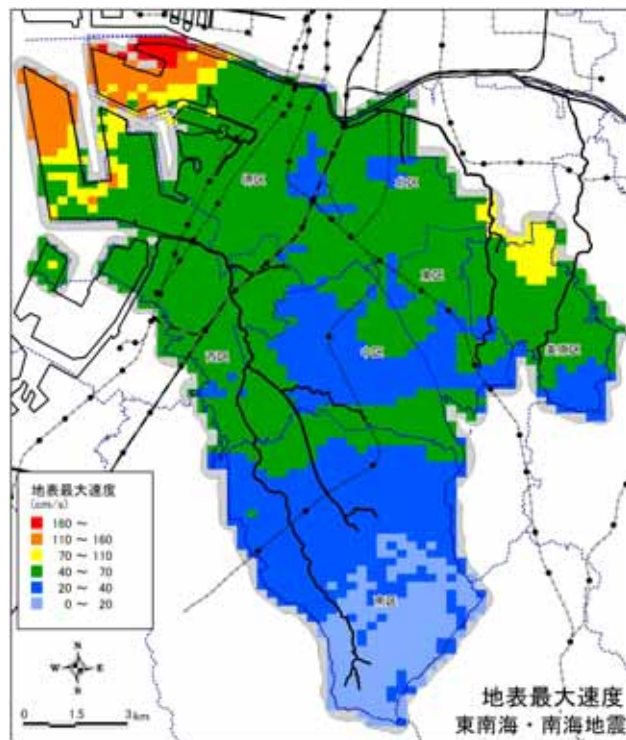
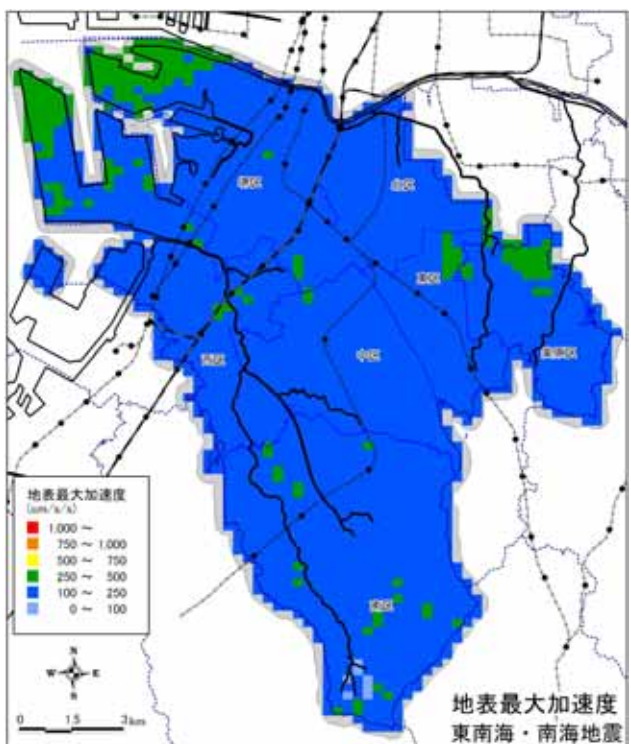


