

◆ 特集：新しい流量観測への取り組み ◆

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

深見和彦* 天羽 淳** 大手方如*** 吉谷純一****

1. はじめに

現行の流量観測に係る国土交通省河川局の各種技術基準(河川砂防技術基準(案)等^{1),2)})は、昭和20年代後半から30年代初頭にかけてその基本的部分が確立され、全国規模の水文資料の品質確保と継続的な資料収集・蓄積に貢献してきた。しかしながら、社会資本・河川行政を取り巻く社会状況が大きく変化する中で、近年、

- 1) 省人型、省コスト型で安全・確実な流量観測法の開発に対するニーズ
- 2) 大河川のみならず中小河川も含めた水文観測へのニーズ
- 3) 情報公開へ向けたデータの整備と品質向上に対するニーズ

が生まれてきており、既存の基準のみではこのような新しいニーズに対応することが困難なケースが見受けられるようになってきた。

一方、流量観測技術そのものについて見ると、観測機器の選択肢が限定されていた昭和30年代に比較して、機器の多様化とデータ処理・記録部を中心とした技術の発展は著しいものがある。とりわけ、最近では、流速センサ技術そのものにおいても、電波・超音波計測技術やビデオ画像処理技術を活用して、洪水観測をも視野に入れたいくつかの注目すべき新しい技術が開発されつつある。これらの新しい技術は、洪水をはじめとする河川流況の実態解明に新たな道を開拓する技術として大いに期待されている。

このようなことから、国内外における新しい知見や新技術を取り込むことにより、流量観測に係る河川局の各種技術基準の見直し・改訂を行うことは、河川管理に対する国民のニーズに応えるための喫緊の課題になりつつある。

本報文では、流量観測基準の大きな2つの体系を構成する高水(洪水)流量観測と低水流量観測に

ついて、現状の技術の課題と、新しいニーズに応じていくために必要な技術基準の改訂・見直しの方策について考察を加えるとともに、流量観測技術の高度化へ向けての取り組みについて紹介する。

2. 洪水流量観測技術における課題

2.1 浮子測法に関する課題

我が国の洪水流量観測は、ほとんど浮子測法によって実施されており、その基本的な手法は、昭和30年代以降ほとんど変化していない(図-1)。



図-1 4m 吃水浮子の投下(利根川布川地点)

流速が5m/sを超え、ゴミ・流木等の流下物も多い我が国の洪水(表紙写真を参照)を対象とした場合、安全・確実に流量観測を実施できる手法として、浮子測法は水理条件から見て適用条件が最も広いという決定的な利点があり、それを完全に置き換え得る有効な手法は、少なくとも現時点では存在していない。

しかし、浮子測法にもさまざまな技術的課題が

あり未解決な点があることも事実である。その代表的なものを挙げると以下のとおりである。

- (1) 予算不足、あるいは、場合により遠隔地の業者が観測を担当する等の要因から、洪水立ち上がり部や洪水ピークの観測に間に合わない、中洪水の観測データが少ない、1 洪水中的数据が少ない、特段の理由もなく本来必要とされる測線数より少ない測線での観測を実施する、技術基準に規定された浮子の吃水深・更正係数等の不適切な運用等、流量観測精度を低下させる観測体制・運用上の問題が発生している。
- (2) 1 級水系の上流域・支川や 2 級水系等の中小河川では、人員・予算確保が一層困難であるため、その必要性に反して洪水流量観測が実施されていないケースが多く、河川計画・管理への支障となっている。
- (3) 植生等の影響を受けて、高水敷上などでは浮子が正常に流下せず、流速が測定できないため、確認なしに死水域として扱うケースがある。
- (4) 技術基準にある浮子の更正係数の妥当性の検証、測線の代表性(後述の橋脚後流や並列螺旋流の規則性を持った乱流構造がある場合の測線位置の選定)等の問題が未解決のままになっている。
- (5) 河床変動が激しい箇所では、洪水ピーク前後において、大きな河床洗掘と埋め戻しが発生していると言われており、流水断面積の誤差によってピーク流量等に評価誤差が生じている可能性がある。

