

不確定性を考慮した液状化発生評価法に関する一考察

九州大学大学院 学 ○諫山亜依 正 善 功企
同上 正 陳 光斉 正 笠間清伸

1. はじめに

液状化発生には、地盤や地震などの不確定性が関与する。液状化判定法および液状化予測手法は主に N 値や F_L 値を用いるものが数多く提案されており、地盤の液状化発生の有無を判定する方法は各種基準化されている。しかしながら、液状化対策を効果的・経済的に実施するためには、液状化の発生予測、液状化による被害の規模（想定被害程度）や液状化対策のコスト等を含めた液状化のリスクマネジメント手法の確立が求められている。

そこで本文では、図-1 に示すリスクマネジメントにおいて「液状化の年発生確率」の評価に着眼し、岡山県南部の盛土¹⁾を解析対象として地盤と地震の不確定性を考慮した液状化リスクの評価方法を検討した。

2. 解析概要

本稿で、地震規模の指標として地表面最大加速度[gal]を用いた。また、解析対象とした岡山県南部は、文献²⁾によれば液状化検討実施のさいに用いる基盤の最大加速度の地域区分で 150gal に区分されることから、本解析では 10gal・150gal を範囲とした。

1) 地震ハザード曲線の導出：

地震ハザード曲線は、液状化誘因の指標（災害の誘因）に関する 1 年間における起こりやすさを表す。本稿では歴史地震記録から決定された年最大加速度分布より導出した。年最大加速度分布は過去約 400 年間のデータを用い極値Ⅲ型分布を当てはめ回帰することで求められる。

2) フラジリティ曲線の導出：

フラジリティ曲線は、液状化誘因の指標に対する液状化による損失の指標を表すものである。液状化による損失を表す指標は、液状化指数 P_L （式-1）を用いて、 $\alpha_{\max}$ に対する液状化発生確率 P_r と、 $\alpha_{\max}$ に対する液状化指数 P_L を乗ずることで得られると定義し、これを「等価損失指数」と定めた。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot (10 - 0.5Z) dZ \quad \left\{ \begin{array}{ll} F = 1 - F_L & (F_L < 1.0) \\ F = 0 & (F_L \geq 1.0) \end{array} \right. \quad F_L = R/L \quad Z: \text{深度 [m]} \quad \text{式-(1)}$$

(R ：動的せん断強度比、 L ：地震時せん断強度比)

〔① $\alpha_{\max}$ に対する液状化発生確率 P_r 〕 $\alpha_{\max}$ に対する液状化発生確率 P_r は、岩崎・龍岡法による液状化指数 $P_L \geq 5$ を液状化発生と判断し¹⁾、式-(2)で評価した。

$$P_r = P(P_L \geq 5) \quad \text{式-(2)} \quad \text{ここで、() は確率を表す。}$$

$$\text{土質定数の深度方向の分布モデルは、} Y_i = \sum_{j=0}^n a_{ij} Z^j + \varepsilon_i$$

(Y_i : 深度 Z における土質定数、 a_{ij} : 回帰係数、 ε_i : 平均値 0・標準偏差 σ_i の正規確率変数) と仮定した。

解析対象地の地盤特性（土質定数）は表-1 に示し、式-(1)

で与えられた液状化指数 P_L は、地盤の湿潤密度は変動が小さく確定値としたため、深度 Z の関数とした。

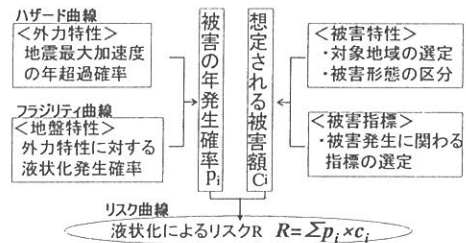


図-1 リスクマネジメントの流れ

表-1 地盤特性

変数	平均	標準偏差 σ
$\text{Log}_{10} N$	$-2.895136 \cdot 10^{-1} + 1.382580Z$ $-7.190219 \cdot 10^{-1} Z^2 + 1.67005$ $3 \cdot 10^{-1} Z^3$ (6次)	0.244
D_{50}	$0.3569298 - 0.01693042Z$	0.107
$\text{Log}_{10} F_c$	$0.7475127 + 0.05834805Z$	0.345

Z: 深度 [m]

P_L 値は、モンテカルロシミュレーションにより、 $\text{Log}_{10}N$ 、 D_{50} 、 $\text{Log}_{10}F_c$ 、 ε_R (動的せん断強度比算出のさい使用) に乱数を与え全ケースで 10,000 回繰り返し計算を行い算出した。

〔② $\alpha_{\max}$ に対する液状化指数 P_L 〕 ①で得られた $\alpha_{\max}-P_r$ の曲線において、液状化発生確率 P_r について P_L 値 5、15、25 に対する $\alpha_{\max}$ を読み取り、 $\alpha_{\max}$ に対する液状化指数 P_L の曲線を得た。(3. 解析結果に詳述)

