

山岳トンネルの鏡吹付け厚管理システムの開発

鹿島建設(株) 正会員 ○宮嶋保幸 山下 慧

1. はじめに

山岳トンネルで肌落ち事故防止のために実施する鏡吹付けコンクリートは、吹付け機オペレータの感覚により施工されている。これまでに筆者らは、切羽写真の画像解析技術とコンピュータジャンボの穿孔データを利用して地山状況に応じた鏡吹付け厚を決定する最適鏡吹付け厚決定システムを開発している¹⁾。今回、LiDARを利用した鏡吹付け厚を計測するシステムを開発し、これらのシステムを統合した鏡吹付け厚管理システムを構築した(図-1)。本稿では、システムの概要と適用試験の結果を報告する。

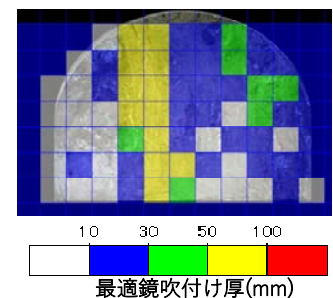
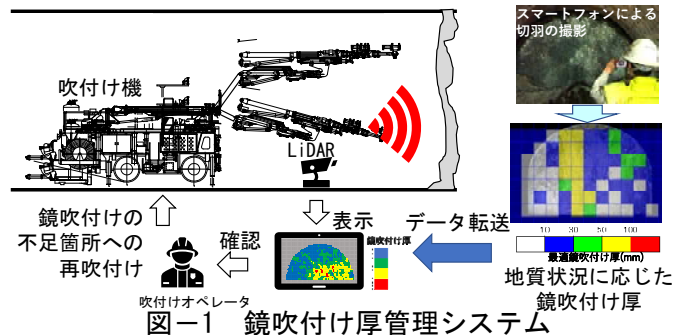


図-2 最適鏡吹付け厚決定システムの出力

表-1 LiDARの仕様

項目	仕様
サイズ	91.0×61.2×64.8mm
切羽のスキャンニングに要する時間	3秒
防塵・防水規格の等級	IP67
計測精度	±20mm
切羽をスキャンニングした場合の点群密度	0.5~1.6点/cm ²

2. 最適鏡吹付け厚決定システム¹⁾

筆者らは、これまでに切羽写真の画像解析とコンピュータジャンボ穿孔データから蓄積されたデジタルデータに基づき、ロジスティック回帰により剥落防止に必要な鏡吹付け厚をリアルタイムに提示する最適鏡吹付け厚決定システムを開発している。これは、スマートフォンを使ったシステムであり、切羽を撮影し、画面をタップすると画像解析が始まり、解析開始後1分程度で図-2に示すような最適鏡吹付け厚をスマートフォンに表示させる。過去の肌落ち事故が数10cmから1m程度の規模が多いことから²⁾、メッシュの大きさを1m×1mを初期設定としている。

3. LiDARを利用した鏡吹付け厚管理システム

3.1 採用したLiDARの仕様

3Dスキャナでは鏡吹付け厚を面的に管理できるが、スキャンニングに時間を要することや切羽では取扱いに注意が必要であり実用的ではない。これに対し、今回採用したLiDARは表-1に示すように小型で、スキャンニングが数秒で完了し、防塵・防水規格の等級でIP67(粉塵が内部に侵入しない・水に浸しても影響しない)のため取り扱いが容易である。一方、仕様上の計測精度が±20mmであり、最小厚さが30mm程度の鏡吹付けコンクリートの管理には精度が十分とは言えない。そこで、現場試験を実施し、実適用時の精度を検証した。

3.2 LiDARによる鏡吹付け厚の計測精度の検証

LiDARによる鏡吹付け厚の計測精度検証のため、現場実証試験を2か所の吹付け厚の異なる切羽で実施した(図-3)。LiDARによる計測は、切羽から約10mの距離から鏡吹付け前後でLiDARを動かさず行った。精度検証としては、0.5×0.5mの鋼製の型枠を切羽に立てかけ、鏡吹付け時に型枠も吹付けて、吹付け後に回収した型枠内を5か所ドリルで穿孔して得られる吹付けの厚さと、LiDARにより計測される厚さを比較した。

図-4に、LiDARにより得られる鏡吹付け前の切羽全面を正面から俯瞰した点群データと吹付け前後の型枠部を横から俯瞰した点群データを示す。LiDARによる吹付け厚は、吹付け前後の点群データから型枠部の0.4

キーワード 山岳トンネル, 肌落ち, 鏡吹付け, LiDAR, 3Dスキャナ

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

×0.4m の範囲の約 1,800 点のデータを抽出し、切羽鉛直方向に LiDAR から計測対象までの距離データの中央値を代表値とし、吹付け前後の距離の差分を吹付け厚とした。

