

本資料のうち、枠囲みの内容は、商業機密あるい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-341 改1
提出年月日	平成30年3月1日

東海第二発電所
耐震性に関する説明書に係る補足説明資料

地盤の支持性能について

平成30年3月

日本原子力発電株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
3. 評価対象施設周辺の地質	1
3.1 評価対象施設周辺の地質	1
3.2 評価対象施設周辺の地質状況整理結果	6
4. 地盤の解析用物性値	8
4.1 設置変更許可申請書に記載された解析用物性値	8
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	16
4.2.1 有効応力解析に用いる解析用物性値	20
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	24
4.2.3 その他の解析用物性値	28
4.2.4 地盤の物性のバラツキについて	29
5. 極限支持力	30
5.1 直接基礎の支持力算定式	30
5.2 杭基礎の支持力算定式	30
5.3 地中連続壁基礎の支持力算定式	31
6. 地盤の速度構造	32
6.1 入力地震動策定に用いる地下構造モデル	32
6.2 地震応答解析に用いる地盤の解析モデル	33

1. 概要

本資料は、V-2-1「耐震設計の基本方針」のうちV-2-1-1「耐震設計の基本方針」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。

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対し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 24 年 3 月）（以下「道路橋示方書」という。）の支持力算定式等に基づき、対象施設の支持岩盤の室内試験結果（せん断強度）を用いて設定する。

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。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、杭周面摩擦力を支持力として考慮する場合がある。

3. 評価対象施設周辺の地質

3.1 評価対象施設周辺の地質

主要な評価対象施設及び地質断面の位置を図 3.1-1 に示す。地質断面図は図 3.1-1 に示すボーリングデータを基に作成している。地質断面図を図 3.1-2 に示す。

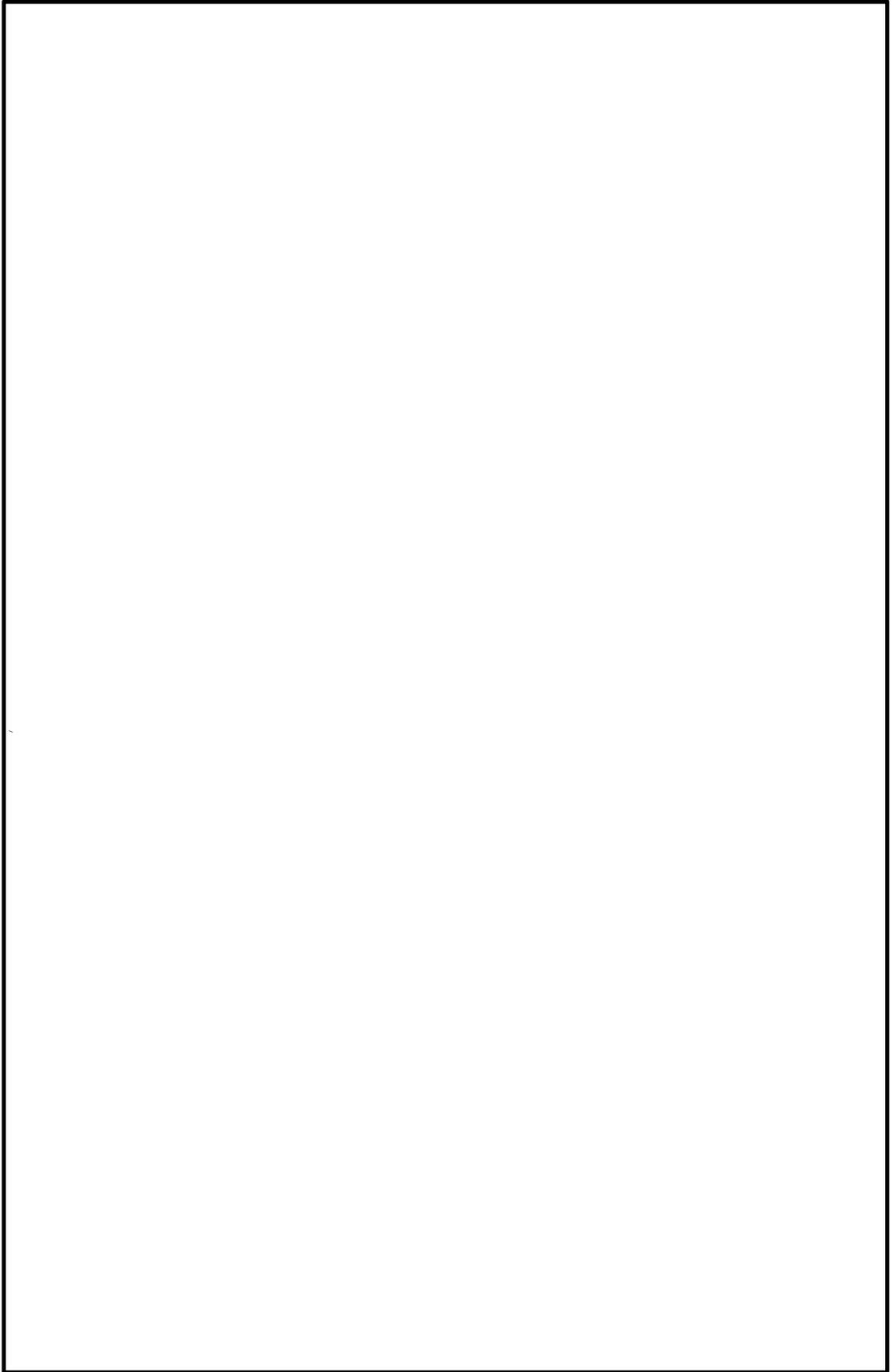
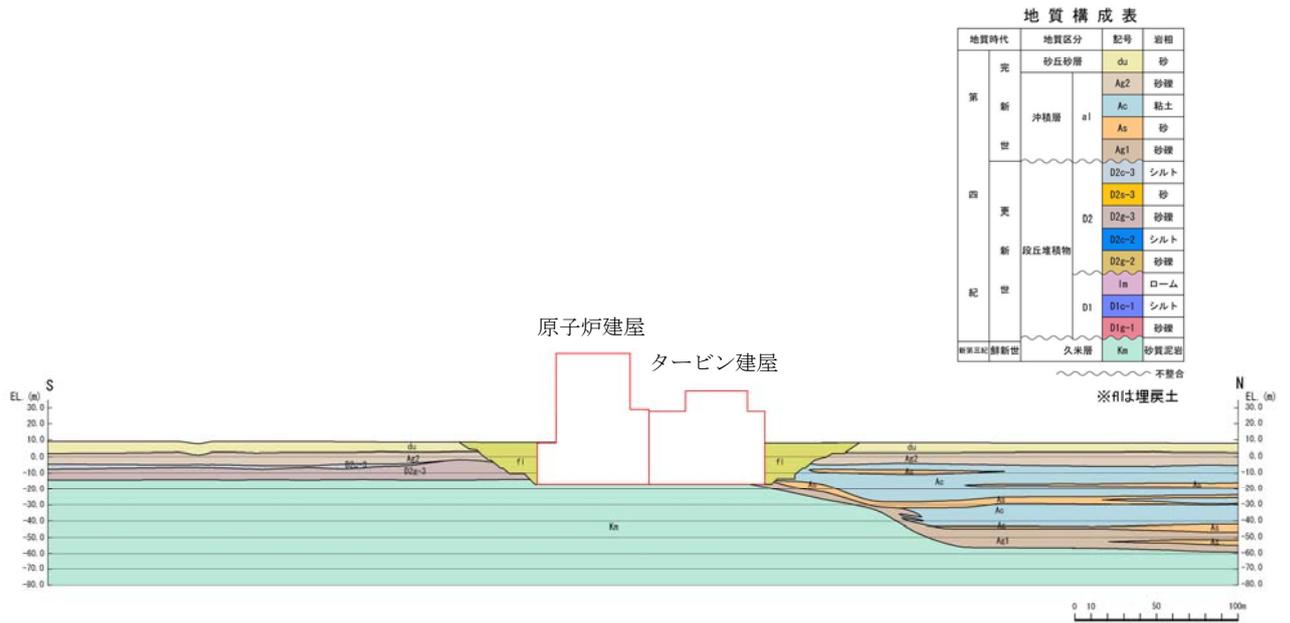
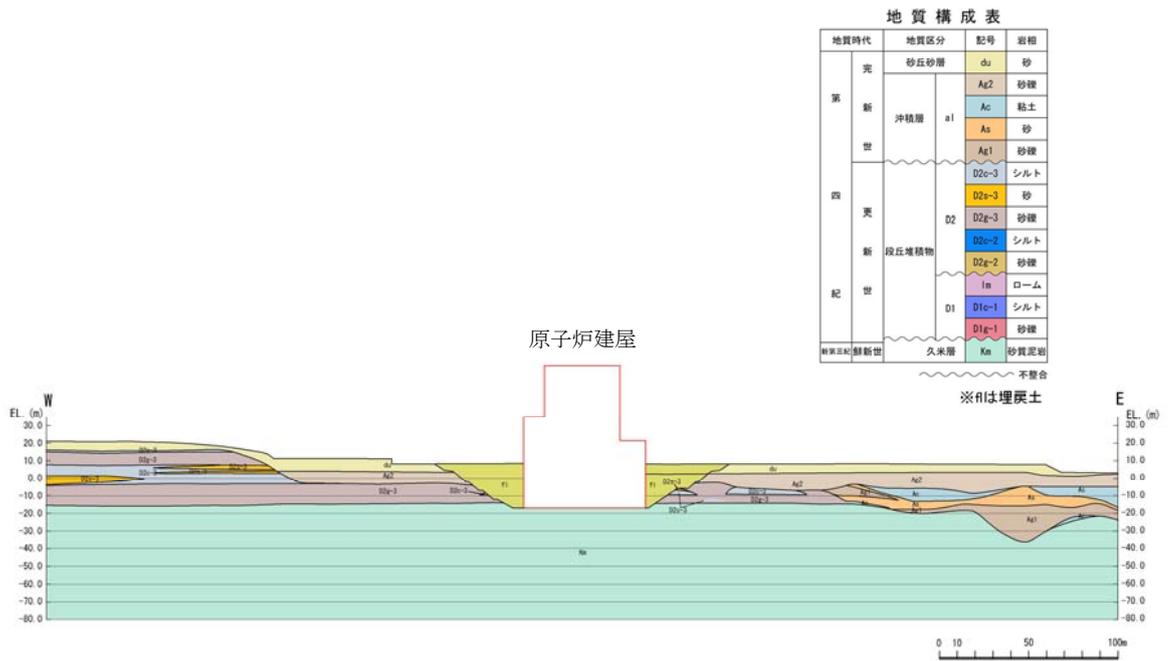


