

吹付け厚さリアルタイム計測システムによる施工事例

西松建設(株)九州支社 正会員○島根大悟
西松建設(株)技術研究所 正会員 山本 悟

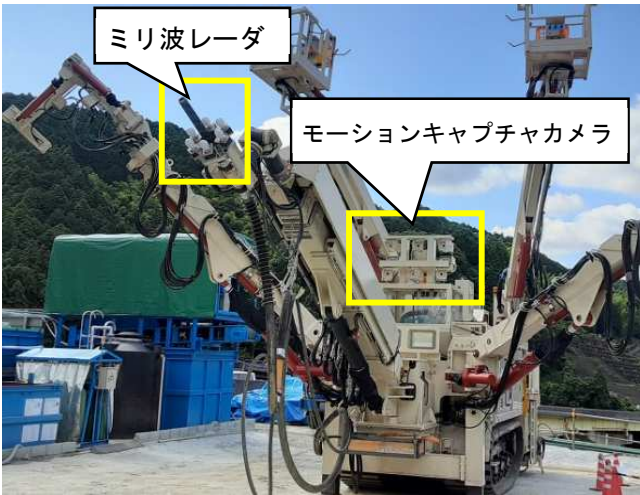
1. はじめに

我が国における高齢化に伴う労働人口の減少の流れは今後さらに加速すると予測されており、それに伴う建設就業者の減少・高齢化も着実に進行している。その中でも特に山岳トンネル工事においては、坑内の過酷な環境において特殊技能を要する作業が多く、これに従事する技能労働者の安定確保や高齢化対策が喫緊の課題となっている。このような課題の解決には労働環境の大幅な改善や労働生産性向上が不可欠であり、その方策の1つとしてICT技術やメカトロニクスを駆使した無人化（遠隔操作）・自動化施工技術の導入が望まれている。しかしながら山岳トンネルの施工では狭隘な坑内において多種にわたる特殊機械を使用する複雑作業が必要とされ、現状では無人化・自動化技術が進んでいない。

このような背景から、当社では、山岳トンネル工事に使用する個別の施工機械に対する遠隔操作システムを効果的に組み合わせて山岳トンネル工事全体の無人化・自動化を実現する山岳トンネル無人化施工システム（Tunnel RemOS：Tunnel Remote Operation System）の構築を進めている。そのうち、吹付け厚さをリアルタイムに計測するシステムの現場適用状況について報告する。

2. 吹付け厚さリアルタイム計測システム

本システムは、吹付け機のノズル周囲に配置したミリ波レーダを用いて、吹付け面までの距離を計測することで吹付け厚さを可視化し、リアルタイムにモニタで確認することが可能であり、写真－1に示す新型吹付け機に搭載されている。また、切羽近傍での吹付け厚さの目視確認を無くすことで作業リスクを低減し、より精度の高い出来形確保が期待できる。本システムは、表-1に示す4つの計測システムとリアルタイム表示システム及び新型吹付けロボット部で構成される。



写真－1 システムを搭載した新型吹付け機

表－1 計測システム及びリアルタイム表示システムの概要

吹付け厚さリアルタイム計測システム		役割・特徴
計測システム	吹付け機位置計測システム	自動追尾式トータルステーションにより吹付け機の位置・姿勢を計測・把握
	モーションキャプチャシステム	移動するノズル位置をリアルタイムで計測
	ミリ波レーダセンサー	粉じん環境においてノズルから吹付け面までの距離をリアルタイムで計測
	吹付けコンクリート厚さ演算システム	目標仕上り面までに必要な残りの吹付けコンクリート厚さを3次元で算出
リアルタイム表示システム		リアルタイムに吹付け面の出来形をモニタにヒートマップ表示

キーワード リアルタイム計測、ミリ波レーダ、モーションキャプチャ、吹付け厚さ
連絡先 〒810-0022 福岡県福岡市中央区薬院 1-45-5 西松建設株式会社 九州支社 TEL 092-771-3124

3. 課題と工夫

吹付厚さリアルタイム計測システムを搭載した新型吹付け機を現場に導入し、コンクリート吹付作業を行い、以下の課題に対する各種対策を実施した。

(1) コンクリートリバウンドの堆積

コンクリート吹付け時において、レーダに 1cm 程度のリバウンドが堆積すると吹付面までの計測の精度が極端に低下することが確認された。そこで、リバウンドの堆積除去を目的として以下の①～⑤の対策を検証した。

①水切りネット、ラップ

②30L ごみ袋

③水切りネット、剝離剤

①～③の対応策は、レーダへの取付け及び清掃が容易であった。一方で耐久性は低く、吹付中のリバウンドを防ぐことはできないため、吹付毎の交換や清掃を行うことが必要であった。

④エアー及び水洗浄装置

レーダ先端に堆積するリバウンドを吹き飛ばすためのノズルを配置し、吹付け時にエアー及び水にて洗浄する装置を製作し、レーダ部に取付けた（写真—3）。しかし、レーダ部分にノズルを配置したことで、かえってリバウンドが溜まりやすい構造となり、堆積したリバウンドの重みで吹付け作業中にノズル操作が不能になる事態となった。そのため、この装置に関しては取付けを断念した。

⑤回転式レーダカバー

レーダ前面にレーダの計測を阻害しない素材で作成したカバーを配置し、さらに回転させることによってリバウンドの堆積を防ぐ装置を新たに試作した（写真—4）。現在も現場検証を継続しており、リバウンドの堆積を防止する一定の効果が得られている。

(2) モーションキャプチャシステムの耐久性

検証期間中に 2 台のモーションキャプチャカメラが故障し予備品と交換した。カメラは専用の防塵・防水カバーの中に収められているが、精密機械のため故障を完全に防ぐことは難しい。そのため、常に予備品を用意し迅速に交換できる体制を整えておくこと、また、エアーや保護カバーの改善を行い故障しないように対策が必要であることが分かった。

5. まとめ

今回現場検証を行った「吹付け厚さリアルタイム計測システム」については、引き続き現場で得られた課題を解決しながら、現場で常時運用可能な技術へと改善していく。それと並行して、新型吹付け機の遠隔操作システムを開発中であり、「吹付け厚さリアルタイム計測システム」は遠隔操作時のオペレータをガイダンスするための大切な要素技術であるため、より早期の実用化を目指していきたい。

参考文献

1) 清水建設(株) 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



写真—2 コンクリート堆積状況



写真—3 エアー及び水洗浄装置 (対策④)



写真—4 回転式レーダカバー (対策⑤)