

多軸攪拌方式の地盤改良等の 打設精度管理システムの開発

マルチコラムナビ

野 口 達 也・市 川 晃 央・荻 野 寿 一

ソイルセメント柱列壁工法（SMW 工法）や深層混合処理工法（DCM 工法）等の多軸攪拌方式の地盤改良や場所打ち杭の施工において、打設精度を高度に管理する「マルチコラムナビ」（以下「本システム」という）を開発した。本システムは、地盤改良のロッドや場所打ち杭のケーシングを対象に、中心軸を3次元座標によってリアルタイムに管理する情報化施工技术である。3次元座標による杭芯管理は、タブレットPCを用いて行うことで、ロッドやケーシングの傾斜や平面位置を定量的に把握することができる。本システムを実際プロジェクトに適用して、出来形管理の有効性を確認することができた。本稿では、システムの概要とプロジェクトの適用事例について紹介する。

キーワード：深層混合処理工、場所打ち杭工、止水壁、打設精度管理、情報化施工

1. はじめに

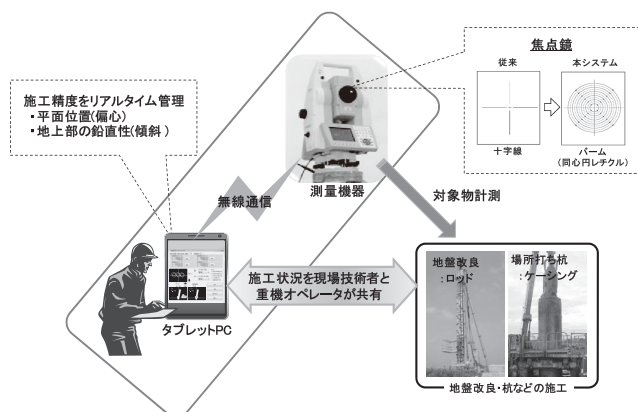
地盤改良工事におけるロッドや場所打ち杭工事におけるケーシングの杭芯管理について、従来技術では、予め測量で求めた杭芯に、ロッド（多軸攪拌方式の地盤改良の場合）やケーシング（場所打ち杭の場合）をセットして、ロッドやケーシングの鉛直性を2方向からトランシット（測量機器）で目視確認して、重機オペレータと合図を取り合いながら傾斜を調整している。施工中においても、トランシットで鉛直性を確認する方法が一般的であり、杭芯セットから施工中にかけてロッドやケーシングの傾斜や平面位置を定量的に管理することは難しかった。

そこで、打設精度を高度に管理する本システムを新たに開発した。本システムは、同心円の中心で3次元座標を捉える専用の測量機器とタブレットPCを無線接続することにより構成された、ロッドやケーシングを正しい位置へ誘導するナビゲーションシステムである。このシステムを使用することにより、中心軸を3次元座標によって定量的に管理することが可能になる。そのため、施工精度の向上と効率的な施工管理が期待できる。

2. 本システムの概要

(1) 概要

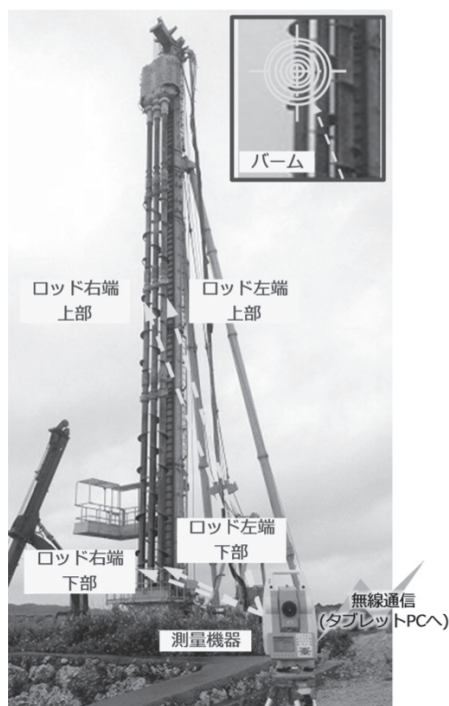
本システムの概要図を図一1に示す。本システム



図一1 システムの概要図

では、専用の測量機器を使用して、3次元座標によって対象物を計測する。専用の測量機器は、「Baum Station」¹⁾（以下、バームステーション）を活用した。この測量機器は、従来の焦点鏡（十字線）に同心円状（サークル）の目盛りを加えた焦点鏡「バーム」を内蔵している。本システムの場合、この測量機器を使用して、地盤改良のロッドや場所打ち杭のケーシングにサークルの両端を合わせて、中心（表面）を計測する。これにより、対象物（円柱形）の中心軸を確定することができる。計測方法を図一2に示す（図中は、多軸ロッド管理の場合）。

