

## V-17 洪水流量観測精度向上のための水理学的研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）  
研究期間：平 16～平 17  
担当チーム：水文チーム  
研究担当者：深見 和彦、今村 仁紀

### 【要旨】

洪水時の鉛直方向及び横断方向流速分布の変化等、河川流の水理学的特性の差異が高水流量観測資料の品質を低下させる可能性が指摘されている。そのため、本研究においては現地観測等によるデータをもとに洪水流の水理学的構造の実態やそれらが流量観測精度に与える影響を明らかにすることを目的とし、ADCP や水圧式水深流速計などによる現地観測データを用いて洪水流の水理学的特性の検討や浮子観測との比較検討を行った。

今回の検討結果では、標準法と緊急法の流量比較では、概ね 5%以下の誤差であった。ADCP や水圧式水深流速計のデータから更正係数を算出すると、現行の更正係数より若干小さめになる傾向がみられた。また、横断方向の流速分布について、ある幅で振動しておりこれが流量観測値に影響を与える可能性があることがわかった。  
キーワード：高水流量観測、流速分布、ADCP、浮子観測、更正係数

### 1. はじめに

近年、橋脚後流や洪水鉛直分布の変化等、河川流の水理学的特性の差異が、流量観測資料の品質低下をさせる可能性が指摘されている中、その実態は不明で対処方法も検討できない状況となっている。このため、本研究においては現地観測等によるデータをもとに洪水流の水理学的構造の実態やそれらが流量観測精度に与える影響を明らかにすることを目的とし、全国の水位流量観測所における流量観測データをもとに、横断・鉛直方向流速分布等について、水理学的な観点から高水流量観測に関する技術基準の再評価を実施するものである。

### 2. 研究方法

#### 2.1 高水流量観測結果の収集

本研究を実施するにあたって、各地方整備局によって実施された高水流量観測結果を収集した。ここにおける高水流量観測結果とは、浮子観測以外にもADCPによる高水流量（流速）観測、水圧式水深流速計による高水流量（流速）観測の結果も含めている。

表 1. 本研究の対象観測所一覧

地方整備局	観測所名（観測項目）
北海道開発局	A観測所（浮子観測【緊急法・標準法・拡散浮子】）
関東地方整備局	B観測所（浮子観測【緊急法】・H-ADCP）
北陸地方整備局	C観測所（浮子観測【標準法】・ADCP）
中部地方整備局	D観測所（浮子観測【標準法】・水圧式水深流速計）
近畿地方整備局	E観測所（浮子観測【緊急法・標準法・拡散浮子】）

平成 17 年度は全国的に出水が少なかったため、解析に十分なデータが得られなかったことから、過去の出水時の観測データについても収集を行った。データが得られた整備局は、北海道開発局、関東地方整備局、北陸地方整備局、中部地方整備局、近畿地方整備局である。これら各整備局において収集したデータを表-1 に示す。

#### 2.2 横断方向流速分布についての研究

河道の横断方向の流速分布は未知の要素が多いため、高水流量観測においては、観測精度を保つためには適切な測線数を設定しなくてはならない。高水流観時の浮子の測線数は建設省河川砂防技術基準<sup>1)</sup>及び水文観測<sup>2)</sup>において、いわゆる標準法を用いて川幅に応じた測線数を設定するよう記載されている。しかし、全国の高水流観の実態としては、ほとんどの観測所で緊急やむを得ない場合の測線数、いわゆる緊急法という少ない測線で観測を行っている。

そこで、緊急法で観測を行った場合、標準法と比較して精度がどのように低下するのかを実測データに基づき検証した。さらに横断方向の流速分布がその精度にどのように影響するかを検討した。観測データを取得した整備局は、北海道開発局 A 観測所と近畿地方整備局 E 観測所である。

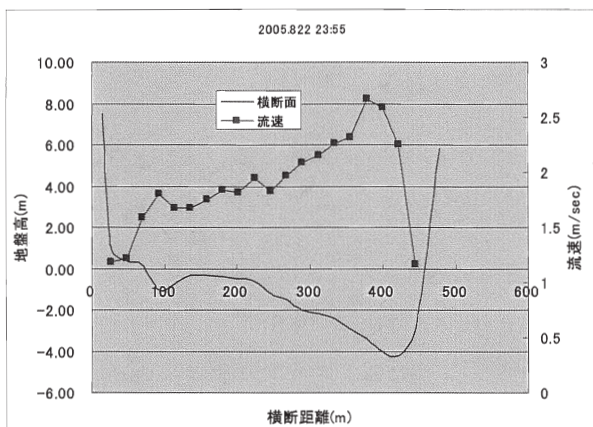


図-1 A 観測所横断方向流速分布 (標準法)

