

UAVによる空中写真測量を用いた 土工の出来形管理に関する検討

国土交通省国土技術政策総合研究所 ○ 池田 和敏
国土交通省国土技術政策総合研究所 山下 尚

1. 背景と目的

1.1 ICT 活用工事の実現に向けた近年の取り組み

国土交通省では、平成28年度より「ICTの全面的な活用」による生産性の向上に取り組み、インフラ整備の各プロセスにおいて3次元データの活用を推進するため、関連基準及び要領等を整備し、国の直轄事業としてICT活用工事を実施している。

この取り組みは、建設現場の生産性向上に向けて、建設生産プロセスの各段階において3次元データやICT等を活用する施策であり、国内に広くICTを普及させることで災害等の非常時における迅速な復旧復興作業での活用も期待されている。

図-1はICT活用工事件数を示している。ICT活用工事は直轄、都道府県政令市のいずれにおいても実施件数に大きな伸びが見られ、全体としてICT活用工事が普及拡大している様子が伺える。

＜国土交通省の実施状況＞ 単位：件

工種	2016年度 [平成28年度]		2017年度 [平成29年度]		2018年度 [平成30年度]		2019年度 [令和元年度]		2020年度 [令和2年度]		2021年度 [令和3年度]	
	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施
土工	1,625	584	1,952	815	1,675	960	2,246	1,799	2,420	1,994	2,313	1,933
舗装工	-	-	201	79	203	80	340	233	543	342	384	249
浚渫工(港湾)	-	-	28	24	62	57	63	57	64	63	74	72
浚渫工(河川)	-	-	-	-	8	8	39	34	28	28	42	41
地盤改良工	-	-	-	-	-	-	22	9	151	123	189	162
合計	1,625	584	2,181	918	1,948	1,105	2,710	2,132	2,942	2,396	2,685	2,264
実施率	36%		42%		57%		79%		81%		84%	

＜都道府県・政令市の実施状況＞ 単位：件

工種	2016年度 [平成28年度]		2017年度 [平成29年度]		2018年度 [平成30年度]		2019年度 [令和元年度]		2020年度 [令和2年度]		2021年度 [令和3年度]	
	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施
土工	84	870	291	2,428	523	3,970	1,136	7,811	1,624	11,841	2,454	
実施率		33%		22%		29%		21%				

図-1 ICT 活用工事実施状況

また公共工事に用いられる工種は多種にわたること、またICTの進展が非常に早いことを踏まえ、新たなICT機器を活用し、又は既存のICT機器の活用範囲を拡大し、ICT活用工事の範囲を拡大する新たな基準類をより早く整備するため、令和元年度より「産学官連携による基準類作成の取組」を開始し、ICTを活用する立場にある関係団体から基準類に関する提案を募集している。(図-2)

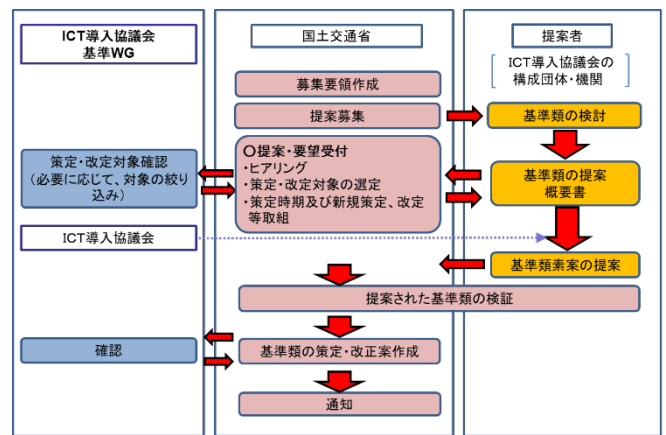


図-2 基準類民間提案のフロー

1.2 研究目的

本研究では、民間提案技術として応募された、ICT土工におけるUAVによる空中写真測量を用いた3次元計測技術に関する、既存の基準類の改訂(カイゼン)に関する以下の2提案について、検証実験を行い、既存要領への適用を検討する。

1.3 対地高度を一定とした撮影手法(等対地高度撮影)

現行規定では、同一コースは、直線かつ等高度と定められており、高低差の大きい現場においては、地上標高に合わせて複数回の飛行による計測を強いられているが、地上標高に応じて連続的に飛行高度を変更して対地高度を一定に保つことが出来れば、オーバーラップ率、地上画素寸法の変化を最小限にすることとなり、計測精度のばらつきが低減されるため1回の飛行で計測が完了できる。さらに飛行回数を減らすことで複数回の飛行による重複撮影箇所がなくなるため、撮影枚数を削減できることになり、計測や解析に要する時間の短縮も期待できる。(図-3)

