

## ◆ 第52回建設省技術研究会報告特集 ◆

## 洪水流量観測の高度化に関する研究

建設省河川局河川環境課

建設省土木研究所河川部水文研究室

建設省関東地方建設局河川部河川管理課、関東技術事務所

建設省中部地方建設局河川部河川調整課、中部技術事務所

建設省九州地方建設局河川部河川調整課、九州技術事務所

## 1. はじめに

低水流量観測は流速を可搬型流速計で測定し平均流速を求め流量を算出するのに対し、洪水流量観測は浮子を橋などの上から投下し、その流下速度から流量を求める。このような洪水流量観測は、低水流量観測に比べて不確定要素が多く、その観測精度の向上が課題となっている。一方、超音波等を用いたいくつかの観測機器が開発されその有効性が調査されているが、現在のところ、いずれの機器も従来の観測手法に替わる決定的な手法には至っていないと考えられる。

建設省技術研究会では、平成9~10年度において、新観測機器による洪水流量観測調査事例を収集・分析し、洪水流量観測の高度化の課題を分析し、各観測機器の現場における適用性の評価を行った。

## 2. 高度化の課題と評価項目

洪水流量観測の現実的な将来像を描くことは簡単ではない。洪水流量観測の主な要望は、より信頼性の高い計画のための精度向上、省人化・コスト縮減の2点であり、新しい技術によりこれを同時に達成したいと考える者が多い。しかし、普段意識していないが重要な項目は、突然発生する洪

水を原則1時間間隔で欠測することなしに「確実」に観測することである。既往最大の洪水が発生したときに、観測システムが故障して観測できなかったということは絶対に避けなければならない。従って、新システムの実用を考えるとき、確実性、精度、省力化の3項目について評価する必要があり、下記の観測システムをこれら3項目で評価することとした。

## 3. 新しい観測技術の評価

## 3.1 電波流速計

3.1.1 システム概要<sup>1)</sup>

電波流速計は、図-1に示すように流水に対しまイクロ波を照射し、表面から反射して来たマイクロ波のドップラー効果による周波数変化から流水の速度を観測するものである。

実河川では、横断方向に適切な流速測線を設定し橋梁の桁下等に流速計ヘッドを設置する。超音波水位計より各測線の流速  $V_i$ 、観測した水位と横断測量成果より流水断面積  $A_i$  を求め、予め設定した流量換算係数(補正係数)を用いて河川流量  $Q$  を算出する。

$$Q = f(h) \cdot \sum_{i=1}^n A_i V_i \quad (1)$$

$n$  : 流速測線数

$f(h)$  : 浮子流量観測結果より算出した補正係数

$h$  : 水位

補正係数  $f(h)$  は、水深方向の流速分布と横断方向の流速測線の代表性を配慮して求める。なお、補正係数は、流量の真値が判らない中で在来の浮子観測法を活用するという観点から浮子流量観測結果に一致するように算出する。

