

3章 液状化危険度の予測

1. 液状化予測の手法

1.1 検討の流れ

地震動の予測結果にもとづき、図-3.1 に示すフローに従い検討を行った。

- ① 液状化対象地域に対して、計測震度による地盤の変形予測と地盤独自の耐力から、液状化危険度を予測。

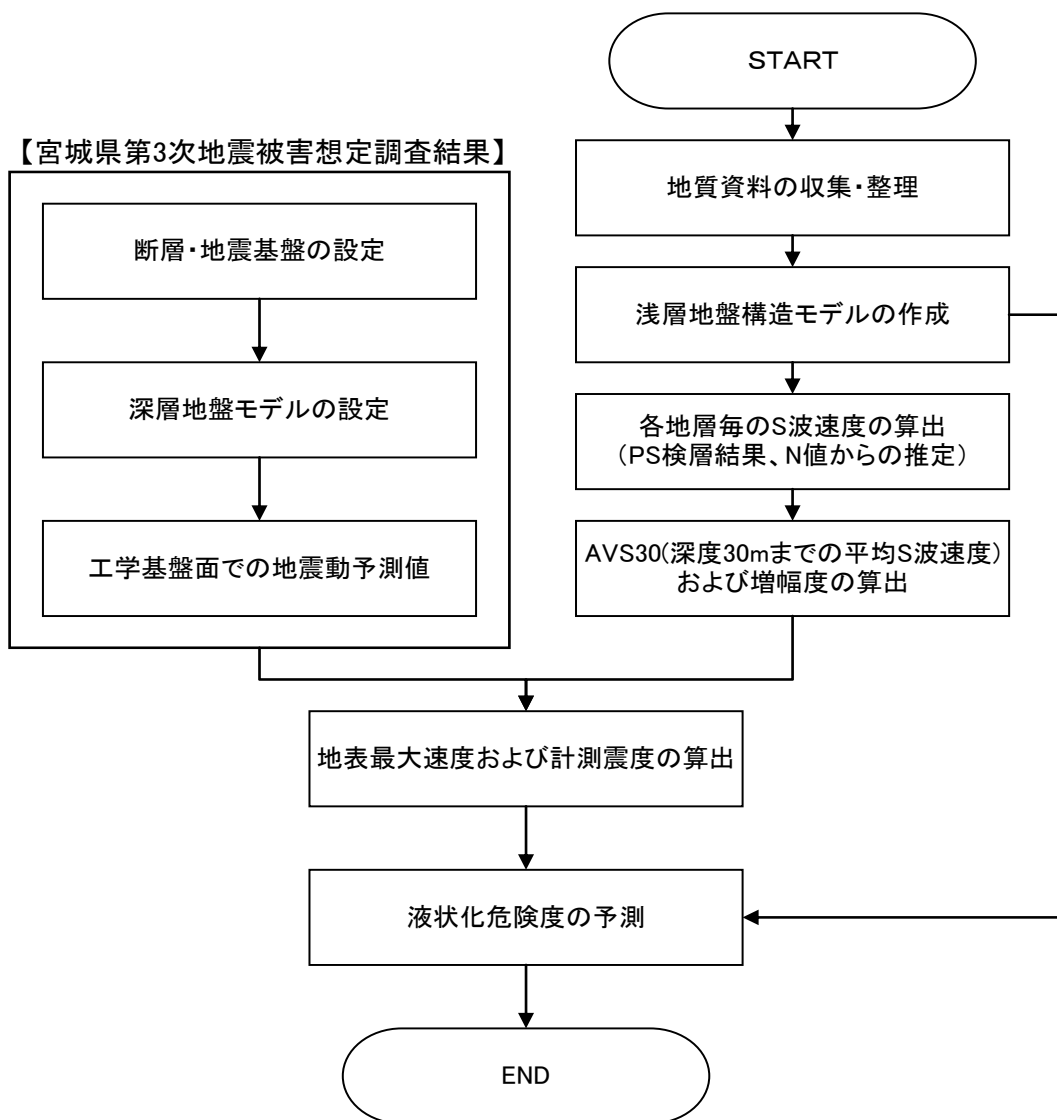


図-3.1 液状化予測の流れ

1.2 液状化の予測手法

- 1) 液状化予測の手法は、東南海、南海地震等に関する専門調査会⁶⁾による手法を採用。
- 2) 地表での地震動計算結果から地中のせん断応力を求め、地層ごとに液状化に対する抵抗率 (FL) を求め、地層全体の液状化可能性指数 (PL) を評価。
- 3) 液状化対象地層は、宮城県内での既往液状化痕跡地と県内の地盤特性を考慮して選定。

※ 液状化の予測では、250mメッシュ単位毎に、液状化を予測。

※ 液状化予測の検討は、東南海、南海地震等に関する専門調査会 (2003年12月)による液状化可能性指数 (PL) 法を採用。同手法は、基本的には「道路橋示方書・同解説 (1996年12月発行)」⁷⁾に準拠しているが、広域の液状化の可能性を評価するものである。

※ 液状化可能性指数 (PL) は、ある地点の液状化の可能性を総合的に判断するための指標であり、各地層の液状化に対する抵抗率 (FL) を深さ方向に重みを付けて足し合わせたものである。PL 値が小さいと液状化発生の可能性が小さく、高いと液状化の危険性が高くなる。

■地層の液状化評価 (抵抗率 F_L の算定)

液状化に対する抵抗率 F_L を以下の式により求め、この値が 1.0 以下の地層については、液状化の可能性のあるものとした。

$$F_L = R / L$$

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

なお、動的せん断強度比 R は、以下の式により求めた。

$$R = c_w \cdot R_L$$

ここに； c_w ：地震動特性による補正係数、 R_L ：繰り返し三軸強度比

※ c_w の決定方法

地震動	c_w
タイプ I (プレート境界型の大規模な地震)	1.0
タイプ II (内陸直下型地震)	1.0 ($R_L < 0.1$)
	$3.3 \cdot R_L + 0.67$ ($0.1 < R_L \leq 0.4$)
	2.0 ($0.4 < R_L$)

また、繰り返し三軸強度比 R_L は、以下の式により求めた。

$$R_L = \begin{cases} 0.0882 (Na/1.7)^{0.5} & (Na < 14) \\ 0.0882 (Na/1.7)^{0.5} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (Na - 14)^{4.5} & (14 \leq Na) \end{cases}$$

ただし、

(砂質土の場合)

