

複断面河道における流量観測精度向上のための H-ADCP 活用法の検討

御厨 純・二瓶 泰雄・鈴木 大樹（東京理科大学）・岩本 演崇（日本工営）

1. 序論

2009 年の政権交代に伴うハツ場ダム建設是非をめぐる議論を始めとして「ダムによらない治水」の検証が全国各地の河川で行われている。そこでは最重要項目である「基本高水」の検証が必要となる所もあり、河川における流量観測技術の精度検証・高度化や新計測技術の導入などの機運が高まりつつある。ドップラー技術に基づく水平設置型超音波ドップラー流速分布計 H-ADCP は、わずか一台である高さの流速横断分布を計測でき、自動連続計測に最適な機器の一つである。また、H-ADCP では「線」流速データしか計測できないため、流量算出に必要な「面」流速データを推定するための数値解析技術（力学的内外挿法、DIEX 法）が構築されている¹⁾。この H-ADCP 計測と数値解析を融合した次世代型流量モニタリングシステム（以下、本システム）は様々な河川の流量計測に適用され、基本的な有効性が検証されている。我が国の一般的な河道断面形である複断面河道の流量モニタリングに本システムを適用して行くことは必須であり、その基礎的検討も既に行っているが²⁾、検討事例が限られているため H-ADCP の設置位置や台数、基本設定をどのように適切に実施すべきかは未着手の課題である。本研究では、本システムに基づく複断面河道流量観測の高度化を目指して、H-ADCP 活用法を検討する。そこでは、複断面河道を有する江戸川・野田橋を対象として、本システムによる流量モニタリング実施結果や出水時の ADCP 観測データを活用して、H-ADCP の設定（層厚等）や台数、周波数等が流速・流量推定精度に及ぼす影響を検討する。

2. 研究方法

（1）**本システムの概要**：本システムは、①H-ADCP による「線」流速計測と、②DIEX 法に基づく「面」流速・流量算出、の 2 つのサブシステムからなる。②では、ある横断面を対象にし、3 次元 NS 方程式を簡略化した代わりに運動方程式を満たしつつデータ同化を行うために、付加項 Fa を導入した基礎式を用いる¹⁾。付加項 Fa の内外挿操作には、三次スプライン補間ではなく低水路及び高水敷で一様とする²⁾。また、DIEX 法中のパラメータは岩本・二瓶²⁾と同じである。

（2）**実河川での流量計測**：本研究室では、2006 年 6 月より、江戸川・野田（+39km）にて本システムによる流量連続観測を実施し、低水路には H-ADCP600kHz（Teledyne RDI 製、計測範囲：最大 140m）を設置している。2009 年 8 月から高水敷にも H-ADCP600kHz を設置し、さらに 2010 年 7 月には、より遠距離計測が可能な H-ADCP300kHz（計測範囲：最大 400m）に変えた。また、H-ADCP の層厚はそれぞれ 3.0m とした。不幸にも、2010 年度は高水敷が冠水する洪水は一度も生じなかった。そのため本論文では低水路に設定された H-ADCP データのみを用いた流量推定結果と別途行われた ADCP による検証用データを比較する（観測期間：5/27, 9/24, 10/31, 11/2 の出水時）。

（3）**模擬 H-ADCP データによる検討**：上記（2）の実河川のデータのみでは検討事例不足となるので、図 1 に示す ADCP 流速データ（江戸川・野田橋、2007 年 9 月 7 日 21:07、水位 9.99[Y.P.m]）から、仮想的に H-ADCP を低水路や高水敷に設置して得られる「模擬 H-ADCP データ」を作成し、それから DIEX 法により面流速や流量を推定する。H-ADCP 設置高さは実河川での設置状況より図 2 のように決めた。ここでは H-ADCP の設置位置・周波数、濁度減衰考慮の有無、層厚を変化させて計算を行う。まず、設置位置・周波数としては、低水路のみに 600kHz を設置する場合（Case1）、低水路と高水敷に 600kHz を設置する場合（Case2）、低水路に 600kHz、高水敷に 300kHz を設置する場合（Case3）の 3 ケースを与える。また、出水時には超音波の濁度減衰により H-ADCP の計測範囲縮小が問題となる。その影響を見るために、濁度減衰を考慮しない場合には計測範囲を 600kHz では低水路 31m、高水敷 79m、300kHz で 145m であるが、濁度減衰を考慮する場合には、対象データの濁度が 935FTU だったので、著者らに基づいて、600kHz では 25m、300kHz では 55m とする。さらに、層厚は 0.5m と 3.0m の 2 種類を想定し、「模擬 H-ADCP

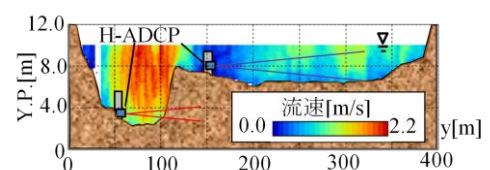


図 1 模擬 H-ADCP データ作製に用いられた ADCP データ（江戸川野田橋）

データ」について計 12 ケースの計算を行い、ADCP による流速・流量と比較する。

3. 結果と考察

(1) 実河川データに基づく本手法の精度検証：江戸川野田橋において得られた実河川データに基づく本手法による流量推定結果と ADCP による観測結果の相関図を図 2 に示す。ここでは、2010 年度のみを表示する。これより、本手法の推定値は、概ね観測値の $\pm 5\%$ 以内に収まり、誤差の RMS 値は 3.2%となっている。これより、本手法の流量推定精度が、観測開始 4 年経過しても極めて良好であり、本手法の汎用性が示唆された。また、低水路に設置した H-ADCP の層厚を 3.0m としても、計測精度上問題ないことが確認された。

