

地盤改良リアルタイム施工管理システムの機能拡張 杭・地盤改良工事の一元化・見える化システム「Tc-PEAR」の提案

池田 直広・鈴木 一

杭や地盤改良といった地中工事は直接目で確認することができないため、品質確保は他の工事と比べて、困難な状況であった。また、工事進捗や施工状況をどこでも複眼的に把握することが、早期の問題発見や迅速な対応につながり、確実な品質確保を実現する。

そこで、専門工事会社と共同で ICT を活用した杭・地盤改良工事のリアルタイム施工管理システム「Tc-PEAR（ティーシー・ペア）」（以下、本システム）を開発し、運用を開始した。

以下に、本システムの有効性検証結果と運用に伴う様々な生産性向上のための拡張機能について報告する。
キーワード：地盤改良，杭位置誘導，生産性向上，施工管理，BIM・CIM 連携

1. はじめに

杭・地盤改良工事は、専門工事会社が持つ施工管理装置の記録データを元請会社がリアルタイムに把握できる仕組みとなっていないため、施工中に直面する地層の急激な変化や地中障害の発現等を共有できず、対策工事の遅延につながることもある。

また、施工位置の指示は元請会社、施工管理情報の管理は専門工事会社の役割分担が慣例となっているため、施工位置と紐付いた施工管理情報をリアルタイムに共有することができなかった。

このことが、工事進捗や問題把握の遅れに繋がり、適切な対応を誤り、品質確保を脅かす事態となっていた。この課題を元請会社と専門工事会社の共通の課題として捉え、本システムの開発は専門工事会社と共に取り組んできた。

図-1に、本システムの実現概念イメージ図を示す。

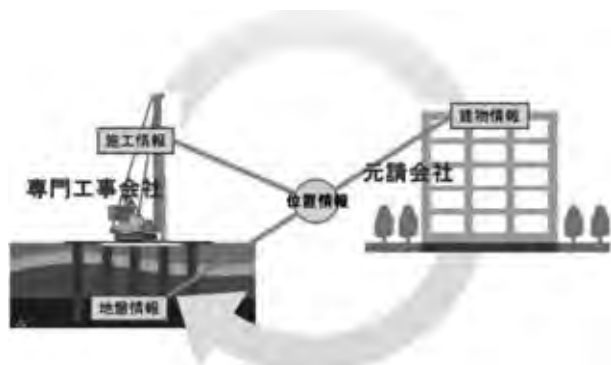


図-1 本システムの実現概念イメージ図

2. 本システムの概要

本システムは、大きく分けて2つの機能から得られる情報をデータサーバ上で統合したシステムである。

GNSS または トータルステーション（以下、TS）等を用いて施工位置をオペレータに指示する施工位置誘導機能と、施工機械データを蓄積した施工管理装置から得られる施工管理データを表示する施工管理機能である。

各掘削深度における掘削抵抗（積算電流）値や地盤



図-2 本システム構成概念図

改良攪拌回数、プラントで計測されるスラリー比重データ等を施工位置に紐づけて記録するために、各々のデータをリアルタイムにデータサーバに送信する。

送信されたデータはサーバ上で統合して管理帳票データとすることで、関係者がどこでも工事の進捗や施工状況を把握できるシステムとなっている。

図—2に、本システムのシステム構成概念図を示す。

3. 狭隘部施工位置誘導機能拡張

本システムは地盤改良施工機のリーダーの先端にGNSS受信アンテナを2台設置し、位置と方位情報を取得することで、削孔位置を誘導している。

しかし、都市部の狭隘部等ではGNSSを利用できないことが多いため、TS等を用いて施工位置を誘導する機構を開発した。TS等を用いた施工位置誘導機能は、TS等の測距部が重機の補器類等に隠れると計測ができなくなり作業が中断してしまう。そのため、施工性が低下してしまうことが問題となっていた。

そこで、リーダに設置するターゲットミラーを遠隔で移動させる機構を開発し、施工性の低下を防ぐ取り組みを実施した。以下に、開発したTS等を用いた施工位置誘導機能の詳細を述べる。

(1) 位置取得装置

本システムの位置測定には、基礎工事の杭位置測量などで近年TSの代替に用いられ始めた㈱トプコン製のLN-100（杭ナビ）を用いた。

本機を採用した理由としては、従来のTSと比較して、安価で取扱いが容易だけでなく、データ出力頻度が高く、かつ追従機能が向上していることが挙げられる。

これは、位置誘導装置として用いる場合、出力頻度が高いことで誘導までの待ち時間が少なくでき、追従性能が高いことはターゲットミラーをロストする確率を下げる事に繋がるため、施工性の向上に大きく貢献できると判断したためである。

