

3D トンネルレーザー計測システムによるトンネル維持管理の高度化事例

応用地質株式会社 正会員 ○佐藤 元紀
 応用地質株式会社 正会員 大塚 弘貴
 応用地質株式会社 正会員 荃澤 絵理架
 応用地質株式会社 非会員 吉兼 理説

1. はじめに

従来の道路トンネル定期点検では、近接目視や打音検査によって確認した変状をマーキングした上、手書きのスケッチで記録する方法が一般的に行われており、トンネル全線に渡って行われるため人海戦術かつ多大な時間を要するほか、点検員の技量差や記載漏れ等の人的ミスが生じやすい作業で、点検の効率化や高度化、生産性の向上が課題である。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、これらの課題解決を試みた。本システムは点検支援技術性能カタログ(令和3年10月,技術番号TN010013-V0021)に掲載された新技術である。

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画像計測（以下、走行型計測とする）が開発されているが、現行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も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3次元点群データを取得でき、トンネルの変形や路面変位の把握が可能である
- ② 3次元点群データを活用し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 従来の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 計測には市販のレーザースキャナを用い、専用計測車両の走行型計測と比べて安価に計測できること

3. 3次元点群データの計測

本システムでは予め計測条件の設定が可能で、計測作業に熟練は不要であり、容易に計測作業が実施できる。また赤外線レーザーを使用していることから、計測時にトンネル覆工面を照らす必要はなく、照明の明暗による画像品質の低下や計測時のトンネル照明の逆光問題も障害とならない。本システムの計測状況と結果を図-1に、計測仕様を表-1に示す。



図-1 計測状況と結果

表-1 計測仕様²⁾

計測頻度	10m 程度毎に1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（バッテリー交換可能）
周囲温度	5~40°C
計測条件	トンネル内に濃霧なし 計測器レンズに結露なし
計測器	重量：7.2kg 寸法：幅1.2×奥行き1.1×高さ1.75m 三脚を別途使用
センサー	精度0.015°；測定範囲±5°
測定誤差	±2mm（測定距離25m）

4. AIによる覆工展開画像解析

本システムでは3次元点群データを解析し、二次元覆工展開画像を生成する。一般的にトンネル点検で作成される手書きの変状スケッチと比較して、3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、かつエリアカメラ撮影などで生じる画像同士を合成する必要がなくシームレスな覆工展開画像を得ることが可能である。

画像解析は自動で行い二次元覆工展開画像を生成する。このとき10m毎に計測した点群データを合成する必要はなく、計測回数ごとの画像を自動生成できる。

また画像解析技術の「圧縮センシング技術」を活用し、画像の端部に発生する陰影を補正し、鮮明な画像を取得することが可能である。

覆工展開画像には現地でチョークによりマーキングした変状が記録されており、それをAIにより自動で抽出できる。AIには予め変状データの教師ラベルを学習させ、変状（ひび割れ）のみを抽出させている。抽出した変状は、覆工展開画像上で強調表示でき、さらに

