

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 : 「道路橋示方書・同解説 I 共通編 R7.10 (公社)日本道路協会」
地点名 : BV-1 (水平地盤)
地盤種別 : III種地盤
設計地震動 : レベル1およびレベル2(タイプ I, II)
地域別補正係数 : $C_z = 1.00$ $C_{Iz} = 1.20$ $C_{IIz} = 1.00$ (A1地域)
設計水平震度 : $k_{hGL} = 0.18$ (レベル1) 0.48 (レベル2 タイプ I) 0.60 (レベル2 タイプ II)
上載荷重 : — (kN/m²)
地下水位 : $h_w = 1.000$ (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) x (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
					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	完新世	砂質土	6.000	17.0	19.5	9.5	—
2層	26.000	完新世	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) x (m)	N値 N	地層 No	深度 (調査) x (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	完新世	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						

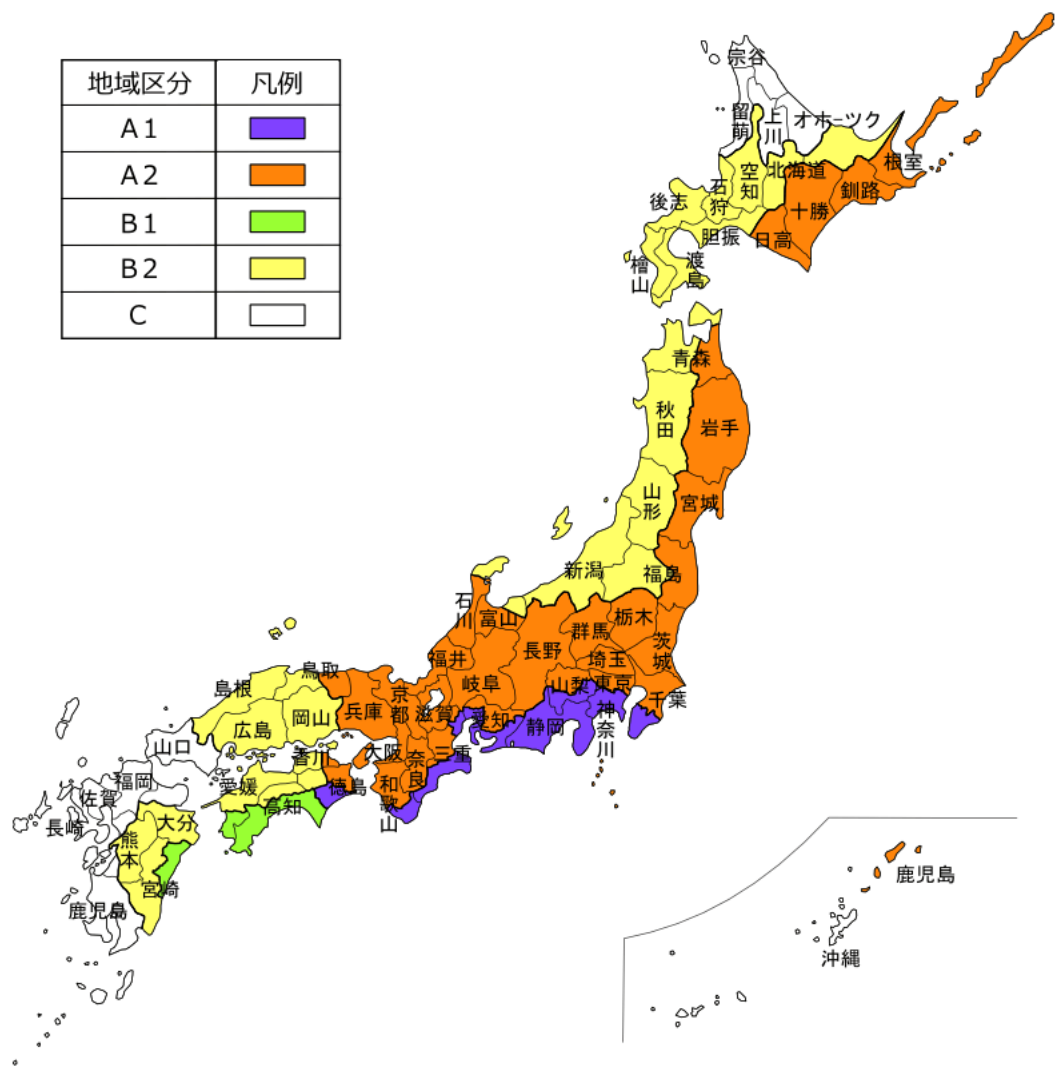
2.3 試験データ

No	深度 (調査) x (m)	細粒分 含有率 F _C (%)	塑性 指数 I _p	50% 粒径 D ₅₀ (mm)	10% 粒径 D ₁₀ (mm)	三軸強度比 R _L	
						(N値)	(試験値)
1	6.000	15.0	15.0	1.999	1.000	○	—

(N値)・・・N値から算出

3. 地域別補正係数

地域別補正係数は、地域区分図に応じて下表の値とする。



地域区分	地域別補正係数		
	C_z	C_{Iz}	C_{IIz}
A1	1.00	1.20	1.00
A2	1.00	1.00	1.00
B1	0.85	1.20	0.85
B2	0.85	1.00	0.85
C	0.70	0.80	0.70

当該地区は A1地域 に属するので、地域別補正係数は $C_z = 1.00$ 、 $C_{Iz} = 1.20$ 、 $C_{IIz} = 1.00$ となる。

4. 地盤種別

耐震設計上の地盤種別は、原則として次式により算出する地盤の基本固有周期 T_G をもとに下表により区別する。

