

# 長大法面における空中写真測量による出来形管理

松田 裕也

近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 工務課 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

2011年台風12号(紀伊半島大水害)による豪雨によって、奈良県十津川村の栗平地区で大規模な斜面崩壊及び河道閉塞が発生した。天然ダムの侵食崩壊を抑制するため天然ダム上の仮排水路工の施工に伴う掘削を行った。その出来形管理について、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を使用した空中写真測量技術の適用性を検証した。ここでは、①毎月の空中写真測量により生成した3D地形データより算出した土量の進捗管理、②掘削工完了後の出来形管理についてまとめ、今後の考慮すべき事項について考察した。

キーワード UAV, i-Construction, 空中写真測量, 長大法面

## 1. 災害～仮排水路構築と航測に至るまでの経緯

当該地は、奈良県十津川村の新宮川水系熊野川(十津川)支川栗平川に位置する。

その栗平川において2011年9月台風12号時に左岸の北西向き斜面で幅約600m, 斜面長約650mの大規模な斜面崩壊が発生し、高さ約100m, 幅約350mの天然ダムが形成された。

崩壊の拡大が懸念されるとともに、形成された天然ダムによって満水時には約700万m<sup>3</sup>の水が湛水し、天然ダムが決壊すれば、下流域の住民への影響が長期化する懸念があり、緊急的な対策が急がれた。

その対策として、本工事では天然ダムの侵食崩壊を抑制するための仮排水路工の施工を行った。

仮排水路工の掘削箇所は、斜面崩壊箇所の対岸に位置し、その掘削土量は約26万m<sup>3</sup>と多量であった。また、本施工箇所は、崩壊斜面の直下で天然ダム上であるため、効率かつ迅速な施工管理および広範囲な掘削工事の出来形管理が必要とされたことから、UAVを使用した空中写真測量による出来形管理を行った。

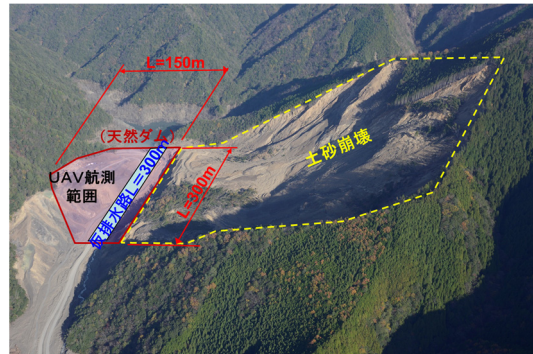
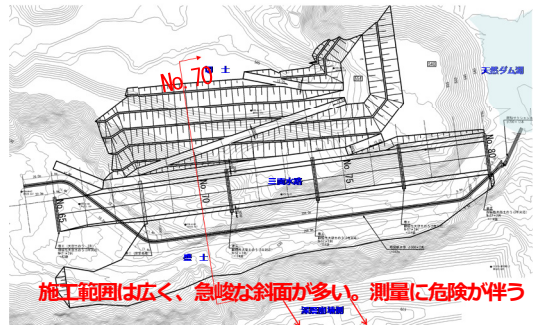
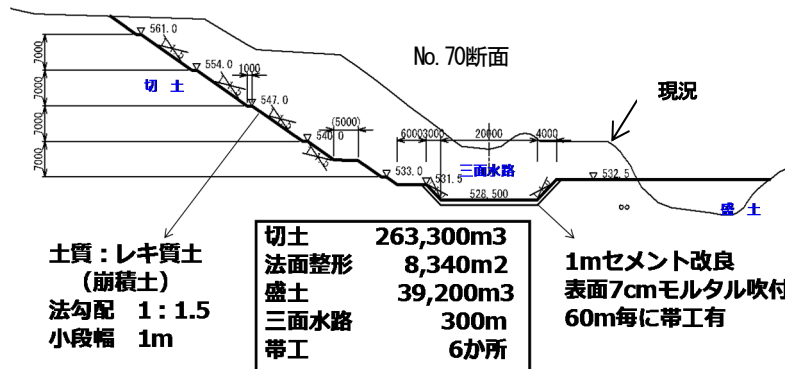


写真-1 実証現場全景



仮排水路工平面図

工事件名：栗平地区砂防堰堤他工事  
 工事場所：奈良県吉野郡十津川村内原地先  
 工期：2015年7月14日～2017年1月30日  
 内容：約26万m<sup>3</sup>(切土掘削)  
 L=300m, W=150m



