

地盤の液状化の判定法

砂質土と砂質土を改良したボンテラン改良土の液状化抵抗率 F_L の算定

[道路標示方書・同解説Ⅴ耐震設計編に関する参考資料、平成 27 年 3 月、公益社団法人、日本道路協会による。]

1.砂質土の性状

含水比 $w=27.9$ [%]

乾燥密度 $\rho_d=1.402$ [g/cm³]

乾燥単位体積重量 $\gamma_d=\rho_d \cdot g$

$$=1.402 \times 9.8$$

$$=13.74 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

湿潤密度 $\rho_t=1.792$ [g/cm³]

湿潤単位体積重量 $\gamma_t=\rho_t \cdot g$

$$=1.792 \times 9.8$$

$$=17.56 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$\rho_d = \frac{\rho_s}{1+e} \text{ [g/cm}^3\text{]} \text{ より } \dots \dots \dots (1)$$

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \dots \dots \dots (2)$$

ρ_s :土粒子の密度 [g/cm³] ここでは $\rho_s=2.60$ [g/cm³] とする。

e :土の間隙比 [—]

γ_{sat} :飽和単位体積重量

$$\gamma_{sat} = \frac{\rho_s + \rho_w \cdot e}{1+e} \cdot g \text{ [kN/m}^3\text{]} \dots \dots \dots (3)$$

ρ_w : 水の密度 [g/cm³] ここでは $\rho_w=1.00$ [g/cm³] とする。

(2)式より

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

$$= \frac{2.60 - 1.402}{1.402} = 0.854$$

$$\gamma_{sat} = \frac{2.6 + 1.0 \times 0.854}{1 + 0.854} \times 9.8$$

$$= 18.25 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

2. ボンテラン改良土の性状

含水比 $w = 35.7$ [%]

乾燥密度 $\rho_{d-B} = 1.270$ [g/cm³]

$$\begin{aligned}\text{乾燥単位体積重量 } \gamma_{d-B} &= \rho_d \cdot g \\ &= 1.270 \times 9.8 \\ &= 12.45 \text{ [kN/m}^3\text{]}\end{aligned}$$

湿潤密度 $\rho_{t-B} = 1.723$ [g/cm³]

$$\begin{aligned}\text{湿潤単位体積重量 } \gamma_{t-B} &= \rho_{t-B} \cdot g \\ &= 1.723 \times 9.8 \\ &= 16.88 \text{ [kN/m}^3\text{]}\end{aligned}$$

$$\rho_{d-B} = \frac{\rho_s}{1+e} \text{ [g/cm}^3\text{] より } \dots \dots \dots (1)$$

$$e = \frac{\rho_s - \rho_{d-B}}{\rho_{d-B}} \text{ [-] } \dots \dots \dots (2)$$

ρ_s : 土粒子の密度 [g/cm³] ここでは $\rho_s = 2.60$ [g/cm³] とする。

e : 土の間隙比 [-]

γ_{sat} : 飽和単位体積重量

$$\gamma_{sat} = \frac{\rho_s + \rho_w \cdot e}{1+e} \cdot g \text{ [kN/m}^3\text{] } \dots \dots \dots (3)$$

