

液状化判定 検討書

(地点名： BV-1 (水平地盤))

業務名： 液状化対策工法設計・施工マニュアル (案)

地区名： < 試設計例 >

備考： 平成11年3月

1. 設計条件

適用基準 : 「建築基礎構造設計指針 2019. 11 (一社)日本建築学会」

地点名 : BV-1 (水平地盤)

設計地震動 : レベル1およびレベル2

マグニチュード : M = 7. 5

設計水平加速度 : $\alpha_{max} = 2. 0 \text{ (m/s}^2\text{)}$ (レベル1) $3. 5 \text{ (m/s}^2\text{)}$ (レベル2)

N値補正係数(C_{sb}) : 考慮する

上載荷重 : — (kN/m²)

地下水位 : $h_w = 1. 000 \text{ (m)}$

耐震設計上の基盤面 : 26. 000 (m)

液状化の判定深度 : 20. 000 (m)以内

2. 土質条件

2. 1 地層データ

地層 No	深度 (調査) z (m)	堆積 時代	適用 土質	層厚 H_i (m)	単位体積重量			非 液状化 層	N値 補正 C_{sb}
					水位上 γ_{t1} (kN/m ³)	水位下 γ_{t2} (kN/m ³)	有効 γ'_{t2} (kN/m ³)		
1層	6. 000	沖積世	砂質土	6. 000	17. 0	19. 5	9. 5	—	○
2層	26. 000	沖積世	粘性土	20. 000		19. 5	9. 5	○	—

$\gamma'_{t2} = \gamma_{t2} - \gamma_w$ (γ_w : 水の単位体積重量 = 10. 0 (kN/m³))

2.2 N値データ

No	深度 (調査) z (m)	N値 N	地層 No	深度 (調査) z (m)	堆積 時代	適用 土質	層厚 H _i (m)	平均N値 N _i
1	1.001	3.9	1層	6.000	沖積世	砂質土	6.000	4.800
2	2.000	4.4						
3	3.000	4.8						
4	4.000	5.2						
5	5.000	5.7						
6	6.000	6.1						

2.3 試験データ

No	深度 (調査) z (m)	細粒分 含有率 F _C (%)	粘土分 含有率 C _c (%)	塑性 指数 I _p	50% 粒径 D ₅₀ (mm)	液状化抵抗比 τ_L / σ'_z	
						(N値)	(試験値)
1	6.000	15.0		15.0	1.999	○	—

(N値)・・・N値から算出

3. 液状化の判定

本適用基準では、液状化の判定を行う必要がある土層として、次のように示されている。

液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、原則的に地表面から20m程度以浅の土層で、考慮すべき土の種類は、細粒分含有率が 35%以下の土とする。ただし、埋立地盤等の造成地盤で、地表面から20m程度以深まで連続している場合には、造成地盤の下端まで液状化判定を行う必要がある。また、埋立地盤等の造成地盤では、細粒分含有率が 35%以上の低塑性シルト、液性限界に近い含水比を持ったシルトなどが液状化した事例も報告されているので、粘土分(0.005mm以下の粒径を持つ土粒子)含有率が 10%以下、または塑性指数が 15 以下の埋立地盤あるいは盛土地盤については液状化の検討を行う。

以下に液状化判定の必要性を検討し、該当する土層については液状化の判定を行う。

地下水位 : $h_w = 1.000 \text{ (m)}$

耐震設計上の基盤面: 26.000 (m)

液状化の判定深度 : 20.000 (m) 以内

No	深度 (調査) z (m)	N値 N	堆積 時代	適用 土質	細粒分 含有率 F _c (%)	粘土分 含有率 C _c (%)	塑性 指数 I _p	液状化判定 (F _L 算出)		
								判定深度 以内の 飽和土層	F _c ≤ 35% C _c ≤ 10% I _p ≤ 15	結果
1	1.001	3.9	沖積世	砂質土	15.0		15.0	○	○	する
2	2.000	4.4	沖積世	砂質土	15.0		15.0	○	○	する
3	3.000	4.8	沖積世	砂質土	15.0		15.0	○	○	する
4	4.000	5.2	沖積世	砂質土	15.0		15.0	○	○	する
5	5.000	5.7	沖積世	砂質土	15.0		15.0	○	○	する
6	6.000	6.1	沖積世	砂質土	15.0		15.0	○	○	する