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

$$N_I = 170 \cdot N / (\sigma_v' + 70)$$

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

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

(礫質土の場合)

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

ここに； N_a ：粒度の影響を考慮した補正 N 値、
 N_I ：有効上載圧 100 kN/m^2 相当に換算した N 値、
 c_1, c_2 ：細粒分含有率による N 値の補正係数、
 σ_v' ：有効上載圧 (kN/m^2)、
 F_C ：細粒分含有率、
 D_{50} ：平均粒径 (mm)

地震外力 L は、安田ら (1993) ⁸⁾ による以下の式により求めた。

$$L = 0.01 \cdot SI / (\sigma_v')^{0.1}$$

ここに； σ_v' ：有効上載圧 (kgf/cm^2)、 SI ： SI 値

なお、 SI 値は、童・山崎 (1996) ⁴⁾ による以下の式により求めた。

$$SI = 10^{-1.16 + 0.50 \cdot I}$$

ここに； I ：地表震度

■地盤モデルの液状化判定 (液状化可能性指数 P_L 値の算定)

P_L 値は、地盤モデルでの液状化の可能性を総合的に評価するための指標である。 P_L 値は、 F_L 値を深さ方向に重みをつけて足し合わせた値であり、以下の式で定義される。

$$P_L = \int_0^{20} (10 - 0.5z) dz \quad F = \left. \begin{cases} 1 - F_L & (F_L < 1.0) \\ 0 & (F_L \geq 1.0) \end{cases} \right\}$$

P_L ：液状化可能性指数、 z ：深度 (m)

■液状化危険度の判定

液状化危険度の評価では、第3次被害想定調査報告書に準じて、表-3.1に示す P_L 値から判定した。危険度ランクは、液状化の可能性の高低を示すものである。

表-3.1 P_L 値による液状化危険度判定区分

危険度ランク	かなり低い	低い	やや高い	高い	極めて高い
PL値	PL=0	0 < PL ≤ 5	5 < PL ≤ 10	10 < PL ≤ 20	20 < PL
調査および対策の必要性	液状化に関する詳細な調査は不要。	特に重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。	重要な構造物に対して、より詳細な調査が必要。液状化対策が一般的に必要。	構造物に対して、より詳細な調査が必要。液状化対策が一般的に必要。	液状化に関する詳細な調査と液状化対策が不可避。

■液状化検討の対象地域

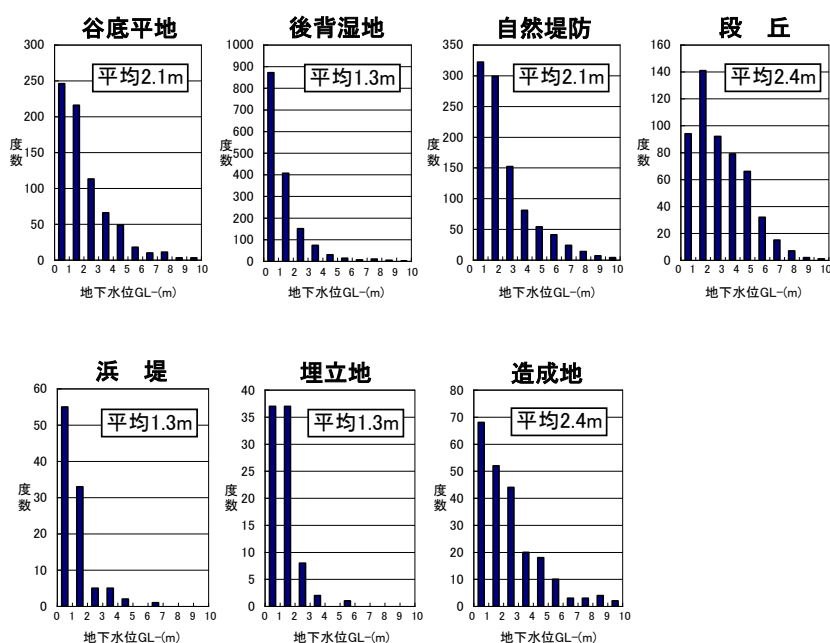
対象地域の選定では、1～3次調査による液状化対象地域を参考とし、本調査の250mメッシュ毎の地盤モデルの地層構成から対象地域を選定した。

対象地層では、沖積層の砂質土層で以下の条件に該当する場合、地震時に構造物に影響を与える液状化が生じる可能性があるため、液状化の判定を行った。

- 自然堆積地盤のシルト系・砂質系・砂礫系土層では、換算 N_1 値(有効上載圧 100kN/m^2 相当に換算した N 値)が5以上20以下を対象地層とする。
- 液状化の対象地層では、層厚1m以上の地層を対象として評価する。
- 地下水位は、ボーリング調査結果を参考に、表-3.2のとおり地形区毎に設定した。

表-3.2 地下水位の設定

地形区分	地下水位 (GL- m)
谷底低地	2
段丘	2
造成地	2
自然堤防	2
後背湿地	1
浜堤	1
埋立地	1



- 浅層地盤構造モデルにおいて、液状化対象地層を設定する。対象地層とその物性値は、3次調査以前のものを基本として、表-3.3のように設定した。

表-3.3 地盤モデルの物性値

地盤区分			単位体積重量 $\gamma_s(\text{kN/m}^3)$	平均粒径 $D_{50}(\text{mm})$	細粒分含有率 $F_c(\%)$	備考
土質名	記号	N 値				
表土・埋土	Bs	—	18.0	—	36.30	
砂質土	As1	2~10	17.0	—	48.40	
	As2	11~20	17.0	—	35.70	
	As3	21~40	18.0	—	17.50	
砂礫	Ag1	≤ 50	18.5	0.600	0.00	
	Ag2	$50 <$	19.0	2.100	0.00	

(「平成14年度 仙台市地震被害想定調査報告書」
及び「宮城県第三次地震被害想定調査報告書」より)

e) 液状化対象地層の基本は、次のとおりである。

- ・ 細粒分含有率 F_c が 35% 以下の土層、または F_c が 35% を超えても塑性指数 I_p が 15 以下の土層。
- ・ 平均粒径 D_{50} が 10mm 以下で、かつ 10% 粒径 D_{10} が 1 mm 以下である土層
- ・ 地下水位が現地盤面から 5m 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。
- ・ 換算 N_1 値（有効上載圧 100kN/m² 相当に換算した N 値）が 5 以上 20 以下を対象地層としたのは、宮城県内での既往液状化地点の地盤特性を考慮し設定した。

