

洪水時高濁度下におけるADCPによる 流量把握の試み

AN ATTEMPT OF FLOW DISCHARGE MEASUREMENT USING ADCP UNDER HIGH TURBIDITY CONDITIONS ON FLOOD

高 椋 恵¹・岩本演崇¹・秋田麗子²・手計太一³
Kei TAKAMUKU, Hirotaka IWAMOTO, Reiko AKITA and Taichi TEBAKARI

¹正会員 修(工) 日本工営株式会社 流域・防災事業部 河川砂防部
(〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2)

²正会員 学(工) 日本工営株式会社 流域・防災事業部 河川砂防部
(〒102-0083 東京都千代田区麹町4-2)

³正会員 博(工) 富山県立大学 工学部 環境工学科 講師
(〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

This is the study about flow discharge measurement using Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) and non-contact current meter at the estuary of Kurobe river while implementing cooperate sediment flushing with Unazuki Dam and Dashidaira Dam. The flow was successfully measured under any conditions such as high turbidity as long as the water depth was not shallow.

The study found that there were about 40% differences in the flow discharge measurement results between ADCP and non-contact current meter because ADCP is able to measure the river-bed variations while flooding.

Moreover, the flow discharge measurement result on the estuary was over 20% less than the 13-km upper stream (Aimoto). Due to the result, the vertical discharge variations and infiltrations from river-bed into groundwater could have great impacts on the Kurobe river.

Key Words : field observation, Acoustic Doppler current Profiler(ADCP), high turbidity, streamflow observation

1. はじめに

我が国のダムでは、土砂生産の活発な山間部から供給される土砂がトラップされ、堆砂によるダム機能の低下、下流河道における河床低下、アーマ化、海岸線の後退等の問題が起こっている。このため、黒部川宇奈月ダムにおいては、平成13年より、上流の出し平ダムと連携して連携排砂、連携通砂を実施し、ダム堆砂抑制と下流河道・海岸への土砂供給を図っている。

連携排砂時には、下流河道の複数地点において同時浮遊砂観測が行われ、環境に対する影響が監視されている。河口付近の下黒部橋(河口より0.6km)においても、複列砂州の主流となる左右岸滞り筋でそれぞれ採水調査が実施され、河口への浮遊砂濃度のピーク値、フラックス等が議論されてきた。一方で、浮遊砂フラックス評価に用いられる河川流量は、上流の愛本(河口より13.4km)で計測されたものが用いられており、流下距離に応じた流量波形の変化や扇状地河川での流れの伏没¹⁾、複列砂州にお

ける滞り筋単位での流量の相違を考慮すると、下黒部橋地点での流量実態を把握することが急務の課題であった。

このような課題に対し、流量を任意の位置で、容易に計測可能な手法として、電波流速計²⁾、超音波ドップラー流速分布計(ADCP : Acoustic Doppler Current Profiler)³⁾⁷⁾が挙げられる。ADCPは、表層流速1点を計測する浮子や電波流速計と異なり、水深方向の流速分布を計測可能であり、河川横断方向にADCPを移動させることで、流速の断面分布が計測可能である³⁾。

そこで我々は、平成23年6月の連携排砂時に、ADCPを含む複数の手法によって下黒部橋での流量観測を行った。ADCPは高濁度下における観測精度が低いことが指摘されている⁸⁾だけでなく、高流速時における流量観測実績が数少ない⁹⁾。

本稿では、複数の滞り筋がクロスする地形条件、3～5m/s以上という高流速、さらに、5,000ppmを超える排砂特有の高濁度という環境下での現地流量観測の一事例として、この際の調査結果に関して報告を行うものである。

