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，中谷真一
株式会社建設技術研究所　家田泰弘，内柴良和，池上浩二，○戸舘光，清野真義，潮見礼也，中西宏彰

1.　はじめに

天竜川上流河川事務所では，天竜川支川の与田切川や小渋川において，河床変動測量，河床材料調査，流砂観測，流量観測等を実施し，流域全体の水・土砂動態の解明に取り組んでいる．

特に小渋川本川においては，複数のハイドロフォンや濁度計を設置し，流砂量の詳細な把握に努めており，与田切川の坊主平砂防堰堤ではそれに加えてトロンメルによる直接観測も実施している．これらの機器，施設による長期間の観測により，データが蓄積されてきており，観測箇所における土砂動態はある程度把握できるようになりつつある．

一方で，流砂観測施設は限られた箇所に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．

本検討では，近年の天竜川上流域における流砂観測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の可能性について検討を行った．

2.　検討方法

図 1 に示す流砂観測施設による観測データから近年の土砂動態を分析した．流砂観測施設には，ハイドロフォン・濁度計・水位計のほか，坊主平観測所（与田切川）には流砂を時系列的に採取して通過土砂の量と質を計測可能なトロンメルが設置されている．これらのデータを整理し，土砂動態の傾向について過去のデータとの比較を行った．

しかしながら，これらの観測機器は出水等により故障することも少なくない．そこで，より広域的かつ簡便に土砂動態を把握する手法として，近年砂防分野でも適用事例が増えている 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・解析を行い，流砂観測データと比較し，それらの適用性について検証を行った．

3.　検討結果

3.1　モニタリング結果概要

過去 4 年間の流砂観測データでは 2018 年が最も流砂量が多く，2019 年は 2 番目に多い年となっている．また，2019 年における主な出水は，7/4 の梅雨前線と 10/10～10/13 における台風 19 号によるものがあるが，各観測所とも 7/4 の出水が最も規模が大きかった．

また，坊主平観測所における土砂濃度/水位比（**図 2**）を確認すると，2018 年 9 月～10 月にかけて土砂濃度/水位比が顕著に大きい期間が継続しているが，この現象は 2019 年には見られない．一方で，ハイドロフォンにより観測された掃流砂量は同じタイミングで増加しているが，2019 年でも増加傾向のままとなっている．ここで考えられることとして，蒲原ら(2012)[1]において示されている通り，上流域において大規模な崩壊等により発生した土砂の影響であることが考えられ，実際に観測地点上流のオンボロ沢において，大規模な崩壊が発生した報告がある [2]．この崩壊は衛生画像等より 2018 年 5 月～10 月の間に発生した可能性が高いことがわかっている．また，坊主平砂防堰堤の上流にある飯島第 6 砂防堰堤が 9 月に満砂したという記録があり，オンボロ沢の崩壊土砂が移動し，堆砂したと考えると状況として整合する．

ここで，トロンメル観測結果による水位-流砂量関係（**図 3**）から，2019 年は低水位でも掃流砂量が多い活発期にあることがわかる．このことも，2018 年 9 月以降，飯島第 6 砂防堰堤に堆砂した大量の崩壊土砂の影響によるものと推測できる．

以上から，オンボロ沢で発生した大規模崩壊により生産された土砂は，9 月頃に坊主平観測所まで到達したと推測され．その際に移動しやすい浮遊砂は掃流砂より先に流れつくし，掃流砂については飯島第 6 砂防堰堤に一旦留まり，その後少しずつ流出していると考えられる．