図 3.1-1 主要な評価対象施設及び地質断面位置図

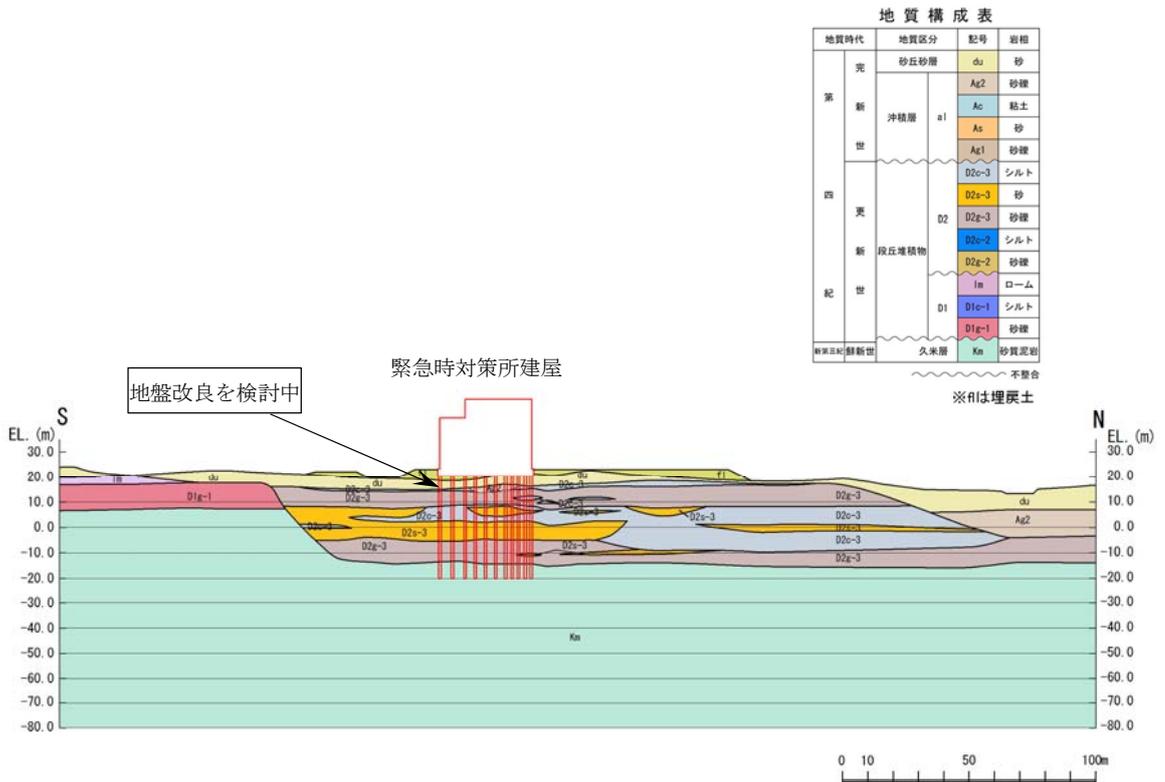


(1) 原子炉建屋周辺断面 (A-A 断面)

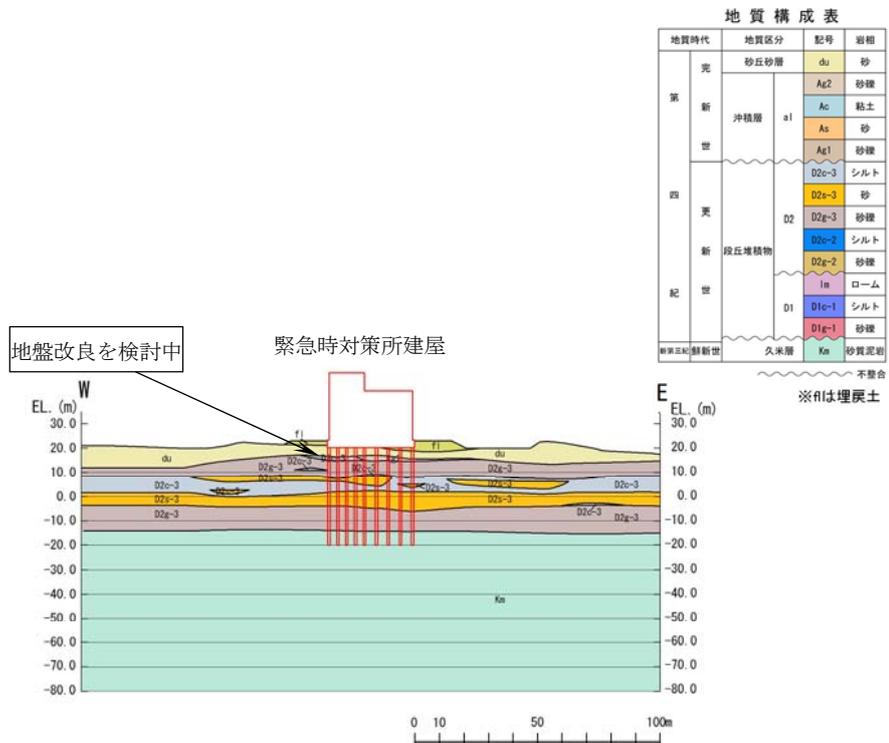


(2) 原子炉建屋周辺断面 (B-B 断面)

図 3.1-2 (1) 主要な評価対象施設及び地質断面位置図 (1/3)



(3) 緊急時対策所周辺断面 (C-C 断面)



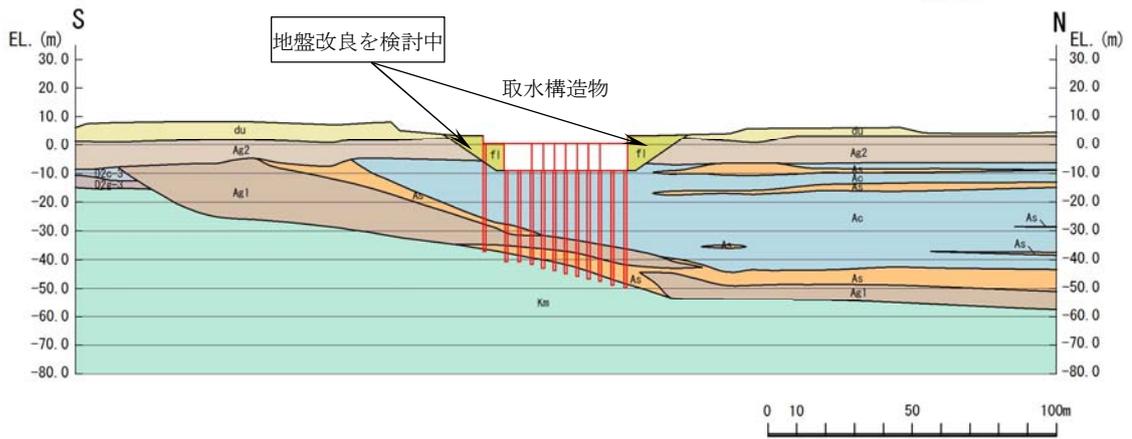
(4) 緊急時対策所周辺断面 (D-D 断面)

図 3.1-2 (2) 主要な評価対象施設及び地質断面位置図 (2/3)

