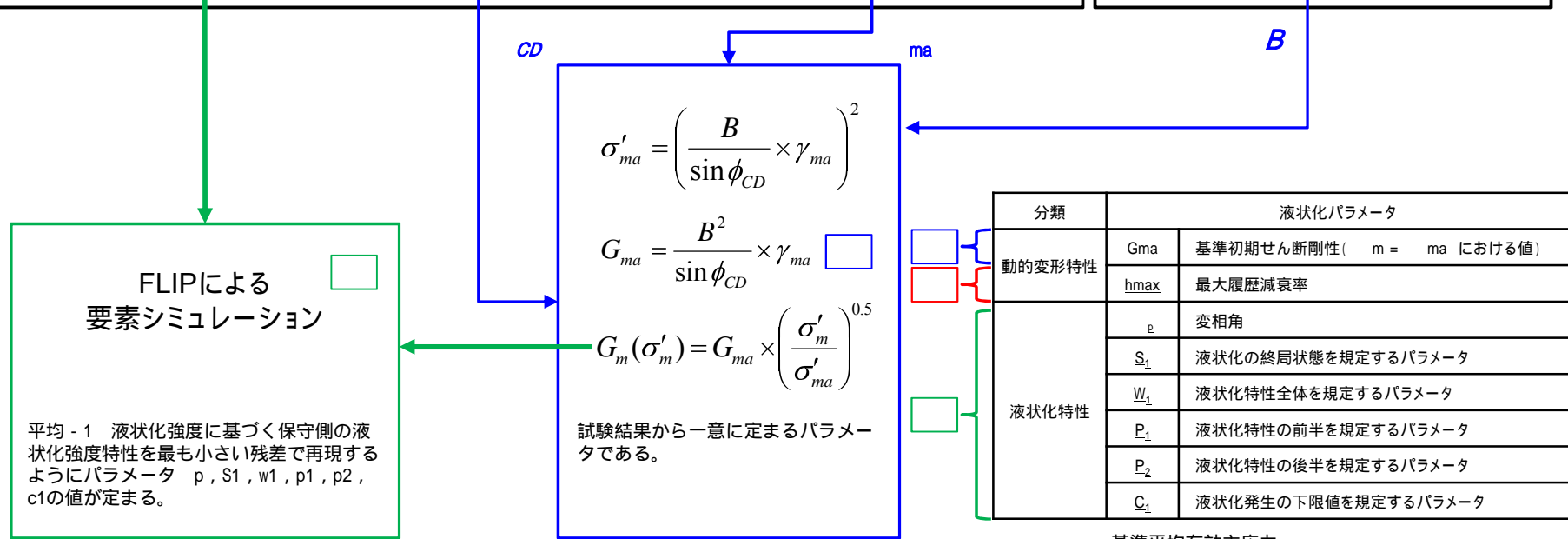
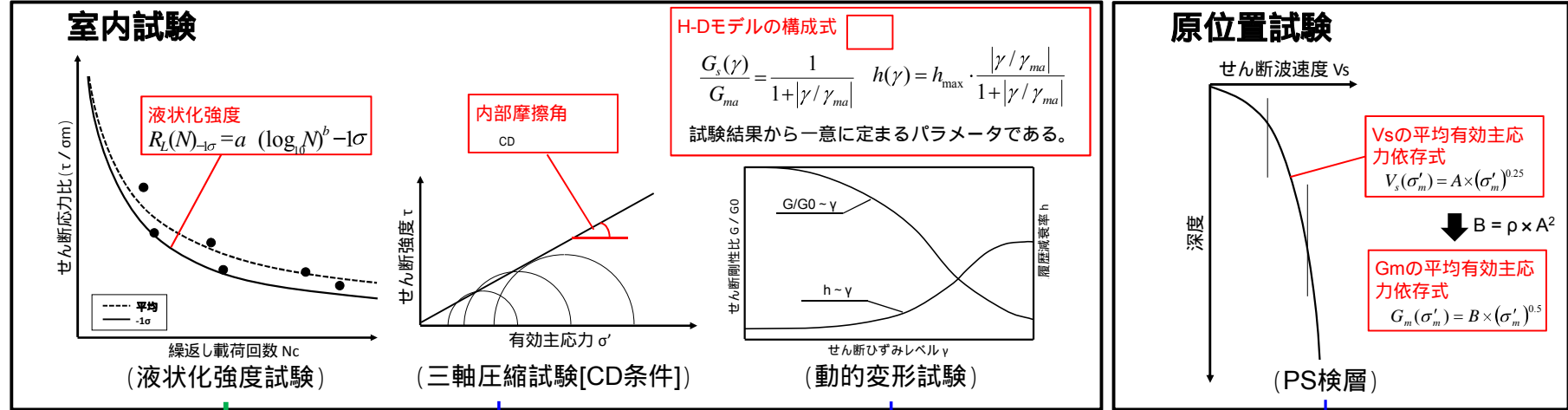


過剰間隙水圧を指標とした液状化の評価基準値について、“液状化の定義”及び“規格・基準における記載事例”に基づき、以下のように設定する。

・過剰間隙水圧 u 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。

液状化パラメータとその設定フロー

FLIPの入力パラメータの設定方法について、その概要を以下に記載する。



液状化パラメータ設定の流れ

液状化強度とパラメータ設定

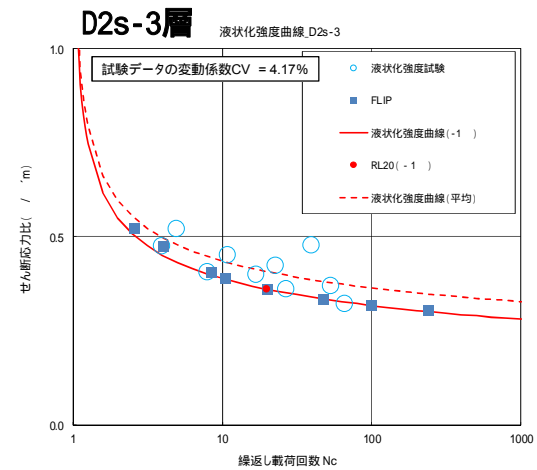
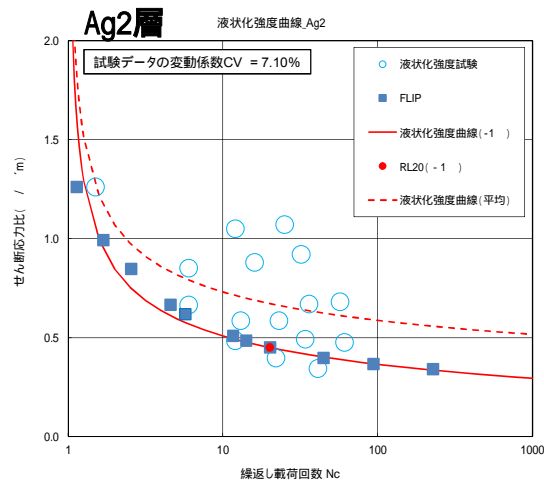
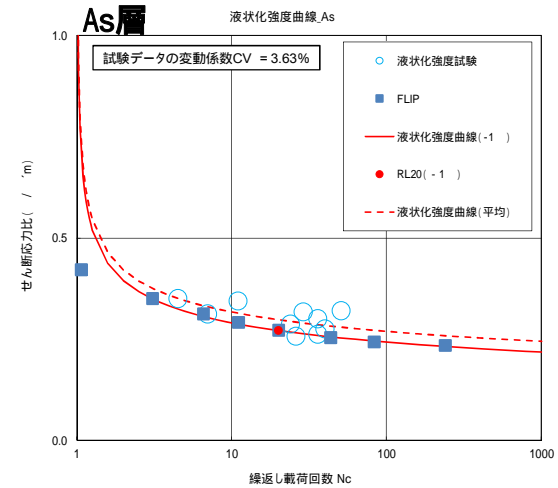
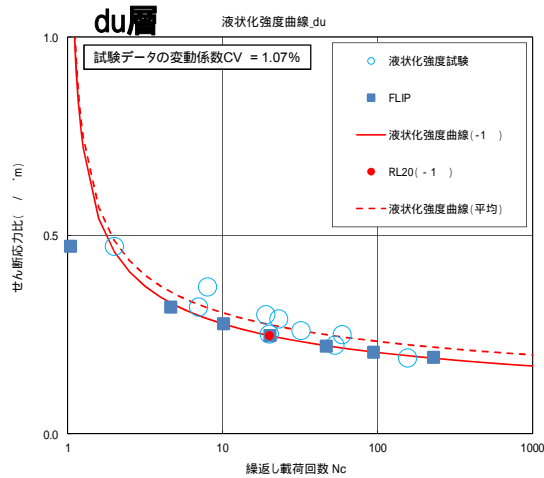
各層の液状化パラメータを以下に示す。

各層の液状化パラメータ

| | 間隙比
e | 液状化パラメータ | | | | | | | | |
|-------|----------|--|---|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | 基準平均有効
主応力 'ma
[kN/m ²] | 基準初期
せん断剛性Gma
[kN/m ²] | 最大履歴減衰率
hmax | ρ
[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 |
| 第四系 | 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 | 378 | 143,284 | 0.216 | 38.3 | 0.046 | 6.9 | 1.00 | 0.75 | 2.27 |
| | Ag1 | 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 | 696 | 285,223 | 0.186 | 非液状化層 | | | | | |
| | D2s-3 | 966 | 650,611 | 0.192 | 33.4 | 0.048 | 17.6 | 4.80 | 0.96 | 3.15 |
| | D2g-3 | 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 | 223 | 35,783 | 0.151 | 非液状化層 | | | | | |
| | D1c-1 | 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 |

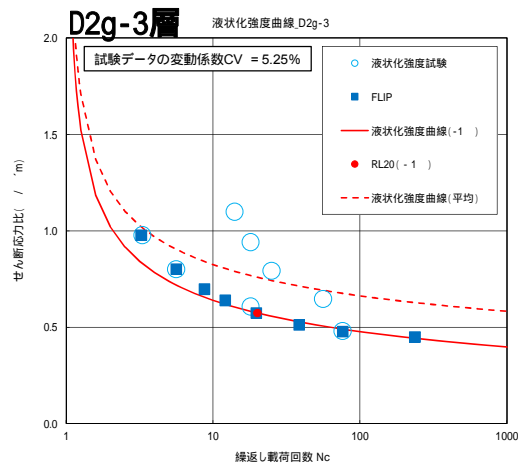
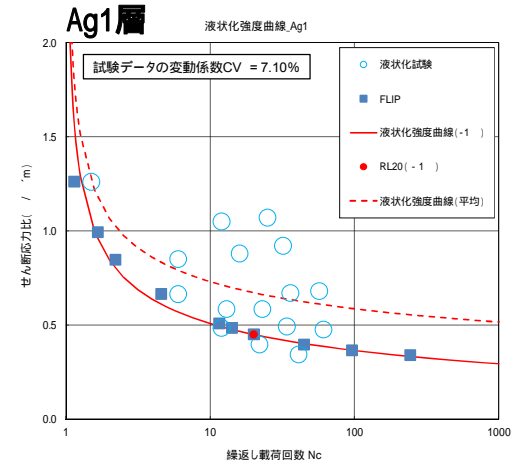
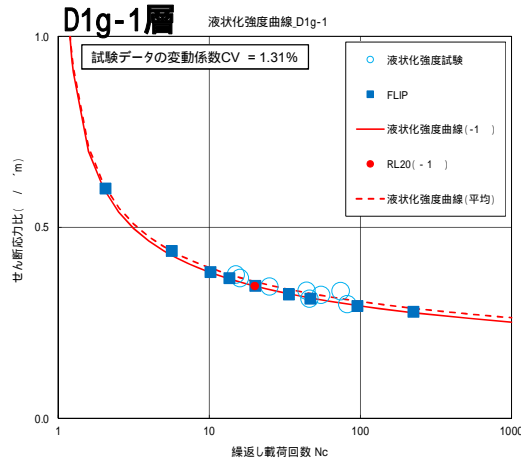
有効応力解析による保守的な液状化強度特性(平均 - 1)の再現

液状化強度試験結果の平均と標準偏差を考慮した保守的な設定(平均 - 1 設定)とした液状化強度曲線を以下に示す。

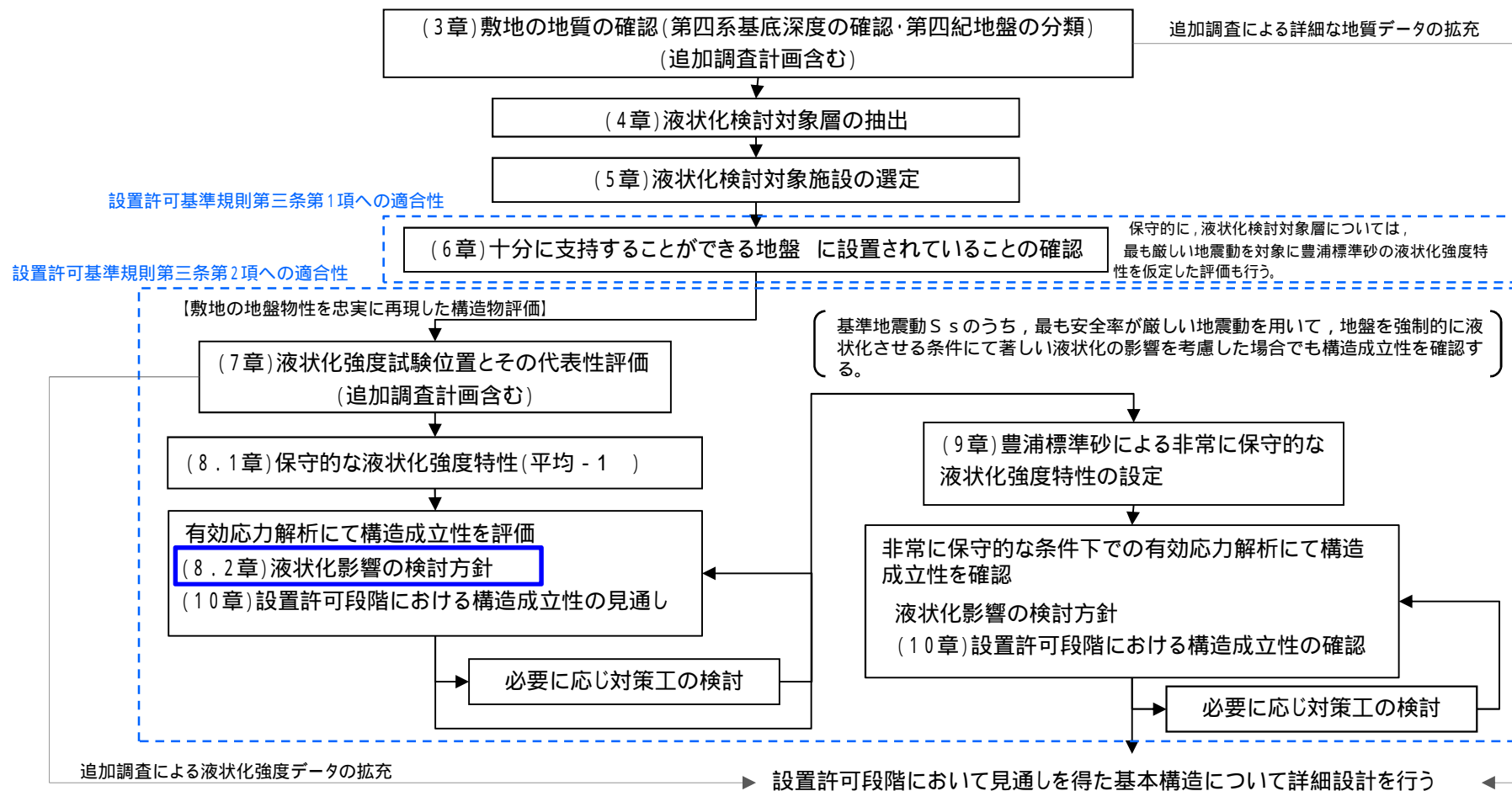


有効応力解析による保守的な液状化強度特性(平均 - 1)の再現

液状化強度試験結果の平均と標準偏差を考慮した保守的な設定(平均 - 1 設定)とした液状化強度曲線を以下に示す。



8.2 解析条件(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁)



評価方針

評価方針

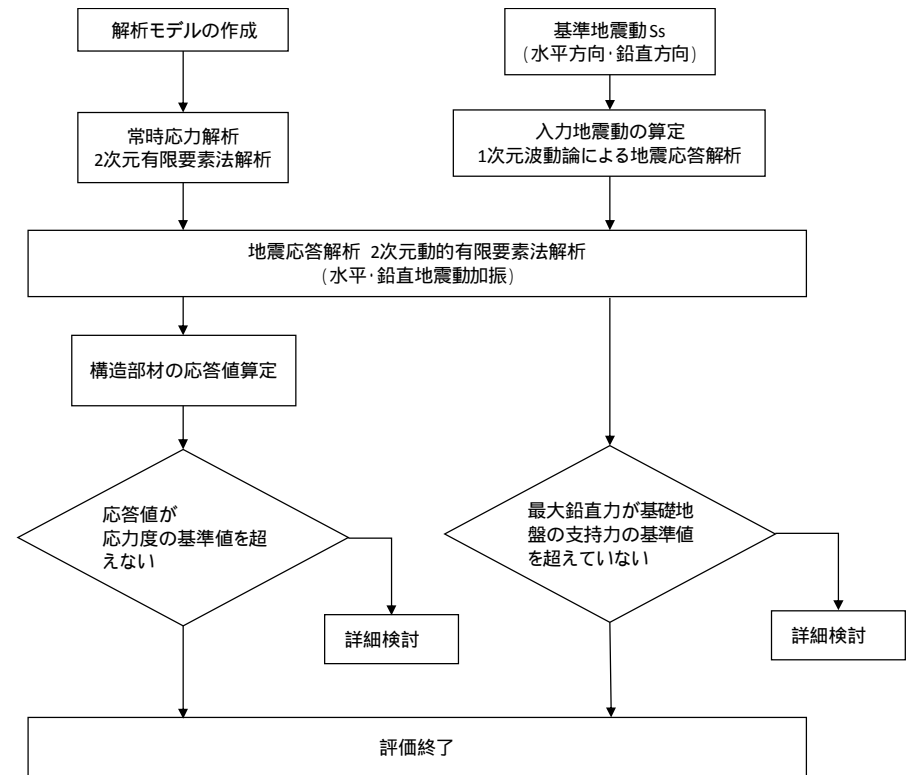
防潮壁の耐震性評価では、下記に示す項目の評価を行う。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析に基づく、鋼管杭の発生応力等が許容限界を超えないことを確認する。また、基礎地盤の支持性能については、最大鉛直力が許容限界を超えないことを確認する。

| 評価方針 | 評価項目 | 地震力 | 部位 | 評価方法 | 許容限界 |
|------------|-----------|---------|------|----------------------|-----------|
| 構造強度を有すること | 構造部材の健全性 | 基準地震動Ss | 鋼管杭 | 発生応力等が許容限界を超えないことを確認 | 短期許容応力度以下 |
| | 基礎地盤の支持性能 | 基準地震動Ss | 基礎地盤 | 最大鉛直力が許容限界を超えないことを確認 | 極限支持力度以下 |

適用規格

- 道路橋示方書(共通編・ 下部構造編)・同解説((社)日本道路協会,平成14年3月)



評価フロー

解析条件(2)

構造部材

構造部材は、線形要素あるいは履歴モデルを考慮する非線形要素によりモデル化する。

地盤

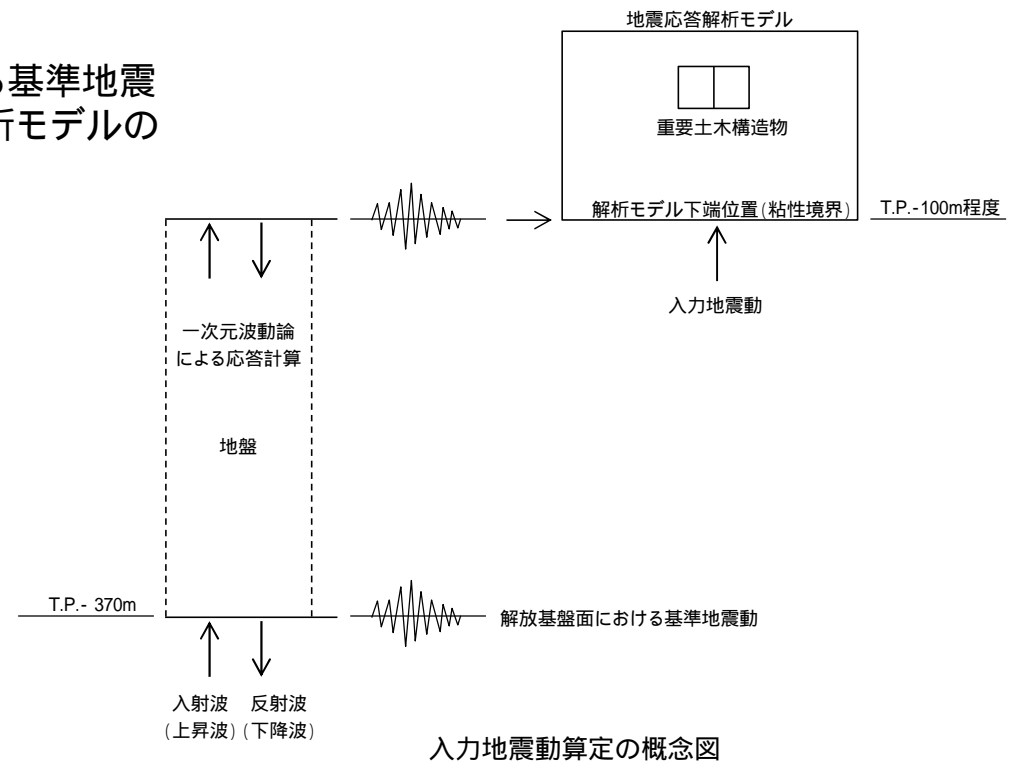
地盤は、マルチスプリング要素でモデル化し、液状化検討対象層は間隙水圧要素を考慮する。

減衰定数

減衰特性は、固有値解析等で求められる固有振動数に対応するRayleigh減衰と、地盤及び構造物の履歴減衰を考慮する。ただし、構造物を線形要素でモデル化する場合は構造物の履歴減衰は考慮しないこととなる。

入力地震動

入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を、一次元波動論によって地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。



評価方針

荷重及び荷重の組合せ

二次元有効応力解析に用いる荷重の組み合わせを以下に示す。

| 解析種別 | 荷重の考慮方法 | 方向 | 鋼管 | 鋼管内の土重量 | 長期荷重 | | | 短期荷重 | | 備考 |
|------|---------|----|-----------|-----------|------|------|-------|------|-----|----|
| | | | | | 天端コン | 被覆コン | 積雪 | 風 | 漂流物 | |
| 地震時 | 付加質量で考慮 | 水平 | 単位体積重量で考慮 | 単位体積重量で考慮 | | | (35%) | ○ | - | - |
| | | 鉛直 | | | | | (35%) | - | - | |

【積雪荷重】

$$S_w = P \cdot Z_s$$

S_w : 積雪荷重強度

P : 積雪の単位荷重 (= 20N/cm/m²)

Z_s : 垂直積雪量 (= 30cm)

【風荷重】

$$p = 0.5 \cdot \rho \cdot U_d^2 \cdot C_d \cdot G$$

p : 単位面積当たりの風荷重(N/m²)

ρ : 空気密度(1.23kg/m³)

U_d : 風速(m/s) = 30.0m/s

C_d : 抗力係数 = 1.6(一般値)

G : ガスト応答係数 = 1.9(一般値)

風は地表面より上の壁面に垂直に当たるものとする。

解析条件 (1)

解析モデル

要素高さ

要素の最大高さ (h_{max}) は、応力の変化をなめらかに表現でき、地震波の伝播を十分に考慮できるように下式により算定した。

$$h_{max} = \frac{1}{m} \cdot \lambda_s = \frac{1}{m} \cdot \frac{V_s}{f_{max}}$$