上記のうち、(1)、(2)、(3)については、本来は、必要十分な体制を確保すれば、従来の浮子測法によっても十分対応できるはずである。しかし、現状ではそれらの定常的な確保が厳しい場面が多く、省力化と精度確保を両立し得る方策にどのようなものがあるか、流量観測所の統廃合等を含めた総合的な検討が必要である。

(2) の課題に対する対応策としては、堰や落差工といった河川横断工作物(水理構造物)を流量観測に活用しようとする提案がある。そこでの越流水深や上下流水位差等を測定し、それらを流量と一意的に関係づけることができるからである。ただし、現在、対象とし得る構造物は、流量観測に最適な構造を有しているとは限らない。しかし、i) 観測断面形状が固定され既知であり、構造物が

破壊されない限り、洪水時の断面変化はないこと、ii) 観測断面近傍の断面変化が抑制され、水位-流量関係が経年的に安定し、水位流量曲線式(HQ式)の作成労力が軽減できることの 2 点を考慮すると、従来の一般断面における HQ 式に基づく水位流量観測に比べて、精度確保やコスト、労力の面で有利であり、検討の価値はあると考えられる。

一方、(4)、(5)は、現行の浮子測法の計測原理に直接関わる大きな問題である。この問題の検討のために、まずは、洪水時の流れの構造に関する観測データに基づく実証的検証が不可欠となる。そこで、以下、(4)、(5)について、現段階での知見と技術的背景を整理する。

2.2 橋脚後流及び並列らせん流の影響

浮子投下は現在では橋梁から行われることが多いが、その橋脚の下流側の流れ(橋脚後流)は激しい渦の発生により流速が低下する一方で、橋脚に挟まれた部分に相対的に流速の速い部分が発生する。浮子は、橋脚の間の部分に投下することが多いため、もし、その橋脚後流が浮子投下後の助走区間を超えて存在している場合、相対的に大きい流速値でその区分断面を代表する流速を算出することになり、洪水流量を過大に評価する可能性がある。木下(1998)³⁾は、水面幅 300m の洪水流に対して、河岸と 5 本の橋脚の間に設定した 6 測線での表面浮子流速値と、航空写真の立体視による表面流速分布値のそれぞれから算出した横断平均表面流速値を比較し、表面浮子による平均表面流速値が航測によるそれよりも約 17% 大きかった事例を報告している。橋脚後流の影響が無くなる助走区間をどのように設定するのか、影響を避けられない場合は補正をどうするのかの技術基準への反映が今後必要である。

さらに木下は、長年に渡る洪水表面流速観測の経験を踏まえ、河川の洪水流では、流速の遅い湧昇的な流れと流速の速い沈降的な流れがセットで、水深の約 2 倍の波長で横断方向に列上に並ぶ「並列らせん流」が発生し、表面浮子が流速の速い部分に収束する例を報告している³⁾。これについても、並列螺旋流の発生条件、観測所での確認方法、浮子による流量観測への影響度、流速補正方法の研究を進め、技術基準に反映させることが必要である。

2.3 浮子の更正係数の妥当性

現行の基準で与えられている浮子の更正係数

表は、建設省流量観測規程(1954)において最初に規定されたものであり、その経緯は竹内・江川(1963)⁴⁾に詳述されている。当時、更正係数は観測所毎に異なる係数が用いられ、全国の流量データを統一した手法で算出することが必要とされていた。しかし、更正係数を正確に求めることは洪水流れの内部構造が未知であったため困難であり、現在でも利用されている更正係数は、暫定的に設定されたものである。すなわち、使用する浮子の種類を現場での利便性から、まず表-1に示す5種の吃水深を持つ浮子に限定した。

浮子の吃水深は、吃水比(=吃水深/全水深)をほぼ0.8~0.4の範囲とするように設定された。更正係数は、安芸(1952)⁵⁾による更正係数算出式(安芸式)を基礎として、表-1の通り設定された。

表-1 浮子の更正係数

浮子番号	水深(m)	吃水深(m)	更正係数
1	0.7以下	表面浮子	0.85
2	0.7~1.3	0.5	0.88
3	1.3~2.6	1.0	0.91
4	2.6~5.2	2.0	0.94
5	5.2以上	4.0	0.96