○ : 該当する ー : 該当しない

4. 深度毎の土被り圧

深度毎の全土被り圧 σ_z 、有効土被り圧 σ'_z (および σ'_{zb}) は、次式により求める。

$$\sigma_z = \begin{cases} \gamma_{t1} H_i + \sigma_{zi-1} & \text{(水位より上層の場合)} \\ \gamma_{t2} H_i + \sigma_{zi-1} & \text{(水位より下層の場合)} \end{cases}$$

$$\sigma'_z = \begin{cases} \gamma_{t1} H_i + \sigma'_{zi-1} & \text{(水位より上層の場合)} \\ \gamma'_{t2} H_i + \sigma'_{zi-1} & \text{(水位より下層の場合)} \end{cases}$$

$$\sigma'_{zb} = \begin{cases} \gamma_{t1} H_i + \sigma'_{zbi-1} & \text{(水位より上層の場合)} \\ \gamma'_{t2} H_i + \sigma'_{zbi-1} & \text{(水位より下層の場合)} \end{cases}$$

- σ_z : 全土被り圧 (kN/m²)
- σ'_z : 有効土被り圧 (kN/m²)
- σ'_{zb} : 標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効土被り圧 (kN/m²)
- γ_{t1} : 地下水位面より浅い位置での土の単位体積重量 (kN/m³)
- γ_{t2} : 地下水位面より深い位置での土の単位体積重量 (kN/m³)
- γ'_{t2} : 地下水位面より深い位置での土の有効単位体積重量 (kN/m³)
- H_i : 層厚 (m)

No	深度 (調査) z (m)	層厚 H _i (m)	境界	単位体積重量			全土被り圧 σ_z (kN/m ²)	有効 土被り圧 σ'_z (kN/m ²)	有効土被り圧 (調査) σ'_{zb} (kN/m ²)
				水位上 γ_{t1} (kN/m ³)	水位下 γ_{t2} (kN/m ³)	有効 γ'_{t2} (kN/m ³)			
1	0.000	—					0.00	0.00	—
2	1.000	1.000	水位				17.00	17.00	17.00
3	1.001	0.001					17.02	17.01	17.01
4	2.000	0.999					36.50	26.50	26.50
5	3.000	1.000					56.00	36.00	36.00
6	4.000	1.000					75.50	45.50	45.50
7	5.000	1.000					95.00	55.00	55.00
8	6.000	1.000		17.0	19.5	9.5	114.50	64.50	64.50
9	26.000	20.000			19.5	9.5	504.50	254.50	254.50

5. 繰返しせん断応力比

繰返しせん断応力比 τ_d/σ'_z は、次式により求める。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = r_n \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} r_d$$

$$r_d = 1.0 - 0.015z$$

τ_d/σ'_z : 繰返しせん断応力比

r_n : 等価の繰返し回数に関する補正係数で 0.1(M-1) で算出 (= 0.65)

M : マグニチュード (= 7.5)

α_{max} : 地表面における設計水平加速度 (= 2.0 (m/s²) (レベル1) 3.5 (m/s²) (レベル2))

g : 重力加速度 (= 9.8 (m/s²))

σ_z : 全土被り圧 (kN/m²)

σ'_z : 有効土被り圧 (kN/m²)

r_d : 地盤が剛体でないことによる低減係数

z : 深度 (m)

No	深度 (調査) z (m)	N値 N	全土被り圧 σ_z (kN/m ²)	有効 土被り圧 σ'_z (kN/m ²)	低減係数 r_d	(レベル1)	(レベル2)
						せん断応力比 τ_d/σ'_z	せん断応力比 τ_d/σ'_z
1	1.001	3.9	17.02	17.01	0.985	0.131	0.229
2	2.000	4.4	36.50	26.50	0.970	0.177	0.310
3	3.000	4.8	56.00	36.00	0.955	0.197	0.345
4	4.000	5.2	75.50	45.50	0.940	0.207	0.362
5	5.000	5.7	95.00	55.00	0.925	0.212	0.371
6	6.000	6.1	114.50	64.50	0.910	0.214	0.375

6. 液状化抵抗比

下図の限界せん断ひずみ曲線5%を用いて、補正N値 (N_a) に対する液状化抵抗比 τ_L/σ'_z を求める。

$$\frac{\tau_L}{\sigma'_z} = a C_r \left\{ \frac{16\sqrt{N_a}}{100} + \left(\frac{16\sqrt{N_a}}{C_s} \right)^n \right\}$$

