

◆ 報 文 ◆

河川における低水流量観測技術基準の再評価

今村仁紀* 深見和彦** 天羽 淳***

1. はじめに

現行の流量観測に係わる国土交通省の各種観測技術基準^{1),2)} (以下、河川局基準と略記する)は、昭和20年代後半から30年代にかけて、その基本部分が確立され、今日まで長期にわたる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、昨今の社会情勢の変化に伴い、情報公開へ向けたデータの整備と品質の確保・向上に対するニーズとコスト低減のニーズの両者に応えることのできる流量観測技術体系の構築が喫緊の課題となりつつある³⁾。また、国際標準規格 (ISO規格) と河川局基準では観測手法等の一部異なっている部分もあり、それらの観測手法による測定値の違いについての検証が必要となっている。

本報文では、流量観測技術基準の大きな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のうち、低水流量観測について現状の観測技

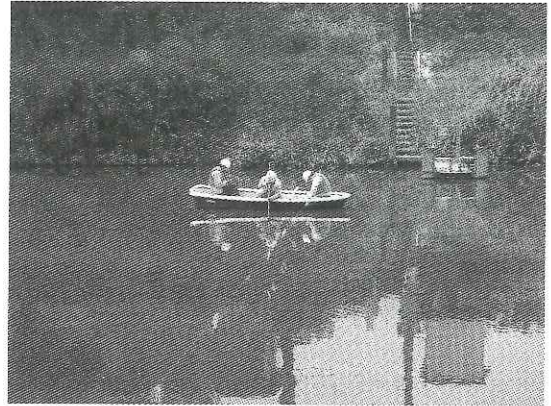


写真-1 低水流量観測実施状況

術の課題と、誤差要因が観測流量へ与える影響について観測手法毎に検討した結果を紹介する。

2. 検討内容

2.1 検討概要

平成15年度に全国11箇所の水位流量観測所に

表-1 各観測手法の観測条件

観測手法呼称	流速計タイプ	測線間隔	鉛直測線上の測点配置	各測点において記録を取る最低時間のパターン	各測点において平均流速計算時に採用する測定時間記録	各測点における測定回数
河川局標準法	回転式	河川局基準に従う。	水深に応じて2点法 (2割、8割水深)、もしくは1点法 (6割水深) とする。	20秒、30秒、60秒	20秒	2回
	直読式 (電磁流速計を除く)			20秒、30秒、60秒	20秒	
	電磁流速計			10秒、20秒、30秒	20秒	
河川局精密法	回転式	河川局基準に従う。基本的には標準法の1/2とする。	水面と河床との間を原則として20cm間隔で分割して測線を配置。	20秒、30秒、60秒	60秒	2回
	直読式 (電磁流速計を除く)			20秒、30秒、60秒	60秒	
	電磁流速計			10秒、20秒、30秒	60秒	
ISO標準法	回転式	各区分流量が全体流量の10%以内 (5%程度が望ましい) におさまるように水深流速測線を配置。	水深に応じて2点法 (2割、8割水深)、もしくは1点法 (6割水深) とする。	20秒、30秒、60秒	30秒	1回
	直読式 (電磁流速計を除く)			20秒、30秒、60秒	30秒	
	電磁流速計			10秒、20秒、30秒	60秒	
ISO精密法	回転式	ISO標準法測線の中間に測線を追加し、2倍の測線数を確保。	水面と河床との間を原則として20cm間隔で分割して測線を配置。	20秒、30秒、60秒	60秒	1回
	直読式 (電磁流速計を除く)			20秒、30秒、60秒	60秒	
	電磁流速計			10秒、20秒、30秒	60秒	

