

< 2 - 2 液状化の検討 >

---

## 目 次

1. 液状化の検討.....	4-1
1.1 フローチャート.....	4-1
1.2 現地踏査.....	4-2
1.3 資料調査.....	4-3
1.4 液状化の検討.....	4-11
1.5 液状化ハザードマップの作成.....	4-16
1.6 河川堤防・海岸堤防の照査.....	4-17
1.7 参考図書.....	4-17

## 1. 液状化の検討

## 1.1 フローチャート

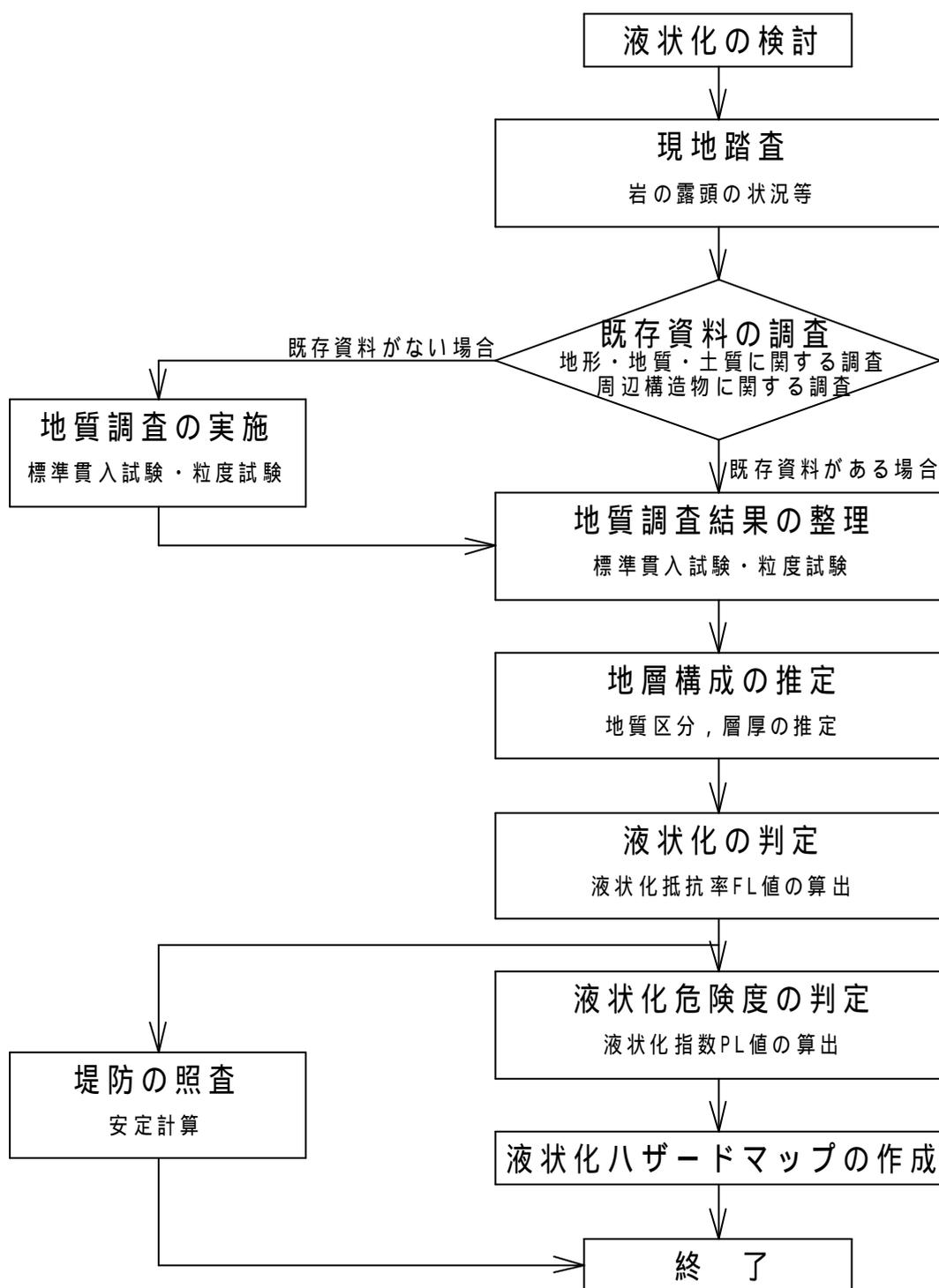


図 1-1 液状化フローチャート

参考までに，上ノ加江地区で液状化の検討を実施した例を以下に示す。

## 1.2 現地踏査

現地踏査は、地表で見られる岩石や土層の状態から地下の地質を判断する一連の野外作業である。調査区域の道路や河川に沿って踏査して、岩の露頭等を観察しながら地層構成を推定する。



図 1-2 岩の露頭を確認



図 1-3 岩の露頭を確認

1.3 資料調査

(1) 資料収集

調査予定地域の近くで行われた地質調査，土質試験，ボーリングなどの既存資料を収集，検討して概略の地層構成を把握する。次に周辺建造物の調査を行い，その基礎形式や変状の有無を調べることにより地層構成を推定する参考資料とする。

