

流砂量が多い状態でのハイドロフォンパルスを活用した流砂量推定手法

財団法人建設技術研究所 ○長谷川祐治

1. はじめに 土砂生産源に近い砂防河川では、土砂の流れ方を正確に予測できず、この流れが下流にどのような影響を及ぼすのかなど、土砂移動現象については不明な点が多い。近年は、実際の河川では洪水時の流砂量を時系列で計測する試みが行われおり、粒子がハイドロフォンに衝突した時の音の強度で流砂量を推定する手法（以下、音圧式と呼ぶ。）が提案され運用されている¹⁾。従来は、ハイドロフォンに衝突した粒子数を数える手法（以下、パルス式と呼ぶ。）を用いていたが、この手法では流砂量が多い状態で出力データであるパルスが減少したり検出されなくなり、流砂量を推定することが難しいとされてきた。しかしながら、現在も多くの河川ではこのパルス式が運用されていることから、今後もパルスデータは蓄積される。また、これまで10年少し蓄積されたパルスデータもあることから、これらのデータを全て活用できれば、複雑な土砂移動現象を解明する有効な情報になり得ると期待される。本研究は、これまで活用できなかった流砂量が多い状態のパルスデータから流砂量を推定できる手法を検討した。

2. ハイドロフォンパルスの取得方法 図-1は単一粒径の粒子を個別、集合状態で衝突させた時の音響信号を包絡線処理した波形である。1個の粒子が衝突した時の波形が単純増加、減少の波形になるまで鈍らせて、設定した閾値を超えた時を1パルスとして検出する。閾値は、これまでの検討により得られた粒径と振幅値の関係を予め把握し、ハイドロフォンアンプの倍率から設定する²⁾。高倍率は閾値が小さく、逆に低倍率だと閾値が大きく設定されることとなる。現地では主に6chの倍率が用いられている。図によると、個別衝突実験は4個の粒子を衝突させて、倍率に関係なく閾値でも4パルスを検出することがわかる。一方で、集合衝突実験は波形が重なるため、ハイドロフォンに衝突した粒子数を全て検出することが難しくなる。また、倍率が高いと波形は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。この時、ハイドロフォン管内は音が鳴り続けている状態と考えられている。この状態を解消するため、管内を乾燥材で充填したり、マイクロフォンの感度を鈍らせたりする工夫が施されているが、根本的な解決には至っていない³⁾。

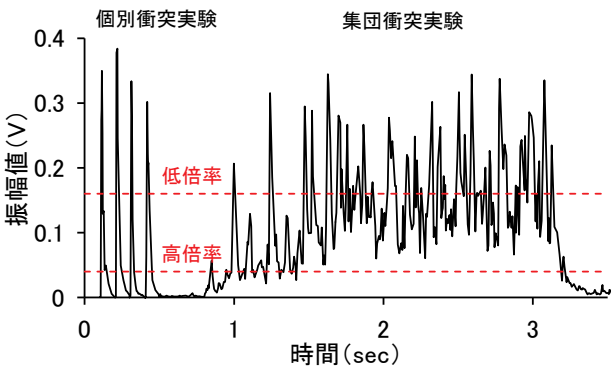


図-1 個別、集団衝突実験の波形データ

表-1 AMP1 使用時の流砂量とパルス数

倍率	0-1sec	1-2sec	2-3sec	3-4sec	4-5sec
2	15	1	0	0	2
4	3	0	0	0	0
16	1	0	0	0	0
64	1	0	0	0	0
256	1	0	0	0	0
1024	1	0	0	0	0

表-2 AMP2 使用時の流砂量とパルス数

倍率	0-1sec	1-2sec	2-3sec	3-4sec	4-5sec
2	0	0	0	0	0
4	9	25	27	26	11
16	5	0	0	0	0
64	1	0	0	0	0
256	1	0	0	0	0
1024	1	0	0	0	0

表-3 AMP3 使用時の流砂量とパルス数

倍率	0-1sec	1-2sec	2-3sec	3-4sec	4-5sec
2	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
64	1	0	1	0	0
256	21	4	2	2	11
1024	1	0	0	0	0

3. ハイドロフォンパルスによる流砂量推定手法 勾配 1/50 の直線水路で、300cm²/s、dm=3.4mm の単一粒径の粒子 113cm³ を流して、ハイドロフォンで計測を行った。計測時間は5秒間である。表-1~3は1秒間で検出したパルス数を倍率ごとに整理したものである。使用したハイドロフォンアンプは3種類（AMP1~3）で閾値の設定値が異なり、AMP1が最も小さく、AMP2、3の順に閾値が大きくなる。同一流量で単一粒径の粒子がハイドロフォンに衝突すると、ある倍率でのみパルス数が多く検出される。これは、先の検討と同じように振幅値は衝突粒子の運動量に比例することからもわかる²⁾。高倍率ではパルス数が減少し、1024倍の倍率になるとアンプの種類に関係なく1パルスしか