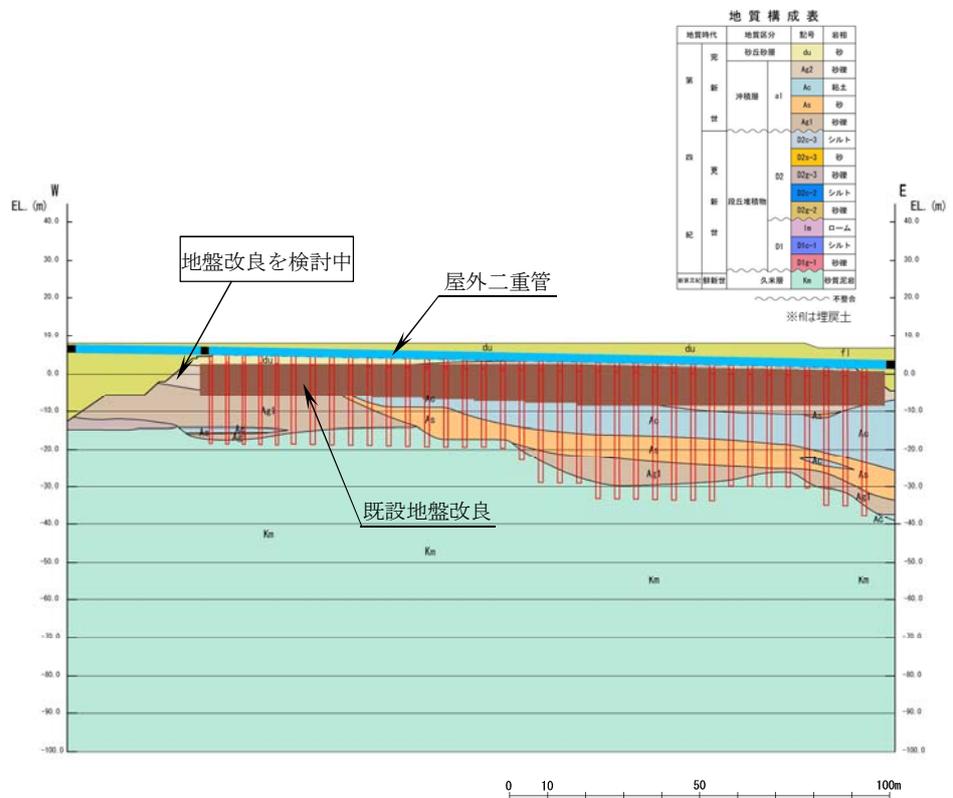
地質構成表

地質時代	地質区分	記号	岩種
第 三 紀	完 新 世	砂丘砂層	du 砂
		沖積層 a1	Ag2 砂礫 Ac 粘土 As 砂 Ag1 砂礫
第 四 紀	更 新 世	D0c-3	シルト
		D0g-3	砂
	新 世	D2	D0g-3 砂礫 D0c-2 シルト D0g-2 砂礫
		紀 世	Im
紀 世	D1	D1c-1 シルト D1g-1 砂礫	
	久米層	Km	砂質泥岩
新第三紀群			不整合

※川は埋戻土



(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 3.1-2 (3) 主要な評価対象施設及び地質断面位置図 (3/3)

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 3.2-1-1 評価対象施設周辺の地質分布一覧

	原子炉建屋	緊急時 対策所建屋	屋外重要土木構造物		津波防護施設 ・防潮堤 ・貯留堰等	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された解析用物性値(全応力解析用)	4.2 有効応力解析に用いる解析用物性値	4.2.2 強制的に液化化させるとを仮定した有効応力解析に用いる解析用物性値	4.2.3 その他の解析用物性値
第四系	埋戻土	f1	○	○	○				
	段丘砂層	du	○	○	○				
		Ag2	○	○	○				
	沖積層	al	○	○	○				
		Ac	○	○	○				
		As	○	○	○				
	Ag1	○	○	○					
	D2e-3	○	○	(○) *1			原位置試験及び室内試験に基づき設定		
	D2s-3	○	○	-			原位置試験及び室内試験に基づき設定		
	D2g-3	○	○	(○) *1					
段丘堆積物	1m	-	(○) *1	-					
	D1c-1	-	-	-					
	D1g-1	-	(○) *1	-					
新第三系	久米層	Km	○	○	○				
		捨石	-	-	-			文献情報に基づき設定	
豊浦標準砂					強制的に液化化させることを仮定する場合に適用				
人工岩盤					-				
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

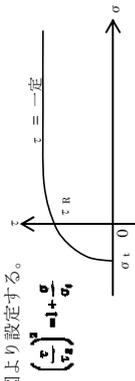
4. 地盤の解析用物性値

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 表 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		
	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
物理特性	密度 ρ_t (g/cm ³) (*1)	1.82	1.89	—	—	—	1.77	1.92	2.15	1.43	1.77	1.89	—
	静弾性係数 (N/mm ²)	1.98	2.01	1.65	1.74	2.01	—	—	—	1.47	—	2.01	—
静的変形特性	4.00+199・σc'	10.5+142・σc'	11.4	21.1+14.8・σc'	10.5+142・σc'	—	32.3+5.46・σc'	16.0+8.3・σc'	83.4+160・σc'	7.26+19.6・σc'	32.3+5.46・σc'	10.5+142・σc'	221-2.23・Z
	初期せん断剛性 G ₀ (N/mm ²) (*1)	80.3	109	—	—	—	129	249	538	24.8	139	287	—
動的変形特性	動ポアソン比 ν _d (*1)	87.3	116	—	—	246	—	—	—	0.494	0.487	0.382	—
	せん断剛性 のひずみ依存性 G/G ₀ ~ γ	0.385	0.286	—	—	—	0.488	0.465	0.462	0.494	0.487	0.474	—
強度特性	1.00P +0.195	1.12P +0.670	1.00P +0.577	1.269γ ^{0.309} 1+269γ ^{0.309}	1.422γ ^{0.351} 1+422γ ^{0.351}	1.1730γ ^{1.11} 1+1730γ ^{1.11}	1.269γ ^{0.862} 1+269γ ^{0.862}	1.1100γ ^{0.991} 1+1100γ ^{0.991}	1.237γ ^{0.732} 1+237γ ^{0.732}	1.222γ ^{0.975} 1+222γ ^{0.975}	1.269γ ^{0.862} 1+269γ ^{0.862}	1.2520γ ^{1.14} 1+2520γ ^{1.14}	1.107γ ^{0.821} 1+107γ ^{0.821}
	残留強度 τ _c (N/mm ²)	0.491P +0.200	1.40P+0.620	0.220P+0.059	1.42P+0.464	1.40P+0.620	1.20P+0.548	0.274P+0.180	0.462P+0.230	0.770P+0.594	0.338P+0.050	0.274P+0.180	1.40P+0.620
備考	0.500P +0.195	1.20P+0.548	0.220P+0.059	1.43P+0.430	1.20P+0.548	1.20P+0.548	0.170P+0.141	0.310P+0.213	0.788P+0.582	0.250P+0.036	0.170P+0.141	1.20P+0.548	備考参照
	備考	新第三系の強度特性は右図より設定する。										$\sigma_t = 0.141 - 0.00114 \cdot Z$ $\tau_R = 0.364 - 0.00168 \cdot Z$ $C_{DU} = 0.837 - 0.00346 \cdot Z$ $\phi = 0^\circ$ Z: 標高[m], 表示(m)	



注記 *1: 上段は地下水位面以浅、下段は地下水位面以深に対する値を示す。
 P (N/mm²): 圧密圧力 G/G₀ (-): 剛性低下率
 ρ_{sat} (g/cm³): 飽和密度 h (-): 減衰定数
 V_s (m/s): せん断波速度 γ (-): せん断ひずみ