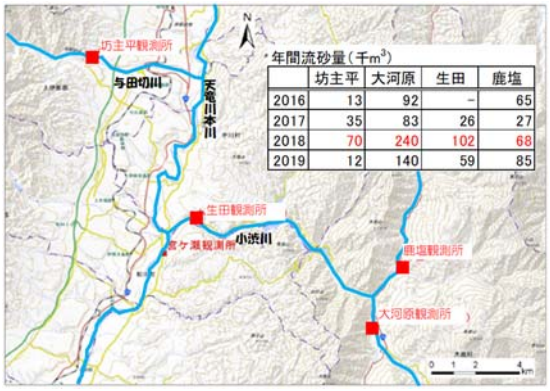

図 1　流砂観測所位置図

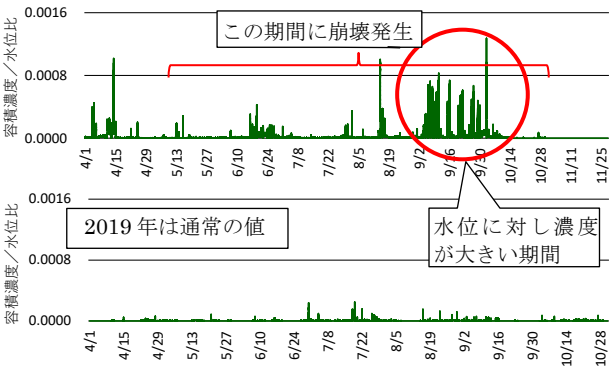

図 2　土砂濃度/水位比（坊主平　上：2018　下：2019）

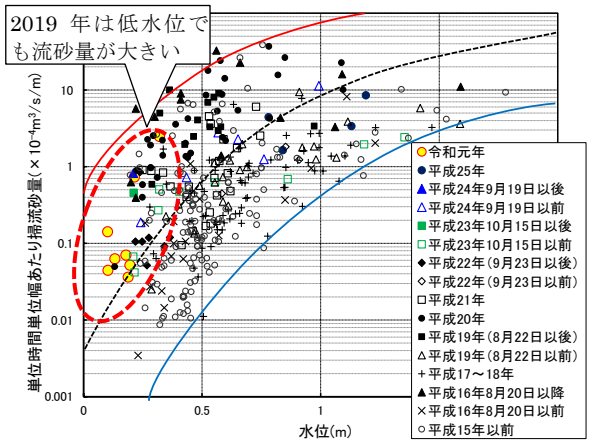

図 3　水位-流砂量関係（坊主平観測所）

3.2　検証データの検討

これまでの観測データの蓄積により，流砂観測の精度は向上してきているといえる．しかし，流域・水系単位での土砂動態把握に対しては，より大きなスケールでの土砂動態把握の手法が必要となる．

そこで本検討では，**表 1** に示す手法に対し，広域的な土砂移動把握の可能性について検証を行った．

表 1　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
他機関データの活用		小渋ダムの土砂計測データや河床変動測量データを活用して土砂収支推定に取り込む
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。

3.2.1　LP データによる差分

広域的な土砂移動の把握手法として，従来より航空レーザー測量結果の差分による解析が行われてきた．

本検討では，管内における最新の測量成果（令和元年度）と基盤地図情報を用いて，与田切川流域における 2016 年～2019 年の 3 年分の河床変動量を算出し，流砂観測データと比較した．

比較した結果は**表 2** に示すとおり同程度のオーダーに収まっており，流砂観測結果の検証データとなりうることが確認できた．

表 2　河床変動量と通過土砂量の比較（2016-2019）

差分解析による河床変動量	流砂観測データに基づく通過土砂量
-131,344m^3	139,144m^3

3.2.2　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．

本検討では台風 10 号（8/15～8/16）の前後で高度 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 分程度であった．空撮画像から**図 4** のような SfM 解析で作成した地形モデルの差分解析を試み，簡易な UAV 空撮でも 0.5～1.0m 程度の河床変動を計測可能であることを確認した．

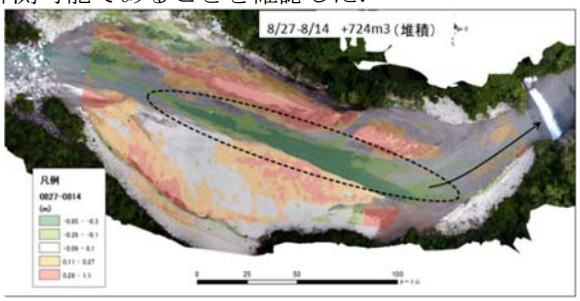

図 4　飯島砂防堰堤における地形差分図

3.2.3　IoT センサーを活用した計測

坊主平観測所において，簡易な IoT センサー（超音波式距離センサー）を試験設置し（**図 5**），水位・河床変動の計測試験を試みた．

今回の試験期間中には顕著な河床変動や積雪は見られなかった．しかし，小規模降雨による一時的な水位変化を観測できていることが確認できた．これにより，IoT センサーによる簡易で低コストな水位・河床変動の遠隔観測手法の適用可能性が示唆された．

図 5　IoT センサー設置状況

3.2.4　AI による流砂・水文データ予測

CCTV カメラ画像を対象に，AI による画像解析を行い，流砂・水文データの予測を試行した．AI による画像解析は，画像に含まれる色やパターン，形状を認識できる畳込みニューラルネットワーク（CNN）を用い，2019 年にみられた出水時の 10 分間隔の画像と流砂観測施設による観測データを教師データとし，予測モデルを構築した

対象箇所と期間，予測対象データは**表 3** に示した．

AI による水文データの予測結果は，**図 6** に示すとおり増加・減少の傾向を捉えることができた．しかし，実数値の予測までには至らず，実際の観測に使用するには精度向上が必要である．

表 3　使用データの概要と予測対象データ

観測地点	鹿塩観測所・坊主平測所
画像撮影日	2019/6/26～2019/6/29 2019/8/15～2019/8/17 2019/10/11～2019/10/14
予測対象データ	水位・流量・掃流砂量・浮遊砂量

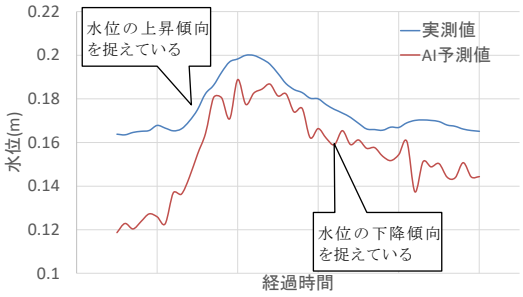

図 6　AI による水位予測値と実測値の比較（鹿塩）

4.　まとめ

流砂観測データを収集・整理し，特に与田切川における土砂動態の変化について分析を行った．

また，より広域的な土砂動態把握に向け，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．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のみならず，管内を広域的にモニタリングする手法として活用していくことが望まれる．

【参考文献】

1) 蒲原ら (2012) 天竜川水系与田切川における土砂移動特性に関する考察，平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集

2) 与田切川（オンボロ沢）における大規模な土砂崩壊，天竜川上流河川事務所記者発表資料　2020.3.4