

山岳トンネルにおける定点追尾システムを利用した3D スキャナ変位計測

鹿島建設(株) 正会員 ○池田 廉, 三浦 悟, 黒沼 出, 近藤 啓二
 鹿島建設(株) 正会員 伊達 健介, 西川 元気, 畝田 篤志
 (株)ソーキ 正会員 田中 政芳, 山本 智英

1. はじめに

山岳トンネル工事では安全管理上, 地山の変位を監視することが非常に重要である. その監視方法の一つである A 計測は 1 断面あたり 3~5 箇所に反射ターゲットを設け, これを測点としてトータルステーション等を用いて, 測点の沈下量や測点間の距離の変化から周辺地山の挙動等を把握する. しかし, 一定断面における測点での計測であるため, 3 次元で面的に連続した地山挙動を把握するまでには至らない. 一方, 3D スキャナはトンネル壁面の形状を全方位にわたり測定できるため, 最近, 変化する内空断面形状を重ね合わせることで, トンネル壁面の変位としている事例が多く発表されている. また, トンネル壁面に変位を追跡するための測点となるものを測定断面上に設けて, この測点の変位を基準として測定断面上の変位を算出する手法もある. しかし, いずれの手法も厳密には 3 次元的な任意の点を経時的に追尾するには至っていない. そこで, 画像処理の技術を応用して測点を設けることなく 3 次元的な任意の点を経時的に追尾する手法(定点追尾システム)を開発した. 本稿では北海道開発局の音威子府トンネル・北の峰トンネル(仮称)において, トンネル坑内の吹付け面を 3D スキャナで計測する場合の計測可能距離を定量的に把握した後, その結果を踏まえ 3D スキャナを用いた定点追尾システムを A 計測と切羽変位計測に適用した結果を報告する.

2. 3D スキャナ計測における計測可能距離の把握

3D スキャナ計測は計測距離が増すと計測精度が落ちる傾向にある. そこで, 実際のトンネル現場において 3D スキャナの計測可能距離を定量的に把握するための実験を行った. 実験は 3D スキャナの据え付け場所を図 1 のようにトンネル中央, 右, 左と変え, それぞれの場所からスプリングライン付近の側壁をトンネル軸方向 1m ごとに吹付け面を測定した. 測定距離に応じてどの程度の差分(バラツキ)が生じるかを図 2 に示した. これによると 3D スキャナと測定対象物の距離が 9m 以上になると差分値が平均 3.7mm と大きくなり, それ以内であると差分値の平均が 1.6mm であった. これは測定距離が長くなることにより, レーザの入射角度から算出される吹付け面上での測定間隔が粗くなることや, 測定距離に応じて, 照射されたレーザの径が変化するためだと考えられる. 以上より, 3D スキャナを用いて今回対象としたトンネルにおける坑内の吹付け面の測定を行う際の計測可能距離は 8m 程度とした.

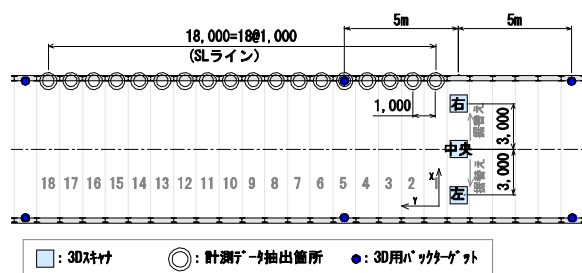


図1 実験概要(平面図)

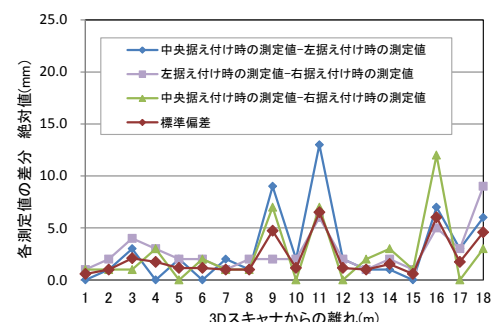


図2 測定距離と測定値の差分

3. 定点追尾システムの適用

3.1 任意点抽出方法: 本手法は画像処理におけるテンプレートマッチング技術を応用したものである. レーザスキャナで計測した 3 次元の点群データ (X,Y,Z) を幾何変換により曲面上に射影し, 疑似画像化(画像座標 x, y 画素値 v へ変換)を行う. 内空変位により全体としてのトンネル断面は変形するが, 局所的な形状は保たれた状態で変位することを利用し, 局部形状を探索することで定点追尾を行う. 具体的な手順は次の通りである(図 3).