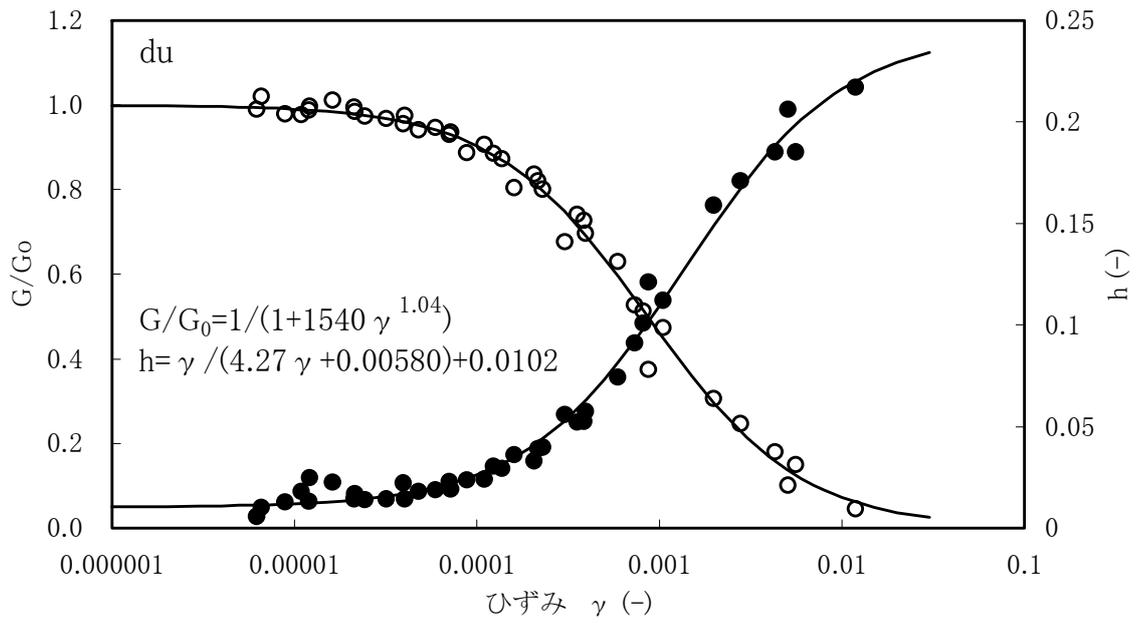


図 4.1-1 du 層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

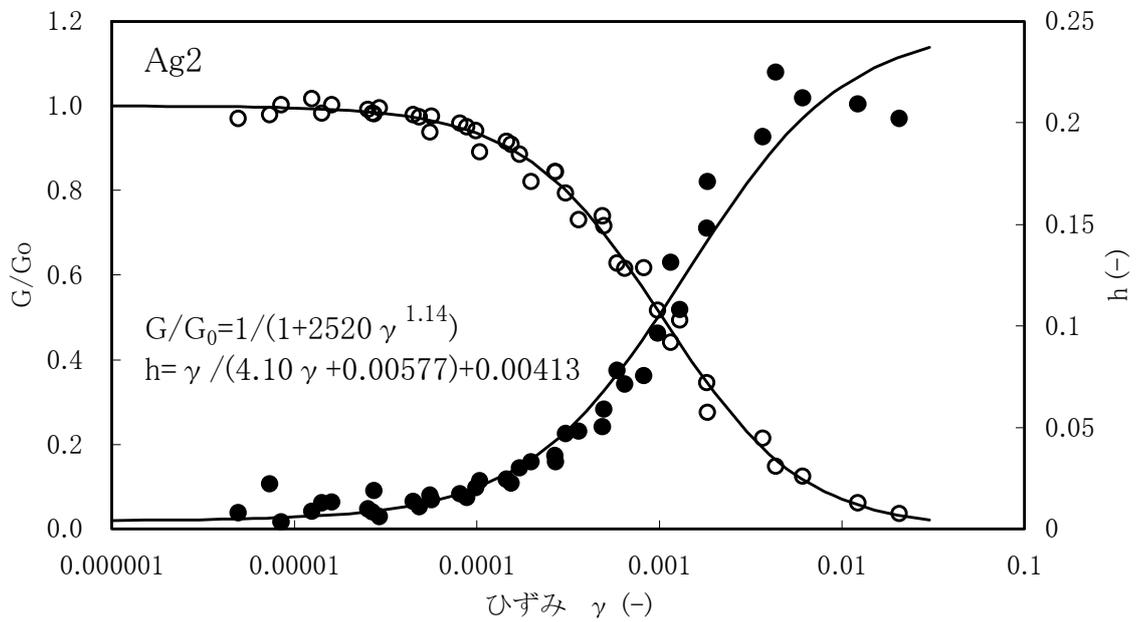


図 4.1-2 Ag2 層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

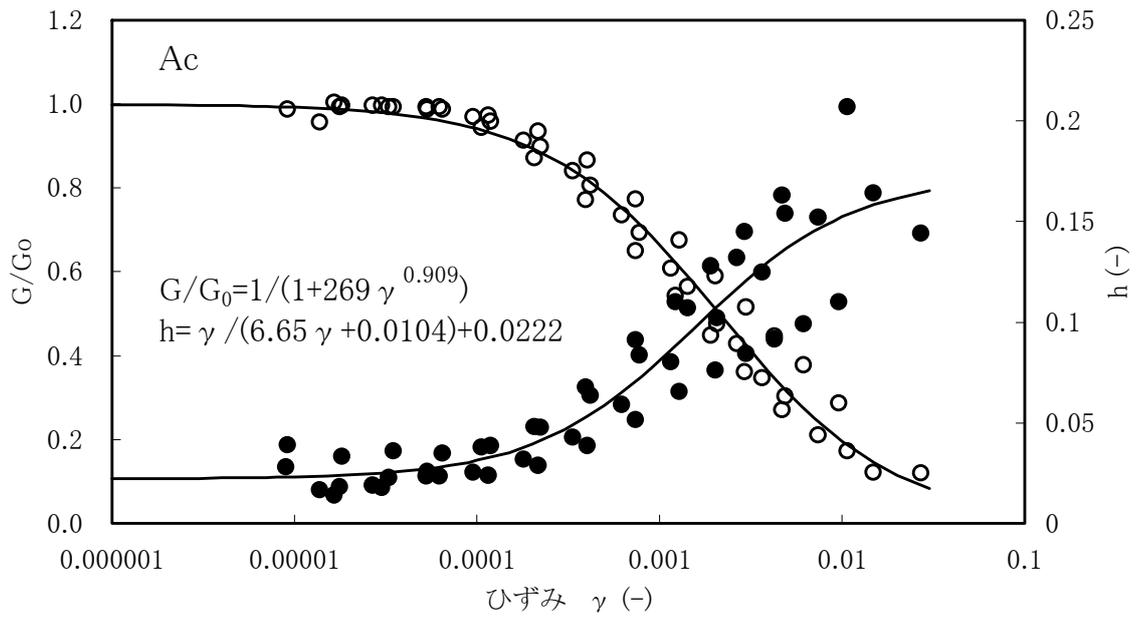


図 4.1-3 Ac 層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

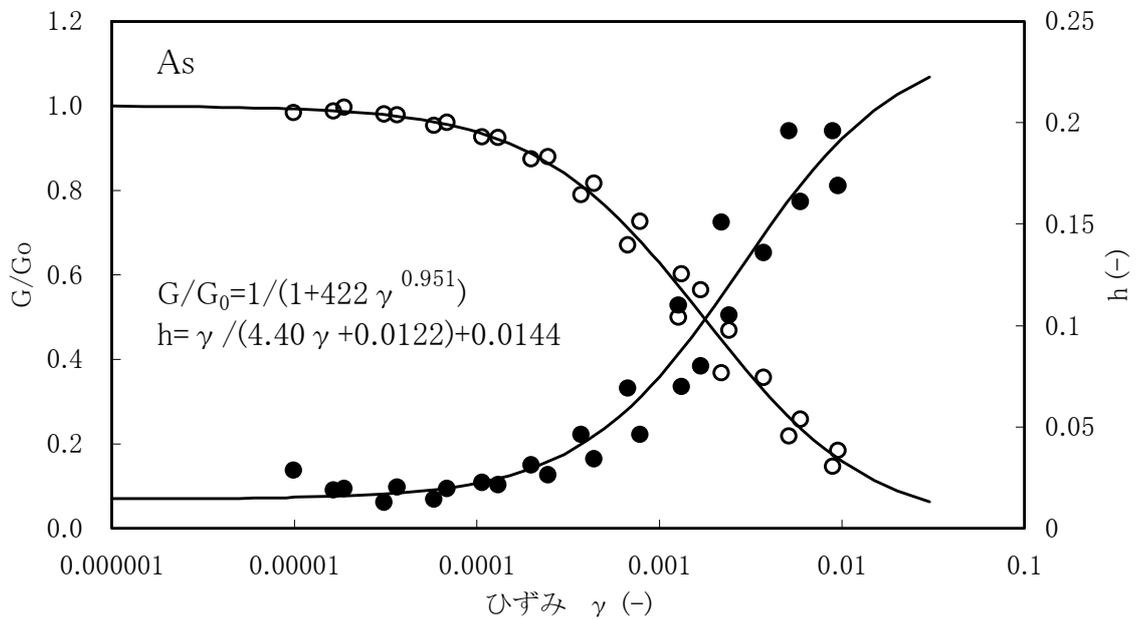


図 4.1-4 As 層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

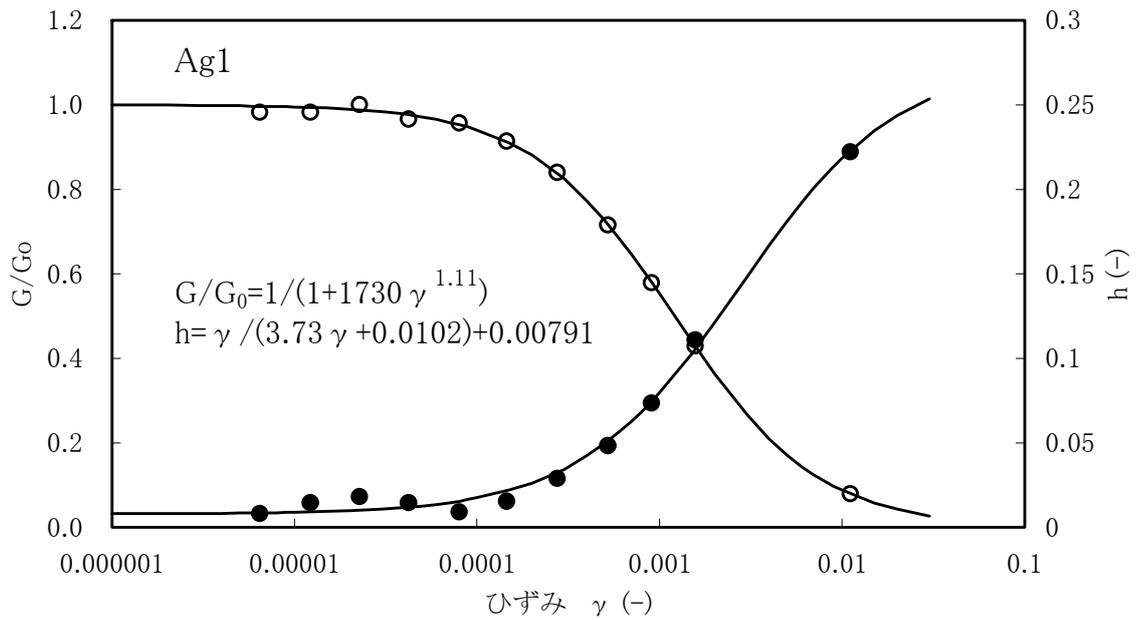


図 4.1-5 Ag1 層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

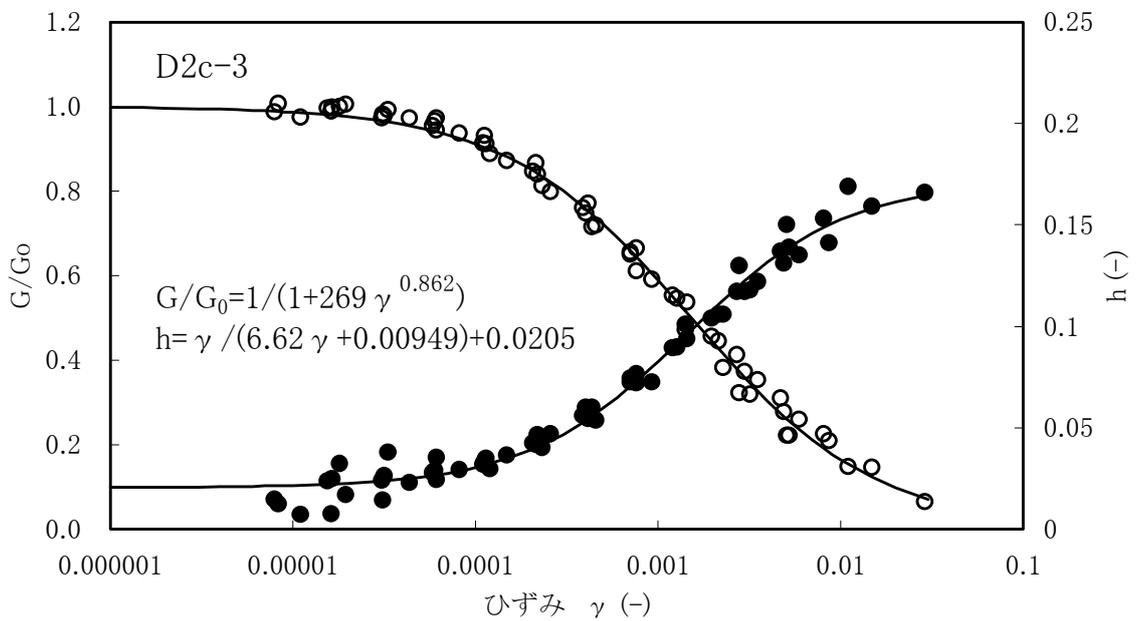


図 4.1-6 D2c-3 層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

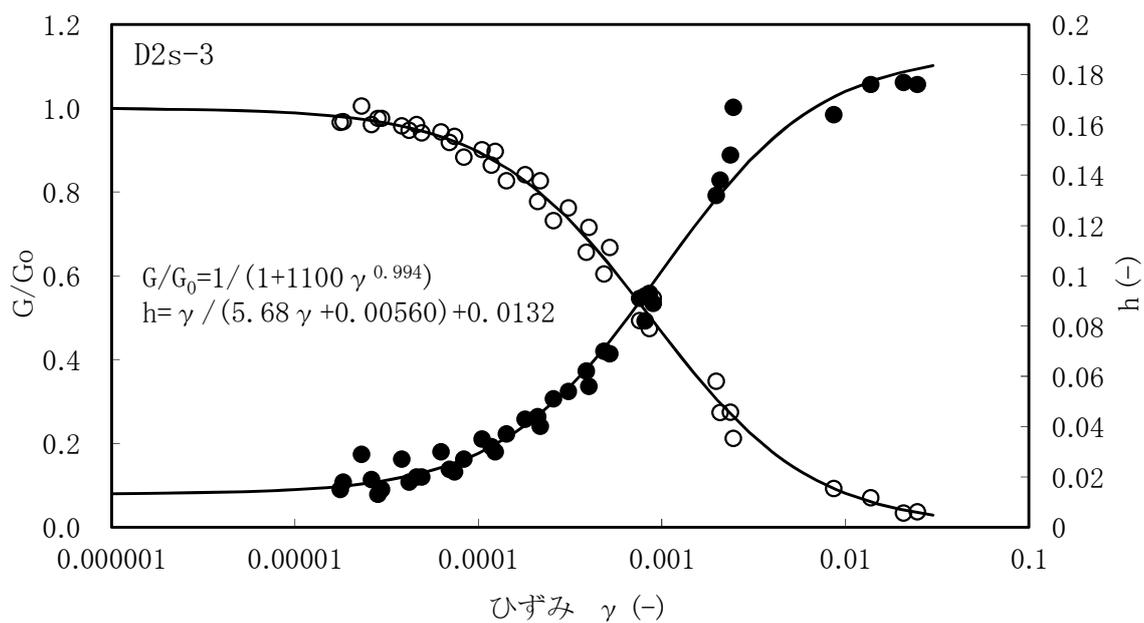


図 4.1-7 D2s-3 層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

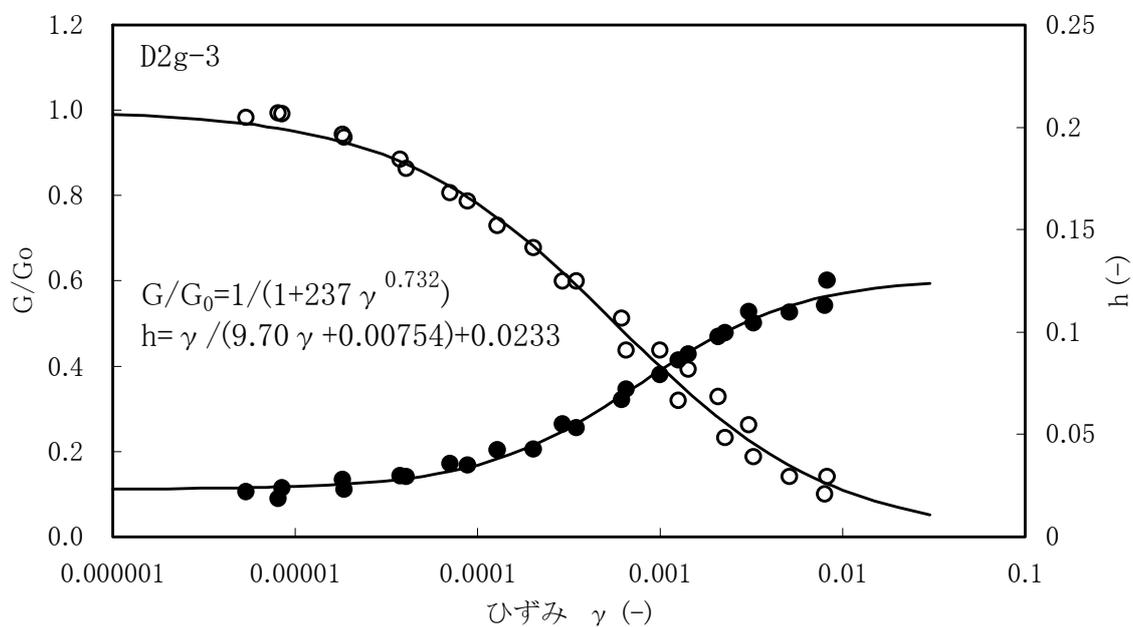


図 4.1-8 D2g-3 層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

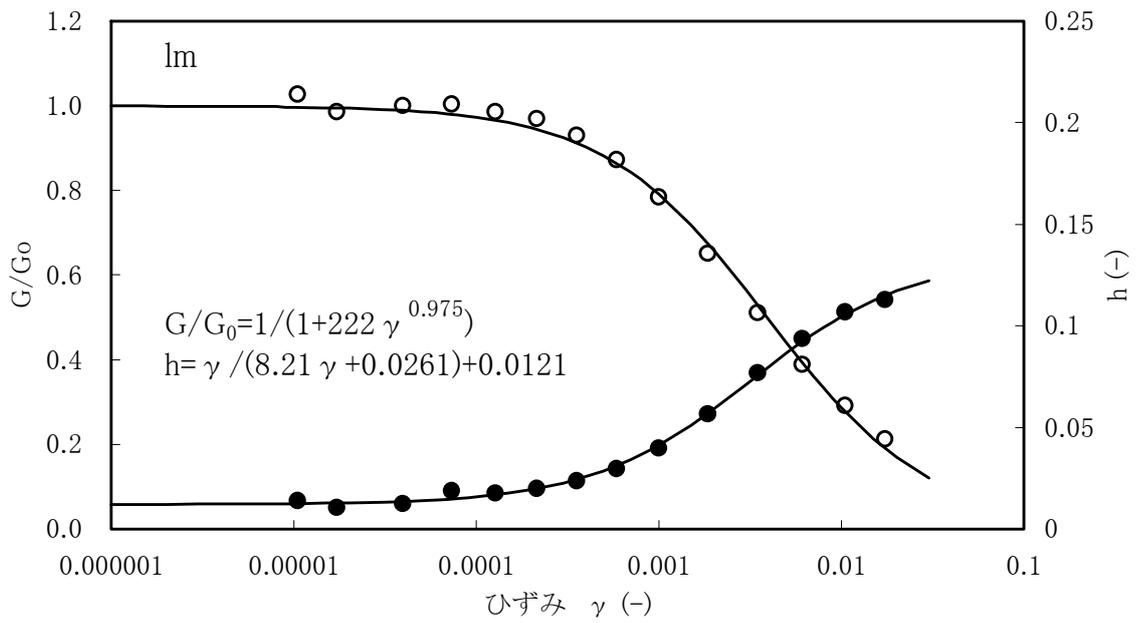


図 4.1-9 1m層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

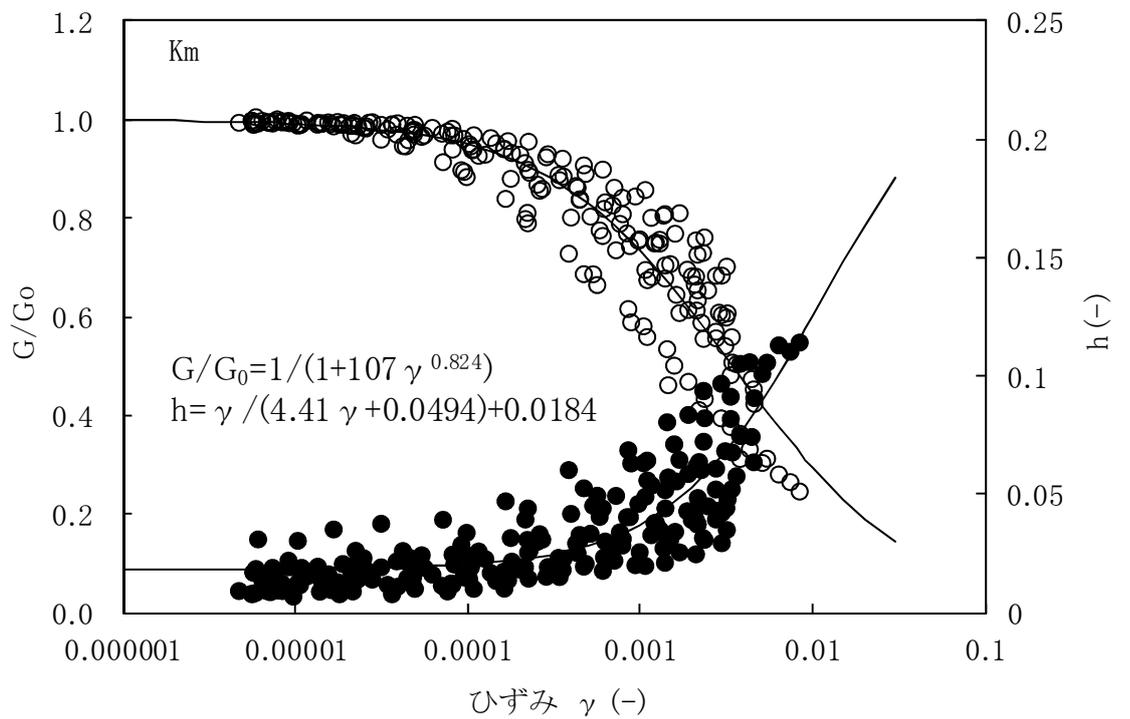


図 4.1-10 Km層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

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		D1g-1
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ³	1.98 (1.82)	1.98 (1.82)	2.01 (1.89)	1.74	2.01 (1.89)	1.92	2.15 (2.11)	2.01 (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	ν_{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 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	358 (312)	358 (312)	497 (299)	378	814 (814)	966	1167 (1167)	1695 (1710)	12.6
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	253529 (220739)	253529 (220739)	278087 (167137)	143284	392073 (392073)	650611	1362035 (1362035)	947946 (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 ²	0	0	0	0.012	0	0.01	0	0	0
	内部摩擦角	ϕ_{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	ϕ_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	9.00	1.00	12.00	4.80	8.00	7.00	0.57
	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	1m	D1c-1	Km	
物理特性	密度 () は地下水位以浅	ρ	g/cm ²	1.65	1.77	1.47 (1.43)	1.77	$1.72-1.03 \times 10^{-4} \cdot z$	2.04 (1.84)
	間隙比	e	—	1.59	1.09	2.8	1.09	1.16	0.82
変形特性	ポアソン比	ν_{CD}	—	0.10	0.22	0.14	0.22	$0.16+0.00025 \cdot z$	0.33
	基準平均有効主応力 () は地下水位以浅	σ'_{ma}	kN/m ²	480	696	249 (223)	696	第4-1表の動的変形特性に基づき z (標高) 毎に物性値を設定	98
