

10. 中層混合処理工法における ICT 活用による施工管理の簡素化

WILL 工法協会 技術委員長 ○市坪 天士
技術副委員長 島野 嵐
技術副委員長 岡本 郁也

1. はじめに

近年、高い機動性および経済性から、深度 13m までの軟弱地盤の地盤改良に中層混合処理工法が多く用いられている。その一種であるスラリー撓動攪拌工（以下 WILL 工法）は、砂礫地盤にも対応可能な工法として、その施工件数・施工土量はともに増加している。

その一方で、人口減少社会を迎えたわが国では、地盤改良の専門的技術を有する技術労働者の確保・育成が喫緊の課題となっている。そのため、ICT 技術活用による施工管理の簡素化に伴う省力化への期待は日々高まっている。

本稿では、GNSS の位置情報や傾斜計のデータを用いて平面誘導や施工履歴データの記録ができる新しい専用管理装置を用いて実施した地盤改良機の平面誘導実験の結果を報告する。

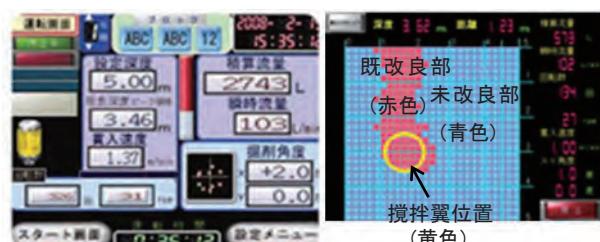
2. WILL 工法の概要と施工管理の現状

WILL 工法はバックホウタイプベースマシンの先端に攪拌機を取り付けた小型機械でありながら、リボンスクリュー型攪拌翼による撓動攪拌機構と特殊掘削補助装置（ブーメランプレート）を組み合わせることで、粘性土から締まった砂質地盤（N 値 40 未満）まで、幅広い土質に対応可能な中層混合処理工法である（写真-1 参照）。



写真-1 WILL 工法施工機

本工法の従来型管理装置では図-1 (a) に示す画面により深度・瞬時流量・積算流量・回転速度・積算回転数・攪拌装置掘削角度をリアルタイムに管理することができた。また、管理装置画面の切り替えにより、図-1 (b) に示す改良断面の攪拌翼位置（黄色円形部）と既改良部（赤色部）・未改良部（青色部）とに色分け表示する攪拌ナビゲーションシステムにより更なる品質管理の信頼性向上を図っていた。



(a) 標準表示画面

(b) ナビゲーションシステム

図-1 WILL 専用管理装置画面

一方、従来型管理装置を用いる改良施工の前段階に行う施工範囲の区分け作業は、光波計測器や測量テープを用いて測量し、石灰による白線や水糸などで施工ブロックを明示する必要がある。



写真-2 従来の位置出しの事例

現場では降雨や改良時の盛上り土等により消えてしまった白線を再度引き直すなどの手間も発生していた。また、軟弱地盤上での作業となるため、この施工ブロックの位置出しや改良深度等の確認を複数の技術者が足場の悪い状況で実施することが少なくなかった（写真-2 参照）。

3. ICT を活用した管理装置の開発

施工ブロックの位置出し作業や改良深度などの施工サイクルの確認作業を簡素化するために、GNSS 受信機や傾斜計などの計測データを一元管理し、かつ、これらの施工履歴データを記録できる新たな管理装置（以下管理装置）を開発し、品質管理向上および施工管理の省力化を目指した。

3.1 平面誘導方法

写真-3(a)に示す基地局を遮蔽物の少ない箇所に設け、写真-3(b)に示す2機のGNSS受信機を改良機本体に設置する。このGNSSの位置データと改良機の随所に装着された傾斜計のデータを総合解析することで、搅拌翼先端部のX・Y・Z座標を把握することができる。また、これらのデータは改良機の運転席に搭載したモニターにリアルタイムに表示される（写真-4 参照）。

