

ばらつきを有する固化処理地盤の極限解析

九州大学大学院 正○笠間清伸 正 善 功企 正 陳 光斉

1. はじめに

軟弱地盤の支持力を増加させる目的として、固化材混合により地盤改良された固化処理地盤は、固化材の混合の不均一性および対象地盤の土質の不均質性などの理由により、せん断強度のばらつきを有することが知られている。この固化処理地盤のせん断強度のばらつきは、設計時における固化処理地盤の支持力の決定に影響することが予想され、地盤のばらつきを考慮した支持力算定手法が求められている。本文では、固化処理地盤のせん断強度をランダム場理論で表現し、数値極限解析を使ったモンテカルロシミュレーションによりバラツキを考慮した支持力解析を行った。その結果を用いて、固化処理地盤のせん断強度の変動係数および自己相関係数が支持力および破壊モードに与える影響について、確率統計的に考察した。

2. ランダム場理論と数値極限解析

数値極限解析(Numerical Limit analyses, NLA)^{1,2)}は、地盤を完全弾塑性体と仮定し、有限要素法と同様に各メッシュにおける節点の変数を離散化した後、上界定理(下界定理)を利用して、変形を受けたさいの地盤の内部消散仕事は最大(最小)になるときの変数を線形計画法によって求める解析手法である。数値極限解析のメリットは、1)得られた解析値は、上限値と下限値で挟まれた区間の形で得られる、2)線形計画法で、自動的に最適な破壊モードを計算する、3)粘土地盤の支持力を±5%の精度で、計算することができるなどがある。

図-1に解析で用いた二次元平面ひずみでのメッシュ図を示す。基礎の直下を改良した地盤を想定し、載荷荷重の傾斜角度を $0 \sim 90^\circ$ に変化させ解析を行った。固化処理地盤のせん断強度を、対数正規分布とし、未処理地盤との強度比 SR と変動係数 COV_c および自己相関係数を変化させることで、ばらつきをモデル化した。一方、未処理地盤の強度は、一定と仮定した。表-1 に、解析条件を示す。図-1(b)に、ばらつきを有する場合のメッシュの一例を示す。各要素の濃淡が地盤の強度を表わす。

図-2に、強度比が2で均一に改良した場合の、地盤の変形図および破壊領域図を示す。基礎直下にくさび状の変形領域ができ、改良地盤と未改良地盤の境界部節点の相対変形が顕著である。支持力係数 $Q/(Bs_u)$ は、 $7.22 < Q/(Bs_u) < 7.48$ となった。未処理地盤の解析結果を比較すると、すべり面および破壊領域の深さが約 1.5 倍になり、深層まで形成されるのが特徴であった。

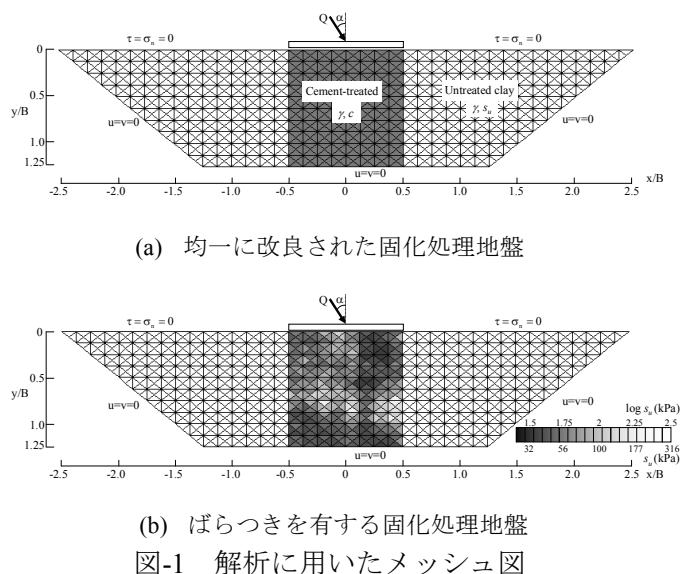
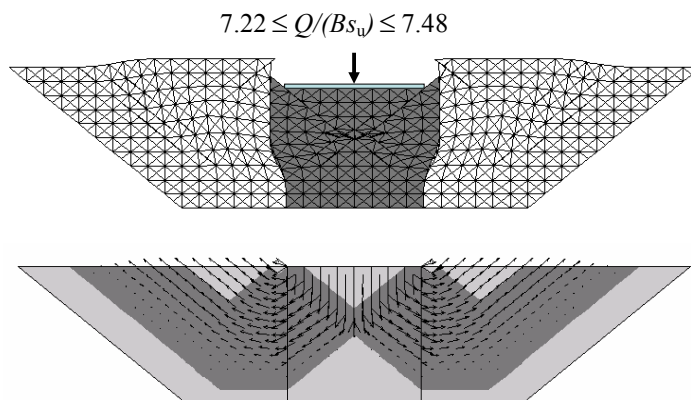


