

# ニューマチックケーソン工法の 自動化施工技術

大豊建設株式会社 技術研究所

大豊建設株式会社 技術研究所 主任

藤崎 祐  
榎原 哲由

## 1 はじめに

近年、建設業界を取り巻く環境は大きく変化しており、熟練労働者の高齢化や人手不足が深刻化している。二〇二四年四月には建設現場のDX化を加速させるための取組みとして「i-Construction 2.0」が国土交通省より発表されるなど、省人化対策として建設現場のオートメーション化の実現が期待されている。このような情勢の中、大豊建設株式会社では建設機械のICT、自動化などに幅広い知見・実績を有する株式会社 EARTHBRAIN 及び ARAV 株式会社と協業して、ニューマチックケーソン工法の自動化施工技術の開発に取り組んでいる。

## 2 ニューマチックケーソン工法

当工法は、地上での構築作業と地下作業室内での地盤の掘削作業の繰り返しにより、地下にコンクリート構造物を沈設する工法である。図1にニューマチックケーソン工法の概要図を示す。作業室は地下水の侵入を防ぐため、常に圧縮空気が送られる高気圧の環境となる。気圧を保つため、資材の搬出入にはマテリアルロック、人の入退室にはマンロックを用いて空気圧の調整を行う。例えば、作業室で掘削された土砂は、一立米程度のバケットに積み込まれた後スケーターカーで揚重され、マテリアルロックでの減圧を経て地上へと搬出される。

当工法により構築された地下構造物は剛性・耐震性に優れ、橋脚基礎や立坑などの施工に活用される。昨今、大深度化や都市部での施工が増加傾向にあります。これまで以上に高度な施工管理と効率化が求められていることから、より安全で効率的な施工を実現するためにも自動化施工技術の開発は不可欠と言える。

