

千曲川河川事務所における流量観測の高度化に向けた取組事例の中間報告

保倉 篤¹・小林 崇¹・高比良 秀仁²

¹千曲川河川事務所 流域治水課 (〒380-0903 長野県長野市鶴賀字峰村74)

²千曲川河川事務所 防災情報課 (〒380-0903 長野県長野市鶴賀字峰村74)

令和元年東日本台風により、千曲川では短時間に降雨が集中したことによる急激な水位上昇が発生し、流量観測を一時中断あるいは中止せざるを得ない状況となり、観測員の安全性の確保や浮子観測の精度等、従来の流量観測方法の課題が浮き彫りとなった。そこで、千曲川河川事務所では流量観測の高度化に向けた取組を実施してきた。

本論文では、流量観測の高度化に向けた3つの検証として行った「解析条件」、「観測方法」および「夜間観測」について報告する。加えて、土木研究所河道保全研究グループを講師に招いて画像解析を用いた流量観測の勉強会について報告する。

キーワード 流量観測、画像解析

1. はじめに

信濃川水系は、長野県、山梨県および埼玉県にまたがる甲武信ヶ岳からはじまり、長野県では千曲川と呼ばれている河川である。この千曲川は延長214kmあり、新潟県の信濃川の延長153kmまでを結ぶ幹川流路延長367kmの国内1位の長さを持ち、流域面積は11,900km²の国内3位の広さを持つ一級河川である。また、長野県には千曲川の他に犀川等の支川もあり、これらの広大な流域は、長野県全体の53%(7,163km²)を占めており、流域市町村は41市町村と多い。

また、長野県では台風性降雨や前線性降雨の影響により、千曲川・犀川流域で多くの水害を受けてきた。特に千曲川流域では、周囲を山々に囲まれた急峻な地形のため流出が速く、複数の盆地と山あいの狭窄区間を交互に流下する地形特性から、狭窄区間上流の水位が上昇しやすく外水や内水による氾濫被害が発生しやすい。さらに近年では、豪雨災害が激甚化・頻発化により、河川水位が急激に上昇する。図-1に示す令和元年東日本台風により、千曲川において急激な水位上昇が発生し、流量観測を一時中断あるいは中止せざるを得ない状況となり、観測員の安全性の確保や浮子観測の精度等、従来の流量観測方法の課題が浮き彫りとなった。

このような状況の中で、安全で確実な流量観測方法の確立を目的とするため、千曲川河川事務所では流量観測の高度化に向けた取組を実施してきた^①。すなわち、従

来から用いられている流量観測方法だけでなく新技術による流量観測方法も用いることで、高水流量観測時における観測員の安全確保および確実かつ精度の良い流量観測の実施を目指している。しかしながら、流量観測を行う技術者は浮子観測を主としており、新技術による流量観測方法に慣れている技術者は少ない。そこで、千曲川河川事務所を対象に、土木研究所より講師を招き画像解析を用いた流量観測方法や解析条件等についての疑問点を解決すべく、勉強会を実施した。

以上を踏まえて本論文では、流量観測の高度化に向けた3つの検証として行った「解析条件」、「観測方法」および「夜間観測」について報告する。加えて、土木研究所を講師に招き、流量観測業者を対象として、新技術による流量観測方法を用いた流量観測の勉強会について報告する。



図-1 令和元年東日本台風の被災状況

2. 流量観測方法および観測地点

近年、多くの流量観測方法が確立されている²⁾。例えば従来の場合、低水流量観測では可搬型流速計が、高水流量観測では浮子が用いられてきた。一方、新技術の場合、低水流量観測では電波流速計、ADCP、PIV および STIV 等が挙げられる。また、電波流速計、PIV および STIV は非接触型のため、高水時における流量観測でも測定が可能とされている。本検討では、前述の従来および新技術の流量観測方法を用いて、図-2 および図-3 に示す千曲川中流域に位置する杭瀬下水位観測所を対象に実施した。流量観測方法の特徴を以下に示す。