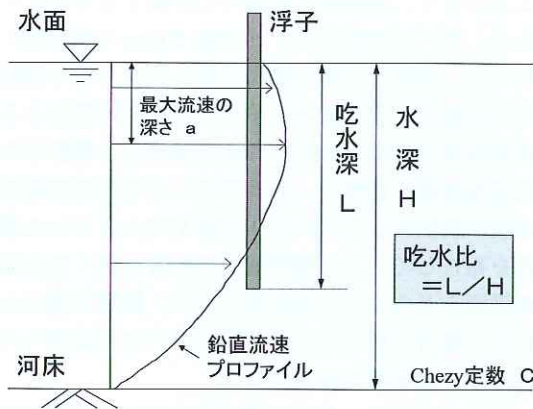


図-2 浮子の更正係数に関連するパラメータ

なお、安芸式は、渦粘性係数としてKozenyの乱流係数の概念を取り入れた運動方程式から出発して、当時経験的な流速分布式として知られていたBazin分布式と組み合わせることでパラメータの簡略化を図った鉛直流速分布式(2次曲線)を採用したものである。すなわち、浮子の吃水比が大きい場合は、浮子の流下速度は吃水部分の平均流速にほぼ等しいとして、安芸鉛直流速分布式に基づき、Chezy定数、吃水比、水深、最大流速の

深さ位置の関数として更正係数を求めたものである^{5),2)}(図-2)。但し、いずれの鉛直流速分布式も一様な乱流を想定して得られた公式であり、並列螺旋流のような3次元的な流れを反映するものにはなっていない。

浮子の更正係数は、現在に至るまで表-1の値が用いられてきた²⁾。しかし、下記に示すような課題や近年の観測技術の進展を勘案するとき、更正係数についても見直しの検討を再開すべき時期にきているといえる。

- 表-1の規定によれば、例えば水深10mでも4m吃水浮子で良いことになるが、4m浮子がカバーしない水深範囲が大きく、観測誤差が大きくなっている可能性がある。
- 新技術の登場により、従来計測できなかった洪水流の鉛直流速分布や、洪水時の河床形状の変化を直接計測した事例が報告されている(詳細は後述する)。これらの新技術は、必ずしも定常的な観測業務に使えるまでには一般化されていないが、技術基準の検討のための事例調査・研究目的には利用可能になってきている。

しかし、浮子の更正係数の再検討には、洪水流の断面流速分布の実態解明と流速分布式の改善、更正係数表を導出する際に用いた諸仮定(最大流速の水深、水深、粗度係数、均質な計測区間断面等)の妥当性を把握し、また、これらの値が流量観測値に与える影響を定量的に評価することが当面の課題であり、浮子の更正係数表の見直しには、十分なデータの収集・蓄積と分析・検証が必要と考えられる。

2.4 河床変動把握の課題

河川流量は、断面平均流速と断面積の積であり、流速を精密に計測しても、観測断面の水深分布が精度よく把握できなければ流量としての精度は向上しない。実際には、洪水ピーク付近で一旦河床洗掘が最大となり減水とともに再び埋め戻される傾向があることは、土木研究所における神流川試験地観測成果⁶⁾をはじめとして古くから指摘されており、洪水ピーク流量付近での流水断面積を過小評価している可能性がある。しかし、洪水中に安全・確実に河床変動をモニタリングできる実用的手法がなく、洪水前後の横断測量の結果を参照しその大きい方の断面を用いることとしているの

が現状である。近年、木下(2001)⁷⁾は、洪水中も水面上を走行できるラジコンボートを開発し、超音波測深器を組み合わせる河床変動の観測データを収集した結果、平常時に水深が大きい水衝部・深掘れ部が大洪水時に洗掘されるとは限らず、むしろ主流部の変化と砂州・砂レキ堆の発達・移動に対応して、河心の平坦面において大きく変動する事例があることを報告している。

浮子測法では、河床断面(水深分布)の把握に基づく浮子吃水深の選定が、測線設定と更正係数設定とともに基本であり、今後、浮子測法のさまざまな技術的課題を克服していくためには、河床変動の調査とその定常業務化の手法の検討を行っていく必要がある。

