

山岳トンネル工事へのプロジェクションマッピング活用

(株)大本組 正会員 ○神原誠司 正会員 橋 伸一 非会員 小野高伸
(株)計測リサーチコンサルタント 非会員 家村享明

1. はじめに

山岳トンネル工事では技術開発や DX 技術の活用により施工の効率化が進んでいるが、地山の変状監視や計測管理において未だに人の手が多くかかる。インバート施工においては基準となる高さに設置された水糸等からの下がりや掘削床付けやコンクリート打設完了高さを確認するのが一般的な方法であるため、その効率化が望まれている。また、設計巻立空間を確保するために設計断面積より大きく余掘りすることが多く、現場管理では掘削余掘り量の低減及びコンクリート打設量の抑制が重要である。そこで、切羽直下作業の低減を目的とし開発した「LiDAR 計測によるトンネル切羽プロジェクションマッピング」¹⁾システムを応用し、インバート掘削およびインバートコンクリート打設に適用した結果について報告する。

2. 概要

開発したシステム構成図を図-1 に示す。計測機器は主にプロジェクタ、LiDAR スキャナ、処理 PC で構成され、インバート掘削及びコンクリート打設中の凹凸を LiDAR 計測し、計測値に基づいたカラーコンター図をプロジェクタを介して、対象施工範囲へ投影する。

投影方法は以下の通りである。

3D 計測機器を搭載する専用フレームのプリズムシートの 3 点をトータルステーションで測量することで、専用フレームの位置姿勢を算出できる。これに加えて、専用フレームに対する LiDAR スキャナおよびプロジェクタの位置姿勢等を事前計測しておくことで、LiDAR 点群およびプロジェクタ画像と現実空間が相互に座標変換可能となる。これにより、LiDAR で取得した点群と設計データの比較を行い、設計との比較結果を表現するカラーコンター画像を現場の実空間上で正しい位置にプロジェクタ投影できる。カラーコンターの配色については、緑を設計面、青は設計面より-表示、赤は+表示する。表示精度としては設計面に対して、±10cm 幅でグラデーション設定している。



図-1 システム構成図

3. 現場実証

インバート工における掘削作業及びコンクリート打設作業に本システムを使用して実証確認を行った。

(1) 写真-1 にローリングタワー上に設置した 3D 計測機器を示す。設置高さについては床掘及びコンクリート打設面に該当する範囲を全面投影できる位置へ設置する。機器の性能より床掘面から約 5m で、該当する施工範囲より約 15m 後方に下向き 30 度の角度で設置する。

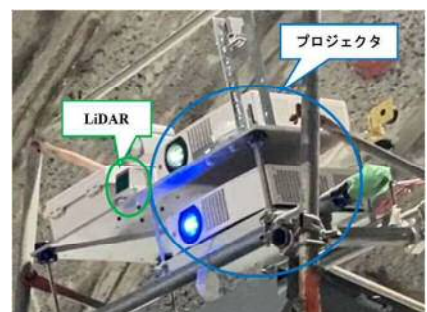


写真-1 3D 計測機器設置状況

(2) 3D 計測機器に設置しているプリズムシート 3 点の座標を測量

する。計測結果と、投影する対象施工範囲を処理 PC へ入力し、投影に必要な事前計算を行う。なお、LiDAR スキャナおよびプロジェクタの位置姿勢とプロジェクタのレンズ情報は事前に設定値として与えておく。

(3) LiDAR より 3D データを取得し現場座標に変換後、設計データとの差分をカラーコンター図として処理 PC で生成する。

キーワード 山岳トンネル, LiDAR, プロジェクションマッピング, インバート掘削
インバートコンクリート打設

連絡先 〒700-8550 岡山県岡山市北区内山下 1-1-13 (株) 大本組 土木本部総合技術部 TEL 086-227-5179

(4) 設計高との差分をグラデーション化した 3D 映像をインバート掘削面およびコンクリート打設面へ投影し、作業員は投影された映像を確認し各々の作業を遂行する。写真-2 にコンクリート打設時の状況と写真-3 にコンクリート打設完了後のカラーコンター図を示す。



