

ヘリコプターからの斜め写真を用いた SfMによる天然ダム形状の計測

赤澤史顕・高橋佑弥・黒岩知恵・藤村直樹・水野秀明

1. はじめに

天然ダムが形成されると、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」に基づいて、天然ダムの決壊を原因とする土石流・湛水による天然ダムの上流の浸水により被害の生じるおそれのある区域の調査が行われる。土石流については到達する範囲を数値解析^{1),2)}により想定し、また、浸水については地形図と天然ダムの形状からその範囲が想定される。土石流・湛水のそれぞれの範囲には天然ダムの高さなどの形状が重要なファクターとなるため、天然ダムが形成された場合、天然ダムの形状と位置の計測が行われる。

近年、SfM(Structure from Motion)と呼ばれる複視点のデジタルカメラ画像から対象物の三次元形状データを取得できる技術があり、天然ダムの形状の計測についてもSfMを活用できる可能性がある。既往研究^{3),4)}ではSfMを利用してUAVによる空撮画像から地形を計測する試みが幾つか行われているが、本検討では災害後のヘリコプターによる調査で得られる写真から天然ダム形状を取得することを目指し、搭乗者が撮影した斜め写真からSfMを行い地形モデルを作成し天然ダムの形状の計測を試みた。作成された地形モデルは同じ箇所で行われた航空レーザ測量による結果と比較し、どの程度の精度で標高値が取得できるのか検討した。

2. 天然ダム形状の既存の計測手法

天然ダム形状の既存の計測手法に関しては、ヘリコプターからの長距離レーザ距離計⁵⁾、航空レーザ測量がある。航空レーザ測量は詳細なデータが得られるが、計測結果の解析に時間を要する。長距離レーザ距離計に関しては、計測後すぐに結果を使用できる利点がある。

一方で、ヘリコプターからの長距離レーザ距離

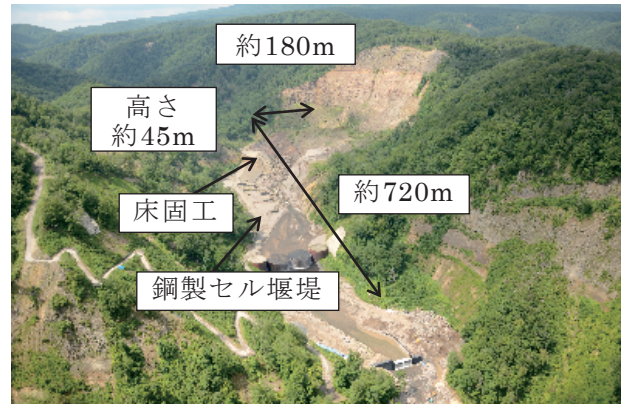


図-1 湯浜地区の天然ダム (2016年6月29日撮影)

計による計測は幾つか高い技術が求められる点がある。一つ目は天然ダムが形成された直後の等高線の図面もない中で、上空からの目視で堆積土砂の高低を判断して越流開始地点等の計測地点の位置を決めることである。二つ目はレーザ距離計を計測者がヘリコプター内で手に持って計測を行うため、揺れや手ぶれの影響を受ける中での計測が求められることである。そのため、計測者は訓練等によりある程度の熟練が求められる。

これらを踏まえると、天然ダムの形成直後の計測には、①越流開始地点等の計測地点を客観的に決めるため三次元形状を把握すること、②計測の習熟度の違いによって計測結果にばらつきが生じないこと、③被害が生じるおそれのある区域の情報提供までに時間的猶予がなく計測結果を短時間に出せること、が求められる。これらの要求を満たす手法としてSfM(Structure from Motion)による計測が考えられ、本検討ではSfMによる天然ダムの形状の計測を試みている。

3. SfMによる天然ダムの計測と計測対象

3.1 計測対象の天然ダム

本検討では、2008年岩手宮城内陸地震により生じた湯浜地区の天然ダムを対象とした(図-1)。湯浜地区では現在対策工事が進められており、堤体上に床固工、堤体下流部に鋼製セル堰堤が設置されている。