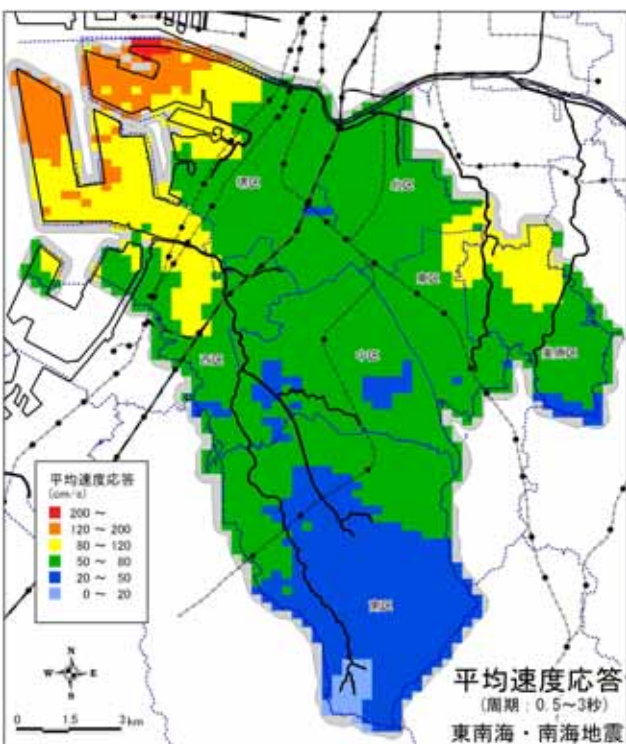
(a) 計測震度



(b) 最大速度 (PGV)

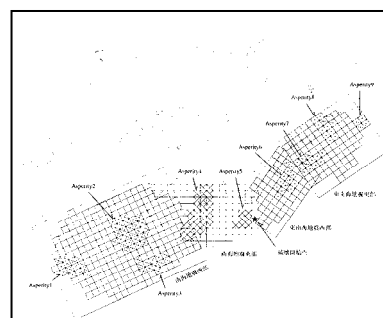


(c) 最大加速度 (PGA)



(d) 平均速度応答 (ASV)

図 3.4-12 地表面応答分布【東南海・南海地震】



4. 液状化の予測

4.1 概要

4.1.1 検討内容

豊富なボーリングデータ等の地盤情報を用い、さらに過去の液状化履歴情報も収集して、堺地域の液状化予測を行った。表 4.1-1 に、予測内容を示す。

液状化危険度の予測 地域地盤における液状化危険度（脆弱性）の評価
 想定地震動による液状化発生地域の予測 被害想定 of 予測条件として評価

表 4.1-1 液状化の予測内容

	液状化危険度評価	想定地震による液状化発生の予測
検討内容	堺地域の液状化ポテンシャル	液状化発生地域
評価指標	液状化 PL 値に達する限界加速度	PL 値
地震	海溝型地震タイプ 内陸直下型地震タイプ	対象シナリオの想定地震 (内陸直下型地震 + 東南海・南海地震)
手法	ボーリングデータの簡易判定法，微地形・旧地形等による修正・補完	
土質条件	堺地域の地域特性を検討して設定	
地下水条件	ボーリング孔内水位を基本に，諸情報を総合して危険側の条件を設定	
予測結果	液状化危険度図	液状化の発生地域と程度（PL 値）

4.1.2 基礎データ

液状化予測に用いたボーリングデータは、今回収集・デジタル化したデータ（以下、「堺市地盤情報データベース」と呼ぶ）および「関西圏地盤情報データベース（KG-NET・関西圏地盤情報協議会）」より、約 8,000 本のボーリングデータを用いた（2.1.1 参照）。

また、ボーリングデータの空白域を補間する情報として、微地形区分および明治時代の旧地形情報「京阪地方仮製貳萬分壹地形図」を参照した（2.1.2 参照）。

4.2 液状化の予測方法

4.2.1 検討の方針と手順

今回の液状化予測は、ボーリングデータによる簡易判定法を基本とした。また、過去の経験と蓄積された知見にもとづいて予測の信頼性と緻密さが表現されるように、以下の事項を考慮した。図 4.2-1 に、液状化予測の流れを示す。

〔検討方針〕

- ・大量の地盤情報にもとづく。
- ・液状化評価指標値などは、兵庫県南部地震以降の研究による知見にもとづく。
- ・ボーリングデータのみでは予測の難しい局所的な液状化の発生や潜在的な危険度についても、旧地形や液状化履歴等の情報を重ね合わせて、評価の補正や情報の提示を行う。

