

H-ADCP を用いた洪水流量推定法の精度向上策の検討

パシフィックコンサルタンツ（株）

東京理科大学理工学部土木工学科

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻

正会員 ○ 柏田 仁

正会員 二瓶 泰雄

学生員 岩本 演崇

1. 序論

近年、流量観測技術に関する従来手法の高精度化や新規手法の開発が様々な形で行われている。この流量観測技術の新規手法の一つとして、わずか1台で流速横断分布の計測が可能な水平設置型超音波ドップラー流速分布計 H-ADCP による観測法が注目されている。一方、著者らは H-ADCP 流速横断分布計測技術と流速の「線」データから力学的条件を満たしながら「面」データを算出し得る力学的内外挿法に基づく河川流シミュレーション技術を組み合わせた高規格流量モニタリング手法を提案し、その基本的な有用性を検証した¹⁾。しかしながら、原田ら²⁾が示しているように、高濁度時には H-ADCP の流速計測範囲が著しく減少して本手法の流量推定精度が低下することから、計測技術・数値解析技術の両面から洪水時の高濁度対策に取り組む必要がある。本研究では、本手法による洪水流量推定精度を向上させる対策として、数値解析手法の改良と H-ADCP の周波数の変更に基づくハード・ソフト対策の有効性を検討する。

2. 研究方法

(1) 本モニタリング手法の概要

本手法は、H-ADCP による現地観測、データ転送、力学的内外挿法（DIEX 法）に基づく数値解析、WEB 公開、という4つのサブシステムから構成され、リアルタイムに流量データを算出・WEB 公開している。数値解析では、横断面を対象領域として3次元運動方程式を簡略化した次式を用いる。

$$gI + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{1}{D^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(A_V \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right) + Fa = 0 \quad (1)$$

ここで、 u は主流方向流速、 y 、 σ は横断・鉛直方向、 A_H 、 A_V は水平、鉛直渦動粘性係数、 D は水深、 I は水面勾配を表す。上式の特徴は、省略された項を補い、データ同化に用いられる付加項 Fa を導入した点である。計算手順としては、H-ADCP データを用いて Fa を求め、この Fa を横断方向に内外挿し、それを式(1)に代入する、というプロセスを解が収束するまで行う。

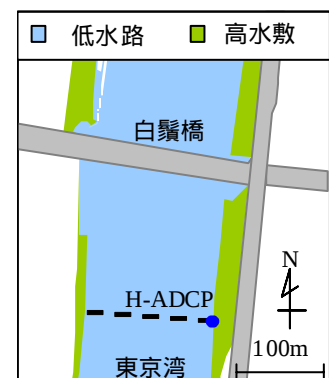
(2) 隅田川・荒川における流量モニタリングについて

本手法による流量モニタリングを隅田川・白髭橋と荒川・西新井橋において各々2007/7/11 からと2008/7/2 から現在まで実施している。観測サイトや H-ADCP 設置位置、計測断面は図1のとおりである。用いる測器としては、隅田川では周波数 600kHz、荒川では 300kHz の H-ADCP（Teledyne RDI 製）であり、計測範囲はそれぞれ最大 100m、300m となっている。上記期間の中では、2007/9/7-8 と 2007/10/27-28（共に隅田川のみ）、2008/8/29（両河川）の洪水イベントが発生し、これらのイベント時には ADCP による検証用流量観測も行った。

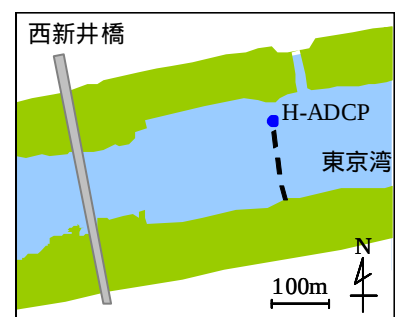
(3) 数値解析技術・計測技術面からの精度向上策

数値解析の精度向上策としては、洪水時に観測範囲が狭く同化範囲が減少することに着目して、付加項の外挿方法として、横断面に一樣に与える場合（Case1）と付加項と水深の近似式（線形）を作り、その近似式と水深から与える場合（Case2）を想定し、従来のように、三次関数を近似式として適用する場合（Case0）を計算条件として設定する。また、ハード面では、周波数 300kHz の H-ADCP を導入し観測範囲の変化を確認し、模擬的に同化範囲を変えた検討を行う。

3. 結果と考察



(a) 隅田川・白髭橋



(b) 荒川・西新井橋

図1 観測サイト

キーワード：流量観測，H-ADCP，感潮域，データ同化，DIEX 法

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501（内線 4072） FAX：04-7123-9766

(1) 数値解析技術の改良効果

洪水イベントの中で高濁度を観測し、H-ADCP 計測範囲が著しく減少した隅田川・台風 0709 号出水時における計算結果の一例として、水深平均流速 $\bar{u}$ 及び付加項の横断分布を図 2 に示す。ここでは、濁度の最大値(=1400FTU)となる時間(2007/9/7 16:10)における結果であり、高濁度のため有効計測層数 N_{th} は 6 層(=18m)である。また、図中には同時刻に計測された ADCP による観測結果も示す。これより、従来採用されていた Case0 における流速は、横断距離 y とともに増加して同化範囲内にて流速ピークが現れ、それ以降減少して同化範囲外で再び流速が増加する、という不自然な結果となっており、ADCP 観測結果との一致度合いも低い。これは、同化範囲内外の付加項の横断分布と対応しており、付加項の外挿法に問題が残る。一方、付加項を横断方向に一樣とする Case1 では、流速分布パターンは、同化範囲内外において、ADCP 流速データと類似している。もうひとつの Case2 の結果は Case0 と 1 の中間的な結果となる。

