

流量観測高度化に向けた複数の流量観測手法の 観測精度の比較検証

COMPARATIVE INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF DISCHARGE OBSERVATION METHOD FOR THE UPGRADING

福岡達信¹・水野寛太²・柳瀬伸一³・西澤諒亮⁴・

日高初淑⁵・中岡洋一⁶

Tatsunobu FUKUOKA, Kanta MIZUNO, Shinichi YANASE, Ryosuke NISHIZAWA,
Hatsuyoshi HIDAKA and Yoichi NAKAOKA

¹非会員 修(工) 株式会社建設技術研究所 中部支社河川部(〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-5-13)

²正会員 (工) 株式会社建設技術研究所 中部支社河川部 (同上)

³非会員 (工) 株式会社建設技術研究所 中部支社河川部 (同上)

⁴正会員 修(工) 株式会社建設技術研究所 中部支社河川部 (同上)

⁵非会員 国土交通省中部地方整備局中部技術事務所(〒461-0047 名古屋市東区大幸南1-1-15)

⁶非会員 国土交通省中部地方整備局中部技術事務所(同上)

River discharge observation that usually float method is selected needs advancement of precision, safety and efficiency. Now, there are several techniques proposed and used but each method has some advantages and some disadvantages. For example, ADCP has higher precision than other methods but that needs higher costs and more times.

In this report, river discharge observation data by several techniques that are float method, ADCP, radio current meter, image analysis method are compared in terms of precision, safety, and cost at Ryogun and Kushida Bridge in Kushida River.

Key Words : Kushida River, float method, ADCP, radio current meter, image velocimetry

1. はじめに

従来、高水流量観測では浮子観測が主流であり、多くの観測所で観測が行われているが、橋場ら¹⁾によると、観測精度について問題がありながらも他の観測手法と比べると安全性、確実性が高く、一定の精度が保たれているために、全国の高水流量観測の中心的手法として適用されていると述べられている。

高水流量観測の現場において、同じく橋場ら¹⁾によれば現行の浮子観測については、「確実性への脆弱性」

「安全性への脆弱性」「迅速性への脆弱性」「観測コストへの課題」があると述べているが、中部地方整備局管内においても、観測地点が上流山間部に位置しているために、観測作業員が現地に到着する時間が遅れ、洪水の立ち上がり〜ピーク流量付近が観測できなかったという事態が発生しており、観測精度の向上、観測作業の効率

性、安全性、経済性等の観点から流量観測の高度化が求められている。

近年、観測機器の発展により以前よりも精度の高い観測データの取得が可能になっており、作業効率・安全性・経済性の観点を満たすことが可能な新たな流量観測手法として、ADCP観測²⁾、電波流速計観測³⁾、流速画像解析⁴⁾等の新技術が検討されている。これらの手法の中で、ADCP観測はデータ取得数が多く、比較的精度がよい観測手法とされているが、効率性や経済性の面で課題がある。一方、他の新技術についてもそれぞれ課題があり、ADCPとの比較による精度の確認等、個別の検討・研究事例はあるが、実洪水を対象に複数の観測手法を同時に比較検証し、観測精度他の観点から最適な手法を選定した研究・検討はみられない。

本報告では、浮子観測に課題がある櫛田川の両郡地点(基準点)及び櫛田橋地点において、浮子観測、ADCP観測、電波流速計観測、流速画像解析(STIV)の4手法

について、高水流量観測時に流量を同時に観測して比較検討し、高精度かつ効率性・安全性・低コスト化を図ることが可能な観測手法を検討したものである。

2. 観測手法の概要

本報告で実施した新たな流量観測手法として、ADCP観測、電波流速計観測、流速画像解析の観測手法の概要について以下に整理する。

(1) ADCP観測

ADCP (acoustic doppler current profiler・超音波多層式流速計) とは、超音波のドップラー効果を応用することによって、断面内の三次元流向・流速分布を測定する機器である。この測定器を船等に搭載し、移動しながら測定することによって大水面、大水深領域の通過断面内流速を短時間で測定できる。また、河床等に固定した場合は、流速分布の時間変化を測定できる。なお、本報告では、櫛田橋地点ではTELEDYNE RDI社、両郡地点ではSonTek社のADCPを使用して観測した。

