

出水時河川における底質巻上げフラックス計測への ADV の適用性

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
東京理科大学理工学部土木工学科

学生員 ○杉村 歩
正会員 二瓶 泰雄

1. 序論

河川や湖沼，内湾の管理を行う上では，土砂動態のモニタリング・モデリング技術を構築・整備していくことは不可欠である．iRICを始めとする土砂輸送モデリング・シミュレーション技術は実用化に達しているのとは比べ，モニタリング技術としては光学式・超音波式センサによる浮遊砂計測技術が確立している程度であり，掃流砂やそれと関係する底面高（河床変動），底質巻上げフラックス等の現地連続モニタリング技術については未だ研究途上である．その中で，超音波センサの一つである超音波ドップラー流速計（Acoustic Doppler Velocimetry, ADV）は，計測点の三次元流速や濁度と相関性の高い超音波反射強度に加え，底面高さも計測可能な機器であり，上記の掃流砂・底面高・巻上げフラックスを同時・自動連続観測できることが期待される．しかしながら，これまで沿岸域・河口域での適用事例に限定されており，出水時の河川における検討事例はない^{1),2)}．本研究では，ADVを用いて出水時河川における底質巻上げ・河床変動・掃流砂量の連続計測を実施し，ADVの適用性について検討することを試みる．さらに，後述するように，良好に計測することができた底質巻上げフラックスに関して，同時計測された光学式濁度計やADCPデータと合わせてデータ解析し，底面せん断力（レイノルズ応力）と巻上げフラックスの関係や渦動粘性係数・渦拡散係数について評価する．

2. 研究方法

（1）ADVの概要：ADV（Vector, Nortek 製）はセンサ中央部から超音波を発信し，16.5cm 離れた計測部（1 辺約 1.3cm の立方体）からの反射音波を 3 つの受信部で計測し，3 次元流速と反射強度が得られる（図 1）．計測周波数は最大 64Hz であり，現地の乱流計測が可能な機器である．反射強度から推定される濁度や土砂体積濃度（もしくは SS）は計測部が底面近傍の時には掃流砂，それより上では浮遊砂に対応する．得られる SS と鉛直流速の乱れ成分の相関から底質巻上げフラックスが算出される．これと同時に，センサから底面までの高さを計測し，最大計測高さ 50cm と限られているが底面高計測も可能である．

（2）予備実験：ADV による反射強度・底面高計測の基本性能を検証するために，礫床が設置された静水中のバケツに ADV を設置し，様々な鉛直位置の反射強度・底面高を計測した．

（3）現地観測：千葉県手賀沼に流入する大堀川（河口から 3.5km）に（図 2），下向きもしくは上向きに ADV を固定設置した．ADV 上向き設置を例とすると，ADV の上流側にゴミ除けの V 字形板を設置し，ADV を底面付近に設置し，その計測高さ（底面から 34.2cm）と一致するように光学式濁度計（Compact-CLW, JFE アドバンテック 株製）も設置した（図 3）．合わせて，ADCP（Workhorse1200kHz, Teledyne RDI 製）と自記式水位計（ウォーターレベルロガー U-20, Onset 製）も設置した．観測期間は，①2012/11/2～9，②11/9～19，③11/28～12/12 とし，ADV 設置状況としては，一台を用いた期間①では下向き，②では上向きであり，二台を用いた期間③では上・下向きに設置した．また，光学式濁度計は二台使い，ADV の計測高さと別の高さに設置された．

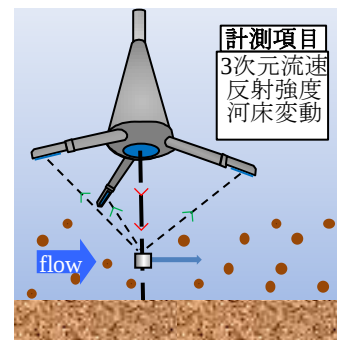


図 1 ADV の計測状況の模式図

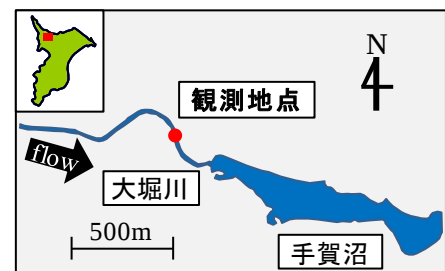


図 2 観測地点

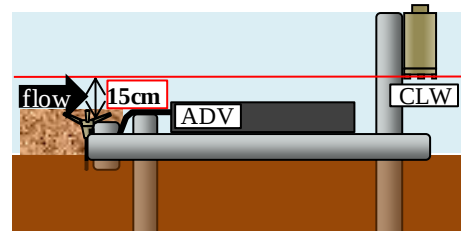


図 3 測器設置状況（ADV 上向き設置の場合，2012/11/9～19）

キーワード：超音波ドップラー流速計, ADV, 巻上げフラックス, 掃流砂, 河床変動

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501（内線 4069）FAX：04-7123-9766

3. 結果と考察

(1) ADV の河床変動・掃流砂計測の可能性：静水中にて下向きの ADV の高さを変え、その時に得られた反射強度と底面高さの鉛直分布を図 4 (a) に示す。これより、反射強度は水中の濁度が一样にも関わらず鉛直位置により変化する ($z=21, 25\text{cm}$ 付近)。これは、ADV センサの“ウィークポイント”と呼ばれる計測エラーであり、この範囲での反射強度計測は信頼できない。また、底面高さについて、 z が 17.5cm 以上の範囲では良好に計測できたが、反射強度がピークとなりセンサ部と底面が重なる $z=16.5\text{cm}$ では、底面高さの出力値は 0 となる。また、現地観測より、出水時河川にて上向き設置された ADV による反射強度と光学式濁度計による濁度の相関を見たところ (同図 (b), 2012/11/1), 濁度との良好な相関関係が得られる反射強度の範囲は $160[\text{count}]$ より下である。掃流砂の土砂堆積濃度の最大レベルに相当する底面近傍の反射強度は最大で $200[\text{count}]$ となっており、この上記の良好な相関が得られた範囲に入っていない。そのため、ADV による掃流砂計測は現実的には難しい。

