

流量観測高度化に関する富士川南部観測所における取組

萬矢敦啓* 菅野裕也** 深見和彦*** 葭澤広好**** 宮本孝行*****

1. はじめに

現在用いられている流量観測手法の多くは昭和30年代初頭までに確立した技術に依存したままであるが、近年、流水表面の流速を無人で連続的に計測する新世代の計測技術が利用可能となってきた。これらの新しい計測技術の特性・限界を把握した上で有効に活用し、省コスト・省人型の観測手法を開発するとともに、既存の流量観測技術も含めた流量観測データの信頼性を確保することが必要である。このような背景を基に土木研究所は平成11年度から13年度にかけて(財)土木研究センター及び民間5社と共に「非接触型流速計測法の開発」に関する共同研究を実施し、その後も土木研究センターを中心にしてフォローアップを実施してきた。これらの研究からドップラー効果を利用する非接触型流速計（電波型及び超音波型）は、流量観測目的としての表面流速計として実用に資する技術であることが確認された¹⁾。しかしながら、無人・自動計測技術として見たときに、河床変動により河積の変化、更正係数の流量規模に応じた変化があった場合の影響を考慮していない点に不確定要素が残っている。一方ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler/音響ドップラー流向流速計) は洪水流水中の3次元流速分布、断面積の計測が可能で計測器であるがADCPの小型化したこと、木下らによる無人ボートの開発等の業績²⁾を経て、洪水中的の実現象を正しく捉えることも可能になってきている。すなわちADCPによる観測結果の知見を適切に取り入れることができれば非接触型流速計による自動かつ連続的に流量観測を行うシステム開発への展望が開かれることになる。

土木研究所水文チームは、このような流量自動観測システムの構築を目標とした研究を推進している³⁾。すなわち、設置型流速計（ここでは非接触型流速計）を用いた代表流速の計測、鉛直方向

流速分布を考慮するための流速補正係数の算出、洪水中的の変動する河積の算出の計3つの項目を自動計測することで流量観測システムを構築することが目標である。ここで言う流速補正係数は一般的に言われている更正係数に近いが従来の観測手法である更正係数とは異なるため本報告では「流速補正係数」を採用している。

このような新しい流量観測システムを完成させるためには現場での経験を踏まえた改良が不可欠である。国土技術政策総合研究所（国総研）・土木研究所の共同提案による「流量・流砂量観測手法高度化プロジェクト」（平成20年5月26日、全国水理水文担当者会議）には、上記の新しいシステムの現地検証を盛り込んでおり、それをもとに国土交通省河川局は平成20年度から3～5年程度を目処とした取り組みを本格的に開始したところである。そこでは、一つの地方整備局において一箇所程度の集中観測サイトを設け、そこに設置する観測結果から以下の項目を検討する計画である。1) 洪水時に流水の一部分を計測する非接触型流速計（電波流速計）観測および浮子観測データを、ADCP観測データにより検証し、補正手法を確立する。2) 洪水中的の河床変動が大きい河川において河床高連続観測を行い、流量算出に反映させる手法を検討する。

本報告では、流量・流砂量観測手法高度化プロジェクトのうち、特に流量観測の高度化に関して技術的な背景、各機関の役割分担について、富士川南部観測所等における試みを例に紹介する。

2. 集中観測

2.1 富士川南部観測所

富士川南部観測所は富士川の河口から30kmに位置し、河床勾配1/227、代表粒径93.9mmでありセグメント1に分類される。16km上流にある早川からの土砂供給もあり総合土砂管理の観点からしても重要な観測地点である。

2.2 流量観測高度化の役割分担

富士川南部観測所では国総研河川研究室が事業

主体である橋上操作艇に搭載したADCPによる流速分布及び河床変動の観測、H鋼に設置した音響測深器を用いた河床高自動計測、携帯型電波式流速計を用いた表面流速観測が行われている。また甲府河川国道事務所が事業主体である複数の水位計を用いた水面勾配の算出、河床自動計測断面における横断測量、既存の流量観測である浮子流量観測が行われている。