キーワード 3D スキャナ, 山岳トンネル, A 計測, 定点追尾, 切羽変位

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部地下空間設計部 TEL03-6229-6618

- ① 3D点群データの画像化：基準曲面(例えば設計断面)を設定し、トンネル中心からの半径方向に沿ってスキャナ点群を曲面上に射影することで画像座標(x, y)を設定する。また、基準面からの出入り量として画素の値 v を設定する。
- ② テンプレートの設定：基準とする初期画像において、A計測測点のような評価点を定め、その周囲の小領域をテンプレートとして設定する。テンプレートサイズはおよそ30～50cm四方で試行している。
- ③ 評価画像からのテンプレート探索：テンプレートマッチング手法を用いて評価画像からテンプレートと同様の画素値分布(壁面凸凹形状に相当)を持つ領域を探索し、最も相関が高い領域の代表点を対応点とする。
- ④ 変位量評価：画像座標の差($\Delta X, \Delta Y$)から壁面方向(トンネル軸方向及び周方向)の変位量を、画素値の変化から内空方向の変位量の評価を行う。

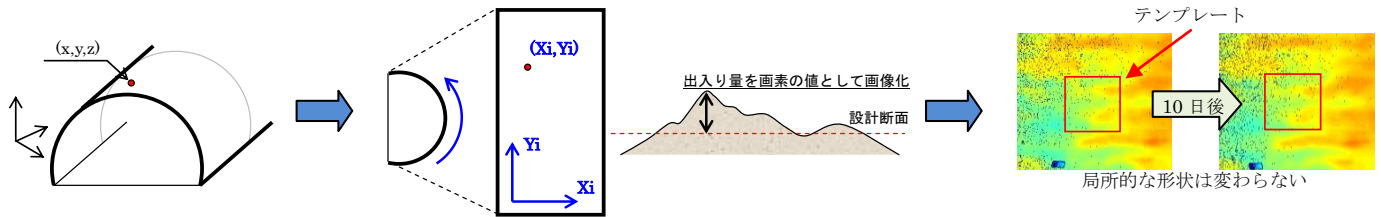


図3 任意点抽出方法のイメージ

3.2 A計測への適用：実際のトンネル現場において本システムと通常A計測（トータルステーション）との比較を行った。現場の制約上、今回は左右脚部においては同一箇所ではなく、トンネル軸方向に2mほど離れた位置に対して本手法を適用した（天端部は同一箇所）。その結果を図4, 5に示す。各計測位置ともA計測との差は平均2mm程度で高い相関を保ちながら推移しており、本システムを利用した3DスキャナA計測技術は実現場において適用可能であることが分かった。今後は様々な計測条件においてデータを蓄積するとともに画像化手法やテンプレートサイズなどの評価を進め、さらなる精度向上を目指していく。

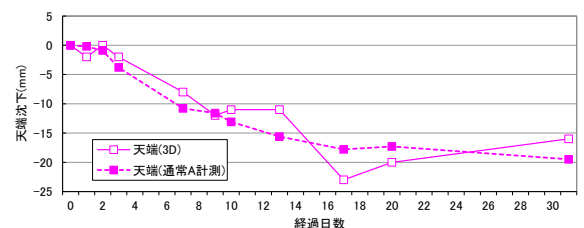


図4 天端沈下量比較結果

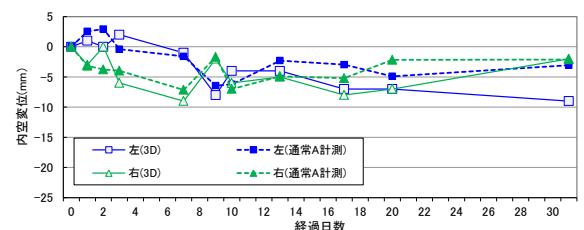


図5 左右脚部水平変位量比較結果

3.3 切羽変位計測への適用：定点追尾システムを切羽変位計測に適用した。マッチング処理に先立ち、切羽形状を計測

した3Dスキャナによる点群データを基準とする断面に投影することで平面画像を作成した。図6は切羽停止約48時間後の押し出し変位(Z方向)の差分をコンターで表したものである。同システムではZ方向だけでなくX・Y方向も算出可能である。例えば任意の測点1から測点10では、X方向に最大5.2mm、Y方向に最大9.2mm、Z方向に最大6.2mmの変位が検出される。今後実測値との比較検討が必要だが、壁面展開データ同様に、切羽面に定点追尾システムを適用することで面的な変位を捉え、かつ可視化できるとともに、任意点での変位量ベクトルとしてあらわすことが可能であることが示された。

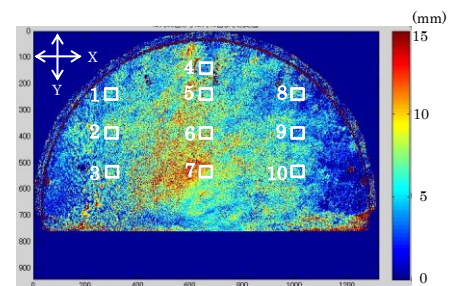


図6 切羽押し出し変位分布

4. おわりに

定点追尾システムを利用した3Dスキャナ計測を行った。これにより、トンネル壁面の変位を3次元分布としてとらえ、任意の点を経時的に追尾することができた。測定距離が8m程度であれば通常A計測の測定値と比較しても変位の絶対量の差は平均で2mm前後であり山岳トンネルの施工管理に適用可能であることが確認できた。また、その手法を切羽押し出し計測に適用することも可能であるため、今後実現場へ本計測技術の展開を考えている。