

確率数値極限解析を用いた固化処理地盤の支持力の信頼性について

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

軟弱地盤の支持力増加や砂質地盤の液状化対策などを目的として、固化材の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、せん断強度に空間的バラツキを有する。この固化処理地盤のせん断強度のバラツキは、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、地盤のバラツキを考慮した支持力算定手法が求められている。本文では、固化処理土の室内強度と同じ配合条件での原位置強度の関係をまとめ、原位置強度と室内強度の比、原位置目標強度を割増するための補正係数および原位置強度が目標改良強度を下回る割合の関係を考察した。その後、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、原位置強度のバラツキが固化処理地盤の支持力係数およびその信頼性に与える影響について、確率統計的に考察した。

2. 固化処理地盤の割増係数と不良率

図-1 は、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、強度比と呼ぶ)をまとめたものである。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。図中には、不良率の実測値および強度比が対数正規分布すると仮定した場合の予測値(図中では括弧内に示す)をそれぞれ示す。また、横軸の割増係数とは、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することで室内強度を下回ることを防ぐための補正係数である。つまり、割増係数が 2.0 の場合には、室内強度の 2 倍を原位置での目標強度に設定することを意味する。図-1 より、割増係数が 1.0 の場合(つまり、原位置目標強度の割増を行わない)には、不良率は 32.8% (29.8%)であり、目標強度の割増を行わないと、支持力不足や局所的な地盤の破壊が予想される。そこで実際の施工では、改良目的や混合方法などを総合的に判断し、割増係数を増加させることで、図-1 に示すように平均強度比を増加させ、不良率を減少させている状況にある。しかしながら、割増係数を増加させることは、施工コストを増加させることにつながるため、目標支持力の確保や液状化被害を低減するための割増係数の具体的設定値や許容できる不良率の上限値などを今後検討し、原位置強度のバラツキを考慮した信頼性のある地盤改良手法を開発する必要がある。次節では、割増係数と不良率が改良地盤の支持力に与える影響を解析した。

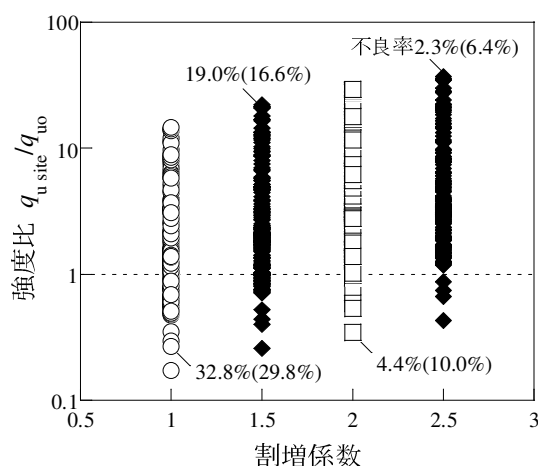


図-1 強度比、割増係数および不良率の関係

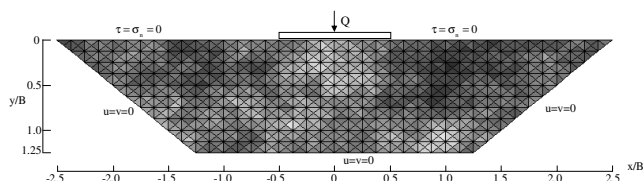


図-2 解析に用いたメッシュ図

3. ランダム場理論と数値極限解析

せん断強度に空間的なばらつきを有する固化処理地盤の支持力を得るために確率数値極限解析を用いた。確率数値極限解析の詳しい説明は、参考文献 1) に詳しい。図-2 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。地盤全体を改良した場合を想定し、鉛直支持力に対する支持力解析を行った。固化処理地盤のせん断強度を、対数正規分布とし、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、空間的ばらつきをモデル化した。

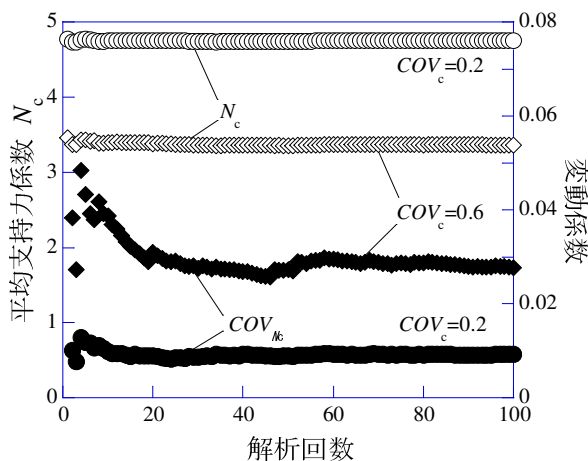


図-3 平均値および標準偏差の変化

固化処理地盤の自己相関係数は、0.15～12m と自然堆積地盤に比べてかなり小さいことから、0.15m と小さく設定し最も不均質に分布する場合を想定した。図-2 に、空間的ばらつきを有する場合のメッシュ図の一例を示す。各要素の濃淡が地盤の強度を表わす。