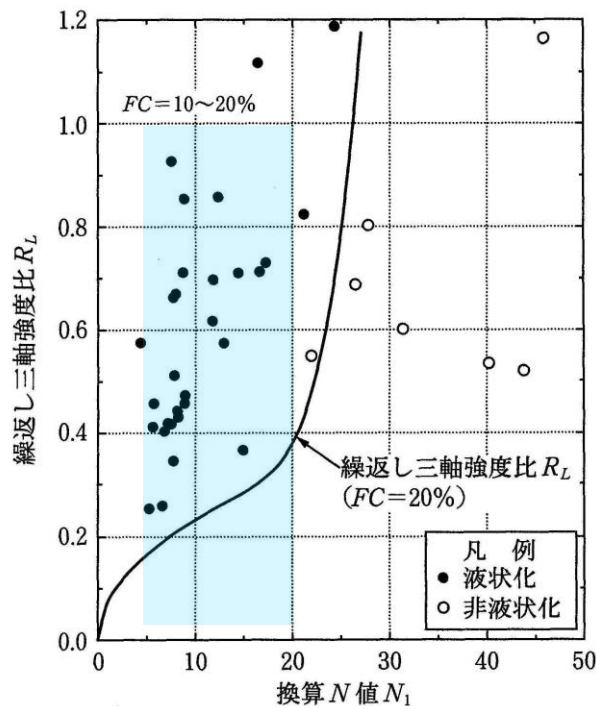


図-3.2 液状化と非液状化事例と R_L と N_1 の関係⁹⁾

2. 液状化危険度の予測結果

2.1 液状化対象範囲

対象地域の範囲は、浅層地盤構造モデルから液状化対象