2.3 ADCPによる観測

ADCPは超音波を用いた計測器の一つであり、ドップラー効果による三次元流速分布、音響測深技術による河床高を計測することができる。ADCPを用いて河道全体を計測するにはラジコンボートや橋上操作艇を用いて横断観測を行う必要がある。なおADCPは、河床が固定されている状況を仮定してADCP本体の移動速度； V_{boat} を計測し、流水の流速を換算するボトムトラック機能を有する。しかし、日本の洪水中の河川の多くの場合、河床は移動している可能性が高く、上記機能では移動河床の速度の算定はできたとしても、正しい V_{boat} を算定することはできない。したがって、正しい流水の流速を算出するためには計測器本体の移動速度を併せて測定することが必要であり、本プロジェクトにおいては精度の高いRTK-GPSを併用している。

ADCP観測に適した橋上操作艇は三胴船（トリマラン）、や単胴船（モノハル）等が考えられるが、水面の変動が激しいときの計測に対してはトリマランの方がよりデータ欠損が少ないことが示唆されている⁴⁾。

実際の計測の際には橋上操作艇にADCPを搭載し、橋上の作業員とロープでボートを結び観測を行う。一観測当たり一往復を計測し、平均を取って基準流量とする。観測値の精度管理のためボートの移動速度は1m/s程度に抑え、特に流速の遅い領域ではボートの移動速度をさらに遅くする必要がある。また岡田らが提案する偏差流速の概念⁵⁾を用いる事が望ましい。また洪水時、流速が早いと想定される観測所においては計測台車を用意しておくことが望ましい。この台車に手動式のウインチ、電動式のウインチを搭載しておく、橋上操作艇の着水、掃流砂・浮遊砂観測を安全に行うことができる。さらに表面流速が4m/sを超える場合橋上操作は危険を伴う。作業員がロープを

持つのではなくこの台車にロープを固定して、台車を左右岸に行き来することで横断観測を実施することが望ましい。それにより人命に関わるリスクを回避することができる。計測台車の一例を図-1に示す。これは掃流砂観測を実施しているときの写真であるためカウンターウエイトとしてサンドバックを載せているが、流量観測において横断方向の移動観測を行う際には、計測台車の走行性を上げることを優先してそれを下ろしても良い。



図-1 計測台車の一例

2.4 河床高自動計測

洪水中の河積を正しく算定するために、200 kHzの音響測深器を用いて河床高自動計測を行う。図-2に示すように河道の低水路二カ所、高水敷一カ所にH鋼を設置し、それぞれに音響測深器を約45度程度傾け、河床を常にモニタリングしている。計測結果の信頼性を鑑みて二つの手法による比較を行っている。一つは音響測深器とリング法を比較することで計測結果の妥当性を検証する。また河道幅約300mにおける計測点の河床高の代表性を確認するために、洪水前後における河道断面の測量を実施している。



図-2 河床高自動計測のためのH鋼と南部橋

2.5 電波式流速計

電波式流速計は、河道内に10機程度設置し、常時計測を実施する。これらは橋梁の上流側に設置されている。詳細は深見ら¹⁾を参照されたい。

2.6 水位計を用いた流速補正係数の算出

鉛直方向流速分布を考慮するためには流速補正係数を用いる。これは洪水規模に応じて変化することが想定されるため、自動流量観測を完成させるためには同係数に関しても常時モニタリングすることが望ましい。以下に水面勾配を用いた算出方法を示す。鉛直方向流速を対数則と仮定することができれば、設置型流速計から得られた流速値； $U_{\rho h}$ を用いて下記の式が得られる³⁾。

$$\alpha = \frac{U}{U_{\rho h}} = 1 - \frac{(1 + \ln \beta)}{k \cdot U_{\rho h}} \cdot \sqrt{ghI} \quad (1)$$

