

## 山岳トンネルコンクリート吹付けの遠隔操作システムの開発

西松建設(株) 正会員 山本 悟 ○山下雅之 清水建設(株) 正会員 小島英郷  
 戸田建設(株) 正会員 関根一郎 前田建設工業(株) 正会員 水谷和彦  
 エフティイーエス(株) 正会員 四塚勝久

### 1. はじめに

山岳トンネル工事におけるコンクリート吹付け作業は、吹付けノズルのオペレータが切羽直下に立入り、吹付け出来形を目視にて確認しながら行っている。しかし、切羽直下は肌落ちの危険や粉じんの飛散があるなど過酷な環境となっている。そのため、厚生労働省より平成30年に改正された「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止に係るガイドライン」、令和2年に発布された「ずい道等建設工事における粉塵対策に関するガイドライン」において、切羽作業の遠隔操作技術の導入が求められている。このような背景から、我々はコンクリート吹付けの遠隔操作システムを開発し、現場試験運用を開始した。本稿では、システムの開発成果と今後の課題について報告する。

### 2. 開発技術の概要

システムは「遠隔操作室」、「映像・制御信号伝送システム」、「機体制御システム」および「リアルタイム吹付け厚さ測定システム」で構成されている。

#### ①遠隔操作室

遠隔操作室は4tトラック荷台に補強済ユニットハウスを設置し、さらに発破衝撃を回避するため防音扉後方に駐機させた(図-1)。室内には運転席、操作レバースイッチおよびフットペダルを配置した運転コックピットと吹付け機本体の前後側方、吹付け面、コンクリートポンプに搭載したカメラ映像および機体情報を映す12個のモニタが配置されている(図-2)。吹付けロボット操作を通常のリモコンと同じ感覚で作業が行える様にレバースイッチの配置に配慮した。

#### ②映像・制御信号伝送システム

吹付け機の移動のたびに有線接続を行う作業は非効率であるため、電源台車および吹付け機本体に、映像伝送用のVバンド帯域高速無線LAN、制御信号用の5GHz帯Wi-Fiアンテナをそれぞれ設置することで無線通信を構築している(図-3, 4)。なお、切羽近傍に駐機している電源台車と遠隔操作室は有線接続している。また、吹付けシステムにはカメラの他にマイクが設置されており吹付け作業における切羽の臨場感を操作室内で得る事ができる。

#### ③機体制御システム

遠隔操作室からの制御信号を受けて、エンジン始動、アウトリガー昇降、走行・舵取り・停止、油圧ポンプ、コンプレッサー及びバイパスエア起動、急結材圧送、コンクリート圧送開始等、有人操作と同様の作業を遠隔操作することが可能である。



図-1 遠隔操作室



図-2 運転コックピット・モニタ

キーワード 山岳トンネル, コンクリート吹付け, 遠隔操作, 無線通信, 粉じん対策

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門二丁目2番1号 西松建設(株) 技術研究所 TEL 03-3502-0247

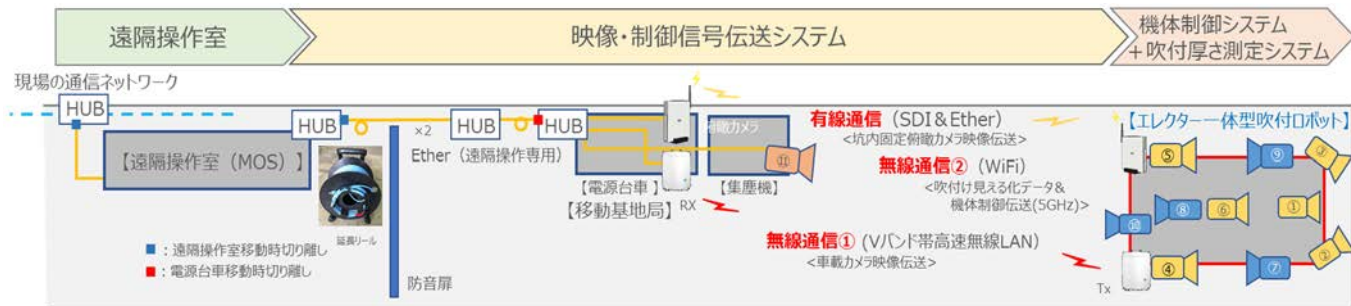


図-3 システム構成図

#### ④リアルタイム吹付け厚さ測定システム

新たに開発したミリ波レーダーシステム（図-6）およびモーションキャプチャカメラを組合わせて、吹付厚さをリアルタイムに計測して可視化する。可視化された吹付厚の情報を操作室から確認しながら吹付けを行うことで、確実な出来形の確保が可能となる。

### 3. 現場検証

実施工現場での検証は、駐機場所から切羽までの移動と吹付け作業に分けて行った。

切羽後方の駐機場所からアクセサリ電源を起動し、周辺映像から安全を確認した上でクラクションによる周知、エンジン始動、アウトリガーとポンプリフト昇降、切羽までの走行・舵取り・停止を映像・制御信号伝送遅延の影響なく安全に遠隔操作することができた。

吹付け作業では、油圧ポンプ起動、バスケット、エレクターブームの開腕とエアコンプレッサー起動、バイパスエア起動、急結材圧送、コンクリート圧送と吹付け開始までの一連の作業を問題なく実施できることを確認できた。しかし、システムの映像伝送遅延時間が約0.3秒あったため、ノズルオペレータの操作感覚としては改善の余地があった。また、吹付け面の仕上がり状況に関してはモニタのカメラ映像だけでは吹付け面の凹凸を把握する事は難しいが、別途技術開発したミリ波レーダーを使用したリアルタイム吹付け厚さ測定システム<sup>1)</sup>で可視化した吹付け厚を確認しながら吹付け作業を行うことでこの問題が解決可能である。

### 4. まとめ

近年、実現が期待されている吹付け作業の遠隔化の取組みとして山岳トンネルコンクリート吹付けの遠隔操作システムを開発した。今後は本格的な現場実証を通じて吹付け作業の遠隔化・自動化による効率化と安全性の向上を目指して、光ファイバーを使用した映像伝送の遅延時間短縮や吹付け時の最適なカメラ位置、トラックミキサーとの連動など、システム改良を重ねていく所存である。

### 参考文献

1) 清水建設㈱ 小島英郷ほか：山岳トンネル吹付けロボットのリアルタイム厚さ測定システムの開発，土木学会 第76回年次講演会，2021

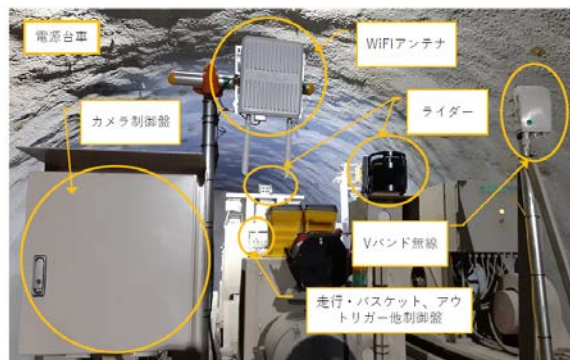


図-4 映像・制御信号伝送システム



図-5 機体設置カメラ



図-6 ミリ波レーダーシステム