

走行型計測車両を使用した トンネル点検について

香川河川国道事務所 道路管理第二課 維持修繕係 村上 果奈
道路管理第二課長 佐野 修
維持修繕係長 砂川 大和

道路トンネルについては、従来、近接目視による点検が行われてきた。しかし近年、走行型計測車両による点検等、新しい点検技術が開発され、実用化されている。当事務所では令和3年度において走行型計測車両による点検を行ったことから、その結果を報告する。

キーワード トンネル点検、画像処理、省力化

1. トンネル点検について

道路トンネルは、損傷、腐食その他の劣化その他の異状が生じた場合に道路の構造又は交通に大きな支障を及ぼすおそれがあることから、道路法では、5年に1回の頻度で点検を行うこととされている。

当事務所は、管理区間内に4本のトンネルを有しており、これらについても点検を行っているが、近年、点検技術の開発が進み、点検精度の向上や省力化が期待されている。そこで、令和3年度の点検に際し、走行型計測車両による点検を実施したので、その結果を報告する。

2. 点検の実施

(1) 点検対象

点検対象は、当事務所管内の引田トンネル・前山トンネル・金山トンネル（上下）の4本である。4トンネルの位置・諸元・現地状況を以下に示す。

表-1 各トンネルの諸元

トンネル名	引田トンネル	前山トンネル	金山トンネル（上り）	金山トンネル（下り）
トンネル長さ	76m	595m	480m	574.5m
竣工年	1953年	2015年1月	1982年	1987年
築造法	矢張工法	NATM	矢張工法	矢張工法
経路別	一般国道11号 一般道	国道11号B	一般国道11号 一般道	一般国道11号 一般道
所在地	香川県高松市御幸地区	香川県高松市御幸地区・川東	香川県高松市（高松市）～ 伊予市松江町	香川県高松市（高松市）～ 伊予市松江町
管理	香川河川国道事務所	香川河川国道事務所	香川河川国道事務所	香川河川国道事務所
照明設備	照明	LED 14灯	LED 64灯	LED 47灯
	フラットファン	無	無	無
	監視カメラ	無	無	有
	照明・監視カメラ	無	無	有



写真-1 引田トンネル



写真-2 前山トンネル



写真-3 金山トンネル（上り）



図-1 トンネル位置図



写真-4 金山トンネル（下り）

(2) 点検の実施

対象となった4本のトンネルについて、高所作業車を用いて、部材の変状などの状態を把握し評価が行える距離まで近接し、肉眼による近接目視点検を行った。また、点検用ハンマーを用いて、コンクリートのうき、はく離の有無とその範囲等を確認した。点検結果については道路トンネル定期点検要領等に基づき判定・診断を行った。高所作業車による点検状況を写真-5に示す。



写真-5 高所作業車を用いた点検の状況

(3) 点検内容について

点検については、近接目視点検・打音検査・触診を行った。

近接目視点検では、覆工アーチ上部や坑門の上部等に対して、肉眼により部材の変状などの状態を把握し評価が行える距離まで近接し、ひび割れ、うき、はく離、漏水の状況の確認を行った。内装版の確認にあたっては、必要に応じて手鏡等を使用して確実に点検を行った。

打音検査では、附属物取り付けボルト・ナット等について打診し、緩み等の異常の有無を確認することとした。頭部重量100g～300g程度の点検用ハンマーを用いてコンクリートのうき、はく離の有無とその範囲等を確認した。打音検査は、以下の点に対し実施することを基本とした。

- 前回の定期点検で確認されている箇所
 - 新たに変状が確認された箇所
 - 対策工が施されている箇所及びその周辺
 - 水平打ち継ぎ目・横断目地部及びその周辺
- 打音検査におけるうき・はく離の有無の関係は表-2

に示す。濁音箇所を「有り」として、静音箇所は「無し」とした。打音検査の結果は打検表に記録するとともに、濁音部はマーキングを行い、その箇所を明確にし、日常点検時に確認出来るようにした。利用者被害を引き起こす可能性が高いと判断されたうき、はく離についてはハンマー等で、できる限り叩き落とし叩き落とした状況は点検調書に記載した。

