

山地河川における掃流砂の時間変動特性の把握と計測時間間隔に関する検討

国土技術政策総合研究所 ○井内拓馬・内田太郎・田中健貴・桜井亘
 コルバック株式会社 吉村暢也・鶴田謙次

1. はじめに

山地河川における流砂量は水理量により必ずしも一義的に決まらず、土砂生産源からの土砂供給量にも依存することから、流域の土砂動態の把握のためには流砂の量と質を定量的かつ連続的に計測する必要がある。掃流砂の計測手法の1つとして、ハイドロフォンを用いた手法の技術開発が進められてきた^{例えば、1)}。全国的にも観測が実施されており、今後はリアルタイムの流域監視や観測データを用いた警戒避難への活用が期待される。そのためには、掃流砂量の時間変動特性の把握が重要であるが、これまで密な時間間隔で計測された事例はあるものの²⁾、計測データについて検討された例はない。

掃流砂量の時間変動として、

- ① 掃流砂が間欠的な現象であるため生じる掃流砂量の時間的バラツキ
- ② 水深の変動等に伴う掃流砂量の時間変動が考えられる。

①が大きく計測時間が短いと十分に時間代表性のあるデータが得られない可能性が考えられる。そこで、計測時間が短いことにより生じる流砂量の推定誤差及び時間代表性のあるデータを得るために必要な計測時間について考察するために、①の大きさを評価する。

一方、②が大きく短い時間スケールで急激な流砂量の変動が生じている場合、長い測定間隔で観測を行うと、ピークを取り逃がしたり、日流砂量や出水ごとの総流砂量等を算出する場合には算出精度が低下することが懸念される。そこで、②の変動の時間スケールを検討した。

2. 解析方法

2.1 解析データについて

本検討では、天竜川水系と田切川の坊主平砂防堰堤地点に設置されている長さ0.5mのハイドロフォンの計測データを用いた。 $\Delta t_m = 1$ 分(100kHzで5秒間平均)である。対象とした出水を表-1に示す。計測データから鈴木ら¹⁾の方法により、単位幅掃流砂量(以下、 q)を算出し解析データとした。 q の時間変化を図-1に示す。図-1は、表-1の出水を時間軸のスケールを揃えて示したものである。

2.2 解析データの分析

2.1で示した q の時間変動特性を把握するために、1.の①については、掃流砂量の時間変化が少ないと考えられる水位一定期間(±1mm以下)における q の

表-1 解析対象出水の概要

対象出水	最高水位 [m]	ピーク流量 ^{※1} [m ³ /s]	ピーク単位幅掃流砂量 ^{※2} q_p [m ³ /m/sec]
H24.6.17-18	0.83	34	13.4×10^{-5}
H24.6.21-22	1.04	53	15.7×10^{-5}
H24.7.6-7	0.98	48	8.0×10^{-5}
H24.7.12-13	1.01	50	11.6×10^{-5}
H24.9.18-19	0.60	18	3.1×10^{-5}
H24.11.17-18	0.84	35	8.3×10^{-5}
H24.11.26-27	0.56	16	5.1×10^{-5}

