# トンネル走行型レーザー計測技術の精度検証

重田佳幸1・寺戸秀和2・前田洸樹3・山本秀樹4・安田亨5

<sup>1</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 交通基盤事業本部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22) E-mail:yoshiyuki.shigeta@tk.pacific.co.jp

> 2正会員 一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第一部 (〒417-0801 静岡県富士市大渕3154番地) E-mail: terato@cmi.or.jp

<sup>3</sup>正会員 ハ<sup>°</sup> シフィックコンサルタンツ株式会社 交通基盤事業本部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22) E-mail:kouki.maeda@tk.pacific.co.jp

<sup>4</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 交通基盤事業本部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22) E-mail:hideki.yamamoto@tk.pacific.co.jp

<sup>5</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 交通基盤事業本部 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22) E-mail:tooru.yasuda@tk.pacific.co.jp

近年、トンネルに発生したひび割れや漏水を把握するための画像計測システムやトンネル断面形状を把握するためのレーザー計測システムを同一車両に搭載したMIMMが開発され、変状を効率的かつ客観的に 把握する手法として活用した事例が多くみられる.特に走行型レーザー計測は、トンネル断面形状を高速 で計測できるため、出来形検測や変形の進行性評価への活用が期待されている.しかし、走行型レーザー 計測の計測精度については、局所的な段差等の計測精度を除き、十分な検証が行われていないのが現状で ある.本報告は、走行型レーザー計測の精度を把握するため、実物大の模擬トンネルにおいて測距精度に ついて検証結果を報告するものである.

Key Words: tunnel maintenance, soundness, mobile mapping system, deformation mode, accuracy test

# 1. はじめに

トンネル点検の効率化や客観性向上を目的として走行 型計測技術が開発され、点検の支援技術として活用され ている.トンネル定期点検の支援技術としては、覆工表 面の変状を把握するための走行型画像計測やトンネル断 面形状を把握するための走行型レーザー計測などがある. 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.さらに進ん だ走行型計測システムとして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研究会(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~H24年度)」が実施された. この成果を、H25.3に「走行型計測技術による道路トンネ ル健全性評価の実用化検討に関する研究」<sup>3</sup>としてまとめ、 走行型画像計測(MIS: Mobil Imaging Technology System), 走行型レーザー計測(MMS: Mobile Mapping System)の 一体型車両(MIMM: Mobil Imaging Technology System & Mobile Mapping System)のトンネル点検への有用性を報告している.筆者らは、この技術に巻厚・空洞レーダおよび内部欠陥レーダ(SIPにて開発)を追加搭載したMIMM-Rを開発した.

これらの技術の精度検証に関して、水口<sup>3</sup>らは走行型 計測車両を用いたひび割れ精度検証を行っており、 0.2mm以上のひび割れ検出率は94.7%と報告している. また、走行型画像計測結果と走行型レーザー計測から得 られる変形モード解析結果からトンネルの健全性や外力 変状の有無を評価するマネジメント法<sup>4</sup>として示され、 実トンネルへの適用性の検証<sup>5, 0</sup>などがなされている.

走行型レーザー計測(MMS)は、トンネルの断面計 測の他に計測した3次元座標から当該トンネルの平均断 面を推定し、各断面の形状と比較することで各断面の変 形の状態を把握することができる.これは、施工誤差や トンネル建設後の断面変形と捉えることができるため、 画像計測によるひび割れ等の変状とあわせて,外力性の 変状の可能性を評価することができるものと考えられる. しかし,これまで,多数の実トンネルにおいて実績を重 ねてきたが,段差の検出精度の検証を除き走行型レーザ ー計測(MMS)の断面計測精度についての検証は行わ れていなかった.なお,精度もしくは誤差としては,測 量機器(レーザースキャナ)そのものの精度,システム としての測量誤差,絶対座標系(世界測地系)での誤差, 相対座標(凹凸や変位)としての差分誤差などが考えら れる.本報告では,これらの精度のうち,走行時の2点 間距離の測距精度および断面計測精度について検討を行 ったものである.