表-2 打音による判定の目安

判定	打音	状況	剥離の有無
清音	キンキン、コンコンといった清音を発し、反発感がある。	健全	無し
濁音	ドンドン、ドスドスなど鈍い音がする。	劣化、表面近くに空洞がある。	有り
	ポコポコ、ペコペコなど薄さを感じる音がする。	浮き、はく離している。	

3. 走行型計測の実施

(1) 目的

今回の走行型計測によるトンネル点検では、今後の画像変状展開での維持管理の基礎資料を得ると共に、トンネル断面の可視化による作業の効率化及び、変状位置・規模・付属施設の位置等の精度向上を目的として、走行型計測並びにトンネル坑内壁面点群データを活用したコンタ解析を実施した。

(2) 技術の概要

今回使用したのは、走行型高速3D計測システム（以下、MIMM（ミーム）と略す）である。MIMMは、20台のCCDデジタルカメラとLED照明並びに高性能レーザを測定車両に搭載し、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技術である。

得られた動画についてはコマごとに静止画に変換し、振動などの歪みを除去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できる。さらにレーザ計測にて覆工コンクリート表面の凹凸や変形モードを把握し、覆工内面の形状を3次元座標として取得することができる。今回使用した機器の概要、機能及び仕様を以下に示す。

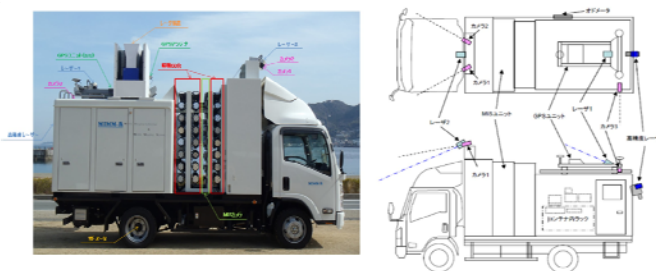


図-2 点検車両の外観等

概要説明(機能)	
走行型画像計測法(MIS)  	複数台のCCDカメラ・照明を自走式車両に搭載し、トンネル壁面を撮影する手法。 交通規制を必要とせず、一般走行を妨げない速度で計測可能。 ※1) MIS; CCDカメラによる画像計測
GPSアンテナ(MMS) 	衛星から発する電波を受信するアンテナ。現在の緯度、経度、高度を算定することができ、正確な位置情報を検出。 ※2) MMS; 3次元レーザ計測(点群データ計測)
高精度レーザー(MMS) 	1秒間に最大100万点の点群データを取得可能な装置。 1台で横断方向360度の範囲を取得可能であり、標準レーザーより高精度な計測を行う。

図-3 搭載機能の概要

表-3 MIMM 車両仕様

走行型計測車両(MIMM-R)仕様		
車両部	幅	2.08m
	高さ	3.70m
	長さ	5.99m
MMS 部	GPS アンテナ	3 台
	IMU	1 台
	標準レーザー	2 台
	レーザー計測点数	27100 点/sec (180 度)
	カメラ	3 台
	カメラ画素	最大 500 万画素 (8bit Raw)
高精度レーザー部	回転速度	200 回転/sec
	レーザー計測点数	100 万点/sec (360 度)
MIS 部	記録方式	カメラ方式
	搭載数	20 台
	有効画素数	38 万画素
	分解能	設定により可変
	計測速度	最大 80km/h (高速道路計測可能)
	実計測例	70km/h で 0.2mm のひび割れ検出
	記録画像	カラー
照明部	照明器	LED 投光器 64W
	搭載数	60 台

(3) 計測

計測については、一般交通への影響を軽減するため、夜間に行った。計測状況を写真-6に示す。



半断面ごとに複数回計測する。

写真-6 計測状況

また、計測のフローを図-4に示す。計測は半断面ごとに複数回行っている。MMS計測は、計測前に慣性航法計

量装置(GPS/IMU)を安定化させるための初期化走行を一時間程度実施した。その後、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の受信状況が良好な場所で5分以上GPSから自己位置の収束解を得てからトンネル内の計測を行った。

