

## 地盤改良分野の ICT 活用技術

### ジェットグラウト施工管理システム、GNSS ステアリングシステム、3D-ViMa システム

関 徹也・永岡 藤彦

人口減少時代を迎えている我が国は、近未来に迫る少子高齢化社会に対応すべく、国土交通省が推進する i-Construction による生産性革命を開始した。安倍総理は 2016 年 9 月の第 1 回未来投資会議において、2025 年までに建設現場の生産性を 20% 向上させる目標値を提示し、UAV による測量や、あらゆる建設プロセスに ICT 技術及び 3 次元データを活用する新たな建設手法でこの目標を達成する方針である。当報文はその要素技術として、従来から実施している主に一般土工を対象とした情報化施工技術ではなく、地盤改良分野（機械攪拌工法及び高圧噴射攪拌工法）における ICT と 3 次元データ活用技術、衛星測位情報による機械誘導技術等を紹介する。

キーワード：i-Construction, ICT, 3 次元データ, 地盤改良, 機械誘導, 施工管理, 3D-ViMa システム

#### 1. はじめに

国土交通省の施策 i-Construction により、次世代の基軸となる仕組み作りを目的に、多くの建設会社、建機メーカー、IT 企業が参集し、建設事業の全プロセスで ICT 技術や 3 次元データを一貫して活用することによる生産プロセスの改善が強力に押し進められている。中でも、生産プロセスの中心に位置する施工においては、3 次元設計データをもとに ICT 建機による情報化施工や無人化施工技術、建設ロボットなどの高度な施工管理技術や活用技術が確立され、土工事や浚渫工事を中心に、施工の効率化、省力化を行う取組が、新たな運用基準とともに、現場で展開されている。

専門工事会社においても、法面・地盤改良分野の従来から培ってきた設計、施工に関する知識や知見、経験、技術をもとに、一人当りの生産性を高めることを目的に研究開発を進めている。その中で、今日までに実用化した地盤改良分野（機械攪拌式の浅層・中層混合処理工法、深層混合処理工法、高圧噴射攪拌工法）の機械誘導、施工管理、可視化に関する独自の施工管理システムを本稿で紹介する。これらの施工管理システムは、いずれも地盤改良分野の施工段階に適用可能な技術のため、現在の ICT 活用工事の対象工種には該当しないが、生産プロセスの改善を具現化するための要素技術として、現場展開を推進している。

#### 2. ICT 活用技術

##### (1) 開発背景

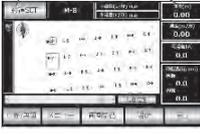
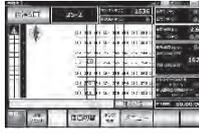
平成 24 年度に全国 11 箇所で開催された CIM の試行業務の中で、国土交通省四国地方整備局において地盤改良工事が試行されたことを契機として、ICT と 3 次元の活用技術に関する開発に着手した。施工の機械化（歩掛の向上）、自動化、省力化に対して確固たる技術を保持することを目的に、平成 26 年度に GNSS ステアリングシステム、3D-ViMa システム、平成 28 年度にジェットグラウト施工管理システムを開発した。地盤改良分野の ICT 活用技術に関する技術提案に積極的に展開し、施工実績を積み重ねている。

##### (2) 適用工種

市場で流通している、ジャイロセンサ、傾斜計等、多様な計測センサで取得した情報を有線、無線により自動収集、集積し、データ連携、加工、分析、表示することで、地盤改良機の機械制御、施工管理の自動化が可能である。これら ICT 技術を活用した地盤改良分野の 3 つの施工管理システムの関連を表 1 に整理する。

高圧噴射攪拌工法の施工管理を行うジェットグラウト施工管理システムは、Mega ジェット工法、OPT ジェット工法、JEP 工法等で利用することが可能である。一方、地盤改良機の誘導システムである GNSS ステアリングシステムや施工結果の 3 次元可視化シス

表一 地盤改良分野の ICT 活用技術

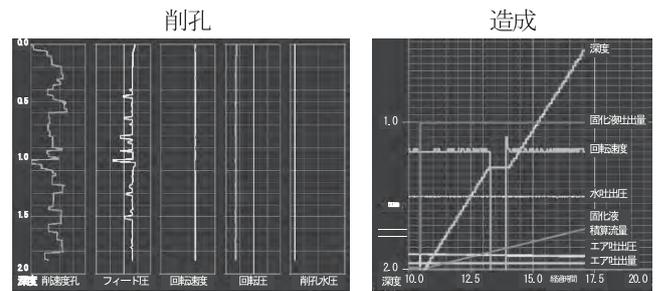
機械攪拌工法		高圧噴射攪拌工法
深層混合処理工法	浅層・中層混合処理工法	
RAS コラム工法 RMP-MST 工法	SCM 工法	Mega ジェット工法 OPT ジェット工法 JEP 工法 等
GNSS ステアリングシステム		
		
