

トンネル維持管理における走行型計測の適用

重田 佳幸¹・田近 宏則²・西川 啓一³・下澤 正道⁴・安田 亨⁵

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒163-6018 東京都新宿区西新宿6-8-1)

E-mail:yoshiyuki.shigeta@tk.pacific.co.jp

²正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒541-0052 大阪府大阪市中央区安土町2-3-13)

³正会員 三菱電機株式会社 (〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-7-3)

⁴正会員 計測検査株式会社 (〒807-0821 北九州八幡西区陣原1-8-3)

⁵正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒163-6018 東京都新宿区西新宿6-8-1)

走行型計測システム(MIMM)は、トンネル用に開発された走行型画像計測(MIS: Mobil Imaging Technology System)、走行型レーザ計測(MMS: Mobile Mapping System)の一体型車両である。時速50km程度での計測が可能であるため、交通規制を必要としない効率的な点検が可能である。また、従来の目視主体による点検と比較して客観的なデータが取得できるため、遠望目視点検や詳細調査の一部代替としての活用が期待される。本報告は、実トンネルへの適用事例を踏まえ走行型計測(MIMM)の変状検出精度や適用性について検討したものである。

Key Words : tunnel maintenance, management, mobil imaging technology system, mobile mapping system

1. はじめに

トンネルの維持管理は、一般に点検、調査、対策の流れで進められる。現在、道路トンネルの点検は、「道路トンネル定期点検要領(案)」¹⁾に基づき、ひび割れや漏水等の変状把握や覆工の浮き・剥落等の記録と除去(応急措置)、標準調査の要否判断等を目的として、近接・遠望目視、打音点検が2~5年ごとに実施されている。トンネル点検は、暗所で上向きに行う厳しい条件下で実施するために、点検者によるバラツキ、見落としなどがあること、および変状の進展を客観的に評価することが困難であるという問題がある。また、近接目視点検、打音検査は、交通規制下で高所作業車を用いた作業となるため、危険作業として位置付けられる。

点検結果はあくまで応急対策の必要性に主眼を置いた点検結果の評価(A,B,S)であり、点検結果だけで健全性評価(3A,2A,A,B)を行っている訳ではない。本来であれば、点検結果から標準調査の必要性を判定し、調査を行った上で健全性評価を実施し、必要性に応じて恒久対策を実施する流れとなる。しかし、厳しい予算制約のもと、調査を実施するケースは変状が顕著な場合に限ら

れており、点検には交通規制を伴うことも大きな制約となっており、計画的に点検を行うことさえ困難な現状にあるため、効率的で客観的な評価判定のできる手法の開発が望まれていた。

このような背景のもと、トンネル点検の効率的で客観的な評価判定を行う技術は、覆工表面の変状把握を目的とした車載カメラやレーザスキャン技術を用いた走行型画像計測やトンネル断面形状、変形モードの把握を目的としたレーザ計測などの技術が開発され導入されつつある。特に走行型画像計測は、NEXCO、国土交通省、地方自治体で適用事例が多くみられる手法である。

また、近畿地方整備局が主体となり実施している新都市社会技術融合創造セミナー(委員長:大西有三 京都大学副学長)「トンネル健全性評価プロジェクト(H18年度~H20年度)」²⁾の成果からトンネル点検に有用と評価されていた走行型画像計測(MIS: Mobil Imaging Technology System)、走行型レーザ計測(MMS: Mobile Mapping System)の一体型車両(MIMM: ミーム)が開発された。

