

# 地盤の液状化の判定システム

## Ver2.0

### 適用基準

- 土地改良事業設計指針「耐震設計」(H27/5)
- 道路橋示方書・同解説「V 耐震設計編」(H29/11)

### 出力例

- 土地改良事業設計指針「耐震設計」(H27/5) の計算例

#### 開発・販売元

(株)SIP システム お問い合わせ先 : 大阪事務所 (技術サービス)  
〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場 1-18-24-501  
TEL : 06-6125-2232 FAX : 06-6125-2233  
<http://www.sipc.co.jp>      [mail@sipc.co.jp](mailto:mail@sipc.co.jp)

# 目 次

1	設計条件	2
1.1	表題	2
1.2	適用基準	2
1.3	地盤構成	2
1.4	地盤面における設計水平震度	2
1.5	評価基準	3
2	地盤の液状化の判定	3
2.1	計算式	3
2.2	全上載圧の計算	5
2.3	有効上載圧の計算	6
2.4	レベル1地震動	7
2.4.1	繰返し三軸圧縮強度比の計算	7
2.4.2	地震時せん断応力比の計算	8
2.4.3	液状化に対する抵抗率の計算	9
2.4.4	液状化層の判定	10
3	液状化指数(PL値)による判定	12
3.1	計算式	12
3.2	PL値の計算	12

# 1 設計条件

## 1.1 表題

土地改良耐震計算例 (レベル1)

## 1.2 適用基準

土地改良事業設計指針「耐震設計」 平成27年5月

## 1.3 地盤構成

	層厚 (m)	土質	$\gamma_{i1}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{i2}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_{i2}$ (kN/m <sup>3</sup> )	N値	F <sub>c</sub> (%)	I <sub>p</sub>	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>10</sub> (mm)
1	1.000	砂質土	20.00	18.00	8.00	2.0	28.0	32.0	0.190	0.140
2	1.000	砂質土	20.00	18.00	8.00	7.0	28.0	32.0	0.190	0.140
3	1.000	砂質土	20.00	18.00	8.00	6.0	28.0	32.0	0.190	0.140
4	1.000	砂質土	20.00	19.00	9.00	6.0	20.0	23.0	0.260	0.130
5	1.000	砂質土	20.00	19.00	9.00	4.0	20.0	23.0	0.260	0.130
6	1.000	砂質土	20.00	19.00	9.00	5.0	20.0	23.0	0.260	0.130
7	1.000	砂質土	20.00	20.00	10.00	18.0	18.0	22.0	0.340	0.180
8	1.000	砂質土	20.00	20.00	10.00	13.0	18.0	22.0	0.340	0.180
9	1.000	砂質土	19.00	19.00	9.00	4.0	33.0	28.0	0.210	0.110
10	1.000	砂質土	19.00	19.00	9.00	7.0	33.0	28.0	0.210	0.110
11	1.000	砂質土	20.00	20.00	10.00	15.0	21.0	17.0	0.320	0.190
12	1.000	砂質土	20.00	20.00	10.00	13.0	21.0	17.0	0.320	0.190
13	1.000	砂質土	20.00	20.00	10.00	22.0	21.0	17.0	0.320	0.190
14	1.000	砂質土	20.00	20.00	10.00	19.0	21.0	17.0	0.320	0.190
15	1.000	れき質土	21.00	21.00	11.00	42.0	11.0	0.0	3.820	0.850
16	1.000	れき質土	21.00	21.00	11.00	46.0	11.0	0.0	3.820	0.850
17	1.000	れき質土	21.00	21.00	11.00	43.0	11.0	0.0	3.820	0.850
18	1.000	れき質土	21.00	21.00	11.00	40.0	13.0	0.0	3.420	0.660
19	1.000	れき質土	21.00	21.00	11.00	43.0	13.0	0.0	3.420	0.660
20	1.000	れき質土	21.00	21.00	11.00	45.0	13.0	0.0	3.420	0.660
Σ	20.000									

地下水位 G.L. -0.000 (m)

