

河川上流部での非接触型流速計測法を用いた 高水流量観測の実用化

NON-CONTACT RIVER DISCHARGE MEASUREMENT IN UPSTREAM RIVER USING RADIO CURRENT METER

恩田実之留¹・平川隆一²・大野智弘³・柏田仁⁴・山崎裕介⁵・井上拓也⁶・阿部昭寛⁶
Minoru ONDA, Ryuichi HIRAKAWA, Tomohiro OHNO, Jin KASHIWADA, Yusuke YAMASAKI
Takuya INOUE and Akihiro ABE

¹学生会員 前橋工科大学 大学院建設工学専攻 (〒371-0846 群馬県前橋市上佐鳥町460-1)

²正会員 博(工) 前橋工科大学准教授 工学部社会環境工学科 (〒371-0846 群馬県前橋市上佐鳥町460-1)

³非会員 国土交通省関東地方整備局利根川ダム統合管理事務所 (〒371-0846 群馬県前橋市元総社町593-1)

⁴正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒300-4204 茨城県つくば市作谷642-1)

⁵非会員 博(工) パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒163-6018 新宿区西新宿6丁目8-1)

⁶非会員 株式会社水文環境 (〒103-0005 東京都中央区日本橋久松町10-6)

In the present study, to build a river-discharge measurement system without floats in upstream, we have attempted to apply a radio current meter in a flood-flow measurement in Tone River. The observed results indicate that the water-surface velocity using a radio current meter has an influence of the wind. However, the measurement accuracy of the velocity using a radio current meter considered by the effect of wind are good agreements with those of ADCP. It is noteworthy that the coefficient of float show increasing and decreasing trend as water depth and the averaged coefficient of float are as same as the standard value. Therefore we can apply the standard value of the coefficient of float to the velocity using a radio current meter.

Key Words : river-discharge, radio current meter, surface velocity, coefficient of float, ADCP

1. 序論

流量観測は河道計画の基礎となるものであり、特に、計画規模やそれを超過するような大規模洪水時における高水流量は治水計画に極めて重要であり、わが国では従来から浮子測法による高水流量観測が全国の流量観測所で一律に実施されている¹⁾。

河川上流部での浮子測法による高水流量観測の課題として、①洪水到達時間が非常に短くかつ河床勾配が急勾配なため洪水立ち上がり部の観測は困難であり、さらに洪水ピーク流量の観測も捉えがたい、②河道内の樹木や巨石等による浮子流下阻害を受けて浮子が所定の横断位置を真っ直ぐに流下しないため流速の観測精度が低下する、③橋脚後流や乱流構造等の流れの乱れによる影響が生じるなどが挙げられる。併せて、④利根川ダム統合管理事務所管内の観測所は利根川本川だけでなく吾妻川・烏川・片品川・赤谷川と多くの支川にもあり非常に広範囲に亘るため多くの観測員が必要である。これら高水流量観測の課題は、浮子が接触型流速計であるため観測時に必ず観測員が必要であることと、ラグランジュ的な流

速計測法であるため流量規模や河道特性の影響を受け易いことに起因している。

近年では浮子測法に変わりADCP¹⁾²⁾³⁾、電波流速計¹⁾³⁾、STIVや浮子PTVといった画像処理型流速測定法⁴⁾による高水流量観測の事例が多く報告され、信頼性の高い流量値が得られておりその実用化への気運が高まっている。このうち、ADCPは接触型流速計であるため流量規模や河道特性による制限を受けるため、洪水時の流速が10m/s以上にもなる河川上流部での適用は困難である³⁾。これに対し、河川上流部での流速計測法として有望な非接触型流速計測法である電波流速計と画像処理型流速測定法(STIV, Space-Time Image Velocimetry)は、浮子測法の課題を克服できると考えられるものの、実用化するには洪水時に水面変動が激しく生じる流れ場での計測の確実性や計測精度、さらに、水表面流速観測値が受ける風の影響⁵⁾と流量算出に必要な更正係数⁶⁾の検討が必要である。

本報告では、前橋(平成大橋)を含め利根川ダム統合管理事務所管内の3箇所を設置型電波流速計が設置しており、画像処理型流速測定法に比べてリアルタイムな水

表面流速観測が可能な電波流速計に着目した河川上流部での高水流量観測の実用化に向けた検討成果を報告する。具体的な報告内容は、①電波流速計で計測した水表面流速が受ける風の影響、②流量算出に必要な更正係数である。

