

江の川浜原ダム下流における置土の流出特性の把握

山口大学大学院創成科学研究科 学生会員 ○花岡 拓身
 山口大学大学院創成科学研究科 正会員 齋藤 稔
 山口大学大学院創成科学研究科 正会員 赤松 良久
 山口大学大学院創成科学研究科 学生会員 大中 臨
 山口大学大学院創成科学研究科 学生会員 児玉 貴央

1. 結論

ダム供用に伴う流況の平滑化や土砂動態の改変は、河床のアーマー化を引き起こし、生物多様性の低下につながる事が知られている。このような現状を改善するため、一部河川ではダム下流河道への置土による土砂還元が実施されている。木曾川水系阿木川ダム下流では、置土による土砂還元後に河床は、巨礫から土砂までの河床材料がバランスよく存在するようになったことと、底生動物の種多様性が高まったことが報告されている¹⁾。河床環境の復元に有効な土砂量を投入していく上で、投入されている置土の流出量や流出過程を把握することは重要である。置土流出状況の調査をするにあたって、浸食箇所を簡易的に測量することで置土流出量を算出している事例が多い。しかし、この方法の測量では、側方浸食しかとらえることができず、実際の土砂流出量を算出することは難しいと考えられる。

本研究では、江の川浜原ダム下流に投入されている置土の流出特性の把握を目的として、測量・土木分野の計測手法として定着しつつある UAV (Unmanned Aerial Vehicle: 無人航空機) を用いた写真測量を行い、詳細に置土の流出量と流出箇所を推定した。また、写真測量より得られた地形データを用いた河床変動解析を用いて、2019 年冬に江の川浜原ダム堤体直下に投入された置土の流出過程の再現シミュレーションを実施した。

2. 江の川浜原ダム下流区間における置土の取り組み

江の川は、島根県江津市で日本海に注ぐ一級河川である。本川には、上流に土師ダム（着工 1966 年、竣工 1973 年）、下流に浜原ダム（着工 1951 年、竣工 1953 年）の 2 つのダムが存在する。浜原ダム下流区

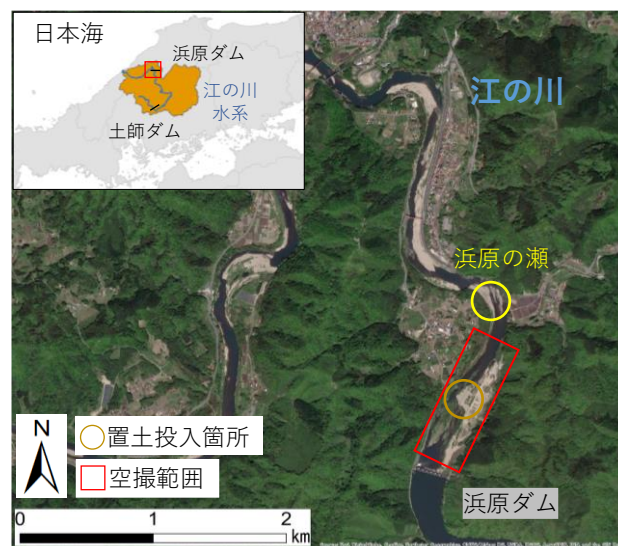


図-1 江の川における置土投入箇所と空撮範囲。

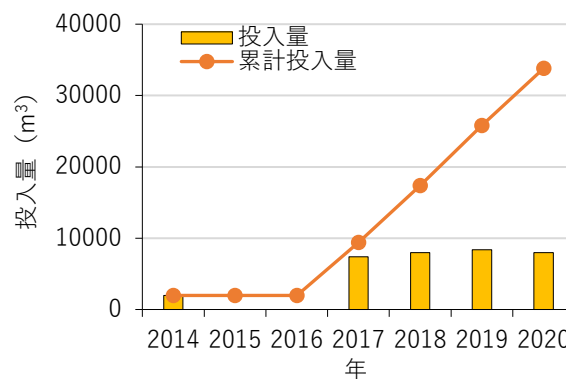


図-2 浜原ダム直下における置土投入量と累計投入量の推移。

間では、上流からの土砂供給不足によって瀬淵の消失や露盤化・河床のアーマー化が起きている。その結果、アユの産卵場の劣化が生じている。このような問題を解決するために、2014 年より浜原ダム堤体下流に置土が投入されている（図-1）。2014 年には 2000 m³ の置土が投入された後、2015 年、2016 年は中断されていたが、2017 年以降は、毎年 8000 m³ 前後の土

