

礫床河川や寒冷地河川における掃流砂量計の現地検証

日本工営(株) ○木佐洋志, 保谷智之, 古谷智彦, 松山洋平, 松岡暁, 長山孝彦, 伊藤隆郭
 京都大学防災研究所 宮田秀介, 藤田正治, 北見工業大学 渡邊康玄, 京都大学名誉教授 水山高久

1. はじめに

急流河川における掃流砂量の把握は、流域の土砂管理や河床・流路変動予測をするうえで重要な情報となる。著者らのグループは、比較的粒径の大きい石礫を対象とした掃流砂量計に対し、直線水路を用いた機器特性、適用粒径、精度の把握、現地観測水路での実験や出水観測を通じて、データ蓄積、機器改良を図ってきた¹⁾⁴⁾。一方で、急流河川での掃流砂量計による観測を行っており、本稿では、近年の出水事例に基づく現地検証結果を報告する。

掃流砂量計(特許第6094896号)は、流砂の堆積が生じ難い断面で、水没させたロードセル上に鋼製プレート(流下長1.0m, 横断幅0.5m)を河床面と同じ高さに設置し、その上を通過する掃流砂の水中重量を計測し、水深と河床付近の流速データを用いて掃流砂量を算出する。掃流砂量計による水深、荷重、掃流砂量の計測例は後述の図1(b)-(d), (g)を、計算式の詳細は既往文献^(例えば1), 3)を参照されたい。

3. 現地検証箇所と検証方法

3.1 常願寺川(礫床河川)津之浦下流砂防堰堤

常願寺川の津之浦下流砂防堰堤(流域面積131.49km², 計画河床勾配1/56)は2門のスリットを有する。幅16m, 高さ7mの右岸側スリット上流側底面に、掃流砂量計が設置され、2015年12月に観測が開始された。同箇所には、捕捉土砂重量を計測できる観測柵(1辺の長さ2.0m, 深さ1.5m, 開口幅0.6m)やパルス式ハイドロフォン(φ=48.6mm, 長さ2.0m)、底面流速計等、種々のセンサーにより水理・流砂量が観測されている。

本稿では、出水時の掃流砂量計の観測値と、観測柵や音響法(キャリブレーション式)⁹⁾による掃流砂量との比較を行い、礫床河川での掃流砂量計の適用性を考察した。

3.2 無加川(寒冷地河川)KP4.6地点

常呂川水系無加川は河床低下が深刻な河川で、河床低下対策のひとつとして複数区間で袋型根固工が施工されている。常呂川との合流点から4.6km地点(流域面積544.0km², 河床勾配1/250)の袋型根固工に掃流砂量計が2017年12月に設置され、観測が開始された⁶⁾。

本稿では、寒冷地河川での掃流砂量計の防寒対策後の出水事例から、掃流砂量観測状況を考察した。

4. 礫床河川(常願寺川)での現地検証

4.1 観測結果

比較のため、観測柵が出水後期まで満砂しない出水を選定した。2022/9/22-24降雨(最大時間雨量6mm/h, 累加雨量65mm)に伴う出水時の掃流砂量計による水深、荷重、礫の移動速度、掃流砂量の観測結果を図1に示す。

4.2 考察

掃流砂量計と観測柵の掃流砂量を図2で比較した。水位変動時(増水期, 減水期)に着目すると、掃流砂量計は観測柵に対し10~25倍程度、音響式(キャリブレーション式)に対し10~50倍程度と1オーダー大きい掃流

