

確率・統計論に基づく針貫入抵抗を用いた固化改良地盤の強度評価・性能評価に関する研究

小林, 真貴子

<https://hdl.handle.net/2324/7363755>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 小林 真貴子

論 文 名 : 確率・統計論に基づく針貫入抵抗を用いた固化改良地盤の強度評価・性能評価に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

我が国において、平野部など人口が集中し建設需要の高い地域は軟弱な沖積地盤で形成されており、道路・鉄道盛土、空港・港湾施設、河川堤防等の社会基盤の健全性を確保し、人々の安全・安心な生活環境を支えるための地盤改良工の社会的重要性は高い。固化改良地盤は、固化材混合の不均質性、対象地盤の性状や養生条件の違い等により強度にばらつきが生じることが報告されている。一方で、固化改良地盤の現行の設計および品質管理はその実態を適切に反映しているとは断言できない事例が散見される。そこで本研究では、地盤改良工における設計・施工の合理化および安全性・信頼性の高い品質管理の実現に向けて、固化改良地盤の詳細な強度把握による強度評価の高精度化および性能評価の提案を行った。

第1章では、地盤改良工の社会的重要性を提示し、地盤改良工における設計・施工の合理化および安全性・信頼性の高い品質管理の実現に向けて、固化改良地盤の強度評価の高精度化および性能評価の有効性実証に取り組むことを明示した。

第2章では、本研究が対象とするセメント系固化材を用いた固化工法による地盤改良工について概説した。そのうえで、現行の設計において原地盤の真のばらつきを反映できていないことが保守的な安全率、つまりは過大な現場強度発現につながっていること、現行の品質管理は改良地盤全体の中からサンプリングされた供試体による標本調査であり、詳細な強度把握が必要であることを指摘した。これらの課題を受けて、固化改良地盤の詳細な強度把握による高精度な強度評価法および性能評価法を構築する方針を定めた。具体的には、詳細な強度把握に適した針貫入試験に着眼し、現状の課題として針貫入試験による強度評価において①一軸圧縮強さの推定精度の向上、および②空間的強度のばらつき評価、性能評価においては固化改良地盤のばらつきを考慮した性能評価の有効性検証、を挙げ、これらの課題に対する方針を整理した。

第3章では、針貫入試験による強度評価のうち、一軸圧縮強さの推定精度の向上に関する研究の成果について述べた。まず、針貫入試験の活用に至った経緯と方針を概説したうえで、針貫入試験の概要、測定形態および活用事例を紹介し、針貫入抵抗から一軸圧縮強さを推定する現行の方法における課題を提示した。上記課題に対して、固化改良土の一軸圧縮強さの寸法効果に着眼し、局所的な健全部や弱部の把握に適した針貫入抵抗の多点測定値は、供試体内の強度のばらつきが反映される指標と考え、多点針貫入抵抗測定データに基づく基準換算とばらつき補正による強度推定方法を提案した。検証試験として、作製方法や強度の異なる51供試体に対して各25点の針貫入抵抗と対応する一軸圧縮強さのデータを取得した。その結果、針貫入抵抗の変動係数が0.1以下と小さい場合は両対数軸上で高い線形性を有すること、針貫入抵抗の変動係数の増加に応じて一軸圧縮強さは減少することを確認し、提案推定方法における基準換算とばらつき補正の考え方と整合する結果

を得た。検証試験のデータに基づき提案推定式を特定し、従来の強度推定方法に比べて換算精度が向上することを確認した。以上から、本提案推定式によって針貫入抵抗から一軸圧縮強さの推定精度の向上を実現することができた。

第4章では、針貫入試験による強度評価のうち、空間的強度のばらつき評価に関する研究の成果について述べた。まず、現行の針貫入試験では省力化の余地が残ることを指摘したうえで、本研究では原位置挿入型装置を製作し、効率的かつ高精度な多点測定の実現を目指す方針を定めた。

開発装置は原地盤に設けた測定孔を対象に機械制御で針貫入試験を実施し、貫入過程の荷重推移や貫入状況をリアルタイムで確認できる機構とした。また、測定装置を吊下げるワイヤーや制御盤等を一体化して運搬性を向上させるとともに、バッテリーを搭載し移動および測定準備の省力化を実現した。さらに、全自動で測定を行う制御プログラムを構築し、測定の省人化を実現した。開発装置の使用性および有用性検証を目的に現場へ適用した。その結果、全115点の針貫入抵抗データを約2時間で取得して効率的な多点測定を実現するとともに、同深度で別途実施した一軸圧縮試験結果とも整合し、本開発装置による強度評価の妥当性を確認した。また、試料採取に伴う乱れの影響を受けやすい従来の強度試験方法に比べ、より実態に則した強度を把握できる点で有用性が高いことを確認した。さらに、第3章で提案した強度推定方法の有効性を確認するために、上記現場測定データを基に既往の強度推定方法と比較した。その結果、提案推定式が安全側の強度評価となること、特に不均質性の高い固化改良土においてより高精度に強度を推定できることを確認した。以上により、高精度な固化改良土の強度推定式を実現場に適用し、かつ原位置での空間的ばらつきが評価可能な原位置挿入型針貫入試験装置の開発および実証を通して、固化改良地盤の強度評価の高精度化を実現することができた。

第5章では、詳細な強度データに基づく性能評価に関する研究の成果について述べた。まず、地盤の不均質性を考慮した既往の知見を列挙して、より実態に則した高精度な性能評価の重要性を明示した。一方、実務の設計検討において固化改良体の物性にばらつきを与えた解析検討事例がないことを指摘し、本研究において空間的ばらつきを与えた変形解析を行い、固化改良体の空間的不均質性を考慮した性能評価の有効性を検証する方針を定めた。本研究では、3次元静的残留変形解析法を採用し、河川堤防を対象に液状化対策モデルを作成した。固化改良体は、平均一軸圧縮強さを7水準、一軸圧縮強さの変動係数を3水準、自己相関距離を0.2 mと設定し、計420ケースの変形解析を実施した。解析の結果、いずれの平均一軸圧縮強さにおいても、一軸圧縮強さの変動係数の増加とともに盛土や地盤の変位量が増加する傾向を示した。条件によっては平均一軸圧縮強さおよび一軸圧縮強さの変動係数が大きい条件と平均一軸圧縮強さおよび一軸圧縮強さの変動係数が小さい条件の沈下量が同程度となる結果も確認された。このような傾向に基づき、同一の沈下量における変動係数と平均一軸圧縮強さの組み合わせを抽出して関係性を整理した結果、攪拌効率や施工性の改善等で高品質な改良体を造成できれば固化材量を最大11%低減できる可能性が示され、現場コスト等を踏まえた最適な施工仕様の選定、さらに固化材の製造過程も含めた環境負荷低減、CO₂排出量低減につながられる有効性が示唆された。

以上から、詳細な強度データに基づく液状化地盤の残留変形解析を通して、固化改良地盤の空間的ばらつきを考慮した性能評価の有効性を実証することができた。

第6章では、本研究で得られた成果を総括し展望をまとめた。