

第 26 回 国土技術開発賞 優秀賞受賞

地盤改良工法の自動打設システム
～ GeoPilot-AutoPile (ジオパイロット・オートパイル)～

〔受賞者〕 株式会社不動テトラ

〔本稿執筆者〕 株式会社不動テトラ

株式会社ソイルテクニカ

すずき あきひこ いとう たけし
鈴木 亮彦, 伊藤 竹史
にしかわ しんじ
西川 晋司

以下に、第 26 回 国土技術開発賞で優秀賞を受賞した「地盤改良工法の自動打設システム」を紹介します。

1. はじめに

近年、建設業界では熟練作業員の高齢化や少子化によって労働人口が年々減少傾向にあり、建設工事の効率化・生産性向上等が課題となっている。これらの課題に対応するため、国土交通省では ICT を積極的に導入する「i-Construction」を推進している。その施策の一環として、令和 2 年度に「施工履歴データを用いた出来形管理要領(固結工(スラリー攪拌工)編)(案)」が発表され、地盤改良の分野でも本格的な運用が始まった。

一方、建設会社では施工機オペレータの高齢化が進み、今後は若手オペレータを早期に育成していかなければならない。また、海外事業を展開する上で現地オペレータを採用することができれば、現場運営の大きなアドバンテージとなる。

このような背景の中、開発者は培ってきた地盤改良技術に日々進化する ICT を融合させることで、より省力化や安全に寄与し、現場運営の効率化と生産性を向上させるべく新たな自動打設システム「GeoPilot-AutoPile」を開発した。

2. 従来技術の課題

新技術である「GeoPilot-AutoPile」が対応している機械攪拌式工法(CI-CMC 工法¹⁾)は、セメントスラリーを作液するスラリープラントおよびそれを送り出すポンプが設置されたプラントヤードと、地盤改良位置で混合攪拌を行う施工機エリアからなる。

従来、地盤改良における施工機の制御は、熟練したオペレータの判断に委ねることがほとんどであった。改良を必要とする地盤は、さまざまな地層から構成されることが多く、それぞれの硬軟によって施工の進行速度が変化する。オペレータが管理計器に表示される情報を基に、手動でレバーやダイヤルを操作し、スラリー流量や貫入・引抜き速度の調整を行っていた。

この手動操作には熟練が必要であり、作業効率や精度に個人差が生じる課題があった。それに加えて、プラントヤードの状況の把握や施工機周辺の安全管理もオペレータが担っており、それ故、熟練の技能を必要としていた。

3. 開発技術の概要

本技術「GeoPilot-AutoPile」の導入により、

地盤改良施工機に搭載されたコントロールユニットが各種計測器と連携し、スラリー流量や貫入速度をリアルタイムで自動制御することが可能となった。また、従来オペレータが行っていた手動操作を不要とし、打設作業が自動化された結果、作業効率の向上および熟練度に依存しない安定した品質の確保が実現された。