(1) 従来の流速観測方法

- ・可搬型流速計

回転速度から流速を測る回転式や人工的に発生させた磁界の中を水が動くときに生じる起電圧から流速を測定する電磁式等があり、本標において可搬型流速計を用いて観測した。

- ・浮子

直線上に一定の区間を定め、水深に応じた浮子を千曲橋から投下し、観測距離を流下時間で除して流速を求めるものであり、本標から第2標までの範囲において浮子を用いて観測した。

(2) 新技術の流速観測方法

- ・電波流速計（非接触型）

流れの表面に向けて千曲橋に設置したセンサから電波をある俯角をもって水面に向けて発射し、その反射波の周波数変化から表面流速を測定するものであり、千曲橋下流および千曲橋上流において電波流速計を用いて観測した。

- ・ADCP

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。この測定器を橋上係留船等に搭載し、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量を短時間で測定できるものであり、本標および千曲橋下流において ADCP を用いて観測した。

- ・PIV および STIV（非接触型、画像解析）

PIV は流下するゴミ、波紋等を河岸からスマートフォン等の携帯端末で撮影するものであり、千曲橋下流および千曲橋上流において観測した。STIV は動画から得られる連続した静止画を用いて輝度値等を時間軸方向に積み重ねた時空間画像に生じる縞模様から水表面流速を求めるものであり、本標より 10m 上流において観測した。



図-2 千曲川管内の水位観測所位置図

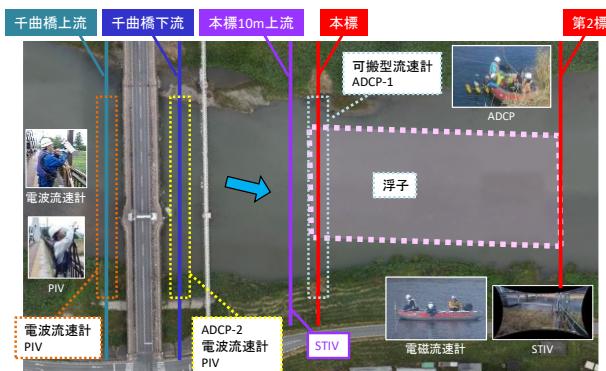


図-3 流量観測の概要

3. 流量観測の高度化に向けた検証

流量観測の高度化に向けて、図-4 に示す 3 つの検証「解析条件の違いによる流量比較（検証①）」、「観測方法の違いによる流量比較（検証②）」および「夜間観測時の流量比較（検証③）」に着目し、検証を行った。

(1) 解析条件の違いによる流量比較（検証①）

表-1 に実験ケース（検証①）を示す。低水位の環境下で流量観測を行った。観測方法として、従来では電磁流速計を、新技術では ADCP、電波流速計、PIV および STIV を用いた。ADCP は観測地点を本標および千曲橋下流の 2箇所において実施した。ここで、図-5 に PIV の解析条件に用いる $nxny$ 、 $wsize$ および $overlap$ の概要を示す。 $nxny$ は幾何変換画像のピクセル解像度で、1 ピクセルあたりの物理座標距離は $1/n$ (m) となり、値が大きいほど 1 ピクセルあたりの物理座標距離は短くなるため、解析は細かくなる。 $wsize$ はピクセル単位で指定する検査窓の大きさで、値が小さいほど検査窓は小さくなるため、解

析は細かくなる。overlapは検査窓の重なり度で、wsizの値に近いほど高密度になるため、解析は細かくなる。これらの解析条件のうち、撮影時間3~15秒、nxny50および100、wsiz75、overlap37.5に設定した。

図-6に流量観測の結果(検証①)を示す。電磁流速計を用いた観測方法に対して、新技術である観測方法を用いた場合、観測結果に誤差が生じるか確認した。図中には±10%の範囲も示す。これによれば、PIVにおいてnxnyを50に設定した場合、電磁流速計の流量に対して著しく小さくなることを確認できた。これは、nxnyの値が小さい程、1ピクセルあたりの物理座標距離は大きいため、解析は粗くなつたと考えられる。一方、前述を除く観測方法においては、±10%程度内の範囲であることを確認できた。これは、nxnyの値が大きい程、1ピクセルあたりの物理座標距離は小さいため、解析は細かくなつたと考えられる。また、撮影時を変化させても影響しないことを確認できた。

