

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0
提出年月日	平成30年2月15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2月

日本原子力発電株式会社

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	7
4.1 全応力解析に用いる地盤の解析用物性値	7
4.2 有効応力解析に用いる地盤の解析用物性値	
4.3 その他の解析用物性値	15
5. 極限支持力	18
5.1 直接基礎の支持力算定式	18
5.2 杭基礎の支持力算定式	18
5.3 地中連続壁基礎の支持力算定式	19
6. 地盤の速度構造	20
6.1 入力地震動策定に用いる地下構造モデル	20
6.2 地震応答解析に用いる地盤の解析モデル	21

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。

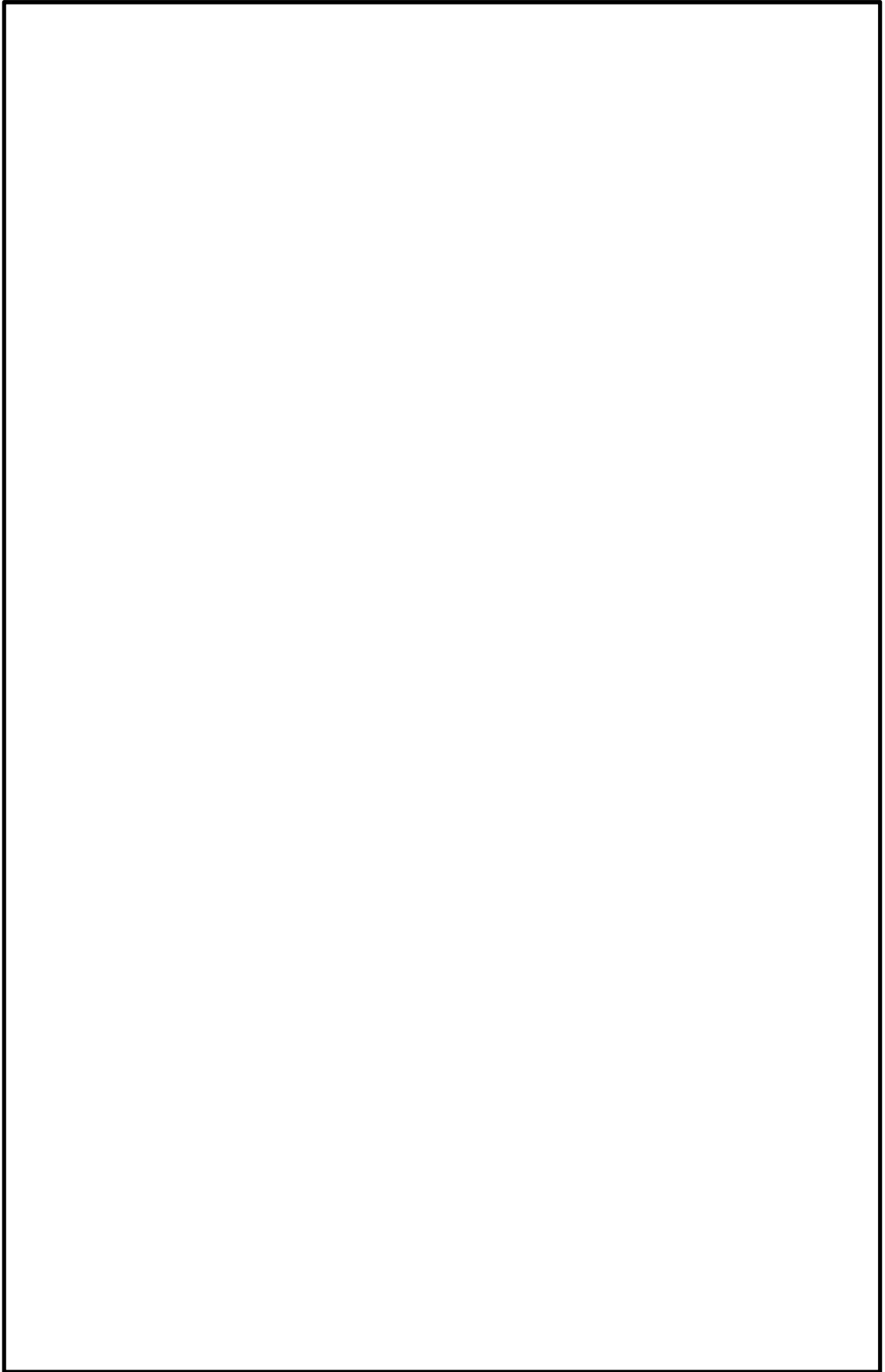
極限支持力は、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成 24 年 3 月）（以下「道路橋示方書」という。）の支持力算定式等に基づき、対象施設の支持岩盤の室内試験結果（せん断強度）を用いて設定する。

