

ラジコン式ADCPによる低水流量観測の高度化 —流量算出手法の比較検証—

札幌開発建設部 札幌河川事務所
札幌河川事務所
河川計画課

○佐藤 裕介
竹瀬 真由美
吉武 竜馬

低水流量観測で得られる流量は水資源管理上重要な流量であるが、現行の観測手法は観測に要する労力や時間、安全性等に課題がある。札幌開発建設部では新たな観測手法として、ADCPを搭載したラジコン式ボートによる低水流量観測を河川規模の異なる観測地点で試行した。複数の流量算出手法(案)を抽出し、比較した結果、現行法とADCPを用いて算出した流量が概ね一致する傾向がみられたことから、新たな観測手法の確立に向け、検討を行った。

キーワード：低水流量観測、ADCP、絶対流速

1. はじめに

低水流量観測により得られる流量は、利水計画、低水管理、ダム管理など主に水資源の管理に必要なデータで、人の命と暮らしを守る重要な基礎資料である。これらは長期間に渡って継続した観測データの蓄積が必要で、現在は、1観測所で年間36回程度行われている。

しかしながら、現行の低水流量観測は大部分が人力による観測であり、観測員が徒歩で川の中に入って計測する徒歩観測、橋上からワイヤーロープを降して計測する橋上観測、船上で横断方向にワイヤーを張って計測する船観測に分類される。これらは水深にもよるが、基本的にはプロペラ式流速計を用いて横断測線毎に水深の2割と8割箇所の流速を計測するもので、観測員の安全性や、川幅300m超の河川では1観測に5人1班が3時間以上の時間を要するなどの課題も多い。高水流量観測については、非接触型等の新技術を用いた手法が適用されてきているが、低水流量観測については昭和20年代の手法そのままに維持されているのが現状である。

そこで札幌開発建設部では、低水流量観測のDX化に向け、令和3年から研究を続けてきた。宮崎ら¹⁾は、ラジコン式ADCPによる低水流量観測を提案し、計測時間の短縮、安全性の向上、省力化に効果があることを示した。しかし、現行法の流量に比べてADCP流量が10%以上小さくなることが課題として残った。北谷ら²⁾は石狩川水系11観測所でラジコン式ADCPによる流量観測とプロペラ式流速計による流量観測との間に発生する流量差の原因の分析を行った。その結果、ADCP流量が現行法よりも小さくなる原因は、ADCPが測線直交成分の流速を計測しているのに対し、現行法は、橋上や船の場合は、流下方向にプロペラが向くため、絶対流速の流速を計測しているためであると示した。

そこで、本研究では、ラジコン式ADCPによる低水流量観測の実用化に向けて、ADCPの計測データを用いた流量算出手法を検討し、現行法からADCPによる低水流量観測への移行に向けて検討を行った。また、河川規模、河床形状が異なる複数箇所において現地観測を行い、実河川におけるラジコン式ADCPの適用性を検証した。

2. ラジコン式ADCPによる低水流量観測

(1) ADCPを用いた流量算出方法

ラジコン式ADCPは、図-1に示すようにADCPを船底に設置したトリマラン型のプラスチックボートである。現場ではラジコン操作で船を運転し、ADCPの操作は遠隔通信で行うことができる。



図-1 ラジコン式 ADCP の概要

図-2にて、今回、比較検討を行った7つの流量算出手法を示す。

(2) 流量算出手法の比較

オリジナル法³⁾は、超音波発信毎の移動方向に直交する流速をメッシュごとに集計する方法で、USGS（アメリカ地質調査所）で使用されている。本手法は、ボートが逆走しない限り、どのように走ったとしても流量は一致するが、ボート軌跡によって移動距離が異なる場合がある。全断面直線化^{2)~3)}は、ボート軌跡が乱れていても、測線に投影して直線化するので、測線に対して

