

回転翼型 UAV を用いた土量管理及び施工計画

(株)大林組 正会員 ○高橋 孝輔
(株)大林組 正会員 杉浦 伸哉
(株)大林組 正会員 梅田 悠輔

(株)大林組 正会員 平山 浩司
(株)大林組 正会員 八巻 謙二
(株)大林組 正会員 尾内 陽介

1. はじめに

大土工の掘削工事において掘削量や搬出量を把握する場合、現地にて測量を行うとともに、ダンプトラックの台数の集計に基づいた土量出来形管理が従来より行われてきた。しかしながら、土の変化率等を含め、実際の掘削量と搬出量の整合性の精度は低く、広大な面積を有する土工現場においては、測量にも多大な時間を要しているのが現状である。また、昨今の人材不足に伴い、土量管理や施工管理をいかに省力化するか、また、図面に不慣れな発注者や施工業者との意思決定・合意形成を行う過程において、いかに効率良くわかりやすい資料を作成するかという点は重要な課題である。特に、土工事では、土量管理の迅速な対応が工期にもコストにも影響を及ぼすことから、解決すべき喫緊の課題であると言える。

そこで、本論文では災害状況の観察や構造物の点検・補修など様々な分野で活用されつつある UAV（無人飛行機：Unmanned Aerial Vehicle）を用いて、撮影される連続写真から 3 次元データ（点群データ）を作成し、詳細な地形データを取得することで、土量管理・施工管理ツールとして利用し、施工管理の迅速化を図った事例を報告する。

2. 採用した UAV の特徴と 3 次元データ作成

今回採用した UAV は施工現場への適用性を考慮し、垂直に離着陸が可能であり、搭載できる機器も許容範囲内であれば変更可能である回転翼型の UAV である。

次に、3 次元データ作成までのフローを図-1 に示す。地形データの精度を確保するため、①予め写真のラップ率を進行方向に 80%以上、隣接コースとのラップ率を 60%以上とした飛行ルートを設定し、②現地にて、



図-1 3次元データ作成フロー

表-1 現場運用基準

気象条件	風速9m/s以上は飛行中止
	雨天時は飛行中止
飛行条件	高度200m以下で飛行
	GPSの受信個数が7個以下の場合は自立飛行禁止
操作	原則2人1組で行うこと
	1人はモニター、1人は機体の行方を追う



写真-1 基準点ターゲット

キーワード UAV, 計測技術, 土量管理, 施工管理

連絡先 〒506-0058 岐阜県高山市山田町 1382-10 (株)大林組 高山工事事務所 TEL 0577-62-8118

表-1 に示す運用基準に基づき飛行計測を行う。計測精度を高めるため、計測範囲内にはあらかじめ写真-1 に示すような基準点を適切に設置しておく必要がある。また、現場適用に際し、要求される精度により、ラップ率や高度を設定する必要がある。計測完了後、室内にて、③市販のソフトを用いて連続写真の解析を行い、④3次元点群データの作成を行う。今回使用した機材は表-2 に示す通りであり、所要時間等の詳細は表-3 の通りである。

表-2 使用機材一覧

UAV機	DJI製 S800EVO
3D点群データ生成ソフト	Agisoft製 PhotoScan Professional edition
3D点群データ処理システム	福井コンピュータ製 TREND-POINT

表-3 所要時間詳細

対象面積	高度	ラップ率	飛行速度	飛行時間	現場作業時間	撮影枚数	解析時間	
10ha	150m	80-60%	4m/s	0.5h	0.5h	260枚	1h (人)	4h (PC)

3. 土量管理・施工管理の省力化

3. 1 土量管理

土量管理においては、得られた点群データと点群処理ソフトを用いて即座に土量計算を行う手法を実施した。実施した土量計算手順を図-2 に示す。基準となるデータと比較したいデータをソフトに取り込み、対象範囲を指定すれば、指定領域にメッシュが作成され、基準データと比較データの差分を算出して結果が表示されるという明快な手順である。この手法を用いることにより、基準となるデータと比較するデータの組み合わせを変えることで、当月の掘削量、工事着手から現在までの総掘削量、現在から工事完了までの残掘削量など、あ



図-2 土量算出フロー

表-4 算出手法による違い

土量単位：m³

使用ソフト	算出方法	切土	盛土	ネット土量	平均断面法との差	
CIVIL	平均断面法(@20m)	894.16	19180.72	18286.56		
CIVIL	サーフェス	830.33	19389.89	18559.56	273.00	1.5%
TREND-POINT	点群差(メッシュ1.0m)	852.3	19409.45	18557.15	270.59	1.5%

