

H-ADCP 計測と数値計算に基づく掃流砂量モニタリングシステムの提案

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生員 ○鈴木 大樹
 東京理科大学理工学部土木工学科 正会員 二瓶 泰雄
 東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生員 御厨 純

1. 序論

“流砂系総合土砂管理”の実現の号令の下、ここ 10 年間にわたり多くの河川において土砂輸送量調査が実施された。これらの調査のうち、浮遊砂もしくはウォッシュロード調査については、光学式及び超音波式機器を用いることにより比較的高精度で容易に現地モニタリングが可能であり、大規模・長期連続調査も行われている。一方、掃流砂については、現地観測で用いられる音圧式（ハイドロフォン）や超音波式、転倒マス式等の計測機器は浮遊砂観測で用いられる機器ほどの汎用性はないため、今後、長期連続的かつ横断面全体にわたる掃流砂量計測法の開発が急務の課題である。著者らは、ここ数年、水平設置型超音波ドップラ流速分布計 H-ADCP の計測技術と数値解析を融合した新しい河川流量モニタリング手法を開発するとともに、その有用性を多くの河川で検証している¹⁾。この手法の最大の特徴は、H-ADCP により得られる「線」流速データから横断面全体の「面」流速データに変換することであり、同時に摩擦速度や底面せん断力の横断分布情報等も得られることから、今後、様々な河川管理用モニタリング技術としての発展が期待される。本研究では、H-ADCP 計測と数値計算の融合技術をベースとした掃流砂量推定手法を提案することを試みる。本手法を江戸川における掃流砂量の長期連続モニタリングに適用し、検証用の ADCP 観測結果と比較し、本手法の有効性を検討する。

2. 研究方法

(1) 本手法の構成：本手法は、図 1 に示すように、① H-ADCP による「線」流速の計測、②力学的内外挿法 (DIEX 法) に基づく数値解析による「面」流速データ・底面せん断力・掃流砂量の推定、から構成される。②の DIEX 法では、「線」流速データを同化して「面」流速データと共に底面せん断力 τ_0 の横断分布も算出する。本研究では、この底面せん断力 τ_0 を用いて底質の移動限界判定²⁾や一般的な掃流砂量式³⁾(次式)を反映した数値アルゴリズムを導入する。

$$q_B = 17\tau_*^{1.5} \left(1 - \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \sqrt{(\sigma/\rho - 1)gd^3} \quad (1)$$

ここで、 q_B は単位幅掃流砂量、 τ_* は無次元掃流力、 τ_{*c} は無次元限界掃流力、 σ は土粒子密度、 ρ は水の密度、 d は土粒子直径である。このように本手法は横断面全体をカバーして自動連続的に掃流砂量を推定することが可能な従来に無い技術であるが、計測精度については検証する必要がある。

(2) 現地観測概要：本手法の基本性能を調べるために、江戸川・野田(河口より 39km)に 2006 年から設置されている H-ADCP (Workhorse 600kHz, Teledyne RDI 製) の流速データを用いて、本手法により時々刻々の流量・底面せん断力・掃流砂量を推定する。検証用観測として、ADCP 移動観測を H-ADCP が設置されている横断面(平常時:2010/8/23, 11/16)及び同断面から上流 200m に位置する野田橋(出水時同年 5/27, 台風 1012 号(9/24), 台風 1014 号(10/31, 11/2))にて実施した。ADCP 観測では、流速鉛直分布の計測値から

