

大規模河川工事におけるUAV測量を 活用した土量管理の効率化

EFFICIENT SOIL MANAGEMENT USING UAV SURVEYING IN LARGE-SCALE RIVER CONSTRUCTION

八木裕人¹・石原正義²・中澤高廣³・石塚淑大⁴

Hiroto YATSUKI, Masayoshi ISHIHARA, Takahiro NAKAZAWA and Yoshihiro ISHITSUKA

¹正会員 河川財団 河川総合研究所 副所長 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9)

²正会員 博(環境) 河川財団 河川総合研究所 主任研究員 (同 上)

³非正会員 国土交通省 関東地方整備局 下館河川事務所 工務課 (〒308-0841 茨城県筑西市二木成1753)

⁴非正会員 パスコ 事業統括本部 新空間情報部 空間情報課 (〒153-0043 東京都目黒区東山2-8-10)

In the Kinu River, which was destroyed by heavy rains in Kanto and Tohoku in September 2015, the river maintenance project is currently underway with the aim of completing the Kinu River Emergency Measures Project in 2021. The main project is the embankment development for a total length of about 66 km, and the necessary embankment is large-scale river construction with a size of 4.4 million m³ or more. The purpose of this study is to improve the efficiency of soil volume management by measuring and grasping the soil volume in the stock yard at smaller intervals than before by UAV surveying. In this report, we conducted the following for two stockyards and confirmed the effects and effectiveness. In the management of soil volume by this UAV survey, it was verified that the soil volume could be grasped with an error of $\pm 5\%$ or less even without ground control points. The embankment status was made "VISIBLE" by UAV surveying, and fine soil volume management was realized.

Key Words : UAV survey, Soil management, Stock yard management

1. はじめに

平成27年9月関東・東北豪雨で決壊した鬼怒川では、現在、鬼怒川緊急対策プロジェクト(H27～R2年度予定)として令和2年度完成を目指し、河川整備事業が進められている。主たる事業は左右岸総延長約66km(距離標2.3～46.6k)にわたる堤防整備であり、必要な築堤土は440万m³以上の大規模河川工事である。築堤土の確保は、河道掘削土(砂)、シールド工事等からの建設発生土(泥土)、購入土(砂礫)等多岐にわたり、これらは鬼怒川周辺のストックヤードへ搬入し、築堤土として適切な品質に改良し搬出する。各ストックヤードにおける大量の土の搬入及び搬出を適切な粒度調整の観点も含め管理することが築堤工事を円滑に進めることへ寄与することとなる。

現在のストックヤード内の土量算出方法は、盛土材を四角錐台等に整形し長さ高さ計測し、盛土一山毎に実施している。盛土整形は重機作業であり時間と経費を

要し、また、土量の検収まで盛土材を搬出できない、搬入中の正確な盛土量は分からない等の問題がある。

一方、UAVによる面的測量が様々な場所で活用されているが、「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)平成29年3月改正」¹⁾等に準拠すると、測量精度や工事の出来形精度の確保のため複数の基準点設置とその座標測量等の実施が必要となる。これらの事前準備の測量作業により、作業の長時間化や作業人員の確保が必要となり、UAV測量のコストの増加につながり、UAV導入による作業の効率化やコスト削減の観点で十分な効果が発揮されていない。

そこで、UAV測量の一つの利点である『短時間で可能な面的測量』という機能を、日々出し入れがあり変化する『ストックヤード内の土量把握』へ適用できるかどうかに着目した。ストックヤードの盛土の管理においては、築堤工事のような出来形精度は不要であり、材料としての土量の把握が重要となる。従来の搬入時に1回のみ土量計測に比べ、時間的に密な間隔(月2回程度)

で土量を計測することで、土量管理の効率化を図ることが可能かどうかについて検討する。

本報告では、2箇所のストックヤードを対象として、次の3点に着目しその効果と有効性を確かめることとした。

(1) 陸上基準点の有無での土量計測精度の検証

陸上に基準点（対空標識）を設置した場合と設置しない場合での土量計測精度を現地にて検証し、その誤差量を把握する。

(2) 各種築堤材の土量管理と盛土状況の見える化

対空標識を設置しない条件で、ストックヤード内の盛土状況をUAV測量により空中写真を撮影し、さらに3次元データ化し、砂や粘土等の各種盛土の土量計測を行う。撮影した空中写真を3次元のデータへ重ね、時点の盛土状況を分かりやすく見える化し、管理の効率向上を促す。