検証① 解析条件の違いによる流量比較

【観測方法】・電磁流速計
・ADCP
・PIV
・STIV

【観測地点】・本標
・千曲橋下流
・本標10m上流

【水位】
・低水流量観測

検証② 観測方法の違いによる流量比較

【観測方法】・浮子
・電波流速計
・PIV
・STIV

【観測地点】・本標
・本標~第2標
・千曲橋上流
・本標10m上流

【水位】
・低水流量観測
・高水流量観測

検証③ 夜間観測の流量比較

【観測方法】・電波流速計
・PIV

【観測地点】・千曲橋上流

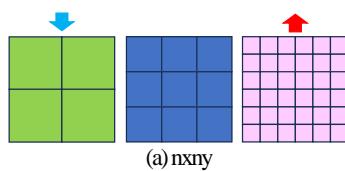
【水位】
・高水流量観測

赤字: 画像解析を用いた観測方法
下線: 新技術型の観測方法

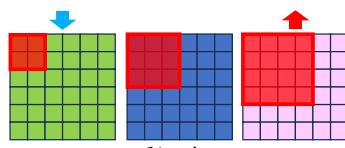
図-4 検証フロー

表-1 実験ケース(検証①)

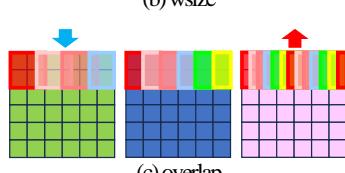
観測	名称 (観測方法)	観測地点	解析条件				水位
			撮影時間	nxny	wsiz	overlap	
従来	電磁流速計	本標 千曲橋下流	-	-	-	-	低水位
	ADCP-1		-	-	-	-	
	ADCP-2		-	-	-	-	
	電波流速計		-	-	-	-	
	PIV-3-1		3秒	50			
	PIV-3-2			100			
	PIV-5-1		5秒	50			
	PIV-5-2			100			
	PIV-10-1		10秒	50			
	PIV-10-2			100			
新技術	PIV-15-1		15秒	50			
	PIV-15-2			100			
	STIV	本標より10m上流	-	-	-	-	



・nxny(基準:50)
値が大きいほど
解析が細かくなる。



・wsiz(基準:75)
値が小さいほど
解析が細かくなる。



・overlap(基準:37.5)
wsizの値に近いほど
解析が細かくなる。

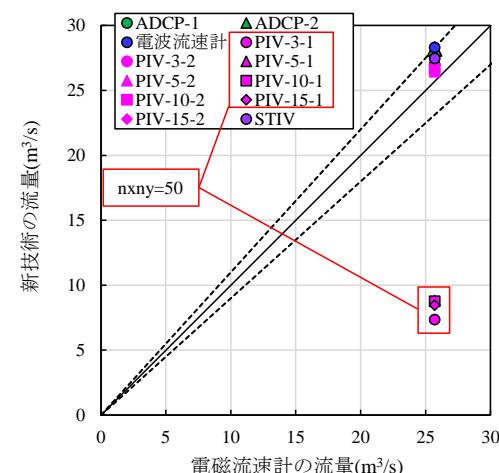


図-5 PIVの解析条件に用いるnxny、wsizおよびoverlapの概要

図-6 流量観測の結果(検証①)

表-2 実験ケース (検証②)

