洪水痕跡水位自動認識技術の手法検討

田中俊介[1]・竹村仁志[1]・山下健作[1]

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

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．延長の長い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必要があり，多大な労力が必要となる．本研究では，SfM解析，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ための新たな手法を検討した．また，新手法による洪水痕跡調査結果の妥当性を確認した．

Key Words *：洪水痕跡水位，SFM解析，画像分類，UAV*

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[1)]し，測量している状況である．延長が兆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．

しかしながら，人口減少や高齢化による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に等により，観測の継続が課題となっている．また，台風期には出水後の降雨等による泥やゴミ等の流出により，作業員による読み違え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．そのような状況下で，洪水痕跡調査を迅速かつ的確に実施する必要がある．

近年，小型高性能な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．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 によりオルソ画像が作成され，捜索支援地図として活用されている．

図-1は，出水直後の河道をUAVにより，上空から撮影した動画の一部である．堤防法面等に繁茂する植生に付着した泥，稲，ペットボトル等のゴミにより，洪水痕跡水位が明瞭になっていることがわかる．

図-1　出水後にUAVで撮影された洪水痕跡

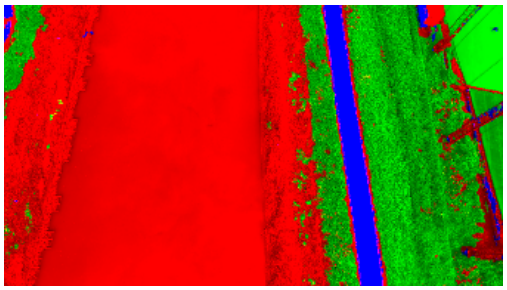


図-2　図-1の画像に対して各ピクセルのRGBの最大値を示した図

図-2は，**図-1**の画像の各ピクセルの中で，色の三原色（赤，緑，青）（以下，「RGB」という）の内で最大となる色に変換した画像である．植生の繁茂する堤防法面では，RGBのうち，緑が最大となるため，緑色となっている．ただし，堤防法面に付着する泥，ゴミ，水面ではRGBのうち，赤が最大となる傾向がみられる．

本研究では，上記に示したSfM解析に加え，現地で撮影された動画から判明した画像の特徴を踏まえて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する．

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[5]．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，出水後に洪水痕跡調査が実施されるとともに，複数地点でUAVによる河道の動画が撮影されている．中でも佐保川5.0～6.0K区間では，1kmにわたってUAVの動画が撮影されている上，洪水痕跡も明瞭に残っている区間である．

そのため，本研究では，佐保川5.0～6.0K区間を対象に新手法による洪水痕跡水位の自動抽出を実施した．

(2) 解析手法

本研究で検討した解析手法について下記に示すように2ステップの解析により，検討する．

1ステップ目は，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もとにSfM解析を行い，3次元の点群データを復元する．

2ステップ目は，画像分類による洪水痕跡の抽出を行う．SfM解析により，復元した点群データには，位置座標に加えRGB（赤・緑・青）のデータが含まれている．そのため，このRGBのデータについて画像解析（植生or土砂等付着箇所）を行うことで堤防法面の洪水痕跡を抽出する．

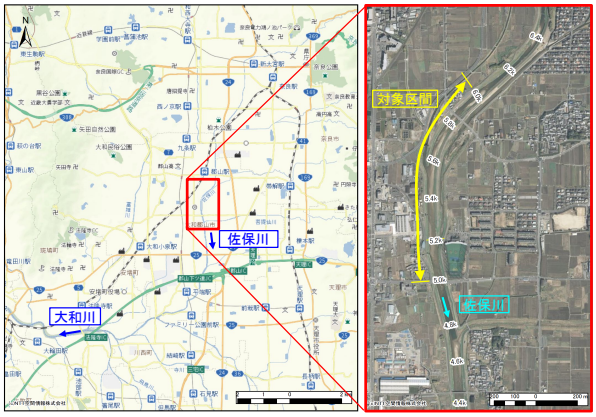


図-3　対象区間　大和川水系佐保川5.0K～6.0K

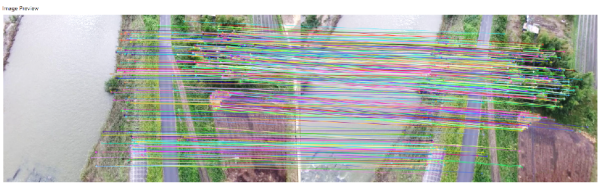


図-4　画像データ間のマッチング状況

図-5　3次元点群データの復元

a) SfM解析による3次元点群データの復元

本研究では，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．SfM解析によって画像をマッチングしている状況を**図-4**に示す．2枚の画像に対し，線で結ばれたポイントの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-5**に示す．水面では，マッチングが成功していないため，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，本研究で使用したデータは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データや平面図，定期縦横断図等をもとに座標変換を行い，概ね一致する箇所へ座標変換を実施している．

b) 画像分類による洪水痕跡の抽出

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．このデータをもとに画像分類を行い，洪水痕跡を抽出した．