表-1 解析用いた強度定数

Parameter	Selected Values
α	$0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$
$SR = \mu_c/s_u$	1, 2, 4, 8, 20, 40, 80
$COV_c = \sigma_c/\mu_c$	0.1, 0.2, 0.4, 0.8
$\theta_{lc} = \theta/B$	0.15, 0.5, 1.0

図-2 変形図および降伏領域図($SR=2$)

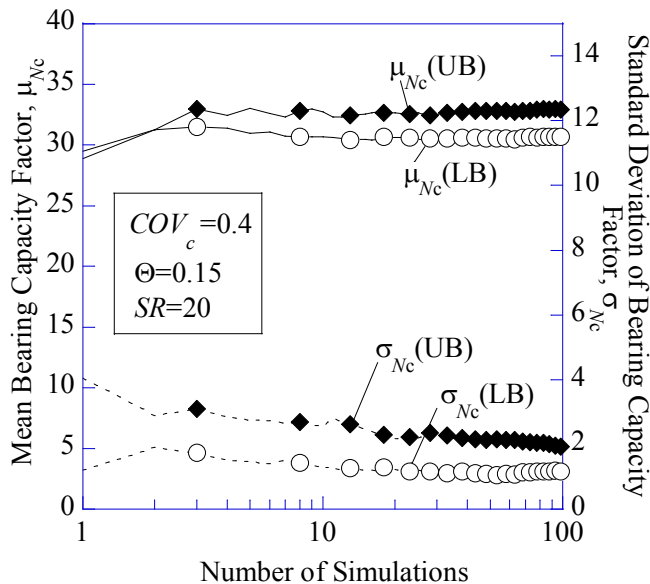


図-3 平均値および標準偏差の変化

3. ばらつきを考慮した支持力係数

図-3 は、モンテカルロシミュレーション中の平均支持力係数と変動係数の値を示す。横軸は、解析回数である。平均値と標準偏差は、100 回の計算の間にほぼ収束している。上界計算による標準偏差が、つねに下界計算よりも大きくなった。

図-4 は、解析より得られた支持力係数のヒストグラムである。 χ^2 検定による分布型の適合度検定から、支持力係数は、図中に示す対数正規分布で適合した。

図-5 は、鉛直荷重に対する平均支持力係数と強度比の関係である。平均支持力係数は、変動係数によらず、強度比の増加とともに直線的に増加する。しかしながら、その増加率は、変動係数が増加するほど、減少する。

図-6 は、得られた平均支持力係数を均一改良地盤とした解析値で正規化(以下、正規化支持力係数)し、横軸を変動係数で示した図である。変動係数の増加とともに正規化支持力係数は、直線的に減少する。その減少傾向は、地盤の強度比が大きいほど顕著である。強度比が 20 以上でかつ変動係数が 0.8 になると、正規化支持力係数は約 60% になる。この支持力係数の減少量は、単一地盤の減少量に比べて大きいことから、固化処理地盤では、強度のばらつきを考慮する必要があると考えられる。

【参考文献】1) Sloan, S. W. (1988a): "Lower bound limit analysis using finite elements and linear programming." Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., 12(1), 61-77. 2) Sloan, S. W., & Kleeman, P. W. (1995): "Upper bound limit analysis using discontinuous velocity fields." Comput. Methods Appl. Mech. Eng., 127, 293-314.

