

氏名	清水 智明 ^{シミズ トモアキ}
所属	都市環境科学研究科 都市環境科学専攻 都市基盤環境学域
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	都市環境博 第 313 号
学位授与の日付	令和 3 年 9 月 30 日
課程・論文の別	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題名	比抵抗分布のリアルタイムモニタリングによる薬液注入工法の信頼性向上に関する研究
論文審査委員	主査 教授 小田 義也 委員 教授 砂金 伸治 委員 准教授 吉嶺 充俊 委員 名誉教授 西村 和夫

【論文の内容の要旨】

薬液注入工法は地盤内に薬液を浸透させて地盤の強度や遮水性を向上させる地盤改良工法の1つであり、使用する設備が比較的簡易であることから、多様な場面で活用されている重要性の高い工法である。この工法は、地盤内の浸透現象に依拠しているため、地盤内の水みちや注入管と地盤の間隙に沿った薬液の逸走や、障害物となる巨礫や介在粘土層等による浸透の阻害により、注入不足や偏りが生じるという問題がある。しかし、地下での事象であるため、薬液の浸透範囲や遮水性など注入効果の確認が非常に難しい。注入効果の確認不足により出水・崩壊した事例は近年になっても発生しており、注入効果を正確に確認することは薬液注入工法の信頼性向上において極めて重要である。

従来、浸透範囲の確認では、ボーリングを行い、回収したコアの強度試験や成分分析等から判定されるが、いずれも確認範囲が点や線（オールコアボーリングの場合）であり、判定の結果、合格したとしても未改良箇所が残るリスクがある。そこで、薬液の浸透範囲を面的に、もしくは立体的に可視化する技術が望まれる。地盤の比抵抗分布を可視化する比抵抗トモグラフィは有望な技術の1つであるが、従来法では、薬液注入のように、時々刻々と物性が変化する場合、注入に並行して行うと精度の大幅な低下が懸念されるため、注入の事前、事後に実施されるのみであった。

一方、遮水性の直接的な確認手法としては、注入孔を利用した注入試験などがあるが、通常は漏水の有無が確認できるのみであり、仮に漏水が検知できても、未改良箇所を特定することはできない。これまでの実施工では、このようなリスクは改良厚を大きくすることで対処されてきたが、その設計法は経験的なものであり、不経済であるばかりでなく、

根本的な解決には至っていない。これらの問題解決には大きく2つの課題がある。

第一の課題は注入状況をリアルタイムに監視可能とすることである。施工範囲全体の改良状況をリアルタイムで精度良く捉えることができれば、未改良箇所発生のリスクを大幅に低減できる。

第二の課題は、施工後の改良体内部に潜在する水みちの検知である。注入不良により1本貫通した水みちが潜在するだけで遮水性が確保できなくなる恐れがあることから、遮水性の確保は強度の確保以上に困難な課題である。

そこで本研究では、比抵抗分布のリアルタイムモニタリングを可能とする新しい解析手法を考案するとともに、上記2つの課題を解決する方法を提案し、数値解析と実験によりその適用性を評価した。

本論文の構成は、以下の通りである。

第1章は序論で、研究の背景、目的を述べ、論文構成を示した。

第2章では、薬液注入工法や比抵抗トモグラフィの現状を踏まえ、本論文で取り組む課題、リアルタイムモニタリングを行う上での問題点等を整理した。

第3章では、比抵抗分布が時々刻々変化する状況において精度よく比抵抗分布を求める逆解析方法について述べた。比抵抗分布のリアルタイムモニタリングでは、測定中に比抵抗分布が時々刻々変化するため、通常の比抵抗トモグラフィで用いられている逆解析方法では精度低下の懸念がある。このため、精度低下の抑制を期待できる新たな逆解析法（以下、時系列解析法）を考案した。そして、数値実験による時系列解析法の基本性能の検証を行い、時系列解析法が従来の解析法より正確に比抵抗分布を再現できることを示した。

第4章では、第一の課題である、注入中並行して行う比抵抗分布のリアルタイムモニタリングによる注入範囲の推定精度向上に向けた取り組みを述べた。時系列解析法を用いれば薬液の浸透状況を従来の方法より精度よくモニタリングできることを模型実験により検証した。模型実験では想定通りの注入が行われるケースに加えて、想定通りに注入が行われず、計画範囲の一部が未改良のまま残るケースも行っており、時系列解析法がどちらのケースでも実際の注入状況を精度良く把握でき、注入中の改良範囲の評価が可能であることを示した。最後にこれらの検証結果を踏まえた実用上の手順を提案した。

第5章では、第二の課題である改良体の遮水性の確保、すなわち水みちの有無とその位置検知に向けた取り組みを述べた。初めに水みちを検知する原理を説明し、比抵抗分布をリアルタイムでモニタリングすることで、水みち末端位置を検知できることを土槽実験により示した。さらに、元地盤や測定仕様が実験と異なる場合の適用性について、数値実験によるパラメータスタディで検討した。その結果、適用できる透水係数には限界があることが分かった。最後にこれらを踏まえた実用上の手順を提案した。

第6章では、各章で得られた結論を取りまとめ、本論文の結論を述べるとともに、残された課題を明らかにした。