2.5 新しいセンサ技術の導入可能性

既述のように、我が国の洪水流の特性を考えると、洪水流中に直接流速計を挿入して流速分布を測定することは極めて難しい。しかし、それを可能とする数少ない流速計として水圧式水深流速計がある⁸⁾(図-3)。

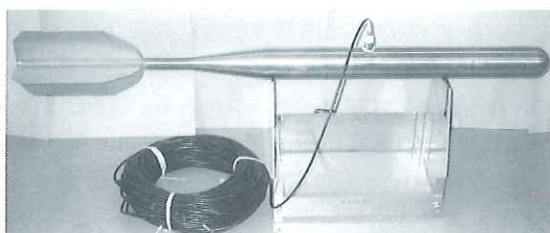


図-3 水圧式水深流速計

これは、ピトー管の原理により、プロペラ等の可動部をなくして流水抵抗を低減して洪水流中に流速計を挿入することを可能とするとともに、流速を計測している位置(水深)を同時に計測することのできるシステムである。現在、国土交通省中部地方整備局中部技術事務所において継続的にマニュアルの整備や改良試験が行われている。洪水流速が極めて大きい場合にセンサを投入できないといった欠点を有するが、洪水流中の流速分布を直接計測できる数少ない流速計である(図-4)。この流速計は実用化のレベルにあり、中規模洪水の精度の高い観測に適している。

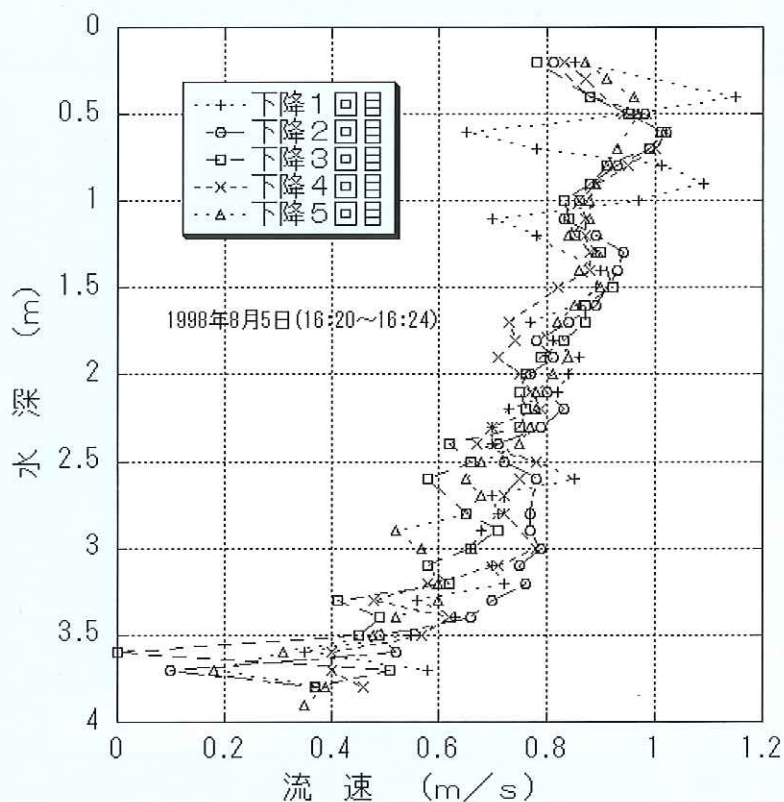


図-4 水圧式水深流速計による鉛直方向流速プロファイル測定例(阿賀野川大阿賀橋地点)

もう一つの洪水流内部のさらに詳細な構造を明らかにできるセンサとして、ADCP(超音波ドップラー流速プロファイラー)がある。ADCPは、超音波ビームを水中斜め下の複数方向に発射し、それぞれの方向毎のドップラー成分を計測することにより3次元流速場を評価するものであり、

