

5.2 液状化の検討

(1) 液状化の検討位置・範囲

液状化の検討はボーリング孔（No. 1、No. 2孔）で実施した。

(2) 液状化の判定基準

日本建築学会「建築基礎構造設計指針：日本建築学会」では、液状化判定の対象とする土層として以下の項目をあげている。

- ①地表面から20m程度以浅の飽和された沖積層。
- ②細粒度含有率が35%以下の土。
- ③粘土分(0.05mm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以下の埋立あるいは盛土地盤。
- ④細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫

本調査地の地質構成は、沖積層下深度 $l=5.70\sim 6.70\text{m}$ 以深より洪積統の碧海層が分布しているが、本調査地は地形的に氾濫平野(既存報告では沖積低地)内にあり、地下水位が $\text{GL}-1.90\sim -2.00\text{m}$ と盛土と沖積層の境界部付近の浅所に位置することから液状化の検討を行った。なお、既存調査(第1次)でも液状化が懸念され液状化の検討が行われていることから、本調査では4.5章で述べた様に、より詳細な検討を行うため室内土質試験(細粒分含有率試験)を多くの地層で実施し、検討地点の細粒分含有率の把握に努めた。

地下水以下の地盤は飽和されていると想定した。

地表面における設計用水平加速度として、(社)日本建築学会「建築基礎構造設計指針」が推奨している終局限界用検討用と損傷限界検討用として、また東海地震予測値として次の加速度値を使用した。

○終局限界検討用加速度・・・・・・・・350gal (cm/sec²)。

(1995年兵庫南部地震などの際に液状化した地盤上で観測された最大値にほぼ対応)

○東海地震予測値加速度・・・・・・・・250gal (cm/sec²)。

○損傷限界検討用加速度・・・・・・・・200gal (cm/sec²)。

※損傷限界検討用加速度 200gal (cm/sec²) は愛知県共通仕様書より引用

(3) 計算式

(a) 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比

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_z} = \gamma_n \cdot \frac{\alpha_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \cdot \gamma_d \quad \text{①式}$$

τ_d : 水平面に生じる等価な一定繰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 : 等価の繰返し回数に関する補正係数

〔 $=0.1 \cdot (M-1)$ ただし M は地震のマグニチュードを示す〕

α_{\max} : 地表面における設計用水平加速度 (cm/s^2)

g : 重力加速度 (980cm/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

〔 $=1-0.015z$ ただし z は地表面からの検討の深さ (m) を示す〕

(b) 対応する深度の補正 N 値 (N_a) を、次式から求める。

$$N_1 = C_N \cdot N \quad \text{②式}$$

$$C_N = \sqrt{98 / \sigma'_z} \quad \text{③式}$$

$$N_a = N_1 + \Delta N_f \quad \text{④式}$$

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 FCI に応じた補正 N 値増分で図 5. 3. 2 による