## 1.4 地盤面における設計水平震度

レベル1地震動  $K_{hg} = 0.30$

レベル2 タイプI地震動 -----

レベル2 タイプII地震動 -----

## 1.5 評価基準

$F_L \leq 1.000$	液状化層
$F_L \leq 2.200$	不完全液状化層
$F_L > 2.200$	非液状化層

## 2 地盤の液状化の判定

### 2.1 計算式

液状化を生じる可能性があるると判定された場合、式(1)～(12)により液状化に対する抵抗率 $F_L$ を求め、この値が1.0以下の土層は地震時に液状化するものとみなす。

$$F_L = R/L \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$R = c_w \cdot R_L \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$L = \gamma_d \cdot k_{hg} \cdot \sigma_v / \sigma'_v \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R_L = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{N_a / 1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} & (N_a \geq 14) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\gamma_d = 1.0 - 0.015x \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma_v = \gamma_{i1} \cdot h_w + \gamma_{i2} (x - h_w) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\sigma'_v = \gamma_{i1} \cdot h_w + \gamma'_{i2} (x - h_w) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$c_w = \begin{cases} 1.0 & (\text{タイプ I 地震動の場合}) \\ 1.0 & (\text{タイプ II 地震動の場合, } R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (\text{ " }, 0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (\text{ " }, 0.4 < R_L) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$N_a = \begin{cases} c_1 \cdot N_1 + c_2 & (\text{砂質土の場合}) \\ \left\{ 1 - 0.36 \log_{10} (D_{50} / 2) \right\} \cdot N_1 & (\text{れき質土の場合}) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$N_1 = \frac{170N}{\sigma'_v + 70} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$c_1 = \begin{cases} 1.0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC+40)/50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ FC/20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$c_2 = \begin{cases} 0.0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC-10)/18 & (10\% \leq FC) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここで、 $F_L$ : 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

$c_w$ : 地震動特性による補正係数

$R_L$ : 繰返し三軸圧縮強度比

$\gamma_d$ : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

$k_{hg}$ : 地盤面における設計水平震度

$\sigma_v$ : 全上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'_v$ : 有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$x$ : 地表面からの深さ (m)

$\gamma_{i1}$ : 地下水位面より浅い位置での土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{i2}$ : 地下水位面より深い位置での土の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma'_{i2}$ : 地下水位面より深い位置での土の有効単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$h_w$ : 地下水位の深さ (m)

$I_p$ : 塑性指数

$N$ : 標準貫入試験から得られるN値

$N_1$ : 有効上載圧 100kN/m<sup>2</sup>相当に換算したN値

$N_a$ : 粒度の影響を考慮した補正N値

$c_1, c_2$ : 細粒分含有率によるN値の補正係数

$FC$ : 細粒分含有率 (%)

(粒径75 $\mu$ m以下の土粒子の通過質量百分率)

$D_{50}$ : 50%粒径(平均粒径) (mm)

$D_{10}$ : 10%粒径 (mm)

土質定数の低減係数 $D_e$ は以下の表より求める。

$F_L$ の範囲	現地盤面からの 深度 $x$ (m)	動的せん断強度比 $R$			
		$R \leq 0.3$		$0.3 < R$	
		レベル1地 震動に対す る照査	レベル2地 震動に対す る照査	レベル1地 震動に対す る照査	レベル2地 震動に対す る照査
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x \leq 10$	1/6	0	1/3	1/6
	$10 < x \leq 20$	2/3	1/3	2/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x \leq 10$	2/3	1/3	1	2/3
	$10 < x \leq 20$	1	2/3	1	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x \leq 10$	1	2/3	1	1
	$10 < x \leq 20$	1	1	1	1

※  $F_L > 1.0$  及び  $x > 20m$  の場合  $D_e = 1$  とする。

## 2.2 全上載圧の計算

	地表面からの深さ (m)	全上載圧 $\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	
1	0.500	$18.00 \times 0.500$	9.00
2	1.500	$9.00 + 18.00 \times 0.500 + 18.00 \times 0.500$	27.00
3	2.500	$27.00 + 18.00 \times 0.500 + 18.00 \times 0.500$	45.00
4	3.500	$45.00 + 18.00 \times 0.500 + 19.00 \times 0.500$	63.50
5	4.500	$63.50 + 19.00 \times 0.500 + 19.00 \times 0.500$	82.50
6	5.500	$82.50 + 19.00 \times 0.500 + 19.00 \times 0.500$	101.50
7	6.500	$101.50 + 19.00 \times 0.500 + 20.00 \times 0.500$	121.00
8	7.500	$121.00 + 20.00 \times 0.500 + 20.00 \times 0.500$	141.00
9	8.500	$141.00 + 20.00 \times 0.500 + 19.00 \times 0.500$	160.50
10	9.500	$160.50 + 19.00 \times 0.500 + 19.00 \times 0.500$	179.50
11	10.500	$179.50 + 19.00 \times 0.500 + 20.00 \times 0.500$	199.00
12	11.500	$199.00 + 20.00 \times 0.500 + 20.00 \times 0.500$	219.00
13	12.500	$219.00 + 20.00 \times 0.500 + 20.00 \times 0.500$	239.00
14	13.500	$239.00 + 20.00 \times 0.500 + 20.00 \times 0.500$	259.00
15	14.500	$259.00 + 20.00 \times 0.500 + 21.00 \times 0.500$	279.50
16	15.500	$279.50 + 21.00 \times 0.500 + 21.00 \times 0.500$	300.50
17	16.500	$300.50 + 21.00 \times 0.500 + 21.00 \times 0.500$	321.50
18	17.500	$321.50 + 21.00 \times 0.500 + 21.00 \times 0.500$	342.50
19	18.500	$342.50 + 21.00 \times 0.500 + 21.00 \times 0.500$	363.50
20	19.500	$363.50 + 21.00 \times 0.500 + 21.00 \times 0.500$	384.50

