

洪水流量観測手法における新しい潮流

深見和彦*

1. はじめに

将来起こりえる、もしくは、現在起こりつつある洪水に対して的確に備えるために、洪水時の河川流量観測データは最も基礎となるデータであり、河川計画・管理の基盤である。この流量観測に係る現行の各種技術基準は、昭和20～30年代初頭に確立され、全国規模での長期にわたる一定品質のデータの収集・蓄積に貢献してきた。

しかし近年では、少子高齢化社会の進展に伴い、省人化・省コスト化を厳しく求められる一方で、観測データの品質を確保しつつ、迅速な情報公開が求められるようになり、河川行政に対しても新しいニーズが生まれつつある¹⁾。さらに、昭和30年代から約半世紀を経て、従来不可能と考えられていた洪水流水中の3次元流速分布を計測したり、流水表面の流速を無人で連続的に計測したりできる新世代の計測技術が、今や利用可能となってきた²⁾。これらの新しい計測技術の特性・限界を把握した上で適材適所で有効に活用しつつ、国土建設から国土マネジメントへ移行すべき時代において河川管理に対する上述の新しいニーズに対応できる、適切な観測技術の選択肢を早急に準備し確立することが今求められている。

以上の背景の下で、土木研究所では国土交通省および同国土技術政策総合研究所と連携しながら、洪水流量観測技術の高度化に一貫して取り組んできた。本報では、それらの近年の成果をまとめて俯瞰することで見えてきた、近い将来へ向けての洪水流量観測技術の新しい潮流を紹介する。

2. 従来の洪水流量観測技術の課題

浮子測法は、橋梁や専用投下施設から、川幅に応じて10～20本程度の流速測線毎に浮子を投下し、ある区間でのそれぞれの流下時間を計測することで、河川内の流速分布を知り流量を算出する手法である³⁾。流速が5m/sをししばしば超え、ごみ

や流木等も多く流下する厳しい我が国の洪水流況条件下においても、安全確実に適用できる唯一の実用的手段として、我が国の洪水流量観測を長らく支えてきた。しかし、人力作業に全面的に依存しているがために、

- a) 不十分な流速測線の設定
- b) 浮子吃水深・更正係数等の不適切な運用
- c) 洪水立ち上がり部や洪水ピークの欠測
- d) 中規模洪水の観測データの不足

といった「運用上の課題」が生じている⁴⁾。これらは、必要な観測体制を基準通り確保できれば生じ得ないものであるが、そのような体制の確保が難しい現実も直視する必要がある。さらに、

- e) 橋脚後流や植生繁茂の影響や、二次元的な収束・発散的な流況が存在する場合に、浮子が異常流下する場合があること
- f) 流速分布そのものの乱れの影響を浮子では完全には捉えきれないこと
- g) 洪水中の河床変化を捉えていないこと
- h) 更正係数が流速分布により変化し得ること

といった現行の浮子測法では避けられない「技術的課題」がある。また、浮子測法の場合、水位流量関係式(HQ曲線)を作成するプロセスが果たす誤差抑止の役割も重要である。このため、当該出水期のHQ曲線を確定させた後でないと洪水流量観測値を公表することが難しい。これらの課題を克服できる新しい方法論を提案すること無しで、これからの河川管理への多様なニーズに対応することは容易ではないと想像される。

3. 今後の洪水流量観測技術に求められる方向性

現在の現場の河川管理事務所の業務体制を前提とすると、省コスト・省人型であると同時に精度を高いレベルで安定させることのできる流量観測手法を確立することが必要である。

流量を算出するためには、流水断面内の「流速分布」と「断面積(河床形状)」を計測する必要がある。その意味で、超音波ドップラー流向流速計(ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler)

を橋上からロープで係留して操作するボート（橋上操作艇）に搭載することで、流水断面内の3次元流速分布のみならず河床形状も含めて網羅的に把握する手法（橋上操作艇ADCP計測法）は、流水中の流速分布を最も少ない仮定で網羅的かつ精度良く把握できる手法と言える。

しかしながら、上記の手法も人力での観測作業には変わりなく連続観測は難しい上、急流河川等での河川表面が大きく波立つような極めて荒れた流況条件ではこの方法でもADCPを適用することは難しい。このことから、ある河川水系の重要観測所や上流部の観測所では、何らかの固定設置型のセンサを活用することで、無人で安全確実にリアルタイムで連続的な流速・流量の変化を自動計測する手法を確保することも同時に必要である。固定設置型のセンサとしては、洪水時でも安全確実に高速流の計測ができる非接触型流速計（電流流速計等）の活用が最も有力な選択肢である。

