

地盤改良の不良率に着目した液状化リスク分析

九州大学工学部 学生会員○稲富 祐太郎

九州大学大学院 フェロー 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 笠間 清伸

1. はじめに

地盤の液状化対策の一つとして、事前混合処理工法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ある。このようにして改良した液状化対策地盤は、固化材の混合の不均一性および対象地盤の土質の不均一性などが要因となり、せん断弾性係数や液状化強度に空間的不均質性を有する。このような空間的不均質性に起因して地震時に局所的な液状化が発生し、地盤の支持力や破壊モードに影響すると予想される。そこで本文では、空間的不均質性に起因して生じる目標改良強度を下回る地盤の空間占有率に着目し、液状化対策地盤の液状化リスク分析を行った。

2. 解析概要

地盤の非線形地震応答解析には、地震応答プログラム *FLIP* を使用した。土の応力-ひずみとして、双曲線モデルを組み合わせたマルチスプリングを用いた。地盤物性の空間的な不均質性が応答におよぼす影響の対象領域として、高さ 20m、幅 20m、要素サイズ 1.0m×1.0m(要素数：400 個、節点数：441 個)と設定した解析地盤モデルを図-1 に示す¹⁾。また、表-1 に解析条件を示す。

本文では液状化リスク R (液状化に起因する年間の損失期待値)を、年液状化発生確率 P 、液状化に起因する被害額 C を用いて、式(1)のように定義した。期待損失率は、最大被害額 C_0 に対する被害額 C の割合を意味する。

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

図-2 に、液状化リスク分析フローを示す。

液状化の確率分析では、対象地域における地震外力 α の年超過確率 P_α を表すハザード曲線から地震の発生確率 $p(\alpha)$ を式(2)により算出した。ハザード曲線は、「建築物荷重 2004 年度版」²⁾に記された諸係数を用いて算出した。

$$p(\alpha) = -\frac{dP_\alpha}{d\alpha} \quad (2)$$

さらに、年液状化発生確率 P を式(3)のように定義した。

$$P = P_r \times p(\alpha) \quad (3)$$

ここで、 P_r は、地震外力 α が発生した条件の下での液状化の発生確率である。

被害分析では、局所的な液状化に起因する地盤の支持力低減に着目し、上部構造物が全壊したときの最大被害額 C_0 を基準にして、被害率 K を乗じることで被害額 C を式(4)のように定義した。

$$C = K \times C_0 [P_r] \quad (4)$$

ただし本文では、著書らの研究グループが液状化率と被害率の関係を定量化することを目的に別途実施した、液状化後の地盤を剛塑性体でモデル化し確率数値極限解析を通して得られた研究成果³⁾を利用した。

最終的には、以下の式を用いて液状化リスクを算出した。本文では、目標改良強度を下回る地盤の空間占有率を不良率と呼ぶ。

$$R = \{P_r \times p(\alpha)\} \times \{K \times C_0 [P_r]\} \quad (5)$$

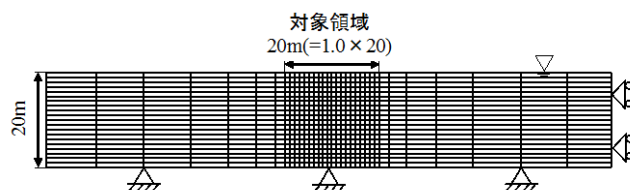


図-1 解析地盤モデル

表-1 解析条件

一軸圧縮強度	μ_{qu}	kPa	50, 100, 200
	COV_{qu}		0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0
自己相関距離	Θ	m	random, 2, 5, 10
ポワソン比	ν		0.33
密度	ρ	t/m ³	1.89
最大減衰定数	h_{max}		0.15
内部摩擦角	ϕ	°	30
単位体積重量	γ	kN/m ³	18.5
有効単位体積重量	γ'	kN/m ³	8.5

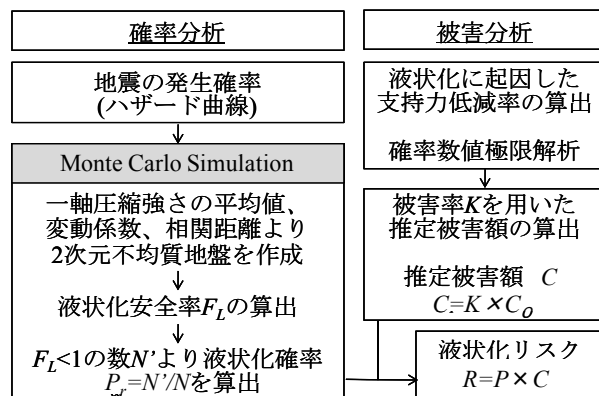


図-2 液状化リスク分析フロー

3. 液状化リスク分析結果

図-3 に、福岡、大阪および東京の地震ハザード曲線を示す。本文では、福岡のハザード曲線を用いて解析した。

図-4 に、福岡における年液状化発生確率 P と不良率の関係を示す。年液状化発生確率 P は、不良率が大きくなるほど大きくなった。地震外力 250gal までは、地震外力 α が大きくなるにつれて、年液状化発生確率 P は増加した。地震外力 300gal では、不良率 5%以上において年液状化発生確率 P の増加の割合が小さくなった。これは、地震外力 300gal の地震の年発生確率が 250gal 以下と比べて小さいためと考えられる。

図-5 に、不良率と被害率 K の関係を示す。被害率 K は、不良率が増加するにつれて増加した。地震外力 300gal において、被害率 K は約 40%に収束することから、地震外力 300gal における液状化の被害率 K の最大値は約 40%と判断できる。

