

## ニューマチックケーソン工法の自動化に関する試験施工報告

(株)大林組 ○正会員 照井太一 正会員 伊藤良二  
 (株)大本組 非会員 藤澤秀行 非会員 橘 伸一  
 日本工業大学 非会員 石川貴一朗 非会員 角田敦史  
 阪神電気鉄道(株) 正会員 南部泰範

## 1. はじめに

近年、我が国の土木工事では熟練工の不足や現場作業の効率化のため、建設機械の自動化が求められている。ニューマチックケーソン工法では、沈下掘削の進捗の効率化と減圧症の発症を防止するため地上遠隔操作による施工技術が導入されているが、自動化は実現していない。このような背景のもと、我々は天井走行式掘削機の自動化を目的とした研究に取り組んでいる。今回、掘削から排土までの一部の作業について、実工事において試験施工を行ったことからその結果を報告する。

## 2. 工事概要

試験施工は阪神なんば線淀川橋梁改築工事（第3工区）のP47橋脚において実施した。ケーソンの沈設深さは43.7m、平面形状は $\phi 12.06\text{m}$ の円形、地盤は軟～中位の粘土が主体となっている（図-1）。掘削には2台の天井走行式掘削機（ $0.25\text{m}^3$ 級）が用いられ、GL-18m以深では地上遠隔操作が行われている（図-2）。また、作業室の天井および天井走行式掘削機にはLiDARが取り付けられており、地上の遠隔操作室ではそれから得られる情報を元に函内の掘削地盤形状が3次元でリアルタイムにモニター表示される。

## 3. 自動運転システム

自動運転システムでは掘削範囲と排土位置を予め指定しておき、運転を開始してから指定した範囲の掘削が完了するまで無人で作業を行うことができる。掘削範囲はLiDARによる測定で取得した点群データをグリッド処理し、指定した深さより浅い箇所が自動で抽出される。また、掘削動作はPID制御理論をベースとし、掘削機械の複数の動作軸（上下、伸縮、回転）を同時かつスムーズに動かすことが可能であり、熟練オペレーターの効率的な動作を精度高く再現できる。自動運転システムの構成を図-3に示す。

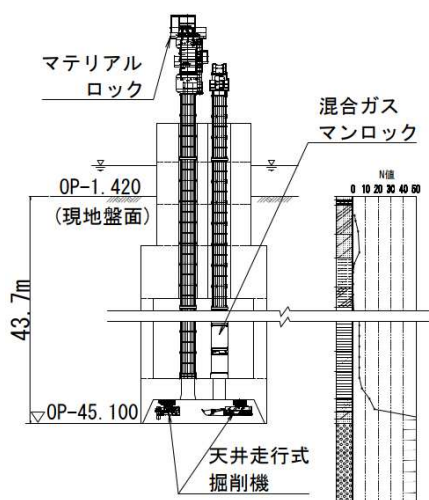


図-1. ケーソン側面図

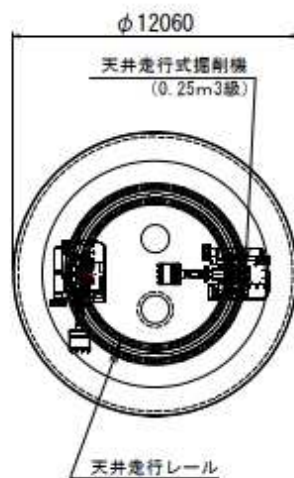


図-2. 天井走行式掘削機配置

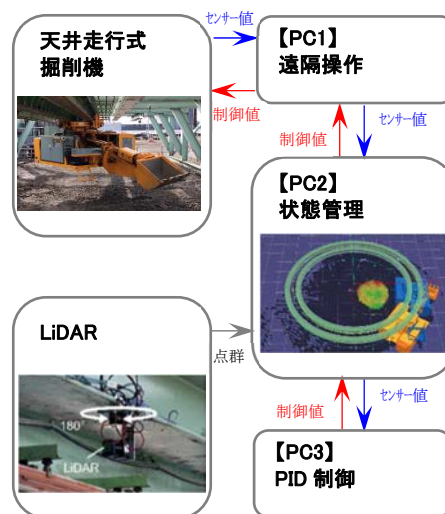


図-3. 自動運転システムの構成

キーワード ニューマチックケーソン工法, 自動運転, 無人化施工

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組 TEL03-5769-1302

## 4. 試験内容

### (1) 粘性土に対する掘削動作の学習

自動運転システムでは、熟練オペレーターの掘削動作を学習して適用している。既往の研究では砂質土地盤を対象としていたため、今回は粘性土地盤で新たに掘削動作を学習し、自動運転システムに取り込んだ。