	基準初期せん断剛性 () は地下水位以浅	G_{ma}	kN/m ²	121829	285223	38926 (35783)	285223		180000
	最大履歴減衰率	h_{max}	—	0.200	0.186	0.151	0.186		0.24
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	0.025	0.026	0.042	0.026		$0.358-0.00603 \cdot z$
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	度	29.1	35.6	27.3	35.6	$23.2+0.0990 \cdot z$	35

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）

	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	せん断剛性 (N/mm ²)	減衰定数	ヤング係数 (kN/mm ²)
人工岩盤（新設） (f'ck = 18 N/mm ²)	23.0	0.20	9170*1	0.05	22.0
人工岩盤（既設） (f'ck = 13.7 N/mm ²)	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。

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

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 ² の場合）	一軸圧縮強度（>8.5N/mm ² の場合）
物理特性	密度 ρ_t (g/cm ³)	改良対象の原地盤の平均密度×1.1	
静的変形特性	静弾性係数 (N/mm ²)	581	2159
	静ポアソン比 ν_s	0.260	
動的変形特性	初期せん断剛性 G_0 (N/mm ²)	$G_0 = \rho_t / 1000 \times V_s^2$ $V_s = 147.6 \times q_u^{0.417}$ (m/s) q_u : 一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	
	動ポアソン比 ν_d	0.431	
	動せん断弾性係数のひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$	$G/G_0 = \frac{1}{1 + \gamma / 0.000537}$ γ : せん断ひずみ (-)	$G/G_0 = \frac{1}{1 + \gamma / 0.001560}$ γ : せん断ひずみ (-)
	減衰定数 $h \sim \gamma$	$h = 0.152 \frac{\gamma / 0.000537}{1 + \gamma / 0.000537}$ γ : せん断ひずみ (-)	$h = 0.178 \frac{\gamma / 0.001560}{1 + \gamma / 0.001560}$ γ : せん断ひずみ (-)
強度特性	粘着力 C (N/mm ²)	$C = q_u / 2$ q_u : 一軸圧縮強度 (N/mm ²)	
	ピーク強度 C_u (N/mm ²)	$1.44 P + 1.76$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)	$1.60 P + 7.80$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)
	残留強度 τ_0 (N/mm ²)	$1.44 P + 0.808$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)	$1.60 P + 2.05$ P : 圧密圧力 (N/mm ²)

表 4.2-4 (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		D1g-1
物理特性	密度	ρ	g/cm ³	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	ν_{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	σ'_{ms}	kN/m ²		Ag2層で代用	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_{ms}	kN/m ²										
	最大履歴減衰率	h_{max}	—										
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²		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	ϕ_{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	ϕ_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 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	D2c-2	1m	D1c-1	Km		
