

地盤部会目次

1. まえがき
2. P_L 値による液状化判定
3. 各県庁所在地の地盤の液状化判定
 3. 1 徳島市
 3. 1. 1 まえがき
 3. 1. 2 建築基礎構造設計指針(1988)に基づく判定方法
 3. 1. 3 液状化予測に必要なパラメータ
 3. 1. 4 液状化の判定
 3. 1. 5 液状化判定結果
 3. 2 高松市
 3. 2. 1 高松市の地形の概要
 3. 2. 2 高松市の地盤の概要
 3. 2. 3 液状化判定に用いた加速度
 3. 2. 4 液状化判定結果
 3. 3 松山市
 3. 3. 1 松山市の地形の概要
 3. 3. 2 松山市の地盤の概要
 3. 3. 3 液状化判定に用いた加速度
 3. 3. 4 液状化判定結果
 3. 4 高知市
 3. 4. 1 高知市の地形の概要
 3. 4. 2 高知市の地盤の概要
 3. 4. 3 液状化判定に用いた加速度
 3. 4. 4 液状化判定結果

第3章 四国の各県庁所在地の地盤の液状化判定

1. まえがき

地盤部会の当初の目的は四国における液状化と土構造物の安定性の検討であった。しかし、広範囲にわたる液状化を検討するのは時間的な問題から困難であるので、本部会では、重要地域である四国4県の県庁の所在地での液状化を検討した。また、土構造物の安定性の検討は、資料の収集や検討のための土質定数の決定に時間が必要であるので、今後の課題とした。

阪神・淡路大震災でも、液状化によると考えられる被害が埋め立て地や沿岸地帯で多く発生しており、港湾施設や道路などの土木構造物に多大の被害を与えた。したがって、液状化の発生位置を特定し、震災時の交通計画や復旧計画に予測することは行政上重要である。

液状化のよりの確な予測では、各地点で採取された砂質土試料に対して動的な試験を行い、その結果から判定することが望ましいが、このためには、かなりの費用と時間を要する。したがって、ここでの検討では、地盤の情報をN-値から得ることとした。この情報では、予測の精度は落ちるが、広範囲の液状化の予測には適している。また、資料として各都市での地震動波形が必要となるが、これは地震動・構造部会で検討されたものを参考にしている。判定式や手法もこれまでに実用化されている建築基礎構造設計指針と道路橋示方書によることとし、各地域で同じ判定基準を使用することにした。そして、その結果を地図上に示し、液状化の危険性の度合いを一目で分かるようにした。

2. F_L 値による液状化判定

液状化の予測方法には大きく分けて地形・地質や液状化履歴をもとにした概略判定法、一般の土質調査・試験結果をもとにした簡易予測法、及び室内液状化試験や地震応答解析を行う詳細予測法の3つがある。今回は簡易予測法を用いた。代表的な簡易予測法としては、日本道路協会によって定められた“道路橋示方書・同解説V，耐震設計編”、日本建築協会によって定められた“建築基礎構造設計規準・同解説”、日本港湾協会によって定められた“港湾構造物設計基準”などがある。

今回の液状化検討には“道路橋示方書・同解説V，耐震設計編”と“建築基礎構造設計規準・同解説”を用いた。これらの方法の概略を以下に示す。

(1) 道路橋示方書・同解説V，耐震設計編

① 液状化の判定を行う必要がある土質

地下水位面が現地盤から10m以内にある沖積層で、かつ現地盤面から20m以内の範囲における平均粒径 (D_{50}) が0.02mm以上2.0mm以下である飽和砂質土層は地震時に液状化の危険性があるため、②項によって液状化の判定を行わなければならない。

②液状化判定

液状化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 を以下に示す(式2-1)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ものとする。

$$F_L = R/L$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (\text{式-2.1})$$

$$L = r_d \cdot k_s \cdot \frac{\sigma'_v}{\sigma'_v + 0.7}$$

$$R_1 = 0.0882 \sqrt{\frac{N}{\sigma'_v + 0.7}}$$

$$R_2 = \begin{cases} 0.19 & (0.02\text{mm} \leq D_{50} \leq 0.05\text{mm}) \\ 0.25 \log_{10}(0.35/D_{50}) & (0.05\text{mm} \leq D_{50} \leq 0.6\text{mm}) \\ -0.05 & (0.6\text{mm} \leq D_{50} \leq 2.0\text{mm}) \end{cases}$$

$$R_3 = \begin{cases} 0.0 & (0\% \leq FC \leq 40\%) \\ 0.004FC - 0.16 & (40\% \leq FC \leq 100\%) \end{cases}$$

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

R_1 : N 値と有効上載圧 σ'_v の関数で表される動的せん断強度比 R の第1項

R_2 : 平均粒径 D_{50} の関数で表される動的せん断 R の第2項

R_3 : 細粒分含有率 FC で表される動的せん断 R の第3項

r_d : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

k_s : 液状化の判定に用いる地表面での設計水平震度

- σ_v : 全上載圧 (kgf/cm²)
- σ'_v : 有効上載圧 (kgf/cm²)
- N : 標準貫入試験から得られるN値
- D_{50} : 土の平均粒径 (mm)
- FC : 細粒分含有率 (%)
- x : 地表面からの深さ (m)
- c_z : 表-3.1 (1) に規定する地盤補正係数
- c_G : 表-3.1 (2) に規定する地盤補正係数
- c_t : 表-3.1 (3) に規定する地盤補正係数
- k_{s0} : 液状化判定に用いる標準設計震度
- γ_{11} : 地下水面より浅い位置での土の単位重量 (tf/m³)
- γ_{12} : 地下水面より深い位置での土の単位重量 (tf/m³)
- γ'_{12} : 地下水面より深い位置での土の有効単位重量 (tf/m³)
- h_w : 地表面から地下水面までの深さ (m)

③地盤補正係数

地盤補正係数は、地域区分に応じて表2-1 (1) の値とする。ただし、架橋地点が地域区分の境界線上にある場合は、係数の大きい方をとるものとする。地盤別補正係数は、地盤種別に応じて表2-1 (2) の値とする。また、重要度別補正係数は、重要度の区分に応じて表2-1-3 (3) の値とする。ただし、1級に区分された橋のうち、とくに重要なものについては係数を1.1まで割増しすることができる。

(2) 建築基礎構造設計規準・同解説

① 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。

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

ただし、

τ_d : 水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅 (tf/m²)

σ'_z : 検討深さにおける有効土被り圧 (鉛直有効応力) (tf/m²)

γ_n : 等価な繰返し回数に関する補正係数で

$$\gamma_n = 0.1(M-1) \quad \text{ただし、Mは地震のマグニチュード}$$

α_{\max} : 地表面における設計用水平加速度 (gal)

g : 重力加速度 (980gal)

σ_z : 検討深さにおける全土被り圧 (鉛直全応力) (tf/m²)

γ_d : 地盤が剛体でないことによる低減係数で

$$\gamma_d = 1 - 0.015 \cdot Z \quad \text{ただしZは、メートル単位で表した地表面からの検討深さ}$$

表 2.1 地盤補正係数

(1)地域別補正係数 C_z

地域区分	補正係数 C_z	対象地域
A	1.00	下記2地域以外の地域
B	0.85	「Zの数値、 R_t 及び A_i を算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する規準」(昭和55年11月27日建設省告示第1793号)第1項(Zの数値)表中(二)に掲げる地域
C	0.70	「Zの数値、 R_t 及び A_i を算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する規準」(昭和55年11月27日建設省告示第1793号)第1項(Zの数値)表中(三)および(四)に掲げる地域

(2)地盤別補正係数 C_g

地盤種別	I種	II種	III種
補正係数 C_g	0.8	-1.0	-1.2

(3)重要度別補正係数 C_i

重要度の区分	補正係数 C_i	対象となる橋
一級	1.0	高速自動車国道、一般国道、主要地方道の橋。一般都道府県道および市町村道のうち重要な橋。
二級	0.8	上記以外の橋

②各深さにおける補正N値 (N_s) を次式および図2-1を用いて計算する。

$$\left. \begin{aligned} N_s &= N_1 + \Delta N_f \\ N_1 &= C_N \cdot N \end{aligned} \right\} \left(C_N = \sqrt{10/\sigma'_z} \right)$$

ただし、

- N_s : 補正N値
- N_1 : 換算N値
- ΔN_f : 細粒土含有率に応じた補正N値増分で、図-2.1による。
- C_N : 換算N値 (σ'_z の単位は tf/m^2)
- N : 実測N値

図 2-2 の中のせん断ひずみ振幅5%曲線を用いて、補正N値 (N_s) に対応する飽和土層の液状化抵抗比を求める。ここには水平断面における液状化抵抗である。

③各深さにおける液状化発生に対する安全率を式-3.1により計算する。

$$F_L = \frac{\frac{\tau_L}{\sigma'_z}}{\frac{\tau_d}{\sigma'_d}} = \frac{\tau_L}{\tau_d} \quad (\text{式}-2.2)$$

上式より求めた値が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その土層の液状化発生危険度は高いと判断する。

(3) 地盤液状化指数 : P_L 、 P_L^*

道路橋示方書・同解説V, 耐震設計編と“建築基礎構造設計規準・同解説”を用いて計算したFL値は地表面からの深さに応じて様々な分布を示すため、地震の液状化の激しさの程度を表す指数として、次式により定義されるパラメーター P_L 、 P_L^* を用いた。

$$\begin{aligned} P_L &= \int_0^{20} F \cdot w(z) dz \\ P_L^* &= \int_0^{20} F \cdot w^*(z) dz \end{aligned}$$

ただし $F_L \leq 1.0$ のとき $F = 1 - F_L$
 $F_L \geq 1.0$ のとき $F = 0$

また、表2-2に地盤液状化指数 P_L 値に対する取るべき対策を示す。

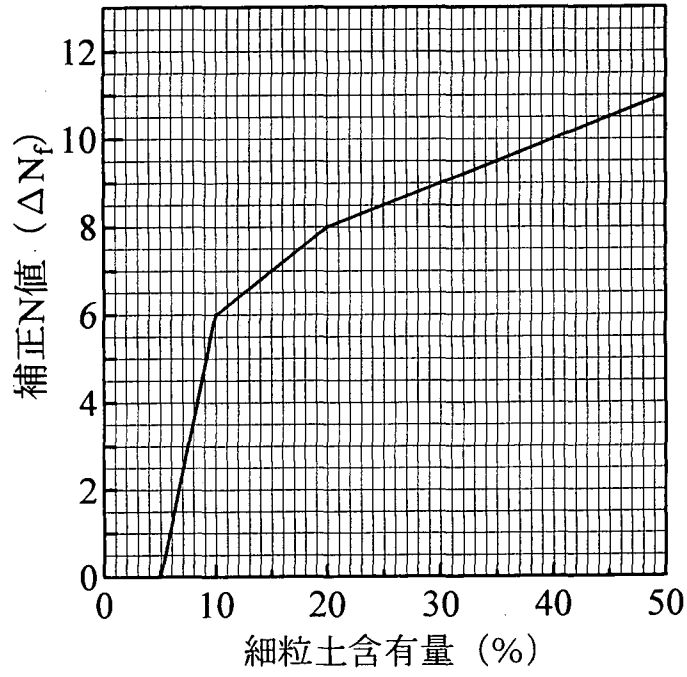


図 2.1 細粒土含有率と補正 N 値増加分 ΔN_f の関係

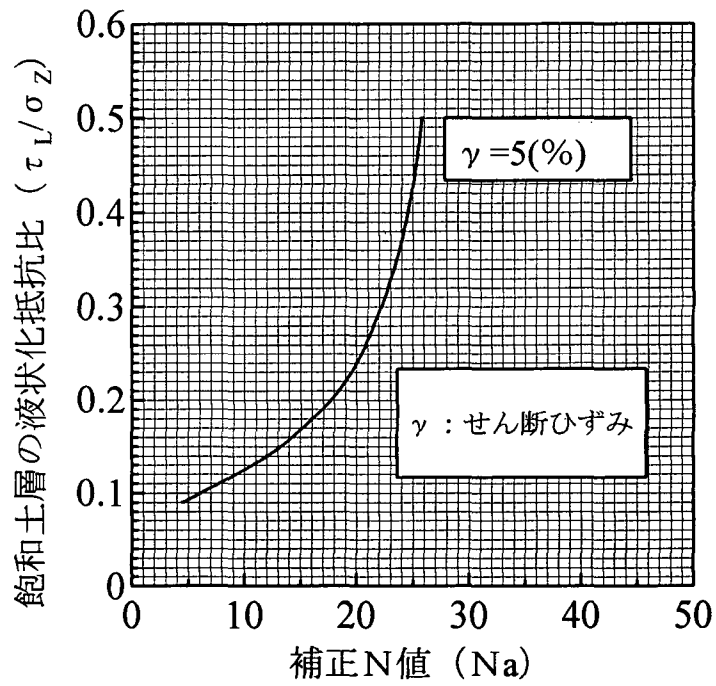


図 2.2 補正 N 値と飽和土層の液状化抵抗比

表 2.2 PL の値によって取るべき対策

$P_L=0$	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。
$0 < P_L \leq 5$	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。
$5 < P_L \leq 15$	液状化危険度は高い。重要な構造物に対しては、より詳細な調査が必要。液状化対策が一般に必要。
$15 < P_L$	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。

3. 1 徳島市

1. まえがき

徳島市に将来大きい被害をもたらすであろうと危惧されている3つの地震、すなわち南海地震と中央構造線沿いのそれらのもとで徳島市一円の液状化の予測を行った。南海地震は安政南海地震（1854年）と同程度の規模（ $M=8.4$ ）を想定したが、以後本文ではこれを想定地震1と称する。他の2つの地震としては、第一に中央構造線系活断層である井口・父尾・引野・神田・鳴門の各断層が県東部で長さ5.4kmにわたり破壊する、とするもので $M=7.7$ を想定した。この地震を以後想定地震4と呼ぶ。他の1つは、中央構造線系活断層である三野、池田の各断層が県西部で長さ5.2kmにわたり活動するとするものでやはり $M=7.7$ であり、以後これを想定地震5と称する。

液状化発生の予測手法は概略判定法、簡易予測法及び詳細予測法の3つに大別される。概略判定法は微地形や過去の液状化履歴に基づいて判定するもので、判定の精度は高くないが、広い領域をカバーした予備的な検討を待う場合などに威力を発揮する。詳細予測法は液状化発生のプロセスを数値解析的な地震応答解析のもとで文字通り詳細に追跡する方法であるが、地盤材料の構成測の選別や全応力法と有効応力法の区別など、日常の実務設計に取り込まれるには時期尚早といわねばならない。これに対し、簡易予測法は N 値の分布と粒度分布、あるいは室内振動三軸試験の結果等を利用して簡便かつ比較的精度の良い検討ができるため、実務設計に最も広く取り入れられている。こうしたことから、ここでは簡易予測法の代表例と目される、

- 1) 道路橋示方書・同解説、V耐震設計編：日本道路協会（1990改訂）
- 2) 建築基礎構造設計指針：日本建築学会（1988改訂）

に規定されている手順に従って、徳島市の液状化予測を行った。ただし、上記2つの方法による液状化危険度は結果的に余り大きくは異ならないので、以下本文では建築基礎構造設計指針に基づく場合を呈示する。

徳島市全域の液状化予測を片寄りなく均等に実施する目的で、市全体を500m四方のメッシュに分割した。そしてメッシュ区分ごとに代表的なポーリング柱状図の諸データを用いて液状化の可能性を検討した。得られた結果は最終的に液状化予測図の形で地図上にとりまとめた。

2. 建築基礎構造設計指針（1988）に基づく判定方法

「建築基礎構造設計指針：日本建築学会：1988」に謳われている液状化の判定方法は F_L 値法に分類される。ここに F_L 値とは、この値が、1を境にしてこれより大であれば理論上液状化は発生しない；1より小さければ液状化が発生し得る、と判定される数値であって、液状化に関する安全率を意味する。この指針では、「地下水面以深にある飽和砂質土層および軟弱な飽和中間土層については、地震時における液状化発生の可能性およびその程度を判定する。」と規定されている。以下に建築基礎構造設計指針の液状化判定手順を要約しておく：

（1）液状化判定の対象とすべき土層

3. 液状化予測に必要なパラメータ

液状化予測に当っては、ボーリング柱状図、N値、地下水位、土の単位重量、細粒分含有率、地表最大加速度及び想定地震のマグニチュードなどの各パラメータが必要となる。

3. 1 ボーリング柱状図、N値及び地下水位について

①ボーリング柱状図、N値について

各地に散在する既往の土質調査結果を収集し、ボーリング柱状図として利用するとともに、必要なN値を抽出した。図-1に収集されたボーリング調査地点の存在位置を●印で示す。この図にはまた、徳島市全域が500mメッシュに分割された様相も示されている。