らゆるパターンの土量算出が容易に可能となる。

土量計算手法には、3次元CAD等を用いた平均断面法、サーフェス法など様々な手法があるが、その用途に応じて使い分ける必要があり、かつ、ソフトの取り扱いも困難な場合が多い。一方、今回採用したTREND-POINTによる点群差分法を用いることは、誰でも・すぐ・簡単に利用できるという点で非常に効果的であると言える。なお、表-4に示す通り、それぞれの算出手法による精度の差はほとんど無いことが確認されている。

3. 2 施工管理

既述の過程により作成された点群データは座標を有していることから、点群処理ソフト上でクリック操作（ポイントや範囲の指定）を行うことにより、容易に高い精度で座標や表面積を知ることができる。また、現地測量では必要となる基準点を回す作業など、準備作業も省略できる。

ここで、平面位置及び法面積の測量において、従来手法による測量とUAV測量を実施した場合の所要時間及び測量結果の差を比較したものを表-5、図-3及び図-4に示す。表-5からわかるように、実測量とUAV測量の平面誤差は10mm程度であり、短時間で高精度の情報が得られる結果となっている。また、法面積の測定においても、従来手法より大幅に時間を削減できており、測定差も0.4%程度であることから、従来手法と同等の結果が得られていることがわかる。UAV測量を一度行うことで、多くの情報を取得でき、パソコンのクリック操作のみで計算結果が出力されるため、現地測量の手間が大幅に削減できる。また、ソフトにはSIMAデータ等の座標データを取り込むことができ、さらに、任意の位置において横断面・縦断面を作成できるため、設計図との比較も容易に可能となり出来形管理を行うことも可能となる。

表-5 測量手法による所要時間及び精度比較

対象	測量手法	計測		整理・出力		時間短縮効果	計測結果	誤差
		所要時間	所要人数	所要時間	所要人数			
電柱平面位置	光波	3時間	2人	1時間	1人	99%減	x=15398.636 y=5606.137	10mm
	UAVデータ	作成済みデータ使用		5分	1人		x=15398.63 y=5606.129	
張芝法面積	三斜(ヘロン)	3時間	3人	2時間	1人	99%減	416.5m ²	0.4%
	UAVデータ	作成済みデータ使用		5分	1人		418.3m ²	



図-3 平面位置の測量例

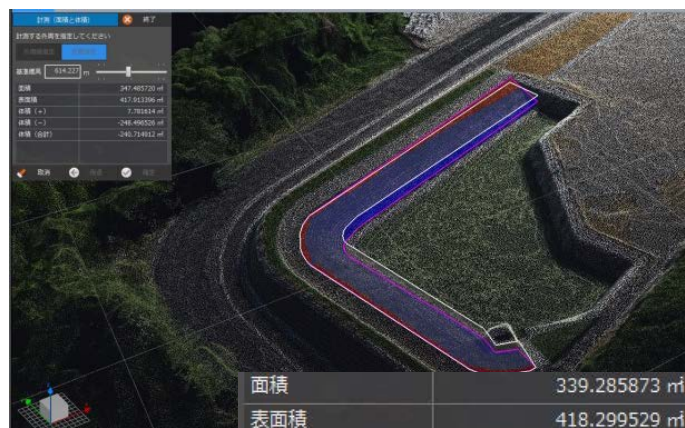


図-4 法面積の測定結果

4. 関係者説明・意思決定の効率化

施工計画を行う上で、現場の現況を迅速かつ正確に把握すること、また、施工業者と施工方針のイメージを共有することは、手戻り、施工ミスを防ぎ、厳密に工程を管理する上で重要なものとなる。また、発注者や地元住民との合意形成を早期に得ることも必要不可欠なものである。

従来、これらを行うには、事前に測量を行い、平面・断面図、写真等を駆使して資料を作成する方法が行われていたが、事前測量や資料の作成に多大な時間を要し、また、図面に不慣れな発注者や地元住民には、それでもなお立体像が想像しづらいといった課題がある。

そこで、写真を解析・合成したデータと設計図面や CIM データを統合した資料の作成を実施し、業務の省力化・簡易化、円滑な施工管理、迅速な合意形成を図った。

図-5 は、点群データ作成の過程で得られるオルソ画像と呼ばれる画像データと設計図面を重ね合わせたものである。これにより、現況と完成時の比較が容易に行えるほか、施工前に問題点を見出せ、さらに、仮設等設計図面に記載のない施工を検討する際に完成構造物との兼ね合いが一目で把握できる効果がある。また、図-6 は、図-5 の一部を拡大したものであるが、3. 2で述べた通り、平面位置の精度は非常に高いものが得られており、この事例においても型枠組立段階で集水桝の平面位置の違いを発見できたことで、施工ミス・手戻りを防止できた事例となっている。

図-7、図-8 は、3 次元モデルと CIM を統合して作成した資料である。完成時のモデル等を CIM により作成し、写真計測により得た現況 3 次元モデルと統合することにより、図-5 の平面図を 3 次元的に捉えることが可能となることから、よりわかりやすい資料・データを提供でき、施工業者との打合せ等に大いに効果を発揮している。