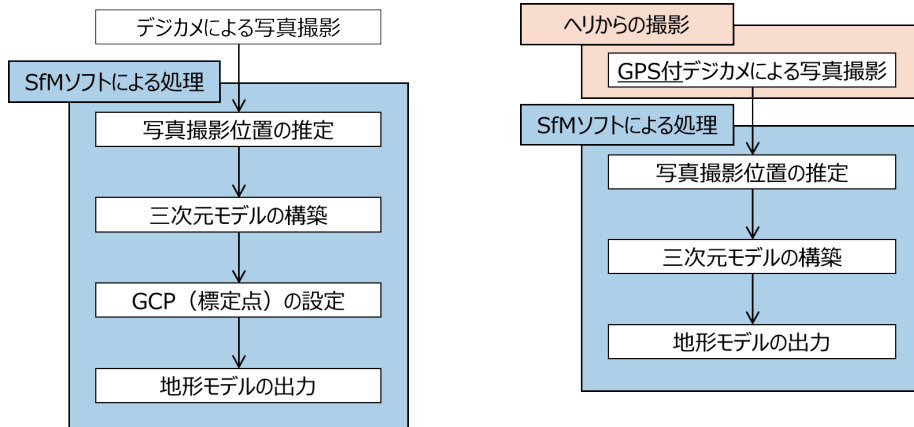


図-3 SfMによる処理のフロー（左：GCP（標定点）を設定する場合の処理の流れ、右：本検討の処理の流れ）



図-2 使用したデジタルカメラとGPSユニット

3.2 使用したソフトウェアおよび機材

SfMソフトウェアには、既往研究^{3),4)}によく用いられている商用ソフトウェアのPhotoScan（Agisoft社、Professional Edition、Version 1.2.3）を用いている。PhotoScanは撮影した写真を入力すれば、SfMの一連の処理を比較的簡単な操作で行うことができる。また、写真に座標データが付いていれば地理座標が付与された地形データを作成できる。処理を行う際に用いたPCは、OSがWindows 7（64bit版）、CPU（3.6GHz、スレッド数8）、メモリが32GB、グラフィックボードが無いものを使用している。写真撮影には、Nikon D7000（約1600万画素）を使用し、GPSユニット（GP-1A、位置精度10mRMS）を装着している（図-2）。撮影時の条件としては、f=5.6、シャッタースピード1/400～1/250、ISO-100、オートフォーカスで撮影した。

3.3 本検討によるSfM処理の特徴と形状の計測

図-3にSfMで写真画像から三次元モデルを生成するまでの流れについて既往研究による処理の流れと、本検討で行った方法による処理の流れを示している。

既往研究で行われている処理の流れとしては、図-3の左のフローに示されているように、デジタルカメラによる写真撮影の後、SfMソフトによって処理を行う。ソフト内の処理としては、写真の撮影位置が推定され、そこから三次元モデルとして撮影対象の三次元形状が構築される。その後、地理座標を付与するため、GCP（標定点）の設定が行われ、地形モデル（DSM）が出力される。

GCP（標定点）の設定を行う際は、計測対象上で数点の座標値が既知である必要がある。既知点がある場合、それを用いて座標を付与するのは有効な方法であるが、天然ダムが形成される山間地では既知点が少ない場合が多いため、GNSS（GPS）等の別途測量の実施が考えられる。しかし、天然ダムの形成直後は、道路が寸断されている場合もあり、そのような状況で現地において測量を行うことは容易ではない。そのため、SfMによる計測の際にはGCP（標定点）の設定が課題となり、別の手段を想定する必要がある。

本検討で行った処理を図-3の右のフローに示している。本検討では、GPS付きのデジタルカメラを使用することにより、写真データに撮影位置の座標データが埋め込まれ、GCP（標定点）の設定をしなくても地理座標が付与された三次元モデルを作成できる。そのため、天然ダムの周囲から複数枚写真を撮影すれば、天然ダムの三次元的な地形データを計測することができる。

2016年6月29日にヘリコプターにより上空を飛行し、天然ダムの周囲から52枚写真を撮影しSfMにより地形データ（DSM）を作成した。地形データ作成に要した時間は6時間であった。



