

MMS 計測および UAV 空中写真測量による盛土完成時の出来形計測事例

西松建設(株)	正会員	○佐藤 靖彦	
西松建設(株)	正会員	細野 高宏	杉本 幸信
(株)パスコ	正会員	矢尾板 敬	
(株)パスコ		堺 浩一	石塚 淑大

1. はじめに

従来、土工事における地形測量や出来形測量は、トータルステーション (TS) 等を用いた地上測量により行われ、多くの労力と日数を要していた。これに対して、国交省が掲げる i-Construction の施策のうち ICT の全面的活用 (ICT 土工) の施策により、UAV (Unmanned Aerial Vehicle 無人航空機) や地上据置型レーザスキャナ計測を用いた出来形計測の面的計測により測量作業の効率化が進められている。ただし、起工測量や施工中の進捗管理のための測量への適用事例は比較的多いが、盛土構造物完成時の面的な出来形計測の事例は未だ少ない。一方、地図作成のための公共測量には近年車両にレーザスキャナを搭載した MMS (Mobile Mapping System) が用いられており、測量業務の効率化が図られている。

そこで本検討では、土工の出来形管理のさらなる効率化を目的として、MMS による出来形計測を路床完成後の道路盛土構造物の約 1km 区間を対象に実施し、その適用性について UAV 空中写真測量と比較して検証した。



図-1 MMS 計測車両の外観

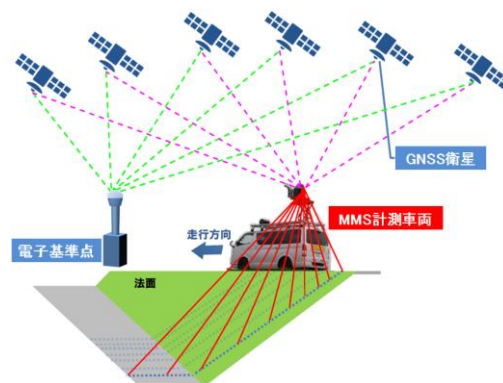


図-2 MMS 計測方法のイメージ

2. MMSの概要

本検証で用いた MMS 計測車両の外観を図-1 に示す。計測車両にはレーザスキャナ、IMU、カメラ、GNSS を搭載している (表-1)。盛土法面の MMS 計測方法のイメージを図-2 に示す。盛土上から法面を計測するために、レーザスキャナは昇降式とし、計測時には車両上部からレーザスキャナをリフトアップさせて地面から 3.6m の高さからレーザを照射させるよう工夫した。高所から照射させることでレーザは鋭角に計測され、盛土の天端を走行した際に、法肩および法尻の計測死角を極力少なくすることができる。またレーザが草の隙間を通して地盤面を照射しやすくなる効果も期待した。取得データからは走行軌跡位置解析 PosPacMMS および点群処理ソフト PADMS-Solid を用いて画像解析を行った。

表-1 MMS 機器の構成

項目, 台数	摘要
レーザスキャナ(1 台) +IMU(1 台)	取得点数: 最大 55 万点/sec
カメラ(3 台)	500 万画素
GNSS(2 台)	-
走行距離計	-

3. 計測方法

本検証計測は、茨城県内の圏央道大生郷地区改良工事の現場において、道路工の盛土 1,150m 区間にて、路床施工完了時の盛土構造物の出来形計測として平成 28 年 6~7 月に実施した。

キーワード 盛土, 出来形計測, MMS, レーザ計測, UAV, 空中写真測量

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋 6-17-21 西松建設(株)技術研究所 Tel 03-3502-0247

図-3にMMS計測車両の走行箇所の例を示す。盛土天端では左側を走行し法面に鋭角にレーザが照射されるよう計測した。また盛土は小段を含み約10mの高さがあることから、計測死角を極力減らしかつ点密度を確保するために、側道からのMMS計測も実施した。計測は140m～1,100mの路線長で8区間の計測区間を設けて計測を行った。車両は時速約10km/hで走行し、約30分で計測は完了した。MMSの軌跡解析は近傍の電子基準点を用いたRTK法を用いた。GNSS衛星の電波受信状況が良好な場合は、自己位置姿勢計測精度は、0.06m(RMSE：平均二乗誤差)で取得することが可能であるが、出来形計測では±5cmの精度が要求されることから、基準点(100m間隔)を用いた調整処理の高精度化の処理を実施して精度を確認した。さらに同エリアにおいてUAV空中写真測量も実施しMMS計測と比較した。

