

SfM解析及び画像分類を用いた 洪水痕跡水位自動認識手法の妥当性検証

VALIDATION OF AUTOMATIC RECOGNITION OF WATER LEVEL BY FLOODMARKS

田中俊介¹・竹村仁志¹・山下健作¹・西田龍次²

TANAKA Shunsuke, TAKEMURA Hitoshi, YAMASHITA Kensaku and NISHIDA Ryuji

¹正会員 八千代エンジニアリング株式会社 大阪支店 (〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1-4-70)

²国土交通省 近畿地方整備局 大和川河川事務所 (〒582-0009 大阪府柏原市大正2丁目10-8)

Flood mark survey is an essential investigation for verifying roughness coefficient, flood simulation for flood control planning, and so on. Conventional methodology of flood mark survey is conducted with a visual determination and elevation survey of muds or debris attached to vegetation on a river embankment at a site, which is evidence for a flood. In case of the event of flood at long rivers, it is required significant efforts for investigation along the whole river reaches. In this study, the new methodology to perform a rapid and accurate flood mark survey by using SfM analysis and image classification technology was examined. Also, verification of results for flood mark survey by new methodology has implemented.

Key Words : Image classification, SfM, UAV, flood mark survey

1. はじめに

洪水痕跡調査は、治水計画における粗度係数の設定等、氾濫シミュレーションの検証を行う上で重要な調査である。洪水痕跡調査の従来の調査手法は、作業員が現地に赴き、堤防法面等に繁茂する植生に付着した泥やゴミ等、当該洪水時に冠水したことを示す痕跡を参考に目視で判断し、測量している状況である。

ただし、延長が長区間に及ぶ河川で大規模洪水が発生した際に、全川で洪水痕跡調査を実施する場合、多大な労力が必要となる。さらに、洪水直後の作業員不足、頻発する災害による調査回数増加等により、観測の継続が課題となっている。また、洪水痕跡調査は作業員による読み違いや作業員毎の恣意性により的確なデータが取得できない事象が発生しうる上に、台風期には、出水後の降雨等による泥やゴミ等の流出が発生するため、洪水痕跡調査は迅速かつ的確に実施する必要がある。

近年、小型高性能デジタルカメラと小型無人航空機(UAV)の普及により、小型UAVを用いた低空空撮画像によるSfM解析が急速に広まっている²⁾。SfM解析は、複数枚のステレオペア画像を用いて、撮影された対象物

の3次元形状が容易に復元できる手法である。小型UAVベースのSfM解析による計測は、高精細な地形データが得られるだけでなく、現地への可搬性に優れているため、災害直後の迅速かつ機動的な計測に応用可能とされている。

実際に2013年伊豆大島豪雨災害では、直後に国土地理院により撮影された空中写真と、現地での小型UAVによる低空空撮画像にSfMを適用し、崩壊地の精密な3次元モデルと空間解像度数cm～数mのDEMが作成されている³⁾。また、2014年8月豪雨による広島市での土砂災害では、直後に小型UAVベースのSfM解析によりオルソ画像が作成され、搜索支援地図として活用されている⁴⁾。

一方で、近年、農業や森林分野において、リモートセンシング技術を活用した研究やシステム開発が広く行われている。具体的には稲作や耕作の効率化・省力化を目的とした樹木データベースの構築など、リモートセンシングによる植生の観測が活発に行われている。多くの研究では、上空からの観測による土地の植生被覆の状況や分類が実施されているが、近年より高分解能の画像を用いた、樹木の単木レベルの識別や、植物の種類の自動判別等が画像分類により実施されている。

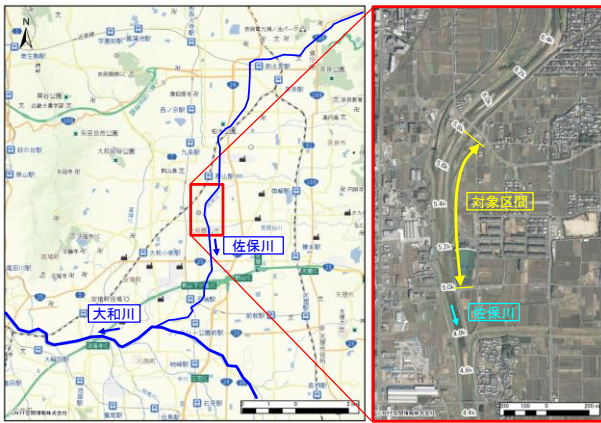


図-1 対象区間 大和川水系佐保川5.0K～6.0K

本研究では、実際の出水後にUAVで撮影された動画をもとに、上記に示したSfM解析に加え、画像の特徴を踏まえた画像分類の技術を併用することで、迅速かつ的確な洪水痕跡調査を実施する手法を検討した。

