

I-171 表層地盤の液状化範囲発生確率の算定方法

武蔵工業大学 学生員 忽那 幸浩
武蔵工業大学 正会員 星谷 勝

1.はじめに

砂質系の表層地盤が地震時にどれくらいの広がり範囲で液状化するかを予測できれば、地中埋設管や空間的に広がりのある構造物の耐震性を検討する際に有用な情報となる。地盤はかなり複雑である上にそれを構成する土の物性は不確定的である。したがって液状化に関する研究により、現象の物理的な解釈はかなり明白となってきたが、予測を適確にしようとするとなかなか困難でもある。

地盤の物性値の統計的な変動を考慮してそれらを確率変数として扱い、既往の知見にもとづく算定式に基づいて注目地盤の地震時液状化発生確率を推定した研究がある。¹⁾しかしこれは1地点が液状化するか否かの判定はできても、その点を中心にしてどれくらいの広がりをもって液状化するかを予測することはできない。

この研究は、物性値が空間的に変動して分布する表層地盤に対して、液状化範囲を含めた形で発生確率を予測するための手法を提案するものである。ここでは仮に道路橋示方書の耐震設計編²⁾に示されている基本式を用い、また手法には、Monte Carlo Sampling 法を用いている。

2.地盤のモデル化

対象地盤は均一でなく、かなり入りくんだ複層から構成されているのが一般的であるが、上手に整合するように配慮して FIG.1 に示すように地盤をいくつかの要素に分割し、各要素には空間的にばらつきをもつように物性値を与える。ここでは簡単にするためにN値だけを確率変数とし、相関を有するものとしている。

$$\underline{X}_i = \{X_{i(1)}, X_{i(2)}, X_{i(3)}, \dots, X_{i(j)}, \dots, X_{i(nj)}\}^T$$

$$\underline{X} = \{\underline{X}_1, \underline{X}_2, \underline{X}_3, \dots, \underline{X}_i, \dots, \underline{X}_m\}^T$$

ここで、 $X_{i(j)}$: i 番目 ZONEでの地表から j 層目の要素の N 値

$\underline{X}_i$: i 番目に関する確率変数ベクトル

3.相関関数

N 値の深さ方向および水平方向の空間的相関は指数関数的に減少するものとして、相関関数が次式のように提案されている。³⁾

$$r(\Delta) = \exp(-\Delta/\lambda)$$

Δ : 要素間の距離 (m)

この研究では、 λ の値を深さ方向では1.4、水平方向では50.0と設定し、この式を目安として要素間の相関係数を決めて計算例で用いることにする。なお、要素の寸法が相関に与える効果については実例解析では考慮する必要がある。

4.液状化範囲発生確率

道路橋示方書では地盤の液状化の可能性を液状化抵抗率 F_L を用いて判定している。また柱状図を見て、地盤全体の液状化の程度を評価する液状化指数 P_L ⁴⁾ が提案されている。

これを用いると、i 番目 ZONEの P_L 値は

$$P_{Li}(\underline{X}_i | H) = \sum_{j=1}^{n_j} \int_{Z_{i(j-1)}}^{Z_{i(j)}} F_{Li(j)} w(Z) dZ \quad \dots\dots\dots (1)$$

Z : 地表面からの深さ (m)

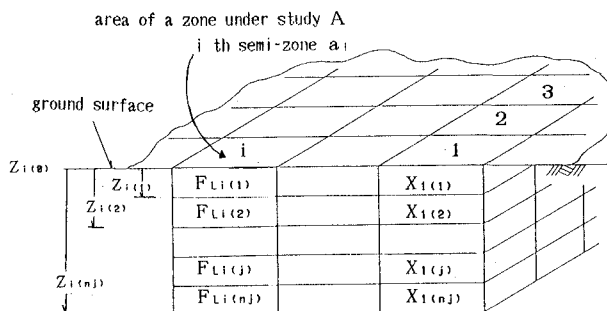


FIG.1. Model of Layered Soil

本研究では(1)式を用いて液状化確率算定のための性能関数を、 i 番目ZONEに対して次式で与える。

$$g_i(\underline{X}_i | P_L^*, H) = P_L^* - P_{Li}(\underline{X}_i | H) \quad \dots\dots (2)$$

