

道路管理用3次元点群データを活用した 舗装修繕工事の施工検証

小林一治¹・渡辺海¹・樋口拓也¹

¹高田河川国道事務所 道路管理第二課 (〒943-0847 新潟県上越市南新町3番56号)

2019年度に北陸地方整備局で取得した道路管理用の3次元点群データについて、新たな活用を試み、舗装工事への適用可否について検証を実施した。当該データはMMSを用いて取得していたが、舗装工事での活用を前提として取得していないため、データの精度自体に課題があった。また、データ取得から約5年が経過しており、少なからず現況路面の劣化や破損が進行しているため、舗装工事用データを作成する際には、現況の路面プロファイルとしての適用についても精査する必要があった。本稿では、舗装工事で活用するためのデータの解析手法について検証し、その手法で処理を施したデータを用いて現場検証を実施したので、その結果について述べたい。

キーワード MMS, 3次元点群データ, 舗装工事, 生産性向上

1. はじめに

国土交通省では、道路を安全に賢く使い、持続可能なものとするため、新技術の導入やデータの利活用等により道路管理や行政手続きの高度化・効率化を図る、DXの取組「xROAD」を加速させている。そうした中において、北陸地方整備局管内でも、2019年度からモバイルマッピングシステム(以下「MMS」という。)による3次元点群データ等の計測を行い、道路台帳附図作成の効率化や除雪の自動運転に向けた取組みを推進してきた。今回は新たな取組みとして、計測された3次元点群データを舗装修繕工事の起工測量データとして活用することが可能となれば、大幅な業務・工数の削減に繋がると考え、検証を実施した。



写真-1 TLS計測状況

2. MMSの工事利活用状況

従来、測量で3次元点群データを取得する際には地上型レーザスキャナ(以下「TLS」という。)(写真-1)が用いられてきた。近年では、MMS(写真-2)を活用した測量も広がりを見せているが、活用事例はまだ少ないことから、現在の舗装分野での活用状況について述べる。



写真-2 MMS計測状況

(1) 各測量機器の特徴

a) TLSについて

TLSを用いた測量は、トータルステーション(以下「TS」という。)やレベルを用いた測量手法と比較し、一度に広範囲の計測が可能となっており、それまでの点と点の計測から、空間を丸ごと計測する形へと測量の形態が変化している。これにより、仮に測量作業完了後に測点の追加などが必要になった場合においても、従来であれば追加の測量が必要であったが、それらの対応が机上で可能となるなど業務の効率化に繋がっている。また、機器を歩道や路肩に据え付けて計測を行うことから、車道上での作業が大幅に減少するため、安全性も向上している。

その一方で、計測の最中に通過した車両が障害物となりデータの欠損が発生するほか、1箇所の計測に、数分から十数分程度の時間が必要となるため、全体では多くの計測時間が必要となるといった課題も抱えている。

b) MMSについて

MMSは車両等にレーザスキャナを搭載しており、計測時には車両で移動しながらレーザ照射部を高速回転させ、空間を輪切りにする形で3次元点群データを取得していく。車両型MMSの場合は、車道上から計測を行うため、TLSと比較して通過車両等の障害物による影響を受けにくく、走行車線の路面データに対し、欠損が生じないという利点がある。また、高速道路や自専道など、人の立入作業が困難な路線でも計測を容易に行うことが可能であることに加え、車両の走行速度が時速40～50kmであることから、長距離の計測においても、TLSと比較して、極めて短時間で完了することができる。

その一方で、位置情報の取得については衛星測位を必要としており、計測結果が全地球航法衛星システム(以下「GNSS」という。)の受信状況による影響を多分に受けてしまうという欠点がある。そのため、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」で定められている絶対座標の測定精度を満足するためには、精度確認試験の結果に基づき、準備作業として計測前に標定点を設置する必要がある(図-1)。標定点の設置は一般的に20～30m間隔であり、その設置作業には相応の時間を要する。そのため、車両による計測のみであれば、TLS等と比較して圧倒的に短時間で計測が完結するが、全体の作業工数では同程度となってしまっているのが現状である。

