

実大河川実験水路における ADCP を用いた SS 濃度の推定

Estimation of SS Concentration in actual size river experimental channel with ADCP

(独) 土木研究所寒地土木研究所 ○正 員 横山洋 (Hiroshi Yokoyama)
 (独) 土木研究所寒地土木研究所 正 員 飛田 大輔(Daisuke Tobita)
 (独) 土木研究所寒地土木研究所 正 員 矢部 浩規(Hiroki Yabe)
 北海道開発局帯広開発建設部 武田 淳史(Atsushi Takeda)

1. はじめに

河道内の浮遊土砂輸送量把握は、河道の計画や維持管理において重要な基礎データの1つである。しかし、洪水時の浮遊土砂輸送量を時系列で把握するためには、浮遊土砂濃度計測と流量観測を同時に行う必要がある。また、洪水期間中の土砂輸送量変化の把握のためには、洪水ハイドログラフのピークも含めて網羅できるように観測する必要があるが、コスト面、技術面から実際には困難が多い。

実河川の浮遊土砂輸送量を時間連続で捉える手法の1つとして、超音波流速計（以下 ADCP と称する）が水中懸濁物に反射する際の強度（反射強度）と SS 濃度に相関があることを用いた手法があり、河川や湖沼等の多くの水域で適用されてきた¹⁾²⁾。著者らも網走湖及び石狩川で ADCP を用いた SS 濃度連続推定を行っているが、技術的課題の1つとして、SS 濃度が短時間で大きく変化する場合に推定精度が下がることが挙げられる³⁾。課題の検討のためには、短時間での SS 濃度の変動が実測されていることが望ましいが、実際の河川・湖沼でこのようなデータを取得することには大きな困難が伴う。

本研究では、北海道開発局と寒地土木研究所が合同で実大河川実験を行っている十勝川千代田実験水路での観測データに着目した。本稿では、SS 濃度が通水に伴い変化する中での ADCP 計測データの特性を検証する。また、SS 濃度の推定結果をもとに、手法の適用性や留意点について考察を行った。

2. 実験の概要

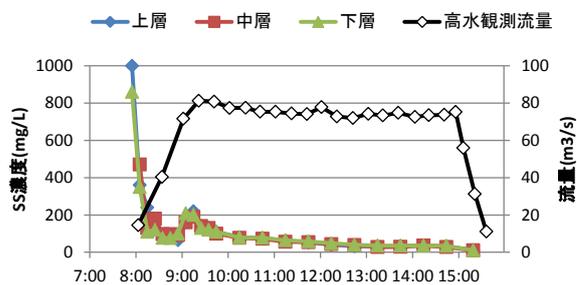
十勝川千代田実験水路では、洪水時の河床変動特性の検証を目的として、2012年に2回（第1回：6月28日、第2回：7月24日）、定常流による通水実験を行っている。実験区間内の河床勾配は約 1/500、水路幅は底面で 8m、水路左岸側は鋼矢板、右岸側は 2 割勾配のコンクリートブロックで被覆された法面である。

実験流量は、第1回通水では 70m³/s、第2回通水では 35m³/s を定常到達時の目標値としている。2012年度の実験は他の年度と異なり、通水中に破堤を伴わない実験のため、定常状態到達後は実験終了まで河道下流流量はほぼ一定で推移する。

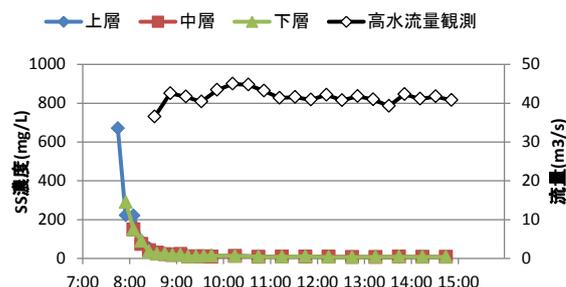
実験では、図-1 に示すとおり、上流側(P410)及び下流側(P610)の2断面で ADCP (RD Instruments 製 Workhorse 1200kHz) 横断観測により流量測定を行っている。観測の頻度は、通水開始から流量定常状態に達するまでの通



図-1 実験水路の様子及び観測位置
(写真は 2012 年 6 月撮影)



