

DENCO 液状化の検討

1. 1 計算内容

1. 液状化の判定

液状化が起こる地盤は、一般に飽和土層(地下水位が高い)で地表面から2.0m程度以浅の沖積層で細粒分含有率が3.5%以下の土とされていますが、埋め立て地盤などでは細粒分含有率が3.5%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された例も報告されています。

検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰返しせん断応力度比

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = \gamma_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \gamma_d$$

τ_d : 水平面に生ずる等価な一定繰返しせん断応力振幅 (kN/m²)

σ'_z : 検討深さにおける有効土被り圧 (鉛直有効応力) (kN/m²)

γ_n : 等価の繰返し回数に関する補正係数で 0.1 (M - 1)

M : マグニチュード

α_{\max} : 地表面における設計用水平化速度 (cm/s²)

g : 重力加速度 (980 cm/s²)

σ_z : 検討深さにおける全土被り圧 (鉛直有効応力) (kN/m²)

γ_d : 地盤が剛体でないことによる低減係数

$$\gamma_d = 1 - 0.015 z$$

z : 地表面からの検討深さ (m)

$$N_1 = C_N \cdot N$$

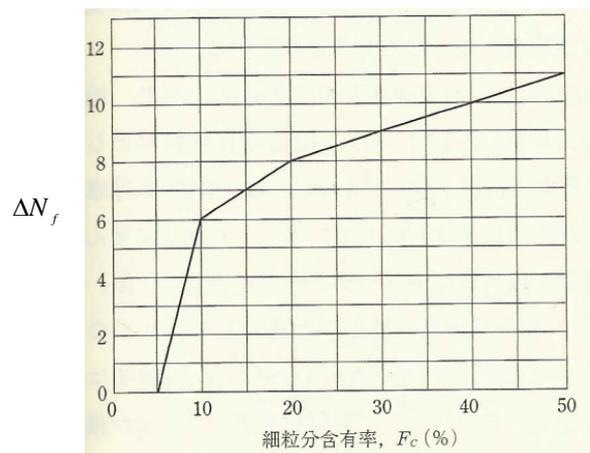
$$C_N = \sqrt{98/\sigma'_z}$$

$$N_a = N_1 + \Delta N_f$$

N_1 : 換算 N 値

C_N : 拘束圧に関する換算係数

ΔN_f : 細粒分含有率 F_c に応じた補正 N 値増分



N : トンビ法または自動落下法による実測 N 値

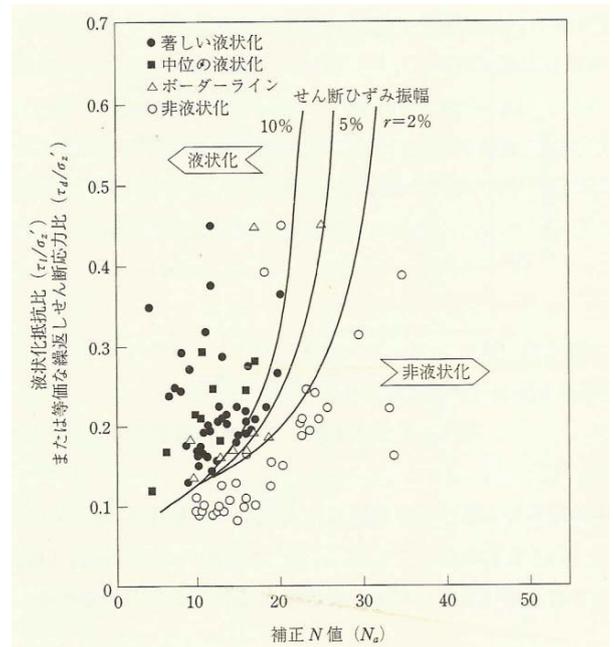
$$R = \tau_l / \sigma'_z$$

R : 図 4. 5. 1 中の限界せん断ひずみ曲線 5% を用いて、補正 N 値 (N_a) に対応する飽和土層の液状化抵抗比

τ_l : 水平面における液状化抵抗

$$F_l = \frac{\tau_l / \sigma'_z}{\tau_d / \sigma'_z}$$

F_l : 各深さにおける液状化発生に対する安全率



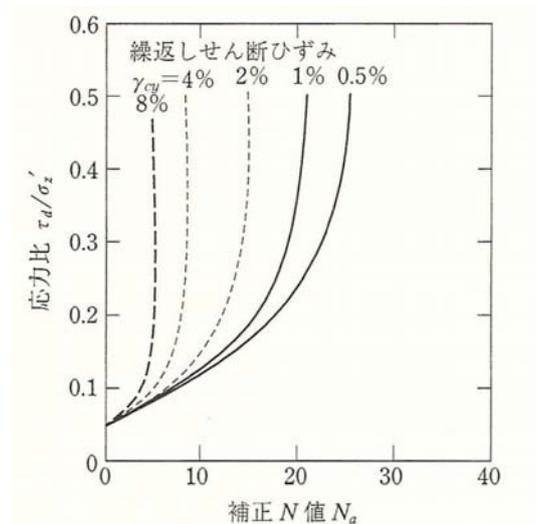
F_l 値が 1 より大きくなる土層については液状化発生の可能性はないものと判定

1 以下となる場合は、その可能性があり、値が小さくなるほど液状化の発生危険度が高く、 F_l 値が 1 を切る土層が厚くなるほど危険度が高くなる。

繰返しせん断応力度比 (τ_d / σ'_z) 算定における地表面水平加速度値は、建築基礎設計指針では損傷限界検討用として 150 ~ 200 cm/s²、終局強度検討用として 350 cm/s² 程度としている。

2. 液状化の程度と動的水平変位

