

出来形管理への3次元計測技術導入 及び改善に向けた検討

森川博邦・長山真一・舛田裕司

1. はじめに

国土交通省は、生産性革命プロジェクトの一つ『i-Construction』を推進しており、そのトップランナー施策の一つとして「ICT土工」を開始した。出来形管理に3次元計測技術を導入するなどICTを全面的に活用するため、平成28年3月に15の基準類を発出した。また、ICT土工の現場導入の状況も踏まえ、平成29年3月には国土交通省より一部基準の改定が発出された。本稿では国土技術政策総合研究所（国総研）で実施した、3次元データを活用した土工の出来形や出来高の面管理手法等に関する基準類の背景となる検討結果を報告する。

2. 土工出来形管理と新たな計測技術

2.1 従来の土工出来形管理

従来の土工の出来形管理基準（掘削工、盛土工）は、代表断面の基準高、幅員、法長を測定し評価するもので、測定の機材としてレベルやテープを使用することを前提に基準が決められている。

施工現場において3次元設計データにより建設機械を制御する情報化施工は、2008年より試行されている。情報化施工では、出来形管理に点的に瞬時に3次元の座標計測ができるトータルステーション(TS)を用いて、施工完成時に代表断面の天端や法肩、法尻の位置座標を計測して、基準高、幅員、法長を算出している。これは従前の基準に合わせる形で2次元の出来形管理資料を作成する方法である。

2.2 新たな計測技術の進展

無人航空機(UAV)を使った空中ステレオ写真測量やレーザーの連続的照射により計測を行う地上型レーザースキャナー(TLS)といった新たな技術によって、地物形状などの3次元計測データを短時間かつ面的に取得できるようになった。更にPCの高機能化等により、工事現場の現況測量や

出来形測量で得られる大量の3次元点群データを処理することが簡単になった。

これまでは、決められた間隔で断面図を作って出来形管理を行っていたが、面的な計測で取得した3次元の点群データと3次元設計データを使えば、立体形状同士を比較する方法で工事出来形の確認ができ、確認作業や管理図面の作成が効率化できる可能性がある。しかし、断面管理の規格値をそのまま面管理に適用することは不適切であり面管理用の規格値を設定する必要があった。

3. ICT土工のための基準類の導入

3.1 点群データを用いた出来形管理基準値の検討

従来の出来形管理手法で各測点において断面形状の天端高さや幅・法長の寸法計測をしていたことに比べ、面管理では面的かつ網羅的に座標計測し設計と比較するため、大量の計測点を得ることとなる。図-1に示すとおり、面管理における計測点の集合を母集団と考えると、断面管理における計測点はその標本集団と考えられる。従前の管理規格値を面管理の全計測点に適用することは、要求精度が従前に比べ過剰になる可能性がある。このため、従来の断面管理と同程度の出来形を確保するための面管理における規格値を検討するために、従前の出来形管理基準に基づき施工管理された土工現場において、管理断面以外の箇所が出来形を面的に把握した。この調査結果をもとに、出来形のばらつきが正規分布に従うものとして、面管理データのほぼ全数（99.7% $=3\sigma$, σ :標準偏差）が適合する値を全数管理規格値（99.7%許容値）とし

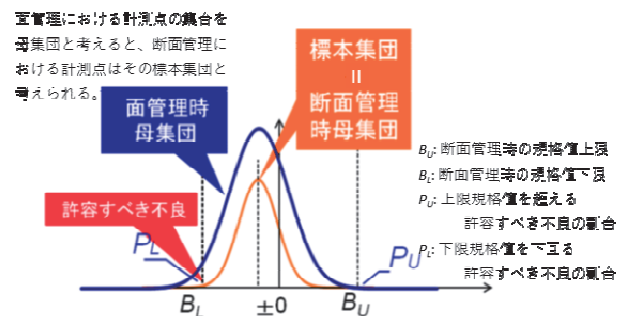
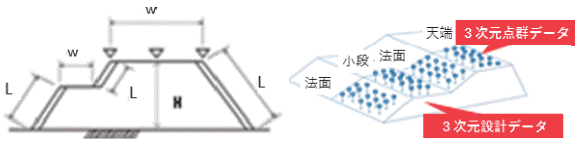