物理特性	密度	ρ	g/cm ³	室内物理試験	室内物理試験	D2c-3層で代用	室内物理試験	D2c-3層で代用	室内物理試験	文献*3より	
	間隙比	e	—								三軸圧縮試験 (CD)
変形特性	ポアソン比	ν_{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
	基準平均有効主応力	σ'_{ms}	kN/m ²	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)		三軸圧縮試験 (CD)
	基準初期せん断剛性	G_{ms}	kN/m ²								
	最大履歴減衰率	h_{max}	—								
強度特性	粘着力	C_{CD}	N/mm ²	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)		三軸圧縮試験 (CD)
	内部摩擦角	ϕ_{CD}	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)

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）

	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） ($f'_{ck} = 18 \text{ N/mm}^2$)	慣用値*1	慣用値*1	ヤング係数と ポアソン比 より算出	慣用値	慣用値*1
人工岩盤（既設） ($f'_{ck} = 13.7 \text{ N/mm}^2$)	慣用値*2	慣用値*2	ヤング係数と ポアソン比 より算出	慣用値	慣用値*2

注記 *1：コンクリート標準示方書 構造性能照査編（（社）土木学会，2002）

*2：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	密度 $\rho_t (\text{g/cm}^3)$	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	静弾性係数 (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 ν_s	文献*1より設定
動的変形特性	初期せん断剛性 $G_0 (\text{N/mm}^2)$	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 ν_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 $G/G_0 \sim \gamma$	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 $h \sim \gamma$	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	粘着力 $C (\text{N/mm}^2)$	一軸圧縮強度 q_u と粘着力 C の関係に基づき設定
	ピーク強度 $C_u (\text{N/mm}^2)$	既設改良体を模擬した再構成試料による三軸圧縮試験（CU条件）に基づき設定
	残留強度 $\tau_0 (\text{N/mm}^2)$	

注記 *1：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）

*2：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），
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）

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。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ことを基本とする。

設定する液状化強度特性は、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変分散に基づく標準偏差を用いた「平均 -1σ 」について整理する。

また、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。

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) 液状化検討対象層の抽出

敷地には、完新統及び更新統の堆積層が広く、厚く分布していることが確認されており、全土層を液状化検討対象層の抽出の対象とする。

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%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G.L. -20 m以深の土層も抽出対象とする。

