

モンテカルロシミュレーションによる液状化判定のばらつきの評価

中央大学大学院 学生会員 ○岩崎 俊
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

現在、日本では大規模な地震の発生が予期されており、各所で液状化危険度を把握することの重要性は高い。特に、影響を大きく受ける市民にとって、液状化マップなどの液状化危険度を示す情報は、居住地や対策の有無などを検討する際の手がかりとなる。

しかし、現行のマップのように50mあるいは250mメッシュでは、本来地点ごとに異なる地盤条件の違いを表現しきれず、対象地点における液状化危険度を正確に把握できない可能性がある。また、マップ作成時に用いられる液状化判定法であるFL法・PL法では、地下水位の変動性のような不確実な事象を考慮していない。

そこで、本研究では判定に用いる各要素の不確実性を考慮した場合に、液状化マップの判定結果がどの程度の信頼性を有しているかを明らかにする。

2. 研究手法

信頼性を評価するにあたり、モンテカルロシミュレーションを行う。各要素のばらつき方を確率分布によりモデル化し、それに従う乱数を発生させて計算を行うことで、液状化判定の基となる P_L 値を算出する。そのヒストグラムから、各要素のばらつきが判定結果にどのような影響を与えるのかを確認する。このシミュレーションの流れを図-1に示す。

対象とする地盤は、農林水産省の土地改良事業設計指針「耐震設計」(案)¹⁾にて公開されている液状化判定例のものである。

3. パラメータ設定

今回は N 値と単位体積重量にばらつきを与える。平均値は対象地盤の各層における値とする。標準偏差に関して、 N 値は信頼性設計法に基づく土木構造物の性能照査ガイドライン²⁾より18.9とし、単位体積重量は同ガイドラインにて砂質土の記載が無いため、細粒土について算出された1.575を仮に用いる。

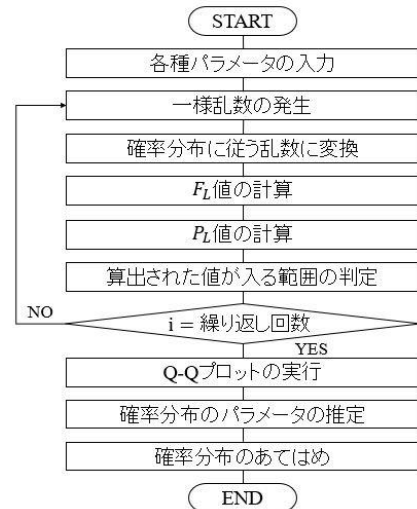


図-1 シミュレーションのフロー

PL法の前段階にあたるFL法の計算過程は、道路橋示方書・同解説V耐震設計編³⁾を基にする。

F_L 値は以下の式により算出する。

$$F_L = R/L \quad (1)$$

ここで、 R は動的せん断強度比、 L は地震時せん断応力比である。また各深度での F_L 値を深さ方向に積み重ねて足し合わせることで P_L 値が算出される。

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5x)dx \quad (2)$$

ここで、 x は地表面からの深さ[m]である。

以下の節にて F_L 値算出にあたり作用側となる L 、抵抗側となる R の算出方法を述べる。

3-1 作用側の設定

地震時せん断応力比 L を算出する式は以下である。

$$L = r_d \cdot K_{hgL} \cdot \sigma_v / \sigma'_v \quad (3)$$

ここで、 r_d は地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数、 K_{hgL} は液状化の判定に用いる地盤面の設計水平震度、 σ_v は地表面からの深さ x における全上載圧[kN/m²]、 σ'_v は地表面からの深さ x における有効上載圧[kN/m²]である。 K_{hgL} は0.70とする。

キーワード モンテカルロシミュレーション、液状化判定、PL法、信頼性、不確実性、ばらつき

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 Tel03-3817-1816 Fax03-3817-1803

3-2 抵抗側の設定

動的せん断強度比 R を算出する式は以下である。

$$R = c_w \cdot R_L \quad (4)$$

ここで、 c_w は地震動特性による補正係数、 R_L は繰返し三軸強度比である。さらに、繰返し三軸強度比 R_L は次式により算出する。

$$R_L = \begin{cases} 0.0882\sqrt{(0.85N_a + 2.1)/1.7} & (N_a < 14) \\ 0.0882\sqrt{N_a/1.7} + 1.6 \times 10^{-6} \cdot (N_a - 14)^{4.5} & (N_a \geq 14) \end{cases} \quad (5)$$