仮排水路工断面図と概要

## 2. 空中写真測量実施の背景

本工事は、前述のように2011年の台風12号により形成された天然ダム上での工事である。

現場での進捗管理や出来形管理については、今までは従来通りの人力によるTS測量で実施していたが、下記のような課題があった。

- ① 施工範囲が広大で測量時間を要する。
- ② 急峻な長大法面での作業となる。
- ③ 崩落斜面直下での測量作業のため危険を伴う。

また、当該箇所では過去の出水により被災を受けており、新たな出水で現場状況が変化する可能性が大きい現場である。そのような現場において、時間を要せず安全に進捗管理及び出来形管理を行うことの出来る技術が求められた。

- ① 2012年9月 台風17号  
緊急工事で施工した仮排水路が流出
- ② 2014年8月 台風11号  
暗渠排水管が流出

一方で工事現場における効率化、省力化を目的としたICT(情報通信技術)を活用した技術は、2016年度より本格的に導入されている。特にUAV(Unmanned Aerial Vehicle: 小型無人航空機)による計測処理技術は、近年UAVが低価格かつ高性能になってきたことから発展が著しい技術である。本技術は、上記の課題を改善できる技術として期待できることから、今回のUAVによる空中写真測量を実施することとなった。

測量手法の検討は、現在普及しているICT技術の基準が定められる前に行ったものであるが、本現場のような箇所へのUAVによる空中写真測量の適用性を含めて飛行方法の検討とその検証結果を紹介する。

## 3. 測量手法の検討

平成28年3月版の国土交通省「空中写真測量(UAV)を用いた出来形管理要領(土工編)」では図-1のような要求仕様・精度(以下、i-Con仕様)を記しているが、

空中写真測量(UAV)による出来形計測で利用するUAVおよびデジタルカメラは、下記の測定精度と同等以上の計測性能を有し、適正な精度管理が行われている機器であること。受注者は、本管理要領に基づいて出来形管理を行う場合は、利用するUAVおよびデジタルカメラの性能について監督職員に提出すること。以下に、UAVおよびデジタルカメラの性能基準を示す。

計測性能：地上画素寸法が1cm/画素以内  
測定精度：±5cm以内  
(カタログ記載に加え、第2編 第4章 精度確認試験による現場確認を行うこと。)

計測性能：地上画素寸法が1cm/画素以内  
測定精度：±5cm以内

図-1 i-Con仕様の抜粋

検討当初は、測定精度の基準がなかったことから測定精度を±10cmと設定した。

この基準をベースとし、一般的で入手可能なUAV機材で測量が可能となるように、飛行高度、速度、ラップ率、シャッタースピード等について試験飛行を繰返し、下記の結果が得られた。

- ① カメラ撮像設定 (AUTOモード)
  - ・シャッタースピード (1/1000以下)
  - ・F値 (4.0)
  - ・ISO感度 (400以下)
- ② 地上標定点 (Ground Control Point 以下, GCP) の大型化 (100cm程度)
- ③ 法面に合った飛行方法 (高度一定)
- ④ ラップ率 (進行方向 80%、レーン間 60%程度)

i-Con仕様が定められてから検証しても最終的に満足しなかったのはラップ率基準(i-Con仕様では、進行方向90%、レーン間60%)であった。

《補足》

(平成28年3月版の国土交通省「空中写真測量(UAV)を用いた出来形管理要領(土工編)」)では、進行方向90%、レーン間60%と規定されているが、平成29年3月版では進行方向80%、レーン間60%に改定されている。

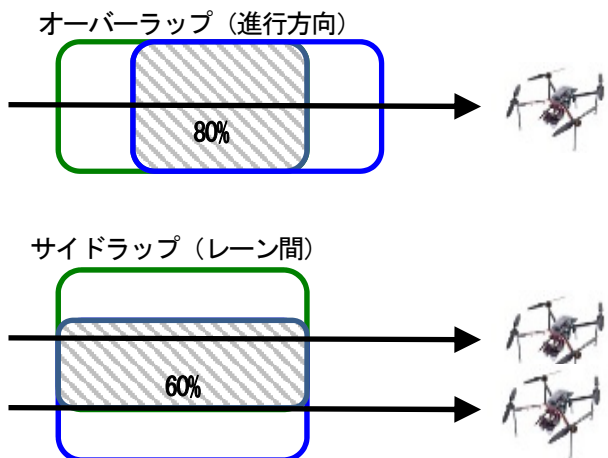


図-2 ラップ率イメージ図

また、測量精度を向上させるためには3次元データ作成に利用する画像の取捨選択が重要であり、下記の2点は特に精度への影響が出る事を確認し、処理の素材に含まない方が誤差が少ないと分かった。

