

25. 段差対向噴射式高圧噴射攪拌工法の生産性向上への取り組み

ICT 技術を用いた V-JET 工法

三信建設工業株式会社 ○ 島野 嵐
 三信建設工業株式会社 山口 洋
 株式会社トーメック 星 宏明

1. はじめに

国土交通省は、「ICT の全面的な活用による建設生産性向上に関する研究」の中で、施工段階の開発目的として「情報化施工の導入による省力化」、「出来高・出来形管理の迅速化」、「計測結果の見える化による監督検査の効率化」を挙げている¹⁾。

段差対向噴射式高圧噴射攪拌工法である V-JET 工法(以下、本工法)では、これら課題に対応可能なシステムを開発・導入し生産性の向上を図った。

本稿では本工法の概要ならびに開発・導入した管理システムについて述べる。

2. 工法概要²⁾

本工法は、長年にわたる数多くの実績をもつ JSG 工法の特徴を生かしつつ、施工の高速化・効率化を図った地盤改良工法である。図-1 に概要図を示す。本工法は高い噴射攪拌効率を発揮する先端噴射装置(特殊専用モニター)を用いており、従来技術と比較して施工性や経済性が向上し、環境負荷の低減を可能にしている。表-1, 表-2 に示すように、硬化材の噴射量, 特殊専用モニターおよび機械設備などにより、1.5m~6.0m と幅広い改良径の設定や改良強度の設定が可能である。

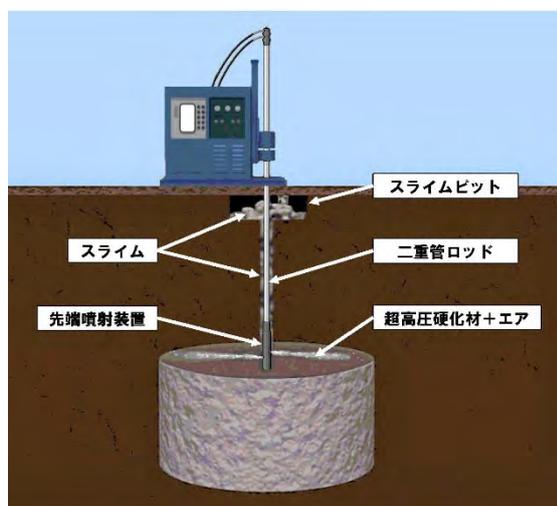


図-1 V-JET 工法の概要

表-1 V-JET 標準施工仕様

タイプ	V0	V1	V2	V3
標準有効径(m)	1.5, 2.0	2.5, 3.0	3.5, 4.0	4.5, 5.0, 5.5, 6.0
噴射量(L/min)	160	240	360	540
造成時間(min/m)	4~7	7~10	9~12	10~18

表-2 V-JET 設計基準強度

種別	土質	一軸圧縮強さ(MN/m ²)	粘着力(MN/m ²)
標準仕様	砂質土	3	0.5
	粘性土	1	0.3
低強度仕様	砂質土	1	0.2
特殊土仕様	有機質土	0.3	0.1

3. 管理システムの概要

管理システムは表-3 に示すように施工段階ごとに 5 つのシステムから構成される。以下に各システムについて詳細を示す。

表-3 管理システムの構成

施工段階	使用システム	概要
改良機セット時	平面位置誘導システム	GNSS を用いた施工機の誘導
削孔時	削孔精度確認装置	削孔管路位置の確認・記録
造成時	切削状態モニタリングシステム	改良径の可視化(施工 1 本目で実施)
	専用施工管理装置	施工データの一元管理・履歴データ記録
施工後	地盤改良データ 3 次元描画システム	地盤情報や施工情報(施工履歴データ)を 3 次元で描画する

3.1 平面位置誘導システム

(検測作業の省力化・作業員の省力化)

平面位置誘導システム(TOMECA-Navi TJI-1A:国土交通省 ICT 建設機械等認定制度申請中)は、事前に平面図 CAD データと現場の変化点座標(現場を囲む 3 点以上の既知点座標)を入力し、施工箇所の x, y の位置情報を事前に把握し、改良機セット時に施工ポイントに誘導するものである(図-2 に表示例を示す)。高圧噴射攪拌工法の施工位置は図-3 に示すよう排泥ピット開口部の直上となり、開口部端部に印した離隔より出す空中の施工ポイントにセットする手法を取ることが多いが、マーキングが消えた場合や覆工盤がずれた場合の再測量などが必要であった。本システムの導入によりこれらの作業がなくなり作業員の省力化が図れる。