# 2. 検証試験方法

## (1) 試験車両および高精度レーザの仕様

精度検証試験には、走行型画像計測(MIS),走行型 レーザー計測(MMS)の一体型車両(MIMM)に巻厚 および空洞探査用の非接触レーダーを搭載したMIMM-R を用いた.本研究では、走行型レーザー計測に着目して 精度検証を実物大模擬トンネルにて実施した.図-1に実 物大模擬トンネルの概要を示す.また、図-2に試験に用 いた車両の概要を、表-1にMIMM-Rに搭載している高精 度レーザーの仕様を示す.

#### (2) 試験ケースと試験手順

走行型計測車両MIMM-Rの車両システムとしての精度 と走行時との精度の違いを把握するため、停止状態と走 行状態の両者について行い、計測値のばらつきと走行時 の精度に対する影響を検証した.また、光波測距儀等の 一般的に用いられる測量、計測機器等との精度の違いを 把握するため、2点間の測距精度を検証した.表-2に試 験ケースを示す.なお、高精度レーザーの計測条件とし て、停止時については、スキャン速度を50Hz、100Hz、 200Hzとした.また、走行状態の検証においては、スキ ャン速度200Hzとし、走行速度は模擬トンネルでの安全 上の観点から10km/h、20km/hの2パターンとした.以下 に試験手順を示す.

#### a) 試験準備

停止状態で検証用ターゲット設置後にレーザーのスキ ャンラインをマーキングする.

#### b) 停止状態の試験

高精度レーザーの回転速度を50Hz, 100Hz, 200Hzの3 条件で10,000回の計測を実施する.

### c) 左側壁の疑似変位測定

左側の検証用ターゲットを取り外し覆工面に合板を設



図-1 実物大模擬トンネル



図-2 走行型計測車両 (MIMM-R)

表-1 高精度レーザーの仕様

機種名	PENTAX Scanning System S-2100
レーザー仕様	クラス1
波長	>700nm
測定精度	代表值:±1.68mm <sup>注1</sup>
使用温度範囲	摂氏-10~45度
温度補正	有り(自動)

注1:距離5m, 2 σ, 12000pm, 反射率80%

表-2 検証試験ケース

ケース	変位距離	仕様した疑似変位
1	0mm	_
2	10mm以上	12mm合板 × 右側1枚
3	20mm以上	12mm合板×左右各1枚

置し、その上から再度検証用ターゲットを設置(変化距離10mm以上)し、回転速度200スキャン/秒で走行計測を 実施する.

### d) 両側の疑似変位測定

左側の検証用ターゲットを設置した状態で,さらに右 側の検証用ターゲットを取り外し覆工面に合板を設置し, その上から再度検証用ターゲットを設置(変化距離20mm 以上)し,回転速度200スキャン/秒で走行計測を実施す る.

#### (3) 検証用ターゲットの仕様

3Dスキャナ等で使用される球形ターゲットでは、製



図-3 検証用ターゲットの概要



図-4 検証用ターゲットの概要

品の精度が230mm球ターゲットで2mm以下となっており, 今回の検証では精度不足となる.よって,図-3に示すタ ーゲットを製作して検証と行うこととした.

製作するターゲットは、走行方向に長く、移動計測で も複数回のスキャンを行えることを目的とした.設置は、 オールアンカーで模擬トンネル壁面に固定し、高さ調整 を行いできるだけトンネル断面と平行となるように調整 した.なお、材質はアルミニウム(白色(80%)塗装) とした.

## (4) 計測方法及びターゲット設置方法

検証用ターゲットの設置に際しては、先に MIMM-R を 計測位置に停車(停止)させ、高精度レーザーの計測ラ インを覆工表面にマーキングし、計測ラインが検証用タ ーゲットの中央に来るように位置調整を行った上で設置 した.検証用ターゲット設置後、再度高精度レーザーで 計測ラインを確認し、トータルステーション計測との検 証を行う計測ポイントとして高精度レーザーの計測ライ ン中心部にマーキングを行った.また、検証用ターゲッ ト近くの計測ライン上にコンバージェンスメジャーのポ イントも合わせて設置した.