N : トンビ法または自動落下法による実測 N 値

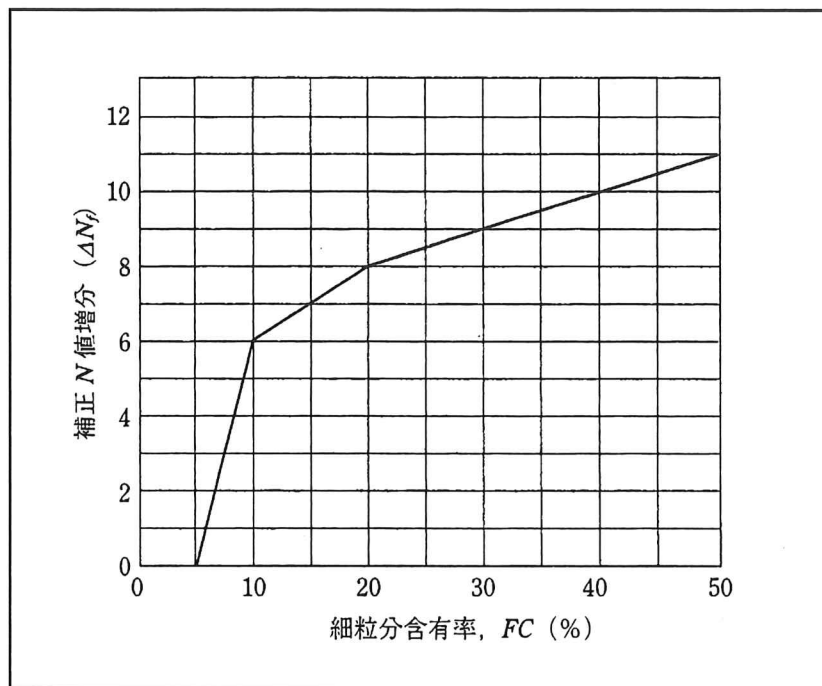


図5. 2. 1 細粒分含有率と補正N値増分

- (c) 図5. 2. 2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 $R = \tau_l / \sigma'_z$ を求める。
 なお τ_l は、水平面における液状化抵抗である。

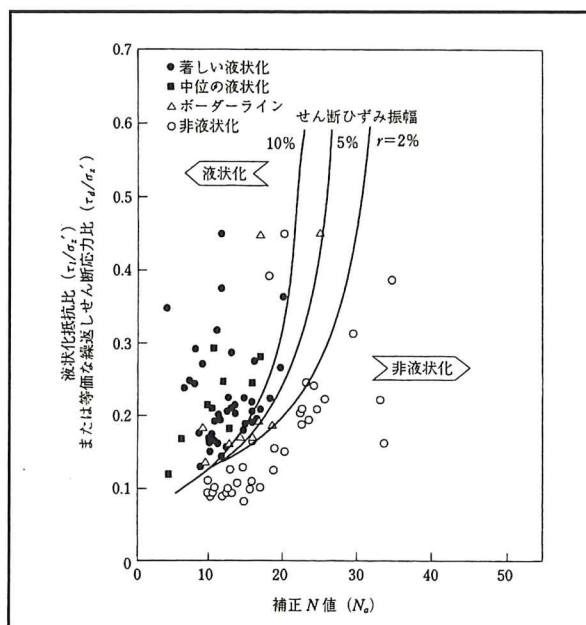


図5. 2. 2 補正N値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係

(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。

$$F_l = \frac{\tau_l / \sigma'_z}{\tau_d / \sigma'_z} \quad \text{⑤式}$$

(d) の式より求めた F_l 値が1より大きくなる土層については液状化発生の可能性はないものと判断し、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高く、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。

(4) 液状化指数 (PL)

液状化指数PLは、調査地点(地盤全体としての)の液状化の範囲や程度を示す指数として提案されている。表5.2.1にPL法の算出やその判断基準を示す。

(a) PL法の概要

PL法の概要を以下に示す。

表5.2.1 PL法の概要

[出典；土と基礎vol.28 「地震時液状化の程度の予測について」]

項目	内容
定義式	$P_L = \int_0^{20} F \cdot W(Z) \cdot d \cdot Z$ $F = \begin{cases} 1 - F_L & (F_L < 1.0) \\ 0 & (F_L \geq 1.0) \end{cases}$ $W(Z) = 10 - 0.5Z$ $P_L : \text{液状化指数} \quad W(Z) : \text{重み係数} \quad Z : \text{深度 (m)}$
判定基準	<p>$P_L = 0$: 液状化危険度はかなり低い。液状化に関する詳細な調査は一般に不要。</p> <p>$0 < P_L \leq 5$: 液状化危険度は低い。特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。</p> <p>$5 < P_L \leq 15$: 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。</p> <p>$15 < P_L$: 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。</p>

(5) 計算および検討結果

以下に計算結果を示す。なお、地質データ等は巻末資料に示す。

(a) 液状化係数FL

表5.2.2 液状化判定 計算結果 (No. 1孔)