直交成分流速と絶対流速成分で比較した。

2・8割区分^{4)~7)}は、現行法の2割8割計測に合わせてADCPのデータを抽出するもので、区分求積によって流量を算出する方法は現行法と一致している。これらを現行法と同じく点の流速値を抽出するspot法と、区分断面内の2・8割流速をメッシュ毎に平均するave法とし、測線直交成分流速と絶対流速で比較した。

なお、流量精度の評価は平成14年度版水文観測⁴⁾より、低水流量観測の再測の目安である、既存水位流量曲線からの離れの「10%」を目安とした。

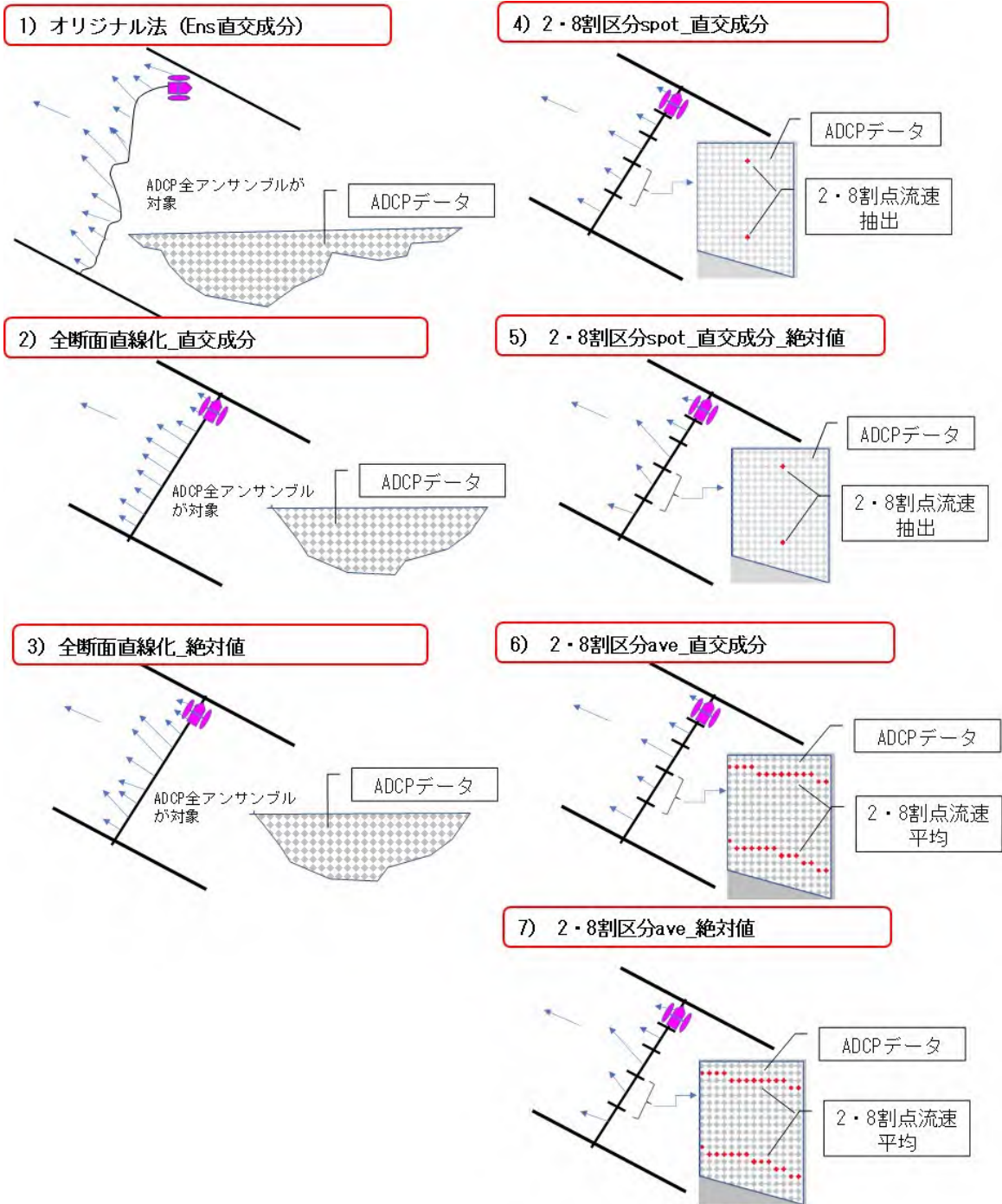


図-2 ADCPによる低水流量算出手法

(3) 現地試験観測

図-3に示す地点（石狩川本川2箇所、雨竜川2箇所、夕張川1箇所、幾春別川1箇所、豊平川1箇所）の計7箇所、6月～10月に月1回 計35観測にて、現行法とラジコン式ADCPの同時観測を実施した。表-1に試験観測地点の特徴を示す。石狩川本川は水面幅が100m以上で最大水深も5m以上と河川規模が大きく、幾春別川西川向、雨竜川多度志、豊平川雁来は、水面幅は100m以下で、最大水深が1m以下と浅い河川である。

現行法は、規定された水面幅に応じた測線数で、水深に応じて2点（2割・8割）を計測する。この平均を区分断面積の平均流速とする。ADCPは、図-2に示す7つの手法でそれぞれ流量を算出した。上下層の不感帯は、上層は一定値（観測値の上限と同じ）、下層は、取得できている最下層の測点から河床が動かないと仮定した対数則によって河床までを補完するものとした。

(4) 流量比較

