

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘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 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340 改0

工事計画に係る補足説明資料

補足-340【耐震性に関する説明書の補足説明資料】

平成30年10月

日本原子力発電株式会社

添付書類に係る補足説明資料

「耐震性に関する説明書」に係る添付書類の記載内容を補足するための説明資料を以下に示す。

工認添付書類	補足説明資料	
V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針	補足 -340-1	地盤の支持性能について
V-2 耐震性に関する説明書	補足 -340-2	耐震評価対象の網羅性, 既工認との手法の相違点の整理について
V-2-別添 3 可搬型重大事故等対処設備等の耐震性に関する説明書	補足 -340-3	可搬型重大事故等対処設備の耐震性に関する説明書に関する補足説明資料
V-2-11-1 波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針	補足 -340-4	下位クラス施設の波及的影響の検討について
V-2-1 耐震設計の基本方針	補足 -340-5	地震時荷重と事故時荷重との組合せについて
V-2-1-8 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針	補足 -340-7	水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について
V-2 耐震性に関する説明書	補足 -340-8	屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について
V-2 耐震性に関する説明書	補足 -340-9	加振試験についての補足説明資料
V-2 耐震性に関する説明書	補足 -340-10	ケミカルアンカの高温環境下での使用について
V-2-11-2-11 海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性についての計算書	補足 -340-11	海水ポンプエリア防護対策施設の耐震性についての計算書に関する補足説明資料
V-2 耐震性に関する説明書	補足 -340-13	機電分耐震計算書の補足について
V-2-10-1-4 常設代替高圧電源装置の耐震性についての計算書	補足 -340-15	常設代替高圧電源装置の耐震性についての計算書に関する補足説明資料
V-2-3-4 原子炉圧力容器の耐震性についての計算書	補足 -340-16	原子炉圧力容器の基礎ボルトにおける特別点検での評価について
V-2-5-5-4-1 常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書	補足 -340-17	常設高圧代替注水系ポンプの耐震性についての計算書に関する補足説明資料

工認添付書類	補足説明資料	
V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について	補足 -340-18	配管耐震・応力計算書における計算モデルについて
V-2-6-3-1 制御棒駆動機構の耐震性についての計算書	補足 -340-19	制御棒駆動機構の耐震評価方針について
V-2-9-5-2-4 ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書	補足 -340-20	ブローアウトパネル閉止装置の耐震性について
V-2-11-2-18 原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の耐震性についての計算書	補足 -340-21	原子炉建屋外側ブローアウトパネル防護対策施設の耐震性についての計算書に関する補足説明資料
V-2-4-2-3 使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書	補足 -340-22	使用済燃料乾式貯蔵容器の耐震性についての計算書の概要
V-2-9-4-3-5-2 付属設備の耐震性の計算書	補足 -340-23	ペDESTAL排水系の付属設備のうち導入管カバーへの水の付加質量について
V-2-5-4-1-3 残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書 V-3-5-3-1-3 残留熱除去系ストレーナの強度計算書	補足 -340-24	ECCSストレーナ評価条件等の整理について
V-2-3-4-2 原子炉圧力容器付属構造物の耐震性についての計算書 V-2-9-2 原子炉格納容器の耐震についての計算書 V-2-9-4 圧力低減設備その他の安全設備の耐震性についての計算書	補足 -340-25	原子炉格納容器の耐震計算書に係る補足説明資料
V-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針 V-2-1-13-8 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針	補足 -340-26	盤及び計装ラックの固有周期について
V-2-10-1-5-6 緊急時対策所用発電機制御盤の耐震性についての計算書	補足 -340-27	緊急時対策所用発電機制御盤の耐震性についての計算書の概要

補足-340-1【地盤の支持性能について】

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象施設周辺の地質等	2
3.1 評価対象施設周辺の地質	2
3.2 評価対象施設周辺の地質状況整理結果	13
3.3 敷地の地下水位分布及び耐震評価における地下水位設定方針	15
3.3.1 敷地の地下水位分布	15
3.3.2 耐震評価における地下水位設定方針	17
4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値	18
4.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値	26
4.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値	30
4.2.2 強制的に液状化させることを仮定した有効応力解析に用いる解析用物性値	113
4.2.3 その他の解析用物性値	117
4.2.4 地盤の物性のばらつきについて	122
5. 極限支持力	123
5.1 直接基礎及びケーソン基礎の支持力算定式	123
5.2 杭基礎の支持力算定式	125
5.3 地中連続壁基礎の支持力算定式	127
5.4 極限支持力算定式における久米層の非排水せん断強度の適用性について	127
5.5 杭の支持力試験について	129
6. 地盤の速度構造	130
6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル	130
6.2 地震応答解析に用いる地盤の速度構造モデル	131
6.3 PS 検層結果の代表性及び網羅性について	133
6.3.1 第四系における PS 検層の代表性及び網羅性について	133
6.3.2 新第三系における PS 検層の代表性及び網羅性について	140
参考資料 1	(参考) 1-1
参考資料 2	(参考) 2-1
参考資料 3	(参考) 3-1
参考資料 4	(参考) 4-1
参考資料 5	(参考) 5-1
参考資料 6	(参考) 6-1

1. 概要

本資料は、添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針の概要」に基づき、設計基準対象施設並びに常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備が設定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。）（以下「常設重大事故等対処施設」という。）の耐震安全性評価を実施するに当たり、対象施設を設置する地盤の物理特性、強度特性、変形特性等の地盤物性値設定及び支持性能評価で用いる地盤諸元の基本的な考え方を示したものである。

2. 基本方針

設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設において、対象施設を設置する地盤の物理特性、強度特性、変形特性等の解析用物性値については、各種試験に基づき設定する。また、全応力解析及び有効応力解析等に用いる解析用物性値をそれぞれ設定する。全応力解析に用いる解析用物性値は、設置変更許可申請書（添付書類六）に記載した値を用いることを基本とする。有効応力解析に用いる解析用物性値は、工事計画認可申請において新たに設定する。

対象設備を設置する地盤の地震時における支持性能評価については、設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設の耐震重要度分類又は施設区分に応じた地震力により地盤に作用する接地圧が地盤の極限支持力に基づく許容限界*以下であることを確認する。

極限支持力は、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 14 年 3 月）（以下「道路橋示方書」という。）及び建築基礎構造設計指針（（社）日本建築学会、2001）（以下「基礎指針」という。）の支持力算定式に基づき、対象施設の支持岩盤の室内試験結果（せん断強度等）等より設定する。また、杭の支持力試験を実施している場合は、極限支持力を支持力試験結果から設定する。

押込み力に対する支持力評価において、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した耐震設計を行う場合は、第四系の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への接地圧に対する支持力評価を行うことを基本とする。ただし、杭を根入れした岩盤及び岩着している地盤改良体とその上方の非液状化層が連続している場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

引抜き力に対する支持力評価において、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した耐震設計を行う場合は、第四系の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、新第三系（久米層）の杭周面摩擦力により算定される極限支持力を考慮することを基本とする。ただし、杭周面地盤に地盤改良体がある場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

注記 *：妥当な安全余裕を持たせる。

3. 評価対象施設周辺の地質等

3.1 評価対象施設周辺の地質

敷地の地質層序を表 3.1-1 に示す。敷地の地質は、下位から先白亜系の日立古生層(日立変成岩類)、白亜系の那珂湊層群、新第三系の離山層、新第三系鮮新統～第四系下部更新統の久米層、第四系更新統の東茨城層群及び段丘堆積物、第四系完新統の沖積層及び砂丘砂層からなる。

敷地の地質・地質構造評価に係る地質調査のうち、ボーリング調査位置図を図 3.1-1 に、敷地の地質平面図を図 3.1-2 に示す。敷地に分布する地層のうち、最下位の日立古生層(日立変成岩類)は硬質な泥岩、砂岩及び礫岩からなる。那珂湊層群は硬質な泥岩、砂岩及び礫岩からなる。離山層は泥岩、凝灰岩からなる。久米層は砂質泥岩を主としている。東茨城層群と段丘堆積物は砂礫、砂及びシルトからなり、沖積層は粘土を主として砂及び礫混じり砂を挟む。各層は不整合関係で接している。砂丘砂層は均質な細～中粒砂からなり、敷地全体に広く分布する。

敷地の第四系の主な層相及び代表的なコア写真の拡大を表 3.1-2 に示す。以降、敷地の第四系をこの層相に基づき区分する。

敷地の地質断面図を図 3.1-3 に示す。敷地には、敷地全域にわたって新第三系鮮新統～第四系下部更新統の久米層が分布し、その上位に第四系更新統の段丘堆積物、第四系完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。

表 3.1-1 地質層序

年代層序区分		地層区分	地質記号	主な層相		備考			
第四系	完新統	砂丘砂層	du	灰褐色～黄灰色の砂～中粒砂		敷地全体に広く分布する。 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。			
				Ag2	砂礫				
				Ac	粘土				
				As	砂				
	更新統	沖積層	al	Ag1	砂礫	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)			
				D2c-3			シルト		
				D2s-3			砂		
				D2g-3			砂礫		
				D2c-2			シルト		
				D2g-2			砂礫		
第四系	段丘堆積物	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： ・赤城産沼テフラ >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			
			Hi			暗灰色～褐色の砂及びシルト 灰褐色～青灰色の砂礫			
			Km			暗オリーブ灰色の砂質泥岩			
			新第三系	久米層		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。
							泥岩・砂岩		
							泥岩・砂岩・礫岩		
			白亜系	那珂湊層群		Nk	泥岩・砂岩・礫岩		敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。
							泥岩・砂岩・礫岩		
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。				
			泥岩・砂岩・礫岩						

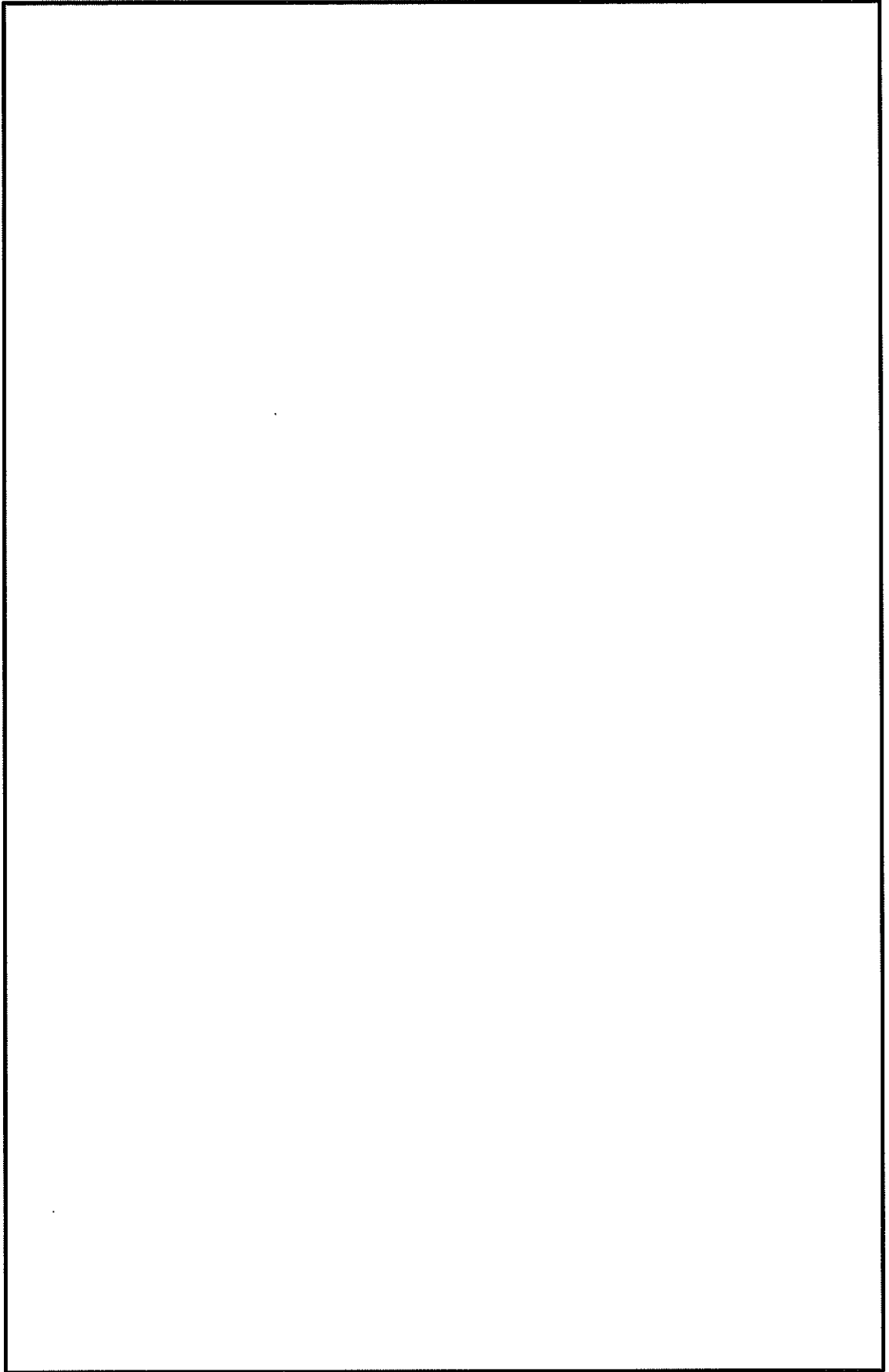


図 3.1-1 ボーリング調査位置図

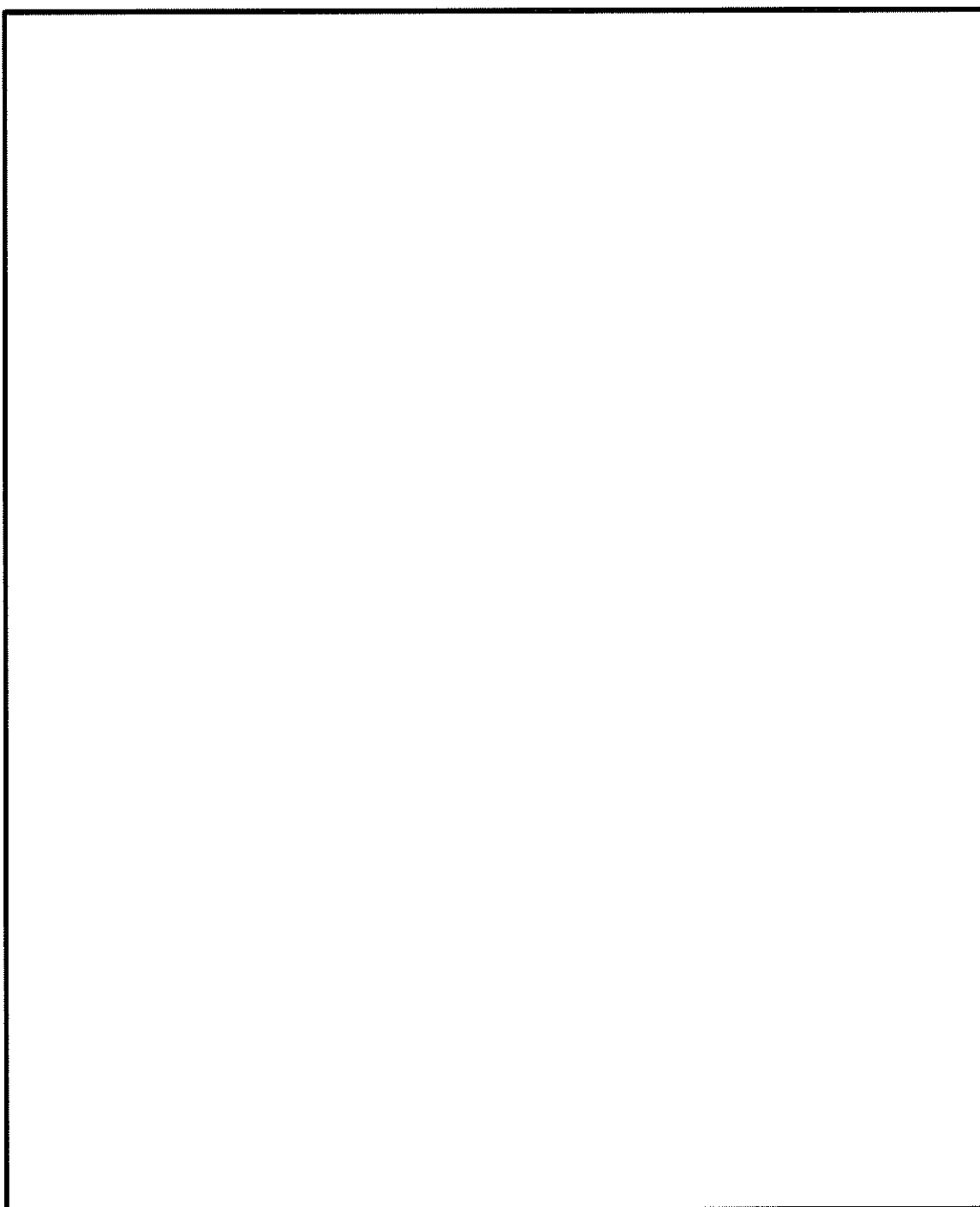












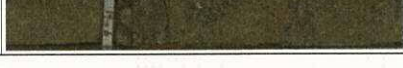
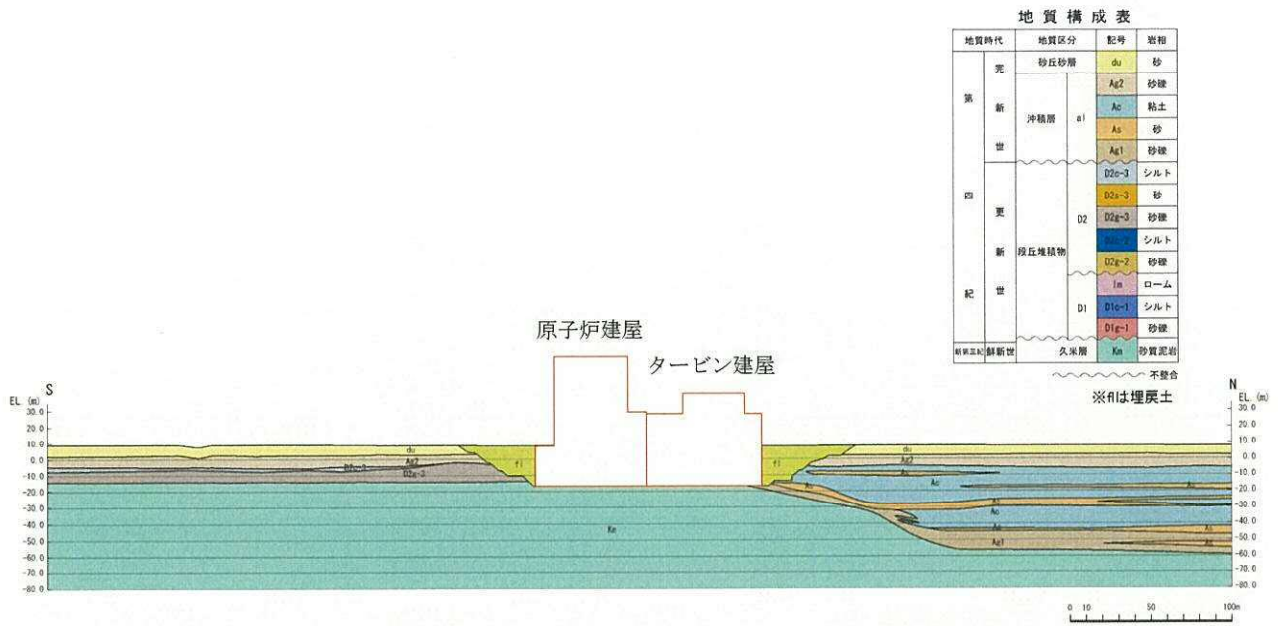


図 3.1-2 敷地の地質平面図

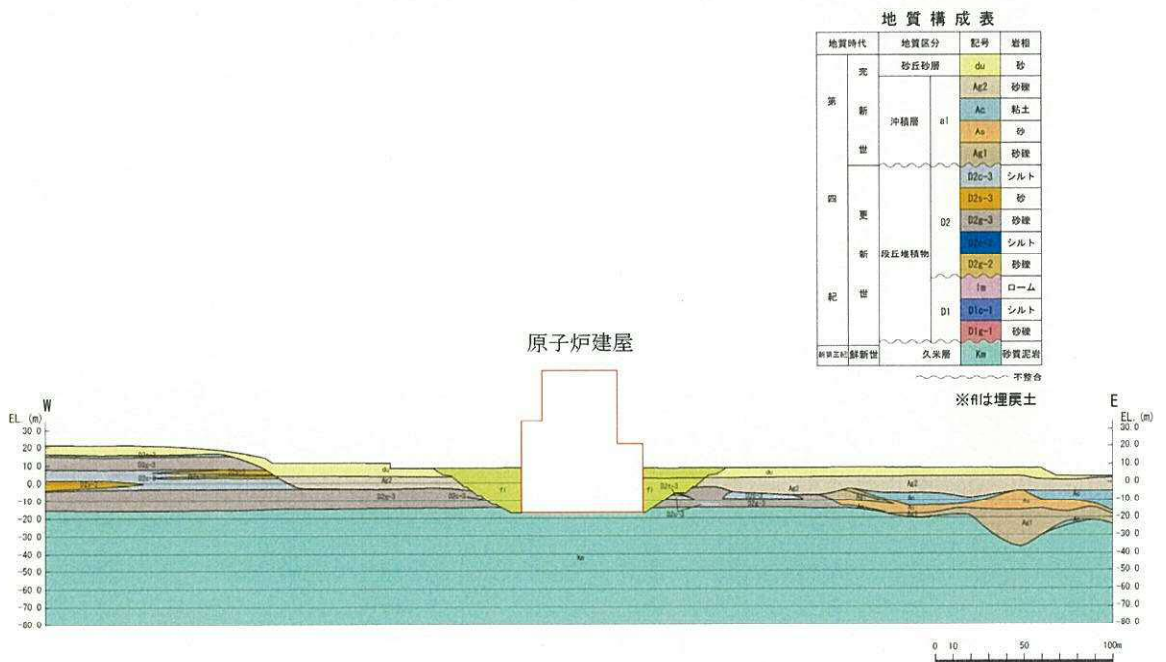
表 3.1-2 第四系の主な層相及び代表的なコア写真の拡大

年代層序区分		地層区分	地質記号	主な層相		代表的なコア写真	
新生界	第四系	砂丘砂層	du	灰褐色～黄灰色の砂～中粒砂			
		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	
				Ac	粘土		
				As	砂		
				Ag1	砂礫		
		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	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



(1) 原子炉建屋周辺断面 (A-A 断面)

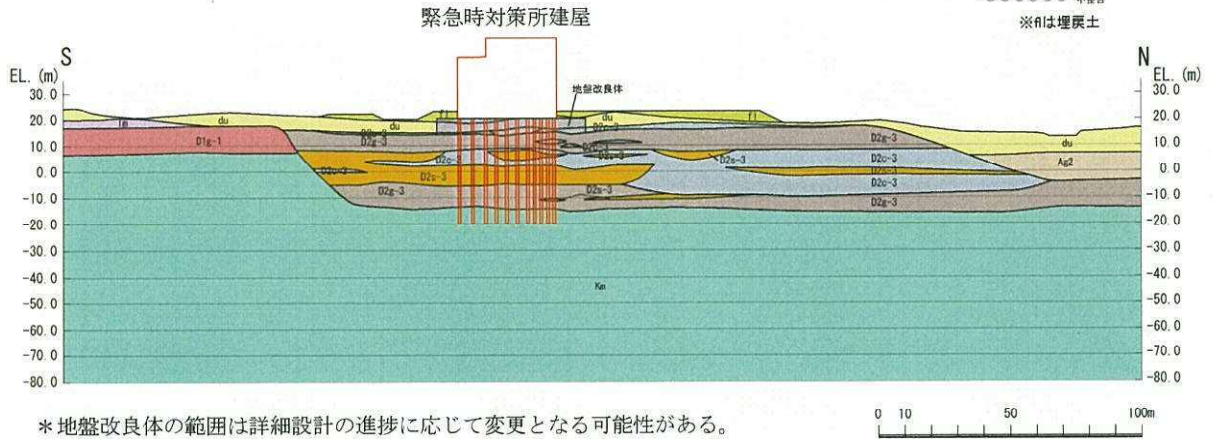


(2) 原子炉建屋周辺断面 (B-B 断面)

図 3.1-3 (1) 地質断面図 (1/6)

地質構成表

| 地質時代    | 地質区分  | 記号    | 岩相    |      |     |
|---------|-------|-------|-------|------|-----|
| 第 三 世   | 突     | 砂丘砂層  | du    | 砂    |     |
|         |       |       | Ag2   | 砂礫   |     |
|         | 新 世   | 沖積層   | a1    | Ac   | 粘土  |
|         |       |       |       | As   | 砂   |
|         |       |       |       | Ag1  | 砂礫  |
| 第 四 紀 世 | 更 新 世 | D2c-3 |       | シルト  |     |
|         |       | D2s-3 |       | 砂    |     |
|         | D2    | D2g-3 |       | 砂礫   |     |
|         |       | D2e-3 |       | シルト  |     |
|         | 新 世   | 段丘堆積物 | D2g-2 |      | 砂礫  |
|         |       |       | Im    |      | ローム |
| 紀 世     | D1    | D1c-1 |       | シルト  |     |
|         |       | D1g-1 |       | 砂礫   |     |
| ※※※ 鮮新世 | 久米層   | Kn    |       | 砂質泥岩 |     |
| ※印は埋戻土  |       |       |       |      |     |

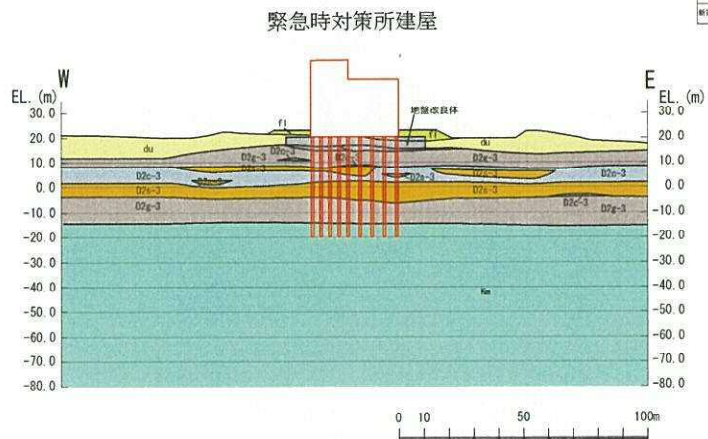


\* 地盤改良体の範囲は詳細設計の進捗に応じて変更となる可能性がある。

(3) 緊急時対策所周辺断面 (C-C 断面)

地質構成表

| 地質時代    | 地質区分  | 記号    | 岩相    |      |     |
|---------|-------|-------|-------|------|-----|
| 第 三 世   | 突     | 砂丘砂層  | du    | 砂    |     |
|         |       |       | Ag2   | 砂礫   |     |
|         | 新 世   | 沖積層   | a1    | Ac   | 粘土  |
|         |       |       |       | As   | 砂   |
|         |       |       |       | Ag1  | 砂礫  |
| 第 四 紀 世 | 更 新 世 | D2c-3 |       | シルト  |     |
|         |       | D2s-3 |       | 砂    |     |
|         | D2    | D2g-3 |       | 砂礫   |     |
|         |       | D2e-3 |       | シルト  |     |
|         | 新 世   | 段丘堆積物 | D2g-2 |      | 砂礫  |
|         |       |       | Im    |      | ローム |
| 紀 世     | D1    | D1c-1 |       | シルト  |     |
|         |       | D1g-1 |       | 砂礫   |     |
| ※※※ 鮮新世 | 久米層   | Kn    |       | 砂質泥岩 |     |
| ※印は埋戻土  |       |       |       |      |     |



\* 地盤改良体の範囲は詳細設計の進捗に応じて変更となる可能性がある。

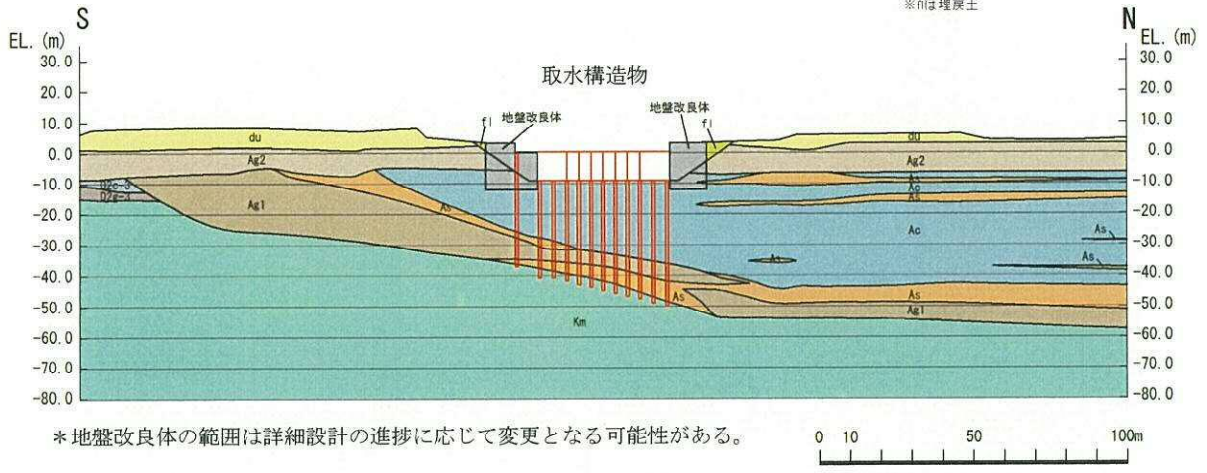
(4) 緊急時対策所周辺断面 (D-D 断面)

図 3.1-3 (2) 地質断面図 (2/6)

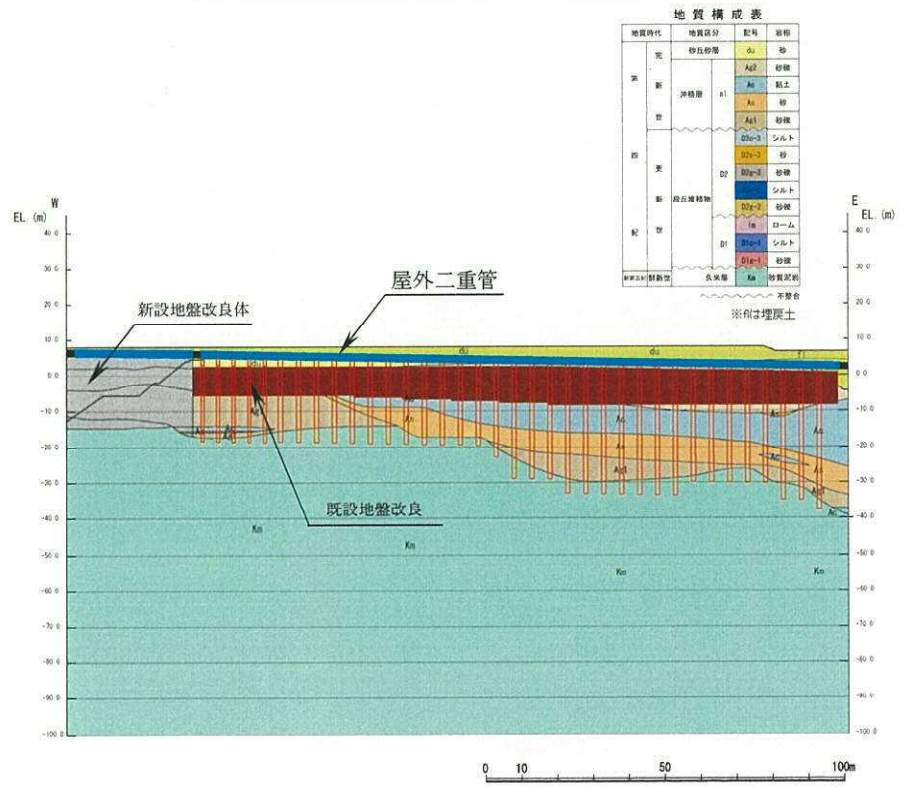
**地質構成表**

| 地質時代 | 地質区分  | 記号    | 岩相   |
|------|-------|-------|------|
| 新 世  | 沖積層   | du    | 砂    |
|      |       | Ag2   | 砂礫   |
|      |       | Ac    | 粘土   |
|      |       | As    | 砂    |
|      |       | Ag1   | 砂礫   |
| 旧 世  | 段丘堆積物 | D0c-3 | シルト  |
|      |       | D0c-2 | 砂    |
|      |       | D0c-3 | 砂礫   |
|      |       | D0c-3 | シルト  |
|      |       | D0c-2 | 砂礫   |
| 紀 世  | 久米層   | f     | ローム  |
|      |       | D1c-1 | シルト  |
|      |       | D1c-1 | 砂礫   |
|      |       | Km    | 砂質泥岩 |

※fは埋戻土

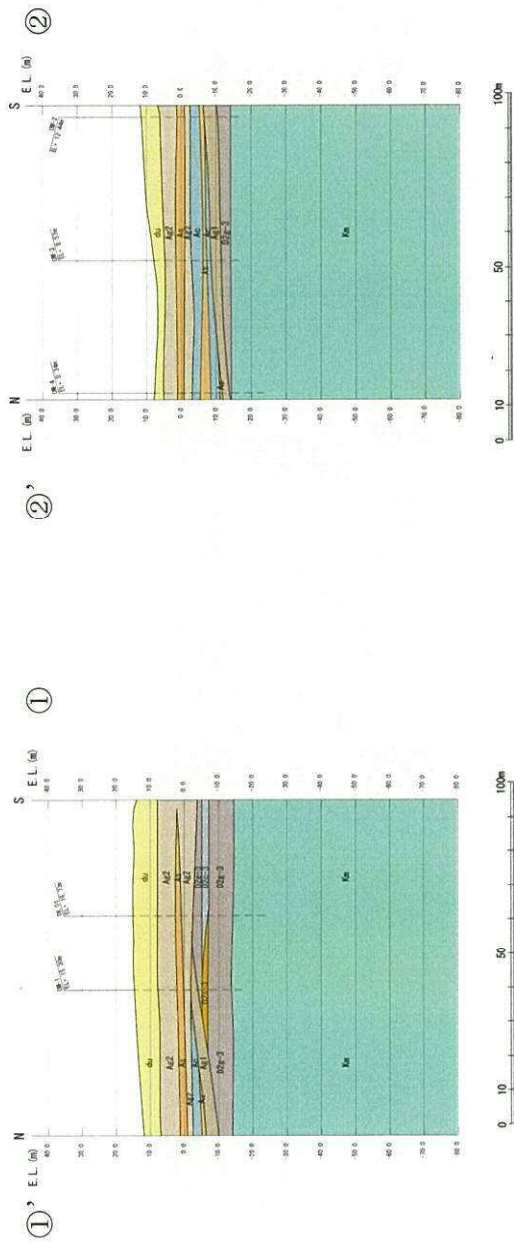
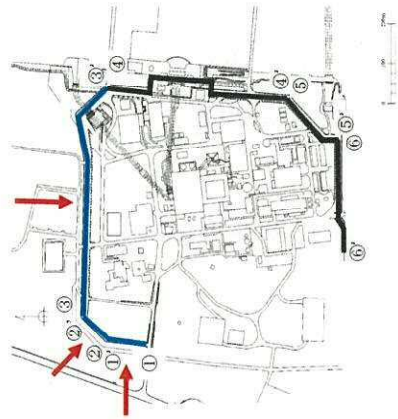


(5) 取水構造物周辺断面 (E-E 断面)



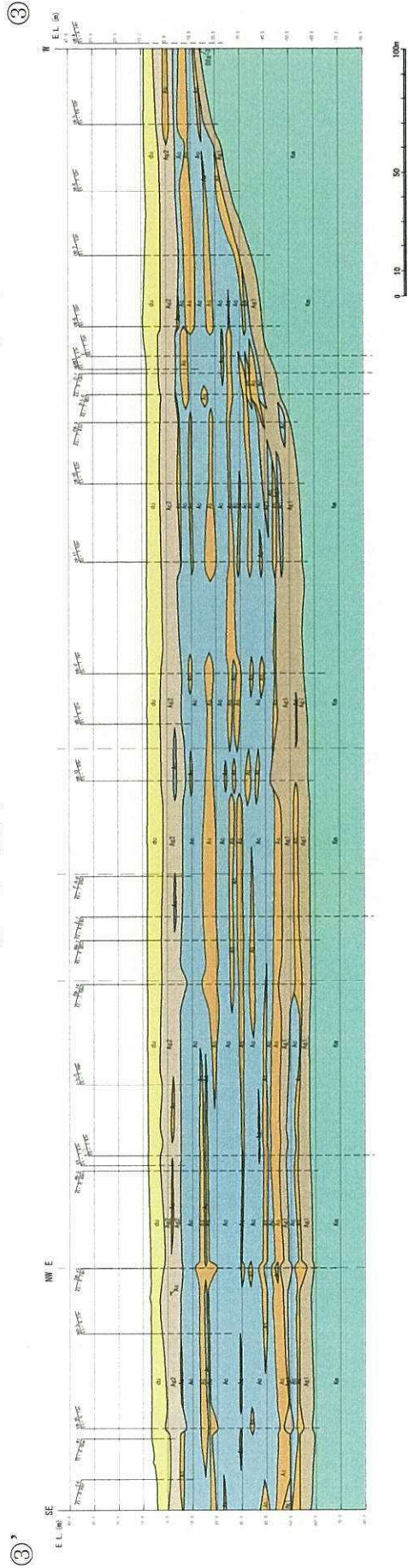
(6) 屋外二重管周辺断面 (F-F 断面)

図 3.1-3 (3) 地質断面図 (3/6)



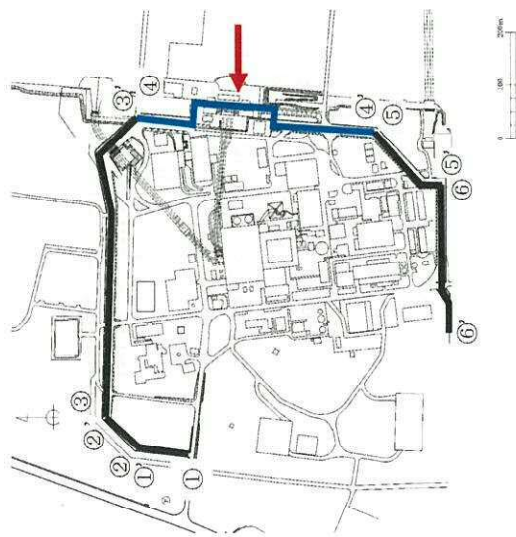
①-①' 断面

②-②' 断面

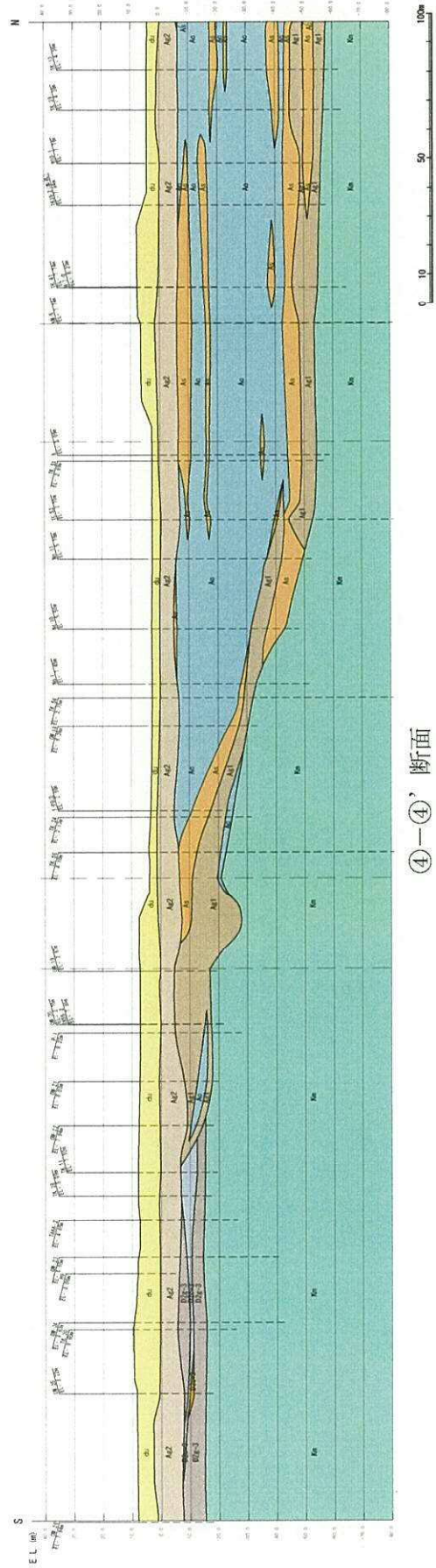


③-③' 断面

图 3.1-3 (4) 地質断面图 (4/6)



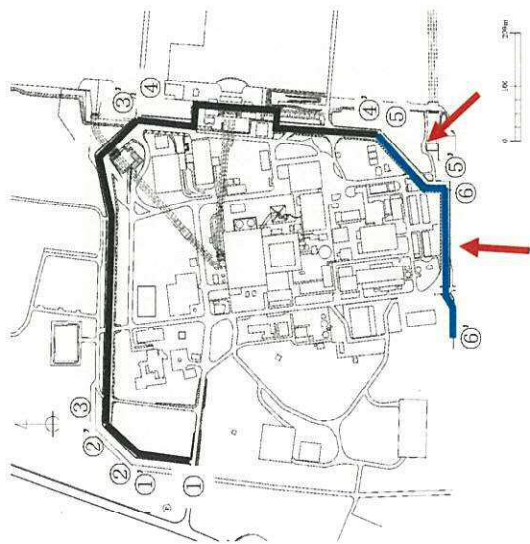
④



④-④' 断面

図 3.1-3 (5) 地質断面図 (5/6)





⑤'

⑤

⑤—⑤', 断面

⑥

⑥'

⑥—⑥', 断面

图 3.1-3 (6) 地质断面图 (6/6)

### 3.2 評価対象施設周辺の地質状況整理結果

「3.1 評価対象施設周辺の地質」において作成した地質断面図より、評価対象施設周辺の地質状況を整理した結果を表 3.2-1 に示す。これらの地質に対し、図 3.1-1 に示すような広範囲における調査結果等に基づき解析用物性値を設定した。

表 3.2-1 評価対象施設周辺の地質分布一覧

| 地質    | 原子炉建屋 | 緊急時<br>対策用建屋 | 屋外重要土木構造物 |                        | 放射防護施設<br>・防漏堤<br>・貯留渠 等 | 各解析用物性値の記載項及び設定概要                         |                              |                                                 |                  |  |
|-------|-------|--------------|-----------|------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------|------------------|--|
|       |       |              | 取水構造物     | 屋外二重管                  |                          | 4.1 設置変更許可申請書に記載<br>された解析用物性値<br>(全芯力解析用) | 4.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値 |                                                 |                  |  |
|       |       |              |           |                        |                          |                                           | 4.2.1 有効芯力解析に用いる解<br>析用物性値   | 4.2.2 強制的に液状化させるこ<br>とを仮定した有効芯力解析に用い<br>る解析用物性値 | 4.2.3 その他の解析用物性値 |  |
| 第四系   | 埋戻土   | Fl           | ○         | ○                      | ○                        |                                           |                              |                                                 |                  |  |
|       |       | 段丘砂層         | du        | ○                      | ○                        | ○                                         |                              |                                                 |                  |  |
|       | 沖積層   |              | Ag2       | ○                      | ○                        | ○                                         |                              |                                                 |                  |  |
|       |       | Ac           | ○         | ○                      | ○                        |                                           |                              |                                                 |                  |  |
|       |       | As           | ○         | ○                      | ○                        |                                           |                              |                                                 |                  |  |
|       |       | Ag1          | ○         | ○                      | ○                        |                                           |                              |                                                 |                  |  |
|       | 段丘堆積物 | D2c-3        | ○         | (○) *1                 | ○                        |                                           | 原位置試験及び<br>室内試験に基づき設定        | 原位置試験及び<br>室内試験に基づき設定                           | -                |  |
|       |       | D2s-3        | ○         | -                      | ○                        |                                           |                              |                                                 |                  |  |
|       |       | D2g-3        | ○         | (○) *1                 | ○                        |                                           |                              |                                                 |                  |  |
|       |       | lm           | -         | -                      | -                        |                                           |                              |                                                 |                  |  |
|       | 新第三系  | 久未層          | DIc-1     | -                      | -                        | -                                         |                              |                                                 |                  |  |
|       |       |              | DIg-1     | -                      | -                        | -                                         |                              |                                                 |                  |  |
|       |       |              | km        | ○                      | ○                        | ○                                         |                              |                                                 |                  |  |
|       | 新第三系  | 捨石           |           | -                      | -                        | ○                                         |                              |                                                 |                  |  |
| 豊洲層粗砂 |       |              |           | 強制的に液状化させることを仮定する場合に適用 |                          |                                           |                              |                                                 |                  |  |
|       |       |              | 人工岩盤      | ○                      | -                        | -                                         |                              |                                                 |                  |  |
| 新第三系  | 地盤改良体 |              | -         | ○                      | ○                        |                                           |                              |                                                 |                  |  |
|       |       |              | -         | -                      | -                        |                                           |                              |                                                 |                  |  |

注記 \*1：施設直下及び直近には分布していないが、地質断面図内に現れる地層

### 3.3 敷地の地下水位分布及び耐震評価における地下水位設定方針

#### 3.3.1 敷地の地下水位分布

敷地においては水位観測に基づき、水位コンターを設定している。地下水位については、平成29年6月時点でのデータを用いて取り纏めを行い、地下水位コンター図を作成した。

図3.3-1に観測最高水位コンター図、表3.3-1に観測最高地下水位一覧表を示す。

各地点における地下水位観測データを（参考資料1）に示す。

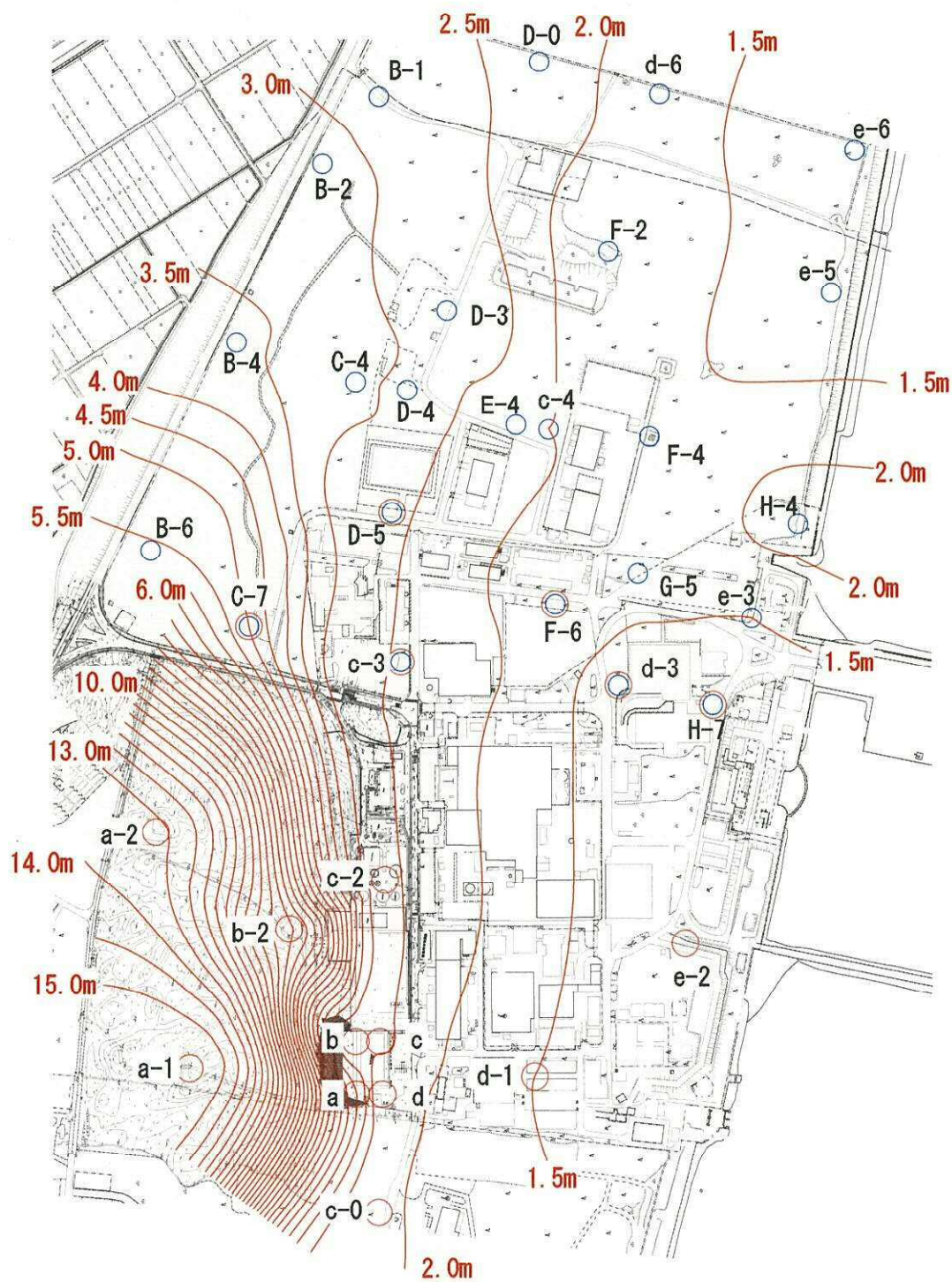


図3.3-1 観測最高地下水位コンター図

表 3.3-1 観測最高地下水位一覧表

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

### 3.3.2 耐震評価における地下水位設定方針

#### (1) 建物・構築物の耐震評価における地下水位設定方針

建物・構築物の耐震評価においては、東海第二発電所における将来の防潮堤設置による地下水位上昇の可能性を踏まえ、地下水位を地表面に設定する。ただし、原子炉建屋の地下水位については、原子炉建屋直下の人工岩盤下端レベルにサブドレンを配置し、地下水位の低減措置を実施しているため、地下水位は原子炉建屋の基礎盤下端レベルより低い位置に設定する。

#### (2) 土木構造物（津波防護施設等を含む）の耐震評価における地下水位設定方針

土木構造物（津波防護施設等を含む）の耐震評価においては、東海第二発電所における将来の防潮堤設置による地下水位上昇の可能性を踏まえ、地下水位を地表面に設定する。

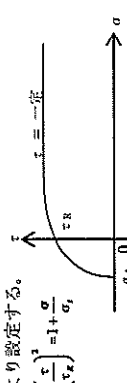
#### 4. 地盤の解析用物性値

##### 4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値

全応力解析に用いる解析用物性値として、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値を表 4.1-1 及び図 4.1-1～図 4.1-10 に、設定根拠を表 4.1-2 に示す。設置変更許可申請書に記載された解析用物性値については、原位置試験及び室内試験から得られた各種物性値を基に設定した。

表 4.1-1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値

| 項目                                      | 第四系                                     |                        |                        |                                                                |                        |                        |                         |                        |                        |                        | 新第三系                   |                                                            |                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                         | fl層                                     | du層                    | Ag2層                   | Ac層                                                            | As層                    | Ag1層                   | D2c-3層                  | D2s-3層                 | D2g-3層                 | 1m層                    | D1c-1層                 | D1g-1層                                                     | Km層                                                                                                                                    |
| 物理特性                                    | 密度<br>$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> ) *   | 1.82                   | —                      | —                                                              | —                      | —                      | 1.77                    | 1.92                   | 2.15                   | 1.43                   | 1.77                   | 1.89                                                       | —                                                                                                                                      |
|                                         |                                         | 1.98                   | 1.65                   | 1.74                                                           | 2.01                   | 2.01                   | —                       | —                      | —                      | 1.47                   | —                      | 2.01                                                       | 1.72-1.03×10 <sup>-4</sup> ・Z                                                                                                          |
| 静的変形特性                                  | 静断係数<br>(N/mm <sup>2</sup> )            | 4.00+199P              | 11.4                   | 21.1+14.8P                                                     | 10.5+142P              | 32.3+5.46P             | 16.0+48.3P              | 83.4+160P              | 7.26+19.6P             | 32.3+5.46P             | 10.5+142P              | 221-2.23・Z                                                 | —                                                                                                                                      |
|                                         |                                         | 80.3                   | —                      | —                                                              | —                      | —                      | —                       | —                      | —                      | —                      | —                      | —                                                          | —                                                                                                                                      |
| 動的変形特性                                  | 初期せん断耐性<br>$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> ) * | 87.3                   | 116                    | $\frac{\rho_{sat}}{Vs} = \frac{1000 \times 1.92}{1.92} = 1000$ | 246                    | 129                    | 249                     | 538                    | 24.8                   | 139                    | 305                    | $\frac{\rho_s}{Vs} = \frac{1000 \times 1.92}{1.92} = 1000$ | $\frac{\rho_s}{Vs} = \frac{1000 \times 1.92}{1.92} = 1000$                                                                             |
|                                         |                                         | 0.385                  | 0.286                  | —                                                              | —                      | —                      | —                       | —                      | —                      | —                      | —                      | —                                                          | —                                                                                                                                      |
| 動変形特性                                   | 動ポアソン比<br>$\nu_d$ *                     | 0.493                  | 0.491                  | 0.484                                                          | 0.483                  | 0.488                  | 0.465                   | 0.462                  | 0.494                  | 0.487                  | 0.474                  | 0.463+1.03×10 <sup>-4</sup> ・Z                             | —                                                                                                                                      |
|                                         |                                         | —                      | —                      | —                                                              | —                      | —                      | —                       | —                      | —                      | —                      | —                      | —                                                          | —                                                                                                                                      |
| せん断耐性<br>の心ずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$ | せん断耐性<br>の心ずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$ | 1+1540 $\gamma^{1.01}$ | 1+2550 $\gamma^{1.11}$ | 1+422 $\gamma^{0.951}$                                         | 1+1730 $\gamma^{1.11}$ | 1+269 $\gamma^{0.862}$ | 1+1100 $\gamma^{0.854}$ | 1+237 $\gamma^{0.732}$ | 1+222 $\gamma^{0.975}$ | 1+269 $\gamma^{0.862}$ | 1+2520 $\gamma^{1.11}$ | 1+107 $\gamma^{0.823}$                                     | —                                                                                                                                      |
|                                         |                                         | —                      | —                      | —                                                              | —                      | —                      | —                       | —                      | —                      | —                      | —                      | —                                                          | —                                                                                                                                      |
| 強度特性                                    | 減衰定数<br>$h \sim \gamma$                 | 1.12P<br>+0.200        | 1.40P+0.620            | 1.42P-0.464                                                    | 1.40P+0.620            | 0.274P+0.180           | 0.462P+0.230            | 0.770P+0.594           | 0.338P+0.050           | 0.274P+0.180           | 1.40P+0.620            | 1.20P+0.548                                                | 備考参照                                                                                                                                   |
|                                         |                                         | 0.491P<br>+0.200       | 1.40P+0.620            | 1.42P-0.464                                                    | 1.40P+0.620            | 0.274P+0.180           | 0.462P+0.230            | 0.770P+0.594           | 0.338P+0.050           | 0.274P+0.180           | 1.40P+0.620            | 1.20P+0.548                                                | 備考参照                                                                                                                                   |
| 強度特性                                    | 残留強度<br>$\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )   | 1.00P<br>+0.195        | 1.20P+0.548            | 1.43P+0.430                                                    | 1.20P+0.548            | 0.170P+0.141           | 0.310P+0.213            | 0.788P+0.582           | 0.280P+0.036           | 0.170P+0.141           | 1.20P+0.548            | 1.20P+0.548                                                | $\tau = 0, 632 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.5720$ /mm <sup>2</sup> )<br>$\tau = 0, 001$<br>( $\sigma \geq 0.5720$ /mm <sup>2</sup> ) |
|                                         |                                         | —                      | —                      | —                                                              | —                      | —                      | —                       | —                      | —                      | —                      | —                      | —                                                          | 備考参照                                                                                                                                   |
| 備考                                      | 備考                                      | —                      | —                      | —                                                              | —                      | —                      | —                       | —                      | —                      | —                      | —                      | —                                                          | —                                                                                                                                      |
|                                         |                                         | —                      | —                      | —                                                              | —                      | —                      | —                       | —                      | —                      | —                      | —                      | —                                                          | —                                                                                                                                      |



新第三系の強度特性は右図より設定する。

$$\left(\frac{\tau}{\tau_R}\right)^2 = 1 + \frac{\sigma}{\sigma_1}$$

$$\sigma_1 = 0.141 - 0.00114 \cdot Z$$

$$\tau_R = 0.364 - 0.00168 \cdot Z$$

$$C_{qm}(\tau) = 0.837 - 0.00346 \cdot Z$$

$$\phi = 0^\circ$$

Z: 標高E.L.表示(m)

注記 \*: 上段は地下水位面以浅, 下段は地下水位以深に対する値を示す。

【各種記号の定義】 P (N/mm<sup>2</sup>): 圧密圧力 (有効上載圧) G/G<sub>0</sub> (-): 剛性低下率

h (-): 減衰定数

ν<sub>s</sub> (m/s): せん断波速度

ρ<sub>sat</sub> (g/cm<sup>3</sup>): 飽和密度

γ (-): せん断ひずみ



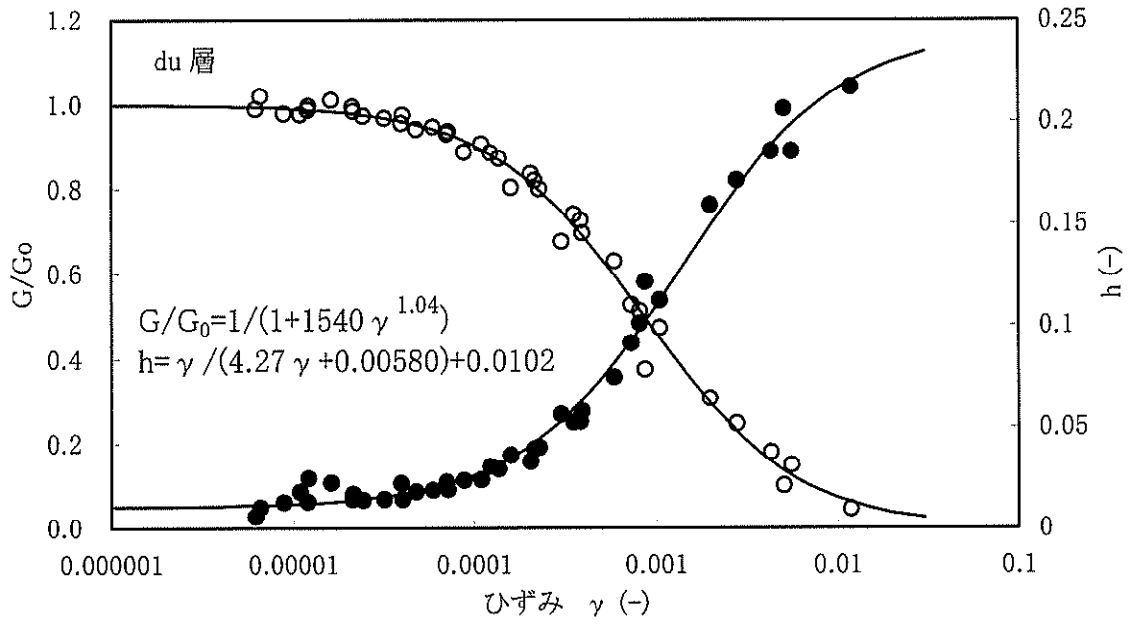


図 4.1-1 du 層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

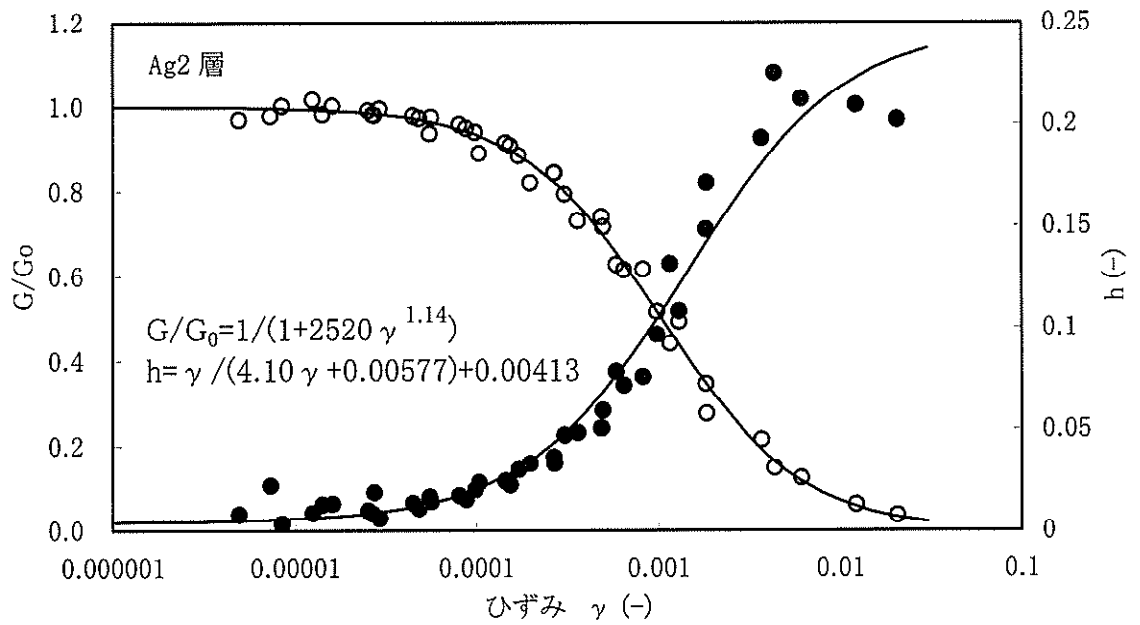


図 4.1-2 Ag2 層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

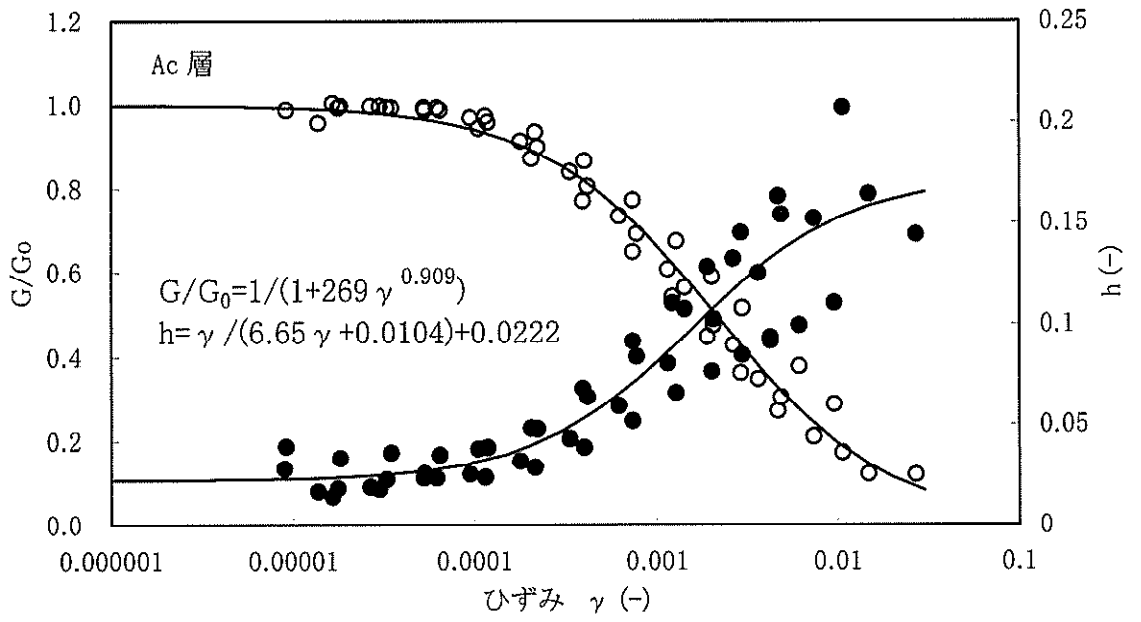


図 4.1-3 Ac 層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

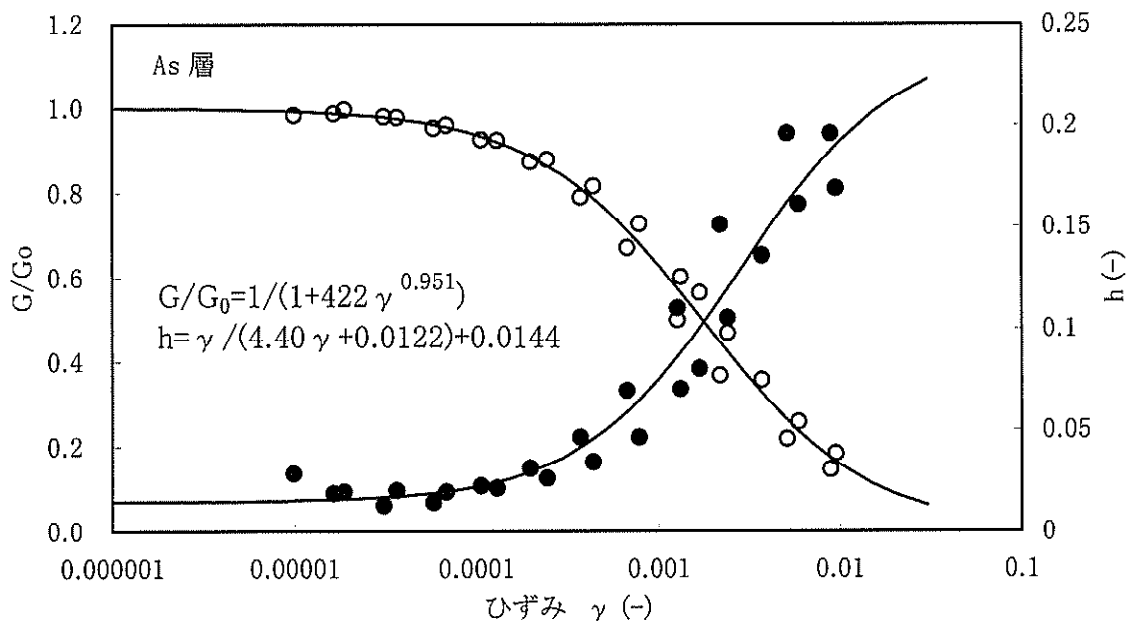


図 4.1-4 As 層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

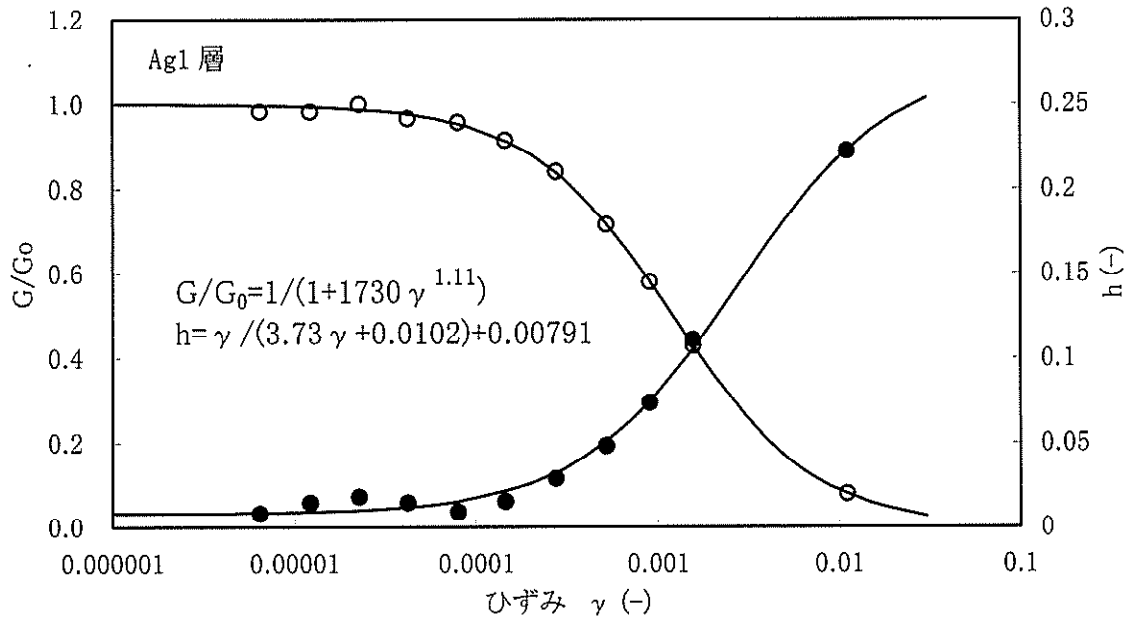


図 4.1-5 Ag1 層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

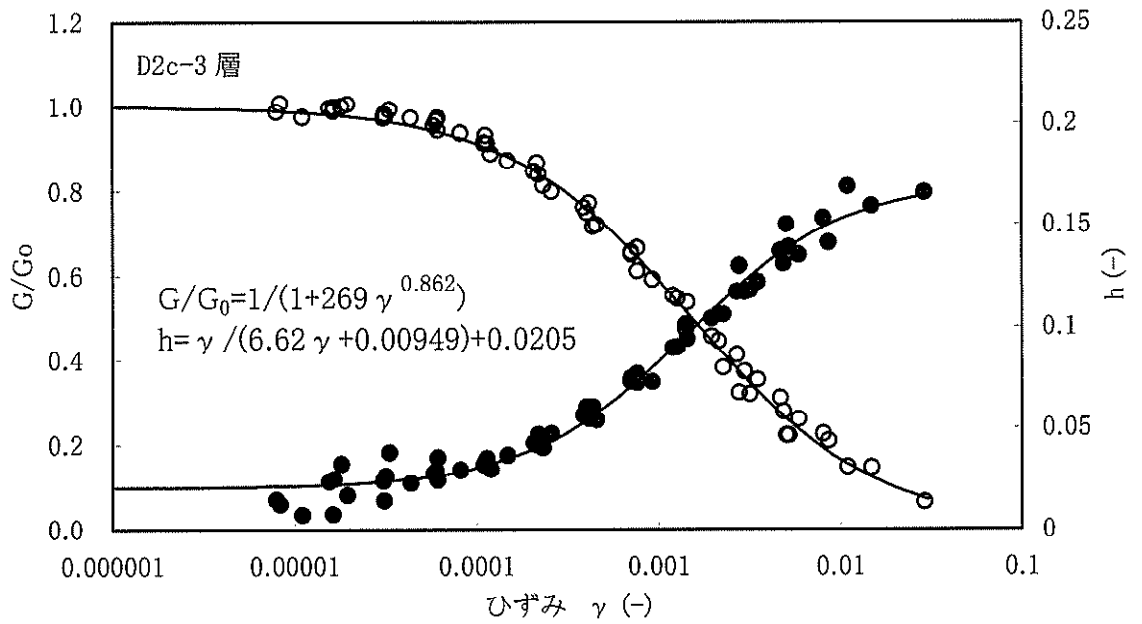


図 4.1-6 D2c-3 層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

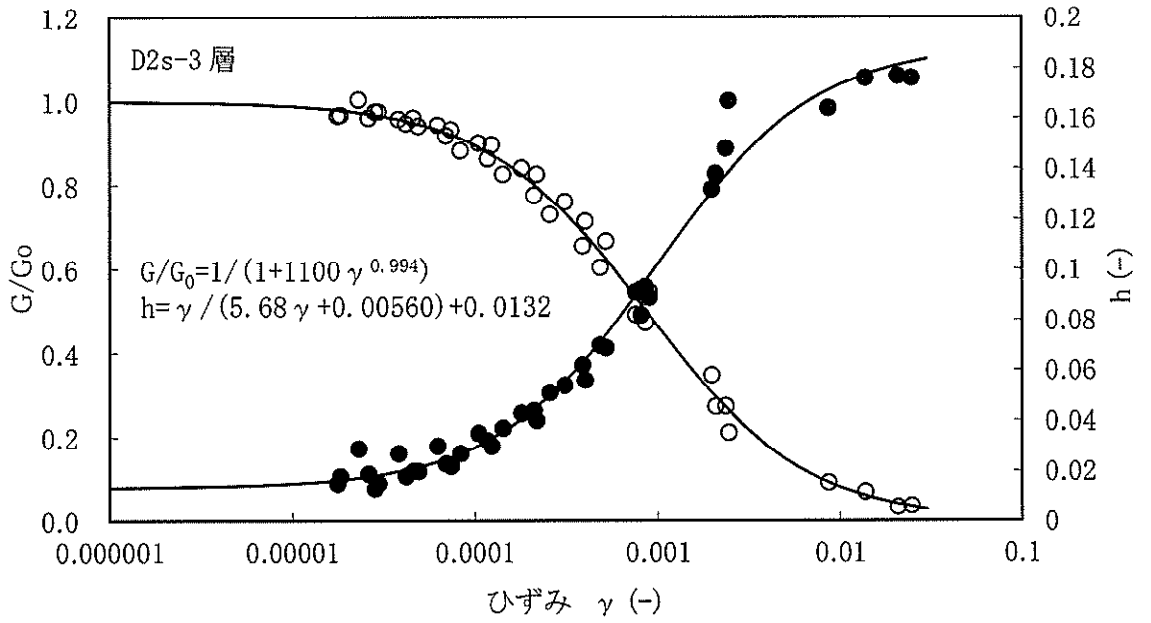


図 4.1-7 D2s-3 層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

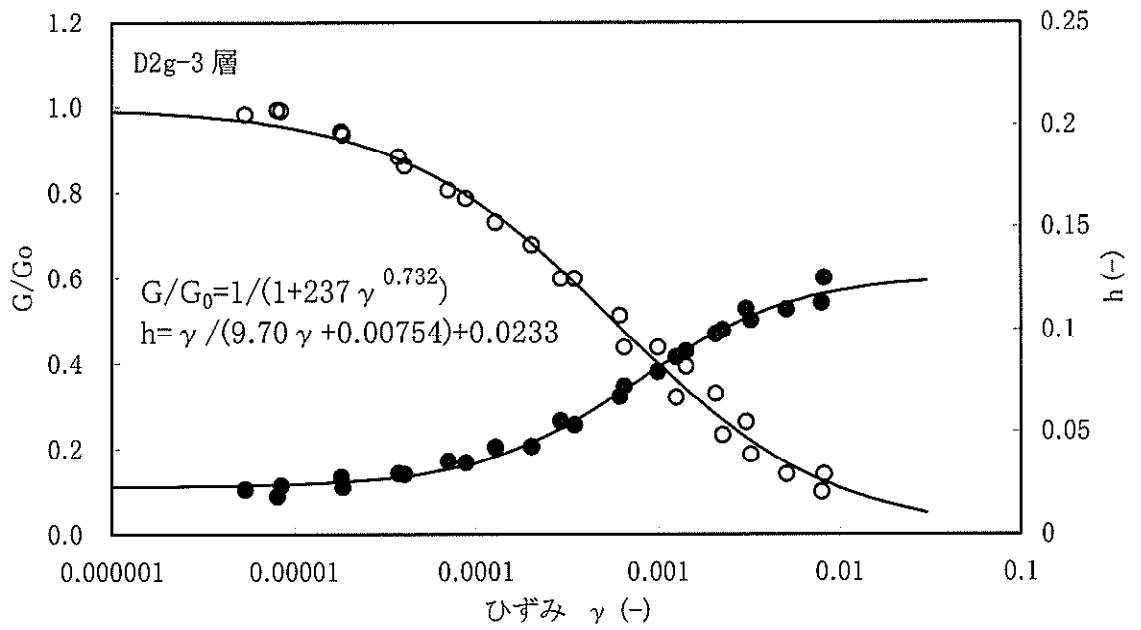


図 4.1-8 D2g-3 層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

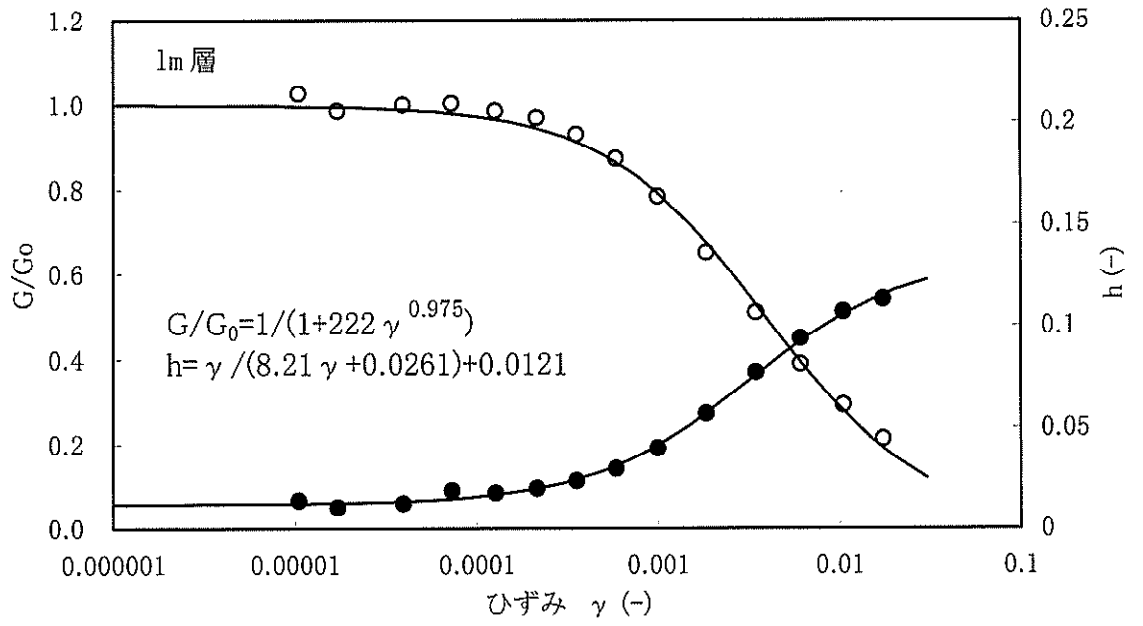


図 4.1-9 1m層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

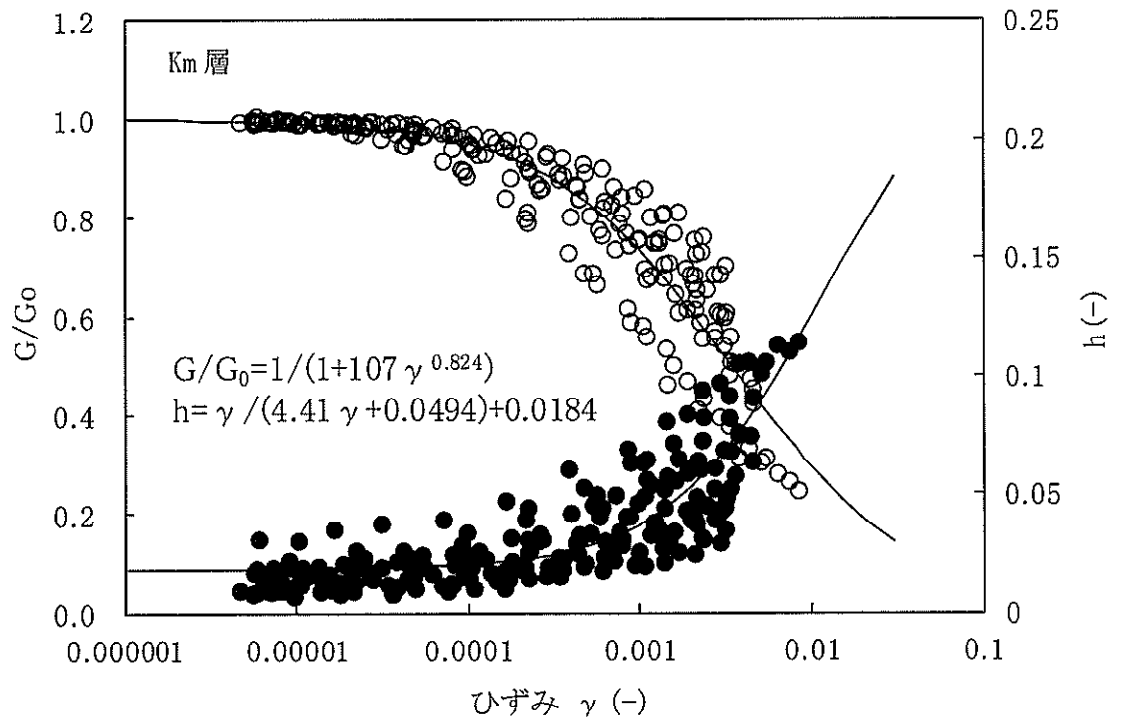


図 4.1-10 Km層のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性

表 4.1-2 解析用物性値の設定根拠

| 項目           | 第四系 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 新第三系                |                  |        |
|--------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------|------------------|--------|
|              | 埋戻土 | f1層    | du層    | Ag2層   | Ac層    | As層    | Ag1層   | D2c-3層 | D2s-3層 | D2g-3層 | 1m層    | D1c-1層              | D1g-1層           | Km層    |
| 密度           |     | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 同じ洪積物性上であるD2c-3層で代用 | 強度特性等と併せてAg2層で代用 | 室内物理試験 |
|              |     | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験              | 三軸圧縮試験           | 三軸圧縮試験 |
| 静弾性係数        |     | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験              | 室内物理試験           | 室内物理試験 |
|              |     | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験              | 三軸圧縮試験           | 三軸圧縮試験 |
| 初期せん断剛性      |     | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験              | 室内物理試験           | 室内物理試験 |
|              |     | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験              | 三軸圧縮試験           | 三軸圧縮試験 |
| 動ポアソン比       |     | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験              | 室内物理試験           | 室内物理試験 |
|              |     | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験              | 三軸圧縮試験           | 三軸圧縮試験 |
| せん断剛性のひすみ依存性 |     | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験              | 室内物理試験           | 室内物理試験 |
|              |     | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験              | 三軸圧縮試験           | 三軸圧縮試験 |
| 減衰定数         |     | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験              | 室内物理試験           | 室内物理試験 |
|              |     | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験              | 三軸圧縮試験           | 三軸圧縮試験 |
| 強度特性         |     | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験 | 室内物理試験              | 室内物理試験           | 室内物理試験 |
|              |     | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験              | 三軸圧縮試験           | 三軸圧縮試験 |

4.2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値

設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値を表 4.2-1~表 4.2-3 に、その設定根拠を表 4.2-4~表 4.2-6 に示す。以下の章に、各物性値の設定根拠を示す。

表 4.2-1 (1) 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値 (液状化検討対象層)

| パラメータ    |                          |                |                   | 原地盤                |                    |                    |        |                    |        |                      |                    | 豊浦標準砂 |
|----------|--------------------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------|--------------------|--------|----------------------|--------------------|-------|
|          |                          |                |                   | 埋戻土                | 第四系 (液状化検討対象層)     |                    |        |                    |        |                      |                    |       |
|          |                          |                |                   |                    | f1                 | du                 | Ag2    | As                 | Ag1    | D2s-3                | D2g-3              |       |
| 物理特性     | 密度<br>( ) は地下水位以浅        | $\rho$         | g/cm <sup>3</sup> | 1.98<br>(1.82)     | 1.98<br>(1.82)     | 2.01<br>(1.89)     | 1.74   | 2.01<br>(1.89)     | 1.92   | 2.15<br>(2.11)       | 2.01<br>(1.89)     | 1.958 |
|          | 間隙比                      | e              | —                 | 0.75               | 0.75               | 0.67               | 1.2    | 0.67               | 0.79   | 0.43                 | 0.67               | 0.702 |
| 変形特性     | ポアソン比                    | $\nu_{CD}$     | —                 | 0.26               | 0.26               | 0.25               | 0.26   | 0.25               | 0.19   | 0.26                 | 0.25               | 0.333 |
|          | 基準平均有効主応力<br>( ) は地下水位以浅 | $\sigma'_{mn}$ | kN/m <sup>2</sup> | 358<br>(312)       | 358<br>(312)       | 497<br>(209)       | 378    | 814<br>(814)       | 966    | 1167<br>(1167)       | 1695<br>(1710)     | 12.6  |
|          | 基準初期せん断剛性<br>( ) は地下水位以浅 | $G_{ba}$       | kN/m <sup>2</sup> | 253529<br>(220739) | 253529<br>(220739) | 278087<br>(167137) | 143284 | 392073<br>(392073) | 650611 | 1362035<br>(1362035) | 947946<br>(956776) | 18975 |
|          | 最大履歴減衰率                  | $h_{max}$      | —                 | 0.220              | 0.220              | 0.233              | 0.216  | 0.221              | 0.192  | 0.130                | 0.233              | 0.287 |
| 強度特性     | 粘着力                      | $C_{CD}$       | N/mm <sup>2</sup> | 0                  | 0                  | 0                  | 0.012  | 0                  | 0.01   | 0                    | 0                  | 0     |
|          | 内部摩擦角                    | $\phi_{CD}$    | 度                 | 37.3               | 37.3               | 37.4               | 41     | 37.4               | 35.8   | 44.4                 | 37.4               | 30    |
| 液状化特性    | 液状化パラメータ                 | $\phi_p$       | —                 | 34.8               | 34.8               | 34.9               | 38.3   | 34.9               | 33.4   | 41.4                 | 34.9               | 28    |
|          | 液状化パラメータ                 | $S_1$          | —                 | 0.047              | 0.047              | 0.028              | 0.046  | 0.029              | 0.048  | 0.030                | 0.020              | 0.005 |
|          | 液状化パラメータ                 | $W_1$          | —                 | 6.5                | 6.5                | 56.5               | 6.9    | 51.6               | 17.6   | 45.2                 | 10.5               | 5.06  |
|          | 液状化パラメータ                 | $P_1$          | —                 | 1.26               | 1.26               | 9.06               | 1.00   | 12.00              | 4.80   | 8.00                 | 7.00               | 0.67  |
|          | 液状化パラメータ                 | $P_2$          | —                 | 0.80               | 0.80               | 0.60               | 0.75   | 0.60               | 0.96   | 0.60                 | 0.50               | 0.80  |
| 液状化パラメータ | $C_1$                    | —              | 2.00              | 2.00               | 3.40               | 2.27               | 3.35   | 3.15               | 3.82   | 2.83                 | 1.44               |       |

表 4.2-1 (2) 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値 (非液状化層)

| パラメータ |                          |                   |                   | 原地盤         |        |                  |                         |                                              | 捨石             |
|-------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------|--------|------------------|-------------------------|----------------------------------------------|----------------|
|       |                          |                   |                   | 第四系 (非液状化層) |        |                  |                         | 新第三系                                         |                |
|       |                          |                   |                   | Ac          | D2c-3  | lm               | D1c-1*1                 | Km                                           |                |
| 物理特性  | 密度<br>( ) は地下水位以浅        | $\rho$            | g/cm <sup>3</sup> | 1.65        | 1.77   | 1.47<br>(1.43)   | —                       | $1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$           | 2.04<br>(1.84) |
|       | 間隙比                      | e                 | —                 | 1.59        | 1.09   | 2.8              | —                       | 1.16                                         | 0.82           |
| 変形特性  | ポアソン比                    | $\nu_{CD}$        | —                 | 0.10        | 0.22   | 0.14             | —                       | $0.16+0.00025 \cdot z$                       | 0.33           |
|       | 基準平均有効主応力<br>( ) は地下水位以浅 | $\sigma'_{mn}$    | kN/m <sup>2</sup> | 480         | 696    | 249<br>(223)     | —                       | 表4.1-1の<br>動的変形特性に基づき<br>z (標高) 毎に物性値を<br>設定 | 98             |
|       | 基準初期せん断剛性<br>( ) は地下水位以浅 | $G_{ba}$          | kN/m <sup>2</sup> | 121829      | 285223 | 38926<br>(35783) | —                       |                                              | 180000         |
|       | 最大履歴減衰率                  | $h_{max}$         | —                 | 0.200       | 0.186  | 0.151            | —                       |                                              | 0.24           |
| 粘着力   | $C_{CD}$                 | N/mm <sup>2</sup> | 0.025             | 0.026       | 0.042  | —                | $0.358-0.00603 \cdot z$ |                                              | 0.02           |
| 強度特性  | 内部摩擦角                    | $\phi_{CD}$       | 度                 | 29.1        | 35.6   | 27.3             | —                       | $23.2+0.0990 \cdot z$                        | 35             |

注記 \*1: 施設の耐震評価に影響を与えるものではないことから、解析用物性値として本表には記載しない。

z: 標高 (m)

表 4.2-2 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値  
(人工岩盤 (コンクリート))

|                                               | 単位体積重量<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比 | せん断剛性<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 減衰定数 | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------------------------|--------------------------------|-------|-------------------------------|------|--------------------------------|
| 人工岩盤 (新設)<br>(f'ck = 18 N/mm <sup>2</sup> )   | 23.0                           | 0.20  | 8580*1                        | 0.05 | 20.6                           |
| 人工岩盤 (既設)<br>(f'ck = 13.7 N/mm <sup>2</sup> ) | 23.0                           | 0.20  | 7830*1                        | 0.05 | 18.8                           |

注記 \*1: 人工岩盤のせん断剛性は以下の式から算出する。

$$(G = \frac{E}{2(1+\nu)}, E: \text{ヤング係数}, \nu: \text{ポアソン比})$$

表 4.2-3 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値  
(地盤改良体 (セメント改良))

| 項目     |                                          | 地盤改良体 (セメント改良)                                                                                                                                                                                     |                                                                                |
|--------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|        |                                          | 一軸圧縮強度 (≦8.5N/mm <sup>2</sup> の場合)                                                                                                                                                                 | 一軸圧縮強度 (>8.5N/mm <sup>2</sup> の場合)                                             |
| 物理特性   | 密度<br>$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )      | 改良対象の原地盤の平均密度 × 1.1                                                                                                                                                                                |                                                                                |
|        | 静弾性係数<br>(N/mm <sup>2</sup> )            | 581                                                                                                                                                                                                | 2159                                                                           |
| 静的変形特性 | 静ポアソン比<br>$\nu_s$                        | 0.260                                                                                                                                                                                              |                                                                                |
|        | 初期せん断剛性<br>$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )    | $G_0 = \rho_t / 1000 \times V_s^2$<br>$V_s = 147.6 \times q_u^{0.417}$ (m/s)<br>$q_u$ : 地盤改良体の一軸圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )                                                                        |                                                                                |
| 動的変形特性 | 動ポアソン比<br>$\nu_d$                        | 0.431                                                                                                                                                                                              |                                                                                |
|        | 動せん断弾性係数のひずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$   | $G/G_0 = \frac{1}{1+\gamma/0.000537}$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-)                                                                                                                                     | $G/G_0 = \frac{1}{1+\gamma/0.001560}$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-)                 |
|        | 減衰定数<br>$h \sim \gamma$                  | $h = 0.152 \frac{\gamma/0.000537}{1+\gamma/0.000537}$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-)                                                                                                                     | $h = 0.178 \frac{\gamma/0.001560}{1+\gamma/0.001560}$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-) |
|        | ピーク強度<br>$C$ (N/mm <sup>2</sup> )        | $C = q_u / 2$<br>$q_u$ : 地盤改良体の一軸圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                         |                                                                                |
| 強度特性   | 残留強度<br>$\tau_\phi$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 粘着力 $C = 0$ (N/mm <sup>2</sup> )<br>内部摩擦角 $\phi = 29.1$ (度)                                                                                                                                        |                                                                                |
|        | 引張強度<br>$\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )  | 下記の式を用いて、 $\sigma_t (=s_t)$ を求める。<br>$q_u = \frac{s_t \cdot q_u}{\sqrt{s_t \cdot (q_u - 3s_t)}}$ $s_t (= \sigma_t)$ : 地盤改良体の引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )<br>$q_u$ : 地盤改良体の一軸圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) |                                                                                |



表 4.2-4 (2) 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠  
(液状化検討対象層)

| パラメータ |           |                |                   | 原地盤                     |                         |                         |                               |                         |                         |                         |                                   | 登録標準砂 |
|-------|-----------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-------|
|       |           |                |                   | 埋戻土                     | 第四系 (液状化検討対象層)          |                         |                               |                         |                         |                         |                                   |       |
|       |           |                |                   |                         | f1                      | du                      | Ag2                           | As                      | Ag1                     | D2s-3                   | D2g-3                             |       |
| 物理特性  | 密度        | $\rho$         | g/cm <sup>3</sup> | 室内物理試験                  | 室内物理試験                  | 室内物理試験                  | Ag2層で代用                       | 室内物理試験                  | 室内物理試験                  | Ag2層で代用                 | 文献*1より                            |       |
|       | 間隙比       | e              | —                 | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                       | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                 | 文献*2より                            |       |
| 変形特性  | ポアソン比     | $\nu_{CD}$     | —                 | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定            | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 文献*1より引用した動的変形特性に基づき設定            |       |
|       | 基準平均有効主応力 | $\sigma'_{nu}$ | kN/m <sup>2</sup> | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                       | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                 | 文献*1より                            |       |
|       | 基準初期せん断剛性 | $G_{nu}$       | kN/m <sup>2</sup> | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                       | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                 | 文献*1より                            |       |
|       | 最大履歴減衰率   | $h_{max}$      | —                 | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                       | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                 | 文献*1より                            |       |
| 強度特性  | 粘着力       | $C_{CD}$       | N/mm <sup>2</sup> | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                       | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                 | 文献*1より                            |       |
|       | 内部摩擦角     | $\phi_{CD}$    | 度                 | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | Ag2層の液状化強度試験結果を代用した要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 文献*2より引用した液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション |       |
| 液状化特性 | 液状化パラメータ  | $\phi_p$       | —                 | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | Ag2層の液状化強度試験結果を代用した要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 文献*2より引用した液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション |       |
|       | 液状化パラメータ  | $S_1$          | —                 | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | Ag2層の液状化強度試験結果を代用した要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 文献*2より引用した液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション |       |
|       | 液状化パラメータ  | $W_1$          | —                 | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | Ag2層の液状化強度試験結果を代用した要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 文献*2より引用した液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション |       |
|       | 液状化パラメータ  | $P_1$          | —                 | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | Ag2層の液状化強度試験結果を代用した要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 文献*2より引用した液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション |       |
|       | 液状化パラメータ  | $P_2$          | —                 | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | Ag2層の液状化強度試験結果を代用した要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 文献*2より引用した液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション |       |
|       | 液状化パラメータ  | $C_1$          | —                 | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | Ag2層の液状化強度試験結果を代用した要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 文献*2より引用した液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション |       |

注記 \*1: 二方向同時加振による液状化実験 (第 28 回土質工学研究発表会 藤川他, 1993)

\*2: CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM[Soils and Foundations, JSSMFE.26-3. (1986)]

表 4.2-4 (2) 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠 (非液状化層)

| パラメータ |           |                |                   | 原地盤                |                    |                    |         |                                   |        |    |
|-------|-----------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|-----------------------------------|--------|----|
|       |           |                |                   | 第四系 (非液状化層)        |                    |                    |         | 新第三系                              |        | 捨石 |
|       |           |                |                   | Ac                 | D2c-3              | Im                 | D1c-1*4 | Km                                |        |    |
| 物理特性  | 密度        | $\rho$         | g/cm <sup>3</sup> | 室内物理試験             | 室内物理試験             | 室内物理試験             | —       | 室内物理試験                            | 文献*3より |    |
|       | 間隙比       | e              | —                 | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        |         | 三軸圧縮試験 (CD)                       |        |    |
| 変形特性  | ポアソン比     | $\nu_{CD}$     | —                 | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定 | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定 | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定 | —       | 表4.1-1の動的変形特性に基づきz (標高) 依存物性として設定 | 文献*3より |    |
|       | 基準平均有効主応力 | $\sigma'_{nu}$ | kN/m <sup>2</sup> | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        |         | 三軸圧縮試験 (CD)                       |        |    |
|       | 基準初期せん断剛性 | $G_{nu}$       | kN/m <sup>2</sup> | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        |         | 三軸圧縮試験 (CD)                       |        |    |
|       | 最大履歴減衰率   | $h_{max}$      | —                 | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        |         | 三軸圧縮試験 (CD)                       |        |    |
| 強度特性  | 粘着力       | $C_{CD}$       | N/mm <sup>2</sup> | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | —       | 三軸圧縮試験 (CD)                       | 文献*3より |    |
|       | 内部摩擦角     | $\phi_{CD}$    | 度                 | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        |         | 三軸圧縮試験 (CD)                       |        |    |

