

固化処理地盤の液状化ポテンシャルに与える割増係数および不良率の影響

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

地盤の液状化対策の一つに、事前混合処理や浸透固化処理のように地盤に固化材や薬液を混合・注入して地盤を固化する工法が開発されている。実際に施工された固化処理地盤では地盤の不均質性や混合の不均一性などの要因によって、液状化強度に空間的ばらつきが生じることが報告されている。地盤の液状化強度に空間的なばらつきが存在する場合には、地震時において液状化強度の小さい箇所が局所的に液状化し、地盤の支持力や、破壊モードに影響があると予想される。そのため、実際の施工では、改良目的や混合方法を総合的に判断し、設計基準強度に対して原位置目標強度の割増を行い、設計基準強度を下回る強度の割合(不良率)を減らしている。しかし、原位置目標強度を増加させることは、施工コストの増加につながるため、不良率許容値や、割増係数の具体的な数値の設定が必要である。本文では、固化処理地盤を一次元有限要素法によりモデル化し、地盤定数の空間的ばらつきを考慮した非線形地震応答解析によるモンテカルロ・シミュレーションをもとに、地盤の液状化ポテンシャルの評価を行い、固化処理地盤の信頼性評価を行った。

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チスプリング¹⁾を用いた。地盤は、全表層の厚さを 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。地盤条件を、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, 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 と地盤の一軸圧縮強度 q_u を以下に示す関係式(2)³⁾から計算し、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)で算出した。

$$V_s = 10^{2.26} \cdot (q_u)^{0.21} \quad (2)$$

$$L = \frac{\alpha_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \quad (3)$$

本文では、 $F_L < 1.0$ かつ $q_u < 100 \text{ kPa}$ の時に地盤が液状化、 $F_L < 1.0$ かつ $q_u > 100 \text{ kPa}$ のとき、せん断破壊するとした。

3. 結果および考察

図-1 に、事前混合処理工法により改良された固化処理地盤における室内強度と同じ配合条件での原位置強度の比(以降、強度比)をまとめた。以降、原位置強度が室内強度を下回る割合を不良率と呼ぶ。また、横軸の割増係数

表-1 空間的ばらつきを表す物性値

設計基準強度 q_u	kPa	25, 50, 100, 200
一軸圧縮強度の変動係数		0.2, 0.4, 0.6, 0.8
鉛直自己相関距離	m	0.001
ボワソン比 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

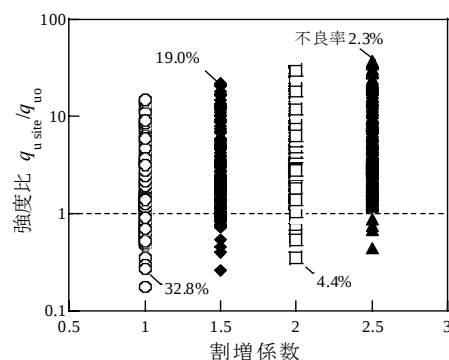


図-1 強度比と割増係数および不良率

とは、原位置強度がばらつきを有することを考慮し、あらかじめ原位置における目標強度を割増し、不良率を低減させる補正係数である。

図-2 に、深度 10m 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、設計基準強度 100kPa、変動係数 0.6、入力地震加速度を、100, 300 および 500Gal とした。固化処理地盤における地盤定数のばらつきを、確率統計的に評価することで、地盤が液状化およびせん断破壊する空間割合を表現した。また、ばらつきを考慮することで、局所的な液状化による影響も考えることができる。

図-3 に、液状化ポテンシャルと割増係数の関係を示す。ここで、設計基準強度 100kPa、入力地震加速度 300Gal、深度 1.5m とした。割増係数を増加させると、液状化ポテンシャルは低減したが、その低減率は、変動係数が小さいほど顕著であった。また、図中には、図-1 に示した原位置で観測された強度比の変動係数をもとに計算した値を、プロットした。使用した実地盤では、液状化ポテンシャルを 10%以下にするためには、割増係数を 1.5 程度で条件を満たすが、原位置の変動係数が 0.6 であれば、割増係数を 2.5 程度にしなければならないと判断できる。

図-4 に、割増係数による液状化ポテンシャルの変化を深度方向に示した。ここで、図-3 と同条件とし、変動係数を 0.6 とした。割増係数の増加とともに、各深度の液状化ポテンシャルは減少した。また、割増係数に関係なく、深度 3m 程度で液状化ポテンシャルは 0%となった。

