

天竜川上流域における流砂量モニタリングについて

国土交通省中部地方整備局 天竜川上流河川事務所 伊藤誠記、澤田宗也、稲葉智彦
株式会社建設技術研究所 家田泰弘、内柴良和、笹山隆、○清野真義、戸舘光、中西宏彰

1. はじめに

天竜川上流域支川の与田切川および小渋川では、流域内の土砂動態の解明を目的として、流砂観測を実施している。小渋川・与田切川・天竜川では、図1に示す位置にて下記の観測を実施している。

- ・小渋川（大河原、鹿塩、生田観測所）ハイドロフォン、濁度計
 - ・与田切川（与田切観測所）：ハイドロフォン、濁度計、トロンメル（掃流砂および浮遊砂を水深の高さごと（上中下段）に採取し、通過土砂の質と量を計測可能）
 - ・天竜川（宮ヶ瀬観測所）：濁度計、浮遊砂サンプラー
- 本格的な観測が開始してから小渋川：5年、与田切川：15年が経過し、観測データは蓄積されてきている。一方で、流砂観測施設は限られた箇所のみ設置されているため、管内全域の土砂動態を詳細に把握することは未だ困難であるといえる。

また、表1の期間等において、観測機器は損傷し、観測データに欠測が生じている。

このように流砂観測においては、流砂観測機器による直接観測が困難な状況が発生することから、より広域かつ簡便に土砂動態を把握する新技術による手法として、UAVやIoTセンサー、AI等の新技術を活用した土砂動態に関する計測・解析が用いられている。

本検討では、過去5年間の流砂量モニタリング結果を報告するとともに、新技術による広範囲な流砂量モニタリング方法の検証を行った。



図1 流砂観測所位置図

表1 欠測が生じた主な出水（2016～2020 期間中）

年	出水	損傷観測施設
2018年	7月4日～10日出水	大河原、鹿塩、生田、宮ヶ瀬
2020年	令和2年7月豪雨 (6月30日～7月23日)	大河原、生田、宮ヶ瀬

2. 流砂量モニタリング

2.1 過去5年間の流砂量の変化

過去5年間（2016年～2020年）の流砂量モニタリング結果として、この期間に観測されたデータを整理し、流域ごとの土砂動態の傾向について検討を行った。

小渋川（大河原、生田）・与田切川では、過去5年間の中で台風21号、24号が発生した2018年が最も流砂量の多い年となった（図2）。一方、小渋川（鹿塩）に

おいては、2020年が最も多く、2016～2019の観測値の3倍～10倍の流砂量（25万m³）となった。この流砂量のうち18万m³は7月（令和2年7月豪雨）に集中して観測されている。この時期の小渋川流域の観測所（大河原、生田）は機器の損傷により観測できていないことから、小渋川流域では実際には2020年の流砂量が過去5年間で最も多かったことが考えられる。

与田切川流域においては、2018年9月に発生した台風21号、24号によって飯島第6砂防堰堤が満砂した後、全流砂量中の掃流砂量の割合が高くなってきている（2016～2018：2%～9% 2019～2020：11%～12%）。2020年では、6月14日豪雨および令和2年7月豪雨において、2018年に次ぐ量の土砂流出が確認された。

