

# 信濃川帝石橋観測所におけるH-ADCP+DIEX法を用いたリアルタイム流量観測について

はいき え やまぎきよしひこ のほらまさつぐ はまぐちけんいちろう かしわだじん  
表希恵<sup>1</sup>・山崎義彦<sup>2</sup>・野原正嗣<sup>2</sup>・浜口憲一郎<sup>3</sup>・柏田仁<sup>3</sup>

<sup>1</sup>パシフィックコンサルタンツ(株)北海道支社(〒060-0807 札幌市北区北7条西1丁目2-6)

<sup>2</sup>国土交通省北陸地方整備局信濃川下流河川事務所(〒951-8153 新潟市中央区文京町14-13)

<sup>3</sup>パシフィックコンサルタンツ(株)つくば技術研究センター(〒300-4204 つくば市作谷山崎2641)

<sup>4</sup>パシフィックコンサルタンツ(株)東京本社(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地)

感潮域に位置する信濃川・帝石橋水位流量観測所において導入したリアルタイム流量観測システムによる観測の確実性および精度の検証と、観測データの水文観測資料としての取り扱いについて検討した。本システムでは、流速計としてH-ADCP、流量算出手法として力学的内外挿法(DIEX法)を用いている。約1年半の観測データに基づいて、浮子観測等の複数の観測手法との比較検証を実施した結果、欠測なく流量観測を実施でき、他手法との比較から概ね高い精度で観測できていることが明らかになった。また、潮汐の影響を考慮し、感潮域で連続的に観測された流量値への既往の「時刻流量」「日流量」の算出方法の適用の妥当性を示した。

**Key Words** : リアルタイム流量観測, H-ADCP, DIEX法, 感潮域, 水文観測

## 1. はじめに

### (1) 目的

信濃川水系信濃川の河口から3.1kmの感潮域に位置する帝石橋水位流量観測所は、治水基準点である。同観測所の直下流で信濃川は関屋分水路に分派しており、帝石橋観測所の流量は関屋分水路への分派流量を制御する信濃川水門(本川)と新潟大堰(関屋分水路)の操作の基準となっている(図-1)。このため、帝石橋観測所では自動連続かつリアルタイムの流量モニタリングの必要があり、感潮域に適する超音波流速計を用いた観測システムを導入・運用してきた。しかし、機器の故障とメーカーの事業撤退により機器の修理・更新が困難となった。このため、堰操作の基準となる帝石橋観測所での流量観測として、①高精度、②自動連続かつリアルタイムでの流速計測・流量算出、③平常時から出水時まで計測可能、という要件を満たす、感潮域での新たなリアルタイム流量観測システムの確立を目指し、平成26年度より調査・検証を実施して来た。

本稿では、本システムの基本的な構成を示すとともに、平成30年度に実施した観測の確実性・精度の検証および水文観測データとしての取り扱いの検討について報告する。

### (2) 感潮域での流量観測について

一般に河川流量は、自動連続観測された水位データに水位流量曲線(H-Q式)を適用することで間接的に算出する。しかし、水位Hと流量Qが一意的関係とならない感潮域や背水区間ではH-Q式は適用困難である。このため、感潮域等で河川流量をリアルタイムで把握するためには、リアルタイムで流速・水位を観測し、流量を算定する必要がある。

自動連続流速計測が可能な方法としては、水平設置型ADCP(H-ADCP)、超音波流速計、固定式電波流速計等による方法がある。このうち電波流速計は、低流速や逆流の計測が困難であるとともに、水表面流速を計測しており風の影響補正が必要なため自動連続観測には不適である。超音波流速計は、横断方向の平均流速を計測しており、流速計測は適切に可能であるが、別途観測した流量と計測流速との相関式を作成し流量算出するため、観測断面形状が変化した場合に相関式を作成しなおす必要があり、運用に手間がかかる。これに対してH-ADCPは、計測高の流速横断分布のデータから、力学的内外挿法(DIEX法)により横断面全体の流速分布データと流量を算出する流量モニタリングシステムが提案されており、高精度な流量算出が可能であることが示されている<sup>1),2)</sup>。詳細は参考文献を参照されたい。