次に、本システムを利用した流量観測結果を示す。観測は平成8年9月22~23日荒川水系越辺川落合橋地点で行った。表-1は同時に観測した浮子

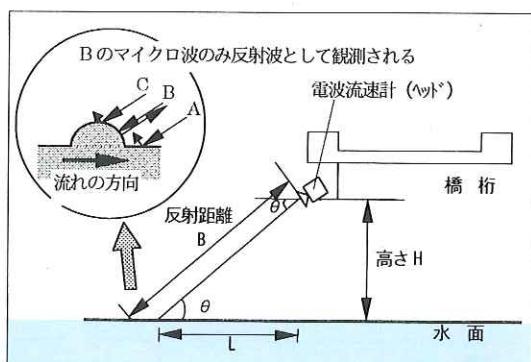


図-1 電波流速計の観測原理

表-1 電波流速計の観測結果

時刻	浮子流観結果		固定局データ係数				浮子比較		流水断面比較 (%)
	時刻	流量	水位	流量	補正	補正後流量	流量差	比較 (%)	
17	16:59	396	4.97	444	1.01	448	-52	113	100
18	18:01	485	5.35	517	1.03	533	-48	110	98.9
19	19:01	642	5.74	640	1.05	672	-30	105	96.9
20	19:59	694	5.92	631	1.06	669	25	96.3	95.7
21	21:00	715	5.99	671	1.06	711	4	99.4	95.3
22	22:01	692	5.94	609	1.06	646	46	93.4	95.5
23	23:00	643	5.80	552	1.05	580	63	90.2	96.2
0	0:01	571	5.59	501	1.04	521	50	91.2	97.3
1	0:59	499	5.31	450	1.03	464	35	93.9	98.9

流量換算係数  $0.0486 \times h + 0.769$  ( $h$ : 超音波水位計の水位)(単位: 水位; A.T.m, 流量;  $m^3/s$ )

観測結果との比較であり、水位上昇時は過大評価、下降時は過小評価しているが、その差は 10% 以内であり、同程度の精度を確保していると言える。なお観測事例では、4ヶ年(内 1ヶ年は出水なし)の初年度に 3 洪水を対象に流量換算係数を算出し、2ヶ年 2 洪水で換算係数を検証した。

### 3.1.2 運用面での問題点と対策

#### (1) 流量換算係数(補正係数)の設定

電波流速計は表面流速を観測しているため、表面流速と水深方向の平均流速との関係、使用する流速測線と流速横断分布の代表性の調査が必要である。流量換算係数は、河床変動を考慮して一定の頻度で浮子流量観測結果と比較する必要がある。

#### (2) 流速観測の下限値

電波流速計では、その観測原理から電波の照射面が波立っていないければならぬので、河川流速が小さい場合(0.5m/s 以下)の観測精度は保証されていない。

#### (3) 高価格

橋梁桁下等に電波流速計ヘッドを取り付ける設備費用は高価であることに加え、事前調査として、流量換算係数の妥当性調査費用が必要である。

### 3.1.3 適用性

本システムの最大の特徴は、河川と非接触で流量観測を行えることにある。したがって、表面が波立っている洪水時であれば、ピークを逃すことなく、ほぼ確実にデータを得ることができる。

#### (1) 確実性

観測機器は流水と接触しないので、流下物が多くても影響を受けずに確実に流量観測が可能であると言える。

#### (2) 精度

基本的に表面流速しか観測できないため、浮子観測と同程度かそれ以下の精度しか期待できない。

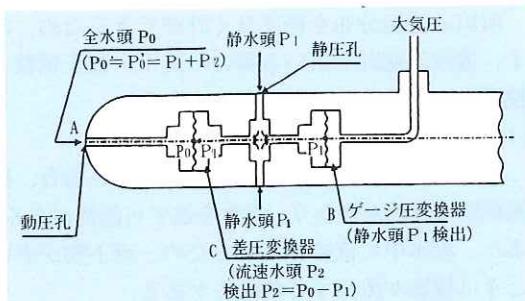


図-2 水圧式水深流速計の模式図

観測事例のように適正な補正係数を算出すれば、浮子流量観測と比較して 10% 以内となる観測精度が得られる。

#### (3) 省力化

観測は無人化が可能である。また、観測データのテレメータ化、流水横断面の更新を行うことでリアルタイムに流量観測データが得られる。

### 3.2 水圧式水深流速計

#### 3.2.1 システム概要

水圧式水深流速計は、図-2 に示すとおり、ピトー管の原理を応用し、水深は静圧と大気圧の差圧、流速は動圧と静圧の差圧から同時に測定する機器である。当流量観測システムは、データの処理をパーソナルコンピュータに直接データを取り込み、リアルタイムで行うことができる。

#### (1) 流下物

流速計本体はワイヤーで吊り、直接河川の流水の中へ投入するため、流下物に対して十分に注意する必要がある。過去に、平均流速 2m/s 程度の流量観測時に、ワイヤーに流下物が掛かり、ワイヤーが切断され流速計本体が流失する事態が生じている。