本報告は、走行型計測システム(MIMM)の変状検出精度や適用性について、実トンネルにおける事例を踏まえ報告するものである。

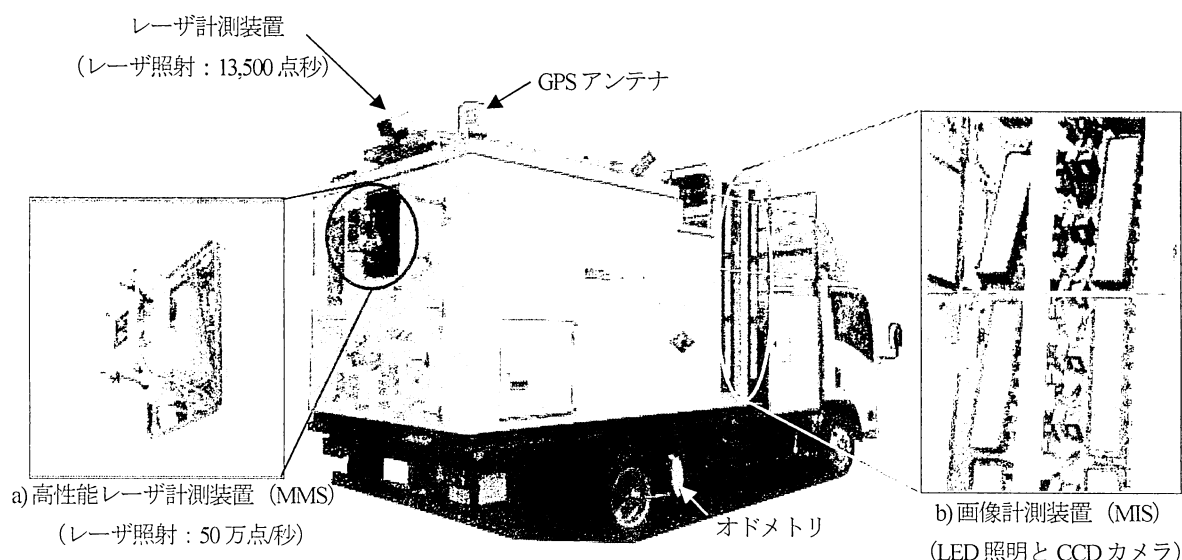


図-1 走行型計測システム (MIMM) の外観

表-1 走行型計測システム (MIMM) の構成

	パーツ	台数	備考
MIS部	LED照明	18台	240W
		6台	120W
	カメラ	16台	38万画素
MMS	GPS	3台	2周波1台 1周波2台
	IMU	1台	3軸 FOG/3軸加速度計
	オドメトリ	1台	右後輪
	レーザ	2台	13,500点/秒
	カメラ	1台	500,000点/秒
車両	3t車	4WD	エアサス仕様

表-2 走行型計測システム (MIMM) の仕様

項 目		仕様
位置精度	車両自己位置	0.06m (rms)
	レーザ点 (5m)	0.10m (rms)
高 さ 精 度		0.15m (rms)
方 位 精 度		0.18° (rms)
ピ ッ チ 精 度		0.36° (rms)
ロ ー ル 精 度		0.72° (rms)
標 準 計 測 速 度		5～50km/h
最 高 計 測 速 度		80km/h
段 差		最大10cm

2. 走行型計測システムの概要

走行型計測システム (MIMM) の概要を図-1 に示す。また、システムの構成とシステム仕様を表-1、表-2 にそれぞれ示す。

走行型計測システム (MIMM) は、図-1 a) のレーザ計測装置と図-1 b) の画像計測装置および GPS、オドメトリ等から構成されている。レーザ計測装置は、分解能 0.1mm、レーザ照射能力 500,000 点/秒であり、従来型 (レーザ照射能力 13,500 点/秒) より高精度の点群データを取得することが可能である。

画像装置は、16 台の CCD カメラ (38 万画素) と 24 台の LED 照明から構成され、走行速度 70km/h で 0.5mm 程度のひび割れを認識できる (最小 0.2mm)。

走行型計測システム (MIMM) の特徴としては、時速 50km/h 程度で走行しながら計測が可能であるため、交通規制を必要としないため、安全性と効率性の向上が図られる点が挙げられる。

3. 走行型画像計測 (MIS) における変状評価

(1) 概要

トンネルの変状の進行性は、ひび割れの幅や長さ、本数の変化により評価される。従来の目視主体の点検や調査においては、厳しい条件下で実施され、バラツキや見落としが懸念され、さらにスケッチであるため、変状の位置が不正確な場合もある。そのため、定期点検においてトンネル変状の進行性把握は困難な場合が多い。

