

車載式トンネル 3D スキャニングシステムの開発

西松建設	正会員	○山本 悟
西松建設	正会員	三井 善孝
マック		宮原 宏史

1. はじめに

山岳トンネルにおける現状の内空変位計測（A 計測）では、通常 20m 間隔程度の決められた測点においてトータルステーション（以下、TS）を用いて変位挙動が局部的に把握されている。一方、近年では TS の代わりに 3D レーザースキャナ（以下、スキャナ）を用いてトンネル坑壁の内空変位を面的に把握する手法が提案されており、いくつかのトンネルにおいて適用事例があるものの、計測毎にスキャナを三脚で設置する際の手間や、ノンプリズム計測による精度の確保、点群データの解析に多大な時間を要するといった課題が指摘されている。以上のような背景から、車両に搭載されたスキャナにより、トンネル内空変位を迅速かつ面的に計測可能な、車載式トンネル 3D スキャニングシステムを開発した。

2. システムの概要

開発したシステムの構成を写真-1 に示す。計測車のルーフキャリア上に設置した防振用空気ばね、自動水平保持架台上に 3D スキャナを搭載し、周囲にプリズム内蔵基準球（以下基準球）を配置した上部装置と、計測の操作、点群データの処理、結果の表示を行うコントロール PC により構成される。

計測の流れを以下に示す。

- ①計測車の配置（エンジン停止，降車）
- ②常設 TS による基準球の計測（絶対座標）
- ③3D スキャナによる坑壁の計測（ローカル座標）
- ④データ転送（コントロール PC へ）
- ⑤データ処理・閲覧（ローカル座標→トンネル座標）
- ⑥次計測位置へ移動

②の基準球は球状面とプリズム面からなり、球とプリズムの中心が一致している。スキャナ周囲に配置した4つの基準球は近接しており、TS にて計測する際に誤認識する可能性が高いため、指定された基準球のみがプリズム面を自動的に TS の方向を向く機構としている。

②から⑤までの操作は全て、タブレット式のコントロール PC 上で可能となっている。

3. 計測性能の検証

(1) 計測誤差

同じ位置で計測を 2 回行った際の誤差の平均値と計測車からの距離の関係を図-1 に示す。平均誤差は 1D(10m) 範囲で最大 3-4mm 程度、2D(20m) 範囲で最大 6-7mm 程度である。計測車から遠いほど誤差が大きくなる傾向が見られる。これは、計測対象が遠くなるほどスキャナのレーザーが坑壁に対して斜めに照射され、表面の凹凸の影響を受けやすくなるためと考えられる。現場運用時の許容最大誤差を 5mm とした場合、計測車を中心とした 15m 程度が有効な計測範囲となる。



写真-1 システム構成

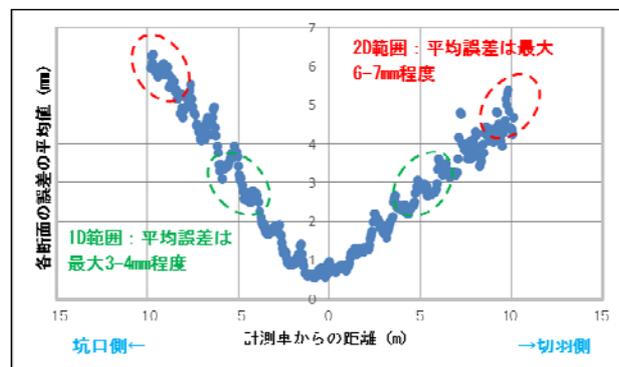


図-1 誤差の平均値と距離の関係

キーワード 山岳トンネル, 内空変位計測, 3D レーザースキャナ, 車載式

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋六丁目 17-21 西松建設(株) 技術研究所 TEL 03-3502-0279

(2) 計測時間

本システムと従来方式の 3D スキャナによる計測時間の比較を表-1に示す。本システムでは、スキャナや基準球が車載されており、三脚による設置の手間が無く、基準球の測量もコントロール PC による操作のみで実施が可能であるため、準備や片付けに要する時間が短い。また、スキャナと基準球の距離が短く、位置関係が既知であるため、計測点密度が低い条件下においても基準球が検知されやすいなどの利点がある。