λ_s : せん断波の波長(m)
 V_s : せん断波の速度 (m/s)
 f_{max} : 考慮する地震動の最大周波数
 m : 分割係数 (5または4)

機器評価用のFRSを算定する場合は、その固有周期を考慮した上で、適切な最大周波数を設定する。

解析領域

鉛直方向は南側のKm層までの深度が浅い個所はE.L.-80m、北側のKm層までの深度が深い個所はE.L.-130mまでモデル化する。
水平方向は杭位置を中心に右は埋戻土が含まれない範囲までとし、左は右と同様の長さまでモデル化を行う。

境界条件

解析領域の側面及び底面には、エネルギーの逸散効果を表現するため、粘性境界を設ける。

地盤のモデル化

地質区分に基づき、平面ひずみ要素でモデル化する。

ジョイント要素

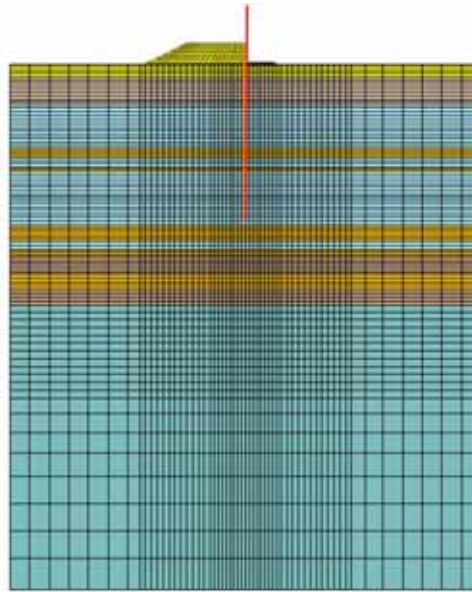
構造物と地盤改良の境界部、地盤改良と地盤の境界部及び地盤高さの嵩上げと杭間にジョイント要素を設けることを基本とし、境界部での剥離・すべりを考慮する。

水位条件

水位分布を基に、該当箇所の水位を考慮する。

解析条件 (1)

解析モデル



解析モデル(柱状モデル断面A)

使用材料及び材料の物性値

鋼管杭

| 管種SKK490 | 外径
(m) | 長さ L
(m) | 厚さ t
(mm) | 単位質量
w(kg/m) | ヤング係数
E(N/mm ²) |
|----------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| | 2.50 | 55.5 | 40 | 2427 | 2.0×10^5 |
| | 断面積 A
(m ²) | 断面係数 Z
(m ³) | 断面2次モーメント I
(m ⁴) | 有効せん断
断面積As (m ²) | ポアソン比 |
| | 0.301 | 0.18237 | 0.22778 | 0.301 | 0.30 |

コンクリート(荷重のみ考慮)

| 設計基準強度
(N/mm ²) | 単位体積重量
(kN/m ³) |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 24.0 | 24.5 |

評価方針

地盤の物性値

解析に用いる地盤物性値を以下に示す。

| 地質
区分 | m_0 | G_0 | K_0 | 静 | 動 | 静 | 動 | n | hmax | C | |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------|-------------------|-------------------|------|-------|-------------------|------|
| | kN/m ² | kN/m ² | kN/m ² | - | - | g/cm ³ | g/cm ³ | - | - | KN/m ² | ° |
| du+WL | 312 | 220723 | 386265 | 0.26 | 0.385 | 1.82 | 1.82 | 0.43 | 0.220 | 0 | 37.3 |
| du-WL | 358 | 253389 | 443431 | 0.26 | 0.493 | 0.98 | 1.98 | 0.43 | 0.220 | 0 | 37.3 |
| Ag2+WL | 299 | 167193 | 278655 | 0.25 | 0.286 | 1.89 | 1.89 | 0.40 | 0.233 | 0 | 37.4 |
| Ag2-WL | 497 | 278044 | 463407 | 0.25 | 0.491 | 1.01 | 2.01 | 0.40 | 0.233 | 0 | 37.4 |
| As | 378 | 143367 | 250892 | 0.26 | 0.484 | 0.74 | 1.74 | 0.55 | 0.216 | 0 | 41.0 |
| Ac | 480 | 121857 | 111702 | 0.10 | 0.486 | 0.65 | 1.65 | 0.61 | 0.200 | 25 | 29.1 |
| Ag1 | 814 | 392183 | 653638 | 0.25 | 0.483 | 1.01 | 2.01 | 0.40 | 0.221 | 0 | 37.4 |
| 地盤高さの嵩
上げ | 312 | 220723 | 386265 | 0.26 | 0.385 | 1.82 | 1.82 | 0.43 | 0.220 | 46 | 37.3 |
| 地盤改良 | 1 | 302488 | 529354 | 0.26 | 0.431 | 2.00 | 2.00 | 0.30 | 0.152 | 66 | 41.2 |

- 液状化検討対象層は、青色ハンチ部の地質区分とする。
- 地下水位以深は、間隙水圧要素を配置し、液状化を加味するものとする。なお、間隙水の体積弾性係数は $K=2.2 \times 10^6$ (kN/m²) を用いる。

評価方針

地盤の物性値

液状化パラメータを以下に示す。

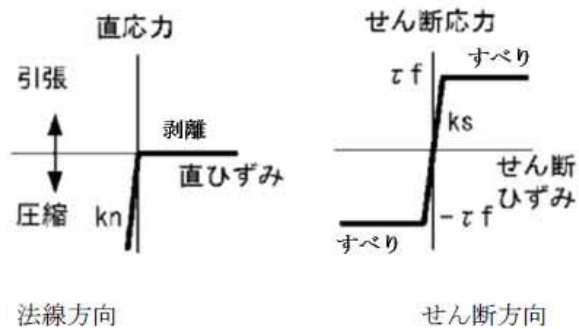
| 地質区分 | | p | s1 | w1 | p1 | p2 | c1 |
|----------|------|------|-------|--------|--------|-------|-------|
| | ° | ° | - | - | - | - | - |
| du+WL | 37.3 | - | - | - | - | - | - |
| du-WL | 37.3 | 34.8 | 0.047 | 6.500 | 1.260 | 0.800 | 2.000 |
| Ag2+WL | 37.4 | - | - | - | - | - | - |
| Ag2-WL | 37.4 | 34.9 | 0.028 | 56.500 | 9.000 | 0.600 | 3.400 |
| As | 41.0 | 38.3 | 0.046 | 6.900 | 1.000 | 0.750 | 2.270 |
| Ac | 29.1 | - | - | - | - | - | - |
| Ag1 | 37.4 | 34.9 | 0.029 | 51.600 | 12.000 | 0.600 | 3.350 |
| 地盤高さの嵩上げ | 37.3 | - | - | - | - | - | - |
| 地盤改良 | 41.2 | - | - | - | - | - | - |

□ 液状化検討対象層は、青色ハンチ部の地質区分とする。

評価方針

ジョイント要素の設定

構造物と地盤改良の境界部, 地盤改良と地盤の境界部及び地盤高さの嵩上げ工と杭間にジョイント要素を設けることを基本とし, 境界部での剥離・すべりを考慮する。ジョイント要素の特性は法線方向, 接線方向に分けて設定する。法線方向では, 引張応力が生じた場合, 境界部にせん断抵抗力以上のせん断力が発生した場合, 剛性をゼロとし, すべりを考慮する。静止摩擦力 f はMohr-Coulomb式により規定される。境界部の c, ϕ は地盤物性値で与えられているものを用い, 境界部の各々の値の内, 小さい方を採用する。ジョイントの剛性については, 数値安定性を得るため, 過大な剛性を与えず, 0.5乗則に従った深さ依存の地盤の剛性にに基づき設定する。



ジョイント要素の力学特性

第四紀層

せん断剛性

$$k_s(\sigma'_m) = G_{ma} \times \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{ma}} \right)^{0.5} \times \eta$$

圧縮剛性

$$k_n(\sigma'_m) = \left[\frac{2 \times \left\{ G_{ma} \times \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{ma}} \right)^{0.5} \right\} \times v_{CD}}{1 - 2 \times v_{CD}} + 2 \times G_{ma} \times \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_{ma}} \right)^{0.5} \right] \times \xi$$

せん断強度

$$\tau_f(\sigma'_n) = C + \sigma'_n \times \tan \phi_{CD}$$

第三紀層

せん断剛性

$$k_s(z) = \rho(z) \times \{V_s(z)\}^2 \times \eta$$

圧縮剛性

$$k_n(z) = \left[\frac{2 \times \left[\rho(z) \times \{V_s(z)\}^2 \right] \times v_{CD}(z)}{1 - 2 \times v_{CD}(z)} + 2 \times \rho(z) \times \{V_s(z)\}^2 \right] \times \xi$$

せん断特性

$$\tau_f(\sigma'_n) = C(z) + \sigma'_n \times \tan \phi_{CD}(z)$$

評価方針

荷重の入力方法

固定荷重

固定荷重である自重は、鉄筋コンクリート及び鋼管杭の単位体積重量を踏まえ、構造物の断面の大きさに応じて算定する。

地震荷重

地震荷重である地震力は基準地震動 S_s を入力地震動としてモデル底面に入力する。

許容限界

鋼管杭に対する許容限界

曲げ

鋼管杭の曲げに対する許容限界は、道路橋示方書同解説 下部工編12.9杭体の設計P.422に基づき、応答曲げモーメントが短期許容応力度以下であることを照査する。なお、応力度照査は、全時間で実施してその内、最大値を用いて照査する。なお、各時間における曲げに対する応力度照査は以下式による。

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{Z}$$

ここで M はある時刻における曲げモーメント、 A は鋼管の断面積、 M はある時刻の曲げモーメント、 Z は鋼管の断面係数を示す。

評価方針

許容限界

鋼管杭に対する許容限界

座屈

鋼管杭の座屈に対しては、道路橋示方書同解説下部工編では、全長が地中に埋め込まれた杭では、一般に座屈の影響を考慮しなくてもよいと記述がある。一方、建築基礎構造設計指針第6章杭基礎 6.7節 杭体の断面設計a.鋼管杭 1)終局耐力P.303によれば、終局耐力の項に座屈に対する記述があることから、これを適用する。圧縮あるいは引張力が単独で作用するときの鋼管杭の終局限界圧縮耐力 N_u (N)は、以下式による。

$$N_u = F \left(0.8 + 2.5 \frac{t}{r} \right) A \quad (0.01 < t/r \leq 0.08)$$

ここに、 F は鋼材の基準強度(= σ_y) (N/mm²)、 t :鋼管の厚さ(腐食代を考慮)(mm)、 r :鋼管の半径(mm)、 A :鋼管の断面積(腐食代を考慮)(mm²)である。上式は、加藤ら及び岸田・高野による実験的研究に基づき、局部座屈の影響を考慮した算定式である。厚さ径比 t/r が0.01より小さい場合には低い応力で局部座屈が生じる危険性があり、杭としては適当ではないので範囲から除外している。なお、 t/r が0.04以上の鋼管杭には局部座屈は生じない。以上から、 t/r を算出し、発生軸力が N_u 以下であることを照査する。

せん断

鋼管杭のせん断に対する許容限界は、曲げと同様に道路橋示方書同解説 下部工編12.9杭体の設計 P.422に基づき、応答曲げモーメントが短期許容応力度以下であることを照査する。なお、応力度照査は、全時間で実施してその内、最大値を用いて照査する。なお、各時間におけるせん断に対する応力度照査は以下に式による。

$$\tau = \frac{S}{A}$$

ここで、 S はある時刻におけるせん断力を示す。

評価方針

許容限界

基礎地盤の支持性能に対する許容限界

極限支持力度

基礎地盤の支持性能に対する照査は、杭頭に作用する最大鉛直力が道路橋示方書同解説 下部工編 12.4杭の許容支持力P383に基づき算定した極限支持力以下であることを照査する。極限支持力算定式を以下に示す。

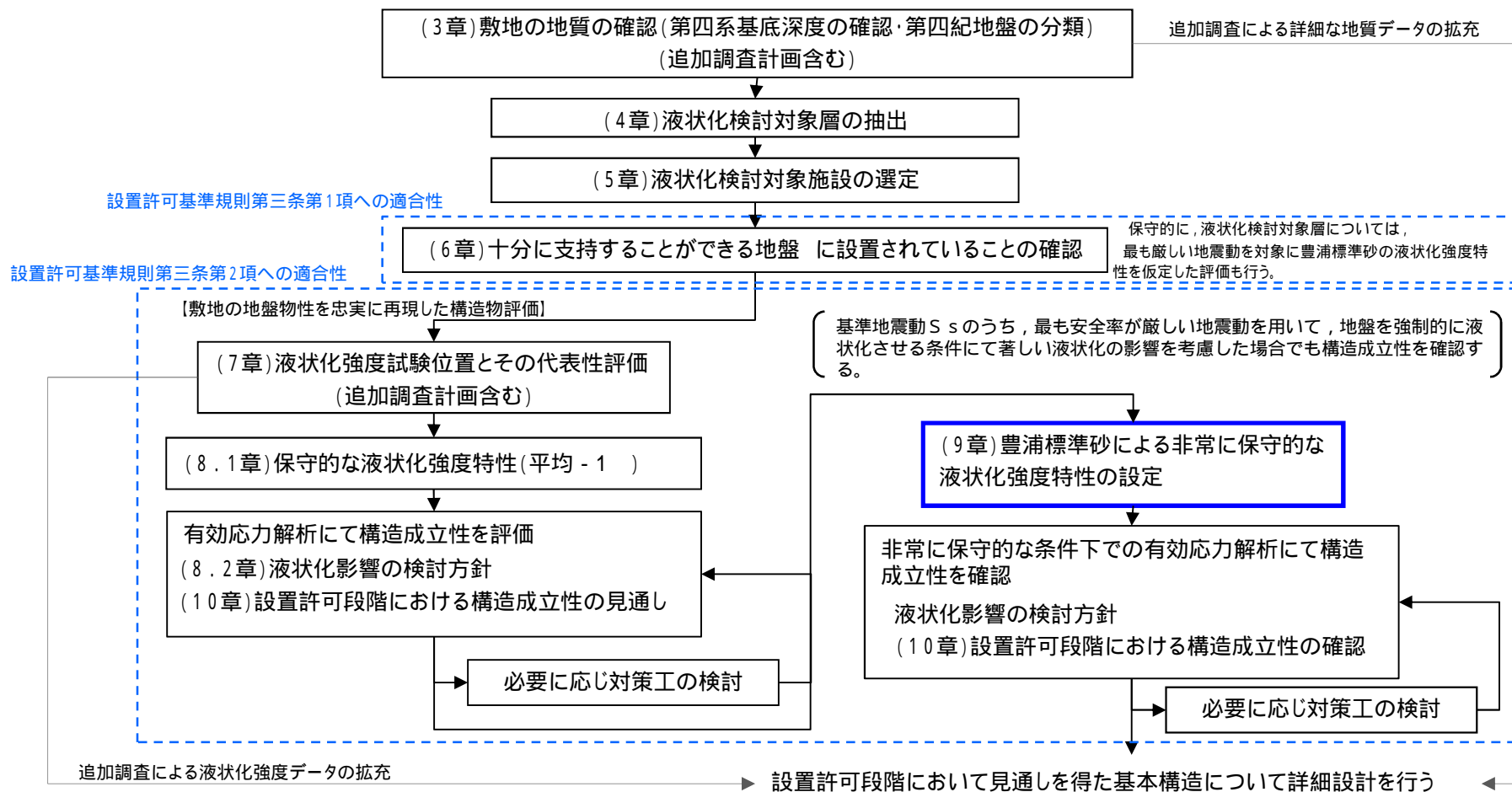
$$R_a = \frac{\gamma}{n} (R_u - W_s) + W_s - W$$

ここに、 R_a は杭頭における杭の軸方向許容押し込み支持力(kN)、 n は安全率(=1.2, キャスク指針に従いSs地震動を適用)、 γ は極限支持力算定法の相違による安全率の補正係数(=1.0, 支持力推定式を適用)、 R_u は地盤から決まる杭の極限支持力(kN)、 W_s は杭で置き換えられる部分の土の有効重量(kN)、 W は杭及び杭内部の津陳の有効重量。 R_u は以下式による。

$$R_u = q_d A + U \sum L_i f_i$$

ここに、 R_u は地盤から決まる杭の極限支持力(kN)、 A は断面積(m²)、 q_d は杭先端における単位面積当たりの極限支持力度(kN/m²)、 U は杭の周長、 L_i は周面m冊力を考慮する層の層厚(m)(液状化影響評価対象層の周面摩擦力は考慮しない)、 f_i は周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度(kN/m²)

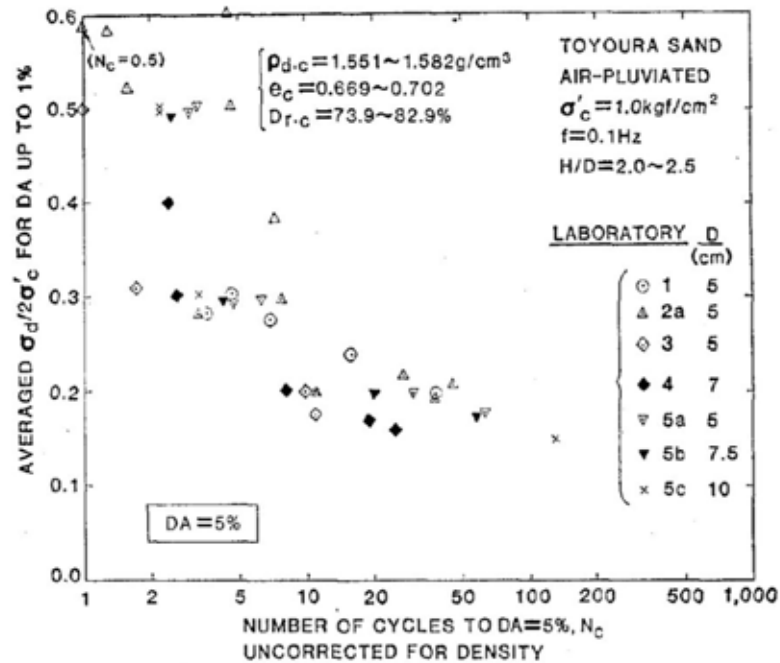
9. 保守的な液状化強度特性(豊浦標準砂)の仮定について



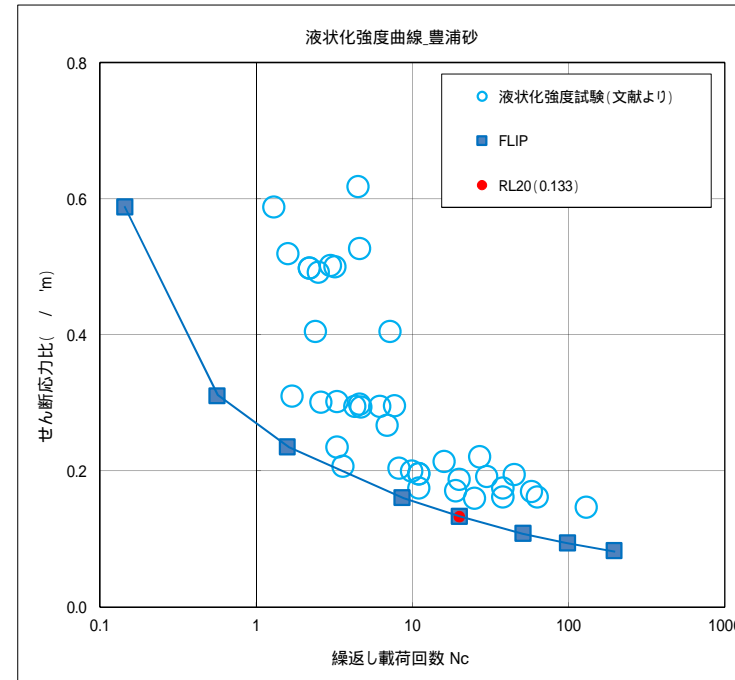
9. 保守的な耐震設計検討で仮定する液状化強度特性(豊浦標準砂)について
豊浦標準砂の液状化パラメータ

豊浦標準砂の保守的な液状化強度特性
 文献 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
 保守的となる液状化パラメータを設定する。

CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM
 [Soils and Foundations, JSSMFE. 26-3. (1986)]



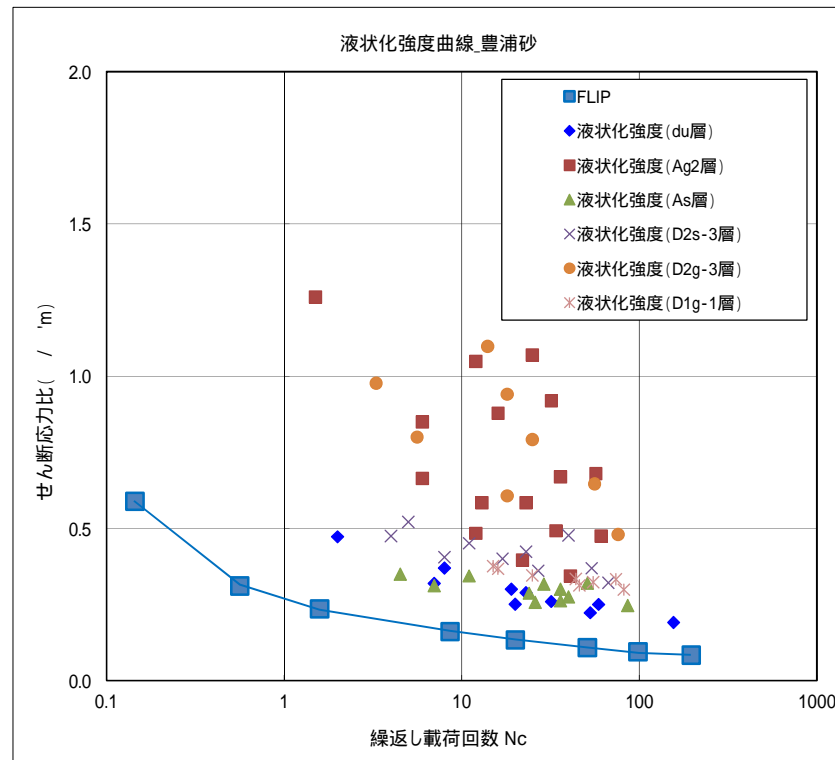
豊浦標準砂の液状化強度試験データ(文献 からの引用)



FLIPによる豊浦標準砂の保守的な液状化特性

9. 保守的な耐震設計検討で仮定する液状化強度特性(豊浦標準砂)について 東海第二発電所の各層の液状化強度試験データの比較

豊浦標準砂の保守的な液状化強度特性を東海第二発電所の各層の液状化強度試験データを比較した結果を以下に示す。

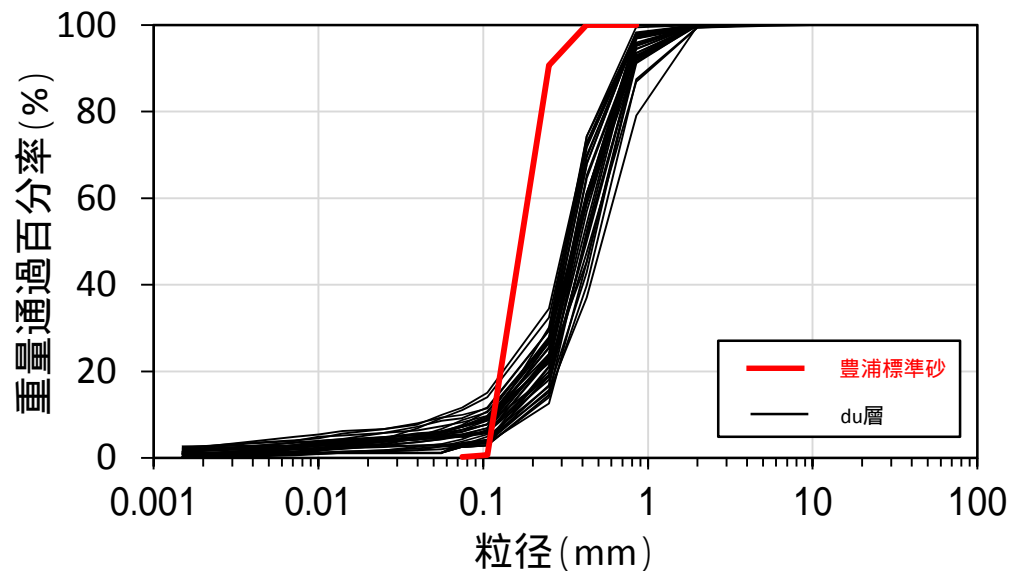


豊浦標準砂の保守的な液状化特性と東海第二発電所の各層の液状化強度試験データ

豊浦標準砂の保守的な液状化強度特性と東海第二発電所の各層の液状化強度試験データを比較した結果、豊浦標準砂は相対的に液状化し易く、非常に保守的な液状化強度特性となっていることを確認した。

