

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表面から20m程度以浅の飽和された沖積層。
- ②細粒分含有率が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、大部分が砂質土からなる沖積層 (As層) が深度 $l=GL-5.90\sim-7.00m$ にみられ、液状化検討深度 $l=GL-20m$ 間は洪積層の碧海層 (Dhs1層とDhc1層の互層) が分布している。本調査地は地形的にも氾濫平野内にあり地下水位が $GL-1.60\sim-2.10m$ の浅所に位置し一般的には液状化の可能性が低いとされる洪積層であるがN値の小さい箇所もみられるため、沖積層と同様に液状化の検討を行った。

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 FC 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

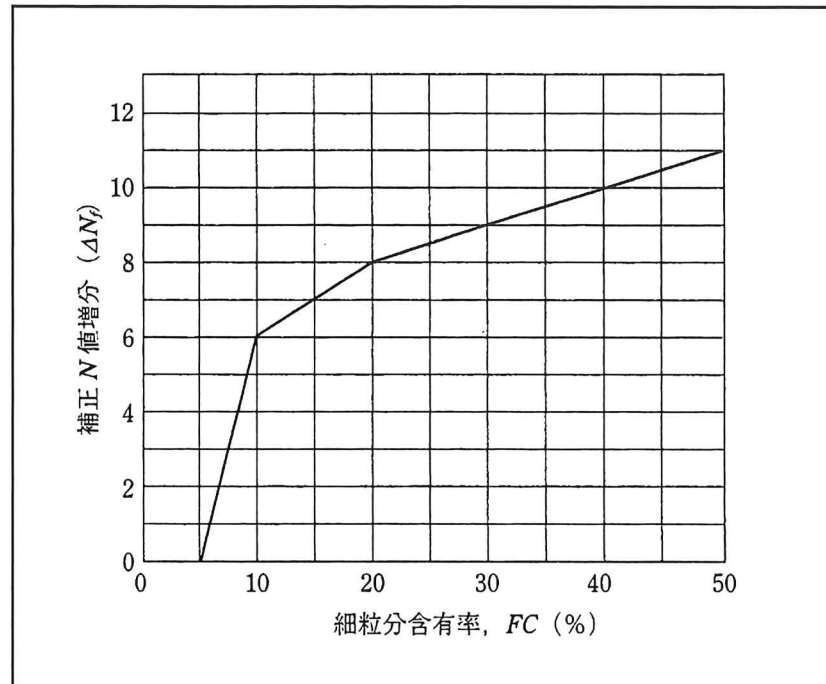


図5. 2. 1 細粒分含有率と補正N値増分

(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_c) 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。