## 3 自動化施工技術の概要

当社が開発を進めている自動化施工技術は、

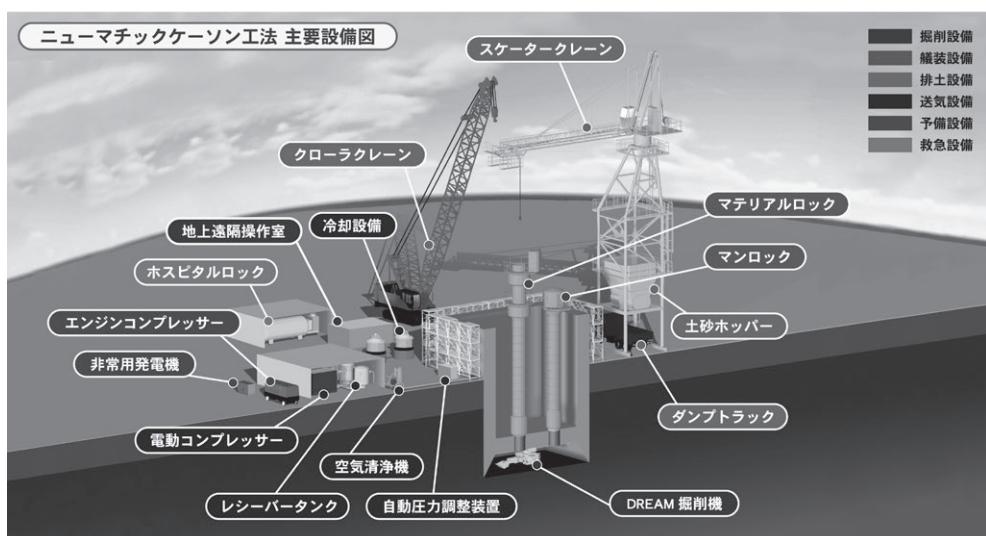


図1 ニューマチックケーソン工法の概要

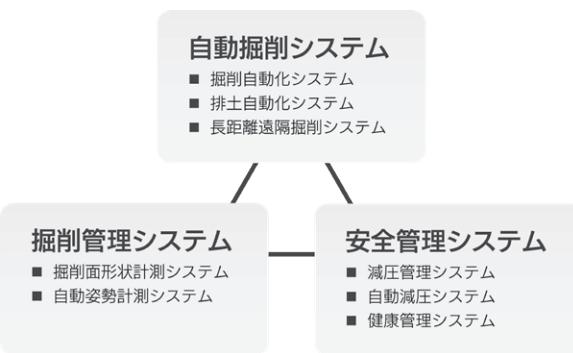


図2 自動化施工技術の体系図



図3 システム開発手順

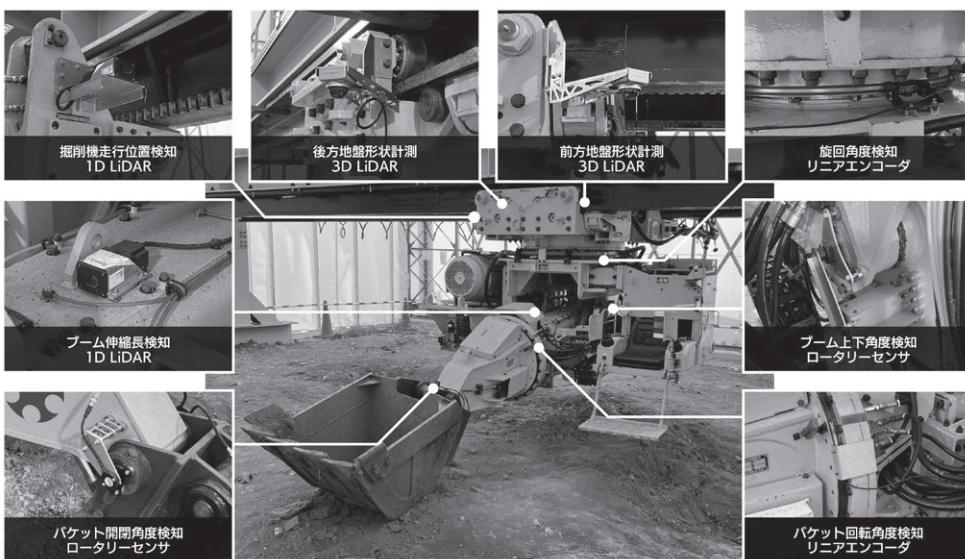


図4 掘削機のセンサ搭載状況

図2に示すように「自動掘削システム」、「掘削管理システム」、「安全管理システム」の三つの主要なシステムで構成され、各々の役割は下記のとおりである。各々のシステムは独立して稼働できるが、連携することでより高度な効率化や安全性向上が実現できる。

- ①自動掘削システムは、ニューマチックケーン工法の主要工程のひとつ、掘削作業を自動化するシステムであり、「掘削自動化システム」、「排土自動化システム」、「長距離遠隔掘削システム」の三つのサブシステムから構成される。
- ②掘削管理システムは、掘削作業においてケーンの姿勢と地下作業室内の掘削地盤形状をリアルタイム計測することで、ケーソンの沈設状況を見える化するシステムであり、「自動姿勢計測システム」と「掘削面形状計測システム」の二つのサブシステムから構成される。
- ③安全管理システムは、マンロツクにおける加減圧や日々の健康管理のDX化により、高気圧下の業務において起こりうる健康トラブルの発生を抑制するシステムであり、「健康管理システム」、「減圧管理システム」、「自動減圧システム」の三つのサブシステムから構成される。

本稿では①自動掘削システムについて主に取り上げ、開発状況を報告する。

## 4 自動掘削システム

前述の通り、「掘削自動化システム」、「排土自動化システム」、「長距離遠隔掘削システム」の三つのサブシステムから構成される。

### ■掘削自動化システム

掘削自動化システムは、ケーソン函体内部に設置された天井走行式掘削機を制御し地盤の掘削からバケットへの積込までの一連の掘削作業を自動で行うシステムである。掘削作業にはケーソンの

二つのサブシステムから構成される。

③安全管理システムは、マンロツクにおける加減圧や日々の健康管理のDX化により、高気圧下の業務において起こりうる健康トラブルの発生を抑制するシステムであり、「健康管理システム」、「減圧管理システム」、「自動減圧システム」の三つのサブシステムから構成される。

沈下や姿勢制御が関わる地盤の掘削（沈下掘削）と関わらない地盤の掘削（盤下げ掘削）があり、第一ステップとして盤下げ掘削の自動化、第二ステップとして沈下掘削の自動化という順序でのシステム開発が計画されている。