検証用ターゲットは左右側壁の高さ2.3mに2箇所設置 した.図-4に検証用ターゲットの設置状況を,図-5に検



図-5 検証用ターゲット設置位置



図-6 疑似変位(合板)設置状況

証用ターゲットの設置位置概要図を示す.また,図-6に 擬似変位設置状況を示す.

## 3. 検証試験結果

高精度レーザでの計測に対して、下記に示す検証を実施した.

- a) 停止状態での計測データのばらつき検証
- b) 走行状態での計測データのばらつき検証
- c) 断面形状のばらつき検証
- d) 停止状態での疑似変位の検出
- e) 走行状態での疑似変位の検出

なお、検証に使用したデータは、高精度レーザ中心位置 から計測対象までの距離と角度情報を用いて座標変換し たターゲット間の距離とした.

# (1) 停止状態における計測データのノイズの検証

## a) 測距精度の確認

停止状態における計測データのばらつきの程度を把握するため、10000回計測したターゲット上のデータを抽出し、計測距離の平均値および $1\sigma$ 、 $3\sigma$ 、最大値、最小値、最大値一最小値を整理した.結果を表-3に示す.

						(mm)
回転数	50	Hz	100Hz		200Hz	
ターゲット	左	右	左	右	左	右
平均値	4273.20	8128.66	4273.20	8128.29	4273.86	8128.92
1σ	0.29	0.31	0.37	0.37	0.54	0.46
3σ	0.88	0.92	1.12	1.10	1.61	1.37
MAX	1.13	1.19	1.45	1.14	1.86	1.72
MIN	-1.07	-1.11	-1.35	-1.46	-2.24	-1.58
MAX-MIN	2.20	2.30	2.80	2.60	4.10	3.30

表-3 停止状態での計測データのばらつきの検証結果

表-4 平均化した計測データの精度向上に対する検証結果

			(mm)
回転数	50Hz	100Hz	200Hz
<b>無</b> し平均 1σ	0.30	0.37	0.50
5回平均 1σ	0.20	0.22	0.25
10回平均 1σ	0.18	0.19	0.20
<b>無し平均 3</b> σ	0.90	1.11	1.49
5回平均 3 <i>σ</i>	0.60	0.67	0.76
10回平均 3 $\sigma$	0.54	0.57	0.60



<sup>8 10</sup> 

図-7 変位量の時間変化グラフ(200Hz,右側ターゲット位置)

秋

6

4

なお、ここでいう計測距離は、MIMM-Rのレーザー位 置から左右のターゲットまでの距離をいう.

2

-2 <sup>L</sup> 0

高精度レーザーの回転数を落とすことにより計測精 度が上がり、測距精度のばらつきが小さくなることが確 認できた.

高精度レーザー計測装置の自体のノイズは、カタログ 精度×ノイズファクターで決まっており、回転数毎の1 σは次のように求められる.

 $1 \sigma$  (200Hz)=0.3mm(@5m)×2.8(@5120pixcel)=0.84mm  $1 \sigma$  (100Hz)=0.3mm(@5m)×2.0(@5120pixcel)=0.60mm

 $1 \sigma$  (50Hz)=0.3mm(@5m)×1.4(@5120pixcel)=0.42mm

上記のノイズには角度のばらつきが含まれていないことを考慮すると、計測値は仕様の範囲内のノイズと考えられる.しかし、1σでは上記ノイズ範囲外に 32%程度

<sup>(</sup>上段:全時間,下段:1 秒間の抽出)

オーバーするものがあることになり、実際には最大で 4.1mmのばらつき(200Hzの左側ターゲットMAX-MIN) が発生しているものと考察される.