ADCPによる低水流量観測の留意点として、ADCPでは上層に0.2m程度の不感帯が発生する。これは水深の深いところでは影響が少ないが、最大水深が1mに満たない観測所では2割相当が不感帯となることから、流速の補完の影響を検討する必要がある。不感帯の流速は、水文観測業務規程⁵⁾では、上層はConstant（最上層のADCP実測値を水面まで一定で延長する）と記載されており、図-4に、Constant補完とPower補完（指数補完）を比較し、不感帯の補完方法の違いで流量差がどのくらい出るかを検証した。その結果、不感帯の補完方法による違いはほとんど無いことから、水文観測業務規程⁵⁾で定義されている表層Constantを使用することとした。一方で、現行法ではレッドやロッドにより断面を直接計測しているが、ADCPは超音波ビームによる測深機能があるため、現行法とADCPの断面積の違いを図-5に示した。ここでは、計測方法による違いはほとんど無かった。

図-6に7観測所でそれぞれ5回(6～10月)の観測結果から、7つの手法毎に現行法との流量差を比較した。左図はADCPによる流速コンター図で、水深の実線はADCPで計測、○線は現行法での計測である。右図は横軸が図-2の7つの手法を示し、縦軸は現行法とADCP流量との流量差(%)を示す。その結果、石狩川本川、雨竜川雨竜橋のような、比較的水深や川幅が大きな地点では、概ね観測流量と一致する傾向がみられた。水深の浅い幾春別川西川向、雨竜川多度志、豊平川雁来では、ADCPの上層の多くが不感帯であり、2割水深流速を実測できておらず、現行法よりも小さい傾向となったが、絶対流速で計算した方が現行法の流量に近づく傾向となった。2・8割について、ADCPから点を抽出するspot法と区分断面内の2・8割を平均するave法では大きな差がみられなかった。

