

## 20. i-Construction 実施プロセスにむけた「カイゼン」への期待

### ー ICT 活用工事における無人航空機 UAV 活用の効果と「カイゼン」案 ー

株式会社 大林組  
株式会社 大林組

○ 杉浦 伸哉  
田島 僚

#### 1. はじめに

国土交通省が発表した施策である i-Construction (図-1) が発表されて半年か経過した。実際の ICT 活用工事を進めるにあたり、従来の基準類見直しもあり、実施にむけた 15 の基準 (図-2) が策定された。

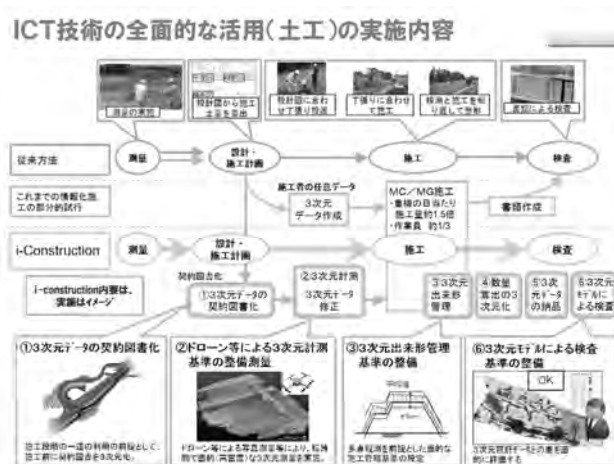


図-1 ICT 技術の全面的な活用(土木)の実施内容

このような迅速な取組は従来の国の動きではあまり考えられない動きであり、国の実施に向けた意気込みを感じる。

その ICT 活用工事の推進にあたり、本論文では、この 15 の基準の中で、施工会社として非常に気になるまた重要な「出来形検査への適用」部分について、基準にそった実施において、どの部分を「カイゼン」すべきかを施工現場における実際のデータをまとめたので報告する。

	名称	新設	改訂	本学会標準(土組)
新基準	1 UAVを用いた3次元測量マニュアル(案)	○		
	2 電子納品基準(土木編及び設計)		○	
	3 3次元設計データ交換標準(測量用ファイルを含む)	○		
	4 ICTの全面的な活用(土木)の推進に関する実施方針	○		
	5 土木工事施工管理標準(案) (出来形管理基準及び積算基準)		○	
	6 土木工事数量算出管理標準(案) (施工管理標準等)による土木工事の出来高算出基準(案)を含む)	○	○	
	7 土木工事共通仕様書 施工管理関係書類(編纂) 出来形管理関係書類)	○		
	8 空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理標準(土木編)(案)	○		
	9 レーザースキャナーを用いた出来形管理標準(土木編)(案)	○		
	10 地方整備局土木工事積算技術標準(案)		○	
	11 無償部分積算技術標準(案)及び印刷物		○	
	12 部分社における出来高算出方法(案)		○	
	13 空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理の監督・検査標準(土木編)(案)	○		
	14 レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査標準(土木編)(案)	○		
	15 工事積算標準等の適用について		○	
積算標準	記号換算標準	○		

図-2 新たに導入する 15 の新基準及び積算基準

#### 2. 15 基準の内の空中写真測量 (無人航空機) を用いた出来形管理基準要領 (案) について

当社ではすでにこの 15 の基準が出る前から、施工現場における面的管理の 1 つとして出来高数量を把握するために、UAV を活用し、SfM 技術を活用してきた。そもそもこの出来高管理の目的は、従来のダンプトラック台数における搬出・搬入の土量管理を行うだけでなく、「出来形」も含め、出来高としてのリアルタイム数量を精度良く、迅速に把握することが目的であった。

その目的を実施する方法として、当社では UAV による出来高計測を行ってきたが、実施してきた UAV の高さ方向の計測については、土量管理における誤差を許容した範囲での利用を考えており、±5 cm 以下に納めることでもすでに運用していた。

しかしながら、今回の 15 の基準のうち、特に出来形計測に関する「空中写真計測 (無人航空機) を用いた出来形管理要領 (土木編) (案)」については、実現場での対応が難しいと思われる内容が記載されていた。

そもそもこれらの新基準は ICT ツールを活用し、施工現場における生産性向上を目的として導入されるはずであるが、この基準の中に書かれている、UAV に搭載するカメラの仕様として、計測性能については地上画素寸法が 1cm/画素以内との記述や、

進行方向の写真ラップ率が90%以上という「仕様規定」(図-3)が果たして実現場において作業性も考慮した状況において生産性向上に寄与するか否かを判断する必要があると感じた。

