

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：56401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06242

研究課題名(和文) 洪水中のADCP実測データに基づく掃流力評価と掃流砂量推定技術の構築

研究課題名(英文) Construction of evaluation method of tractive force and bed load discharge based on measurement data of ADCP during flood

研究代表者

岡田 将治 (OKADA, Shoji)

高知工業高等専門学校・ソーシャルデザイン工学科・准教授

研究者番号：80346519

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：超音波ドップラー流速計(ADCP)で計測されたボトムトラック速度を用いた掃流砂量算定法を提案し、移動床水路実験によりその有効性を検証した。はじめに、ADCPで計測されるボトムトラック流速が河床上を移動する掃流砂の速度を表していることをSTIV法により確認した。つぎに、5台のデジタルカメラのインターバル撮影画像からSfM(Structure from Motion)により下流端に堆積した土砂量の時間変化を5%以内の精度で計測する手法を構築した。これらの知見に基づいて移動床実験を実施した結果、SfMにより計測された値と提案する手法により推定された掃流砂量の時間変化が概ね一致した。

研究成果の概要(英文)：The authors proposed a calculation method of the bed load discharge using the bottom track velocity measured by ADCP and this study verified the effectiveness of the method by conducting an experiment with movable bed. First, we confirmed that the bottom track velocity measured by ADCP represents the sand velocity on the riverbed by using the STIV method. Next, a measurement method of the time variation of the sediment volume accumulated at the downstream end by SfM method using the interval photographed images of five digital cameras within 5% of accuracy was developed. As a result of the experiment based on these findings, the effectiveness was clarified since the time change of the bed load discharge estimated by the author's method and the measured value by SfM method roughly agreed.

研究分野：河川工学

キーワード：掃流砂 摩擦速度 掃流力 超音波ドップラー流速計(ADCP)

1. 研究開始当初の背景

洪水中の土砂移動を把握するためのモニタリング技術として、ADCP のボトムトラッキング機能で計測される対地速度(以下、ボトムトラック速度、あるいは BT 速度と記す)を用いた掃流砂量計測手法の検討が進められている。この計測技術は、Rennie ら¹⁾によって提案され、Ramooz ら²⁾による大型移動床水路を用いた実験でその有効性の検証が行われている。

研究代表者ら³⁾の研究グループでは、大型移動床水路において ADCP で計測した鉛直流速分布から摩擦速度を推定するアルゴリズムを提案し、BT 速度との関係を考察した結果、Rennie ら¹⁾が用いた対数則を仮定した推定手法よりもさらに正の相関を持つことを示した。それ以降、この手法を用いて、利根川⁴⁾および仁淀川⁵⁾における洪水中の土砂動態を観測している。

しかし、ADCP では河床近傍で鉛直流速分布が計測できないために外挿補完が必要であること、流速データが欠測した場合に摩擦速度の評価ができないことから、データの欠測が少ない BT 速度から掃流砂量を算出する汎用性の高い手法に修正した。その手法を準実河川規模の人工流路実験に適用し、ADCP と小型ナローマルチビームを搭載したボートを用いて計測区間下流のピットに堆積した土砂量の時間変化を計測し、提案する手法の妥当性を確認している⁶⁾。

一方で、この掃流砂量算定手法の特徴である ADCP で計測する BT 速度が実際に河床上を移動する掃流砂の速度であるかについて確認している事例はほとんどない。Ramooz²⁾らが前述の移動床実験において、高速ビデオカメラを用いて掃流砂の移動を撮影している事例があるが、BT 速度との関係について十分な考察が行われていない。

2. 研究の目的

本研究では移動床実験水路において、はじめに、ADCP で計測される BT 速度が河床上を移動する掃流砂の速度であることを STIV 法により検証した。つぎに、文献⁶⁾と同様な計測を実験水路で実施するため、ADCP で計測する断面の直下流に設置した沈砂池(トレイ)に堆積する土砂量の時間変化を 5 台のデジタルカメラを用いた SfM (Structure from Motion)で計測する手法を構築した。最後に、BT 速度から算出される掃流砂量と堆積した土砂量の時間変化を比較し、研究代表者らが提案する掃流砂量算出手法の有効性を明らかにした。