τ_L/σ'_z : 液状化抵抗比

a : 係数 (=0.45)

C_r : 係数 (=0.57)

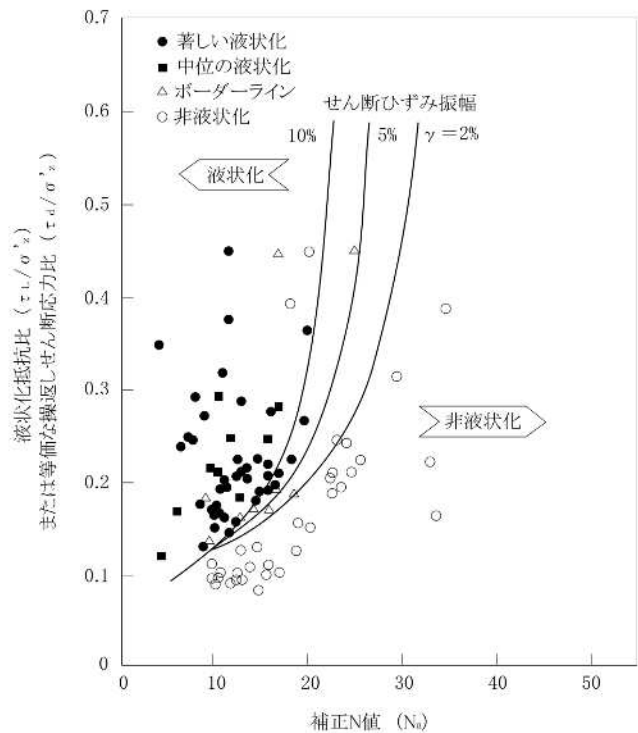
C_s : 係数 $C_s = 94 - 19 \log_{10} \gamma$

γ : せん断ひずみ(片)振幅(%)

N_a : 補正N値

n : 係数 (=14)

ここで、 $N_a < 6.00$ の場合は $\tau_L/\sigma'_z = 0.07$ 、
 $N_a > 26.00$ の場合は $\tau_L/\sigma'_z = 0.60$ とする。



補正N値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係

また、補正N値 (N_a) は、次式により求める。なお、砂礫地盤のN値補正係数 (C_{sb}) を考慮する。

$$N_a = N_1 \cdot C_{sb} + \Delta N_f$$

$$N_1 = C_N \cdot N$$

$$C_N = \sqrt{100/\sigma'_{zb}}$$

N_a : 補正N値

N_1 : 換算N値

C_N : 拘束圧に関する換算係数

N : 標準貫入試験から得られるN値

σ'_{zb} : 標準貫入試験を行ったときの地表面からの
 深さにおける有効土被り圧 (kN/m^2)

ΔN_f : 細粒分含有率に応じた補正N値増分

$$\Delta N_f = \begin{cases} 1.2F_c - 6 & (5\% < F_c \leq 10\%) \\ 0.2F_c + 4 & (10\% < F_c \leq 20\%) \\ 0.1F_c + 6 & (20\% < F_c \leq 50\%) \end{cases}$$

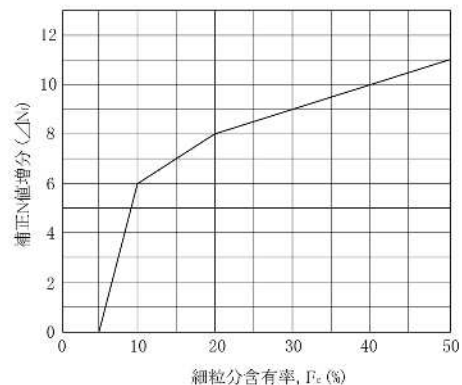
ここで、 $F_c \leq 5\%$ の場合は $\Delta N_f = 0$ 、

