

ニューマチックケーソン工法の自動掘削システムにおける掘削機の協調作業に関する開発

(株)大林組	正会員	○飯塚 大介	正会員	照井 太一
(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 貴一郎	非会員	角田 敦史

1. はじめに

近年我が国の建設現場では、熟練工の高齢化や若い世代の減少による人手不足が課題となっており、生産性向上に資する技術として建設機械の自動化や自律化が期待されている。ニューマチックケーソン工法においては掘削作業がオペレータの熟練度に依存して施工される部分が多いため、同作業における生産性向上を目指して、地上遠隔操作による施工技術が導入されている。筆者らは、オペレータの負担軽減・省力化を目的として、天井走行式掘削機の自動化を目指した研究に取り組んでおり、これまで掘削から排土までの一部の作業において、自動掘削システムの構築および実機による実証実験を行ってきた。本報文では、これまでの自動掘削システムの開発概要について述べるとともに、新たに複数の掘削機の協調作業に関するシステムの構築及び実証実験を行ったことから、その結果について報告する。

2. 自動掘削システムの開発概要

自動掘削システムの構成図を図-1に示す。自動掘削システムでは、作業室の天井及び天井走行式掘削機に取り付けられた3DLiDARによる測定で取得した点群データを用いて、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、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、排土位置は、点群データに特殊なフィッティングを行うことにより排土バケットを認識する。掘削動作はPID制御理論をベースとした独自の理論を用いることにより、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を可能とし、熟練オペレータの効率的な動作を精度高く再現した。またシステムのプログラムは、複数の掘削機の協調作業を見据えて、オープンソースソフトウェアのROSを用いている。この自動掘削システムを用いた実証実験の掘削作業状況を図-2に示す。図-2の写真②より、浅い箇所を抽出し掘削範囲を正しく認識していること、写真⑤より排土バケットを認識し、排土バケット上部で正しく排土できていることが確認された。本実証実験では掘削機は一台としており、この場合においては、掘削から排土までの一連の動作を実用的な時間で行うことができた。

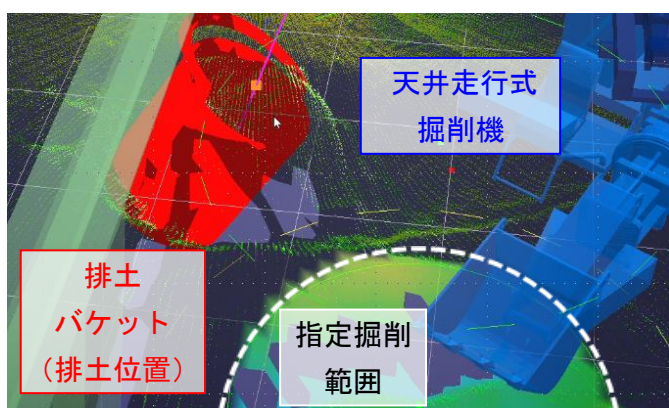


図-1 自動掘削システムの概要



図-2 掘削作業状況

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, 協調作業
 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

3. 協調作業に関するシステムの構築

ニューマチックケーソン工法の掘削作業は地下の狭隘な空間で複数の掘削機を用いるため、掘削機同士の衝突や壁面への衝突がないように協調作業を行う必要がある。協調作業の実現に向けた第一段階として、本研究では実験設備やケーソン函内をシミュレータ上に再現し、協調作業システムの設計及び構築を行うこととした。シミュレータでは、掘削機同士の衝突を回避するために掘削機それぞれに逐次領域が変化する占有エリアを設け、そのエリアから掘削機が出ないように移動させることとした。また経路計画では、掘削機はレール上の直線と旋回動作を自由に動くものとし、掘削機を多角形に近似した衝突判定のモデルを作成した。図-3 にシミュレータで再現された経路計画を示す。図-3 に示す赤色と黒色が互いの占有エリアであり、右の掘削機が赤エリアに侵入することなく、左の掘削機との衝突を避けた経路を生成していることがわかる。

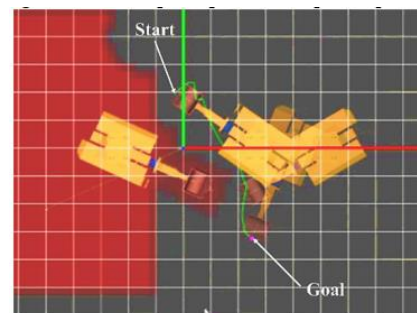


図-3 経路計画図

4. 実証実験の概要

3. で述べた協調作業システムを用いて、実証実験を行った。実証実験は平面寸法 10m×15m のケーソン函内を模擬した作業室内で実施し、掘削は作業室内に設置した 2 台の天井走行式掘削機 (0.25m³) を用いて行った。本実験では排土位置を掘削機 A, B 共通とし、半径 1.5m の円で設定した。また排土位置付近に、排土バケットを地上に引き上げるためのワイヤを想定したチェーンを取り付けた。本実験の概要図を図-4 に示す。作業室の天井には 3DLiDAR が取り付けられており、遠隔操作室ではそれから得られる情報をもとに作業室内の掘削地盤形状が 3 次元でリアルタイムにモニターに表視される。

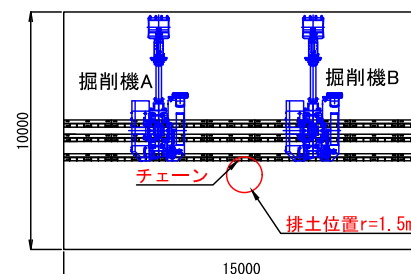


図-4 実証実験の概要図

5. 実証実験の結果

本実証実験の管理モニターを図-5 に、実験の様子を図-6 に示す。掘削から排土まで作業を 2 台の掘削機を用いて行ったところ、掘削機同士の衝突や掘削機とチェーンの衝突が起こることなく一連の作業を行うことができた。本実証実験では排土位置付近を逐次領域が変化する占有エリアに設定しており、図-5 に示すように、片方の掘削機が排土を行う際には、排土位置付近が排土作業を行う掘削機の占有エリアに適切に変化していることが確認され、掘削位置から排土位置までの経路計画においては、チェーンとの衝突を避けた経路を生成することが示された。また、図-6 より掘削機 A(B)が排土エリアで作業を行っている場合、もう片方の掘削機 B(A)は待機しており、掘削機 A(B)の排土作業が終了し、排土位置付近から退避したあとに掘削機 B(A)は掘削位置から排土位置までの移動を開始することが確認できた。

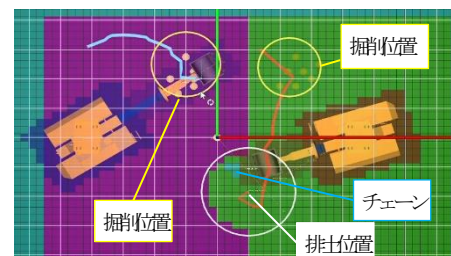


図-5 管理モニター



図-6 実証実験の様子

6. おわりに

今回の実証実験により、複数の掘削機を用いて掘削から排土までの一連の動作の協調作業を行うことができた。今後は実施工現場で協調作業システムを導入し、より効率的な掘削動作の研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 大崎他：ニューマチックケーソン工法における自動掘削システムの開発，令和4年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，2022年11月