位相差方式レーザスキャナを搭載した MMS による層厚検出精度の基礎的研究

日本大学	学生会員	○藤村　大輔
朝日航洋株式会社	正会員	山口　裕哉
朝日航洋株式会社	非会員	白石宗一郎
朝日航洋株式会社	正会員	岡本　直樹
株式会社ニコン・トリンブル	正会員	岩上　弘明
日本大学	正会員	佐田　達典
日本大学	正会員	江守　央

１．はじめに

モービルマッピングシステム（以下，MMS）は道路周辺の３次元位置情報を効率的に取得可能なシステムである．将来は土木構造物の点検における活用が求められている．MMS に搭載されているレーザスキャナには TOF 方式と位相差方式（以下，PS 方式）の 2 種類があり，TOF 方式は照射距離に応じて精度が劣化するなどの特性がある．既往研究として，榎本ら[1]は，PS 方式と TOF 方式のレーザスキャナによる平面計測精度の比較を行っているが，地上型レーザスキャナを対象とした研究であり，MMS で検証した例は少ない．そこで本研究では PS 方式レーザスキャナによる MMS の計測精度を把握し，将来の維持管理業務へ適応可能性について検証するため，層厚検出精度に関する実験を行った．

２．走行実験

PS 方式レーザスキャナによる MMS の計測精度として層厚検出精度を把握するために 2019 年 9 月 30 日に日本大学理工学部船橋キャンパス交通総合試験路において計測実験を行った．計測には，PS 方式のレーザスキャナを搭載した Fagerman Technologies 社製 Scanloook Z と，比較対象として TOF 方式のレーザスキャナを搭載した Trimble 社製 MX9 を使用した．MX9 と Scanlook Z のシステム仕様を**表-1** に示す[2)3)]．走行速度は 20km/h で実験を行った．

図-1 に示すように使用した計測用ターゲットには模式的なステンレス製の円盤状ターゲットを作成し，石膏ボードに直接貼り付けた．ターゲットの直径は 100mm，厚みは 0.5mm，1.0～10mm である．これらを 1

表-1　システム仕様

機種	Scanlook Z	MX9
レーザスキャナ性能		
計測レート，計測角度	1,000,000点/秒、計測角度360°	最大 2,000,000点/秒（１台あたり1,000,000点/秒）、計測角度360°
計測精度	レーザ測距精度2mm、測距確度0.5mm（σ、ターゲット距離5m、白色）	レーザ測距精度 3mm、測距確度 5mm

※　精度仕様は全てRMS値

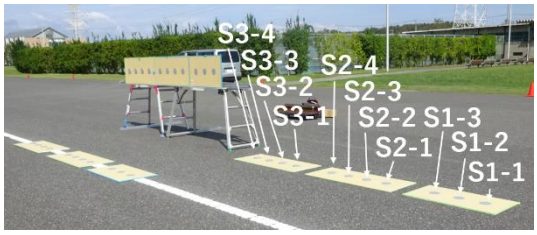

図-1　ターゲット設置状況

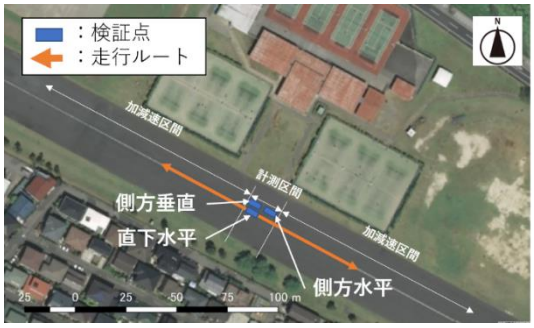

図-2　計測コース（国土地理院地図より作成）

つの組み合わせとし，異なる方法で 3 か所に設置した．設置箇所は進行方向直下に設置した直下水平（ターゲット名 S1-1～S3-4），進行方向より 175cm 側方の路面に設置した側方水平（ターゲット名 U1-1～U3-4）に設置した．**図-2** より往路は南東方向から北西方向に向けて走行した．まず加減速区間にて加速し，計測区間にて計測を行い，加減速区間で減速して停止する．そして反転し，復路の計測を行う．

３．解析方法

ターゲット板に照射された点群は，点群処理ソフト

キーワード：MMS，レーザスキャナ，位相差方式，層厚計測，計測精度
連絡先：〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 日本大学理工学部交通システム工学科 空間情報研究室 TEL047-469-8147

© Japan Society of Civil Engineers

RiSCAN PRO を使用して手動で抽出した．本研究では進行方向を往路方向，走行速度は 20km/h 走行，周波数は 200Hz，発射数は 1,000,000 点/秒，検証点は側方水平を解析対象とした．解析は①ターゲット部と周辺の取付部を抽出し，Z 座標（高さ）の度数分布を調べた．②ターゲット部と取付部の Z 座標の平均値から層厚を計算し，実寸法と比較した。ターゲットの厚みは，まず抽出した点群の 3 次元点群データから，検証箇所の点群を抽出した．次に検証箇所の中から取付部分とターゲットに分けて抽出を行った．

