

ADCP の散乱強度を用いた浮遊土砂量推定に関する研究

高知高専専攻科 学生会員 ○北村公一
高知高専専攻科 学生会員 竹内慈永 高知高専 正会員 岡田将治

1. 緒言

河川において流れや土砂移動の現象を解明するためには、目的に応じたモニタリング技術の構築が重要となる。河川の流送土砂はその形態によって掃流砂と浮遊砂、ウォッシュロードに分類される。水中の浮遊砂およびウォッシュロードの計測は一般的に採水によって行われているが、観測と分析に多大な労力やコストを要するため、近年では超音波ドップラー流速計(以下 ADCP と示す)を用いて流況計測と同時に浮遊砂量の推定する手法が提案されている。橘田ら¹⁾は、音波の伝搬に関するソナー方程式に基づいて ADCP の散乱強度を用いた濁度(Acoustic Backscatter Turbidity:以下 ABT と示す)推定モデルを提案し、石狩川感潮域においてその有効性を検証している。しかし、現状では洪水時の観測結果への適用事例はほとんどない。そこで本研究では洪水時の流況と浮遊土砂量の同時計測技術の構築を最終目標とし、その基礎検討として永瀬ダムにおいて出水後に ADCP および濁度計による現地観測、採水を実施し、それらの結果を橘田ら¹⁾の推定手法に適用する。さらに、その推定式の特性を把握するために各項の係数の感度分析を行って、それらの変化が ABT の鉛直分布に及ぼす影響を明らかにする。

2. 超音波の散乱強度を用いた浮遊土砂量推定法

ADCP は水深およびグリッド毎の流速の他にも超音波が水中の懸濁物質に反射することによって生じる散乱強度も計測することができる。散乱強度は、超音波が懸濁物質に反射した時点での強度と定義され、水中を通過する際に生じる水塊による発散損失と吸収損失、懸濁物質による吸収、超音波の拡散・距離減衰、濁質による発散損失等の影響を伝播経路で生じる。Hay ら²⁾は ADCP から水中に発射した超音波の浮遊懸濁物質による散乱強度と浮遊懸濁物質濃度 M との関係式を解析的に求め、詳細な実験データを取得して Eq. (1) を提案している。浮遊懸濁物質濃度 M が本研究で取り扱う ABT である。

$$\log_{10} M(r) = S \{ dB' + 2r(\alpha_w + \alpha_s) + 20 \log \psi r \} + K_s \quad (1)$$

$M(r)$ = トランスデューサーからの距離における濃度,

S = 散乱係数, dB' = 超音波受信強度, ψ = 近場補正係数,

K_s = トランスデューサー定数, α_s = 粒子の吸収係数, α_w = 水の吸収係数

超音波の散乱強度を用いて浮遊土砂量を推定するためには、初めに実測濁度と採水した濁水の SS 試験を行い浮遊土砂量(SS)の関係式を求める。つぎに ADCP で計測した散乱強度を実測濁度の鉛直分布に合わせるように Eq. (1) を用いて各項の係数のキャリブレーションを行う。これより ADCP の散乱強度から実測濁度(ここでは ABT) が推定でき、実測濁度と SS の関係から、浮遊土砂の推定が可能になる。ADCP を横断移動しながら計測した場合には各グリッドの流速分布と ABT を乗じて積分することにより、その断面に通過する浮遊土砂量フラックスを推定することができる。

3. 永瀬ダムにおける ADCP および濁度計を用いた現地観測

2011 年 9 月 5 日の出水直後に永瀬ダムの水深約 30m の地点において、ボートから ADCP および濁度計を用いた計測と採水を実施した。ADCP の設定を層厚 1.0m, 層数 35 で散乱強度の鉛直分布を計測した。濁度計は、散乱光測定方式の ATU75W-USB (JFE アドバンテック社製) を使用し、水面から濁度計を鉛直に降ろしながら 1 秒間隔で濁度と水温の計測を行った。採水は、水面下 2m から 3m 間隔で行い、試料を持ち帰って SS 試験と粒度分布測定装置を用いて SS(mg/l) と平均粒径(μm) を求めた。なお本観測における濁水中の平均粒径は約 10 μm であった。

4. 永瀬ダムにおける現地観測結果と ABT 推定モデルの感度分析結果

Fig. 1 に濁度計で計測した濁度の鉛直分布と ADCP で計測した散乱強度を濁度の鉛直分布に合わせるように Eq. (1) の各項をキャリブレーションした結果を示す。濁度は 0m~10m までは 150ppm 程度なのに対して、それよりも深い地点では急激に濁度が上昇し、200~300ppm となっている。この濁度の鉛直分布を再現するために Eq. (1) の各項のキャリブレーションを行った結果、の各項の係数は水の吸収係数が 155%、粒子の吸収係数が 10、トランスデューサー定数が 14、散乱係数が 35 となった。近場補正係数は水深が 30m あるため考慮していない。また、粒径は観測結果の 10 μm としている。Fig. 2 は実測濁度と浮遊土砂量の関係プロットしたものである。採水回数が少ないため両者の関係にバラツキがみられるが、濁度が 100ppm 以上の場合の SS の推定式が得られた。つぎに ABT の鉛直分布に影響を及ぼす Eq. (1) の各項目について感度分析を行った。Fig. 3 にそのもっとも影響が大きかった散乱係数に関する感度分析結果を示す。