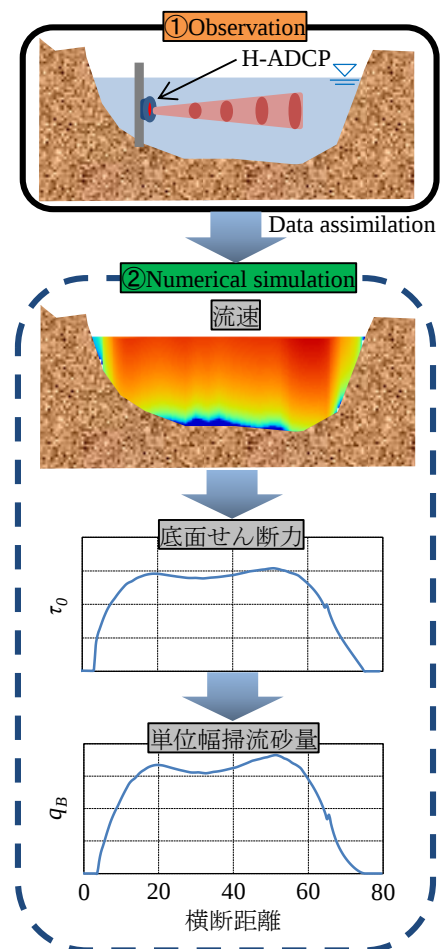


図1 本手法の基本的枠組みと計算フロー

キーワード：掃流砂，H-ADCP，DIEX 法，底面せん断力，データ同化

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

底面せん断力を推定し、それから芦田・道上式²⁾より掃流砂量を算定し、それを検証用実測値と見なす。本手法のパラメータは二瓶・木水¹⁾と同じである。

3. 結果と考察

(1) 流速・底面せん断力の推定精度：本手法における掃流砂量推定のキーとなる流速や底面せん断力の推定精度を検証するために、平常時（2010/8/23 17:00）における水深平均流速及び底面せん断力の横断分布に関する ADCP 観測結果と本手法の推定結果を図2に示す。流速分布算定には、本手法におけるマンニングの粗度係数 n を $0.035[\text{m}^{-1/3}\text{s}]$ のみの結果とし、底面せん断力算定結果には n を $0.025 \sim 0.040[\text{m}^{-1/3}\text{s}]$ と変化させた結果を示す。水深平均流速に関しては、本手法の推定結果は同化範囲内外において概ね観測値と類似しており、右岸側の流速がやや大きい傾向も推定結果は再現している。また底面せん断力に関しては、 $n=0.035[\text{m}^{-1/3}\text{s}]$ の推定結果は観測値と概ね一致する。これは、本手法が精度良く流速鉛直分布を推定できているためであり（図面省略）、本手法の流速・底面せん断力の推定精度が概ね良好であることが示された。また様々な粗度係数 n における底面せん断力の推定値は、 n を大きくすると過大評価になり、最も適合性が高いのが $n=0.035[\text{m}^{-1/3}\text{s}]$ の結果である。このため、以下では、 $n=0.035[\text{m}^{-1/3}\text{s}]$ の推定結果のみを示す。

(2) 出水時における掃流砂量のヒステリシス：台風 1014 号出水時における掃流砂量の時間変化を図3に示す。ここでは、掃流砂量 Q_B に関しては本手法の推定結果と ADCP による観測値、また水位も合わせて示す。この出水では二山のピークが見られ、一山目と二山目をそれぞれ期間①、②とする。これより、本推定結果は、ADCP による観測結果と概ね一致する。また、掃流砂量のピークは水位ピーク前の増水期に見られ、浮遊砂輸送量と類似したヒステリシスが掃流砂量にも現れる可能性が高い。それを検証するために、同出水時における水位と掃流砂量のヒステリシスを図4に示す。ここでは、推定結果に関しては期間①と②を分けて表示している。これより、期間①、②ともに、時計回りのループを描いており、掃流砂量にもヒステリシスが存在することが示された。

(3) 掃流砂量の推定精度：本手法における掃流砂量の推定精度を調べるために、掃流砂量 Q_B に関する本推定結果と ADCP による観測結果の相関図を図5に示す。ここでは、推定結果に関しては1時間移動平均された結果を用いる。これより、両者は概ね一致し、全体の 93%は誤差±10%以内に入る。また、推定値と観測値の差の RMS 値は 5.8%となっている。二瓶・木水¹⁾における流量推定誤差が 4~5%であることを考慮すると、本手法による掃流砂量推定精度は極めて良好であることが明らかとなった。

参考文献：1)二瓶泰雄・木水啓：土木学会論文集 B, Vol63, No4, pp.295-310, 2007. 2)岩垣雄一：土木学会論文集, No41, pp.1-21, 1956. 3)芦田和男・道上正規：土木学会論文報告集, No206, pp.59-69, 1972.

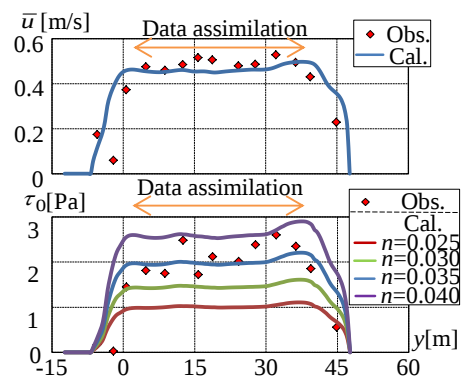


図2 水深平均流速（上）・底面せん断力（下）の横断分布の観測値と推定値の比較（平常時(8/23)， n ：m-s 単位）

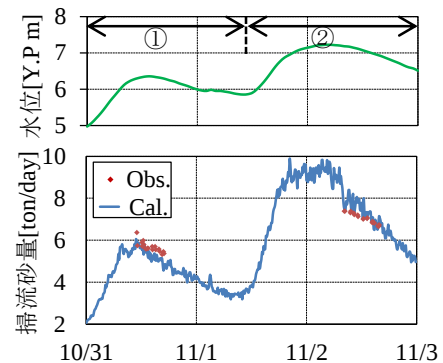


図3 台風 1014 号出水時における水位と掃流砂量の時間変化

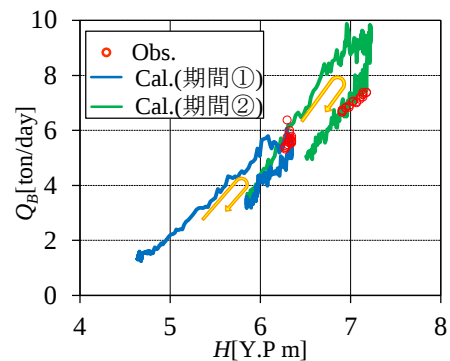


図4 水位と掃流砂量のヒステリシス（台風 1014 号出水時）

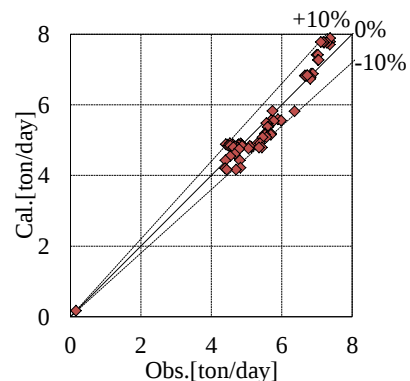


図5 掃流砂量の観測値と推定値の相関図