

空間自己相関特性がセメント改良コラムの曲げ強度に与える影響

大阪大学 学生会員 ○村上一馬 神戸市立工業高等専門学校 正会員 並河努

1. はじめに

深層混合処理工法により構築されるセメント改良地盤は、構造物基礎、掘削時の山留め、液状化対策などに広く用いられてきている。一方、セメント改良地盤の強度は、原位置の地盤特性のばらつき、施工時の制御のばらつき等により、ばらつくことがよく知られている。しかしながら、そのばらつきがセメント改良地盤の挙動に与える影響については未解明ことが多い。また、セメント改良地盤を土留め壁や液状化対策として用いた場合、改良地盤には水平力が作用し、その水平力により曲げ変形が生じることが想定される。そこで、空間的ばらつきを有する実大セメント改良コラムの曲げ強度を調べるため、曲げ試験をシミュレートした FEM 解析を実施した。特に本研究では、強度の自己相関特性に着目し、一様な強度分布、ランダムな強度分布(自己相関のない強度分布)、自己相関特性を示す強度分布を有する改良体の解析結果を比較検討することにより、強度分布における自己相関特性がセメント改良コラムの曲げ強度に与える影響を検討することを目的とする。

2. 解析概要

(1) 空間的ばらつきを有する改良体の作成方法¹⁾

本研究では一辺 12.8m の立方体を $128 \times 128 \times 128$ に分割し、各要素に正規乱数を割り振ることにより自己相関のない正規乱数確率場を作成した。自己相関を有する確率場は、正規乱数確率場を相関関数の空間フィルタにより変換して作成した。ここで相関関数には、次式に関する指数型相関を仮定した。

$$\rho(d) = \exp(-d/\theta) \quad (1)$$

式(1)において、 $\rho(d)$: 2点間のコア強度の相関係数、 d : 2点間の距離、 θ : 自己相関距離である。

作成された一辺 12.8m の確率場の中心部より直径 1m 高さ 4.5m の円柱を抜き出し、各要素の乱数に応じた材料定数を設定することにより空間的ばらつきを有する供試体を作成した。作成した供試体の一例を図 1 に示す。

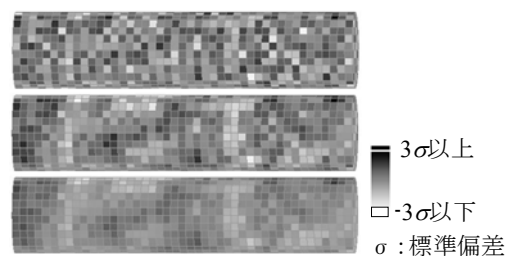


図 1 ばらつきを有する改良体の例

(2) FEM 解析

解析コード MuDIAN を用いて、3 点曲げ試験を模擬した (上図 : $\theta = 0.0\text{m}$, 中図 : $\theta = 0.2\text{m}$, 下図 : $\theta = 1.0\text{m}$)

3 次元 FEM 解析を実施した(図 2 参照)。本解析ではセメント改良土の挙動を表現できる弾塑性モデルを用いた²⁾。改良体を構成する要素の一軸圧縮強度の平均は $q_u = 1.7\text{MPa}$ でその変動係数は 0.3 とした。また、解析ケースは、強度のばらつきを考慮しない均質なケースと自己相関距離が $\theta = 0.0\text{m}$ (ランダム)、0.2m、0.5m、1.0m のケースを想定する。強度に関するパラメータとしては、内部摩擦

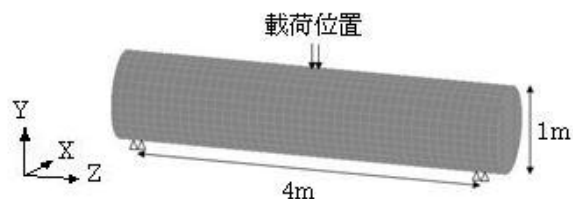


図 2 解析モデル

角 ϕ 、粘着力 c および引張強度 T_f があるが、 ϕ は 30° 一定とし、 c (平均値: 0.49MPa) と T_f (平均値: 0.38MPa) が強度に比例すると仮定し、乱数に応じた値を設定した。ヤング率 E (平均値: 3000MPa) 及び破壊エネルギー G_f (平均値: 9N/m) も強度に比例すると仮定し、その他のパラメータは一定とした。材料定数の詳細な値は参考文献に示す¹⁾。

3. 解析結果

(1) 荷重－変位関係

解析によって得られた荷重－変位関係の一例を図 3 に示す。図 3 より、曲げ引張破壊における荷重－変位関係

キーワード：セメント改良地盤、空間自己相関、曲げ強度、FEM 解析

〒651-2102 神戸市西区学園東町 8 丁目 3 番地 神戸市立工業高等専門学校 TEL : 078-795-3322

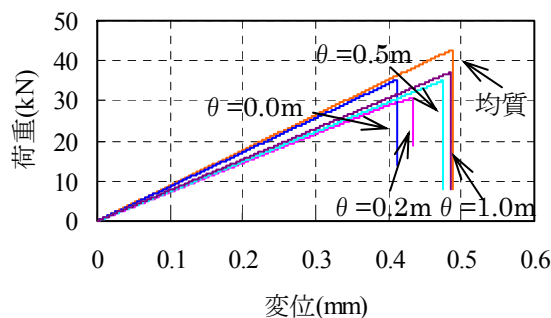


図3 荷重-変位関係

は直線的に上昇し、ピーク荷重到達後急激に荷重が減少する挙動を示すことがわかる。これは、引張領域において、セメント改良土は引張強度までは、ほぼ弾性挙動を示すためであり、既往の曲げ試験においても同様の挙動が観察されている³⁾。また、ピーク荷重は強度の自己相関を考慮する事で、均質状態より減少し、その減少率も自己相関距離によって異なることが確認できた。

