

杭施工管理自動化システム「杭打キング PLUS」

Automated Management System of Pile Driving “Piledriver King Plus”

正垣 綱之*1 Koushi Masagaki	橋本 和彦*1 Kazuhiko Hashimoto	小川 雅史*2 Masafumi Ogawa
米田 善之*3 Yoshiyuki Yoneda	藤原 光弥*4 Mitsuhiro Fujiwara	山田 泰史*5 Yasushi Yamada

要旨

建設業界では不足する労働力や衰退していく技術力を補うため、生産性の向上や省力化工法の導入が不可欠となっている。また、数年前に発生した杭施工不良問題を受け、社会的にも徹底した施工精度の確保や工事記録の作成が求められている。そこで ICT を活用した新しい杭施工管理自動化システムを開発し、施工精度および生産性の向上を図ることとした。本報告の新システム「杭打キング PLUS」は単機能からなる従来の施工管理システムとは異なり、「杭芯計測」「杭計測（水平・傾き）」「杭打機誘導」「杭深度計測」など様々な機能を一元化したシステムである。さらにこれまで不可能であった削孔時からの計測を可能としたことで、より高い精度での施工管理を実現した。

キーワード：杭工事 施工管理 測量機器 生産性向上 ICT

1. はじめに

杭工事は、施工後の出来形確認や不具合の修正が難しいことから、徹底した施工精度の確保や工事記録の作成が不可欠であることに加え、逼迫する労働力不足を補うため、省力化工法の導入等による生産性の向上が求められている。当社ではこのような状況を受け、カメラ付き自動追尾型トータルステーションを活用した新たな杭施工管理自動化システム「杭打キング PLUS¹⁾」を開発した。なお、新システムは㈱きんそくと共同で開発したものである。

新システムは、単機能からなる従来の杭施工管理システムとは異なり、「杭芯計測」「杭計測（水平・傾き）」「杭打機誘導」「杭深度計測」等の機能を一つのシステムに集約している。さらに従来のシステムでは対応できなかった削孔時からの計測管理を可能とした（写真1）。

本報告では、システムの概要を紹介するとともに、開発時の試験施工や開発後に実施した導入試験について報告する。



写真1 「杭打キング PLUS」の計測状況

2. システムの概要

2.1 システム概要

3次元計測システムとカメラ画像を利用した「杭芯計測」「杭計測（水平・傾き）」「杭打機誘導」「杭深度計測」等の機能を持つ施工管理システムである。リアルタイム計測による杭の施工精度向上や自動化システムによる管理業務の効率化を図った。

2.2 現状の杭施工管理の問題点

現状の杭施工管理は、杭芯検尺棒による水平方向管理とトランシットによる鉛直方向管理を計測員3名程度で行っている（写真2）。特に水平方向管理は直行2方向の逃げ杭から目視によりテープ幅（25mm）で確認を行うため精度が低くなる。さらに逃げ杭の鉛直不良や転倒、杭芯検尺棒の傾き等により計測数値が大きく変化する。

また、機器による計測値データ記録管理ではなく、手書きによる記録のため、紛失や記載間違いが起りやすい。



写真2 現状の施工管理状況

*1 大阪本店 建築技術部 *2 東京本店 建築技術部 *3 東京本店 機材センター *4 技術研究所 *5 ㈱きんそく

2.3 システムの機能

前節の問題点を解決すべくシステムに付加する機能の開発を行った。システムの機能詳細は以下の通りである。

2.3.1 杭芯計測

計測対象の杭番号を選択することで、事前に入力した杭芯の座標に向かってトータルステーションが自動で旋回する。タブレットに表示されているカメラ画像を確認しながら、プリズムを用いて杭芯を一人で計測することができる(図1)。杭芯計測の手順を下記に示す。

- 1) 杭番号を選択
- 2) 計測開始

また、自動追尾機能を用いてプリズムを追尾することで、現在位置から杭芯までの距離情報も入手できる。



図1 杭芯計測時のタブレット画面

【表示画面説明】

- ① 杭番号
- ② 作業工程
- ③ 水平方向偏芯量 (単位: mm、方向: 東西南北)
- ④ 測点水平位置
- ⑤ 操作ボタン
- ⑥ カメラ画像

2.3.2 杭計測 (水平・傾き)