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。

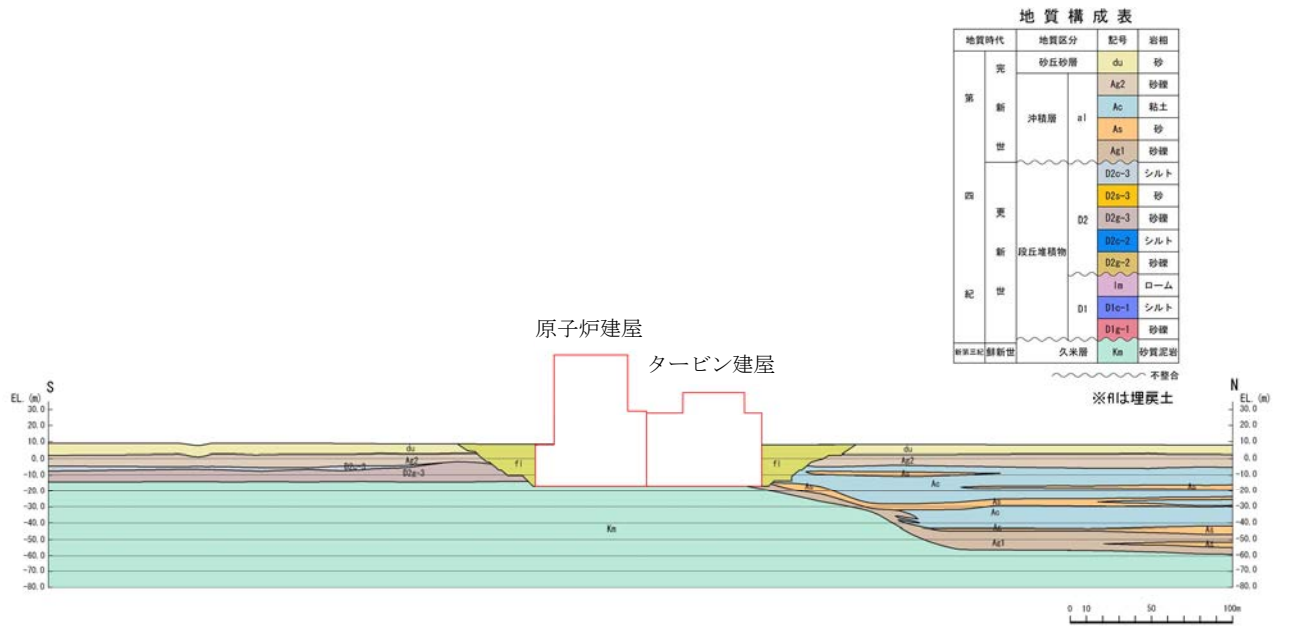
3. 評価対象施設周辺の地質

3.1 評価対象施設周辺の地質

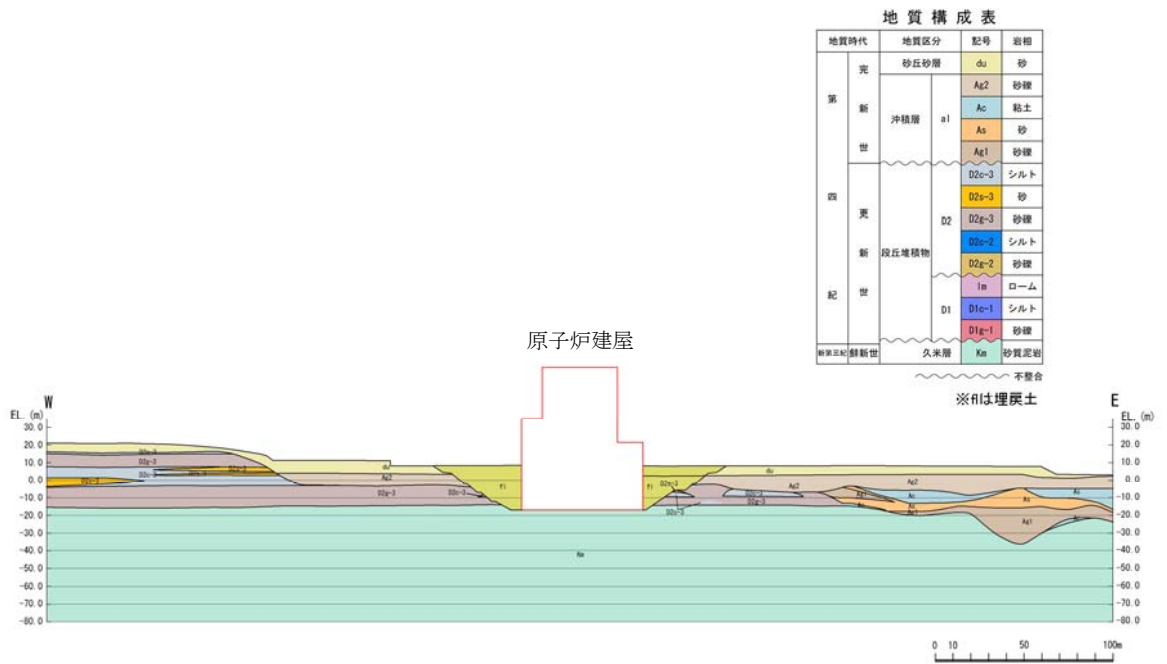
主要な評価対象施設及び地質断面の位置を第 3-1 図に示す。地質断面図は第 3-1 図に示すボーリングデータを基に作成している。地質断面図を第 3-2 図に示す。



第3-1図 主要な評価対象施設及び地質断面位置図

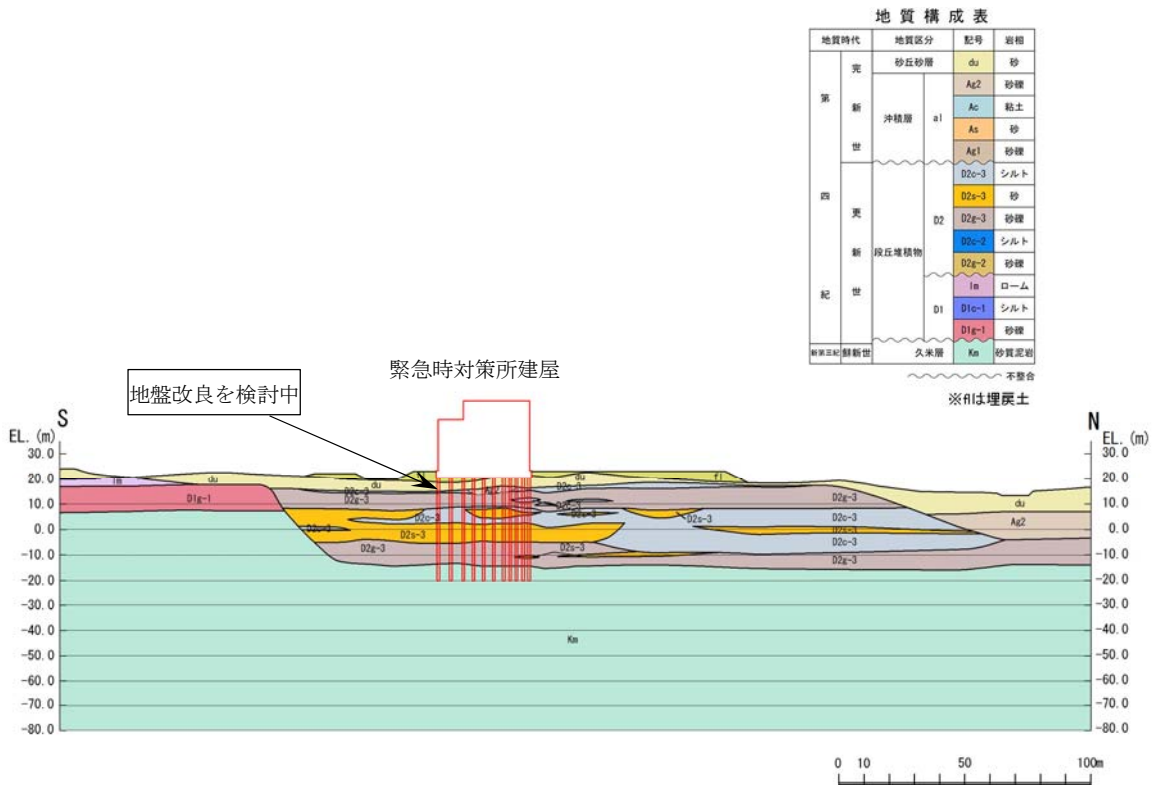


(1) 原子炉建屋周辺断面 (A-A 断面)

