5. 液状化の検討

5－1　液状化の検討について

地震時における液状化の検討は、日本建築学会発行『建築基礎構造設計指針 2001』に従い、以下に示す方法で実施した。また、今回は No.2 孔で液状化の検討を行った。

（1）対象とすべき土層

液状化の判定を行う必要がある飽和土層は、以下に示されるとおりである。

① 地表面から 20m 程度以浅の沖積層
② 細粒土含有率 F_C≦35%の地層
③ 細粒土含有率 F_C＞35%の地層において(埋め立て地盤・人口造成地盤)
・粘土分(5μm 以下)の含有率≦10%
・または塑性指数 Ip≦15%の低塑性シルト層

（2）液状化危険度予測

液状化判定は、図 5-1-1～図 5-1-3 を用い、以下の手順により行う。

（a）検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰り返しせん断応力比を次式によって計算する。

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

τ_d：水平面に生じる等価な一定繰り返しせん断応力振幅（kPa）
σ'_z：検討深さにおける有効土被り圧（鉛直有効応力）(kPa)
γ_n：等価な繰り返し回数に関する補正係数で、γ_n＝0.1（M－1）
ただし、Mは地震のマグニチュード
α_{max}'：地表面における設計水平加速度（cm/s^2）
g：重力加速度（980 cm/s^2）
σ_z：検討深さにおける全土被り圧（鉛直全応力）(kPa)
γ_d：地盤が剛体でないことによる低減係数でγ_d＝1－0.015 z
z はメートル単位で表した地表面からの検討深さ

（b）各深さにおける補正N値（N_a）を、下式を用いて計算する。

$$N_a = N_1 + \Delta N_f$$

$$N_1 = C_N \cdot N$$

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

N_a：補正N値

N_1：換算N値

$\triangle N_f$：細粒分含有率に応じた補正N値増分で、図 5-2 による

C_N：換算N値係数

N：実測N値

（c）図 5-1-1 の限界せん断ひずみ振幅５％曲線を用いて、補正N値（N_a）に対応する飽和土層の液状化抵抗比$R = \tau_l / \sigma'_z$を求める。ここに、τ_lは水平断面における液状化抵抗である。

（d）各深さにおける液状化発生に対する安全率F_Lを次式により計算する。

$$F_L = \frac{\dfrac{\tau_l}{\sigma'_z}}{\dfrac{\tau_d}{\sigma'_z}} = \frac{\tau_l}{\tau_d}$$

上式から求めた F_L 値が１より大きくなる土層については液状化の可能性はないものと判定し、逆に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発生危険度が低く、また、F_Lの値が１を切る土層が厚くなるほど危険度が高くなるものと判断する。