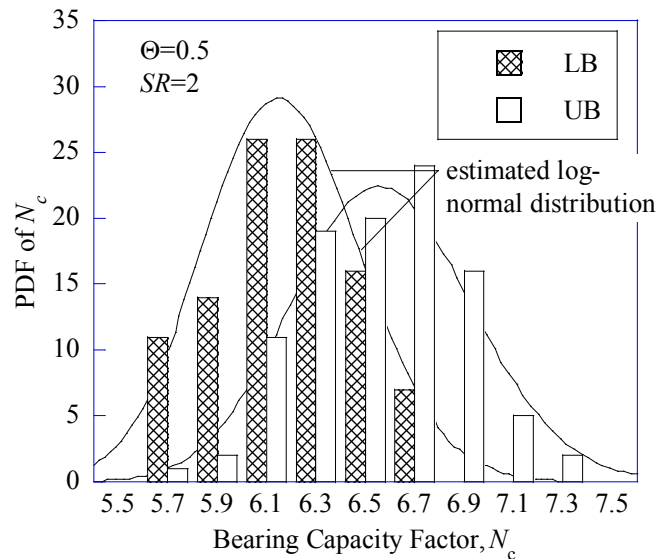


図-4 支持力係数のヒストグラム

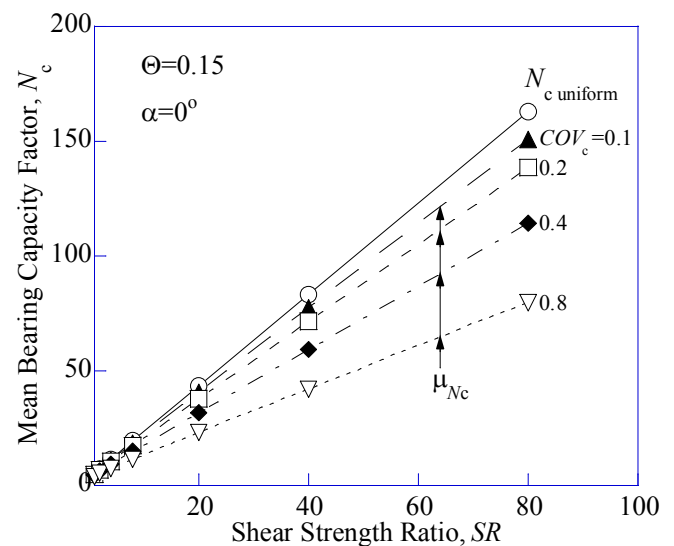


図-5 支持力係数と強度比の関係

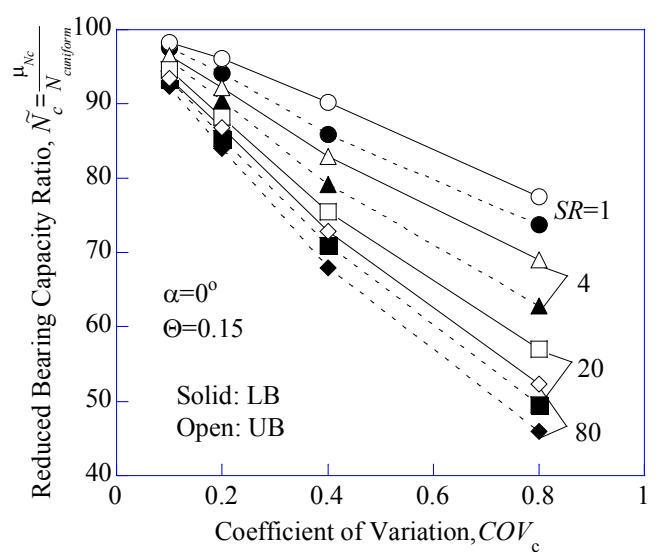


図-6 変動係数の増加に伴う支持力係数の減少