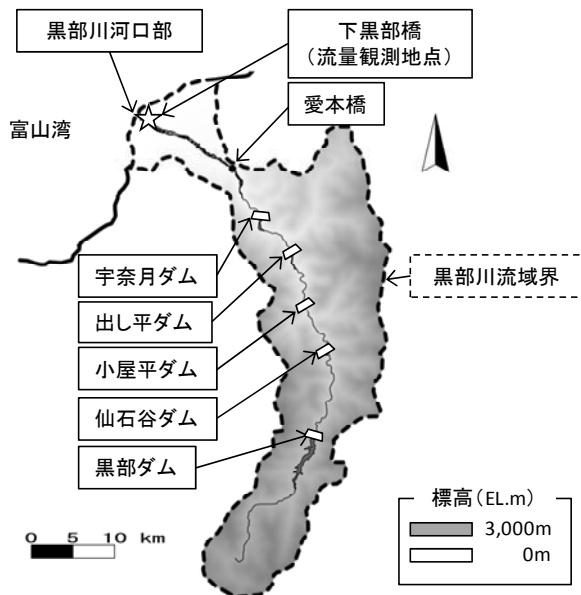


図-1 流域概要

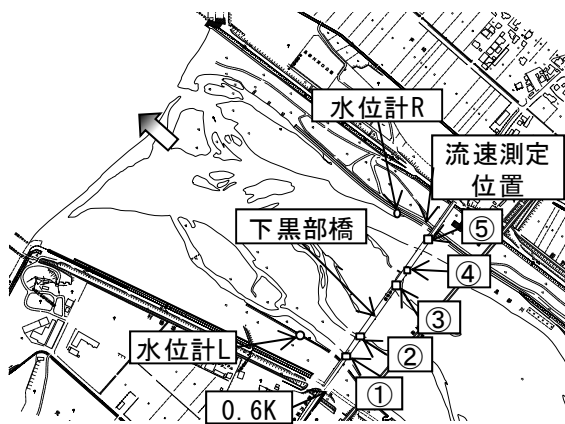


図-2 観測地点(平面)

2. 現地観測概要

(1) 観測地点

観測を実施する黒部川は、最上流に黒部ダムを有し、下流には出し平ダム、宇奈月ダムがあり(図-1参照)、平成13年以降、毎年、連携排砂を実施している。

観測は黒部川河口の0.6K付近、下黒部橋地点で実施した(図-2参照)。0.6Kにおける定期横断測量結果を図-3に示す。観測箇所には4つのチャンネルがあり、メインチャンネルは右岸寄りに位置する。本報告では、便宜的に左岸側からサブA、サブB、サブC、メインとして各チャンネルを呼称する。

(2) 観測項目および観測手法

河口での流量を測定することを目的として、表-1に示す項目について観測を行った。電波流速計による表面流速計測は、各チャンネルを網羅するよう観測地点①～⑤において実施した(図-3参照)。

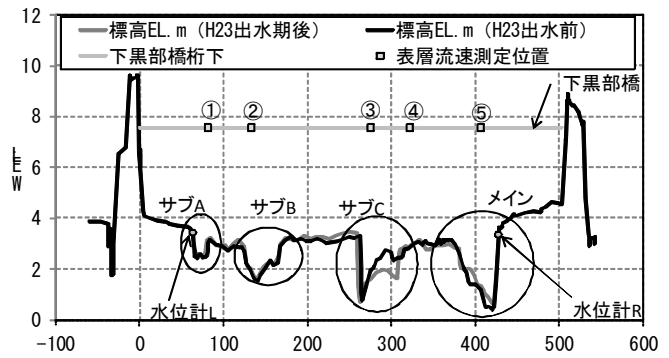


図-3 観測地点(横断)

表-1 観測項目

観測項目	観測方法	観測ピッチ	備考
水位	圧力式水位計 HOBO水位ロガー (Onset社製)	10分	左右岸に設置
流速	電波式流速計Ryukan (横河電子機器株式会社製)	1時間～3時間	下黒部橋上から測定
	下黒部橋上流の左右岸で実施	1時間～3時間	
	橋上からボートに固定したADCPを 横断方向に曳航させながら測定	2時間～6時間	高流速が予想されたことから、高流速対応型ボートを使用
濁度	光学式濁度計 Compact CLW (アレック電子社製)	1時間～3時間	ワイヤーロープによる吊り下げ
表層採水	バケツ採水	1時間～3時間	採水後、試料分析(SS、粒度)