(2) 電波流速計観測

電波流速計観測とは、河川水面に向けて照射した電波のドップラー効果を利用し、表面流速を観測することにより流量を算出するものである。実河川では、横断方向に適切な流速測線を設定し、橋梁の桁下に設置して観測する固定式流速計と、小型化・軽量化され、内臓電池駆動で測量用三脚に設置可能な可搬式流速計がある。

(3) 流速画像解析 (STIV)

流速画像解析とは、洪水時に流下する流木やゴミあるいは波紋を河岸に設置したビデオカメラにより撮影し、画像解析から表面流速を測定するものである。解析手法にはPIV法とSTIV法がある。

STIV法は、主流方向に想定した検査線上の時空間画像を用いる。撮影した動画は斜め画像であるため、標定点を用いて幾何補正を行い、解析に用いる。

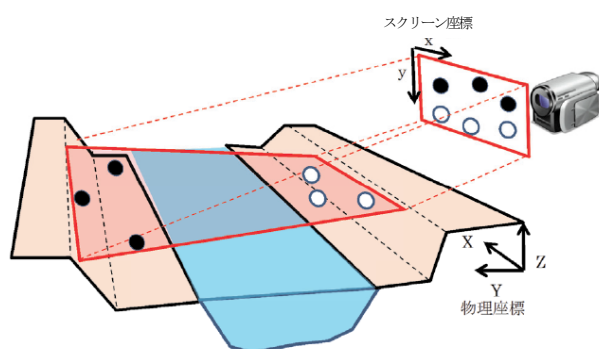


図-1 画像変換イメージ

3. 高水流量観測の概要

上記3つの新たな流量観測手法と、従来の浮子観測法により、高水流量観測を実施した。観測の概要について以下に整理する。

(1) 流量観測地点

本報告では、三重県松阪市等を通る櫛田川（幹川流路延長87km、流域面積436km²）の河口から約8km地点の櫛田橋、及び河口から約14km地点の基準地点・両郡の2地点で流量観測を行った。主な観測地点の諸元は表-1に示すとおりである。

表-1 櫛田川観測所諸元

	櫛田橋	両郡（基準点）
距離標	7.8km	14.3km
セグメント	2-1	2-1
勾配	1/1,470	1/530
川幅	約280m	約100m
線形	直線区間	直線区間
計画流量	4,500m ³ /s	4,300m ³ /s
代表粒径	9.6mm	12.5mm

(2) 対象洪水

本報告で実施した高水流量観測は、平成27年7月16日～7月17日に日本に上陸した台風11号の出水を対象としている。出水の概要は以下の通りであり、観測時の水位ハイドロを図-2に示す。

両郡地点では水位の立ち上がりは16日10時頃であり、16日21時頃に水防団待機水位、23時頃に氾濫注意水位を超過し、17日7時頃にピーク水位を記録した。その後22時頃までには水防団待機水位を下回った。

櫛田橋地点においても同様に、水位の立ち上がりは16日12時頃であり、17日0時頃に水防団待機水位、17日2時頃に氾濫注意水位を超過し、17日8時頃にピーク水位を記録した。その後16時頃までには水防団待機水位を下回った。

(3) 流量観測の概要

洪水時の観測実施時刻と水位は図-2に示す通りであり、浮子観測の実施時に合わせて洪水ピーク前2回、洪水ピーク付近1回、洪水ピーク後1回の最大4回実施した。

なお、流速画像解析については両地点に設置されているCCTVカメラの映像（図-3参照）を用いて実施したが、夜間は両地点ともにカメラの解像度が低く、解析が可能だったのは洪水ピーク付近と洪水ピーク後の2回のみであった。