2. 現地観測の概要

(1) 観測サイト

電波流速計やADCPを用いた高水流量観測地点は、図-1に示すように、利根川ダム統合管理事務所所管の前橋流量観測所（大正橋）ではなく水位観測及び低水流量観測を実施している群馬大橋下流の平成大橋で実施した。高水流量観測を実施した洪水イベントは、図-2に示すように、前橋水位観測所（群馬大橋下流）において2013年9月5日（前線性豪雨，最高水位：93.80 Y.P.m），2014年10月6日（台風18号，最高水位：92.95 Y.P.m），2014年10月14日（台風19号，最高水位：93.12 Y.P.m）の3つのイベントである。

(2) 調査方法

高水流量観測では、図-1に示すように、流速計として可搬式電波流速計（RYUKAN，横河電子機器株式会社）とADCP（Workhorse1200kHz，Teledyne RDI製）をそれぞれ用いて平成大橋直下流部で観測した。併せて、平成大橋上下流で水位計測（S&Dmini Model 4800，応用地質株式会社）を、平成大橋上にて風向・風速計測（MD2PW-60SW，株式会社シロ産業製）を流速計測と同時に実施した。

ADCPは流速の参照値として位置付け、電波流速計の流速計測精度を検証する目的で用いた。ADCP本体の他に、VRS-RTK-GPS，遠隔操作機器等を搭載できる高流速対応型トリマリン型橋上操作艇を使用したり。ADCPの測定モードは鉛直分解能25cm，層数40，サンプリング間隔1秒以下とした。ADCPを横断方向に移動させる際には、1時間毎に河道横断全体にわたり橋上操作艇の移動速度を0.5m/s程度として1往復させ、河道全体の流速分布を計測した。併せて、電波流速計の照射範囲とほぼ同一地点の流心部近傍で20分程度橋上操作艇を固定した定点観測を同時に実施した。

電波流速計はADCPと同一横断面上の水表面流速を計測するために下流向きに設置し、計測時間間隔を1秒，計測角度を45度として横断観測と定点観測をそれぞれ実施した。横断観測時の計測時間は1分間としエラー値を除去した上で平均し測線ごとの代表流速とした。本報告で使用した可搬式電波流速計の低流速時の計測限界は、0.5m/sである。