表-2 ADCPの設定

Mode	12
Sampling Interval	5.0sec
pings/Ens	4
Bin Size	0.25m
Bins	40
blank	0.25m
Standard Dev.	2.59cm/s
BT Mode	5
BT pings/Ens	4

ADCPによる計測については、予測される流況(最大流速5m/s、最大水深5m)を考慮して以下のとおり決定した。

観測箇所における最大流速が4～5m/sとなるため、揺動が小さく安定しやすい高流速対応型ADCP専用ボートを用いた。

ADCPの計測モードは高速流に適したハイスピードピンギングモード(Mode 12)、計測層厚を0.25m、層数を40、不感帯幅を層厚と同じ0.25mとした。観測間隔は5.0secとし、1アンサンブルについて4回超音波を発信した。このとき、計算される計測誤差は、2.59cm/secとなる。ADCPの横断位置は、目視により実施するため、ボトムトラッキング(BT)機能は、水深計測のみに用いた(表-2参照)。

ADCPによる流量観測は二瓶ら(2008)と同様に河川横断方向にADCPを時々刻々移動させる方法を採用した。ここで、ADCPの横断方向への移動速度は、経験的に0.5m/s⁴⁾とする。ただし、USGS⁴⁾による方法は、片道約一時間を要するため、採用しなかった。

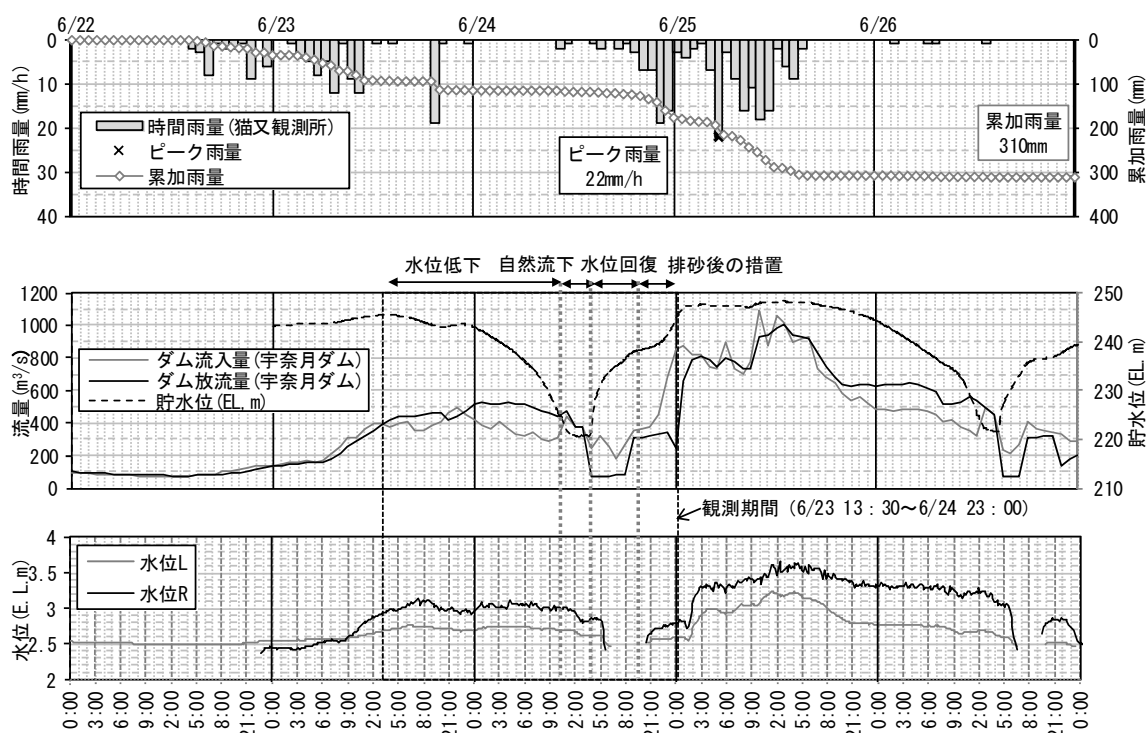


図-4 排砂時の状況(上段：雨量，中段：宇奈月ダムの諸量，下段：下黒部橋地点の水位)