移動局	基地局	GNSS 移動局
ジェットグラウト施工管理システム		
		
3D-ViMa システム		
		

テムである 3D-ViMa システムは、自走式の地盤改良機やジェットグラウト施工管理システムを使用した高圧噴射攪拌工法に加え、深層混合処理工法の RAS コラム工法、RMP-MST 工法、浅層・中層混合処理工法の SCM 工法に適用可能である。これら 3 つのシステムは、単独または複数のシステムを組み合わせた併用、いずれの方法でも活用することが可能である。

### 3. ジェットグラウト施工管理システム

#### (1) 概要

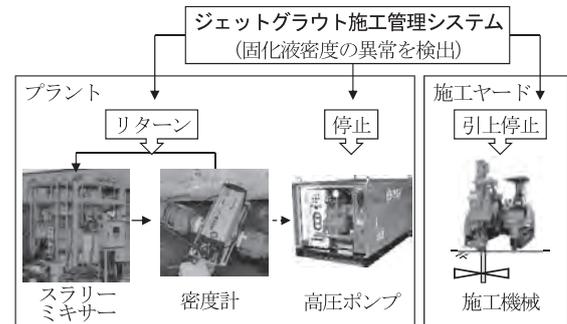
地盤改良機やスラリーミキサー等の施工機械から収集した施工情報を施工管理装置に集約し、高圧噴射攪拌工法の改良品質に影響を与える全施工情報を一元管理可能な集中管理、機械制御システムである。施工管理画面を図一に示す。削孔時ならびに造成時に必要な施工管理情報を数値、グラフで一画面に表示することが可能である。従来は、固化液に関する施工情報をチャート紙に印字し、その他の施工情報は施工機械毎に設置されている流量計や圧力計のデジタル表示やダイヤルゲージの値を直接確認していた。



図一 施工管理画面例

#### (2) 施工管理の流れ

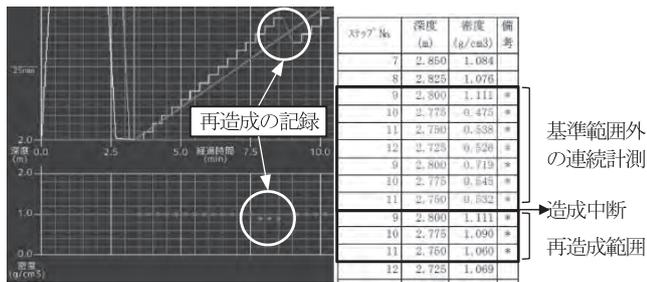
あらかじめ造成杭毎に作成した、削孔長や造成の上端深度、下端深度、引上げステップ長等の施工仕様や管理基準をもとに、施工管理装置による施工機械の制御を行う。一例として固化液密度計と連動した施工管理の流れを図二に示す。固化液の圧力、流量等の計測値に対し、管理基準範囲を逸脱した場合に警報を発報する 1 次基準、施工機械の自動停止等を行う 2 次基準のそれぞれ上限値、下限値、連続ステップ数等を設定することで、異常時には固化液の送液や改良機のステップを自動的に停止することが可能である。



図二 施工管理の流れ (密度計と連動時)

#### (3) 特長、機能

- ・削孔時は、深度、速度、トルク等の施工情報を取得し、これらの計測値をもとに地盤性状を推定することが可能である。
- ・設定深度で深は削孔できないパラメータ設定により、地下埋設物の安全を確保することが可能である。
- ・造成時は、固化液以外に切削水やエアの流量、圧力等をリアルタイムに施工管理装置に表示することで、機械トラブルや配合異常の早期発見と早期対処によって、速やかに施工を再開することが可能である。
- ・密度計と連動した施工管理が可能である。固化液の密度が異常値を示した場合の再造成機能を図三に示す。施工品質を満足していない施工深度やステップ数が施工管理システムに表示されるため再施工の



図一3 固化液密度異常時の再造成機能

判断が容易となる。

- ・ 削孔から造成まで、全施工情報を保存することで、施工のトレサビリティが可能である。
- ・ 当社保有の全高圧噴射攪拌工法に適用することが可能である（工法によっては使用機械設備が異なるため取得可能な施工情報が変わる場合がある）。

