

3Dスキャナとプロジェクションマッピング技術を用いた インバート掘削管理の精度の検証

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

1. はじめに

トンネルのインバート工の掘削管理は、トータルステーション(以下、TS)により位置出しした箇所に水系を張り、掘削箇所に棒を立て掛け、棒に付けた目印と水系との距離を計測することにより行うことがある。この方法では、より細かく掘削の過不足を確認しようとする、時間と手間がかかるという課題がある。上記課題に対し、より多くの点を簡易に計測し、インバートの掘削の過不足を低減するために、3D スキャナとプロジェクションマッピング技術を用いたインバート掘削管理方法を開発した。これは3D スキャナで掘削箇所の形状計測を行い、計測結果から掘削の必要性を判定し、掘削の必要性を示した画像の作成と照射を行うツールである。当社施工の山岳トンネルのインバートの掘削箇所にて、実証試験による上記ツールの精度の検証を行ったので、報告する。

2. 方法

図1に開発した3D スキャナとプロジェクタが一体型の装置(以下、装置)を示す。3D スキャナの計測結果は ξ , η , ζ の座標系の座標値を持つ点群として得られる。図2に示すように、装置は掘削箇所近傍にて三脚に設置し、その近傍にTS、半球状のマーカ(図3)を設置した。正確に画像を照射するためには、坑内における装置の姿勢・位置の推定が不可欠であり、2通りの方法で実証試験を実施した。1つ目は、装置の上に3個のプリズムを設置し、これらをTSで計測した結果を用いる方法である(方法1)。2つ目は3D スキャナの点群データと、基準点に設置したマーカを用いる方法である。点群における η , ζ 軸方向の座標値の最大値と最小値の差の積が最小となる場合の回転角を用いて点群を回転し、装置の姿勢推定を行う。また、マーカの表面の点群を用い、最小二乗法によりマーカの中心を求め、後方交会法により位置推定を行う(方法2)。方法1はTSの測距精度が $\pm 1\text{mm}$ と比較的高いが、TSを設置する必要がある。方法2はTSの設置が不要であるが、点群の測距精度が $\pm 40\text{mm}$ と低い。方法1より得られた姿勢・位置推定の結果がより真値に近いと想定し、方法1に対して方法2の結果がどの程度の精度で得られるかを検証した。また、方法1, 2で作成した画像の照射の精度を確認するために、TSで計測した照射された画像の色の位置と、設定した色の境界との距離 l を求めた。図4に画像の色分けと閾値を示す。画像は青野ら(2016)の方法を用いて作成した。

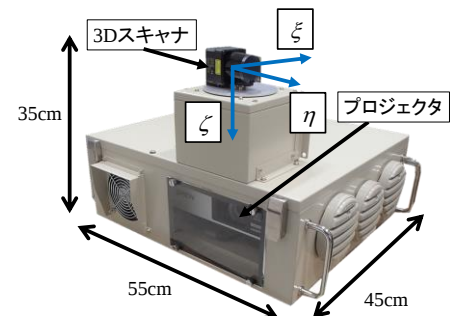


図1 位置計測・照射装置

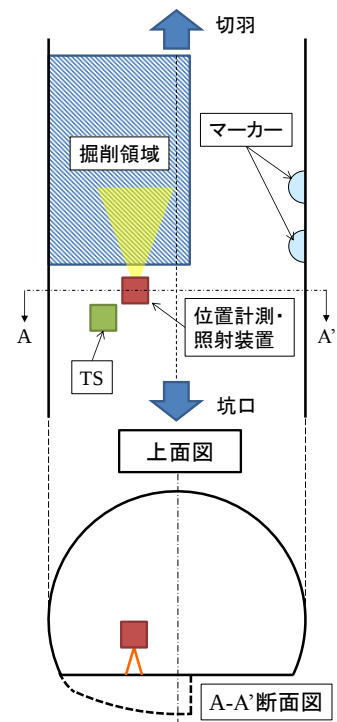


図2 機材の配置図

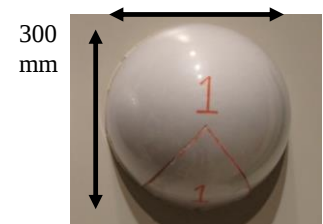


図3 マーカ

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

3. 結果, 考察

図 5 に試験結果を示す. 方法 2 による装置の姿勢, 位置推定は, 方法 1 に対し, $\pm 0.6^\circ$, $\pm 70\text{mm}$ の精度で行えることを確認した. また, 方法 1, 2 で作成した画像における l は, それぞれ $\pm 50\text{mm}$, $\pm 80\text{mm}$ 以内であった. 方法 1 に比べ方法 2 で作成した画像の方の l が大きいのは, トンネルの実際の出来形から姿勢推定を行っているためであると考えられる. また, 方法 1, 2 で作成した画像の l が $\pm 50\text{mm}$, $\pm 80\text{mm}$ 以内であったのは, 3D スキャナの測距精度が $\pm 40\text{mm}$ であることが原因と考えられ, l の範囲は 3D スキャナの測距精度の向上により減少することが予想される.

