

UAV写真測量を用いた 河道内樹木の管理方法について

MANAGEMENT METHOD OF TREES IN THE RIVER CHANNEL USING UAV PHOTOGRAMMETRY

本田禎人¹・筒井胤雄¹・小澤淳真¹・石塚淑大²・山崎崇徳³

Yoshihito HONDA, Taneo TSUTSUI, Atsumasa OZAWA,

Yoshihiro ISHIZUKA and Takanori YAMAZAKI

¹正会員 株式会社パスコ 中央事業部 (〒153-0043東京都目黒区東山1-1-2 東山ビル5F)

²非会員 株式会社パスコ 事業統括本部 (〒153-0043東京都目黒区東山2-8-10 目黒ビル別館1F)

³正会員 株式会社パスコ 中央事業部 (現 株式会社建設技術研究所)

In recent years, the development of thick growth of trees has been reported within river channels in Japan. It reduces the flow capacity of the river and it is one of the major causes of flood damage. However, in the vegetation exploration within river channel, workers often measure the height of tree, the diameter of chest, the condition of dense vegetation one by one locally. Therefore, it requires a lot of labor and it cannot grasp the change of the tree growth situation regularly and quantitatively.

In this research, we took photographs from various angles with UAV, and examined the possibility of efficient and advanced grasping of the condition of vegetation within river channel efficient and advanced. We created Three-dimensional data from the photographed images by SfM processing, and attempted making to grasp the height of tree and the diameter of chest. Then, we proposed specific measures on how to incorporate this research result into river management.

Key Words : UAV, photogrammetry, SfM, trees in the river channel, river channel management

1. はじめに

近年、全国の多くの河川で、河道内の過度な樹林化が報告されている。これは、河川の流下能力を減少させ、水害を引き起こす要因の一つとなっている¹⁾²⁾。2018年の西日本豪雨で甚大な災害が発生した高梁川水系の小田川でも、高梁川からの背水の影響による水位上昇に加えて、河道内の過度な樹林化による流下能力の不足が、災害以前より指摘されていた³⁾。

しかし、河川によっては樹木の伐採が行われているものの、コストがかかり継続的な対策が難しいなど、多くの課題がある。また、河道内樹木の調査は、樹高、胸高直径、密生状況等を作業員が現地で一本一本計測することが多く、多大な労力を要し、定期的かつ定量的な樹木繁茂状況の変化を把握できていない。また、航空レーザ測量を用いる方法もあるものの、範囲を限定した調査では多大なコストがかかるため、実施頻度に限界がある⁴⁾。

近年、河川管理手法として、安価で汎用性の高い無人

航空機(UAV : Unmanned Aerial Vehicle)を用いた研究が進められているものの、主に垂直写真を活用した河道内地形把握や河床材料の把握などが中心となっており⁵⁾⁶⁾⁷⁾、UAV写真測量を用いた河道内樹木の具体的な管理手法の研究はあまり進められていない。

そこで本研究では、河道内樹木に対して、さまざまな角度からUAV写真撮影を行い、河道内樹木の状態把握の効率化・高度化の可能性について検討した。具体的には、UAV撮影写真からSfM (Structure from Motion) 処理により3次元データ・モデルを作成し、樹木群の樹高や胸高直径の把握を試みた。ここで、SfM処理とは、あるシーンをカメラの視点を変えながら撮影した複数枚の画像から、そのシーンの三次元形状とカメラの位置を同時に復元する手法のことで、3次元幾何 (Structure) とカメラ姿勢変化 (Motion) を同時に算出するという技術である⁸⁾。