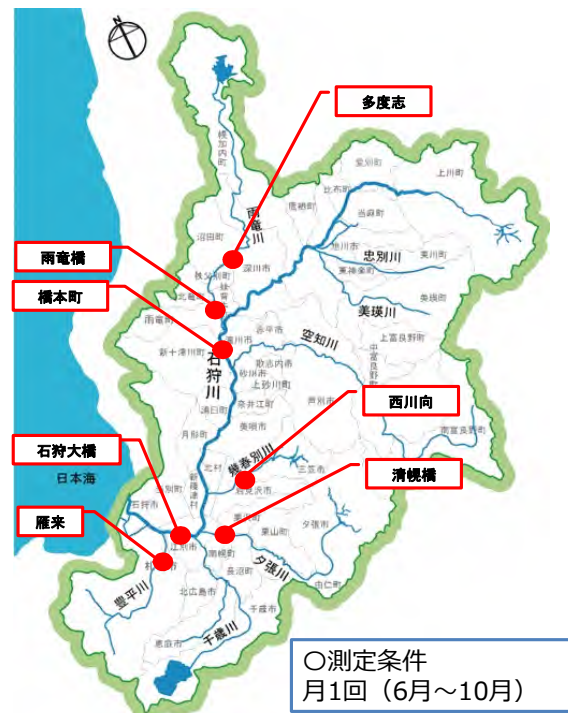


図-3 現地試験観測箇所

表-1 試験観測地点の特徴

No	水系	河川名	観測所名	水面幅 (m)	最大水深 (m)	最大流速 (m/sec)	観測方法	特記事項
1	石狩川	石狩川	石狩大橋	400	7	1.5	橋上	潮汐影響あり
2		石狩川	橋本町	120	5	2.0	橋上	自流
3		雨竜川	雨竜橋	90	1.5	1.0	徒歩・橋上	流れが緩やか
4		夕張川	清幌橋	40	4	0.4	船	流れが緩やか
5		幾春別川	西川向	20	<1	1.0	徒歩	水深が浅い
6		雨竜川	多度志	80	<1	1.5	徒歩	水深が浅い
7		豊平川	雁来	40	<1	1.5	徒歩	水深が浅い

