

3D レーザースキャナを用いたトンネル切羽の変位計測方法

(株) 竹中土木 正会員 ○佐藤 裕考, 千葉 力, 市川 晃央
(株) 演算工房 正会員 林 稔, 岡本 剛司
計測技研(株) 正会員 橋村 義人, 藤原 伸輝
神戸大学大学院 工学研究科 正会員 芥川 真一

1. はじめに

山岳トンネルの施工において、岩盤掘削のため重機による掘削作業のほか、穿孔した発破孔に爆薬を装填する作業や岩盤を支える鋼製支保工を建込む作業、コンクリートで吹付けた後で岩盤へロックボルトを打ち込む作業など、切羽に作業員が近づく作業が多く行われるため、切羽面からの落石等の肌落ちや崩落、崩壊（以下、肌落ち）による労働災害がたびたび発生している。肌落ち災害では、6%が死亡し、42%が休業一ヶ月以上となっており、発生した場合の重篤度が高くなっている¹⁾。そこで、具体的な肌落ち防止対策の要素技術として切羽変位計測がある。本論文では、山岳トンネル工事において、3D レーザースキャナを用いてトンネル切羽の3次元点群データを取得し、切羽の押出し計測を行った。そのときの計測方法やデータ取得から処理方法を工夫し結果精度を向上させた手法について報告する。なお、今回の報告は、国土交通省が推進する「令和元年度 建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」(PRISM)の一環として行った内容の計測関連について詳しく説明する²⁾。

2. 実証現場の概要

トンネル延長 L=305m、掘削断面積約 102~105m²、D：掘削幅 15.0m、掘削高さ 7.2m、全長の約 93%が 1.5D 以下の小土被りで、設計は全線機械掘削の計画となっていた。

3. 計測条件

3D レーザースキャナは、Leica マルチステーション Nova MS60 (1000pts/秒、測定範囲 300m、スキャン範囲 1000m) を使用した。この機種を選定した理由としては、近年では常時計測が行われている坑内の A 計測との併用が可能なこと、坑内の粉塵や湧水の影響に対して防塵・防水基準 IP65 に対応していたため選定した。なお、3D レーザースキャナの設置位置は、切羽作業時の重機をできるだけ避け、切羽の見通しが良いトンネル坑内の天端とした。

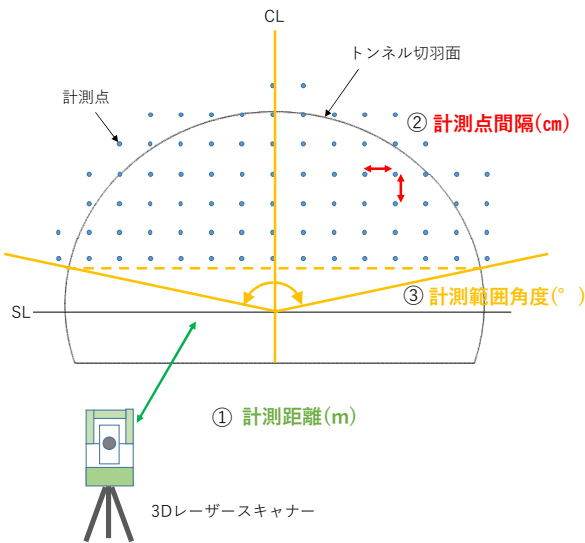


図-1 試験計測実施時の測定条件モデル図

図-1 に試験計測実施時の測定条件モデル図を示す。① 計測距離は 30m~70m、②計測点間隔は 4 cm、5 cm、10 cm、③計測範囲角度は 80°~90°の範囲内で計測を行った。前述した条件下で計測した計測結果を表-1 に示す。結果より、計測距離が延びるとスキャン時間が増加している。また、計測点間隔を 5 cmから 4 cmにすると取得点数が 22,000 点から 41,000 点と倍近くなり、スキャン時間も 137 秒から 272 秒と倍程度になった。これらの試験計測結果から本試行では、リアルタイムな切羽の押出し計測を行

表-1 種々条件での計測結果

測定条件			測定結果		
計測距離(m)	計測点間隔(cm)	計測範囲角度(°)	スキャン時間(s)	データ転送/処理時間(s)	取得点数
70	5	80	197	84	22,378
60	5	80	163	89	23,129
30	5	80	137	85	22,318
30	4	80	272	151	41,336
30	5	80	137	85	22,318
30	10	80	83	26	5,812
30	5	80	162	138	23,300
30	5	90	203	158	30,526

キーワード：3D レーザースキャナ、切羽計測、肌落ち、押出し

連絡先：〒136-8570 東京都江東区新砂 1-1-1 (株) 竹中土木 技術・生産本部 技術部 Tel:03-6810-6307

う目標として5分以内に1回の計測を行える条件として以下の様に設定し、実現場で運用した。①計測距離は30m~70m, ②計測点間隔は5cm, ③計測範囲角度は80°.

