

ハイドロフォンによる流砂量計測に関する研究(2)

財団法人建設技術研究所
国土技術政策総合研究所
京都大学大学院農学研究科
筑波大学大学院生命環境科学研究科
株式会社ハイドロテック

○長谷川祐治
鈴木 拓郎
平澤 良輔
宮本 邦明
野中 理伸

1. はじめに 流砂量計測に関しては、音響法を利用したハイドフォンが広く用いられ、既に運用されている。しかし、現行のハイドフォンシステムは、流砂量が多いにも関わらずパルス数が一時的に減少し、流砂量の推定が行えなくなるなど、いくつかの課題が挙げられている。最近では、得られた波形データを積分し、それを音圧値として、その値から流砂量を推定する手法が考案されている¹⁾。しかし、音圧値を求めるためには計測時間内の全ての波形データを取得し、膨大なデータ数の解析や保存などが必要になるため、現地に設置する計測器として考えると不都合な点が残る。本報は、既に現地で運用されているハイドフォンシステムを利用し、流砂量が多い状態でも計測が行えるような解析手法を提案する。

2. 実験概要 ハイドロフォンによる計測データを取得するため、水路実験を実施した。システムは、前報²⁾の実験で用いたものとはほぼ同じ仕様である。アンプの増幅率は1, 4, 8, 32, 256, 512 倍の6 レベルに設定した。水路は、長さ9m, 幅0.1m, 勾配1/50を使用し、河床には1.5mmの砂を貼り付けた。ハイドロフォンは、長さ50cm, 外殻48mm, 肉厚2mmのステンレス製の円筒を使用し、水路下流端に設置した。給砂は、ハイドロフォンから約5m上流から行い、計測時間内に全ての土砂が流れるように、その量を設定した。実験は、単一粒径と混合粒径の2種類を実施し、単一粒径の個別と集合衝突実験からパルス数と流砂量との関係式を求めて、この結果が混合粒径に適用できるのか検討した。

3. 流砂量推定手法 図-1は $d_m=7.1\text{mm}$ の単一粒径の粒子を個別、集合状態で衝突させた時の波形を示したものである。この波形データの振幅値から包絡線を作成し、設定した閾値を超えた時を1パルスとしている。閾値は、前報の実験より得られた粒径と振幅値の関係を予め把握し、アンプの増幅率により設定する。ここで、粒子の衝突速度は粒径と比べて振幅値に大きく影響しないため、本解析では平均流速を与えることとした。個別衝突実験は粒子が4回衝突していることがわかる。一方で、集合衝突実験は音響信号が重なるため、ハイドロフォンに衝突する粒子の一つ一つを確認することが難しくなる。また、信号が飽和されて閾値を下回らなくなる時があるため、その間はパルスが検出されない。しかし、飽和状態においてはパルスを検出することはできないが、1パルス中における閾値を上回る時間は長くなることわかる。そこで、この閾値を超える時間（以下、パルス持続時間と呼ぶ）を図-2のように定義し、この時間を考慮したパルス数を式(1)のように表した。