2. 検討内容

(1) 対象区間・対象出水

対象河川は、大和川支川の佐保川とした。佐保川は、大和川水系の支流で、奈良県北部の奈良市・大和郡山市を流れる一級河川である。

大和川流域では、平成29年10月22日の夜から23日の未明にかけ、台風21号の北上に伴い、最大1時間降水量約20mm、柏原上流域平均累加雨量で約260mmを記録する出水が発生した⁹⁾。大和川水系における柏原水位観測所では既往最高水位を記録しており、戦後最大洪水（昭和57年）と同規模と推測されている。

大和川沿川では、出水後に測量による洪水痕跡調査が実施されるとともに、河道状況の把握を目的として、UAVによる上空からの動画が複数地点で撮影されている。中でも佐保川5.0～5.8K区間は、UAVの動画が連続的に撮影されている区間である。本研究では、図-1に示す佐保川5.0～5.8K区間を対象に洪水痕跡水位の自動抽出を実施した。

(2) 解析手順

本研究で検討した解析手法は図-2に示すように、【1】SfM解析による3次元点群データの復元及び【2】画像分類による洪水痕跡水位の抽出の2つのステップにより構成される。【1】では、洪水痕跡水位の標高データを取得するために、UAVで撮影された動画を画像に変換した（図-2 ①参照）のちにSfM解析を行い、3次元の点群データを復元した。【2】では、SfM解析により復元した点群データのRGB（赤・緑・青）のデータを利用し、画像分類を行うことで洪水痕跡水位の抽出を行った。

a) SfM解析による3次元点群データの復元

SfM解析はRegard3Dというオープンソースのソフトにより実施した。Regard3Dは、さまざまな視点から撮影した一連の画像を使用して、被写体の3Dモデルを作成することが可能なソフトである。

SfM解析によって画像をマッチングしている状況を図-2 ②に示す。2枚の画像に対し、線で結ばれたポイントはマッチングが成功している箇所である。堤防の法面や樹木等ではマッチングが成功しているが、光の反射によって画像の色が変化する水面ではマッチングが成功していないことがわかる。

マッチングが成功したポイントをもとに復元した3次元形状の点群データを図-2 ③に示す。水面においては点群データが復元されていないが、洪水痕跡調査の対象となる堤防法面については点群データが復元されている様子がわかる。

本来、SfM解析は撮影位置の座標データをもつ静止画をもとに解析する。これにより、自動的に現地の座標にあった3次元データを復元することが可能である。ただし、本研究で使ったデータはSfM解析に使用することを目的として撮影されたものではなく、出水後の河道の概況把握のために動画で撮影されたものであるため、撮影位置の座標は不明な動画である。したがって、LPデータや定期縦横断面図等をもとに、概ね一致する箇所へ3次元モデルの座標変換を実施している。

b) 画像分類による洪水痕跡水位の抽出

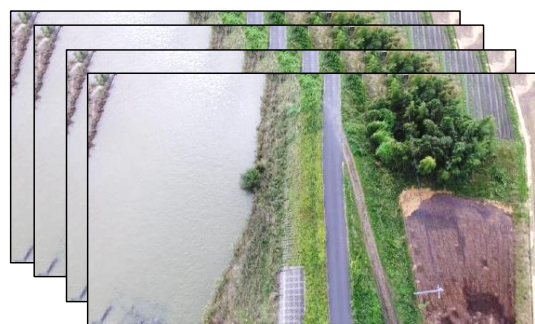
SfM解析によって復元された3次元点群データには、現地のX,Y,Zの位置座標に加え、各ポイントのRGBのデータについても格納されている（図-2 ③参照）。このデータをもとに教師データを作成したのち、3次元モデル全体で画像分類を行い、洪水痕跡水位を抽出した。

