

(62) 地方自治体の道路維持管理を効率化する 走行型計測システムの開発

塩崎 正人¹・河村 圭²・西山 哲³

¹正会員 三井住友建設株式会社 技術本部 建設情報技術部 (〒104-0051 東京都中央区佃 2-1-6)

E-mail: MasandoShiozaki@smcon.co.jp

²正会員 山口大学大学院准教授 創成科学研究科 電気電子情報系専攻

(〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: kay@yamaguchi-u.ac.jp

³正会員 岡山大学大学院教授 環境生命科学研究科 応用計算力学専攻

(〒700-8530 岡山県岡山市津島中 3-1-1)

E-mail: nishiyama.satoshi@okayama-u.ac.jp

平成 26 年 6 月に策定された各種道路構造物の『定期点検要領』では、基本的に定期点検を 5 年に 1 度実施する点検サイクルが明記され、効率的な維持管理に向けた技術開発が喫緊の課題となっている。道路構造物においては、専用車両にデジタルビデオカメラやレーザー計測機器を搭載し、走行しながら撮影・計測する『走行型計測システム』の運用が開始されている。特に、供用中のトンネルにおいて、交通規制が不要という利点を活かすことで、交通量の多い幹線道路での適用に有効な計測手法であるといえる。しかし、専用車両での計測は高精度であるため高額となるケースが多く、地方自治体での運用が困難となっている。筆者らは専用車両を必要としない分解可搬型で安価な計測システムの開発を進めており、この撮影装置・画像処理について報告する。

Key Words: road maintenance, tunnel, crack, mobile imaging system, local government

1. はじめに

既設トンネルでは、道路管理者による日常的な点検として徒歩やパトロールカーでの遠望目視点検が実施されている。遠望目視点検によって発見された変状箇所については、高所作業車等を用いての近接目視や打音検査といった詳細調査が実施される。平成26年6月に策定された『道路トンネル点検要領』では、基本的に定期点検を5年に1度実施する¹⁾と具体的な点検サイクルが記載されたことから、効率的な維持管理に向けた技術開発が喫緊の課題となっている。また、紙ベースの点検調書からデジタルデータによる管理への移行も求められており、自動車にデジタルビデオカメラやレーザー計測機器を搭載し、高速走行しながら計測が可能な「走行型計測システム」の導入も進んでいる。

「走行型計測システム」の利点として、①道路占有が不要であること、②撮影・計測したデジタルデータを記録できることが挙げられる。しかし、高速走行が可能かつ高精度な計測が可能な専用車両を使用することから、

計測費用が高額となる場合がある。このため、高速道路会社や国土交通省直轄国道など限られたトンネルでの運用に留まっている。

『道路統計年報2016』²⁾によると、国内のトンネル本数は10,205本であり、高速道路・直轄国道が管理するトンネルが2,504本(25%)、地方自治体等が管理するトンネルが7,701本(75%)となっている(図-1)。全体の75%のトンネルを管理する地方自治体では、「走行型計測システム」を導入する予算が確保できない自治体もあ

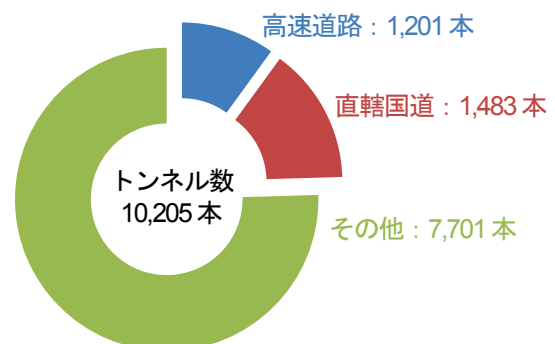


図-1 トンネル本数と管理機関の関係

り、従来からの点検方法を継続しているため、維持管理の効率化は進んでいない。

筆者らは「走行型計測システム」の幅広い普及を図るため、安価な撮影装置の開発を進めており、その研究成果を報告する。

2. 施工トンネルの竣工検査に向けた開発

(1) 試作1号機の開発

「走行型計測システム」は、弊社施工のトンネル竣工検査に適用することを目的とし、以下の仕様で撮影装置の開発を行った³⁾。

- ・一般的なワゴン車等で計測可能とする
- ・計測装置は車上に設置し脱着・収納可能とする
- ・カメラ等の機材は入手容易な市販品を使用する
- ・発電機を使わずバッテリー等で動作可能とする