(3) 築堤土の搬入出中の時点の全体土量の把握

従来は管理していない搬入・搬出途中の土量についても、定期的にUAV測量により全体土量を計測することで、土量の在庫管理が可能かどうか検証する。



図-1 UAV撮影から土量算出までの全体実施フロー



図-2 UAVによる飛行ルートと撮影計画図

2. 陸上基準点の有無での土量計測精度の検証

(1) 目的

UAV測量用の陸上基準点（対空標識GCP：Ground Control Point）を設置した場合と設置しない場合での計測精度を実際に工事が進行しているストックヤードにて土量計測を行い、その精度を検証することを目的とする。

(2) 内容

a) 実施概要

本検証では、ストックヤードにおける盛土の土量算出に関して、GCPの有無の違いによる土量の検証を行った。

b) 実施時期、場所、範囲

UAV測量を実施した場所と範囲を以下に示す。

実施時期：令和元年5月（GCP検証）

実施場所：結城ストックヤード（茨城県結城市林）

実施範囲：71,000m²（南北約550m、東西約250m）

c) 実施機器

UAV測量に用いた機器と操作アプリを以下に示す。

実施機器：Mavic 2 Pro（DJI社製）

操作アプリ：Litchi for DJI（UAV用自動操縦アプリ）

d) 土量算定方法

土量算定に用いた画像処理、土量算出等に関するソフトを以下に示す。UAVにより上空から水平直下を撮影した画像を合成し、3次元の点群データ化する。

撮影高度：73m

地上画素：2cm/画素

オーバーラップ（UAV進行方向重複率）：85%

サイドラップ（UAV飛行隣接ルート重複率）：65%

画像処理：Pix 4D Mapper（3次元点群データ作成等）

土量算出：ArcGIS（土量算出・図面作成等）

e) 実施ケース

本検証では、対空標識の有無を比較するため次の2ケースを実施した。対空標識を設置していない場合は、各地点の標高値が不明となる。Case1及びCase2の両ケースとも盛土周辺の地盤高を基準とし、その高低差より盛土量を算出する。なお、Case1は平面図と合成空中写真を重ね、平面距離と画像ピクセルを合わせ土量算出を行った。Case2は「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）平成29年3月改正」¹⁾に準拠した手法で実施し、ストックヤードの周囲に200m程度以下の間隔で対空標識GCPを設置し座標及び標高を計測した。

Case1：対空標識（GCP）なし

Case2：対空標識（GCP）あり（8基設置）

f) 実施フロー

UAV撮影から土量算出までの全体実施フローを図-1に示す。1)撮影計画→2)対空標識の設置・観測→3)UAV撮影→4)撮影写真の調整（SfM解析）→5)3次元点群データとオルソ画像の作成→6)土量算出の6ステップであり、このうちの、2)対空標識の設置・観測についての有無の違いをCase1とCase2として整理する。

ステップの3)UAV撮影についてUAVの飛行ルートの設定例を図-2に示す。飛行ルート・高度・速度・撮影間隔等を事前に設定する。本設定ファイルを読み込むことで、毎回同じ画角で撮影することが可能となる。

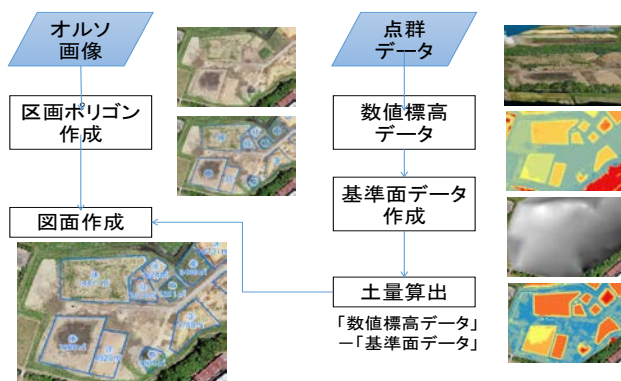


図-3 オルソ画像と点群データの合成に関するフロー²⁾

3次元点群データとオルソ画像の合成に関しての実施フローを図-3に示す。盛土表層の3次元点群データにより土量を、オルソ画像より盛土の土質等の状況を可視化した立体図を作成する。なお、本報告での河道内の掘削土（赤茶の砂質土）とトンネル掘削等での建設発生土（灰色の粘性土）は、土の色の違いが分かりやすく、画像から土質を判別しやすい状況であった。

(3) 結果

a) 土量算出におけるUAV写真測量の適用性

表-1に、ストックヤードへ搬入及び盛土整形した直後に計測した検収時（平成31年4月以前）の各盛土の土量（100m³未満切捨）をCase0に、また、今回（令和元年5月）UAVにより計測した土量の算出結果をCase1とCase2に示す。図-4に、オルソ画像と土量算出箇所を示す。なお、No.1～17の盛土のうち、Case0時点から土砂の搬入出が無い9箇所の盛土を抽出し、実測値と算出値を確認し、その比率を整理した。

