

流域監視に資する流砂水文観測データ分析手法の検討

国土交通省 国土技術政策総合研究所 ○高原晃宙, 内田太郎, 小松美緒, 桜井 亘
日本工営(株) 松田 悟, 齋藤悠樹, 田方 智, 伊藤隆郭

1. はじめに: 直轄砂防事務所により, 約 100 箇所の観測所において, ハイドロメーター, 水位計及び濁度計を用いた流砂・水文観測が行われている。観測データは, 流域の土砂動態や流砂環境の変化の監視, 砂防事業の計画や事業評価への活用, および, 総合的な土砂管理計画への適用と云った砂防事業への反映が期待されている^{1), 2)}。観測データの蓄積が進み, 1 出水の短期から数年程度の中期にまたがる土砂流出の実態が明らかになりつつある³⁾。現在は, 観測データから得られる情報を砂防事業の中に, 逐次, 取り入れようとしている段階である。ここでは, 流域における土砂動態の監視に着目して, 流砂水文観測から得られるデータのうち, 流量に対する流砂量の応答, 変化の度合い, および, 粒径の違い等に注目する。次いで, 降雨や土砂移動に係る警報の発令時の流砂の応答を整理することによって, これらの情報の流域監視への適用性について試行する。

2. 流砂水文観測所の選定: 図-1 は, 対象とした観測所を示し, 表-1 は, 図-1 に示す観測所に関連する諸元を表している。対象とした観測所の選定は, 日本国内の地域性に偏らないようにした。データ整理は, 水位から流量を水位・流量関係より求めた後, 流量に対する細粒成分の流砂量や掃流砂量の応答をみて, その後, 観測データの観測時の各種警報(大雨警報, 土砂災害警報)の発令との関係性をみた。なお, ここでは, 濁度計で計測される流砂を細粒成分の流砂と呼び, ハイドロメーターで計測される流砂を掃流砂とよぶ。

3. 細粒成分に着目した監視: 細粒成分の流砂量 Q_s は, 流量 Q との関係を描くと, 従前の観測値の比較や, ループ特性が分かる。前報¹⁾では, 左回りのループを描く際に, 上流での土砂移動の影響が監視されることが分かっている。図-2 は, 松川での観測データである。図には, 従前の計測データの上限・下限値⁴⁾を示し, 30%粒径(2.4 mm)や 1mm の浮遊限界流量も示している。 Q_s は, 流量の β 乗に比例し, 切片 α は上流の荒廃状態に依存することが知られている。流量のべき乗 (β) は, 2 に設定されることが多い。データを見ると, $\beta=2$ のものが多いが, 出水毎に $\beta=1\sim4$ の範囲をもつ場合がある。この課題については, 流域特性に依存する話題のため, ここでは議論の対象にせず, $\beta=2$ で固定した。一方, 切片 α は, 出水中に大きく変動する。図-3 は, 切片 α の出水毎の変化を示す。松川では, データ整理の期間中には, 目立った土砂移動の発生はなかった。幾つかの出水で, 10^{-5} のオーダーに近くなる場合, 上流域で何らかの土砂生産があったと思われ, 切片 α の値の増加は, 流域監視の指標になる可能性が高い。ただし, α 値の上限値の頭打ちは, 流域の荒廃状態の比較等, 今後の更なる検討が必要である。

4. 掃流砂量に着目した監視: 前報¹⁾では, 掃流砂量も流量との関係を整理すると, ループを描き, しかも, 過大な土砂移動が発生した際には, 左回りのループを描くことが示された。図-4 は, 関の沢第 2 床固での 2011 年 9 月 1 日出水⁵⁾における観測例であり, 増水・減水期と警報発令期間を比較している。なお, 図には, 河床材料の 60%粒径に対する平衡流砂量式 (AM 式, MPM 式) も示している。この出水では, 上流で土石流が発生したことが分かっている⁶⁾。観測データと平衡流砂量式の乖離が大きく, 警報の発令期間での土砂移動があることが分かる。すなわち, 平衡流砂量式と観測データの比較により, 掃流砂量に及ぼすパラメータとして, 両者の乖離, 代表粒径の変化, 粒度分布などが想定される。流砂量の乖離は, 流量に対する平衡流砂量式と観測値の差

