

## 新しい流砂量計測方法の開発について

徳島大学 学生会員 ○中村栗生 徳島大学大学院 正会員 武藤裕則  
 徳島大学大学院 正会員 田村隆雄  
 徳島大学大学院 正会員 小井宣秀

**1. 研究背景と目的**：流砂は掃流砂、浮遊砂、ウォッシュロードと区分される．浮遊砂・ウォッシュロードは比較的高精度で現地モニタリングが可能となっている．一方で、掃流砂の計測方法は採砂器による直接計測と、センサーを用いる音響法などの間接法が提案されている．しかし、直接計測法では連続観測が困難であり、大規模だと施工や観測実施に多額の費用がかかる．間接法は精度や操作性の面から実用の域に達していないと思われる．このようなことから掃流砂の計測方法が確立されているとは言い難い．これらを踏まえて本研究では、新たな掃流砂量の計測方法について2つの方法を検討した．第1に、現地河川に設置したピット内の堆積土砂の重量を連続して計測する、流砂量自動観測装置を開発し計測精度を検証した．第2に、Bagnold型の掃流砂量算定式において重要な指標でありながら、その大きさや計測法が不確定である移動砂層厚について、実験水路において3つの計測方法を試みた．

**2. ピット内流砂量自動観測装置による現地観測**：対象流域は和歌山県富田川流域支川の西谷川流域である．西谷川流域下流端にほど近い落差工の直上部に流砂量計測用のピットを設置し、ピット内の水位および堆積土砂量の重量を計測した．堆積土砂重量の計測結果において、7月上旬の出水に伴う装置の物理的破損時や、水位低下時の計測値の急激な上昇など、明らかに誤りと思われる値は修正または棄却した．また、9月14日にピット内の土砂を除去した際に累積土砂量を直接計測し、その際の装置による重量計測値との比から補正係数を定めた．補正後の重量計測値(黒線)を、降水量(青棒)及び計測水位(青線)と合わせて図1に示す．図中の赤線は、限界掃流力未満の各期間について、計測された堆積土砂重量の平均を示したものである．算出された堆積土砂重量の増減幅が大きく、水の重量に関する補正については検討の余地が残る．降雨による堆積土砂の増加が確認できる．1降雨による総雨量と土砂の増加量を示した図2から、

総雨量と土砂の増加量には関係性がみられる．しかし、相関係数が高くないため、今後総雨量が100mmを超えるデータを収集する必要がある．従来のピット式では、水位が下がるまでの期間に連続した降雨が来ることで、土砂の撤去を行えず多くのデータを得ることが困難だったが、図1に示す8月15日以降のように水位が下がりきらずとも1降雨の土砂の増加量の算出を行えたため、降雨イベントごとの土砂体積量を計測する上で、本手法の実用可能性は高い．

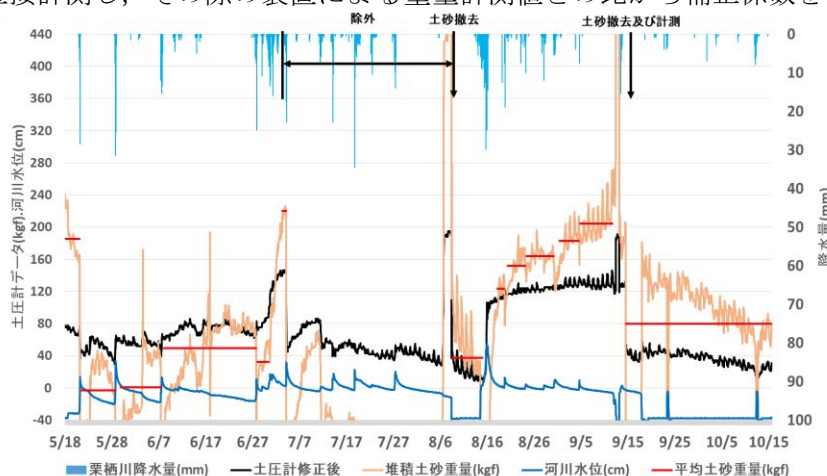


図1 補正後の堆積土砂重量

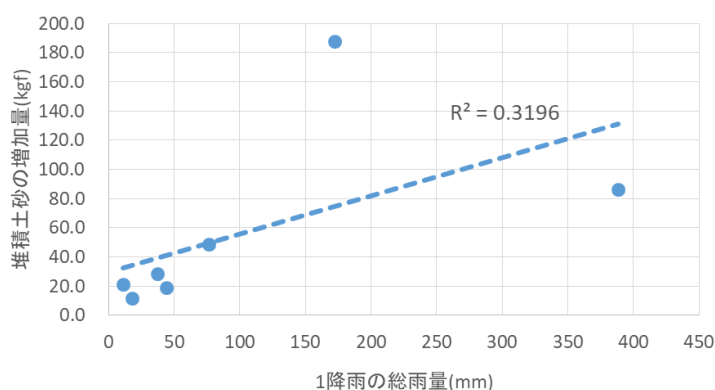


図2 土砂の増加量と総雨量

**3. 移動砂層厚の計測方法の検証：**実験水路は全長 450cm，幅 20cm，深さ 25cm，水路勾配 1/150 の長方形断面水路である．河床材料には平均粒径 0.13cm の 3 号珪砂を使用し，7.0cm の厚さで敷き詰めた．水理条件を表 1 に示す．ここで移動砂層厚  $h_s$  は江頭らの式(1)により求めた．

$$\frac{c_s h_s}{d} = \frac{\tau_*}{\cos \theta \cdot (\tan \varphi_s - \tan \theta)} \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