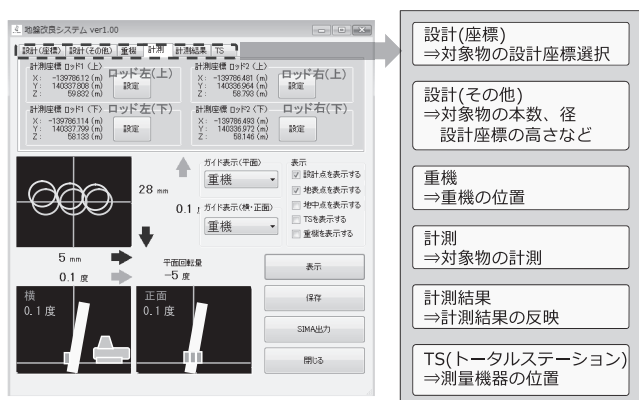
また、従来のトランシットを用いた施工管理では、2方向から鉛直性の確認を行っている。この測量機器では、ノンプリズムかつ3次元座標で測定できるため、杭打設位置に限らず、1台の使用で定点からの測



図ー２ 計測方法

定が可能になる。これにより、現場での作業が効率的に行えるようになる。

さらに、杭芯セットから施工中にかけての打設精度をリアルタイムに把握できるように、現場技術者と重機オペレータが施工データをタブレット PC によって共有できる手法を構築した。これは、ロッドやケーシングの中心を計測した後、測量機器と無線接続されたタブレット PC に計測座標を読み込み、タブレット PC 内のソフトウェアに予め登録している設計座標との差を瞬時に計算して、設計座標上までの補正量をナビゲートする。タブレット PC は、ポータブルタイプで持ち運びが容易なため、現場での管理に適している。また、早期に施工精度を把握することで、ロッドやケーシングの傾斜や偏心を改善することができ、従来よりも施工精度を向上させることが可能になる。な

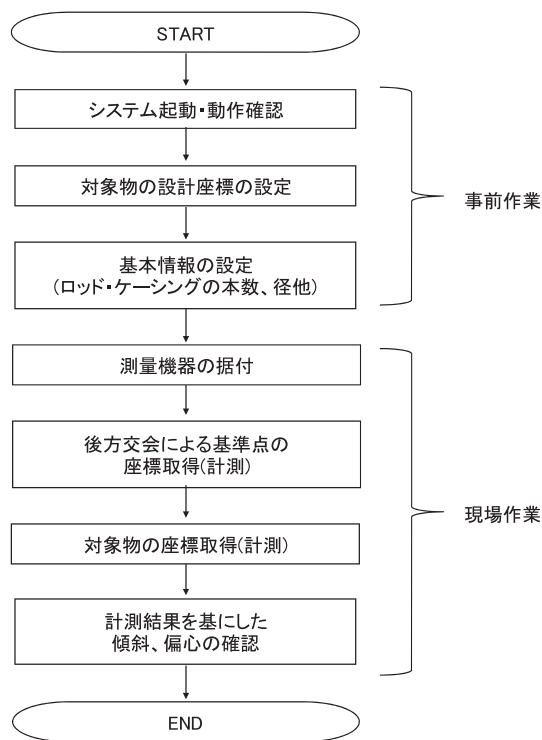


図ー３ システム表示内容

お、タブレット PC 上では、過去の計測結果についても確認することが可能である。システムの表示画面を図ー３に示す(図中は、多軸ロッド管理の場合)。

(2) 管理手法

本システムを使用する際の主な管理内容を以下に示す。また、管理フローを図ー４に示す。



図ー４ 管理フロー

(a) 事前作業

①システムの起動及び動作確認

②設計座標の設定

計測対象物の設計座標を予めシステムに登録する。設計座標の一覧から計測対象とする点番号(杭番)を選択して設定する。

③基本情報(各種パラメータ)の設定

ロッドやケーシングの仕様(本数、径など)、設計座標の高さなどを設定する。

(b) 現場作業

①測量機器の据付

基準点(後方交会用)と対象物の見通しが良い位置に測量機器を据え付ける。

②後方交会による基準点の座標取得

③対象物の座標取得

測量機器を使用して、ロッドやケーシングの上方と下方に焦点を合わせて計測する。無線接続されたタブレット PC で各種座標を読み込み、中心軸を確定させる。計測対象物が複数本ある場合、同

