

## 液状化判定と『SoilBase2008』

日本建築学会編「建築基礎構造設計指針」(2001)<sup>a.1)</sup>(以下、建築基礎構造設計指針と記す)の序文では、1995年阪神淡路大震災において、新潟地震以来の大規模な液状化現象の発生、それに伴う地盤の側方流動の発生、地震力による杭頭の破壊、あるいは地震の地盤変形による杭体の破壊など基礎構造の被害に関する調査結果が多数報告され、大地震時での地盤や基礎における設計法の必要性を痛感させられたとある。また2008年度日本建築学会大会パネルディスカッション「大地震時の杭基礎の耐震設計」の主旨<sup>a.2)</sup>においては、上部構造の耐震設計では一般的に2次設計が行われているものの杭基礎の耐震設計はChang式による検討が多く2次設計が行われるケースは少ない。海洋型大地震の発生が現実視される中、埋立地に杭基礎の超高層建物や免震建物が多く建設されていることを考えるとこれら建物の基礎構造は安全であるとは言いきれないと述べている。

上記の2つの引用文は少なくとも基礎構造における2次設計の必要性を喚起したものであるが、このような極めて稀に発生する地震動レベルを想定する場合には、表層地盤においても土の非線形化や液状化現象が現れる可能性があり、上部構造に大きな影響を及ぼすことになりかねない。実務ではこのようなことを念頭に正しく地盤の評価を行う必要がある。また限界耐力計算法などでも設計用応答スペクトルの設定において建設地盤の(動的モデルの)評価が重要になってきている。今後、設計者が基礎構造や上部構造の保有性能をしっかりと説明していくためには、建設地盤の評価をどのような考え方や根拠に基づいて行ったかについて十分な理解が不可欠である。

本資料は、建築基礎構造設計指針で示されている液状化判定法を概説し、その計算を簡便に支援するプログラム『SS21/SoilBase2008』(以下『SoilBase2008』と記す)のデータ入力例や活用例を説明したガイドラインである(実際の設計ではここに記した内容では不十分な場合もあり得ることに注意されたい)。

### 1. 液状化判定法

液状化判定の検討対象となる地盤と土質は、一般に地表面から20m程度以浅の飽和した沖積層で細粒分含有率が35%以下の土質である。ただし埋立地盤など人口造成地盤では細粒分含有率が35%以上でも液状化した事例があり、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%の埋立地あるいは盛土地盤については液状化の検討を行うこととされている<sup>a.1)</sup>。

建築基礎構造設計指針による液状化判定法はFL値法と呼ばれ、ある地盤の任意の深度における液状化発生に対する安全率 $F_l$ を式(1)で計算して判定する。

$$F_l = \frac{\tau_l / \sigma'_z}{\tau_d / \sigma'_z} \quad (1)$$

式(1)の右辺分母は地盤内に発生する等価な繰返しせん断応力比、また分子は液状化抵抗比である。 $F_l < 1$ となる深度において液状化発生の可能性があり、その値が小さくなるほど液状化発生危険度が高く、また1を下回る土層が厚くなるほど危険度が高くなると判断する。

等価な繰返しせん断応力比 $\tau_d / \sigma'_z$ は式(2)で表され、地震のマグニチュードと地表面における設計用水平加速度を与えて求まる当該深度におけるせん断応力比である。ここで“等価な繰返し”としているのは、元々非定常な地震動に対しそれに等価な一定繰返し震動を仮定したものであることを表している。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = r_n \frac{\alpha_{\max}}{g} \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} r_d \quad (2)$$