ρ_w : 水の密度 [g/cm³] ここでは $\rho_w = 1.00$ [g/cm³] とする。

(2)式より

$$e = \frac{\rho_s - \rho_{d-B}}{\rho_{d-B}}$$

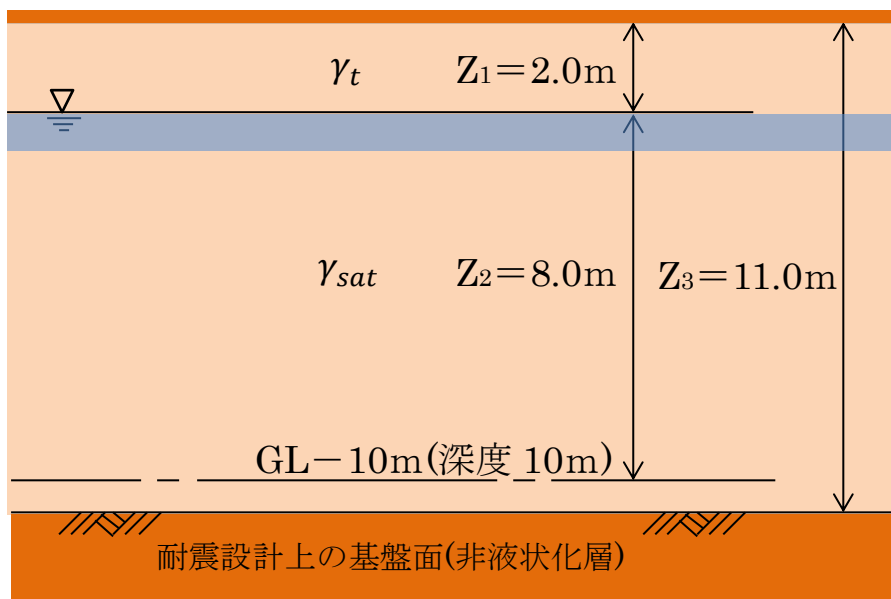
$$= \frac{2.60 - 1.27}{1.27} = 1.05$$

$$\gamma_{sat} = \frac{2.6 + 1.0 \times 1.05}{1 + 1.05} \times 9.8$$

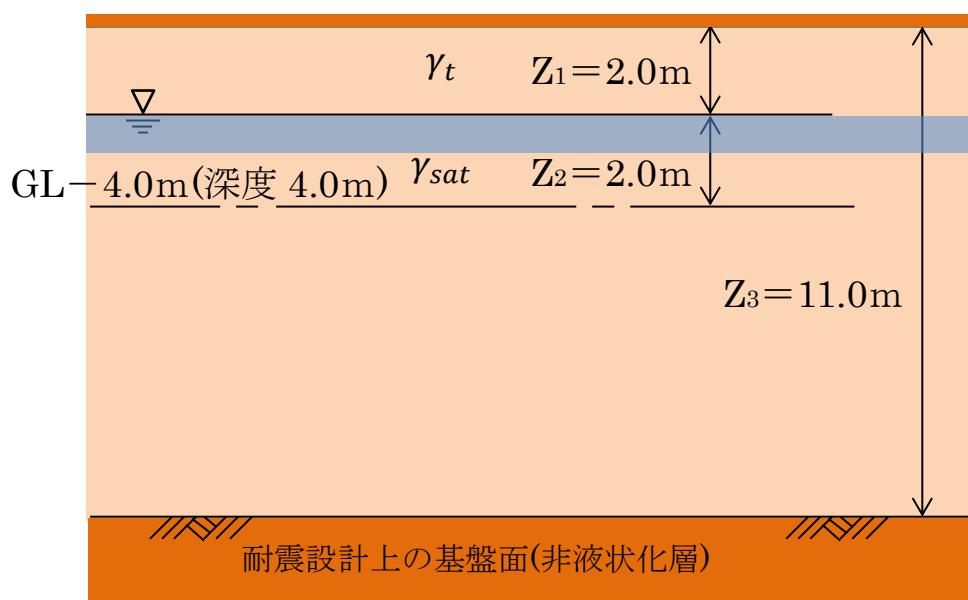
$$= 17.45 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

3.地層条件

①深度 GL-10m の場合



②深度 GL-4m の場合



4.液状化に対する抵抗率 F_L の算定

$$F_L = \frac{\text{動的せん断強度比}}{\text{地震時せん断応力比}} = \frac{R}{L}$$

$$L = \gamma_m \cdot \gamma_d \frac{\alpha_{smax}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v}$$

ここに

γ_d : せん断応力に関する補正係数

$$\gamma_d = 1 - 0.015Z$$

γ_m : L を最大せん断応力で評価する場合は 1

α_{smax} : 地表面における最大水平加速度

σ_v : 鉛直全応力

σ'_v : 鉛直有効応力

$$R = \frac{\sigma_d}{2\sigma'_0}$$

σ'_0 : 土の繰返し非排水三軸試験における有効拘束圧 [kN/m²]

σ_d : 土の繰返し非排水三軸試験における繰返し軸差応力 [kN/m²]