弊社技術研究所が保有する公用車に分解して搭載することを可能とするため、加工が容易な木製とし、2011年に撮影装置（試作1号機）を製作した（図-2）。カメラは市販品のデジタルビデオカメラ5台、投光器はLED照明6台製作し、補助光源として高圧ナトリウムランプ2台を設置した。全てのカメラで撮影距離を一定とするため、車幅を超える形状となっている。これは供用前のトンネルを計測するため、道路交通法の制限を受けずに走行できることによる。また、カメラ機器の台数を減らすことで装置費用を低減させるため、スライド機構を設けて4回の撮影でトンネル半周を撮影可能とした。

本装置は、弊社施工のトンネル現場での竣工検査に適用した（図-2と図-3）。高圧ナトリウムランプを使用した場合、撮影動画にフリッカーが発生したことからLED照明のみで撮影を行った。

(2) 撮影画像の結合

この動画をキャプチャーし市販の画像処理ソフトウェアを使って、カメラ20台分の画像を手動で結合したものが図-4である。LED照明だけで撮影した場合、光量が足りず全体に暗い画像となっていることが判る、セントル半周分の結合画像を作成する場合、約600枚を結合する必要がある、結合画像作成には100分程度必要であった。最終的に施工区間全体の画像結合および手動による変状抽出には約2週間を要した。



図-2 試作1号機の装置パーツ



図-3 トンネルでの撮影状況

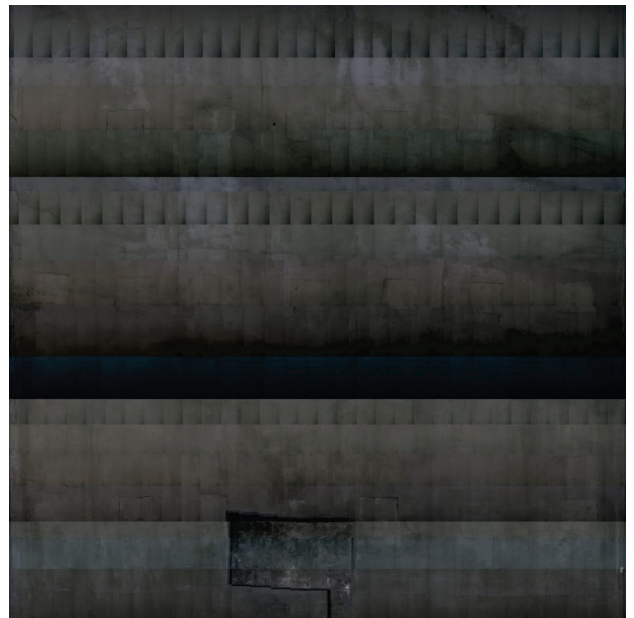


図-4 画像結合（セントル半周分）

3. 既設トンネルの点検に向けた開発

(1) 試作2号機の開発

試作1号機は、供用前のトンネルを想定した装置設計

であったが、これを既設トンネルの点検業務に適用するため、試作1号機の仕様を踏襲し、公道走行が可能な撮

影装置（試作2号機）を設計・製作した（図-5）⁴⁾。

試作2号機は公道を走行するため、車幅を超えない撮影装置が必要となったことから、カメラの距離を一定として撮影することが困難となり、側面と上面では撮影距離が異なっている。このため、計測への要求精度範囲内に収まるようレンズ倍率を調整する方法を採用した。デジタルビデオカメラの機種を変更し台数を6台としたことで、3回の計測でトンネル半周が計測可能となった。しかし、車幅内に撮影装置を収めたことで、装置下側の撮影ができなくなっている。投光器については、試作1号機での光量不足に対応し、新たに高輝度LED照明を製作し3台を配置した。