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

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

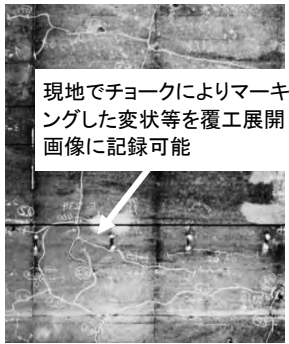


図-3 覆工展開画像生成

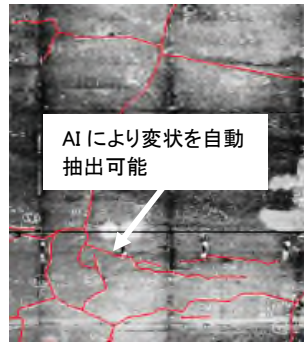


図-4 AIによる変状抽出

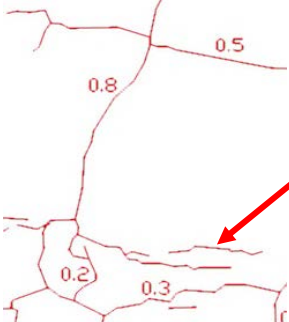


図-5 CAD出力

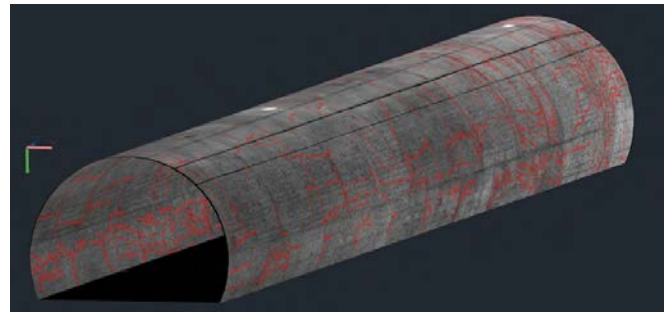


図-7 覆工展開画像の3Dモデル化

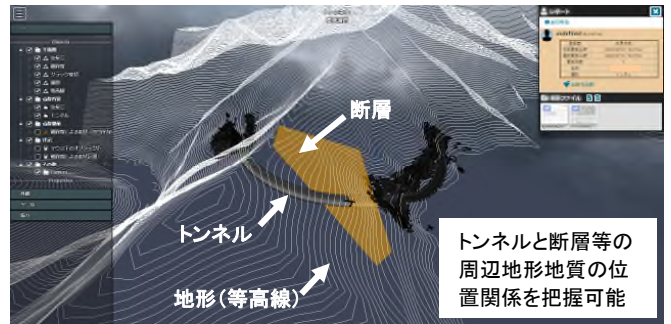
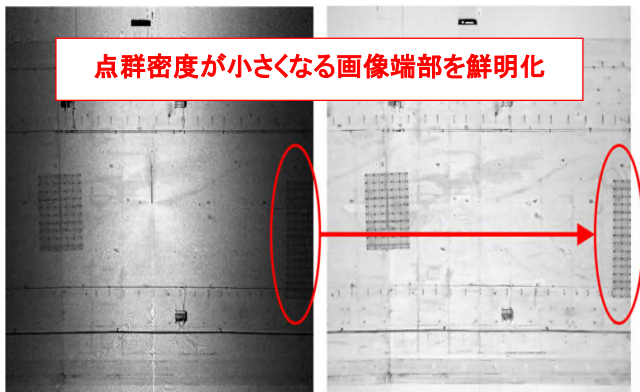


図-8 3次元トンネルモデル

図-6 圧縮センシング技術による画像の鮮明化³⁾

抽出した変状のみをCADに自動で出力することが可能であり、点検調査(変状展開図)作成を効率化できる。

4. 3次元モデルによる診断の高度化

これらの解析結果からトンネルを再現するとともに、周辺地山の地形や地質情報を付加して3次元トンネルモデルを構築した。モデル化には応用地質社製の3次元地盤ツールMAGIS®-CIMを用いた。構築したモデルではトンネルの変状と周辺地質との位置関係を的確に把握でき、診断に際して通常のトンネル点検結果では把握できない覆工背面の情報を付加することができる。ひび割れの診断は、外力に起因するものとそうでないものに区別することが重要であり、覆工背面の情報を踏まえることで、より高度な診断を行うことができる。また本システムは今後の定期点検や補修履歴を保管する機能も搭載しており、維持管理段階のBIM/CIMツールとして活用できる。

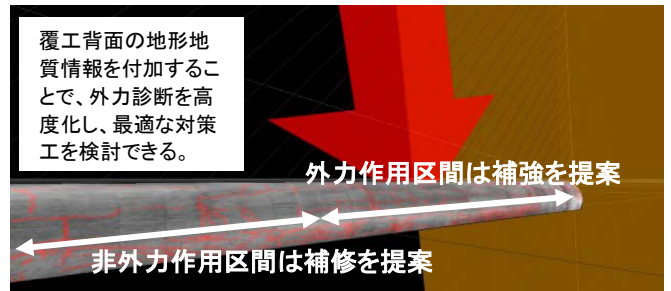


図-9 3次元モデルによる外力診断

5. おわりに

レーザースキャナにより計測したトンネルの3次元点群データから高精度な二次元覆工展開画像を生成しAIにより変状を自動図化する手法を開発した。また点検結果から3次元モデルを構築し、従来よりも高度な診断が可能となり、より適切な対策工の提案が可能となった。

参考文献

- 1)国土交通省道路局国道・技術課：道路トンネル定期点検要領，2019.3.
- 2)公益社団法人土木学会：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，令和2年度全国大会第75回土木学会年次学術講演会講演概要集，2020.9.
- 3)応用地質株式会社：News Release トンネル点検を効率化・高精度化するAIシステムを開発，2020.9.
https://www.oyo.co.jp/oyocms_hq/wp-content/uploads/2020/09/20200910_news-release_oyo.pdf
- 4)国土交通省：点検支援技術 性能カタログ，2021.10