教師データは、図-2 ④に示すように堤防法面において洪水による土砂が付着していないと想定される箇所を「洪水痕跡より上方の箇所」、堤防法面において洪水による土砂が付着している箇所を「洪水痕跡より下方の箇所」として作成した。「洪水痕跡より上方の箇所」及び「洪水痕跡より下方の箇所」の教師データのR（赤）のヒストグラムの比較を図-2 ⑤に示す。Rの「洪水痕跡より下方の箇所」の教師データは、「洪水痕跡より上方の箇所」に比較して、大きい画素値でピークを示している。これは、堤防法面に繁茂する植生に泥等が付着することによって、Rの画素値が大きくなったものと推察される。このような特徴をもとに、対象区間について分類した結果の一部を図-2 ⑥に示す。図内では、緑に着色した箇所が「洪水痕跡より上方の箇所」であり、オレンジ色で着色した箇所が、「洪水痕跡より下方の箇所」として判断された箇所である。

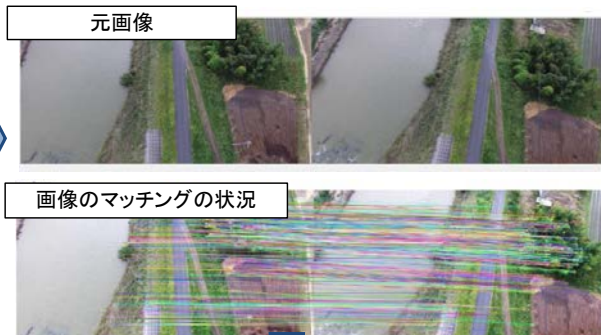
最後に、図-2 ⑦内の緑着色部とオレンジ着色部の境界を洪水痕跡として取り扱い、a)で復元した点群の標高値（Z座標）をもとに洪水痕跡水位を算出した。

【1】SfM解析による3次元点群データの復元

① 動画⇒画像データの抽出



② 画像データ間のマッチングを計算



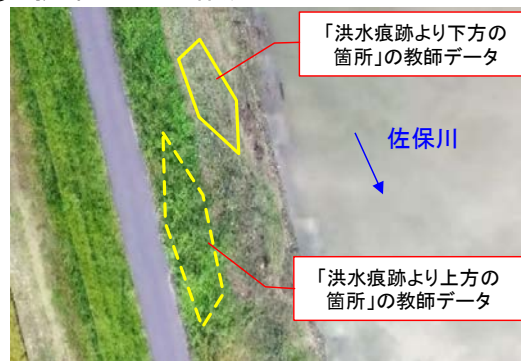
③ SfM解析による3次元モデル(ポイントデータ)の復元



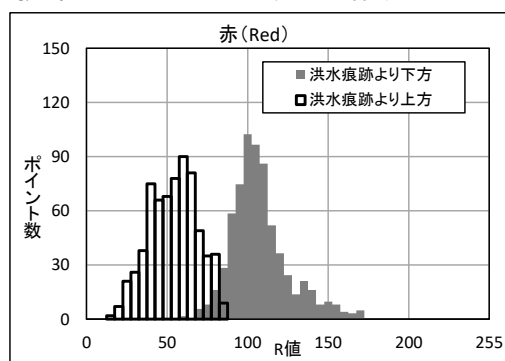
ID	座標データ			色データ		
	X	Y	Z	R	G	B
1	-3.803	15.80	0.97	114	113	85
2	-0.40	15.96	1.28	62	61	62
3	-0.039	15.95	1.47	120	109	91
4	0.11	15.93	1.50	133	114	98
5	0.20	15.96	1.50	135	115	99
6	0.18	15.93	1.51	123	103	87
...	...	...	...	...	...	...