9. 保守的な耐震設計検討で仮定する液状化強度特性(豊浦標準砂)について
豊浦標準砂とdu層の粒度分布比較

豊浦標準砂とdu層の粒度分布 について比較した結果を以下に示す。



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))」よりデータを引用している。

粒径加積曲線による比較

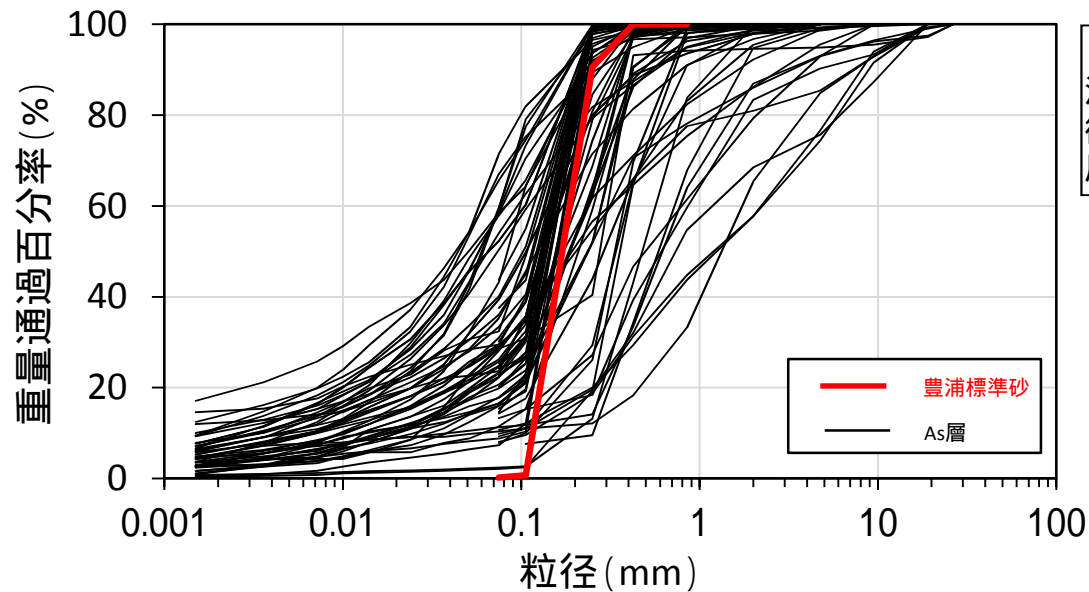
平均粒径と細粒分含有率

| | 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 |

豊浦標準砂とdu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言える。

9. 保守的な耐震設計検討で仮定する液状化強度特性(豊浦標準砂)について
豊浦標準砂とAs層の粒度分布比較

豊浦標準砂とAs層の粒度分布 について比較した結果を以下に示す。



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))」よりデータを引用している。

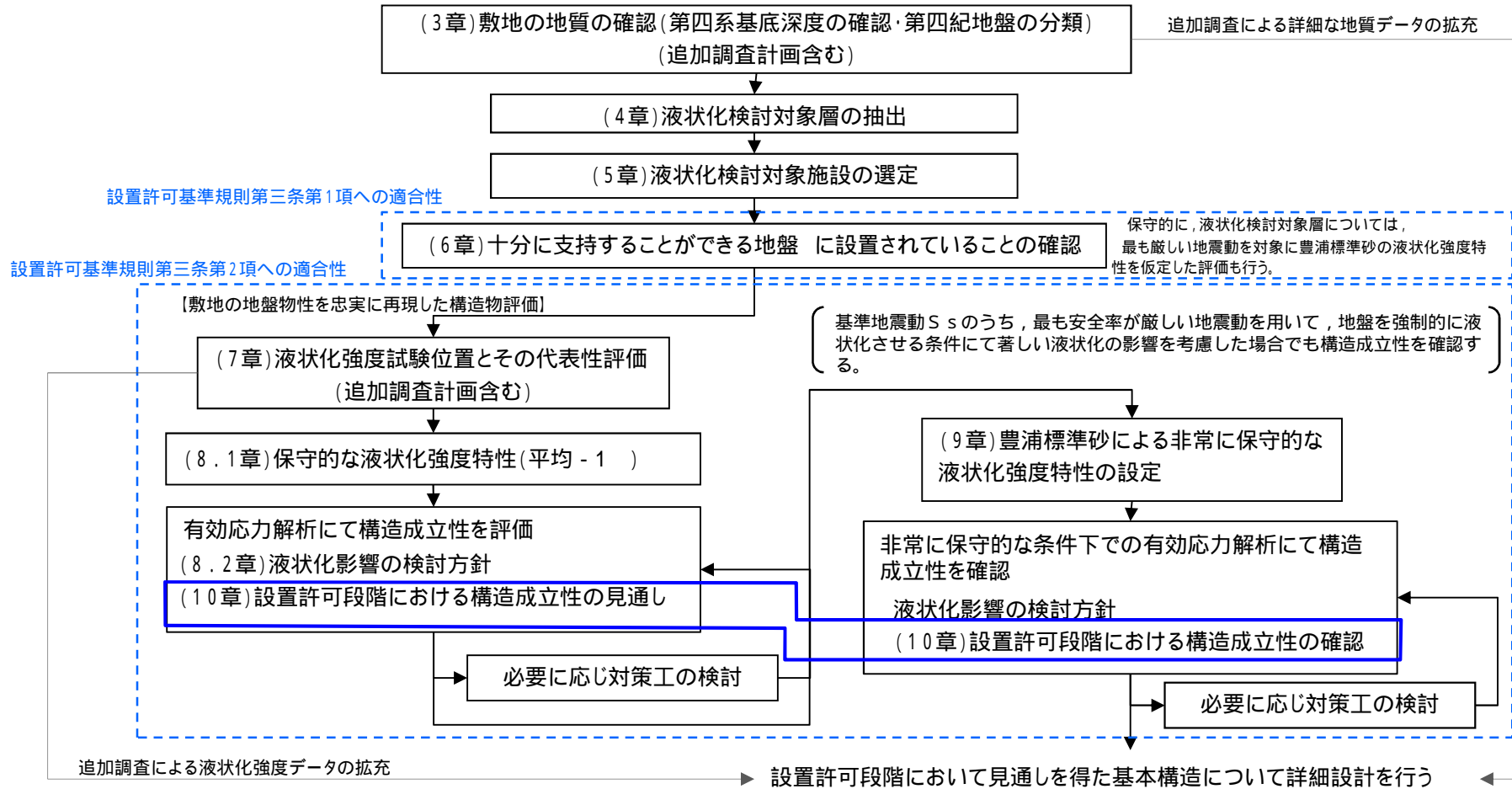
粒径加積曲線による比較

平均粒径と細粒分含有率

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

豊浦標準砂と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言える。

10. 現状における液状化の影響評価結果



現在得られている液状化影響評価結果は以下の通りである。

評価対象施設: 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁

| 基準地震動 | | 設置許可段階における構造成立性の
見通し
(保守的な液状化強度特性(平均 - 1)) | 設置許可段階における構造成立性の
確認(豊浦標準砂による非常に保守的な
液状化強度特性) |
|-------|---|---|--|
| Ss-D1 | 応答スペクトル手法による基準地震動 | 今回提示(別途資料PD-2-17にて提示)
(正, 正)のみの結果 | 今回提示(別途資料PD-2-17にて提示) |
| Ss-11 | F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1) | | |
| Ss-12 | F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2) | | |
| Ss-13 | F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3) | | |
| Ss-14 | F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2) | | |
| Ss-21 | 2011年東北地方太平洋沖型地震
(短周期レベルの不確かさ) | | |
| Ss-22 | 2011年東北地方太平洋沖型地震
(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳) | | |
| Ss-31 | 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動 | | |

Ss-D1は水平・鉛直反転を考慮し, (正, 正), (正, 逆), (逆, 正), (逆, 逆)の組合せについて, 評価を行う。

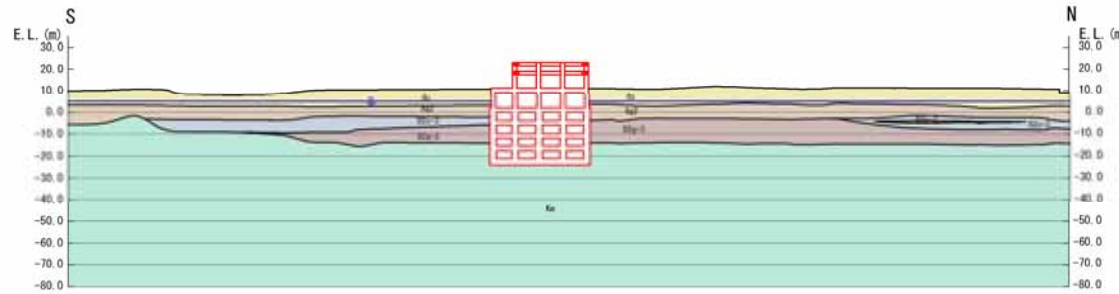
Ss-31は水平反転を考慮し, (正, 正), (逆, 正)の組合せについて, 評価を行う。

(参考)

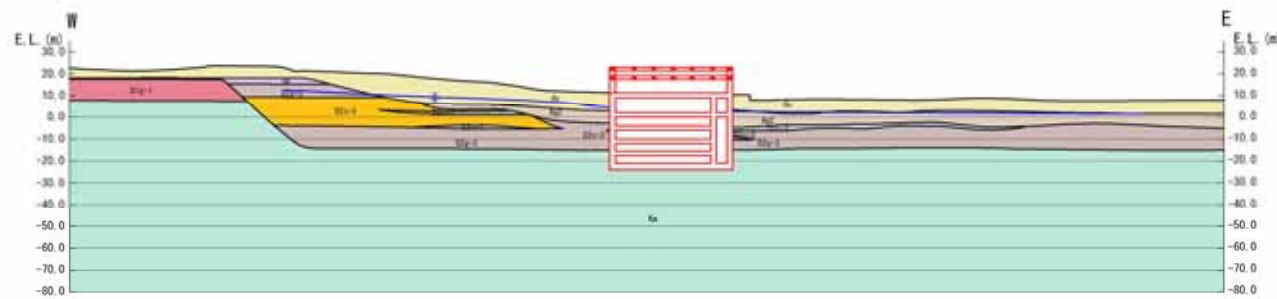
(参考1) 「耐震重要施設」及び「常設重大事故等対処施設」に係る地質断面図

(参考1) 「耐震重要施設」及び「常設重大事故等対処施設」に係る地質断面図
地質断面図 岩盤に直接支持している施設(1/4)

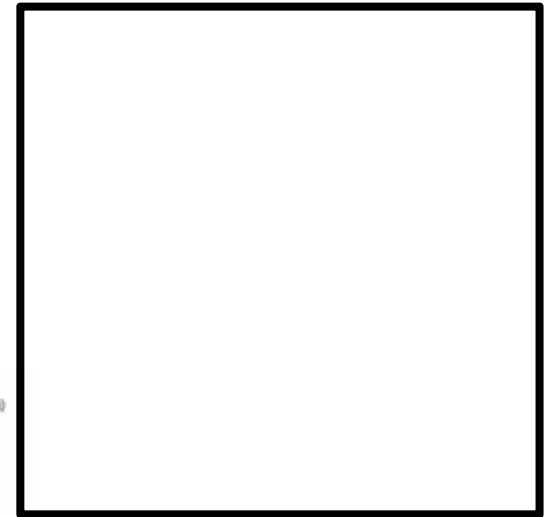
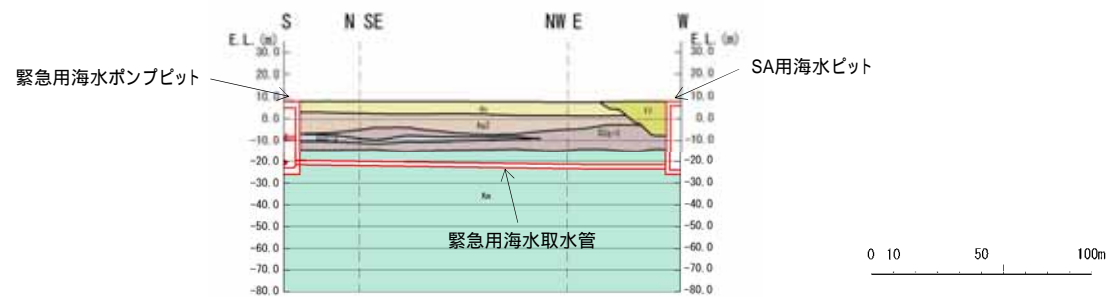
・常設代替高压電源装置, 軽油貯蔵タンク(NS断面)



・常設代替高压電源装置, 軽油貯蔵タンク(EW断面)



・緊急用海水ポンプピット, 緊急用海水取水管(縦断面)



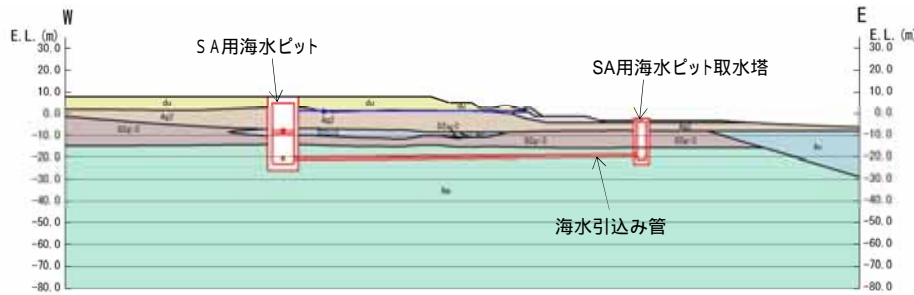
地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩性 | 備考 |
|--------|--------------|-------|------|------------------------------------|
| 新
世 | 沖積低地
堆積層 | As | 砂 | 敷地全域に広く分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全域に広く分布する。 |
| | | Ac | 粘土 | 久慈川が侵食した河床の
砂を埋めて分布する。 |
| 中
世 | 低位段丘1
堆積層 | Ag1 | 砂礫 | 敷地全域に埋没線状
として分布する。 |
| | | D2s-3 | シルト | |
| | | D2s-2 | 砂 | |
| | | D2s-1 | 砂礫 | |
| 紀
世 | 中位段丘
堆積層 | sa | ローム | 敷地の東西側に分布し、
いりゆる礫層状土質を
構成する。 |
| | | D1s-1 | シルト | |
| | | D1s-1 | 砂礫 | |
| 第三紀新世 | 久米層 | Ka | 砂質頁岩 | 敷地の基礎層である。 |

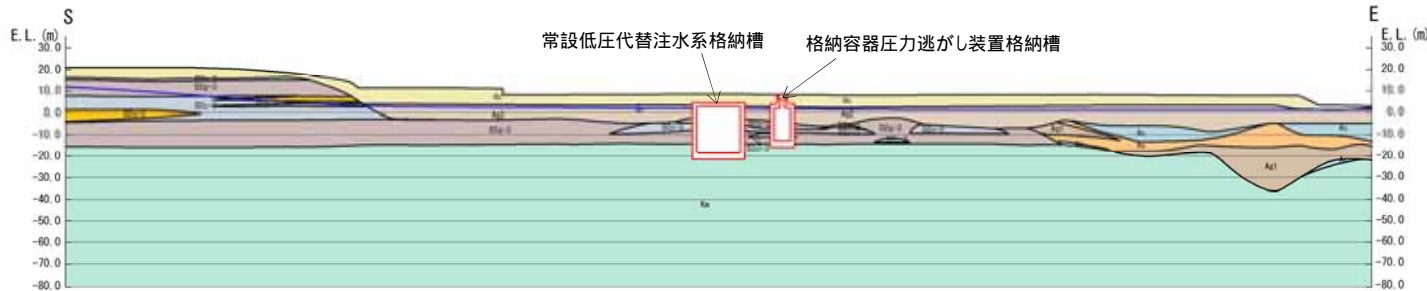
~~~~~ 不整合

(参考1) 「耐震重要施設」及び「常設重大事故等対処施設」に係る地質断面図  
**地質断面図 岩盤に直接支持している施設(2/4)**

・SA用海水ピット, 海水引込み管, SA用海水ピット取水塔 (EW断面)



・格納容器圧力逃がし装置格納槽, 常設低圧代替注水系格納槽 (EW断面: 原子炉建屋 地質断面図に投影)



0 10 50 100m

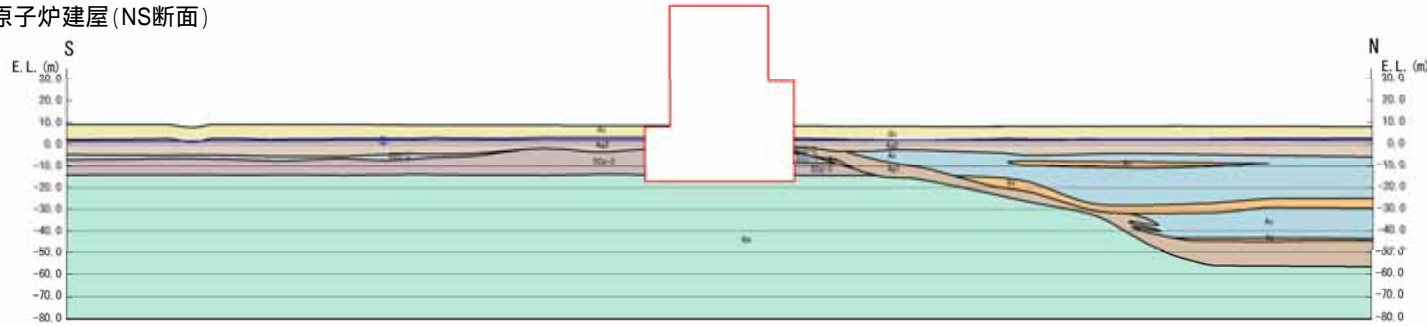
地質構成表

| 地質時代    | 地質区分         | 記号             | 説明             | 備考                                 |              |
|---------|--------------|----------------|----------------|------------------------------------|--------------|
| 第3紀     | 沖積低地<br>堆積層  | 砂丘層            | △ <sub>1</sub> | 砂                                  | 敷地全体に広く分布する。 |
|         |              | 久慈川<br>堆積層     | △ <sub>2</sub> | 砂礫                                 | 敷地全体に広く分布する。 |
|         |              | △ <sub>3</sub> | 粘土             | 久慈川が運搬した河砂の<br>目を埋めて分布する。          |              |
|         |              | △ <sub>4</sub> | 砂              |                                    |              |
|         |              | △ <sub>5</sub> | 砂礫             |                                    |              |
| 第4紀     | 低地段丘I<br>地層層 | D2c-3          | シルト            |                                    |              |
|         |              | D2c-2          | 砂              |                                    |              |
|         |              | D2c-1          | 砂礫             | 敷地南側に埋没跡立<br>として分布する。              |              |
|         |              | D2c-2          | シルト            |                                    |              |
|         |              | D2c-2          | 砂礫             |                                    |              |
| 第4紀     | 中位段丘<br>堆積層  | Ip             | ローム            | 敷地の南西部に分布し、<br>いわゆる崩落懸崖面を<br>構成する。 |              |
|         |              | D1c-1          | シルト            |                                    |              |
|         |              | D1c-1          | 砂礫             |                                    |              |
| 第3紀 鮮新世 | 久米層          | Km             | 砂質泥岩           | 敷地の基層岩である。                         |              |

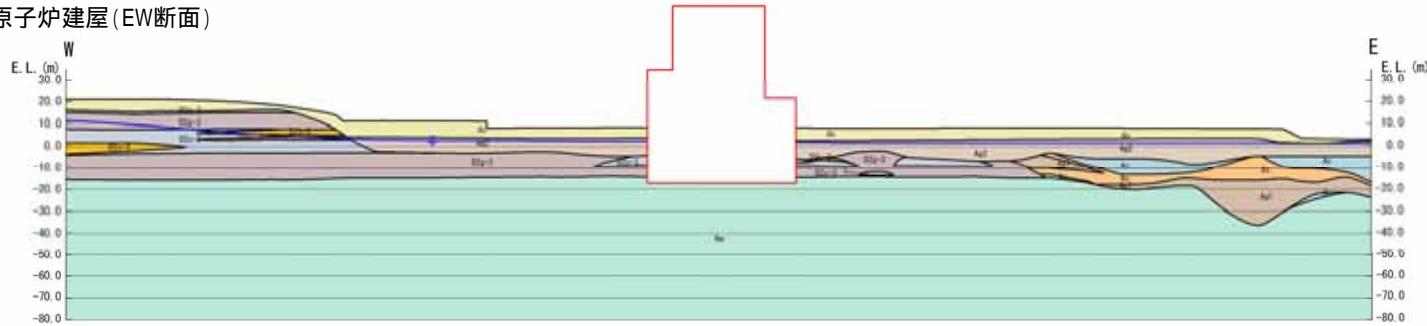
~~~~~ 不整合


(参考1) 「耐震重要施設」及び「常設重大事故等対処施設」に係る地質断面図
地質断面図 岩盤に直接支持している施設(3/4)

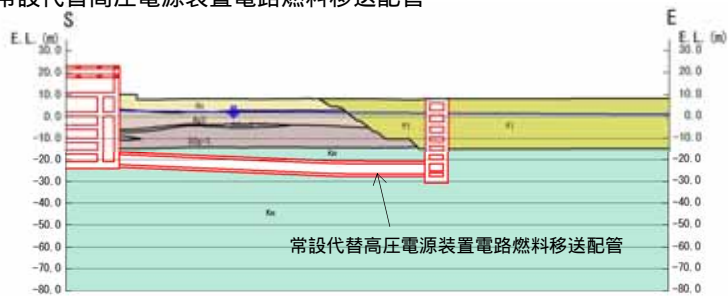
・原子炉建屋(NS断面)



・原子炉建屋(EW断面)