様に上方と下方を計測して、座標を設定する。

④計測結果の確認

計測結果を基にした傾斜角及び偏心量をシステム内で自動算定して、正規の位置までの補正量と方向をタブレット PC により確認する。施工中は計測を繰り返し、鉛直性や平面位置を確認する。

3. プロジェクトの適用事例

(1) プロジェクト概要

本システムを沖縄県宮古市における地下ダム工事に適用した（2013年3月実施）。本工事は、写真—1に示すように、ソイルセメント柱列壁工法によって止水壁（深さ約35m）を構築する。この工事では、地下に止水壁を構築して水を貯めるため、止水不良が発生しないようにソイルセメント柱列壁の鉛直・水平方向の打設精度及びラップ精度の確保が特に重要とされた。

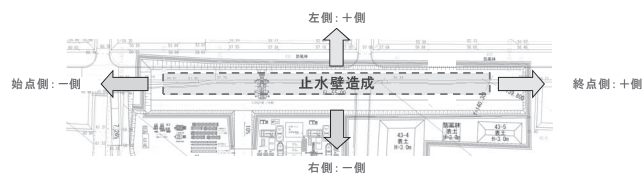


写真—1 プロジェクト適用事例

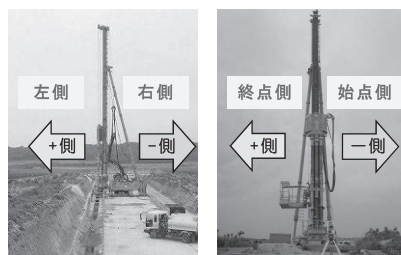
そこで、本工事では、削孔時の鉛直精度を高めるために、深度5m毎に錐の回転を止め、地中においても錐内傾斜計による自動計測によってXY方向の鉛直性を確認しながら、適正な速度にて削孔を行った。杭芯ずれの大きい場合や鉛直性が悪い場合には、適宜修正を行い精度の向上を図っていた。施工機械を設置している作業床はEL = 55.0 mとし、止水壁の天端コンクリート下端はEL = 39.50 m、止水壁の根入れ深さは、その約20m深くの泥岩の標高（約EL = 19.50 m）としている。設計深度に到達した後は、錐を外せる高さまで引き上げ、一旦、錐を切外し、両端軸錐の内管を利用して、挿入式傾斜計にて孔曲りを測定した。本工事の三軸削孔における孔曲りの管理基準値は、深度の1.0%とした。

本工事は、ソイルセメント柱列壁工法による三軸削孔のため、多軸ロッドを対象にして、システムを用い

た打設精度管理を行った。システム適用の効果確認は、三軸削孔を行った杭のうち10箇所に対して、杭芯セットから施工中にかけて行った。ここで、タブレット PC に表示される位置関係を図—5、6に示す。現場状況を図—7に示す。

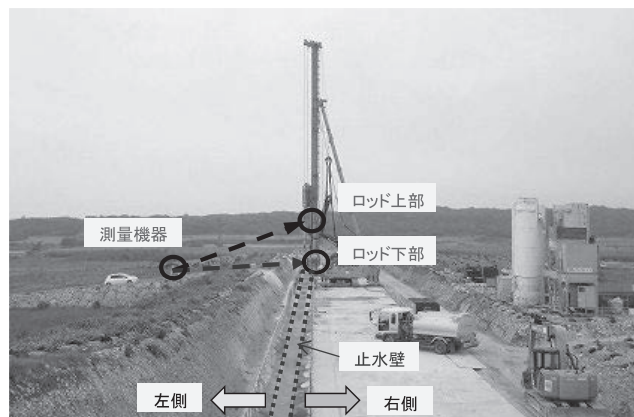


図—5 位置関係（平面）



(a) ダム軸直角方向 (X方向) (b) ダム軸方向 (Y方向)

