

5 表層地盤の液状化計算手法

1 液状化可能性の評価手法

液状化可能性の評価については、「東海地震に関する専門調査会」と同様に、「道路橋示方書・同解説（1996年12月発行）」に準じる手法を採用した。すなわち、表層部での地震動計算結果から地中のせん断応力を求め、液状化対象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）を評価するものである。

ただし、地震時せん断応力比（L）については、東海地震では等価線形計算（SHAKE）により各層のせん断応力を直接求めているが、今回は非線形計算（DYNES3D）を用いており、計算で求められた各層のせん断応力が等価線形計算と同等には扱えないことから、地表震度の値から換算してLの値を求めた。

以下に計算の手順を示す。（表1-1）

- 1) 地表震度より、童・山崎（1996）による計測震度とSI値との関係（式）を用いてSI値を求める。
$$SI = 10^{-1.16+0.50 \cdot I} \quad \dots$$
- 2) SI値より、安田ら（1993）によるせん断応力比とSI値の関係（式）を用いて、表層20mまでの地震時せん断応力比（L）の分布を求める。
$$L = 0.01 \cdot SI / (\sigma_v')^{0.1} \quad \dots$$
- 3) 液状化対象層のN値などから、地震時せん断強度比（R）を求める。
- 4) RおよびLから、液状化に対する抵抗率（FL = R/L）を求め、震度の重み係数を考慮した形でFLを積分し、液状化指数を計算する。

求められたメッシュごとのPL値より、以下の基準で液状化可能性を評価した。

PL > 15 : 液状化の可能性が大

5 < PL ≤ 15 : 液状化の可能性が中

想定東海地震（S2モデル）の計算結果を基に、等価線形計算（SHAKE）結果よりせん断応力を直接求めた場合（東海地震の方法）のPL値の分布を図1-1に、地表震度から換算してせん断応力を求めた場合（今回の方法）のPL値の分布を図1-2に示す。両者を比較すると、震源から離れた領域で、今回の方法は東海地震の方法よりも小さめのPL値を与える傾向がある。

< 参考文献 >

- 道路橋示方書・同解説 耐震設計編 (1990、1996) 社団法人 日本道路協会
- 安田進、吉川洋一、牛島和子、石川利明 (1993): SI 値を用いた液状化予測手法 ; 第 28 回土質工学研究発表会、pp.1325-1328.
- 童華南、山崎文雄 (1996): 地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係 ; 生産研究 48 卷 11 号、pp.31-34.

