

浮遊砂濃度計測用小型ソナーの開発に関する研究

豊橋技術科学大学 学生会員 渥美尚志
 豊橋技術科学大学 正会員 加藤 茂
 本多電子株式会社 八木田康信
 豊橋技術科学大学 正会員 青木伸一

1. はじめに

本研究で扱う超音波による浮遊砂濃度計測とは、ソナーを用いて浮遊砂が生ずる反射エコーを計測し、その反射エコーから浮遊砂の濃度を推定するものである。この際に水中での音速が既知であれば、反射エコーの受信までに要する時間をもとに、そのエコーを生じた浮遊砂の位置を求めることができる。これはつまり、濃度の空間分布が計測可能だということであり、現在多く用いられている濁度計などには無い大きなメリットであると言える。

本研究は超音波による浮遊砂濃度計測法の開発に関する研究の一部である。既に行われた実験（加藤ら、2009）ではソナーから浮遊砂までの距離が一定の場合、浮遊砂による反射エコーの強度 $[V^2]$ はその濃度 $[g/l]$ に比例し、その対応関係はほぼ粒径に依存しないことが示された。この関係を空間的に拡張して、反射エコーの受波データから浮遊砂濃度の空間的な分布を推定することが研究全体の最終的な目標である。しかし、両者の関係を求めるためには、浮遊砂を超音波ソナーとその他の計測機器で同時に計測し、複数の地点において受波データと浮遊砂濃度の関係を明らかにする必要がある。そこで、前述の既往研究の成果を活用し、反射エコーの受波データに対応付けるための浮遊砂濃度についても、小型の超音波ソナーを用いて計測することを計画した。本研究の目的は、その濃度計測に用いるためのソナー（以下小型ソナー）についての、音波強度 $[V^2]$ -浮遊砂濃度 $[g/l]$ の対応関係を求めることである。

2. 使用機器と実験・データ処理の概要

本研究に使用した小型ソナーは、4 チャンネル同時に計測可能な構成となっている。各チャンネルは独立した直径約 5cm の送受一体型円形振動子を持ち、その発信周波数は 1MHz である。アンプのサンプリング周波数は 8MHz（時間分解能： 0.125×10^{-6} 秒）、計測レンジは $\pm 1V$ 、ビット深度は 8bit（電圧分解能： $0.781 \times 10^{-2} V$ ）、計測間隔は約 0.13 秒である。また、アンプはパソコン

に接続し、パソコンによって制御およびデータの保存を行う。本装置は本多電子株式会社が製作した。

実験は小型ソナーと LISST（レーザー回折式浮遊砂濃度計）を写真-1 のように配置して行った。砂を水面から投入し、この沈降してゆく浮遊砂を両機器で計測する。これによって得られる二つのデータから、反射エコーの音波強度と濃度との対応関係を調べた。



写真-1 LISST およびソナーの配置

浮遊砂は篩によって選り分けた 106~150 μm 、212~250 μm 、300~355 μm の 3 種の粒径の珪砂を用い、それぞれについて音波強度 $[V^2]$ -濃度 $[g/l]$ の分布図を作成した。

LISST では 2 秒ごとに 6 サンプルの体積濃度 $[\mu l/l]$ の平均値が計測され、小型ソナーでは 8MHz のサンプリング周波数で音圧の時系列データ（発信からの経過時間 $[s]$ と音圧 $[V]$ ）が取得される。このデータの時間軸を、水中での音波の伝搬速度(1500m/s)をもとに距離の軸に置き換えることで、計測された音波の送波距離が求められる。これによって、小型ソナーに対する浮遊砂の位置と、その反射エコー強度（ $\equiv$ 浮遊砂濃度）を計測することが可能である。この距離-反射エコー強度の計測が約 0.13 秒間隔で繰り返されることで、反射エコー強度の時間・空間分布が得られる。空間分布データから LISST の計測位置に相当する位置のデータ（約 5cm 幅）における音波強度 $[V^2]$ の平均値を求め、さらに LISST と同じ 2 秒間隔で平均することで、ソナーのデータは LISST と比較可能なデータ形式となる。ただし、この処理の際には、LISST との計測タイミングのずれ

によるデータの不一致を低減するため、時間平均開始位置をずらした複数のファイルを出力し(図-1)、分布図の作成には LISST のデータと最も相関の高いものを採用した。図-2 は両機器のデータの対応例である。