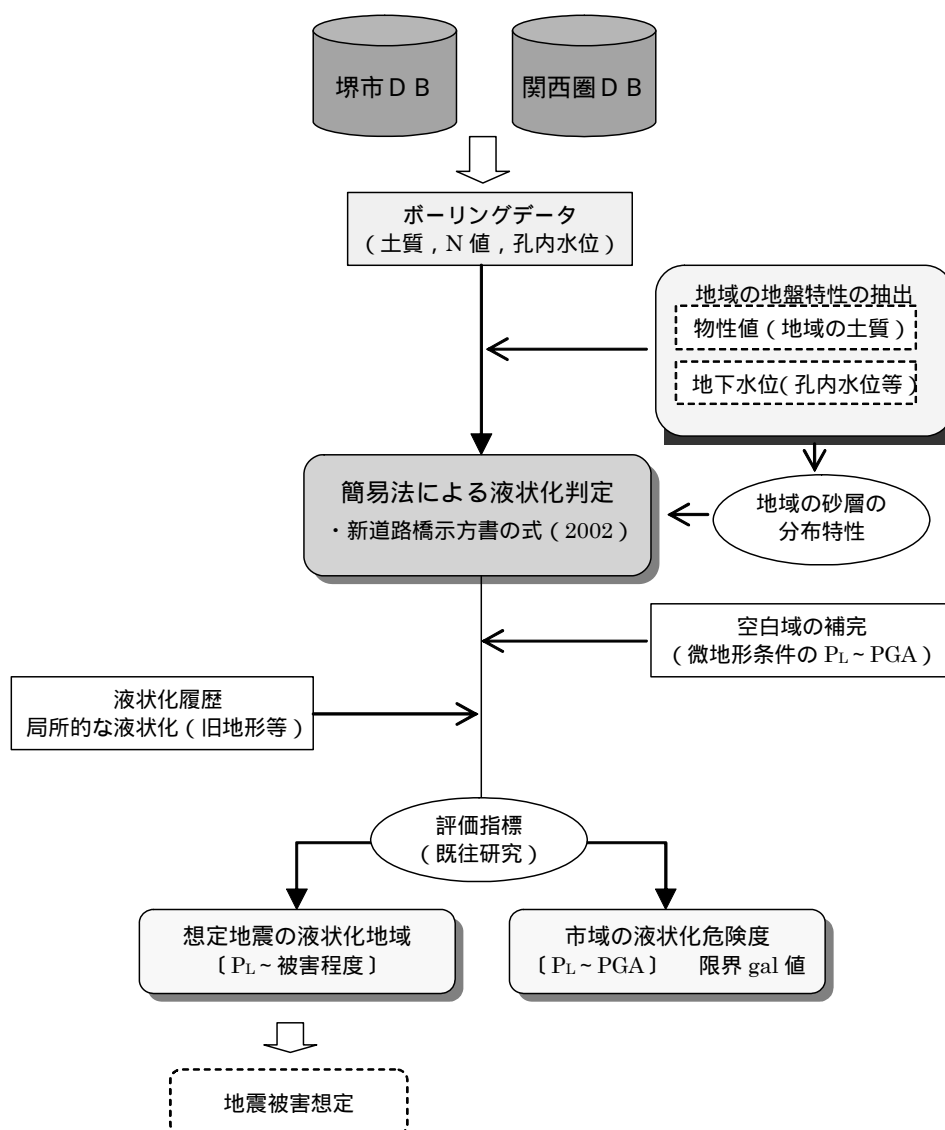


図 4.2-1 液状化予測の流れ

4.2.2 液状化予測式と評価方法

(1) 液状化予測式

予測式は、道路橋示方書(2002)の液状化判定式(以下、新道路橋示方書の式と称す)を用いた。判定式の内容は、以下のとおりである。なお、東南海・南海地震(タイプ1地震)の予測では、八代ら(2003)の研究結果をもとに液状化強度比の地震動特性による補正係数 c_w を0.9とした。