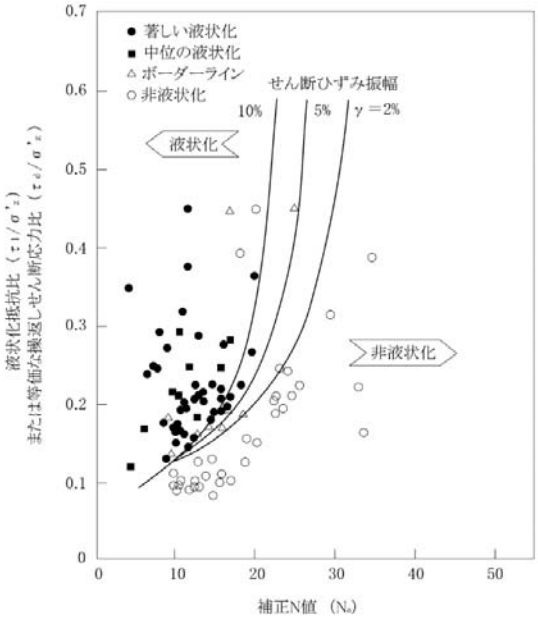


図 5-1-1 補正 N 値と液状化抵抗, 動的せん断ひずみの関係

建築基礎構造設計指針『2001』　P63 より

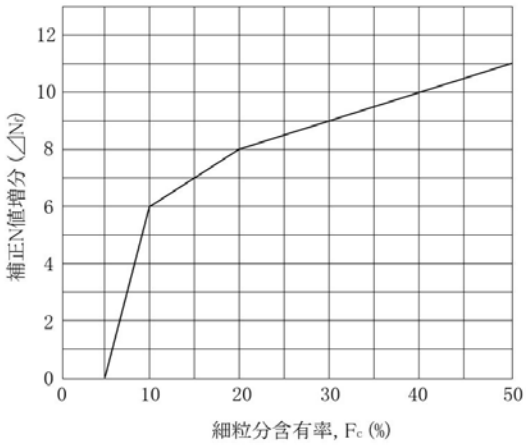


図 5-1-2　細粒分含有率と N 値の補正係数

建築基礎構造設計指針『2001』　P63 より

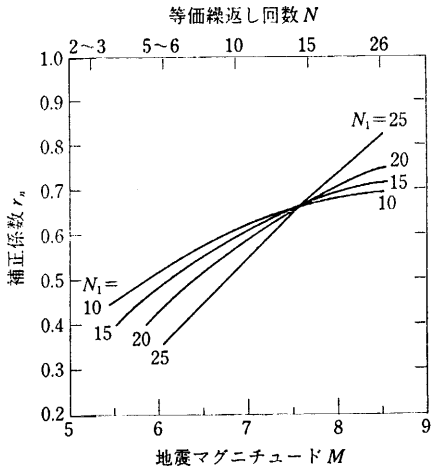


図 5-1-3　補正 N 値, マグニチュード, 繰り返し回数と補正係数の関係

建築基礎構造設計指針『2001』　P63 より

・液状化発生に対する液状化指数 P_L を次式により計算する。

$$P_L = \int_0^{20} F \times W(z)\,dz$$

$F = 1 - F_L$ （$F_L < 1.0$ の場合）

$F = 0$ （$F_L \geqq 1.0$ の場合）

$W(z) = 10.0 - 0.5 \times z$

$W(z)$：深さ方向の重み関数

z：地表面までの深さ[m]

上式から求めた P_L 値を表 5-1-1 にあてはめ、液状化の危険度を判定する。

以上が『地震による液状化とその対策』に示されている液状化判定の方法である。

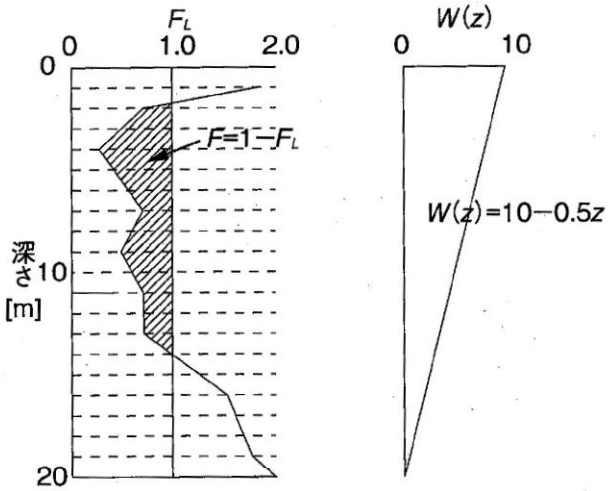


図 5-1-4　液状化指数 P_L 値の概要

表 5-1-1　P_L 値による液状化危険度の区分

$P_L=0$	液状化危険度はかなり低い.
$0.0 < P_L \leqq 5.0$	液状化危険度は低い.
$5.0 < P_L \leqq 15.0$	液状化危険度は高い.
$15.0 < P_L$	液状化危険度がかなり高い.