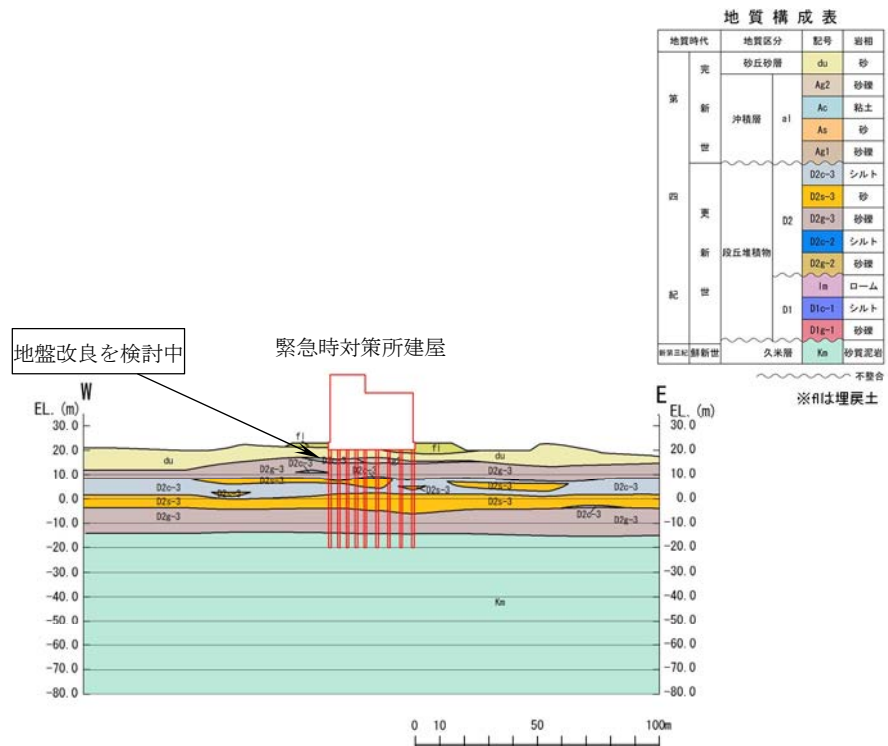


(2) 原子炉建屋周辺断面 (B-B 断面)

第 3-2 図 (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)

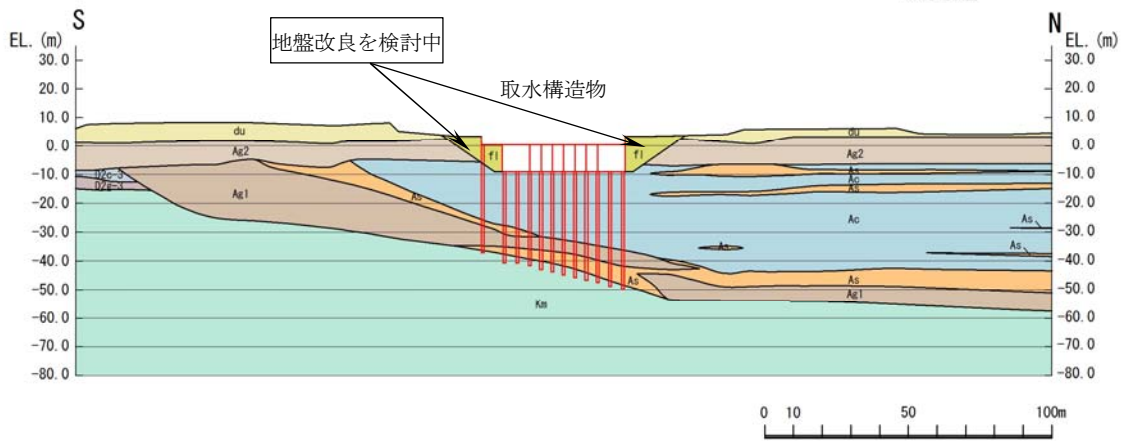
第 3-2 図 (2) 主要な評価対象施設及び地質断面位置図 (2/3)

地質構成表

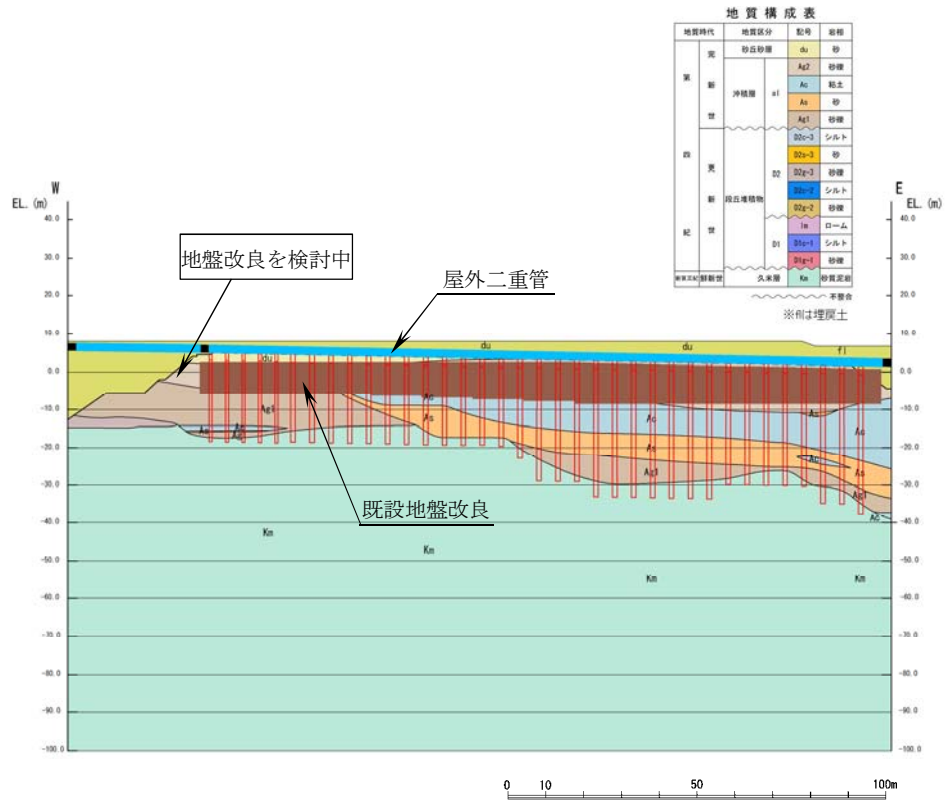
地質時代	地質区分	記号	岩種	
第 三 紀	完	砂丘砂層	du 砂	
			Ag2 砂礫	
	新 世	沖積層	af	Ac 粘土
				As 砂
				Ag1 砂礫
第 四 紀	更	D0c-3	シルト	
		D0g-3	砂	
	新 世	段丘堆積物	D0g-3	砂礫
			D0g-2	シルト
			D0g-2	砂礫
紀	更	fm	ローム	
		D1e-1	シルト	
		D1g-1	砂礫	
新第三紀鮮新世	久米層	Km	砂質泥岩	