キーワード ダム，土砂還元，UAV 写真測量，河床変動，シミュレーション

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL0836-85-9339

砂が投入されている(図-2)。2019年に投入された置土の土砂量は、8400 m³であった。

3. 材料と方法

(1) UAV 写真測量方法

図-1に UAV (DJI 社 Phantom 4 professional V2) による写真測量対象範囲を示す。空撮範囲は、置土の上下流を含むように江の川浜原ダム堤体から約 500～1500 m 下流の区間である。空撮は、梅雨から夏季の出水前の2020年6月5日と出水後の2020年8月28日に行った。表-1に UAV の設定条件を示す。浜原ダムは山地に囲まれているため、安全をとって、飛行高度を80 mとした。また、同一コース重複率と隣接コース重複率が80%となるように撮影のインターバルを2秒に設定した。また、空撮範囲内に対空標識を設置し、三次元位置座標を仮想基準点方式のネットワーク型 RTK-GNSS (Trimble R4-3S) を用いて測量した。空撮画像は、SfM-MVS (Structure from Motion-Multi View Stereo) 解析ソフト (Metashape; Agisoft 社) を用いて 3D モデルに復元し、オルソ画像と DSM (Digital Surface Model) を構築した。写真測量では、光の屈折によって水深を過小評価してしまうため、ArcGIS (Esri 社) 上で DSM の水域の標高を神野ら²⁾に従って水面屈折補正した(屈折補正係数:1.420)。続いて、ArcGIS のラスター演算機能を用いて2020年8月28日の DSM から2020年6月5日の DSM を減算することで、出水前後の標高差を算出した。その後、置土部分の DEM (Digital Elevation Model) を切抜き、10 cm 間隔で標高差の値をポイントデータとして抽出し、置土の流出量を算出した。

(2) 流出再現シミュレーション方法

置土の流下シミュレーションには、iRIC³⁾ が提供する非定常平面 2 次元流れと河床変動解析ソルバーである Nays2DH を用いた。計算格子は、解像度がおおよそ 5 m となるように設定した。地形データには、浜原ダム堤体から下流 1 km の区間は UAV 写真測量によって得られた DSM から、堤体下流 1～3 km の区間は令和元年度の河川横断測量結果 (200 m ピッチ) からそれぞれ 1 m 間隔で標高値を抽出して作成した。計算期間は、年最大流量を記録した2020年7月5日～17日とした。流量データは、ダム下流の浜原水位・

表-1 UAV の設定条件

項目	条件
飛行高度 (m)	80
飛行線路長 (m)	11936
航路上のオーバーラップ率 (%)	80
航路間のオーバーラップ率 (%)	80
撮影時間 (分)	30