対空標識(GCP)を設置したCase2の土量算出結果では、実測値の比率Rate2で73%～121%の範囲内となり、平均値では95%であり、土量算出におけるUAV写真測量は十分に適用可能と考える。なお、No.5では表層に草類が繁茂したため当初より土量が増え121%となった。一方、No.13では73%となっており、盛土後の法面の崩れや圧密等が要因で土量の差が生じているものと考えられ、測量時に留意する必要がある。

b) 対空標識GCPの有無の違いによる土量の検証

対空標識の設置の有無での土量について検証する。前述の表-1のCase1とCase2の比率Rate(B/C)に示すように、Case1とCase2の比率は98～101%である。Case0の総土量71,300m³に対し、差分(B-C)は646m³（0.9%）の差となる。本検証結果より、対空標識を設置したCase2を正值とすると、対空標識を設置していないCase1の土量は±2%以内の精度となっている。本報告のように、平坦なストックヤード内の盛土の場合、斜面や階段地形上のストックヤードに比べ、対空標識GCPの有無の差が生じにくかったと推察される。

表-1 土量算出結果

Unit:m³

No.	Case0 (実測)	Case1 (GCP無)	Case2 (GCP有)	Rate1 B/A	Rate2 C/A	差分 B-C	Rate B/C
1	30,000	28,856	29,527	96%	98%	671	98%
5	2,000	2,456	2,423	123%	121%	-33	101%
7	3,000	2,968	2,940	99%	98%	-28	101%
8	1,100	1,246	1,246	113%	113%	0	100%
11	1,300	1,203	1,224	93%	94%	21	98%
13	2,200	1,593	1,612	72%	73%	19	99%
14	17,700	14,429	14,411	82%	81%	-18	100%
16	8,600	7,244	7,200	84%	84%	-44	101%
17	5,400	4,871	4,929	90%	91%	58	99%
Sum	71,300	64,866	65,512	91%	92%	646	99%
Max	30,000	28,856	29,527	123%	121%	671	101%
Avg	7,922	7,207	7,279	95%	95%	72	100%
Min	1,100	1,203	1,224	72%	73%	-44	98%

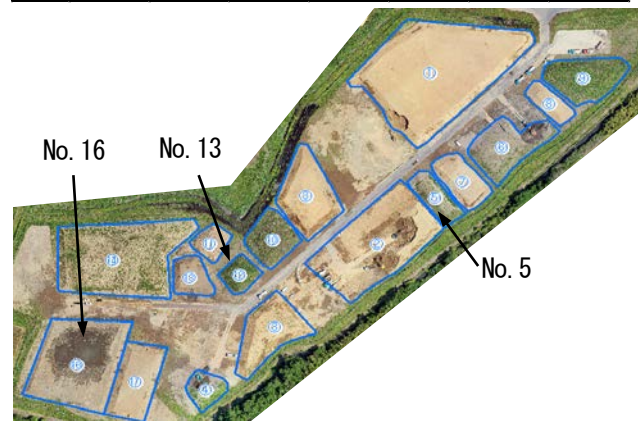


図-4 オルソ画像と土量算出箇所

3. 各種築堤材の土量管理と盛土状況の見える化

ストックヤード内の盛土状況をUAV測量により、3次元で『見える化』し、砂や粘土等の各種盛土の土量把握の効率化を図った。現場での作業時間や作業人員より、作業比率を整理した結果を表-2に示す。対空標識の設置とその標高の計測作業のため、本検証でのストックヤード（面積71,000m²）において、200m程度の間隔で対空標識を設置した場合、計測作業人員2名、作業時間90分程度となった。これらを設置しないCase1の人工を1とすると、Case2の人工は8となり、土量計測作業のみについては、約1/8に作業を効率化できたと言える。

表-2 現地での作業比率

項目	Case1 (GCP無)	Case2 (GCP8基)
現場作業 時間(分)	GCP設置	-
	GCP高測量	-
	UAV準備	10
	UAV測量	20
	合計	30
現場作業 人員(人)	GCP設置・測量	-
	UAV準備・測量	1
	合計	1
作業人工(人・時間)	0.5	4.0
作業人工比率	1.0	8.0

4. 築堤土の搬入出中の時点の全体土量の把握

図-5に、月に2回、撮影したストックヤード内の搬入出状況の変化を示す。図内の左下No.14では徐々に搬出され、11月末時点で0m³となり、その後、搬入されストックされていく様子が判る。