#### (2) 本体が重い

観測システムを観測点に常設する場合、問題はないが、運搬使用する場合はトラックを調達し、

観測位置に設置する必要があり、早目の対応が必要とされる。

### (3) 高価格

機器の価格が比較的高価である。

#### 3.2.3 適用性

今までの調査及び解析により、水圧式水深流速計は、水面から河床付近までの流速分布と水深をリアルタイムで測定することが可能であり、性能面でも従来から使用されている流速計と比べても遜色のない適応性を持っていることが確認できた。

河川の流速分布を精度良く計測できるため、浮子、電波流速計を用いる場合の更正・補正係数の検証用に使用することも考えられる。

#### (1) 確実性

当システムを観測地点に常設できない場合、観測準備に時間がかかり、洪水を逃す可能性がある。また、流水中に直接挿入するため、流下物が多いときは機器が流出する危険性がある。

#### (2) 精度

水圧式水深流速計の一測線での精度は、実験室データ<sup>2)</sup>から下記のような高精度で観測が可能である。

測定精度 水深 :  $\pm 0.5\%$  (水深 10m のとき)

流速 :  $\pm 10\text{cm}(0.5 \sim 1.0\text{m/s})$

$\pm 5\text{cm}$  ( $1.0\text{m/s}$  以上)

流速の鉛直分布が観測できるので浮子観測よりも高精度の観測が期待できる。瀬沼川の観測例では、浮子による観測と比較して平均約 4%程度の差が認められると考察された<sup>3)</sup>。

#### (3) 省力化

本システムを用いた観測は、最も少ない場合 3 名の班員で観測することが可能である。

### 3.3 ADCP

#### 3.3.1 システム概要

ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)は、水中に超音波を発射し、散乱体からの反射波の到達時間とドップラー効果による周波数のずれから、流速の鉛直分布を短時間に求める観測機器である。この ADCP と近年開発された無人ラジコンボート (RC ボート)<sup>4)</sup>とを組み合わせたシステムにより、浮子等の従来の手法と比較して極めて短時間かつ容易に流量観測を行うことが可能である。

#### (1) システム構成

本システムは、主に ADCP、RC ボート、1 対の ADCP 無線制御装置(無線装置)、観測用パソコンから成る(図-3)。無線装置を通じて観測データの送受信および ADCP の制御を行う。

#### (2) 現地流量観測結果

次に、本システムを利用した現地流量観測結果を示す。観測は、平成 9 年 4 月 8 日の融雪出水時に賀野川大渕水位観測所付近(河口から 7.2km の地点)において行った。表-2 に ADCP 流量と観測地点近傍の横越流量観測所における観測流量を示す。これより、ADCP 流量と横越観測所の観測流量の差は全て 10%以内であることがわかる。このことから、今回観測結果を得られた地点のように、小規模洪水時で 2~3m 以上の水深がある場所では、少なくとも従来の観測方法と同程度の精度が期待できると考えられる。

#### 3.3.2 運用面での問題点と対策

##### (1) 流下物

本システムは RC ボートを用いているため、多少の流下物であれば回避することができる。また対策として、観測中は常に流下物を監視するための監視員を配置する。ただし、多量の流下物のある場合、夜間の利用に関しては本システムの運用は制限される。

##### (2) 大流量での計測の限界

ADCP は計測原理として、ある一定区間の流れ

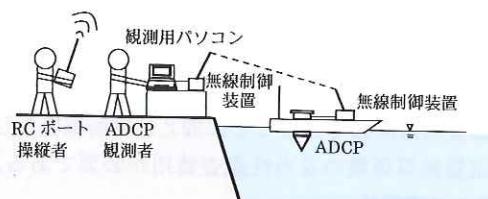


図-3 ADCP システム構成図

表-2 ADCP 流量と観測流量の比較 (阿賀野川)