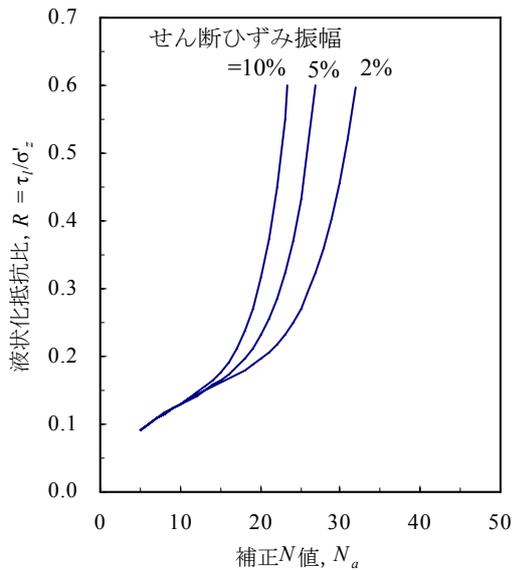


図 a.1 補正 N 値と液状化抵抗

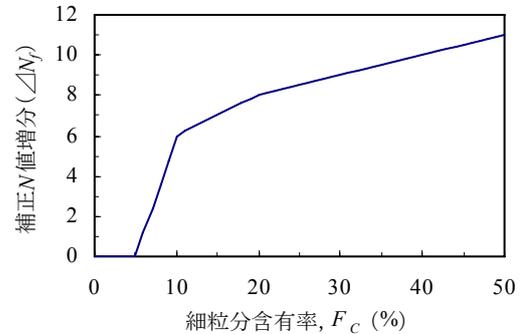


図 a.2 細粒分含有率と N 値の補正係数

ここに、 $\tau_d$  は水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力、 $\sigma'_z$  は検討深さにおける有効土被り圧（鉛直有効応力）、 $r_n$  は等価の繰返し回数に対する補正係数で  $0.1(M-1)$ 、 $M$  は地震のマグニチュード、 $\alpha_{\max}$  は地表面における設計用水平加速度、 $g$  は重力加速度、 $\sigma_z$  は検討深さにおける全土被り圧（鉛直全応力）、 $r_d$  は地盤が剛体でないことによる低減係数で  $1-0.015z$ 、 $z$  は地表面からの検討深さである。すなわち式(2)は、地表面の設計用加速度に地震のマグニチュードに応じた等価な繰返し係数を乗じた値（地表面での等価な一定加速度振幅）に対して、地中部の加速度分布係数（地表面を1とした）を考慮して求めた検討深度での慣性力を有効応力で除した比にほかならない。また等価の繰返し回数に対する補正係数  $r_n$  は地震マグニチュード  $M=7.5$  で  $r_n=0.65$  となるが、 $M \neq 7.5$  での  $r_n$  は土の補正 N 値  $N_a$ （後述）にも依存している<sup>a.1)</sup>。 $N_a$  も含めた提案式<sup>a.3)</sup>によると上述の式  $r_n=0.1(M-1)$  は  $N_a=10$  における関係を示していることになる。

せん断応力比  $\tau_d/\sigma'$  は対応深度の補正 N 値  $N_a$  を介して図 a.1 より求める。ここに、補正 N 値は  $N_1 + \Delta N$  で、 $N_1$  は換算 N 値で  $C_N N$ 、 $C_N$  は拘束圧に関する換算係数で  $\sqrt{98/\sigma'_z}$ 、 $N$  は N 値、 $\Delta N$  は細粒分含有率に応じた補正 N 値増分で図 a.2 より得る。また図 a.1 において通常用いるせん断ひずみ振幅 5%における液状化抵抗比は次式で表されている<sup>a.3)</sup>。

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = 0.0410 \left\{ \sqrt{N_a} + 0.00903 \left( \frac{N_a}{10} \right)^7 \right\} \quad (3)$$

ここで、地表面水平加速度値は、損傷限界検討用では  $150 \sim 200 \text{cm/s}^2$ 、終局限界検討用では  $350 \text{cm/s}^2$  程度が推奨されている<sup>a.1)</sup>。

## 2. 液状化に伴う地盤物性と地盤変形量の予測

液状化発生の可能性が高いと判断された地盤においては、液状化の程度、液状化による地盤変位、地盤物性の変化（地盤剛性の低下、水平地盤反力係数の低減）などを評価する必要がある。液状化の程度と動的水平変位は以下の手順によって予測することができる<sup>a.1)</sup>。

図 a.3 より補正 N 値  $N_a$  と等価繰返しせん断応力比  $\tau_d/\sigma'$  に対応する繰返しせん断ひずみ  $\gamma_{cy}$  を推定する。各層のせん断ひずみ  $\gamma_{cy}$  が同一方向に発生すると仮定して、これを鉛直方向に積分して、振動中の最大水平変位分布とする。

地表変位を  $D_{cy}$  とし液状化の指標とする。液状化の程度は  $D_{cy}$  の値により表 a.1 のように評価する。

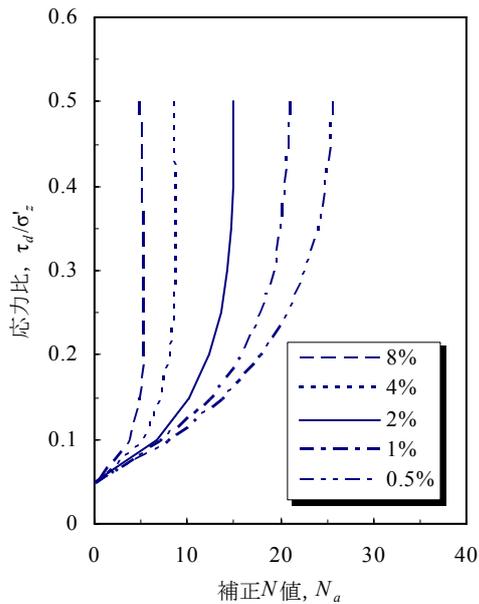


図 a.3 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係

表 a.1  $D_{cy}$  と液状化の程度の関係

$D_{cy}$ (cm)	液状化の程度
0	なし
— 5	軽微
5 — 10	小
10 — 20	中
20 — 40	大
40 —	甚大

同様に、沈下量  $S$  を求めたいときは、図 a.3 をそのまま使い、 $\gamma_{cy}$  を体積ひずみ  $\epsilon_v$  と読み換えればよい。また、液状化した水平地盤での直接基礎の沈下量応答や等価線形応答解析による地盤変形予測に必要な地盤剛性の評価は以下の方法によることができる<sup>a.1)</sup>。

図 a.4 の剛性低下率とひずみの関係から各層のひずみに適合した等価剛性を推定する。

液状化に対する安全率  $F_l$  が 1 以上で、有効応力低下の影響を考慮したい場合は、例えば式(4)により水圧上昇比  $r_u$  を求め、剛性が有効応力の平方根に比例すると考えて等価剛性を推定する。なお、図 a.4 はその影響を考慮している。

$$r_u = F_l^{-7} \quad (4)$$

さらに、液状化地盤における杭の水平抵抗の検討では、水平地盤反力係数  $k_h$  および塑性水平地盤反力  $p_y$  を式(5)-a,b により低減する<sup>a.1)</sup>。

$$k_{hl} = \beta k_{h0} \cdot y_r^{-1/2}, \quad p_{hl} = \alpha p_{h0} \quad (5)\text{-a,b}$$