4. まとめ

3D スキャナとプロジェクタが一体型の装置を開発し, トンネルのインバート工の掘削箇所にて精度の検証を行った. 測距精度が $\pm 40\text{mm}$ の 3D スキャナによる坑内の形状計測結果とマーカーによる装置の姿勢・自己位置推定は, トータルステーションとプリズムによる推定に対し, $\pm 0.6^\circ$, $\pm 80\text{mm}$ の精度で行えることを確認した. また, TS で計測した照射された画像の色の位置と, 設定した色の境界の距離は, プリズム, マーカーの計測結果から作成した画像でそれぞれ, $\pm 50\text{mm}$, $\pm 80\text{mm}$ であった. これらの数値は 3D スキャナの測距精度の向上により減少することが予想される.

参考文献

青野 泰久, 竹内 啓五, 中谷 篤史: 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, 平成 28 年度土木学会全国大会 第 71 回年次学術講演会, 2016.

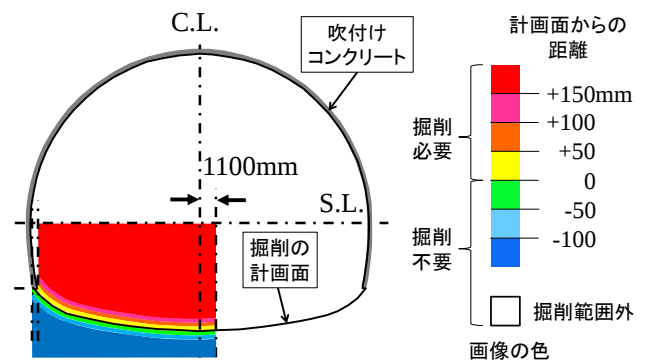
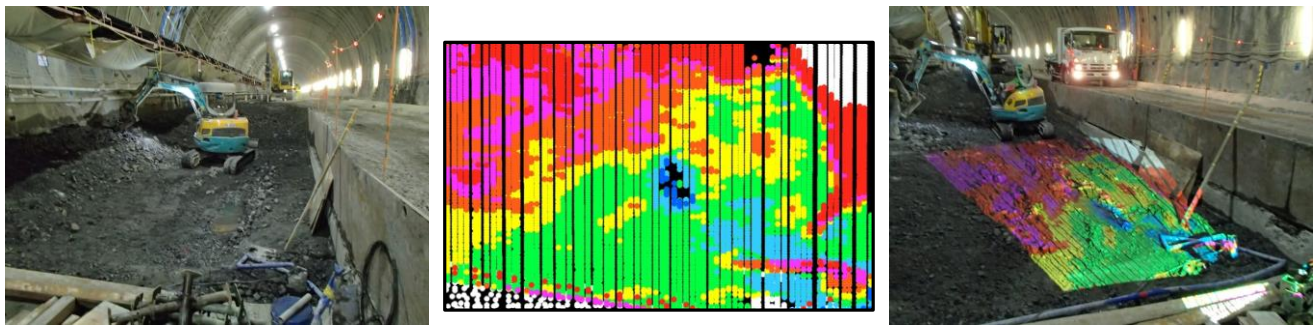


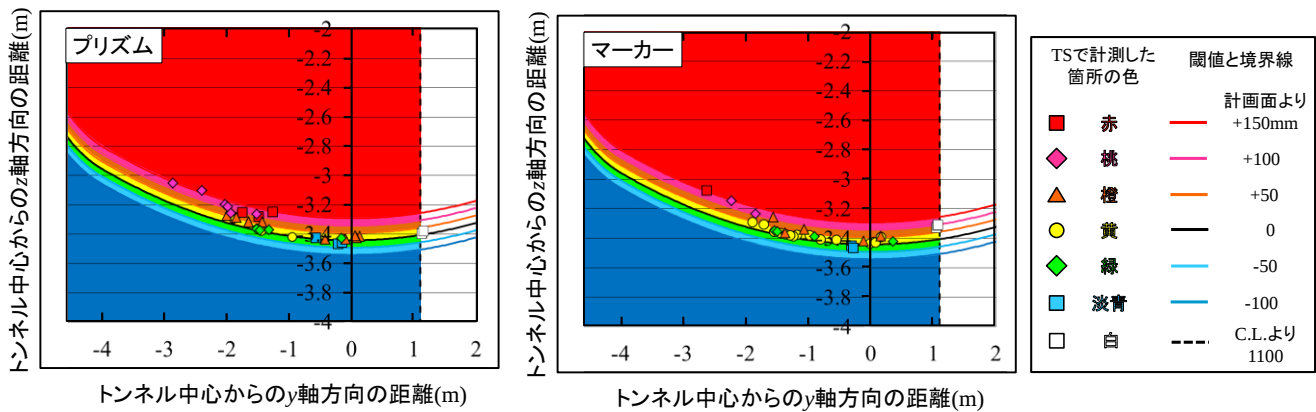
図 4 画像の色分けと閾値



(a) 照射前

(b) 照射画像(マーカーの計測結果から作成)

(c) 照射後



(d) TS で計測した箇所とその色, および設定した色分けの関係

図 5 試験結果