

3D トンネルレーザー計測システムの開発と計測事例報告

応用地質株式会社 正会員 〇桑島 混
正会員 佐藤 元紀
正会員 太田 裕之

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に整備したインフラが今後一斉に老朽化することが見込まれているため、計画的にインフラを維持管理、更新することでトータルコストの縮減や平準化を図ることが求められている。その一つの手法として、社会インフラの状態の効率的な把握を可能とするモニタリング技術の開発と導入が推進されている。トンネル点検において時間とコストを要する変状のスケッチ作業を高精度かつ効率化するために、筆者らは 3D トンネルレーザー計測システム（以下、本システムとする）を開発した。

2. 3D トンネルレーザー計測システムの開発

本システムの類似技術として走行型レーザー計測（以下、走行型計測とする）が開発されているが、現在の点検要領では走行型計測に加えて従来の交通規制を伴う点検作業が別途必要であり、調査費用が高額となる傾向がある。そこで本システムは、以下の点を重視して開発した。

- ① 走行型計測と同様に三次元点群データを得ることができ、トンネルの変形や路面変位を捉えることができること
- ② 三次元点群データを活用し高精度の二次元覆工展開画像を得ることで、手作業の変状スケッチを不要とし、作業の効率化と変状展開図の高精度化を両立すること
- ③ 点検作業に追従して計測を行い、点検作業と同時に計測が完了できること
- ④ 計測機器は一般的なレーザースキャナとし、専用計測車両を用いる走行型計測と比べて安価に計測できること

3. 計測対象トンネル

今回の調査対象トンネル（廃坑）は、土圧（塑性圧）作用による覆工の変形や盤ぶくれが複数の区間で顕在化している。この区間の一つで 2017 年、2019

年に本システムで計測を行い、併せて水準測量や内空変位測量を実施してトンネルの変形状態を把握した。

4. 計測方法

本システムに使用した機器は FARO Technologies, Inc.が開発した FARO Laser Scanner Focus を用いた。基本的なスペックを表 1に示す。調査は対象とする盤ぶくれ変状区間に対して計 10 地点で計測を実施した。今回の計測対象は盤ぶくれが進行しており、トンネル中央のみの計測では死角が生じるため、トンネル中央からの計測に加えて左右 1m 程度ずらすことで、盤ぶくれの全景を捉えることとした。

表 1 使用機器の仕様

計測頻度	10m 毎に一回
測定時間	2 車線道路トンネル 10m あたり 3 分程度
使用時間	最大 5 時間
周囲温度	5～40℃
湿気	結露なし
重量	5.0kg
サイズ	240×200×100(mm)
二重軸傾斜センサー	精度 0.015° ；測定範囲±5°
測定誤差	±2mm（測定距離 25m）

5. 計測結果

今回の計測で得られた結果を図 1に示す。それを基に覆工展開画像を得た（図 2）。さらに内空変位の経時的な進行性と盤ぶくれ影響範囲を検討した。

5. 1 覆工展開画像解析結果

三次元点群データを解析し、二次元の覆工展開画像を生成した。一般的にトンネル点検で実施される手書きの変状スケッチに比較して、三次元座標を持つ点群データを解析して生成した覆工展開画像の位置精度は高く、また附属物や対策工など変状以外の対象物も記録できる。この画像を活用し高精度な変状展開図を作成でき、次回点検時の変状の進行性の確認に有効である。

キーワード 盤ぶくれ, 3D レーザー計測, 三次元点群データ, 覆工展開画像, トンネル点検

連絡先 〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町 2-61-5 応用地質株式会社 TEL048-652-4956

5. 2 盤ぶくれ計測結果

2017年から2019年の計測結果（横断面図）を重ね合わせ、図3に示す。図3からトンネルが全体的に縮小していることと盤ぶくれの横断的な形状（変形モード）を把握することができた。また、この期間では、盤ぶくれの進行は顕著でないことがわかる。

次に、盤ぶくれの影響範囲を把握するために路面隆起量のコンター図を作成した（図4）。コンター図は計測対象の前後の変状が見られない区間の路面を直線で結び、それと盤ぶくれ区間との差分を示したものである。コンター図から100mmを超える盤ぶくれ範囲はおよそ25m程度隆起していることが確認できる。別途実施した水準測量（図5）の100mm以上の盤ぶくれ範囲と概ね一致する傾向であった。

