

植生が繁茂した中小河川におけるUAV写真測量を用いた
河道形状把握に関する一考察

株式会社復建技術コンサルタント 正会員 ○那須野新
(同) 正会員 市川健 非会員 天谷香織 正会員 佐藤慶治

1. はじめに

自治体管理の中小河川において、洪水による氾濫が頻発しており、治水対策や浸水想定計算のために河川の流下能力の評価が求められている。流下能力評価を行うためには、河道の流下断面積等の測量データが必要となるが、多くの中小河川では測量データが不足しており、正確な河道形状が把握されていない。併せて、自治体の財政的な事情により、流下能力評価が進められていない状況である。流下能力評価に必要な地表面の標高を把握する手法として、地上横断測量やUAVレーザ測量が開発されているが、計測費用が高価である。それらに対し、UAV搭載カメラで撮影した画像を用いて、SfMにより地形を把握するUAV写真測量はコスト的に優れている。しかし、この手法は、植生繁茂下の地表面標高を捉えにくいという欠点があるため、河道形状把握への利活用が限定的となっている。

以上の課題に対し、著者らは国管理河川、及び仙台市管理の中小河川において、UAV写真撮影方法（斜め写真の追加）やSfMから得られた3次元点群の処理方法の工夫により、植生繁茂下の地表面標高や樹木繁茂量を推定できることを現地実証で証明している^{2),3)}。しかしながら、UAVの撮影高度やカメラ角度、対象河川が限定されていたことから、現地実証のカバー範囲としては不十分である。これより、植生繁茂下においてUAV写真測量から得られる点群のさらなる精度向上、及び特性が異なる河川への適用を図るためには、斜め写真の仕様（撮影高度・カメラ角度）の検討が必要と考える。

そこで本研究では、植生が繁茂した中小河川における流下断面積の把握に最適なUAV写真測量手法を開発することを目的として、複数の河川で実証を行った。具体的には、河川特性が異なる複数の中小河川を選定し、斜め写真の撮影条件（撮影高度・カメラ角度）を変化させてUAV写真測量を実施した。そして、SfMにより算出した3次元点群から流下断面積を求め、地上横断測量を真値として、精度の比較を行った。

2. 方法

(1) 検証サイト概要

本研究では、セグメントや植生の繁茂状況、除草の有無等に着目し、東北地方～関東地方の3自治体5河川を選定し検証サイトとした。各河川の概要を表-1に整理した。

検証サイトとして特筆すべき点に除草の有無と冬季における植生の枯死状態がある。B県S川は農道に面する箇所以外は除草が未実施で、夏季にヨシやクズ類が繁茂し、冬季でも植生が完全に枯死しない状況であった。

表-1 検証サイトの概要一覧

河川管理者	河川名	流路延長(km)	計画高水流量(m ³ /s)	セグメント(河床勾配)	河床材料	平均川幅(m)	平均水深(cm)	透視度(cm)	植生
A県	(二級) K川	20.7	950	1 (1/200)	礫	100	50	50以上	高木やや密 草本粗 除草済
B県	(一級) S川	63.4	1,600	2-2 (1/2,500)	砂	250	200	50	高木やや密 草本密 除草未
C県	(二級) N川	40.9	1,650	2-2 (1/800)	砂	200	50	50以上	高木密 草本密 除草済
	(一級) T川	21.9	160	2-1 (1/400)	砂	50	50	50以上	木本点在 草本密 除草済
	(一級) N川	7.8	140	2-1 (1/400)	砂	50	50	50以上	木本点在 草本密 除草未