(3) ADCPデータの解析手順

電波流速計等で計測される水表面流速に対する風の影響把握や水深平均流速と水表面流速の比である更正係数

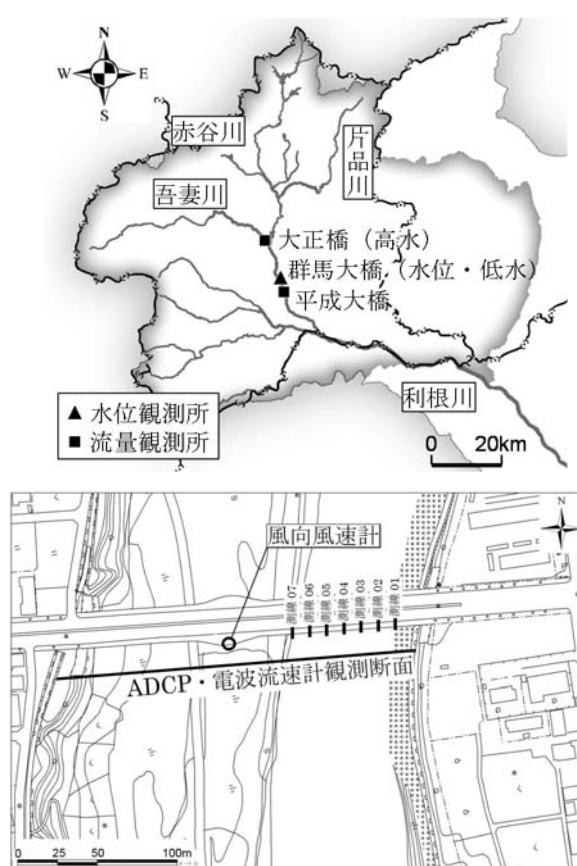


図-1 観測地点（上：全体図，下：平成大橋周辺）

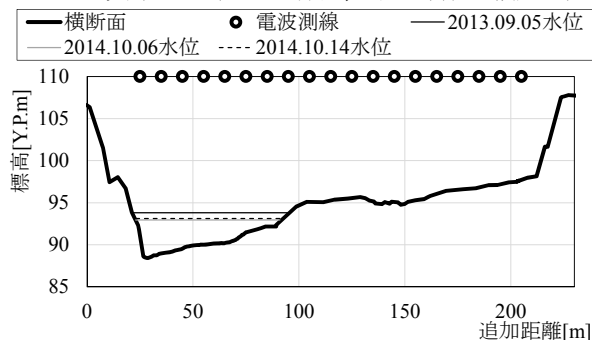


図-2 横断図（前橋水位観測所断面）

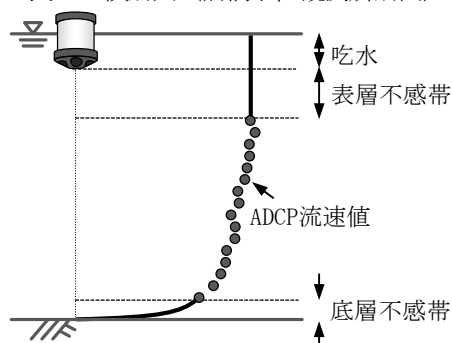


図-3 ADCPの表層・底層流速の流速外挿法

を算出するには、水表面から底面までの流速データが必要になる。ADCPで計測された鉛直流速分布を用いる場合、図-3に示すように、表層と底層に流速を計測できない不感帯が存在するため、その部分の流速データは欠測する。そのため、水表面・底面付近では何らかの形で流

速データを外挿する必要がある。本報告では、酒井・二瓶⁹⁾を参考とし、表層の不感帯の流速はADCPで計測した表層第一層の流速値を水表面まで一様に、底層の不感帯付近の流速は対数の近似曲線を当てはめて外挿データをそれぞれ与えた。本報告で実施した観測では吃水と表層不感帯の合計は32cmであり、最大水深の10%程度に相当する。

3. 結果と考察

(1) 水表面流速の風速依存性

電波流速計は水表面流速を計測しており、水表面流速は、図-4に示すように、風による影響を大きく受けると考えられる。

観測結果の例として、図-5に、無風時（2014年10月6日 10:08、台風19号）と風速5m/s程度の逆風時（2013年9月5日 17:10）の水表面流速の横断分布図を示す。同図から、無風時はADCPと電波流速計の水表面流速が良好に一致していることが分かる。一方、逆風時はADCPと電波流速計の水表面流速に差異が生じていることが分かる。この要因として、図-4に示すように、風応力により水表面流速が遅くなったと考えられる。

2014年の台風18号（10月6日）と台風19号（10月14日）を対象として、同一地点における電波流速計の水表面流速値からADCPの上層第一層の流速観測値（水面下32cm）を引いた流速差 Δu と風速の相関関係を図-6に示す。ここでは、流速と風速ともに流下方向を正とし、電波流速計の計測能力を踏まえ流速が0.5m/sを超え、かつ、風速が1.0m/sを越える観測値のみを対象とした。図-5の流速差 Δu と風速に近似曲線を適用したところ、その傾きが0.0773となっており、この流速差は概ね風速の7.73%程度となっているものと言える。この流速差 Δu と風速の相関係数を電波流速計で得られた逆風時の流速に適用した結果を図-7に示す。これをみると、風の影響を考慮しない場合に対し風の影響を考慮した水表面流速の方がADCPの水表面流速と良好に一致していることが分かる。

本報告で得られた流速差 Δu と風速の関係は、土木研究所の成果³⁾とはほぼ一致しているものの、柏田ら⁵⁾の既存成果とは異なる。この要因として、柏田らの成果は江戸川の緩勾配区間の成果であり、土木研究所の成果は本報告と同様の急勾配区間の成果であるためと考えられる。電波流速計による水表面流速観測を実用化していくためには、水表面流速の風速依存性を解明する必要がある、今後も引き続き検討していく必要がある。

(2) 更正係数

電波流速計による水表面流速を用いた流量算出法は、未だ確立されていない。このため、電波流速計で得られた水表面流速から水深平均流速を算出し、それらに区分断面積を掛けることで区分流量を算出し、それらを積

