

# MMSによる土工事の出来形管理の適用性検証

## －i-Construction（ICT土工）への展開－

### Verifying the Suitability of MMS for Finished Shape Management of Earthworks

#### - Potential Adoption for i-Construction (ICT Earthworks) -

宮田岩往\* 石田文宣\*\*

#### 要旨

国土交通省が推進している i-Construction の土工事（ICT 土工）において、3次元データを作成する測量作業（起工測量、出来形計測）を行うには、地上型レーザスキャナ、無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle：以下、UAV）による空中写真測量を用いることが一般的である。一方、公共測量では、作業規程の準則「車載写真レーザ測量」を用いて、道路管理における大縮尺地形図の作成にモバイルマッピングシステム（Mobile Mapping System：以下、MMS）が活用されている。今回、この MMS による計測を実施し、位置精度、網羅性、および植生の影響を検証し、MMS が i-Construction における出来形管理に適用できることを実証した。

キーワード：i-Construction、地上型レーザスキャナ、UAV、MMS

#### 1. まえがき

国土交通省は、「ICT の全面的な活用（ICT 土工）」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、より魅力ある建設現場を目指す取組である i-Construction<sup>1)</sup>を推進している。また、これらに関連した3次元データを作成する測量作業においても、国土地理院により「UAV を用いた公共測量マニュアル（案）<sup>2)</sup>」、「地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル（案）<sup>3)</sup>」が整備されており、土工事現場での活用が推進されている。一方、MMS は車両に搭載されたレーザスキャナ、デジタルカメラにより、レーザ点群データ、画像データを連続的に取得することが可能なシステムであり、公共測量においては、作業規程の準則「車載写真レーザ測量<sup>4)</sup>」を用いて、道路管理における大縮尺地形図の作成に活用されている。本稿では、MMS を用いて i-Construction の土工事における出来形管理（要求される位置精度は±0.05m 以内）での留意点を確認した。さらに、MMS による計測を実施し、位置精度、網羅性、および植生の影響を検証し、i-Construction における出来形管理への MMS の適用性検証を行った結果を報告する。

本検証で用いた MMS の外観を、写真－1、2に示す。土工事現場を網羅的に計測することを目的とし、今回は、工事用道路走行用、不整地走行用の2種類の MMS を使用した。工事用道路走行用 MMS は、昇降式レーザスキャナを搭載し、地面から 3.6m の高さからレーザを照射することにより、オクルージョン（計測死角：レーザデータを取得できないエリア）を軽減するとともに、法面に対してレーザを鋭角に照射することで、草等の隙間から地盤面のデータ取得を良好に行えると考えた（図－1）。また、不整地走行用 MMS は、写真－3に示すような着脱式の MMS ユニートを履帯式の不整地走行車両に搭載することで、普通車両が走行できない凸凹部、泥濘部などを走行させて計測することとした。なお、本検



写真－1 工事用道路走行用 MMS

#### 2. MMS の概要

\* 土木本部土木部 \*\* 九州支店土木部

証に使用した MMS は、GNSS 衛星の電波受信状況が良好な場合において、工事用道路走行用 MMS は自己位置の位置精度が水平 0.02m、高さ 0.05m（平均二乗誤差：以下、RMSE）、不整地走行用 MMS は水平 0.02m、高さ 0.02m（RMSE）で取得することが可能な機器を使用した。



写真-2 不整地走行用 MMS

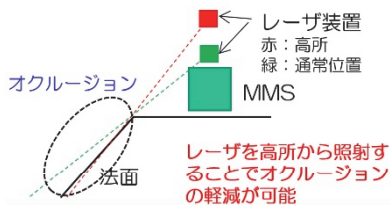


図-1 レーザ照射位置とオクルージョン



写真-3 着脱式 MMS

### 3. 計測場所および検証方法

本検証では、岩手県釜石市域における国道 45 号 釜石中央地区道路改良工事の施工現場 約 0.042km<sup>2</sup>、工事用道路全長 約 1.1km において、道路工の盛土・切土箇

