

流砂水文観測による土砂流出状況の変化の分析

株式会社建設技術研究所

国土交通省 近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所

国土交通省 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター

○井内 拓馬, 日名 純也, 近藤 圭悟, 村井 臣成,
家田 泰弘, 清水 万莉子, 藤井 朗次, 草野 恭真
山田 啄也, 青野 友哉
高原 晃宙

1. はじめに

紀伊山系砂防事務所では、「大規模崩壊発生後(2011年紀伊半島大水害)の流域からの土砂流出特性とそれに伴う下流河道の変状把握」等のため、2017(H29)年より流砂水文観測を開始し、近年では「土砂・洪水氾濫対策検討における数値計算モデルへの活用」等も見据え、継続的なデータ収集・蓄積を図っている。本稿では上記目的に対し、①観測結果の経年比較による土砂流出状況の変化の分析結果、②LP差分解析との比較による流砂水文観測の精度確認結果について報告する。

2. 検討対象観測箇所・流域の概要

検討対象とした観測箇所は川原樋川と赤谷川合流点下流に位置する赤谷地区(流域面積154km²,河床勾配1/82,川幅80m,図1参照)である。流砂水文観測の実施概要は表1に示すとおりで、2018(H30).3.14から観測を実施している。

表1 赤谷地区の流砂水文観測実施概要

観測機器		観測時間間隔
水位計 DS-1		10分(1Hz, 平均値)
プレート型 ハイドロ フォン 音響変換器 : HT-HP5	パルス数	1分(総数) 増幅率=2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024倍
	音響波形	5分(100kHz, 5秒間, 増幅率8倍) ※2018年は5分毎のパルス数(増幅率16倍) ≥ 2 のときのみ計測
濁度計 OBS-3+		1分(1Hz, 平均値)

3. 方法

3.1 観測結果の経年比較による土砂流出状況の変化の分析

当該検討では出水時の観測結果を対象とし、流量・流砂量換算式の精度に依存しないよう、水位、濁度、パルス数を用いた。出水は観測箇所近傍の雨量計(図1参照)で累加雨量 $\geq 100\text{mm}$ となった1降雨期間と定義した。ここで累加雨量算出における雨の降り終わりは6時間以上無降雨とした。観測データの時間間隔は5分とした。パルス数は時間変動が大きい場合15分中央移動平均値とした。増幅率は掃流砂量が多いときにパルス数が頭打ち(パルス法 $\approx 1,000[1/\text{min}]$)しない倍率である8倍とした。その上で、パルス数、濁度それぞれについて同時刻の水位との関係性について、観測年毎に包絡線を設定し、包絡線を経年的に比較した。観測年毎の関係図には、当該年の包絡線と過去2カ年の包絡線も示した。複数年にわたって、過去の包絡線を大幅に上回れば土砂流出状況は激しくなったと判断し、その逆の場合は緩やかになったと判断した。

3.2 LP差分解析との比較による流砂水文観測の精度確認

(1) 検討対象期間の選定



図1 赤谷地区の流砂水文観測機器の配置状況

表2 赤谷地区集水域におけるLP取得状況(H29~)

No	計測期間	業務名
1	H29.10.31~ H29.12.18	熊野川流域他(奈良県西部) 航空レーザー測量業務
2	R2.8.30~ R3.1.15	令和2年度紀伊山系(奈良県域) 航空レーザー測量業務

赤谷地区集水域におけるH29以降のLP取得状況を表2に示す。流砂水文観測期間では、No.1, 2が実施されているため、H30.3.14~R2.8.29の観測結果を対象としLP差分解析と比較した(H29.12.18~H30.3.13に出水が無いことを確認)。

(2) 流砂量の算出方法

全断面掃流砂量はパルス方式と合成音圧方式の両方式により単位幅掃流砂量に換算し、川幅を乗じて算出した。各方式の詳細は既往文献(例えば1, 2)において詳述されているため、ここでは条件のみ記す。パルス方式では、 β (パルス数に対する掃流砂量の比例係数)は増幅率8倍のときの値2.3とした。 β は過去に簡易水路実験で既知の流下土砂量とパルス数との相関から導出している。合成音圧法では、 α (掃流砂量と音圧積算値の比例係数)は0.00040とした。 α の値は個別衝突実験(土粒子1個の衝突による音響波形を種々の土粒子体積で記録)が未実施であったため、以下により求めた。1) 過去に近傍観測所(神納川地区)においてハイドロフォンの感度 S_k が泉山らの方法³⁾により把握されており、同時期に個別衝突実験より α が導出されていた。2) 本検討で赤谷地区でも同方法によりハイドロフォンの感度 S_a を把握した。3) ハイドロフォンの感度と α は比例すると考え、 S_k と S_a の比により赤谷地区の α を求めた。

