

高速走行時におけるトンネル覆工の撮影に関する検討

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○田川 謙一

東海旅客鉄道株式会社 正会員 伊藤 裕一

1. はじめに

1999 年 6 月から半年の間に相次いでトンネル覆工コンクリートのはく落等が発生したことを受け、トンネル覆工の維持管理の重要性が再認識されている。鉄道各社は、1990 年頃からトンネル内面を分割して撮影・記録する装置の開発を行っていたが、前出の事象も契機となり、最大 10km/h 程度で撮影が可能な装置が実用化され、現在では概ね 2 年に 1 回の頻度でトンネルの撮影が行われている¹⁾。また、道路トンネルにおいて最近実用化された装置では 60km/h 程度で撮影が可能となっている²⁾。

筆者らは、営業時間内に撮影することで、検査周期の短縮を図り、安全性を一層向上させることを目的に、営業列車と同等の速度で走行する車輛からトンネル内面を撮影し、変化があった箇所を抽出する技術の検討を行っているので報告する。

2. 従来のトンネル撮影車の課題と試験撮影の概要

鉄道各社が所有する従来のトンネル撮影車の多くは、2 年に 1 回の周期で実施する全般検査時に手書きで描いていた変状展開図の作成を省力化する目的で、今から 10 年以上前に開発に着手されたシステムがベースになっている。当時入手できた撮影素子は感度や処理速度が現在のものに比べ劣り、画像処理技術も未発達であったが、2 年に 1 回の検査周期に間に合えば良いため、最大 10km/h 程度の撮影速度であっても十分実用的と判断され導入が進んできた。

一方、トンネル覆工の安全性をさらに向上させるためには、全般検査周期よりも更に短い周期で検査を行うことが有効である。ところが、現行のシステムは撮影速度が遅く、夜間の営業時間外に他の作業の合間を縫って運行させる必要があり、これ以上の周期短縮は困難であった。営業時間帯で撮影するためには、営業列車の運行を妨げないよう営業列車と同等の速度での撮影が必要である。

近年表 1 に示すような高性能な撮影素子が入手可能となり、改めて高速撮影について検討することが可能になり、JR 東海が所有し営業時間帯に

表 1 カメラの仕様

カメラ	ピクセル サイズ	最大 ラインレート	画素数	感度 (DN/nJ/cm ²)	センサ 種類
①	10×10μm	65kHz	1024	68	ライン
②	14×14μm	36kHz	1024	136	ライン
③	14×14μm	67kHz	512	136	ライン
④	13×13μm	34.8kHz	1024	5850	TDI

走行する電気軌道総合試験車を利用し、270km/h 走行時に車窓からトンネル内面の撮影を実施し、撮影画像を連続して保存するシステムの構築について検証を行った。撮影画像については、画像処理により変状抽出できる品質を確保できているか検証した上で、損傷の自動抽出を行った。

3. システムの概要

システム全体の構成を図 1 に示す。表 1 に示す各種撮影素子の内、④の感度が最も高く魅力的であるが、このカメラの特徴である TDI 方式 (Time Delay and Integration；ラインセンサを多段並べ、同じ対象物を次々に露光することにより、感度を向上する方式) は対象物の移動速度と露光速度の同期が取れないと画

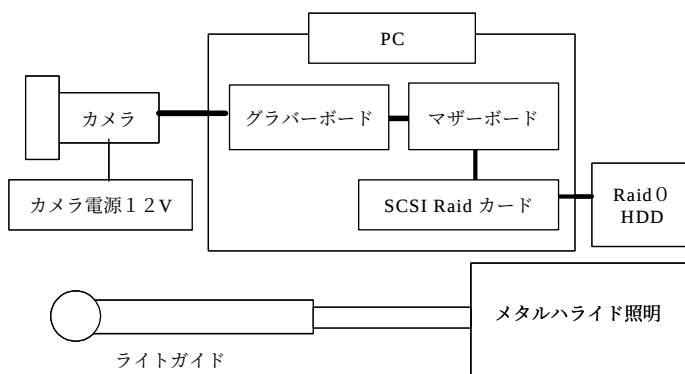


図 1 システム全体の構成図

キーワード トンネル検査 高速撮影 ラインセンサ

連絡先 〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545 番 33 東海旅客鉄道(株) 技術開発部 TEL0568-47-5367

