

及び自治体への技術支援(研修)について

松山河川国道事務所 道路管理第二課 本田 祐亮

近年、トンネル定期点検における技術者不足が課題となっており、業務の効率化を行う必要がある。本稿では、令和元年度 松山管内トンネル点検業務において行った点検支援技術（走行型計測【MIMM】）を用いたトンネル点検の取り組みとその成果を報告する。また、道路メンテナンス担当者会議において愛媛県内の自治体職員向けの現場研修会の取り組みについても合わせて報告する。

キーワード 点検支援技術、走行型計測【MIMM】、トンネル定期点検、3Dモデル、研修会

1. はじめに

平成24年に発生した山梨県中央自動車道笹子トンネル天井版崩落事故を受け、社会資本の維持管理・更新の重要性が再確認された。この事故をうけて、平成25年の道路法第42条の改正により、道路トンネル定期点検は、「定期点検要領に基づき5年に1度、近接目視点検を行い、その結果を4段階に分類し、診断結果を保存すること。」と定められた。道路管理者はこれに従い人の手・目による近接目視(打音検査、触診含む)を基本とした定期点検(以下、従来点検)を行ってきた。しかし、従来の点検方法では交通規制が必要かつ人力で点検作業をしているため、交通誘導員や専門技術力を保有する技術者の確保が課題となっている。

走行型計測車両【MIMM】は、トンネル点検を行う際に用いられる機材であり、法定速度でトンネル内を走行しながら、画像撮影やレーザ計測を行い、解析することで交通規制を伴うことなくトンネル内の状態把握等が可能となる新技術である。令和元年度松山管内トンネル点検業務では、i-Constructionの一貫としてこの新技術を用いてトンネル点検を実施することで、従来行ってきた外業・内業をどこまで効率化できるのか検討を行った。

2. 測定方法・機器の概要

(1) 使用機材

今回使用した点検支援技術は「走行型計測車両

【MIMM】」である(図-1)。MIMMは20台のCCDデジタルビデオカメラとLED照明器ならびに高性能レーザを測定車両に搭載して、走行しながら片側ごとに覆工表面の動画撮影とレーザ計測を実施することができる。

CCDカメラによる画像計測（MIS：Mobile Imaging Technology System）は得られた動画をコマごとに静止画に変換し、振動などの歪みを除するための幾何補正などの処理を施し、再度合成することで覆工表面の展開画像を取得するシステムである。

レーザ計測 (MMS : Mobile Mapping System) は覆工コンクリート表面の凹凸や変形モードを把握するため、3次元レーザ計測を行い覆工内面の形状を3次元座標としてデータを取得する方法である。



図-1 車両外観図

(2) 計測方法

現地走行計測は、計測員、運転手、後方警戒車運転手の3名1班で計測を実施する(図-2)。

MISの事前準備ではカメラ調整を行う。事前に入力した覆工断面形状に応じたカメラの撮影角度・撮影

範囲・焦点などの設定値を確認する。計測はトンネル覆工面を半断面ごと（上下線もしくは走行・追越車線）に行い、壁面状況に応じて複数回計測を行う。MIS計測時は高照度での照明を必要とすることから、後方一般車両への追突災害を回避するために後方警戒車を配置する。

MMS計測は、計測前に機械に搭載されている慣性航法測量装置（GPS/IMU）を安定化させるために初期化走行を1時間程度実施する。初期化走行終了後に対象トンネル付近まで移動し、自己位置の精度向上を目的に、GPSの受信状態が良好な場所で5分以上FIX状態（GPSから自己位置の収束解を得られる状態）を維持し、その後、トンネル内の計測を行う。計測後はGPS受信状態が良好な場所に再度停止しFIX状態を回復・維持する。



