

2.5. 液状化の想定

(1) 予測手法

a) 概要

液状化危険度の計算は、道路橋示方書（2025）²²の方法に準じて、 F_L 法及びこれを深度方向に重み付けして積分した F_L 法を用いて計算し、液状化による被害を想定した。また、液状化による建物被害の想定に用いるため、地盤の沈下量を内閣府（2012）²³の方法に従って計算した。

また、液状化対象層については、以下の全てに該当する地盤とした。

- ・地下水位以深で、地表から深さ 20m までの盛土（砂）層、砂質土層あるいは礫質土層。
- ・細粒分含有率 F_C が 35% 以下の土層。

b) F_L 法

道路橋示方書（2025）に従い、以下の手法で計算した。

F_L 値は、次式で与えられる。

$$F_L = R/L \quad \text{— (式 2.2-1)}$$

ここで、 R ：液状化抵抗比（地盤の液状化に対する抵抗力）

L ：繰返しせん断強度（地盤に加わる地震力の大きさ）

F_L 値が 1.0 を下回る層については、液状化するものと見なした。

液状化抵抗比 R とは、地盤がどれだけ液状化しにくいを示す指標であり、 N 値や地震動のタイプ等を考慮して、以下の式により与えられる。

$$R = c_w R_L \quad \text{— (式 2.2-2)}$$

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{(0.85N_a + 2.1)/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \cdot 10^{-6}(N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

$$N_a = \begin{cases} c_{FC}(N_1 + 2.47) - 2.47 & (D_{50} < 2\text{mm}) \\ \{1 - 0.36\log_{10}(D_{50}/2)\}/N_1 & (D_{50} \geq 2\text{mm}) \end{cases}$$

$$N_1 = 170 \cdot N / (\sigma_{vb}' + 70)$$

$$c_{FC} = \begin{cases} 1 & (0\% \leq F_C < 10\%) \\ (F_C + 20)/30 & (10\% \leq F_C < 40\%) \\ (F_C - 16)/12 & (40\% \leq F_C) \end{cases}$$

ただし、ここに、

R ：液状化抵抗比

c_w ：地震動特性による補正係数

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/m² 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

σ_{vb}' ：標準貫入試験を行ったときの地表面からの深さにおける有効上載圧（kN/m²）

c_{FC} ：細粒分含有率による N 値の補正係数

²² 日本道路協会（2025）：道路橋示方書・同解説 I 共通編（令和 7 年 10 月）。

²³ 内閣府（2012）：南海トラフの巨大地震モデル検討会（第二次報告）強震断層モデル編（別添資料）－液状化可能性、沈下量について－，平成 24 年 8 月 29 日。

https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/pdf/20120829_2nd_report06.pdf

F_c ：細粒分含有率(%) (粒径 $75\mu\text{m}$ 以下の土粒子の通過質量百分率)

D_{50} ：50%粒径 (mm)

c_w については、以下の式で与えられる。

(タイプⅠの地震動の場合)

$$c_w = 1.0$$

(タイプⅡの地震動の場合)

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

※1) タイプⅠ：大きな振幅が長時間繰り返して作用する地震動（プレート境界型の大規模な地震）を表したものである。

※2) タイプⅡ：継続時間は短いが極めて強度を有する地震動（兵庫県南部地震のような内陸型地震）を表したものである。

今回の想定では、全ての地震についてタイプⅠの係数を採用した。

繰り返しせん断強度 L とは、地盤内のある 1 点にかかる地震力の大きさを表す指標であり、地表加速度から以下の換算式を用いて求めた。

$$L = r_d \cdot \alpha / g \cdot \sigma_v / \sigma_v' \quad - \text{(式 2.2-3)}$$

$$r_d = 1.0 - 0.015x$$

ここに、

L ：繰り返しせん断強度

r_d ：繰り返しせん断強度の深さ方向の低減係数

α ：地表最大加速度 (gal)。地震応答計算による地表最大加速度（東西、南北成分の最大値）を採用した。

g ：重力加速度 (980gal)