上述の2つの手法の組み合わせが、現時点で最も実用レベルに近い省コスト・省人化と高精度の確保を高次元で実現できる次世代の洪水流量観測の基盤技術と考えている。以下、それぞれの手法について詳しく紹介する。

4. 橋上操作艇ADCP計測法

4.1 概要

ADCPの計測原理を図-1に示す。超音波パルスを複数方向に発出し、様々な深さからのパルス反射波におけるドップラー効果による周波数変調から、流水の

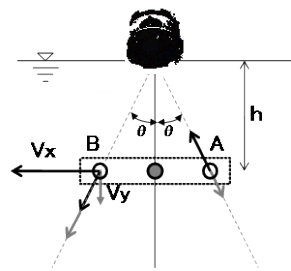


図-1 ADCPの計測原理

流速の3次元ベクトルを求めることができる。ボートにADCPを搭載して、川幅方向に移動しながら観測すれば、当該河川断面における流速分布を網羅的に把握できる。我が国におけるADCPの洪水流量観測への適用実験は、ラジコン(RC)ボートにADCPを搭載して観測する研究から始まった⁶⁾。RCボートによる方法は、橋梁の有無に関係なく洪水流量観測に最も適した地点を自由に選定できる利点がある一方、橋上操作艇にADCPを搭載する方法（図-2）の場合、橋上から

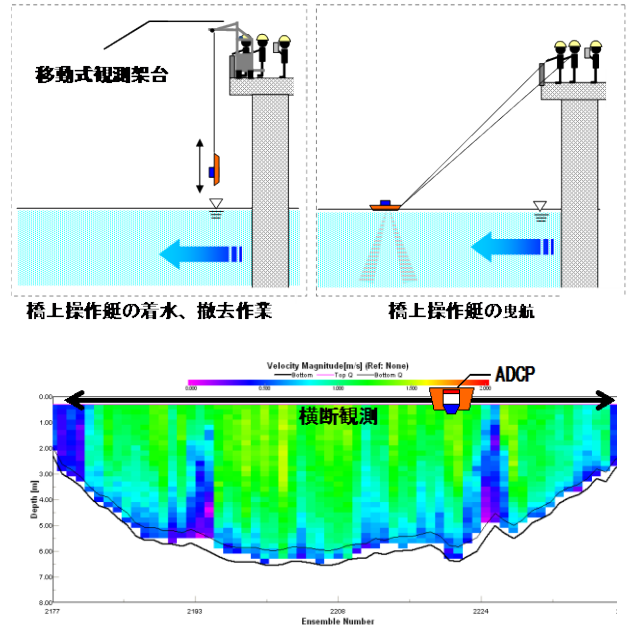


図2 橋上操作艇による洪水流量観測概念図

移動式観測架台（図-3）もしくは人力（図-4）でロープで常に曳航することから、より安全で簡便な方法として推奨できる。



図-3 移動式観測架台

4.2 洪水時でもADCPにより正確な流速分布を得るための工夫

橋上操作艇ADCP法ではボートを横断方向に移動させながら観測



図-4 2人による橋上からのADCP搭載ボートの曳航

することから、ADCPで計測される速度成分には、対地移動速度成分が含まれる。かつては河床深さ位置におけるドップラー測定値を対地速度と考えるボトムトラッキング法が用いられていたが、洪水時に河床が移動することを考慮し、現在では、RTK-GPSやGPSのVTG(Vector track an Speed over the Ground)情報等により対地速度(数cm/sの精度)と位置情報を同時に得る手法を推奨している⁶⁾。

洪水時の波によるボートの揺れは、流速や水深測定の実誤差要因になることが懸念されるが、岡田(2010)⁷⁾は、揺れたときの内部角度センサの時間遅れによる流速誤差と傾きによる水深誤差方向が逆となるため、現実には傾斜角15度でも流量としての誤差は3%程度に止まり、実際にはさほど

大きくないことを指摘している。

しかしながら、ボートの揺れは、計測を不安定化させしばしば欠測の原因となるため、できるだけ抑制する方が望ましい。萬矢ら(2010)⁸⁾は、洪水のような高速流では、いわゆる単胴型(モノハル)よりも三胴型(トリマラン)のボートの方が揺れが少ないこと、かつ、両脇の副船体が適度に小さい方が、逆に波の影響を受けにくくなり安定することを明らかにした。これにより、ボートの揺れによる欠測を大幅に低減し、利根川平成大橋下流付近で流速4m/s程度までADCPによる観測を可能にすることを確認している。