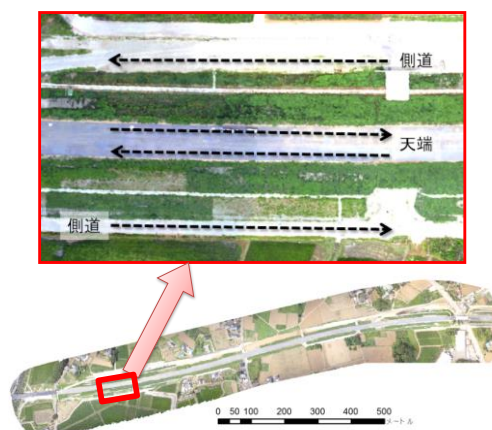


図-3 MMS計測箇所

4. MMS計測の検証結果

盛土天端の2側線および側道の2側線の計4側線の点群データを調整用基準点により合成処理した。4側線の合成により、盛土全体の形状を計測することができた。図-4に設計断面と重ね合せ表示した点群データの断面図の例を示す。

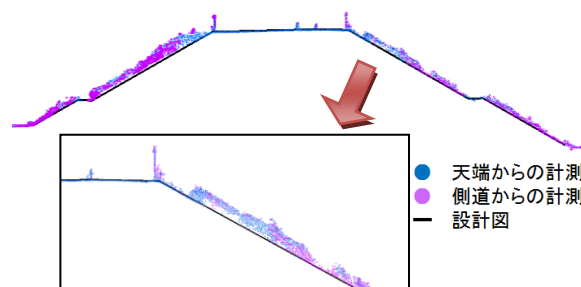


図-4 設計断面とレーザ点群データの例

通常、公共測量で実施されるMMS計測は、地図情報レベル500の精度である水平15cm、高さ20cm(RMSE)を点検する。GNSS衛星の受信状況が悪く上記精度が得られない場合は、計測区間の始終点に2点の基準点を設置して調整処理を実施する(以下、通常補正法)。本検証では、計測区間の始終点に加えて100m間隔に基準点を設置して調整処理する軌跡解析を行い、高精度化を図った(以下、高精度化法)。表-2および図-5に検証点における調整処理をしない場合(以下、補正なし)、通常補正法および高精度化法の精度点検の比較した結果を示す。

「補正なし」の場合には、地図情報レベル500の精度を十分に満たしているものの、水平方向(XY)でRMSEが5.3cm、最大残差が13.6cmとなった。「通常補正法」では水平方向(XY)でRMSEが2.5cm、最大残差が6.9cmと、補正なしと比べて約2分の1の誤差に収束した。しかし、出来形計測の要求精度である5cmを若干超える結果となった。これに対して、「高精度化法」では水平方向(XY)および高さ(Z)ともにRMSEが1.3cm、最大残差が2.7cm以下であり、要求精度である5cm以内に収まることが確認された。以上からMMS計測では調整用基準点の適切な追加配置および軌跡解析処理により、出来形計測に利用できることがわかった。

表-2 MMS計測精度結果

調整方法		X	Y	XY	Z
補正なし	RMSE (cm)	3.27	4.23	5.34	2.74
	最大 (cm)	8.60	12.10	13.64	8.70
通常補正法	RMSE (cm)	1.55	2.03	2.55	1.56
	最大 (cm)	6.00	5.00	6.95	6.70
高精度化法	RMSE (cm)	0.67	1.08	1.26	1.36
	最大 (cm)	1.57	2.60	2.66	1.80

X,Y:水平 X:高さ

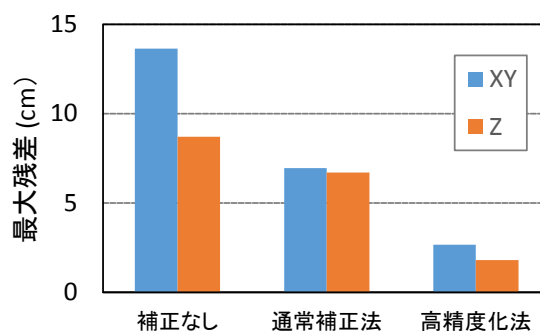


図-5 MMS計測精度結果(最大残差)

5. UAV 空中写真測量の検証結果

UAV 空中写真測量に使用した UAV を図-6、フライトルートを図-7 に示す。UAV は 6 枚羽マルチローターを使用し、カメラは一眼レフデジタルカメラ Sony α7R (3640 万画素) を搭載した。フライトは対地高度 57m (地上画素寸法 GSD1cm) と対地高度 114m (GSD2cm) の 2 条件とし、オーバーラップ率は 90% および 80% の 2 条件、サイドラップ率は 65% とした。写真解析処理には、3 次元形状復元ソフト StreetFactory, Pix4D mapper を使用した。