# b) 平均化による精度向上

ノイズ成分がランダムであれば、平均化することで精 度を向上することができる。平均化処理として、各タ ーゲットの計測距離(1回転毎に1計測)について単純 移動平均の5回平均と10回平均を行った。表-4に平均 化した計測データのばらつきの検証結果を示す。

この結果,平均化によりノイズ成分が低減され,以下に示すように精度が向上することが確認できた. 【10回平均(200Hz)の場合】

1σ:0.50mm (左右平均) 0.20mm

3σ:1.49mm (左右平均) →0.60mm

これは、99.75%のデータが±0.60mm 以内に入る精度 となる.

# c) 計測データの特性分析

計測距離の時間変化を図-7 に示す. 図には b)で行った平均化処理後のデータも合わせてグラフ化した.

この結果から、データのばらつきは、0.1 秒から数十 秒の周期の変化であることが分かる.5回もしくは、10 回の平均化処理後の変位では短時間のランダムノイズの ほとんどが除去されており、±0.6mmの範囲内で揺らい でいることが分かる.この揺らぎは、装置自体の振動や 回転数に起因しているものと推定され、光波測距儀等に よる測量と比較して、実用上では十分な精度を有してい るものと判断される.

## (2) 走行状態における計測データのばらつきの検証

時速10km/hと時速20km/hの走行状態におけるターゲット変位(微小変位)なしの状態での計測結果について,計 測データのばらつきの検証を行った.

走行状態の計測データについてはターゲット中心位置 を正確に捉えることが出来ないため、図-8 に示すよう に走行状態の計測データからターゲット上の有効範囲 400mmのデータを抽出し最も中心に近いデータを平均 化したものを計測値とした.なお、平均化する個数は、 走行速度により変化する.

計測値の変位量の1σ,3σ,最大値,最小値,最大 値-最小値を整理した結果を表-5に示す.

停止状態での計測値のばらつきと比較し,ばらつきの程 度はあまり変わらない結果となった.一方,最大値や最 小値はサンプリング数が少ないため,停止状態より小さ い結果となっている.

#### (3) 断面計測データのばらつきの検証

回転角度による精度のばらつき状況を確認するため、停止状態の 10 断面分(10 回転分)のデータについて断面

## 表-5 走行状態における計測データのばらつき



図-8 走行状態における計測値の平均化



図-9 着目点のサンプル番号

形状のばらつきを検証した.検証の基準断面として,10 回計測したデータの各サンプル番号の平均値を平均断面 形状とした.図-9に着目点のサンプル番号を示す. 着目位置は、サンプル番号0が高精度レーザの直下、サ ンプル番号1320が左側ターゲット位置、サンプル番号 3810が右側ターゲット位置である.

図-10~図-12 に断面計測結果を示す. 横軸にサンプル (回転角度位置),縦軸に平均断面形状に対する平均値 からの変化量としたグラフを下記に示す. グラフではト ンネル側壁と路面との境界付近となる 850 前後と 4080 前 後に大きな変化が見られる. 路面と側壁との境では,計 測角度が少しずれただけでも変化が大きくなるため,こ のように平均断面形状との差が大きくなると判断される. 路面と側壁との境界近くでは形状変化が大きく,計測角 度の分解能 0.07°の変化で 15mm 程度の変化が生じてい るものと思われる.

トンネル側壁からアーチ部(ターゲット付近を除く) 部分では、回転数200Hzで距離が離れる場所でも概ね± 2.0mmの範囲に入っており、回転数が回転角度の揺らぎ による変化を除外すれば、概ね±1.0mm 以内に分布する. この結果から、精度を高めるためには、回転角度の揺ら







図-10 停止状態での10断面(10スキャン)分の計測データの特徴(200Hz)

<sup>※1:</sup>ターゲット変位量 0mm,停止状態,高精度レーザー回転数 100Hz ※2:断面番号(スキャン番号)1~10



図-11 停止状態での 10 断面(10 スキャン)分の計測データグラフ(100Hz)