σ_v ：全上載圧 (kN/m²)

σ_v' ：有効上載圧 (kN/m²)

x ：地表面からの深さ (m)

c) P_L 法

算出した F_L 値を深さ方向に重みをつけて足し合わせ（図 2.5-1 参照）、地点での液状化危険度を表す P_L 値を算出し、この P_L 値によって液状化危険度の判定を行った。液状化危険度判定は、岩崎ほか（1980）²⁴による図 2.5-1 及び表 2.5-1 に示すような関係により判定を行った。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5x) dx \quad - \text{(式 2.2-4)}$$

²⁴ 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進(1980)：地震時地盤液状化の程度の予測について，土と基礎，28-4, pp. 23-29.

d) 沈下量

内閣府（2012）の方法に従って、液状化に伴う地盤の沈下量を求めた。

液状化に伴う地盤の沈下量 S は、建築基礎構造設計指針(2001)²⁵に示されている補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係（図 2.5-2）を用いて、補正 N 値と応力比のプロット点に対応する繰返しせん断ひずみを隣接する γ_{cy} 曲線の対数補間により求めた。

このとき、繰返しせん断ひずみ 8% の曲線より左側にプロットされる場合には $\gamma_{cy}=8\%$ とし、0.5% より右側にプロットされる場合には、 $\gamma_{cy}=0.5\%$ とした。

繰返しせん断ひずみ γ_{cy} を体積ひずみ ε_v として読み替えた。その上で、沈下量 S を次のようにして推定した。

$$S = \sum_{i=1}^n (H_i \times \varepsilon_{vi}) \quad - \text{ (式 2.2-5)}$$

ここに、

S : 沈下量

H_i : $F_L < 1.0$ となる砂質土層 i の層厚

ε_{vi} : $F_L < 1.0$ となる砂質土層 i の体積ひずみ

n : $F_L < 1.0$ となる砂質土層数

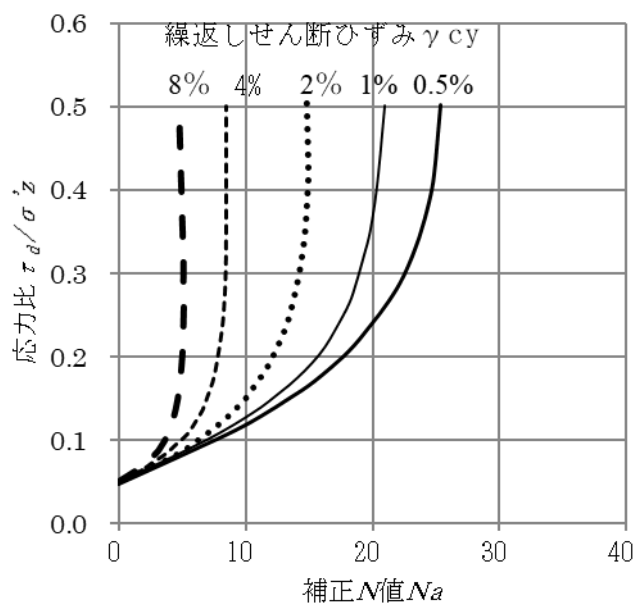


図 2.5-2 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係
(建築基礎構造設計指針(2001), p66, 図 4.5.7 補正 N 値と繰返しせん断ひずみの関係に加筆)

²⁵ 日本建築学会（2001）：建築基礎構造設計指針。

(2) 地盤構造モデル・物性値の設定

a) 地形区分

微地形区分は地形の成因および堆積環境を示す指標であり、地盤の粒度組成や地下水条件など液状化の発生に関わる地盤特性との関連性が高い。また、道路橋示方書（2025）では、液状化予測の対象としては完新統の地盤を対象としている。完新統の地盤は概ね低地部に分布していることから、若松・松岡（2020）²⁶による 250m メッシュ微地形区分の内、低地に該当するものを液状化危険度予測の対象区分として設定した（図 2.5-3）。

