

高時空間解像度の河床形状に基づく河床変動予測精度向上の検討

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 教授 正会員 赤松 良久
 山口大学大学院創成科学研究科 特任助教 正会員 宮園 誠二

1. はじめに

河川に生じる多様な土砂移動現象あるいは流砂現象に対して、どのような流路変動や河床変動が発生するかを、数値解析法を用いて予測することは非常に重要である。先行研究では流砂に対する理論から数値解析モデルを作成し、それらのモデルを使用して、河床変動や治水に対する様々な知見が得られている(例えば 1),2)。しかし、実河川を対象に UAV 写真測量によって得られた、定期横断測量よりも高解像度の測量成果から、実際の河床変動量とシミュレーションによる河床変動量の精度を比較した事例は少ない。また、UAV 写真測量によって面的に把握された地形データと、河川横断測量成果を縦断方向に補間して作成された地形データの両方で、河床変動計算の精度にどのような差異が生じるのか検討した事例は皆無であり、入力する標高の作成方法が河床変動計算の精度にどのような変化が生じるのか実河川データのモニタリング成果を元に検討することは、今後の河川管理に有用であると考えられる。本研究では、UAV 写真測量によって得られた、高密度かつ高頻度な地形のモニタリング成果を元に河床変動計算を実施し、河床変動モデルの精度検証や、定期横断測量を見立てて作成した地形データを利用した場合との比較を行った。

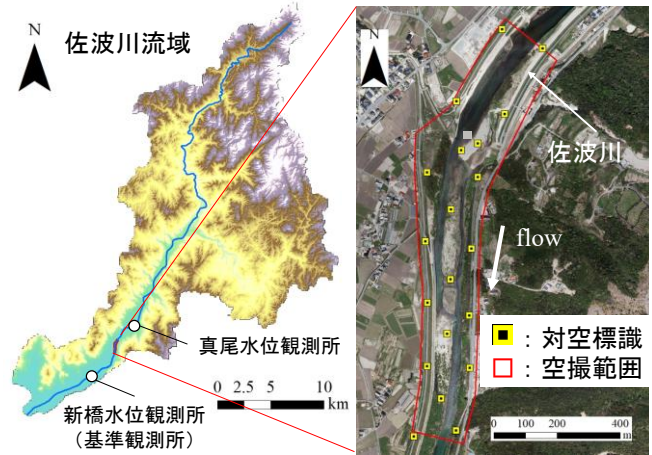


図-1 空撮範囲および対空標識設置地点

表-1 各調査日における UAV 測量の精度

	調査[1]	調査[2]
撮影時風速 (m/s)	3	4.3
最大残差 (m)	0.062	0.067
残差平均 (m)	0.024	0.019
残差標準偏差 (m)	0.013	0.013

(調査 2)である。なお、どの調査日も、高度は 80m、空撮時の航路上、航路間のオーバーラップ率はそれぞれ 80%、60%に設定した。また、鉛直方向に加え、斜め方向(天底角 45 度)の撮影も行った。カメラの設定はどの撮影も EV 値が 0 となるように自動でシャッタースピードなどを調整する Auto 機能を用いて撮影を行った。また、UAV 写真測量では水面下の標高を過小評価するが、本研究では神野ら³⁾の水面屈折補正係数(1.420)を用いて水面下の補正を行った。本係数を用いた測量成果は先行研究^{4),5)}において水面下でも高い精度が得られている。

2.2 調査結果

標定点における実測値と UAV 写真測量による標高推定値との残差の統計値を表-1 に示す。地図表現精度の最高レベルである地図情報レベル 250 の基準

2. 現地調査方法

2.1 調査方法

本研究では図-1 に示す、山口県佐波川の 9.6kp から 10.8kp 間において、Phantom4 pro V2 (DJI 社)によって得られた空撮画像と、空撮時に設置した標定点における GNSS 測量によって得られた座標を GCP として入力し、Matashape (Agisoft 社)による SfM-MVS によって標高データを取得した。調査日は、2020 年 5 月 29 日(調査 1)および 2020 年 7 月 21 日