杭孔の削孔時および杭埋設時、「杭番号」「作業工程」「計測モード」をそれぞれ設定することにより、水平位置および傾きの自動計測を開始する。杭計測の手順を下記に示す。

- 1) 杭番号を選択
- 2) 作業工程を選択
「削孔」「杭セット」「杭埋設完了」
- 3) 計測モードを選択
「水平位置計測」「水平位置連続計測」「傾き計測」
「傾き連続計測」
- 4) 計測開始

タブレット画面には東西南北の方向のほか、トータルステーションの位置を表示することで修正方向をわかりやすくしている。また、杭芯座標に対し管理目標円と管理限界

円を表示することで、水平位置のズレ量を直感的に認識できる。傾きについても、杭アイコンと数値をリアルタイムに表示する(図2)。傾きの上下計測点レベルは数値入力で行うが、カメラ画像画面から測点バーを画面上でフリックし、移動することも可能とした(図3)。

計測時間についても従来のレーザー光照射に加え、カメラ画像によるエッジ検出を用いて杭を計測することで、大幅に短縮させた。



図2 杭計測時のタブレット画面

【表示画面説明】

- ① 杭番号
- ② 作業工程
- ③ 計測モード
- ④ 水平方向偏芯量 (単位: mm、方向: 東西南北)
- ⑤ 測点水平位置
- ⑥ 傾きおよび傾き量 (%および分数で表示)
- ⑦ 操作ボタン
- ⑧ 計測対象杭径
- ⑨ 上下計測点レベル (緑: 上計測点、赤: 下計測点)
- ⑩ カメラ画像



図3 測点バー表示画面

【表示画面説明】

- ① 操作ボタン
- ② 画面移動ボタン

2.3.3 杭打機誘導

次工程の杭へ杭打機が移動する際、トータルステーション内蔵カメラで杭打機リーダー上部をターゲットとしてトラッカーボックス（視準対象設定用のガイド）を合わせ、モーショントラッキングを行う（図4）。モーショントラッキングにより計測した情報により、現在地から目標の杭位置までの距離および方向を表示して杭打機を誘導する。杭打機誘導の手順を下記に示す。

- 1) 杭番号を選択
- 2) ターゲットにトラッカーボックスをセット
- 3) 誘導モード選択

「遠距離誘導」「近距離誘導」

- 4) 誘導開始

目的地までの距離に応じて「遠距離誘導」「近距離誘導」のモード選択が可能である。



図4 遠距離機誘導時のタブレット画面

【表示画面説明】

- ① 杭番号
- ② 目標杭までの距離・方向
- ③ 操作ボタン
- ④ 杭径

2.3.4 杭深度計測

削孔時および杭埋設時に行う深度計測は、杭打機上部に設置したターゲットのレベル計測を行うことで、事前に入力したスクリューロッドもしくは杭長さの情報を基に算出する（図5）。ターゲットを自動追尾しレベル計測を連続して行えば、変化する深度をリアルタイムで表示できる。杭深度計測の手順を下記に示す。

