

ハイドロフォンによる流砂量計測に関する研究

財団法人建設技術研究所

○長谷川祐治

筑波大学大学院生命環境科学研究科 宮本 邦明

1. はじめに 流域内の土砂動態を知るため、水理量のみならず流砂に関するモニタリングが試みられている。その中で流砂量の観測には音響法を利用したハイドロフォンが広く用いられており、そのほとんどが接触型の金属管に河床砂礫が衝突し、特定した周波数の衝突音の振幅がある閾値を超えた回数をパルスに変換するシステムである¹⁾。しかし、そのシステムはデータの取り扱いが容易になるなどの利点が多い一方で、衝突する砂礫の粒径に関係なくパルスを記録するため流砂量の推定を困難にしている。近年は、パルスのみならず衝突音の波形を利用した検討も行われているが、課題は残されたままである²⁾。

一方、栗原ら³⁾は、予め振幅と粒子がもつ運動量の関係を見出しておき、振幅を大きさごとに区分し、その区分ごとに発生した振幅の衝突回数から流砂量が推定できることを示している。また、振幅と粒径別のパルス数の間に次式が成り立つことを提案している。

$$\begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \vdots \\ N_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}(\tau_*), A_{12}(\tau_*), \dots, A_{1n}(\tau_*) \\ A_{21}(\tau_*), A_{22}(\tau_*), \dots, A_{2n}(\tau_*) \\ \vdots \\ A_{n1}(\tau_*), A_{n2}(\tau_*), \dots, A_{nn}(\tau_*) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここに、 $\vec{N}$:振幅の分布ベクトル、 $\vec{A}$:各粒径に対する運動量の確率分布行列、 $\vec{n}$:粒径別の衝突個数ベクトルである。 $\vec{A}$ は粒子と金属管との衝突位置や衝突角度、衝突速度などが一定の値をもたないため、粒子の大きさと衝突時の運動量ベクトルの金属管に垂直な方向成分との間に1対1の対応がなく、確率行列分布として表される。このように流砂量を求めるには、 $\vec{A}$ が逆行列を持つこと、すなわち粒子が金属管に衝突する速度が必要となり、さらには振幅と運動量の関係についても把握しておく必要があるが、詳細な検討が行われていない。本報は、ハイドロフォンによる流砂量計測のための第一段階として、粒子を自由落下させて金属管に衝突させた時の音の振幅と粒子の質量や衝突速度の関係を整理し、その検討手法を取りまとめた。

2. 実験概要 図-1 は今回使用したハイドロフォンのシステム構成を示したものである。これは、従来と

ほぼ同じシステムである。この中で金属管は外径 48.6mm、内径 44.6mm、長さ 50cm のステンレス製のものを、マイクロフォンは周波数特性 50-15kHz のコンデンサーマイクを使用し、信号は一定の倍率で増幅させて最大 5V まで記録できる。実験は、金属管の片側にマイクロフォンを取り付けて、高さを変えながら質量の異なる粒子を自由落下させて、金属管衝突時の速度を 600f.p.s. のハイスピードカメラで記録した。金属管の衝突位置は、マイクロフォンから 10-40cm まで 10cm 刻みに変化させて、卓越する周波数の振幅の違いについても確認した。表-1 に実験ケースの一覧表を示す。

3. 実験結果 図-2 は粒子衝突時における音響信号に対するスペクトル分布を示したものである。卓越する周波数は、軸方向モード (0.4kHz 周辺)、円周方向モード (4.6kHz 周辺)、径方向モード (9.4kHz 周辺) への共振信号である。これらの図から小さい粒子 (0.51g) に対しては、軸方向モードの振幅が小さく、大きい粒