No. 1孔 FL値計算結果

深 度 GL-(m)	分 類 地 層 土 質 区 分	N値 (回)	FL値		
			200gal	250gal	350gal
1.30	人工地層 盛土	4	-	-	-
2.30	沖積層 砂質土	7	0.971	0.776	0.555
3.30	沖積層 砂質土	11	2.581	2.065	1.475
4.30	沖積層 砂質土	18	2.292	1.833	1.310
5.30	沖積層 砂質土	8	1.151	0.921	0.658
6.30	碧海層 上部粘性土	7	1.277	1.021	0.730
7.30	碧海層 上部粘性土	10	1.839	1.471	1.051
8.30	碧海層 上部粘性土	10	1.942	1.553	1.110
9.30	碧海層 上部粘性土	60	2.850	2.280	1.629
10.30	碧海層 上部砂質土	60	2.881	2.305	1.647
11.30	碧海層 上部砂質土	34	2.918	2.334	1.667
12.30	碧海層 上部粘性土	30	2.925	2.340	1.672
13.30	碧海層 上部砂質土	28	2.543	2.035	1.453
14.30	碧海層 上部砂質土	17	0.860	0.688	0.492
15.30	碧海層 上部粘性土	44	3.023	2.418	1.727
16.30	碧海層 下部砂質土	19	0.977	0.781	0.558
17.30	碧海層 上部砂質土	60	3.118	2.494	1.781
18.30	碧海層 上部砂質土	60	3.182	2.545	1.818
19.30	碧海層 上部砂質土	31	1.747	1.398	0.998
20.00	碧海層 上部粘性土	10	1.241	0.993	0.709

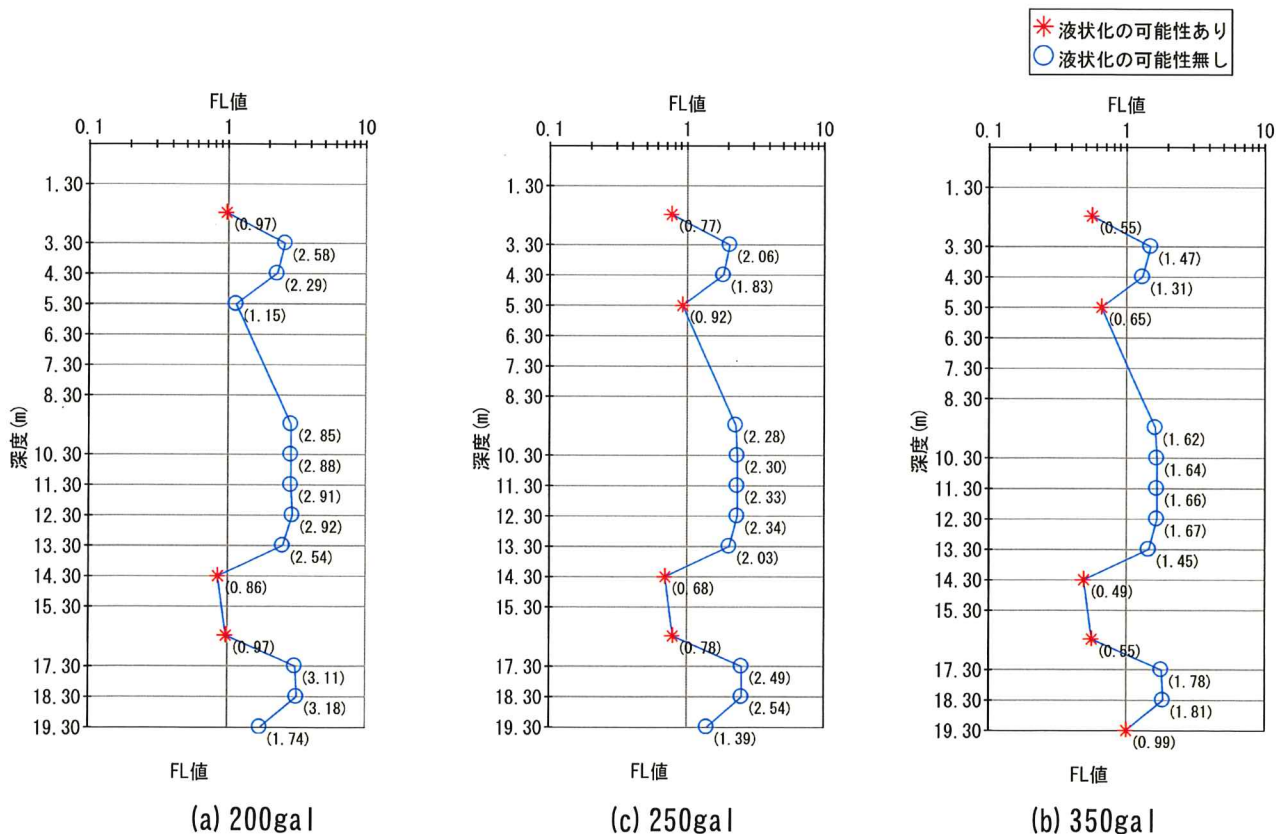


図5.2.3 液状化判定結果図 (No. 2孔)

