

流砂の衝突回数に着目したハイドロフォンの記録方法に関する一考察

京都大学防災研究所 ○長谷川祐治
 国土技術政策総合研究所 内田太郎
 国土交通省 中部地方整備局 林真一郎
 筑波大学生命環境系 宮本邦明

1. はじめに ハイドロフォンによる流砂量解析には、(1)衝突粒子の音響信号を整形して振幅に閾値を設けて離散化して回数を記録する方法（パルス法）、(2)信号の正の値の面積（音響波形）を記録する方法がある。(2)の方法は、これまでに連続衝突や残響が長引く大礫の衝突に対して検出率が低下することが確認されており¹⁾、流砂量が多くなるとパルスを記録する方法よりも検出率（パルス/流砂量、積分値/流砂量）の落ち込みが大きくなるため、流砂量解析には(1)が適していると考えられてきた。このような課題に対して、粒子数から検出率の低下を考慮した解析方法が考案されているが²⁾、連続衝突によるパイプの振動の影響が考慮されていないこと、波形を合成させる方法の検証が十分に行われていないこと、流砂量を推定するために必要な独立変数を求めるための関係式についての検討が不十分であること、などの課題が残されている。本研究では(1)の方法で検討することとした。パルス法は流砂量が多い状態で解析が難しいとされているが、これはパルスの記録方法そのものに課題があるのか、それとも現状の観測方法でパルスが計測されていないだけなのか確認する必要がある。本報ではパルスの記録方法を確認するとともに、既往の水路実験の結果³⁾を整理し、パルスの記録方法について考察を行った。

2. パルスの記録方法 連続量に対してある閾値を設けて離散化することでパルスを記録し、ハイドロフォンに衝突した粒子数を推定する。整形した波形がその閾値を超えた時を1回として記録する。信号を処理するアナログ回路は2通りあって、**図-1** 上図のように数段階に信号を増幅させて、各信号が1つの閾値を超えた回数を記録する方法と、**図-1** 下図のように信号を増幅させないで閾値を複数段階に設定して、1つの信号がそれぞれの閾値を超えた回数を記録する方法である。両者は、信号の処理方法が異なるだけで、同じようにパルスが記録される。出力方法も2通りで、**図-1** 下図に示すように、1つは整形した波形データがそれぞれに設定した閾値を超えた時を記録する方法（Method1）、もう1つは最大閾値のみでパルス数を記録する方法（Method2）である。前者はパルス数が最も多く記録される閾値で評価し、後者は、閾値ごとに記録されたパルス数で評価する。**図-2** に**図-1** 下図にある信号と閾値の関係から記録されるパルス数を示す。閾値1を超えるパルス数はMethod1では7回、Method2では2回である。閾値2を超えるパルス数は、Method1では5回、Method2では3回である。閾値3を超えるパルス数は、Method1、2ともに2回である。Method2ではパルス数の合計が7回となる。また、Method1は閾値が小さい値（閾値1）ではすべての信号で記録されるため最大のパルス数となり、小さい粒子や速度の遅い粒子が衝突した時は信号が大きい閾値を上回らずに、パルス数が少なくなる場合がある。現在、現地で運用されているハイドロフォンシステムは、ほとんどがMethod1である。