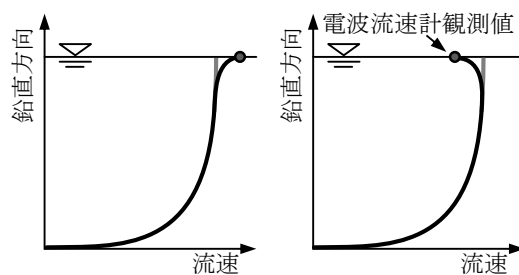


図-4 水表面流速に対する風速依存性の概念図

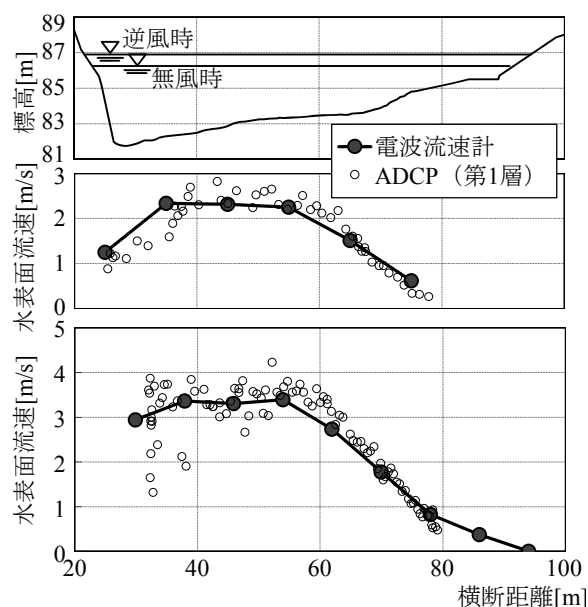


図-5 水表面流速横断分布比較図
(上段：無風時、下段：逆風時)

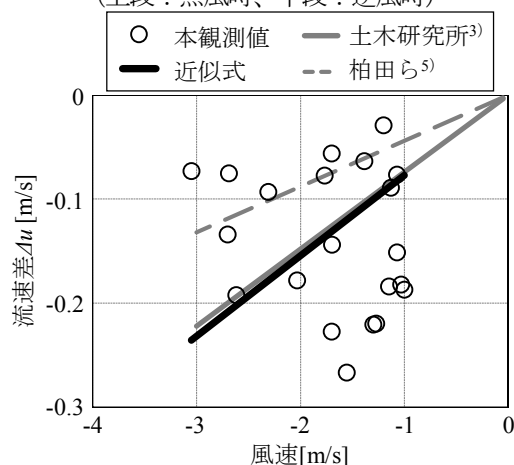


図-6 流速差と風速の相関関係

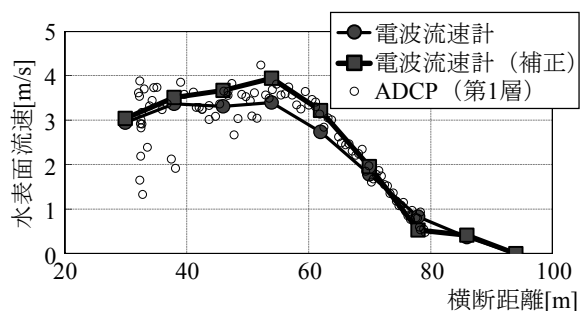


図-7 ADCPと電波流速計補正流速の横断比較図

分することで流量を算出するのが一般的である。ここで、水表面流速から水深平均流速を算出する際に必要な更正係数は、表面浮子の更正係数⁹⁾と同様に、0.85を時空間的に一律に与える場合が多い。このため、ADCP流速鉛直分布を用いて水表面流速の更正係数を確認した。更正係数は、前述したADCPの不感帯部の流速外挿をした流速鉛直分布から算出した水深平均流速とADCPの水表面流速(=表層第一層の流速)の比とした。ここでは、出水の増水期から減水期まで観測した平成26年10月6日出水の結果を対象とした。

図-8に水表面流速に対する更正係数の時間変化を示す。これをみると、更正係数は概ね0.82~0.86の間を変化しており、これらの単純平均は概ね現行標準値(=0.85)と同値である。一方、水表面流速に対する更正係数の横断分布に着目すると、図-9に示すとおり、水際の測線番号2と6は更正係数が0.70~0.98程度、流心部の更正係数は0.75~0.95程度で変化しているものの、単純平均値は、概ねどの横断位置においても現行標準値(=0.85)と同値である。

