

## 固化処理地盤の液状化リスク分析について

九州大学大学院 正会員 ○笠間清伸, 善 功企, 陳 光斉

### 1. はじめに

地盤の液状化対策の一つに、事前混合処理のように地盤内に固化材を混合することで、液状化強度を向上させる工法が開発されている。しかし、様々な要因により、せん断弾性係数や液状化強度などの地盤諸係数に空間的な不均質性が生じることが報告されている。このような地盤物性の空間的な不均質性に起因して、地震時に局所的な液状化やせん断破壊が生じ、地盤の支持力や破壊モードに影響すると予想される。本文では、固化処理地盤の地盤物性の不均質性を考慮した非線形地震応答解析によるモンテカルロシミュレーションから得られた液状化確率をもとに、地震外力の地域特性や不確定性、ならびに局所的な液状化に起因する経済損失を考慮した固化処理地盤の液状化リスク分析手法の提案を行った。

### 2. 液状化リスク分析手法

本文において、定義する液状化リスク  $R$ (年間の損失期待値)は、液状化の年間における発生確率を  $P$ 、液状化に起因する損失の大きさを  $C$  とし、式(1)のように定義した。このリスク指標を用いて、液状化に起因する社会の経済損失額の期待値を評価した。図-1に、本文で用いた液状化リスク分析フローを示す。

$$R = \sum P \times C \quad (1)$$

リスク分析では、確率分析と被害分析を行う必要があり、確率分析は、対象地域における地震外力  $\alpha_{max}$  の年超過確率  $P_{\alpha_{max}}$  を表すハザード曲線を求めたのち、液状化の年間発生確率  $P$  を算出する。

$$P = P_r[F_L < 1.0 | \alpha_{max}] \cdot P_{\alpha_{max}} \quad (2)$$

ここで  $P_r[F_L < 1.0 | \alpha_{max}]$  は、地震外力  $\alpha_{max}$  を条件とした液状化の発生確率を表し、一般に地震外力  $\alpha_{max}$  と条件付き液状化発生確率  $P_r[F_L < 1.0 | \alpha_{max}]$  の関係は脆弱性曲線とよばれる。

被害分析では、液状化地盤および地盤上にある構造物が全壊したときの最大被害額  $C_0$  を基準にして、その被害の程度を表す被害率  $K$  を乗じることで被害額の評価を試みた。さらに被害率  $K$  は、地盤の液状化割合  $V[F_L < 1.0]$  に応じて決定されるとした。

$$C = K(V[F_L < 1.0]) \cdot C_0 \quad (3)$$

以上のような確率分析と被害分析を経て、式(4)により液状化リスクを計算できる。

$$R = P_r[F_L < 1.0 | \alpha_{max}] \cdot P_{\alpha_{max}} \cdot K(V[F_L < 1.0]) \cdot C_0 \quad (4)$$

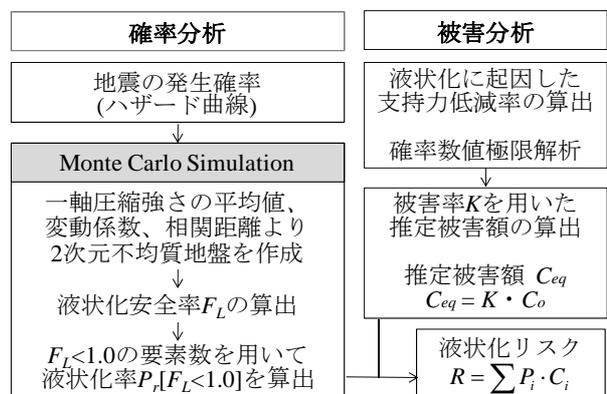


図-1 液状化リスク分析フロー

表-1 解析条件

一軸圧縮強さ	$\mu_{qu}$	kPa	50, 100, 200
	$COV_{qu}$		0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0
自己相関距離	$\theta$	m	random
ポアソン比	$\nu$		0.33
密度	$\rho$	t/m <sup>3</sup>	1.89
減衰定数	$h$		0.15
内部摩擦角	$\phi$	°	30
単位体積重量	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18.5
有効単位体積重量	$\gamma'$	kN/m <sup>3</sup>	8.5

一般に地震外力  $\alpha_{max}$  の年超過確率  $P_{\alpha_{max}}$  と期待損失額  $C$  の関係を示したのがリスク曲線であり、リスク曲線を利用して年間に生じる経済損失額の期待値として地盤の安全性・性能を評価できる。

本文では、固化処理系の液状化対策地盤を対象とし、表-1 に示すような一軸圧縮強度の不均質性に着目して、二次元有限要素法を用いたモンテカルロシミュレーションにより液状化確率および液状化割合の解析ならびにその結果を用いたリスク分析を行った。

液状化, 固化処理, リスク

〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 九州大学ウエスト 2 号館 11 階 1111 号室 TEL:092-802-3383

3. 分析結果と考察

図-2 に、東京、大阪および福岡の地震ハザード曲線を示す。本文では、地震の不確実性や地域特性を評価するために、石川ら<sup>1)</sup>が提案した地震ハザード曲線を回帰近似して用いた。

図-3 に、最大入力加速度と液状化率の関係を示す。液状化率は、最大入力加速度 $\alpha_{max}$ が大きくなるにつれて増加した。最大入力加速度 $\alpha_{max} = 150gal$  のとき、均質地盤では液状化の可能性はほとんどなかったが、不均質性の非常に大きな地盤( $COV_{qu} = 1.0$ )では、地盤全体の 11.5%が液状化する結果となった。

