

3D スキャナとプロジェクションマッピングを組み合わせた トンネルの掘削管理に関する基礎的研究

清水建設(株) ○正会員 青野 泰久
清水建設(株) 非会員 竹内 啓五
清水建設(株) 正会員 中谷 篤史

1. はじめに

山岳トンネルの施工において、側壁部やインバート部の余掘り量の管理は出来高に影響する。目時¹⁾により切羽上にレーザーを照射し、掘削箇所の外周を指示する装置が開発されたが、掘削する箇所を面的に指示することができないという課題がある。また、指示者が既設部の鋼製支保工を目印にした目視計測により、重機の操縦者に掘削箇所をレーザーで指示する場合もあるが、指示者の技量により余掘り量のむらが出ることや、安全性から作業箇所に長時間立ち入ることができず、指示者は常時レーザーを照射することができないため、重機の操縦者は誤った箇所を掘削する可能性があるという課題もあげられる。

一方、近年 3D スキャナを用いたトンネルの変位計測を行う技術が畝田ら²⁾により開発された。これは 3D スキャナによりトンネル壁面の変形を面的に捉えることができるが、PC 等の画面上で間接的に変形箇所を認識する技術である。

そこで筆者らは、作業箇所を対象物に常時的に情報を提示することのできる 3D スキャナによる位置計測とプロジェクタによる情報の投影を行う掘削管理方法を提案する。本論文ではこの手法により情報を投影する基盤技術の実現性について報告する。

2. 方法

本計測は当社施工中の山岳トンネルにおける覆工コンクリートと吹付けコンクリートの既設箇所にて行った。図 1 に使用した機材と設置状況、図 2 に計測概要、表 1 に計測 Case を示す。機材は当社技術研究所で開発中の位置計測用 3D スキャナ、照射画像を作成する PC、画像照射を行うプロジェクタ、照射画像の色の境界の位置を計測するレーザー測距計で構成されている。プロジェクタの座標系を $\xi\eta\zeta$ の直交座標系とすると、 ξ 、 η 軸が水平になるように傾斜計を用いてプロジェクタを設置した。図 2 に示すようにトンネル横断面の y 軸方向に画像照射を行い、段ボール(40×33×27cm)を仮想の掘削予定箇所とみなし照射箇所近傍に設置し、段ボールの有無を 3D スキャナが認知できるか確認した。また、プロジェクタの照射方向に距離の異なる箇所に異なる色の画像を照射し、色の境界を測距計で計測し、測距計の計測値 m_d と色分けの設定値 m_s の差がどの程度生じるのか確認した。

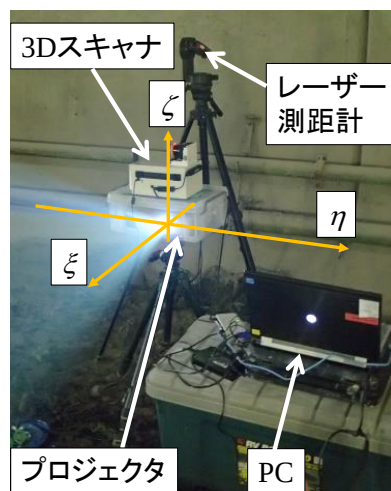


図 1 機材の設置状況

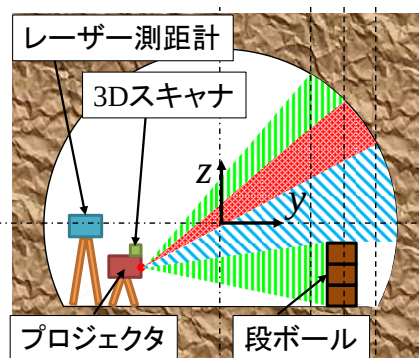


図 2 計測概要

表 1 計測 Case

Case	計測箇所	内空幅 (m)	段 ボール
1	覆工 コンクリート	約 11.2	5 個
2			3 個
3	吹付け コンクリート	約 11.9	5 個
4			3 個

キーワード 3D スキャナ 位置計測 プロジェクションマッピング トンネル

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株) 技術研究所 Tel 03-3820-8576

照射画像は3D スキャナの位置計測結果を用いて作成した。位置計測により 3 次元の座標を持った点群データが得られるが、湾曲した面や凹凸を含む面に正確に画像を照射するためには画像を歪ませる必要がある。例えば、図3に示すように対象物の点 $A(a, b, c)$ に画像を投影するには、 $\triangle OBC$ と $\triangle OB'C'$ 、 $\triangle ODC$ と $\triangle OD'C'$ が相似であることから、点 $A'(d, bd/a, cd/a)$ の η , ζ 座標値を持つ点を照射画像上にプロットする。ここで d はプロジェクタを平面に照射した場合の照射画像の大きさと、PC の表示画面の大きさが一致する距離である。

