

オールケーシング工法における杭支持層到達確認システムの開発

場所打ち杭 支持層到達確認 AI

大林組 正会員 ○粕谷悠紀 正会員 山田祐樹 非会員 丹羽宣道
大裕 非会員 辻 宗克 非会員 片山雄介 非会員 鷹西 理

1. はじめに

場所打ち杭の特徴として、杭の性能や品質が地盤や土質に左右されやすいうえに、出来形の形状や寸法等を直接確認することが困難であることが挙げられる。オールケーシング工法における掘削後の支持層確認方法は、ハンマグラフ内の土質と深度を設計図書およびボーリング調査などの土質調査資料等ならびに試験杭で採取した土質試料と対比して行うのが一般的である。従来の方法では支持層における土質の確認はできるものの、地盤の硬軟を直接確認することができない。そこで、AI や ICT を活用して掘削時の施工データを可視化するとともに、リアルタイムで N 値と土質を推定できる杭支持層到達確認システムを開発した。本報では、そのシステムの概要や AI による評価結果などについて述べる。

2. 杭支持層到達確認システム

2.1 概要

Fig. 1 に杭支持層到達確認システム（以降、本システムと称する）の概要を示す。全周掘削回転機から得られる回転トルク、押込み力、掘削時の深度などの情報は、モバイルパソコンの取込みソフトを用いて油圧ユニット、制御盤を経由してデータが記録される。加えて、設計土質、フィルタリングした所要時間、回転トルク×所要時間で算出した積算トルクなどを元に機械学習させる AI ソフトを活用することにより、掘削時にリアルタイムで N 値と土質を推定することができる。また、リモート接続用の ICT ツールを活用することにより、遠隔地からでも計測画面を確認することが可能となっている。

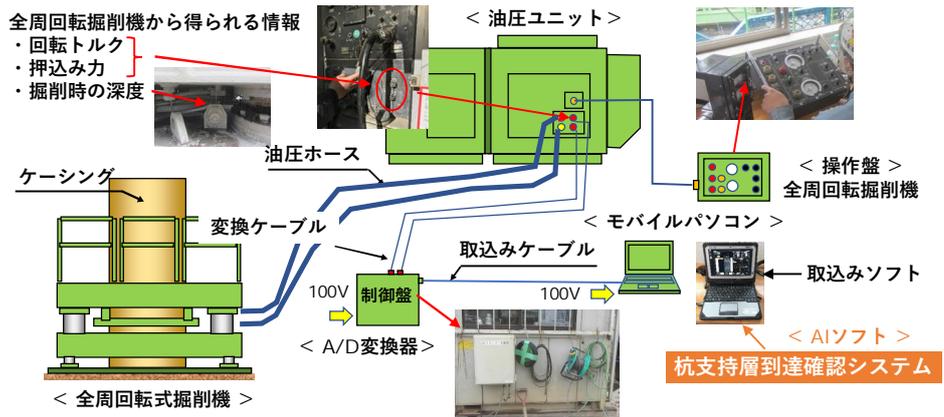


Fig. 1 杭支持層到達確認システムの概要

また、リモート接続用の ICT ツールを活用することにより、遠隔地からでも計測画面を確認することが可能となっている。

2.2 N 値・土質の推定フロー

Fig. 2 に N 値・土質の推定フローを示す。事前に工事名、杭径、全周回転式掘削機の重量、地盤高さ、近傍のボーリング柱状図に記載された各深度の N 値と土質をシステム内に入力する。本システムでは、ボーリング柱状図に記載された N 値を「設計 N 値」、土質を「設計土質」と呼んでいる。施工中は、先述した各種情報から後述する AI で N 値を推定する。続いて、先述した各種情報の中で設計土質を除き、推定 N 値を加えて AI で土質を推定する。なお、本システムでの土質は、Table 1 に示す粘性土、砂質土、砂礫、岩盤の 4 種に分類している。なお、推定結果に至るプロセスが人間によって説明可能である機械学習のモデル XAI (Explainable AI) を活用することで、推定土質に対する各情報の貢献度も示すことができる。