図-1 規格値検討の基本的考え方



従来管理（断面管理）		面管理			
測定項目	規格値	測定項目	規格値		
基準高▽	±50mm		平均値	個々の計測値	
法長 L	L<5m	天端	標高較差 ±50mm	±150mm	
	L≥5m	法面	標高較差 ±80mm	±190mm	
幅	-100mm	(小段含む)			

図-2 提案された出来形管理基準値

た。図-2に路体盛土工を例とした従来の規格値と新たな規格値を示す。

3.2 ICT土工の導入

前述の結果を踏まえて、平成28年3月に国土交通省より3次元データによる出来形管理に必要な施工管理基準や出来形管理要領などICT土工実施のための15の基準類が発出され、平成28年度から国土交通省直轄の土工工事においてICTを活用したICT土工の導入が始まった。

平成28年度は、土工量1,000m³以上の土工工事がICT活用工事とされ、平成28年度末までに全国の直轄工事で584件のICT土工が実施された。

4. 課題と改善のための検証

4.1 ICTの導入効果と課題

平成29年3月31日までの完成工事の一部の結果（36件、全工事の平均土量 26,988m³）による速報値では、起工測量から完成検査まで土工にかかる一連の作業時間について、平均23.4%の削減効果がみられた。

ICT活用	平均日数	52.8 日
従来手法	平均日数	68.9 日
合計作業時間 23.4% 削減		

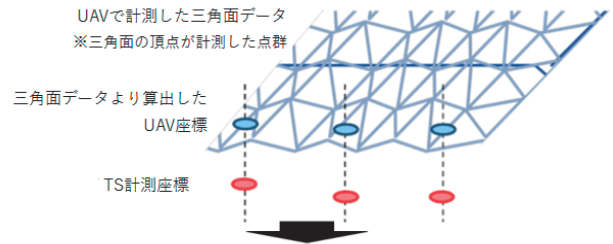
一方で、ICT活用工事の導入現場より、作業の効率性の観点から以下の基準項目に関して課題があげられた。

1. UAV写真測量の写真撮影の規定
2. UAV写真測量の標定点等設置計画
3. 小規模現場における出来形管理

上記課題のうち国総研で検証した1. および3. についての結果を以下に述べる。

4.2 UAV写真測量の写真撮影の規定

平成28年3月に発出されたUAV写真測量の出来



点名	X座標	Y座標	TS	UAV	差異
			Z座標	Z座標	
110+10CL-1	-117154.0508	-270.6965	167.577	167.581	0.004
110+10CL-2	-117156.0104	-271.0254	167.551	167.541	-0.01
110+10CL-3	-117157.9805	-271.3469	167.522	167.514	-0.008

図-3 精度検証のイメージ

形管理要領（以下「平成28年要領」という。）では、隣接写真の重なり（ラップ率）が90%以上、地上画素寸法（地上解像度）が1cm/画素以内とされていた。この基準に則して飛行計画を立てるとUAVの飛行時間が長くなり、現場作業を止める時間も長くなるため、効率的な作業に支障があった。また、写真の枚数が膨大になることにより、ソフトウェアによる3次元点群化処理に必要な時間や工事完成図書の子電子成果品の容量の点でも課題があった。

このため、ラップ率と地上画素寸法を緩和した場合の精度に対する影響の検証を行った。直轄工事現場（5現場）で、進行方向のラップ率（基準90%/緩和案80%）及び地上画素寸法（基準1cm/緩和案2cm）の組み合わせによる4つの条件下でUAVを飛行させて写真測量を実施した。精度検証のための真値となる正解データはTSを用いて、縦断方向4m、横断方向2mの間隔で計測した。写真測量の点データを面データ化した上で、正解データと同じ平面座標(X,Y)における三角面上の標高値(Z)をとり、正解データとの標高較差により精度検証を行った（図-3）。