N_a は粒度の影響を考慮した補正 N 値である。今回扱うのは砂質土であるため、 N_a を次式により算出する。

$$N_a = c_{FC}(N_1 + 2.47) - 2.47 \quad (6)$$

c_{FC} は細粒分含有率による N 値の補正係数、 N_1 は有効上載圧 100 kN/m^2 相当に換算した N 値であり、これらは次式により求められる。

$$N_1 = 170 \cdot N / (\sigma'_{vb} + 70) \quad (7)$$

$$c_{FC} = \begin{cases} 1 & (0\% \leq FC < 10\%) \\ (FC + 20)/30 & (10\% \leq FC < 40\%) \\ (FC - 16)/12 & (40\% \leq FC) \end{cases} \quad (8)$$

N は標準貫入試験から得られる N 値、 FC は細粒分含有率[%]、 σ'_{vb} は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 $[\text{kN/m}^2]$ である。

4. シミュレーション結果

1000回のモンテカルロシミュレーションにより得られた P_L 値を、液状化の判定区分ごとに集計すると表-1のようになった。今回はかなり危険な地盤条件なため判定にばらつきが出なかった。各要素のばらつきを考慮せずに計算した P_L 値が0から15以内であるような地盤の場合に、危険度のばらつきがどのようになるかは今後の検討課題としたい。

得られた P_L 値に対してQ-Qプロットを適用した結果、概ね正規分布に当てはまることが分かった。算出された P_L 値の平均値は39.8、標準偏差は9.47であり、これをパラメータとした確率密度関数とシミュレーション結果のヒストグラムとを重ね合わせたものを図-2に示す。各要素のばらつきを考慮しない場合の P_L 値は63であり、シミュレーションにより算出された P_L 値の平均値はこれを大きく下回る結果となった。

5. おわりに

本研究では、農林水産省の液状化判定例を対象として、モンテカルロシミュレーションにより液状化判定のばらつきを評価した。

表-1 液状化危険度の割合

P_L 値の範囲	液状化危険度	割合
$P_L = 0$	かなり低い	0.0%
$0 < P_L \leq 5$	低い	0.0%
$5 < P_L \leq 15$	高い	0.2%
$15 < P_L$	かなり高い	99.8%

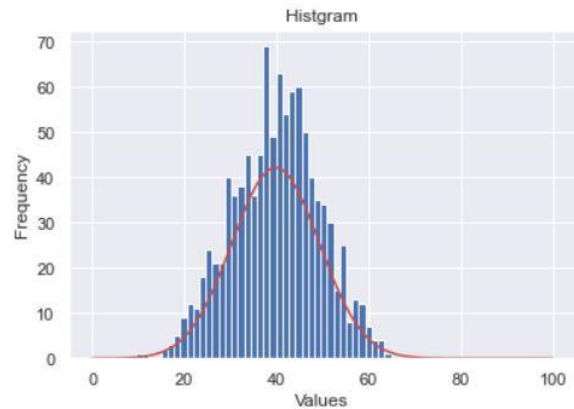


図-2 算出された P_L 値のヒストグラム

現時点では N 値以外の土質定数のばらつきに関して具体的な検討を行っていないため、今後は関連データをさらに収集し、より詳細な計算を行う。また、西村ら⁴⁾により土質定数の空間的相関特性は無視できないことが示されている。そのため、土質定数間の相関性を考慮したばらつきの評価方法も検討する。さらに、地下水位変動に関するデータを収集し、地下水位の不確実性も取り入れ、より実情に近いシミュレーションとする。これらの手法を確立し次第、実際の地盤条件へ本手法を適用し、最終的には、微地形区分・メッシュごとに液状化判定のばらつきを評価・比較することを目指す。

参考文献

- 1) 農林水産省 農村振興局：土地改良事業設計指針「耐震設計」(案)，pp.243-267，2015
- 2) 土木学会：信頼性設計法に基づく土木構造物の性能照査ガイドライン，pp.B-1-B-66，2018
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，pp.161-169，2017
- 4) 西村伸一，藤井弘章，島田清，清水英良，西川克彦：土質定数の変動性および地震の統計的性質を考慮した干拓堤防の液状化確率，土木学会第50回年次学術講演会，pp.590-591，1995