

画像解析を用いた流量観測の 精度検証結果の報告

那賀川河川事務所 調査課 滝口 央基
那賀川河川事務所調査課長 川人 義功
那賀川河川事務所 副所長 中山 雅登

那賀川及び桑野川は、出水時に水位の上昇速度が速いという特徴があることから、計画規模を超えるような洪水下でも流量観測体制を保持し、安全かつ水位の立ち上がりからピークまでを確実に観測することに適した観測手法及び観測機器の高度化の検討を行った。その結果、画像解析を用いた流量観測を最適な手法として選定し、試験的に流量観測用カメラの設置を行い、出水時の映像を基に精度検証を行った結果などを報告する。

キーワード 流量観測, 画像解析, 高度化, D X

1. 流量観測手法の検討

(1) 那賀川水系における流量観測の課題

那賀川水系において、計画規模を超えるような洪水下でも観測体制を保持し、安全かつ確実に正確なデータを取得できる方策を検討するために、はじめに那賀川水系における流量観測の課題を整理した。課題是那賀川水系全体と各観測地点（和食・古庄・大原）ごとに整理を行った。各観測地点の配置状況は図1のとおりである。



図1 流量観測地点の配置状況

a) 那賀川水系の特徴

那賀川は源流を剣山ジロウギユウに発し紀伊水道に注ぐ幹川流路延長125km、流域面積874km²の河川である。地形は急峻で急勾配であるため、上流で降雨があった場合、2000m級の剣山系から平野部へ洪水流が一気に流下する。

一方、支川桑野川は流路延長が27kmと那賀川の5分の1程度しかない短い河川である。そのため、ひとたび雨が降れば一気に洪水流は流下し、河口までの洪水到達時間は非常に短くなる。以上のことから、那賀川水系は出水の際は急激な水位の上昇が起こる河川であるといえる。

また、那賀川における出水の主な要因は台風であるため、数日前から出水時の体制準備が可能であるが、桑野川における出水の主な要因は前線や線状降水帯による降雨である。そのため、突発的な降雨による出水が多く、対応が夜間になった場合は現地での浮子観測に遅れがでる可能性がある。

b) 和食地点の特徴

和食地点是那賀川31.6k付近にある観測地点である。市街地から離れた観測地点であるため観測員が現地に到着するまでに時間を要し、水位が高くなると第1測線が浸水するため観測が出来なくなる。

c) 古庄地点の特徴

古庄地点是那賀川7.0k付近にある観測地点である。川幅は他の観測地点よりも広く約350mであり、高水敷の箇所では浮子が蛇行し、測線に沿って正常に流下しないという課題がある。

d) 大原地点の特徴

大原地点は桑野川9.1k付近にある観測地点である。先述のとおり、桑野川は流域面積が小さいため大原地点では出水時の水位上昇が速いという特徴がある。

以上の課題を整理すると、那賀川水系における流量観測の主な課題は、水位の上昇速度が速いため、人員による観測が遅れ観測データそのものが取得できない恐れがある。また、那賀川水系に限らず高水流量観測を行う状況下では強風や落雷が発生している悪条件が重なるため、現地作業には危険を伴う事も課題である。従って、これら解決する手法として、非接触で安全かつ自動で観測できる「高度流量観測手法」の確立が求められる。

(2) 流量観測手法の整理

続いて、那賀川水系における流量観測の課題を解決できる流量観測手法を整理した。

河川砂防技術基準に記載されている流量観測手法は流速断面積法、水理構造物法、間接計測法の3つに大別されるが本検証では、河川横断面において、流速計値と水位観測等により求めた断面積値から、流速×面積の計算によって流量を算出する方法である流速断面積法について検討を行った。

流速断面積法には「固定式観測手法」と「非固定式観測手法」、これらのどちらにでも対応可能である「非接触型」がある。固定式観測手法は一定地点に無人または自動で連続観測が可能でセンサを固定設置して観測する手法である。非固定式観測手法は観測作業を実施する際に、個別に流量観測地点に可搬型のセンサを活用して随時に観測する手法であり、高水観測時に人員が現場に必要となる。(図2)