帝石橋観測所ではこのシステムを平成26年度より導入



図-1 帝石橋観測所周辺航空写真。

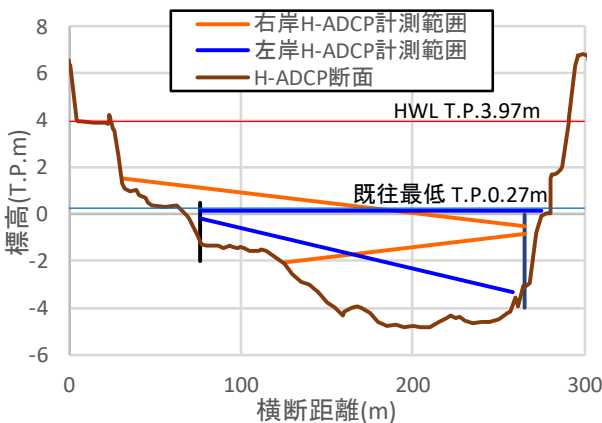


図-2 H-ADCP設置断面横断図。

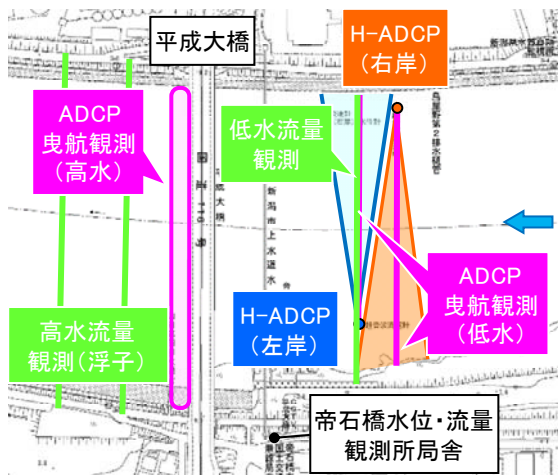


図-3 検証観測位置図。

しており、複数年にわたり高水・低水での検証観測等をもとにシステムや観測機器の調整を実施してきた。本検討においては、本格的なシステムの稼働に向けた最終段階としての検証観測を実施し、観測の確実性・精度の検証を実施した。

### (3) 水文観測データとしての取り扱いについて

国土交通省で定められる「水文観測業務規程」<sup>3)</sup>に基づき流量を水文観測データとして登録するためには、「時刻流量」と「日流量」を整理する必要がある。同規程によれば、時刻流量は「各時刻水位に対する流量」、日流量は「1時から24時の時刻水位に対する流量の総計を

24で除した流量」とされている。ここで、通常の「流量」は各時刻あるいは日ごとの河川の自流量を示す値となっているのに対し、感潮域で観測された流量は潮汐の影響を受けており上流から供給される河川の自流量ではない、という点を考慮する必要がある。これを踏まえ、感潮域において連続的に観測された流量に対する従来の「時刻流量」「日流量」の算出方法の適用妥当性を検討し、今後感潮域における流量観測値を水文観測データとして取り扱うための基礎資料となるよう検討を行った。

## 2. リアルタイム流量観測の確実性・精度検証

### (1) 帝石橋観測所のリアルタイム流量観測システム

帝石橋観測所の流量観測システムの基本構成を示す。本システムは、①H-ADCPでの流速計測、②流速データの演算部への伝送、③演算部でのDIEX法による流量算出、④事務所PCでの観測結果表示、という構成となっている。

①では、帝石橋水位観測所の水位計測断面上の左右岸に周波数300kHzのH-ADCP (WorkHorse H-ADCP, TRDI社製)を1台ずつ計2台設置し観測を実施している。設置高は、帝石橋観測所の既往最低水位T.P.0.27mでも観測可能な設置高とし、超音波の拡散角度も考慮して左岸でT.P.-0.02m(俯角0.5°)、右岸でT.P.-0.67m(俯角0°)としている(図-2)。左岸H-ADCPは、河床との干渉を避けるため俯角をつけて極力上方に設置している。H-ADCPの観測設定は、層厚5m、層数50、超音波発信回数30、計測間隔は10分に1回としている。左右岸のH-ADCPは、相互の超音波の干渉を避けるため時間をずらして各々20秒間ずつ流速を計測している。周波数300kHzのH-ADCPの最大計測範囲は300m程度であるが、帝石橋観測所の川幅は300m程度、かつ出水時には濁水が発生することから、超音波の減衰による未計測範囲が生じることを考慮し、観測の確実性の向上のため左右岸にH-ADCPを設置している。