注記 \*3: 港湾構造物設計事例集 (財) 沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月)

\*4: 施設の耐震評価に影響を与えるものではないことから, 解析用物性値として本表には記載しない。

表 4.2-5 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠  
(人工岩盤 (コンクリート))

|                                                  | 単位体積重量 | ポアソン比 | せん断剛性                   | 減衰定数 | ヤング係数 |
|--------------------------------------------------|--------|-------|-------------------------|------|-------|
| 人工岩盤 (新設)<br>( $f'_{ck} = 18 \text{ N/mm}^2$ )   | 慣用値*1  | 慣用値*1 | ヤング係数と<br>ポアソン比<br>より算出 | 慣用値  | 慣用値*1 |
| 人工岩盤 (既設)<br>( $f'_{ck} = 13.7 \text{ N/mm}^2$ ) | 慣用値*1  | 慣用値*1 | ヤング係数と<br>ポアソン比<br>より算出 | 慣用値  | 慣用値*1 |

注記 \*1: 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2005)

表 4.2-6 設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠  
(地盤改良体 (セメント改良))

| 項目                                             | 設定根拠                                          |                                                                                                |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物理特性<br>密度<br>$\rho_t$ ( $\text{g/cm}^3$ )     | 既設改良体のコアによる密度試験に基づき係数 ( $\times 1.1$ ) を設定    |                                                                                                |
| 静的変形特性<br>静弾性係数<br>( $\text{N/mm}^2$ )         | 既設改良体を模擬した再構成試料による一軸圧縮試験に基づき設定                |                                                                                                |
|                                                |                                               | 静ポアソン比<br>$\nu_s$                                                                              |
| 動的変形特性<br>初期せん断剛性<br>$G_0$ ( $\text{N/mm}^2$ ) | 文献*2より「一軸圧縮強度 $q_u$ ~せん断波速度 $V_s$ 」の関係式を引用し設定 |                                                                                                |
|                                                | 動ポアソン比<br>$\nu_d$                             | 既設改良体のPS検層に基づき設定                                                                               |
|                                                | 動せん断弾性係数のひずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$        | 既設改良体を模擬した再構成試料による動的変形試験に基づき、H-Dモデルにて設定                                                        |
|                                                | 減衰定数<br>$h \sim \gamma$                       | 既設改良体を模擬した再構成試料による動的変形試験に基づき、H-Dモデルにて設定                                                        |
| 強度特性<br>ピーク強度<br>$C$ ( $\text{N/mm}^2$ )       | 一軸圧縮強度 $q_u$ と粘着力 $C$ の関係に基づき設定               |                                                                                                |
|                                                | 残留強度<br>$\tau_0$ ( $\text{N/mm}^2$ )          | 地盤改良体 (セメント改良) を砕いて細粒化した試料を用いた三軸圧縮試験により求められた残留強度 (文献*3に掲載) よりも十分に小さい値として、敷地の原地盤のうちAc層の内部摩擦角を採用 |
|                                                | 引張強度<br>$\sigma_t$ ( $\text{N/mm}^2$ )        | 文献*3に掲載の算定式に基づいて設定                                                                             |

注記 \*1: 建築基礎のための地盤改良設計指針案 (日本建築学会, 2006)

\*2: 地盤工学への物理探査技術の適用と事例 (地盤工学会, 2001),  
わかりやすい土木技術 ジェットグラウト工法 (鹿島出版社 柴崎他, 1983)

\*3: 改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針  
—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法— ( (財) 日本建築センター)

#### 4.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値

建物・構築物の動的解析において、地震時における地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮する場合は、有効応力解析を実施する。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、原地盤の液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 $\sigma$ を用いて、液状化強度を「回帰曲線 $-1\sigma$ 」にて設定することを基本とする。

また、構造物への地盤変位に対する保守的な配慮として、地盤を強制的に液状化させることを仮定した影響を考慮する場合は、原地盤よりも十分に小さい液状化強度特性（敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性）を設定する。

設置変更許可申請書における解析物性値は全応力解析用に設定しているため、液状化検討対象層の物理的及び力学的特性から、各層の有効応力解析に必要な物性値を設定する。

有効応力解析に用いる解析用物性値のうち一部の地盤材料については、同等若しくは保守的な他の地盤材料の試験結果を代用している。他の地盤材料の試験結果を代用しているものについて、物性設定の考え方を（参考資料2）に示す。

また、施設の耐震評価に影響を与えるものではないことから有効応力解析に用いる解析用物性値としての記載を省略した D1c-1 層について、設置変更許可段階での記載内容や敷地における分布範囲等の詳細を（参考資料2）に示す。

なお、地盤の物理特性及び力学特性は、日本工業規格（JIS）又は地盤工学会（JGS）の基準に基づいた試験の結果から設定することとした。

## (1) 液状化影響検討方針の概要

図 4.2-1 に液状化影響評価のフローを示す。

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

原地盤の各液状化検討対象層の試験結果に基づき、液状化強度特性を設定し、有効応力解析により構造物への影響評価を実施する。設定する原地盤の各液状化検討対象層の液状化強度特性は試験データのばらつきを考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差を用いて適切に設定する。

液状化強度特性を設定する際に目標とする繰返し載荷回数について、原地盤においては各液状化強度試験データを保守側に評価するよう、繰返し回数1~200回までの範囲で要素シミュレーションを実施している。また、豊浦標準砂においては、液状化強度試験データを保守側に包含するよう、繰返し回数0.1~200回までの範囲で要素シミュレーションを実施している。なお、豊浦標準砂により地盤を強制的に液状化させることを仮定した有効応力解析においては、液状化強度特性の繰返し回数0.1~200回までの広い範囲が使用される。

設計基準対象施設、常設重大事故等対処施設及び波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計において液状化影響の検討を行う場合は、原地盤に基づく液状化強度特性を用いて基準地震動 $S_0$ に対する有効応力解析による検討(①)を行うことを基本とし、更に、当該検討において最も厳しい(許容限界に対する余裕が最も小さい)解析ケースに対して、豊浦標準砂\*の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した有効応力解析による検討(②)を行う。上記の検討の組合せは、個別の施設設置位置の液状化強度特性の信頼性を確認し、施設毎に設定する。

図 4.2-2 に原地盤に基づく液状化強度特性と豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性の比較を示す。豊浦標準砂の液状化強度特性は原地盤に基づく液状化強度特性の全てを包含している。豊浦標準砂は、敷地に存在しないものであるが、極めて液状化しやすい液状化強度特性を有していることから、豊浦標準砂の液状化強度特性を仮定した有効応力解析は、強制的に液状化させることを仮定した影響評価となる。

\*豊浦標準砂は、山口県豊浦で産出される天然の珪砂であり、敷地には存在しないものである。豊浦標準砂は、淡黄色の丸みのある粒から成り、粒度が揃い均質で非常に液状化しやすい特性を有していることから、液状化強度特性に関する研究及びそれに伴う実験などで多く用いられている。

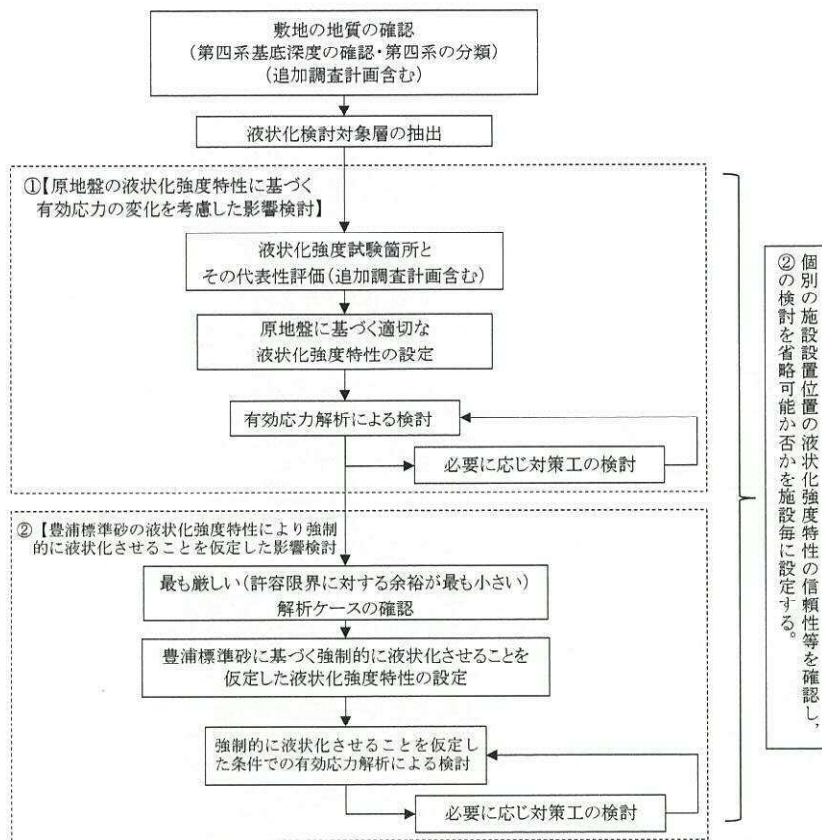


図 4.2-1 液状化影響評価のフロー

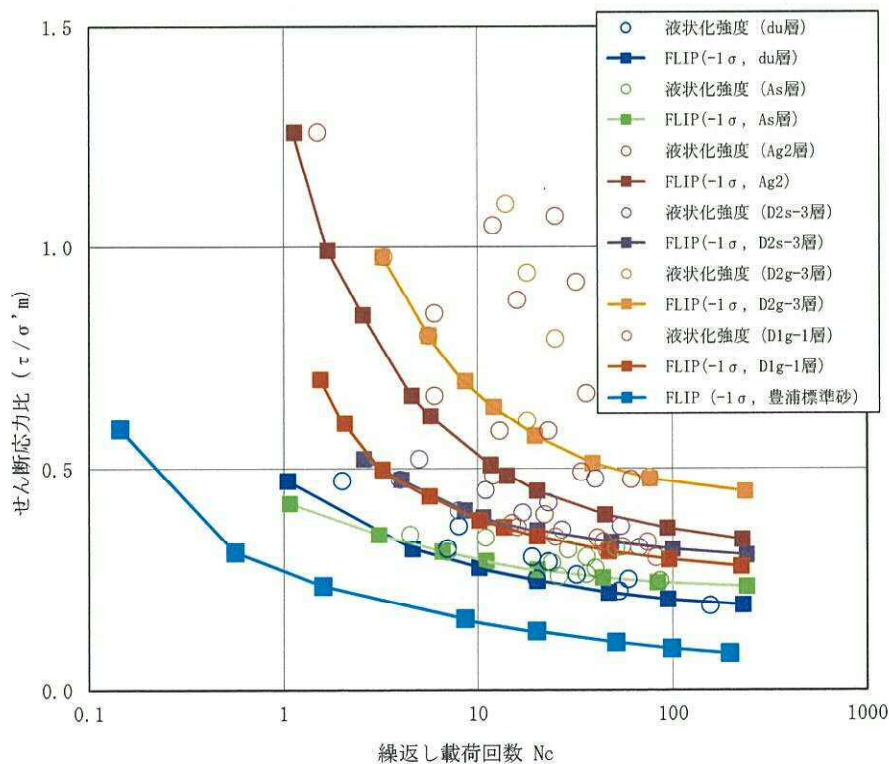


図 4.2-2 原地盤に基づく液状化強度特性と豊浦標準砂を仮定した液状化強度特性の比較

(2) 液状化検討対象層の抽出

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

- ①地下水位が現地盤面から -10 m 以内であり，かつ現地盤面から -20 m 以内の飽和土層
- ②細粒分含有率 FC が 35% 以下，または FC が 35% をこえても塑性指数  $I_p$  が 15 以下の土層
- ③平均粒径  $D_{50}$  が 10 mm 以下で，かつ 10% 粒径  $D_{10}$  が 1 mm 以下である土層

上記の条件は指針類（鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編（平成 24 年 9 月），港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 19 年））でほぼ共通している。

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

図 4.2-3 には敷地の液状化検討対象層抽出方針，表 4.2-7 には液状化検討対象層の抽出結果を示す。

以上より，敷地における液状化検討対象層は du 層，Ag2 層，As 層，Ag1 層，D2s-3 層，D2g-3 層及び D1g-1 層とする。

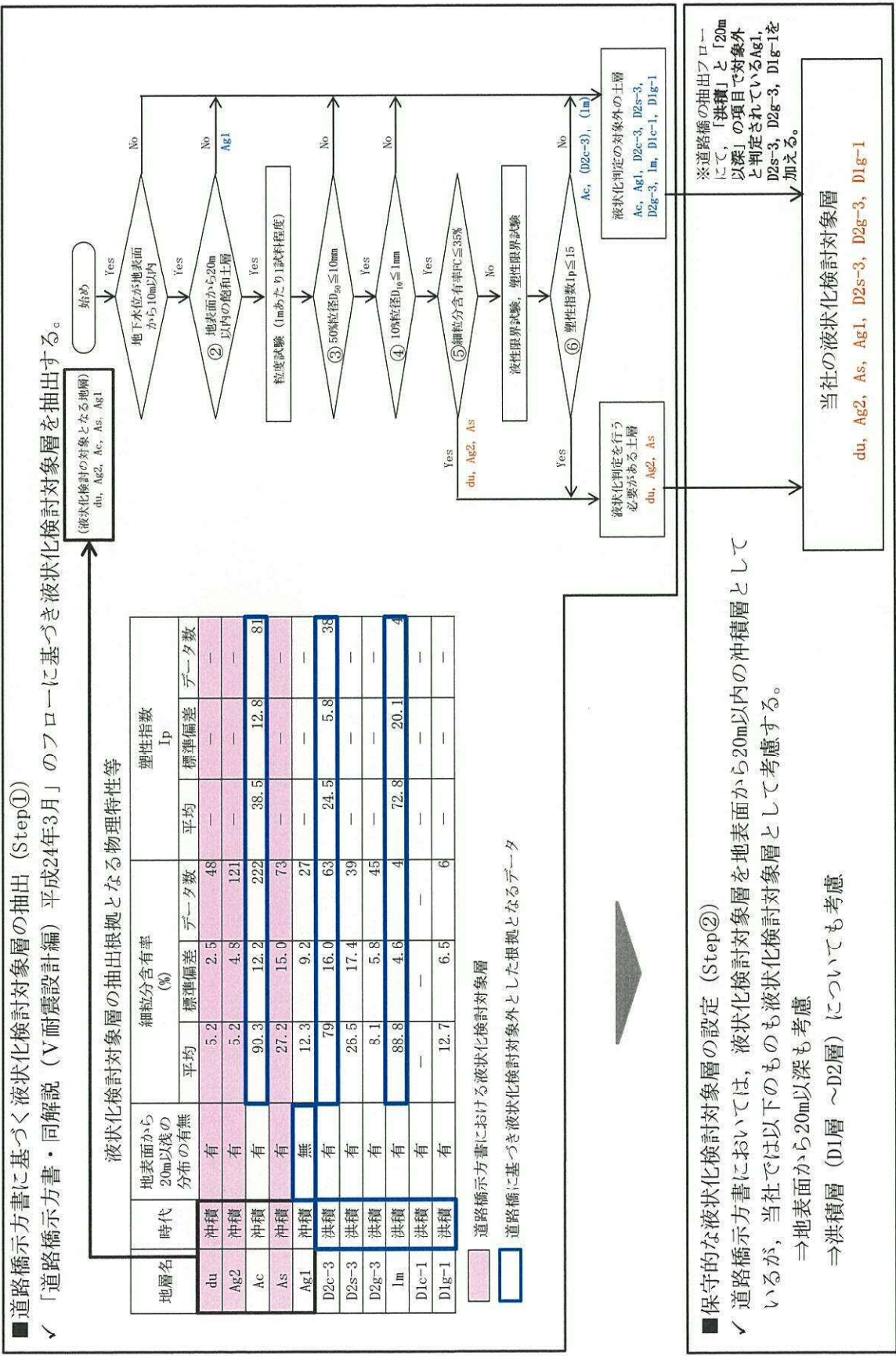


図 4.2-3 液状化検討対象層抽出方針

表 4.2-7 液状化検討対象層の抽出結果

| 地質記号 | 層相    | 道路橋示方書における液状化検討対象層 | 当社における液状化検討対象層 | 備考                                                   |
|------|-------|--------------------|----------------|------------------------------------------------------|
| du   | 砂     | ○                  | ○              |                                                      |
| al   | Ag2   | ○                  | ○              |                                                      |
|      | Ac    | —                  | —              |                                                      |
|      | As    | ○                  | ○              | G.L. -20 m 以深に分布する範囲についても検討対象とする。                    |
|      | Ag1   | —                  | □              | G.L. -20 m 以深に分布するが検討対象とする。                          |
| D2   | D2c-3 | —                  | —              |                                                      |
|      | D2s-3 | —                  | □              | 更新統であるが検討対象とする。                                      |
|      | D2g-3 | —                  | □              | 更新統であるが検討対象とする。<br>G.L. -20 m 以深に分布する範囲についても検討対象とする。 |
| D1   | lm    | —                  | —              |                                                      |
|      | D1c-1 | —                  | —              |                                                      |
|      | D1g-1 | —                  | □              | 更新統であるが検討対象とする。                                      |

○: 検討対象

□: 道路橋示方書では検討対象外だが  
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



(3) Ac 層の液状化強度試験結果

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

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

【室内液状化強度試験の試験条件】

試験方法：中空繰返しねじりせん断試験

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

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

供試体寸法：外形 70mm×内径 30mm×高さ 100mm

载荷波形：正弦波（0.02Hz）

圧密圧力：供試体採取深度の有効上載圧を考慮して設定

図 4.2-4 に中空繰返しねじりせん断試験の概要及び図 4.2-5 に液状化強度試験試料採取箇所 (Ac 層) を示す。図 4.2-6 に中空繰返しねじりせん断試験結果を示す。

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

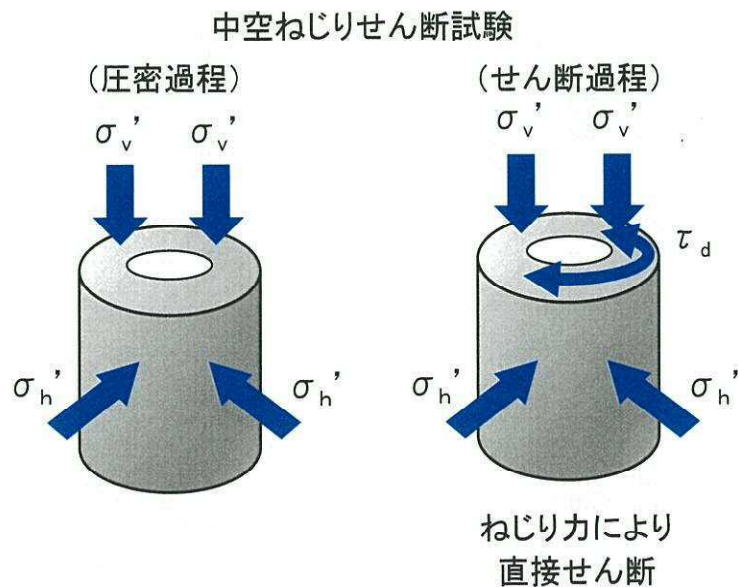


図 4.2-4 中空繰返しねじりせん断試験の概要

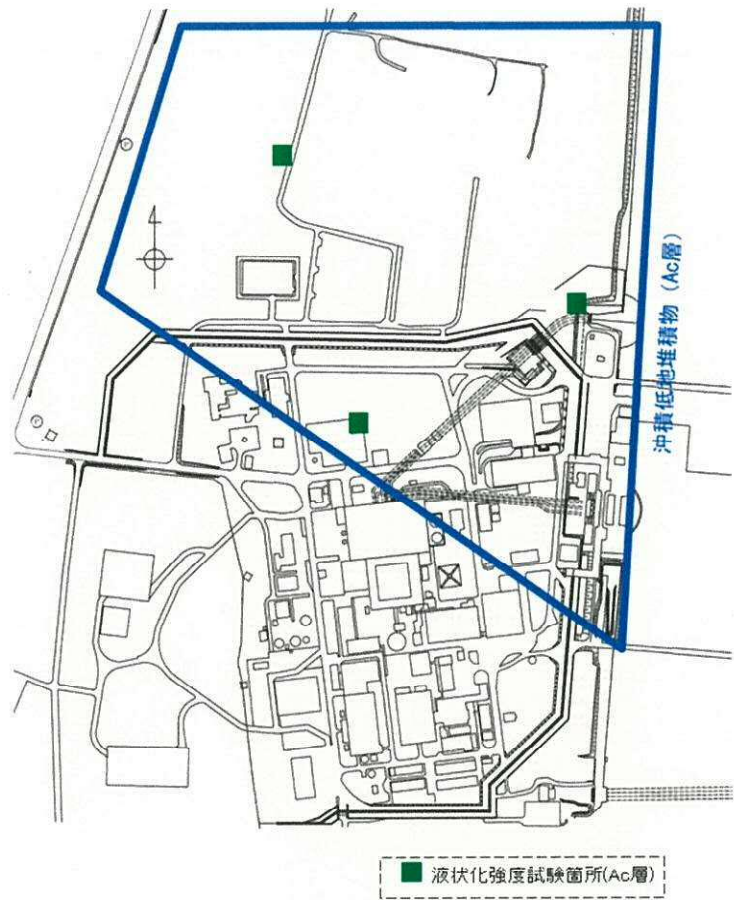
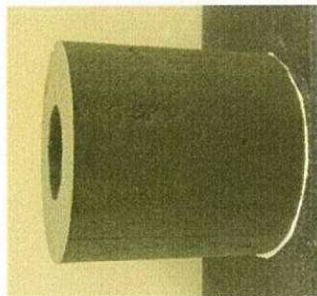


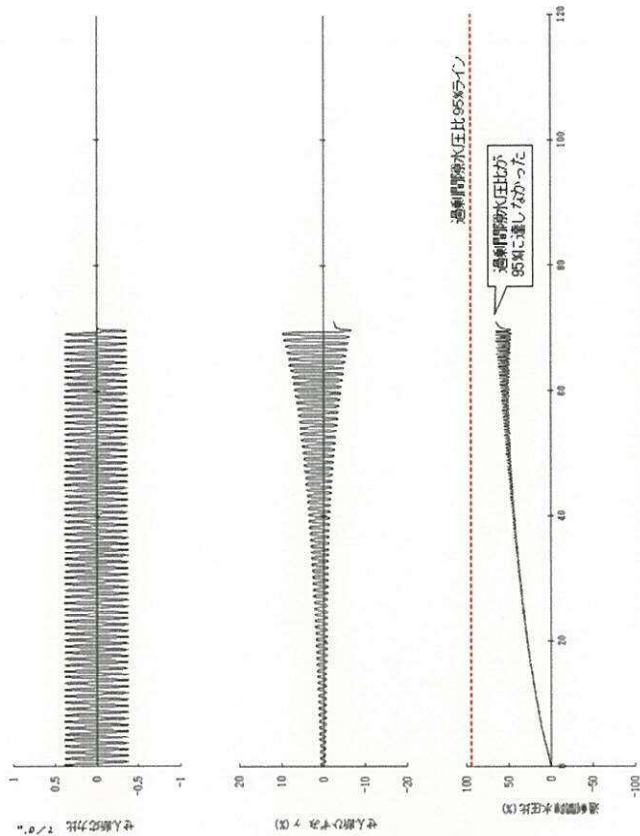
図 4.2-5 液状化強度試験試料採取箇所 (Ac 層)

SC-9-25(4)

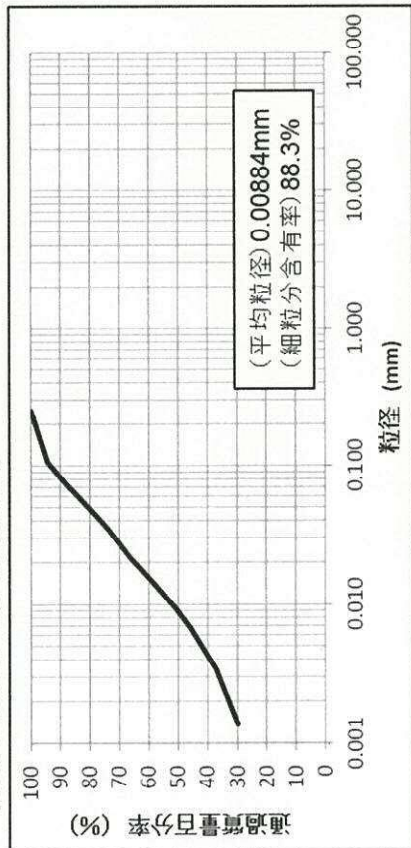
- ・深度：49.00m～50.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 90.7 \text{ kN/m}^2$



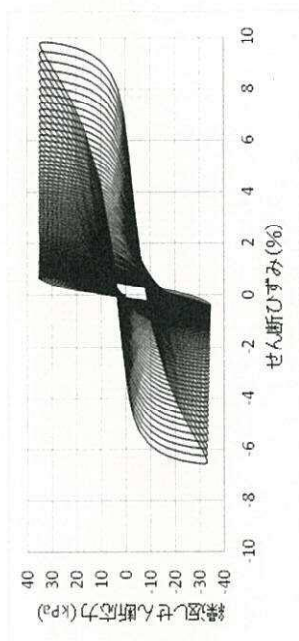
試料の写真



液状化強度試験における各計測値



試料の粒径加積曲線

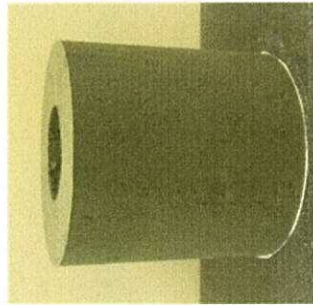


繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

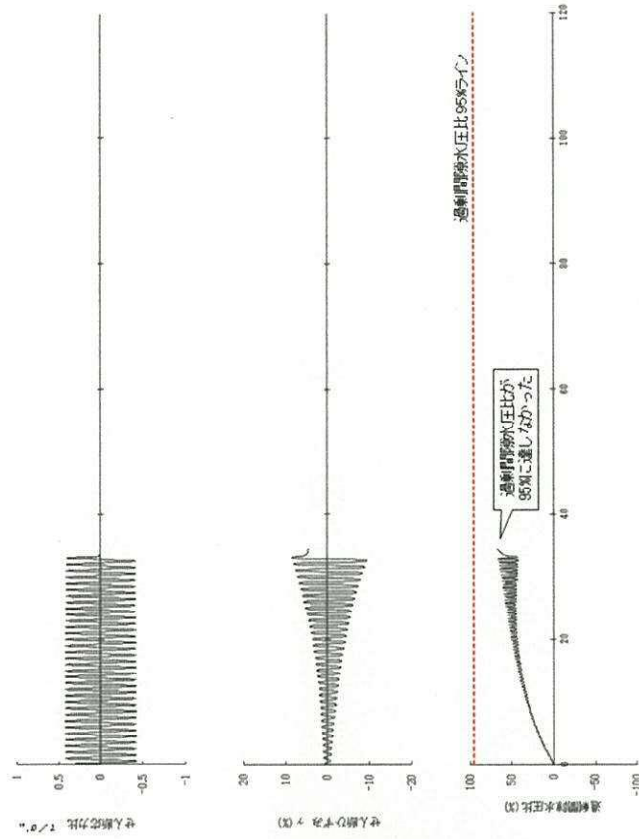
図 4.2-6 (1) 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-9-25(4))

SC-9-25(3)

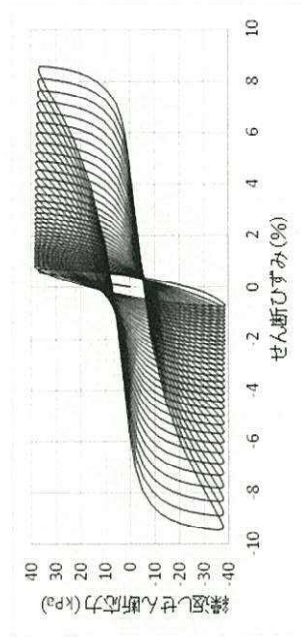
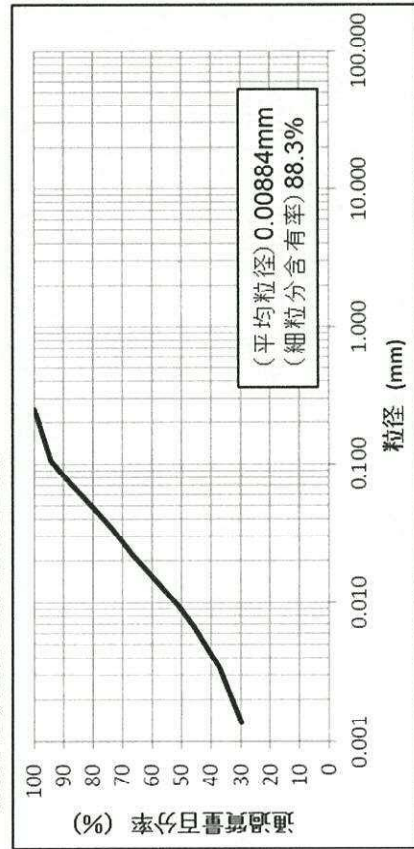
- ・深度：49.00m～50.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 90.7 \text{ kN/m}^2$



試料の写真



液状化強度試験における各計測値

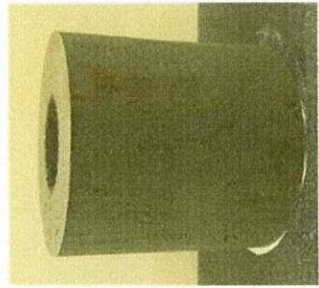


繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

図 4.2-6 (2) 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac層, SC-9-25(3))

SC-9-25(2)

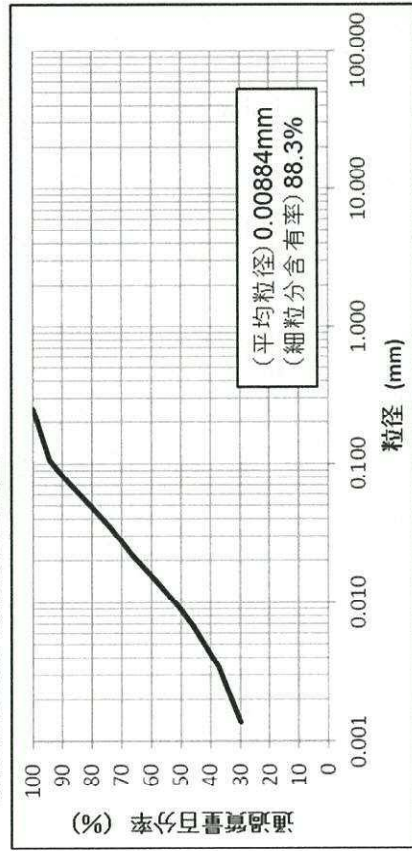
- ・深度：49.00m～50.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 90.7 \text{ kN/m}^2$



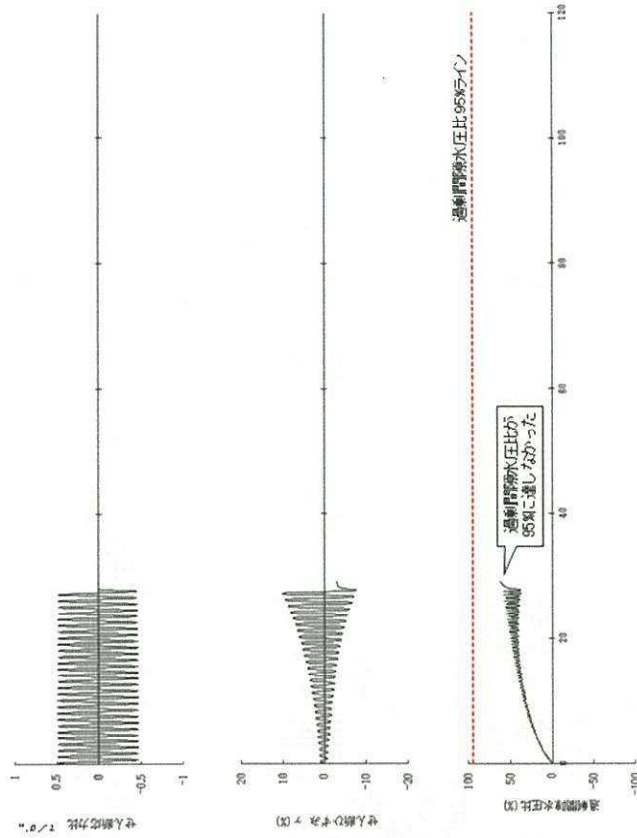
試料の写真

■ 液状化強度試験箇所(Ac層)

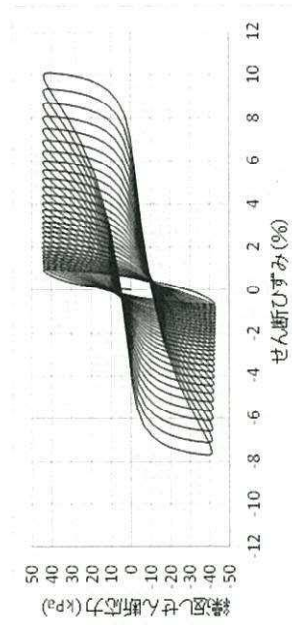
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値

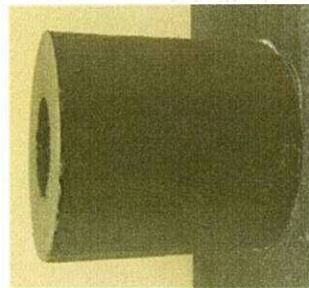


繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

図 4.2-6 (3) 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-9-25(2))

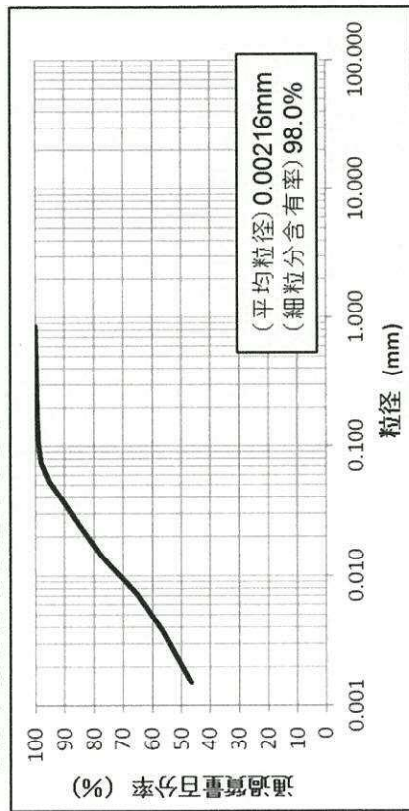
SC-7-23~24(1)

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

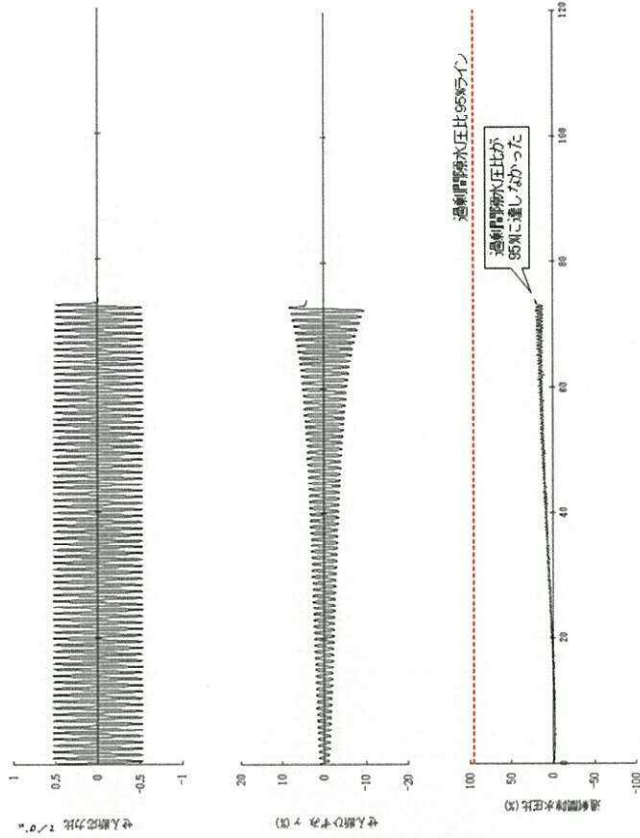


試料の写真

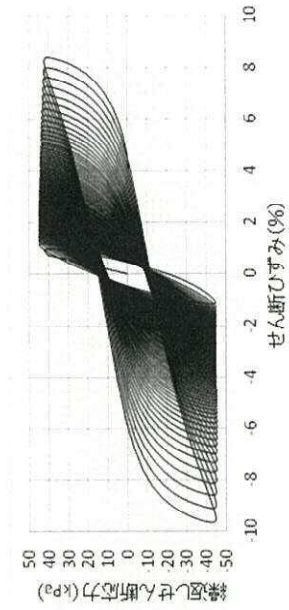
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値

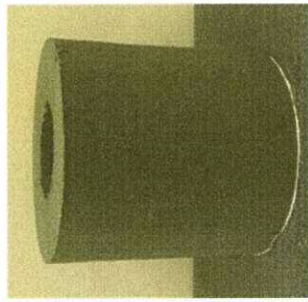


繰返しせん断応力~せん断ひずみ関係

図 4.2-6 (4) 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac層, SC-9-23~24(1))

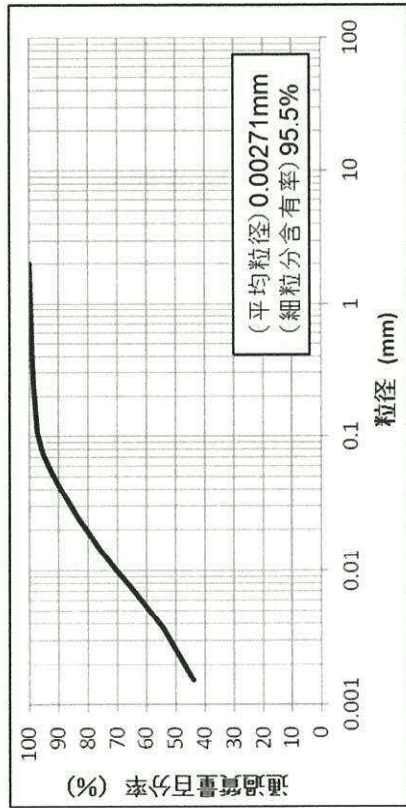
SC-11-8~10(3)

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

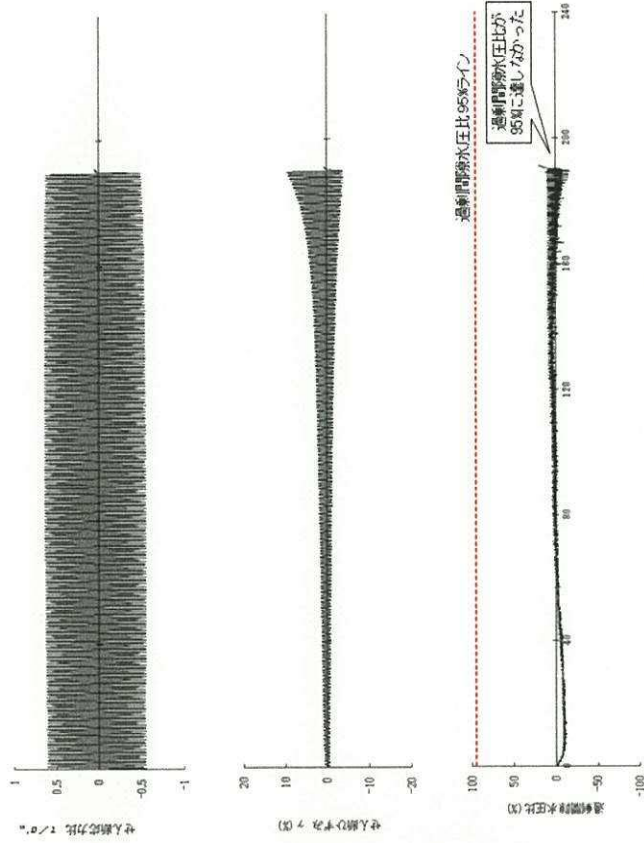


試料の写真

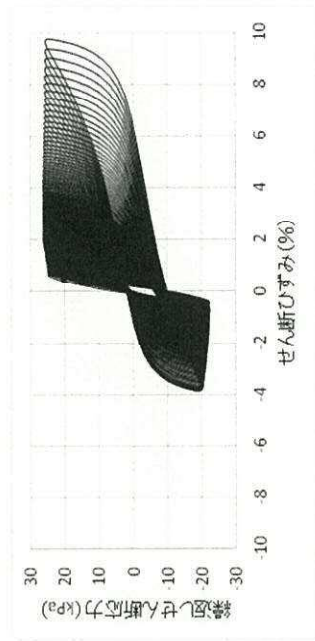
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値

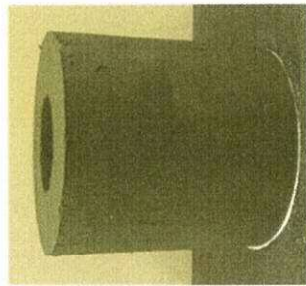


繰返しせん断応力~せん断ひずみ関係

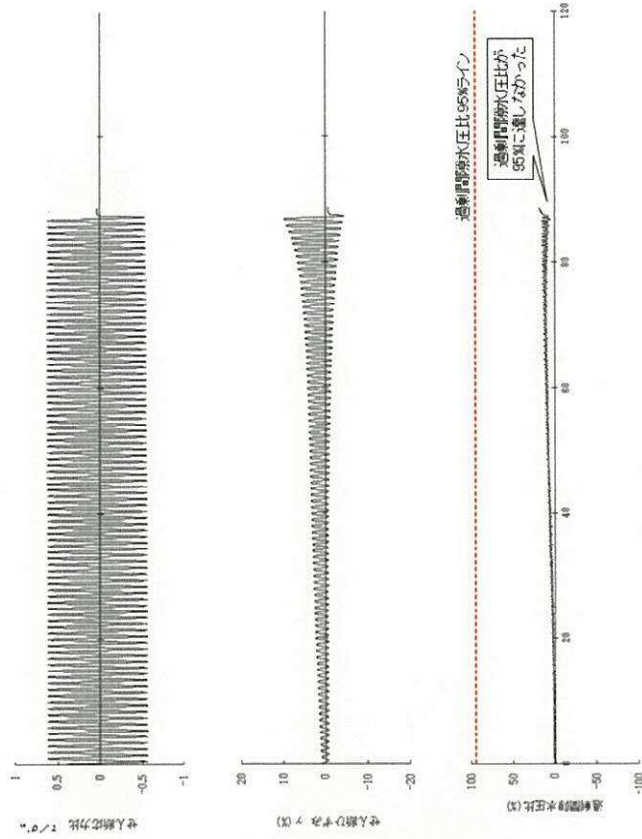
図 4.2-6 (5) 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-11-8~10(3))

SC-7-23~24(2)

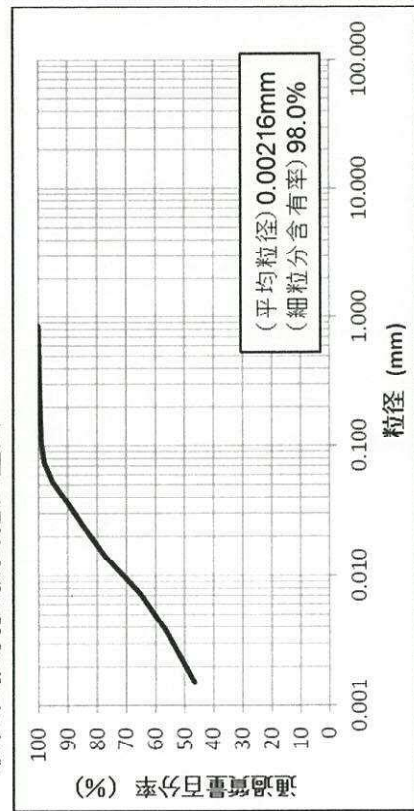
- ・深度：28.20m~30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 81.0 \text{ kN/m}^2$



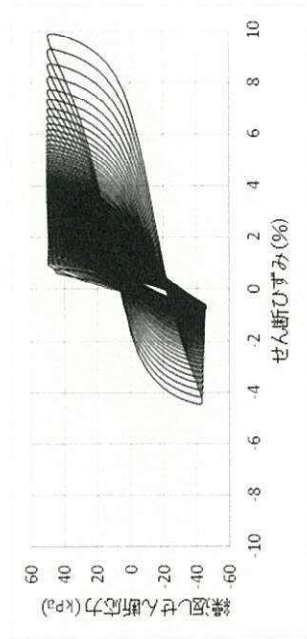
試料の写真



液状化強度試験における各計測値



液状化強度試験実施位置図



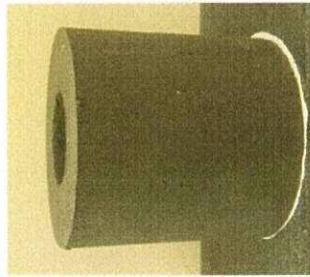
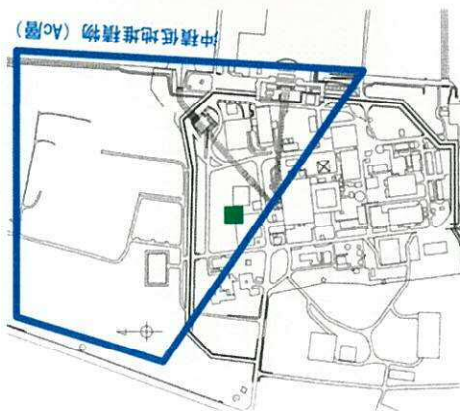
繰返しせん断応力~せん断ひずみ関係

図 4.2-6 (6) 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23~24(2))



SC-7-23~24(3)

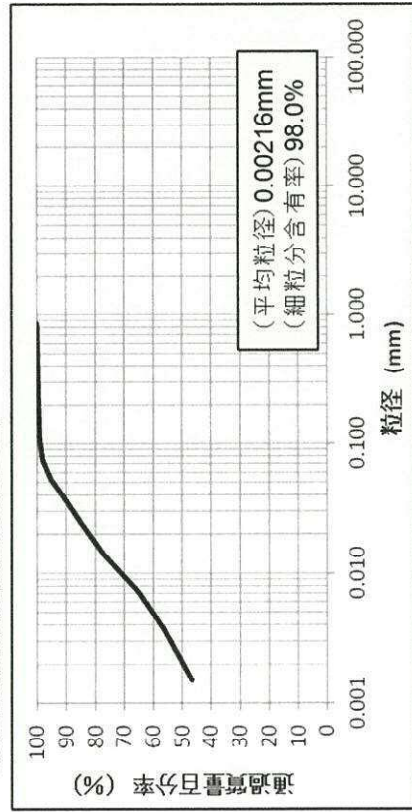
- ・深度：28.20m~30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 84.3\text{kN/m}^2$



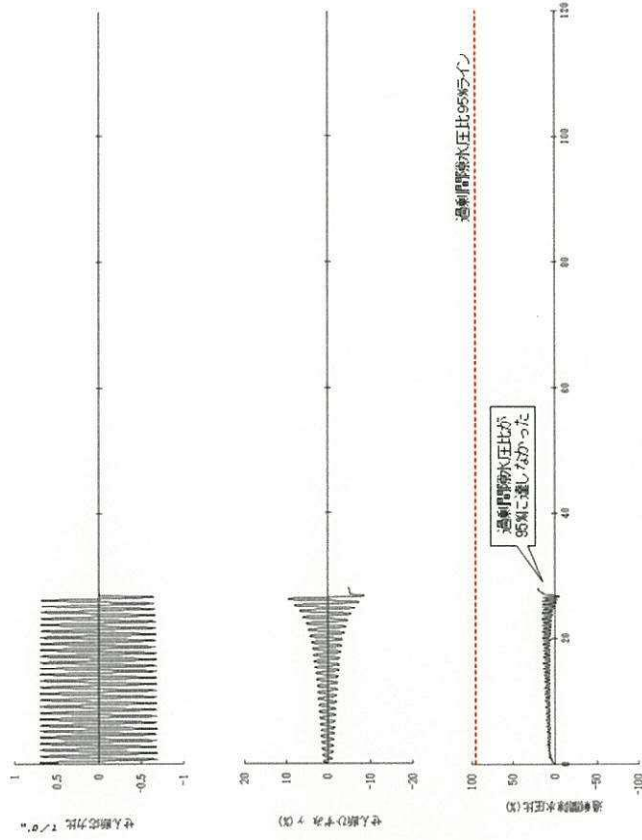
試料の写真

■ 液状化強度試験箇所(Ac層)

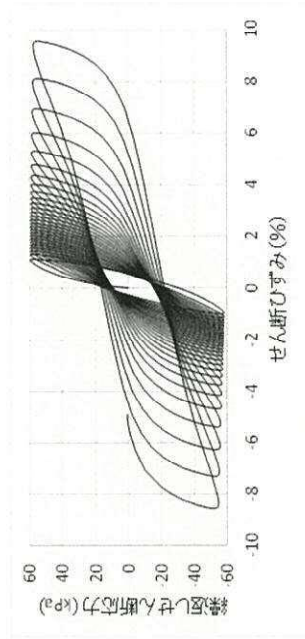
液状化強度試験実施位置図



試料の粒径加積曲線



液状化強度試験における各計測値

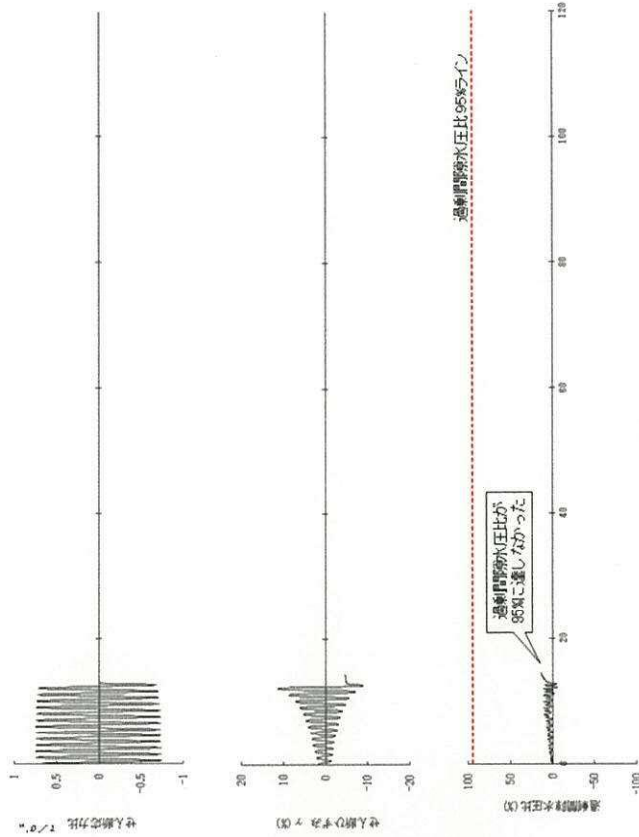
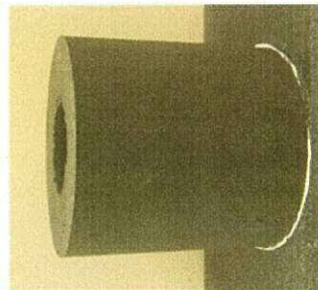


繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係

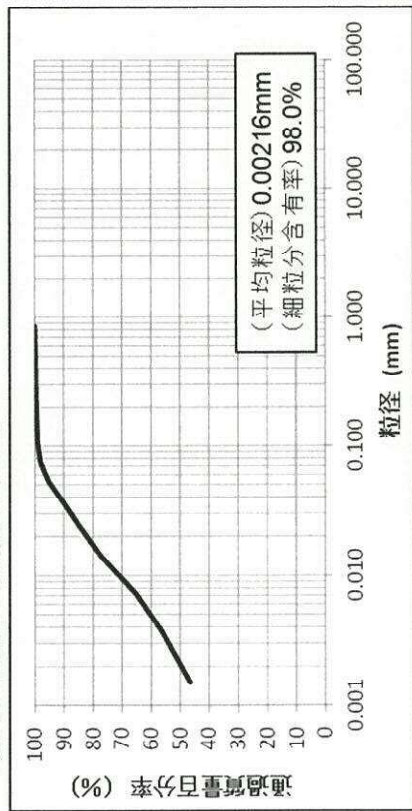
図 4.2-6 (7) 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23~24(3))

SC-7-23~24(4)

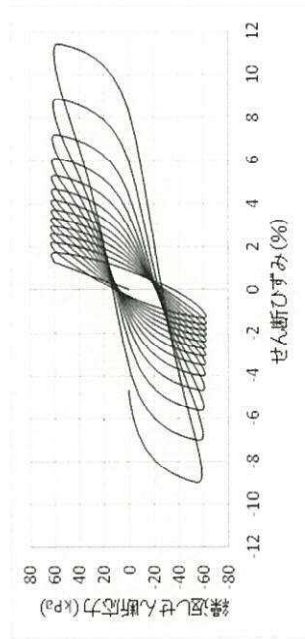
- ・深度：28.20m~30.20m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 84.3\text{kN/m}^2$



液状化強度試験実施位置図



液状化強度試験における各計測値

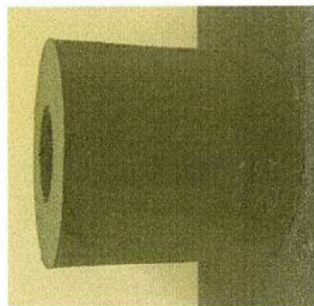


繰返しせん断応力~せん断ひずみ関係

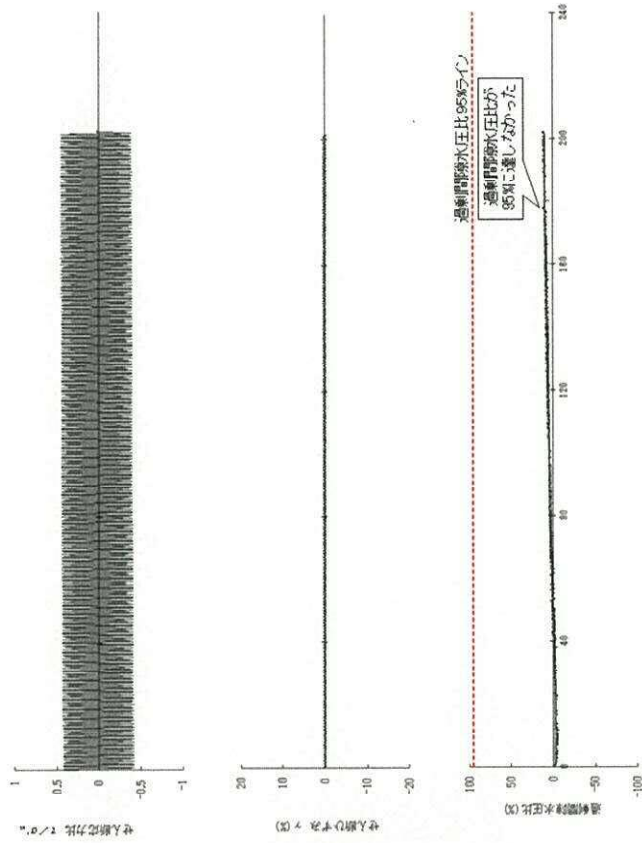
図 4.2-6 (8) 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac 層, SC-7-23~24(4))

SC-11-8~10(1)

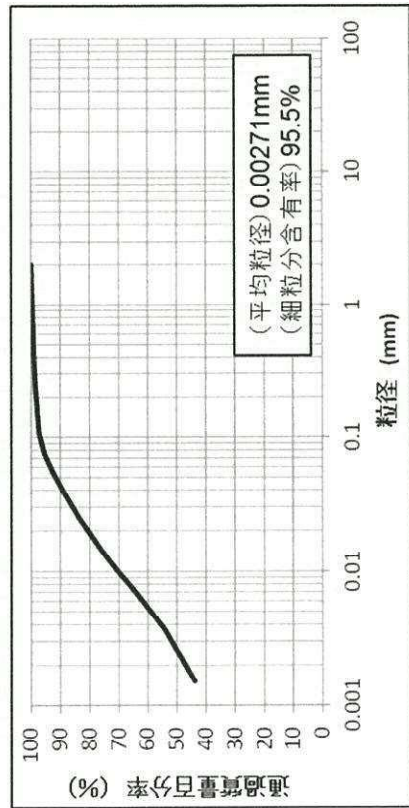
- ・深度：9.00m~12.00m
- ・平均有効主応力： $\sigma'_m = 40.7\text{kN/m}^2$



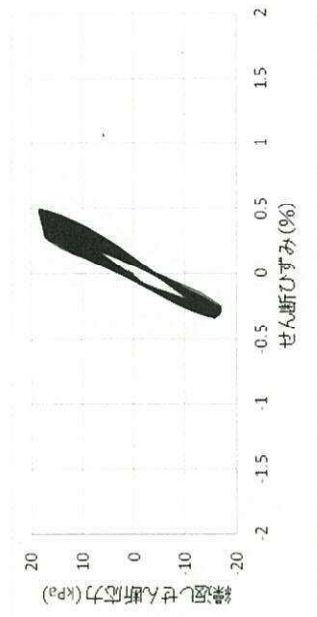
試料の写真



液状化強度試験における各計測値



試料の粒径加積曲線



繰返しせん断応力~せん断ひずみ関係

図 4.2-6 (9) 中空繰返しねじりせん断試験結果 (Ac層, SC-11-8~10(1))

(4) 液状化強度試験試料採取位置の選定とその代表性

a. 液状化強度試験箇所の選定

東海第二発電所敷地内の液状化検討対象層として、埋土 (f1 層), 完新世の砂・礫質土層 (du 層, Ag2 層, As 層, Ag1 層) 及び更新世の砂・礫質土層 (D2s-3 層, D2g-3 層, D1g-1 層) を抽出した。抽出した液状化検討対象層の液状化強度特性を求めるために、液状化強度試験箇所を選定し、試料を採取して液状化強度試験を実施した。

液状化強度試験箇所は、既存の地質調査結果を基に、液状化強度試験箇所のN値と細粒分含有率 Fc を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  平均値が敷地内調査孔の道路橋示方書式に基づく液状化強度比  $R_L$  平均値と比較して小さいこと及び試料採取可能な層厚を有することを確認して選定した。

また、液状化検討対象層の分布状況及び耐震重要施設設置位置を考慮した設置変更許可申請段階での液状化強度試験データの拡充を目的として、追加液状化強度試験を実施した。追加液状化強度試験箇所は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所の選定条件に加え、

- ・液状化検討対象層の分布状況に対する液状化強度試験データの有無
- ・耐震重要施設近傍での液状化強度試験データの有無

について検討を行い、データ拡充が必要な液状化検討対象層及び液状化強度試験箇所の選定を行った。図 4.2-7 に、敷地での設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所及び追加液状化強度試験箇所を示す。また、図 4.2-8~図 4.2-17 には、液状化強度試験箇所に近接する地質断面に液状化強度試験箇所の試料採取深度をプロットする。

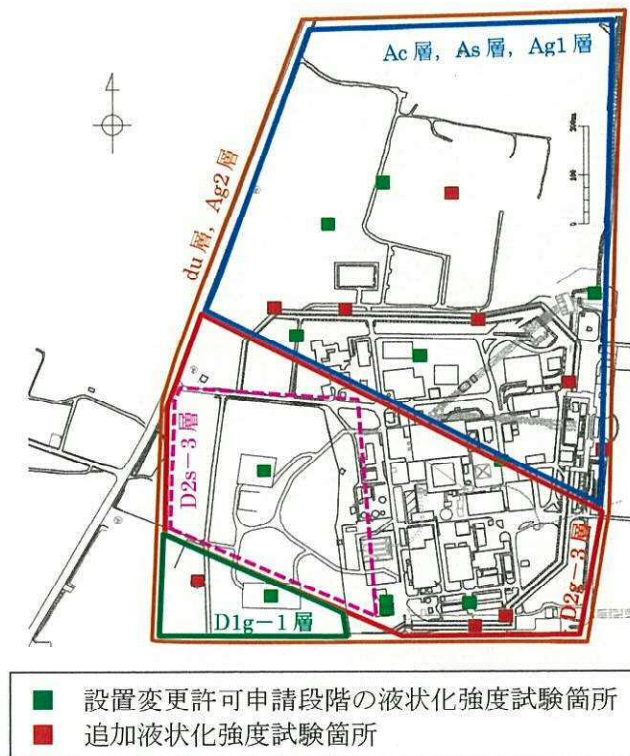


図 4.2-7 液状化強度試験箇所

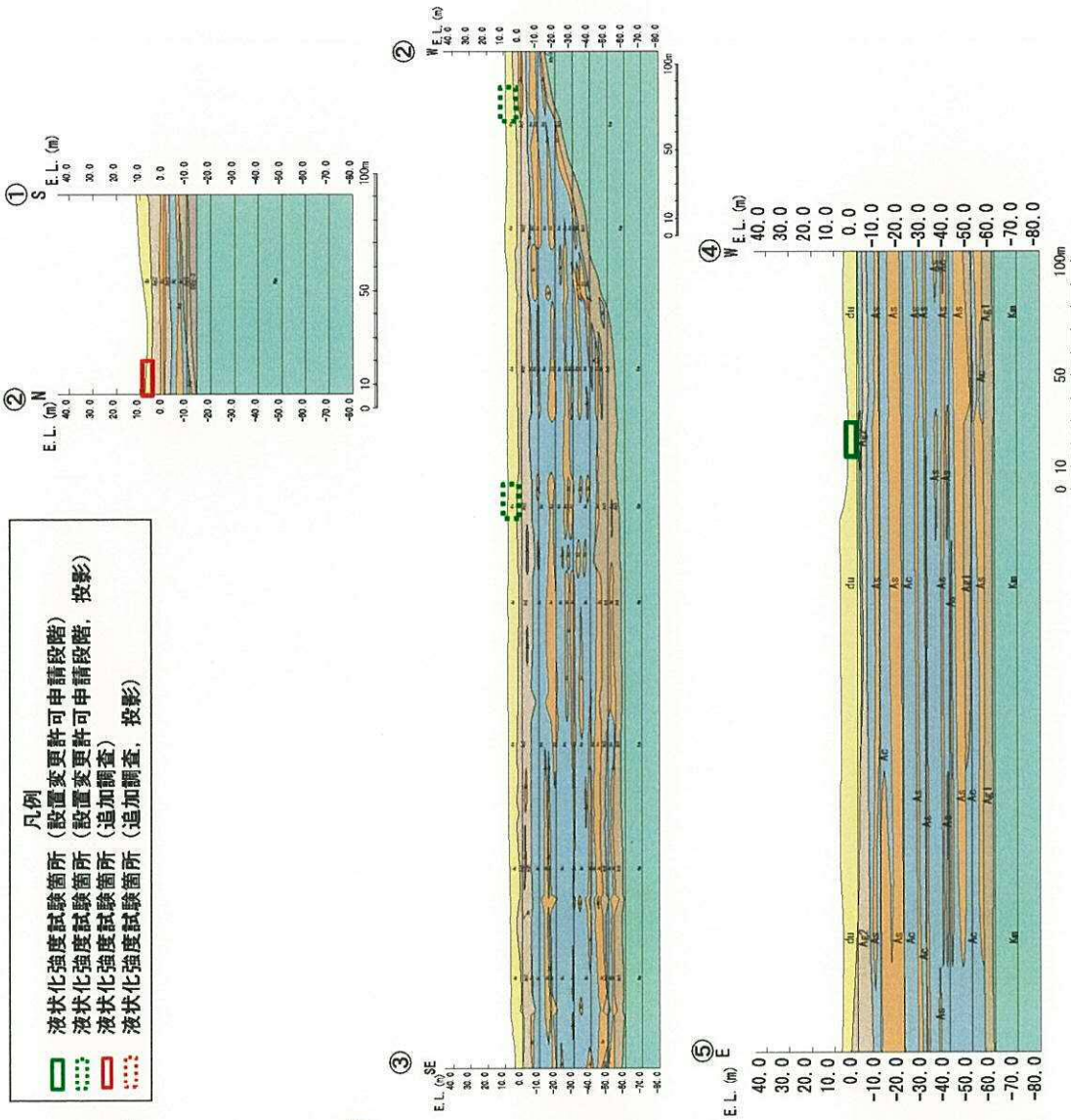


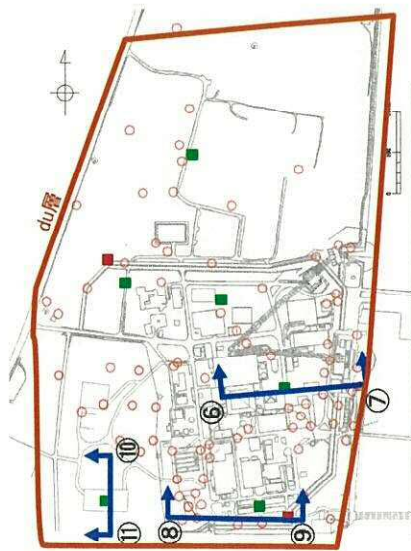
図 4.2-8 du 層の液状化強度試験試料採取位置①



調査孔と液状化強度試験箇所 (du層)

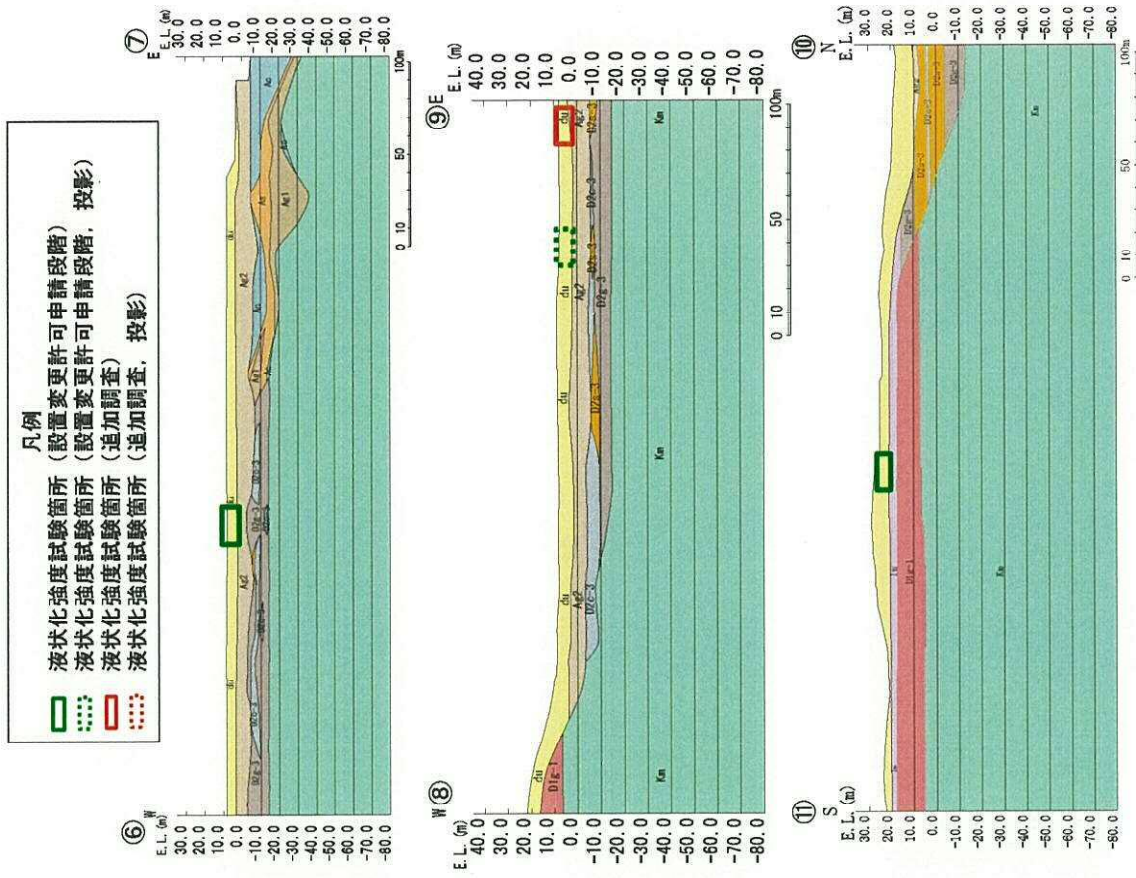
地質構成表

| 地質時代    | 地質区分  | 記号    | 層相   |
|---------|-------|-------|------|
| 新<br>世  | 沖積層   | du    | 砂    |
|         |       | Au2   | 砂礫   |
|         |       | Ac    | 粘土   |
|         |       | As    | 砂    |
|         |       | Au1   | 砂礫   |
| 四<br>夏  | D2c-3 | D2c-3 | シルト  |
|         |       | D2c-3 | 砂    |
|         |       | D2c-3 | 砂礫   |
| 新<br>世  | 段丘堆積物 | D2    | シルト  |
|         |       | D2e-2 | 砂礫   |
|         |       | Im    | ローム  |
|         |       | D1c-1 | シルト  |
| 紀       | D1    | D1e-1 | 砂礫   |
|         |       | Im    | 砂質泥炭 |
| 新第三紀更新世 | 久米層   | Im    | 砂質泥炭 |
|         |       |       | 不整合  |



○ 調査孔  
 ■ 設置変更許可申請時の液状化強度試験箇所  
 ■ 追加液状化強度試験箇所

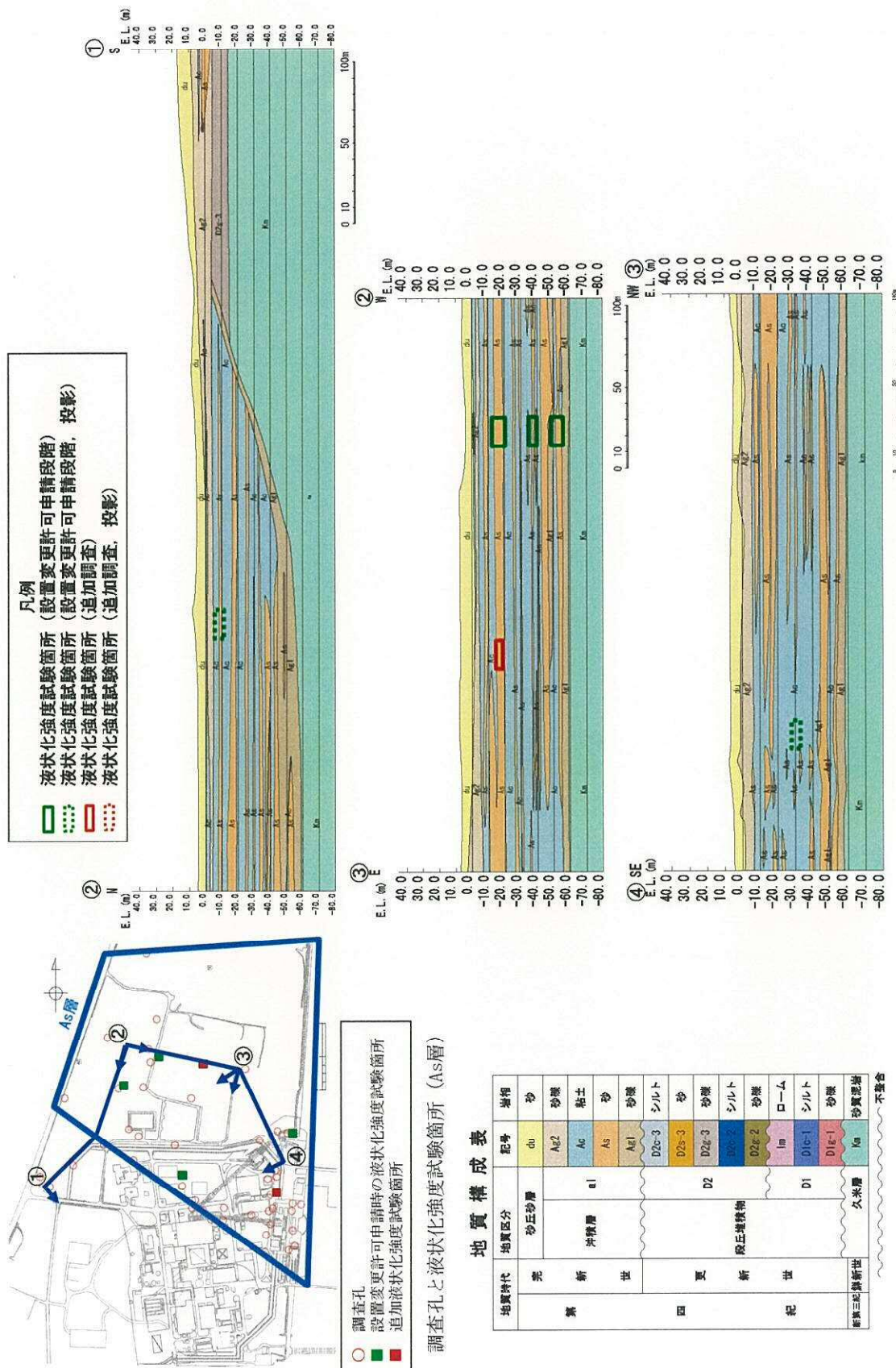
調査孔と液状化強度試験箇所 (du層)



地質構成表

| 地質時代 | 地質区分  | 記号    | 層相   |
|------|-------|-------|------|
| 第三紀  | 沖積層   | du    | 砂    |
|      |       | Ag2   | 砂礫   |
|      |       | Ac    | 粘土   |
| 第四紀  | 残丘地積物 | As    | 砂    |
|      |       | Ag1   | 砂礫   |
|      |       | DZc-3 | シルト  |
|      |       | DZs-3 | 砂    |
|      |       | DZg-3 | 砂礫   |
| 第四紀  | ローム   | DZ    | シルト  |
|      |       | DZg-2 | 砂礫   |
|      |       | Im    | ローム  |
|      |       | D1g-1 | シルト  |
| 第四紀  | 久米層   | Dig-1 | 砂礫   |
|      |       | Ka    | 砂質泥岩 |
| 第三紀  | 不整合   |       | 不整合  |

図 4.2-9 du 層の液状化強度試験試料採取位置②



凡例

- 液状化強度試験箇所 (設置変更許可申請段階, 投影)
- 液状化強度試験箇所 (追加調査, 投影)
- 液状化強度試験箇所 (追加調査, 投影)

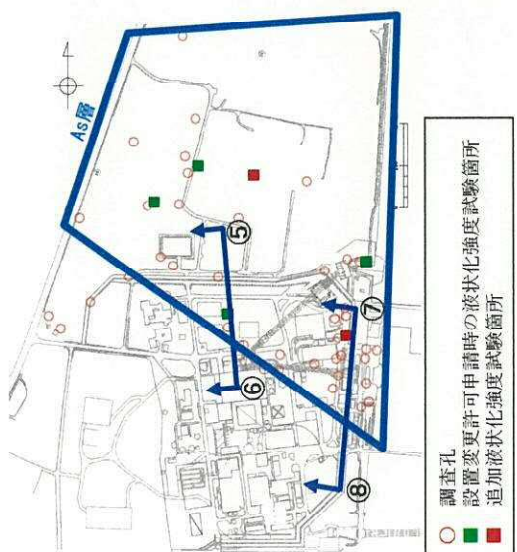
○ 調査孔  
 ■ 設置変更許可申請時の液状化強度試験箇所  
 ■ 追加液状化強度試験箇所

調査孔と液状化強度試験箇所 (As層)

地質構成表

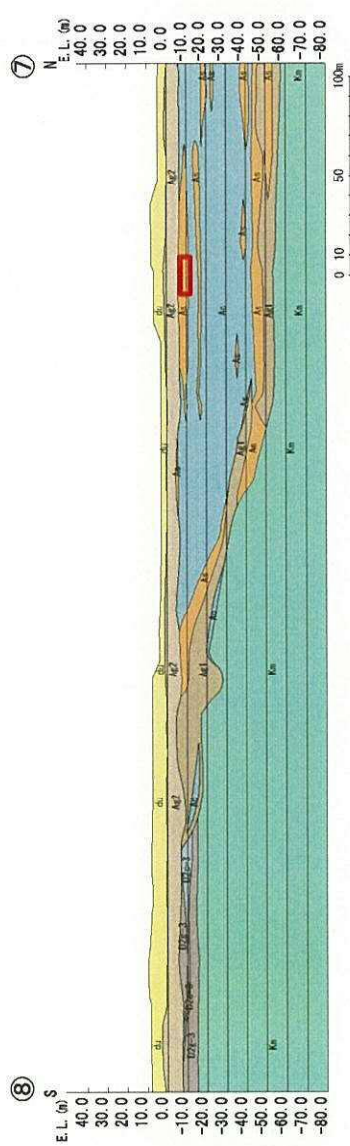
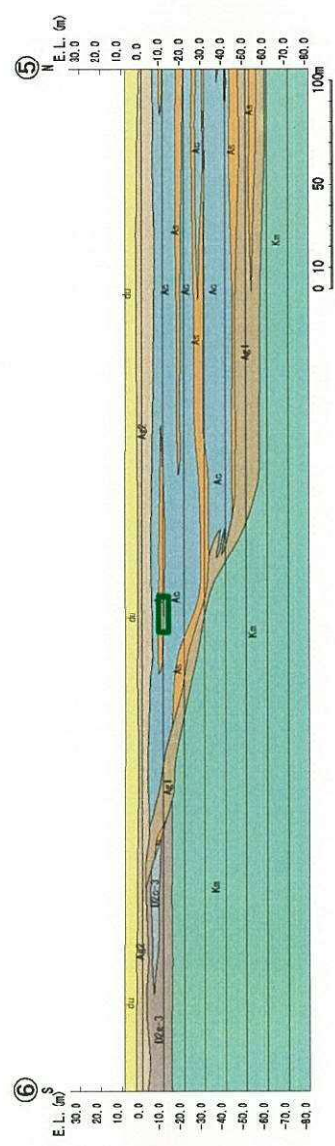
| 地質時代  | 地質区分  | 記号    | 層相  |
|-------|-------|-------|-----|
| 新 世   | 砂丘砂層  | du    | 砂   |
|       |       | Ag2   | 砂礫  |
|       | 沖積層   | Ac    | 粘土  |
| As    |       | 砂     |     |
| 四 新 世 | D2c-3 | Ag1   | 砂礫  |
|       |       | D2s-3 | シルト |
|       |       | D2t-3 | 砂   |
|       | D2    | D2c-2 | 砂礫  |
|       |       | D2t-2 | シルト |
|       | D1    | Im    | 砂礫  |
|       |       | D1e-1 | シルト |
|       | 久米層   | D1e-1 | シルト |
|       |       | D1e-1 | 砂礫  |
|       | 新第三紀  | 久米層   | Na  |
|       |       |       | 不整合 |

図 4.2-10 As 層の液状化強度試験試料採取位置①



凡例

- 液状化強度試験箇所 (設置変更許可申請段階, 投影)
- 液状化強度試験箇所 (設置変更許可申請段階, 投影)
- 液状化強度試験箇所 (追加調査)
- 液状化強度試験箇所 (追加調査, 投影)



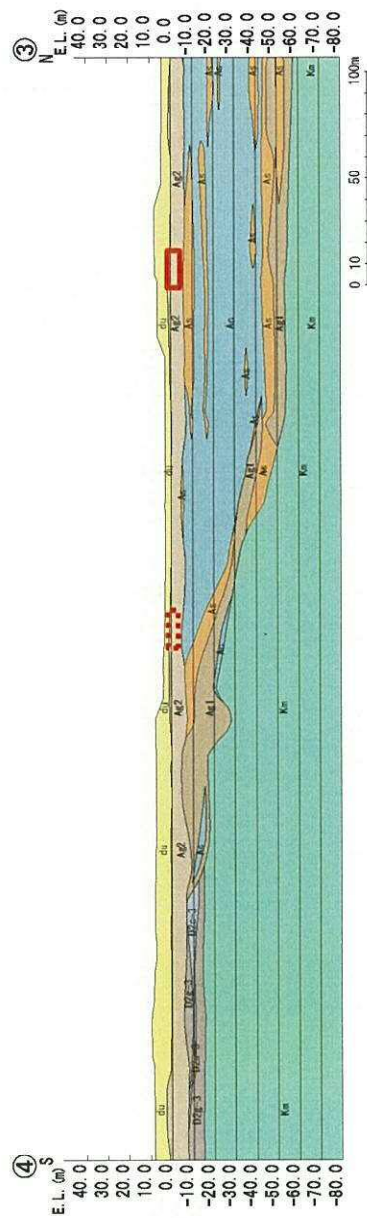
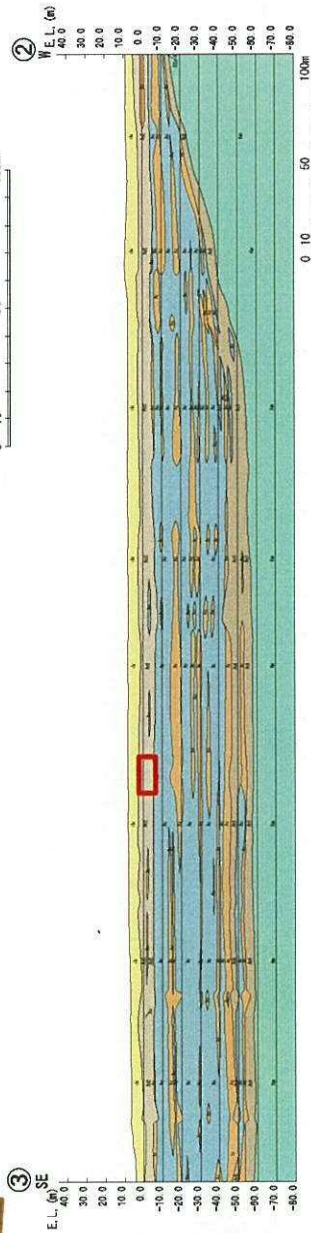
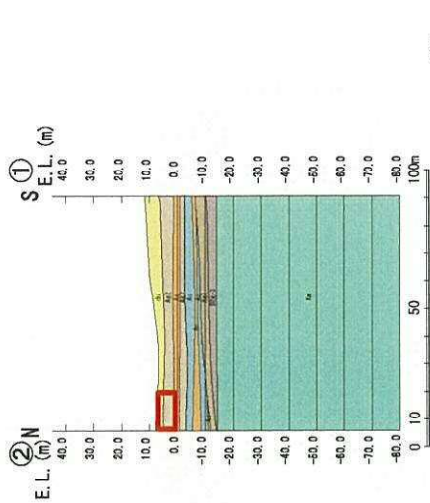
調査孔と液状化強度試験箇所 (As層)

地質構成表

| 地質時代  | 地質区分  | 記号    | 層相   |
|-------|-------|-------|------|
| 第 三 紀 | 砂丘砂層  | du    | 砂    |
|       |       | Aa2   | 砂礫   |
|       | 沖積層   | Ac    | 粘土   |
| As    |       | 砂     |      |
| Ag1   |       | 砂礫    |      |
| D2c-3 |       | シルト   |      |
| 第 四 紀 | D2    | D2s-3 | 砂    |
|       |       | D2t-3 | 砂礫   |
|       |       | D2e-2 | シルト  |
|       | 段丘堆積物 | D2e-2 | 砂礫   |
|       |       | Im    | ローム  |
|       | D1    | D1c-1 | シルト  |
| D1s-1 |       | 砂礫    |      |
| 新第三紀  | 久米層   | Ka    | 砂質泥岩 |

図 4.2-11 As 層の液状化強度試験試料採取位置②





調査孔と液状化強度試験箇所 (Ag2層)

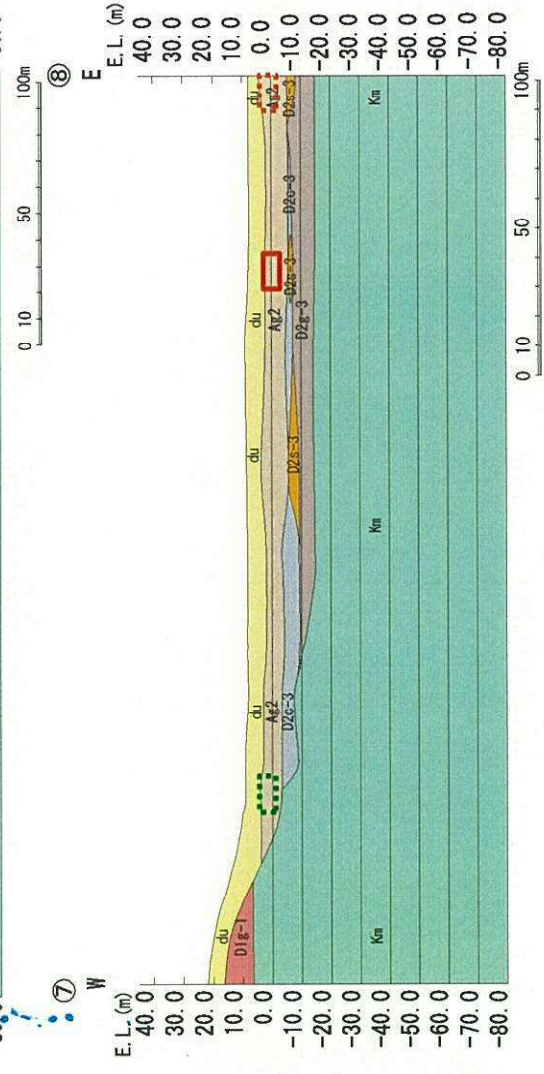
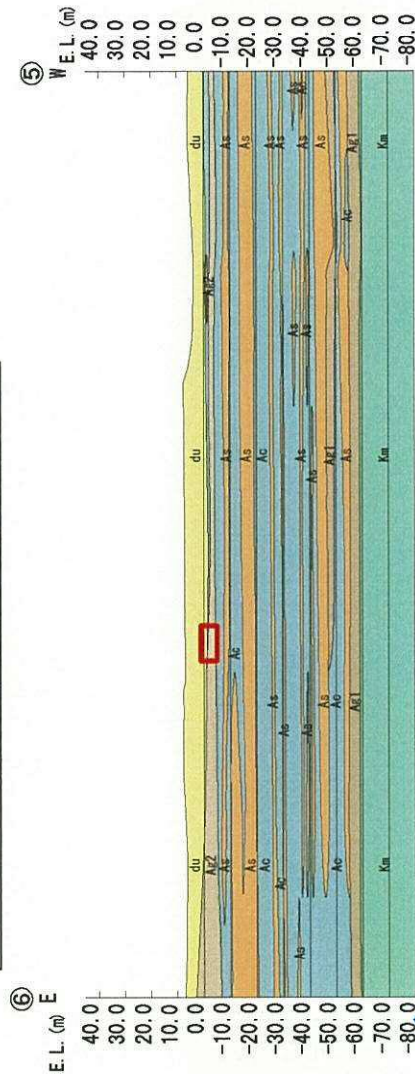
地質構成表

| 地質時代     | 地質区分  | 記号    | 堆積   |     |
|----------|-------|-------|------|-----|
| 新 世      | 沖積層   | dl    | 砂    |     |
|          |       | Al2   | 砂礫   |     |
|          |       | Ac    | 粘土   |     |
| 四 夏 新 世  | 段丘堆積物 | As    | 砂    |     |
|          |       | Ag1   | 砂礫   |     |
|          |       | D2c-3 | シルト  |     |
|          | 久米層   | D2c-3 | 砂    |     |
|          |       | D2g-3 | 砂礫   |     |
|          |       | D2g-2 | シルト  |     |
| 紀        | D1    | In    | ローム  |     |
|          |       | D1c-1 | シルト  |     |
|          |       | D1g-1 | 砂礫   |     |
| 新第三紀 漸新世 | 久米層   | kn    | 砂質泥層 |     |
|          |       |       |      | 不整合 |

図 4.2-12 Ag2 層の液状化強度試験試料採取位置①



凡例  
 液状化強度試験箇所 (設置変更許可申請段階)  
 液状化強度試験箇所 (設置変更許可申請段階, 投影)  
 液状化強度試験箇所 (追加調査)  
 液状化強度試験箇所 (追加調査, 投影)

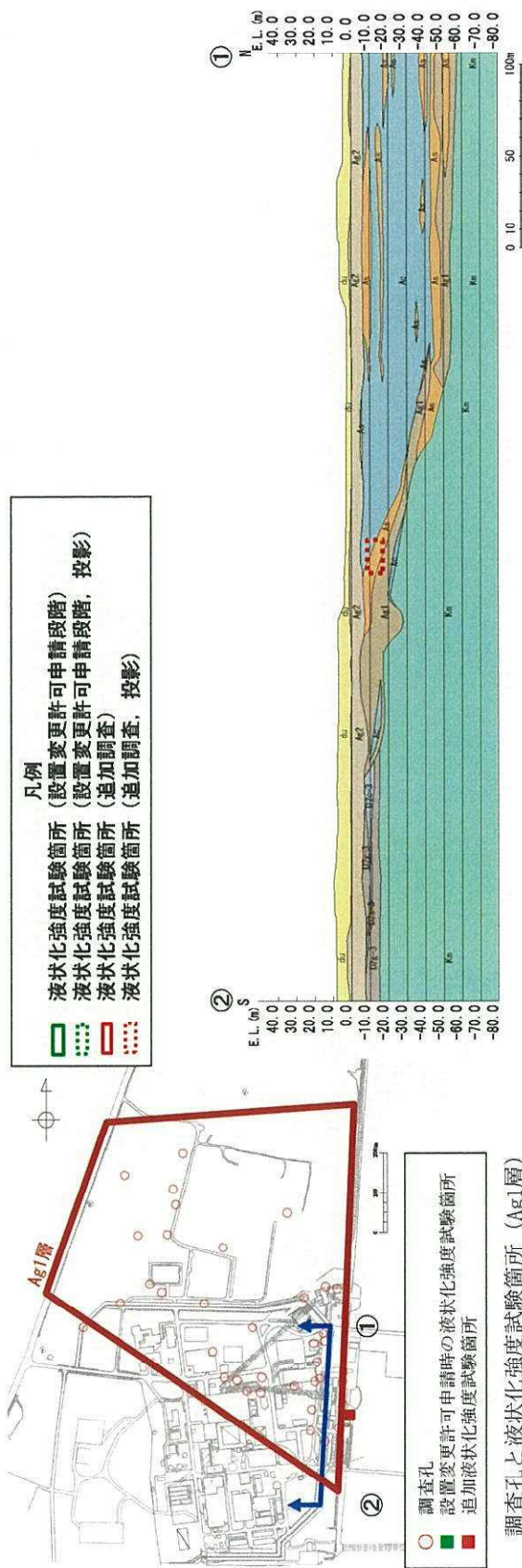


調査孔と液状化強度試験箇所 (Ag2層)

地質構成表

| 地質時代  | 相区分   | 記号    | 岩相    |
|-------|-------|-------|-------|
| 第 新 世 | 砂丘砂層  | du    | 砂     |
|       |       | Ag2   | 砂礫    |
|       | 第 新 世 | 沖積層   | Ac    |
| As    |       |       | 砂     |
| 段丘堆積物 |       | Ag1   | 砂礫    |
|       |       | D2c-3 | シルト   |
| 第 新 世 | D2    | D2s-3 | 砂     |
|       |       | D2e-3 | 砂礫    |
|       | D1    | D2e-2 | シルト   |
|       |       | Im    | 砂礫    |
|       |       | D1c-1 | シルト   |
| 第 新 世 | D1    | D1e-1 | シルト   |
|       |       | Km    | 砂質泥炭層 |
| 第 新 世 | 久米層   |       | 砂質泥炭層 |
| 第 新 世 |       |       | 不整合   |

図 4.2-13 Ag2 層の液状化強度試験試料採取位置②

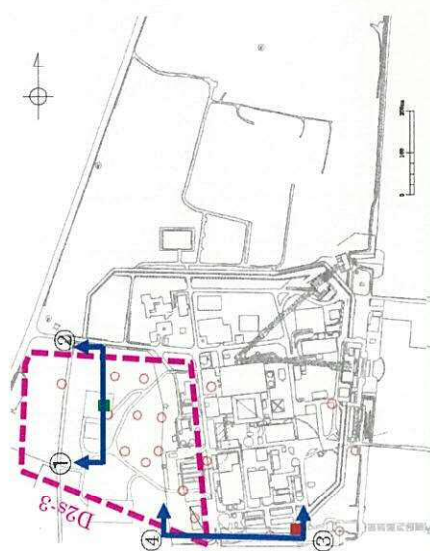


**地質構成表**

| 地質時代  | 地質区分  | 記号    | 層種   |
|-------|-------|-------|------|
| 第 三 紀 | 砂丘砂層  | du    | 砂    |
|       |       | Ak2   | 砂礫   |
|       | 沖積層   | Ac    | 粘土   |
|       |       | As    | 砂    |
|       |       | Ak1   | 砂礫   |
| 第 四 紀 | D層    | D2b-3 | シルト  |
|       |       | D2s-3 | 砂    |
|       |       | D2t-3 | 砂礫   |
| 新 世   | 砂丘堆積物 | D2s-2 | シルト  |
|       |       | D2t-2 | 砂礫   |
|       | D1層   | la    | ローム  |
|       |       | D1c-1 | シルト  |
| 新 世   | 久米層   | D1t-1 | 砂礫   |
|       |       | Na    | 砂質泥炭 |

不整合

図 4.2-14 Ag1 層の液状化強度試験試料採取位置

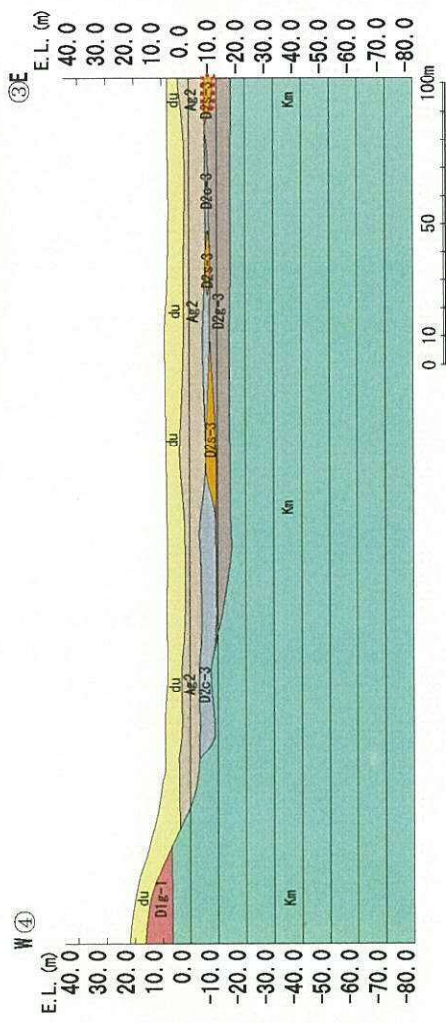
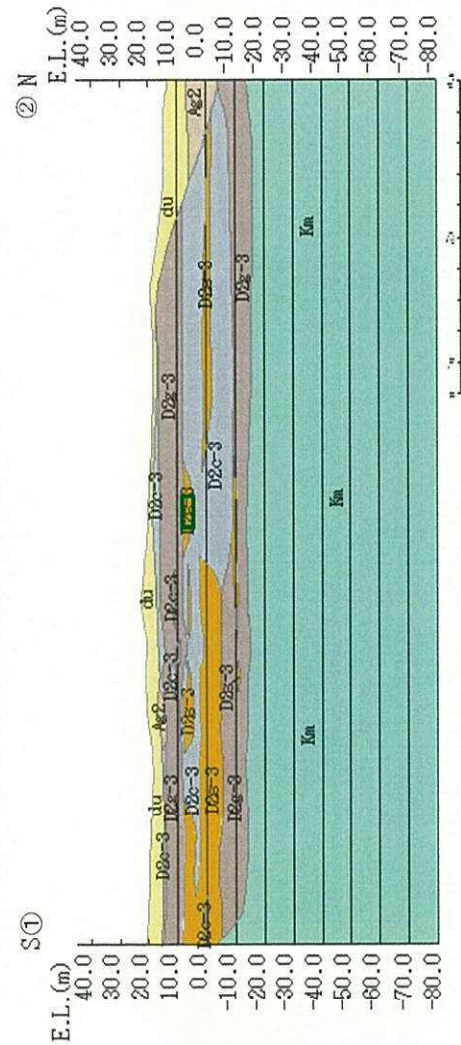