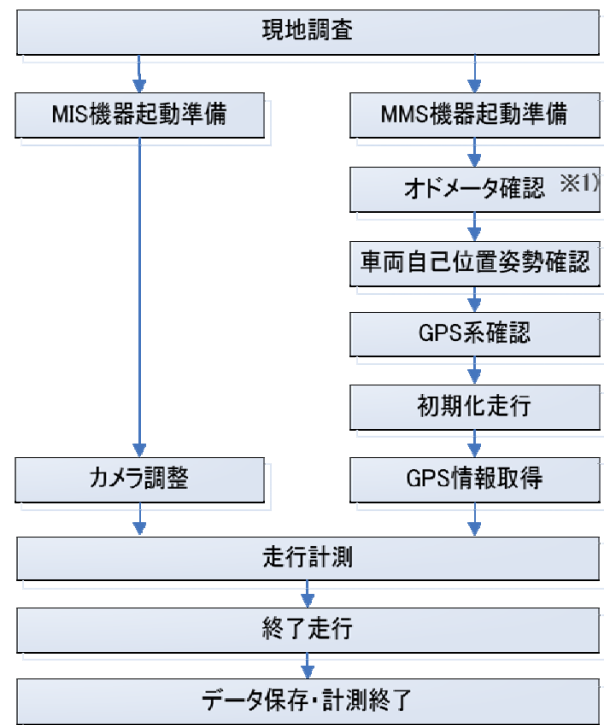


図-4 計測フロー

※1) 距離を計測する装置であり、衛星不可視時において、車両の移動程度を補完する、距離計(速度計)である。

(4) データ処理

計測したデータについて行った展開図作成等のデータ処理をフローを図-5に示す。まず、取得した複数のCCDカメラデータの接合、補正を行い画像データを作成する。(写真-7) その後、作成した展開画像からひび割れ、漏水等の視認可能な変状を抽出する。(写真-8)