所の一部施工完了時の出来形計測を行った。表-1 に工事の概要を、図-2 に MMS 計測車両の走行箇所を、写真-4 に計測状況を示す。工事用道路走行用 MMS は、工事用道路を走行して計測し、不整地走行用 MMS は、工事用道路および、重機用坂路や泥濘部など工事用道路走行用 MMS が進入できない箇所からも計測を行った。MMS 計測データの位置解析については、計測時に受信した衛星からの電波に含まれる電離層・対流圏による遅延誤差量の影響による位置精度の劣化を防ぐため、現場内電子基準点を設置して位置解析を行った。

また、本検証に使用する MMS の機器仕様に対して、出来形管理に必要なレーザデータの点密度を得るため、計測時の時速は工事用道路走行用 MMS を約 10km/h、不整地走行用 MMS を約 3~5km/h とし、計測の効率、安全性を考慮し、工事用重機や工事用車両が停止している昼休みの約 60 分で計測を行った。なお、MMS 計測における位置精度の検証では、i-Construction の出来形管理で要求される±0.05m を満たすため、約 100m の間隔で標定点を測量し、対標の設置を行った（図-3）。また、UAV の計測も共通の対標を使用して実施した。

表-1 検証を行った工事の概要

工事名称	国道45号 釜石中央地区道路改良工事
発注者	国土交通省 東北地方整備局
工事場所	岩手県釜石市甲子町第13地割
施工者	株式会社奥村組
工期	2016年08月10日~2018年08月31日
工事内容	掘削工：240,000m <sup>3</sup> 、盛土工：130,000m <sup>3</sup> 、法面工：30,000m <sup>2</sup> 、擁壁工：1式、現場打函渠工：1基、橋台工：1基、アスファルト舗装：3,000m <sup>2</sup>



写真-4 MMS 計測車両による計測状況



図-2 MMS 計測車両の走行箇所





図-3 標定点(補正点) 測量・対標設置

4. MMS の位置精度検証の結果

工事用道路走行用 MMS の位置精度検証について、電子基準点による解析結果と評定点による位置補正を行った結果を表-2に示す。MMS 計測における位置精度の検証から、電子基準点による解析結果は、水平残差 0.075m (RMSE)、標高残差 0.044m (RMSE) となり、公共測量における作業規程の準則、地図情報レベル 500 の位置精度(許容値: 水平残差 0.150m (RMSE)、標高残差 0.200m (RMSE)) を満たす結果であった。さらに、i-Construction の出来形管理において要求される±0.05m の位置精度を満たすため、標定点による位置補正(MMS の車両位置および姿勢を補正し、3次元レーザ点群およびカメラ位置の再計算処理)を行った。その結果、水平残差 0.024m (RMSE)、標高残差 0.017m (RMSE) となり、さらに水平残差 0.047m (最大値)、標高残差 0.049m (最大値) の結果についても、i-Construction の出来形管理の要求精度である±0.05m を満たした。以上の結果から、現況に合わせた機器を適用し、機器・計測仕様を考慮した標定点(補正点)を適切な間隔で配置することにより、i-Construction の出来形計測に利用できる位置精度が得られることが確認できた。

表-2 MMS 位置精度検証の結果

現場内 電子基準点による解析結果				
項目	X残差	Y残差	水平残差	標高残差
較差のRMSE(m)	0.042	0.062	0.075	0.044
較差の最大値(m)	0.072	0.089	0.098	0.075
標定点による位置補正を行った結果				
項目	X残差	Y残差	水平残差	標高残差
較差のRMSE(m)	0.015	0.020	0.024	0.017
較差の最大値(m)	0.041	0.046	0.047	0.049

5. MMS、UAV の3次元現況モデルによる比較

次に、2箇所目の切土法面部において MMS (工事用道路走行用、不整地走行用) 計測および UAV 計測による3次元現況モデルにより、地形形状の計測データの網羅性の比較を行った。