～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)

第 3-2 図 (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第3-1表に示す。これらの地質に対し、第3-1図に示すような広範囲における調査結果に基づき解析用物性値を設定した。

表 3-1 表 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		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 全応力解析に用いる 地盤の解析用物性値	4.2 有効応力解析に用いる 地盤の解析用物性値	4.3 その他の 解析用物性値		
埋戻土		f1	○	○	○	○	原位置試験及び 室内試験に基づき設定	原位置試験及び 室内試験に基づき設定	—	
段丘砂層		du	○	○	○	○			—	
第四系	沖積層	a1	Ag2	○	○	○			○	—
			Ac	○	—	○			○	—
		As	○	—	○	○			—	
		Ag1	○	—	○	○			—	
	段丘堆積物	D2	D2c-3	○	○	(○) *1			—	—
			D2s-3	○	○	—			—	—
D2g-3			○	○	(○) *1	○			—	
D1		1m	—	(○) *1	—	—			—	
		D1c-1	—	—	—	—	—			
		D1g-1	—	(○) *1	—	—	—			
新 第三系	久米層	Km	○	○	○	○	—			
豊浦標準砂		強制的な液状化を仮定する場合に適用				—	文献情報に基づき設定	—		
人工岩盤		○	—	—	—	—	—	原位置試験, 室内試験, 文献情報 に基づき設定		
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 全応力解析に用いる地盤の解析用物性値

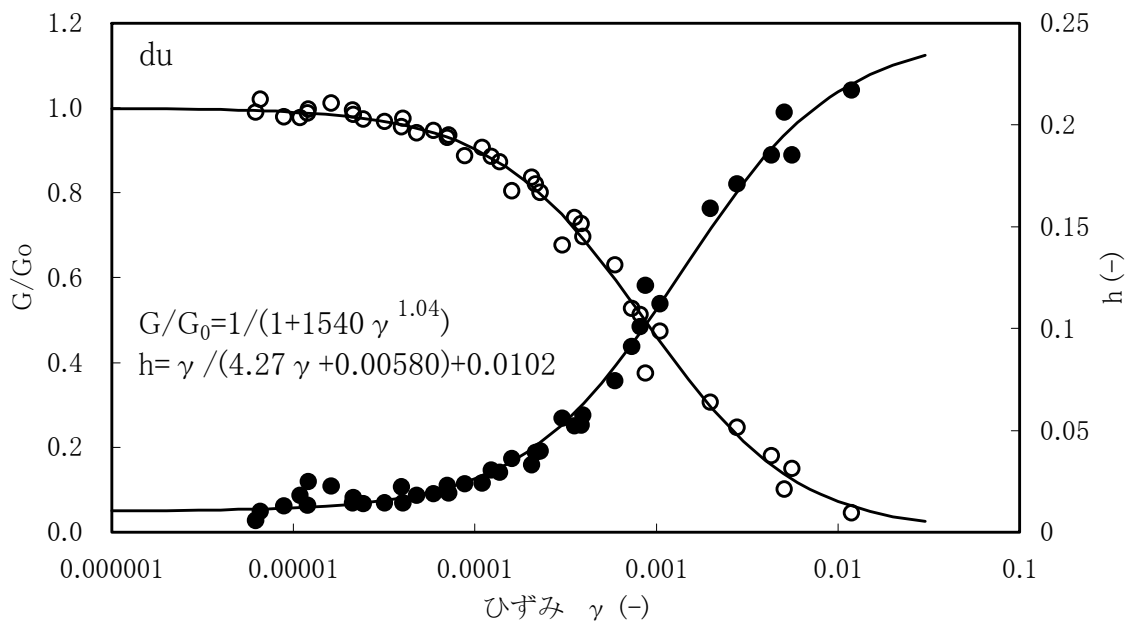
全応力解析に用いる解析用物性値として、設置変更許可申請書に記載された解析用物性値を第 4-1 表及び第 4-1 図～第 4-10 図に、設定根拠を第 4-2 表に示す。全応力解析に用いる解析用物性値については、原位置試験及び室内試験から得られた各種物性値を基に設定した。