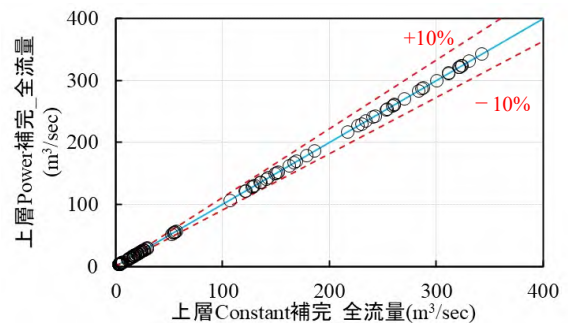


図-4 表層不感帯補完法による流量精度

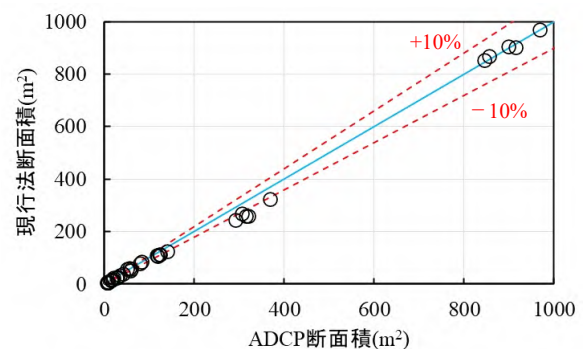


図-5 断面の計測の違いによる流量精度

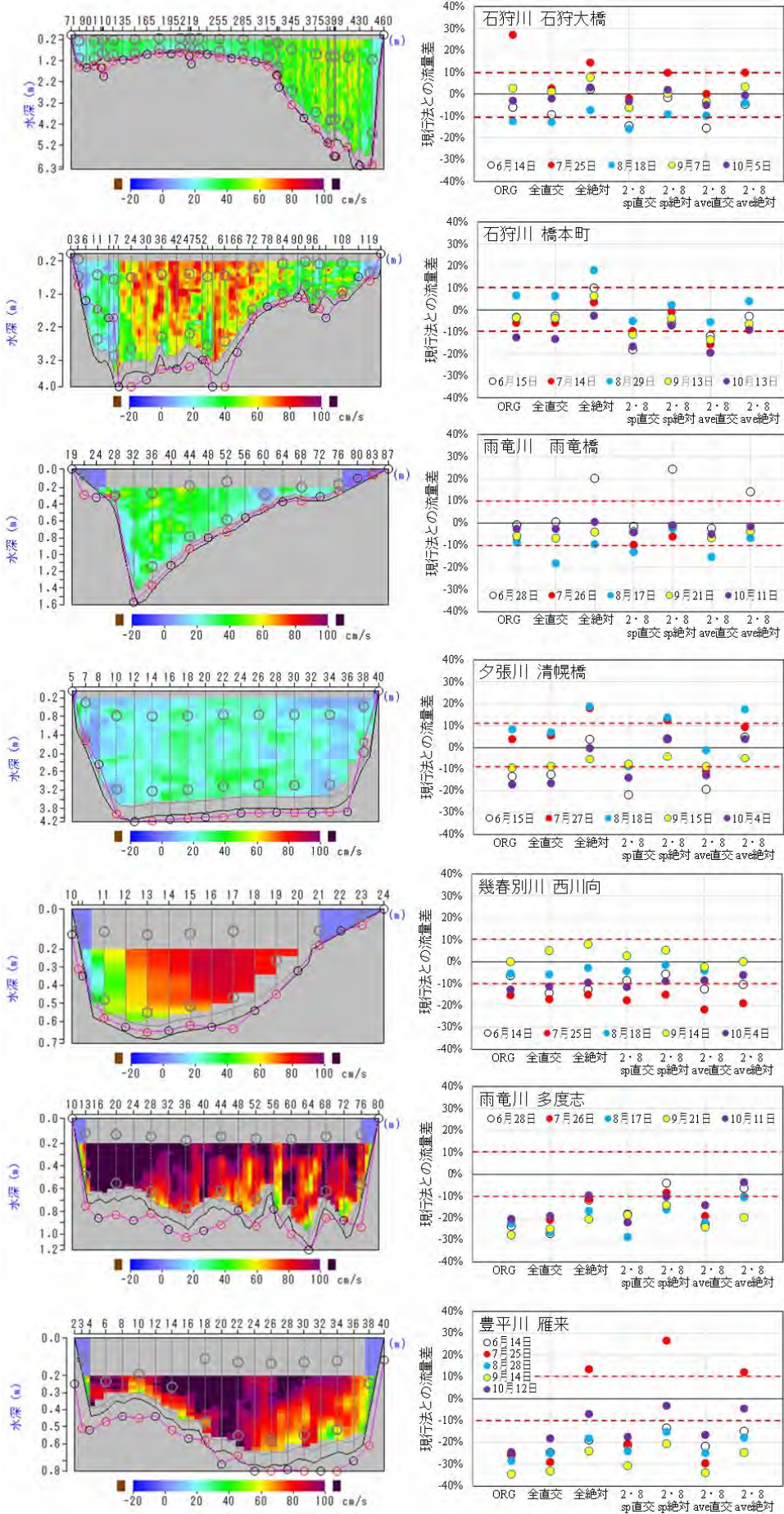


図-6 ADCPによる低水流量観測結果と現行法との流量差

(5) 総合評価

ADCP流量と観測流量の流量差について、オリジナル法を除く試験観測地点結果を図-7～図-8に示す。図-7にあるようにADCP直交成分流速を用いた流量は、現行法に比べて全体で0～20%程度と小さくなる傾向がみられ、30～450m³/secでは流量規模にかかわらず同じ傾向がみられ、30m³/sec以下では-35～10%程度の流量差に広がっていた。これに対し、図-8の絶対流速では、30～450m³/secでは概ね±10%の中にすべての手法が入る傾向がみられたが、30m³/sec以下では±25%程度の流量差が広がる傾向がみられた。これらの結果より、現行法とADCP絶対流速が直交成分流速よりも概ね一致する傾向にあることが示された。全断面直線化（メッシュデータ）と2・8割区分spot（抽出）、2・8割区分ave（区分平均）では、全断面直線化がやや+側の流量差となる場合があるが、大きな差はみられていない。2・8割区分spot（抽出）とave（区分平均）では、現行法と同じ手法なのはspot法である。流量精度が同程度であればspot法を選択することで、現行法と流量観測手法は同一になるため、流速計の選択のみが異なるだけで運用が可能である。