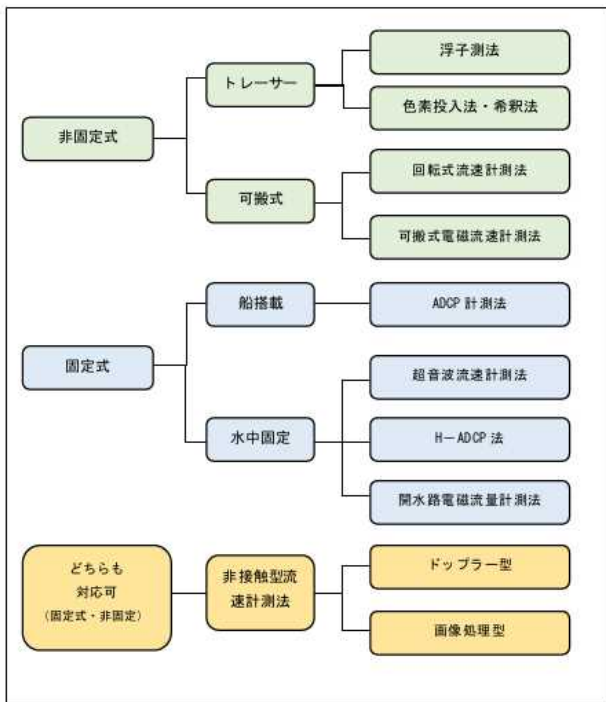


図2 流速断面積法の流量観測手法

これらの観測手法で、高水時の現地観測作業が不要である観測手法は「固定式計測法」または、固定式として行う「非接触型」による観測である。

(3) 流量観測の選定

「固定式計測法」及び「非接触型流速計測法」の代表的な観測手法は「超音波流速計測法」「H-ADCP法」「開水路電磁流速計測法」「ドップラー型(電波式、超音波式)観測法」「画像処理型計測法」である。各観測手法の概要は表1のとおり。

これらの観測手法から那賀川水系における流量観測の課題を解決するのに最も適した手法を選定するために、観測機器の設置、計測の確実性、安全性、計測精度、費

用の5項目について3段階で評価した。また、各項目ごとに複数の観点から評価を行っており、観測機器の設置では機器の取り付け位置や設置の際の留意点、メンテナンス頻度と容易性について、観測の確実性では夜間や高水、強風時に観測可能かどうか、安全性では洪水や強風によって機器が流出しないか、計測精度では流速や流向について観測が可能であるかを評価している。

表1 「固定式計測法」及び「非接触型流速計測法」の代表的な観測手法

分類	名称	直接の測定対象	説明
固定式観測法	水中固定 超音波流速計測法(パルス伝播時間差法)	代表深さにおける平均流速	超音波の伝播速度が流れの方向では増加し、流れと逆方向には減少することを利用して、その差を測定して流速を求めるものである。送受信装置を測定箇所の兩岸に設置し、水中に送波して測定する。
	H-ADCP法		ADCPを水平方向に設置し、横断方向の流速分布を超音波の反射波におけるドップラー効果から測定する。兩岸のセンサだけで測定システムを構成することが可能。
	開水路電磁流量計測法	断面平均流速	兩岸に設置した電極間に生じる起電力が断面平均流速に比例する原理により流量を算出するシステムである。
非固定式・固定式 (どちらも対応可能)	非接触型流速計測法 ドップラー型(電波式、超音波式)	表面流速	流れの表面に楕円等に設置したセンサから電波もしくは超音波をある角度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システムである。現状では、高水流量観測のみに利用可能。
	画像処理型(PIV法等)		洪水時に流下する流水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。局所的な流況分析に優れるが、天候・日照変化等の影響を受けやすい。