地層の条件を含む砂質土層を抽出し、液状化対象地域（液状化対象浅層地盤構造モデル）を選定した。

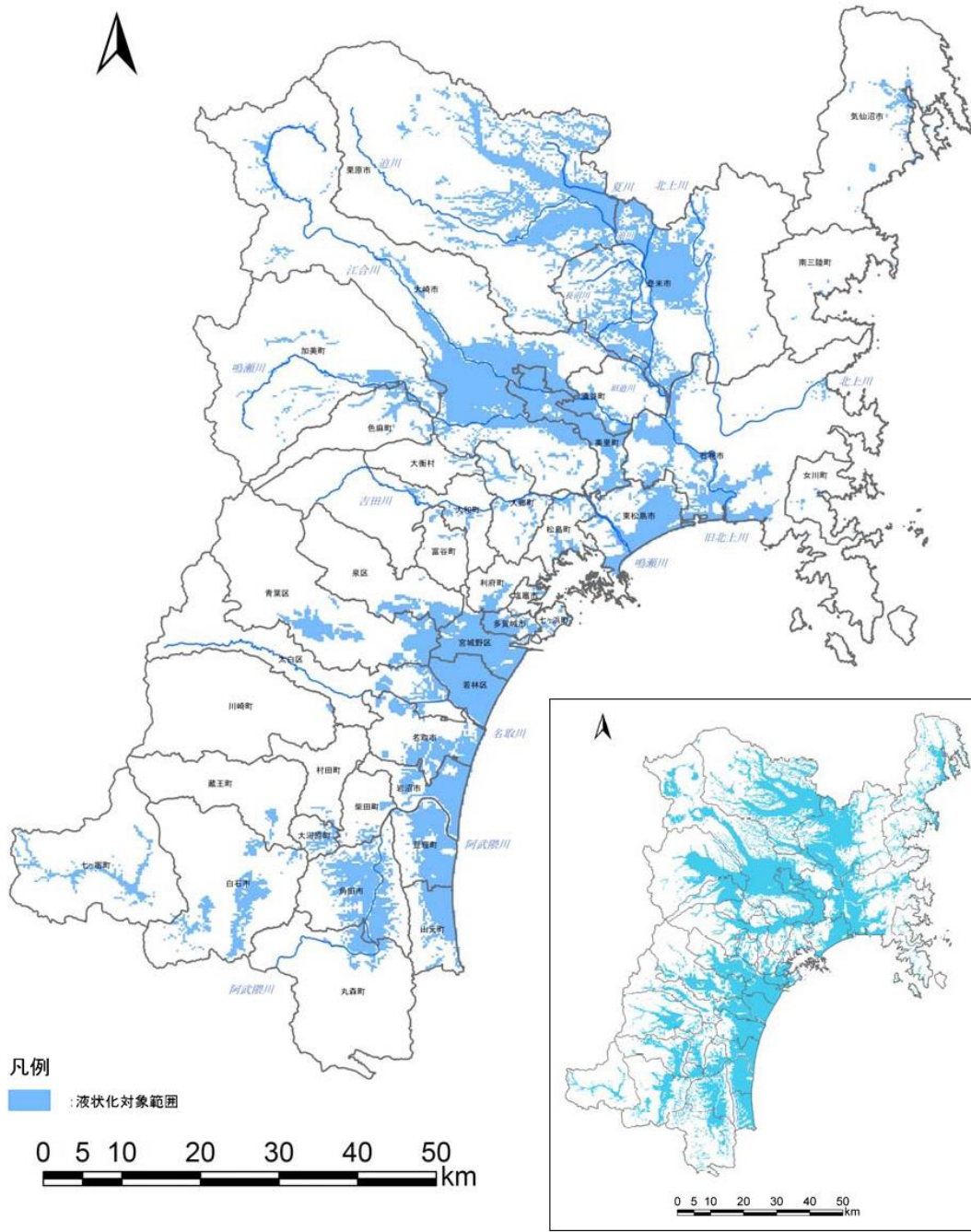
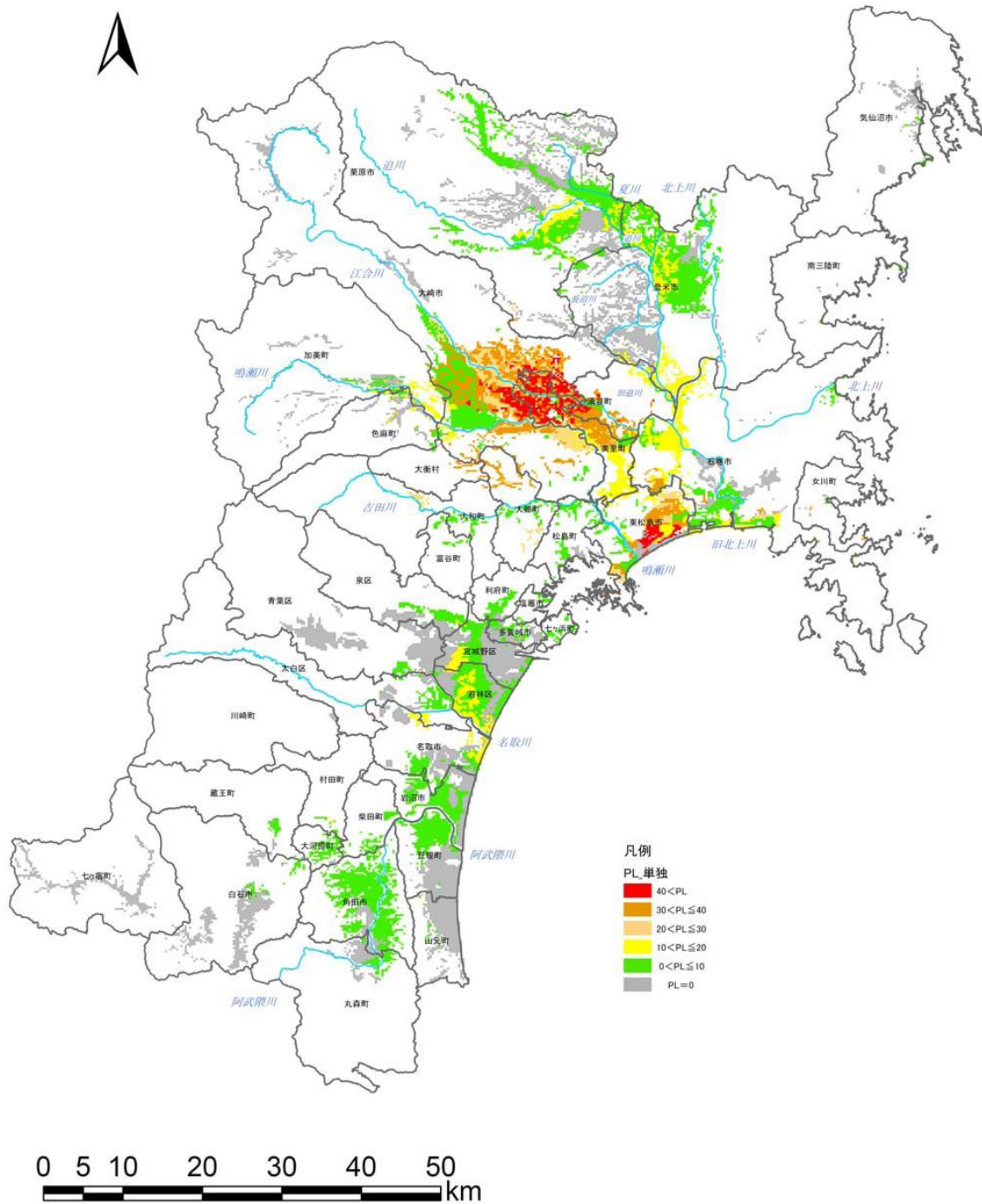