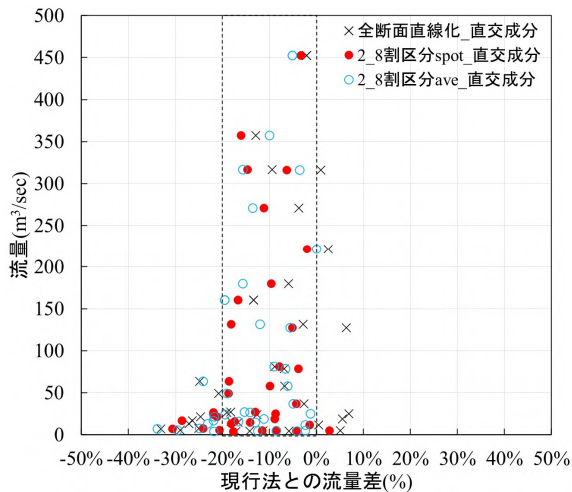


図-7 ADCP 流量（直交成分）と観測流量の比較

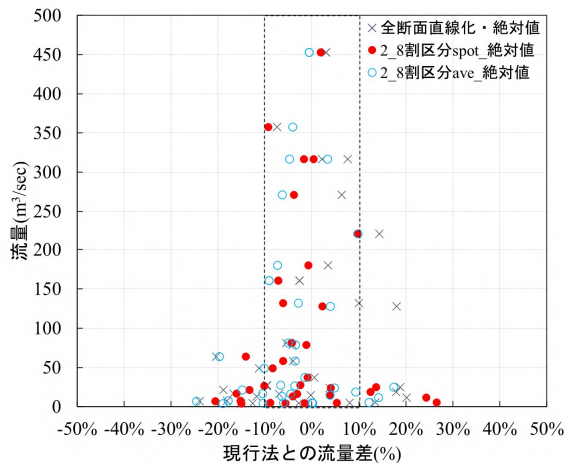


図-8 ADCP 流量（絶対流速）と観測流量の比較

SATO Yusuke, TAKESE Mayumi, YOSHITAKE Ryoma

3. 流量差が発生する観測地点（特異地点）

豊平川雁来では、ADCP流量が観測流量と比較して20%以上小さくなる現象がみられている。要因としては水深が浅く、ADCPの実測で2割水深の流速（水深0.5m未満では6割水深の流速）が取得できないためと考えられる。

図-9は9月の観測結果で、現行法の流速と、ADCPのspot、aveの流速分布を示す。ADCPの2・8割区分spotとaveは同じだが、左岸より18mまでの区間で現行法と流速が大きく異なっており、ADCPでは流速ゼロの左岸測線が現行法では最大流速となっている。

図-10をみると、左岸は水深が浅いため、ADCPの実測値が取得できていない。そのため、Constant法で上層補完しても補完する実測値が無いため流速が出てこない。このような現象が流量差を生んでいる要因と推測される。

実際にこの測線付近は流れが斜流しており、水深が浅い測線でも最大流速を発生する、極めて特殊な断面であり、同じような条件（水深の浅い）の西川向や多度志では、図-6のように大きなばらつきはみられない。

