

H-ADCP 計測と数値解析に基づく流量モニタリングの複断面河道への適用

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 岩本演崇
正会員 二瓶泰雄

1. はじめに

河川・沿岸管理に対する様々な社会ニーズに応えるために、高精度で汎用性が高く、自動連続計測可能な河川流量モニタリング手法の構築・整備が必要となっている。このような要請に対して、著者らは、水平設置型超音波ドップラー流速分布計（Horizontal Acoustic Doppler Current Profiler, H-ADCP）による流速横断分布計測技術と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ている¹⁾。この手法に基づいて江戸川・野田橋（順流域）における流量モニタリングを行い、低水路のみを流れる時の低水時・洪水時流量計測精度が良好であることを示した¹⁾。また、感潮河川である隅田川における流量モニタリングも精度良く実施できていることが確認されている²⁾。本研究では、それらの研究に引き続いて、複断面河道における流量計測に対する本手法の適用性を検証する。ここでは、複断面河道を有する江戸川・野田橋における長期モニタリングデータのうち、高水敷においても明確な流れが起きた2回の洪水イベントにおける流量計測精度や、長期流量モニタリングに対する本手法の計測精度を把握する。この際には、複断面河道の流量計測に適した数値計算モデルの改良を行うことを試みる。

2. 本流量モニタリングシステムの概要

(1) 基本構成

本流量モニタリングシステムでは、図1に示すように、H-ADCPによる現地観測、力学的内外挿法に基づく河川流シミュレーション、という2つのサブシステムから構成されている。ここでは、1台のH-ADCPにより低水路内におけるある高さの流速横断分布を計測し、得られた流速の「線」データを河川流シミュレーションを介して、低水路・高水敷を含む横断面全体にわたる流速の「面」データを算出する。なお、既に本システムによるリアルタイム流量モニタリングシステムが構築されており、そのシステムにより隅田川の流量データが常時本研究室のWEBサイトに公開されている³⁾。

(2) 力学的内外挿法の改良

数値シミュレーションでは、力学条件を満たした形で「線」流速データを横断面全体にわたり内外挿する際に、力学的内外挿法（Dynamic Interpolation and EXtrapolation method, DIEX法）を用いる。二瓶・木水¹⁾におけるDIEX法では、流速観測値をデータ同化し、少ない観測結果から流量を求めるために、簡略化された運動方程式に付加項 Fa を加えたものを用いる。

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

ここで、 u は主流方向流速、 $y \cdot \sigma$ は横断・鉛直方向、 $A_H \cdot A_V$ は水平・鉛直渦動粘性係数、 D は水深、 gl は水面勾配を表す。上記の方法では、観測値のある範囲では付加項を良好に求めることができるが、観測値の無い範囲では付加項を単に外挿して与えている。そのため、複断面河道を対象とする場合、低水路の一部しか観測結果が無い場合には、計算精度は付加項の外挿方法に大きく依存してしまう。そこで、上式から付加項を消去し、水深平均操作を行った次式によりデータ同化を行うことを試みる。

$$gl + A_H \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} - \left(\frac{C_f}{h} + \frac{aC_b}{2} \right) \bar{u} = 0 \quad (2)$$

ここで、 C_f は底面摩擦係数、 a は植生密度、 C_b は植生抵抗係数を表す。実際のデータ同化では、式(2)の底面摩擦係数 C_f に含まれるマンギングの粗度係数 n を観測データより求めることとする。そのため、この改良法をDIEX- n 法とし、これまでの付加項を用いる方法をDIEX- f 法と呼ぶ。

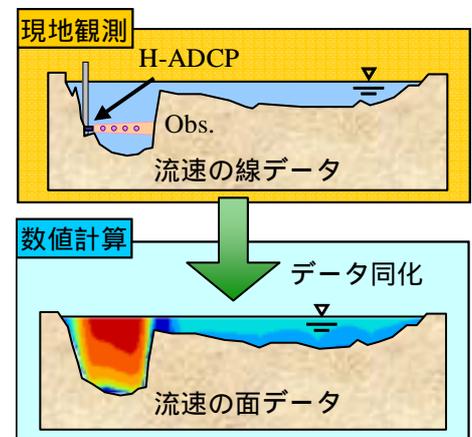


図1 本流量モニタリングシステムの概要

キーワード：DIEX法，H-ADCP，複断面河道，データ同化，台風0709号

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. 江戸川における流量モニタリング

(1) 概要

江戸川・野田橋を対象とし、周波数 600kHz の H-ADCP (Teledyne RDI 製) を低水路左岸側に設置し、2006 年 6 月より現在まで流量計測を行っている。この期間内で高水敷において明確な流れが生じた洪水イベントは、2006/7/19~21 と 2007/9/7~8 (台風 0709 号洪水) の 2 回である。H-ADCP を高さ 3.41Y.P.m に設置しているので、H-ADCP の計測範囲は低水路のみとなる。その他の設定は二瓶・木水¹⁾と同じである。ここで得られる流速データを同化データとして用いて、DIEX- n 法及び DIEX- f 法により数値計算を行う。なお、本モデルでは、植生の繁茂状況が水位により変化することに注目して、植生密度を水位の関数として時間変化させ、低水路では $a=0$ 、高水敷では $a=Const.$ とする。また検証用データ取得のために、ADCP 移動観測法による流量観測を台風 0709 号を含め低水・洪水時に行った。