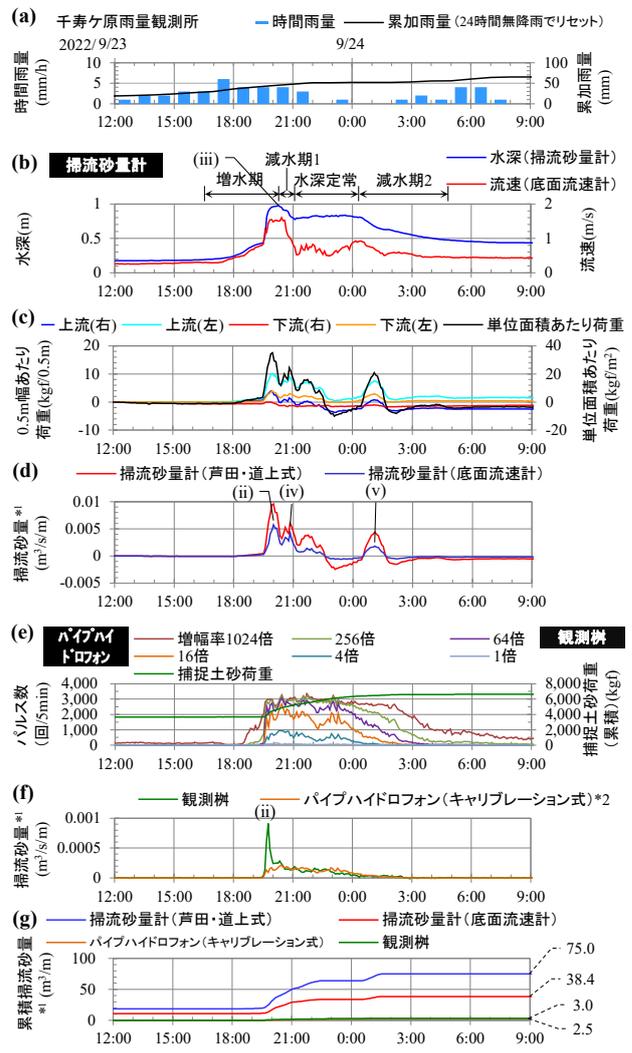


図1 2022/9/22-24降雨出水時の掃流砂量観測結果

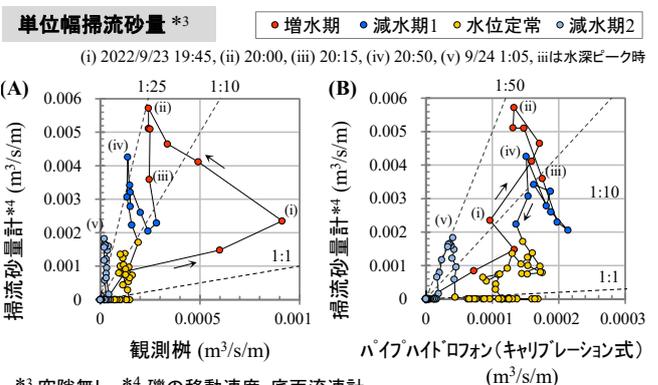


図2 単位幅掃流砂量の観測手法による比較

砂量を観測した。これは、実河川において、掃流砂量計で計測できる掃流砂量や粒径がより大きな範囲まで適用可能であることを示している。同時に、比較的大きな礫

径が分布する礫床河川での観測柵による掃流砂の捕捉率や音響法の計測限界、すなわち観測柵および音響法の計測値の過小性を示している。また、増水期や減水期において、観測柵や音響法では捉えられていない掃流砂量の時間変化が掃流砂量計で観測され(図2中のii, iv, v)、水量量に対し1:1でない実河川での掃流砂量の時間変化が把握できることを示している。

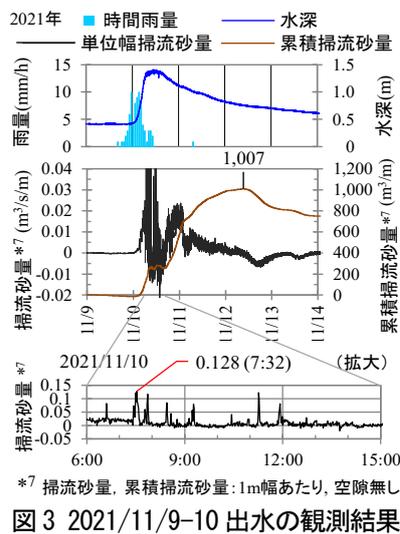


図3 2021/11/9-10 出水の観測結果

4. 寒冷地河川(無加川)での現地検証

(1) 観測結果

2021年で最大の計測水深だった2021/11/9-10降雨出水(水深のピーク1.4m)による出水時の単位幅掃流砂量、累積掃流砂量を図3に示す。2022年1月中旬～2月は、ロガー内の気温計で日最低気温はほぼ毎日-20℃近くを記録し、掃流砂量計内部の水温計は終日0.5～1.0℃程度で推移した。これは、計器設置以降、毎年同様であった。掃流砂量計内部への不凍液の充填、データロガーおよびセンサーの防寒材、リチウムイオンバッテリーの使用等の防寒対策後は、掃流砂量計に目立った故障やデータの欠測はない。2021年2月に実施された水面下での荷重試験による掃流砂量計の荷重計測は正常であった⁶⁾。2022/8/1-2降雨出水での掃流砂量観測値を図4に示す。