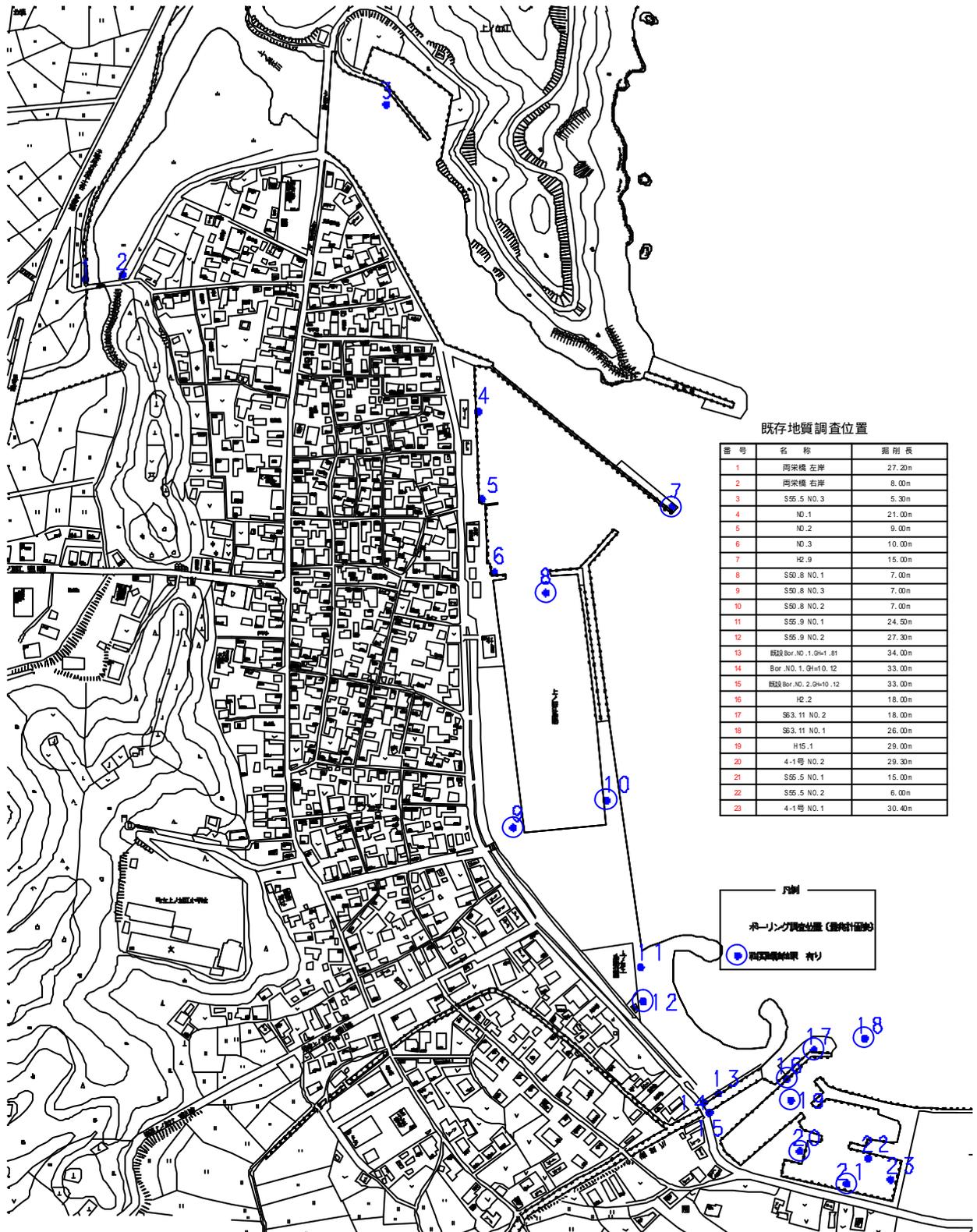


図 1-4 既存地質調査位置

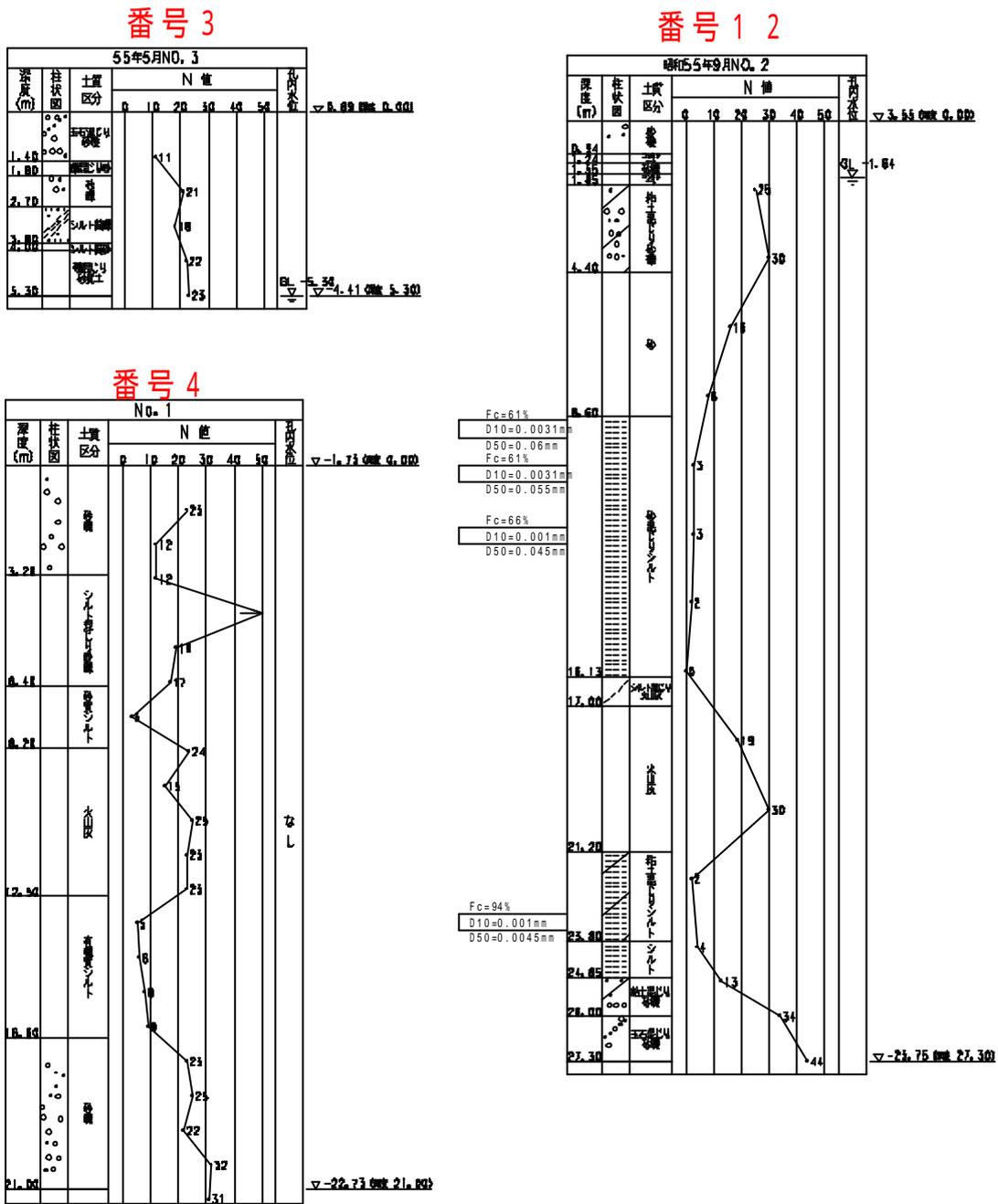


図 1-5 土質柱状図(その 1)

番号 2 3

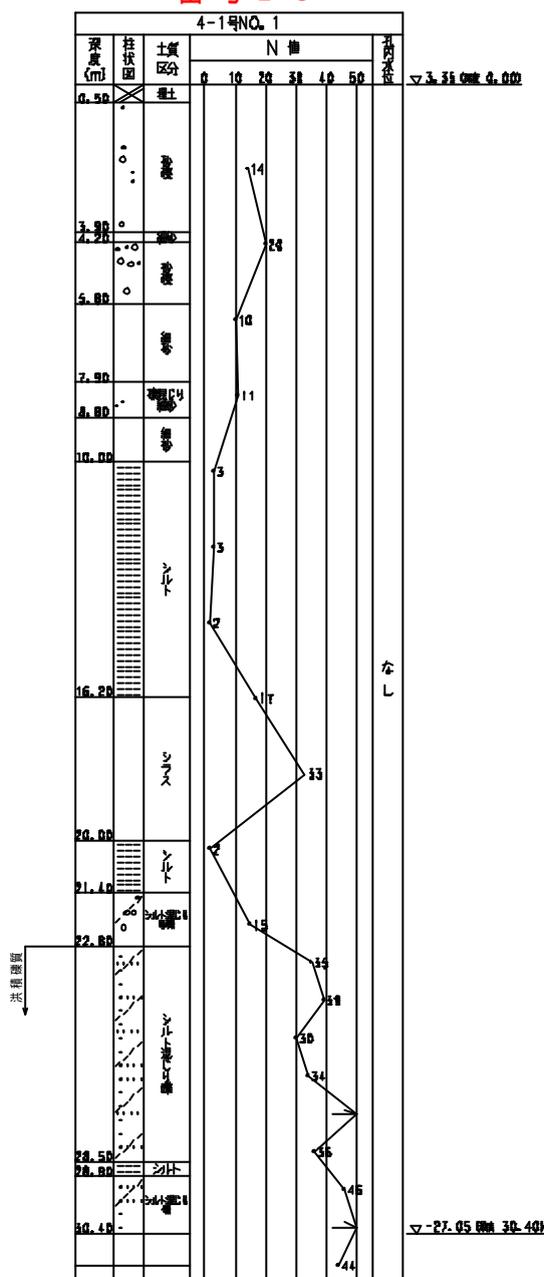


図 1-6 土質柱状図(その 2)