### (2) 自動運転による掘削作業

掘削範囲と排土位置を予め設定し、指定した範囲の掘削が完了するまで一連の作業を自動運転で行った。自動運転の手順は以下の通りである。

- 1) LiDARにより掘削地盤表面の点群データを取得し、最も高い地盤の箇所を自動抽出する。
- 2) 地盤の高さに応じた掘削動作パターンから最適な掘削動作を決定し、【PC3】まで目標値を送信する。
- 3) 【PC3】から掘削機まで制御値を送信し、掘削→走行+旋回→排土の一連の動作を行う。

なお、掘削範囲は直径 2m の円形、掘削深さは作業室の天井から 2.9m 下（掘削前は平均で 2.4m 下）までとし、1 台の掘削機で作業を行った（図-4）。

## 5. 試験結果

粘性土に対する掘削動作の学習では、地盤面に対してバケットを深く挿入すると高い粘着力によりバケットを引上げられなくなったため、浅く挿入して広くすき取る動作を学習させた。また、排土時は粘着力により掘削土が落下しなかったため、バケットを細かく振動する動作を学習させた。

自動運転による掘削作業では、指定した範囲の掘削土砂を排土位置まで運搬する作業を無人で行うことができた（図-5）。ここでは作業時間、掘削土量、掘削回数の測定を行い、同条件の作業を熟練オペレーターによる遠隔操作で行った場合と結果を比較した（表-1）。その結果、自動掘削の作業時間は遠隔操作の約 2 倍となり、また、掘削回数は 3 回多い 7 回であったが、各回の掘削土量を算定してみると 3 回は非常に少ない結果であった。

## 6. まとめ

今回の試験施工により、沈設精度にそれほど影響が無いケーソン中央部の自動掘削について、実工事への導入に向けて有効な成果が得られた。しかし、掘削土量が非常に少ない作業もあったことから、より効率的な掘削動作の研究や、地盤形状に応じた掘削動作パターンの最適化が今後の課題と考える。

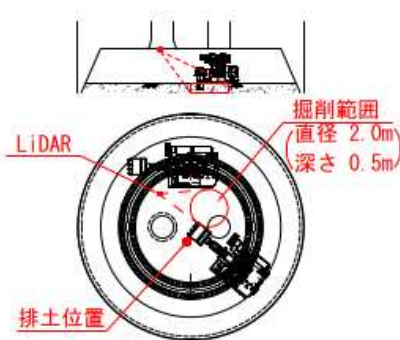


図-4. 掘削範囲および排土位置

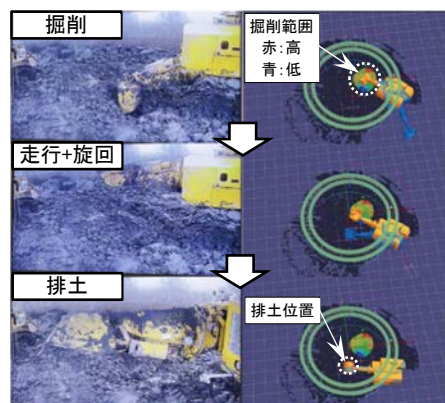


図-5. 自動運転状況

表-1. 掘削作業測定結果

	自動運転	熟練オペレーターによる遠隔操作
作業時間	6分15秒	2分40秒
掘削回数	7回	4回
掘削土量	1.39m <sup>3</sup>	1.50m <sup>3</sup>

## 参考文献

- 1) 角田他：天井走行式掘削機の自動化に関する研究（第2報）－LiDARを利用した掘削排土作業の自動化と評価－，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2022