○ 調査孔  
 ■ 設置変更許可申請時の液状化強度試験箇所  
 ■ 追加液状化強度試験箇所

調査孔と液状化強度試験箇所 (D2g-3層)

凡例

■ 液状化強度試験箇所 (設置変更許可申請段階)  
 ■ 液状化強度試験箇所 (設置変更許可申請段階, 投影)  
 ■ 液状化強度試験箇所 (追加調査)  
 ■ 液状化強度試験箇所 (追加調査, 投影)



地質構成表

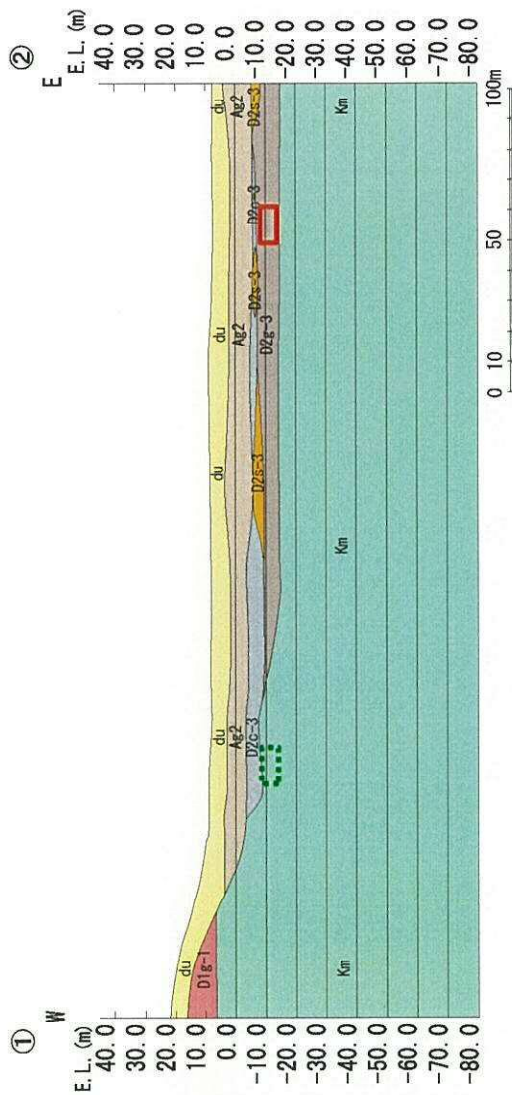
| 地質時代    | 地質区分 | 記号    | 層相   |
|---------|------|-------|------|
| 新 世     | 砂丘砂層 | du    | 砂    |
|         |      | Ag2   | 砂礫   |
| 新 世     | 沖積層  | Ac    | 粘土   |
|         |      | As    | 砂    |
|         |      | Ag1   | 砂礫   |
|         |      | D2c-3 | シルト  |
| 四 世     | D2   | D2s-3 | 砂    |
|         |      | D2g-3 | 砂礫   |
|         |      | D2e-2 | シルト  |
| 紀       | D1   | lm    | シルト  |
|         |      | D1c-1 | シルト  |
|         |      | D1g-1 | 砂礫   |
| 更新世・最新世 | 久米層  | Kn    | 砂質泥層 |

不整合

図 4.2-15 D2s-3 層の液状化強度試験試料採取位置



調査孔と液状化強度試験箇所 (D2g-3層)



地質構成表

| 地質時代 | 地質区分  | 記号    | 層相   |
|------|-------|-------|------|
| 第三紀  | 沖積層   | du    | 砂相   |
|      |       | Ag2   | 砂礫   |
|      |       | Ac    | 粘土   |
| 第四紀  | 砂丘砂層  | As    | 砂    |
|      |       | Ag1   | 砂礫   |
|      |       | D2c-3 | シルト  |
| 第四紀  | D2    | D2s-3 | 砂    |
|      |       | D2e-3 | 砂礫   |
|      |       | D2g-3 | シルト  |
| 第四紀  | 段丘堆積物 | D2s-2 | 砂礫   |
|      |       | Im    | ローム  |
|      |       | D1c-1 | シルト  |
| 第四紀  | D1    | D1f-1 | 砂礫   |
|      |       | Km    | 砂質泥層 |
| 新第三紀 | 新第三紀  |       | 不整合  |

図 4.2-16 D2g-3 層の液状化強度試験試料採取位置



調査孔と液状化強度試験箇所 (D1g-1層)

地質構成表

| 地質時代     | 地質区分  | 記号    | 層種   |     |
|----------|-------|-------|------|-----|
| 第 三 紀    | 砂丘砂層  | du    | 砂    |     |
|          |       | Au2   | 砂礫   |     |
| 第 四 紀    | 沖積層   | Ac    | 粘土   |     |
|          |       | As    | 砂    |     |
|          |       | Ae1   | 砂礫   |     |
|          |       | DZc-3 | シルト  |     |
| 第 四 紀    | D2    | DZs-3 | 砂    |     |
|          |       | DZk-3 | 砂礫   |     |
|          |       | DZ-2  | シルト  |     |
| 第 四 紀    | 段丘堆積物 | Dg-2  | 砂礫   |     |
|          |       | lm    | ローム  |     |
|          |       | D1c-1 | シルト  |     |
| 第 四 紀    | D1    | D1g-1 | 砂礫   |     |
|          |       | km    | 砂質泥炭 |     |
| 新第三紀・最新世 | 久米層   |       | 砂質泥炭 |     |
|          |       |       |      | 不整合 |

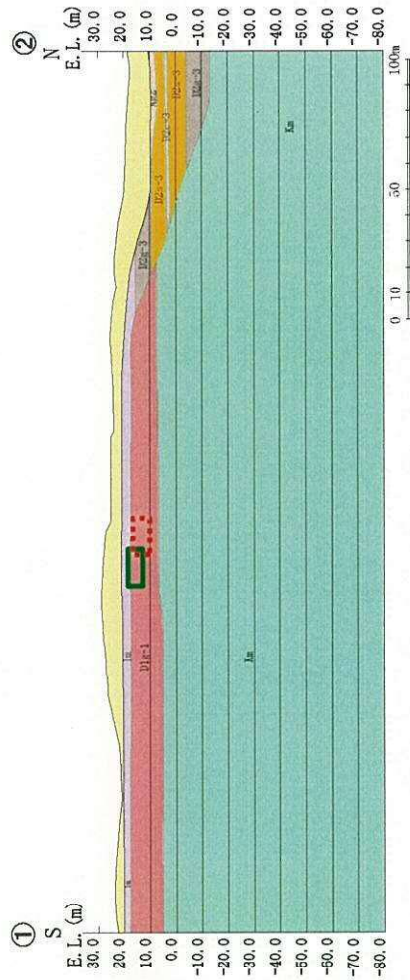


図 4.2-17 D1g-1 層の液状化強度試験試料採取位置

b. 液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性

道路橋示方書での液状化強度比  $R_L$  の算定においては、標準貫入試験の  $N$  値を、有効土被り圧  $98\text{kN/m}^2$  において基準化した換算  $N$  値 ( $N_1$  値) に対する液状化強度比  $R_L$  を求める。また、細粒分含有率  $F_c$  及び平均粒径  $D_{50}$  を用いて  $N_1$  値を補正することにより、粒度による液状化強度比への影響を評価する。表 4.2-8 に、主な指針類における液状化強度比  $R_L$  の算定時に用いられる地盤の基本物性値を示す。

液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性の確認を目的に、液状化強度比  $R_L$  と良い相関関係を示す  $N$  値、細粒分含有率  $F_c$  を比較指標とする。さらに、粒径加積曲線を参考指標として選定し、液状化強度試験箇所と敷地内調査孔の比較検討を実施する。

最後に、液状化強度試験箇所と敷地内調査孔における  $N$  値と細粒分含有率  $F_c$  を用いて算定される液状化強度比  $R_L$  の平均値の比較から液状化強度試験箇所の代表性及び網羅性について示す。

表 4.2-8 指針類における液状化強度比  $R_L$  と地盤の基本物性の関係

| 指針類名                                                                                                                                     | 液状化強度比 $R_L$ の算定に用いる主な地盤物性 | 液状化強度比 $R_L$ の補正に用いる地盤物性      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，日本道路協会，平成 24 年<br>(下水道施設の耐震対策指針と解説，日本下水道協会，2014)<br>(河川砂防技術基準(案)同解説，日本河川協会編，1997)<br>(高压ガス設備等耐震設計指針，高压ガス保安協会，平成 24 年) | N 値                        | 細粒分含有率 $F_c$<br>平均粒径 $D_{50}$ |
| 港湾の施設の耐震設計に係る当面の措置(その 2)，日本港湾協会，平成 19 年(部分改正 平成 24 年)                                                                                    |                            | 細粒分含有率 $F_c$                  |
| 建築基礎構造設計指針，日本建築学会，2001<br>(水道施設耐震工法指針・解説，日本水道協会，2009)                                                                                    |                            | 細粒分含有率 $F_c$                  |
| 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，(財)鉄道総合技術研究所，平成 24 年                                                                                                 |                            | 細粒分含有率 $F_c$<br>平均粒径 $D_{50}$ |

・ du 層

du 層は、敷地内全域に広く分布する、砂が主体の完新世の砂質土層である。図 4.2-18 に、du 層の敷地内調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所的位置を示す。

図 4.2-19 には、du 層の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の粒度試験による粒径加積曲線を示す。du 層の粒度分布のバラツキは小さく、液状化強度試験箇所の粒度分布は敷地内調査孔の試験結果と概ね同様である。

図 4.2-20 には、du 層の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の N 値、細粒分含有率  $F_c$  及び N 値と細粒分含有率  $F_c$  を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  の深度分布を示す。また、図中には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均  $\pm 1\sigma$  の値を表記している。

液状化強度試験箇所近傍孔の平均 N 値は敷地内調査孔の平均 N 値より小さい。また、液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率  $F_c$  は敷地内調査孔の平均  $F_c$  よりやや大きめであるが、道路橋示方書式による液状化強度比  $R_L$  算定時においては細粒分含有率  $F_c$  の影響を考慮しない範囲 ( $0\% \leq F_c < 10\%$ ) の値である。

以上の N 値と細粒分含有率  $F_c$  を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  は液状化強度試験箇所の平均値が敷地内全調査孔の平均値よりも小さいことから、液状化強度試験箇所が敷地内の du 層に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。

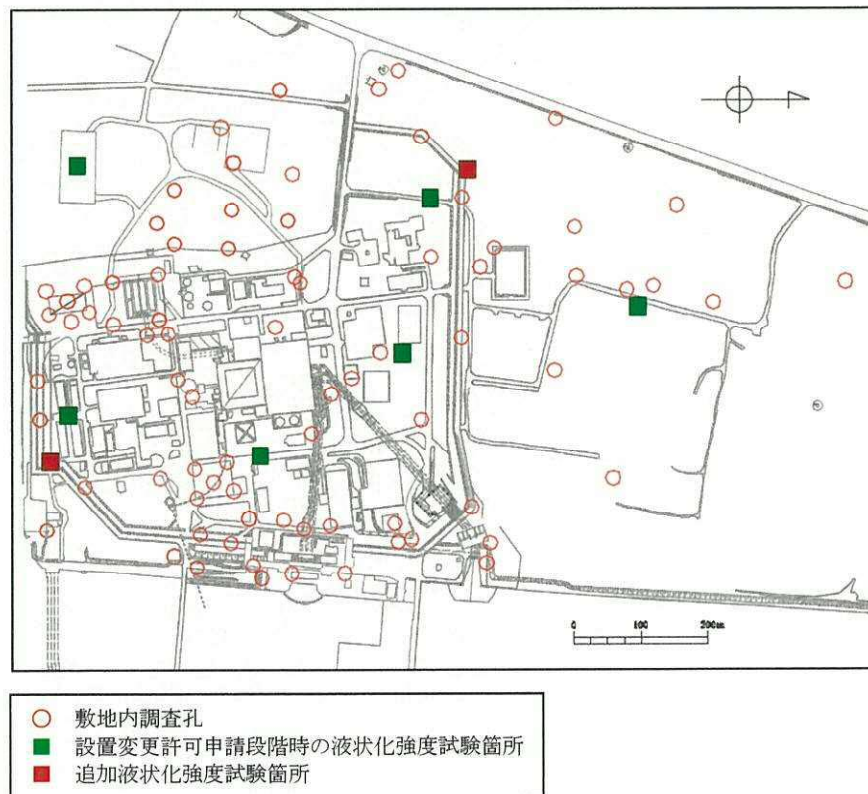


図 4.2-18 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔 (du 層)



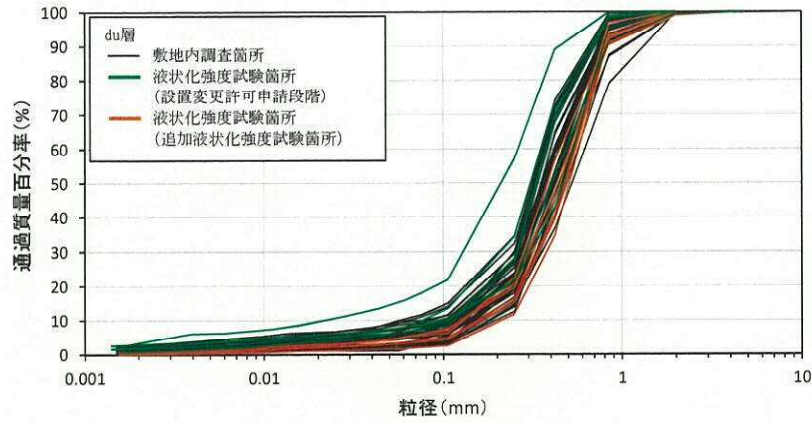
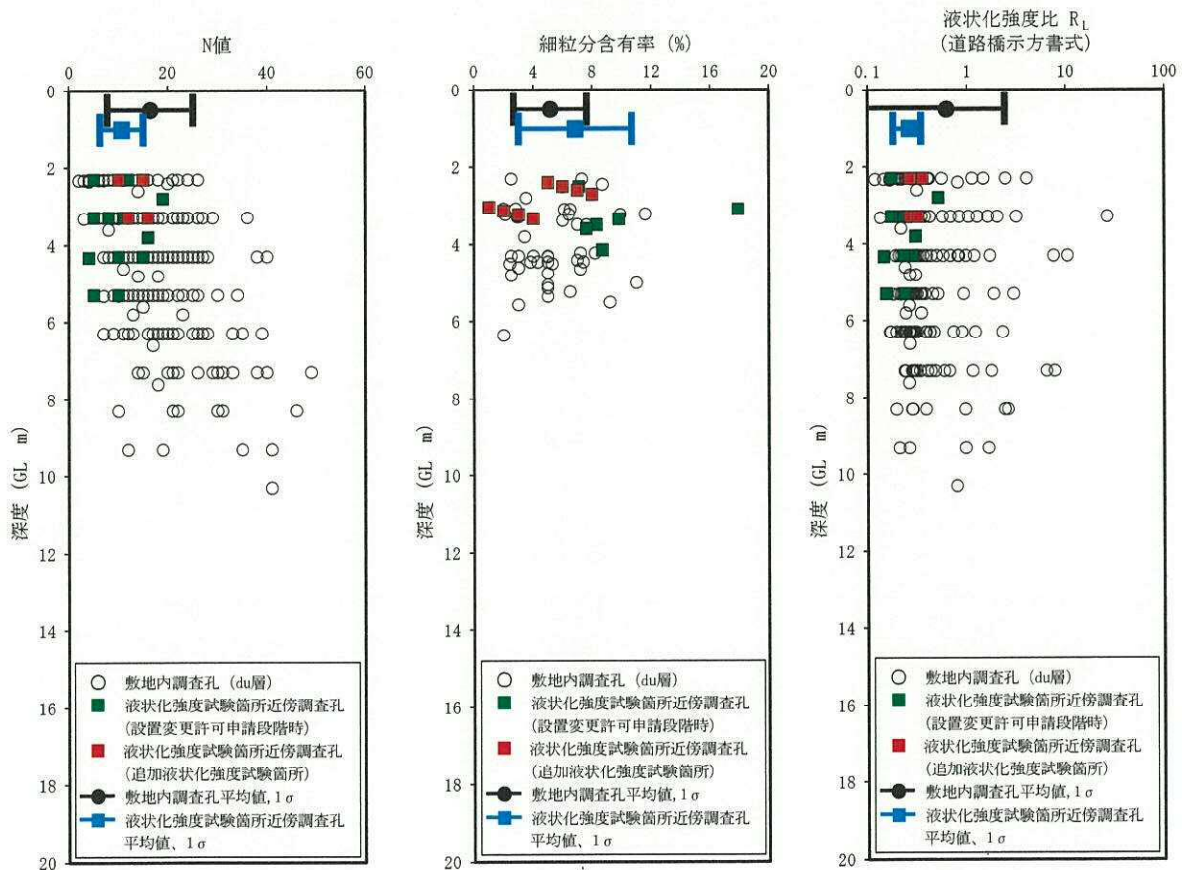


図 4.2-19 粒径加積曲線 (du 層)



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)

図 4.2-20 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の N 値、細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による液状化強度比  $R_L$  の比較 (du 層)

・As層

As層は、敷地北部に沖積粘土層（Ac）に挟在する形で分布する、細粒分を多く含有する砂質土層である。敷地内調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所を位置を図4.2-21に示す。

図4.2-22に、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の粒度試験による粒径加積曲線を示す。液状化強度試験箇所の粒径加積曲線は、敷地内全調査箇所の粒度分布と比較し、より均一な粒径分布を示し、敷地内調査孔の試験結果の範囲内である。

図4.2-23に、As層の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値、細粒分含有率 $F_c$ 及びN値と細粒分含有率 $F_c$ を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比 $R_L$ の深度分布を示す。また、図中には液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

液状化強度試験箇所近傍孔の平均N値は敷地内調査孔の平均N値より小さい。また、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の平均細粒分含有率 $F_c$ は、道路橋示方書式による液状化強度比 $R_L$ 算定時において、細粒分含有量の影響を考慮する範囲（ $F_c \geq 10\%$ ）の値を示す。液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率 $F_c$ は、敷地内調査孔の平均細粒分含有率 $F_c$ より小さく、敷地内調査孔の下限付近の値を示す。

以上のN値と細粒分含有率 $F_c$ を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比 $R_L$ は液状化強度試験箇所の平均値が敷地内調査孔の平均値より小さいことから、液状化強度試験箇所が敷地内のAs層に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。

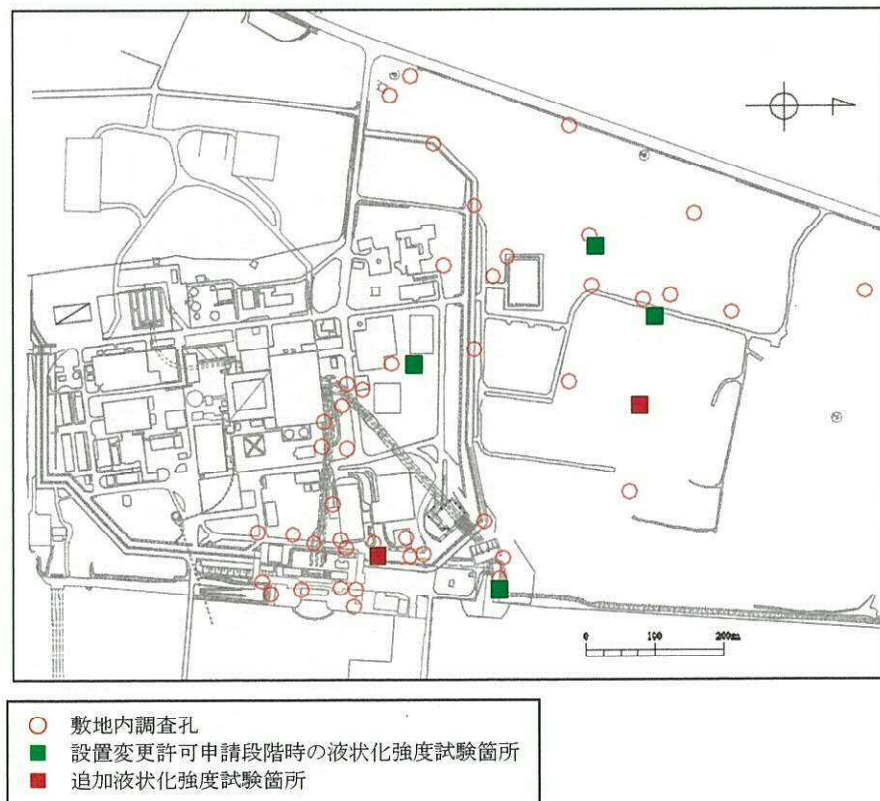


図4.2-21 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔（As層）

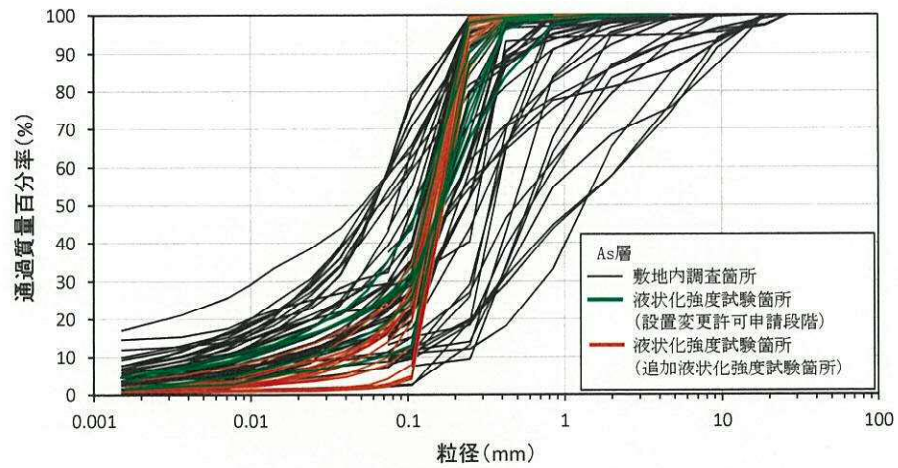
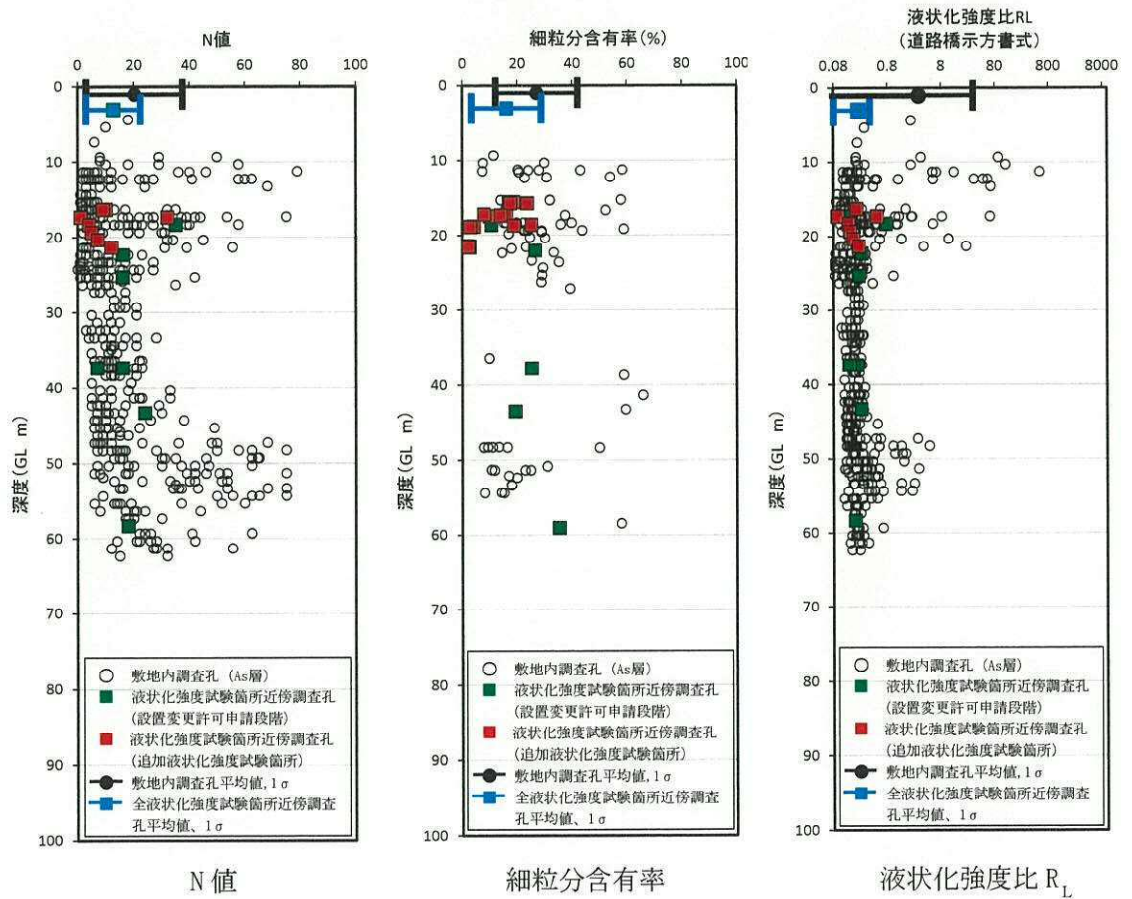


図 4.2-22 粒径加積曲線 (As 層)



(道路橋示方書式より算出)

図 4.2-23 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値、細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による液状化強度比  $R_L$  の比較 (As 層)

・Ag2層

Ag2層は、敷地内全域に広く分布する、礫と砂を主体とする完新世の礫質土層である。Ag2層の敷地内調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所の位置を図4.2-24に示す。

図4.2-25にAg2層の液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の粒度試験による粒径加積曲線を示す。液状化強度試験箇所は、敷地内調査箇所のAg2層の粒径加積曲線と比較し、より均一な粒径分布を示し、敷地内調査孔の試験結果の範囲内である。

図4.2-26には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値、細粒分含有率Fc及びN値と細粒分含有率Fcを用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比 $R_L$ の深度分布を示す。また、図中には液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均及び平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

液状化強度試験箇所の平均N値は敷地内調査孔の平均値より小さい。また、液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率Fcは敷地内調査孔の平均細粒分含有率Fcより小さく、かつ液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の平均細粒分含有率Fcは、道路橋示方書式による液状化強度比 $R_L$ 算定時において、細粒分の影響を考慮しない範囲( $0\% \leq Fc < 10\%$ )の値である。

以上のN値と細粒分含有率Fcを用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比 $R_L$ は液状化強度試験箇所の平均値が敷地内調査孔の平均値より小さいことから、液状化強度試験箇所が敷地内のAg2層に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。

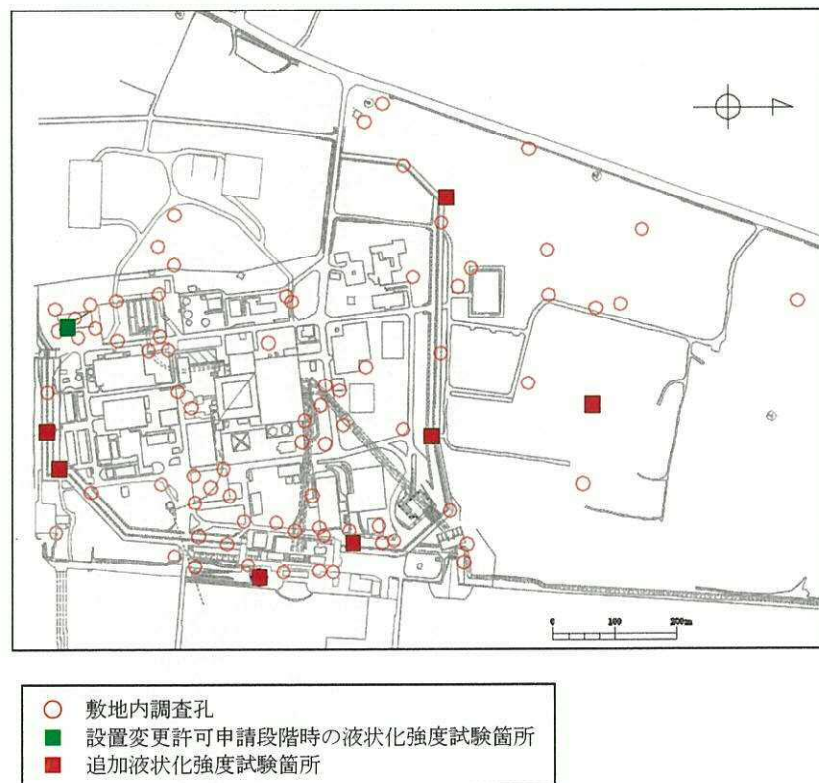


図4.2-24 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔 (Ag2層)

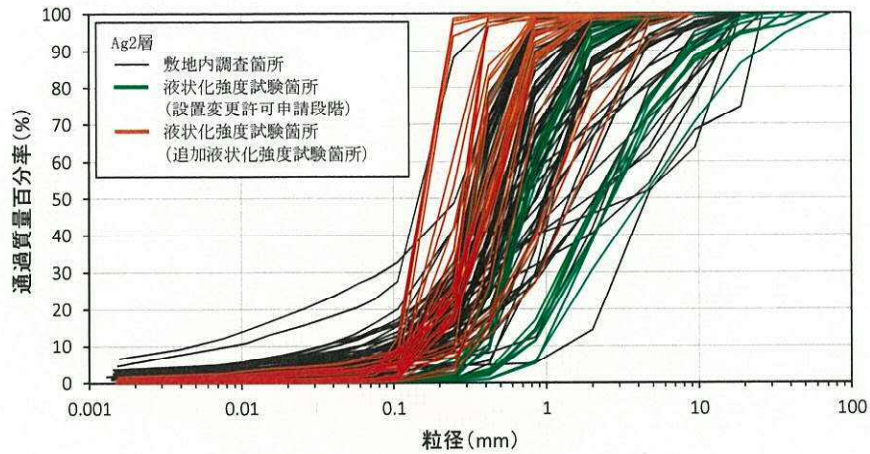


図 4.2-25 粒径加積曲線 (Ag2 層)

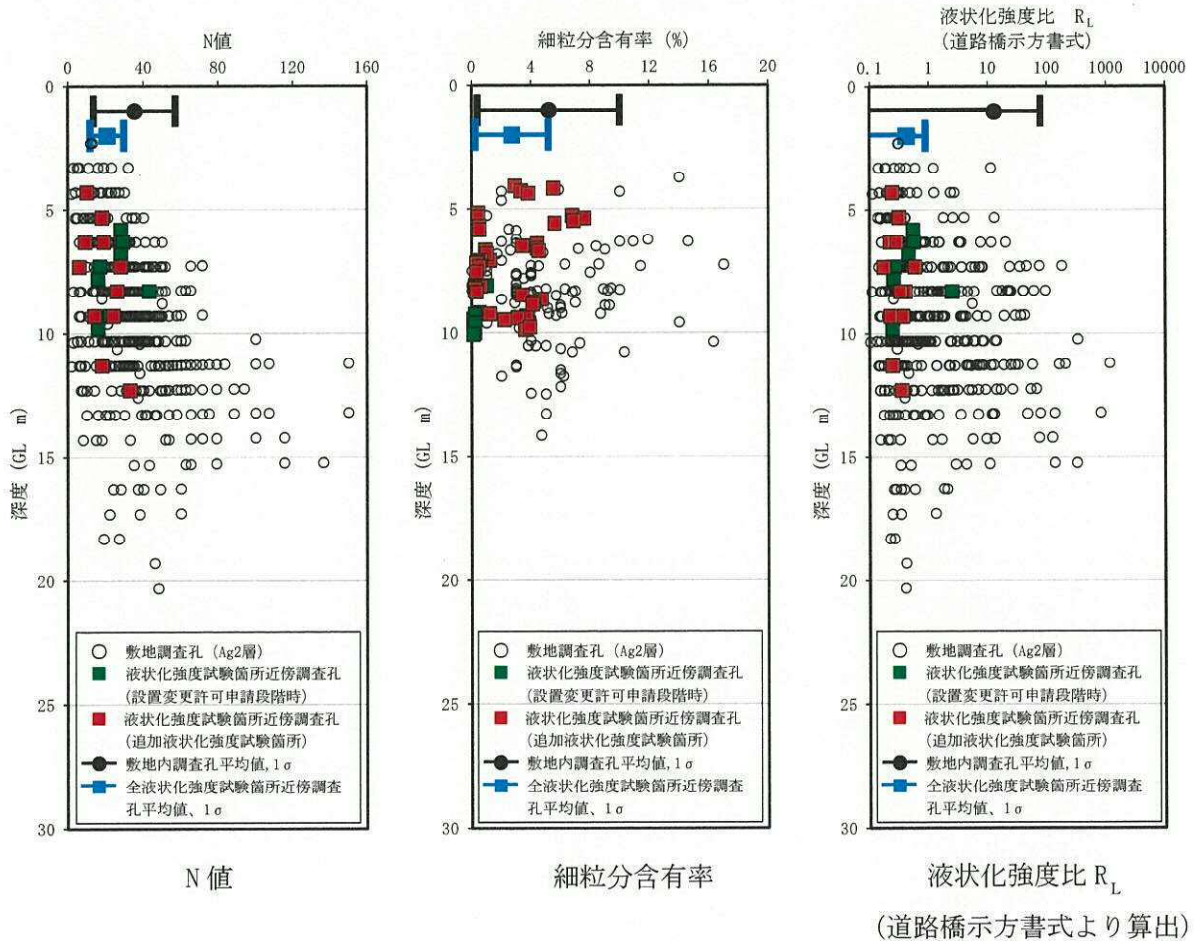


図 4.2-26 液化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値，細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による液化強度比  $R_L$  の比較 (Ag2 層)

・ Ag1 層

Ag1 層は、敷地北部において、GL-60m 前後の深度に分布する、巨礫を含む硬質な完新世の礫質土層である。図 4.2-27 に、Ag1 層の敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所を示す。

図 4.2-28 に、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の粒度試験による粒径加積曲線を示す。液状化強度試験箇所は、礫から粘土までの広い粒径分布を示し、敷地内調査孔の試験結果と概ね同等の粒度分布を示す。

図 4.2-29 に、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の N 値、細粒分含有率  $F_c$  及び N 値と細粒分含有率  $F_c$  を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  の深度分布を示す。また、図中には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均  $\pm 1\sigma$  の値を表記している。

液状化強度試験箇所近傍孔の平均 N 値は敷地内調査孔の平均 N 値より小さい。また、液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率  $F_c$  は、敷地内調査孔の平均細粒分含有率  $F_c$  より小さく、かつ道路橋示方書式による液状化強度比  $R_L$  算定時において、細粒分含有率の影響を考慮しない範囲 ( $0\% \leq F_c < 10\%$ ) の値である。

以上の N 値と  $F_c$  を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  は液状化強度試験箇所の平均値が敷地内調査孔の平均値より小さいことから、液状化強度試験箇所が敷地内の Ag1 層に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。

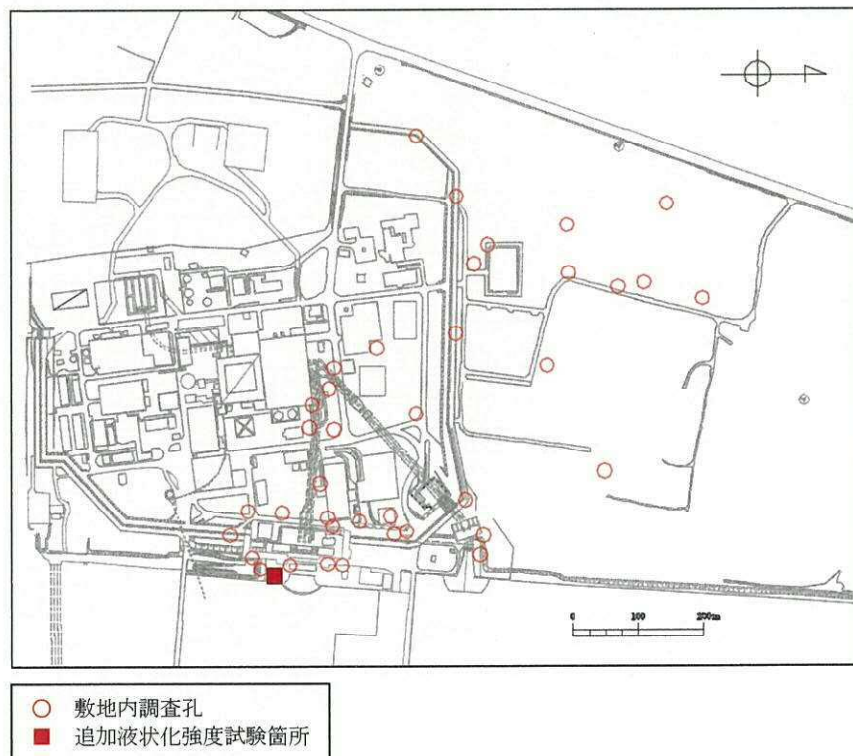


図 4.2-27 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔 (Ag1 層)

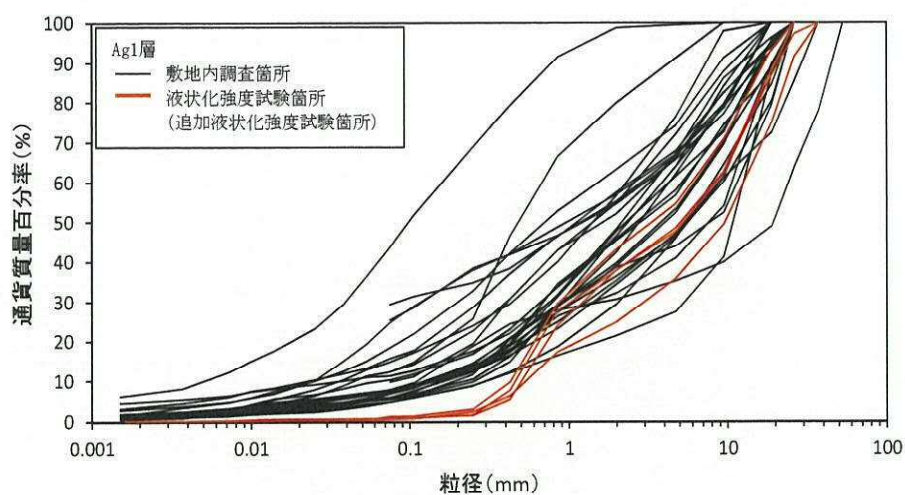


図 4.2-28 粒径加積曲線 (Ag1 層)

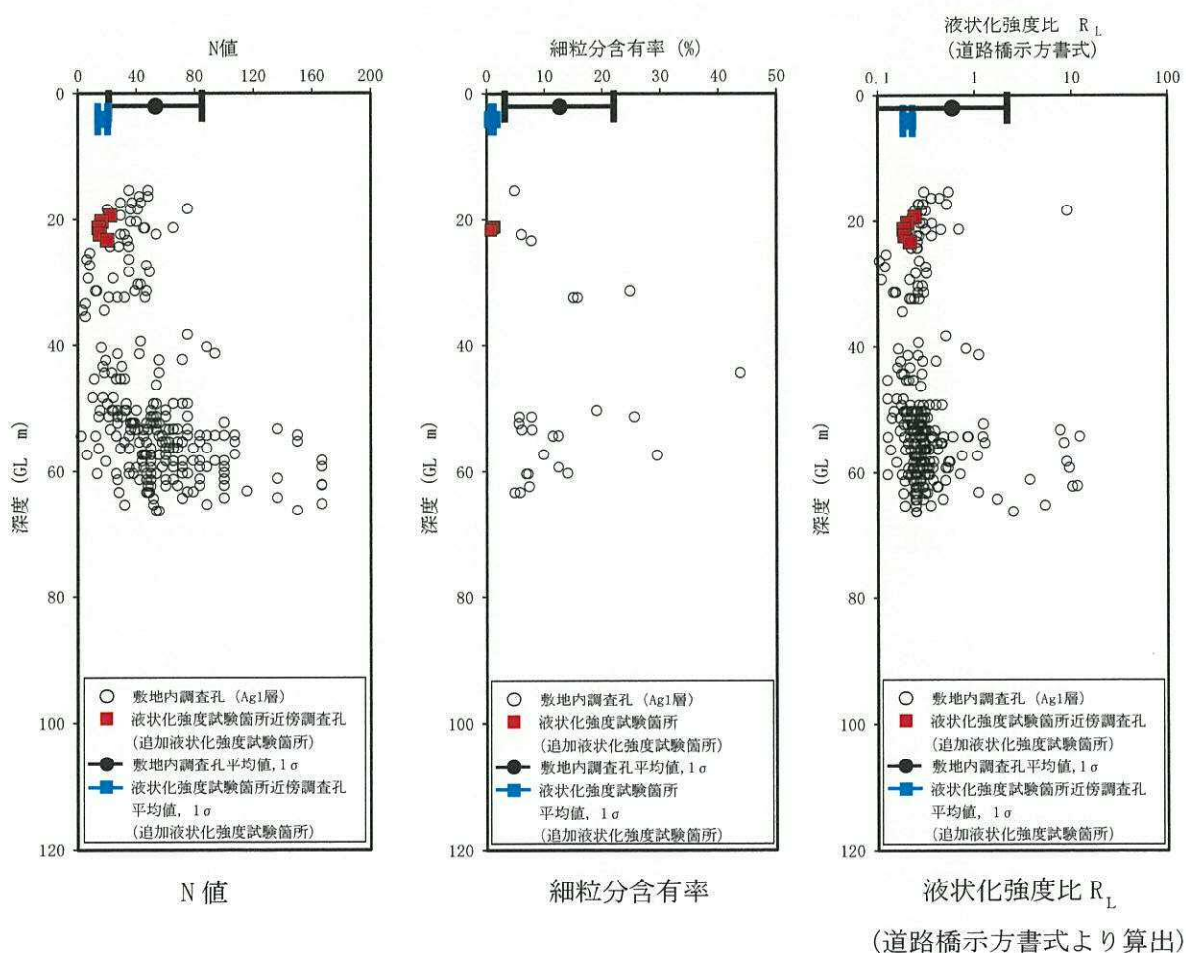


図 4.2-29 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値，細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による液状化強度比  $R_L$  の比較 (Ag1 層)

・D2s-3層

D2s-3層は、敷地南部の高台と海側の一部に局所的に分布する、砂が主体の細粒分を多く含有する更新世の砂質土層である。図4.2-30に、敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所の位置を示す。

図4.2-31には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の粒径加積曲線を示す。液状化強度試験箇所は、概ね均一な粒径分布を示し、敷地内調査孔の試験結果の範囲内である。

図4.2-32には、敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所のN値及び細粒分含有率Fcの深度分布を示す。また、敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所のN値と細粒分含有率Fcを用いて道路橋示方書式に算定される液状化強度比 $R_L$ の深度分布を示す。図中には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均 $\pm 1\sigma$ 値を表記している。

液状化強度試験箇所近傍孔の平均N値は敷地内調査孔の平均N値より小さい。また、液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率Fcは、敷地内調査孔の平均細粒分含有率Fcより小さく、かつ道路橋示方書式による液状化強度比 $R_L$ 算定時において、細粒分含有率の影響を考慮する範囲( $10\% \leq Fc$ )の値である。

以上のN値と細粒分含有率Fcを用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比 $R_L$ は液状化強度試験箇所の平均値が敷地内調査孔の平均値より小さいことから、液状化強度試験箇所が敷地内のD2s-3層に対して代表性及び網羅性を有することを確認した。

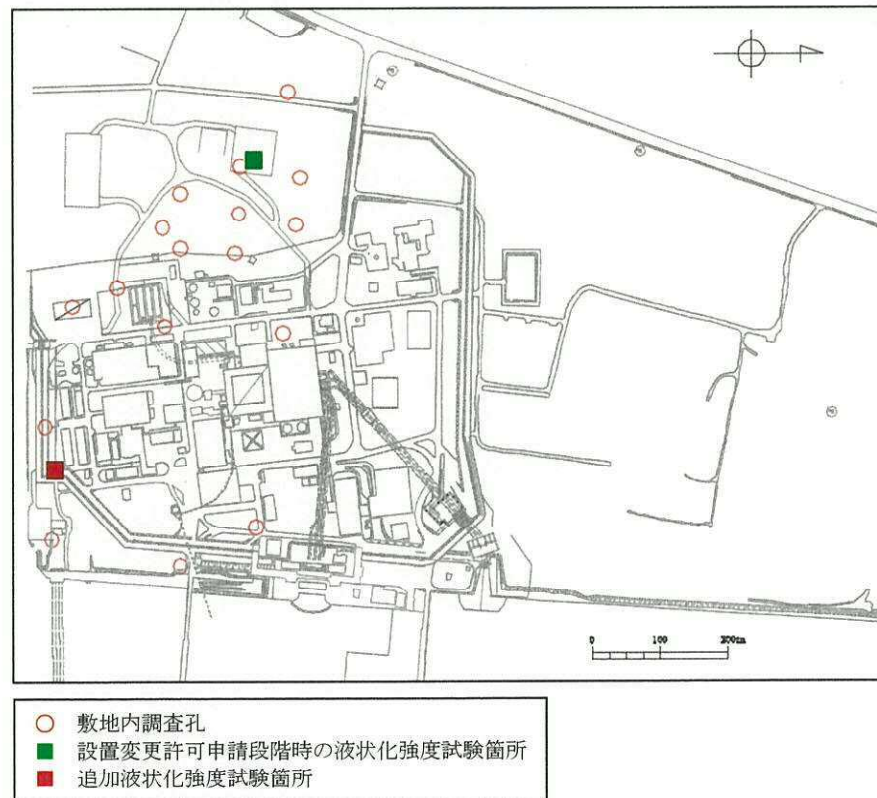


図4.2-30 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔 (D2s-3層)



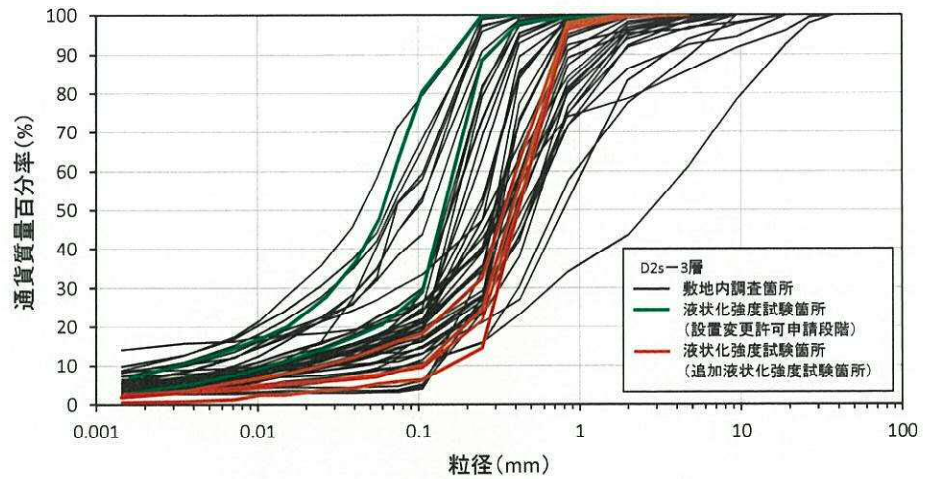


図 4.2-31 粒径加積曲線 (D2s-3 層)

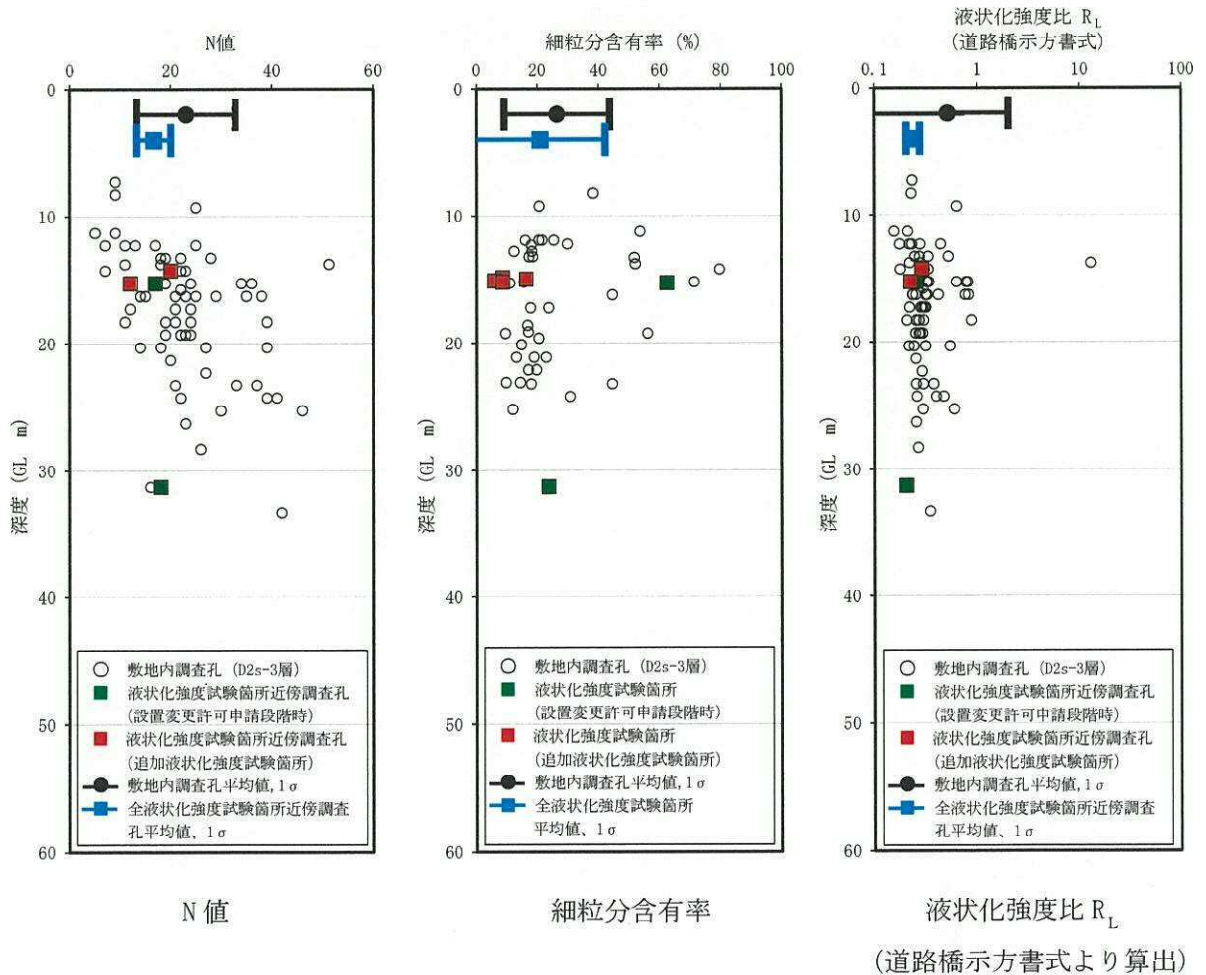


図 4.2-32 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値，細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による液状化強度比  $R_L$  の比較 (D2s-3 層)

・D2g-3層

D2g-3層は、敷地南部に分布する、巨礫を含有する硬質な更新世の礫質土層である。図4.2-33に、敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所的位置を示す。

図4.2-34には、敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所の粒径加積曲線を示す。液状化強度試験箇所の粒径加積曲線は、広い範囲での粒径分布を示し、敷地内調査孔の試験結果の範囲内である。

図4.2-35には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値及び細粒分含有率  $F_c$  の深度分布を示す。また、N値と細粒分含有率  $F_c$  を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  の深度分布を示す。図中には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

液状化強度試験箇所近傍孔の平均N値は敷地内調査孔の平均N値より小さい。また、液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率は敷地内調査孔の平均細粒分含有率より小さく、かつ道路橋示方書式による液状化強度比  $R_L$  算定時において、細粒分の影響を考慮しない範囲 ( $0\% \leq F_c < 10\%$ ) の値である。

以上のN値と細粒分含有率  $F_c$  を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  は液状化強度試験箇所の平均値が敷地内調査孔の平均値より小さいことから、液状化強度試験箇所は敷地内のD2g-3層に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。

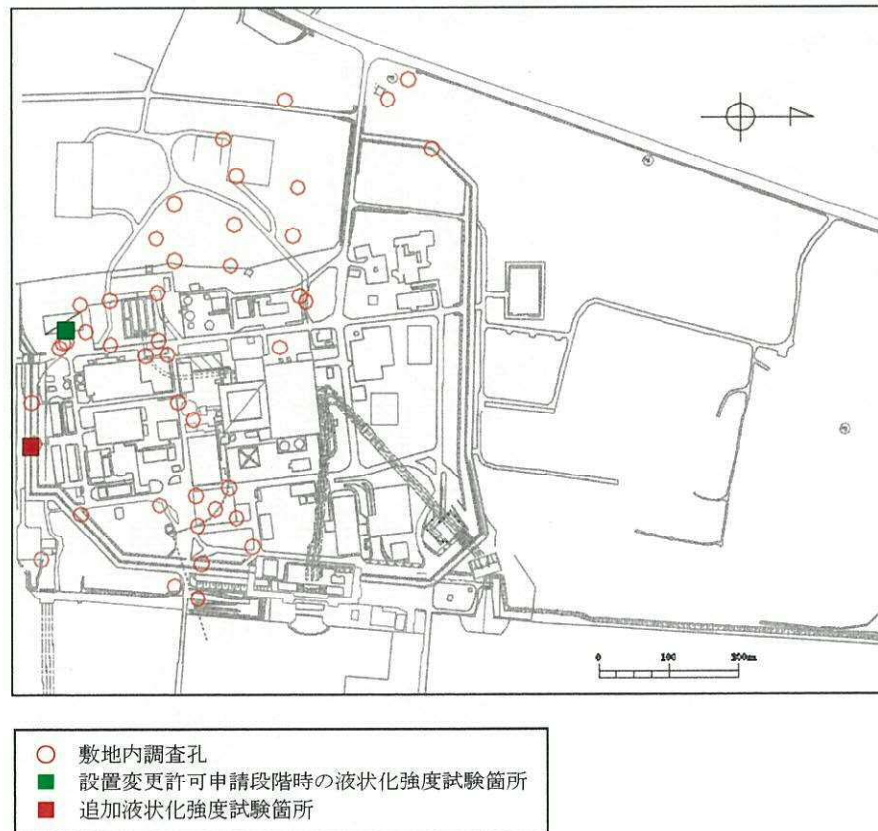


図4.2-33 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔 (D2g-3層)

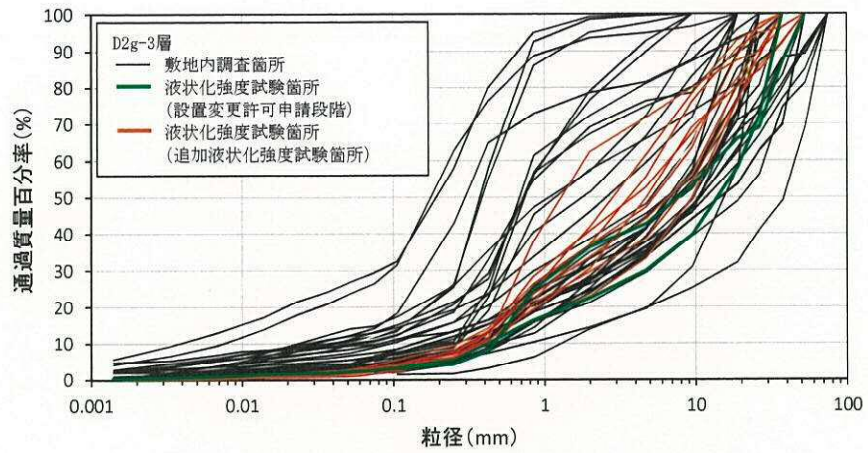


図 4.2-34 粒径加積曲線 (D2g-3 層)

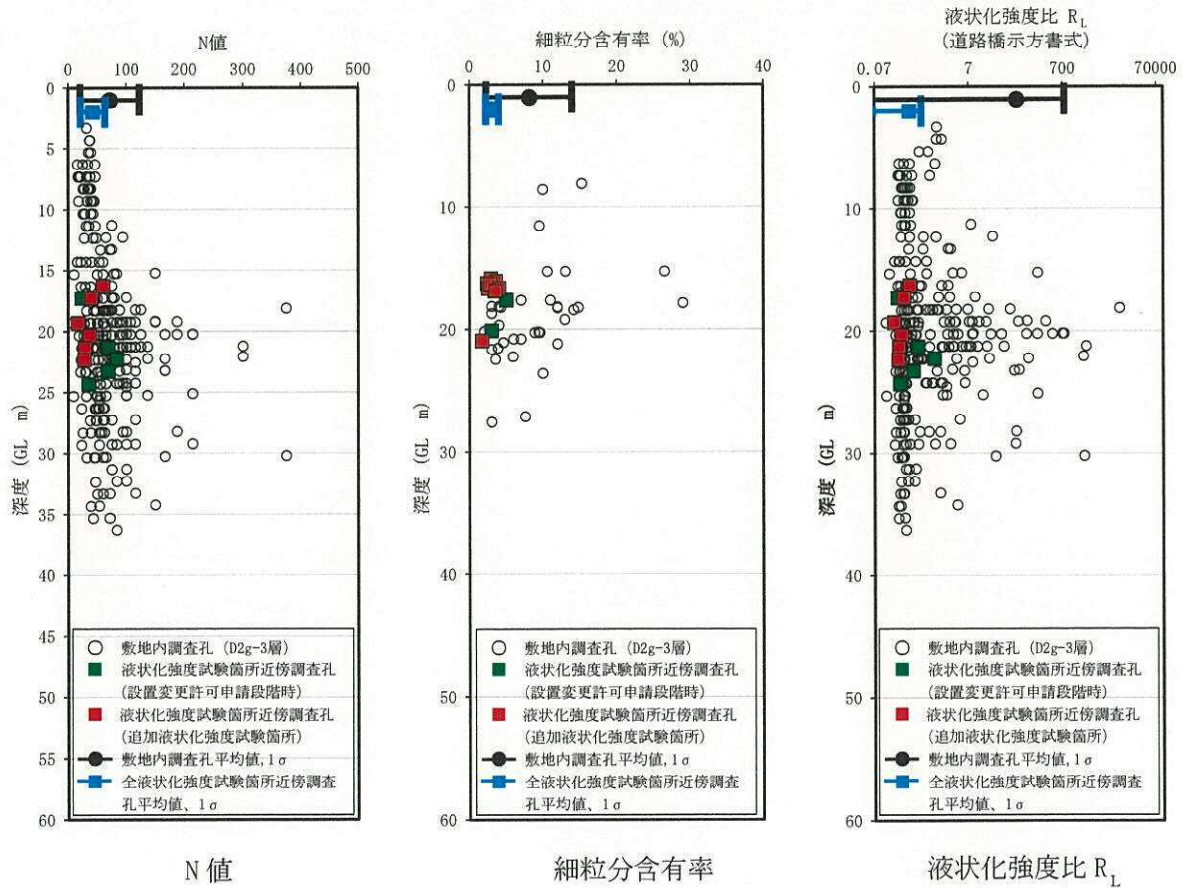


図 4.2-35 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の N 値，細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による液状化強度比  $R_L$  の比較 (D2g-3 層)

・D1g-1層

D1g-1層は、敷地内の西側高台に分布する、巨礫を含む硬質な更新世の礫質土層である。図4.2-36に、敷地内調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所的位置を示す。

図4.2-37に、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の粒度試験による粒径加積曲線を示す。設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所は砂が主体の粒径分布を示す。また、追加液状化強度試験箇所は、礫から粘性土までの広い範囲の粒径分布を示し、敷地内調査孔の試験結果と概ね同様の傾向を示す。

図4.2-38に、液状化強度試験箇所のN値、細粒分含有率Fc及びN値と細粒分含有率Fcを用いて道路橋示方書式に算定される液状化強度比 $R_L$ の深度分布を示す。図中には、液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔の各々の値の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

液状化強度試験箇所近傍孔の平均N値は、敷地内調査孔の平均N値より若干大きくなっているが、液状化強度試験実施深度付近でのN値と比較すると小さい値を示す。また、液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率Fcは敷地内調査孔より小さく、かつ道路橋示方書式による $R_L$ 算定時において、細粒分含有率Fcの影響を考慮しない範囲( $0\% \leq Fc < 10\%$ )の値である。

以上のN値と細粒分含有率Fcを用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比 $R_L$ は液状化強度試験箇所の平均値が敷地内調査孔の平均値より小さいことから、液状化強度試験箇所が敷地内のD1g-1層に対して代表性及び網羅性を有していることを確認した。



図4.2-36 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔 (D1g-1層)

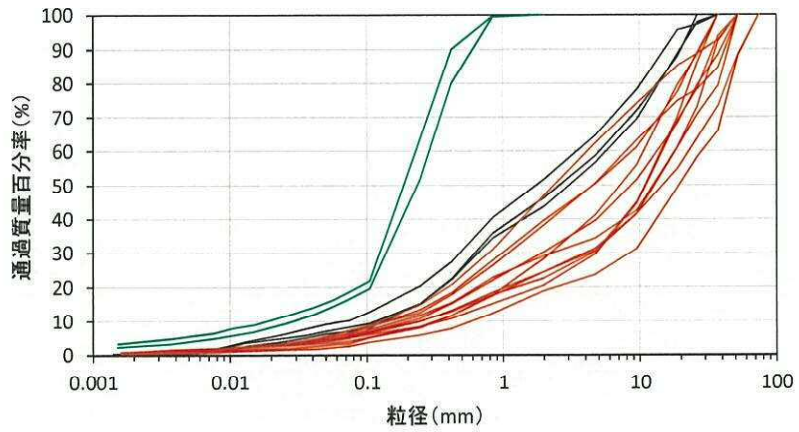


図 4.2-37 粒径加積曲線 (D1g-1 層)

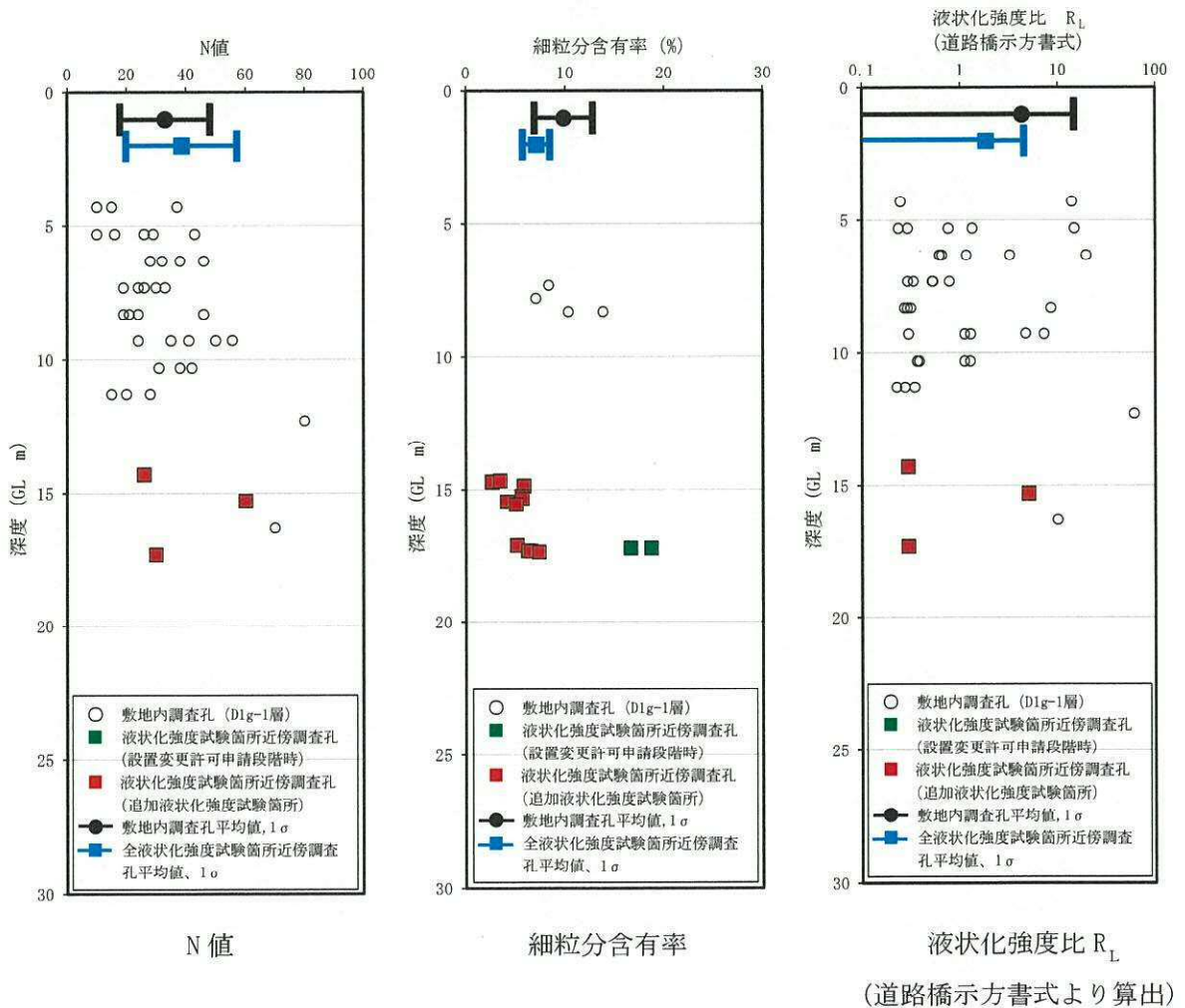


図 4.2-38 液状化強度試験箇所及び敷地内調査孔のN値，細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による液状化強度比  $R_L$  の比較 (D1g-1 層)

(5) 液状化強度試験結果

液状化検討対象層に対して、前節での代表性及び網羅性を有することを確認した液状化強度試験箇所から採取した試料を用いて実施した液状化強度試験結果を示す。

各液状化検討対象層の設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験の試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 $\sigma$ を用いて、液状化強度（平均， $-1\sigma$ ）を示し、各試験結果での液状化強度の差異について液状化強度と密接な関係を示す地盤の物性値であるN値，細粒分含有率 $F_c$ ，平均粒径 $D_{50}$ を用いて考察を行う。

・ du 層

設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果を図 4.2-39 に示す。図中には、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果より設定した液状化強度（平均， $-1\sigma$ ）を示している。追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果より、同じ繰返し載荷回数に対してのせん断応力比（ $\tau/\sigma_m'$ ）が大きい傾向を示す。

図 4.2-40 には、du 層の敷地内調査孔，設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所での N 値，細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  の深度分布を示す。また、図中には敷地内全調査孔，設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所の各々の平均，平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

液状化強度試験箇所近傍孔の N 値は、追加液状化強度試験箇所が設置変更許可段階よりやや大きい。平均細粒分含有率  $F_c$  は、追加液状化強度試験箇所が設置変更許可申請段階より小さいが、両者とも道路橋示方書に基づく液状化強度比  $R_L$  算定時において、細粒分の影響を考慮しない範囲（ $0\% \leq F_c < 10\%$ ）の値であり、細粒分含有率  $F_c$  の差による液状化強度への影響は少ない。N 値と細粒分含有率  $F_c$  を用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  の平均値は、追加液状化強度試験箇所が設置変更許可申請段階時より大きく、液状化強度試験結果と同様な傾向を示す。

また、図 4.2-41 に、敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所の粒度試験結果を示す。du 層の粒度分布は、ばらつきが小さく、粒径が概ね均一な砂分が支配的である。また、追加液状化強度試験箇所の平均粒径  $D_{50}$  は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所よりやや大きい。

粒径分布が均一な砂質土の液状化強度に及ぼす平均粒径  $D_{50}$  の影響について既往の Wong らの<sup>\*</sup>の知見に基づき、検討を行った。図 4.2-42 は、Wong らの試験結果に、du 層の設置変更許可申請段階の平均粒径  $D_{50}$  の平均値（0.34）と追加液状化強度試験箇所の平均粒径  $D_{50}$  の平均値（0.45）をプロットしたものである。図 4.2-42 から、du 層の平均粒径の差による液状化強度への影響は、追加液状化強度試験箇所が大きく、液状化強度は設置変更許可申請段階より約 7%増加する評価となった。

以上より、du 層の設置変更許可申請段階における液状化強度試験結果と追加液状化強度試験結果の差異は、N 値と平均粒径  $D_{50}$  の影響によるものであると考えられる。

注記 \* : Wong R. T., H. B. Seed and C. K. Chan.: Cyclic loading liquefaction of Gravelly Soils, ASCE, Vol. 101, No. GT6, pp. 571-583, 1975

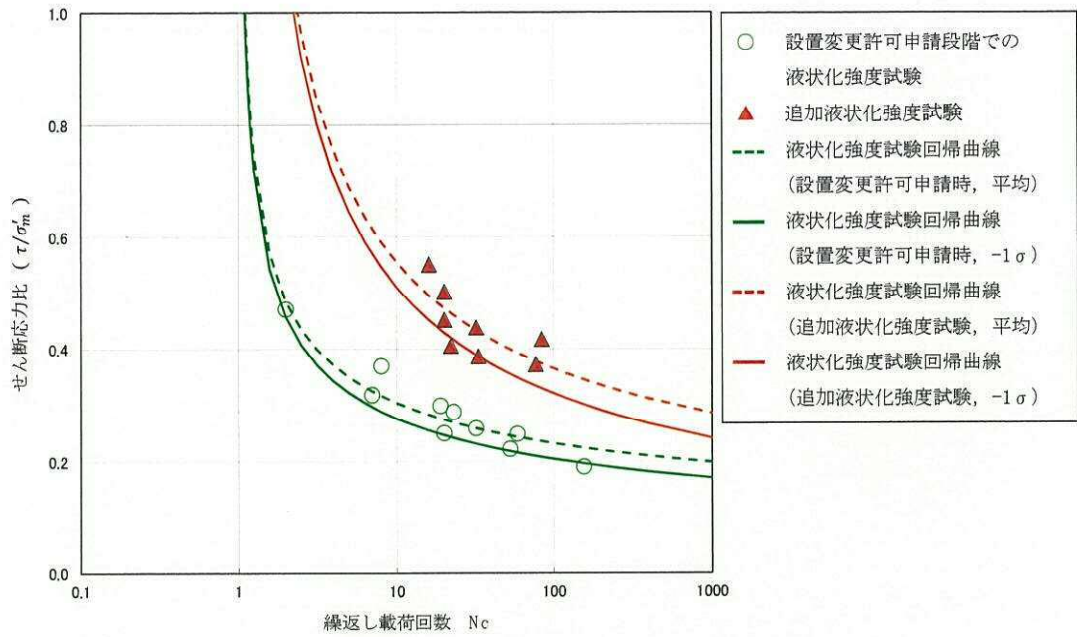


図 4.2-39 du 層の液化強度試験結果

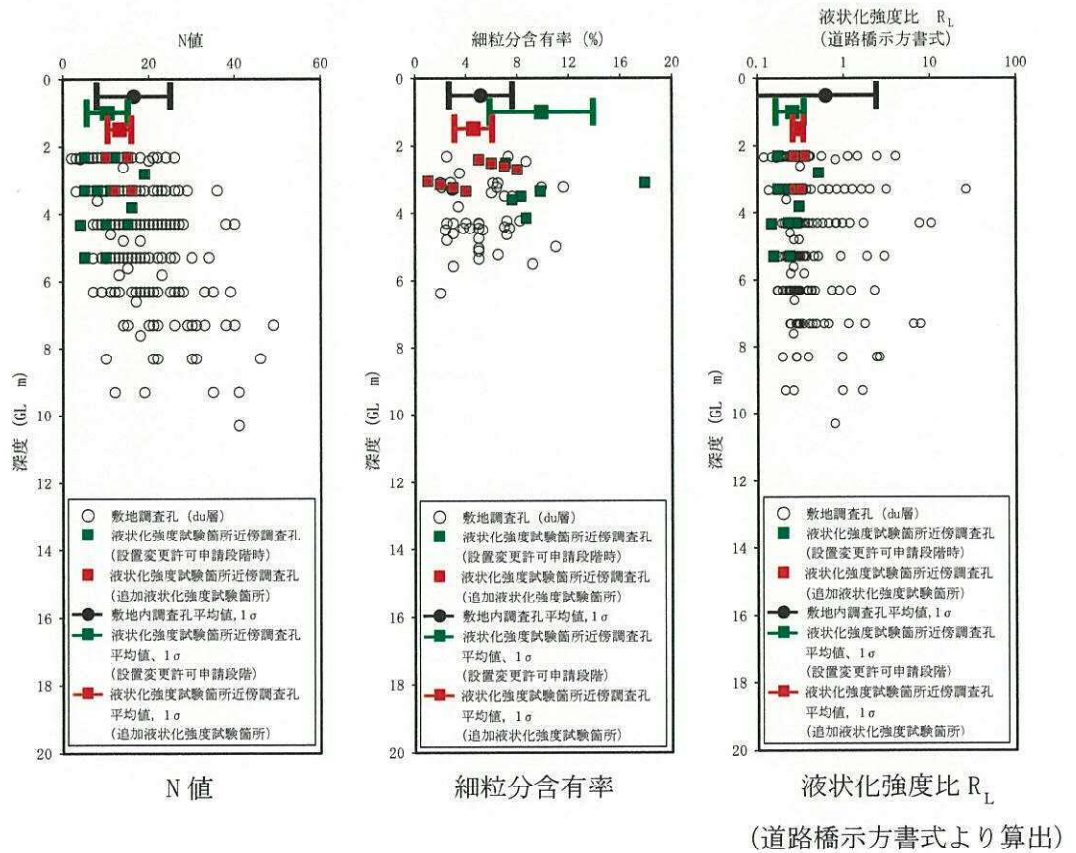


図 4.2-40 N 値, 細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による  $R_L$  深度分布 (du 層)



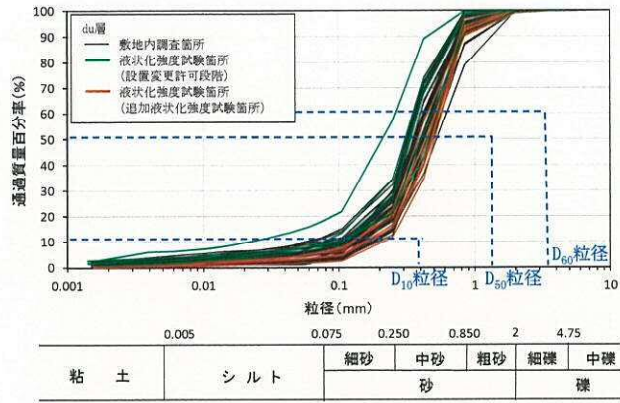


図 4.2-41 粒度試験結果 (du 層)

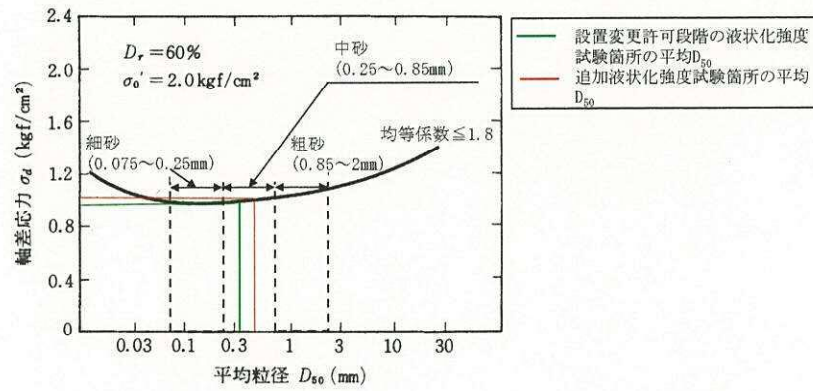


図 4.2-42 平均粒径  $D_{50}$  が液状化強度に及ぼす影響\*

注記 \* : Wong ら (1975) より抜粋 (一部加筆)

・As 層

設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果を図 4.2-43 に示す。図中には、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果より設定した液状化強度（平均， $-1\sigma$ ）を示している。追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果より、同じ繰返し載荷回数に対してのせん断応力比（ $\tau/\sigma_m'$ ）が大きい傾向を示す。

図 4.2-44 には、As 層の敷地内調査孔，設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所での N 値，細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  の深度分布を示す。また、図中には敷地内全調査孔，設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所の各々の平均，平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

追加液状化強度試験箇所の平均 N 値及び平均細粒分含有率  $F_c$  は、設置変更許可申請段階の平均 N 値及び平均細粒分含有率  $F_c$  より小さい。また、N 値及び細粒分含有率  $F_c$  を用いて道路橋示方書式で算定される平均液状化強度比  $R_L$  は、追加液状化強度試験箇所の値が設置変更許可申請段階時よりやや小さく、液状化強度試験結果とは異なる結果となった。

図 4.2-45 には、敷地内全調査孔，設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所の粒度試験結果を示す。各液状化強度試験箇所の平均粒径  $D_{50}$  の差は小さく、全調査孔に比べ、概ね均一な砂が主体の粒径分布を示す。

敷地内の As 層の液状化強度試験用試料採取は、設置変更許可申請段階ではトリプルチューブサンプリング方法を、追加液状化強度試験では凍結サンプリング方法を適用している。凍結サンプリング方法は、試料採取時の乱れの影響が小さく、原地盤の土粒子骨格そのままの状態に近い試料を用いた液状化強度試験が可能であるという吉見ら\*の知見が得られている。図 4.2-46 に吉見らのサンプリング方法による液状化強度の比較結果を示す。

As 層の設置変更許可段階における液状化強度試験結果と追加液状化強度試験結果の差異は、凍結サンプリングとチューブサンプリングによる試料採取方法によるものと考えられる。

注記 \* : Yoshimi Y., Tokimatsu K. and Hosaka Y.: Evaluation of liquefaction resistance of clean sands based on high-quality undisturbed samples, JSSMFE Vol.29, No.1, pp.93-104, Mar.1989

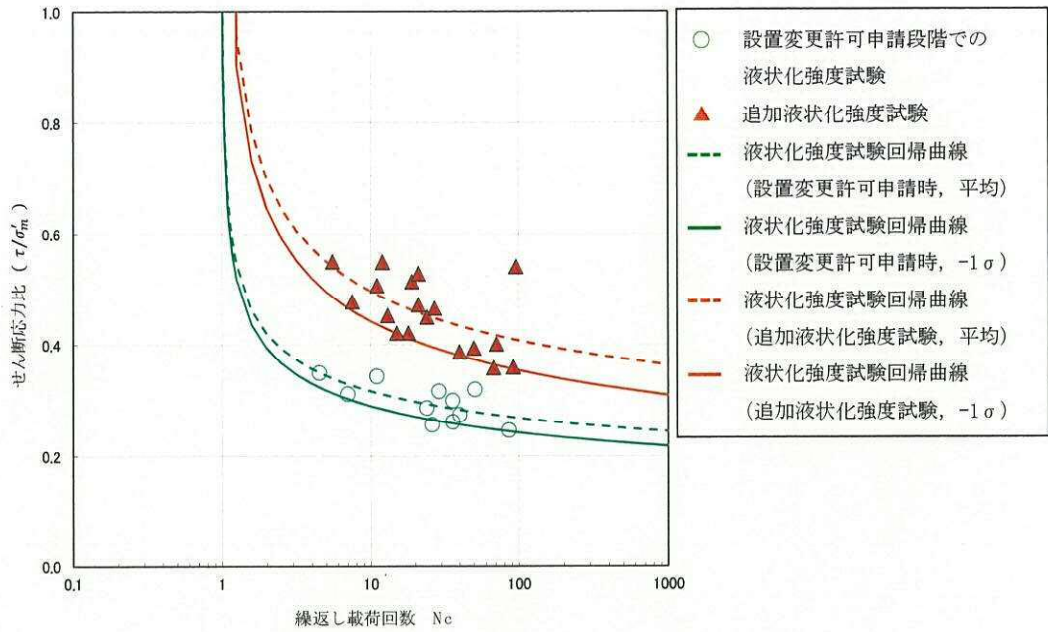


図 4.2-43 As 層の液状化強度試験結果

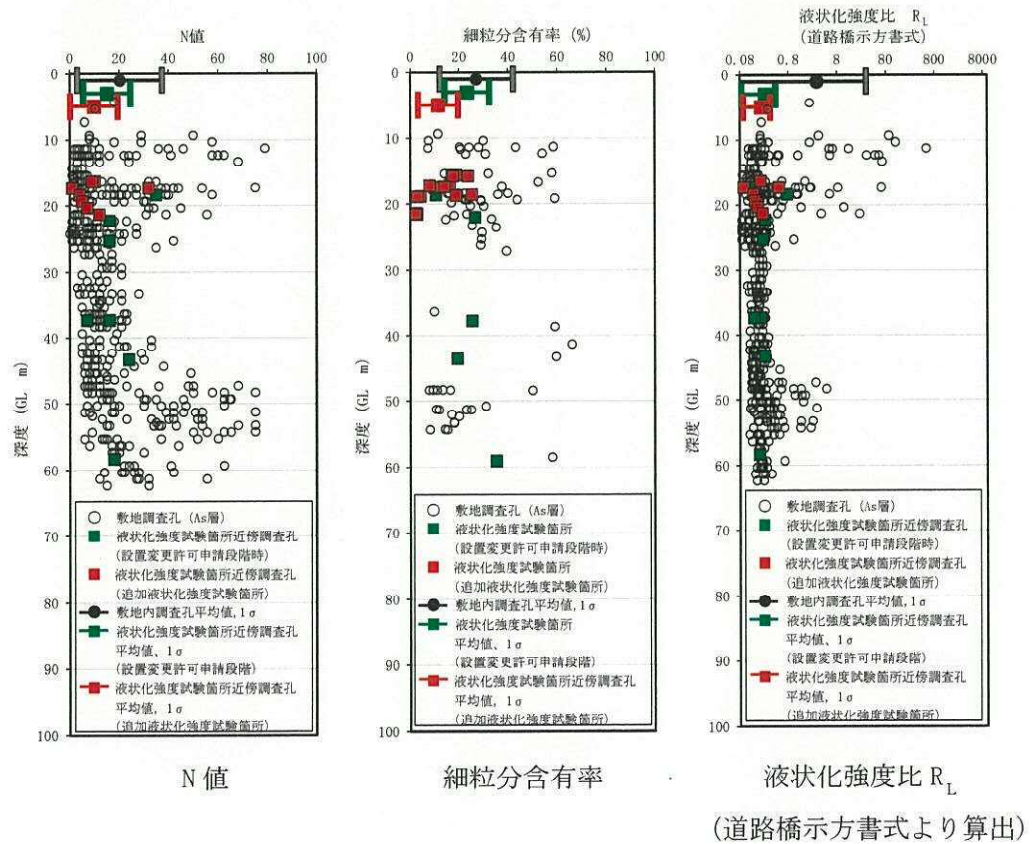


図 4.2-44 N 値, 細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による  $R_L$  深度分布 (As 層)

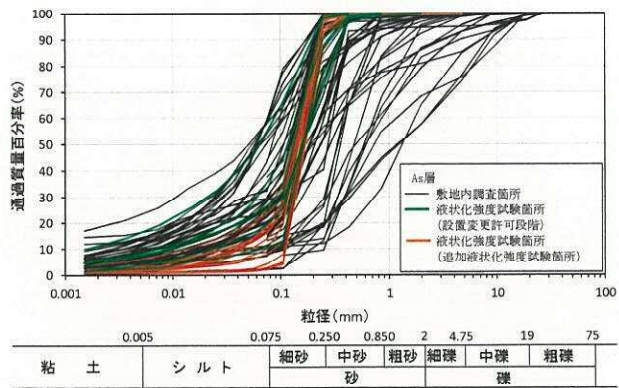


図 4.2-45 粒度試験結果 (As 層)

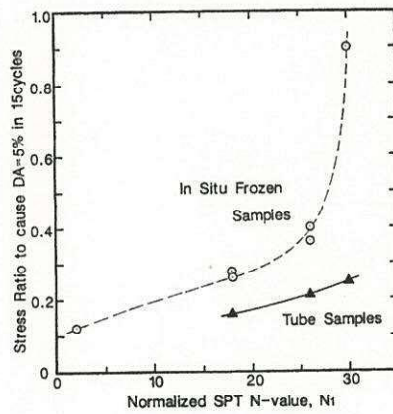


図 4.2-46 凍結サンプリングとチューブサンプリングによる液状化強度比の比較\*

注記 \* : 吉見ら (1989) より抜粋

・ Ag2 層

設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果を図 4.2-47 に示す。図中には、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果より設定した液状化強度（平均， $-1\sigma$ ）を示している。追加液状化強度試験結果はばらつきが小さく、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果より、同じ繰返し載荷回数に対してのせん断応力比（ $\tau/\sigma'_m$ ）はやや小さい傾向を示す。しかし、不偏分散に基づく標準偏差 $\sigma$ を用いて「回帰曲線 $-1\sigma$ 」として設定した液状化強度（ $-1\sigma$ ）については、設置変更許可申請段階と追加液状化強度試験結果の差は小さく、概ね同様の傾向を呈している。

図 4.2-48 には、Ag2 層の敷地内調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所での N 値、細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式で算定される液状化強度比  $R_L$  の深度分布を示す。また、図中には敷地内全調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所の各々の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

追加液状化強度試験箇所近傍孔の N 値は同一深度での設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所近傍孔の N 値より小さく、平均 N 値も同様の結果となった。また、細粒分含有率  $F_c$  は、追加液状化強度試験箇所が大きくなっているが、道路橋示方書に基づく液状化強度比  $R_L$  算定時において、細粒分の影響を考慮しない範囲（ $0\% \leq F_c < 10\%$ ）の値であり、細粒分含有率  $F_c$  の差による液状化強度への影響は小さい。N 値と細粒分含有率  $F_c$  を用いて道路橋示方書式で算定される平均液状化強度比  $R_L$  は、追加液状化強度試験箇所が設置変更許可申請段階よりやや小さい。

図 4.2-49 には、敷地内全調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所の粒度試験結果を示す。設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所は礫～砂の粒径を示し、追加液状化強度試験箇所は粒径が概ね均一な砂が主体である。設置変更許可申請段階における液状化強度試験箇所及び追加液状化強度試験箇所の粒度試験による均等係数（ $U_c = D_{60}/D_{10}$ 、 $D_{10}$ ：粒径加積曲線での通過質量百分率 10%での粒径、 $D_{60}$ ：粒径加積曲線での通過質量百分率 60%での粒径）は 3.58 及び 3.55 であることから、粒径加積曲線は概ね同様な形状である。また、設置変更許可申請段階における液状化強度試験箇所の平均粒径の平均値（ $D_{50} = 1.67\text{mm}$ ）は追加液状化強度試験箇所の平均粒径の平均値（ $D_{50} = 0.44\text{mm}$ ）より大きい。

液状化強度に及ぼす平均粒径  $D_{50}$  の影響について既往の Wong ら\*の知見に基づき、検討を行った。図 4.2-50 は、Wong らの試験結果に、As 層の設置変更許可段階及び追加液状化強度試験箇所の平均粒径  $D_{50}$  の平均値をプロットしたものである。図 4.2-50 から、Ag2 層の設置変更許可段階における液状化強度試験箇所と追加液状化強度試験箇所の平均粒径  $D_{50}$  の差により、追加液状化強度試験による液状化強度が約 12%小さくなる評価結果となった。

以上より、Ag2 層の設置変更許可申請段階における液状化強度試験結果と追加液状化強度試験結果の差異は、N 値と平均粒径  $D_{50}$  の影響によるものであると考えられる。

注記 \* : Wong R. T., H. B. Seed and C. K. Chan.: Cyclic loading liquefaction of Gravelly Soils, ASCE, Vol. 101, No. GT6, pp. 571-583, 1975

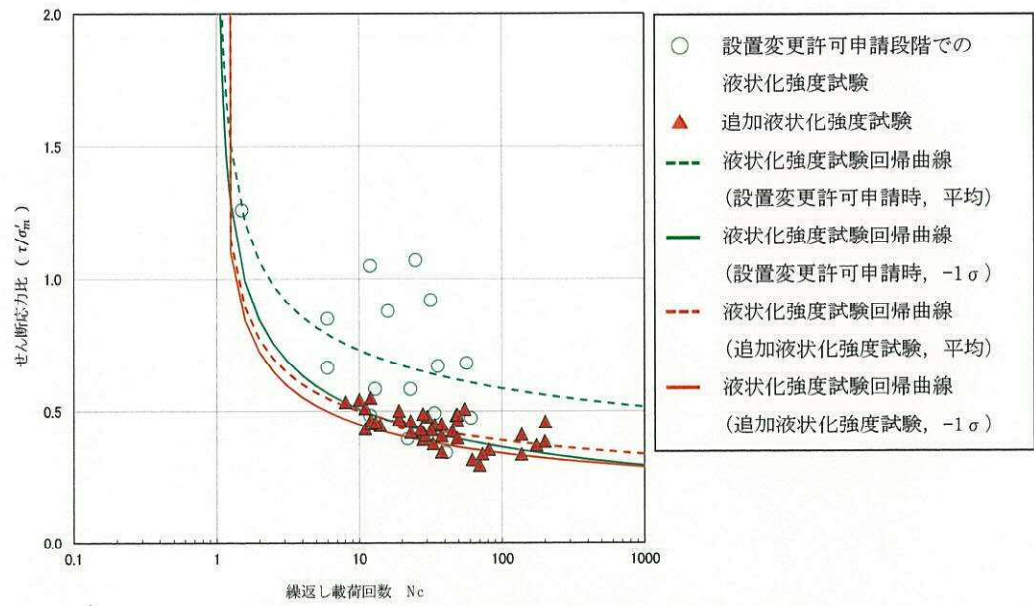


図 4.2-47 Ag2 層の液状化強度試験結果

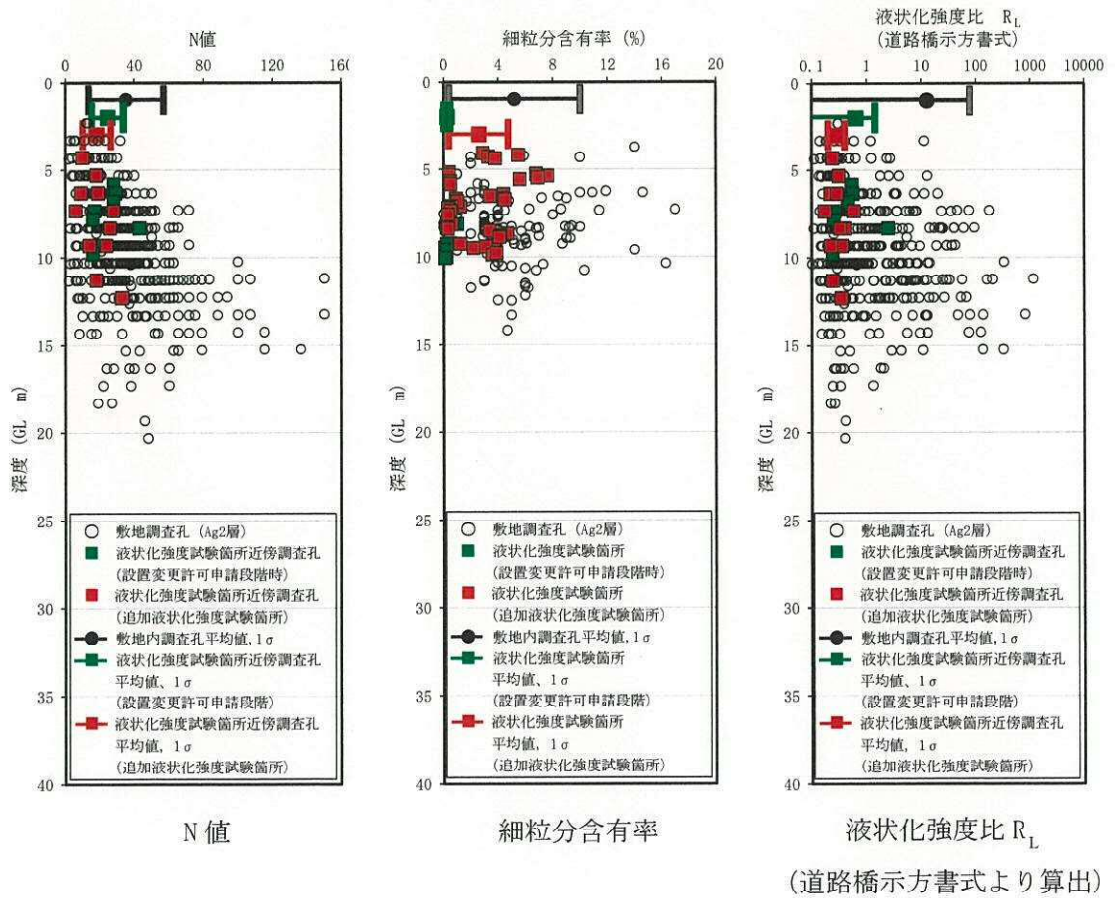


図 4.2-48 N値, 細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による  $R_L$  深度分布 (Ag2 層)

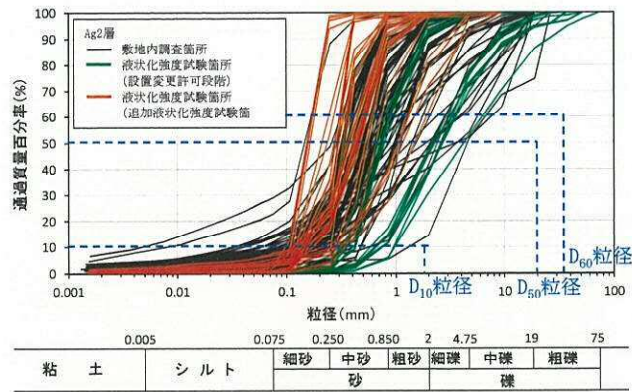


図 4.2-49 粒度試験結果 (Ag2 層)

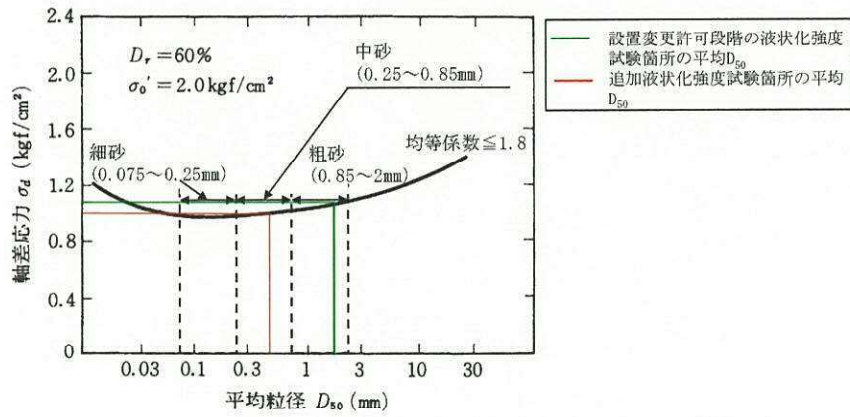


図 4.2-50 平均粒径  $D_{50}$  が液状化強度に及ぼす影響\*

注記 \* : Wong ら (1975) より抜粋 (一部加筆)

・ Ag1 層

設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果を図 4.2-51 に示す。追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階での液状化強度試験結果（Ag2 層の液状化強度試験結果にて代用）と概ね同様の傾向を呈している。

