

ICT技術を活用した注入薬液・流動化処理土の現場製造管理の自動化に関する研究

松井, 秀岳

<https://hdl.handle.net/2324/7157338>

出版情報 : Kyushu University, 2023, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 松井 秀岳

論 文 名 : ICT 技術を活用した注入薬液・流動化処理土の現場製造管理の自動化に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

建設業では 1997 年をピークに就業者の減少が続くなか、さらに全産業と比較しても高齢化が顕著であり、今後就業者が大量に離職することによって深刻な担い手不足を生じる懸念がある。これに対して国土交通省は、働き手の減少を上回る生産性の向上を目的として「ICT の全面的な活用」を進めており、本研究が対象分野とする地盤改良工は 2019 年からその対象となっている。ただし、「ICT の全面的な活用」は、以前から機械化・自動化が進んでいた固化工法に限定して適用されており、今後その他多くの地盤改良工法で適用が進み生産性向上が促進されるためには、多くの地盤改良工法に依然として残る属人化した作業・手順の機械化・自動化が不可欠と考えられる。

このような背景のもと、本研究では施工管理に依然として人手による作業を残す薬液注入工法と流動化処理工法の 2 種類の地盤改良工法を対象とし、両工法の実産性向上という社会的意義の達成を最終目的として、ICT 技術を活用した現場製造管理の自動化について検討を行った。

第 1 章では、本研究の大枠の背景として建設業における生産性向上の取り組みを俯瞰し、地盤改良工のさらなる生産性向上に向けて、ICT 技術によって従来技術の合理化・高度化を図ることを大枠の目的とすることを示した。

第 2 章では、本研究が取り組むべき検討の方向性を明確にするため、現在 i-Construction において推進されている「ICT 地盤改良工」について概説するとともに、地盤改良工における ICT 活用の事例を網羅的に例示した。活用事例の俯瞰を通しては、人手による作業の機械化・自動化と、そこから得られる施工履歴データの出来形・品質管理への活用が「ICT 地盤改良工」を構成する要素になっていることを示し、従来工法においてもこれらの取り組みが必要となることを示した。

第 3 章では、本研究が対象とする 2 工法のうち「薬液注入工法」に関する研究の一連の成果について述べた。ここではまず薬液注入工法に関する技術的な基本事項を概説したうえで、従来の現場製造管理と関連する既往の研究について整理した。さらに注入薬液の現場製造事例を示し、従来の現場作液では設計配合を量的に再現する製造管理が自動化されている一方、重要な性能指標である注入材 pH の管理という観点では製造管理が自動化に至っていないという課題を示した。これに対して本研究では、注入材 pH の測定・調節を自動化する「pH 調節型現場作液システム」の開発を行った。開発にあたっては、注入薬液の現場製造における pH 調節作業を、酸性の液体にアルカリ性の液体を滴下して所定の pH に調節する「滴定」作業とみなし、同作業の自動化に必要な注入材 pH のリアルタイム測定機能、および、注入材 pH に応じた構成材料量の制御機能を ICT 技術によって達成する作液システムを製作した。次に同システムを用いた現場作液実験を実施し、これまで不可視であった作液過程の注入材 pH の変化傾向を可視化できることを確認した。一方で、1) 注入材 pH が目標値を超過する事象、2) pH 調節精度と作液時間の短縮を両立する作液手順の決定方法、

の 2 点が開発システムを運用する上での新たな課題となることを明らかにした。そこでこれらの課題に対して、追加の作液実験と結果の詳細な考察によって解決策を検討した。1)の課題については時間遅れを伴って生じる注入材 pH の変化量をあらかじめ確認し、それに応じて構成材料量を調整する補正方法を考案した。また 2)の課題については、1)の方法を応用して構成材料の投入速度を調整することで、最適な作液手順を機械的に決定できることを示した。以上の検討により、ICT 技術の活用で注入材 pH の現場製造管理を自動化する作液システムを開発することができた。

第 4 章では、本研究が対象とする 2 工法のうち「流動化処理工法」に関する研究の一連の成果について述べた。ここではまず流動化処理工法の概要を述べたうえで、流動化処理土の固化前の流動性や固化後の強度といった品質が、固化材を添加する前の泥水の密度によって一般に管理されていることを示した。また流動化処理土の現場製造事例を示し、母材となる土の変化が想定される条件では、泥水の密度に加えて流動性を管理する場合があることを示した。一方で、従来の現場製造では泥水の密度・流動性の測定が属人化しているという課題を示した。これに対して本研究では、泥水の密度・流動性の自動測定を目指した「調泥状況可視化システム」の開発を行った。泥水密度は圧力センサで測定した泥水圧の深度分布によって推定し、流動性は移送ポンプで採取した泥水が測定管を流下する時間・速度で評価することとして、これらを ICT 技術によって達成する測定システムを製作した。次に製作したシステムの動作性を室内検証実験で確認したうえで、現場プラントにおける現場実証実験を実施した。密度推定については、圧力センサの温度補正を行うことで静水圧を理論値通りに推定できることを確認し、さらに現場実験においても従来法で測定した密度を精度よく推定できることを確認した。一方で流動性測定については、ポンプによる泥水の移送に課題を残すことを明らかにした。以上の検討により、ICT 技術の活用で流動化処理土の現場製造における泥水密度の測定を自動化する測定システムを開発することができた。

第 5 章では、本研究で得られた成果を要約して総括した。