

H-ADCP 計測と DIEX 法の流量観測法における不確実性解析

京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
東京理科大学理工学部土木工学科
(株)パシフィックコンサルタンツ

学生員○野本 雄基
正会員 二瓶 泰雄
正会員 柏田 仁

1. 序論

洪水流量観測の標準法である浮子測法は、急な出水により観測に間に合わないことや超過洪水時には作業の危険性が伴うことに加え、観測精度に難があり¹⁾、様々な課題が浮き彫りとなっている。一方、現在までの流速計測新技术として、超音波ドップラー流速分布計 (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)、水平設置型超音波ドップラー流速分布計 (Horizontal-ADCP)、STIV (Space Time Image Velocity) 等の画像解析法等が幅広く活用され、その熟度が増している。また、これら計測技術と水理解析の融合も進み、流量観測は新時代を迎えつつある。特に、著者らが提案する H-ADCP 計測と力学的内外挿法 (Dynamic Interpolation and EXtrapolation method, DIEX 法) を組み合わせた新たな流量モニタリングシステム²⁾は、横断面内の「点」もしくは「線」流速データを、力学的条件を満たした形で横断面全体に内外挿して流量を推定する手法であり、河川流解析では珍しいデータ同化手法を組み込んでいる。流量観測では流速計測値から横断面内の内外挿操作を経て一つの流量値を求めるが、観測誤差やデータ内外挿時の誤差等により流量計測値はある範囲の不確実性を有し、それらを定量評価することは上記の新技术を幅広く適用する上では必須である。本研究では、H-ADCP 計測と DIEX 法の融合技術による流量推定値に対する不確実性を明らかにすることを目的とする。

2. 研究方法

(1) 解析対象

不確実性解析では、**図 1** に示す中川・吉川橋の下流側に設置した H-ADCP のデータを用いる。ここでは、低水路左岸に H-ADCP300kHz (Teledyne RDI 製) を河床より高さ 0.8[A.P.m] の位置に設置し、観測期間は 2014/7/17~2016/2/9 である。H-ADCP により得られたデータを元に DIEX 法により流量を算出する。また、別途 ADCP 移動観測によりリファレンスデータを取得した。観測期間は出水時 (2014/10/6, 7, 2015/9/11)、大潮時 (2014/11/7)、小潮時 (2015/12/4) とした (n=86)。

(2) 検証条件

本研究においては①観測誤差 (流速)、②DIEX 法の入力条件 (水位勾配 I)、モデルパラメタ (粗度係数 n) や H-ADCP の計測範囲による影響を調べる。詳細な計算条件は**表 1** に示す通りである。①では解析に用いる流速 u については次式を用いて観測誤差を考慮する。

$$u = u_{obs.} + u_{ref.} \times a_u \times x \tag{1}$$

ここで $u_{obs.}$ は流速観測値、 $u_{ref.}$ は H-ADCP 計測精度 (=0.61[cm/s])、 a_u は流速誤差検証用の比例倍率 (=1~100)、 x は乱数 (= -1~1) を表し、モンテカルロ法により与える。②では観測データから DIEX 法により流量を算出する過程で、計算条件等が流量推定精度に及ぼす影響について検証する。

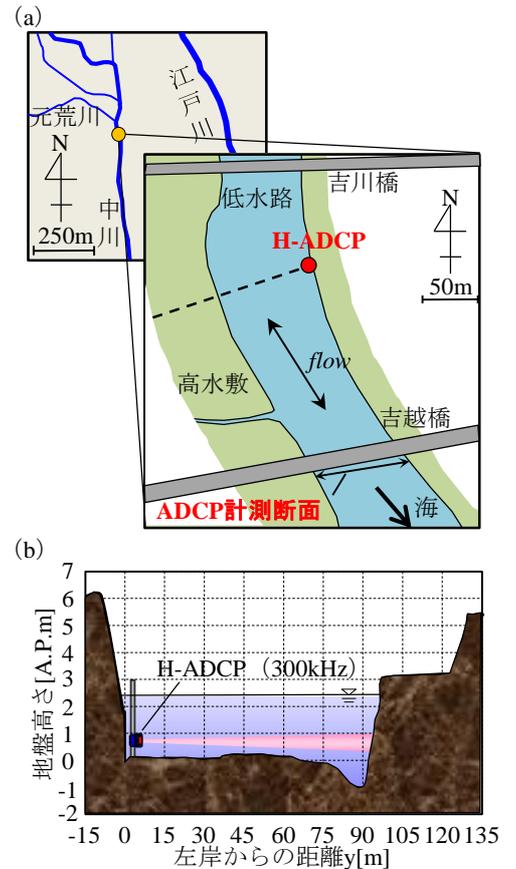


図 1 観測サイト (中川)
(平面図 (a), 横断面図 (b))

表 1 検証条件

検証事項	検証項目	誤差の与え方
観測誤差	流速 u	$u = u_{obs.} + u_{ref.} \times a_u \times x$
入力条件	水位勾配 I	0.0000007~7
モデルパラメタ	粗度係数 n	0.010~0.050
H-ADCP 計測範囲	データ同化範囲	1層~26層

キーワード: H-ADCP, DIEX 法, ADCP, 河川流量, 不確実性解析

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. 結果と考察

(1) 流速誤差による影響

観測誤差が流速推定結果に及ぼす影響を把握する為、誤差検証用の比例倍率 a_u の値を $a_u=0$ (誤差無し), 40 の場合における水深平均流速分布の観測値および DIEX 法の推定結果を図 2 に示す. ここでは, 出水時データ (2014/10/6 11:00) を用いる. これより, 流速観測値では $a_u=0$ よりも $a_u=40$ の方が大きくばらつくが, DIEX 法の推定結果による流速計算値には両者に大きなばらつきは確認されない. DIEX 法のデータ同化手法は付加項 Fa を介して実施されるため, 流速観測値の誤差を最小化した形で観測データを計算に組み込むことを可能にしている.