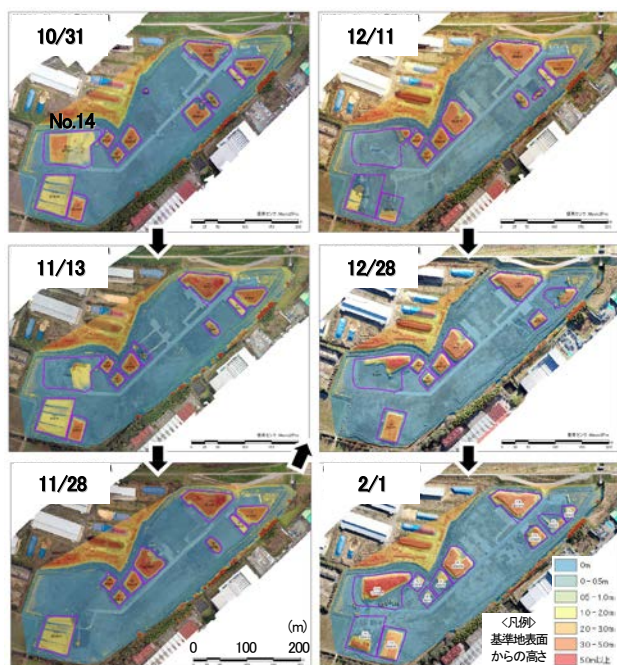


図-5 スtockヤード内の搬入出状況

盛土搬出時のオルソ画像と標高データを重ねた図を図-6に示す。このように盛土を搬出し始めると、現地での測量による土量把握は困難であり測量を行うとしても時間と労力を要する。UAV測量を行うことで短時間の作業で、ある時点での残土量を把握することが可能である。

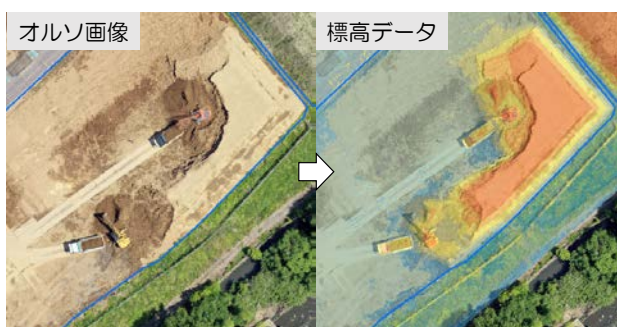


図-6 搬出途中時点の残土量の把握

図-7に、計7回計測したストック量の推移を示す。これより、月にどの程度搬出し、また、搬入したかが判る。結城ストックヤードでは、総量の収支で見た場合に、10月に4,500m³/週程度の搬出があり、その後の1月では、2,200m³/週程度の搬入があったことが判る。このように、各ストックヤードでのストック量の実績推移を把握することで、時期、質、量に関して精度の高い予測のもと、

その後の土量管理計画を逐次更新し、築堤材料の調達を円滑に行うことが可能となると考えられる。

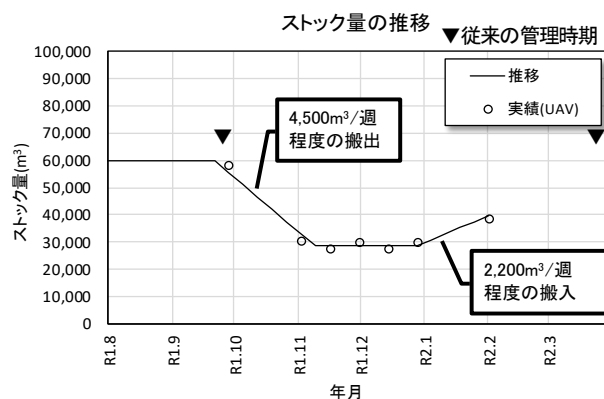


図-7 スtock量の推移

5. 終わりに

本報告で検証した結果について、以下に示す。

- ・今回のストックヤードの盛土を対象としたUAV測量による土量管理では、基準点を設置しない場合でも±2%以内の誤差で土量を把握しうることを確認した。
- ・ストックヤードの盛土のように平坦な場所での土量管理では、基準点設置に係る作業を省略しコスト削減を図り、UAV測量により土量管理の効率化を図ることが可能である。
- ・定期的に、同飛行ルートでUAV撮影を行い、盛土状況を重ね比較することで、ストックヤード内の土量の推移を容易に把握することが可能である。また、これらの実績値より、土量収支の予測も立てやすくなる。

今後は、河川敷の河道掘削箇所での変状把握や砂州の堆積状況の把握等に関しても、対空標識非設置で適用可能かどうか検証し、適用場所や適用範囲を拡張することが考えられる。

参考文献

- 1) 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）平成29年3月改正，2017
- 2) 国土交通省国土地理院：数値標高データ，<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>，2019

(2020. 4. 2受付)