Reevaluation of Technical Standard for Low-flow Discharge Observation



図-1 対象観測所

において観測されたデータをもとに、低水流量観測の精度向上を目的として現状の低水流量観測技術基準の妥当性について検証を行った。対象とした水位流量観測所は、石狩大橋観測所（石狩川）、紫波橋観測所（北上川）、大芦橋観測所（荒川）、八斗島観測所（利根川）、長岡観測所（信濃川）、志段味観測所（庄内川）、王寺観測所（大和川）、高浜観測所（淀川）、飯室観測所（太田川）、池田観測所（吉野川）、恵蘇ノ宿観測所（筑後川）の11箇所である。これら観測所において、河川局標準法・河川局精密法・ISO標準法・ISO標準法の測線間隔と河川局精密法の流速測点間隔を足し合わせた手法（土木研究所考案、以後ISO精密法と呼ぶ）の4つの手法を用いて観測を行った。また、観測時間による誤差評価を行うために、それぞれ20秒、30秒、60秒と観測時間を変えて行った。各手法の観測条件を表-1に示す。

これら複数の手法による流量の観測精度の評価を行うため、最も真値に近いと考えられる流量を

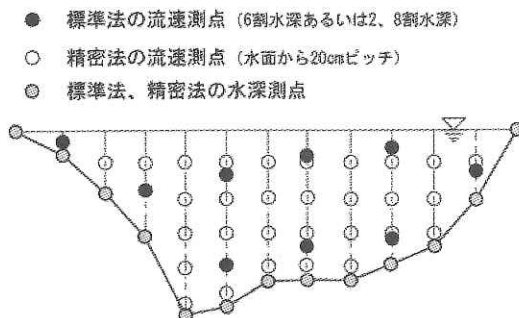


図-2 基準流量算出概略図

「基準流量」として算出した。

基準流量は、横断方向の水深及び流速測線間隔が最も狭くなるよう、また流速測線上の水深方向の流速測点間隔も最も狭くなるよう、すなわち水深、流速の観測密度を最も高くした場合に得られる流量とするため、同じ観測日において、異なる手法により得られた流速、水深を組み合わせる河川局精密法と同様の計算手法（積分法）で算出した流量である。ただし、同じ手法で複数の計測時間により点流速を計測している場合は、計測時間が長い方の点流速値をより正確と判断し、当該測線における鉛直方向の平均流速算出に用いている。

算出した基準流量を真値と仮定し、河川局標準法・精密法、ISO標準法・精密法の各手法により観測された流量について、誤差要因毎に評価を行った。

2.2 基準流量に対する各手法による流量比較

11観測所において流量観測が実施されているが、基準流量の作成が可能であった8観測所の結果を用いて、河川局標準法・精密法、ISO標準法・精密法のそれぞれにおいて、流量の比較や誤差の検討を行い全体的な傾向の把握を行った。なお、各観測所で実施された流量観測は、手法ごとに測線配置の考え方や流量算出方法が異なるケースが見られたため、基準通りの測線間隔に間引く、流量計算過程では四捨五入をしない方法で再計算

表-2 各手法による流量の相対RMS誤差及び標準偏差（標準計測時間）

	河川局標準法	ISO標準法	河川局精密法	ISO精密法
相対RMS誤差	4.56	5.06	2.60	2.60
標準偏差	3.10	3.10	1.86	1.72
標本数	37	36	58	34

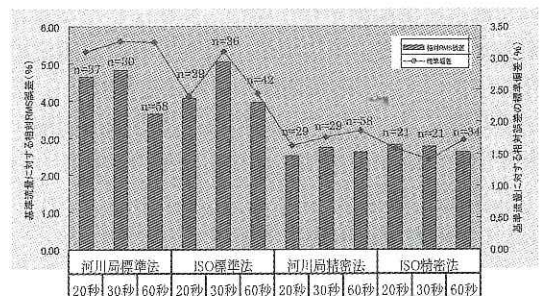


図-3 各手法による流量の相対RMS誤差及び標準偏差（全計測時間）

するなど、状況に応じて観測で得られた水深・流速から統一的な考え方に基づいて流量の再計算を行い、その流量をもって各種比較検討を行った。また、観測所毎に4～11回と観測回数に違いはあるが、観測所毎に重みは付けず、母数は総観測回数として検討している。