図4.2-1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。

(2) 液状化強度試験試料採取位置の選定とその代表性

追而

(3) 液状化強度試験結果

追而

(4) 液状化強度特性の妥当性及び代表性

追而

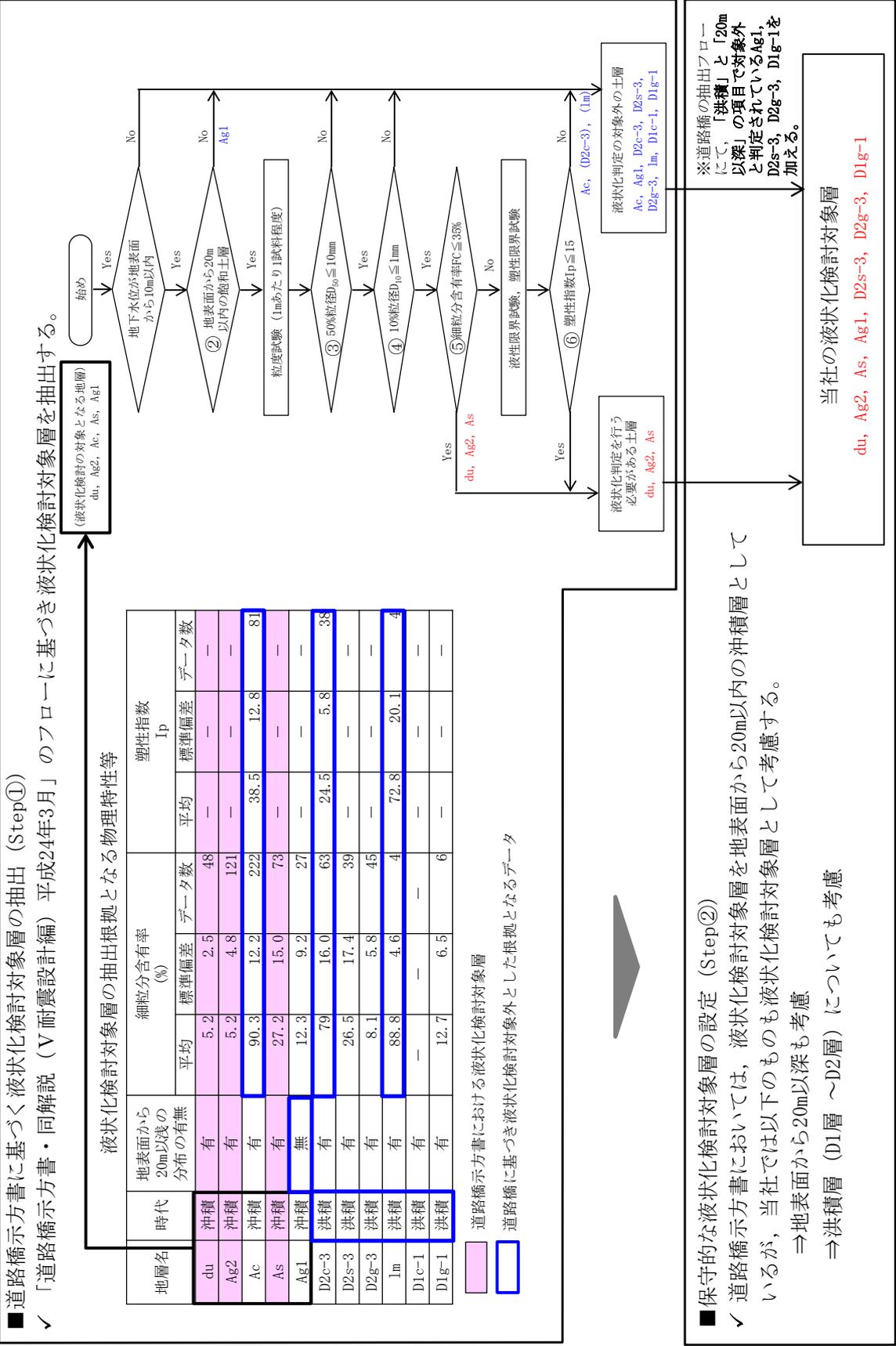


図 4.2-1 液状化検討対象層抽出方針

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	○	○	
a1	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。 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	1m	—	—	
	D1c-1	—	—	
	D1g-1	—	□	更新統であるが検討対象とする。

○: 検討対象

—: 検討対象外

□: 道路橋示方書では検討対象外だが
検討対象とするもの

□: 液状化検討対象と
するもの

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等における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

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「F L I P」の液状化特性を設定する。

図 4.2-2 に豊浦標準砂の液状化強度試験データ、図 4.2-3 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 4.2-4 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 4.2-8 に平均粒径と細粒分含有率の比較、図 4.2-5 及び図 4.2-6 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。

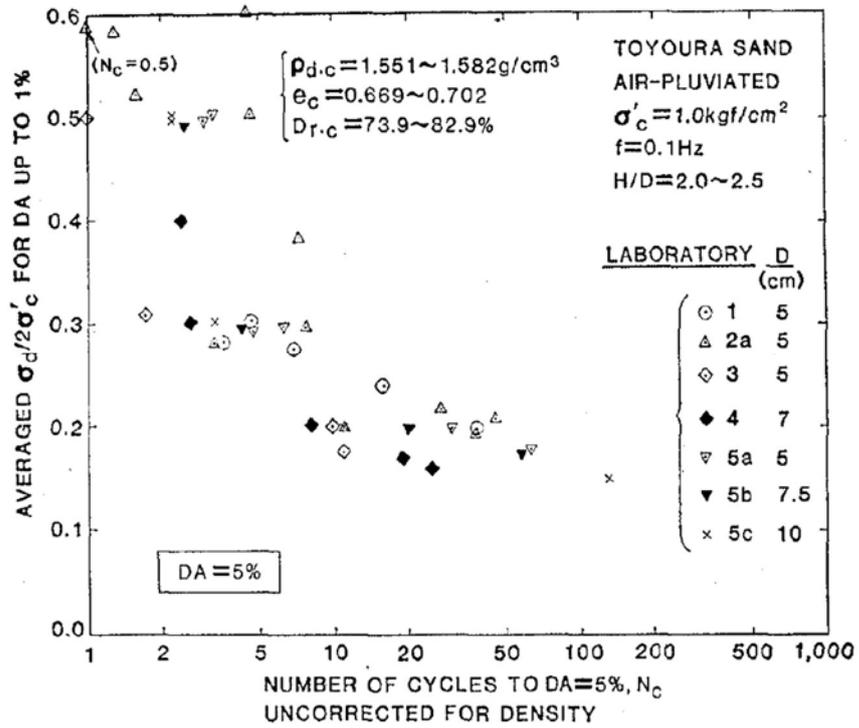


図 4.2-2 豊浦標準砂の液状化強度試験データ

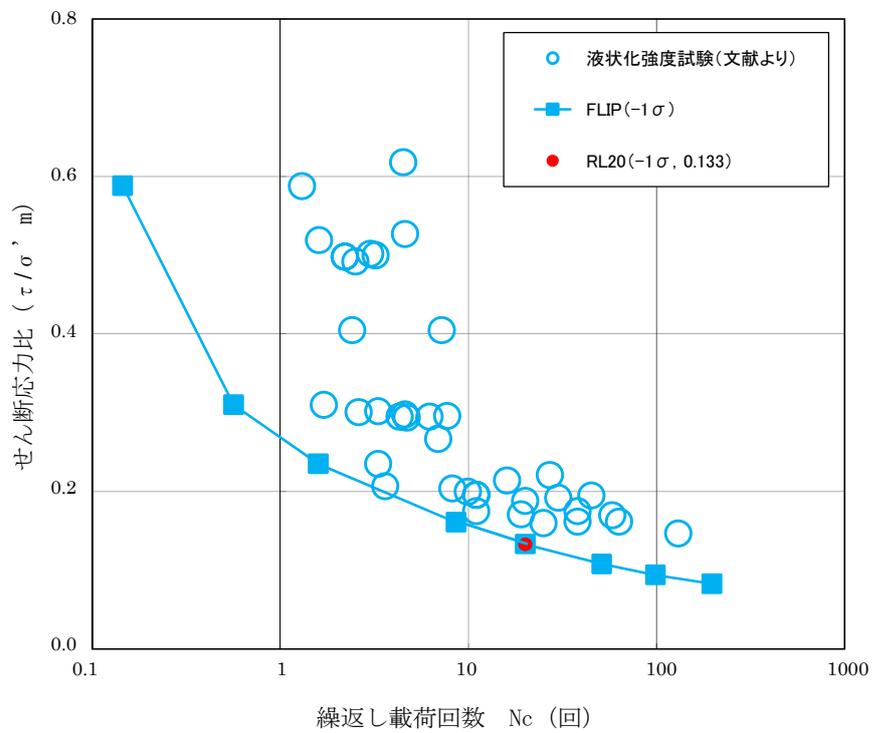


図 4.2-3 FLIPによる豊浦標準砂の液状化強度特性 (-1σ)