②地下水位について

既存のボーリング柱状図中に示されている地下水位を用いることを原則とするが、必ずしもすべての柱状図中に地下水位が記されているとは限らない。そこでそうした場合には周辺の既知地下水位を内挿、外挿して、必要地下水位を推定した。

3. 2 土の単位重量と細粒分含有率について

既存のボーリング柱状図は土質試験の結果が不十分である場合が少なくない。そこで、上の単位重量及び細粒分含有率については道路橋示方書に規定されている値を用いることとした。その場合、既存のボーリング柱状図には同示方書にあてはまらない土質分類名が多数見出された。例えば、シルト質砂礫やシルト混じり砂などである。これらのものは、シルト質砂礫は砂礫、シルト混じり砂は砂といったように、後にくる土質分類名で判断した。表-1に用いた土の単位重量と細粒分含有率を一括して示す。

3. 3 地表最大加速度とマグニチュードについて

本稿“1まえがき”で述べたように、3つの想定地震におけるマグニチュードは8.4及び7.7である。地表最大加速度については別途に求められている地盤種別（Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ種）ごとの加速度分布図を参考に定めた。すなわち、徳島大学工学部建設工学科沢田研究室においてⅠ，Ⅱ種地盤及びⅢ種地盤に対して各想定地震ごとに徳島県下一円の地表最大加速度分布図が作成されている。そこで当該地点のボーリング柱状図をもとにその地点の地盤種別を特定すれば、加速度分布図から所望の地表最大加速度が明らかとなる。ここに地盤種別は道路橋示方書・同解説（Ⅴ耐震設計編）に規定されている特性値 T_c の値により表-2のように判別される。 T_c 自身の算出は以下のようである：

$$T_c = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_i} \quad (2)$$

ここに、

T_c : 地盤の特性値 (s)

H_i : i 番目の地層の厚さ (m)

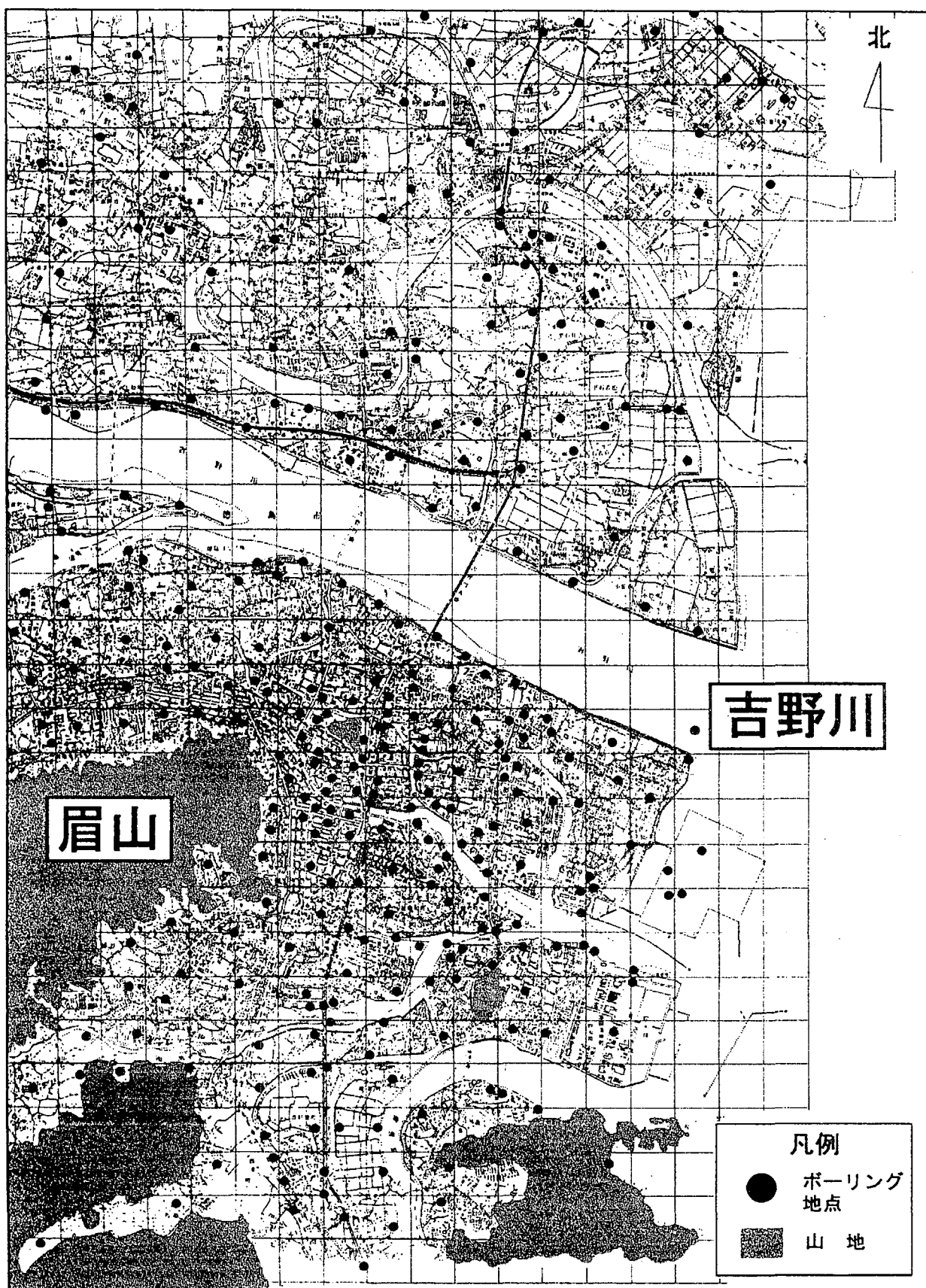


図1 ボーリングデータ地点 (徳島市周辺)

表-1 土質分類と単位重量、細粒分含有率

土質分類	地下水面上の単位重量 γ (tf/m ²)	地下水面下の単位重量 γ (tf/m ²)	細粒分含有率 F C (%)
シルト	1. 5 5	1. 7 5	7 5
粘土質シルト	1. 5 5	1. 7 5	7 5
礫混じりシルト	1. 5 5	1. 7 5	7 5
砂質シルト	1. 6 0	1. 8 0	6 5
礫混じり砂質シルト	1. 6 0	1. 8 0	6 5
シルト質砂	1. 6 0	1. 8 0	6 5
細砂	1. 7 5	1. 9 5	3 0
中砂	1. 8 0	2. 0 0	1 0
粗砂	1. 8 0	2. 0 0	0
シルト混じり砂	1. 7 5	1. 9 5	3 0
礫混じり砂	1. 7 5	1. 9 5	3 0
砂礫	1. 9 0	2. 1 0	0
シルト質砂礫	1. 9 0	2. 1 0	0
粘土混じり砂礫	1. 9 0	2. 1 0	0
シルト混じり砂礫	1. 9 0	2. 1 0	0
玉石混じり砂礫	1. 9 0	2. 1 0	0
火山灰	1. 5 5	1. 7 5	7 5

表-2 耐震設計上の地盤種別

地盤種別	地盤の特性値 T_c (s)
I 種	$T_c < 0. 2$
II 種	$0. 2 \leq T_c < 0. 6$
III 種	$0. 6 \leq T_c$

$$\begin{array}{l}
 V_{s,i} : i \text{ 番目の地層の平均せん断弾性波速度 (m/s)} \\
 \left. \begin{array}{l}
 \text{粘性土層の場合} \\
 V_{s,i} = 100 N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25) \\
 \text{砂質土層の場合} \\
 V_{s,i} = 80 N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50)
 \end{array} \right\} \quad (3)
 \end{array}$$

N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層の平均 N 値

i : 当該地盤が地表面から基盤面まで n 層に区分されるとき、地表面から i 番目の地層の番号

ここに、基盤面とは、粘性土層の場合は N 値が 25 以上、砂質土層の場合は N 値が 50 以上の地層の上面、もしくはせん断弾性波速度が 300 m/s 程度以上の地層の上面をいう。地表面が基盤面と一致する場合は I 種地盤とする。

4 液状化の判定

4.1 概説

液状化に対する抵抗率 F_L は各計算深度ごとに求まるため、深さに応じてさまざまな分布を示す。しかし、ある地点での F_L の深さ方向の分布が与えられたとしても、その地点で液状化が発生するか否か、あるいは発生する液状化の激しさがどの程度のものであるか、などといったことを直ちに判断するのは大変困難である。液状化の程度は各深さでの F_L 値を総合的に考慮した上で判断しなければならない。こうして、 F_L の深さ方向に対する分布の違いを反映させるため、岩崎・龍岡らにより提案されたのが地盤液状化指数 P_L 値の概念である¹⁾。当アセスメントでの液状化の判定および液状化の度合いの分類には、この地盤液状化指数 P_L 値を用いた。

4.2 地盤液状化指数 P_L 値

地盤液状化指数 P_L 値とは、液状化に対する抵抗率 F_L の深さ方向の変化に基づいて、地盤の液状化の激しさの程度を表す指標である。 P_L 値は次式によって定義されている。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot W(z) dz \quad (4)$$

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{ここに、} \quad F : F_L \leq 1.0 \text{ のとき} \quad F = 1 - F_L \\
 \quad \quad \quad F_L > 1.0 \text{ のとき} \quad F = 0
 \end{array} \right\} \quad (5)$$

$w(z)$: 重み係数

式(4)の $W(z)$ は深さに対する重み係数であり、次式(6)で定義される。

$$W(z) = 10 - 0.5z \quad (6)$$

z : 地表面からの深さ (m)

この $W(z)$ は式(6)から分かるように直線的に変化し、検討土層の浅い部分により大きな重みを与えられる仕組みとなっている。これは、浅い部分の液状化が特に被害に大きな影響を与えるとの事実を考慮したものである。

式(4)より全深度において $F_L \geq 1$ となる場合、 $P_L = 0$ であり、また全深度において $F_L = 0$ のとき、 $P_L = 100$ となる。

4.3 液状化の程度分類方法

ここでの最終目的は徳島市全域の液状化予測図を件成することにある。そのためには液状化の被害程度をいくつかの段階に分類しなければならない。その指標として前節で説明した地盤液状化措数 P_L 値を用いる。

このとき、 P_L 値と液状化の被害程度の関係には、岩崎・瀧岡らによる「地震時地盤液状化の程度の予測について」¹⁾を参考にした。

ところで、理論上液状化の起こる可能性がないとされるのは $P_L = 0$ となる場合である。しかし、岩崎・瀧岡らによると、過去の実績として $P_L = 0$ となった場合でも、わずかではあるが液状化が発生している。このことから、 $P_L = 0$ となる場合でも、直ちに「液状化が発生しない」とするのは早計であると考えた。

一方、安田の研究によると²⁾、 F_L が1.5以上の場合には液状化が発生しないと判断してよしとされている。そこで、 F_L が全深度で1.5以上となった場合に限り液状化の起こる可能性がないとした。また、全深度で $1 \leq F_L < 1.5$ のとき液状化の起こる可能性はあるが、発生する液状化の程度は非常に低くなるものとした。

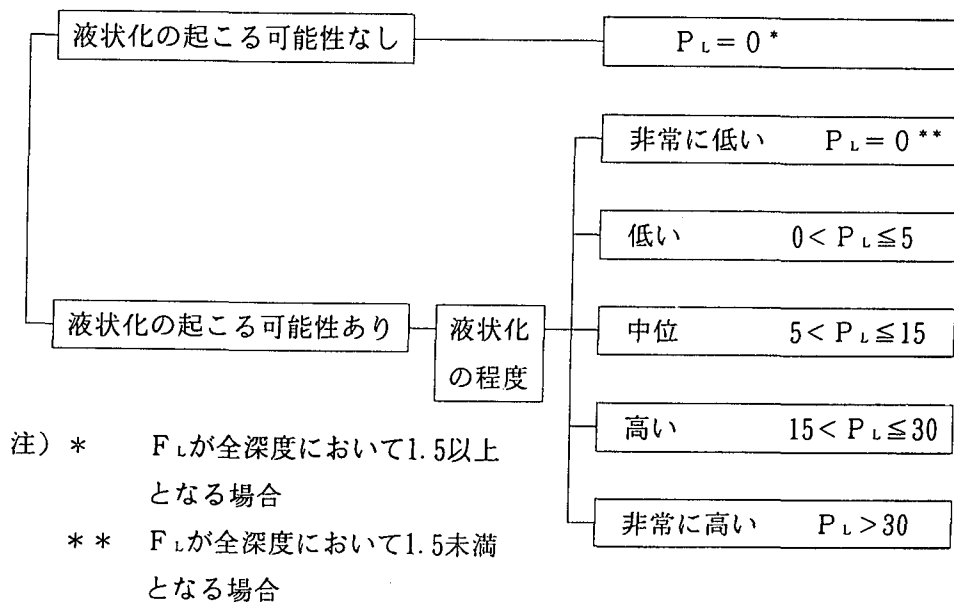


図2 液状化による被害程度分類

以上の背景を踏まえ、最終的に図-2に示すような液状化の発生の有無とその程度を表す分類規準を設定した。

5. 液状化判定結果

これまでに述べてきた手順に従って3つの想定地震に対する液状化の予測を行い、結果を地図上に図化した(図3～5参照)。いずれの地図においても、周囲の液状化の程度が高いにもかかわらず、不自然に白地のマス目となっている箇所がところどころに見られるのは、“液状化の可能性無し”ではなく、そのマス目の中にボーリング調査データが存在しなかったことを意味する。したがって、こうした部分については、周辺の状態を内挿、外挿して総合的な目でこの地図を眺めていただきたい。

参考文献

- 1) 岩崎敏男、龍岡文夫、常田賢一、安田進：地震時地盤液状化の程度の予測について、土と基礎、Vol. 28、No. 4、pp.23-29、1980.
- 2) 安田進：液状化の調査から対策工まで、鹿島出版会、pp.120-121、1988.

想定地震 1 (徳島市周辺)

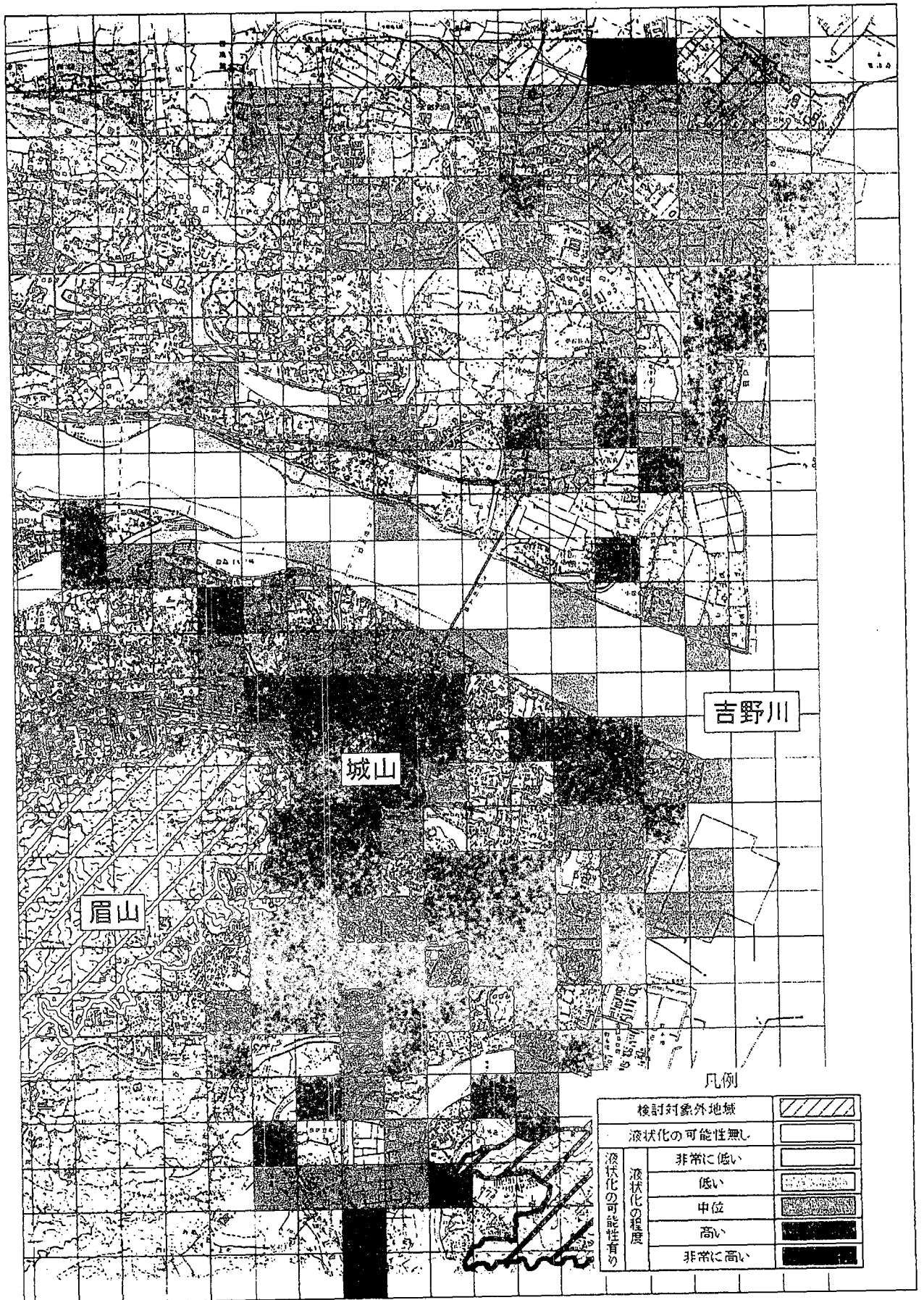


図3 想定地震1のもとでの液状化予測図

想定地震 4 (徳島市周辺)