### 2.3 有効上載圧の計算

	地表面からの深さ (m)	有効上載圧 $\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	
1	0.500	$8.00 \times 0.500$	4.00
2	1.500	$4.00 + 8.00 \times 0.500 + 8.00 \times 0.500$	12.00
3	2.500	$12.00 + 8.00 \times 0.500 + 8.00 \times 0.500$	20.00
4	3.500	$20.00 + 8.00 \times 0.500 + 9.00 \times 0.500$	28.50
5	4.500	$28.50 + 9.00 \times 0.500 + 9.00 \times 0.500$	37.50
6	5.500	$37.50 + 9.00 \times 0.500 + 9.00 \times 0.500$	46.50
7	6.500	$46.50 + 9.00 \times 0.500 + 10.00 \times 0.500$	56.00
8	7.500	$56.00 + 10.00 \times 0.500 + 10.00 \times 0.500$	66.00
9	8.500	$66.00 + 10.00 \times 0.500 + 9.00 \times 0.500$	75.50
10	9.500	$75.50 + 9.00 \times 0.500 + 9.00 \times 0.500$	84.50
11	10.500	$84.50 + 9.00 \times 0.500 + 10.00 \times 0.500$	94.00
12	11.500	$94.00 + 10.00 \times 0.500 + 10.00 \times 0.500$	104.00
13	12.500	$104.00 + 10.00 \times 0.500 + 10.00 \times 0.500$	114.00
14	13.500	$114.00 + 10.00 \times 0.500 + 10.00 \times 0.500$	124.00
15	14.500	$124.00 + 10.00 \times 0.500 + 11.00 \times 0.500$	134.50
16	15.500	$134.50 + 11.00 \times 0.500 + 11.00 \times 0.500$	145.50
17	16.500	$145.50 + 11.00 \times 0.500 + 11.00 \times 0.500$	156.50
18	17.500	$156.50 + 11.00 \times 0.500 + 11.00 \times 0.500$	167.50
19	18.500	$167.50 + 11.00 \times 0.500 + 11.00 \times 0.500$	178.50
20	19.500	$178.50 + 11.00 \times 0.500 + 11.00 \times 0.500$	189.50

## 2.4 レベル1地震動

地盤面における設計水平震度  $K_{H\#}=0.30$

### 2.4.1 繰返し三軸圧縮強度比の計算

	N	FC (%)	$D_{50}$ (mm)	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c_1$	$c_2$	$N_1$	$N_a$	$R_L$
1	2.0	28.0	0.190	4.00	1.360	1.000	4.595	7.249	0.182
2	7.0	28.0	0.190	12.00	1.360	1.000	14.512	20.737	0.317
3	6.0	28.0	0.190	20.00	1.360	1.000	11.333	16.413	0.274
4	6.0	20.0	0.260	28.50	1.200	0.556	10.355	12.982	0.244
5	4.0	20.0	0.260	37.50	1.200	0.556	6.326	8.146	0.193
6	5.0	20.0	0.260	46.50	1.200	0.556	7.296	9.311	0.206
7	18.0	18.0	0.340	56.00	1.160	0.444	24.286	28.616	0.641
8	13.0	18.0	0.340	66.00	1.160	0.444	16.250	19.294	0.300
9	4.0	33.0	0.210	75.50	1.460	1.278	4.674	8.101	0.193
10	7.0	33.0	0.210	84.50	1.460	1.278	7.702	12.523	0.239
11	15.0	21.0	0.320	94.00	1.220	0.611	15.549	19.581	0.303
12	13.0	21.0	0.320	104.00	1.220	0.611	12.701	16.107	0.272
13	22.0	21.0	0.320	114.00	1.220	0.611	20.326	25.409	0.433
14	19.0	21.0	0.320	124.00	1.220	0.611	16.649	20.923	0.319
15	42.0	11.0	3.820	134.50	1.020	0.056	34.914	31.382	0.988
16	46.0	11.0	3.820	145.50	1.020	0.056	36.288	32.616	1.216
17	43.0	11.0	3.820	156.50	1.020	0.056	32.274	29.009	0.679
18	40.0	13.0	3.420	167.50	1.060	0.167	28.632	26.230	0.472
19	43.0	13.0	3.420	178.50	1.060	0.167	29.416	26.949	0.513
20	45.0	13.0	3.420	189.50	1.060	0.167	29.480	27.007	0.517