対策として、ADCPの実測が1層でも取れていれば、上層補完が可能であるが、このような条件下では、ADCPとは別の方法で流速を補填するのが最良と考えられる。例えば、図-10の左岸からの距離6mと10m測線を現行法のプロペラ式で左岸測線の流速を補填するとしたら、これ以降、中央から右岸はADCP流速との差が無いため、流量は概ね一致すると推察できる。

このような現象は浅い水深で発生することが多く、新たにADCPへ移行する観測地点について、既往の観測結果をよく精査し、予めこのような観測地点の傾向となっていないか確認をする必要がある。

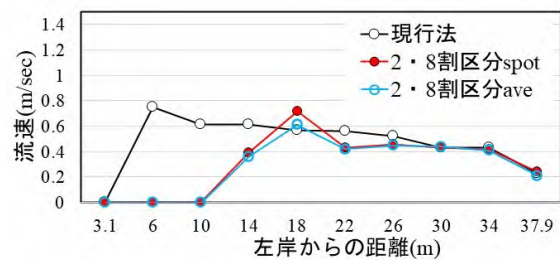


図-9 豊平川雁来の流速分布（令和5年9月）

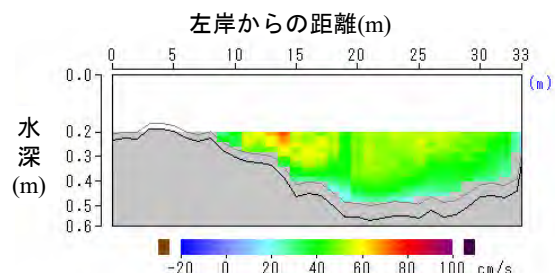


図-10 ADCP の観測結果（豊平川雁来）

4. 水位流量曲線への適用性

図-11～図-17に、ADCP流量を含めた全7箇所のH-√Q図を示す。感潮域である石狩大橋を除き、いずれの地点も現行法と線形のプロットとなり、流量差があった豊平川雁来でもH-Q式を作成するには必要十分と考えられる。

元々の流量が小さい観測所では、ごく小さな流量差でも大きな%差となる場合があるため、評価には注意を要する。今回の7地点では、ADCP低水流量観測結果は十分にH-Q式の作成に適用できると考えられる。

5. まとめ

- ・ 現行法による観測流量と比較した結果、ADCP直交成分流速を用いた流量は、現行法に比べて全体で小さくなる傾向がみられ、ADCP絶対流速は直行成分流速よりも現行法の流量と概ね一致する傾向にあることが示された。
- ・ 水深が1m以下で不感帯が多く占める場合、2割（6割）流速は補完値となるため、現行法との流量差が大きくなる傾向となり、補完方法について予め確認する必要がある。
- ・ ADCP低水流量では、ADCP2・8割区分spot_絶対流速と、2・8割区分ave_絶対流速は流量に差は無いことから、現行法と流量算出手法が同じspotを適用するのが妥当であると考えられる。

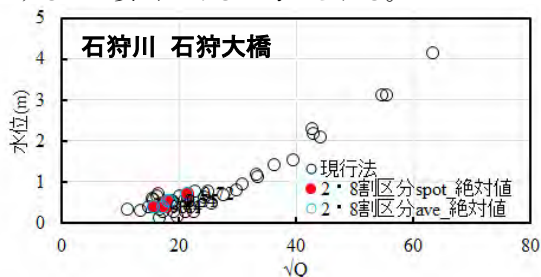


図-11 石狩川石狩大橋 H-√Q 図

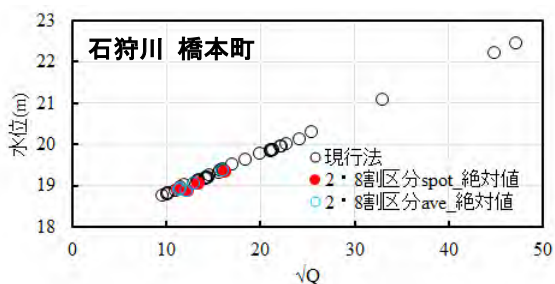


図-12 石狩川橋本町 H-√Q 図

参考文献

- 1) 宮崎亮直・高橋賢司・渡辺元之：ラジコン式 ADCP を用いた低水流量観測の高度化—現地作業の生産性向上—, 第 65 回北海道開発技術研究発表会論文, 2021.
- 2) 北谷沙紀子・川岸智樹・佐藤裕介：ラジコン式 ADCP 等による観測の有効性検討—現地作業における生産性向上—, 第 66 回北海道開発技術研究発表会論文, 2022.