紙面の都合により，試した 3 つの方法のうち超音波流速計による計測とレーザー距離計による計測について結果を示す．超音

波流速計を用いた計測では，計測厚さは 3mm とし，30 秒間の計測を行いながら，5 分経過までは 1mm ずつ，それ以降は 0.5mm ずつ河床に近づけた．計測結果を対数分布則による流速分布式(2)と比較したものを図 3 に示す．

$$\frac{\overline{u(y)}}{U_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{y}{k_s} + Ar \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

図 3 より， $u_* y / \nu$  が 1000 より小さくなる範囲では，対数則から外れ流速が一定になっていることがわかる． $u_* y / \nu$  が 1000 より小さくなる高さは 0.55cm であり，流速は約 0.05m/s であった．流速分布は水の流速を示しているため，流速分布から外れた高さが粒子の移動砂層厚の最大値だと考えられ，移動砂層厚を 0.5cm とした．次に，レーザー距離計を河床に向かって垂直に設置し，連続計測を行った．ここで観測時間は 20 秒ほどと短く通水時間は 2 分ほどのため給砂は行っていない．また水中での検定結果から補正を行っている．計測値の最大が静止している粒子，最小が移動している粒子までの距離とし，移動砂層厚を計測値の最大値と最小値の差から求めた．

$Q=9.491/s$  のとき 1.21cm， $Q=9.521/s$  のとき 0.35cm となり，ともに江頭らの式の 0.142cm より大きくなった． $Q=9.491/s$  で測定幅が大きくなった原因は距離計のセンサー部分を保護するためのラップに水滴が付着した影響だと考えられる．江頭ら<sup>1)</sup>による  $d=0.144\text{cm}$ ， $\tau_*=0.381$  の実験ケースでは，河床から 2mm の距離で約 0.2m/s の砂の移動速度を計測している．この値とレーザー距離計による 0.35cm を用いて Bagnold 型の掃流砂量式から流砂量を求めると，実測した流砂量の約 2 倍となった．また， $h_s=0.155\text{cm}$  のとき実測値と近い値となった．

**4. まとめ：**ピット式流砂量自動観測装置の堆積土砂量の算出は概ね妥当な結果だと考えられる．降雨と堆積土砂量では線形の関係性が得られた．移動砂層厚の計測はともに良好な結果とはならなかった．水中でさらに高精度の計測が必要と思われる．

参考文献 (1) 江頭進治，芦田和男，田野中新，高橋徹也：連続体手法による掃流砂量式に関する研究 京都大学防災研究所年報 第 34 号 B-2 1991 年

表 1 水理条件

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 定常流量 $Q_w(\text{l/sec})$          | 9.5   |
| 平均粒径 $d(\text{cm})$               | 0.13  |
| 等流水深 $h_0(\text{cm})$             | 7.32  |
| 無次元限界掃流力 $\tau_{*c}$              | 0.036 |
| 掃流力 $\tau_*$                      | 0.227 |
| 掃流力と無次元限界掃流力の比 $\tau_*/\tau_{*c}$ | 6.31  |
| 給砂量 $Q_b(\text{g/min})$           | 1450  |
| フルード数 $Fr$                        | 0.767 |
| 式(1)の移動砂層厚 $h_s(\text{cm})$       | 0.142 |

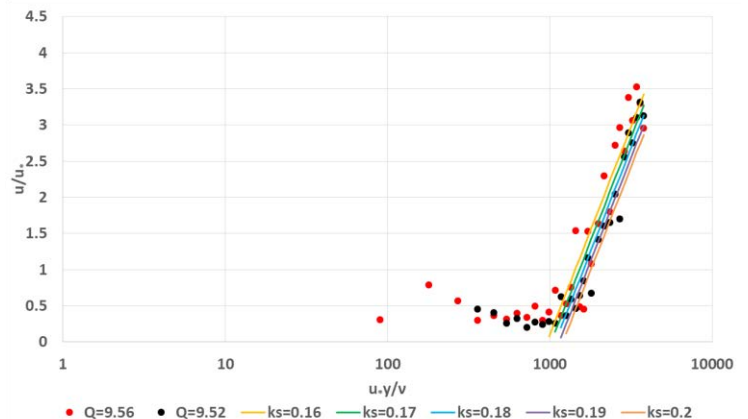


図 3 対数則による流速分布と計測結果

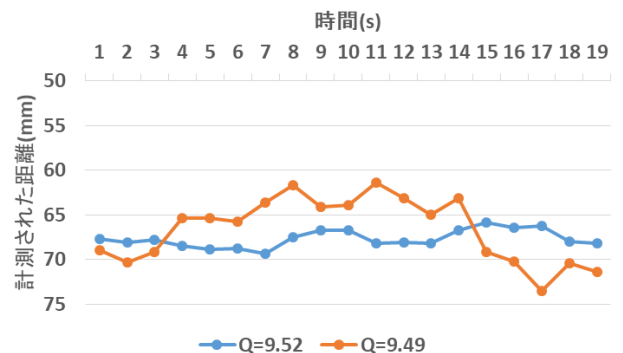


図 4 水面から行った計測結果