また、本検討では、得られた成果を河川管理の実務 (樹木群の状態把握やモニタリング等) にどのように組み込むべきか、具体策を提案した。

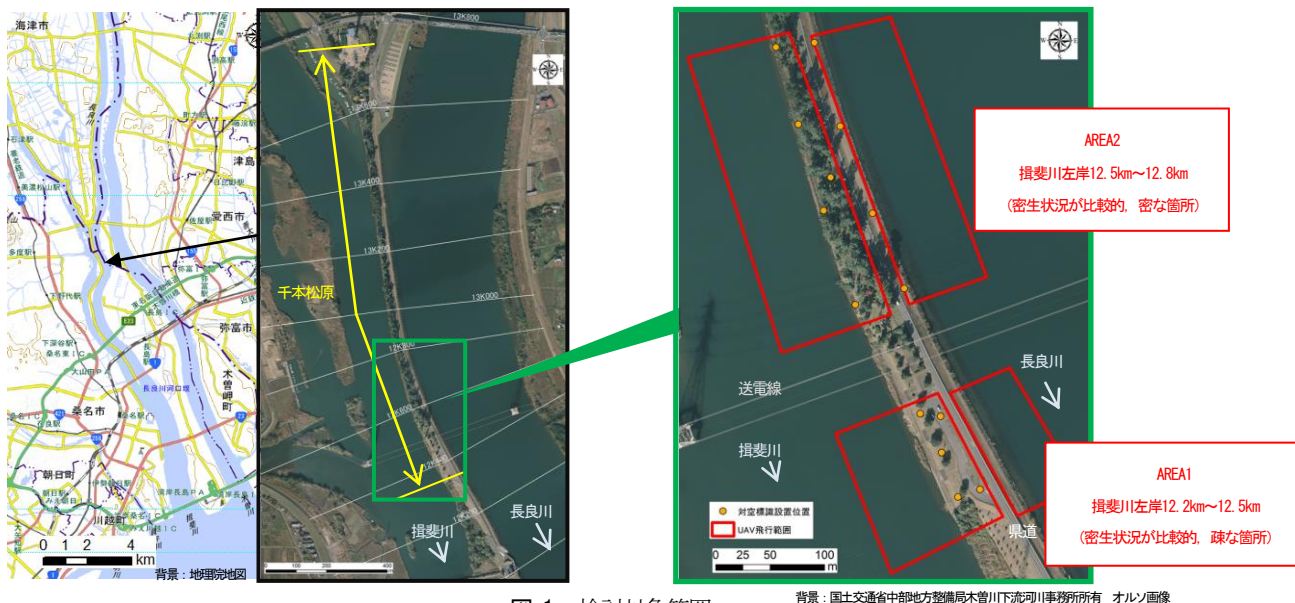
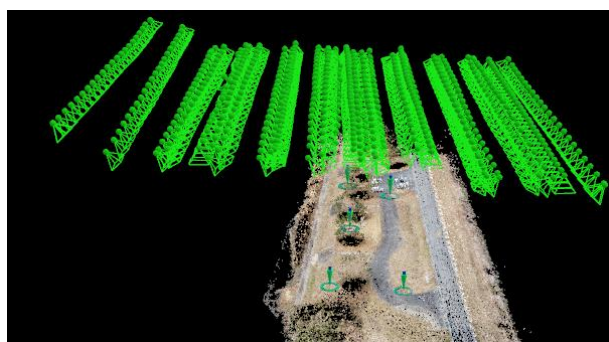


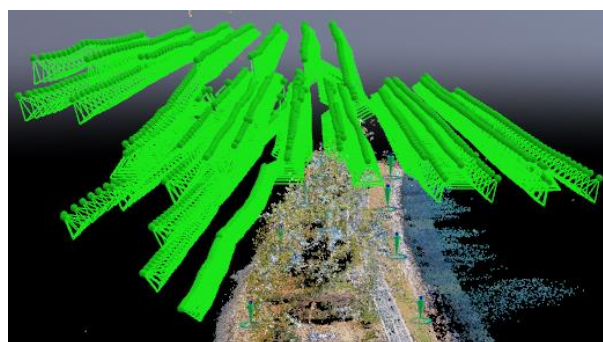
図-1 検討対象範囲

表-1 撮影条件一覧

対象範囲	AREA1			AREA2				
撮影方法	垂直撮影	斜め撮影 俯角60度	斜め撮影 俯角45度	垂直撮影	斜め撮影 俯角60度	斜め撮影 俯角45度	斜め撮影 俯角20度～35度	水平撮影
撮影日	2019/1/23							
平均風速	0.5m/s～3.5m/s(アメダス(桑名)での観測データ)							
使用したUAV	Mavic2 pro (DJI社)							
対地高度	50m	50m	50m	50m	50m	50m	50m	5m
1画素の地上でのサイズ	1.2cm/pix	1.4cm/pix	1.7cm/pix	1.2cm/pix	1.4cm/pix	1.7cm/pix	2.1cm/pix～ 3.5cm/pix	
撮影枚数	179枚	199枚	261枚	410枚	467枚	467枚	310枚	196枚
オーバーラップ率	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
サイドラップ率	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	



AREA1



AREA2

図-2 撮影状況

2. UAVによる写真測量

(1) 対象範囲

対象範囲は、図-1に示す岐阜県海津市と三重県桑名市にまたがる油島千本松締切堤（通称、千本松原）である。当地区では、明治時代の本曾三川分流工事の際に築堤した長良川と揖斐川の分流堤に、約1000本の松が植えられている。