走行型計測システム (MIMM) は、複数台の CCD ビデオカメラにより連続画像を取得し、正確に記録できるため、客観的な評価が期待される。

走行型画像計測 (MIS) の評価の客観性を供用中の道路トンネルの計測データにより確認した。走行型計測 (MIMM) による計測は、速度 50km/h で走行し、後日に確認のため近接目視、打音検査を実施した。

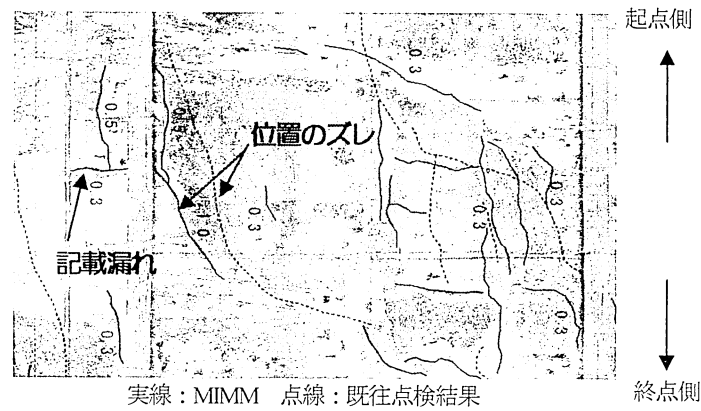


図-2 変状展開図の比較

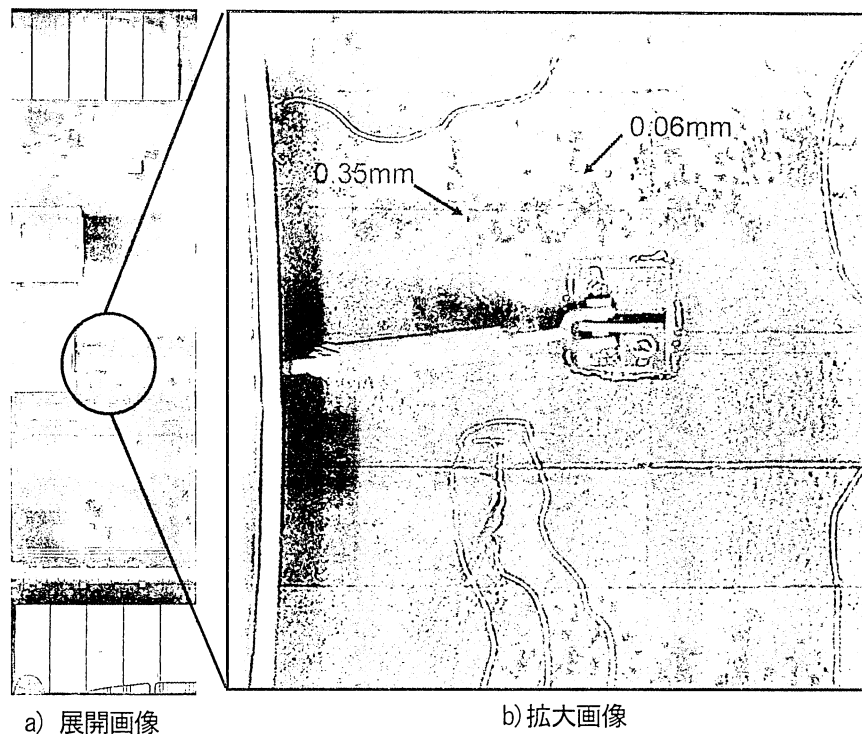


図-3 ひび割れ検出結果

(2) ひび割れ検出性能の確認

図-2に過年度点検と走行型計測（MIMM）との展開図の比較を示す。図は、展開画像と画像から抽出した変状展開図および過年度点検のスケッチによる展開図を重ね書きしたものである。図中の点線が過年度点検のもので、実線が走行型計測（MIMM）によるものである。両者を比較するとひび割れや補修工等の変状の位置、形状に差異がみられることがわかる。