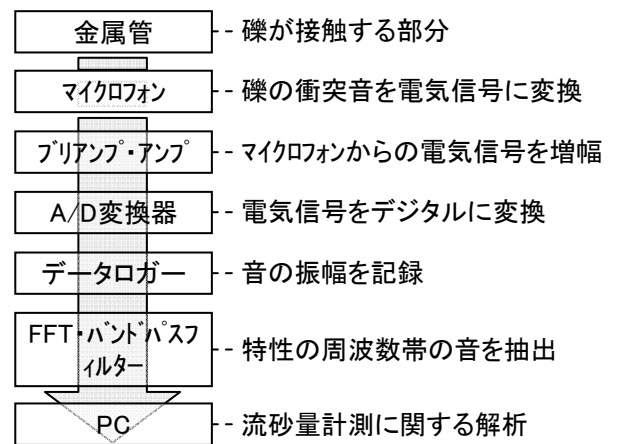


図-1 ハイドロフォンのシステム構成

表-1 実験ケース一覧表

粒子 (g)	運動量 (g・m/s)	衝突位置(cm) (マイクロフォンからの位置)
0.51	0.5-1.0	10, 20, 30, 40
1.56	1.4-2.3	
4.08	1.1-9.9	
10.2	9.2-16.4	
32.7	12.9-91.5	
102.5	78.6-157.2	
678.6	116.4-704.6	

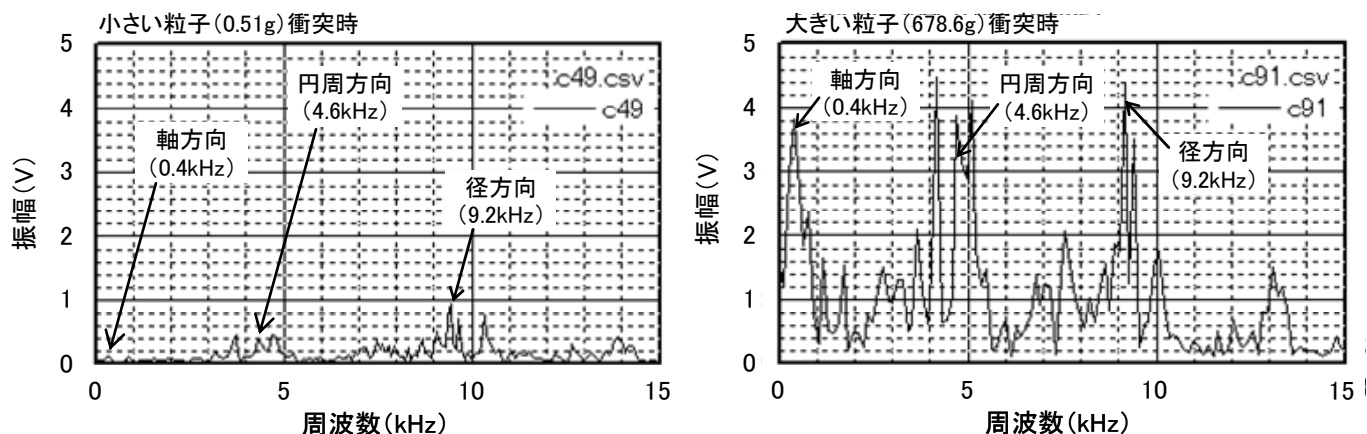


図-2 各粒子の衝突信号のスペクトル分布

子 (678.6g) に対しては、各モードの振幅がほぼ同じ程度となることわかる。図-3 は各モードの振幅のピーク値と粒子の運動量の関係を粒子の質量ごとに整理し、両対数で示したものである。軸方向モードについては、運動量が小さい領域ではほとんど感知しない。また、衝突位置の違いにより運動量が同じ程度であっても振幅が大きく変動する。これは、粒子の衝突位置がマイクロフォンから離れると振幅が小さくなるためである。円周方向モードや径方向モードについては、粒子の衝突位置に関係なく常に安定した振幅が得られ、ある領域においては運動量と振幅の相関が良く、運動量大きい領域においては信号が上限値を超えるため飽和する。円周方向モードに着目すると衝突音を感知できるレンジが最も広く、例えば振幅 0.1-5V の範囲においては約 6.0 倍の粒径比を区分することができる。これは、一定の倍率で信号を増幅させた結果として考えると、倍率の違いを利用することで現地溪流のような幅の広い粒度分布についても対応できると考えられる。