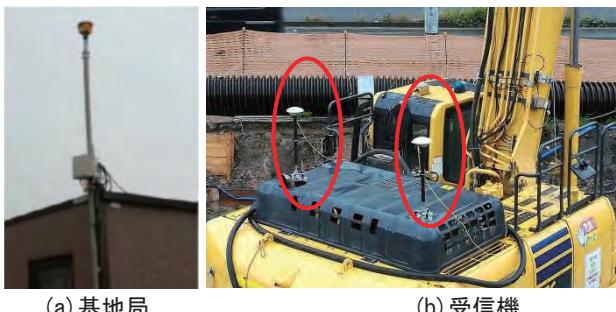


写真-3 GNSS 装着状況



写真-4 管理装置操作状況

管理装置に現場のCAD座標データを事前に入力

することで、改良エリアと改良ブロックの区割りが表示される。この表示は拡大縮小が可能であるため、オペレータは視覚による判断がしやすく、改良機を容易に施工予定ブロックに誘導させることができる。また、改良機の進行方向およびそれに直交する左右方向の2方向について搅拌翼から目標位置までの誘導距離を表示することから、搅拌翼を施工位置に正確にセットすることができる（図-2 平面誘導時表示例）。

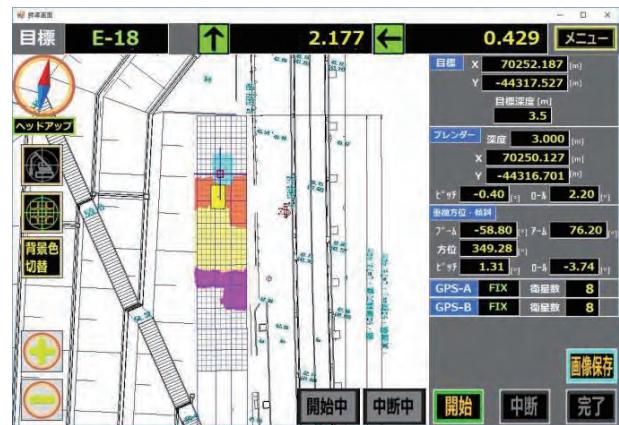


図-2(a) 改良エリア全体表示



図-2(b) 改良ブロックの拡大表示

図-2 平面誘導時表示事例

3.2 出来形管理資料

管理装置に集積された施工データは、全体改良範囲図、施工管理図（改良天端平面図・改良下端平面図・改良断面図）および施工管理データグラフとしてアウトプット可能である。

(1) 全体改良範囲図

全体改良範囲図は現場のCAD座標データを基に、平面図内に改良予定範囲および区割り図を表示することができ、既改良ブロックや当該施工対象ブロック範囲を着色することができる（図-3 参照）。

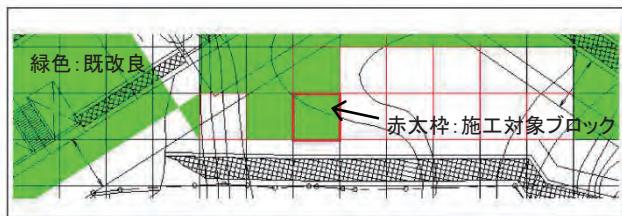


図-3 全体改良範囲図の例

(2) 施工管理図

施工管理図となる平面図および断面図は水平方向に 10 cm 間隔、深度方向に 50 cm 間隔で着色される。また、GNSS データに加えて改良機のブーム・アームおよび搅拌機に搭載した傾斜計データを一元管理できることから、深度毎の搅拌翼の三次元座標を把握できる。そのため、改良天端平面図だけでなく改良下端平面図や任意の改良断面図を表示することが可能である。さらに、所定の改良時間と搅拌翼回転数を着色規準として設定することができ、改良体品質の可視化が可能である(図-4 参照)。