第4-1表 全応力解析に用いる解析用物性値

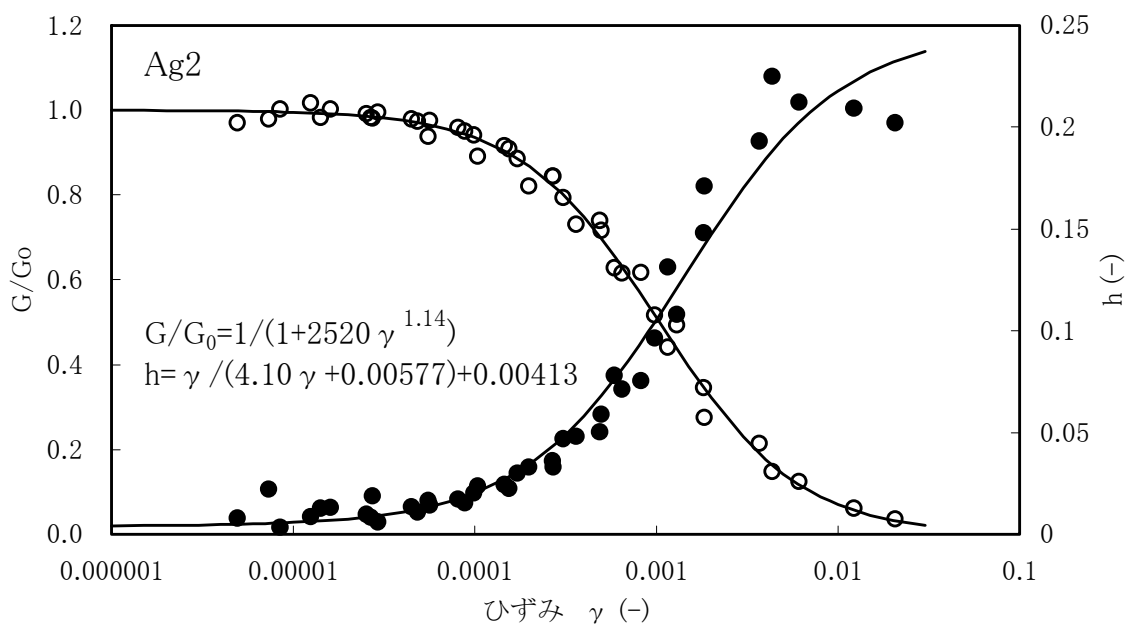
項目	第四系										新第三系		
	f1層	du層	Ag2層	Ac層	As層	Ag1層	D2c-3層	D2s-3層	D2g-3層	1m層	D1c-1層	D1g-1層	Km層
物理特性	密度 ρ_t (g/cm ³) (*1)	1.82	1.89	—	—	—	—	1.77	1.92	2.15	1.43	1.89	—
		1.98	2.01	1.65	1.74	2.01	—	—	—	—	1.47	2.01	1.72-1.03×10 ⁻⁴ ・Z
静的変形特性	静弾性係数 (N/mm ²)	4.00+199・σc'	10.5+142・σc'	11.4	21.1+14.8・σc'	10.5+142・σc'	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
		80.3	109	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
動的変形特性	初期せん断剛性 G ₀ (N/mm ²) (*1)	87.3	116	$\frac{\rho_{sat}}{Vs} \sqrt{1000 \times Vs^2}$ Vs=163-1.54z	$\frac{\rho_{sat}}{Vs} \sqrt{1000 \times Vs^2}$ Vs=211-1.19z	246	129	249	538	24.8	139	306	$\frac{\rho}{Vs} \sqrt{1000 \times Vs^2}$ Vs=433-0.771・Z
		0.385	0.286	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
せん断剛性のひずみ依存性 G/G ₀ ~ γ	動ポアソン比 ν _d (*1)	0.493	0.491	0.486	0.484	0.483	0.488	0.465	0.462	0.494	0.487	0.474	0.463+1.03×10 ⁻⁴ ・Z
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
減衰定数 h ~ γ	せん断剛性のひずみ依存性のひずみ依存性 G/G ₀ ~ γ	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		1+1540γ ^{1.04}	1+2520γ ^{1.14}	1+269γ ^{0.909}	1+422γ ^{0.951}	1+1730γ ^{1.11}	1+269γ ^{0.862}	1+1100γ ^{0.991}	1+237γ ^{0.732}	1+222γ ^{0.975}	1+269γ ^{0.862}	1+2520γ ^{1.14}	1+107γ ^{0.821}
強度特性	ビーク強度 C _u (N/mm ²)	0.491P +0.200	1.12P +0.670	0.242P+0.090	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	備考参照
		0.500P +0.195	1.00P +0.577	0.220P+0.059	1.43P+0.430	1.20P+0.548	0.170P+0.141	0.310P+0.213	0.788P+0.582	0.250P+0.036	0.250P+0.036	1.20P+0.548	$\tau = 0.632 \cdot \sigma$ (σ < 0.572N/mm ²) τ = 0.601 (σ ≥ 0.572N/mm ²)
備考	備考	新第三系の強度特性は右図より設定する。										σ _t = 0.141-0.00114・Z τ _R = 0.364-0.00168・Z C _{cu} = 0.837-0.00346・Z φ = 0° Z: 標高[m], 表示(m)	

注記 *1: 上段は地下水水位面以浅、下段は地下水水位面以深に対する値を示す。

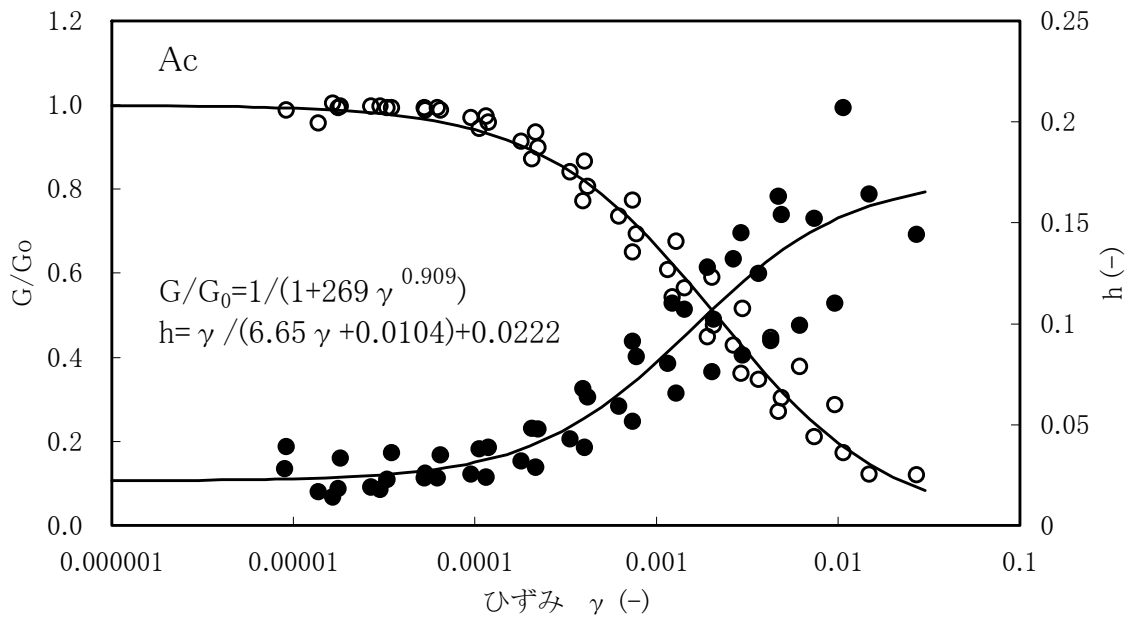
P (N/mm²): 圧密圧力
G/G₀ (-): 剛性低下率
h (-): 減衰定数
ρ_{sat} (g/cm³): 飽和密度
Vs (m/s): せん断波速度
γ (-): せん断ひずみ



