

三次元計測機器で得られた点群データに基づく路面プロファイルの計測特性について

北見工業大学工学部	学生員	○佐々木 賢一郎
北見工業大学工学部	非会員	板垣 智哉
北見工業大学工学部	学生員	幸谷 宥毅
北見工業大学工学部	正会員	富山 和也
大林道路株式会社	正会員	山口 雄希
大林道路株式会社	正会員	森石 一志

1. はじめに

昨今、i-Constructionの普及に伴い、例えばICT舗装工では、レーザースキャナから得られた点群データを用いた出来形管理が実施されており、舗装の維持管理においても三次元計測機器から得られた路面プロファイルデータの活用が期待されている。そのため、質の高い路面管理を行うためには、点群データから得られる路面プロファイルの特性を把握することが必要である。そこで本研究では、図-1に示す各種三次元計測機器を対象に、路面プロファイルの計測特性を把握するための検証実験を実施した。

2. 検証実験の概要

2.1. 試験ヤード

検証実験は、2020年9月7~10日に、北見市内のオホーツク地域創生研究パーク（以下、創生パーク）および、北見地区農道離着陸場（通称スカイポートきたみ、以下スカイポート）で実施した。ここで、各工区の路面状況から、スカイポートは高規格幹線道路を、創生パークでは一般道（以下、A工区）および生活道路（以下、B工区）を想定した。各工区の路線長は、スカイポートが200m、創成パークA工区が100m、創成パークB工区が80mである。



図-1 検証実験の対象とした計測装置

2.2. 検証方法

各計測装置の検証は、一般に舗装表層の出来形管理に用いられている1/100mmの高さ分解能で計測可能な低速プロファイラ（マルチ・ロード・プロファイラ、以下、MRP）を基準に行った。本実験での対象機器は、水準測量、地上型レーザースキャナ（以下、TLS）と高性能衛星測位システム（以下、高性能GNSS）を組み合わせた計測方法（以下、TLS-GNSS）¹⁾、TLSとターゲットを組み合わせた計測方法（以下、TLS-TG）、無人航空機（以下、UAV）、モバイルマッピングシステム（以下、MMS）である。なお、UAVは7.5m、20m、40mと3つの高度で飛行し、MMSについては各工区で安全に走行できる速度で計測を行った。

2.3. 計測機器の特徴

- 水準測量：2級水準測量機器であるLeica Sprinter 150を用い、1/10mmの高さ分解での計測が可能である。
- TLS：スキャナから1秒間に数万点発射されたレーザーを対象物にあて、反射したレーザーの時間のずれより距離を測定することで三次元モデルを生成するシステムである。
- UAV：機体に高性能GNSSが搭載されており、安定した飛行が可能で、空撮によって三次元点群を生成し、災害時や地上計測が困難な場所など、人の立ち入りが困難な場所で計測可能な装置である。
- MMS：車両に搭載されたGNSSとIMU（Inertial Measurement Unit:姿勢制御）により算出される車両位置を基準として、これらを時刻、レーザー計測器およびデジタルカメラに同期させ、道路上および沿道周辺の三次元座標データと連続映像を供用速度で移動しながら取得することが可能である。

キーワード 路面プロファイル, 三次元点群, TLS, MMS, UAV

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165 北見工業大学 工学部 社会環境系 TEL 0157-26-9496

3. 試験結果

図-2 に、乗り心地に影響を及ぼすラフネス波長（波長：0.5～50 m）を対象とした路面プロファイルの比較結果を示す。図-2 より、UAV は他と比べて振幅が大きいことが、その他の計測機器については基準プロファイルと同様の傾向であることが確認できる。図-3 に振幅利得²⁾（以下、Gain）を示す。図-3 より、UAV を除き、長中波長での Gain が 1.0 に近く、一般的なプロファイラと同様の²⁾比較的良好な結果が得られた。UAV は、スカイポートおよび創生パーク A 工区で、 0.1m^{-1} 以上の波数で急激に誤差が増加しており、空撮で得た三次元モデルの生成精度に課題が残る結果となった。また、TLS-GNSS は、TLS-TG と同等の精度であることが確認できた。