表5.2.3 液状化判定 計算結果 (No. 2孔)

No. 2孔 FL値計算結果

深 度 GL-(m)	分 類 地 層 土 質 区 分	N値 (回)	FL値		
			200gal	250gal	350gal
1.30	人工地層 盛土	1	-	-	-
2.30	沖積層 砂質土	5	1.228	0.982	0.701
3.30	沖積層 砂質土	20	3.656	2.925	2.089
4.30	沖積層 砂質土	23	3.381	2.705	1.932
5.30	沖積層 粘性土	10	0.786	0.629	0.449
6.30	沖積層 砂質土	18	1.330	1.064	0.760
7.30	碧海層 上部粘性土	6	0.538	0.431	0.308
8.30	碧海層 上部粘性土	24	2.377	1.902	1.358
9.30	碧海層 上部砂質土	34	2.970	2.376	1.697
10.30	碧海層 上部砂質土	36	2.978	2.383	1.702
11.30	碧海層 上部砂質土	39	2.995	2.396	1.712
12.30	碧海層 上部砂質土	43	3.019	2.416	1.725
13.30	碧海層 上部砂質土	49	3.049	2.439	1.742
14.30	碧海層 上部砂質土	19	3.078	2.463	1.759
15.30	碧海層 上部砂質土	25	1.239	0.991	0.708
16.30	碧海層 上部砂質土	33	2.703	2.162	1.544
17.30	碧海層 上部粘性土	17	0.804	0.643	0.459
18.30	碧海層 上部砂質土	58	3.260	2.608	1.863
19.30	碧海層 上部砂質土	26	2.480	1.984	1.417

