

ドローンを用いた空撮測量の実工事への適用

加 藤 康 生・松 永 たかこ

大規模造成工事などの土工事では、施工計画や施工管理等で、地形測量が非常に重要である。しかしながら、これまでは光波測量や GNSS 測量が一般的で、時間やコスト、安全性等で種々の制約があった。

本報文では、ドローンを用いた空撮測量の精度検証を行い、大規模造成工事の施工管理に初めて適用し、高い効果が確認できたので、その内容について報告する。

キーワード：土工事，施工管理，空撮測量，ドローン，地形測量，i-Construction

1. はじめに

少子高齢化が進み建設業においても熟練工の不足や次世代の担い手不足が深刻化してきている。さらに、土工事ではこの約 30 年間に於ける生産性の向上は僅かであった。このような状況の中、国土交通省は「i-Construction」への取組み・推進を決め、土工事における生産性向上に向けた対策が本格的に始動した。

ドローンを使った空撮測量もそのうちの一つであり、その効果が大いに期待されている。

今回、ドローンを用いた空撮測量（写真—1）の精度向上と実工事への適用を図り、高い効果が確認できたので、その概要と効果について報告する。



写真—1 空撮実施状況

計画が策定され、切土・盛土の土量配分が決められている。

この土配計画策定に使用される「土量変化率」は事前の地質調査結果や、過去の施工実績等に基づいて設定されるが、刻々と変わる土質条件や施工条件により、計画通りに行かず、土配計画に差異を生ずることが多い。しかも、大規模造成工事では、大型重機を多数使用するので（写真—2）、日当り作業量が数千 m^3 ～数万 m^3 となる。したがって、この差異を放置したまま施工を続けると、工事終盤になって、数万 m^3 という大量の過不足が生じ、工事の大幅な計画変更や手戻りが発生することになる。



写真—2 大型重機稼働状況

2. 大規模造成工事における施工管理

(1) 進捗管理

大規模造成工事においては、計画・設計段階で土配

そのため、施工途中での進捗管理では、対象範囲の地形測量を行うことで、当初の土配計画と実施工状況との差異を早期に把握し、妥当性確認や将来予測に活用している。さらに、必要であれば造成形状の変更も含め、計画変更等の対策を講じることになる。

このように、大規模造成工事における進捗管理は、



写真—3 光波測量とGNSS測量

工事の成否を決める重要な管理ポイントと言える。

(2) 従来の現地測量方法

従来の現地地形測量は一般的に下記の方法で行っている。

- (a) 光波測量機，GNSS 測量機（写真—3）による地形測量

最も一般的な方法で，人が測量機器を持ち，対象範囲内を歩いて，地形変化点を計測するものである。したがって，測量範囲が広がる程，作業に膨大な時間を要する。また大型重機が稼働している場合には，安全性を考慮して測量作業は不可となる。また，地形変化点は測量者の判断によるため，誤差も大きくなる。

- (b) 3D レーザースキャナーによる地形測量（写真—4）

高精度な測量と3次元データの取得が可能のため，近年普及が進んでいる。離れた場所から高精度な地形測量が可能だが，地形の起伏や重機等により死角となる場所のデータは取得できないため，測量機械の盛替えが必要となる。また，光波測量機と比べてまだまだ高価である。



写真—4 3D レーザースキャナー

3. ドローン空撮測量

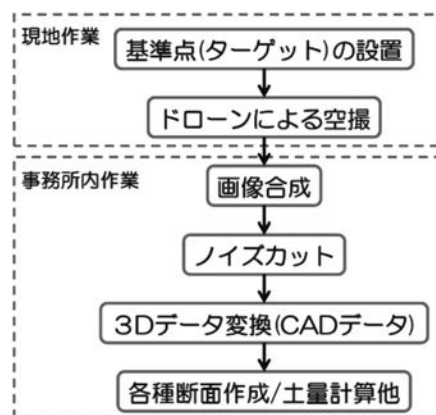
(1) ドローン空撮測量の特徴

上述した従来の測量方法に対し，ドローン空撮測量は下記の特徴がある。

- ①稼働重機を止める必要がない。
- ②短時間で広範囲の撮影（測量）が可能である。
- ③遠隔操作のため，重機との離隔が確保でき安全である。
- ④モニターを見ながらの作業のため，撮影漏れがない。