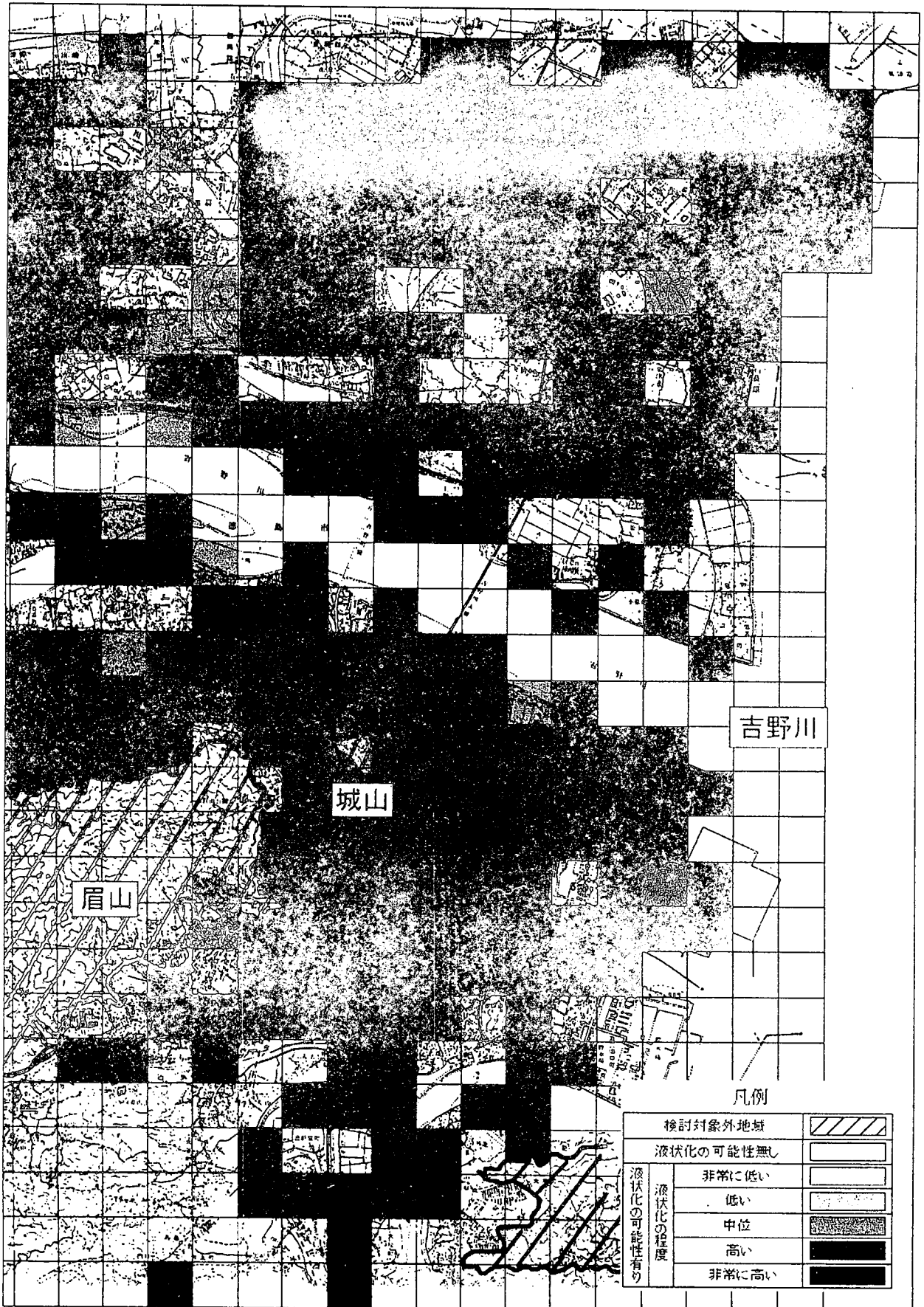


図4 想定地震4のもとでの液状化予測図

想定地震 5 (徳島市周辺)

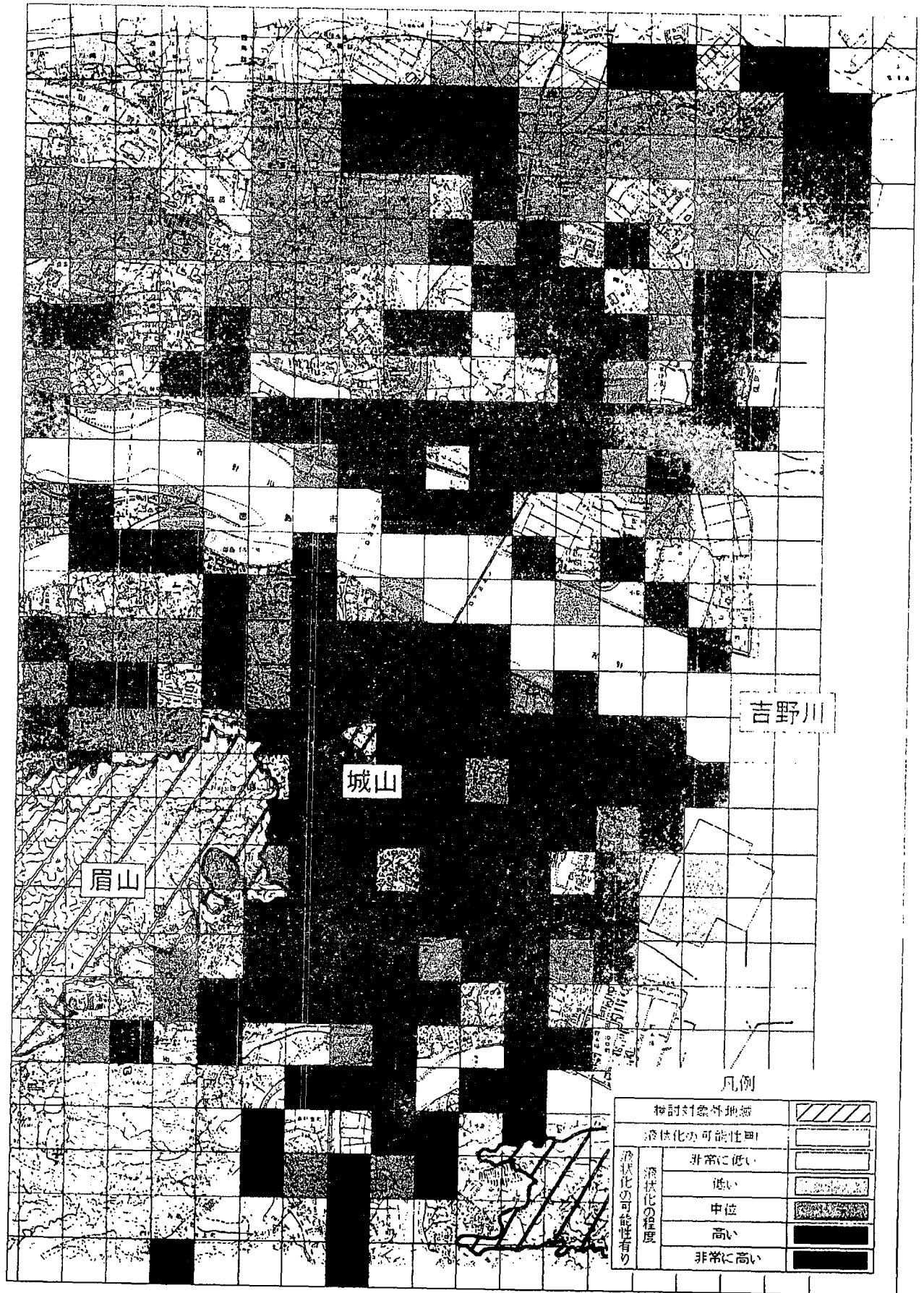


図5 想定地震5のもとでの液化化予測図

3. 2 高松市

3. 2. 1 高松市の地形の概要

高松市は讃岐山脈の北側に位置し、新川、春日川、詰田川、摺鉢谷川、香東川、本津川の中小の6河川が形成した沖積平野にある。中央部の西よりには紫雲山塊がある。沖積平野の面積は100km²程度である。高松市は、香川県の県庁所在地としてのみならず、四国の玄関口としての機能を合わせ持つ都市であるので地震防災を検討しておくことは重要なことである。

3. 2. 2 高松市の地盤の概要

図3. 2. 1に高松市の平面図を示す。沖積地盤は縦、横とも10 km程度である。ゼロメートル地帯はないが、GL+5m線が最大で海岸から5 km程度まで分布している。

高松平野の堆積層は河口では厚さが200 mにも達する。そのうち沖積層は更新世の堆積層がある。更に下部に粘土混じり砂礫層である三豊層群が分布している。

平野部には6河川が流れているが、何れも小河川である。海岸線に平行なD-D'断面と海岸線に斜行して平野部に向かうF-F'断面とE-E'断面の地質縦断面図をそれぞれ図3. 2. 2と図3. 2. 3、3. 2. 4に示す。

他のデータも併せて地質縦断面図から高松市の地盤の液状化特性についてまとめると次のようである。

①高松平野の西側は砂礫土が多く分布し、砂質土層は少ない。したがって、海岸部を除いては液状化の可能性は少ない。

②海岸部付近にはN値が10程度の砂質土層が10 m深まで分布している箇所もある。この部分は液状化の可能性が高い。

③春日川沿いの軟弱地盤では砂質土層がレンズ状に分布している。局所的にN値が10より小さい部分があり、局所的な液状化が発生する可能性は少ない。

④全体的にみると砂質土層は少なく、広域に渡って液状化が発生する可能性がある。

⑤地層の連続性が乏しい。局所的に液状化の可能性のある砂質土層が分布しているので、液状化判定のためには各ボーリング孔毎に検討する必要がある。そのためには、膨大な手間を要するので、河川護岸や海岸堤防、その他の重要構造物の近辺を集中的に検討することが実際的である。

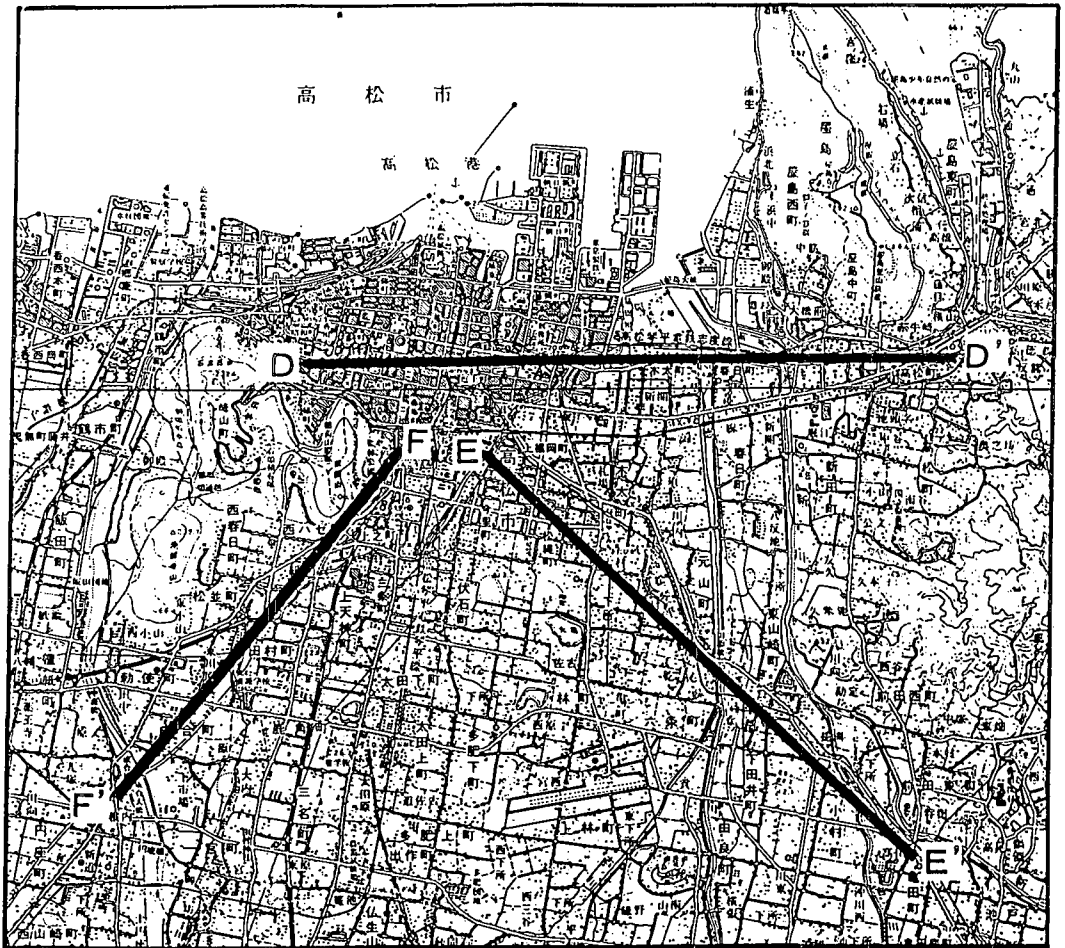


図 3.2.1 高松市の平面図

第 1 分 類			第 2 分 類			第 3 分 類			
区分	分 類 名	図 模 様	区分	分 類 名	図 模 様	区分	分 類 名	図 模 様	
土 質 材 料	礫 (G)	○ ○ ○ ○	補 助 記 号	砂 質 (S)	● ● ● ●	岩 石 材 料	岩 盤	硬 岩 (HR)	|||||
	礫 質 土 (GF)	○ ○ ○ ○ ○ ○		シルト 質 (M)	///			中 硬 岩 (MR)	|||||
	砂 (S)	● ● ● ●		粘 土 質 (C)	////			軟 岩、風 化 岩 (WR)	|||||
	砂 質 土 (SF)	● ● ● ● ● ●		有 機 質 (O)	|| || || ||		玉 石 (B)	○ ○	
	シルト (M)	///		火 山 灰 質 (V)	///		特 殊 土 材 料	浮 石 (軽 石) (Pm)	△ △ △ △
	粘 性 土 (C)	////		玉 石 混 り (-B)	○ ○ ○ ○			シ ラ ス (Si)	△ △ △ △
	有 機 質 土 (O)	|| || || ||		砂 利、礫 混 り (-G)	○ ○ ○ ○ ○ ○			ス コ リ ア (Sc)	▲ ▲ ▲ ▲
	火 山 灰 質 粘 性 土 (V)	~~~~		砂 混 り (-S)	● ● ● ● ● ●			火 山 灰 (VA)	△ △ △ △ △ △
	高 有 機 質 土 (腐 植 土) (Pt)	|||||		シルト 混 り (-M)	///		ロ ー ム (Lm)	△ △ △ △ △ △	
		粘 土 混 り (-C)	////	黒 ボ ク (Kb)	|||||				
		有 機 質 土 混 り (-O)	|| || || ||	マ	サ (WG)	+++++			
		火 山 灰 混 り (-V)	///	表 土 (Ss)	XXXXX				
		貝 殻 混 り (-Sb)	○ ○ ○ ○	埋 土 (FI)	XXXXX				
				廃 棄 物 (W)	XXXXX				