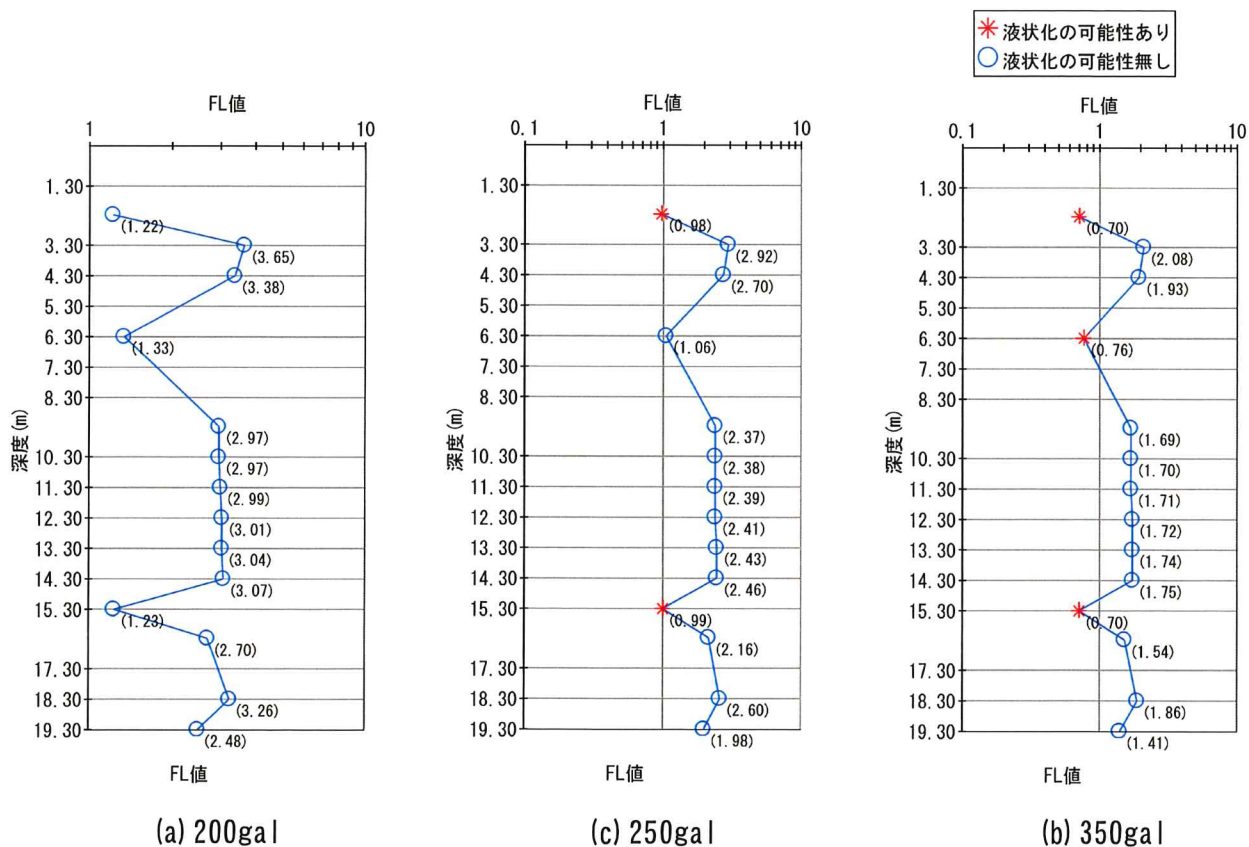


図5.2.4 液状化判定結果図 (No. 3孔)

以上より、下表5. 2. 4に示した各孔における深度でFL値<1.0となる箇所(深度)がみられた。

表5. 2. 4 FL<1.0を与える深度

孔番	深度範囲	地層名	土質分類	FL値			N値
				200gal	250gal	350gal	
No. 1	2.3	沖積層	粗砂	0.971	0.776	0.555	7
	5.3	沖積層	砂質土	1.151	0.921	0.658	8
	14.3	碧海層	上部砂質土	0.860	0.688	0.492	17
	16.3	碧海層	下部砂質土	0.977	0.781	0.558	19
	19.3	碧海層	上部砂質土	1.747	1.398	0.998	31
No. 2	2.3	沖積層	砂質土	1.228	0.982	0.701	5
	6.3	沖積層	砂質土	1.330	1.064	0.760	18
	15.3	碧海層	上部砂質土	1.239	0.991	0.708	25

(b) 液状化係数 (PL)

PL法によって求められた液状化指数PL値を下表に示す。

表5. 2. 5 液状化指数 (PL)

孔番	設計用水平加速度 (cm/s ²)	液状化指数PL
No. 1	200	0.70
	250	3.85
	350	8.72
No. 2	200	0.00
	250	0.16
	350	4.71

液状化判定基準 (PL値)

- PL = 0 液状化危険度はかなり低い。液状化に関する詳細な調査は一般に不要。
- 0 < PL ≤ 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 < PL ≤ 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 < PL 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。

PL値から各孔の液状化危険度は以下の通りである。

- No.1孔：200gal (損傷限界)～250gal (東海地震)ではPL値＝0.70～3.85
「液状化危険度は低い」であるが、350gal (終局限界)はPL値＝8.72「液状化危険度が高い」となった。
- No.2孔：200 (損傷限界)ではPL値＝0「液状化危険度はかなり低い」、
250gal (東海地震)～350gal (終局限界)ではPL値＝0.16～4.71
「液状化危険度は低い」となった。

