

非線形地震応答解析による固化処理地盤の液状化リスクに関する信頼性解析

九州大学大学院 学生会員○片岡 範夫 九州大学大学院 フェロー会員 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. 目的

地盤改良の一種である固化処理工法の中に、事前混合処理工法があり、支持力改善や液状化対策などを目的として広く普及している。固化処理工法は、施工性や経済性で有利であり、特に港湾構造物の周辺で施工されることが多い。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。このような地盤係数の空間的不均質性に起因して、地震時において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、鉛直方向に地盤定数の空間的不均質性をもつ固化処理地盤を、一次元有限要素法によりモデル化し、非線形地震応答解析によるモンテカルロ・シミュレーションをもとに、確率統計的に液状化を評価した。

2. 解析概要

非線形地震応答解析では、一次元有限要素法を用い、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クスプリング¹⁾を用いた。地盤は、全層の厚さを 20m、一層あたりの厚さを 0.5m の一次元水平成層地盤とした。解析条件を、表-1 に示す。入力地震加速度は、福岡県西方沖地震において建設技術研究所九州支店の地下 65m 地点で観測された南北方向の加速度波形を用いた。最大振幅を 100, 200, 300, 400 および 500gal に調整した。

液状化安全率 F_L を地盤の液状化を判定する指標として用い、液状化安全率 F_L の評価に必要な入力定数は固化処理地盤の一軸圧縮強度の統計値から計算した。 F_L は、液状化に対する地盤要素の安全性を表わす指標であり、 $F_L = R/L$ で与えられる。ここで、 R は地盤要素が有する繰返しせん断強度比であり、事前混合処理工法技術マニュアル²⁾より求めた q_u と R の関係式(1)より算出した。

$$R = 0.0025 \cdot q_u + 0.24 \quad (1)$$

各層に作用する繰返しせん断応力比 L を評価するために、各層のせん断波速度 V_s を地盤の一軸圧縮強度 q_u から以下に示す関係式(2)を用いて計算し、地震応答解析を行った。解析結果から得られた各深度における応答加速度の最大値 $\alpha_{\max}$ より式(3)³⁾で算出した。

$$V_s = 10^{2.26} \cdot (q_u)^{0.21} \quad (2); \quad L = \frac{\alpha_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \quad (3)$$

モンテカルロ・シミュレーションを 500 回行うことにより、液状化が発生する空間割合 $P_r[F_L < 1.0]$ (本文では、液状化ポテンシャルと呼ぶ)を算出し、地盤定数の不均質性による影響を考察した。

キーワード 液状化, 不均質性, 地震応答

連絡先

〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 防災地盤工学研究室 TEL 092-802-3383

表-1 解析条件

一軸圧縮強度	μ_{qu}	kPa	25, 50, 100, 200
	COV_{qu}		0.2, 0.4, 0.6, 0.8
自己相関距離 LL		m	0.001, 1, 5, 10
ポワソン比 ν			0.33
密度 ρ		t/m ³	1.89
減衰定数 h			0.12
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

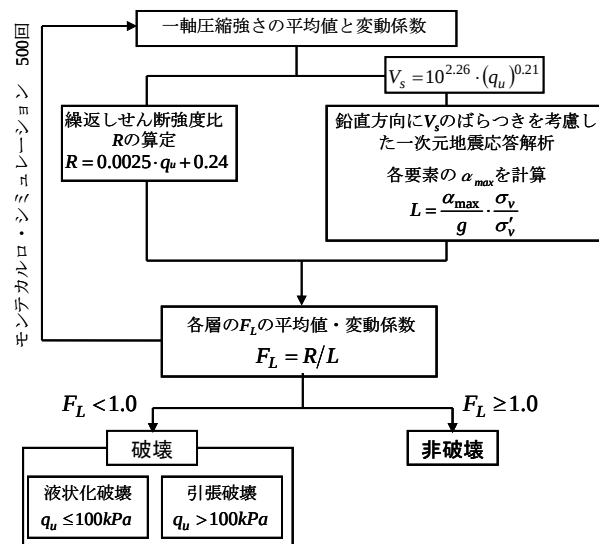


図-1 解析フローチャート

3. 結果および考察

地盤係数の不均質性が、液状化判定に与える影響を考察するために、図-2に、液状化安全率の深度分布を示す。

ここで、 $\mu_{qu} = 100\text{kPa}$ 、 $COV_{qu} = 0.6$ 、 $LL = 0.001\text{m}$ とする。図中には、入力基盤加速度 300gal における F_L が取り得る範囲を平均値 $\pm$ 標準偏差($\mu_{FL} \pm S.D.$ と表記)として示す。また、 F_{Luni} は、地盤を均質な地盤係数を有すると仮定した地震応答値から得られた液状化安全率である。

$F_L = 1.0$ となる深度を比較すると、均質地盤は、約 1.5m であったが、不均質性を有する地盤は、約 3.0m であった。これより、地盤係数の空間的不均質性を考慮することにより、均質地盤と仮定した場合よりも、深度方向に液状化の危険性が増す可能性が示唆される。