$$T_G = 4 \sum \frac{H_i}{V_{si}}$$

T_G : 地盤の基本固有周期 (s)

H_i : i 番目の地層の厚さ (m)

V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (m/s)

地盤種別	地盤の基本固有周期 T_G (s)
I 種	$T_G < 0.20$
II 種	$0.20 \leq T_G < 0.60$
III 種	$0.60 \leq T_G$

実測値がない場合は、 N_i (標準貫入試験による i 番目の地層の平均 N 値) より求める。

粘性土の場合 $V_{si} = 100 N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25)$

砂質土の場合 $V_{si} = 80 N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50)$

$N_i=0$ の場合 $V_{si} = 50$

i : 当該地盤が地表面から耐震設計上の基盤面(※)まで n 層に区分されるとき、地表面から i 番目の地層番号
※耐震設計上の基盤面とは、せん断弾性波速度 300 (m/s) 程度以上 (粘性土層では $N_i > 25$ 、砂質土層では $N_i > 50$) の値を有している剛性の高い地層の上面をいう。

地層 No	深度 (調査) \bar{x} (m)	堆積 時代	土質	層厚 H_i (m)	平均 N 値 N_i	せん断弾性波速度	
						V_{si} (m/s)	H_i/V_{si} (s)
1層	6.000	完新世	砂質土	6.000	4.800	134.949	0.04446
2層	26.000	完新世	粘性土	20.000	6.100	182.716	0.10946
計							0.15392

※ V_{si} は N_i より算出

よって、地盤の基本固有周期 T_G は、次のようになる。

$$T_G = 4 \times 0.15392 = 0.616 \text{ (s)}$$

ゆえに、調査地点の地盤種別は $0.60 \leq T_G$ となることから III 種地盤とする。

5. 設計水平震度

地盤面における設計水平震度 k_{hgL} は、次式により求める。

$$k_{hgL} = C_z \cdot k_{hgL0}$$

k_{hgL} : 地盤面における設計水平震度

C_z : 地域別補正係数 ($C_z = 1.00$ $C_{Iz} = 1.20$ $C_{IIz} = 1.00$)

k_{hgL0} : 地盤面における設計水平震度の標準値

地震動レベルおよび地盤種別に応じて下表の値を参考にする。

地盤種別	レベル1	レベル2	
		タイプⅠ	タイプⅡ
Ⅰ種	0.12	0.50	0.80
Ⅱ種	0.15	0.45	0.70
Ⅲ種	0.18	0.40	0.60

