

現地観測と数値解析を組み合わせた河川流速・流量推定法の提案

東京理科大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 学生員 ○木水 啓
 東京理科大学 土木工学科 正会員 二瓶 泰雄
 (株)ドーコン 河川部 正会員 佐藤 慶太

1. 序論

1997年に改正された河川法に基づいて、治水・利水に加えて環境に配慮した河道整備・管理を推進していく上では、河川流速・流量のモニタリングを精度良く行うことはこれまで以上に重要である。これまでの河川流速・流量観測の代表例として棒浮子観測が挙げられるが、これは様々な問題点を有していることが指摘されている。これに代わる測定法としては、電波流速計や超音波ドップラー流速分布計（ADCP）等により流速を横断面内の何点かにおいて計測し、流量を算出する手法が挙げられる。しかしながら、そこでは離散的に計測された流速データの空間内挿法により横断面内の流速分布や流量は変化するものと予想され、力学的な条件を考慮せずに単純な空間内挿を行った場合には流速・流量推定の誤差が大きくなるものと考えられる。

そこで本研究では、流体の運動方程式を満足した形で河川内の流速分布や流量を算出するために、現地観測と数値解析を併用した河川流速・流量推定法を提案する。ここでの推定手順としては、1) 現地調査において、流速の鉛直分布を連続的に計測可能な ADCP を用いて、断面内の数点において流速計測を行う。次に、2) この流速データを合理的に取り込み得るデータ同化手法に基づく流動モデル（以下、**力学的内挿法**と呼ぶ）を新たに開発し、力学的内挿法により流体力学的な条件を満たした形で河川流速・流量を推定する。上記の手法の有効性を検討するために、江戸川洪水流を対象とした数値シミュレーション結果と現地調査結果に対して本推定法を適用する。

2. 本推定法の概要

(1) 高解像度 ADCP を用いた現地調査

現地調査では、複雑に変化する洪水流の鉛直構造を正確に捉えるために、浅水流計測に適した高精度・高解像度超音波ドップラー流速分布計（以下、HR-ADCP と呼ぶ）を用いる。河川に架かる橋上より HR-ADCP を下向き吊り下げて、これを橋上にて横断方向に移動させて、横断面内における数箇所にて流速計測を行う。後述する江戸川洪水流観測の概要に関しては、佐藤ら（2004）を参照されたい。

(2) 新しいデータ同化手法に基づく力学的内挿法について

力学的条件を満たした形で流速の観測値を空間内挿する、という力学的内挿法の基礎方程式としては水深平均された浅水流モデルとし、ここでは次のような主流方向水深平均流速 u の運動方程式を用いる。

$$gI + A_H \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \left(\frac{C_f}{h} + \frac{aC_D}{2} \right) u^2 + F_a = 0 \quad (1)$$

ここで、 y は横断方向、 h は水深、 g は重力加速度、 I は水面勾配、 A_H は水平渦動粘性係数、 C_f は底面摩擦係数、 a は植生密度、 C_D は植生抵抗係数を各々表している。式中左辺第 1～3 項はそれぞれ水面勾配項、水平拡散項、底面摩擦・植生抵抗項であり、限られた流速データのみでは直接的な算定が難しい非定常項や移流項等をまとめた形で付加項 F_a として第 4 項に組み込んでいる。式 (1) に対する差分式を用いて横断面内流速分布 $u(y)$ を求めるには、次の 4 つの手順に従う。①各観測点における式 (1) の差分式に対して流速の観測値を代入し各観測点の F_a を求める。② F_a を横断方向に空間内挿する。③得られた F_a を用いて式 (1) より $u(y)$ を算出する。④この①～③までの手順を解が収束するまで繰り返し計算する。上記の手順では、従来のようにナッジング項により観測点のみの流速値を同化するのではなく、**付加項 F_a を通して、観測点のみならず観測点以外の点にもスムーズに観測値の影響を反映させることが可能**となる。なお、ここでは浅水流モデルを用いているため、ADCP の観測値を水深平均した形で同化データとして与える。また、得られた流速と水深の積を横断方向に積分して流量を求める。

3. 洪水流シミュレーションデータを用いた本手法の推定精度の検証

(1) 諸条件

力学的内挿法の基本性能を検討するために、現地河川を対象とした洪水流シミュレーションデータに対して内

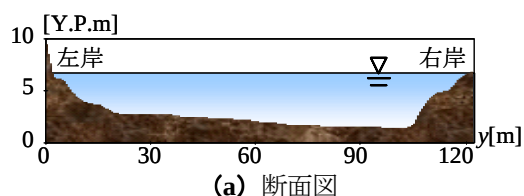
キーワード：河川流，流量，力学的内挿法，データ同化手法，ADCP

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 土木工学科水理研究室 Tel.04-7124-1501(内 4031) Fax.04-7123-9766