(2) 作業フロー

ドローン空撮測量の作業フローを図—1に示す。図中の「基準点（ターゲット）の設置」は，事前準備作業であり，最初に1回設置すれば，基本的には2回目以降は不要な作業である。事務所内作業は空撮した写真を基にパソコン上で行う作業である。



図—1 作業フロー

(3) 測量精度

ドローン空撮測量を実工事に適用可能なレベルまで精度を向上させるため，種々の検討を行った。

表—1 に示す項目が、空撮測量の精度に影響するパラメーターである。これらを様々なパターンで組合せて精度比較を行い、最適化を図った。

表—1 空撮測量の精度に影響するパラメーター

分野	項目	要因
ハード面	カメラ	レンズ焦点距離、解像度
	ドローン本体	カメラ搭載能力
ソフト面	合成・変換ソフト	写真合成、データ変換
運用面	基準点	配置、間隔
	撮影方法	飛行高度、速度、撮影間隔（写真ラップ率）

(4) 精度の検証

ドローン空撮測量を実際に適用する前に、各測量方法の精度を比較し検証を行った。検証は高精度測量が可能な 3D レーザースキャナーを基準として、ドローン空撮測量と光波測量の差異を比較して行った。

(a) 3D レーザースキャナーと空撮測量

どちらも、3次元データを持った点群（図—2）を取得できるため、同一エリアの測量をそれぞれの方法で行い、エリア内の同一ポイントでの高低差比較を行った。

図—3 に比較結果を示す。測量範囲内の 99.39% が、

高低差 10cm 以内となっていることがわかる。

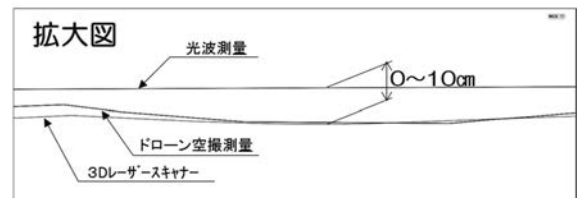
(b) 3D レーザースキャナーと光波測量と空撮測量

光波測量との比較は断面測量（断面図）を用いて、高低差の比較を行った。3D レーザースキャナーによる測量結果から、同一位置の断面図を作成し、各点での高低差を比較した。さらに、ドローン空撮測量による同一位置の断面図についても比較を行った。