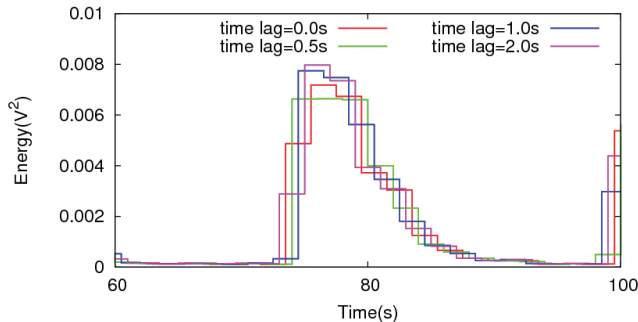


図-1 平均開始時間の違いによる平均結果の変化の例

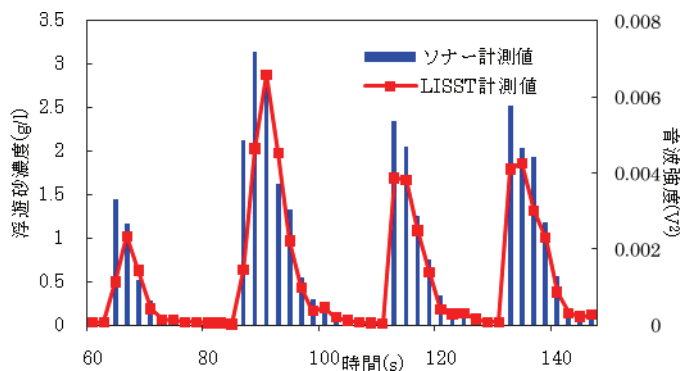


図-2 ソナー : LISST データ対応例

3. 実験結果

実験の結果得られたデータをもとに、粒径ごとの音波強度と浮遊砂濃度の分布図を作成した。

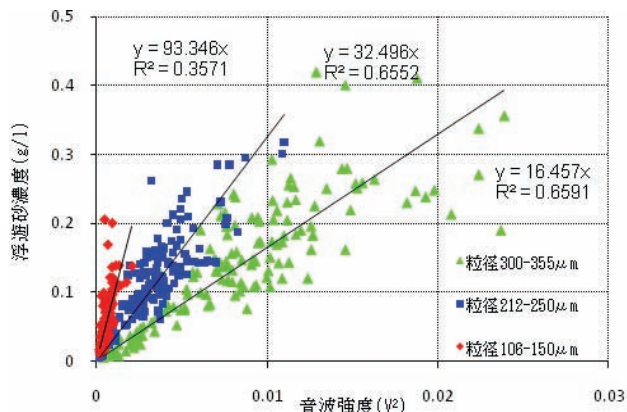


図-3 粒径別 音波強度[V²]□浮遊砂濃度[g/l]分布図

図-3 から反射エコー強度と浮遊砂濃度の間には、粒径ごとにほぼ線形の関係があると言える。したがって、粒径の情報が既知であればこの小型ソナーを用いて、浮遊砂の濃度を推定することが可能であることが明らかとなった。しかし、結果の粒径依存性については“音波強度と濃度関係は粒径に依存しない”という前述の研究成果と食い違うものであったため、その原因について考察を行った。

4. 粒径依存性に関する考察および結論

加藤ら(2009)による実験では、図-4のように音波強度と濃度の関係に粒径による違いはほとんど見られないのに対して、今回の実験では前述のように粒径によってその対応関係が大きく異なっている。

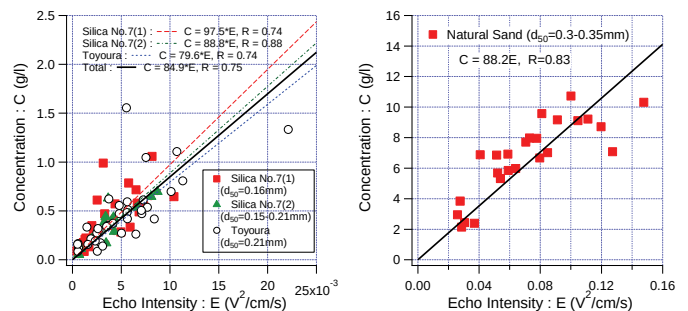


図-4 エコー強度と濃度との関係(加藤ら, 2009)

(左: 粒径 $d_{50}=160, 150\sim 210, 210\mu\text{m}$ 右: 粒径 $300\sim 355\mu\text{m}$)

この粒径依存性の違いの原因として計測機器の違いが挙げられる。本研究で用いた小型ソナーと参考とした研究で用いられたソナーの発信周波数はどちらも 1MHz であるが、その周波数特性については両者ともに不明である。そこで両者の振動子の発信音についてフーリエ解析を行い、その周波数スペクトルを求めた。

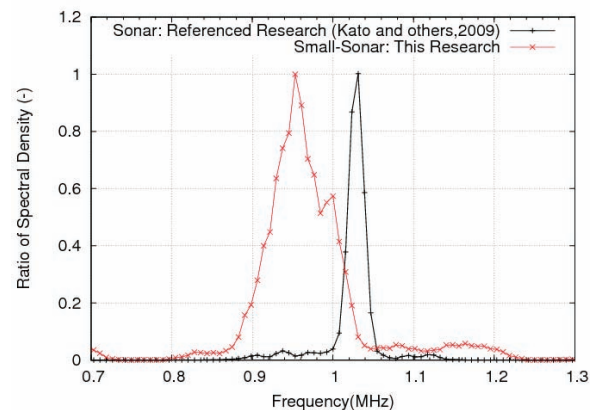


図-5 小型ソナーと加藤ら(2009)の実験で用いられたソナーの周波数スペクトル比較

図-5 から分かるように両者の帯域幅とピーク周波数は明らかに異なっており、この周波数特性の違いが、加藤ら(2009)の実験結果との違いが生じる原因の一つであると考えられる。今後、粒径と周波数の違いによる反射エコー強度ー浮遊砂濃度関係の変化について、さらに調査が必要である。

参考文献

加藤茂ら(2009): 超音波を用いた浮遊砂計測法の開発に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.B2-65, No.1, pp.1436-1440.