



# ドローン活用の効果を自主検証

## 作業時間は従来手法の半分以下、費用は5年で同等

ドローンの空撮画像を点群データ化して現場測量などに活用する手法は、導入のすそ野が急速に拡大。高山市郊外の自動車専用道建設現場では、施工を担う地元建設会社らが発注者とともに、導入効果や計測精度に関する独自検証に取り組んでいる。(下田 健太郎)

(写真:特記以外は本誌)

飛騨高山に、知る人ぞ知るドローンの“隠れ里”がある。中部縦貫自動車道を構成する自動車専用道、高山清見道路の建設現場だ(写真1、図1)。国土交通省中部地方整備局高山国道事務所が管轄する現場で、全体の工事延長は約10km。200m前後ごとの工区分けで、主に地元の建設会社が施工を手掛けている。

この現場では、各工区の施工者が

それぞれドローン(無人航空機)を導入して工事に活用してきた。各社が導入し始めた2014年度、まずは空撮画像を進捗報告や新規入場者教育、住民説明などに活用(2015年6月22日号40ページ)。15年度からは数社が、空撮画像を点群データ化したうえで現場測量や土工量管理、出来形管理に使う手法を本格導入した(写真2)。発注者を交えて施工者

同士が、安全協議会などの場で取り組み内容や成果を互いに情報共有してきた。

一連の実績を踏まえて今年度の第1四半期には効果やコストなどの検証を実施。以下、その一部を紹介する。なお、これらの結果は現場での体験や実測に基づき、機器の性能などメーカーの公表値ではない。

### 作業日数ベースで5～8割効率化

検証を行ったのは新井組(岐阜県高山市)と大山土木(同)で、いずれもドローン活用にいち早く取り組んできた会社だ(写真4)。「両社の担当者は2年にわたってドローンを扱い、操縦やデータ処理などは熟練レベル。それを前提にした検証だ。習熟度が低いと墜落・衝突リスクや作業時間が増し、コストや作業精度も変わる」。同事務所の大崎義保建設監督官はこう解説する。

検証対象は両社がそれぞれ、この現場で15年度に手掛けた土工事がベース。現場は高山市郊外の緑多い丘陵地帯で、土工事区間では植生を



写真1 ■ 高山清見道路の現場。工事延長は合計約10km。200m前後ごとの工区分けで造成や高架構築が進む。中部地方整備局の見学推奨対象「旬な現場」の一つでもある。写真は7月初旬時点(写真:国土交通省高山国道事務所)



写真2 ■ 新井組と大山土木は15年度から、ドローン航測による現場測量や土工量管理などを実施。撮影画像の点群データ化にはAgisoft(アジソフト)社製「PhotoScan」、三次元点群処理ソフトは福井コンピュータの「TREND-POINT」を使用

伐採したうえで切り土・盛り土造成を毎年度、一定量で進めている。大山土木が担当したのは延長200m分の切り土造成、新井組は390m分の切り土・盛り土造成で、いずれも前工程からの引き継ぎ工事。新井組はMC(マシンコントロール)バックホーも使った。

一つ目の検証テーマは作業効率だ(図2)。起工から完成まで、各段階の現場測量や土工量管理、出来形管理など、ドローン航測による手法をトータルステーション(TS)による従来手法と比較。所要時間をおおまかな延べ日数で比べた。大山土木は従来手法の約半分。MC重機も入れた新井組はさらに作業時間の短縮幅が大きく、延べ日数では従来手法の約2割程度だった。

### 「工事延長が長いほど効果あり」

検証ではドローン航測という手法の特性も改めて整理。例えば横断測量では通常、道路なら20m間隔など、一定のピッチでしか計測しない。ドローン航測は対象範囲の地形

や地物の測量値をシームレスに得られ、施工計画などの精緻化につながる。「工事延長が長いほど、また高低差が大きいなど地形が厳しいほど、ドローン航測の効果が見込める」(新井組の稲越崇営業課長)。