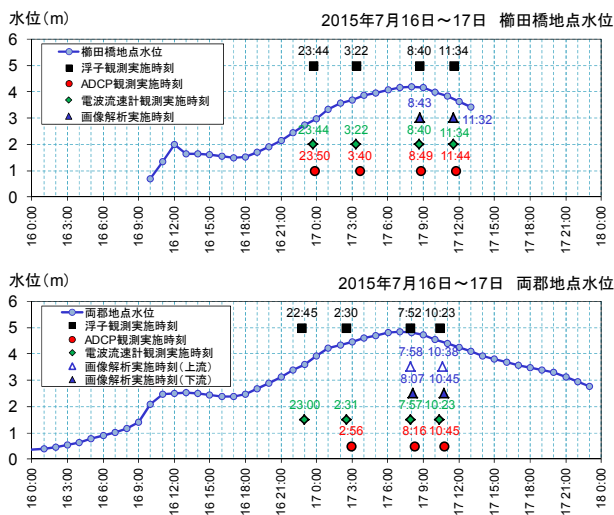


図-2 観測概要と水位



図-3 CCTVカメラによる画像解析設定画角

4. 流量観測結果

高水流量観測結果について、櫛田橋地点と両郡地点の観測地点毎に各手法の比較評価を行った。結果を以下に整理する。

(1) 櫛田橋地点における流量観測結果

櫛田橋地点の高水流量観測による手法毎の算出流量を表-2に、各手法の観測範囲を図-4に示す。さらに、ピーク付近の観測時のADCP観測結果（横断流速コンター図）を図-5に、 $H-\sqrt{Q}$ 、 $H-V$ の算出結果を図-6に、ADCP観測結果から算出した更正係数の横断分布図を図-7に示す。

櫛田橋地点の観測流量算出には、電波流速計観測と流速画像解析の流量について、浮子観測の表面流速の更正係数、ADCP観測で得られた鉛直流速分布から算出した更正係数、の2つの更正係数を使用して流量を算出した。浮子観測を除く3手法の流量は、いずれの手法も概ね同様の傾向にあるが、浮子観測の観測結果と比較すると流速・流量ともにやや小さく算出された。観測流量について、ADCP観測から算出した更正係数に基づいて算出した流量は、浮子観測の更正係数で算出するよりも小さくなる傾向にあるが、その差異はわずかである。

表-2 手法別観測流量（櫛田橋地点） 単位： m^3/s

観測手法	1回目	2回目	3回目	4回目
浮子観測	849	1,367	1,628	1,398
ADCP	828	1,192	1,306	1,079
電波流速計※	748	1,247	1,280	1,134
	723	1,239	1,260	1,144
画像解析※	—	—	1,395	1,167
			1,368	1,168