H : 地震ハザード (本研究では地表面加速度), $P_L^* = 15$ (仮に)

次に、全面積 A のうち何%が液状化するかを示す量として f を次のように定義する。

$$f = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n I(\underline{X}_i | P_L^*, H) a_i \quad \dots\dots (3)$$

$$\text{但し} \quad I(\underline{X}_i | P_L^*, H) = 1, \quad \text{if } g_i(\underline{X}_i | P_L^*, H) \leq 0 \\ = 0, \quad \text{otherwise}$$

f^* に適当な値を設定すると、 f が f^* を越える確率 (損傷度確率) は次のように示される。

$$P(f \geq f^* | P_L^*, H) = \int J(\underline{X} | f^*, P_L^*, H) f(\underline{X}) d\underline{X} \quad \dots\dots (4)$$

$$\text{但し} \quad J(\underline{X} | f^*, P_L^*, H) = 1, \quad \text{if } f^* - \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n I(\underline{X}_i | P_L^*, H) a_i \leq 0 \\ = 0, \quad \text{otherwise}$$

ここで相関を有する任意の分布形からなる同時確率密度関数 $f(\underline{X})$ をNATAF MODEL⁵⁾によって作成し、サンプリング密度関数には $h(\underline{X})$ を用いると(4)式は次のようになる。

$$P(f \geq f^* | P_L^*, H) = \frac{1}{N} \sum_{\ell=1}^N J(\underline{X}_\ell | f^*, P_L^*, H) \frac{f(\underline{X}_\ell)}{h(\underline{X}_\ell)} \quad \dots\dots (5)$$

$\underline{X}_\ell$: $h(\underline{X})$ から抽出した ℓ 回目のサンプル値

N : シミュレーション回数

$h(\underline{X})$ を独立な密度関数群の積の形で与えれば、サンプリングが容易に実行できる。また最適な $h(\underline{X})$ が見いだされれば、いわゆる重要サンプリング法となり効率化がなされる。なお横軸に H をとり f^* をパラメータとして(5)式を表せば、FIG.2 に示す液状化の損傷度曲線が描ける。

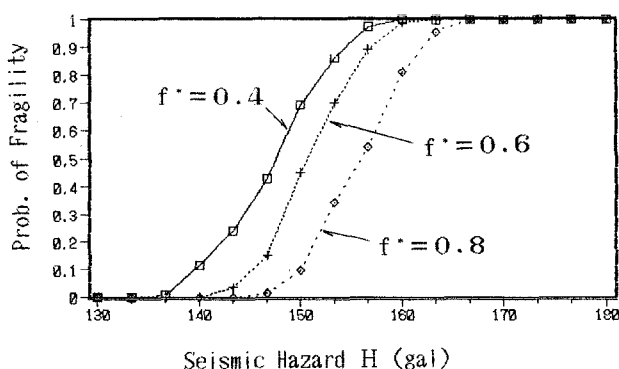


FIG.2. Fragility Curves of Liquefaction Spread

本研究は星谷が理論の定式化を、忽那が計算を行った。なお本研究は平成元年度科研費、総研(A)01302044「ウォーターフロント防災」で行ったものである。

〈参考文献〉

- 1) M. Shinozuka, et.al.; Japan-U.S. Workshop on Liquefaction, Nov. 1988, pp. 230~238.
- 2) 日本道路協会 道路橋方書・同解説 V 耐震設計編
- 3) A. Asaoka and D. A. Grivas; Jour. of Geotech. Eng., ASCE, Vol. 108, No. GT5, May, pp. 743~756, 1982.
- 4) 岩崎 他; 砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例 第5回日本地震工学シンポジウム講演会 1978
- 5) Pei-Ling Liu and Armen Der Kiureghian; Prob. Eng. Mech., Vol. 1, No. 2, pp. 105~112, 1986.