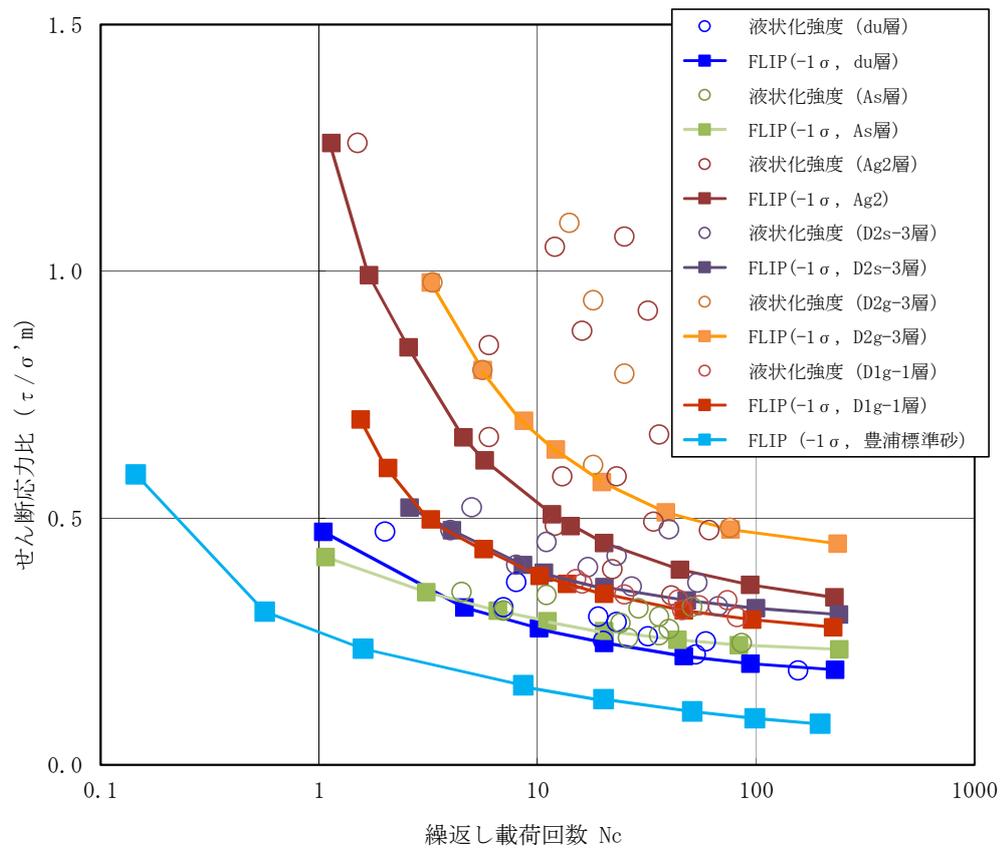
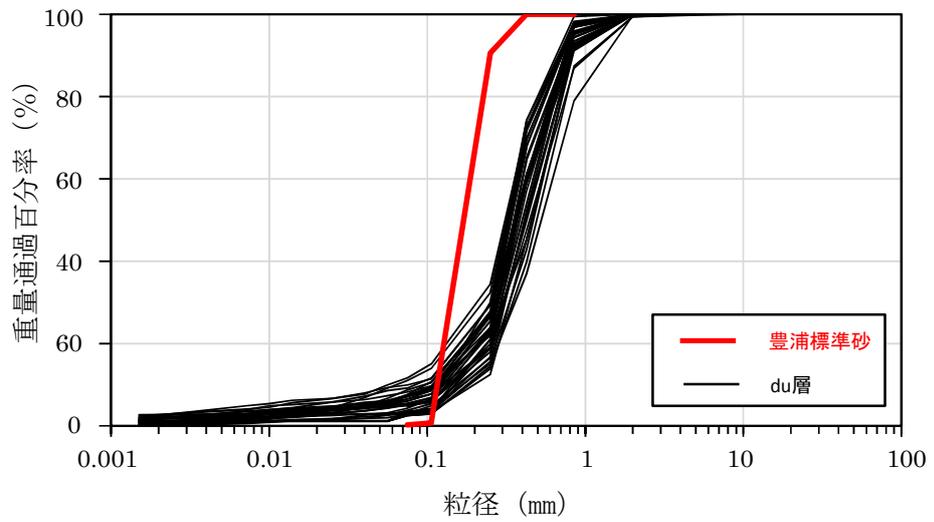


図 4.2-4 豊浦標準砂と原地盤の液状化強度特性の比較

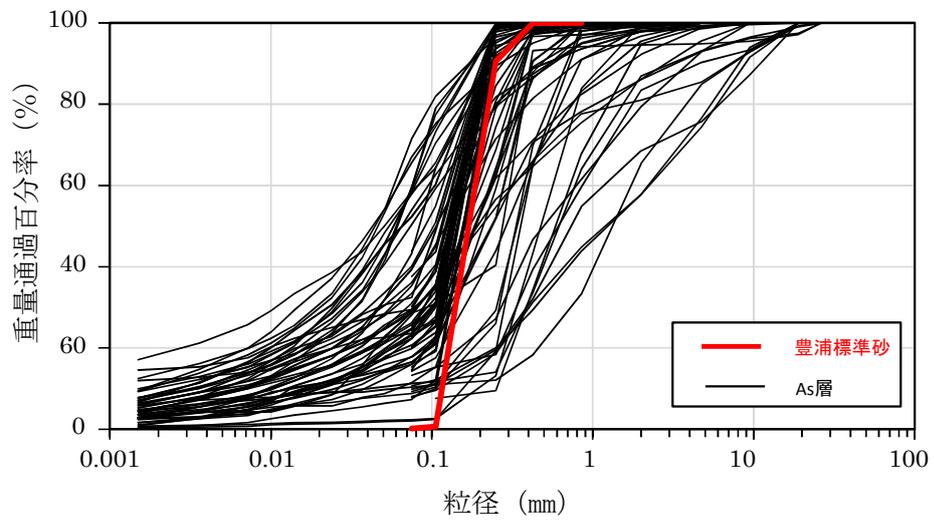
表 4.2-8 平均粒径と細粒分含有率の比較

	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 4.2-5 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 4.2-6 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) 人工岩盤

人工岩盤については、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（（社）土木学会，2002年制定）」等に基づき，表 4.2-2 の通り解析用物性値を設定する。

(2) 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。

また，地盤改良体（浸透固化改良）については，文献（浸透固化処理工法技術マニュアル（2010年版）（（財）沿岸技術研究センター，平成22年6月））に基づき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，施設設置位置にて地盤改良試験施工を実施した上で，その供試体を用いた試験により当該施設設置位置の物性値を設定する場合がある。

4.2.4 地盤の物性のバラツキについて

(1) 建物・構築物の地震応答解析における地盤の物性のバラツキ

建物・構築物の地震応答解析においては地盤の物性のバラツキを考慮している。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）の地震応答解析における地盤の物性のバラツキ

土木構造物（津波防護施設等を含む）の地震応答解析においては地盤の物性のバラツキを考慮している。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。

5. 極限支持力

極限支持力は、道路橋示方書の支持力算定式等に基づき、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 直接基礎の支持力算定式

道路橋示方書による直接基礎の支持力算定式を以下に示す。

・極限支持力算定式（直接基礎）

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

q_d : 基礎底面地盤の極限支持力度 (kN/m²)

c : 基礎底面より下にある地盤の粘着力 (kN/m²)

γ_1 : 基礎底面より下にある地盤の単位体積重量 (kN/m³)
ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする。

γ_2 : 基礎底面より上にある周辺地盤の単位体積重量 (kN/m³)
ただし、地下水位以下では水中単位体積重量とする。

α, β : 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_q, N_γ : 支持力係数

5.2 杭基礎の支持力算定式

道路橋示方書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。**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。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、杭周面摩擦力を支持力として考慮する場合がある。

・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/m²)

$$q_d = 3 \cdot q_u$$

q_u : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m²)

A : 杭先端面積 (m²)

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/m²)

- ・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 : 杭先端における単位面積あたりの極限支持力度 (kN/m²)

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

q_u : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m²)

A_t : 鋼管杭の先端純断面積 (m²)

A_i : 鋼管杭の先端閉塞面積 (m²)

A : 鋼管杭の先端面積 (m²)

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/m²)

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/m²)

$$q_d = 3 \cdot q_u$$

q_u : 支持岩盤の一軸圧縮強度 (kN/m²)

A : 基礎の底面積（内部土は含まない） (m²)

6. 地盤の速度構造

6.1 入力地震動策定に用いる地下構造モデル

入力地震動の策定に用いる地下構造モデルについては、重要施設設置位置の地層構成に基づき、解放基盤表面（EL. -370 m）から解析モデル入力位置までをモデル化する。地下構造モデルの概要を表 6.1-1 に示す。

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 (Km層)	基盤
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 (m/s)	$V_p = V_s \sqrt{\frac{2(1 - \nu_d)}{1 - 2\nu_d}}$	1988 (z=-370 m)
S波速度 V_s (m/s)	$V_s = 433 - 0.771 \cdot z$ z : 標高 (m)	718 (z=-370 m)
動ポアソン比 ν_d	$\nu_d = 0.463 + 1.03 \times 10^{-4} \cdot z$ z : 標高 (m)	0.425 (z=-370 m)
密度 ρ (g/cm ³)	$\rho = 1.72 - 1.03 \times 10^{-4} \cdot z$ z : 標高 (m)	1.76 (z=-370 m)
せん断剛性の ひずみ依存性 $G/G_0 \sim \gamma$	$\frac{1}{1 + 107 \gamma^{0.824}}$ γ : せん断ひずみ (-)	—
減衰定数 $h \sim \gamma$	$\frac{\gamma}{(4.41 \gamma + 0.0494)} + 0.0184$ γ : せん断ひずみ (-)	0.03

6.2 地震応答解析に用いる地盤の解析モデル

「3. 評価対象施設周辺の地質 図 3.1-1」に示すボーリング孔を利用して図 6.2-1 に示す位置で実施した PS 検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。

地震応答解析に用いる地盤の解析モデルの作成に当たっては、「3.1 評価対象施設周辺の地質」において作成した地質図を基に、地盤の速度構造を適切に反映できる深度までモデル化する。

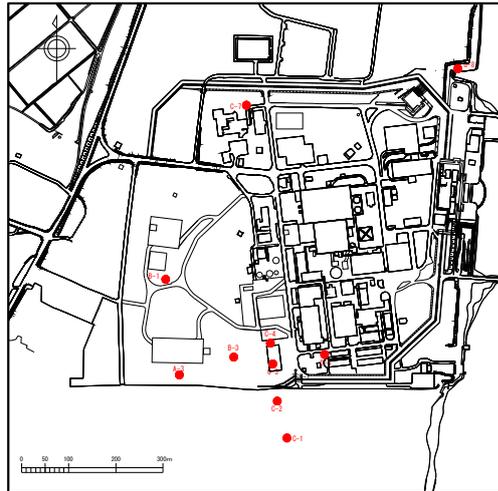


図 6.2-1 PS 検層実施位置図

表 6.2-1 PS 検層結果

地層			平均値		平均有効主応力依存式 $V_s = A \times (\sigma'_m)^{0.25}$
			V_s (m/s)	V_p (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)
 σ'_m : 平均有効主応力 (kN/m²)
A : 最小二乗法の回帰係数