地震による液状化とその対策　平成 24 年 9 月　P85 より

（３）液状化の検討条件

（ａ）検討深度

液状化検討深度は、深度 0.0m～20.0m間の沖積層を対象とした。

（ｂ）地下水位

地下水位については、検討対象となる自由地下水位として、調査ボーリング削孔時に確認された水位を用いた。

№1 孔：5.1m　№2 孔：1.7m

（ｃ）水平加速度：150（cm/s^2），　200（cm/s^2）

（ｄ）マグニチュード：7.5

（ｅ）土の単位体積重量

計算式に用いる土質定数の単位重量は、表 5-2 を参考に決定した。

表 5-1-2　土質分類と単位重量，平均粒径，細粒分含有率の概略値

土質分類	地下水位面下の単位重量γ_{t2}(kN/m^3)	地下水位面上の単位重量γ_{t1}(kN/m^3)	平均粒径 D_{50} (mm)	細粒分含有率 FC (%)
表土	17.0	15.0	0.02	80
シルト	17.5	15.5	0.025	75
砂質シルト	18.0	16.0	0.04	65
シルト質細砂	18.0	16.0	0.07	50
微細砂	18.5	16.5	0.1	40
細砂	19.5	17.5	0.15	30
中砂	20.0	18.0	0.35	10
粗砂	20.0	18.0	0.6	0
砂れき	21.0	19.0	2.0	0

道路橋示方書･同解説　Ⅴ耐震設計編　平成 14 年 3 月　P357 より

5－2　液状化の判定結果

液状化の検討深度は、（３）の検討条件より孔内水位以深の、細粒土含有率 FC≦35%の沖積土層内において、水平加速度150(cm/s^2),200(cm/s^2)で液状化の判定を実施した。

表 5-2-1　粒度試験結果の細粒分含有率一覧表

試料番号	試験実施深度 GL-（m）	土質記号	土質区分	細粒分含有率 Fc（%）
№1-1	3.15～3.45	As1	シルト質砂	40.2
№1-2	5.15～5.45	As1	シルト混じり砂	22.5
№1-3	8.15～8.47	As1	砂	28.5
№1-4	12.15～12.45	As1	シルト混じり砂	34.4
№1-5	15.15～15.45	As1	シルト混じり砂	20.5
№2-1	3.15～3.45	As1	礫混じり砂	9.0
№2-2	6.15～6.45	As1	シルト混じり砂	22.9
№2-3	9.15～9.45	As1	砂	21.5
№2-4	12.15～12.45	As1	シルト混じり砂	44.7
№2-5	15.15～15.45	As1	シルト混じり砂	16.6