これより、電波流速計等で水表面流速を計測した場合の更正係数は、時空間的に変化する値であるものの、実務で用いる更正係数の値としては現行の標準値(=0.85)としてよいと考えられる。しかしながら今回の結果は、流量規模の小さい低水路内のみの流況での結果であり、今後は、より大きな流量規模での更正係数と更正係数のばらつきが流量精度に与える影響を確認していく必要がある。

4. まとめ

電波流速計を用いた高水流量観測の実用化を目指して、利根川の前橋観測所近傍(平成大橋)において、電波流速計、ADCP、風向風速、水位観測を実施した。そこで得られた主な知見は以下のとおりである。

(1) ADCPとの比較を通して電波流速計による水表面流速の計測精度を検証した。この結果、無風時にはADCP表層と電波流速計の水表面流速は良好に一致するものの、逆風時には両者の流速の乖離を確認した。このため、吹送流の影響を加味することで、吹送流の有無に関係なく、電波流速計による高精度な水表面流速計測が可能であることが分かった。

(2) ADCP観測成果を用いて水表面流速に対する更正係数を算定したところ、時空間的に各時刻平均値で0.82~0.86程度と変化するものの、単純平均値として0.85となり、概ね標準値(=0.85)と同値となった。これより、電波流速計による水表面流速から流量を算出する際の更正係数として標準値を用いることの基本的な妥当性を示すことができた。

なお、今後、より多くの高水流量観測を実施して観測

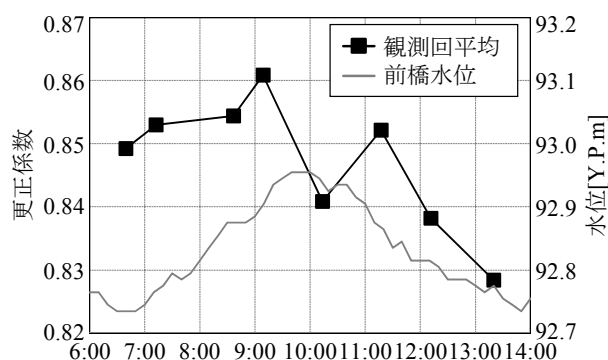


図-8 水表面流速に対する更正係数の経時変化
(利根川・平成大橋、2014年10月6日出水)

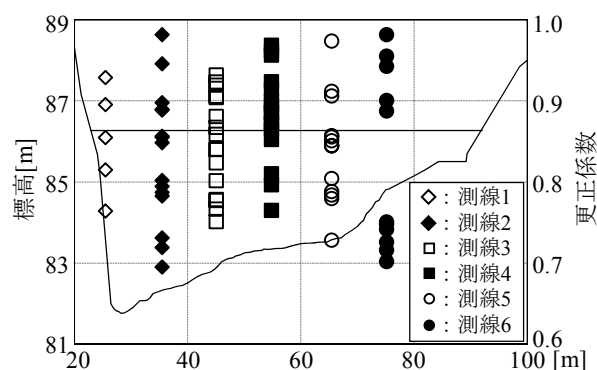


図-9 水表面流速に対する更正係数の横断分布
(利根川・平成大橋、2014年10月6日出水)

データを蓄積して、電波流速計による水表面流速の計測精度、水表面流速の風速依存性、流速鉛直構造や更正係数に関する検討をする必要がある。これらの検討は現在、鋭意実施中であり今後報告させて頂く予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局：河川砂防技術基準 調査編，pp.第2章第4節-16-第2章第4節-20，2014。
- 2) 二瓶泰雄・色川有・井出恭平・高村智之：超音波ドップラー流速分布計を用いた河川流量計測法に関する検討，土木学会論文集B，Vol.64，No.2，pp.99-114，2008。
- 3) 独立行政法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター：流量観測の高度化マニュアル(高水流量観測編) Ver1.0，pp.1-23，2013。
- 4) 藤田一郎：実河川を対象とした画像計測技術，水工学に関する夏期研修会講義集，pp.A-2-1-A-2-20，2003。
- 5) 柏田仁，二瓶泰雄，山下武宣，山崎裕介，市山誠：電波流速計による表層流速計測とDIEX法に基づく流量推定手法の提案，河川技術論文集，Vol.18，pp.393-398，2012。
- 6) 酒井雄弘・二瓶泰雄：ADCPデータに基づく大河川洪水流の更正係数に関する検討，水工学論文集，Vol.51，pp.733-738，2007。

(2015. 4. 3受付)