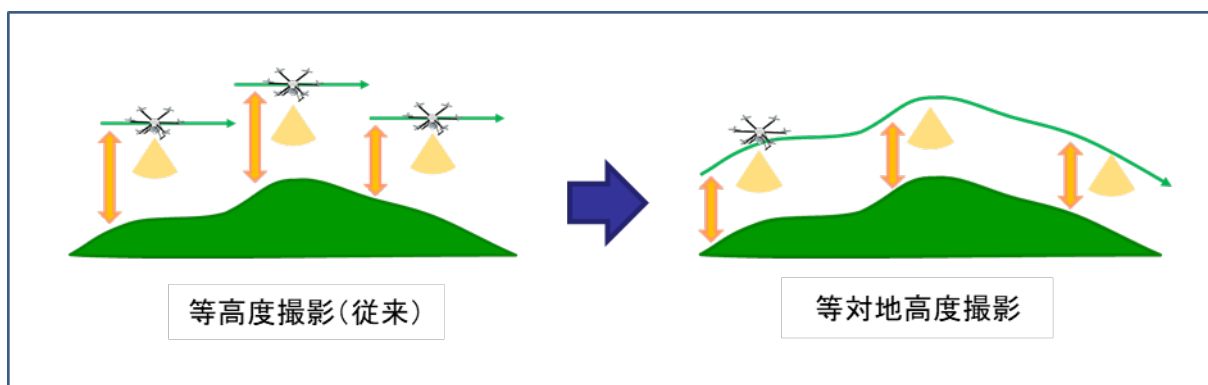


図-3 等対地高度撮影

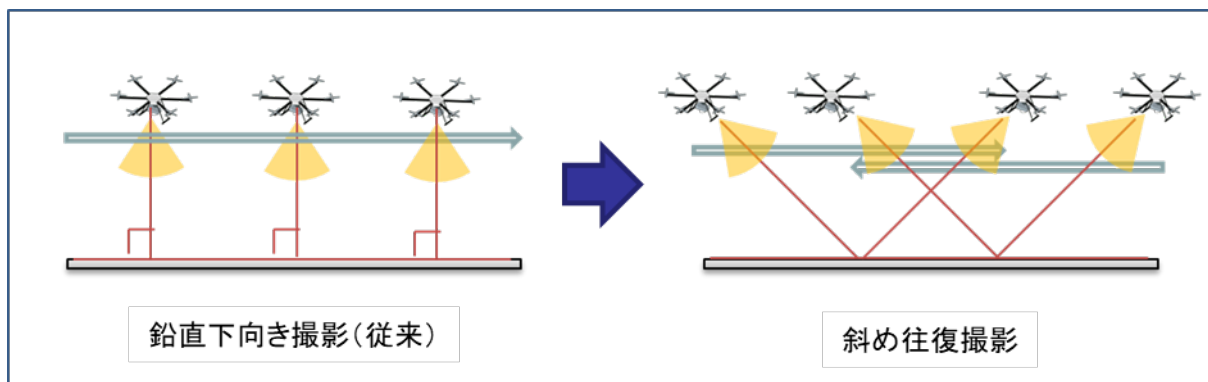


図-4 斜め往復撮影

1.4 カメラを斜めに向けた撮影手法(斜め往復撮影)

従来のカメラを鉛直下方に向けた撮影手法では、すべての画像が同一高さ、同一方向からの撮影になるため、画像解析時に投影中心から撮像面までの距離推定に複数の解が発生する場合があります。水平方向を確定できても、高さ方向に系統誤差が生じることとなり、この場合は後処理工程で標定点を用いた座標補正を行うことで対応していた。カメラを斜め向きに置き換えて逆方向からのサイドラップを重ねる撮影手法を採用することにより、高さや方向の異なる別の視点からの画像を追加して画像解析が行えるため高さ方向のスケールが安定して推定されることとなり、計測精度の向上が期待できる。(図-4)

2. 検証方法

2.1 検証内容

本研究では、既存の「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」で規定されている、ICT土工におけるUAVによる空中写真測量を用いた3次元出来形計測の精度確認試験実施手順に準拠した条件の下で、提案された2つの撮影手法が現行要領の規格値を満足することを検証し、さらに従来手法との比較も行う。