図-2 平面位置誘導システム表示例



図-3 従来の施工ポイントへの誘導時の課題

導入に際し、光波測量により設けた 25 か所の測量点に本システムを用いて誘導し、改良機の前、後、左右方向の誤差を計測し精度確認を行った。結果として、誘導誤差は改良機の前、後方向で 0.1~3.0cm、左右方向で 0.1~2.5cm、合成距離で 0.7~3.3cm (平均 1.6cm) であった。この値は本工法の管理基準値 $\pm 10\text{cm}$ 以下²⁾や施工履歴データを用いた出来形管理の監督・検査要領(固結工(スラリー攪拌工)編)に示される管理基準値 $\pm 100\text{mm}$ 以内³⁾であり、本システムによる平面位置管理の有効性が確認されている。

3.2 削孔精度確認装置

(施工履歴データの記録)

削孔精度確認装置は図-4 に示すジャイロセンサ

が設置されたセンサプローブにより、削孔の管路位置(孔曲がり)を測定するものである。

出力データは、事前に設定した施工位置の x 軸, y 軸および深度の z 軸で計測用 PC に表示され、各深度での管路位置(孔曲がり)を出力・記録できる。

削孔精度の計測状況例を図-5 に、出力データの表示例を図-6 に示す。

本システムは x 軸, y 軸の計測を同時にできることから、従来の片軸ずつ計測する機器と比較し、おおよそ半分の作業時間にて計測することが可能であり省力化が図れる。

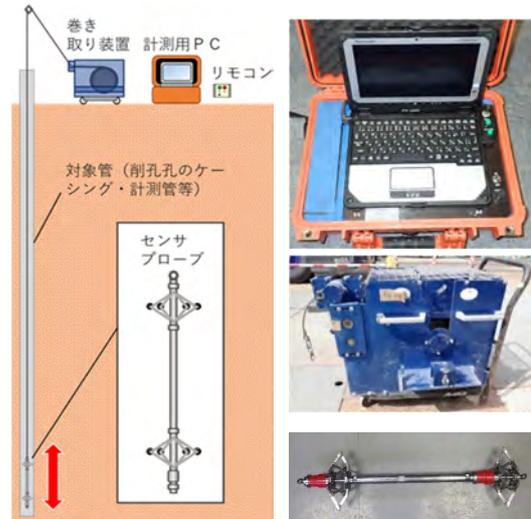


図-4 削孔精度確認装置概要



図-5 削孔精度計測状況

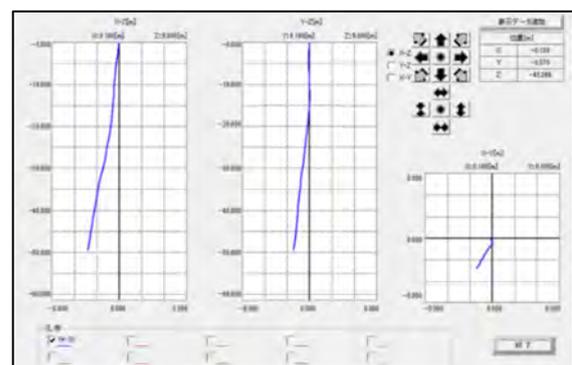


図-6 出力データ表示例

3.3 切削状態モニタリングシステム (改良体の可視化)

切削状態モニタリングシステム (JWM システム : Jet Wave Monitoring System) は、図-7 に示すように改良杭の造成範囲の複数位置に事前に集音器を挿入するための計測管を設置し、集音器により計測管に当たるジェット流を音の大きさとしてモニタリングし、この経時変化を記録・分析し、地盤の切削状態 (改良径) を評価するものである。

計測管にジェット流が到達している場合、図-8 に示すように一定間隔で山型のグラフ線形が確認でき、噴射エネルギーは山の大きさに比例してロッドに近い計測管ほど明確になる。このグラフにおいて、音圧レベルの振れ幅 (最大値-最小値) が規定値を超えた場合に改良体の出来形が計測管の外側まで達していると判断し、改良径の出来形を特定するものである。実現場での判定例を図-9 に示す。本システムにより試験施工による出来形確認が不要となり工期の短縮が図れる。