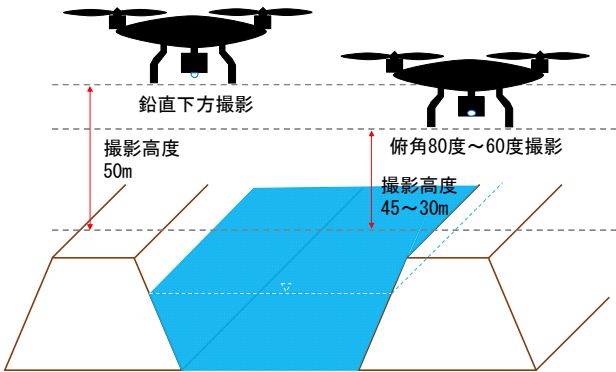


図-1 UAV写真撮影のカメラ向き及び対地高度（横断面図）

表-2 UAV写真撮影の垂直写真と斜め写真条件一覧

撮影ケース	高度	カメラ角度
撮影ケース①	・ 高度50m ・ 高度45m	・ 鉛直下方 ・ 傾斜80度
撮影ケース②	・ 高度50m ・ 高度40m	・ 鉛直下方 ・ 傾斜70度
撮影ケース③	・ 高度50m ・ 高度35m	・ 鉛直下方 ・ 傾斜60度

(2) UAV写真測量による河道形状把握手法（新手法）

本研究の主要機材であるUAVは、流通性が高く、自律飛行が可能で、RTKモジュールを搭載し標定板の設置を不要とするPhantom4 RTK (DJI社製)を選定した。UAV写真撮影は、植生や降雪の影響を考慮し、落葉後から降雪前の2019年12月6日～13日に実施した。撮影範囲は、各河川約2kmとした。飛行ルートは流軸に沿って、オーバーラップ率80%、サイドラップ率60%とし、飛行速度3～4m/sで静止画撮影を実施した。

SfMに使用するUAV写真は、垂直写真（撮影高度50m）と斜め写真とした。その時の撮影高度、及びカメラ角度、撮影ケースを図-1、表-2に示す。撮影高度とカメラ角度の組合せから撮影ケースは3ケースとした。

キーワード UAV写真測量、植生、中小河川、河道維持管理、河川地形、3次元形状復元技術（SfM）

連絡先 〒980-0012 仙台市青葉区錦町一丁目7番25号 Tel: 022-217-2045

斜め写真の撮影向きは、流軸方向を向いて撮影を行った。また、斜め写真の撮影高度とカメラ角度は、それぞれの写真の地上解像度が 1.5cm/pix となるように設定した。

(3) SfMによる3次元点群の発生

UAV写真撮影から得られた2,000万画素の静止画を用いて、撮影時の位置情報、及び写真相互の重複対応関係に基づき、SfM処理により水平方向と鉛直方向の位置情報を持つ3次元点群を作成した。写真合成ソフトは、市販のMetashape (Agisoft社)を使用した。Metashapeに入力する解析パラメータは、一般的な設定値を採用した。

3. 結果と考察

UAV写真測量から得られた流下断面積と地上横断測量から得られた流下断面積の比較を行った。

ここでは、比較対象区分を河川の植生状況に着目し、「植生の影響が少ない河川 (植生の繁茂が少ない河川、及び植生が密に繁茂しても冬季に枯死する河川)」と「植生の影響が多い河川 (植生が密に繁茂し除草せず冬季にも完全に枯死しない河川)」に区分した。

(1) 植生の影響が少ない河川の流下断面積

植生の影響が少ない河川 (4河川、14断面) の実測値とUAV写真測量から得られた流下断面積の比較結果を表-3に示す。撮影高度、及びカメラ角度と流下断面積の誤差を整理すると、誤差 (実測値とUAV写真測量値のRMSPE) は1.1~9.8%であった。4河川のうち、C県管理のN川 (一級河川) については、誤差が大きく生じる傾向が見られた。N川は冬季に植生が枯死するものの、定期的な除草が実施されていない河川である。そのため、枯死した植生が河川内に多く堆積し、その影響を受け、点群が枯死した植生の表面付近で発生し、他の3河川と比べて誤差が大きく生じたと考える。また、3ケースを比較すると、垂直写真 (撮影高度50m) に撮影高度40m、俯角70度の写真を組み合わせてSfMを実施した場合、各河川の平均誤差が4.4%と最も小さい結果を示した。