図-3.3 液状化対象範囲図

2.2 液状化可能性指数 (PL 値)

1) 宮城県沖 (単独型)

なるせがわ えあいかわ ひがしまつしまし いしのまきし
 鳴瀬川、江合川流域、および東松島市、石巻市で PL 値>20 が予想される。



図一3.4 液状化可能性指数分布 (宮城県沖地震 単独型)

2) 宮城県沖（連動型）

はざまがわ なるせがわ えあいかわ ひがしまつしまし いしのまきし
 迫川、鳴瀬川、江合川流域、および東松島市、石巻市で PL 値>20 が予想される。

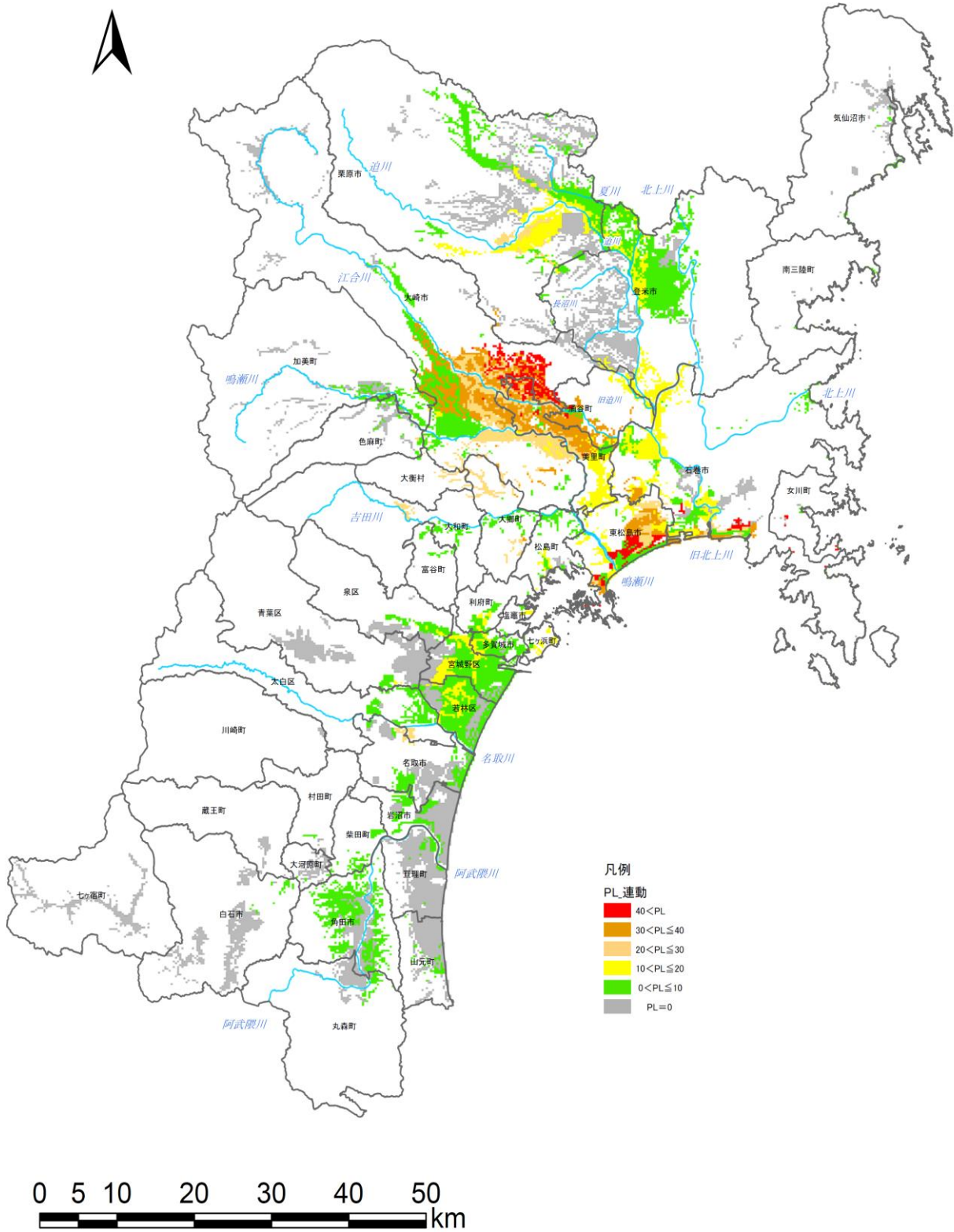


図-3.5 液状化可能性指数分布（宮城県沖地震 連動型）

3) 長町ー利府線断層帯の地震

仙台
 仙台地域および県南の名取市で PL 値>10 が予想される。