基準流量に対する、各手法による流量の標準計測時間の相対RMS誤差（Root Mean Square：基準値との平均的な差を示す）及び相対誤差の標準偏差（個々の観測値差異のばらつき傾向を示す）を表-2に示す。また、各手法で20秒、30秒、60秒と計測時間を変えて観測した流量についての相対RMS誤差及び標準偏差を図-3に示す。ここでは、1測線における流速測点が少ないなど、適切な基準流量の作成が困難であった3カ所の観測所を除いている。

基準流量に対する各手法による流量（基準計測時間）の相対RMS誤差の大小は、ISO標準法（5.1%）>河川局標準法（4.6%）>河川局精密法（2.6%）=ISO精密法（2.6%）となっており、標準偏差で見ると、河川局標準法（3.1%）=ISO標準法（3.1%）>河川局精密法（1.9%）>ISO精密法（1.7%）となった。

河川局標準法により、概ね5%以内の流量観測精度が確保できていることが確認できた。ISO標準法の精度が河川局標準法よりも若干劣る結果となっているが、これについては、流速測線についてISO標準法の本来の標準間隔（区分流量で5%）ではなく、最大限許容しうる最大間隔（区分流量換算で10%以内）に近い条件で設定された例が少なからず存在していたことが影響したと考えられる。

2.3 低水流量観測誤差の要因分析

一般的に、河川において可搬式流速計などを用いて低水流量観測を行う場合、多岐にわたる誤差要因が含まれる。ここでは、外業における測定仕方によって生じる可能性のある誤差要因として、計測時間・鉛直方向の測点間隔・流速測線間隔・水深測線間隔・断面積に着目し、その影響について重点的に評価を行った。

2.3.1 計測時間に起因する誤差

河川局標準法では1計測あたり20秒以上、河川局精密法では1計測あたり60秒以上としている。一方、ISO国際規格に示される標準法では1計測

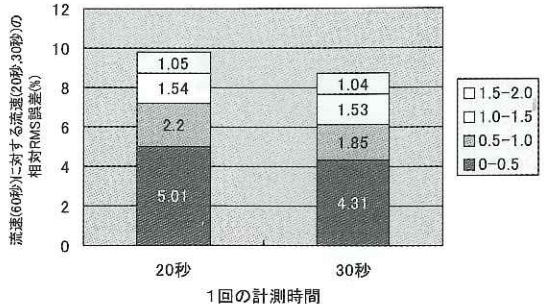


図-4 基準流速に対する流速の相対RMS誤差

あたり30秒以上となっており、手法や基準により1計測あたりの流速計測時間は異なっている。これらの異なる流速計測時間が流量観測の精度に与える影響を定量的に把握することを目的に、同一測点において、1計測あたりの流速計測時間を変えて流速を計測し、各流速値の比較を行った。観測手法や流速測点の位置に関わらず、全ての流速測点において1計測あたりの流速計測時間を20秒、30秒、60秒と変えて計測された流速を対象とし、比較対照の基準流速として60秒で計測された流速を用い、計測時間20秒、30秒で観測された流速値において誤差評価を行った。また、流速範囲を0.1m/s毎に分類してそれぞれ相対RMS誤差を算出し、全体の誤差に対して各流速範囲の誤差がどの程度含まれているかというグラフを示す。（図-4）

計測時間について着目すると、基準流速に対し、20秒で約10%、30秒で約9%の相対RMS誤差が確認された。ここでは河川局標準法とISO標準法に大きな差異は生じていない。一方、流速範囲別に見ると、全相対RMS誤差に対して、0～0.5m/sでの低流速範囲の寄与率が50%を越えており、低流速計測時の誤差が大きいことが明らかとなった。