(2) 植生の影響が多い河川の流下断面積

植生の影響が多い河川 (1河川、2断面) の実測値とUAV写真測量から得られた流下断面積の誤差を表-4に示す。その誤差 (実測値とUAV写真測量値のRMSPE) は、断面補正を行わない場合は20%程度、断面補正を実施した場合は7~9%程度であった。なお、ここで「断面補正なし」とは、SfM解析で得られた3次元点群に対して技術的に全く手を加えず自動的に結線したものである。また、「断面補正あり」とは、UAV写真撮影で得られた静止画や現地踏査結果、高水敷の形状等を鑑み、3次元点群の中で低い位置を示した点を参照し、河川技術者が断面を補正したものを指す。

なお、ここで示した断面補正の方法であるが、技術者によって差異が生じないよう、次のようなルールを定めて実施した。

- UAV写真測量から得られたオルソ画像や空撮写真を用いて作成した点群からエラーデータ (水面等で乱反射している点群等) の削除
- エラーデータを削除した点群の最低点を選定し、断面の補正

表-3 植生の影響が少ない河川での流下断面積の比較

対象河川		精度 検証 項目	撮影ケース		
			①	②	③
			鉛直下方 45m俯角80度	鉛直下方 40m俯角70度	鉛直下方 35m俯角60度
A県 K川	二級河川	流下断面積 RMSPE(%)	3.5	3.5	3.9
C県 N川	二級河川		1.1	1.1	2.0
C県 T川	一級河川		4.3	4.2	4.2
C県 N川	一級河川		9.8	8.8	8.5
平均RMSPE(%)			4.7	4.4	4.7

(n=18 断面)

(n=14 断面)

表-4 植生の影響が多い河川での流下断面積

対象河川	対象断面	精度 検証 項目	断面 補正 有無	撮影ケース②
				鉛直下方
				40m俯角70度
				RMSPE(%)
B県 S川	a	流下 断面積	補正なし	20.3
			補正あり	9.4
	b		補正なし	18.9
			補正あり	7.6

(n=2 断面)

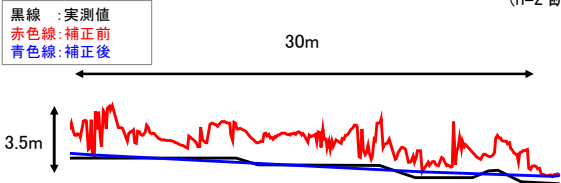


図-2 植生が枯死しない条件下での断面補正例

- 現地踏査結果 (植生繁茂範囲、植生高等) を反映し、横断面の植生繁茂箇所の再修正
 - 周辺で再度断面を取得し、補正断面の確認、修正
- 図-2のように植生が冬季でも完全に枯死せず、植生の影響が多い河川では、単純に得られた点群を自動的に結線するのではなく、河川技術者がいくつかの情報を整理したうえで断面補正を行うことで、誤差を7~9%程度 (補正前の半分以下) まで改善できることが把握された。

4. 結論

本研究では、植生が繁茂した複数の中小河川を対象に、斜め写真の撮影条件を変化させ、流下断面積の精度について検討を行った。結果、垂直写真 (撮影高度50m) に撮影高度40m、俯角70度の斜め写真を組み合わせ、SfM解析を行うことで、最も精度よく流下断面積の取得が可能であった。また、植生の影響が多い河川については断面補正を行うことで、誤差を改善できることが把握された。ただし、地上解像度や撮影高度等の要素についても詳細な検討が必要と考えられるため、今後も引き続きUAV写真測量に関する研究開発に取り組んでいきたい。

参考文献

1) 齋藤正徳, 湧田雄基, 唐木正史, 市川健, 天谷香織, 那須野新: UAV写真測量による簡易な河川地形把握手法を活用した河道管理の検討, 河川技術論文集, 第23巻, pp.179-184, 2017.

2) 齋藤正徳, 市川健, 湧田雄基, 天谷香織, 那須野新, 小田嶋健太, 池内幸司, 石川雄章: UAV写真測量における多時期計測データを用いた河道管理手法の検討, 河川技術論文集, 第24巻, pp.257-262, 2018.

3) 齋藤正徳, 市川健, 天谷香織, 那須野新, 佐藤慶治, 藤崎雅史, 池内幸司, 石川雄章: 中小河川を対象としたUAV写真測量を用いた流下能力評価手法に関する研究, 河川技術論文集, 第25巻, pp.169-174, 2019.