全断面細粒土砂量は濁度計の計測値[NTU](高濃度センサによる)から土砂濃度に換算し、流量を乗じて算出した。濁度計の換算式は、過去に実施されたキャリブレーション(試料SS=400, 900, 1,200mg/L)により導出された換算式を用いた。流量は観測水位HからH-Q式(STIV解析⁴⁾による、適用範囲 $1.490\text{m} \leq H \leq 1.860\text{m}$, 水位計センサ高さ=1.29m)から算出した。

なお、上記により流砂量を算出するにあたっては低水位時のノイズを除去するため水位 $\geq 1.5\text{m}$ の観測値を用いた。さらに、換算した流砂量を堆積土砂の容積濃度0.6(一般値)で割戻しLP差分と比較する土砂量とした。

4. 結果と考察

4.1 観測結果の経年比較による土砂流出状況の変化の分析

出水時の赤谷地区におけるパルス数と水位との関係性を観測年毎に比較した結果を図2に示す。図2より、2020(令和2)年は他の年に比べ出水が多く6~7月の出水は規模が大きかったことが確認された。また、いずれの観測年でも水位 $\geq 1.5\text{m}$ でパルス数が増加し始める傾向が見られた。さらに、水位 2.3m 程度でパルス数の上限値 800 程度が発生しており、2021(令和3)年まではその傾向に大きな変化はない。つまり掃流砂の流出状況に大きな変化がないと判断された。2022(令和4)年以降は規模の大きな出水が発生していないため、同様の確認は困難であった。上記傾向は濁度と水位の完成についても確認され、細粒土砂の流出状況に大きな変化がないと判断された(紙面都合上、図は割愛)。

4.2 LP 差分解析との比較による流砂水文観測の精度確認

LP 差分結果を図3に、流砂水文観測による赤谷地区観測所の通過土砂量を表3に示す。図3より、対象期間においては顕著な変動は川原樋川中流~下流域(図3左上拡大図参照)で発生していたことが確認できる。差分結果の集計により、赤谷地区集水域からの流出土砂量は 366 km^3 と算出された。また、表3から流砂水文観測による全通過土砂量は以下のとおりで、i ではLP 差分と同程度のオーダーだが、ii では大幅に大きな値となった。以下、全通過土砂量の大半を占める掃流砂の換算法に着目し考察する。

$$\begin{cases} \text{i 細粒土砂量+掃流砂量(合成音圧方式)} = 519 \text{ km}^3 \\ \text{ii 細粒土砂量+掃流砂量(パルス方式)} = 155,743 \text{ km}^3 \end{cases}$$
 これら主な要因は、音響波形の干渉による音圧値の減衰の影響を合成音圧方式では考慮しているのに対し、パルス方式では非考慮である(例えば5)ことと、その影響は掃流砂量が多いとき顕著でR2出水は掃流砂量の多い期間が長期となったことと考える。また、パルス方式の比例係数 β の導出方法は、従来、ピット式掃流砂計測装置によるロードセル観測土砂量とパルス数との相関を用いていた(例えば6)。ピット式掃流砂計測装置はハイドロフォン設置箇所を通過する全掃流砂量を捕捉できないため(例えば7)、それにより音響波形の干渉の影響を非考慮であることが緩和されていたこともと推測される。なお、合成音圧法では数割程度LP 差分より多いが、掃流砂量の横断分布が非考慮であることが主要因と考える。

5. まとめ

- 土砂量や流量に変換せずとも、パルス数と水位の関係性を経年的に比較することにより、土砂流出状況の変化を把握できることを示した。
- パルス方式、特に簡易水路実験により校正した場合には、パルス数が多いときに掃流砂量を過大に換算する懸念がある。その場合は、吉村ら⁹⁾が提案する音響波形の干渉を考慮した方法により補正することが望ましいと考える。