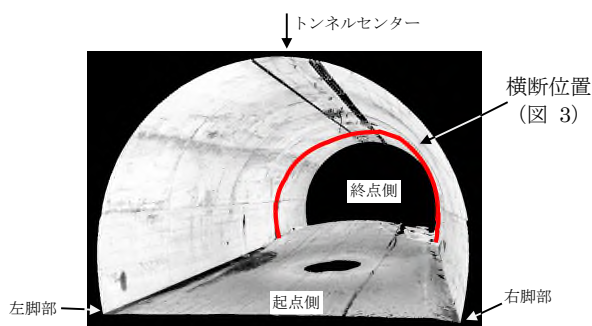


図1 計測結果

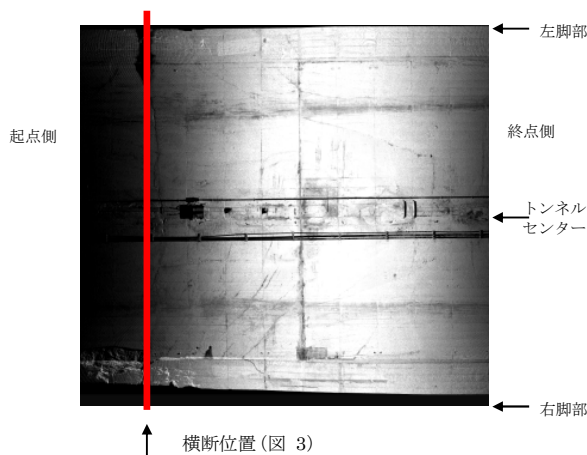


図2 覆工展開画像

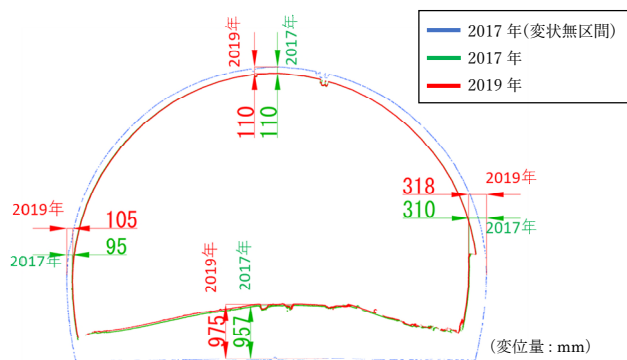


図3 トンネル横断面図

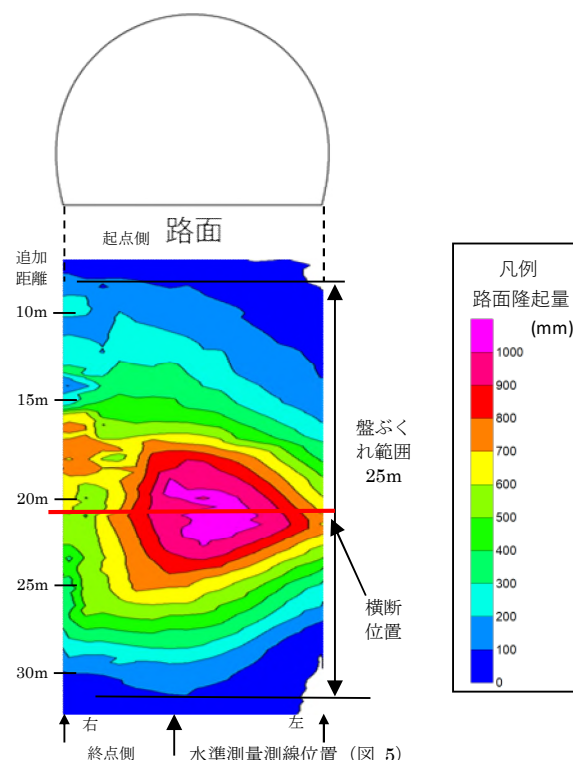


図4 路面隆起コンター図

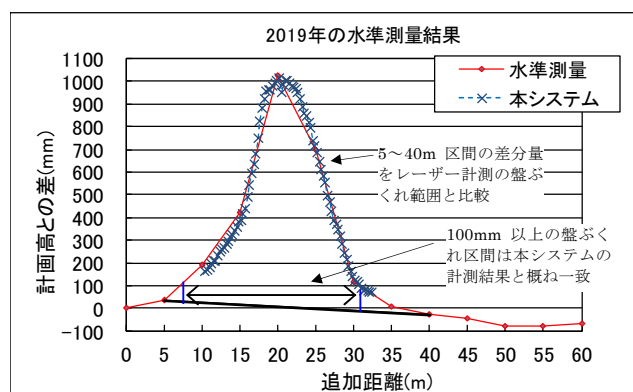


図5 水準測量結果

6. おわりに

レーザースキャナによる計測でトンネルの三次元点群データを取得し、高精度な二次元覆工展開画像を生成するシステムを開発した。また同システムによる計測結果から、トンネルの変形モードや路面の隆起範囲を把握した。本システムの作業は熟練した点検員でなくとも実施可能であり、トンネルの変状や変形を効率的、高精度、定量的に把握することが可能であることを検証できた。今後、検証を深め、より高度なシステムの開発を目指す。