1箇所目の切土法面部における、工事用道路走行用 MMS の計測データによる3次元現況モデルおよび走行経路を図-4に、不整地走行用 MMS の計測データによ

る3次元現況モデルおよび走行経路を図-5に示す。なお、MMS によるレーザ点群データには色がなく地形の形状が表現し難いため、標高による色分け表示を行った。また、同一エリアで実施した UAV 写真測量成果による3次元現況モデルおよび点群データを図-6に示す。これらのモデルから網羅率(計測範囲の面積に対する3次元モデルの面積比)を比較した結果を表-3に示す。網羅率は UAV が一番高く、不整地走行用 MMS、工事用道路走行用 MMS の順となった。このエリアは急傾斜の重機用坂路があり、不整地走行用 MMS のみ走行できたため網羅率が高くなったが、計測時に稼働していた重機による未計測箇所が影響し、UAV より低い結果となった。

次に、2箇所目の切土法面部における、工事用道路走行用 MMS の計測データによる3次元現況モデルを図-7に、不整地走行用 MMS の計測データによる3次元現

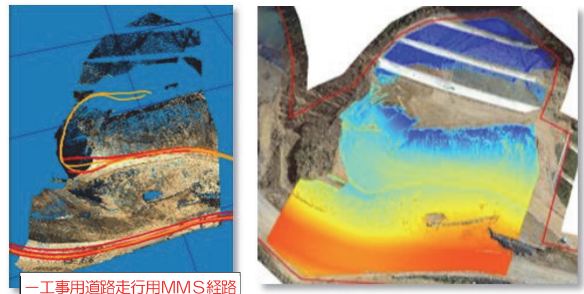


図-4 工事用道路走行用 MMS による現況モデル、走行経路

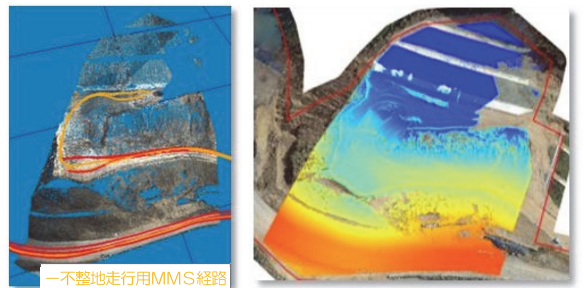


図-5 不整地走行用 MMS による現況モデル、走行経路

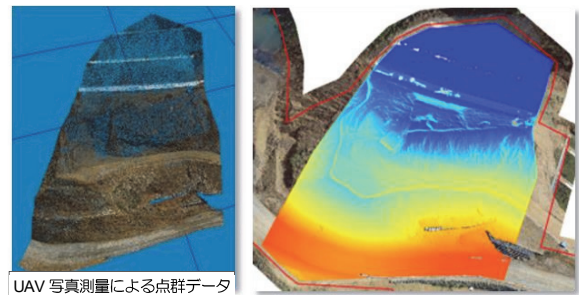


図-6 UAV 写真測量による現況モデル、点群データ

表-3 1箇所目の3次元現況モデルの網羅率比較の結果

機器	3次元モデル 面積(m <sup>2</sup> )	範囲 (m <sup>2</sup> )	網羅率 (%)
工事用道路走行用MMS	405,828	582,269	70%
不整地走行用MMS	470,696		81%
UAV	561,719		96%

況モデルを図-8に示す。また、同一エリアで実施した UAV 写真測量成果による 3 次元現況モデルを図-9に示す。1 箇所目と同様に網羅率を比較した結果を表-4に示す。このエリアでは MMS 計測の走行経路が同じであったため、高所にレーザスキャナを配置している工事用道路走行用 MMS の方が不整地走行用 MMS より若干高かった。MMS においては、法面の下部から計測を行った影響により、図-10に示すように法面の小段部においてオクルージョンが発生し、これが3次元現況モデルにおいて欠損領域となり、UAV よりも網羅率が低くなった。一方、法面の植生が繁茂している箇所では、MMS の 3 次元現況モデルでは、レーザ点群データが地表面に近い形状を取得できているのに対して、UAV の 3 次元現況モデルは、写真測量で計測を行い、植生の上でモデルを作成するため、植生が繁茂している箇所では地表面の取得が難しい結果となった(図-11)。