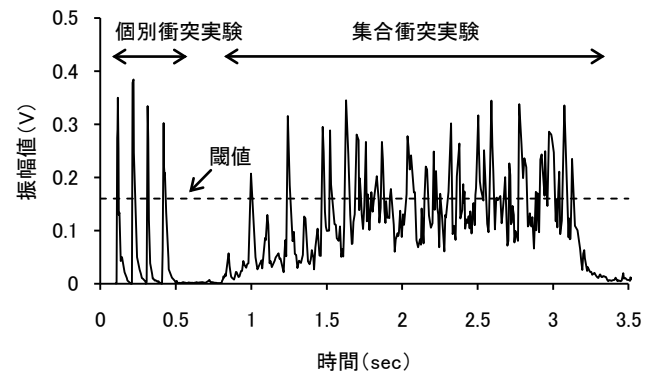


図-1 波形データ

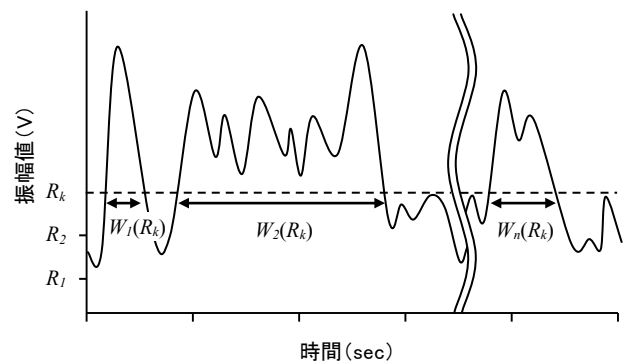


図-2 パルス持続時間の概念図

$$P(R_k) = \frac{\sum_{i=1}^{n(R_k)} W_i(R_k)}{W_s(R_k)} \dots (1)$$

ここに、 $P(R_k)$ はパルス持続時間を考慮した閾値 R_k に対するパルス数、 $W_i(R_k)$ は計測時間内における閾値 R_k に対するパルス持続時間、 $W_s(R_k)$ は個別の粒子が衝突した時の閾値 R_k に対するパルス持続時間の代表値

である。図-3は $d_m=7.1\text{mm}$ の単一粒径が衝突した時のレベル4 (増幅率×32, 閾値 0.16V) のパルス数と流砂量との関係を示したものである。図中には比較のため、パルス持続時間を考慮していないパルス数の結果も併せて示す。流砂量が少ない領域では、パルス持続時間に関係なくパルス数と流砂量は一次関数的な関係になるが、流砂量が多い領域では時間を考慮しないとパルス数が極端に少なくなるため流砂量が推定できなくなる。パルス持続時間を考慮するとパルス数から流砂量を式(2), (3)のように表すことができる。

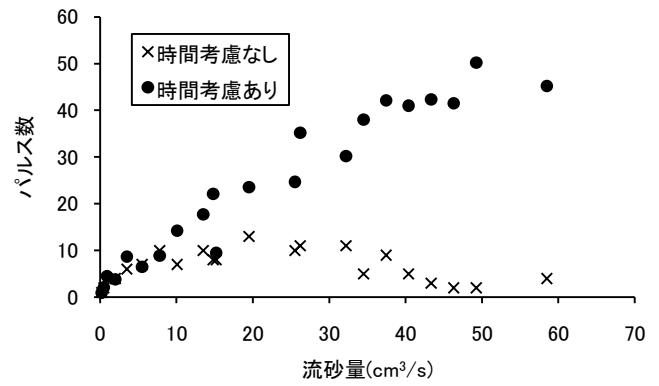


図-3 パルス数と流砂量の関係

$$Q_s = \alpha \cdot P(R_k) \cdot \frac{\pi \cdot d_i^3}{6} \dots (2), \quad R_k = f(d_i) \dots (3)$$

ここに、 Q_s は流砂量、 α はアンプの増幅率による比例定数、 d_i は閾値 R_k に対応した粒径である。このケースでは実測値の Q_s に対する α は11.72である。

4. 流砂量推定手法の適用 図-4は流砂量の実測値と計算値の関係を整理したものである。ここで、 α は個別衝突実験により各アンプレベルで得られる粒径値から求めた流砂量と実測流砂量の割合とした。単一粒径の場合、実測値はほぼ計算値の範囲内に収まることがわかる。中には計算値の幅が広い条件も見られるが、流砂量がオーダーベースで議論されていることを考えると十分な精度と言える。一方で、混合粒径は流砂量が少ない領域のみ計算値の範囲内に収まるが、それ以上になると計算値が小さくなる。ここで、各アンプレベルで得られるパルス持続時間の割合をそれぞれ比較してみると、設定した粒径値より d_1, d_2 の割合が小さくなる。これを、その粒径値に補正し再計算を行うと実測値との再現率が高くなることから、ハイドロフォンに衝突する粒子群の粒径値をパルス持続時間の割合から推定しておくことが必要である。