表-1 出来形計測精度の検証結果

	地上解像度	ラップ率	被評価データと正解データの標高較差が±50mm以内の割合				
			現場①	現場②	現場③	現場④	現場⑤
天端部分							
パターンA	1cm	90%	91.1%		98.9%	87.4%	
パターンB	1cm	80%	84.4%		98.9%	87.4%	
パターンC	2cm	90%	48.9%		92.9%	79.7%	
パターンD	2cm	80%	57.8%		93.4%	83.0%	
法面部分							
パターンA	1cm	90%	76.0%	100.0%		90.9%	
パターンB	1cm	80%	64.2%	100.0%		91.7%	
パターンC	2cm	90%	20.0%	100.0%		72.7%	
パターンD	2cm	80%	48.0%	99.8%		64.5%	

現場①：国道283号釜石道路工事（岩手県釜石市）
 現場②：H27明和梅原地区下流築堤工事（群馬県邑楽郡明和町）
 現場③：H27行田工事用道路工事（埼玉県行田市）
 現場④：平成28年度安倍川門屋護岸工事（静岡県静岡市葵区門屋）
 現場⑤：木原道路内島第5改良工事（広島県三原市木原町内）

表-1に5つの現場における4つのパターンでの計測結果について、天端部分と法面部分の高さ精度の検証結果を示す。平成28年要領の規定に従い計測した場合（パターンA）で高さ計測値の許容誤差である±50mmに収まる割合が低かった現場①では、ラップ率を80%に緩和した場合（パターンB）において±50mmに収まる割合が低下している。しかし、パターンAで±50mmに収まる割合が概ね90%以上である現場は、パターンBでも±50mmに収まる割合が大きく低下することはない。すなわち、パターンAで十分な精度の確保が出来る条件の現場であれば、ラップ率を緩和（パターンB）しても同等の精度が保たれている。このことからラップ率の80%への緩和は可能と考えられた。

一方、地上解像度を2cmに緩和した場合（パターンC）では、現場②以外の全てで±50mmに収まる割合の低下が見られ、地上解像度の緩和をすると精度確保ができなくなる可能性があることから、地上画素寸法を2cmとする緩和は採用しないこととした。

4.3 小規模現場における出来形管理

UAVによる写真測量は、事前の機材準備に一定の手間を要すること、TLSは機材が高価であることから、施工面積が小さい場合や、段階的な出来形管理の頻度が高い場合には、UAVやTLSの方が作業時間やコスト的に非効率となる可能性もある。また、UAV写真測量やTLSで欠測があった場合の合理的な補足手段も必要とされていた。このため、特定箇所の3次元座標を計測出来る機器であるTS、ノンプリズム式TSやRTK-GNSSを使うことを検討した。

4.3.1 TSの面管理への活用

ICT土工出来形管理の面管理で要求される計測精度は±50mm以下とされているが、TSの計測精度は一般的に鉛直精度10mm程度とされていることから、情報化施工のTS出来形管理における断面管理以外に、面管理の計測においても活用可能とした。

4.3.2 ノンプリズム式TSの活用

ノンプリズム式TSは計測対象からの反射波を利用して測距測角する測量機器であり、TLSと同じ原理で精度が同等であるため、面管理に利用することに問題は無い。ただし、検定手法がないた

め、TLSに準じた規定を出来形管理要領等に盛り込んだ。

4.3.3 RTK-GNSSの活用のための精度検証

RTK-GNSSの計測精度を確認するため、RTK-GNSSを用いた面的な計測結果と、TSによる計測結果（横断方向を1m間隔程度、延長方向を1m程度）を比較した結果が表-3である。この結果から、RTK-GNSSの計測精度は、ICT土工出来形管理の面管理で要求される計測精度である $\mu + 3\sigma \leq \pm 50\text{mm}$ （ μ ：平均、 σ ：標準偏差）を満たすことが確認できた。

表-3 RTK-GNSSの現場計測精度

高さ精度 (RTK-GNSS)-(TS)	平均： μ (mm)	標準偏差： σ	母数：N
天端部	-11	7	80
法面部	-19	8	82

4.3.4 RTK-GNSSの基準点精度

RTK-GNSSの計測精度は、鉛直30mm程度であるが、刻々と変わる衛星の位置の影響により、計測値自体が変動する可能性がある。連続12時間、固定位置での計測結果を図-4に示す。