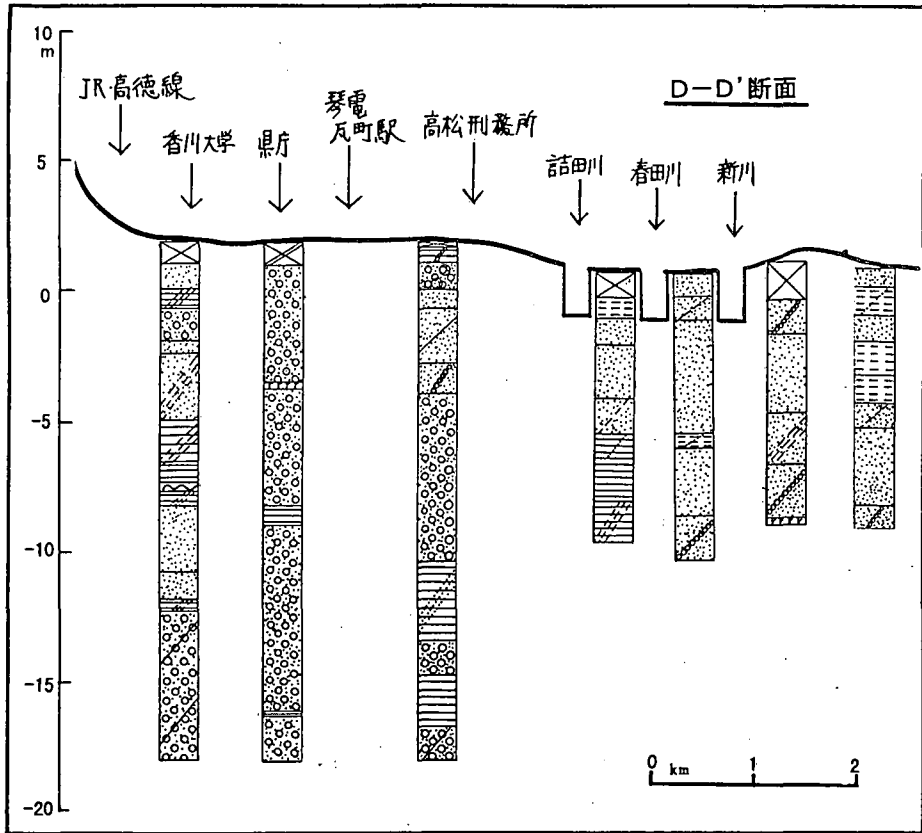


図 3.2.2 D-D' 断面図

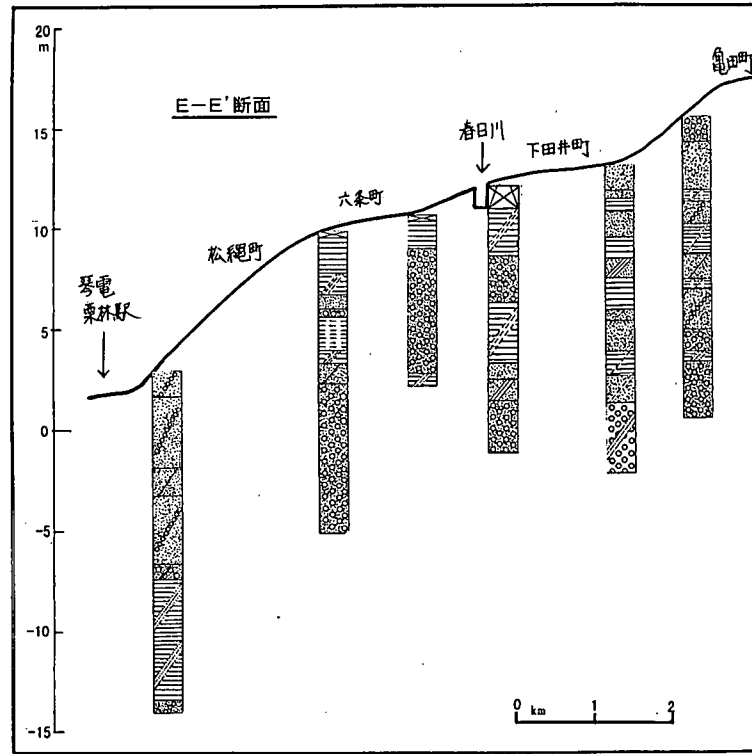


图 3.2.4 E - E' 断面图

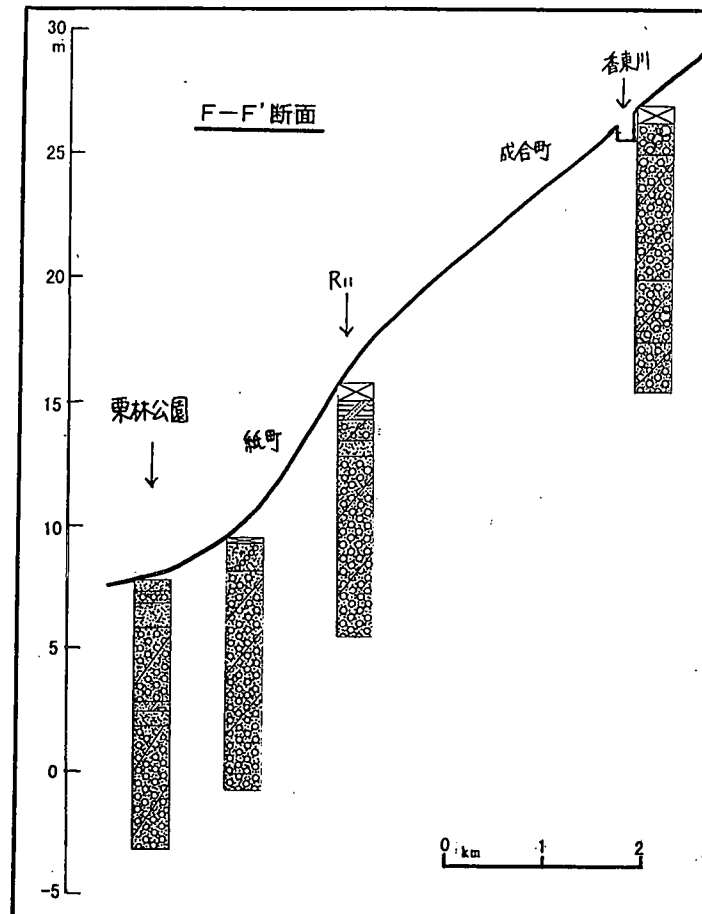


图 3.2.3 F - F' 断面图

3. 2. 3 液状化判定に用いた加速度

液状化判定計算を行う際して想定した地震は以下の通りである。

- (A) 南海トラフで発生する $M_J=8.0$ 程度の海洋型巨大地震
- (B) 四国地方の中央構造線の東半分（54km）で発生する $M_J=7.7$ の地震
- (C) 四国地方の中央構造線の西半分（52km）で発生する $M_J=7.7$ の地震

本報告では(B)の中央構造線の東半分（54km）で発生する $M_J=7.7$ の地震によるⅢ種地盤での最大か速度 380gal と従来の設計に用いられていた 150gal の 2 種類の加速度に対する液状化検討を行った。

3. 2. 4 液状化判定結果

液状化判定結果を図 3. 2. 5 と図 3. 2. 6 にそれぞれ道路橋示法書・同解説に基づいて液状化検討した結果を示す。150gal ではあまり激しい液状化は発生しないようであるが、380gal ではボーリングデータを入手した地点の 9 割以上が液状化する結果となっている。なお、ボーリングデータは海岸部と河川沿いを中心に集めている。

これから中央構造線の東半分で発生するマグニチュード 8.0 足らずの大規模地震では高松市の大半に液状化被害が発生することが予想される。

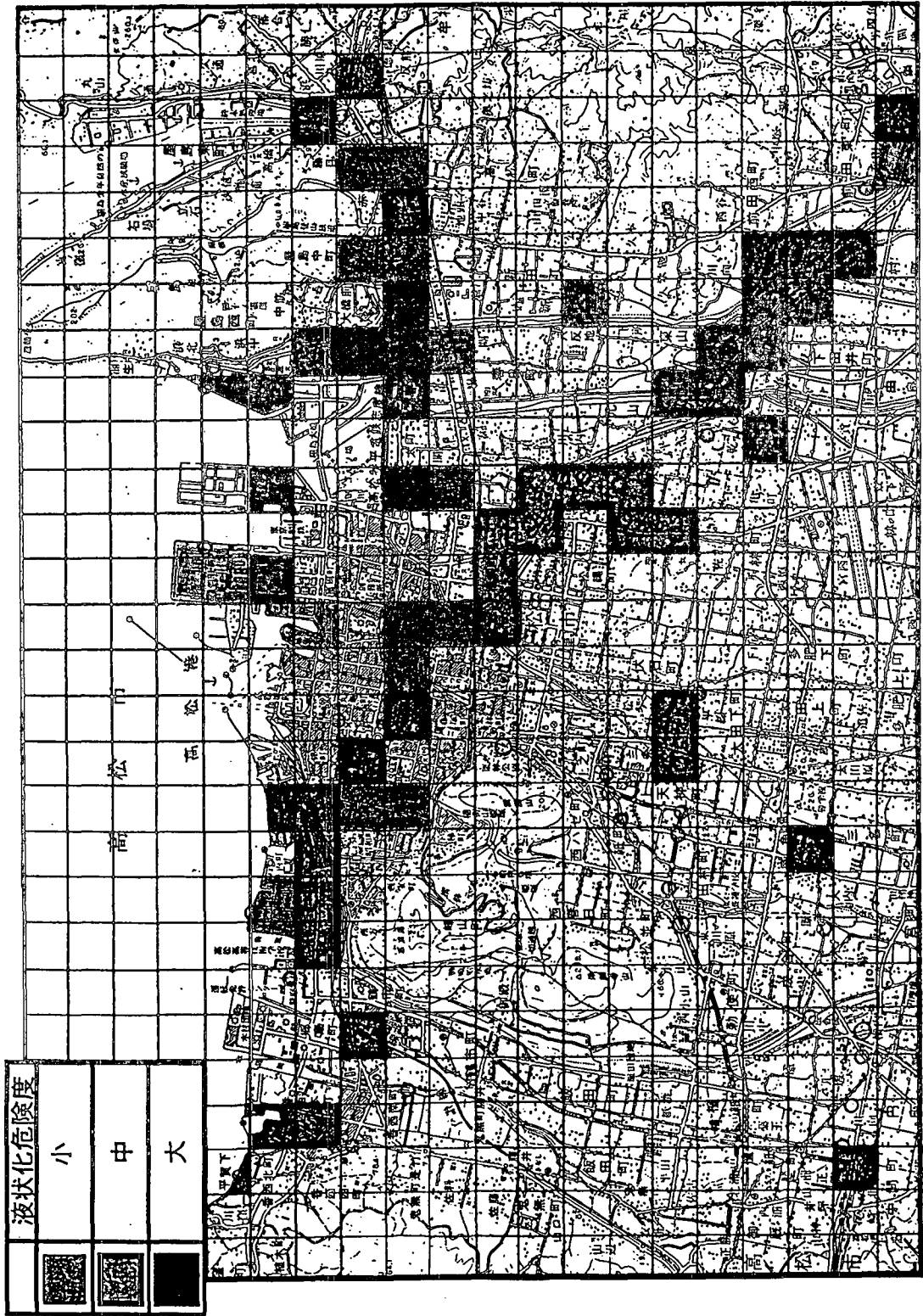


図 3.2.5 道路橋示方書に基づく液状化検討結果 (150gal)

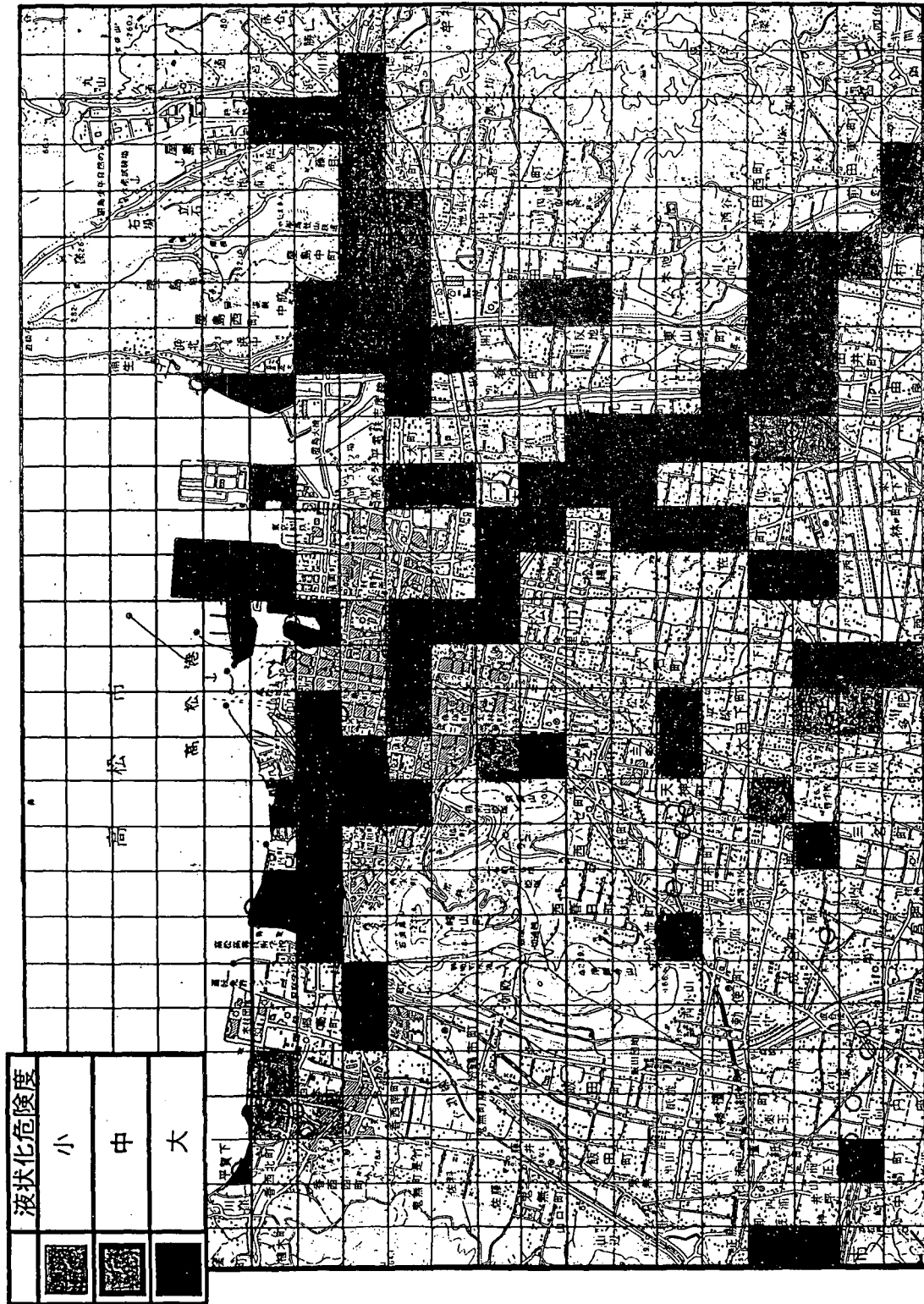


図 3.2.6 道路橋示方書に基づく液状化検討結果 (380gal)

3. 3 松山市

3. 3. 1 松山市の地形の概要

松山市は愛媛県の中央部に位置し、人口46万5千人の四国最大の都市である。松山市の南側には中央構造線が位置しており、川上断層や伊予断層を震源とする地震が発生すれば大きな被害が発生することが予想される。松山市の西の端には一級河川の重信川が、また、市の中心部には重信川の支川である石手川が流れている。これらは急流河川であるので堆積物は砂礫層が多いが、大規模な地震が発生すれば砂礫層も液状化することが阪神大震災で確認された。

三津や堀江などの湾岸部はいうまでもなく、河川に沿った箇所では大規模な液状化の発生が危惧されるので、詳細な液状化検討をしておくことが望ましい。

3. 3. 2 松山市の地盤の概要

和泉層群の南東に位置する川内町と重信町、南に位置する砥部町、南西に位置する伊予市には中央構造線が走っているが、松山市の中心から僅か10km足らずである。

松山市の地質は主に和泉層群と花崗岩類を主とする。重信川と石手川はいずれも急流河川であり、土砂生産が激しく、道前平野には新旧扇状地堆積物とその末端に位置する沖積堆積物が厚く分布している。河川勾配が大きいので、内陸部には粘土地盤はほとんど見られない。大半が砂礫層や比較的粒径の大きな砂質土層が分布している。地下水位は高いが、粒径が大きいので、従来の設計基準に用いられている加速度では液状化の危険性がある地盤は内陸部には殆どみられなかった。しかし、地下水位が高いので、阪神大震災で実証されたように中央構造線の活動に伴う震度6の地震が発生すれば液状化の可能性は十分想定される。

重信川の河口部や三津や堀江、和気などの湾岸部には比較的液状化の可能性が高い細砂の堆積している箇所がある。海岸部の細砂の堆積している部分は特に念入りに検討しておく必要がある。

図3. 3. 1に松山市の平面図を示す。またA-A'断面とB-B'断面それとC-C'断面の地質縦断面図をそれぞれ図3. 3. 2と図3. 3. 3それと図3. 3. 4に示す。砂層ならびに砂礫層が厚く堆積していることが分かる。