観測	名称 (観測方法)	観測地点	水位
従来	浮子	本標～第2標	
新技術	電波流速計	千曲橋上流	低水位
	PIV		高水位
	STIV	本標より10m上流	

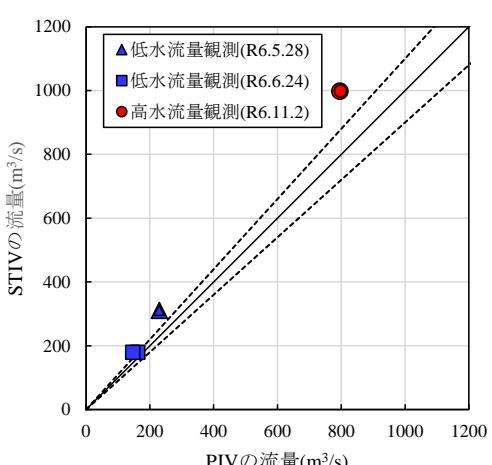
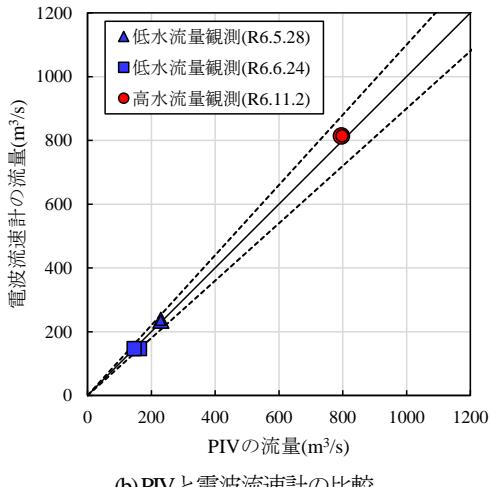
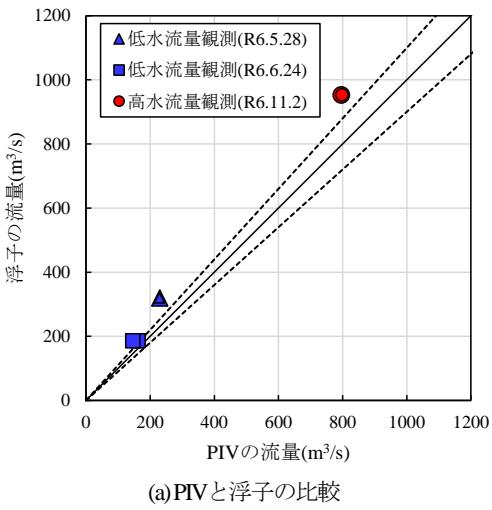


図-7 流量観測の結果 (検証②)

(2) 観測方法の違いによる流量比較 (検証②)

表-2に実験ケース (検証②) を示す。低水位および高水位の環境下で流量観測を行った。観測方法として、従来では浮子、新技術では電波流速計、PIVおよびSTIVを用いた。なお、PIVの解析条件は、撮影時間5秒、nxny50および100、wsiz75、overlap37.5に設定した。

図-7に流量観測の結果 (検証②) を示す。PIVを用いた観測方法に対して、浮子、電波流速計およびSTIVを用いた場合、観測結果に誤差が生じるか確認した。図中には±10%の範囲も示す。これらによれば、PIVと比較して電波流速計を用いた観測の場合、流量は同等であることを確認できた。一方、浮子およびSTIVを用いた観測の場合、PIVよりも流量は大きくなることを確認できた。これは、PIVおよび電波流速計は同じ観測地点であるものの、浮子およびSTIVは、PIVよりも観測地点は下流側に位置しているため、観測場所が違うことにより水位差が生じ、流量の観測結果も誤差が生じたと考えられる。

(3) 夜間観測時の流量比較 (検証③)

表-3に実験ケース (検証③) を示す。高水位が発生した夜間に流量観測を行った。観測方法として、新技術の電波流速計およびPIVを用いた。ここで、図-8に示すと

表-3 実験ケース (検証③)