今回、樹木の密生状況による結果の違いを検証するため、図-1中においてAREA1、AREA2と示している2箇所

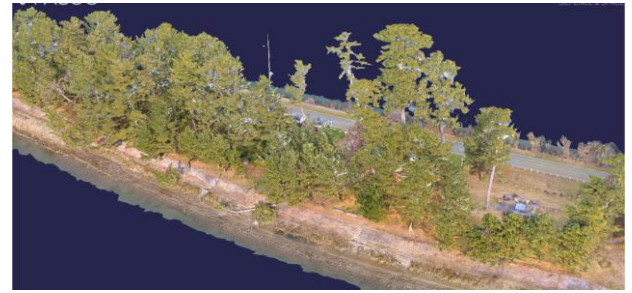
の範囲を対象とした。いずれも1度の飛行で計測できる範囲である。AREA1には4本、AREA2には225本の樹木があった。

(2) 撮影条件及び撮影方法

撮影条件一覧を表-1に示す。使用したUAVは、Mavic2 proである。カメラの画素数は5472×3648、仕様上の最大飛行時間は31分である。撮影状況を図-2に示す。SfM処理を行う際に撮影画像間のマッチング処理が向上できるよう、垂直撮影と斜め撮影（俯角60度、俯角45



AREA1



AREA2

図-3 作成した3次元モデル

表-2 作成したオルソ画像・DEM・DSM

	オルソ画像	DEM	DSM
A R E A 1			
A R E A 2			

表-3 3次元モデルの精度 (標定点残差)

範囲	AREA1				AREA2			
標定点 残差(5点)	X	Y	XY	Z	X	Y	XY	Z
RMSE(m)	0.014	0.014	0.019	0.008	0.047	0.03	0.056	0.05
MAX(m)	0.018	-0.03	0.034	0.013	0.082	-0.059	0.082	0.074

度)を行った。また、密生状況が密なAREA2では、樹木下の3次元モデル精度向上のため、水平撮影や俯角20度～35度の斜め撮影もあわせて実施した。

撮影コースは、重複率を十分確保するため、オーバーラップ率90%，サイドラップ率70%に設定したが、安全のため県道の上空や送電線付近での撮影は控えた計画とした。

SfM処理を行うために、標定点となる対空標識を設置した。対空標識は、マニュアル⁹⁾に基づき、隣り合う標定点の距離が100m以内になるように、AREA1に5点、AREA2に9点設置した。

(3) 3次元モデル作成

UAV撮影画像から作成した3次元モデルを図-3に、オルソ画像、DEM、DSMを表-2に示す。使用したソフトウェアはStreet Factoryである。作成した3次元モデルの精度を、表-3に示す。ここでRMSEとは平均二乗誤差である。標定点残差は、水平方向、鉛直方向ともに10cm以内であることを確認した。重複率を十分に確保したこと

