

超音波透過法を用いた浮遊砂の粒径情報推定に関する研究

豊橋技術科学大学 学生会員 ○江口 悠貴
 豊橋技術科学大学大学院 学生会員 飯吉 勇己
 豊橋技術科学大学大学院 正会員 加藤 茂 岡辺 拓巳

1. 緒言

近年、我が国では海岸侵食により、砂丘の崩落やウミガメの産卵場の消失が大きな問題となっている。海岸侵食の発生要因として、港湾構造物による沿岸漂砂の不連続性の発生やダムのおせき止めによる流域からの土砂供給量の低下が挙げられる。海岸侵食を対策する上で沿岸漂砂量や海食崖からの土砂供給量を把握するために、浮遊砂濃度のモニタリングすることは必要不可欠である。モニタリング手法の一つに濁度計を用いた浮遊砂濃度推定がある。しかし、横山ら(2002)は土砂の濃度推定をするにあたり、濁度計は粒径依存性が高く、粒径が大きいほど、濁度が小さくなることを指摘している。一方で、音響理論を用いた浮遊砂濃度計測も試みられており、中嶋(2013)は単一振動子を用いて浮遊砂濃度と粒径の同時推定を試みた。反射エコー強度のフーリエ解析から、粒径の大小関係の評価は可能であることを示したが、定量的な評価には至っていない。

そこで本研究では浮遊砂の粒径情報を推定できるような測定システムの製作を目指す。本研究では5MHzの単一の振動子を用いた超音波による粒径推定を行う。

2. 実験概要

浮遊砂として用いる試料はガラスビーズと砂(三河珪砂)とする。ガラスビーズは177~250, 350~500, 500~710 μm 、砂は53~212, 75~425, 212~600 μm の試料を用いた。1つの粒径ごとに濃度を5, 20, 50g/Lの3ケース、さらに浮遊砂混入無(0g/L)の寒天ファントムを作成し、合計19ケースの測定を行った。浮遊砂(粒子の浮遊状態)を再現するため、寒天ファントムを用いて、試料を攪拌させながら凝固させた(写真-1(左))。写真-1(右)のように水槽の底にアクリル板(赤点線)を配置し、その上に寒天ファントム(黒点線)を設置して、反射エコー強度の測定を行った。

本研究で扱う5MHzの振動子では、浮遊砂から直接、反射エコー強度を測定(反射法)する場合、反射エコー強度は極めて小さく、測定することが困難であった。

そこで、透過法を用い、寒天ファントム内の浮遊砂によって減衰したアクリル板から反射エコーを測定することで、超音波の減衰に基づく粒径推定を試みた。

3. 実験結果

(1) 反射エコー強度とスペクトル解析

実験結果の一例として、砂の粒径75~425 μm における濃度ごとの反射エコー強度と、その反射エコー強度の周波数スペクトルを示す(図-1)。

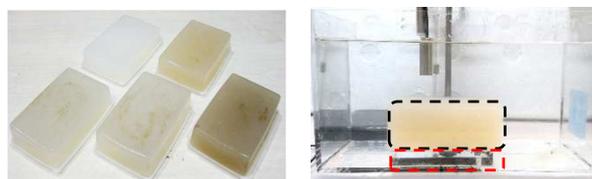


写真-1 寒天ファントム(左)と実験概要(右)

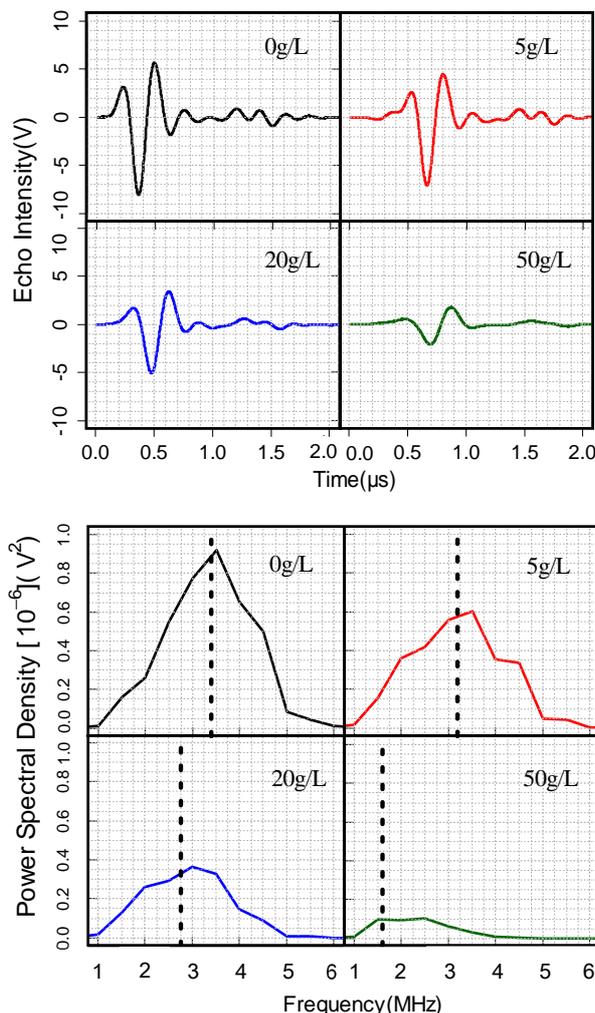


図-1 各濃度の反射エコー強度(上)とスペクトル解析(下)