※上段は浮子観測、下段はADCP観測の更正係数

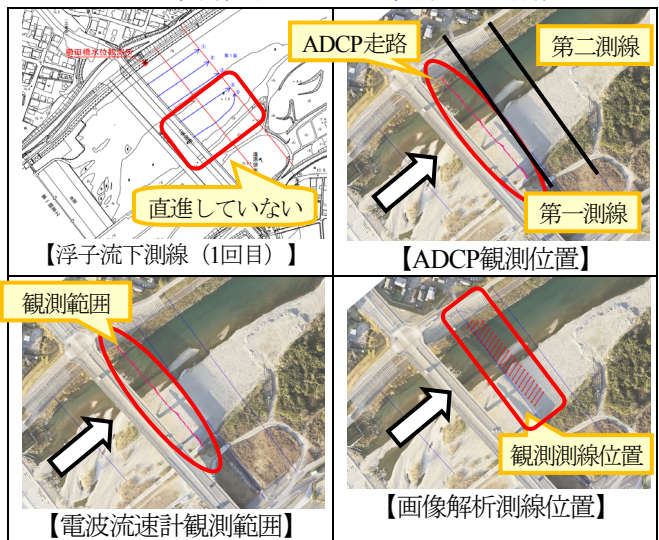


図-4 観測範囲（櫛田橋地点）

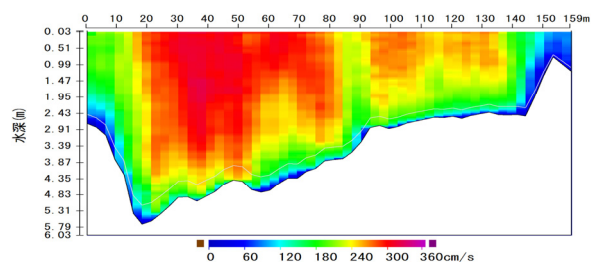


図-5 ADCP観測流速分布（櫛田橋地点）

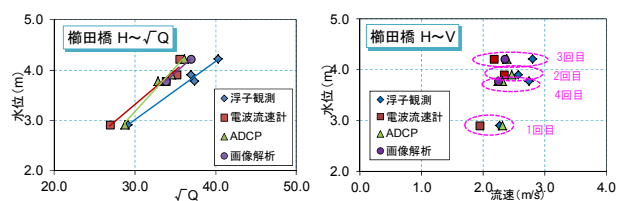


図-6 $H-\sqrt{Q}$ 、 $H-V$ （櫛田橋地点）

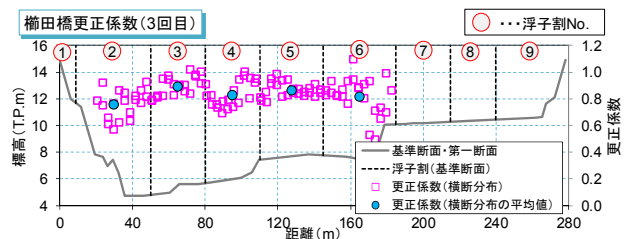


図-7 ADCP観測流速から算出した更正係数（櫛田橋地点）

(2) 両郡地点における流量観測結果

両郡の高水流量観測による手法毎の算出流量を表-3に、

各手法の観測範囲を図-8に示す。さらに、ピーク付近の観測時のADCP観測結果（横断流速コンター図）を図-9に、 $H\sim\sqrt{Q}$ 、 $H\sim V$ の算出結果を図-10に示す。両郡では、ADCP観測時に河床高の欠測や異常値を示しており、算出流量も他の手法と傾向が一致していない。他の手法の流速・流量は概ね同様の傾向を示していることから、ADCP観測は、流れの影響を受けた機器の揺動等により適切な観測データが取得できなかったものと考えられる。

表-3 手法別観測流量（両郡地点） 単位： m^3/s

観測手法	1回目	2回目	3回目	4回目
浮子観測	1,005	1,483	1,726	1,344
ADCP	—	856	2,223	943
電波流速計	737	1,228	1,214	1,151
画像解析（上流側）	—	—	1,196	917
画像解析（下流側）	—	—	1,222	—