(2) 結果

図 2 に、台風 0709 号時における水位、濁度、流速 (H-ADCP からの距離 4.5m)、流量の時系列変化を示す。ここでは、DIEX- n 、 f 法による計算結果と共に ADCP による流量観測値を示す。この出水では高水敷が冠水する時間帯では流速が減少し、また濁度は 1000FTU と極めて高くなった。この高濁度化により H-ADCP の計測範囲が最小で 7m まで減少した。DIEX- f 法による計算結果は、流量ピーク付近では観測値と概ね一致するが、増水期や減水期では観測値よりも大きい。DIEX- f 法では低水路しか同化データが存在しない場合には、高水敷上の付加項 Fa を低水路と同じ値を与えるため、誤差が生じた。一方、DIEX- n 法では、洪水の始めから終わりまで計算値と観測値は良好に一致している。

4. ADCP データを用いた二つの DIEX 法の精度検証

二つの DIEX 法における計算精度を検証するために、前章で検証用データとして用いた ADCP 観測結果の一部を同化データと見立てて、二つの DIEX 法による流量推定を行う。ここでの ADCP データとしては、同じ台風 0709 号時 (2007/9/7 15 時) を選び、同化高さや範囲を変化させて流量推定を行う。図 3 は、同化データの設定高さを水面下 0.75m とし、同化範囲 Y_{max} を 77.5m としたときの DIEX- f 、 n 法により得られた水深平均流速の横断分布を観測結果と比べたものである。これより、高水敷の一部を除いて、DIEX- n 法の結果の方が観測値と相対的に一致している。両モデルの計算精度を詳細に比べるために、同化範囲 Y_{max} を変化させたときの流量推定誤差を図 4 に示す。これより、DIEX- f 法は同化範囲が狭いと誤差が著しく増大するのに対して、DIEX- n 法では同化範囲に関わらず誤差は 10% 以下と小さい。以上の結果から、複断面河道において相対的に狭い範囲で H-ADCP 計測を行う場合には、本論文で提案している DIEX- n 法による流量推定精度が DIEX- f 法の場合よりも良いことが示された。

参考文献: 1) 二瓶泰雄・木水啓, 土木学会論文集 B, Vol.63, No.4, pp.295-310, 2007. 2) 原田ら, 水工学論文集, Vol.52, pp.943-948, 2008. 3) 北山ら, 海岸工学論文集, Vol.55, 2008 (投稿中).

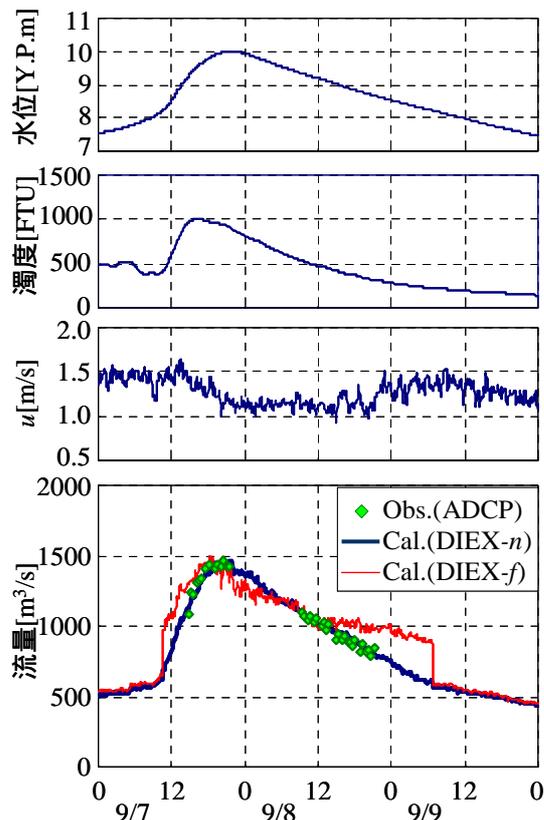
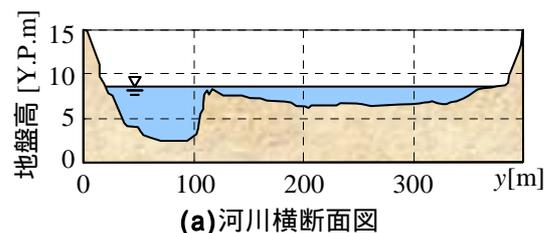
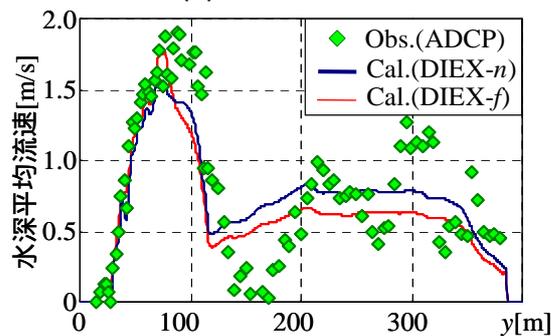


図 2 台風 0709 号大出水時における水位、濁度、流速 (第 10 層)、流量の時間変化



(a) 河川横断面図



(b) 流速分布の検証 ($Y_{max}=77.5m$)

図 3 ADCP データ同化結果

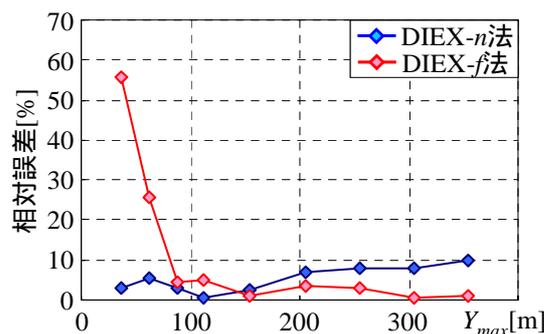


図 4 流量精度の検証