ただし、 $R_L$  : 繰返し三軸圧縮強度比



#### 2.4.2 地震時せん断応力比の計算

	x (m)	$\gamma_d$	$k_{hg}$	$\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	L
1	0.500	0.993	0.30	9.00	4.00	0.670
2	1.500	0.978	0.30	27.00	12.00	0.660
3	2.500	0.963	0.30	45.00	20.00	0.650
4	3.500	0.948	0.30	63.50	28.50	0.633
5	4.500	0.933	0.30	82.50	37.50	0.615
6	5.500	0.918	0.30	101.50	46.50	0.601
7	6.500	0.903	0.30	121.00	56.00	0.585
8	7.500	0.888	0.30	141.00	66.00	0.569
9	8.500	0.873	0.30	160.50	75.50	0.556
10	9.500	0.858	0.30	179.50	84.50	0.546
11	10.500	0.843	0.30	199.00	94.00	0.535
12	11.500	0.828	0.30	219.00	104.00	0.523
13	12.500	0.813	0.30	239.00	114.00	0.511
14	13.500	0.798	0.30	259.00	124.00	0.500
15	14.500	0.783	0.30	279.50	134.50	0.488
16	15.500	0.768	0.30	300.50	145.50	0.476
17	16.500	0.753	0.30	321.50	156.50	0.464
18	17.500	0.738	0.30	342.50	167.50	0.452
19	18.500	0.723	0.30	363.50	178.50	0.441
20	19.500	0.708	0.30	384.50	189.50	0.431

ただし、L：地震時せん断応力比

### 2.4.3 液状化に対する抵抗率の計算

	x	R <sub>L</sub>	c <sub>w</sub>	R	L	F <sub>L</sub>	D <sub>E</sub>
1	0.500	0.182	1.000	0.182	0.670	0.272	1/6
2	1.500	0.317	1.000	0.317	0.660	0.480	1
3	2.500	0.274	1.000	0.274	0.650	0.422	2/3
4	3.500	0.244	1.000	0.244	0.633	0.385	2/3
5	4.500	0.193	1.000	0.193	0.615	0.314	1/6
6	5.500	0.206	1.000	0.206	0.601	0.344	2/3
7	6.500	0.641	1.000	0.641	0.585	1.096	1
8	7.500	0.300	1.000	0.300	0.569	0.527	2/3
9	8.500	0.193	1.000	0.193	0.556	0.346	2/3
10	9.500	0.239	1.000	0.239	0.546	0.438	2/3
11	10.500	0.303	1.000	0.303	0.535	0.566	1
12	11.500	0.272	1.000	0.272	0.523	0.519	1
13	12.500	0.433	1.000	0.433	0.511	0.846	1
14	13.500	0.319	1.000	0.319	0.500	0.639	1
15	14.500	0.988	1.000	0.988	0.488	2.025	1
16	15.500	1.216	1.000	1.216	0.476	2.556	1
17	16.500	0.679	1.000	0.679	0.464	1.464	1
18	17.500	0.472	1.000	0.472	0.452	1.042	1
19	18.500	0.513	1.000	0.513	0.441	1.162	1
20	19.500	0.517	1.000	0.517	0.431	1.200	1