- 1) 杭番号を選択
- 2) 計測モードを選択
「杭深度計測」「削孔深度計測」
- 3) ターゲットレベル計測
- 4) 深度計測開始

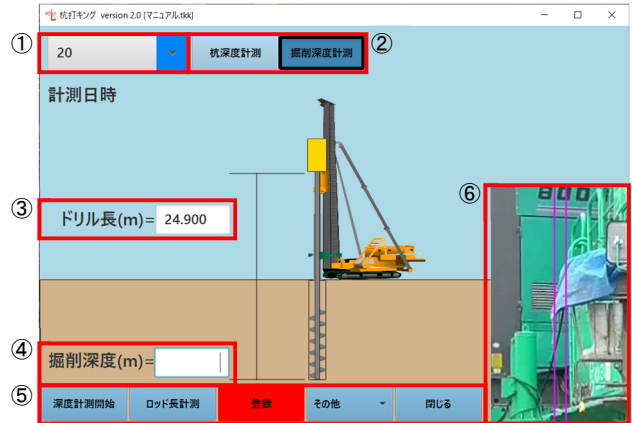


図5 削孔深度計測時のタブレット画面

【表示画面説明】

- ① 杭番号
- ② 計測モード
- ③ オフセット長さ（事前入力）
- ④ 計測深度
- ⑤ 操作ボタン
- ⑥ カメラ画像

2.4 新機能と改良点

新システムは、2018年に株式会社により開発された「杭打キング」から拡充・改良したものである。使用計測器をノンプリズムトータルステーションからカメラ付き自動追尾型トータルステーションに変更したことによる新機能および改良点について以下に示す。

2.4.1 カメラ画像を用いた新機能

レーザー照射による計測と同時に、トータルステーション内蔵カメラの画像により対象となる杭のエッジを検出し、水平位置および傾きを計測する。この新計測機能により従来のレーザー照射のみの計測に比べ、測定に要する時間を約70%削減できた。

また、カメラで捉えたターゲットをモーショントラッキングにより自動追尾することで、杭打機の位置情報をリアルタイムに把握可能とした。この機能は杭芯計測時にも用いられ、移動するプリズムを自動で追尾することで、現在位置から計測対象杭芯までの距離・方向の情報を入手することができる。

2.4.2 エッジ検出

エッジ検出は画像処理技術のひとつで、画像内にある色や明るさが劇的に変化している領域を検出する方法である。

新システムでは、設計値と距離情報を元に杭の端（エッジ）を算出し、カメラ画像で得られた杭エッジ候補の中から条件を満たす対のエッジを抽出する。抽出した杭エッジにより杭芯の位置や傾きを算出する。

エッジ検出による計測のプロセスを下記に示す（図6）。

- ① 画像のモノクロ化
- ② エッジ検出
- ③ エッジから直線の抽出
- ④ 杭エッジの推定

ただし、杭と背景の色彩変化が少ない場合や曇天等により明るさが足りない場合は、エッジが上手く検出されず計測が行えない場合がある。さらに左右のエッジ間隔が狭いと誤認識することがあり、計測対象杭径をφ150 mm以上かつ計測対象杭までの距離が30m以内を推奨する。

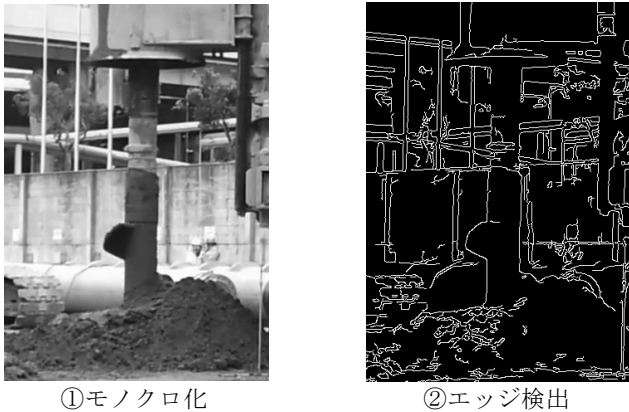


図6 エッジ検出による計測のプロセス

2.4.3 タブレットを用いたシステム操作

これまでではシステムPCで操作を行っていたため、トータルステーション近傍でしか操作できなかった。新システムではリモートアクセスアプリ (TeamViewer) により、タブレットによる操作を可能とした。タブレットで操作可能となったことで、通信さえ出来れば計測者はどこにいてもシステムを操作ができる。また、アプリにより複数台による閲覧も可能で、事務所のPCでも作業状態を確認できる。

2.4.4 計測方法の改良点

旧システム (杭打キング) では水平位置計測をレーザー光照射2点にて行っていたが、新システム (杭打キング PLUS) ではカメラ画像を用いたエッジ検出と同時にレーザー光照射1点にて計測が可能となった (図7)。同じく傾