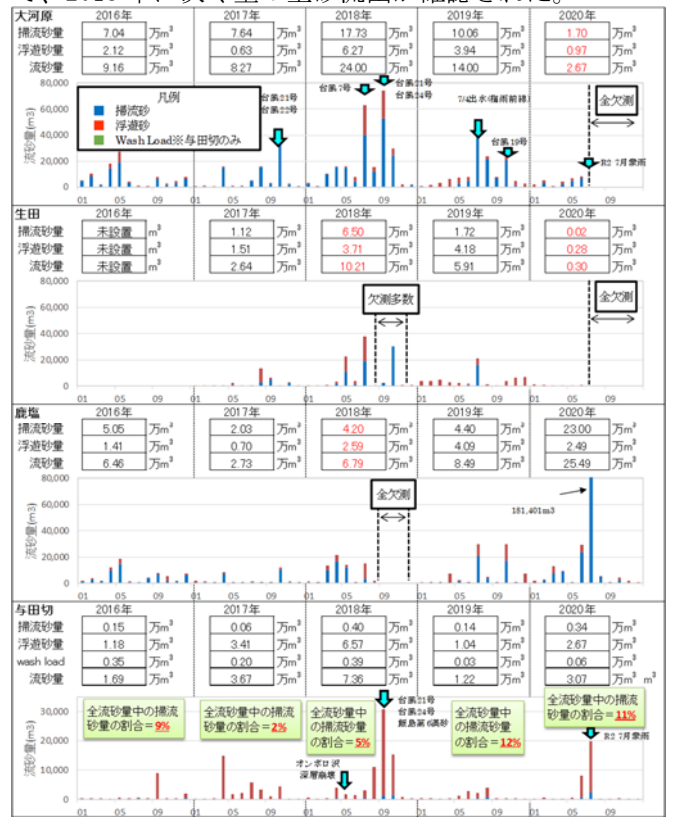


図2 流砂観測結果（2016～2020）

2.2 宮ヶ瀬観測所における粒径の変化

宮ヶ瀬観測所の浮遊砂サンプラーにおける過年度の粒度試験結果（2019年10月採取）および、6月14日豪雨および令和2年7月豪雨前後において採取した2020年度の粒度試験結果（2020年5月採取、2020年8月採取）から、宮ヶ瀬観測所における粒径の変化について検討を行った。

- ・非出水期の変化（19.10.30→20.5.29）
d50:0.13mm d90:0.67mm→d50:0.05mm d90:0.21mm
- ・出水前後の変化（20.5.29→20.8.28）
d50:0.05mm d90:0.21mm→d50:0.12mm d90:0.50mm

これより、流出土砂が多く発生するような出水によって、天竜川本川の浮遊砂の粒径は大きくなることが考えられる。

3. 新技術による流砂量モニタリング方法の検証

これまでの観測により、観測データが蓄積されている。しかし、流砂観測機器の欠測、また流域・水系単位での土砂動態把握に対しては、より広域的かつ簡便な土砂動態把握の手法が必要となる。

本検討では、表 2 に示す手法を用いて、新技術による広範囲な流砂量モニタリング方法の検証を行った。

表 2 土砂動態検証手法

検証手法	概要	
LPデータの差分	航空レーザー測量成果の差分から土砂収支を推定する。	
UAV空撮による簡易差分	UAV空撮およびSfM解析による地形データの差分から土砂収支を推定する。	
簡易な観測手法	IoTセンサー	簡易センサーを設置し、河床変動等を把握する。
	カメラ画像解析	カメラ画像の解析により、流量や土砂濃度を推定する。

3.1 流砂観測結果とLP差分結果の比較

2019.10~2020.9 の LP 差分解析に基づく土砂収支では、与田切川の流出土砂は約 25 万 m³ (空隙込) → 約 15 万 m³ (実容積) であり、これに対して流砂観測結果では同期間に約 3 万 m³ (実容積) が確認された。この 2 つの流出土砂量の差について考察を行った。

LP 差分解析に基づく流出土砂には除石及び砂利採取分が含まれ、約 4 万 m³ (実容積) 程度と想定されている。これより、LP 差分解析からは与田切川からの流出土砂は約 11 万 m³ (実容積) が流出したと言える。

現地状況 (図 4) より、6/14 の出水時には観測可能な浮遊砂及び掃流砂だけではなく、土石流形態での流下土砂が流下した可能性が高いことが考えられた。

6/14 の水位変化で極端な水位上昇がみられる期間を土石流の段波であると考え、その間の土石流による流出土砂量を土砂濃度式から求めると、9 万 m³ となった (図 5)。これは LP 差分 11 万 m³ と流砂観測土砂量 3 万 m³ の差と同オーダーの値であることから、このような土石流形態で流出土砂に対する観測誤差が、前述の LP 差分との差の一因である可能性が考えられる。