(2) 既設トンネルでの検証実験

山口県土木建築部のご協力を得て、山口県が管理する供用中の道路トンネルにて検証実験を行った。本トンネルは片側に幅3mの歩道があり、トンネル中心と道路中心がずれている形状であった。このため、片側ずつカメラ設定を変更して撮影を行った。走行速度は20～50 km/hと変化させて複数回走行し撮影を行った（図-6）。



図-5 試作2号機



図-6 既設トンネルでの撮影状況

(3) 画像結合プログラムの作成

手作業での画像結合作業を省力化するため、山口大学大学院河村研究室と共同で『画像展開図作成プログラム』を作成した⁵⁾。画像結合方法は、図-7に示すとおり連続撮影された前後画像の画像1、画像2とし、事前に設定した探索領域内で、2枚の前後画像を重ねるように移動させ、領域内の全画素について類似度を求める。類似度が最小となる座標 (m, n) で2枚の画像を結合させる。

市販の画像処理ソフトウェアと異なり一方向の連続した複数枚のキャプチャ画像を同時に結合することで、画像結合の高速化が可能となった。前章で撮影した撮影画像では、約 11,000 枚を約 126 分で結合が完了しており、手動と比較した場合の処理時間は 1/15 に減少した。本プログラムを使用した結合画像を図-8に示す。

4. 自動抽出手法の研究

公道走行が可能な撮影装置の開発および画像展開図作成プログラムを作成したことで、変状の自動抽出手法の研究に着手した。河村研究室では対話型遺伝的アルゴリ

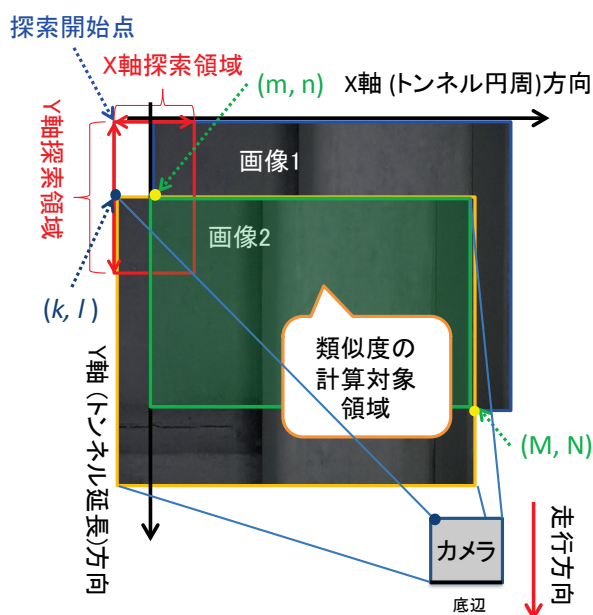


図-7 画像結合処理イメージ図（走行方向）



図-8 画像展開図作成ソフトによる結合画像（抜粋）

ズム (iGA) による変状抽出手法の研究を進めており、**図-9**のようなタッチパネルを使ってひび割れをなぞる半自動抽出ソフトウェアを開発している⁹⁾。画像から変状抽出を行う場合、気泡痕やコンパネ跡といった画像ノイズが存在していることから、このノイズを除去する必要がある (**図-10**)。一方で、本ソフトウェアは、作業者が視覚的にひび割れとノイズを選別することで、ひび割れ箇所だけを抽出することが可能となる半自動の抽出ソフトウェアである。

現在、このノイズを自動で除去する手法の研究を共同で進めている。ノイズは線状・塊状のものが混在しているため、ノイズの形状だけでは適切な除去が難しく、複数の手法を組み合わせる方法で、試行錯誤的に検証しており、結果については後日報告したい。