3. 研究の方法

(1) 実験概要

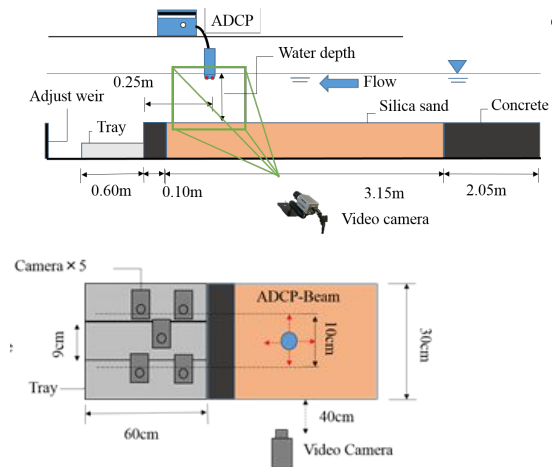


図-1 実験水路の諸元と計測機器設置状況

図-1 に本実験で使用した移動床直線水路と計測機器の設置状況を示す。水路幅 0.30m、水路長 7.00m の可変勾配式開水路を使用し、水路床勾配を 1/100 に設定している。下流の移動床区間 3.15m に珪砂 4 号(代表粒径 0.7mm)を敷き詰めている。

実験条件は、使用した小型 ADCP (Teledyne RDI 社: Stream pro ADCP)で BT 速度を計測できる水深 10cm 以上にするこ、掃流砂のみの移動形態となるように試験通水を繰り返して、流量、水路床勾配および河床材料粒径の条件を決定し、流量と下流端水深をそれぞれ毎分 1970 リットル、17cm とした。平坦河床から通水を開始し、下流端のトレイに堆積土砂が満杯になる前までの約 17 分間に終了した。

ADCP のトランスデューサー(超音波の送受信部)は、水路下流端から上流 25cm の位置の水路断面中央部に設置し、図-1 の右図に示すように流下方向となるようにビームの向きを設定した。なお、実験で設定した流れでは、水深が小さく鉛直流速が計測できないため、アンサンプル時間が短くなるように計測層厚と層数を設定し、BT 速度値はおよそ 1 秒ごとに出力されている。

(2) STIV 法を用いた河床上の掃流砂速度の計測方法

BT 速度の値を評価するために、図-2 に示すアングルで撮影された動画を用いて、実河川において水表面の流速を計測する手法として近年多く用いられる STIV(Space-Time Image Velocimetry) 法により、実際に河床上を流下する砂の流速を(以下、STIV 流速と示す)計測した。

カメラの高さと流下軸に対して横断方向に対する撮影範囲の比を 1/5 とし、評定点がアングル内に収まることも考慮しながら、できるだけ河床面を高い位置から撮影した。評定点は図-2 に示すように、水路の前方に 3 点、水路の奥側に 3 点、合計 6 点の評定点を

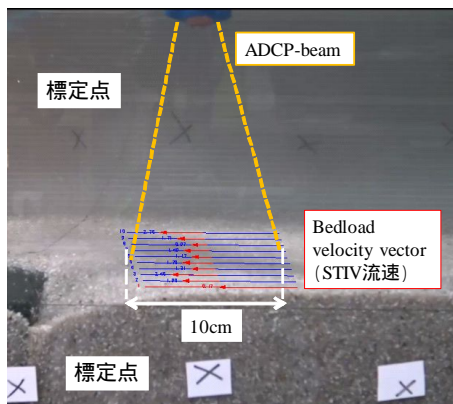


図-2 STIV 法を用いた掃流砂速度の計測状況

設置し、検査線は横断方向に 3cm、合計 10 本設定して、10 秒間の動画から検査線上の平均的な流速を算出した。

また、この実験条件では水深が約 17cm、トランスデューサーの吃水深が 3cm、ADCP のビーム角が 20 度であることから、ADCP は直径 10cm の範囲の平均的な掃流砂の移動速度を BT 速度として出力していることになる。