地盤種別はⅢ種地盤であることから、地盤面における設計水平震度の標準値 k_{hgL0} は、次のようになる。

$$k_{hgL0} = 0.18 \text{ (レベル1)}$$

$$k_{hgL0} = 0.40 \text{ (レベル2 タイプⅠ)}$$

$$k_{hgL0} = 0.60 \text{ (レベル2 タイプⅡ)}$$

よって、地盤面における設計水平震度 k_{hgL} は、次のようになる。

$$k_{hgL} = 1.00 \times 0.18 = 0.18 \text{ (レベル1)}$$

$$k_{hgL} = 1.20 \times 0.40 = 0.48 \text{ (レベル2 タイプⅠ)}$$

$$k_{hgL} = 1.00 \times 0.60 = 0.60 \text{ (レベル2 タイプⅡ)}$$

6. 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。

以下の①から④の全てに該当する土層を有している場合には、液状化が生じる可能性について判定しなければならない。

- ① 地下水位が地表面から10m以内にあり、かつ、地表面から 20m以内の深さに存在する飽和土層
- ② 細粒分含有率 F_c が35%以下の土層、又は、 F_c が 35%を超えても塑性指数 I_p が 15以下の土層
- ③ 50%粒径 D_{50} が 10mm以下で、かつ、10%粒径 D_{10} が 1mm以下である土層
- ④ 完新世に形成された土層

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 : $h_w = 1.000$ (m) ・・・10m以内(液状化の判定必要)

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) x (m)	N値 N	堆積 時代	適用 土質	細粒分 含有率 F_c (%)	塑性 指数 I_p	50% 粒径 D_{50} (mm)	10% 粒径 D_{10} (mm)	液状化判定 (F_L 算出)			
									判定深度 以内の 飽和土層	$F_c \leq 35\%$ または $I_p \leq 15$	$D_{50} \leq 10\text{mm}$ かつ $D_{10} \leq 1\text{mm}$	結果
1	1.001	3.9	完新世	砂質土	15.0	15.0	1.999	1.000	○	○	○	する
2	2.000	4.4	完新世	砂質土	15.0	15.0	1.999	1.000	○	○	○	する
3	3.000	4.8	完新世	砂質土	15.0	15.0	1.999	1.000	○	○	○	する
4	4.000	5.2	完新世	砂質土	15.0	15.0	1.999	1.000	○	○	○	する
5	5.000	5.7	完新世	砂質土	15.0	15.0	1.999	1.000	○	○	○	する
6	6.000	6.1	完新世	砂質土	15.0	15.0	1.999	1.000	○	○	○	する

○：該当する －：該当しない

7. 深度毎の上載圧

深度毎の全上載圧 σ_v 、有効上載圧 σ'_v (および σ'_{vb}) は、次式により求める。

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

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

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

σ_v : 全上載圧 (kN/m²)

σ'_v : 有効上載圧 (kN/m²)

σ'_{vb} : 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上載圧 (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) x (m)	層厚 H _i (m)	境界	単位体積重量			全上載圧 σ_v (kN/m ²)	有効上載圧 σ'_v (kN/m ²)	有効上載圧 (調査) σ'_{vb} (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

8. 地震時せん断応力比

地震時せん断応力比 L は、次式により求める。

$$L = r_d k_{hg} L \sigma_v / \sigma'_v$$

$$r_d = 1.0 - 0.015x$$

L : 地震時せん断応力比

r_d : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

k_{HGL} : 地盤面における設計水平震度 (= 0.18 (レベル1))
(= 0.48 (レベル2 タイプⅠ))
(= 0.60 (レベル2 タイプⅡ))

 σ_v : 全上載圧 (kN/m²) σ'_v : 有効上載圧 (kN/m²)

X : 深度 (m)

No	深度 (調査) x (m)	N値 N	全上載圧 σ_v (kN/m ²)	有効上載圧 σ'_v (kN/m ²)	低減係数 r _d	レベル1 せん断応力比 L	レベル2	
							(タイプⅠ) せん断応力比 L	(タイプⅡ) せん断応力比 L
						1	1.001	3.9
2	2.000	4.4	36.50	26.50	0.970	0.240	0.641	0.802
3	3.000	4.8	56.00	36.00	0.955	0.267	0.713	0.891
4	4.000	5.2	75.50	45.50	0.940	0.281	0.749	0.936
5	5.000	5.7	95.00	55.00	0.925	0.288	0.767	0.959
6	6.000	6.1	114.50	64.50	0.910	0.291	0.775	0.969

