

## 水路実験によるプレート型 hidroフォン の流砂の検知特性

株式会社 コルバック ○鶴田謙次、遠藤哲雄、吉村暢也、野村哲郎、阪上最一  
富山県立大学 工学部 手計太一

### 1. はじめに

現在、全国的に直轄砂防事務所において流砂水文観測が進められており、その観測手法として土粒子の衝突音から掃流砂量に変換するパイプ型 hidroフォン<sup>\*1)</sup>が採用されている。パイプ型 hidroフォンは、河床勾配が急で流砂による外力が大きい砂防領域では、パイプにへこみ等の変形が生じ、センサー感度が悪化し取り換えが必要になる。このような砂防領域に対して、現在、パイプ型より高強度なプレート型 hidroフォンの開発が進んできている。そこで、本研究では、流砂の水路実験を行ってプレート型 hidroフォンの検知特性として、礫の衝突波形の周波数特性とノイズ除去のためのフィルター解析および流砂が hidroフォンにヒットする衝突率について報告するものである。

### 2. 水路実験概要

実験水路は、富山県立大の幅 55cm、長さ 8m の直線矩形断面可変勾配水路を使用した。プレート型 hidroフォンは、水路下流端から 50cm 上流の位置に設置した。実験砂礫は一様粒径を使用し、水路上流から水を定期的に供給して流下させた。流下区間は固定床で 1.5 mm (粗度係数 0.027) の砂を張り付けたものである。実験ケースは、土砂の粒径 (2.5~21mm)、水路勾配 (1~5°)、流量 (20~100 リットル/秒)、投入礫土砂量 (520 g~15,600 g) を変化させて約 70 ケースを実施した。また、衝突率の実験は、プレート型 hidroフォンを取り外して落とし穴を設け、落とし穴に捕捉された土砂量を計測して行った。

### 3. FFT 解析に基づいたフィルター解析

プレート型のバンドパスフィルターの作成は、礫の衝突音の周波数分析 (FFT 解析) を行って検討を実施した。プレート型の代表的な礫の衝突音の周波数特性を図-1 に示す。礫の周波数分布を包括するために、バンドパスフィルターを 4.4kHz 中央周波数、クォルティ係数を 5 とした双二次曲線形状とした。なお、パイプ型は 4.4kHz を中央周波数、クォルティ係数を 20 としているが、7.8kHz にも卓越周期が認められる。

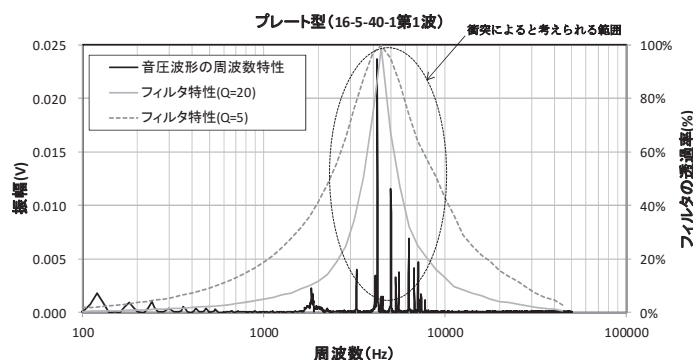


図-1 観測値の周波数特性

### 4. 粒径別の hidroフォン観測値 (音圧値) と運動量と供給土砂量の関係

hidroフォンが計測している音圧値を式 (1) のように表して検討を行うこととした。

$$Sp = \alpha \times Qs \times f_1 \times f_2 \quad \text{-----式(1)}$$

ここに

Sp : hidroフォンで計測された音圧値 (V)

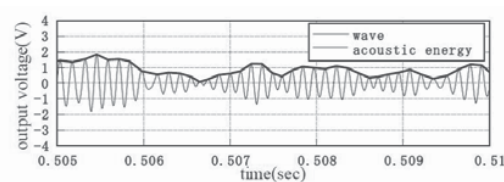
$\alpha$  : 音圧値と掃流砂量の比例係数

Qs : 掃流砂量 (水路実験時の投入礫総重量)

$f_1$  : 検出率 (干渉によって音圧の波形が打ち消される割合)

$f_2$  : 衝突率 (投入砂礫が hidroフォンに衝突する割合)

衝突率  $f_2 =$  落とし穴に捕捉した土砂量 (kg) / 投入礫総重量 (kg)



音圧積算値算定概念図

音圧積算値は、上図に示すように音圧データの上位包絡線の時間積算した値である。上図は、「鈴木ら (2013) 砂防学会誌 Vol. 66 No. 1 P. 4-14」<sup>\*2)</sup> に示されている概念図である。

プレート型 hidroフォンの粒径別の音圧積算値と運動量及び投入礫総重量の関係を図-2 に示す。粒径別にみると、礫の総重量の増加に伴って音圧積算値は直線的に増加する。しかし、礫総重量が約 2kg 付近から、音圧積算値の勾配は減少傾向を示す。この現象は、投入礫土砂量が増加すると砂礫衝突の重なりやエコー等により、音圧波形の検出率が低下する現象と、流速の増加に伴って衝突率が低下する現象が影響しているためと推定される。