※1 HQ式により算出 ※2 ハイドロフォンによる計測結果

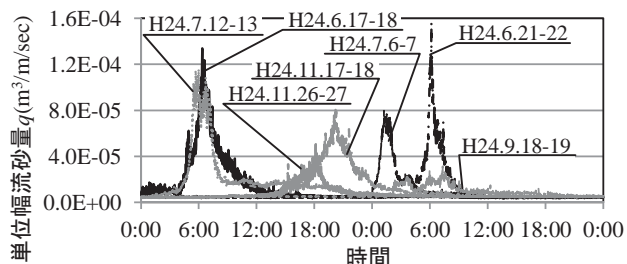


図-1 解析対象出水の単位幅掃流砂量の時間変化変動を確認した。

1.の②については、まず、2日間(概ね1出水)の時系列データと、そのデータを1~60タイムステップずらしたデータとの自己相関係数(以下、 R)を算出した。その上で、最大2日間(概ね1出水)総流砂量と最大1時間総流砂量、ピーク流砂量の把握に及ぼす影響の評価を行った。すなわち、 Δt_m の違いによる2日間と1時間の総単位幅掃流砂量(以下、 Σq)とピーク単位幅総流砂量(以下、 q_p)の違いを分析した。 $\Delta t_m = n$ 分のとき、 n ケースの時系列データが作成される。 Σq は、1~60×24×2(2日分)タイムステップずらしたデータから Σq を算出し、それらの最大値を各ケースのサンプル値とした。 q_p は、各ケースの最大値をサンプル値とした。また、対象出水それぞれの Σq と q_p について、 $\Delta t_m = 1$ 分での最大値に対する割合(以下、 C)をとり、 $\Delta t_m = n$ 分のサンプル値から、その最大値、75%値、中央値、25%値、最小値を算出した。

3. 結果

3.1 掃流砂量の時間的バラツキについて

水位一定時の q の時間的なバラツキは表-2に示すとおりである。変動係数は、平均単位幅総流砂量が大きくなるに伴って大きくなる傾向がある。平均単位幅掃流砂量が $8.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}/\text{sec}$ より大きいとき、変動係数は最大で23.9%、平均で16.3%であった。

3.2 水深の変動等に伴う時間変動について

表-1 水位一定期間でのハイドロフォンの計測値の時間変動

事例	単位幅掃流砂量[m ³ /m/sec]	変動係数	ピーク前後	対象期間
1	5.9×10^{-6}	6.9%	前	H24.6.16 21:33-22:46
2	9.3×10^{-6}	23.9%	前	H24.6.16 22:30-17 00:50
3	4.8×10^{-6}	5.5%	前	H24.7.6 20:42-21:23
4	4.6×10^{-6}	4.1%	前	H24.7.6 21:48-22:30
5	4.0×10^{-6}	3.5%	後	H24.7.11 10:22-10:50
6	4.0×10^{-6}	3.5%	後	H24.7.11 13:40-14:21
7	8.9×10^{-6}	14.2%	後	H24.9.19 09:55-12:15
8	8.3×10^{-6}	10.9%	後	H24.9.19 12:17-14:10
9	7.7×10^{-6}	9.2%	後	H24.11.18 06:03-07:11

対象出水の自己相関分析の結果を図-2に示す。図より、 $\Delta t_m \leq 25$ 分のとき全ての出水で $R \geq 0.8$ となり良い相関となっていた。

また、 Δt_m による2日間と1時間の Σq の最大値の違いを、それぞれ図-3、4に整理した。図-3より、2日間値では各 Δt_m での C の値のとり範囲に大きな違いは無く $0.8 \leq C \leq 1.2$ であった。図-4より、1時間値では2日間値に比べ Δt_m により C の値のとり範囲は異なっており、 $\Delta t_m \leq 20$ 分であれば $0.8 \leq C \leq 1.2$ であった。

Δt_m による q_p の違いは、図-5に示すとおりとなる。図より、 Δt_m が大きくなるに従い C の75%値、中央値、25%値はともに減少する傾向があるが、 $\Delta t_m \leq 3$ 分であれば、 C は最小でも0.8程度であった。また、 $\Delta t_m = 10$ 分の場合、概ね75%の確率で C は0.8以上だった。

4. 考察とまとめ

天竜川水系と田切川の坊主平砂防堰堤地点においてハイドロフォンにより計測時間間隔 $\Delta t_m = 1$ 分で計測された単位幅掃流砂量 q の時系列データから、掃流砂量の時間変動として考えられる、①掃流砂量の時間的バラツキと②水深の変動等に伴う掃流砂量の時間変動について分析、計測時間間隔 Δt_m について以下の検討結果を得た。

① 掃流砂量の時間的バラツキ

- ・ q が概ね $8.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}/\text{sec}$ より大きくなると、変動係数は平均で16%程度となり、現状の計測時間5秒では1.6割程度の誤差を含んでいる可能性が考えられる。

