

Digital 出来形測量によるトンネル変形挙動可視化

(一社)施工技術総合研究所研究第一部 正会員 藤田 一宏
 (株)岩崎技術本部 奈良 久
 清水建設(株)北陸支店土木部 正会員○谷村 浩輔
 清水建設(株)地下空間統括部 楠本 太

1. はじめに

山岳トンネル Digital 出来形測量検測システムを用いて、トンネル変形挙動特性の可視化を試行している。これによる工学的評価には、測量精度 $\pm 3\text{mm}$ の確保が必要である。これまでに、掘削サイクル切羽で、吹付けコンクリート工の前後で2回、Digital 出来形測量を行い、得られた掘削面と吹付け面の2グループの点群データを用いて、吹付け厚などの空間離れを算定¹⁾、閾値で色調表示し、出来形を確認、検査している。

この空間離れの算定方法を応用して、トンネル掘進に伴い変形する吹付け面の時間変化を多心円中心に向かうトンネル変形として算定し、閾値で色調表示する。これによりトンネル変形挙動の工学的評価を可能にし、この方法の現地調査結果を報告する。

2. Digital 出来形測量方法

Leica brand ScanStation P40 によるトンネル Digital 出来形測量検測は、既施工先端測点 STA. 20 から1掘進長分の掘削面と吹付け面の出来形確認検査を基本とし、Digital 出来形評価範囲は、切羽後方13mとしている(図-1)。Local 座標と Global 測量座標を関連付ける Target3 点は、計測器 P40 から7m半径内に定置し、TS で自動視準、Global 測量座標を計測、Leica brand Cyclone Fieldworx に付与する。

その後、計測器 P40 で点群データを取得し、Registration error を評価、Global 測量座標に変換する。計測器 P40 の後方10m位置の計測点間隔は12.5mmを基本とし、計測器周辺で約5mm、点群データ数は約1千万点である。

3. 空間離れ算定方法

点群データは、トンネル周方向×延長方向に最大12.5mm間隔の Digital 出来形測量で得る。出来形離れの吹付け厚やトンネル変形は、表面位置や表面状態が異なる2空間の点群データを用いて算定する(図-2、表-1)。この空間離れは、計測器から計測面までの距離に比べて小さいので、以下の方法で算定、閾値で色調表示し、工学的評価が行えるようにする(表-2)。

・トンネル断面の設計吹付け線を基準面とし、トンネル周×延長方向 L_m 間隔で仮想単位平面を設定する。

キーワード：Digital 出来形測量、測量精度、点群データ、トンネル変形、トンネル増分変形

連絡先：〒177-0051 東京都中央区京橋2丁目16-1, Tel. 03-3561-3886, E-mail: tanimura.k@shimz.co.jp

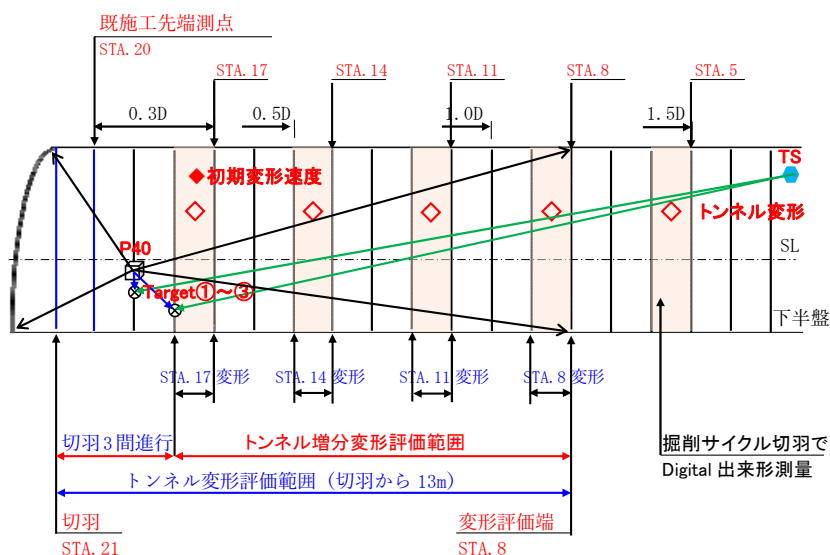


図-1 掘削サイクル毎 Digital 出来形測量概要

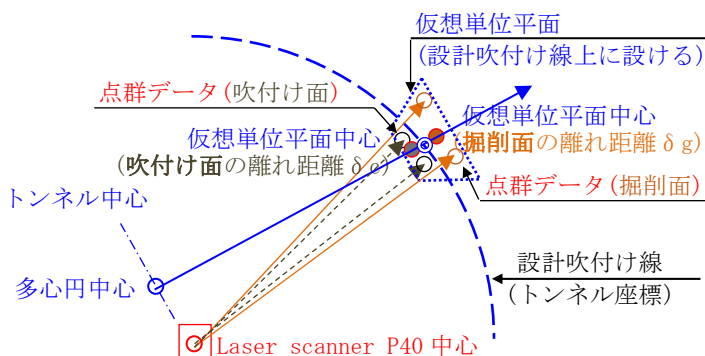


図-2 仮想単位平面概念

・2空間の点群データは、仮想単位平面内に分布する点を選定、基準面からの離れを求め平均し、仮想単位平面中心の3次元座標として近似する。

・仮想単位平面中心の2空間の3次元座標から空間離れを算定、これを吹付け厚やトンネル変形とする。

4. 現地調査結果

仮想単位平面メッシュサイズ L_m を 2.5cm, 5cm, 10cm としてトンネル変形を算定し、メッシュサイズの違いがトンネル変形評価に及ぼす影響を調べた。吹付け面 Digital 出来形測量は、1日1回、計3回実施した(表-3)。Registration Error の平均値は 3mm 以下であり、工学的評価を可能とする Digital 測量精度である。