観測時刻	流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )		H-Q 流量と ADCP 流量との差 (%)
	横越での流量	大渕での ADCP 流量	
9:00	2360	2150	210 (8.9)
10:00	2310	2140	170 (7.4)
11:00	2240	2130	110 (4.9)
12:00	2190	2050	140 (6.4)
13:00	2120	2050	70 (3.3)
14:00	2090	2000	90 (4.3)
15:00	2040	1960	80 (3.9)
16:00	2000	1940	60 (3.0)

が一様であると仮定して流速を算出するため、大流量時に発生する乱流条件の下では、その観測精度が低下する可能性がある。従って、本システムで観測できる適用範囲を明確にしておく必要がある。現在、阿賀野川でこれを実証するための洪水観測体制をとっている。

### (3) 無線の通信可能距離

RC ポート及び無線装置の通信可能距離はそれぞれ、1000m、700m である。この通信可能距離を超えた場合、RC ポートは操縦不能に、また無線装置は ADCP の操作不能、データの欠測といった事態に陥るおそれがある。対策としては、両岸に RC ポート操縦者及び ADCP 観測者を置き、あるタイミングでそれぞれの操作の受け渡しを行うことが考えられる。

### (4) 高価格

現時点では、ADCP 本体だけでも価格が 1000 万円以上する。今後、ADCP の改良や普及に伴い数百万円台まで価格が低下する可能性はあるが、浮子と比較した場合導入費用はかなり高価である。

### 3.3.3 適用性

#### (1) 確実性

当システムによる流量観測態勢 (RC ポートのメンテナンスと運搬準備等) を整えていれば、観測準備に要する時間が短時間で済むため、昼間であれば洪水のピークを逃す危険性は少ない。ただし、RC ポートが流下物に衝突すると操縦不能になる危険性が高いため、常に流下物を監視し、流下物との衝突をきける操作が必要であり、多量の流下物が存在しているときや流下物が監視できないとき、特に夜間の利用は制限される。

#### (2) 精度

観測結果等から、2~3m 以上の水深があり、あまり乱れの大きくなない流れの場合つまり小規模洪水であれば、少なくとも浮子と同程度の精度が期待できると考えられる。

#### (3) 省力化

基本的に流量観測自体は、RC ポート操縦者と ADCP 観測者、観測補助者の 4~6 人で行うことができる。しかし、対象河川の状況や洪水の時間帯、規模によってはさらに人数が必要な場合がある。

## 3.4 電波浮子

### 3.4.1 システム概要

電波浮子とは、通常の浮子に発信器を取り付け

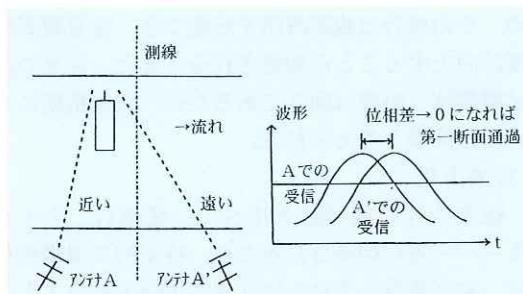


図-4 位相差検知方式による電波浮子の測定原理  
たものである。本システムは、これを所定の方法で河川中を流下させ、第一測線および第二測線に設置した受信機(アンテナ)により電波の「位相情報」や「振幅情報」により浮子の通過を検知し、自動的に流下時間を計測する方法である。図-4 に本システムの計測原理を示す。

従来の浮子法を電子化するだけなので、在来の方法の特徴はすべて具備する。さらに観測員は 1 人で済む(安全管理は別に)こと、電子回路により計時されるので精度が向上されること、何種類もの電波を扱うことが可能であれば、より迅速に実施できること、システムの組み立て方によつてはリアルタイム化も図れること等の特徴がある。

### 3.4.2 運用面での問題点と対策

#### (1) 使用電波

この観測に適した電波の割当てを得ていないことが運用面での最大の問題である。電波法の規制を受けない微弱電波を用いた場合は、安価に発信器を製作することができるが、現状では川幅の狭い河川か、又はノイズが小さい場所でしか使用できない。