走行型計測（MIMM）のひび割れ検出例を図-3に示す。当該箇所は、ジェットファンの取り付け金具周辺である。チョーキングは過年度に実施された近接目視点検時のものである。図中矢印で示した箇所にひび割れが見られ、画像解析時点では、ひび割れ幅をそれぞれ0.3～0.5mm、

0.3mm未満と区分していた。現地確認時にひび割れ幅をクラックスケールで測定したところ、0.35mm、0.06mmのひび割れとして確認できた。過年度の点検時のチョーキングにはエンドラインが描かれていることから、走行型計測により発見したひび割れは進行性のものであることがわかる。なお、煤煙が多量に付着したトンネルや内装板との境界付近は、輝度が著しく異なる場合があるため、複数回の走行を行う必要がある。

(3) 剥落危険箇所の検出

道路トンネル定期点検の重要な目的の一つは、利用者被害につながる変状の把握と応急措置である。走行型計測（MIMM）による剥落危険箇所の検出は、展開画像により実施した。トンネルにおける剥落危険箇所は、横断

		既往点検結果	走行型計測結果	現地確認
着目箇所1	写真			
	概要	部位区分 変状 覆工(アーチ) うき 目地部のうき。 (0.05×0.6m)	部位区分 変状 覆工(アーチ) うき MIS、目視点検からは上部部分のうきが進展しているようにも判断できる(たたき点検検討箇所)。	部位区分 変状 覆工(アーチ) うき うきあり。打音による、剥落なし。b判定変化なし。
着目箇所2	写真			
	概要	部位区分 変状 覆工(アーチ) うき 目地部劣化。 (0.2×0.5m)	部位区分 変状 覆工(アーチ) うき MISからは白い部分が増え、若干変状の劣化進行があるように判断できる。	部位区分 変状 覆工(アーチ) うき 打音により、白い部分にウキあり。一部叩き落した。白い部分は、表層劣化した部分。b判定変化なし。
着目箇所3	写真			
	概要	部位区分 変状 覆工(アーチ) うき 目地部のうき。 (0.05×0.4m)	部位区分 変状 覆工(アーチ) うき MIS、目視点検からはうきの進行があるように判断できる(たたき点検検討箇所)。	部位区分 変状 覆工(アーチ) うき 目地部にウキあり。打音で一部剥落。b判定変化なし。目地部が黒色に変色している場合、剥落する。モルタル補修。
着目箇所5	写真			
	概要	部位区分 変状 覆工(アーチ) 豆板部、剥離、剥落 センター部に骨材露出及び表面劣化 (0.1×2.1m)	部位区分 変状 覆工(アーチ) 豆板部、剥離、剥落 変状展開図ではうき記載されていないが、MISよりうきが確認できる(記載漏れ:覆工上にはチョーキング跡がある)。	部位区分 変状 覆工(アーチ) 豆板部、剥離、剥落 豆板部打音確認。剥落はなし。b判定変化なし。

図-4 剥落危険箇所の確認結果

目地部やひび割れ交差部、閉合部にみられる場合が多いため、本検討では、特にこれらの箇所に着目した。図-4に剥落危険箇所の現地確認結果を示す。剥落危険箇所は、目地やひび割れ沿いが白色に変色した箇所や既往点検時の記録写真と比較して変化が見られた箇所を抽出して現地確認を実施した。

白色の変色は表層劣化の箇所である。打音検査を実施した結果、過年度点検と同一判定となり進行性はなかった。展開画像で黒色に変色している部分は、補修モルタルの場合と材質劣化の進行箇所であった。なお、判定の結果では、当初の判定から変化することなく、当初の走行型計測による判定は適正であったと判断される。