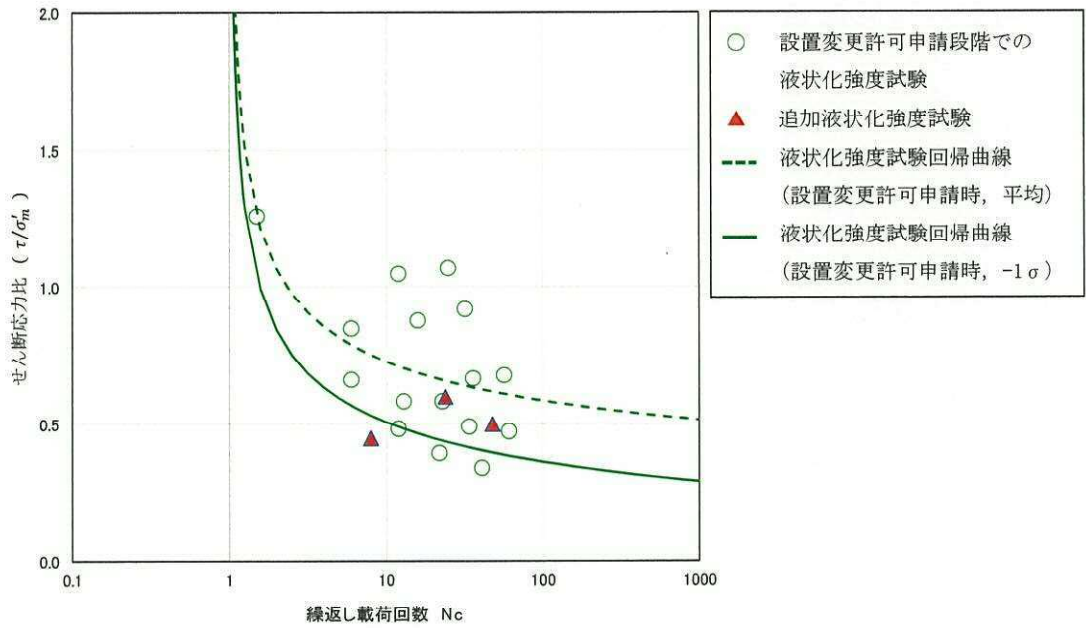


図 4.2-51 Ag1 層の液状化強度試験結果



・D2s-3層

設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果を図4.2-52に示す。図中には、設置変更許可段階の液状化強度試験結果より設定した液状化強度（平均， $-1\sigma$ ）を示している。設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果には、明確な差は認められず、おおむね同等の傾向を示す。

図4.2-53には、D2s-3層の敷地内調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所のN値、細粒分含有率Fc及び道路橋示方書式で算定される液状化強度比 $R_L$ の深度分布を示す。また、図中には敷地内全調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所の各々の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

追加液状化強度試験箇所近傍孔の平均N値は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所近傍孔の平均N値よりやや小さい。また、追加液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率Fcは設置変更許可申請段階より小さい。N値及び細粒分含有率Fcを用いて道路橋示方書式で算定される液状化強度比 $R_L$ は、追加液状化強度箇所が設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所よりやや大きくなっているが、その差は小さい。

図4.2-54には、敷地内全調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所の粒度試験結果を示す。粒度試験の結果、追加液状化強度試験箇所は細粒分を若干含有するものの、土粒子の粒径が0.25～0.85mmの中砂が主体の砂質土である。一方、設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所の細粒分含有率は24～62%と多く、砂分については土粒子の粒径0.075～0.25mmの細砂が主体である。設置変更許可申請段階における液状化強度試験箇所の均等係数( $U_c=D_{60}/D_{10}$ 、 $D_{10}$ ：粒径加積曲線での通過質量百分率10%での粒径、 $D_{60}$ ：粒径加積曲線での通過質量百分率60%での粒径)は22.5～14.2、平均粒径 $D_{50}$ は0.06～0.149mmであり、追加液状化強度試験箇所の均等係数の平均値は6.66、平均粒径 $D_{50}$ の平均値は0.39であり、両者に大きな差はない。設置変更許可申請段階における液状化強度試験箇所と追加液状化強度試験箇所の均等係数の差は、細粒分含有率Fcの差によるものと考えられる。

均等係数( $U_c=D_{60}/D_{10}$ )がほぼ一定の砂質土の液状化強度は、平均粒径 $D_{50}$ が0.1mmの細砂の場合において最も小さいとの知見がある。図4.2-55は、Wongら\*の試験結果にD2s-3層の設置変更許可申請段階における液状化強度試験箇所及び追加液状化強度試験箇所の平均粒径 $D_{50}$ をプロットしたものである。その結果、平均粒径 $D_{50}$ による液状化強度への影響は約5%と小さく、粒度による影響は支配的ではない。

以上のことより、D2s-3層の追加液状化強度試験結果は設置変更許可申請段階における液状化強度とおおむね同等であり、粒度及びN値の差による液状化強度への影響が小さいことを示していると考えられる。

注記 \* : Wong R.T., H.B.Seed and C.K.Chan.: Cyclic loading liquefaction of Gravelly Soils, ASCE, Vol.101, No.GT6, pp.571-583, 1975

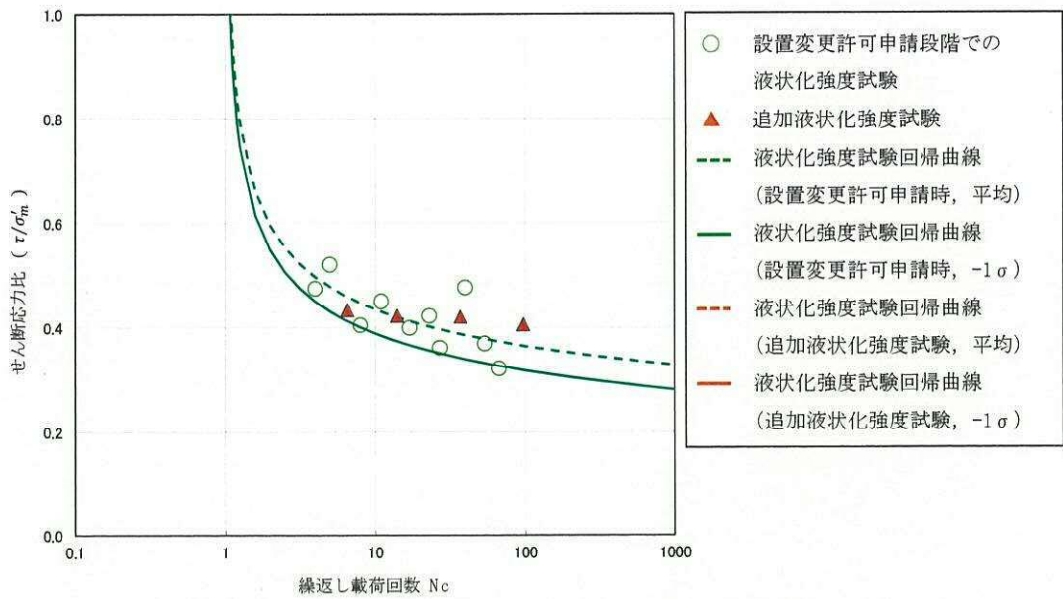


図 4.2-52 D2s-3 層の液状化強度試験結果

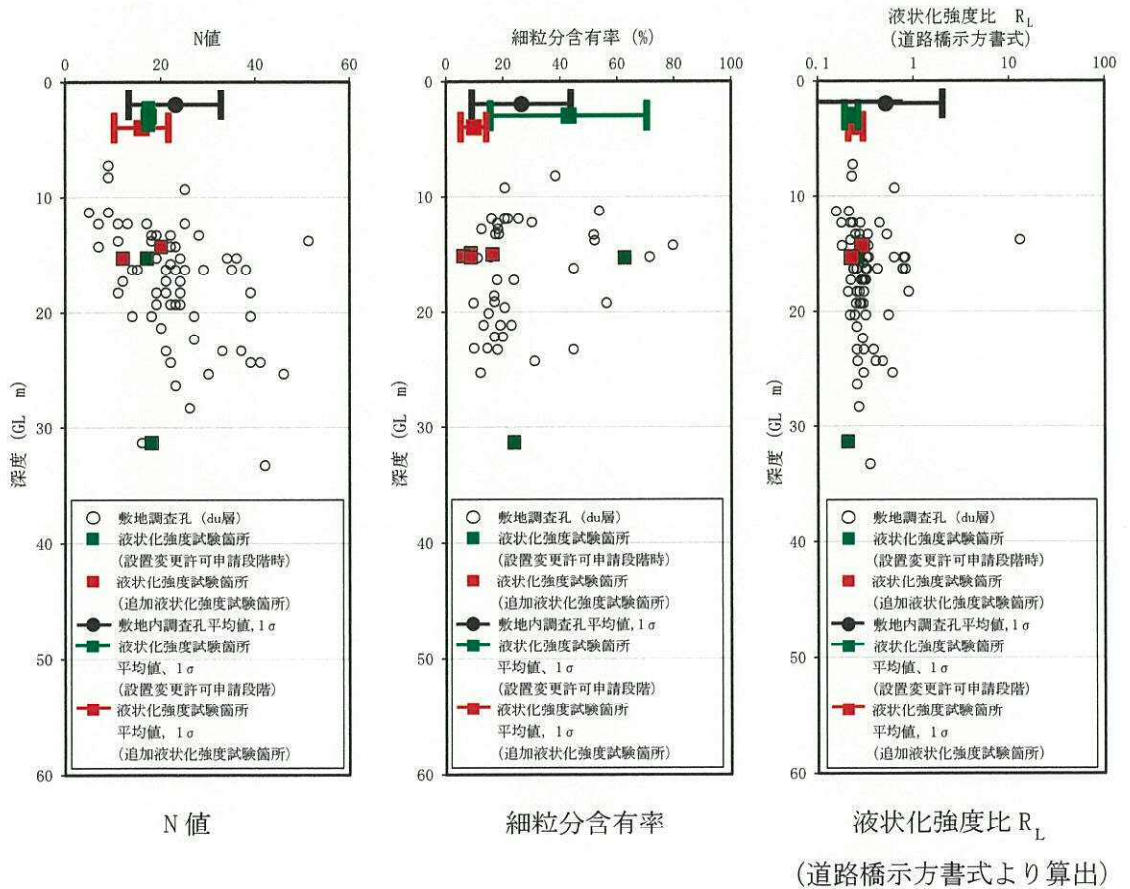


図 4.2-53 N 値, 細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による  $R_L$  深度分布 (D2s-3 層)

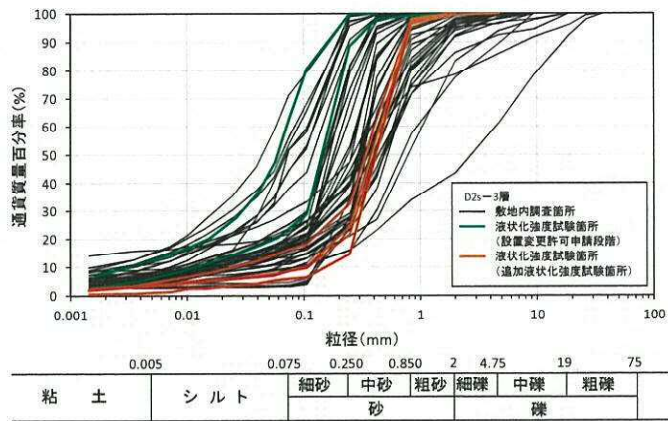


図 4.2-54 粒度試験結果 (D2s-3 層)

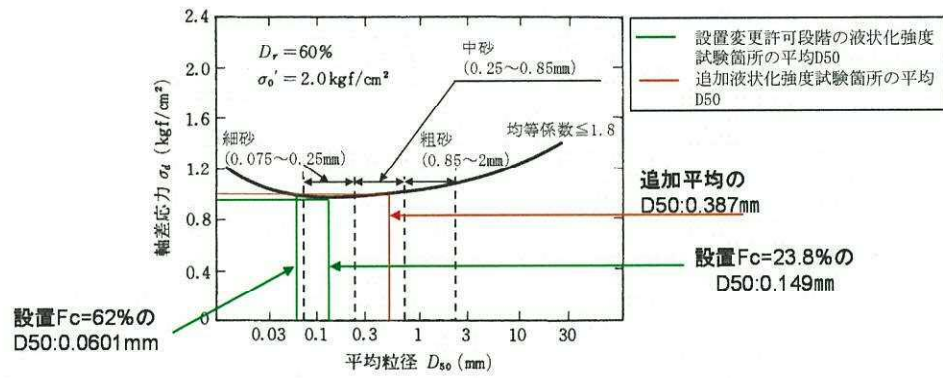


図 4.2-55 平均粒径  $D_{50}$  が液状化強度に及ぼす影響\*

注記 \* : Wong ら (1975) より抜粋 (一部加筆)

・D2g-3層

設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果を図4.2-56に示す。図中には、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果より設定した液状化強度（平均， $-1\sigma$ ）を示している。追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果より、同じ繰返し載荷回数に対してのせん断応力比（ $\tau/\sigma'_m$ ）はやや小さい傾向を示す。

図4.2-57には、D2g-3層の敷地内調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所のN値、細粒分含有率Fc及び道路橋示方書式で算定される液状化強度比 $R_L$ の深度分布を示す。また、図中には敷地内全調査孔、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験箇所の各々の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

追加液状化強度試験箇所近傍孔の平均N値は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所近傍孔の平均N値よりやや小さい。また、設置変更許可申請段階における液状化強度試験箇所及び追加液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率Fcは、道路橋示方書式による液状化強度比 $R_L$ 算定時において、細粒分含有率Fcの影響を考慮しない範囲（ $0\% \leq Fc < 10\%$ ）の値であり、液状化強度への影響は小さい。

D2g-3層の粒度試験の結果を図4.2-58に示す。D2g-3層は礫分が主体となっており、設置変更許可申請段階における液状化強度試験箇所及び追加液状化強度試験箇所の粒度試験結果による均等係数（ $U_c = D_{60}/D_{10}$ 、 $D_{10}$ ：粒径加積曲線での通過質量百分率10%での粒径、 $D_{60}$ ：粒径加積曲線での通過質量百分率60%での粒径）は9.6～47.6、1.8～15.9と幅広い粒径範囲を示している。礫分を主体とする礫質土の液状化強度は、国生ら\*の礫質土の均等係数と液状化強度の関係を図4.2-59に示すが、均等係数（ $U_c = D_{60}/D_{10}$ ）の影響は小さいことが知られている。

以上のことより、液状化強度試験結果の差異は、設置変更許可申請段階と追加液状化強度試験箇所のN値の差に起因するものと考えられる。

注記 \*：国生 剛治，原 忠：砂礫の液状化強度及び液状化後の非排水せん断強度に及ぼす粒度分布の影響，土木学会論文集 No. 645，III-50，pp. 245～253，2000

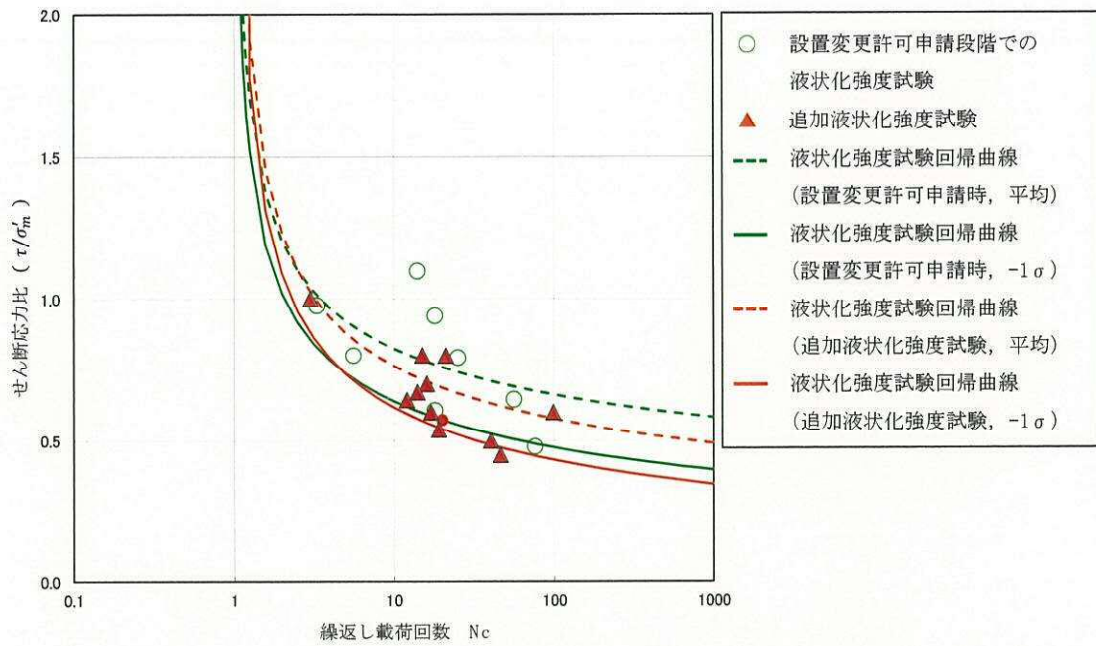


図 4.2-56 D2g-3層の液状化強度試験結果

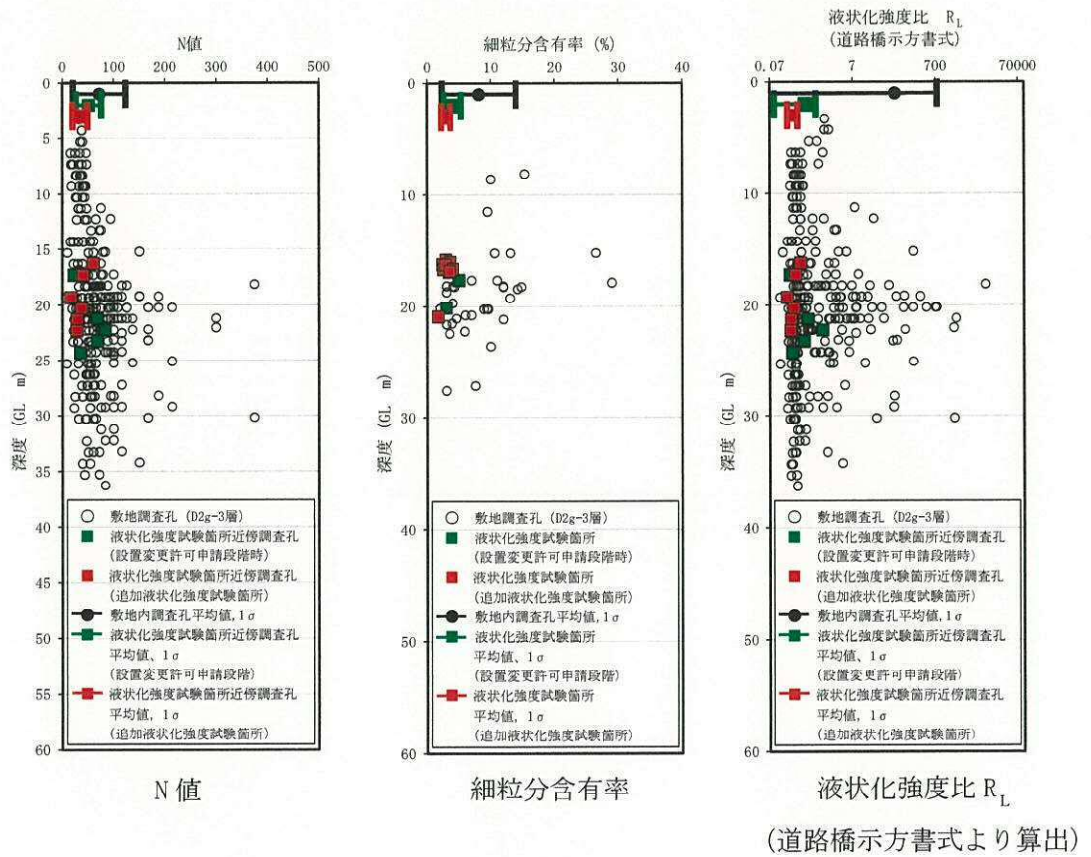


図 4.2-57 N値，細粒分含有率及  $F_c$  び道路橋示方書式による  $R_L$  深度分布 (D2g-3層)

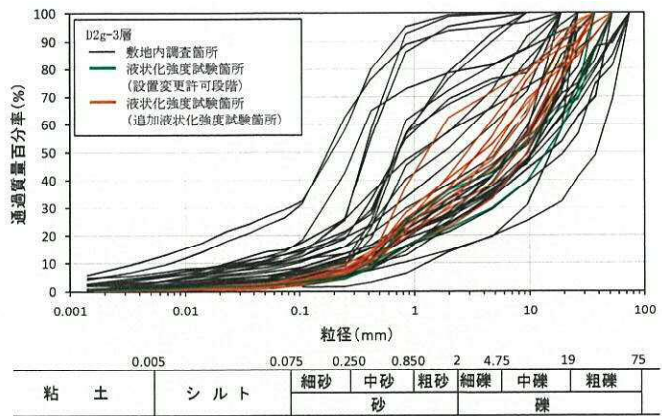


図 4.2-58 粒度試験結果 (D2 g-3 層)

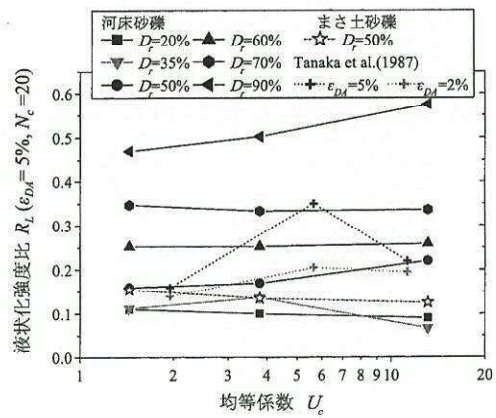


図 4.2-59 礫質土の均等係数が液状化強度に及ぼす影響\*

注記 \* : 国生ら (2000) より抜粋

・D1g-1層

設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果を図4.2-60に示す。図中には、設置変更許可申請段階及び追加液状化強度試験結果より設定した液状化強度（平均， $-1\sigma$ ）を示している。追加液状化強度試験結果は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果より、同じ繰返し載荷回数に対してのせん断応力比（ $\tau/\sigma'_m$ ）は大きい傾向を示す。

図4.2-61には、D2g-3層の敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所のN値、細粒分含有率 $F_c$ と道路橋示方書式で算定される液状化強度比 $R_L$ の深度分布を示す。図中には、敷地内調査孔及び液状化強度試験箇所の各々の平均、平均 $\pm 1\sigma$ の値を表記している。

追加液状化強度試験箇所の平均細粒分含有率 $F_c$ は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験箇所の細粒分含有率より小さい。

図4.2-62には、敷地内調査孔、設置変更許可段階及び追加液状化強度試験箇所の粒度試験結果を示す。設置変更許可申請段階での液状化強度試験箇所の試料は粒度試験の結果、砂分が支配的であったのに対し、追加液状化強度試験箇所の試料は粒度試験の結果、礫分が支配的であった。

同様のN値を有する土の液状化強度は、砂質土の液状化強度より礫質土の液状化強度が大きい傾向にある。また、礫質土の液状化強度は、図4.2-63の国生ら\*により、粒度の影響よりN値の影響が大きいとされている。

以上のことより、D1g-1層の追加液状化強度試験結果は、礫分が主体である粒度分布により、設置変更許可段階における液状化強度試験箇所の液状化強度より大きい傾向にあると考えられる。

注記 \*：国生 剛治，原 忠：砂礫の液状化強度及び液状化後の非排水せん断強度に及ぼす粒度分布の影響，土木学会論文集 No. 645，III-50，pp. 245～253，2000

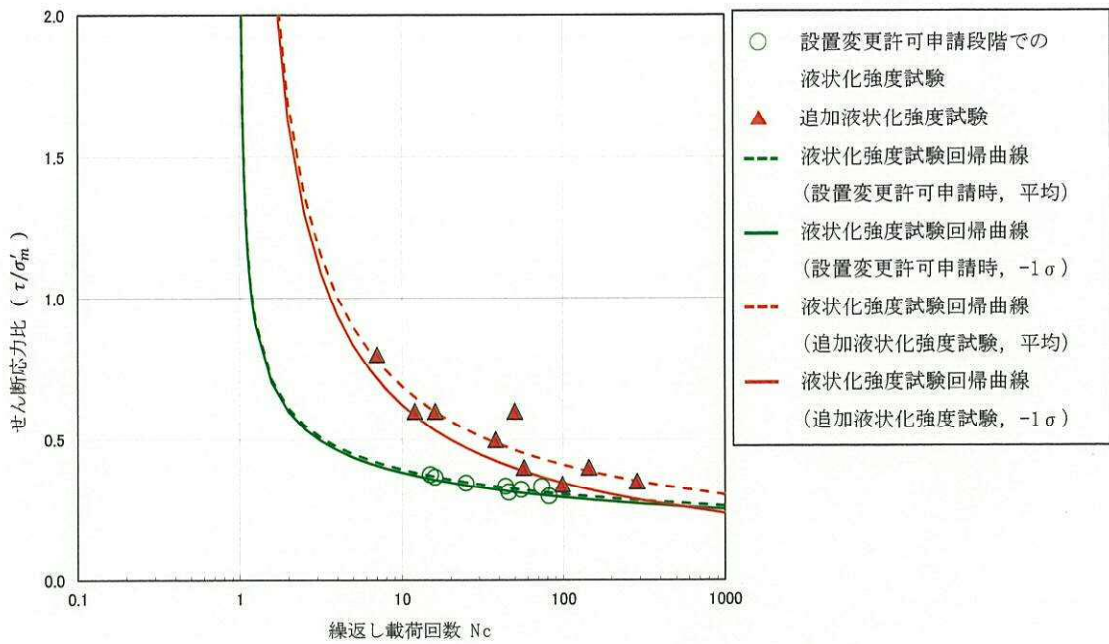
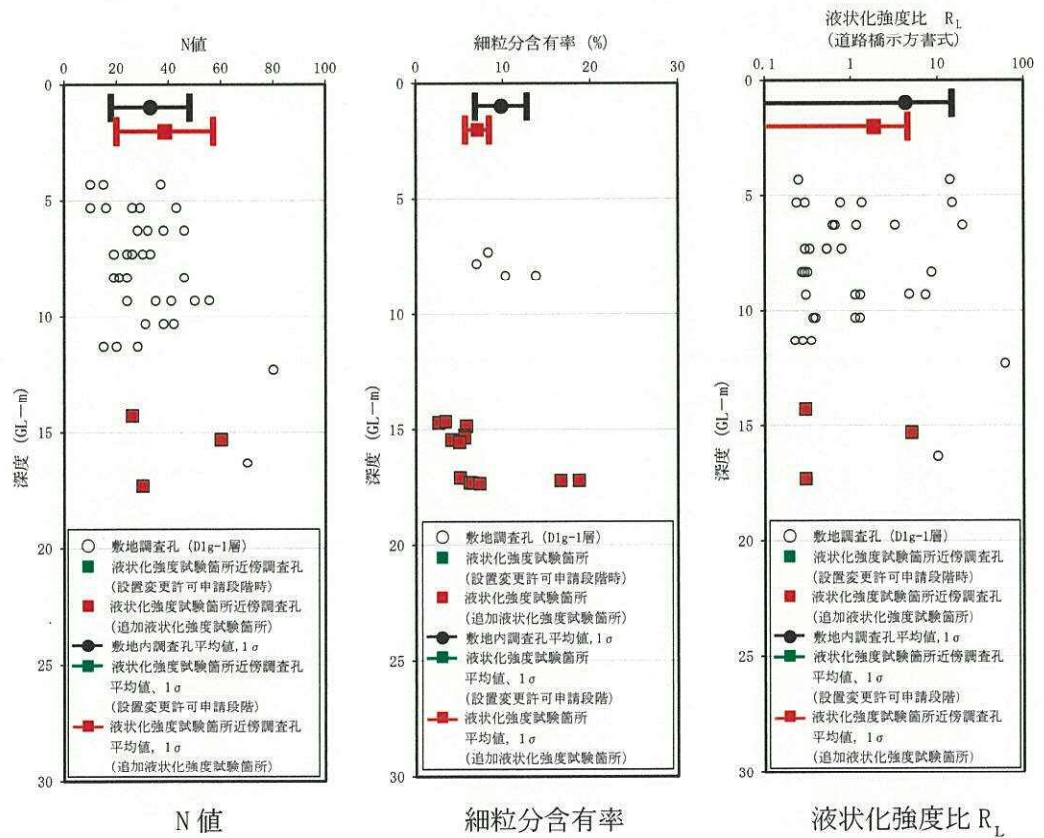


図 4.2-60 D1g-1層の液状化強度試験結果



(道路橋示方書式より算出)

図 4.2-61 N値，細粒分含有率  $F_c$  及び道路橋示方書式による  $R_L$  深度分布 (D1g-1層)



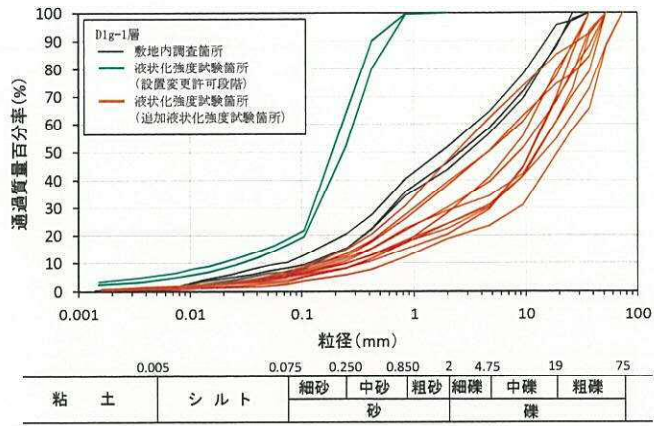


図 4.2-62 粒度試験結果 (D1g-1 層)

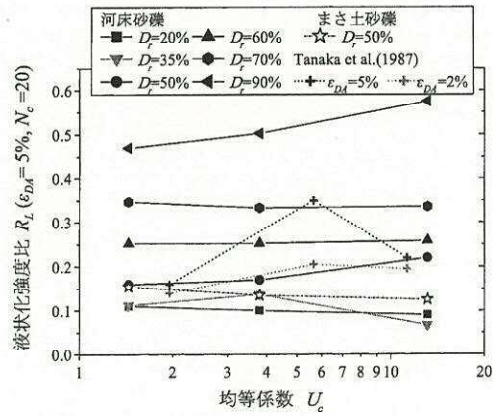


図 4.2-63 礫質土の均等係数が液状化強度に及ぼす影響\*  
注記 \* : 国生ら (2000) より抜粋

(6) 液状化強度特性の妥当性

a. 基準地震動  $S_s$  に対する液状化強度試験の有効性

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

図 4.2-64 に累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価フローを、第 4.2-65 図に累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法を示す。

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

図 4.2-66～図 4.2-69 には、各土層の累積損傷度理論に基づく評価結果を示す。

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

As 層の評価結果より、液状化強度試験はせん断応力比が小さい（繰返し载荷回数  $N_c$  が 100 回以上）のデータを包含していないことから、全てのデータを十分に包含する豊浦標準砂の FLIP 解析用液状化強度特性を用いた有効応力解析を実施し、耐震評価を行うこととする。

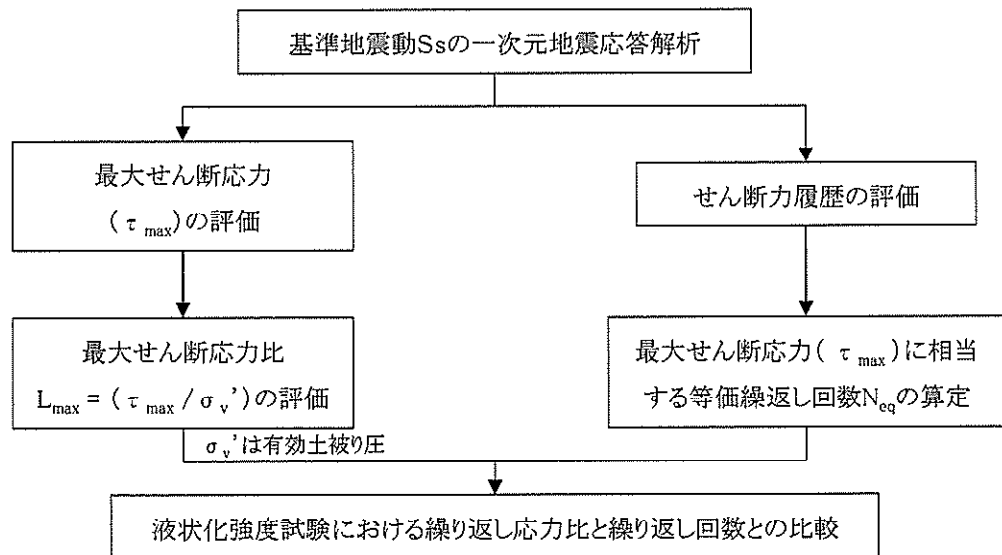


図 4.2-64 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価フロー

### ◆ 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価

・累積損傷度理論は、金属の疲労破壊の分野で提案されたものである。

1回の荷重 $\tau_i$ 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 $\tau_i$ 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 $\tau_e$ 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 $\tau_i$ の繰返し回数

$N_{if}$  : せん断強度 $\tau_i$ での繰返し回数

$N_e$  : せん断応力 $\tau_e$ の繰返し回数

$N_{ef}$  :  $\tau_e$ 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

・積数の $\tau_i$ を有する不規則波全体を等価一定せん断応力 $\tau_e$ 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。

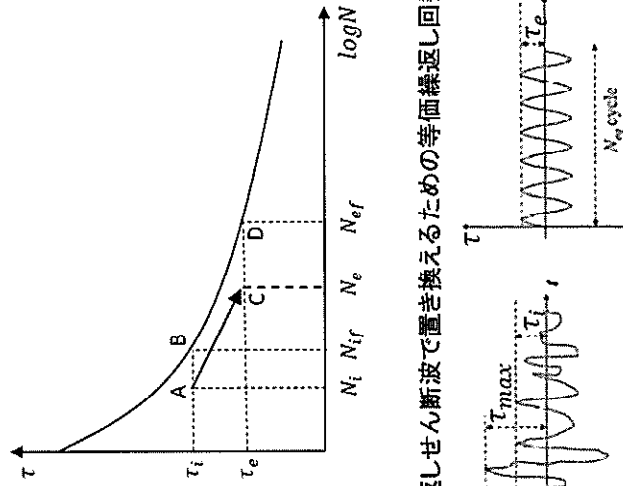


図 4.2-65 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法

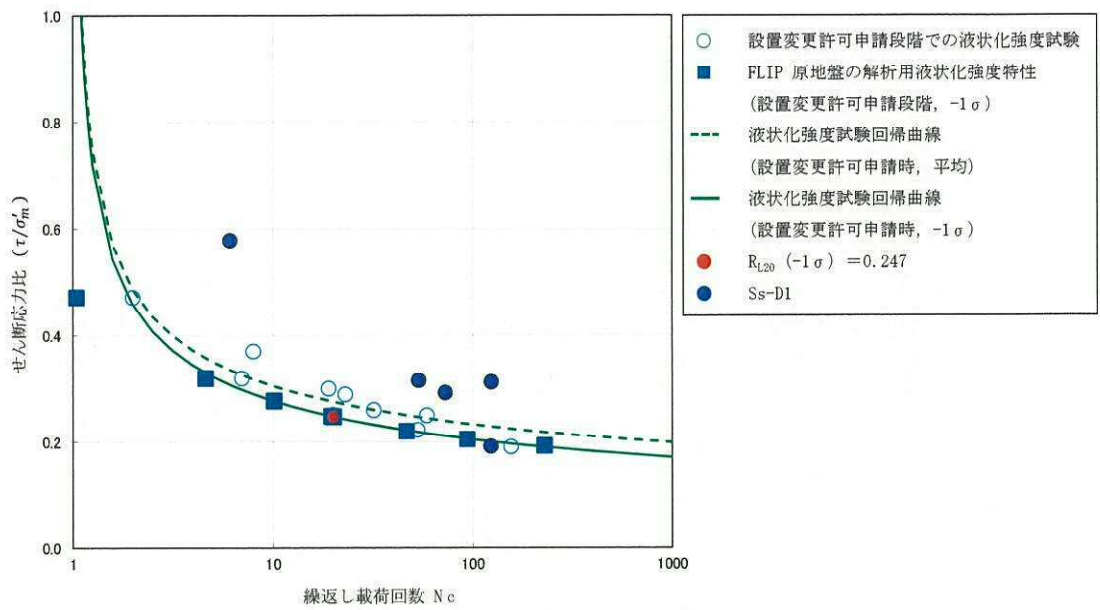


図 4.2-66 累積損傷度理論に基づく評価結果  
(取水口・取水構造物, du 層)

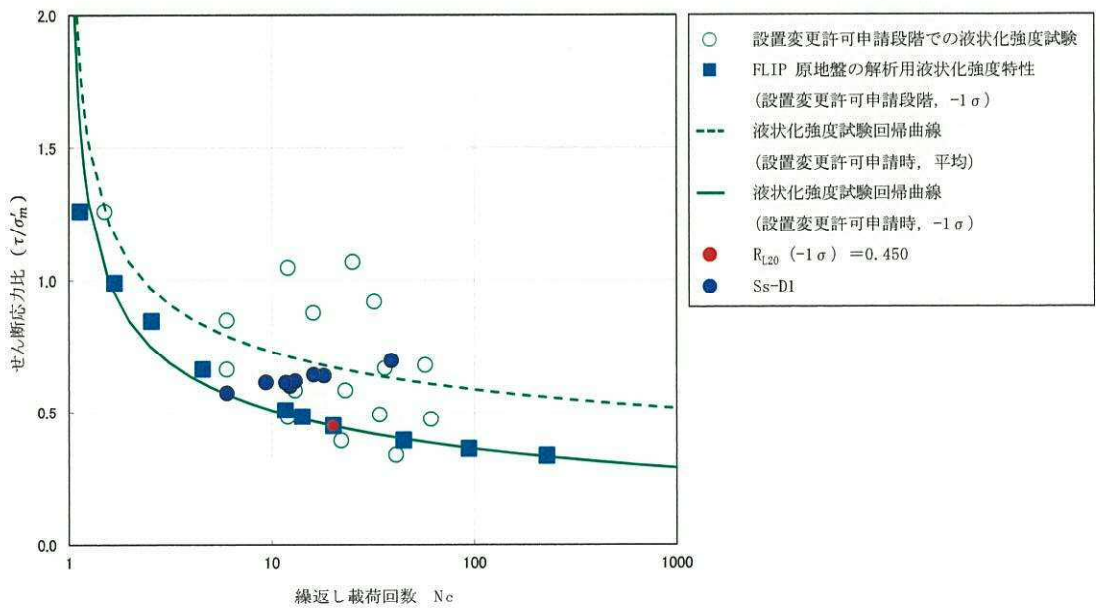
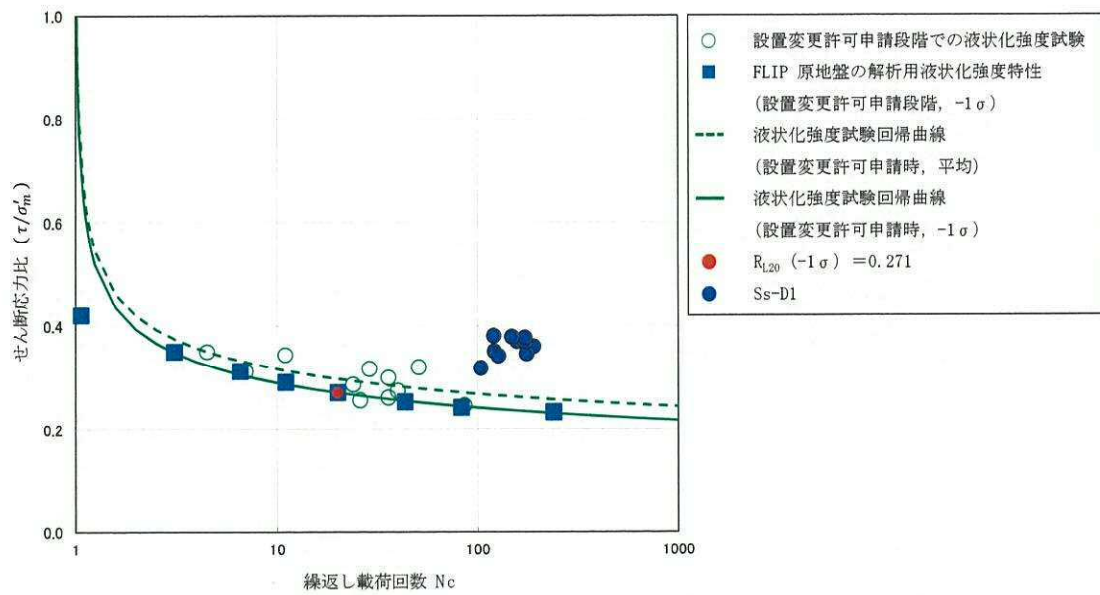
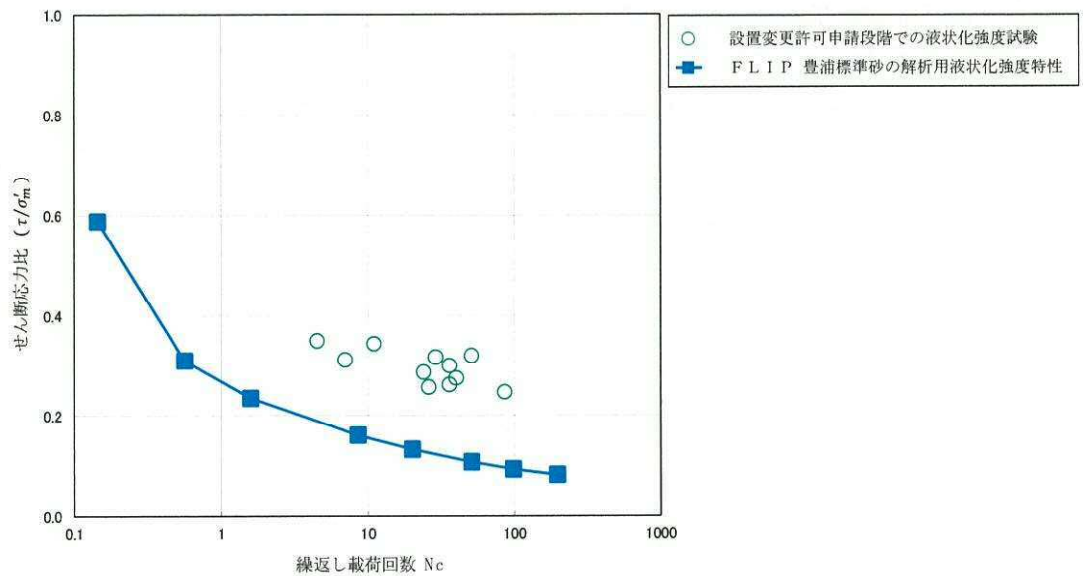


図 4.2-67 累積損傷度理論に基づく評価結果  
(取水口・取水構造物, Ag2 層)



(As 層の液状化強度試験結果に対する累積損傷度理論に基づく評価結果)



(As 層の液状化強度試験結果と豊浦標準砂の解析用液状化強度特性の比較)

図 4.2-68 累積損傷度理論に基づく評価結果  
(取水口・取水構造物, As 層)

b. 地盤の液状化強度特性の代表性及び保守性

設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果に基づき、設定した原地盤のFLIP解析用液状化強度特性（ $-1\sigma$ ）の代表性について、追加液状化強度試験結果との比較からその代表性を示す。

また、強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いている敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性が、全ての液状化強度試験結果に対して十分小さいことを確認する。

・ du 層

図 4.2-69 に、設置変更許可申請段階で示した原地盤の du 層の FLIP 解析用液状化強度特性（ $-1\sigma$ ）と液状化強度試験結果を示す。図中には、設置変更許可段階及び追加液状化強度試験結果の回帰曲線（平均， $-1\sigma$ ），豊浦標準砂の FLIP 解析用液状化強度特性を併記している。

追加液状化強度試験は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果から設定した原地盤の du 層の FLIP 解析用液状化強度特性（ $-1\sigma$ ）よりも大きいことから代表性を有ることを確認した。

また強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いている敷地に存在しない豊浦標準砂の FLIP 解析用液状化強度特性は、全ての液状化強度試験結果よりも十分小さいことを確認した。

・ As 層

図 4.2-70 に、設置変更許可申請段階で示した原地盤の As 層の FLIP 解析用液状化強度特性（ $-1\sigma$ ）と液状化強度試験結果を示す。図中には、設置変更許可段階及び追加液状化強度試験結果の回帰曲線（平均， $-1\sigma$ ），豊浦標準砂の FLIP 解析用液状化強度特性を併記している。

追加液状化強度試験は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果から設定した原地盤の As 層の FLIP 解析用液状化強度特性（ $-1\sigma$ ）よりも大きいことから代表性を有ることを確認した。

また強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いている敷地に存在しない豊浦標準砂の FLIP 解析用液状化強度特性は、全ての液状化強度試験結果よりも十分小さいことを確認した。

・Ag2層

図4.2-71に、設置変更許可申請段階で示した原地盤のAg2層のFLIP解析用液状化強度特性( $-1\sigma$ )と液状化強度試験結果を示す。図中には、設置変更許可段階及び追加液状化強度試験結果の回帰曲線(平均,  $-1\sigma$ )、豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性を併記している。

追加液状化強度試験は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果から設定した原地盤のAg2層のFLIP解析用液状化強度特性( $-1\sigma$ )よりもわずかながら小さいものもあったが、その差は小さく、同様の傾向を呈していることから、設置変更許可申請段階で示した原地盤のAg2層のFLIP解析用液状化強度特性( $-1\sigma$ )は、代表性を有することを確認した。

また、強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いている敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、全ての液状化強度試験結果よりも十分小さいことを確認した。

・Ag1層

図4.2-72に、設置変更許可申請段階で示した原地盤のAg1層のFLIP解析用液状化強度特性( $-1\sigma$ )と液状化強度試験結果を示す。図中には、設置変更許可段階及び追加液状化強度試験結果の回帰曲線(平均,  $-1\sigma$ )、豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性を併記している。

追加液状化強度試験は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果から設定した原地盤のAg1層のFLIP解析用液状化強度特性( $-1\sigma$ )よりもわずかながら小さいものもあったが、その差は小さく、同様の傾向を呈していることから、設置変更許可申請段階で示した原地盤のAg1層のFLIP解析用液状化強度特性( $-1\sigma$ )は、代表性を有することを確認した。

また、強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いている敷地に存在しない豊浦標準砂のFLIP解析用液状化強度特性は、全ての液状化強度試験結果よりも十分小さいことを確認した。

・D2s-3層

図 4.2-73 に、設置変更許可申請段階で示した原地盤の D2s-3 層の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) と液状化強度試験結果を示す。図中には、設置変更許可段階及び追加液状化強度試験結果の回帰曲線 (平均,  $-1\sigma$ )、豊浦標準砂の F L I P 解析用液状化強度特性を併記している。

追加液状化強度試験は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果から設定した原地盤の D2s-3 層の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) と概ね同様な傾向を示すことから、設置変更許可申請段階で示した原地盤の D2s-3 層の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) は、代表性を有することを確認した。

また、強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いている敷地に存在しない豊浦標準砂の F L I P 解析用液状化強度特性は、全ての液状化強度試験結果よりも十分小さいことを確認した。

・D2g-3層

図 4.2-74 に、設置変更許可申請段階で示した原地盤の D2g-3 層の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) と液状化強度試験結果を示す。図中には、設置変更許可段階及び追加液状化強度試験結果の回帰曲線 (平均,  $-1\sigma$ )、豊浦標準砂の F L I P 解析用液状化強度特性を併記している。

追加液状化強度試験は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果から設定した原地盤の D2g-3 層の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) よりもわずかながら小さいものもあったが、その差は小さく、同様の傾向を呈していることから、設置変更許可申請段階で示した原地盤の D2g-3 層の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) は、代表性を有することを確認した。

また、強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いている敷地に存在しない豊浦標準砂の F L I P 解析用液状化強度特性は、全ての液状化強度試験結果よりも十分小さいことを確認した。

・D1g-1層

図 4.2-75 に、設置変更許可申請段階で示した原地盤の D1g-1 層の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) と液状化強度試験結果を示す。図中には、設置変更許可段階及び追加液状化強度試験結果の回帰曲線 (平均,  $-1\sigma$ )、豊浦標準砂の F L I P 解析用液状化強度特性を併記している。

追加液状化強度試験は、設置変更許可申請段階の液状化強度試験結果から設定した原地盤の D1g-1 層の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) よりも大きいことから代表性を有することを確認した。

また強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いている敷地に存在しない豊浦標準砂の F L I P 解析用液状化強度特性は、全ての液状化強度試験結果よりも十分小さいことを確認した。



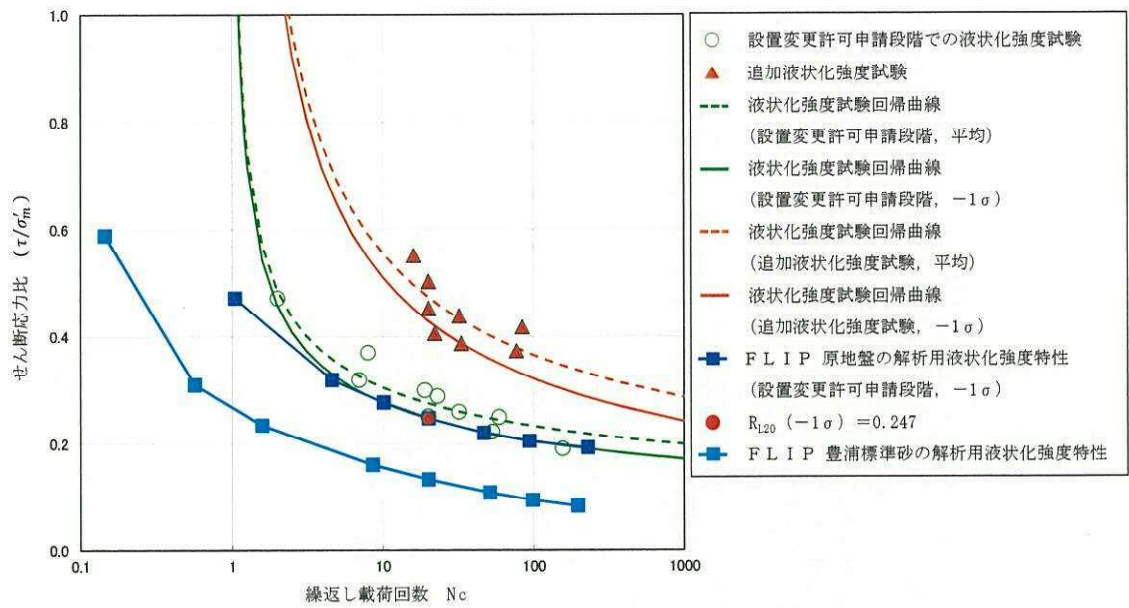


図 4.2-69 du 層の設置変更許可段階で示した液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) の代表性

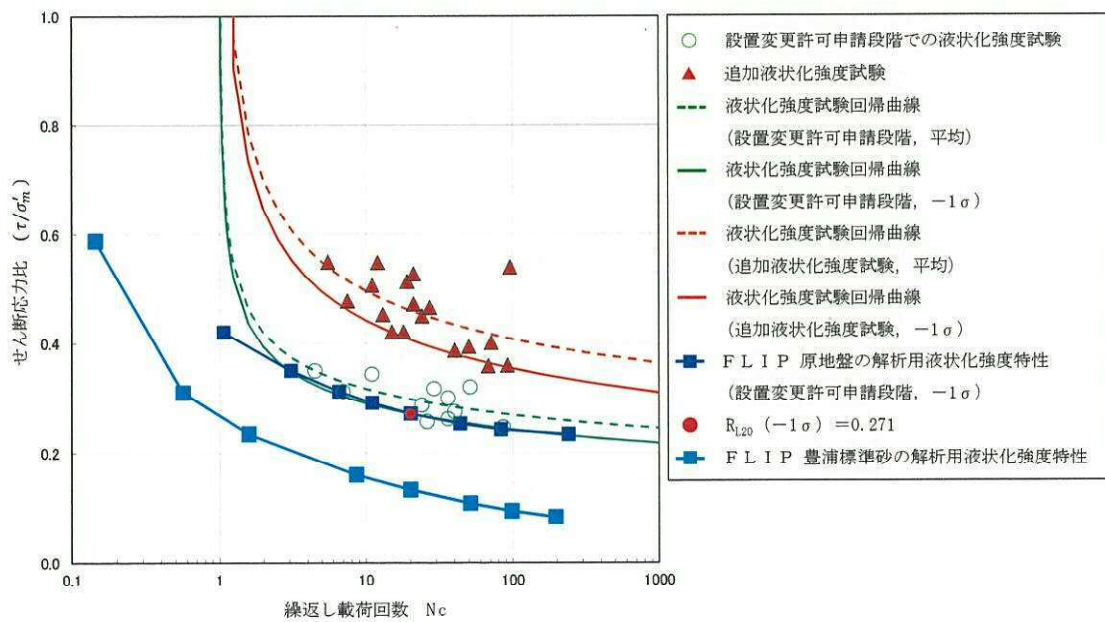


図 4.2-70 As 層の設置変更許可段階で示した液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) の代表性

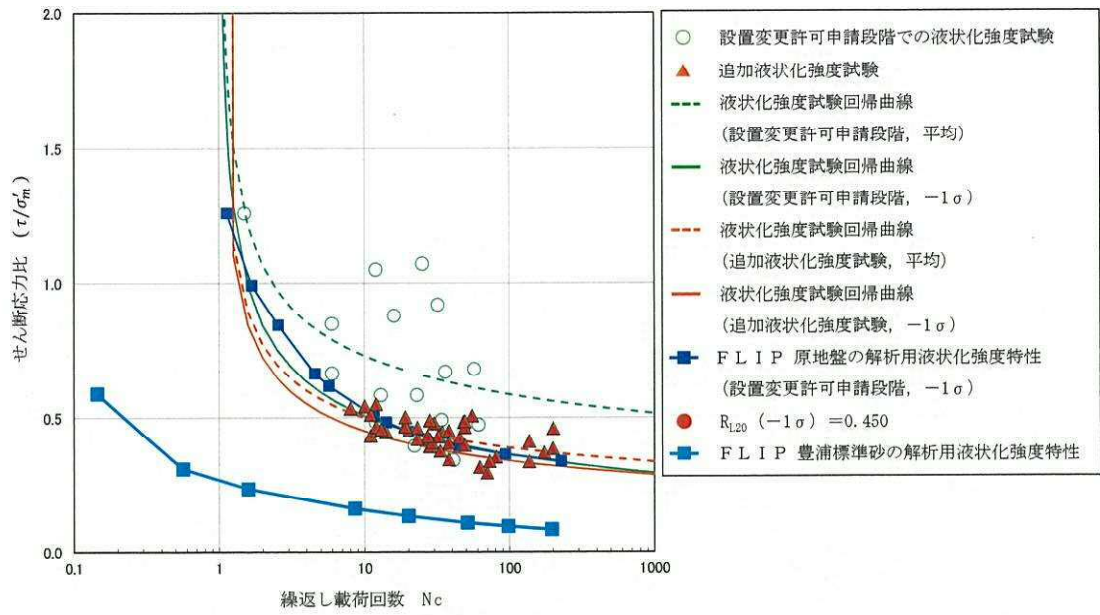


図 4.2-71 Ag2 層の設置変更許可段階で示した液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) の代表性

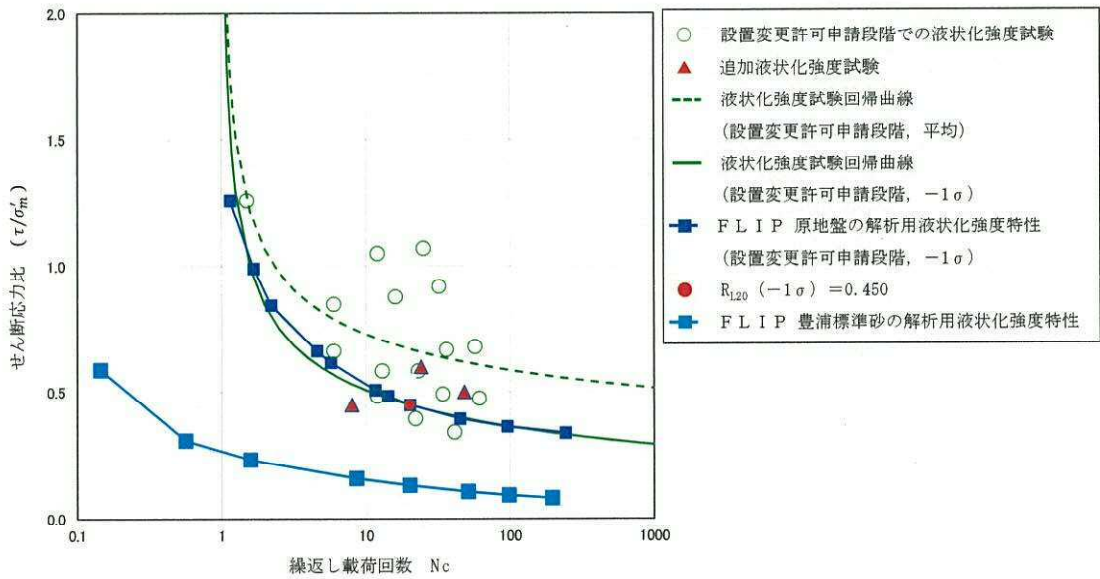


図 4.2-72 Ag1 層の設置変更許可段階で示した液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) の代表性

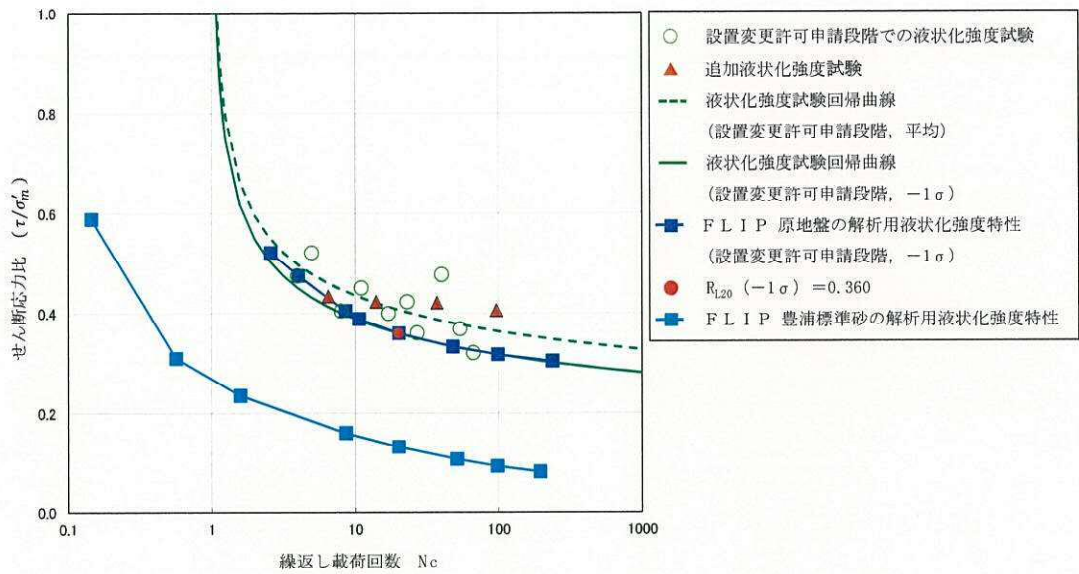


図 4.2-73 D2s-3 層の設置変更許可段階で示した液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) の代表性

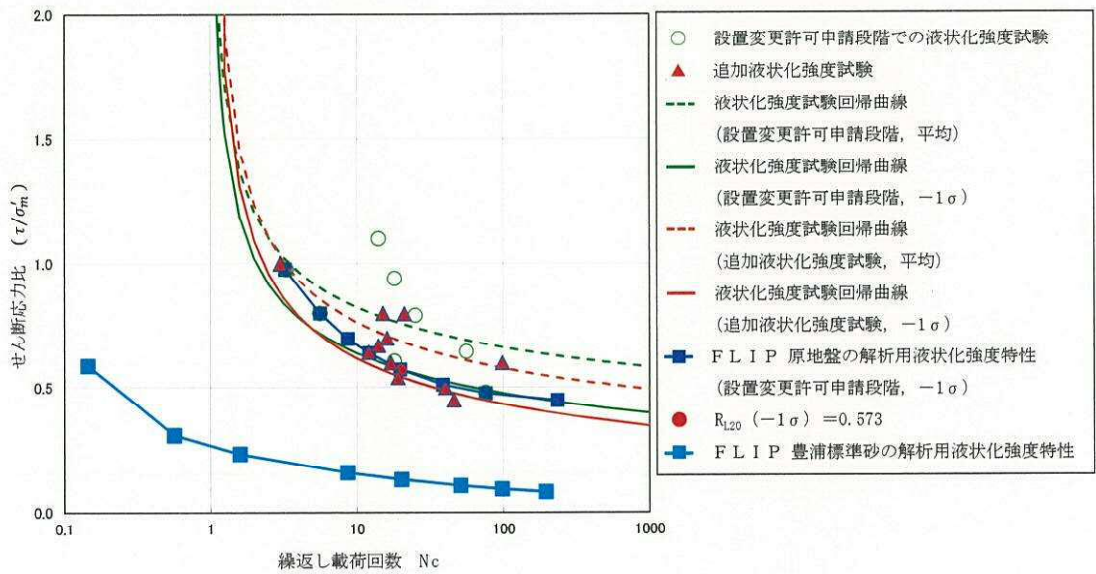


図 4.2-74 D2g-3 層の設置変更許可段階で示した液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) の代表性

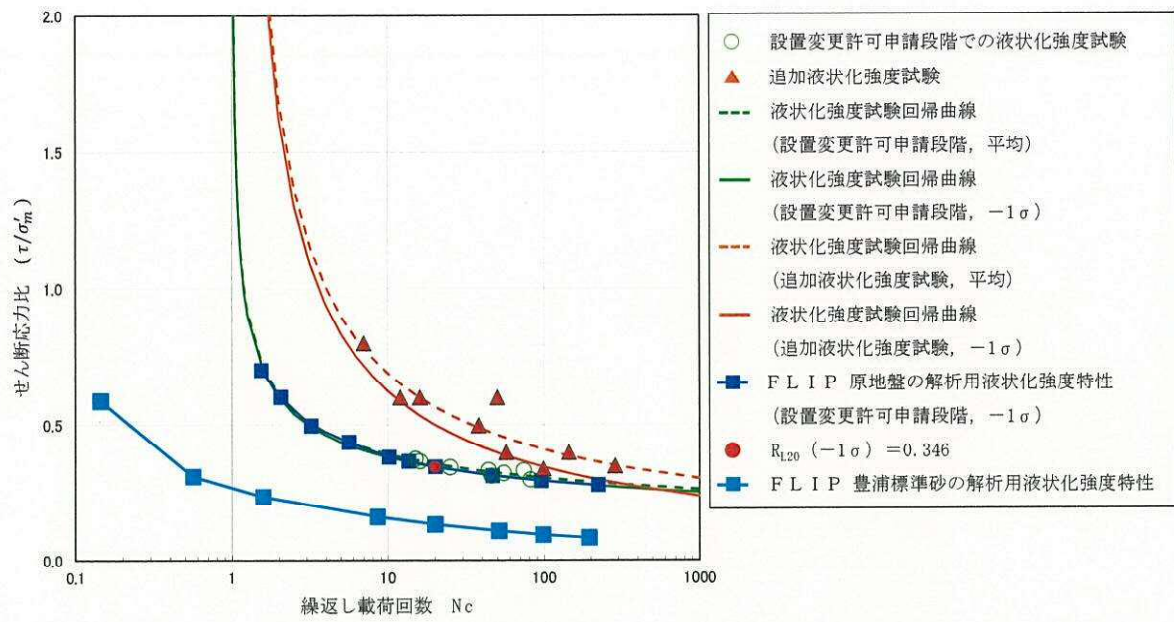


図 4.2-75 D1g-1 層の設置変更許可段階で示した液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) の代表性

(7) 施設毎の有効応力解析による影響検討の組合せ

地震時における地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮する各施設に対し、有効応力解析による影響検討の組合せを設定する。

有効応力解析による影響検討の組合せの設定フローを図 4.2-76 に示す。

施設の詳細設計において、その周辺地盤に液状化検討対象層が存在しない場合は、有効応力解析による影響検討は不要とする。

上記に該当しない施設は、基準地震動  $S_s$  に対して、設置変更許可段階で示した敷地の原地盤に基づく原地盤の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) を用いた有効応力解析による影響検討を行う (①)。

個別の施設設置位置の液状化強度特性について、信頼性を確認した上で、①の原地盤の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) より大きいかの確認を行う。

個別の施設設置位置の液状化強度特性が①の F L I P 解析用原地盤の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) より大きいことが確認できない場合は、①の検討において最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）解析ケースに対して、豊浦標準砂の F L I P 解析用液状化強度特性により強制的な液状化を仮定した影響検討を行う (②)。

個別の施設設置位置の液状化強度特性が①の F L I P 解析用原地盤の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) より大きいことの確認ができた場合は、個別の施設設置位置における液状化強度特性を考慮した影響検討を行うことを基本とする。

ただし、個別の施設設置位置の液状化強度特性が①の原地盤の F L I P 解析用液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) より大きいことから、保守性を考慮し、②の影響検討を採用する場合もある。

以下に屋外重要土木構造物及び使用済燃料乾式貯蔵建屋の有効応力解析による影響検討方針について示す。

敷地の広い範囲に渡って設置される津波防護施設（防潮堤）及び施設数が多い屋外重要土木構造物の有効応力解析による影響検討では、①の原地盤の F L I P 解析用液状化強度特性を用いて基準地震動  $S_s$  に対する有効応力解析による影響検討を行う。また、屋外重要土木構造物及び津波防護施設（防潮堤）の上部構造及び下部構造それぞれに対し、許容限界に対する余裕が最も小さい解析ケースについて、原地盤の液状化強度試験結果よりも十分に小さい豊浦標準砂の F L I P 解析用液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した場合の影響検討を実施する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の有効応力解析検討にあたって、施設直下に分布する地層のうち Ag2 層（砂礫）及び D2g-3 層（砂礫）の F L I P 解析用原地盤の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) は、当該地点において液状化強度試験を実施していることから、豊浦標準砂の液状化強度特性を用いた評価は実施しない。

使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置における D2g-3 層が確認されている調査孔と液状化強度試験箇所的位置を図 4.2-77 に示す。また、表 4.2-9 に、使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置近傍の調査孔の D2g-3 層の柱状図の記事と標準貫入試験実施深度及び N 値をまとめた。D2g-3 層の分布深度は、概ね GL-17m~GL-25m 程度に分布している。液状化強度試験箇所 (n 孔) 近傍のボーリングのコア観察記録では、D2g-3 層は数 mm~数十 mm の礫を含む砂礫層

であり、一部でN値が30程度の箇所が認められるものの、概ねN値50以上の強硬な地層である。また、図4.2-78には、D2g-3層の敷地内調査孔、液状化強度試験箇所n孔と近傍調査孔c孔の粒度試験結果を示すが、液状化強度試験箇所n孔と近傍調査孔c孔の粒度分布は概ね同様な傾向を示す。また、BV1孔のN値が31の箇所は、柱状図の記事によれば礫分が少なく、シルト分がやや多い箇所である。このように細粒分が多いことは、液状化強度が増加することに寄与する傾向の要因であるため、液状化強度特性下限値の設定への影響は小さい。

以上のことより、使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置におけるD2g-3層は、地質的性状に大きい差異が認められないことから、当該位置で取得したD2g-3層の液状化強度特性は、使用済燃料乾式貯蔵建屋の有効応力解析による影響検討のために使用する液状化強度特性として代表性を有することを確認した。

しかし、使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置におけるAg2層及びD2g-3層のFLIP解析用原地盤の液状化強度特性( $-1\sigma$ )の設定にあたっては、保守性に配慮し、Ag2及びD2g-3層の下限値を更に下回るD1g-1層(砂礫)のFLIP解析用原地盤液状化強度特性( $-1\sigma$ )を適用し、有効応力解析による影響検討を実施する。

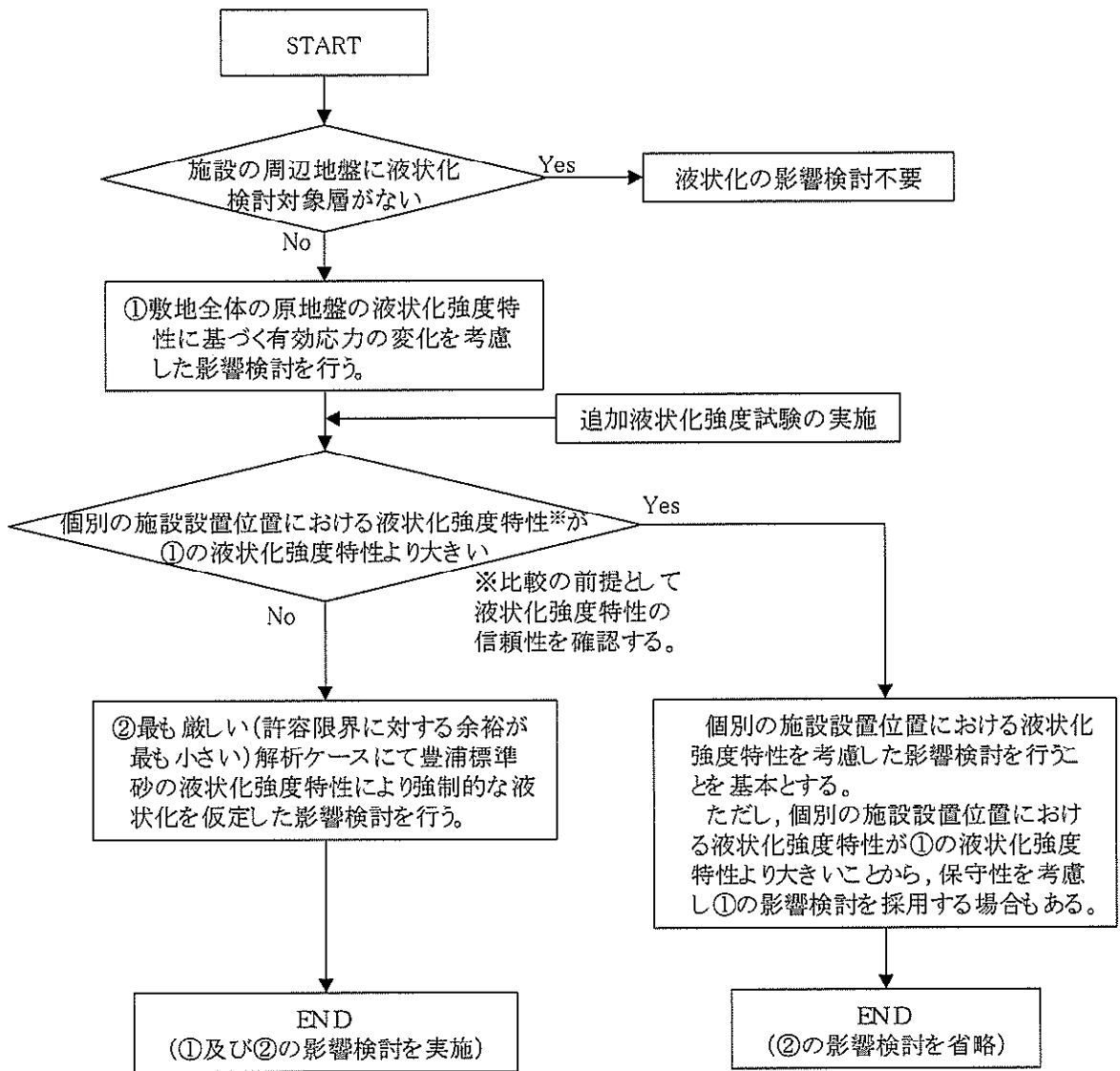


図 4.2-76 有効応力解析による影響検討の組合せ

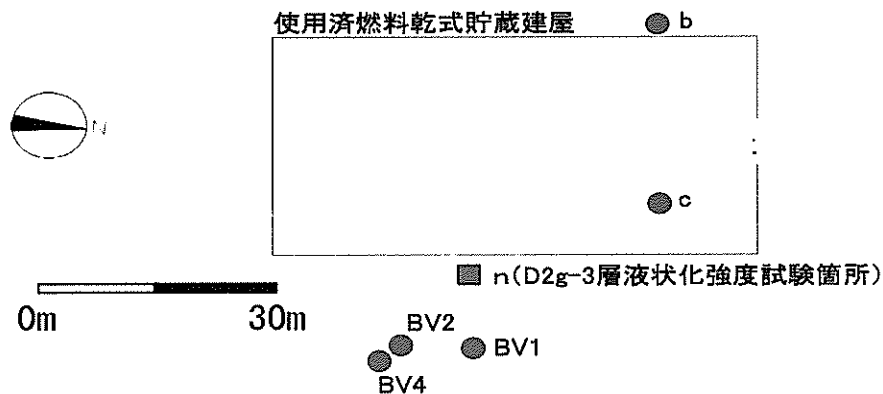


図 4.2-77 使用済燃料乾式貯蔵建屋設置位置における液化化強度試験箇所及び近傍調査孔位置 (D2g-3 層)

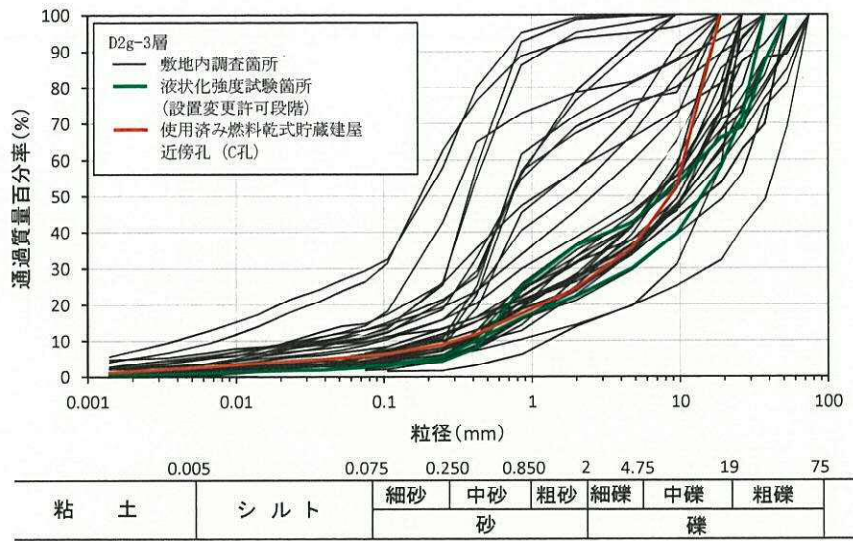


図 4.2-78 液状化強度試験箇所と近傍調査孔 (c 孔) の粒度試験結果 (D2g-3 層)

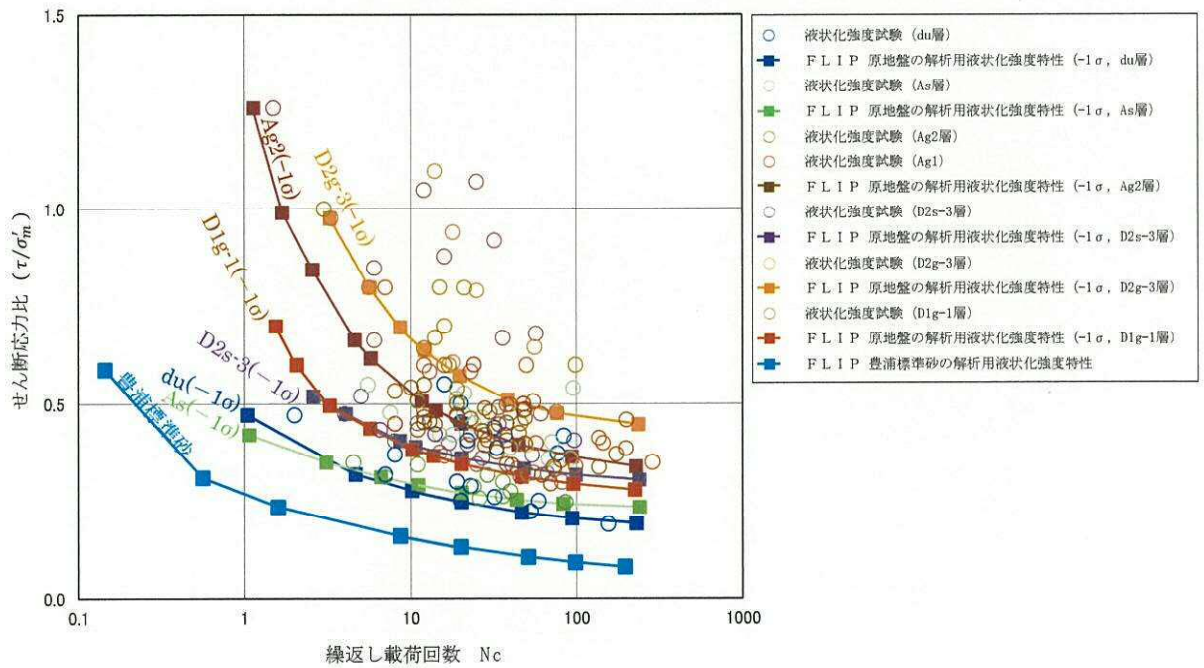


図 4.2-79 敷地内液状化検討対象土層の液状化強度特性の比較



表 4.2-9 使用済燃料乾式貯蔵建屋近傍調査孔 D2g-3 層分布深度, N 値及び柱状図記事 (設置変更許可申請段階)

| 孔番               |    | b                                                                                      |                     | c                                                                                                                     |                    | BV1                                                                                                      |                     | BV2                                                                                                               |                     | BV4                                                                                                                      |                     |
|------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| D2g-3層<br>確認深度   | 上端 | G. L. -22. 85m                                                                         |                     | G. L. -21. 15m                                                                                                        |                    | G. L. -17. 90m                                                                                           |                     | G. L. -17. 64m                                                                                                    |                     | G. L. -17. 25m                                                                                                           |                     |
|                  | 下端 | G. L. -23. 20m                                                                         |                     | G. L. -25. 22m                                                                                                        |                    | G. L. -22. 10m                                                                                           |                     | G. L. -21. 90m                                                                                                    |                     | G. L. -21. 91m                                                                                                           |                     |
| 柱状図記載内容          |    | <ul style="list-style-type: none"> <li>礫は5~30mm亜角礫</li> <li>礫種は、砂岩、粘板岩、花崗岩類</li> </ul> |                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>基質は粗砂の砂礫</li> <li>礫は10~60mmの亜円礫~亜角礫</li> <li>礫種は、砂岩、粘板岩、ひん岩、チャートと多種</li> </ul> |                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>基質は淘汰不良な細~粗砂であり、粘土分を含む</li> <li>G. L. -21. 50m付近は礫分少ない</li> </ul> |                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>基質は細~粗砂を主体とし、全体に淘汰不良礫は2~60mmの亜円~亜角礫</li> <li>礫種は、砂岩、粘板岩、花崗岩からなる</li> </ul> |                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>シルト混じり砂礫</li> <li>基質は細~粗砂を主体とし、全体に淘汰不良礫種は、砂岩、粘板岩、花崗岩からなる5~70mm次の亜円~亜角礫</li> </ul> |                     |
| 標準貫入試験深度<br>及びN値 |    | G. L. -23. 10m                                                                         | N=167 <sup>注)</sup> | G. L. -21. 15m                                                                                                        | N=68 <sup>注)</sup> | G. L. -18. 15m                                                                                           | N=88 <sup>注)</sup>  | G. L. -18. 15m                                                                                                    | N=75 <sup>注)</sup>  | G. L. -18. 15m                                                                                                           | N=65 <sup>注)</sup>  |
|                  |    |                                                                                        |                     | G. L. -22. 15m                                                                                                        | N=83 <sup>注)</sup> | G. L. -19. 15m                                                                                           | N=83 <sup>注)</sup>  | G. L. -19. 15m                                                                                                    | N=60 <sup>注)</sup>  | G. L. -19. 10m                                                                                                           | N=150 <sup>注)</sup> |
|                  |    |                                                                                        |                     | G. L. -23. 15m                                                                                                        | N=68 <sup>注)</sup> | G. L. -20. 15m                                                                                           | N=125 <sup>注)</sup> | G. L. -20. 15m                                                                                                    | N=214 <sup>注)</sup> | G. L. -20. 15m                                                                                                           | N=60 <sup>注)</sup>  |
|                  |    |                                                                                        |                     | G. L. -24. 15m                                                                                                        | N=35               | G. L. -21. 15m                                                                                           | N=31                | G. L. -21. 15m                                                                                                    | N=50                | G. L. -21. 15m                                                                                                           | N=100 <sup>注)</sup> |

注) 打撃回数50回において、貫入長が300mm未満の標準貫入試験箇所は次式によりN値を算出した。

$$\text{換算N値} = \frac{\text{打撃回数50回における打込み長 (mm)}}{300\text{mm}} \times 50$$

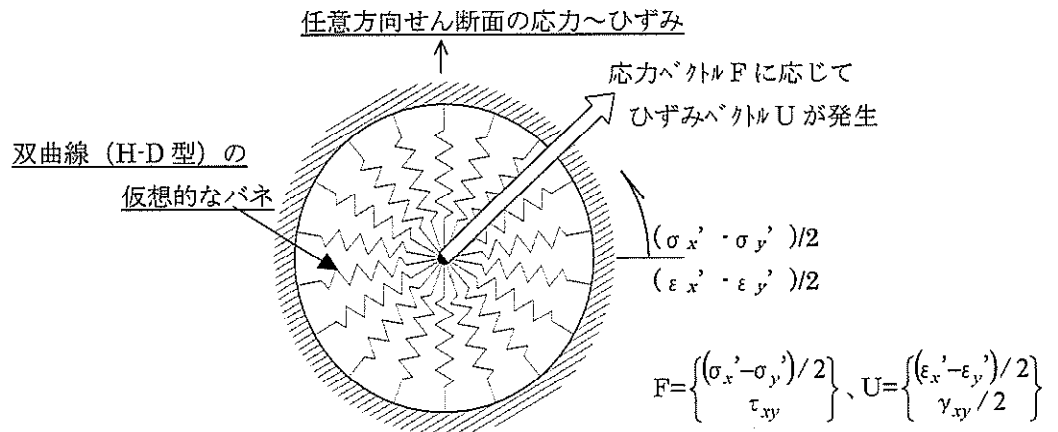
(8) 有効応力解析の検討方針

a. 有効応力解析コード「FLIP」について

有効応力解析コード「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5点が挙げられる。

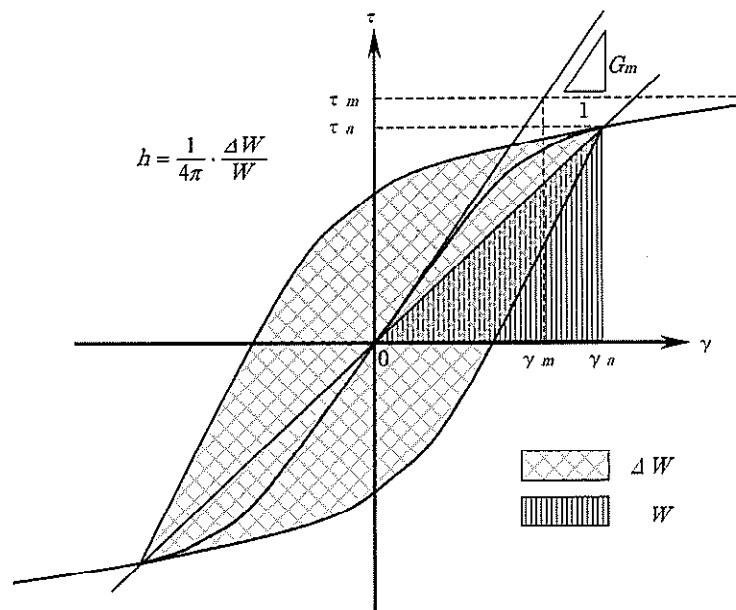
- ① 有限要素法に基づくプログラムである。
- ② 平面ひずみ状態を解析対象とする。
- ③ 地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い、部材の断面力や変形量を計算する。
- ④ 土の応力-ひずみモデルとしてマルチスプリングモデルを採用している。
- ⑤ 有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのために必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを用いている。

砂の変形特性を規定するマルチスプリングモデルは、任意方向のせん断面において仮想的な単純せん断バネの作用があるものとし、これらのせん断バネの作用により、土全体のせん断抵抗が発揮されるものである。土の応力-ひずみ関係は、このせん断バネの特性によって種々の表現が可能であるが、「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。図 4.2-80 にマルチスプリングモデルの概念図を、図 4.2-81 に非排水条件での土の応力-ひずみ関係の概念図を示す。



\*文献「液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメータの簡易設定法 (港湾空港技術研究所資料 No.869) を一部修正

図 4.2-80 マルチスプリングモデルの概念図



\*文献「液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメータの簡易設定法 (港湾空港技術研究所資料 No.869) を一部修正

図 4.2-81 非排水条件での土の応力-ひずみ関係の概念図

b. 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。

レベル 2 地震動による液状化研究小委員会活動成果報告（土木学会，2003）では、地盤の液状化の事象の定義として、以下のように記載されている。

- ・地震の繰り返しせん断力などによって、飽和した砂や砂礫などの緩い非粘性土からなる地盤内での間隙水圧が上昇・蓄積し、有効応力がゼロまで低下し液体状となり、その後地盤の流動を伴う現象。

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

- ・各繰り返しサイクルにおける過剰間隙水圧  $\Delta u$  の最大値が有効拘束圧  $\sigma_0'$  の 95% になった時の繰り返し荷回数  $N_{95}$  を求める。（土の液状化強度特性を求めるための繰り返し非排水三軸試験（p. 703～749））

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

- ・過剰間隙水圧  $\Delta u$  の最大値が有効拘束圧  $\sigma_0'$  の 95% に達した状態を液状化と判定する。

図 4.2-82 に液状化パラメータ設定の流れを示す。液状化パラメータの設定は、室内試験（液状化強度試験，三軸圧縮試験（CD 条件），動的変形試験）及び原位置試験（PS 検層）により動的変形特性を求め、その後「FLIP」による要素シミュレーションにより液状化強度特性を求めている。以上のように設定した液状化パラメータを表 4.2-1 に示す。

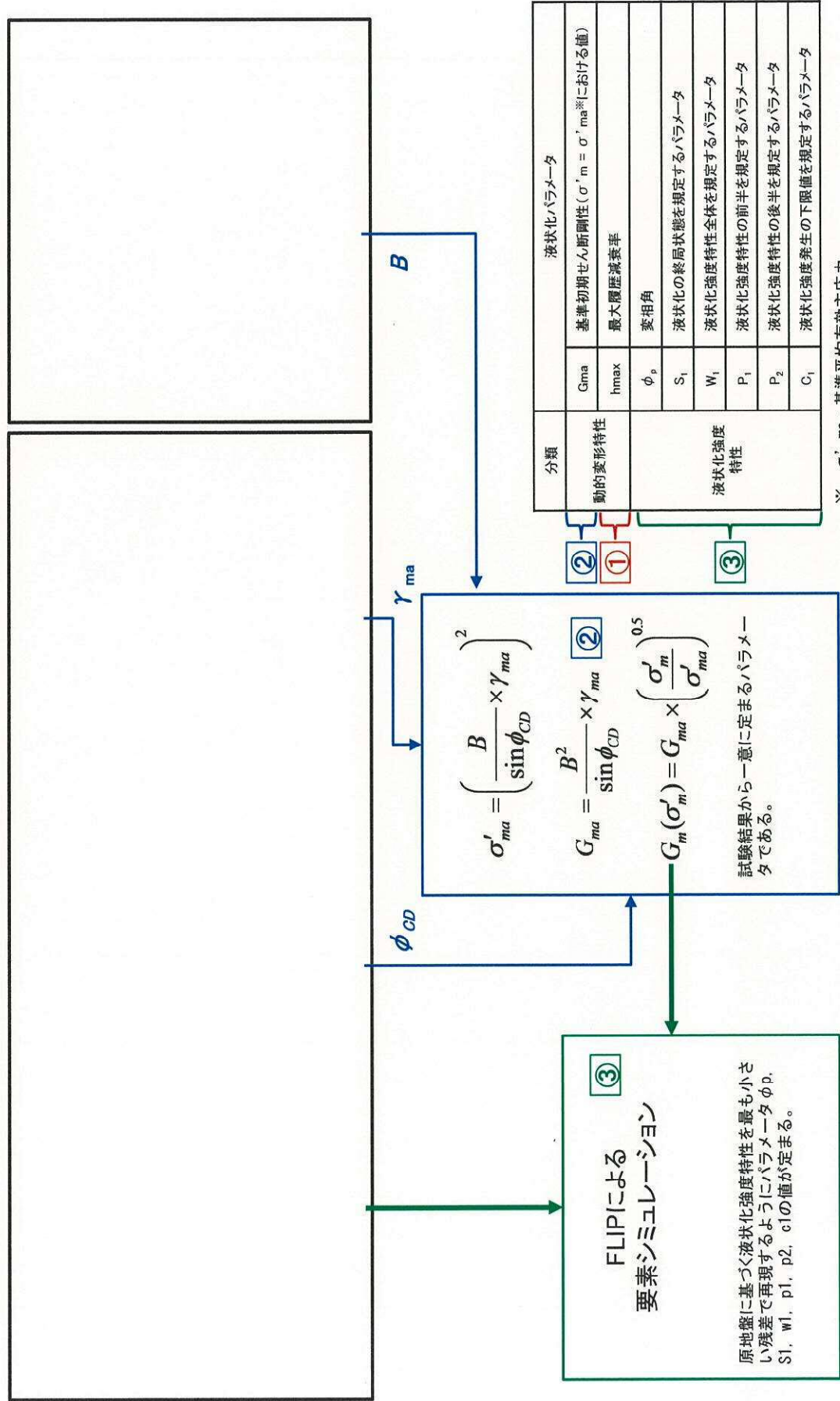


図 4.2-82 液化パラメータ設定の流れ

#### 4.2.2 強制的に液状化させることを仮定した有効応力解析に用いる解析用物性値

##### (1) 豊浦標準砂について

豊浦標準砂は、山口県豊浦で産出される天然の珪砂であり、敷地には存在しないものである。豊浦標準砂は、淡黄色の丸みのある粒から成り、粒度が揃い均質で非常に液状化しやすい特性を有していることから、液状化強度特性に関する研究及びそれに伴う実験などで多く用いられている。

##### (2) 豊浦標準砂の液状化強度特性

豊浦標準砂の液状化強度特性は、文献（CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM[Soils and Foundations, JSSMFE.26-3. (1986)]）から引用した相対密度 73.9～82.9%の豊浦標準砂の液状化強度試験データに対し、それらを全て包含する「F L I P」の液状化特性を設定する。

図 4.2-83 に豊浦標準砂の液状化強度試験データ、図 4.2-84 に F L I P による豊浦標準砂の液状化強度特性を示す。

F L I P を用いて、強制的に液状化を仮定した液状化影響評価を行うため、東海第二発電所の全地層の液状化強度試験データを包含する液状化強度特性（豊浦標準砂）を F L I P に仮定した有効応力解析を行い、耐震評価を実施する。図 4.2-85 に豊浦標準砂の液状化強度特性と原地盤の液状化強度特性の比較を示す。

豊浦標準砂と液状化検討対象層である du 層及び As 層の比較を実施した。表 4.2-10 に平均粒径と細粒分含有率の比較、図 4.2-86 及び図 4.2-87 に粒径加積曲線による比較を示す。豊浦標準砂と du 層及び As 層の粒度分布について比較した結果、豊浦標準砂は細粒分含有率が低く、均質な粒径を持つという特徴がある。

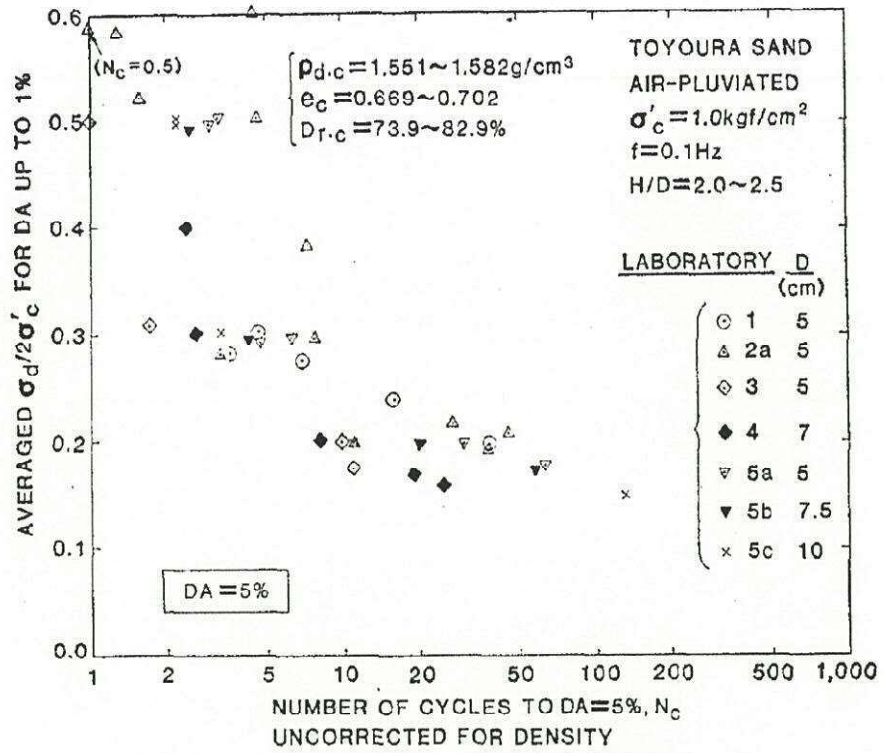


図 4.2-83 豊浦標準砂の液状化強度試験データ

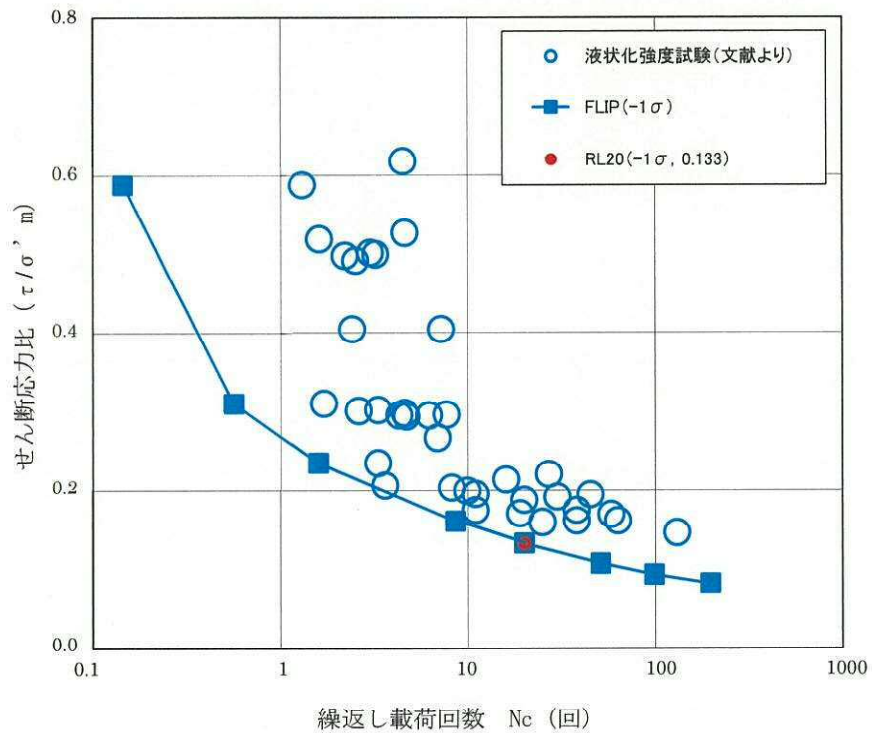


図 4.2-84 FLIPによる豊浦標準砂の液状化強度特性 (-1 $\sigma$ )