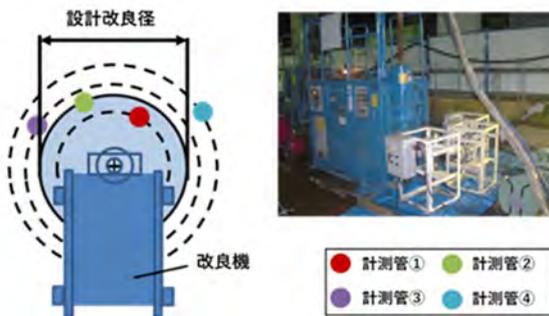
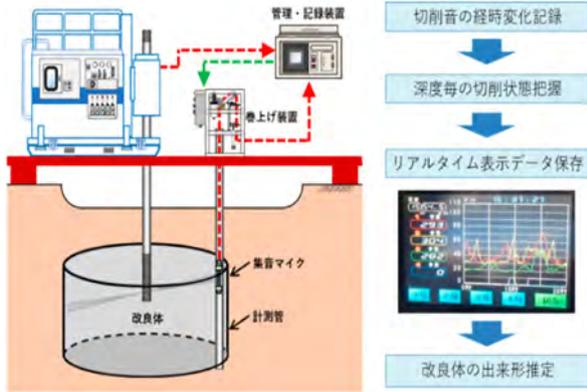


図-7 JWMシステム概要

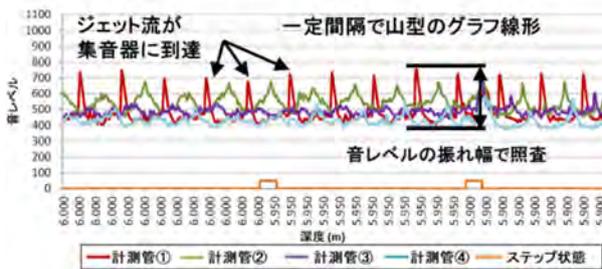


図-8 JWMシステム計測例

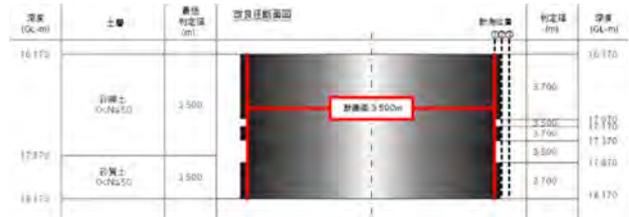


図-9 改良径判定例

3.4 専用施工管理装置

(施工履歴データの記録・検出作業の省力化)

専用管理装置を用いることにより、地中での地盤改良の施工状況をリアルタイムに確認・管理をすることが可能である。

管理できる項目は、図-10および図-11に示す「深度、硬化材の噴射圧力および流量 (瞬時および積算)、圧縮空気の圧力および瞬時流量、噴射装置の回転速度・引上げ時間、施工機の傾き、施工時間」であり、施工ヤード、プラントヤードの複数個所で計測された各々の施工データを一括管理でき、本体に記録保存される。表示データは画面ミラーリングにより外部表示可能であり現場と事務所の複数個所でリアルタイムにデータ共有が可能である。

施工データの表示例を図-12に、実現場での施工管理状況を図-13に示す。実現場において施工管理における作業時間省力化度合いおよび施工データ (チャートデータ) 整理時間省力化度合いの確認をした結果、前者は施工日1日当たり最大90分の省力化、後者は約3割の作業時間を省力化できることを確認されている⁴⁾。



図-10 施工管理装置表示例 (標準表示)



図-11 施工管理装置表示例 (経時変化表示)

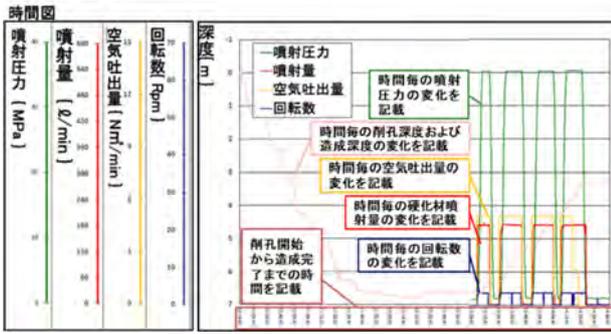


図-12 施工データ表示例



図-13 実現場での施工管理状況

3.5 3次元描画システム

(施工履歴データの描画・改良体の可視化)

