

水平・鉛直ハイドロフォンを用いた流砂量観測の高精度化

京都大学大学院工学研究科
京都大学防災研究所○東豊
堤大三・藤田正治

1. はじめに

日本では現在、間接法による流砂観測手法音響センサーを利用した「パイプ式ハイドロフォン」(以下ではハイドロフォンと呼ぶ)による手法が広く用いられるようになり¹⁾²⁾、山地河川での流砂量の連続観測が可能となりつつある³⁾。しかし、いくつかの課題が残されている。1つは、すべての土砂粒子がパイプに衝突するものと仮定し、土砂粒子の運動形態によってハイドロフォンパイプに衝突しない砂礫(衝突率)を考慮していない点である。もう1つは、流砂量が多い場合に音響信号が重なり、ハイドロフォンで得られるパルス(衝突個数を表す指標の一つ)や音圧値(音響信号の時間積分値)などの検出率が低下する点である。この現象をパルスの飽和と呼ぶ。これらの課題を解決し、流砂観測を高精度化することを目的とし、堤ら⁴⁾が構築した新たな観測手法に着目した。この手法は、鉛直ハイドロフォンを水平ハイドロフォンと併用する手法であり、水路右岸に鉛直・水平ハイドロフォンを新たに設置して、中央水平ハイドロフォンの計測値を補正する。

2. 水平・鉛直ハイドロフォンによる流砂観測手法

水平ハイドロフォンと鉛直ハイドロフォンによって得られる検出パルス数をそれぞれ P_h 、 P_v とする。流砂は鉛直方向に分布を持っており、河床に近いほど土砂濃度が高くなる。したがって、河床に設置された水平ハイドロフォン検知部の単位面積当たりの検出パルス数は鉛直ハイドロフォンの値より大きくなると考えられるため

$$\frac{P_h}{L \times D_h} > \frac{P_v}{H \times D_v} \quad (1)$$

となり、これが実現現象の流れに近い条件を示す。ここで、 L ：水平ハイドロフォンの長さ、 H ：水深、 D_h ：水平ハイドロフォンの検知高さ、 D_v ：鉛直ハイドロフォンの検知幅である。ハイドロフォンで得られた音響信号では、ハイドロフォンのどこに砂礫が衝突したかまでは検知することができない。そのため、鉛直ハイドロフォンでは、鉛直方向の濃度分布を確認することはできないが、水平・鉛直ハイドロフォンの検出値の比 R_{hv} を導入することで、濃度分布が鉛直方向に一樣な条件との比較から、実際に濃度分布を持つことで、通過砂礫の総量の減少率を求めることができる。

$$R_{hv} = \frac{P_v}{H \times D_v} \bigg/ \frac{P_h}{L \times D_h} \quad (2)$$

R_{hv} は、水平ハイドロフォンによる砂礫が検出されてい

る時、式(1)より、 $0.0 < R_{hv} < 1.0$ の範囲の値をとると考えられる。この比率 R_{hv} を、均一分布状態を仮定した場合に $L \times H$ の流水断面を通過する流砂の仮想的なパルス総検出量 P_t は、

$$P_t = R_{hv} \frac{H}{D_h} P_h \quad (3)$$

と表すことができる。今回、 R_{hv} に対応する値は、右岸に設置された鉛直・水平ハイドロフォンによって算出し、(3)式における P_h は、河川中央に設置された水平ハイドロフォンでの計測値を使用している。

この手法で得た総パルス数と流砂量との相関関係を調べることにより、ハイドロフォンによる連続的かつ定量的な観測を行う。

3. 結果と考察

対象期間は、2016年6月2日から2016年10月31日とし、対象流域の水路は、京都大学防災研究所穂高砂防観測所の足洗谷観測水路(コンクリート製、幅：5m、長さ：11m、深さ：0.6m、水路床勾配：1/20)とした。足洗谷観測水路の観測機器の概略図を図1に示す。対象粒径の下限を変化させるために、ハイドロフォンの増幅率を1024倍、256倍の2つを設定した。