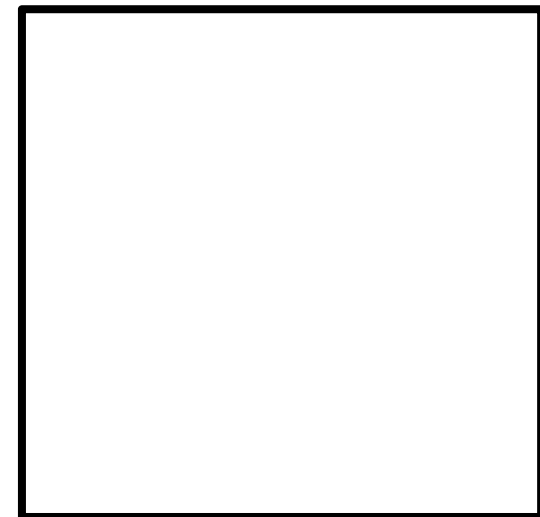
・常設代替高圧電源装置電路燃料移送配管



地質構成表

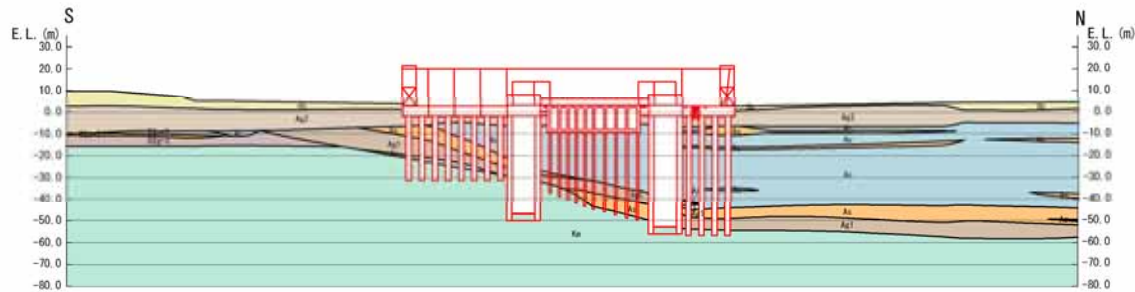
| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 前期 | 備考 | |
|------|------|-------|-------|----------------------------|------------------|
| 新第三紀 | 沖積低地 | 砂丘層 | Ag | 質地全体に広く分布する。 | |
| | | 堆積層 | Ag2 | 質地全体に広く分布する。 | |
| | 低位段丘 | 堆積層 | Ag | 粘土 | |
| | | 堆積層 | Ag | 久慈川が侵襲した段丘の谷を埋めて分布する。 | |
| | 中位段丘 | 堆積層 | Ag1 | 砂礫 | |
| | | 堆積層 | D2a-3 | シルト | |
| | | 堆積層 | D2a-3 | 砂 | |
| | | 堆積層 | D2a-3 | 砂礫 | |
| | 低位段丘 | 堆積層 | D2a-3 | 砂礫 | 敷地南側に埋没線として分布する。 |
| | | 堆積層 | D2a-3 | シルト | |
| 堆積層 | | D2a-2 | 砂礫 | | |
| 第三紀 | 久米層 | 粗砂層 | 3a | 粗砂の南西部に分布し、いわゆる粗粒堆積層を構成する。 | |
| | | 砂質泥岩 | D1a-1 | 砂礫 | |
| 第三紀 | 久米層 | Ke | 砂質泥岩 | 敷地の東部である。 | |

~~~~~ 不整合

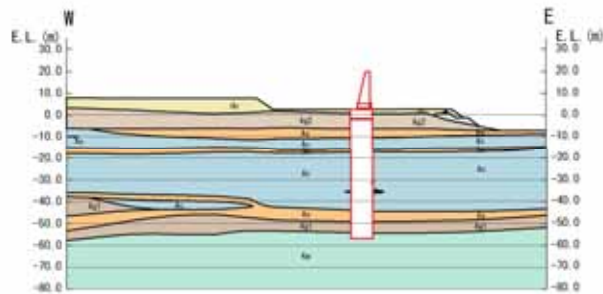


(参考1) 「耐震重要施設」及び「常設重大事故等対処施設」に係る地質断面図  
**地質断面図 岩盤に直接支持している施設(4/4)**

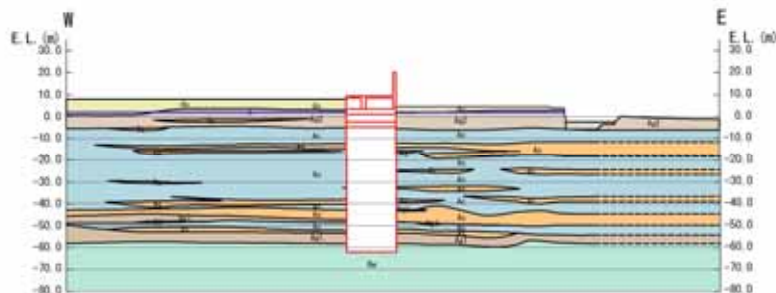
・防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁構造区間)(NS断面)



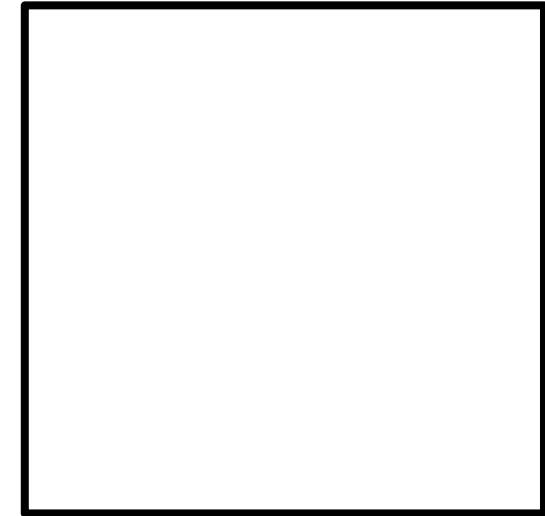
・防潮堤(鉄筋コンクリート防潮壁構造区間)(NS断面)



・放水路ゲート



0 10 50 100m



地質構成表

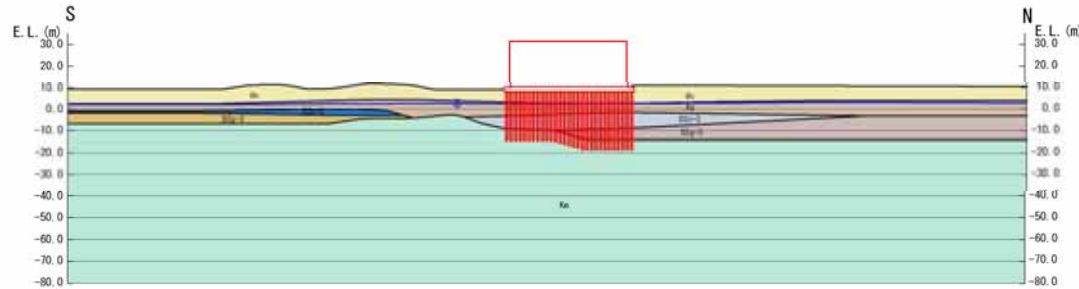
| 地質時代       | 地質区分         | 記号         | 説明   | 備考                                  |                           |
|------------|--------------|------------|------|-------------------------------------|---------------------------|
| 新<br>世     | 沖積低地<br>堆積層  | 砂丘層        | su   | 砂                                   | 敷地全域に広く分布する。              |
|            |              | 久慈川<br>堆積層 | Ag1  | 砂礫                                  | 敷地全域に広く分布する。              |
|            |              |            | Ag2  | 粘土                                  |                           |
|            |              |            | Ag3  | 砂                                   | 久慈川が構築した防砂の<br>跡を認めて分布する。 |
| 中<br>世     | 低位段丘1<br>堆積層 | Ag1        | 砂礫   |                                     |                           |
|            |              | D2a-3      | シルト  |                                     |                           |
|            |              | D2a-2      | 砂    |                                     |                           |
|            |              | D2a-1      | 砂礫   | 敷地東側に埋設線状<br>として分布する。               |                           |
|            |              | D2a-0      | シルト  |                                     |                           |
| 紀<br>世     | 中位段丘<br>堆積層  | D2a-2      | 砂礫   |                                     |                           |
|            |              | in         | ローム  | 敷地の南西部に分布し、<br>いわゆる崩壊段丘遺構を<br>構成する。 |                           |
|            |              | D1a-1      | シルト  |                                     |                           |
| 第三紀<br>鮮新世 | 久米層          | Km         | 砂質泥岩 | 敷地の基盤層である。                          |                           |

~~~~~ 不整合

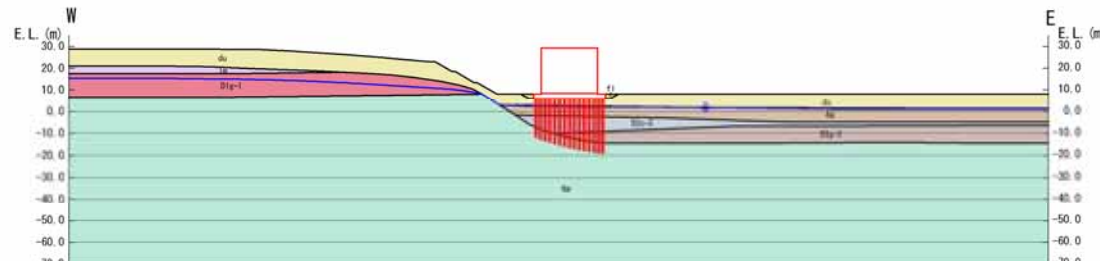
(参考1) 「耐震重要施設」及び「常設重大事故等対処施設」に係る地質断面図
地質断面図 岩盤に杭構造で支持している施設(1/5)

第481回審査会合
 資料1-1-1修正

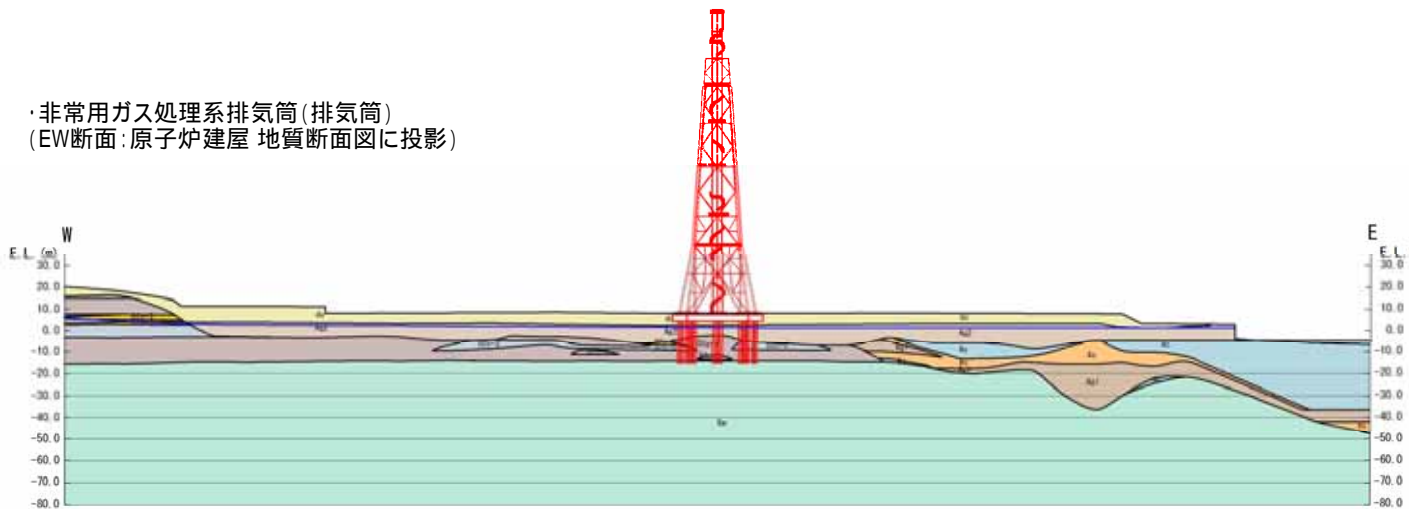
・使用済燃料乾式貯蔵建屋(NS断面)



・使用済燃料乾式貯蔵建屋(EW断面)



・非常用ガス処理系排気筒(排気筒)
 (EW断面:原子炉建屋地質断面図に投影)



地質構成表

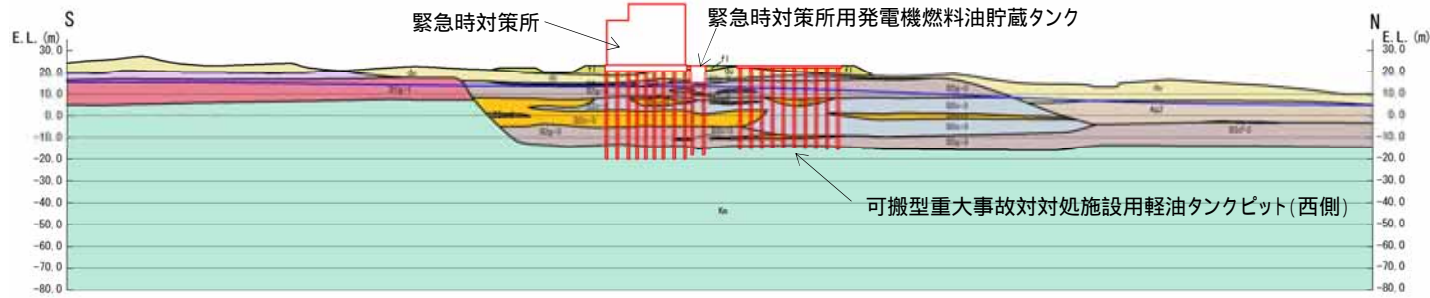
| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 |
|-------------|--------------|------------|------|-----------------------------------|
| 新
世 | 沖積低地
堆積層 | 砂丘層 | 砂 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | | | 砂礫 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | | 久慈川
堆積層 | 粘土 | 点散りが確認された段階の
目を埋めて分布する。 |
| | | | 砂 | |
| 四
新
世 | 塩谷段丘I
堆積層 | 砂礫 | シルト | 敷地南側に埋没砂丘
として分布する。 |
| | | | 砂 | |
| | | | 砂礫 | |
| | | | シルト | |
| | | | 砂礫 | |
| | | | シルト | |
| 紀
世 | 中段段丘
堆積層 | 砂礫 | シルト | 敷地の南西側に分布し、
いわゆる扇状地層を
構成する。 |
| | | | 砂礫 | |
| 第三紀鮮新世 | 久米層 | Ks | 砂質泥岩 | 敷地の基礎層である。 |

不整合

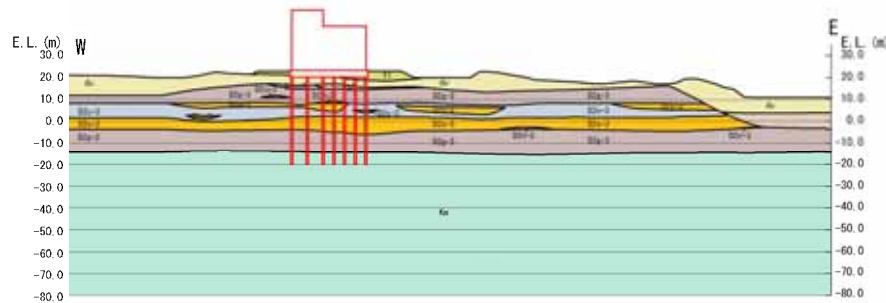
0 10 50 100m

(参考1) 「耐震重要施設」及び「常設重大事故等対処施設」に係る地質断面図
地質断面図 岩盤に杭構造で支持している施設(2/5)

・緊急時対策所, 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク, 可搬型重大事故等対処施設用軽油タンクピット(西側) (NS断面)



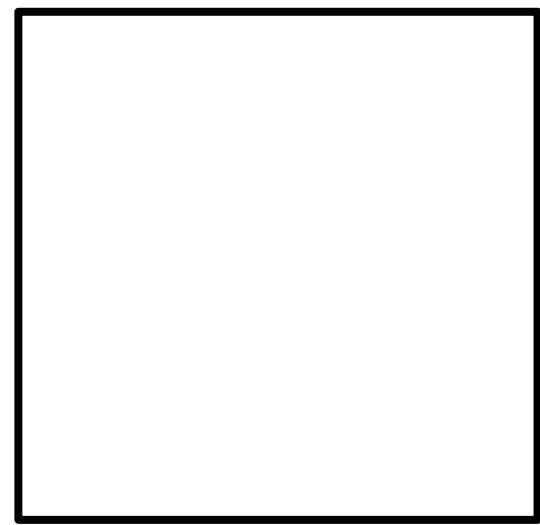
・緊急時対策所(EW断面)



地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 岩相 | 備考 | |
|----------|--------------|-------|------|-------------------------------------|--------------------------|
| 新
第三紀 | 沖積低地
堆積層 | 砂丘層 | As | 砂 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | | | As2 | 砂礫 | 敷地全体に広く分布する。 |
| | | | As | 粘土 | 久慈川が侵食した跡の
谷を埋めて分布する。 |
| | | | As1 | 砂礫 | |
| 新
第四紀 | 低地段丘I
堆積層 | D2c-3 | シルト | | |
| | | D2c-3 | 砂 | 敷地南側に埋設施設
として分布する。 | |
| | | D2c-3 | 砂礫 | | |
| | | D2c-2 | シルト | | |
| 紀 | 中低段丘
堆積層 | ls | ローム | 敷地の南西部に分布し、
いわゆる埋設施設設置を
構成する。 | |
| | | D1c-1 | シルト | | |
| | | D1c-1 | 砂礫 | | |
| 第三紀新第三紀 | 久米層 | Km | 砂質頁岩 | 敷地の基礎岩である。 | |

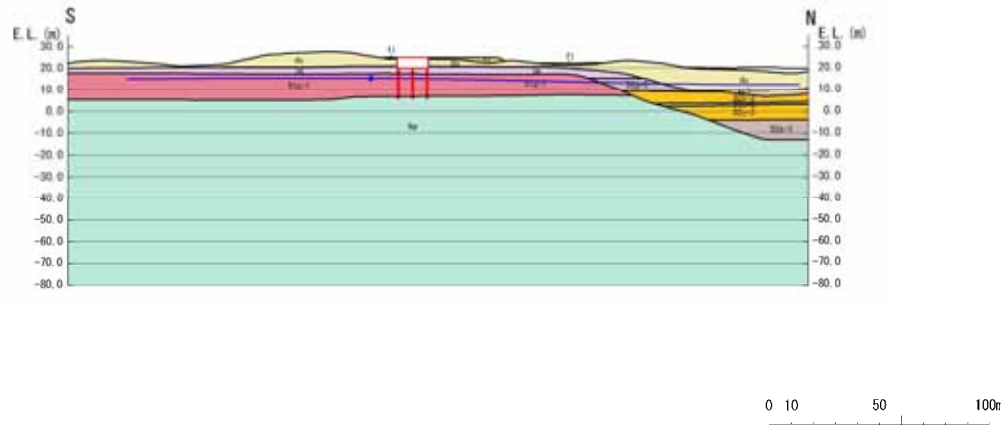
~~~~~ 不整合



(参考1) 「耐震重要施設」及び「常設重大事故等対処施設」に係る地質断面図  
**地質断面図 岩盤に杭構造で支持している施設(3/5)**

第481回審査会合  
 資料1-1-1修正

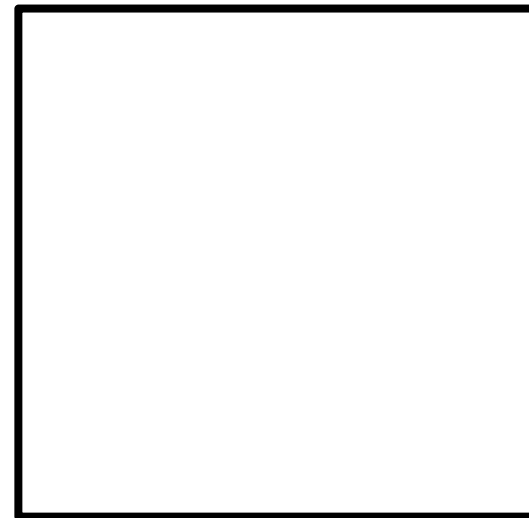
・可搬型重大事故等対処施設用軽油タンクピット(南側) (NS断面)



**地質構成表**

| 地質時代   | 地質区分         | 記号    | 層名   | 備考                                 |
|--------|--------------|-------|------|------------------------------------|
| 新<br>世 | 砂丘層          | sa    | 砂    | 敷地全域に広く分布する。                       |
|        | 沖積低地<br>堆積層  | Ag2   | 砂礫   | 敷地全域に広く分布する。                       |
|        |              | Ac    | 粘土   |                                    |
|        |              | Ac    | 砂    | 久慈川が侵食した段状の谷を埋めて分布する。              |
| 四<br>紀 | 低位段丘1<br>堆積層 | Ag1   | 砂礫   | 敷地奥部に埋没構造として分布する。                  |
|        |              | D2c-3 | シルト  |                                    |
|        | D2c-3        | 砂     |      |                                    |
|        | D2c-3        | 砂礫    |      |                                    |
|        | D2c-3        | シルト   |      |                                    |
|        | D2c-2        | 砂礫    |      |                                    |
| 紀<br>世 | 中位段丘<br>堆積層  | is    | ローム  | 敷地の奥部域に分布し、<br>いわゆる扇状地構造を<br>構成する。 |
|        |              | D2c-1 | シルト  |                                    |
|        |              | D2c-1 | 砂礫   |                                    |
| 第三紀新世  | 久米層          | Km    | 砂質泥岩 | 敷地の奥部域である。                         |

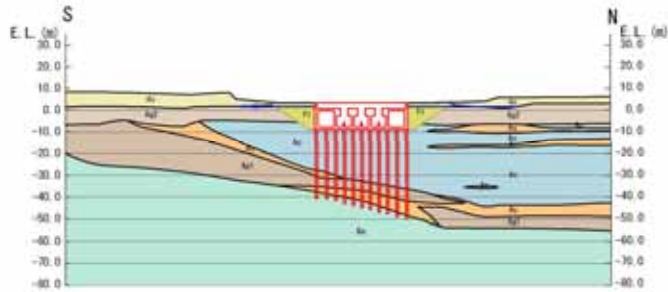
~~~~~ 不整合



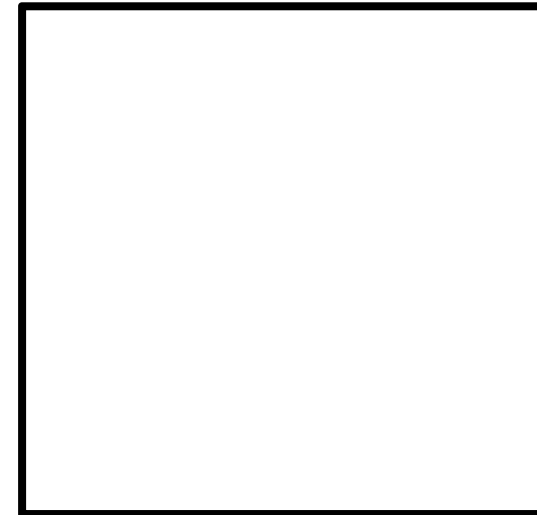
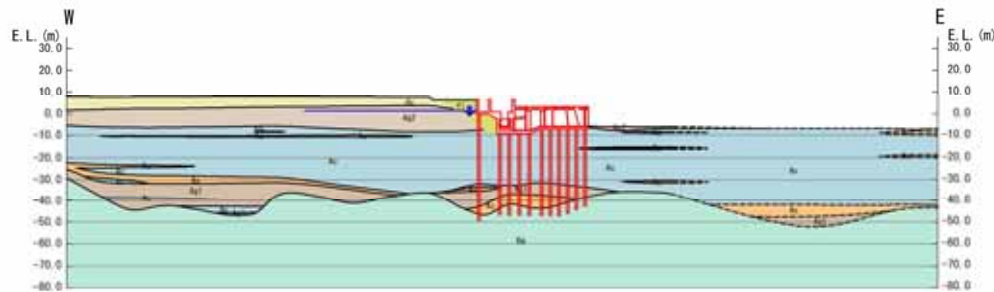
(参考1) 「耐震重要施設」及び「常設重大事故等対処施設」に係る地質断面図
地質断面図 岩盤に杭構造で支持している施設(4/5)

第481回審査会合
 資料1-1-1修正

・海水ポンプ室(NS断面)

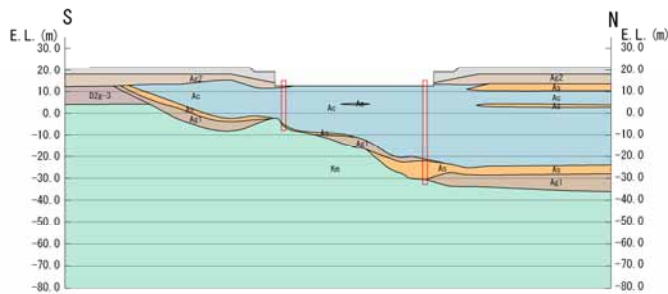


・取水構造物(取水路, 海水ポンプ室)(EW断面)