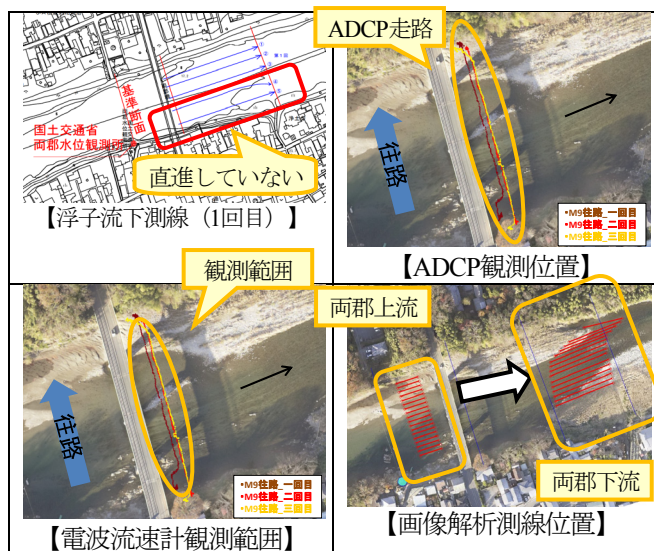


図-8 観測範囲（両郡地点）

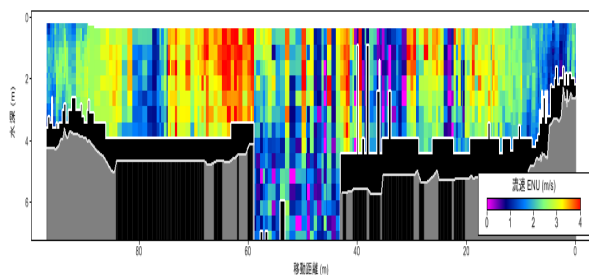


図-9 ADCP観測結果（両郡地点）

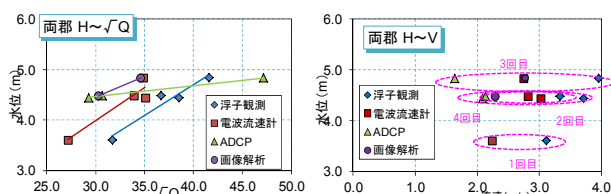


図-10 $H\sim\sqrt{Q}$ 、 $H\sim V$ （両郡地点）

5. 得られた成果

今回の高水流量観測結果を比較評価することで得られた成果として、以下（1）～（3）の観点から述べる。それぞれの概要は以下の通りである。

浮子観測の観測精度については、櫛田橋地点では概ね良好な観測結果が得られたが、両郡地点においては橋梁による流れの変化の影響を受けていると考えられる。

電波流速計の観測結果については、概ね良好な観測結果が得られているが、風速補正については今後観測データの蓄積により評価する必要がある。

流速画像解析については、映像を撮影したカメラからの距離が遠くなると精度が低下する可能性がある。

（1）浮子観測の観測精度

櫛田橋地点・両郡地点におけるADCP観測の表面付近の流速分布と浮子観測・電波流速計観測・流速画像解析の比較評価結果を図-11に、観測時の状況を図-12に示す。

図-11より、櫛田橋地点においては流速横断分布に関して観測手法による相違はほとんどみられないことから、浮子観測は概ね良好な結果が得られたと考えられる。

一方、両郡地点においては、浮子割④において浮子観測の観測流速が極端に大きな流速が観測されている。これは、図-13からもわかるように、両郡地点では橋梁と第一見通断面の距離について、助走距離を十分に確保できているものの、橋梁直下で流れが急変しており、急変した流れの影響を受けていると考えられる（図-12参照）。従って、浮子の投下地点や投下後の流れによっては、第一測線を通過する際に変化した流れの影響を受けて、通常と異なる流速を観測する場合があると考えられる。また、図-13で、第一見通断面～第二見通断面間で右岸側に砂州が形成されており、これによっても投下した浮子が流れの変化の影響を受けている可能性がある。

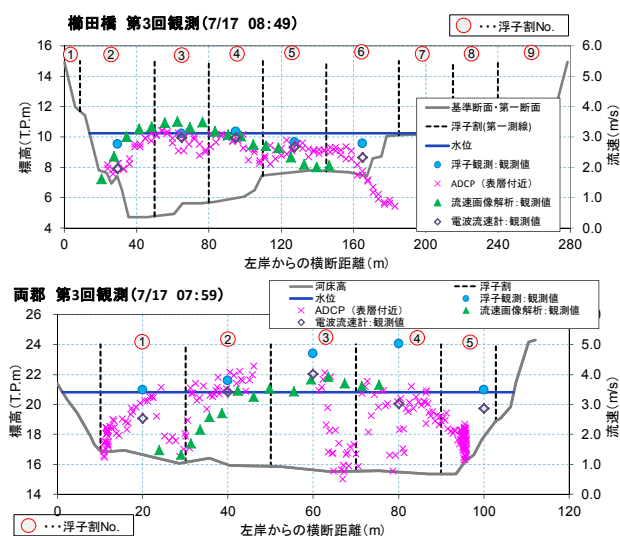


図-11 観測流速の横断分布（櫛田橋・両郡）



図-12 観測時の流れの様子（櫛田橋・両郡）



図-13 両郡観測所の航空写真

(2) 電波流速計の観測結果

電波流速計の観測流速については、図-11に示すように、浮子・ADCP観測結果と比較しても大きな差がなく、観測は良好に実施されたと思われる。なお、電波流速計・流速画像解析で観測される表面流速は、風の影響を受けていることが既往の研究⁶⁾より指摘されていることから、櫛田橋の流量観測時に風速と風向を観測し、風速の流向成分を算出して観測結果の補正を行った。補正に用いた算定式は本永・萬矢ら⁹⁾が実河川において電波流速計とADCPの観測結果から導いた算定式により補正した。

風速の観測結果を図-14、風速の影響を考慮した流速の算出結果を図-15に示すが、今回の観測では、風向が概ね右岸から左岸方向であり、風が観測流速に及ぼす影響が小さかったことから、風速の補正を適切に評価することは困難であった。従って、風速の補正については今後も流量観測時に風速と風向の観測を実施してデータを蓄積し、風の影響を強く受ける順風時や逆風時に補正を行って評価する必要がある。