- ① GCPが画像端部に位置するもの
- ② 離陸地点から撮影点迄の移動画像

## 4 空中写真測量の実証

### (1) 使用機器

使用機器は、一般的に流通している機器を採用

- ・機体：エンルート社製 Zion QC730（重量5kg、積載4kg）
- ・点群生成ソフト：Agisoft社 Photoscan
- ・土量算出ソフト：ビーシステム社 Scan Survey Z



図-3 UAVと撮影航路イメージ

GCP配置

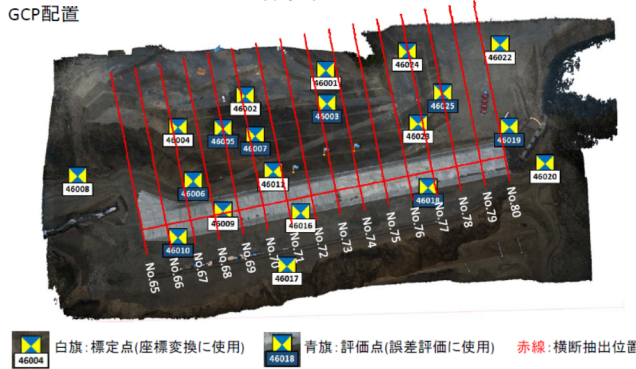


図-4 最終測量時の標定点(GCP)と検証点(CP)

### (2) 航測準備

航測に先立ち地上標定点等の設置（基準点）及び航測に関する計画（航測計画（1）：進捗管理，航測計画（2）：出来形管理）を立案した。

《基準点》

○標定点(GCP)：(図-4)

進捗管理(出来高)レベルの精度±200mmのみならず、i-Con出来形管理レベルの精度±50mmをもクリアするために近接100m以内を目標に随時拡張して設置

○検証点(Check Point 以下, CP)：(図-4)

標定点と同様の理由により、近接200m以内を目標に随時設置

《航測計画》

- 航測計画(1)：飛行高 50~80m (図-5)  
進捗管理の精度±100mmを目指した図-6に示す通りの航測計画とする。
- 航測計画(2)：飛行高 10~40m (図-5)  
出来形管理の精度±50mmを目指した図-7に示す通りの航測計画とする。

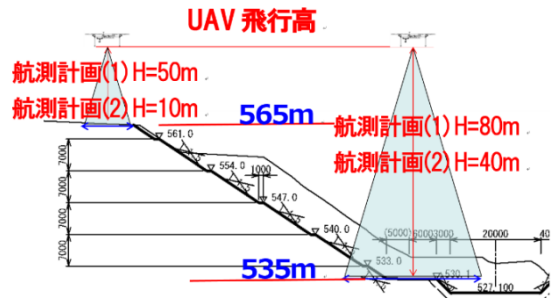


図-5 UAV航測計画の飛行高(水路中央部No.70付近)

被写体までの距離 (m)	80.00m
焦点距離 (mm)	16mm
水平撮影範囲 (m)	117.52m
垂直撮影範囲 (m)	78.00m
水平mm/画素	19.59mm/画素
垂直mm/画素	19.50mm/画素
フライト飛行高度	84.52m
シャッター間隔	5秒
飛行速度	1.92m/秒

オーバーラップ：117.52÷(117.52×0.9)×1.92×5  
サイドラップ：78.00×0.4×6>150.00

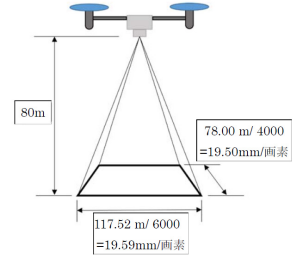


図-6 UAV航測計画 (1)

被写体までの距離 (m)	40.00m
焦点距離 (mm)	16mm
水平撮影範囲 (m)	58.76m
垂直撮影範囲 (m)	39.00m
水平mm/画素	9.79mm/画素
垂直mm/画素	9.75mm/画素
フライト飛行高度	44.52m
シャッター間隔	2秒
飛行速度	1.92m/秒