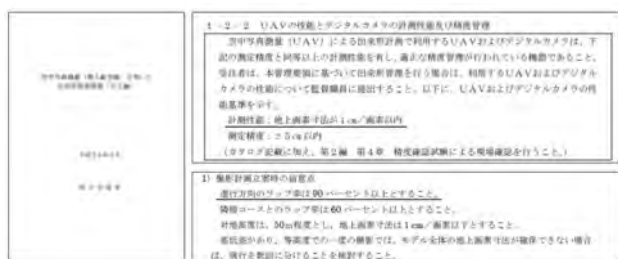


図-3 空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土木編)(案)抜粋

本論文は、この部分の見極めとして、「地上解像度」と「ラップ率」に着眼し、「検証点」における現場での測量データと SfM による解析により得られたデータを比較検証するとともに、生産性向上をはかりながら、精度を担保する組み合わせを検証した。

なお、検証にあたっての構成は以下の通りである。

- UAV:エンルート QC730(写真-1)
- 搭載デジカメ:SONY α 6000
- 搭載レンズ:単焦点 16mm 及び 30mm



写真-1 UAV:エンルート QC730

### 3. 地上画素寸法の違いについて

従来の当社における「出来高」「出来形」計測を行うに当たり実施してきた地上解像度は「地上画素寸法が2cm/画素」である。

地上画素寸法の考え方は図-4 のような考えから計算で求める。

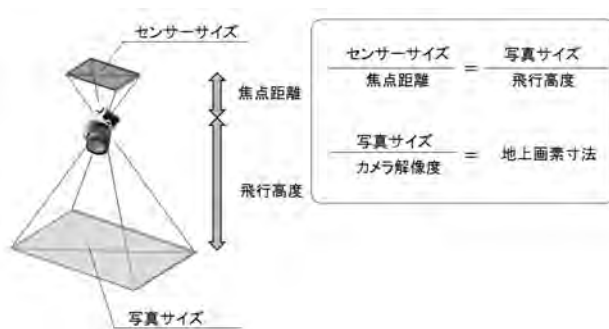


図-4 地上画素寸法の考え方

この図-4 からわかる通り、地上画素寸法に起因するのは飛行高度であり、搭載カメラのレンズ仕様と高さの関係から地上画素寸法は求められる。(表-1)

表-1 飛行高度による地上画素寸法

カメラ名	α6000	
センサーサイズ	23.5mm	15.6mm
解像度	6000	4000
焦点距離	30mm	

高度(m)	撮影幅(m)	撮影高さ(m)	地上画素寸法(横:mm)	地上画素寸法(縦:mm)
50	39.2	26.0	6.5	6.5
55	43.1	28.6	7.2	7.2
60	47.0	31.2	7.8	7.8
65	50.9	33.8	8.5	8.5
70	54.8	36.4	9.1	9.1
75	58.8	39.0	9.8	9.8
80	62.7	41.6	10.4	10.4
85	66.6	44.2	11.1	11.1
90	70.5	46.8	11.8	11.8
95	74.4	49.4	12.4	12.4
100	78.3	52.0	13.1	13.1

地上画素寸法が解析データに与える影響はどうかという観点で検証していなかったため、今回の基準提示を機に、地上画素寸法における違いが実測データと比べてどのくらい誤差を生じるのかについて以下の内容で検証した。

#### 3-1 地上解像度の違いにおける施工効率の変化

表-2 のように、地上画素寸法として1cmから4cmまでの状況を構築し、比較検討を行った。

表-2 地上画素寸法による比較

	飛行高度	焦点距離	地上画素寸法	ラップ率
i-Con対応	60m	30mm	1cm	90-60%
実施内容1	60m	16mm	2cm	90-60%
実施内容2	85m	16mm	3cm	90-60%
実施内容3	135m	16mm	4cm	90-60%

### 3-2 精度検証による効果比較

これらの撮影方法により SfM による写真解析結果を基に、精度検証の為の場所を以下の場所において実施した。特に写真解析においては誤差が大きく出やすい法面部を含め 2 カ所で比較検討を行った。(写真-2)



写真-2 検証点場所

その結果、検証点すべてにおいて、実測との誤差が±5cm の中に収まっていることが確認できた。今回策定された、15 基準の中において、出来形計測の許容値については、道路土工では±5cm という範囲であれば、合格となっているため、十分この許容値に入っていることが証明された。(表-3)

表-3 検証点精度比較(地上画素寸法)