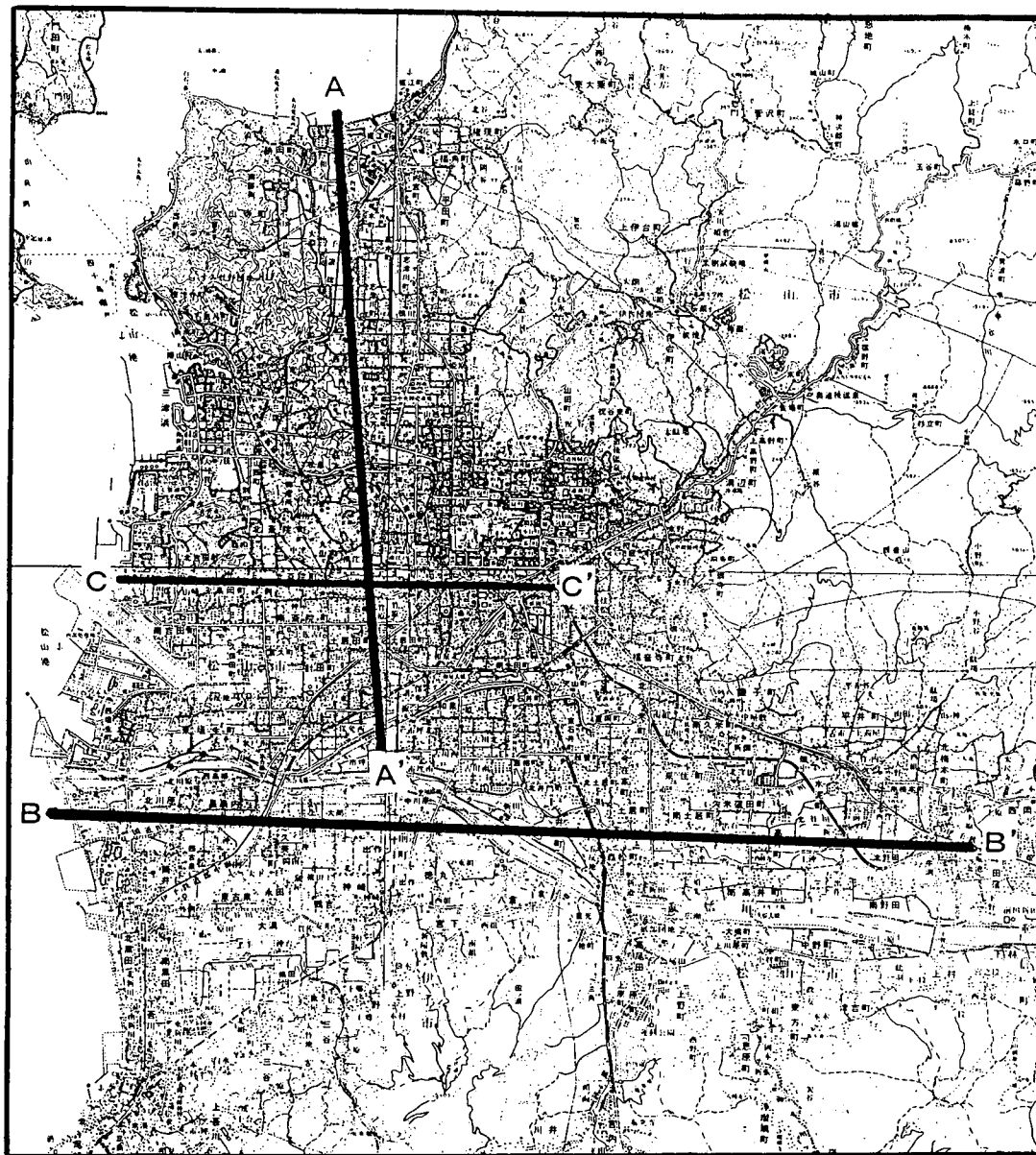


図 3.3.1 松山市の平面図

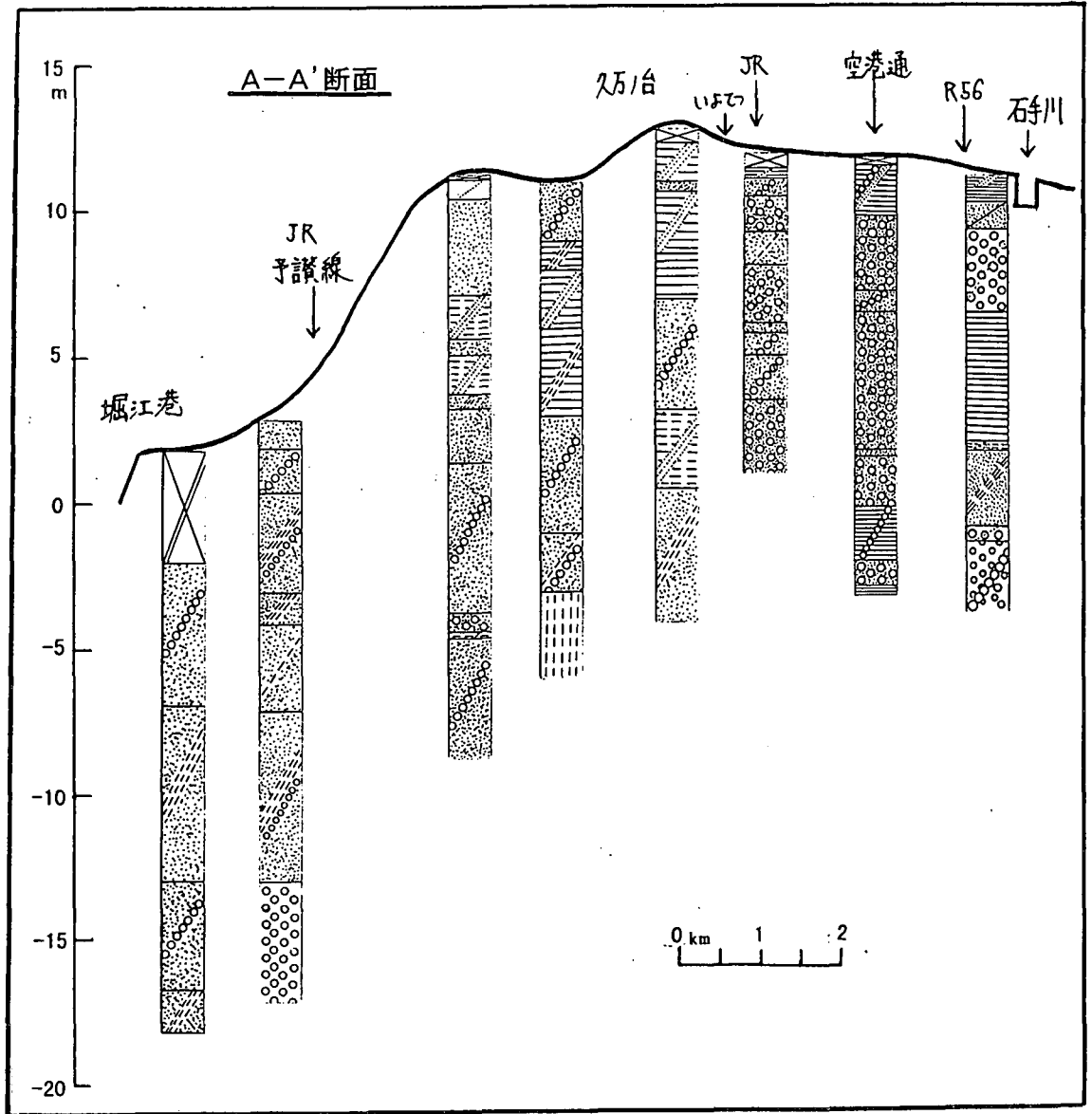


図 3.3.2 A-A' 断面図

第 1 分類			第 2 分類			第 3 分類		
区分	分類名	図模様	区分	分類名	図模様	区分	分類名	図模様
土質材料	礫 (G)	○ ○ ○ ○	補助	砂質土 (S)	.....	岩石材料	硬岩 (BR)	|||||
	礫質土 (GF)	○ ○ ○ ○		シルト質土 (M)	.....		中硬岩 (MR)	|||||
	砂 (S)	.....		粘土質土 (C)	|||||		軟岩、風化岩 (WR)	.....
	砂質土 (SF)	.....		有機質土 (O)	|| || || ||		玉石 (B)	○ ○
	シルト (M)	.....		火山灰質土 (V)	.....		浮石 (軽石) (Pw)	△ △ △ △
	粘性土 (C)	|||||		玉石混り (-B)	○ ○ ○ ○		シロリアス (SI)	△ △ △ △
	有機質土 (O)	|| || || ||		砂利、礫混り (-G)	○ ○ ○ ○		スコリア (Sc)	△ △ △ △
	火山灰質粘性土 (V)	.....		砂混り (-S)	.....		火山灰 (VA)	△ △ △ △
高有機質土 (腐植土) (Pt)	|| || || ||	シルト混り (-M)	.....	ローム (Lw)	△ △ △ △			
			粘土混り (-C)	|||||	黒ボク (Kb)	|||||		
			有機質土混り (-O)	|| || || ||	サ (SG)	+++++		
			火山灰混り (-V)	.....	表土 (Sa)	|||||		
			貝殻混り (-Sb)	○ ○ ○ ○	埋土 (FI)	|||||		
					廃棄物 (V)	|||||		

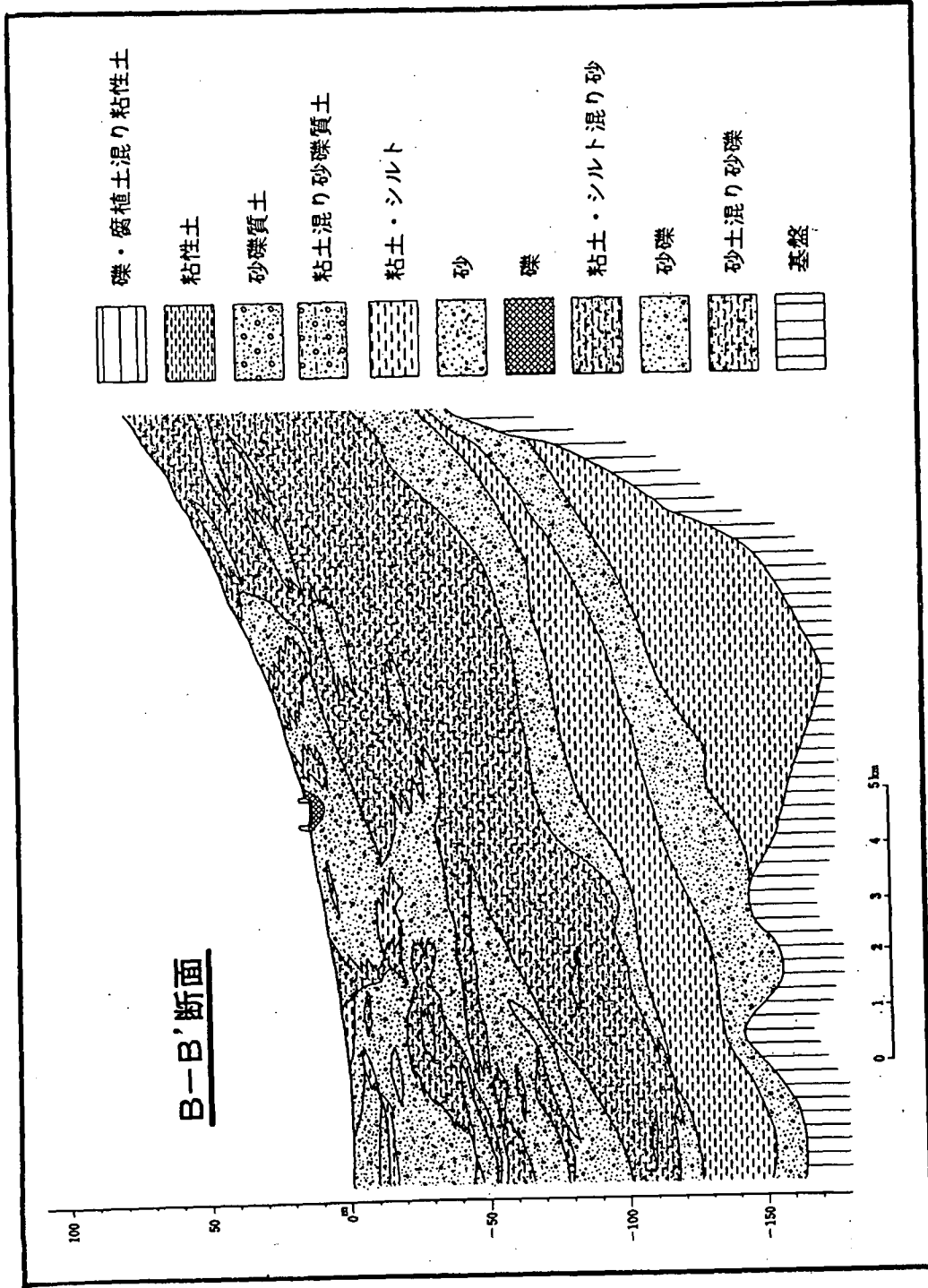


図 3.3.3 B-B' 断面図

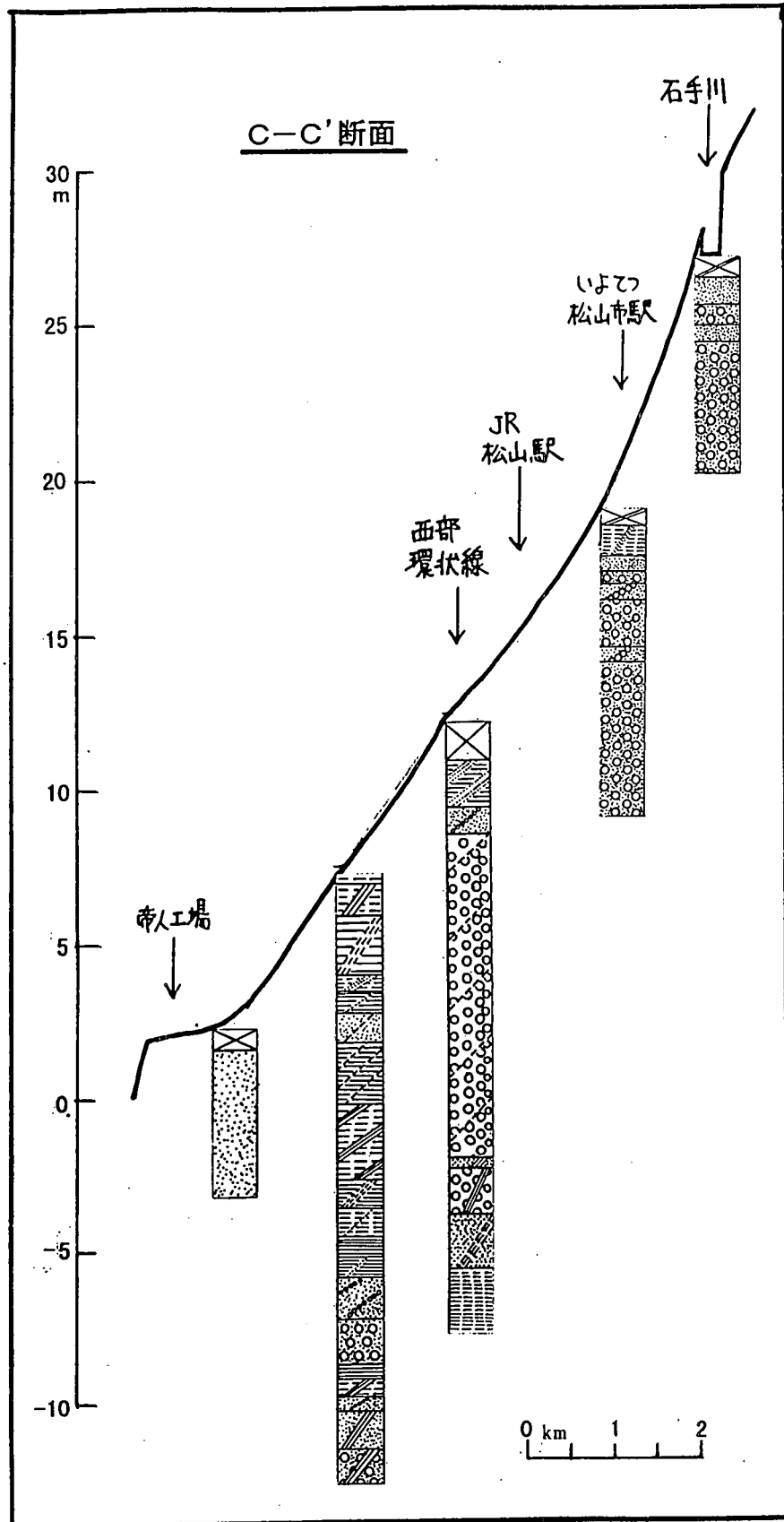


図 3.3.4 C-C' 断面図

3. 3. 3 液状化判定に用いた加速度

液状化判定計算を行う際して想定した地震は以下の通りである。

- (A) 南海トラフで発生する MJ=8.0 程度の海洋型巨大地震
- (B) 四国地方の中央構造線の東半分（54km）で発生する $M_j=7.7$ の地震
- (C) 四国地方の中央構造線の西半分（52km）で発生する $M_j=7.7$ の地震

