

吹付けコンクリートの遠隔操作技術の開発（その1）

(株)熊谷組 正会員 ○尾畑 洋
 (株)熊谷組 正会員 手塚 仁
 (株)熊谷組 宮川 克己
 (株)熊谷組 正会員 坂西 孝仁

1. はじめに

山岳トンネルにおける吹付けコンクリートは、NATM工法が確立された現在においても作業員の健康を害することが懸念される作業のひとつである。加えてトンネル災害の多くは切羽作業に集中し、その中でも爆薬装填・吹付けコンクリート・鋼製支保工建込み作業は作業員が切羽に接近して行うことから、被災確率が高い。

厚生労働省が平成28年12月26日に策定した「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」においては、労働災害を防止するために切羽への立入を原則として禁止し、切羽作業は可能な限り機械化することが望まれており、「ずい道建設等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」とともに今後は作業員の「労働環境の改善」と「安全性の向上」を目的とした技術開発のニーズが高まるものと考えられる。

そこで、当社は長崎県雲仙普賢岳の災害復旧工事で確立した「無人化施工技術」の要素技術を吹付けコンクリートに取り入れ、切羽作業での「労働環境改善」と「安全性向上」、及び「施工の効率化」を目的に、切羽から離れた場所から遠隔操作により吹付けコンクリートを施工する技術を開発した。



図-1 吹付けコンクリート遠隔操作技術イメージ

2. 遠隔吹付け技術の概要

遠隔操作技術を用いた吹付けコンクリート（遠隔吹付けシステム）は、吹付け機に搭載したカメラ映像を切羽から離れて設置した遠隔操作室で吹付けオペレータがモニター画面を見ながら吹付けロボットを操作する。この技術の実現化に最も重要な課題は、吹付けオペレータ視線を現状作業と同様の視野、感覚に近づけるかであった。そこで、通常吹付け作業時に吹付けオペレータのヘルメットに装着して撮影したウェアラブルカメラ映像を基に最適なカメラ位置を検討した結果、エレクタ搭載型吹付け機の両エレクタブーム先端にカメラ（オペレータ視線用）を設置することで通常吹付け作業時の吹付けオペレータ視線を確保するとともにキャビン上方に設置したカメラで吹付け領域全体を俯瞰することとした。

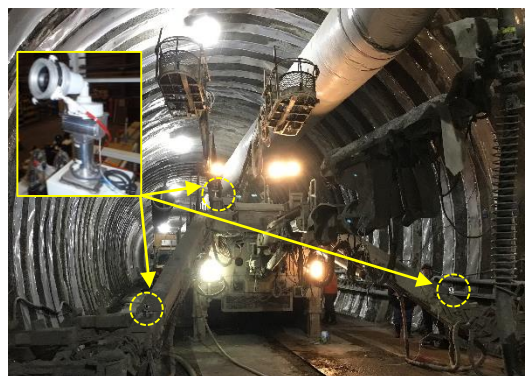


写真-1 遠隔操作用吹付け機

オペレータ視線を確保するカメラは広い水平画角（最大 90°）を有し、防水・防塵機能に優れたネットワークカメラ（IP66）とし、カメラのパン・チルトは雲台でコントロールする。

キーワード 山岳トンネル、吹付けコンクリート、遠隔操作、労働環境改善、安全性向上、施工の効率化

連絡先 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1 (株)熊谷組 土木事業本部 トンネル技術部 TEL03-3235-8649

操作室のモニタ画面では吹付け箇所とノズルとの位置関係を把握することが困難であることから、ガイダンスシステム（吹付け機に搭載したステレオカメラで吹付け箇所を照射するレーザーポインターとノズル後端に取付けた LED 光のノズルワーク中の軌跡を連続的に座標認識し、吹付け箇所とノズルとの位置関係やノズルの方向をモニタ表示）で吹付けオペレータがノズル位置を視覚的に把握できるようにした。

吹付けコンクリートは粉じん暴露環境下で作業するため、上述した各々のカメラレンズ外周に防塵用エアシャワーリングを装着し、骨材やセメント粒子の付着を防止することとした。圧縮空気は吹付け機に搭載しているレシーバタンクから供給する。

遠隔操作室は機動性に優れた移動式とし、吹付け機とは坑内 LAN（無線）及び有線 LAN を通じて映像やロボット操作信号を伝送する。吹付けオペレータはモニタ映像を見ながら吹付け機のリモコンボックスを操作する。

操作室内のモニタ映像は 200ms 程度の遅延が発生する。吹付けコンクリートは吹付けオペレータのノズルワークが仕上がり精度を左右することから、吹付け機に自動ノズルスウィング機能（前後・左右）を付加することで映像遅延に伴うレスポンス低下を防止することとした。

3. 実機試験

遠隔吹付けシステムの実機による試験施工を稼働現場で試行した。試験施工は下半での吹付けでシステムの有効性を検証した後、上半吹付けでその実現性を確認した。

下半吹付けは仕上げ吹きまで遠隔操作で行い、吹付け仕上り面に過度な凹凸もなく、通常吹付けと同等の仕上り状況を確認できた。

一方、上半での試験施工は仕上げ吹付けを通常吹付けで行ったが、自動ノズルスウィング機能が映像遅延に伴うノズルレスポンス低下を防止でき、スムーズなノズルワークが確保され、上半吹付けにおける遠隔操作システムの実現性を確認した。なお、ノズルスウィング機能はリモコンボックスの手元操作を劇的に改善する副次効果を備えている。

4. 今後の展開

今後は実用化に向けたシステム開発に加え、生産性向上を見据えたプログラム開発を行い、稼働現場への普及展開を図り、「労働環境改善」と「施工の安全性向上」、「施工の効率化」の確立を目指す予定である。



写真-2 レーザー照射とステレオカメラ設置状況



写真-3 遠隔操吹付け用操作室

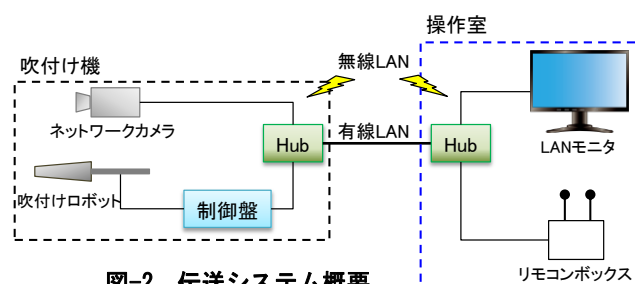


図-2 伝送システム概要



写真-4 下半における遠隔吹付け状況



写真-5 上半における遠隔吹付け状況