

「点」から「面」流速・流量を推定可能な力学的内外挿法の構築

パシフィックコンサルタンツ（株） 正会員 ○柏田 仁, 山崎 裕介, 市山 誠
東京理科大学理工学部土木工学科 正会員 二瓶 泰雄
国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所 非会員 高島 英二郎

1. 目的

流量観測の高精度化に向けて電波流速計や ADCP 等による新しい流速計測技術が実用化されつつあるものの, 現行の高水流量観測は従来どおり浮子による観測が主流となっている. 浮子を用いた流量観測は, 横断方向に対して密に浮子を流下させる標準法(川幅 100-200m で 15 本)で実施するよう記述されているものの¹⁾, 実際には短時間で観測を行うため, 横断方向に対して浮子投下本数が少ない緊急法(同川幅で 5 本)が用いられる. そのため, 浮子により得られる流速データは空間解像度の粗い離散的な「点」流速データであり, 区分断面内で流速を一様に与える従来の区分求積法では誤差が含まれることが指摘されている. 一方, 著者らは H-ADCP により計測される流速横断分布という密な「線」流速データを「面」流速データに内外挿するために力学的内外挿法(Dynamic Interpolation and EXtrapolation method;DIEX 法)を提案し, その有効性を示している²⁾. 以上より, 本研究では, 「点」流速データを「面」流速データに内外挿することが可能な DIEX 法を構築し, 実河川の洪水流データを用いて, 本手法の有効性を検証する.

2. 研究方法

(1) 「点」から「面」データ変換用の DIEX 法の概要

これまでの DIEX 法をベースとした流量モニタリングシステムは, H-ADCP によるある高さの流速横断分布計測と DIEX 法に基づく数値解析からなる²⁾. 本研究では, 浮子測法を想定した「点」流速データを用い, 「点」流速データに対するデータ同化アルゴリズムを構築する. この数値解析では, 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式(1)とこれを水深平均した2式を用いる.

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

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, a は植生密度パラメータ, C_b は植生の抵抗係数, F_a は付加項をそれぞれ表す. 空間的に粗な「点」流速データの同化手法としては,

- ①これまでと同様に付加項 F_a を算出する式の中に点流速データを与える.
 - ②上記で得られた離散的な付加項 F_a の空間分布を求めるには, 低水路と高水敷に分けた上で, それぞれに対して線形補間もしくは3次スプライン補間を施す.
- なお, 付加項 F_a の鉛直分布としては, 既存手法と同様に, 一様となるように仮定する.

(2) 検証方法

本手法の有効性の検証を詳細に行うために, 実際の浮子観測データを用いずに, ADCP 観測による断面流速データから模擬浮子データを作成し, 以下のように行う.

- ①台風 0709 号時の江戸川野田橋地点(図-1)における ADCP (Workhorse 1200kHz, Teledyne RDI 製)による断面流速データ(観測回数 $n=37$)から, 仮想した浮子の吃水深以浅の流速データを平均し, 吃水中央の高さに「点」流速データとして“模擬浮子”データを与える(図-2).

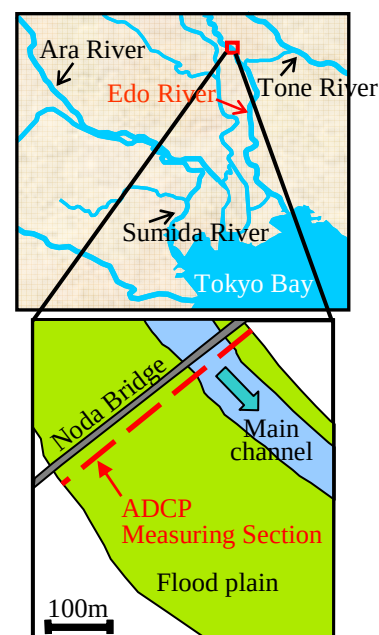


図-1 対象サイト

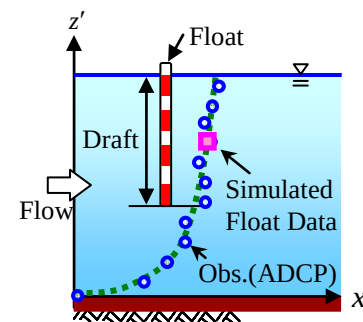


図-2 模擬浮子データ抽出方法

キーワード：流量観測, 浮子, DIEX 法, データ同化, ADCP

連絡先：〒163-6018 東京都新宿区西新宿 6-8-1 TEL：03-5989-8421 FAX：03-5989-8419

②この模擬浮子データを用いて、DIEX 法および従来手法による流速・流量推定を行い、ADCP による流速および流量データと比較する。この従来手法とは、模擬浮子データと更正係数より水深平均流速を求め、それを各区分断面に一樣に与える区分求積法を指す。

3. 結果と考察

(1) 流速推定精度

まず本手法の流速推定精度を検証するために、ピーク流量時 ($Q=1,459\text{m}^3/\text{s}$, 2007/9/7 20:35)における断面流速分布の観測値(上)と推定値(下), 抽出した模擬浮子データを図-3に示す。また, 同時刻における水深平均流速と流速鉛直分布の観測値と推定値をそれぞれ図-4, 5に示す。これらより, DIEX 法により, 疎な「点」データから高い精度で断面全体の流速分布を推定している。水深平均流速について, 実測値に対する DIEX 法と従来法の相対差の RMS(Root Mean Square) 値を計算した結果, DIEX 法では 0.15m/s となり, 従来法 (0.33m/s) の推定誤差の半以下となっており, 本手法により流速推定精度が著しく向上したことが確認された。