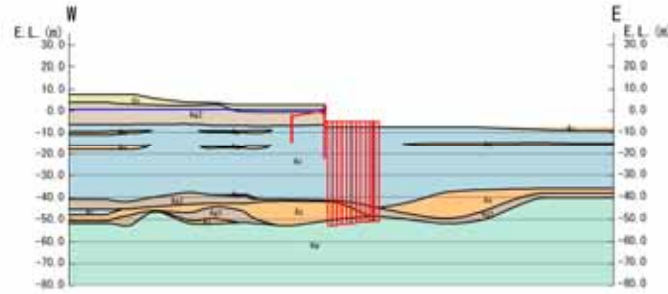


0 10 50 100m

・貯留堰(NS断面)



・貯留堰(EW断面)

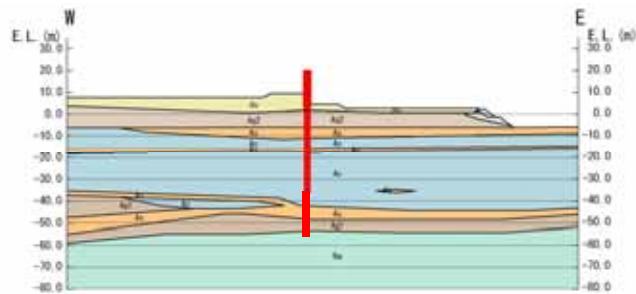


地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 層種 | 備考 |
|--------|---------|-------|------|----------------------------|
| 第3紀新鮮世 | 沖積堆積層 | mi | 砂 | 扇地全域に広く分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 扇地全域に広く分布する。 |
| | | Ac | 粘土 | 久慈川が侵蝕した段状の谷を埋めて分布する。 |
| 第4紀 | 中位段丘堆積層 | Ag1 | 砂礫 | |
| | | D2g-3 | シルト | |
| | | D2g-2 | 砂 | |
| | | D2g-1 | シルト | 扇地全域に埋没堆積として分布する。 |
| | | D2g-2 | 砂礫 | |
| 第4紀 | 低位段丘堆積層 | im | ローム | 扇地の侵蝕部には分布しないが、沖積扇状地を構成する。 |
| | | D1g-1 | シルト | |
| 第3紀新鮮世 | 久米層 | Km | 沖積段丘 | 扇地の最奥部である。 |

~~~~~ 不整合

・防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁構造区間)(EW断面)



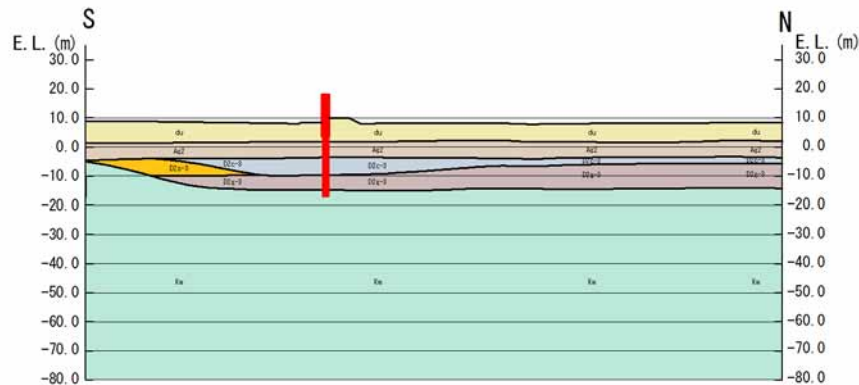
地質構成表

| 地質時代     | 地質区分         | 記号    | 層名   | 備考                                |
|----------|--------------|-------|------|-----------------------------------|
| 新<br>第三紀 | 沖積低地<br>堆積層  | As    | 砂    | 敷地全域に広く分布する。                      |
|          |              | Ag2   | 砂礫   | 敷地全域に広く分布する。                      |
|          |              | Ac    | 粘土   |                                   |
|          |              | As    | 砂    | 久慈川が侵食した河床の<br>砂を埋めて分布する。         |
| 新<br>第四紀 | 低地段丘1<br>堆積層 | D2e-3 | シルト  | 敷地奥部に埋没線状<br>として分布する。             |
|          |              | D2e-3 | 砂    |                                   |
|          |              | D2e-2 | 砂礫   |                                   |
|          |              | D2e-2 | シルト  |                                   |
|          |              | D2e-2 | 砂礫   |                                   |
| 新<br>第四紀 | 中位段丘<br>堆積層  | is    | ローム  | 敷地の奥部部に分布し、<br>いわゆる崩壊地質を<br>構成する。 |
|          |              | D1e-1 | シルト  |                                   |
|          |              | D1e-1 | 砂礫   |                                   |
| 第三紀新第三紀  | 久米層          | ka    | 砂礫混成 | 敷地の基盤地である。                        |

~~~~~不整合

0 10 50 100m

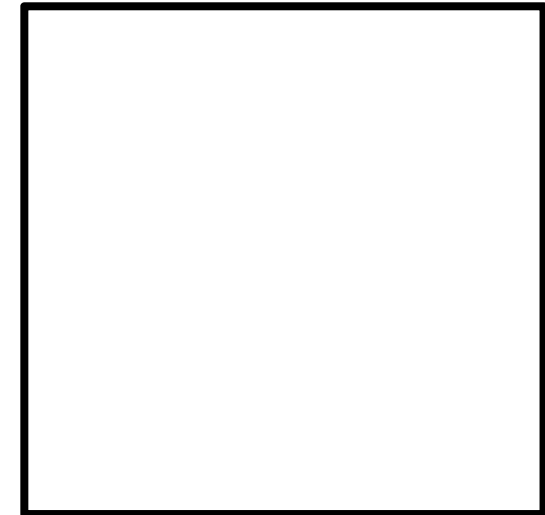
・防潮堤(鋼管杭鉄筋コンクリート壁構造区間)(NS断面)