#### 4. GNSS ステアリングシステム

##### (1) 概要

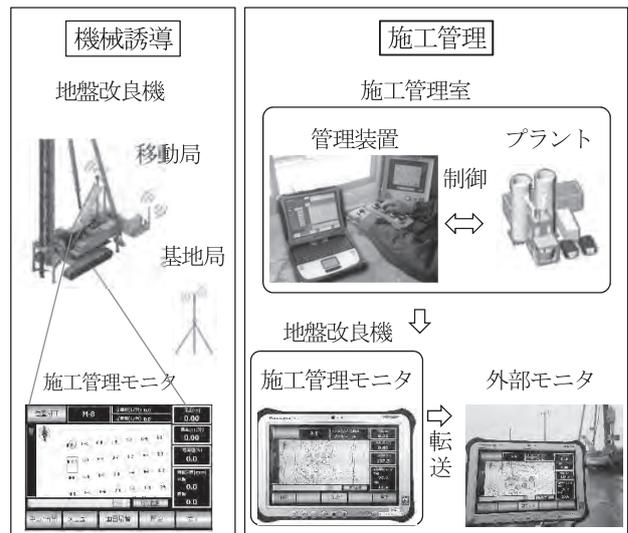
GNSSを利用して、地盤改良機を計画改良位置に高精度に誘導する位置計測システムと、改良時の施工情報の表示システムをタブレット（施工管理モニタ）に統合した施工管理システムである。このシステムにより安全性と経済性の向上、施工ミスの回避等が実現し、より高度な施工が可能になる。高圧噴射攪拌工法の施工機械は一般的に自走式ではないため、機械誘導に関する簡易な誘導システムを別途製作し、ジェットグラウト施工管理システムと合わせて使用する。

##### (2) 施工管理の流れ

主要機器のデータ連携、施工管理の流れを図一4、施工管理モニタでの表示例を表一2に示す。機械誘導では設計図面を背景図とし、その上に地盤改良機や攪拌翼を重ねて表示することで、平面位置を確認しながら計画改良位置に施工機械を誘導する。施工管理では、管理ハウス内の管理装置で取得した改良深度やスラリー量等を、施工の進捗とともに、グラフや色、数値で分かりやすく施工管理モニタに表示することで、管理オペレータと機械オペレータが同一情報を共有することが可能である。従来は、無線機等で情報を伝達していたが、情報の共有により安全・品質・経済の各側面に貢献できる。

##### (3) 特長、機能

- ・ 機械オペレータ主導による機械誘導により、掘削残土等によって不明確になった杭芯ポイントや区割り



図一4 施工管理の流れ

表一2 施工管理モニタ

工種	機械誘導	施工管理
RAS コラム工法 RMP-MST 工法		
SCM 工法		
ジェットグラウト各種工法		

ブロックの復元、機械セットを迅速に行うことが可能である。

- ・ 機械誘導員が地盤改良機に近づく頻度が減少することで、安全性が向上する。
- ・ SCM 工法においては、施工機械の位置座標や傾斜角度から計算したブレンダー先端座標をもとに施工管理が可能になるため、施工の品質が向上し、無駄の無い施工管理が可能である。
- ・ 計画と実測の改良速度をグラフとして表示することで、機械オペレータは計画施工速度に対する現在の施工速度を対比して確認することが可能である。
- ・ 施工済み、未施工を施工管理モニタに表示することで、施工全体の進捗の把握、複雑な改良杭配置時の施工ミスを防止することが可能である。
- ・ 施工管理モニタの画面を Wi-Fi で外部モニタに転送することで、複数人が施工の進捗を確認することが

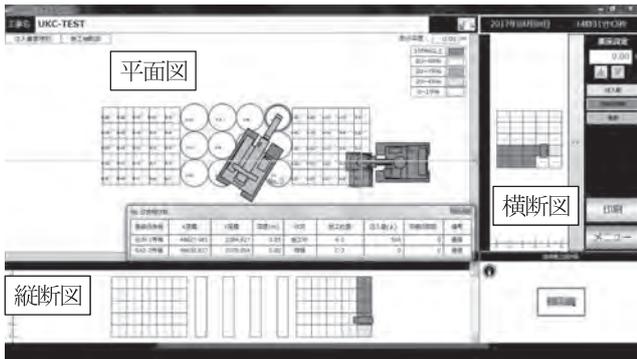


図-5 GNSS ステアリングシステムビューアの画面構成

可能である。

- ・現場内で複数台のGNSS ステアリングシステムが同時に稼働する現場においては、GNSS ステアリングシステムビューアにより工事全体の進捗状況を把握することが可能である。画面構成を図-5に示す。工種の異なるGNSS ステアリングシステムが混在していても、1つのビューアで各地盤改良機の施工状況（各施工機械の施工深度、積算注入力、積算羽切回数、ステータス等）をリアルタイムに確認することや、任意の位置、深度で現在までの地盤改良結果を閲覧することが可能である。現在は、機械攪拌工法のみに対応しているが、今後、適用工種を拡大していく。