無人のラジコンボートに搭載する手法により、洪水流量観測への多くの適用研究が行われてきた(図-5、6)^{7),9),10)}。

北陸地方建設局(当時)と土木研究所による阿賀野川での観測実験によると、ADCP計測値に基づく流量観測値は、低水・中規模洪水ともに従来法

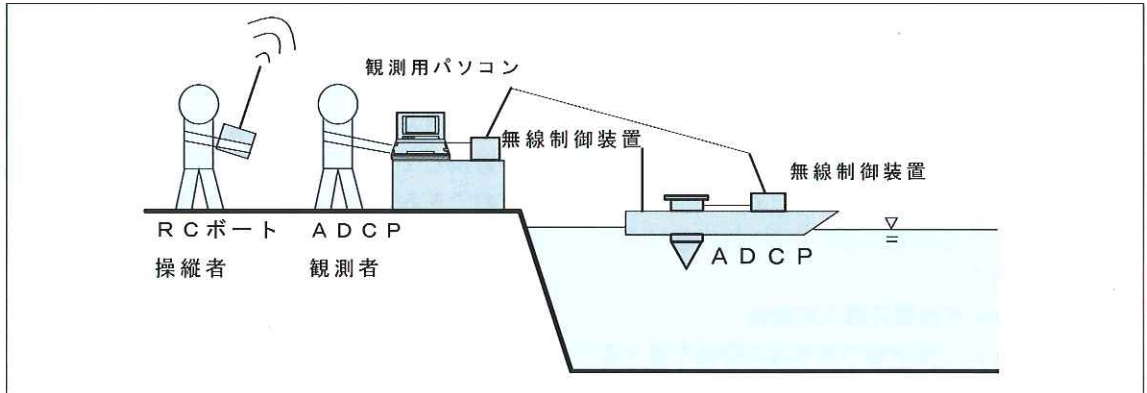


図-5 ラジコンボートに搭載した ADCP による流量観測システムの概念図⁹⁾

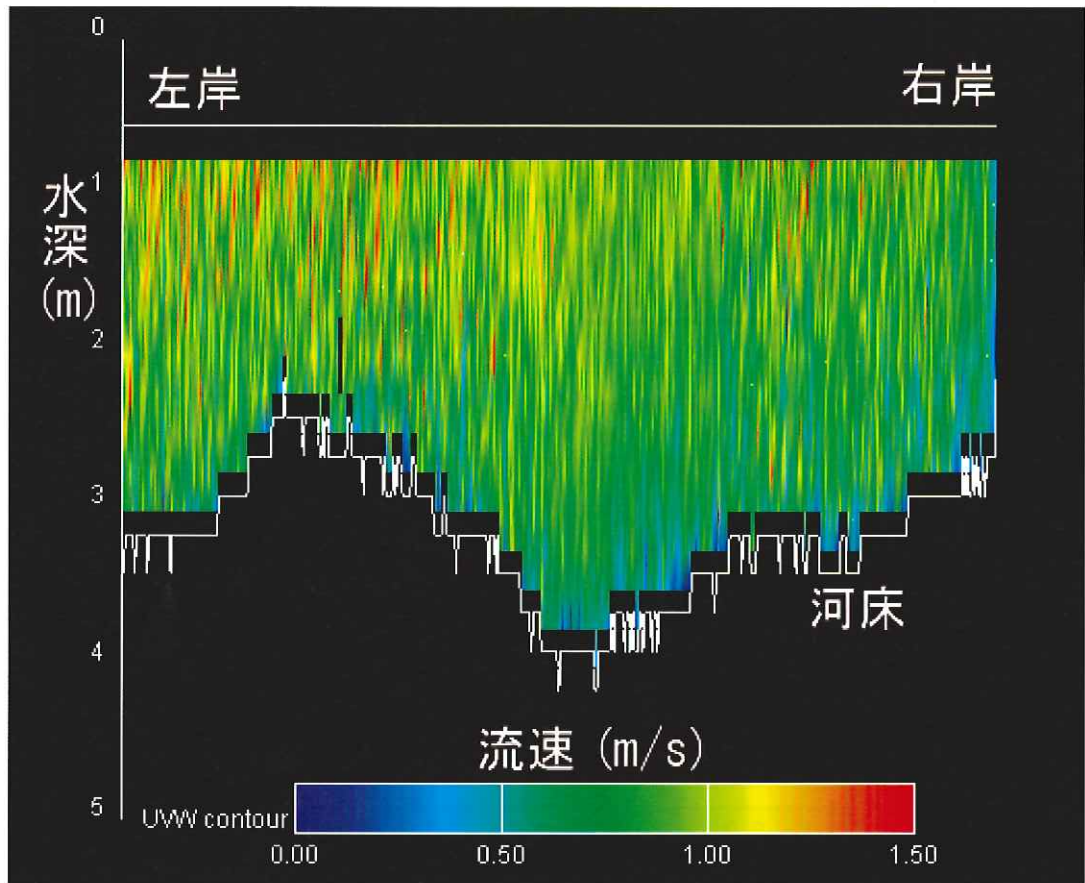


図-6 ラジコンボート ADCP による断面内流速コンター図⁹⁾
(阿賀野川大淵観測所付近、平均流速 0.8m/s、平成 10 年 8 月 5 日)