5－2－1　液状化に対する安全率 F_L 値による液状化判定

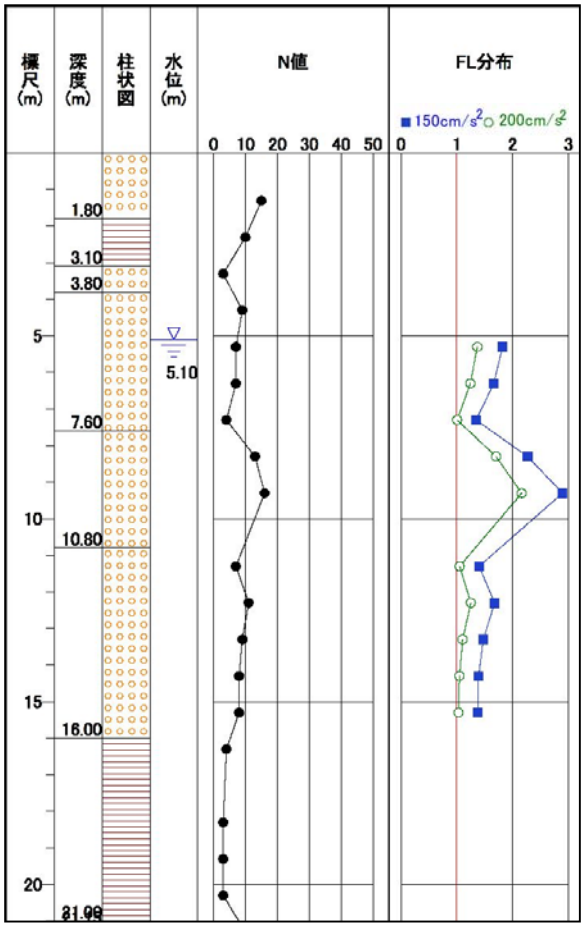
●No.1 孔

・ 150(cm/s^2)の場合

液状化対象層において F_L>1 を示し、“**液状化発生の可能性は低い**”と判断される。

・ 200(cm/s^2)の場合

液状化対象層において F_L>1 を示し、“**液状化発生の可能性は低い**”と判断される。



深度(調査) z (m)	N 値 N	(レベル 1) 150cm/s^2 液状化安全率 F_L	判定結果	(レベル 2) 200cm/s^2 液状化安全率 F_L	判定結果
1.300	15	—	—	—	—
2.300	10	—	—	—	—
3.300	3	—	—	—	—
4.300	9	—	—	—	—
5.300	7	1.819	しない	1.368	しない
6.300	7	1.663	しない	1.244	しない
7.300	4	1.346	しない	1.007	しない
8.300	13	2.268	しない	1.705	しない
9.300	16	2.896	しない	2.162	しない
11.300	7	1.400	しない	1.050	しない
12.300	11	1.678	しない	1.253	しない
13.300	9	1.475	しない	1.104	しない
14.300	8	1.390	しない	1.049	しない
15.300	8	1.374	しない	1.030	しない
16.300	4	—	—	—	—
18.300	3	—	—	—	—
19.300	3	—	—	—	—

図 5-2-1　液状化検討結果 F_L 値分布図　150 (cm/s^2), 200 (cm/s^2)　No.1 孔

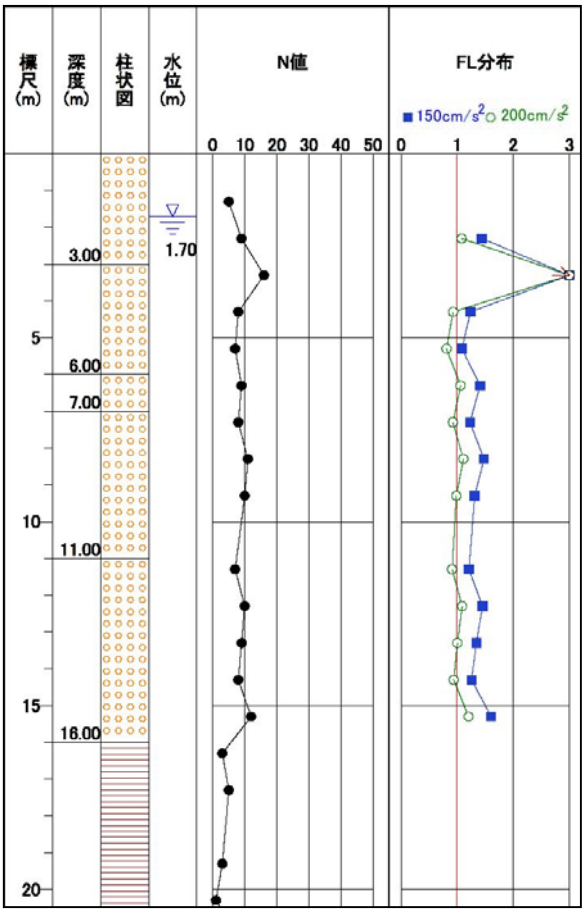
●No.2 孔

・ 150(cm/s²)の場合

液状化対象層において F_L>1 を示し、“**液状化発生の可能性は低い**”と判断される。

・ 200(cm/s²)の場合

GL-3.0～6.0m 間の礫混じり砂（深度 4.3m、5.3m），GL-7.0～11.0m 間の砂（深度 7.3m、9.3m），GL-11.0～16.0m 間のシルト混じり砂（深度 11.3m，14.3m）で F_L＜1 を示し、“**液状化発生の可能性が高い**”と判断される。



深度 (調査) z (m)	N 値 N	(レベル 1) 150cm/s² 液状化安全率 F_l	判定結果	(レベル 2) 200cm/s² 液状化安全率 F_l	判定結果
1.300	5	—	—	—	—
2.300	9	1.441	しない	1.081	しない
3.300	16	4.800	しない	3.593	しない
4.300	8	1.237	しない	0.928	液状化する
5.300	7	1.085	しない	0.810	液状化する
6.300	9	1.411	しない	1.062	しない
7.300	8	1.228	しない	0.924	液状化する
8.300	11	1.480	しない	1.110	しない
9.300	10	1.311	しない	0.985	液状化する
11.300	7	1.212	しない	0.910	液状化する
12.300	10	1.453	しない	1.090	しない
13.300	9	1.342	しない	1.005	しない
14.300	8	1.257	しない	0.939	液状化する
15.300	12	1.605	しない	1.204	しない
16.300	3	—	—	—	—
17.300	5	—	—	—	—
19.300	3	—	—	—	—