き計測においては、レーザー光照射を上下2点ずつ計4点にて行っていたが、新システムではエッジ検出と同時にレーザー光照射を上下1点ずつ計2点のみで計測を行うことができる (図8)。

この計測方法の改良により水平位置計測で約70%、傾き計測で50~60%程度の計測時間削減を可能とした。また旧システムがトータルステーションを操作する有人計測であったのに対し、新システムがタブレットで操作する自動計測としたことも大きな改良点である。

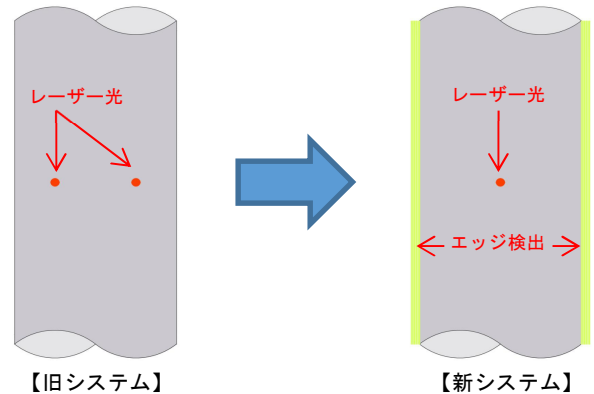


図7 計測方法の違い (水平位置計測)

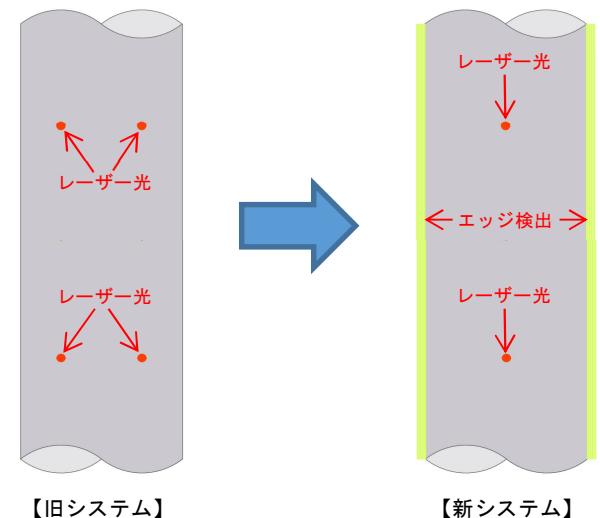


図8 計測方法の違い (傾き計測)

3. 試験施工

3.1 試験施工による課題の抽出

新機能の研究開発を進めるとともに、実際の杭施工現場 (3現場) において試験施工を実施した (写真3、4)。試験施工では、開発した新機能の作動状態の確認や操作性の検証のほか、システムの使い勝手や画面の視認性の確認なども行った。また、試験施工現場のスタッフや杭施工業者担当者から実際に使用した印象や感想をヒアリングし、シス

テムの改善に役立てた。以下に試験施工やヒアリングにて抽出された問題点や課題と、その解決策を記す。



写真3 試験施工状況1



写真4 試験施工状況2

3.1.1 操作画面の単純化

新しい機能が増えたことで、画面上に操作ボタンが乱雑に並び使いづらくなり、システム起動から計測開始までの操作も複雑でわかりにくいものとなった。

そこで、よく使う機能を前面に出し、その他の機能はプルダウンで呼び出すようにした。また、システム起動から計測までを単純化することで操作性を向上させた。

3.1.2 消費電力の問題

カメラ画像を処理し計測を行うため、旧システムに比べ電力消費が激しく、試験施工中もシステムPCおよびタブレットの電力が1日もたず、バッテリー交換作業が発生した。

カメラ画像の解像度やタブレット画面の明るさ等の調整により電力消費の低減を行った。しかし根本的な解決策には至っていない。現状対応可能な対策として、大容量モバイルバッテリーの付属や予備バッテリーの追加を行った。