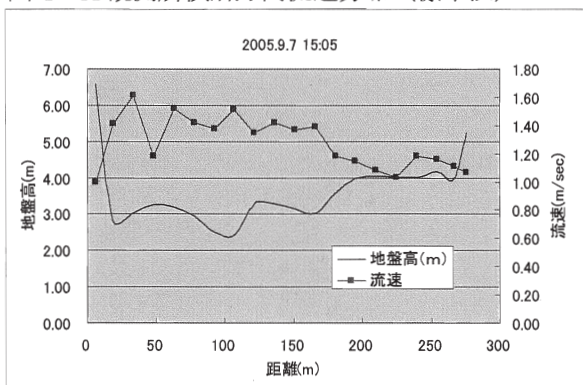


図-2 E 観測所横断方向流速分布 (標準法)

上記2観測所において、標準法と緊急法の双方をほぼ同時に行い、その流量データから標準法と緊急法との差異を検討した。同時に標準法による浮子の流速分布を把握し、標準法と緊急法との測線の違いが流量算出に与える影響について検討した。

### 2.3 鉛直方向流速分布についての研究

流量算出における修正係数は流量精度を保つ上で重要な係数である。本来河川の鉛直方向の流速分布は複雑であり、修正係数も河川の鉛直方向の流速分布に応じて決定されるべきであるが、実用上、マニュアル「水文観測」では水深および浮子喫水長に応じて決まっている。

現行のマニュアルにおける修正係数の妥当性を検証するために、本研究では、ADCP、水圧式水深流速計による観測データを用い、鉛直方向に対する流速分布を検討するとともに、修正係数の逆算を試みた。

#### (1) ADCP による検討

北陸地方整備局のC観測所において平成16年7月18日に観測したADCPおよび浮子観測のデータを用いて、鉛直方向の流速分布を検討した。C観測所

は、川幅260mであり、横断方向に2~4m、鉛直方向に25cm間隔のメッシュ単位で流速データを取得している。1断面で、2回観測をしている。ADCP観測では、メッシュごとの精密な流速分布を得ることができる。現行のマニュアルで規定している浮子が流れたと仮定して、浮子の長さの範囲の平均流速(図3のv)と、水深全体の平均流速(図3のu)を求めることができるので、その比(図3のu/v)を求め、現行の修正係数と比較を行った。検討にあたっては、全アンサンプルのデータ(総計267データ)を用いた。

各アンサンプルについて、鉛直方向の流速分布を図化し、流速分布を把握した上で、修正係数の妥当性の検討を行った。

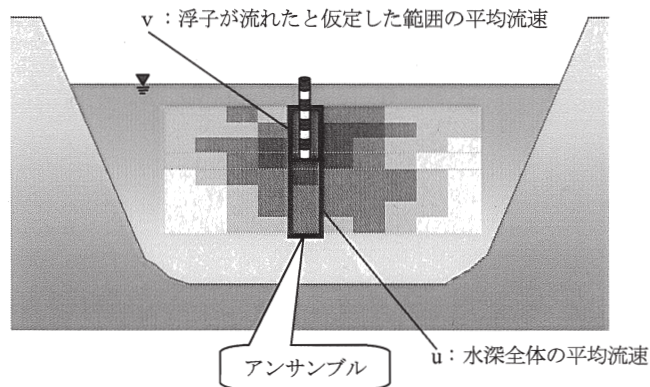


図-3 ADCPを用いた修正係数の算出方法

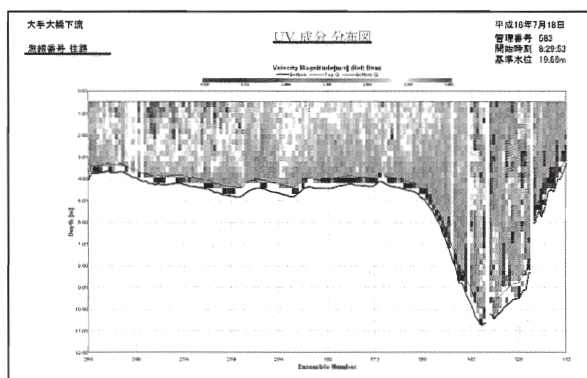


図-4 C 観測所の ADCP 観測結果

## 3. 研究結果

### 3.1 横断方向流速分布についての研究結果

北海道開発局のA観測所と、近畿地方整備局のE観測所において標準法と同時に緊急法でも浮子を投下して観測し、それらの実測値で流量の比較を行った。その結果、浮子を用いた標準法と緊急法の流量比較によると、両者の方法には大きな流量値の違いは見