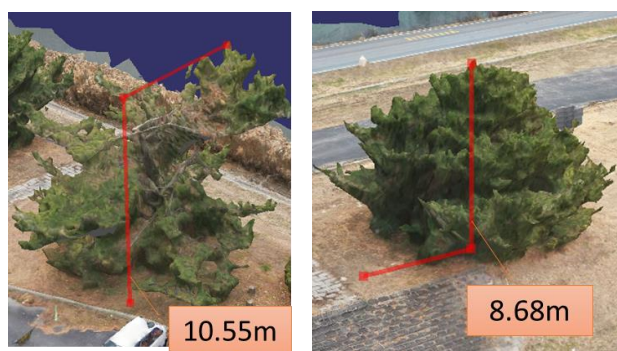


図-4 3次元ビューソフトウェア上での樹高の把握例



AREA1

AREA2

図-6 3次元ビューソフトウェア上での胸高直径の把握例

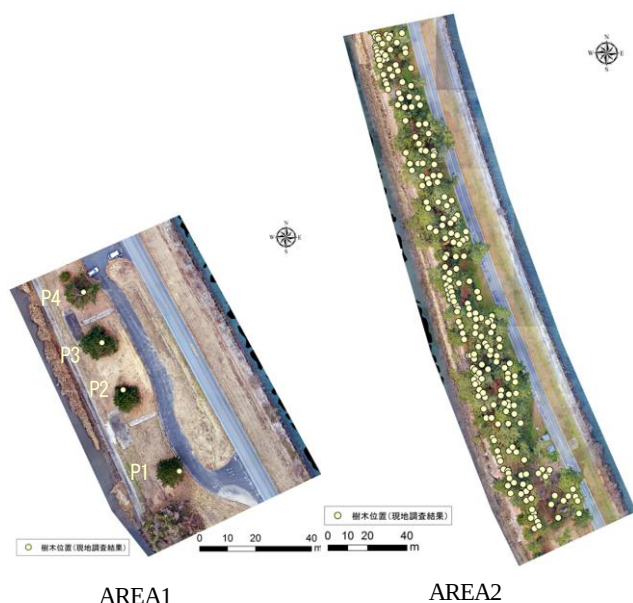


図-5 現地調査で得た樹木位置

表-4 樹高推定結果と誤差 (AREA1)

樹木 No.	現地調査 結果 樹高(m)	UAV画像から作成した 3次元データからの推定結果			樹高の 誤差(m)	誤差 平均 (m)	RMSE (m)
		樹頂点 標高(m)	地表面 標高(m)	樹高(m)			
P1	9.3	12.07	3.35	8.72	-0.58	-1.52	1.91
P2	8.0	10.02	3.70	6.32	-1.68		
P3	7.0	10.26	3.73	6.53	-0.47		
P4	9.1	9.41	3.65	5.76	-3.34		

表-5 樹高推定結果と誤差 (AREA2)

誤差平均(m)	RMSE(m)
1.06	7.65

や、標定点を一定数配置したことなどが、10cm以内となった理由として考えられる。

DEMは樹木間の地表面の点が得られるよう解像度1mとし、作成した3次元点群の最低点を抽出した。また、DSMは表層面の標高値を詳細に得るため解像度10cmとし、3次元点群の最高点を抽出した。DEMでは樹木下の地表面の形状が得られ、DSMでは樹木の表層面の形状が得られた。

3. 樹木の状況把握

(1) 樹高の把握

作成した3次元モデル、DEM、DSMから樹高を把握した。まず、3次元モデル上で、樹高の推定を試みた。3次元ビューソフトウェア上で樹高を計測した様子を、図-4に示す。3次元ビューソフトウェア上で、各樹木の樹高が概ね計測できた。

続いて、対象範囲の全樹木に対して樹高の推定を試みた。千本松原では樹木の生育状況の管理のため、樹木標識が設置されており、樹木標識の更新に伴い今回のUAV撮影と同時期に、生育状況、樹高、胸高直径の現地調査が実施されている。現地調査では、樹木の幹の位置もGISのデータとして取得されている。現地調査で得られた対象範囲の樹木位置のデータを、図-5に示す。

この樹木位置におけるDEMの値を地表面の標高値、DSMの値を樹頂点の標高値とし、差分をとることで樹高を算出した。算出した結果を表-4に示す。現地調査結果の樹高を正とし、UAV撮影画像から推定した結果との差を誤差とした。密生状況が疎であるAREA1では、誤差が1m未満の樹木もあったが、3mを超える樹木もあった。また、密生状況が密なAREA2にて樹高を推定した結果を、表-5に示す。誤差平均は1.06mとなったものの、RMSEが7.65mとなった。

(2) 胸高直径の把握

続いて3次元モデル上で、胸高直径の把握を試みた。3次元ビューソフトウェア上で樹高を計測した様子を、図-6に示す。

AREA1では、どの樹木も幹の形状が確認できず、胸高直径は把握できなかった。一方で、AREA2では、周囲の樹木の枝などで遮蔽されている樹木以外の胸高直径について、概ね把握できた。

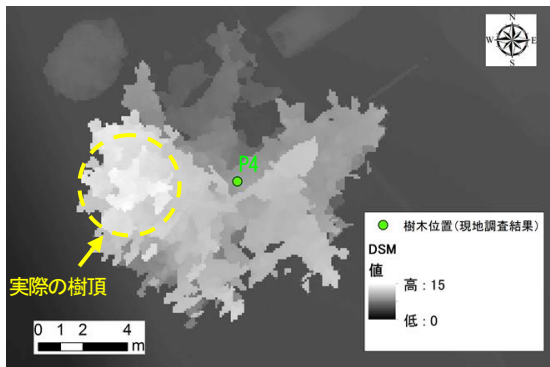


図-7 P4の樹木付近のDSM

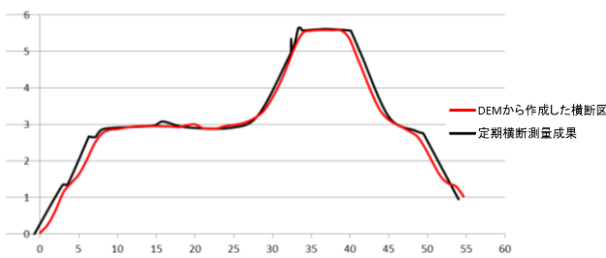


図-8 DEMから作成した横断面図と定期横断測量の比較

4. 考察

(1) 樹高及び胸高直径の把握

今回の検討では、対象範囲全域で樹高の推定を行った。1本毎の推定精度は低いものの、全体的な誤差の平均は1m程度であり、対象範囲全域の樹木の樹高を本手法で得ることができた。

