

(32) i-Construction における UAV を用いた出来形管理の基準類カイゼン

近藤 弘嗣¹・森川 博邦²・藤島 崇³

¹正会員 国土交通省 総合政策局（〒100-8918 東京都千代田区霞が関 2-1-3）

E-mail:kondou-k87rj@mlit.go.jp

²正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地）

E-mail:morikawa-h8310@mlit.go.jp

³正会員（一社）日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所（〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154）

E-mail:fujishima_t@cmi.or.jp

国土交通省は建設現場の生産性向上の施策として i-Construction を提唱し、そのトップランナー施策である ICT 土工について、15 の技術基準類を整備のうえで平成 28 年度より直轄工事での工事公告を開始したが、1 年間の取り組みを通じて知り得た課題に対して、その 15 基準類の改訂及び技術拡大に応じて基準類の新設を行い、本年 3 月末に発表したところである。本稿では、特に要望の強かった UAV を用いた出来形管理要領の改訂に関して、諸規定の設定根拠について紹介する。

Key Words: i-Construction, information integrated construction, all-over dimensional control, photogrammetry

1. はじめに

国土交通省が推進する i-Construction のトップランナー施策の一つ「ICT の全面的活用」は、15 の技術基準類を整備のうえで平成 28 年度より直轄工事での工事公告を開始したが、1 年間の取り組みを通じて、生産性向上に資する実際の効果が整理されてきた半面、様々な課題が浮き彫りとなっている。このうち、基準類に関わる課題の一つとして、「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領」¹⁾に（以下「UAV 要領」とする）の諸規定の縛りが、現場の効率を損ねているという指摘があった。具体的には、精度を担保するためのプロセス規定の一つである、「進行方向ラップ率」と「地上画素寸法」の規定を遵守して飛行計画を策定すると、撮影時間と、内業のデータ処理に時間がかかりすぎて、UAV の効率面での優位性を損ねているという指摘だ。

スピーディーな基準類のリリースと合わせて継続的に「カイゼン」を進めることが、i-Construction の進め方についての核的な理念の一つであることから、この「進行方向ラップ率」と「地上画素寸法」の差に着目して、現行規定の必要性を検証した。本稿では、この検証を受けて本年 3 月に発表した当該管理要領の改訂に関して、

技術的背景を記録・整理するとともに、さらなる改善に向けた建設的な議論を喚起する目的で、基準改定にあたっての検討や現場検証の状況を紹介するものである。

2. UAV による出来形管理における課題のポイント

UAV 要領によれば、発注者に提出する施工計画書に撮影計画を付すこととなっている。特に効率に関わる重要な規定は以下のとおりである。

- (a) 所定のラップ率、地上画素寸法が確保できる飛行経路及び飛行高度の算出結果を示すこと
- (b) 所定のラップ率とは進行方向最低 90%以上
- (c) 撮影目的に応じた所要の地上画素寸法
出来形管理の場合は 1cm/画素以内、起工測量等数量算出に用いる場合は 2cm/画素以内
- (d) 標定点の設置間隔
撮影区域外縁に 100m 以内の間隔、天端上に 200m 以内の間隔で設置。
- (e) 撮影目的に応じた検証点の設置間隔
出来形管理や数量算出に用いる場合は、天端上に 200m 以内の間隔、部分払い出来高計測に用いる

場合は、天端上に400m以内の間隔で設置。

これら規定は、3(1)節に後述するのと同じ手法により、(b)のラップ率を80%、(c)の地上画素寸法を2cm/画素以内として精度検証を実施したところ、出来形管理基準で見込んでいる計測精度である±50mmに対して十分な精度が担保出来なかったことから、安全側の規定となるように定めたものである²⁾。精度が担保される範囲内で所要時間の観点から現場適用性を高めるためには、進行方向ラップ率は出来るだけ少ない方が良く、また、入手しやすい低解像度の機器での活用可能性を高めるには、地上画素寸法が大きい方がよいことから、検証を重ねることで規定の緩和の可能性を明らかにすることが求められている。

一方、(d)標定点・(e)検証点の設置数については、「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)³⁾」と比べて、特に同等かそれより少ない規定となっており、特に、法面上など比高が大きく変化する部分についても、特段の記述がないことから、モデル全体の精度の担保が来ているか継続的に検証を重ねる必要がある。

3. UAVによる出来形管理の精度検証

前節の課題のうち、本稿ではラップ率、地上解像度に関する表-1の組合せについて、同じ被写体について精度検証を行うことで、どこまで規定の緩和が可能かが明らかにしたいと考えた。そこで、以下の諸元により検証を実施した。

(1) 検証方法

UAVで撮影した写真とSfmソフトにより生成した点群(以後「被評価点群」とする。)の精度を面的に評価するため、正解データとしてTSを用い、平面上一定間隔で標高を計測した。正解データを取得した評価範囲を含む十分広い範囲で被評価データの計測を行った。(図-1参照)平面座標が違う計測点同士の標高を比較するために、被評価点群を図-2のようにTINデータ化したうえで、正TSの平面座標値における三角面上の標高座標値とTSの標高値を比較する。

