

液状化リスク分析に基づく目標地盤改良強度の検討

九州大学大学院 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 笠間 清伸
九州大学大学院 正会員 陳 光斉

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加えることで強度を向上させる工法がある。しかし、このような対策地盤には固化材の混合の不均一性や対象地盤の土質の不均質性が要因となり、強度に空間的不均質性が生じる問題がある。このような問題により、地震時に地盤内に局所的な液状化が生じると予想される。そこで本文では、地盤の不均質性を考慮した液状化リスク分析を行い、液状化対策における総費用を考慮した目標地盤改良強度の推定を試みた。

2. 解析概要

本文では、液状化対策における初期費用 C_I に供用 t 年間に予想される期待損失額 $C_F(t)$ を加えることによって、総期待費用額 $C_T(t)$ を式(1)より算出し、総費用最小化理論¹⁾を用いて最適地盤改良強度の推定を試みた。

$$C_T(t) = C_I + C_F(t) \quad (1)$$

初期費用 C_I は、構造物の総建設費用 C_0 に対する割合として λC_0 (λ を初期費用比と呼ぶ) と表す。また、期待損失額 $C_F(t)$ は、液状化に伴って 1 年間に発生する期待損失額(以下、年間液状化リスク AR)に基づき、以下の式で表す。

$$C_F(t) = \sum_{i=1}^t \frac{AR}{(1+r)^i} \quad (2)$$

最終的に、総期待費用額 $C_T(t)$ を以下の式を用いて算出した。

$$C_T(t) = \lambda \cdot C_0 + \sum_{i=1}^t \frac{AR}{(1+r)^i} \quad (3)$$

年間液状化リスクを決定する液状化リスク分析では、液状化リスク R を、液状化発生確率 P および液状化に起因する被害額 C を用いて、式(4)のように定義した。

$$R = P \times C \quad (4)$$

図-1 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、地震の発生確率 $p(\alpha)$ を「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。

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。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-2 に示す³⁾。表-1 には、解析条件を示す。そして、液状化率 $P_r[F_L < 1 | \alpha]$ を式(5)のように定義した。

$$P_r[F_L < 1.0 | \alpha] = \frac{\text{Number}[F_L < 1.0]}{\text{Number}[\text{element}]} \times 100(\%) \quad (5)$$

液状化率 $P_r[F_L < 1 | \alpha]$ とは、モンテカルロ・シミュレーションにより算出した空間的な液状化の発生割合である。

被害分析では、構造物の総建設費用 C_0 を基準にして、被害率 K を用いて被害額 C を式(6)のように定義した⁴⁾。

$$C = K[P_r[F_L < 1.0 | \alpha]] \times C_0 \quad (6)$$

最終的に式(7)を用いて液状化リスク R を算出し、積分することで年間液状化リスク AR を算出した。

$$R = P_r[F_L < 1 | \alpha] \times \{K \times C_0 [P_r[F_L < 1.0 | \alpha]]\} \quad (7)$$

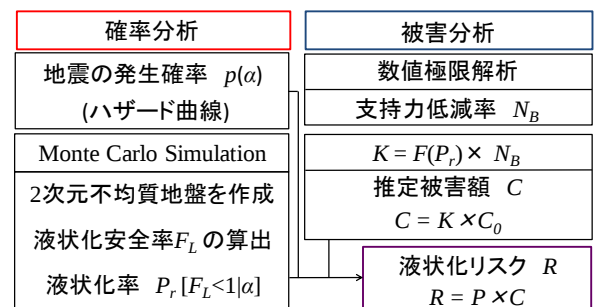


図-1 液状化リスク分析フロー

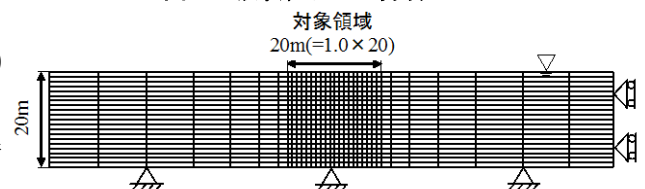


図-2 解析地盤モデル

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

3. 液状化リスク分析結果

液状化対策における目標改良強度を検討するために、**図-3**に東京を対象とした均質地盤の総費用 $C_T(t)$ を示す。初期費用比 λ は、100kPa を基準として初期費用の 1 次関数と仮定した。東京を対象とした目標改良強度は、初期費用比 λ が 1% の場合 200kPa、2%~5% の場合 150kPa となった。以後、本文では東京を対象とし、目標改良強度が 150kPa の場合について述べる。

図-4 に液状率 $P_r[F_L < 1 | \alpha]$ の結果を示す。ここで割増係数とは、目標改良強度に対する設計改良強度の比である。本文では、地盤のばらつきは対数正規分布に従うものとした。液状化率 $P_r[F_L < 1 | \alpha]$ は、割増係数が大きくなるほど減少した。