(2) 新たなMMS活用手法について

前述の通り、舗装修繕工事等においてMMSを用いた起工測量を行う場合には、標定点の設置手間が大きな課題となっていた。そこで着目したのが、他の発注機関の維持修繕工事で用いられている、計測時における標定点の設置を不要とした計測手法である。この手法は、計測結果の絶対座標の精度には拘らず、相対的な精度を活用の

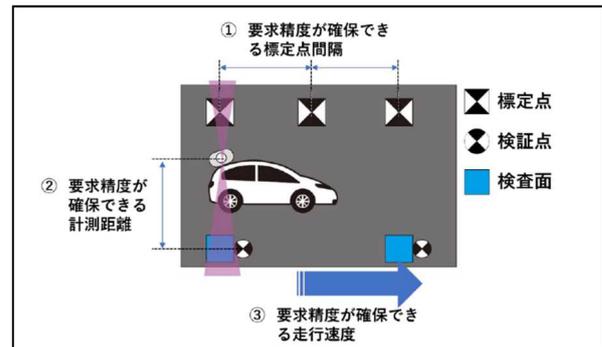


図-1 精度確認試験の概要

判断基準としている。仕組みの詳細を、以下に記述する。

MMSは自己位置を測位しながら計測を行うが、その測位間隔と比較し、高速で回転するレーザ1回転あたりの所要時間は非常に短い。そのため、レーザ1回転あたりに生じる測位誤差の影響は限りなく小さくなり、計測時の測定精度に大きく影響を与えるのはレーザ機器本体の精度のみであると考えられる。このことから、TLSと同程度のレーザ精度を有するMMSであれば、レーザ1回転で取得される横断プロファイルの相対的な精度は、TLSと比べ遜色のないものであると言える。

以上のことから、標定点による補正を行わない場合でも、横断プロファイルの相対的な精度が担保されていれば、各断面における路面切削工の計画が可能であると考えられる。但し、縦断プロファイルの精度については測位誤差による影響を免れないため、MMSのデータのみでは縦断修正等が出来ない点には注意する必要がある。

3. 検証概要及び課題

現場概要は以下の通りである。

- ・工事名：令和4・5年度海川橋西詰交差点外改良工事
- ・路線名：国道8号
- ・受注者：株式会社 植木組
- ・工期：自) 令和4年 9月 20日
至) 令和5年 11月 19日 426日間
- ・工事内容：道路土工1式、舗装工1式 他

本検証では、上記手法を応用し、北陸地方整備局管内で2019年度に取得されたMMSデータを用いて路面切削工の計画を作成し、実施工が可能か評価することを目的としている。現場検証は、当該工事の一部工区において実施した。検証を進めるうえで、2点の課題が存在した。

(1) 課題1

1点目は、今回用いるデータは、道路管理用を目的としてMMSにより取得していたことから、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」で定められた精度基準は満たしていないという点である。一般的に舗装工事で用いられる車両型MMSの場合、照射部から照射されるレーザーは1本となっている(相対精度3mm(rms))。それに対し、当該データ取得時に用いられた機器は、照射部から16本のレーザー(測定精度±3cm)を縦並びの扇状に放射し、それを360°回転させながら計測している(写真-3, 図-2)。そのため、この計測データから横断面を切り出すと、レーザーの計測誤差の影響により、点群が層状に分布してしまい、舗装工事を目的とした現況路面の横断プロファイルとしての活用には課題があった。



写真-3 北陸 MMS

(2) 課題2

2点目は、当該データが取得から、5年弱の時間が経過している点である。一般的に、舗装は供用期間に比例し、破損や劣化が進行していく。通常、路面切削工事ではmm単位の精度が要求されるため、工事受注後に現況の路面データを計測し、切削の計画を行う。そのため、5年前に取得された路面のプロファイルデータを現況データとして工事に用いるためには、5年間の破損進行に伴う変状について、精査する必要があった。