観測	名称 (観測方法)	観測地点	加工	水位
新技術	電波流速計	千曲橋上流	-	高水位
	PIV		なし	
	PIV-加工		あり	

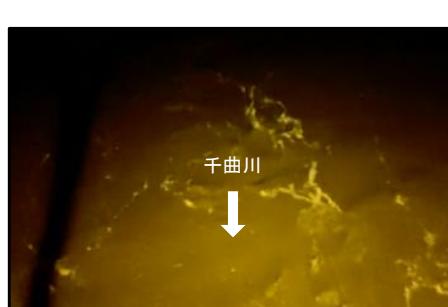
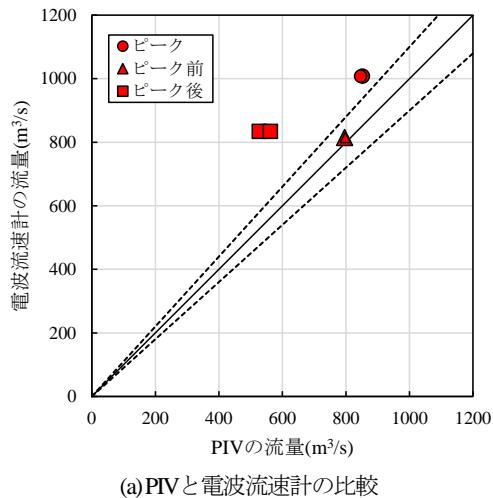
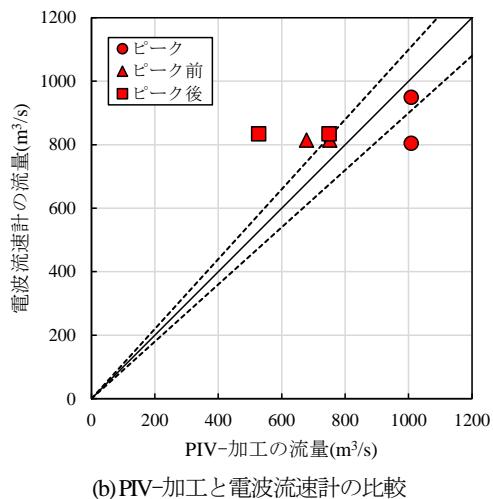


図-8 夜間時のPIV観測

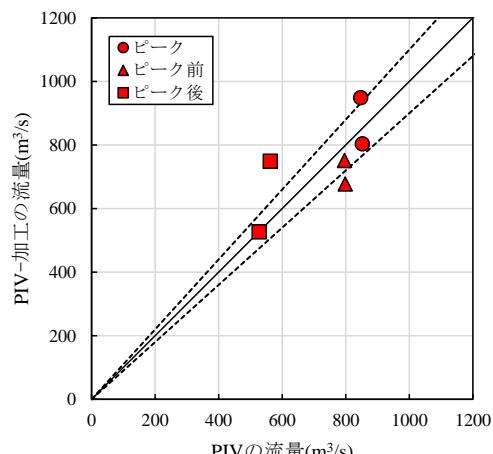
おり、夜間観測ではPIVの画像を撮影後、画像自体を明るくする加工をしないと川の流れがわからないため、撮影後、スマートフォンの機能で暗く表示された画像を最大限に明るく設定することで加工を行った。なお、PIVの解析条件は、撮影時間5秒、nxny50および100、wsize75、overlap37.5に設定した。



(a) PIVと電波流速計の比較



(b) PIV-加工と電波流速計の比較



(c) PIVとPIV-加工の比較
図9 流量観測の結果（検証③）

図-9に流量観測の結果（検証③）を示す。夜間の流量観測を実施するにあたり、電波流速計およびPIVを用いた場合、観測結果に誤差が生じるか確認した。あわせて、PIVではスマートフォンで撮影後、画像の加工の有無によって観測結果に誤差が生じるか確認した。図中には±10%の範囲も示す。これらによれば、(a)PIVと電波流速計および(b)PIV-加工と電波流速計を比較した場合、いずれも流量にばらつきが生じていることを確認できた。また、(c)PIVとPIV-加工を比較した場合、概ね流量は同等であることを確認できた。このことから、PIVでは加工の有無が流量に及ぼす影響はないものの、電波流速計との流量にばらつきがあるため、観測時の照度が不足していたと考えられる。