参考文献 1) 中谷ら(2017): 砂防学会誌, Vol.69, No.5, p.43-46 2) 井内ら(2016): 砂防学会誌, Vol.69, No.3, pp.4-14 3) 泉山ら(2020): 2020 年度砂防学会研究発表会概要集, R2-016 4) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課 河川情報企画室(2023): 非接触型流速計測法の手引き(案) 5) 吉村ら(2024): 令和6年度砂防学会研究発表会概要集, R1-1 6) 矢下ら(2013): 平成25年度砂防学会研究発表会概要集, Pa-67 7) 吉村ら(2007): 平成19年度砂防学会研究発表会概要集, O-20

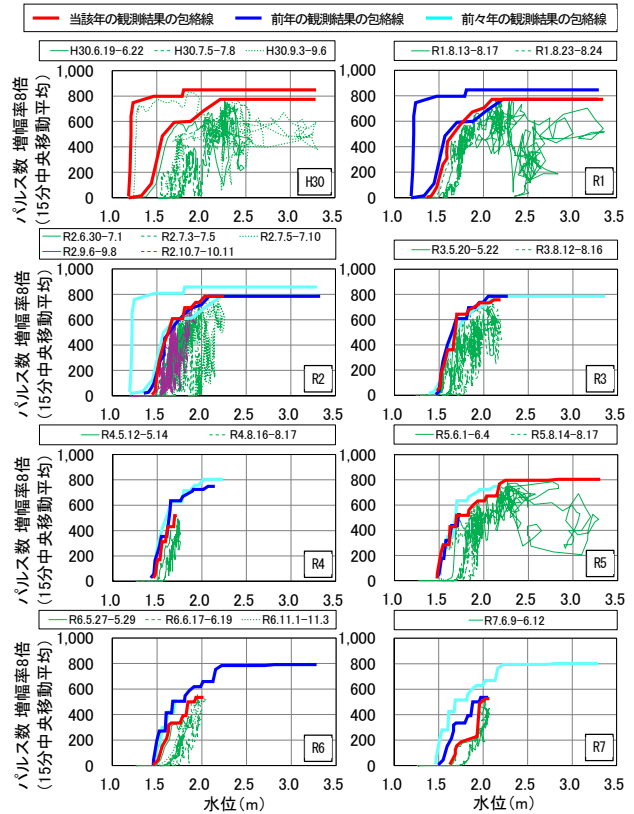


図2 ハイドロフォンによるパルス数(増幅率8倍)と水位との関係の経年比較(赤谷地区 2018~2025年出水)

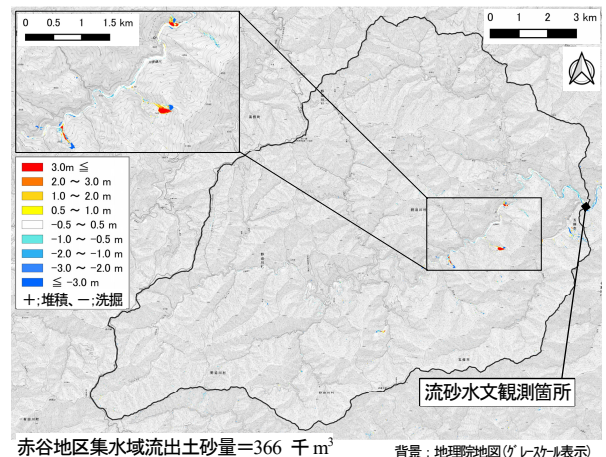


図3 LP 差分解析結果(赤谷地区 R2-H29)

表3 赤谷地区の通過土砂量(流砂水文結果による)

		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
2018(R3)	掃流砂量	合成音圧方式	データ無	0	2.3	0	44.9	データ無	40.7	65.2	13.8	データ無	167	
	砂量	パルス方式	データ無	0	2.5	51.8	32.5	24.6	25.7	76.4	15.5	0	229	
	細粒土砂量			0	0.6	12.5	13.5	7.6	24.7	24.0	4.3	0	87	
2019(R1)	掃流砂量	合成音圧方式	データ無	0	3.8	1.2	16.6	69.2	0	0	0	0	91	
	砂量	パルス方式	0	0	0	0.05	0.03	2.7	0.8	0	0.2	0	3.7	
	細粒土砂量			0	0	0	0.029	0.019	1.6	0.5	0	0.1	0	2.2
2020(R2)	掃流砂量	合成音圧方式	0	0	0	0	17.1	152.6	0	0	0	0	170	
	砂量	パルス方式	0	0	0	0	17.822	137.994	0	0	0	0	155,316	
	細粒土砂量			0	0	0	0.2	1.1	0	0	0	0	1.3	