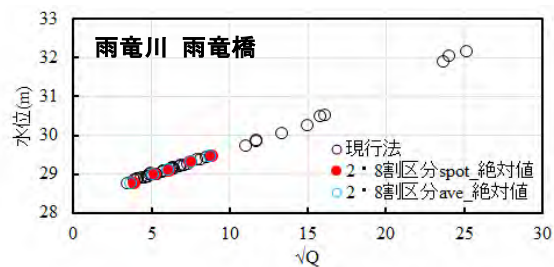


図-13 雨竜川雨竜橋 H-√Q 図

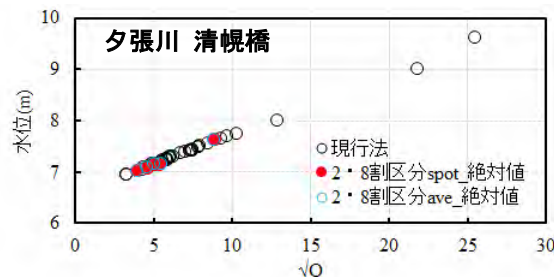


図-14 夕張川清幌橋 H-√Q 図

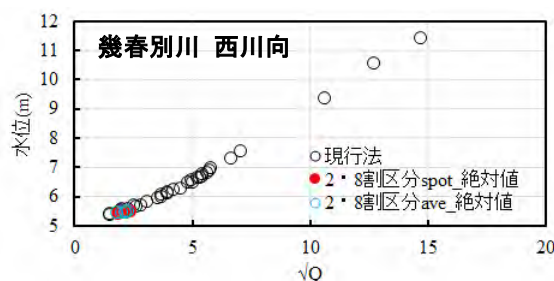


図-15 幾春別川西川向 H-√Q 図

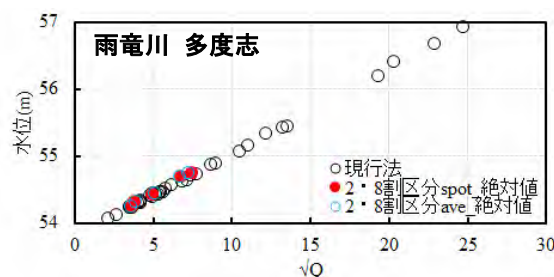


図-16 雨竜川多度志 H-√Q 図

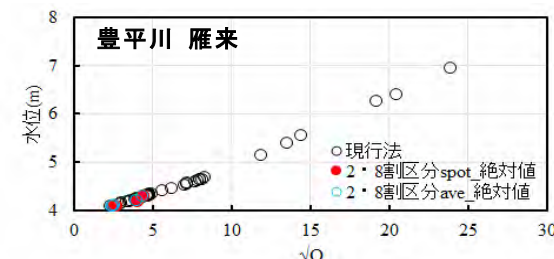


図-17 豊平川雁来 H-√Q 図

- 3) David S. Mueller and Chad R. Wagner : Measuring Discharge with Acoustic Doppler Current Profilers from a Moving Boat, U.S. Geological Survey Techniques and Methods 3-A22, 2014.
- 4) 全日本建設技術協会：水文観測 平成 14 年度版, 第 4 回改訂版, 2002.
- 5) 国土交通省 水管理・国土保全局：水文観測業務規程細則, 国水情第 45 号, 2017.