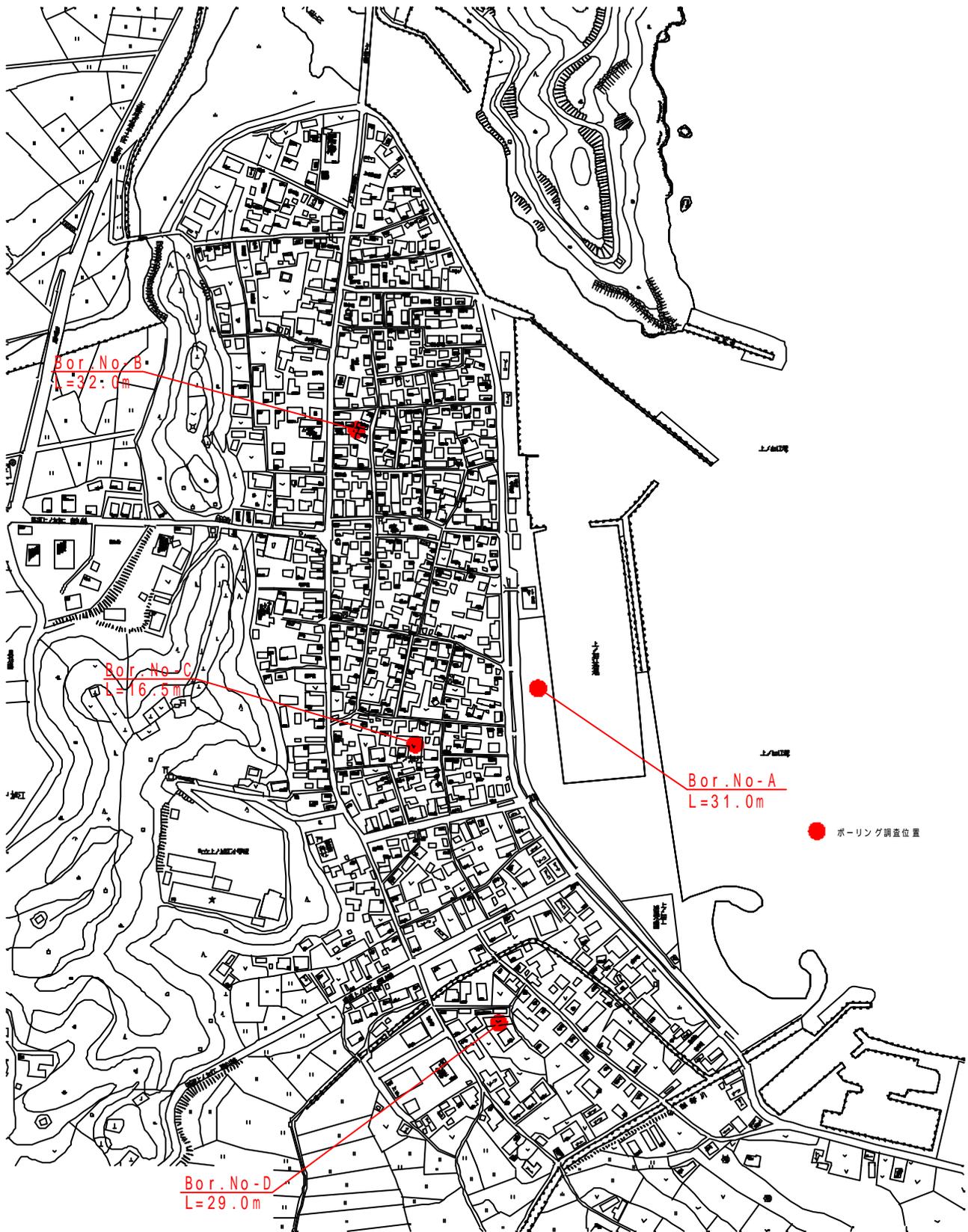
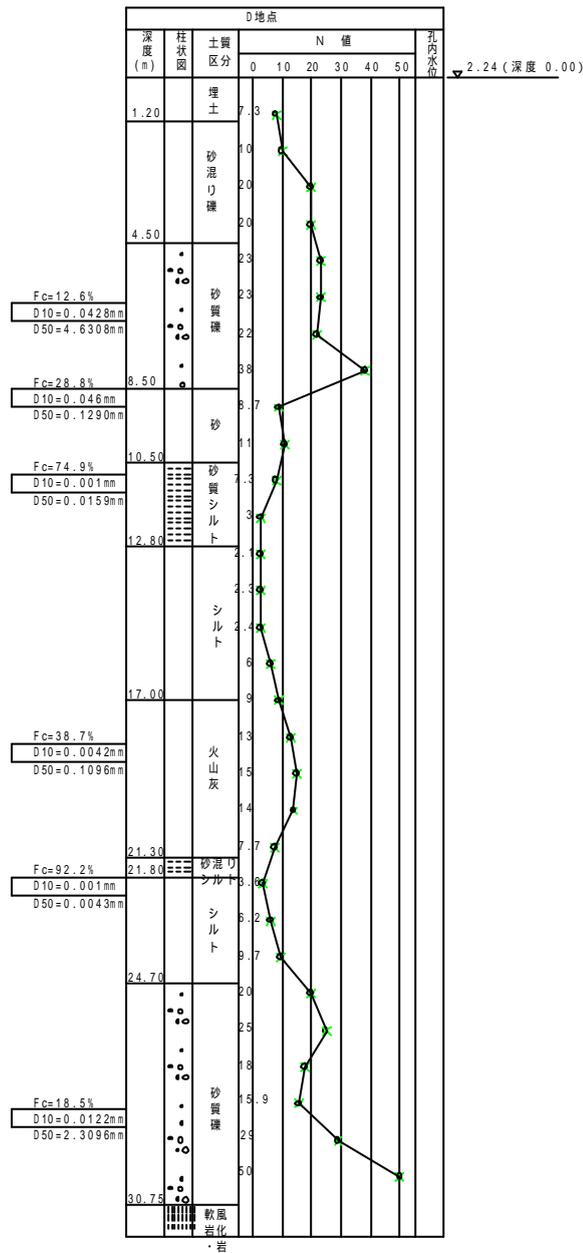