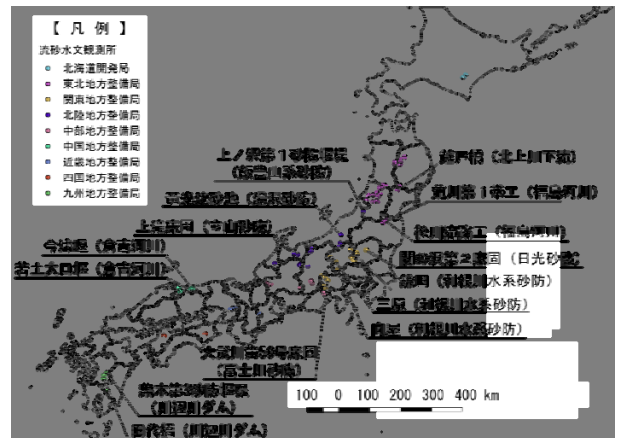


図-1 対象とした流砂・水文観測所

表-1 観測所における諸元

No.	観測所名	降雨観測所	流域面積 (km ²)	河床勾配 (‰)	河床勾配 (1/%)	川径 (m)	十式係数 A	十式係数 B
1	松川流砂工	松山 (国)	83.8	0.54	1/106	50	180.14	-0.01
2	荒川第一橋工	土浦	64.2	1.23	1/47	75	63.12	0.17
3	越前橋	保土内	91.3	0.23	1/249	50	55.06	1.09
4	鎌田	鎌田	247.4	0.96	1/60	69	241.18	-0.01
5	三玖	田代	267.0	0.72	1/80	80	104.89	0.19
6	向里	奥島	17.0	1.36	1/42	20	49.69	0.23
7	関の沢第2床固	日光	243.0	0.43	1/133	117	132.14	275.74
8	大宮川第50床固	大坊ノ小淵沢	72.0	0.95	1/60	74	119.48	0.36
9	香光流砂池	板之内	38.4	1.40	1/41	17	38.81	0.09
10	上ノ沢第1号砂防堰	千寿ノ原	354.0	0.90	1/64	195	321.56	0.34
11	上ノ沢第1号砂防堰堤	上野	6.3	2.70	1/21	10	17.92	0.57
12	今津堤	秩	490.0	0.20	1/206	150	558.224	-0.193
13	若土大口堰	若土	87.8	0.68	1/84	50	65.279	0.383
14	大木川第3号砂防堰	板木	41.2	0.80	1/72	18	32.55	0.13
15	田代橋	五木宮	490.4	0.30	1/191	67	51.39	1.08

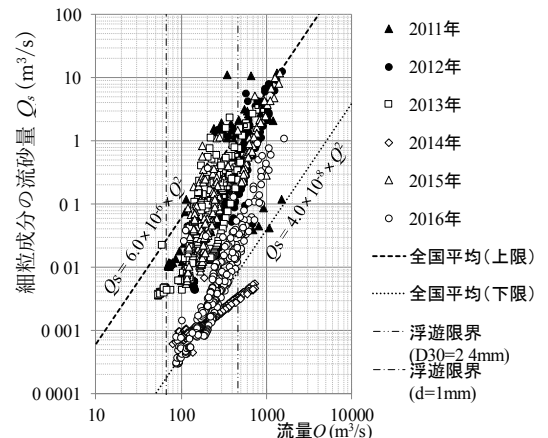
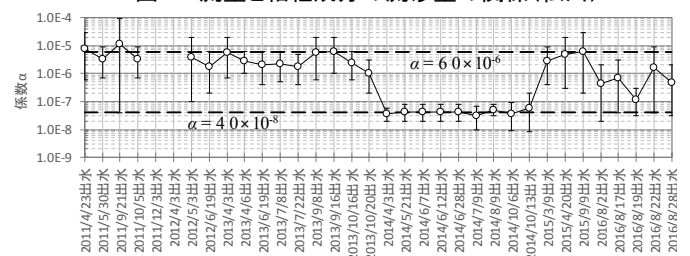


図-2 流量と細粒成分の流砂量の関係(松川)

図-3 切片 α の出水毎の変化(松川)

と定義して, その他の指標について検討を行った。

(1) 代表粒径の変化: 図-5 は, 図-4 の出水時の関の沢第 2 床固での掃流砂の観測値に対して掃流砂の代表粒径を逆算した例である。出水中の見かけの粒径の変化が分かり, 流域監視の指標の 1 つであろう。