キーワード 佐波川, UAV, GNSS, SfM-MVS, Nays2DH, 河床変動計算

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-1-16 山口大学工学部 TEL 0836-85-9339

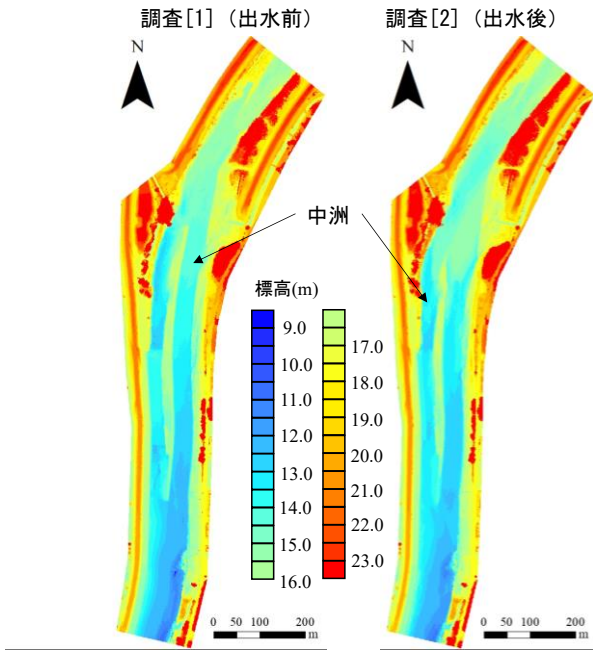


図-2 各調査で得られた標高コンター

は、国土地理院のマニュアル⁶⁾で、残差の標準偏差が0.06m以内、最大値が0.12m以内と定められているが、どの調査日もその基準を満たしていた。図-2に調査[1]および調査[2]で得られた標高コンターを示す。空撮範囲には中洲があり、出水後、中洲の上流付近が崩れ、左岸側で堆積が生じていた。

3. 河床変動解析

3.1 解析方法

解析ソルバーには iRIC⁷⁾の Nays2DH を使用した。図-3に、上流端の境界条件として入力した、真尾観測所における流量の時系列を示す。真尾観測所は空撮範囲より約2.5km上流に位置しており、大きな支川の合流はないため、観測された流量をそのまま用いた。最大流量は462.56m³/sであり、7/14に観測された。本検討では、詳細な地形データを元に河床変動計算をした場合と、定期横断測量を見立てて作成した地形データを元に河床変動計算をした場合における精度の差異を検証するため、調査[2]によって得られた測量成果を2m×2mの解像度でiRICに入力した場合（Case1）と、国土交通省がおおよそ200m間隔で定めている左右岸の距離標を結んで横断線を作成し、横断線上で2m間隔の点群を発生させてUAV写真測量成果から標高を抽出し、横断測量成果としてiRICに入力した場合（Case2）の2つのケースで解析を実施した。図-4に解析対象区間における距離標位置お