9. 動的せん断強度比

動的せん断強度比Rは、次式により求める。

$$R = C_w R_L$$

<レベル1およびレベル2(タイプⅠ)の地震動の場合>

$$C_w = 1.0$$

<レベル2(タイプⅡ)の地震動の場合>

$$C_w = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases}$$

$$R_L = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{(0.85N_a + 2.1)/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

<D₅₀ < 2mmの場合>

$$N_a = c_{FC} (N_1 + 2.47) - 2.47$$

$$N_1 = 170N / (\sigma'_{vb} + 70)$$

$$c_{FC} = \begin{cases} 1 & (0\% \leq F_c < 10\%) \\ (F_c + 20)/30 & (10\% \leq F_c < 40\%) \\ (F_c - 16)/12 & (40\% \leq F_c) \end{cases}$$

<D₅₀ ≥ 2mmの場合>

$$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10} (D_{50}/2)\} N_1$$

R : 動的せん断強度比

C_w : 地震動特性による補正係数

R_L : 繰返し三軸強度比

N_a : 粒度の影響を考慮した補正N値

N₁ : 有効上載圧100kN/m²相当に換算したN値

N : 標準貫入試験から得られるN値

c_{FC} : 細粒分含有率によるN値の補正係数

σ' _{vb} : 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上載圧(kN/m²)

F_c : 細粒分含有率(%) (粒径75 μm以下の土粒子の通過質量百分率)

D₅₀ : 50%粒径(mm)

No	深度 (調査) x (m)	細粒分 含有率 Fc (%)	50% 粒径 D ₅₀ (mm)	N値の 補正 係数 CFC	換算 N値 N ₁	補正 N値 N _a	三軸 強度比 R _L	レベル1		レベル2			
								補正 係数 C _w	せん断 強度比 R	(タイプⅠ)		(タイプⅡ)	
										補正 係数 C _w	せん断 強度比 R	補正 係数 C _w	せん断 強度比 R
1	1.001	15.0	1.999	1.17	7.620	9.335	0.214	1.000	0.214	1.000	0.214	1.376	0.294
2	2.000	15.0	1.999	1.17	7.751	9.489	0.216	1.000	0.216	1.000	0.216	1.383	0.299
3	3.000	15.0	1.999	1.17	7.698	9.427	0.215	1.000	0.215	1.000	0.215	1.380	0.297
4	4.000	15.0	1.999	1.17	7.654	9.375	0.215	1.000	0.215	1.000	0.215	1.380	0.297
5	5.000	15.0	1.999	1.17	7.752	9.490	0.216	1.000	0.216	1.000	0.216	1.383	0.299
6	6.000	15.0	1.999	1.17	7.710	9.441	0.215	1.000	0.215	1.000	0.215	1.380	0.297

10. 液状化抵抗率

液状化に対する抵抗率 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。

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

F_L : 液状化に対する抵抗率

R : 動的せん断強度比

L : 地震時せん断応力比

No	深度 (調査) x (m)	N値 N	液状化 判定 (F_L 算出)	レベル1			レベル2					
							(タイプⅠ)			(タイプⅡ)		
				せん断 応力比 L	せん断 強度比 R	液状化 抵抗率 F_L	せん断 応力比 L	せん断 強度比 R	液状化 抵抗率 F_L	せん断 応力比 L	せん断 強度比 R	液状化 抵抗率 F_L
1	1.001	3.9	する	0.177	0.214	1.209	0.473	0.214	0.452	0.591	0.294	0.497
2	2.000	4.4	する	0.240	0.216	0.900	0.641	0.216	0.337	0.802	0.299	0.373
3	3.000	4.8	する	0.267	0.215	0.805	0.713	0.215	0.302	0.891	0.297	0.333
4	4.000	5.2	する	0.281	0.215	0.765	0.749	0.215	0.287	0.936	0.297	0.317
5	5.000	5.7	する	0.288	0.216	0.750	0.767	0.216	0.282	0.959	0.299	0.312
6	6.000	6.1	する	0.291	0.215	0.739	0.775	0.215	0.277	0.969	0.297	0.307