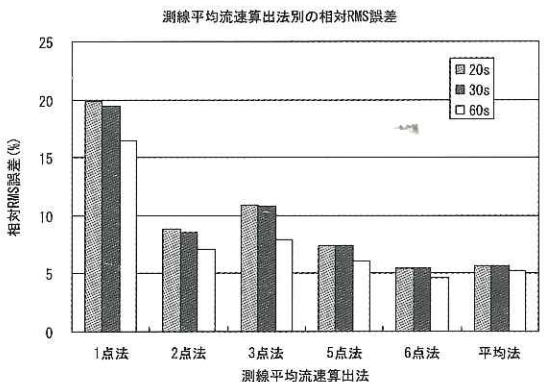


図-5 異なる算出法による測線平均流速の相対RMS誤差

2.3.2 測点数に起因する誤差

河川横断面上の任意の測線上における鉛直方向の流速分布は、理想的な一定の断面を受け持つ実験水路などとは異なり、様々な河道水理条件による3次元的な流れの影響を受けるため、常時一定の分布を示すことは考えにくい。このため、河川局標準法で採用されている1点法あるいは2点法では現地における鉛直方向の真の平均流速が得られるとは限らず、流量観測誤差の1つの要因になっている可能性がある。そこで、これら鉛直方向の測点の取り方が観測精度に与える影響を把握するため、用いる流速測点の数を変えて測線平均流速を算出し、誤差の相対的な比較を行った。すなわち、河川局標準法及びISO標準法である1点法、2点法及びISO基準の中でその他の方法として明記されている3点法、5点法、6点法の計5種類の手法から算出される平均流速及び観測値を単純平均した流速について基準流速と比較した。(図-5)

この結果から、1点法による測線平均流速は、1計測あたりの流速計測時間に係わらず、相対RMS誤差が15%を越えており、平均流速算出方法として大きな誤差を生じる可能性があるとして推定される。

その他の結果を見ると、2点法では相対RMS誤差は10%以下に抑えられている一方で、流速測点数をさらに増やしてもその労力の増大ほどの大きな誤差の低減効果は見られない事を確認した。このことから、通常の流量観測において鉛直方向の平均流速について10%の誤差を許容すると仮定した場合、河川局の基準である2点法は時々刻々と変化する河川流況を短時間で観測できる等、精度確保と省力化の両立において有効と考えられる。感潮区域など、流速分布が通常と異なる想定される場合や、特に高精度の流量観測が求められる場合についてのみ、鉛直方向の測点数を増やす対応をとることが現実的と考えられる。

なお、10%という数値は、ここでは流量に対するものではなく、ある測線における鉛直方向平均流速に対するものであることに注意が必要である。概ね5%以内を達成していた基準流量に対する誤差よりも誤差レベルが大きくなったのは、鉛直方向平均流速の遅い測線のデータも含めて等しく評価していることに原因があると推定される。一方、計測時間別に見ると、計測時間20秒、30秒の流速を用いて算出した相対RMS誤差はほぼ同じで

あった。このことは、点流速について計測時間の影響を評価した2.3.1の結果と符合している。

2.3.3 測線数(測線間隔率)に起因する誤差

流量観測を行う上で、流速測線及び水深測線の数(水面幅当たりの測線数)の取り方によって、得られる観測値あるいは観測精度が大きく異なることが考えられる。そこで、測線数が流量観測精度に及ぼす影響を評価するために、4手法(河川局標準法・精密法、ISO標準法・精密法)の基準流量を用いて測線間隔を変え、断面、流速、流量についての誤差の相対的な比較を行った。

等間隔で測線間隔を取るには水面幅に対し、1%、2%、4%、5%、10%、20%、25%、50%となるが、詳細に検討を行うために左右岸水際の区分断面幅を不等間隔とすることによって、6%、8%、12%、14%、16%、18%、24%、32%の

表-3 測線間隔率の組合せ

		流速測線間隔率															
		1%	2%	4%	5%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	24%	25%	32%	50%
水深測線間隔率	1%	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2%	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	4%			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	5%				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	6%					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	8%						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	10%							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	12%								○	○	○	○	○	○	○	○	○
	14%									○	○	○	○	○	○	○	○
	16%										○	○	○	○	○	○	○
	18%											○	○	○	○	○	○
	20%												○	○	○	○	○
	24%													○	○	○	○
	25%														○	○	○
	32%															○	○
	50%																○