(a) 第1回通水時



(b) 第2回通水時

図-2 実験流量及び採水 SS 濃度

水初期は流量時間変化が大きいことから約 10 分間隔、流量定常状態到達後は約 30 分間隔である。また両流量観測断面に位置する上流側仮設橋 (P530) からは、バンドン式採水器により、鉛直方向 3 層で採水を行い、SS、濁度及び粒度分析（レーザー回折散乱法）を行っている。以後の考察では、観測で得られる反射強度デー

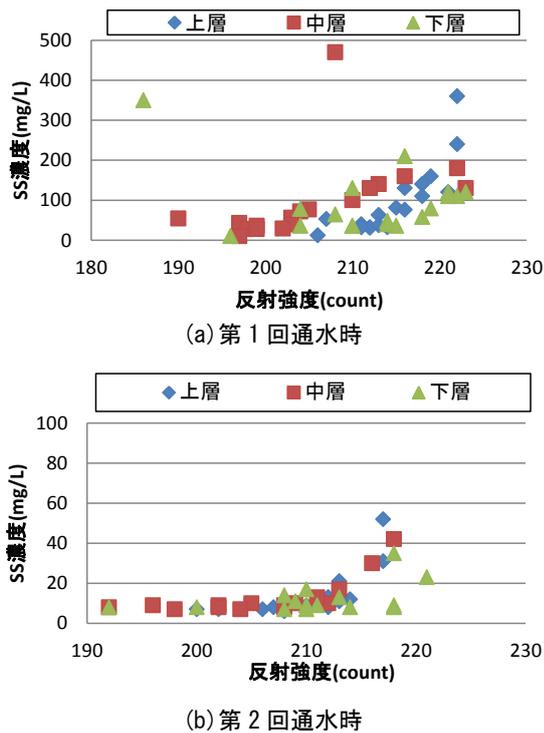


図-3 ADCP 反射強度と SS 濃度の相関

タがより安定している P610 のデータをもとに、考察を進めていく。

3. 観測結果

3-1 SS

図-2 に高水観測による実測流量及び採水による SS 濃度変化を示す。第 1 回通水では、通水開始直後に一時的に SS 濃度が 1000mg/L オーダーがみられ、グラフでは割愛しているが 7 時 45 分に表層で最大 5000mg/L であった。SS 濃度はその後急速に低減し、通水開始 1 時間後の 8 時半には 100mg/L 以下となった。その後 9 時台に一時的な上昇がみられるが、SS 濃度は低減が続き、12 時以降は 30~40mg/L でほぼ安定した。

第 2 回通水でも、SS 濃度の時間的変化は第 1 回通水とほぼ同様である。通水開始直後の 7 時 45 分には 670mg/L であるが、その後の SS 濃度は低減を続けていき、12 時以降では SS 濃度は 10mg/L 以下となった。なお、SS の鉛直分布は、ほぼ一様かもしくは表層部でやや高い濃度を示すことが多かった。

通水開始直後にみられる一時的な SS 濃度上昇は、通水で開放する千代田分流域堰ゲートの上流側ならびに水路上流部に堆積した土砂が、通水とともに流出したものと推測される。

浮遊土砂成分はシルトと細砂が主体である。第 1 回通水開始直後は細砂分の割合がやや高いものの、通水が進むにつれてシルトの割合が高い結果となった。

3-2 ADCP 反射強度

図-3 に ADCP の反射強度と SS 濃度の相関を示す。

ADCP 測定は採水時刻と必ずしも一致しないため、最も近い時刻に実施されたものを、比較対象としている。両者の時間差は最大で 8 分以内である。

また ADCP 観測にはある程度の水深が必要なため、観測は 8 時から開始している。そのため ADCP 観測は各通水での SS 濃度ピーク発生時をカバーできない。第 1 回通水での SS 最大値は 500mg/L、第 2 回通水は 60mg/L となっている。

図-3 から、両ケースともに全体的な傾向として、SS 濃度が高いと反射強度が大きい値を示している。ただし第 1 回通水の初期に、中層部と下層部で SS 濃度が 200mg/L を超える試料がみられ、これらは反射強度との相関はみられない。

4. 考察

4-1 SS 濃度推定式

ADCP から発射される超音波は、発射部からの距離及び水中の伝搬により減衰する⁴⁾。そのため、以下の式(1)に示すソナー方程式により、ADCP 反射強度データから SS 濃度の関係を検証する⁵⁾。

$$\log_{10} SSC(r) = S(dB' + 2\alpha r + 20\log_{10} r) + K_s \quad (1)$$

ここで r: 超音波発信部 (トランスデューサー) からの距離、S: 係数、SSC: SS 濃度、dB': ADCP 反射強度、 α : 超音波の水中吸収係数、 K_s : 定数である。 α は理論値もあるが、実河川や湖沼では実測値を用いることも多い。本稿もこれに倣い、著者らが石狩川等の実測から得た $\alpha=2$ を用いる。