図-2 計測状況

(3) 後処理作業

後処理作業では、現地計測した壁面画像（MIS）、3次元点群データ（MMS）を処理し、総合解析を実施する。

①展開画像作成（変状入力）

取得した複数台のCCDカメラデータの接合、補正を行い、画像データを作成し、ひび割れ、うき、漏水等の変状のトレースを行う。

②高精度処理（変形コンタ解析）

高精度レーザ（MMS）で得られた点群データを世界座標系での座標定義に変換し、500分の1（国土地理院認定）の地図とする。またそれを用いて変形コンタを作成する。

3. 走行型計測車両【MIMM】の活用方法

走行型計測車両を活用するに当たり、今後の展開・活用方法などを見据え、2ケースの活用方法について提案し、検証を行った。

ケース1は、従来点検を実施した後で計測作業を行い、データを取得する方法とした。従来点検後の計測のため、覆工表面にチョーキングされた状態で画

像撮影することで、従来点検後の記録作業省略や見落とし防止などに役立つと考えられる。

ケース2は、従来点検前に計測作業を行い、データを取得する方法とした。取得したデータより画像展開図を作成し、それを用いて事前に重点点検箇所などを把握し重点点検箇所の近接目視点検並びに計測できない打音検査・触診などを実施することで、点検作業の効率化が図れると考えられる。さらに今回の実施では、画像展開図と現地の状況を比較することで、走行型計測の変状抽出精度を確認し、近接目視の代替と出来るかなど今後の活用方法などを検討した。

また、実施したトンネルのうち2トンネルで「点検支援技術（画像計測技術）を用いた3次元成果品納品マニュアル（案）/平成31年3月/国土交通省」に従い、3次元モデルを作成した。

4. 変状抽出精度の確認

今回取得した画像展開図より主な変状（ひび割れ、うき、漏水）の抽出精度を前述した2ケースで確認を行った。

ひび割れの抽出精度は2ケースで大きな差は無く、精度は確保出来ていると考えられる。しかし、ひび割れ幅は従来点検で計測した値と異なる箇所が多く見受けられた。

うきは、ケース1では従来点検後に計測するためチョーキングが残っており、抽出精度は高いと考えられる。ケース2では、従来点検前に計測するため、チョーキングは残っておらず、うきを検出する技術は搭載していないことから、うきの抽出は難しいと考えられる。

漏水は、壁面が濡れている状態は把握できるが、時期によって状況変化することが多く、計測時期で大きな差が出る。これは従来点検でも同様であり、ケース分けによる違いは無いと考えられる。

5. 走行型計測【MIMM】の成果と考察

走行型計測【MIMM】の主な成果は、変形コンタ及び画像展開図である（表-1）。それらの取得データより3次元モデルを作成した。

表-1 成果の概要

成果	概要
変形コンタ	MMSより取得した点群データをトンネル断面に変換したデータ
画像展開図	MISより取得した壁面画像から各種変状を抽出し、トンネルの様々な状態を把握するためのデータ

(1) 変形コンタ

変形コンタは、標準断面図と走行型計測【MIM】で取得した点群データよりトンネル全体の変形傾向を確認することが出来た(図-3)。標準断面図より多少の変形は認められるが、関連性のあるひび割れ等が無い場合、問題は無いと考えられる。

対象トンネルでは走行型計測を初めて実施したため、これが初期データとなり、次回以降の計測でこの初期データと比較することで外力等に伴う変形進行性が明確となる。

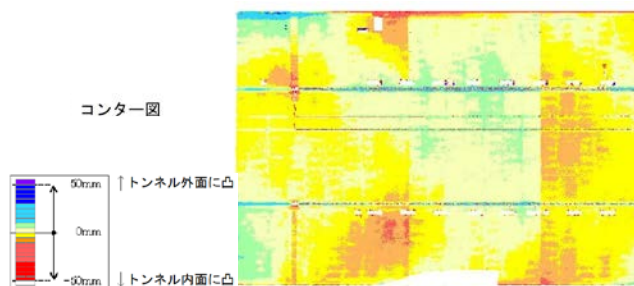


図-3 変形コンタ (栗井坂TN下り)