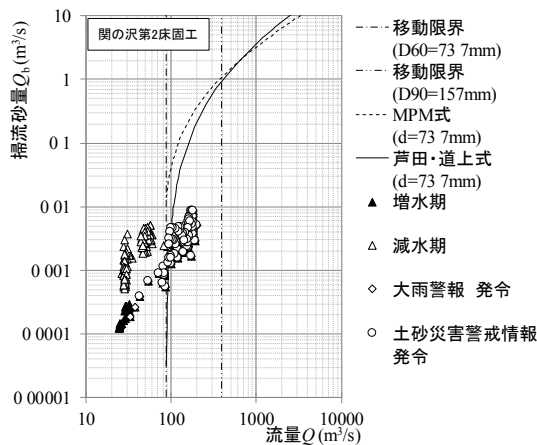


図-4 流量と掃流砂量の関係(関の沢:2011 年 9/1 出水)

(2) 粒度分布の変化: 図-6 は、関の沢第 2 床固の観測所周辺で採取された河床材料の粒度分布(粒度分布 D)である。同図には、粒度分布 D の粒度分布形状を基本とし、60% 粒径の積算百分率に対して、ほぼ均等に存在率を分散させ、さらに、0.4, 2, 6, 20, 150 mm の粒径階に対しても、同様に、存在率を分散させて作成した粒度分布も示している。さらに、粒度分布 F は、粒度分布 D から大きい粒径の粒度分布の想定の際に、粒径の小さい粒径階の 2 つを省いたものである。図-7 は、図-6 の粒度分布を用いて、MPM 式型の混合粒径の掃流砂量と観測データを比較したものである。粒度分布 F の計算値よりも、更に、粒径を大きくするような粒度分布を想定すると、観測データの傾向を説明できるようなのである。この結果は、図中の 2011 年のデータを例として見れば、代表粒径を逆算した結果(2011 年 9 月 1 日出水)とほぼ同様の結論を示している。

5. 細粒成分の流砂と掃流砂に着目した監視: 図-8 は、関の沢第 2 床固の 2011 年 9 月 1 日出水における監視例である。細粒成分に対しては α 値、掃流砂に対しては、平衡流砂量との乖離度(図-8 のデータと曲線のズレ)と代表粒径の逆算値を示している。各種警報(大雨警報、土砂災害警報)の発令期間では、流砂の移動性が求められ、細粒成分が 9/2 の 10:00 頃に観測所で最大値をとり、掃流砂の代表粒径は、9/4 の 10:00 頃に最大値をとる。一方、乖離度についてみると、9/2 の 20:00 頃に最小値をとるが、流砂量式に用いている粒径が一定であるため、その後の乖離度には明確な違いが見られない。今後の更なる検討が必要であるが、ここで対象とした指標が、流域の土砂移動の監視指標の候補と考えられる。

6. おわりに: 流砂水文観測のデータを今後も活用し、流域監視の具体的な適用手法や指標の検討を行いながら、砂防基本計画や総合土砂管理への反映への試行を、逐次、行っていく予定である。

日々の観測等を継続的に実施されている直轄事務所の担当の方々に敬意を示すと共に、快く観測データ等を提供頂いた事務所の担当者の皆様方に感謝致します。

参考文献: 1) 桜井 亘ら: 流砂水文観測結果の流域監視への適用について、平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集, pp. 214-215, 2017, 2) 岡本 敢ら: 山地河道における流砂水文観測の手引き(案), 国土技術政策総合研究所資料, No. 686, 2012, 3) 木村詩徳ら: 山地河川における土砂流出特性の支配要因に関する一考察, 砂防学会誌, Vol. 70, No. 6, pp. 46-53, 2018, 4) 土木学会(編): 水理公式集 平成 11 年度版, 丸善, 1999.

