

## UAVと写真解析技術を用いた砂防堰堤の堆砂量管理に関わる取り組みについて

国土交通省中部地方整備局越美山系砂防事務所 伊藤誠記<sup>※1</sup>、片桐知治、山本一兆、小関輝明、大島麻実<sup>※2</sup>  
<sup>※1</sup> 現 四国山地砂防事務所 <sup>※2</sup> 現 木曾川下流河川事務所  
 株式会社地圏総合コンサルタント 池上浩二、家田泰弘、内柴良和、潮見礼也、○河野元

### 1. はじめに

国土交通省 中部地方整備局 越美砂防事務所管内では昭和40年9月に発生した大規模な土砂災害を契機として、昭和43年から直轄砂防事業に着手され、砂防堰堤等の整備が進められてきた。

近年、土石流危険渓流を中心に、砂防堰堤を常に空にしておく、いわゆる管理型砂防堰堤が増加している。これらの堰堤は、適正に管理されず土砂が堆積した状態で土石流等の災害が発生すると施設管理者側で管理瑕疵が問われる恐れもあるため、堆積土砂量の適正な把握は重要である。しかし、砂防堰堤の堆砂数は急峻な地形や流水のため容易に立ち入って測量できないばかりか、1箇所での測量にかかる時間が長時間に及び、作業性が著しく悪いのが現状である。そこで、本研究は、近年技術の進歩が著しいUAV及びSfM技術を用いて砂防堰堤の堆砂状況を効率的に把握するとともに、把握に当たっての課題の抽出を行ったものである。

### 2. 機材およびソフトウェア

基本的な方針は、“誰でもできること。手軽にできること。”を目指すものとし、使用する機材等は、“一般に普及した機材”や“比較的安価で入手しやすいソフトウェア”とした。コスト的には十数万円の機材と数十万の解析ソフトによる対応とした（反面、これらでどこまで対応できるか試みることも目的のひとつとした）。

実際に本研究では、以下の機材等を使用した。

- ▶ UAV ; DJI 社製 Phantom3 及び 4
- ▶ 解析ソフト ; Photoscan プロフェッショナル 1.2.6

### 3. 対象地域及び対象施設

本研究では、越美山系砂防事務所管内に整備された砂防堰堤を対象に調査を行った。

調査時期は10月及び11月末の2時期とした。

対象施設は堰堤の位置づけとあわせて、植生被覆や土砂の性状、湛水の状況等の観点から一次抽出を行うとともに概査を実施し、調査に適すると考えられる堰堤30基を選定した。このうち、12基については2時期での比較を行った。

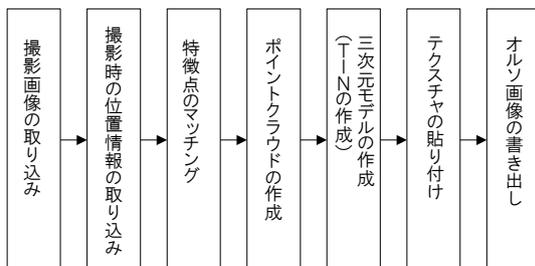


図-1 SfM技術による三次元モデルの作成手順

### 4. 写真解析

撮影した写真からSfM技術により三次元モデルを作成した。具体的な手順は図-1に示すとおりである。また、図-2に作成したSfM三次元モデルの一例を示す。



図-2 SfMによる三次元モデルの作成例

### 5. 堆砂量計測

#### 5.1 必要となるデータ精度の考え方

出水・土石流発生直後では、堰堤の堆砂数に安全にGCPを設置できないことが想定されるため、周辺の構造物（砂防堰堤等）や大径礫を標定点・検証点としてモデル化を行い、そのモデルから算定した堆砂量が所要の精度を確保できるかという観点から検討を行った。