像が認識不能となるため、今回は一般的なラインセンサカメラを採用し、TDIの使用は将来の検討課題とした。①は高速であるが感度が低く、③は画素数が少なすぎるため、②のカメラを選定した。②のカメラのラインレートが36kHzであることから、270km/h走行時の線路方向の分解能は、 $75\text{m/sec}/36\text{kHz}=2.1\text{mm/画素}$ となる。線路直角方法の分解能は、使用レンズとカメラの関係で自由に選べるが、カメラのラインレートから線路方向における分解能の上限値が決まることから、今回は線路方向と合わせ広い範囲を撮影できる焦点距離6mmのレンズを使用し2.32mm/画素とした。

データ保存は、撮影した画像データをRaid0（2台以上のHDDを組合せ、各ディスクに対する読書きのデータ処理を同時かつ並行に処理し、高速処理を可能にする方法）のHDDにリアルタイムで保存する。カメラのデータ転送レートは40MB/sであるから、これよりも十分に転送レートが高いSCSIRaidカードとRaid0（36GB×2）をPCと接続して利用することとした。

4. 撮影画像の結果

270km/h走行時における撮影結果の一部を写真1に示す。高速撮影された画像の分解能は、2.32mmにもかかわらず、トンネル内面の漏水、石灰化した壁面の汚れ等の変状を確認することが出来た。また、撮影画像の明るさについても、今回使用したカメラの感度で十分であることを確認した。



写真1 270km/h 走行時による撮影画像

画像認識については、トンネル内面に存在する障害物を自動的に画像認識で除去を行い、コンクリート表面の特徴点のみを抽出することが出来た。（写真2の黄色線）

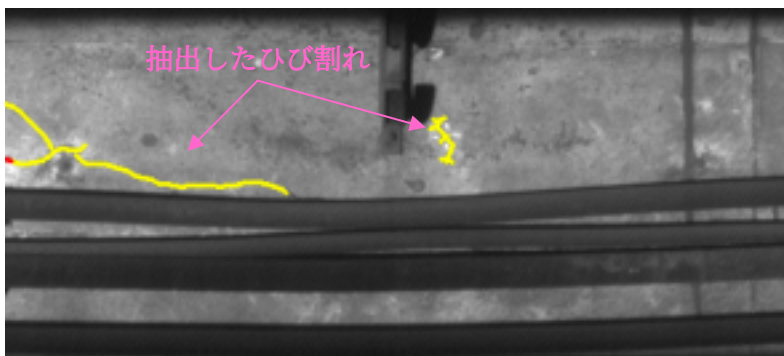


写真2 画像認識の結果

5. 今後の課題

本検討の最終目標は、270km/h走行時におけるトンネル内面を高速撮影し、幅1mmのクラックを自動抽出としている。これらの目標を達成するにあたり技術的な課題について下記に記す。

- 1) 列車速度とカメララインレートの同期化：列車速度は一定でないため、TDI方式を採用する場合、カメラのラインレートと同期化は絶対条件となる。またTDI方式以外においても、列車速度の変化による線路方向のひずみが発生することから同期化をすることは必要条件となる。今後は、高速走行時における列車速度を正確に測る方法について、車速パルス及びその他の方法など幅広く検討する必要がある。
- 2) 変状の抽出：近年画像処理技術が進歩し、画素ピッチ以下の変状が抽出できる可能性がある。より高速な撮影素子の探索とも並行し、変状がどの程度の大きさであれば抽出可能か、実構造物に擬似変状を描く等により検証が必要である。

6. まとめ

高速走行におけるトンネル内面を試験撮影した結果、撮影データの保存能力及び撮影画像の分解能は一定の成果を得た。また、近年の撮影画像素子・画像記録システムなどの性能向上は著しく、近い将来、営業列車等を利用してトンネル内面を撮影できるシステムが実用化できる見込みは十分にあると考えている。今後は、前述した課題及びクラックの自動抽出の検討も併せて行う予定である。

参考文献

- 1) 鉄道トンネルの検査の自動化について コンクリート工学 Vol.44 No.5 2006.5 （投稿中）
- 2) レーザー光線による覆工コンクリートのひび割れ調査法の高性能化 土木学会論文集 No.788/V-67 2005.5 pp195-200