図-5 に、深度 1.0, 2.0 および 3.0m における液状化ポテンシャルと不良率の関係を示す。液状化ポテンシャルは、割増係数の大きさによらず、不良率の関数であり、不良率が増加すると直線的に増加した。しかしながら、増加の程度は、深度が小さくなるほど顕著である。たとえば、深度 1.0m では、不良率 40%程度まで液状化ポテンシャルは 40%であった。図-1 に示す原位置で観測されたデータでは、割増係数 1.5 のとき不良率は 19.0%であり、図-5 より深度 1.0, 2.0 および 3.0m で、液状化ポテンシャルがそれぞれ 20%, 7%および 0%程度であると判断できる。

4. 結論

非線形地震応答解析を用いた信頼性理論に基づき、固化処理地盤の液状化確率や空間割合を計算し、実施工における割増係数や不良率との関係を考察した。得られた結果を以下に述べる。1)従来の液状化判定では、液状化発生の可能性の有無しか判断できなかったが、不均質地盤を確率統計的に評価することで、地盤が液状化する確率ならびに空間割合を表現できた。2)液状化ポテンシャルは、割増係数を増加させるほど低減でき、その低減率は変動係数が小さい方が顕著である。原位置のデータから、割増係数を 1.5 としたとき、液状化ポテンシャルの低減率は 83%となり、効果は非常に大きい。3)液状化ポテンシャルは、深度 3m 付近で割増係数に関係なく、0%となるので、固化処理対策を行うさい、深度 3m 以浅の対策が有効であると考えられる。

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.144. 3)笠間清伸, 善功企, 陳光奇, (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.

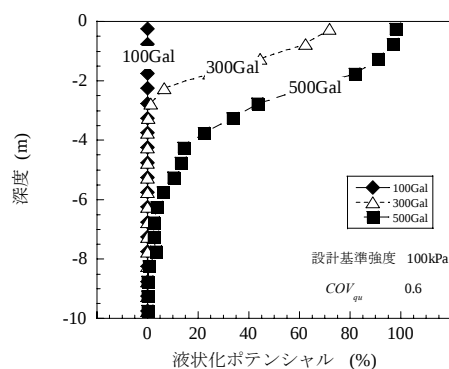


図-2 液状化ポテンシャルの深度分布

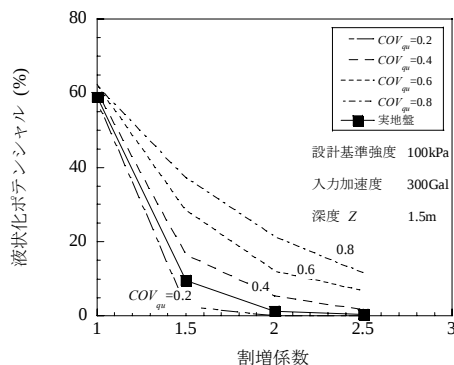


図-3 液状化ポテンシャルと割増係数

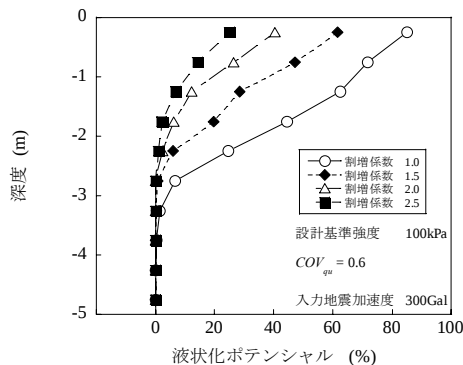


図-4 液状化ポテンシャルと深度および割増係数

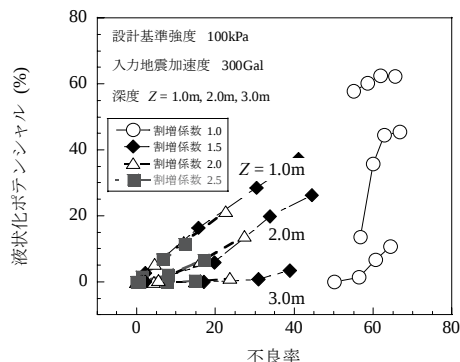


図-5 液状化ポテンシャルと不良率