11. 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)

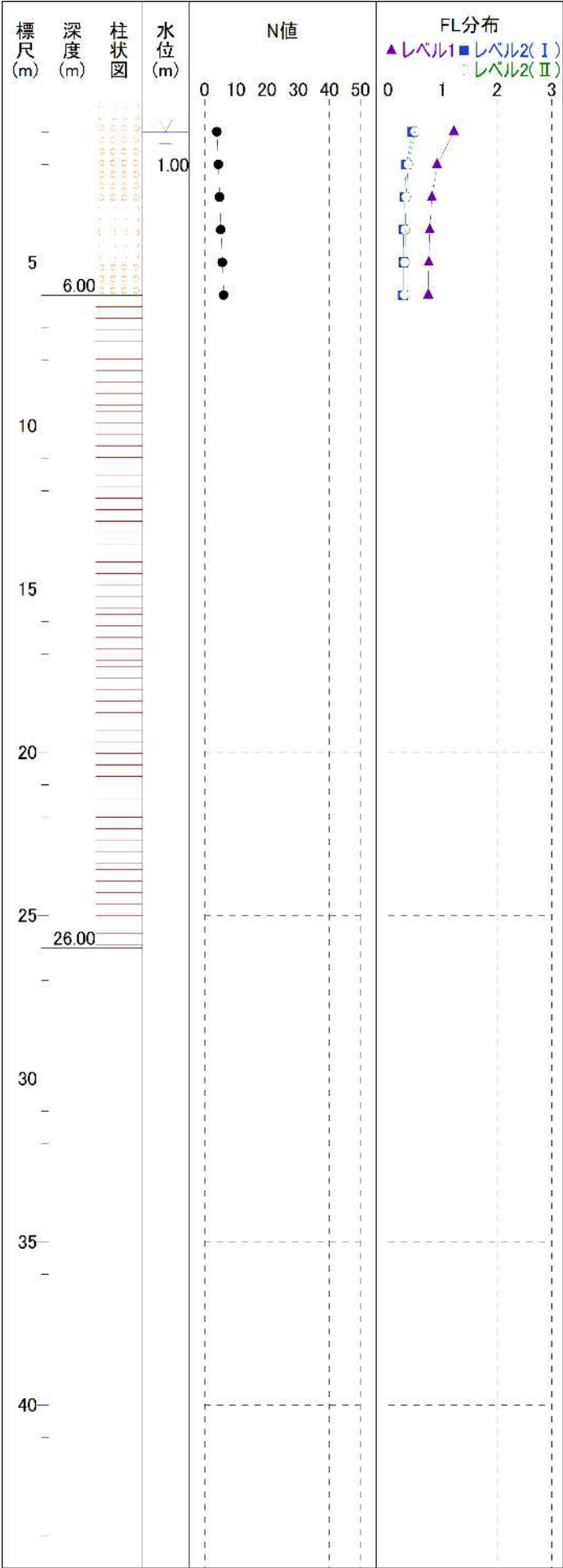
H_i : 層厚 (m)

x : 深度 (m)

No	深度 (調査)	層厚 H_i (m)	境界	レベル1			レベル2					
							(タイプⅠ)			(タイプⅡ)		
				液状化 抵抗率 F_L	液状化指数		液状化 抵抗率 F_L	p_{Li} (m)	P_L (m^2)	液状化 抵抗率 F_L	p_{Li} (m)	P_L (m^2)
1	1.000	1.000	水位	1.209	0.000	—	0.452	5.206	—	0.497	4.779	—
2	1.001	0.001		1.209	0.000	0.000	0.452	5.206	0.005	0.497	4.778	0.005
3	2.000	0.999		0.900	0.900	0.450	0.337	5.967	5.581	0.373	5.643	5.205
4	3.000	1.000		0.805	1.658	1.279	0.302	5.933	5.950	0.333	5.670	5.657
5	4.000	1.000		0.765	1.880	1.769	0.287	5.704	5.819	0.317	5.464	5.567
6	5.000	1.000		0.750	1.875	1.878	0.282	5.385	5.545	0.312	5.160	5.312
7	6.000	1.000		0.739	1.827	1.851	0.277	5.061	5.223	0.307	4.851	5.006
計					7.227		計	28.123		計	26.752	

