資料番号	PD-1-14 改16								
提出年月日	平成 29 年 10 月 3 日								

東海第二発電所

地震による損傷の防止

平成 29 年 10 月 日本原子力発電株式会社

本資料のうち, は商業機密又は核物質防護上の観点から公開できません。

```
目 次
```

第1部

- 1. 基本方針
- 1.1 要求事項の整理

下線部:今回提出範囲

- 1.2 追加要求事項に対する適合性
 - (1) 位置,構造及び設備
 - (2) 安全設計方針
 - (3) 適合性説明
- 1.3 気象等
- 1.4 設備等
- 1.5 手順等

第2部

- 1. 耐震設計の基本方針
- 1.1 基本方針
- 1.2 適用規格
- 2. 耐震設計上の重要度分類
- 2.1 重要度分類の基本方針
- 2.2 耐震重要度分類
- 3. 設計用地震力
- 3.1 地震力の算定法
- 3.2 設計用地震力
- 4. 荷重の組合せと許容限界
- 4.1 基本方針
- 5. 地震応答解析の方針
- 5.1 建物·構築物
- 5.2 機器·配管系
- 5.3 屋外重要土木構造物
- 5.4 津波防護施設,浸水防止設備及び津波監視設備並びに浸水防止設備 又は津波監視設備が設置された建物・構築物
- 6. 設計用減衰定数
- 7. 耐震重要施設の安全機能への下位クラス施設の波及的影響
- 8. 水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価方針
- 9. 構造計画と配置計画

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

別紙-10

東海第二発電所

液状化影響の検討方針について

1.	液	状化影響評価の検討方針の概要	•	••3
2.	敷	地の地質について	•	••6
3.	液	状化検討対象層の抽出	••	• 20
3.	1	液状化検討対象層の抽出		
3.	2	Ac 層の液状化強度試験結果		
4.	液	状化強度試験箇所とその代表性	•••	• 35
4.	1	液状化強度試験箇所の選定		
4.	2	液状化強度試験箇所の代表性		
4.	3	室内液状化強度試験結果の R _{L20} と道路橋示方書式によ		
		る R _L との比較検討		
4.	4	基準地震動Ssに対する液状化強度試験の有効性		
5.	施	設毎の液状化影響検討の組合せ	•••	• 63
6.	有	効応力解析の検討方針	••	• 69
7.	液	状化強度特性(豊浦標準砂)の仮定	••	• 82
8.	設	置許可基準規則第三条第1項,第2項に対する条文適		
	合	方針について	••	• 86
9.	参	考資料		
9.	1	地下水位観測データについて	••	• 88
9.	2	土槽振動実験の再現シミュレーションについて	•••	• 94

1. 液状化影響評価の検討方針の概要

第1.1.1図に液状化影響評価のフローを示す。

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

原地盤の各液状化検討対象層に対する試験結果に基づき,液状化 強度特性を設定し,有効応力解析によって構造物への影響評価を実 施する。設定する原地盤の各液状化検討対象層の液状化強度特性は 試験データのバラツキを考慮し,液状化強度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。

耐震重要施設等^{*1}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_s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^{*2}の液状化強度特性により強制的な 液状化を仮定した有効応力解析による検討(②)を追加で行う。上記 の検討の組合せは,原地盤の液状化強度特性が,個別の施設設置位 置の液状化強度特性と比較して十分な信頼性と代表性を有する場合 は,①のみの対応とする。

第 1.1.2 図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。

※1:常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設

置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く) ※2:山口県豊浦で産出される天然のシリカサンド。粒に丸みがあり、

淡黄色をしている珪砂。粒度が揃い不純物が少ない豊浦標準砂は, 実験などによる誤差が生じにくいため,セメントやコンクリート の強度・密度試験,地層・地質の実験などで使用される。





第1.1.2 図 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. 敷地の地質について

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

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

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

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

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

今後,追加ボーリング調査等を行い,第四系の地質構造,岩盤上面 深度等について詳細に確認を行い,詳細設計にて用いられる地盤条 件の精査をしていく。追加ボーリング調査計画を第 2.1.7~2.1.10 図に示す。