表-1 に、路面の代表的な縦断凹凸指標である国際ラフネス指数（以下、IRI）の相対誤差とプロファイルの一致度²⁾を示し、以下に得られた知見を記す。

- (a) 水準測量は、一致度 90%以上かつ IRI の相対誤差 10% 以下であり、水準測量と MRP は同等の精度を有するものといえる。
- (b) TLS-TG と TLS-GNSS の一致度は 90%以上と実用上十分な精度を有する。なお、TLS-GNSS はターゲットが不要となるため、TLS-TG に比べ、ターゲットの移動に要する人員の削減や時間短縮といったコスト削減につなげることが可能である¹⁾。一方、IRI については誤差が大きくなる工区がみられたが、創生パーク B で良好な結果が得られていることから、測線の違いや路面テクスチャが影響したものと考えられる。
- (c) UAV は創生パーク B 工区において一致度が 90%前後あり、十分な精度を有するものといえる。一方、Gain 解析と同様、他の工区では、空撮で得た三次元モデルの生成精度に課題が残る結果となった。
- (d) MMS は十分な加速区間を設けることができなかつた創生パーク A 工区を除き、一致度 90%以上かつ相対誤差 30%以下と十分な精度が期待できる結果となった。

4. おわりに

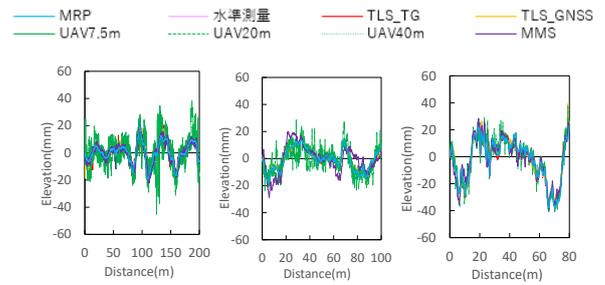
本研究では、路面プロファイル解析の結果から、各種三次元計測機器の特徴や計測精度を検討したものである。本研究成果は、状況に応じた計測機器の選択を可能とし、適材適所による建設生産性の向上に寄与するものと期待できる。なお、一部の工区では十分な精度が得られなかつたが、プロファイルを計測において従来の一測線上で計測する方式と面で計測する方式の違いに起因するものと考え、現在原因解明に向けた検討を行っているところである。

謝辞

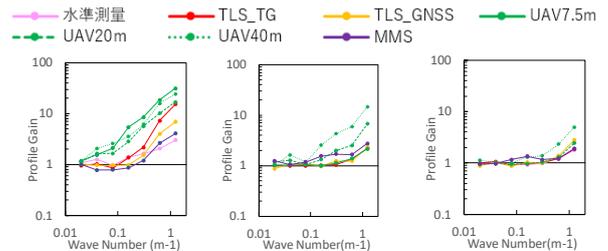
本研究を実施するにあたり、iシステムリサーチ株式会社 西川啓一氏の協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 森石一志, 富山和也: ICT 舗装工における点群データ取得の効率化と適用範囲拡大について, 土木学会論文集 E1, VOL.75, NO.2, I_77-I_85, 2019.
- 2) 富山和也, 他: 平坦性評価に要する低速プロファイラの測定精度とその検証に関する視点と方法, 土木学会論文集 E1, VOL.72, NO.3, I_27-I_35, 2016.



(a) スカイポート (b) 創生パーク A (c) 創生パーク B
図-2 ラフネス波長領域における路面プロファイルの比較



(a) スカイポート (b) 創生パーク A (c) 創生パーク B
図-3 基準プロファイルに対する Gain

表-1 IRI の相対誤差と一致度

単位 (%)	IRI 相対誤差			一致度		
	スカイポート	創生パーク		スカイポート	創生パーク	
		A工区	B工区		A工区	B工区
水準測量	7.5	0.7	93.8	98.6		
TLS_TG	75.0	3.5	95.0	99.1	98.3	
TLS_GNSS	36.5	12.6	94.2	92.0	97.1	
UAV7.5m	418.2	11.6	51.0	97.2		
UAV20m	295.9	83.7	63.4	81.5	96.0	
UAV40m	408.8	280.5	53.0	61.3	85.3	
MMS	4.1	46.9	94.3	60.0	94.4	

※斜線のデータは未測定