

山岳トンネル工事における プロジェクトマッピングの活用

株式会社大本組 土木本部総合技術部 土木技術課長

橘 伸一

1 はじめに

近年、建設業における多くの企業では、熟練者の離職による人手不足や技術の継承が課題であり、将来を担う若者の人材確保や生産性向上技術の開発に取り組んでいる。

当社は、これまで雲仙普賢岳における重機等の無人化施工技術やニューマチックケーソン工法における掘削機の遠隔操作や自動化など、働き方改革に資する技術を継続的に開発し現場導入している。

今回、山岳トンネル工事において人の手が多くかかるアタリ取りやインバート掘削に「プロジェクトマッピングシステム」を現場適用した。省力化を図るとともに総合的な生産性の向上を図った適用事例について、概要と効果を紹介する。

2 システム概要および構成

本システムは、LiDAR計測した掘削後の凹凸状況をカラーコンター画像に変換した上で掘削面に投影するものである。詳細には、LiDARとRGBカメラより切羽の3D点群データと画像データを取得し、取得した点群データと設計断面との差分をグラデーション化したカラーコンター画像および地山情報画像を処理PCで生成し、プロジェクトを介して掘削面へ投影する。本システムの3D計測機器は、図1に示すようにプロジェクト、LiDAR、RGBカメラ、処理PCで構成される。なお、今回は照度確保のためプロジェクトを二台使用したが、必要な照度が得られれば、一台でも構わない。

3 現場適用

カラーコンター画像を投影するまでの準備および現場適用した事例について以下に示す。

3.1 投影前準備

(1) 3D計測機器キャリブレーション

3D計測機器の各構成物について、内部標定および3D計測機器フレームに対する外部標定を得ることで、三次元の現場座標系と局所座標系および二次元の画像座標系間の座標変換が可能となる。外部標定とはLiDARおよびRGBカメラとプロジェクトの位置・姿勢の計測値であり、内部標定とはプロジェクトおよびRGBカメラ毎のレンズ焦点距離、画素数を示す。