図－１～３および表－１に示すとおり、本システムは手動操作と自動操作の比較により施工機操作数の削減が明確となり、従来の作業工程の簡略

化および効率化が達成されていることが確認できる。

(1) 開発における課題

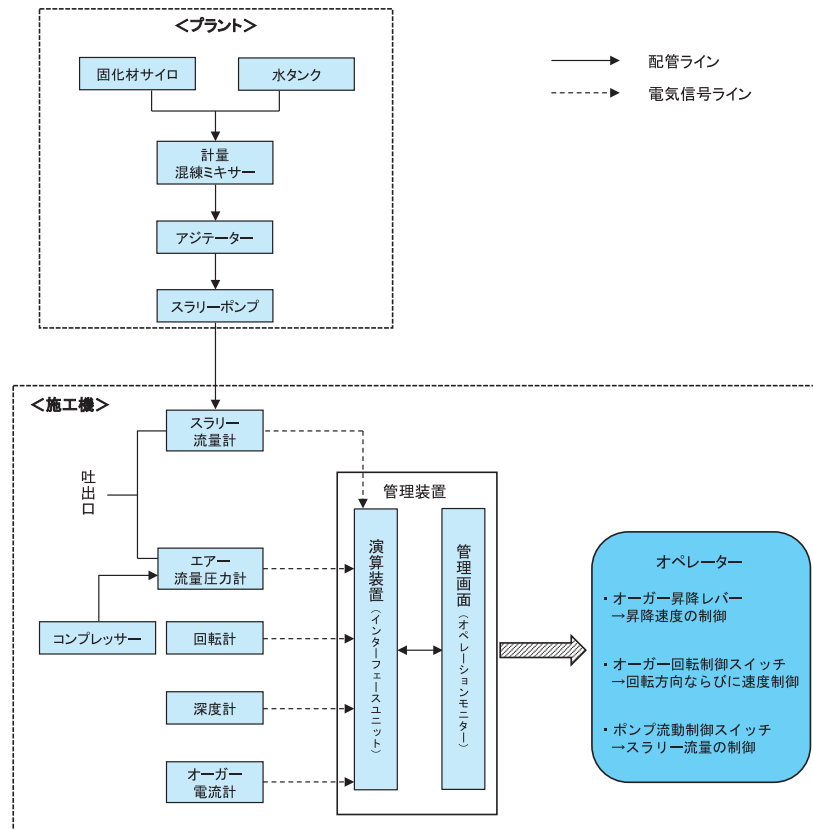
「GeoPilot-AutoPile」の開発で最大の課題となったのは機械制御であり、異なるメーカーの機械間で通信を行い自動打設を可能にする点であった。共通コマンド作成やソフトウェア改造に取り組んだものの、通信エラーが頻発し、原因究明やバグ修正に数カ月かかった。