(4) 選定結果

選定基準に基づき、各観測地点ごとに観測手法の評価を行った結果、那賀川水系における観測手法として最適な観測手法は、どの観測地点においても画像処理型計測法であり、次いでドップラー型観測法、H-ADCP法、超音波式流速計測法、開水路電磁流量計測法となった。画像処理型計測法の評価が高くなった主な要因は、メンテナンス頻度、部品交換の容易性、機器費用の安さである。メンテナンス頻度について、他の観測手法は洪水ごとの点検や年1回の点検が必要であるのに対して、画像処理型計測法はカメラのメンテナンスのみで良いためメンテナンス頻度が格段に少なく、カメラは河川外に設置するため部品交換も容易である。また、機器費用が安く1カ所当たり300万円程度で設置が可能である。観測機器の安さはドップラー型観測法と差をつけた点の一つであり、ドップラー型観測法では機器費用が1カ所当たり2,000万円以上必要になる。その他にも画像処理型計測法の利点として映像・画像データを保存しておくことで後解析が可能である点や浮子の軌跡を解析できる点があるため画像処理型計測法を那賀川水系における課題を解決するための流量観測手法に選出した。

2. 画像式流量観測の手法

(1) 画像解析手法の選定

本検討においては、画像解析のSTIV手法(Space-Time Image Velocimetry)による流量観測方法を採用した。STIV手法は、時空間画像に現われる縞パターンを平均勾

配を自動的に算出する手段である。この方法ではノイズや遮断物による影響を受けにくく、観測時におけるビデオカメラレンズの水滴付着時や夜間撮影といった悪条件を含む様々な画像条件でも縞パターンの平均勾配を抽出できる。(図3)

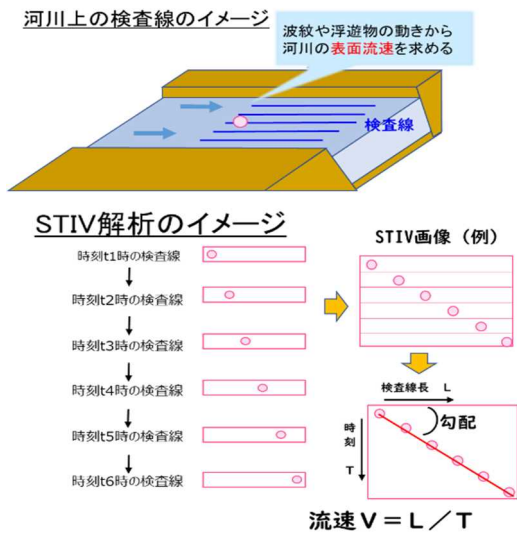


図3 STIV手法による流速算定の原理

(2) 画像解析における流量算出方法

表面流速を画像解析により算定した後に、風向風速計で計測した風力をもとに表面流速の補正を行い、さらに更正係数0.85を乗算し平均流速に変換する。

その後、横断面を検査線の間隔で区分し、断面平均流速に区分断面積を乗算し、合算することで流量の算出を行った。(図4)

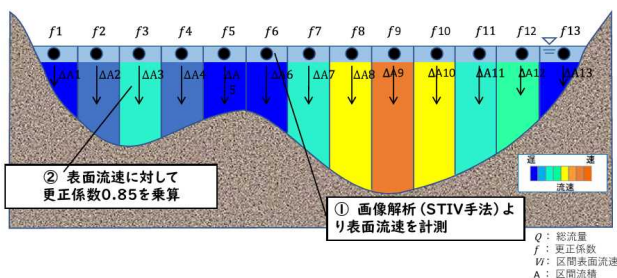


図4 区分求積法による流量算出

3. 画像解析による流量計測の検証

(1) 検証の目的

那賀川水系における流量観測の課題を解決するために、本検討では、STIV手法を用いた画像解析による流量算出が最適な流量観測手法であると選定した。

しかし、実際に流量観測手法として運用するためには算出した流量が信頼できるかを検証する必要がある。従って、本検討では、H-Q式による換算流量及び浮子観

測流量と比較することで画像解析による算出流量の妥当性を検証した。

(2) 観測準備

画像解析による流量観測を実施するにあたり、観測機器の設置を行った。古庄地点については既存CCTVカメラの支柱に流量観測用カメラ(約200万画素)および風速計、夜間用照明を取り付け、川の流れに対して垂直方向を撮影するように設置した。(図4)



図4 観測機器(古庄地点)