図—6 位置関係（側面）

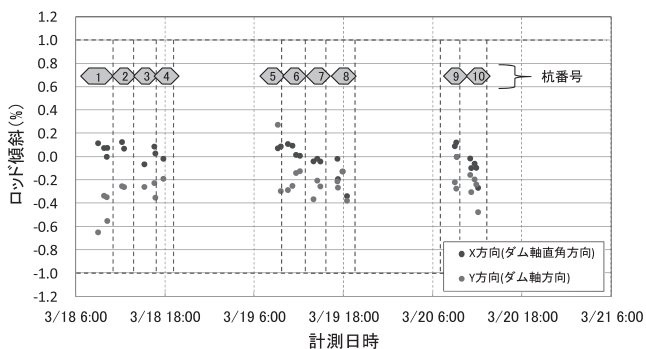


図—7 現場状況

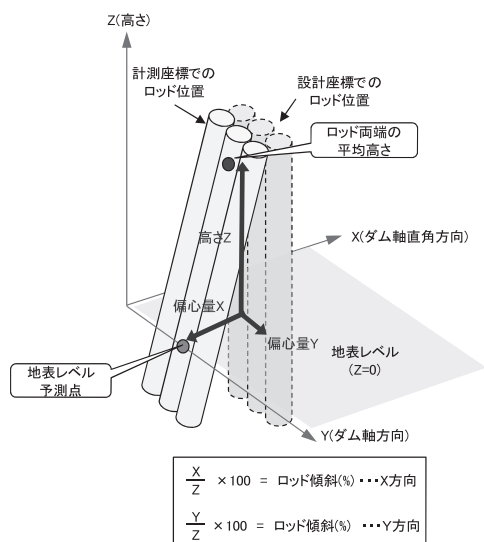
(2) 適用の効果

本システムを適用した杭のロッド傾斜に関する施工データを図—8に示す。ここで、ロッド傾斜(%)は、地表レベル(EL = 55.0 m)を基準にした高さ当りの偏心量とする(図—9)。施工中のロッド傾斜は、-0.7 ~ 0.3%の範囲に収まっており、高さ当り1%以内とする管理基準を満足した。

杭の出来形管理として、設計深度に到達した後、挿入式傾斜計により孔曲りを測定した。この測定では、X方向及びY方向の傾斜角を測定する(測定角度)。出来形管理は、X方向及びY方向の測定角度を基にした深度区間毎の変位量を算定し、この区間変位量を累積することで、偏位量を求めて、深度1%以内に収



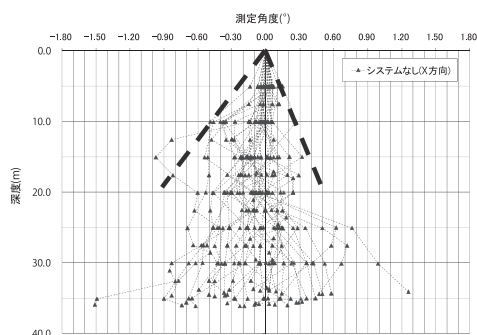
図—8 施工データ



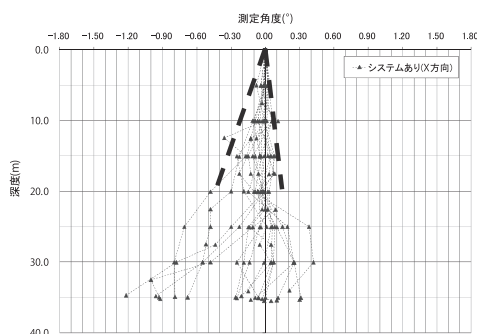
図—9 ロッド傾斜の概念図

まるかを確認している。システムを適用した杭と適用していない杭の測定角度の深度分布を図—10に示す。各杭の地表から5m毎の測定角度を抽出して、深度毎の平均値（ μ ）と標準偏差（ σ ）を算定した（ $\mu \pm \sigma$ ）の深度分布を図—11に示す。測定結果より、深度が深くなるにつれて、測定角度のバラツキが大きくなる傾向がある。システム有無で適用効果を比較すると、システムを適用した杭では、深さ25m程度（設計深度に対して70%）まで、測定角度のバラツキが抑制されている。また、深さ10mにおいて、X方向で最大0.2度、Y方向で最大0.1度、測定角度のバラツキが抑制されている。本地盤では、地上の精度管理が出来形に影響を及ぼすことが分かった。

以上により、ロッドの根入れが深くなると、地盤の影響をうけて曲がりやすくなると考えられる。また、削孔の初期段階で、ロッドの傾斜や偏心有ると、変位量が累積されて残留すると考えられる。そのため、建込時の管理が特に重要になる。本システムの適用により、打設精度を定量的に管理することで、削孔時の傾斜や偏心を早期に改善して、孔曲りの抑制が図れる。なお、ロッドの根入れが深くなると地中の影響を受けるため、地中でのロッドの先端位置を管理する技術等を併用して、より高精度に管理することが望ましい。