検証点(平坦部)精度比較					
項目	X	Y	Z	誤差	
I-Con	-	-	-	-	-
地上解像度1cm	-	-	-	-0.015	-0.039
現場実測	86598.931	-82160.539	50.473	-	-
地上解像度2cm	86598.964	-82160.515	50.46	0.033	-0.013
地上解像度3cm	86598.942	-82160.545	50.47	-0.011	0.003
地上解像度4cm	86598.904	-82160.475	50.51	0.027	-0.037
検証点(法面部)精度比較					
項目	X	Y	Z	誤差	
I-Con	-	-	-	-	-
地上解像度1cm	-	-	-	-	-
現場実測	86615.259	-82119.09	50.43	-	-
地上解像度2cm	86615.274	-82119.064	50.45	0.015	0.020
地上解像度3cm	86615.249	-82119.073	50.435	-0.010	-0.005
地上解像度4cm	86615.3	-82119.123	50.454	-0.041	-0.024

### 4. 進行方向ラップ率の違いがもたらす作業性について

地上画素寸法がデータ解析において特段問題になることがないことが証明されたが、次は「進行方向ラップ率」についての違いが解析においてどの程度の影響があるのかを検証した。

比較対象としては従来の当社実施方法である地上画素寸法 2cm と今回の出来形基準で規定された地上画素寸法 1cm とを比較した。

#### 4-1 進行方向ラップ率の違いによる施工効率の変化

表-4 を観ていただければ明らかであるが、当社従来方法と比べ、地上画素寸法やラップ率が少し違うだけでもこのような大きな施工効率につながる事がわかっている。

表-4 施工効率比較

フライト比較								
	飛行高度	焦点距離	地上解像度	ラップ率	飛行速度	飛行時間	作業時間	写真枚数
大林標準	60m	16mm	2cm	80-60%	5m/s	約3分	約10分	約160枚
I-Con対応	60m	30mm	1cm	90-60%	1m/s	約30分	約90分	約1000枚
解析比較								
	1枚あたりの面積	解析時間	法面部の解析	全解析				
大林標準	約2.5ha	0.5h	0.5h	0.2h				1.2h
I-Con対応	約2.5ha	4.5h	2h	4.5h				11.0h

よって、次の検証としては、地上画素寸法が 1cm と 2cm のそれぞれに対し、進行方向ラップ率を 70%~90% で実測と比べてどの程度の誤差があるかを検証した。

#### 4-2 ラップ率の違いによる実測比較

地上画素寸法とラップ率の違いを変えたものを表-5 で示す。

表-5 地上画素寸法とラップ率比較

##### (地上画素寸法2cmの場合)

	飛行高度	焦点距離	地上解像度	ラップ率
実施内容1	60m	16mm	2cm	90-60
実施内容2	60m	16mm	2cm	80-60
実施内容3	60m	16mm	2cm	70-60

##### (地上画素寸法1cmの場合)

	飛行高度	焦点距離	地上解像度	ラップ率
★I-Con対応	60m	30mm	1cm	90-60
実施内容2	60m	30mm	1cm	80-60
実施内容3	60m	30mm	1cm	70-60

この組み合わせで検証点における高さ比較をしたのが次の表-6、7である。

表-6 検証点精度比較(ラップ率)地上画素寸法 2cm

検証点 平坦部 精度比較(地上画素寸法2cm)					
項目	X	Y	Z	誤差	
現場実測	86598.931	-82160.539	50.473	-	-
実施内容1 (90%)	86598.964	-82160.515	50.46	0.033	-0.013
実施内容2 (80%)	86598.934	-82160.526	50.461	-0.003	0.012
実施内容3 (70%)	86598.912	-82160.529	50.478	0.019	-0.005
検証点 法面部 精度比較(地上画素寸法2cm)					
項目	X	Y	Z	誤差	
現場実測	86615.259	-82119.09	50.43	-	-
実施内容1 (90%)	86615.274	-82119.064	50.45	0.015	0.020
実施内容2 (80%)	86615.298	-82119.073	50.456	-0.039	-0.026
実施内容3 (70%)	86615.243	-82119.068	50.456	0.016	-0.026

表-7 検証点精度比較(ラップ率)地上画素寸法 1cm

検証点 平坦部 精度比較(地上画素寸法1cm)					
項目	X	Y	Z	誤差	
I-Con (前回実測90%)	-	-	-	-	-
現場実測	86598.931	-82160.539	50.473	-	-
実施内容1 (80%)	86598.922	-82160.542	50.471	0.009	0.002
実施内容2 (70%)	86598.961	-82160.558	50.540	-0.030	-0.067
検証点 法面部 精度比較(地上画素寸法1cm)					
項目	X	Y	Z	誤差	
I-Con (前回実測90%)	-	-	-	-	-
現場実測	86615.259	-82119.09	50.43	-	-
実施内容1 (80%)	86615.246	-82119.082	50.449	0.013	-0.019
実施内容2 (70%)	86615.252	-82119.104	50.464	0.007	-0.034

