

山岳トンネルのコンクリート吹付け厚リアルタイム面的計測システムの開発

大成建設株式会社 正会員 ○木下勇人 竹中計行 宮本真吾
マック株式会社 宮原宏史 富川章

1. はじめに

山岳トンネル工事では、切羽の崩落・肌落ち防止のためにコンクリート吹付け作業を行うが、従来の吹付け作業は、オペレータが切羽近傍で目視により厚さを確認しながら施工するものであり、吹付け厚さの定量的な管理が課題とされてきた。これに対し、当社は、レーザー距離計を複数台用いて吹付け厚さをリアルタイムに計測するシステム「T-ショットマーカー」を開発¹⁾して現場展開しているが、計測は複数の“点”に留まり、“面”での吹付け状況を把握できないという課題がある。

そこで、既存システムを機能拡張し、吹付け作業中にコンクリート厚さをリアルタイムかつ面的に把握できるシステム「T-ショットマーカー フェイス」を開発した。本稿では、構築した吹付け厚リアルタイム面的計測システムの概要と、山岳トンネル現場で実施した現場試験の内容および結果について報告する。

2. T-ショットマーカー フェイスの概要

本技術は、吹付け作業中の高粉塵下で吹付け厚さを計測する技術である。本技術により、オペレータは鏡面の吹付け厚さをリアルタイムかつ定量的に把握しながら吹付け操作を行うことができる。本技術の特徴を次項に示す。

2-1. 吹付け機へのシステム一括搭載

本技術のシステム機材は、三次元計測機を内蔵した吹付け厚計測装置、制御PC、モニタ、操作スイッチ及びパトライトで構成され、図-1に示すように全ての機材は吹付け機に搭載される。そのため、吹付け機を切羽近傍にセットした後は操作スイッチを押下するだけで即座に計測を開始可能であり、施工サイクルに影響を与えることなく計測が実施できる。

2-2. リアルタイム計測

吹付け機に設置したモニタに作業中の吹付け厚さをリアルタイムに表示するため、オペレータ他の作業員・職員も吹付け状況を定量的に確認できる（図-2 参照）。

2-3. ノイズカットフィルタ

吹付け作業に伴い発生する粉塵や吹付け材の跳ね返りなどの影響をノイズカットフィルタ機能により除去することで、作業中でも吹付け厚を正確かつ連続的にモニタリングできる（図-3 参照）。