3.1.3 通信障害の発生

大容量のカメラ画像データ通信やWi-Fiとの接続不良によるシステムPCとトータルステーション間の通信障害が発生した(図9)。

Wi-Fi接続は固定IPアドレスを割り当てることで安定させたが、リアルタイムでカメラ画像を送受信するような大

容量データの通信障害は、計測場所の通信環境に大きく影響されるため、システム側では対策の立てようがないのが現状である。

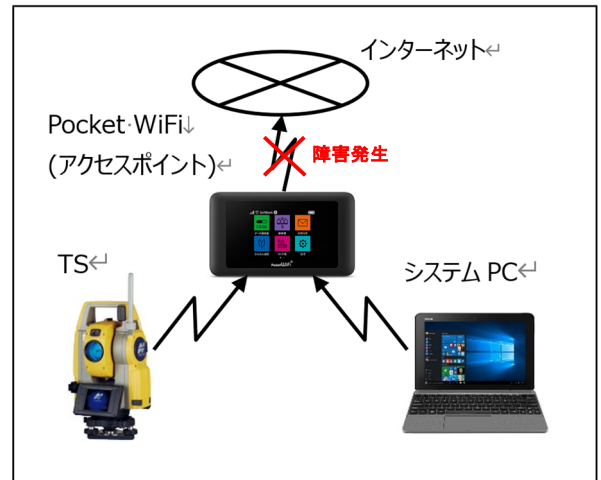


図9 ネットワークイメージ図

4. システムの効果と今後の展開

4.1 システムの効果

試験施工により、当システムを採用することで下記の効果が得られることを確認した。

- 1) 一人での杭施工管理計測が可能
- 2) 計測データをダイレクトにパソコン内に記録することで記載や転記時のミスを削減
- 3) 計測数値がリアルタイムで表示されることで、精度を即時に修正することができ施工品質が向上。
- 4) 計測データを自動で帳票化することによる作業時間の短縮(図10)
- 5) 作業場所以外(現場事務所)でもカメラ画像により状況確認が可能

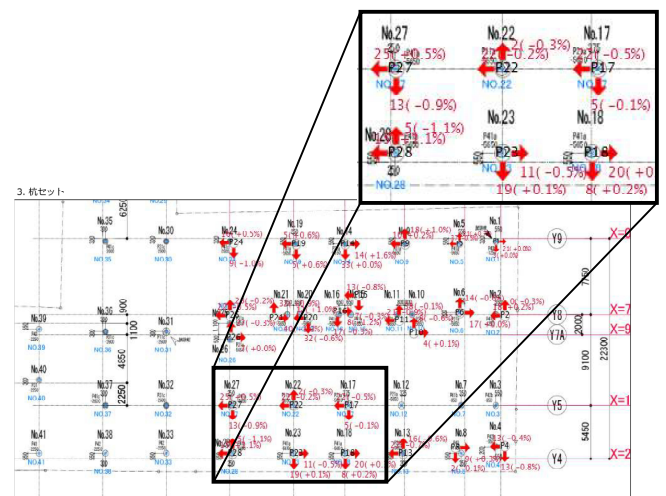


図10 計測結果の帳票化(例)

4.2 今後の展開

2019年で新システムの開発を終え、大阪および名古屋の2現場において導入試験を実施した。2020年からは現場への本格導入を進めるとともに、現在計測可能な「既成杭」「鋼管杭」「柱状地盤改良」に加え、「場所打ち杭」への適用についても開発を進める予定である。

なお、新システムは2020年4月現在、特許出願中およびNETIS登録申請中である。

5. まとめ

「杭芯計測」「杭計測（水平・傾き）」「杭打機誘導」「杭深度計測」の4つの計測機能を2年の開発期間で一元化さ

せ、新システムを構築した。また、試験施工や導入試験で、施工精度および生産性の向上、省人化に対する成果を確認できた。一方、解決すべき課題はまだ残っており、今後現場からの改善要望を踏まえ、引き続き研究・開発を進めていく。

ICTや通信技術が日々進化する中、更なる生産性の向上や省人化に寄与できるようにシステムのバージョンアップに取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 榊きんそく：杭打キングPLUS
http://kinsoku.net/piledriver_king_plus