なお、標定点についてはUAV要領の規定以上に密に配し、標定点が原因による精度低下が及ばないようにした。

(2) 現場諸元

以下の道路改良3工事、築堤護岸2工事で計測した。記載している諸元はTSによる検証範囲である。

(a) H27 明和梅原地区下流築堤工事(河川・法面)

横断約2m毎、縦断約4m毎、幅約30m、延長約100m
外部標定点設置間隔約100m、内部標定点間隔約50m

(b) H27 行田工事用道路工事(道路・天端)

横断約2m毎、縦断約4m毎、幅約12m、延長約100m
外部標定点設置間隔約100m、内部標定点間隔約50m

(c) 木原道路内畠第5改良工事(道路・法面)

横断約2m毎、縦断約4m毎、幅約12m、延長約40m
外部標定点設置間隔約30m、内部標定点間隔約60m

(d) 平成28年度安倍川門屋護岸工事(河川・天端)

横断約2m毎、縦断約4m毎、幅約12m、延長約100m
外部標定点設置間隔約100m、内部標定点間隔約50m

表-1 検証の組み合わせ

地上解像度	進行方向ラップ率	
	2cm/画素・80%	2cm/画素・90%
	1cm/画素・80%	1cm/画素・90%

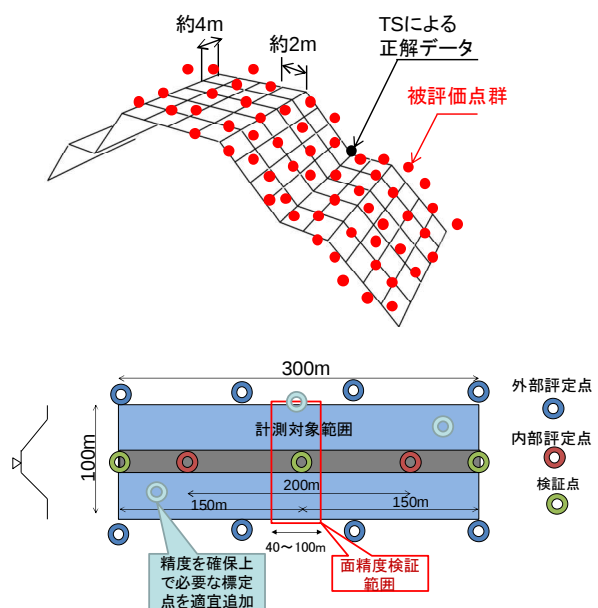


図-1 比較方法(上)と検証範囲(下)の模式図

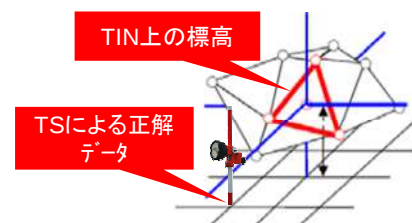


図-2 TSと被評価点群の標高比較方法の模式図

(3) 計測諸元

UAVによる写真取得、標定点計測、sfmソフトによる点群復元は、実験協力会社により実施した。UAV要領に従って精度確認がなされる限りにおいて、機器・ソフトの諸元は特に指定していない。なお、TSによる正解データ取得や精度の評価は著者らで実施した。

(4) 検証結果

表-1のパターン別、(2)の現場別に、計測精度 $\pm 50\text{mm}$ に収まった点の数の割合について、表-2に整理した。これをみると、地上画素寸法の違いは、精度に相当程度効いてくる一方で、ラップ率については80%と90%の違いはごくわずか、現場によっては90%の方が悪化している場合もあり、90%でなくては精度が担保できないとするほどの差は見受けられなかった。

なお、それぞれの現場で精度が100%を得られなかった要因としては以下のとおりと考えられ、計測精度を評価する上では、サンプルから控除するのが望ましいと考えられる。いずれにしろ4つの組み合わせ間の相対的な精度の差を評価する上では問題ではないと思われる。

- ・現場の存置物を捉えた（現場(b)・図-3参照）
- ・評価点が法肩・法尻上であった（法肩、法尻といった変化点はそもそも計測精度が得られないことから、出来形管理要領でも計測結果を控除することとなっている。）
- ・法面上の窪みをTSで捉え切れていなかった（現場(c)・図-4）

また、実態のラップ率としては、設定ラップ率が進行方向80%に対して、いずれの現場でも75%以上は確保されていた。PhotoScanのレポートにより、最も重なり枚数が少ない8枚の箇所が進行方向に周期的に表れたため（現場(b)・図-5）、そのように判断したものである。設定ラップ率が進行方向90%に対しては、少なくとも80%以上の実態ラップ率は確保できていた。これもPhotoScanのレポートにより、検証範囲は写真の重なりが10枚以上確保されていたためである。