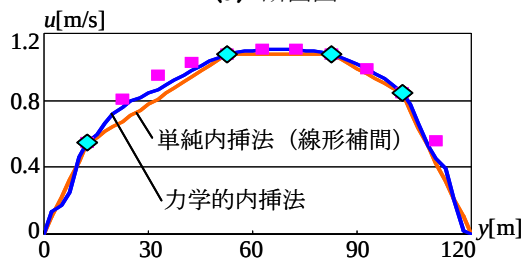
挿計算を行う．具体的な推定対象としては，江戸川洪水流の三次元流動計算結果（二瓶ら，2004）のうち，河口部より 35.4k 地点の玉葉橋断面の結果（2003 年 8 月 10 日 18:00）であり，流れが卓越していた低水路のみの結果を用いる．そこでの水深及び水深平均流速の横断分布を Fig.1(a), (b) に示す．ここでは内挿法の違いによる流速・流量の推定精度の変化を見るために，力学的内挿法と，単に流速観測値を横断方向に空間内挿した場合（以下，単純内挿法と呼ぶ）を行う．補間精度としては，力学的内挿法では線形補間のみを，単純内挿法では線形補間と 3 次スプライン補間を採用する．なお，力学的内挿法における横断方向の格子間隔は 2.5m，格子数は 50 とする．

(2) 推定結果

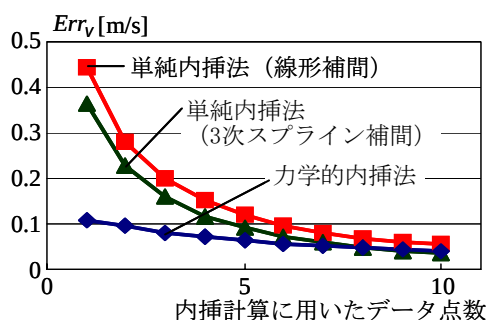
11 点のシミュレーションデータのうち 4 点（Fig.1(b)中の◇印）を内挿計算に用いた場合における河川流速推定結果を同図中に示す．ここでは，力学的内挿法と単純内挿法（線形補間）の結果が図示されている．これより，力学的内挿法の流速分布は，単純内挿法と比べて，横断方向に滑らかに変化するとともに，内挿計算に用いていないシミュレーションデータ（図中□印）により近くなっている．河川流速の推定精度を幅広く検討するために，内挿計算に用いるデータ点数を 1 ～ 10 点に変化させて，データ点数毎に流速の推定誤差の平均値 Err_v を算出した結果を Fig.1(c) に示す．これより，力学的内挿法は，線形補間や 3 次スプライン補間を採用した単純内挿法よりも推定精度は高く，内挿計算に用いるデータ点数が少ないほど両内挿法の結果の差は大きい．



(a) 断面図



(b) 流速推定結果の比較（図中◇と□印は，各々内挿計算に採用・不採用となったシミュレーションデータ）



(c) 流速推定誤差の平均値 Err_v

Fig.1 シミュレーションデータに対する本手法の推定結果

4. 現地調査結果に対する本手法の適用

現地調査データに対する本手法の有効性を検討するために，3. で示した江戸川シミュレーション結果と同時期，同断面における現地観測結果（佐藤ら，2004）に対して内挿計算を行う．ここでも，3. と同様に力学的内挿法と 2 つの単純内挿法を用いて，5 つの観測点数のうち内挿計算に用いる点数を 1 ～ 5 点に変化させて流速・流量推定精度を検討する．なお，力学的内挿法では，横断方向格子間隔を 0.34 ～ 2.3m の不等間隔とし，格子数を 97 とした．5 つの観測点における流速値に対する力学的内挿法の推定結果を正解として，内挿計算に用いるデータ点数ごとの流量推定誤差の平均値 Err_Q と正解流量 Q_s の比を Fig.2 に示す．これを見ると，力学的内挿法における流量の推定誤差は，補間精度に関わらず単純内挿法の結果よりも小さい．以上の結果から，本手法に基づく河川流速・流量推定法の基本的な妥当性が検証された．

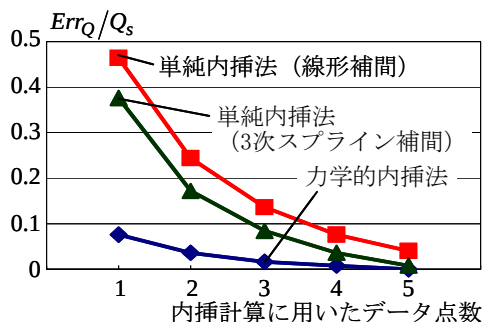


Fig.2 現地観測データに対する流量推定誤差の平均値比 Err_Q/Q_s

5. 結論

河川流速・流量を高精度に評価するために，高解像度 ADCP を用いた現地観測と新しいデータ同化手法に基づく数値解析（力学的内挿法）を併用した河川流速・流量推定法を提案した．江戸川洪水流を対象とした数値シミュレーションデータや現地観測結果に対して本手法を適用し，単純内挿法の結果と比較したところ，本手法の方が河川流速・流量を精度良く推定しており，本手法の妥当性が検証された．

参考文献

- 1) 佐藤，二瓶，木水，飯田：水工学論文集，vol.48，pp.763-768，2004.
- 2) 二瓶，佐藤，町田：土木学会論文集，2004(投稿予定).