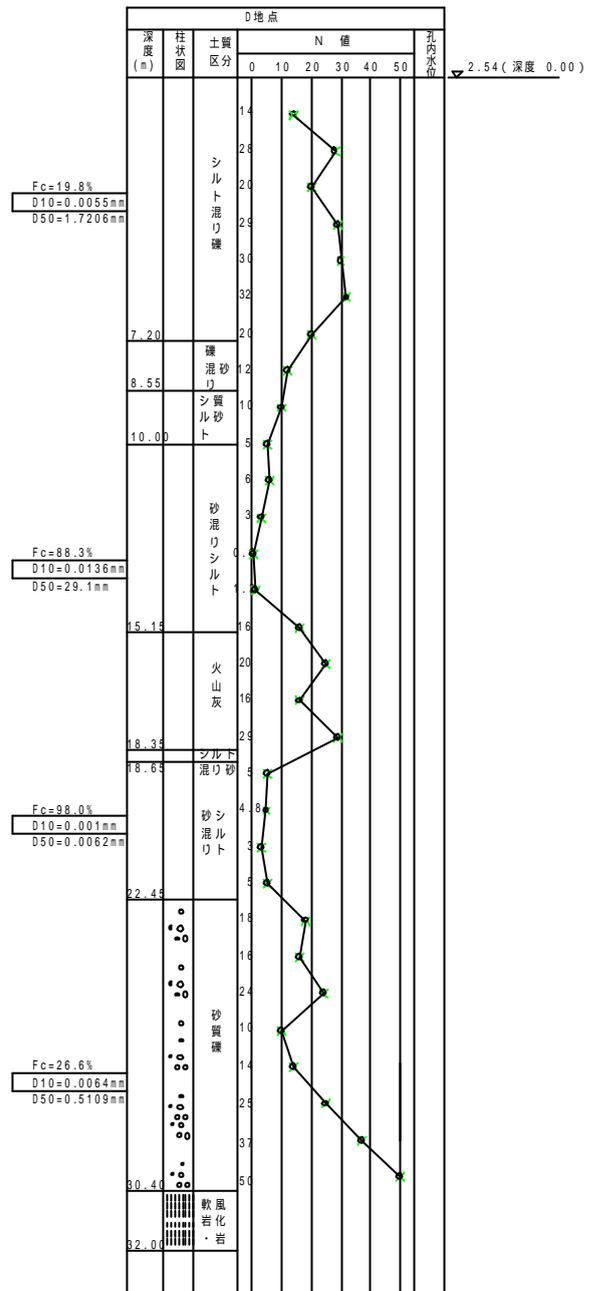
図 1-7 追加地質調査位置

A 地点

B 地点



×



×

図 1-8 追加土質柱状図(その 1)

C 地点

D 地点

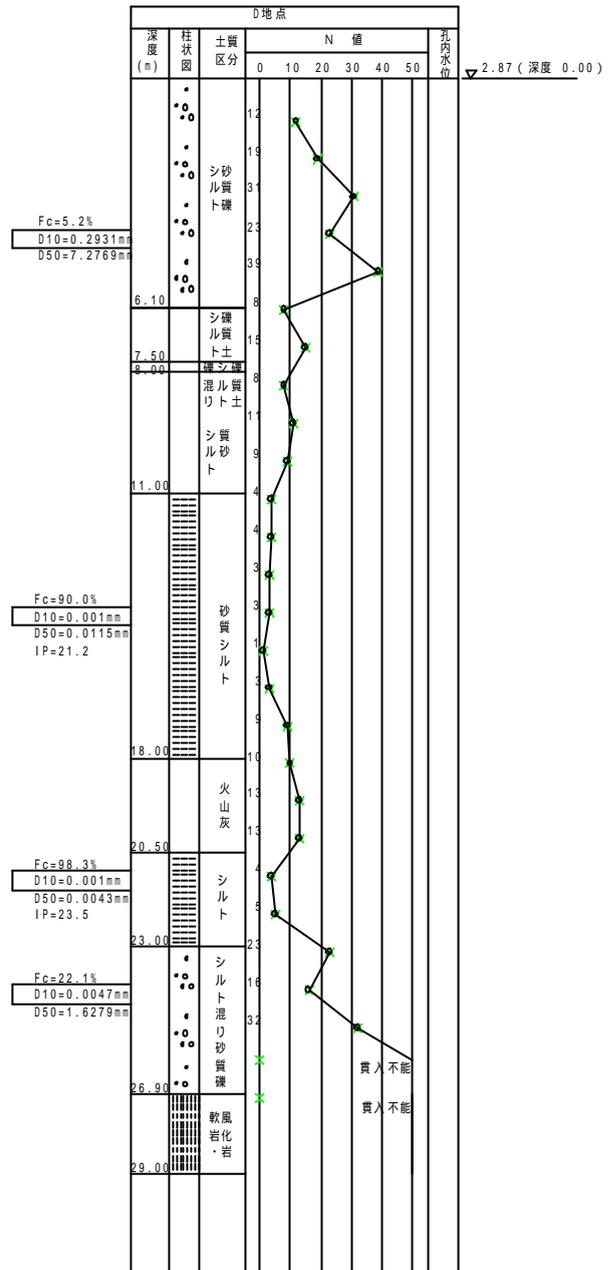
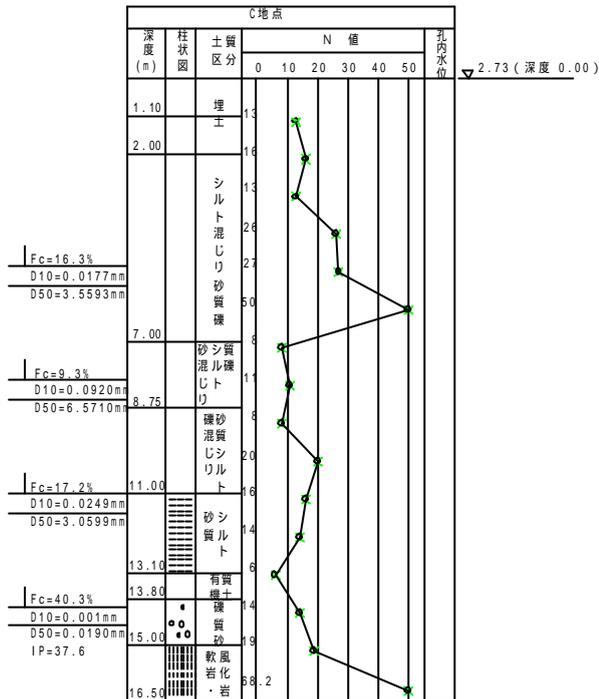


図 1-9 追加土質柱状図(その 2)

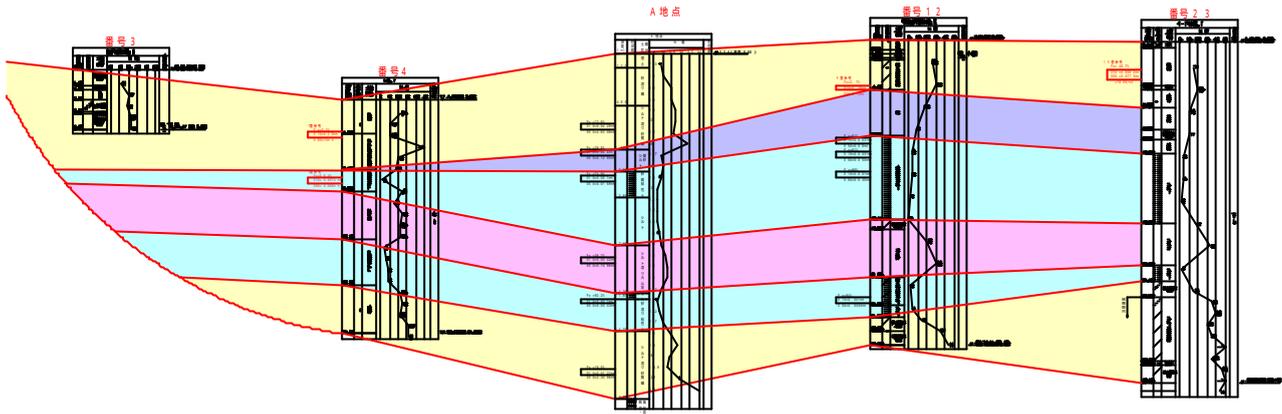


図 1-10 推定地質縦断面図(その 1)