また土工量管理では、一定期間ごとにダンプの出入り台数で土砂の搬出量を概算する手法が一般的。だが、積載能力が同じ車両でも実際に

図1 ■ 位置図



積む土砂量がまちまちだったり、同一箇所では施工者が入れ替わるタイミングだったりすると、「誰がいくら作業したか」が曖昧になりやすい。ドローン航測で得た測量値の差分から土砂量を計る手法は、よりきめ細かく管理できるメリットがある。

ドローン航測による土工量管理の精度を確認するために、大山土木は試験的に積載量をできるだけ均一化したダンプによる概算法と比較。「1カ月分で土砂量にして6m<sup>3</sup>、ダンプ1台分強の誤差で、精度としては十分と確認できた」(上嶋尚人土木部土木係長)。

他方、例えば植生で覆われた箇所(写真3)は、地形が草木で隠れてドローン航測の効果を得にくいなど、不向きな条件も改めて整理した。

### 「1画素=1cm以内」は現実的か？

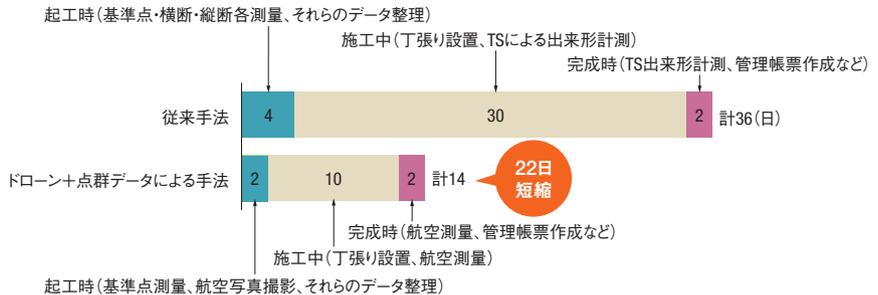
二つ目の検証テーマは、従来手法とのライフサイクルコストの比較だ(図3)。一定規模の道路土工事を1年分とみなして、何年分で従来手法



写真3 ■ 既存の樹木を伐採後に植生が再繁茂した箇所。このように草木で地形が隠れた箇所は、ドローン航測に不向き (写真:新井組)

図2 ■ ドローン航測による現場測量の作業効率

【大山土木/前工事あり、延長200m、掘削1万2000m<sup>3</sup>】



【新井組/前工事あり、延長390m、掘削2万8000m<sup>3</sup>、盛り土6000m<sup>3</sup>、MCバックホー使用】



大山土木と新井組の資料をもとに本誌が作成

によるトータルコストと同等になるかを試算した。

両社は作業内容とともに、作業員を含めた人員配置の仕方も異なる。だが両社とも準備工事段階のコストは割高に、本格施工段階は割安になる傾向は一致。それぞれ5年分程度で、従来手法のコストとプラスマイ

ナス10%以内の範囲で同等になることが分かった。

三つ目の検証テーマはドローンの機種や計測手法の違いによる精度差の確認だ(図4)。この検証のきっかけは、ドローン航測による土工事の出来形管理や監督・検査に関する国の新基準。「i-Construction」推進の初弾でこの3月に示されたものだ。

検証の着眼点は、新基準が示した「地上解像度は1画素=1cm以内」という仕様だ。ドローン航測では地上解像度の要求水準に対して、搭載したデジタルカメラの画素数やレンズの焦点距離、画像のラップ率で、飛行高度や撮影枚数が変化する。機種の性能によっては使えない場合も生じる。また撮影枚数が増えれば、後工程の解析時間も長くなる。

新井組や大山土木は新基準に先駆けた現場導入で、地上解像度2cm

図3 ■ 5年間のライフサイクルコスト比較(切り土量3万m³、法面整形3000m²の道路新設工事で試算)