図-1 (上) では透過法により、高濃度であるほど反射エコー強度 (振幅) が減衰し、幅広い濃度の範囲で反射エコー強度の変化を測定できることを確認した。

(2) 反射エコー強度による粒径情報の推定

各粒径における反射エコーの最大全振幅 (反射エコー強度のピーク電圧幅) を図-2 に示す。ガラスビーズは粒径が大きいほど全振幅が大きい傾向にあるが、砂はそれに反する結果となった。また、ガラスビーズ、砂ともに全振幅が浮遊砂混入無 (濃度 0g/L) より 5g/L のほうが大きい傾向が得られた。本実験では寒天ファントムを攪拌して凝固するまでの間に浮遊砂が沈殿しやすく、均等に浮遊砂を配置させるため、寒天ファントムの底面を除去している。高濃度と比べ、5g/L のケースでは、浮遊砂の沈殿と底面の除去による影響が、大きく起因し、減衰しなかったと考えられる。

(3) 中心周波数による粒径情報の推定

図-3 に示した中心周波数と粒径の関係では、ガラスビーズ、砂ともに中央粒径が小さいほど中心周波数が低周波側へシフトする傾向が得られた。また、図-3(a) ガラスビーズは高濃度になるにつれ、粒径ごとの中心周波数の変化が顕著であることを示した。これより、透過法では、中心周波数での粒径推定が可能であることを示した。

(4) 周波数スペクトルの最大値による粒径情報の推定

ガラスビーズは、粒径が大きいほど周波数スペクトルの最大値が大きくなる傾向を示した (図-4(a))。しかし、図-4(b)の砂は変動が大きく、粒径による関係性を得るには至らなかった。

5. 測定容器の検討

実験結果から浮遊砂の粒径推定するための測定容器 (幅 100mm×高さ 150mm×奥行き 100mm) を提案する。寒天ファントムの下に設置したアクリル板では、透過率が大きく、濃度における詳細な減衰特性を示さなかった。そこで、透過率の小さい金属板を容器の底面に設置することで、浮遊砂の反射エコー強度が大きくなり、より詳細な粒径推定ができると考えられる。測定においては単一の振動子を用いてオシロスコープで計測を行うため、小型かつ簡易的で、幅広い粒径範囲に対応した粒径推定することが期待できる。

6. 結論

本研究では単一の振動子とオシロスコープを用い、寒天ファントムによって、浮遊砂を模擬し、透過法に

よる粒径推定を行った。水中のガラスビーズ、砂に超音波を照射させた結果、得られる反射エコー強度は試料の粒径に依存していることがわかった。

本研究により、ガラスビーズと砂の粒径推定において大きな相違がみられた。これは粒径範囲が広いことと、粒径による形状の違いが原因と考えられる。ガラスビーズはほぼ球形で均一であるのに対し、砂は形が不均一のため散乱が大きく影響することから粒径推定が困難であることがわかった。今後、粒径推定をする上で、浮遊砂における散乱形態を把握することが非常に重要である。

また、提案した測定容器を用いて、海岸における現場での浮遊砂の粒径推定を行い、透過法による浮遊砂の粒径情報の推定を確立していく方針である。

参考文献

横山勝英 (2002) :濁度計の粒径依存特性と現地使用方法に関する考察, 土木学会論文集 No.698, II-58, pp.93-98
 中嶋亮太 (2013) :超音波パルスエコー法による浮遊砂濃度・粒径同時推定手法に関する研究, 平成 25 年度豊橋技術科学大学修士論文

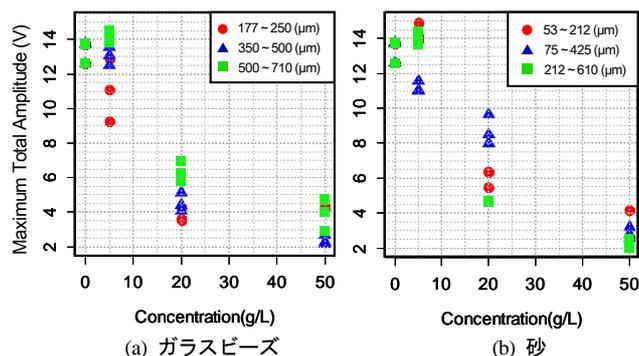


図-2 各粒径における最大全振幅

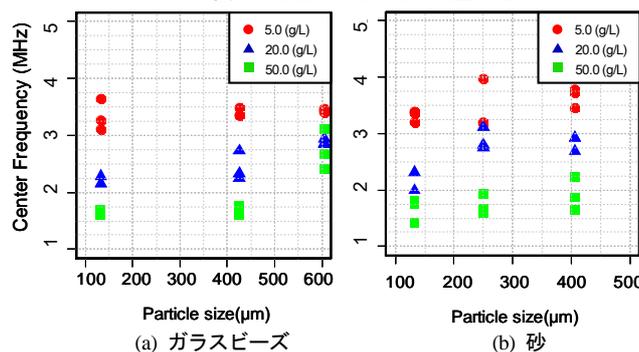


図-3 各濃度における中心周波数

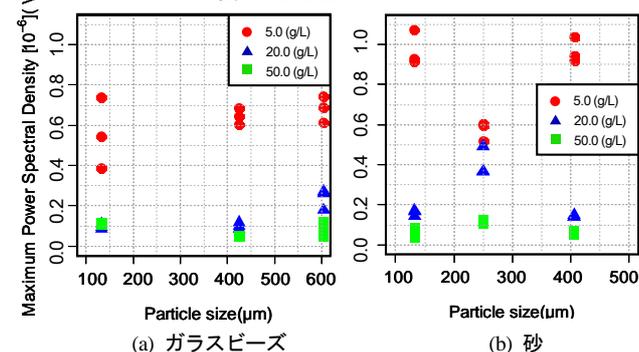


図-4 各濃度における最大周波数スペクトルの最大値