による流量観測値とほぼ 10% 以内の差異しかないことを確認している^{9),10)}。流下物が多い激しい洪水流況条件や夜間の利用では適用が困難であるが、ラジコンボートの制御が可能な条件(流速 5m/s 程度以下⁷⁾)においては、一部不感領域が生じるものの、断面内の流速分布全体を把握できる極めて有効な手法であり、洪水流の内部構造把握の調査研究への幅広い利活用が期待される。

一方、出水時に迅速かつ安全・確実に流量観測を可能とする無人化・自動化システムとして、水中設置型の超音波流速計と、数種類の非接触型流速計を挙げることができる。

水中設置型の超音波流速計は、水中の兩岸側に超音波の送受波器を設置し、流水中を伝播する超音波の伝播速度が順流方向と逆流方向で異なることを利用して、超音波伝播時間差の測定値からそれぞれの水深位置における横断方向の平均流速を測定するシステムである(図-7)。

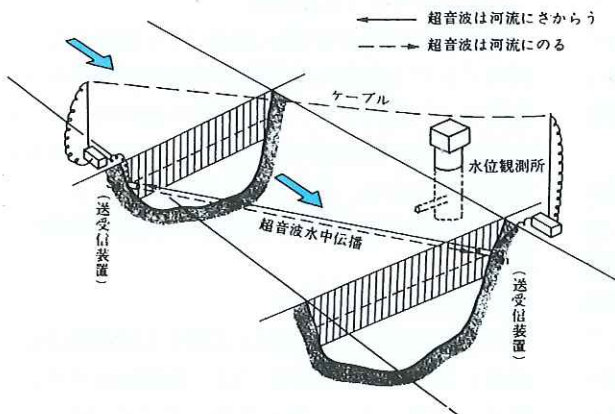


図-7 水中設置型の超音波流速計概念図(文献2)より引用)

昭和 40 年代前半以来、感潮・背水区間等の水位流量曲線作成が困難な地点での低水流観に適したシステムとして導入が図られてきたが、最近、河川整備基金助成事業により本システムの洪水観測への応用研究が実施された¹¹⁾。魚野川における試験結果によると、洪水中の SS、気泡、水中雑音といった計測阻害因子のうち、後 2 者のみが重要であり、それぞれ対策が可能であれば、川幅 500m、流速 2.5m/s 程度以内で、洪水流量観測も可能との結論が得られている。

また、土木研究所では、平成 11 年度後期より平成 13 年度にかけて、(財)土木研究センターと民間 5 社との共同研究により、洪水流に直接触れ

ることなく水面流速を測定することによって断面流量の評価を可能とする非接触型流速計測法の開発を実施してきた¹²⁾。そこで開発対象とした非接触型流速計は、ドップラー周波数検知方式の電波流速計、水面上設置型超音波流速計と、画像処理方式の PIV 法、オプティカルフロー法の合計 4 タイプである(共同研究成果の詳細についてはグラビア及び別報文を参照)。これらの非接触型流速計は、直接の計測対象は表面流速のみであることから、直ちに浮子測法に置き換えることは困難であるが、無人による連続的な洪水流量のオンライン観測を可能とし、長期的に見た省人化・省コスト化や、急激な出水や中程度の洪水に対する浮子観測のバックアップ、高水敷上の観測や中小河川への適用等が可能である。今後は、観測実務を行う現場において、より幅広い条件下での断面平均流速への変換係数の設定手法の提案、強風・強雨・夜間時の観測性能の確認等を行うことによって、一般的な洪水流量補完観測システムとしての実用化を図る必要がある。