動的水平変位は、繰返しせん断ひずみ γ_{cv} を N_a と τ_d / σ'_z より左図により推定し各層のせん断ひずみ γ_{cv} が同一方向に発生したと仮定して、これを鉛直方向に積分して変位を求める。



地表変位を D_{cy} とし液状化の程度は下表より推定します。

D_{cy} と液状化の程度の関係

D_{cy} (cm)	液状化の程度
0	なし
-05	軽微
05-10	小
10-20	中
20-40	大
40-	甚大

例題

下表に示す地盤において、液状化に対する安全率と液状化時の地表最大地盤変位を求めます。地下水位は深度 2 m 地表面加速度 200 (cm/s²) 地震マグニチュード M=7.5 とします。

深度	土質名	N 値	土の湿潤単 位 体 積 (kN/m ²)	細 粒 分 含有率 Fc (%)
1	シルト質細砂	8	17.6	25
2		3		
3	細砂	2	18.6	5
4		2		
5		12		
6		10		
7		15		
8		10		
9	細砂	15	18.6	15
10		22		
11		23		
12	粘土	2	14.7	100
13		2		
14		3		
15		3		
16		16		
17	礫混じり砂	42	18.6	0
18		45		
19		38		
20		50		
21		50		
22		50		
23		48		
24				
25				

*** 地盤の液状化の検討 ***

リストNO. [1] 柱状図名称 [基礎構造]

名称 [液状化判定と動的水平変位]

位置 [東京都中央区八丁堀 4-3-7]

調査日 [2012年 5月25日] 坑内水位 GL- 2.00m 水位測定日 [0年 0月 0日]

標尺 (m)	深度 (m)	層厚 (m)	土質 記号	土質 名称	N 値	10 20 30 40 50 60						FL	γ (kN/m ³)	F _c	性状
						0.1	1.0	10	100	1000	10000				
	2.00	2.00		シルト質 砂	8							4.91	17.60	25.00	砂 質
					3							1.19			
5	8.00	6.00		有機質土混じり 砂	2							0.46			
					2							0.40			
					12							0.92	18.60	5.00	砂 質
					10							0.76			
					15							0.94			
					10							0.69			
10	11.00	3.00		砂	15							1.47	18.60	15.00	砂 質
					22							3.78			
					23							3.85			
15	16.00	5.00		粘土	2							0.75			
					2							0.75	14.70	100.00	粘土質
					3							0.77			
					3							0.77			
20	25.00	9.00		礫混じり 砂	16							1.97			
					42										
					45										
					38										
					50										
					50										
					50										
					50										
25					50										
						基礎底 = 1.00									