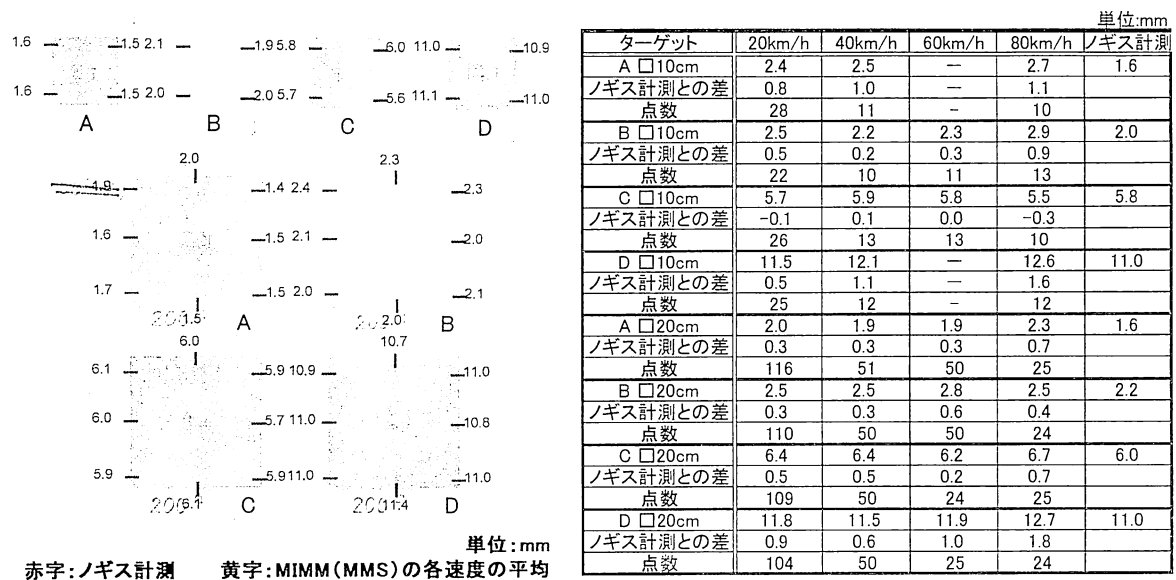
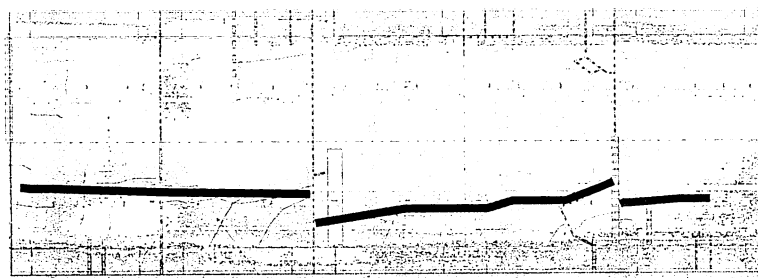
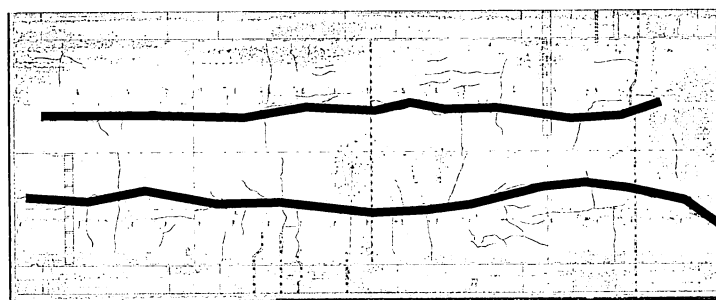


図-5 板厚計測結果



a)外力による変状



b)外力以外による変状

図-6 ひび割れ発生位置と変形モード

4. 走行型レーザ計測（MMS）における変状評価

(1) 概要

走行型画像計測（MIS）は、トンネル覆工表面の画像から展開図を作成するため、平面のデータである。このため、覆工に発生しているひび割れや目地部の段差等の情報が得られない。このため、走行型レーザ計測（MMS）によりトンネル覆工の3次元形状を計測することで、走行型画像計測（MIS）の補足を行うことができ

る。また、3次元点群データから計算²⁾によりトンネルの変形モードを把握することができ、トンネル変状が外力作用によるものか否かを推定することができる。

本検討では、走行型レーザ計測による段差計測精度と実際のトンネルにおける変形モードの解析例を示す。

(2) 段差計測精度の検討

走行型計測により目地やひび割れ沿いの欠けやブロック状の浮きおよび、ひび割れ沿い段差を対象として、凹凸、規模（大きさ）、走行速度をパラメータとして検討した。図-5に検討結果を示す。