(3) SfM による他責土砂量の計測方法

図-1 に示すように、ADCP の 4 つのトランスデューサーのビーム幅を想定して横断方向に 3 分割された金属製のトレイを水路下流端に設置した。ここで、中央部のトレイに堆積する土砂量が ADCP から算出する値と比較対象となる。

トレイの上方には、複数台の防水デジタルカメラを設置し、土砂の堆積状況を同時に撮影した画像から SfM ソフトウェア(Agisoft 社 Photoscan)により三次元地形モデルを作成した。

標定点は各撮影アングルに 3 点以上入るように高さを変えた赤レンガ上に設置し XYZ 座標を計測した。これらのデータを入力値として DEM (Digital Elevation Model: 数値標高モデル) データを出力し、土砂量を算出した。

効率的な撮影方法を検討するため、カメラの台数の違いによる精度の検証を行った。試験通水実験の終了後に下流端のトレイに堆積した土砂の体積を静水中でレーザー変位計(キーエンス社製: IL-2000, IL-600×2 台, 1 秒間に 10 回の計測が可能)により計測し、その結果を正として、4 枚、5 枚および 9 枚画像から算出された結果と比較した。

研究成果

(1) ボトムトラック流速と STIV 法を用いた掃流砂速度の計測結果

図-3 に実験中に計測された BT 速度と STIV 流速の比較結果を示す。ここでは、両者を比較するため、BT 速度も 10 秒間の平均値を用いている。図から、流速値が 1 ~ 4cm/s の条件

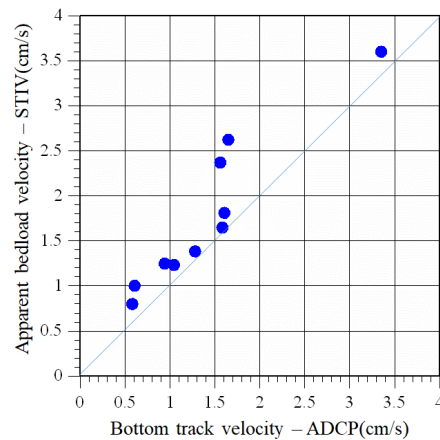


図-3 BT 流速と STIV 流速の比較

下においては、両者が同程度となっており、ADCP で計測される BT 速度は、河床面の移動速度を概ね計測できていることがわかった。

(2) SfM を用いた堆積土砂量の計測結果

トレイ の範囲に 4 枚画像と 5 枚画像、9 枚画像から得られた地形とレーザー変位計を用いて計測した地形の堆積土砂量を比較した。その結果、レーザー変位計の計測結果との比は、4 枚、5 枚、9 枚画像がそれぞれ 1.12 倍、1.03 倍、1.04 倍となった。したがって、5 台の防水カメラを用いて同時に画像を撮影することにより、5%以下の精度で堆積土砂量を計測できることがわかった。

(3) ボトムトラック速度から算出した掃流砂量と実測結果の比較

図-4 にトレイ に堆積した SfM による実測値とボトムトラック流速から推定した掃流砂量の時間変化を示す。SfM による土砂堆積量の計測は、河床波が通過する前後(トレイへの砂の堆積が少ない)の時間帯に行っている。また、小関ら⁶⁾が行っている同様な比較結果において、 α の値が 0.5 から 0.65 の間に分布していたため、ここでも同様に 2 つの α の値を用いて掃流砂量を算定している。その結果、 α の値を 0.65 とした場合の時間変化と近い傾向が得られた。

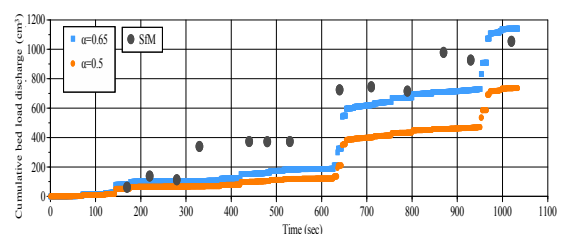


図-4 ボトムトラック流速から推定した掃流砂量と SfM による実測値の時間変化(トレイ)

