

可搬式トンネル覆工表面撮影機の試験計測

JR 東日本 正会員 ○小林 徹也
JR 東日本コンサルタンツ 正会員 菅原 和孝

1. はじめに

JR 東日本では新幹線、在来線合わせて約 1200 坑のトンネルを維持管理している。2 年に 1 回の周期で実施している通常全般検査では覆工表面の状態を目視により確認しているが、精度を確保するうえで課題があった。そのため、JR 東日本では可視画像を連続的に撮影できる覆工表面撮影車を 2000 年より導入し、覆工表面の画像の取得により、維持管理の効率化に努めている。なお、覆工表面撮影車は保守用車牽引タイプと軌陸車タイプを使用している。

覆工表面撮影車による撮影では、撮影対象となるトンネルが大断面形状・特殊形状が混在することや、複線断面で分割して撮影により作業日数が増えること、終列車から始発間までの作業時間に制約を受けることなどの課題があった。これらの課題を解決するためには、作業性に優れる可搬式の機器や既存の技術・機器を積極的に活用することが有用であると想定される。可搬式の機器では赤外線を利用した事例りはみられるものの、鉄道トンネル用として可視画像の取得を目的とした事例はあまりみられない。本稿では、可搬式トンネル覆工表面撮影機の試験計測について報告する。

2. 可搬式トンネル覆工表面撮影機の特徴

今回使用した可搬式トンネル覆工表面撮影機は市販品の一眼レフカメラ・LED 照明を取付け治具である既製品のフレームに取り付けてトロ台車へ載せる。各機器については自動車による運搬が可能であり、搬入出が保守基地に限定されないことが特徴である。機器と装置の諸元を図-1、表-1 に示す。

表-1 装置諸元



図-1 可搬式トンネル
覆工表面撮影機

カメラ名称	デジタル一眼レフカメラ ニコン D800
レンズ名称	ニコン AF-S NIKKOR 35 mm F1.8G
CCD 仕様	35.9×24.0mm サイズ CMOS センサー
有効画素数	3630 万画素
画像サイズ	7360×4912
解像度	0.57 mm/pix
カメラ台数	6 台
照明仕様	①高輝度白色 LED 72W ②HMI ライト 125W
照明台数	①6 台、②3 台
総重量	124.7Kg
撮影最大速度	3.5Km/h (参考)

3. 撮影に向けた課題

試験にあたり、撮影画像の精度・作業性について以下の課題があった。

キーワード トンネル、撮影、可搬式、3 次元、点群データ
連絡先 〒163-0231 東京都新宿区西新宿二丁目 6 番 1 号 新宿住友ビル 31 階 TEL080-4599-2602

(1)画像の繋ぎ合わせ

カメラで撮影された画像は中心投影レンズから壁面までの距離の違いにより像の位置ずれが発生する。撮影画像の繋ぎ目には段差、隙間を補正するためにオルソ補正など曲率に合わせて画像処理が必要となった。この工程は人的作業が中心となり、作業時間の増加が課題であった。

(2)一眼レフカメラ間の重複度

既製品のフレームには 6 台の一眼レフカメラが取り付け可能である。本試験では撮影対象の断面が大きくなることで横断方向の隣接する可視画像の重複度が確保できない場合、一眼レフカメラの台数を増やし、既製品のフレームを改良する可能性があった。

(3)作業性

既設のフレームはトンネル中心位置が R.L.より約 5,050mm 範囲で設計されている。本試験は新幹線の複線断面が撮影対象であり、トンネル中心位置は R.L.より約 7,400mm の高さで形状が大きくなる。逆 2 乗の法則により光の強さは光源からの距離の 2 乗に反比例して減衰するため、断面が大きくなることで照明の光も減衰する。撮影装置に付属する LED 照明の位置を上げることで壁面との距離が近くなり、照度の確保は容易であるが、鉄道トンネルでは架線から一定の離隔が必要であり、照明の位置を上げるのみでこの課題に対応することは困難である。また、本試験の機器は 1 回の撮影範囲をトンネル半断面までを対象としているため、線路が 2 つに分かれている複線では全域を撮影するのにトロ台車を載せ替える必要があった。

4. 課題解決に向けた検討内容

課題に対して以下の検討を行なった。

(1) 画像の繋ぎ合わせにおける検討

画像の繋ぎ合わせを自動生成する技術として UAV 等で撮影された画像から 3 次元モデルを作成する写真測量技術がある。図-2 に示す以下の手順で画像の作成を試みた。