※1:ターゲット変位量 0mm,停止状態,高精度レーザー回転数 50Hz ※2:断面番号(スキャン番号)1~10

図-12 停止状態での 10 断面(10 スキャン)分の計測データグラフ(50Hz)

表-6 光波測距儀, 定置式 3D スキャナとの 2 点間距離測定結果の比較

				(mm)
計測方法	測距位置 または 走行条件	回転数	計測値(mm)	光波測距儀(0m)との比較
	0m	_	12,391.5	-
光波測距儀	10m	_	12,390.1	-1.4
	30m	_	12,391.4	-0.1
	0m	_	12,392.0	0.5
定置型3Dスキャナ	10m	_	12,398.0	6.5
	20m	_	12,407.0	15.5
	停止	50Hz	12,393.1	1.6
	停止	100Hz	12,392.7	1.2
	停止	200Hz	12,394.0	2.5
走行型計測	10km/h	200Hz	12,393.9	2.4
	20km/h	200Hz	12,393.1	1.6
	平均値に対する最大誤差		0.6	_
	平均値に対する最小誤差		-0.6	_

ぎを考慮して座標データを取得する必要があると考察される.

#### (4) 2点間距離計測結果の比較

模擬トンネル壁面に設置したターゲットの2点間距離 の測定精度について検証するため、高精度の光波測距儀 と定置型3Dスキャナによる計測を行い、走行型計測車 両との比較を行った.なお、計測に用いた光波測距儀は、 ソキア 3D Station NET05AXII(精度0.5±1ppm)を用いた. また、定置型3Dスキャナーは、FARO Focus 3D(範囲誤 差±2.0mm)を用いた.

光波測距儀や定置型3Dスキャナにおいては測距精度を 向上するためには、機器設置位置を可能な限りターゲッ トに近接させ角度を少なくすることが望ましいと思われ る.そこで、本検証試験においては、各測量機器の角度 による誤差も把握するため、図-13のように測定距離を 変化させて計測精度を合わせて確認した。

計測の結果を表-6に示す.光波測距儀の測距位置0mを 基準としたばらつきは、光波測距儀で-1.4~-0.1mmであ った.定置型3Dスキャナは、0.5~15.5mmであり距離が 離れると精度低下が著しい結果となった.走行型計測は、 停止状態で1.6~2.5mmであり回転数が大きくなると誤差 が大きくなる傾向となった.走行状態(回転数200Hz) では、1.6~2.4mmであり走行速度による影響は認められ ない結果となった.一般的にいわれている測量精度は 2.0~3.0mm程度であり、走行型計測による計測精度とし ては、一般の測量精度と同程度を有していものと考えら れる.

## (5) 疑似変位計測結果

## a) 停止状態における計測

左側ターゲットの間に厚さ 12mm 程度の合板を設置し, 疑似変位とした.計測結果を表-7 に示す.





図-13 測量位置の比較イメージ

静止状態ではあるが、合板設置前と合板設置後の座標 は僅かにずれる可能性があり直接座標を比較出来ないた め、合板の境で2箇所の変化を合板厚とした.計測位置 はターゲットの上下方向に出来た合板の段差それぞれに ついて、段差の上下2.5cmの2箇所、合計4箇所とし、 それぞれ10000データの平均座標を計測値とした.

疑似変位を合板内の座標変化から合板外の座標変化を 引くことで求めた結果,バラツキは 1.1mm,ノギスによ る実測値との比較では 0.0~1.1mmの誤差となった.

## b) 走行状態における計測結果

走行状態では移動しているため、ターゲット中央部の 400mm を横切るスキャンデータの平均値を計測データ とした.

表-8に走行状態における疑似変位の計測結果を示す. 計測の結果,速度によるばらつきは0.7mm以下となり, 静止状態と同等であった.また,実際にノギスで計測し た変位量に対しての誤差も0.0~1.0mmと静止状態と同等 であった.なお,過去に実施した段差の検出実験<sup>7</sup>では 0.5mm程度を読み取ることができたため,相対的な変位 計測においては,測量と同程度の精度を有しているもの と判断される.