プロジェクト毎に異なる内部標定および外部標

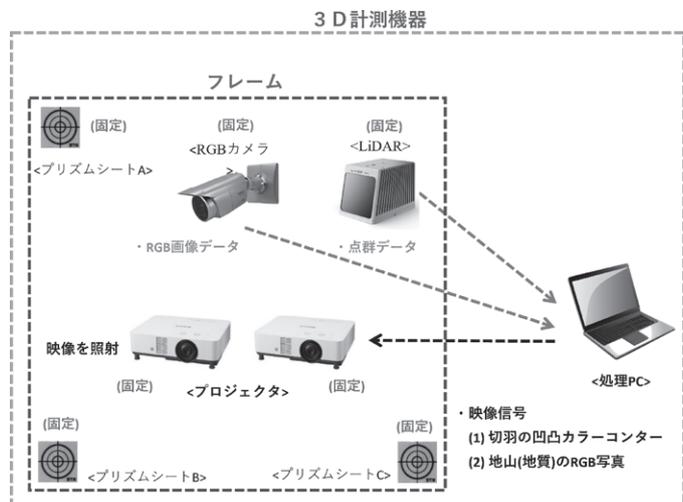


図1 システム構成図

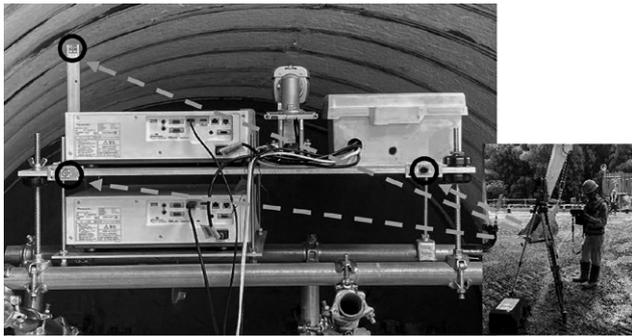


写真1 プリズムシート測量



写真2 3D計測機器設置

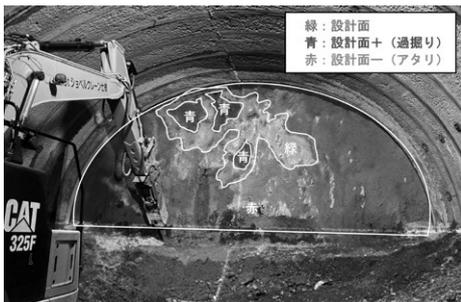


写真3 切羽掘削状況

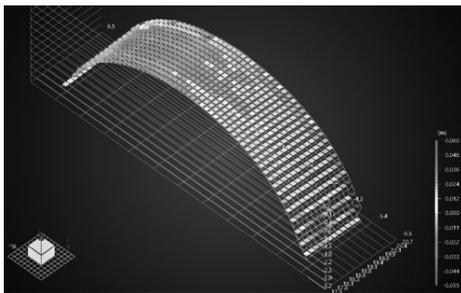


写真4 点群データ比較

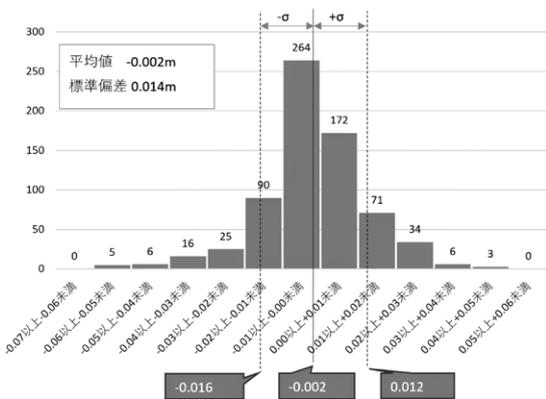


写真5 精度検証

定に応じて投影画像を生成するため、複数台のプロジェクトで同時に投影しても、実空間上で像がずれることなく投影できる。

(2) 3D計測機器の自己位置・姿勢を測量
写真1に示す3D計測機器フレームに設置したプリズムシート三点の座標を求め、3D計測機器の自己位置・姿勢を計測する。各座標値と投影設計断面位置を処理PCへ入力し、プロジェクトおよびRGBカメラの現場座標系の位置・姿勢を算出する。

3・2 トンネル切羽への適用
掘削後のアタリ確認や鋼製支保工建込の確認は熟練作業員が実施しているが、切羽直下の作業であり肌落発生時に災害へ繋がるリスクが高いため本システムを適用した。

(1) 3D計測機器の設置
図2に示すように3D計測機器を車両に搭載し、切羽全面を投影できる位置(切羽より約10m後方)へ設置する。切羽面に対し、斜めからの照射も可能である。

(2) 切羽プロジェクトマップピング
写真2に示すように、生成したカラーコンター画像をプロジェクトから切羽へ投影する。緑を設計面とし、青は設計面より+ (過掘り)、赤は設計面より- (アタリ) として表示する。なお、カラーコンター画像は進行方向に対し±10cm幅でグラデーション設定している。

(3) LiDAR精度確認
本システムに搭載しているLiDAR (Livox: Mid70、距離精度20mm) と、FARO3Dレーザースキャナー (Focus3D X330) で切羽面の点群データを取得して精度の比較検証を行った。切羽より後方2m部分の点群データ

を、20cmメッシュに変換して比較した結果を図3に示す。精度としては図4に示す通り、差分の平均値がマイナス2mm、標準偏差は14mmであることが確認できた。

3・3 トンネルインバート面への適用
出来形確認は、重機作業を一旦中断し作業員二人で計測の基準となる水糸を張り施工用定規を用いて計測する。仕上げ面では頻繁に計測を行う必要があり、作業員への負担が大きく重機との接触リスクや掘削作業中断等により時間ロスが生じるため本システムを適用した。

