

第 VI 部門

出来形・監視UGVを利用したコンクリート吹付け作業の遠隔化技術

株式会社大林組 北陸支店 宝珠山トンネル工事事務所 正会員 棚池 誠

株式会社大林組 土木本部生産技術本部トンネル技術部 正会員 谷口 信博, 西村 友宏

株式会社大林組 土木本部生産技術本部トンネル技術部 正会員 ○渡辺 淳

1. はじめに

山岳トンネル工事は、限られた空間で大型重機が稼働することによる重機災害リスクや、地質の不確実性による切羽肌落ち災害リスク、熟練作業員の高齢化や若手作業員の不足による生産性/品質低下リスクが存在し、近年ではICT技術による安全/生産性/品質の更なる向上の取組みが求められている。本稿では、山岳トンネル掘削作業のうち、コンクリート吹付け作業の自動化を見据えた遠隔化技術と出来形・監視UGVについて報告する。

2. コンクリート吹付け作業の遠隔化技術について

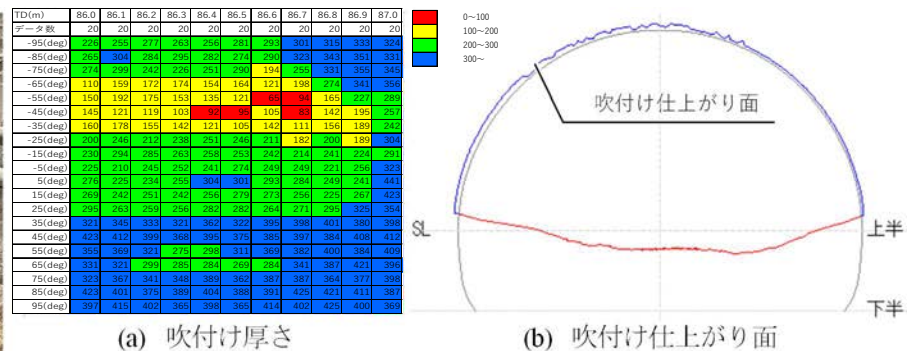
コンクリート吹付け作業は、素掘り状態の切羽面に対して、鏡/一次吹付けを行い、鋼製支保工建込み後に二次吹付けを行うことが一般的であり、吹付け機のノズル操作を行うオペレータは、一時的に切羽立入り禁止区域（鏡面頂点から斜め45度ライン内）へ立入る場合がある。ここで、厚生労働省の「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」では、“切羽への労働者の立入りを原則として禁止し、真に必要がある場合のみ立ち入らせるようにすること”とあり、コンクリート吹付け作業における“真に立入りが必要な場合”とは、吹付けコンクリートの性状や付着性の目視確認のほか、吹付け厚さと吹付け仕上がり面の目視確認などが該当する。したがって、コンクリート吹付け作業の遠隔化を実現するためには、コンクリート吹付け機のノズル操作を行うオペレータの目をいかに代替するかが課題となる。解決策として遠隔操作可能な切羽用カメラを搭載した出来形・監視UGVを利用することとした。このUGVを遠隔操作することで、切羽への立ち入りを防ぎ、かつ施工時の出来形計測や監視を行うものである。図1に、出来形・監視UGV概要図を示す。切羽用カメラは、遠隔操作モニターを確認しながらコンクリート吹付けを行う際、実際の吹付けノズルの動きとモニター上の動きとの時間差が極力生じない仕様とすることで、吹付けコンクリートの性状や付着性を遠隔で確認できることが期待できる。

3. 出来形・監視UGVの活用（スキャナー搭載）

吹付けコンクリートは地山を支保する重要な部材であり、山岳トンネルの品質/出来形において設計の吹付け厚さを確保することは重要である。また、吹付けが厚すぎる場合には、覆工の厚さが不足することに繋がり、適切な吹付け厚さ管理が必要になると同時に、防水工の品質の観点から平滑な吹付け仕上がり面となることが求められる。図2に、吹付け中のスキャナー計測結果例を示す。出来形・監視UGVの位置を事前に計測し、スキャナー計測結果を絶対座標に変換することで、設計吹付け仕上がり面との比較が可能となり、吹付け厚さと吹付け仕上がり面を遠隔で確認できることが期待できる。本スキャナーは、2DのLiderをモーターで回転させるものであり、計測時間が短いことが特徴である¹⁾。