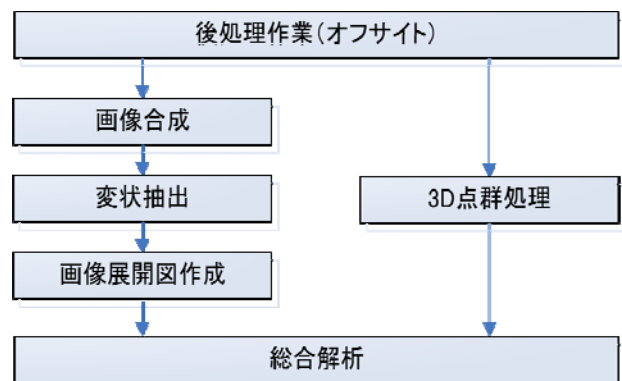


図-5 データ処理フロー

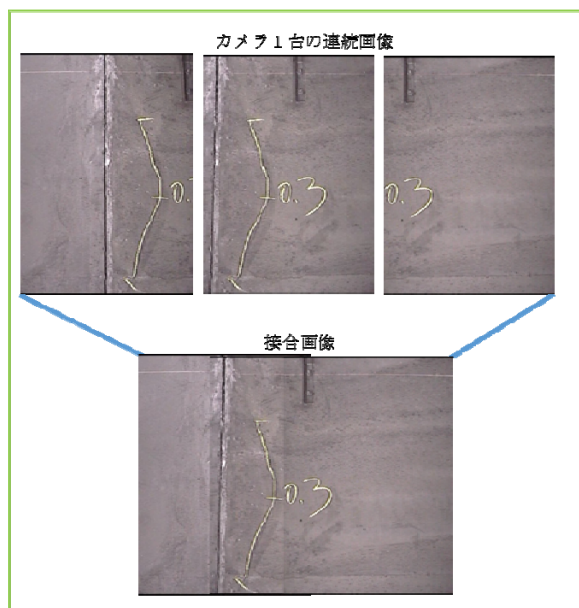


写真-7 接合イメージ

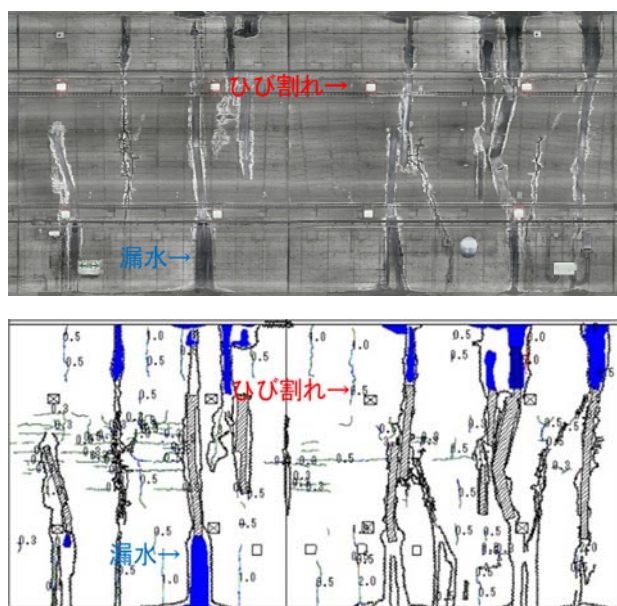


写真-8 変状抽出イメージ

(5) 走行型計測(MIMM)と従来点検の対比

従来点検による変状展開図と走行計測による画像変状展開図の比較を行った。(写真-9)従来点検、走行型計測とも大きな相違は見られなかった。そのため、点検精度の確保は出来ていると考える。しかし、うきの有無に関しては走行計測の画像からは抽出することができなかったため、うきの有無が反映されていない画像変状展開図との比較となった。また、ひび割れについては大きな相違は無いものの、人による従来点検と機械による画像点検の違いがあるため、今後どちらで維持管理するのか方針の統一が必要である。

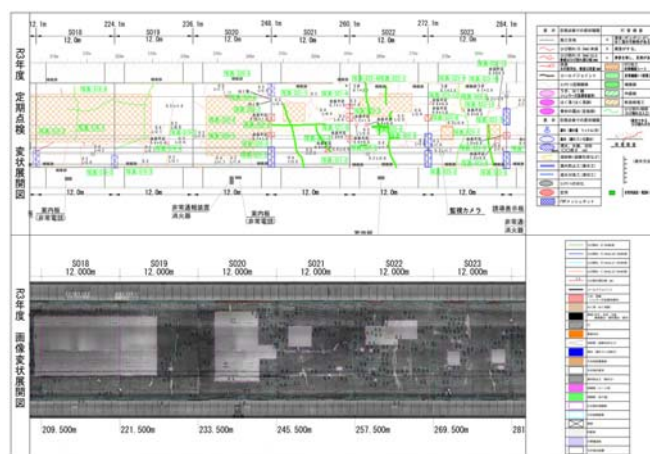


写真-9 定期点検 変状展開図と画像変状展開図との比較

4. まとめ

今回、走行型計測車両をトンネル点検で使用した結果従来の点検に比べ現場の規制日数が大幅に削減された。従来の点検作業を行う場合、1つのトンネルに1日作業時間を使うが、走行型計測車両の場合2日で全てのトンネルの点検作業を行うことができた。利用者への影響軽減や現場での安全性は向上につながると考えられる。それに加えて、点検後も画像による点検時の変状の状態などを視覚的に確認することができ、現場に行くことなくトンネル内の変状の状況を確認することができる。

しかし、トンネル定期点検において最も重要な事項である利用者被害に大きく影響するうき、はく離については抽出することが困難であった。そのため、走行型計測車両を利用した場合でも、打音検査や叩き落としなどの現場作業は発生することになる。また、走行型計測でも変状抽出の際、段階的に人の目による確認が必要であるため診断技術を保有する技術者の育成や確保も必要である。点検費用については、走行型計測車両を利用した方が費用はかかるが、活用が進んでいくことで金額差は僅差となり、将来的には経済的になることが予想される。

将来的な展望として、走行型計測車両が近接目視点検の代替となることで、現場作業では重点点検箇所（打音検査、叩き落とし）のみの点検を実施することができる。作業時間や交通規制時間の短縮により、作業時間の縮小化や作業効率のアップ、維持管理の品質の向上に期待が出来ると考える。

最後に、本業務のトンネル点検に対し、ご協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表し、走行型計測車両によるトンネル点検の報告とする。

参考文献

- 1) トンネル定期点検要領, H31.3.