②では、H-ADCPから無線ネットワークを介して、局舎に設置されている演算部へ計測データを伝送する。

③では、局舎の演算部に取り込んだ流速横断面分布のデータから、DIEX法により流速横断面分布・流量を算出する。使用したソフトウェアはDIEX-Flow RT(パシフィックコンサルタンツ製)である。H-ADCPは機器の背面や超音波の減衰により流速の未計測範囲が生じるため、通常浮子観測で用いられる区分積法や単純な線形補完等の流量算出方法では精度低下や確実性に問題が生じる。一方、DIEX法では、力学的条件を満足した形での流速の内外挿が可能であり、既往研究においても観測データ範囲の増減による流量算出精度への影響が小さいことが示されている<sup>1), 2)</sup>。帝石橋観測所では出水時の濁度の上昇等の影響によりH-ADCPの流速計測範囲が減少する可能性があることから流量算出手法としてDIEX法を採用している。

④では、テレメータ網を介して局舎から信濃川下流河川事務所の流量観測システム閲覧専用PCにデータを伝送し、リアルタイムで流量観測結果や観測システムの作動状況・エラー等を表示する。

## (2) 検証観測方法

本システムの観測の確実性の検証として、 $1,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の出水3回を含む期間での継続観測を実施し、欠測や異常値の有無を確認した。また観測精度の検証として、低水・高水それぞれで流量観測の比較を行った。低水では、帝石橋観測所で年36回実施されるプライス型流速計を用いた低水流量観測と、本システムとの検証用に実施されたADCP (RiverRay, TRDI社製)を用いた流量観測との比較を行った。高水では、出水時に実施された浮子観測と検証用ADCP観測との比較を行った。検証期間は平成29年7月～平成30年11月、低水流量観測45回、浮子観測5回、ADCP観測6回(低水2回、高水4回)で比較を実施した。各観測の位置図を図-3に示す。

## 3. 水文観測データとしての取り扱いの検討

感潮域における観測流量は、潮汐の影響を受け上流域から流下した河川の自流量(淡水流量)とは異なる流量値となる。ここで満潮と干潮2回の周期が約24時間50分周期であることから、得られた流量を24時間50分平均(10分間隔で計測された流量値149個の平均)することで潮汐の影響を除き、この値を当該時間内の河川自流量として扱うことができる。これを踏まえ本検討では、24時間50分平均流量との比較から、感潮域における「日流量」の算出方法の適用の妥当性を検証した。なお、一般的な時刻流量は、H-Q式を用いて各時刻水位から算出された流量であるが、本システムでは水位との関係によらず流量を算出するため、通常の時刻流量の算出方法は適用できない。このため、一般的な時刻水位が、10分間隔で計測された水位の当該時刻を含む前60分の平均値で算出することを準用し、本検討では10分間隔で計測された流量の前60分平均値を「時刻流量」とした。

## 4. 検討結果

### (1) リアルタイム流量観測の確実性・精度

検証結果として、検証期間のうち平成29年7月の水位・流量ハイドロおよびH-ADCPによる流速計測状況を図-4に示す。流速計測状況のグラフは、左右岸H-ADCPの計測範囲全体を100%として示し、0%を左岸、100%を右岸、50%を河道中央として、赤い範囲は流速の欠測を示している。欠測の判定は、H-ADCPの品質指標であるコリレーションと反射強度に基づき定量的かつ自動的にやっている。また、本システムによる流量と低水流量観測、浮子観測、ADCP観測流量の相関図を図-5、低水・高水の代表的な日時における流速横断分布とDIEX法による流速横断面分布の算出結果を図-6に示す。同図中のプロットはH-ADCPによる流速計測値を示し、実線ならびにコンターはDIEX法による流速推定値を示す。

図-4より、本システムにより低水・高水ともに安定して流速計測・流量観測が実施できていることが分かる。平成29年7月出水ピーク付近(7/3, 7/12, 7/18)には河道中央付近で流速の欠測が生じており、7/19以降は右岸H-ADCPに流木が支障となり右岸側の大半で流速の欠測