4. PIVを用いた流量観測に関する勉強会

千曲川河川所管内では、これまで全10箇所の流量観測を5業者が実施している。表-4に示すとおり、令和7年度はいずれも新技術の流量観測に取り組んでいて、その内、主にPIV観測を実施している。しかしながら、新技術による流量観測方法に慣れている技術者が少ないことが課題として挙げられる。そこで、流量観測を専門として第一線で活躍している技術者を講師に招いて、各受注者が日頃から流量観測方法や解析条件等を抱えている疑問点について解決を目指すべく、勉強会を開催した。図-10に勉強会の様子を示す。勉強会には、講師として土木研究所河道保全研究グループ3名、受講者は流量観測業務14名、千曲川河川事務所3名が参加し、PIVによる流量観測に着目した検討について講義していただいた。疑問点については、事前に各受注者へ依頼し、土木研究所に共有した。これにより、多くの疑問点はあったが、限られた時間の中で滞りなくスムーズに進み、受注者の抱えていた疑問点を解決することができた。また、土木

表-4 千曲川管内における流量観測業務で新技術を用いた取組状況（令和7年度）

河川	流域	観測所	観測方法（新技術）			
			ADCP	電波流速計	PIV	STIV
千曲川	上流	生田	-	-	●	●
		塩名田	-	-	-	-
	中流	杭瀬下	●	●	●	●
		小市	●	●	-	●
	下流	柏尾橋	-	-	●	-
		立ヶ花	-	-	●	-
犀川	上流	島橋	-	-	-	-
		下島橋	-	-	●	-
	中流	陸郷	-	-	●	-
		熊倉	-	-	-	-



図-10 勉強会の様子

研究所側としても千曲川管内でこれまで取得してきた解析データに対して興味を示す点もあり、お互いに貴重な経験になった。この勉強会を継続することで、更なる技術力の向上を図ることが期待できる。次回は、各受注者が今年度に得られたデータを用いて、より確実で精度の良い流量観測方法について議論する勉強会の場を設けることができればと考えている。

5. おわりに

本論文では、杭瀬下観測所を対象に、流量観測の高度化に向けた3つの検証を行った「解析条件」、「観測方法」および「夜間観測」について報告した。その結果、「解析条件」では、低水位流量観測時においてPIVを用いる場合、 $nxny$ を50に設定すると電磁流速計の流量に対して著しく小さくなること、撮影時間を変化させても影響しないことを確認できた。また、「観測方法」では、高水位流量観測時において、観測場所が違うことにより水位差が生じることを確認できた。さらに、「夜間観

測」では、高水位流量観測時においてPIVを用いる場合、スマートフォンで撮影後の加工の有無が流量に及ぼす影響はないこと、照度が不足すると観測方法にかかわらず流量結果にばらつきが生じることを確認できた。しかしながら、どの程度の照度の強さであれば精度の良い観測が可能になるか課題として挙げられる。また、高水時における観測回数が少ないため、精度に対する課題が挙げられる。あわせて、本論文では杭瀬下水位観測所を対象に検討を行ったが、水位観測所が変わると地域特性や現場条件の影響により解析結果は異なる可能性が考えられる。前述の課題解決に向けて、今後は各水位観測所における特徴を踏まえた観測方法を把握できるよう検討していきたい。

また、流量観測を専門として第一線で活躍している土木研究所河道保全研究グループを講師に招き、新技術による流量観測方法を用いた流量観測の勉強会について報告した。受講者側、講師側のどちらも多くを学ぶことのできる貴重な機会となった。今後も、高水流量観測時における観測員の安全確保および確実な流量観測の実施ができるよう継続して取り組んでいきたい。

謝辞：本論文の執筆にあたり、ご指導を賜った関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 武田尚樹、鴨井真、馬島大地、渡邊洋之：DXを活用した高水流量観測の取組について、令和5年度北陸地方整備局事業研究発表会
- 2) 国土交通省河川砂防技術基準 調査編 令和4年6月版