建機の自動化にあたっては建機の姿勢や周辺地盤などの情報の適切なセンシングと、センシング



写真1 バケット積込試験の実施状況



写真2 現場実証試験状況

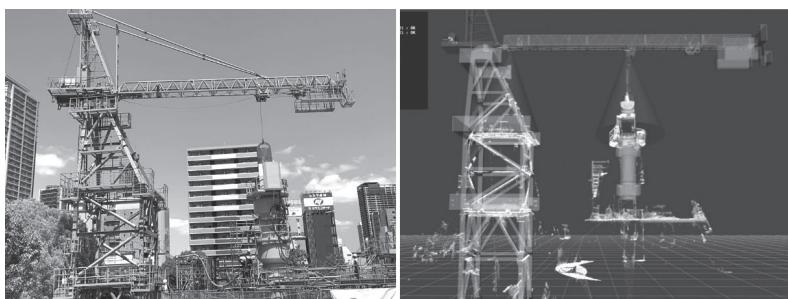


写真5 スケータークレーンのセンシング (左: 実機、右: 3Dモデル)

までの一連の作業を自動化するシステムである。マテリアルロットケーラークレーンを制御し、バケットのケーン内への搬入から地上の土砂ホッパへの排出までの一連の作業を自動化するシステムである。

ロットケーラークレーンについても、制御ソフトウェアによる実機のハッチ開閉を行えることを確認した。スケータークレーンについては、実機へセンサを搭載し、姿勢センシングの安定性の検証を行っている。図5に、センサ情報を基に実機の姿勢を3Dモデルへと反映させた画面を示す。

本稿では、ニューマチックケーソン工法における自動化施工技術、特に自動掘削システムの開発について報告した。自動掘削システムの実証実験では、実験施設および実際の工事現場において、一連の掘削・積込動作を連続して行えることを確認した。今後は、掘削自動化システムの早期実用化を目指すとともに、排土自動化システム、長距離遠隔掘削システムの連携に向けた開発を推進していく。さらに、掘削管理システムと安全管理システムとの協調により自動化施工技術の完成度を高め、建設現場における生産性向上に貢献していく所存である。

情報を基に建機を制御するソフトウェアの開発が重要となる。開発には図3に示すようにシミュレータを活用した。センサの種類の検討や治具の設計、制御ソフトウェアの開発をシミュレータ内で行つた後に実機試験へと移行することで、開発コストと物損リスクの低減を図った。

実機試験は、まず実験設備において、天井走行式掘削機に各種センサを搭載(図4)し、開発した制御ソフトウェアの動作確認を行つた。試験内容として、指定した位置へ土砂を積込む土山作成試験とバケットの位置を探索して土砂を積込むバケット積込試験の二つの試験を実施した。写真1にバケット積込試験の実施状況を示す。バケットを模した円筒に向かって土砂を積む様子が写真から読み取られる。制御ソフトウェアが正常に稼働し一連の掘削・積込動作を連続で行えることを確認した。

さらに、実験施設での結果を受け現場における実機試験に移つた。写真2に現場実証試験状況を示す。実験施設と同様に掘削・積込動作を連続で達成したことから、ケーソン函内の高压・高温多湿な環境においてもシステムが十全に機能することを確認した。

今後の取り組みとして、制御ソフトウェアの調整や制御手法の見直しによる動作のサイクルタイムの短縮が挙げられる。

### ■ 排土自動化システム

排土自動化システムは、マテリアルロットとスケータークレーンを制御し、バケットのケーン内への搬入から地上の土砂ホッパへの排出までの一連の作業を自動化するシステムである。従来、掘削機のオペレータは同一現場に常駐する必要があつたが、本システムにより、遠隔地のオペレータの有効活用が可能となる。さらに、掘削自動化システムのバックアップとしての役割も担い、自動化施工の信頼性と安全性を一層高めることが期待される。

### ■ 長距離遠隔掘削システム

長距離遠隔掘削システムは、掘削機の遠隔操作技術とインターネット通信を組み合わせることで、オペレータが物理的に離れた場所から掘削作業を行えるシステムである。従来、掘削機のオペレータは同一現場に常駐する必要があつたが、本システムにより、遠隔地のオペレータの有効活用が可能となる。さらに、掘削自動化システムのバックアップとしての役割も担い、自動化施工の信頼性と安全性を一層高めることが期待される。

## 5 おわりに

本稿では、ニューマチックケーソン工法における自動化施工技術、特に自動掘削システムの開発について報告した。自動掘削システムの実証実験では、実験施設および実際の工事現場において、

一連の掘削・積込動作を連続して行えることを確認した。今後は、掘削自動化システムの早期実用化を目指すとともに、排土自動化システム、長距

離遠隔掘削システムの連携に向けた開発を推進していく。さらに、掘削管理システムと安全管理シ

ステムとの協調により自動化施工技術の完成度を

高め、建設現場における生産性向上に貢献していく所存である。