ここに、 $\beta$  は補正係数で、補正 N 値  $N_a$  との関係として図 a.5 より与えられる<sup>a.1)</sup>。

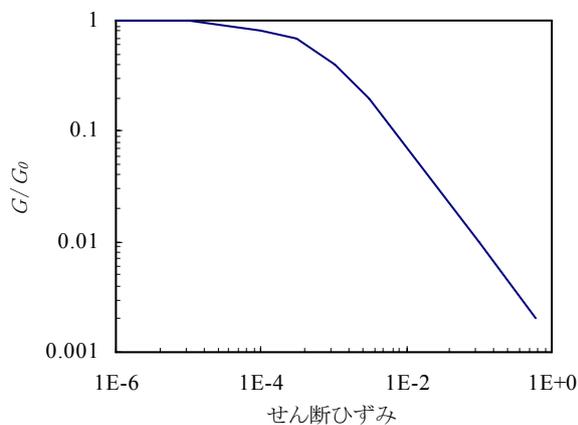


図 a.4 せん断ひずみと剛性低下率の関係

また、 $k_{h0}$  は基準水平地盤反力係数、 $y_r$  は液状化を考慮した杭と地盤の相対変位、 $p_{y0}$  は砂質地盤の塑性水平地盤反力である。塑性水平地盤反力の低減値  $\alpha$  は暫定的に  $\alpha = \beta$  とできる<sup>a.1)</sup>。

尚、液状化による地盤剛性低下率  $G/G_0$  や水圧上昇比  $r_u$  は、本来は有効応力解析から求まるものであり、図 a.4 や式(4)で与えられる値はあくまで概略値であることに留意すべきである。

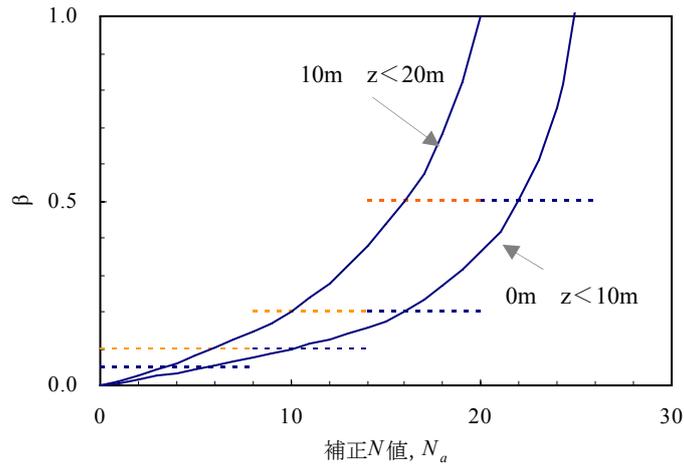


図 a.5 水平地盤反力係数の低減率

### 3. 液状化指数（PL 値）による液状化の危険度判定

液状化の激しさの程度を表す指数（液状化指数）として PL 値（ $P_L$ ）が提案されており式(6)により計算する<sup>a.4)</sup>。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_l) w(z) dz \quad (6)$$

ここに、 $w(z)$ は深さ方向に関する重み付け関数で $w(z) = 10 - 0.5z$ である。PL 値と液状化危険度の関係は表 a.2 のようにまとめられる<sup>a.4)</sup>。液状化の危険度が小さい範囲としては、PL 値が 5 以下であることが推奨される。

表 a.2  $P_L$  と液状化の危険度の関係

$P_L$	液状化危険度および液状化への対策
0	液状化危険度はかなり低い 液状化に関する調査は一般に不要
— 5	液状化危険度は低い 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
5 — 15	液状化危険度が高い 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
15 —	液状化危険度が極めて高い 液状化に関する詳細な調査と、液状化対策は不可避

#### 参考文献

- a.1) 社)日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001
- a.2) 田村修次：「大地震時の杭基礎の耐震設計」—2 次設計を導入するのに何が必要か—主旨説明，2008 年度日本建築学会大会 構造部門（基礎構造）基調講演・パネルディスカッション資料，2008.9
- a.3) 大崎順彦：建築基礎構造，技報堂出版，1991.1
- a.4) 岩崎敏男ほか：地震時地盤液状化の程度予測について，土と基礎，1980

## 『SoilBase2008』の機能概要

『SoilBase2008』は設計対象建物の地盤データを一元管理し、地盤の地震応答解析プログラムや杭・基礎の構造計算プログラムに対し必要な地盤データを出力するとともに、液状化判定および液状化による地盤物性の変化や地盤変形などの計算を行うプログラムである。