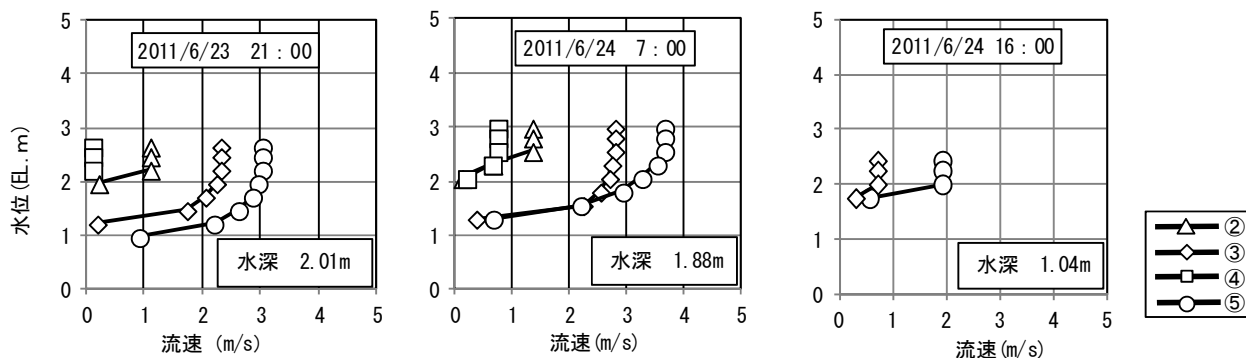


図-5 流速の鉛直分布(ADCP)

3. 現地観測結果

(1) 平成23年連携排砂の概要および観測期間

連携排砂中の降雨量，宇奈月ダムの流入，放流量，貯水位及び下黒部橋地点の左右岸の水位を図-4に示す。平成23年6月22日より降り出した降雨により，23日7時50分に出し平ダムにおいて排砂基準流入量 $250\text{m}^3/\text{s}$ を超過し，23日13時30分から宇奈月ダムの水位低下が開始された。

流量観測はこの6月23日13時30分から，連携排砂における「水位低下→自然流下→水位回復→排砂後の措置」の一連の操作期間を網羅し，排砂後の措置が完了した6月24日23時00分まで30分～2時間間隔で実施した。

(2) 観測結果

a) ADCPによる流速鉛直分布

図-5にADCPで観測した鉛直方向の流速分布を示す。丸付きの番号は各観測地点を意味する。メインチャネルに対応する⑤，次に大きいサブCに対応する③については，概ね対数則に従う流速分布が得られた。メインチャ

ネルの最大流速は2011/6/24 7:00における 3.7m/s であった。一方，左岸側の水路サブAに対応する①においては，水深が小さすぎたためにデータが得られず，観測点④においても流速が得られているとは言い難い。

ADCPで測定した流速の妥当性検証の一つの方法として，理論値との比較を行ったものを図-6に示す。理論値算出にあたっては，安芸の流速鉛直分布式⁹⁾を用い，二瓶¹⁰⁾の検討と同様に算出した。

図中の6/23 21:00，6/24 7:00の観測値は，表層付近において理論値と合致しているが，6/24 16:00の観測値は合致しない。前二者は，水深が， 2.01m ， 1.88m であり，後者は 1.04m であることを考慮すると， 2m 程度以上水深が確保されている場合，理論値との整合がとれるようである。