検討の結果、ノギス計測との差は、速度50km/h程度で0.1～0.5mm程度、速度80kmで0.3～1mm程度の検出能である。速度が早くなるとターゲットに照射されるレーザー光が少なくなるため、精度が低下する傾向が窺える。

(3) 変形モードの検討

走行型レーザ計測（MMS）の3次元点群データから変形モードを算出し、走行型画像計測から得られた変状展開図と重ね合わせた図を図-6に示す。なお、変形モードの解析は、新都市社会技術融合創造セミナー（委員長：大西有三 京都大学副学長）「トンネル健全性評価プロジェクト（H18年度～H20年度）」²⁾の手法を用いた。図-6 a)は、偏圧による変状区間であり、ひび割れと内空側への変位が整合する。一方、図-6 b)は、ひび割れ幅が5mm程度と大きいものの、ひび割れ発生位置と変形モードとが整合しない。当該箇所の周辺地質は堅硬な花崗岩であり、外力以外の変状であることが確認されている。

5. まとめ

走行型画像計測（MIS）と走行型レーザ計測（MMS）の一体型車両である走行型計測システム（MIMM）による変状検出能とその適用について検討を行った。以下に得られた知見をまとめる。

- (1) 走行型画像計測（MIS）の展開画像を用いることにより、ひび割れ等の変状発生位置の情報がスケッチと比較して客観的に精度よく得られる。
- (2) 本検討では、速度50km/h程度の走行速度でひび割れ幅0.1mm未満の検出も可能なことが確認できた。
- (3) ターゲットの大きさと厚みをパラメータとして走行型レーザ計測の凹凸検出能を試験した結果、速

度50km/h程度で0.1～0.5mm程度、速度80kmで0.3～1mm程度の性能を有している。

- (4) 走行型レーザ計測の3次元点群データから算出した変形モードと走行型画像計測で得られた変状展開図を合わせて評価することで、変状原因（外力か否か）の評価が可能となる。

以上の結果から、走行型計測システム（MIMM）は、道路トンネル定期点検の遠望目視の代替として有用であり、また、詳細調査の一部代替としての活用が可能であることから、詳細調査コストを低減するなど、トンネル維持管理の効率化及びコスト低減が期待される。

従来の点検に比べ現場作業の効率化が図られているものの、走行型画像解析は、展開画像作成、変状抽出に1km当たり1週間程度の期間が必要となる。今後は、画像データの整理の自動化を進めることで更にコスト低減と効率化、迅速化が図られるものと思われる。

謝辞：本報告は、新都市社会技術融合創造セミナー（委員長：大西有三 京都大学副学長）「トンネル健全性評価プロジェクト（H18年度～H20年度：以下）」²⁾の手法を用いて国土交通省大阪国道事務所の清滝トンネル、北九州国道事務所の新仲哀トンネルにおいて実施した業務成果を取りまとめたものある。京都大学大西副学長をはじめ関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道課：道路トンネル定期点検要領（案），2002.
- 2) 新都市社会技術融合創造研究会 道路トンネル健全性評価プロジェクト：道路トンネルの健全性評価技術の研究 研究成果報告書，2010.

APPLICATION OF MOBILE TYPE MEASURING SYSTEM IN TUNNEL MAINTENANCE

Yoshiyuki SHIGETA, Hironori TADIKA, Keiichi NISHIKAWA,
Masamichi SHIMOZAWA and Tooru YASUDA

Mobile type measuring system (MIMM) which was developed for tunnel maintenance is a vehicle integrated MIS that is initial letter of Mobile Imaging technology System with MMS that is initial letter of Mobile Mapping System. It is a very efficient method of measurement where no traffic control required since measurements can be taken at traveling speed of 50km/h. And compared to conventional check which is mainly conducted by visual inspection, it is possible to get objective data. Therefore it is expected to be partial alternative to detail investigation and visual inspection. This paper is a report on the study of accurate deformation detection using MIMM and its applicability basing on examples of it's use in actual tunnels.