

リスク概念を取り込んだ液状化危険度評価手法に関する一考察

九州大学大学院 学生会員 諫山亜依 正会員 善 功企  
 同上 正会員 陳 光斉 正会員 笠間清伸

1. はじめに

液状化対策を効果的・経済的に実施するためには、不確定性を考慮した液状化の発生予測、液状化による被害の程度や規模および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る。本文は、液状化危険度評価にリスクの概念を導入することにより、不確定性を考慮した液状化リスクアナリシス手法について考察した。

2. 解析概要

本文では液状化発生確率に、被害額を乗じたものを液状化のリスクと定義<sup>1)</sup>し、提案する液状化のリスクアナリシスの流れを図-1に示した。地震の年超過確率を表すハザードカーブ、液状化による被害の程度を表すフラジリティカーブを元にリスクカーブを作成、検討することが本研究の主たる目的である。

本文では岩崎・龍岡の液状化指数  $P_L$  を用い  $P_L \leq 5$  となる場合を液状化発生と判断し<sup>2)</sup>、液状化発生確率を地盤定数の不確定性を考慮してモンテカルロシミュレーションにより算出した。

液状化に起因する損失の程度を表す指標はコストで表現することが現実的であるが、被害額の代替値として現時点では、「等価損失指数  $EL = P_r * C * \bar{P}_L$ 」を定義・導入した。ここで、 $P_r$  は液状化発生確率、 $\bar{P}_L$  は液状化指数の平均値、 $C$  は液状化指数の平均値と被害額に関する補正係数である。この  $C$  の表現については今後検討していくが、本文ではとりあえず  $C=1.0$  として検討を進めた。

1) 地震ハザードカーブの導出：

本文では岐阜市、名古屋市および広島市のハザードカーブを適用した。岐阜市ハザードカーブは、歴史地震記録から決定された年最大加速度分布より算出した。また、名古屋市および広島市のハザードカーブは、石川の確率論的地震危険度解析<sup>3)</sup>で提案されている最大加速度と年超過確率の関係を示したハザードカーブを用いた。

2) フラジリティ曲線の導出：

地表面最大加速度  $a_{max}$  における液状化発生確率  $P_r$  を算定するにあたって、不確定性を考慮するために土質定数の深度方向の分布モデルを式-1に仮定し、 $P_L$  を求めた。 $P_L$  値は、一万回のモンテカルロシミュレーションにて、 $\log_{10}N$ 、 $D_{50}$ 、 $\log_{10}F_c$ 、 $R$ （動的せん断強度比算出のさい使用）に乱数を与えて求め、それをもとに  $P_r$  を算定した。

解析対象地の地盤特性（土質定数）は表-1に示す<sup>3)</sup>。地盤の湿潤密度は変動が小さく確定

キーワード：不確定性、液状化、地震

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学大学院工学研究科防災地盤工学研究室 Tel：092-641-3131(8745)

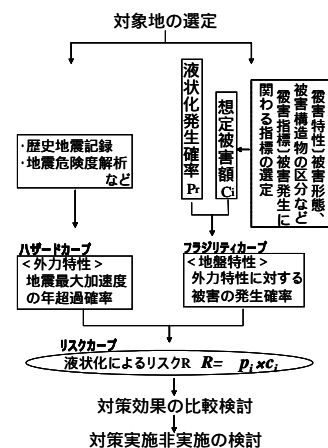


図-1 リスクアナリシスの流れ

表-1 地盤特性

変数	平均	標準偏差
$\log_{10}N$	$-2.895136 * 10^{-1} + 1.382580Z - 7.19021$ $9 * 10^{-1}Z^2 + 1.670053 * 10^{-1}Z^3$ (6次)	0.244
$D_{50}$	$0.3569298 - 0.01693042Z$	0.107
$\log_{10}F_c$	$0.7475127 + 0.05834805Z$	0.345

Z:深度〔m〕

$$Y_i = \sum_{j=0}^n a_{ij} Z^j + \varepsilon_i \quad \dots \text{式-(1)} \quad (Y_i: \text{深度}$$

Z における土質定数、 $a_{ij}$ : 回帰係数、 $\varepsilon_i$ : 平均値 0・標準偏差  $\sigma_i$  の正規確率変数) 値とし、深度 Z の関数とした。

等価損失指数 EL は、 $\max$  に対する液状化発生確率  $P_r$  と、平均  $P_L$  を乗ずることで算定した。

### 3. 解析結果および感度分析

図-2 に名古屋市・広島市・岐阜市におけるハザードカーブを示す。図-3 に、解析より得た液状化発生確率  $P_r$  を示しこれを「基本データ(PL5)」とし、 $\log_{10}N$ 、 $D_{50}$ 、 $\log_{10}F_c$  の標準偏差を2倍と1/2倍とした感度分析の結果をそれぞれ2 (パラメータ)、0.5 (パラメータ) として示した。