被害率の決定に際して局所的な液状化に起因する地盤の支持力低減に着目し、液状化割合  $V[F_L < 1.0]$  と被害率  $K$  の関係を図-4 のように提案している<sup>2)</sup>。液状化割合が 10%まで増加すると、被害率は急激に増加した。この結果から、わずかな液状化が地盤の支持力に大きな影響を与えることがわかる。

図-5 に、一軸圧縮強さの変動係数と年間液状化リスクの関係を示す。図中には、年間液状化リスクの平均値と標準偏差より計算した 90%信頼区間を示した。年間液状化リスクは、一軸圧縮強さの変動係数が大きくなるにつれて増加し、その増加率は、平均強度が高いほど大きくなった。たとえば、平均強度 50kPa の地盤では、変動係数の影響による年間液状化リスクの差は、ほとんど生じなかった。しかし、平均強度 200kPa の地盤では、最大で 7.2 倍の差が生じた。また、年間液状化リスクは、平均強度が増加すると、大きく低減した。変動係数  $COV_{qu} = 1.0$  の年間液状化リスクを比較すると、200kPa の固化処理地盤は、平均強度 100kPa の固化処理地盤に比べて、約 44% の年間液状化リスクを低減することができる。

4. まとめ

本文では、固化処理系の液状化対策地盤の強度の不均質性が液状化リスクに与える影響を定量的に評価した。液状化リスクは、地盤強度の変動係数よりも平均強度に大きな影響を受け、平均強度を 100kPa から 200kPa に増加させることで、約 44% の年間液状化リスクを低減できると推定される。

【参考文献】1) 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，京都大学学位論文，1998。  
 2) 忽那惇，善功企，陳光斉，笠間清伸：局所的液状化を考慮した砂地盤の支持力解析，第 8 回地盤改良シンポジウム論文集，pp.237-240，2008。

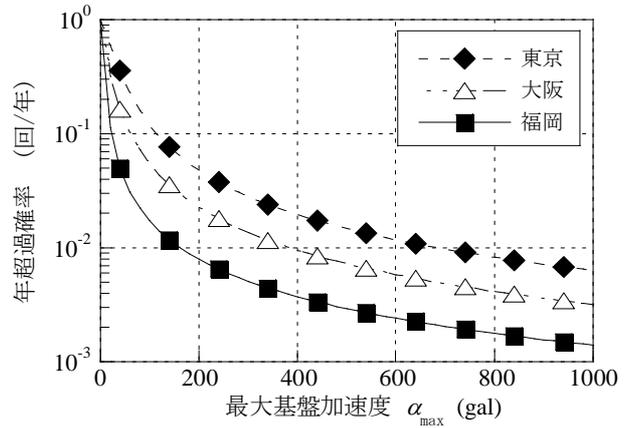


図-2 ハザード曲線

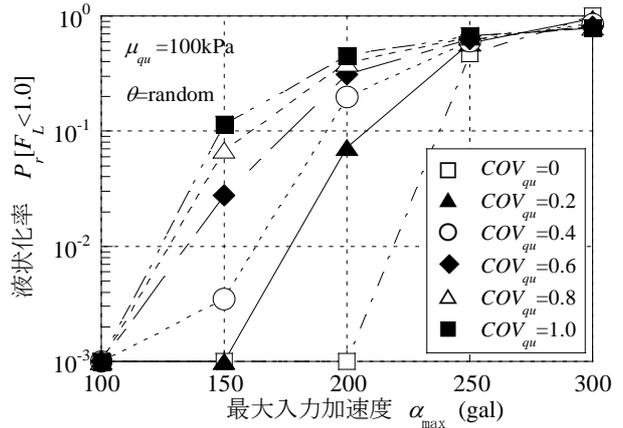


図-3 フラジリティ曲線

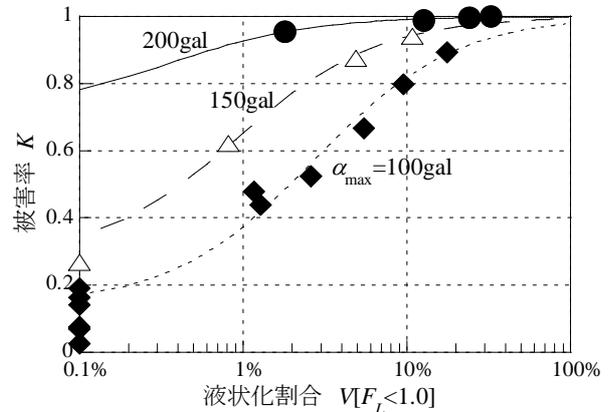


図-4 被害率の関係

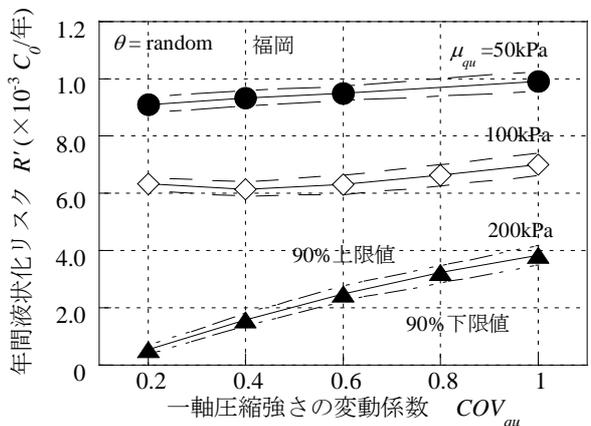


図-5 年間液状化リスク