(2) 画像展開図

MISにより取得した画像展開図は、画像を拡大することでトンネル壁面の状態や附属物取付部の確認など、近接目視と同等の確認が行えた(図-4)。従来点検で得られる変状展開図の代替と出来ると考えられる。

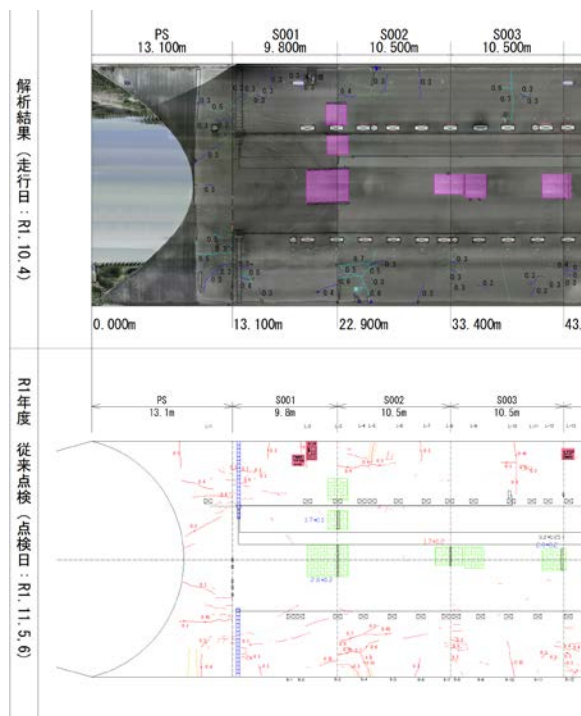


図-4 画像・変状展開図 (栗井坂TN下り)

(3) 3次元モデル

MIS、MMSにより取得したデータを基に3次元モデルを作成した(図-5)。前述した「3次元成果品納品マニュアル(案)」で対象とされる成果品は主に、点検写真、メタデータ、損傷形状モデル、ビューアである。

①点検写真

従来点検及びMISで撮影した写真を点検調書の変状番号と整合する形で整理した。

②メタデータ

点検写真の位置情報や損傷情報などを記載したデータとした。

③損傷形状モデル

ユーザーが損傷の位置、形状、内容等が把握できるように点検写真と3次元モデルがリンク付けされたモデルとした。

④ビューア

どんなユーザでも利用可能なフリーソフト「Navisworks Freedom」とした。

3次元モデルを活用することで、現場に行かなくても計測時のトンネル状況を3次的に確認することができ、現場状況の把握が非常に容易となる。また、これらの資料を点検調書と整合を取らせることにより、資料の見比べを容易にした。

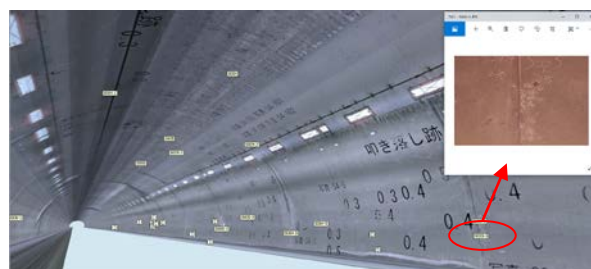


図-5 3次元モデル (大谷TN下り)

6. 今後の課題と展望

(1) 今回の課題

走行型計測によるトンネル点検について今後の課題は、打音検査の必要性和変状の抽出精度であった。トンネルの変状として最も多く発生するのはうきであり、これは利用者被害に直結するものである。現状では、走行型計測によるうきの検出は難しいため、打音検査(現場作業)は避けては通れない。