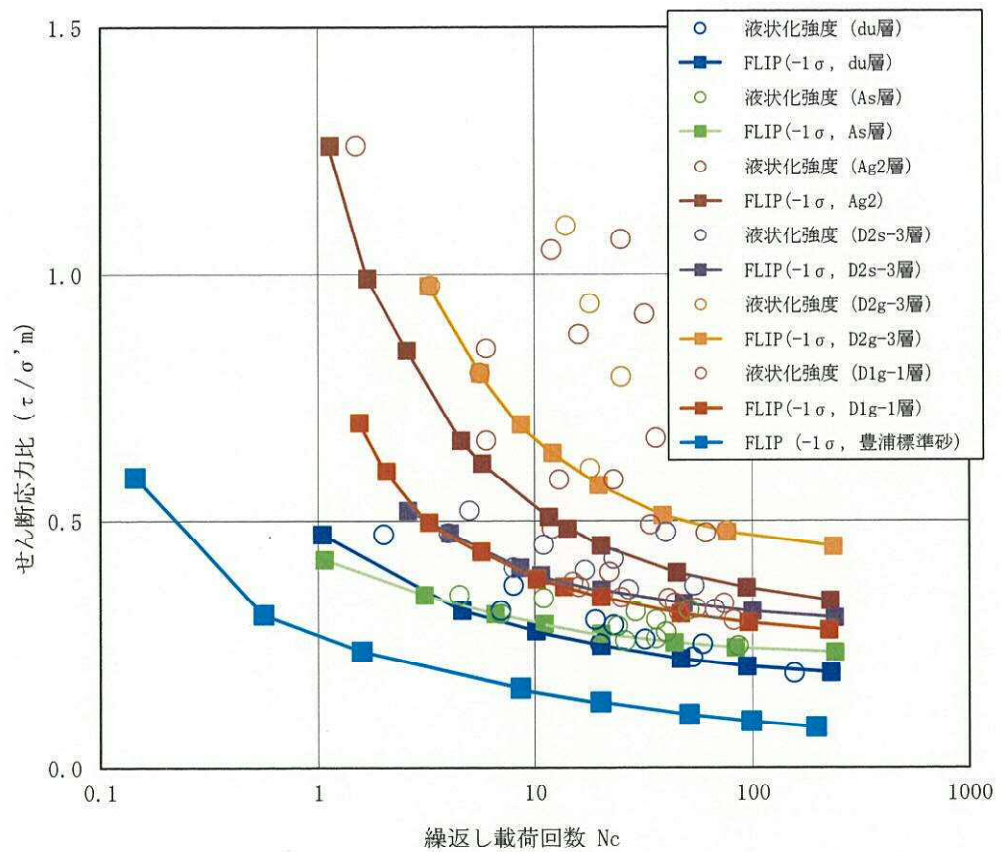
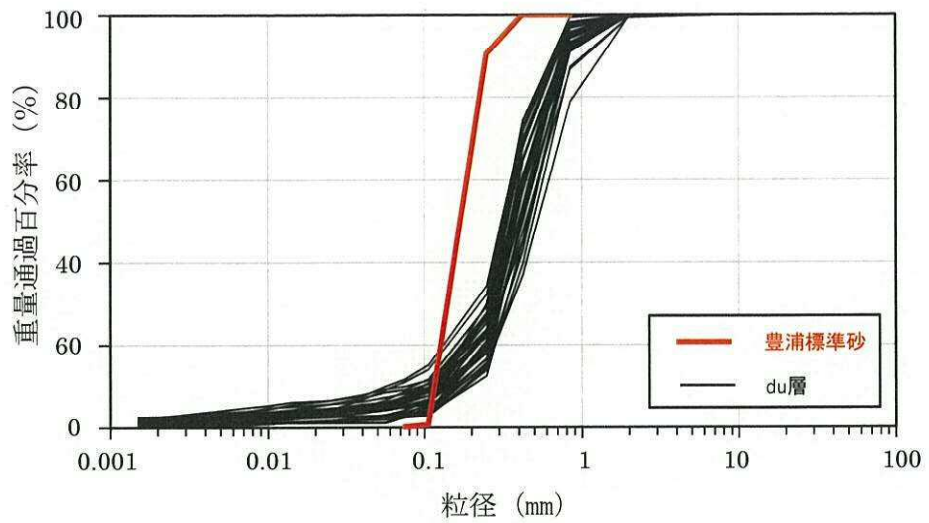


図 4.2-85 豊浦標準砂と原地盤の液状化強度特性の比較

表 4.2-10 平均粒径と細粒分含有率の比較

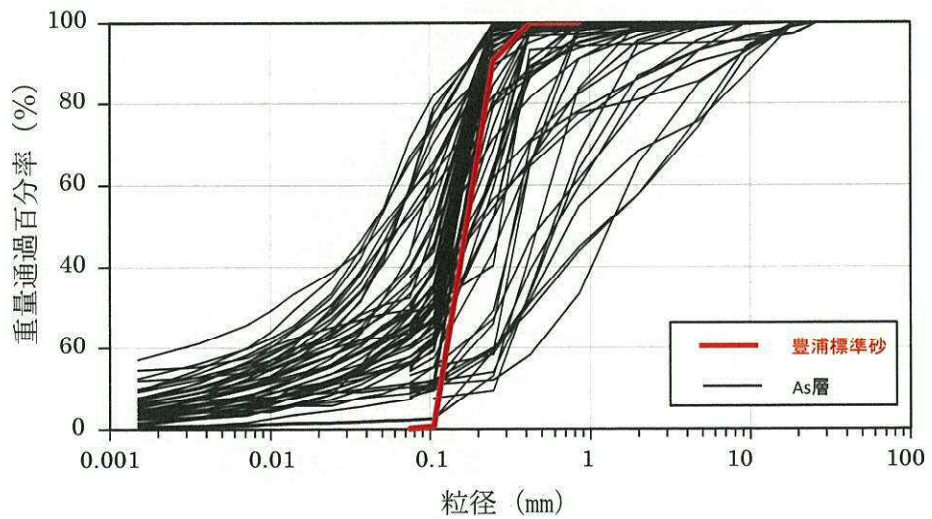
|       | 平均粒径 (mm) | 細粒分含有率 (%) |
|-------|-----------|------------|
| 豊浦標準砂 | 0.202     | 0.24       |
| du 層  | 0.384     | 5.2        |
| As 層  | 0.201     | 2.1~71.5   |





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

図 4.2-86 粒径加積曲線による比較（du層）



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

図 4.2-87 粒径加積曲線による比較（As層）

#### 4.2.3 その他の解析用物性値

##### (1) 捨石

捨石については、「港湾構造物設計事例集（（財）沿岸技術研究センター，平成19年3月）」に基づき，表4.2-1の通り解析用物性値を設定する。捨石の解析用物性値の詳細については（参考資料3）に示す。

##### (2) 人工岩盤

人工岩盤については、「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005）」に基づき，表4.2-2の通り解析用物性値を設定する。

##### (3) 地盤改良体

地盤改良体（セメント改良）については，既設改良体又は既設改良体を模擬した再構成試料による試験結果及び文献（地盤工学への物理探査技術の適用と事例（（社）地盤工学会，2001年），わかりやすい土木技術ジェットグラウト工法（鹿島出版社 柴崎他，1983年））等を参考に表4.2-3の通り解析用物性値を設定する。

地盤改良体（セメント改良）のせん断波速度は，図4.2-88に示す通り，一軸圧縮強度の増加に伴って増加する傾向があるため，各構造物で計画されている改良体の一軸圧縮強度に応じたせん断波速度を設定する方法を採用した。

地盤改良体（セメント改良）の動ポアソン比は，屋外二重管の底部地盤に施工されている既設地盤改良体（セメント改良）のPS検層結果より設定した。既設改良体（セメント改良）のPS検層実施位置を図4.2-89に，PS検層結果を表4.2-11に示す。

地盤改良体（セメント改良）のひずみ依存特性を設定するにあたり，一軸圧縮強度を2水準（ $q_u=4.0\text{N/mm}^2$ ， $13.0\text{N/mm}^2$ ）\*とした再構成試料による動的変形試験を実施した。2水準の一軸圧縮強度毎の動的変形試験結果とH-Dモデルによる回帰式を図4.2-90に示す。

上記の文献情報及び試験結果と解析用地盤物性の対応を，表4.2-12にとりまとめる。また，地盤改良体（セメント改良）におけるばらつきの考え方及び物性設定の妥当性についての検討結果を（参考資料4）に示す。

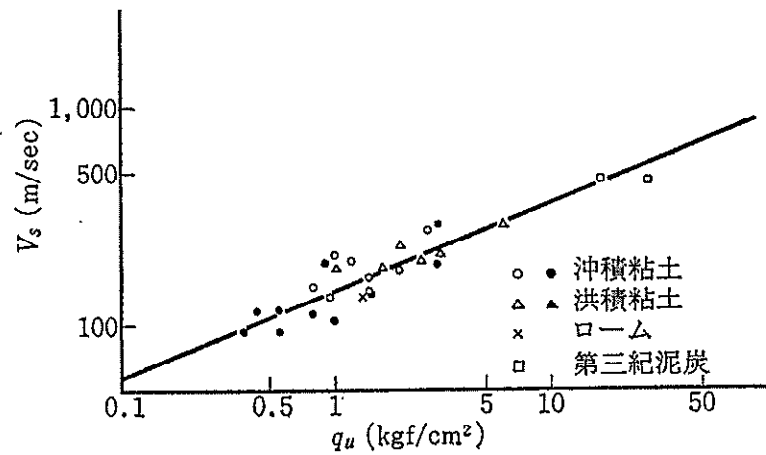
注記 \*：屋外二重管の底部地盤に施工されている既設地盤改良体（セメント改良）の一軸圧縮強度がおおよそ $13.0\text{N/mm}^2$ であったため，これを高強度側の目標一軸圧縮強度とし，一方で低強度側の目標一軸圧縮強度として $4.0\text{N/mm}^2$ を採用した。

地盤改良体（セメント改良）の強度特性のうち残留強度については、東海第二発電所の原地盤の内部摩擦角のうちAc層の内部摩擦角（ $\phi = 29.1^\circ$ ）を採用している。

一方、地盤改良体（セメント改良）の残留強度については、改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—（（財）日本建築センター）に述べられており、ここでは地盤改良体（セメント改良）を砕いて細粒化した試料を用いた三軸圧縮試験により、残留強度時に相当するとして求められた内部摩擦角（図 4.2-91）が示されている。最小破壊崩絡線の内部摩擦角は $\phi = 37.6^\circ$ であることから、上記にて設定した地盤改良体（セメント改良）の残留強度は、保守的な設定として妥当である。

また、地盤改良体（薬液注入）については、改良対象の原地盤の解析用物性値と同等の基礎物理特性を用いると共に、非液状化層とする。

なお、上記物性値とは別に、地盤改良試験施工を実施する主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構及び緊急時対策所建屋における地盤改良体（セメント改良）の解析用物性及びばらつきの設定については、各対象施設近傍にて実施した地盤改良試験施工結果を用いて設定する。詳細については、補足説明資料「主排気筒の耐震性評価に関する補足説明」、 「非常用ガス処理系配管支持架構の耐震性評価に関する補足説明」、 「緊急時対策所建屋の耐震性評価に関する補足説明」に示す。



\*文献（わかりやすい土木技術ジェットグラウト工法（鹿島出版社 柴崎他，1983 年））より引用

図 4.2-88 一軸圧縮強度とせん断波速度の関係

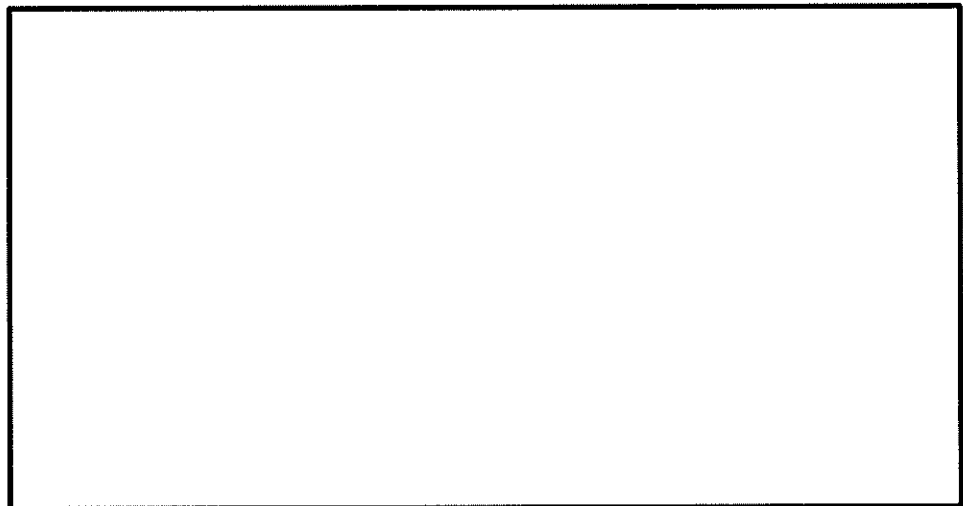
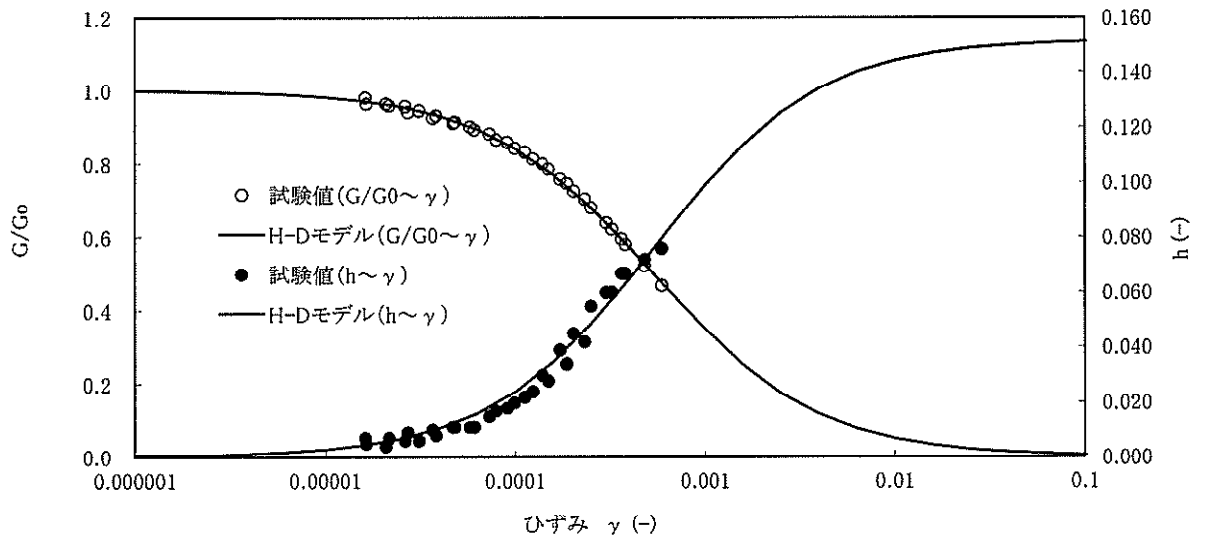


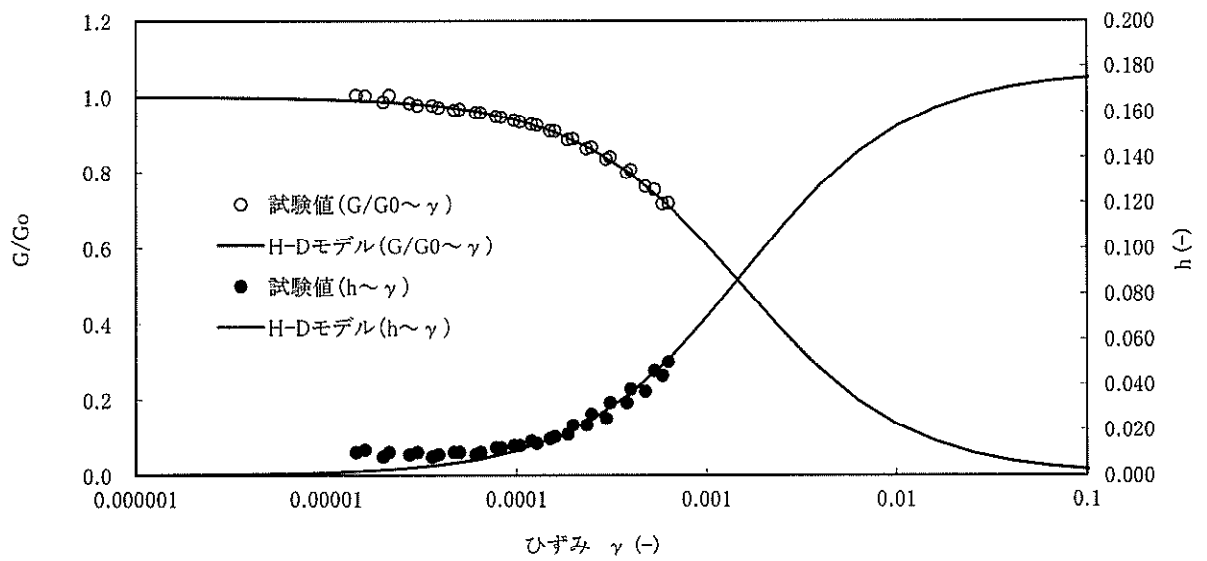
図 4.2-89 既設地盤改良体（セメント改良）のPS 検層実施位置

表 4.2-11 既設地盤改良体（セメント改良）のPS 検層結果

| 調査孔名              |      | $V_s$<br>(m/s) | $V_p$<br>(m/s) | 動ポアソン比 |
|-------------------|------|----------------|----------------|--------|
| 地盤改良体<br>(セメント改良) | SJ-1 | 750            | 2006           | 0.419  |
|                   | SJ-2 | 754            | 2357           | 0.443  |
| 平均値               |      | 752            | 2182           | 0.431  |



(目標一軸圧縮強度 : 4.0Nmm<sup>2</sup>)

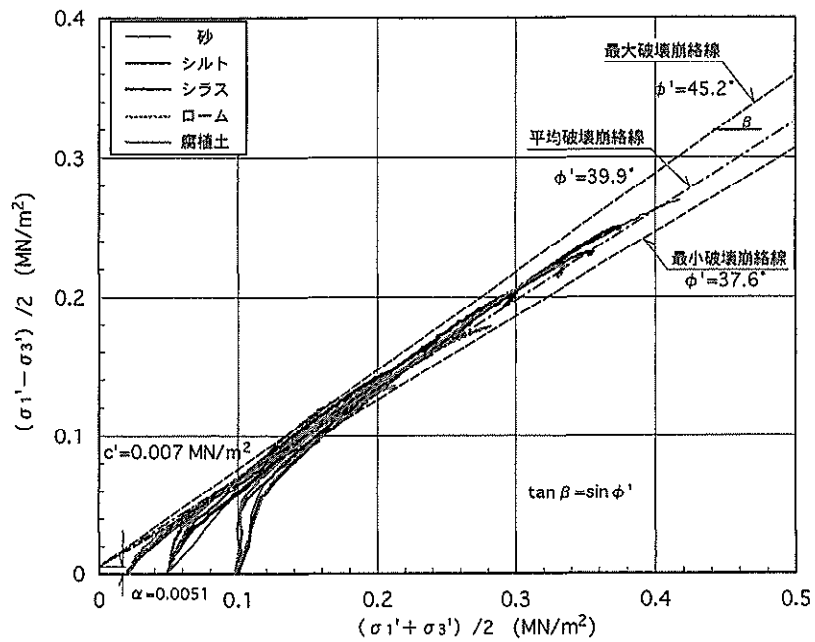


(目標一軸圧縮強度 : 13.0Nmm<sup>2</sup>)

図 4.2-90 再構成試料による動的変形試験結果

表 4.2-12 地盤改良体（セメント改良）の解析用地盤物性値  
と文献情報及び室内試験の対応関係

| 項目                                     | 地盤改良体（セメント改良）                                                                                                                 |                                                                                |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
|                                        | 一軸圧縮強度<br>( $\leq 8.5\text{N/mm}^2$ の場合)                                                                                      | 一軸圧縮強度<br>( $> 8.5\text{N/mm}^2$ の場合)                                          |
| 動的変形特性                                 | $G_0 = \rho_s / 1000 \times V_s^2$<br>$V_s = 147.6 \times q_u^{0.417} \text{ (m/s)}$<br>$q_u$ : 一軸圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |                                                                                |
| 初期せん断剛性<br>$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )  |                                                                                                                               |                                                                                |
| 動ポアソン比<br>$\nu_d$                      | 0.431                                                                                                                         |                                                                                |
| 動せん断弾性係数のひずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$ | $G/G_0 = \frac{1}{1+\gamma/0.000537}$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-)                                                                | $G/G_0 = \frac{1}{1+\gamma/0.001560}$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-)                 |
| 減衰定数<br>$h \sim \gamma$                | $h = 0.152 \frac{\gamma/0.000537}{1+\gamma/0.000537}$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-)                                                | $h = 0.178 \frac{\gamma/0.001560}{1+\gamma/0.001560}$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-) |



「改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法—,  
日本建築センター」より

図 4.2-91 細粒化した地盤改良体の応力経路図

#### 4.2.4 地盤の物性のばらつきについて

##### (1) 建物・構築物の地震応答解析に考慮する地盤の物性のばらつき

建物・構築物の地震応答解析においては地盤の物性のばらつきを考慮している。詳細については、補足説明資料「地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」に示す。

##### (2) 土木構造物（津波防護施設等を含む）の地震応答解析に考慮する地盤の物性のばらつき

土木構造物の地震応答解析においては地盤の物性のばらつきを考慮している。詳細については、補足説明資料「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に示す。

なお、地震応答解析にて考慮する地盤物性のばらつきについて、詳細を（参考資料5）に示す。

## 5. 極限支持力

極限支持力は、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）（以下「道路橋示方書」という。）及び建築基礎構造設計指針（（社）日本建築学会，2001）（以下「基礎指針」という。）の支持力算定式に基づき，対象施設の岩盤の室内試験結果（せん断強度）等より設定する。

### 5.1 直接基礎及びケーソン基礎の支持力算定式

道路橋示方書及び基礎指針による直接基礎の支持力算定式を以下に示す。

#### ・道路橋示方書による極限支持力算定式（直接基礎）

$$Q_u = A_e \left\{ \alpha \kappa c N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma \right\}$$

$Q_u$  : 荷重の偏心傾斜，支持力係数の寸法効果を考慮した地盤の極限支持力 (kN)

$c$  : 地盤の粘着力 ( $\text{kN/m}^2$ ) \*

$q$  : 上載荷重 ( $\text{kN/m}^2$ ) で， $q = \gamma_2 D_f$

$A_e$  : 有効載荷面積 ( $\text{m}^2$ )

$\gamma_1, \gamma_2$  : 支持地盤及び根入れ地盤の単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ )  
ただし，地下水位以下では水中単位体積重量とする。

$B_e$  : 荷重の偏心を考慮した基礎の有効載荷幅 (m)

$$B_e = B - 2 e_B$$

$B$  : 基礎幅 (m)

$e_B$  : 荷重の偏心量 (m)

$D_f$  : 基礎の有効根入れ深さ (m)

$\alpha, \beta$  : 基礎の形状係数

$\kappa$  : 根入れ効果に対する割増し係数

$N_c, N_q, N_\gamma$  : 荷重の傾斜を考慮した支持力係数

$S_c, S_q, S_\gamma$  : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

注記 \* :  $c$  は表 4.1-1 における  $K_m$  層の非排水せん断強度



・道路橋示方書による極限支持力算定式（ケーソン基礎）

$$q_d = \alpha c N_c + \frac{1}{2} \beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D_f N_q$$

$q_d$  : 基礎底面地盤の極限支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$c$  : 基礎底面より下にある地盤の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>) \*

$\gamma_1$  : 基礎底面より下にある地盤の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする。

$\gamma_2$  : 基礎底面より上にある周辺地盤の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする。

$\alpha, \beta$  : 基礎底面の形状係数

$B$  : 基礎幅 (m)

$D_f$  : 基礎の有効根入れ深さ (m)

$N_c, N_\gamma, N_q$  : 支持力係数

注記 \* :  $c$  は表 4.1-1 における Km 層の非排水せん断強度

・基礎指針による極限支持力算定式

$$q_u = i_c \cdot \alpha \cdot c \cdot N_c + i_\gamma \cdot \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot \eta \cdot N_\gamma + i_q \cdot \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q$$

$q_u$  : 直接基礎の単位面積あたりの極限鉛直支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$N_c, N_\gamma, N_q$  : 支持力係数

$c$  : 支持地盤の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>) \*

$\gamma_1$  : 支持地盤の水中単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_2$  : 根入れ部分の土の水中単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\alpha, \beta$  : 基礎の形状係数

$\eta$  : 基礎の寸法効果による補正係数

$i_c, i_\gamma, i_q$  : 荷重の傾斜に対する補正係数

$B$  : 基礎幅 (m)

$D_f$  : 根入れ深さ (m)

注記 \* :  $c$  は表 4.1-1 における Km 層の非排水せん断強度

## 5.2 杭基礎の支持力算定式

道路橋示方書及び基礎指針による杭基礎における各工法の支持力算定式を以下に示す。

押込み力に対する支持力評価において、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した耐震設計を行う場合は、第四系の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への接地圧に対する支持力評価を行うことを基本とする。ただし、杭を根入れした岩盤及び岩着している地盤改良体とその上方の非液状化層が連続している場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

引抜き力に対する支持力評価において、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した耐震設計を行う場合は、第四系の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、新第三系（久米層）の杭周面摩擦力により算定される極限支持力を考慮することを基本とする。ただし、杭周面地盤に地盤改良体がある場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。

杭基礎構造を有する耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の支持力算定方法に関する補足を（参考資料6）に示す。

### ・極限支持力算定式（杭基礎[中掘り工法]）

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

$R_u$  : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

$q_d$  : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$$q_d = 3 \cdot q_u$$

$q_u$  : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m<sup>2</sup>) \*

$A$  : 杭先端面積 (m<sup>2</sup>)

$U$  : 杭の周長 (m)

$L_i$  : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

$f_i$  : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>)

注記 \* :  $q_u$ は表 4.1-1 における  $K_m$  層の非排水せん断強度×2

### ・道路橋示方書による極限支持力算定式（杭基礎[打込み工法]）

$$R_u = P_u + U \sum L_i f_i$$

$R_u$  : 地盤から決まる杭の極限支持力 (kN)

$P_u$  : 杭先端の極限支持力 (kN)

$$P_u = 440 \cdot q_u^{1/2} \cdot A_t^{2/5} \cdot A_i^{1/3}$$

$q_u$  : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m<sup>2</sup>) \*

$A_t$  : 鋼管杭の先端純断面積 (m<sup>2</sup>)

$A_i$  : 鋼管杭の先端閉塞面積 (m<sup>2</sup>)

$A$  : 鋼管杭の先端面積 (m<sup>2</sup>)

$U$  : 杭の周長 (m)

$L_i$  : 周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)

$f_i$  : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>)

注記 \* :  $q_u$ は表 4.1-1 における  $K_m$  層の非排水せん断強度×2

・道路橋示方書による極限支持力算定式（杭基礎〔群杭〕）

$$Q_p = A_G q_{d'} - W$$

$Q_p$  : 群杭としての杭先端の極限支持力 (kN)

$A_G$  : 仮想ケーソン基礎の底面積 (m<sup>2</sup>)

$q_{d'}$  : 仮想ケーソン基礎底面地盤の極限支持力度 (kN/m<sup>2</sup>) \*

$W$  : 仮想ケーソンで置き換えられる土の有効重量 (kN)

注記 \* :  $q_{d'}$  は道路橋示方書による極限支持力算定式（ケーソン基礎）から求める極限支持力度

・基礎指針による極限支持力算定式

$$R_u = R_p + R_f$$

$R_u$  : 極限支持力 (kN)

$R_p$  : 極限先端支持力 (kN)

$$R_p = q_u \cdot A_p$$

$q_u$  : 極限先端支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$$q_u = 6 c_u$$

$c_u$  : 土の非排水せん断強さ (kN/m<sup>2</sup>) \*

$A_p$  : 杭先端の閉塞断面積 (m<sup>2</sup>)

$R_f$  : 極限周面摩擦力 (kN)

$$R_f = R_{fs} + R_{fc}$$

$R_{fs}$  : 砂質土部分の極限周面摩擦力 (kN)

$$R_{fs} = \tau_s \cdot L_s \cdot \phi$$

$\tau_s$  : 砂質土の極限周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$L_s$  : 砂質土部分の長さ (m)

$\phi$  : 杭の周長 (m)

$R_{fc}$  : 粘性土部分の極限周面摩擦力 (kN)

$$R_{fc} = \tau_c \cdot L_c \cdot \phi$$

$\tau_c$  : 粘性土の極限周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$L_c$  : 砂質土部分の長さ (m)

注記 \* :  $c_u$  は第 3-1 表における Km 層の非排水せん断強度

- ・基礎指針によるによる残留引抜き抵抗力算定式

$$R_{TR} = (1/1.2) (\sum \tau_{sti} L_{si} + \sum \tau_{cti} L_{ci}) \phi + W$$

$R_{TR}$  : 残留引抜き抵抗力 (kN)

$\tau_{sti}$  : 砂質土の  $i$  層における杭引抜き時の最大周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>) \*1

$L_{si}$  : 砂質土の  $i$  層における杭の長さ (m)

$\tau_{cti}$  : 粘性土の  $i$  層における杭引抜き時の最大周面摩擦力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$L_{ci}$  : 粘性土の  $i$  層における杭の長さ (m)

$\phi$  : 杭の周長 (m)

$W$  : 杭の自重 (kN) \*2

注記 \*1: 押込み時の極限周面摩擦力度の 2/3 とする。

\*2: 地下水位以下の部分については浮力を考慮する。

### 5.3 地中連続壁基礎の支持力算定式

道路橋示方書による地中連続壁基礎における支持力算定式を以下に示す。

- ・極限支持力算定式 (地中連続壁基礎)

$$R_u = q_d A$$

$R_u$  : 基礎底面地盤の極限支持力 (kN)

$q_d$  : 基礎底面地盤の極限支持力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$$q_d = 3 \cdot q_u$$

$q_u$  : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m<sup>2</sup>)

\* $q_u$  は表 4.1-1 における  $K_m$  層の非排水せん断強度  $\times 2$

$A$  : 基礎の底面積 (内部土は含まない) (m<sup>2</sup>)

### 5.4 極限支持力算定式における久米層の非排水せん断強度の適用性について

久米層に対して以下の力学特性を明らかにするため、CUU 試験を採用した。CUU 試験は、供試体を土被り圧相当で圧密した後、非排水状態で側圧を変化させた上で軸荷重を増加させ、非排水せん断強度を求めるものである。

なお、地震時のように間隙水の排水条件が非排水とみなされる期間の評価においては、非排水状態における強度特性を用いることが適切である。

- ・標高毎の非排水せん断強度を精緻に求める。
- ・非排水状態における内部摩擦角  $\phi$  を確認する。

上記試験の結果、久米層の非排水状態における内部摩擦角  $\phi$  はゼロであることを確認した。

図 5.1-1 に E.L. -18m 付近にて採取した試料によるモール円を示す。

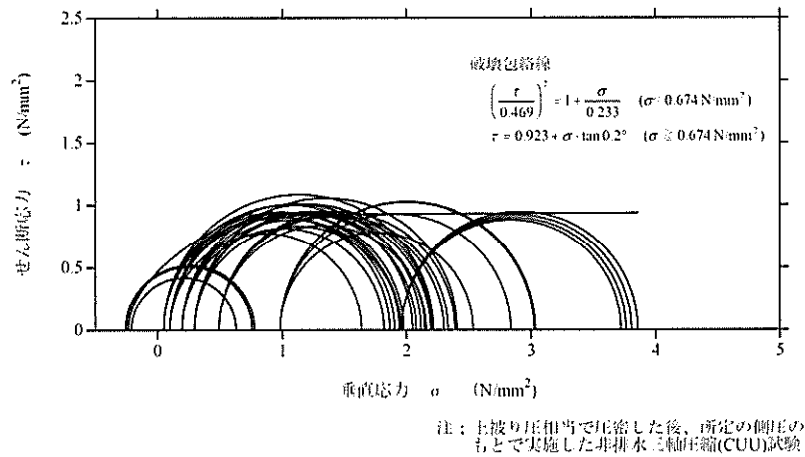


図 5.1-1 久米層の CUU 試験によるモール円

以上より、久米層の CUU 試験において、標高毎に取得されるせん断強度  $\tau$  は粘着力  $c$  であることが分かる。久米層の解析用地盤物性値は、この粘着力  $c$  を標高毎にとりまとめることで、標高依存式として非排水せん断強度を設定している。久米層の非排水せん断強度設定イメージを図 5.1-2 に示す。

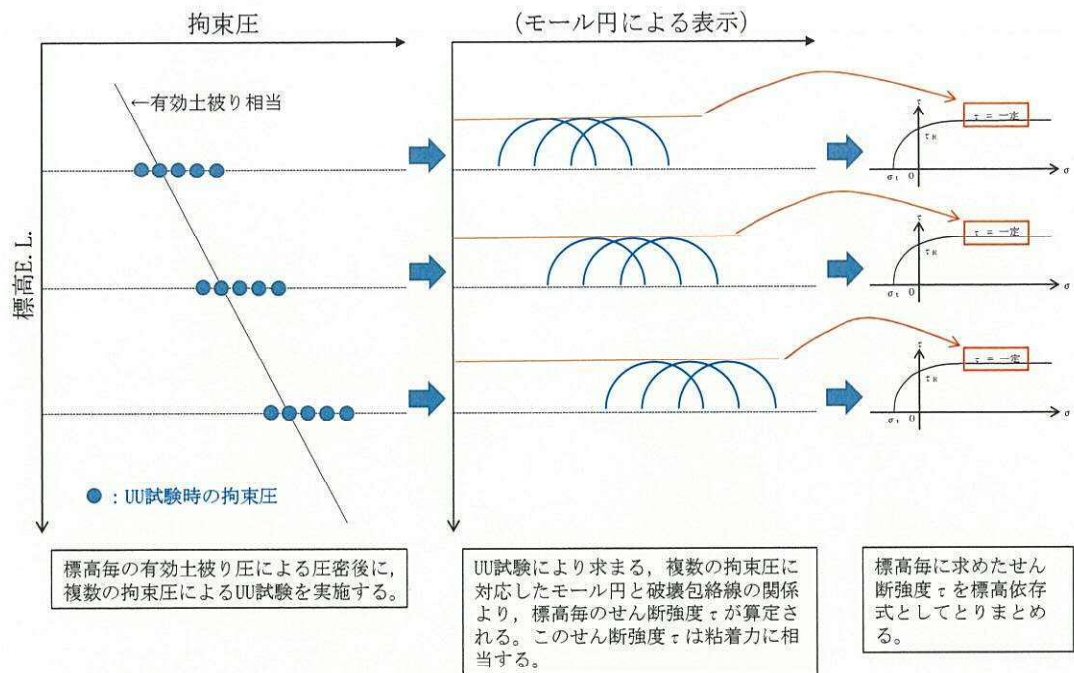


図 5.1-2 久米層の非排水せん断強度設定イメージ

以上により、久米層の非排水せん断強度における内部摩擦角はゼロであり、CUU 試験により得られる久米層の非排水せん断強度は粘着力に相当することが明らかであることから、道路橋示方書に記載されている軟岩や土丹に対する強度設定の考え方である「粘着力  $c = \frac{1}{2} \text{一軸圧縮強度 } q_u$ 」に基づき、極限支持力の入力パラメータである粘着力及び一軸圧縮強度を、久米層の非排水せん断強度から設定することは妥当である。

#### 5.5 杭の支持力試験について

杭の支持力試験を実施している使用済燃料乾式貯蔵建屋については、極限支持力を支持力試験結果から設定する。詳細については、補足説明資料「使用済燃料乾式貯蔵建屋の耐震性評価に関する補足説明」に示す。

## 6. 地盤の速度構造

### 6.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル

入力地震動の設定に用いる地下構造モデルについては、解放基盤表面（EL. -370 m）から解析モデル底面位置の久米層をモデル化する。地下構造モデルの概要を表 6.1-1 に示す。入力地震動算定の概念図を図 6.1-1 示す。

なお、繰返し三軸試験により、久米層はせん断剛性及び履歴減衰のひずみ依存特性を有していることを確認していることから、久米層のモデル化においては、繰返し三軸試験による久米層のひずみ依存特性を解析用地盤物性値として用いる。

表 6.1-1 入力地震動の策定に用いる地下構造モデル

| 地層                                      | 新第三系<br>(Km層)                                                            | 基盤*1                |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 標高                                      | 解析モデル入力位置 ～ EL. -370 m                                                   | EL. -370 m以深        |
| P波速度 $V_p$<br>(m/s)                     | $V_p = V_s \sqrt{\frac{2(1-\nu_d)}{1-2\nu_d}}$                           | 1988<br>(z=-370 m)  |
| S波速度 $V_s$<br>(m/s)                     | $V_s = 433 - 0.771 \cdot z$<br>z : 標高 (m)                                | 718<br>(z=-370 m)   |
| 動ポアソン比 $\nu_d$                          | $\nu_d = 0.463 + 1.03 \times 10^{-4} \cdot z$<br>z : 標高 (m)              | 0.425<br>(z=-370 m) |
| 密度 $\rho$<br>(g/cm <sup>3</sup> )       | $\rho = 1.72 - 1.03 \times 10^{-4} \cdot z$<br>z : 標高 (m)                | 1.76<br>(z=-370 m)  |
| せん断剛性の<br>ひずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$ | $\frac{1}{1+107\gamma^{0.824}}$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-)                 | —                   |
| 減衰定数<br>$h \sim \gamma$                 | $\frac{\gamma}{(4.41\gamma + 0.0494)} + 0.0184$<br>$\gamma$ : せん断ひずみ (-) | 0.03                |

注記 \*1 : 入力地震動作成モデルにおける解放基盤表面以深の半無限地盤

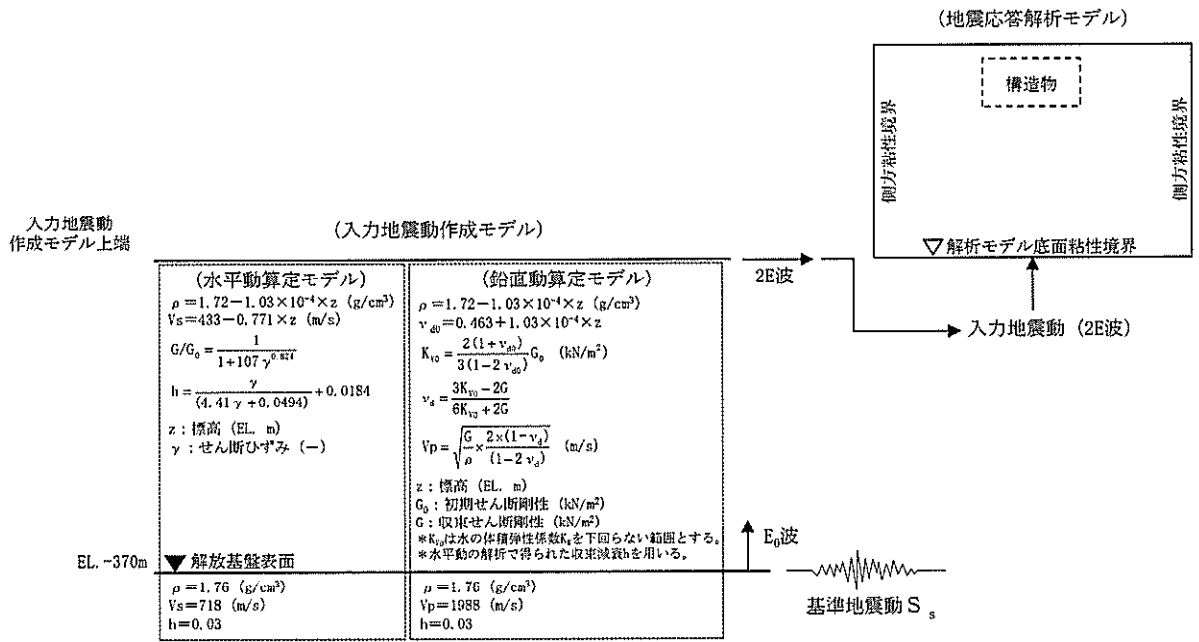


図 6.1-1 入力地震動算定の概念図

## 6.2 地震応答解析に用いる地盤の速度構造モデル

地震応答解析に用いる地盤の速度構造モデルとして、図 6.2-1 に示す位置で実施した PS 陰層の結果に基づく地層ごとのせん断波速度  $V_s$  及び粗密波速度  $V_p$  を表 6.2-1 に示す。

表 6.2-1 では、PS 陰層結果を 2 種類の速度構造モデルとして取り纏めている。表 6.2-1 のうち平均値として記載した速度構造モデルは、全応力解析に適用する。

また、有効応力解析コード「FLIP」では、「図 4.2-9 液状化パラメータ設定の流れ」に示すように、平均有効主応力の関数式にて動的変形特性をモデル化する必要がある。よって、表 6.2-1 のうち平均有効主応力依存式として記載した速度構造モデルは、有効応力解析に適用することを基本とする。ただし、一部の全応力解析に対しては、平均有効主応力の関数式にてせん断波速度  $V_s$  をモデル化する場合がある。





図 6.2-1 PS 検層実施位置図

表 6.2-1 PS 検層結果

| 地層   |        |      | 平均値                   |                        | 平均有効主応力依存式<br>$V_s = A \times (\sigma'_m)^{0.25}$ |
|------|--------|------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------------------|
|      |        |      | $V_s$<br>(m/s)        | $V_p$<br>(m/s)         | 係数A                                               |
| 第四系  | du層    | 不飽和  | 210                   | 482                    | 82.8598                                           |
|      |        | 飽和   |                       | 1850                   | 82.2410                                           |
|      | Ag2層   | 不飽和  | 240                   | 446                    | 71.5266                                           |
|      |        | 飽和   |                       | 1801                   | 78.7716                                           |
|      | Ac層    | 飽和   | $163 - 1.54 \cdot z$  | $1240 - 1.93 \cdot z$  | 58.0616                                           |
|      | As層    | 飽和   | $211 - 1.19 \cdot z$  | $1360 - 1.78 \cdot z$  | 65.1014                                           |
|      | Ag1層   | 飽和   | 350                   | 1950                   | 82.6980                                           |
|      | D2c-3層 | 飽和   | 270                   | 1770                   | 78.1556                                           |
|      | D2s-3層 | 飽和   | 360                   | 1400                   | 104.4247                                          |
|      | D2g-3層 | 飽和   | 500                   | 1879                   | 136.1685                                          |
|      | lm層    | 不飽和  | 130                   | 1160                   | 40.9503                                           |
|      | D1c-1層 | 飽和   | 280                   | 1730                   | —                                                 |
|      | D1g-1層 | 不飽和  | 390                   | 903                    | 110.6364                                          |
| 飽和   |        | 1757 |                       | 107.0330               |                                                   |
| 新第三系 | Km層    | 飽和   | $433 - 0.771 \cdot z$ | $1650 - 0.910 \cdot z$ | —                                                 |

z : 標高 (m)  
 $\sigma'_m$  : 平均有効主応力 (kN/m<sup>2</sup>)  
 A : 最小二乗法の回帰係数

### 6.3 PS 検層結果の代表性及び網羅性について

設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設が敷地全体に点在しているが、既往の PS 検層の取得場所には偏りがあることから、その代表性及び網羅性について検討した。

#### 6.3.1 第四系における PS 検層の代表性及び網羅性について

第四系における PS 検層の代表性及び網羅性については、敷地全体の広範囲で取得している N 値により検討した。道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 14 年 3 月）には、N 値によるせん断波速度  $V_s$  の推定式が示されており、この相関関係を考慮して、N 値による比較検討を実施する。

##### (1) 平面的な地層分布を考慮したブロック区分による比較

東海第二発電所における主な地層の平面的な分布を図 6.3-1 に示す。敷地中央部の基盤（久米層）傾斜部を境界にして南北方向に地層が分かれていることから、それらをより多くのブロックに分割するため東西方向のブロック区分を考える。具体的には、図 6.3-1 に示す東西 4 つのブロックに区分し、各ブロックで取得された平均 N 値を比較することで、各地層が工学的に同等の特性を持って平面的に分布していることを確認する。

図 6.3-2 に各ブロックにおける平均 N 値の比較結果を示す。各地層の平均 N 値を領域毎に比較した結果、有意な差が無いことを確認した。よって、既往の PS 検層は代表性及び網羅性を有している。

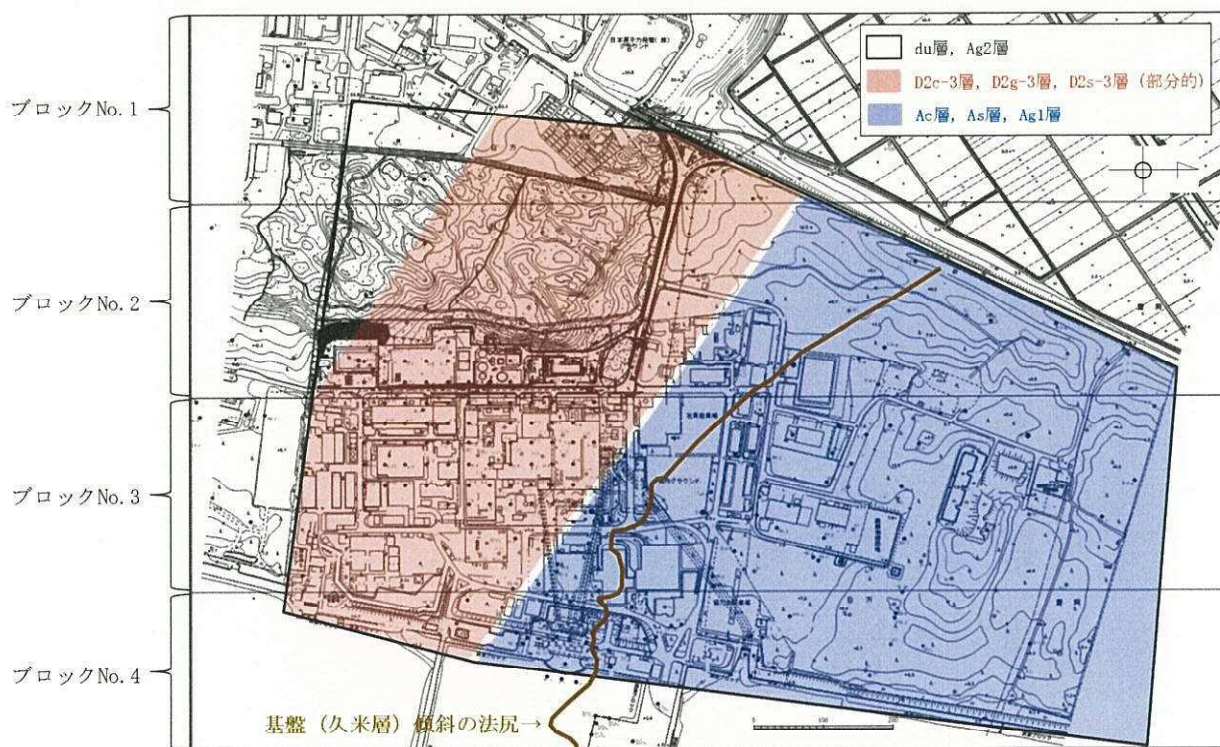
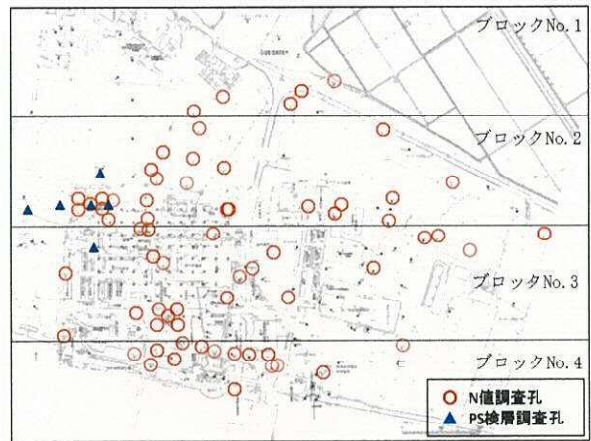
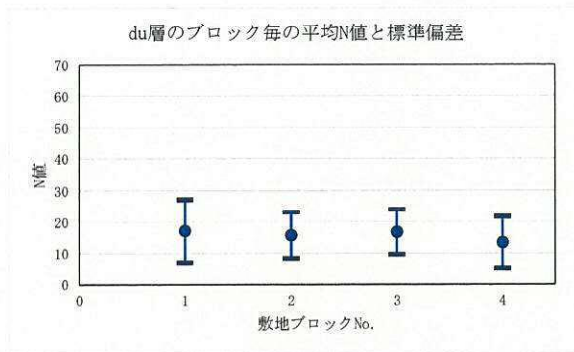
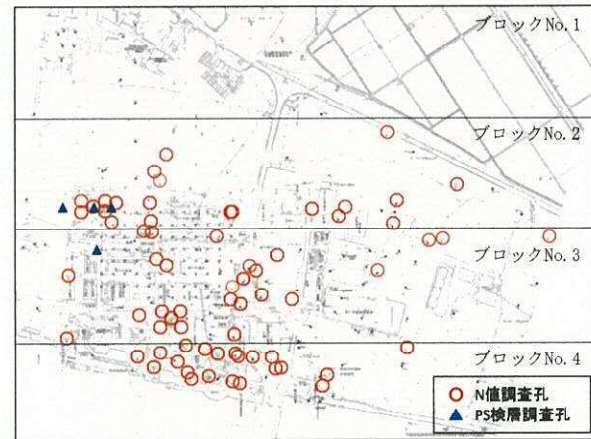
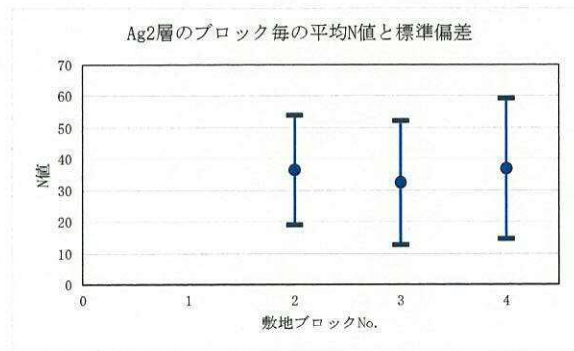


図 6.3-1 主な地層の平面的な分布とブロック区分の考え方



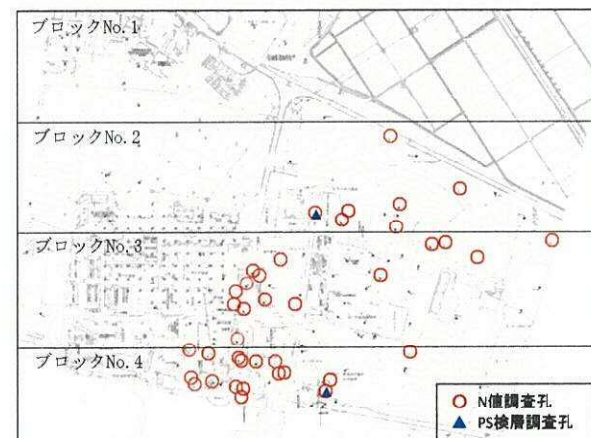
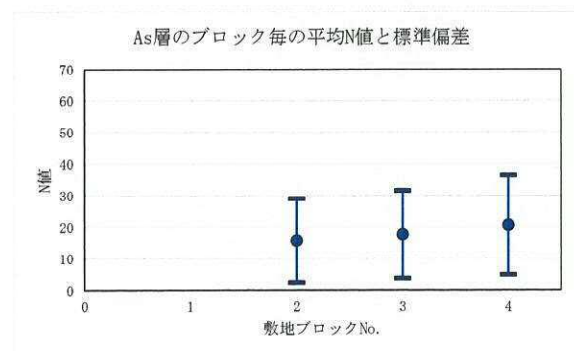
(ブロック区分とN値の採取位置)

図 6.3-2 (1) 各ブロックにおけるN値の比較結果 (du層)



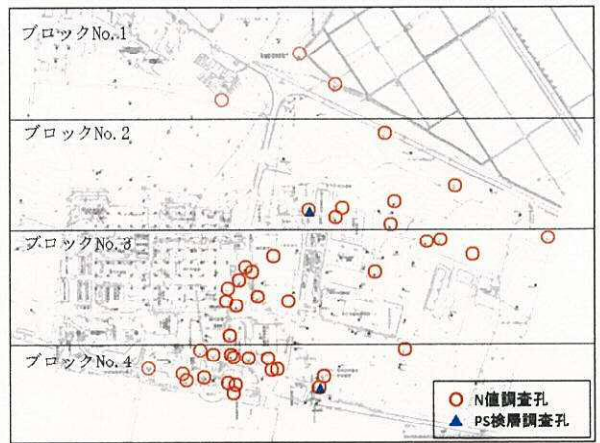
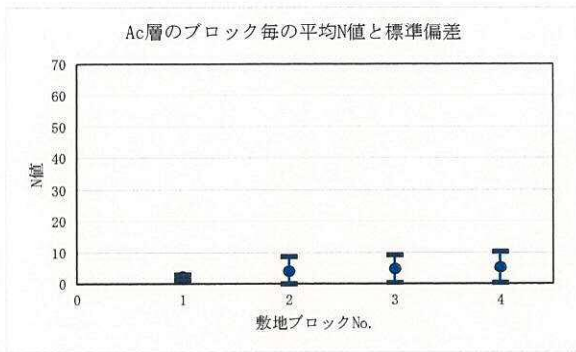
(ブロック区分とN値の採取位置)

図 6.3-2 (2) 各ブロックにおけるN値の比較結果 (Ag2層)



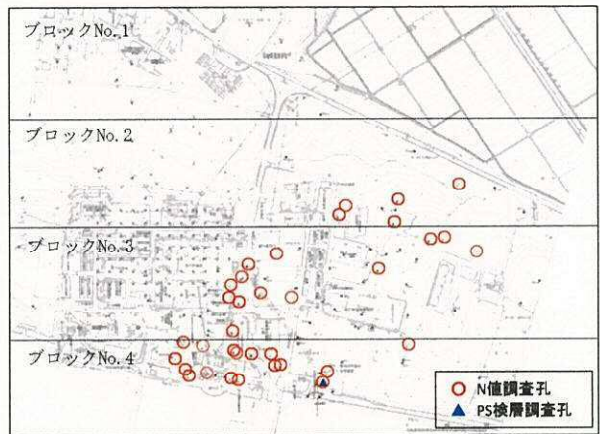
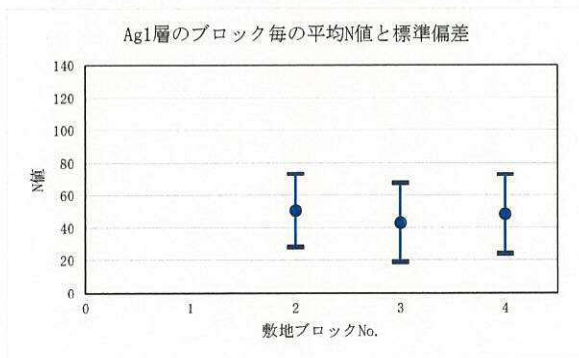
(ブロック区分とN値の採取位置)

図 6.3-2 (3) 各ブロックにおけるN値の比較結果 (As層)



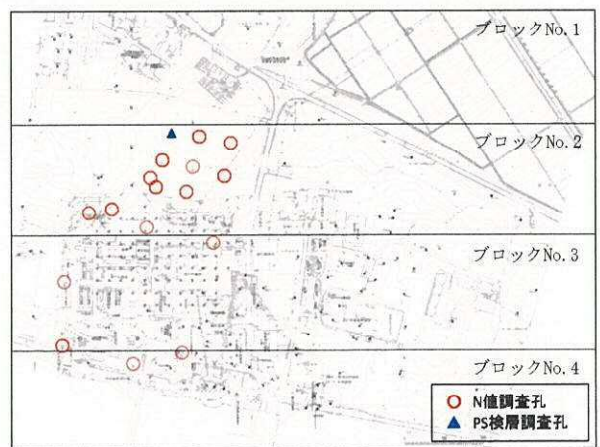
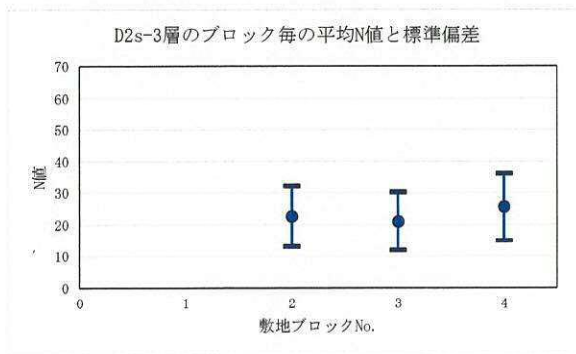
(ブロック区分とN値の採取位置)

図 6.3-2 (4) 各ブロックにおけるN値の比較結果 (Ac層)



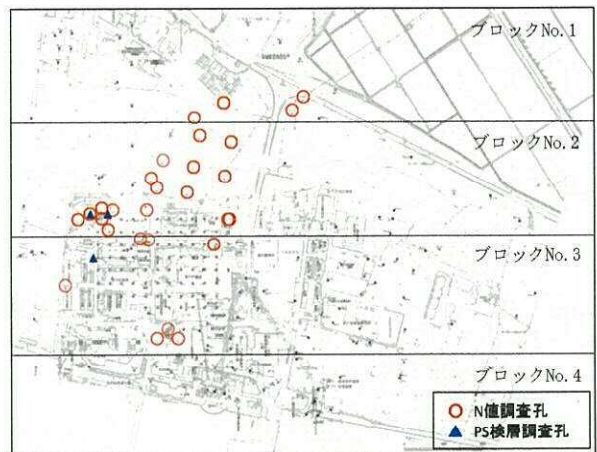
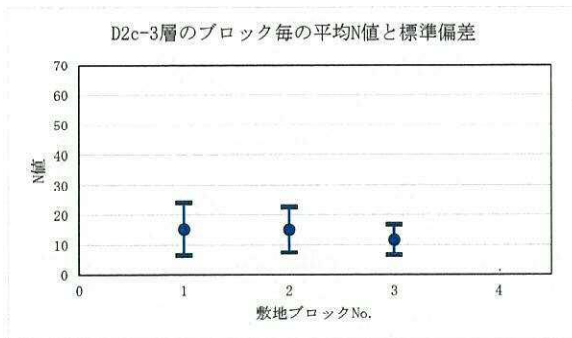
(ブロック区分とN値の採取位置)

図 6.3-2 (5) 各ブロックにおけるN値の比較結果 (Ag1層)



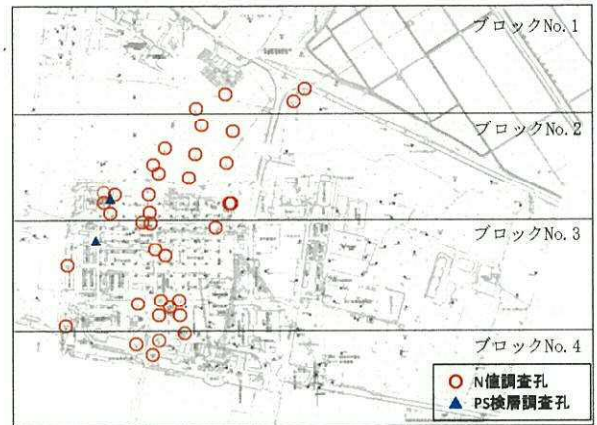
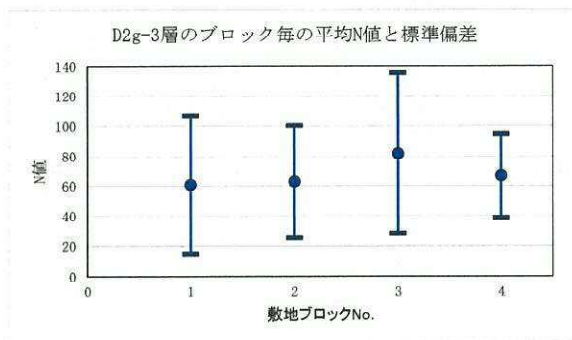
(ブロック区分とN値の採取位置)

図 6.3-2 (6) 各ブロックにおけるN値の比較結果 (D2s-3層)



(ブロック区分とN値の採取位置)

図 6.3-2 (7) 各ブロックにおけるN値の比較結果 (D2c-3層)



(ブロック区分とN値の採取位置)

図 6.3-2 (8) 各ブロックにおけるN値の比較結果 (D2g-3層)

(2) 地層の堆積状況を考慮したブロック区分による比較

(1)の検討に加え、基盤（久米層）の傾斜による地層の堆積状況の違いに着目したN値の比較を行う。図6.3-3に地層の堆積状況の違いに着目したブロック区分の考え方を示す。

堆積状況として基盤（久米層）傾斜の影響を受けているAc層、As層、Ag1層に対し、堆積状況の差異に着目したブロック区分として、基盤（久米層）の傾斜部と平坦部での比較を考える。

図6.3-4に各ブロックにおける平均N値と、以下の式\*によりN値から換算したVsの比較結果を示す。

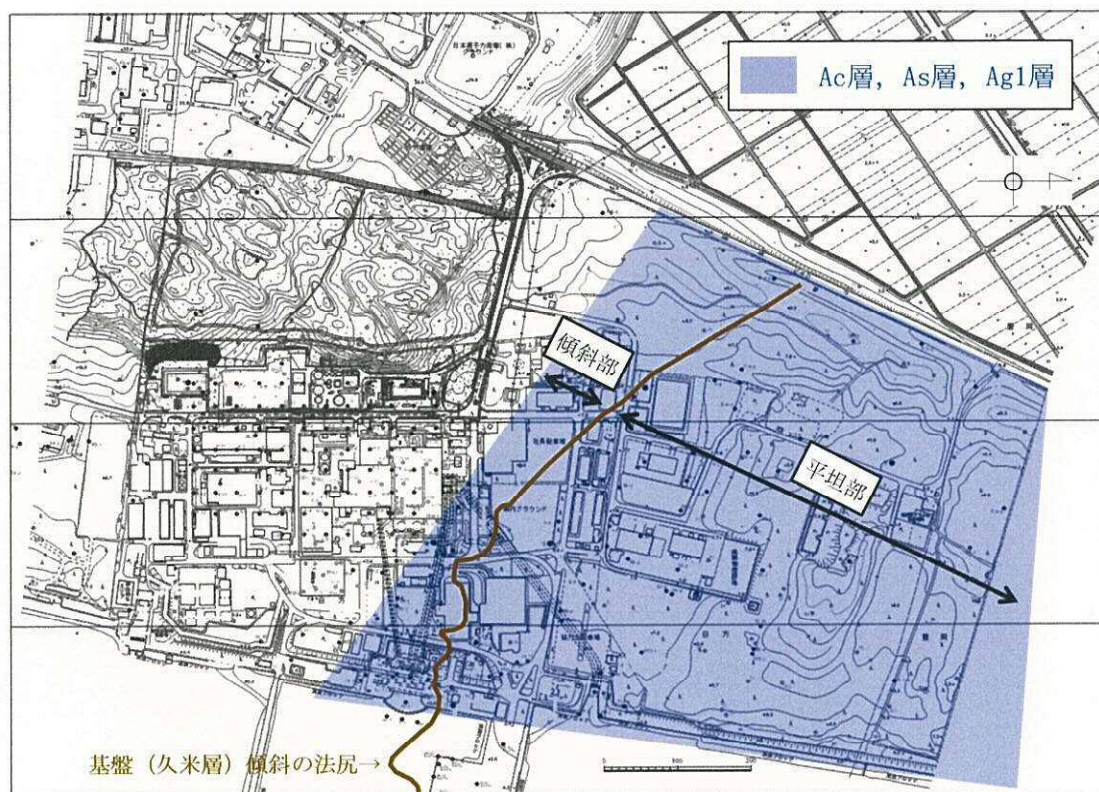
・  $V_s = 100 \times N^{1/3}$ （粘性土層の場合）

・  $V_s = 80 \times N^{1/3}$ （砂質土層の場合）

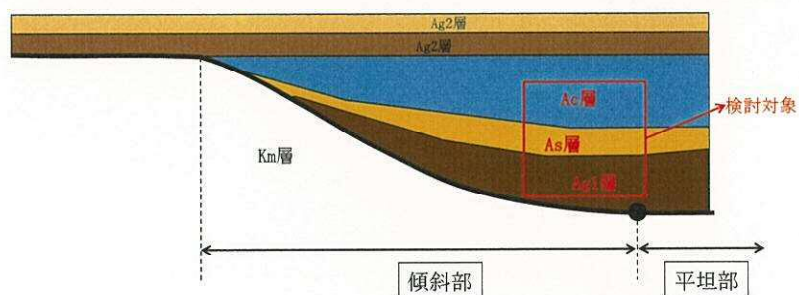
\* 道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成14年3月）

Ac層及びAs層については、傾斜部と平坦部で平均N値に有意な差が無いことを確認した。また、Ag1層については、傾斜部の平均N値がやや低い傾向を示したが、換算Vsによる比較においては、傾斜部と平坦部にそれほど大きな差が無いことを確認した。

以上より、既往のPS検層についての代表性及び網羅性を確認した。



(平面図)



(断面イメージ)

図 6.3-3 地層の堆積状況の違いに着目したブロック区分の考え方

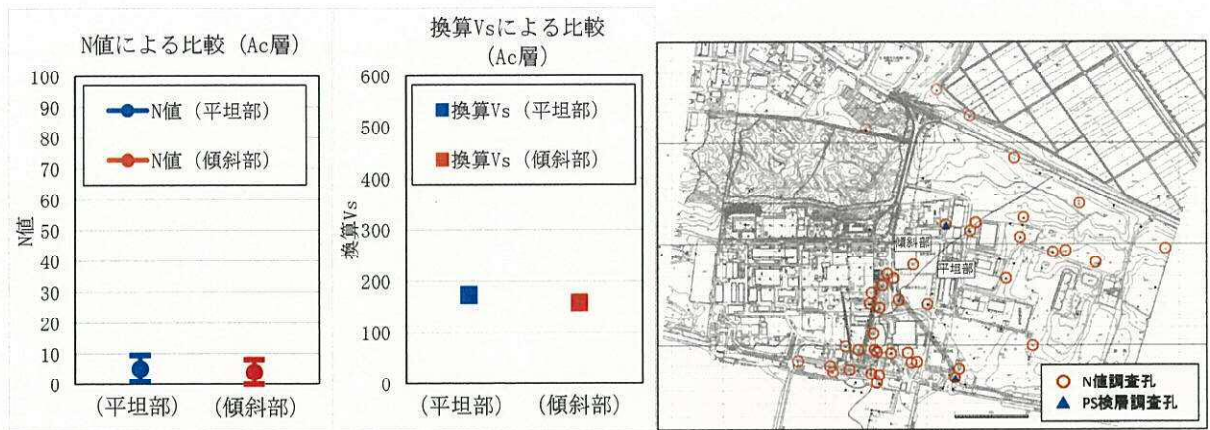


図 6.3-4 (1) 傾斜部と平坦部における N 値及び換算 Vs の比較結果 (Ac 層)

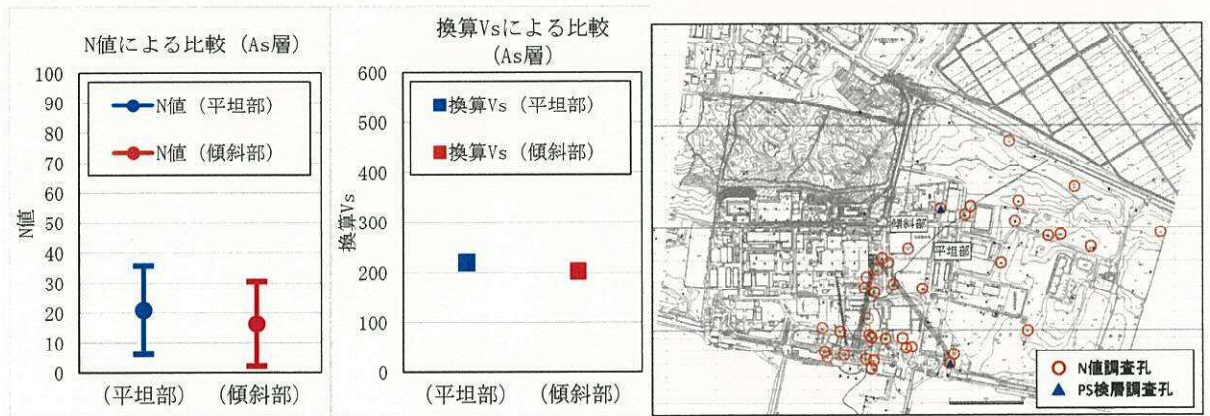


図 6.3-4 (2) 傾斜部と平坦部における N 値及び換算 Vs の比較結果 (As 層)

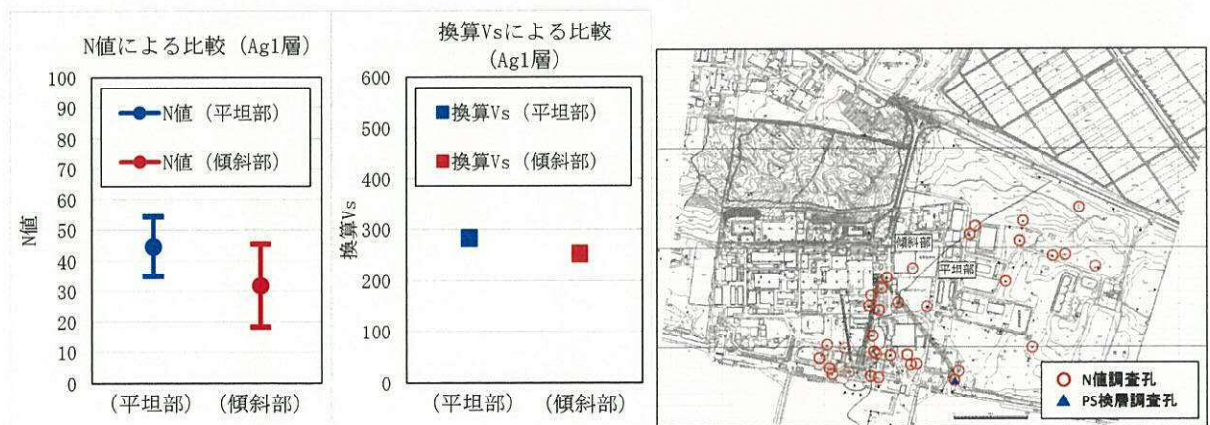


図 6.3-4 (3) 傾斜部と平坦部における N 値及び換算 Vs の比較結果 (Ag1 層)



### 6.3.2 新第三系におけるPS検層の代表性及び網羅性について

新第三系については、解析用地盤物性値（地盤の速度構造モデル）の基となっているPS検層に加え、敷地の地質・地質構造検討用に敷地の広範囲で複数のPS検層を実施している。図6.3-5に地質・地質構造検討用も含めたPS検層実施位置を示す。

図6.3-5には解析用地盤物性値の基となっているPS検層を併せて記載しているが、解析用地盤物性の基となっているPS検層は敷地の南側に偏っているのに対し、他の地質・地質構造検討用のPS検層は敷地内の広範囲をカバーしている。

解析用地盤物性値の基となっているPS検層と、敷地内の広範囲をカバーしている地質・地質構造検討用のPS検層を比較し、これらの差異を確認することで、解析用地盤物性値の基となっているPS検層の代表性及び網羅性について検討した。

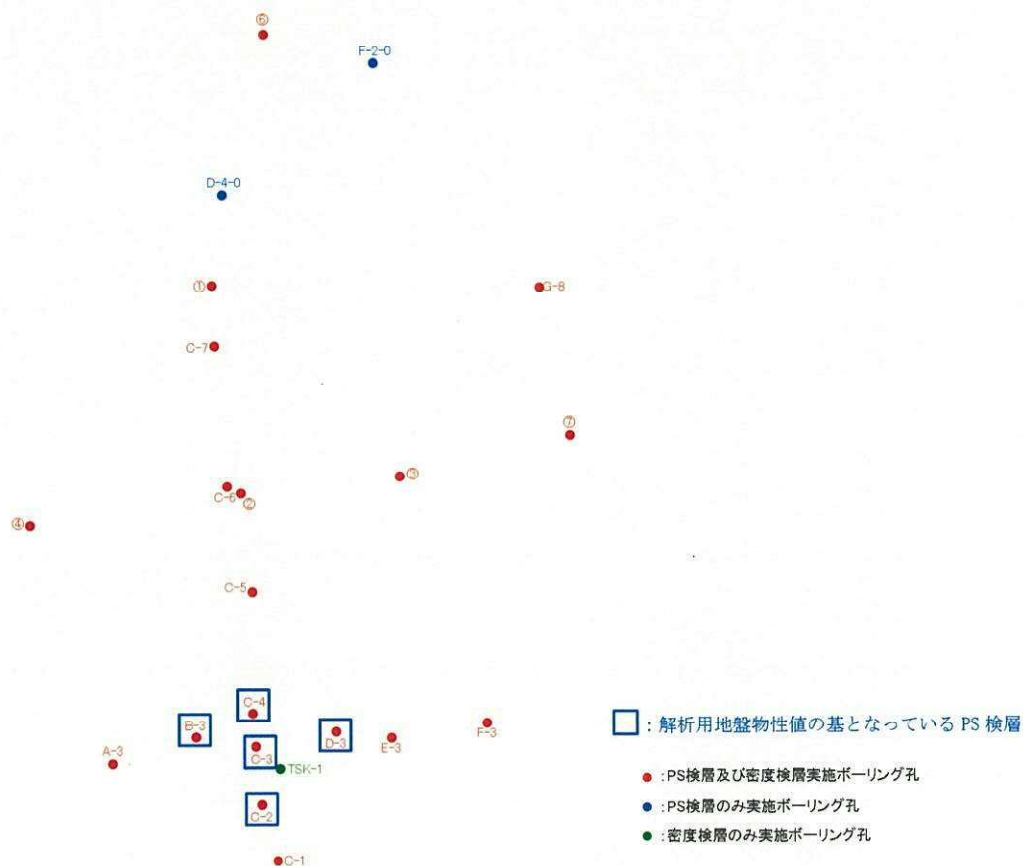


図 6.3-5 PS 検層実施位置図（敷地の地質・地質構造検討用）

図 6.3-6 に地質・地質構造検討用の PS 検層（黒）と、解析用地盤物性値の基となっている PS 検層（赤）の回帰式を比較した結果を示す。解析用地盤物性値の基となっている PS 検層（赤）は、敷地内の広範囲をカバーしている地質・地質構造検討用の PS 検層（黒）と概ね同等の傾向を有して深度方向に分布している。

以上の比較結果より、解析用地盤物性値の基となっている PS 検層は、敷地内の広範囲をカバーした PS 検層と概ね同等であり、代表性及び網羅性を有していることを確認した。

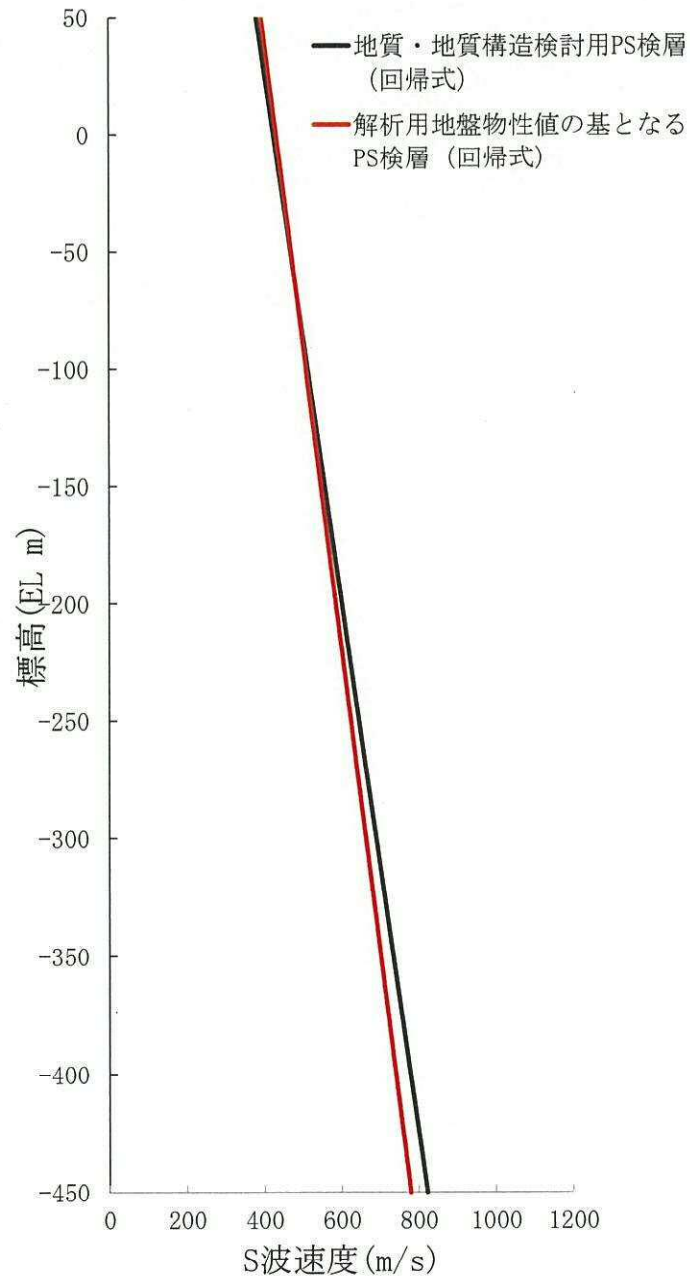


図 6.3-6 各 PS 検層の比較

地盤の支持性能についての参考資料

- (参考資料 1) 地下水位観測データについて
- (参考資料 2) 解析用物性値の代用等の考え方
- (参考資料 3) 捨石の解析用物性値について
- (参考資料 4) 地盤改良体における補足
- (参考資料 5) 地震応答解析にて考慮する地盤物性のばらつき
- (参考資料 6) 杭基礎の支持力評価方法に関する補足

(参考資料1) 地下水位観測データについて

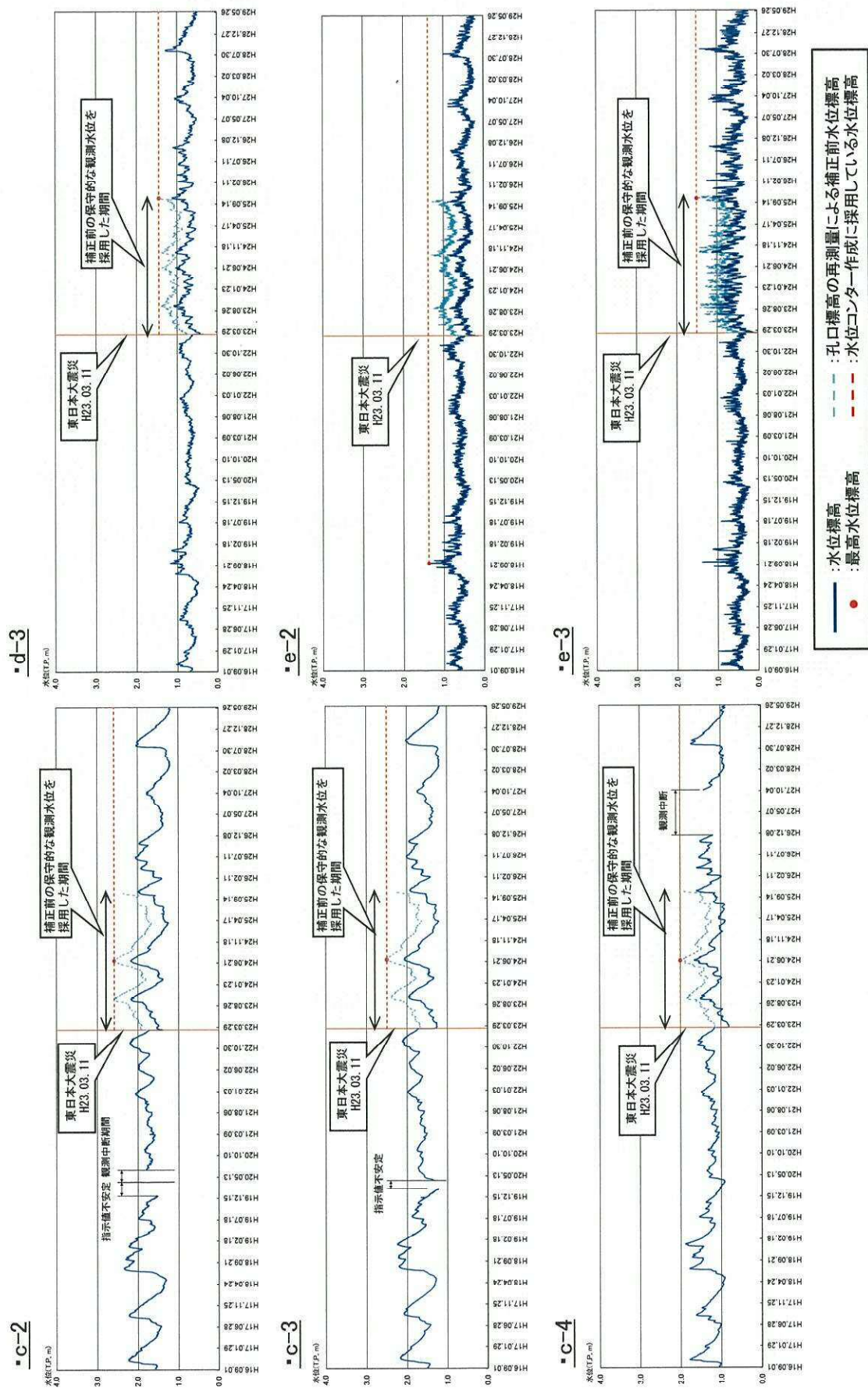


図1 (1) 地下水位観測記録 (1/3)

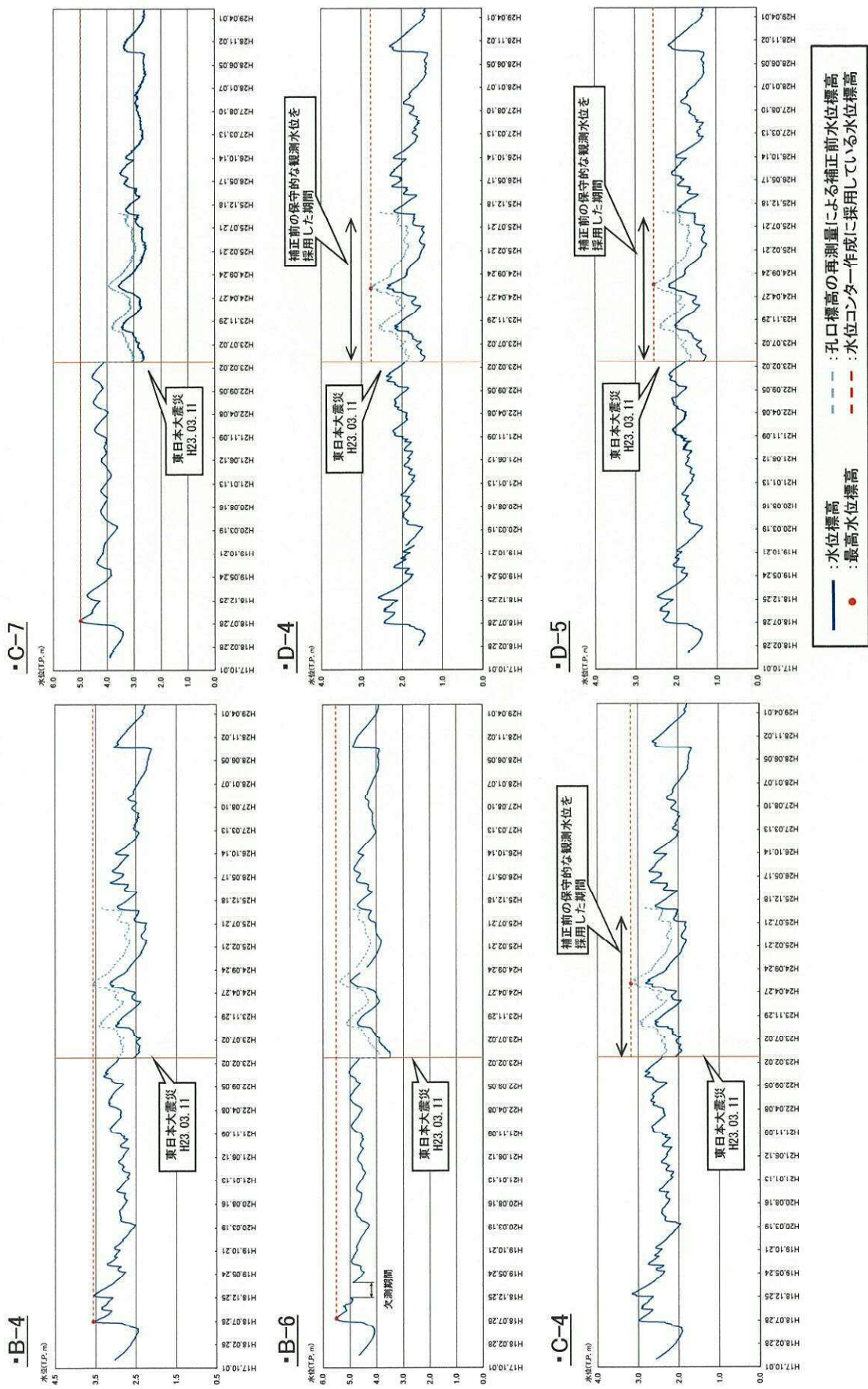


図 1 (2) 地下水水位観測記録 (2/3)

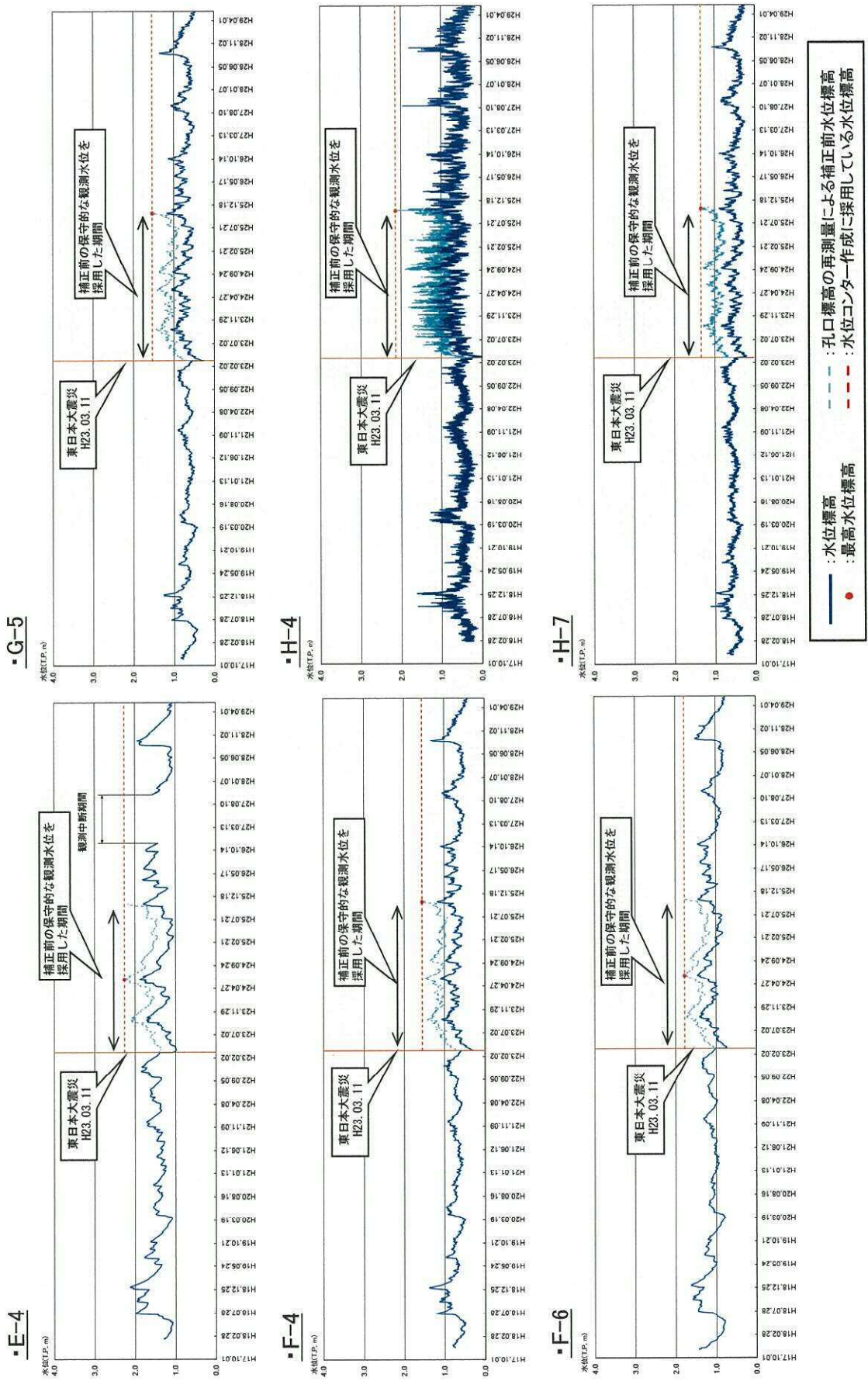


図1 (3) 地下水水位観測記録 (3/3)

(参考資料 2) 解析用物性値の代用等の考え方

1. 概要

表 1 に設置変更許可申請書に記載されていない解析用物性値の設定根拠一覧を示す。これらの解析用物性値のうち、他の地盤材料の試験結果で代用しているものについて物性設定における考え方を示す。

表 1 (1) 解析用物性値の設定根拠 (液状化検討対象層)

| パラメータ    |           |                |                   | 原地盤    |                         |                         |                         |                               |                         |                         |                         | 豊浦標準砂                             |
|----------|-----------|----------------|-------------------|--------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
|          |           |                |                   | 埋戻土    | 第四系 (液状化検討対象層)          |                         |                         |                               |                         |                         |                         |                                   |
|          |           |                |                   |        | f1                      | du                      | Ag2                     | As                            | Ag1                     | D2s-3                   | D2g-3                   |                                   |
| 物理特性     | 密度        | $\rho$         | g/cm <sup>3</sup> | du層で代用 | 室内物理試験                  | 室内物理試験                  | 室内物理試験                  | Ag2層で代用                       | 室内物理試験                  | 室内物理試験                  | Ag2層で代用                 | 文献*1より                            |
|          | 間隙比       | e              | —                 |        | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                       | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                 | 文献*2より                            |
| 変形特性     | ポアソン比     | $\nu_{CD}$     | —                 |        | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定            | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定      | 文献*1より引用した動的変形特性に基づき設定            |
|          | 基準平均有効主応力 | $\sigma'_{va}$ | kN/m <sup>2</sup> |        | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                       | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                 | 文献*1より                            |
|          | 基準初期せん断剛性 | $G_{sa}$       | kN/m <sup>2</sup> |        |                         |                         |                         |                               |                         |                         |                         |                                   |
|          | 最大履歴減衰率   | $h_{max}$      | —                 |        |                         |                         |                         |                               |                         |                         |                         |                                   |
| 強度特性     | 粘着力       | $C_{CB}$       | N/mm <sup>2</sup> |        | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                       | 三軸圧縮試験 (CD)             | 三軸圧縮試験 (CD)             | Ag2層で代用                 | 文献*1より                            |
|          | 内部摩擦角     | $\phi_{CB}$    | 度                 |        | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | Ag2層の液状化強度試験結果を代用した要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション | 文献*2より引用した液状化強度試験結果に基づく要素シミュレーション |
| 液状化特性    | 液状化パラメータ  | $\phi_p$       | —                 |        |                         |                         |                         |                               |                         |                         |                         |                                   |
|          | 液状化パラメータ  | $S_1$          | —                 |        |                         |                         |                         |                               |                         |                         |                         |                                   |
|          | 液状化パラメータ  | $W_1$          | —                 |        |                         |                         |                         |                               |                         |                         |                         |                                   |
|          | 液状化パラメータ  | $P_1$          | —                 |        |                         |                         |                         |                               |                         |                         |                         |                                   |
|          | 液状化パラメータ  | $P_2$          | —                 |        |                         |                         |                         |                               |                         |                         |                         |                                   |
| 液状化パラメータ | $C_1$     | —              |                   |        |                         |                         |                         |                               |                         |                         |                         |                                   |

注記 \*1: 二方向同時加振による液状化実験 (第 28 回土質工学研究発表会 藤川他, 1993)

\*2: CYCLIC UNDRAINED TRIAXIAL STRENGTH OF SAND BY A COOPERATIVE TEST PROGRAM[Soils and Foundations, JSSMFE. 26-3. (1986)]

表 1 (2) 解析用物性値の設定根拠 (非液状化層)

| パラメータ |           |                |                   | 原地盤         |       |    |         |      | 捨石 |                    |                    |                    |   |             |
|-------|-----------|----------------|-------------------|-------------|-------|----|---------|------|----|--------------------|--------------------|--------------------|---|-------------|
|       |           |                |                   | 第四系 (非液状化層) |       |    |         | 新第三系 |    |                    |                    |                    |   |             |
|       |           |                |                   | Ac          | D2c-3 | 1m | D1c-1*4 |      |    | Km                 |                    |                    |   |             |
| 物理特性  | 密度        | $\rho$         | g/cm <sup>3</sup> | Ac          | D2c-3 | 1m | D1c-1*4 | Km   | 捨石 |                    |                    |                    |   |             |
|       | 間隙比       | e              | —                 |             |       |    |         |      |    |                    |                    |                    |   |             |
| 変形特性  | ポアソン比     | $\nu_{CD}$     | —                 |             |       |    |         |      |    | 室内物理試験             | 室内物理試験             | 室内物理試験             | — | 室内物理試験      |
|       | 基準平均有効主応力 | $\sigma'_{va}$ | kN/m <sup>2</sup> |             |       |    |         |      |    | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | — | 三軸圧縮試験 (CD) |
|       | 基準初期せん断剛性 | $G_{sa}$       | kN/m <sup>2</sup> |             |       |    |         |      |    | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定 | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定 | 第4-1表の動的変形特性に基づき設定 |   | —           |
|       | 最大履歴減衰率   | $h_{max}$      | —                 |             |       |    |         |      |    |                    |                    |                    |   |             |
| 強度特性  | 粘着力       | $C_{CB}$       | N/mm <sup>2</sup> |             |       |    |         |      |    | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | 三軸圧縮試験 (CD)        | — | 三軸圧縮試験 (CD) |
|       | 内部摩擦角     | $\phi_{CB}$    | 度                 |             |       |    |         |      |    |                    |                    |                    |   |             |

注記 \*3: 港湾構造物設計事例集 (財) 沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月)

\*4: 施設の耐震評価に影響を与えるものではないことから, 解析用物性値として本表には記載しない。



## 1.1 他の地盤材料の試験結果で代用している地盤材料の設定根拠

### (1) 埋戻土（f1層）の解析用地盤物性値全般

埋戻土は人工的に締固められた地盤材料であるが、その主要な構成材料は敷地に分布する du 層である。よって、全ての解析用地盤物性値を du 層で代用する方針としている。

f1 層の基礎物理特性を表 2 に示す。表 2 には du 層の基礎物理特性を併記しているが、f1 層は du 層と比べて、湿潤密度はより重く、含水比及び間隙比はより小さい結果となっている。これは、f1 層が du 層を主要な構成材料としながらも、多少の礫分を含んでいることによると考えられる。