3次元描画システム(3D wrapping system: 3D wide-range improved data rapid plotting system)は前述の施工管理技術の取得データを統合・一元管理して3次元で描画・可視化する技術である、斜視図の表示例を図-14に示す。改良体は設計位置と実施工位置で描画でき任意で表示・非表示が可能であり、施工日ごとに色を変え進捗図とすることも可能である。

また、図-15に示すように改良深度10cmごとに噴射量や噴射圧などの各施工管理項目が計画値を満足しているか否かの表示が可能である(管理項目ごとに切り替え表示)。さらに、図-16に示すように任意の断面で2D断面図の描画や、図-17に示すように局部点の拡大が可能であり、改良体同士が接合しているか(未改良部が連続して存在しないか)等の確認も可能である。

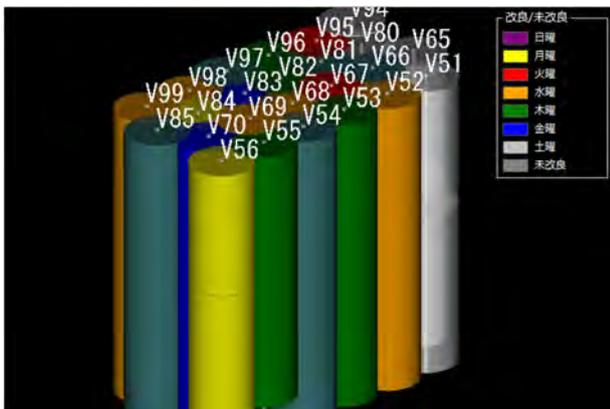


図-14 斜視図表示例

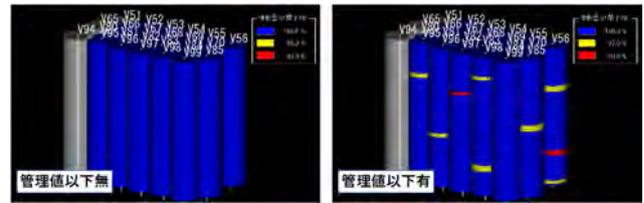


図-15 施工管理項目確認例

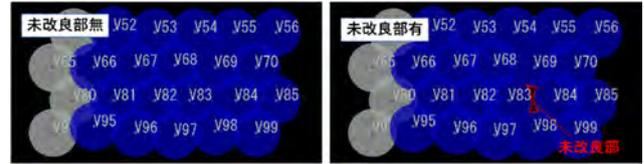


図-16 任意断面での描画例

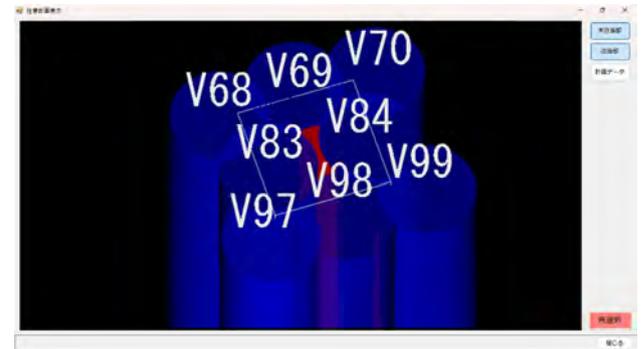


図-17 局部拡大表示例

4. まとめ

段差対向噴射式高圧噴射攪拌工法(V-JET工法)は、複数の管理システムを用いることで作業員の省力化や工期の短縮により生産性の向上が図れ、また、各施工段階での施工状況のリアルタイム一元管理・可視化ならびに施工履歴データの保存が可能となった。

これらより、従来の施工管理手法と比べ効率的かつ高水準な施工管理を実現した。今後も、日々進化している新しいICT技術等を積極的に導入し、さらなる生産性の向上を目指す。

参考文献

- 1) 国土交通省:ICTの全面的な活用による建設生産性向上に関する研究(最終検索日2023年7月24日), https://www.mlit.go.jp/tec/gijutu/kaihatu/pdf/h28/160801_04_ict.pdf
- 2) V-JET協会:V-JET工法技術・積算資料(第9版),2022
- 3) 国土交通省:3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)令和5年度3月版,p.8-21,2023
- 4) 公益社団法人日本材料学会:「地盤改良」に関わる技術評価証明報告書 V-JET工法,2020