図-5 に液状化リスク曲線の結果を示す。液状化リスクは割増係数によらず、年超過確率が小さくなるほど減少した。

図-6 に東京における液状化対策における総費用 $C_T(t)$ の結果を示す。総費用は、いずれの初期費用比においても設計強度を割り増すほど減少した。つまり、東京において液状化対策を行う場合、強度を割り増して改良を行う必要がある。

4. 結論

本文では、液状化対策の最適地盤改良強度の推定を試みた。得られた結論を以下に示す。

- 1) 目標改良強度は初期費用比が大きくなるほど小さくすべきである。東京において初期費用比が 2~5% の時、最適地盤改良強度は 150kPa である。
- 2) 地盤の液状化の発生割合は、設計強度を増大させるほど小さくなった。地震外力 300gal で比較すると、割増係数 0.3 では 95%，1.2 では 50% である。
- 3) 東京での液状化リスクは、年超過確率が 0.05 回/年、つまり再現期間が 50 年の液状化を想定した場合、割増係数が 0.3 の地盤の液状化リスクは、最大被害額 C_0 の 15% 程度を有する。一方、割増係数が 1.3 の改良地盤はほぼ被害を受けない。
- 4) 東京における液状化対策の総費用は、設計強度を割り増すほど減少した。東京において、液状化対策を行う場合、強度を割り増す必要がある。

〈参考文献〉 1) 西村伸一，清水英良：期待総費用最小化理論に基づく干拓堤防の最適液状化対策，地盤工学会誌，pp27-29，2003
 2) 建築学会，建築物荷重指針・同解説，2004。 3) 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。 4) 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。

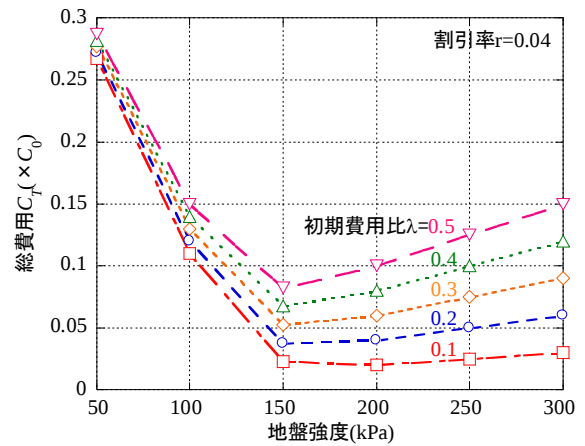


図-3 均質地盤における総費用(東京)

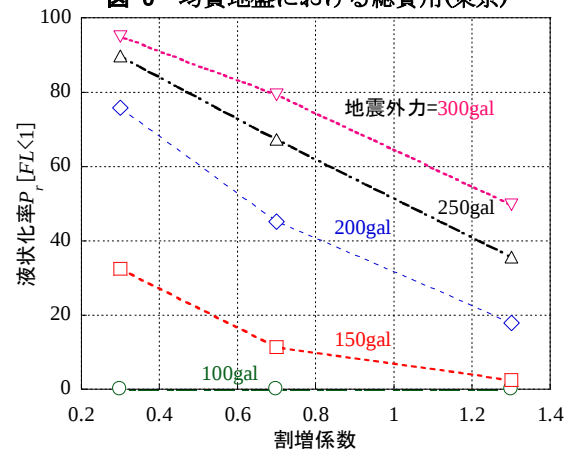


図-4 液状化率

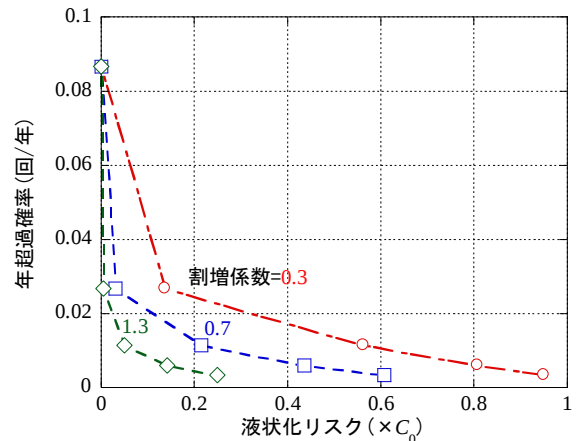


図-5 液状化リスク曲線(東京)

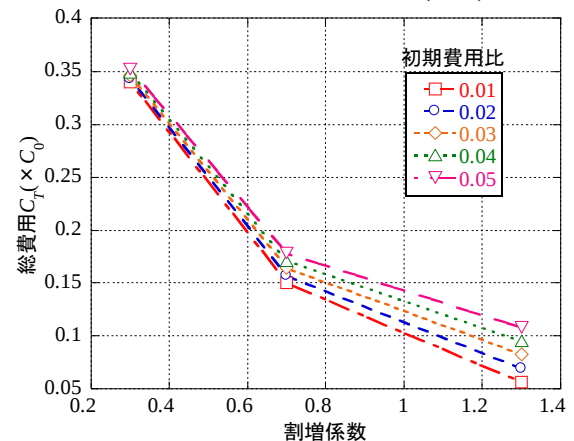


図-6 総費用曲線(東京)