また、有効応力解析に用いる解析用地盤物性値の設定根拠として主要な調査結果及び試験結果であるせん断波速度、せん断強度及び液状化強度特性について、f1 層と du 層の比較を行い、解析用地盤物性値を代用することの妥当性を確認した。PS 検層及び室内試験の試料サンプリングについては、f1 層が厚く分布する原子炉建屋周辺地盤にて実施した。PS 検層及び室内試験試料採取位置を図 1 に示す。せん断波速度についての比較結果を図 2 に、せん断強度についての比較結果を図 3 に、液状化強度特性についての比較結果を図 4 に示す。

これらの比較結果より、f1 層と du 層のせん断波速度、せん断強度及び液状化強度特性に有意な差が無いことを確認した。また、強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いる敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性は、f1 層の液状化強度特性よりも、十分に小さいことを確認した。

よって、f1 層の解析用地盤物性値を du 層で代用することは妥当である。

表 2 f1 層の基礎物理特性

| 地層       | 湿潤密度<br>$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> ) |      | 含水比<br>w (%) |      | 間隙比<br>e |      |
|----------|---------------------------------------|------|--------------|------|----------|------|
|          | 平均値                                   | 標準偏差 | 平均値          | 標準偏差 | 平均値      | 標準偏差 |
| f1層      | 2.08                                  | 0.08 | 15.2         | 3.9  | 0.48     | 0.10 |
| 【参考】 du層 | 1.82                                  | 0.08 | 17.4         | 3.1  | 0.75     | 0.05 |

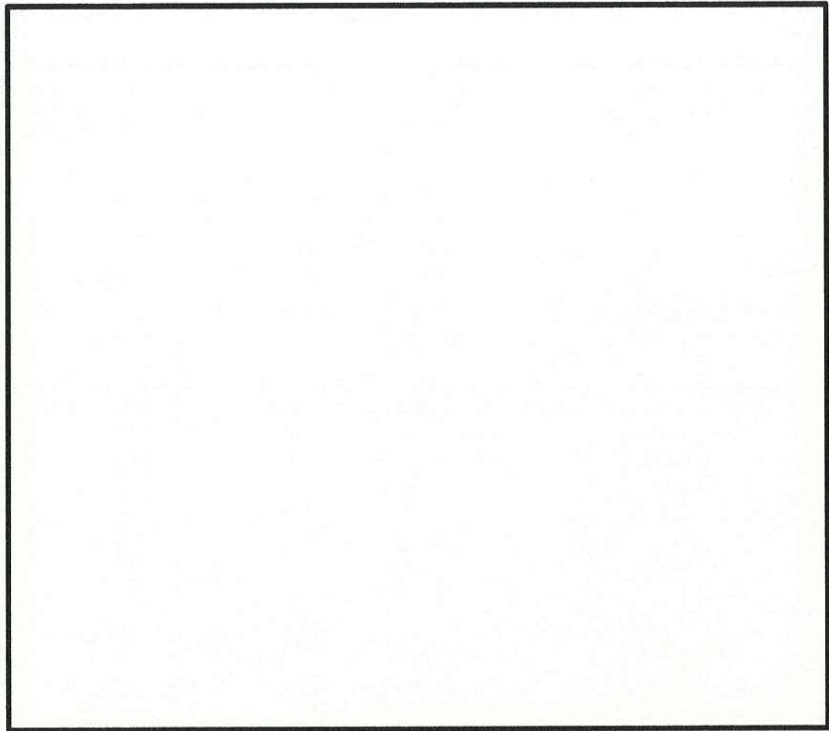


図1 f1層のPS検層及び試料採取位置

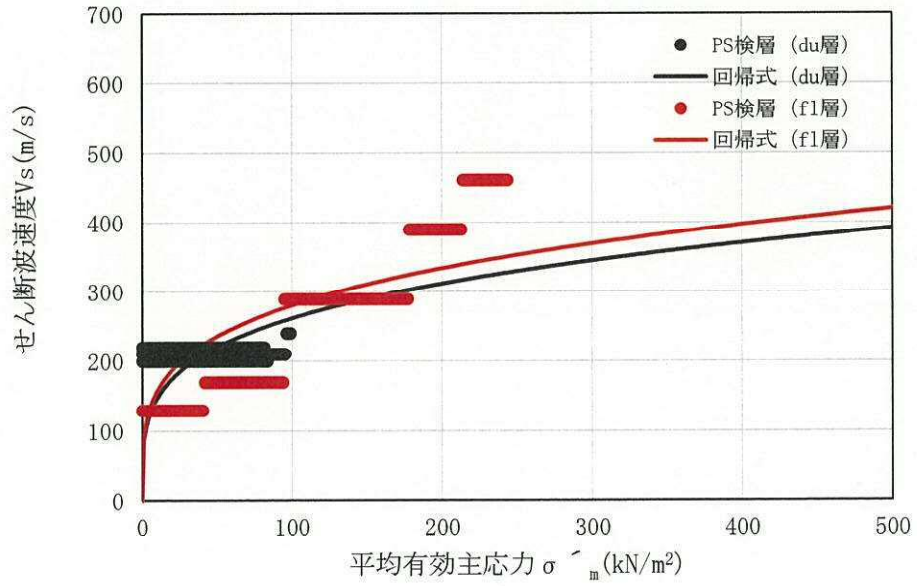


図2 f1層とdu層のPS検層の比較

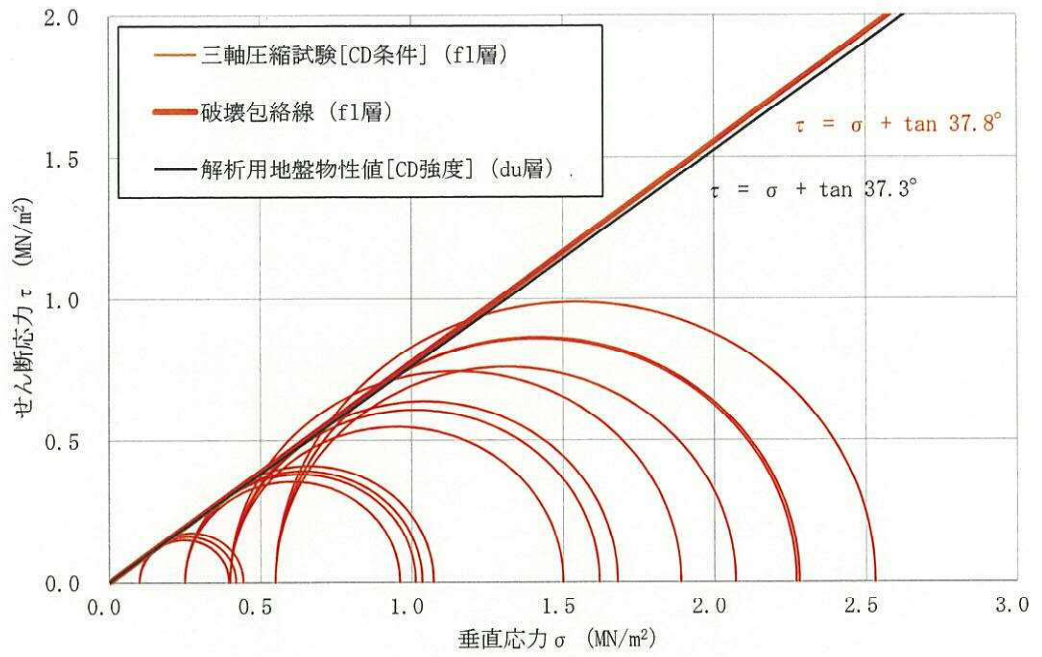


図3 f1層とdu層の三軸圧縮試験結果[CD条件]の比較

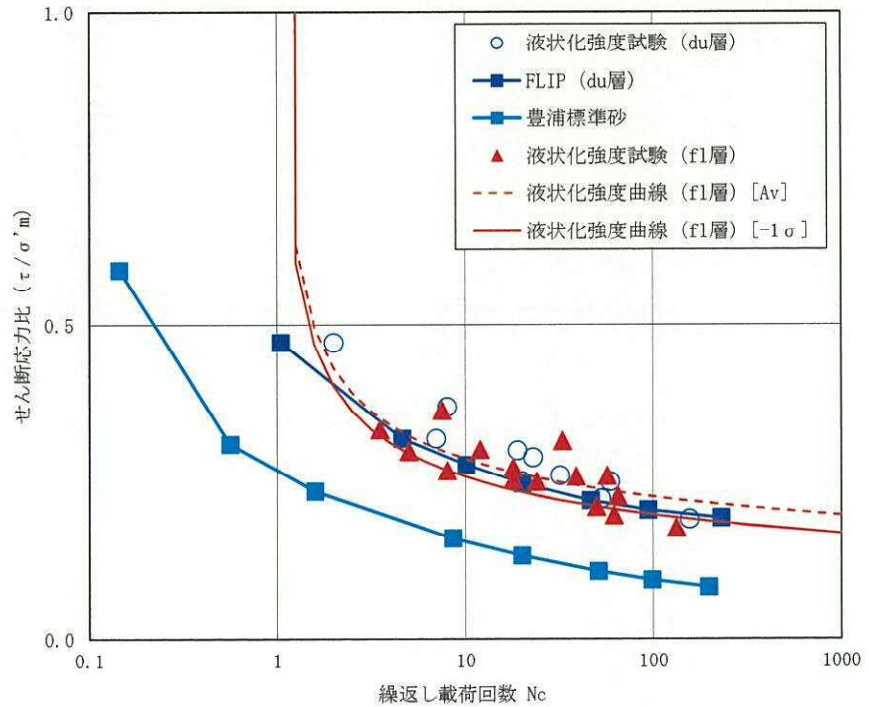


図4 f1層とdu層の液状化強度試験の比較

(2) Ag1 層の物理特性，変形特性，強度特性及び液状化特性

Ag1 層は完新統の沖積層であり，分布深度が深く，硬質な巨礫を含む砂礫層である。

同時代に堆積した Ag2 層にて，有効応力解析に用いる解析用地盤物性値の一部を代用する方針としている。

Ag2 層で代用する Ag1 層の解析用地盤物性値を表 3 に示す。また，設定（Ag1 層を Ag2 層で代用すること）の妥当性について，併せて記載する。

以上より，Ag1 層の解析用地盤物性値を Ag2 層で代用することは，特に地中構造物の耐震評価に影響の大きい強度特性及び液状化強度特性の観点において保守的な物性設定であると考えられる。

表 3 Ag2 層で代用する Ag1 層の解析用地盤物性値

| Ag2 層で代用する<br>解析用地盤物性値 | 試験                | 設定の妥当性                                                                                                                                      |
|------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物理特性（密度，間隙比）           | 各種物理試験            | 同じく敷地内に分布する砂礫層である Ag2 層で代用する。                                                                                                               |
| 変形特性（ポアソン比）            | 三軸圧縮試験<br>(CD 条件) | 内部摩擦角 $\phi$ と相関性のある N 値に着目し，保守的な設定として，Ag1 層の強度特性 ( $c-\phi$ ) を，より平均 N 値の小さい Ag2 層で代用する。(図 4)<br>また，同試験から取得される変形特性（ポアソン比）についても，Ag2 層で代用する。 |
| 強度特性 ( $c-\phi$ )      |                   |                                                                                                                                             |
| 液状化強度特性                | 液状化強度試験           | 液状化強度特性と相関性のある N 値及び粒度分布に着目し，保守的な設定として，Ag1 層の液状化強度特性を，より平均 N 値が小さく (図 4)，より細粒な (図 5) Ag2 層で代用する。                                            |

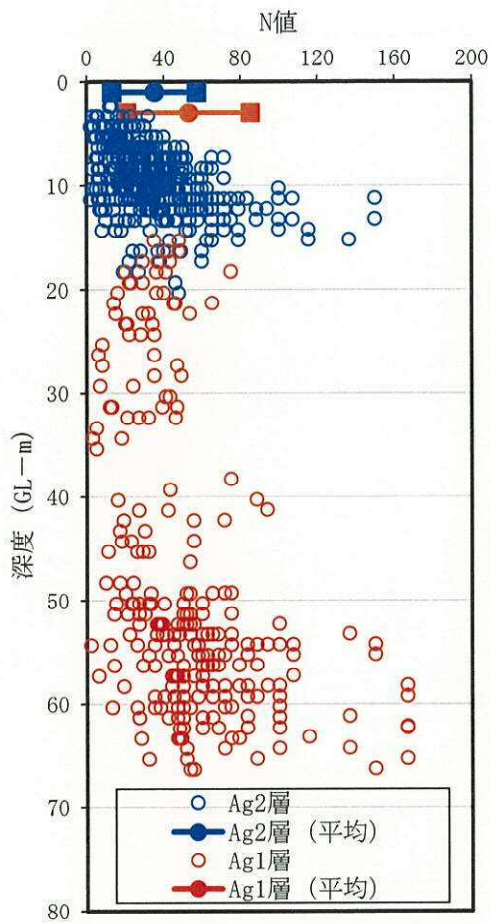


図4 Ag1層とAg2層のN値の比較

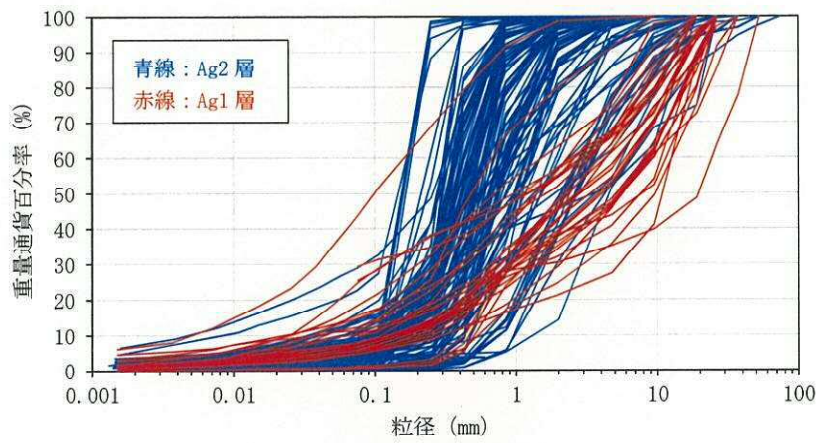


図5 Ag1層とAg2層の粒度分布の比較

さらに、敷地内で実施した液状化強度試験により、Ag1層の液状化強度特性を直接的に確認した。液状化強度試験におけるAg1層の試料は、代表性及び網羅性の観点での説明性向上のため、よりN値が小さい箇所にて採取されたものである。

Ag1層とAg2層の液状化強度特性に有意な差が無いことから、液状化強度による直接的な比較においても、Ag1層の解析用地盤物性値をAg2層で代用することの妥当性を確認した。また、強制的に液状化させることを仮定した場合の影響評価のために用いる敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性は、Ag1層の液状化強度特性よりも、十分に小さいことを確認した。

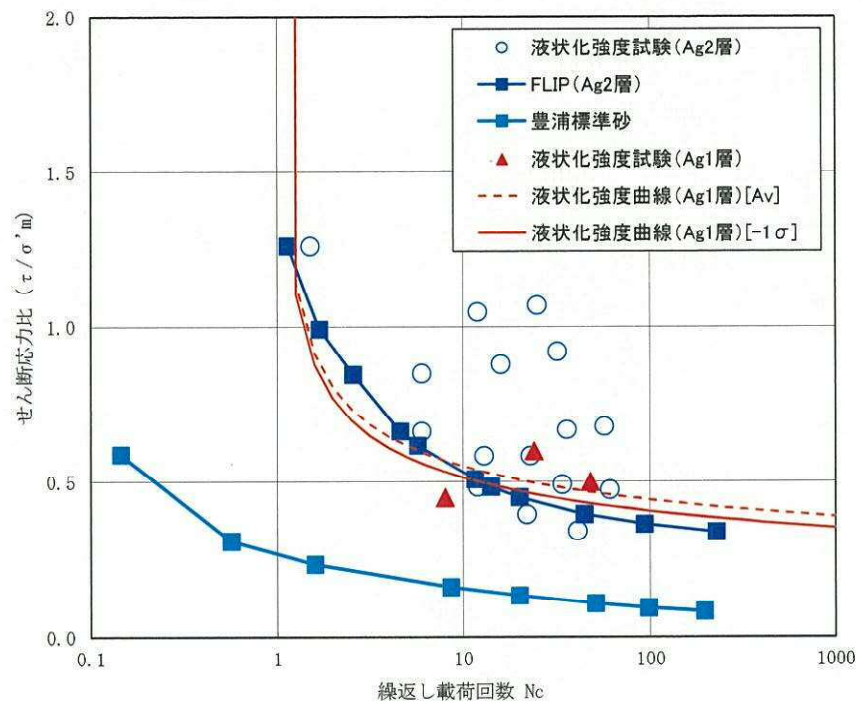


図6 Ag1層とAg2層の液状化強度試験の比較

(3) D1g-1 層の物理特性、変形特性及び強度特性

D1g-1 層は更新統の段丘堆積物であり、硬質な巨礫を含む砂礫層である。

より新しい時代に堆積した Ag2 層にて、有効応力解析に用いる解析用地盤物性値の一部を代用する方針としている。

Ag2 層で代用する D1g-1 層の解析用地盤物性値を表 4 に示す。また、設定 (D1g-1 層を Ag2 層で代用すること) の妥当性について、併せて記載する。

以上より、D1g-1 層の解析用地盤物性値を Ag2 層で代用することは、特に地中構造物の耐震評価に影響の大きい強度特性において保守的な物性設定であると考えられる。

表 4 Ag2 層で代用する D1g-1 層の解析用地盤物性値

| Ag2 層で代用する<br>解析用地盤物性値                              | 試験                | 設定の妥当性                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 物理特性 (密度, 間隙比)                                      | 各種物理試験            | 同じく敷地内に分布する砂礫層である Ag2 層で代用する。                                                                                                                                                                                     |
| 変形特性 (ポアソン比)                                        | 三軸圧縮試験<br>(CD 条件) | 内部摩擦角 $\phi$ と相関性のある N 値に着目し、保守的な設定として、D1g-1 層の強度特性 ( $c-\phi$ ) を、より平均 N 値の小さい Ag2 層で代用する。(図 7)<br>また、同試験から取得される変形特性 (ポアソン比) についても、Ag2 層で代用する。                                                                   |
| 強度特性 ( $c-\phi$ )                                   |                   |                                                                                                                                                                                                                   |
| 動的変形特性<br>( $G/G_0 \sim \gamma$ , $h \sim \gamma$ ) | 繰返し三軸試験           | 砂礫層の動的変形特性と相関性のある拘束圧に着目すると、D1g-1 層と Ag2 層は概ね同様の深度に分布しており (図 7)、従って有効上載圧及び拘束圧も同様の傾向を示している。<br>また、土木研究所資料*には、洪積砂質土、礫質土の動的変形特性が沖積の同層と類似していることが述べられている。<br>これらのことから、D1g-1 層の動的変形特性を Ag2 層の動的変形特性で代用することは妥当であると判断している。 |

注記 \* : 地盤地震時応答特性の数値解析法—SHAKE : DESRA—, 土研資料第 1778 号 (建設省土木研究所, 1982 年)

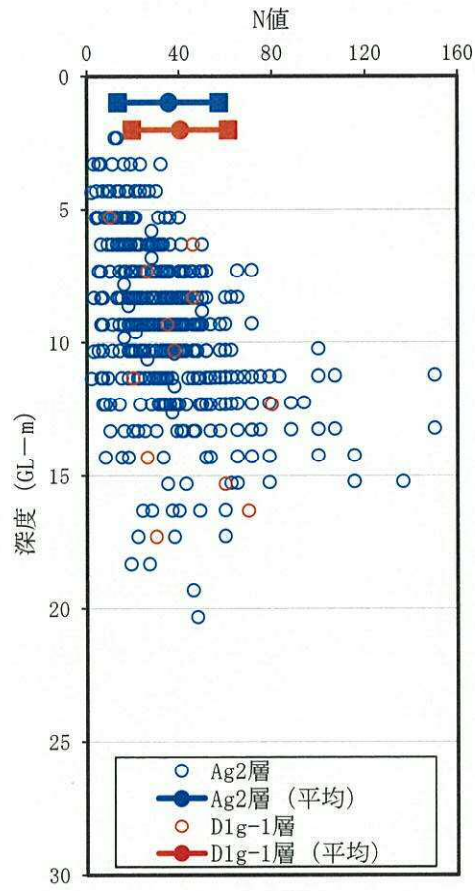


図7 D1g-1層とAg2層のN値の比較



## 1.2 耐震評価に影響しない解析用地盤物性値

### (1) D1c-1 層の解析用地盤物性値

D1c-1 層は更新統の段丘堆積物であり、細粒分を多く含む粘性土である。敷地内において、極めて狭い範囲に、局所的かつ薄く分布している地層であり、試料採取が困難であることから、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値の設定においては、同時代の段丘堆積物である D2c-3 層にて物性値全般を代用する方針としている。D1c-1 層の分布範囲を図 8 に示す。また、D1c-1 層の分布範囲において作成した地質断面図を図 9 に示す。

D1c-1 層は、設計基準対象施設及び常設重大事故等対処施設の周辺には分布しておらず、耐震評価に用いる解析断面にも出てこないことから、本解析用地盤物性値は施設の耐震評価に影響を与えるものではない。よって、有効応力解析に用いる解析用物性としては記載しない方針とする。

なお、図 9 で示した A-A 断面は、可搬型重大事故等対処設備保管場所及びアクセスルートの耐震評価に用いる地質断面であることから、これらの S A 設備の耐震評価においても D1c-1 層は影響を与えるものではない。



図 8 D1c-1 層の分布範囲

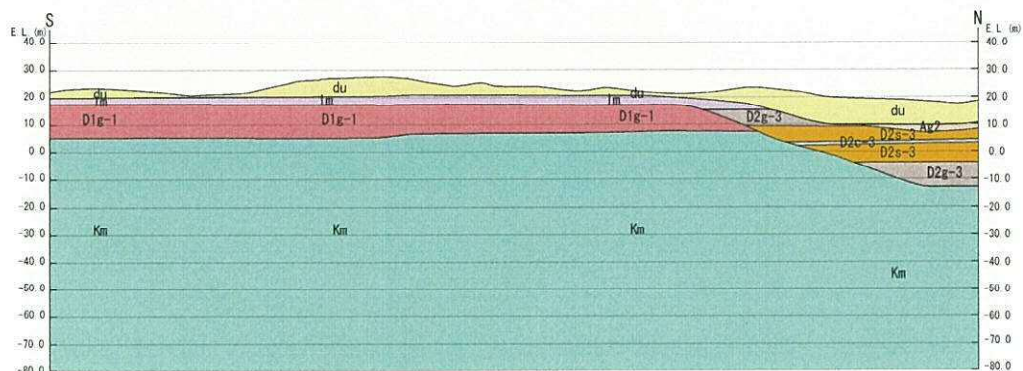


図 9 D1c-1 層の分布範囲にて作成した地質断面図 (A-A 断面)

### 【Ag1層のN値データについての確認】

Ag1層においてN値が低く出ている箇所について、その要因を特定するためにボーリング柱状図を確認した。確認箇所を下図に示す。浅部と深部のそれぞれのデータの中で、最もN値が低い箇所を確認対象とした。

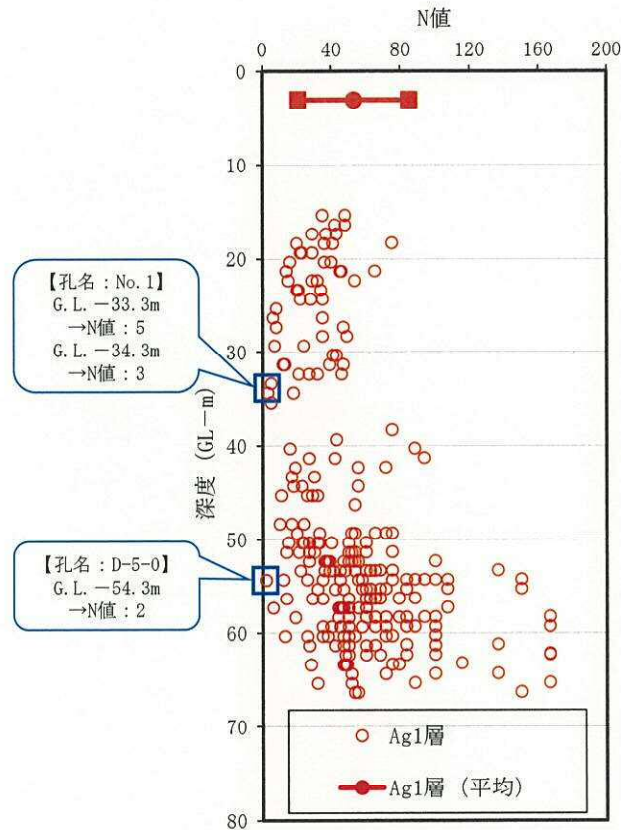
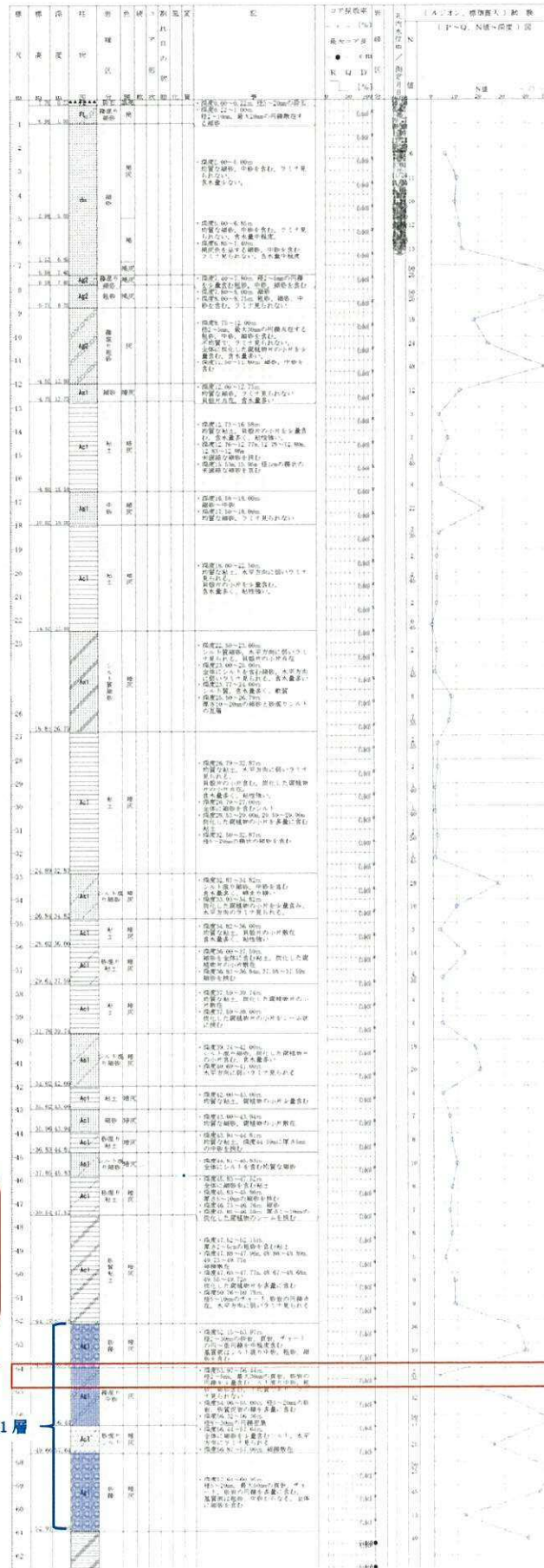


図 Ag1層のN値分布

次頁以降にボーリング柱状図における確認結果を掲載する。Ag1層は硬質な巨礫を含む砂礫分を主体とした沖積層であるが、ボーリング柱状図によると、シルト混り（マトリクスに細粒分が多い）の箇所が挟み層として局所的に存在しており、N値が低く出ている要因は、この局所的な挟み層であることが判明した。

挟み層によりN値が低く出ている範囲は、概ね1~2mと局所的であり、その上下においては、平均的なN値が計測されている。また、当該範囲はシルト混り砂が主体であることから、細粒分含有率が比較的高い状態にあり、これが液状化強度に寄与していると推察される。以上より、Ag1層の当該範囲（N値が局所的に低い範囲）が構造物の耐震評価に与える影響は小さいと考えられる。

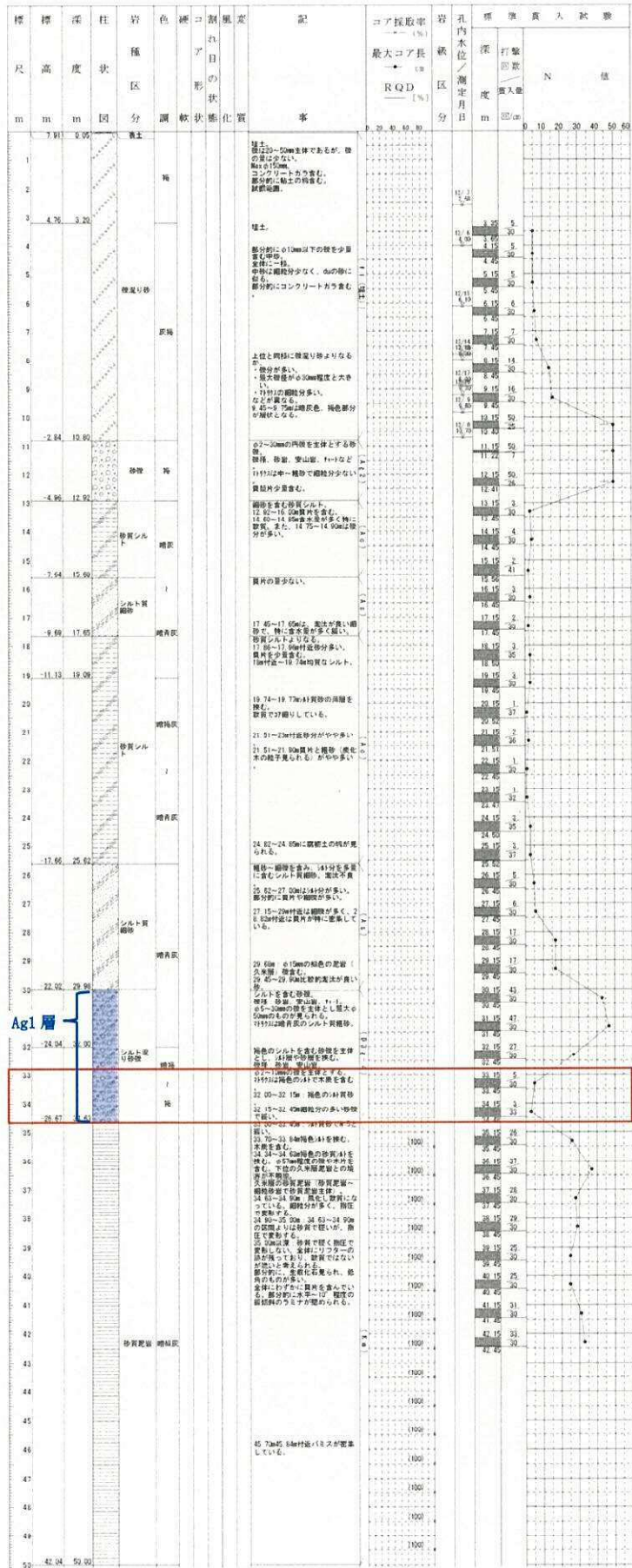
孔名：D-5-0



シルト混り中砂であり、マトリクスの細粒分が多い箇所が局所的に分布していると考えられる。

図 Ag1 層の N 値取得位置におけるボーリング柱状図 (D-5-0 孔)

孔名：No. 1



Ag1層の中で、特にマトリクスに細粒分が多い箇所で、局所的にN値が小さくなっている。

図 Ag1層のN値取得位置におけるボーリング柱状図 (No. 1孔)

(参考資料3) 捨石の解析用物性値について

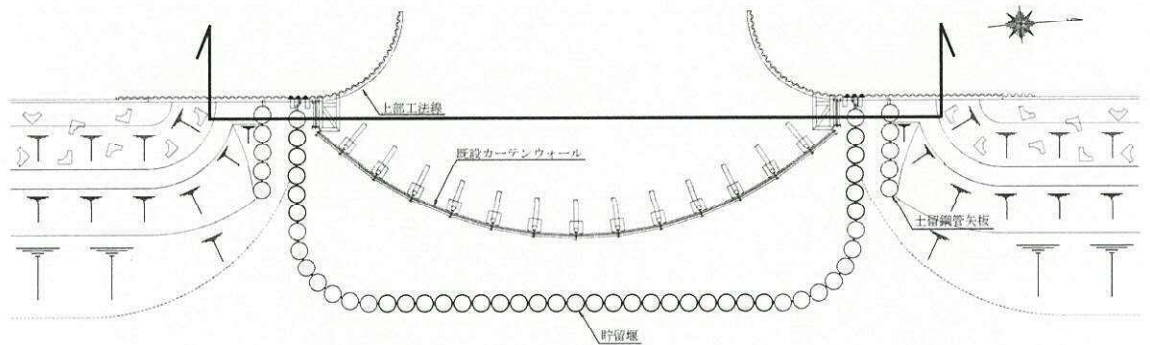
1. 東海第二発電所における捨石について

捨石は、護岸や傾斜堤等の港湾構造物に広く用いられる材料である。東海第二発電所の護岸部に分布する捨石は主に 100kg~500kg/個 程度の質量を有しており、捨石の規格としては標準的なものである。

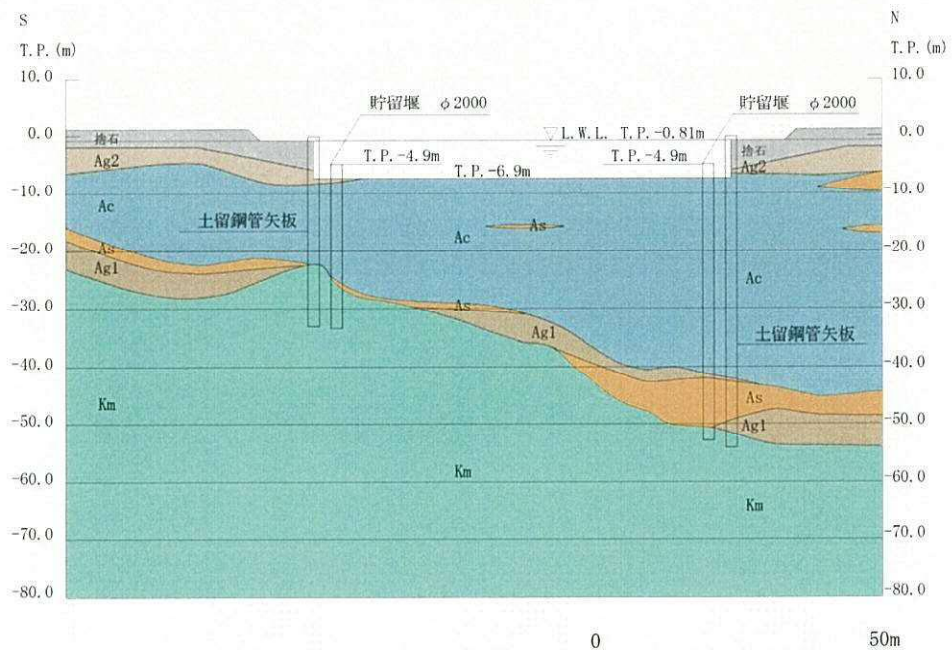
耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設のうち津波防護施設である貯留堰の周囲にも捨石が分布しており、解析断面にモデル化する必要があることから、適切な解析用物性値を設定する。

貯留堰の周辺地盤における捨石の施工状況を図1に示す。

捨石は、津波防護施設である貯留堰への波及影響について考慮すべき施設である土留鋼管矢板の側方に分布しているが、その分布範囲は浅部に限定的であり、耐震評価における影響は軽微であると考えられる。



(平面図)



(断面図)

図1 貯留堰の周辺地盤における捨石の施工状況

## 2. 捨石の解析用物性値

### 2.1 解析用物性値の設定方針

捨石の解析用物性値については、現地の捨石での試験が非常に困難であることから、通常、標準的なパラメータを用いて解析が実施されている。東海第二発電所においては、捨石の標準的なパラメータとして、「港湾構造物設計事例集（（財）沿岸技術研究センター，平成 19 年 3 月）」（以下「設計事例集」という）に記載される値を用いるものとする。

### 2.2 捨石の解析用物性値

捨石の解析用物性値を表 1 に示す。また、参考として「設計事例集」に記載の解析用物性値を表 2 に示す。

表 1 捨石の解析用物性値

| パラメータ |                          |                |                   | 捨石             |
|-------|--------------------------|----------------|-------------------|----------------|
| 物理特性  | 密度<br>( ) は地下水位以浅        | $\rho$         | g/cm <sup>2</sup> | 2.04<br>(1.84) |
|       | 間隙比                      | e              | —                 | 0.82           |
| 変形特性  | ポアソン比                    | $\nu_{CD}$     | —                 | 0.33           |
|       | 基準平均有効主応力<br>( ) は地下水位以浅 | $\sigma'_{ma}$ | kN/m <sup>2</sup> | 98             |
|       | 基準初期せん断剛性<br>( ) は地下水位以浅 | $G_{ma}$       | kN/m <sup>2</sup> | 180000         |
|       | 最大履歴減衰率                  | $h_{max}$      | —                 | 0.24           |
| 強度特性  | 粘着力                      | $C_{CD}$       | N/mm <sup>2</sup> | 0.02           |
|       | 内部摩擦角                    | $\phi_{CD}$    | 度                 | 35             |

表 9 引田 1 号 粘土の 融柱田物性値 (引田車加圧 1=60 トリ)

表-1.65 FLIP 入カパラメーター一覽

| 区分            | 材料番号     | 材料               | 土質記号              | 現地試験結果           |        | FLIP簡易設定        |                | 土層条件及び力状態 |                            |                            |             | S波               |                | P波<br>速度<br>Vp (m/s) | 弾性係数<br>Gs (kN/m <sup>2</sup> ) | Gs/Gmax | 基礎体積<br>m <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) | 基礎体積係数<br>m <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) | 単位体積質量                            |                                   | 水の体積<br>最大<br>h <sub>max</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) | 軟着カ<br>せん断<br>抵抗角<br>φ <sub>r</sub> (°) | 凍結化特性                             |               |         |                  |         |                |    |    |    |       |     |     |      |     |   |   |   |   |   |   |   |
|---------------|----------|------------------|-------------------|------------------|--------|-----------------|----------------|-----------|----------------------------|----------------------------|-------------|------------------|----------------|----------------------|---------------------------------|---------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|---------------|---------|------------------|---------|----------------|----|----|----|-------|-----|-----|------|-----|---|---|---|---|---|---|---|
|               |          |                  |                   | N <sub>max</sub> | Fc (%) | N <sub>50</sub> | D <sub>r</sub> | φ         | 上端<br>L <sub>p</sub> (kPa) | 下端<br>L <sub>b</sub> (kPa) | 層厚<br>Z (m) | σ <sub>v</sub> ' | σ <sub>v</sub> |                      |                                 |         |                                             |                                               | σ <sub>v</sub> / σ <sub>v</sub> ' | 振動圧<br>速度<br>V <sub>d</sub> (m/s) |                                                     |                                         | 振動圧<br>速度<br>V <sub>p</sub> (m/s) | 水中<br>飽和<br>w | w'      | h <sub>max</sub> | C       | φ <sub>r</sub> | sl | pl | p2 | cl    |     |     |      |     |   |   |   |   |   |   |   |
| 海側            | 12       | 沖積粘性土            | Ac-L12            | -                | -      | -               | -              | -         | -14.6                      | -26.0                      | 11.4        | -20.30           | 34.2           | 25.7                 | 25.7                            | 96      | 190                                         | 0.5                                           | 39,100                            | 0.5                               | 0.33                                                | 16.0                                    | 6.0                               | 0.55          | 2.2E+06 | 0.20             | 44      | -              | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   |   |   |   |   |   |   |   |
|               | 11       | 洪積粘性土            | Dc-L11            | -                | -      | -               | -              | -         | -26.0                      | -30.0                      | 4.0         | -28.00           | 82.4           | 61.8                 | 61.8                            | 336     | 49,600                                      | 0.5                                           | 129,300                           | 0.5                               | 0.33                                                | 17.0                                    | 7.0                               | 0.55          | 2.2E+06 | 0.20             | 146     | -              | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   |   |   |   |   |   |   |   |
|               |          | 基礎層              | Dc1               | -                | -      | -               | -              | -         | -20.0                      | -                          | -           | -                | -              | -                    | 300                             | 1600    | -                                           | -                                             | -                                 | -                                 | -                                                   | -                                       | -                                 | -             | -       | -                | -       | -              | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - |   |   |   |   |   |
| 護岸部<br>(ケーソン) | 53       | 上部コンクリート         |                   | -                | -      | -               | -              | -         | 3.3                        | 1.5                        | 1.8         | 2.40             | 20.3           | 15.2                 | -                               | -       | -                                           | -                                             | -                                 | -                                 | -                                                   | 22.6                                    | -                                 | -             | -       | -                | -       | -              | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - |   |   |   |   |
|               | 52       | ケーソン (海中)        |                   | -                | -      | -               | -              | -         | 1.5                        | 0.6                        | 0.9         | 1.05             | 50.1           | 37.6                 | -                               | -       | -                                           | -                                             | -                                 | -                                 | -                                                   | 21.0                                    | -                                 | -             | -       | -                | -       | -              | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - |   |   |   |
|               | 51       | ケーソン (水中)        |                   | -                | -      | -               | -              | -         | 0.6                        | -15.0                      | 15.6        | -7.20            | 145.4          | 109.1                | -                               | -       | -                                           | -                                             | -                                 | -                                 | -                                                   | 21.0                                    | 11.0                              | -             | -       | -                | -       | -              | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - |   |   |   |
|               | 23       | 捨石               | setrishi          | -                | -      | -               | -              | -         | -15.0                      | -19.0                      | 4.0         | -17.00           | 251.2          | 188.4                | 98.0                            | 300     | 596                                         | 180,000                                       | 0.5                               | 468,400                           | 0.5                                                 | 0.33                                    | 20.0                              | 10.0          | 0.45    | 2.2E+04          | 0.24    | 20             | 35 | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - |   |   |   |   |
| 埋土部           | 22       | S27(30%改良) 沖積粘性土 | Sp-30%            | -                | -      | -               | -              | -         | -19.0                      | -26.0                      | 7.0         | -22.50           | 303.4          | 227.6                | 227.6                           | 293     | 582                                         | 168,400                                       | 0.5                               | 439,200                           | 0.5                                                 | 0.33                                    | 19.2                              | 9.2           | 0.47    | 2.2E+06          | 0.23    | -              | 40 | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - | - | - |   |
|               | 21       | 沖積粘性土            | Dc-L21            | -                | -      | -               | -              | -         | -26.0                      | -30.0                      | 4.0         | -28.00           | 349.6          | 282.2                | 282.2                           | 169     | 336                                         | 49,600                                        | 0.5                               | 129,300                           | 0.5                                                 | 0.33                                    | 17.0                              | 7.0           | 0.55    | 2.2E+06          | 0.20    | 146            | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - | - | - | - |
|               |          | 基礎層              | Dc1               | -                | -      | -               | -              | -         | -30.0                      | -                          | -           | -                | -              | -                    | 300                             | 1600    | -                                           | -                                             | -                                 | -                                 | -                                                   | -                                       | -                                 | -             | -       | -                | -       | -              | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - |   |   |   |
| 埋土部           | 34       | 裏埋土 (海中)         | As-L <sub>9</sub> | 9                | 14     | 8               | 11.4           | 50        | 39                         | 3.5                        | 0.6         | 2.9              | 2.05           | 26.1                 | 19.6                            | 98.0    | 201                                         | 398                                           | 73,800                            | 0.5                               | 192,500                                             | 0.5                                     | 0.33                              | 18.0          | -       | 0.45             | -       | 0.24           | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - | - |   |   |
|               | 33       | 裏埋土 (水中)         | As-L <sub>9</sub> | 9                | 14     | 8               | 11.4           | 50        | 39                         | 0.6                        | -10.0       | 10.6             | -4.70          | 105.2                | 78.9                            | 98.0    | 190                                         | 378                                           | 73,800                            | 0.5                               | 192,500                                             | 0.5                                     | 0.33                              | 20.0          | 10.0    | 0.45             | 2.2E+06 | 0.24           | -  | 39 | 28 | 0.005 | 6.0 | 0.5 | 0.94 | 2.8 | - | - | - | - | - | - |   |
|               | 32       | 沖積粘性土            | Ac-L32            | -                | -      | -               | -              | -         | -                          | -10.0                      | -26.0       | 16.0             | -18.00         | 206.2                | 154.7                           | 127     | 252                                         | 36,300                                        | 0.5                               | 68,300                            | 0.5                                                 | 0.33                                    | 16.0                              | 6.0           | 0.55    | 2.2E+06          | 0.20    | (77)           | 30 | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - | - | - |   |
| 裏込石           | 31       | 洪積粘性土            | Dc-L31            | -                | -      | -               | -              | -         | -26.0                      | -30.0                      | 4.0         | -28.00           | 288.2          | 201.2                | 201.2                           | 169     | 336                                         | 49,600                                        | 0.5                               | 129,300                           | 0.5                                                 | 0.33                                    | 17.0                              | 7.0           | 0.55    | 2.2E+06          | 0.20    | 146            | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - | - | - | - |
|               |          | 基礎層              | Dc1               | -                | -      | -               | -              | -         | -30.0                      | -                          | -           | -                | -              | -                    | 300                             | 1600    | -                                           | -                                             | -                                 | -                                 | -                                                   | -                                       | -                                 | -             | -       | -                | -       | -              | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - | - |   |   |
|               | 41       | 裏込石 (水中)         | umene-s           | -                | -      | -               | -              | -         | -                          | 1.5                        | 0.6         | -                | -              | -                    | 98.0                            | 300     | 596                                         | 180,000                                       | 0.5                               | 468,400                           | 0.5                                                 | 0.33                                    | 20.0                              | 10.0          | 0.45    | 2.2E+04          | 0.24    | 20             | 35 | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - | - | - |   |
|               | 裏込石 (海中) | umene-s          | -                 | -                | -      | -               | -              | -         | 0.6                        | -19.0                      | -           | -                | -              | 98.0                 | 300                             | 596     | 180,000                                     | 0.5                                           | 468,400                           | 0.5                               | 0.33                                                | 18.0                                    | -                                 | 0.45          | -       | 0.24             | 20      | 35             | -  | -  | -  | -     | -   | -   | -    | -   | - | - | - | - | - | - |   |

注: ③埋土部の沖積粘性土(材料番号32)は正規圧状態におきせん断強度はσ<sub>v</sub>'30° で与える粘着カCを( )で表記する。

### 3 捨石の解析用物性値の妥当性について

#### 3.1 FLIP における捨石の物性に関する検討状況

FLIP における捨石の物性については、「捨石のモデル化に関する検討報告書（FLIP 研究会企画委員会捨石作業部会，平成13年5月）」（以下、「捨石のモデル化に関する検討報告書」という。）において、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）」、「埋立地の液状化ハンドブック（改訂版）（（財）沿岸技術研究センター，平成9年）」及び様々な文献（表3）を基に，神戸港六甲アイランド RF-3 岸壁の捨石に着目した簡易モデルによる検討やパラメトリックスタディーを踏まえ，第4表に示すパラメータを捨石の標準的なパラメータとして提案している。

表3 捨石に係る文献一覧\*

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 資料 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 港湾の施設の技術上の基準（平成11年）</li> <li>・ 埋立地の液状化対策ハンドブック（</li> <li>・ 小林,寺師,高橋,中島,捨石マウンドの支持力の新しい計算法,港湾技術研究所報告 Vol.26, No.2, 1987年</li> <li>・ 荻司,大型三軸試験による捨石材のせん断特性に関する考察,港湾技術研究所報告 Vol.22, No.4, 1983年</li> <li>・ 水1,小林,マウンド用石材の大型三軸試験による強度特性,港湾技術研究所資料, Vol.699, 1991年</li> <li>・ 上部,土田,倉田,大型混成式防波堤の強震記録に基づく水-構造物連成系の地震応答解析,港湾技術研究所報告 Vol.22, No.2, 1983年</li> <li>・ 上藤,西,田中,同生,護岸基礎捨石マウンドの沈下予測（その1）-捨石マウンド材料の物理的特性ならびに静力学的特性,電力中央研究所報告 384030, 1985年</li> <li>・ 上藤,西,田中,同生,護岸基礎捨石マウンドの沈下予測（その2）-捨石マウンド材料の繰返しせん断特性,電力中央研究所報告 384031, 1985年</li> <li>・ 運輸省港湾技術研究所資料 No.857, 1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告</li> </ul> |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p3 より抜粋

表4 捨石の標準的なモデル化（案）\*

| モデル化の項目  | モデル化の方法                                                             |
|----------|---------------------------------------------------------------------|
| せん断強度定数  | $c = 20 \text{ (kN/m}^2\text{)}, \phi = 35 \text{ (}^\circ\text{)}$ |
| 最大減衰定数   | $h_{\max} = 0.2 \sim 0.3$                                           |
| 初期せん断剛性  | マウンド $V_s = 300 \text{ (m/s)}$ ， 裏込石 $V_s = 225 \text{ (m/s)}$      |
| 水の体積弾性係数 | $K_f = 2.2 \times 10^4 \text{ (kPa)}$ 以下の小さな値                       |
| 対象範囲     | 捨石マウンドおよび裏込石                                                        |

注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p9 より抜粋（一部修正）

また，このパラメータを適用した事例検証として，3 地点（神戸港六甲アイランド RF-3 岸壁，神戸港第七防波堤，釧路港北埠頭岸壁）において事例検証を行い，各地点において，観測値に近い結果が得られることを確認している。以下に，各事例検証の概要を示す。



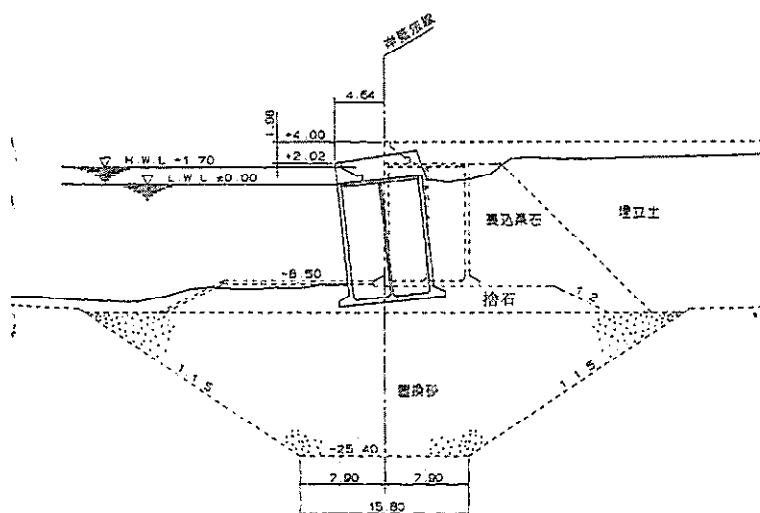
(1) 神戸港六甲アイランドRF-3岸壁

1995年兵庫県南部地震における神戸港六甲アイランドRF-3岸壁の被災断面を検討対象としている。検討ケースを表5に、検討対象断面を図1に示す。また、主要な応答結果を表6に示す。表6より、表4に示されている捨石の標準的なモデル化案を用いたCASE4が、より観測値に近い結果を与えていることが確認されている。

表5 検討ケース一覧表（神戸港六甲アイランドRF-3岸壁）\*

| 検討ケース | せん断強度特性 $c, \phi$           | 水の体積弾性係数 $K_f$          | 備考     |
|-------|-----------------------------|-------------------------|--------|
| CASE1 | $c=0$ (kPa), $\phi=40$ (°)  | $2.2 \times 10^6$ (kPa) | 従来設定方法 |
| CASE2 | $c=20$ (kPa), $\phi=35$ (°) | $2.2 \times 10^6$ (kPa) | —      |
| CASE3 | $c=0$ (kPa), $\phi=40$ (°)  | 0 (kPa)                 | —      |
| CASE4 | $c=20$ (kPa), $\phi=35$ (°) | 0 (kPa)                 | 提案方法   |

注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p10より抜粋



注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p10より抜粋（一部加筆）

図1 検討対象断面（神戸港六甲アイランドRF-3岸壁）\*

表6 主要な応答結果一覧表（神戸港六甲アイランドRF-3岸壁）\*

| 検討    | ケーソン残留変位量        |                  |              | ケーソン最大応答加速度        |                    | 備考   |
|-------|------------------|------------------|--------------|--------------------|--------------------|------|
|       | $\delta_{H}$ (m) | $\delta_{V}$ (m) | $\theta$ (°) | $\alpha_{H}$ (Gal) | $\alpha_{V}$ (Gal) |      |
| CASE1 | 2.83             | 1.06             | 2.64         | 278                | 306                | 従来方法 |
| CASE2 | 3.82             | 1.80             | 3.71         | 274                | 309                | —    |
| CASE3 | 6.10             | 2.11             | 10.6         | 315                | 387                | —    |
| CASE4 | 4.33             | 2.00             | 4.69         | 364                | 317                | 提案方法 |
| 実測値   | 4.1~4.6          | 1.7~2.0          | 4.1~5.1      | —                  | —                  |      |

注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p10より抜粋

(2) 神戸港第七防波堤

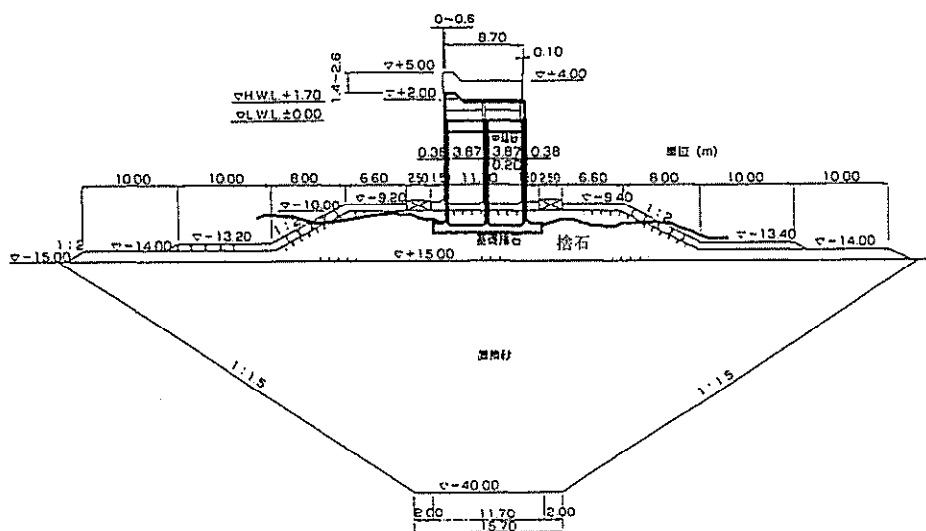
常時土圧の作用を受けない構造物として、1995年兵庫県南部地震における神戸港第七防波堤の被災断面を検討対象としている。検討ケースを表7に、検討対象断面を図2に示す。また、主要な応答結果を表8に示す。表4に示されている捨石の標準的なモデル化案を用いたCASE4も含めて、CASE2以外は観測値に近い結果を与えていることが確認されている。

表7 検討ケース一覧表（神戸港第七防波堤）\*

|       | 水の Kf | c (kPa) | $\phi$ (°) | 備考                   |
|-------|-------|---------|------------|----------------------|
| CASE1 | 100%  | 0       | 40         | 従来設定                 |
| CASE2 | 1%    | 0       | 40         | Kfを低下                |
| CASE3 | 100%  | 20      | 35         | Kfそのまま c, $\phi$ 指定  |
| CASE4 | 1%    | 20      | 35         | c, $\phi$ 指定かつ Kf 低下 |

注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p14より抜粋（一部修正）

法線の出入り：0.6m程度  
 天端沈下量：1.4m～2.6m



注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p14より抜粋（一部加筆）

図2 検討対象断面（神戸港第七防波堤）\*

表8 主要な応答結果一覧表（神戸港第七防波堤）\*

|         | CASE1 | CASE2 | CASE3 | CASE4 |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 水平変位(m) | 0.07  | 0.04  | 0.04  | 0.00  |
| 鉛直変位(m) | 2.00  | 4.39  | 1.84  | 2.26  |

観測データ：（鉛直変位）1.4～2.6m

（水平変位） —

注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p14より抜粋（一部修正）

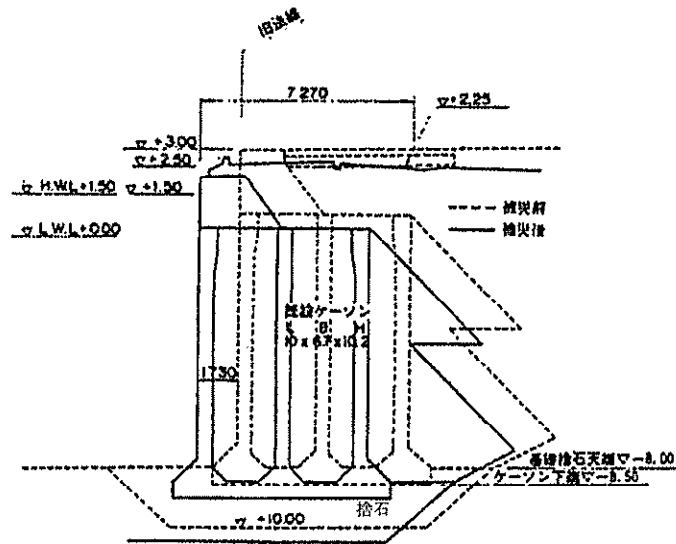
(3) 釧路港北埠頭岸壁

1993年釧路沖地震における釧路港北埠頭岸壁の被災断面を検討対象としている。検討ケースを表9に、検討対象断面を図3に示す。また、主要な応答結果を表10に示す。表4に示されている捨石の標準的なモデル化案を用いたCASE3も含めて、観測値に近い結果を与えていることが確認されている。

表9 検討ケース一覧表（釧路港北埠頭岸壁）\*

| 検討ケース | モデル化の概要                                                  | 備考                |
|-------|----------------------------------------------------------|-------------------|
| CASE0 | $c=0, \phi=40^\circ, K_f=100\%$                          | 従来モデル化            |
| CASE1 | $c=20 \text{ (kN/m}^2\text{)}, \phi=35^\circ, K_f=100\%$ | $K_f$ をそのままにしたケース |
| CASE2 | $c=20 \text{ (kN/m}^2\text{)}, \phi=35^\circ, K_f=0$     | $K_f$ を低下したケース    |

注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p15より抜粋



注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p15より抜粋（一部加筆）

図3 検討対象断面（神戸港第七防波堤）\*

表10 主要な応答結果一覧表（神戸港第七防波堤）\*

|       | ケーソン残留変位(m) |         | 最大応答加速度(Gal) |         |
|-------|-------------|---------|--------------|---------|
|       | 水平          | 鉛直      | ケーソン天端水平     | 背後地表面水平 |
| 実測値   | 0.8~1.6     | 0.2~0.5 | —            | —       |
| CASE0 | 0.89        | 0.21    | 247          |         |
| CASE1 | 1.20        | 0.21    | 219          | 161     |
| CASE2 | 1.28        | 0.22    | 229          | 159     |

注記\*：捨石のモデル化に関する検討報告書，p14より抜粋（一部修正）

### 3.2 捨石の解析用物性値の妥当性

表 4 に示す捨石の標準的なモデル化案については、3.1 に示す神戸港六甲アイランド RF-3 岸壁、神戸港第七防波堤及び釧路港北埠頭岸壁における事例検証結果より、観測値と適合性が高いことが確認されており、これは FLIP での解析にて一般的に使用されているものである。捨石の規格は 1 個の石の質量にて定義されることが一般的であるが、3.1 の事例検証では、神戸港六甲アイランド RF-3 岸壁の捨石は平均 300kg/個 程度、神戸港第七防波堤の捨石は平均 105kg/個 程度と、様々な規格の捨石に対して検証を行い、観測値と適合性が高いことが確認されている。東海第二発電所の捨石は平均 300kg/個 程度であることから、3.1 で事例検証が行われている捨石の規格（質量）と概ね同等の規格である。

以上を踏まえ、表 4 に示す捨石の標準的なモデル化案を東海第二発電所の捨石に対して適用することは妥当であると考えられる。以下に、表 4 に示す捨石の標準的なモデル化案における主要な解析用物性値（解析上のパラメータである「捨石の間隙水の体積弾性係数」を含む。）を踏まえて、東海第二発電所における捨石の解析用物性値について考察する。

(1) せん断強度定数

せん断強度定数は、表 4 に示す捨石の標準的なモデル化案では内部摩擦角  $\phi = 35^\circ$  , 粘着力  $c = 20\text{kN/m}^2$  が提案されている。

工藤ら (1985) \*は、既往のケーソン式防波堤基礎捨石の粒度とほぼ相似な、均等係数  $U_c = 2.3$  の 3 種類 (15mm, 25mm, 30mm) の相似粒度の試料を用いて三軸圧縮試験を実施し、図 4 に示すように、内部摩擦角  $\phi$  はゆる詰めでも密詰めでも  $35^\circ \sim 36^\circ$  , 粘着力  $c$  はゆる詰めで  $0.2\text{kgf/cm}^2$  (約  $20\text{kN/m}^2$ ) ~密詰めで  $0.6\text{kgf/cm}^2$  (約  $60\text{kN/m}^2$ ) との結果を得ている。

捨石の標準的なモデル化案である内部摩擦角  $\phi = 35^\circ$  , 粘着力  $c = 20\text{kN/m}^2$  は図 4 において間隙比  $e_i = 0.9$  程度のかかなり空隙の多い状態を想定したせん断強度となっており、保守的な設定となっていることが分かる。なお、東海第二発電所の捨石は施工から年月を経ており、ある程度締まった密な状態であると考えられることから、このせん断強度定数を適用することは妥当であるとする。

注記\* : 工藤康二, 西好一, 田中幸久, 国生剛治 : 護岸基礎捨石マウンドの沈下予測 (その 1) 捨石マウンド材料の物理特性ならびに静的力学特性, 電力中央研究所報告, 研究報告 384030, 1985 年

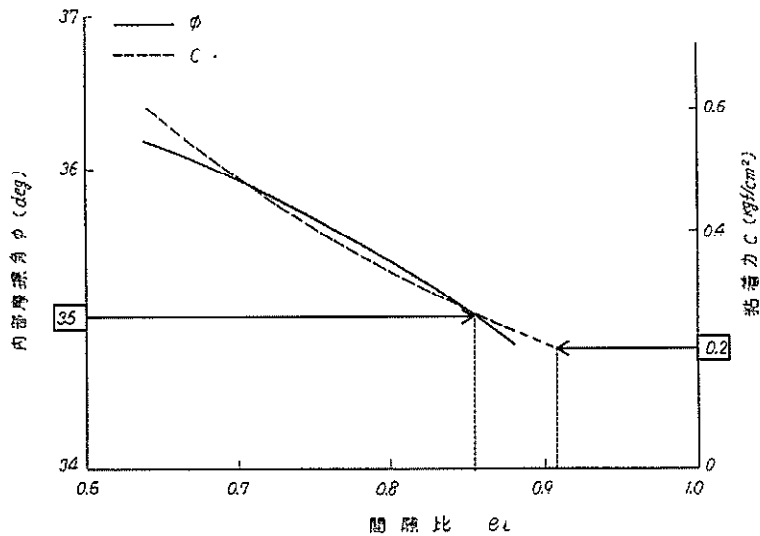


図 4 間隙比  $e_i$  に対する粘着力  $c$  と内部摩擦角  $\phi$  の推定図表\*

注記\* : 工藤ら (1985) P31 より抜粋 (一部加筆)

(2) 最大履歴減衰率

最大履歴減衰率は、表 4 に示す捨石の標準的なモデル化案では解析結果への影響が小さいことから、 $h_{\max}=0.2\sim 0.3$  が提案されており、一方で設計事例集では、その内数である  $h_{\max}=0.24$  が設定されている。以上を踏まえ、東海第二発電所の捨石では、 $h_{\max}=0.24$  を採用する。

(3) 初期せん断剛性

初期せん断剛性を設定するためのせん断波速度は、表 4 に示す捨石の標準的なモデル化案では、基礎マウンドの捨石に対して  $V_s=300$  (m/s) が提案されている。液状化ハンドブックには、「混成防波堤における地震観測結果から得られた算定式により水深 $-10$ m 程度の大型岸壁における捨石のせん断波速度として  $V_s=300$  (m/s) を用いる。」との記載があり、算定式については、上部ら (1983) \*<sup>1</sup> に記載されている表 11 を指していると考えられる。表 11 は沢田ら (1977) \*<sup>2</sup> による国内の複数のロックフィルダムにおける弾性波測定結果から得られた速度分布モデルであり、ロック材における深さ  $0\sim 10$ m の S 波速度  $V_s$  の平均値が約  $300$  (m/s) となる (図 5)。

東海第二発電所における捨石の分布範囲は、図 1 に示すとおり概ね深さ  $10$ m の範囲内であることから、表 4 に示す捨石の標準的なモデル化案におけるせん断波速度  $V_s=300$  (m/s) を採用することは妥当であると考ええる。

注記\*1：上部達生，土田肇，倉田栄一，国生剛治：大型混成式防波堤の強震記録に基づく水一構造物連成系の地震応答解析，港湾技術研究所報告，第 22 卷，第 2 号，1983 年，pp289-326

\*2：沢田義博，高橋忠，桜井彰雄，矢島浩：ロックフィルダムの物性値分布特性および堤体の動的特性—弾性波動に基づく考察—，電力中央研究所報告，研究報告 377008，1977 年

表 11 ロックフィルダムの一般的物性値を与える速度分布モデル\*

| 物性値の種類 | 深さ (m) | 岩体のゾーン |                               | コア                          |                              |                     |
|--------|--------|--------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|
|        |        | 材料の状態  | 不飽和                           | 飽和                          | S波速度の大きい材料の分布                | S波速度の小さい材料の分布       |
| S波速度   | 0-5    |        | $V_s = 245$                   |                             | $V_s = 210$                  |                     |
|        | 5-30   |        | $V_s = 250Z^{0.20}$           | $V_s = 250Z^{0.20}$         | $V_s = 180Z^{0.35}$          | $V_s = 140Z^{0.34}$ |
|        | 30-    |        | $V_s = 200Z^{0.315}$          |                             |                              |                     |
| ポアソン比  | 全体     |        | $\nu = 0.375 - 0.006Z^{0.58}$ | $\nu = 0.49 - 0.01Z^{0.95}$ | $\nu = 0.45 - 0.006Z^{0.60}$ |                     |

$V_s$ : S波速度 (m/s)  
 $\nu$ : ポアソン比  
 $Z$ : 深さ (m)

注記\*: 上部ら (1983) P311 より抜粋 (一部加筆)

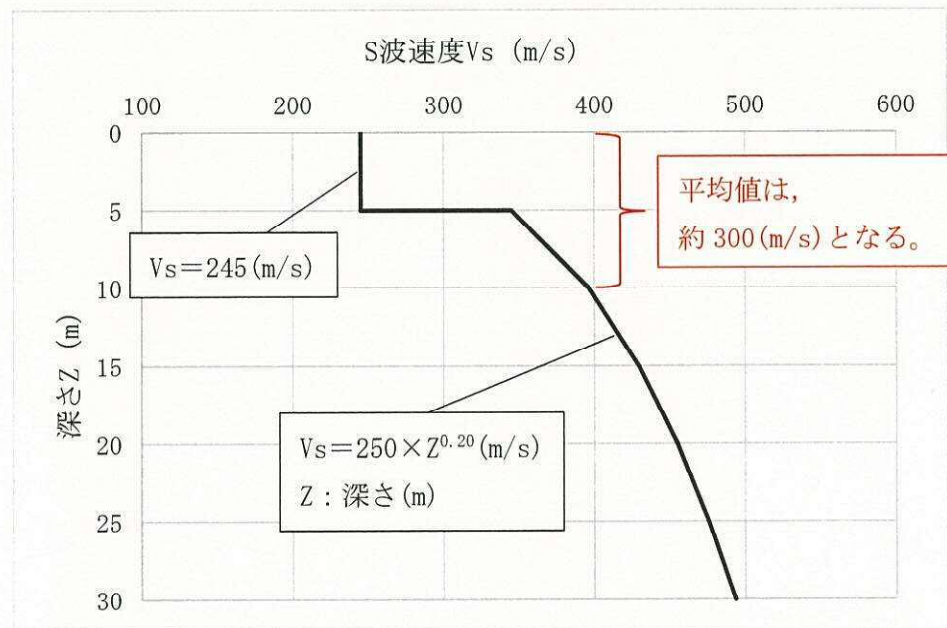


図 5 ロック材の S 波速度について\*  
(表 11 におけるロック材の S 波速度をグラフ化)

(4) 捨石の間隙水の体積弾性係数

FLIP では、地下水位又は海水位以下のマルチスプリング要素に対して間隙水要素を設定しており、間隙水の体積弾性係数については慣用値 ( $K_f = 2.2 \times 10^6 \text{ kPa}$ ) を設定している。

捨石の間隙水の体積弾性係数は、表 4 に示す捨石の標準的なモデル化案では、非排水条件での解析を前提とする FLIP による解析における工夫として、捨石の高透水性を再現するため、通常の間隙水の体積弾性係数 (慣用値である  $K_f = 2.2 \times 10^6 \text{ kPa}$ ) の 1% 程度以下の値とすることが提案されていることを踏まえ、東海第二発電所の捨石の間隙水の体積弾性係数は  $K_f = 2.2 \times 10^4 \text{ kPa}$  とする。

4 捨石の解析用物性値におけるばらつきについて

捨石の解析用地盤物性値におけるばらつきについては、耐震評価における各照査結果への感度を検討した上で、その要否を判断するものとする。

(参考資料4) 地盤改良体における補足

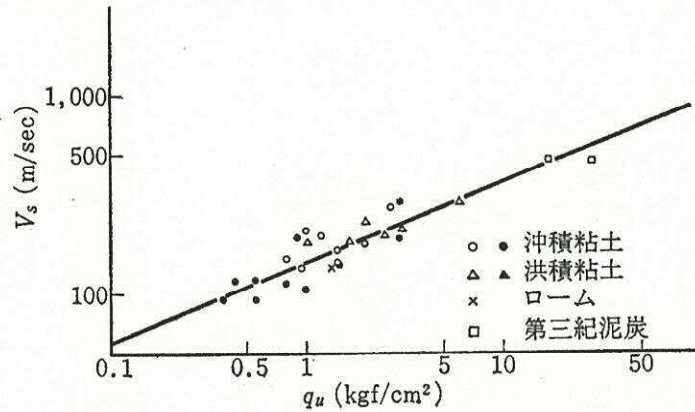
1. 地盤改良体（セメント改良）における物性設定の適用性について

地盤改良体（セメント改良）の平均せん断波速度  $V_s$  の算定については、下式を適用する。

$$V_s = 147.6 \times q_{ud}^{0.417} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{式1})$$

ここに、 $q_{ud}$ ：設計基準一軸圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

(式1) は図1に示した複数のc材（粘性土）の  $q_u \sim V_s$  関係から求められているが、本項では、東海第二発電所に分布する地層を対象とした地盤改良体（セメント改良体）に対する(式1)の適用性を検討した。



\*文献（わかりやすい土木技術ジェットグラウト工法（鹿島出版社 柴崎他，1983年））より引用

図1 一軸圧縮強度とせん断波速度の関係\*

東海第二発電所における地盤改良体（セメント改良）への(式1)の適用性を検討するにあたって、東海第二発電所敷地内にて実施した下記の地盤改良体試験施工における取得データ（一軸圧縮強度及びせん断波速度）を使用した。図2に、(式1)とPS検層結果の比較を示す。

・排気筒\_地盤改良体試験施工（H28年度）

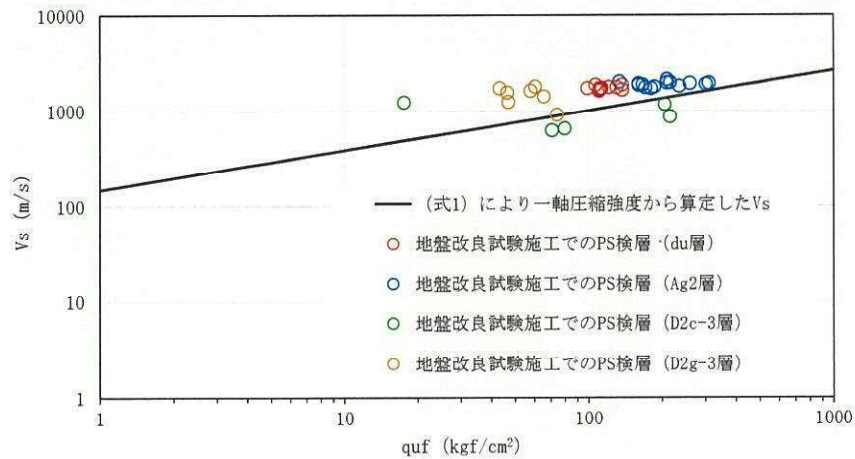


図2 (式1)とPS検層結果の比較

(参考) 4-1



地盤改良体試験施工により取得したせん断波速度及び対応するコア供試体の一軸圧縮強度を用いて、(式1)との対応を確認した結果、砂礫層 (du層, Ag2層, D2g-3層) に対しては(式1)は現地改良体の  $V_s$  をやや小さく評価する傾向があり、粘性土 (D2c-3層) に対しては、(式1)と現地改良体の  $V_s$  が概ね整合する結果となった。

(式1)は、東海第二発電所に分布する砂礫層を対象とした地盤改良体(セメント改良)に対して、 $V_s$  をやや小さく評価する傾向はあるが、耐震評価においては、地盤の変形特性の観点で、より保守的な設定であると考えられることから、物性設定としては妥当であるとする。

以上より、東海第二発電所に分布する地層を対象とした地盤改良体(セメント改良)に対する(式1)の適用性を確認した。

2. 地盤改良体（セメント改良）におけるばらつきの考え方

地盤改良体（セメント改良）の平均せん断波速度  $V_s$  については、（式 1）に基づき、構造物毎に計画している地盤改良体（セメント改良）の設計基準一軸圧縮強度より算定する。

設計基準一軸圧縮強度に対し、実施工時には不良率を低水準に抑えることを目的とした施工目標一軸圧縮強度を設定する。施工目標一軸圧縮強度は、設計基準一軸圧縮強度を大きく上回ることが一般的であるため、地盤改良体（セメント改良）においては、この施工目標一軸圧縮強度を基準としてばらつきを設定する。

設計基準一軸圧縮強度と施工目標一軸圧縮強度及び標準偏差の関係については、「建築基礎のための地盤改良設計指針案（（社）日本建築学会，2006 年）」に基づき、図 3 のように設定する。

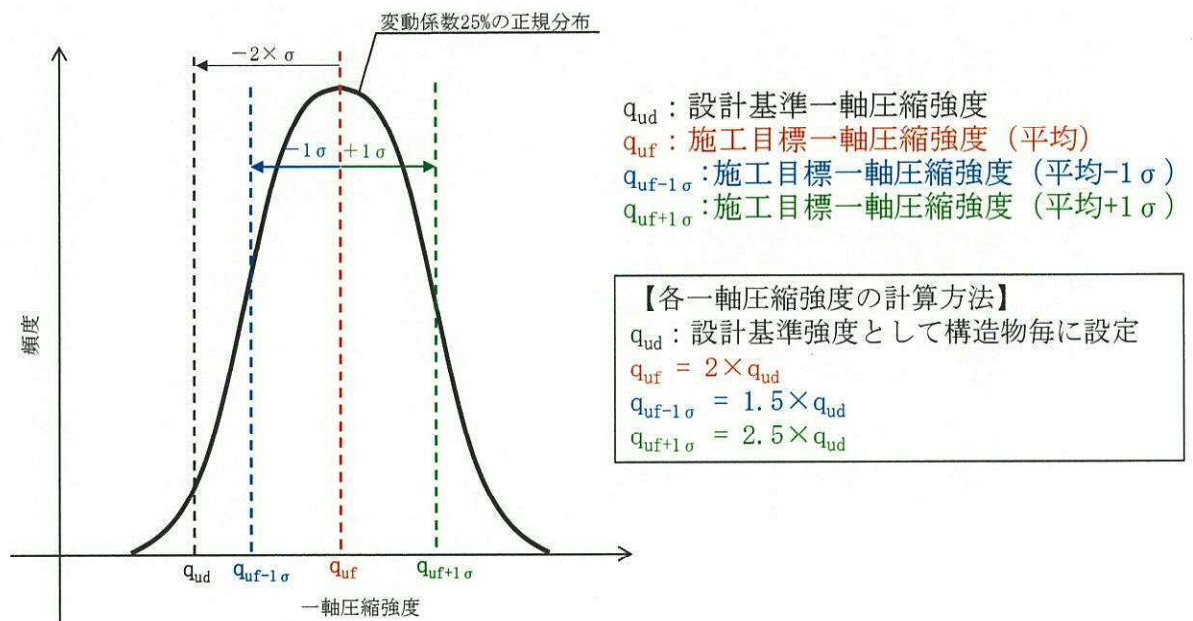


図 3 設計基準一軸圧縮強度と施工目標一軸圧縮強度及び標準偏差の関係

これを踏まえ、地盤改良体（セメント改良）におけるばらつきを考慮した  $V_s$  を以下のように設定する。

平均  $V_s$  :  $q_{ud}$  により（式 1）にて算定した  $V_s$

平均-1σ  $V_s$  :  $q_{uf-1\sigma}$  により（式 1）にて算定した  $V_s$

平均+1σ  $V_s$  :  $q_{uf+1\sigma}$  により（式 1）にて算定した  $V_s$

また、地盤改良体（セメント改良）の各  $V_s$  と各構造物の耐震設計における検討ケースとの対応関係を表 1 に示す。

表1 地盤改良体（セメント改良）の各  $V_s$  と各構造物の耐震設計における検討ケースとの対応関係

| 耐震設計における検討ケースの例                                | 地盤改良体（セメント改良）の $V_s$ |
|------------------------------------------------|----------------------|
| ①原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース（基本ケース）                | 平均 $V_s$             |
| ②地盤物性のばらつきを考慮（ $+1\sigma$ ）した解析ケース             | 平均 $+1\sigma V_s$    |
| ③地盤物性のばらつきを考慮（ $-1\sigma$ ）した解析ケース             | 平均 $-1\sigma V_s$    |
| ④地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース                     | 平均 $V_s$             |
| ⑤原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース                      | 平均 $V_s$             |
| ⑥地盤物性のばらつきを考慮（ $+1\sigma$ ）して非液状化の条件を仮定した解析ケース | 平均 $+1\sigma V_s$    |

### 3. 地盤改良体（セメント改良）におけるばらつきの設定の妥当性

地盤改良体（セメント改良）におけるばらつきの設定の妥当性を確認するため、下記に示す既設地盤改良体に対して実施した PS 検層結果との比較を行った。図4に、既設地盤改良体の設計基準一軸圧縮強度から（式1）にて設定した平均  $V_s$ 、平均 $-1\sigma V_s$ 、平均 $+1\sigma V_s$  と PS 検層結果の比較を示す。

・屋外二重管\_既設地盤改良体（H20年度）\*

\*既設地盤改良体の設計基準一軸圧縮強度  $q_{ud}$  は約  $30 \text{ kgf/cm}^2$  である。

設計基準一軸圧縮強度約  $30 \text{ kgf/cm}^2$  にて施工された既設地盤改良体の PS 検層は、地盤改良体（セメント改良）におけるばらつきの設定（ $-1\sigma V_s \sim +1\sigma V_s$ ）の範囲内に収まっていることを確認した。

以上の施工実績を踏まえ、地盤改良体（セメント改良）におけるばらつきの設定は妥当であると考えられる。

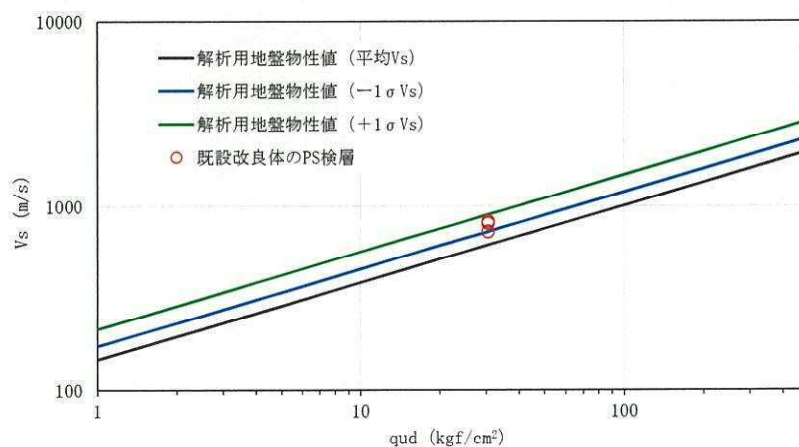


図4 既設改良体の PS 検層と地盤改良体（セメント改良）におけるばらつきの関係

4. 地盤改良体（セメント改良）における密度の設定根拠

地盤改良体（セメント改良）における密度は、既設地盤改良体（屋外二重管\_既設地盤改良（H20 年度））のコア試料を採取して実施した密度試験結果に基づき表 2 のように設定している。

表 2 地盤改良体（セメント改良）の解析用物性値のうち密度

| 項目   |                               | 地盤改良体（セメント改良）                        |                                   |
|------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
|      |                               | 一軸圧縮強度（ $\leq 8.5\text{N/mm}^2$ の場合） | 一軸圧縮強度（ $> 8.5\text{N/mm}^2$ の場合） |
| 物理特性 | 密度<br>$\rho_t(\text{g/cm}^3)$ | 改良対象の原地盤の平均密度 $\times 1.1$           |                                   |

本物性値の設定根拠である密度試験結果を図 5 にヒストグラムで示す。改良対象地盤は表層付近に分布する du 層と Ag2 層であり、密度試験の結果は、du 層で  $2.17\text{g/cm}^3$ 、Ag2 層で  $2.24\text{g/cm}^3$  であり、原地盤の密度（du 層で  $1.98\text{g/cm}^3$ 、Ag2 層で  $2.01\text{g/cm}^3$ ）に対し、概ね 1.1 倍の比率となった。以上を根拠として、地盤改良体（セメント改良）における密度を設定している。

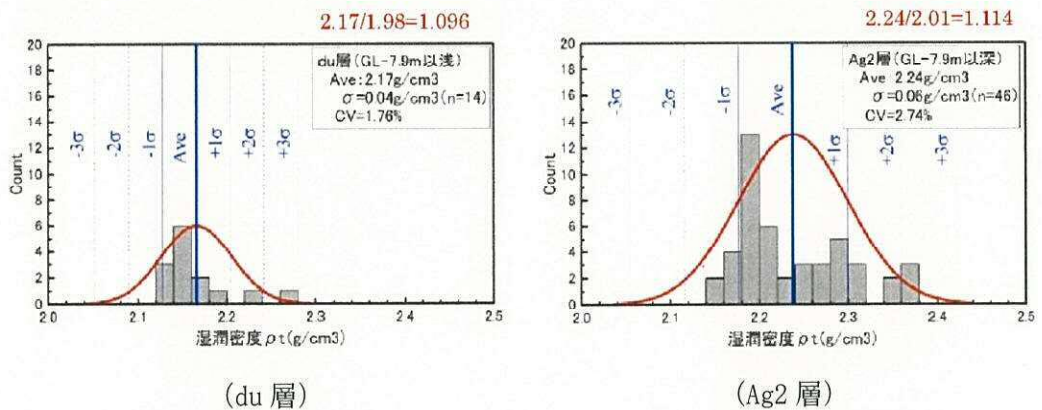


図 5 地盤改良体（セメント改良）の解析用物性値のうち密度

5. 地盤改良体において未改良部が発生した場合の対応方針

新設地盤改良体の施工時においては、施工後の確認試験により、未改良部が発生していないことを確認する。確認試験の結果、未改良部が発生した場合は、未改良部に対して再施工及び再試験を実施する。

## 【既設地盤改良体の PS 検層データについての確認】

### 1. はじめに

屋外二重管の直下に施工されている既設地盤改良体（セメント改良）の PS 検層結果を確認した結果、設計基準一軸圧縮強度に対して、せん断波速度が相対的に低い箇所があったことから、その原因、データの取扱い及び対応方針について検討した。

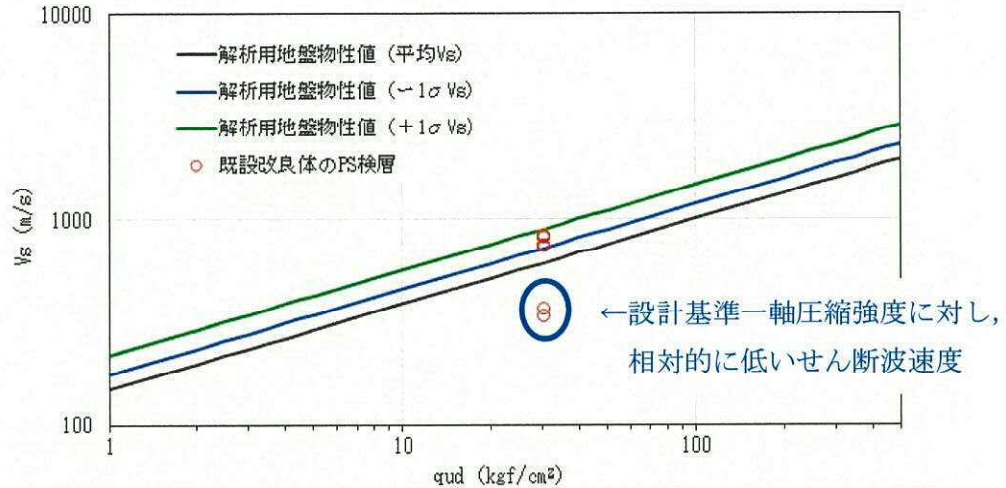


図 既設地盤改良体の PS 検層と地盤改良体（セメント改良）におけるばらつきの関係

### 2. 当該データの原因について

上記の地盤改良体（セメント改良）に対する PS 検層は、2 つのボーリング孔において下記の深度にて実施したものである。

- ・ SJ-1 孔：深度 7.0m ～ 17.0m
- ・ SJ-2 孔：深度 6.0m ～ 16.0m

これらの PS 検層データのうち、相対的に低いせん断波速度が取得されたのは、SJ-1 孔における深度 7.0m～8.0m、SJ-2 孔における深度 6.0m～8.0m であり、改良体の最上部に該当する。

改良体最上部は上部地盤が崩落して改良不良となることが懸念されることから、既設地盤改良体施工当時の状況を確認した結果、地盤改良体（セメント改良）の施工後に、改良体上部地盤の沈下が生じ事後対策した事例があり、このことから改良体最上部のセメントミルクの液位が低下し、未改良部が生じていたと推定した。

相対的に低いせん断波速度は、上記未改良部の PS 検層データである可能性が高い。

### 3. 対応方針

今後新設する地盤改良体（セメント改良）においては、上記のような未改良部の発生を防止するため、セメントミルクの液位を確実に管理し、理想的な施工状態を確保する。

具体的には、「施工完了後にガイドホール孔にセメントミルクを充填する」ことにより、改良体上部地盤の沈下を防止し、未改良部の発生を防止する計画である。

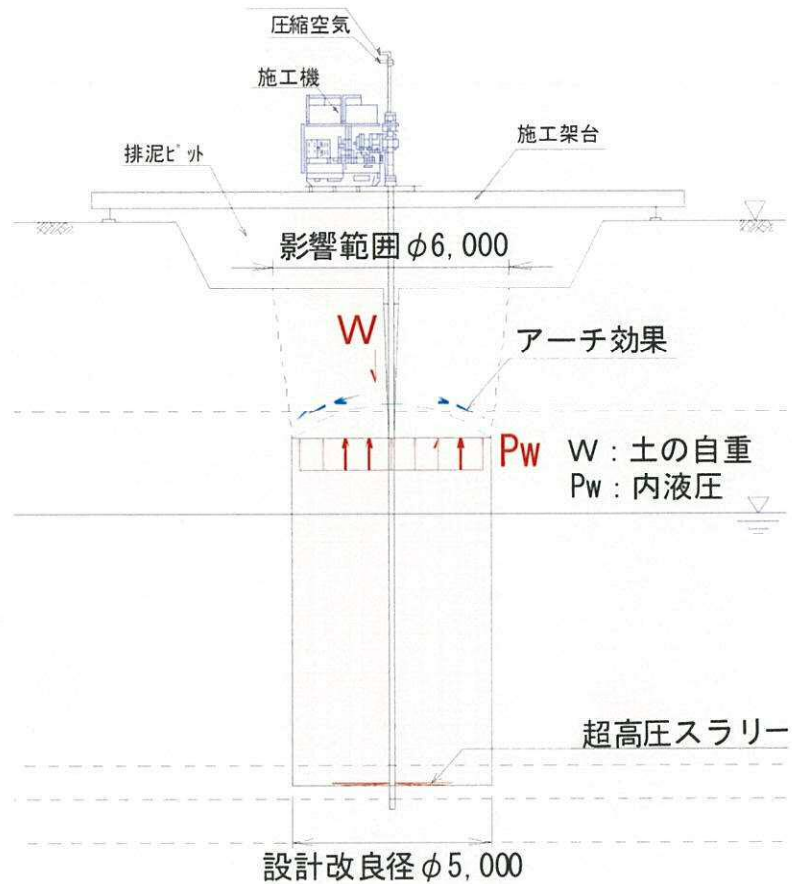


図 地盤改良体（セメント改良）の理想的な施工状態

4. 当該データの取扱いについて

当該データは未改良部において取得された特異点であり、3.の対応方針により、今後の新設地盤改良体（セメント改良）においては発生する可能性が低いことから、既設地盤改良体のPS検層データとして採用しないこととする。

(参考資料5) 地震応答解析にて考慮する地盤物性のばらつき

## 1 土木構造物の地震応答解析における地盤物性のばらつき

### 1.1 せん断波速度 $V_s$ のばらつき

屋外重要土木構造物の耐震評価にあたっては、構造物の周囲に分布する第四系に対し、 $V_s$  のばらつきを考慮した耐震評価を実施する。

#### (1) $V_s$ のばらつきの設定方法

PS 検層による  $V_s$  の深度分布に基づき、 $V_s$  のばらつきを考慮する。

各土質材料の  $V_s$  の深度分布に応じた平均有効主応力  $\sigma'_m$  依存の回帰式を (式1) に示す。

$$V_s(\sigma'_m) = A \times (\sigma'_m)^{0.25} \quad (\text{式1})$$

$$\sigma'_m = \frac{\sigma'_v + \sigma'_h}{2} = \frac{\sigma'_v + K_0 \times \sigma'_v}{2} = \frac{1 + K_0}{2} \cdot \sigma'_v \quad (\text{式2})$$

$$K_0 = \frac{\nu_{CD}}{1 - \nu_{CD}} \quad (\text{式3})$$

$\nu_{CD}$  : 静ポアソン比

各土質材料の解析用物性値の元になっている地盤調査結果の  $V_s \sim \sigma'_m$  関係データが  $N$  個の  $\sigma'_{m i}$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) に対応して与えられているものとし、これらを  $V_s(\sigma'_{m i})_{investigation}$  と表記し、最小二乗法による (式1) のせん断波速度回帰式の出力を  $V_s(\sigma'_{m i})$  と表記する。この時、回帰係数  $A$  は (式4) が成立する値として求める。

$$\sum_{i=1}^N \{V_s(\sigma'_{m i}) - V_s(\sigma'_{m i})_{investigation}\}^2 \rightarrow \text{minimum} \quad (\text{式4})$$

また、各土質材料の標準偏差  $\sigma$  は (式5) により求められる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \{V_s(\sigma'_{m i}) - V_s(\sigma'_{m i})_{investigation}\}^2} \quad (\text{式5})$$

よって、 $V_s$  の  $\pm 1\sigma$  を考慮した  $V_s \sim \sigma'_m$  関係式は、各  $N$  個の  $\sigma'_{m i}$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) に対応して、最小二乗法による平均的な曲線を示す (式1) に基づき、(式6) により表される。

$$V_s(\sigma'_m) = A \times (\sigma'_m)^{0.25} \pm 1\sigma \quad (\text{式6})$$

(式6) により、 $V_s$  の  $\pm 1\sigma$  側の各  $N$  個のデータ  $V_s(\sigma'_{m i})_{+1\sigma}$  及び  $V_s(\sigma'_{m i})_{-1\sigma}$  を生成する。

(式 6) により生成された各 N 組の  $V_s(\sigma'_m)_{+1\sigma} \sim \sigma'_m$  及び  $V_s(\sigma'_m)_{-1\sigma} \sim \sigma'_m$  関係データを対象に (式 7) 及び (式 8) で最小二乗法により回帰する。

$$V_s(\sigma'_m)_{+1\sigma} = A_{+1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.25} \quad (\text{式 7})$$

$$V_s(\sigma'_m)_{-1\sigma} = A_{-1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.25} \quad (\text{式 8})$$

(2)  $V_s$  のばらつきを考慮した初期せん断剛性  $G_m$  の設定方法

$V_s$  の平均的な深度分布に対応する  $G_m(\sigma'_m) \sim \sigma'_m$  関係は (式 9) で表される。密度  $\rho$  と係数  $A$  の値を用いれば、各土質材料の解析用物性値の元になっている地盤調査結果の  $V_s \sim \sigma'_m$  関係データに対応する  $G_m$  についても、(式 9) の係数  $B$  が求められる。

$$G_m(\sigma'_m) = \rho \times \left\{ A \times (\sigma'_m)^{0.25} \right\}^2 = \rho \times A^2 \times (\sigma'_m)^{0.5} = B \times (\sigma'_m)^{0.5} \quad (\text{式 9})$$

したがって、 $V_s$  の  $\pm 1\sigma$  側に対応する  $G_m(\sigma'_m) \sim \sigma'_m$  関係は、(式 10) 及び (式 11) で表される。

$$G_m(\sigma'_m) = \rho \times \left\{ A_{+1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.25} \right\}^2 = \rho \times (A_{+1\sigma})^2 \times (\sigma'_m)^{0.5} = B_{+1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.5} \quad (\text{式 10})$$

$$G_m(\sigma'_m) = \rho \times \left\{ A_{-1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.25} \right\}^2 = \rho \times (A_{-1\sigma})^2 \times (\sigma'_m)^{0.5} = B_{-1\sigma} \times (\sigma'_m)^{0.5} \quad (\text{式 11})$$

