

流砂水文観測データを用いた降雨規模に応じた掃流砂流出特性の分析

日本工営（株）○木村 詩穂，松岡 暁，池島 剛，山崎 祐介，伊藤 隆郭
国土技術政策総合研究所 山越 隆雄，泉山 寛明，西脇 彩人

1. はじめに

国土交通省では、全国約70箇所においてハイドロフォンによる掃流砂観測¹⁾²⁾を実施しており、概ね平成22年以降から、約10年以上に渡りデータが蓄積されてきた。既往研究では、平常時と異常時の掃流砂流出特性の違いや、経年的な変化を整理することによる流域監視手法が提案され³⁾⁴⁾、また、河床変動計算結果との比較検証等⁵⁾により砂防計画への活用が検討される等、流砂観測の砂防事業への活用が進められている。一方、掃流砂発生条件や、降雨規模に応じた観測データの整理が実施された事例は少なく、砂防事業に活用する上で、これらの整理が重要である。本研究では、全国の掃流砂観測データを用いて、掃流砂の発生条件と、降雨規模に応じた掃流砂の流出特性を分析した。

2. 分析対象地点及び用いたデータ

全国の観測所のうち、故障等の不具合により計測不可であった期間を除き、水位と掃流砂量の観測データが5年間以上蓄積されている約50箇所の観測所を対象とした。掃流砂観測データは、合成音圧方式¹⁾、パルス式²⁾のデータを用い、パイプ型ハイドロフォンの長さ(0.5m, 2.0m)、型式の違い(プレート型)は別個で整理した。降雨データは、1地点の降雨データから掃流砂発生監視が可能か検証するため、観測地点を含む1km²メッシュの解析雨量を用いた。降雨規模の整理は、L積率法を用いて確率分布を検討した既往成果⁶⁾を用いた。

3. 掃流砂の発生条件

3.1 分析手法 降雨時に水位計、ハイドロフォンが応答している期間を抽出し、掃流砂発生条件として、ハイドロフォンが応答し始めるタイミングの①水位や②時間雨量、③応答開始までの累積の降雨量を整理した。合成音圧法によるハイドロフォンのデータ(単位幅掃流砂量 q_b)は、流水等のノイズにより常に0以上の値となっており、また個別の機器により応答特性・ノイズの大きさが異なるため、出水毎に、水位上昇前のノイズが除去できるように閾値を設定し、閾値を超えたときを掃流砂の発生と判定した。閾値は、 q_b が $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ である出水が多かった(図1)が、ハイドロフォンの長さ・箇所ごとに、閾値は $5.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ と幅広く、特性が大きく異なった。パルス式は、各機器の校正試験により選定された倍率において、パルス数が0以上となるタイミングを掃流砂発生と判定した。掃流砂発生時の水位は、河床材料の60%粒径を用いた岩垣の公式⁷⁾による移動限界水位と比較した。

3.2 掃流砂の発生条件 50箇所整理した掃流砂の発生条件のうち、代表地点における掃流砂発生時の水位、時間雨量、発生までの累積雨量を示す。向屋(図2)は、降雨規模1/100年程度であった2019年台風第19号時にハイドロフォンが流出し、以降は欠測である。それまでの期間は、掃流砂発生時の水位は経年変化がなく概ね一定で、60%粒径の移動限界水位を超えて掃流砂が発生するが、降雨はばらつきが大きい。赤谷(図3)も同様、合成音圧方式、パルス式ともに①水位は概ね一定である。葉木川第3砂防堰堤は、水位、降雨ともにばらつきが大きく(図4)、ここで①水位のばらつきが大きいのは、河床材の粒径変化等、流砂環境の変化があったことを示唆する⁸⁾。一方②③の降雨に、多くの箇所ではばらつきが大きかったのは、流砂環境の変化の他、ハイドログラフの形状や、1つ前の出水とのタイムラグの影響等、降雨状況が多様であったことによると考えられる。このことから、掃流砂の発生を監視・検知する場合、①水位と併せて見た方が適していると考えられる。但し、流砂環境(砂州、河床材料等)の変化を受けて、観測地点において、掃流砂が発生する水位が変化する場合があるため、注意を要する。