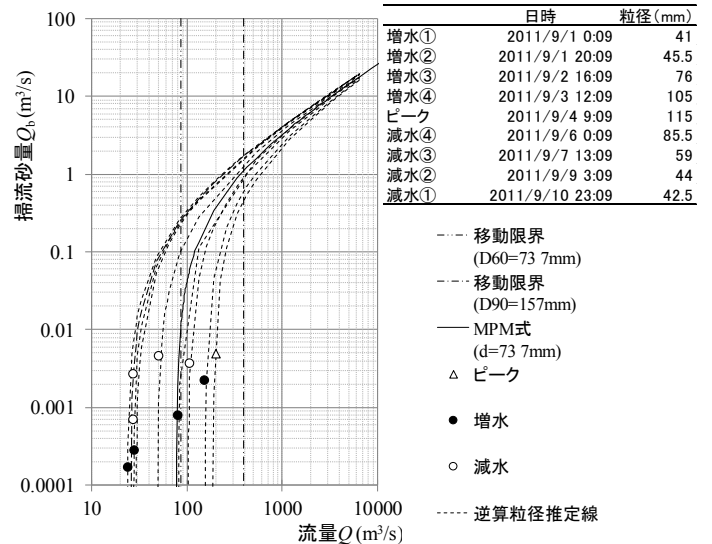


図-5 流量と掃流砂量の関係(関の沢:代表粒径の逆算)

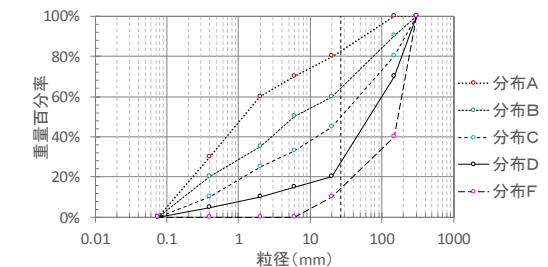


図-6 河床材料(C)と想定した粒度分布(関の沢第 2 床固)

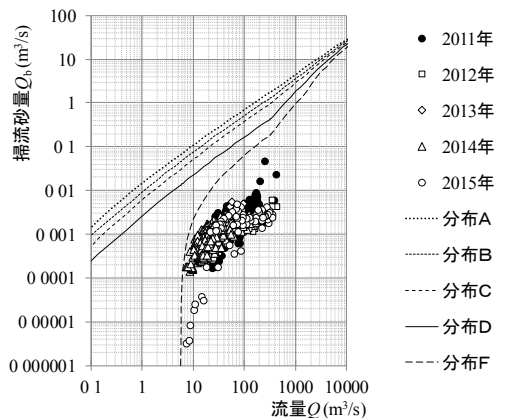


図-7 掃流砂量の観測データと混合砂計算の比較(関の沢)

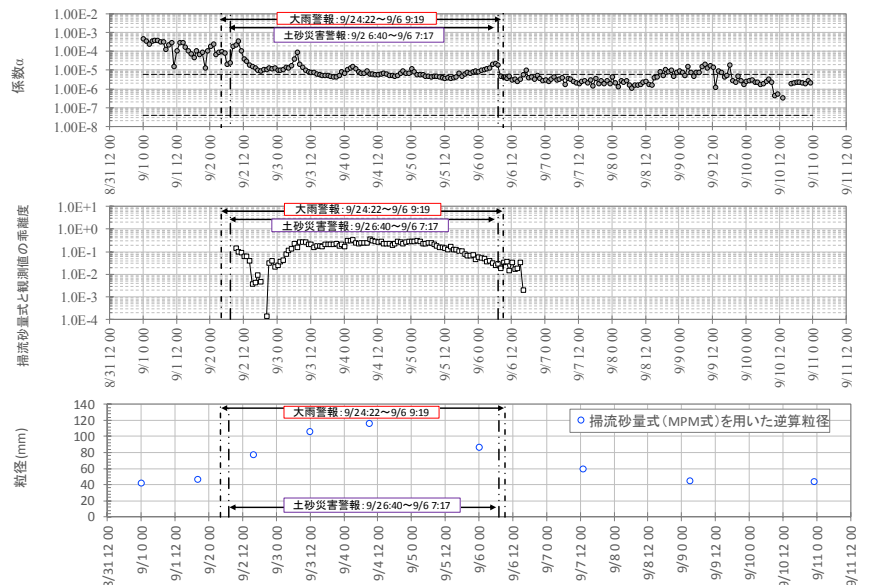


図-8 細粒成分の流砂と掃流砂量の指標に着目した監視例(関の沢, 2011 年 9/1)