

i-Construction の全面活用に向けた UAV 写真測量による土量計算誤差に関する考察

日本国土開発(株) 正会員 佐野 健彦
 日本国土開発(株) 正会員 ○中村 裕希
 日本国土開発(株) 佐藤 裕
 日本国土開発(株) 鈴木 一帆

1. はじめに

土工事における i-Construction¹⁾は、生産性の 5 割向上を至上命題とし、測量・設計・施工の全プロセスにおける情報化を前提としたシステムである。i-Construction の考え方に沿った土工事への全面活用に関しては、すでに佐野ら²⁾によって、有効性およびその可能性は報告されている。i-Construction の全面活用においては、無人飛行機 Unmanned Aerial Vehicle(UAV)の効率的活用が鍵となる。UAV は、写真測量の技術を利用することで、撮影したデジタル写真から画像処理技術を適用することによりオルソモザイク写真および数値表面モデル Digital Surface Model(DSM)を短時間で生成可能である。この技術は、土工事における土量管理に応用が可能である。従来の土量管理方法は、平均断面法による体積計算、三斜法による面積計算が標準として利用されてきた。今後は、管理断面以外の位置を特定しない多点計測の取得結果を利用した数量計算が期待される。一方で、3次元モデルにおける土量計算方法は種々あるが、モデル化の違いおよび撮影高度の違いが計算結果に与える影響の把握は重要である。本稿では、UAV を活用した土量算定法による数量の違いについて考察する。

2. UAV を用いた写真測量の概要

写真測量に用いた UAV およびデジタルカメラの諸元を表-1 に示す。UAV 写真測量は、図-1(a)に示す盛立て開始前の地形測定および図-1(b)に示す盛立て後の地形測定を撮影高度を変えて実施した。写真測量の対象は、延長 325m、平均幅 45m、平均高さ 8m の盛土構造物とし、撮影対象エリアは 1.2ha であった。図-1(a)および図-1(b)に示す 3D 点群データは、UAV 写真測量により得られた写真画像を、表-2 に示す Pix4Dmapper を使用しバンドル調整法を用いた標定計算によって処理することで得た。UAV は、GPS 測位によって撮影時の位置座標を取得しているが、より精度を向上させる

表-1 写真測量に用いた機器諸元および撮影概要

4 発マルチローターUAV enRoute Zion QC730			一眼レフデジタルカメラ SONY α 6000	
本体寸法	479.42(mm)× 479.42(mm)		焦点距離 f	16(mm)
撮影高度 H	50(m)	80(m)	露出時間 T	1/1250(秒)
飛行時間 T	8.5min	10min	絞り値	22
平均飛行速度 V	3.5(m/s)	3.5(m/s)	シャッター 間隔	2(秒)高度 50m 5(秒)高度 80m
撮影エリア面積	3.56(ha)	4.86(ha)	撮影素子サイ ズ d_s	23.5(mm)
地上分解能 ΔXY	12.24 (mm/pix)	19.58 (mm/pix)	有効画素数 $m(=m_x \times m_y)$	6000×4000 =2400 万(pix)
オーバーラップ サイドラップ 撮影枚数	80.00% 70.00% 211(枚)	80.85% 81.28% 88(枚)	画像分解能 ϕ	0.003917 (mm/pix)



(a) 盛立て前の地形測定



(b) 盛立て後の地形測定

図-1 UAV 写真測量に基づく 3D 点群モデル

表-2 使用アプリケーションの一覧

用途	アプリケーション名
UAV 飛行計画	Mission Planner Ver.1.3.32
デジタル写真画像処理	Pix4D mapper Ver.2.0.104
点群処理および土量計算	TREND-POINT 2016Ver.3
土量計算	AutoCAD Civil 3D 2016

表-3 対空標識 6 点における RMS 誤差

座標成分 撮影高度	X 誤差 (m)	Y 誤差 (m)	Z 誤差 (m)	平均 RMS 誤差 (m)
50m	0.020	0.008	0.025	0.018
80m	0.033	0.014	0.023	0.023

キーワード UAV, 写真測量, i-Construction, 情報化施工, CIM

連絡先 〒107-8466 東京都港区赤坂 4-9-9 日本国土開発(株)土木本部 TEL. 03-5410-5750 E-mail : takehiko.sano@n-kokudo.co.jp

表-4 土量の計算方法

計算手法	特徴
4点平均標高法	4つの格子点に囲まれた矩形領域に対し、各格子点を平均した標高を領域全体の標高と考え、柱状法により計算する。
4点柱状法	4つの格子点に囲まれた矩形領域に対し、各格子点が矩形領域の1/4を代表する標高と考え、各領域で柱状法により計算した後に合算する。
1点法	格子点を中心とした矩形領域を考え、格子点の標高を柱状法で土量を計算する。
平均断面法	両端の断面積を平均し、これに両断面間の距離を乗じて体積を算出する。
プリズモイダル法	平均断面法の両端断面に加え、連続する2つの測点の中間部の断面を追加で使用して計算する。