設置している観測機器(ハイドログラフ、濁度計)は掃流砂および浮遊砂を想定しているため、土石流形態での流下土砂を把握するという課題が明らかになった。



図 4 観測所周辺で確認された土石流の痕跡

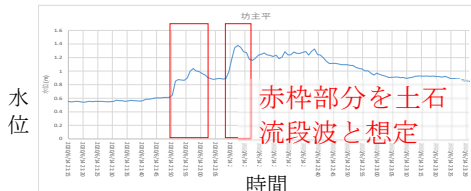


図 5 与田切川観測所における土石流の観測状況

3.2 UAV 空撮による簡易差分

UAV による空撮は従来のレーザー測量より簡易に実施できる。そのため、流域内の堆砂変動を定量的かつ高頻度で計測し、より時間分解能の高い情報を取得することができる。

本検討では 6 月 14 日豪雨の前後で与田切川-天竜川合流点にて高度 50m、GCP なしによる簡易な空撮を行った。現地での作業時間は 1 回あたり 15 分程度とした。

空撮画像から SfM 解析で作成した地形モデルの差分解析を行い、簡易な UAV 空撮でも ±2.0m 程度の河床変動が計測可能であることを確認した。(図 5)

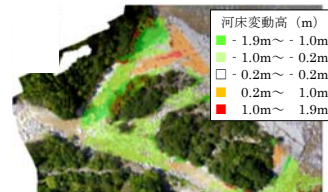


図 3 地形差分図

3.2 IoT センサーを活用した計測

過年度、一定の有効性を確認した IoT センサーと LPWA 通信による簡易な観測システムの適用性を確認するために、与田切川を対象に LoRa と Sigfox による通信可能範囲を確認した。その結果、飯島第 5 砂防堰堤までは Sigfox の適用が可能であり、上流のオンボロ沢については LoRa で溪床から尾根上にデータを中継伝送して携帯電話回線でクラウドにアップロードすることで、水位、濁度、堆砂変動の遠隔観測できることを確認した。



図 6 IoT センサー観測計画の例

3.3 AI による流砂・水文データ予測

CCTV カメラ画像について AI による画像解析を行い、水面の形状で水位を、流水の色合いから流砂量を推定することを試みた。過年度は水位をある程度推定できることを確認したが、流砂量の推定精度に課題があった。これまでの実画像による試行では、学習データの量を確保することで精度向上を図っていたが、今回は大小の水位、流砂量が均等になるように対象画像を選定した。また、水位と流砂量の関係が比較的明瞭(水位が大きいほど流砂量も大きい)な、典型的な出水に絞り込んで実施した。その結果、図 6 に示す通り、640×480 ピクセルによる学習で改善した結果を得た。

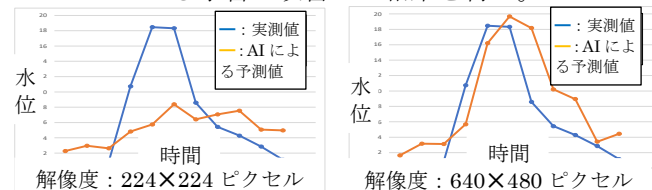


図 7 AI による水位予測値と実測値の比較

3. まとめ

流砂量モニタリング結果として、流砂観測データを収集・整理し、小渋川、与田切川、両河川合流後の天竜川における土砂動態の変化について分析を行った。

また、新技術による流砂量モニタリング方法の検証として、LP データの差分解析といった従来手法に加え、UAV 計測や IoT センサー、AI といった新たな技術を用いた手法について一定の適用性が確認できた。

流域内の土砂動態の解明するために、今後はこれらの新手法のデータ精度向上を図り、既設観測所における流砂観測とあわせて広域的かつ継続的なモニタリング手法として活用していくことが望まれる。