図-6 に、福岡を想定した設計強度 200kPa の固化処理地盤における液状化リスク曲線を示す。同じ年超過確率が比較すると、不良率が大きいほど、損失率が大きくなった。例えば、年超過確率が 0.2×10^{-2} 回/年では、不良率が 34%の地盤は、期待損失率 14% 程度であるが、不良率が 0% では、ほぼ被害を受けないことが分かる。

4. 結論

改良地盤を対象に、地盤改良の不良率に着目した液状化リスク分析を行った。得られた結論を以下に示す。

- (1) 年間液状化発生確率は、不良率が大きくなるとともに増加した。ただし、地震外力がある一定の値を超えると、地震の発生確率が小さくなるため、年液状化発生確率も減少した。
- (2) 液状化の被害率は、不良率が大きくなるとともに増加した。ただし、地震外力 300gal において、被害率が 40%に収束することから、液状化による最大被害率は約 40%だと判断できる。
- (3) 年超過確率が 0.2×10^{-2} 回/年では、不良率が 34%の地盤は、期待損失率 14%程度を有するが、不良率 0% では、ほぼ被害を受けないことが分かる。

(参考文献) 1) 片岡範夫：地盤物性に空間的不均質性を有する固化処理地盤の液状化リスク，自然災害科学研究西部地区部会報，2010。 2) 建築学会，建築物荷重指針・同解説，2004。 3) 笠間清伸，善功企，陳光斎，久米英輝：確率数値極限解析を用いた固化処理地盤の地震時支持力特性，第9回地盤改良シンポジウム論文集，pp345-350，2010。

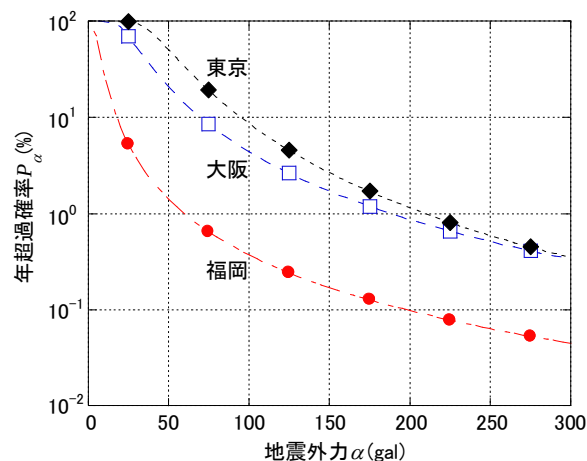


図-3 地震ハザード曲線(福岡, 大阪, 東京)

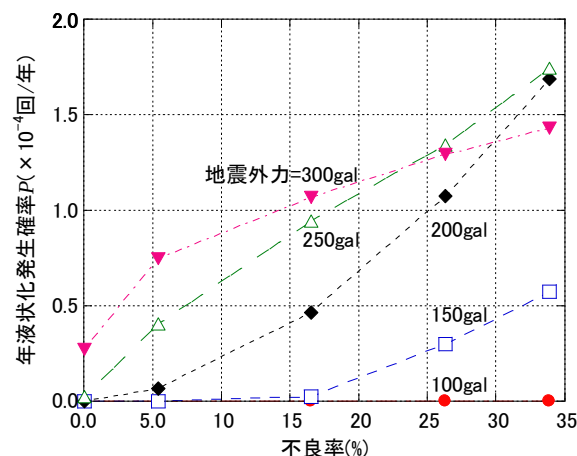


図-4 年液状化率と不良率(福岡)

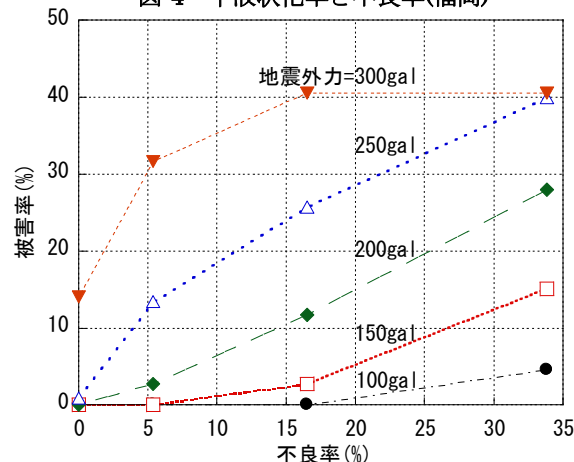


図-5 被害率 K と不良率の関係

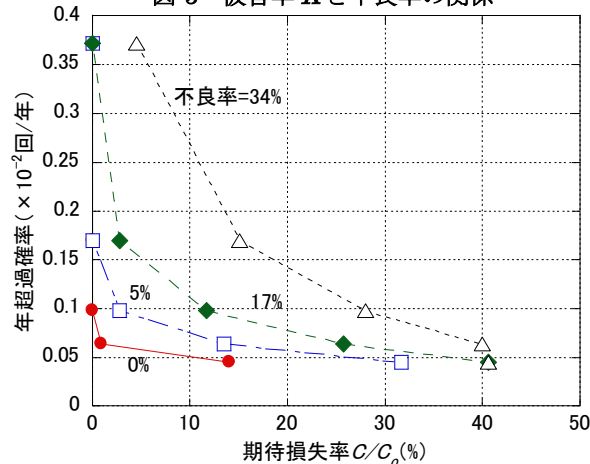


図-6 福岡における液状化リスク曲線