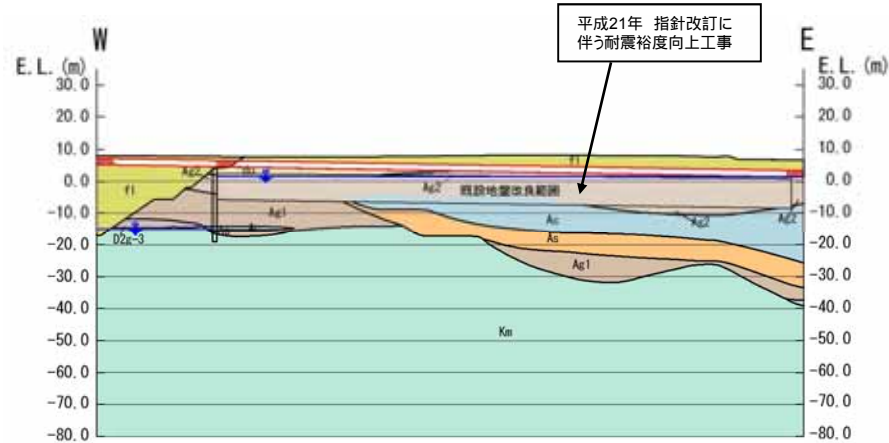
地質構成表

| 地質時代 | 地質区分 | 記号 | 層相 | 備考 |
|-------------|--------------|-------|------|-----------------------------------|
| 新
鮮
世 | 沖積低地
堆積層 | fil | 砂 | 敷地全域に広く分布する。 |
| | | Ag2 | 砂礫 | 敷地全域に広く分布する。 |
| | | Ac | 粘土 | |
| | | As | 砂 | 久慈川が運来した河床の
砂を埋めて分布する。 |
| | | Ag1 | 砂礫 | |
| 中
世 | 低地段丘1
堆積層 | D2e-3 | シルト | 敷地奥部に埋没線状
として分布する。 |
| | | D2e-2 | 砂 | |
| | | D2e-1 | 砂礫 | |
| | | D2e-4 | シルト | |
| | | D2e-5 | 砂礫 | |
| 紀
世 | 中位段丘
堆積層 | in | ローム | 敷地の奥部に分布し、
いわゆる埋没線状露土
構成する。 |
| | | D1e-1 | シルト | |
| | | D1e-2 | 砂礫 | |
| 第三紀新鮮世 | 久米層 | Km | 砂質泥岩 | 敷地の奥層相である。 |

~~~~~ 不整合

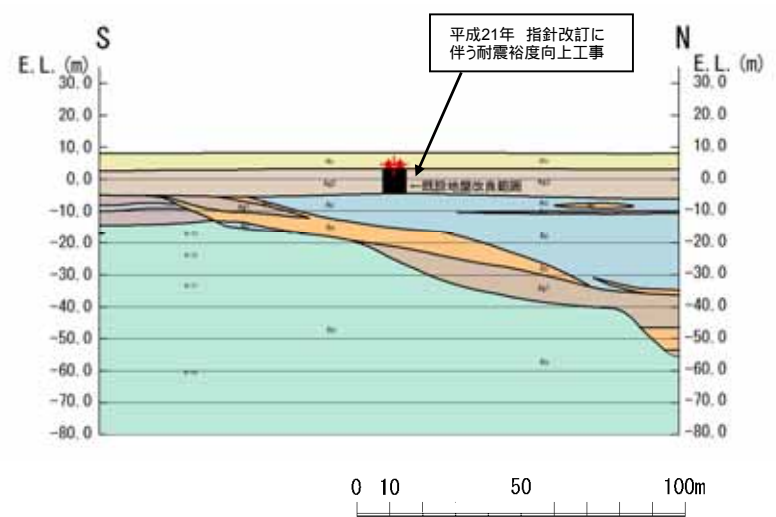


・屋外二重管(縦断面)



filは、埋戻土である。

・屋外二重管(横断面)





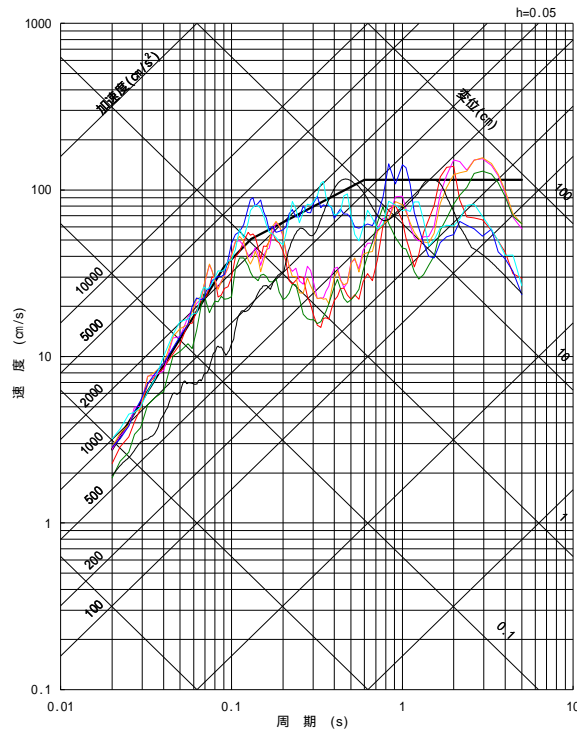
---

(参考2) 入力地震動

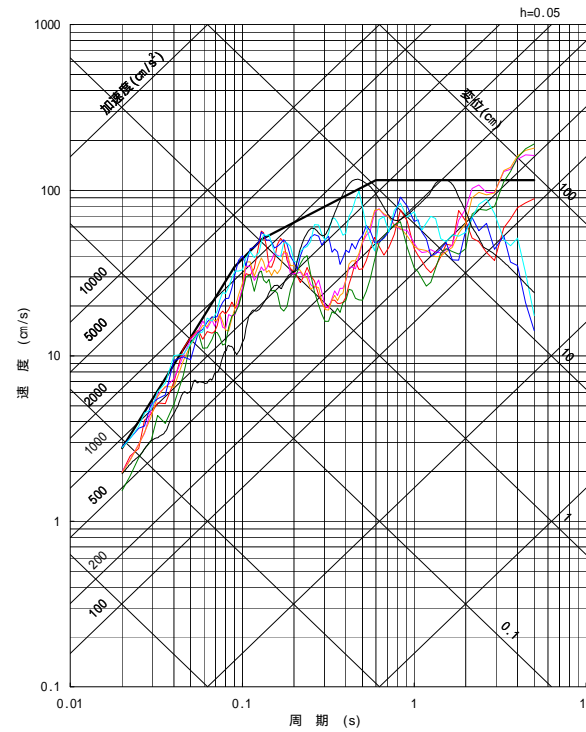
| 基準地震動 |                                                         | 最大加速度(cm/s <sup>2</sup> ) |      |      |
|-------|---------------------------------------------------------|---------------------------|------|------|
|       |                                                         | NS成分                      | EW成分 | UD成分 |
| Ss-D1 | 応答スペクトル手法による基準地震動                                       | 870                       |      | 560  |
| Ss-11 | F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震<br>(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1) | 717                       | 619  | 579  |
| Ss-12 | F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震<br>(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2) | 871                       | 626  | 602  |
| Ss-13 | F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震<br>(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3) | 903                       | 617  | 599  |
| Ss-14 | F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震<br>(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)  | 586                       | 482  | 451  |
| Ss-21 | 2011年東北地方太平洋沖型地震<br>(短周期レベルの不確かさ)                       | 901                       | 887  | 620  |
| Ss-22 | 2011年東北地方太平洋沖型地震<br>(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)             | 1009                      | 874  | 736  |
| Ss-31 | 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動                       | 610                       |      | 280  |

Ss-D1は水平・鉛直反転を考慮し, (正, 正), (正, 逆), (逆, 正), (逆, 逆)の組合せについて, 評価を行う。