	備考	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。		敗地南部に分布する。 敗地周辺のL1段丘堆積物に対比される。 シルト層中の炭物質の年代: マントト層中の炭物質の年代: 40830±2,670年BP~48,330±年BPオーバー (140年代測定法) (140年代測定法) (140年代測に分布する。 数地周辺の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: ・赤城旅沼テフラ 55,000年BP ・赤城水沼1テフラ 55,000年BP						敷地西部の二く一部に分布する。	敷地全体に広く分布する。 原子炉建屋等の基礎岩盤である。	敷地では北部を中心に久米層の下位に認められる。	敷地全体で久米層、離山層の下位に認められる。	1孔のボーリングで那珂湊層群の下位に認められる。					
	主な層相	灰褐色~黄灰色の砂~中粒砂	業	土 暗青灰色~灰褐色の粘土・砂	灰褐色~黄褐色の礫混じり砂	3K	黄褐色~青灰色の砂礫・砂・シルト						暗灰色〜褐色の砂及びシルト 灰褐色〜青灰色の砂礫	暗オリーブ灰色の砂質泥岩	泥岩·凝灰岩	活者・砂垢	泥岩·砂岩·礫岩					
			砂砂	七 七 子 子	令	(1) 1) 1) 1) 1) 1) 1) 1) 1) 1) 1) 1) 1)	11 %	·3 砂	-3 砂碍		-2 砂砂		れぐ ト	砂磁	<u> </u>		<u> </u>		ļ			
Ì	質記号	qn	np	np	qn	Ag2	Ac	As	Agl	D2c	D2s-	D2g-(D2c-	D2g-	Ē	D1c	D1g-	÷ ÷	<u>ک</u> ج	2 5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	žž))) d
	书			-	a	(((> > >		D2				D1	4 4 4		<u>}</u>				>		
	地層区分	砂丘砂層		版 打 大	冲 槓唐			及											 (日立変成岩類) 			
		売 一 二 二 二 二 二 二 二 二 二 二 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一									, _, _,					鮮新統						
	隋序区分		K											张	爱 亜 F	9 重多						
	年什							El 紙							新第	_	先					
									推	刺生界	5											

第2.1.1 表 地質層序



第2.1.1図 ボーリング調査位置図

第2.1.2図 敷地の地質平面図

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
			砂丘砂層	du		灰褐色〜黄灰色の砂〜中粒砂		
					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	
		完新統			Ac	粘土		and the second
	第四系		沖積層	al	As	砂		
					Ag1	砂礫		
				D2	D2c-3	シルト	■	
新生界					D2s-3	砂		
					D2g-3	砂礫		
		更新統	段丘堆積物		D2c-2	シルト		
					D2g-2	砂礫		
					lm	D-7		V. J. D.
				D1	D1c-1	シルト		
					D1g-1	砂礫		

第2.1.2表 第四系の主な層相及び代表的なコア写真の拡大







4条-別紙10-14







※ボーリング調査位置については、干渉物等を回避するため実施時においては位置が多少変更となる可能性がある第2.1.7図 追加ボーリング調査計画(平面図)





Θ











 \sim

3. 液状化検討対象層の抽出

3.1 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 G.L. 10m 以内であり、かつ G.L. 20m 以内の飽和
 土層
- ②細粒分含有率が35%以下,又は細粒分含有率が35%以上でも塑 性指数が15以下の土層

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

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

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

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



液状化検討対象層抽出方針 X 3.1.1

地質	記号	層相	道	当社におけ る液状化検 討対象層	備考
(łu	砂	0	0	
	Ag2	砂礫	0	0	
	Ac	粘土	—	—	
al	As	砂	0	0	G.L20m 以深に分 布する範囲について も検討対象とする。
	Ag1	砂礫	—		G.L20m 以深に分 布するが検討対象と する。
	D2c-3	シルト	—	—	
D.O.	D2s-3	砂	_		更新統であるが検討 対象とする。
D2	D2g-3	砂礫	_		更新統であるが検討 対象とする。 G.L20m 以深に分 布する範囲について も検討対象とする。
D1	1 m	ローム	—	_	
	D1c-1	シルト	_		
	D1g-1	砂礫	—		更新統であるが検討 対象とする。