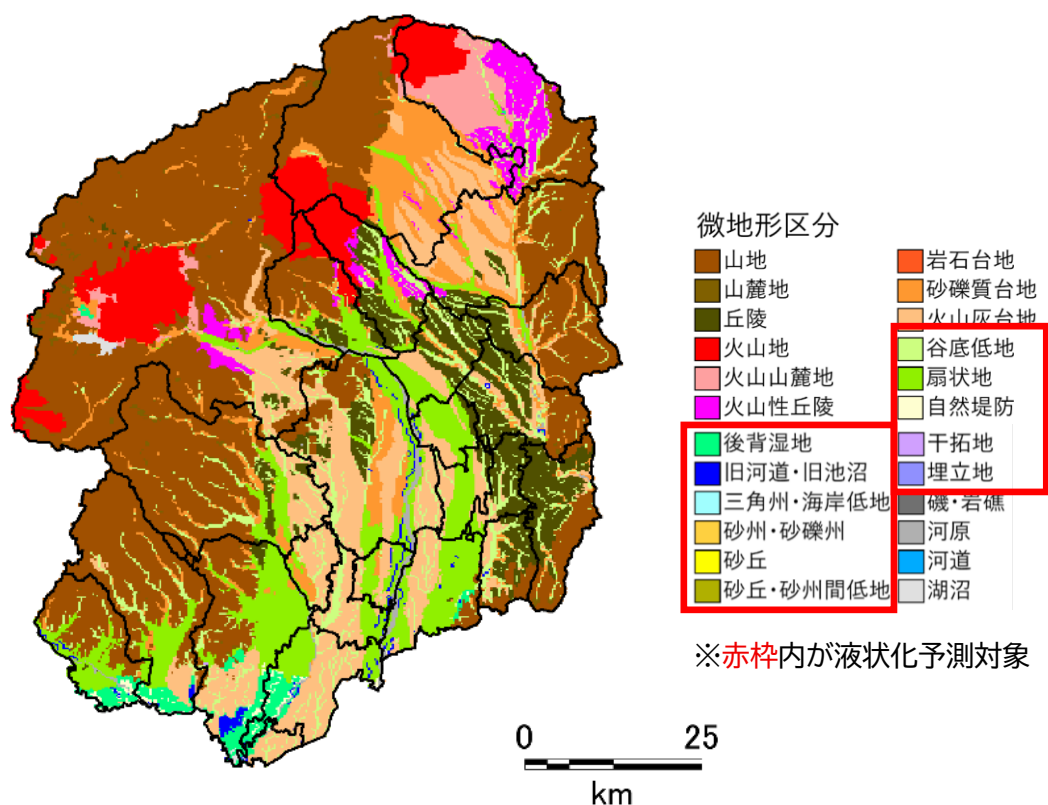


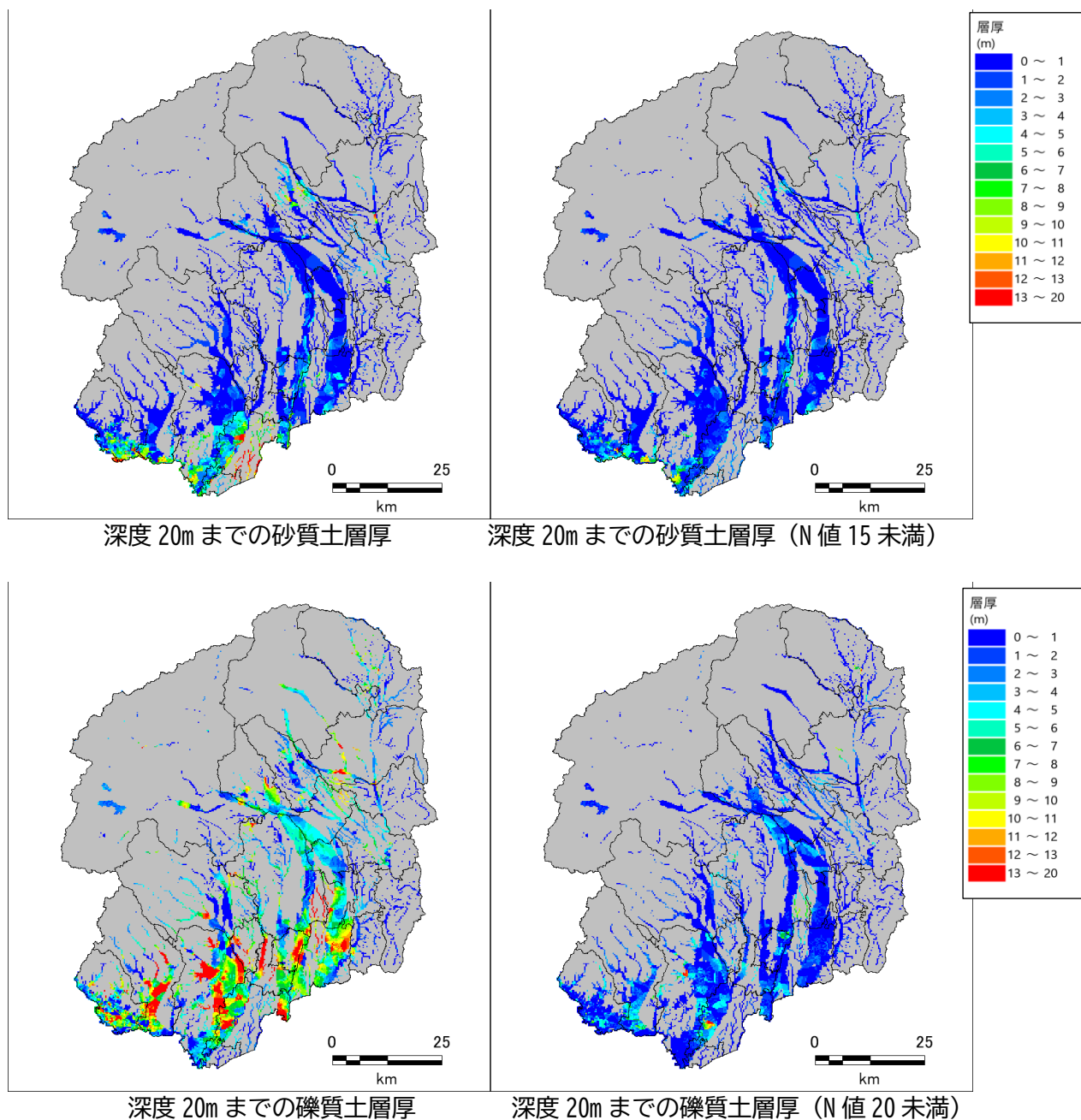
図 2.5-3 液状化危険度の評価対象とする地形区分

²⁶ 若松加寿江・松岡昌志（2020）：地形・地盤分類 250m メッシュマップの更新，日本地震工学会誌，No. 40，pp. 24-27.

b) 地形区分

液状化計算のための地盤構造モデルについては、地震動計算のための地盤構造モデルの土質区分、N 値をそのまま用いる。

採用した地盤構造モデルの深度 20m までの地盤状況を図 2.5-4 に示す。全体的に礫質土主体であり、特に県南部で層厚 10m を超えるような範囲もみられる。ただし、N 値で 20 未満となるような液状化しやすい層はあまり分布しない。砂質土については県南部で 5m 程度分布する範囲がみられるが、液状化しやすい N 値 15 未満の層厚は比較的小さく、N 値が大きめの層を主体とする。



c) 物性値

収集したボーリング、室内土質試験データから砂質土について N 値と F_c （細粒分含有率）との関係をグラフに整理した。グラフには、①収集したデータから求めた近似曲線（ $\text{Log}(F_c)=a\text{Log}(N)+b$ の形式）および②亀井ほか（2002）²⁷を示した。