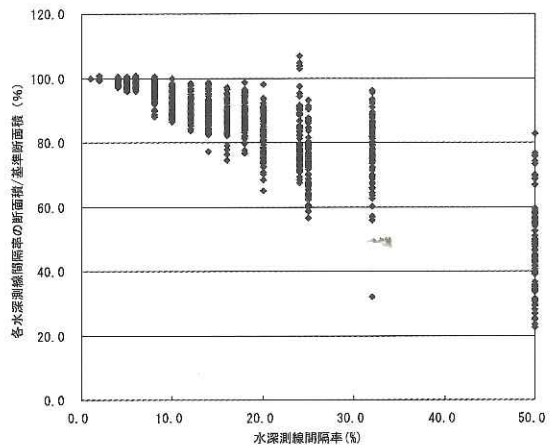


図-6 水深測線間隔率と基準断面積に対する各測線間隔率の断面積の関係

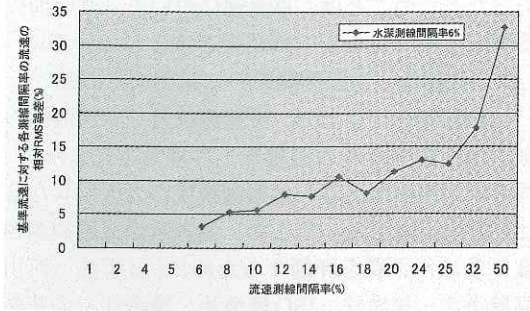


図-7 基準流速に対する流速の相対RMS誤差

測線間隔も設定した。(表-3)

測線間隔の検討については全11観測所の基準流量を用いて、基準平均流速及び基準流量にする設定測線間隔率の平均流速・平均流量の相対RMS誤差を算出し、誤差の相対的な比較を行った。

まず断面積についてみると、断面積誤差を5%程度に収めるためには、水深測線間隔を6%以内にする必要がある。(図-6)

次に断面平均流速についてみると、基準断面平均流速に対して、断面平均流速の相対RMS誤差を5%程度に抑える場合、水深測線間隔を6%とすると、流速測線間隔を8%程度にする必要があると推定される。(図-7)

最後に流量についてみると、基準流量に対して平均流量の相対RMS誤差を5%程度に抑える場合、水深測線間隔を6%とすると、流速測線間隔を10%程度にする必要があると推定される。(図-8)

河川局標準法による流速測線間隔は、水面幅10m以下であれば水面幅の10%~15%、また、水面幅が広くなった場合でも10%~13%程度、水面幅200mの場合で15%となっており(表-4)、ここでの検討結果と照合すると、誤差レベル5%を若干越えることも想定される事になる。しかし、

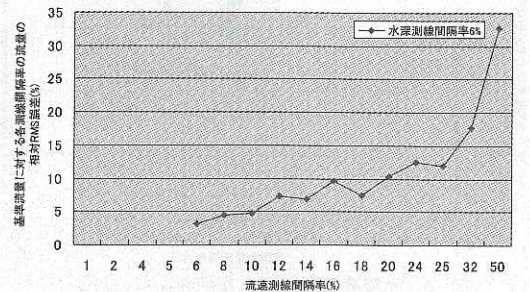


図-8 基準流量に対する流量の相対RMS誤差

表-4 河川局基準における水深及び流速測線間隔

水面幅 (m)	水深測線間隔 (m)	流速測線間隔 (m)
10以下	水面幅の10~15%	左に同じ
10~20	1	2
20~40	2	4
40~60	3	6
60~80	4	8
80~100	5	10
100~150	6	12
150~200	10	20
200以上	15	30

実際には2.2で述べたように全体としては概ね5%以内の精度を確保できていた。これは本検討では全て機械的に等間隔相当の測線を設定することを想定しているのに対し、実際の観測においては、現地での断面形状や流況に臨機応変に対応した柔軟な測線設定を行っていることの結果が現れているのではないかと考えられる。