鉛直自己相関距離が、液状化ポテンシャルに与える影響を考察するために、図-3に、深度 5m 以浅における液状化ポテンシャルの深度分布を示す。ここで、地盤条件は、図-2と同様である。鉛直自己相関距離の違いによって生じた液状化ポテンシャルの差は最大で 5.4% 、平均で 2.2% であり、影響はほとんど見られなかった。これより、本文では、 $LL = 0.001\text{m}$ と設定することで、液状化判定を危険側に考える。

液状化ポテンシャルを用いて、液状化対策地盤の信頼性評価を簡易に行うために、図-4に、液状化安全率 F_{Luni} と液状化ポテンシャルの関係を示す。従来は、 $F_L > 1.0$ であれば危険性がないと判断されたが、地盤強度に大きな不均質性を有する地盤では、 $F_{Luni} = 1.0$ のとき、一軸圧縮強度の変動係数によらず、 $P_r[F_L < 1.0] \approx 60\%$ であり、液状化の危険性があると判断できた。また、地盤の不均質性が大きい($COV_{qu} > 0.4$)場合、 $P_r[F_L < 1.0]$ を 10% 以下にするためには、安全側にとると、 $F_{Luni} \approx 1.75$ 以上に設定する必要がある。

4. 結論

結論をまとめると以下のようになった。

1) 一軸圧縮強さの変動係数の大きさにより、液状化安全率が $F_L < 1.0$ となる深度が深くなり、深度方向に液状化の危険性が広がった。2) 本文の解析では、鉛直自己相関距離の違いにより生じる液状化ポテンシャルの差は平均で 2.2% であり、影響は小さかった。3) 地盤係数の不均質性を考慮しない液状化判定では、 $F_{Luni} = 1.0$ のとき、一軸圧縮強度の変動係数によらず、 $P_r[F_L < 1.0] \approx 60\%$ であり、液状化の危険性があると判断できた。

参考文献：1)Iai, S., Matsunaga, Y., Kameoka, T., (1990): "Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility", Report The Port And Harbour Research Institute, Vol.29, No.4. 2) (財)沿岸開発技術研究センター編 (1999): 事前混合処理工法技術マニュアル, pp.73-75. 3) 笠間清伸, 善功企, 陳光斉, (2007): "固化処理砂地盤の材料定数のばらつきを考慮した液状化ポテンシャル", 土木学会地震工学論文集, Vol.29

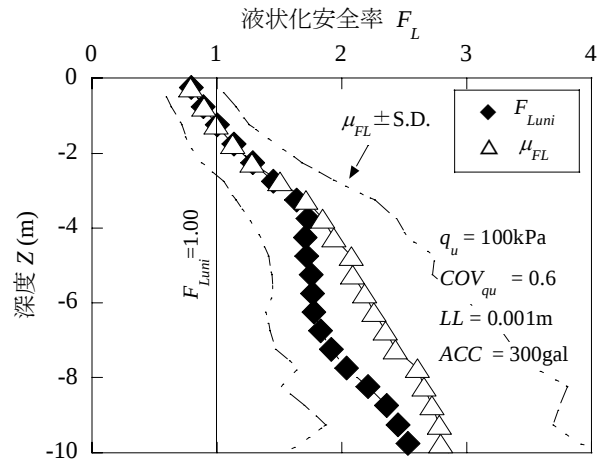


図-2 液状化安全率の深度分布

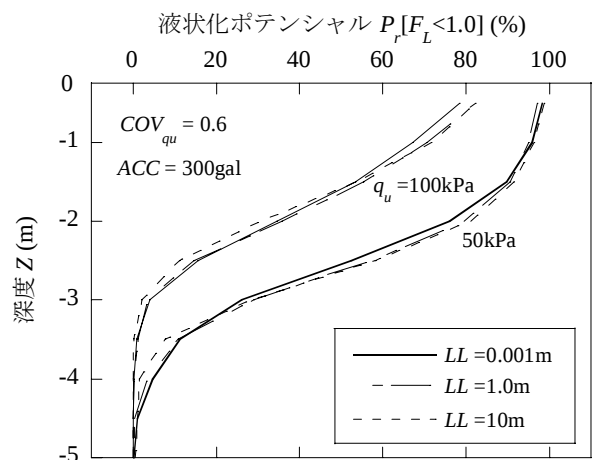


図-3 自己相関距離が液状化ポテンシャルに与える影響

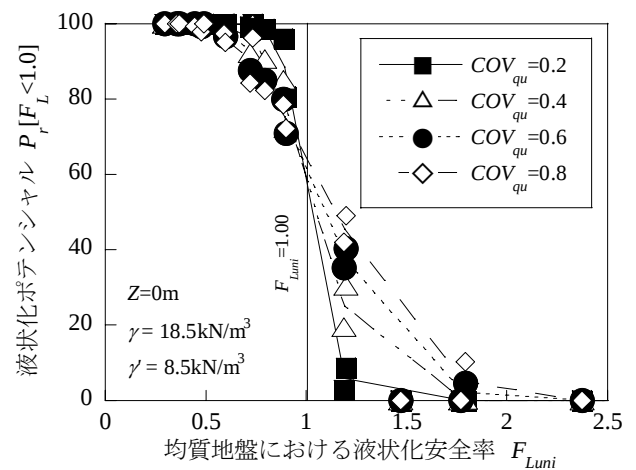


図-4 液状化ポテンシャルと液状化安全率の関係