4. 降雨規模に応じた土砂動態の整理

4.1 分析方法 出水時の解析雨量、水位、ハイドロフォンデータを時系列で整理し、流量と掃流砂量の関係を整理した。流量の算出は、観測所台帳による河床勾配・川幅等のデータから、マンギンの公式⁷⁾($IF=0.04$)による平均流速を算出し、河積を乗じることで算定した。掃流砂量は、ハイドロフォンによる単位幅掃流砂量に、ここでは便宜的に川幅を乗じて算出し、河床材料調査による60%粒径を用いた平衡流砂量式(MPM式、芦田・道上の式)と比較した。出水中の降雨量は、解析雨量の値を用いて、出水時の24時間雨量に対する降雨規模を整理し、降雨規模と掃流砂流出特性の関連を考察した。

■例：葉木川第3砂防堰堤

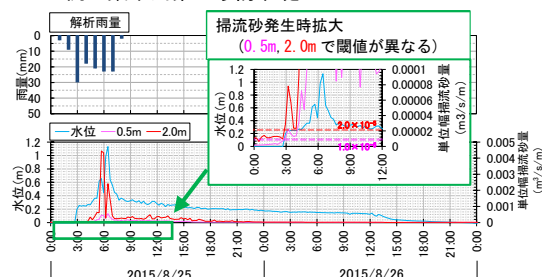


図1 ハイドロフォン閾値の設定事例

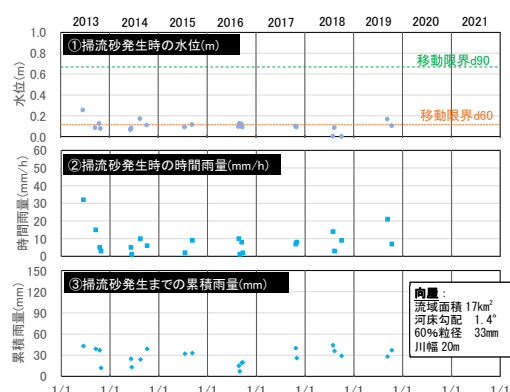


図2 掃流砂の発生条件（向屋）

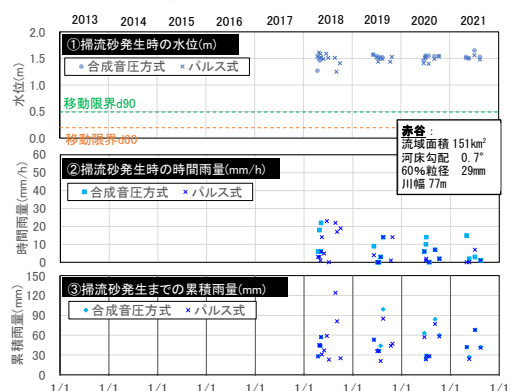


図3 掃流砂の発生条件（赤谷）

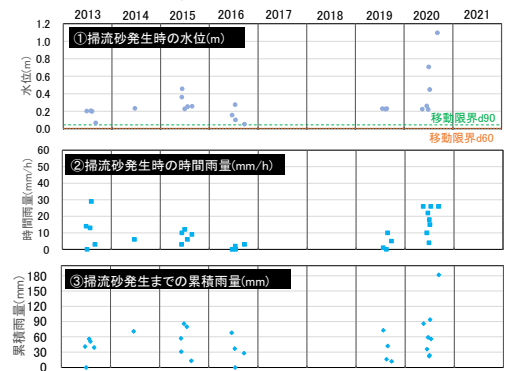


図4 掃流砂の発生条件（葉木川第3砂防堰堤）

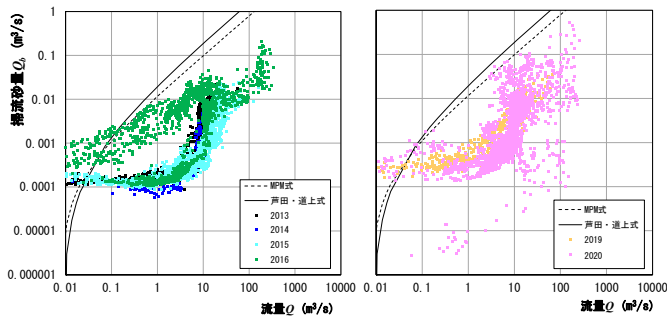


図5 流量と掃流砂量の関係（葉木川第3砂防堰堤）

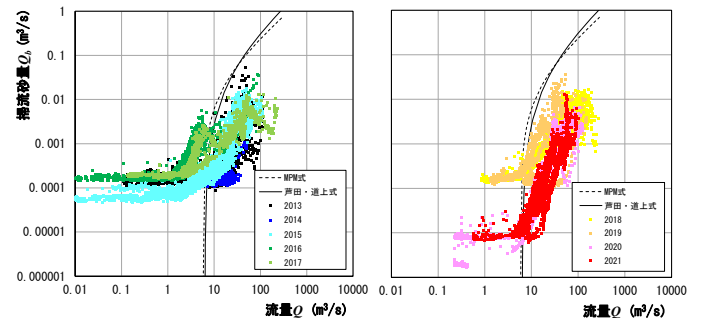


図7 流量と掃流砂量の関係（坂内砂防堰堤）