上記の理由により、本システムでは一回あたりの計測時間が6分程度まで短縮されたが、これは従来の三脚方式の1/6以下の時間となっている。

表-1 計測時間の比較

坑内作業内容	【開発技術】 モバイルスキャン (sec)	【従来方法】 三脚使用スキャン (sec)
①計測準備作業 (スキャナ、基準球の設置)	20	1,200
②スキャナ位置測定 (TSIによる基準球測量)	50	360
③3Dスキャン	130	130
④データ転送	50	50
⑤データ処理	90	90
⑥片付け	20	480
計	360 (約6min)	2,310 (約39min)

4. 現場適用事例

(1) 内空変位計測

図-2に内空変位計測結果を示す。広範囲にわたって赤色で表示された部分で最大-20mm程度の変位が計測されている。従来のA計測では計測断面の内空変位から断面間の内空変位を推定しているが、本システムでトンネル全体の変位を面的に把握することで、三次元的にトンネル変形を補完することが可能となる。これにより、例えば変位抑制対策として増しロックボルトを施工する際の範囲や本数、補強プレートの設置位置の検討、変状発生時の縫い返し位置の特定などの判断ができると考えられる。また、維持管理の段階においても、掘削時の地山挙動を面的に把握し、記録しておくことで、覆工コンクリートのひび割れや剥離などが生じた際の原因究明の資料としての活用も期待される。

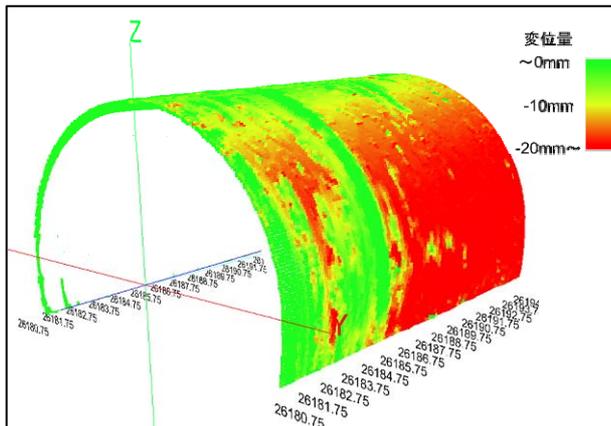


図-2 内空変位計測結果(例)

(2) 切羽面変位計測

図-3に切羽面変位計測結果を示す。切羽面の押し出し変位は切羽の崩落に直結することから、切羽面の変位計測はこれまでもレーザー距離計を使用した多点変位計測が行われてきたが、切羽面の特定の点のみを計測しているため、切羽全体の変位を確実に捉えることが出来なかった。一方、スキャナによる計測では切羽面を面的に捉え、切羽全体の変位を把握することで、切羽監視責任者の切羽監視を補助することが可能となる。切羽面は施工サイクル毎に更新されるため、常時計測することは現実的ではないが、現場が休止する週末や長期休暇時に計測を実施し、管理値以上の変位が計測された際にメールにて警報を送信するなどの運用が考えられる。

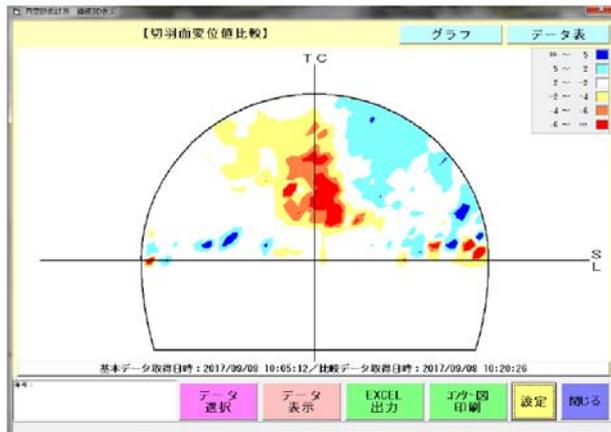


図-3 切羽面変位計測結果(例)

5. おわりに

今回、3D レーザースキャナによりトンネル壁面変位を迅速かつ面的に計測可能な車載式トンネル 3D スキャンシステムを開発した。トンネル全体を面的に把握し、A計測を補完することができたが、TSによる計測と比較して計測精度に課題が残っている。今後もスキャナ自体の性能向上、基準球の配置距離の検証、データの処理・補正方法の検討などにより計測精度の向上を目指していく。また、トンネル CIM との連携についても検討を進めている。