変状抽出精度については、ひび割れ幅の計測方法が従来点検と走行型計測では異なり、今回計測したトンネルでも相違が出てしまったため、どちらかに絞って維持管理していく必要がある。また、変状抽出は段階的に人の目による確認が必要なため、診断技術を保有する技術者の育成、確保も課題となる。

(2) 今後の展望

近い将来、走行型計測が近接目視に代替する技術と認められれば、計測結果より重点点検箇所（近接目視、打音検査、（触診））を抽出し、点検作業を実施することで、作業時間や交通規制時間の短縮が図れ、点検作業の効率化アップや事故などのリスク防止にも繋がる（図-6）。

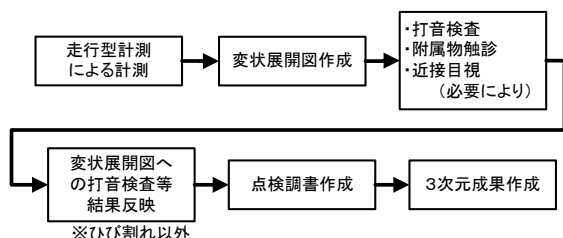


図-6 走行型計測活用【R2より可能（案）】

さらに、走行型計測によるうき検出技術が進歩することで、現場での点検作業及び通行規制が不要となり、事故等によるリスクをなくすことが出来る。また、将来AI技術の進歩により点検調書の自動作成も出来るようになると考えられる。これらの走行型計測で得られたデータをトンネル詳細設計・施工時の3次元データと組み合わせることで、より効率的に維持管理を行っていくことが出来ると考えられる。



図-7 走行型計測活用【将来】

本技術は現時点では従来点検と比較するとコスト高となっているが、将来的には本技術が定着し、機械のリース代等が安くなることで、コスト低減につながる可能性は十分ある。

7. 自治体等への技術支援

トンネル等の保守・点検にかかる費用や人手不足の問題は国土交通省だけでなく、各県・市などの自治体でも大きな問題となっている。そこで、松山河川国道事務所では、令和元年度 第3回 愛媛県道路メンテナンス担当者会議にて本技術に関する研修会を開催した（写真-1）。

研修会の内容は、走行型計測車両【MIMM】の計測方法・計測結果等の説明を座学で行い、その後屋外に実機を用意し計測機器などの詳細な説明を行った。この研修会は自治体などからも 40 名程度参加し、点検支援技術の現状と将来の方向性、実機内部で実際

の計測データなども確認頂き、大変興味深く話を聞いていただいた。終了後には「保守点検等に新技術を導入したい」といった意見が多数いただいた。今後も i-Construction をはじめとした新技術の活用事例は四国地方整備局内だけにとどめるのでは無く、各県・市へ情報提供を行うことで、国道だけでなくそれらの自治体が管轄している生活道路も含めてより効率的に四国地方の強靱化を進めていきたい。今後もメンテナンス担当者会議等を通して、その都度新技術に関わる情報を地方自治体と情報交換していきたい。

一方で、各自治体の担当者からは「コスト面で縮減効果はあるのか」といった声もあり、自治体が点検に掛かるコストを重要視している現状が分かった。自治体のニーズの多くは「点検コストの縮減」であり、今後自治体への新技術の定着はコスト縮減につながるものでなければならないと感じた。現状、i-Construction の目標である生産性向上について、作業時間の縮減という面では一定の成果を得られてきたが、今後は費用の縮減という面も含めて生産性向上を目指す必要があるのではないだろうか。



写真-1 研修会状況

8. おわりに

今回の業務を通して、MIMMを使用したトンネル点検方法は従来の点検方法よりも効率的であると分かった。今後も松山河川国道事務所は、走行型計測を活用しながら効率的にトンネル点検を実施していく予定である。また、それらの活用事例は地方自治体等と情報共有し、生活道路も含めた四国地方全域の強靱化につなげていきたい。

9. 謝辞

お忙しい中、本稿の作成にご協力いただいた関係者のみなさま、本当にありがとうございました。