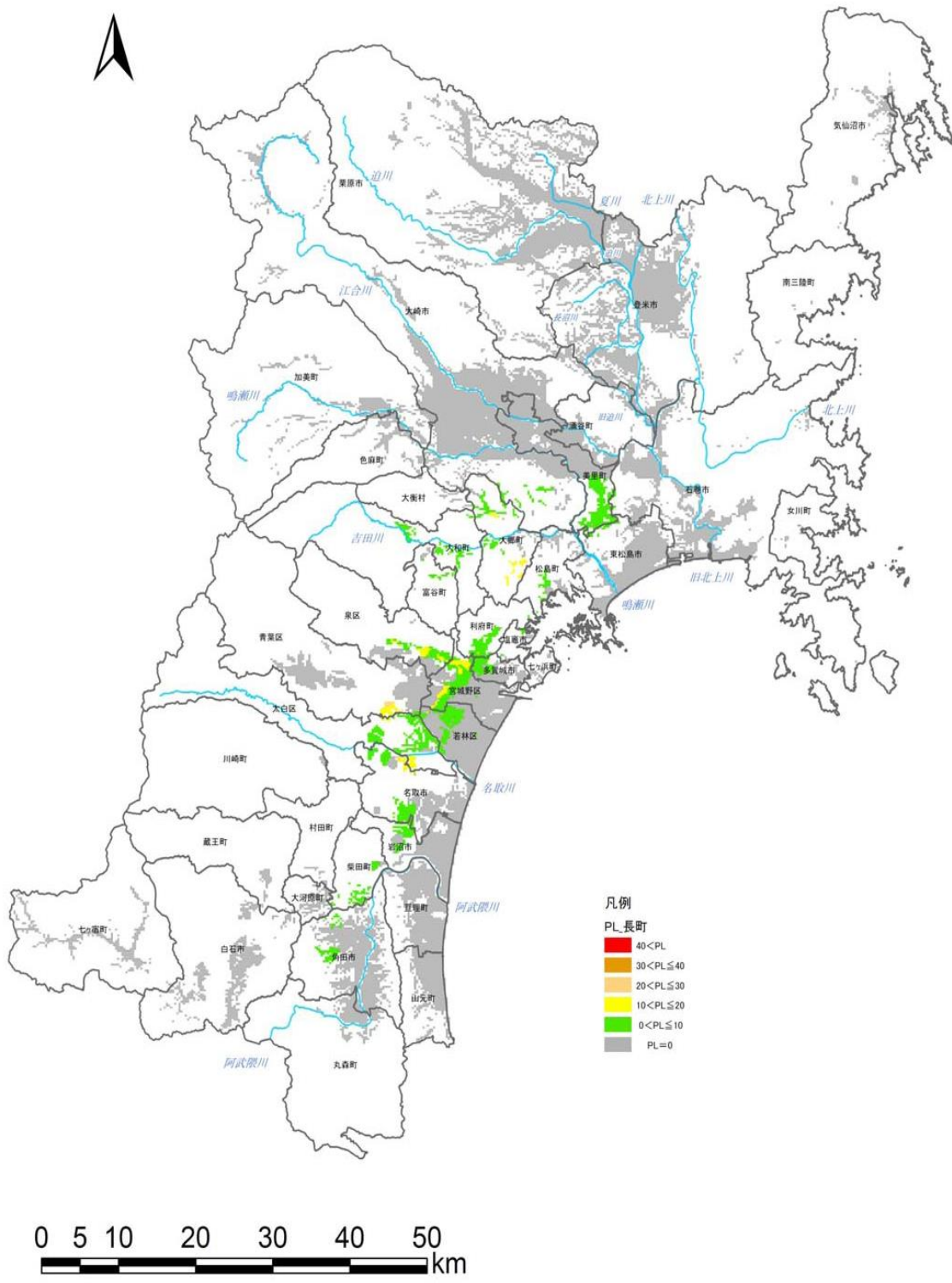


図-3.6 液状化可能性指数分布（長町ー利府線断層帯の地震）

2.3 液状化危険度

1) 宮城県沖（単独型）

鳴瀬川、江合川流域、及び東松島市、石巻市で PL 値>20 が予想され、液状化危険度ランク「極めて高い」となることが予想される。

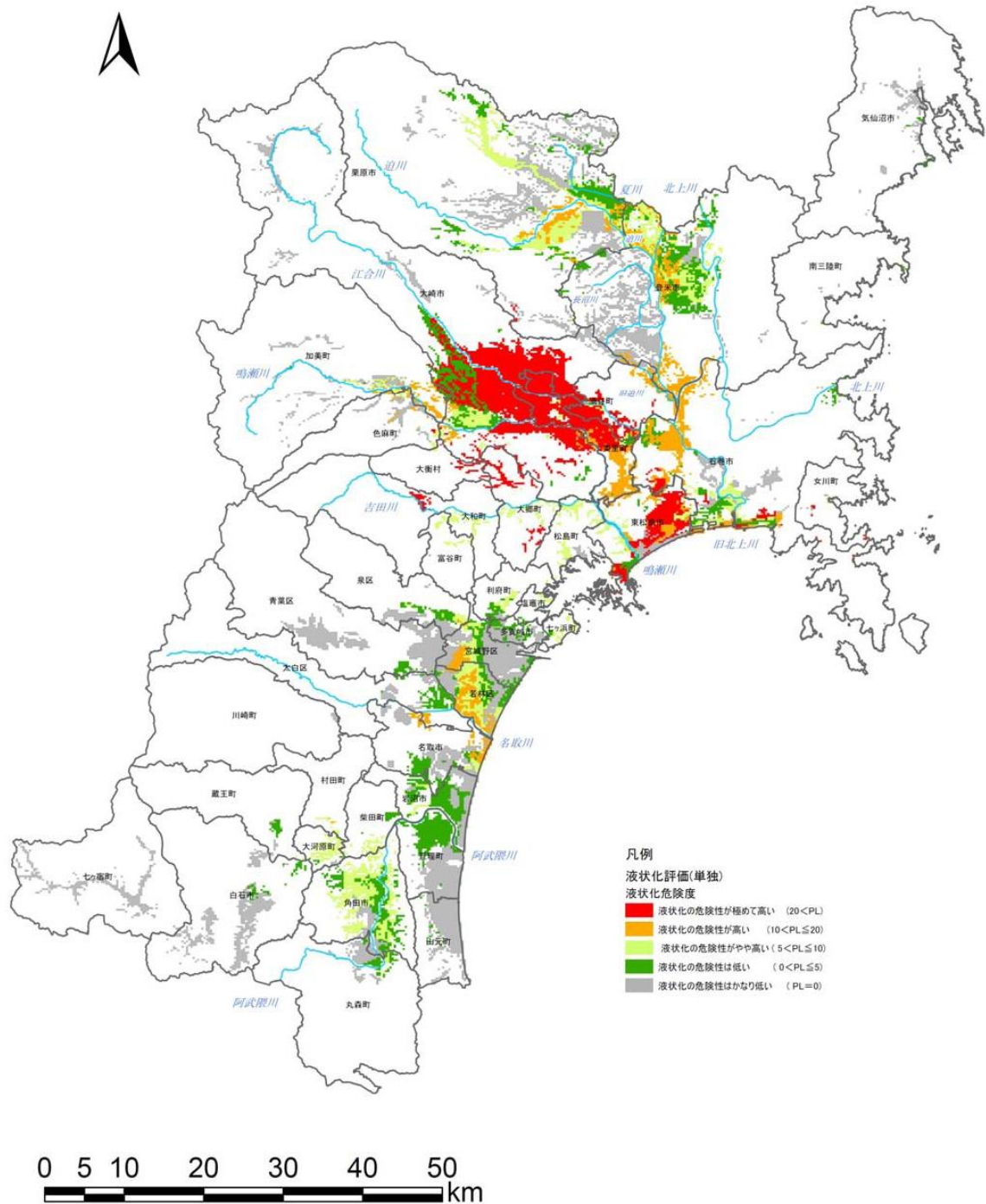


図-3.7 液状化危険度分布（宮城県沖地震 単独型）

2) 宮城県沖（連動型）

はぎまがわ なるせがわ え あいかわ ひがしまつしまし いしのまきし
 追川、鳴瀬川、江合川流域、および東松島市、石巻市で PL 値>20 が予想され、
 液状化危険度ランク「極めて高い」となることが予想される。