以下、式(1)に従い、SS 濃度と ADCP による反射強度ならびに後方散乱強度の関係について検証を進める。

4-2 ADCP 観測データによる SS 濃度の推定

図-4 は第 1 回通水による SS 濃度と反射強度及び後方散乱強度の関係である。なお反射強度 EI (dB 換算) は式(2)、後方散乱強度 E' は、式(3)で示される。

$$EI = I \times 0.43 \quad (2)$$

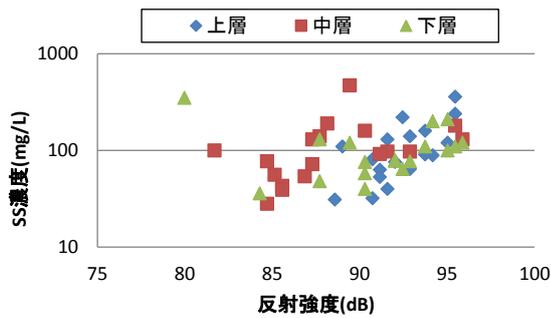
$$BS = EI + 2\alpha r + 20\log_{10} r \quad (3)$$

ここで r: 超音波発信部 (トランスデューサー) からの距離、I: ADCP による反射強度測定値(count)である。

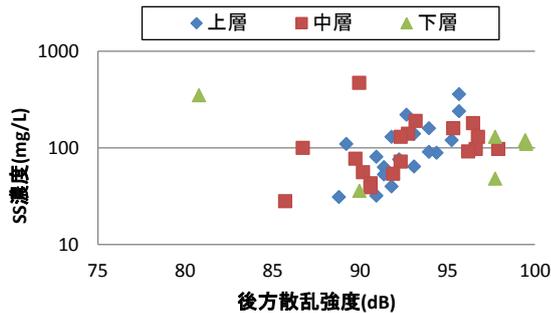
図-4(a)に示す SS 濃度と反射強度の関係では、採水の層別では相関がみられるが、全層の値で相関をみた場合はばらつきが大きい。しかし、図-4(b)に示す SS 濃度と後方散乱強度の関係では、全層の値で相関をみてもばらつきが小さくなっている。これは、反射強度での比較では中層及び下層部での ADCP からの発射音波減衰の効果が適切に評価できておらず、ADCP からの濁度推定においては水中での音波減衰を考慮することが重要なことを示唆している。

pp. 32-33、2004

5) 新井 励, 中谷直樹, 奥野武俊: 海域モニタリングに適したADCPを用いた濁度の鉛直分布計測手法, 日本船舶海洋工学論文集第7号, pp.23-30, 2008



(a) SS～反射強度



(b) SS～後方散乱強度

図-4 SS 濃度と反射強度・後方散乱強度の関係

5. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- ・千代田実験水路において、ADCP 反射強度と実測 SS 濃度の関係を検証した。両者には採水層別でみると相関が確認できたが、SS 濃度が 200mg/L を超える試料では相関はみられなかった。

- ・反射強度に水中での伝搬距離に応じた音波減衰が考慮された後方散乱強度と、実測 SS 濃度の相関を検証した。その結果、反射強度～SS 濃度の相関に比べ、後方散乱強度～SS 濃度の相関がより良好であることを確認した。

今後、他の観測ケースや実験中での濁度上昇等、より土砂濃度変化が顕著なケースにおいても、同様の検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 川西澄、山本洋久、余越正一郎：超音波流速計と散乱光式濁度計を用いた懸濁粒子の濃度、粒径、フラックスの測定、水工学論文集第42巻、pp. 559-564、1998
- 2) 豊田政史、宮原一道、疋田真、宮原裕一：超音波ドップラー流速計を用いた湖内懸濁物質濃度分布の推定、応用測量論文集、Vol. 19、pp. 55-60、2008
- 3) 横山洋、渡邊尚宏、矢部浩規、渡邊和好：超音波流速計による感潮河川・湖沼の濁度推定精度、寒地土木研究所月報第723号、2013
- 4) 海洋音響学会：海洋音響の基礎と応用、成山堂書店、