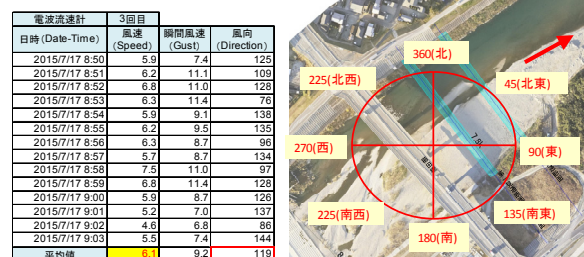


図-14 櫛田橋における風向・風速観測結果

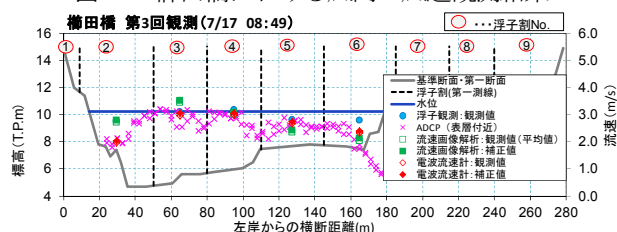


図-15 観測流速の風向・風速補正結果（櫛田橋地点）

(3) 流速画像解析の観測結果

流速画像解析について、観測流速（櫛田橋地点については風速による補正値も示す）を図-16、画像解析の画角と標定点の設置箇所及び検査線を示した画像を図-17に示す。標定点については、櫛田橋地点は左右岸3箇所ずつ、両郡地点は橋梁の欄干を含めて左右岸4箇所ずつに設置した。

櫛田橋地点の観測結果からは、右岸の観測値が小さくなる傾向にある。これは、右岸側はCCTVカメラからの距離が約120m～150m程度と遠く、さらに俯角が浅いことから、観測精度が若干低下した可能性が考えられる。

両郡地点の観測結果からは、左岸の観測値が小さくなる傾向にあり、CCTVカメラが橋の上流に設置されていることから、解析対象範囲との距離が遠く、俯角も浅いことが観測精度の低下につながったと考えられる。両郡については、橋の上流で観測も行ったが、浮子観測やADCP観測が橋の下流で行われたため、比較評価ができずに観測精度の確認ができなかった。