られず、概ね 5% 程度の誤差となった。

表 2. A 観測所の流量比較結果

年間番号	測定法	流量 (m³/s)	測線数	水面幅	平均流速 (m/s)	誤差 (%)
1	標準法	4773.85	20	435.6	2.03	5.20
	緊急法	4525.68	8	435.6	1.92	
2	標準法	4752.025	20	435.6	2.01	5.07
	緊急法	4511.05	8	435.6	1.91	
3	標準法	4137.97	20	434.3	1.84	4.41
	緊急法	3955.62	8	434.3	1.76	
4	標準法	3029.94	20	432.0	1.50	2.96
	緊急法	2940.11	8	432.0	1.46	
5	標準法	3135.74	20	432.3	1.52	3.17
	緊急法	3036.22	8	432.3	1.47	
6	標準法	2965.22	20	431.9	1.48	2.85
	緊急法	2880.59	8	431.9	1.44	

表 3. E 観測所の流量比較結果

年間番号	測定法	流量 (m³/s)	測線数	水面幅	平均流速 (m/s)	誤差 (%)
22	標準法	1248.81	20	278	1.32	2.22
	緊急法	1221.06	6	278	1.29	

これらの観測所の横断方向流速分布をグラフ化し検討した結果、横断方向に対する流速の変化が小さく、流速が測線毎にあまりばらつかない傾向がみられた。

平成 16 年度の研究においては、中国地方整備局、四国地方整備局、九州地方整備局の 3 観測所において、標準法による流量と標準法のデータから測線を緊急法の測線にまで間引いて算出した流量とを比較しているが、その結果によると標準法の流量を真値と仮定した際の緊急法流量の誤差（相対 RMS 誤差）は概ね 10% 以下であった。

平成 16 年度の検討結果と併せて今回の検討結果についてみると、必ずしも標準法による観測ではなく、緊急法による観測でも一定の精度が保たれる可能性が示唆された。

ただし、河道特性によっては、横断方向に対する流速変化が本研究に使用した観測所より大きい観測所もあり、本研究では C 観測所における平成 16 年度に取得した ADCP データを用いた横断方向の流速分布の検討（図-6）も行っているが、これによると、C 観測所では横断方向の流速変化は大きく、その振幅や周期から流量誤差に影響を与える可能性がある。全国の河川はその河道特性において多様性をもつことから、流量観測において測線数の妥当性を確認するには、各観測所毎に標準法による観測を行い、横

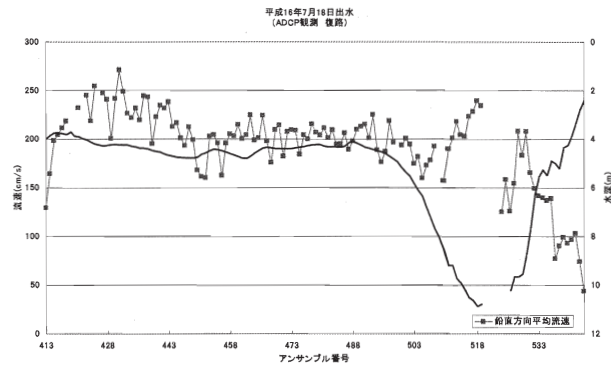


図-6 ADCP 観測結果による横断方向流速分布

断方向の流速分布を確認した上で、その測線のとり方を個別に検討すべきである。

### 3.2. 鉛直方向流速分布についての研究結果

#### (1) 鉛直方向流速分布の理論式の整理

河川における鉛直方向の流速分布は、河道の断面形状およびその縦断方向での変化、河床や護岸の粗度、河道の湾曲状況、橋脚や水制等の河道構造物等、様々な影響を受け、場所により変化する性質を持つものである。

こうした諸要素の全てを考慮して、河道全断面にわたる流速分布を一般的に記述することは困難であるが、水路幅が広く、流れを 2 次元のとみなせるものに対しては、2 次曲線形および対数曲線形の流速分布式がある。