2.4 まとめ

これまで解説した成果をもとに、現行の河川局基準の妥当性と今後の課題についてまとめて考察する。

今回作成した基準流量に対する各手法による流量の相対RMS誤差について、河川局標準法で約4.6%、ISO標準法で約5.1%、河川局精密法で約2.6%、ISO精密法で約2.6%の相対RMS誤差が確認された(表-2)。今回得られたデータの範囲内で、かつ、ここで算出した基準流量値を真値と見なせると仮定した場合、河川局基準における低水流量観測基準は、概ね相対RMS誤差について±5%以内を達成しているものと言うことが出来る。また、ISO標準法において、精度が大幅に改善される状況は確認出来なかった。

それらの誤差の原因となっている要素の相対的重要性を探るため、計測時間、鉛直方向測点数、水深・流速計測測線数が誤差に与える影響についても検討を行った。その結果、深さ方向の2点法は実用上十分と評価される一方で、1点法において誤差が大きくなることが示された。また、河川局標準法における鉛直方向測点数や水深・流速測線数の設定に起因した誤差は、概ね10%以内(図-6、7、8)であり、実際の観測条件下では、全体平均で5%以内となった。但し、相対RMS誤差算出のもとになる個別の流量観測値の相対誤差の分布を見ると、図-9にあるように、-20%~40%程度

のばらつきが見られており、常に5%の精度が保持されていることを保証するものでないことには注意が必要である。そこで、今回の観測データの範囲内で個別の要因別に、誤差に与える影響を調べたところ、これらの大きな誤差は、河川規模もしくは水位・流量が小さく、流速測点が密でない観測において生じ得ることがわかった。低水流量観測においては、絶対的な誤差は小さくとも、相対的には誤差が大きくなるため、水位・流量が小さい場合でも高精度を確保する必要がある場合は、鉛直方向に少なくとも2点以上の測点を確保した精密流量観測を実施することを検討する必要がある。その際、図-9に示されているように、断面積誤差よりも断面平均流速誤差の方が流量誤差に与える影響がより直接的で大きいことから、流速計測点数を増やすことが精度確保には効果的と考えられる。

3. あとがき

今回の検討では、全国水理水文担当者会議を通じて選定された全国11箇所の水流量観測所において、それぞれ4～11回程度実施された特別な精密流量観測実験結果のデータを総合的に分析し、

現行の技術基準によって確保されている流量観測精度レベルを再確認するとともに、今後の技術基準の見直しへ向けて必要となる基礎データを収集することが出来た。今後、最初に述べたニーズに対応するためには、さらに多様な視点からの検討が必要と考えている。特に、近年ではADCPや非接触型流速計⁴⁾、水圧式水深流速計等、より詳細な、あるいは自動無人観測が可能な新しい計測機器も実用化の域に達してきている。今後は、それらの観測手法・データも取り入れ、低水流量観測のみならず洪水流量観測についても検討対象に加えて、時代のニーズを踏まえて流量観測の精度確保と効率化に向けた調査研究を継続して参りたい。

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) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人土木研究所監修、(財)土木研究センター：土木技術資料第45巻第2号、平成15年2月
- 4) 独立行政法人土木研究所：「非接触型流速計測法の開発」共同研究報告書、平成15年3月

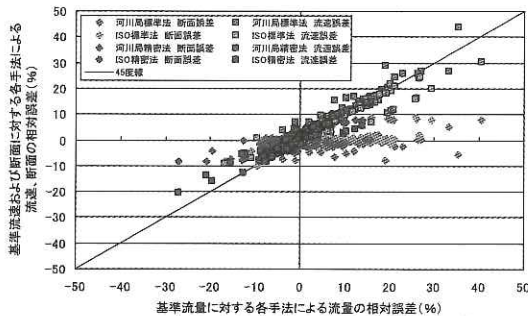


図-9 基準値に対する流量と流速、断面の誤差

今村仁紀*



独立行政法人土木研究所ユネスコセンター設立推進本部水文学チーム研究員
Hitoki IMAMURA

深見和彦**



独立行政法人土木研究所ユネスコセンター設立推進本部水文学チーム上席研究員
Kazuhiko FUKAMI

天羽 淳***



前 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研究員
Jun AMOU