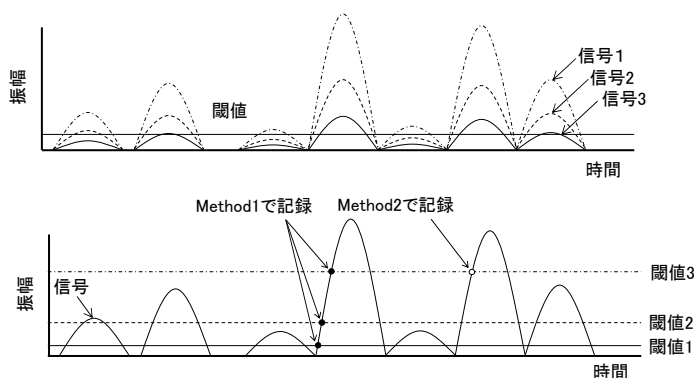


図-1 パルスの記録方法

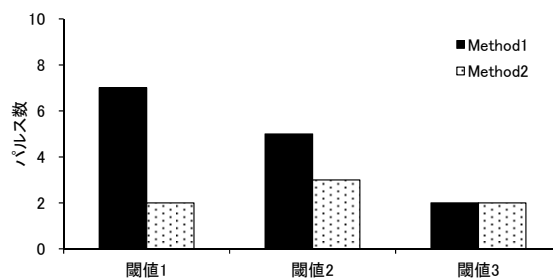


図-2 パルスの記録方法

3. パルス数と流砂量の比較 **図-3** に衝突頻度の違いによる波形の模式図を示す。Method1でパルスを記録すると、最も大きいCh（最小閾値）では、波形が重ならない程度の衝突頻度であればパルスが必ず記録されるため、最も多くなる。しかし、衝突頻度が大きくなると波形が閾値を下回る前に次の粒子が衝突して、波形が下回らない閾値ではパルスが記録されず、最も大きいCh（最小閾値）のパルス数が最大とならない。また、このような衝突頻度の時は粒子数とパルス数が一致しなくなる。ここで、大きいChから小さいChで記録さ

れたパルス数の差をとると、ゼロに近ければ波形が1つ下の閾値を下回ってその間では波形が重なっていない状態、プラスの値が大きければ振幅値が1つ上の閾値より小さい状態、マイナスの値が大きければ1つ下の閾値を下回らずに信号が飽和状態となりパルス数が検出されない状態になると推測することができる。

Method1で記録したパルス数からMethod2のパルス数を導くためには、下式のように示すように倍率の小さいChからのパルス数の差を取る。

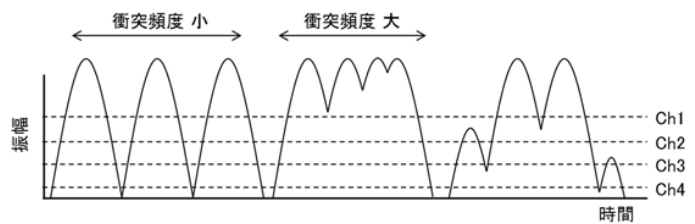


図-3 衝突頻度の違いによる波形の模式図

$$(Ch1)_{m2} = (Ch1)_{m1} \dots\dots\dots (1)$$

$$(Ch2)_{m2} = (Ch2)_{m1} - (Ch1)_{m2} \dots\dots\dots (2)$$

$$(Ch3)_{m2} = (Ch3)_{m1} - (Ch2)_{m2} - (Ch1)_{m2} \dots\dots\dots (3)$$

$$(Ch4)_{m2} = (Ch4)_{m1} - (Ch3)_{m2} - (Ch2)_{m2} - (Ch1)_{m2} \dots\dots\dots (4)$$

()は各Chのパルス数を表し、負の場合はパルス数をゼロとする。添え字 m1 は Method1、m2 は Method2 である。Method1 のパルス数から求めた Method2 のパルス数を表-1 に示す。運動量と振幅が1対1の関係であることから、同じ u^* の条件下ではある粒径での運動量は一定となり、Method2 では1つのChでのみパルス数が記録される。しかし、表-1 に示す結果から、Method2 の粒径 4 mm のケースは、Ch1 と Ch2 でパルス数が記録される。これは、粒子の運動による速度のばらつきが生じて運動量が一定にならないためである⁴⁾。また、粒径 8 mm 以上の結果は Ch1 でのみパルス数が記録されるが、振幅値はばらついていると推測される。Method1 ではばらつきを確認できないが、Method2 では確認できる。流砂量解析には流砂の運動による相対速度のばらつきの割合を知る必要があるため、Method2 の結果が必要である。Method1 から Method2 を求める方法は、各Chでのパルス数が同時刻で記録されると仮定する必要があるが各Chのパルス数が記録される時刻がずれる場合は、正確に求めることができない。例えば、図-3 の右端の波形を見ると、Method1 では Ch1、Ch2、Ch4 で回数が2回記録され、Ch3 では3回記録される。Method1 から Method2 のパルス数を求めると、Ch1 は2回、Ch2 は0回、Ch3 は1回、Ch4 は0回である。しかし、実際には Method2 でのパルス数は、Ch1 で2回、Ch2 で1回、Ch3 で1回、Ch4 で0回である。Method1 では回数が確実に検出されない場合があるため、パルスを用いた流砂量解析には Method2 の方法を用いることが必要である。表-1 の結果は 330 秒間で計測された結果であるため、Method2 のパルス数を正確に求められていない。