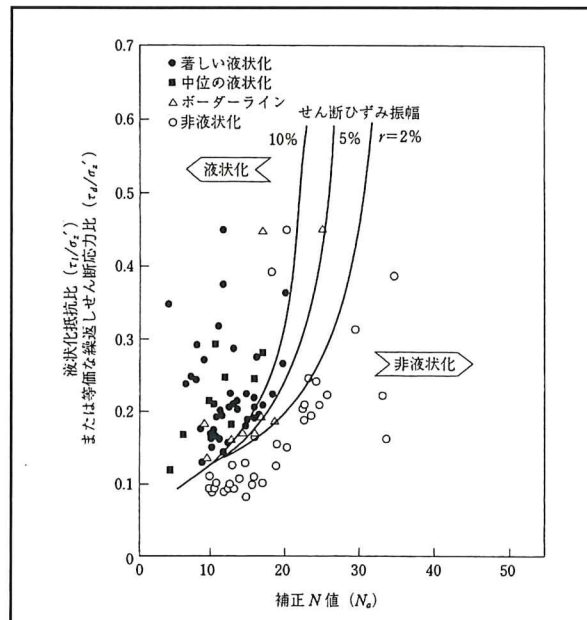


図5. 2. 2 補正N値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係

(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			備考
			200gal	250gal	350gal	
1.30	盛土 砂質土	7	—	—	—	
2.30	As 砂質土	7	1.393	1.114	0.796*	
3.30	As 砂質土	19	3.810	3.048	2.117	
4.30	As 砂質土	16	2.356	1.885	1.346	
5.30	As 砂質土	13	1.211	0.969*	0.692*	
6.30	As 砂質土	28	3.223	2.578	1.842	
7.30	Dhc1 粘性土	11	—	—	—	
8.30	Dhc1 粘性土	8	—	—	—	
9.30	Dhs1 砂質土	14	1.581	1.264	0.903*	
10.30	Dhs1 砂質土	32	3.056	2.444	1.746	
11.30	Dhs1 砂質土	36	3.079	2.463	1.759	
12.30	Dhc1 粘性土	13	—	—	—	
13.30	Dhc1 粘性土	22	—	—	—	
14.30	Dhc1 粘性土	16	—	—	—	
15.30	Dhc1 粘性土	26	—	—	—	
16.30	Dhs1 砂質土	30	1.927	1.541	1.101	
17.30	Dhc1 粘性土	27	—	—	—	
18.30	Dhs1 砂質土	47	3.228	2.582	1.844	
19.30	Dhs1 砂質土	21	0.929*	0.743*	0.531*	
20.00	Dhc1 粘性土	10	—	—	—	

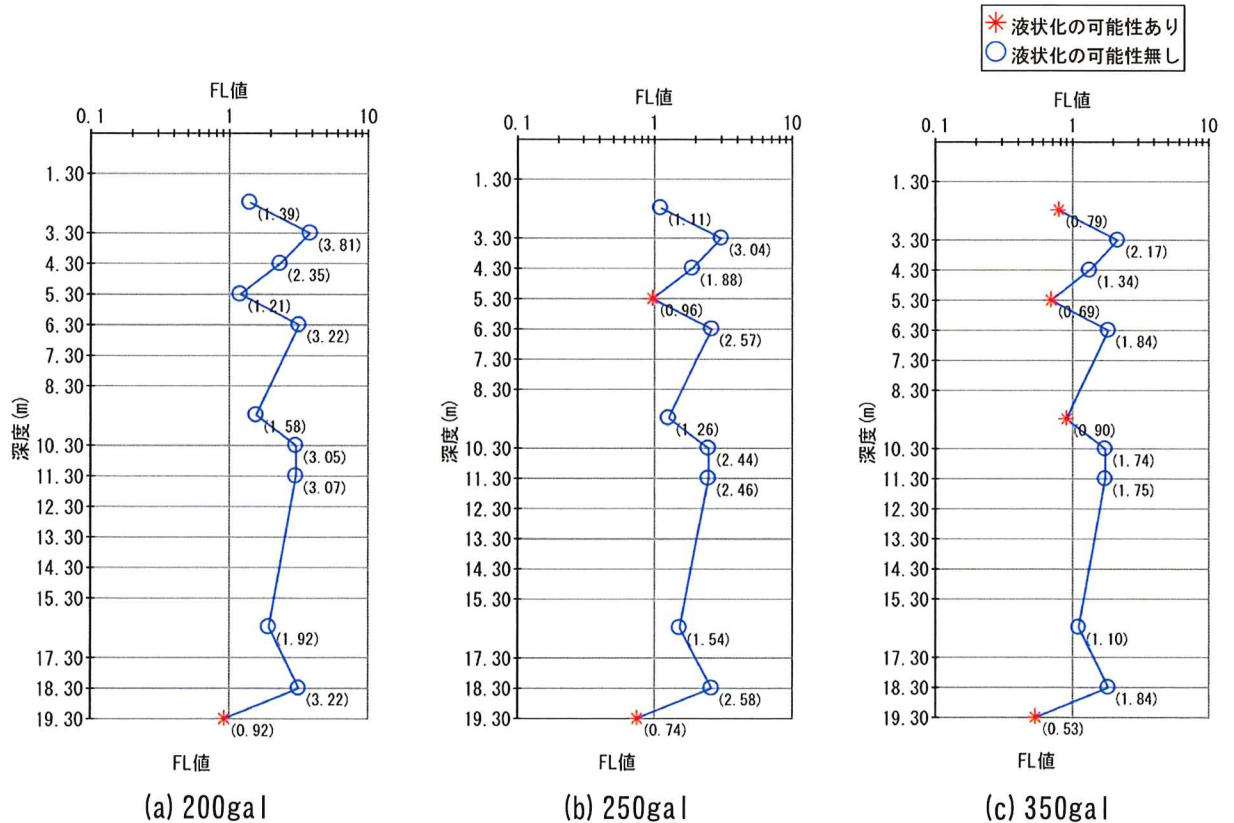


図5. 2. 3 液状化判定結果図 (No. 1孔)