② 水深の変動等に伴う掃流砂量の時間変動

- ・ 2日間と1時間の単位幅総流砂量 Σq について、 $\Delta t_m \leq 20$ 分であれば、誤差2割以下の精度で測定可能である。
- ・ ピーク単位幅流砂量 q_p について、 $\Delta t_m \leq 3$ 分であれば誤差2割以下の精度で測定可能である。

①は、計測箇所によらず概ね同程度の値となると考えられるが、②は、河床勾配など場の条件により決まる計測箇所特有の値である。したがって、特に、1時間総流砂量やピーク流砂量を精度良く把握するためには、本検討のような分析が重要であると考えられる。

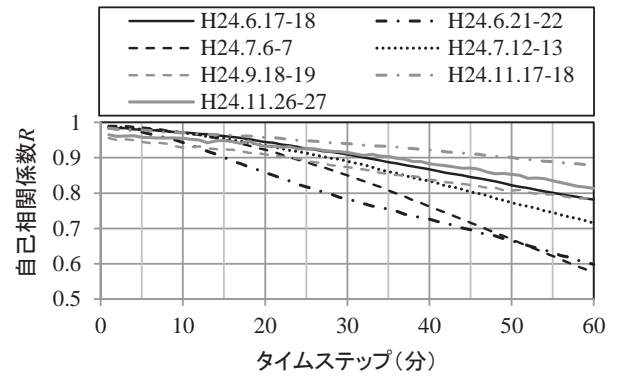


図-2 対象出水のコレログラム

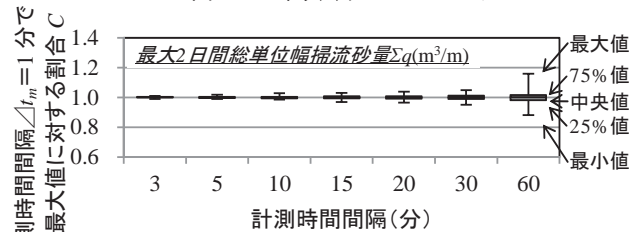


図-3 計測時間間隔 Δt_m により把握可能な最大2日間総単位幅掃流砂量 Σq の違い

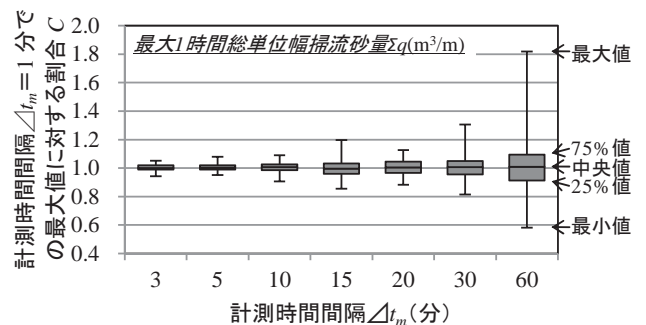


図-4 計測時間間隔 Δt_m により把握可能な最大1時間総単位幅掃流砂量 Σq の違い

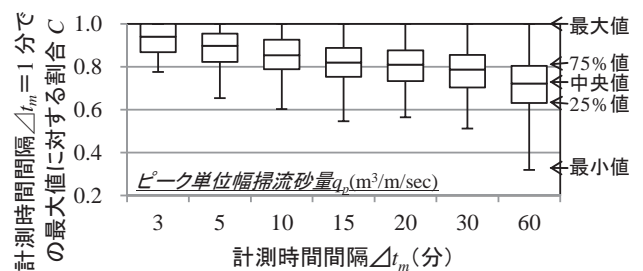


図-5 計測時間間隔 Δt_m により把握可能なピーク単位幅掃流砂量 q_p の違い

参考文献

- 1) 鈴木拓郎・内田太郎・岡本敦・高橋健太・山下伸一郎・小菅尉多・福本晃久：音圧データを用いたハイドロフォ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, pp.4-14, 2013
- 2) Jens M. Turowski, Elowyn M. Yager, Alexandre Badoux, Dieter Rickenmann and Peter Molnar: The impact of exceptional events on erosion, bedload transport and channel stability in a step-pool channel, Earth Surface Process and Landforms, Vol.34, pp.1661-1673, 2009