図-4 航空機からの空中写真

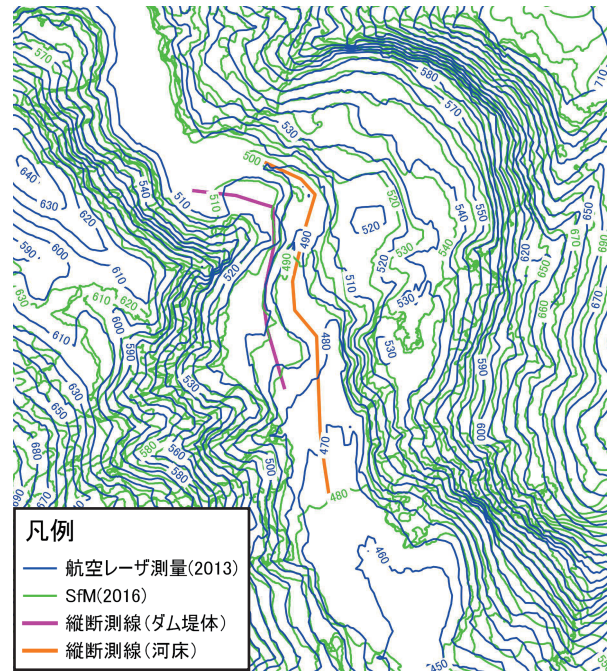


図-5 SfMと航空レーザ測定の等高線（10m毎）の比較と縦断測線の位置

4. SfMにより作成した地形データの検証

4.1 検証方法

SfMによる処理を行い、作成した湯浜地区の天然ダムの地形データ（DSM）を同じ場所で2013年10月～11月に計測された航空レーザ測量（LP）による地形データ（DEM）により検証した。

4.2 等高線による天然ダム形状、崩壊部の比較

天然ダムとその周辺部についてSfMによって作成した地形データ、航空レーザ測量による地形データについてそれぞれ等高線を作成し、GIS上で重ね合わせて比較した。

図-4に2013年に航空レーザ測量が行われた際の正射変換された空中写真を示している。地震により斜面が崩壊し、土砂が斜面下に堆積し、赤丸の部分において天然ダムが形成されている。

図-5にSfMと航空レーザ測量による10m毎の等高線を重ね合わせたものを示している。天然ダム堤体部分について、等高線の形状を比較すると、SfMと航空レーザ測量による等高線は若干異なるものの概ね同じ形状となっており、SfMにより天然ダム形状が概ね表現できることが確認された。

4.3 縦断図による標高値の検証

計測された天然ダム堤体の標高値を検証するた

め縦断図を作成した。縦断測線の位置は図-5に示している。

図-6はダム堤体部の縦断図で、図-5の紫色の測線上の縦断図となる。天然ダム天端の標高を比較してみると、SfMでは標高約514m、航空レーザ測量では標高約520mであり、5.8mの違いであった。天端以外部分についても、SfMと航空レーザ測量の標高値の違いは+7.0～-5.3mの範囲であった。天然ダムは高さが数十mのものも多く、SfMは天然ダムの形成直後の計測として十分な精度を有していると考えられる。

図-7は流路部の縦断図で、図-5の橙色の測線上の縦断図となる。流路部の標高値についても、上流からの距離が0～350mの間については数m程度の違いであった。一方、上流からの距離が350～550mの間については標高値が異なっていた。この理由は、砂防堰堤の設置による影響と考えられた。航空レーザ測量が行われた2013年は鋼製セル堰堤が建設中で4基のうち図-4に示すように中心の2基は設置されていなかった。今回、SfM処理に使用した写真の撮影時（2016年6月）には、4基の全セルが完成しており、それにより堰堤上流に堆砂が進行し、上流から350～550mの間についてはSfMによる標高値が高くなり、堆砂面により標高値が一定となったと考えられる。