3. 低水流量観測技術における課題

低水流量観測に関する主要な課題とそれに対する方策について述べる。

(1) 低水流量は、利水のみならず正常流量や河川環境(動植物生態系)面を含めた低水管理のための基礎データとしての位置づけから、地点によっては非常に高い精度(0.1~1m³/s オーダー)が必要とされている。現在の低水流量観測基準は、概ね 10% 程度の精度を確保することを前提

として昭和 30 年代に確立しているが、個々の観測所で実際にどの程度の観測精度が確保されているかはほとんど把握されていない。低水管理の高度化のためには、現場で確保できている精度の明確化と精度向上への努力が不可欠である。したがって、まずは観測所毎に現実に確保できている精度を明確にする必要がある。そのために、精密法による観測や ADCP 等の新技術を活用し、必要とされる観測精度に応じて観測体制を決める技術基準が必要である。

(2) 開水路流量観測に関する ISO 規格は、国土交通省河川局の基準と異なる部分も多い。また、我が国には開水路流量計測に関する JIS がなく、複

数の水文観測基準が存在している。それぞれの基準に謳われている観測精度を定量的に評価することが、国際的・国内的な説明責任上必要になっている。このため、同一水理水文条件下で、複数基準に基づいて測定した観測データを比較し、評価することが必要である。

(3) 人員・予算確保が困難な場合、必要性に反して低水流量観測が実施されていないケースが多く、河川計画・管理で問題を生じている。このため、所要の精度で測定ができる省人化・省コスト化した流量観測手法を開発し、広く普及させていくことが必要である。

4. 河川局における流量観測技術高度化への取り組み

以上、洪水と低水それぞれを対象とした既存の流量観測技術基準について、河川行政を取り巻く社会的環境の変化の中で浮かび上がりつつある課題を概観した。このような課題の克服に役立つと期待される新技術はいくつか現れてきているものの、そのほとんどは、広範な河川水理水文条件下における実地検証が行われていないため、技術基準への反映と普及までには至っていない。

平成 14 年 4 月に、観測やデータ整理等を定めた水文観測業務規程が、昭和 41 年の制定以来、全面的に改定された¹³⁾。この改定においては、観測成果の品質管理及び公開、並びに観測体制の明確化、普通観測の廃止とともに、5 番目の柱として技術開発が明記され、各地方における指定観測所を中心として、今後の水文観測における信頼性の確保及び向上、観測の省力化やコスト縮減を図っていくための新技術を積極的に開発・検証していくことを謳っている¹⁴⁾。このため、国土交通省河川局河川環境課、各地方整備局河川部河川管理課もしくは河川調整課等の担当者、及び独立行政法人土木研究所の担当者等が一同に会して、情報交換・協議を行う全国水理担当者会議の中に、技術開発課題を専門に調整・議論するワーキンググループ(以下、WG という)を設置し、円滑かつ適切に技術開発を進めていくこととなっている。

上記の水理担当者会議 WG の活動目的は、水文観測技術開発に係る課題について、情報交換・議論・調整を図り、その課題解決のために必要となる調査研究の詳細検討・実施・成果とりまとめ

に関する技術的検討を行うことであり、その活動成果は、個別観測所における流量観測精度の向上のみならず、各種新技術実利用ガイドラインの作成、及び、水文観測技術基準類の改訂等に反映させることになっている。

現在のところ、本 WG は次の 4 つの班(サブ WG) から構成されており、それぞれの班の主要検討事項は以下のとおりである。

(1) 非接触型流速計検討班

洪水流量観測の無人自動化・省コスト化へ向けた非接触型流速計のパイロット試験を実施する。具体的には、表面流速から鉛直平均流速への補正係数の妥当性、それに対する河道水理条件の違いの影響、高水敷の流れ観測への有効性、強風雨や夜間条件下での影響、河床変動の影響等について、幅広い条件下で把握し、洪水流量観測システムとして期待される性能を把握できるかを実証的に検証する。

(2) 構造物利用流量観測班

既存の水理構造物(堰・落差工)を活用した中小河川における簡便な流量観測手法の開発検討を実施する。具体的には、越流公式の適用性、潜り越流や高水敷(複断面)等の影響による適用水位範囲の検証を含め、洪水～低水流量観測システムとしての精度と適用範囲、問題点・課題の明確化を図る。