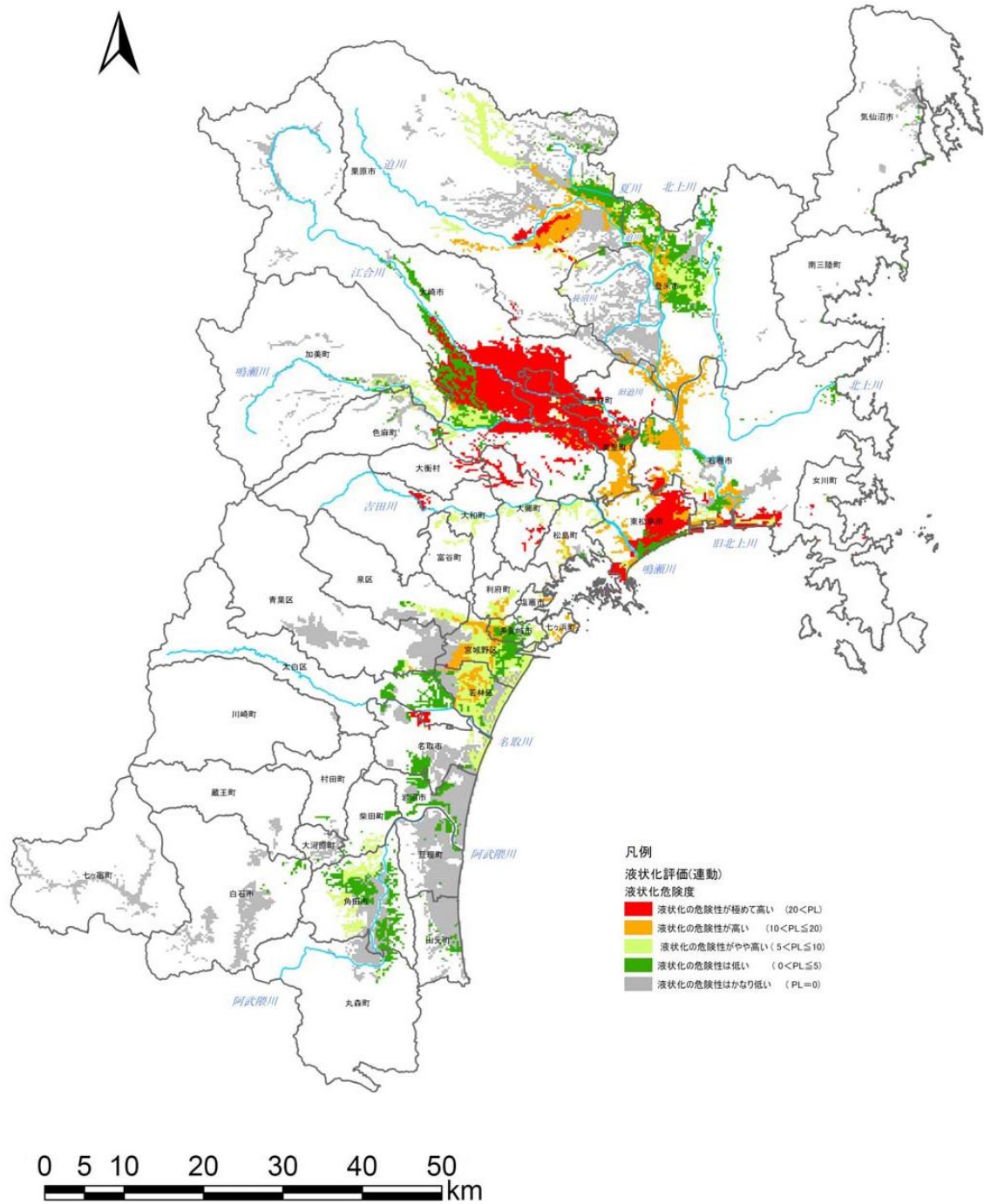
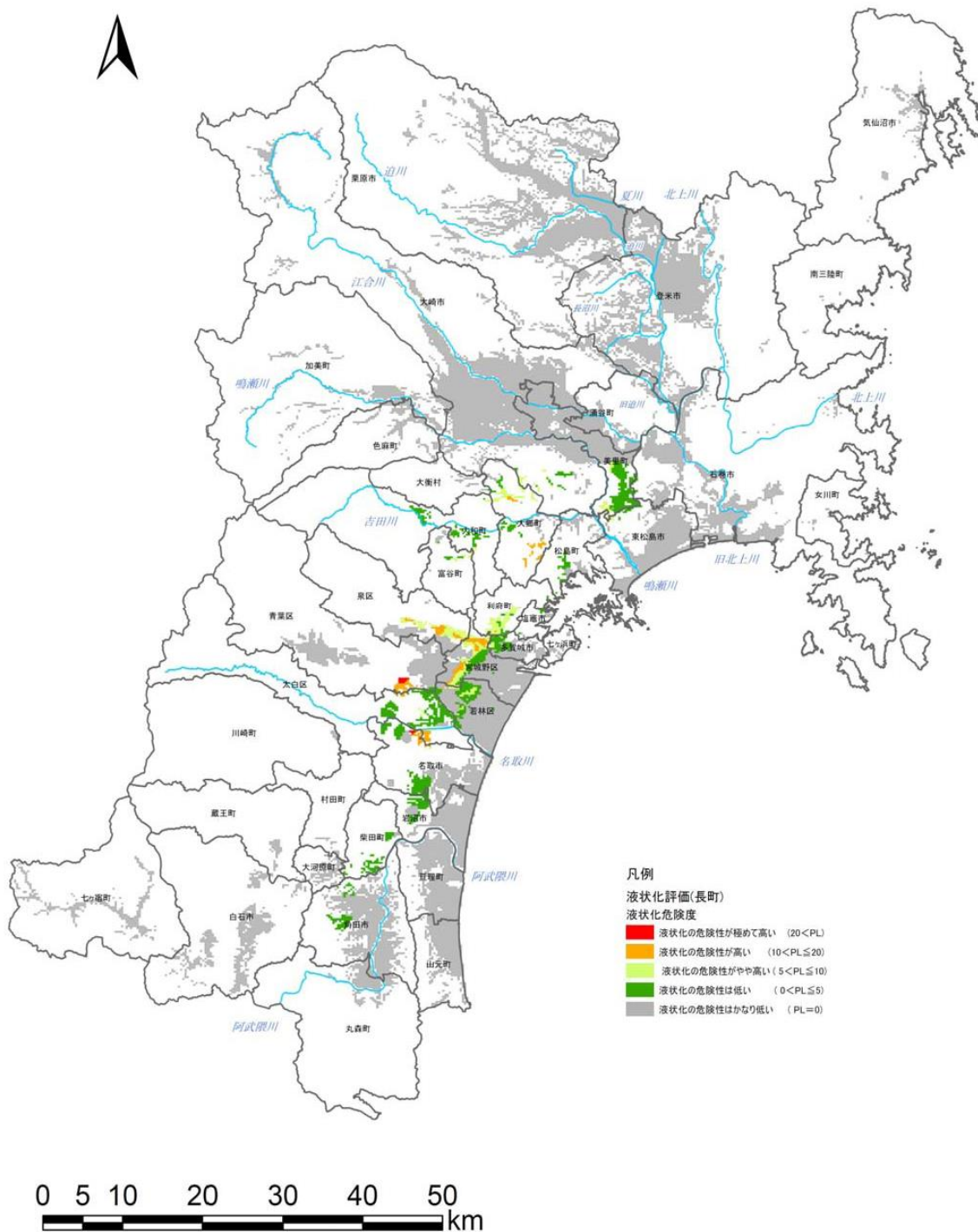


図-3.8 液状化危険度分布（宮城県沖地震 連動型）

3) 長町－利府線断層帯の地震

仙台
 仙台地域および県南の名取市で PL 値>10 が予想され、液状化危険度ランク「高い」となることが予想される。



図－3.9 液状化危険度分布（長町－利府線断層帯の地震）

2.4 液状化危険度予測の評価

危険度予測の評価を総括すると、次のとおりとなる。

- 1) 宮城県内の記録によると液状化は、海岸や河川部で発生している。
- 2) 既往液状化地点が発生した箇所の想定 PL 値の値は、概ね PL 値 20 であり、液状化する可能性の極めて高いと判定する指標値と合致している。
- 3) 宮城県内において液状化が発生した地点は、図-3.10 であり、海岸や河川周辺の「後背湿地」、「自然堤防」、「浜堤」、および「谷底平地」で液状化が発生している。
- 4) 図-3.11 は、宮城県沖地震（単独）の液状化危険度分布図に図-3.10 を重ねたものであり、次のとおり評価される。
 - 液状化発生箇所の最大 PL 値は、宮城県沖地震単独・連動で概ね PL 値 20 であり、既往の液状化発生地点と合致している。
 - 既往液状化が発生した箇所の一部には、液状化の発生が極めて低いと判定された地域があるが、これらの地点は、極めて極小的・狭小的な液状化地盤と考えられる。
 - 旧河道・埋立地等では、液状化検討を個別に検討し、今後、詳細に評価する必要がある。