【新道路橋示方書 液状化判定式】

〔液状化の判定を行う必要がある砂質土層〕

- (1)地下水位が現地盤面から 10m 以内にあり、かつ現地盤面から 20m 以内の深さに存在する飽和土層
- (2)細粒分含有率 FC が 35%以下か、それ以上であっても塑性指数 I_P が 15 以下であり、
- (3)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

〔液状化判定：液状化に対する抵抗率〕

$$F_L = R/L$$

〔地震時せん断強度比〕

$$L = r_d k_{hc} \sigma_v / \sigma'_v$$

$$r_d = 1.0 - 0.015x$$

$$\sigma_v = \{\gamma_{t1} h_w + \gamma_{t2} (x - h_w)\} / 10$$

$$\sigma'_v = \{\gamma'_{t1} h_w + \gamma'_{t2} (x - h_w)\} / 10$$

〔液状化強度比：動的せん断強度比〕

$$R = c_w \cdot R_L$$

c_w : 地震動特性による補正係数

タイプ1地震動の場合 $c_w = 1.0$ (今回は、 $c_w = 0.9$ とした)

タイプ2地震動の場合 $c_w = 1.0 (R_L \leq 0.1)$, $3.3R_L + 0.67 (0.1 < R_L \leq 0.4)$, $2.0 (0.4 < R_L)$

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

<砂質土の場合>

$$N_a = c_1 \cdot N_1 + c_2$$

$$N_1 = 1.7 \cdot N / (\sigma'_v + 0.7)$$

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

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

<礫質土の場合>

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

ここに、

r_d : 地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数

k_{hc} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度

v : 全上載圧(kgf/cm²)

v' : 有効上載圧(kgf/cm²)

x : 地表面からの深さ(m)

t_1 : 地下水位面より浅い位置での土の単位体積重量(tf/m³)

t_2 : 地下水位面より深い位置での土の単位体積重量(tf/m³)

t_2' : 地下水位面より深い位置での土の有効単位体積重量(tf/m³)

h_w : 地下水位の深さ(m)

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 : 有効上載圧力1kgf/cm²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 μm以下の土粒子の通過質量百分率)

D_{50} : 平均粒径(mm)

(2) 液状化評価指標

地点における液状化の発生と程度を評価する指標は、液状化指数 P_L 値 [岩崎ほか(1980)] を用いた。 P_L 値は、液状化判定による各深度の安全率 F_L の変化からその地点における地盤の液状化の激しさの程度を表す指標として提案されたものである。 P_L 値の算出方法は、次式と図 4.2-2 に示すとおりである。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot w(z) dz$$