5. まとめ ハイドロフォンにより流砂量を推定するため、1パルス中における閾値を超える時間がそれぞれ違うことに着目し、この時間を考慮したパルス数から流砂量の推定式を提案した。この推定式は、単一粒径では概ね良好な結果が得られる。また、混合粒径についても有効な計測値が得られる領域であれば推定可能と言える。今後、粒子の衝突率ならびに混合粒径に対する推定式の適用条件の検討を行い、さらなる精度向上を計っていきたい。

参考文献 1)鈴木拓郎ら：音圧データを用いたハイドロフォンによる掃流砂量計測手法に関する基礎的研究, 砂防学会誌, Vol. 62, No. 5, p. 18-26, 2010 2)長谷川祐治ら：ハイドロフォンによる流砂量計測に関する研究, 平成21年度砂防学会研究発表会, p. 18-26, 2009

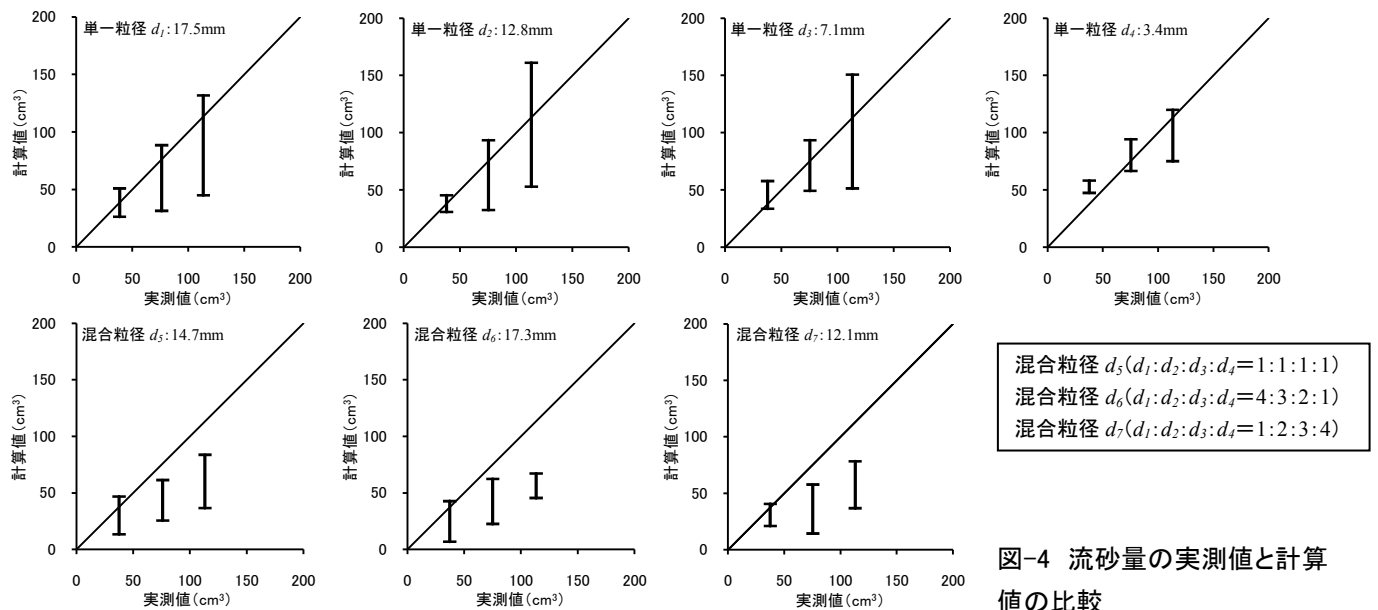


図-4 流砂量の実測値と計算値の比較