また『SoilBase2008』は、その前身の『SoilBase』に対し液状化判定に関する機能を充実させたプログラムであり、表 b.1 に新旧の機能比較を示す。

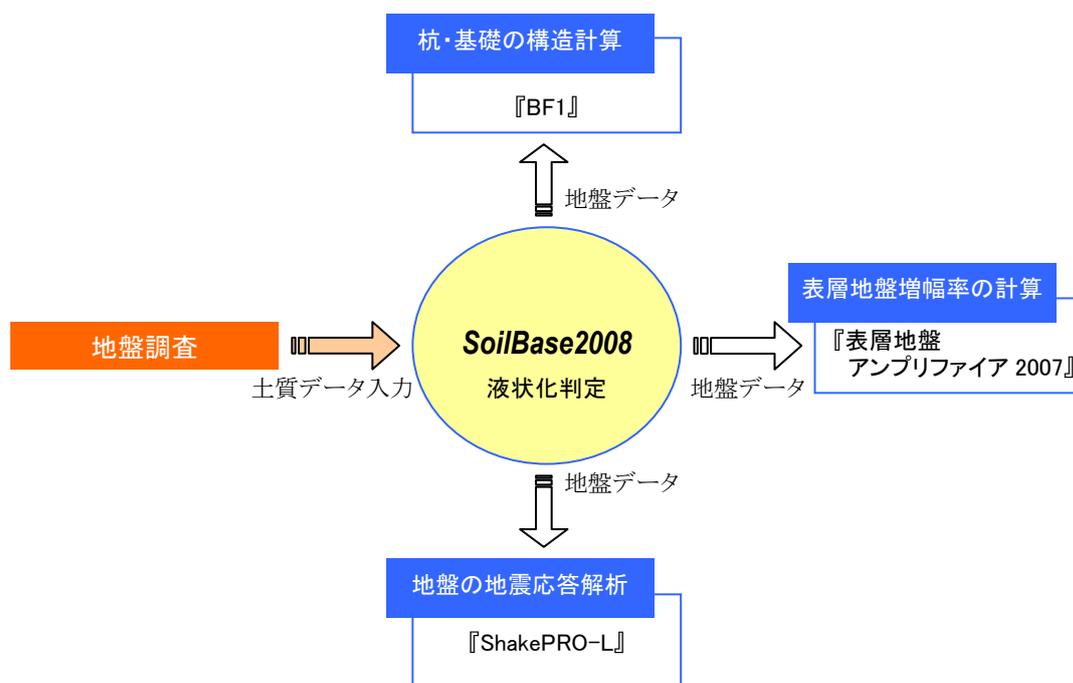


図 b.1 『SoilBase2008』と関連する構造計算プログラムの関連図

表 b.1 『SoilBase2008』と旧『SoilBase』の液状化判定に関する機能の比較表

	『SoilBase2008』	(旧) 『SoilBase』
FL 値による液状化判定		
地盤変位および地表変位の計算		×
地表変位による液状化の程度判定		×
地盤剛性の低下率の計算		×
水圧上昇比の計算		×
水平地盤反力係数の低減率の計算		(*)
PL 値による液状化危険度判定		×

○：機能あり ×：機能なし

(\*) 旧『SoilBase』による水平地盤反力係数の低減率の計算は 1988 年版の建築基礎構造設計指針<sup>b.1)</sup>の方法に拠っており、低減率 $\beta$ は補正  $N$  値  $N_a$  の値に対して階段状（不連続）に変化していた（図 a.5 の点線）。しかし日本建築学会編「建築耐震設計における保有耐力と変形性能」（1990）<sup>b.2)</sup>において $\beta-N_a$ が連続して変化するように修正され、建築基礎構造設計指針（2001）<sup>b.3)</sup>でもそれが採用されている。

『SoilBase2008』では指定により 1988 年版による計算も可能。

## 『SoilBase2008』の入力と計算例

建築基礎構造設計指針<sup>b.3)</sup> pp.445-448 [計算例 1] に記載の地盤データを用いて『SoilBase2008』でのデータ入力画面を図 b.2 に示す。なお土質分類に対する土質記号はプログラムのインストール時における初期値を用いている（土質記号のユーザー定義も可能）。

**SoilBase2008 基礎構造設計例 - SS21 / SoilBase2008**

ファイル(F) 編集(E) 設定(O) ヘルプ(H)

土質柱状図 | 液状化判定 | 液状化判定結果

標尺 (m)	深度 (m)	層厚 (m)	土質記号	土質名	孔内水位	標準貫入試験 (液状化判定)						
						N 値	(0.5) 10	(1.0) 20	(1.5) 30	(2.0) 40	(2.5) 50	(F)値
1	2.00	2.00		シルト質細砂								4.58
2	7.50	5.50		細砂								1.20
3	11.50	4.00		細砂								0.46
4	17.00	5.50		粘土								0.40
5	26.00	8.00		礫混じり粗砂								0.92

**基本データの編集**

N値 | 入力設定 |

深度 (m)	N値
1	1.00
2	2.00
3	3.00
4	4.00
5	5.00
6	6.00
7	7.00
8	8.00
9	9.00
10	10.00
11	11.00
12	12.00
13	13.00
14	14.00
15	15.00
16	16.00
17	17.00
18	18.00
19	19.00
20	20.00
21	21.00
22	22.00
23	23.00
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	

**土質と各種パラメータ | 入力設定 |**

深度(m)	層厚(m)	土質名	γ (kN/m <sup>3</sup> )	FC (%)
1	2.00	シルト質細砂	17.6	25.0
2	7.50	細砂	18.6	5.0
3	11.50	細砂	18.6	15.0
4	17.00	粘土	14.7	100.0
5	26.00	礫混じり粗砂	18.6	0.0
6				

土質毎にその層厚、土質名、単位体積重量γ、細粒分含有率 FC を入力する。  
土質名は右のリストボックスから記号を組み合わせて指定する

土質名入力補助  
副記号 (なし) シルト質  
主記号 表土 埋め土  
土質名にコピー

図 b.2 『SoilBase2008』の入力画面

図 b.3 は上記地盤データの液状化判定結果の印刷イメージである。液状化判定条件は [計算例 1] に倣って、地震マグニチュード  $M=7.5$ 、地表面最大加速度  $\alpha_{max}=200$  (cm/s<sup>2</sup>) とし、液状化判定の計算範囲は地表面から 20m 以浅で細粒分含有率が 35%以下の土質層とした。プログラムではこれら計算条件を設計方針に応じて変更することができる。

プログラム計算結果と [計算例 1] の結果とは合致している。また地表面変位  $D_{cy}$  を求める際、図 a.3 から細かく数値を読み取ることは困難であるが、プログラムでは容易に結果を得ることができる ([計算例 1] の結果の 23cm に対してプログラムの結果は 20.76cm となった)。同様に液状化層の水平地盤反力係数の低減係数  $\beta$  についてもプログラムでは連続曲線から容易に値を得ることができる。

『地盤データ及び液状化判定』 [建築基礎構造設計指針 計算例] SS21/SoilBase2008 Ver.1.01 Page-2

(計算条件) マグニチュード : 7.5  
設計用水平加速度 : 200 (cm/s<sup>2</sup>)

