

掃流砂の音響測定分析法の研究

開発土木研究所 正 員 横山 洋
 開発土木研究所 正 員 喜澤 一史
 北海道開発局 正 員 宮藤 秀之

1. はじめに

掃流砂の計測は多くの場合土研式掃流砂採取器を用いて行われている。しかし河床粒径分布や河床形状に起因して採取器の着地状態が安定しないため、土砂の捕捉状況による計測誤差を生じる可能性が考えられる。そこで計測地点による影響を受けずにかつ自動計測が可能な方法として、掃流砂が移動する際に発生する音響より掃流砂量及び粒径を計測する技術開発研究を行なった。このような研究は既に行なわれてきたが、本研究は DAT を用いてデジタル収録し音響工学の解析法を導入した。

2. 基礎実験

平成 11 年度に簡易的な実験を試み、単一粒径・単一濃度（流砂量）別に実験条件を設けて金属板に土粒子が衝突するアナログ音を取得したが、音圧や周波数から粒径及び濃度を特定するには至らなかった。また実験水路幅が狭かったため土粒の水路壁面衝突音が混入し十分なデータが得られなかった。そこで本実験では平滑なコンクリート水路を新設して水路幅を確保し、土粒子が金属板に衝突する音を DAT（48KHz）で取得しデジタル解析を行なうこととした。実験水路の諸元を図-1 に示す。図-2 は水路河床に埋設した鉄板であり、その下にマイクが設置してある。鉄板の寸法は 20×20cm で t=5mm である。実験ケースを表-1 に示す。各粒径に対し濃度 4 ケースを行なっている。流速は 1.5m/sec である。

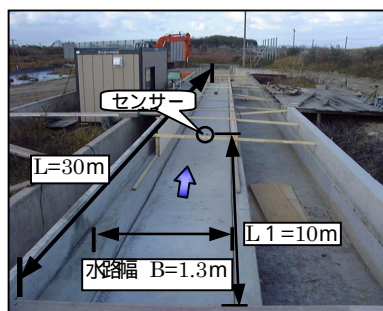


図-1 基礎実験水路



図-2 センサー部

表-1 実験条件

単一粒径 (mm)	掃流砂濃度 (ppm)
59.0	100
26.3	500
15.4	1000
8.1	5000
3.5	
0.9	

3. 音響解析

サンプリング音は金属板の固有の振動音である。したがって音の周波数特性は金属板の材質、厚さ、形状で支配される。音の大きさや衝突の有無を調べる方法として時間領域における分析法を用いる。その方法は音の振幅量を求めるパワー分析、音の支配的な周波数を求めるゼロ交叉回数分析である。

3-1. パワー分析

粒子の質量が異なれば、金属板に衝突するエネルギーが異なる。つまり粒径により振幅が異なると考えられる。粒径により振幅がモデル化できればその固定振幅回数を数えることで粒子衝突回数が求められ、濃度を特定できることとなる。しかしながら実験で単一粒径と扱った粒子でも狭い範囲での粒径分布が存在し、かつ常に金属板の中心で衝突しているわけではないのでモデル化には至りそうにない。そこで時間フレーム内での傾向分析を式(1)により行なった。

$$p = 10 \log \sum_{x=1}^T x_1^2 \quad (1) \text{ここに } p: \text{パワー、} T: \text{フレーム長、} x_1: \text{時刻 } t \text{ における振幅}$$

総データ時間は 100sec で、フレーム長=20msec、シフト間隔を 10msec とし、各ケース 10000 フレームの分析を行った。図-3 は同一濃度の粒径別パワーヒストグラムで、横軸はパワー（dB）縦軸が頻度である。分布は単峰性となり粒径 59.0mm の場合を除いて粒径が大きくなるとパワーが大きいく。この傾向は他の濃度でも同様である。図-4 は同一粒径の濃度別パワーヒストグラムである。濃度が高くなるとパワーが大きくなる傾向は

キーワード：掃流砂測定,掃流砂音響測定

連絡先：〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 開発土木研究所 河川研究室 011-841-1639

他の粒径でも同様である。濃度を 2 倍にするとエネルギーは 2 倍になるので式(1)から 6 dB 上昇する。図-4 の 500 及び 1000ppm の関係はほぼ定量的に合致している。すべての粒径について他の濃度結果から 5000ppm のパワーを推定したところ結果はほぼ合致した。したがって濃度については定量的に判別できる可能性がある。

3 - 2 . ゼロ交叉回数分析

支配的な周波数を求める方法で、振幅の大きさには関係しない。ゼロ交叉回数は一つのフレームにおいて波形が時間軸と交叉した回数で、ゼロ交叉回数 Z は式(2)で定義する。

$$Z = \sum_{t=1}^{T-1} \delta(t) \quad \delta(t) = 0(x_t \bullet x_{t+1} > 0), \quad \frac{1}{2}(x_t \bullet x_{t+1} = 0), \quad 1(x_t \bullet x_{t+1} < 0) \quad (2)$$