表-1 Method1 から推定した Method2 の各 Ch のパルス数

Case	粒径 (mm)	流量 (l/s)	粒子 数	パルス数(Method1)				パルス数(Method2)			
				Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4
1	4	10	62,635	589	1301	117	6	589	712	0	0
2	4	20	72,030	537	1485	315	35	537	948	0	0
3	8	10	2,685	1252	934	966	778	1252	0	0	0
4	8	20	2,863	1055	789	811	658	1055	0	0	0
5	16	10	1,126	391	358	362	330	391	0	0	0
6	16	20	1,502	707	631	650	598	707	0	0	0

Method2 では1つのChでのみパルス数が記録される。しかし、表-1 に示す結果から、Method2 の粒径 4 mm のケースは、Ch1 と Ch2 でパルス数が記録される。これは、粒子の運動による速度のばらつきが生じて運動量が一定にならないためである⁴⁾。また、粒径 8 mm 以上の結果は Ch1 でのみパルス数が記録されるが、振幅値はばらついていると推測される。Method1 ではばらつきを確認できないが、Method2 では確認できる。流砂量解析には流砂の運動による相対速度のばらつきの割合を知る必要があるため、Method2 の結果が必要である。Method1 から Method2 を求める方法は、各Chでのパルス数が同時刻で記録されると仮定する必要があるが各Chのパルス数が記録される時刻がずれる場合は、正確に求めることができない。例えば、図-3 の右端の波形を見ると、Method1 では Ch1、Ch2、Ch4 で回数が2回記録され、Ch3 では3回記録される。Method1 から Method2 のパルス数を求めると、Ch1 は2回、Ch2 は0回、Ch3 は1回、Ch4 は0回である。しかし、実際には Method2 でのパルス数は、Ch1 で2回、Ch2 で1回、Ch3 で1回、Ch4 で0回である。Method1 では回数が確実に検出されない場合があるため、パルスを用いた流砂量解析には Method2 の方法を用いることが必要である。表-1 の結果は 330 秒間で計測された結果であるため、Method2 のパルス数を正確に求められていない。

4. おわりに パルス法には2通りの記録方法がある。1つは音響信号がそれぞれの閾値を超えた場合を全て記録する方法 (Method1)、もう1つは最大閾値を超えたもののみを記録する方法 (Method2) である。現地で運用されているハイドロフォンシステムは、ほとんどが Method1 であり、パルス数は5分間毎に出力しているものがほとんどである。この方法では流砂の連続衝突時にパルスが記録されない場合があり、また、流砂の運動による振幅値のばらつきを確認することができない。パルスは Method2 で記録するか、Method1 とする場合は、計測間隔を短くする必要がある。

参考文献 1)谷口伸一ら：音響法による流砂量計測のための信号解析、滋賀大学紀要(彦根論叢)、第276・277号、p.323-346、1992 2)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 3)小田晃ら：ハイドロフォンによる流砂量計測の水理模型実験への適用、砂防学会誌、Vo.58、No.2、p.15-25、2005 4)長谷川祐治ら：ハイドロフォン内部の音響特性と流砂量計測に関する実験、砂防学会誌 Vol.66、No.5、p.23-32、2014