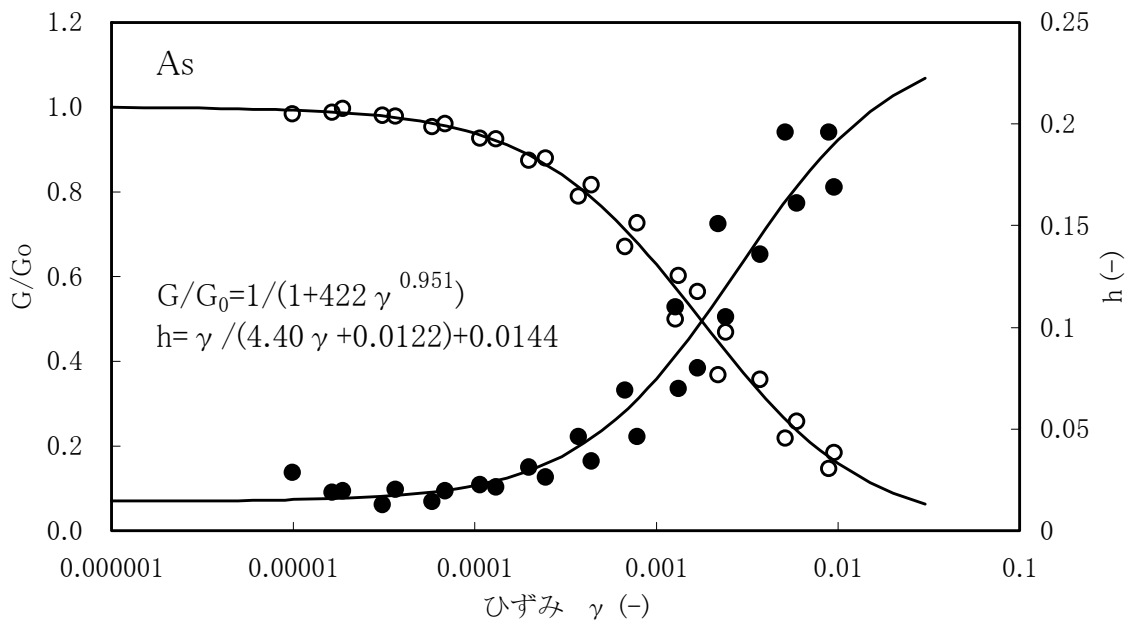
第4-1図 du層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性



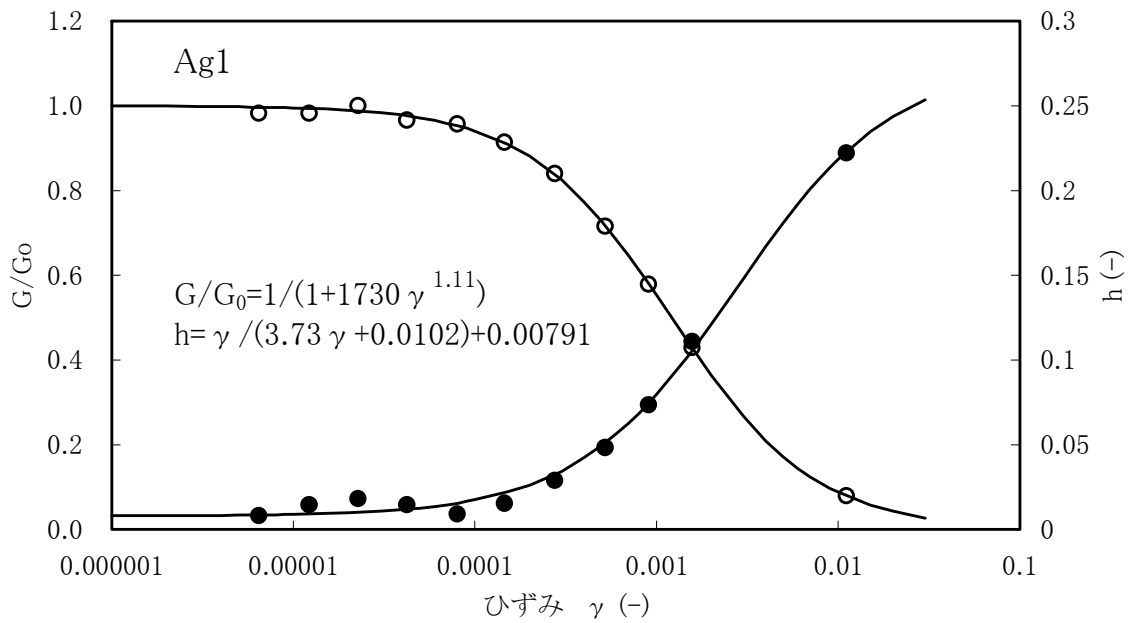
第4-2図 Ag2層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性