(3) 精密高水流量観測班

洪水流量観測(浮子測法)に関する技術的課題の検討を実施する。具体的には、橋脚後流や螺旋流構造の影響、浮子の更正係数の妥当性(特に水深が大きい場合)、流速分布の変化の影響、洪水による河床変動の影響等について実証的に明らかにし、精度低下に影響を及ぼす因子に対する対応策を検討する。

(4) 精密低水流量観測班

低水流量観測(流速一断面積計測法)に関する技術的課題の検討を実施する。具体的には、河川局基準(標準法・精密法)と ISO 規格で得られる低水流量観測の測定精度の実態、低水流量観測の精度確保・向上と国際基準との整合性を図るための方策等について検討する。

上記 4 班のうち、精密低水流量観測班に関連して、平成 14 年度より国土交通省北海道開発局及び中部地方整備局においてそれぞれ 1 地点の水位

流量観測所における特別な観測体制による低水流量観測データの収集が開始された。他の整備局でも来年から同様の特別観測が開始される予定である。他の班では、現在、平成 15 年度出水期からの特別観測開始を目指して、観測内容の検討を含む準備作業を行っている。

5. おわりに

河川流量資料は、河川計画・管理の根幹となる基礎資料であり、そのデータの計測方法を定める流量観測技術基準の見直しは、短期的には多方面にいろいろな影響を及ぼすことも考えられる。しかし、観測精度の確保・向上という観点から流量観測技術基準の見直しを行わない限り、社会の新しいニーズに対応した治水・利水ならびに河川環境整備・保全のための水管理システムの実現は困難であろう。今後とも、国土交通省等の河川管理の現場の水理調査担当者との連携しながら、流量観測技術の向上を目指して着実にデータを収集し分析に努めていきたい。

参考文献

- 1) 建設省河川局監修、(社)日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説-調査編、山海堂、1997 年 10 月
- 2) 国土交通省河川局監修、独立行政法人土木研究所編著：平成 14 年度版水文観測、(社)全日本建設技術協会、2002 年 9 月
- 3) 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、第 11 巻、第 5 号、pp.460-471、1998 年 9 月
- 4) 竹内俊雄、江川太朗：浮子の更生係数、土木技術資料、第 5 巻、第 1 号、pp.18-21、1963 年 1 月
- 5) 安芸皎一：流量測定法、森北出版、1952 年 8 月
- 6) 竹内俊雄：河川応用水文学序説、(財)河川情報センター、1996 年 3 月
- 7) 木下良作：洪水時の流れと河床、河川文化-河川文化を語る会講演集<その七>、pp.5-84、(社)日本河川協会、2001 年 6 月
- 8) 江川太朗、近藤真啓、堺本実：水圧式洪水流速計の実用化に関する研究、河川情報研究、No.3、pp.17-24、1995 年 8 月
- 9) 建設省土木研究所河川部水文研究室：超音波ドップラー流速プロファイラーの河川流量観測への応用に関する研究報告書、土木研究所資料第 3719 号、89p.、2000 年 3 月
- 10) 松浦達郎、金木誠、吉谷純一：ラジコンボートを用いた ADCP による流量観測システムの開発、土木技術資料、第 42 巻 9 号、pp.22-27、2000 年 9 月
- 11) (株)水文環境：河川整備基金助成事業「超音波流速計の洪水観測への応用」報告書、2001 年 6 月
- 12) 独立行政法人土木研究所：共同研究「非接触型流速計測法の開発研究」報告書、2003 年 2 月(印刷中)
- 13) 国土交通事務次官通達：水文観測業務規程、国河環第 6 号、2002 年 4 月
- 14) 河川環境課長通知：今後の水文観測業務の実施方針について、国河環第 11 号、2002 年 4 月

深見和彦*



独立行政法人土木研究所
水工研究グループ水理水
文チーム主任研究員
Kazuhiko FUKAMI

天羽 淳**



同 水理水文チーム
Jun AMOU

大手方如***



同 水理水文チーム研究
員
Masayuki Ohte

吉谷純一****



同 水理水文チーム上席
研究員
Junichi YOSHITANI