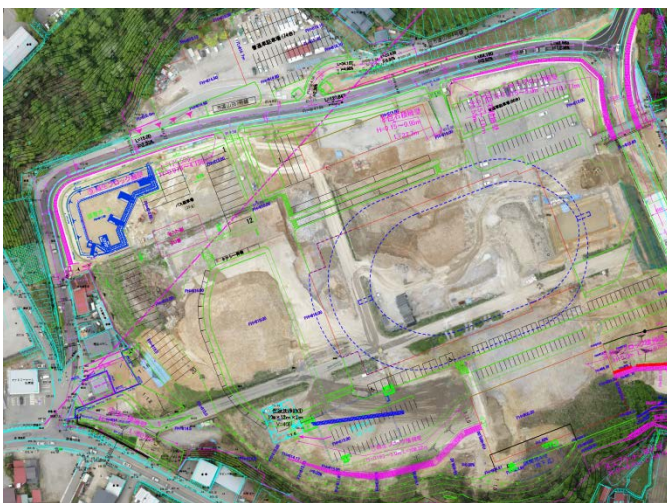


図-5 写真データと設計図面の重ね合わせ

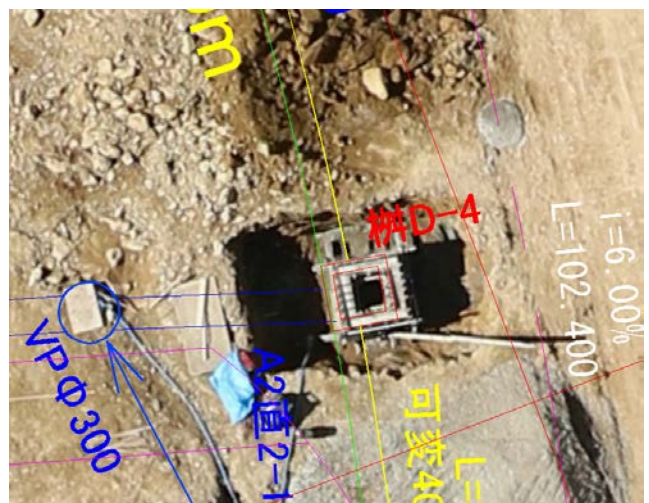


図-6 集水桝位置の相違



図-7 電柱移設位置検討（対 施工業者）

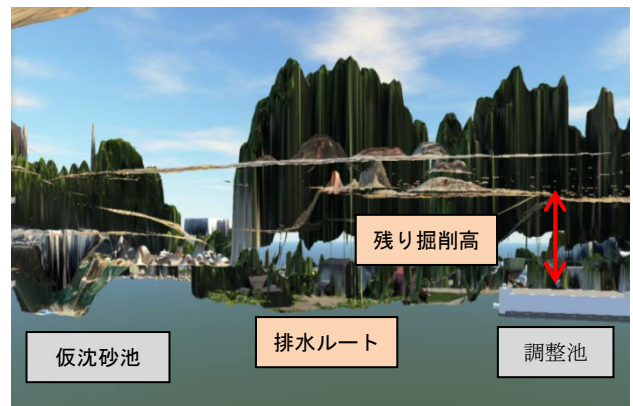


図-8 排水ルートの検討（対 施工業者）



図-9 法面復旧計画説明資料（対 発注者）



図-10 駐車場整備範囲説明資料（対 発注者）

一方、図-9 及び図-10 は、発注者との打合せに用いた資料であるが、これまで用いていた 2 次元の平面・断面図を立体的にとらえることができると同時に、現場の進捗をリアルタイムに反映した資料であるため、現場に出向かなくてもイメージが掴みやすいと高評であり、意思決定も効率良く行うことができている。

5. まとめ

UAV による測量・データ解析を一度行うことで、非常に多くの情報が得られるとともに、それらを様々な用途に使用することができるため、土量管理・施工管理における省力化に大きく寄与している。精度面においては、今回行った飛行条件にて十分な精度を得られているが、撮影やデータ処理のノウハウを蓄積し、さらなる精度向上と省力化に向けて改善の余地がある。

また、設計図面や CIM と統合することにより、打合せ・説明資料として現況に即した 3 次元のデータを提供できるため、施工計画や意思決定の過程においても、非常に効率的なツールであると言える。

さらに、これらのデータ作成にはすべて市販のツールを使用しており、データ処理を外注する必要もなく、現場の人間のみで行えるため、現場の進捗をタイムリーに把握できることも、生産性向上に大きく寄与していると言える。

今後は、基準点の配置位置、飛行高度、写真データの品質といったデータの精度向上に寄与するパラメータについて、国土交通省より掲げられた「i-Construction」に対応できるよう、さらなる検討や精度検証が必要であるとする。