## (6) 走行計測時の照射点数

走行型レーザー計測は、走行速度およびトンネル壁面

	表7	停止状態におけ	る疑似変位の計測結果と誤差
--	----	---------	---------------

							(mm)
計測位置	回転数	合板外変化	合板内変化	合板厚(内-外)	バラツキ	実測値	誤差
	50Hz	0.8	13.6	12.8			0.3
合板上部	100Hz	0.1	13.0	12.9	0.2	12.5	0.4
	200Hz	0.2	12.9	12.7			0.2
	50Hz	0.0	12.1	12.1			0.0
合板下部	100Hz	0.7	11.7	11.0	1.1	12.1	-1.1
	200Hz	0.6	12.3	11.7			-0.4
						最大	0.4
備考)計測条件は以下のとおり。					最小	-11	

停止状態,10000回計測の平均値

						(mm)
計測	位置	速度	変位量	バラツキ	実測値	誤差
		静止	12.7			0.2
	上部	10m/h	13.3	0.8	12.5	0.8
七间合坛		20m/h	13.5			1.0
工則口版		静止	11.7			-0.4
	下部	10m/h	11.7	0.7	12.1	-0.4
		20m/h	12.4			0.3
		静止	-			-
	上部	10m/h	11.9	0.1	11.9	0.0
七间合振		20m/h	12.0			0.1
石闸口板		静止	-			-
	下部	10m/h	13.3	0.0	13.9	-0.6
		20m/h	13.3			-0.6
備考)計測条件は以下のとおり。					最大	1.0
				最小	-0.6	

表8 え	<b>卡行状態におけ</b>	る疑似変位の	計測結果と誤差
------	----------------	--------	---------

・高精度レーザー回転数200Hz

照射間隔(mm)

13.9

27.8

41.7

55.6

69.4

83.3

97.2

111.1

125

138.9

計測速度

(km/h)

10

20

30

40

50

60

70

80

90

100



表-9 走行速度による覆工壁面への照射点数(レーザー回転数 200Hzの場合)

離隔 3m

19,093

9,547

6,364

4,773

3,824

3,186

2,730

2,389

2,123

1,911

からの距離により単位面積当たりに照射されるレーザー の照射点数が異なる. 走行型計測車両MIMM-Rの高精度 レーザースキャナーは、1回転当たり5,000点のレーザー を照射する. そのため、レーザースキャナから3m離れ た箇所では、3.8mm程度の間隔でレーザー点群を取得す ることとなる.また、走行速度によりトンネル縦断方向 の照射間隔は、時速50km/hで69.4mmとなる.二車線道路 トンネルを対象とした場合の速度による照射点数は、概 ね表-9のとおりとなる.表-9は内径9mのトンネル内の 片車線を走行型レーザー計測を行った場合を仮定して算

出した. 時速50km/hでの計測の場合では、1m<sup>2</sup>当たりの 照射点数は1.900~3.800点/m<sup>2</sup>となる.

## (7) 検証結果のまとめ

走行型レーザー計測の精度検証の結果を以下にまとめ る.

- ・走行型レーザー計測によるデータの1点毎のばらつき は±2.0mm程度であるが、5回もしくは10回のデータ を平均化することで±1.0mm程度のばらつきとなる.
- ・停止状態と走行状態でのデータを比較した結果、両者

のデータに大きな違いはなく,前述のとおり±1.0mm 程度のばらつきを示した.

- ・断面測定において、トンネル脚部と路面との境界部に ±15mm程度のばらつきがみられるものの、ターゲッ ト付近では、±2.0mmの範囲に入っており、回転角の 揺らぎによる変化を除くと±1.0mm以内のばらつきの 範囲に入る.
- ・高精度光波測距儀との比較では、2点間の測距誤差は 最大2.5mm程度であるが、通常の測量による測距精度 と大きな違いはないものと判断される.
- ・疑似変位計測の結果、ノギスによる計測結果との誤差 は0.0~1.0mm程度であり、データのばらつきを考慮し ても2.0mm程度の変位検出精度を有している.