(計算範囲条件) 基点-計算深さ : 20 (m)  
計算深さまでの全域を対象として計算を行う  
建築基礎構造設計指針 : ■2001年版 □1988年版 (■に準拠)

(地盤反力係数の低減率) FI値が1未満の層があり液状化の可能性がある

(液状化の安全率)  $D_{cy} = 20.76$  (cm) 液状化の程度は大

(液状化の程度)  $PL = 12.38$  液状化の危険度は高い

FL 値、地表変位および PL 値から判断される液状化指標が印刷される。

計算条件			等価繰返しせん断応力比						液状化抵抗比						安全率	繰返し $\Delta D_{cy}$ (cm)	危険度 指標 $\Delta PL$	水平地盤 反力係数 の低減 係数 $\beta$
計算 深度 GL- (m)	N値 (回)	細粒分 含有率 FC (%)	全土 被り圧 $\sigma_z$ (kN/m <sup>2</sup> )	有効土 被り圧 $\sigma'_z$ (kN/m <sup>2</sup> )	補正 係数 $\gamma_n$	低減 係数 $\gamma_d$	応力 振幅 $\tau_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	応力比 $\tau_d/\sigma'_z$	換算 N値 係数 CN	換算 N値 N1	補正 N値 増分 $\Delta N_f$	補正 N値 Na	液状化 抵抗 $\tau_l$ (kN/m <sup>2</sup> )	抵抗比 $\tau_l/\sigma'_z$				
1.00	8	25.0	17.6	17.6	0.65	0.99	2.30	0.131	2.360	18.88	8.50	27.38	10.56	0.600	4.59			1.000
2.00	3	25.0	35.2	35.2	0.65	0.97	4.53	0.129	1.669	5.01	8.50	13.51	5.42	0.154	1.20			1.000
3.00	2	5.0	53.8	44.0	0.65	0.96	6.82	0.155	1.492	2.98	0.00	2.98	3.12	0.071	0.46	8.00	4.61	0.024
4.00	2	5.0	72.4	52.8	0.65	0.94	9.03	0.171	1.362	2.72	0.00	2.72	3.58	0.068	0.40	8.00	4.83	0.022
5.00	12	5.0	91.0	61.6	0.65	0.93	11.17	0.181	1.261	15.14	0.00	15.14	10.25	0.166	0.92	0.78	0.61	0.178
6.00	10	5.0	109.6	70.4	0.65	0.91	13.23	0.188	1.180	11.80	0.00	11.80	10.01	0.142	0.76	2.00	1.71	0.124
7.00	15	5.0	128.2	79.2	0.65	0.90	15.22	0.192	1.112	16.69	0.00	16.69	14.34	0.181	0.94	0.59	0.38	0.221
8.00	10	15.0	146.8	88.0	0.65	0.88	17.14	0.195	1.055	10.55	7.00	17.55	16.81	0.191	0.98	0.46	0.11	0.251
9.00	15	15.0	165.4	96.8	0.65	0.87	18.98	0.196	1.006	15.09	7.00	22.09	27.92	0.288	1.47			1.000
10.00	22	15.0	184.0	105.6	0.65	0.85	20.75	0.196	0.963	21.19	7.00	28.19	63.36	0.600	3.05			1.000
11.00	23	15.0	202.6	114.4	0.65	0.84	22.44	0.196	0.926	21.29	7.00	28.29	68.64	0.600	3.06			1.000
12.00	2	100.0	219.2	121.2	0.65	0.82	23.85	0.197	0.899	1.80	16.00	17.80	23.54	0.194	0.99	0.45	0.05	0.655
13.00	2	100.0	234.0	126.1	0.65	0.81	24.98	0.198	0.881	1.76	16.00	17.76	24.44	0.194	0.98	0.48	0.08	0.651
14.00	3	100.0	248.7	131.0	0.65	0.79	26.06	0.199	0.865	2.59	16.00	18.59	26.94	0.206	1.03			1.000
15.00	3	100.0	263.4	135.9	0.65	0.78	27.07	0.199	0.849	2.55	16.00	18.55	27.85	0.205	1.03			1.000
16.00	16	100.0	278.1	140.8	0.65	0.76	28.03	0.199	0.834	13.35	16.00	29.35	84.51	0.600	3.01			1.000
17.00	42	100.0	292.8	145.7	0.65	0.75	28.93	0.199	0.820	34.44	16.00	50.44	87.45	0.600	3.02			1.000
18.00	45	0.0	311.4	154.5	0.65	0.73	30.15	0.195	0.796	35.83	0.00	35.83	92.73	0.600	3.08			1.000
19.00	38	0.0	330.0	163.3	0.65	0.72	31.29	0.192	0.775	29.43	0.00	29.43	98.01	0.600	3.13			1.000
20.00	50	0.0	348.5	172.1	0.65	0.70	32.37	0.188	0.755	37.73	0.00	37.73	103.29	0.600	3.19			1.000

<sup>(\*)</sup> FI値が1より大きい土層は液状化発生の可能性がないものと判断し、逆に1以下はその可能性があるとして判断する。

図 b.3 『SoilBase2008』の液状化判定結果の印刷

## 液状化判定に必要な土質定数の概略値と『SoilBase2008』への登録

『SoilBase2008』は土質データを入力し、液状化判定や他の構造計算プログラムへ地盤データの出力を行うが、必ずしも必要な土質定数が地盤調査で試験されているとは限らない。このような場合は、あらかじめ土質名に対してその土質に応じた定数の概略値（推定値、経験値など）を登録しておくことでその値を用いることができる（登録はすべての土質に対して行う必要はない）。特に単位体積重量（重量密度）や細粒分含有率は液状化判定に不可欠なデータであり、これらを登録しておくことと実測値が不明の場合でもその代替として概略値を用いた計算が可能になる。ただし当然ながら概略値を用いることのばらつきについては配慮しておく必要がある。概略値の一例として道路橋示方書・同解説<sup>b.4)</sup>に記載されている単位体積重量や細粒分含有率などの各土質分類に対する概略値を表 b.2 に示す。また概略値の登録を行う画面を図 b.4 に示す。