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			備考	
			200gal	250gal	350gal		
1.30	盛土	砂質土	2	—	—	—	
2.30	As	砂質土	18	3.093	3.122	2.230	
3.30	As	砂質土	23	3.440	2.752	1.965	
4.30	As	砂質土	17	1.781	1.425	1.018	
5.30	As	砂質土	35	3.069	2.455	1.754	
6.30	Dhc1	粘性土	11	—	—	—	
7.30	Dhc1	粘性土	16	—	—	—	
8.30	Dhc1	粘性土	37	—	—	—	
9.30	Dhs1	砂質土	60	2.907	2.325	1.661	
10.30	Dhs1	砂質土	60	2.934	2.347	1.676	
11.30	Dhs1	砂質土	21	1.097	0.878*	0.627*	
12.30	Dhs1	砂質土	29	2.567	2.054	1.467	
13.30	Dhc1	粘性土	44	—	—	—	
14.30	Dhs1	砂質土	60	3.024	2.419	1.728	
15.30	Dhs1	砂質土	60	3.067	2.453	1.752	
16.30	Dhs1	砂質土	60	3.118	2.494	1.782	
17.30	Dhs1	砂質土	60	3.177	2.541	1.815	
18.30	Dhs1	砂質土	36	3.136	2.509	1.792	
19.30	Dhc1	粘性土	12	—	—	—	
20.00	Dhc1	粘性土	14	—	—	—	