Fig. 2 N 値・土質の推定フロー

Table 1 本システムでの土質分類

分類	詳細土質
C (粘性土)	C : 粘性土、M : シルト、Lm : ロームなど
S (砂質土)	SF : 砂質土、S : 砂、FS : 細砂など
G (砂礫)	GF : 礫質土、GS : 砂礫、B : 玉石など
R (岩盤)	HR : 硬岩、MR : 中硬岩、WR : 軟岩など

本システムで出力された推定 N 値、推定土質、回転トルク、所要時間などの指標と支持層の土質試料を比較し、技術者が総合的に支持層到達状況を確認することで支持層未達等のトラブルの発生を抑制できる。また、オペレータ室で計測するため、現場職員も施工業者も掘削深度や支持層到達状況をリアルタイムで確認できる。

Development of Bearing Stratum Arrival Confirmation System for All-Casing Method KASUYA Yuki, YAMADA Yuki, NIWA Norimichi (Obayashi Corporation), TSUJI Muneatsu, KATAYAMA Yusuke and TAKANISHI Tadashi (Taiyu Corporation)

2.3 教師データ

本システムでは、合計 27 箇所の現場、873 本の杭データを使用している。工事分類としては、道路橋脚が 17 箇所と全体の 6 割以上を占めている (Fig. 3)。杭径に着目すると、杭径 1.5m が全体の 5 割程度を占めており、杭径 1.2m と 2.0m が 2 割強を占めている (Fig. 4)。計測深度に着目すると、20~29.9m が全体の 4 割程度を占めており、次いで 10~19.9m が 2 割程度、30~39.9m が 1 割強を占めている (Fig. 5)。支持層土質に着目すると、岩盤が全体の 5 割強を占めており、次いで砂礫が 3 割弱、砂質土が 2 割程度を占めている (Fig. 6)。

2.4 AI による評価結果

上記の教師データを用いて、推定 N 値と推定土質を AI で評価した。N 値は、線形回帰や回帰木など 6 種類の評価手法を比較した結果、機械学習のアンサンブル方式 (バギング) と深層学習の LSTM (Long Short-Term Memory) 回帰の推定精度が優れることがわかった。両者について、RMSE (二乗平均平方根誤差) の指標を用いて杭本数ごとに比較検討した (Table 2)。RMSE は数値が小さいほど推定精度が優れる。設計 N 値と推定 N 値の深度分布を比較した結果、傾向が類似するアンサンブル方式を採用することとした。

土質は、線形判別、決定木など 8 種類の評価手法を比較した結果、機械学習のアンサンブル方式 (バギング) と深層学習の LSTM 分類の推定精度が優れることがわかった。設計土質と推定土質を比較した結果、精度に優れるアンサンブル方式を採用した (Table 3)。また、推定 N 値も推定土質もデータが多いほど検証精度が向上することを確認した。

Fig. 7 に本システムにおける検証の計測画面例を示す。杭径は 1.2m、設計杭長は 24.2m、実測杭長は 24.8m であった。支持層の土質は砂質土であり、その深度は GL-23m であった。Fig. 7 より、推定 N 値は設計 N 値と、推定土質は設計土質とよく対応していることを確認した。また、支持層付近で回転トルクが上昇するとともに所要時間が増大して支持層に到達していることを確認した。

3. おわりに

本報では、AI や ICT を活用して掘削データを可視化するとともに、リアルタイムで N 値と土質を推定できる杭支持層到達確認システムの概要、AI による評価結果について述べた。今後は、積極的に本システムの普及を図る予定である。