ここで α を流速補正係数、 U を平均流速、 β は0～1の範囲に値を持つ相対水深を決定するパラメータ（ $\beta=1$ のときは表面流速）、 k はカルマン常数（=0.4）、 g は重力定数、 h は河積を考慮した水深、 I は水面勾配である。水面勾配を正しく測定することができれば、この式から流速補正係数が算定できる。またADCPによる鉛直方向流速プロファイルから式(1)の検証を行うこともできる。式(1)に若干の変形を施すと以下の式を得る。

$$U_{\rho h} = \frac{U}{\alpha} = \frac{(1 + \ln \beta)}{(1 - \alpha) \cdot k} \sqrt{ghI} \quad (2)$$

この式はChezy式とほぼ同じ形式を持つ。同様の式としてマンシングの式が一般的であるが、式(2)はADCP計測から換算した流速補正係数が簡単に反映できるとともに、データ欠損やエラー値を補正することができる点が特長である。すなわち、電波式流速計は測定原理から計測時に水面が平坦になった場合や、流速が50cm/s以下の計測範囲を下回る場合、データ欠損が生じることがあるが、水面勾配等の値から適当と考えられる流速を補間することが可能であり、欠測時も確からしい流量値を算出することができる。これらのことから、適切な水位計の設置による的確な水面勾配の算出、河床高自動計測による水深 h の算出は、流速補正係数の算出、すなわち流量自動計測の成功に非常に重要な役割を果たすことが理解されよう。

3. 計測結果の一例

3.1 流速分布の比較

2009年の出水期は、南部観測地点においては大きな出水を経験しておらず、今後のデータ取得が待たれる状況である。一方、利根川栗橋地点においても非接触型電波式流速計による流量観測を実施しており現地における課題を明らかにした事例が得られたので、ここで速報として紹介したい。

図-3は横断方向の流速分布を示す。横軸は左岸からの横断距離、左縦軸は流速、右縦軸は標高を示す。その他橋脚の位置◆、電波式流速計の区分断面の境界；点線を示す。赤●はADCPにより算定した表面流速を示す。これは同計測値に対数則を仮定し、それを水面まで外挿した結果である。青△は赤●の区分断面毎の平均値、黒○は電波式流速計の計測値、黒□は式(2)($\alpha=0.85$ 、 $\beta=1$)の算定値を示している。さらに、ADCPにより計測した河床高、電波式流速計の初期河床高、計測当時の水位を示す。

赤●が示す通り、橋脚の後流の影響を受け流速が極端に小さくなる場所があるが、区分断面の平均値としては青△は黒○に極めて近い値を示す。個々にみると違いはあるが、計測位置が厳密には一致していないことも原因であり、区分断面スケールでは概ね一致していると評価できる。また黒□は電波式流速計やADCPによる区分断面平均値と比較すると常に1.2倍程度大きい。これは水面勾配の計測誤差に起因している可能性がある。水面勾配の的確な計測、流速補正係数の算出などが課題である。一方、左岸側の高水敷では、流速が遅く電波式流速計は欠測し、水深1m以下であるためADCPによる計測も難しい。このような領域では、他の流速計を使用した補助的な計測及びそれによる式(2)の検証が必要となる。但し、高水敷の区分流量は全体の10%以下であったことは付記しておく。

4. まとめと今後の課題

本報告では流量観測高度化の概要とそれぞれの意味、役割、計測に関する注意点などを述べた。また栗橋地点における最新の計測結果から浮かび上がった高水敷での計測の課題を紹介した。特に富士川南部観測所はセグメント1であるため