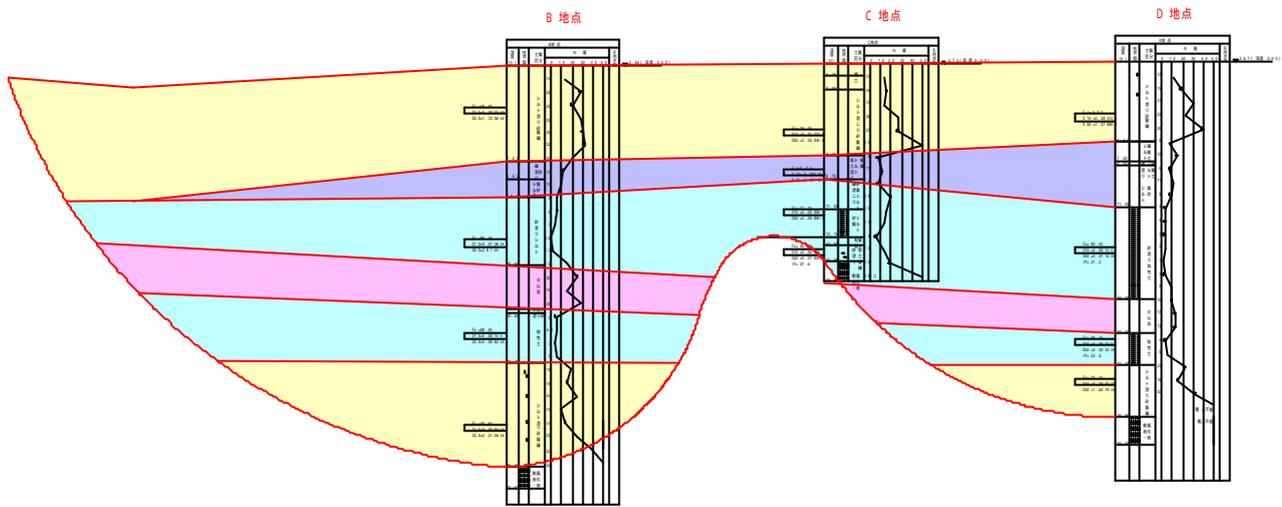


図 1-11 推定地質縦断面図(その 2)

## (2) 資料内容

液状化の判定に必要な資料は以下のとおりである。

## 1) ボーリング調査結果

各ボーリング位置での土質柱状図から N 値，地下水位を把握する。

## 2) 土質試験結果

粒度試験結果より，10%粒径，平均粒径，細粒分含有率を把握する。

湿潤密度試験結果より，単位体積重量を把握する。

表 1-1 土質試験結果

地質No.	地質名称	土質試験	ボーリング地点No.				採用値
			A	B	C	D	
1	シルト混 じり砂質 礫	FC(細粒分含有率)%	12.6	19.8	16.3	5.2	13.475
		D10(有効径)mm	0.0428	0.0055	0.0177	0.02931	0.0238
		D50(平均粒径)mm	4.6308	1.7206	3.5593	7.2769	4.2969
		Ip(塑性指数)		9.3			9.3
2	砂	FC(細粒分含有率)%	28.8				28.8
		D10(有効径)mm	0.046				0.046
		D50(平均粒径)mm	0.129				0.129
		Ip(塑性指数)					
3	シルト	FC(細粒分含有率)%	74.9	88.3	9.3	90	84.4
		D10(有効径)mm	0.001	0.001	0.092	0.001	0.0010
		D50(平均粒径)mm	0.0159	0.0136	6.571	0.0115	0.0137
		Ip(塑性指数)	-	29.1		21.2	25.15
4	火山灰	FC(細粒分含有率)%	38.7				38.7
		D10(有効径)mm	0.0042				0.0042
		D50(平均粒径)mm	0.1096				0.1096
		Ip(塑性指数)	-				-
5	シルト	FC(細粒分含有率)%	92.2	98	17.2	98.3	96.2
		D10(有効径)mm	0.001	0.001	0.0249	0.001	0.001
		D50(平均粒径)mm	0.0043	0.0062	3.0599	0.0043	0.0049
		Ip(塑性指数)	-	33		23.5	28.25
6	シルト混 じり砂質 礫	FC(細粒分含有率)%	18.5	26.6	40.3	22.1	22.4
		D10(有効径)mm	0.0122	0.0064	0.001	0.0047	0.0078
		D50(平均粒径)mm	2.3096	0.5109	0.019	1.6279	1.4828
		Ip(塑性指数)	8.6	8.1	37.6		8.35

採用値は，ボーリング A~D を算出平均して算出する。ただし，ハッチング部分は異常値と判断し，その値を取り除いて算術平均して採用した。

表 1-2 土質試験の種類と利用法

土質試験名	試験概要	求められる値	利用法	必要性	備考
粒度試験	粒度試験の目的は、土の粒度を求めることにある。試験は対象とする粒径の範囲が非常に広いので、粒径75 $\mu$ m以上はふるい分析、それ未満は沈降分析を用いる。	粒径加積曲線 均等係数 細粒分含有率 $F_c$ D60, D50, D10	粒度の判定 " 等価N値の補正係数 "		液状化は粒度との相関性が高いため有効である。
標準貫入試験	質量63.5kgのハンマーを75cm自由落下させ、標準貫入試験用サンプラーを30cm打ち込むのに要する打撃数を測定する。	N値	等価N値の算出		基層まで試験を行う。
ボーリング (50m以下)	ボーリングの目的は土や岩を観察することにより地層の構成を明らかにするとともに、サンプリングや原位置試験などを実施するための孔を掘ること。	層厚 地下水位	有効上載圧力の算出		鉛直下方 66mm
液性限界試験	試料を入れた皿を1cmの高さから1秒間に2回の割合で25回自由落下させたとき、二分した溝の両側から土が流れ出して長さ1.5cm合流するときの含水比。	液性限界WL	IPを算出し、等価N値の補正係数を求める。		IPを算出できない場合でも液状化の判定は可能。
塑性限界試験	手のひらと磨いたガラスとの間で土を転がしながら細状にし、直径3mmになったときの含水比。	塑性限界WP	IPを算出し、等価N値の補正係数を求める。		IPを算出できない場合でも液状化の判定は可能。
現場透水試験	ボーリング孔の先端に地下水が流入するストレーナー部分を設け、孔内の水位を人工的に低下させ、その後の回復状況を測定する。	透水係数	3cm/s以上の場合には液状化しない。		ヘーゼンの簡易公式により推定可能。
振動三軸試験	等方圧密した供試体の軸方向に、一樣振幅の繰返し荷重を非排水条件の下で載荷し、地震時における地盤の液状化のしやすさの程度を測定。	繰返しせん断回数	液状化抵抗Rを算出しFL値を求める。		試験費が高く、使用実績が少ない。

#### 1.4 液状化の検討

##### (1) 液状化現象

液状化現象は、砂質土が振動を受けたときに生じる負のダイレイタンスにより、間隙水圧が上昇することによって生じ、地盤の有効応力が低下し、強度や支持力が完全に又は部分的に失われる現象である。