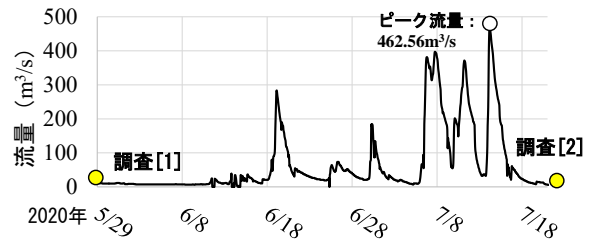


図-3 調査期間中の流量時系列（H-Q図）

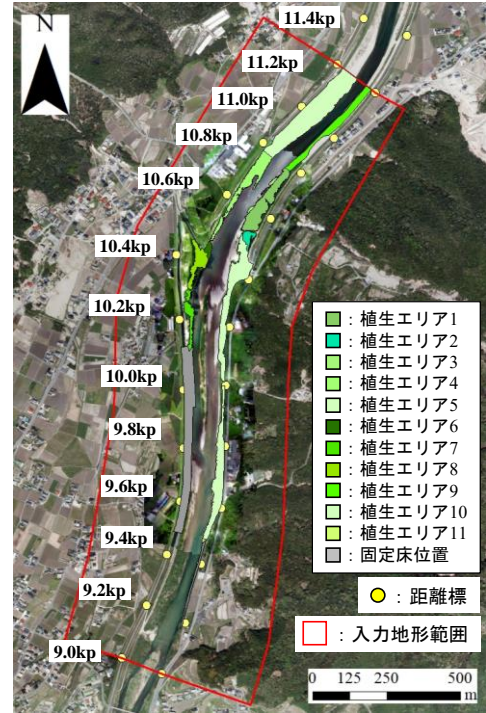


図-4 植生箇所および固定床箇所



図-5 粒度分布の入力位置

よび、植生、固定床位置を示す。両ケースとも入力用の地形の範囲は、9.0kp から 11.2kp、格子の範囲は 11.0kp から 9.2kp までであり、UAV による空撮範囲よりも上下流共に約 200m 拡張した範囲で計算を行った。なお、iRIC では、横断測量によって得られた標高と杭座標の座標データから、横断測量成果を縦断に線形補間して地形データを作成する機能が内装されており、Case2 では当該機能を用いて河道内の地形データを作成した。植生箇所は、植生群を 11 に分け、それぞれに、各領域における植生高さの中央値と密度を入力した。また、本研究では混合粒径の河床変動計算を行った。図-5 に粒度分布を与えた領域を、図-6 にそれぞれの領域における粒径加積曲線を示す。粒径加積曲線は、まず国土交通省によって 2009 年に実施された粒度分布調査で得られた、当該領域に想定する距離における 9km, 10km, 11km の代表粒径 (d10, d50, d90) の値を元に、9.0kp~11.2kp の代表粒径を線形補間で推定した。そして、それぞれの地点において代表粒径から粒度分布を、対数正規分布に沿うと仮定して推定し、8 つの粒径 (0.035mm, 0.098mm, 0.273mm, 0.760mm, 3.275mm, 14.111mm, 60.806mm, 129.19mm) における重量百分率を入力した。河床変動の形態は掃流砂のみとし、移流項の差分方法には CIP 法を使用した。計算タイムステップは 0.1 秒、計算格子間隔は 5m×5m、粗度係数の値は水理公式集⁸⁾を参考に水域部は 0.03、植生は 0.75 を設

定した。また、平衡流砂量に対する供給土砂量の比は、感度解析的に定めた。

3.2 解析結果

図-7 に、調査[1]と調査[2]間の河床変動量の実測値および、Case1 と Case2 の河床変動計算によって得られた河床変動量の計算値のコンターを示す。解析の結果、Case2 は Case1 や実測値よりも洗堀の傾向が強く、Case1 の方が実測の堆積傾向を良く再現できていた。特に中洲の左岸側に注目すると、Case1 では、堆積を示し、実測値とおおよそ傾向が同じであるが、Case2 では、反対に洗堀傾向となっており、傾向の違いが顕著であった。また、Case2 では上流の右岸側が洗堀されている。これは、Case2 の地形では横断測量成果を線形補間して地形を作成するため、中洲の不連続性を再現できず、中洲上流の地形が過大評価され、計算では流れが右岸側に集中したためだと考えられる。一方、Case1 では、当該箇所の左岸側で堆積が生じており、実際と同様の傾向であった。これは、