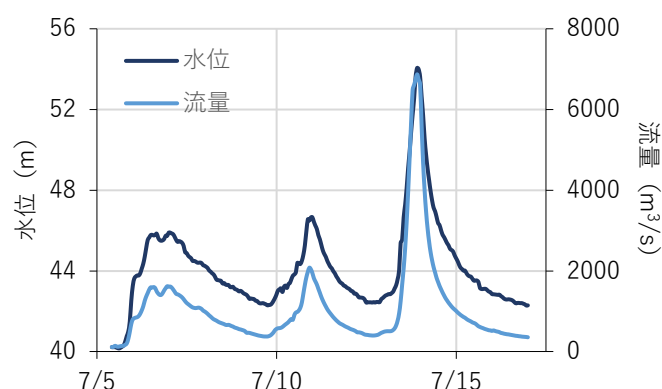


図-3 解析に用いた浜原観測所での水位と都賀観測所での流量。

流量観測所では、流量の観測を行っていなかったため、ダム貯水池の上流に位置する都賀水位・流量観測所の2019年度の H-Q 式を用いて、観測水位より算出した値を用いた(図-3)。ただし、最大流量は、浜原ダムが位置する島根県美郷町が公開している当該出水時の浜原ダムの最大放流量 (6871 m³/s, 7月14日 10:00) に合わせ、最大放流時の前後2時間の流量を線形補間した。下流端水位には、計算区間の下流端に位置する浜原観測所の観測値を用いた。植生は固定床とみなし、水理公式集⁴⁾を参考にして Manning の粗度係数 0.1 を与えた。河床材料の設定は混合粒径とし、置土に与える粒度分布は、2019年12月に置土内で採取した土砂のふるい分け試験 (JIS A-1204) の結果を与えた。そのほかの河床には、2020年8月28日に浜原ダム堤体付近において、高度10 m から UAV で空撮した画像を用いて画像解析ソフト Basegrain (スイス連邦工科大学チューリッヒ校) で解析した結果を与えた。

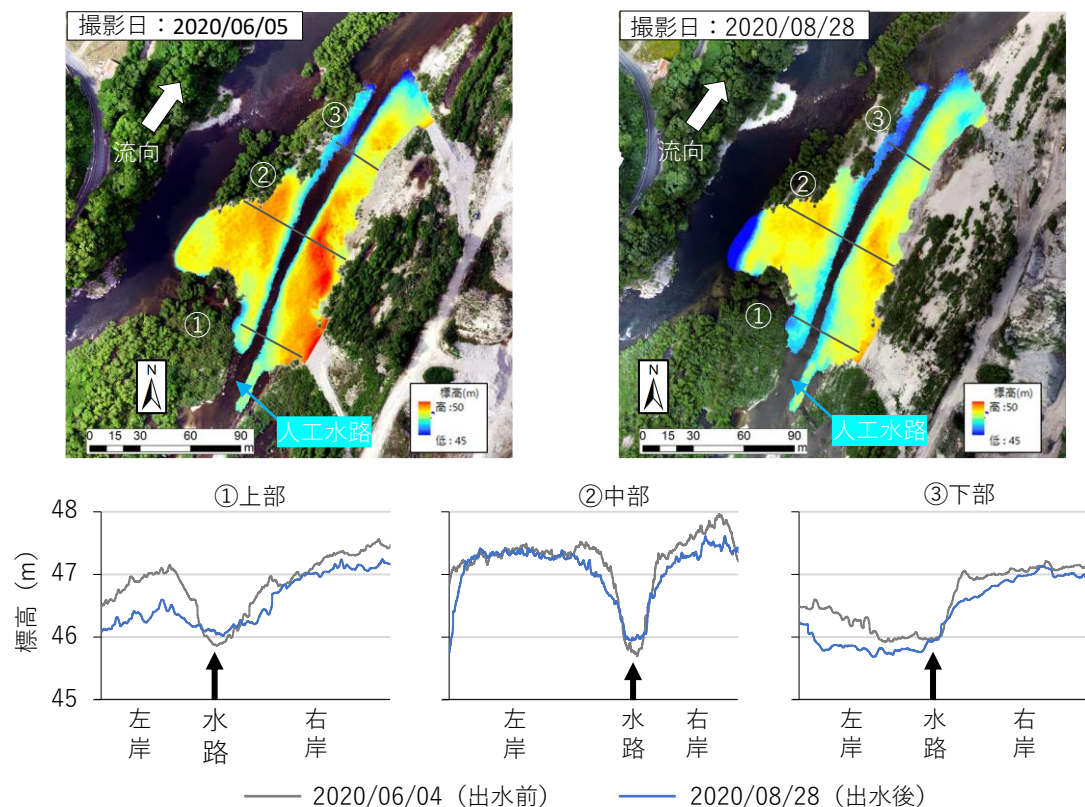


図-4 2020年夏季の出水前後での置土周辺のDEMと置土上部・中部・下部の標高の横断面図。

3. 結果と考察

(1) UAV 写真測量による流出箇所と流出量の把握

図-4に夏季の出水前後の置土のDEMと置土の上部・中部・下部の標高の横断面図を示す。夏季の出水前後の標高差から置土の流出量を求めた結果、2019年の投入量(8400 m³)の31%にあたる約2600 m³が流出したと推定された。浜原ダム下流に投入された置土投入箇所周辺の標高は、大部分で低下傾向であり、人工的に掘られた水路沿いと左岸側で浸食が確認された。置土の上部、中部、下部の標高を河川横断方向で抽出した結果、上部と下部では標高の低下が確認された。ただし、中洲の樹木群下流に位置する中部の左岸側では、標高の低下は見られなかった。水路沿いの標高は、上部、中部、下部の全てにおいて低下していたことから、人工水路があることで、置土が浸食されやすくなったと推察された。