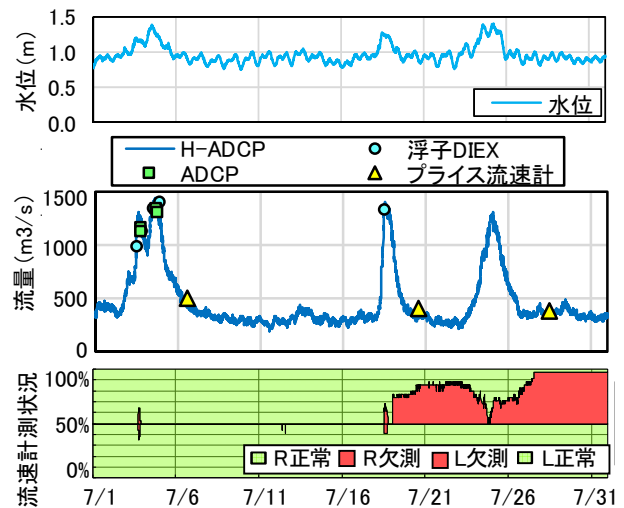


図-4 平成29年7月の水位・流量・流速計測状況。

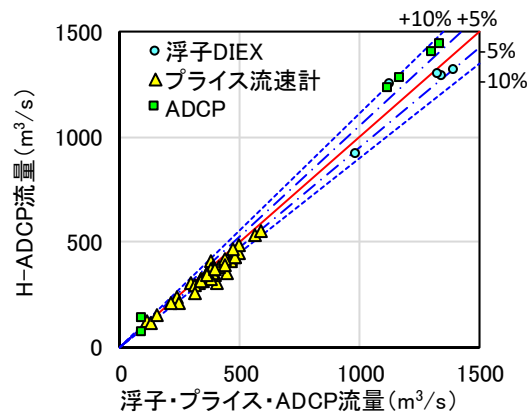


図-5 H-ADCPとその他手法の流量相関図。

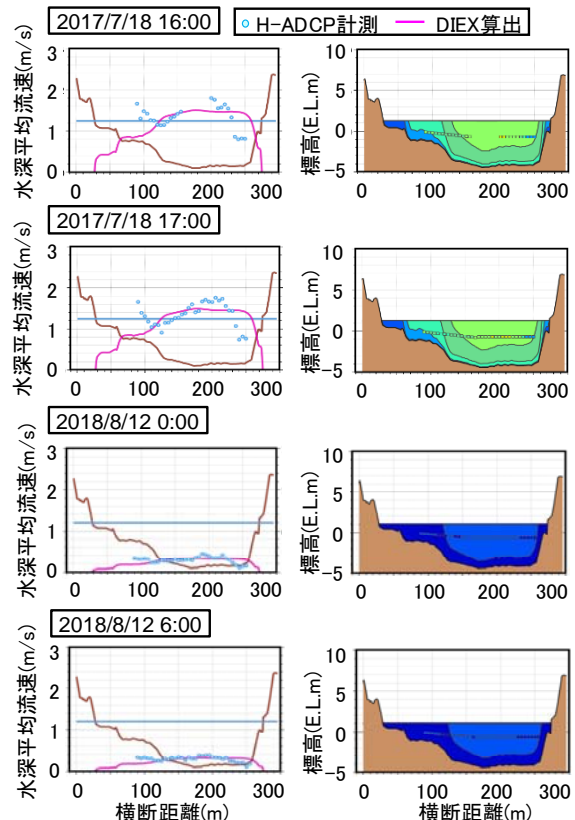


図-6 流速横断分布 (左) 流速横断面分布 (右)。

が生じているものの、DIEX法による補完により流量が算出されており、7/19以降の本システムによる観測と低水流量観測(プライス流速計)の流量を比較すると概ね一致している。7/18 16時の流速横断面分布(図-6 1列目左)からも、欠測が生じた場合でも、横断全体で流速計測がされた場合(7/18 17時)と同様に流速分布が算出されていることがわかる。この結果、本システムにより確実性の高い流量観測が可能であることがわかる。

次に観測精度の検証結果として、図-5を見ると、ほとんどの観測で流量差が±10%の範囲内にあり、特に高水ではすべての比較観測で±10%以内の流量観測結果を得ることができ、高精度な観測が実施できていることが示された。一方で低水の範囲では、一部の観測で流量差が±10%以上となっている。図-6の流速横断面分布に着目すると、左岸際(横断距離100m付近)と右岸際(横断距離250m付近)のH-ADCP計測流速の乱れが見取れる。左岸では、H-ADCPが発する超音波が河床と干渉している可能性が考えられ、右岸では、上流に設置されている水制工の影響で流れに乱れが生じていると考えられる。低水のみで誤差割合が大きくなっているのは、流量差の絶対値が同じ場合低水では誤差割合が大きく現れるためであると考えられる。対策として右岸の流速の乱れを平均化するため超音波発信回数を増やすシステムの改良を行った。また今後、左岸側では定期的な河床の維持浚渫を行う必要があると考えている。