第3.1.1表 液状化検討対象層の抽出結果

○: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 3.2 Ac 層の液状化強度試験結果

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

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

【室内液状化強度試験の試験条件】

試験方法:中空繰返しねじりせん断試験

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

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

供試体寸法:外形 70mm×内径 30mm×高さ 100mm

載荷波形:正弦波(0.02Hz)

圧密圧力:供試体採取深度の有効上載圧を考慮して設定

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

第3.2.3 図~第3.2.11 図に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。



第3.2.1 図 中空繰返しねじりせん断試験の概要



第 3.2.2 図 液状化強度試験試料採取箇所 (Ac 層)



中空繰返しねじりせん断試験結果 X 3.2.3






















 $SC - 7 - 23 \sim 24 (4)$) (Ac 屠, 中空繰返しねじりせん断試験結果 3.2.10 🗵 箫



(Ac \mathbb{R} , SC - 11 - 8 ~ 10(1)) 中空繰返しねじりせん断試験結果 第3.2.11 図

- 4. 液状化強度試験箇所とその代表性
- 4.1 液状化強度試験箇所の選定

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

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

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







数地の基盤岩である。

の質問地

2

転業三紀 錦鏡世

物識

10 久米屋

22

不整合

大地道部に分布する。

發發

8

家 湖

61

2111

100 シルト

(第三日が役食したE) 谷を埋めて分布する

-

慶都会

折

1K

\$ \$

シルト

\$

推

な 後 發發 **路**土

地質区分 物石砂雁

地質時代

保

地質構成表 83 Z

▲液状化強度試験箇所(du)層)

0

+ 0

0

0

Θ



du 層の液状化強度試験試料採取位置② 第4.1.3 図

9

0









蜜

記号 岩相

地質因分

地質時代

地質構成表

第4.1.6 図 D5s-3 層の液状化強度試験試料採取位置

4条-別紙10-40



D2g-3層の液状化強度試験試料採取位置 4.1.7 🗵 箫

4条-別紙10-41

in

¢







4.2 液状化強度試験選定箇所の代表性

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

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

ここに、F_Lは液状化抵抗率、R は液状化強度比、L は地震時最大せん断応力比である。第4.2.1 表は指針類での液状化強度比 R の算定時に用いられる物性値を示しているが、基本は完新統のN 値と細粒 分含有率 Fc を用いた算定式であり、平均粒径 D₅₀ を用いて補正している。

以上のように液状化強度比 R は完新統の N 値,細粒分含有率 Fc, 平均粒径 D₅₀と相関があり,室内液状化強度試験試料採取箇所と敷地 内全調査孔の簡易式によるそれぞれの R の算定値を比較することに 基づいて代表性を示す。

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

また,液状化強度比の比較においては,指針類の物性値のバラツ キに対する考え方を参考とし,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た「平均-1σ」(以下「-1σ値」と称す)につ いて整理した。

第4.2.1表 指針類における液状化強度比Rと基本物性の関係

	液状化強度比 R の	液状化強度比 R の
指針類名	算定に用いる	補正に用いる
	主な物性	物性
道路橋示方書・同解説V耐震 設計編,日本道路協会,平成 24年 (下水道施設の耐震対策指針 と解説,日本下水道協会, 2014) (河川砂防技術基準(案)同解 説,日本河川協会編,1997) (高圧ガス設備等耐震設計指 針,高圧ガス保安協会,平 成 24年)	<i>(</i> /#	細粒分含有率 Fc 平均粒径 D ₅₀
港湾の施設の耐震設計に係る 当面の借置(その2),日本港 湾協会,平成19年(部分改正 平成24年)	N 值	細粒分含有率 Fc
建築基礎構造設計指針,日本 建築学会,2001 (水道施設耐震工法指針・解 説,日本水道協会,2009)		細粒分含有率 Fc
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 Fc 平均粒径 D ₅₀

