

N値のばらつきを考慮した液状化リスク分析手法の提案

九州大学工学部 学生会員 ○山本 美穂 九州大学大学院 フェロー会員 善 功企
九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 平松 浩三

1. はじめに

現行の基準・指針類による液状化予測は、想定されるある大きさの外力に対する液状化の有・無の判定という二者択一的手法であり、液状化に伴う損失や外力発生・土質特性などの不確定性は評価されていない。諫山らは、液状化予測手法のひとつである P_L 値に着目し、 P_L と液状化程度の関係より P_L と液状化被害影響との関係を影響値と評価し、液状化リスク分析手法に導入し、地盤の不確定性および損失を考慮した液状化リスクの分析手法を提案している。そこで、本研究では諫山らの研究をもとに、外力や土質条件の不確定性について、福岡県における地盤を対象に液状化層の N 値の分布について評価した。結果、地盤の不確定性を考慮した液状化リスクの分析手法を提案したものである。液状化危険度評価手法にリスク分析を用いると、対象地点における誘因外力発生の可能性、および土質特性の不確定性および損失の規模（損失率）の評価が可能であることを示した。

2. 液状化リスクの定量化手法

本文では、確率・統計的評価に基づく損失の期待値をもって式 1 のようにリスクを定義した。

$$R(x) = \sum_i P_i \cdot C_i \quad \text{式 1}$$

ここで、 P_i は、被害形態 i の年間における発生確率、 C_i は被害形態 i における損失の大きさを、物的損失や営業損失から構成される。この定式化により、事象による損失と、その事象の発生確率という不確定性をともに考慮することが可能である。さらに、誘因外力の地域性などを考慮するために、期待損失を横軸に、誘因外力の年超過確立を縦軸にとり、作成される曲線はリスク曲線とよばれる。このリスク曲線で囲まれる面積は年間における期待損失を表す。そこで、誘因外力の地域性などを考慮した年間あたりのリスク R' （年間期待損失）は式 2 で定義される。

$$R' = \int_0^{\infty} P_h(x) \sum_i \langle P_a(c_i|x) C_i \rangle dx \quad \text{式 2}$$

ここで、 P_h は誘因外力発生の年超過確率である。式 2 は、 R' があらゆる被害形態 i に関するリスクについて、誘因外力の取りうる全ての範囲を評価した値であることを示す。リスクの定義により、リスク分析では確率分析と被害分析を行う必要がある。確率分析においては、誘因外力の年超過確率を示すハザード曲線と対象地点の誘因外力に対する災害発生確率を示す脆弱性曲線を算定する。

ハザード曲線は、過去の地震履歴などのデータベースを用い、地震発生の時系列モデルや地震規模のモデル化などにより求める。また、脆弱性曲線は、地盤特性や地震特性を用いて行ったが、脆弱性曲線の算出は、モンテカルロ・シミュレーションを適用し、ある地表面最大加速度 $\alpha_{\max}$ に対する液状化発生の条件付確率 P_{α} の算定を行った¹⁾。モンテカルロ・シミュレーションにおいて、各土質特性の分布は、福岡県における地盤を対象に、液状化層の N 値の分布について評価した結果を用いた。算定にあたり岩崎ら²⁾による層全体の液状化の程度を表す液状化指数 P_L を指標として用いた³⁾。

$$P_L = \int_0^{20} F \cdot (10 - 0.5z) dz \quad \begin{cases} F = 1 - F_L (F_L < 1.0) \\ F = 0 (F_L \geq 1.0) \end{cases} \quad \text{式 3}$$

液状化発生の判断基準とした P_L 値 ($(P_L)_{lqf}$) を設定し、ある $(\alpha_{\max})_i$ (i : 想定地震動番号) において、各シミュレーション繰返し j ごとに得られた $(P_L)_{ij}$ について $(P_L)_{ij} \geq (P_L)_{lqf}$ を満たす $(P_L)_{ij}$ の個数 $Num(P_L)_{lqf}$ を求め、 $Num(P_L)_{lqf}$ の全データ数 $j_{\max}$ に対する割合を $(P_{\alpha})_i$ として用いることにより、脆弱性曲線を描いた。

3 液状化リスクのモデル解析

3.1 N 値の分布

諫山らの研究¹⁾では、 N 値の分布を正規分布と仮定して評価している。そのため、実地盤の N 値の分布について評価を行うため、福岡県建築士会出版の福岡市地盤図⁴⁾から液状化が想定される砂質土層 (N 値 0~30 回) の標準貫入試験結果 (6 地域-821 地点: 舞鶴・吉塚・天神・西新・博多駅・西公園) を取り実際の N 値の分布、平均値、標準偏差、変動係数について評価を行った。

図-1 に博多駅地区の N 値の分布状況を示す。図-1 に示すように、 N 値の分布は対数正規分布を示している。他 5 地点においても、 N 値の分布は同様に対数正規分布を示しており、砂質土層の N 値分布は対数正規分布を呈していると考えられる。全地点での標準偏差、変動係数を表-1 に示す。