b) 表層流速と表面流速の比較

流速の観測結果を図-7に示す。図-7の左図は測定した流速の推移，右図はADCPと電波式流速計の比較である。なお，ADCPの流速は第1層の表層流速であり，電波式

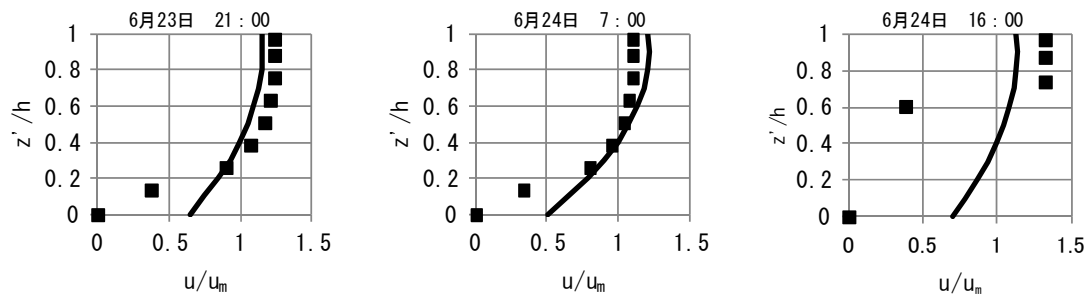


図-6 観測点⑤における無次元流速鉛直分布の観測値と理論値

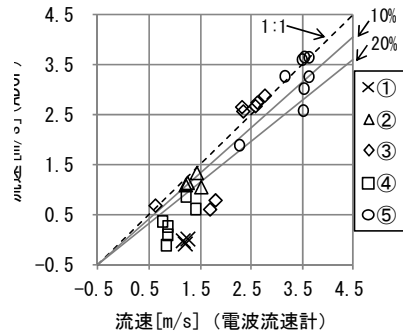
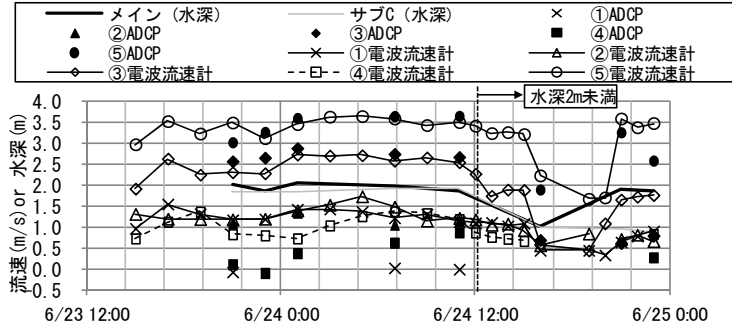


図-7 表面流速と表層流速

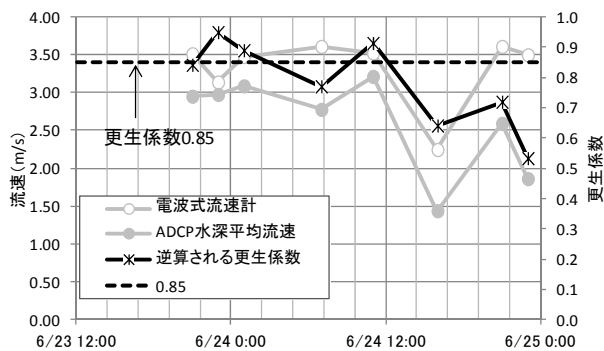


図-8 更生係数(観測地点⑤)

流速計の流速は表面流速にあたる。

水深の大きいメインチャネル(観測地点⑤)およびサブC(観測地点③)については、概ね両者が一致している。一方、水深の小さいサブA(観測地点①)およびサブB(観測地点②)ではADCPによる流速が電波式流速計と比較して小さい。

右側の図ではADCPと電波式流速計の比較を示しているが、概ねADCPのほうが小さい傾向が見られ、ADCPの表層流速が電波式流速計の表面流速より小さくなる一般的な知見と合致した。ただし、水深の小さい1.5m/s以下の流速帯では、ADCPと電波式流速計の測定結果がかい離している。

以上より、水深2m以下の場合のADCPによる流速計測精度が低い、水深が2m以上の場合には両観測手法による計測結果はほぼ合致するといえる。

c) 水深平均流速

電波式流速計を用いた流量を算定する場合、必要となるデータは河積および断面平均流速である。電波式流速計は表面流速のみを測定することから、何らかの変換が

必要である。観測地点⑤において、ADCPにより得られる水深平均流速、電波式流速計により表面流速、逆算される更生係数を図-8に示す。下黒部橋地点で水深が確保されていた6/24 12:00までは更生係数は0.85程度であるが、水位回復時に水深が低減すると更生係数は小さくなり、0.65程度となった。