#### (2) 浮子本来の欠点

本システムは、基本的には従来の浮子観測法の省人化を図る方法であり、従来の浮子観測法の特徴はほぼ継承される。従つて、まっすぐ流れない、渦や死水域の影響を受けるといった、浮子そのものが持つ欠点は解消されない。

### 3.4.3 適用性

#### (1) 確実性

適切な波長と十分な強度の電波が利用できれば、既存の浮子観測と同等の確実性が得られる見通しである。夜間でも、昼間と全く同様に測れる。

#### (2) 精度

電波浮子は同時に数本投入することもできるた

め、その場合は観測時間を短縮でき、流量観測精度は向上することが期待される。また、従来の浮子観測法と原理は同じであるため、流速精度については同等と考えられる。

### (3) 省力化

従来の浮子観測法と比べて、見通員、タイムキーパー等が削減されるため、将来的に現場要員は、安全要員を含めなければ浮子投下員の1人で済むという現段階での見込みである。

## 3.5 ビデオ画像解析

### 3.5.1 システム概要

本観測の考え方は、河川の表面を平面と設定し、その平面をビデオ画像に写し、平面对平面の対応関係をつけるというものである。よって、ビデオ画像面上のある物体(標的は、浮子でも白紙でもよい)の座標から、その物体の河川表面上の座標へ変換することは数学的に容易である。こうしてある微小時間  $\Delta t$  はなれた2つの画像上の同一物体の動き(移動ベクトル)がわかる。移動距離を  $\Delta t$  で割れば速度ベクトル(速さと方向)が分かる。これが計測原理である。

観測は、図-5に示すように、事前に設置した基準点を含むようにビデオカメラで標的を撮影する。その後、専用のソフトウェアで解析を行い、流量を算出する。この際、ビデオカメラの視界には常に4個以上の基準点が入っていなければならない。

### 3.5.2 運用面での問題点と対策

#### (1) ビデオカメラの配置および設置

標的を見るとき、遠くへ行くほど精度が悪くなるし、ゆるい俯角で見下ろすと精度が悪くなる。また、視線方向の分解能と、その直角方向の分解能の違いにも注意しなければいけない。対策としては複数のビデオカメラの利用で解決することができる。

#### (2) 夜間での使用

夜間の洪水観測に対する運用面での注意が必要



図-5 ビデオカメラによる撮影

である。対策としては、暗視カメラ等の利用が考えられるが、観測精度の低下は免れない。

#### (3) 水面勾配

洪水の水面が平面であると仮定しているので洪水の最盛期に水面が盛上がるなどの仮定が成立しない現象が発生した場合には、この方法は使えない。対策としては、複数のビデオカメラによる立体視によって三次元的に標的の追跡を行えばよいが、アルゴリズム開発に費用がかかる。

#### (4) 保守

ビデオカメラの保守も大切な業務だが、基準点の保守は絶対に忘れられない。基準点が破損していれば画像が撮れても、流量観測としては無価値である。対策としては常に巡回し、破損したらすぐ修理すること、数に余裕を持たせて基準点を設置しておくこと等である。

#### 3.5.3 適用性

##### (1) 確実性

流れの様相や変化などの視覚的な情報を捕らえたビデオ画像を、画像データとして事務所等に送信できれば、連続的に記録できるため、将来的には、洪水時のピーク付近の流速を逃すことなく測ることが可能になる。ただし現在は、VTR単体で観測を行っているため、連続撮影時間は最大3時間である。

##### (2) 精度

追跡する標的が規定の浮子であれば、規定の更正係数を利用すれば既存の浮子と同程度の精度を期待できる。単なる浮遊物を標的として追跡した場合は、表面浮子を利用した場合と同程度の精度が期待できる。

##### (3) 省力化

準備には人手がいる。準備とは流量観測現場の諸設備(測量等)と、ビデオ画像から流れの速度ベクトルを算出するソフトウェア作成、その他機器調整である。これらの準備が完成し、データ伝送線に乗せられれば、観測は室内作業としてリアルタイム的に、現場では無人で実施することも可能である。