なお、両地点の既設CCTVカメラを活用したため、カメラの設置側に死角が発生した。

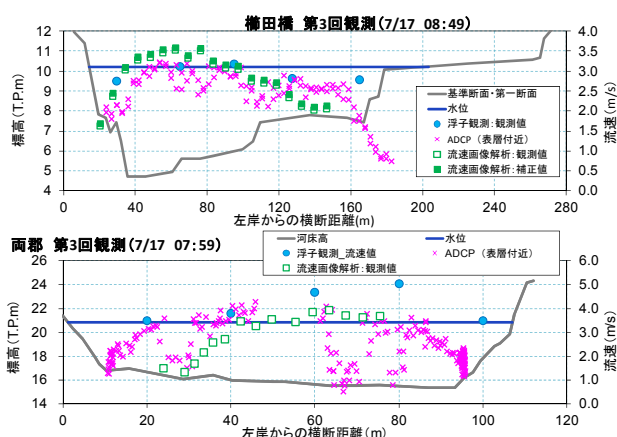


図-16 流速画像解析とADCP観測結果の比較

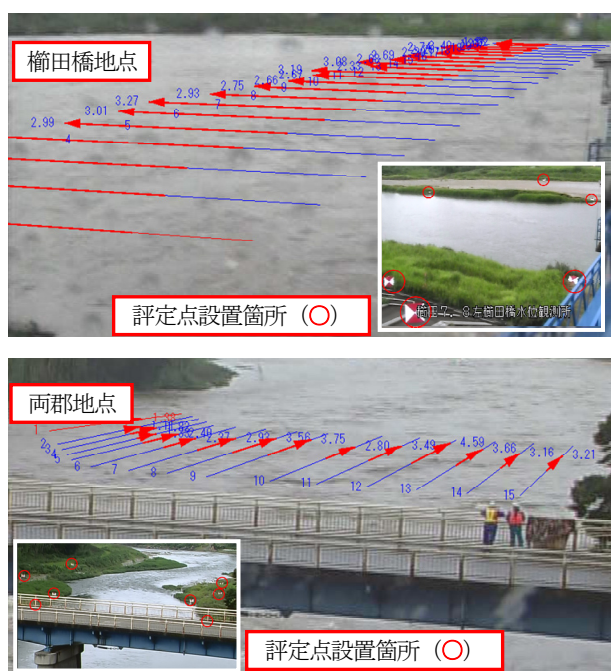


図-17 流速画像解析の画角と検査線及び標定点

6. 課題に対する対策案

今回の高水流量観測結果から得られた課題に対する対応案について、以下に整理する。

(1) 浮子観測の精度確認と向上

両郡地点のように河川の基準地点では、これまでの観測データの蓄積等を考えると、移転や観測手法の切り替えなどは困難なことから、浮子観測の精度の向上が課題となる。そこで、観測時に浮子の投下が適切か動画撮影による浮子の流れを追跡した精度の確認や、見通断面の精査など、観測方法の工夫が必要である。

(2) 風速の影響下での観測と補正方法の検証

本報告時は流下方向の風速の影響が小さく、補正方法が適切であったか評価が困難なため、今後は、順風・逆風下の風速の影響を強く受ける状況の下で検証を行うことで、風速補正の必要性や補正の方法について検証する必要がある。

(3) 流量算出時の補正方法の検証

流速画像解析の結果について、カメラからの距離が遠いと観測精度が低下し、カメラから近いと死角が発生する場合がある。今後データの蓄積により精度確認が必要であるが、画角の見直しにより死角の発生を抑える方法を検討する必要がある。また、死角が発生しても流量を適切に算出できるようにDIEX法の適用性を検証し、観測できた流速から流量を算出することが考えられる。

7. おわりに

本観測では、櫛田川2地点において従来の浮子観測による洪水時流量観測の際にADCP観測、電波流速計観測、流速画像解析の観測を同時に実施し、以下の結果を得た。

- (1) 浮子による観測結果は、櫛田橋では良好な結果が得られたが、両郡では見通し断面の設定に改善すべき点がある。
- (2) ADCP観測については、櫛田橋地点では良好な観測データが取得できたが両郡地点では欠測や異常値などが多く、良好なデータが取得できなかった。
- (3) 電波流速計観測については、両地点で良好な結果が得られたが、風に対する補正については引き続き検証が必要である。
- (4) 流速画像解析による観測結果は、河岸付近の流速の観測精度に課題があった。
- (5) (1)～(4)より、今回の観測結果と各手法の作業効率等を踏まえると、流量観測高度化に向けて、電波流速計観測が活用可能と考えられるが、風の影響に対する評価が十分でないため引き続き観測を実施し、観測時の風の影響評価を行う他、各手法についても観測流量の精度確認を行う必要がある。

謝辞：ADCP観測結果を分析するにあたり、名古屋工業大学の富永教授及び株式会社ハイドロシステム開発にご協力をいただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 橋場雅弘，甲斐達也，津田哲也，土田宏一：河川流量観測の高度化に対する観測実務者からの視点，河川流量観測の新時代，第4巻，pp39-47，2014。
- 2) 萬矢敦啓，菅野裕也，深見和彦，：河川実務者の観点から見たADCPによる流量観測技術開発の論点，河川流量観測の新時代，2010。
- 3) 岩見洋一，萬矢敦啓，本永良樹，藤田一郎：非接触型流速計による河川の流量観測，河川流量観測の新時代，第4巻，pp29-38，2014。
- 4) 島本重寿，藤田一郎，萬矢敦啓，柏田仁，浜口憲一郎，山崎裕介：画像処理型流速想定法を用いた流量観測技術の実用化に向けた検討，河川技術論文集，第20巻，2014。
- 5) 山本泰督，本永良樹，栗城稔：KU-STIVを用いた流量観測の検証，平成26年度河川情報シンポジウム講演集，pp8-1-8-6
- 6) 本永良樹，萬矢敦啓，深見和彦：河床変動及び強風を伴う河川表面流速の特性と風による影響の補正に関する検討，土木学会論文集B1(水工学) Vol.69, No.4, I_745-I_750, 2013。

(2016. 4. 4受付)