(2) 流出再現シミュレーション

流出再現シミュレーションにおける置土の浸食箇所は置土上部と左岸側の流路沿いであった。流出量は、約2200 m³であり、UAV写真測量の結果(約2600



図-5 解析終了時の河床変動量。

m³)より過小評価であったが、ある程度の再現性があることが明らかとなった。再現シミュレーションでは、置土下部で流出が起こらなかったことが流出量の過小評価につながったと考えられる。また、中洲の樹木群下流に投入された置土に大きな流出は見られなかった。その要因として、樹木群下流の流速が大

きく低下しており、ダムからの放流水の勢いが中洲に繁茂する植生の抵抗によって低減されたとあげられた。流出再現シミュレーションでは、浜原ダム下流に投入された置土は、浜原ダム堤体から約 1.4 km 下流の浜原の瀬に到達し、その後、3 km 先まで流下した。しかし、浜原の瀬の下流の淵に多くの土砂が堆積することが示唆された(図-5)。現地において、ダム堤体付近や浜原で河床の露盤化を確認している。置土の累計投入量が国内最多の徳島県那賀川の長安口ダムから川口ダム間において、淵が占める面積の割合は 2010 年では 9 割近かったが、2016 年には約 6 割に減少し、早瀬の割合が増加したことが報告されている⁵⁾。淵における置土から流出した土砂の堆積は、ダムによる土砂動態改変前の河床形態が復元する兆候の可能性であると考えられる。

4. 結論

本研究では、2019 年冬に江の川浜原ダム下流に投入された置土の流出量と流出過程を UAV を用いた写真測量と流出再現シミュレーションにて把握した。UAV 写真測量の結果、2020 年の出水による置土の流出箇所は、人工的に掘られた水路沿いと左岸側の水路沿いで確認された。置土の流出量は、2019 年の投入量の約 31%にあたる約 2600 m³であった。UAV を用いた写真測量を行うことで、置土の側面の浸食箇所のみならず表層の流出量も測量することが可能であることが明らかとなった。また、流出再現シミュレーションより、置土から流出した土砂は、流量 1500 t/s で浜原ダム堤体から約 1.4 km 下流の浜原の瀬に到達し、その後約下流 3 km まで到達していることが示唆された。しかし、その多くがダム堤体下流約 1.5 km 先の淵に堆積する可能性が考えられた。本研究にお

いて、置土が流出することで浜原ダム下流の減水区間における河床形態を復元できる可能性が示された。したがって、継続した置土の投入が望まれる。今後、置土から流出した土砂が浜原の瀬やその下流の淵にどの程度堆積するかを、UAV 写真測量によってモニタリングし、流出再現シミュレーションの結果を検証することが望まれる。

謝辞：本研究は、国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所受託研究「江の川における置き土が環境に与える影響についての研究（研究代表者：赤松良久）」の一環として行われた。山口大学宮園誠二特命助教には、調査にご協力頂いた。江川漁業協同組合には、調査実施へのご許可とご協力を賜った。記して謝意を示す。

参考文献

- 1) Katano, I., Negishi, J., Minagawa T., Doi, Hideyuki., Kawaguchi, Y., Kayaba, Y.: Effects of sediment replenishment on riverbed environments and macroinvertebrate assemblages downstream of dam, *Scientific Reports*, Vol. 11, pp.1-17, 2021.
- 2) 神野有生, 米原千絵, IGD Yudha Partma, 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, 24 巻, pp.19-24, 2018.
- 3) iRIC ソフトウェア: <https://i-ric.org/ja/>, 2021 年 4 月 1 日アクセス
- 4) 土木学会: 水理公式集 (2018 年版), 2019.
- 5) 青木朋也: 土砂還元による河川環境の改善効果-中間報告-, RIVER FRONT, 88 巻, pp.34-37, 2019.