5. 非接触型流速計による無人自動連続流量観測システム

5.1 概要

非接触型流速計は、流水に直接接触することなく河川の表面流速を計測するセンサであることから、特に洪水時の河川の流量を無人で安全かつ自動的に連続観測するシステムを構築できる大きな可能性を秘めている。これにより、2.で述べた浮子測法の運用上の課題の多くを克服できるものと期待される。

非接触型流速計は、大きく分けて、空中から電波や超音波を水面に向けて発射して河川の表面流速を測るドップラー式流速計と、ビデオ画像



図-5 橋桁下に設置された電波流速計

から河川表面の波紋や濃淡等の模様を測る画像処理式流速計との2つに分類することができる。その中で、既に最も多くの適用実績を有しているのがドップラー式非接触型流速計、特に電波流速計である。ドップラー式の場合、浮子測法と同様に10本程度の測線(区分断面)を設定し、橋桁下部等にセンサを測線毎に設置する(図-5)。

5.2 表面流速値から鉛直方向平均流速値に変換する方法

非接触型流速計が直接計測するのは、河川表面に存在する波を媒介としつつ、結果として表面流速値であり、風がある場合の吹送流の影響を風速に比例するとして補正する手法は既に開発されている⁹⁾。しかし、洪水時の河川流量を把握するためには、いくつかの測線における表面流速値を鉛

直方向の平均流速値に変換しなければならない。

その変換を行うための流速補正係数 α については、表面浮子の更正係数値0.85でほとんどの場合実用上十分であることが経験的には知られているが¹⁰⁾、常に一定である保証はないため、洪水イベントの主要なステージ毎に、ADCPによる鉛直方向流速プロファイル観測値から検証しておくのが確実である。そのとき、河床断面の変化もADCPにより同時に把握ができる。一方、萬矢ら(2010)¹¹⁾は、鉛直方向流速プロファイルを対数則と仮定することにより、水面勾配計測値と併せることで α を評価するとともに、逆に α を設定することで水面勾配から鉛直方向平均流速を推定する式を提案した。

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

ここで U : 平均流速、 $U_{\beta h}$: 相対水深位置 β における計測代表流速($\beta=1$ のときは表面流速)、 α : 流速補正係数、 κ : カルマン定数(=0.4)、 g : 重力定数、 h : 当該測線位置における水深、 I : は水面勾配である。この式は、電波流速計に異常値や欠測が生じた場合に、流速値を補填する際にも有用である。図-6は、洪水前後における電波流速計による連続観測例である。Case3($\alpha=0.85$ 、式(1)で異常値補填、ADCPによる河床断面情報を活用)において、ADCPによる流量観測値と良く一致するハイドログラフ波形を得ている。

6. まとめ

ここ数年の洪水流量の観測技術の高度化に関する調査研究成果の現時点までの到達点の概要を解説した。橋上操作艇搭載ADCP法は、これまでの浮子測法に代わって基準となるべき洪水流量値を得るための手法であり、非接触型流速計によるシステムは、その基準値をもとに適宜較正を加えながら、無人・自動での連続リアルタイム観測値を得るための手法と位置づけられる。

しかし、橋上操作艇搭載ADCP法をもってしても、あらゆる洪水流況に幅広く適用できる浮子測法を完全に置き換えることは困難である。今後も状況に応じて浮子測法を使い続ける必要があり、そのための改良も進める予定である。ここでは、ビデオ画像解析による浮子の追尾・流速ベクトル