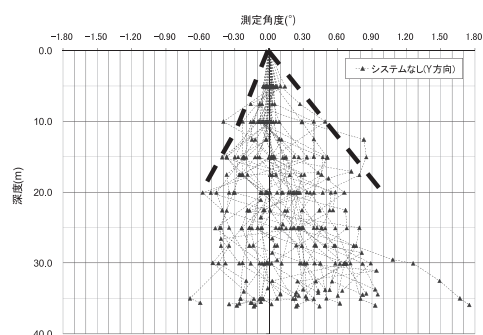


(a) システムなし

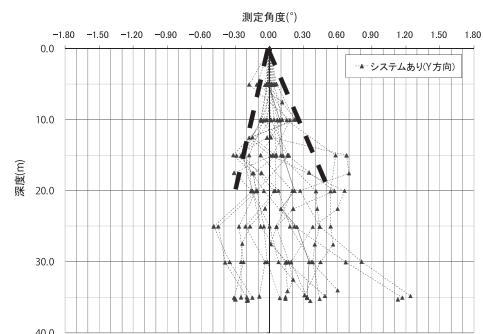


(b) システムあり

(i) X方向



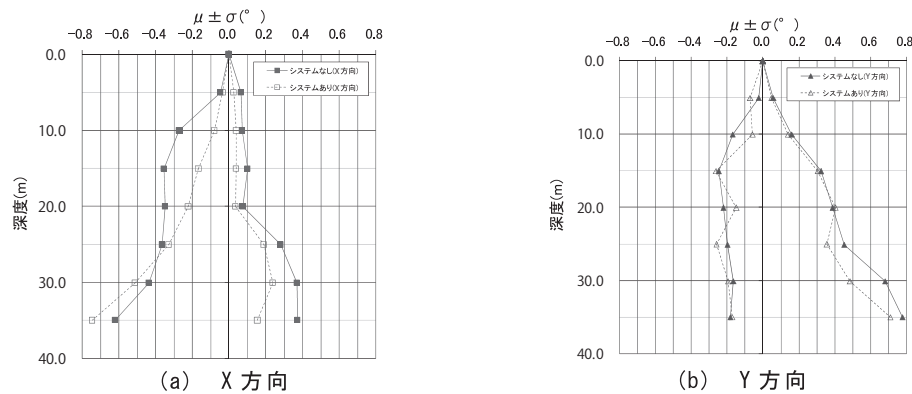
(a) システムなし



(b) システムあり

(ii) Y方向

図—10 測定角度の深度分布（システム有無）



図—11 (μ ± σ) の深度分布

4. おわりに

本システム「マルチコラムナビ」は、ソイルセメント柱列壁工法(SMW工法)や深層混合処理工法(DCM工法)等の多軸攪拌方式の地盤改良や場所打ち杭の施工において、ロッドやケーシングの中心軸を3次元座標によって定量的に管理することが可能である。また、現場技術者と重機オペレータが施工データをタブレットPCによって共有できる手法を構築したことにより、リアルタイムに施工精度を把握することが可能になり、ロッドやケーシングの傾斜や偏心を早期に改善することができる。さらに、タブレットPCは、ポータブルタイプなので、持ち運びが容易であり、現場での管理にも適している。本システムを実際のプロジェクトに適用して、有効性を確認することができた。今後は、施工精度の向上と効率的な施工管理が可能になると考える。

本システムは、幅広い用途が考えられ、地盤改良(深層混合処理)、耐液状化格子状地盤改良工法(TOFT工法[®])、止水壁、汚染土壌封じ込め(遮水壁)、場所打ち杭の施工においても精度を向上させる効果が期待できる。

J C M A

《参考文献》

- 1) 関西工事測量(株): Baum Station (バームステーション), <http://www.kankou.co.jp/topics/baum/>

【筆者紹介】

野口 達也 (のぐち たつや)
 (株)竹中土木
 東京本店 技術・設計部 技術グループ



市川 晃央 (いちかわ あきお)
 (株)竹中土木
 技術・生産本部 技術部
 課長



荻野 寿一 (おぎの ひさかず)
 (株)竹中土木
 営業本部 営業推進部
 部長