* 液状化の可能性あり
○ 液状化の可能性無し

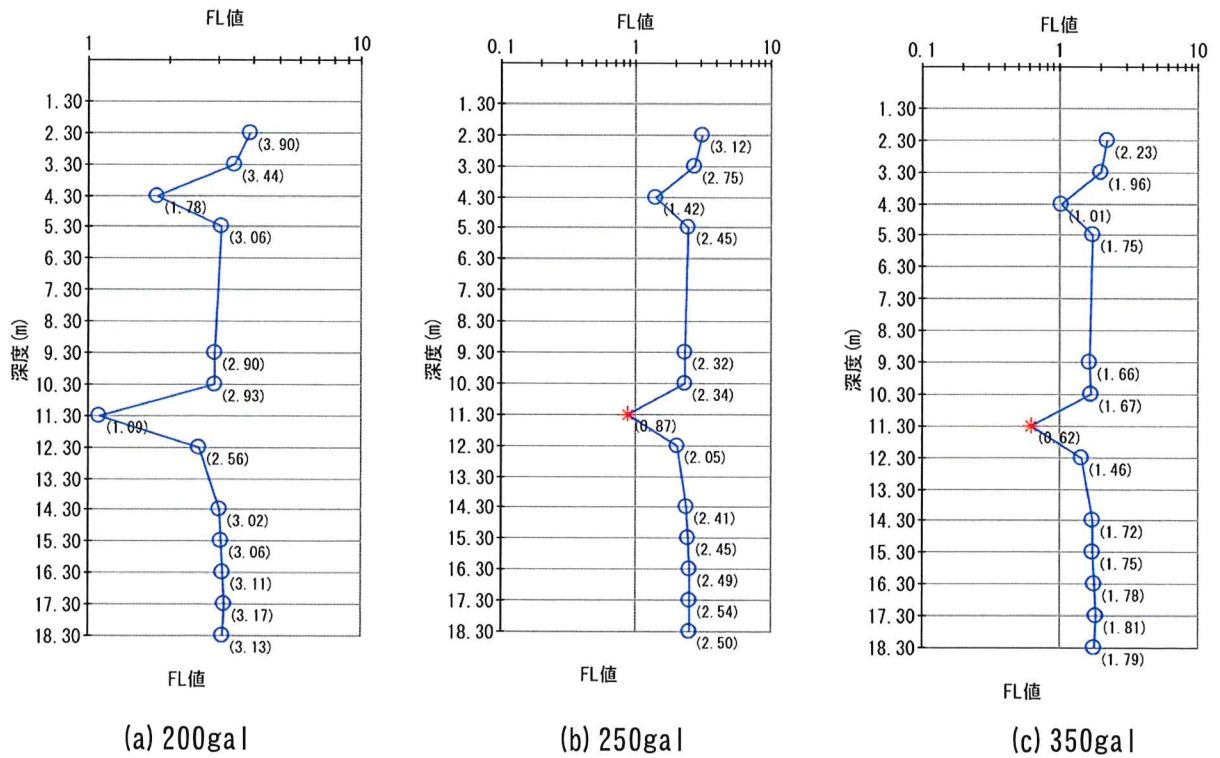


図5. 2. 4 液状化判定結果図 (No. 2孔)

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	地層名	土質分類	FL値			N値
				200gal	250gal	350gal	
No. 1	2. 15	As	砂質土	—	—	0. 796	7
	5. 30	As	砂質土	—	0. 969	0. 692	13
	9. 30	Dhs1	砂質土	—	—	0. 903	14
	19. 30	Dhs1	砂質土	0. 929	0. 743	0. 531	21
No. 2	11. 30	Dhs1	砂質土	—	0. 878	0. 627	21

(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. 03
	250	0. 34
	350	4. 24
No. 2	200	0. 00
	250	0. 53
	350	1. 62

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=0.03～0.34「液状化危険度は低い」であるが、350gal (終局限界)はPL値=4.24「液状化危険度は低い」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=0.53～1.62「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。