図 5-2-2 液状化検討結果 F_L 値分布図　150（cm/s²），200（cm/s²）No.2 孔

5－2－2　液状化指数 P_L 値による液状化判定

●No.1 孔

・ 150(cm/s^2)の場合

前述した安全率 F_L 値による液状化判定結果より、F_L>1 となり“**液状化発生の可能性は低い**”と判断された層は、液状化指数 P_L における検討結果では、**P_L=0.000** を示し**“液状化危険度はかなり低い”**と判断される。

・ 200(cm/s^2)の場合

前述した安全率 F_L 値による液状化判定結果より、F_L>1 となり“**液状化発生の可能性は低い**”と判断された層は、液状化指数 P_L における検討結果では、**P_L=0.000** を示し**“液状化危険度はかなり低い”**と判断される。

●No.2 孔

・ 150(cm/s^2)の場合

前述した安全率 F_L 値による液状化判定結果より、F_L>1 となり“**液状化発生の可能性は低い**”と判断された層は、液状化指数 P_L における検討結果では、**P_L=0.000** を示し**“液状化危険度はかなり低い”**と判断される。

・ 200(cm/s^2)の場合

前述した安全率 F_L 値による液状化判定結果より、F_L＜1 となり“**液状化発生の可能性は高い**”と判断された層は、GL-3.0～6.0m 間の礫混じり砂，GL-7.0～11.0m 間の砂，GL-11.0～16.0m 間のシルト混じり砂（深度 11.3m，14.3m）である。

液状化指数 P_L における検討結果では、**P_L=3.329** を示し“**液状化危険度は低い**”と判断される。

表 5-2-2　P_L 値による液状化危険度の区分

P_L=0	液状化危険度はかなり低い.
0.0 ＜ P_L ≦ 5.0	液状化危険度は低い.
5.0 ＜ P_L ≦ 15.0	液状化危険度は高い.
15.0 ＜ P_L	液状化危険度がかなり高い.

地震による液状化とその対策　平成 24 年 9 月　P85 より

表 5-2-3　液状化指数検討結果 No.1

No	深度 (調査) z (m)	層厚 H_i (m)	境界	(レベル 1) 150cm/s²			(レベル 2) 200cm/s²		
				液状化 安全率 F_l	液状化指数 p_{Li} (m)	液状化指数 P_L (m²)	液状化 安全率 F_l	液状化指数 p_{Li} (m)	液状化指数 P_L (m²)
1	1.300	1.300		—	—	—	—	—	—
2	2.300	1.000		—	—	—	—	—	—
3	3.300	1.000		—	—	—	—	—	—
4	4.300	1.000		—	—	—	—	—	—
5	5.100	0.800	水位	1.819	—	—	1.368	—	—
6	5.300	0.200		1.819	0.000	0.000	1.368	0.000	0.000
7	6.300	1.000		1.663	0.000	0.000	1.244	0.000	0.000
8	7.300	1.000		1.346	0.000	0.000	1.007	0.000	0.000
9	8.300	1.000		2.268	0.000	0.000	1.705	0.000	0.000
10	9.300	1.000		2.896	0.000	0.000	2.162	0.000	0.000
11	11.300	2.000		1.400	0.000	0.000	1.050	0.000	0.000
12	12.300	1.000		1.678	0.000	0.000	1.253	0.000	0.000
13	13.300	1.000		1.475	0.000	0.000	1.104	0.000	0.000
14	14.300	1.000		1.390	0.000	0.000	1.049	0.000	0.000
15	15.300	1.000		1.374	0.000	0.000	1.030	0.000	0.000
16	16.300	1.000		—	—	0.000	—	—	0.000
17	18.300	2.000		—	—	—	—	—	—
18	19.300	1.000		—	—	—	—	—	—
19	20.000	0.700	20m	—	—	—	—	—	—
					計	0.000		計	0.000

