

吹付けコンクリートの遠隔施工に向けた取組み

株式会社大林組 正会員 ロボティクス生産本部 ○今坂剛大 山本信吾 森野弘之

トンネル技術部 藤岡大輔 谷口信博

古河ロックドリル株式会社 正会員 宮越征一

マルマテクニカ株式会社 非会員 吉野隆伸

1. はじめに

山岳トンネル工事では、一連の掘削工程において施工機械と複数の作業員が狭隘な作業環境の中で共存する。さらに、山岳トンネル工事特有の地山に接近した状況の作業になる。その為、機械との接触災害や崩落災害の危険が潜んでいる。そこで、作業場所である切羽から作業員を遠ざけることで、危険を回避することを目的に開発を進めている。今回は、その取り組みの中の「吹付作業」に関する以下の2項目について報告する。

- ・吹付ノズル操作者（以降、ノズルマン）の目の代わりになるカメラ台車
- ・従来より少ないレバー操作でノズルを最適位置に動かすことができるシステム

2. 吹付コンクリート遠隔施工に向けた取組み

エレクター付き吹付機の遠隔施工に向けた取り組みの内、既に開発済みの構成技術としては、遠隔操作で鋼製支保工の建込が可能な「クイックテレクター[®]」がある。この技術は、計画位置に確実に設置できる専用のエレクターブーム、鋼製支保工を計画建込み位置まで誘導するガイダンスシステム、支保工頂部の接続を遠隔で行うためのワンタッチジョイントから構成され、切羽直下に作業員が立ち入ることなく鋼製支保工を建込むことが可能である。

それに加えて今回、遠隔吹付作業に向けた取組みとして以下の2つの技術を開発した。

(1) カメラ台車

これまでノズルマンは切羽付近において、吹付前の地山状況、コンクリートが吐出されるノズル先端、吹付コンクリートの付着具合等を目視で確認しながらリモコン操作にて吹付操作を行っていた。その為、崩落災害や機械との接触災害等の危険と隣り合わせの環境下で作業を行う必要があった。そこで、人の目に代わりリアルタイムに切羽の状況を確認でき坑内の悪路にも対応して遠隔操作で移動できるカメラ台車の開発を行った。

図-1にカメラ台車の全景を示す。この台車は、不整地、狭隘な場所でも走行可能な履帯式台車に任意操作で画角調整可能なカメラを搭載し、低遅延の映像を遠隔地に伝送可能とした。カメラについては、切羽吹付面や支保工建込部等を全方位に確認するカメラの他、台車移動時に周囲の状況を確認するカメラを複数台搭載する。台車の移動は足元のペダルを操作することで手を使わずに任意の位置に移動可能である。これまでに、2つの山岳トンネル工事現場において実証試験を実施した。図-2に操作状況を示す。実証試験では、コンクリートの吹付用ノズルの動作や吹付面の状況を、作業場所から隔離された場所に設置されたモニターを確認しながら吹付作業を行った。吹付ノズルの動きに合わせてカメラの画角と遠近を微調整することで、吹付ノズルの動作状況や吹付厚の把握ができることを確認した。また、カメラ台車に搭載したその他のカメラの情報を元に図-3に示す足元ペダル操作のみで任意の位置に移動させられることも確認した。



図-1 カメラ台車全景



図-2 操作状況



図-3 足元ペダル

キーワード：山岳トンネル、遠隔建込み、輪郭同調、自動化施工、吹付けコンクリート、鋼製支保工

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 28F Tel：03-5769-1319

(2) 輪郭同調システム

吹付作業では、吹付時のノズル位置が岩盤面に対して正しい向きや離隔距離を保つことができない場合、仕上がり面の平滑性不良や支保工背面の充填不足といった品質低下、吹付不良によるリバウンド増大、不適切な吹付角度による粉塵増加などを引き起こすリスクがある。また、従来はノズルマンが目視でノズルと吹付面との距離を確認しながら、複数のレバーを巧みに操作し 3 次元に動かす必要があった。この操作は熟練作業員が担当することが多く、簡易操作を実現し未熟練操作者でも操作可能なシステムを確立する必要があった。

このような課題を克服すべく、ノズルを常に一定の距離にある「仮想の平面上」に保ち続けさせるようにアームを自動で伸縮させる「平面同調システム」の開発に続き、掘削後の側壁・天端の吹付作業を想定し、ブーム左右操作のみで起伏・伸縮動作を自動的に行い、トンネルアーチから吹付ノズル先端までの距離を自動的に一定に保持させる「輪郭同調システム」を開発した。図-4 に輪郭同調の概要を示す。この技術により、操作の容易さが作業効率の向上につながり作業時間の削減が見込まれると共に、短時間で操作方法を習得できることから熟練オペレーターの不足問題の解決にも寄与する。また、ノズルを常に施工に最適な位置に保つことができる為、仕上がり面の平滑性など施工品質の向上と共に、リバウンドの減少による材料コストの抑制や粉塵発生量の低減による坑内環境の改善を実現する。

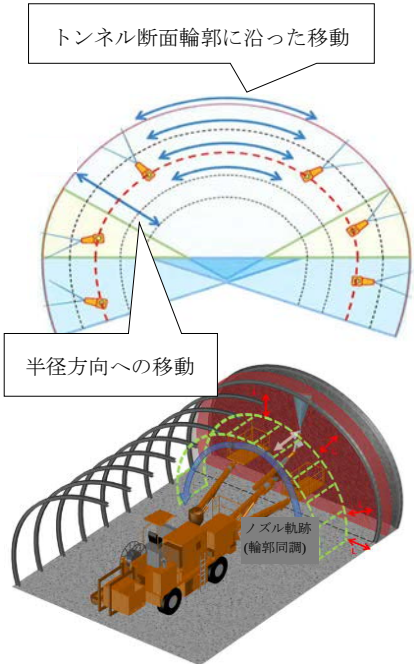


図-4 輪郭同調 概要

(3) 改善効果

カメラ台車と輪郭同調システムの開発による従来比の改善効果を以下の表-1 に示す。

表-1 従来比の改善効果

比較項目	従 来	開発後
カメラ台車		
作業環境面	切羽での粉塵環境下での作業	切羽から離れた場所での作業
安全衛生面	崩落・機械巻き込まれ災害のリスク有り	切羽特有災害のリスク無し
輪郭同調		
コスト面	リバウンドによるコスト増大	リバウンド低減によるコスト減少
環境面	吹付距離・角度不適による粉塵増大	適正吹付による粉塵低減
熟練度依存	熟練作業員のみ作業可能	熟練作業員に依存しない

3. 今後の展望

(1) カメラ台車

カメラ台車を使用することで切羽に人が立ち入ることなく吹付ノズル先端の動きを認識することができるが、人の目に代わる技術としては、以下の点について今後改善する必要がある。

- ・支保工建て込み装置との連携
- ・各種掘削方法（全断面・マイクロベンチ・ミニベンチなど）への順応

今後については、カメラ台車に加えて補助カメラの適用も視野に入れながら、開発を継続する。

(2) 輪郭同調

現在までのところ 2022 年 12 月に工場試験での動作確認は完了し、現場適用できることを確認した。2023 年 4 月から実トンネル工事現場でその有効性を確認する。

参考文献

1) 山岳トンネルにおける鋼製支保工遠隔建て込み技術の開発：令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会，VI-800，2022.9