表 b.2 土質分類と単位体積、平均粒径、細粒分含有率の概略値（道路橋示方書<sup>b.4)</sup>より）

土質分類	地下水位面下の単位重量 $\gamma_{t2}$ (kN/m <sup>3</sup> )	地下水位面上の単位重量 $\gamma_{t1}$ (kN/m <sup>3</sup> )	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

**土質名入力設定**

主記号用 土質名登録

		推定値	
土質名(主)	記号	地下水位以下 土の単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	細粒分含有率 FC (%)
7 微細砂	7	18.5	40
8 細砂	7	19.5	30
9 中砂	7	20.0	10
10 粗砂	7	20.0	0
11 砂礫(礫質土)	8	21.0	0

記号

0	(なし)
1	

副記号用 土質名登録

		推定値の補正	
土質名(副)	記号	土の単位重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	細粒分含有率 FC (%)
1 シルト質	1		
2 粘土質	2		
3 砂質	3		
4 シルト混じり	4		
5 粘土混じり	5		
6 砂混じり	6		

主記号に対して推定値（概略値）を指定している例

OK キャンセル ヘルプ(H)

図 b.4 『SoilBase2008』へ単位体積重量と細粒分含有率の概略値の登録

## [参考]概略値を用いた前述の地盤モデルでの液状化判定結果

ここでは参考として、先の [計算例 1] において単位体積重量と細粒分含有率が調査されていないと仮定し、それぞれの土質名に対してあらかじめ登録しておいた道路橋示方書<sup>b,4)</sup>の概略値を用いて液状化判定を行い、その結果の違いを比較してみる。