ただし、F<sub>L</sub>：液状化に対する抵抗率

#### 2.4.4 液状化層の判定

	x (m)	FC (%)	I <sub>p</sub>	判定 1	D <sub>50</sub> (mm)	判定 2	D <sub>10</sub> (mm)	判定 3	F <sub>L</sub>	液状化の判定
1	0.500	28.0	32.0	YES	0.190	YES	0.140	YES	0.272	液状化層
2	1.500	28.0	32.0	YES	0.190	YES	0.140	YES	0.480	液状化層
3	2.500	28.0	32.0	YES	0.190	YES	0.140	YES	0.422	液状化層
4	3.500	20.0	23.0	YES	0.260	YES	0.130	YES	0.385	液状化層
5	4.500	20.0	23.0	YES	0.260	YES	0.130	YES	0.314	液状化層
6	5.500	20.0	23.0	YES	0.260	YES	0.130	YES	0.344	液状化層
7	6.500	18.0	22.0	YES	0.340	YES	0.180	YES	1.096	不完全液状化層
8	7.500	18.0	22.0	YES	0.340	YES	0.180	YES	0.527	液状化層
9	8.500	33.0	28.0	YES	0.210	YES	0.110	YES	0.346	液状化層
10	9.500	33.0	28.0	YES	0.210	YES	0.110	YES	0.438	液状化層
11	10.500	21.0	17.0	YES	0.320	YES	0.190	YES	0.566	液状化層
12	11.500	21.0	17.0	YES	0.320	YES	0.190	YES	0.519	液状化層
13	12.500	21.0	17.0	YES	0.320	YES	0.190	YES	0.846	液状化層
14	13.500	21.0	17.0	YES	0.320	YES	0.190	YES	0.639	液状化層
15	14.500	11.0	0.0	YES	3.820	YES	0.850	YES	2.025	不完全液状化層
16	15.500	11.0	0.0	YES	3.820	YES	0.850	YES	2.556	非液状化層
17	16.500	11.0	0.0	YES	3.820	YES	0.850	YES	1.464	不完全液状化層
18	17.500	13.0	0.0	YES	3.420	YES	0.660	YES	1.042	不完全液状化層
19	18.500	13.0	0.0	YES	3.420	YES	0.660	YES	1.162	不完全液状化層
20	19.500	13.0	0.0	YES	3.420	YES	0.660	YES	1.200	不完全液状化層

各判定で[YES]は液状化判定を行う必要がある土層、[NO]は液状化判定対象外の土層。

全ての判定が[YES]の場合にF<sub>L</sub>により評価を行う。

判定1 : FC ≤ 35% または I<sub>p</sub> ≤ 15 なら [YES]、当てはまらない場合は [NO]

判定2 : D<sub>50</sub> ≤ 10 (mm) なら [YES]、当てはまらない場合は [NO]

判定3 : D<sub>10</sub> ≤ 1 (mm) なら [YES]、当てはまらない場合は [NO]