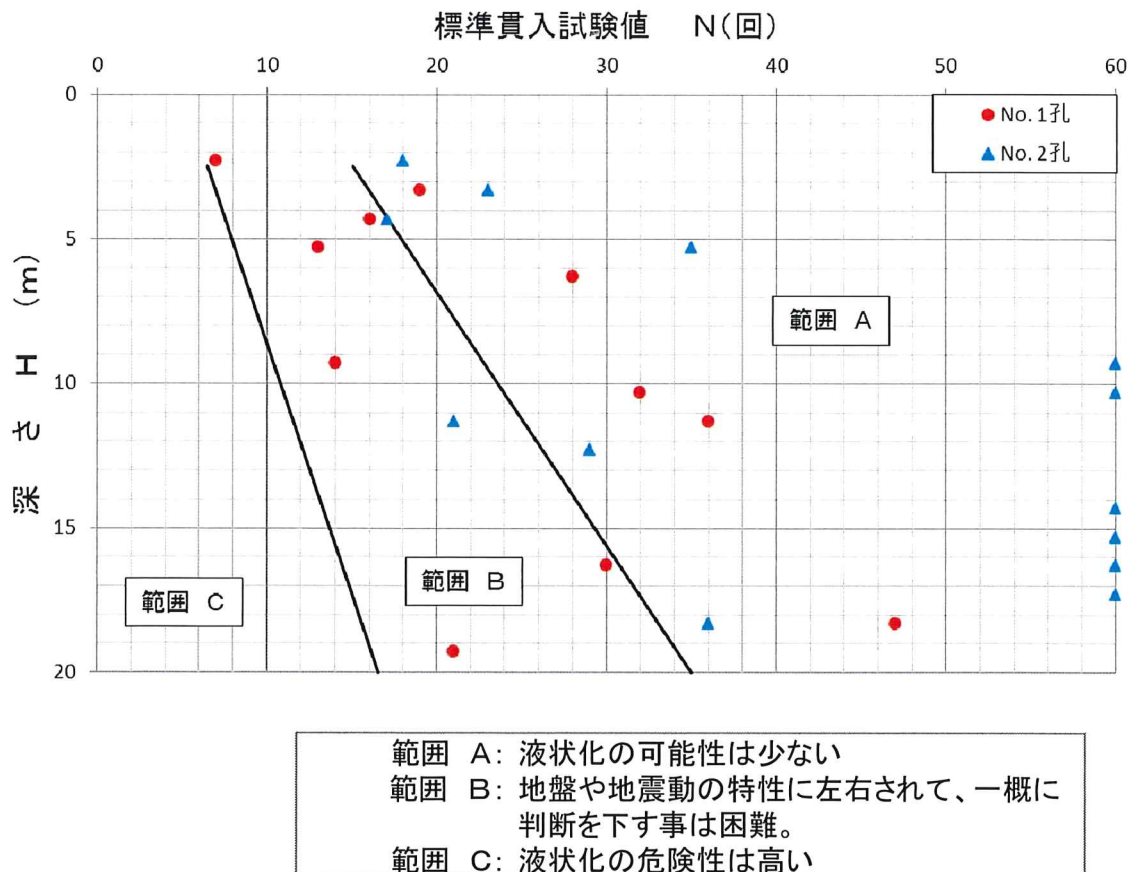


図 5. 2. 5 深さ(H)～N値(N)の関係

[出典：建築基礎構造設計基準 同解説(1974年)]

図5. 2. 5から液状化の危険性に対する区分は下記の様になる。

表 5. 2. 6 深さ～N 値の関係からの区分

範囲	評価	該当数(点)	(%)
範囲 C	液状化の危険性高い	0	0
範囲 B	一概に判定出来ない	8	33
範囲 A	液状化の可能性は少ない	16	67
計		24	—

以上より、「範囲B」にはNo. 1孔深度 ℓ =GL-9. 3m以浅に4点とGL-16. 3～19. 3mに2点が、No. 2孔深度 ℓ =GL-4. 3mと-11. 3mにみられ、No. 1孔に多く分布する。他の地点は液状化の可能性は少ない「範囲A」に位置する。

(7) まとめ

上記結果を踏まえ、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. 2孔においては $FL \geq 1.0$ を満足したものの、No. 1孔深度 ℓ =GL-19. 30m (Dhs1層) で FL 値=0. 929と僅かであるが FL 値 < 1.0 となった。
- ② 東海地震 (250gal) では、No. 1孔深度 ℓ =GL-5. 30m (As層), -19. 30m (Dhc1層) で FL 値=0. 743～0. 969、No. 2孔深度 ℓ =GL-11. 30m (Dhs1層) で FL 値=0. 878と FL 値 < 1.0 をやや下回った。
- ③ 終局限界レベル (350gal) では、No. 1孔深度 ℓ =GL-2. 15m (As層), -5. 30m (As層), -9. 30m (Dhs1層), -19. 30m (Dhs1層) で FL 値=0. 692～0. 903、No. 2孔深度 ℓ =GL-11. 30m (Dhs1層) で FL 値=0. 627と FL 値 < 1.0 となった。
- ④ 液状化指数 (PL) において本調査地は、全レベル (損傷限界・東海地震・終局限界レベル) で「液状化危険度は低い～液状化危険度はかなり低い」と評価される。
- ⑤ N値－深度の関係から、「一概に判定できない (範囲B)」に分布するものがNo. 1孔にやや多くみられたものの (33%)、全体的には「液状化の可能性は小さい (範囲A)」に位置するものが優勢である。「液状化の危険性は高い (範囲C)」に分布するものはみられない。

以上の液状化判定結果から、本調査地の液状化については特に終局限界レベル (350gal) の地震については、No. 1孔付近 (本調査地両側) を主としたAs層及びDhs1層で発生する可能性が考えられる。本調査地としての評価となるPL値は「液状化危険度は低い～液状化危険度はかなり低い」である。また、No. 1孔深度 $l=GL-19.30m$ とNo. 2孔深度 $l=GL-11.30m$ のFL値は安全側の解析として細粒分含有率 $F_c=0\%$ として判定していることもあり、本調査地は全体的には液状化の可能性は低いものと考えられる。

図5.2.6の既存文献によると、本調査地を囲むように多くの液状化履歴 (最も近いもので北方約0.67km) がみられるが、大部分は沖積層の分布地域である。図3.5.2に示されているように液状化履歴がみられない本調査地及び鷺塚町近傍は液状化発生の可能性が低いとされる洪積層の分布域である。よって本調査地は表層浅部に沖積層 (As層) が堆積しているものの、洪積層である碧海層が基礎地盤となっているため、本計画構造物における基礎地盤での液状化の可能性は低いと考えられる。