2.2 3次元出来形計測の精度確認試験実施手順

ICT土工におけるUAVによる空中写真測量の測定精度の確認方法は、設置した検証点における既知点の座標値(基準点あるいは、工事基準上などの既知点の座標値や、基準点及び工事基準点を用いてTSを用いて計測した座標値)と、UAVによる空中写真測量を用いて計測した結果から得られる検証点の各座標値の較差 x 、 y 、 z それぞれ $\pm 50\text{mm}$ 以内であることを確認する。

2.3 等対地高度撮影による出来形計測

高低差があり等高度での飛行では地上画素寸法に大きな変化が生じる試験場にて、オーバーラップ率や地上画素寸法が同一になるように2回に分けた従来の撮影手法と、地上標高に合わせて対地高度を一定に保ちながら飛行する撮影手法による計測を行う。また撮影条件として既存の「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」で規定されている、ICT土工におけるUAVによる空中写真測量を用いた3次元出来形計測の測定精度に準拠し、地上画素寸法を 10mm/Pixel 、進行方向のラップ率は90%、隣接コースとのラップ率は60%に設定する。検証点を14点設置し、画像解析により生成した点群上の検証点座標と、現場内に設置された基準点を用いてTSで測量した検証点座標を比較する。(図-5～図-7)

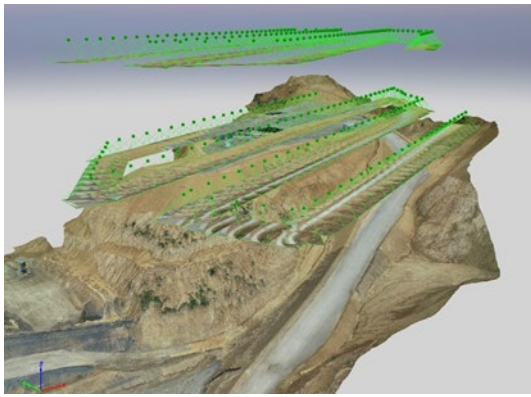


図-5 等高撮影の飛行ルート

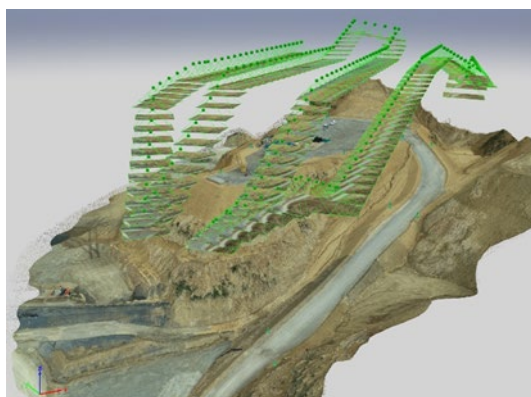


図-6 等対地高度撮影の飛行ルート

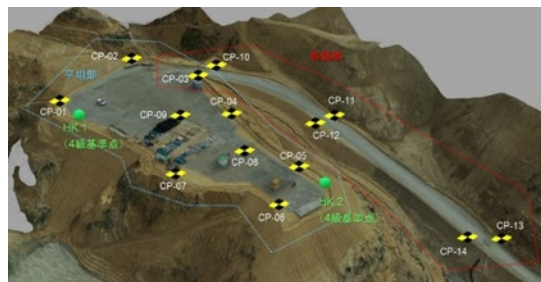


図-7 等対地高度撮影の検証点

抛し，地上画素寸法を 10mm/Pixel，進行方向のラップ率は 90%，隣接コースとのラップ率は 60%に設定する。検証点を 12 点設置し，画像解析により生成した点群上の検証点座標と，現場内に設置された基準点を用いて TS で測量した検証点座標を比較する。鉛直精度を確認するために，後処理工程の標定点を用いた座標補正を行う前の状態で計測精度を検証する。(図-8～図-10)