項目	新井組			大山土木	
	従来手法	ドローン航測とMC重機を導入	増減	従来手法	
準備段階	イニシャルコスト [主な内訳]	280万円 [TS本体と電子野帳などのオプションソフト、プリズム、電子レベル]	480万円 [TS本体と電子野帳などのオプションソフト、プリズム、電子レベル、ドローン機器一式、三次元化ソフト、点群データ処理ソフト]	171%	470万円 [TS本体と電子野帳などのオプションソフト、プリズム(自動追尾用を含む)、電子レベル、CADソフト]
	ランニングコスト [主な内訳]	30万円 [TSのファームアップなど]	87万円 [TSのファームアップ、三次元化ソフトや点群データ処理ソフトの保守]	290%	30万円 [TSのファームアップなど]
	起工時測量 [主な内訳]	130万円 [土木一般世話役=基準点・水準測量2人工+縦横断測量2人工+内業(成果整理)1人工、普通作業員=基準点水準点測量4人工+縦横断測量4人工]	83万円 [土木一般世話役=基準点・水準測量2人工+データ整理1人工+ドローン測量0.1人工+内業(図化など)1人工]	64%	83万円 [土木一般世話役=基準点・水準測量3人工+縦横断測量3.5人工+内業(成果整理)1人工]
	工事測量 [主な内訳]	93万円 [土木一般世話役=丁張り設置4人工+内業(データ作成など)1人工、普通作業員=丁張り設置4人工]	11万円 [土木一般世話役=内業(データ作成など)1人工]	12%	78万円 [土木一般世話役=丁張り設置6人工+内業(データ作成など)1人工]
	小計	533万円	661万円	124%	661万円
施工段階	イニシャルコスト [主な内訳]	270万円 [バックホーのリース料(1カ月)、出来形管理ソフトなど]	840万円 [MCバックホーのリース料(1カ月)、MC用ローカライゼーション(座標データ変換)通信費など]	311%	ICT重機不使用のため比較不能
	ランニングコスト [主な内訳]	53万円 [出来形管理ソフトの保守費など]	0円	0%	
	土工事 [主な内訳] *右の人工数、重機使用日数はいずれも切り土法面整形作業100m²当たり	1100万円 [土木一般世話役0.6人工、普通作業員1.41人工(同)、運転手(特殊)0.68人工、バックホー1.05日(使用日数)]	550万円 [土木一般世話役0.15人工、普通作業員0.46人工、運転手(特殊)0.34人工、MCバックホー0.95日(使用日数)]	50%	
	工事測量 [主な内訳]	160万円 [土木一般世話役6人工、普通作業員10人工]	0円	0%	
	出来形計測 [主な内訳]	130万円 [土木一般世話役=TS出来形計測4人工+内業(データ整理など)4人工、普通作業員=TS出来形計測4人工]	12万円 [土木一般世話役=ドローンによる出来形計測0.1人工+内業(データ整理など)1人工]	9%	
小計	1713万円	1402万円	82%	440万円	
合計	2246万円	2063万円	92%	1101万円	

イニシャルコスト以外の金額目安は5年分(同規模工事5回分と想定)の合計額。機器やソフトなどのコストは購入価格、人工はこの地域に適用される直近の公共工事設計労務単価で試算している。次ページまでの表は、新井組と大山土木の資料をもとに本誌が作成

図4 ■ ドローン(上位モデル・普及モデル)による現場測量の精度比較

【航測作業】

手法	飛行高度(m)		ラップ率(%)	焦点距離(mm)		地上解像度(cm/1画素)		航測時間(分)		撮影枚数(枚)	
	A機	B機		A機	B機	A機	B機	A機	B機	A機	B機
i-Con版(1画素=1cm)	32.9	25.9	90-60	24(35mm換算)	20(同左)	0.93	0.97	約30	約50	約330	約240
現場版A(同=2cm以内)	44.4	42.2				1.7	1.6	約10	約15	約160	約160
現場版B(同=3cm以内)	80.7	70.5				2.72	2.6	約5	約10	約60	約80