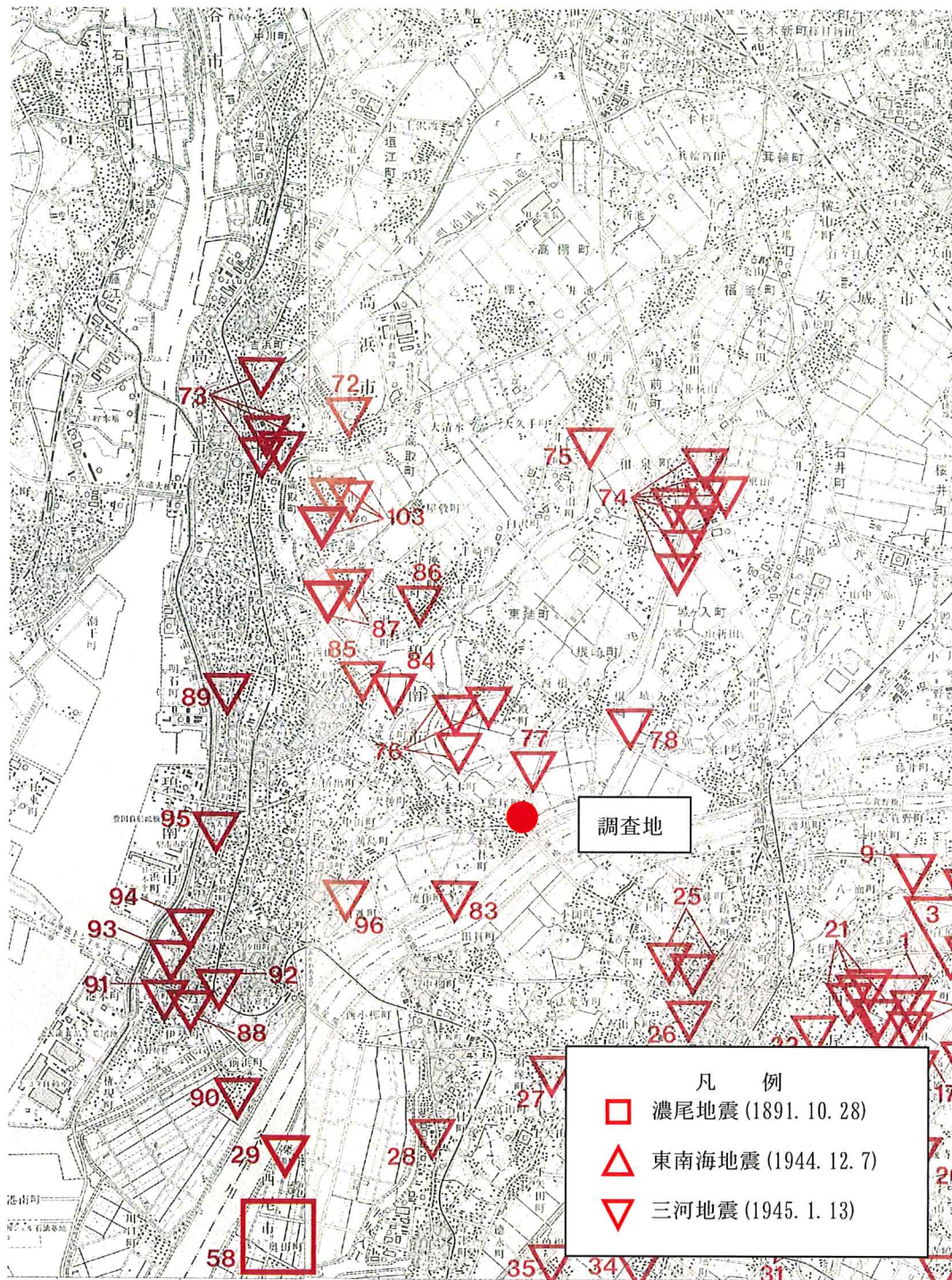


図5. 2. 6 液状化履歴図(調査地周辺)

(出典：「日本の地盤液状化履歴図」(東海大学出版会))