図1 出来形・監視UGV概要図



(a) 吹付け厚さ

(b) 吹付け仕上がり面

図2 スキャナー計測結果例

Makoto TANAIKE, Nobuhiro TANIGUTI, Tomohiro NISHIMURA and Atsushi WATANABE

watanabe.atsushi@obayashi.co.jp

4. 試行現場

先述したコンクリート吹付け作業の遠隔化技術とスキャナーを搭載した出来形・監視 UGV について、磐越自動車道宝珠山トンネル工事（東日本高速道路株式会社新潟支社発注）で試験施工を行った。

5. 遠隔吹付け状況

図 3 に、遠隔吹付け時のカメラ配置図を示す。出来形・監視 UGV の切羽用カメラのほかに、コンクリート吹付け機正面に切羽俯瞰カメラ、左右マングージに側壁俯瞰カメラを設置することで、切羽全体を遠隔操作モニター上で確認できた。これらの遠隔操作モニターは視界の向きやズーム/アウトが容易に操作できる仕様とした。このため、オペレーターはこれらのモニターを見ることで、いかにも切羽を目視しているかのように吹付けをすることができた。また、吹付け中や吹付け完了時にスキャナー計測することで、その場で吹付厚や出来形仕上りの確認ができる。図 4、5 に、遠隔操作モニターによる遠隔吹付け状況と吹付け完了後の点群データを示す。

6. 遠隔吹付けにより得られた成果

- 出来形・監視 UGV に搭載した切羽用カメラにより、吹付けコンクリートの性状や付着性について遠隔操作モニターで問題なく確認でき、実施工で十分に使えることを確認できた。
- カメラに加え、スキャナー計測を行うことにより、吹付け厚さや設計吹付け仕上がり面との比較を遠隔で吹付け中に確認することができた。また、従来の 3D スキャナーと比較して、測定時間が 90%短縮している。
- 点群座標の断面を可視化できることにより、従来の目視確認と比較して吹付け仕上がり面の平滑度が向上した。
- 切羽から 10m 以上離れた安全な場所での遠隔吹付け/遠隔出来形確認により、肌落ち災害リスク低減に寄与できた。

7. おわりに

本稿では、山岳トンネル掘削作業のうち、コンクリート吹付け作業の遠隔化技術と出来形・監視 UGV について報告した。当現場のコンクリート吹付け機には、切羽面とトンネル輪郭部に対して自動で一定の距離を保ちながらコンクリート吹付けが可能となる輪郭同調システム²⁾を実装済みであり、今後は、遠隔化技術や自動リアルタイム吹付け厚さ計測技術と組み合わせることで、コンクリート吹付け作業の自動化を目指す。本技術で得られた知見より、更なる改善に努める所存である。

- 1) 渡辺淳、谷口信博、白坂紀彦：スキャナー搭載カメラ台車による吹付試験について、令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会（VI-794）
- 2) 今坂剛大、山本信吾、森野弘之、藤岡大輔、谷口信博、宮越征一、吉野隆伸：吹付けコンクリートの遠隔施工に向けた取り組み、令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会（発表予定）

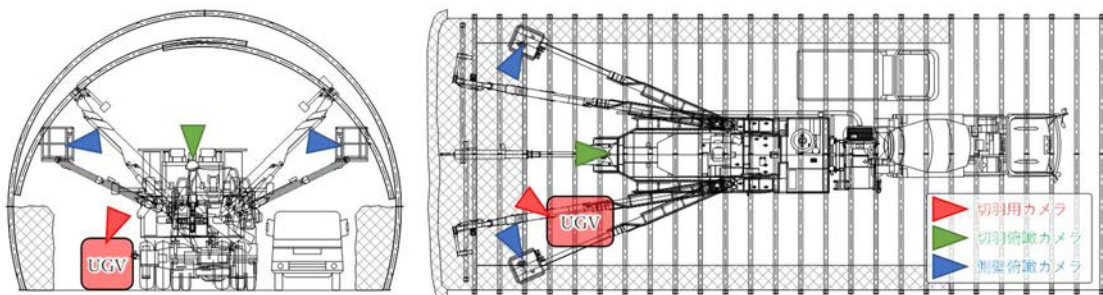


図 3 遠隔吹付け時のカメラ配置図



図 4 遠隔操作モニターによる遠隔吹付け状況



図 5 吹付け完了後の点群データ