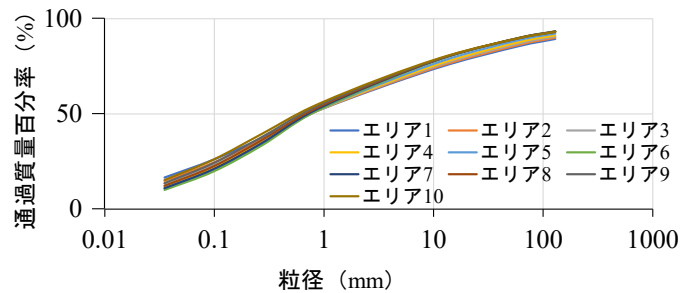


図-6 各エリアにおける粒度分布

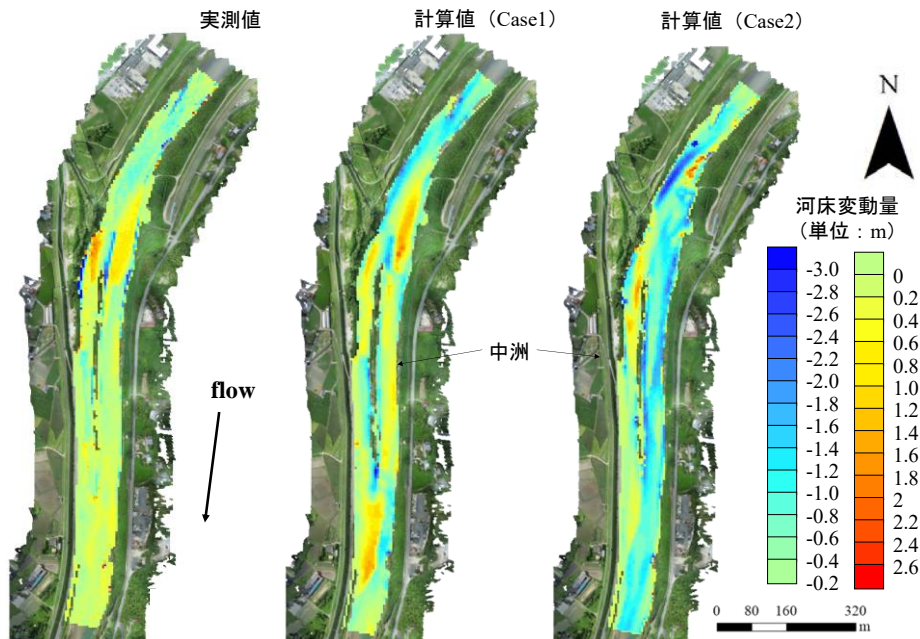


図-7 実測値および各ケースにおける河床変動量コンター

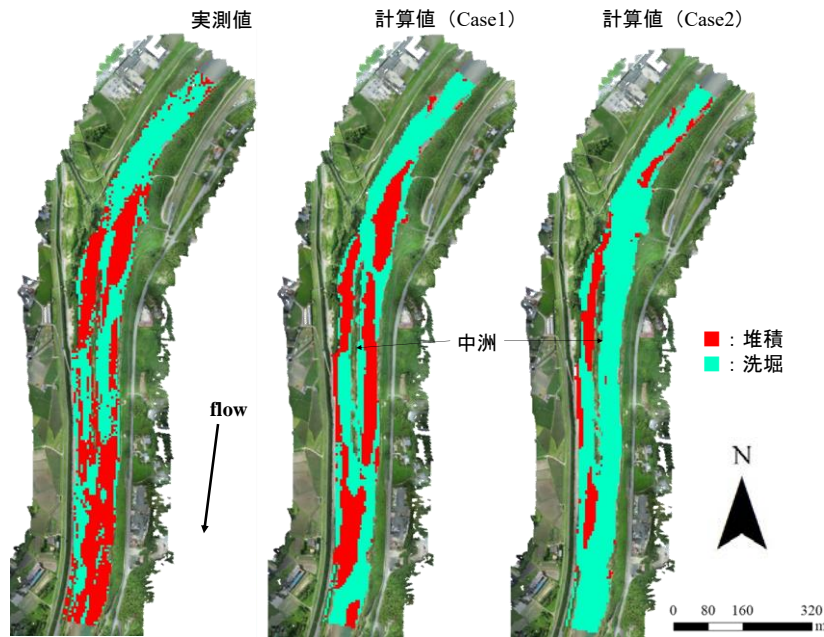


図-8 実測値および各ケースにおける洗堀箇所と堆積箇所

Case1 では中洲の不連続性が再現され、中洲から流路が2つに分かれることで流れが緩やかになり、当該箇所では流れの無次元掃流力が無次元限界掃流力を下回り、上流から運ばれた土砂が堆積したためと考えられる。評価範囲における河床変動量の平均値は、実測値、Case1、Case2 でそれぞれ -0.043m 、 -0.178m 、 -0.702m であり Case1 の方が実測値に近い値を示した。また、図-8 に、堆積傾向にあった箇所と洗堀傾向にあった箇所を示す。また、実測の河床変動量が $\pm 0.20\text{m}$ 以上の領域において、実際と計算の両方で洗堀傾向にあった領域と実際と計算の両方で堆積傾向にあった領域の割合を調べると、Case1 で 70%、Case2 で 55%であった。以上より、Case2 よりも Case1 の方が実際の河床変動の様子をより精度よく再現できていることが明らかとなった。

4. 結論

2020年5月29日および2020年7月21日に実施した UAV 写真測量によって得られた佐波川金波堰周辺のモニタリング結果と2019年11月に実際された航空レーザー測深の結果を組み合わせた詳細な地形データより、河床変動計算用の境界条件を作成し、当該期間における河床変動の再現計算を実施した。また、UAV 写真測量によって得られた高解像度の地形データを入力した場合（解像度：横断方向2m、縦断方向2m）と、従来の定期横断測量を見立てた地形