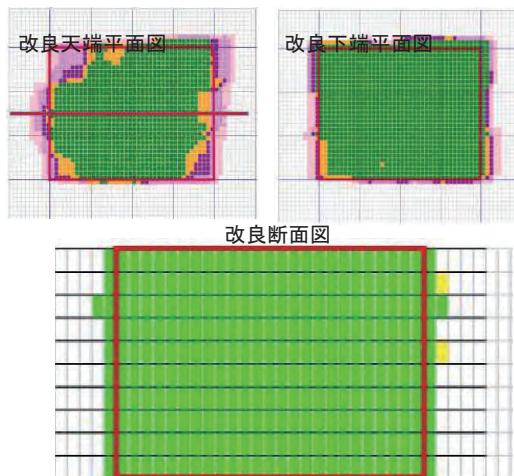


図-4 施工管理図の例

(3) 施工管理データグラフ

施工管理データグラフには、積算注入量・積算搅拌回転数をプロットした深度チャートが記録される(図-5 参照)。

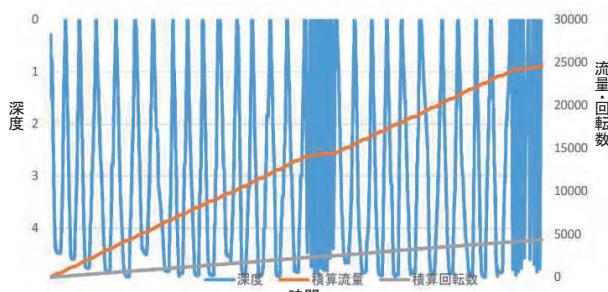


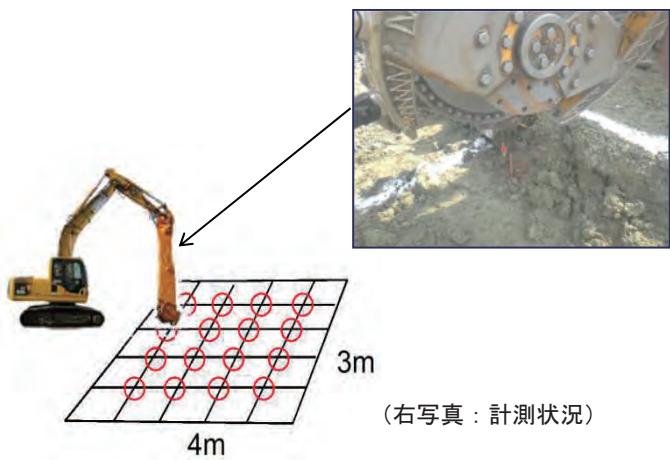
図-5 施工管理データグラフの例

4. 実大実験

4.1 計測事例 1

実際の施工現場にて、予め光波測量により図-6 に示す縦 4m × 横 3m の改良ブロックを縦横 4 等分した計 16 地点の測定点を設け、その後、搅拌翼を管理装置によって誘導し、改良機の進行方向とそれに直交する左右方向における光波測量の値と管理装置の表示値の誤差を計測した(写真-5 参照)。

それぞれの測定結果を表-1 および図-7 に示す。



(右写真：計測状況)



写真 5 平面誘導試験状況

搅拌翼の誘導誤差は表-1 に示すように改良機進行方向に 0~4 cm、左右方向に 0~7 cm、合成値で 0~7.3 cm (平均 4.2 cm) であることが確認された。

表-1 平面誘導誤差計測結果

項目	単位	進行方向の誤差	左右方向の誤差	合成誤差
最大値	cm	4	7	7.3
最小値	cm	0	0	0
平均値	cm	2.2	2.9	4.2
標準偏差		0.97	2.25	2