この対象期間中に計測されたピット流砂観測装置で計測された重量変化の差分値の30分間移動平均値 q_s [kg/m/min]を流砂量として横軸に、中央水平ハイドロフォンで計測されたパルス数の30分間移動平均値を縦軸にとり、相関関係を図2に示す。移動平均値をとるのは、微小な時間的ばらつきを除去するためである。また、横軸は図2と同じで、中央水平ハイドロフォンの計測パルス数を右岸の水平・鉛直ハイドロフォンで補正した値の30分間移動平均値を縦軸にとり、相関関係を図3に示す。

まず、補正前の1024倍のグラフ(図2参照)において、パルス数が600近くになるまでは、直線的なキャリブレーション線が見られるが、パルス数が600を超えたあたりから、ハイドロフォンの検出率が落ち、パルスが頭打ちになっている。これは、上述したハイドロフォンの課題である、パルスの飽和が原因であると考えられる。よって、流砂量が多い場合、キャリブレーション線が設定できない。一方、補正後の1024倍のグラフ(図3参照)を見ると、補正前に見られるようなパルスの頭打ちの傾向は見られず、良好な相関関係が見られ、キャリブレーション線が設定可能となった。これは、鉛直ハイドロフォンでは、水路横断方向の検出部位が限定され

ており、パイプに衝突する砂礫数が右岸水平ハイドロフォンに比べ少なく、パルスの飽和が右岸水平ハイドロフォンに比べて起きにくいからであると考えられる。

補正前後で、どちらも飽和の影響を受けていないと思われる部分 ($q_s \leq 7.5$) を直線近似し、それを比較することで、飽和による影響と水平ハイドロフォンに当たらない砂礫による影響の分離を試みた。1024 倍においては、補正前の近似曲線の傾きが約 80 であるのに対し、補正後は約 500 である。ここから、1024 倍で検知できる小さな粒径の砂礫に関し、中央水平ハイドロフォンでは検知できない衝突せずに通過する砂礫を含めた全パルス数が検出値の 6 倍以上あることが分かる。一方、256 倍においては、補正前の近似曲線の傾きが約 60 であるのに対し、補正後は 80 程度であり、衝突せずに通過する砂礫を含めた全パルス数が検出値の 1.3-1.4 倍程度あることが分かる。この違いは、粒径の小さな砂礫ほどサルテーション等によってパイプの上方を通過する割合が多く、粒径が大きくなるにしたがって、砂礫が掃流状態で移動する傾向が強くなり、パイプに衝突して検知される割合が増加することを示している。

参考文献

- 1) 栗原淳一・宮本邦明：音響を利用した流砂量計測装置について，砂防学会誌（新砂防），vol44，No5，pp.26-31，1992
- 2) 谷口伸一・板倉安正・清野雅雄・鈴木宏・澤井健二・小倉久直：流砂量の間接的な測定法としての音響法の提案とその信号処理，第 26 回計測自動制御学会学術講演会論文集，pp.667-668，1987
- 3) 堤大三・水山高久・野中理伸・藤田正治・志田正雄：山地流域における定量的な掃流砂量計測，京都大学砂防研究所年報，第 56 号 B，pp.465-472，2013
- 4) 堤大三・天野唯子・長谷川祐治・市田児太郎・野中理伸：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，第 58 号 B，2015