深さ5mでの液状化の検討

$M = 7.5$

$\gamma_n = 0.1 (M - 1) = 0.65$

$\alpha_{max} = 200 \text{ (cm/s}^2\text{)} \quad g = 980 \text{ (cm/s}^2\text{)}$

$\sigma_z = 17.5 \times 2.0 + 18.6 \times (5.0 - 2.0) = 90.8 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

$\sigma'_z = 17.5 \times 2.0 + 8.2 \times (5.0 - 2.0) = 59.6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = \gamma_n \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \gamma_d$ より

$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = 0.65 \times (200/980) \times (90.8/59.6) \times (1 - 0.015 \times 4)$

$= 0.65 \times 0.204 \times 1.523 \times 0.94 = 0.1898$

$F_c = 5\%$ より

$\Delta N_f = 0 \quad N = 12$

$C_N = \sqrt{98/\sigma'_z}$ より

$C_N = \sqrt{98/59.6} = 1.28$

$N_1 = C_N \cdot N = 1.282 \times 12 = 15.38$

$N_a = N_1 + \Delta N_f$ より

$N_a = 15.38 + 0 = 15.38$

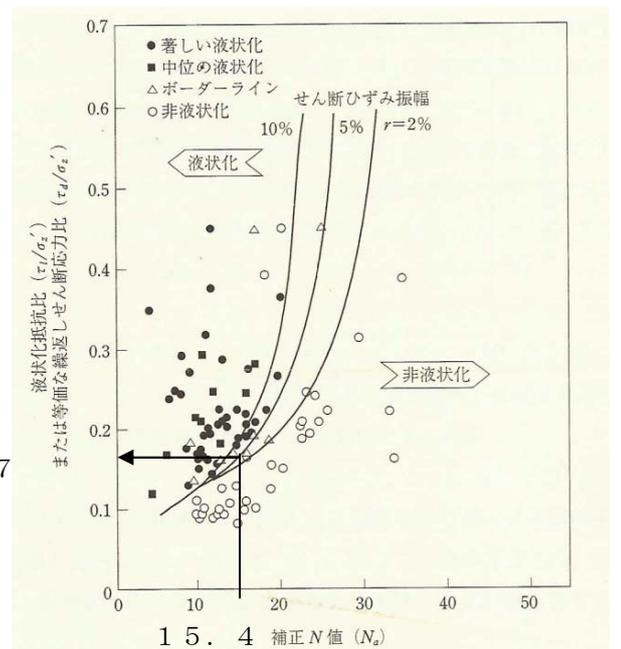
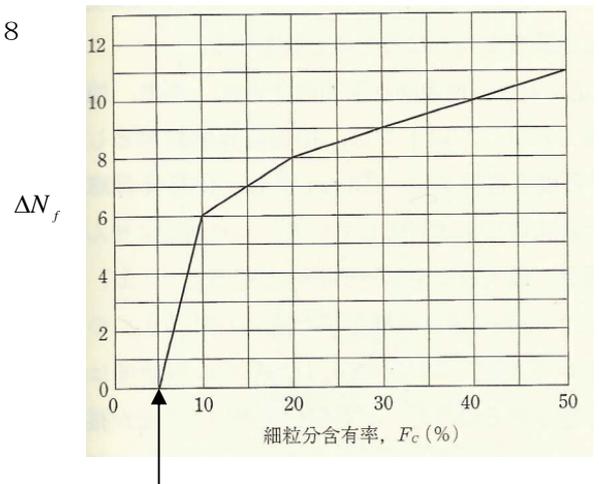
液状化抵抗比または等価な繰返しせん断力比と補正 N

の右図 5% 曲線より

$\tau_1/\sigma'_z = 0.17$

$F_l = \frac{\tau_1/\sigma'_z}{\tau_d/\sigma'_z} = 0.17 / 0.1898 = 0.9$

$F_l = 0.9$ によって液状化の危険性は高い



0.17

15.4 補正 N 値 (N_a)

