

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：56401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560614

研究課題名(和文) ADCPを用いた洪水流況，河床速度，浮遊砂量の同時計測技術の開発と実洪水への適用

研究課題名(英文) Development of simultaneous measuring method of flood flow, bed load velocity and suspended sediment using ADCP

研究代表者

岡田 将治 (OKADA, SHOJI)

高知工業高等専門学校・環境都市デザイン工学科・准教授

研究者番号：80346519

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：河川における洪水時の土砂動態を精度良く把握するために，ADCP(超音波ドップラー流速計)とRTK-GPSを搭載した橋上操作艇により，洪水流況，掃流砂の速度，浮遊砂量を同時に計測する手法を構築し，四万十川，仁淀川および肱川の一級河川においてその手法の適用性を検証した．実測結果に基づいた掃流砂量の推定手法では，一般的に用いられている手法で求めた値よりも4～5倍大きくなることを示唆した．また，浮遊砂量推定技術では，濁度は570-700[ppm]の高濁度条件下においても，本手法が適用できることを確認した．

研究成果の概要(英文)：We developed a bed-load discharge measurement system based on ADCP in the experimental flume and applied it to actual river. In order to verify the applicability of this method, flood flow observation by using tethered boat equipped with ADCP and RTK-GPS were conducted in several Japanese rivers with different grain size. The output data were compared with conventional formula and results of 2D bed deformation analysis using observed discharge and water level data. As a result, relationship between non-dimensional shear stress and non-dimensional bed-load discharge estimated by author's method showed similar tendency with conventional formula even though shear velocity calculated from vertical velocity distribution was larger than the other calculated values. Moreover, practical observation routine of flood discharge and bed-load were suggested by the combination with stationary and moving observation.

研究分野：河川工学

科研費の分科・細目：水工学

キーワード：超音波ドップラー流速計 洪水流モニタリング 掃流砂量 浮遊砂量

1. 研究開始当初の背景

水工学分野では、水・物質循環解析ソフトウェア共通プラットフォーム「通称:Common MP」の開発プロジェクトが進んでおり、解析技術の標準化、共通基盤の整備と同時に、解析結果を検証するための高い精度を有する洪水流量等の基本データの計測技術の確立や洪水中の河床変動計測といった応用観測技術の推進も重要であること認識されている。河川における土砂動態の把握は、山から海岸まで流域全体の治水のみならず、河川環境においても重要な課題であることから、簡便で、かつ精度の高いモニタリング技術が求められている。

2. 研究の目的

河川における洪水時の流量や土砂移動量は、河川計画の立案や河川管理を行ううえで最も重要なデータである。申請者はこれまでの研究において、超音波ドップラー流速計(以下、ADCPと記す)を用いた洪水流況および掃流砂速度の同時計測に係わる基礎技術を構築しており、申請する研究では、さらに浮遊土砂量の推定技術を加えた ADCP1 台で3つの諸量の同時計測技術を構築し、実洪水の現地観測を実施して、提案する手法の有効性を検証する。

3. 研究の方法

四国地方の一級河川である四万十川(2011年7月)、仁淀川(2012年9月)および肱川(2013年10月)において、ADCPとRTK-GPSを搭載した橋上操作艇を用いた洪水観測を実施した。掃流砂量については、図-1に示すように、ADCPとRTK-GPSを併用した洪水流観測によって得られる掃流砂速度と鉛直流速分布から算出した摩擦速度から下記のBagnold型の掃流砂量算定式に基づいた方法を提案している。

$$q_B = \int_0^{h_s} c \cdot u \cdot dz \cong v_s \cdot h_s \cdot c_s \quad (1)$$

ここで、 q_B : 単位幅掃流砂量、 c : 土砂濃度、 u : 土砂移動速度、 v_s : 平均土砂移動速度、

h_s : 土砂の移動層厚、 c_s : 移動層内の鉛直平均濃度($c_s=0.6$)である。移動層厚については、式(2)の江頭ら⁵⁾が提案する推定式を用いる。

$$\frac{h_s}{d} = \frac{1}{c_s \cdot \cos \theta \cdot \{\tan \phi_s / (1 + \alpha) - \tan \theta\}} \tau_* \quad (2)$$