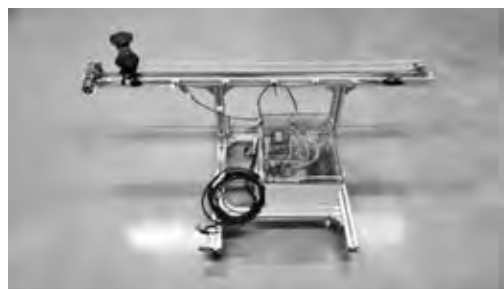
(2) 方位取得装置

方位取得装置は、小型振動ジャイロとターゲットスライド装置の2つの機構を組み合わせて実装した。相対方位の計測には安価な小型振動ジャイロを用い、初期方位とジャイロドリフト補正のためにターゲットスライド装置を用いて、位置情報を2点計測し、方位算出を行った。本装置は、迅速に位置情報を2点計測するために、方位計測信号を遠隔で送ると、自動でガイ

ドレール上をターゲットミラーが往復し、その間に、位置情報を2点取得する装置である。

ターゲットスライド装置を用いるタイミングは、システム起動時および詳細誘導を開始する時に毎回行うこととした。

写真—1にターゲットスライド装置の外観、写真—2に小型施工機設置状況を示す。



写真—1 ターゲットスライド装置の外観



写真—2 小型施工機設置状況

(3) 取付角変更機構

本装置は、ターゲットスライド装置全体の取付角を遠隔で変更可能にする装置である。取付け角度の変更角は約90度を設定してシミュレーションした結果では、施工機械が旋回動作などで大きく姿勢を変えても、TS等が視認可能な状態を保つことができた。

この機構により、課題である補機類等に支障する毎に施工を中断し、TS等の位置を変更しなければならぬ問題を解決した。写真—3に取付角変更機構の写真を示す。

4. 施工位置誘導機能の施工精度検証

今回開発した施工位置誘導機能の施工精度検証実験は、現場模擬フィールドに設けた12点の目標点に施



写真—3 取付角変更機構



写真—4 オペレータ誘導モニター画面

表—1 誘導精度確認結果

平均 (mm)	標準偏差 (mm)	1 σ 範囲 (68.27%) (mm)	2 σ 範囲 (95.45%) (mm)
14.5	8.5	6.0 ~ 23.0	-2.5 ~ 31.5
16.6	9.0	7.6 ~ 25.5	-1.3 ~ 34.5
15.4	8.8	6.6 ~ 24.2	-2.2 ~ 33.0
15.6	8.1	7.5 ~ 23.8	-0.7 ~ 31.9

工位置誘導機能を用いて地盤改良施工機を誘導し、地盤改良施工機の刃先位置と目標点の差異を比較した。

各点4回、合計48回の計測をもとに位置ずれ誤差(目標点と誘導点の点間距離)を評価した結果、平均15.5 mm、標準偏差8.6 mmとなり2 σ 値で32.7 mmとなった。

表—1に実施した4回分の誘導精度確認結果を示す。

この結果は誘導装置のシステム全体誤差と誘導機能を用いた施工誤差を内包するため、施工には十分な精度を確保できるといえる。また、安定的に精度を確保できることも併せて確認が取れた。

5. 施工位置誘導機能の操作性検証

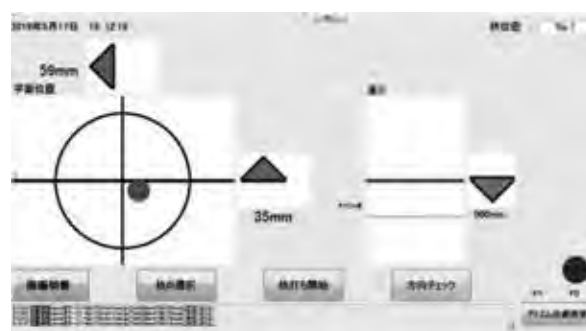
地盤改良工事は1日当たりの施工本数が多いため、施工位置誘導機能の施工性は生産性向上に寄与する重要度が高い。

本システムは、地盤改良施工機の操縦席に表示モニタを設置し、オペレータが目標とする施工位置と施工機をモニタで確認しながら操作し、施工位置を合わせる方式を採用した。

写真—4に、操縦席に設置されたモニター画面を示す。

誘導装置の施工性検証実験では、普段、地盤改良工事を実施しているオペレータに、施工位置誘導機能の画面のみを見て施工位置に合わせる操作をしてもらい、通常施工と誘導時間を比較するとともに、実験実施後のヒアリングによる操作性を確認した。