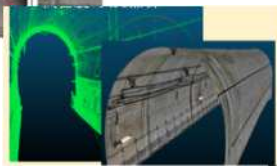
- ① SfM (Structure Form Motion) 処理:撮影された画像の特徴点にカメラの位置、角度、方向より求めた座標を推定する。
- ② MVS (Multi View Stereo) 処理:①の推定座標と画像をマッチングさせることで高密度の 3 次元点群モデルが作成される。この 3 次元点群モデルに同一箇所の画像を貼り合せ、画像付き 3 次元モデルが生成される。
- ③ 展開図作成用の平面画像:画像付き 3 次元モデルを平面に投影し、変状・補修情報を入力するための平面画像を

作成する。オリジナルの画像と比較して解像度はグレードダウンする。

① SfM (Structure Form Motion) 処理



② MVS (Multi View Stereo) 処理



③ 展開図作成用の平面画像



図-2 画像処理フロー

(2) 一眼レフカメラ間の重複度における検討

机上の計算で撮影対象の箱型トンネル（新幹線）の設計断面に実寸の既製品のフレームとトロ台車を重ね合わせた。カメラの配置位置、取り付け角度、焦点距離より推定される撮影範囲の重複度を図-3 に示す。

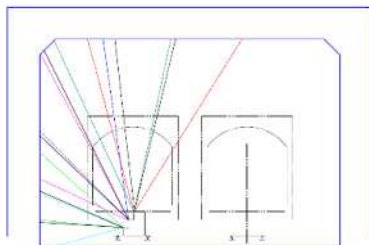


図-3 重複度の机上検討

(3) 作業性における検討

き電停止が不要な条件とするために、作業を軌道の高さからトロ台車上に追加照明を載せて照度を補填することで対応を検討した。トロ台車の載せ替えにあたり、分割による軽量化した機器の運搬を検討した。

5. 試験条件と内容の検討

課題解決に向けた検討内容から次の試験条件を選定した。撮影にあたり前述の4. (2), (3)を検証するうえで、大断面形状の代表事例として新幹線の複線断面を撮影し、課題を解決できれば適用範囲が広がると考えた。4. (1)は重複度を確保すれば試験の必要はない。

6. 試験結果

試験結果は以下のとおりである。

(1) 撮影画像の繋ぎ合わせの結果

SfM・MVS の自動作成により、画像は通常の人的な作業に比べ、1/5 の作業量まで短縮することができた。画像の解像度は、オリジナル画像が解像度 0.57mm/pix であったが、SfM・MVS 処理後、最終的な展開図作成用の平面画像は 4.0mm/pix であった。この数値は変状を認知するレベルとして支障はないと判断した。また、従来のグレースケールに近い画像と比較して変状の判別はカラー画像により向上した。トンネル付帯設備で比較した画像を図-5 に示す。



図-5 今回撮影（左） 既存画像（右）

(2) 撮影画像の重複度の結果

SfM・MVS 処理により生成した画像付き 3 次元モデルが隙間なく生成できていた。これより、事前に机上で計算した重複度は確保されていることが確認でき、一眼レフカメラの台数を増やす必要性はなかった。

(3) 撮影作業の結果

今回の試験では通常の LED 照明による撮影と追加の照明を設置した 2 パターンで撮影した。可視のレベルではほとんど差がないことから照明の増設は必要なかった。計測作業の体制は、撮影責任者 1 名、操作者 2 名の少人数体制で作業が可能であった。状況を図-6 に示す。

既製品のフレームとトロ台車は脱着式なので分割した運搬が容易であるが、今回の試験箇所では分割なしで載せ替えができ、作業時間を更に短縮できた。



図-6 撮影状況

7. おわりに

専用の撮影機器を準備する必要がなく、市販の一眼レフカメラ、既製品のフレームにより新幹線の大断面形状のトンネル覆工画像を取得することができた。また、今回の方法によれば、点群データの取得に専用機器を準備する必要がなく、可視画像から SfM・MVS により画像付き 3 次元モデルの構築が可能である。将来的に変状の情報を画像付き 3 次元モデルへ重ね合わせることができれば現地での変状位置の特定が容易になると考える。

謝辞

可搬式トンネル覆工表面撮影機の試験運行にあたり、株式会社パスコの関係各位に御協力を頂いた。ここに記して、感謝の意を申し上げる。

【参考文献】

- 1) 日下 他：赤外線計測システムによる地下鉄トンネル内コンクリートの浮き・はく離検出, 土木学会第 70 回年次学術講演会 2015 年 9 月