画像分類の手順を**図-6**に示す．

洪水痕跡調査は堤防法面の泥，ゴミ等により判断されるように堤防法面の草が青々と繁茂する箇所と泥のように茶色箇所の境界値を洪水痕跡として判断する（**図-6** ①参照）．この考え方と同様に画像分類ではまず，堤防の法面について植生の繁茂がし，土砂が付着していない箇所を洪水痕跡水位以上として，教師データを作成する．同様に，泥が付着している箇所で洪水痕跡水位以下として判断するための教師データを作成する．

この2種類の教師データについてヒストグラムをもとに分析する．各箇所のR,G,Bのヒストグラムを**図-6** ②に示す．ヒストグラムの横軸は各ポイントのR,Gの0～255までの色の値，縦軸はそれらの値の点群数である．土砂が付着していない箇所では，Gの値が大きい箇所の点群が多く，土砂が付着している箇所では，Rの値が大きい箇所で点群数がピークを迎える．

教師データから得られた特徴をもとに，他の地点についても同様に分析する．

分類した結果を**図-6** ③に示す．図内では，緑に着色した箇所に土砂が付着していない箇所と同様な特徴を示す箇所である．また，赤色で着色したポイントが，土砂が付着している箇所と同様な特徴を示す箇所として分類した箇所である．

このポイントの境界値（**図-6** ④参照）を本検討では，洪水痕跡として取り扱い，(2)で復元した点群の標高値をもとに洪水痕跡水位を算出した．

３．解析結果・検証

解析結果の精度検証として，測量によって計測された洪水痕跡水位と，本研究によって得られた洪水痕跡水位の比較を図に示す．本研究の対象区間では，洪水痕跡水位が明瞭に残っているため，現地測量における誤差も小さいと考え，現地での洪水痕跡調査結果との比較を行った．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数センチ程度であったことからデータ信頼性を確保することが判明した．