4. 計測結果と処理方法

切羽面は $0.5\text{m} \times 0.5\text{m} \sim 1.0\text{m} \times 1.0\text{m}$ のメッシュ状に分割し、メッシュ内の平均値をメッシュの代表値として採用した。図-2 に 1.0m メッシュ時の計測結果を示す。外周部の異常値を除いても $\pm 13\text{mm}$ 程度の誤差が生じていることが分かる。この計測結果を 0.5m メッシュに変更しても誤差に大きな変化はなかった。これは初期値計測位置と変位計測位置が異なる（MS60 のスキャンモードでは毎回同じ位置を測定しない）ため誤差が生じると考えられた。この誤差では切羽の押し出し判定が出来ないことから、取得した 3 次元点群データを次の手順で処理を加えた。

- ① 初期計測点と平面的に最も近い変位計測点を抽出する (図-3)
- ② ①が平面的に許容範囲内にあるか (図-3)
- ③ ②が OK なとき、TD 差を計算→仮の押出し量
- ④ ③を TD 方向に許容範囲を設けて範囲外の点を除外する (図-4)
- ⑤ 上記①～④の処理に残った計測値を有効データとし、メッシュ内で平均化→メッシュ内代表値
上記代表値と初期値との差分を「押出し量」とした。

図-5 に処理後の各メッシュの変位量を示す. 結果より, 上記処理を行うことで $\pm 3\text{mm}$ 以内の誤差で切羽の変位計測を行うことが可能となった.

5. まとめ

(1) 計測距離は 30m~70m, 計測点間隔は 5 cm, 計測範囲角度は 80°の範囲内で計測すれば, 5 分以内/回で計測することが可能である. (2) トンネル坑内で切羽面を計測する場合, 3 次元点群データをそのままメッシュ内で平均化すると, 初期値計測位置と変位計測位置が異なるため数十mmの誤差が生じる. (3) 4.

に記載の①～⑤の処理を行うことで $\pm 3\text{mm}$ 以内の誤差で切羽の変位計測を行うことが可能である。

今後は、新しい様々な計測器が出てきているのでトンネル坑内で適用できる機器を検証、選定し、更なる計測精度の向上や計測時間の短縮化を目指したい。

参考文献

- 1) 厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン，2018.1
- 2) 佐藤裕考他：ICT 技術によるトンネル切羽の面的監視と切羽作業の安全性向上，土木学会第 75 回年次学術講演会講演概要集，2020.9

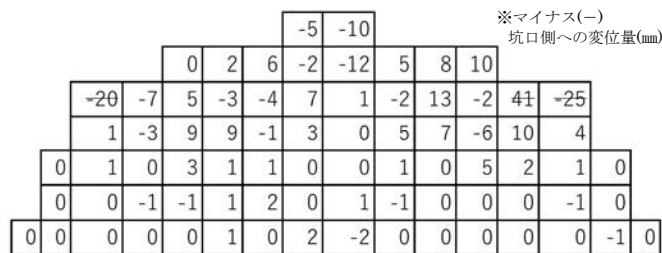
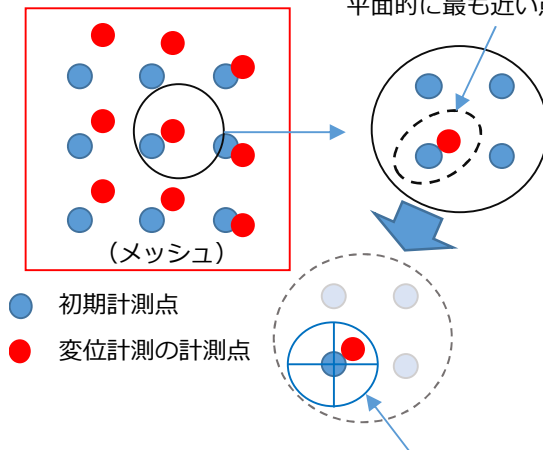


図-2 1.0m メッシュ時の変位計測結果

- ①「初期以降の計測点」から、
平面的に最も近い点を検索



- ②「初期値」座標から、平面的に許容範囲内にあること

図-3 データ処理方法モデル図

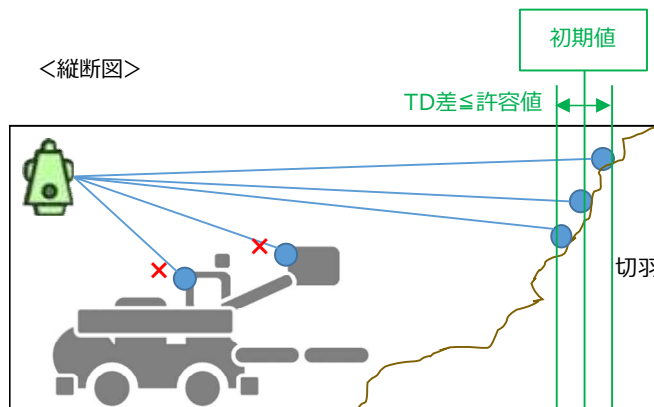


図-4 ④データ処理縦断図

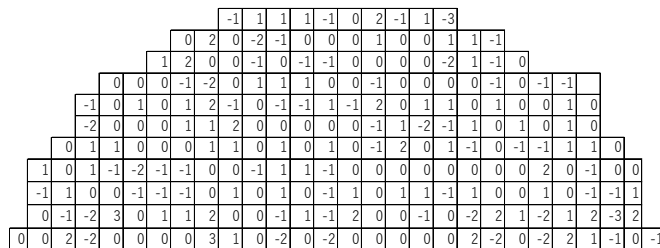


図-5 押出しを模擬したデモ吹付け後の変位計測結果