2-4. 自動帳票作成

吹付け作業終了後は、計測結果から出来形などの施工記録を帳票として自動作成し出力でき、効率的な記録・管理が可能となる（図-4 参照）。

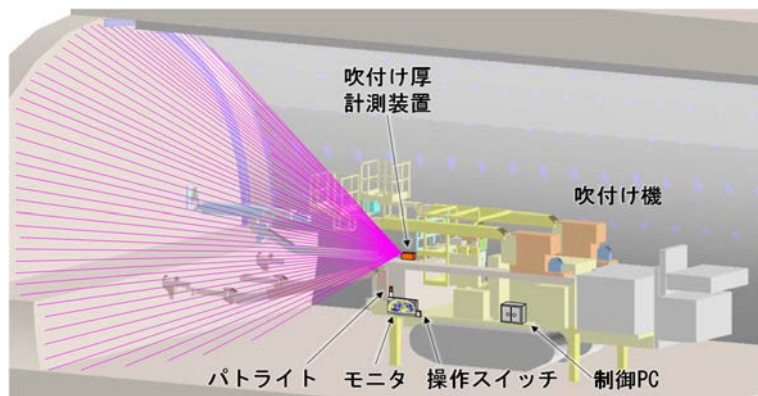


図-1 T-ショットマーカー フェイスの概要図

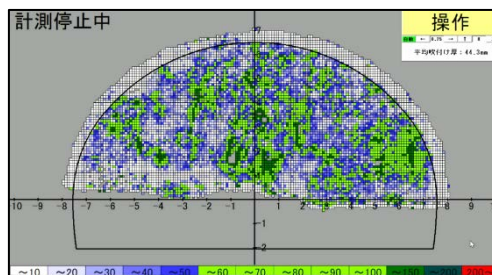


図-2 吹付け厚表示画面

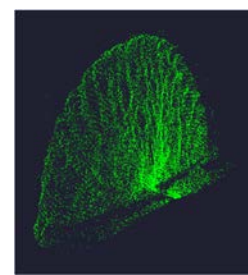


図-3 ノイズカット後点群

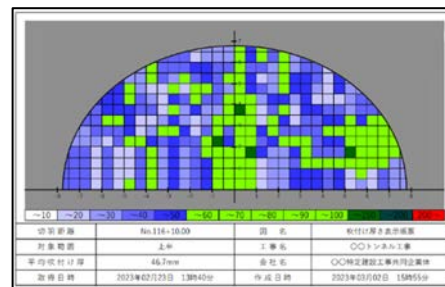


図-4 吹付け厚の出来形帳票

キーワード 山岳トンネル、吹付けコンクリート、三次元計測、自動化技術

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター 生産技術開発部 TEL 045-814-7221

3. 現場実験

開発した本技術の性能検証を目的に、複数の山岳トンネル現場にて現場試験を実施した結果を以下に示す。

3-1. 精度確認試験

本技術の計測精度を検証した。本技術と比較用 3D スキャナ（FARO Focus S150）を吹付け機側方に三脚設置し、各機器で吹付け前後の切羽面をそれぞれ計測し、その差を吹付け厚さとして算出した（図-5 参照）。この際、本技術と 3D スキャナにそれぞれ基準点を付与することで、取得した計測点群をトンネル座標系に変換・統一して比較する手法を採用した。なお、各測点の吹付け厚値は $\pm 100\text{mm}$ 内の計測点群の平均値を採用した。切羽面上の測点 24 点で比較した結果、本技術は 3D スキャナと比較して吹付厚さを最大で-13mm、平均-2.3mm の精度で計測可能なことを確認した（図-6 参照）。

3-2. 吹付け機への搭載試験

本技術は広い計測範囲を持つ三次元計測機を使用するため、設置位置や取付方法が計測結果に影響を与えることが懸念された。そこで、大断面トンネル施工で使用される主要な吹付け機である 3 機種（FTS 社製ヘラクレス・西尾 T&M 社製 NSCP・同 NEJS）を対象に本技術の機器搭載試験を実施した。吹付け機への機器搭載例を図-7 に示す。その結果、各機に応じた最適な設置位置・取付方法を決定し、本技術を搭載した吹付け機で吹付け作業中の厚さ計測が可能なることを確認した。以上より、本技術は一般的なトンネル工事に適用可能と考える。



図-5 計測状況

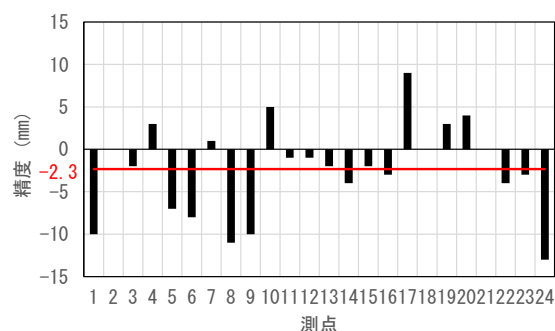


図-6 計測精度比較



図-7 吹付け機への機器搭載例（FTS 社製ヘラクレス）

4. まとめ

山岳トンネルのコンクリート吹付け作業の効率化と安全性の向上を目的にコンクリート吹付け厚リアルタイム計測システムを開発し、現場試験によりその有効性を確認した。今後は、本技術を全国の山岳トンネル工事に展開し、現場状況に合わせて改良を加えながら吹付け作業の更なる効率化と安全性の向上を模索する。また、本技術は吹付け作業の完全自動化に向けた要素技術の一つであり、山岳トンネル工事に関わる様々な施工工程の自動化・機械化技術の開発を推し進める。

参考文献

- 1) 竹中計行他：レーザーを用いた吹付け厚さモニタリングシステムの開発，土木学会年次学術講演会公演概要集，VI-439，2021