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

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

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

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

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

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

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

4条一別紙10-45

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

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

液状化強	液状化強度特性の比較対象土層		道路橋示方書にお	有効応力解析に適用する-1σの液状化強度特性及び それら全てを包含する液状化強度特性の仮定	
堆積年代	土層名	層相	ける液状化検討対 象か否かの区分	原地盤の液状化強度特 性の設定	原地盤の液状化強度特 性の全てを包含する液 状化強度特性の仮定
	du	砂	対象	原地盤試料の液状化強	
完新統	Ag2	砂礫	対象	度試験結果に基づき -1 σ の液状化強度特性	敷地には存在しない均
	As	砂	G.L20mまで対象	を設定	質で液状化しやすい豊 浦標準砂の液状化強度
	D2g-3	砂礫	対象外	原地盤試料の液状化強 度試験結果に基づき	液状化強度特性を仮定
更新統	D2s-3	砂	対象外	-1 o の液状化強度特性 を設定	

第4.3.1表 液状化強度特性の設定





第4.3.2 図 FLIPによる豊浦標準砂の液状化強度特性(-1 o)



第4.3.3 図 東海第二発電所の原地盤に基づく液状化強度試験データ とその全てを包含するFLIPの液状化強度特性(-1 σ,豊浦標準砂)

2)室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による R_Lとの比較 第4.3.4 図~第4.3.8 図に液状化検討対象層の室内液状化強度 試験結果と敷地内調査孔の道路橋示方書式による R_{L20} との比較結 果を示す。





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



4条一別紙10-52





室内液状化強度試験結果と道路橋示方書式による Krao との比較検討(D5g-3 層) 第4.3.8 図

3) まとめ

敷地内の液状化検討対象層に対して,原地盤採取試料の室内液 状化強度試験結果(-1 o)及び豊浦標準砂の液状化強度特性

(-1 o)と敷地内全調査孔,及び液状化強度試験箇所近傍調査孔 の道路橋示方書による R₁との比較検討を行った。

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

度試験データ及び道路橋示方書式による液状化強度試験箇所 近傍調査孔の平均 R_L(近傍孔)を包含している。
現在実施中の追加調査を踏まえ、今後も引き続き検討してい く。 4.4 基準地震動 S_sに対する液状化強度試験の有効性

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

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

液状化強度試験結果から各せん断応力比(L)に対して所定のせ ん断ひずみとなる繰返し回数を整理し,取水口南側・北側,海水ポ ンプ室南側・北側の地盤モデルを用いて実施した一次元有効応力解 析結果を累積損傷度理論に基づいて整理した最大せん断応力比

(L_{max})及び等価繰返し回数(N_{eo})と比較検討を行った。

第4.4.3 図~第4.4.6 図には各土層の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 (繰返し回数 100 回以上)のデータを包含していないことから,す べてのデータを十分に包含する豊浦標準砂のFLIPの液状化強度 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。



第4.4.1 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価フロー





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



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



(a)試験データの-1σ保守側の回帰曲線を再現対象とした

FLIPの液状化強度特性



(b)全ての試験データを包含する
 豊浦標準砂のFLIPの液状化強度特性
 第4.4.5図 累積損傷度理論に基づく評価結果
 (取水口・海水ポンプ室,As層)



第4.4.6 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (取水口・海水ポンプ室, Ag1 層)

- 5. 施設毎の液状化影響検討の組合せ
- 1) 液状化影響検討の組合せの設定方針

液状化影響検討の組合せの設定フローを第5.1.1図に示す。

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

上記に該当しない施設については,基準地震動 S_sに対して,原 地盤に基づく液状化強度特性を用いた有効応力解析による検討を 行う(①)。

原地盤の液状化強度特性が,個別の施設設置位置の液状化強度 特性と比較して十分な信頼性と代表性を有する場合は,①のみの 対応とする。

原地盤の液状化強度特性について、十分な信頼性と代表性を有 することが確認できていない場合は、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 浦標準砂に基づく液状化強度特性により強制的な液状化を仮定し た影響検討を追加で行う(②)。



