

プロジェクションマッピングを活用した掘削仕上げ可視化システムの開発

清水建設	正会員	○田中 頼之	清水建設	正会員	青野 泰久
清水建設	正会員	八木田茂生	清水建設	正会員	井手 康夫
清水建設	正会員	佐藤 有	清水建設	正会員	矢葺健太郎
国土交通省	中部地方整備局	浜松河川国道事務所		非会員	戸川 一彦

1. はじめに

山岳トンネルの施工における発破後のあたり取りでは、作業員が切羽近傍にて目視で整形が必要な箇所を判断し、レーザーポインタなどで重機のオペレータに指示が出されることがある。厚生労働省は平成 30 年に「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」を改正し、労働者の切羽への立入りを原則禁止とし、真に必要な場合のみ立ち入らせるようにすること、また、切羽における作業は可能な限り機械等で行うよう求めている。以上の背景から、作業員の切羽近傍へ立ち入る回数を減らし施工の安全性の向上させるため、インバート掘削面の掘削の過不足を可視化するために開発した計測照射システム²⁾を応用し、切羽の掘削面にプロジェクションマッピングを行う掘削仕上げ可視化システムを開発した。本システムを使用することで、あたり取りが必要な箇所を直接視認することができるため、従来の目視によるあたり取りが必要な位置の誤認が減り、余掘り量が低減することも期待できる。本稿では掘削仕上げ可視化システムの概要、現場での使用時の様子、および顕在化した課題について報告する。

2. 掘削仕上げ可視化システムの概要

図 1, 2 に掘削仕上げ可視化システムを構成する機器、システム使用時の配置図を示す。照射した画像の視認性を向上させるために高輝度のプロジェクタを採用し、1 度に広範囲を照射するために単焦点レンズをプロジェクタに取り付けた。施工中の坑内で使用するため、プロジェクタは防塵・防滴仕様の保護容器に格納した。切羽近傍では施工の種類ごとに重機の入れ替え作業があるため切羽近傍にプロジェクタを常に設置しておくことはできず、使用する際にプロジェクタを運び入れる必要があった。プロジェクタの移動の手間を削減するため、差し角自動制御システム³⁾を構成する機器の 1 つである三次元レーザースキャナ(以下、スキャナ)、プリズム、ノート PC が搭載された車両の上部にプロジェクタを搭載した。

本システムを使用する際には、最初に車両を切羽近傍に配置し、坑内の電源に電源コードを接続しプロジェクタに電力を供給する。次に車内に設置したノート PC 内のソフトを操作し、スキャナによる切羽の掘削箇所の形状(点群)デー



図 1 システムを構成する機器

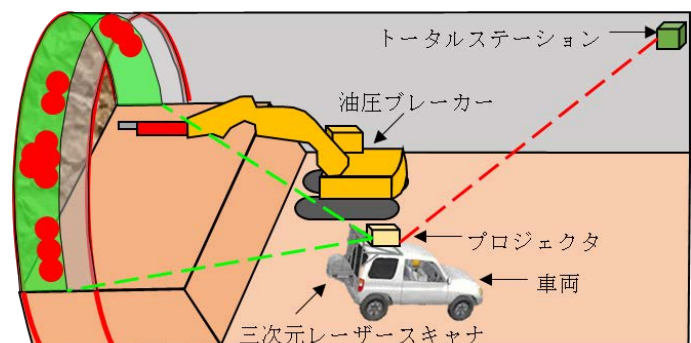


図 2 システム使用時の配置図

キーワード トンネル プロジェクションマッピング 三次元スキャン 可視化 仕上げ掘削

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1 清水建設(株) TEL 03-3561-1111

タの取得、およびトータルステーション(以下、TS)での車両上部の3個のプリズムの位置の測量を行う。これらの作業が完了すると、ノートPCにてプリズムの測量結果をもとに点群データの座標変換と、設計断面のデータと点群の比較が行われ、計画面からの距離に応じて照射する色の情報が点群データに付与される。その後、色情報が付与された点群とプリズムの測量結果から掘削箇所照射する画像を作成し、プロジェクタで画像が照射され、照射された画像をもとにあたり取り作業が行われる。あたり取り作業が進み照射する画像を更新する際に、車両の位置、および姿勢が変化していない場合は、TSによるプリズムの測量を省略でき、より短い時間で画像の更新を行うことができる。

3. 現場適用

三遠道路2号トンネル工事(発注者:国土交通省中部地方整備局)に掘削仕上げ可視化システムを導入した。図3に掘削の過不足を示す画像をプロジェクタで切羽に照射している様子を示す。画像は赤、緑、青の三色で構成されており、赤が掘削不足、緑が掘削完了(余掘り量小)、青が掘削完了(余掘り量大)を意味する。なお、三次元スキャナで取得した点群は約40mmの位置の精度を持つことから、赤と緑の境界の位置を計画面より40mm外側に設定した。三



図3 画像照射時の様子

次元スキャン結果に基づき作成した画像を照射することで、切羽に近づかずにあたり取りが必要な箇所を直接視認することができた。ノートPC上でソフトを起動し三次元スキャン、車両上部のプリズムの測量を経て、約50秒で画像の照射を行うことができた。また、TSでプリズムを測量してから車両の位置や姿勢が変化しない状況で、照射している画像の更新を行う際には、三次元スキャン開始から約30秒で画像を更新できた。

システムの現場導入により、①電力供給の方法の簡易化、②ソフトの操作方法の簡易化、③プロジェクタの輝度の維持という課題が顕在化した。①については、プロジェクタに電力を供給する際に坑内の電源に電源コードを接続する作業に手間と時間を要しており、大容量のバッテリーを車両内に配置し、これから電力を供給することで解決した。②については掘削の進行に伴う支保No.の入力、設計変更に伴う掘削断面形状のデータの書き換え、ファイルのコピーなどの作業を手動で行う必要があり、これらの作業の手間を削減するためにソフトの改良を進めている。また、③についてはシステム使用時に途中でプロジェクタの輝度が低下することがあり、現場での使用後にプロジェクタ内部に記録されたログを解析したところ、プロジェクタの温度が向上したことにより輝度が低下したことが明らかとなった。③については保護容器とプロジェクタのクリアランスが小さく熱がこもりやすい状況であったことが原因と考え、保護容器の改良を進めている。

参考文献

- 1) 厚生労働省: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ついて, p.3, 2018.
- 2) 青野泰久, 他: 3D スキャナとプロジェクションマッピング技術を組み合わせたトンネルの掘削管理, 地盤工学会誌, Vol.68, No.1, pp.28-31, 2020.
- 3) 大川了, 他: 安全性と生産性の向上を実現する差し角自動制御システムの開発, トンネル工学報告集, Vol.29, 2019.