現在は、現場での観測中において、観測員は最低1人で済む。

## 4. 各観測システムの総合評価

### 3. で得られた知見をもとに、各観測システムの

表-3 各観測システムの適用性評価

観測機器	確実性	精度(浮子を基準とした相対的評価)	観測人数、システム費	観測機器の特性	今後の課題
電波流速計	良い (洪水ピークを逃がすことなく観測可能)	同程度以下 流速が小さい場合は、保証されていない	0人(固定式の場合) 4人(移動式の場合) 約890万～2,090万円 さらに、補正係数の更新のための調査費が必要	河川と非接触で測定できる。 表面流速を測定。 観測の無人化・自動化が容易である。	補正係数の設定方法。 システムの低価格化。
水圧式水深流速計	流下物が多い場合は使用不可	良い	3人 約580万円	ピト管の原理を応用。 流速の鉛直分布と水深がリアルタイムで測定できる。	流下物対策。 迅速な観測システムの構築。
ADCP	流下物が多い場合 夜間は使用不可	中小洪水の場合は同程度以上。 大洪水の場合は低下する可能性が高い。	4～6人 約1,900万円	超音波のドップラー効果を応用。 ラジコンボートに搭載することにより、短時間で河道断面内の流速分布や流量を測定できる。	流下物対策。 適用範囲の明確化。 システムの低価格化。
電波浮子	微弱電波の場合、浮子検知率は60%程度。強い電波を使用した場合は良い。	同程度かそれ以上。	2人 約200万円 (電波浮子:6,000円/本)	浮子に電波発信機を取り付け、位置の検出を行う。 浮子が持つ特徴はほぼそのまま継承する。	電波浮子に使用する適切な電波の選定。
ビデオ画像解析	良い ただし大河川や水面勾配の大きな流れの場合では不可。 解析に時間がかかる。	同程度かそれ以上。 ビデオカメラの配置によって精度が左右される。	0～1人 約50万円 さらに、基準点の設置や解析等のための費用が必要。	家庭用ビデオカメラ等を用いて河川表面の状況を撮影し、その画像上の浮遊物の移動を解析することで流速を測定する。 特殊な機械が不用なため、他と比べ導入費用が安い。	解析処理の効率化、迅速化。
浮子	良い	—	4～6人 約1,000円/本	簡便で手早く観測できる。	

評価を表-3のようにとりまとめた。各観測システムについて行った調査結果をもとに、確実性、精度、省力化の3点から浮子と比較した適用性について現段階での評価を行った。その結果、新しい観測機器を用いた洪水流量観測手法について、現在の技術開発レベルから考察を行った場合、上記の3点全てにおいて浮子観測を上回る観測手法には至っていないものの、浮子観測が持っていない優れた特長を有している観測手法があることも分かった。

したがって、各手法それぞれの長所、欠点を考慮に入れ、状況に応じた適切な使い分けや組み合わせを考えるべきである。

また、例えば電波流速計の場合は、洪水のピークを逃がすことなく洪水時流量観測を確実に行えるという特長を有しており、さらに他の手法についても、それぞれの長所を生かすと共に欠点を解決する方向での今後の技術開発・改良、調査研究が期待される。

## 参考文献

- 1) 東京電気大学理工学部建設工学科水文環境研究室：電波流速計の観測データと1次解析他一川の中の流れが見えるー,1998,4
- 2) 江川太郎、近藤真啓、堺本実：水圧式水深流速計の実用化に関する研究、河川情報研究、河川情報センター, No.3, pp.17-24, 1995.
- 3) 松浦達郎：洞沼川における洪水時の流速鉛直分布の観測、土木学会、第52回年次学術講演会概要集第2部、土木学会, pp.576-577, 1997.
- 4) 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、水文水資源学会, Vol.11, No.55, pp.460-471, 1998.

&lt;文責&gt;

建設省土木研究所河川部水文研究室長 金木 誠  
同 水文研究室主任研究員 吉谷純一  
同 水文研究室研究員 松浦達郎