オーバーラップ：58.76÷(58.76×0.9)×1.92×5  
サイドラップ：39.00×0.4×10>150.00

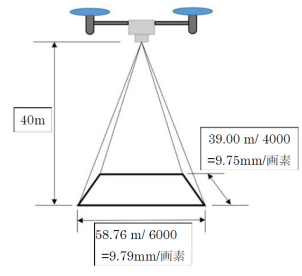


図-7 UAV航測計画 (2)

### (3) 進捗管理

本件の進捗管理については、「空中写真測量 (UAV) を用いた出来形管理要領 (土工編)」の出来形管理要領1-3-3部分払い用出来形計測の精度±200mmを許容とする航測計画(1)を採用した。

また管理頻度は、出水による流出の可能性を考慮して2016年3月より2016年12月まで概ね1回/月のUAV航測による3次元モデルを生成して月ごとの掘削土量を算出した。掘削土量は、前回と当該月の3次元モデルの差分を解析ソフトを使用して算出した。結果は図-8に示すように、左側の俯瞰図と右側の平面図で表現し、それぞれ図-9に示すような凡例の施工厚さを9段階で、□5.0mごとに着色したヒートマップで表現している

(2016年12月の最終の航測は、i-Con仕様である精度±50mmを目指した航測計画(2)で実施)。これによって、掘削の進捗状況を3次元モデル及び従来の方法である2次元(図-10)でも容易に確認できるようになった。

掘削土量の検証は、当初LP測量と最終の出来形測量の差分と、進捗管理で作成した3次元データによる土量の差分の合計により比較したもので、前者で計測した土量が260,369m<sup>3</sup>(±50mmで管理)、後者の土量が256,514m<sup>3</sup>(±100mmで管理)となり、その差は3,855m<sup>3</sup>(+1.5%)と小さな誤差であった。

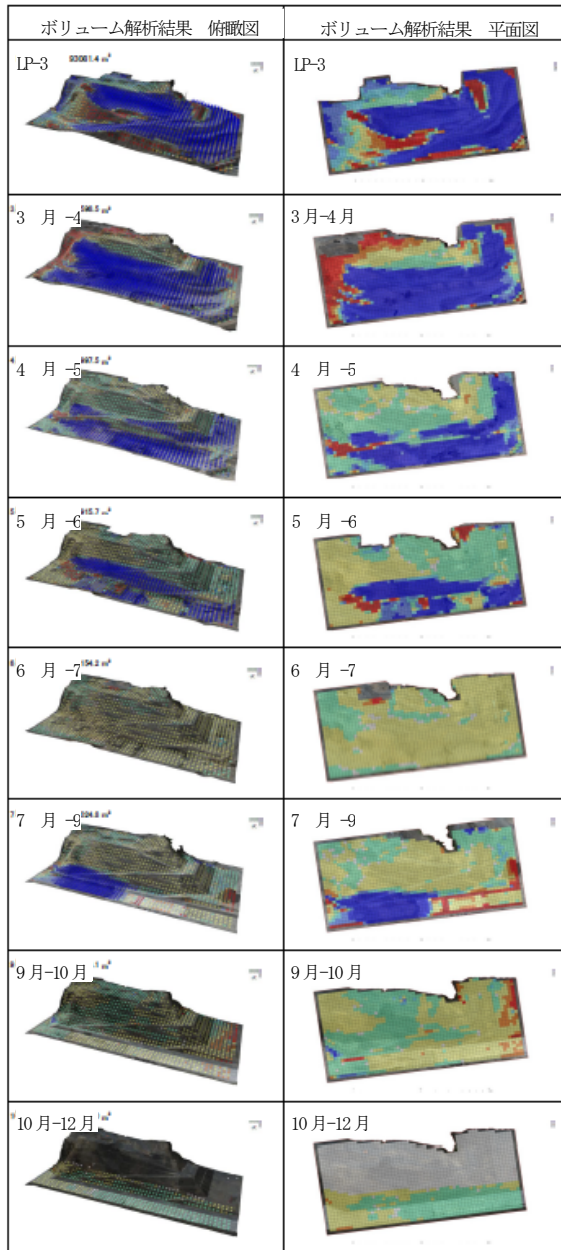


図-8 月別出来高の進捗管理状況

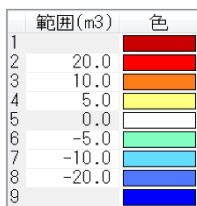


図-9 ヒートマップの着色凡例

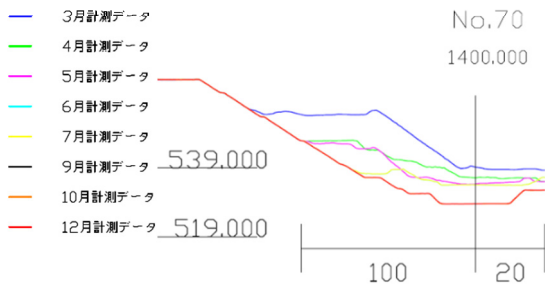


図-10 進捗管理の断面図による確認 (例 No. 70 断面)