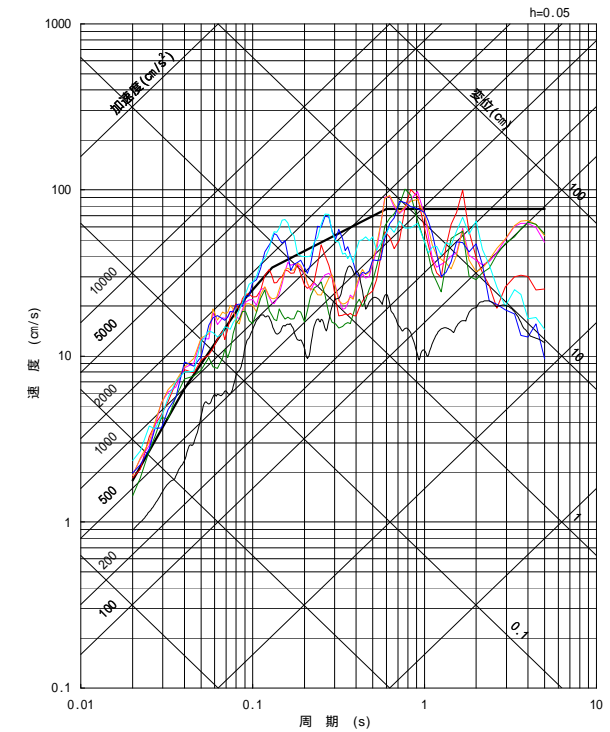
Ss-31は水平反転を考慮し, (正, 正), (逆, 正)の組合せについて, 評価を行う。



NS方向

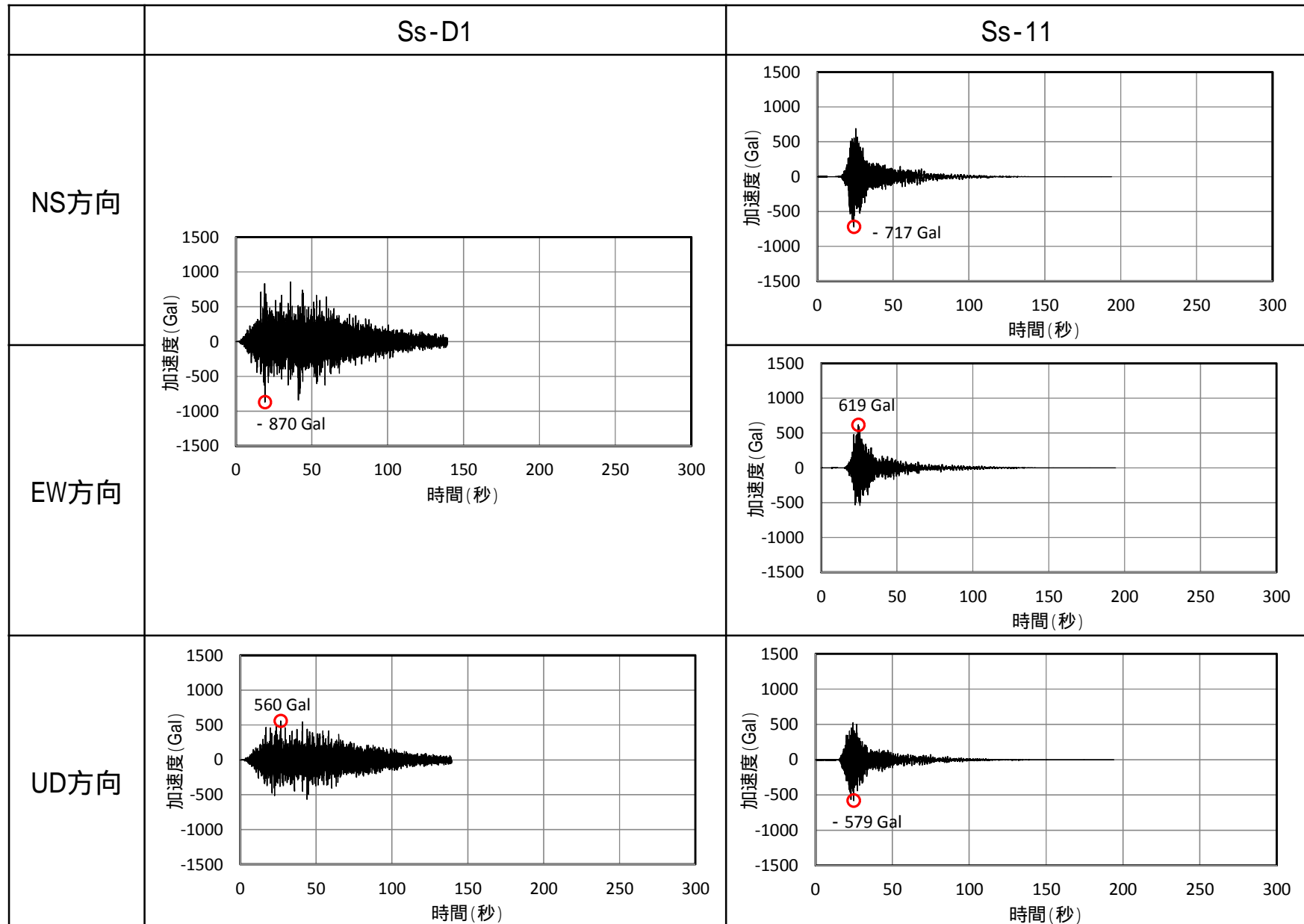


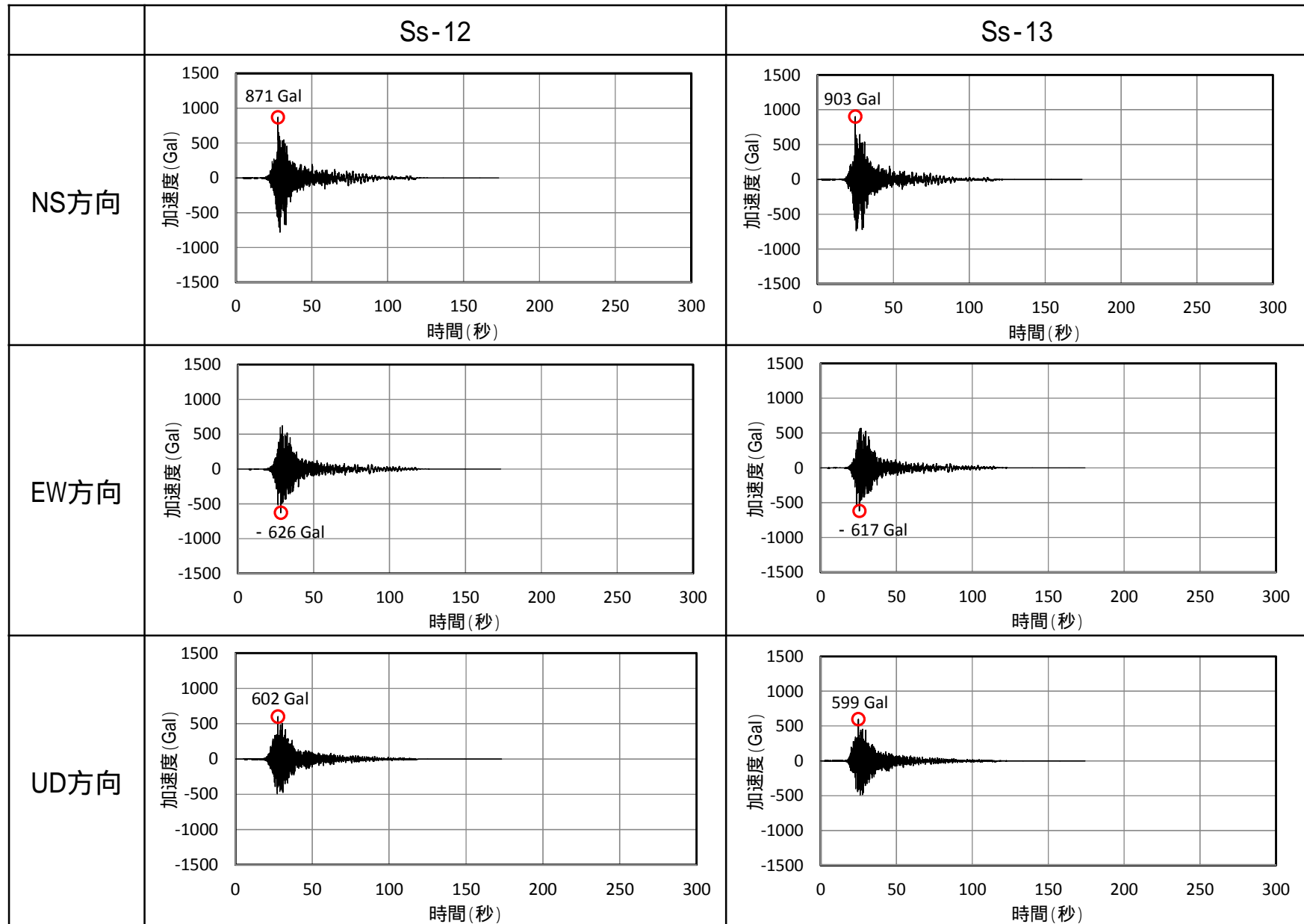
EW方向

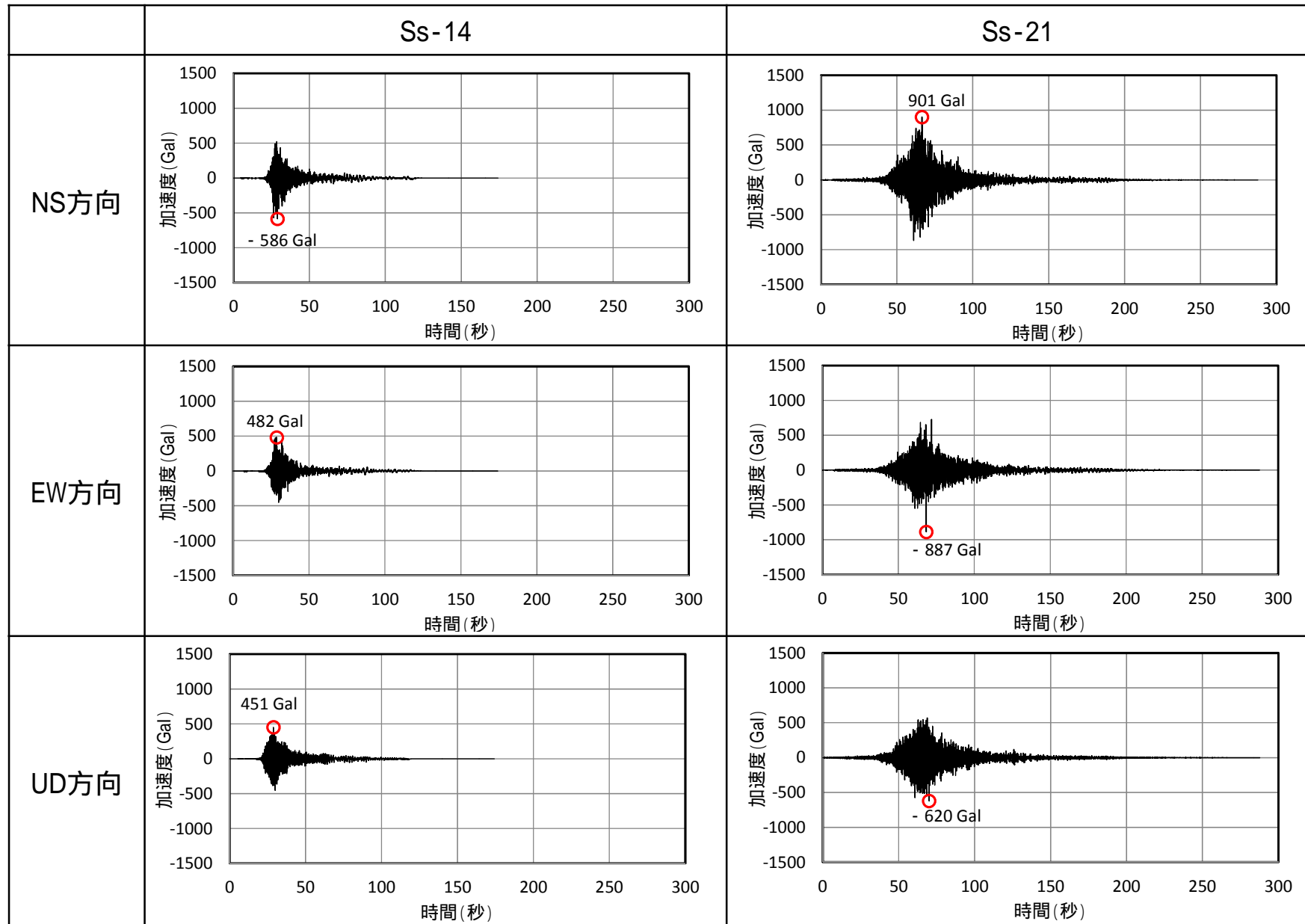


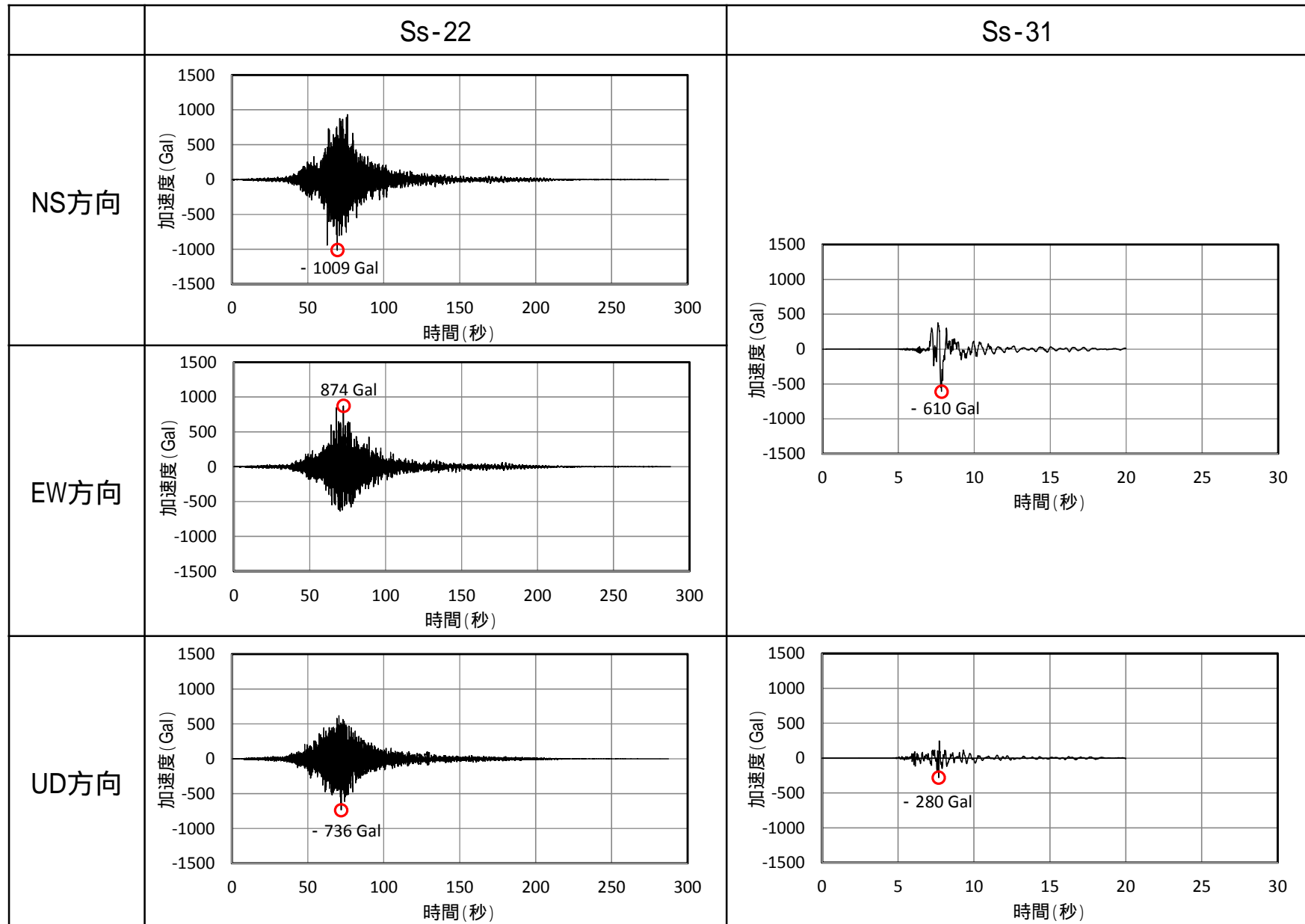
UD方向

- Ss - D1 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss - 11 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss - 12 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss - 13 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss - 14 F1断層, 北方陸域の断層, 塩ノ平地震断層の連動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss - 21 2011年東北地方太平洋沖型地震(短周期レベルの不確かさ)
- Ss - 22 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- Ss - 31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動









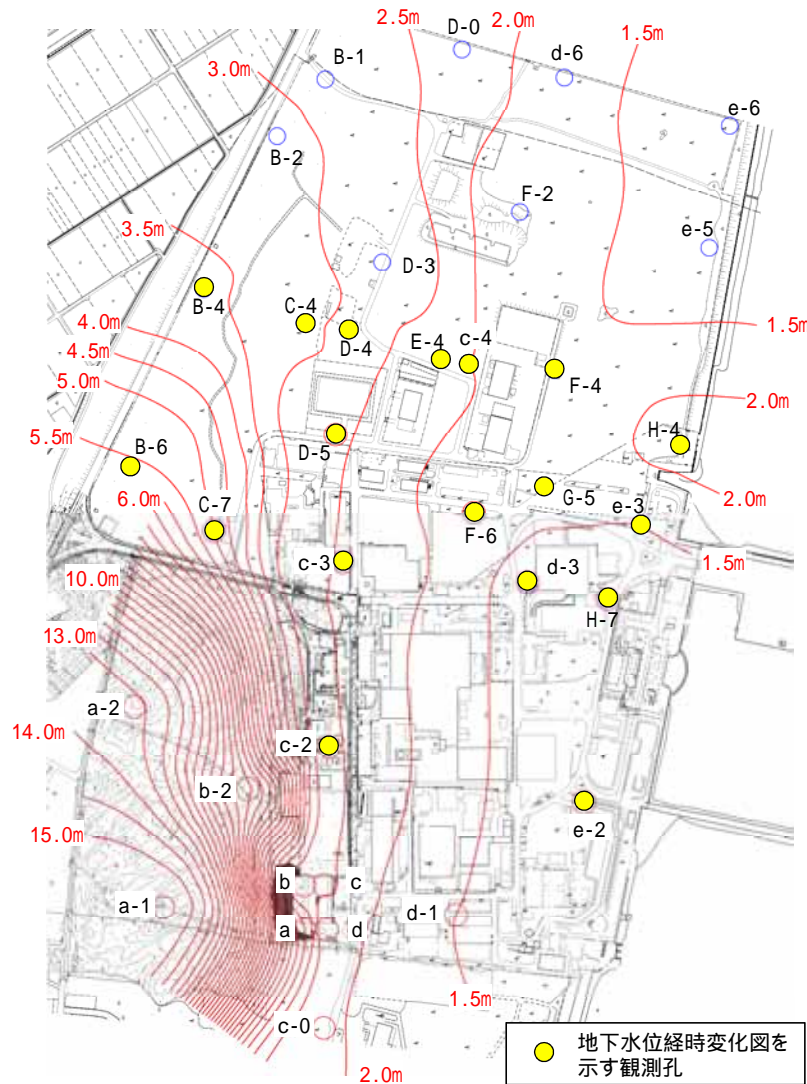
---

(参考3) 地下水位観測データについて



# 地下水位分布

地下水位観測記録のうち、堆積層が厚い敷地北側の記録を参考として示す。  
(2017年6月時点にてデータの取り纏めを行い、コンターを作成)



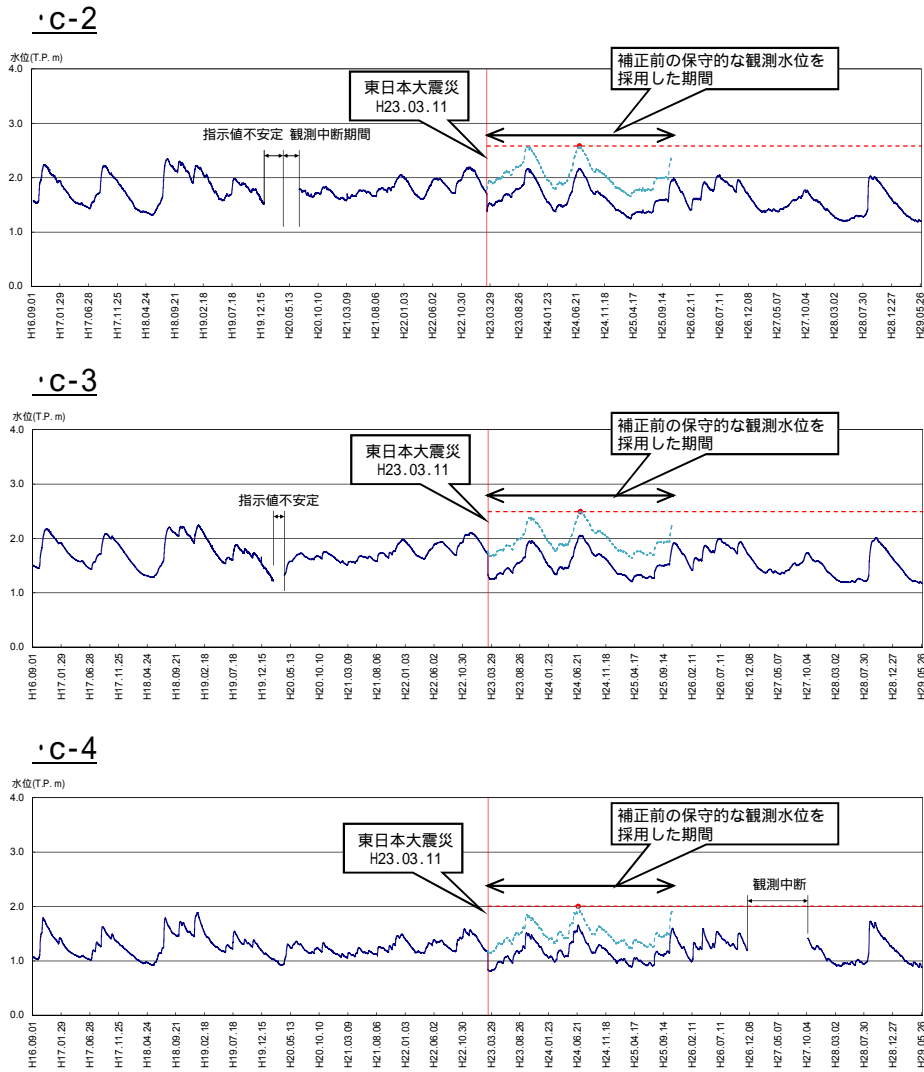
観測最高地下水位コンター図(T.P + m)

| 観測孔名 | 計測期間                     | 最高水位 (T.P. + m) | 最高水位 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 |

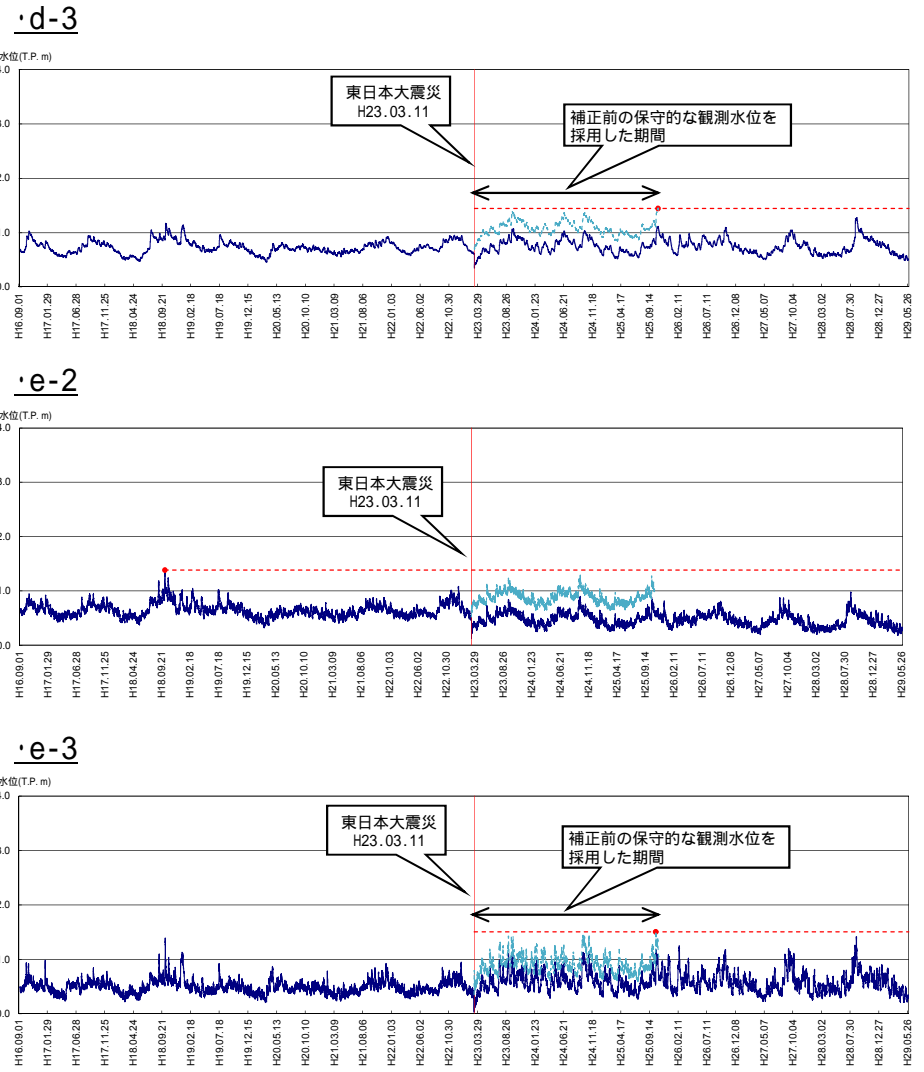
地下水位経時変化図を示す観測孔

(参考3) 地下水位観測データについて  
**地下水位分布**

地下水位経時変化図



観測期間中に採用水位を上回っている水位がないため保守的な設定となる。

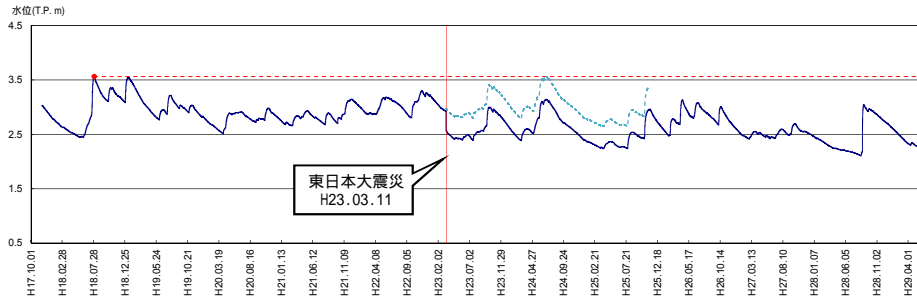


— : 水位標高  
- - - : 孔口標高の再測量による補正前水位標高  
● : 最高水位標高  
- - - : 水位コンター作成に採用している水位標高

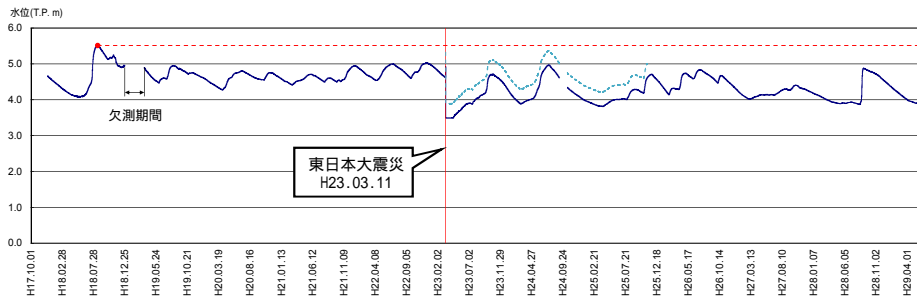
(参考3) 地下水位観測データについて  
**地下水位分布**

地下水位経時変化図

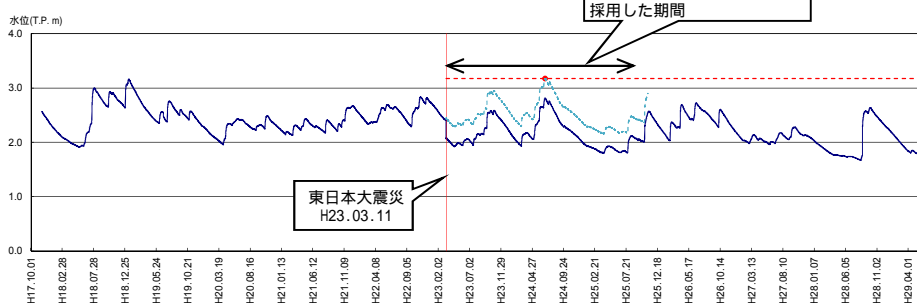
・B-4



・B-6

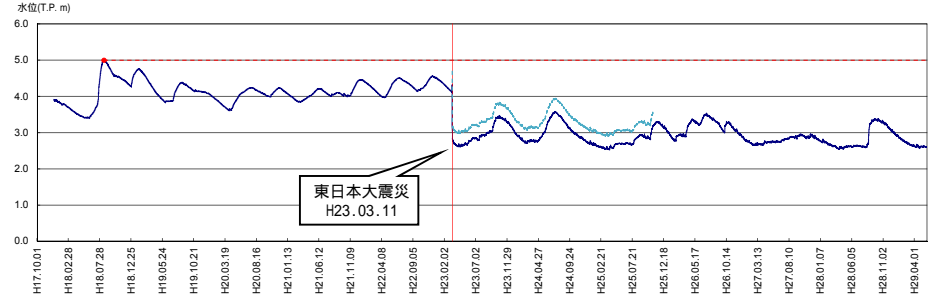


・C-4

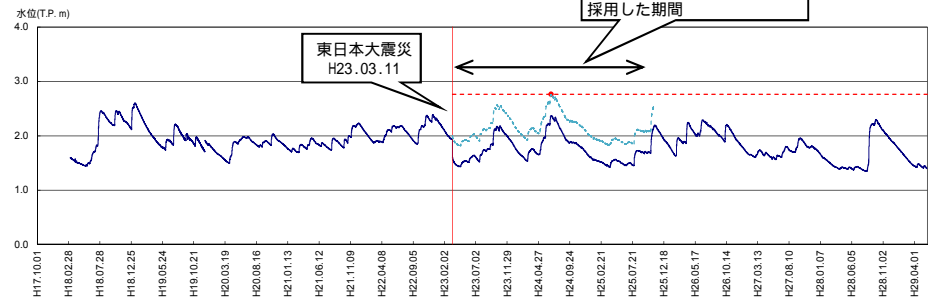


観測期間中に採用水位を上回っている水位がないため保守的な設定となる。

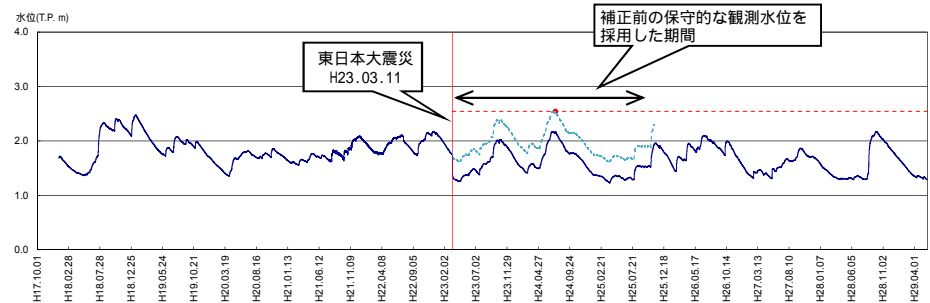
・C-7



・D-4



・D-5

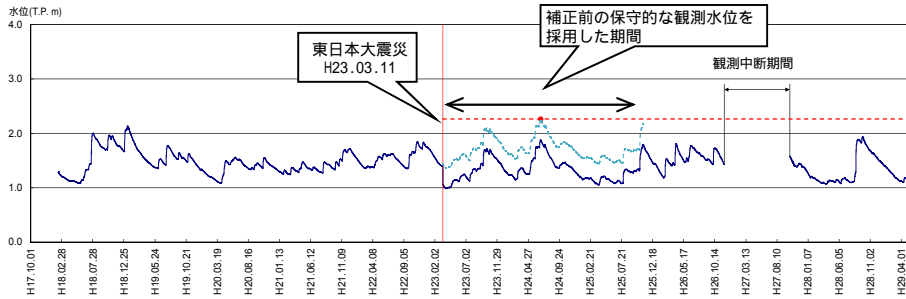


— : 水位標高  
● : 最高水位標高  
- - - : 孔口標高の再測量による補正前水位標高  
- - - : 水位コンター作成に採用している水位標高

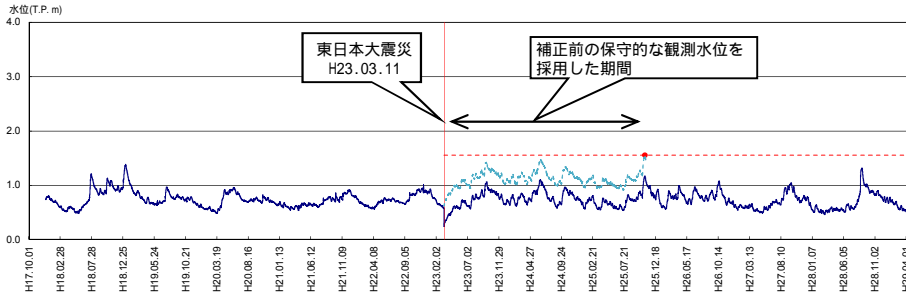
(参考3) 地下水位観測データについて  
**地下水位分布**

地下水位経時変化図

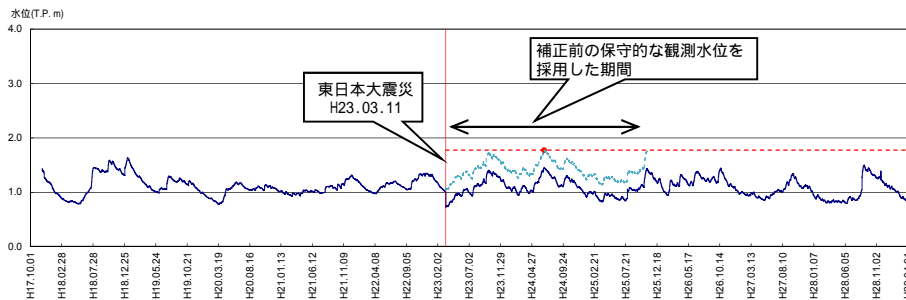
・E-4



・F-4

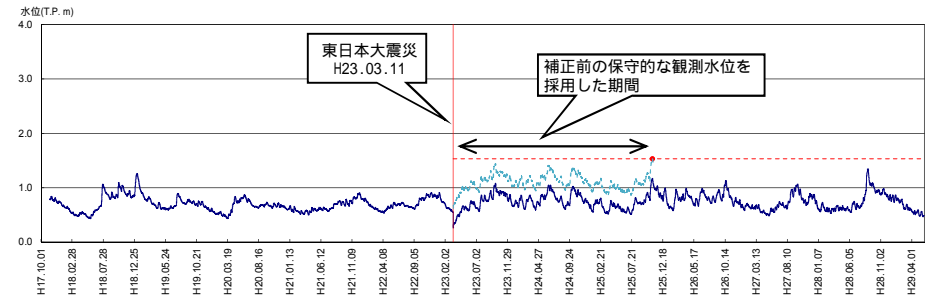


・F-6

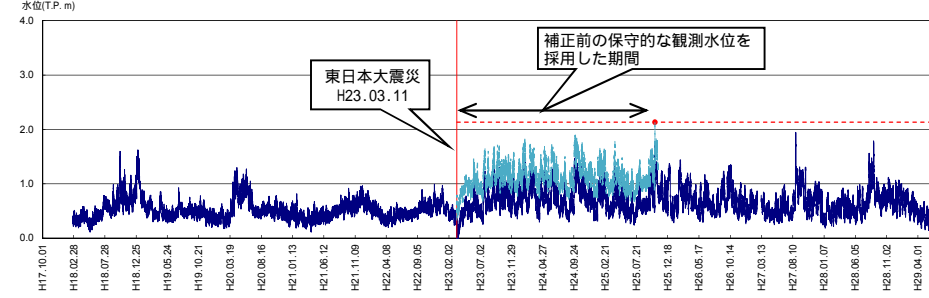


観測期間中に採用水位を上回っている水位がないため保守的な設定となる。

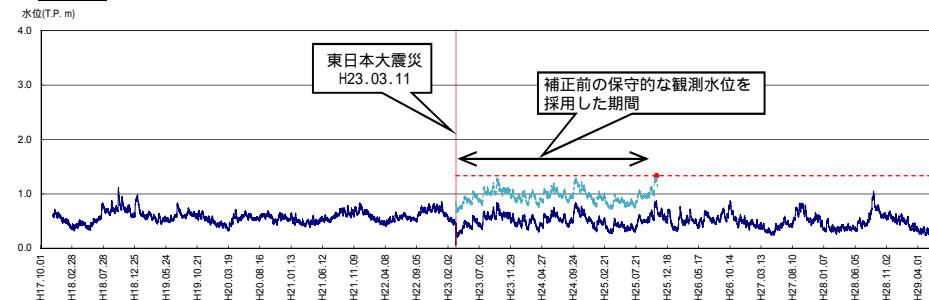
・G-5



・H-4



・H-7



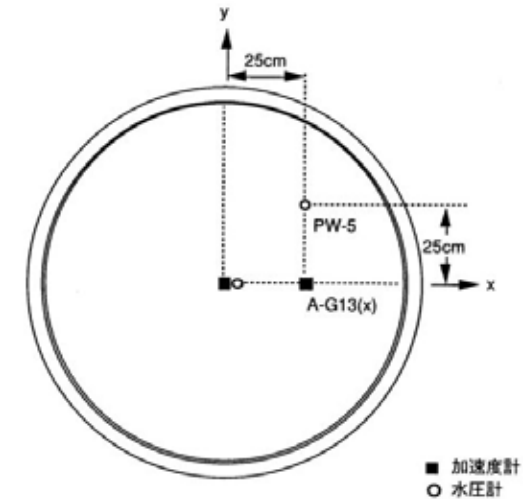
- : 水位標高
- : 最高水位標高
- - - : 孔口標高の再測量による補正前水位標高
- - - : 水位コンター作成に採用している水位標高

---

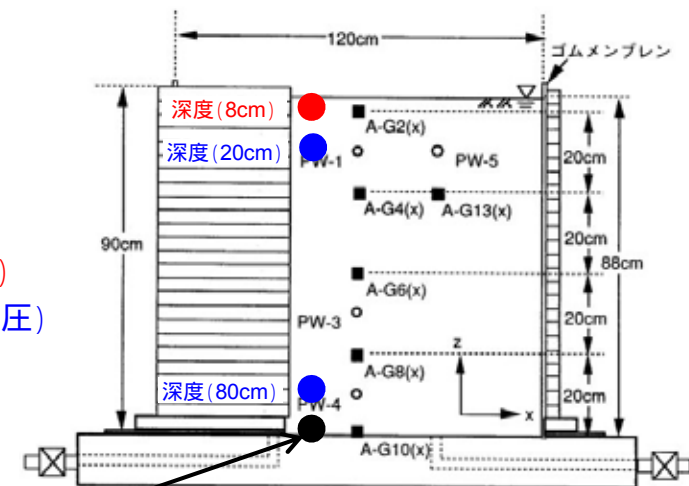
(参考4)土槽振動実験の再現シミュレーションについて

(参考4)土槽振動実験の再現シミュレーションについて  