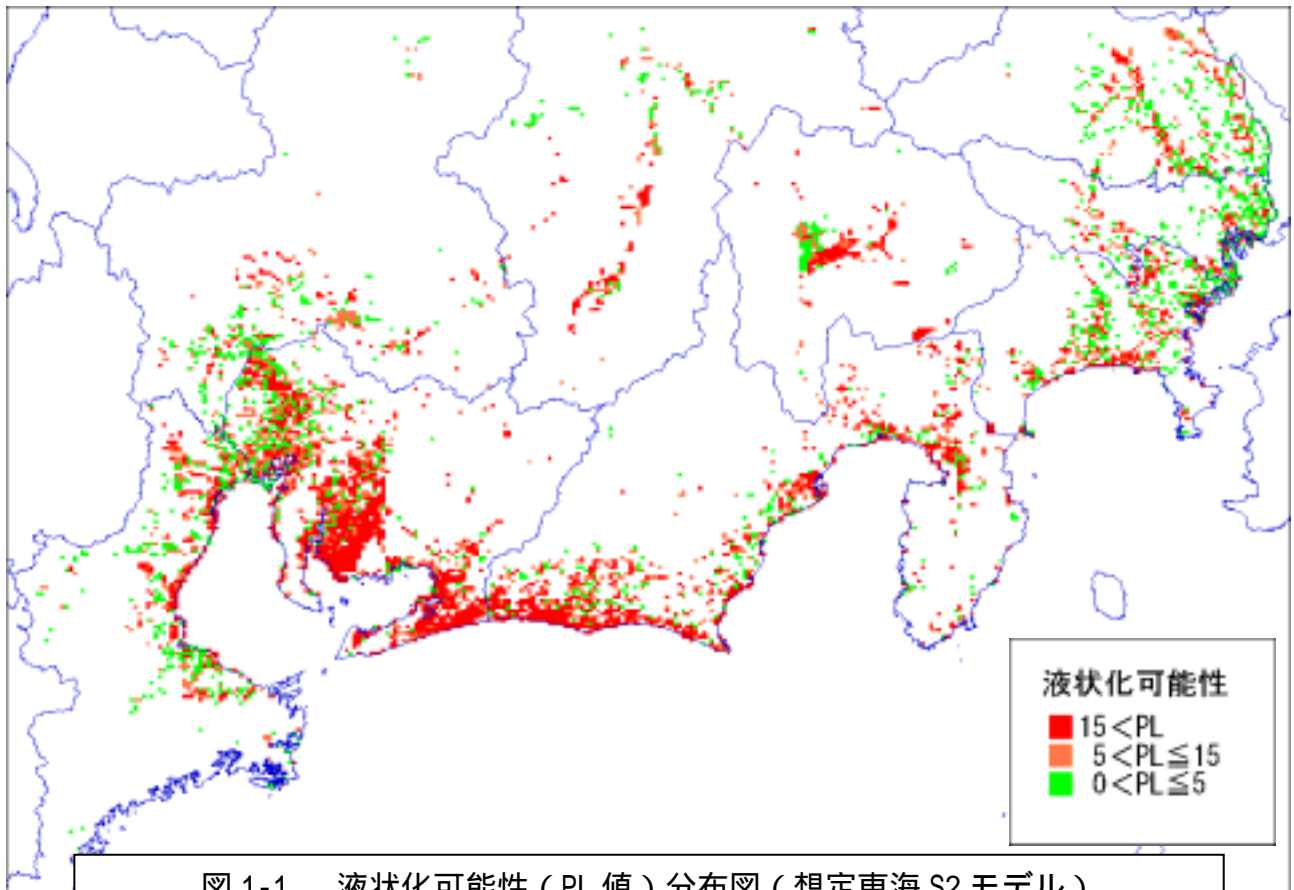


図 1-1 液状化可能性 (PL 値) 分布図 (想定東海 S2 モデル)
等価線形計算により地震時せん断応力を直接計算 (東海地震の方法)

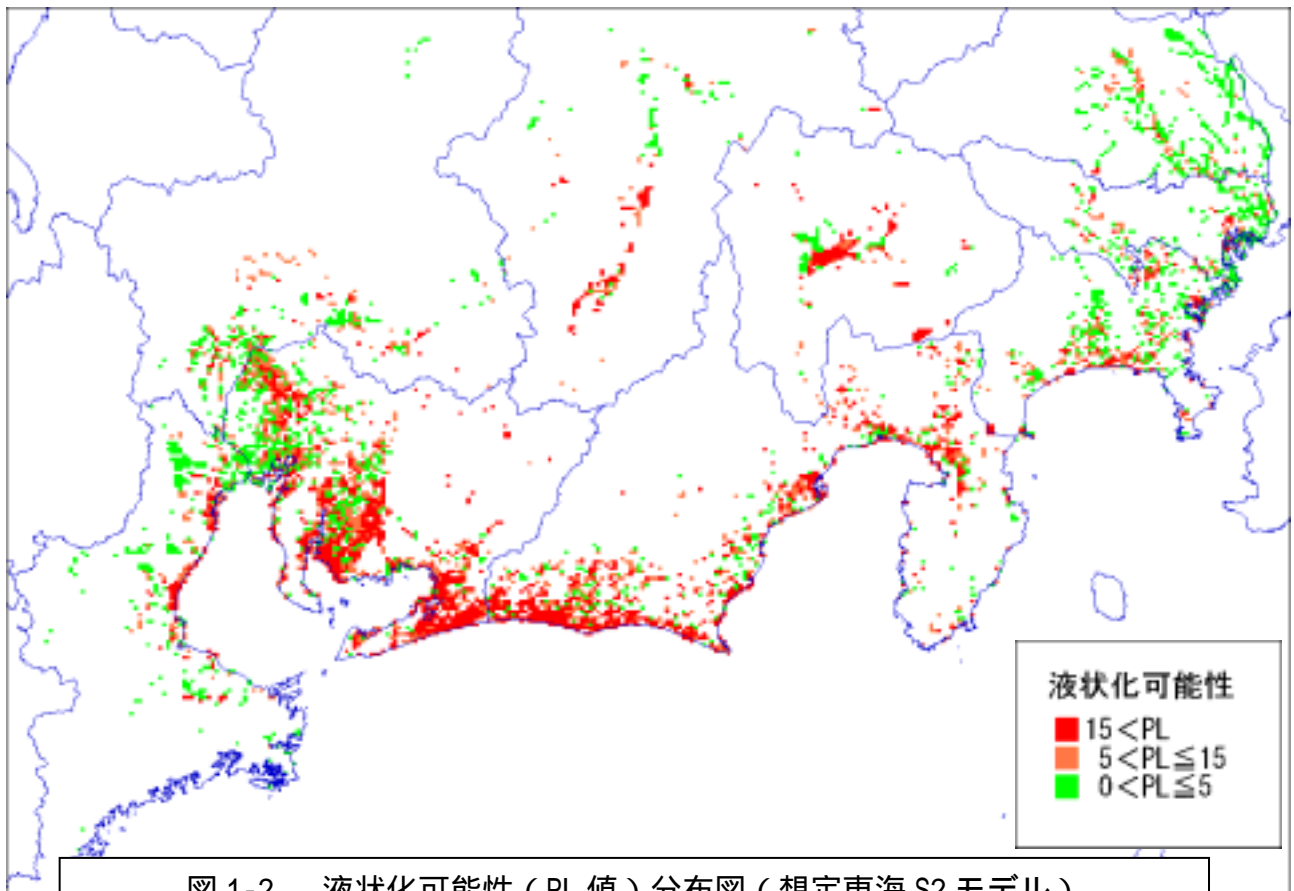


図 1-2 液状化可能性 (PL 値) 分布図 (想定東海 S2 モデル)
地表震度より地震時せん断応力を計算 (今回の方法)