2) 施設毎の液状化影響検討の組合せ

対象施設の設置位置,液状化強度試験用試料採取箇所及び対象 層を第 5.1.2 図に示す。また,検討フローに基づいた施設毎の液 状化影響検討の組合せを第 5.1.1 表に示す。

また,第 5.1.3 図に追加液状化強度試験計画を示す。今後,当 該試験結果を踏まえ,詳細設計にて用いられる液状化強度特性を 精査していく。



第5.1.2 図 対象施設の設置位置,液状化強度試験用試料採取箇所及 び対象層

	第 5.1.1 表	施設毎の液状	化影響	■検討の組合せ			
設備分類	設備名称 【間接支持している設備名称】	下部工の構造	支持層	周辺地盤の地層のうち, 液状化検討対象層	液状化の 影響検討 不要	原地盤に基づく液状 化強度特性を用いた 評価を実施(①)	豊浦標準砂に基づく液 状化強度特性を用いた 検討を実施(2)
	使用済燃料乾式貯蔵建屋	杭支持構造	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層		•	•
私想	鋼管抗鉄筋コンクリート防潮壁	杭支持構造	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層, D2s-3層, D2g-3層, D1-g1層		•	•
処施	鋼製防護壁	地中連続壁	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層		•	•
設準	鉄筋コンクリート防潮壁	地中連続壁	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層		•	•
	鉄筋コンクリート防潮壁(放水路放水路エリア)	地中連続壁	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層		•	•
	原子炉建屋	MMRを介して 岩盤に直接支持	久米層	無し※1	•	I	I
1) T	取水構造物 「非常用海水販水ボンブ及び非常用海水系配管」	杭支持構造	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層		•	•
重大 2計世	排気筒 [非常用ガス処理系排気筒]	杭支持構造 (第四系全でを地盤改良)	久米層	無し(第四系全てを地盤改良)	•	I	Ι
事故	屋外二重管 【非常用施水系配管】	杭支持構造	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層		•	•
等效	貯留堰	岩盤に直接支持	久米層	du層, Ag2層, As層, Ag1層		•	•
対処 と 施設	常設代替高圧電源装置置場 【常設代替高圧電源装置及び略油タンク】	岩盤に直接支持	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層		•	•
施設 2及;	常設代替高圧電源装置用カルバート(トンネル部) 【常設代替高圧電源装置部、燃料移送配管】	岩盤内に設置(トンネル)	久米層	無し(岩盤中に直接設置)	•	I	Ι
5	常設代替高圧電源装置用カルバート(立坑部) 【常設代替高圧電源装置電路、総料移送配管】	岩盤に直接支持	久米層	無し*1	•	I	I
	常設代替高圧電源装置用カルバート(カルバート部) 【常設代替高圧電源装置電路, 燃料移送配管】	MMRを介して 岩盤に直接支持	久米層	無し*1	•	I	Ι
	緊急時対策所	鋼管コンクリート抗	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層		•	•
	緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎 【緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎	杭支持構造	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層		•	•
	緊急用海水ポンプピット 【緊急用海水ポンプ】	岩盤に直接支持	久米層	1% ¹ ~	•		-
	緊急用海水取水管	岩盤内に設置(埋設管)	久米層	無し(岩盤中に直接設置)	•		
痶	SA用海水ピット	岩盤に直接支持	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層		•	•
ΙK	海水引込み管	岩盤内に設置(埋設管)	久米層	無し(岩盤中に直接設置)	•		
₩≯	SA用海水ピット取水塔	岩盤に直接支持	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層		•	•
改建	格納容器圧力逃がし装置格納槽	岩盤に直接支持	久米層	du層, Ag2層, D2g-3層		•	•
す対処	格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート 【格納容器圧力逃がし装置用配管】	MMRを介して 岩盤に直接支持	久米層	無し※1	•	l	I
洒	代替淡水貯槽	岩盤に直接支持	久米層	du層, du層, Ag2層, D2g-3層		•	•
彀	常設低圧代替注水系ポンプ室 【常設低圧代替注水系ポンプ】	岩盤に直接支持	久米層	新し ^{*1}	•	I	Ι
	常設低圧代替注水系配管カルバート 【常設低圧代替注水系配管】	MMRを介して 岩盤に直接支持	久米層	無し*1	•	I	I
	可搬型設備用軽油タンク基礎(西側) 【可搬型設備用軽油タンク】	杭支持構造	久米層	du層, D2s-3層, D2g-3層		•	•
	可搬型設備用軽油タンク基礎(南側) 【可搬型設備用軽油タンク】	杭支持構造	久米層	du層,D1g-1層		•	•
	※1: 排水設備により,地下水位を久米層分布深度以深として	こいることから, 地下水位以深に液状	犬化検討対象層	はない。			