F_L の算定結果

①GL-10〔m〕の場合

		砂質土			ボンテラン改良土		
深度 GL-10〔m〕		Z ₁ +Z ₂ =10〔m〕			Z ₁ +Z ₂ =10〔m〕		
全上載圧 σ_v 〔kN/m ² 〕		181.1			173.4		
有効上載圧 σ'_v 〔kN/m ² 〕		102.7			95.0		
地震の 外力	地表面加速度 α_{max} 〔cm/s ² 〕	150	200	350	150	200	350
	低減係数 γ_d $\gamma_d=1-0.015 \cdot Z$	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
	深度Zにおける せん断応力最大値 $T_{dmax}=\alpha_{max} \cdot \gamma_d \cdot \frac{\sigma_v}{g}$	23.6	31.4	55.0	22.6	30.1	52.6
	地震時最大せん断応力比 $L=\frac{T_{dmax}}{\sigma'_v}$	0.23	0.31	0.54	0.24	0.32	0.55
	動的せん断応強度比 $R=\frac{\sigma_d}{2\sigma'_v}$	0.135	0.135	0.135	1.104	1.104	1.104
	F_L 値 $F_L=\frac{R}{L}$	0.59	0.44	0.25	4.60	3.45	2.00
$\frac{F_L(\text{ボンテラン})}{F_L(\text{砂質土})}$		$\frac{4.60}{0.59}=7.80$	$\frac{3.45}{0.44}=7.84$	$\frac{2.00}{0.25}=8.0$			

・全上載圧 σ_v の計算(砂質土)

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \gamma_t \cdot Z_1 + \gamma_{sat} \cdot Z_2 \\ &= 17.56 \times 2.0 + 18.25 \times 8.0 \\ &= 181.1 \text{ 〔kN/m}^2\text{〕}\end{aligned}$$

・全上載圧 σ_v の計算(ボンテラン改良土)

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \gamma_{t-B} \cdot Z_1 + \gamma_{sat-B} \cdot Z_2 \\ &= 16.88 \times 2.0 + 17.45 \times 8.0 \\ &= 173.4 \text{ 〔kN/m}^2\text{〕}\end{aligned}$$

・有効上載圧 σ'_v の計算(砂質土)

$$\begin{aligned}\sigma'_v &= \gamma_t \cdot Z_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot Z_2 \\ &= 17.56 \times 2.0 + (18.25 - 9.8) \times 8.0 \\ &= 102.7 \text{ 〔kN/m}^2\text{〕}\end{aligned}$$

・有効上載圧 σ'_v の計算(ボンテラン改良土)

$$\begin{aligned}\sigma'_v &= \gamma_{t-B} \cdot Z_1 + (\gamma_{sat-B} - \gamma_w) \cdot Z_2 \\ &= 16.88 \times 2.0 + (17.45 - 9.8) \times 8.0 \\ &= 95.0 \text{ 〔kN/m}^2\text{〕}\end{aligned}$$

②GL-4〔m〕の場合

		砂質土			ボンテラン改良土		
深度 GL-4〔m〕		Z ₁ +Z ₂ =4〔m〕			Z ₁ +Z ₂ =4〔m〕		
全上載圧 σ_v 〔kN/m ² 〕		71.6			68.7		
有効上載圧 σ'_v 〔kN/m ² 〕		52.0			49.1		
地震 の 外力	地表面加速度 α_{max} 〔cm/s ² 〕	150	200	350	150	200	350
	低減係数 γ_d $\gamma_d = 1 - 0.015 \cdot Z$	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
	深度Zにおける せん断応力最大値 $T_{dmax} = \alpha_{max} \cdot \gamma_d \cdot \frac{\sigma_v}{g}$	10.3	13.7	24.0	9.9	13.2	23.1
	地震時最大せん断応力比 $L = \frac{T_{dmax}}{\sigma'_v}$	0.2	0.26	0.46	0.20	0.26	0.47
	動的せん断応強度比 $R = \frac{\sigma_d}{2\sigma'_v}$	0.135	0.135	0.135	1.104	1.104	1.104
	F_L 値 $F_L = \frac{R}{L}$	0.68	0.52	0.29	5.52	4.25	2.35
$\frac{F_L(\text{ボンテラン})}{F_L(\text{砂質土})}$		$\frac{5.52}{0.68} = 8.12$	$\frac{4.25}{0.52} = 8.17$	$\frac{2.35}{0.29} = 8.10$			