《 液状化判定結果 》

マグニチュード M= 7.5
 地表面加速度損傷限界 $a_{max}=200$ cm/s² 終局限界=350 cm/s²
 最大地表面変位 損傷時 21.0 cm 終局時 27.0 cm
 液状化の程度: 大 坑内水位 - 2.00m

深度 (m)	N 値	細粒分 F _c (%)	全応力 σ_z (kN/m ²)	有効応力 σ'_z (kN/m ²)	低減 係数 rd	換算 N値 N1	N値増分 ΔN_f	補正 N値	液状化 抵抗比 τ_1/σ'_z	損傷限界			終局限界		
										繰返し せん断 応力比 τ_d/σ'_z	安全率 FL	判定	繰返し せん断 応力比 τ_d/σ'_z	安全率 FL	判定
0.00	0														
1.00	8	25.00	17.6	17.60	0.98	18.87	8.50	27.37	0.641	0.130	4.90		0.228	2.80	
2.00	3	25.00	35.2	35.20	0.97	5.00	8.50	13.50	0.153	0.128	1.19		0.225	0.68	
3.00	2	5.00	53.8	44.00	0.95	2.98	0.00	2.98	0.070	0.154	0.45	NG	0.271	0.26	NG
4.00	2	5.00	72.4	52.80	0.94	2.72	0.00	2.72	0.067	0.170	0.39	NG	0.299	0.22	NG
5.00	12	5.00	91.0	61.60	0.92	15.13	0.00	15.13	0.166	0.181	0.91	NG	0.317	0.52	NG
6.00	10	5.00	109.6	70.40	0.91	11.79	0.00	11.79	0.142	0.187	0.75	NG	0.328	0.43	NG
7.00	15	5.00	128.2	79.20	0.89	16.68	0.00	16.68	0.180	0.192	0.94	NG	0.336	0.53	NG
8.00	10	5.00	146.8	88.00	0.88	10.55	0.00	10.55	0.133	0.194	0.68	NG	0.340	0.39	NG
9.00	15	15.00	165.4	96.80	0.86	15.09	7.00	22.09	0.287	0.196	1.46	OK	0.343	0.83	NG
10.00	22	15.00	184.0	105.60	0.85	21.19	7.00	28.19	0.741	0.196	3.77	OK	0.343	2.15	OK
11.00	23	15.00	202.6	114.40	0.83	21.28	7.00	28.28	0.754	0.196	3.84	OK	0.343	2.19	OK
12.00	2	100.00	217.3	119.30	0.82	1.81	11.00	12.81	0.148	0.198	0.75		0.346	0.42	
13.00	2	100.00	232.0	124.20	0.80	1.77	11.00	12.77	0.148	0.199	0.74		0.349	0.42	
14.00	3	100.00	246.7	129.10	0.79	2.61	11.00	13.61	0.154	0.200	0.77		0.350	0.44	
15.00	3	100.00	261.4	134.00	0.77	2.56	11.00	13.56	0.154	0.200	0.76		0.350	0.43	
16.00	16	100.00	276.1	138.90	0.76	13.43	11.00	24.43	0.395	0.200	1.97		0.350	1.12	
17.00	42	0.00	294.7	147.70	0.74	34.21	0.00	34.21	2.270	0.197	11.51		0.345	6.58	
18.00	45	0.00	313.3	156.50	0.73	35.60	0.00	35.60	2.932	0.193	15.12		0.339	8.64	
19.00	38	0.00	331.9	165.30	0.71	29.25	0.00	29.25	0.901	0.190	4.73		0.333	2.70	
20.00	50	0.00	350.5	174.10	0.70	37.51	0.00	37.51	4.121	0.186	22.04		0.327	12.59	
21.00	50	0.00	369.1	182.90	0.68	36.59	0.00	36.59	3.504	0.183	19.11		0.320	10.92	
22.00	50	0.00	387.7	191.70	0.67	35.74	0.00	35.74	3.008	0.179	16.73		0.314	9.56	
23.00	50	0.00	406.3	200.50	0.65	34.95	0.00	34.95	2.603	0.176	14.78		0.308	8.45	
24.00	50	0.00	424.9	209.30	0.64	34.21	0.00	34.21	2.271	0.172	13.17		0.301	7.53	
25.00	50	0.00	443.5	213.70	0.62	33.85	0.00	33.85	2.127	0.172	12.36		0.301	7.06	