同イベント時の流量の計算値と観測値の時間変化を図 3 に示す。図中には、濁度と有効計測層数 N_{th} も合わせて示す。高濁度で流量が増大する 12~17 時を除くと、3 ケースとも観測値と良好に一致するが、12~17 時では Case1 の観測結果が最も観測値に近く、流速分布の結果と対応している。このときピーク流量は観測値では $861\text{m}^3/\text{s}$ であるのに対して、Case0, 1, 2 の計算値では $684, 803, 755\text{m}^3/\text{s}$ となり、Case1 においても過小評価(誤差 6.7%)となっている。全洪水イベントに関する流量観測値と計算値(Case0 と 1)の相関図を図 4 に示す。これより、Case0 では誤差 $\pm 10\%$ の線を上回る結果が多いが、Case1 では概ね誤差 10%以下となっている。すべての相対誤差の RMS 値を求めたところ、Case0, 1, 2 ではそれぞれ 9.1, 5.1, 6.7% であり、本論文における DIEX 法の改良策は概ね有効である。

(2) 計測技術の改良効果

周波数 300kHz(荒川)と 600kHz(隅田川)の H-ADCP による流速計測範囲を高濁度時において比較した。その結果、荒川の 2008 年 8 月豪雨イベントでは、有効計測範囲は濁度最大時(=350FTU)では 96m(32 層)まで減少した。一方、隅田川では、同濁度条件下では有効計測範囲が約 50m となるので、計測機器変更による計測範囲の大幅な拡大が確認された。そこで、H-ADCP の計測範囲向上が流量推定精度に及ぼす効果を評価するために、周波数 300kHz の H-ADCP を設置した荒川・西新井橋における流量算定結果を図 5 に示す。ここでは、同化層数を模擬的に 10, 20, 有効層数としたときの Case0, 1, 2 の計算結果の誤差 RMS 値を表示する。これより、同化範囲が減少するとどの計算ケースにおいても誤差は増加するが、どのケースも誤差値は 10%以下と高くない。これより、ハード面における有効計測範囲拡大とともにソフト面の有効活用は必須であることが示された。

参考文献

- 1) 二瓶, 木水: 土木学会論文集 B, Vol.63, 2007.
- 2) 原田ら: 水工学論文集, 第 52 巻, 2008.

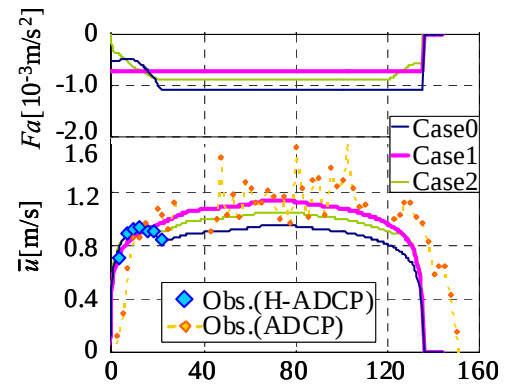


図 2 水深平均流速 $\bar{u}$ と付加項 Fa の横断分布の計算結果(隅田川, 2007/9/7 16:10)

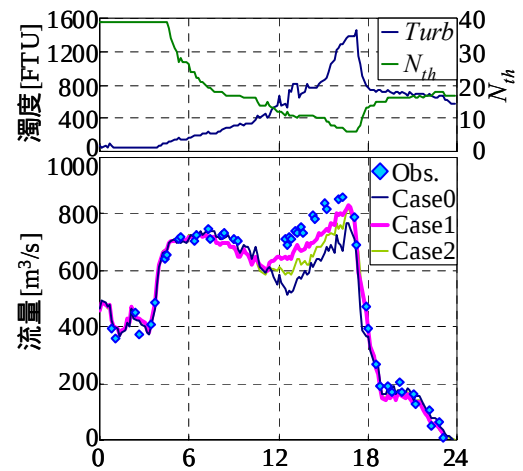


図 3 台風 0709 号出水時における流量、濁度、有効計測層数の時間変化(隅田川)

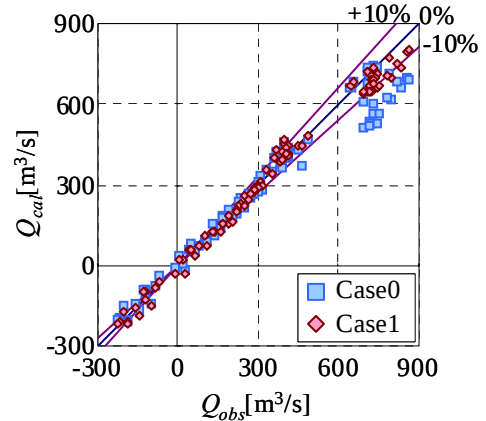


図 4 流量観測値と計算値の比較

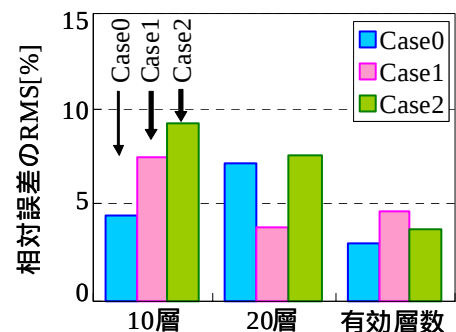


図 5 同化範囲を変化させた時の各ケースの流量推定精度(荒川, 2008 年 8 月豪雨時)