AREA1で誤差が大きい樹木である、P4の樹木付近のDSMを図-7に示す。現地調査で得た樹木の幹の位置と実際の樹頂の位置が大きく異なっている。現地調査では実際の樹頂付近を計測することにより樹高を算出しているが、今回の樹高の推定では幹の位置(図-7の樹木ではP4と示しているポイント)のDSMの高さから樹高を推定しているため、同じ樹木でも樹高を算出した場所が異なる。1本毎の推定精度が低い理由は、このように現地調査で得た樹木の幹の位置と、実際の樹頂の位置が大きく異なる樹木があったことや、密生状況が密な箇所において隣接する樹木の高さを誤って抽出した樹木があったことなどが考えられる。

また、今回の対象範囲のように木本類が密である箇所であれば、様々な角度で撮影した画像から解像度を粗くしたDEMを作成することによって、地表面の標高値を把握できることが分かった。図-8に、DEMから作成した横断面図と定期横断測量の比較を示す。標定点残差が10cm未満であったことから、定期縦横断測量と同等程度の精度は確保できており、河川管理に十分使用できる精度であると考えられる。

AREA1では、枝が多く遮蔽されているため、全ての樹木で胸高直径が把握できなかったが、AREA2では周囲が他の樹木の枝などで遮蔽されている樹木以外の胸高直径が概ね把握できた。AREA2で胸高直径が概ね把握できた理由としては、樹木の枝葉の下の方でよく写るように水平方向や俯角20度～35度程度の撮影を行ったためと考えられる。

(2) 本研究で可能となる河道管理

今回実施した内容を踏まえ、UAV写真測量からSfM処理により3次元データ・モデルを作成することで、可能となる樹木管理を含む河道管理について考察した。

表-6に、UAV写真測量、従来手法、航空レーザ測量を用いた樹高及び胸高直径算出方法のコスト・作業量の比較を示す。コスト及び作業量(外業、内業)は、川幅200mで延長1kmを条件とし算出した。コストについては、UAV写真測量が最も安価となり、従来手法の1/3.6(=50万円/180万円)、航空レーザ測量の1/12(=50万円/620万円)となった。また、作業量についてもUAV写真測量が最も少なくなり、従来手法の1/3.8(=4日/15日)、航空レーザ測量の1/5.5(=4日/22日)となった。

付加価値についても、従来手法では得られないDSM、DEM、オルソ画像を安価に取得することができるため、高頻度で測量することが可能であり、成長速度が著しい樹木管理に適しているといえる。

また、図-9に示すように、樹木概形(死水域)及び樹木下の地形を取得できることから、樹木繁茂の水位上昇の影響を考慮した準二次元不等流計算や、二次元流況解析を行うための基礎データを構築することが可能であり、流下能力不足や高速流が発生する箇所の特定が可能になると考えられる。

表-6 樹高・胸高直径算出方法の比較

項目		UAV 写真測量	従来手法 (現地実測)	航空レーザ 測量
コスト	条件	幅200m×延長1km	同左	同左
	概算金額	50万円	180万円	620万円
作業量	外業	1日	10日	2日
	内業	3日	5日	20日
	合計	4日	15日	22日
付加価値		DSM,DEM, オルソ画像	なし	DSM,DEM, オルソ画像

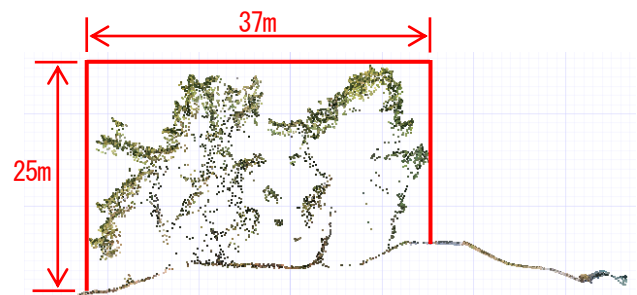


図-9 樹木死水域の把握

5. おわりに

(1) 本検討のまとめ

本検討では、河道内樹木に対して、さまざまな角度からUAV写真撮影を行い、河道内樹木の状態把握の効率化・高度化の可能性について検討した。UAV撮影画像から、SfM処理により3次元データ・モデルを作成することで、以下の成果が得られた。