【解析作業】

手法	面積(ヘクタール)	概略解析(時間)		基準点検証(時間)		本解析(時間)		合計(時間)	
		A機	B機	A機	B機	A機	B機	A機	B機
i-Con版	0.6	0.5	0.4	1	0.7	4	2.9	5.5	4
現場版A		0.2	0.2	0.5	0.5	0.6	0.6	1.3	1.3
現場版B		0.1	0.1	0.3	0.4	0.2	0.3	0.6	0.8

A機は上級モデル(DJN社「S900」)、B機は普及モデル(同「Phantom4」)。この現場では従来、手法「現場版A」を用いていた。「解析精度」(次ページ)でi-Con版が許容する実測値(TS計測値など)との精度差は各座標値5cm(0.05m)以内

ドローン航測を導入 (MC重機不使用)	増減
700万円 [TS本体と電子野帳などのオプションソフト、プリズム(自動追尾用を含む)、電子レベル、ドローン機器一式、三次元化ソフト、点群データ処理ソフト、CADソフト、パソコン]	149%
87万円 [TSのファームアップ、三次元化ソフトや点群データ処理ソフトの保守]	290%
57万円 [土木一般世話役=基準点・水準測量3人工+データ整理1人工+ドローン測量0.1人工+内業(成果整理、図化)2人工]	69%
22万円 [土木一般世話役=丁張り設置1人工+内業(データ作成など)1人工]	28%
866万円	131%
310万円 [土木一般世話役28人工]	100%
12万円 [土木一般世話役=ドローンによる出来形計測0.1人工+内業(データ整理など)1人工]	9%
322万円	73%
1188万円	108%

写真4 ■ 右は新井組の現場担当者。同社はMCバックホーも導入。下は大山土木で、前列中央が高山国道事務所の大崎監督官。検証は今後も続けるという(右と下は国土交通省高山国道事務所)



以内を標準にしてきた。地上解像度の要求水準がシビアになれば、作業手間が増える。発注者向けの提出物は別として、新基準の仕様を標準にすると、現場で実感してきた“手軽さ”というメリットが損なわれる。

そこで地上解像度1画素 = 1cm以内、同2cm以内、同3cm以内の3パターンで、2種類の機体(購入価格

約100万円の上位モデルと20万円弱の普及モデル)を用い、TS実測値との比較で計測精度を検証した。

図4は、数度の試験航測を経た本番の結果例。「航測作業」や「解析作業」の結果では、i-Con版の作業手間は明らかに他を上回っている。

だが「解析精度」では、新基準の許容誤差プラスマイナス5cmに対して、上位モデルは1画素 = 3cm以内でも十分な精度だった。「TS計測でもミラーポールの立て方次第で同程度の誤差が生じる」(新井組の今村修二工務部技術課長)。普及モデルも許容誤差の範囲内だが、相対的に上位モデルよりやや限界に近い値(表の赤枠)もあった。後者は、操縦者の熟練度がより求められる面があるとも言える。

【解析精度】

手法	内部検証点	A機(上位モデル) 実測値と航測値の差(m)			B機(普及モデル) 実測値と航測値の差(m)		
		X座標	Y座標	Z座標	X座標	Y座標	Z座標
		i-Con版	①	0.006	0.024	0.003	0.004
	②	0.013	0.001	0.002	0.013	0.019	0.005
現場版A	①	0.017	0.006	0.003	0.011	0.011	0.034
	②	0.011	0.001	0.002	0.032	0.025	0.042
現場版B	①	0.005	0.011	0.024	0.041	0.022	0.02
	②	0.013	0.004	0.01	0.002	0.016	0.005

3表とも現場の検証データで、メーカーが示すスペックなどではない

i-Con版の許容誤差にやや近い