本報告では (C) の中央構造線の西半分（52km）で発生する $M_j=7.7$ の地震によるⅢ種地盤での最大か速度 420gal と従来の設計に用いられていた 150gal の 2 種類の加速度に対する液状化検討を行った。

3. 3. 4 液状化判定結果

道路橋示法書・同解説に基づいて液状化検討した結果を図 3. 3. 5 と図 3. 3. 6 に示す。加速度はそれぞれ 150gal と 420gal である。建築基礎構造設計基準・同解説に基づいて液状化検討した結果を図 3. 3. 6 と図 3. 3. 7 に示す。加速度はそれぞれ 150gal と 420gal である。

道路橋示法書・同解説と建築基礎構造設計基準・同解説の結果を比較してみると道路橋によるものの方が液状化発生の可能性を高く判定するようである。また 150gal と 420gal を比較してみると 150gal では松山港や三津港、それと堀江港の一部で液状化の可能性が高いのに対して、420gal になるとこれらの地点以外に重信川沿いや石手川沿いでも液状化の可能性が非常に高くなる。ボーリング資料を入手した 8 割近い部分で激しい液状化の発生が予想される結果となった。

これから中央構造線の西半分で発生するマグニチュード 8.0 足らずの大規模地震では松山市の大半に液状化被害が発生することが予想される。特に港湾部での被害が激しいと予想される。

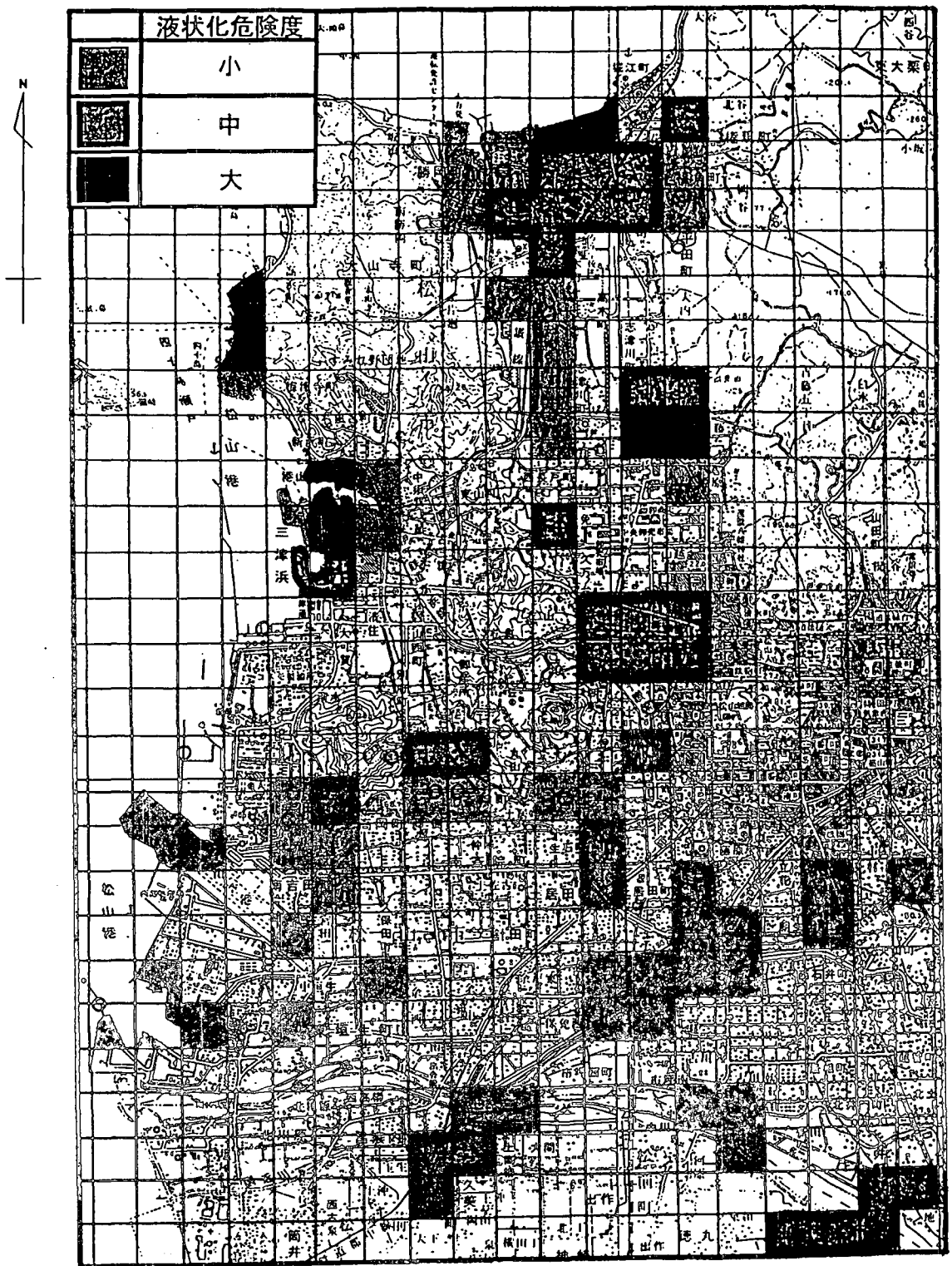


図 3.3.5 道路橋示方書に基づく液状化検討結果 (150gal)

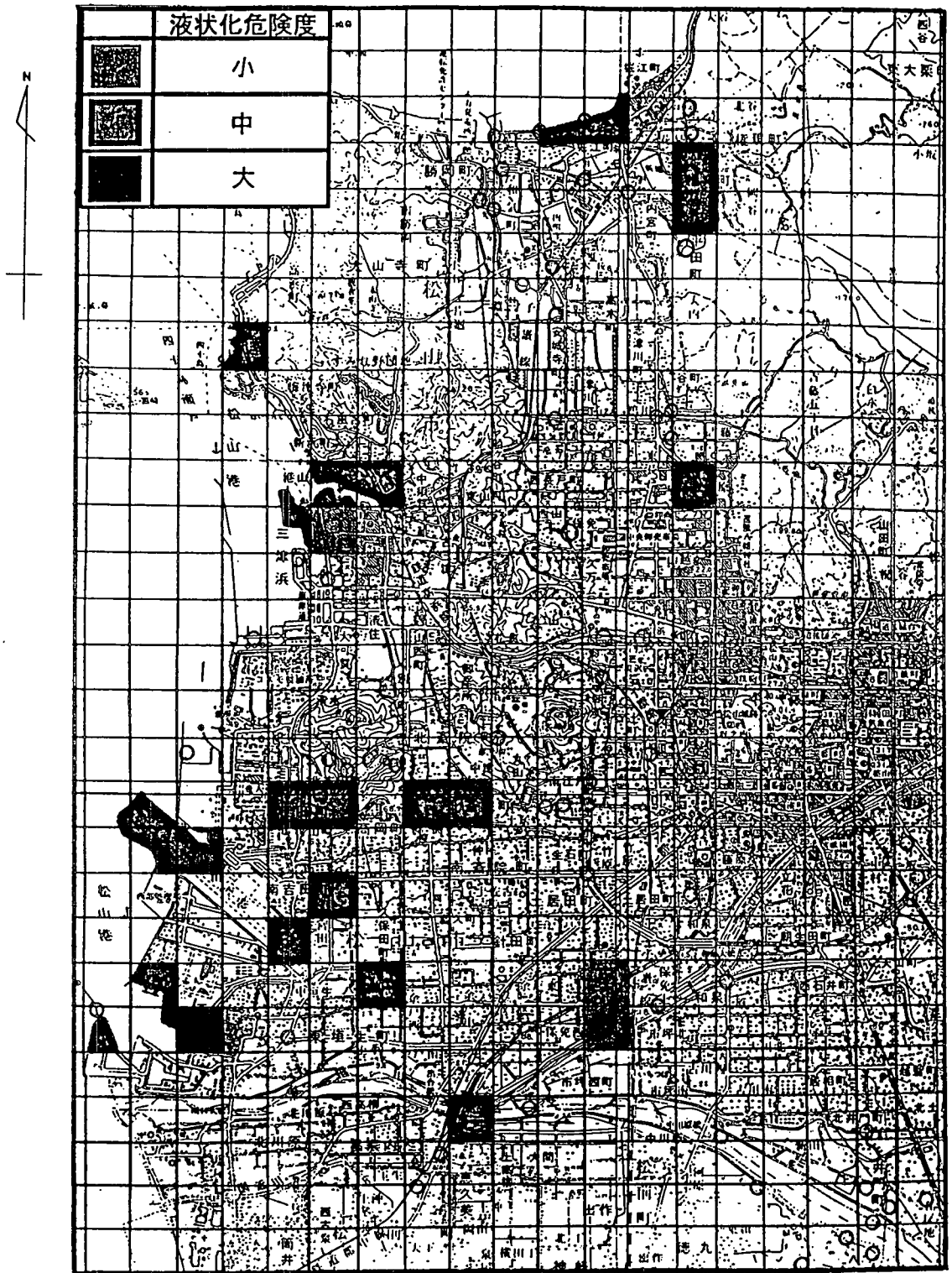


図 3.3.7 建築基礎構造設計基準に基づく液状化検討結果（150gal）

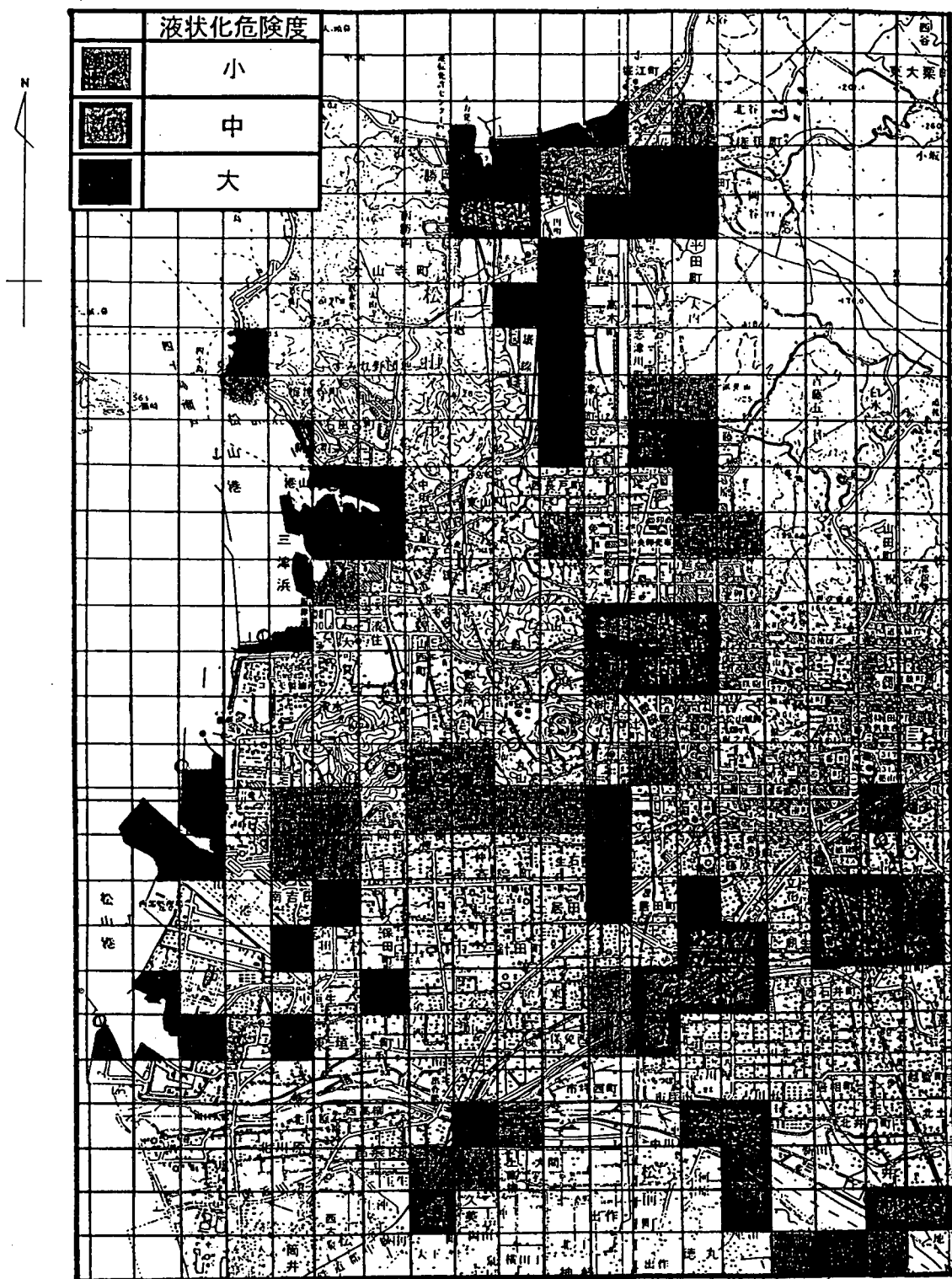


図 3.3.8 建築基礎構造設計基準に基づく液状化検討結果 (420gal)

3. 4 高知市

3. 4. 1 高知市の地形概要

高知平野は、北側を400m前後の定高性をもつ小起伏山地、南側を仏像構造線で区切られた小山脈に挟まれた地溝状盆地にあり、主として鏡川や国分川等の河川の運搬物である砂礫や粘土が堆積してできた小起伏の平坦な沖積平野である。沖積低地周辺西および北側には河川によって浸食された高位から低位の定高性をもつ段丘が認められる。平野部は、図3-4-1に示すように各水系溪口部の扇状地、それに続く自然堤防地帯および河口部の三角州に分けられる。

扇状地は、鏡川の形成したものが最大で、標高10mの米田地区を扇頂とし、能茶山付近を扇端とし、厚約10mの砂礫層からなる。この扇状地の背後の樹枝状の谷或いは小河川は出口をせき止められ溺れ谷を形成し、主として腐植土が分布し、超軟弱地盤となっている。また、北部山麓地域も久万川の各支流によりそれぞれ小規模な扇状地が形成されている。

自然堤防地帯は、鏡川流域では標高5m付近（中須賀—能茶山）から標高1～1.5m（はりまや橋—梅ヶ辻）まで、久万川流域では愛宕大橋付近まで、国分川流域では川中島付近までの地域で、砂または小礫からなっている。自然堤防間の低地は、後背湿地帯を形成し、排水不良地域で、砂～シルトからなり、山麓付近ではピートの分布が見られる。

三角州地帯は、標高1～1.5m以下の地域で、浦戸湾に注ぎ込んでいる各河川の河口部に形成された非常に緩やかな勾配の平坦地を形成している。構成土質は、盆地状平野内の浅海性の堆積物でシルト～粘土からなり、表層部にはかなりルーズな砂層が認められる。また、浦戸湾頭を中心にこの地域の大部分は、ゼロメートル地帯となっており、その面積は約10km²に達している。このゼロメートル地帯に、現在高知市民の約1割が居住しており、近年、特に浦戸湾東部のゼロメートル地帯に市街地が広がってきている。