誘導手順は、以下の2段階の手順で実施した。まず、



図—3 詳細誘導画面例

オペレータは図—5の画面を見ながら、地盤改良施工機を操作し施工位置の近傍まで移動させる。その後、ボタン操作で詳細誘導画面に切り替え、リーダーの鉛直を修正し方向チェック操作を行うものとした。図—3に詳細誘導画面例を示す。

本実験の中で、オペレータは誘導ソフトの操作に慣れていくことで誘導時間を短縮させ、最終的には、大まかな誘導で1分30秒、詳細誘導で30秒、合計2分程度で誘導が完了した。これは、通常の誘導員とともに、行う施工位置誘導と同等の速度であった。

6. リアルタイム傾斜管理機能拡張

地盤改良工事において、リーダーの傾斜管理は、地中の改良体の性能に大きく影響するため、重要な管理項目である。

特に、玉石混じりのレキ層を改良する際には、削孔中に地盤改良機のリーダーの傾斜角が変化する可能性があり、常に監視が必要となる。

そこで、地盤改良機のリーダー部分に二軸傾斜計を事前に設置しておき、リーダーの鉛直性(傾斜)のデータをリアルタイムで測定して、管理値を超えないように監視する機能を追加した。

このデータにより、リーダーの傾斜=改良ロッド及び改良体の傾斜とみなすことで、施工中もリアルタイムに偏芯だけでなく傾斜も管理可能となり、品質確保

に役立っている。

7. BIM・CIM 連携機能拡張

本システムでは、日々の管理は図—4に示す通り、平面・断面の2次元表示の施工管理画面を用いている。図—4に、Web 管理画面表示例を示す。

しかし、複雑な地盤改良工事を実施する際には、進捗状況の把握や施工計画の見直し等でも2次元の図面では把握が困難である。また、施工中に直面する地層の急激な変化や地中障害の発現等のトラブルを監理者や施工主に説明する場合も、2次元の図面では状況が把握し難く、時間を要することがある。

そこで、本システムでは、日々の施工・進捗管理の「見える化」により、施工計画・施工進捗管理に活用したり、地上構造物と連携して管理することで状況把握を迅速に行うことを目的として、BIM・CIM データと連携して出力可能な機能を開発した。

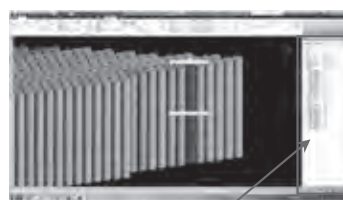
表示画面例はCIM モデルと連携することで、日々の施工・進捗管理の「見える化」を実現した事例である。

また、施工管理データをCIM モデルの属性情報に紐づけすることで、データの一元管理が可能となり、データ管理の手間が削減された。図—5にCIM 連携による3次元表示画面例を示す。

これにより、3次元モデルに施工進捗・工程の時間



図—4 Web 管理画面表示例



施工管理データ（属性情報）の紐付けによる施工データの一元化

図—5 CIM 連携による3次元表示画面例

軸も付加（4次元化）することができ、工程管理や設計変更、トラブル対応の判断が迅速に行われることを期待している。

8. おわりに

本稿では、本システムの拡張機能およびその適用事例についてご紹介した。以下に、報告事項をまとめる。

- ・TS等を用いた施工位置誘導機能の課題を解決する機構を開発することで、狭隘部における効率的な施工位置誘導を実現した。
- ・位置誘導機能の性能検証を実施して、精度、施工性に問題がないことを確認した。
- ・進捗状況の把握やトラブル時の対応判断が迅速化するようにBIM・CIM連携を推進し、三次元表示機能を活用した。

本開発で、コスト縮減、生産性向上を実現するためには、工事の大半を占める一般部だけ対応可能なシステムでは不十分であり、特殊部の対応が重要であるとの知見を得た。また、本システムを活用することで、生産性を向上しつつ品質の確保を確実に行うことが可能になる事を期待している。

JICMA

【筆者紹介】

池田 直広（いけだ なおひろ）
東急建設株式会社
技術研究所 建設 ICT グループ
グループリーダー



鈴木 一（すずき はじめ）
東急建設株式会社 土木事業本部
技術統括部 土木技術設計部 技術設計第一グループ
グループリーダー