東京低地を対象として作成された亀井ほかの式と比較して、全体的に F_c が大きく（液状化しにくく）なる傾向にある。

収集したデータの F_c は全体的にばらつきが大きく、一般的には液状化対象とはみなされない $F_c > 35 \sim 40\%$ のデータが多く含まれている。このため、①の関係式を用いると液状化を過小評価する可能性があり、今回の想定では②の亀井ほか（2002）を用いて検討を行うこととする。

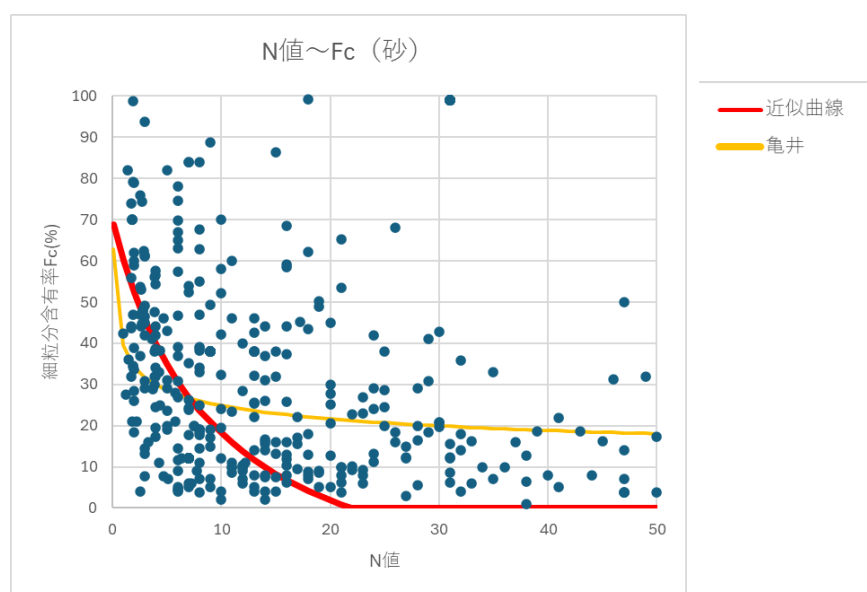


図 2.5-5 収集した室内土質試験データの N 値と細粒分含有率との関係

また、収集したボーリング、室内土質試験データから礫質土について N 値と 50%粒径（D50）との関係を図 2.5-6 に示すグラフに整理した。データ数が少ないため全礫質土をまとめて整理した。N 値との相関は小さいため、D50 については全データの平均値として 5.6mm を採用した。

²⁷ 亀井 祐聡・森本 巖・安田 進・清水 善久・小金丸 健一・石田 栄介（2002）：東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響，地盤工学会論文報告集，42（4），pp. 101-110.