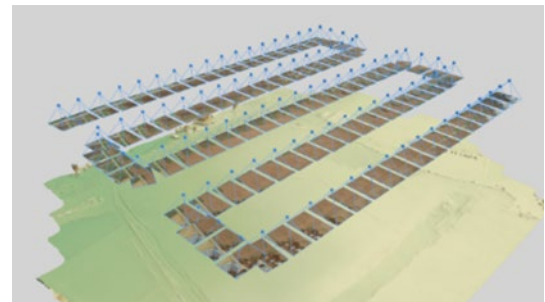


図-8 鉛直下向き撮影の飛行ルート

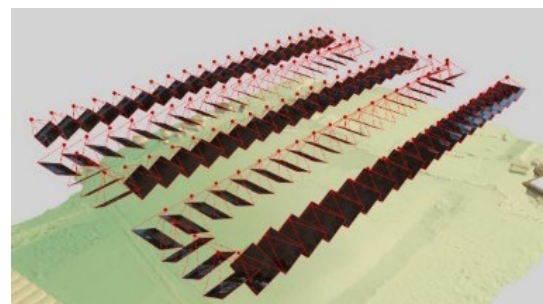


図-9 斜め往復撮影の飛行ルート



図-10 斜め往復撮影の検証点

2.4 斜め往復撮影による出来形計測

鉛直方向の誤差が生じやすい平坦な地形の試験場にて，カメラを鉛直下方に向けた従来の撮影手法と，同一コースでカメラの向きを進行方向に一定角に傾けた撮影手法による計測を行う。カメラの傾き（天底角）は 10° ， 20° ， 30° の 3 パターンの計測を行う。また撮影条件として既存の「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）」で規定されている，ICT 土工における UAV による空中写真測量を用いた 3 次元出来形計測の測定精度に準

3. 結果と考察

3.1 等対地高度撮影の精度検証結果

表-1 は TS で測量した検証点座標を真値とし，点群データの近傍点における座標較差の最大値，最小値及び平均値と標準偏差を，従来の撮影手法と等対地高度での撮影手法での計測についてそれぞれ記したものである。どちらの撮影手法も 14 点の検証点すべてにおいて前述の要求精度 $\pm 50\text{mm}$ 以内を満足した。さらに従来の撮影手法での 2 回の計測を合わせた写真枚数 257 枚，撮影時間 11 分に

対して、等対地高度による撮影手法では複数回の飛行による重複撮影箇所がなくなるため写真枚数186枚、撮影時間8分となり、それぞれ1/4程度の削減効果があった。さらに画像解析時間の短縮も図れるため、効率化に寄与する撮影手法と考察する。

3.2 斜め往復撮影の精度検証結果

表-2はTSで測量した検証点座標を真値とし、点群データの近傍点における座標較差の最大値、最小値及び平均値と標準偏差を、従来の鉛直下向き撮影と斜め往復撮影での計測についてそれぞれ記したものである。平面(XY)精度に関しては、すべての計測において大きな差は見られなかった。鉛直(Z)精度に注目すると従来の撮影手法では大きな誤差が確認されたが、斜め往復撮影の場合、いずれの天底角においても前述の要求精度を満足する±50mm以内での計測が行えており、別方向からの画像を追加して画像解析を行うことで高さ方向の誤差が低減できていることを確認できた。この場合、後処理工程の標定点を用いた座標補正が不要となるため、省力化に寄与する撮影手法と考察する。

4. 結言

提案された2件の撮影手法について、ICT土工におけるUAVによる空中写真測量を用いた3次元出来形計測の要求精度を達成できていることを確認した。施工における成果は、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」へ反映され、令和4年3月に改正要領が公表された。今後も各工種において検証を進め、基準類の改善を継続する予定である。

謝辞

本研究の現場検証は株式会社フジタの協力のもと、同社所有の機器を用いて実施した。記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 国土交通省：ICT導入協議会（第15回）、2022
- 2) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)、令和3年3月

表-1 等対地高度撮影の精度検証結果

	等高度撮影(従来)			等対地高度撮影		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
最大値(差)	0.050	0.029	0.023	0.045	0.034	0.033
最小値(差)	0.021	0.006	-0.001	0.014	0.014	-0.009
平均値	0.030	0.020	0.010	0.025	0.026	0.012
ばらつき	0.009	0.007	0.007	0.008	0.006	0.012

単位：m N=14

表-2 斜め往復撮影の精度検証結果

	鉛直下向き(従来)			天底角10°			天底角20°			天底角30°		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
最大値(差)	0.029	0.015	-0.310	0.027	0.016	0.006	0.033	0.016	0.023	0.032	0.012	0.020
最小値(差)	0.004	-0.003	-0.402	0.005	-0.002	-0.049	0.002	-0.005	-0.006	0.008	-0.006	-0.008
平均値	0.015	0.005	-0.350	0.015	0.005	-0.021	0.017	0.006	0.012	0.018	0.004	0.006
ばらつき	0.006	0.005	0.028	0.006	0.005	0.016	0.008	0.007	0.010	0.006	0.005	0.008

単位：m N=12