そこで、表-2 の地盤 ($Z=1\text{m}$) を用いて、対数正規分布で求めた N 値の分布と、正規分布で求めた分布の比較を行った。結果を図-2 に示す。図-2 より、正規分布で N 値の分布を求めた場合、 N 値が 0 となる個所が多くなっており、全体的に地盤を過少評価していることがわかる。これは、対数分布にした場合、実際にはないマイナスの値が発生しており、これを 0 と判断しているためである。これより、正規分布で求めた fragility 曲線は、実際の液状化発生確率より、発生確率を多く評価していることが考えられる。そこで、図-2 の分布を用いて作成した fragility 曲線 ($P_L \geq 5$) を図-3 に示す。図-3 より、正規分布でもとめた fragility 曲線は、対数正規分布で求めた fragility 曲線に比べ、地表面の最大化速度が 0~100 GAL 程度の範囲でかなり液状化発生の確率が高いと計算していることがわかる。

これより、 N 値の分布を対数正規分布で求めた場合、より実地盤に近い土質特性値を用いた解析が可能であり、より信頼性の高い fragility カーブの算出が可能であると考えられる。

4. 結果と考察

本文では、諫山ら¹⁾の研究をもとに、リスクの概念を現行基準の液状化予測手法に導入し、外力や土質条件の不確定性については福岡県における地盤を対象に液状化層の N 値の分布について評価した。また、液状化予測手法のひとつである P_L 値に着目し、 P_L と液状化程度の関係より P_L と液状化被害影響との関係に影響値と評価し、液状化リスク分析手法に導入した。福岡県における地盤を対象に液状化層の N 値の分布について評価した結果、実地盤の N

値の分布は対数正規分布を示している。これより、 N 値の分布を対数正規分布で求めた場合、より実地盤に近い土質特性値を用いた解析が可能であり、より信頼性の高い fragility カーブの算出が可能であると考えられる。

参考文献: 1) 諫山亜衣ほか: モンテカルロ・シミュレーションによる液状化リスク分析手法, 土木学会論文集(投稿中)。2) 岩崎敏男: 地震時地盤液状化の程度の予測について, 土と基礎, Vol.28, No.4, pp.23-29, 1980。4) 福岡県建築士会出版: 福岡市地盤図。

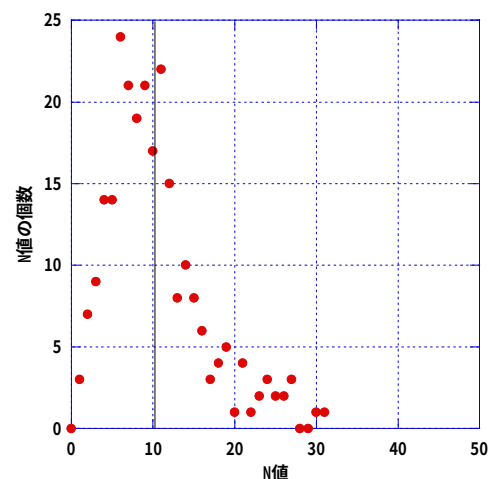


図-1 N 値分布状況(博多駅)

表-1 N 値分布状況

地域	地点数	平均 N 値	標準偏差	変動係数
舞鶴	90	10.61	5.44	0.51
吉塚	88	9.33	4.84	0.52
天神	151	10.21	6.04	0.59
西新	178	11.97	7.73	0.65
博多駅	252	10.24	5.83	0.57
西公園	62	6.32	3.97	0.63
合計	821	9.78	5.64	0.58

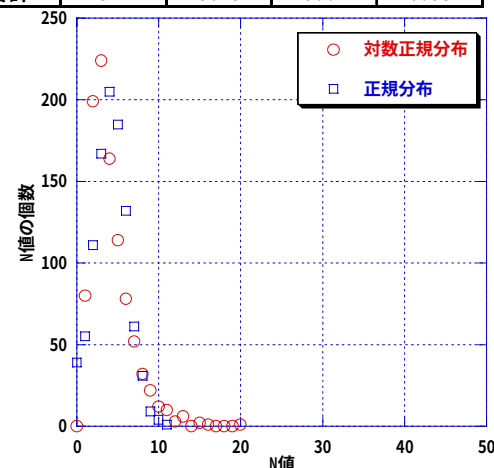


図-2 N 値分布比較

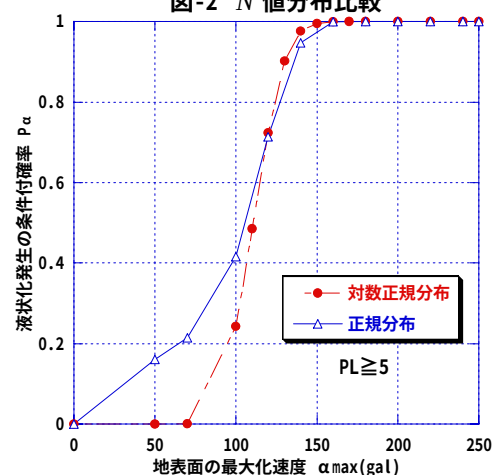


図-3 フラジリティ曲線