また、STIV手法では観測地点の川幅にあわせて検査線を設定する必要があるため、標定測量を行った上で検査線を設定した。古庄の検査線は、縦断方向に長さ20m、横断方向に10m間隔で設定した測線を配置した。(図5)

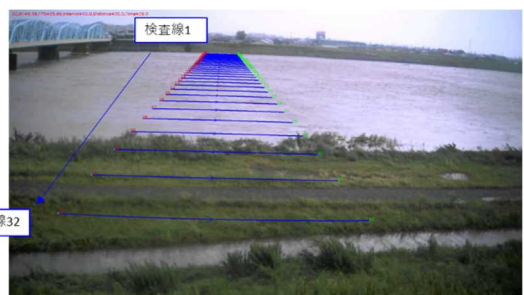


図5 流量観測用カメラによる検査線設定例(古庄地点)

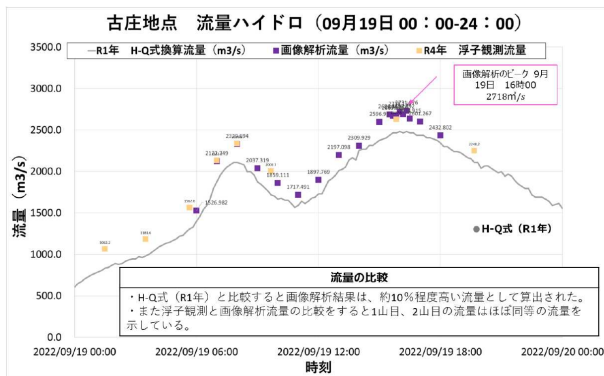
(3) 解析結果の比較

a) 流量観測用カメラ映像の解析結果

流量観測用カメラを用いた解析は令和4年台風14号による出水で実施した。この台風により古庄観測所の水位は9月19日8時に4.08mを記録し、一度降下したのち再び上昇して16時にピーク水位4.33mを記録した。

浮子観測は8時と15時50分の観測を実施しており、8時の流量は2335.85m³/s、15時50分の流量は2627.60m³/sを記録した。画像解析による流量算出は水位が上昇し始めた6時から1時間毎に実施し、ピーク水位を記録した16時付近では10分毎に解析を実施した。

結果、8時の流量は2329.694m³/s、16時の流量は2718.156m³/sであった。また、15時50分の流量は2676.025m³/sである。これらの観測結果を令和元年のH-Q式から算出した流量ハイドロと比較した結果、図6のようになった。



年月日時刻	水位	①R1年H-Q式 換算流量 (m³/s)	②R4年 浮子観測流量 (m³/s)	③カメラ 画像解析流量 (m³/s)	②/③ (浮子/カメラ)	①/③ (R1 H-Q式/カメ ラ)
2022/09/19 01:30	2.98	833.0	1062.16			
2022/09/19 03:30	3.14	982.4	1181.62			
2022/09/19 05:40	3.45	1307.1	1562.56			
2022/09/19 05:50	3.47	1329.7				
2022/09/19 06:00	3.53	1398.4		1526.982		91.6%
2022/09/19 07:00	3.91	1874.2	2133.13	2122.749	100.5%	88.3%
2022/09/19 08:00	4.08	2109.5	2335.85	2329.694	100.3%	90.5%
2022/09/19 09:00	3.91	1874.2		2037.319		92.0%
2022/09/19 09:40	3.79	1716.4	2002.65			
2022/09/19 09:50	3.78	1703.6				
2022/09/19 10:00	3.75	1665.4		1859.111		89.6%
2022/09/19 11:00	3.69			1717.491		92.6%
2022/09/19 12:00	3.8			1897.769		91.1%
2022/09/19 13:00	4.01			2197.098		91.5%
2022/09/19 14:00	4.18	2254.5		2309.929		97.6%
2022/09/19 15:00	4.26	2373.9		2596.95		91.4%
2022/09/19 15:50	4.32	2434.8		2686.413		90.6%
2022/09/19 16:00	4.33	2465.5		2669.986		92.3%
2022/09/19 16:00	4.32	2465.5	2627.6	2676.026	98.2%	92.1%
2022/09/19 16:00	4.33	2480.9		2718.156		91.3%
2022/09/19 16:10	4.32	2465.5		2687.892		91.7%
2022/09/19 16:20	4.33	2480.9		2731.976		90.8%
2022/09/19 16:30	4.32					93.6%
2022/09/19 17:00	4.3					93.6%
2022/09/19 18:00	4.24					96.3%
2022/09/19 19:40	4.08	2109.5	2248.15			
2022/09/19 19:50	4.08	2109.5				
2022/09/19 20:00	4.03	2038.9				
平均	-	-	-	-	99.6%	92.0%