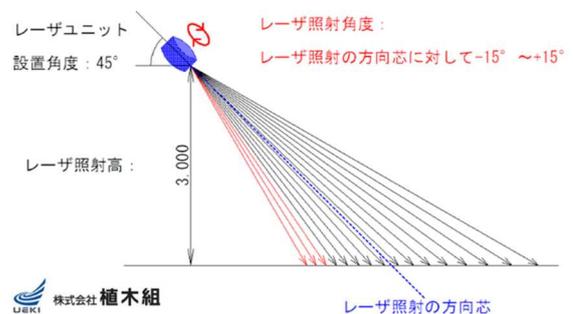


図-2 今回使用したMMSのレーザー放出機構の概要

4. データ検証方法及び結果

上記課題解決に向け、以下のデータ検証を実施した。

(1) データ精度について

図-2に示した通り、レーザーユニットに近い位置に対して照射されるレーザーは路面に対する入射角が大きくなり、遠ざかるにつれ入射角は小さくなる。一般にレーザー入射角が小さく、照射距離が長くなるにつれ、測定精度が低下することが知られている。(「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(R5.3)」の「1-30」を参照)

そこで、データの精度を高めるため、16本のレーザーの中から、レーザーユニットに最も近い1本のみを用い、工事受注後に計測したTLSデータを比較対象として、横断プロファイルの精度を確認した。その結果、レーザー1本のみのデータでは点群のばらつきが大きく、TLSデータとの近似性が低かったため、この方法ではデータの信頼性に欠けると判断した(図-3)。

次に、図-2で示した矢印のうち、赤色で示す入射角が大きい手前側3本のレーザーを用いて横断プロファイルを抽出し、比較を試みた。レーザー16本から3本としたことで、点群のばらつき具合に一定の改善を確認することができ

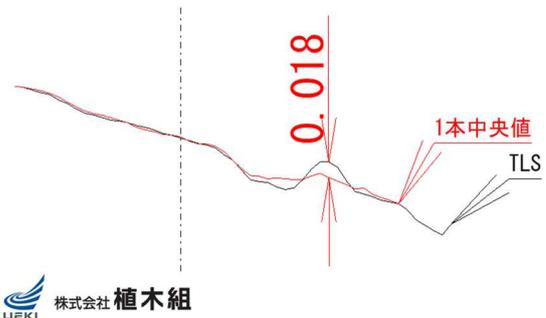
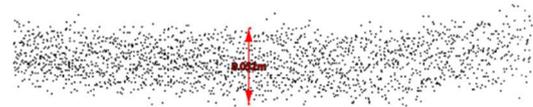


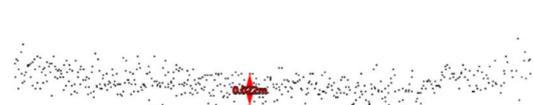
図-3 レーザ1本とTLSの横断プロファイル比較

レーザー16本の横断図



データのばらつき：5cm程度

レーザー3本の横断図



データのばらつき：2cm程度



図-4 レーザ本数による点群のばらつき比較

た(図-4)．しかしながら、依然として点群は層状にばらついており、工事用の横断プロファイルデータとして用いることはできないため、ここから更に点群処理ソフトを用いて、フィルタリング作業を実施した．フィルタリングは、施工範囲全体を20cm真四角の格子で区切り、各格子内に存在する点群の中から1点ずつ抽出する形で実施した．抽出は複数の方式を試しており(最高標高抽出、最低標高抽出、中央値抽出、最頻値抽出)、それらの中から最もTLSの結果に近くなった、レーザ3本による中央値抽出を現況路面の横断プロファイルとして採用した(表-1)．

(2) データ鮮度について

検証を進める上で問題となったのが、2019年度にMMSにより取得されたデータが、3次元点群データと1~2m毎に撮影された全方位写真データのみという点である．それらは、管理用途としては十分なデータではあるが、舗装の路面性状を評価する場合においては、必要となる情報が殆ど存在していない．そのため、舗装の路面性状を評価する観点からは、取得されたデータについて定量的な判断を下すことは困難であった．