以上から、水深が2m程度確保されている場合、表面流速から断面平均流速を求めるための更生係数は0.85程度であるが、水深が2m程度以下の場合は、その限りではない。

(2) 流量の推定

a) 流量の算定方法

ADCPおよび電波式流速計により流速観測を実施したが、流量の算定は2種類の流速に対してそれぞれ下記のとおり求めた。

①電波式流速計で測定した表面流速に対して、別途実施した横断測量(出水期前後の2断面)と水位から算定される河積を乗じることにより流量を算定する。また表面流速から断面平均流速を算定する場合の更正係数は0.85を用いる。②ADCPにより得られた鉛直方向かつ横断面に対して垂直方向流速とADCPにより得られる河道地形から流量を算定する。

b) 流量の推定

流量の推定結果を図-9に示す。なお、ADCP流量はチャネル毎とし、メインとサブCについてのみ示す。洪水時は河道地形が変化することから、電波式流速計で用いる河積も変化することになる。図-10では出水前と出水後の河道地形を用いた場合の比較を示しているが、用

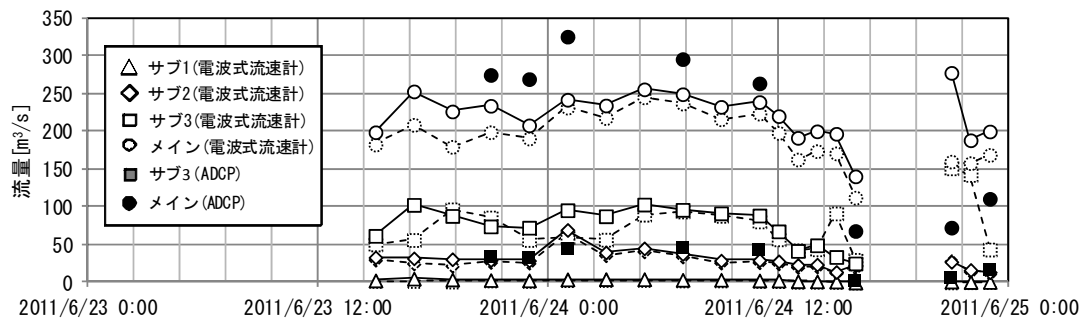


図-9 流量の観測結果

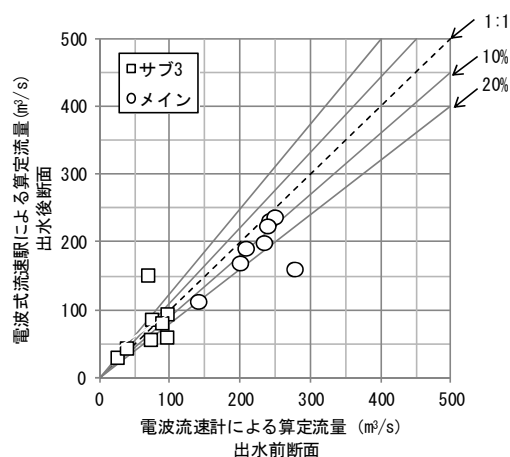


図-10 出水前後での比較

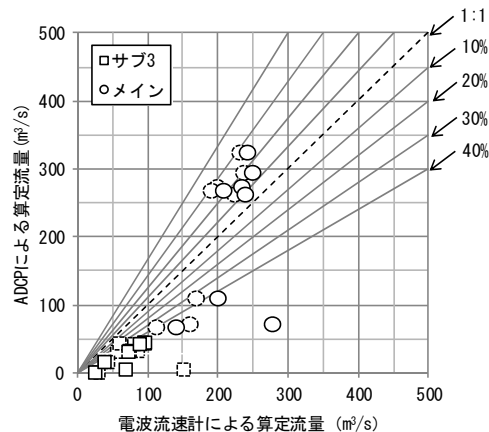


図-11 ADCPと電波式流速計による流量の比較
実線：出水前断面，破線：出水後断面

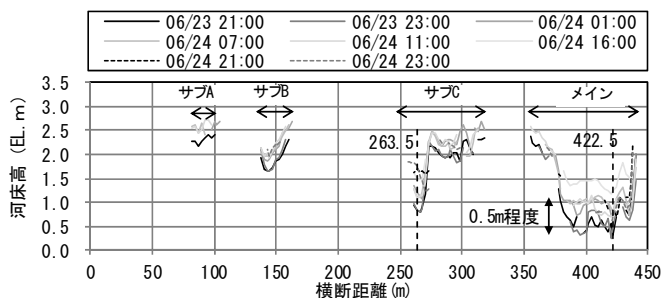


図-12 河床変動状況

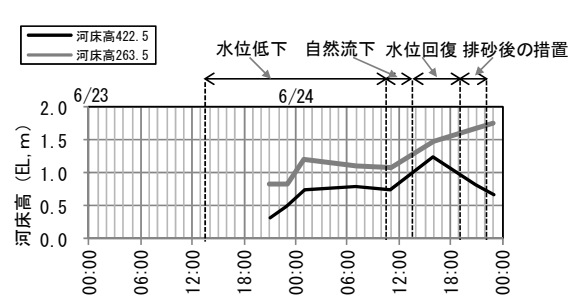


図-13 河床変動の推移

いる地形条件による流量の差異は20%程度であった。