(4) 現場適用条件

機械誘導で使用するGNSSアンテナは、座標既知の不動点に1台、3点式杭打機やバックホウ等の地盤改良機に2台、計3台使用し、RTK-GNSS測位により機械誘導を行う。基地局は現場内の遮蔽物が無い見通しの良い地点、移動局は施工機械に設置して運用する。適用条件を表-3に整理する。精度確保の観点から、移動局での現在の衛星補足数、受信状況を施工管理モニタに常時表示し、6基以上の衛星と通信する

表-3 適用条件

項目	必要衛星数	GNSS 基地局～移動局間距離	外部モニタの使用範囲
範囲	6基以上	GNSS 基地局 200m GNSS 移動局	200m 外部モニタ
備考	精度維持	受信 GNSS 衛星数 通信状態による	無線 LAN 到達距離

ことで、誘導精度を確保する。外部モニタや移動局は、周辺の地形や遮蔽物の影響もあるが、電波の伝送距離に制約があるため、通信距離 200 m を1つの目安としている。

5. 3D-ViMa システム

(1) 概要

地盤改良工事の施工管理に必要なスラリー量等、各種施工情報を管理深度単位（一般に 1 m）で集計し、その結果を改良杭（ブロック）を表す 3次元データに属性情報として付与することで、施工管理基準をもとに色分け表示することが可能なシステムである。3次元データは、浅層・中層混合処理工法では設計図面の改良区画を表す長方形から直方体、深層混合処理工法や高圧噴射攪拌工法では、円から円柱を自動的に作成する。なお、3次元データに格納する属性情報は、デジタルデータを連続的に取得することが可能な計測機器（ジェットグラウト施工管理システム等）を使用することで、データ処理を効率化することが可能である。

(2) 施工管理の流れ

深層混合処理工法を例に施工管理の流れを図-6に示す。設計図面から改良杭の杭番号、平面座標を自動的に取得し、GNSS ステアリングシステムで使用する。また、土質毎に実施した配合試験結果から、施工管理上必要な情報（羽切回数、施工速度等）を記載した指示書を改良杭毎に作成し、施工管理で使用する。施工中は、管理基準を満足していない品質管理項目に対する警告を視覚的に行い、施工の品質を確保する。施工完了後、帳票に出力した深度毎の施工結果と、先に取得した平面座標を組み合わせ、3次元データの作成と施工結果の収集を行う。施工結果の表示、出力例を表-4に示す。従来は、改良杭毎に施工結果を数値で管理帳票に印刷、整理していた。

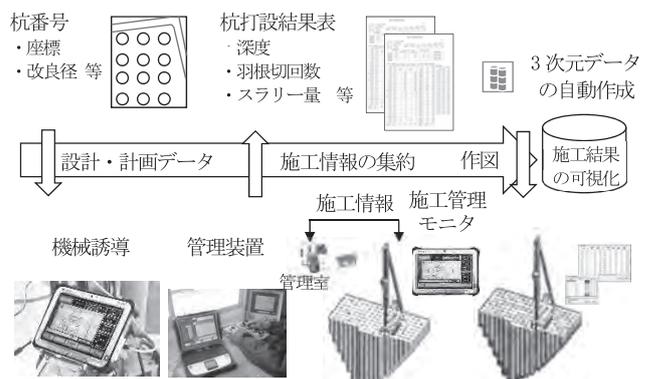
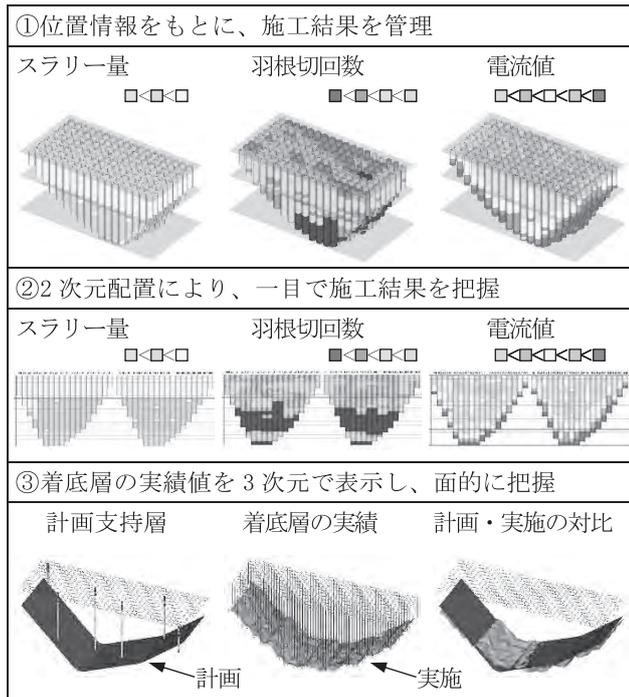