※地下水位の F_l は直下深度と同等にした

表 5-2-4　液状化指数検討結果 No.2

No	深度 (調査) z (m)	層厚 H_i (m)	境界	(レベル 1) 150cm/s²			(レベル 2) 200cm/s²		
				液状化 安全率 F_l	液状化指数 p_{Li} (m)	液状化指数 P_L (m²)	液状化 安全率 F_l	液状化指数 p_{Li} (m)	液状化指数 P_L (m²)
1	1.300	1.300		—	—	—	—	—	—
2	1.700	0.400	水位	1.441	—	—	1.081	—	—
3	2.300	0.600		1.441	0.000	0.000	1.081	0.000	0.000
4	3.300	1.000		4.800	0.000	0.000	3.593	0.000	0.000
5	4.300	1.000		1.237	0.000	0.000	0.928	0.565	0.283
6	5.300	1.000		1.085	0.000	0.000	0.810	1.397	0.981
7	6.300	1.000		1.411	0.000	0.000	1.062	0.000	0.699
8	7.300	1.000		1.228	0.000	0.000	0.924	0.483	0.242
9	8.300	1.000		1.480	0.000	0.000	1.110	0.000	0.242
10	9.300	1.000		1.311	0.000	0.000	0.985	0.080	0.040
11	11.300	2.000		1.212	0.000	0.000	0.910	0.392	0.472
12	12.300	1.000		1.453	0.000	0.000	1.090	0.000	0.196
13	13.300	1.000		1.342	0.000	0.000	1.005	0.000	0.000
14	14.300	1.000		1.257	0.000	0.000	0.939	0.174	0.087
15	15.300	1.000		1.605	0.000	0.000	1.204	0.000	0.087
16	16.300	1.000		—	—	0.000	—	—	0.000
17	17.300	1.000		—	—	—	—	—	—
18	19.300	2.000		—	—	—	—	—	—
19	20.000	0.700	20m	—	—	—	—	—	—
					計	0.000		計	3.329

※地下水位の F_l は直下深度と同等にした

5－2－3　液状化抵抗比D_{cy}

地表変位をD_{cy}とし液状化程度の指標とする。

地表変位(D_{cy})は図 5-7 より繰り返しせん断ひずみ(γ_{cy})を推定し計算で求めることができ、D_{cy}は沈下量(S)と読みかえることができる。