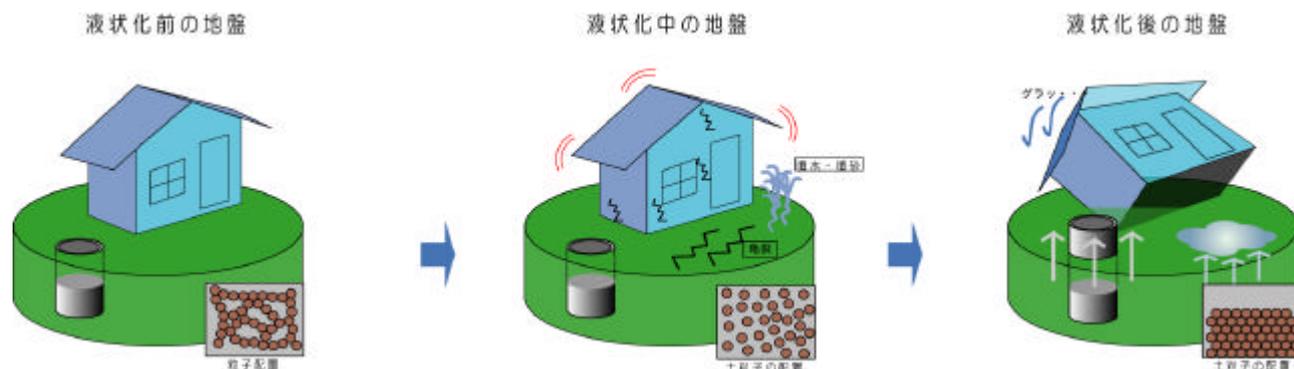


図 1-12 液状化現象

##### (2) 液状化の判定

液状化の判定基準は、「道路橋示方書耐震編」や「漁港・漁場の施設の設計の手引き(2003年版)」など種々の判定式が提案されている。判定法は、N値や粒度から比較的容易に判定が可能である手法と振動三軸試験を行い土の抵抗を詳細に判定する手法がある。

2004年に上ノ加江地区において、液状化の判定手法を確立することを目的として振動三軸試験を実施し、MDM解析を行い液状化の判定結果を比較した。その結果、液状化の判定は、道路橋示方書の簡易な判定で推定可能なことが判断できたため、「道路橋示方書」による判定で行う。

## (3) 道路橋示方書による液状化の判定

## 1) 液状化の判定を行う必要がある砂質土層

沖積層の砂質土層で以下の3つの条件すべてに該当する場合には、地震時に橋に影響を与える液状化が生じる可能性があるため、2)によって液状化の判定を行わなければならない。

- a) 地下水位が現地盤から 10m以内にあり、かつ、現地盤から 20m以内の深さに存在する飽和土層
- b) 細粒分含有率 FC が 35%以下の土層、又は FC が 35%を超えても塑性指数が  $I_p$  が 15 以下の土層
- c) 平均粒径  $D_{50}$  が 10mm以下で、かつ、10%粒径  $D_{10}$  が 1mm 以下である土層

## 2) 液状化の判定 (簡易判定法)

1)の規定により液状化の判定を行う必要のある土層に対しては、液状化に対する抵抗率  $F_L$  を式(1)により算出し、この値が 1.0 以下の土層については液状化するとみなすものとする。

$$F_L = R/L \quad (1)$$

$$R = c_w R_L \quad (2)$$

$$L = \frac{d k_{hg} \sqrt{\sigma'_v}}{\sigma'_v} \quad (3)$$

$$d = 1.0 - 0.015x \quad (4)$$

$$\sigma'_v = \sigma_{t1} h_w + \sigma_{t2} (x - h_w) \quad (5)$$

$$\sigma'_{v'} = \sigma'_{t1} h_w + \sigma'_{t2} (x - h_w) \quad (6)$$

タイプ の地震動(プレート境界型の大規模な地震を想定)の場合

$$c_v = 1.0 \quad (7)$$

タイプ の地震動(内陸直下型地震を想定)の場合

$$c_w = \begin{cases} 1.0 & (R_L \leq 0.1) \\ 3.3R_L + 0.67 & (0.1 < R_L \leq 0.4) \\ 2.0 & (0.4 < R_L) \end{cases} \quad (8)$$

ここに、

$F_L$  : 液状化に対する抵抗率

$R$  : 動的せん断強度比

$L$  : 地震時せん断応力比

$c_v$  : 地震動特性による補正係数

$R_L$  : 繰返し三軸強度比

$d$  : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

$k_{hg}$  : 道路橋示方書第 編 6.4.3 に規定するレベル 2 地震動の地盤面における設計水平震度

$\sigma_v$  : 全上載圧(kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma'_{v'}$  : 有効上載圧(kN/m<sup>2</sup>)

$x$  : 地表面からの深さ(m)

$\sigma_{t1}$  : 地下水位面より浅い位置での土の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$\sigma_{t2}$  : 地下水位面より深い位置での土の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$\sigma'_{t2}$  : 地下水位面より深い位置での土の有効単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

$h_w$  : 地下水位の深さ(m)

## 3) 繰返し三軸強度比

繰返し三軸強度比  $R_L$  は式(9)により算出するものとする。

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{N_a/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} (N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases} \quad (9)$$

<砂質土の場合>

$$N_a = c_1 N_1 + c_2 \quad (10)$$

$$N_a = 170N / (\sigma'_v + 70) \quad (11)$$

$$c_1 = \begin{cases} 1.0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 40) / 50 & (10\% \leq FC < 60\%) \\ FC / 20 - 1 & (60\% \leq FC) \end{cases} \quad (12)$$

$$c_2 = \begin{cases} 0 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC - 10) / 18 & (10\% \leq FC) \end{cases} \quad (13)$$

<れき質土の場合>

$$N_a = \{1 - 0.36 \log_{10}(D_{50}/2)\} N_1 \quad (14)$$

ここに、

$R_L$ ：繰返し三軸強度比

$N$ ：標準貫入試験から得られる  $N$  値

$N_1$ ：有効上載圧 100kn/ m<sup>2</sup> 相当に換算した  $N$  値

$N_a$ ：粒度の影響を考慮した補正  $N$  値

$c_1, c_2$ ：細粒分含有率による  $N$  値の補正係数

$FC$ ：細粒分含有率(%) (粒径 75 μ 以下の土粒子の通貨質量百分率)

$D_{50}$ ：平均粒径(mm)

## (4) 液状化指数 PL

PL 値は、地下水位より深度 GL-20m の間で、下記の式を用いて算出する。

$$PL = \int_0^{20} (1 - F_{L,z})(10 - 0.5z) dz$$

$F_{L,z}$ ：深度  $z$  における液状化抵抗率(ただし、 $1 \leq F_{L,z}$  の場合は、 $F_{L,z}=1$  とする)

$z$ ：深度(m)

上式の積分は、 $FL$  値が連続的でないために下式に示したように矩形法にて算出する。

$$PL = \sum_{i=1}^n (1 - F_{L,i})(10 - 0.5z_i) \Delta h_i$$

$F_{L,i}$ ：深度  $z$  における液状化抵抗率(ただし、 $1 \leq F_{L,i}$  の場合は、 $F_{L,i}=1$  とする)

$z_i$ ： $F_{L,i}$  の計算深度

$h_i$ ：矩形  $i$  の深度方向の長さ

$n$ ：矩形の総数

## (5) PL 値による液状化の判定

「建設省土木研究所，土木研究所資料第 1729 号，地震時における砂質地盤の液状化判定法と耐震設計への適用に関する研究(昭和 56 年 9 月)」に PL 値の液状化判定が掲載されている。