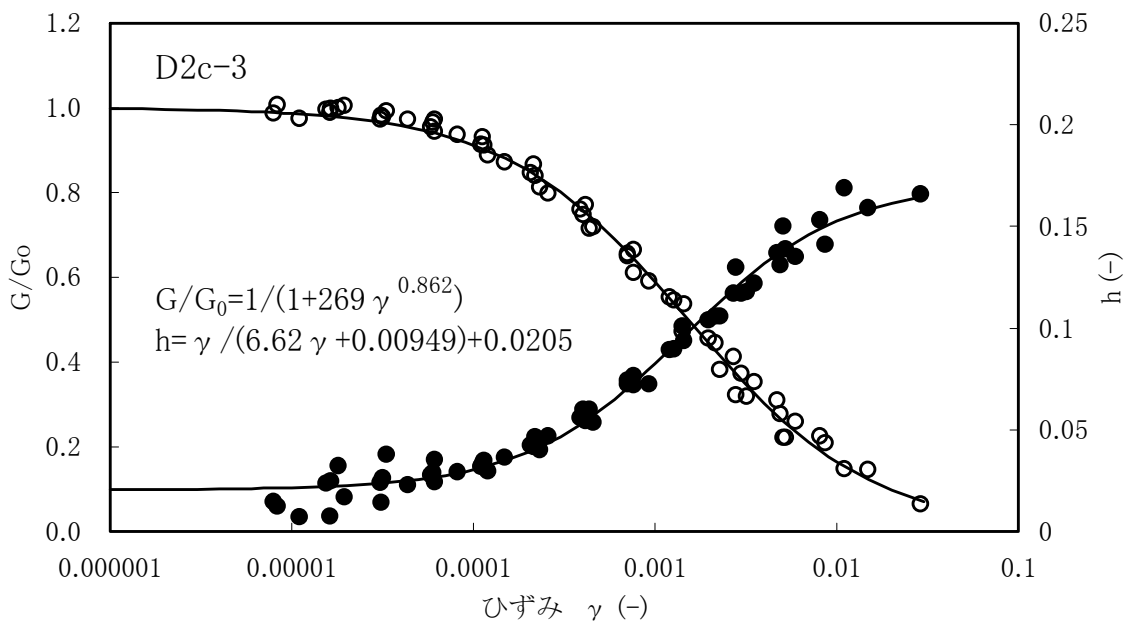
第4-3図 Ac層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性



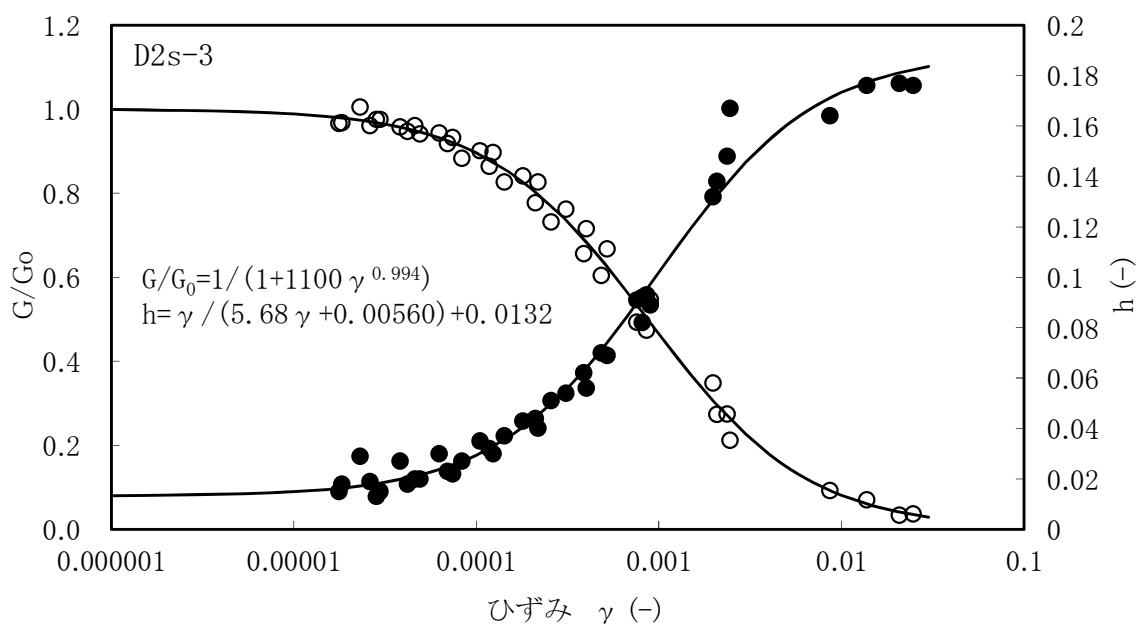
第4-4図 As層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性



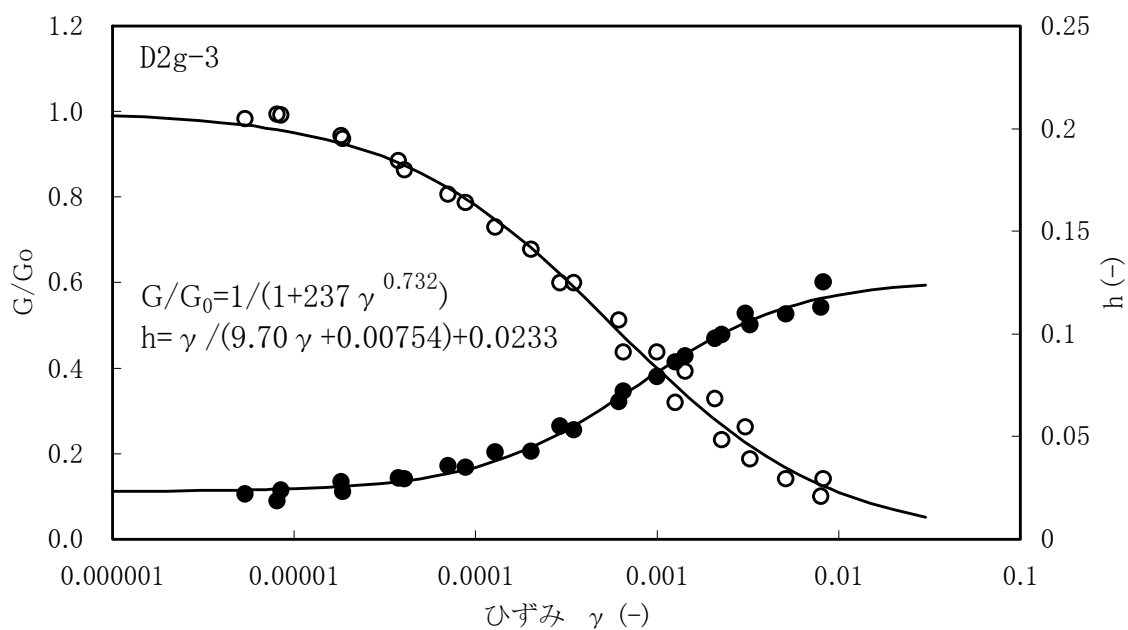
第4-5図 Ag1層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性



