

鉛直分布を考慮した掃流砂計測手法の現地観測への適用 Field Monitoring of the bedload considering Vertical Concentration Profile

○堤 大三・市田児太朗・藤田正治・野中理伸

○Daizo TSUTSUMI, Kotaro ICHIDA, Masaharu FUJITA, Michinobu NONAKA

The pipe hydrophone has been shown to be an effective means for monitoring bedload transport in mountainous streams. It is commonly installed perpendicular to the flow on a stable river bed such as a Sabo dam. Acoustic pulses caused by bedload collisions on the pipe are detected by a microphone. However, bedload particles saltating over the pipe remain undetected. To overcome this disadvantage we have installed a horizontal as well as a vertical pipe hydrophone in the Ashiarai-dani supercritical flume located in the Hida mountain range. The vertical pipe was installed on the wall of the flume and the horizontal pipe was installed on the flume bed. We conducted bedload monitoring with the vertical and horizontal hydrophones during snowmelt flood events in early spring and rainfall events in late summer. We conclude that bedload monitoring using concomitant vertical and horizontal pipe hydrophones can be used to calibrate centrally-located hydrophones, thereby representing bedload discharges more accurately than those based on a single pipe hydrophone.

1. はじめに

山地河川における掃流砂の観測には、間接法が有効である。間接法の一つであるハイドロフォンは、河床に設置した金属パイプ（センサー部）に掃流砂粒子が衝突する音を利用した計測手法であり、既に実用化が進んでいる。しかし、この方法は、あくまでもハイドロフォンセンサーに衝突した粒子をカウントするものであり、センサー部を飛び越えて流れるような掃流砂粒子を取りこぼすという欠点がある。そこで、河床に横置きに設置する従来型のハイドロフォンセンサーに加えて、河床に対して垂直に設置する縦置きハイドロフォンを用いて、掃流砂の鉛直方向の分布を考慮した観測を行い、掃流砂の全量を計測する手法について検討を行った。

2. 縦・横型ハイドロフォンを用いた計測仮説

従来通りの横型ハイドロフォンに加えて縦型のハイドロフォンを加えた計測システムによる掃流砂計測原理についての仮説を以下に示す（堤ら、2015）。横型ハイドロフォンと縦型ハイドロフォンによって得られる検出値（例えば、パルス）をそれぞれ A_h , A_v とすると単位長さあたりの検出値は、掃流砂が均一に分布している場合

$$(A_h / L) = (A_v / H) \quad (1)$$

となる。ここで、 L : 横型ハイドロフォン長さ、 H : 水深である。しかし、現実には掃流砂は鉛直方向

に分布を持っており、

$$(A_h / L) > (A_v / H) \quad (2)$$

であると考えられる。そこで、縦横ハイドロフォンの比 R を考えて、

$$R = (A_v / H) / (A_h / L) \quad (3)$$

とすると、 $L \times H$ の断面を通過する掃流砂の仮想的な総検出値 A_t は、

$$A_t = A_h R (H / H_{mic}) \quad (4)$$

と表すことができる。ここで H_{mic} はハイドロフォンパイプの検知部高さである。

3. 現地観測

2015 年 4 月 1 日から 10 日にかけて、断続的な降雨が観測され、それに促される形で融雪が進み、足洗谷にて出水・土砂移動イベントが発生した。Fig. 5 に降雨状況を示す。およそ 20 - 25 mm のひとまとまりの降雨が 4 回とそれより少ない降雨が 2 回観測され、この期間の総降雨量は 104.5 mm であった。最大の降雨強度は 6.5 mm/h で、それほど強い降雨ではない。しかしながら、足洗谷流域内に残っていた積雪が気温上昇とこれらの降雨によって融かされることで、融雪水流出が降雨と重なり、河川流量が降雨規模の割には著しく増加し、冬期から春期にかけての凍結融解等によって生産された土砂を伴った土砂移動イベントとなったものと思われる。

4. 観測結果

水路中央部に設置されたスロットサンプラーで直接計測された掃流砂量の時間変化と、同じく水路中央に設置されたハイドロフォンによる計測パルス数、それを水路右岸に設置された縦型・横型ハイドロフォンセットの検出比 R によって補正したパルス数を図-1に示す。補正前のハイドロフォンパルス数の時間変化は、平坦なピークを示し、直接計測された掃流砂量の時間変化とは大きく異なる挙動を示しているが、縦型・横型ハイドロフォンセットの検出比 R によって補正したパルス数は、鋭いピークを示し、掃流砂量変化とよく対応した挙動を示している。これは、1) サルテーション等によってパイプ上を衝突せずに通過した土砂粒子を R によって考慮している事と、2) 流砂量が多い場合に発生する「パルスの飽和」によって実際の衝突パルス数よりも過少に検出されていたパルス数を縦型ハイドロフォンによる計測（パルスの飽和が起こっていない）を用いた R によって補正することで、パルスの飽和が解消される、という二つの効果によるものと解釈している。