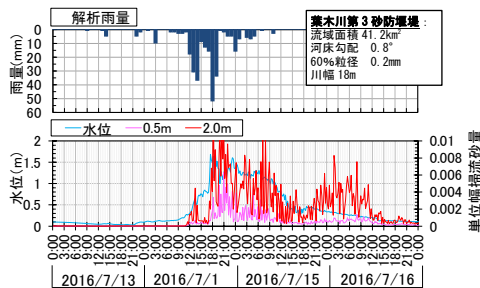


図6 2016年7月出水時データ（葉木川第3砂防堰堤）

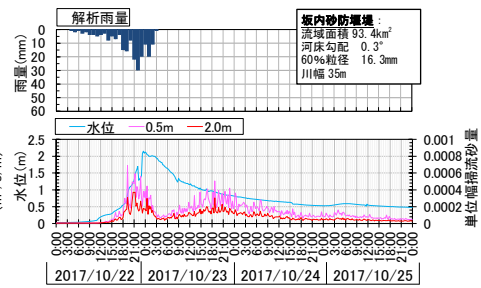


図8 2017年10月出水時データ（坂内砂防堰堤）

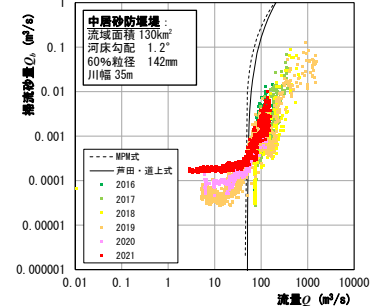


図9 流量と掃流砂量の関係（中居砂防堰堤）

4.2 分析結果 代表的な地点の整理結果を示す。葉木川第3砂防堰堤(図5)は、2016年7月出水の前後で掃流砂流出特性が変化しており、その後、2017年以前の状態に戻り、2020年に掃流砂が増加している。2016年7月出水では、減水期に掃流砂量が増加する傾向が見られた(図6)。坂内砂防堰堤においても同様の傾向が見られ(図7,8)、例えば2017年10月出水において、減水期における掃流砂量の増加が見られ、これらは、出水中に崩壊や溪岸侵食等、土砂生産があった影響を受けている可能性がある。両者の降雨規模を見ると、葉木川2016年7月出水は1/30年程度、坂内2017年10月出水は1/3年程度であり、葉木川は比較的規模の大きい出水の影響を受けて土砂動態が変化しているが、坂内は比較的小規模な降雨でも土砂動態が変化し得ると考えられる。一方、中居砂防堰堤(図9)では、2019年台風第19号出水（中居砂防堰堤地点では、1/30～50年程度の規模）前後で、出水時の土砂動態に大きな差がない。大～小規模の出水の影響による掃流砂の流出特性の変化の有無は、土砂生産源との距離、流域の規模、本川/支川等、現地の特徴に影響されていると考えられ、地点ごとに応答が異なる。