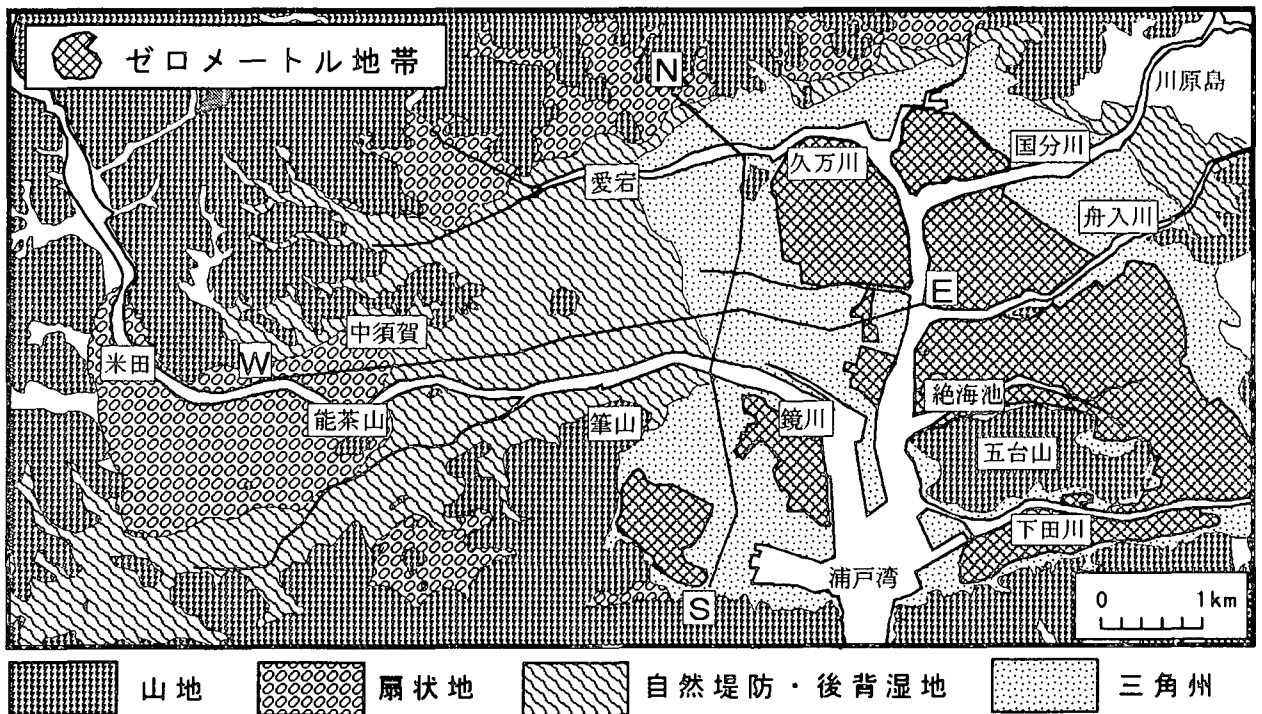


図3-4-1 高知市の微地形とゼロメートル地帯

3. 4. 2 高知市の地質概要

高知平野の基盤は、秩父帯中帯・南帯で一部にチャートを挟在する砂岩泥岩互層の高岡層、千枚岩を主とする伊野層、輝緑凝灰岩・チャート・石灰岩を伴う砂岩泥岩互層の虚空蔵山層群などからなる。北側の山地は砂岩・泥岩・塩基性凝灰岩および石灰岩などからなる白木谷層群に代表される。

高知平野を形成する第四紀層は、下部が洪積層で、上部が沖積層から成る。前者は下から、下部・中部・上部に3分され、後者は下から最下部・下部・上部に3分（所によっては2分）される。下部洪積世の地層までは段丘が形成されていないが、中部・上部は、主として、高位から低位までの段丘を形成し、沖積平野周辺部の丘陵末端の一部に段丘堆積物が認められる。

前期洪積世では、亜炭や植物の破片等を多く含む礫岩と砂岩・泥岩からなる河川礫層の万々層で、高位段丘は、赤褐色のクサリ礫からなる城山礫層（扇状地性）、久礼田層、琴平層等である。

中位段丘は、下部には氷期を示す泥層を持つ領石盆地の植田層および下部が巨礫層、中部が暗灰色泥層、上部が中一細礫層の堆積サイクルが見られる高知市の能茶山層がある。低位段丘は、土佐山田付近で低位段丘礫層群Ⅰ・Ⅱの2段があり、両者とも新鮮な河成の礫層で、低位段丘礫層Ⅰには黒ボクが、低位段丘礫層Ⅱには淡色の黒ボクが乗る。

沖積層は大きく2分される。最大の層厚は約40mで、上部の粗粒相と下部の細粒相からなる。上部相は主として砂礫であるが、これは東部と西部の両端に多く、中央部付近では泥質の所もある。下部相は泥質で、海棲の貝殻等や音地（赤ホヤ）火山灰が比較的下部の方に含まれる。また、周辺山麓部分には、地形により1～3mのピート層が挟在している。更に下位に中位段丘及び高位段丘相当の礫層と泥層がある。

高知平野下の沖積層の層序区分は、表3-4-1に示すように上部から第Ⅰ砂礫層（GⅠ）、第Ⅰ泥質層（MⅠ）、第Ⅰ砂層（SⅠ）および第Ⅱ泥質層（MⅡ）となり、下部は洪積層の第Ⅱ砂礫層に続く。図3-4-2に高知市市街部の東西方向及び図3-4-3に南北方向の地質断面図¹⁵⁾を示す。