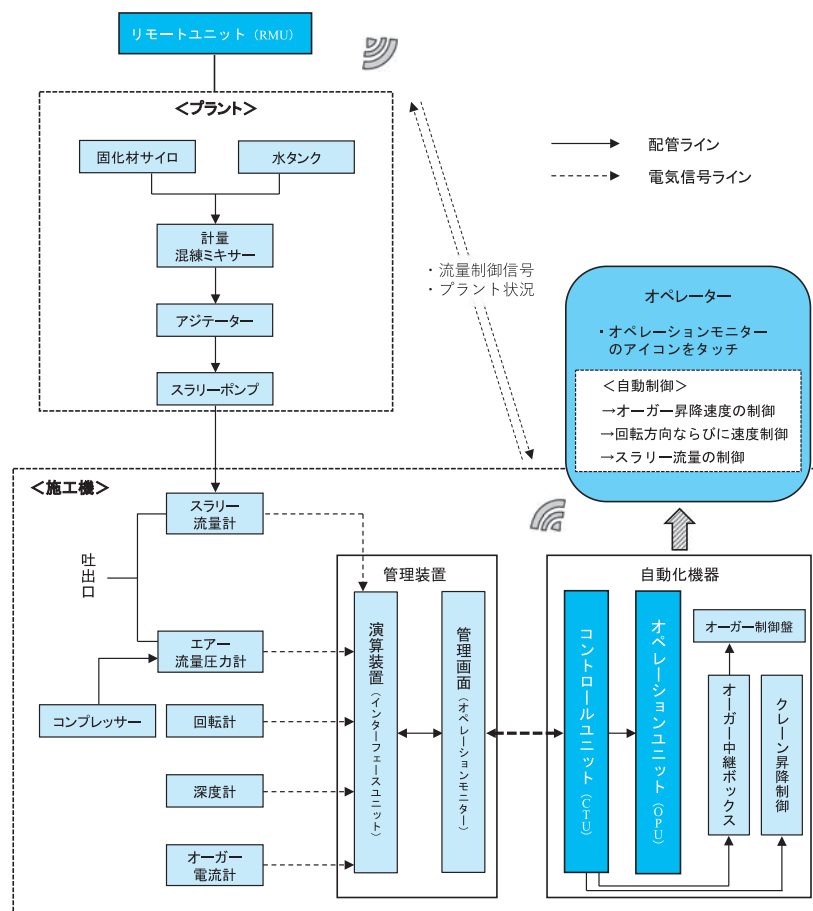
図－１ 本技術のシステム概要

表－１ 施工機操作数の比較

項 目	内 容	操 作	
		手動運転	GeoPilot®-AutoPile
貫入開始	開始信号の送信 オーガーモータの回転 攪拌軸の貫入	開始アイコンタッチ 制御ボタン ON 速度を操作しながらレバー操作	開始アイコンタッチ
セメントスラリー吐出	流量調整	規定量になるようにダイヤル調整	自 動
貫入終了	攪拌軸の貫入停止 グラウトポンプの停止 終了信号の送信	レバー中立操作 制御ボタン OFF 終了アイコンタッチ	
先端処理	攪拌軸の引上げ 攪拌軸の再貫入	速度を確認しながらレバー操作 速度を確認しながらレバー操作	自 動
引抜き開始	開始信号の送信 オーガーモータの停止 攪拌軸の引上げ	開始アイコンタッチ 制御ボタン OFF 速度を確認しながらレバー操作	開始アイコンタッチ
引抜き終了	攪拌軸の引上げ停止 オーガーモータの停止	レバー中立操作 制御ボタン OFF	自 動
施工終了	終了信号の送信	終了アイコンタッチ	



図－２ 従来の手動運転におけるシステム構成図



図－３ 自動運転におけるシステム構成図

また、試作段階ではコントロールユニットの負荷が不明で内部機器の故障が発生したが、試運転を経て堅牢なシステムを完成させた。

(2) 開発技術における効果

本技術による主な効果が4点挙げられる。

① 操作の簡素化

「GeoPilot-AutoPile」は、従来の手動操作に比べタッチ操作のみで貫入と引抜きを行えるため、作業が大幅に簡素化され、オペレータの負担が軽減し、施工サイクルの効率化と生産性の向上が期待できる。

② 習熟期間の短縮

従来3年かかっていた技術習得期間が、ボタン操作のみで施工できる「GeoPilot-AutoPile」により約1/3に短縮され、若年者や海外の現地オペレータの活躍が期待される。

③ 安定した品質提供

「GeoPilot-AutoPile」は、自動制御によりオペレータの技量からくる品質の差異を小さくし、安定した品質を提供できる。

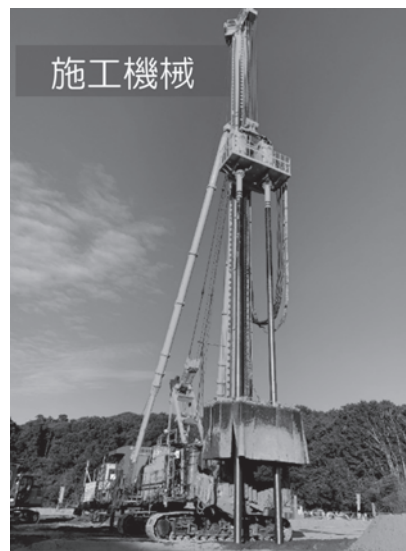
④ 安全性の向上

各種センサーが施工機の状態を監視し、異常時には自動制御で対応するため、安全性が向上する。

4. 施工事例

「GeoPilot-AutoPile」を初めて導入した施工事例を紹介する。本工事は、茨城県潮来市において、深層混合処理工、カルバート工等を施工するものであった。当該区間の地形は、丘陵部と低地部が混在し、丘陵部には森林が低地部には水田があり、軟弱地盤である低地部への盛土工、カルバート工に先立って地盤改良工を施工している。