4．Side における層厚計測結果

ターゲットの厚みを計測原理の違いにより比較した．20km/h 走行時における側方水平の各ターゲットの厚みについてのグラフを**図-3** に，その時のターゲット判定表を**表-2** に示す．また 20km/h 走行における側方水平の各検証点のターゲット部と取付部の標準偏差の平均値，厚みの較差の平均値は**表-3** に示す．

図-3 より，PS 方式である Scanlook Z の方が TOF 方式である MX9 より較差が小さい．PS 方式は較差が概ね±1.00mm 以内に収まっている．一方 TOF 方式は全てのデータが負の値である．照射された点群の側面図の例を**図-4** に示す．**図-4** より TOF 方式はレーザ光 1 点ずつ反射されるため，ターゲット面より地面方向に点群のばらつきが生じていることから，負の値が多く算出されたと推察される．較差が 1.00mm を超えているものが多く，PS 方式の方が計測精度が良い．

表-2 では，ターゲットが判別可能かどうかの判断基準として，較差が 0.50mm 未満を判別可能（○），0.50mm 以上を判別不可（×）と表記した．PS 方式において判別可能と判定されたのは 7 個，判別不可と判定されたのは 4 個であった．これに対し，TOF 方式において判別可能と判定されたのは 2 個，判別不可と判定されたのは 9 個であった．PS 方式の方がターゲットの厚みを精度良く検出することが可能である．

表-3 より，PS 方式によるターゲット部の標準偏差の平均値は 1.13mm，取付部の標準偏差の平均値は 1.01mm であり，TOF 方式と比べてばらつきが少ない．較差の平均値においても TOF 方式が-1.16mm であったのに対し，PS 方式では 0.31mm と，0.50mm 以内に収まっており，計測精度が良い．

5．まとめ

本研究では，PS 方式による MMS の計測精度を把握し，将来の維持管理業務への適応可能性について検証した．直下水平における厚み算出結果では，PS 方式の較差の平均値は 20km/h 走行で 0.31mm であり，TOF 方式の結果と比べて計測精度が良いことがわかった．層厚を 0.50mm 以下の誤差で検出できたことから，PS 方式による MMS はトンネル内におけるうきを検出することへ適用できる可能性があると推測される．

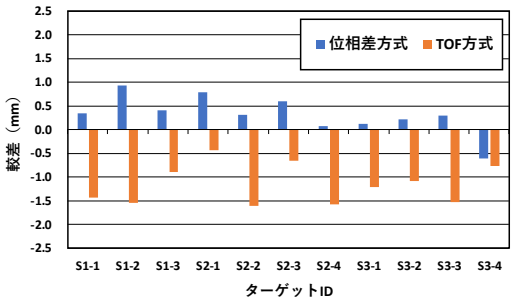

図-3　20km/h 走行　厚み算出結果（側方水平）

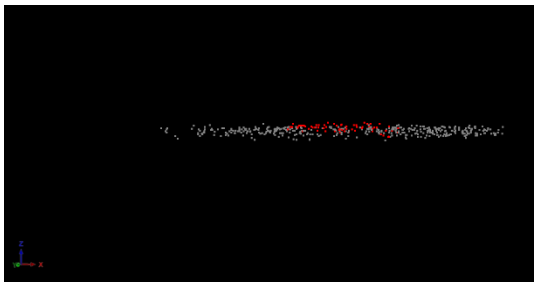

図-4　照射点群の側面図の例

表-2　厚み算出結果と判別判定表（側方水平）

計測原理	ターゲットID	厚み(mm)	実寸法(mm)	較差(mm)	照射距離(m)	判定結果
PS方式	S1-1	0.84	0.50	0.34	3.85	○
	S1-2	1.93	1.00	0.93	3.85	×
	S1-3	2.41	2.00	0.41	3.84	○
	S2-1	3.79	3.00	0.79	3.85	×
	S2-2	4.30	4.00	0.30	3.83	○
	S2-3	5.59	5.00	0.59	3.82	×
	S2-4	6.08	6.00	0.08	3.81	○
	S3-1	7.12	7.00	0.12	3.81	○
	S3-2	8.22	8.00	0.22	3.81	○
	S3-3	9.30	9.00	0.30	3.81	○
	S3-4	9.38	10.00	-0.62	3.83	×

表-3　20km/h 走行における側方水平の各検証点の統計値

計測原理	ターゲット部 標準偏差の平均値（mm）	取付部 標準偏差の平均値（mm）	較差の 平均値(mm)
PS方式	1.13	1.01	0.31
TOF方式	2.41	2.60	-1.16

参考文献

1) 榎本昌一，小栗昇悟，増田宏，田中一郎：複数のレーザスキャナによる平面計測精度の比較，2012 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，pp.547-548，2012.
2) Zoller+FröhlichGmbH : Datasheet Z＋F PROFILER 9012 ，Datasheet_PROFILER_9012.pdf，（入手 2020.1）
3) 株式会社ニコン・トリンブル：Trimble MX9 カタログ，Datasheet - Trimble MX9 Mobile Imaging System - English USL - Screen.pdf，（入手 2020.1）

© Japan Society of Civil Engineers