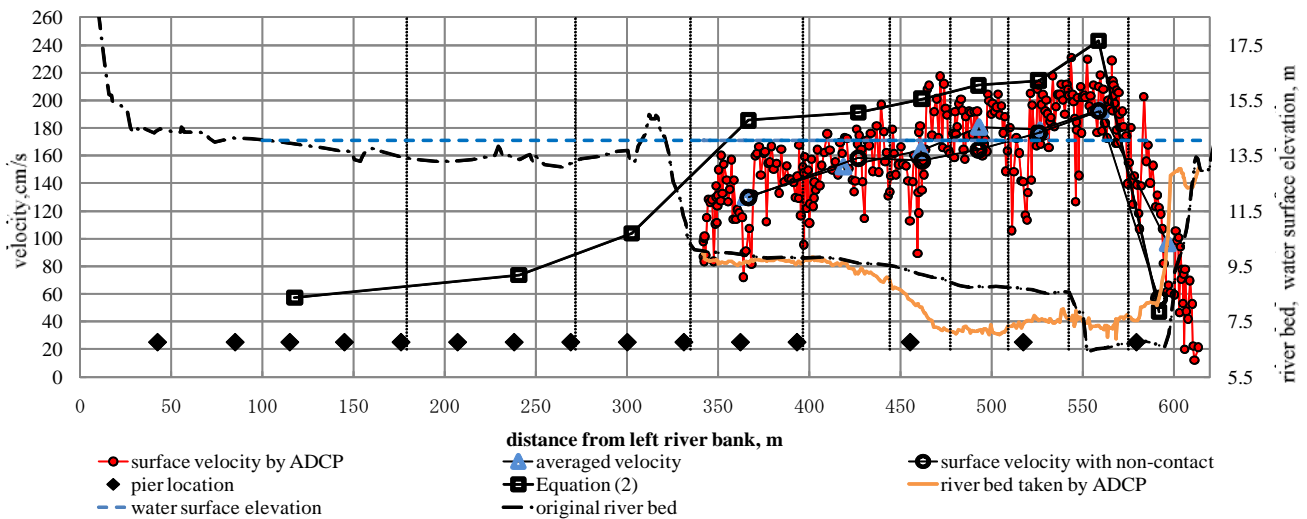


図-3 流速分布の比較

栗橋観測所と比較すると異なる知見が得られる可能性が高い。平成22年度の出水における観測と、河床自動計測の結果が大いに期待される。

謝 辞

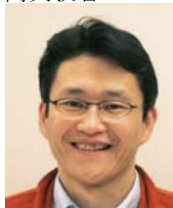
本報告で使用したADCPの現地観測データについては、国土技術政策総合研究所河川研究室から提供いただいた。また電波式流速計、水面勾配の算出に用いた複数の水位計の観測結果に関しては利根川上流河川事務所から提供頂いた。記して感謝の意を表する。

参考文献

1) 深見和彦、今村仁紀、田代洋一、児玉勇人、中島洋一、後藤啓介：ドップラー式非接触型流速計（電波・超音波）を用いた洪水流量の連続観測手

法の現地検証～浮子測法との比較～、河川技術論文集、vol.14、pp.307-312、2008
 2) 木下良作：河川下流部における洪水流量観測手法に関する一提案、J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour. Vol.11、No.5、1998.
 3) Yorozuya et al: Development of automatic water discharge measurement system, 6th International Symposium on Environmental Hydraulics, 2010（投稿中）
 4) Yorozuya et al.: Developing an automatic water/sediment discharge measurement system with O-ADCP, ADCP in Action, October 5-7, San Diego, U.S.A.,2009, manuscript in CD-ROM
 5) 岡田将治、橘田隆史、森本精郎、増田稔：ADCP搭載無人ボートを用いた四万十川具同地点における洪水流観測、水工学論文集、第52巻、2008

萬矢敦啓*



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水災害研究グループ水文チーム 専門研究員
Atsuhiro YOROZUYA

菅野裕也**



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水災害研究グループ水文チーム 研究員
Yuya KANNO

深見和彦***



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水災害研究グループ水文チーム 上席研究員
Kazuhiko FUKAMI

葭澤広好****



国土交通省関東地方整備局甲府河川国道事務所調査第一課水防企画係長
Hiro Yoshi ASHIZAWA

宮本孝行*****



国土交通省関東地方整備局甲府河川国道事務所調査第一課長
Takayuki MIYAMOTO