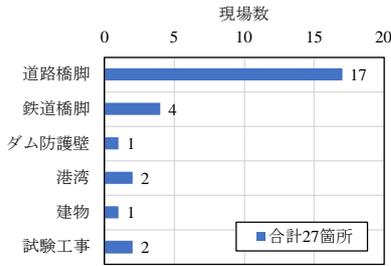


Fig. 3 工事分類

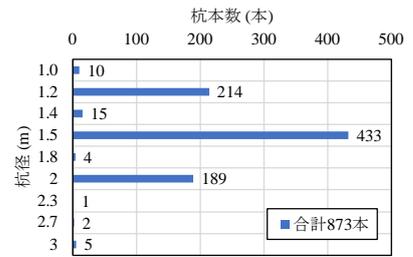


Fig. 4 杭径分類

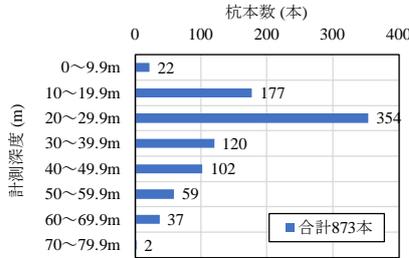


Fig. 5 計測深度分類

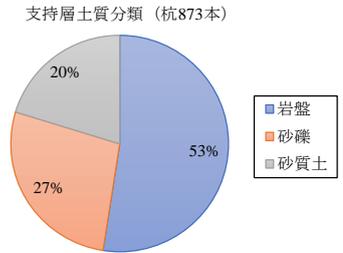


Fig. 6 支持層土質分類

Table 2 推定 N 値の AI 評価結果 (RMSE : 二乗平均平方根誤差)

杭本数	学習数	検証数	機械学習 (アンサンブル)		深層学習 (LSTM 回帰)	
			学習	検証	学習	検証
635	556	79	3.954	7.951	2.523	6.079
699	604	95	3.681	7.340	2.033	5.767
873	756	117	3.795	7.163	1.099	6.997
判定			○ (傾向が類似)		△ (傾向がややずれる)	

Table 3 推定土質の AI 評価結果 (精度%)

杭本数	学習数	検証数	機械学習 (アンサンブル)		深層学習 (LSTM 分類)	
			学習	検証	学習	検証
635	556	79	100	90.5	87.6	63.6
699	604	95	100	92.4	74.7	72.8
873	756	117	100	92.5	65.9	74.4
判定			○ (精度: 優)		△ (精度: 良)	

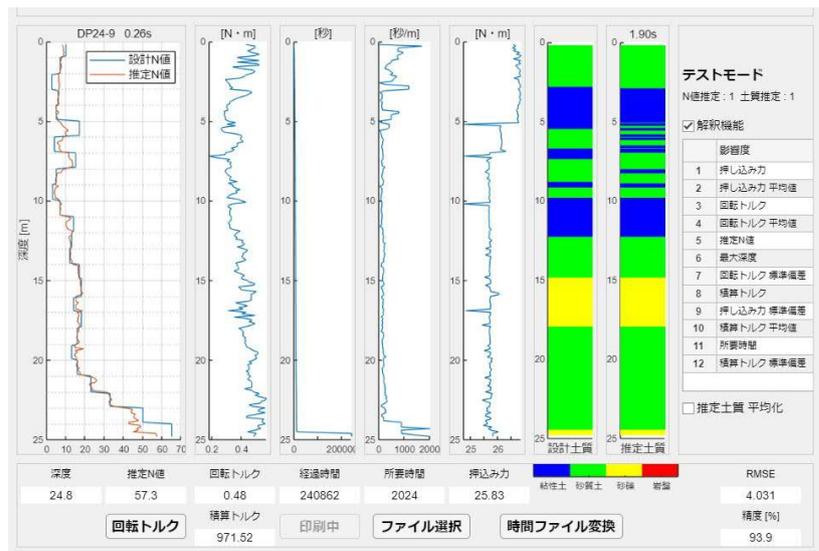


Fig. 7 杭支持層到達確認システムの計測画面例 (検証)