4. まとめ 粒子を自由落下させて金属管に衝突させた時の音の振幅と粒子の質量や衝突速度の関係を整理した。その結果、これまでのように円周方向モードの振幅と運動量が比例関係ではないことがわかったが、式(1)にある各振幅レベルのパルスから流砂量を推定することは可能である。今後は、倍率の異なるハイドロフォンアンプを用いて運動量大きい領域での振幅と運動量の関係の確認し、アンプの改良、設計・チューン法を確立させ、流砂量計測システムの開発を進めていきたい。

参考文献 1) 水山高久ら：音響法（ハイドロフォン）

による流砂量の連続計測，砂防学会誌，Vol. 49，No. 4，

p. 34-37，1996 2) 松岡美和ら：流砂量の多い状態のハイドロフォンによる流砂計測（音圧データの取得），平成 20 年度砂防学会研究発表会，pp. 348-349，2008 3) 栗原淳一ら：音響を利用した流砂量計測装置について，新砂防，vol144，No5，pp. 26-31，1992

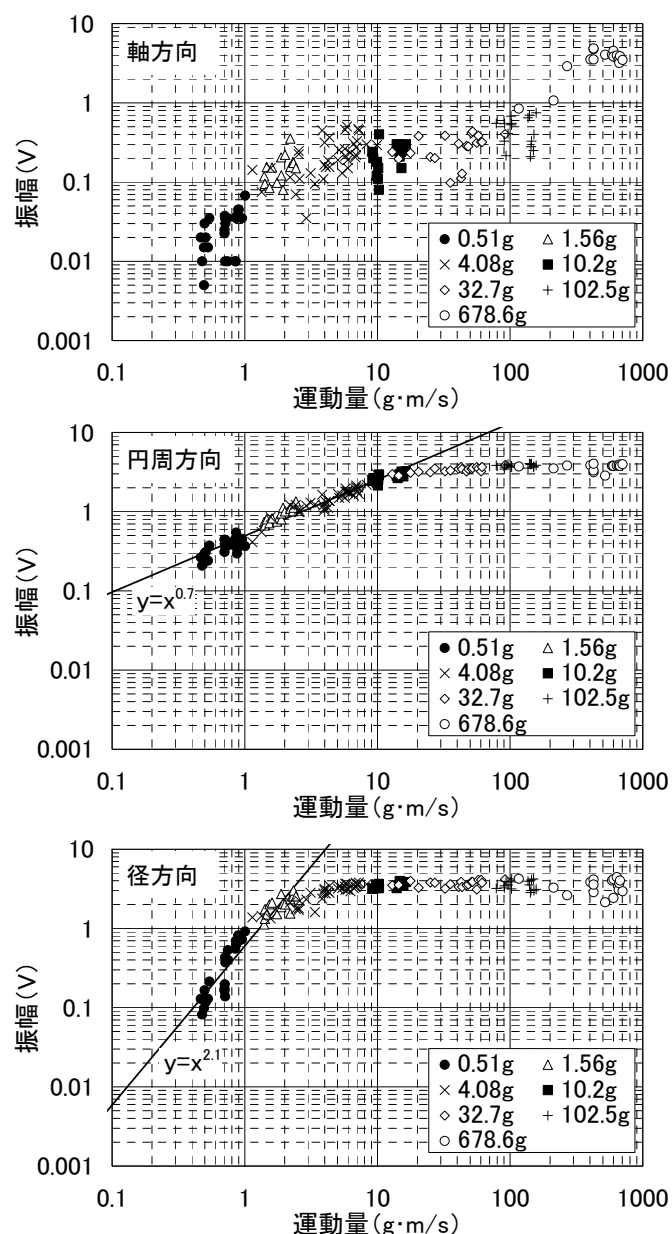


図-3 振幅のピーク値と運動量の関係