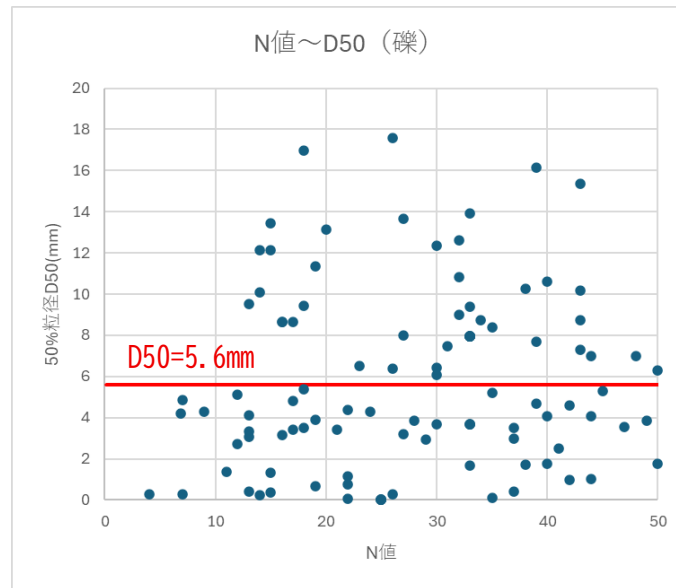


図 2.5-6 収集した室内土質試験データの N 値と 50%粒径との関係

d) 地下水位

地下水位については、収集したボーリングデータの孔内水位を整理し、地形区分毎に統計値を整理した。平均値、中央値はやや深めの水位となる傾向があるため、安全側の想定として四分位数（上位 25%の値）を採用する。なお、ボーリングデータが得られなかった地形区分については、一律 1.00m とする。

表 2.5-2 採用した地形区分ごとの地下水位

地形区分	平均値	中央値	最頻値	四分位数	採用値
谷底低地	2.57	1.85	1.50	1.20	1.20
扇状地	3.07	2.50	1.50	1.50	1.50
自然堤防	4.19	3.57	2.60	1.80	1.80
後背湿地	2.86	2.08	1.80	1.10	1.10
旧河道・旧池沼	3.39	2.80	1.20	1.40	1.40