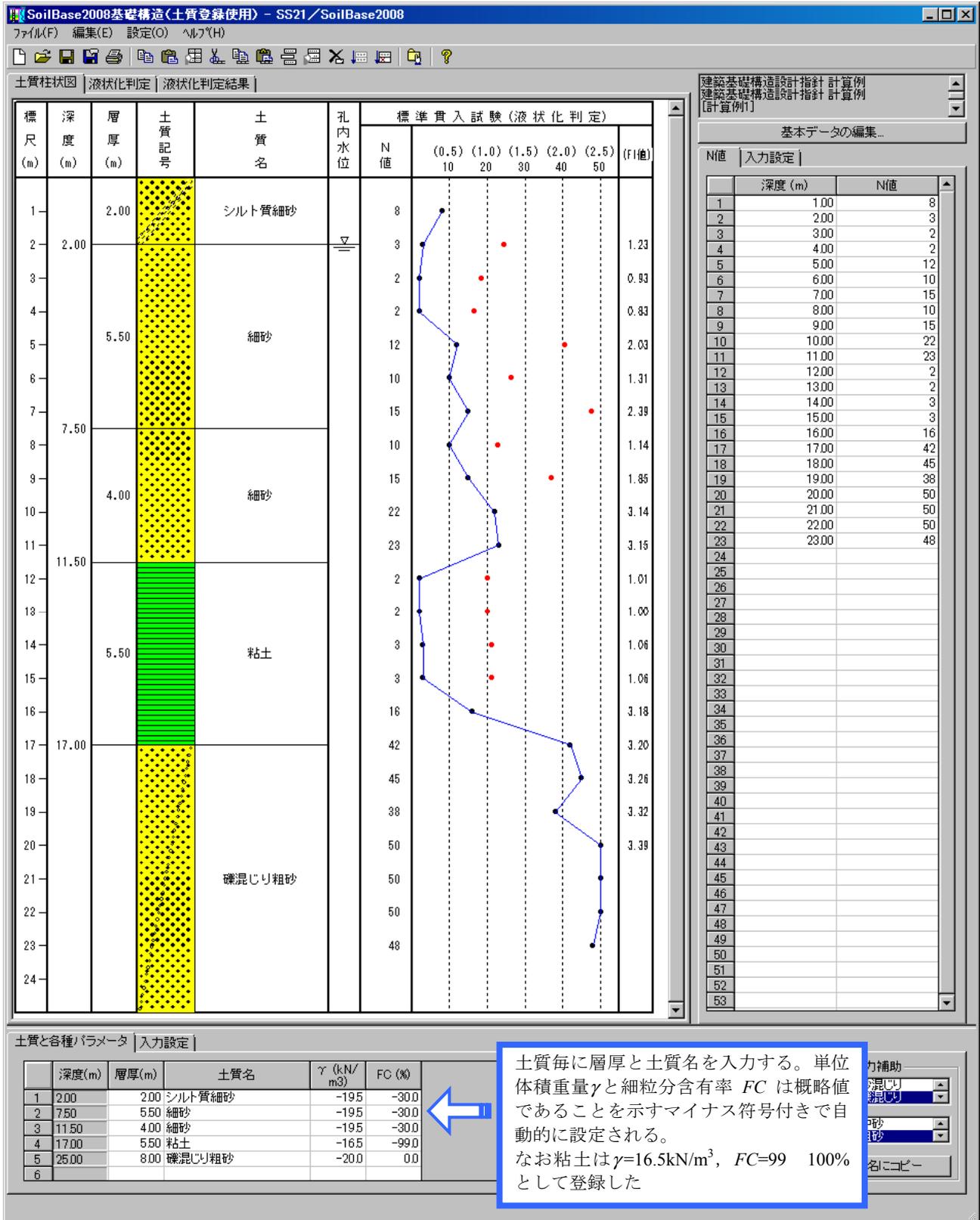


図 b.5 概略値を用いた入力画面

本概略値を用いた計算結果はそれを用いず指定値による結果に対して、液状化の程度が格段に小さくなり液状化発生レベルに大きな差が生じた。用いた概略値は単位体積重量 $\gamma$ と細粒分含有率  $FC$  であるが、深度 20m における全土被り圧  $\sigma_z$  および全有効土被り圧  $\sigma'_z$  の両者の差異はそれぞれ  $\pm 6\%$ 程度および  $\pm 12\%$ 程度であるのに対して、細粒分含有率  $FC$  の値で決定する補正 N 値増分  $N_f$  について液状化の発生が予測される深度 13m までの累計を比較すると、指定値を用いた場合で 77.0、概略値を用いた場合で 130.8 とその差異は  $\pm 60\sim 70\%$ と大きい。この原因は深度 2~12m の細砂に対する細粒分含有率が、概略値では 30%を、指定値では 5~15%を与えていることに起因する。

土質定数は可能な限り建設地の地盤調査から得ることが望ましく、また概略値を用いる場合は結果に影響を及ぼすようなばらつきを含む可能性が考えられ、設計上の安全側への配慮が必要であると言える。

『地盤データ及び液状化判定』 [建築基礎構造設計指針 計算例] SS21/SoilBase2008 Ver. 1.01 Page-2

(計算条件) マグニチュード : 7.5  
 設計用水平加速度 : 200 (cm/s<sup>2</sup>)  
 基点-計算深さ : 20 (m)

(計算範囲条件) 計算深さまでの全域を対象として計算を行う  
 (地盤反力係数の低減率) 建築基礎構造設計指針 : ■2001年版 □1988年版 (■に準拠)  
 (液状化の安全率) FI値が1未満の層があり液状化の可能性がある  
 (液状化の程度) Dcy = 2.90 (cm) 液状化の程度は軽微  
 (液状化危険度指標) PL = 1.95 液状化の危険度は低い

計算条件			等価繰返しせん断応力比						液状化抵抗比					安全率	繰返し $\Delta D_{cy}$ (cm)	危険度 指標	水平地盤 反力係数の低減 係数	
計算 深度	N値	細粒分 含有率	全土 被り圧	有効土 被り圧	補正 係数	低減 係数	応力 振幅	応力比	換算 N値 係数	換算 N値	補正 N値 増分	補正 N値	液状化 抵抗					抵抗比
GL- (m)	(回)	FC (%)	$\sigma_z$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma'_z$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma_n$	$\gamma_d$	$\tau_d$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\tau_d/\sigma'_z$	CN	NI	$\Delta N_f$	Na	$\tau_l$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\tau_l/\sigma'_z$				
1.00	8	30.0	17.5	17.5	0.65	0.99	2.29	0.131	2.366	18.93	9.00	27.93	10.50	0.600	4.59		1.000	
2.00	3	30.0	35.0	35.0	0.65	0.97	4.50	0.129	1.673	5.02	9.00	14.02	5.52	0.158	1.23		1.000	
3.00	2	30.0	54.5	44.7	0.65	0.96	6.90	0.154	1.481	2.96	9.00	11.96	6.40	0.143	0.93	1.22	0.62	0.126
4.00	2	30.0	74.0	54.4	0.65	0.94	9.23	0.170	1.342	2.68	9.00	11.68	7.69	0.141	0.83	1.67	1.33	0.122
5.00	12	30.0	93.5	64.1	0.65	0.93	11.47	0.179	1.236	14.84	9.00	23.84	23.27	0.363	2.03			1.000
6.00	10	30.0	113.0	73.8	0.65	0.91	13.64	0.185	1.152	11.52	9.00	20.52	17.93	0.243	1.31			1.000
7.00	15	30.0	132.5	83.5	0.65	0.90	15.73	0.188	1.083	16.25	9.00	25.25	37.55	0.450	2.39			1.000
8.00	10	30.0	152.0	93.2	0.65	0.88	17.74	0.190	1.025	10.25	9.00	19.25	20.18	0.217	1.14			1.000
9.00	15	30.0	171.5	102.9	0.65	0.87	19.68	0.191	0.976	14.64	9.00	23.64	36.32	0.353	1.85			1.000
10.00	22	30.0	191.0	112.6	0.65	0.85	21.54	0.191	0.933	20.52	9.00	29.52	67.56	0.600	3.14			1.000
11.00	23	30.0	210.5	122.3	0.65	0.84	23.32	0.191	0.895	20.59	9.00	29.59	73.38	0.600	3.15			1.000
12.00	2	99.0	228.5	130.5	0.65	0.82	24.86	0.190	0.867	1.73	15.90	17.63	25.06	0.192	1.01			1.000
13.00	2	99.0	245.0	137.2	0.65	0.81	26.16	0.191	0.845	1.69	15.90	17.59	26.28	0.192	1.00			1.000
14.00	3	99.0	261.5	143.9	0.65	0.79	27.40	0.190	0.825	2.48	15.90	18.38	29.10	0.202	1.06			1.000
15.00	3	99.0	278.0	150.6	0.65	0.78	28.58	0.190	0.807	2.42	15.90	18.32	30.33	0.201	1.06			1.000
16.00	16	99.0	294.5	157.3	0.65	0.76	29.69	0.189	0.789	12.63	15.90	28.53	94.38	0.600	3.18			1.000
17.00	42	99.0	311.0	164.0	0.65	0.75	30.74	0.187	0.773	32.47	15.90	48.37	98.40	0.600	3.20			1.000
18.00	45	0.0	331.0	174.2	0.65	0.73	32.05	0.184	0.750	33.75	0.00	33.75	104.52	0.600	3.26			1.000
19.00	38	0.0	351.0	184.4	0.65	0.72	33.29	0.181	0.729	27.70	0.00	27.70	110.64	0.600	3.32			1.000
20.00	50	0.0	371.0	194.6	0.65	0.70	34.45	0.177	0.710	35.48	0.00	35.48	116.76	0.600	3.39			1.000