表 1-3 液状化の判定

PL 値	液状化の判定
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

## (6) 道路橋示方書とMDM解析の比較

図 1-13は、MDM 解析による判定結果を示す。MDM 解析法は、基盤層に対象地区の地震波を作用させて各土層の FL 値を算出し、液状化指数 PL 値を求める。動的せん断強度比 R は、振動三軸試験結果を用いて推定し詳細な判定を行った。

振動三軸試験は、等方応力状態で圧密された土に対し、繰返し軸荷重振幅と所定の軸ひずみ両振幅及び所定の過剰間隙水圧に達するまでの繰返し載荷回数との関係を求める事を目的とする。

道路橋示方書による液状化の判定は、拘束圧が小さい地下水以下の浅層域で FL 値が小さい結果となっている。PL 値は、タイプ で 34、タイプ で 28 となった。

図 1-14は、前述の道路橋示方書による判定結果を示す。青枠の部分は標準貫入試験及び粒度試験結果を表 1-1に示すように整理して求めた結果を表す。試験結果から R、L 値を算出し、液状化指数 PL 値を求める。

MDM 解析による液状化の判定は、道路橋示方書の簡易推定計算結果と同様の結果を示しており、タイプ で 31、タイプ で 18 である。

道路橋示方書による液状化の判定と MDM 解析による液状化の判定を比較すると、道路橋示方書による結果の方が PL 値で大きな値を示しているため、安全側の結果となっている。したがって、振動三軸試験や地震波形を用いた詳細法まで行う必要はないと判断される。

今後、各漁村など液状化の検討を要する地区の推定としては、既存のボーリングデータや粒度試験結果を参考に道路橋示方書に準じて液状化ハザードマップを作成すればよいと考えられる。

ただし、重要構造物の検討や代替施設のないものについては、詳細な液状化の判定が必要であるとされる。

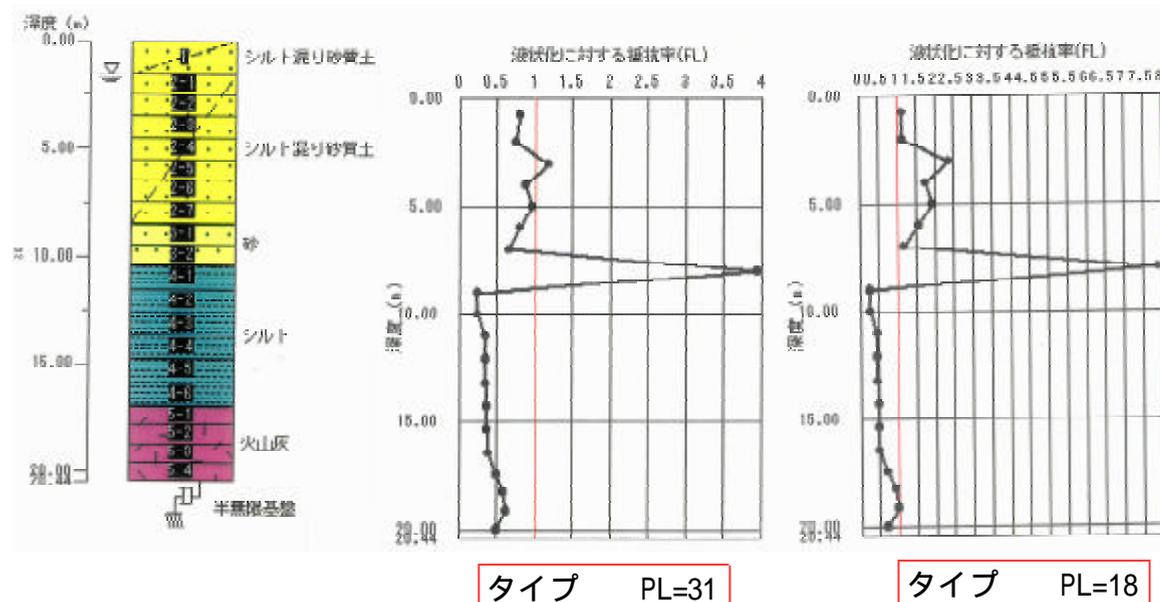


図 1-13 MDM 解析による液状化の判定結果

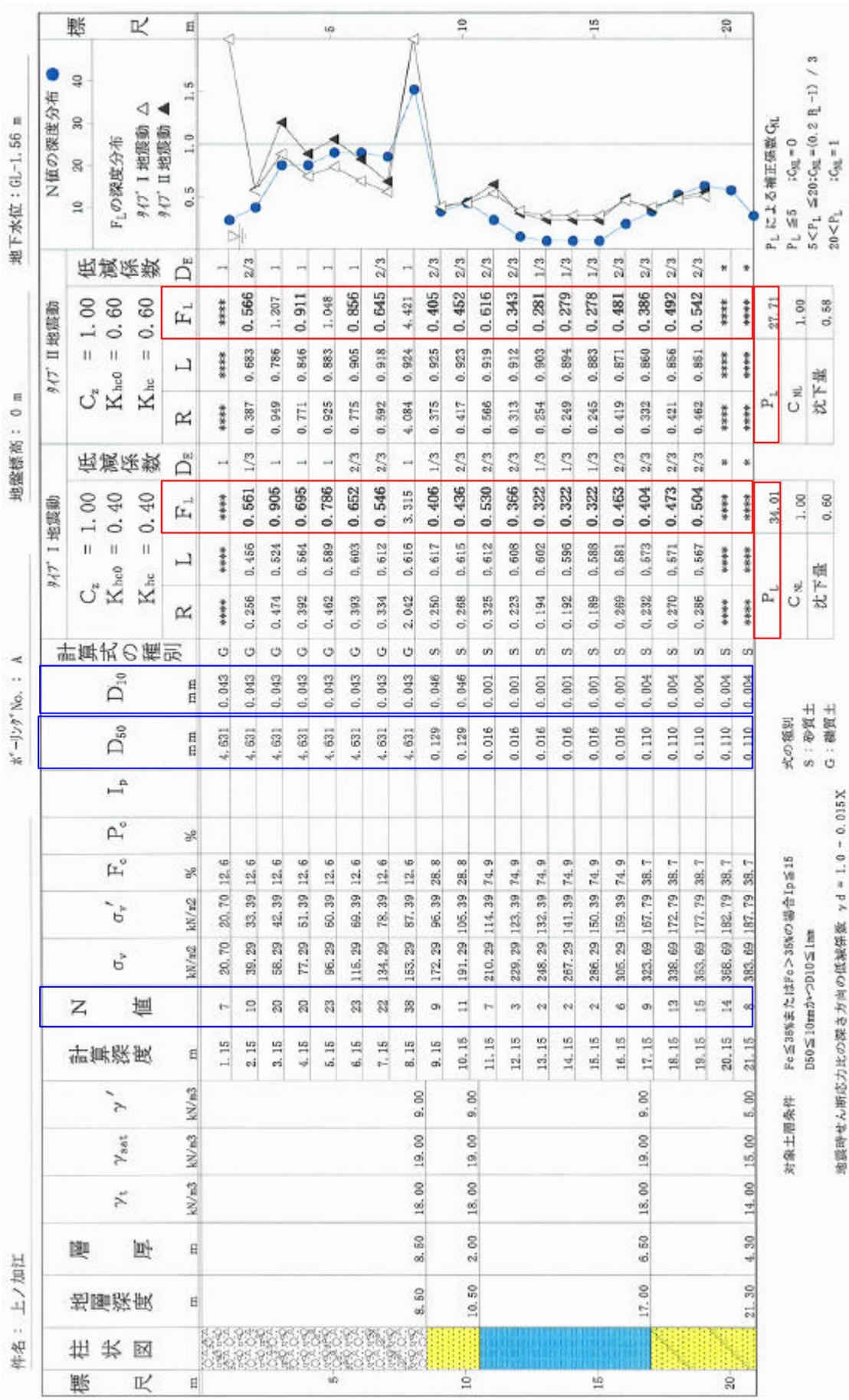


図 1-14 道路橋示方書による液状化の判定結果

### 1.5 液状化ハザードマップの作成

液状化危険度の算出は、地震により液状化を起こそうとするせん断力と各土層の液状化に抵抗する力を比べて行うものである。

算出方法は、液状化すると考えられる地盤において深度 1m ごとの液状化の安全率(FL 値)を 20m まで算出し、液状化の程度、危険度を表す液状化指数(PL 値)を求めて危険度判定を行うものである。