上記で示した  $G_m$  の  $\sigma'_m$  依存の関係式設定イメージを図 1.1-1 に示す。



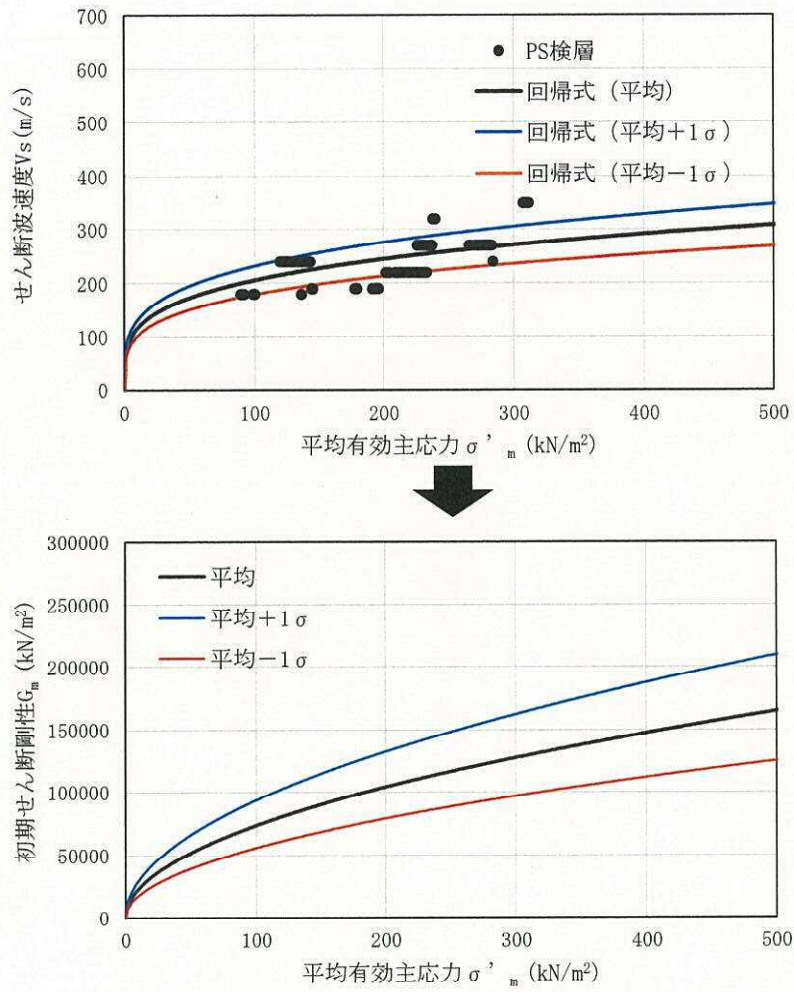


図 1.1-1  $V_s$  のばらつきを考慮した  $G_m$  の  $\sigma'_m$  依存の関係式設定イメージ

(3)  $V_s$  のばらつきの設定結果

PS 検層結果と、(1) の設定方法により算定した  $V_s$  の深度分布に応じた  $\sigma'_m$  依存式 (平均及び  $\pm 1\sigma$ ) を図 1.1-2 に示す。また、液状化検討層については豊浦標準砂の  $V_s$  算定式を比較する。

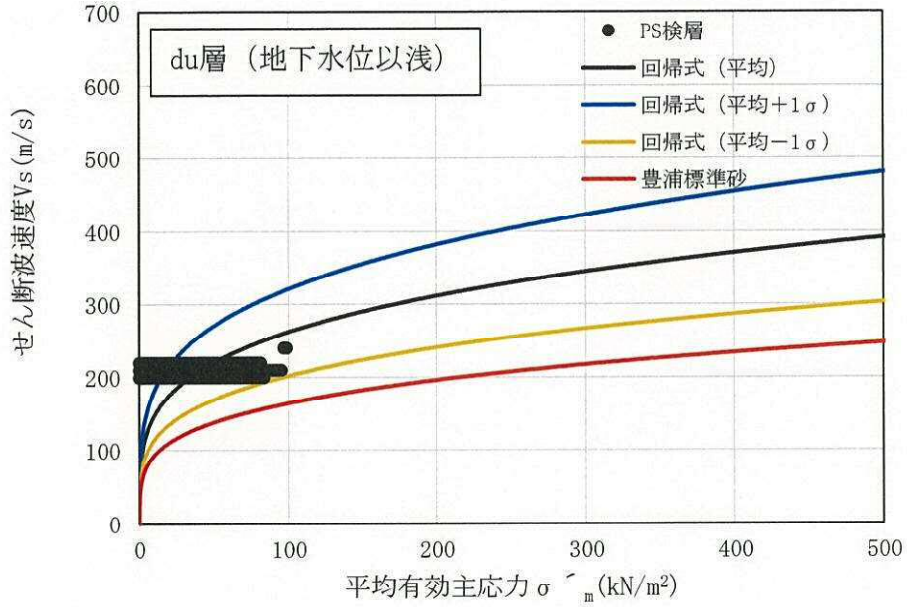


図 1.1-2 (1)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (du 層 (地下水位以浅))

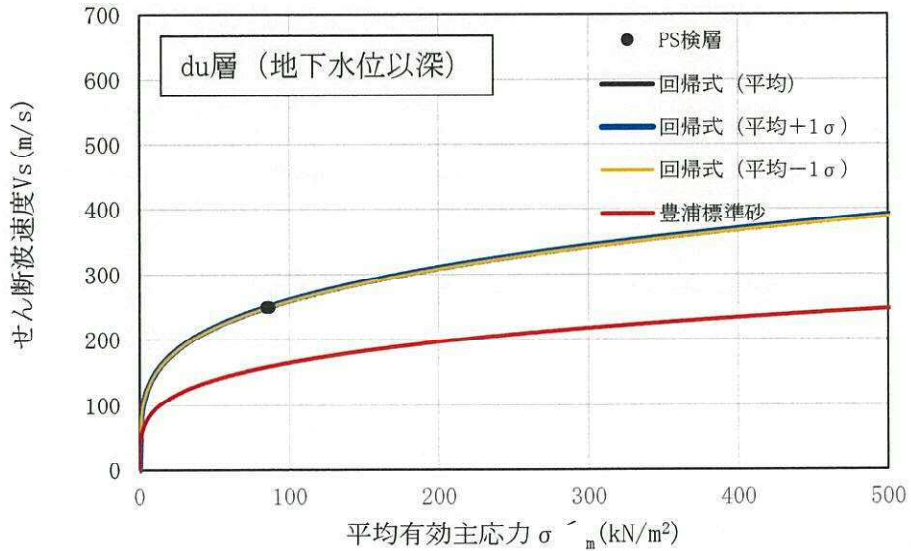


図 1.1-2 (2)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (du 層 (地下水位以深))

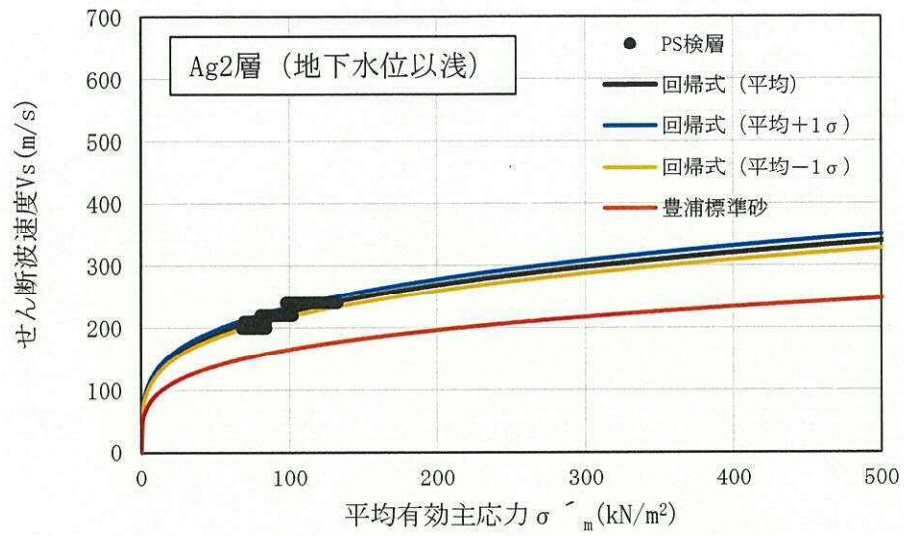


図 1.1-2 (3)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (Ag2 層 (地下水位以浅))

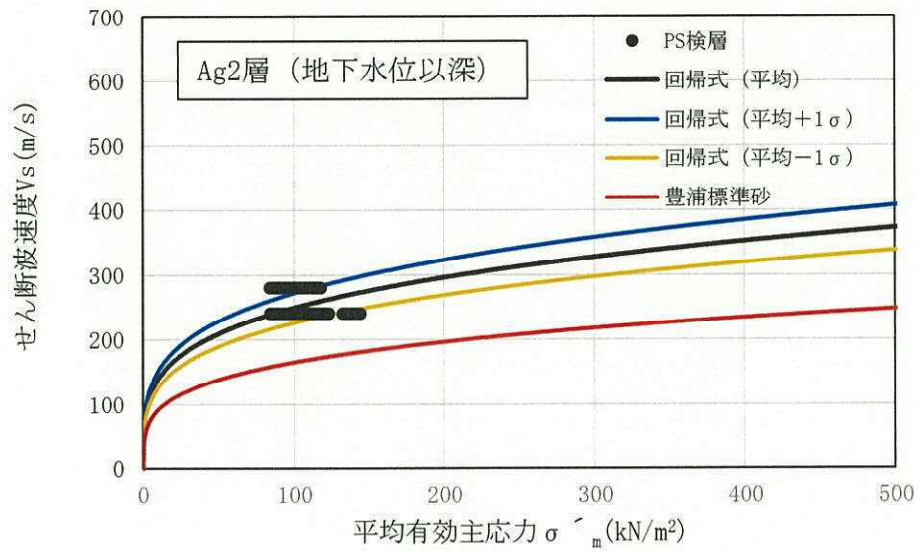


図 1.1-2 (4)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (Ag2 層 (地下水位以深))

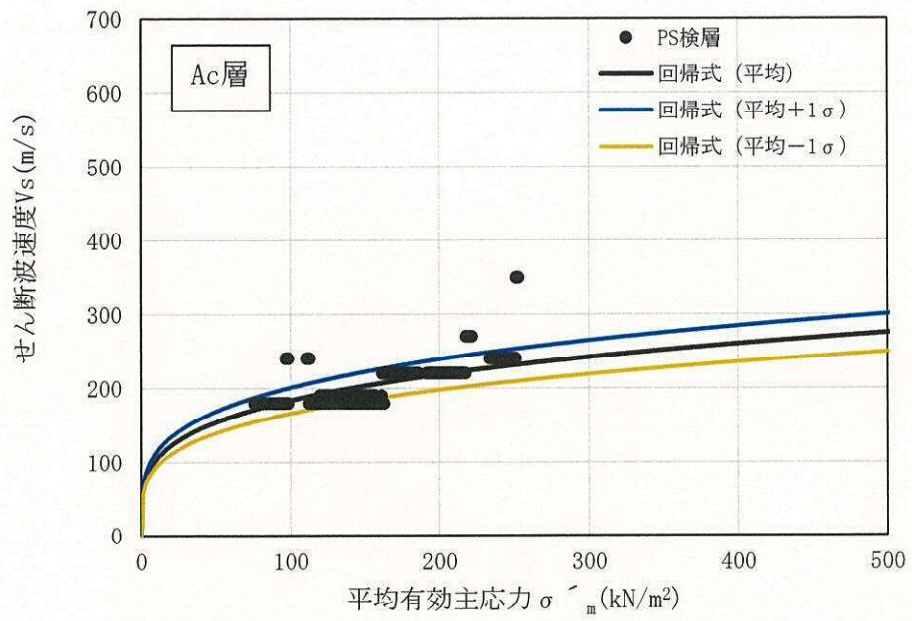


図 1.1-2 (5)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (Ac 層)

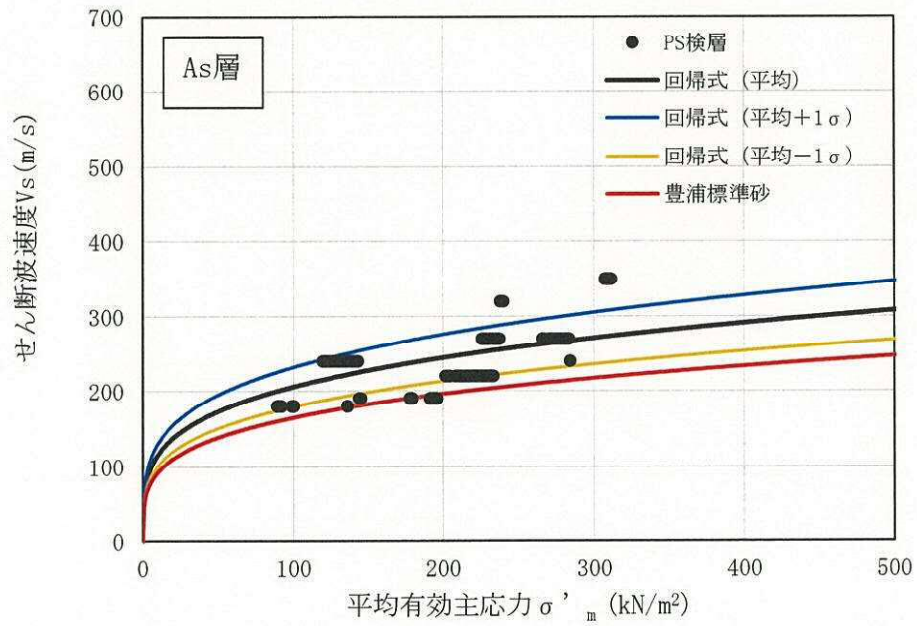


図 1.1-2 (6)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (As 層)

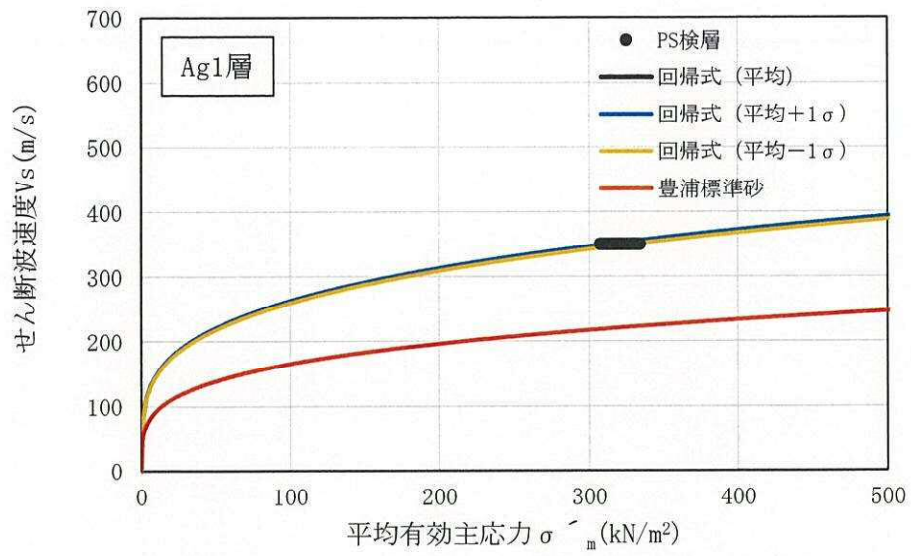


図 1.1-2 (7)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (Ag1 層)

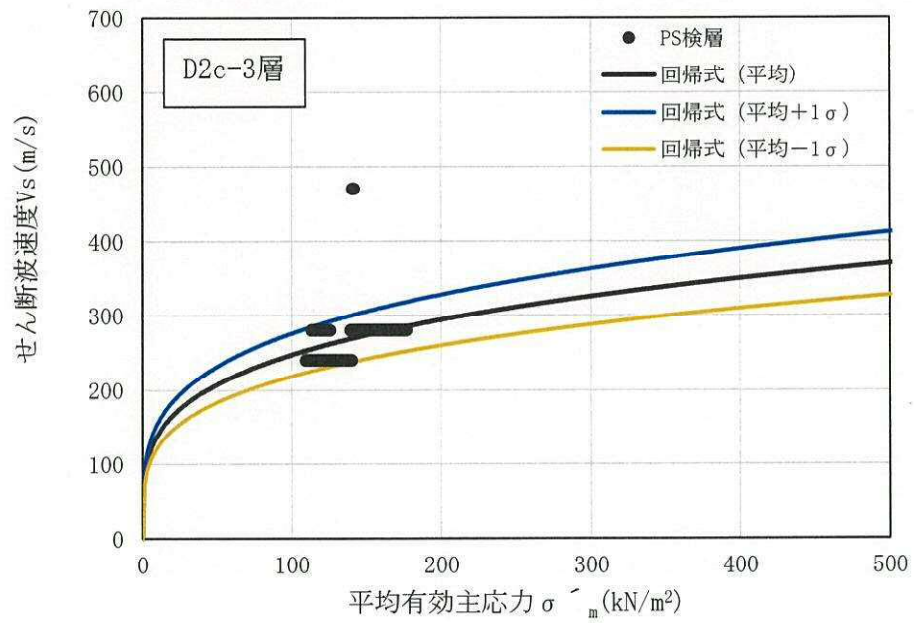


図 1.1-2 (8)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (D2c-3 層)

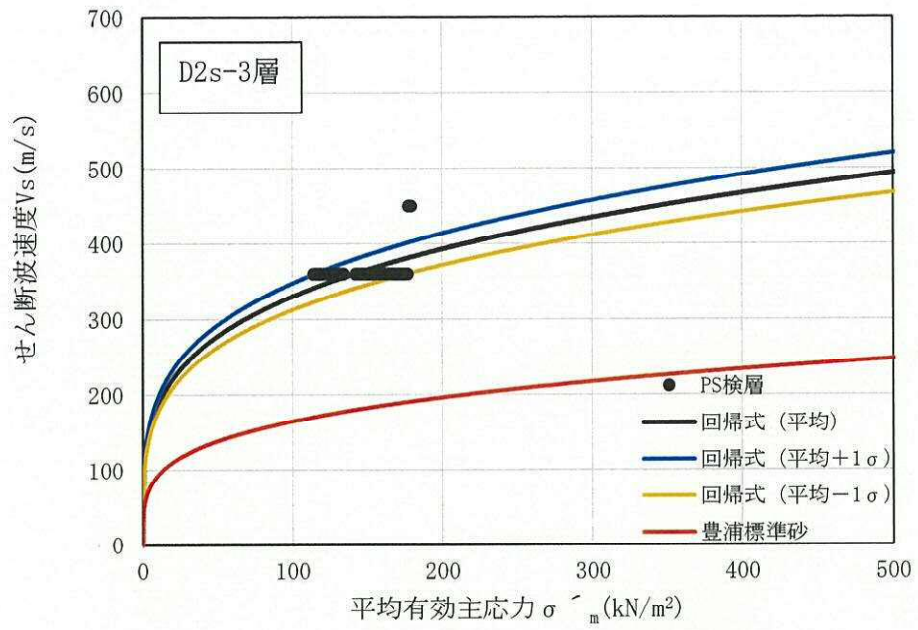


図 1.1-2 (9)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (D2s-3 層)

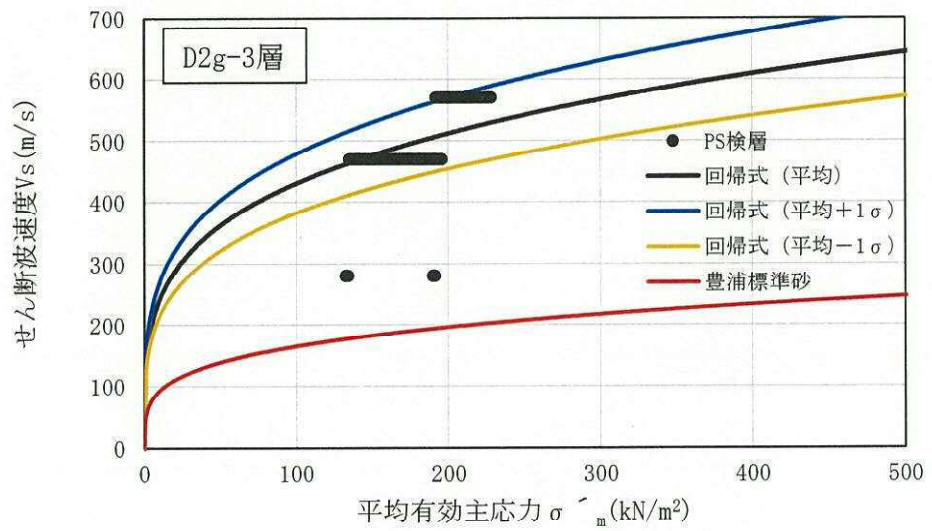


図 1.1-2 (10)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (D2g-3 層)

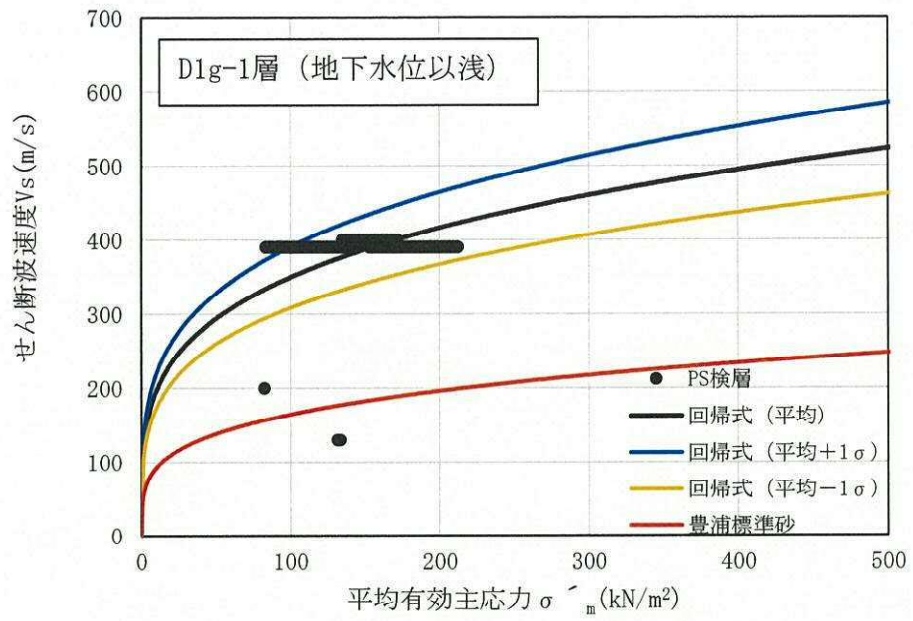


図 1.1-2 (11)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (D1g-1 層 (地下水位以浅))

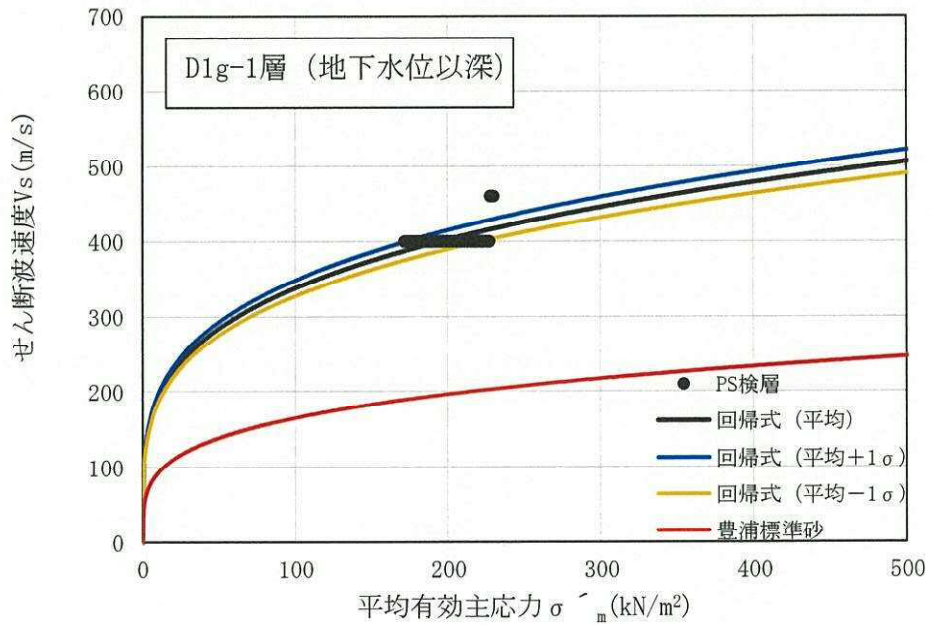


図 1.1-2 (12)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (D1g-1 層 (地下水位以深))

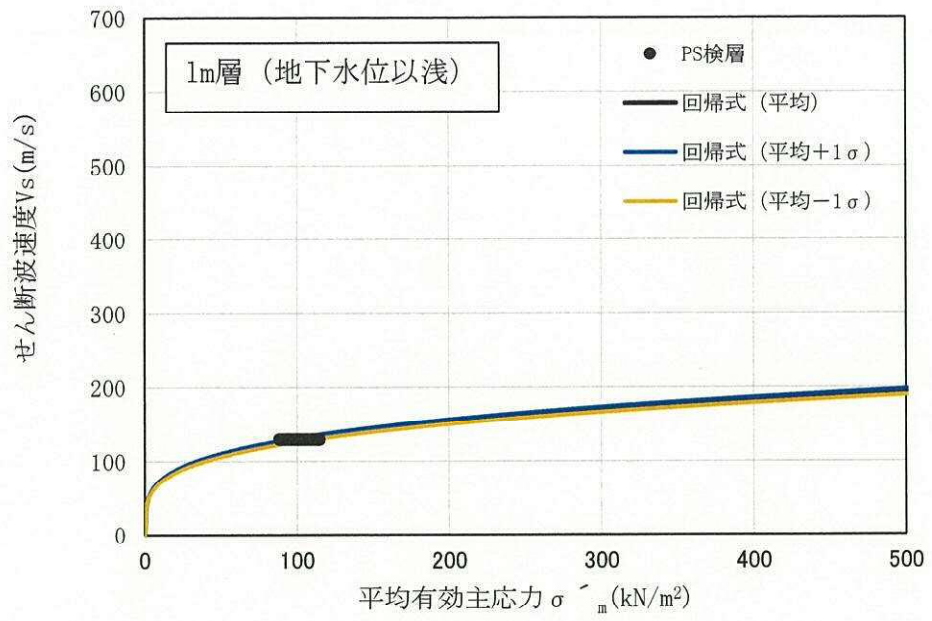


図 1.1-2 (13)  $V_s$  の  $\sigma'_m$  依存式 (1m層 (地下水位以浅))



以上のように求めた平均  $V_s$  の場合及び  $\pm 1\sigma$  を考慮した場合の係数  $A$  をまとめて表 1.1-1 に、また、(式7) ~ (式9) にて求めた  $G_m$  の  $\sigma'_m$  との関係式における係数  $B$  を表 1.1-2 に示す。

表 1.1-1  $V_s$  のばらつきを考慮した係数  $A$

| 地層  |        |     | 密度<br>$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ) | $V_s$ の $\sigma'_m$ に対する依存式<br>$V_s = A \times (\sigma'_m)^{0.25}$ (m/s) |                                    |                                    |
|-----|--------|-----|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|     |        |     |                                   | 係数 $A$<br>(平均の $V_s$ )                                                   | 係数 $A$<br>(平均+1 $\sigma$ の $V_s$ ) | 係数 $A$<br>(平均-1 $\sigma$ の $V_s$ ) |
| 第四系 | du層    | 不飽和 | 1.82                              | 82.8598                                                                  | 101.6984                           | 64.0212                            |
|     |        | 飽和  | 1.98                              | 82.2410                                                                  | 82.4428                            | 82.0391                            |
|     | Ag2層   | 不飽和 | 1.89                              | 71.5266                                                                  | 73.9462                            | 69.1071                            |
|     |        | 飽和  | 2.01                              | 78.7716                                                                  | 86.0654                            | 71.4778                            |
|     | Ac層    | 飽和  | 1.65                              | 58.0616                                                                  | 63.5317                            | 52.5915                            |
|     | As層    | 飽和  | 1.74                              | 65.1014                                                                  | 73.4333                            | 56.7694                            |
|     | Ag1層   | 飽和  | 2.01                              | 82.6980                                                                  | 83.2301                            | 82.1659                            |
|     | D2c-3層 | 飽和  | 1.77                              | 78.1556                                                                  | 87.1758                            | 69.1353                            |
|     | D2s-3層 | 飽和  | 1.92                              | 104.4247                                                                 | 109.9760                           | 98.8734                            |
|     | D2g-3層 | 飽和  | 2.15                              | 136.1685                                                                 | 151.4711                           | 120.8660                           |
|     | 1m層    | 不飽和 | 1.43                              | 40.9503                                                                  | 41.7688                            | 40.1318                            |
|     |        | 飽和  | 1.47                              |                                                                          |                                    |                                    |
|     | D1g-1層 | 不飽和 | 1.89                              | 110.6364                                                                 | 123.5713                           | 97.7014                            |
|     |        | 飽和  | 2.01                              | 107.0330                                                                 | 110.3465                           | 103.7195                           |

$\sigma'_m$  : 平均有効主応力 (kN/m<sup>2</sup>)

表 1.1-2  $V_s$  のばらつきを考慮した  $G_m$  の係数  $B$

| 地層  |        |     | $G_m$ の $\sigma'_m$ に対する依存式<br>$G_m = B \times (\sigma'_m)^{0.5}$ (kN/m <sup>2</sup> ) |                                    |                                    |
|-----|--------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|     |        |     | 係数 $B$<br>(平均の $V_s$ )                                                                 | 係数 $B$<br>(平均+1 $\sigma$ の $V_s$ ) | 係数 $B$<br>(平均-1 $\sigma$ の $V_s$ ) |
| 第四系 | du層    | 不飽和 | 12496                                                                                  | 18823                              | 7460                               |
|     |        | 飽和  | 13392                                                                                  | 13458                              | 13326                              |
|     | Ag2層   | 不飽和 | 9669                                                                                   | 10335                              | 9026                               |
|     |        | 飽和  | 12472                                                                                  | 14889                              | 10269                              |
|     | Ac層    | 飽和  | 5562                                                                                   | 6660                               | 4564                               |
|     | As層    | 飽和  | 7374                                                                                   | 9383                               | 5608                               |
|     | Ag1層   | 飽和  | 13746                                                                                  | 13924                              | 13570                              |
|     | D2c-3層 | 飽和  | 10812                                                                                  | 13451                              | 8460                               |
|     | D2s-3層 | 飽和  | 20937                                                                                  | 23222                              | 18770                              |
|     | D2g-3層 | 飽和  | 39865                                                                                  | 49328                              | 31408                              |
|     | 1m層    | 不飽和 | 2398                                                                                   | 2495                               | 2303                               |
|     |        | 飽和  | 2465                                                                                   | 2565                               | 2368                               |
|     | D1g-1層 | 不飽和 | 23134                                                                                  | 28860                              | 18041                              |
|     |        | 飽和  | 23027                                                                                  | 24474                              | 21623                              |

$\sigma'_m$  : 平均有効主応力 (kN/m<sup>2</sup>)

(4) 豊浦標準砂のVs算定式との比較

液状化検討対象層のVsのばらつきを考慮した $\sigma'_m$ 依存式 ( $-1\sigma$ ) と、豊浦標準砂のVs算定式を比較する。豊浦標準砂のVs算定式は、全ての液状化検討対象層の $-1\sigma$ の回帰式を包含し、さらに小さく設定されている。

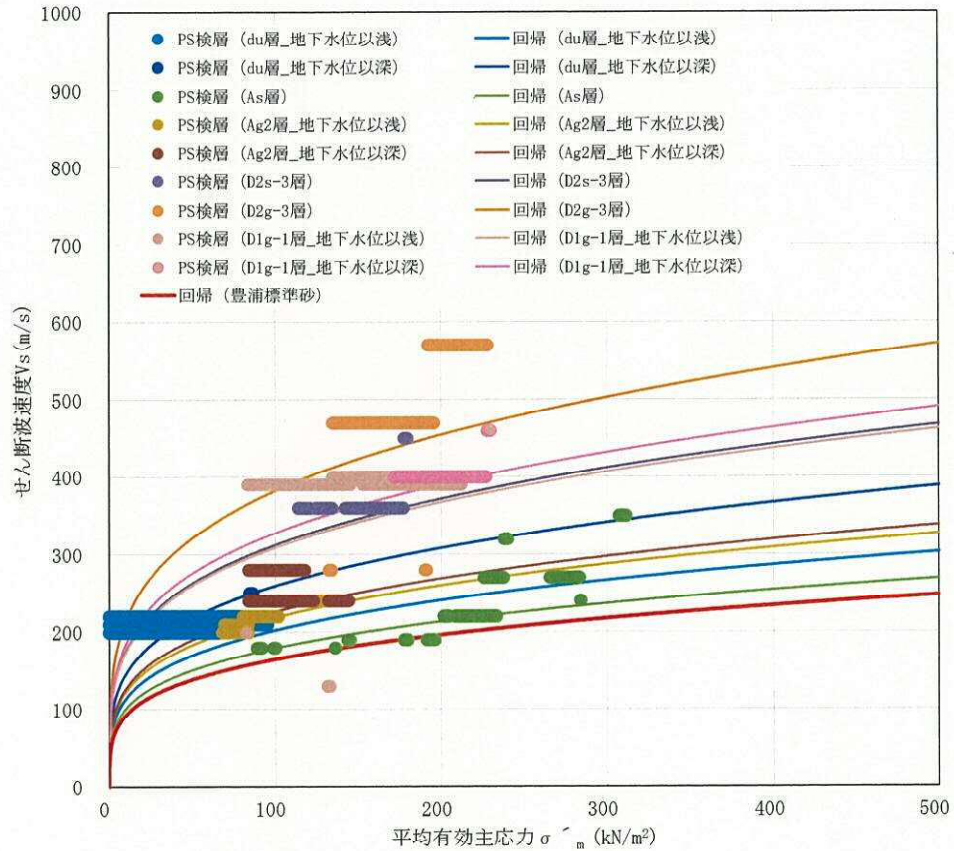


図 1.1-3 Vsの平均有効主応力依存式 ( $-1\sigma$ ) と豊浦標準砂のVs算定式の比較

以上により、 $\pm 1\sigma$ による原地盤のVsのばらつきの設定方法及び設定結果を示すとともに、Vsのばらつきに基づく初期せん断剛性 $G_m$ の設定方法を示した。また、強制的に液状化させることを仮定した影響を考慮する場合に用いる豊浦標準砂のVs算定式は、原地盤の液状化検討対象層の $-1\sigma$ の回帰式を全て包含していることを確認した。

## 1.2 液状化強度特性のばらつき

屋外重要土木構造物の耐震評価にあたっては、地震時の有効応力の変化に応じた影響を適切に評価できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。設定する原地盤の各液状化検討対象層の液状化強度特性は試験データのばらつきを考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差を用いて適切に設定することを基本とする。

液状化強度試験データの回帰式として、回帰係数  $a, b$  を用いた常用片対数の指数関数を(式 12) に示す。

$$R_L(N) = a \times (\log_{10} N)^b \quad (\text{式 12})$$

各土質材料の解析用物性値の元になっている液状化試験結果のせん断応力比  $\tau/\sigma'_m$  ( $=R_L$ ) と繰返し載荷回数  $N$  の関係のデータが  $K$  個の繰返し載荷回数  $N_j$  ( $j=1, 2, \dots, K$ ) に対応して与えられているものとし、これらの実測値を  $R_L(N_j)_{\text{experiment}}$  と表記し、最小二乗法により係数  $a, b$  の値が定められた(式 12) の液状化強度回帰式の出力を  $R_L(N_j)$  と表記すると、各土質材料の液状化強度特性の標準偏差  $\sigma$  は(式 13) で求められる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{K-2} \sum_{j=1}^K \{R_L(N_j) - R_L(N_j)_{\text{experiment}}\}^2} \quad (\text{式 13})$$

(式 12) , (式 13) より、各土質材料の液状化強度試験データのばらつきを考慮した保守側の液状化強度近似曲線は、(式 14) により求められる。

$$R_L(N)_{-1\sigma} = a \times (\log_{10} N)^b - 1\sigma \quad (\text{式 14})$$

屋外重要土木構造物の耐震評価では、(式 14) による原地盤の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) を適用した有効応力解析を実施することを基本とする。

また、屋外重要土木構造物の耐震評価においては、以下の解析を実施する場合がある。

地中土構造物への地盤変位に対する保守的な配慮として、地盤を強制的に液状化させることを仮定した影響を考慮する場合は、原地盤よりも十分に小さい液状化強度特性(敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性)を設定する。豊浦標準砂の液状化強度特性を原地盤の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) と比較した結果を図 1.2-1 に示す。

上部土木構造物及び機器・配管系への加速度応答に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮する場合は、原地盤において非液状化の条件(最も液状化強度が大きい場合に相当)を仮定した解析を実施する。

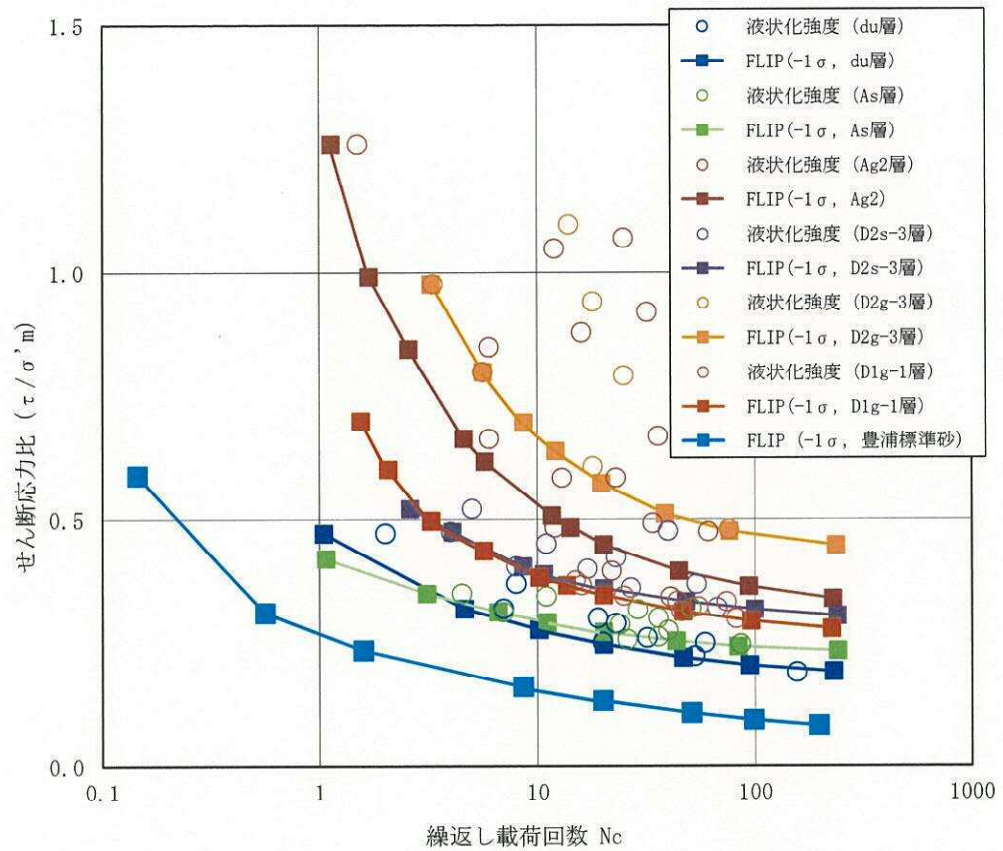


図 1.2-1 原地盤の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) と豊浦標準砂の液状化強度特性の比較

以上より，屋外重要土木構造物の耐震評価においては，地盤の液状化強度特性のばらつきを以下のように考慮する。

- ・ 原地盤の液状化強度特性 ( $-1\sigma$ ) の適用を基本とする。
- ・ 地中土構造物への地盤変位に対する保守的な配慮として，強制的に液状化させることを仮定した影響を考慮する場合は，原地盤よりも十分に小さい液状化強度特性（敷地に存在しない豊浦標準砂に基づく液状化強度特性）を設定する。
- ・ 上部土木構造物及び機器・配管系への加速度応答に対する保守的な配慮として，非液状化の影響を考慮する場合は，原地盤において非液状化の条件（最も液状化強度が大きい場合に相当）を仮定した解析を実施する。

2 建物・構築物の地震応答解析における地盤物性のばらつき

建物・構築物の地震応答解析においては、構築物の周囲に分布する第四系及び支持層である新第三系に対し、 $V_s$ のばらつきを考慮した耐震評価を実施する。

以下に、PS 検層結果に基づく平均  $V_s$  及び変動係数を示す。また、図 2-1 に PS 検層結果とばらつきを示す。

ここで、第四系については、当該地層のせん断波速度と分布層厚を孔毎に抽出し、層厚に応じた加重平均として  $V_s$  をとりまとめている。また、ばらつきの評価においては、層厚を確率分布と見て標準偏差及び変動係数を算定している。

表 2-1 PS 検層結果に基づく平均  $V_s$  及び変動係数

| 地層   |         | せん断波速度 $V_s$<br>平均値 (m/s) | 変動係数 |
|------|---------|---------------------------|------|
| 第四系  | du 層    | 210                       | 0.04 |
|      | Ag2 層   | 240                       | 0.10 |
|      | D2c-3 層 | 270                       | 0.11 |
|      | D2s-3 層 | 360                       | 0.04 |
|      | D2g-3 層 | 500                       | 0.13 |
| 新第三系 | Km 層    | $433 - 0.771 \cdot z$     | 0.07 |

$z$  : 標高 (m)

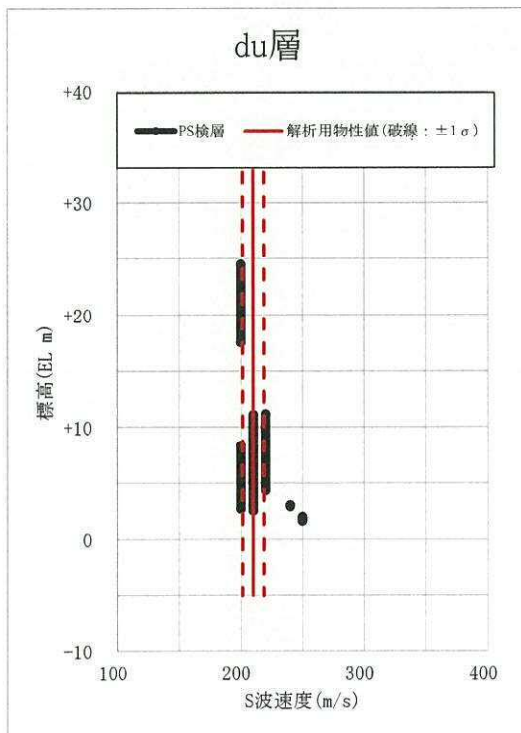


図 2-1 (1) PS 検層結果 (du 層)

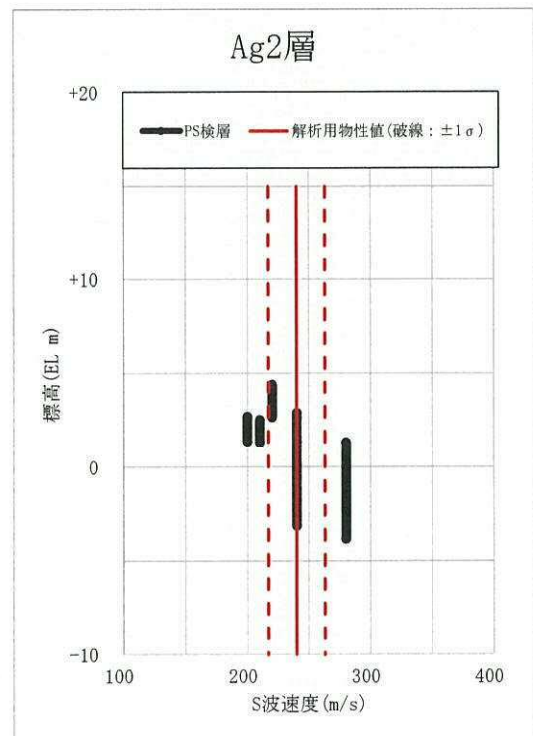


図 2-1 (2) PS 検層結果 (Ag2 層)

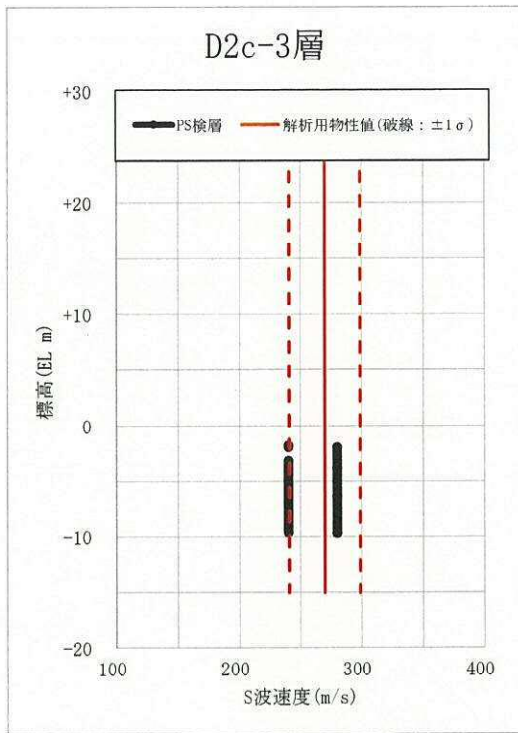


図 2-1 (3) PS 検層結果 (D2c-3 層)

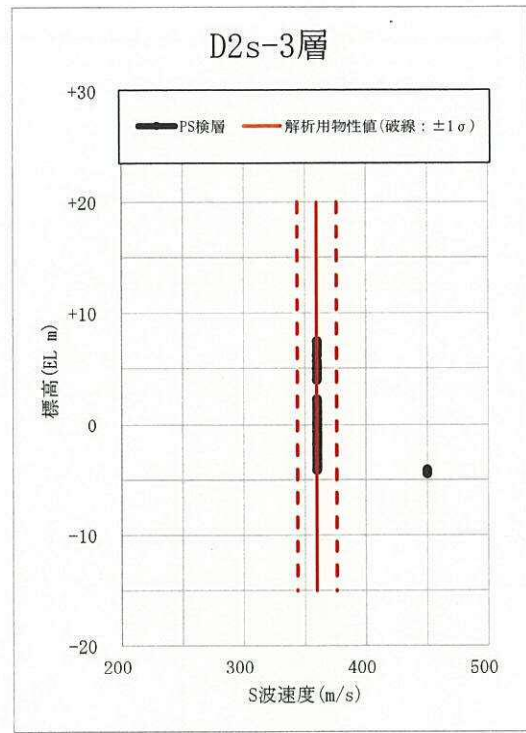


図 2-1 (4) PS 検層結果 (D2s-3 層)

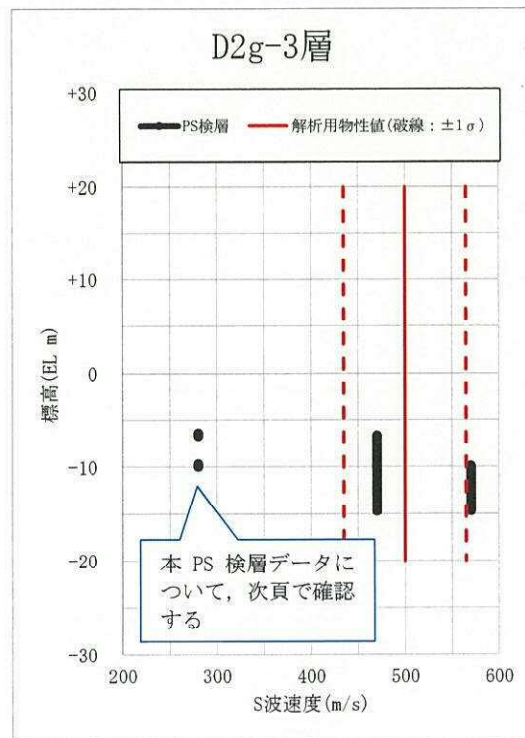


図 2-1 (5) PS 検層結果 (D2g-3 層)

【D2g-3層のPS検層データについての確認】

D2g-3層のPS検層データのうち、平均値よりも相対的に小さい2点について、ボーリング柱状図を確認した。PS検層実施位置はD2g-3層に分類されており、いずれも上層との地層境界に相当するが、D2g-3層のばらつきの範囲内に該当すると考えている。

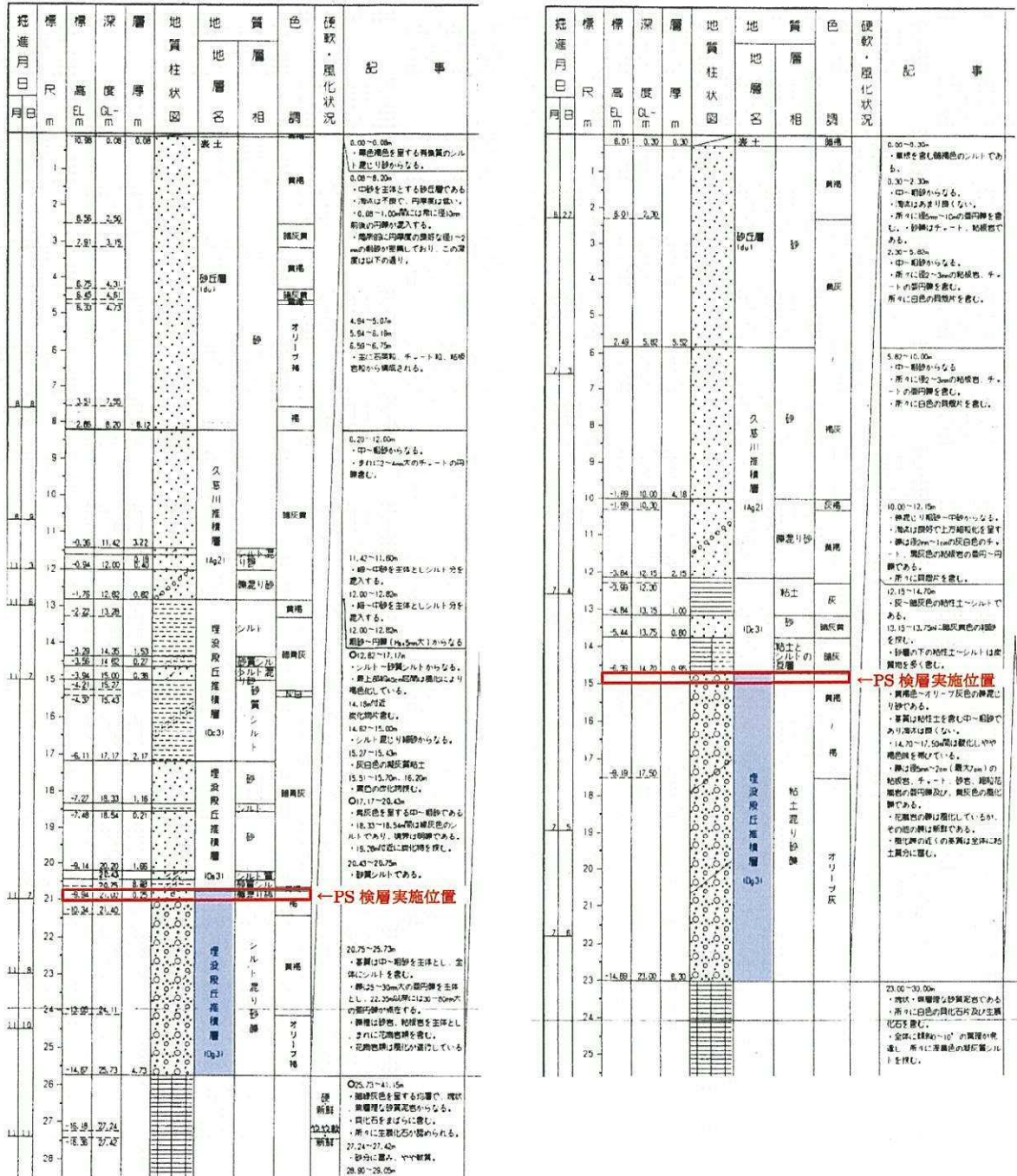


図 PS検層実施位置のボーリング柱状図 (D2g-3層)

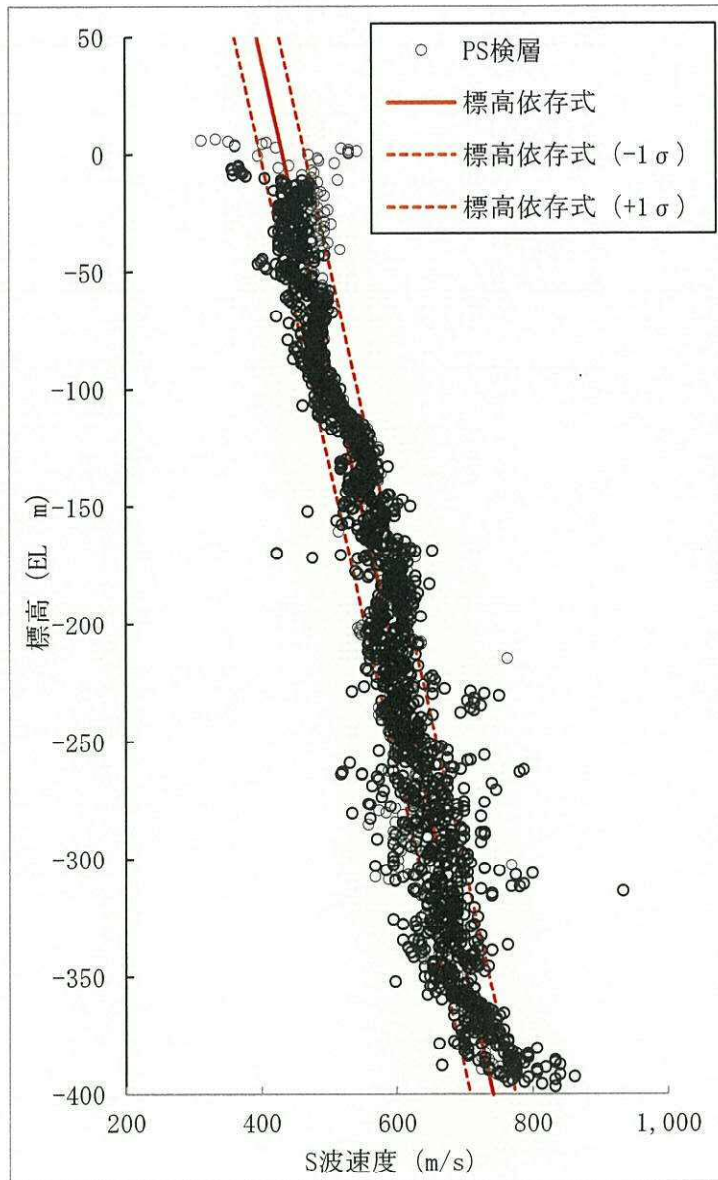


図 2-1 (6) PS 検層結果 (Km 層)



(参考資料6) 杭基礎の支持力評価方法に関する補足

1. 押し込み力に対する杭基礎の支持力評価方法

杭基礎構造を有する耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設について、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した耐震設計を行う場合は、第四系の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、杭先端の支持岩盤への接地圧に対する支持力評価を行うことを基本とする。図1に上記支持力評価の概要を示す。

また、上記支持力評価を行う際は、有効応力解析における最大接地圧発生時刻の杭周面摩擦力の合力が、接地圧を増加させる側に作用していることを確認する。なお、最大接地圧発生時刻の杭周面摩擦力の合力が接地圧を減少させる側に作用している場合は、当該合力を杭先端の接地圧に加算した上で支持力評価を行うこととする。

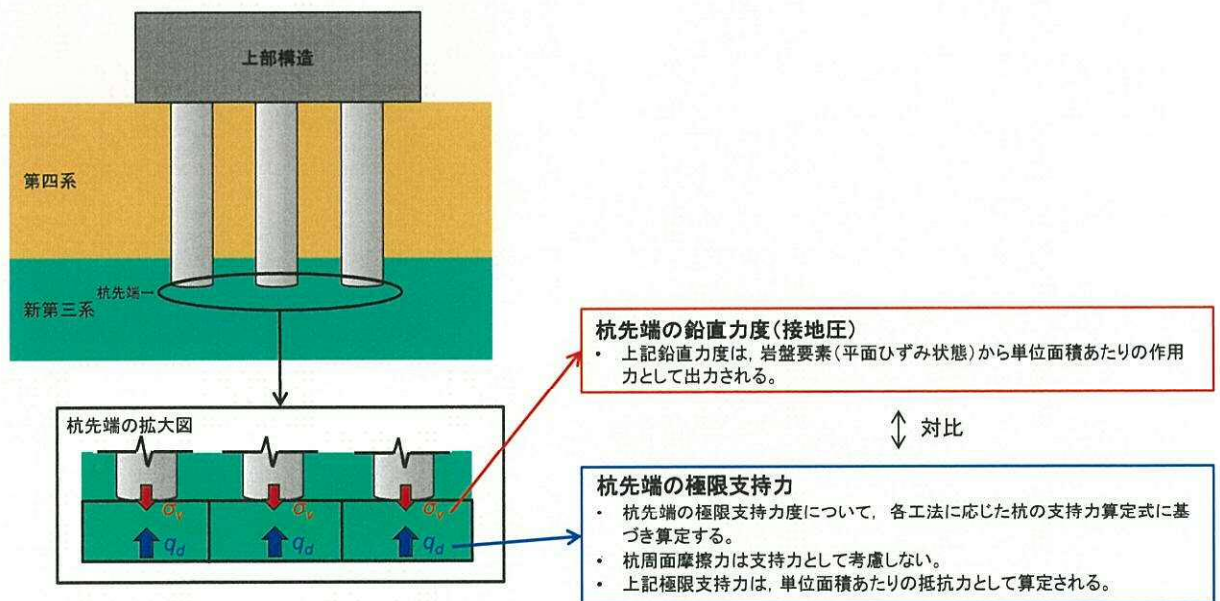


図1 押し込み力に対する杭基礎の支持力評価  
(押し込み力に対し杭周面摩擦力を支持力として考慮しない場合)

ただし、押し込み力に対する支持力評価において、杭を根入れした岩盤及び岩着している地盤改良体とその上方の非液状化層が連続している場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。図2に上記支持力評価の概要を示す。

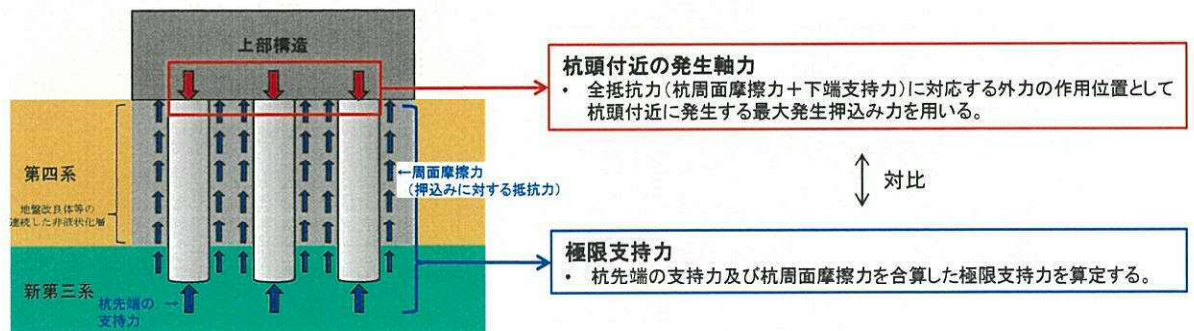


図2 押し込み力に対する杭基礎の支持力評価  
(押し込み力に対し杭周面摩擦力を支持力として考慮する場合)

## 2. 引抜き力に対する杭基礎の支持力評価方法

杭基礎構造を有する耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設について、豊浦標準砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した耐震設計を行う場合は、第四系の杭周面摩擦力を支持力として考慮せず、新第三系（久米層）の杭周面摩擦力により算定される極限支持力を考慮することを基本とする。図3に上記支持力評価の概要を示す。

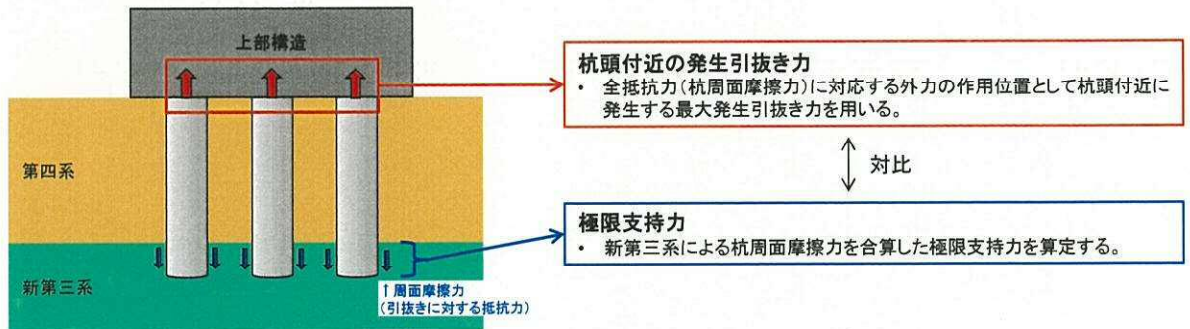


図3 引抜き力に対する杭基礎の支持力評価

（引抜き力に対し第四系の杭周面摩擦力を支持力として考慮しない場合）

ただし、引抜き力に対する支持力評価において、杭周面地盤に地盤改良体がある場合は、その杭周面摩擦力を支持力として考慮する。図4に上記支持力評価の概要を示す。

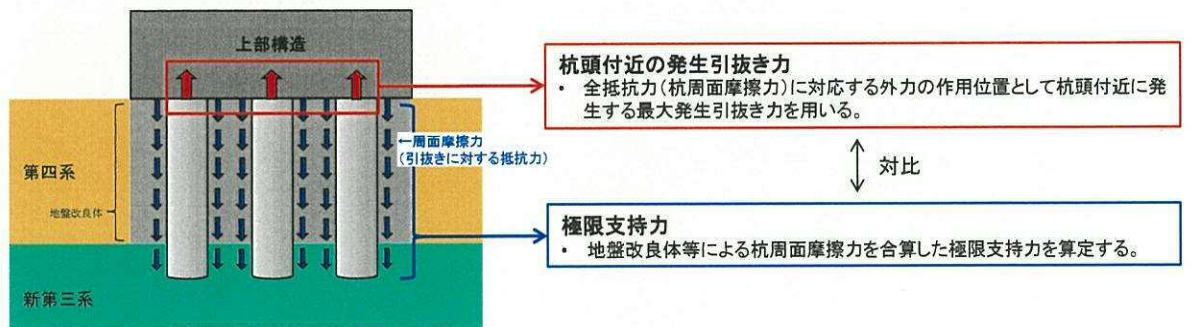


図4 引抜き力に対する杭基礎の支持力評価

（引抜き力に対し地盤改良体の杭周面摩擦力を支持力として考慮する場合）

3. 有効応力解析における杭と地盤との境界条件について

3.1 杭—地盤相互作用ばねの設定

地盤と杭の接合面に杭—地盤相互作用ばねを設けることにより、地盤と杭の接合面における、強震時の相互作用の3次元効果を2次元モデルで適切に考慮する。

杭—地盤相互作用ばねの杭軸方向については、地盤と杭の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が発生した場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。図5に杭—地盤相互作用ばねの考え方を示す。

なお、せん断強度  $\tau_f$  は次式の Mohr—Coulomb 式により規定される。  $c$ 、  $\phi$  は周辺地盤の  $c$ 、  $\phi$  とする。

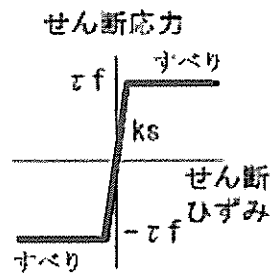
$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

$\tau_f$  : せん断強度

$c$  : 粘着力

$\phi$  : 内部摩擦角



杭—地盤相互作用ばね（杭軸方向）の力学的特性

図5 杭—地盤相互作用ばねの考え方

杭—地盤相互作用ばねの杭軸方向のばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として、表1のとおり設定する。

また、杭—地盤相互作用ばねの杭軸直交方向のばね定数については、杭径及び杭間隔より設定される\*。

注記 \* FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」

表1 杭—地盤相互作用ばねのばね定数

|      | せん断剛性 $k_s$<br>( $\text{kN/m}^3$ ) |
|------|------------------------------------|
| 杭軸方向 | $1.0 \times 10^6$                  |

### 3.2 杭下端ジョイントばねの設定

杭下端境界部に圧縮応力の上限値を有さないジョイントばねを設けることにより、杭下端における地盤と杭の相互作用を適切に考慮する。

杭下端の杭軸方向について設定するジョイントばねは、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。

杭下端ジョイントばねのばね定数は、数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として、表2のとおり設定する。杭下端ジョイントばね設定の考え方を図6に示す。

表2 杭下端ジョイントばねのばね定数

|      | 圧縮剛性 $k_v$<br>(kN/m) |
|------|----------------------|
| 杭軸方向 | $1.0 \times 10^6$    |

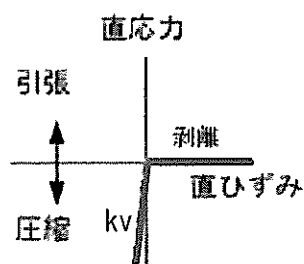


図6 杭下端ジョイントばね設定の考え方

【杭-地盤相互作用ばねの杭軸直交方向のばね定数について】

本項では、FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」に記載されている杭-地盤相互作用ばねの杭軸直交方向のばね定数の考え方を示すとともに、東海第二発電所の構造物への適用性について説明する。

1. 杭-地盤相互作用ばねについて

1.1 杭-地盤相互作用ばねの概要

杭-地盤相互作用ばねのばね定数は、杭周辺地盤のせん断応力-せん断ひずみ関係に基づく杭と地盤の相対変位及び杭と地盤相互のばね力を以下のように設定するものである。

①杭周辺地盤のせん断ひずみ  $\gamma$  より、(式 1) を用いて、杭と地盤の相対変位  $u$  を求める。

$$\text{杭と地盤の相対変位 } u = D \times \beta_p \times \text{せん断ひずみ } \gamma \quad (\text{式 1})$$

$D$  : 杭径

$\beta_p$  : 地盤のせん断ひずみから杭と地盤の相対変位を求めるための係数

②杭周辺地盤のせん断応力  $\tau$  より、(式 2) を用いて杭と地盤相互のばね力  $F$  を求める。

$$\text{杭と地盤相互のばね力 } F = L \times D \times \alpha_p \times \text{せん断応力 } \tau \quad (\text{式 2})$$

$D$  : 杭径

$L$  : ばね鉛直方向支配長

$\alpha_p$  : 地盤のせん断応力から杭と地盤相互のばね力を求めるための係数

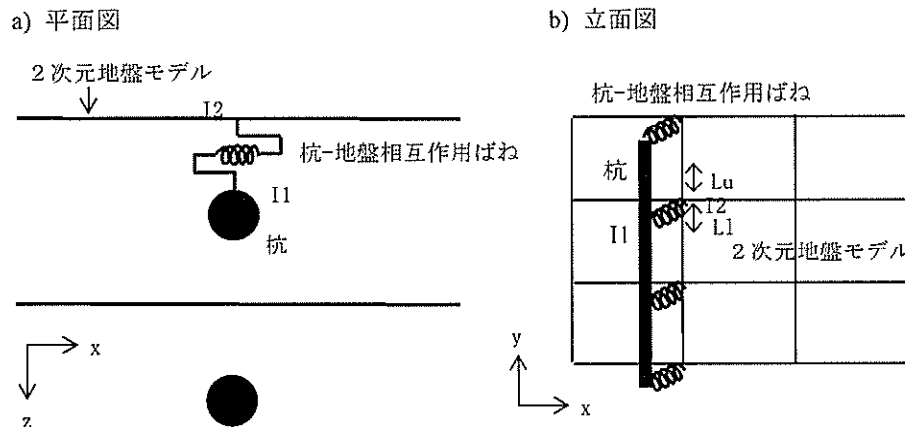


図 4-11-19 杭-地盤相互作用ばねによる 2 次元一体解析の杭モデルと地盤モデルの連結方法 (模式図)

※ I1 は杭-地盤相互作用ばね要素の杭側節点, I2 は地盤側節点,  $L_u$  はばねの上側支配長 (隣接する上側のばねまでの半分の長さ),  $L_l$  はばねの下側支配長を表す。

注記 \* : FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」より抜粋

図 1 杭-地盤相互作用ばねのモデル化イメージ

## 1.2 係数 $\beta_p$ 及び係数 $\alpha_p$ の設定について

杭-地盤相互作用ばねの設定に係る下記の係数について、その設定方法を記載する。

$\beta_p$  : 地盤のせん断ひずみから杭と地盤の相対変位を求めるための係数

$\alpha_p$  : 地盤のせん断応力から杭と地盤相互のばね力を求めるための係数

杭-地盤系の3次元的挙動を分析するため、杭1本分の水平断面と加振直交方向に隣接する杭との中間地点までの地盤からなる単位厚さの水平断面モデルによる解析を実施し、地盤ばねの荷重-変位関係としてモデル化している。図2に解析モデルの概念を、図3に杭間隔5Dの場合の水平断面モデルを示す。

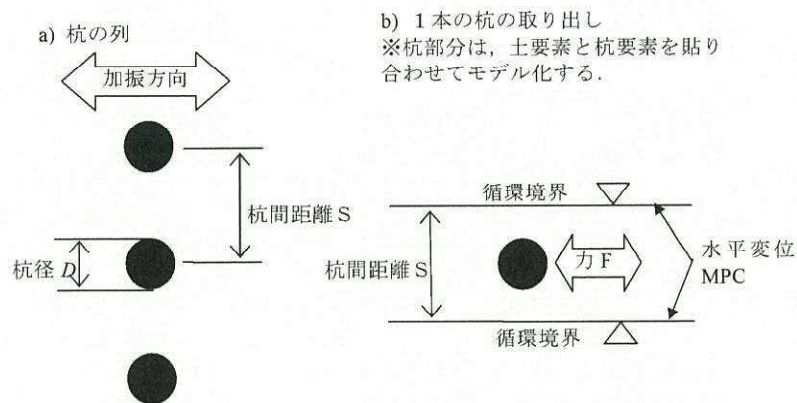


図 4-11-1 杭荷重-相対変位関係を調べるための水平断面モデル<sup>1)</sup>

注記 \* FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」より抜粋

図 2 水平断面モデルの概念

### b) 杭間隔 5D



注記 \* : FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」より抜粋

図 3 水平断面モデル (杭間隔 5D)

上記の解析モデルを用いて、複数の杭間隔及び地盤条件に対して圧密解析と杭の水平載荷解析を実施し、地盤ばねの荷重-変位関係を求めている。杭の水平載荷解析により求めた各係数を図4及び図5に掲載する。

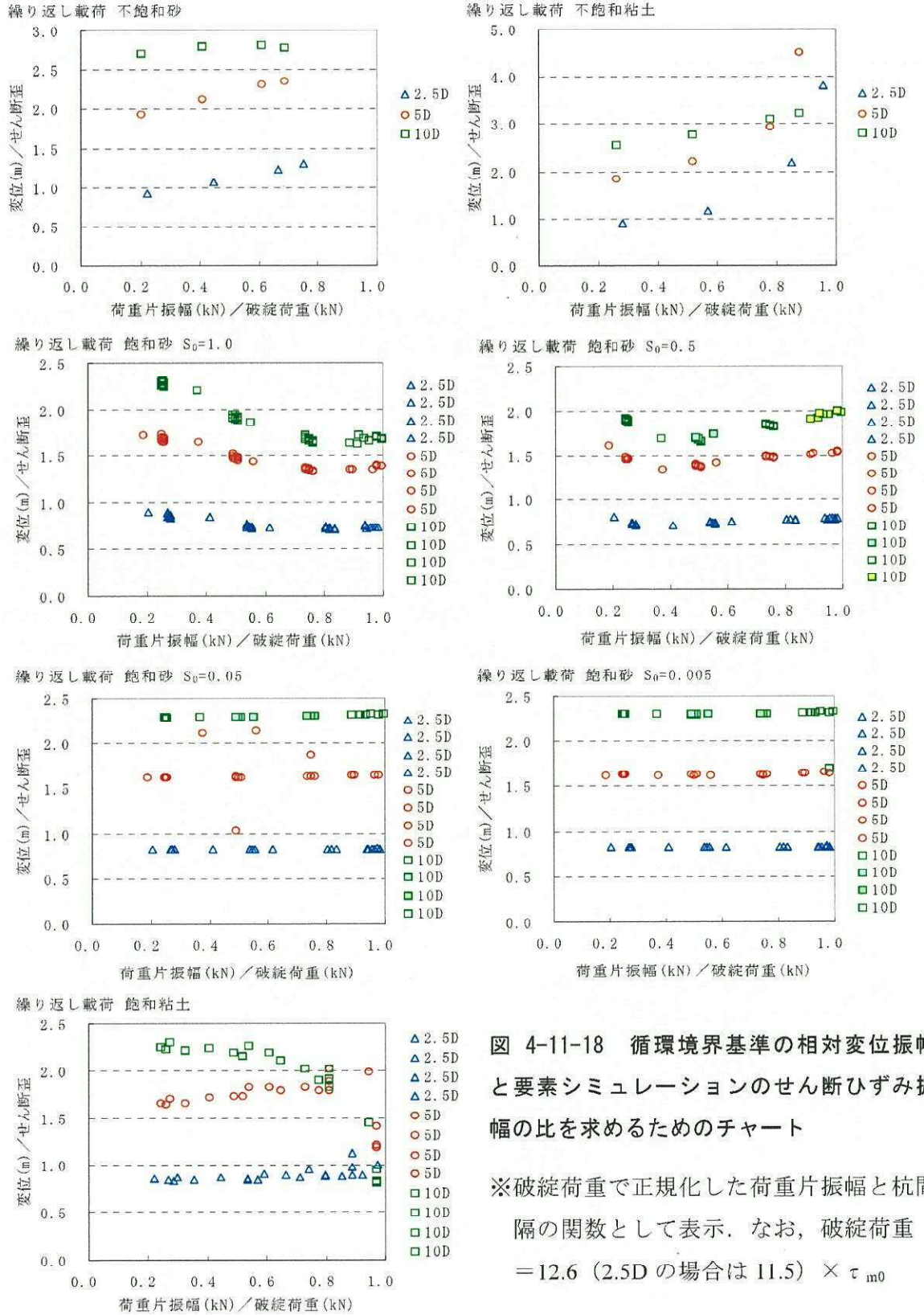


図 4-11-18 循環境界基準の相対変位振幅と要素シミュレーションのせん断ひずみ振幅の比を求めるためのチャート

※破綻荷重で正規化した荷重片振幅と杭間隔の関数として表示. なお, 破綻荷重 = 12.6 (2.5D の場合は 11.5) ×  $\tau_{m0}$

注記 \*1: グラフの Y 軸である“変位(m)／せん断歪”が係数  $\beta_p$  に相当する。

\*2: FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」より抜粋

図 4 杭の水平載荷解析により求めた係数  $\beta_p$  の例

単調載荷 全17ケース×杭間隔3ケース 破綻荷重／初期せん断強度  $\tau_{m0}$

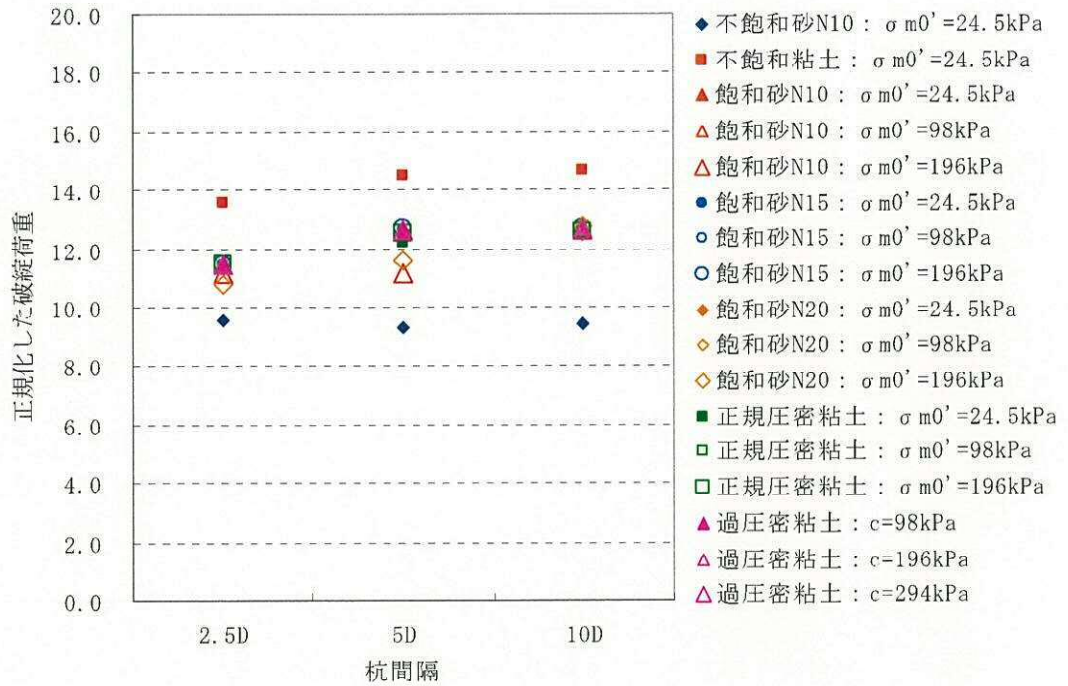


図 4-11-9 単調載荷時の（破綻荷重／初期せん断強度  $\tau_{m0}$ ）の分布

注記 \*1 : グラフのY軸である“正規化した破綻荷重”が係数  $\alpha_p$  に相当する。

\*2 : FLIP 研究会 14年間の検討成果のまとめ「理論編」より抜粋

図 5 杭の水平載荷解析により求めた係数  $\alpha_p$  の例



2. 杭-地盤相互作用ばねの東海第二発電所への適用性について

2.1 水平載荷解析における地盤条件について

杭-地盤相互作用ばねの設定に係る水平載荷解析にて検討対象とした地盤条件を表1に示す。東海第二発電所の原地盤に対応する砂層（飽和状態）や、過圧密粘土（飽和状態）が対象として含まれていることが分かる。

表1 水平載荷解析における検討対象地盤

表 4-11-1 検討対象とする土質および土の状態の一覧<sup>1)</sup>

| 間隙水           | 土質     | 地盤物性                |                            | 初期有効拘束圧 $\sigma_{m0}'$ (kPa) | 過剰間隙水圧比 (%)     |
|---------------|--------|---------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------|
|               |        | 等価 N 値 ( $N_{65}$ ) | せん断剛性およびせん断強度              |                              |                 |
| 地下水以浅 (不飽和状態) | 砂      | 10 相当               | 等価 N 値より設定                 | 24.5                         | —               |
|               | 正規圧密粘土 | —                   | 排水正規圧密強度 $\phi_f=30^\circ$ | 24.5                         | —               |
| 地下水以下 (飽和状態)  | 砂      | 10 相当               | 等価 N 値より設定                 | 24.5                         | 0, 50, 95, 99.5 |
|               |        |                     |                            | 98.0                         | 0, 50, 95, 99.5 |
|               |        |                     |                            | 196.0                        | 0, 50, 95, 99.5 |
|               |        | 15 相当               | 等価 N 値より設定                 | 24.5                         | 0, 50, 95, 99.5 |
|               |        |                     |                            | 98.0                         | 0, 50, 95, 99.5 |
|               |        |                     |                            | 196.0                        | 0, 50, 95, 99.5 |
|               | 20 相当  | 等価 N 値より設定          | 24.5                       | 0, 50, 95, 99.5              |                 |
|               |        |                     | 98.0                       | 0, 50, 95, 99.5              |                 |
|               |        |                     | 196.0                      | 0, 50, 95, 99.5              |                 |
|               | 正規圧密粘土 | —                   | 排水正規圧密強度 $\phi_f=30^\circ$ | 24.5                         | —               |
| 98.0          |        |                     |                            | —                            |                 |
| 196.0         |        |                     |                            | —                            |                 |
| 過圧密粘土         | —      | 粘着力 c (小)           | 196.0                      | —                            |                 |
|               |        | 粘着力 c (中)           | 196.0                      | —                            |                 |
|               |        | 粘着力 c (大)           | 196.0                      | —                            |                 |

【東二の原地盤との対応】

(飽和砂及び砂礫層)  
du 層, Ag2 層, As 層,  
Ag1 層, D2s-3 層  
D2g-3 層, D1g-1 層

(飽和粘性土)  
Ac 層, D2c-3 層, 1m 層

- ※1 等価 N 値 ( $N_{65}$ ) は、有効上載圧が 65kPa の場合に換算した N 値。
- ※2 初期有効拘束圧 ( $\sigma_{m0}'$ ) は、土の想定深度に応じて設定したもので、圧密解析では、この欄で指定の拘束圧で地盤を等方圧密した。
- ※3 地下水位以下の砂地盤の場合、等方圧密後、過剰間隙水圧比欄が 0%, 50%, 95%, 99.5% に応じて液状化フロントパラメータ  $S_0$  をそれぞれ 1.0, 0.5, 0.05, 0.005 に設定し、過剰間隙水圧を所定の値まで上昇させ、その分、有効応力を減じた。この状態から始めて、 $S_0$  の値を保ったまま、杭への水平載荷解析を行った。

注記 \* : FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」に一部加筆

## 2.2 水平載荷解析における杭間隔についての検討

杭の水平載荷解析では杭間隔 2.5D~10D の範囲を検討対象としている。

これに対して、有効応力解析による耐震評価を実施する東海第二発電所の杭基礎構造物について、その平均杭間隔を表 2 に掲載する。平均杭間隔は約 2D~約 5D のものが多く、おおむね水平載荷解析の検討範囲内であると考えられるが、鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁については、例えば杭径 2.0m に対し、杭間隔が 2.3m (1.15D) で、杭間隔が非常に狭い設計となっている。このような狭い杭間隔において、杭-地盤相互作用ばねが適切な設定となっていることを検証した。

表 2 東海第二発電所の杭基礎構造物における平均杭間隔

| 施設区分          | 施設名称                   | 平均杭間隔<br>(断面奥行方向) |        |
|---------------|------------------------|-------------------|--------|
| 屋外重要<br>土木構造物 | 取水構造物                  | 約5D               |        |
|               | 屋外二重管                  | 約2D               |        |
|               | 常設代替高圧電源装置用カルバート       | (水・電気)            | 約2.5D  |
|               |                        | (軽油)              | 約4.2D  |
|               | 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎   | 約2.5D             |        |
| 可搬型設備用軽油タンク基礎 | 約2.65D                 |                   |        |
| 津波防護施設        | 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁         | (φ 2.5m区間)        | 約1.12D |
|               |                        | (φ 2m区間)          | 約1.15D |
|               | 貯留堰 (土留鋼管矢板との杭間隔をモデル化) | 約2D               |        |
| 建築物           | 使用済燃料乾式貯蔵建屋            | 約2.5D             |        |
|               | 緊急時対策所                 | 約4D               |        |

## 2.2.1 検証方針

杭間隔が狭い条件において、杭―地盤相互作用ばねが適切な設定として考慮されていることを確認するため、以下の方針に基づき比較解析を実施した。

杭間隔が狭くなり 1.0D に近くなると、杭―地盤は一体挙動に近い状態となることが想定される。杭間隔が狭い条件における杭―地盤相互作用ばねが一体挙動に近い相互作用をモデル化出来ていることを確認するため、狭い杭間隔で杭―地盤の一体挙動を模擬できるジョイント要素を用いた解析を実施し、杭―地盤相互作用ばねによる解析結果との比較を実施する。

杭―地盤相互作用ばねとジョイント要素による、各モデル化の概念図を図6に示す。

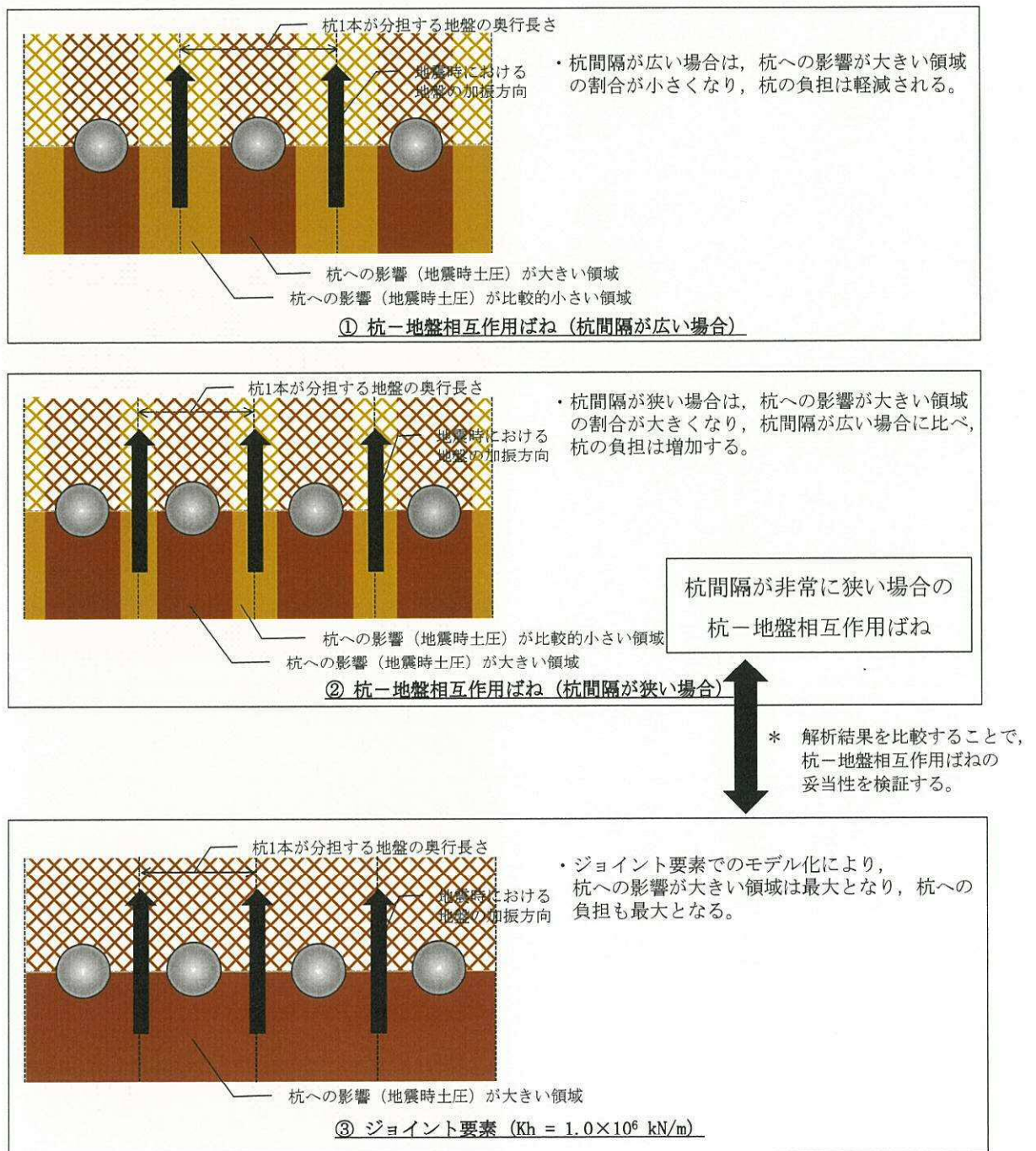


図6 各モデル化の概念図

(1) 比較検討用の解析モデル

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁における断面④を対象に，比較解析を実施する。図7に断面④の地震応答解析モデルを示す。また，断面④における鋼管杭の仕様を以下に示す。

- ・ 杭径：2.0m
- ・ 断面奥行き方向の杭間隔：2.3m (1.15D)

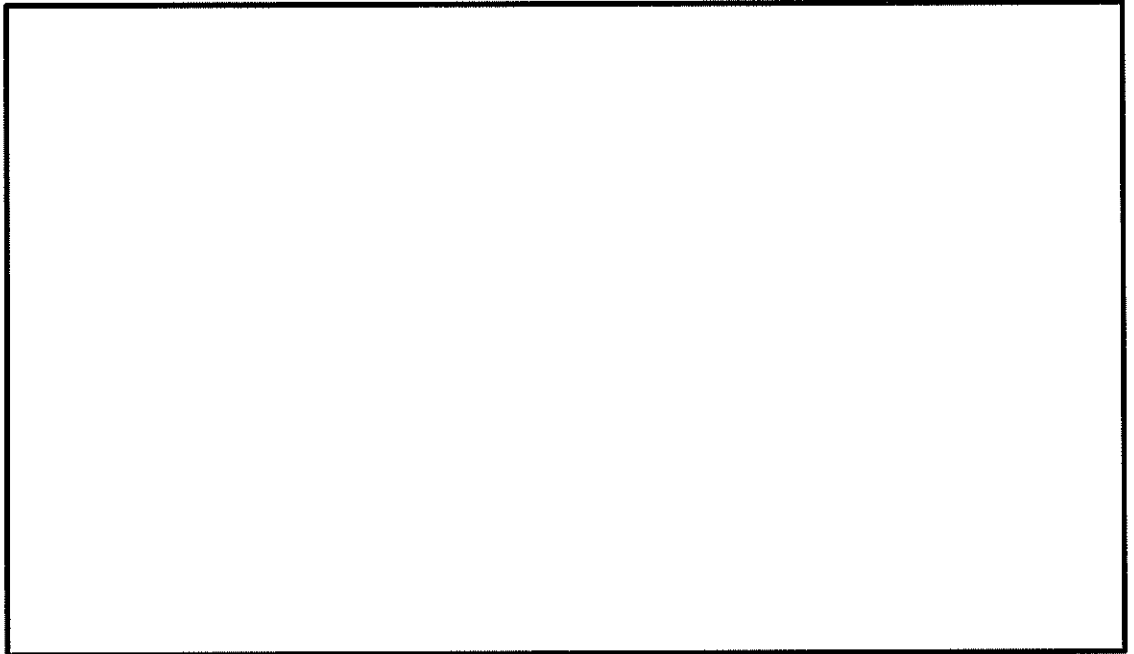


図7 鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁の地震応答解析モデル（断面④）

(2) 解析条件

比較解析の条件を以下に示す。

- ・入力地震動： $S_g - D1$  (H+, V+)
- ・検討ケース：④敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース
- ・杭軸直交方向のばね設定：(ケース1) 杭-地盤相互作用ばね  
(ケース2) ジョイント要素 ( $K_h = 1.0 \times 10^6$  kN/m)
- ・杭軸方向のばね設定：(ケース1) 下記の図8, 表3に基づき設定  
(ケース2) 下記の図8, 表3に基づき設定 (ケース1と同様)

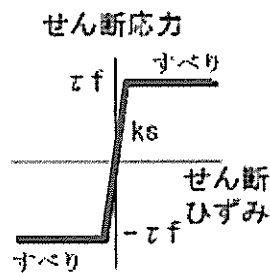


図8 杭軸方向ばねの力学特性

表3 杭軸方向ばねのばね定数

|      | せん断剛性 $k_s$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|------|-------------------------------------|
| 杭軸方向 | $1.0 \times 10^6$                   |

## 2.2.2 検討結果

杭軸直交方向に杭-地盤相互作用ばねを適用したケース1、ジョイント要素を適用したケース2における曲げ軸力及びせん断力に対する照査結果を表4に示す。また、各照査値に対応した断面力分布を図9に示す。

ケース1とケース2で、照査値と断面力分布に有意な差が無いことを確認した。杭間隔が狭い条件での杭軸直交方向の杭-地盤相互作用ばねは、ジョイント要素とおおむね同等のモデル化となっており、杭と地盤の挙動が一体に近くなる様を適切にモデル化できていることを確認した。

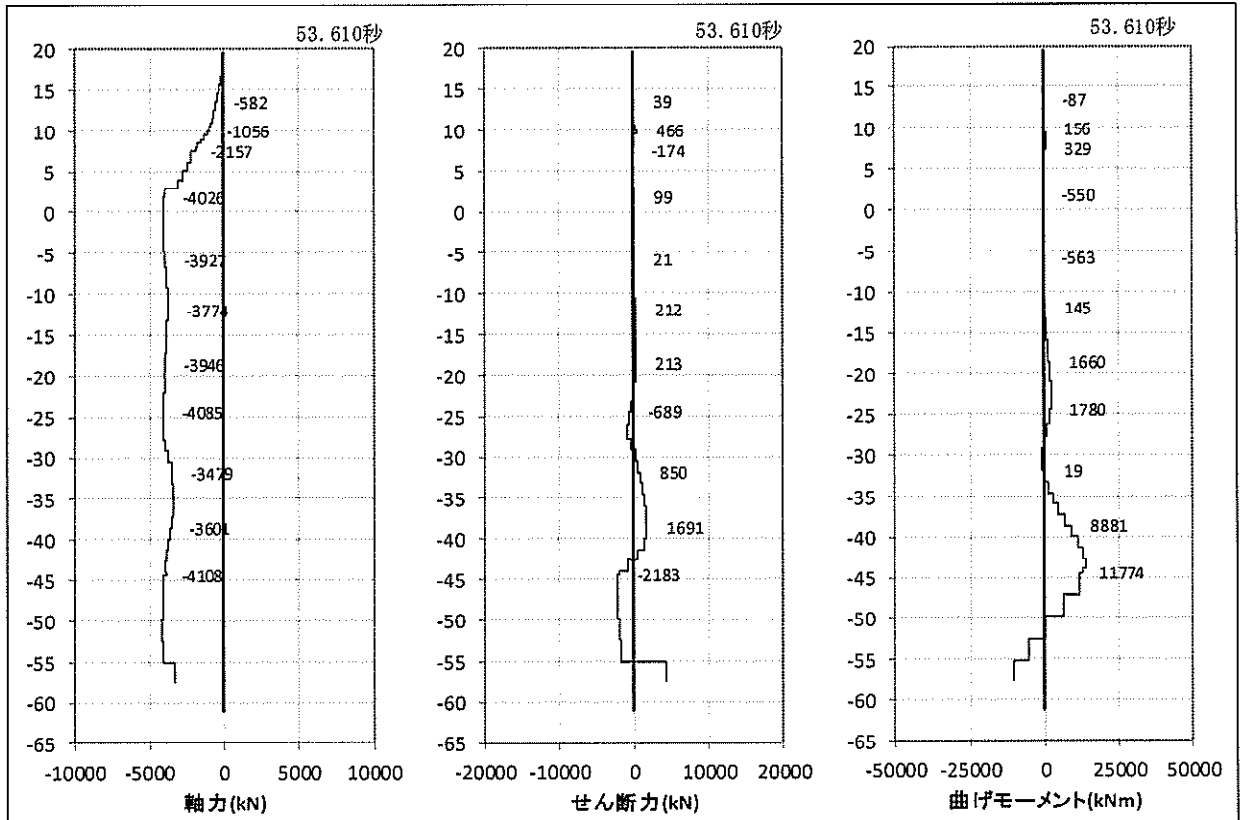
以上より、東海第二発電所の構造物に対する、杭-地盤相互作用ばねの適用性を確認した。

表4(1) 曲げ軸力に対する照査結果

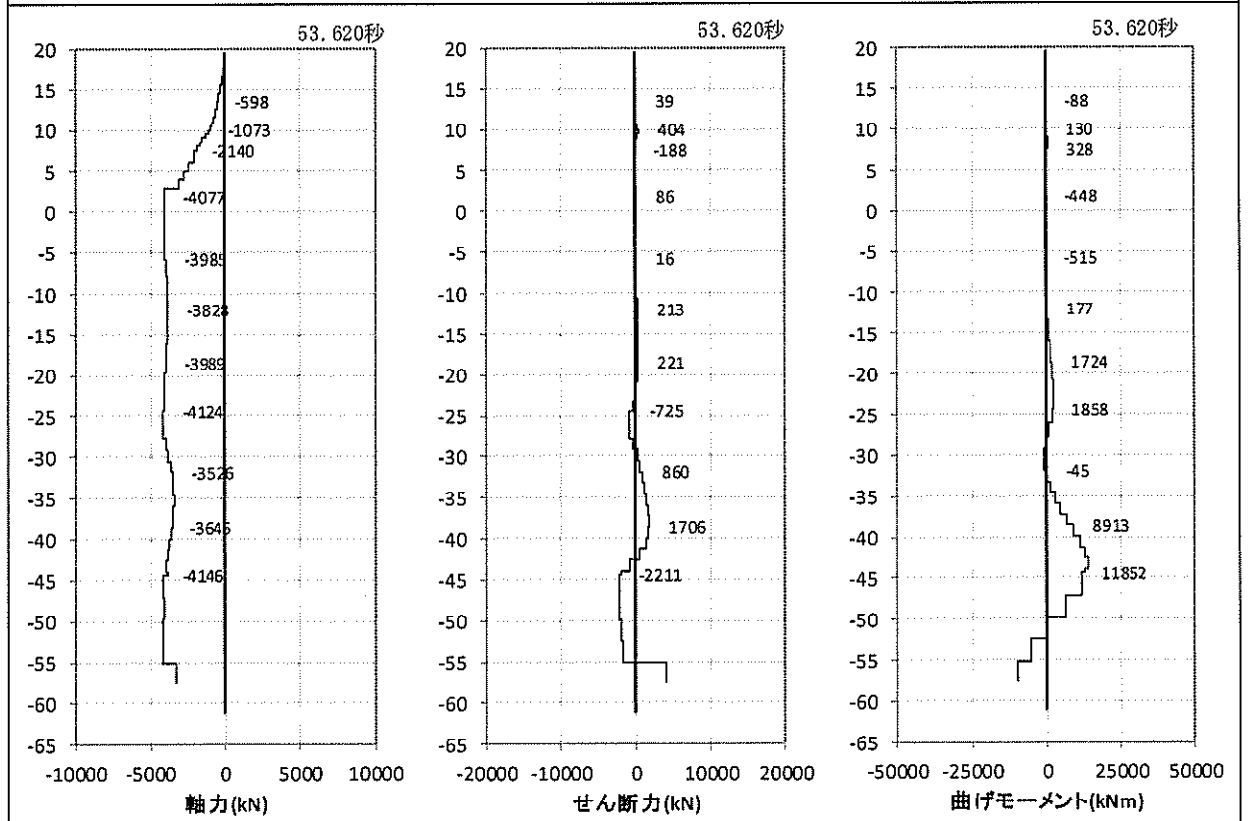
| ケース            | 評価位置           | 曲げモーメント<br>(kN・m) | 軸力<br>(kN) | 発生応力度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 短期許容<br>応力度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値  |
|----------------|----------------|-------------------|------------|-------------------------------|-------------------------------------|------|
| 1 (杭-地盤相互作用ばね) | TP-<br>42.606m | 13699.56          | 3944.74    | 215.23                        | 382.5                               | 0.56 |
| 2 (ジョイント要素)    | TP-<br>42.606m | 13779.70          | 3984.45    | 216.60                        | 382.5                               | 0.57 |