《 液状化による地表面変位と沈下量 》

深度 (m)	層厚 (m)	補正 N値 N _a	損傷限界			終局限界				
			FL	繰返しせん 断応力比 τ_d/σ'_z	繰返しせん 断歪 γ_{cy}	水平変位 D _{cy} (m)	FL	繰返しせん 断応力比 τ_d/σ'_z	繰返しせん 断歪 γ_{cy}	水平変位 D _{cy} (m)
0.00	1.00									
1.00	1.00	27.37	4.90	0.13	0.50		2.80	0.22	0.50	
2.00	1.00	13.50	1.19	0.12	0.50		0.68	0.22	1.73	
3.00	1.00	2.98	0.45	0.15	8.00	0.08	0.26	0.27	8.00	0.08
4.00	1.00	2.72	0.39	0.17	8.00	0.08	0.22	0.29	8.00	0.08
5.00	1.00	15.13	0.91	0.18	0.55	0.00	0.52	0.31	2.00	0.01
6.00	1.00	11.79	0.75	0.18	1.73	0.01	0.43	0.32	3.17	0.03
7.00	1.00	16.68	0.94	0.19	0.50	0.00	0.53	0.33	1.73	0.01
8.00	1.00	10.55	0.68	0.19	2.39	0.02	0.39	0.34	3.60	0.03
9.00	1.00	22.09	1.46	0.19	0.50		0.83	0.34	0.75	0.00
10.00	1.00	28.19	3.77	0.19	0.50		2.15	0.34	0.50	
11.00	1.00	28.28	3.84	0.19	0.50		2.19	0.34	0.50	
12.00	1.00	12.81	0.75	0.19	1.58		0.42	0.34	2.89	
13.00	1.00	12.77	0.74	0.19	1.61		0.42	0.34	2.90	
14.00	1.00	13.61	0.77	0.20	1.38		0.44	0.35	2.64	
15.00	1.00	13.56	0.76	0.20	1.40		0.43	0.35	2.66	
16.00	1.00	24.43	1.97	0.20	0.50		1.12	0.35	0.50	
17.00	1.00	34.21	11.51	0.19	0.50		6.58	0.34	0.50	
18.00	1.00	35.60	15.12	0.19	0.50		8.64	0.33	0.50	
19.00	1.00	29.25	4.73	0.19	0.50		2.70	0.33	0.50	
20.00	1.00	37.51	22.04	0.18	0.50		12.59	0.32	0.50	
21.00	1.00	36.59	19.11	0.18	0.50		10.92	0.32	0.50	
22.00	1.00	35.74	16.73	0.17	0.50		9.56	0.31	0.50	
23.00	1.00	34.95	14.78	0.17	0.50		8.45	0.30	0.50	
24.00	1.00	34.21	13.17	0.17	0.50		7.53	0.30	0.50	
25.00	0.00	33.85	12.36	0.17	0.50		7.06	0.30	0.50	

液状化の程度と水平地盤での動的水平変位

細粒分含有率 3.5% 以下の地下水位 2 m 以下のを対象とし応力比—補正 N 値右図より

深度 3 m では

液状化による地表面変位と沈下量の損傷限界より

$$N_a = 2.98$$

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = 0.15$$

$$\gamma_{cy} = 8\%$$

深度 5 m

$$N_a = 15.13$$

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = 0.18$$

$$\gamma_{cy} = 0.55\%$$

$$D_{cy} = 0.08 \times 1 + 0.08 \times 1 + 0.0055 \times 1 + 0.0173 \times 1 + 0.005 \times 1 + 0.0239 \\ = 0.21 \text{ (m)}$$

D_{cy} と液状化の程度の関係表より

20 cm - 40 cm となり 液状化の程度は大となります。