FL 値とは、地盤のある深さにおける、「地震が液状化を起こそうとする力」と「地盤が液状化に抗する力」の比である。FL 値が 1 以上の時は、その深さでは液状化は発生せず、FL 値が 1 より小さいとき、その深さで液状化する可能性があるとは判断する。値が小さいほど液状化が発生する可能性が高い。

PL 値とは、地下 20m までの FL 値をもとに地表での危険度を評価したものである。液状化ハザードマップは、PL 値で作成する。

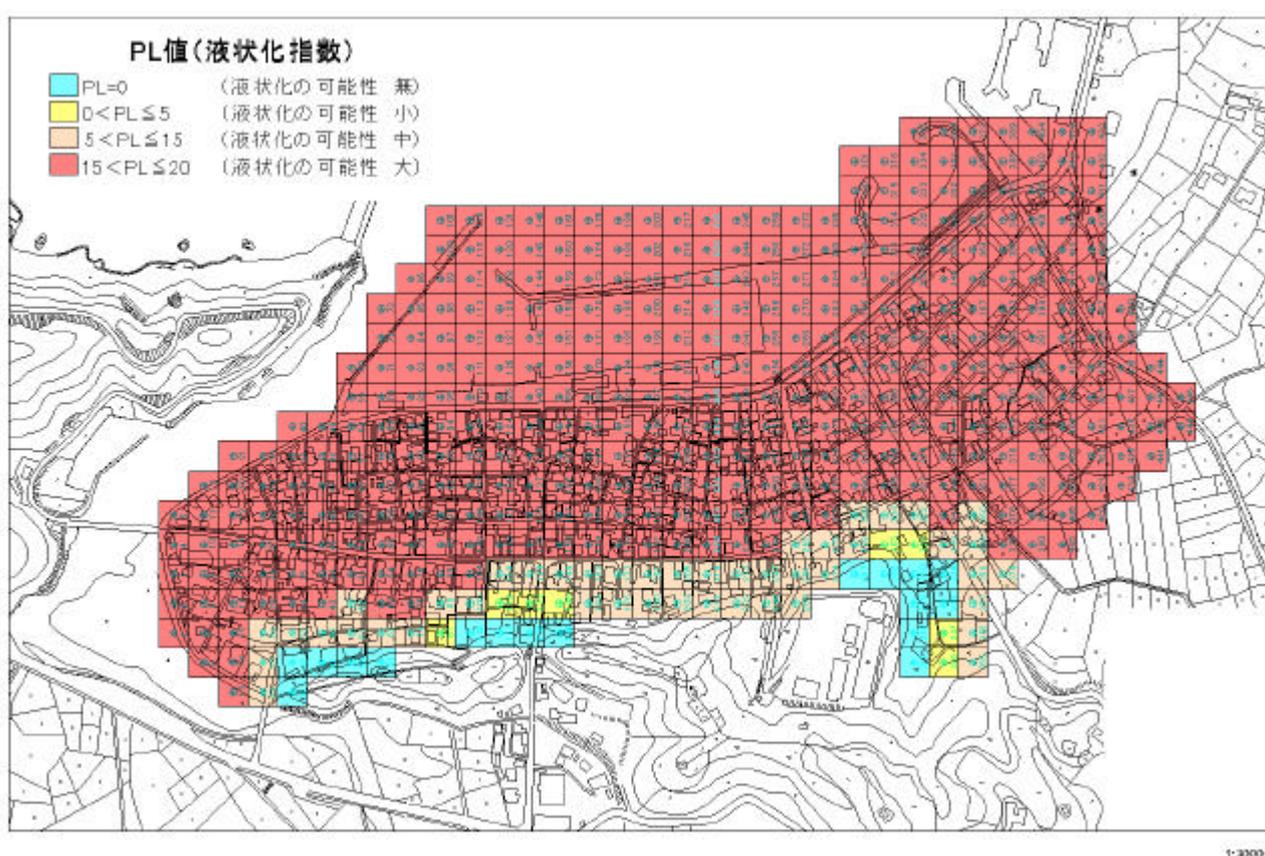


図 1-15 上ノ加江地区での液状化ハザードマップ作成例

## 1.6 河川堤防・海岸堤防の照査

河川・海岸施設について、堤防のクラックと段差に着目して現地調査を行う。

次に堤防に変状が見られる箇所及び高低差が大きい箇所について、漁港・漁場の設計基準に準拠し、液状化の影響を考慮した安定計算を実施する。解析は静的解法である震度法と斜面安定計算を行い、現状の堤防の照査を行う。写真撮影の参考例を以下に示す。

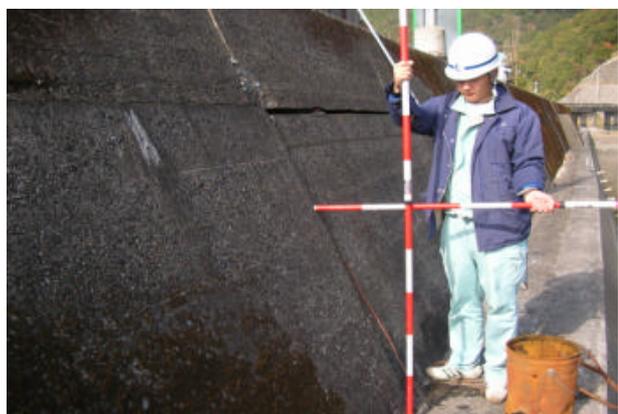
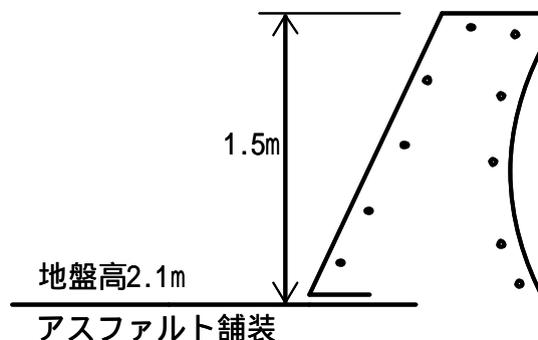


図 1-16 海岸堤防状況(その 1)

## 1.7 参考図書

- ・日本道路協会 : 道路橋示方書( )・同解説 平成 14 年 3 月
- ・社団法人全国漁港漁場協会 : 漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年度版
- ・日本港湾協会 : 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上・下) 平成 9 年
- ・社団法人日本道路協会 : のり面工・斜面安定工指針 平成 11 年 3 月
- ・社団法人日本道路協会 : 土質調査指針 昭和 61 年 11 月