結果としては、地上画素寸法 1cm で進行方向ラップ率が 70%の場合に平坦部の誤差許容値である  $\pm 5\text{cm}$  を超える点が出た。その後、これが「点」としてだけの誤差なのか、周囲の面としても同じような誤差が生じるのかを確認するため、図-5 のように同じ場所を 3D レーザスキャナで計測したものと面的に比較検討した。

その結果、やはり地上画素寸法 1cm で進行方向ラップ率が 70%の場合には、面的にも平坦部の許容誤差  $\pm 5\text{cm}$  を超えるエリアがあることがわかった。(図-5)

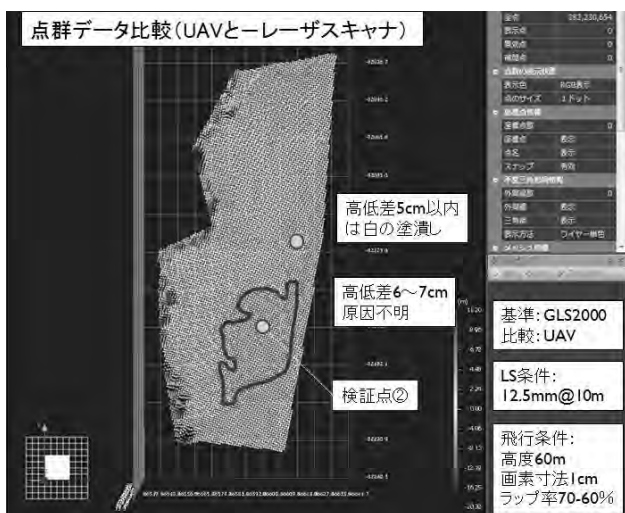


図-5 点群データ比較

## 5. 生産性向上への最適な「解」

今回の検証からは、「空中写真計測（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）」における記述通りの仕様で取得される方法で「出来形精度」が担保されることは確認できたが、一段と生産性向上を高める上において、基準を緩和した「地上画素寸法 2cm，進行方向ラップ率 80%」でも十分な「出来形精度」が担保されることが証明出来た。

## 6. おわりに

平成 28 年 3 月に「空中写真計測（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）」を含む 15 の基準がでて半年が過ぎた。

すでに ICT 活用工事における出来形検査を受けるにあたり、この基準を適用している現場が出てきていると思われるが、国土交通省が進める i-Construction の目的は、建設産業全体の生産性向上であり、それを阻害してまで、基準にこだわるものではないと思われる。

平成 28 年 4 月に出された i-Construction の報告書に書かれているが、現状を「更に」良くするための提案は積極的に受け入れる「カイゼン」姿勢を国もとることを約束している。(図-6)

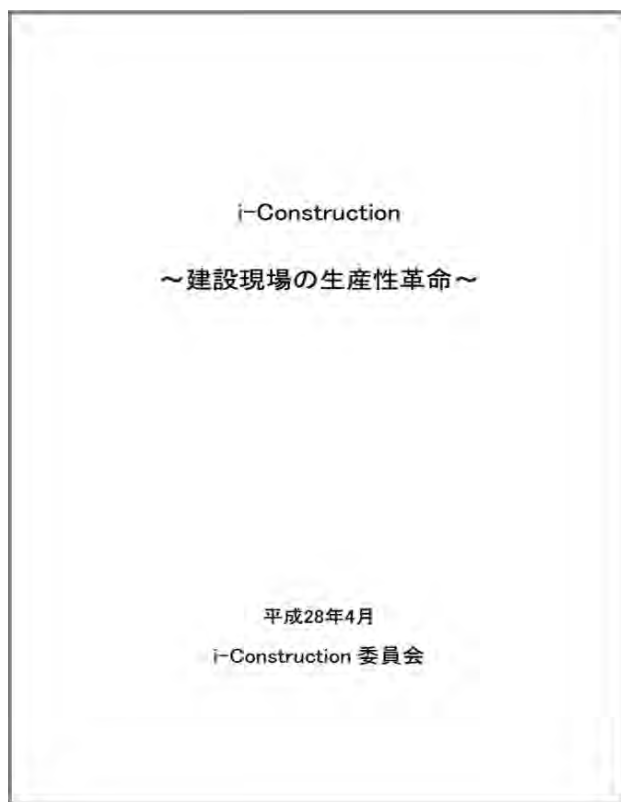


図-6 i-Construction～建設現場の生産性革命～  
<http://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>

その意味において、今回の様なデータを元に、施工性を更にカイゼンするための提案は積極的に受け入れてもらうことが可能であると思われるし、また、そうしなければ業界全体としての生産性は向上しない。

本論文がその一部を担えればと思う。