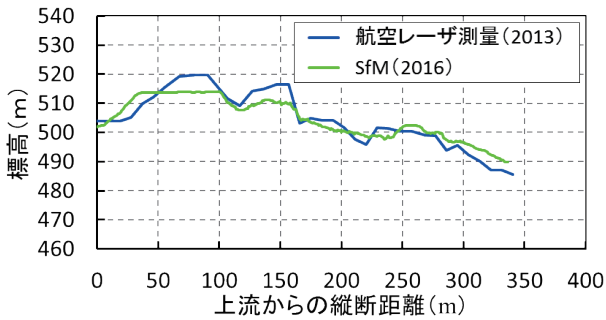


図-6 ダム堤体部の縦断面図

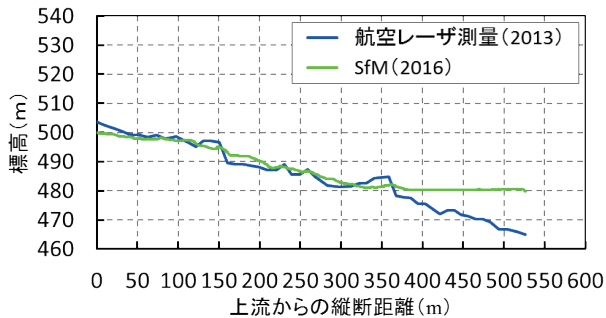


図-7 流路部の縦断面図

4.4 検証結果

本検討によるSfM処理の方法により、天然ダム形状、標高を数mの精度で計測できることが分かった。航空レーザ測量による標高値の計測精度は0.3m、GNSS (GPS) の位置精度は10mRMS、長距離レーザ距離計による計測の精度は10m程度⁵⁾といわれている。このことから、本検討の方法は、天然ダムが形成された直後の形状の計測においては十分な精度を有していると考えられる。

5. まとめ

本検討では、GPS付きのデジタルカメラを用いたSfMにより湯浜地区の天然ダム形状を計測し、航空レーザ測量の結果との比較による検証を行った。その結果、天然ダムの形状、天端の標高を数

mの精度で計測できることがわかった。

本検討の手法は、GPS付きのデジタルカメラで撮影することにより、SfM処理で行われるGCP (標定点) の設定をしなくとも天然ダムの地形データを簡単に得ることができる。また、SfMの処理に要する時間は本検討で施行した湯浜地区の計測では6時間であり、計測結果を短時間で得ることができる。そのため、本検討の手法は、天然ダム形成直後の形状の新たな計測手法として活用されることが期待される。

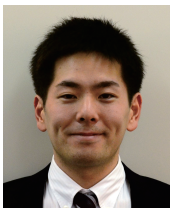
謝 辞

本検討の実施にあたり、国土交通省東北地方整備局にはヘリ調査に関してご協力いただくとともに、岩手河川国道事務所には航空レーザ測量のデータをご提供いただきました。深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 里深好文、吉野弘祐、水山高久、小川紀一朗、内川龍男、森俊勇：天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究、水工学論文集、第51巻、pp.901~906、2007
- 2) 清水武志、内田太郎、山越隆雄、石塚忠範：天然ダムによる土石流想定範囲計算システム (QUAD-L) の開発と2011年台風12号災害における適用、土木技術資料、第54巻、第10号、pp.14~17、2012
- 3) 内山庄一郎、井上公、鈴木比奈子：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、第81号、pp.37~60、2014
- 4) 小花和宏之、早川祐弼、ゴメスクリストファー：UAV空撮とSfMを用いたアクセス困難地の3Dモデリング、地形、第35巻、第3号、pp.283~294、2014
- 5) 内田太郎、吉野弘祐、清水武志、石塚忠範、小竹利明：長距離レーザ距離計を用いた天然ダム形状の計測、土木技術資料、第53巻、第5号、pp.14~17、2012

赤澤史顕



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 研究員、博(工)
Dr.Fumiaki AKAZAWA

高橋佑弥



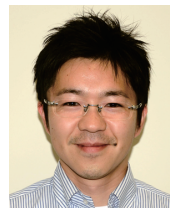
土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員
Yuya TAKAHASHI

黒岩知恵



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 交流研究員、博(農)
Dr.Chie KUROIWA

藤村直樹



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 主任研究員
Naoki FUJIMURA

水野秀明



土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム 上席研究員、博(農)
Dr.Hideaki MIZUNO