・全上載圧 σ_v の計算(砂質土)

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \gamma_t \cdot Z_1 + \gamma_{sat} \cdot Z_2 \\ &= 17.56 \times 2.0 + 18.25 \times 2.0 \\ &= 71.6 \text{ 〔kN/m}^2\text{〕}\end{aligned}$$

・全上載圧 σ_v の計算(ボンテラン改良土)

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \gamma_{t-B} \cdot Z_1 + \gamma_{sat-B} \cdot Z_2 \\ &= 16.88 \times 2.0 + 17.45 \times 2.0 \\ &= 68.7 \text{ 〔kN/m}^2\text{〕}\end{aligned}$$

・有効上載圧 σ'_v の計算(砂質土)

$$\begin{aligned}\sigma'_v &= \gamma_t \cdot Z_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot Z_2 \\ &= 17.56 \times 2.0 + (18.25 - 9.8) \times 2.0 \\ &= 52.0 \text{ 〔kN/m}^2\text{〕}\end{aligned}$$

・有効上載圧 σ'_v の計算(ボンテラン改良土)

$$\begin{aligned}\sigma'_v &= \gamma_{t-B} \cdot Z_1 + (\gamma_{sat-B} - \gamma_w) \cdot Z_2 \\ &= 16.88 \times 2.0 + (17.45 - 9.8) \times 2.0 \\ &= 49.1 \text{ 〔kN/m}^2\text{〕}\end{aligned}$$