検出されない。AMP2, 3は低倍率ではパルスが検出されない。閾値が小さいと低倍率で、逆に大きいと高倍率でパルスが検出される。閾値の設定値が異なると、パルスが検出されるアンプ倍率が異なり、パルス数も異なることがわかる。図-2～4に各アンプを使用時の閾値と波形データを示す。増幅させた波形を1つにまとめるとグラフが煩雑になるため、閾値を変えて倍率の違いを表現した。図-2のように低倍率での閾値を振幅値が超え続けるとパルスがほとんど検出されなくなる。図-3のように閾値が波形の極値に当たると、パルス数が多くなる。図-4のように閾値との間に波形の極値があると検出されるパルス数が少なくなる。これらの結果から、流砂量が多い状態ではパルスが検出される倍率よりも高倍率では閾値を下回らずにパルスが検出されないことがわかる。

ここで、計測時間中（今回は1秒間）にパルスが検出されなくても粒子は衝突し続けていると考えて、時間×振幅値の積分値で結果を整理した。パルス数が最も多く検出される倍率までの範囲（図-4の③）は全面積で、それより1段階高倍率の範囲（図-4の④）は1/2の面積として、さらに倍率が高くなる範囲（図-4の⑤）はゼロとすると、AMP1は0.128, AMP2は0.354, AMP3は0.3となる。実波形の積分値は0.27である。実波形と比べてAMP1での積分値は小さくなる。これは、最低倍率で設定される閾値より振幅値が大きくてその範囲の面積が計算できないからである。このことから、閾値はある程度大きく設定しておく必要がある。一方で、AMP2での積分値は実波形より大きくなる。これは、図-3からもわかるように①を全面積で、②を1/2の面積で計算したため、実波形と比べて積分値が大きく見積もられるからである。AMP3での積分値は実波形とほぼ一致するのは図-4から明らかである。AMP3のように全ての条件で閾値が波形の極値に当たるようにできれば流砂量が多い状態でもパルスを検出することができるが、振幅値は衝突粒子の運動量により変化するため、実河川では流量変化により流れる粒子径が異なるなど同一の倍率でパルスを検出できず、AMP3のように閾値を波形の極値に合わせて設定することが難しい。そのため、精度良く積分値を求めるには、アンプの倍率を数十段階以上に区分する必要がある。

4. おわりに パルスが最も多く検出される倍率で総パルス数を見比べると、AMP1は98, AMP2は40, AMP3は43と、同じ流砂量にも係わらずパルス数が異なる。これは、流砂量が多い状態ではパルスが全て検出されないからである。本解析手法のように検出されないパルスデータも積分値に換算すると、その問題は解消される。しかし、積分値から流砂量を推定するには個別衝突実験のデータでの検証が必要である。さらに、パルス式と同じ計測機器の閾値を上回る時間を計測できるシステム⁴⁾を追加して設置すると、少ないデータからでも精度良く流砂量が推定できる。

参考文献 1) 鈴木拓郎ら：流砂観測データベースシステムの構築とハイドロフォンの観測事例，平成23年砂防学会研究発表会，p. 33-337，2011 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. 282-283，2009 3) 小田晃ら：ハイドロフォンの特性に関する水路実験，砂防学会誌，Vol. 60, No. 5, p. 66-71 4) 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(2)，平成22年度砂防学会研究発表会，p. 288-289，2010

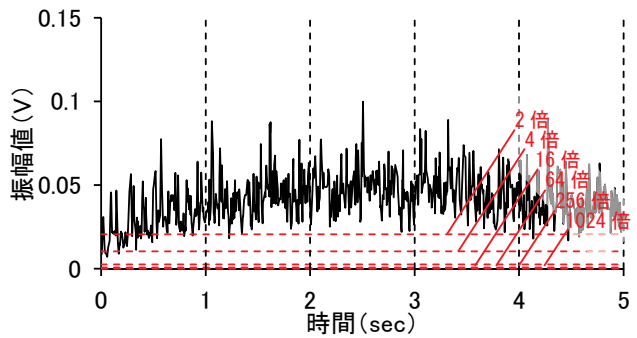


図-2 AMP1 使用時の閾値と波形データ

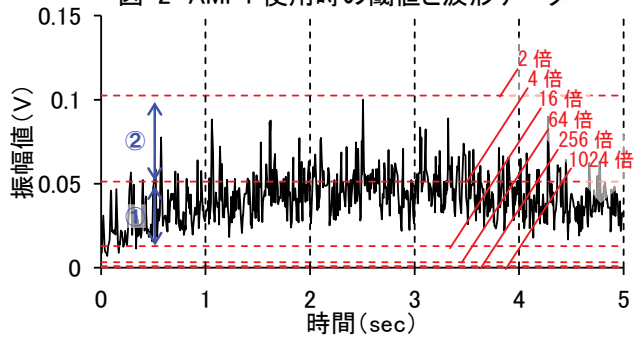


図-3 AMP2 使用時の閾値と波形データ

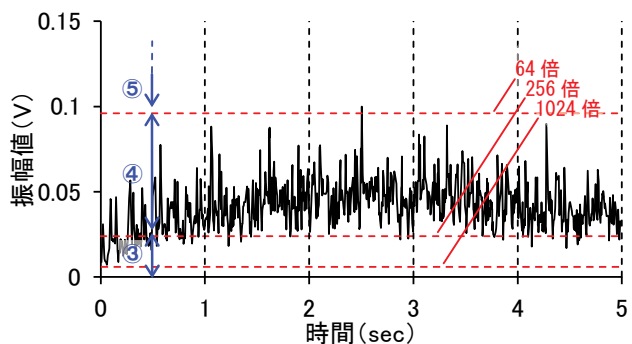


図-4 AMP3 使用時の閾値と波形データ