4. 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。支持力係数の平均値と変動係数は、100 回の計算の間にほぼ収束した。100 回のモンテカルロシミュレーションと各統計値より計算した平均支持力係数の標準誤差は、±0.01 程度であった。

図-4 は、強度比 $SR=1.0$ と $COV_c=0.6$ における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、得られた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。図中には、支持力係数の変動係数から求めた 90%と 99%信頼下限値もそれぞれ示した。変動係数の増加とともに正規化支持力係数は、直線的に減少した。

図-6 は、正規化支持力係数と割増係数の関係である。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正規化支持力係数の予測値を示す。図-1 に示す程度のバラツキであれば、割増係数 1.5 以上であれば目標支持力を下回る可能性は小さいことを示唆する。しかしながら、変動係数が増加するほど正規化支持力係数は減少する

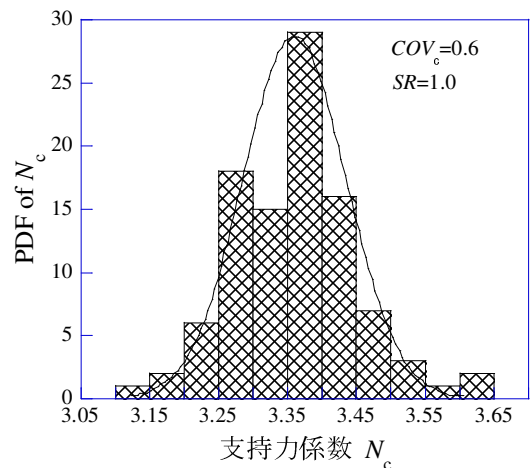


図-4 支持力係数のヒストグラム

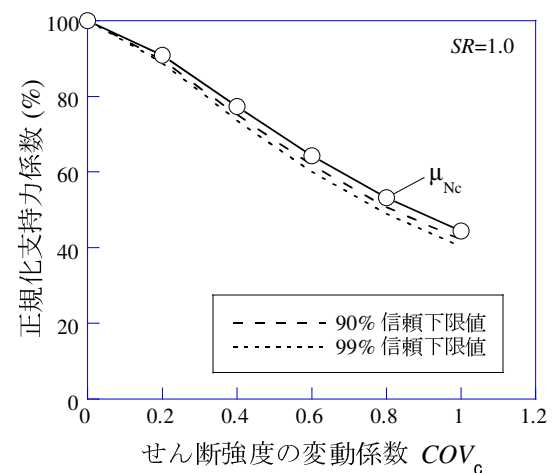


図-5 変動係数の増加に伴う支持力係数の減少

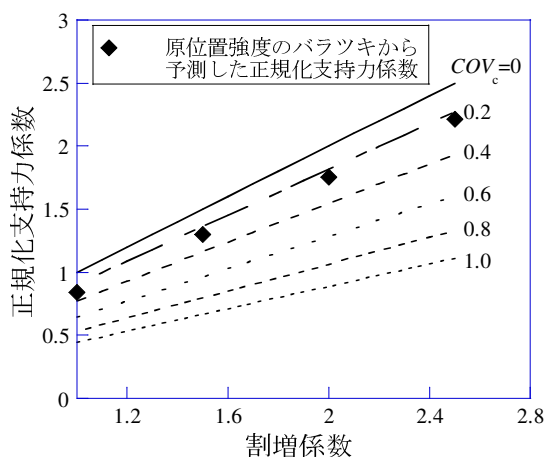


図-6 支持力係数と強度比の関係

ため、割増係数を増加させても強度のバラツキの程度が大きい場合には目標支持力に到達しない可能性があることを示唆する。

【参考文献】1) 笠間清伸、善功企、陳光斉：“確率数値極限解析を用いた固化処理地盤の支持力特性”，第 7 回地盤改良シンポジウム論文集，pp.259-264，2006。