図 6 流量比較 (流量観測用カメラ)

画像解析による流量解析と浮子観測両方の結果が出ているのは浮子観測を実施した7時、8時及び15時50分の流量であり、両者の差は2%以下という高い一致率を得ることができた。

また、H-Q式と比較した場合10%程高い流量を算出しているもののハイドログラフと同じ形跡を描いた。

b) 既存CCTVカメラ映像の解析結果

検証期間に氾濫注意を超えるような大規模な出水が発生しなかったため、CCTVカメラで撮影された平成26年台風11号による出水の記録映像を用いて検証を行った。この出水は那賀川における戦後最大の出水であり、古庄観測所の水位は氾濫危険水位（上流）を超過し8月10日11時に7.79mまで到達した。そのときの流量は浮子観測では9538.58m³/sであり、画像解析による算出では8095.02m³/sとなった。これらの観測結果を平成26年のH-Q式から算出した流量ハイドロと比較した結果、浮子観測結果は流量ハイドロと近い値を示したが画像解析による流量算出の結果は浮子観測、ハイドログラフどちらと比較しても20%ほど低い値となった。これはCCTVカメラの解像度が低かった事や画角により検査線を均等に配置できなかった事が原因であると考えられる。従って、画像解析

による流量算出において、より正確な流量を算出するためには、流量観測専用のカメラを今後も継続して設置して観測を続けることが望ましいと言える。

4. まとめ

(1) 画像解析による流量観測の利点

本検討で画像解析による流量観測を実施した上での利点を以下の通り整理する。

① 確実性の向上：洪水時の映像をカメラで連続して撮影し続けることで、ピーク時の流量データの欠測をなくすことが可能となった。

② 安全性の向上：浮子観測では、橋上で観測員が浮子投下を行うため、大規模出水時には危険が伴っていたが、画像解析では現場に人手を配置させる必要がなく、安全に流速・流量観測が可能となった。

(2) 今後の展望

本検証では、氾濫注意水位を超過しないような中小規模の出水においては画像解析による流量は浮子観測とほぼ同等の流量精度を示すことができた。

また、浮子観測ではピーク水位時にそのタイミングでピーク流量を観測できない場合があるものの、画像解析による流量算出では映像と水位情報があれば任意のタイミングで流量を算出できるためピーク流量を逃すことがない。しかし、本検証においては、当初の目的である計画規模を超えるような大規模な出水時において正確な観測を行えているかの検証ができなかった。これを補うためにCCTVカメラの過去映像を利用して大規模出水時の流量算出を行ったが、当時のカメラ機器の精度などの理由から正確な流量観測結果が得られたとは言いがたいため、今後の課題として、氾濫注意水位を超過する出水時における流量の精度検証がさらに必要であると考えられる。

また、浮子観測による流量観測データは今日まで蓄積されてきた重要な観測データであることに代わりはないことから、将来的に画像解析による流量算出を新たな流量算出手法に切り替えることになるとしても、十分に検証を重ねる必要があるため、今後も継続して浮子観測と画像解析による流量解析結果について蓄積し検証を実施していきたい。

水害の激甚化・頻発化に対応するために河川管理の業務が複雑かつ多様化している昨今、膨大なデータを自動かつ確実に収集し分析する技術の活用は重要である。本検討で実施した画像解析による流量観測は、貴重な映像データを記録し、解析技術を活用して流量自動算出するところまで可能な仕組みを構想していることから、将来的に業務改善や働き方の変革につながる一つのツールになり得ると考える。