※地下水位の F_L は直下深度と同等にした

12. FL分布図



深度 (調査) x (m)	N値 N	レベル1		レベル2			
		液状化 抵抗率 FL	判定 結果	(タイプ I)		(タイプ II)	
				液状化 抵抗率 FL	判定 結果	液状化 抵抗率 FL	判定 結果
1.001	3.9	1.209	しない	0.452	する	0.497	する
2.000	4.4	0.900	する	0.337	する	0.373	する
3.000	4.8	0.805	する	0.302	する	0.333	する
4.000	5.2	0.765	する	0.287	する	0.317	する
5.000	5.7	0.750	する	0.282	する	0.312	する
6.000	6.1	0.739	する	0.277	する	0.307	する

13. 各地層毎の R_L および F_L

地層毎の R_L および F_L については各地層の平均値とし、次式により求める。

$R_L = \Sigma (R_{Li} \cdot W_i) / \Sigma W_i$

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

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

No	境界	深度 (調査) x (m)	層厚 H _i (m)	繰返し 三軸 強度比 R _{Li}	レベル1	レベル2		有効層厚		繰返し 三軸 強度比 R _L	レベル1	レベル2	
						タイプ I	タイプ II					タイプ I	タイプ II
					液状化 抵抗率 F _{Li}	液状化 抵抗率 F _{Li}	液状化 抵抗率 F _{Li}	W _i (m)	Σ W _i (m)			液状化 抵抗率 F _{Li}	液状化 抵抗率 F _{Li}
1	水位	1.000	1.000										
2		1.001	0.001	0.214	1.209	0.452	0.497	0.500					
3		2.000	0.999	0.216	0.900	0.337	0.373	1.000					
4		3.000	1.000	0.215	0.805	0.302	0.333	1.000					
5		4.000	1.000	0.215	0.765	0.287	0.317	1.000					
6		5.000	1.000	0.216	0.750	0.282	0.312	1.000					
7		6.000	1.000	0.215	0.739	0.277	0.307	0.500					
8	1層	6.000	0.000						5.000	0.215	0.839	0.315	0.347
9	2層	26.000	20.000						—	—	—	—	—

14. 土質定数の低減係数

土質定数の低減係数 D_E は、下表により求める。

F_L の範囲	深度 x (m)	動的せん断強度比 R	
		$R \leq 0.3$	$0.3 < R$
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	0	1/6
	$10 < x \leq 20$	1/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/3	2/3
	$10 < x \leq 20$	2/3	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1
	$10 < x \leq 20$	1	1

※ $F_L > 1$ または $x > 20$ (m) の場合は $D_E = 1$ とする

ここで、地層毎の R および F_L については各地層の平均値とし、低減係数一覧（試験深度毎）を参照し次式により求める。

$$R = \sum (R_i \cdot W_i) / \sum W_i$$

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

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

低減係数一覧（地層毎）

地層 No	境界	深度 (調査) x (m)	層厚 H_i (m)	レベル1			レベル2						
				せん断 強度比 R	液状化 抵抗率 F_L	低減 係数 D_E	(タイプⅠ)			(タイプⅡ)			低減 係数 (採用) D_E
							せん断 強度比 R	液状化 抵抗率 F_L	低減 係数 D_E	せん断 強度比 R	液状化 抵抗率 F_L	低減 係数 D_E	
1層	水位	1.000	1.000	—	—	1	—	—	1	—	—	1	1
		6.000	5.000	0.215	0.839	2/3	0.215	0.315	0	0.297	0.347	1/3	0
2層	10m	10.000	4.000	—	—	1	—	—	1	—	—	1	1
	20m	20.000	10.000	—	—	1	—	—	1	—	—	1	1
		26.000	6.000	—	—	1	—	—	1	—	—	1	1

※レベル2地震動の低減係数（採用） D_E は（タイプⅠ）と（タイプⅡ）の最小値

低減係数一覧（試験深度毎）

[illegible]