図—4 に重ねた断面図を示す。光波測量よりもドローン空撮測量のほうが 3D レーザースキャナーに近い結果となっていることが分かる。

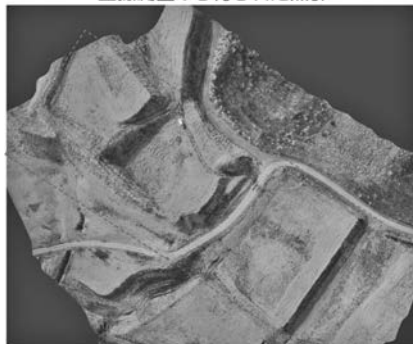
断面図

DL=205.0
DL=200.0
DL=195.0



図—4 断面図比較

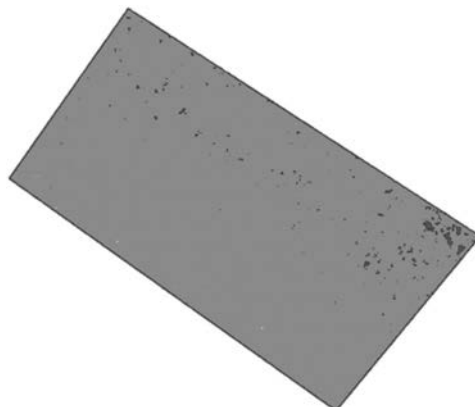
空撮測量から得られた点群



3Dレーザースキャナーによる点群



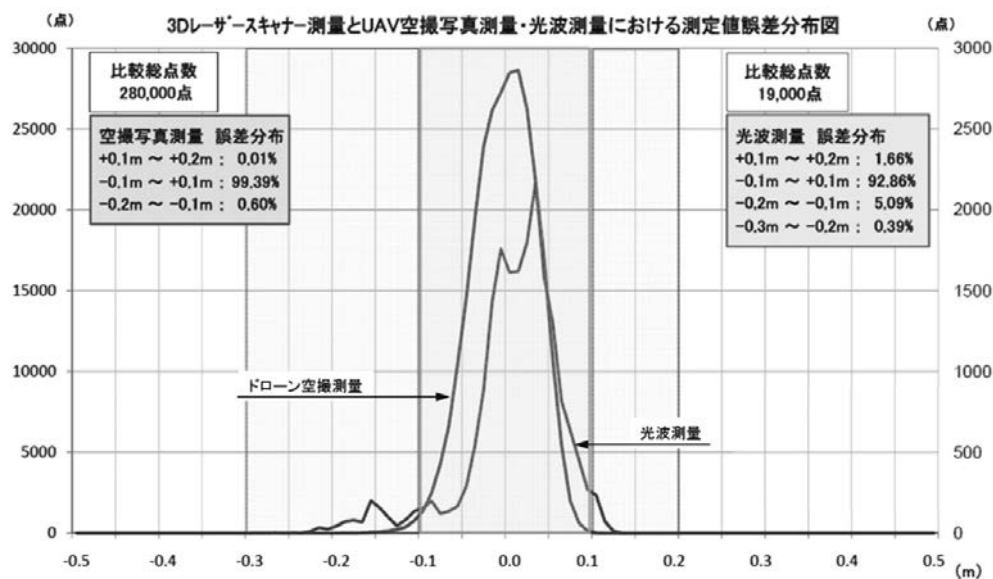
図—2 点群データ



凡 例

番号	色	標高差 (cm)		面積比率
		最小	最大	
3	■	+10	~ +11.9	0.01%
2	■	-10	~ +10	99.39%
1	■	-25.3	~ -10	0.60%

図—3 高低差比較



図—5 誤差分布グラフ

以上の比較結果をグラフ化したものを図—5に示す。これまで、大規模造成工事の進捗管理には、光波測量が広く使われてきたこと、また精度的には3Dレーザースキャナが最も高精度であることを考えると、ドローン空撮測量は、進捗管理の手段として十分に適用可能と考え、適用に至った。

4. 実工事の施工管理への適用

(1) 適用工事概要

工事場所：関東地区

敷地面積：100万 m^2 以上

土工量：約100万 m^3 （敷地内でバランス）

施工期間：約7か月（土工事）

(2) 本工事の特徴

本工事は、約7か月で100万 m^3 以上の土工事を行うものであり、工期の厳しい工事であった。このため、

重機の稼働率を確保することが非常に重要であり、出来る限り重機を止めない施工管理が求められた。さらに土量のアンバランスによる手戻りや急な計画変更を避けるため、高い精度での進捗管理が必要であった。