表3-4-1 高知平野の第四紀層

年代	地層名	層序区分	深度 (m)			層相区分	堆積環境					
			扇状地	自然堤防	三角州							
第四紀	新世	沖積層				埋土						
						GⅠ	0~10		0~5	泥質砂	三角州前置層 (砂州)	
						MⅠ	0~10	10~15	10~20	貝殻片の多いシルト	三角州底置層	
										粘土質シルト	(内湾)	
										砂薄層・シルト	三角州前置層下部	
						SⅠ	SⅠv	5	10~15	20	火山灰	三角州底置層
							SⅠb	15~20		15~25	砂・腐植土・シルト	(内湾)
						MⅡ	10~20	15~20	20~30	粘土質シルト	河口砂州・沼沢地	
										砂・腐植土・シルト		
						更世	最終氷期礫層	GⅡa			砂礫	低位段丘礫層Ⅱ 低位段丘礫層Ⅰ	河川
新世	洪積層	MⅢa			粘土質シルト						(内湾)	
					GⅡb					半固層粘土質シルト	自然堤防・氾濫源	
			50~60	泥質砂								
					シルト							
				60~70	砂礫		河川					
第三紀 (鮮新世)												

~~~~~ : 不整合      ~~~~~ : 軽微な不整合

沖積層の第I砂礫層 (G I) は、現河床および旧河床の堆積物で、扇状地的構造を示し、層厚は山麓付近で厚く河口部で2~5 mと薄い。鏡川の扇状地に分布する砂礫層は、非常に透水性が高く、透水係数は $10^{-1}$  cm/secのオーダーを示し、N値は20前後を示す場合が多く、重量構造物の支持層としてはやや信頼性に欠ける。

第I泥質層 (M I) は、自然堤防地帯、後背湿地および三角州地帯全域に広く分布する内海性の海成泥質堆積層で腐植物・貝殻などを含有した粘土~シルトからなり、自然堤防地帯で深度10~15m、三角州で10~20mとなり、浦戸湾に近づくにつれ層厚を増し最大は約18mである。この層の粒度組成の特徴は、砂分が自然堤防・後背湿地地帯で15~40%、三角州地域で10%以下を示すことが多い。自然含水比は、液性限界とほぼ等しいかやや高く30~60%の値をとる。N値は1~5、一軸圧縮強さは、粘土含有量が20%以下で1~5 tf/m<sup>2</sup>、20%以上で6~12tf/m<sup>2</sup>、圧縮指数は0.3~0.6を示す。また、平野周辺の山麓部に点在する小溺れ谷では主に高含水比・高圧縮性の腐植土からなる。その土性は、砂・シルトの含有割合によってかなり異なっており、自然含水比150~1900%、湿潤密度1~1.4 t/m<sup>3</sup>、間隙比1.9~23を示す。一軸圧縮強さは1.8~4.6 tf/m<sup>2</sup>で、圧密による強度増加は著しく2~3 m程度の盛土荷重で8~9 tf/m<sup>2</sup>を示す。圧縮指数Ccは、0.9~19と非常に大きく自然含水比Wnと比例関係 (Cc=0.01Wn) にある。

第I砂層 (S I) は、火山灰層 (S I v) と下位の砂層 (S I b) からなる。火山灰層は、喜界島に噴火源をもつ降下堆積物で、層厚は1~2 mの所が多N-S地質断面図の位置で7 mと厚く河口付近では厚さを減じる。粒度組成は粘土分が数%で砂とシルトの含有量はほぼ等しく、土粒子密度は2.4~2.5 t/m<sup>3</sup>、自然含水比は90%前後を示す。この火山灰層のN値は20前後を示し、中位の相対密度で、層厚の厚いところでは被圧地帯水層を形成しており、透水係数は $10^{-3}$  cm/sec程度である。砂層 (S I b) は、腐植土・貝殻片を混入し、層厚は0~10mで、N値は10~20を示す。はりまや橋から潮江にかけて顕著な分布を示し、深度は、15~25mである。

第II泥質層 (M II) は、約10m前後の比較的一定な層厚をもち、粘土~砂質シルトからなり、自然含水比50~70%、湿潤密度1.6~1.7 t/m<sup>3</sup>を示す。N値は2~6、一軸圧縮強さは、7~13tf/m<sup>2</sup>を示し、第I泥質層より強度が高い。この第II泥質層は、下位の第II砂礫層 (洪積層) との間に腐植土を挟む場合が多く、不整合となっている。

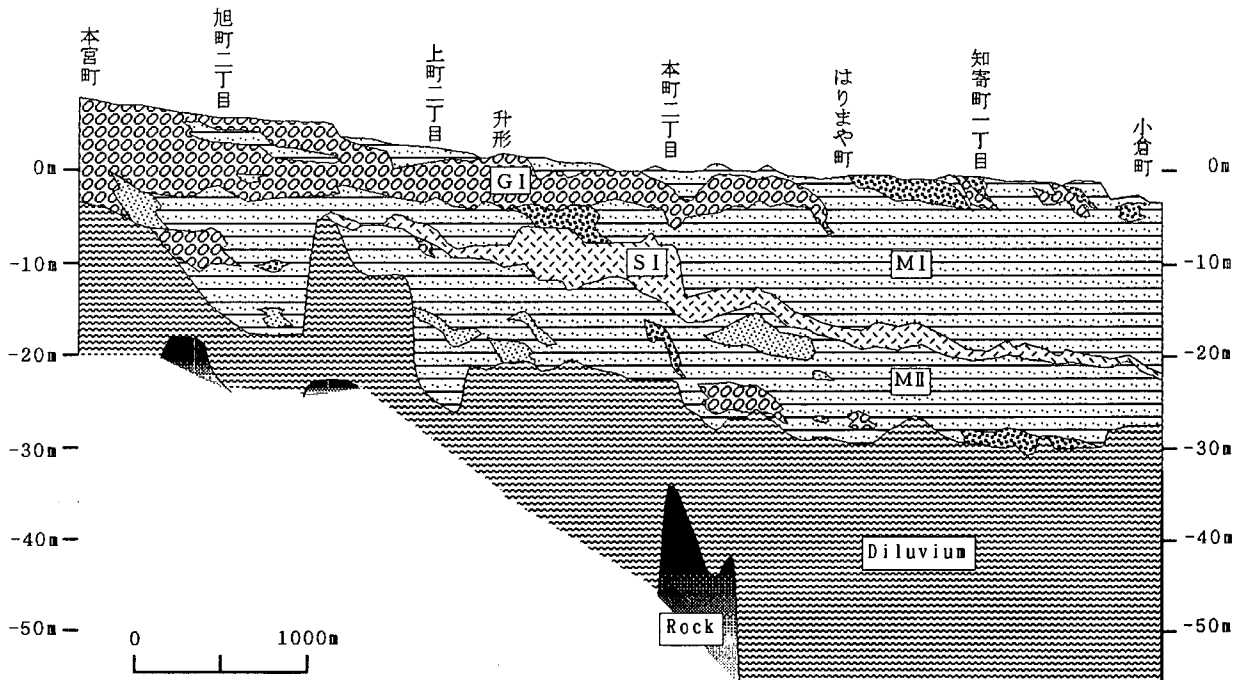


図3-4-2 高知市の東西方向 (図3-4-1中のE-W) の地質断面

第Ⅱ砂礫層（GⅡ）は、沖積層基底面下の砂礫層で、山麓に近い扇状地性砂礫層とその下位から平野中央部に突出した段丘性砂礫層、浦戸湾周辺一帯に分布する河床砂礫層に分けられる。これらの砂礫層はN値が50以上を示す非常に緻密な地層で、高知平野の重量構造物の支持層となっている。また、この砂礫層は透水係数が $10^{-1}$  cm/secのオーダーを示し、被圧帯水層を形成していて、地下水取水対象層としても価値がある。なお、この層の下部に分布する泥質層は、洪積粘土としては比較的軟質であり、浦戸湾東北地域には圧縮指数が1.3~1.4を示すものがある。

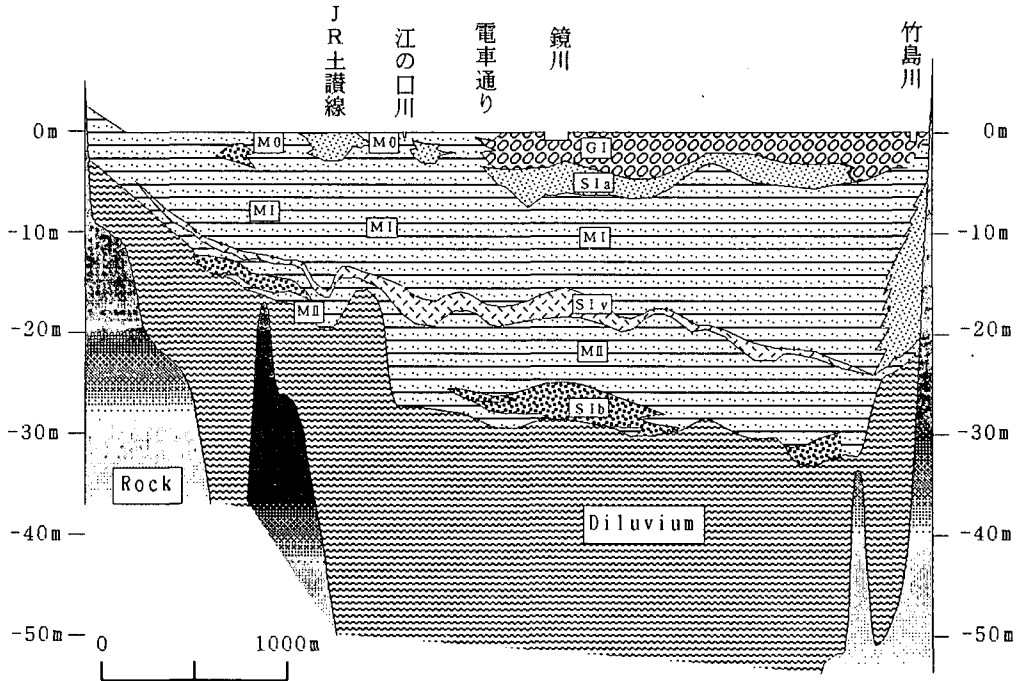


図 3-4-3 高知市の南北方向（図3-4-1中のN-S）の地質断面

表 3-4-2 土質分類名と土質特性の代表値

| 記号  | 土質分類   | $\gamma_{sat}$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma_t$<br>t/m <sup>3</sup> | $D_{50}$<br>mm | Fc<br>% | 記号  | 土質分類   | $\gamma_{sat}$<br>t/m <sup>3</sup> | $\gamma_t$<br>t/m <sup>3</sup> | $D_{50}$<br>mm | Fc<br>% |
|-----|--------|------------------------------------|--------------------------------|----------------|---------|-----|--------|------------------------------------|--------------------------------|----------------|---------|
| C   | 粘土     | 1.6                                | 1.4                            | 0.0055         | 100     | SC  | 粘土質砂   | 1.8                                | 1.6                            | 0.13           | 40      |
| CM  | シルト質粘土 | 1.7                                | 1.5                            | 0.007          | 95      | SM  | シルト質砂  | 1.8                                | 1.6                            | 0.17           | 30      |
| CS  | 砂質粘土   | 1.8                                | 1.6                            | 0.05           | 70      | S-M | シルト混り砂 | 1.9                                | 1.7                            | 0.18           | 10      |
| M   | シルト    | 1.75                               | 1.55                           | 0.025          | 90      | S-G | 礫混り砂   | 2.0                                | 1.8                            | 0.25           | 5       |
| MC  | 粘土質シルト | 1.8                                | 1.6                            | 0.012          | 100     | G   | 礫      | 2.1                                | 1.9                            | 20             | 0       |
| MS  | 砂質シルト  | 1.8                                | 1.6                            | 0.04           | 70      | GS  | 砂質礫    | 2.0                                | 1.8                            | 2.0            | 0       |
| M-S | 砂混りシルト | 1.8                                | 1.6                            | 0.035          | 85      | G-S | 砂混り礫   | 2.1                                | 1.9                            | 12.5           | 0       |
| S   | 砂      | 2.0                                | 1.8                            | 0.2            | 5       | Ss  | 表土     | 1.7                                | 1.5                            | 0.02           | 80      |
| FS  | 細砂     | 1.85                               | 1.65                           | 0.15           | 10      | FI  | 埋土     | 1.8                                | 1.6                            | 0.05           | 50      |
| FSM | シルト質細砂 | 1.8                                | 1.6                            | 0.07           | 40      |     |        |                                    |                                |                |         |

$\gamma_{sat}$ : 飽和密度

$\gamma_t$ : 湿潤密度

$D_{50}$ : 平均粒径

Fc: 細粒分含有量



### 3. 4. 3 液状化判定に用いた加速度

#### (1) 液状化の判定方法

液状化の判定は、道路橋設計示方書、建築基礎構造設計指針および旧国鉄建造物設計標準解説の方法<sup>5)</sup>に準じて液状化抵抗率 $F_L$ 値を算定し、さらに、液状化深度を考慮した地盤液状化指数 $P_L$ 値<sup>6)</sup>を用いて行った。これらの判定方法は、土質定数として土層の単位体積重量、細粒分含有率及び平均粒径等を必要とする。そこで、地盤図の柱状図による液状化の判定には、記載されている土質区分名をもとに道路橋設計示方書<sup>7)</sup>および高知市内の沖積層における土質試験結果を参考に表3-4-2に示す土質定数を代表値として用いた。

#### (2) 判定に用いた最大加速度

解析に用いた地震の最大加速度は、表3-4-3に示す、本委員会地質部会及び地震動・構造物部会が想定した地震および地震動予測結果<sup>8)</sup>を用いた。

表3-4-3 高知市における最大加速度の予測値 (gal)<sup>8)</sup>

| 想定地震                 | 地震規模 | 露頭岩盤 | I・II種地盤 | III種地盤 |
|----------------------|------|------|---------|--------|
| 南海トラフで発生する地震         | M8.0 | 210  | 350     | 500    |
| 四国地方の中央構造線東半分で発生する地震 | M7.7 | 70   | 120     | 160    |
| 四国地方の中央構造線西半分で発生する地震 | M7.7 | 100  | 150     | 210    |

地盤種別は、道路橋設計示方書による地盤の特性値 $T_g$ を算定し、示方書に準じて $T_g \geq 0.6(s)$ をIII種地盤、 $T_g < 0.6(s)$ をI・II種地盤とした。図3-4-4にIII種地盤の地域を示す。

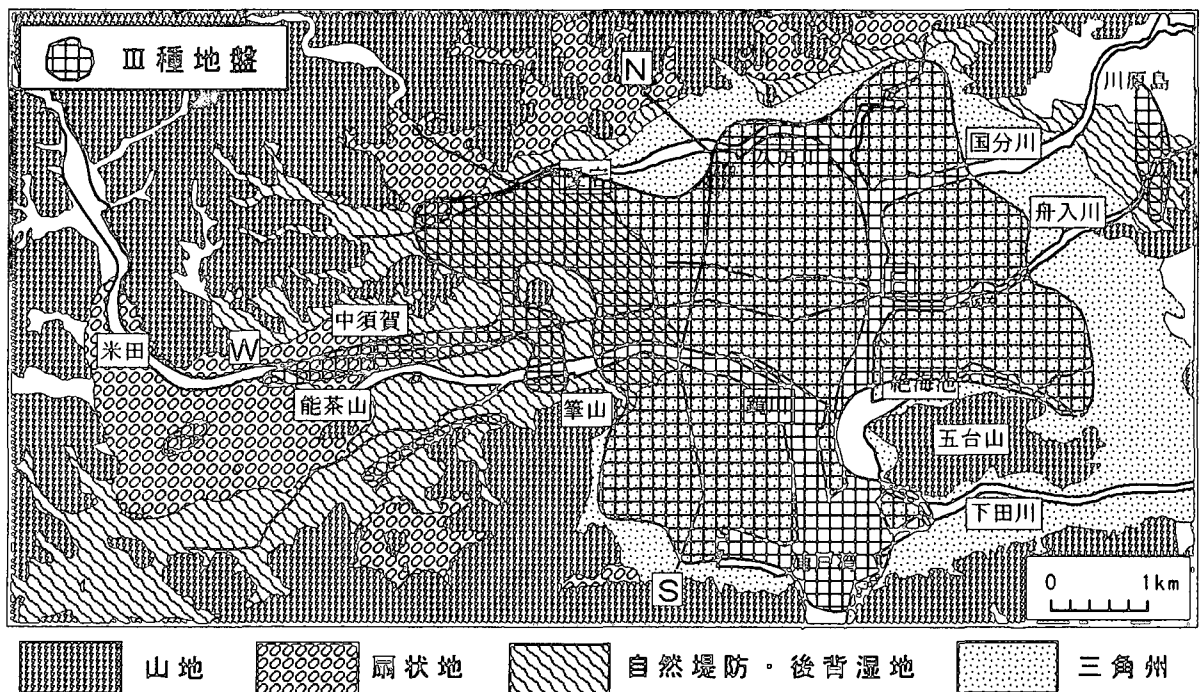


図3-4-4 高知平野におけるIII種地盤の分布

#### 3. 4. 4 液状化判定結果

液状化の危険性の判定は、地盤図<sup>1)</sup>に収録されている土質区分名及びN値の記載されている柱状図から高知市街地を中心に201地点について行った。図3-4-5~7は、想定された3地震について道路橋示方書の方法で算定した $F_L$ 値を用い地盤液状化指数 $P_L$ 値を求め地盤液状化の危険度を判定したものである。なお、図中の液状化危険度の大, 中, 小の区分は、それぞれ、 $P_L > 15$ ,  $15 \geq P_L > 5$ ,  $P_L \leq 5$ である。



$F_L$ 値により液状化の危険性が判定された地層は、自然堤防地帯から扇状地にかけて第Ⅰ砂礫層下部の砂層および、第Ⅱ泥質層中の基底部に分布する砂・シルト層で液状化の危険が判定されている。三角州地帯では第Ⅰ砂礫層下の砂層でほとんどで液状化が発生し、第Ⅱ泥質層では粘性土中に薄く挟在する砂質シルト～細砂層部分で生じている。

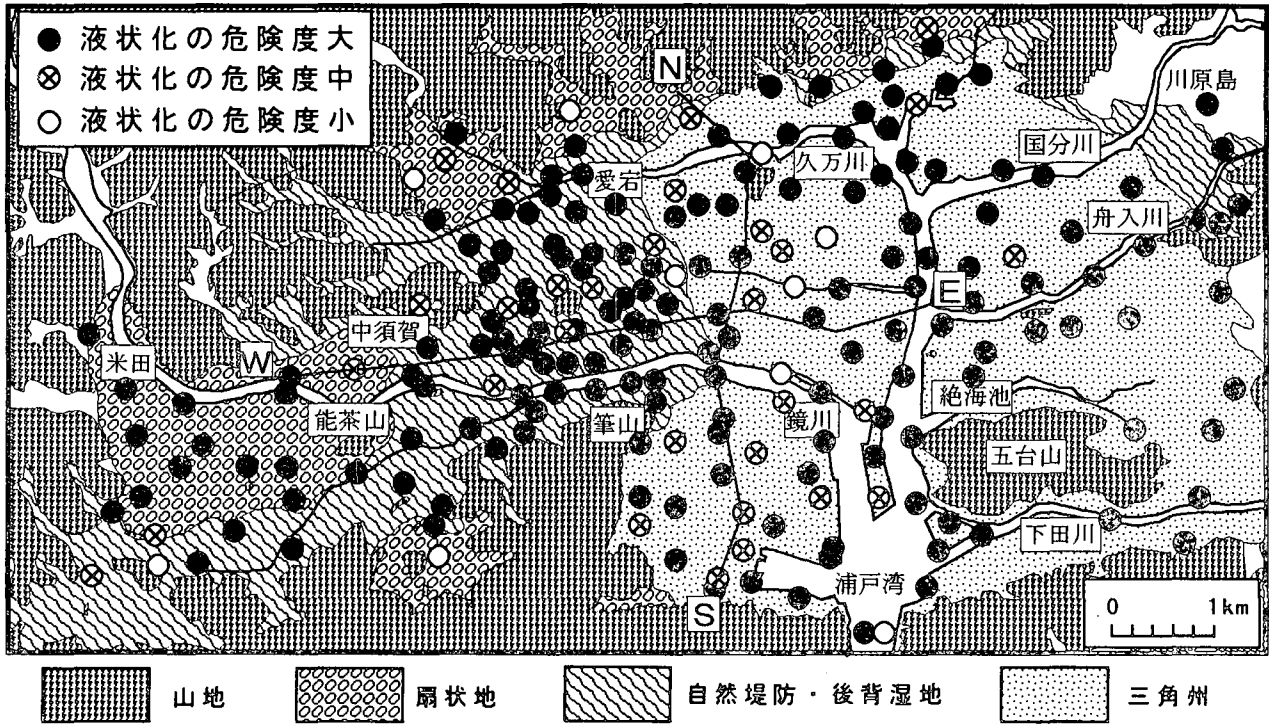


図3-4-5 南海トラフで発生する地震 (M8.0) による地盤液状化の判定結果

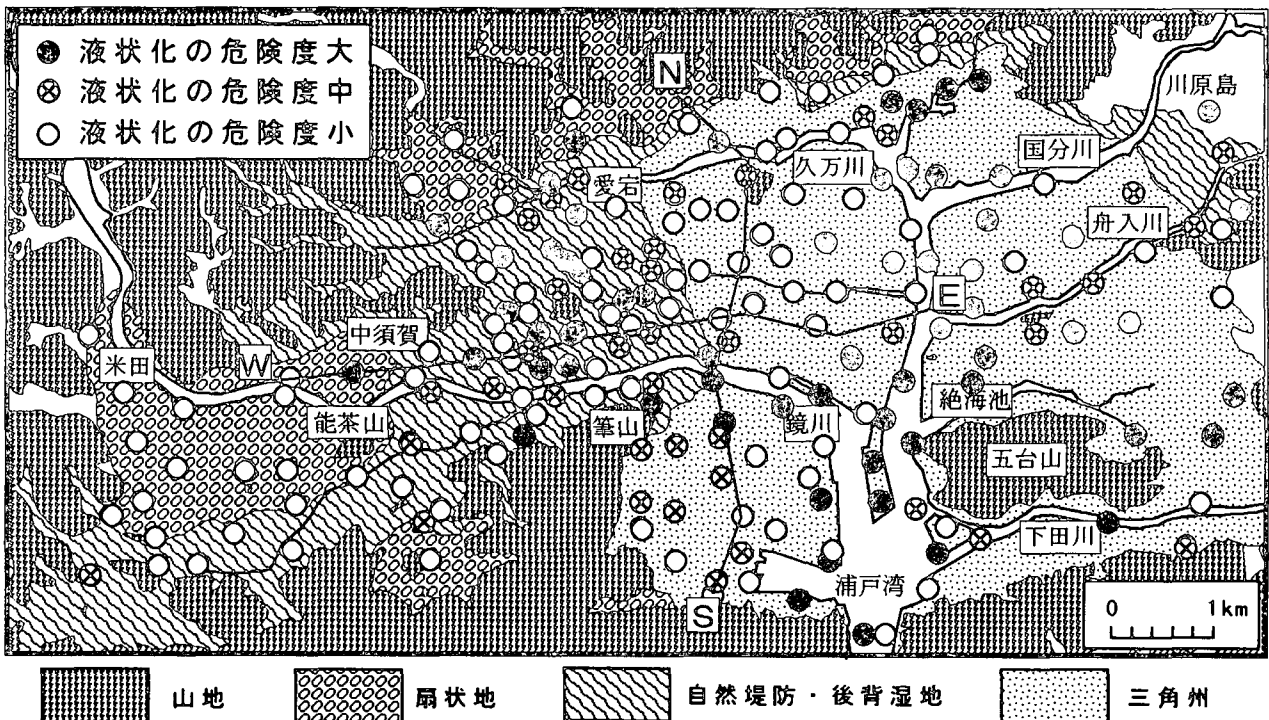


図3-4-6 中央構造線東半分で発生する地震 (M7.7) による地盤液状化の判定結果

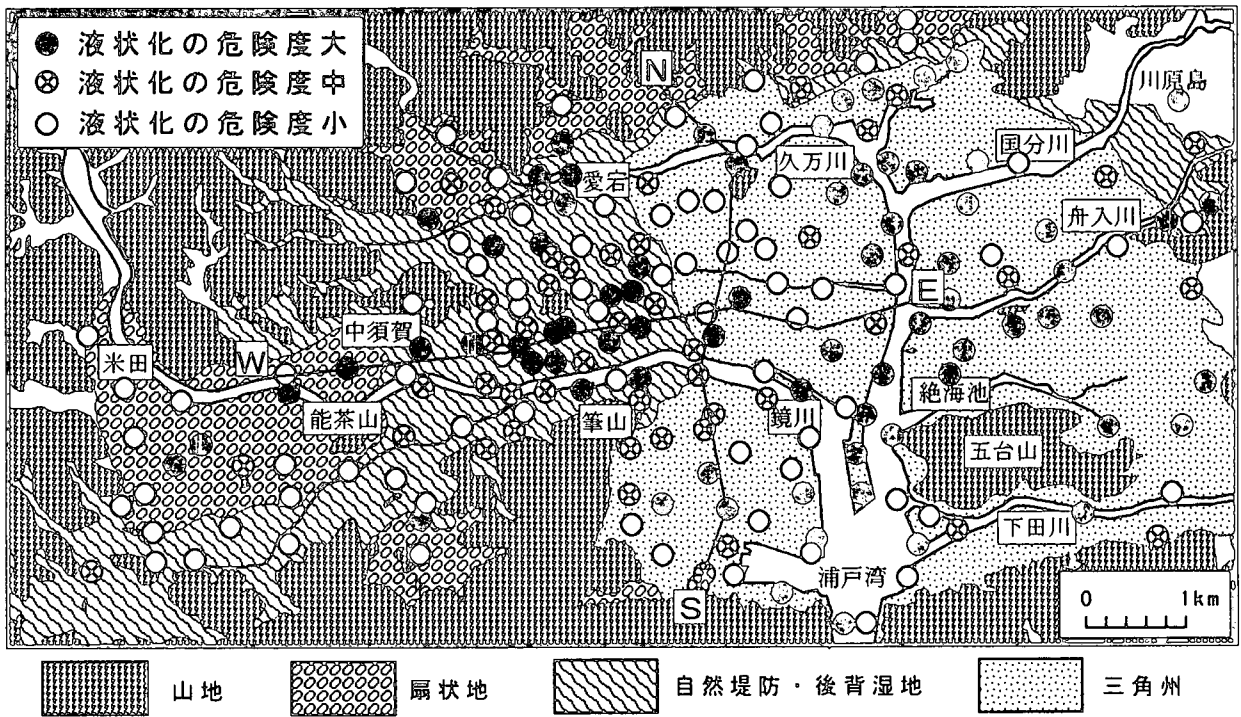


図 3-4-7 中央構造線西半分で発生する地震 (M7.7) による地盤液状化の判定結果

地盤液状化指数 $P_L$ 値による解析結果から、想定した南海トラフの地震の地震動では、市内全域に亘って液状化する可能性が高い。浦戸湾西部の粘性土が卓越している泥質層のデルタ地帯及び自然堤防地帯河川から離れた地域で危険性が中以下と判定された地点が多い。自然堤防地帯の河川に隣接した地帯で液状化の危険性が大きく、特に、浦戸湾東部のデルタ地帯は、全域にわたって液状化の危険がある。また、礫層が主体で液状化が生じにくいと考えられる扇状地地域でも液状化の危険性の大きいことが解析の結果得られた。

中央構造線の東あるいは西に震源を想定した地震動では両者に大差はなく、液状化の危険性の高い地域は自然堤防地帯に位置する市街中心部、浦戸湾岸、久万川沿いおよび浦戸湾東部の三角州地帯である。

ここで想定した3地震のいずれの地震動でも高知市内を流れる河川沿いの地域で液状化の危険が大きく、地盤の液状化に河川堤防の沈下に関する検討が必要である。河川堤防の緊急的な要耐震点検区間は、国分川・下田川・介良川・舟入川・久万川・鏡川の6河川37.4kmあるが、特に、浦戸湾東部地区は、0メートル地帯の沼地が最近になって市街化が進み、河川堤防の整備が遅れていることから、早急に詳細な点検が必要である。これらの区間は、既にボーリング調査等詳細点検が進行中で、要対策区間と判定された箇所の一部では、既に対策工事が行われつつある。

参考文献

- 1) 高知地盤図編集委員会：高知地盤図，高知県建築設計監理協会，1992
- 2) 小椋正澄，吉川正昭：高知市の沖積層における地盤液状化について，第2回土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集，pp. 38-43，1996
- 3) 小椋正澄，満塩大洗，吉田泰治：四国の軟弱地盤，支部創立30周年記念出版，30年のあゆみ，pp62-83，土質工学会四国支部，1989
- 4) 市川正巳監修：博学紀行高知県，P40，福武書店，1984
- 5) 土質工学会：液状化対策の調査・設計から施工まで，pp95-108，1995
- 6) 岩崎敏夫，龍岡文夫，常田賢一，安田進：地震時地盤液状化の程度の予測について，土と基礎，28(4)，
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1990
- 8) あんぜん四国検討委員会：四国地方の地震防災に関する研究，土木学会四国支部，1996