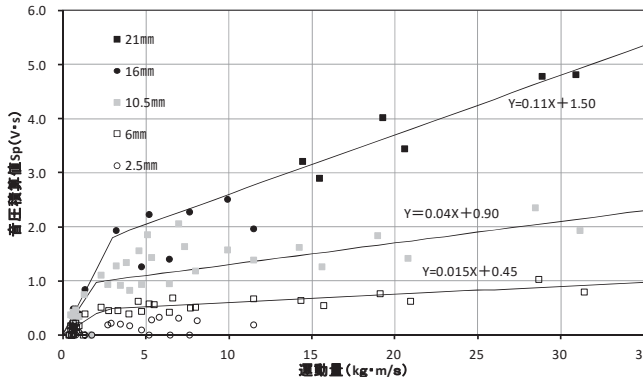


図-2(1) 音圧積算値と運動量の関係

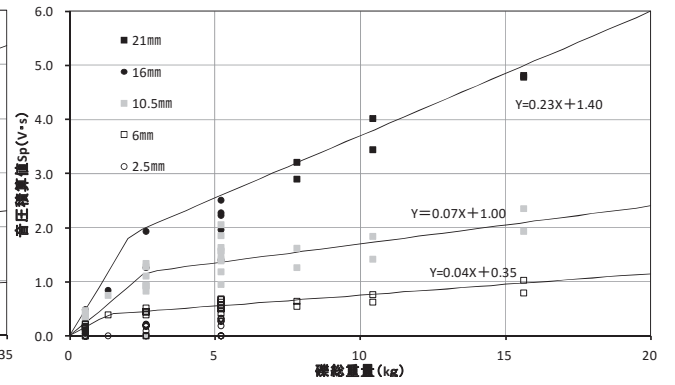


図-2(2) 音圧積算値と礫総重量の関係

### 5. 衝突率を考慮した土砂量の換算式

砂礫がプレート型ハイドロフォンに衝突する割合（衝突率）を実験的に把握して図-3に示す。流速の増大とともに衝突率は低下し、粒径が大きい方が衝突率は小さい。これは、粒径の躍動高と躍動長の関係が影響しているようである。また、プレート型は衝突面積が大きいことからパイプ型より衝突率は大きくなり、検知性が優れている。

衝突率を考慮した音圧積算値と運動量、礫総重量の関係を図-4に示す。衝突率と流速との関係を組み込むとプレート型ハイドロフォンによる流砂量のキャリブレーション式は次の通りである。線形性から判断すると、今回の実験条件では、検出率  $f_1$  の影響については、小さいものと推定される。

$$Sp = \alpha \times Q_s$$

- $\alpha$  : 0.8862 (粒径 21.0mm) 相関係数 : 0.83
- 0.3838 (粒径 10.5mm) 相関係数 : 0.77
- 0.1406 (粒径 6.0mm) 相関係数 : 0.79

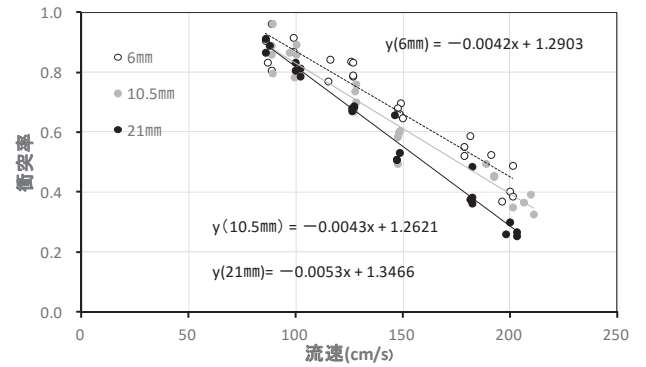


図-3 衝突率と流速の関係

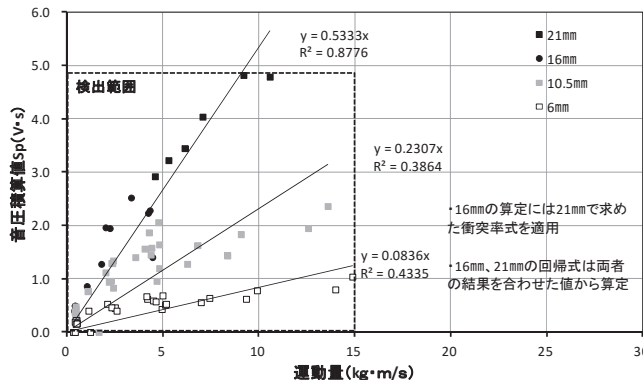


図-4(1) 衝突率を考慮した音圧積算値と運動量の関係

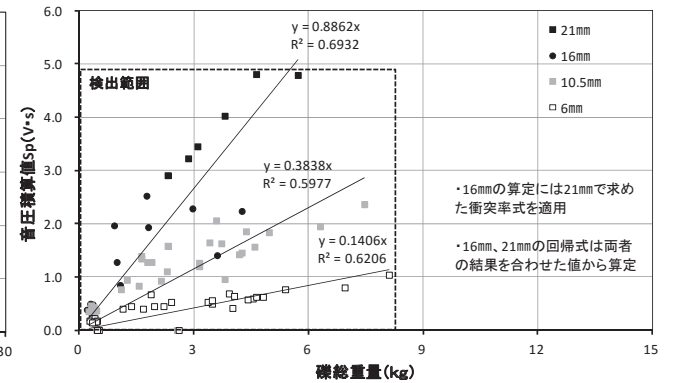


図-4(2) 衝突率を考慮した音圧積算値と礫総重量の関係

### 6. まとめ

今回、プレート型ハイドロフォンの礫の衝突音による音圧波形を対象として、周波数特性を把握し、ノイズ除去が可能なフィルターを作成した。そして、フィルター後の音圧波形（音圧積分値）と衝突率を考慮した流砂量とのキャリブレーション式を作成した。

### 7. 参考文献

- 1) 水山高久・野中理伸(2002):衝突音による掃流砂計測手法の開発, 河川整備基金助成事業, p10
- 2) 鈴木ら(2013): 音圧データを用いたハイドロフォンによる掃流砂観測手法の現地適用性の検証, 砂防学会誌, Vol 66, No. 1, p4-14