 土槽振動実験の再現シミュレーション(実験概要)

- 対象の土槽振動実験(藤川等<sup>(1993)</sup>)にて,実験に用いた土槽は,内径で高さ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ている。その後,地盤中の空気をCO<sub>2</sub>に置換し,さらに水を注入して地盤を飽和させている。
- 深度88cm位置に1983年の日本海中部地震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,今回は78Galと153Galの2レベルを再現対象とした。
- 測定計器に関しては,ひずみゲージ式加速度計および間隙水圧計を,土槽底面より定ピッチにて設置している。



- 観測記録位置(応答加速度)
- 観測記録位置(過剰間隙水圧)

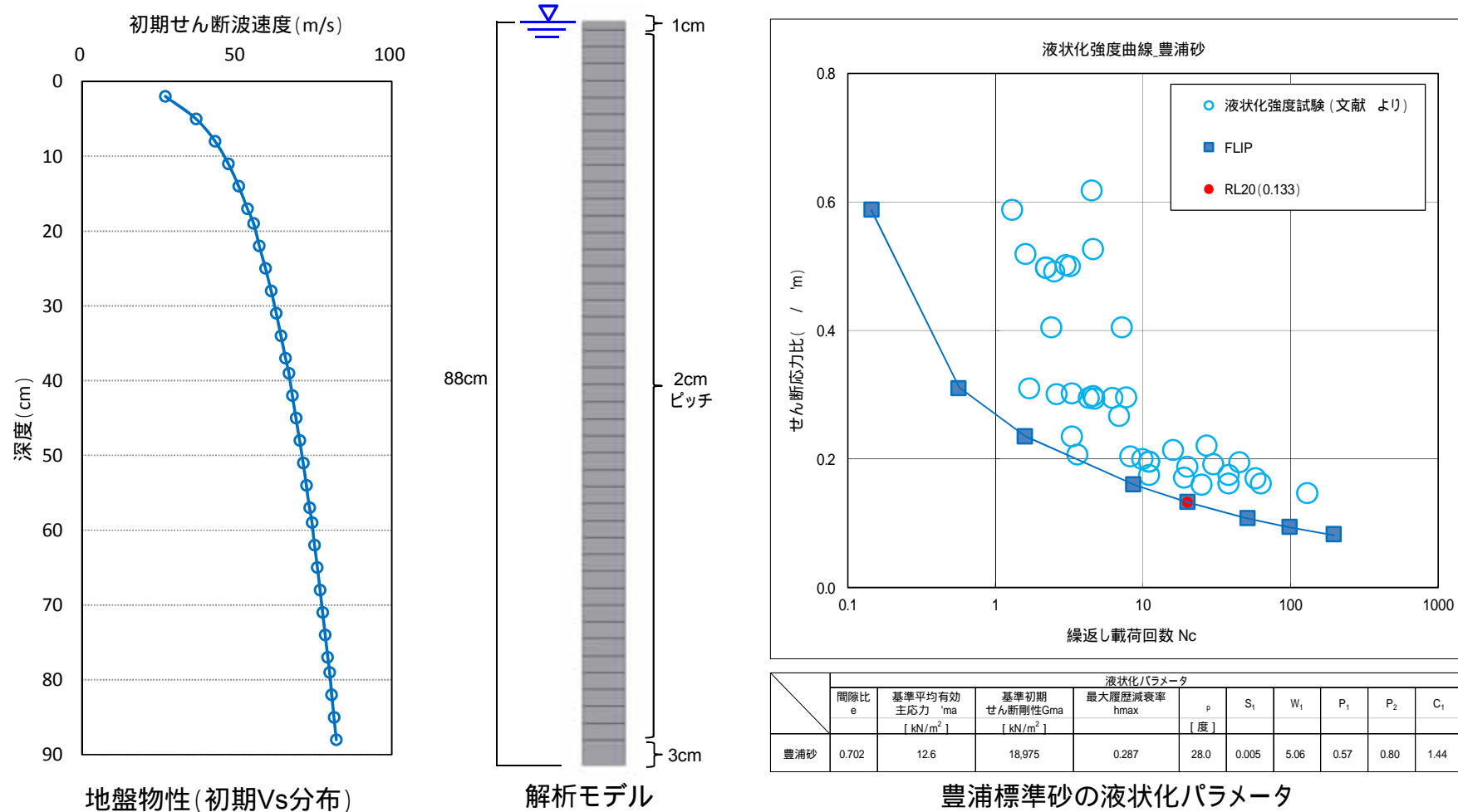


地震入力位置  
(深度88cm)

土槽振動実験装置

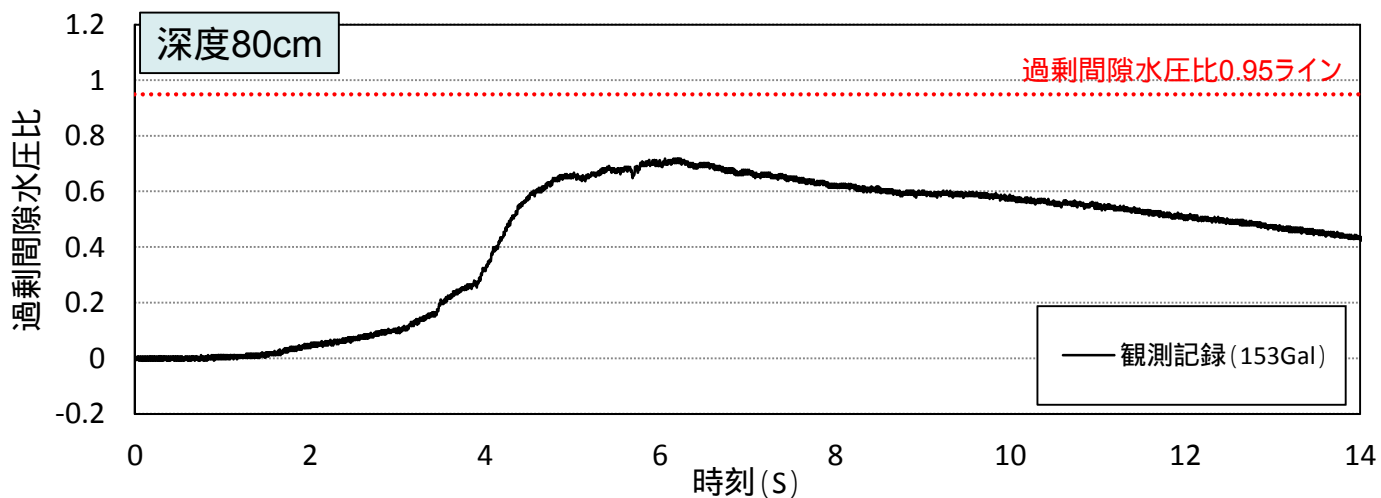
## 土槽振動実験の再現シミュレーション(1次元FLIP解析モデルの概要)

- 本検討では, FLIP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。
- 豊浦標準砂の液状化パラメータについては, 文献 情報を包含し保守的となる設定とした。



CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM  
[Soils and Foundations, JSSMFE. 26-3. (1986)]

- 土槽振動実験(入力レベル153Gal)にて計測された過剰間隙水圧比を以下に示す。

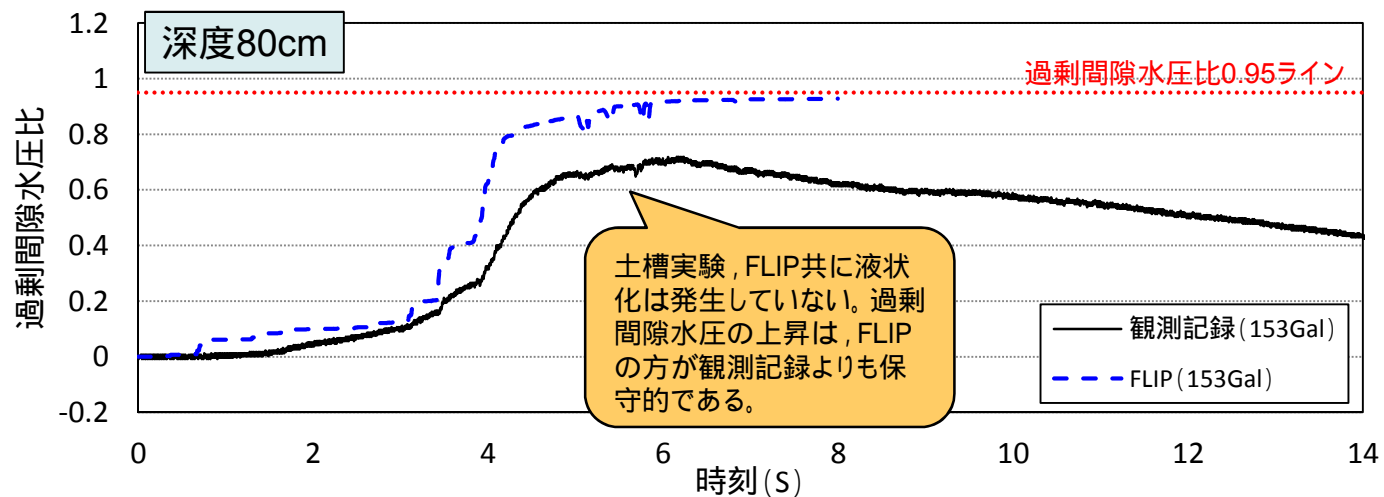
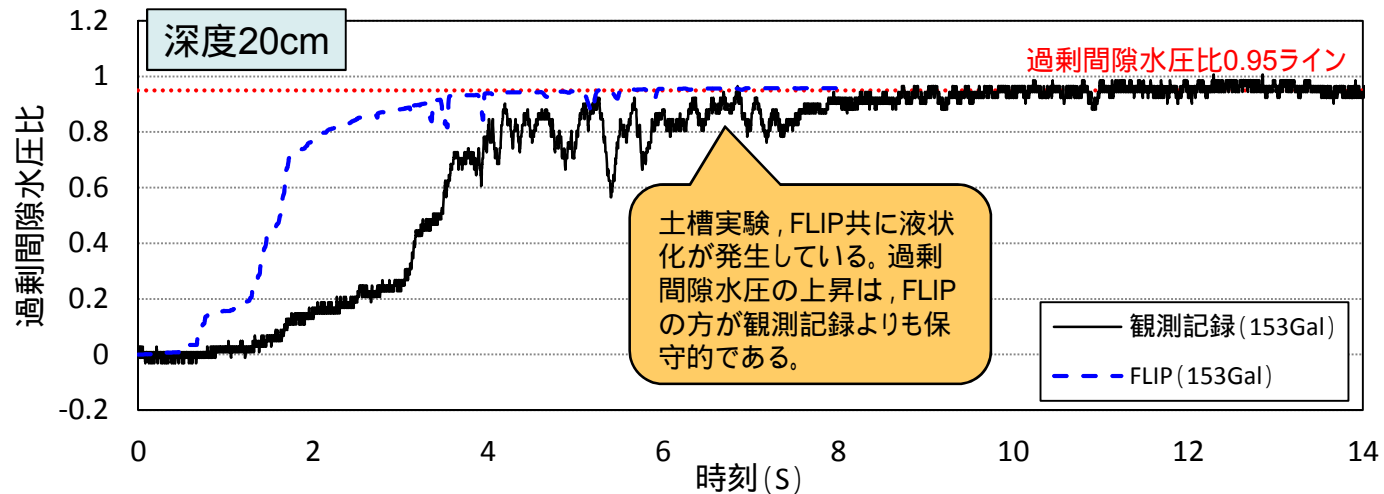


入力レベル78Galにおいては、実験事実としてどの深さでも、一切液状化は発生しなかった。



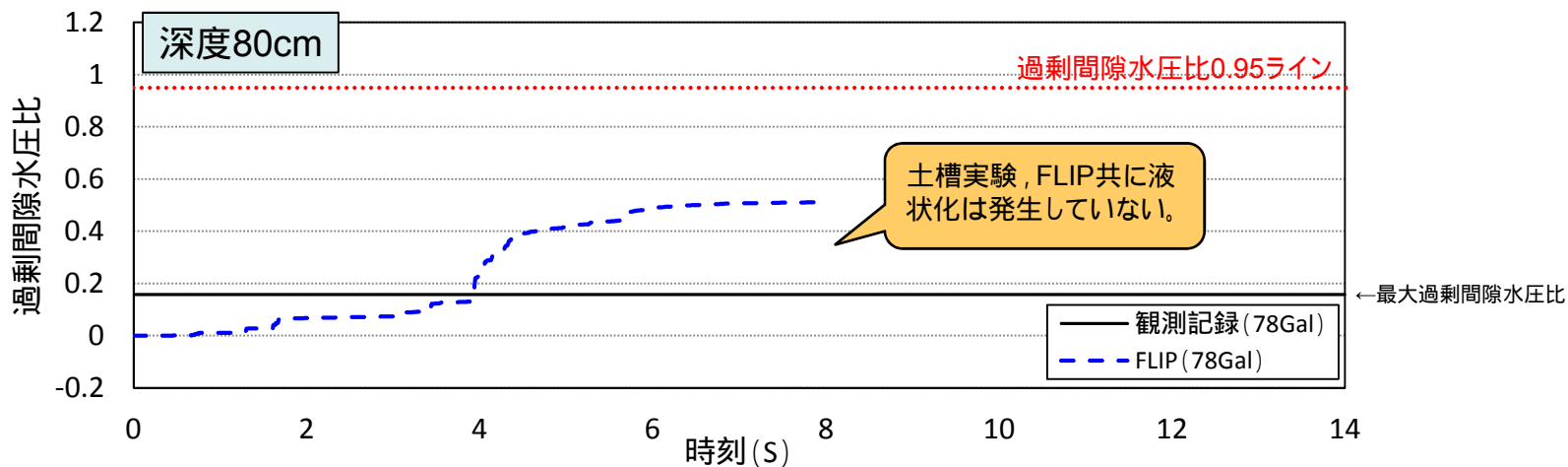
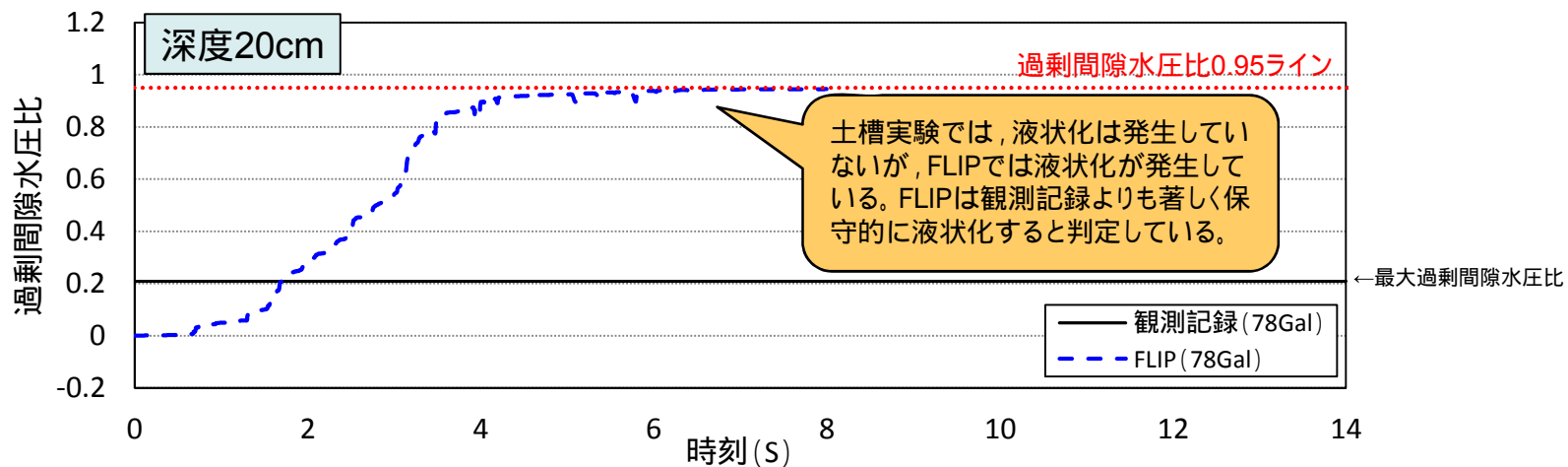
## 土槽振動実験の再現シミュレーション(過剰間隙水圧比の比較)

- 土槽振動実験(入力レベル153Gal)にて計測された過剰間隙水圧比と,1次元FLIPによる過剰間隙水圧比を比較して示す。

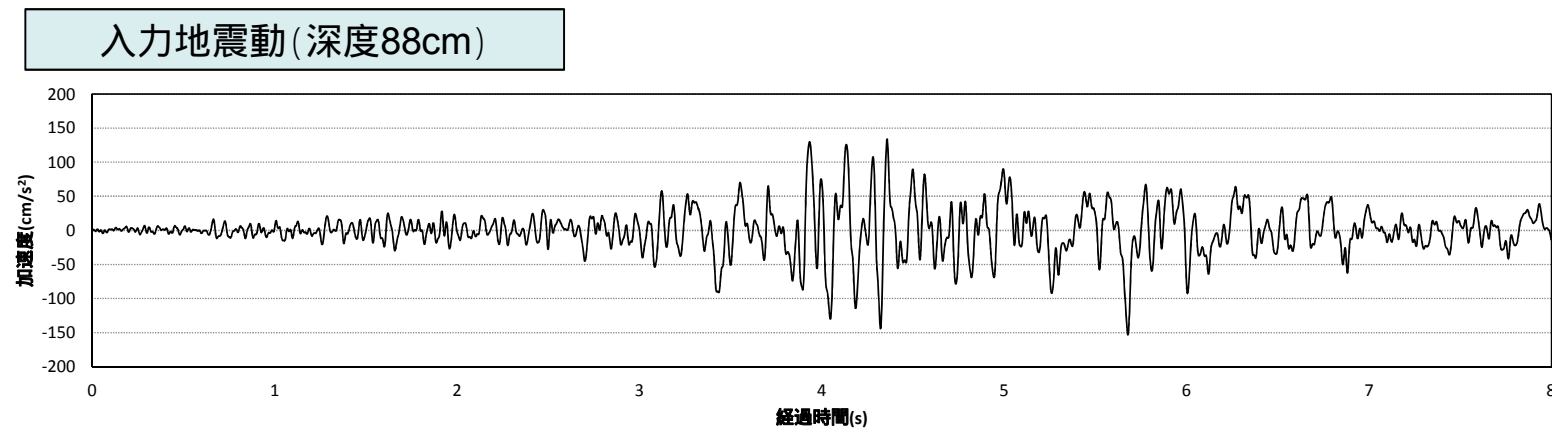
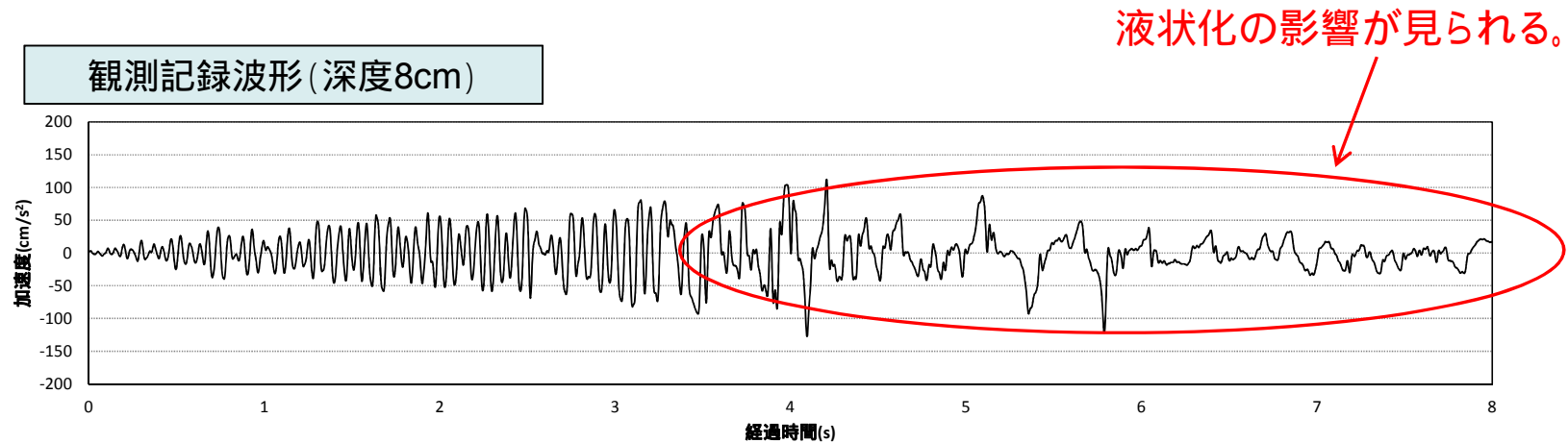


## 土槽振動実験の再現シミュレーション(過剰間隙水圧比の比較)

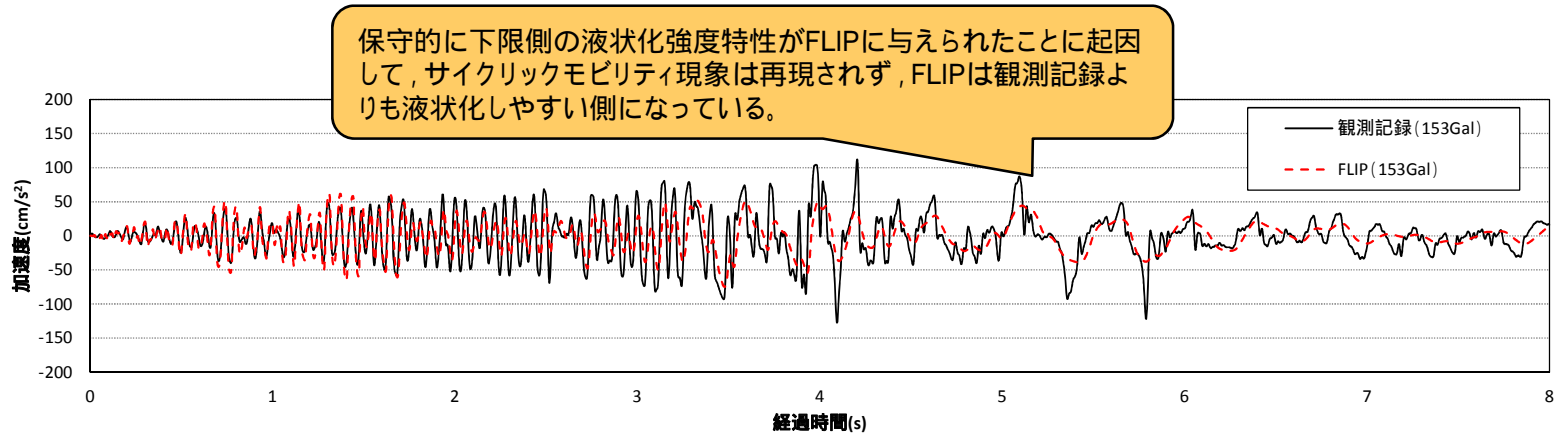
- 土槽振動実験(入力レベル78Gal)にて計測された過剰間隙水圧比と,1次元FLIPによる過剰間隙水圧比を比較して示す。



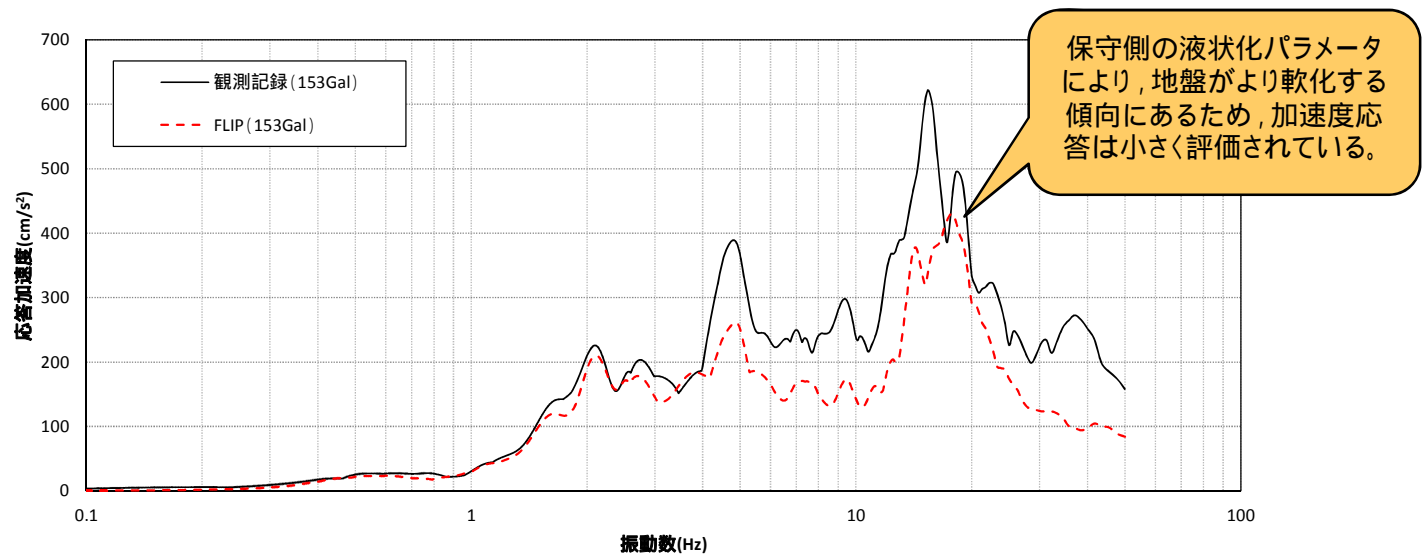
- 土槽振動実験(入力レベル153Gal)における, 入力地震動と観測記録波形を示す。



■ 入力レベル153Galにおける, 加速度応答等の比較結果を示す。

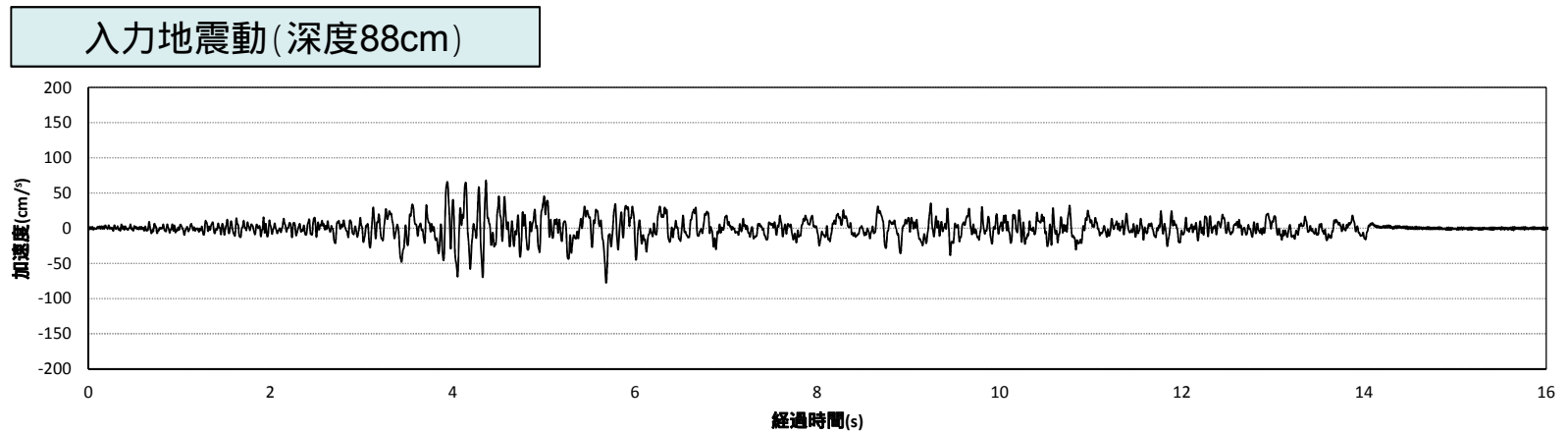
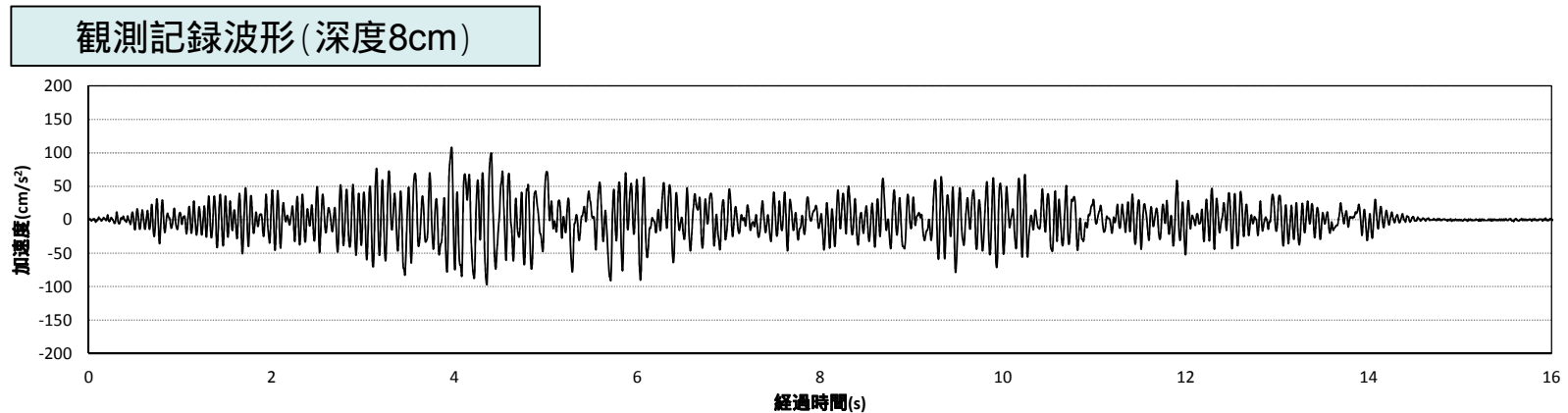


深度8cmの加速度応答の比較

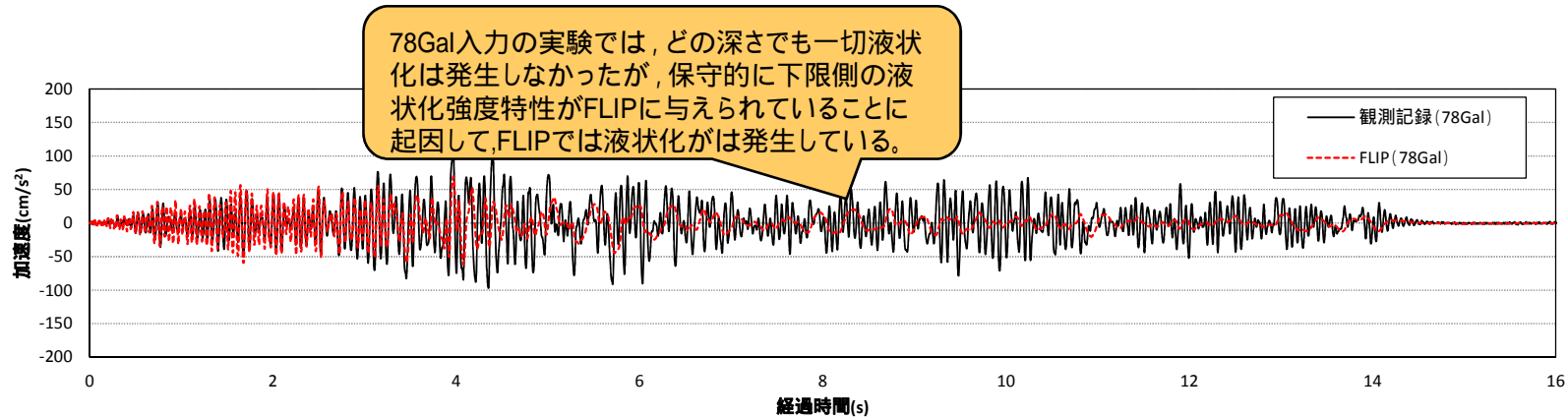


深度8cmの加速度応答スペクトルの比較(5%減衰)

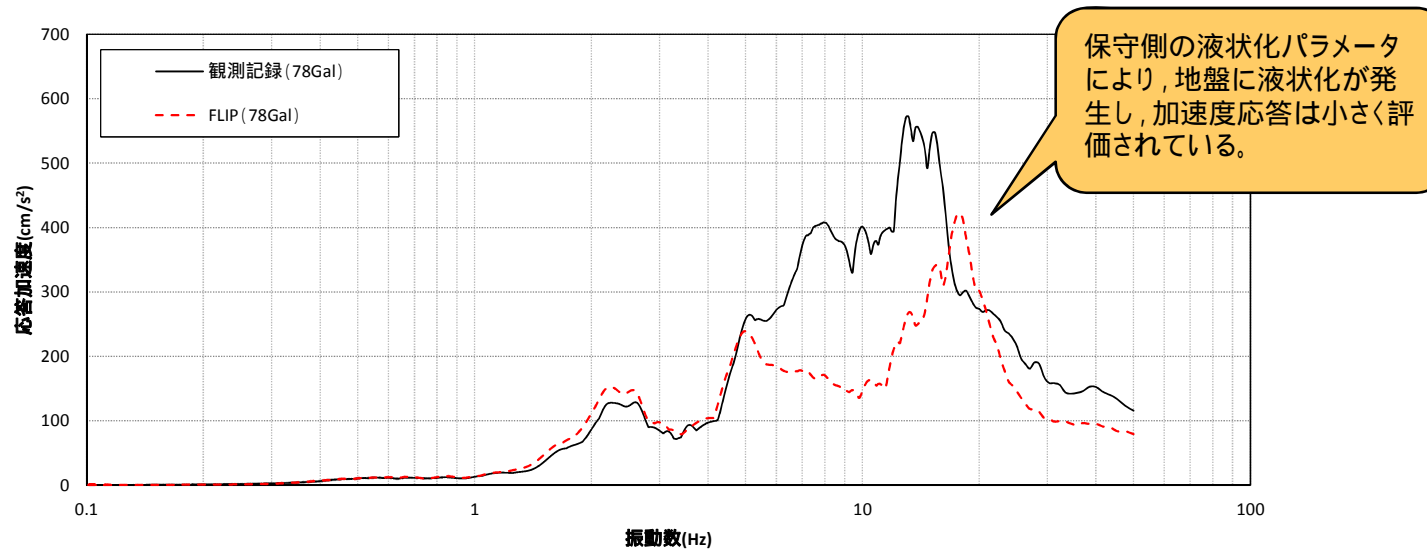
- 土槽振動実験(入力レベル78Gal)における,入力地震動と観測記録波形を示す。



■ 入力レベル78Galにおける, 加速度応答等の比較結果を示す。

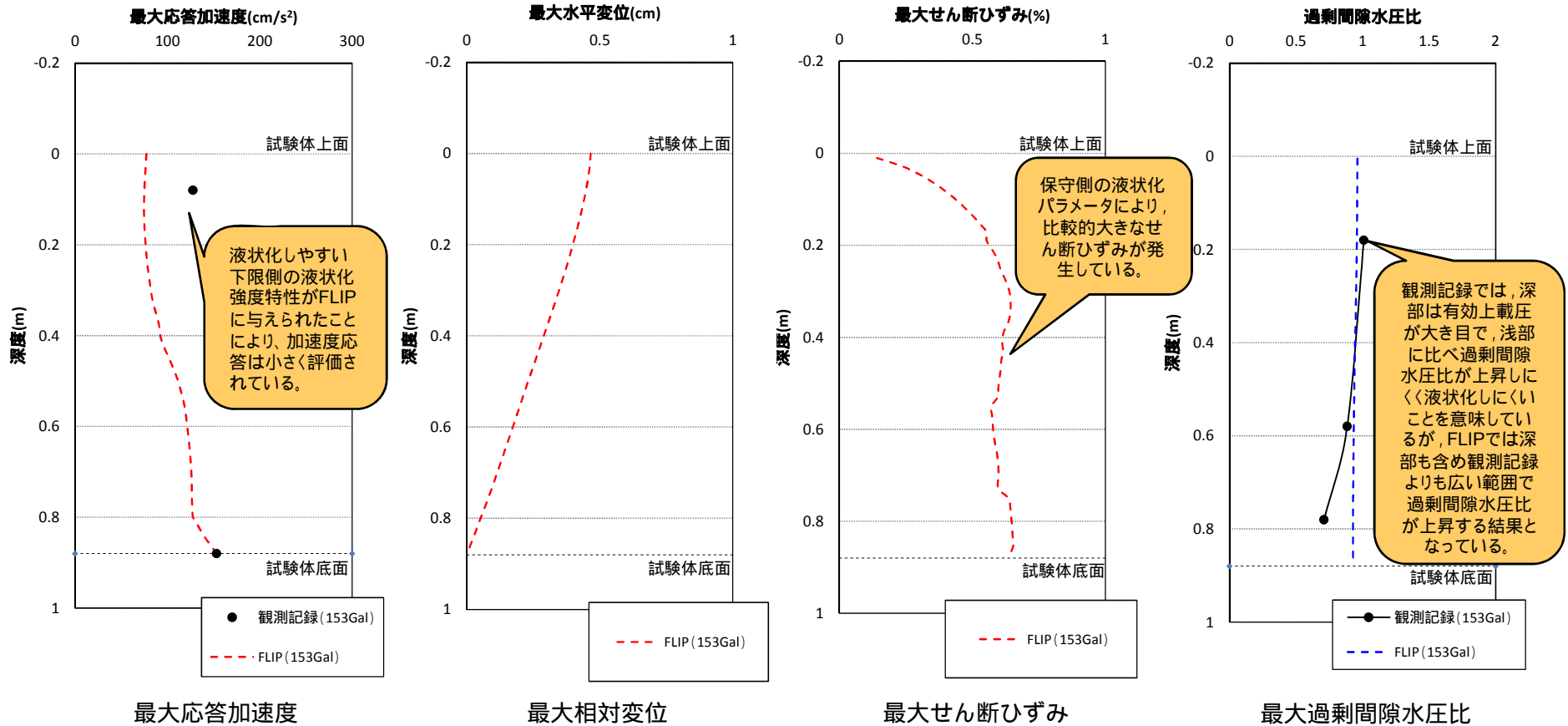


深度8cmの加速度応答の比較

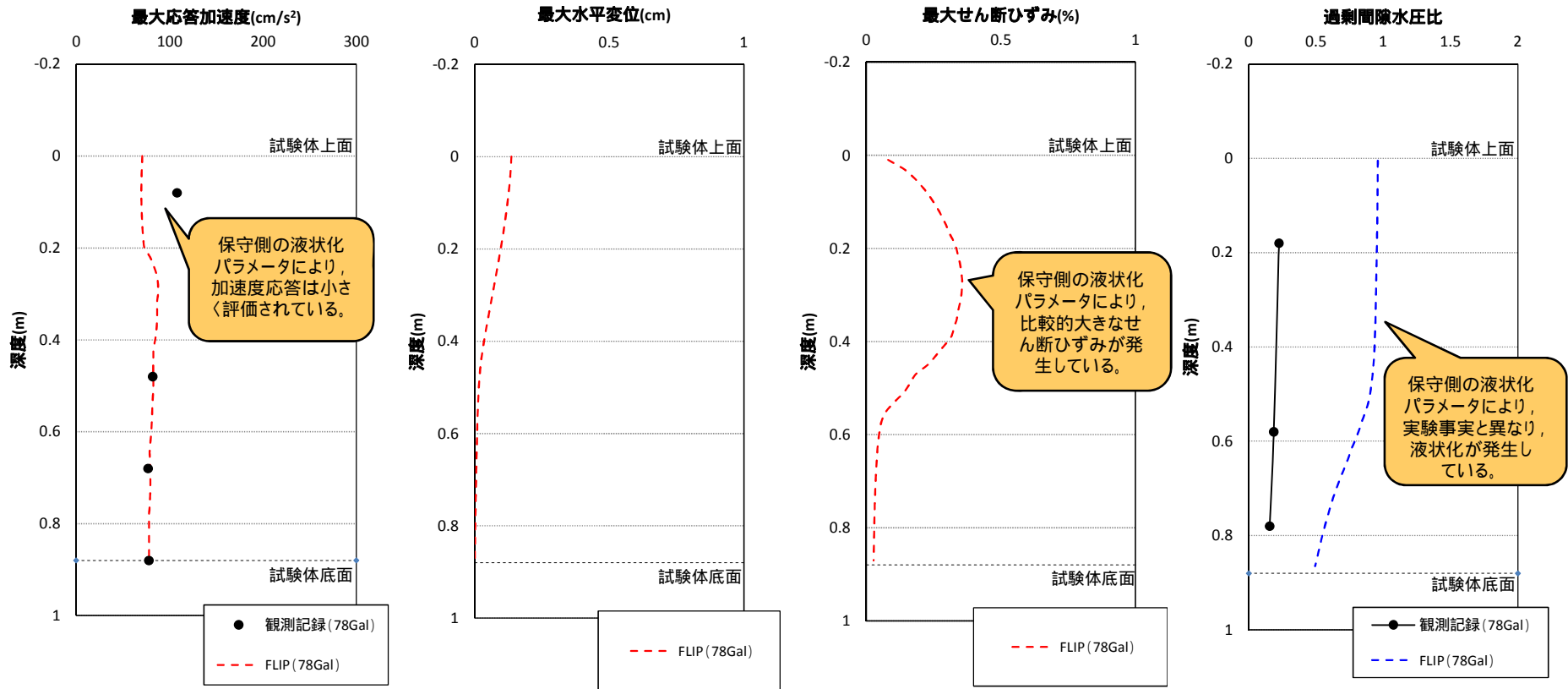


深度8cmの加速度応答スペクトルの比較(5%減衰)

■ 入力レベル153Galにおける,土層振動実験とFLIPの結果を,最大値分布図にて比較する。



■ 入力レベル78Galにおける，土層振動実験とFLIPの結果を，深度分布図にて比較する。





## まとめ

- 豊浦標準砂の液状化パラメータを用いて、FLIPによる土槽振動実験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、FLIPは保守的に液状化判定し、液状化が発生する結果となった。
- 上記のような保守側の液状化パラメータを用いた場合においては、比較的大きな地盤のせん断ひずみが発生する。
- 上記のような保守側の液状化パラメータを用いた場合においてはFLIPで地盤が液状化する評価となることに伴い、加速度応答は小さめに評価される傾向にあることが確認された。



豊浦標準砂の下限側の液状化強度特性を表す液状化パラメータを用いて、FLIP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、液状化判定における保守性を確認した。