$$D_{cy} = \Sigma \gamma_{cy} \times H \text{（層厚）}$$

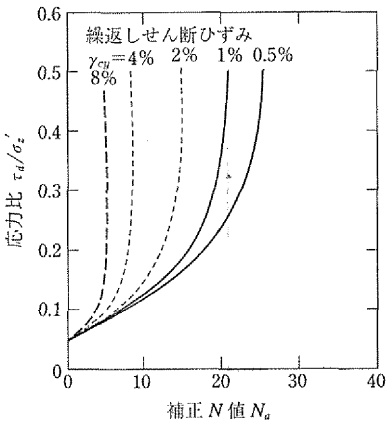


図 5-2-3　補正 N 地と繰り返しせん断ひずみの関係

建築基礎構造設計指針『2001』　P66 より

表 5-2-5　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

今回の液状化検討結果を用いて、図 5-2-3 より液状化抵抗比D_{cy}を算出した。

表 5-2-6　液状化抵抗比D_{cy}　No.1 孔

No	境界	深度(調査) x (m)	層厚 Hi (m)	有効層厚 Wi (m)	補正N値 Na	(レベル1) 150cm/s2 せん断応力比 τd/σ'z	せん断ひずみ γcy, εv (%)	水平変位量 Dcy (cm)	(レベル2) 200cm/s2 せん断応力比 τd/σ'z	せん断ひずみ γcy, εv (%)	水平変位量 Dcy (cm)
1		1.300	1.300	—	—	—	—	—	—	—	—
	1層	1.800	0.500								
2		2.300	0.500	—	—	—	—	—	—	—	—
	2層	3.100	0.800								
3		3.300	0.200	—	—	—	—	—	—	—	—
	3層	3.800	0.500								
4		4.300	0.500	—	—	—	—	—	—	—	—
	水位	5.100	0.800								
5		5.300	0.200	0.700	15.614	0.094	0.0	0.0	0.125	0.0	0.0
6		6.300	1.000	1.000	15.299	0.101	0.0	0.0	0.135	0.0	0.0
7		7.300	1.000	0.800	12.122	0.107	0.0	0.0	0.143	0.0	0.0
	4層	7.600	0.300								
8		8.300	0.700	1.200	20.953	0.112	0.0	0.0	0.149	0.0	0.0
9		9.300	1.000	2.000	23.218	0.115	0.0	0.0	0.154	0.0	0.0
	5層	10.800	1.500								
10		11.300	0.500	1.000	15.314	0.120	0.0	0.0	0.160	0.0	0.0
11		12.300	1.000	1.000	18.429	0.121	0.0	0.0	0.162	0.0	0.0
12		13.300	1.000	1.000	16.593	0.122	0.0	0.0	0.163	0.0	0.0
13		14.300	1.000	1.000	15.636	0.123	0.0	0.0	0.163	0.0	0.0
14		15.300	1.000	1.200	15.492	0.123	0.0	0.0	0.164	0.0	0.0
	6層	16.000	0.700								
15		16.300	0.300	—	—	—	—	—	—	—	—
16		18.300	2.000	—	—	—	—	—	—	—	—
17		19.300	1.000	—	—	—	—	—	—	—	—
18		20.300	1.000	—							
	7層	21.000	0.700								
	8層	21.150	0.150								
19		21.300	0.150	—							
20		23.150	1.850	—							
21		24.300	1.150	—							
22		25.300	1.000	—							
	9層	26.000	0.700								
23		26.300	0.300	—							
24		27.300	1.000	—							
25		28.300	1.000	—							
26		29.300	1.000	—							
	10層	29.600	0.300								
27		30.300	0.700	—							
28		31.300	1.000	—							
29		32.300	1.000	—							
30		33.300	1.000	—							
31		34.300	1.000	—							
	11層	34.800	0.500								
32		35.300	0.500	—							
	12層	35.800	0.500								
33		36.300	0.500	—							
34		37.300	1.000	—							
35		38.300	1.000	—							
36		39.300	1.000	—							
37		40.300	1.000	—							
38		41.300	1.000	—							
	13層	41.700	0.400								
39		42.300	0.600	—							
40		43.300	1.000	—							
41		44.300	1.000	—							
42		45.300	1.000	—							
43		46.300	1.000	—							
44		47.300	1.000	—							
45		48.300	1.000	—							
46		49.300	1.000	—							
	14層	50.000	0.700								
47		50.300	0.300	—							
地盤の水平変位量（沈下量）　計								0.0	計		0.0