$F_c > 50\%$ の場合は $\Delta N_f = 11$ とする。

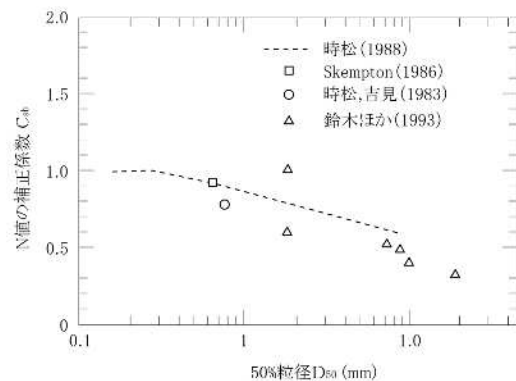
C_{sb} : 砂礫地盤のN値補正係数

ここで、 $D_{50} < 0.250 \text{ mm}$ の場合は

$C_{sb} = 1.000$ とする。



細粒分含有率とN値の補正係数



砂礫地盤のN値補正係数

No	深度 (調査) z (m)	N値 N	細粒分 含有率 F _c (%)	50% 粒径 D ₅₀ (mm)	有効土被り 圧(調査) σ'_{zb} (kN/m ²)	換算 係数 C _N	換算 N値 N ₁	N値 補正 C _{sb}	N値 増分 ΔN_f	補正 N値 N _a	液状化抵抗比 τ_L / σ'_z
1	1.001	3.9	15.0	1.999	17.010	2.425	9.458	0.775	7.000	14.330	0.160
2	2.000	4.4	15.0	1.999	26.500	1.943	8.549	0.775	7.000	13.626	0.155
3	3.000	4.8	15.0	1.999	36.000	1.667	8.002	0.775	7.000	13.201	0.152
4	4.000	5.2	15.0	1.999	45.500	1.482	7.706	0.775	7.000	12.972	0.150
5	5.000	5.7	15.0	1.999	55.000	1.348	7.684	0.775	7.000	12.955	0.150
6	6.000	6.1	15.0	1.999	64.500	1.245	7.595	0.775	7.000	12.886	0.150

7. 液状化に対する安全率

液状化に対する安全率 F_L は次式により算出し、この値が1.0以下の土層については液状化するとみなすものとする。

$$F_L = \frac{\tau_L / \sigma'_z}{\tau_d / \sigma'_z}$$

F_L : 液状化に対する安全率

τ_L / σ'_z : 液状化抵抗比

τ_d / σ'_z : 繰返しせん断応力比

No	深度 (調査) z (m)	N値 N	液状化 判定 (F_L 算出)	液状化 抵抗比 τ_L / σ'_z	(レベル1)		(レベル2)	
					せん断 応力比 τ_d / σ'_z	安全率 F_L	せん断 応力比 τ_d / σ'_z	安全率 F_L
1	1.001	3.9	する	0.160	0.131	1.221	0.229	0.699
2	2.000	4.4	する	0.155	0.177	0.876	0.310	0.500
3	3.000	4.8	する	0.152	0.197	0.772	0.345	0.441
4	4.000	5.2	する	0.150	0.207	0.725	0.362	0.414
5	5.000	5.7	する	0.150	0.212	0.708	0.371	0.404
6	6.000	6.1	する	0.150	0.214	0.701	0.375	0.400

8. 液状化指数

液状化の範囲、程度については、深さ方向の分布および周辺地盤の状況等から総合的に判断する必要がある。
この場合、次式より算定される液状化指数 P_L (液状化抵抗率の深さ方向の変化から、液状化の激しさの程度を表す指標)が目安となる。

$$P_L = \int_0^{20} (1-F_L) (10-0.5x) dx$$

この積分は、 F_L 値が連続的でないために次式にて算出する。

$$P_L = \sum \frac{p_{Li-1} + p_{Li}}{2} H_i$$

$$p_{Li} = (1-F_L) (10-0.5x)$$

P_L : 液状化指数 (m^2)

p_{Li} : 深度 x に対する液状化指数 (m)

F_L : 液状化に対する抵抗率 ($F_L \geq 1$ の場合は $F_L=1$ とする)