データ（解像度：横断方向2m、縦断方向200m）を入力した場合とで、河床変動量の計算結果を比較した。その結果、高解像度の地形データを入力した場合は、河床変動量の平均値、洗堀および堆積の領域を、定期横断測量を見立てた地形データよりも精度よく再現した。これは、UAV 写真測量等を使用して面的に把握した地形データの方が縦断方向の解像度が高く、砂州などの地形を正確に反映できるためである。しかし、細かい地形データを使用した場合でも、洗堀と堆積の傾向が正解した領域は実測の河床変動量が $\pm 0.20\text{m}$ 以上の領域でおよそ70%であり、精度に改善の余地があると考えられる。この度は、計算実施期間より11年前の粒度分布を用いたため、最新の粒度分布を入力することで、精度が改善する可能性がある。

参考文献

- 1) 竹林ら：給水・給砂の非正常性と植生の繁茂を考慮した砂州及び流路の形成水理条件，水工学論文集，第50巻，pp.973-978，2006。
- 2) 長田ら：那賀川大規模置き土事業が下流河道に与える影響の長期予測，河川技術論文集，第67巻，pp.475-480，2021。
- 3) 神野ら：UAV と SfM-MVS を用いた河床冠水部の写真測量のための水面補正係数に関する検討，河川技術論文集，Vol.24，pp.19-24，2018。
- 4) 大中ら：宍道湖浅水域における UAV ・ SfM-MVS を用いた水面下地形測量の有効性に関する検討，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.76，No.2，I_1033-I_1038，2020。
- 5) 大中ら：UAV 写真測量に基づく水面下を含めた効率的な河道形状モニタリング手法の検討，土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.77，No.2，I_907-I_912，2021。
- 6) 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)，pp.16-23，2016。
- 7) 一般社団法人 iRIC-UC：iRIC Software3.0.19，<https://i-ric.org/ja/>，2022。
- 8) 水工学委員会：水理公式集 2018 年度版，土木学会，pp.191，2019。