# 6. まとめ

走行型計測システムは、トンネル覆工コンクリートの 出来形検測やトンネル定期点検等に活用が期待されるも のである.本報告では、走行型計測システムのうち、走 行型レーザー計測における計測車両システムの精度と変 形モード解析の精度を検証した.以下にそれぞれの検証 結果をまとめる.

走行型レーザー計測の精度検証は、停止状態と走行状態について実施した。停止状態における計測精度としては、高精度レーザーの回転数により異なり、回転数が小さいほどばらつきが小さくなる傾向がみられた。最大回転数である200Hzの場合の計測データのばらつきはトンネル断面に対して4.1mmとなったものの、平均処理を行うことでそのばらつきは低減することができ、停止状態の計測精度として±2.0mm程度となった。

また,走行状態の検証では,走行速度10km/hと20km/h を実施したが,停止状態の精度と差異がないことを確認 できた.

2点間距離の精度検証では、高精度光波測距儀と比較 して停止状態で1.2~2.5mm、走行状態で1.6~2.4mmの差 となった. なお、定置型の3Dスキャナーと高精度光波 測距儀の差が0.5~15.5mmであることを考慮すると走行 型レーザー計測での測距精度は、一般の測量と大差ない ものと判断される.

模擬トンネルに設置した模擬変位の検出精度としては, ノギスでの測定結果と比較して停止状態で-1.1~0.4mm, 走行状態で-0.6~1.0mmであった.

これらのことから,走行型レーザー計測は,トンネル 断面測定や形状測定に対して十分な精度を有しているも のと判断される.ただし,定点で変位を経時的に測定す る場合には,同一点の測定が困難であることから,ター ゲットや評価方法について検討が必要である.

今後は、取得した点群データの有効活用法として、点 群データの平均処理、変位、変形の進行性を評価する手 法の開発が必要と考える.

謝辞:本報告のデータ整理において北澤氏,財部氏(ウ オールナット)には大変尽力いただきました.ここに深 く感謝いたします.

#### 参考文献

- 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, pp.30-53, 2014.
- 2) 新都市社会融合創造研究会:走行型計測技術による 道路トンネル健全性評価の実用化研究プロジェクト, 走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実 用化研究報告書, pp.2-1-6-13, 2013.
- 3) 水口尚司,大西有三,徳田浩一郎,西山哲,石村勝 伸:道路トンネル走行型計測車両におけるひび割れ 精度検証の報告,土木学会論文集 F2(地下空間研 究), Vol.73, No.1, pp.1-10, 2017.
- 4) 水口尚司,大西有三,西山哲,西川啓一,下澤正道, 石村勝伸:道路トンネルにおける画像およびレーザ データを用いたマネジメント手法の研究,土木学会 論文集 F2(地下空間研究), Vol.71, No.1, pp.20-30, 2015.

(2017.811受付)

# ACCURACY TEST OF MOBILE MAPPING SYSTEM FOR TUNNEL

# Yoshiyuki SHIGETA, Hidekazu TERATO, Koki MAEDA, Hideki YAMAMOTO and Toru YASUDA

In order to use the tunnel in a safe and stable state for a long time, it is necessary to take appropriate measures according to the cause. For that purpose, it is necessary to grasp the cause of the deformation of the tunnel appropriately and evaluate it. In recent years, image measurement systems for grasping cracks and cracks in tunnels and laser measurement systems for grasping cross-sectional shapes of tunnels have been developed and it is possible to grasp deformation efficiently and objectively. In this paper, in order to grasp the accuracy of laser measurement, the accuracy of distance measurement and deformation detection of the laser system in an actual simulated tunnel was verified.