洪水痕跡調査における精度の指標として，**図-7**に

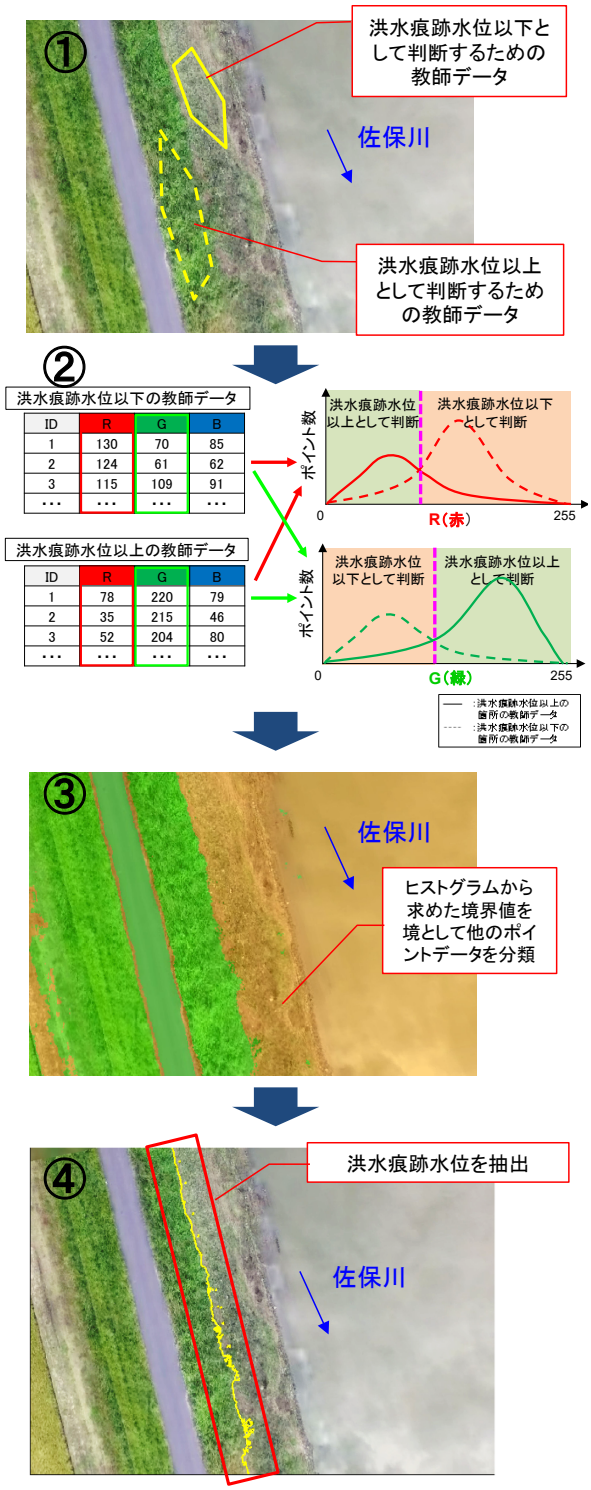


図-6　画像分類による洪水痕跡水位の抽出

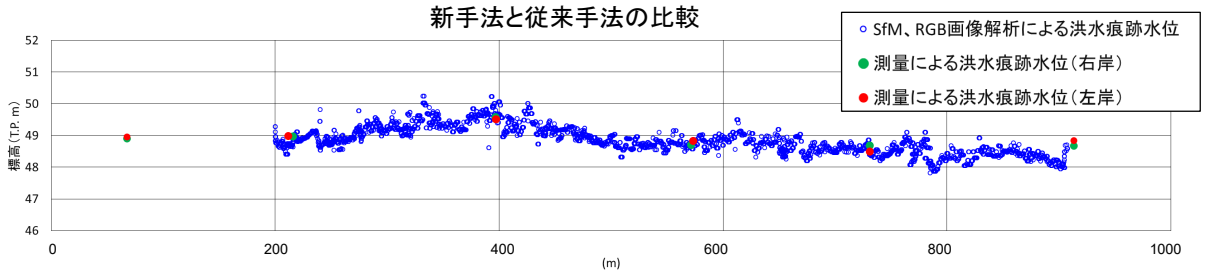


図-6　新手法（SfM解析、画像分類）によって抽出した洪水痕跡水位と従来手法による洪水痕跡水位の比較

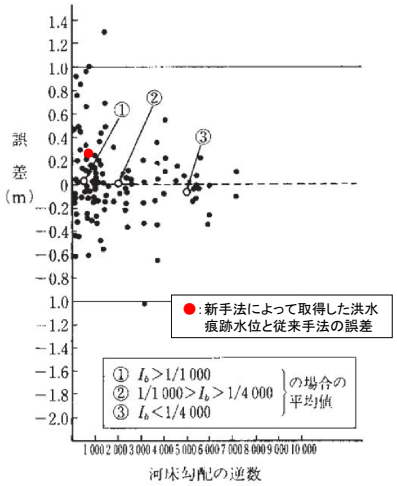


図-7　新手法による解析結果の精度検証

示すグラフが河川砂防基準に記載がある．洪水痕跡調査は河床勾配により，精度が異なることが示されている．

本研究で，対象とした箇所での誤差は20cm程度であり，妥当性が確認できる．

4．まとめ

本研究では，新手法による洪水痕跡調査手法について検討した．**表-1**に新手法と従来手法の作業時間，作業場所等の制約に対する比較を示す．従来手法では，現地作業に時間を要するため，作業員は作業場所，作業時間に制約されるが、新手法により，それらの課題が解決される可能性がある。また、従来手法が抱える課題に対して，以下の効果が期待されることが推察される．

(1) 調査の迅速化

- 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迅速性が向上．
- 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．

(2) データの信頼性の向上

- 教師データをもとにした画像分類であるため恣意性の除外が可能
- 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，これらの効果に加え，UAVで撮影による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．

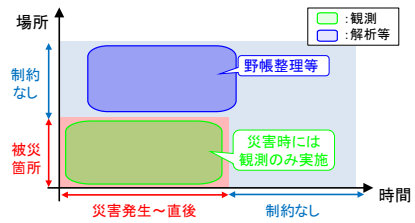
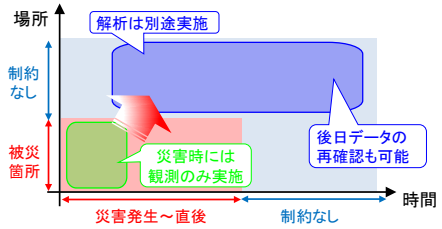
本研究では，今回は洪水痕跡が明瞭に残っている大河川の分析を実施した。今後は、中小河川や土砂流出の少ない区間、三面張りの河川等の複数の条件下で新手法の有効性を確認する必要がある。

謝辞：本稿の執筆にあたり，多大なるご協力を頂きました大和川河川事務所のご担当者様，また，関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

1) 国土交通省　河川砂防技術基準　調査編　平成26年4 月　国土交通省水管理・国土保全局
2) 早川裕弐・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，地形　第37 巻第 3 号，321-343 頁
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復元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，81，37-60.
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 onSpatial Information Science CSIS DAYS 2014，A10.
5) 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，大和川河川事務所，平成29年10月23日

表-1　1km区間を対象とした比較従来手法と新手法の比較

項目		従来手法 (200mピッチの距離標に対して、左右岸で測量した場合)	本手法
作業時間、場所のイメージ			
作業 現地	作業内容	測量、写真撮影	UAVによる動画撮影
	必要な人員	片岸ずつの2ペア、各ペア2名　計4名	操縦士+補助2名　計3名
	作業時間	1.5時間（10地点）	20分（UAVによる動画撮影時間をもとに算出）
作業 社内	作業内容	野帳整理、写真整理等	SFM解析、画像解析
	作業時間	1 日程度	4時間程度