(6) 深度とN値の関係

建築基礎構造設計基準では深さ (H) とN値 (N) の関係から液状化も危険性の判断 (目安) を示している。

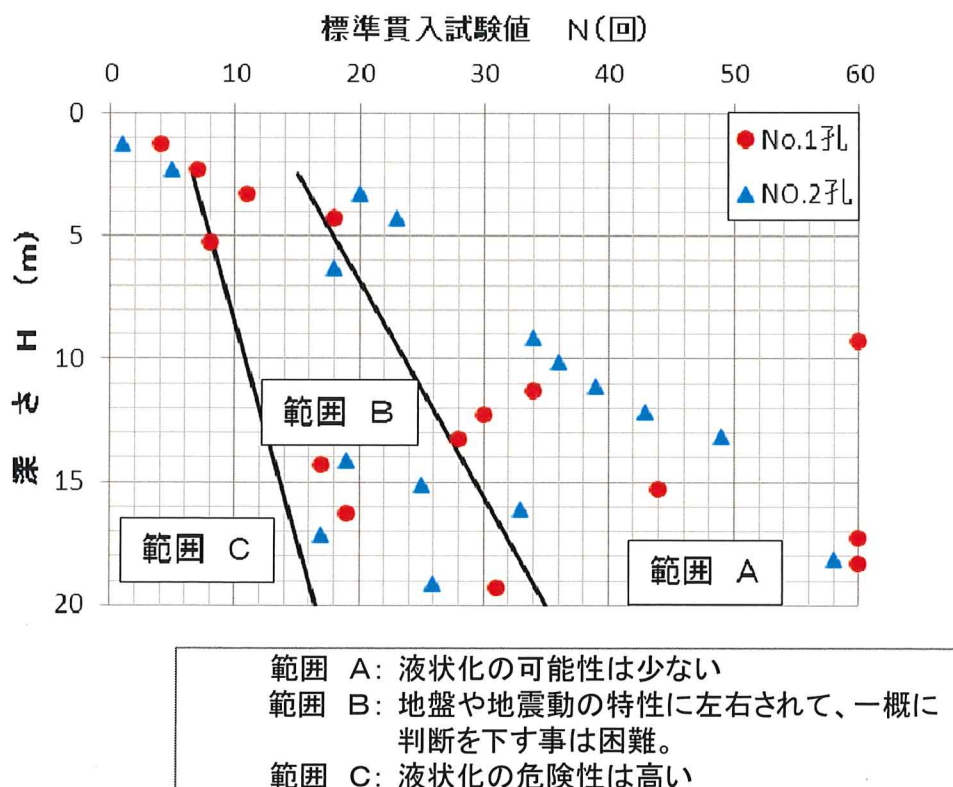


図 5.2.5 深さ (H) ～N値 (N) の関係

[出典：建築基礎構造設計基準 同解説(1974年)]

前図から液状化の危険性に対する区分は下記の様になる。

範囲C：液状化の危険性は高い	4点／32点	(約13%)
範囲B：一概に判定出来ない	9点／32点	(約28%)
範囲A：液状化の可能性は少ない	19点／32点	(約59%)

この結果から、「沖積層(As層)」において液状化の危険性が高いと推測されるが、碧南層においては、一概に液状化の判断を下しことは困難とされる範囲Bに含まれる地点が深度 $\ell=14\text{m}$ 以深にみられる。

(c) まとめ

No. 1およびNo. 2孔における上記結果より、全体として本調査地の液状化検討について以下に述べる。

- ① 損傷限界(200gal)についてはNo. 1孔深度 $\ell=2.30$ 、 14.30 、 16.30m においてFL値 <1.0 となった。No. 2孔では全検討地点においてFL ≥ 1 を満足した。
- ② 東海地震(250gal)では、No. 1孔で深度 $\ell=1.30$ 、 5.30m の沖積層、 $\ell=14.30$ 、 16.30m の碧海層で、No. 2孔で深度 $\ell=1.30\text{m}$ の沖積層、 $\ell=15.30\text{m}$ の碧海層で僅かにFL値 <1.0 (0.98 、 0.99)となった。
- ③ 局限界レベル(350gal)では、No. 1孔で上記同深度と $\ell=19.30\text{m}$ (0.99)で、No. 2孔東海地震(250gal)の同深度と $\ell=6.30\text{m}$ でFL値 <1.0 となった。
- ④ 液状化指数(PL)において本調査地点では「液状化危険度はかなり低い～液状化危険度は低い～液状化危険度が高い」となる
- ⑤ 深度～N値の関係からは、沖積層においては液状化の可能性が高いが、碧海層では $\ell=14\text{m}$ 以深に一概に液状化の可能性の判断を下すことが困難な地点がある。