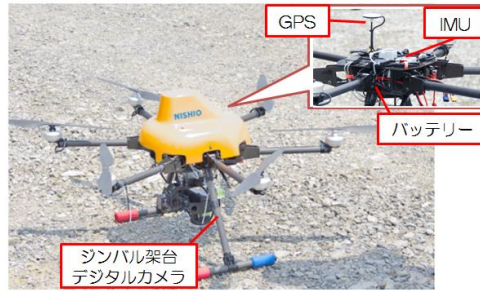


図-6 使用した UAV

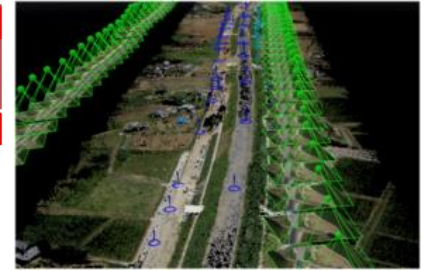


図-7 UAV 飛行ルート

表-3 UAV 空中写真測量の検証計測結果

撮影条件		X	Y	Z
GSD 1cm	RMSE (cm)	1.16	1.24	2.92
	最大 (cm)	1.92	2.30	4.63
		X	Y	Z
GSD 2cm	RMSE (cm)	1.60	2.63	3.06
	最大 (cm)	2.92	4.23	5.04

表-3 および図-8 に UAV 空中写真測量の 8 地点の検証点における計測残差 (平均二乗誤差 RMSE, 最大残差) の検証結果を示す。地上画素寸法 GSD1cm (対地高度 57m) の場合は、最大残差は水平 (XY) で 3cm 以下、高さ (Z) で 5cm 以下であり、要求精度に収まる結果が得られた。一方、地上画素寸法 GSD2cm (対地高度 114m) の場合は、最大残差は水平で 5cm 以内であり、高さ方向 (Z) で 5cm を若干上回り、GSD1cm の場合よりも誤差がやや大きくなる傾向が認められた。また、水平 (XY) よりも高さ (Z) の誤差がやや大きくなる傾向にあり、MMS 計測とは若干計測特性が異なるものとみられる。なお、高さ方向 (Z) の RMSE, 最大残差は GSD1cm と GSD2cm の場合とであまり差異はなく、条件を整えば飛行高度を高くして GSD2cm の条件の測量でも、要求精度を概ね確保しつつ効率的に計測ができるものと考えられる。

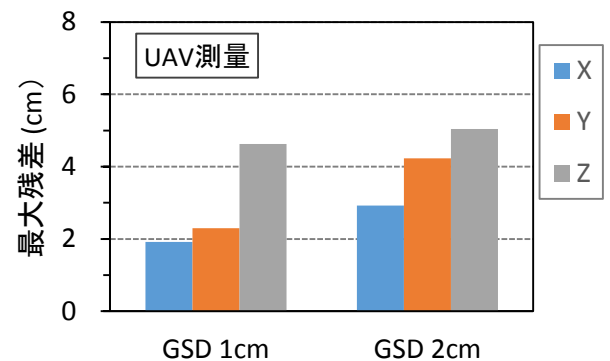


図-8 UAV 空中写真測量の検証結果

6. MMS 計測と UAV 空中写真測量との比較

同一エリアにおいて実施した MMS 計測と UAV 空中写真測量の点群データを比較した。図-9 に設計断面、MMS 計測および UAV 写真測量による点群データを重ねた断面図の例を示す。UAV は上空からの計測であり、MMS 計測で死角となった小段、側溝も点群が密に計測できている。しかし植生された草が伸びる法面で