表 1-1 液状化判定手法

| 基準・指針名称 | 道路橋示法書・同解説(耐震設計編) 2002.3 | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|---------|--------|-------------------|-----|------------|---------------|--|--|--|---------------------|
| 液状化判定を行う必要がある土層 | 沖積層の砂質土層で以下の3つの条件全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、液状化の判定を行う。 地下水位が現地地盤面から10m以内にあり、かつ、現地地盤面から20m以内の深さに存在する飽和土層 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 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1mm以下である土層 | | | | | | | | | | |
| 液状化の判定方法 | 液状化に対する抵抗率 F_L を以下の式(1)により求め、この値が1.0以下の土層については液状化の可能性のあるものとする。 $F_L = R / L \dots\dots\dots (1)$ ここで、 F_L : 液状化に対する抵抗率、 R : 動的せん断強度比、 L : 地震時せん断強度比 | | | | | | | | | | |
| 液状化強度の求め方 | 動的せん断強度比 R は、以下の式(2)により求める。 $R = c_w R_L \dots\dots\dots (2)$ ここで、 c_w : 地震動特性による補正係数(表-1参照)で、タイプ(プレート境界型の大規模な地震)、タイプ(内陸直下型地震)を考慮、 R_L : 繰り返し三軸強度比 <table border="1" data-bbox="1038 577 1402 701"> <caption>表-1 c_w の決定方法</caption> <thead> <tr> <th>地震動タイプ</th> <th>c_w</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.0</td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td>タイプ</td> <td>$(R_L < 0.1)$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$3.3 R_L + 0.67$ ($0.1 < R_L < 0.4$)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2.0 ($0.4 < R_L$)</td> </tr> </tbody> </table> 繰り返し三軸強度比 R_L は、以下の式(3)により求める。 $R_L = \begin{cases} 0.0882(Na/1.7)^{0.5} & (Na < 14) \\ 0.0882(Na/1.7)^{0.5} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (Na - 14)^{4.5} & (14 \leq Na) \end{cases} \dots\dots\dots (3)$ ただし、(砂質土の場合) $Na = c_1 N_1 + c_2$ $N_1 = 170 \cdot N / (\sigma'_v + 70)$ $c_1 = \begin{cases} 1 & (0\% FC < 10\%) \\ (FC + 40)/50 & (10\% FC < 60\%) \\ FC/20 - 1 & (60\% FC) \end{cases} \quad c_2 = \begin{cases} 0 & (0\% FC < 10\%) \\ (FC - 10)/18 & (10\% FC) \end{cases}$ (礫質土の場合) $Na = \{1 - 0.36 / \alpha g_{50} (D_{50} / 2)\} \cdot N_1$ ここで、 Na : 粒度の影響を考慮した補正 N 値、 N_1 : 有効上載圧 100kN/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)、 FC : 細粒分含有率、 D_{50} : 平均粒径(mm) | 地震動タイプ | c_w | 1.0 | 1.0 | タイプ | $(R_L < 0.1)$ | | $3.3 R_L + 0.67$ ($0.1 < R_L < 0.4$) | | 2.0 ($0.4 < R_L$) |
| 地震動タイプ | c_w | | | | | | | | | | |
| 1.0 | 1.0 | | | | | | | | | | |
| タイプ | $(R_L < 0.1)$ | | | | | | | | | | |
| | $3.3 R_L + 0.67$ ($0.1 < R_L < 0.4$) | | | | | | | | | | |
| | 2.0 ($0.4 < R_L$) | | | | | | | | | | |
| 地震外力の求め方 | 地震外力 L は、安田ら(1993)による以下の式(4)により求める。 $L = 0.01 \cdot SI / (\sigma'_v)^{0.1} \dots\dots\dots (4)$ ここで、 σ'_v : 全上載圧(kN/m ²)、 σ'_v : 有効上載圧(kN/m ²)、 SI : SI 値 なお、 SI 値は、童・山崎(1996)による以下の式(5)により求める。 $SI = 10^{-1.16 + 0.50 \cdot I} \dots\dots\dots (5)$ ここで、 I : 地表震度 | | | | | | | | | | |
| P_L 法 | P_L 値は、ある地点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り、 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。 $P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5x) dx$ F_L : 液状化に対する抵抗率 ($F_L = 1$ の場合には $F_L = 1$)、 x : 地表面からの深さ(m) <table border="1" data-bbox="699 1753 1038 1899"> <caption>P_L 値による液状化の判定区分</caption> <thead> <tr> <th>P_L 値</th> <th>液状化可能性</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$5 < P_L \leq 15$</td> <td>中</td> </tr> <tr> <td>$15 < P_L$</td> <td>高</td> </tr> </tbody> </table> | P_L 値 | 液状化可能性 | $5 < P_L \leq 15$ | 中 | $15 < P_L$ | 高 | | | | |
| P_L 値 | 液状化可能性 | | | | | | | | | | |
| $5 < P_L \leq 15$ | 中 | | | | | | | | | | |
| $15 < P_L$ | 高 | | | | | | | | | | |