<sup>(\*)</sup> FI値が1より大きい土層は液状化発生の可能性がないものと判断し、逆に1以下はその可能性があるものと判断する。

図 b.6 概略値を用いた液状化判定結果

## [参考]杭の応力計算への活用 — 杭・基礎の構造計算プログラム『BF1』を用いて—

杭や基礎構造の保有性能を明確化するには地盤を正しく評価することが不可欠である。特に液状化発生が予測されるような地盤において地盤物性の変化が杭応力に与える影響は大きい。

杭・基礎の構造計算プログラム『BF1』は『SoilBase2008』の地盤データおよび液状化判定結果（水平地盤反力係数の低減係数）を利用して杭や基礎の構造計算が行うことができる。ここでは参考として、先に示した[計算例1]の地盤上に杭基礎建物が建設されるものと仮定し、以下の3ケースの杭応力を比較する。

- 1) 液状化による影響を無視
- 2) 液状化による水平地盤反力係数の低減係数 $\beta$ を考慮（2001年版、 $\beta-N_a$ が連続、『SoilBase2008』）
- 3) 液状化による水平地盤反力係数の低減係数 $\beta$ を考慮（1988年版、 $\beta-N_a$ が不連続、旧『SoilBase』）

液状化（低減係数 $\beta$ ）を無視した杭応力は杭頭部および地中部において明らかに小さく評価され、危険側の結果を与えている。また液状化（低減係数 $\beta$ ）を考慮した場合でも、3)の方法（1988年版、 $\beta-N_a$ が不連続、旧『SoilBase』）は、 $N_a$ とFL値がある程度小さくなると $\beta=0.0$ とするように定められているため、本例のように完全に液状化するような地盤では2)の方法よりも杭応力が大きく評価される。

尚、ここで示した杭応力には地盤変形による影響は無視されている（『BF1』の仕様）が、地盤状況によっては杭応力に大きな影響を及ぼすことがある。これは応答変位法により比較的簡便に検討できる<sup>b.3)</sup>。

最後に2)および3)で用いた $\beta$ の $N_a$ との相関を図b.8に示す。 $\beta-N_a$ が不連続の場合の相関は階段状になっている箇所があるが、全体において両者は概ね対応している。

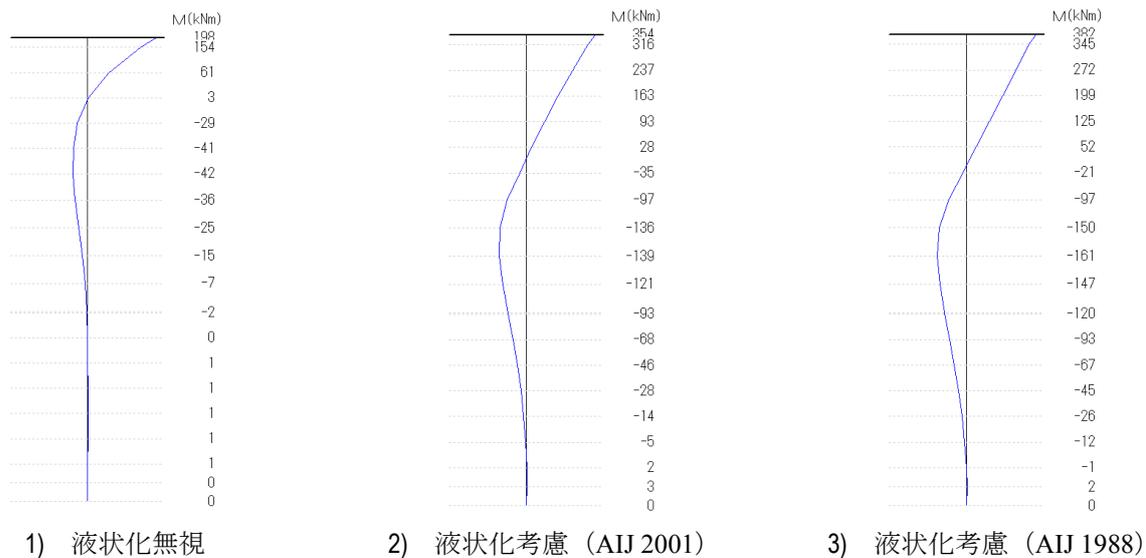


図 b.7 杭応力の比較

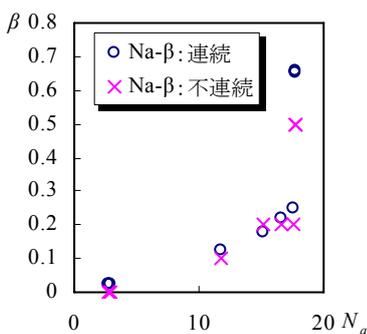


図 b.8  $\beta-N_a$ の相関

### まとめ

上部構造および基礎構造の設計に必要な建設地地盤評価の液状化判定について、その方法の概論と支援プログラム『SoilBase2008』の入力および活用例を示した。本資料が設計の一助になれば幸いである。

### 謝辞

本内容について、大阪大学、宮本裕司教授より監修および貴重な助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- b.1) 社)日本建築学会：建築基礎構造設計指針，1988
- b.2) 社)日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能，1990
- b.3) 社)日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001
- b.4) 社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，平成14年