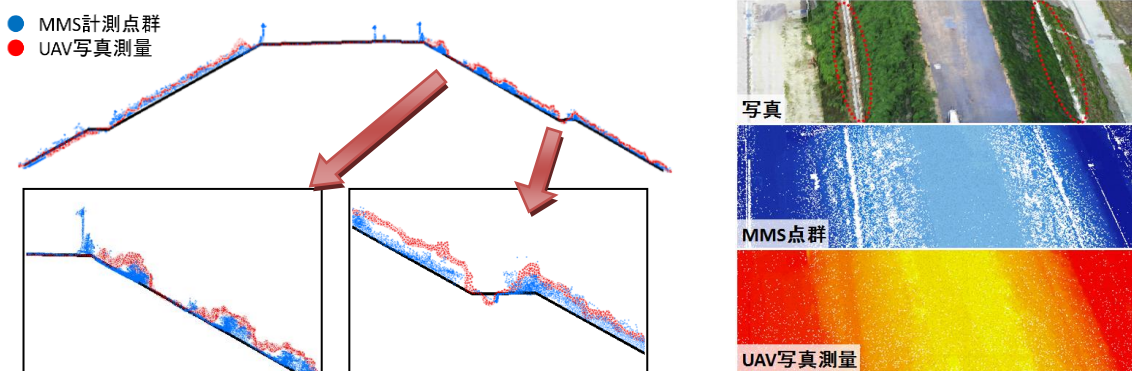


図-9 UAV 空中写真測量と MMS 計測結果の比較

は、UAV 写真点群はほとんどのエリアで草丈上面を取得し地面まで到達していない結果となった。これに対して MMS 計測は地面まで到達している箇所が多く、植生工の施工後でも法面出来形の計測が可能であることが確認できた。両者を組合せ、補間することで計測死角を減らした有効な作業が可能である。なお、現場での計測時間は UAV 写真測量が約 1 時間半に対して、MMS 計測は約 40 分であり、天候にもあまり左右されず作業の効率化には大きな効果があることも確認された。

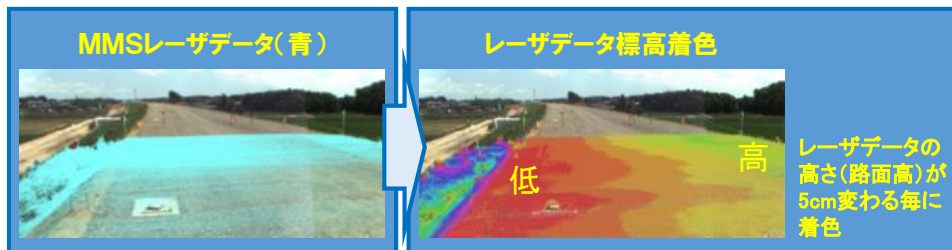


図-10 MMS 計測点群データと標高コンター図

図-10 は路床面の MMS レーザスキャナ点群データとレーザスキャナ点群データから標高のコンター図を出力した例を示す。図-11 は 2 つの区間①、②) は点群データから標高コンター図を出力した。路面のカント (勾配) の状況が面的に確認できるほか、道路路線のカーブに伴い左右で高低の傾き方向が切り替わることも確認された。UAV 点群データからも同様な標高コンターが得られることを確認した。

今回の MMS レーザ計測ならびに UAV 空中写真測量の検証を踏まえると、それぞれ以下の特徴を有する。MMS 計測の場合は、樹木や草などの植生があってもレーザ点群の解析により地表面の抽出が可能であること、また天候による影響が少なく、計測時間も短時間でかつ長時間の計測が可能である。ただし、車両が走行できない場所では適用できなく、計測範囲によってはデータが疎になったり、遮蔽物により一部データが欠損することもある。UAV 空中写真測量の場合は、上空からの撮影のため対象範囲全体を網羅したデータ取得が可能であり、人の立ち入りが困難な場所でも計測ができる。ただし、植生が伸びた状況になると地表面の計測は難しくなるほか、天候に左右されやすい。それぞれの特徴を考慮して適切な計測方法を選定することが肝要と考える。

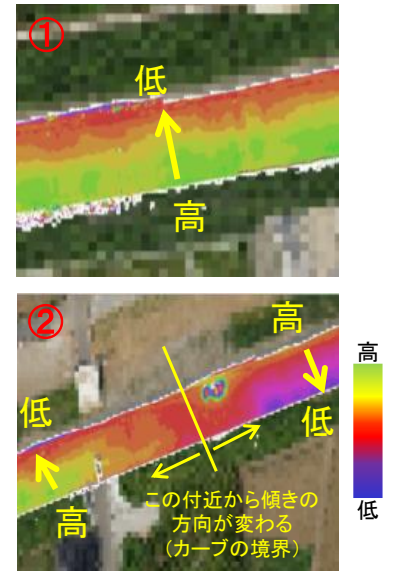


図-11 MMS データによる 標高コンター図

7. まとめ

今回の検証から、MMS による路床面上からの土工出来形計測が精度 5cm 以下で実施できることが分かった。計測時間は他の方法よりも短く、広域な土木現場での有効な効率的な計測作業が実施できる。また UAV 空中写真測量による出来形計測においても、地上画素寸法 GSD2cm の条件としてもほぼ精度 5cm 以下で計測できることを確認した。今回の検証を基に、様々な現場で適用の実績を重ね、さらなる生産性の向上に貢献していきたいと考える。最後に本検証にあたりご協力頂いた国交省関東地方整備局常総国道事務所ほか関係者の皆様には、感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省：空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案），平成 29 年 3 月。
- 2) 佐藤靖彦・細野高宏・杉本幸信・矢尾板啓・堺浩一・安井嘉文・石塚淑大：MMS と UAV 計測による盛土出来形計測の適用例，土木学会第 72 回年次学術講演会，VI-734，pp.1467-1468，2017,9。