#### ① Bazin の式

$$u = u_s - 24\sqrt{HI} \left( \frac{y}{H} \right)^2 = v + \left\{ 8 - 24 \left( \frac{y}{H} \right)^2 \right\} \sqrt{HI}$$

u: 水面から y の深さにおける流速(m/sec)、 $u_s$ : 水表面における流速(m/sec)、v: 鉛直線上の平均流速、H: 全水深(m)、I: 水面勾配

#### ② 安芸の式

$$V = \sqrt{HI} \left( C + \frac{20}{3} - 20\alpha + 40\alpha \frac{Z}{H} - 20 \frac{Z^2}{H^2} \right)$$

V: 水面から Z の深さにおける流速(m/sec)、H: 全水深(m)、I: 水面勾配、C: シェジの流速係数、 $\alpha$ : 下表参照

表 4. 安芸公式における各因子間の関係

$\alpha$	$\alpha=0$	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.2$	$\alpha=0.3$
狭い水路 (幅員 20m 程度)	$H < 0.6m$	$0.6m < H < 1.1m$	$1.1m < H < 1.6m$	$1.6m < H$
普通水路 (幅員 60m 程度)	$H < 1.1m$	$1.1m < H < 1.6m$	$1.6m < H < 2.2m$	$2.2m < H$
広い水路 (幅員 100m 程度)	$H < 1.5m$	$1.5m < H < 2.0m$	$2.0m < H < 2.6m$	$2.6m < H$

③対数分布式（粗面水路の場合）

$$\frac{V}{V^*} = 8.5 + 5.75 \log_{10} \frac{Z}{k_s}$$

$V^*$ （摩擦速度） $= \sqrt{\tau_0 / \rho}$ （ $= \sqrt{gHI}$ ）、 $\tau_0$ ：水面床面におけるせん断応力、 $\rho$ ：水の密度、 $g$ ：重力の加速度、 $Z$ ：底面から測った水深、 $v$ ：水の動粘性係数、 $k_s$ ：水路の荒さの平均高さ、 $I$ ：エネルギー勾配

上記①～③の各鉛直方向の流速分布式を用いて、同一の条件のもとで流速分布図を作成すると、各々の流速分布に下図の様な違いが生じる。

《計算条件》

計算モデル観測所を長岡観測所として、各定数は以下のように設定した。

- ① 表面流速：実測値から 3.0(m/s)
- ② 水面勾配：近隣観測所と C 観測所との水位差
- ③ 水路の荒さの平均高さ：0.5(m)※河床材より判断

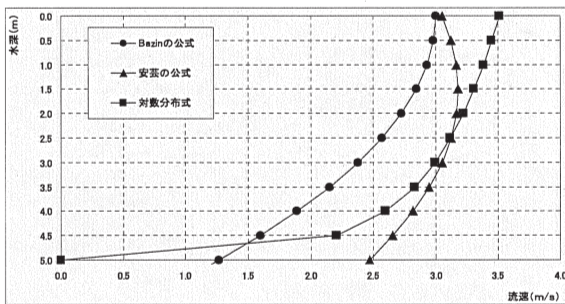


図-7 各公式による鉛直方向流速分布

上記の流速分布の違いについて整理すると下記の様になる。

- ・ 全体的に安芸の式の流速値は大きくなる。
- ・ 対数分布式の表面流速は実測値よりも大きな値で算出される。
- ・ 河床において流速が 0m/s になるのは対数分布式のみであった。他の 2 次曲線式では、河床においても流速 1.25～2.5m/s 程度となり、平均流速としては大きくなる傾向がある。
- ・ 後述の ADCP 観測結果等と比較すると、水面下で流速が最も速くなる安芸式による流速分布が、最も整合性が高いと判断できる。

3.3 ADCP による既存更正係数の評価結果

C 観測所において得られた平成 16 年 7 月 18 日の洪水における ADCP の観測データを用いた更正係数の逆算を行った結果、以下の所見が明らかとなった。

- ① ADCP により逆算された更正係数は概ね 0.9 以

下であり、マニュアルの更正係数 (0.94 あるいは 0.96) よりも 5%～10%程度小さい。

- ② 逆に更正係数が 1 を超えるアンサンブルがあった。この場合は洪水流量の過小評価も生じることになる。
- ③ 水深の大きい (10m程度) 位置では、流速分布は安芸型を示していた。そのため、比較的鉛直方向平均流速は大きめになり、逆算される更正係数も大きめになる傾向がある。このとき、水深の 2 割の高さよりさらに河床に近い位置に最大流速があるような流速分布も一部みられた。このような場所では、4m 浮子を使用しても測線の平均流速を代表させるのは難しいことから、4m 以上の浮子の使用も含めて検討する必要がある。
- ④ 水深の小さい (4m程度) 位置では、流速分布は対数分布型を示していた。その結果、比較的平均流速は小さくなり、現行の更正係数よりも 5～10%小さい更正係数が算出された。