堰堤の堆砂量を管理する上で、必要となる土砂の単位は数百 $m^3$ 規模（堆砂率で10%程度）と想定されるため、数 $mm$ 単位の精度は必要ではない。

堆砂数の礫径が人頭大の0.2~0.3 $m$ 程度あることを踏まえ、「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」を参考に、誤差は0.2 $m$ 程度以内と設定した。

#### 5.2 土砂変動量の精度検証実験

所要の精度が確保できるか確認するため、堆砂数に人為的な掘削箇所を設け、その場所のモデル化及び掘削前後での変動量を計測した(写真-1参照)。

その結果、検証点①の深さ0.50 $m$ 、体積0.50 $m^3$ に対して、モデルの深さ0.48 $m$ 、差分体積0.78 $m^3$ 、検証点②でそれぞれ0.70 $m$ 、1.40 $m^3$ に対して0.57 $m$ 、1.95 $m^3$ の結果を得たことから、設定した精度は確保できることを確認した(図-3参照)。

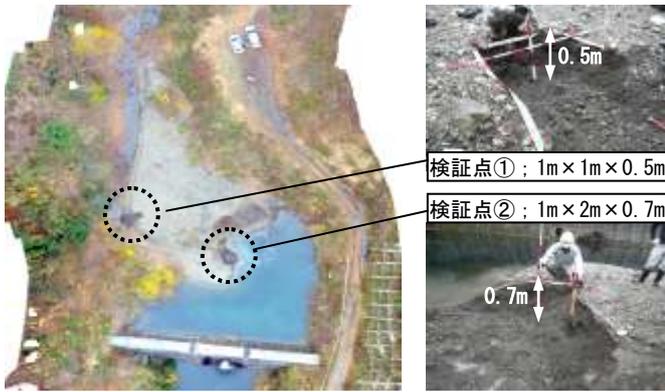


写真-1 土砂変動量の精度検証実験の様子

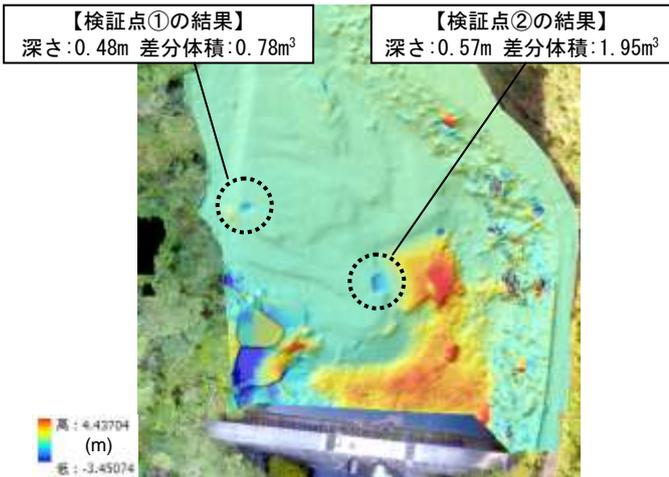


図-3 掘削箇所の土砂変動量の算出結果

### 5.3 計測結果と課題

2 時期の調査解析結果をもとに期間中の堆砂数の土砂変動量を算定した。調査期間中に土砂移動を誘発するような降雨は確認されなかったことから、堆砂数の変動は概ね生じていないと推測される。しかし、表-1 に示すように、変動量が大きい堰堤については数千 m<sup>3</sup> 単位での誤差が生じていた。この原因として、堆砂数周縁部の樹木や堆砂面の草本類などが考えられたため、裸地部分に限定して変動量の集計を行った。その結果、的確に変動量を算出できた堰堤と、目標とした数百 m<sup>3</sup> 程度以下の変動量に収まる値が得られた堰堤とに分けられた。

表-1 解析結果と変動量に生じた差分(代表例)