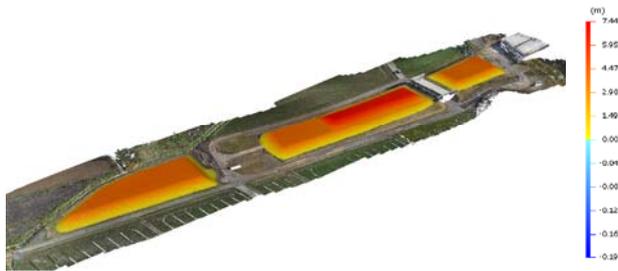


図-2 現況地盤面を基準値とした盛立て高さの差分表示(4点平均標高法 1mメッシュ)の例

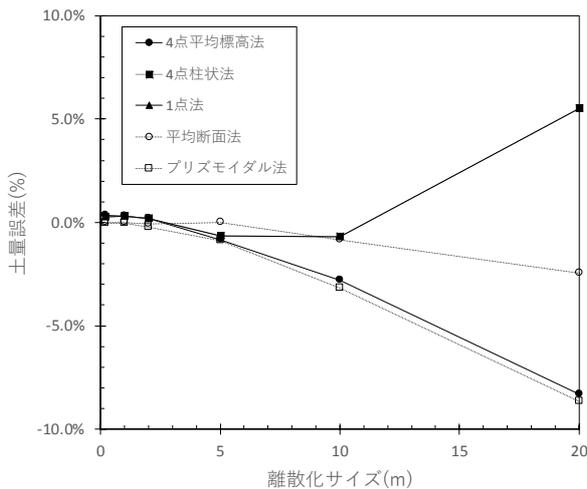


図-3 撮影高度 50mにおける離散化サイズと計算モデルの違いによる土量計算誤差

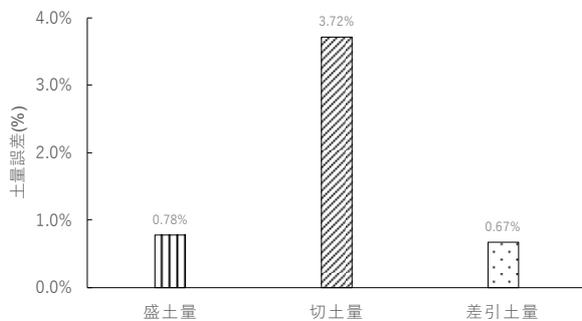


図-4 撮影高度の違いによる計算誤差

ため、地上に設置した6箇所の対空標識によって補正した.表-3に示す6箇所の対空標識における平均RMS誤差は、撮影高度50mで0.018m、撮影高度80mで0.023mであり、3Dモデルは十分な精度を有していることを確

認した.表-1に示す地上分解能は、式(1)より算定した.

$$\Delta XY = H \times \delta_p / f, \quad \delta_p = d_x / m_x \quad (1)$$

ここで、 ΔXY は地上分解能(mm/pix), H は撮影高度(mm), δ_p は画像分解能(mm/pix), f は焦点距離(mm), d_x はx方向撮影素子サイズ(mm), m_x はx方向画素数(pix)である.

3. 土量計算方法の概要

土量計算手法およびUAVの撮影高度が土量計算結果に及ぼす影響について検討した.土量計算方法は比較のために表-4に示す5手法を採用した.それぞれの特徴は表-4に示す通りである.図-2は、図-1(a)に示した現況地盤面を基準値とし、図-1(b)に対して4点平均標高法を用いた盛立て高さの差分表示の例である.

図-3は、TINサーフェスモデルを基準とした各手法による計算結果を離散化サイズ毎に整理した図である.

離散化サイズが5m以下の範囲であれば、各計算手法の誤差は±1.0%以内であることが図から読み取れる.一方離散化サイズが5mを超えると誤差の範囲は大きくなり、離散化サイズが20mでは、誤差が±7.0%と大きくなっていることが分かる.図-4は、撮影高度の違いについてTINサーフェスモデルを基準として比較した図である.撮影高度の違いによる影響は、約4%程度であり、撮影高度の違いが結果へ与える影響は小さい.

4. まとめ

本稿では、i-Constructionの全面活用に向け、UAV写真測量による土量計算誤差に関する検討をした.今回の検討範囲内で得られた知見を以下にまとめる.

- 1) 土量を算出する種々の方法の比較を行った結果、メッシュサイズが5m以下では、それぞれの計算誤差が±1.0%程度であり、いずれの計算方法によっても問題無いことが分かった.
- 2) 土量算出においては、UAVの撮影高度50mと80mの違いによる影響は小さくいずれも十分な精度を有している.撮影高度は、求められる測量精度に応じて選択することで効率的な土工事を行うことが出来ることが分かった.

参考文献

- 1) 建設記者クラブ配布資料 2015.11.24(国土交通省)<http://www.mlit.go.jp/common/001111976.pdf> (2016年1月4日時点)
- 2) 佐野健彦, 佐藤裕, 鈴木一帆: ICTを全面活用した造成工事の実績および精度検証, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会, 土木学会, VI-24, 2016