(2) H-ADCP の設置条件の流量推定精度への影響：模擬 H-ADCP データによる数値計算結果を用いて、H-ADCP の設置条件が流量推定精度に及ぼす影響を検討する。図 3 は、水深平均流速の計算結果と模擬データ作製に用いられた ADCP による観測値の横断分布を示す (y ：左岸からの横断距離)。ここでは、濁度減衰効果の考慮の有無と H-ADCP 周波数条件 (Case1~3) を変化させた場合の計算結果を示しており、H-ADCP の層厚は 3.0m のみとする。図中には、H-ADCP の計測範囲に相当する同化範囲も図示する。これより、低水路内 ($50 \leq y \leq 119\text{m}$) では、濁度減衰の考慮の有無に関わらず、観測値と計算値は一致しており、実河川データに関する図 2 と同じ傾向である。一方、高水敷においては、Case1 では流速を過大評価、Case2 では過小評価しており、Case3 でも過小評価傾向であるものの、相対的に観測値に近い。また、濁度減衰を考慮しない方が、Case2 や Case3 では観測値に近い。

各ケースの流量推定精度を検討するために、図 3 と同じケースにおける低水路・高水敷・全体における流量推定結果の相対誤差を図 4 に示す。これより、濁度減衰を考慮しない場合では、Case1 のみ、全体の誤差が 10%以上となるものの、高水敷に H-ADCP を設置する Case2 や 3 では 5%以下となる。一方、濁度減衰がある場合では、定性的には同じ傾向となるが、Case2 でも誤差 10%を超えてしまう。しかしながら、高水敷に H-ADCP300kHz を設置する Case3 では、全体の誤差が 7%となり、明確な精度向上をもたらしている。以上より、実際に生じる超音波の濁度減衰影響を考慮しても、遠距離計測タイプの H-ADCP300kHz を用いることで、本手法に基づく複断面河道の流量推定精度は良好に維持できることが明らかとなった。

参考文献：

- 1) 二瓶泰雄，木水啓：H-ADCP 観測と河川流計算を融合した新しい河川流量モニタリングシステムの構築，土木学会論文集 B，Vol63，No.4，pp.295-310，2007。
- 2) 岩本演崇，二瓶泰雄：H-ADCP 計測と河川流シミュレーションに基づく複断面河道の洪水流量モニタリング，水工学論文集，Vol.53，pp.1009-1014，2009。

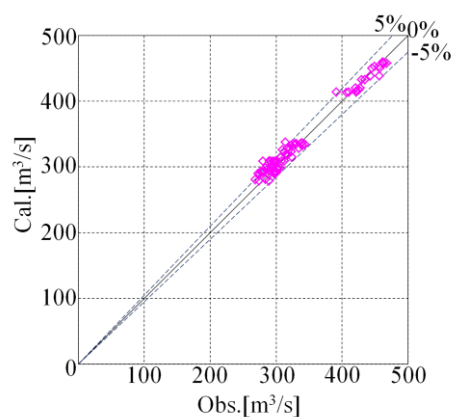
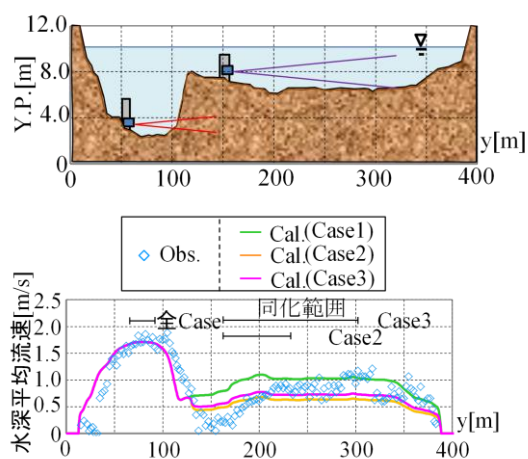
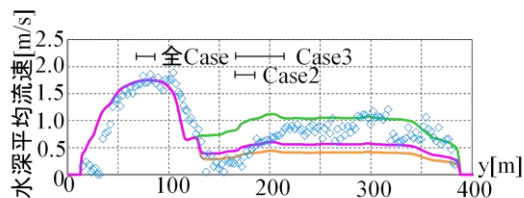


図 2 流量観測値と推定値（実河川データ）

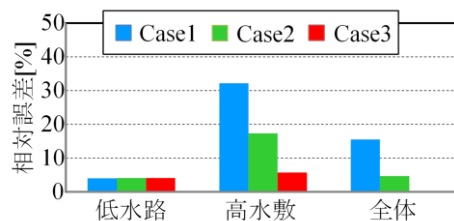


(a) 濁度減衰を考慮しない場合

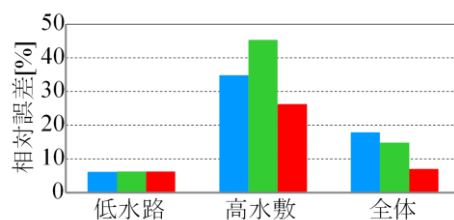


(b) 濁度減衰を考慮する場合

図 3 水深平均流速の横断分布の計算結果 (模擬 H-ADCP データ，層厚 3.0m)



(a) 濁度減衰を考慮しない場合



(b) 濁度減衰を考慮する場合

図 4 各ケースにおける流量推定誤差 (模擬 H-ADCP データ，層厚 3.0m)