	型式	構築面積割合 (作成された地形モデル/ 計画堆砂面) %	変動量 m <sup>3</sup>	範囲を限定した集計		集計範囲を限定 した変動量 m <sup>3</sup>
				集計面積 m <sup>2</sup>	集計面積/ 計画堆砂面 %	
A	不透過型	73.3	-2,108	78.9	2.5	1.1
B	不透過型	64.3	-610	43.7	3.7	-5.1
C	不透過型	68.6	-7,245	951.6	9.3	-524.4
D	部分透過型	47.7	-3,175	1,738.0	14.3	202.7

このようなケース(表-1 C, D)を踏まえ、堰堤の周辺状況と解析結果等において、影響が生じる要因とその度合い等を検討・整理した結果を表-2 に示す。

表-2 堆砂数の周辺状況と解析に与える影響

堆砂数周辺の要因	想定される影響とその度合い
樹木	影響：大(変動量が過大に算出される)
草本類	影響：中(変動量が過大に算出される)
水面	影響：大(水面下の地形を捉えにくい)
堆砂数の土砂性状	影響は特に認められない
撮影時間帯(陰影)	影響：中(写真の白飛び・黒潰れの原因)

### 5.4 堆砂率の算定への活用(案)

堆砂面の情報がわかれば、堰堤の堆砂率がより精度良く確認できると考えられる。ただし、竣工後10年以上経過しているような堰堤では、設計報告書等の資料が確認できず、堰堤の効果量や元地形の情報が不明確なものが多い。

そこで、以下のような考え方で堆砂空間の空き容量から、堆砂率を算定することを試みた(図-4 参照)。

- 1) SfMにより現況堆砂面を作成
- 2) 堰堤位置から計画堆砂面を作成
- 3) 1)と2)の差分で堆砂空間の空き容量を算定
- 4) 計画堆砂量から3)を引くことで現況堆砂量を算定、さらに計画堆砂量で除することで堆砂率を算定

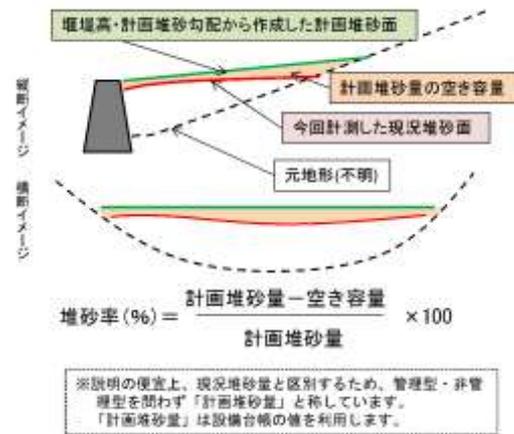


図-4 堆砂率算定方法

### 6. まとめと今後の展望

樹木等の影響のない裸地の範囲に限定した場合、堆砂数の堆砂量や出水前後の変動量について数百 m<sup>3</sup> 単位の精度で土砂量が把握できたため、UAV と SfM 三次元モデルによる取り組みの有効性は確認できた。また、計測精度については、土砂変動量の精度検証実験において、掘削前後の土砂変動量の精度が設定した 0.2m 以内に収まることを確認したため、問題がないことも確認できた。これは、今後成果品の精度管理上の指標として有効である。

一方、各堆砂数の特性(樹木や水面等)によって、堆砂数の地形を SfM 三次元モデルで再現するためには、前述の課題に対する解決策を模索する必要がある。今後は木本類等の影響を解消する方法を探り、モデル化の範囲やデータ精度の向上を図りたい。

また、写真解析による堆砂面の計測は、従来の堆砂測量に比べて、面データとして情報が得られるメリットがある。このような点を生かし、施設管理への活用策を探っていきたいと考えている。

#### 参考文献

- ・国土交通省国土地理院(2016) UAV を用いた公共測量マニュアル(案). 国土交通省 HP
- ・内山庄一郎ほか(2014) SfM を用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究. 防災科学技術研究所研究報告, Vol. 81.