(1) トンネル増分変形は、今回吹付け面 (STA. 136+25.2) を含む切羽後方 13m と前回既施工吹付け面の差を算定し、メッシュサイズ 5cm について色調表示する(図-3)。これとメッシュサイズ 2.5cm, 10cm の色調表示結果は、同様であるので省略する。切羽が STA. 136+30.2 から 6m 進行時の前回既施工先端測点 STA. 136+31.2 吹付け面を含む後方 7m 間トンネル増分変形は、メッシュサイズの違いによる有意な差はなく、5mm 未満(薄緑)である。

(2) トンネル変形は、切羽後方 13m 範囲に含まれる前回、前々回の吹付け面出来形と今回吹付け面の差の空間離れを算定、メッシュサイズ 5cm で色調表示する(図-4)。

トンネル変形は、メッシュサイズの違いの影響はなく、切羽 7m 後方トンネル変形は、切羽後方 13m と同様、10mm 以下(薄緑)である。

5. まとめ

掘削進行にともない変形する吹付け面の点群データを用いて、今回吹付け面点群データと前回の差の空間離れを多心円中心に向かうトンネル変形、トンネル増分変形として算定、閾値で色調表示、可視化した。Registration Error の平均値は 3mm 以下で Digital 測量精度は確保できており、単位メッシュサイズ 5cm 以下で、工学的評価は可能である。ことを確認した。

今後は、過大变位が発生する低強度地山に適用し、TS による計測工 A トンネル変位との対応で、掘削進行に伴うトンネル変形挙動を可視化、Digital 測量精度を確認、課題を顕在化させ、別の機会に報告する。

参考文献 1) 藤田一宏, 奈良久, 谷村浩輔, 楠本太: Digital 出来形測量による山岳トンネル吹付け厚評価方法, JSCE, VI, 2019.

表-1 空間離れ算定対象と要領

算定評価対象	メッシュサイズ L_m (cm)	点群 1 (内空側)	点群 2 (地山側)
吹付け厚	10×10	今回吹付け面	地山掘削面
鏡吹付け厚	5×5	今回鏡吹付け面	地山鏡掘削面
覆工厚	10×10	覆工面	覆工 BL 吹付け面
トンネル変形	5×5	今回吹付け面	既施工吹付け面

表-2(1) 色調表示 (トンネル増分変形)

閾値	色	対応
5mm 未満	薄緑	
5mm 以上	黄緑	標準施工を継続
10mm 以上	黄	全断面早期閉合を検討
20mm 以上	茶	早期閉合距離 L_f の短縮検討
30mm 以上	赤	切羽閉合を検討

表-2(2) 色調表示 (トンネル変形)

閾値	色	トンネル安定性工学的評価
10mm 以下	薄緑	
30mm 未満	黄緑	標準支保パターンは安定
50mm 未満	青	多心円アーチ構造は安定
100mm 未満	黄	多心円アーチ構造は不安定
100mm 以上	赤	多心円リング構造は不安定

表-3 Digital 出来形測量実施結果

Digital 測量回数	実施日	既施工先端測点	測点間距離	Registration error (mm)			
				Target1	Target2	Target3	平均値
1回(前々回)	11/8	STA. 136+37.2	6m	3.632	1.359	3.937	2.976
2回(前回)	11/9	STA. 136+31.2	6m	3.192	2.971	2.588	2.917
3回(今回)	11/10	STA. 136+25.2		1.838	1.721	2.255	1.938

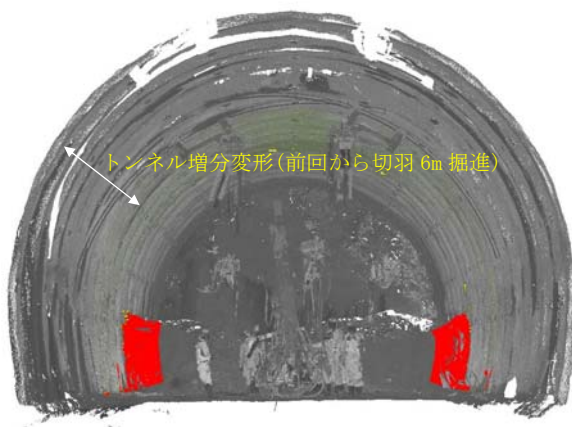


図-3 トンネル増分変形 (5×5cm)

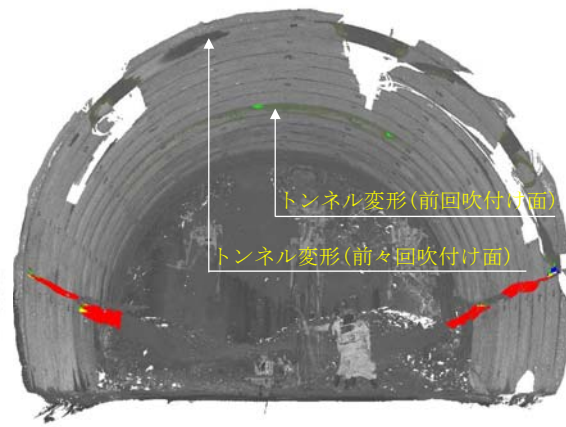


図-4 トンネル変形 (5×5cm)