以上のことから、今回の検証では写真データと現地の路面状況との比較、及び点群処理ソフト上で、MMSとTLSの点群から平坦性の標準偏差を算出し、比較を実施した(図-5)．

その結果、写真データと現地の比較では、極端にひび割れ等の変状が進んでいるようには見られなかったものの、定量的な評価として、ひび割れ率の算出などは行えなかった．平坦性については、5年前のMMSデータよりも、工事受注後に取得したTLSデータの標準偏差が小さい結果となった(表-2)．この理由として、MMSデータ自体のばらつきが大きく、そのデータを用いて標準偏差を算出したことが原因として考えられる．

(3) 検証結果まとめ

本検証においては、データ鮮度の観点からMMSデータ取得後の路面変状について評価・判断することは出来なかった．しかしながら、データ精度の観点からは比較的TLSのデータに近い横断プロファイル結果を得ることができたため、この結果を用いて実施工による現場検証を実施した．

5. 現場検証方法及び結果

今回の現場検証では、TLSデータを基に計画した切削面を比較対象とし、MMSデータを基に計画・施工した切削面とを比較することで、実施工が可能か評価した．現

表-1 フィルタリング抽出によるレーザ本数の比較結果

	調査点数	平均値	標準偏差
1本中央値	646	4.47	3.82
3本中央値	646	3.00	2.67

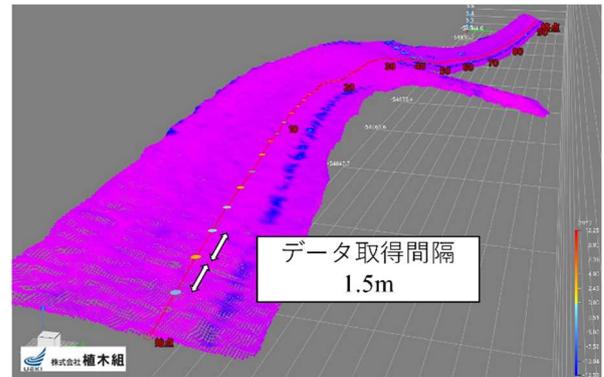


図-5 点群処理ソフト上での平坦性算出イメージ

表-2 平坦性(標準偏差)の比較結果

	左車線		右車線	
	IWP	OWP	IWP	OWP
TLS	2.07	2.58	2.06	3.50
MMS	3.65	3.66	3.22	4.20

IWP：内側車輪走行位置
OWP：外側車輪走行位置

場では切削完了時にTS及びTLSによる各種計測を行い、従来の出来形管理手法や面管理による比較を実施した．以下にその結果を示す．

(1) TS出来形について

TS出来形とは、TSに施工管理データを搭載し、出来形計測を行う管理方法である．今回の検証では、基準高から算出した切削厚さの平均値は+1.48mm(N=39)となり、誤差最大値は+7mm、最小値は-3mm となり、いずれの結果においても規格値を満足した．

(2) 面管理(標高較差)について

面管理とは、従来の管理断面での寸法管理とは異なり、3次元設計データや起工測量データを基にして計測データとの比較を行い、面的に出来形評価を行う管理方法である．今回の検証における標高較差の平均値は-1.1mm(N=2349)、最大値が+16mm、最小値が-24mm となり、規格値を満足した(図-6)．一部では極端に切削厚さが深い箇所も見受けられたが、その原因として、施工時に現地合わせが必要となった箇所や、マシンコントロール

による制御が不安定となることが施工開始直後などに発生しており、施工上の影響が大きいと考えられる。

(3) 切削廃材数量について

現場からの切削廃材搬出量について確認した結果、設計数量267.285tに対し、+3%程度(+8.975t)となった。この結果を施工面積で割り返すと平均して1.61mm程度厚く切削していることとなり、TS出来形結果との比較においても、概ね整合性を確認することができた。