図-5 は粒径 8.1mm、5000ppm の 1 フレームの交叉回数分析例である。時間軸（破線）と交叉する回数 14 が支配的な周期となる。スペクトル解析の結果からも同様な結果が得られた。図-6 は粒径 8.1mm の濃度別ヒストグラムである。理論的にゼロ交叉回数は衝突回数が増えるとその倍数に応じて交叉回数が増えるが、交叉回数はほぼ同じ値で傾向は見られない。図-7 は同一濃度でのヒストグラムである。

本実験では流砂量を濃度として扱っているの、粒径が小さくなるほど粒子個数が増える。したがって小さい粒径ほど交叉回数が多くなる傾向が見られる。

4 . 識別試験

実験 24 ケースの音を分類することが可能かどうかの試験を行なう。ここではパワーやゼロ交叉回数の分布が二次元正規分布にしたがっていると仮定する。二次元正規分布は式（3）で表される。

$$f(x) = 1/(2\pi|\Sigma|^{1/2}) \exp(-(x-\mu)^T \Sigma^{-1} (x-\mu)) \quad (3)$$

μ は平均であり、 Σ は共分散行列である。使用データはパワー分析等と同様の 10000 フレームである。一方で識別データとして学習用に用いた 100 秒間のデータに後続する 50 秒間を 10 秒毎の 5 つに分割し、各カテゴリーに検査サンプルとして用意した。識別は式（4）に従う。

$$\arg_i \min P(\theta_i) | x \quad (4)$$

その結果識別率は 90% となり高い識別結果となった。

5 . おわりに

パワー分析の結果、粒径をパワーで感知できる可能性があり、濃度では定量的な傾向が見られた。ゼロ交叉回数分析では粒子個数が増えると増加するといった定性的傾向が見られ、結果として両パラメータを用いると 90% の識別が可能であった。本研究はいずれも単一粒径という条件で行なってきたが、流砂は言うまでもなく混合粒径である。混合粒径の識別、識別試験の現地学習データのサンプリングをどのようにするかなど課題は多いが、本研究を礎にさらなる応用を重ねていくことで解決していく。

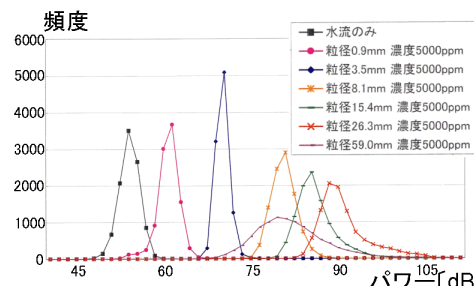


図-3 パワーヒストグラム（5000ppm）

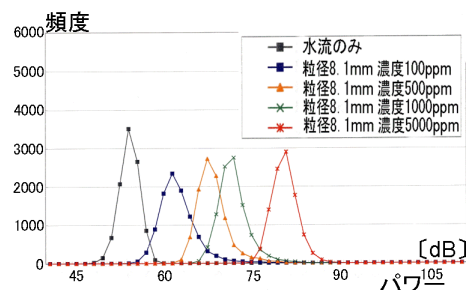


図-4 パワーヒストグラム（8.1mm）

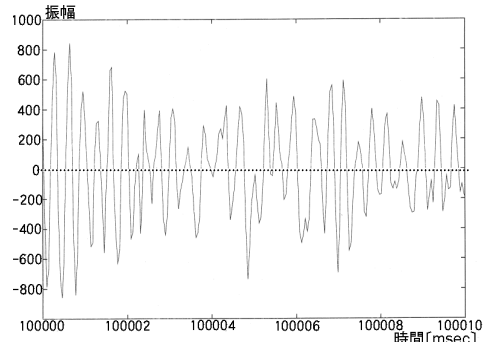


図-5 R=8.1mm、5000ppm の交叉回数

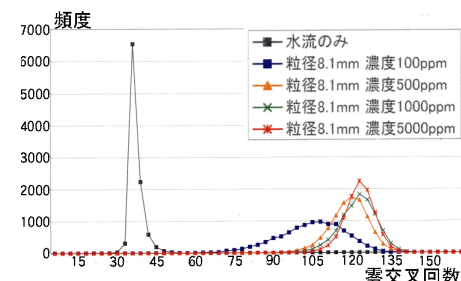


図-6 R=8.1mm の交叉数ヒストグラム

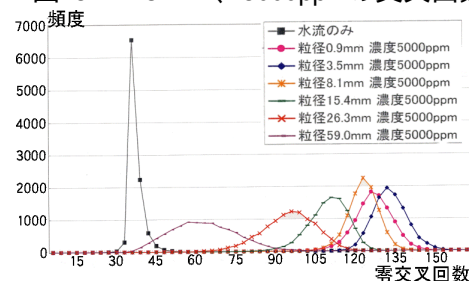


図-7 5000ppm の交叉数ヒストグラム