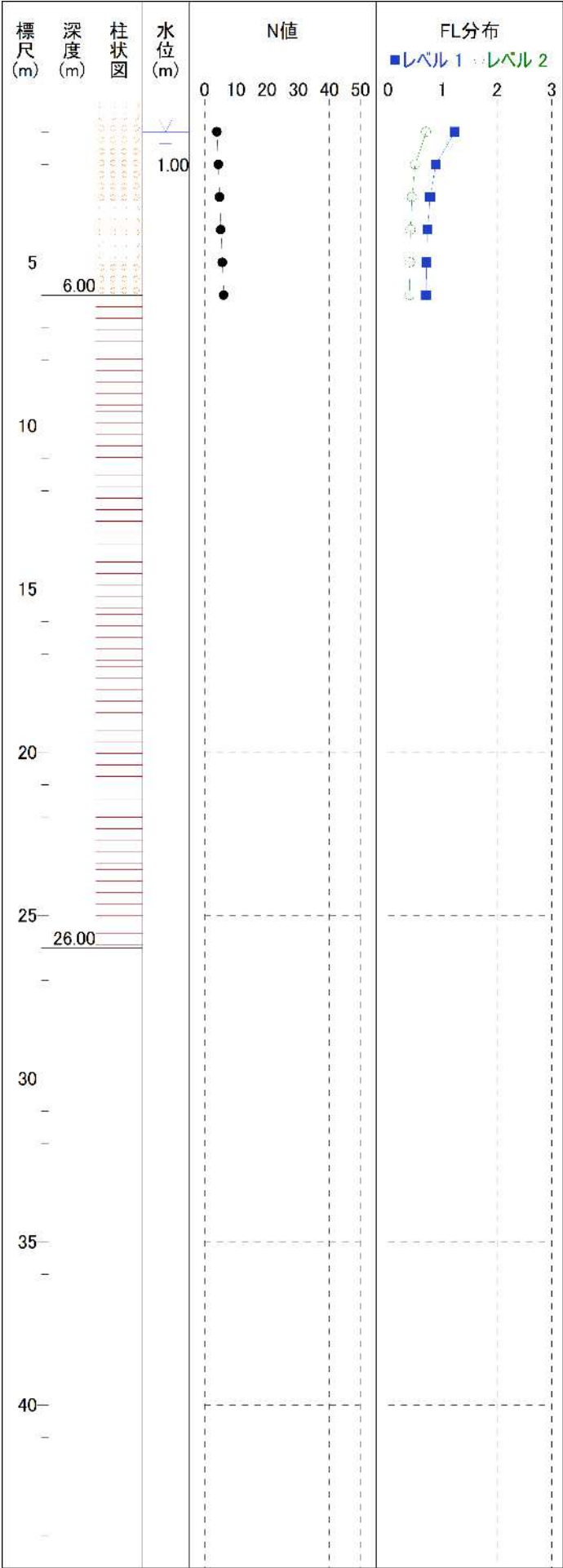
H_i : 層厚 (m)

x : 深度 (m)

No	深度 (調査) x (m)	層厚 H_i (m)	境界	(レベル1)			(レベル2)		
				液状化 抵抗率 F_L	液状化指数		液状化 抵抗率 F_L	液状化指数	
					p_{Li} (m)	P_L (m^2)		p_{Li} (m)	P_L (m^2)
1	1.000	1.000	水位	1.221	0.000	—	0.699	2.859	—
2	1.001	0.001		1.221	0.000	0.000	0.699	2.859	0.003
3	2.000	0.999		0.876	1.116	0.557	0.500	4.500	3.676
4	3.000	1.000		0.772	1.938	1.527	0.441	4.752	4.626
5	4.000	1.000		0.725	2.200	2.069	0.414	4.688	4.720
6	5.000	1.000		0.708	2.190	2.195	0.404	4.470	4.579
7	6.000	1.000		0.701	2.093	2.142	0.400	4.200	4.335
				計		8.490	計		21.939

※地下水位の F_L は直下深度と同等にした

9. FL分布図



深度 (調査) z (m)	N値 N	(レベル1)		(レベル2)	
		液状化 安全率 FL	判定結果	液状化 安全率 FL	判定結果
1.001	3.9	1.221	しない	0.699	液状化する
2.000	4.4	0.876	液状化する	0.500	液状化する
3.000	4.8	0.772	液状化する	0.441	液状化する
4.000	5.2	0.725	液状化する	0.414	液状化する
5.000	5.7	0.708	液状化する	0.404	液状化する
6.000	6.1	0.701	液状化する	0.400	液状化する

10. 各地層毎のFL

地層毎のFL については各地層の平均値とし、次式により求める。

$$F_L = \Sigma (F_{Li} \cdot W_i) / \Sigma W_i$$

$$W_i = \begin{cases} H_i / 2 + H_{i+1} / 2 & \text{(直上、直下に境界が無い場合)} \\ H_i + H_{i+1} / 2 & \text{(直上に境界がある場合)} \\ H_i / 2 + H_{i+1} & \text{(直下に境界がある場合)} \\ H_i + H_{i+1} & \text{(直上、直下に境界がある場合)} \end{cases}$$