(4) 現場検証まとめ

今回の現場検証では、比較対象であるTLSデータに近くなるように、取得済みのMMSデータに対し、精度を向上させるための処理を施した。そのため、MMSデータを用いた計画及び施工については、新たに取得したTLSデータ及び精度向上に向けた処理を施すことで実施可能となることを確認することができた。

6. 検証の総括

当該検証で用いた取得済みMMSデータのみでは現況路面プロファイルとの整合性が確認できないため、比較検証のためにはTLSデータの再取得を行う必要があった。

今後、当初構想に基づき、『取得済み3次元点群データを舗装工事に活用し、工数削減に繋げる』ことを実現するためには、次回取得するMMSデータが、TLSによる再確認を不要とする必要がある。また、今回の検証で実施したMMSデータの処理工程の確立に向けても、引き続き検証を続ける必要があるという結論に至った。

7. 今後の展望

今回の取組みは、取得済み3次元点群データの更なる活用に向け、舗装工事への適用を検討するものであった。

図-7では、今回用いたMMSと舗装修繕工事等で一般的に用いられるMMSについて、データ特性を比較したものである。図-7で示すように、舗装工事用のMMSでは看板の形状を捉えられていない。その原因として北陸地方整備局管内の国道における案内標識看板が、他地方整備局管内とは異なり、着雪防止のため15°程度傾けられていることが原因として考えられる。そのため、北陸地方整備局管内における道路施設の形状把握の観点からは、レーザー放射機構の特性から、今回用いたMMSが適していると考えられる。

これらの結果を踏まえ、データ取得の際には、計測目

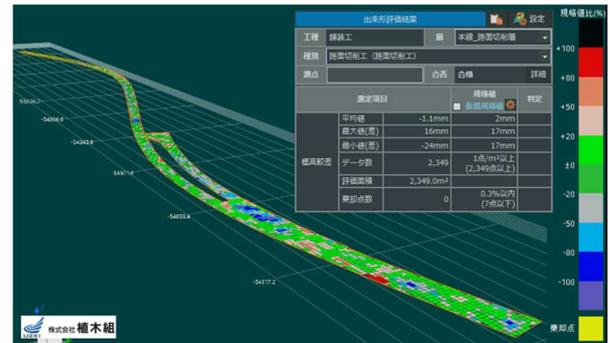


図-6 面管理の出来形評価結果について

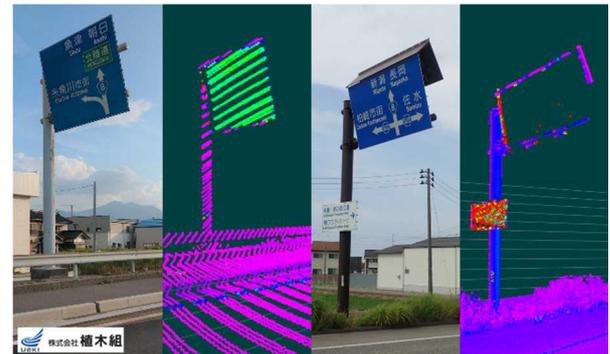


図-7 MMS機種によるデータ取得状況の違い
(左：今回用いたMMS，右：舗装工事に用いたMMS)

的やデータの使用用途を明確化したうえで、最大限活用することを念頭に置いた取得方法の検討、及びそれらの目的に対応可能なMMS機器の選定が必要であるということが確認できた。

今後は、誰もが利活用可能である汎用性の高いデータベースの構築に向け、計測の際には、その目的に応じて3次元点群データのみならず、路面性状等のデータも同時に取得していくとともに、それらを定期的に更新していくための仕組みや、利活用の標準化に向けた検討が必要である。今回の検証を踏まえ、今後も引き続き、建設業界の生産性の向上及び持続的な発展に向け、業務のDXを実現すべく取組みを推進していきたい。

謝辞：本論文の作成・データ提供にあたり、ご協力いただいた関係者企業の皆様に感謝の意を表します。