折れ線が計測値の時間変動であり、図中にはRTK-GNSSの計測精度を点線で追記してある。この図は、計測精度（±30mm）に対して計測値の時間変動が、同程度となる場合があること示している。

このため、実際に現場でRTK-GNSSを使用する場合には、基準点で初期化を行い、計測対象を一巡する計測のあと、基準点での計測を再度行い誤差以内（±30mm）であることを確認することを改定要領に規定した。

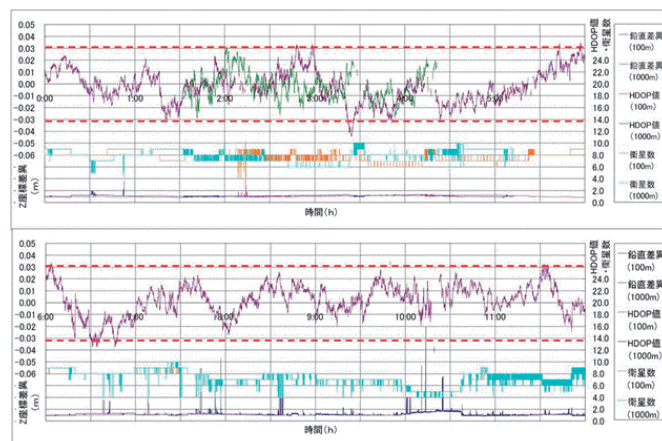


図-4 RTK-GNSSによる固定位置での計測結果（鉛直方向／12時間連続）

4.3.5 TS、ノンプリズム式TS、RTK-GNSSの計測点密度

特定箇所での3次元座標の測定が可能なTS、ノンプリズム式TS、RTK-GNSSにより面管理する場合の計測点密度は、UAV写真測量やTLSを用いた出来形管理の出来形評価点密度と同等である1点/m²以上と明記した。

4.4 基準類の改定

以上を踏まえて、3次元計測技術を活用した出来形管理についての改善策を要領等の素案として整理し、平成29年3月に国土交通省からICT土工の基準類の改定が発出された。

なお、参考までに記すと、「UAV写真測量における標定点等設置計測」にTSよりも簡便に計測ができるRTK-GNSSを活用するという課題については、起工測量（要求精度±100mm）、岩線計測（同±100mm）、部分払い用出来高計測（同±200mm）については、RTK-GNSSの計測精度（±30mm）でも十分満足するということから、平成29年3月の改定で追記されている。

5. まとめ

ICT土工が平成28年度にスタートしてから1年余りが経過した。直轄現場でのICT土工の実績は500件以上になっており、今後は完了した工事の完成図書（電子納品物）の分析も取り組むべき課題である。平成29年度からは舗装工など新たな

工種についてもICTの活用のための基準が発出されたところであるが、更なる適用拡大や、より効率性の上がる可能性のある新技術の活用など、建設現場へのICT導入による生産性向上が一層進むよう、取り組んで参りたい。

謝 辞

UAV写真測量の写真撮影の規定の検証計測において、（一社）日本建設業連合会や（一社）日本測量機器工業会及びそれらの会員会社に多大なる協力をいただいた。また、関係地方整備局には現場を検証フィールドに使わせていただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

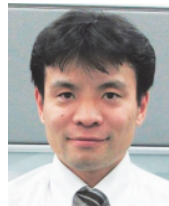
- 1) 近藤弘嗣他：i-Constructionで適用する土工出来形の面管理に関わる基準類の検討、第16回建設ロボットシンポジウム論文集、2016
- 2) 近藤弘嗣他：i-Constructionで適用する土工出来形の面管理に関わる基準類の検討～面的な出来形管理基準の検討について～、平成28年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集、2016
- 3) 近藤弘嗣他：i-Constructionにおける空中写真測量及びレーザースキャナの出来形管理への適用について～UAV等の出来形管理要領の諸規定設定根拠について～、平成28年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集、2016
- 4) i-Construction委員会：i-Construction ～建設現場の生産性革命～、2016
- 5) 国土地理院：UAVを用いた公共測量マニュアル(案)、2017.3

森川博邦



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室長
Hirokuni MORIKAWA

長山真一



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室研究官
Shin'ichi NAGAYAMA

舛田裕司



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室研究官
Yuji MASUTA