(4) 出来形管理の精度検証

出来形管理については、航測計画(2)で進捗管理の最終回である2016年12月に実施した。結果は、図-11に示す通りであり、表-2の標定点と検証点の精度確認の結果、12点の標定点の誤差の平均は29.5mm, 8点の検証点の誤差の平均は44.5mmとなり、i-Con仕様の精度±50mmを満足するものとなった。

また本件では、点群が合致せず精度が不十分であるため除外されている法肩と法尻前後50mmで、TS測量との精度検証を実施した。空中写真測量で作成された3次元のUAV出来形データを、TS測量の設計断面No.70と比較した(図-12)結果、5点の測定でその誤差は31~107mmであった。

これは、UAVの弱点である法肩、法尻等の大きな変化点が表現しづらいことに加え、測定範囲は長大法面であり、標高が低いところでは、UAVの飛行高からの高低差が大きくなることから誤差が100mm程度の低い精度となったものと考えられる。

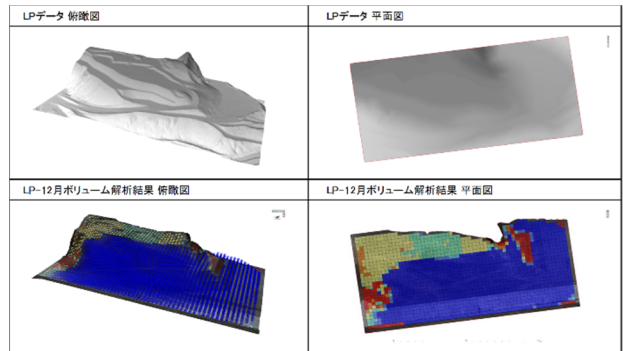


図-11 出来形管理状況 (ヒートマップ・3Dモデル)

表-2 出来形測量時の標定点・検証点 (単位 mm)

名称	誤差	名称	誤差		
標定点	46001	0.0491	評価点	46003	0.0494
	46002	0.0340		46005	0.0476
	46004	0.0346		46006	0.0110
	46008	0.0088		46007	0.0670
	46009	0.0249		46010	0.0397
	46011	0.0447		46018	0.0428
	46016	0.0163		46019	0.0597
	46017	0.0283		46025	0.0387
	46020	0.0306			
	46022	0.0235			
	46023	0.0231			
	46024	0.0410			
平均値	0.0295	平均値	0.0445		

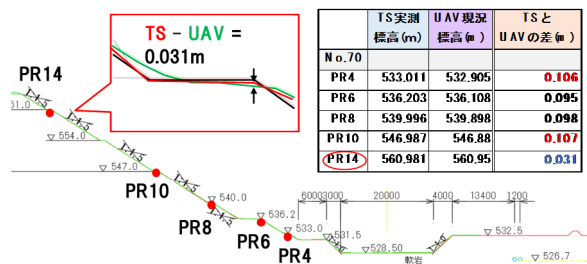


図-12 UAV航測とTS測量の比較

## 5. まとめ

本工事のような天然ダム上の長大法面での空中写真測量は、高低差のある箇所でのTS測量との近似は難しいものの、施工完了時の出来形管理の精度検証では、標定点と検証点についてi-Con仕様の±50mmを満足する結果となったことから、UAVを活用した空中写真測量による出来形管理は有効であると考えられる。

また、本件の測量範囲に対して、従来のTS出来形測量の手間と比較した場合、航測作業がi-Con仕様レベル

でも約1時間で済み、2名で1.5日を要していたTS測量に比べ大きな労務改善が得られると共に、本工事のような災害現場や2次災害が懸念される箇所での測量でも安全に正確な測量が行えることが分かった。

今後、長大法面における出来形管理の精度向上するためには、画像鮮度のばらつきを少なくすることが重要であるため、航測計画において、高度を変化させる分割航測や飛行速度を変化させる分割航測を行い、1画素の大きさをできる限り均一化することで精度向上に繋がると考える。