また図-11ではADCPと電波式流速計による流量の比較を示す。メインチャネルの流量には概ね30%～40%程度の相違があった。サブCについても同様に一部を除いて最大で40%程度の相違があった。この原因については次に考察する。

(3) 河道地形の変化

ADCPでは流速のみならず、水深についても測定可能であるため、底面の流砂状況、水中の濁度により測定精度が影響を受けるものの、出水中の河道地形の変化をとらえることが可能である。

図-12に、ADCPにより得られる水深と水位計のデータを用いて求めた下黒部橋地点の河床変動の状況を示す。図-13には横断距離263.5m地点(サブCに対応)及び422.5m地点(メインに対応)における河床変動の推移を示す。流

量の大きい水位低下時には河床が若干上昇し、高濁度となる自然流下が始まると河床が0.5m程度上昇し、その後、水位回復、排砂後の措置を通じて、メインチャネルで河床が低下していく状況が確認される。

このような刻々の河床変動状況がADCPと電波式流速計による流量の相違として表れていることが分かる。

(4) 上流地点流量と下黒部橋地点流量

黒部川では下黒部橋より13km程度上流の愛本地点において水位・流量の連続観測を実施している。図-14に愛本地点と電波式流速計により得られた下黒部橋の各流路の合計流量を比較したものを示す。総じて愛本地点流量よりも下黒部橋流量のほうが小さい傾向にあり、またその違いは20%以上ある。流量推定精度に加え、黒部川では伏没等による流量の減少も指摘されており、これらの要因が含まれると考えられる。

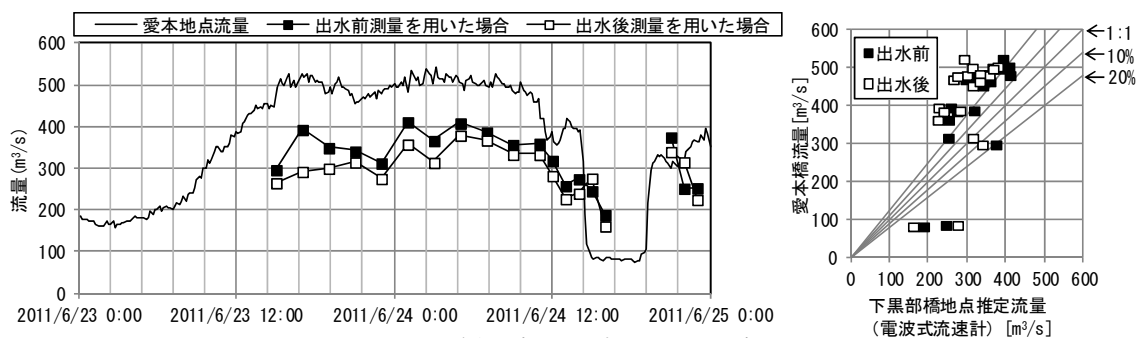


図-14 愛本地点と下黒部橋における流量

4. おわりに

(1) まとめ

複数の滞筋がクロスする地形条件、3～5m/s以上という高流速、さらに、5,000ppmを超える排砂特有の高濁度という流量計測上の困難さを踏まえつつ、実際に、平成23年6月の連携排砂時に、ADCPを含む複数の手法によって下黒部橋での流速観測を試みた。得られた知見を下記に示す。