誤差の係数 a_u と流量推定誤差の相関図を図 3 に示す. ここでは, 比例倍率の値を $a_u=0\sim 100$ まで 10 ずつ変化させていき, 各係数で得られた誤差の中央値を示す. ここでは出水・大潮・小潮時に分けて表示する. これより, 比例倍率 a_u の値が約 50 までの範囲では流量推定誤差は $10[m^3/s]$ 以下となる. また, $a_u=100$ では $24\sim 32[m^3/s]$ となる. 元々 ($a_u=0$, 誤差無し) の誤差が $3.5\sim 4.2[m^3/s]$ であることを考えると, 流量誤差の増加率は $a_u=100$ では 8 倍となり, 比例倍率 a_u の増加率よりも大幅に低い. これは DIEX 法のデータ同化手法が流速観測誤差を考慮し最小化するように実施されるためであると考えられる. これより, H-ADCP 計測の過程で何らかの原因により流速計測結果に誤差を含んだ場合においても, 本システムにより良好に流量を算出可能である.

(2) DIEX法の入力条件等の影響

図 4 は DIEX 法における H-ADCP 計測層数 (=データ同化範囲) を 1~26 層まで変えた場合における流量推定精度を示す. ここでも出水・大潮・小潮時に分けて表示する. これより, 全体的には, データ同化範囲の大小に関わらず, DIEX 法の流量算出精度は概ね良好であり特に大潮・小潮時では誤差 $10m^3/s$ 以下となった. これより, 本条件では, データ同化範囲の大小による不確実性は小さいものと考えられる.

次に, 入力データである水位勾配 I について, 観測値 (時間変化あり) 及び任意の一定値を与えた場合における流量推定精度を調べた. これより (図省略), 水位勾配 I の値を変化させても流量推定誤差は変化せず, かつ, 観測値を用いた時と同様の結果となったことから, DIEX 法においては水位勾配 I の設定による流量推定値への影響は全くない. また, マニングの粗度係数 n を広範囲に変化させて同様の検証を行った結果を図 5 に示す. これより, 粗度係数を様々に変化させていったとしても, 流量推定誤差は極めて小さいことから, DIEX 法において粗度係数の設定値の変化に対する不確実性は小さいと言える.

参考文献 : 1)二瓶ら : 海岸工学論文集, Vol.52, No.2, pp.1106-1110, 2005, 2) 二瓶, 木水 : 土木学会論文集 B, Vol.63 No.4, pp.295-310, 2007.

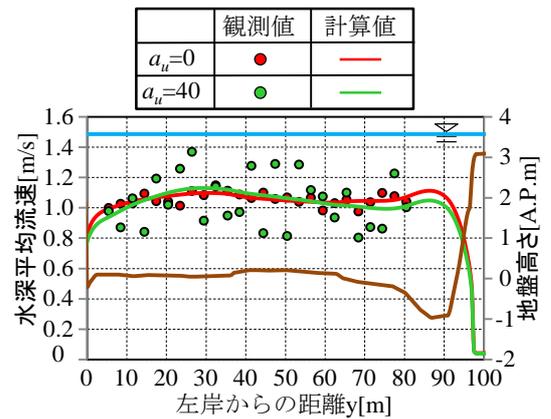


図 2 流速誤差による流速推定値への影響

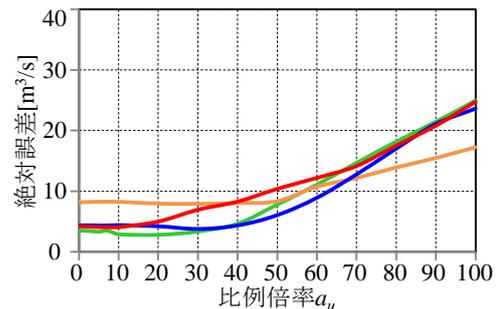


図 3 流速誤差による流量推定値への影響

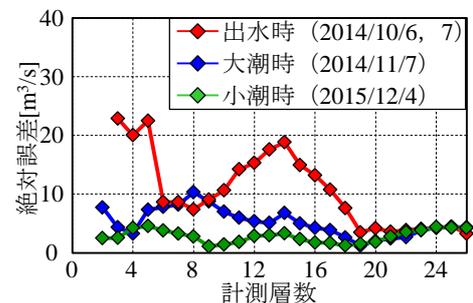


図 4 H-ADCP の計測層数による流量推定値への影響 (出水時)

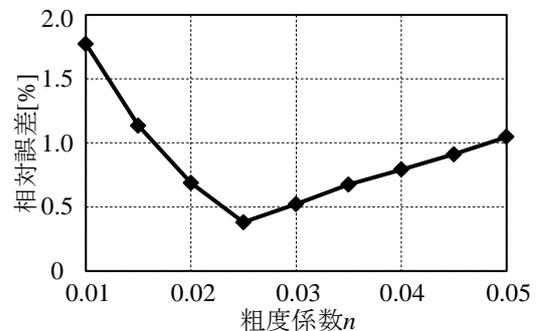


図 5 粗度係数 n と流量推定誤差の関係 (出水時)