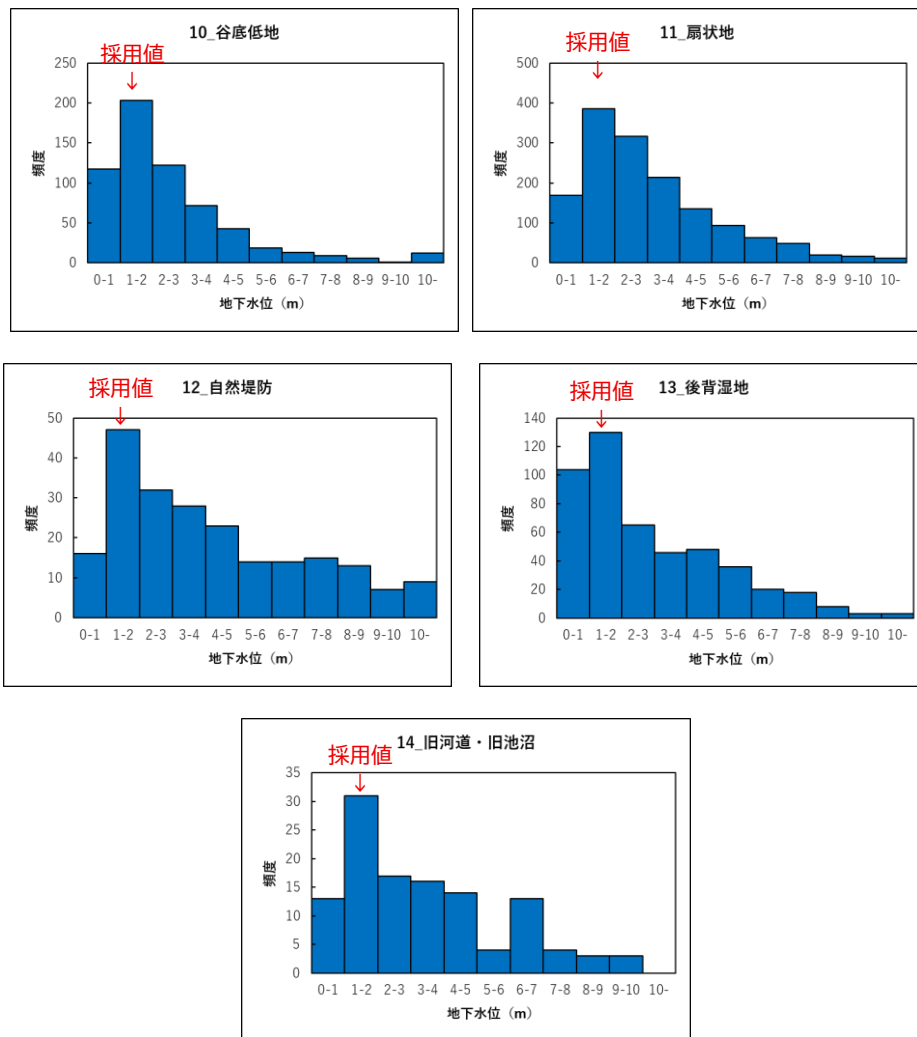


図 2.5-7 地形区分別孔内水位のヒストグラム

(3) 過去の被害地震における液状化発生状況の整理

国土交通省関東地方整備局・地盤工学会（2011）²⁸による東北地方太平洋沖地震の栃木県内の液状化地点の分布を図 2.5-8 に示す。栃木県内では栃木市、真岡市、大田原市において液状化が確認されたとしている。

なお、若松（2011）²⁹による日本液状化マップにおいては、栃木県内での過去の液状化は確認されていない。

²⁸ 国土交通省関東地方整備局・地盤工学会（2011）：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明 報告書，平成 23 年 8 月。