(2) 流量推定精度

次に, 本手法の流量推定精度を検証するために, 流量の計算値と観測値の時間変化を図-6に示す。これより, ピーク流量は観測値では $1,459\text{m}^3/\text{s}$ であるのに対し, DIEX 法では $1,426\text{m}^3/\text{s}$, 従来法では $1,556\text{m}^3/\text{s}$ となり, 誤差はそれぞれ 2.3%, 6.7%である。対象洪水の全期間について流量推定誤差の RMS 値を計算すると, DIEX 法では 2.3%, 従来法では 8.8%となり, 本手法により大幅に精度が向上することが確認された。

さらに, 低水路と高水敷に分けた形で流量推定誤差の RMS 値を計算したところ, 低水路では従来法 10.2%, DIEX 法 2.3%, 高水敷では従来法 7.5%, DIEX 法 5.7%となっている。これより, 低水路と高水敷に分けても, 本手法により流量推定精度は向上しており, 特に低水路の流量推定精度の向上が顕著であることが確認された。これは, 低水路では, 流速の横断変化が大きいため, 流量推定精度が流速内外挿法に大きく依存するためであると考えられる。

4. おわりに

本研究では, DIEX 法に基づいて「点」から「面」流速データ推定法を構築した。ADCP 観測に基づく「模擬浮子」データを用いた検証を行った結果, 従来法に比べ, DIEX 法では高い精度で断面流速分布が推定され, 本手法の有効性が確認された。今後は, 浮子や電波流速計による観測値や平面流況解析結果を用いて, 本手法の有効性を確認する必要がある。

参考文献

- 1) 改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説 調査編, pp.35-58, 1997.10. 2) 二瓶泰雄・木水啓:土木学会論文集 B Vol.63 No.4, pp.295-310, 2007.11.

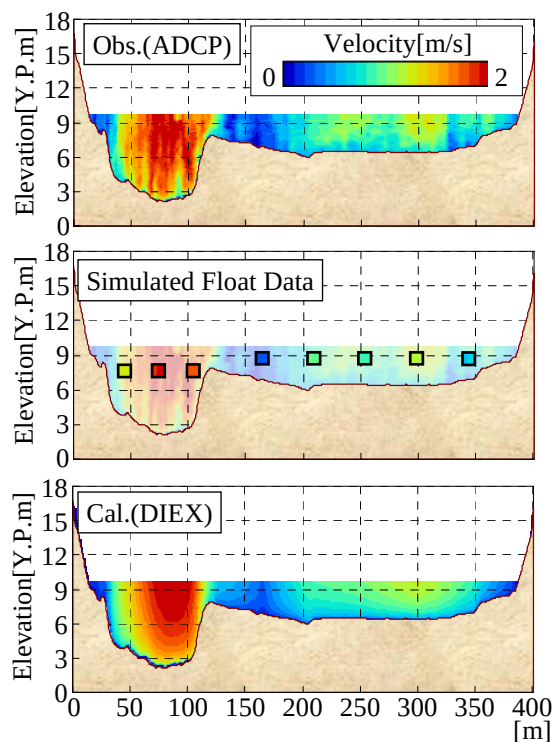


図-3 断面流速分布 (2007/9/7 20:35)

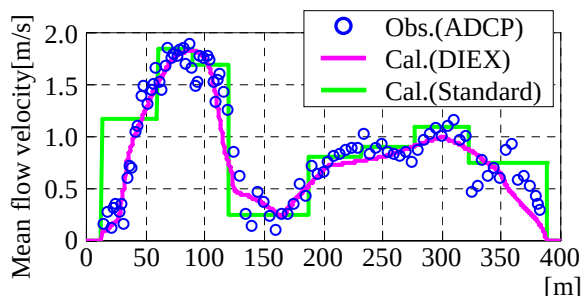


図-4 水深平均流速分布 (2007/9/7 20:35)

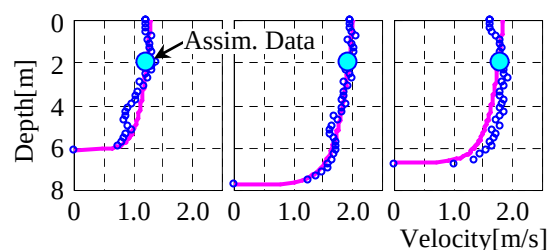


図-5 流速鉛直分布 (2007/9/7 20:35)

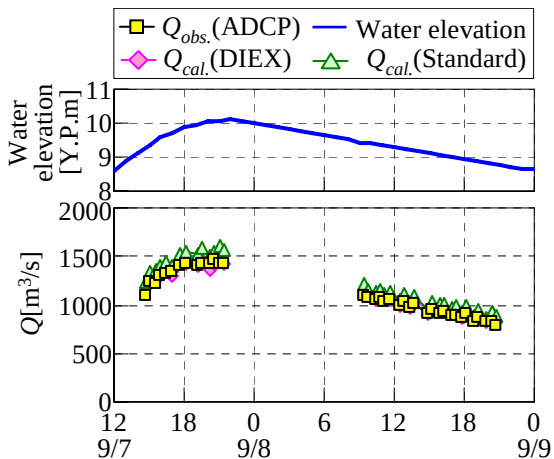


図-6 流量推定結果