JGS	0541	土の繰返し非排水三軸試験（応力比－繰返し回数）	
-----	------	-------------------------	--

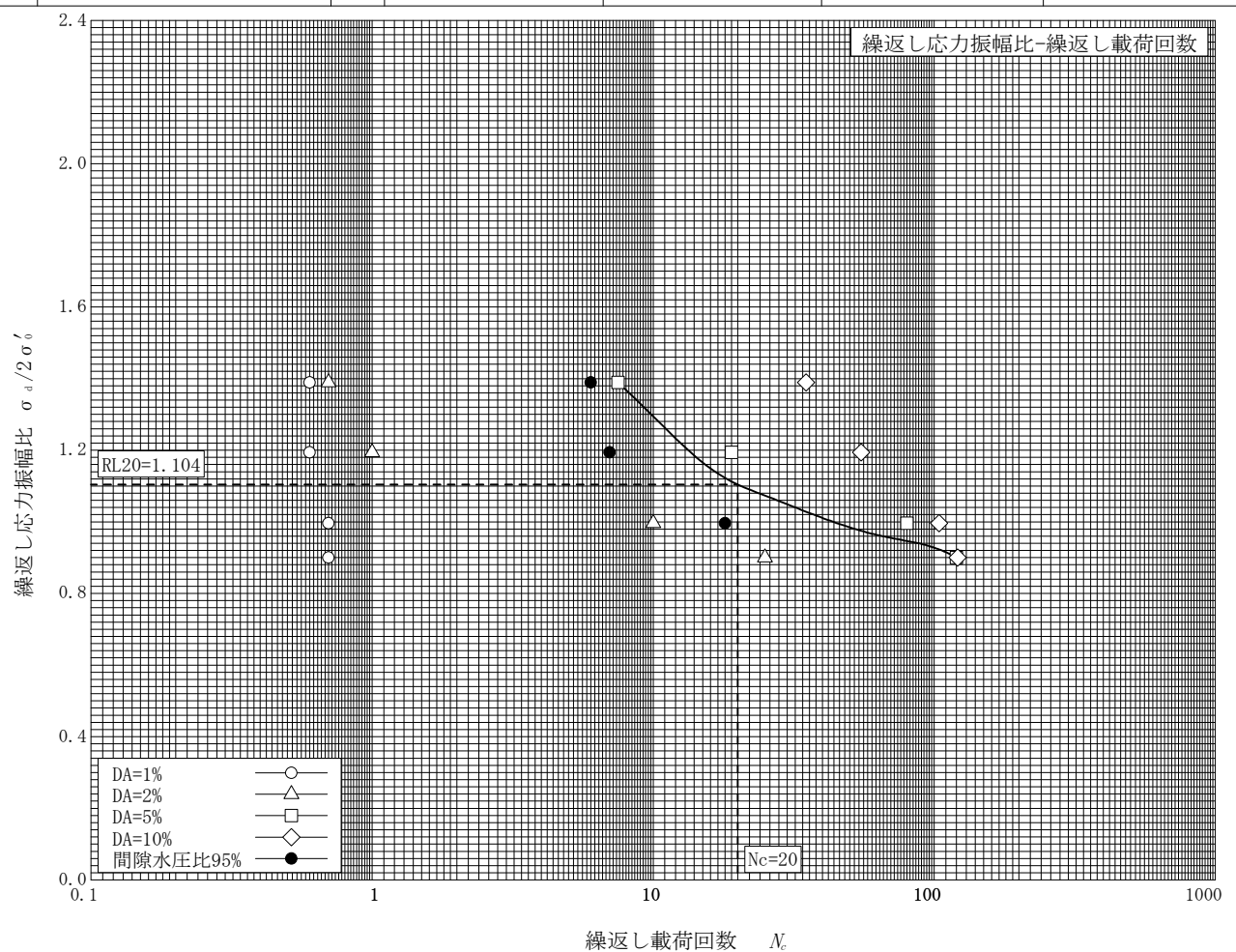
調査件名 津波対策

試験年月日 2012年 3月 20日

試料番号（深さ） ボンテラン

試験者 田村 浩由

土 質 名 称				試験装置	荷 重 計 容 量 N （ 位 置 ）				
試験条件	背 圧 u_b		kN/m ²		200	載荷ピストン摩擦補正			
	圧 密 応 力 σ'_c		kN/m ²		50	間隙水圧測定経路体積変化 cm ³ /kN/m ²			
	有 効 拘 束 圧 σ'_o		kN/m ²		50				
載 荷 波 形				ゴムスリーブ	材 質				
載 荷 周 波 数 f Hz					厚 さ mm				
					ゴムスリーブ貫入量				
供 試 体 No.				1	2		3	4	
乾 燥 密 度 ρ_{dc} g/cm ³				1.280	1.289		1.273	1.256	
間 隙 比 e_c									
相 対 密 度 D_{rc} %									
繰 返 し 軸 差 応 力 σ_d kN/m ²				99.622	119.444		138.874	90.025	
繰 返 し 応 力 振 幅 比 $\sigma_d/2\sigma'_o$				0.996	1.194		1.389	0.900	
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	$DA = 1\%$		○	0.7	0.6	0.6	0.7	
		2%		△	10	1.0	0.7	25	
		5%		□	80	19	7.5	120	
		10%		◇	104	55	35	121	
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		●	18	7.0		6.0		



特記事項

[1kN/m² ≒ 0.102kgf/cm²]