写真-2 コンクリート打設時投影状況

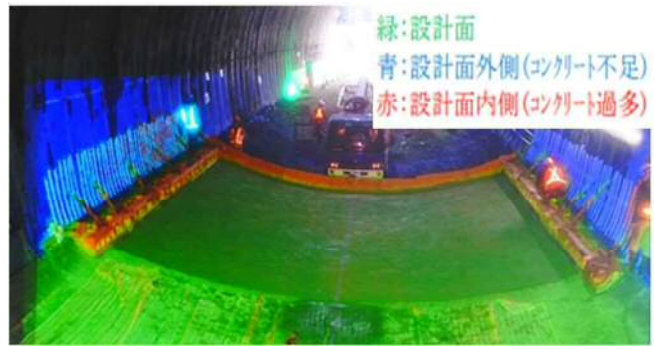


写真-3 コンクリート打設完了後全景

4. 実証結果

- (1) プロジェクションマッピングにより設計面との差分をカラーコンター図で表示されるため、掘削面やコンクリート高を示す高さ筋設置などの準備工が不要となり作業効率が向上した。
- (2) 掘削高さおよび打設高さの管理が点から面管理が可能となり、余掘りと生コンロス率が低減した。導入現場では、システムを適用したスパンにおいては、適用外スパンと比べ生コンロス率を2%程度低減した。
- (3) 坑口部など照度不足により3D映像が視認しにくい施工場所では写真-4に示す処理PCの3Dビュー機能により、写真-5に示すタブレット端末へ同様の画像を出力し管理を行った。
- (4) インバート掘削時には、重機オペレーターが掘削しながら直接アタリ箇所及び整地状況を視認することができるため、手元作業員の立入が無しで掘削できるため災害リスクが低減した。

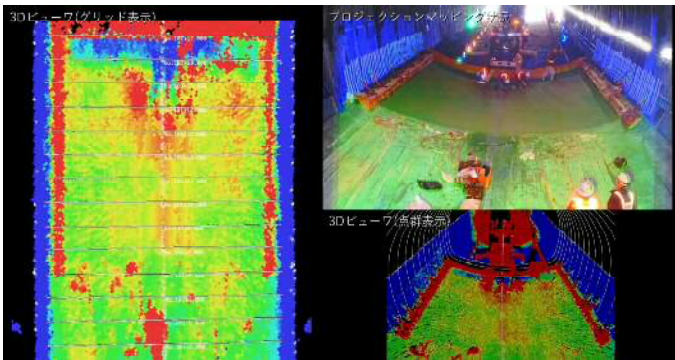


写真-4 処理PC管理画面

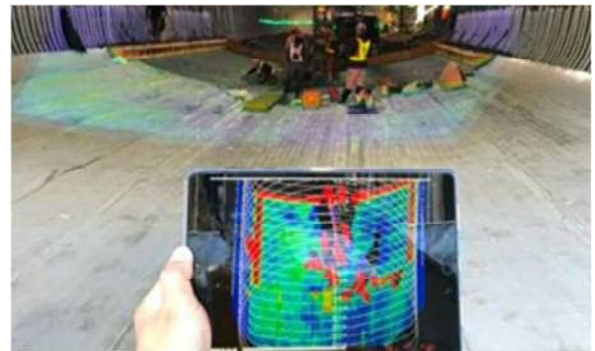


写真-5 タブレット端末による管理

5. まとめ

山岳トンネルプロジェクションマッピング技術により施工の効率化や安全性が向上することが確認できた。本実証は、トンネル掘削作業が完了した現場での適用であったが、今後はトンネル掘削とインバートが並行して施工される場合における投影方法の検討も行いたい。さらに計測作業のサイクルタイムの短縮や機器の簡素化も進めていき、建設業における経験者不足の解消を含めた働き方改革の一助となる様努めていきたい。

参考文献

- 1) 小野高伸ほか：LiDAR計測によるトンネル切羽プロジェクションマッピング，令和4年度「建設施工と建設機械シンポジウム」論文集・梗概集，pp71-74，2022