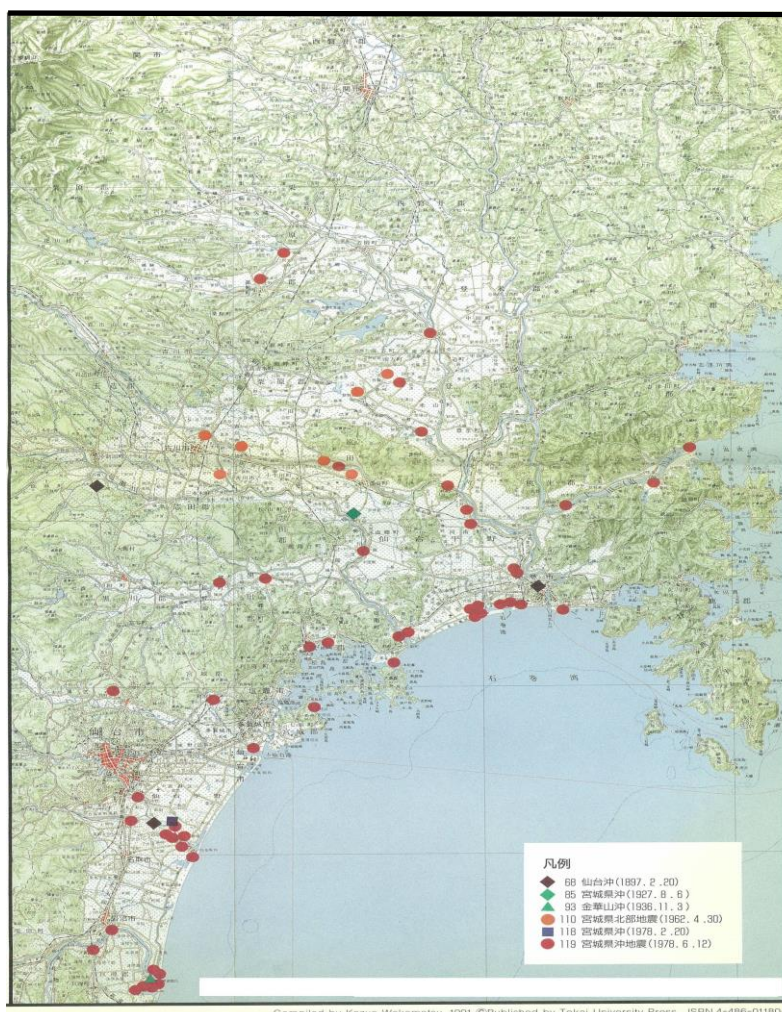
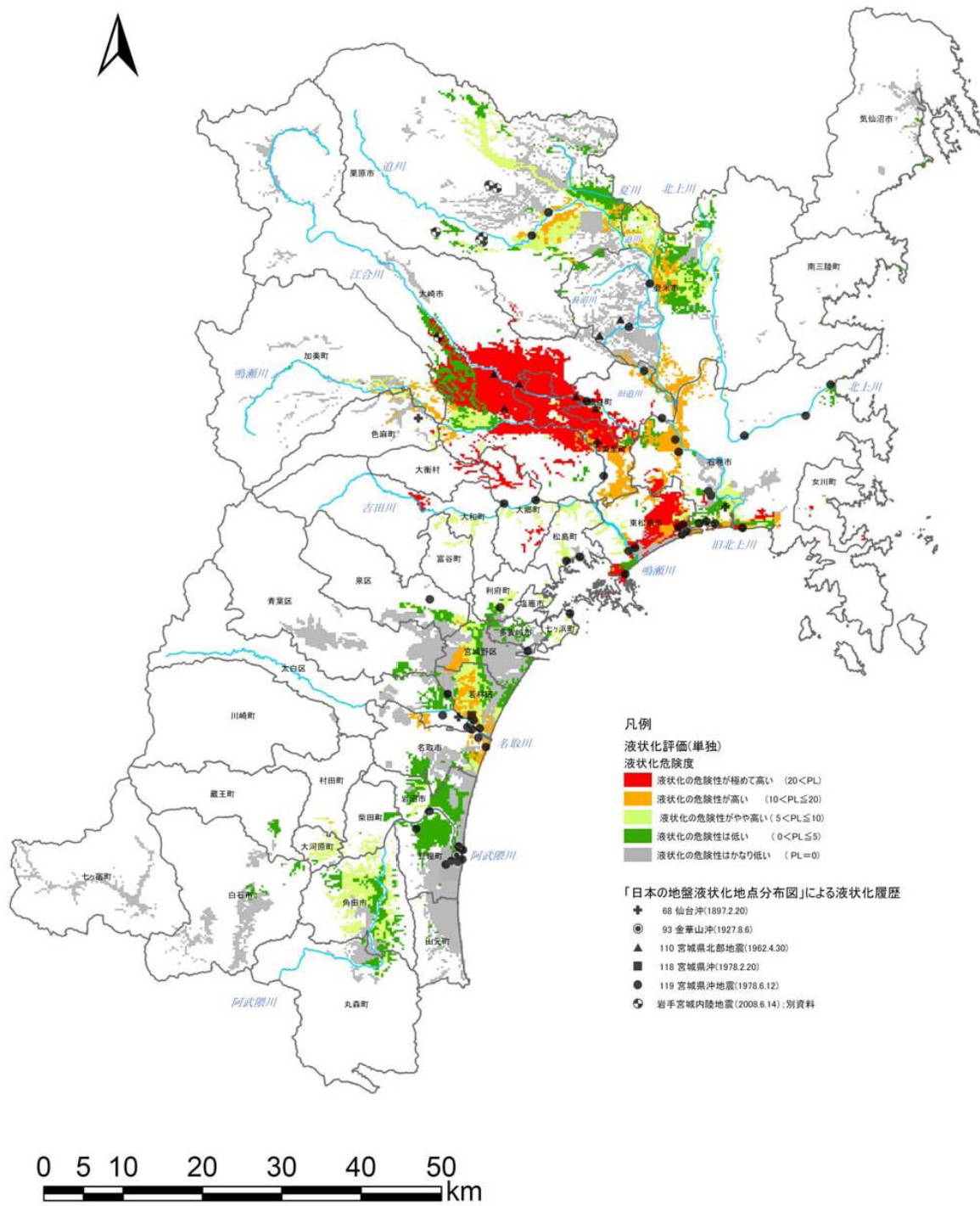


図-3.10 液状化発生地点分布図（日本の地盤液状化地点分布図 東海大学出版会）11)



図一3.11 液状化危険度分布と液状化発生地点（宮城県沖地震 単独型）