比較として、液状化発生の判断基準を  $P_L$  15、 $P_L$  25 とした場合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たのは2  $D_{50}$  および 0.5  $D_{50}$  であり、 $D_{50}$  のばらつきが  $P_r$  に大きく影響するといえる。

図-4 には、 $\max$  に対する等価損害指数 EL (フラジリティカーブ) を示した。比較のために液状化発生の判断基準を  $P_L$  15、 $P_L$  25 とした場合の解析結果も併記した。図-4 より、液状化発生の判断基準値が低いほうが同一  $\max$  に対して大きな等価損害指数 EL を示すことがわかる。

図-2 および図-4 を用いて得られたリスクカーブを図-5 に示す。図-5 より、各都市のリスクカーブ間の差は等価損害指数 EL が増すにつれ拡大し顕著になることがわかる。リスクはリスクカーブを積分することで得られる。各都市におけるリスクを表-2 に示した。表-2 より、名古屋・岐阜は大きなリスクを有するが、広島リスクは名古屋に比し  $\frac{1}{3}$  で 0.32、 $\frac{1}{3}$  で 0.30、 $\frac{1}{3}$  で 0.26 程度の割合でありリスクは小さいといえる。また同一都市では、液状化発生判断基準値を大きくすると、リスクは小さく算出されることがわかる。

### 4. まとめ

- 1) 損失の指標として「等価損失指数  $EL = P_r * C \bar{P}_L$ 」を定義・導入した。液状化発生の判断基準値  $P_L$  5、 $P_L$  15、 $P_L$  25、の3ケースについて検討を行い、 $C=1$  では液状化発生の判断基準値(本稿では  $P_L$ )が高いほどリスクが小さく算出されることを確認した。
- 2) 液状化発生の判断基準値およびその指標について、今後検討していく。

参考文献 2)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 2)岩崎敏男,地震時地盤液状化の程度予測について,土と基礎,1980 3)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 3)石川裕:確率論的想定地震と低頻度巨大外力評価への応用に関する研究, 1998

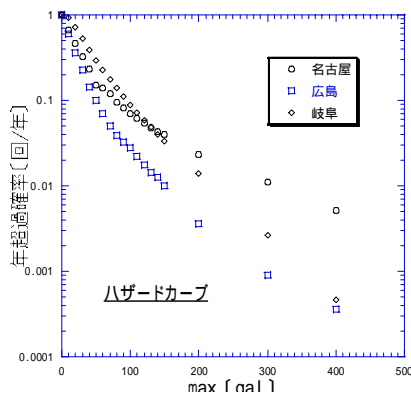


図-2 地震最大加速度の年超過確率  $P_r$

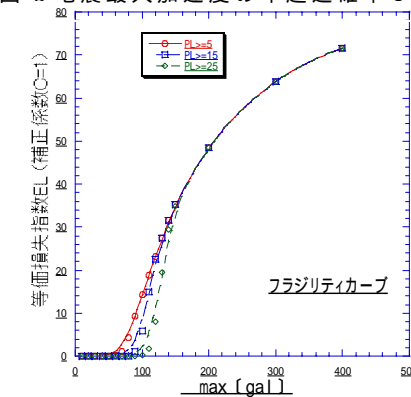


図-4  $\max$  に対する等価損失指数

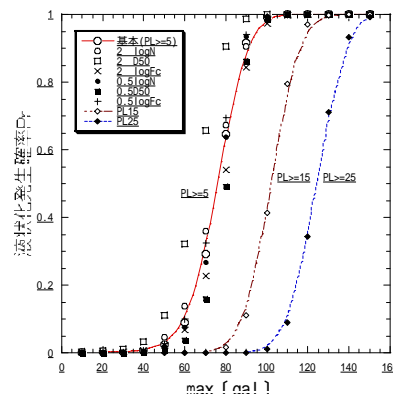


図-3  $\max$  に対する液状化発生確率

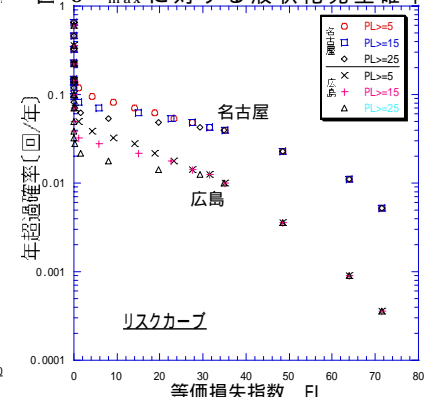


図-5 EL に対する年超過確率

表-2 各ハザードに対するリスク

	リスク		
	$P_L \geq 5$	$P_L \geq 15$	$P_L \geq 25$
名古屋	3.18	2.85	2.52
広島	1.04	0.87	0.68
岐阜	3.49	2.87	2.26