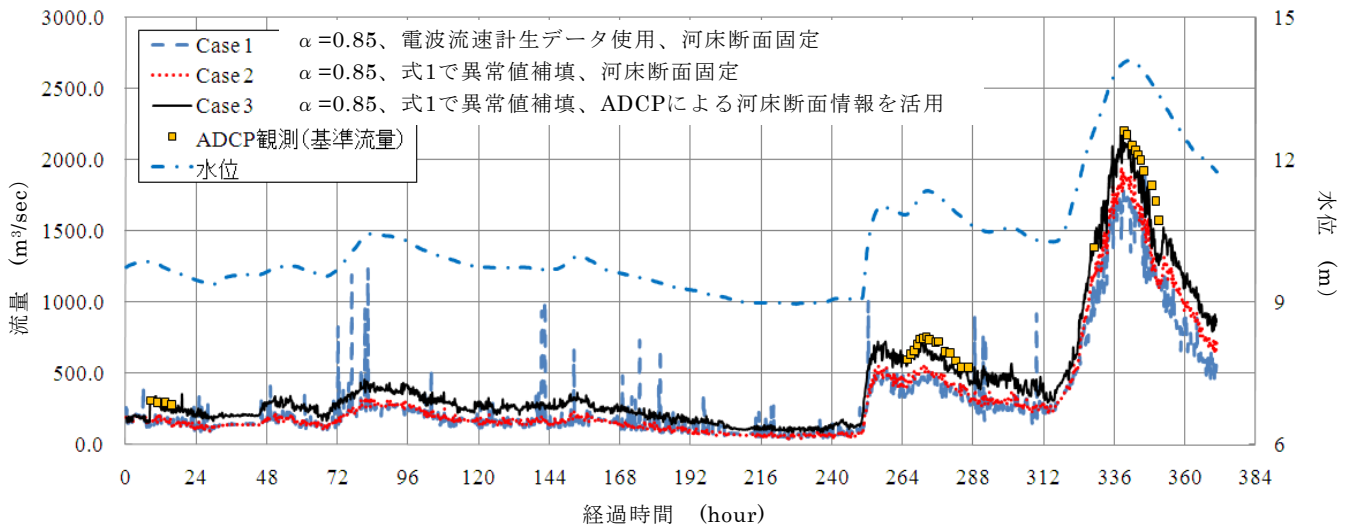


図-6 電波流速計による流量観測値とADCPによる流量観測値との時系列比較

の算出を想定している。浮子流速ベクトルを瞬時的に抽出できることから、浮子の異常流下に起因した問題を大幅に軽減できると期待される。

紙面の都合上、他の方法との比較を含め、それぞれの手法の論点全てを解説することはできなかったが、詳細は参考文献をご参照いただきたい。

謝 辞

本報で解説した研究成果は、国土交通省、同国土技術政策総合研究所と連携して土木研究所として一貫して取り組んできた成果の概要である。特に、近年の成果のとりまとめには、萬矢敦啓氏、菅野裕也氏の尽力によるところが大きいの。記して関係者一同に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 例えば、深見和彦、天羽淳、大手方如、吉谷純一：流量観測に関する技術基準の課題と新しい技術開発への対応、土木技術資料、Vol.45、No.2、pp.22～29、2003.
- 2) 山田正：CommonMPプロジェクトの進展と今後の河川流量観測の重要性、河川流量観測の新時代、水文・水資源学会、2010.
- 3) 国土交通省河川局監修、独立行政法人土木研究所編著(2002)平成14年度版水文観測、(社)全日本建設技術協会.
- 4) 例えば、倉光大助、大坂誠一、遠藤哲雄、中尾忠彦、栗城稔：水文観測データ品質管理上の課題と今後の展開について、平成21年度河川情報シンポジウム講演集、pp.7-1～7-8、2009.
- 5) 木下良作：河川下流部における洪水流量観測法に関する一提案、水文・水資源学会誌、Vol.11、No.5、pp.460～471、1998.

- 6) 萬矢敦啓、菅野裕也、深見和彦：河川実務者の観点から見たADCPによる流量観測技術開発の論点、河川流量観測の新時代、水文・水資源学会、2010.
- 7) 岡田将治：ADCPを搭載した橋上操作艇による洪水観測技術の進展、河川流量観測の新時代、水文・水資源学会、2010.
- 8) 萬矢敦啓、岡田将治、橋田隆史、菅野裕也、深見和彦：高速流におけるADCP観測のための橋上操作艇に関する提案、河川技術論文集、Vol.16、pp.59～64、2010.
- 9) 大手方如、深見和彦、吉谷純一、東高德、田村正秀、和田信昭、淀川巳之助、中島洋一、小松朗、小林範之、佐藤健次：非接触型流速計の開発、土木技術資料、Vol.45、No.2、pp.36～45、2003.
- 10) 例えば、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.
- 11) 萬矢敦啓、菅野裕也、深見和彦、葭澤広好、宮本孝行：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、土木技術資料、第52巻、第3号、pp.40～43、2010.

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 上席研究員
Kazuhiko FUKAMI