ここに、 ϕ_s : 砂粒子間の内部摩擦角、 α : 動圧水圧と静的水圧の比($\alpha=0.25$)、 θ : 河床勾配である。

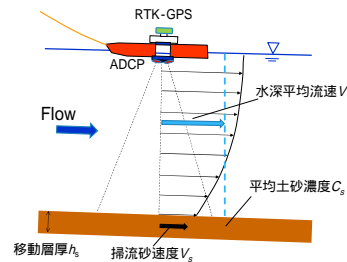


図-1 ADCPとRTK-GPS搭載橋上操作艇による掃流砂量推定手法の概念図

浮遊砂量については、図-2に示すように、まず現地観測においてADCP橋上操作艇により流速および反射強度の横断面分布を計測する。その際、ADCPで水深も計測できることから横断面形状および断面流量も得られる。また、採水を行い、持ち帰って試料の粒径分布、濁度およびSSを計測し、濁度-SS濃度換算式を作る。つぎに、著者が提案するADCPで計測された反射強度から超音波濁度(ABT: Acoustic backscatter turbidity、以下ABTと示す)を計算する。そのアルゴリズムを以下に示す。散乱強度 EI は、ソナー方程式から式(3)で表される。

$$EI = SL + SV + Const - 20 \log(r) - 2\alpha_w r \quad (3)$$

ここに、 EI : 散乱強度(dB)、 SL : 発射強度(dB)、 SV : 粒子の後方散乱、 α_w : 水の吸収係数(dB/m)、 r : トランスデューサーからの距離(m)である。また、懸濁態濃度は、音響強度と懸濁態濃度の関係について伝搬損失を考慮した式(4)で算出している。

$$\log M(r) = S \{ dB + 2R(\alpha_w + \alpha_s) \} + K_s \quad (4)$$

$M(r)$: トランスデューサーからの距離における懸濁態濃度、 S : 後方散乱係数、 dB : 拡散補正後の後方散乱強度、 α_s : 粒子の吸収係数、

K_s : トランスデューサー定数 である．この式を用いて鉛直濁度分布に一致させるように各変数を決定し，超音波濁度(ABT)を求める．濁度-SS 換算式に ABT を代入することで，浮遊砂濃度が算出され，さらに ADCP によって計測された横断面内の各計測グリッドの面積，流速を乗ずることによって浮遊砂フラックスが得られる．

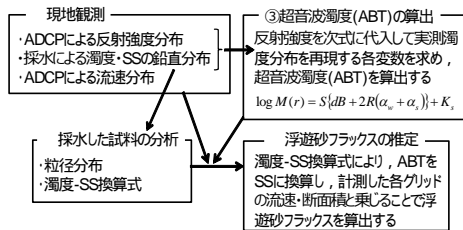


図-2 浮遊砂フラックスの算出フロー

4. 研究成果

本研究で提案する手法で得られる無次元掃流力は，図-3 に示すように四万十川と仁淀川のデータでは，摩擦速度は水深と水面勾配から算出した摩擦速度よりも大きい値を示し，利根川のデータでは無次元掃流力の値の範囲が広がっている．また，著者らの手法で求めた無次元掃流力と無次元流砂量の関係は，河床粒径，水理条件の異なる3つの河川のデータをすべてプロットした結果，芦田・道上の式と同様な傾向を示した．しかし，本手法により得られた無次元掃流力と無次元掃流量が約4倍大きく算出されていることがわかった．

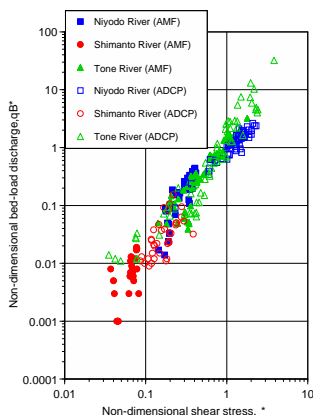


図-3 芦田・道上式および ADCP の計測値から求めた無次元掃流力と無次元掃流砂量の関係

図-4 に四万十川において ADCP で計測した(a)反射強度，本研究で提案する手法により推定した(b)ABT および採水データに基づいて算出した(c)SS を示す．濁度は 570 ~ 700[ppm]の高濁度条件下であったが，一般的な橋上操作艇を用いて，流速分布，水深および反射強度データを取得することができた．

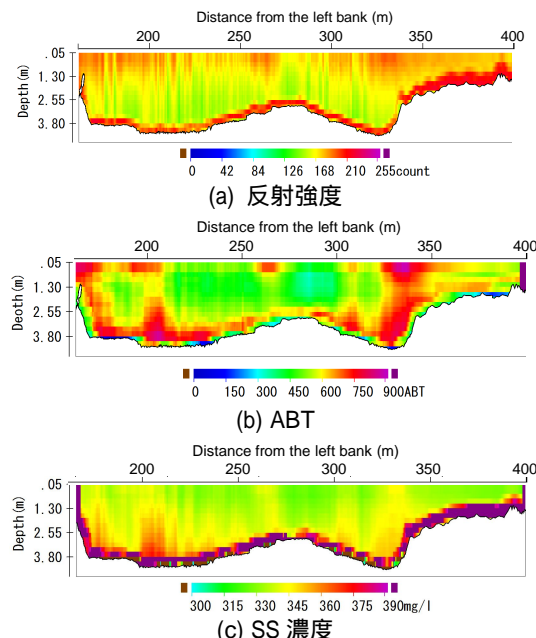


図-4 ADCP の反射強度と採水データに基づいて推定した ABT と SS の横断面分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

