

## 位相差方式レーザスキャナ搭載型 MMS による トンネル覆工コンクリートのうき検出を想定した層厚検出実験

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, 非会員 白石宗一郎, 正会員 岡本 直樹  
株式会社ニコン・トリンプル 正会員 岩上 弘明  
日本大学 正会員 佐田 達典, 正会員 江守 央

### 1. はじめに

MMS のレーザスキャナには Time of Flight (以下, TOF) 方式が数多く採用されてきたが, 近年ではインフラ維持管理分野において, 計測精度の高い位相差方式 (以下, PS 方式) のレーザスキャナを搭載した MMS が活用されている. 既往研究として山本らはラインセンサカメラ等によるシステムにより, トンネル内に設置した模擬段差を計測した<sup>1)</sup>. レーザ機器によるトンネルの「うき」や「剥離・剥落」の検出に関する例は幾つか存在するが, 高速度域におけるうきや剥離等の物体の計測精度そのものに着目した例や PS 方式レーザスキャナを用いた検知性能の試験例は少ない.

そこで本研究では, PS 方式レーザスキャナ搭載の MMS を速度別に走行させ, その計測精度を比較することで, PS 方式による車載型レーザスキャナの基礎的な層厚検出精度の検証を行った. さらに後処理によりトンネルや高架橋などの GNSS 信号を受信できない遮蔽環境下におけるデータを模式的に生成し, その遮蔽環境における層厚検出精度も併せて検証した.

### 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 Scanlook Z を使用した. システム仕様を表-1 に示す<sup>2)</sup>. 走行速度は 20km/h, 40km/h, 60km/h, 80km/h, 周波数は 200Hz, 発射数は 1,000,000 点/秒で実験を行った.

図-1 に示すように使用した計測用ターゲットには, 表面をコンクリートスプレーで吹き付けた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

表-1 システム仕様<sup>2)</sup>

機種	Scanlook Z
GPS/IMU	
位置精度 (GNSS信号連続受信時)	水平 0.02m, 高度 0.05m
位置精度 (GNSS信号非受信時が1分間)	水平 0.10m, 高度 0.12m
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°
計測精度	レーザ測距精度2mm, 測距精度0.5mm( $\sigma$ , ターゲット距離5m, 白色)

※ 精度仕様は全てRMS値

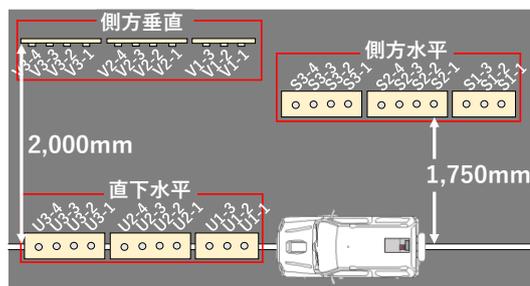


図-1 ターゲット設置状況

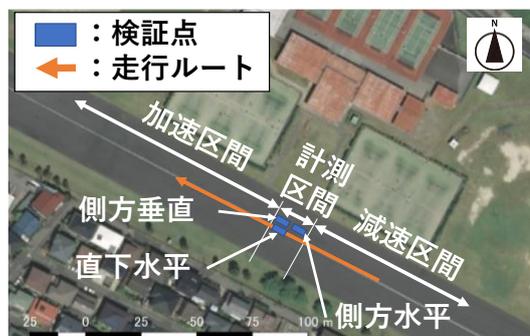


図-2 計測コース (国土地理院地図より作成)

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 つの組み合わせとし, 実際の道路状況を想定した異なる方法で 3 か所に設置した. 設置箇所は走行ルート上に設置した直下水平, 走行ルートより 1750mm 側方の路面に設置した側方水平, 走行ルートより 2000mm 側方に設置した側方垂直の 3 箇所である. 図-2 より南東方向から北

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 日本大学工学部交通システム工学科 空間情報研究室 TEL047-469-8147

西方向に向けて走行した。計測手順は、加速区間にて MMS を加速させ、計測区間に所定の速さで侵入させ、減速区間で停止する。同手順で、必要な試験データ分繰り返し計測を実施した。

### 3. 解析方法

ターゲットの厚みは、点群処理ソフト RiSCAN PRO を使用して抽出した点群の 3 次元点群データから、検証箇所(point群)の点群データのみを抽出し、取付部分とターゲット部分に点群データを分けた。