散乱係数は、Fig. 1 で得られた 35 を基準として、33,37,39 に変化させた。図より、37, 39 の ABT の値は変化が少ないが 33 の ABT の値は、水深が大きい箇所ほど変化率が大きいことがわかった。粒径については、5 μm より小さい場合と 100 μm より大きい場合 ABT の値を計測できない。永瀬ダムの粒径は 6 μm ~99 μm の範囲では ABT の値に影響が少ないことが分かった。システム係数については、10 から 20 に変化させることで ABT の値が約 2 倍になる。水の吸収係数の値を 0~50 の範囲で変化させると、ABT の値に影響が少ない。粒子の吸収係数の値を 100 から 150 に変化させると表層付近は ABT の値に変化が少なく、河床付近では約 3 倍程度 ABT の値に影響を与えることがわかった。

5. 結言

本研究では、洪水時の流況と浮遊土砂量の同時計測技術を構築するために、橘田らの推定手法に適用し、基礎検討を行うために、永瀬ダムにおいて、濁度計測・採水・ADCP 計測を行った。推定式の特徴を把握するために、濁度計測した結果から、ADCP の後方散乱強度と Eq. (1) を用いてキャリブレーションを行い、ABT の鉛直分布を再現することができた。ABT の計測結果から 10m 付近で濁度が大きくなることが分かった。

そして、各項の係数の感度分析結果から散乱係数が最も ABT の値に影響を与えることが分かった。粒径については、6 μm ~99 μm の範囲では ABT の値に影響は少なく 5 μm より小さい場合と 100 μm より大きい場合は ABT の値が計測できない事がわかった。水の吸収係数の値を 0~50 の範囲で変化させると、ABT の値に影響が少ないことが分かった。粒子の吸収係数の値を 100 から 150 に変化させると表層付近は ABT の値に変化が少なく、河床付近では約 3 倍程度 ABT の値に影響を与えることが分かった。

参考文献

- 1)橘田隆史, 横山洋, 橋場雅弘, 新井励 : ADCP の超音波反射強度を利用した濁度計測技術について, 河川流量観測の新時代, 第 2 巻, pp.49-56, 2011.
- 2)J.Sheng, A.E.Hay : An examination of the spherical scatterer approximation in aqueous suspensions of sand, Journal of Acoustic Society of America, 83, 1998.pp.598-610

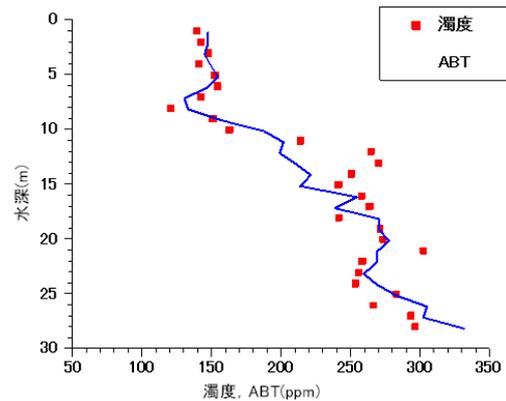


Fig. 1 実測濁度の鉛直分布および Eq. (1) を用いてキャリブレーションを行った ABT の鉛直分布

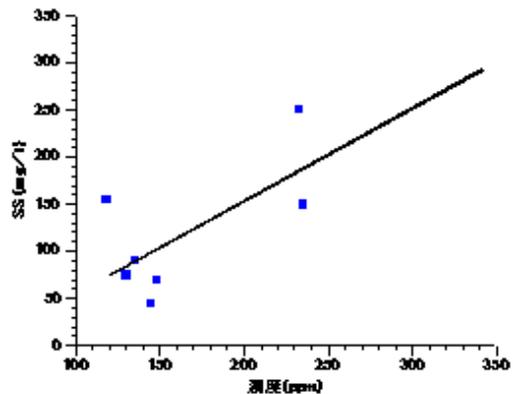


Fig. 2 浮遊土砂量と濁度の関係式

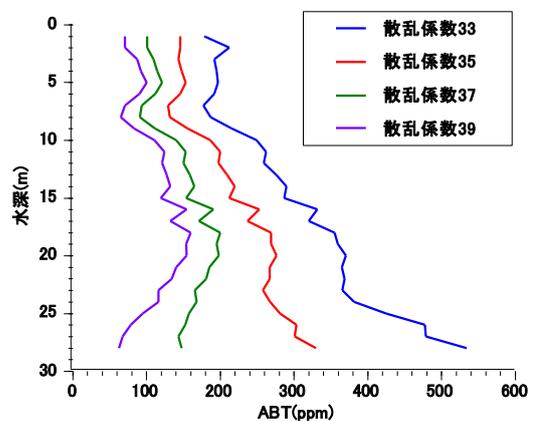


Fig. 3 Eq. (2) の散乱係数の変化が ABT の鉛直分布に与える影響