表 5-2-7　液状化抵抗比 D_{cy}　No.2 孔

No	境界	深度(調査) x (m)	層厚 Hi (m)	有効層厚 Wi (m)	補正N値 Na	(レベル1) 150cm/s2 せん断応力比 τd/σ'z	せん断ひずみ γcy, εv (%)	水平変位量 Dcy (cm)	(レベル2) 200cm/s2 せん断応力比 τd/σ'z	せん断ひずみ γcy, εv (%)	水平変位量 Dcy (cm)
1		1.300	1.300	—	—	—	—	—	—	—	—
	水位	1.700	0.400								
2		2.300	0.600	1.300	14.283	0.111	0.0	0.0	0.148	0.0	0.0
	1層	3.000	0.700								
3		3.300	0.300	0.800	27.392	0.125	0.0	0.0	0.167	0.0	0.0
4		4.300	1.000	1.000	15.232	0.135	0.0	0.0	0.180	0.7	0.7
5		5.300	1.000	1.200	13.319	0.141	0.0	0.0	0.189	1.5	1.8
	2層	6.000	0.700								
6		6.300	0.300	1.000	18.613	0.146	0.0	0.0	0.194	0.0	0.0
	3層	7.000	0.700								
7		7.300	0.300	0.800	16.862	0.149	0.0	0.0	0.198	0.6	0.5
8		8.300	1.000	1.000	19.557	0.150	0.0	0.0	0.200	0.0	0.0
9		9.300	1.000	2.200	18.070	0.151	0.0	0.0	0.201	0.5	1.1
	4層	11.000	1.700								
10		11.300	0.300	0.800	16.889	0.151	0.0	0.0	0.201	0.7	0.6
11		12.300	1.000	1.000	19.340	0.150	0.0	0.0	0.200	0.0	0.0
12		13.300	1.000	1.000	18.210	0.149	0.0	0.0	0.199	0.0	0.0
13		14.300	1.000	1.000	17.150	0.148	0.0	0.0	0.198	0.5	0.5
14		15.300	1.000	1.200	20.214	0.147	0.0	0.0	0.196	0.0	0.0
	5層	16.000	0.700								
15		16.300	0.300	—	—	—	—	—	—	—	—
16		17.300	1.000	—	—	—	—	—	—	—	—
17		19.300	2.000	—	—	—	—	—	—	—	—
18		20.300	1.000	—							
	6層	21.000	0.700								
19		21.300	0.300	—							
	7層	21.500	0.200								
20		22.300	0.800	—							
21		24.300	2.000	—							
22		25.300	1.000	—							
23		26.300	1.000	—							
	8層	27.000	0.700								
24		27.300	0.300	—							
25		28.300	1.000	—							
	9層	29.000	0.700								
26		29.300	0.300	—							
27		30.300	1.000	—							
	10層	31.150	0.850								
28		31.300	0.150	—							
29		32.300	1.000	—							
30		33.300	1.000	—							
31		34.300	1.000	—							
32		35.300	1.000	—							
	11層	36.000	0.700								
33		36.300	0.300	—							
	12層	37.000	0.700								
34		37.300	0.300	—							
35		38.300	1.000	—							
36		39.300	1.000	—							
37		40.300	1.000	—							
38		41.300	1.000	—							
	13層	41.500	0.200								
39		42.300	0.800	—							
40		43.300	1.000	—							
41		44.300	1.000	—							
42		45.300	1.000	—							
43		46.300	1.000	—							
44		47.300	1.000	—							
45		48.300	1.000	—							
46		49.300	1.000	—							
	14層	50.000	0.700								
47		50.300	0.300	—							
地盤の水平変位量（沈下量）　計								0.0		計	5.2

●No.1 孔

・水平加速度 150（cm/s^2）の場合

表 5-7 より D_{cy}=0.0 を示し、表 5-6 より **“液状化の程度はなし”** と判断される。

・水平加速度 200（cm/s^2）の場合

表 5-7 より D_{cy}=0.0 を示し、表 5-6 より **“液状化の程度はなし”** と判断される。

●No.2 孔

・水平加速度 150（cm/s^2）の場合

表 5-8 より D_{cy}=0.0 を示し、表 5-6 より **“液状化の程度はなし”** と判断される。

・水平加速度 200（cm/s^2）の場合

表 5-8 より D_{cy}=5.2 を示し、表 5-6 より **“液状化の程度は小”** と判断される。

但し、液状化の発生の可能性は、地下水位、水平加速度によって異なるため、液状化の対策については建物の用途、規模を考慮して、適宜対応の有無を判断すべきと考える。

5－2－4　補正係数β

液状化の検討結果を用いて図 5-6 より地盤反力係数の低減率を求めた。
各層毎の最小補正N値(Na)を採用し、下表に示すβ値(補正係数)とした。

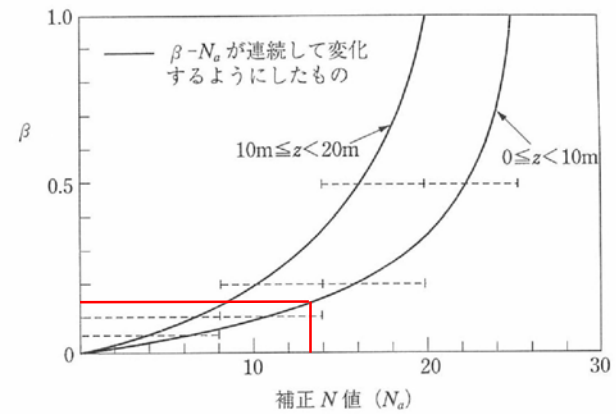


図 5-2-4　地盤反力係数の低減率

建築基礎構造設計指針『2001』　P69 より

表 5-2-8　各層毎のβ値(補正係数)結果表　№2 孔(レベル 2)

層記号	最小 Na の深度	補正N値 Na	補正係数 β値
As1	5.300m	13.319	0.15