図-6 施工管理の流れ（深層混合処理工法）

表一 4 施工結果の表示・出力例

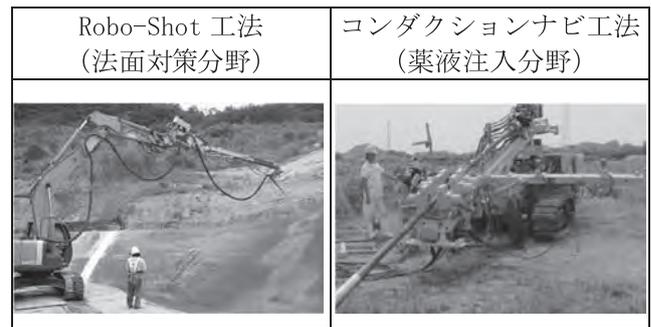


### (3) 特長、機能

- ・座標の取得から3次元データによる可視化まで、座標と施工情報を連携する一連のシステムを構築し、現場でデータ処理が可能である。
- ・施工結果を3次元座標で管理することで、平面、深度方向の連続性を把握することが可能である(表一4①)。
- ・あらかじめ全施工結果を施工管理項目毎に画像として出力することにより、一目で施工結果が把握可能になるため、検査時間の短縮につながる。デジタルデータの場合は、パソコンで表示項目を切り替え、施工結果を確認することが可能である(表一4②)。
- ・実施工の着底深度を3次元で把握することで、隣接杭施工時の介在層での着底防止や施工機械の負荷低減につながる(表一4③)。
- ・3次元で着底面の差異を可視化し、計画深度と実施工深度を視覚的に対比することで、施工結果の数的根拠を明確にすることが可能である(表一4③)。
- ・利用目的に合わせた2次元、3次元のデータ相互変換は座標を修正するのみのため、短時間である。
- ・施工結果を収集した3次元データを納品することが可能である。

## 6. おわりに

本稿で紹介した工法、ICT技術、3次元データを組み合わせた施工管理システムを、機械化施工による施



写真一 1 ICT 技術を活用した施工技術

※：i-Construction は国土交通省国土技術政策総合研究所の商標登録です。

工の省力化、自動化の要素技術として、現場運用を踏まえた継続的な改良、改善を実施している。2. (2) 適用工種以外においても、GNSS ステアリングシステムは、自走式のドリリングマシンを使用するアンカー工事等の法面对策分野、3D-ViMa システムは、流量計を使用する薬液注入分野に適用可能なため、事業分野である法面、地盤改良との親和性は高く、当該施工管理システムの汎用性は高い。また、現在保有する ICT 技術を活用した施工管理技術を写真一 1 に示す。法面对策分野においては、機械化吹付工法である Robo-Shot 工法、薬液注入分野では、曲線削孔システムであるコンダクションナビ工法の機械化施工技術や3次元削孔技術を既に現場展開している。このことから、今後、人工知能(AI)を含めた革新的な技術の研究開発と現場導入が期待される。最終的には分野別に保有している様々な独自工法と ICT 建機や建設ロボットとの統合を見据え、新たな機械制御、施工管理手法を組み合わせた施工技術に集約していく。

JCMIA

### 【参考文献】

- 1) 基礎工 2017Vol.45, No.6, 特集 進化する深層地盤改良技術報文【地盤改良分野における ICT 活用技術の紹介】

### 【筆者紹介】

関 徹也(せき てつや)

ライト工業㈱

施工技術本部 R & D センター開発企画部  
担当部長



永岡 藤彦(ながおか ふじひこ)

ライト工業㈱

施工技術本部 R & D センター機械開発部  
担当部長