5. まとめ

今回の計測から以下の知見を得た。

- ・分解可搬型の走行型計測システムは専用車両と同程

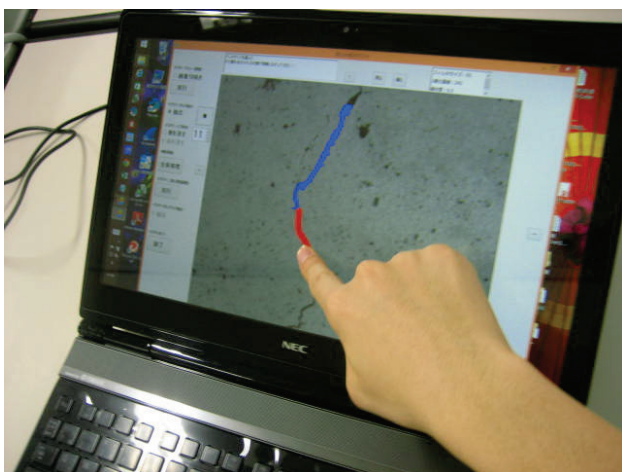


図-9 ひび割れをなぞるソフトウェア

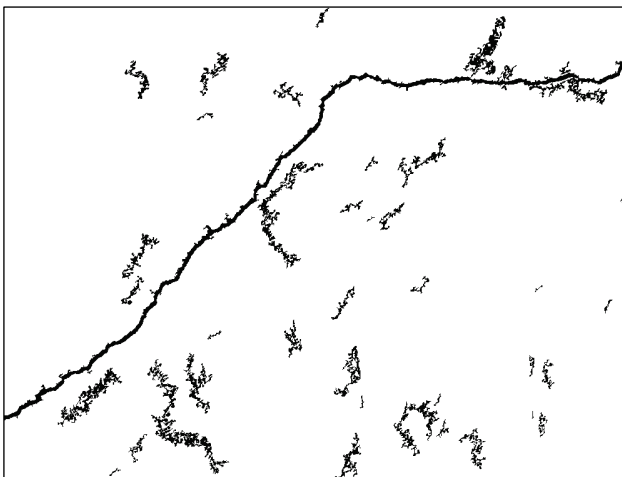


図-10 iGAによるひび割れ・ノイズの二値化画像

度の撮影が可能である

- ・画像展開図作成プログラムは高精度かつ高速で画像結合が可能である
- ・ノイズの形状は複雑であり、複数の手法を組み合わせる必要がある

分解可搬型の走行型計測システムは、道路維持パトロールカー等を利用することで、地方自治体等でも広く活用できると考えている。また、道路管理者が行っている日常点検についても効率化を図るため、走行型計測システムを導入したいと考えており、トンネルだけでなく道路付帯物の撮影も同時に行える撮影装置の開発を進めている。

地方自治体は多くの道路および道路付帯物を管理しているが、人的資源や維持管理に必要な予算が乏しい現状である。安価に運用可能な走行型計測システムを開発し、変状抽出を容易とすることで、広範囲への適用が可能となると考えており、早急実現する必要があると考えている。

謝辞：本研究は、平成25年度独立行政法人科学技術振興機構研究成果展開事業 A-STEP フィージビリティスタディシーズ顕在化タイプ【AS2511142H】における成果の一部である。ここに関係各位への感謝の意を表する。本研究にあたりご支援頂きました一般財団法人山口県建設技術センターの澤村修司様、有限会社テクノフラッシュの車田茂美様および株式会社双葉電機製作所の磯崎泰宏様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局 国道防災課：道路トンネル定期点検要領，p.8，2014.
- 2) 国土交通省：道路統計年報 2016，表 74-1 トンネル現況総括表，< http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2016/pdf/t_genkyou74.pdf>，(入手 2017.6.26).
- 3) 塩崎正人，掛橋孝夫，加藤健一，菊地典明，河村圭：デジタルビデオカメラを用いた車載型計測に関する基礎実験，第 67 回土木学会年次学術講演会，CS8-019，DVD-ROM，2012.
- 4) 塩崎正人，河村圭，吉村忠雄，飛田正人，加藤 健一：トンネル維持管理のための車載撮影装置の開発，2014 年度土木情報学シンポジウム講演集，Vol.39，pp.149-150，2014.
- 5) 松本潤児，河村圭，塩崎正人：トンネル壁面連続撮影画像からの画像処理による画像展開図作成手法の開発と検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.1，pp.1783-1788，2015.
- 6) 河村圭，村上慧季，塩崎正人：対話型遺伝的アルゴリズムを用いたひび割れ半自動抽出手法の研究，土木学会論文集 F3，Vol.71，No. 2，pp.I_114-I_122，2016.