A. Kadota and S. Okada : Three Dimensional Flow Analyses for Accuracy Estimation of Floats Flow Measurement, River Flow 2014, 査読有，2014.9 (Accepted)

岡田将治，竹内慈永，和泉征良，萬矢敦啓，橘田隆史：ADCPとRTK-GPS搭載橋上操作艇を用いた定点・曳航観測から得られた水深平均流速，摩擦速度および掃流砂速度の考察，土木学会河川技術論文集，査読有，第20巻，pp.61-66，2014.6

岡田将治，和泉征良，竹内慈永，萬矢敦啓，橘田隆史：ADCPとRTK-GPSの実測データに基づく掃流砂量推定手法の考察，土木学会論文集B1(水工学)，査読有，

Vol.70, No.4, I_631-I_636, 2014.

岡田将治, 萬矢敦啓, 本永良樹, 橘田隆史: ADCPによる洪水流況・掃流砂・浮遊砂量の同時計測技術構築のための基礎的検討, 土木学会論文集B1(水工学), 査読有, Vol.69, No.4, I_751-I_756, 2013.

岡田将治, 萬矢敦啓, 橘田隆史: ADCPの反射強度による洪水時の浮遊砂量推定と水中採水による浮遊砂濃度の鉛直分布計測, 河川流量観測の新時代, 第4巻, 水文・水資源学会研究グループ「河川流量観測高精度化研究会」, pp.10-16, 2014.

岡田将治: ADCPとRTK-GPSを搭載した橋上操作艇を用いた四万十川における洪水流況と掃流砂速度の同時計測, 日本流体力学会, ながれ第32巻(2013)第5号, pp.353-358, 2013.

岡田将治, 萬矢敦啓, 橘田隆史: 日本におけるADCPを用いた流量観測データの品質管理手法, 河川流量観測の新時代, 第2巻, 水文・水資源学会研究グループ「河川流量観測高精度化研究会」, pp.28-33, 2011.

萬矢敦啓, 岡田将治, 橘田隆史, 深見和彦: 日本におけるADCPを用いた流量観測手法, 河川流量観測の新時代, 第2巻, 水文・水資源学会研究グループ「河川流量観測高精度化研究会」, pp.34-41, 2011.

[学会発表](計9件)

和泉征良, 竹内慈永, 岡田将治: ADCPとRTK-GPSの計測データに基づく掃流砂量の推定と掃流砂量式との比較, 平成26年度土木学会四国支部第20回技術研究発表会概要集, II-10, 2014.5

Takeuchi J. and Okada S.: Simultaneous Measuring of Flood Flow and Bed-load Velocity using ADCP and RTK-GPS, Proc. of International Symposium on Technology

for Sustainability(ISTS) 2013, 2013.11

松本優希, 竹内慈永, 岡田将治: 四万十川におけるADCPの反射強度を用いた洪水時の浮遊砂量推定, 第3回流域圏学会学術研究発表会概要集, P11, pp.95-96, 2013.9

高橋湧生, 竹内慈永, 岡田将治: ADCPとRTK-GPSを用いた洪水時における流況と掃流砂速度の同時計測とその考察, 第3回流域圏学会学術研究発表会概要集, P13, pp.99-100, 2013.9

地曳海渡, 竹内慈永, 岡田将治: 洪水時におけるADCPの散乱強度を用いた浮遊砂量推定に関する研究, 平成25年度土木学会四国支部第19回技術研究発表会概要集, II-27, 2013.5

門田章宏, 岡田将治, 重松和恵, 野村将大: 四万十川における流量観測精度評価のための流況解析手法の適用性, 平成25年度土木学会四国支部第19回技術研究発表会概要集, II-31, 2013.5

竹内慈永, 岡田将治: ADCPを用いた流況と河床移動速度の同時計測技術の四万十川洪水への適用, 第2回流域圏学会学術研究発表会概要集, P-1, pp.59-60, 2012.9

地曳海渡, 竹内慈永, 岡田将治: ADCPの散乱強度を用いた浮遊土砂量推定に関する基礎的研究, 第2回流域圏学会学術研究発表会概要集, P-3, pp.63-64, 2012.9

竹内慈永, 北村公一, 岡田将治: ADCPを用いた流況と河床移動速度の同時計測技術の四万十川洪水時への適用, 平成24年度土木学会四国支部第18回技術研究発表会概要集, II-21, 2012.5

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 将治 (OKADA, Shoji)

高知工業高等専門学校・環境都市デザイン
工学科・准教授

研究者番号: 80346519