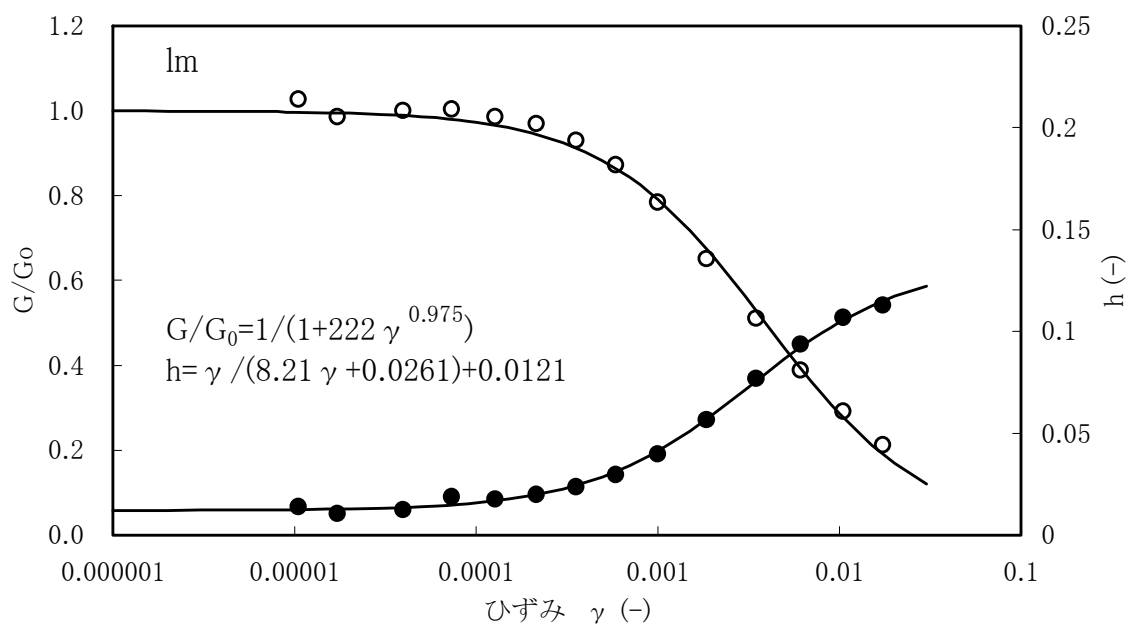
第4-6図 D2c-3層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性



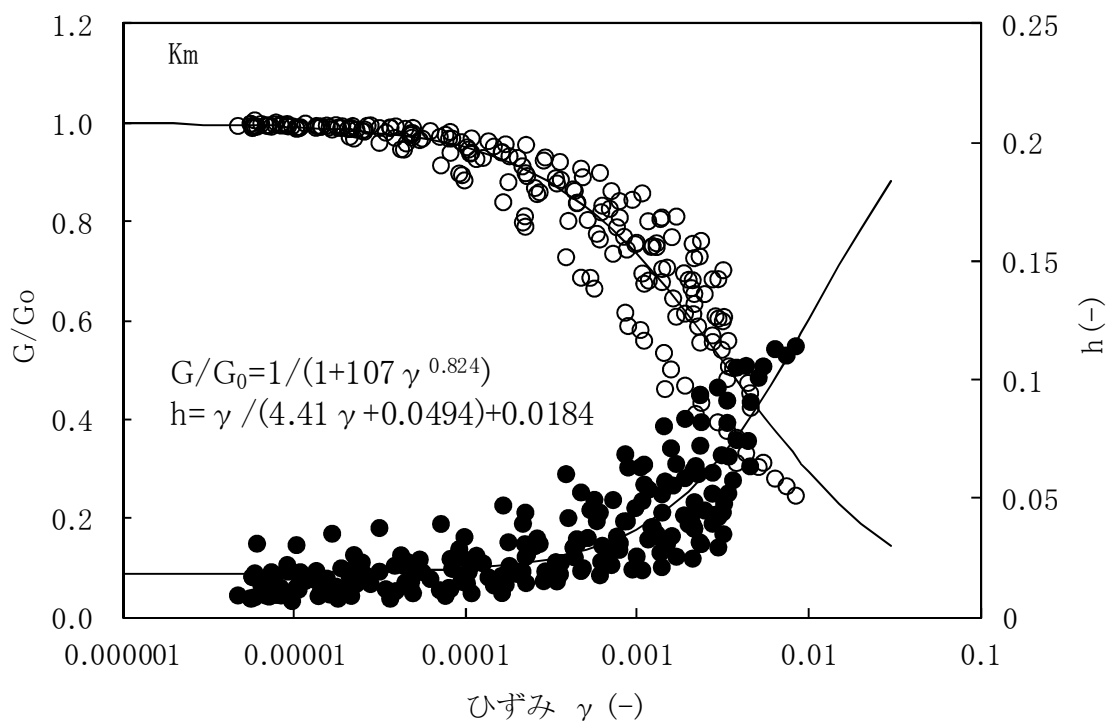
第4-7図 D2s-3層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性



第4-8図 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



第4-9図 1m層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性



第4-10図 Km層の動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性

4.3 その他の解析用物性値

その他の解析用物性値として、人工岩盤及び地盤改良体（セメント改良）の解析用物性値を第4-3表～第4-4表に、その設定根拠を第4-5表～第4-6表に示す。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、第4-3表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）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（社団法人地盤工学会，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））等を参考に第4-4表の通り解析用物性値を設定する。

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。

第4-3表 人工岩盤の解析用物性値

	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。

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

第4-4表 地盤改良体 (セメント改良) の解析用物性値

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)

第4-5表 人工岩盤の解析用物性値の設定根拠

	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）

第4-6表 地盤改良体（セメント改良）の解析用物性値の設定根拠

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）

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。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第 6-1 表に示す。

第 6-1 表 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=-370m)
S波速度 V_s (m/s)	$V_s = 433 - 0.771 \cdot z$ z : 標高 (m)	718 (z=-370m)
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=-370m)
密度 ρ (g/cm ³)	$\rho = 1.72 - 1.03 \times 10^{-4} \cdot z$ z : 標高 (m)	1.76 (z=-370m)
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 第3-1図」に示すボーリング孔を利用して実施した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 を第6-2表に示す。

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。

第6-2表 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