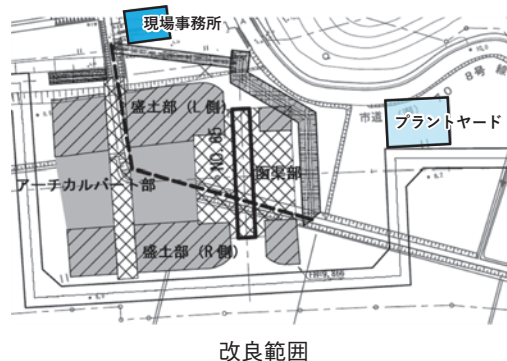
改良深度は最大L=13.3m、総改良土量1.6万m³、硬質層への根入れ施工が必要であり、大型施工機による大量施工が求められた。写真－1に使用した施工機械、写真－2に大型施工機による地盤改良工（CI-CMC工法）の施工状況、図－4に地盤改良平面図を示す。



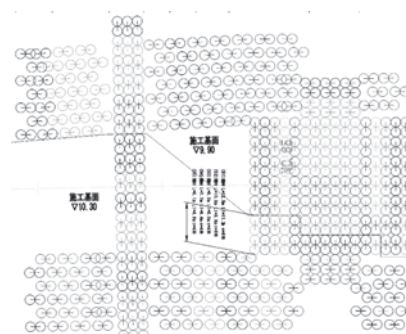
写真－1 施工機械



写真－2 施工状況（CI-CMC工法）



改良範囲



地盤改良杭伏図

図－4 地盤改良平面図

本工事現場は、改良対象層となる軟弱地盤は腐植土層（Avp層）、粘着土層（Avc層）、砂質土層（Avs層）が堆積する多層地盤となっており、改良に必要となる改良材スラリー添加量は層ごとに異なる。

そのため、深層混合処理工法による施工では、層ごとに改良材スラリー添加量と施工速度（攪拌翼の昇降速度）の調整が必要となる。また、地盤強度にバラツキがあることから、施工速度は地盤強度に応じて変化する。そのため、改良材スラリー吐出量はそれに依りて調整が必要となる。

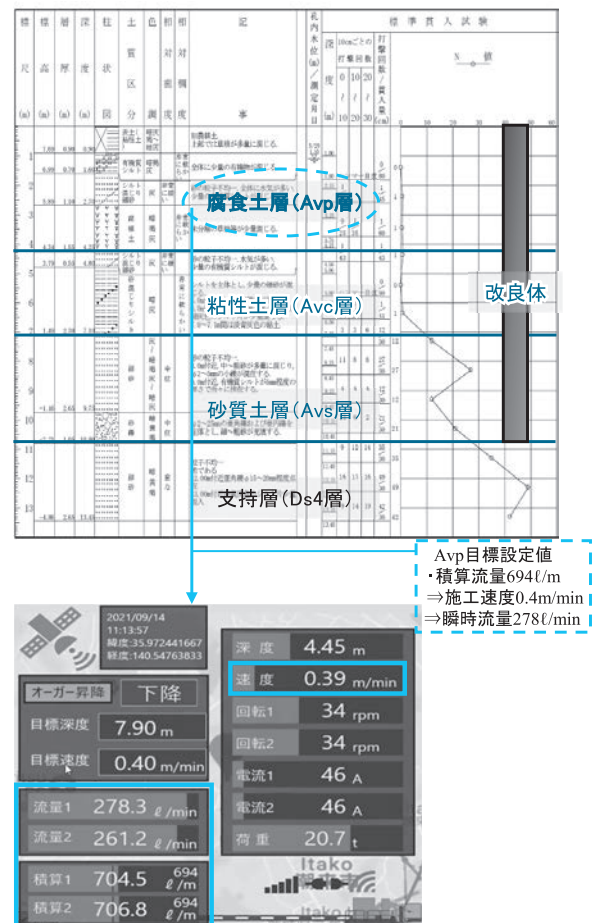
(1) 自動打設システムによる施工

「GeoPilot-AutoPile」では、各層に応じて目標となる施工速度、改良材スラリー添加量を設定し、施工機およびスラリープラントを自動制御している。例えば、地盤強度のバラツキにより施工速度が落ちた場合は、改良材スラリー吐出量が自動的に低下し、均質な改良ができるよう制御が可能である。