(2) 考察

冬期および融雪期を複数回経験してもセンサーや記録システムに目立った故障はなく、観測開始から5年経過時点でも掃流砂量を観測できている。袋型根固工の上流側が満砂し、2021年11月出水での単位幅掃流砂量は、最大で約0.13 m³/s/m(空隙無し)の平衡流砂量と同程度の比較的大きい掃流砂量が観測された。図5で無次元掃流力(現地粒度分布 $d_{60}=17.5\text{mm}$, $d_{95}=60\text{mm}$)と無次元限界掃流力を比較すると、2022/8/2出水時は最大粒径を除く全粒径が掃流砂として流下しやすい条件であった。

5. まとめ

礫床河川や寒冷地河川での出水時の掃流砂量観測に基づく現地検証を行い、以下の知見を得た。

- (1) 礫床河川の掃流砂観測で、観測柵が単位幅掃流砂量 $1.0 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ で、音響法(キャリブレーション式)が $3.0 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 未満(いずれも空隙無し)で計測限界を迎え、掃流砂量計は観測柵や音響法の10～50倍の掃流砂(今回、 $10^{-2} \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 規模、空隙無し)が計測できた。
- (2) 礫床河川のスリット砂防堰堤透過部における掃流砂の流出波形に対して、観測柵や音響法(キャリブレーション式)

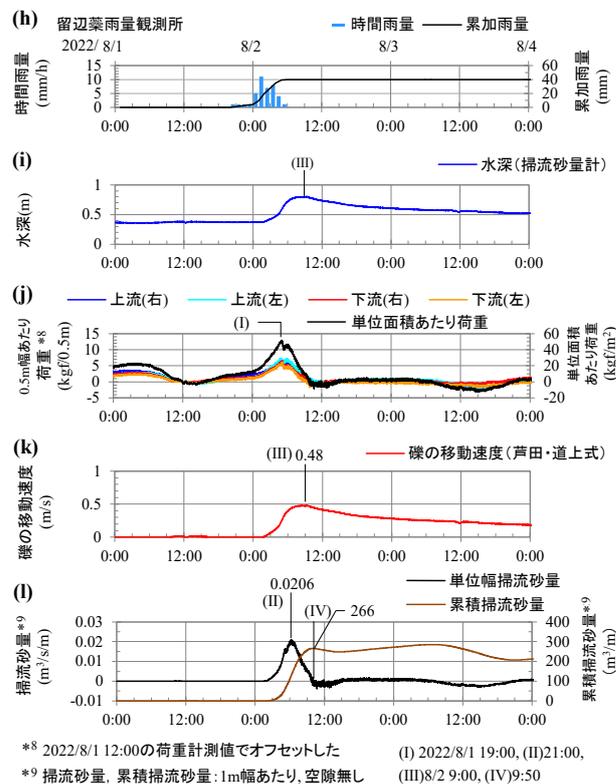


図4 2022/8/1-2 降雨出水時の掃流砂量観測結果

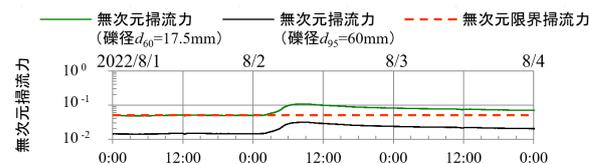


図5 無次元掃流力と無次元限界掃流力

ーション式)ではとらえられていない掃流砂量の増減が掃流砂量計でとらえられた。

- (3) 寒冷地河川における掃流砂量計の防寒対策、維持管理に関するノウハウが得られている。
- (4) 無加川では、2021-2022年に平衡流砂量程度の掃流砂が観測されており、観測地点の上・下流域の河床・流路変動の予測等に資するデータが取得できている。今後は、掃流砂量計の他の急流河川への適用や、掃流砂量計の複数配置による掃流砂量の空間的なデータ蓄積、現地検証を続け、他の観測手法(音響法や観測柵)との組合せも含めた効果的な掃流砂量観測の検討が望ましい。

謝辞 掃流砂量計の現地検証にあたり、立山砂防事務所および網走開発建設部には、装置の設置場所、各種の水文・水理情報、流砂観測データの提供等、便宜を図って頂いた。記して謝意を表します。

参考文献 1)後藤ら(2014),平成24年度砂防学会研究発表会概要集, B-66-67, 2)松田ら(2017),平成29年度砂防学会研究発表会概要集, 110-111, 3)Itoh et al.(2018), Earth Surface Processes and Landforms, 43, 1689-1700, 4)Kisa et al.(2019), Extended Abstract, 9th International Workshop on Multimodal Sediment Disasters, 5)古谷ら(2018),平成30年度砂防学会研究発表会概要集, 197-198, 6)松山ら(2020),2020年度砂防学会研究発表会概要集, 217-218