図-7 工事用道路走行用 MMS による現況モデル



図-8 不整地走行用 MMS による現況モデル

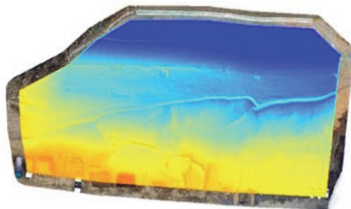


図-9 UAV 写真測量による現況モデル

表-4 2箇所目の3次元現況モデルの網羅率比較の結果

機器	3次元モデル 面積 (m <sup>2</sup> )	範囲 (m <sup>2</sup> )	網羅率 (%)
工事用道路走行用MMS	622,464	671,893	93%
不整地走行用MMS	605,627		90%
UAV	666,870		99%

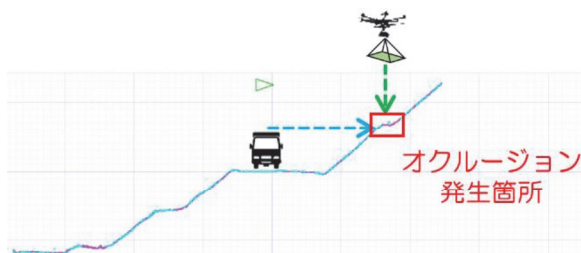


図-10 法面小段部のオクルージョン

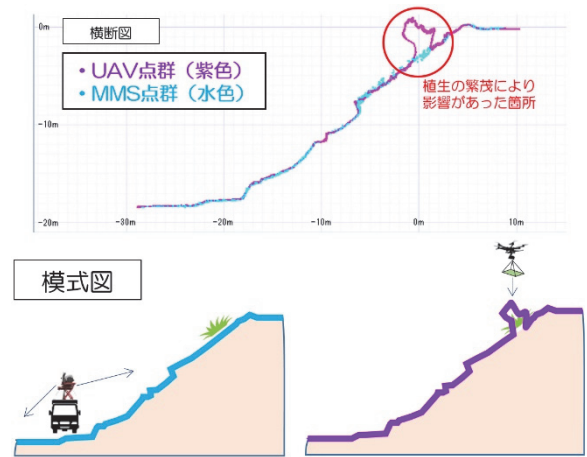


図-11 植生の影響による比較

## 6. まとめ

今回の検証により、土工事 (ICT 土工) の出来形管理に MMS が適用できることが分かった。MMS は、UAV と比較しても遜色ない精度を有していることが確認でき、起工測量で求められる精度±0.1m、さらに出来形管理で求められる精度±0.05m を確保できた。本精度を得るためには、現況に合わせた計測機器の選定、計測方法・手順などの計画が重要である。また、今回の検証では、工事用道路走行用 MMS、不整地走行用 MMS を使い網羅性を高めることを試みた。高低差の多いところでは、小段等の計測ができない部分が生じるが、通常の MMS よりも網羅性が高い結果が得られた。計測対象によっては、UAV が有効であるが、現場の条件により使用機材を選択することが重要である。特に強風などの気象条件や電波塔や高圧線等の電波や電磁波の影響により、UAV の墜落危険性が懸念される場所や植生が繁茂している現場では MMS の優位性が発揮できる。

## 7. あとがき

今後は、今回の検証を基に、多様な現場での適用を実施し、MMS および UAV の優位性を組み合わせた適用により、さらなる生産性の向上を図りたいと考える。

### 【参考文献】

- 1) i-Construction 委員会、「i-Construction ～建設現場の生産性革命～」、pp.8-13、2016.4
- 2) 国土交通省国土地理院、「UAV を用いた公共測量マニュアル (案)」、2017.3
- 3) 国土交通省国土地理院、「地上レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル (案)」、2018.3
- 4) 国土交通省国土地理院、「作業規程の準則」、pp.48-56、2016.3