²⁹ 若松加寿江（2011）：日本の液状化履歴マップ 745-2008，東京大学出版会。

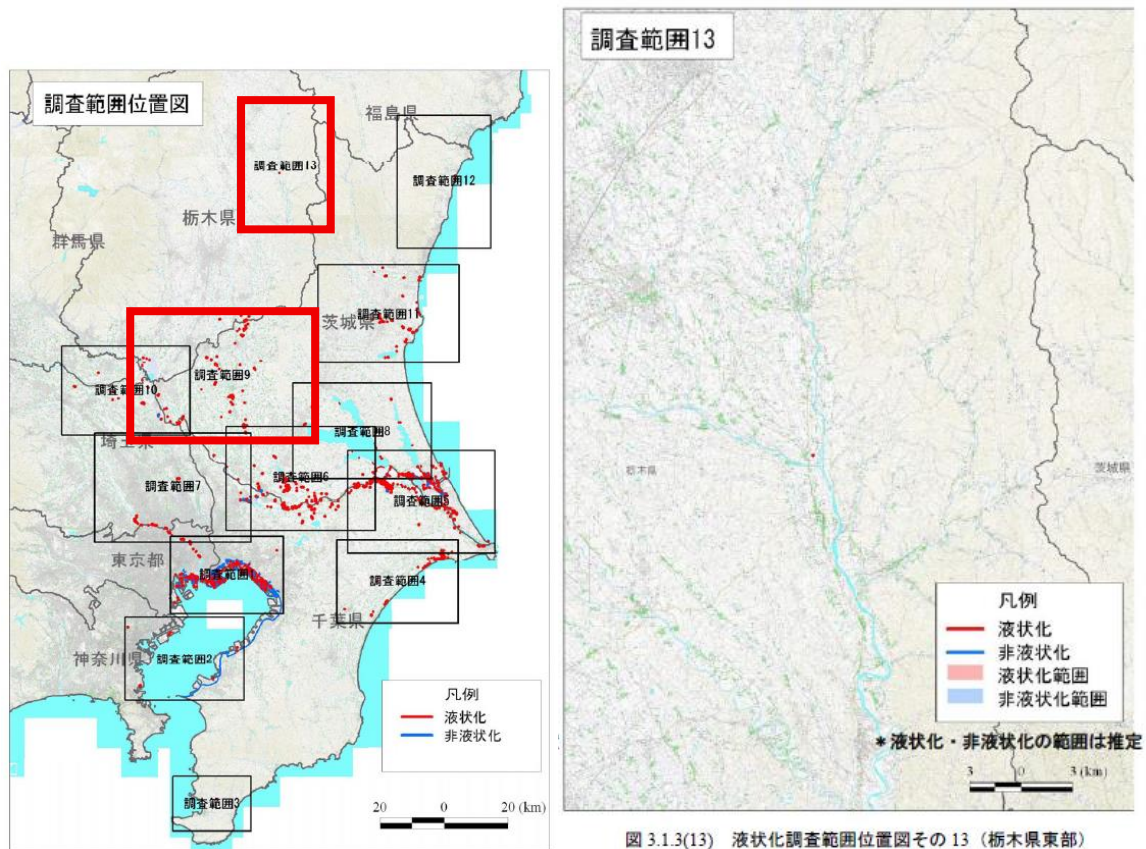


図 3.1.3(13) 液状化調査範囲位置図その 13（栃木県東部）

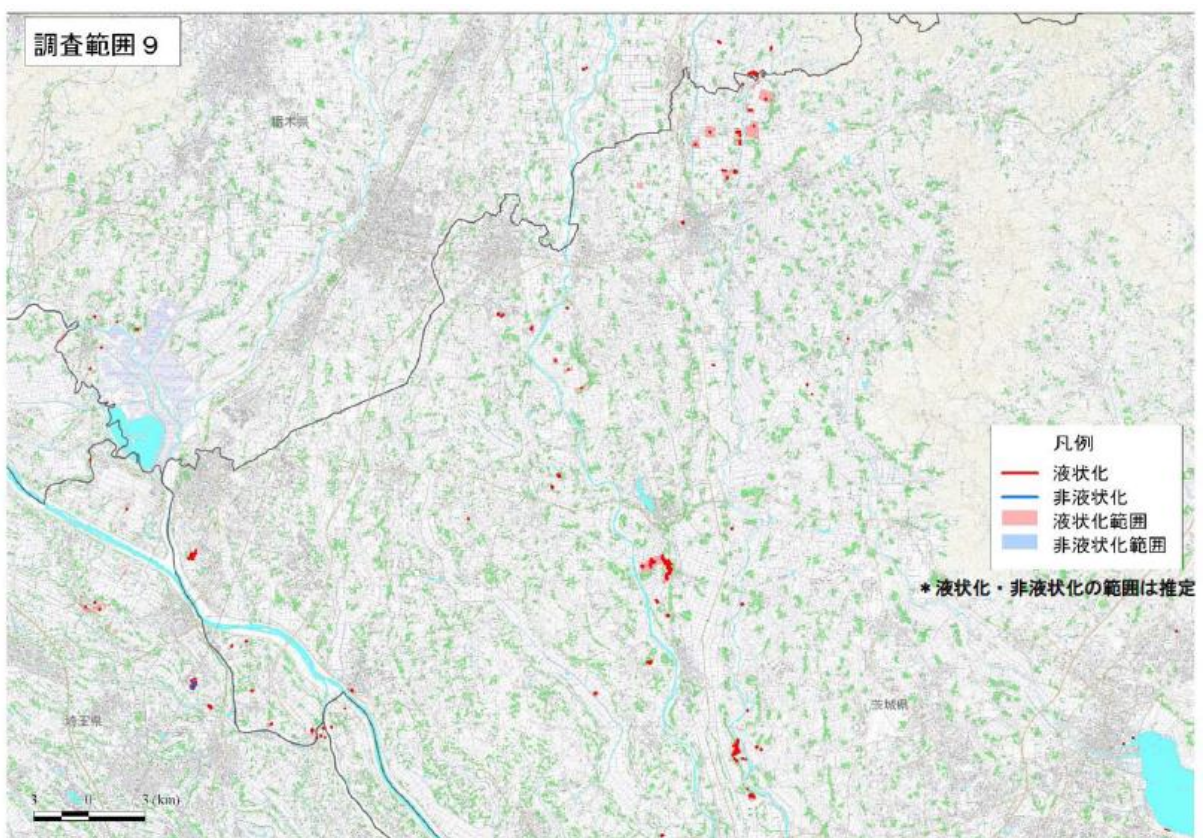


図 3.1.3(9) 液状化調査範囲位置図その 9（鬼怒川・小貝川流域）

図 2.5-8 東北地方太平洋沖地震における栃木県内の液状化地点（国土交通省関東地方整備局・地盤工学会，2011）