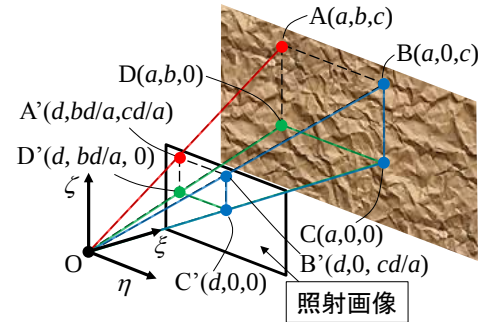
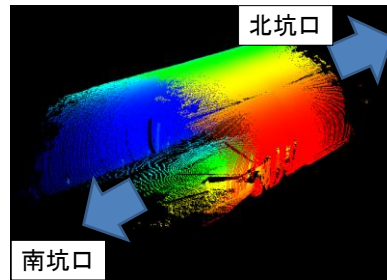


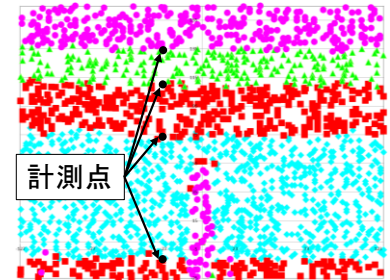
図3 画像作成方法

3. 結果

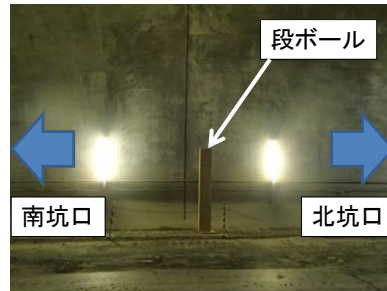
図4にCase1の(a)3D スキャナの位置計測結果、(b)照射画像と測距計の計測点、(c)(d)照射前後の様子を示す。トンネルの側壁は湾曲しており、側面に向けて画像を照射しているため、図4のように色の境界が水平方向に生じており、段ボールの部分の色が異なるため、3D スキャナは段ボールの位置を捉えたと考えられる。今回はデータ処理を簡易にするため、計測点数を1/7に間引いており、間引かない場合は図5の画像が作成される。



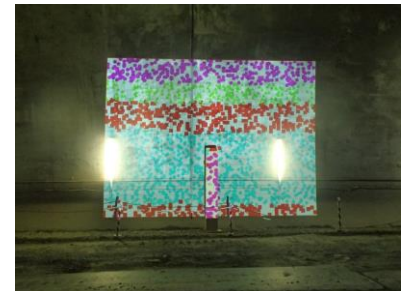
(a) 位置計測結果



(b) 照射画像と計測点



(c) 照射前



(d) 照射後

図4 計測, 照射結果(Case1)

図6に計測値 m_d と設定値 m_s の差と、 m_s の関係を示す。機材の設置や3D スキャナの計測により蓄積した誤差は、3D スキャナと計測対象物の距離が約 12m 離れた箇所では $\pm 40\text{mm}$ 以下であった。また、吹付け面は覆工面に比べ表面に凹凸が多いが、計測面の凹凸の多さが計測値 m_d と設定値 m_s の差に及ぼす影響は見られなかった。

4. まとめ

作業箇所で対象物に常時面的に情報を提示する技術の実現性の確認を行った。山岳トンネルの覆工コンクリートや吹付けコンクリート等の既設部では、実際の形状に対し $\pm 40\text{mm}$ 以内の誤差で画像の作成、

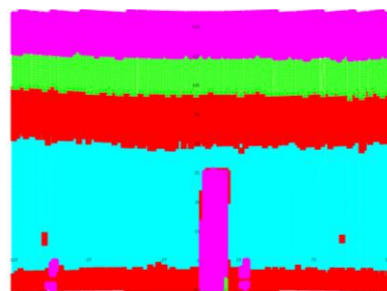
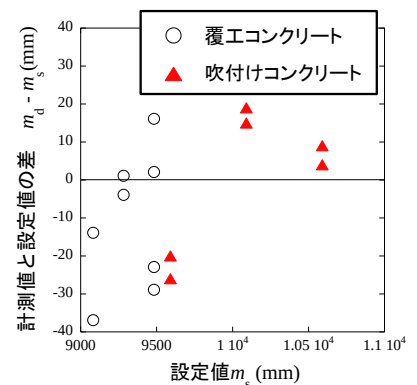


図5 間引き無しの照射画像

図6 $m_d - m_s$ と m_s の関係

照射を行うことができた。また、模擬した掘削予定箇所の位置計測、画像照射により、掘削予定箇所を視認することができた。今後は切羽のような比較的照度が大きく、複雑な形状の箇所での実用性の確認を行う。

参考文献

- 1) 目時：トンネル断面自動マーキング・システムの開発，第9回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集，1991。
- 2) 畝田ら：3D スキャナと画像処理技術を用いた変位計測システムの開発，第43回岩盤力学に関するシンポジウム，2015。