図-5 にその算定結果の一例を示す。この場合、中央値 7565mm と 7498mm の差分から、吹付け厚は 67mm と算出される。

図-6 に型枠を穿孔して得られた吹付け厚と点群データから算出した吹付け厚を比較した結果を示す。計測精度はグラフに赤線で示した誤差±10mm 内に収まっており、カタログ精度に比べて高い。これは、今回実施した切羽から約 10m の距離で、鏡吹付け前後で LiDAR を動かさず、差分を鏡吹付け厚として評価する条件では、カタログ精度より高い精度で計測できることを示している。

3.3 鏡吹付け厚管理システム

最適鏡吹付け厚決定システムと今回開発した LiDAR を利用した鏡吹付け厚管理システムを統合し、鏡吹付け厚管理システムを構築した。

図-7 に、LiDAR の制御用タブレット PC の画面を示す。PC には計測結果をリアルタイムで表示し、目標厚さに必要な厚さやコンクリート量を示すことができる。図-7 は目標吹付け厚 50mm の例を示したが、図-2 に示した最適鏡吹付け厚決定システムで出力された鏡吹付け厚の結果を取り込み、管理に活用することも可能である。

4. まとめ

今回開発した鏡吹付け厚管理システムにより、地質状況に応じた過不足ない鏡吹付け厚の確保に貢献できると考えている。今後、データ蓄積とフィードバックを継続し、肌落ち事故防止に努めたい。

参考文献

- 1)宮嶋保幸, 福島大介, 西澤勇祐, 山下慧, 戸邊勇人: 切羽定量評価結果に基づく最適鏡吹付け厚の決定技術の開発, 第 15 回岩の力学シンポジウム講演集, 講演番号 28, PP.155-159, 2021.
- 2) 厚生労働省ガイドライン: 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の改正について, 2018.1.18.

<https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11300000-Roudoukijunkyoukuanzeneiseibu/0000149302.pdf> (参照 2022.3.3)



図-3 現場での精度検証試験状況

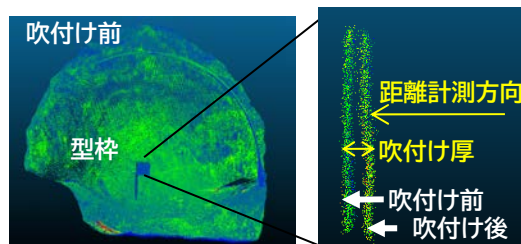


図-4 点群データ

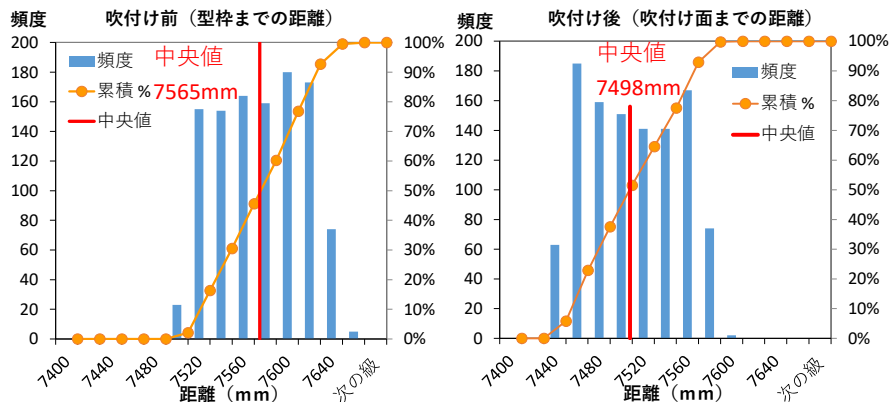


図-5 吹付け前後の LiDAR から型枠・吹付け面までの距離

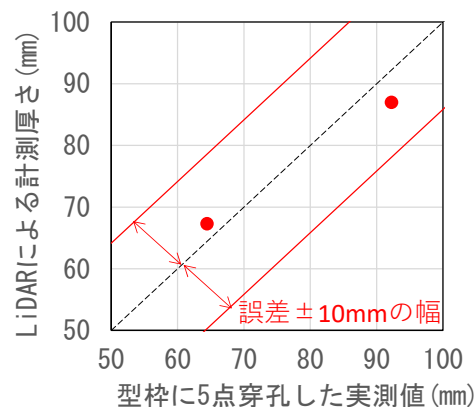


図-6 鏡吹付け厚の計測精度

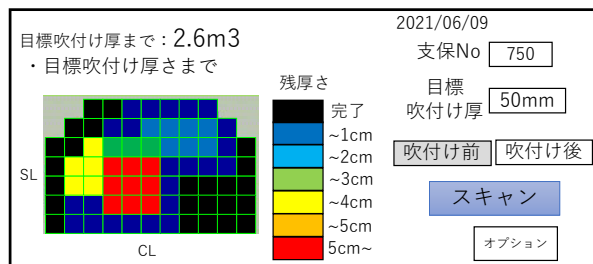


図-7 鏡吹付け厚管理システムの管理画面