表 5. ADCP 観測結果による更正係数の算出

番号	ADCP データによる更正係数			更正係数 (u/v) ①	現行の更正係数 ②	相対誤差 (①-②) / ②
	喫水長 (m)	喫水長の範囲の平均流速 (v : m/s)	水深全体の平均流速 (u : m/s)			
240	2.0	2.53	2.24	0.88	0.94	-6.4%
219	2.0	2.31	2.00	0.87	0.94	-7.4%
211	2.0	2.29	1.96	0.84	0.94	-10.6%
204	2.0	2.31	2.13	0.92	0.94	-2.1%
183	2.0	2.25	1.95	0.87	0.94	-7.4%
178	2.0	2.27	1.90	0.84	0.94	-10.6%
169	2.0	2.35	2.08	0.89	0.94	-5.3%
150	4.0	1.91	1.59	0.83	0.96	-13.5%
143	4.0	2.51	2.27	0.91	0.96	-5.2%
135	4.0	1.36	1.65	1.21	0.96	26.0%
127	4.0	2.29	2.47	0.95	0.96	-1.0%

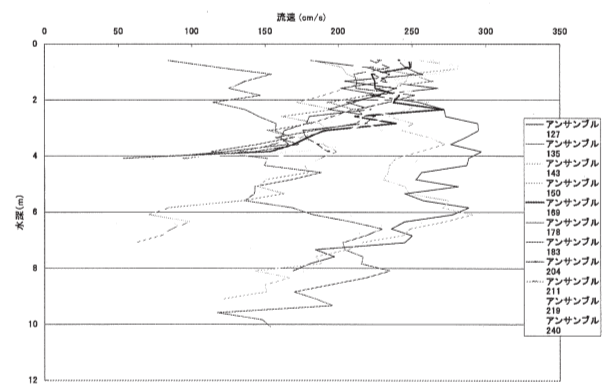


図-8 ADCP による鉛直方向流速分布

もちろん、C 観測所のわずか1 ケースの洪水事例で得られたこれらの知見が、同観測所における他の洪水事例、あるいは全国の他の全ての観測所における洪水に対して成立するとは限らない。現段階では検討対象が少ないことから、あくまでC 観測所の対象とした1 ケースの洪水事例に限定して評価すべきであり、より一般的な知見とするためには、洪水事例ケース数、ADCP データ取得地点数ともにさらに増やして検討を行う必要がある。

### 3.3 水位流量曲線式作成照査支援システムの試験運用

現地観測手法の精度向上のみならず、本研究においては水位流量曲線式（以下 HQ 式）の精度向上を目的に、土木研究所にて研究開発した「水位流量曲線式作成照査支援システム」（以下 HQ システム）の改良についての検討を行った。

HQ 式作成にあたっての現状の問題点として、①HQ 式の作成・照査には多大な時間・労力を費やしている。②HQ システムは本来、上記課題を克服するためのツールであるが、現場に普及していない。③水文水質データベースと連携する機能がなく、資料整理及び照査作業の効率化に結びついていない。④上記のことから、データ登録・公開までに非常に時間がかかっている。

これらのことから、HQ 式の一定レベル以上の精度確保、流量観測野帳の電子化及びデータベース化、HQ 式作成・照査の迅速化を目標に改良を行うこととした。改良を行うに当たり、各整備局の事務所において試験運用を実施してもらい、利便性の向上・改良要望等についての意見集約を行った。

主な意見を記す。

- ・ オラクルをデータベースとしているため、インストールに手間取る
- ・ 独自に観測手法を持っている河川には対応し切れていない
- ・ 水文水質データベースへオンライン接続が出来ない
- ・ ソフトのバグが相当量残っている