5. 比流出土砂量とストリーンプワの関係

全国50箇所の掃流砂観測結果から、比流出土砂量とストリーンプワの関係を整理した(図10)。比流出土砂量 Q_b/A は、1出水期間中の累積の掃流砂量 Q_b を流域面積 A で除して算出し、ストリーンプワ ARI は流域面積 A と1出水期間中の累積雨量 R 、勾配 I を乗じて算出した。ここでは、個別のハイドロロンの応答特性を考慮し、極端に出力値が大きい、又は小さい箇所は除いている。これらの整理により、各地点における掃流砂流出量の多寡、比較が可能であると考えられ、例えばH23年紀伊半島水害から土砂流出が継続している紀伊山系は、土砂流出が多い等の傾向が見えるが、各地点で観測条件が異なることから、単純な比較には課題があることも考えられる。一方、同条件下で比較が可能な場合、観測や砂防事業の優先度、進捗等を判断する上での基礎資料となると考えられる。

6. まとめ

本稿では、全国の掃流砂観測データから、流域監視や砂防計画等との関連を考慮し、掃流砂発生条件、降雨規模に応じた掃流砂流出特性の整理を行い、流域条件に応じた出水に対する土砂動態の変化等を示した。今後は、流域平均の降雨規模を用いた整理や、各地点の観測状況・横断方向における代表性等を踏まえた観測データの精査等が課題である。

【参考文献】 1) 鈴木ら：音圧データを用いたハイドロロンによる掃流砂観測手法の現地適用性の検証、砂防学会誌、Vol. 66, No. 1, 2013、2) 後藤健：山地河川における掃流砂観測に関する研究、北海道大学学位論文、2016、3) 桜井ら：流砂水文観測から得られた異常な土砂生産時の掃流砂流出特性と観測結果の山地流域監視への適用について、砂防学会誌、Vol. 72, No. 2, p. 25-31, 2019、4) 高原ら：流域監視に資する流砂水文観測データ分析手法の検討、平成28年度砂防学会研究発表会概要集、p. 319-320, 2016、5) 野呂ら：常願寺川における単位河道径による水・土砂流出解析と適用性に関する試行、2020年度砂防学会研究発表会概要集、p. 119-120, 2020、6) 中谷ら：土砂災害分野における累積率法を用いた解析雨量プロットの確率化手法、国土技術政策総合研究所資料第1222号、2022、7) 土木学会編：水理公式集(平成11年度版)、1999、8) Ohmori, et al.: Observation of water and sediment runoff in different geology basin in Ibi River, Proceedings of The 9th International Workshop on Multimodal Sediment Disasters in Mie University, Tsu, Mie, Japan, 17-19 October, 2019, pp. 62-67.

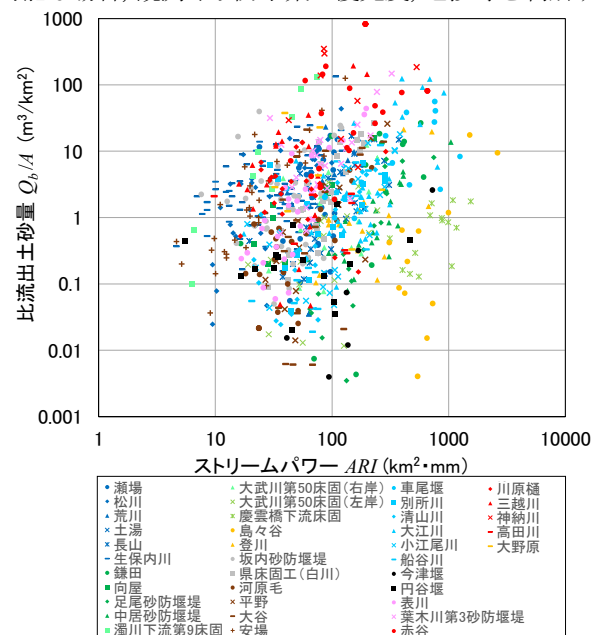


図10 比流出土砂量とストリーンプワの関係