これらの値は、「施工履歴データを用いた出来形管理要領(表層安定処理工・中層地盤改良工事編)(案)」^{*1)}に示される出来形管理規準値の±10 cm

以上の精度基準を満たしており、管理装置による平面誘導の有効性が確認された。

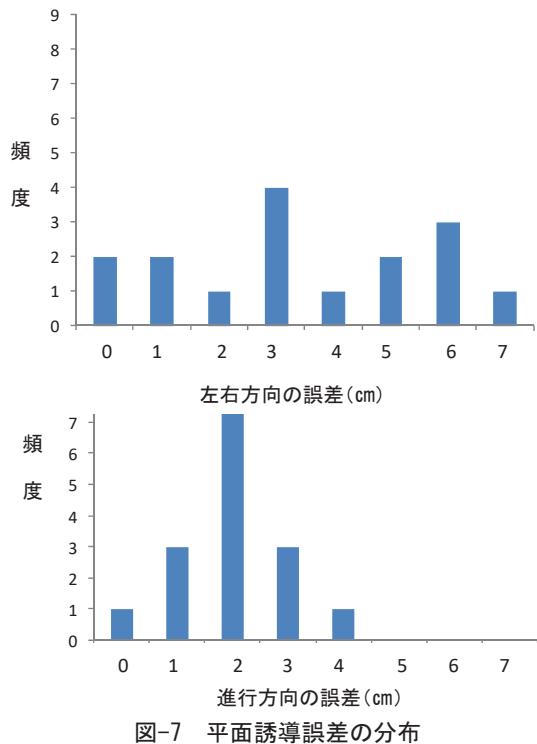


図-7 平面誘導誤差の分布

4.2 計測事例 2

実際の施工における改良機への衝撃、施工基面の傾斜および頻繁に行われる改良機の移動等により経時に誤差が増加しないかを検証するために、施工開始から約 1.5 ヶ月の間、定期的に誘導誤差を計測した。その結果を表-2 に示す。

表-2 誘導誤差の継時変化

測定点	経過	合成誤差(cm)	測定点	経過	合成誤差(cm)
計測点①	施工初日	6.8	計測点⑥	26日目	5.8
計測点②	4日目	7.1	計測点⑦	31日目	3.8
計測点③	6日目	7.1	計測点⑧	40日目	5.1
計測点④	13日目	7.5	計測点⑨	47日目	7.8
計測点⑤	19日目	6.4	平均値		6.4

約 1.5 ヶ月間の施工期間における各測定値の合成誤差に経時的な増加や大きな差異は認められなかった。また、本事例においても合成誤差の最大値は 7.8 cm と ±10 cm を下回る結果が得られた。

4.3 ICT 管理装置導入による省力化の検証

事例 1 および事例 2 の実験での作業時間を参考に、作業の省力化に対する管理装置の導入効果を推測した（表-3 参照）。

表-3 平面誘導により低減される人工数

ICT施工により低減 が推測される項目	低減される 人工数	備 考
施工箇所の位置出し・区割り作業・白線復元作業等	0.5h × 2人／日	作業時間は減らせるが、日当りの人員は減らせない
改良機の誘導・設置	0.25h × 1人／日	
写真管理	0.5 h × 3人／回	管理頻度が軽減された場合に限る

各人員の日々の作業は位置出しや誘導作業だけではないため、現段階では、表-3 に示す全ての人工数の軽減や日当りの人員を減少させること（省人化）は困難であった。しかしながら、作業員や管理者の負担軽減や改良機オペレーターの熟練度の軽減につながることは明瞭であろう。また、施工箇所の位置出しや白線の復元作業等にかかる時間を 0.5h/日程度軽減させることは可能と推測される。そのため、大規模工事においては、1割程度の省力化・工期短縮が期待される。さらに、今後は信頼性の向上から、写真管理回数の軽減や品質確認回数の軽減および手戻り工事の減少等の効果も期待できるものと予測される。

4. まとめ

実大実験結果から、ICT 技術を活用した新しい WILL 工法専用管理装置の精度が「施工履歴データを用いた出来形管理要領（表層安定処理工・中層地盤改良工事編）（案）」^{*1} の出来形管理規準を満足することを確認できた。また、施工管理を簡素化することで、地盤改良施工における 1 割程度の省力化を予測できたものと評価している。

しかしながら、今後さらに多くのデータを集積した上で管理装置の改善を進め、平面誘導精度の信頼性向上、施工管理項目の更なる簡素化とそれに伴う省力化の増大を目指す所存である。

参考文献

- 1) 国土交通省：施工履歴データを用いた出来形管理要領（表層安定処理工・中層地盤改良工事編）（案），p13.平成 31 年 3 月