これらの意見・要望が多く寄せられ、現状のシステムでは、実運用にあたってまだ障害が多いことを確認した。

今後の改良においては、これらの意見を反映させて行く必要がある。また、実運用を開始するにあたっては、システムの不具合が生じた時など迅速な対

応が出来るようサポート体制の確立、システム更新時にはスムーズにエンドユーザーへ配布できるような体制を確保しなければならない。

現在の HQ システムは、水文水質データベース（国土交通省）（以下水水 DB）とオンラインで接続できるソフトであるが、事務所の環境によっては水水 DB サーバとの通信に時間がかかり、接続が途切れてしまうといった障害も報告された。このような障害をなくすため、必ずしもオンラインでの接続ではなく、HQ システム側でも水水 DB で使用しているデータ交換フォーマットを採用し、メールやディスクを介してスムーズで確実なデータ交換を行えるよう改良を加えることが望ましい。また、出力様式について、現状では水研様式のみに対応となっているが、整備局で実施されている高度照査に対応するよう、必要なデータ整理及び様式出力機能を加えることで、データ照査の効率化が図られると考える。

## 4. 今後の課題

本研究において、全国の地方整備局において先端的な取り組みとして実施された特別な洪水観測の貴重なデータを収集し、そこでの新しいセンサデータ等も活用しながら、洪水流の水理学的特性や更正係数に関連する事項について、貴重な知見が得られた。しかしながら、そこで検討対象とした洪水観測事例は極めて限定されたものであり、現時点では、一般的な知見とすることは困難である。また、観測・検討手法についても、課題が残っている。ここでは、今後さらに洪水流量観測に係る技術的知見を得るために必要となる事項について、特に重要と考えられる事項について整理する。

### 4.1 緊急法観測における測線位置と観測時間

本研究では、緊急法と標準法の両方で観測を行い、両手法の流量を比較するという検討を行った。

本検討での緊急法の測線は、ほぼ標準法の測線を間引いた位置に設定されていた。しかし、実際の観測現場では、標準法から間引いた形で緊急法の測線を設定しているわけではなく、浮子が流れやすいところ、あるいは浮子が投げやすい所を選んで測線を設定していることが少なくない。さらに、もうひとつの課題は、標準法と緊急法の両方を行うことで、通常の洪水流量観測からは非現実的なほどに長い時間を費やしてしまう点がある。観測時間が長時間になれば、その観測中においても水理条件の変化が生じてしまう。

今後は、可能な限り緊急法観測班と標準法観測班の2班体制を確保し、観測開始時刻を同時刻として実施する事により、緊急法によって生じる可能性のあるメリット（観測時間の短縮により水位変化が少ない）の視点も加えた評価が必要である。

#### 4.2 ADCP による多様な洪水観測データの追加収集の必要性

測線数の設定方法や、更正係数の妥当性を議論するためには、様々な河道水理条件下において多様な洪水観測データを収集することが望ましい。本研究では、C観測所のデータのみでADCP観測データによる検討を行っているが、縦断勾配、横断面形、河床材料、流量の規模等、河道特性による河川のグループ化を行い、それらを考慮しながらADCP観測を行う河川を選定した上で、多様な洪水観測データを確保すべきであろう。また、現行の技術基準の再評価を適確に実施するためにも、相当数のデータの集積が必要であり、大洪水にこだわらずに中小洪水を含めて洪水観測事例を増やすことも必要と考える。

#### 4.3 水圧式水深流速計の流速のゆらぎ

本研究では、水圧式水深流速計のデータによる鉛直方向流速分布図を作成したが、全般的な傾向として、鉛直方向に見て流速の変化が激しく、グラフ中の流速分布曲線が振動していた。今後の研究においては、このばらつきの原因の解析や、平均化などの解析手法の導入も必要と考えられる。

#### 4.4 代替手法の総合検討の必要性

日本では、高水時は流水中にゴミ・流木等が多く可搬型の回転式流速計が使えないので、長年にわたり、洪水時の流量観測には例外なく浮子測法が採用されてきた。しかし、高水敷に高木が繁茂し浮子が正常に流下しない観測所では、橋から可搬式流速計を吊るして流速を観測している観測所もある。本研究で利用したADCPや水圧式水深流速計だけではなく、非接触型流速計も含めて、近年は多様なセンサが提案されてきている。洪水観測は必ず浮子測法という単純な選択ではなく、どのような観測上の困難があり、それに対してどのような代替手法が有効なのかを検討することで、洪水流量観測データの精度向上を図ることも必要と考えられる。

#### 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