JGS	0541	土の繰返し非排水三軸試験（応力比－繰返し回数）	
-----	------	-------------------------	--

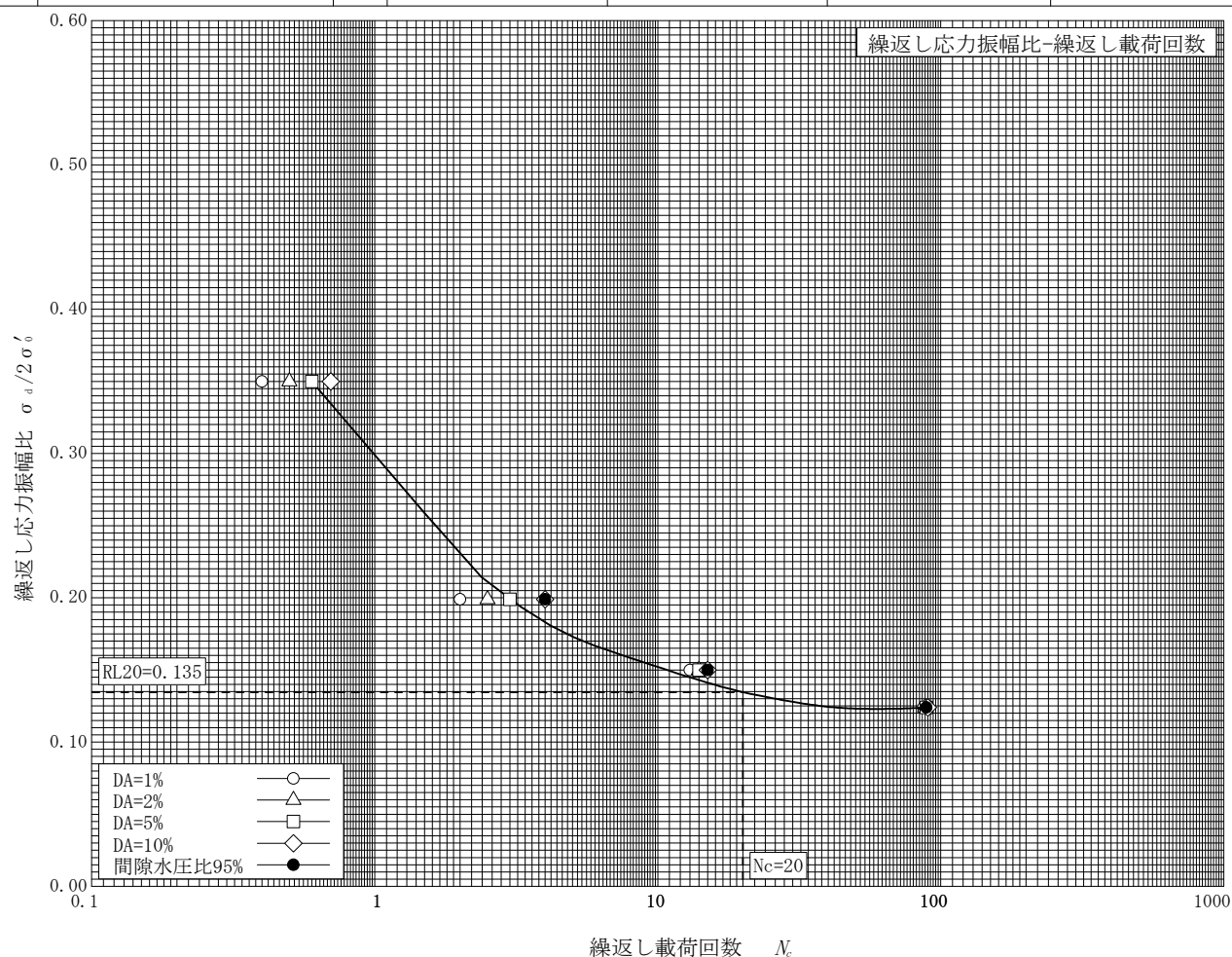
調査件名 津波対策

試験年月日 2012年 4月 10日

試料番号（深さ） 1

試験者 田村 浩由

土 質 名 称				試験装置	荷 重 計 容 量 N （ 位 置 ）			
試験条件	背 圧 u_b		kN/m ²		200	載荷ピストン摩擦補正		
	圧 密 応 力 σ'_c		kN/m ²		50	間隙水圧測定経路体積変化 $\text{cm}^3/\text{kN/m}^2$		
	有 効 拘 束 圧 σ'_o		kN/m ²		50			
載 荷 波 形				ゴムスリーブ	材 質			
載 荷 周 波 数 f					厚 さ mm			
					ゴムスリーブ貫入量			
供 試 体 No.				1	2	3	4	
乾 燥 密 度 ρ_{dc}				g/cm ³	1.408	1.415	1.427	1.407
間 隙 比 e_c								
相 対 密 度 D_{rc}				%				
繰 返 し 軸 差 応 力 σ_d				kN/m ²	34.967	19.855	12.445	14.990
繰 返 し 応 力 振 幅 比 $\sigma_d/2\sigma'_o$					0.350	0.199	0.124	0.150
繰返し載荷回数	軸ひずみの両振幅	$DA = 1\%$		○	0.4	2.0	87	13
		2%		△	0.5	2.5	88	14
		5%		□	0.6	3.0	89	14
		10%		◇	0.7	4.0	90	15
	過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		●		4.0	89	15	



特記事項

[1kN/m² ≒ 0.102kgf/cm²]