- ・1mメッシュ毎に3次元点群の最高点を取得したデータをDEMとし、10cmメッシュ毎に3次元点群の最低点を取得したデータをDSMとしたデータを作成した。DEMでは樹木下の地表面の形状が得られ、DSMでは樹木の表層面の形状が得られた。
- ・3次元モデルを作成し、3次元ビューワソフトウェアを使用することで、各樹木の樹高が概ね計測できた。
- ・樹木の幹の位置におけるDEMの値を地表面の標高値、DSMの値を樹頂点の標高値とし、差分をとることで樹高を算出した。樹高の全体的な平均値は現地調査結果を正とすると、1m程度の誤差しかなかったが、現地調査で得た樹木の幹の位置と樹頂の位置が大きく異なる樹木があったことや、密生状況が密な箇所において隣り合う樹木の高さを誤って抽出した樹木があったことから、大きな誤差がある樹木がみられた。
- ・樹木の枝葉の下の方までよく写るように水平方向や俯角20度～35度程度の撮影を行い、3次元モデルを作成した。3次元ビューワソフトウェアを使用することで、胸高直径が概ね計測できた。
- ・樹高や胸高直径の計測に必要な外業作業時間について、同時期に実施した現地調査では数日を要したものの、今回のUAV写真測量では1日で可能となり、外業作業時間が短縮できることが分かった。

また、今回の検討で用いた手法は、環境面、維持管理面、コスト面を考慮した河川維持管理計画の立案等に貢献できることが分かった。

(2) 今後の課題

今後は、河道内樹木の状態把握において、樹高、胸高直径だけでなく、樹木本数や密生状況の把握も必要であるため、作成した3次元データ・モデルから植生本数を算定する手法が必要であると考えている。

また、草本類が一面に繁茂している箇所では、地表面

がUAV撮影画像に写らないためDEMの作成が難しい。そのため、草本類が繁茂している箇所でも、植生高や密生状況、地表面の標高が把握できる手法の検討が必要であると考えている。

謝辞：国土交通省中部地方整備局木曽川下流河川事務所の方々には、揖斐川・長良川における「H30長良川下流部河川管理施設等監理検討業務」において、各種資料の提供及び現地計測にご協力いただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐貫方城、大石哲也、三輪準二：全国一級河川における河道内樹林化と樹木管理の現状に関する考察、河川技術論文集、第16巻、pp.241-246、2010。
- 2) 齋藤正徳、市川健、涌田雄基、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) 国土交通省中部地方整備局：高梁川水系河川整備計画 第3章 高梁川の現状と課題、p22、http://www.cgr.mlit.go.jp/okakawa/kouhou/seibi/takahasi/files/plan_henkou/03_plan.pdf、2010。
- 4) 佐貫方城、渡辺敏、宮田真考、草加大輝：3種の航空測量技術を使用した河道地形の効率的測量の実装展開に向けた比較検討、河川技術論文集、第21巻、pp.105-110、2015。
- 5) 渡辺豊、河原能久：UAVを利用した空中写真の河川地形計測への適用性、土木学会論文集B1（水工学）、Vol.72、No.4、pp.I-1105-I-1110、2016。
- 6) 福島雅紀、中村賢人、諏訪義雄、秋田麗子、長岐瑠里子、炭田英俊：UAV空中写真の河床材料調査への適用性に関する検討、河川技術論文集、第24巻、pp.1-6、2018。
- 7) 秋田麗子、長岐瑠里子、炭田英俊、福島雅紀、中村賢人、諏訪義雄：垂直写真からの画像解析から砂の平均粒径を推定する手法の検討、河川技術論文集、第24巻、pp.7-12、2018。
- 8) 神野有生、米原千絵、I GD Yudha Partama、小室隆、乾隆帝、後藤益滋、赤松良久：UAVとSfM-MVSを用いた河床冠水部の写真測量のための水面屈折補正係数に関する検討、河川技術論文集、第24巻、pp.19-24、2018。
- 9) 国土交通省国土地理院：UAVを用いた公共測量マニュアル（案）、2017。

(2019. 4. 2受付)