図－5に「GeoPilot-AutoPile」による施工状況の一例を示す。自動施工により目標の施工速度、改良材スラリー流量（瞬時流量、積算流量）を満足していることが確認できる。

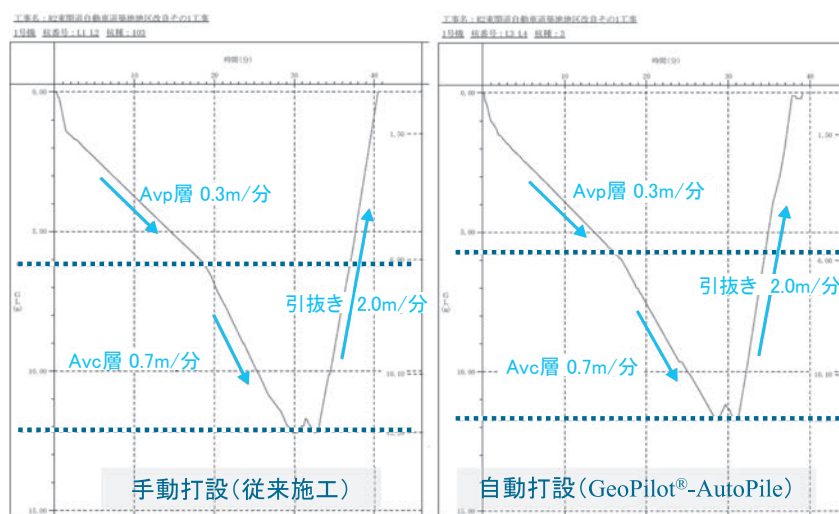
(2) 手動打設との比較

熟練オペレータによる手動打設と「GeoPilot-



図－5 自動制御効果による施工状況

AutoPile」による自動打設の比較を、隣接する改良杭で実施した。施工記録の比較を図－6に示す。当地区の地盤においても「GeoPilot-AutoPile」の自動打設では、規定の造成速度で安定した施工が実施されていることが確認できた。



図－6 手動打設と自動打設の比較

表－２ 改良材スラリー吐出量の比較

操作方法	手動打設（L）	自動打設（L）
基準値	6,463.0	6,245.0
No.1	6,851.1	6,845.3
No.2	6,916.5	6,818.9
使用ロス率	1.07	1.09

手動打設の方は貫入長が0.5 m 長く2分程度貫入に時間を要しているものの、自動打設と同等の処理能力を確保できると考える。

また同様に、改良材スラリー吐出量の比較を表－２に示す。設定した基準値に対して、改良材スラリー吐出量は両者とも規定量を満足しており、スラリープラント、グラウトポンプの自動化制御が適切に行われていることが確認できる。使用ロス率についても基準の1.1以内での施工を確保している。

(3) 掘り起こしによる出来形確認

地盤改良後の掘り起こし状況を写真－３のとおりで、良好な改良地盤を造成できていることが確認できた。これらのことから、「GeoPilot-AutoPile」の自動打設はオペレータの経験年数によらず、安定した施工能率・品質を提供できることが明らかになった。



写真－３ 自動打設による改良杭の掘り起こし状況

5. おわりに

本稿では「GeoPilot-AutoPile」について紹介した。本技術による地盤改良の自動打設が可能となることで、オペレータ不足解消の一助になると期待される。また、オペレータの操作が簡素化されることにより、安定した品質を提供し、オペレータが施工中の注意喚起を図ることができ、地盤改良工事の安全性の向上も期待される。

ICT 技術の導入にはコストの増加が伴う。そのため、地盤改良工事における省力化を図り、人件費の削減や1人当たりの生産性の向上を達成することが必要となる。日々進歩するICTを積極的に活用し、多くの技術を積み重ねることで、地盤改良工事の省力化と生産性の向上を図っていく所存である。

【参考文献】

- 1) 岡戸雅則, 川村幸一, 増田圭吾, 関友亮: 地盤改良工事(CI-CMC工法)における施工管理の創意工夫, 地盤工学会誌, Vol.59, No.6, pp. 16-19, 2011.