

ニューマチックケーソン工法の自動化施工技術の開発

大豊建設株式会社 正会員 ○榊原 哲由

大豊建設株式会社 正会員 藤井 宣

株式会社 EARTHBRAIN 非会員 関川 祐市

ARAV 株式会社 非会員 中本 武範

1. はじめに

近年、ニューマチックケーソン（以下、ケーソン）工事においては、大深度施工や都市部の施工など多種多様な管理が求められる工事が増加する中、生産性向上や働き方改革への対応が課題となっている。そこで、ケーソン工法の自動化を実現することで施工の合理化・効率化を図る。本稿では、自動化施工技術の体系を述べたうえで自動掘削システムの開発概要について記す。

2. 自動化施工の体系

ケーソン工法の自動化施工のシステム体系を図-1に示す。自動化施工の取組みは自動掘削システム、掘削管理システム、安全管理システムの三分野で進めている。これら三分野は表-1に示すようにさらに複数のシステムに細分される。

ケーソン工事の沈下掘削では、躯体の位置・傾斜などの情報に応じて函内の掘削位置・掘削量を調整し姿勢を制御する。自動掘削システムは、言葉の如く掘削・排土作業を自動化するものであり、大豊建設株式会社と建設機械の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 株式会社との協業でシステム開発を進めている。

掘削管理システムは掘削面形状計測システムと自動姿勢計測システムから構成され、姿勢制御の基となる躯体の位置・傾斜情報や函内の掘削面形状の自動計測を行う。現状、掘削管理システムの開発を先行し実用化に至っているが、自動掘削システムと掘削管理システムは密接に関係するものであり、次段階では両システムのリンクを図る。

また、ケーソンの大深度化に伴い、高気圧作業時のより適正・適格な減圧管理と入函前後の健康管理が一層強く求められる。安全管理システムは減圧管理システム、自動減圧システム、健康管理システムから

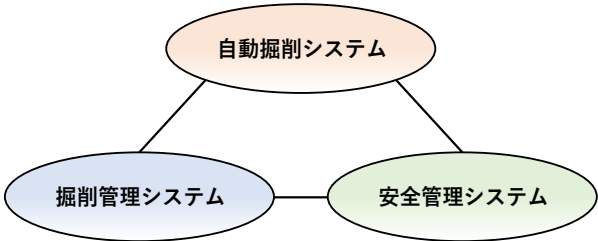


図-1 システム体系図

表-1 システム構成

自動掘削システム
・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
掘削管理システム
・掘削面形状計測システム
・自動姿勢計測システム
安全管理システム
・減圧管理システム
・自動減圧システム
・健康管理システム

構成され、高気圧作業前の健康チェック、適正な自動減圧、高気圧作業後の健康チェックや安全衛生管理書類の自動生成を現場管理者の経験や技量によらず適正・確実に行うことができるシステムである。

これら自動掘削システム、掘削管理システム、安全管理システムはそれぞれ単体でも自動化に貢献できるものであるが、システム連携を図ることで、より高度なケーソン工法の自動化施工の実現が可能となる。

3. 自動掘削システム

3-1. 開発ステップ

自動掘削システムの開発ステップを図-2に示す。第1ステップとして、ケーソンの姿勢制御掘削を伴わない掘削（いわゆる盤下げ掘削）自動化と排土自動化開発を進める。第2ステップとして、ケーソン本体の姿勢制御を含む掘削の自動化に取り組む計画である。

キーワード ニューマチックケーソン工法、自動化施工、自動掘削、シミュレーション

連絡先 〒300-0332 茨城県稲敷郡阿見町中央 8-5-1 TEL 029-891-0571 大豊建設(株) 技術研究所

[第1ステップ]

盤下げ掘削自動化+排土自動化

(ケーソン沈下に影響しない部分の掘削自動化)

- ・盤下げ掘削、掘削土移動及び積み込みの自動化
- ・排土用キャリア、マテリアルロックの自動化
- ・掘削自動化と排土自動化のシステム連携



[第2ステップ]

姿勢制御掘削 (ケーソン本体の姿勢制御を含む自動掘削)

- ・掘削面形状計測 & ケーソン姿勢計測との連携
- ・AI活用による姿勢制御自動化

図-2 開発ステップ

3-2. 掘削自動化システム

掘削自動化では、函内の天井走行式掘削機（以下、掘削機）による掘削から排土バケットへの積み込みまでを自動で行う。写真-1 に示すように掘削機に種々のセンサを装着してその動作を制御する。

掘削自動化開発において、最初から実機での開発を行うと、試行錯誤に伴う開発コストの上昇や、自動動作検証時の障害発生に対して復旧に手間や時間がかかるといったリスクが伴う。そこで、ARAV 社が開発に携わる”Open Construction Simulator（以下OCS）”を利用して、図-3 に示すように仮想空間上に掘削機及び函内掘削環境を再現した。開発の各工程において、実機での実証実験に先行して掘削機・掘削土砂環境、センサを再現し、自動掘削シミュレーションを実施している。その上で、実際にセンサを実機の掘削機へ取り付けて動作試験を行い、最終的に現場での実証実験へと移行していく。以上の工程を経ることで、掘削自動化開発にかかる開発コストとリスクの低減を図る。OCS の基本機能は、商用利用可能なライセンスでオープンソースとして公開されている。

3-3. 排土自動化システム

排土自動化は、排土バケットの函内への搬入と土砂を積んだ排土バケットの函外への搬出、土砂ホッパーへの土砂の投入を一連で自動化するものであり、排土用キャリアとマテリアルロックの自動制御システムから構成する。排土自動化の技術開発においても OCS を用いて仮想空間でのシミュレーションを実施したのち、実機による検証を行っていく。



写真-1 天井走行式掘削機制御センサ

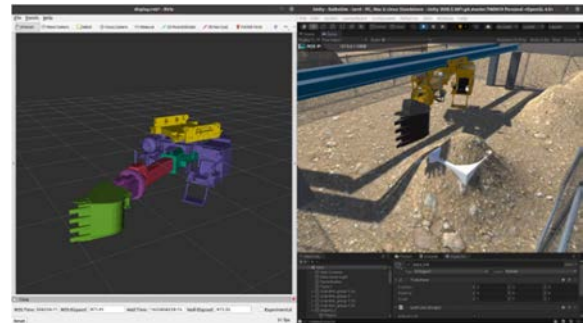


図-3 OCS 上での自動掘削シミュレーション



写真-2 掘削シミュレータ

3-4. 長距離遠隔掘削システム

掘削機遠隔操作をインターネット通信により長距離化するシステムで、遠隔地にいるオペレータを作業に登用するなど労働力の有効活用を図ることができる。加えて、自動掘削作業時の掘削修正・調整を現場外から行うなど、前述の自動掘削のバックアップシステムとしての活用も想定している。開発の最初の段階として、写真-2 に示すような長距離遠隔操作のベースマシンとなるケーソン工事の掘削シミュレータを製作した。函内の土砂を掘削、排土バケットへ積み込むまでの作業を仮想空間上で体験することが可能で、掘削機操作の教育や訓練に有用である。

4. おわりに

今後、各システムの開発・完成度を高めつつ相互の連携を図っていくことでケーソン工法の自動化を推進し、建設現場における働き方の変革やDX化に寄与・貢献していく所存である。