このパルスと掃流砂量との対応をより明確にみるため、両者の相関を示すキャリブレーション関係を図-2に示す。補正前の掃流砂量と検出パルスの関係は、横に寝たような形をしており、掃流砂量が増加してもパルスがある一定値を上限に頭打ちになってしまう（パルスの飽和）現象を示している。一方、掃流砂量と R によって補正したパルス数の関係は、補正前の関係よりはばらつきが大きくなるものの、パルス数の頭打ちの様な傾向は見られず、全体として比例傾向を示している。

以上の事から、縦型・横型ハイドロフォンセットの計測から得られる検出比 R を用いた補正を行う事で、実際に流れている掃流砂の総量に合致す

るパルス数を検出でき、より精度の高い観測が可能となると考えられる。

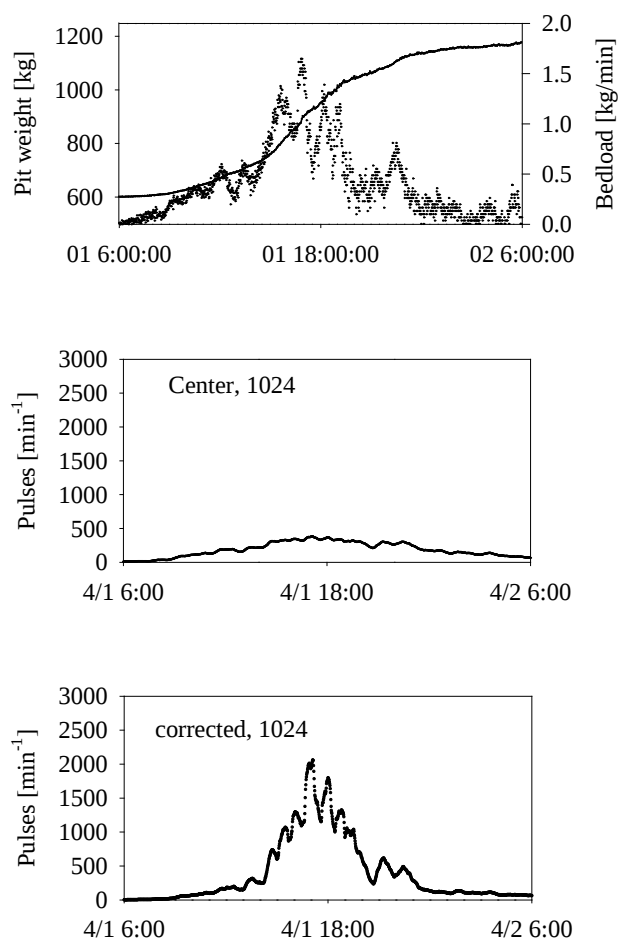


図-1 掃流砂量、ハイドロフォンパルス（補正前・後）の時間変化の比較

参考文献

堤 大三, 天野唯子・長谷川祐治・市田児太朗・野中理伸 (2015): 鉛直分布を考慮した掃流砂観測手法の検討, 京都大学防災研究所年報, 58B, pp. 332-344.

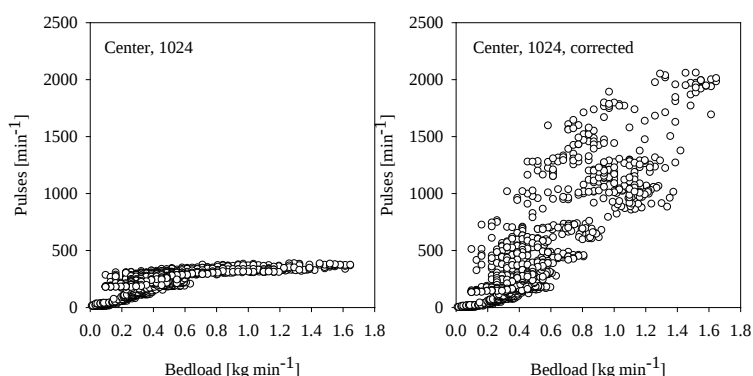


図-2 掃流砂量-パルス数の相関関係の補正前後での比較