

3次元点群データを活用した鉄道トンネル検査技術の検討

首都高技術株式会社 正会員 ○亀岡 誠
首都高技術株式会社 川村 日成

首都高技術株式会社 正会員 小杉 剛史
首都高速道路株式会社 襲川 龍一
東急株式会社 森 友峰

1. はじめに

鉄道トンネルの検査手法に、高解像度デジタルカメラとレーザスキャナを搭載した計測車両を走行させ、覆工面の画像データと点群データを取得する手法がある(以下、従来手法)(図-1)。従来手法では画像データからひび割れなどを、点群データからうき・剥離などを検出する。課題は、複数機材を使用するため機材費用が高額になることや、照度の過不足により画像品質が低下することである。この課題に対し、画像データを使用せずに点群データのみでひび割れを検出する新たな検査手法を検討した。なお、本検討は国土交通省鉄道局より鉄道技術開発費補助金の交付を受けて実施したものである。



図-1 高解像度デジタルカメラとレーザスキャナを使用したトンネル検査事例

2. 計測装置の選定

従来手法のレーザスキャナより高密度の点群データが取得可能な「光切断用 3D カメラ」を使用して、ひび割れ検出の検証を行った。光切断用 3D カメラを使用する光切断法は、赤色レーザの反射光をカメラで撮影して形状データを取得し、高密度の点群データを生成する技術である。赤色レーザは可視光のためカメラ撮影用の照明設備は不要であり、理論上、30km/h 程度の計測速度で幅 0.2 mm のひび割れが検出可能である。課題としては、トンネル覆工面までの距離に応じてピント調整が必要なことが挙げられる。

この課題に対し、ピント調整が不要な「高密度レーザスキャナ」についてもひび割れ検出の検証を行った。高密度レーザスキャナが発射できる 1 秒間当たりのレーザ照射数は光切断用 3D カメラと比較して少ないが、前方 70 度の範囲に絞ってレーザを照射するため、従来手法の全周方向にレーザを照射するスキャナで取得した点群データよりも高密度の点群データが取得可能である。また、スキャン回数を毎秒 600 回まで設定できることから、従来手法の毎秒 100~200 回のスキャンで取得した点群データと比較して、スキャンの間隔は密になる。そのため「高密度レーザスキャナ」では、理論上、3km/h 程度の計測速度で幅 1.0mm のひび割れが検出可能である。

3. 実証実験

光切断用 3D カメラを用いた実証実験では、まず簡易トロを使用し、計測速度 3km/h 程度でトンネル覆工面の点群データを取得した。この点群データから、実験範囲で最も小さかった幅 0.4mm のひび割れが点群データから検出可能であることを確認した。一方で、計測時の振動に起因した点群データの乱れにより、ひび割れの検出が困難となる事例が確認されたことから、対策として防振ブラケットの設計・製作を行った(図-2)。2 回目の実験では防振ブラケットを設置し、軌陸車により計測速度を 20km/h 程度に上げてトンネル覆工面の点群データを取得した。防振ブラケットを使用して取得した点群データは、防振ブラケットを使用せずに取得した

キーワード 3次元点群データ、鉄道、トンネル、検査、ひび割れ
連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門三丁目 10 番 11 号虎ノ門 PF ビル
首都高技術株式会社 TEL 03-3578-5767

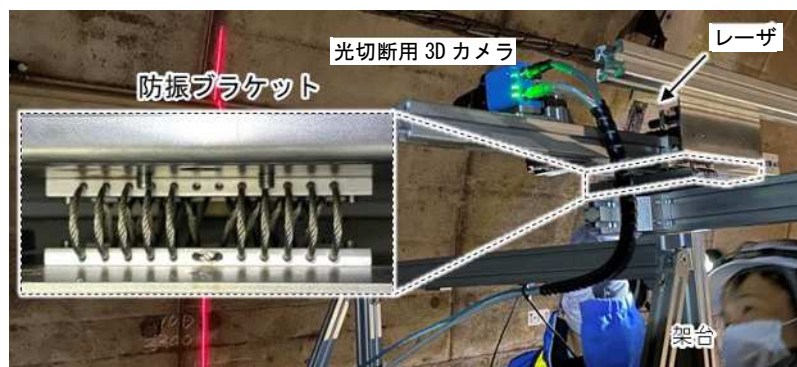


図-2 光切断用 3D カメラおよび防振ブラケットの設置状況

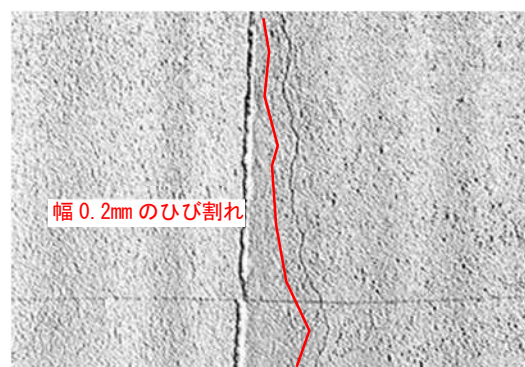


図-3 光切断用 3D カメラで取得した点群データ



図-4 高密度レーザスキャナの設置状況および計測状況



図-5 高密度レーザスキャナで取得した点群データ

点群データと比較して、点群データの乱れを表す全振幅が 24mm から 6mm に減少し、計測時の振動に起因した点群データの乱れが抑制されていることを確認した。また、計測速度 20km/h 程度で幅 0.2mm のひび割れが検出可能であることを確認した(図-3)。

高密度レーザスキャナを用いた実証実験では、簡易トロを使用して計測速度 3km/h 程度でトンネル覆工面の点群データを取得した(図-4)。この結果、幅 1.0mm のひび割れが検出可能であることを確認した。また、取得した点群データの点密度を 3 分の 1 に間引いて、計測速度 10km/h 想定 の点群データを作成し、ひび割れ検出の可否を検証したところ、ひび割れの検出は不可であった。これは十分な点密度が確保できていないためであり、高密度レーザスキャナの計測速度としては 3km/h 程度が妥当であることが分かった(図-5)。

4. おわりに

「光切断用3Dカメラ」は、計測速度20km/h程度で取得した点群データから幅0.2mmのひび割れが検出可能であった。従来手法より優れる点として、計測機材の費用が安価なことが挙げられる。また、装置が小規模かつ計測速度が20km/h程度であることから軌陸車での運用が可能であり、作業性に優れることが挙げられる。

「高密度レーザスキャナ」は、計測速度3km/h程度で取得した点群データから幅1.0mmのひび割れが検出可能であった。計測速度が3km/h程度であることから軌陸車での運用は見込めないが、計測装置の規模が光切断用3Dカメラより小規模であるため、簡易トロでの運用が可能である。また、「光切断用3Dカメラ」よりも計測機材の費用が安価である。

「光切断用3Dカメラ」と「高密度レーザスキャナ」は、点群データの色情報が白黒のみであることから変状検出能力は従来手法にやや劣るが、作業性と経済性に優れる。また、現地での寸法計測や野帳への記入が不要となり、トンネル検査の効率化と省力化が図られる。さらに、正確な記録や定量的な判定が実現可能となるため、点検品質の向上が期待できる。

本検討にあたり、フィールド提供などでご協力いただいた東急電鉄(株)様に感謝の意を表します。