第 5.1.3 図 追加液状化強度試驗計画
- 6. 有効応力解析の検討方針
 - 1) 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。

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

砂の変形特性を規定するマルチスプリングモデルは、任意方向 のせん断面において仮想的な単純せん断バネの作用があるものと し、これらのせん断バネの作用により、土全体のせん断抵抗が発 揮されるものである。土の応力-ひずみ関係は、このせん断バネ の特性によって種々の表現が可能であるが、「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。第6.1.1 図にマルチスプリングモデルの 概念図を、第6.1.2 図に非排水条件での土の応力-ひずみ関係の

4条一別紙10-69



第6.1.1図 マルチスプリングモデルの概念図



第6.1.2図 非排水条件での土の応力-ひずみ関係の概念図

2) 有効応力解析における地下水位分布について

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。

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

今後,防潮堤の設置に伴う敷地内の地下水位の変化を想定し, 有効応力解析は地下水位を地表面に設定して行うものとする。



第6.1.3 図 観測最高地下水位コンター図

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

第 6.1.1 表 観測最高地下水位一覧表

3) 液状化判定に係る評価基準値について

有効応力解析コード「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Δuの最大値が有効 拘束圧σ。'の95%になった時の繰り返し載荷回数Nu₉₅を求める。
 (土の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験 (p.703~749))

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

・過剰間隙水圧Δuの最大値が有効拘束圧σ。"の 95%に達した状

態を液状化と判定する。

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

液状化パラメータの設定は,室内試験(液状化強度試験,三軸圧 縮試験(CD条件),動的変形試験)および原位置試験(PS検層)に より動的変形特性を求め,その後「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。