(5) 考察

a) 検証結果から得られた知見

出来形管理基準の計測精度を達成させるには、地上画素寸法1cmと2cmの違いは決定的な影響がある。一方、進行方向設定ラップ率80%と90%の違いは、出来形管理基準の計測精度を達成させるにはあまり影響はなく、実際の進行方向ラップ率が、最低でも75%以上担保出来ていれば、得られる結果は設定ラップ率90%と同等である。

ここで、検証結果を統計的に処理した結果を表-3に示す。地上画素寸法の違いは、標準偏差の大小に現れていることがわかる。 $\pm 50\text{mm}$ という計測精度を考えたとき、

標準偏差の2倍が50mmに収まるかどうかを一つの実用上の仕切りとすると、地上画素寸法1cmだと収まる可能性が高く、2cmの場合はほとんど収まらないことを考えても、地上画素寸法を2cmとするのは困難と思われる。

表-2 計測精度に収まった点の割合

現地画素寸法 ／ラップ率	2cm 80%	2cm 90%	1cm 80%	1cm 90%
現場(a)	99.8%	100%	100%	100%
現場(b)	93.4%	92.9%	98.9%	98.9%
現場(c)	64.5%	72.7%	91.7%	90.9%
現場(d)	83.0%	79.7%	87.4%	87.4%



図-3 TSによる評価点のうちエラー箇所（現場(b)）

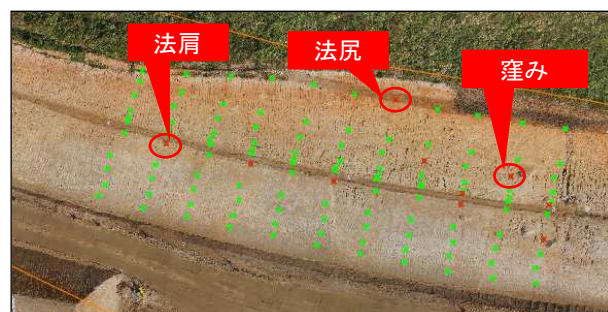


図-4 TSによる評価点のうちエラー箇所（現場(c)）

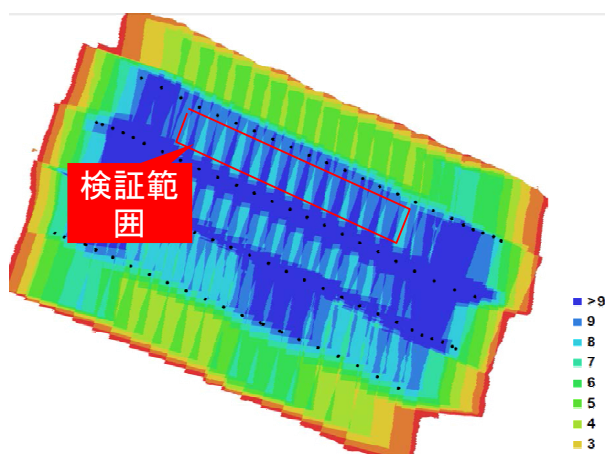


図-5 photoscanのレポート画面（現場(b)）

表-3 計測結果の統計的処理

地上画 素寸法 ／ラッ プ率	2cm 80%		2cm 90%		1cm 80%		1cm 90%	
	平均 (mm)	標準 偏差	平均 (mm)	標準 偏差	平均 (mm)	標準 偏差	平均 (mm)	標準 偏差
現場(a)	4	19	4	22	6	16	7	17
現場(b)	-7	29	-11	28	-4	17	-12	17
現場(c)	-22	47	-18	47	-19	26	-20	27
現場(d)	-23	38	-27	32	-27	23	-26	27

4. 結論

以上の知見から、UAV 要領を 2017 年 3 月に以下のよう
に改定した。

「1-4-3 空中写真測量（UAV）による出来形計測」の
節の「【解説】」撮影計画立案時の留意点について、
「進行方向のラップ率は、実際のラップ率を確認しない
場合、最低 90%以上で計画すること、実際のラップ率を
確認する場合、最低 80 %以上とすること」とした。こ
れにより、現地の撮影時間が進行方向ラップ率 90%に比

べて半減、さらに写真枚数が半減することで、解析時間
の省力化も期待される。

謝辞：本検証作業については、空中写真測量の実作業に
ついて、（一社）日本測量機器工業会会員各社様、（一
社）日本建設業連合会様のご協力をいただくとともに、
東北地方整備局、関東地方整備局、中部地方整備局、近
畿地方整備局、及び中国地方整備局発注工事の現場の提
供をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：空中写真測量（無人航空機）を用いた
出来形管理要領，pp.33-35，2016.
- 2) 近藤弘嗣，長山真一，藤島崇，石田大輔，服部達也，
池田広貴：「i-Construction で適用する土工出来形の
面管理に関わる基準類の検討」，第 16 回建設ロボ
ットシンポジウム論文集，2016.
- 3) 国土地理院：UAV を用いた公共測量マニュアル
（案），pp.22-24，2016.