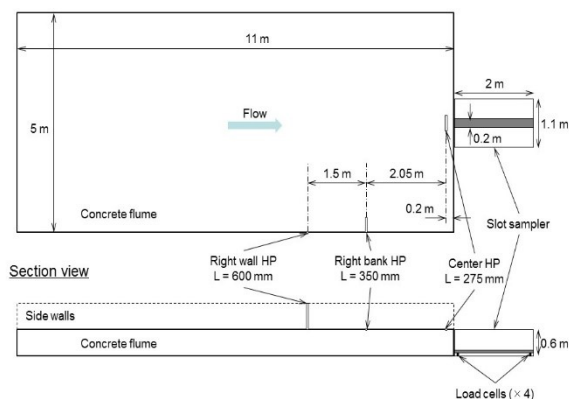


図 1 足洗谷観測水路の観測機器の概略図

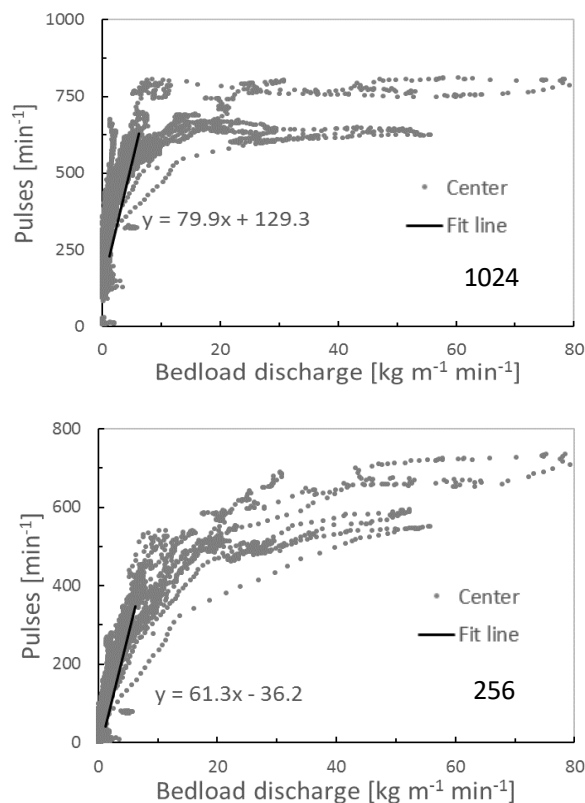


図 2 補正前：パルス数流砂量のキャリブレーション関係と、 $q_s \leq 7.5$ の近似直線
(上：増幅率 1024 倍，下：256 倍)

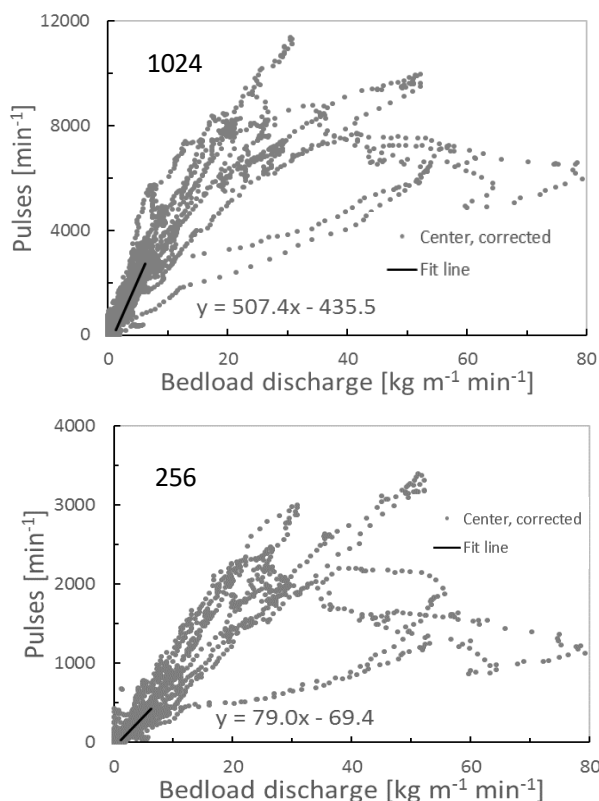


図 3 補正後：パルス数流砂量のキャリブレーション関係と、 $q_s \leq 7.5$ の近似直線
(上：増幅率 1024 倍，下：256 倍)