一方で、施工範囲が広大なため、従来方法による地形測量を、短時間かつ頻繁に行うことは不可能であった。

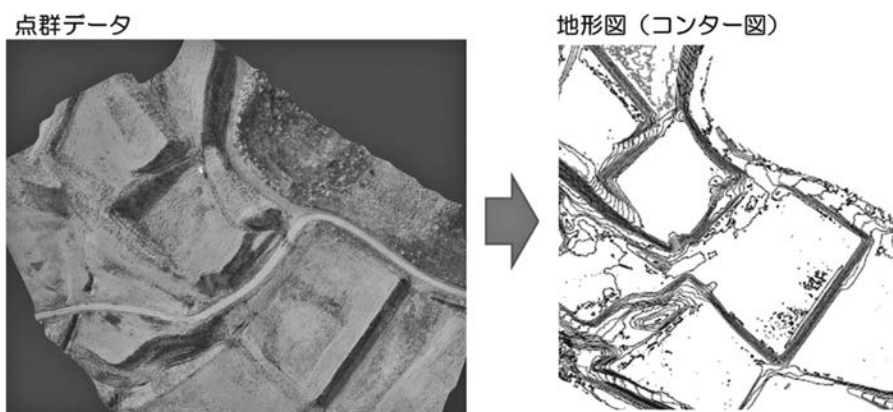
(3) 適用内容

(a) 地形測量

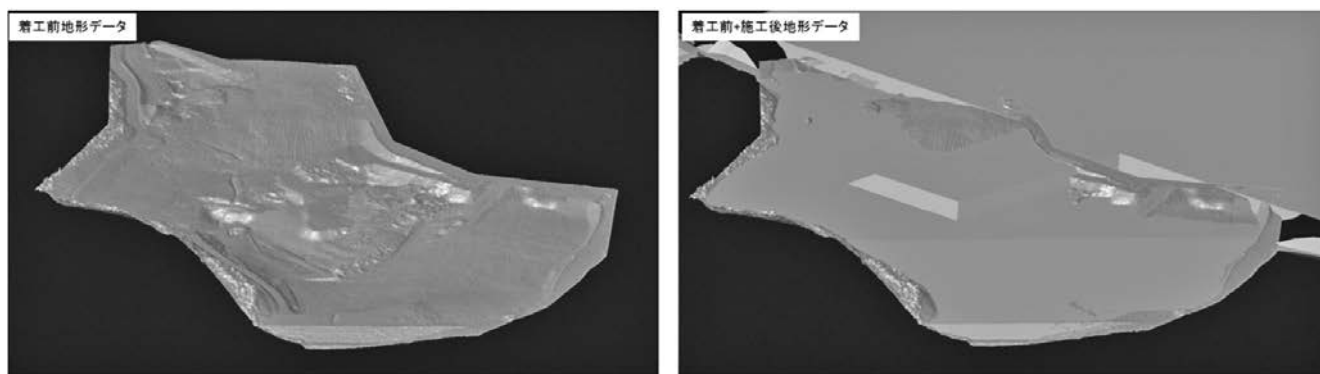
空撮測量から得られた地形図を基に、造成計画の作成や仮設道路計画の作成を行った。地形図は3次元データとなっているため、3D-CADによる作業が可能である（図—6）。

(b) 調整池容量確認

本工事の防災調整池は、元地形利用のため複雑で、しかもその面積は80,000 m^2 以上と非常に広大であった。このため、ドローンによる空撮測量を行い、調整池出来形容量の確認を行った。



図—6 地形図変換



図一七 地形図からの土量計算

(c) 土量計算

重機土工事の進捗管理として、空撮測量から得られた施工途中の地形データと、着工前の地形データを重ね（図一七）、切土量・盛土量の施工済み土量を把握した。また、完成地形データと比較して残施工量を算出することで、最終土量バランスの予測を行い、土配計画の修正を行った。

(4) 実績

本ドローン空撮測量を実工事の施工管理に適用した結果、得られた効果を下記に挙げる。

①空撮から図面作成までに要する時間が短い

表一２に従来の測量方法との所要時間と概算費用の比較を示す。表を見てわかるように、大幅に短縮されたことがわかる。

表一２ 従来測量との比較

測量方法	測量面積	測量日数	成果品 作成日数	概算費用 UAVを1.0 とした場合
ドローン 空撮測量	約2ha (平坦)	1時間	1人工 (1日)	1
3Dレーザー 測量		1日	2人工 (2日)	4
光波測量		3日	10人工 (5日)	5.6

②光波測量と同等以上の精度

これまでの一般的な光波測量機による地形測量より精度は向上し、3Dレーザースキャナーにより近い結果が得られた。

③現場の安全性が向上

現地作業は遠隔操作のため、重機稼働エリアに立ち入ることなく作業ができ、重機との接触リスクがなくなった。

④重機稼働を止める必要がない

上空からの撮影のみなので、重機を止める必要がなく、測量のための工程ロスがなくなった。

以上より、ドローンによる空撮測量は、大規模造成工事の施工管理において、品質・安全・工程上で高い効果を得ることができた。

5. おわりに

今回、ドローン空撮測量を土工事の施工管理に適用し、生産性が非常に向上することが確認できた。今後も改良を進め、測量精度を上げることで、出来形管理他にも展開して行く。またダム現場においては、高精度でかつ樹木等の下部の地形データが得られる、ドローンによるレーザー測量技術を既に適用している。この両測量技術を、目的や要求精度によって適宜使い分け、工期・コスト面での最適化を図っていく予定である。

J C M A

【筆者紹介】

加藤 康生（かとう やすお）
鹿島建設㈱
土木管理本部土木工務部環境緑化造成 Gr
グループ長



松永 たかこ（まつなが たかこ）
鹿島建設㈱
土木管理本部土木技術要素技術開発 Gr
職員