3. 解析結果および感度分析

図-2 に、岡山市における地震ハザード曲線を示している。参考のために、岐阜市のデータも併記した。図-2 より、岡山市では $\alpha_{\max}=50\text{gal}$ を超す地震の発生は非常に稀であることがわかる。

図-3 には、解析により得られた $\alpha_{\max}$ に対する液状化発生確率 P_r を示している。またこれを「基本データ(P_L5)」とし、 $\text{Log}_{10}N$ 、 D_{50} 、 $\text{Log}_{10}F_c$ の標準偏差 σ を 2 倍と 1/2 倍とした感度分析の結果をそれぞれ 2σ (パラメータ)、 0.5σ (パラメータ) として示した。さらに比較のために、液状化危険度が極めて高くなるとされる $P_L \geq 15$ 、および $P_L \geq 25$ についての解析結果も併記した。基本データから最も大きく乖離しているのは $2\sigma D_{50}$ であり、また $0.5\sigma D_{50}$ も基本データとの差が大きいことがわかる。このことから、 D_{50} のばらつきが液状化発生確率に最も大きく影響しているといえる。また、図-2 および図-3 より、解析対象地は液状化発生の確率は極めて低いと考えられる。

図-4 には、 $\alpha_{\max}$ に対する液状化指数 P_L を示す。図-3 より P_r (0.1 刻み) について P_L5 、15、25 に対する $\alpha_{\max}$ を読み取りこの曲線を得た。液状化発生率ごとの表現とした。図-4 より、同一 P_L 値に対しては液状化発生確率 P を大きくすると $\alpha_{\max}$ も増加することがわかる。

図-3 および図-4 より、等価損失指数が得られ、図-5 に示す。図-5 の fragility 曲線より、 $\alpha_{\max}$ が大きくなるほど等価損失指数は増加する。

図-2 および図-5 より、 P_r ごとの等価損失指数に対する年超過確率 (リスク曲線) が得られ、 P_r ごとのリスク評価が可能となる。しかしながら、用いたデータでは、等価損失指数と年超過確率が対応する $\alpha_{\max}$ が限られており、対応しているものでも極めて 0 に近い値であるために、全てのデータが等価損失指数ほぼ 0 に集中し曲線とはならなかった。

4. まとめ

- 1) $\alpha_{\max}$ の年超過確率および $\alpha_{\max}$ に対する液状化発生確率を取り入れることで液状化発生評価に不確定性を反映させた。
- 2) P_L を取り入れることで、fragility 曲線を液状化発生確率ごとに表現することができた。これは、リスク曲線を液状化発生確率ごとに評価できることにつながり、液状化対策検討において有用と考えられる。
- 3) 本稿においては、液状化による損失を表す指標として P_L を用いたが、この指標に関しては今後も引き続き検討を行う。

参考文献 1) 西村伸一：液状化対策地盤改良に関する信頼設計、土木学会論文集 No.603, pp101-105, 1998 2) 運輸省港湾局、埋立地の液状化対策ハンドブック、1997 3) 三木博史：道路斜面のリスク評価、リスク工学の基礎理論と実務への応用に関する講習会、pp21-22, 2001

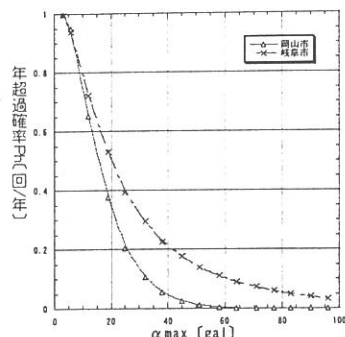


図-2 地震最大加速度の年超過確率 P_a

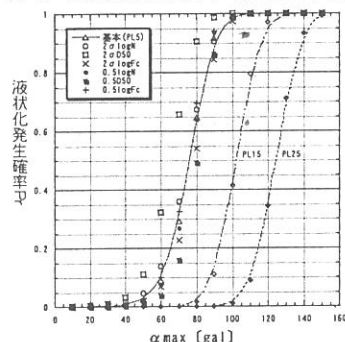


図-3 $\alpha_{\max}$ に対する液状化発生確率

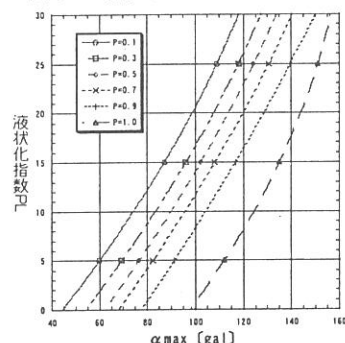


図-4 $\alpha_{\max}$ に対する液状化指数

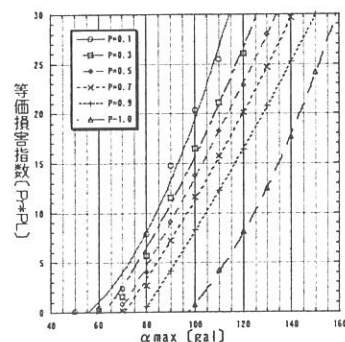


図-5 $\alpha_{\max}$ に対する等価損失指数