第6.1.5 図~第6.1.11 図に液状化強度試験結果に基づき,保守 側に設定した各層の「FLIP」の液状化強度特性を示す。





K
]
\prec
IN
×
Ý
¥
籢
6
围
谷
表
\sim
Ļ.
6.
箫

液状化パラメータ	°1		2.00	2.00	3.40	非液状化層	2.27	3.35	非液状化層	3.15	3.82	非液状化層	非液状化層	2.83
	P_2		0.80	0.80	0.60		0.75	0.60		0.96	0.60			0.50
	P1		1.26	1.26	9.00		1.00	12.00		4.80	8.00			7.00
	W_1		6.5	6.5	56.5		6.9	51.6		17.6	45.2			10.5
	S ₁		0.047	0.047	0.028		0.046	0.029		0.048	0.030			0.020
	ϕ^{p}	[度]	34.8	34.8	34.9		38.3	34.9		33.4	41.4			34.9
	最大履歴減衰率 hmax		0.220	0.220	0.233	0.200	0.216	0.221	0.186	0.192	0.130	0.151	0.186	0.233
	モん断側性Gma しま基	[kN/m ²]	253,529 (220,739) ※()は地下水位以浅	253,529 (220,739) ※()は地下水位以浅	278,087 (167,137) ※()は地下水位以浅	121,829	143,284	392,073 (392,073) ※()は地下水位以浅	285,223	650,611	1,362,035 (1,362,035) ※()は地下水位以浅	35,783	285,223	947,946 (956,776) ※()は地下水位以浅
	基準平均有効 主応力 <i>o</i> 'ma	[kN/m ²]	358 (312) ※()は地下水位以浅	358 (312) ※()は地下水位以浅	497 (299) ※()は地下水位以浅	480	378	814 (814) ※()は地下水位以浅	696	996	1,167 (1,167) ※()は地下水位以浅	223	696	1,695 (1,710) ※()は地下水位以浅
	間隙比 e		0.75	0.75	0.67	1.59	1.20	0.67	1.09	0.79	0.43	2.80	1.09	0.67
		埋戻土	qn	Ag2	Ac	As	Ag1	D2c-3	D2s-3	D2g-3	<u>_</u>	D1c-1	D1g-1	
			-	第四系										



第 6.1.5 図 液状化強度特性 (du 層)



第 6.1.6 図 液状化強度特性 (As 層)



第 6.1.7 図 液状化強度特性 (Ag2 層)



第 6.1.8 図 液状化強度特性 (D2s-3 層)



第 6.1.9 図 液状化強度特性 (D1g-1 層)



第 6.1.10 図 液状化強度特性 (D2g-3 層)



第 6.1.11 図 液状化強度特性 (Ag1 層)

7. 液状化強度特性(豊浦標準砂)の仮定

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

第7.1.1 図に豊浦標準砂の液状化強度試験データ,第7.1.2 図に FLIPによる豊浦標準砂の液状化強度特性を示す。

FLIP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FLIPに仮定した有効応力 解析を行い,耐震評価を実施する。第7.1.3 図に豊浦標準砂の液状 化強度特性と原地盤の液状化強度特性の比較を示す。

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



第7.1.1 図 豊浦標準砂の液状化強度試験データ



第7.1.2 図 FLIPによる豊浦標準砂の

液状化強度特性 (-1σ)



第7.1.3図 豊浦標準砂と原地盤の液状化強度特性の比較

	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 \sim 71.5

第7.1.1表 平均粒径と細粒分含有率の比較



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



第7.1.4図 粒径加積曲線による比較(du層)

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

第7.1.5図 粒径加積曲線による比較(As 層)

- 設置許可基準規則第三条第1項,第2項に対する条文適合方針に ついて
- 8.1 第三条第1項,第2項の条文適合に係る耐震重要施設等*の設計
 方針

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

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

- 8.2 上記の設計方針を踏まえた基礎地盤安定性評価方針
 - (1) 基礎地盤のすべり

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

(2) 基礎地盤の支持力

耐震重要施設*の基礎杭については、仮に基準地震動 Ssにより

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

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

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

9. 参考資料

9.1 地下水位観測データについて

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

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

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



第9.1.1 図 観測最高地下水位コンター図

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

第 9.1.1 表 観測最高地下水位一覧表







9.2 土槽振動実験の再現シミュレーションについて

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

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

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



第9.2.1図 土槽振動実験装置の概要



第9.2.2 図 解析モデル



第9.2.3 図 豊浦標準砂の液状化パラメータ

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

豊浦標準砂の全液状化強度試験データを十分に包含する液状化パ ラメータを用いて、FLIPによる土槽振動実験記録の再現シミュ レーションを実施した結果、実験事実として豊浦標準砂の液状化を 確認した入力レベル153galのみでなく、実験で液状化が発生しなっ た入力レベル78galについても、FLIPは液状化が発生するもの と判定する結果となった。これにより、FLIPによる液状化判定 の保守性を確認した。第9.2.5 図に土槽振動実験結果とシミュレー ション結果との比較を示す。

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

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

















第9.5.1.2 図 入力レベルにおける加速度応答等の比較結果








4条-別紙10-106