## (2) 水文観測データとしての取り扱い

平成29年7月3日出水付近の、10分間隔で計測された流量、時刻流量、日流量、24時間50分平均流量のハイドログラフを図-7に示す。また、同期間の日流量と24時間50分平均流量の相関図を図-8に示す。ここでの24時間50分平均流量は、当該日24時までの10分間隔の流量の前24時間50分平均値としている。

図-7の流量ハイドログラフから時刻流量は低水から高水までの流況を良好に表現できている。また日流量と24時間50分平均流量は概ね同程度の値を示しており、図-8の相関図からその差は±5%の範囲内であり、日流量は、潮汐の影響を除いた流量値である24時間50分平均流量と概ね同程度の値を示す。したがって、感潮域においても従来の「時刻流量」「日流量」の算定方法を適用することは妥当であることが示された。

## 5. おわりに

帝石橋観測所におけるH-ADCP+DIEX法を用いた新たなリアルタイム流量観測システムによる観測の確実性・精度の検証、および観測された流量値の水文観測データとしての取り扱いについて検討した。これにより得られた主な結論は以下のとおりである。

- (1) H-ADCPによる流速計測、DIEX法による流量算出が10分間隔で連続的に安定して実施可能であり、洪水時の濁度上昇や流木の影響により欠測が生じた場合でも流量が算出され、確実性の高い観測が可能であることが示された。
- (2) 他観測手法との比較検証の結果、高水観測では概

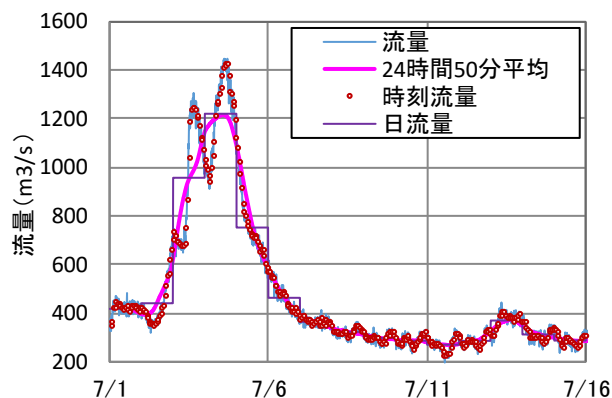


図-7 日流量と24hr50min平均流量の比較。

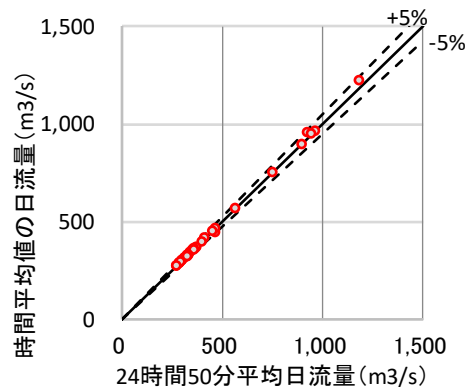


図-8 日流量と24hr50min平均流量の相関図。

ね流量差10%以内の精度で観測が実施できていることが示されたものの、低水観測では流量差10%以上となる場合があった。これは左岸側の河床や右岸の流速の乱れが影響しているものと考えられ、超音波発信回数等の観測方法の改良を行っており、今後検証が必要である。

(3) 日流量と潮汐の影響を除いた流量値である24時間50分平均流量の比較を行った結果、これらの流量値は概ね同程度の値を示すことが明らかになり、感潮域における流量観測値についても通常の流量値と同様に「時刻流量」「日流量」として整理することの妥当性を示した。今後、帝石橋における低水観測の精度向上のための観測システム改良後の検証を行うとともに、その他観測所において遠赤外線カメラ画像解析による自動連続観測システムの整備も進めており、流域全体として観測の確実性・精度向上に取り組んでいく。

**謝辞：**本論文は、北陸地方整備局信濃川下流河川事務所の「H30流量観測精度向上検討外業務」の成果の一部である。ここに記して、関係各位に謝意を表します。

## 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, Vol.63, No.4, pp.295-310, 2007.
- 2) 中村友洋・二瓶泰雄・根岸大介: 8年間にわたるH-ADCP 流量モニタリングシステムの運用と精度検証, 河川技術 論文集, Vol.21, pp.89-94, 2015.
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局: 水文観測業務規程, 平成29年3月31日付け国水情第44号, pp.1-5, 2017.