ただし、 $w(z)$: 深さ z に対する重み関数

F : $F_L < 1.0$ の時 $1 - F_L$

$F_L \geq 1.0$ の時 0

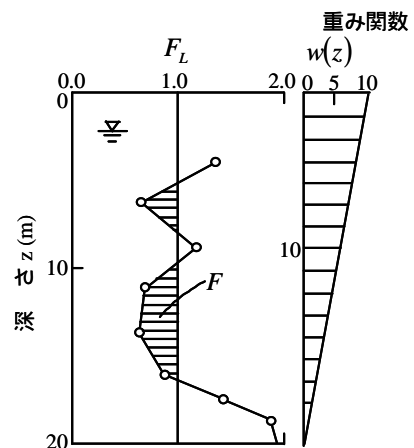


図 4.2-2 地盤液状化指標 P_L 値の求め方

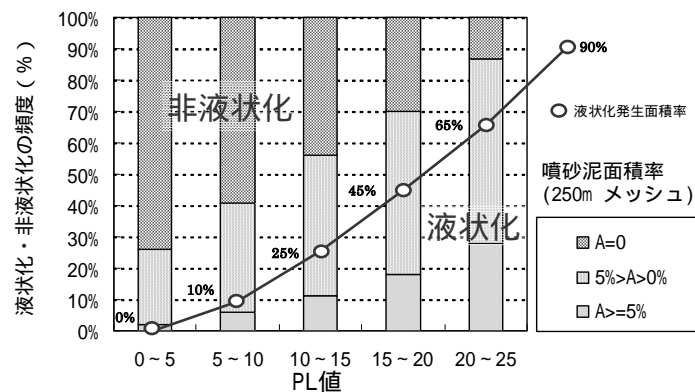
P_L 値と液状化発生との関係は、判定式によって異なる。新道路橋示方書式については、液状化噴砂泥面積等との比較において噴砂の発生は、 P_L 値約 15 以上で発生している。ただし内陸部での噴砂の分布を考えれば、 P_L 値 5~10 以上が液状化発生の可能性を示す P_L 値に相当しているようである。同様な判定式である大阪府土木部の式では、表 4.2-1 の関係が示されている。

表 4.2-1 P_L 値と液状化の程度との関係 (大阪府, 1997)

P_L 値	液状化の程度
0~5	液状化はほとんどなし, 被害なし
5~10	液状化の程度は小さい, 構造物への影響はほとんどない
10~20	液状化は中程度, 構造物によっては影響の出る可能性がある
20~35	激しい液状化, 噴砂が多く, 直接基礎の建物が傾く場合あり
35以上	非常に激しい液状化, 大規模な噴砂と構造物の被害

また, 岡ほか (1999) が兵庫県南部地震の液状化の検討を行い, 各判定式による液状化発生 P_L 値の閾値を求めている。この検討結果から, 予測 P_L 値と噴砂泥面積率から推察される液状化発生との関係 (予測的中率) は, 図 4.2-3 のようにまとめられる。なお, 大阪府土木部の式は大阪府土木 (1997), 建築設計指針の式は日本建築学会: 建築基礎構造設計指針 (1988) による。

- ・新道路橋示法書の式 P_L 15
- ・大阪府土木部の式 P_L 20
- ・建築設計指針の式 P_L 10

図 4.2-3 兵庫県南部地震における P_L 値と液状化発生率の関係

[岡ほか(1999)の検討結果より作成, Yamamoto et al. (2005)]

4.2.3 土質定数と地下水位

(1) 土質定数

土質定数は、ボーリングデータベースより堺市域の土質試験データから、表 4.2-2 のように設定した。

土質・地層層厚	データベースのボーリング柱状図
標準貫入試験 N 値	データベースのボーリング柱状図
単位体積重量 t_1, t_2	土質より推定【表 4.2-2】
平均粒径 D_{50}	土質より推定【表 4.2-2】
細粒分含有率 F_c	土質より推定【表 4.2-2】

表 4.2-2 液状化判定に用いた土質定数

土質分類 (柱状図の記載)	単位体積重量 (tf/m ³)		平均粒径 D_{50} (mm)	細粒分含有率 F_c (%)
	地下水面下 t_1	地下水面上 t_2		
盛土・表土	1.80	1.60	0.500	20
粘土	1.65	1.50	0.005	95
シルト	1.75	1.55	0.025	85
砂質シルト(粘土)	1.80	1.60	0.050	65
(粘土)シルト質砂	1.80	1.60	0.150	40
砂(中砂)	2.00	1.80	0.300	10
砂礫	2.10	1.90	2.000	0

(2) 地下水位

地下水位は、ボーリングの孔内水位を基本に用い、微地形区分による平均水位と比較して浅い条件を採用した。図 4.2-4 にメッシュ平均孔内水位の分布を示す。

表 4.2-3 微地形条区分の平均水位

微地形区分	平均孔内水位 (GL-m)
山地	2.60
段丘	2.30
扇状地	2.30
自然堤防	2.10
砂洲	2.15
氾濫平野	2.05
河川敷	2.70
盛土	2.65
人工地形	2.20