(2) 破壊進行状況

解析ケースの内の図1のケースにおける、 $\theta=0.2\text{m}$ 、 1.0m の荷重変位関係、部分破壊進行状況を図4に示す。部分破壊とは、供試体の破壊が起こる前に要素のうちの1つの応力状態がピークに達することをいう。

自己相関距離が大きい $\theta=1.0\text{m}$ の場合は、部分破壊開始時の破壊箇所が成長し全体破壊に至るのに対し、自己相関距離が小さい $\theta=0.2\text{m}$ の場合は、部分破壊開始箇所と最終的な破壊箇所には関係がないことがわかる。このように、自己相関距離の違いで破壊過程も異なってくる。

(3) 曲げ引張強度

解析ケース25回分の解析により得られた曲げ引張強度の平均とその90%信頼区間を図5に示す。ランダムな状態においては、均質な強度から約23.5%の低下が見られる。一方、自己相関を考慮した場合では、自己相関距離が0.2mで平均強度は均質な場合の強度より約25.5%低下し、0.5mで約22.1%、1.0mで約16.7%低下が見られ、自己相関距離が0.2mの場合に最も平均強度が低下することがわかる。90%信頼区間の幅は曲げ引張強度のばらつきの程度を表すものであるが、自己相関距離が0.0mから1.0mへ大きくなるにつれて、曲げ引張強度のばらつきも大きくなるがわかる。

4. 結論

FEM解析によって空間自己相関特性、さらには自己相関距離の有無が、セメント改良コラムの曲げ挙動に影響することがわかった。具体的には、以下に示すとおりである。

- ・ 自己相関を考慮した場合、自己相関距離0.2mで強度の平均が最小となり、その低減率は均質強度から25.5%であった。また、自己相関を考慮しないランダムな場合は、均質強度から23.5%の低減となった。
- ・ 強度の自己相関距離が長くなるに伴い、実大改良体の曲げ引張強度のばらつきは大きくなる。

5. 参考文献

- 1) Namikawa, T. and Junichi, K.: NUMERICAL STUDY OF EFFECTS OF SPATIAL VARIABILITY ON CEMENT-TREATED COLUMN STRENGTH, Ground Improvement Technologies and Case Histories, 419-424, 2009.
- 2) Namikawa, T. and Mihira, S. : Elasto-plastic model for cement-treated sand, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 31(1) : 71-107, 2007.
- 3) Namikawa, T. and Junichi, K.: EVALUATION OF TENSILE STRENGTH OF CEMENT-TREATED SAND BASED ON SEVERAL TYPES OF LABORATORY TESTS, SOILS AND FOUNDATIONS, vol. 47, No. 4, 657-674, 2007

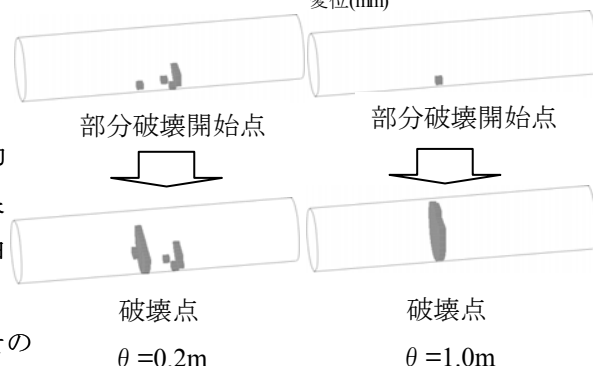
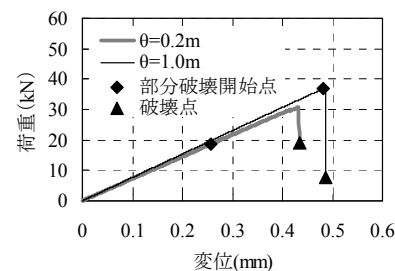


図4 部分破壊進行状況

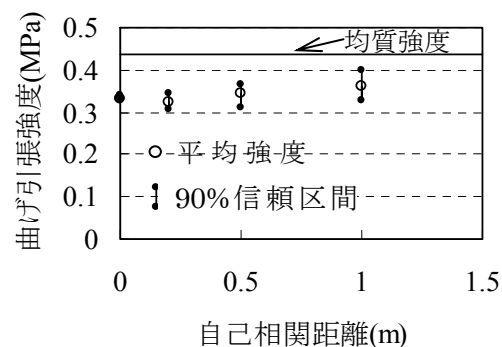


図5 曲げ引張強度