【2】画像分類による洪水痕跡水位の抽出

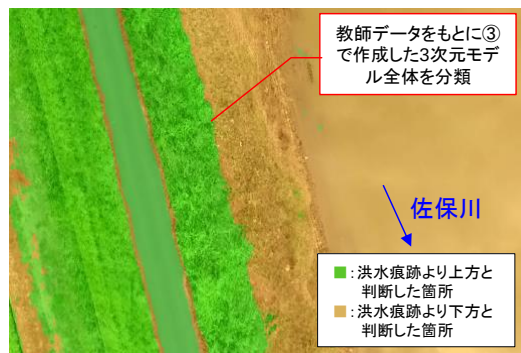
④ 教師データの作成



⑤ 教師データのヒストグラムの作成



⑥ 各ポイントデータの分類



⑦ 洪水痕跡水位の抽出



図-2 解析手順

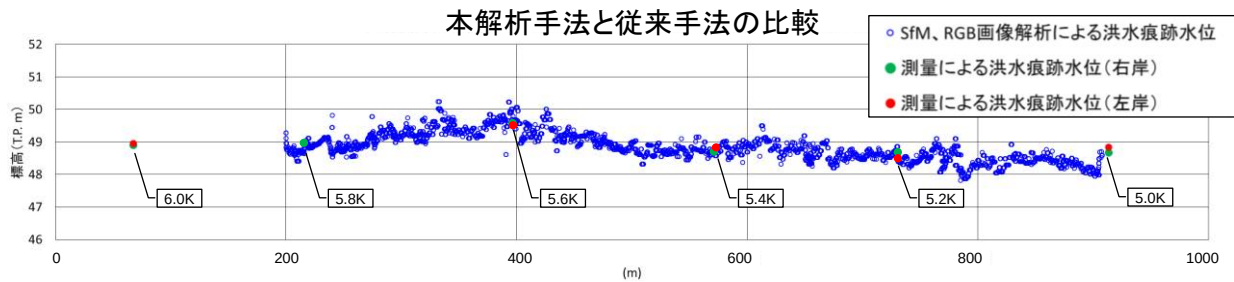


図-3 本解析手法（SfM解析，画像分類）によって抽出した洪水痕跡水位と従来手法による洪水痕跡水位の比較

3. 解析結果・検証

解析結果の妥当性検証として，従来の手法である測量によって計測された洪水痕跡水位と，本解析手法によって得られた洪水痕跡水位の比較を図-3に示す．本手法による推定痕跡水位については測量調査結果との誤差が十数センチ程度であったことから本手法による妥当性を検証した．また，従来の測量によって得られる洪水痕跡水位は200mピッチの点データとなっているが，本手法で得られた結果は複数の点が算出され，線データとして出力されていることがわかる．

図-3内において，400m付近では，局所的に水位が上昇している地点が見られるが，このように連続的なデータを出力することで，局所的な水位上昇の要因を把握することが可能となる．

ただし，線データが得られる一方，同一地点であっても複数の洪水痕跡水位が出力されている状況であるため，今後は同一地点における適当な洪水痕跡水位の選定について検討する必要がある．

4. まとめ

本研究では，SfM解析及び画像分類を併用した洪水痕跡調査手法について検討し，妥当性を検証した．また，従来手法が抱える課題に対して，本解析手法により以下の効果が期待される．

- ・ 現地作業はUAV等の航空機操作，撮影動画解析は画像分類における閾値設定のみとなり作業の迅速性が向上する．
- ・ UAVによる動画撮影となるため，作業員がアクセス不可能な箇所での詳細なデータ解析が可能である．
- ・ 本手法の成果は線データであるため，植生や橋梁等による局所的な水位上昇の状況について詳細に確認することが可能である．

なお，従来手法では，作業員は災害直後の現地で迅速に測量作業を進めることが要求される．ただし，本解析手法であれば，災害直後の現場で要求される作業は，UAV等による河道の法面等の撮影のみとなる．現場では，UAVの操作を行う作業員が必要であるが，従来手法のように人海戦術で測量作業を実施する必要がなくなる．また，動画や写真等が撮影されていれば，後日のデータ検証が可能となり，きめ細かい河道管理，河川改修，災害復旧の立案等への展開が可能となる．

ただし，UAVでは撮影範囲が限られる上，人口集中地区での飛行が制限されるため，今後は車両やパワードパラグライダー等の複数機器について撮影手法を検討し，更なる効率化，負担軽減を図っていく必要がある．また，本研究では，今回は洪水痕跡が明瞭に残っている大河川を対象に分析を実施した．今後は，中小河川や土砂流出の少ない区間，三面張りの河川等の複数の条件下で本解析手法の有効性を確認する必要がある．

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局：国土交通省 河川砂防技術基準 調査編，平成26年 4 月．
- 2) 早川裕式・小花和宏之・齋藤仁・内山庄一郎：SfM 多視点ステレオ写真測量の地形学的応用，Transactions, Japanese Geomorphological Union, 37-3, pp.321-343, 2016.
- 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，No.81, pp.37-60, 2014.
- 4) 内山庄一郎・井上 公・後藤秀昭・中田 高・井田康之・梅田篤：平成26年8月豪雨による広島土石流災害における空撮写真を用いた捜索支援地図の作成，Research Abstracts on Spatial Information Science CSIS DAYS 2014, A10, 2014.
- 5) 国土交通省 近畿地方整備局 大和川河川事務所：平成29年10月22日・23日 前線，台風21号による大和川出水速報，平成29年10月23日．

(2020. 4. 2受付)