したがって、本研究で用いた掃流砂量の推定方法により、実測結果を実用レベルで再現できることが明らかとなった。

<引用文献>

- 1) Collin D. Rennie, Robert G. Millar and Michael A. Church : Measurement of Bed Load Velocity using an Acoustic Doppler Current Profiler, Journal of Hydraulic Engineering, MAY 2002, pp.473-483, 2002 .
- 2) Ramooz, R., and Rennie, C. D. : Laboratory measurement of bedload with an ADCP, United States Geological Survey Scientific Investigations Rep. 2010-5091, Reston, VA, 2010 .
- 3) 萬矢敦啓, 岡田将治, 江島敬三, 菅野裕也, 深見和彦 : ADCP を用いた摩擦速度と掃流砂量の算定手法, 水工学論文集, 第 54 巻, pp.1068-1098, 2010 .
- 4) 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, 水工学論文集 B1(水工学), Vol.70, No.4, I_631-I_636, 2014.
- 5) 萬矢敦啓, 岡田将治, 江島敬三, 菅野裕也, 深見和彦 : ADCP を用いた摩擦速度と掃流砂量の算定手法, 水工学論文集, 第 54 巻, pp.1068-1098, 2010 .
- 6) 小関博司, 萬矢敦啓, 工藤俊, 橘田隆史, 岩見洋一 : 実河川における掃流砂量と有効摩擦速度の評価方法, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, 2017 .
- 7) 江頭進治, 宮本邦明, 伊藤隆郭 : 掃流砂量に関する力学的解釈, 水工学論文集, 第 41 巻, pp.789-794, 1997 .
- 8) 江頭進治, 芦田和男, 高濱淳一郎, 田野中新 : 連続体モデルに基づく流砂量式の誘導, 水工学論文集, 第 35 巻, pp.441-446, 1991 .

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

和泉征良, 藤田一郎, 谷昂二郎, 岡田将治, 橘田隆史 : 洪水時の ADCP データに基づく更生係数の分布特性と流量推定の高度化に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.72, No.4, I_895-I_900, 2016. (査読有)

S. Okada, A. Yorozuya, H. Koseki, S. kudo and K. MURAOKA : Comprehensive measurement techniques of water flow, bedload and suspended sediment in large river using Acoustic Doppler Current Profiler, River Sedimentation, Proceedings of 13th International Symposium on River Sedimentation, ISRS, Stuttgart, Germany, pp. 1274-1280, 2016. (査読有)

橘田隆史, 萬矢敦啓, 小関博司, 吉川世

里子, 岡田将治, 工藤 俊 : 流況河床高同時観測システムの構築と観測から得られた河床波の挙動, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, I_535-I_540, 2017. (査読有)

岡田将治, 萬矢敦啓, 小関博司, 工藤俊 : 実河川における直接計測データに基づいた浮遊砂濃度鉛直分布の考察, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, I_541-I_546, 2017. (査読有)

武藤裕則, 岡田将治, 張 浩, 萬矢敦啓, 工藤 俊, 原口 強 : 吉野川岩津狭窄部におけるサブボトムプロファイラーを用いた堆積砂層厚の面的把握と洪水時の流況・河床変動特性, 土木学会河川技術論文集, 第 23 巻, pp.299-304, 2017. (査読有)

[学会発表](計 2 件)

S. Okada, A. Yorozuya, Y. Muto, Z. Hao, S. kudo, T. Haraguchi and T. Kitsuda : Sedimentary layer thickness estimated using a sub-bottom profiler at the narrow segment of the Yoshino River, HYDRAULIC MEASUREMENTS & EXPERIMENTAL METHODS CONFERENCE 2017, Durham, New Hampshire, 2017.7

S. Okada, A. Yorozuya, H. Koseki, S. kudo and K. MURAOKA : Comprehensive measurement techniques of water flow, bedload and suspended sediment in large river using Acoustic Doppler Current Profiler, River Sedimentation, Proceedings of 13th International Symposium on River Sedimentation, ISRS, Stuttgart, Germany, 2016.9

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・ソーシャルデザイン工学科・准教授

研究者番号 : 8 0 3 4 6 5 1 9