- 電波式流速計の表面流速とADCPの第1層の流速を比較した結果、表面流速が10%程度大きいという一般的な知見と合致した。
- ADCPにより得られた鉛直流速分布は、水深が2m程度以上ある場合に、概ね理論値と一致した。
- 電波式流速計による流量推定に際し、出水前後の横断面の違いにより、20%程度の違いがあった。
- ADCP観測により、数時間以内に50cm程度の河床変動(堆積→侵食)が確認され、連携排砂のような高濁度下では刻々と河床状況が変化することを把握した。
- 地形条件の相違等から、ADCPによる流量と電波式流速計による流量では、40%程度の違いがあることを把握した。
- 上流の愛本地点と、今回計測した下黒部橋では流量に20%以上の相違があることを確認した。

(2) 今後の課題

本稿で報告した観測流量を用い、浮遊砂観測結果から河口への浮遊砂フラックスの算定を行ったところ、従来手法とは20%程度の相違が見られた。特に、従来は左右岸流路の配分を濃度比で割り振っていたために、流速が小さく高濁度となっている滞留域で大きいフラックスが計上されるという矛盾があったが、流速分布に応じて配分したことで、主流部でのフラックスが大きいという実態に合致した結果が得られた。観測精度上の課題は多々あるものの、流量の断面分布、時間変化を捉えたことによる意義は大きかったと考えている。

今後も、浮遊砂観測成果を最大限活用し、土砂動態の

現象把握を進めていく上で、連携排砂時の流量計測が重要であり、その精度向上のため改善を重ねていく所存である。

謝辞：黒部河川国道事務所の方々には、現地観測の許可、データ提供等の面で多大なご協力をいただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 榎根勇編著：実例による新しい地下水調査法，山海堂，pp.23-32，1991。
- 2) 山口高志，新里邦生：電波流速計による洪水流量観測，土木学会論文集，No.497／II-28，pp.41-50，1994。
- 3) 二瓶泰雄，色川有，井出恭平，高村智之：超音波ドップラー流速分布計を用いた河川流量計測法に関する検討，土木学会論文集B，Vol.8，No.2，pp.99-114，2008。
- 4) Oberg, K.A., Morlock, S.E. and Caldwell, W.S.: Quality-assurance plan for discharge measurements using acoustic Doppler current profilers, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2005-5183, 2005。
- 5) 岡田将治，萬矢敦啓，橘田隆史：日本におけるADCPを用いた流量観測データの品質管理手法の考察，河川流量観測の新時代，第2巻，2011。
- 6) 深見和彦，今村仁紀，田代洋一，児玉勇人，中島洋一，後藤啓介：ドップラー式非接触型流速計(電波・超音波)を用いた洪水流量の連続観測手法の現地検証～浮子測法との比較～，土木学会河川技術論文集，Vol.14，pp.307-312，2008。
- 7) 萬矢敦啓，大平一典，菅野裕也，深見和彦：非接触型電波式流速計を用いた洪水流量自動観測手法の一考察，土木学会河川技術論文集，Vol.16，pp.53-58，2010。
- 8) 二瓶泰雄，岩本演崇，谷古宇洋介：H-ADCPの有効計測範囲の検討，水工学論文集，Vol.54，pp.1099-1104，2010。
- 9) 安芸咬一：浮子特に竿浮子による観測流速の更正係数に就いて，土木学会誌，Vol.8，pp.105-129，1932。
- 10) 二瓶泰雄，酒井雄弘：実河川洪水流における浮子の更正係数，土木学会論文集B，Vol.66，No.2，No.2，104-118，2010。

(2012. 4. 5受付)