表4(2) せん断力に対する照査結果

| ケース            | 評価位置           | 発生せん断力<br>(kN) | せん断<br>応力度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 短期許容<br>応力度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 照査値  |
|----------------|----------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|------|
| 1 (杭-地盤相互作用ばね) | TP-<br>55.104m | 4253.84        | 32.33                              | 217.5                               | 0.15 |
| 2 (ジョイント要素)    | TP-<br>55.104m | 4135.45        | 31.43                              | 217.5                               | 0.14 |

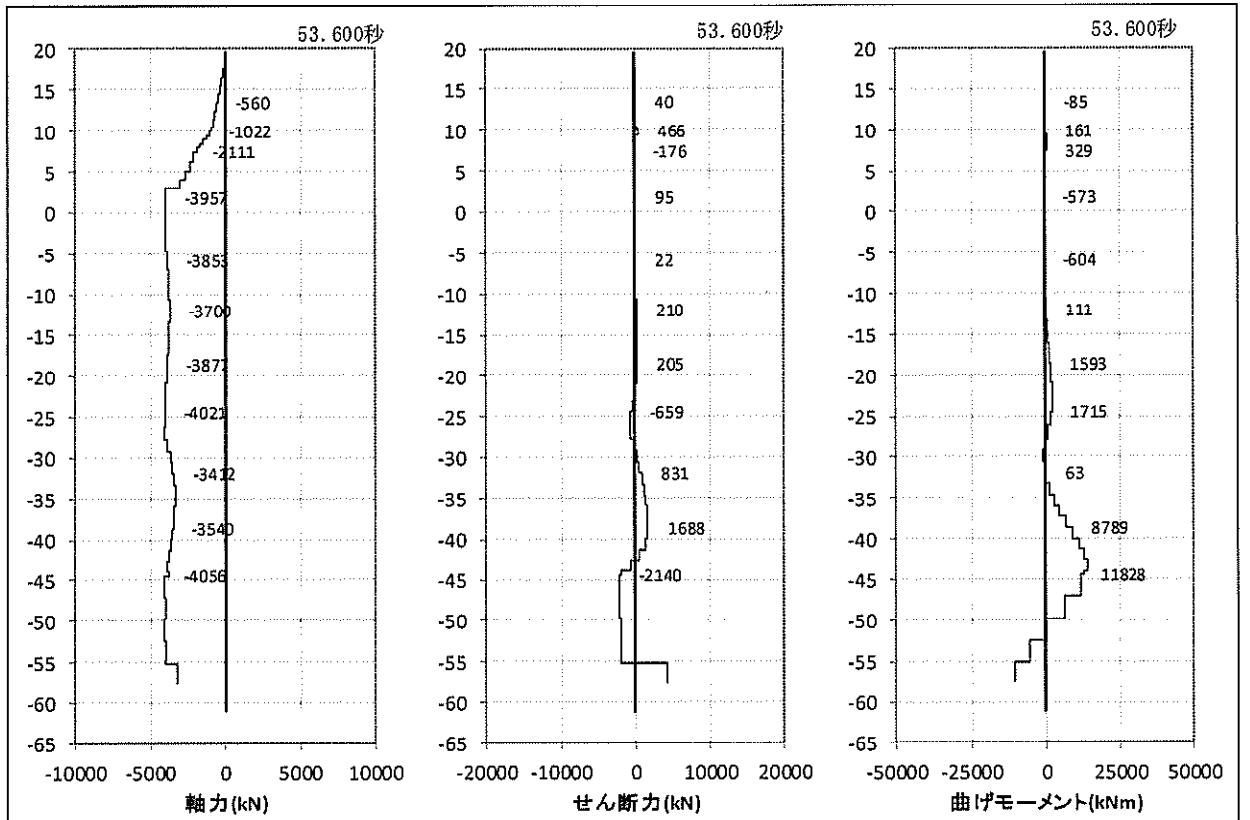


ケース 1 (杭-地盤相互作用ばね)

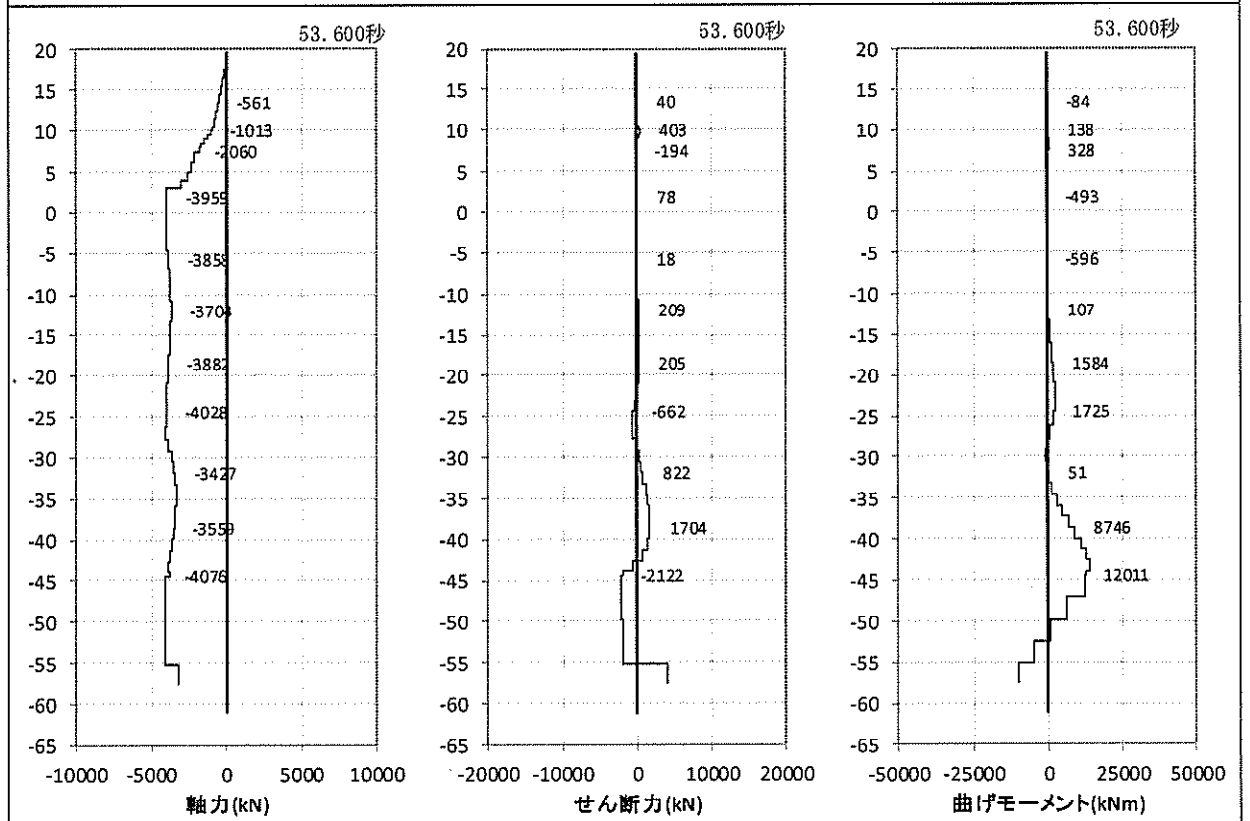


ケース 2 (ジョイント要素)

図 9 (1) 曲げ軸力照査が最も厳しい時刻の断面力分布



ケース 1 (杭-地盤相互作用ばね)



ケース 2 (ジョイント要素)

図 9 (2) せん断力照査が最も厳しい時刻の断面力分布



補足-340-2 【耐震評価対象の網羅性，既工認との手法の相  
違点の整理について】

## 目 次

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 1. 東海第二発電所における耐震評価について                        | 1  |
| 1.1 耐震Sクラス施設の評価（耐震Sクラス設備への波及的影響評価及び非常用取水設備含む） | 3  |
| 1.1.1 基準地震動 $S_s$ による評価                       | 3  |
| (1) 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性について                     | 3  |
| (2) 対象設備の評価部位の網羅性について                         | 3  |
| (3) 対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性について                   | 9  |
| (4) 対象設備の耐震重要度分類の区分（主要設備等）を踏まえた整理について         | 9  |
| (5) 別表第二の対象外である耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果             | 10 |
| (6) 地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて                  | 10 |
| 1.1.2 弾性設計用地震動 $S_d$ による評価                    | 11 |
| (1) 機器・配管系                                    | 11 |
| (2) 建物・構築物                                    | 17 |
| 1.1.3 静的地震力による評価                              | 18 |
| 1.2 耐震Bクラス施設の評価                               | 26 |
| 1.3 耐震Cクラス施設の評価                               | 26 |
| 1.4 耐震Sクラス設備の間接支持構造物の評価                       | 26 |
| 1.5 耐震Bクラス設備の間接支持構造物の評価                       | 27 |
| 1.6 耐震Cクラス設備の間接支持構造物の評価                       | 27 |
| 2. 東海第二発電所の既工認との手法の相違点の整理について                 | 28 |
| 2.1 既工認との手法の整理一覧                              | 28 |
| 2.2 相違点及び適用性の説明                               | 28 |
| 2.2.1 機器・配管系                                  | 28 |
| 2.2.1.1 手法の相違点                                | 28 |
| 2.2.1.2 手法の変更項目に対する東海第二発電所への適用性               | 30 |
| 2.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物                        | 32 |
| 2.2.2.1 建物・構築物                                | 32 |
| 2.2.2.2 屋外重要土木構造物                             | 35 |
| 2.2.2.3 浸水防護施設                                | 35 |
| 【補足説明資料】                                      |    |
| 補足1 弾性設計用地震動 $S_d$ の等価繰返し回数の設定について            | 36 |

## 【添付資料】

|         |                                                   |     |
|---------|---------------------------------------------------|-----|
| 添付-1    | 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性                                 | 40  |
| 添付-2    | 対象設備の評価部位の網羅性                                     | 60  |
| 添付2-1   | 中性子計測ハウジング貫通部及び中性子計測ハウジングの評価省略理由                  | 73  |
| 添付2-2   | 原子炉圧力容器スタビライザディスクスプリングの評価省略理由                     | 75  |
| 添付2-3   | 炉心支持板スタッドの評価省略理由                                  | 78  |
| 添付2-4   | ドライウェルビームシートの評価省略理由                               | 81  |
| 添付2-5   | 脚材（非常用ガス再循環フィルタトレイン及び非常用ガス処理系<br>フィルタトレイン）の評価省略理由 | 85  |
| 添付2-6   | 鉛直方向動的地震力の導入による影響検討について                           | 87  |
| 添付-3    | 対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性                               | 112 |
| 添付4-1   | 対象設備の耐震重要度分類の区分（主要設備等）を踏まえた整理                     | 137 |
| 添付4-2   | 建物・構築物，土木構造物及び浸水防護施設の耐震評価フロー<br>並びに評価対象一覧         | 144 |
| 添付-5    | 別表第二に記載のない耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果                      | 149 |
| 添付-6    | 既設設備（機器・配管系）の静的地震力による評価結果                         | 150 |
| 添付-7    | 既工認との手法の整理一覧                                      | 155 |
| 添付7-1-1 | 原子炉建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用について                      | 208 |
| 添付7-1-2 | 使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーンへの非線形時刻歴応答解析の<br>適用について            | 239 |
| 添付7-2   | ポンプ等の解析モデルの精緻化について                                | 262 |
| 添付7-3   | 容器等の応力解析へのFEMモデルの適用について                           | 270 |
| 添付7-4   | 最新知見として得られた減衰定数の採用について                            | 276 |
| 添付7-5   | 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せについて                 | 296 |
| 添付7-6   | 鉛直方向応答解析モデルの追加について                                | 326 |
| 添付7-7   | 炉心シュラウド等の公式等による評価について                             | 330 |
| 添付-8    | 耐震評価における等価繰返し回数の妥当性確認について                         | 333 |
| 添付-9    | 工認耐震計算書に地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて                  | 441 |
| 添付-10   | 再循環系ポンプの軸固着に対する評価について                             | 444 |
| 添付-11   | 補機類のアンカー定着部の評価について                                | 457 |

## 1. 東海第二発電所における耐震評価について

工事計画認可申請書添付書類「V-2耐震性に関する説明書」（以下「今回工認」という。）においては、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則別表第二に基づく対象施設のうち、耐震Sクラス施設及び、耐震B、Cクラス施設のうち、耐震Sクラス施設への波及的影響を及ぼすおそれのある設備について耐震評価結果を示しており、その他の耐震B、Cクラス施設については耐震評価方針を示している。本資料は、評価対象施設及び評価項目・部位の網羅性、代表性を示すとともに東海第二発電所における既工認（以下「既工認」という。）との評価手法の相違点を整理したものである。

本資料においては、東海第二発電所の建設工認及び改造工認を「既工認」、新規制基準施行後に認可となった工認（川内1・2号機、伊方3号機、高浜1・2号機、高浜3・4号機、美浜3号機、大飯3・4号機及び玄海3・4号機）を「新規制基準対応工認」と記載する。

上記以外の工認実績については対象のプラントに加え、建設工認か改造工認であるかを個別に記載する。

申請施設の網羅性に関する確認手順を図1に示す。

### 【評価手順の説明】

#### ① 別表第二に照らした設備の選定

- ・東海第二発電所の別表第二に該当する施設を抽出した。
- ・別表第二に該当する施設のうち、耐震Sクラス設備であるものについて、評価対象設備として選定し、添付-1に整理した。
- ・別表第二に該当する施設のうち、耐震Sクラス施設への波及的影響がある設備（以下「波及的影響設備」という。）及び耐震Sクラス設備の間接支持構造物並びに非常用取水設備についても、評価対象設備として選定し、添付-1に整理した。

#### ② 重要度分類表による整理

- ・①にて選定した設備について、重要度分類表による整理を行った。結果を添付4-1に示す。
- ・①にて選定した設備に関連する間接支持構造物及び別表第二対象設備ではないが耐震Sクラス施設への波及的影響がある設備についても、併せて添付4-1に整理した。その整理結果については添付-1にフィードバックし、評価対象設備として整理している。

#### ③ 評価の実施

- ・選定した設備及びそれに関連する設備について、評価部位を添付-2、応力分類を添付-3に整理し、評価を実施した。
- ・間接支持構造物については、基準地震動 $S_s$ による評価を実施した。
- ・なお、上記に該当しない別表第二の耐震Bクラス及び耐震Cクラス施設（波及的影響設備を除く。）については、評価の方針を示した。

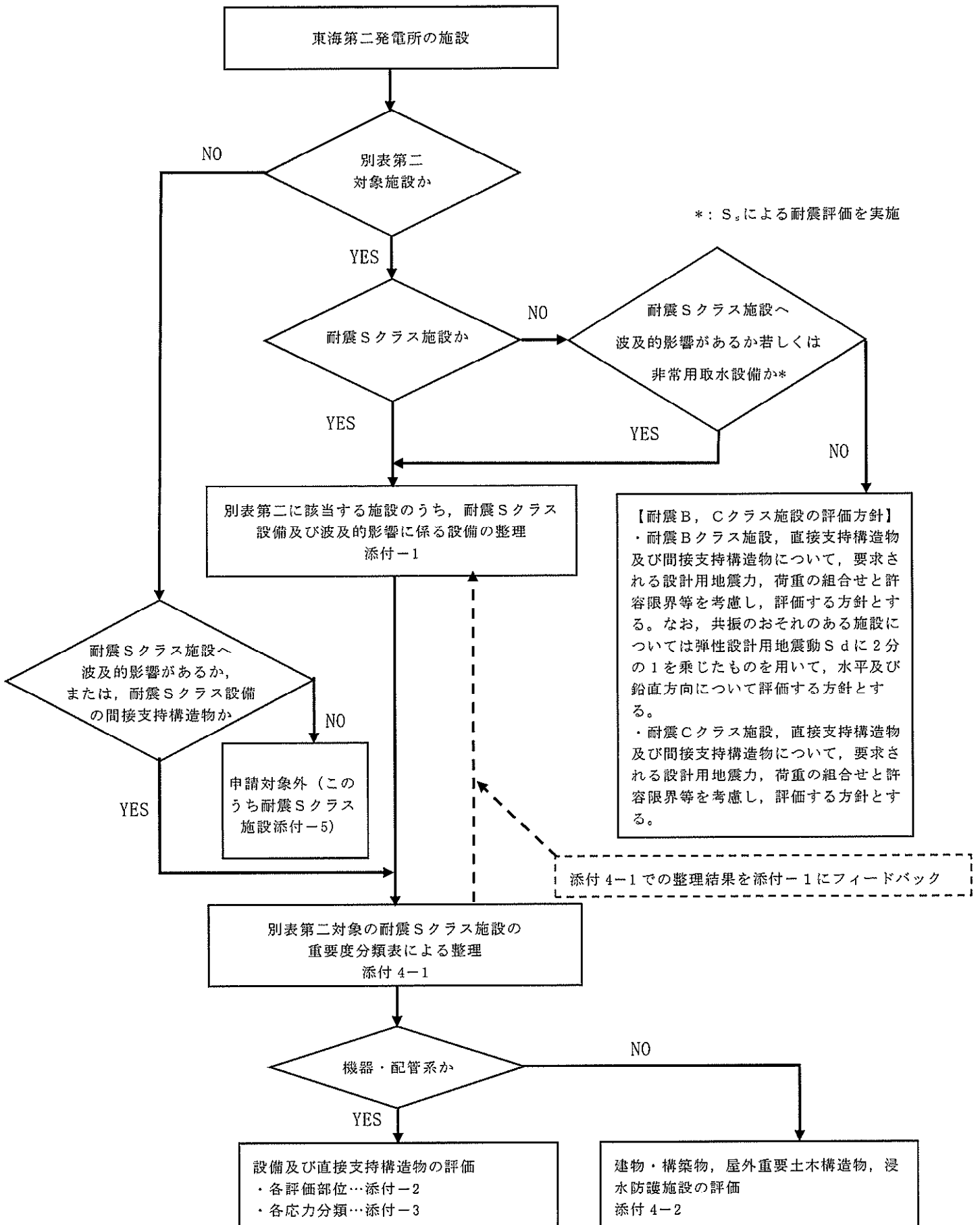


図1 申請施設の網羅性に関する確認手順

## 1.1 耐震Sクラス施設の評価（耐震Sクラス施設への波及的影響評価及び非常用取水設備の評価含む）

### 1.1.1 基準地震動 $S_s$ による評価

評価の対象設備としては、別表第二の対象設備の分類に基づき、既工認での評価対象設備をベースに対象設備を選定しており、それらに対して、基準地震動 $S_s$ による評価を実施する。

さらに、波及的影響設備及び非常用取水設備についても、検討すべき地震動（基準地震動 $S_s$ ）にて評価を実施する。評価部位については、既工認における評価部位及び最新プラントである大間1号機の建設工認における評価部位をベースにして評価部位を選定する。評価の結果については、機器類は設備毎に評価上最も厳しい部位や設備の代表的な部位を、配管類は系統毎、弁類は型式毎に最も厳しいものを選定し、記載する。建物・構築物の評価結果は、既工認における評価部位を全て記載する。

評価対象設備が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則別表第二に照らして網羅されていること及びそれらの評価項目が既往の評価等と比べて必要な項目が網羅されていることの確認を以下のとおり行った。

#### (1) 別表第二を踏まえた対象設備の網羅性について

別表第二を踏まえた対象設備について、対象設備を整理した結果を添付-1に示す。

ここでは、左欄に記載分類として別表第二の記載項目を示し、今回申請書記載内容の欄に該当する東海第二発電所の耐震Sクラス設備名称及び波及的影響設備の名称を記載した。

「-」としている項目については、別表第二の記載項目に設備が該当しないものなど、備考の欄にその旨を記載した。

以上の整理により、別表第二の記載項目に該当する設備について、今回工認の記載が網羅されていることを確認した。

#### (2) 対象設備の評価部位の網羅性について

##### a. 機器・配管系

機器・配管系における対象設備の評価部位について、今回評価した評価部位と既工認及び最新プラントである大間1号機の建設工認にて実施していた評価部位とを比較したものを添付-2に示す。

ここでは、既工認における評価部位及び大間1号機の建設工認における評価部位を左欄に記載しており、それぞれ該当するところに「○」を示した。

更にその右欄には、今回工認における評価した部位を「○」で示し、評価部位の選定理由についても併せて記載した。

「今回工認における評価」の欄で「-」で示した部位は、下記①から④に記載の理由により評価を省略し、一番右の欄に該当する番号を記載した。

① 構造上、他の部位にて代表評価可能

➤ 中性子計測ハウジング貫通部

1次応力は外荷重による応力と内圧による応力によって算出され、内圧による応力が支配的である。内圧により応力は、制御棒駆動機構ハウジング貫通部よりも構造寸法として内径が小さく内圧による応力が小さいこと、また疲労累積係数については、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数と地震による疲労累積係数によって算出され、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数が支配的である。制御棒駆動機構ハウジング貫通部の方が流体温度変動が生じやすく熱応力が厳しい設計過渡条件が適用されるため、制御棒駆動機構ハウジング貫通部で評価を代表できる（添付2-1）。

➤ ディスクスプリング（原子炉压力容器スタビライザ）

地震荷重により応力が発生するが、応力が生じる荷重条件は同じであるのに対して、ディスクスプリングよりもロッドのほうが耐震裕度が小さくなることからロッドにて評価を代表できる（添付2-2）。

➤ スタッド（炉心支持板）

炉心支持板の主要な強度部材である補強ビームが最も厳しく、スタッドの評価は補強ビームの評価で代表できる（添付2-3）。

➤ 再循環系ポンプ

再循環系ポンプは、その支持構造物とともに再循環系配管によっても支持されており、再循環系配管からの反力を受ける再循環系ポンプは、内圧及び地震荷重によって応力が生じる。応力が生じる条件は代表評価部位である再循環系配管と同じであり、ポンプの構造上応力が生じやすいのは、ポンプ吸込部及び吐出部と再循環系配管との接続部であるため、再循環系配管の応力評価において算出された接続部の応力が再循環系ポンプの材料の許容応力以下であることを確認することにより、再循環系ポンプの評価を代表する。

➤ シートプレート、側板、下板、補強リング等（ドライウエルビームシート）

ドライウエルビームシートの評価部位としてシートプレート、側板、下板、補強リング、各溶接部は地震荷重による主たる応力が生じるが、ドライウエルビームシートは別表第二に該当しない設備であることから、原子炉格納容器シェル部に取り付くビームシートの評価を実施する（添付2-4）。

② 過去の評価実績から他の部位にて代表評価可能

➤ 脚（非常用ガス再循環系フィルタトレイン、非常用ガス処理系フィルタトレイン）

取付ボルト及び基礎ボルトと比較して脚部の断面積が大きいことから、取付ボルト及び基礎ボルトにて代表可能である（添付2-5）。

③ 過去の評価実績から裕度を十分に有する  
対象設備なし

④ 該当する部位がない

最新プラントにおいて比較対象とした設備に対して東海第二発電所において評価対象がない部位について、代替部位があるもの又は代替部位がないものに関して、その理由を表 1-1 に整理する。



表 1-1 最新プラントと比べて東海第二発電所において評価対象がない部位の整理

| 対象設備                            | 評価対象がない部位                                                         | 代替部位<br>(名称が異なる部位だけのものを<br>含む)<br>(ない場合は「-」と記載する) | 代替部位がなくとも問題ない理由 |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------|
| 原子炉圧力容器                         | 胴板とスカート<br>の接合部                                                   | 下鏡板とスカートの接合部                                      | -               |
|                                 | 下部鏡板<br>(球殻部と円錐部<br>の接続部)<br>(ナックル部)                              | -                                                 | 構造が異なるため        |
|                                 | 低圧注水スパー<br>ジャブケット                                                 | -                                                 | 構造が異なるため        |
| シュラウドヘッド                        | リング                                                               | -                                                 | 構造が異なるため        |
| 残留熱除去系熱交換器                      | 脚                                                                 | ラグ, シアラグ                                          | -               |
|                                 | 基礎ボルト                                                             | 取付ボルト                                             | -               |
| ほう酸水注入ポンプ                       | 減速機取付ボルト                                                          | -                                                 | 構造が異なるため        |
| 主蒸気管放射線モニタ                      | 取付ボルト                                                             | -                                                 | 構造が異なるため        |
| 非常用ディーゼル発電装置用空気だめ               | スカート                                                              | 脚                                                 | -               |
| 非常用ディーゼル発電装置用燃料油デイトンク           | スカート                                                              | 脚                                                 | -               |
| 非常用ディーゼル用発電機及び高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 | 固定子取付ボルト<br>機関側軸受台下部<br>ベース取付ボルト<br>機関側軸受ベース<br>取付ボルト<br>軸受台取付ボルト | 直結側軸受台基礎ボルト<br>反直結側軸受台基礎ボルト                       | -               |
| 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電装置用空気だめ         | スカート                                                              | 脚                                                 | -               |
| 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電装置燃料油デイトンク      | スカート                                                              | 脚                                                 | -               |

評価部位のうち支持構造物のコンクリート定着部について原子炉圧力容器、原子炉格納容器、配管類、補機類についてそれぞれ評価を実施した内容について説明する。

原子炉圧力容器、原子炉格納容器に関しては、支持構造物埋込金物の評価の中でコンクリート定着部の耐震評価を実施する。

また、配管類に関しても埋込金物（ベースプレート及びスタッド）とコンクリート定着部の評価を J E A G 4 6 0 1 に基づき実施する。

補機類については、基礎ボルトの耐震評価を行っており、コンクリート定着部は直接評価していないが、耐震評価に代えて設計上の手法管理にて耐震性を担保して

いる。補機類の基礎ボルト及びコンクリート定着部の設計では、基礎ボルトよりもコンクリート定着部の方が高い耐震性を有する設計を基本としている。即ち、ボルトの引張許容値から定めた限界引き抜き力に対して、必要な埋込深さを算定していることから、基礎ボルトに着目した耐震評価を行うことでコンクリート定着部の健全性も確認できる。(添付-11 参照)

なお、鉛直方向の考慮すべき地震力条件について、既工認は静的地震力のみであったが今回工認では動的地震力も考慮するよう変更になっており、鉛直地震力の増大が考えられる。鉛直地震力が 1G を超えた場合に従来評価とは別に新たな評価が必要となる部位がないかを検討した。(添付 2-6 参照)

耐震 S クラス設備及び地震時の波及的影響防止を考慮すべき設備について分類化し、各分類について、鉛直地震に対して剛な設備と柔な設備の 2 つの観点から検討を実施した。

まず、剛な設備については、鉛直地震力が 1G を超える場合、浮き上がりなどの挙動が発生する可能性があるため、各建屋床面の鉛直地震力を整理した結果、1G を超える床面に設置される設備は原子炉建屋換気系(ダクト)放射線モニタ、制御棒貯蔵ハンガ、制御棒貯蔵ラックであった。

原子炉建屋換気系(ダクト)放射線モニタ、制御棒貯蔵ハンガ、制御棒貯蔵ラックは、構造上浮上りは発生しないため、それに伴う衝撃等は発生しない。

また、自重は下向きに働くことから、地震動についても下向きに考慮する従来の評価が厳しい条件となるため、従来の評価で問題ない。

次に、柔な設備についても、鉛直地震力が 1G を超える場合、浮き上がりなどの挙動について検討が必要になる。柔な設備の場合は、鉛直方向の固有周期に相当する応答加速度が入力となるため、鉛直地震力が 1G を超えることが否定できないが、その場合でも、例えば、落下防止が必要なクレーンには転倒防止金具がついているなど、各設備に鉛直上向きに生じる変位を拘束する部材が備わっていることから、従来から当該部材を評価している設備については従来どおりの評価が可能である。

その他、従来、十分裕度があり主要な評価部位ではないものや、鉛直地震力の影響を受けにくいものについても抽出し、念のため鉛直地震力の増大に伴う影響がないか個別に検討を実施した。

以上の検討を踏まえ、鉛直地震加速度の増大により、一部の設備については浮上り等の影響が生じる可能性があるが、浮上り等による衝撃荷重を適切に評価していること、または衝撃荷重や浮上り等は生じないことを確認した。

#### b. 建物・構築物

耐震 S クラスの建物・構築物の対象設備について、既工認、最新プラントである大間の建設工認、大飯 3, 4 号機の新規制基準対応工認及び今回工認の評価部位の比較を添付 4-2 に示す。建物・構築物は、既工認、大間の建設工認及び大飯 3, 4 号機の新規制基準対応工認にて評価を実施している以下の部位について、すべて評価を行う。

原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽の耐震壁については原子炉建屋の一部であり、構造物全体としての変形能力を層レベルで評価し、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建屋原子炉棟の屋根トラス及び屋根スラブ、中央制御室遮蔽の天井スラブ及び床スラブ、使用済燃料プール、原子炉格納容器底部コンクリートマット並びに原子炉建屋基礎盤については、地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力（又はひずみ）が許容限界を超えないことを確認する。

また、建物・構築物の基礎地盤の支持性能について、人工岩盤を介して岩盤に支持する施設においては、基準地震動 $S_0$ による接地圧が地盤の極限支持力度に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

#### c. 屋外重要土木構造物

既工認、最新プラントである大間の建設工認、構造の類似性のある大飯3号機及び今回の工認の評価部位の比較を添付4-2に示す。屋外重要土木構造物は、全ての部材（頂版、底版、側壁、隔壁、覆工、鋼製管、鋼管杭等）について評価を行い、これらが許容限界以下であることを確認する。

なお、耐震評価断面については、構造物の配置、荷重条件、周辺地盤状況及び土木構造物の形状を考慮し、保守的な断面選定を行う。詳細については、補足説明資料「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」で説明する。

#### d. 浸水防護施設

既工認、最新プラントである大間の建設工認、構造の類似性のある大飯3号機及び今回の工認の評価部位の比較を添付4-2に示す。浸水防護施設は、各設備について機能・構造上の特徴を踏まえたうえで必要となる構造部材を評価対象部位とし、これらが許容限界以下であることを確認する。

なお、防潮堤（鋼製防護壁）、防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁）、防潮堤（鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア））、防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）及び貯留堰の耐震評価断面については、構造物の配置、荷重条件、周辺地盤状況及び土木構造物の形状を考慮し、保守的な断面選定を行う。詳細については、補足説明資料「屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」で説明する。

この結果、既工認等における評価部位を踏まえて評価部位を網羅的に選定していることを確認した。

(3) 対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性について

対象設備の評価項目（応力分類）の網羅性について添付-3に示す。

ここでは、今回工認に評価結果を記載する設備について、J E A G 4 6 0 1・補-1984にて要求されている評価項目を左欄に示しており、その右側に各項目の評価実施有無を整理し、実施するものを「○」で示した。さらに、「既工認での実施の有無」欄は、東海第二発電所はJ E A G 4 6 0 1・補-1984適用以前に建設されたプラントであることから、原子力発電所耐震設計に関する調査報告書及びJ E A G 4 6 0 1-1970等を踏まえた設計をしており、J E A G 4 6 0 1・補-1984における許容限界値・応力算出方法とは異なるものもあるが、ここではJ E A G 4 6 0 1・補-1984の評価項目に相当する評価を実施しているものを「○」で示した。J E A G 4 6 0 1・補-1984の評価項目に相当することは、既工認における評価内容（例：1次応力（引張）等）を踏まえ確認している。

なお、評価を省略した項目が一部あるが、それらは既工認から以下の理由により省略するものであり、今回工認にて新たに省略した項目ではない。

- ① 設備の構造上、当該応力が生じる部位がない。
- ② 規格基準上、省略が可能。
- ③ 他の応力分類にて代表可能

この結果、J E A G 4 6 0 1・補-1984にて要求されている評価項目を網羅的に評価していることを確認した。

(4) 対象設備の耐震重要度分類の区分（主要設備など）を踏まえた整理について

対象設備について、耐震重要度分類ごとに主要設備、補助設備、直接支持構造物、間接支持構造物、波及的影響を検討すべき設備に区分して整理した結果を添付4-1に示す。

添付4-1では、左欄に記載分類として別表第二の記載項目を示し、その右側に別表第二に該当する東海第二発電所の耐震Sクラス設備を主要設備、補助設備、直接支持構造物、間接支持構造物、波及的影響を検討すべき設備に分類し、記載した。

添付4-1に記載する建物・構築物、屋外重要土木構造物及び浸水防護施設の評価については、添付4-2にその詳細を示し、対象施設ごとに表及びフロー図を整理した。

(5) 別表第二の対象外である耐震Sクラス施設の耐震安全性評価結果

図1の評価手順に従い、別表第二に記載がなく申請対象外と整理された施設のうち耐震Sクラス施設について、技術基準規則への適合性の観点から、これらの施設についても同様に評価を実施しており、その結果を添付-5に示す。

(6) 地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて

今回工認における耐震計算書においては、基本的に地震応答解析モデル、応力解析モデル、方法、結果を記載する。しかしながら、炉心支持構造物等については、地震応答解析のモデル、結果を記載しない。地震応答解析が記載されていない設備の扱いについて、添付-9に示す。

## 1.1.2 弾性設計用地震動 $S_d$ による評価

### (1) 機器・配管系

機器・配管系の評価対象設備が弾性設計用地震動 $S_d$ に対して概ね弾性状態にあることを確認するために、以下の手順にて評価を実施する。評価手順を図2に示す。

また、評価は、基準地震動 $S_s$ による評価の対象設備（波及的影響設備は除く。）の評価部位について、基準地震動 $S_s$ による発生値と評価基準値（許容応力状態Ⅲ $A$ S）の比較（許容値置き換え）による一次応力評価を基本とする。一次＋二次応力評価は許容応力状態Ⅳ $A$ SとⅢ $A$ Sの評価基準値は同じであり、弾性設計用地震動 $S_d$ による評価の省略を基本とする（詳細はa.に示す）。

原子炉格納容器の弾性設計用地震動 $S_d$ 評価においては、J E A G 4 6 0 1・補-1984及びJ E A G 4 6 0 1-1987では運転状態Ⅳ(L)との組合せ及びL O C A後の最大内圧との組合せを実施する必要がある。運転状態Ⅳ(L)の条件( $P_L, M_L$ )及びL O C A後の最大内圧の条件( $P_L^*, M_L$ )は、基準地震動 $S_s$ と組み合わせる運転状態の条件( $P, L$ )より厳しくなることから、許容値置き換え評価ではなく、運転状態Ⅳ(L)又は、L O C A後の最大内圧と弾性設計用地震動 $S_d$ を組み合わせた評価を実施する。なお、原子炉格納容器については、運転状態Ⅳ(L)を設計条件としていることから、許容応力状態Ⅰ\* $A$ とし、弾性設計用地震動 $S_d$ との組合せにおいて許容応力状態Ⅲ $A$ Sを適用する。

また、非常用炉心冷却系ストレーナの弾性設計用地震動 $S_d$ 評価においては、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20年2月27日付け平成20・02・12原院第5号）に規定に基づき、許容値置き換え評価ではなく、異物荷重を組み合わせた評価を実施する。

E C C S及びそれに関連する系統（以下「E C C S等」という。）の弾性設計用地震動 $S_d$ 評価においては、J E A G 4 6 0 1・補-1984及びJ E A G 4 6 0 1-1987では、運転状態Ⅳ(L)と組み合わせる必要がある。しかしながら、E C C S等の運転状態Ⅳ(L)の条件( $P_L, M_L$ )は、基準地震動 $S_s$ と組み合わせべき、プラントの運転状態の条件( $P, M$ )（クラス1設備）若しくは、設計上定められた条件( $P_D, M_D$ )に包絡されることから、許容値置き換え評価を実施する。なお、E C C S等については、運転状態Ⅳ(L)を設計条件としていることから、許容応力状態Ⅰ\* $A$ とし、弾性設計用地震動 $S_d$ との組合せにおいて許容応力状態Ⅲ $A$ Sを適用する。

（荷重の組合せの詳細は、補足説明資料「地震時荷重と事故時荷重との組合せについて」参照）

#### 【評価手順の説明】

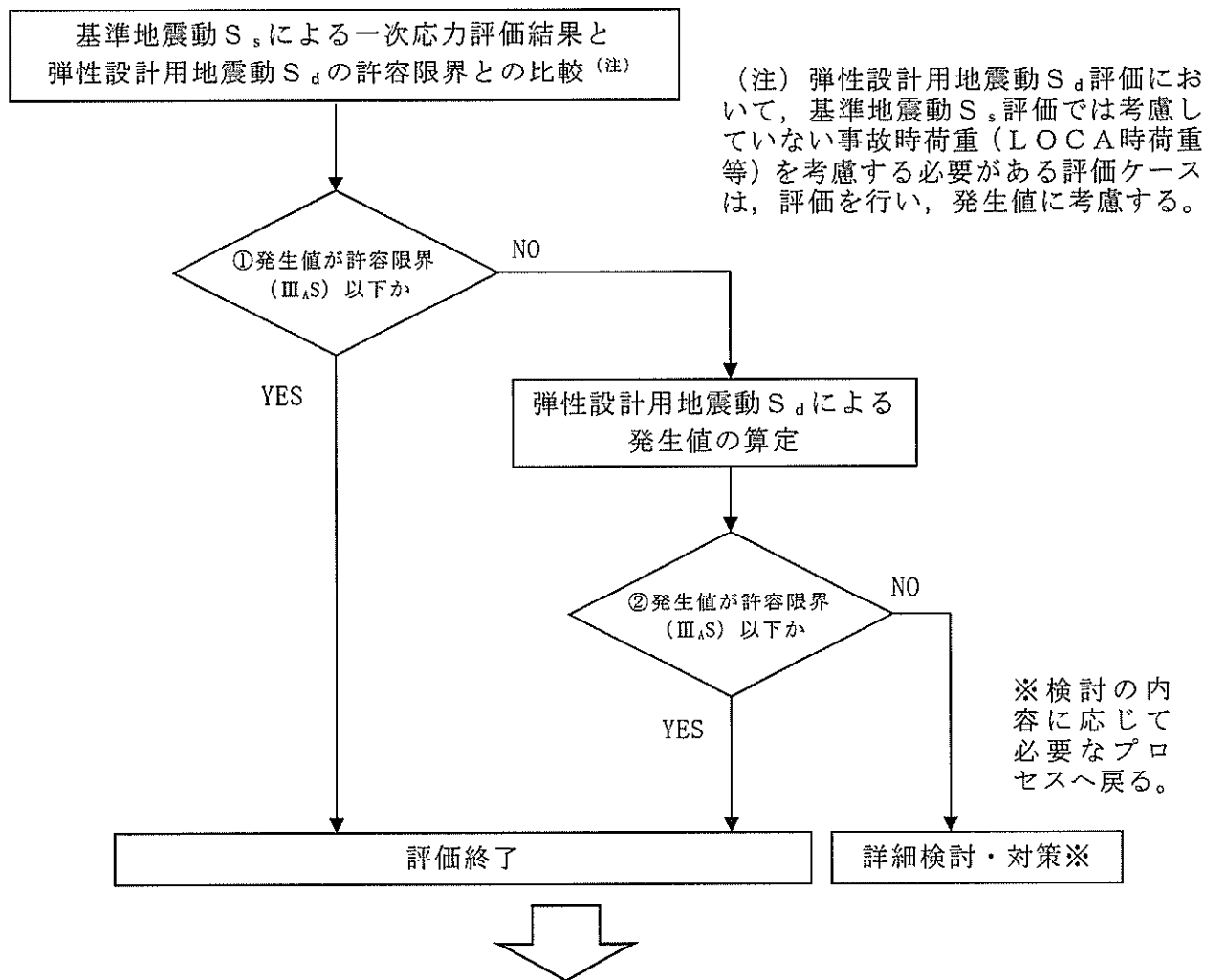
##### ① 基準地震動 $S_s$ による発生値と評価基準値 ( $III_A S$ ) の比較

評価対象設備の基準地震動  $S_s$  による発生値が弾性設計用の評価基準値（許容応力状態  $III_A S$ ）以下であることを確認する。

弾性設計用地震動  $S_d$  は基準地震動  $S_s$  の係数倍にて定義していることから、設備の基準地震動  $S_s$  による発生値が、評価基準値（許容応力状態  $III_A S$ ）以下であれば、弾性設計用地震動  $S_d$  による発生値についても、評価基準値（許容応力状態  $III_A S$ ）以下となる。

##### ② 弾性設計用地震動 $S_d$ による発生値と評価基準値 ( $III_A S$ ) の比較

①項にて、評価対象設備の基準地震動  $S_s$  による発生値が、評価基準値（許容応力状態  $III_A S$ ）を上回った部位については、弾性設計用地震動  $S_d$  を用いて応力分類を全て評価し、算定した発生値が評価基準値（許容応力状態  $III_A S$ ）以下であることを確認する。



基準地震動  $S_b$  による評価結果に対する許容値置き換え評価結果又は弾性設計用  
地震動  $S_d$  を用いた評価結果を工認添付書類へ記載  
また評価に際してフローの順に関わらずに、②による評価を実施する場合もある。

図 2 機器・配管系の弾性設計用地震動  $S_d$  に対する評価手順



- a. 弾性設計用地震動  $S_d$  による評価のうち、一次＋二次応力評価の省略について

弾性設計用地震動  $S_d$  による評価において、一次＋二次応力評価が省略可能である理由について以下に示す。

一次＋二次応力評価については、J E A G 4 6 0 1 に規定されている許容応力状態  $IV_{AS}$  と  $III_{AS}$  の許容値は同一となる。許容値が同じであれば、弾性設計用地震動  $S_d$  より大きな地震動である基準地震動  $S_s$  で評価した結果の方が厳しいことは明らかであることから、基準地震動  $S_s$  の評価を実施することで、弾性設計用地震動  $S_d$  による評価は省略可能である。

ただし、支持構造物（ボルト以外）のうち、「支圧」に対しては、許容応力状態  $IV_{AS}$  と  $III_{AS}$  で許容値が異なるケース\*が存在する。

一次＋二次応力評価のうち、「支圧」の評価が必要な設備は、使用済燃料乾式貯蔵容器支持構造物があるため、「支圧」評価を実施している評価部位について整理したものを表1に示す。表1に示すとおり、許容応力状態  $IV_{AS}$  と  $III_{AS}$  で許容値が異なるが、基準地震動  $S_s$  の発生値は  $III_{AS}$  の許容値を満足している。

- \* 許容応力状態  $III_{AS}$  と  $IV_{AS}$  ではそれぞれの許容値算出において用いるパラメータである  $F$  値の設定に差がある。材料次第ではあるが、 $III_{AS}$  において  $F$  値は  $\min(S_y, 0.7S_u)$  だが、 $IV_{AS}$  では  $S_y$  を2割増しした値を用いる規定となっているため、 $S_y$  と  $S_u$  の関係により、最大2割の差が生じることとなる。

表1 支持構造物（ボルト以外）の一次＋二次の支圧応力

| 評価対象設備               |      | 評価部位 | 発生値<br>(MPa) | 許容値 $IV_{AS}$<br>(許容値 $III_{AS}$ )<br>(MPa) | 耐震裕度<br>( $III_{AS}$ 裕度) |
|----------------------|------|------|--------------|---------------------------------------------|--------------------------|
| 使用済燃料乾式貯蔵容器<br>支持構造物 | タイプⅠ | 支持台座 | 36           | 361<br>(301)                                | 10.0<br>(8.3)            |
|                      | タイプⅡ | 支持台座 | 41           | 362<br>(302)                                | 8.8<br>(7.3)             |
|                      | タイプⅢ | 支持台座 | 44           | 362<br>(302)                                | 8.2<br>(6.8)             |

- b. 弾性設計用地震動  $S_d$  による評価のうち、一次＋二次＋ピーク応力評価（疲労評価）の省略について

- (a) 基準地震動  $S_s$  と弾性設計用地震動  $S_d$  の一律に設定する等価繰返し回数と許容繰返し回数の関係について

一次＋二次＋ピーク応力評価については、地震動により算定した評価用等価繰返し回数をを用いた疲労評価を行っている。評価用等価繰返し回数は、J E A G 4 6 0 1 - 1987の記載に示すピーク応力法により一律に設定する保守的な値（ $S_s$ : 160回、 $S_d$ : 320回）、若しくは設備毎に個別に設定する値を用いている。

以下に基準地震動  $S_s$  と弾性設計用地震動  $S_d$  による許容繰返し回数及び等価繰返し回数の関係を示す。

【許容繰返し回数（許容限界）】

弾性設計用地震動  $S_d$  の地震加速度は基準地震動  $S_s$  の地震加速度に対して1/2程度であることから、一次＋二次＋ピーク応力（以下「ピーク応力」という。）が1/2程度になると考えれば、設計疲労線図から求める弾性設計用地震動  $S_d$  の許容繰返し回数としては、基準地震動  $S_s$  の許容繰返し回数の5～10倍程度（図3）となる。

【等価繰返し回数（発生値）】

東海第二発電所の弾性設計用地震動  $S_d$  は、基準地震動  $S_s$  より地震の発生頻度が多いことを踏まえ2回分を考慮しており、弾性設計用地震動  $S_d$  の一律に設定する等価繰返し回数について算定した結果を保守的に丸めて、320回とする（補足1参照）。これは、基準地震動  $S_s$  の一律に設定する等価繰返し回数の2倍の回数となるが、上記の基準地震動  $S_s$  と弾性設計用地震動  $S_d$  の許容繰返し回数の増分（5～10倍程度）より等価繰返し回数の増分（2倍）の方が小さい。

疲労評価では、疲れ累積係数が1.0以下である事を確認する必要がある。

$$\text{疲れ累積係数} = \frac{\text{等価繰返し回数}}{\text{許容繰返し回数}} \leq 1.0$$

前述のとおり、一般的には、基準地震動  $S_s$  と弾性設計用地震動  $S_d$  の許容繰返し回数の増分（5～10倍程度）より等価繰返し回数の増分（2倍）の方が小さくなり、基準地震動  $S_s$  を用いた評価の方が疲れ累積係数が大きくなるため、基準地震動  $S_s$  の評価で代表できる。

- (b) 今回工認における弾性設計用地震動  $S_d$  による、一次＋二次＋ピーク応力評価（疲労評価）の対応方針について

前項(a)に示したとおり、弾性設計用地震動  $S_d$  の一律に設定する等価繰返し回数を320回と設定したが、今回工認においては、弾性設計用地震動  $S_d$  の個別に設定する等価繰返し回数が、基準地震動  $S_s$  の一律に設定する等価繰返し回数160回を下回ること

が確認できれば、弾性設計用地震動  $S_d$  のピーク応力が基準地震動  $S_s$  のピーク応力の  $1/2$  程度であることから、弾性設計用地震動  $S_d$  による疲労評価は、基準地震動  $S_s$  による疲労評価で代表できるものと判断する。

確認の結果、弾性設計用地震動  $S_d$  の個別に設定する等価繰返し回数が、基準地震動  $S_s$  の一律に設定する等価繰返し回数160回を上回る設備がある場合には、弾性設計用地震動  $S_d$  の個別に設定する等価繰返し回数又は一律に設定する等価繰返し回数320回での評価を行う。

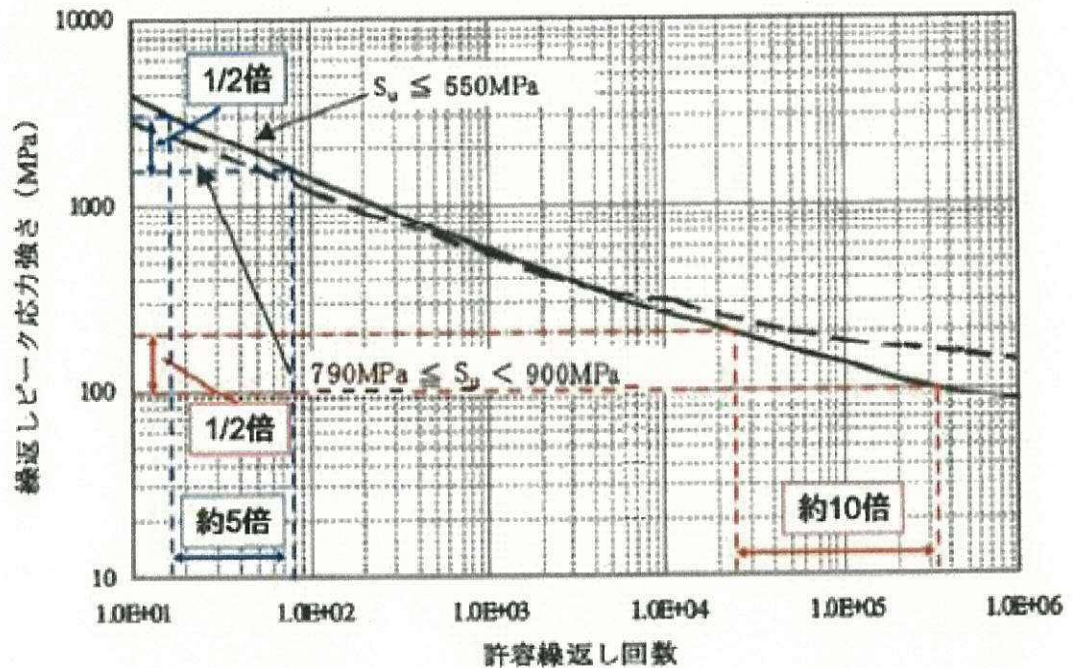


図3 設計疲労線図（炭素鋼，低合金鋼及び高張力鋼）におけるピーク応力と許容繰返し回数との関係

## (2) 建物・構築物

耐震 S クラスの建物・構築物の対象設備について、既工認、最新プラントである大間の建設工認、大飯 3, 4 号機の新規制基準対応工認及び今回工認の評価部位の比較を添付 4-2 に示す。建物・構築物は、既工認、大間の建設工認及び大飯 3, 4 号機の新規制基準対応工認にて評価を実施している以下の部位について評価を行う。

原子炉建屋原子炉棟、中央制御室遮蔽、使用済燃料プール、原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤については、弾性設計用地震動 S<sub>a</sub> による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。

原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽の耐震壁については、常時荷重が設計時と同一であること、また、応答に対して支配的となる水平方向の弾性設計用地震動 S<sub>a</sub> による地震力及び静的地震力がいずれも『既工事計画認可申請書第 1 回資料Ⅲ-1-4「原子炉建屋の地震応答計算書」(47 公第 12076 号 昭和 48 年 4 月 9 日認可)』の設計用地震力よりも小さいことから、S<sub>a</sub> 地震時に対する評価は行わない。

また、建物・構築物の基礎地盤の支持性能について、弾性設計用地震動 S<sub>a</sub> による接地圧が地盤の短期許容支持力度に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

### 1.1.3 静的地震力による評価

東海第二発電所の既設設備については、建設工認時は旧建築基準法に基づく静的震度 ( $C_0$ ) に対する評価を行っていたが、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(原子力規制委員会)等では、現在の建築基準法に基づく静的震度 ( $C_i$ ) に対する評価が求められている。このことから、今回工認では機器・配管系について以下の手順にて、静的震度 ( $C_i$ ) に基づく評価を行う。

#### (1) 評価手順

静的震度 ( $C_i$ ) に対する評価は、以下の①～④の手順により評価を実施する。耐震裕度を算出する際の応答加速度は、1.2ZPA を用いる。評価フローを図4に示す。

#### 【耐震評価における関係性】

- ・  $3.6C_i$  及び  $3.6C_0$  に対する許容限界 = 設計用地震及び  $S_d$  に対する許容限界
- ・ 建設時に  $3.6C_0$  による発生値  $\leq$  許容限界 を確認済み

#### 【評価手順】

- ①：建設工認時、耐震評価の入力として用いた静的震度  $C_0$  と静的震度  $C_i$  を比較し、 $C_0 \geq C_i$  となる設備は静的震度  $C_i$  による評価を省略する。図5に建設時と今回工認震度分布図を示す。

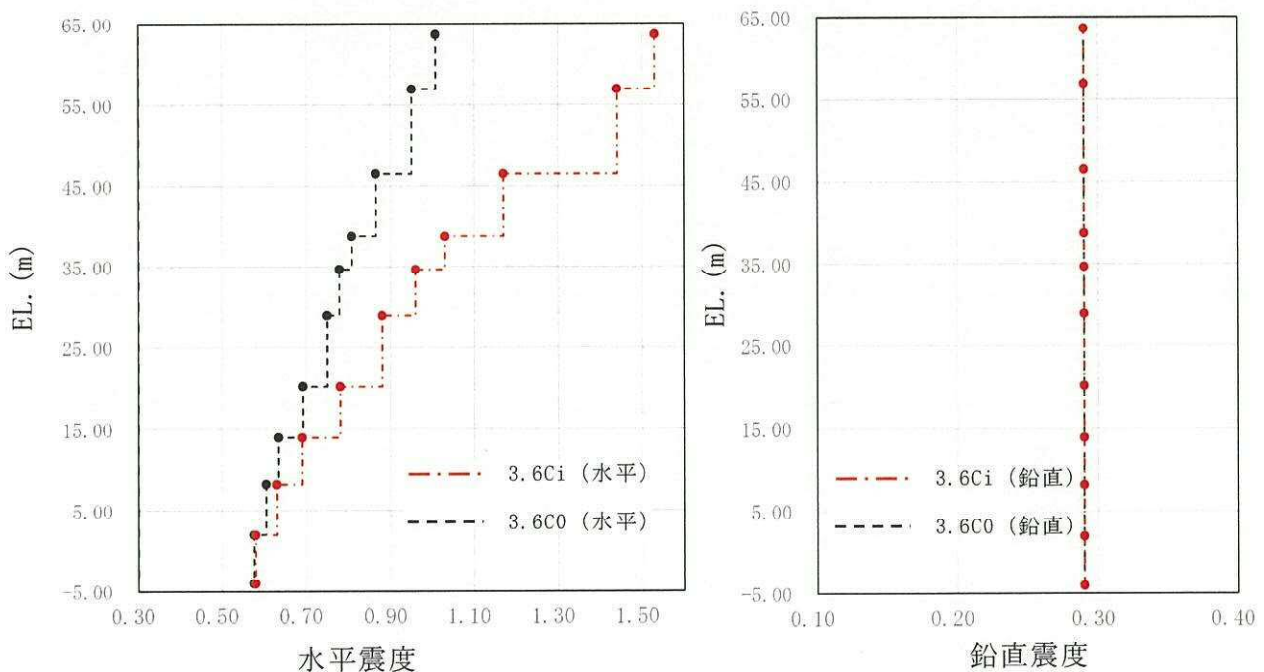


図5 建設時  $C_0$  と今回工認  $C_i$  の震度分布図 (原子炉建屋)

②：震度を用いて簡易的に判断することが困難な設備

建屋機器連成解析設備のうち建屋機器連成解析結果にて得られた荷重を用いて直接評価を実施する設備、配管系及び配管反力を用いる設備については、静的震度 $C_i$ （以下静的震度は $C_i$ のこという。）の評価を省略することを簡易的に判断することが難しいことから静的震度を用いた評価を実施する。

【フローでNOとなる設備例】

原子炉圧力容器，炉心支持構造物，原子炉圧力容器内部構造物（建屋機器連成解析の荷重を使用する設備）原子炉格納容器，配管系

③：許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの評価に用いる設計震度（以下「設計震度」という。）と静的震度とを比較し、設計震度／静的震度 $\geq$ 必要比率となる設備

設計震度と静的震度とを比較し、設計震度を用いた評価結果における水平方向と鉛直方向の荷重の組合せ方法に応じた比率（以下「必要比率」という。）以上であれば、静的震度による評価を省略する。

なお、震度を用いた荷重の算出は一般的に線形解析を実施しており、震度と荷重の関係は線形的な関係になることから、震度比を用いて静的震度による評価の省略の判断に用いることは問題ないとする。

動的地震力による設計震度の水平方向と鉛直方向の荷重の組合せは、SRSS法又は絶対値和法を適用し、静的震度の水平方向と鉛直方向の荷重の組合せについては、絶対値和法を適用している。

なお、絶対値和法は水平方向と鉛直方向の最大荷重を絶対値和として組み合わせる方法であり、水平と鉛直の最大荷重が同時刻に同位相で生じることを仮定している。このため、実際の荷重以上の荷重が加わる保守的な組合せである。

設計震度の荷重の組合せにおいてSRSS法を適用した場合、水平方向及び鉛直方向の動的震度が静的震度よりも大きくても、水平方向と鉛直方向の組合せ後では動的地震力の荷重のほう小さくなる場合がある。

また、水平震度と鉛直震度の荷重に対する応答は異なるため、水平震度と鉛直震度の組合せが静的震度より大きい場合でも、荷重又は応力としては小さくなる場合がある。

このため、設計震度／静的震度の比較は、設計震度による評価においての荷重の組合せ方法に応じて、また水平震度及び鉛直震度の荷重に対する応答が異なることを踏まえ、以下検討を行う。

③-1：設計震度による評価において荷重の組合せが絶対値和法の場合  
設計震度の絶対値和と静的震度の絶対値和は以下の様に表わされる。

$$\text{静的震度の絶対値和} = C_i + C_v \quad \dots (1)$$

$$\text{設計震度の絶対値和} = C_{HD} + C_{VD} \quad \dots (2)$$

$C_{HD}$ ：設計震度（水平）

$C_{VD}$ ：設計震度（鉛直）

$C_i$ ：静的震度（水平）

$C_v$ ：静的震度（鉛直）（=0.29）

設計震度の水平震度と鉛直震度の絶対値和が静的震度の水平震度と鉛直震度の絶対値和より大きい場合でも、水平震度と鉛直震度の荷重に対する応答が異なることにより、震度の絶対値和の大小関係と荷重の絶対値和の大小関係が異なる場合がある。

このため、組合せ震度の比較ではなく、水平震度と鉛直震度を分けて評価する。

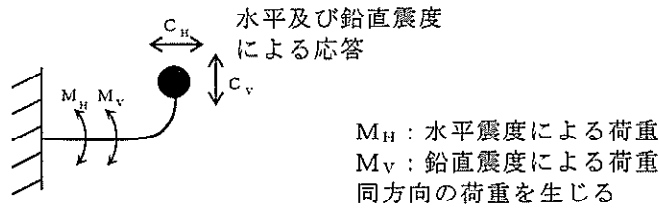
簡易的には  $C_i \leq C_{HD}$  かつ  $C_v \leq C_{VD}$  であれば、水平、鉛直及び組合せの震度と荷重は設計震度による評価の方が静的震度による評価より大きくなる。

このため、水平方向と鉛直方向の荷重の組合せに絶対値和法を適用する場合の静的震度の省略条件としては、設計震度の水平及び鉛直震度のそれぞれが静的震度の水平及び鉛直震度以上とする。

③-2 : 設計震度による評価において荷重の組合せが SRSS 法の場合

a. 震度による評価の考え方について

一般的に、水平震度と鉛直震度による荷重の組合せ(絶対値和法と SRSS 法)としては、以下の様に表わされる。



絶対値和法 :  $|M_H|_{\max} + |M_V|_{\max}$

(水平及び鉛直震度による同方向の最大荷重が同時刻・同位相で発生すると仮定して、絶対値和として組み合わせる。)

SRSS 法 :  $\sqrt{(|M_H|_{\max})^2 + (|M_V|_{\max})^2}$

(水平及び鉛直震度による同方向の最大荷重の非同時性を考慮して、各々の最大荷重を SRSS として組合せる。)

本評価においては、水平震度による荷重  $M_H$  と鉛直震度による荷重  $M_V$  は、一般的には以下の様に質量、距離、震度で算出され、震度のみで決まるものではないものの、震度と荷重は線形的な関係にあることから、簡易的に震度に置き換えて評価する。

水平震度による荷重 :  $M_H = m \cdot g \cdot L_1 \cdot C_H$

鉛直震度による荷重 :  $M_V = m \cdot g \cdot L_2 \cdot C_V$

b. 静的震度の絶対値和と設計震度の SRSS の比較

a. の考えを踏まえて、静的震度の絶対値和と設計震度の SRSS は以下のように示される。

静的震度の絶対値和 =  $C_i + C_v$  . . . (1)

設計震度の SRSS =  $\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}$  . . . (3)

③-1 と異なり、設計震度の水平震度と鉛直震度の組合せは SRSS であることから、(1)と(3)を比較するために、(3)に設計震度  $\frac{C_{HD} + C_{VD}}{C_{HD} + C_{VD}} (= 1)$  を乗じると、

I : 設計震度の絶対値和      II : 組合せ方法の変更

$$\frac{C_{HD} + C_{VD}}{C_{HD} + C_{VD}} \times \sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2} = (C_{HD} + C_{VD}) \times \frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}}{(C_{HD} + C_{VD})} \dots (5)$$



となり、設計震度の水平震度と鉛直震度の絶対値和に絶対値和法から SRSS に組合せ方法を変更することによる減少分を乗じた関係になる。このため、③-1 の静的震度の絶対値和と設計震度の絶対値和の比較に加えて組合せ方法の変更による減少分を設計震度に考慮する。

II は設計震度の SRSS と絶対値和の震度の比であり、この比と水平震度と鉛直震度の比  $C_{VD}/C_{HD}$  との関係を図 6 に示す。

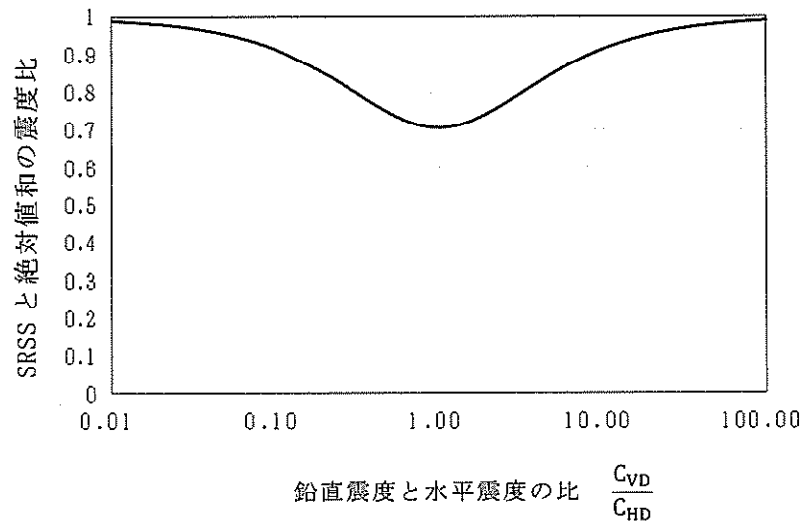


図 6 SRSS と絶対値和の震度比と鉛直震度と水平震度の比との関係図

なお、図 6 の SRSS と絶対値和の震度比は、以下のように式を変換して算出している。

$$\frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}}{C_{HD} + C_{VD}} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{C_{VD}}{C_{HD}}\right)^2}}{1 + \frac{C_{VD}}{C_{HD}}}$$

図 6 から、SRSS と絶対値和の震度比が最小となるのは鉛直震度と水平震度の比が 1 (鉛直震度と水平震度が同じ) の場合であり、このときの SRSS と絶対値和との比は以下に示すとおり  $1/\sqrt{2}$  となる。

$$\frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{HD})^2}}{C_{HD} + C_{HD}} = \frac{\sqrt{2 \cdot (C_{HD})^2}}{2 \cdot C_{HD}} = \frac{C_{HD} \cdot \sqrt{2}}{C_{HD} \cdot 2} = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\approx 0.707)$$

このため、絶対値和法から SRSS 法に組合せ方法を変更した場合、組合せ荷重は最大  $1/\sqrt{2}$  減少する。

これを踏まえ、(5)のIIを簡易的に最小値である  $1/\sqrt{2}$  に置き換えると、設計震度の SRSS は以下のように設計震度の水平震度と鉛直震度に  $1/\sqrt{2}$  を乗じた絶対値和となる。

$$(C_{HD} + C_{VD}) \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} C_{HD} + \frac{1}{\sqrt{2}} C_{VD} \quad \dots (6)$$

これは、③-1 に示す静的震度の水平震度と鉛直震度の絶対値和と設計震度の水平震度と鉛直震度の絶対値和と同じ関係であり、設計震度の水平震度と鉛直震度に対して  $1/\sqrt{2}$  減少しただけである。

このため、③-1 の省略条件である  $C_i \leq C_{HD}$  かつ  $C_v \leq C_{VD}$  に加えて減少分  $1/\sqrt{2}$  を考慮して、設計震度の水平及び鉛直震度のそれぞれが静的震度の水平及び鉛直震度の 1.42 倍 ( $\cong \sqrt{2}$ ) 以上であれば、静的震度による評価を省略することとする。

c. 設計震度と静的震度の絶対値和又は SRSS 同士での比較

b. では静的震度の絶対値和と設計震度の SRSS での比較を示したが、これは絶対値和又は SRSS 同士での比較より厳しくなることを以下に記す。

【設計震度と静的震度を絶対値和法で比較】

|                                     |         |                                                    |
|-------------------------------------|---------|----------------------------------------------------|
| 絶対値和での比                             |         | SRSS と絶対値和の比 (現状評価)                                |
| $\frac{C_{HD} + C_{VD}}{C_i + C_v}$ | $\cong$ | $\frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}}{C_i + C_v}$ |

分子 (設計震度) を SRSS から絶対値和に変更しており、絶対値和の方が SRSS より大きくなることから、SRSS と絶対値和の比より大きくなる。

【設計震度と静的震度を SRSS 法で比較】

|                                                                   |         |                                                    |
|-------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------------------------|
| SRSS での比                                                          |         | SRSS と絶対値和の比 (現状評価)                                |
| $\frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}}{\sqrt{(C_i)^2 + (C_v)^2}}$ | $\cong$ | $\frac{\sqrt{(C_{HD})^2 + (C_{VD})^2}}{C_i + C_v}$ |

分母 (静的震度) を絶対値和から SRSS に変更しており、SRSS の方が絶対値和より小さくなることから、SRSS と絶対値和の比より大きくなる。

【フローで YES となる設備例】

③-1：ほう酸水注入系ポンプ（絶対値和法を適用している設備）

・評価方法

$$C_{HD} \geq 3.6C_i \quad \text{かつ} \quad C_{VD} \geq 1.2C_v$$

・計算方法

$$\text{水平震度} : 1.67 \geq 1.03(3.6C_i) \quad \text{かつ}$$

$$\text{鉛直震度} : 1.44 \geq 0.29(1.2C_v)$$

水平及び鉛直ともに静的震度より設計震度の方が大きいため、評価を省略できる。

③-2：炉心スプレイスパーージャ（SRSS法を適用している設備）

・評価方法

$$C_{HD} \geq 1.42 \times 3.6C_i \quad \text{かつ} \quad C_{VD} \geq 1.42 \times 1.2C_v$$

・計算方法

$$\text{水平震度} : 1.68 \geq 1.42 \times 0.96(3.6C_i) = 1.37 \quad \text{かつ}$$

$$\text{鉛直震度} : 0.77 \geq 1.42 \times 0.29(1.2C_v) = 0.42$$

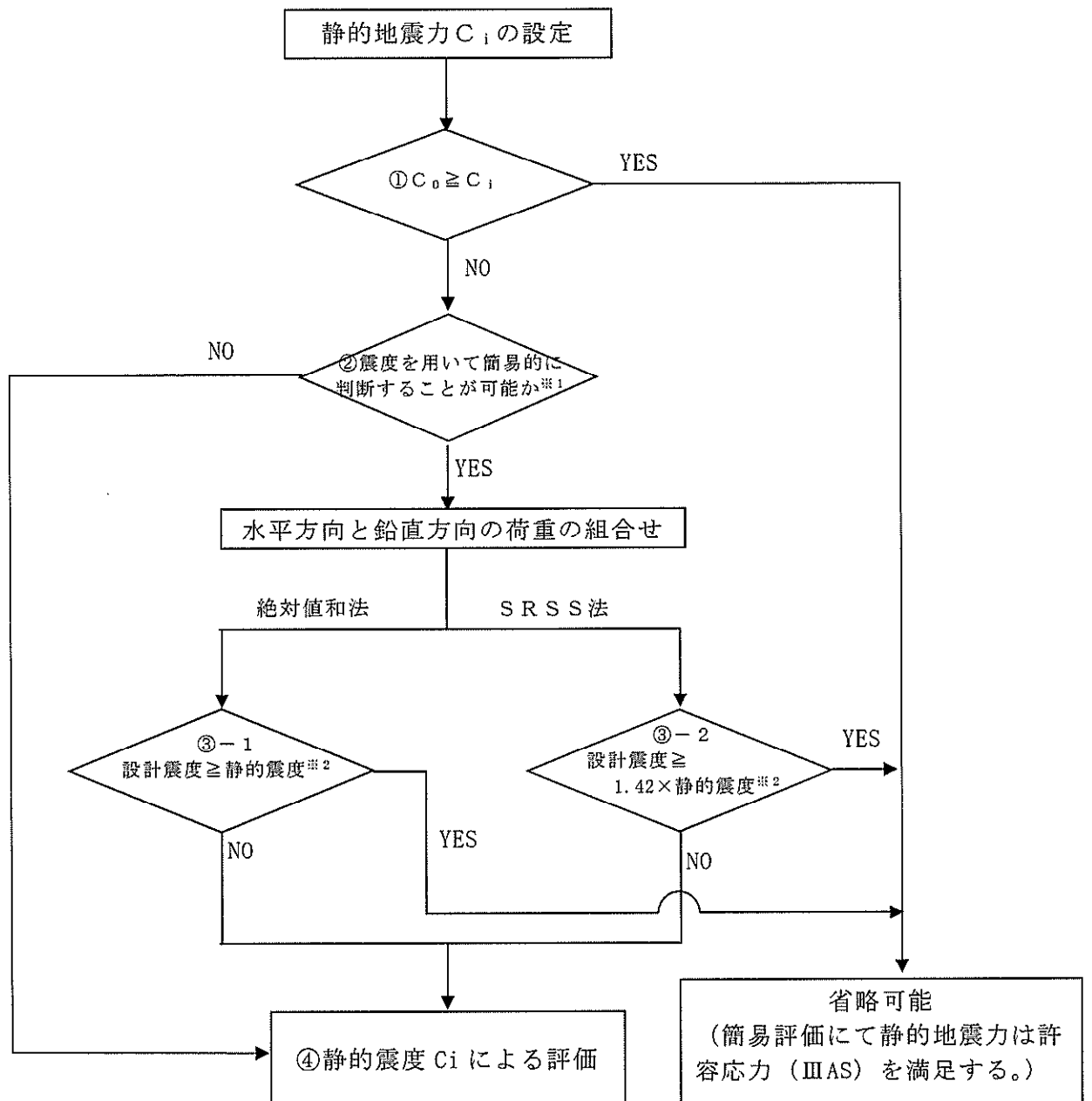
静的震度の水平及び鉛直を 1.42 倍した震度より設計震度の方がともに大きいため、評価を省略できる。

④：静的震度（3.6Ci）による評価を実施

①～③のフローにて抽出された設備について静的震度（3.6Ci）による評価を実施する。

(2) 評価結果

評価結果を添付-6に示す。添付-6に示すとおり、すべての機器において、静的震度に対する耐震安全性を確認している。



※1：簡易的に判断することが困難な機器は、建屋機器連成解析で得られた荷重を用いる設備、配管系等をいう。

※2：水平方向及び鉛直方向の各々に対して満足することとする。

図4 静的地震力に対する評価フロー

## 1.2 耐震Bクラス施設の評価

耐震Bクラス施設及び直接支持構造物について、要求される設計用地震力、荷重の組合せと許容限界等を考慮し、評価する方針とする。なお、共振のおそれのある施設については弾性設計用地震動 $S_d$ に2分の1を乗じたものを用いて、水平及び鉛直方向について評価する方針とする。

## 1.3 耐震Cクラス施設の評価

耐震Cクラス施設及び直接支持構造物について、要求される設計用地震力、荷重の組合せと許容限界等を考慮し、評価する方針とする。

## 1.4 耐震Sクラス設備の間接支持構造物の評価

添付 4-1 に記載した間接支持構造物となる建物・構築物及び屋外重要土木構築物について、基準地震動 $S_s$ による評価を実施する。

原子炉建屋について、構造物全体としての変形能力を層レベルで評価し、耐震壁の最大せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

主排気筒及び非常用ガス処理系配管支持架構の上部構造について、地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。

基礎の評価として、原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、主排気筒及び非常用ガス処理系配管支持架構について、地震力と地震力以外の荷重を組み合わせ、その結果発生する応力が許容限界を超えないことを確認する。

屋外重要土木構造物については、基準地震動 $S_s$ による動的地震力に対して、構造部材に生じる応力または変形が許容限界値以下であることを確認する。

浸水防護施設の間接支持構造物については、基準地震動 $S_s$ による動的地震力に対して、構造部材に生じる応力または変形が許容限界値以下であることを確認する。

上記について、添付 4-2 にその詳細を示し、対象施設ごとに表及びフロー図を整理する。

また、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

#### 1.5 耐震Bクラス設備の間接支持構造物の評価

耐震Bクラス設備の間接支持構造物について、要求される設計用地震力、荷重の組合せと許容限界等を考慮し、評価する方針とする。共振のおそれのある施設については弾性設計用地震動 $S_d$ に2分の1を乗じたものを用いて、水平及び鉛直方向について、その影響を検討する。

また、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

#### 1.6 耐震Cクラス設備の間接支持構造物の評価

耐震Cクラス設備の間接支持構造物については、要求される設計用地震力、荷重の組合せと許容限界等を考慮し、評価する方針とする。

また、建物・構築物の保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

## 2. 既工認との手法の相違点の整理について

### 2.1 既工認との手法の整理一覧

既工認との手法の相違点の整理に当たっては、今回工認における評価手法と既工認における評価手法の比較を実施し、添付-7のとおり一覧に整理した。整理に当たっては、添付-1で抽出された設備を対象とした。

まず、各評価部位の解析手法、解析モデル、減衰定数及びその他（評価条件の変更等）について既工認と今回工認で比較した。

次に解析手法、解析モデル、減衰定数及びその他（評価条件の変更等）が既工認と今回工認で異なる場合（既工認の記載がない場合を含む）には、新規制基準対応工認を含む他プラントにおける同じ手法の適用例の有無を整理した。

加えて、同じ手法の適用例があると整理したものについては、規格・基準類等に基づき、プラントの仕様等によらず適用性が確認された手法は“プラント共通の適用例”，プラント個別に適用性が確認された手法は“プラント個別の適用例”として整理した。

添付-7での整理における各設備の評価部位の選定は、各応力分類において今回工認で耐震上最も裕度が厳しい部位について整理したものである。なお、最も裕度が厳しい部位以外において既工認と今回工認で解析手法、解析モデル、減衰定数及びその他（評価条件の変更等）が異なる場合（既工認の記載がない場合を含む）についても同様の整理を行い添付-7に記載している。

### 2.2 相違点及び適用性の説明

#### 2.2.1 機器・配管系

##### 2.2.1.1 手法の相違点

添付-7における既工認との相違点のうち、既工認から評価手法を変更したものとして分類化し、以下のとおり内容を整理した。また、他プラントを含めた新規制基準対応工認で実績のあるものや他プラントを含めた新規制基準対応工認で実績のない新たな評価手法を適用したものについては、その旨を記載している。

#### (1) クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用

原子炉建屋クレーン及び使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーンの解析では、より詳細な手法を用いる観点から、すべり及び浮き上がりの条件を考慮した非線形時刻歴応答解析にて評価を実施している。クレーンへの非線形時刻歴応答解析の適用については、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付 7-1-1 及び 7-1-2 参照）。

#### (2) ポンプ等の解析モデルの精緻化

最新の工認実績等を踏まえ、ポンプ等の一部設備に対して解析モデルの質点数の変更、設備の支持構造に沿った解析モデルの精緻化を行っている。多質点モデルによる地震応答解析モデルの適用は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付 7-2 参照）。

### (3) 容器等の応力解析へのFEMモデルの適用

既工認において、公式等による評価にて耐震計算を実施していた設備について、3次元FEMモデル、多質点モデルを適用した耐震評価を実施している。FEMモデルを用いて応力解析を行う手法は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付7-3参照）。

### (4) 最新知見として得られた減衰定数の採用

最新知見として得られた減衰定数を採用する設備は以下のとおりであり、その値は、振動試験結果等を踏まえ、設計評価用として安全側に設定した減衰定数を採用したものである。

また、鉛直方向の動的地震力を適用することに伴い、鉛直方向の設計用減衰定数についても新たに設定している。

天井クレーン、燃料取替機及び配管系の減衰定数並びに鉛直方向の設計用減衰定数は他プラントを含む既工認において適用実績がある（詳細は添付7-4参照）。

① 天井クレーンの減衰定数

② 燃料取替機の減衰定数

③ 配管系の減衰定数

### (5) 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根法による組合せ

今回工認の評価では、鉛直方向の動的地震力が導入されたことから、水平方向と鉛直方向の地震力の組み合わせとして、既往の研究等に基づき二乗和平方根（以下「SRSS」という。）法を用いている。SRSS法による荷重の組み合わせは、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付7-5参照）。

### (6) 鉛直方向応答解析モデルの追加

今回工認では、鉛直方向に動的地震動が導入されたことから、原子炉本体及び炉内構造物について、鉛直方向の応答を適切に評価する観点で、水平方向応答解析モデルとは別に鉛直方向応答解析モデルを新たに採用し鉛直地震動に対する評価を実施している。鉛直方向応答解析モデルは他プラントを含む既工認にて適用実績があるモデルである。（詳細は添付7-6参照）。

### (7) 炉心シュラウド等の応力解析へ公式等の評価の適用

既工認においてFEMによる評価にて耐震計算を実施していた設備について、今回工認では公式等を用いた耐震評価を実施している。公式等を用いて応力解析を行う手法は、他プラントを含む既工認において適用実績がある手法である（詳細は添付7-7参照）。

### (8) 動的機能維持における新たな検討及び詳細検討の実施

今回工認では、燃料移送ポンプは、動的機能維持評価において、J E A Gに定める適用範囲外である機器であるため、J E A G 4 6 0 1-1991 追補版に従い新たな検討を実施している。評価項目の選定については、「耐震性に関する説明書に係る補足説明資料（機電分耐震計算書の補足について）動的機能維持の詳細評価について（新たな検討又は詳細検討が必要な設備の機能維持評価について）」に示す。



## 2.2.1.2 手法の変更項目に対する東海第二発電所への適用性

手法の変更点について、以下に示す3項目に分別した上で、東海第二発電所としての適用性を示す。また、原子炉格納容器及びその他関連設備については、「耐震性に関する説明書に係る補足説明資料（機電分耐震計算書の補足について）原子炉格納容器の耐震安全性評価について」にて詳細を説明する。

### (1) 先行プラントの知見反映を基本として変更する手法

先行プラントで適用されている知見を反映する目的の変更項目については、従来からの耐震設計手法に基づき、評価対象施設を質点系モデル、有限要素法モデルに置換、又は規格、理論式に基づき解析を実施することにより評価は可能であるため、東海第二発電所への適用に際して問題となることはない。

- ・ クレーンの時刻歴応答解析の適用
- ・ ポンプ等の応答解析モデルの精緻化
- ・ 容器等の応力解析へのFEMモデルの適用
- ・ 炉心シュラウド等の応力解析へ公式等の評価の適用
- ・ 解析コードの変更

### (2) 鉛直方向地震の動的な取扱いを踏まえて適用する手法

平成18年9月の耐震設計審査指針改訂から鉛直方向地震力に対する動的に取扱いがされており、大間1号炉及び新規制基準での工認においてPWRプラントで適用実績があり、東海第二発電所への適用に際して問題となることはない。

- ・ 水平方向と鉛直方向の動的地震力の二乗和平方根による組合せ
- ・ 鉛直方向応答解析モデルの追加

### (3) より現実的な応答を模擬する観点から採用する手法

#### a. 最新知見として得られた減衰定数の採用

今回工認においては、配管系、天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数は、振動試験結果等を踏まえて設定した減衰定数を採用している。

配管系においては、新規制基準でのPWRプラントでの適用実績があり、また炉型、プラント毎による設計方針について大きな差はない。また、最新知見として採用する減衰定数の設定の検討に際して、BWRプラントの配管系を踏まえた検討も実施しており、適用に際して問題となることはない。

天井クレーン及び燃料取替機の減衰定数の設定に際しては、振動試験を用いた検討を実施している。振動試験の試験体は、実機と同等の振動特性である試験体を用いることにより、減衰定数のデータを採取している。東海第二発電所として適用する天井クレーン及び燃料取替機について、振動試験に用いた試験体と同等の構造仕様であることを確認しており、最新知見として得られた減衰定数の適用に際して問題となることはない（試験等の詳細は、添付7-4に記載）。なお、本減衰定数の適用は、大間1号炉及び天井クレーンに対しては新規制基準での工認においてPWRプラントで適用実績がある。

#### b. 極限解析による評価の適用

極限解析による評価については、J E A G 4 6 0 1 及び JSME 設計・建設規格で規

定されており適用に際して問題となることはない。ただし、他の手法に比べて適用実績及び審査実績が少ないことを踏まえて、極限解析による評価の保守性の確認を行う。本確認については、「耐震性に関する説明書に係る補足説明資料（機電分耐震計算書の補足について）炉内構造物への極限解析による評価の適用について」に示す。

## 2.2.2 建物・構築物，屋外重要土木構造物

### 2.2.2.1 建物・構築物

添付一七における既工認との相違点のうち，主な相違点を以下に示す。

なお，詳細については，補足説明資料「地震応答解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較」及び「応力解析における既工認と今回工認の解析モデル及び手法の比較」に示す。

各解析で共通して，材料物性については，今回工認において，「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（1999年日本建築学会）」（以下，「RC規準」という。）に基づき，コンクリートのヤング係数及びポアソン比を再設定する。

#### (1) 地震応答解析における解析手法

##### a. 入力地震動

地震応答解析モデルへの地震動入力については，原子炉建屋の水平方向については，建設工認では設計用地震動を直接入力しており，今回工認では一次元波動論に基づき基準地震動 $S_2$ 及び弾性設計用地震動 $S_3$ に対する地盤の応答として評価したものをを用いる。鉛直方向については，建設工認では地震応答解析を実施せず静的地震力を考慮しており，今回工認では一次元波動論に基づき基準地震動 $S_2$ 及び弾性設計用地震動 $S_3$ に対する地盤の応答として評価したものをを用いる。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の水平方向については，建設工認では一次元波動論に基づき基準地震動 $S_2$ に対する地盤の応答として評価したものと及び静的地震力を考慮しており，今回工認は杭の拘束効果を考慮した基準地震動 $S_3$ に対する地盤の応答として評価したものをを用いる。鉛直方向については，建設工認では地震応答解析を実施せず静的地震力を考慮しており，今回工認では杭の拘束効果を考慮した一次元波動論に基づき基準地震動 $S_3$ に対する地盤の応答として評価したものをを用いる。

主排気筒の水平方向については，改造工認では設計用地震動を直接入力しており，今回工認では杭の拘束効果を考慮した基準地震動 $S_3$ に対する地盤の応答として評価したものをを用いる。鉛直方向については，改造工認では地震応答解析を実施せず静的地震力を考慮しており，今回工認では杭の拘束効果を考慮した一次元波動論に基づき基準地震動 $S_3$ に対する地盤の応答として評価したものをを用いる。

##### b. 解析モデル

耐震壁の非線形特性については，建設工認では考慮せず，今回工認では基準地震動 $S_2$ 及び弾性設計用地震動 $S_3$ ともに考慮する。

解析モデルについて，建設工認では多質点系でモデル化しており，今回工認と同様である。

原子炉建屋の基礎底面地盤ばねについては，建設工認では水平及び回転ばねをTimoshenko, Barkan, 田治見等の式による値から設定しており，今回工認では，J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき考慮する。基礎底面地盤の回転ばねの非線形特性については，建設工認では考慮せず，今回工認では，J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版

に基づいている。基礎側面地盤ばねについては、建設工認では考慮せず、今回工認ではJ E A G 4 6 0 1 -1991 追補版に基づき考慮する。

使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎底面地盤ばねについては、建設工認では杭の拘束効果を考慮した水平及び回転ばねを設定しており、今回工認と同様である。

主排気筒の基礎底面地盤ばねについては、改造工認では考慮せず、今回工認では杭の拘束効果を考慮した水平及び回転ばねを設定している。

## (2) 耐震性についての計算書における解析手法

### a. 原子炉格納容器底部コンクリートマット，原子炉建屋原子炉棟（屋根トラス），原子炉建屋基礎盤

評価方法について，建設工認では，設計用地震動及び静的地震力による発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認した。今回工認では，弾性設計用地震動 $S_d$ 及び静的地震力による発生応力が短期許容応力度を超えないこと，基準地震動 $S_s$ による発生応力（又はひずみ）が許容値を超えないことを確認する。

原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤において，上部構造物からの応力をより適切に考慮するため，支持地盤を精緻化し，3次元FEMモデルを全体モデルとしている。

原子炉建屋原子炉棟（屋根トラス）において，トラス部全体の挙動をより適切に考慮するため，3次元FEMモデルの時刻歴応答解析を実施している。

### b. 原子炉建屋の基礎

評価方法について，建設工認では，設計用地震動及び静的地震力による発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認した。今回工認では，基準地震動 $S_s$ による発生応力が許容値を超えないことを確認する。

原子炉建屋の基礎において，上部構造物からの応力をより適切に考慮するため，支持地盤を精緻化し，3次元FEMモデルを全体モデルとしている。

### c. 使用済燃料乾式貯蔵建屋の基礎

評価方法について，建設工認では，静的地震力による発生応力が短期許容応力度を超えないこと，基準地震動 $S_2$ による発生応力が終局耐力を超えないことを確認した。今回工認では，基準地震動 $S_s$ による発生応力が許容値を超えないことを確認する。

### d. 主排気筒

評価方法について，改造工認では，設計用地震動及び静的地震力による発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認した。今回工認では，基準地震動 $S_s$ による発生応力が許容値を超えないことを確認する。

### e. 非常用ガス処理系排気筒

評価方法について，建設工認では，設計用地震動及び静的地震力による発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認した。今回工認では，基準地震動 $S_s$ による発生応力が短期許容応力度を超えないことを確認する。

#### 2.2.2.2 屋外重要土木構造物

既工認との相違点を添付-7 に示す。建設工認における取水構造物の耐震評価では、地震応答解析手法として時刻歴モーダル解析を採用し、許容応力度法による設計として、壁のせん断については許容応力度、杭については設計水平力に対して妥当な安全余裕を持つことを確認している。建設工認における屋外二重管（今回工認における屋外二重管本体）の耐震評価では、地震応答解析手法として一次元波動論を採用し、許容応力度法による設計として、管の円周方向応力及び軸方向応力について許容応力度に対して妥当な安全余裕を持つことを確認している。

今回工認では、耐震設計に係る工認審査ガイドに基づき、構造物と地盤の動的相互作用を考慮できる 2 次元有限要素法解析を用いて、基準地震動  $S_0$  によるそれぞれの部材（頂版、底版、側壁、隔壁、覆工、鋼製管、鋼管杭等）の応答値に対し、曲げ及びせん断に対して許容応力度法又は限界状態設計法を用いて評価する。

許容応力度法で評価を行う屋外二重管本体は、管の円周方向応力及び軸方向応力が許容応力度以下であることを確認する。

限界状態設計法で評価を行う取水構造物は、それぞれの部材に発生する層間変形角、曲率、せん断力が許容限界である限界層間変形角、終局曲率、せん断耐力以下であることを確認する。

また、今回工認では、地盤物性に係る各種試験結果等、既工認以降に実施した対策や得られた知見・情報を適切に反映し評価する。

#### 2.2.2.3 浸水防護施設

既工認との相違点を添付-7 に示す。浸水防護施設は新たに設置する設備であることから、建設工認には存在しない。津波防護施設については、その構造に着目し、防潮堤（鋼製防護壁）については 3 次元フレーム解析を、防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）については 3 次元有限要素法解析を含めた耐震評価を実施している。防潮堤（鋼製防護壁）及び防潮堤（鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁）以外の浸水防止設備は、大飯 3 号機、高浜 4 号機、美浜 3 号機及び玄海 3 号機における防潮扉、逆流防止設備、浸水防止蓋、逆止弁及び水密扉と同様の解析手法、解析モデル及び減衰定数を適用している。津波監視設備については、大飯 3 号機における潮位計又は津波監視カメラと同様の解析手法、解析モデル及び減衰定数を適用している。

弾性設計用地震動  $S_d$  の等価繰返し回数の設定について

## 1. はじめに

本資料は、弾性設計用地震動  $S_d$  の一律に設定する等価繰返し回数の算定について纏めたものである。

## 2. 算定条件

弾性設計用地震動  $S_d$  の一律に設定する等価繰返し回数は、下記条件にて求める。

## 2. 1 地震波

弾性設計用地震動  $S_d$  は基準地震動  $S_s$  に 1/2 以上の係数を乗じて設定しており、周波数特性、継続時間等同じ特性を持つ。そのため、基準地震動  $S_s$  において、 $S_s-D1$  の等価繰返し回数が最大となったため、 $S_d-D1$  に対する等価繰返し回数を算定する。

## 2. 2 ピーク応力

弾性設計用地震動  $S_d$  のピーク応力は基準地震動  $S_s$  の応答加速度と弾性設計用地震動  $S_d$  の応答加速度との応答比で発生すると仮定し、基準地震動  $S_s$  での一律に設定する等価繰返し回数の算定に適用するピーク応力 (150kg/mm<sup>2</sup> (1471MPa)) に、各方向の応答比を乗じることにより求める (添付-8 補足 3 3. 3 項参照)。

2. 3 考慮する弾性設計用地震動  $S_d$  の回数

弾性設計用地震動  $S_d$  については基準地震動  $S_s$  より地震の発生頻度が多いことを踏まえ、2 回分を考慮する。なお、等価繰返し回数の算定は、弾性設計用地震動  $S_d$  1 回分を算定し、その値を 2 倍した値とする。

## 2. 4 その他

上記以外の条件については、基準地震動  $S_s$  の一律に設定する等価繰返し回数の算定と同じ条件とする (添付-8 本文 表 1 参照)。

## 3. 算定結果

弾性設計用地震動  $S_d$  1 回分の等価繰返し回数を算定し、その値を 2 倍した値を表 1 に示す。表 1 より、弾性設計用地震動  $S_d$  1 回分の等価繰返し回数の最大値は 133 回であるため、保守的に丸めた回数は 160 回とし、2 回分を考慮した値 320 回を弾性設計用地震動  $S_d$  の一律に設定する等価繰返し回数とする。

<参考>東海第二発電所における弾性設計用地震動 $S_d$ の一律に設定する等価繰返し回数  
検討の経緯

弾性設計用地震動 $S_d$ の一律に設定する等価繰返し回数については、当初検討においては弾性設計用地震動 $S_d$ の回数を1回とし、基準地震動 $S_b$ の一律に設定する等価繰返し回数と同じ160回としていたが、弾性設計用地震動 $S_d$ の発生頻度は基準地震動 $S_b$ よりも高いため2回を考慮することとした。また、弾性設計用地震動 $S_d$ の一律に設定する等価繰返し回数の算出に当たっては、基準地震動 $S_b$ と弾性設計用地震動 $S_d$ の時刻歴応答波形を繋げて算出する方法から、弾性設計用地震動 $S_d$ のみの時刻歴加速度波形を用いて弾性設計用地震動 $S_d$ の最大ピーク応力に対する等価繰返し回数を算出する方法に変更した。



表 1 (1) 弾性設計用地震動  $S_d$  における原子炉格納容器, 原子炉圧力容器等の等価繰返し回数算定結果

| 評価点 | 減衰 | $S_d$ ピーク応力*1<br>(MPa) |    |    | 1 質点系の固有周期 | 設計用疲労線図 | 等価繰返し回数*2<br>$S_d - D 1$ |    |    |
|-----|----|------------------------|----|----|------------|---------|--------------------------|----|----|
|     |    | NS                     | EW | UD |            |         | NS                       | EW | UD |
|     |    |                        |    |    |            |         |                          |    |    |

\*1: 基準地震動  $S_s$  での一律に設定する等価繰返し回数の算定に適用するピーク応力 (150kg/mm<sup>2</sup> (1471MPa)) に, 各方向の基準地震動  $S_s$  の応答加速度と弾性設計用地震動  $S_d$  の応答加速度との応答比を乗じることにより求めた値。

\*2: 算定した弾性設計用地震動  $S_d$  1 回分の値を 2 倍した値。( ) 内は算定した弾性設計用地震動  $S_d$  1 回分の値。

表 1 (2) 弾性設計用地震動  $S_d$  における [ ] の等価繰返し回数算定結果

| 評価点                            | 減衰 | $S_d$ ピーク応力*1<br>(MPa) |    |    | 1 質点<br>系の固<br>有周期 | 設計用疲<br>労線図 | 等価繰返し回数*2<br>$S_d - D 1$ |    |    |
|--------------------------------|----|------------------------|----|----|--------------------|-------------|--------------------------|----|----|
|                                |    | NS                     | EW | UD |                    |             | NS                       | EW | UD |
| [ ]<br>EL 46.500m<br>質点 No. 3  |    |                        |    |    |                    |             |                          |    |    |
| [ ]<br>EL 38.800m<br>質点 No. 4  |    |                        |    |    |                    |             |                          |    |    |
| [ ]<br>EL 34.700m<br>質点 No. 5  |    |                        |    |    |                    |             |                          |    |    |
| [ ]<br>EL 29.000m<br>質点 No. 6  |    |                        |    |    |                    |             |                          |    |    |
| [ ]<br>EL 20.300m<br>質点 No. 7  |    |                        |    |    |                    |             |                          |    |    |
| [ ]<br>EL 14.000m<br>質点 No. 8  |    |                        |    |    |                    |             |                          |    |    |
| [ ]<br>EL 8.200m<br>質点 No. 9   |    |                        |    |    |                    |             |                          |    |    |
| [ ]<br>EL 2.000m<br>質点 No. 10  |    |                        |    |    |                    |             |                          |    |    |
| [ ]<br>EL -4.000m<br>質点 No. 11 |    |                        |    |    |                    |             |                          |    |    |

\*1: 基準地震動  $S_s$  での一律に設定する等価繰返し回数の算定に適用するピーク応力 (150kg/mm<sup>2</sup> (1471MPa)) に、各方向の基準地震動  $S_s$  の応答加速度と弾性設計用地震動  $S_d$  の応答加速度との応答比を乗じることにより求めた値。

\*2: 算定した弾性設計用地震動  $S_d$  1 回分の値を 2 倍した値。( ) 内は算定した弾性設計用地震動  $S_d$  1 回分の値。