No	境界	深度 (調査) z (m)	層厚 H _i (m)	レベル1 液状化 安全率 F _{Li}	レベル2 液状化 安全率 F _{Li}	有効層厚		レベル1 液状化 安全率 F _L	レベル2 液状化 安全率 F _L
						W _i (m)	Σ W _i (m)		
1	水位	1.000	1.000						
2		1.001	0.001	1.221	0.699	0.500			
3		2.000	0.999	0.876	0.500	1.000			
4		3.000	1.000	0.772	0.441	1.000			
5		4.000	1.000	0.725	0.414	1.000			
6		5.000	1.000	0.708	0.404	1.000			
7		6.000	1.000	0.701	0.400	0.500			
8	1層	6.000	0.000				5.000	0.808	0.462
9	2層	26.000	20.000				—	—	—

11. 地盤の変位量

地盤の水平変位量 D_{cy} および沈下量 S は、次式により求める。

$$D_{cy} = \sum (\gamma_{cyi} \times W_i / 100)$$

$$S = \sum (\varepsilon_{vi} \times W_i / 100)$$

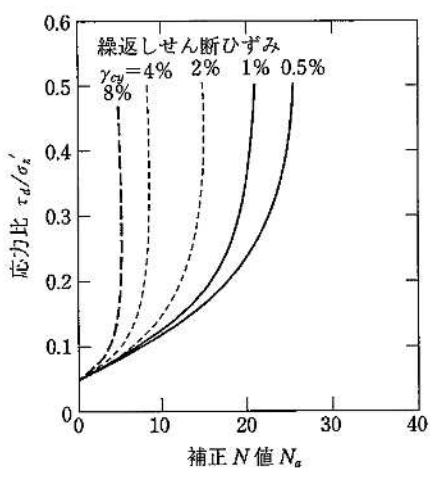
$$W_i = \begin{cases} H_i/2 + H_{i+1}/2 & \text{(直上、直下に境界が無い場合)} \\ H_i + H_{i+1}/2 & \text{(直上に境界がある場合)} \\ H_i/2 + H_{i+1} & \text{(直下に境界がある場合)} \\ H_i + H_{i+1} & \text{(直上、直下に境界がある場合)} \end{cases}$$

γ_{cy} : 繰返しせん断ひずみ (%) (線形補間で読み取り)

ε_v : 体積ひずみ (%)

N_a : 補正N値

τ_d / σ'_z : 繰返しせん断応力比



補正N値と繰返しせん断ひずみの関係

ここで、体積ひずみ ε_v は、繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を ε_v と読み換えればよいので、地盤の沈下量は $S = D_{cy}$ となる。なお、 $F_L > 1.000$ の場合は $\gamma_{cy} = 0$ とする。

No	境界	深度 (調査) z (m)	層厚 H _i (m)	有効 層厚 W _i (m)	補正 N値 N _a	(レベル1)			(レベル2)		
						せん断 応力比 τ_d / σ'_z	せん断 ひずみ $\gamma_{cy}, \varepsilon_v$ (%)	水平 変位量 D _{cy} (m)	せん断 応力比 τ_d / σ'_z	せん断 ひずみ $\gamma_{cy}, \varepsilon_v$ (%)	水平 変位量 D _{cy} (m)
	水位	1.000	1.000								
1		1.001	0.001	0.500	14.330	0.131	0.0	0.000	0.229	1.6	0.008
2		2.000	0.999	1.000	13.626	0.177	1.2	0.012	0.310	2.2	0.022
3		3.000	1.000	1.000	13.201	0.197	1.6	0.016	0.345	2.4	0.024
4		4.000	1.000	1.000	12.972	0.207	1.8	0.018	0.362	2.5	0.025
5		5.000	1.000	1.000	12.955	0.212	1.9	0.019	0.371	2.5	0.025
6		6.000	1.000	0.500	12.886	0.214	1.9	0.010	0.375	2.6	0.013
	1層	6.000	0.000								
	2層	26.000	20.000								
地盤の水平変位量 (沈下量) 計								0.075	計 0.117		