(2) 出水時河川におけるレイノルズ応力と巻上げフラックスの時間変化：ADV 計測の特徴である乱流統計量 (レイノルズ応力 τ_t ($=-\rho u'w'$) や巻上げフラックス P_k ($=c'w'$) の出水中の変化を見るために、水位 h 、主流方向流速 u 、濁度 $Turb$ 、 τ_t 、 P_k の時間変化を図 5 に示す。ここでは、観測期間における最大出水イベント (11/17 15:00~11/18 3:00) のデータを例示する。これより、増水期において濁度ピークとなり、濃度先行型の出水となっていることがわかる。主流方向流速も全般的には増水期に大きく、それと連動してレイノルズ応力 τ_t も大きい。また、巻上げフラックス P_k は増水期に高い値を記録するなどレイノルズ応力との関連性が伺える。巻上げフラックスは洪水全体にわたり良好に計測されており、実河川出水時における ADV による巻上げフラックス計測は十分可能である。

(3) 巻上げフラックスと底面せん断力の相関関係：この巻上げフラックス P_k と底面せん断力 (=レイノルズ応力 τ_t) の相関図を図 6 に示す。ここでは、観測値を増水期と減水期で分け、かつ、同地点で 2009 年 11 月に行われた現地巻上げ試験による出水前と後の結果も表示する³⁾。本観測結果より、基本的に右肩上がりの相関関係が得られており、また、増水期の P_k の方が減水期よりも大きい。これは、巻上げ試験による出水前・後の結果と対応しており、出水前後の易浮遊性堆積物量の差が、出水中の巻上げ量変化に反映していることが示された。

(4) 渦動粘性係数及び渦拡散係数の比較：上記の乱流統計データと流速・SS 鉛直分布から渦動粘性係数 ν_t と渦拡散係数 K_H を求めた結果を図 7 に示す。ここでは最大出水時の結果を用いる。これより、SS の渦拡散係数 K_H は渦動粘性係数の 0.23 倍であり、一般的な比例係数よりも小さい。そのため浮遊砂輸送の拡散状況を記述するのに必要な渦拡散係数の設定について今後検討する必要がある。

参考文献：1)川西ら，水工学論文集，Vol.42，pp559-564，1998

2)中川ら，海岸工学論文集，Vol.55，pp516-520，2008

3)稲垣貴文，二瓶泰雄，水工学論文集，Vol.55，pp1321-1326，2011

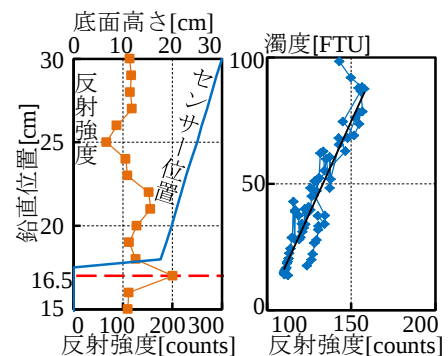


図 4 反射強度と底面高さの鉛直分布 (a) と反射強度と濁度の相関関係 (b)

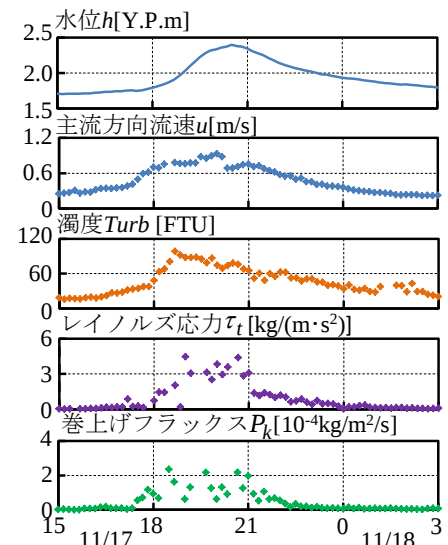


図 5 出水時河川の水位、主流方向流速、濁度、レイノルズ応力、巻上げフラックスの時間変化

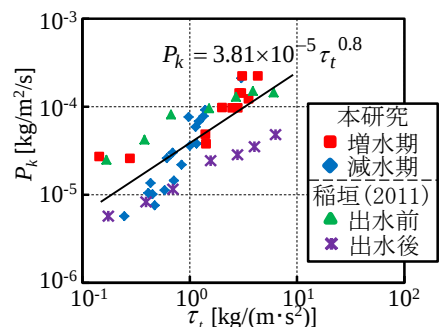


図 6 巻上げフラックス P_k と底面せん断力 τ_t の相関関係

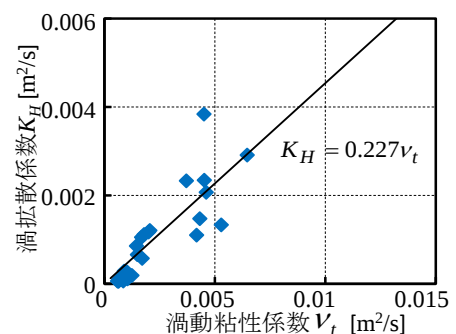


図 7 渦動粘性係数 ν_t と渦拡散係数 K_H の比較