直下水平と側方水平の解析は、ターゲット部分と取付部分の Z 座標の平均値から層厚を計算し、実寸法と比較した。側方垂直は各ターゲットの取り付け部に照射された、全ての点の XY 座標を用いて回帰式 ( $ax+by+c=0$ ) を算出する。そして取付部分とターゲット部分の各点との距離を以下の式 (1) で求めた。

$$d = \frac{|ax + by + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (1)$$

ここで d : 層厚, a, b : 回帰式係数

そしてそれぞれ算出された層厚から各ターゲットの実寸法を引いた値を層厚の較差とする。

さらに計測実験で得たデータから、MMS の測位衛星による補正処理を行った計測データ (測位衛星補正有データ) と慣性計測装置 (以下、IMU) のみにより位置補正を行った時の計測データ (測位衛星補正無しデータ) で分けて層厚検出精度を比較した。

### 4. ターゲットへの照射状況

表-2 にターゲットへの照射例として各設置箇所における 20km/h 走行時の実寸法 0.5mm のターゲット部分断面における拡大図を示す。ターゲット部分をピンク、取付部分は白色で表す。補正の有無に拘らず直下水平においてばらつきが確認されたが、その他の設置箇所ではターゲット部分と取付部分の差が明確である。

### 5. 層厚の較差の RMS 誤差算出結果

図-3 には測位衛星補正有時の層厚の較差の RMS 誤差を、図-4 には測位衛星補正無し時の結果を示す。直下水平において 40km/h 走行時の計測データを比較すると測位衛星補正無しの計測データが 0.60mm 程度の RMS 誤差劣化が確認されたが、それ以外については目立った差はなく、測位衛星補正無しにおいても層厚の較差の RMS 誤差は 0.50mm 前後に収まっている。

### 6. まとめ

本研究では PS 方式による車載型レーザスキャナの基

表-2 20km/h 走行時のターゲット部分断面における拡大図 (実寸法 0.5mm)

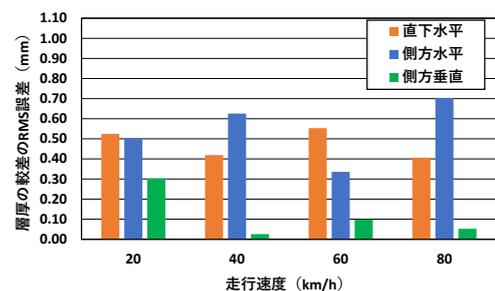
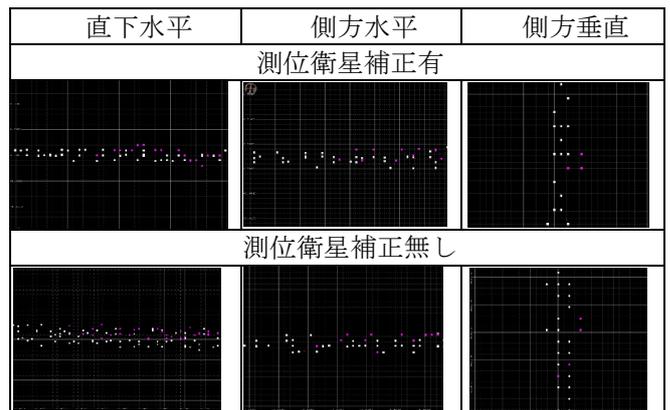


図-3 測位衛星補正有時の層厚の較差の RMS 誤差算出結果

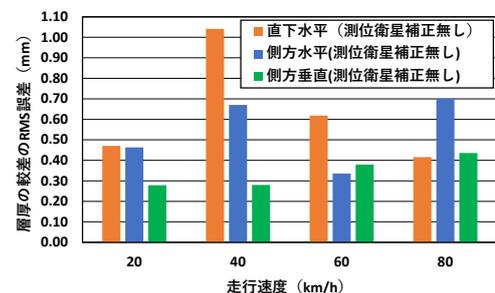


図-4 測位衛星補正無し時の層厚の較差の RMS 誤差算出結果

礎的な層厚検出精度の検証を行った。結果として、トンネル等の測位衛星補正無しにおいても層厚の較差の RMS 誤差は測位衛星補正有と比べて大きな差は無い。また層厚の較差の RMS 誤差は 0.50mm 前後で維持された。

速度別における評価では走行速度による精度への影響は少なく、高速度域においても安定した精度が維持された。

### 参考文献

- 山本達哉, 橋本和明, 松田靖博: 高精度トンネル覆工計測装置, 日本ロボット学会誌, Vol. 34, No. 9, pp595-596, 2016.
- Zoller+Fröhlich GmbH: Datasheet Z+F PROFILER 9012, Datasheet\_PROFILER\_9012.pdf, (入手 2021.1).