図5に示すようにプロ

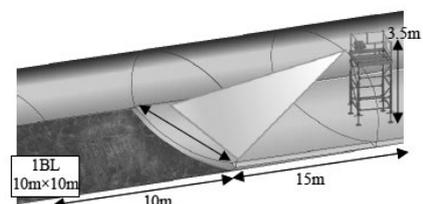


写真6 3D計測機器設置

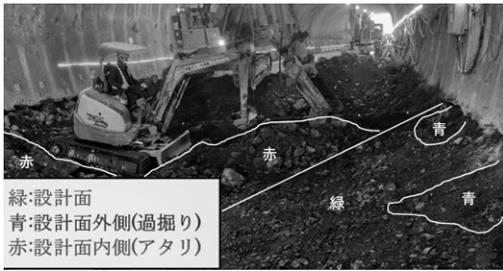


写真3 インバート掘削状況

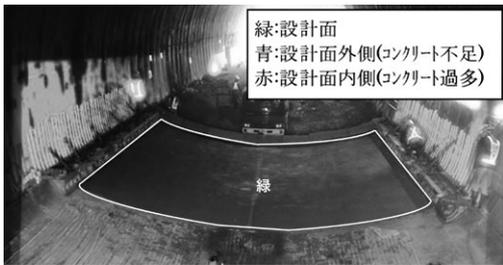


写真4 コンクリート打設全景

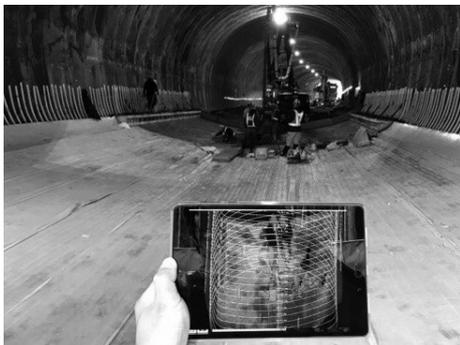


写真5 遠隔確認状況

ジェクタの仕様を考慮し照射箇所より約一五m後方に下向き三〇度の角度で設置した。処理PCやプロジェクト用AC一〇〇Vはポータブル発電機より給電した。

- (2)インバート掘削面プロジェクトマッピング
インバート掘削時のプロジェクトマッピング投影状況を写真3に示す。緑を設計面とし、青は設計面より外側（過掘り）、赤は設計面より内側（アタリ）で表示する。インバート掘削時、重機オペレータはグラデーションから設計面を確認することで、作業員による計測作業が省略でき重機作業エリアへの立入が不要である。なお、カラーコンター画像の精度は、高さ方向に対し±10cm幅でグラデーション設定した。
- (3)インバートコンクリート打設面プロジェクトマッピング
インバートコンクリート打設時のプロジェクトマッピング投影状況を写真4に示す。コン

クリート打設時、作業員はグラデーションに沿った曲率半径のコンクリート天端を面的に均すことで、コンクリート天端高目印が不要になり、目印の設置および測量にかかる時間を省略することができた。なお、コンクリート面より高い位置にある型枠などは赤色で投影されていることが確認できる。

3・4 ビューワ機能

本システムでは3Dビューワ機能を搭載した。3Dビューワ機能は、プロジェクトマッピングと同時にタブレットにも同様の画像を出力する。写真5に掘削オペレータ用モニタ画面およびタブレット出力状況を示す。投影映像を視認したい場合は、職員または作業員によりタブレットにて指示が可能である。

4 現場運用結果

本システムを適用した効果について以下に示す。

- (1)リアルタイム性および視認性

カラーコンター画像は一〇秒程度で全面反映される。日中の坑口部はコントラストが低下するため、照度不足（環境照度…概ね100lx以上）対策として管理用タブレットを併用した。

- (2)省人化および作業効率の向上

プロジェクトマッピングで設計面との差分を表示することで、掘削面やコンクリート高を示す杭やピンなどの準備工が不要となることで、全体で約三割程度作業時間が短縮する。

- (3)余掘低減および生コンロス率低減

掘削高さおよび打設高さの管理が点管理から面管理に転換されることによって、余掘り量と生コンロス率が低減する。

- (4)安全性の向上

アタリ確認作業時に切羽直下での確認作業を必要とせず、人員による切羽直下作業が削減され、肌落ち災害の危険性が低減する。またインバート出来形確認作業時においても手元作業員なしで掘削可能である。

5 おわりに

山岳トンネルへのプロジェクトマッピング技術の活用により、出来形管理の効率化および生産性が向上することが確認できた。また、不安定な切羽直下での作業や重機近接作業が低減され安全性も向上した。今後は更に計測サイクルタイムの短縮や計測精度の向上を図り、建設業界における労働力不足の解消を含めた働き方改革の一助となるよう努めていきたい。