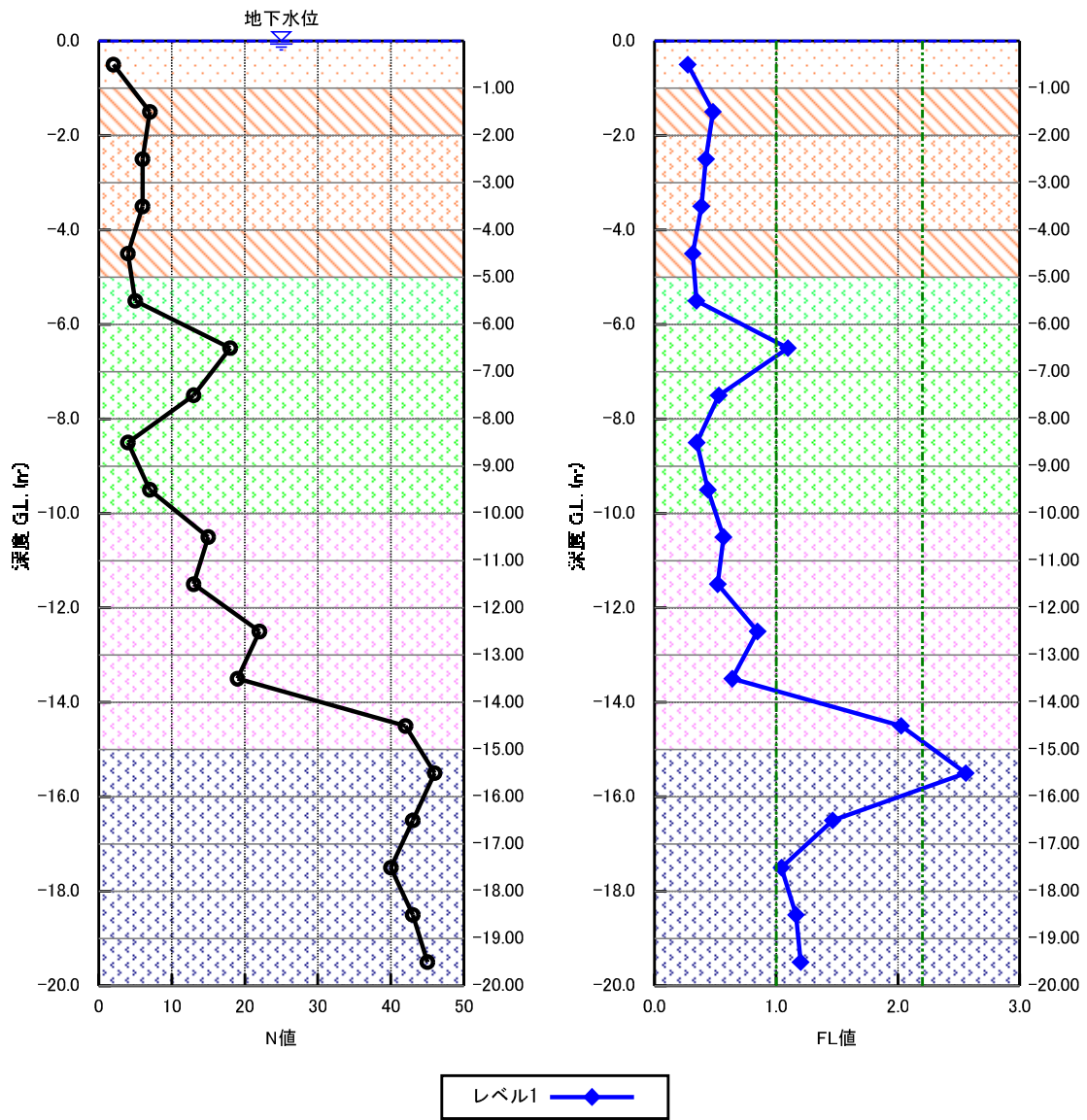


図-1 N値・FL値

### 3 液状化指数(PL値)による判定

#### 3.1 計算式

$$\Delta P_L = (1 - F_L) (10 - 0.5x) H_i \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$P_L = \sum \Delta P_L \quad \dots\dots\dots (14)$$

ここで、 $P_L$ : 液状化指数

$\Delta P_L$ : 深さ $x$ での層による液状化指数

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

$H_i$ : 層厚 (m)

$x$ : 地表面からの深さ(20m以下) (m)

$P_L > 15$	液状化の危険性が極めて高い。液状化に関する詳細な調査と液状化対策は不可避。
$5 < P_L \leq 15$	液状化の危険性が高い。重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。液状化対策が一般に必要。
$0 < P_L \leq 5$	液状化の危険度は低い。特に重要な構造物の設計に際しては、より詳細な調査が必要。
$P_L = 0$	液状化の危険性はかなり低い。液状化に関する詳細な調査は一般的に不要。

#### 3.2 PL値の計算

	深度	層厚	レベル1		レベル2			
					タイプI		タイプII	
			x(m)	$H_i$ (m)	$F_L$	$\Delta P_L$	$F_L$	$\Delta P_L$
1	0.500	1.000	0.272	7.099	----	----	----	----
2	1.500	1.000	0.480	4.812	----	----	----	----
3	2.500	1.000	0.422	5.058	----	----	----	----
4	3.500	1.000	0.385	5.075	----	----	----	----
5	4.500	1.000	0.314	5.319	----	----	----	----
6	5.500	1.000	0.344	4.759	----	----	----	----
7	6.500	1.000	1.096	0.000	----	----	----	----
8	7.500	1.000	0.527	2.953	----	----	----	----
9	8.500	1.000	0.346	3.760	----	----	----	----
10	9.500	1.000	0.438	2.950	----	----	----	----
11	10.500	1.000	0.566	2.060	----	----	----	----
12	11.500	1.000	0.519	2.042	----	----	----	----
13	12.500	1.000	0.846	0.576	----	----	----	----
14	13.500	1.000	0.639	1.175	----	----	----	----
15	14.500	1.000	2.025	0.000	----	----	----	----
16	15.500	1.000	2.556	0.000	----	----	----	----
17	16.500	1.000	1.464	0.000	----	----	----	----
18	17.500	1.000	1.042	0.000	----	----	----	----
19	18.500	1.000	1.162	0.000	----	----	----	----
20	19.500	1.000	1.200	0.000	----	----	----	----
合計 $P_L$				47.639		----		----
評価			危険性極大		----		----	