

CCTVカメラ映像による洪水時 表面流速の計測手法の検討

大洲河川国道事務所 工務第一課 松山 海人
大洲河川国道事務所 工務第一課長 平木 茂

河川管理を行う上で、流量を把握することは非常に重要である。現在、流量の観測手法として浮子法が広く用いられているが、浮子法には、安全性や迅速性等の課題が多く残されている。また近年、観測技術の高度化を目的として、ADCPなどの浮子法以外の観測手法についての研究・実用化が盛んに進められている。本検討は、一級河川肱川の計画基準点である大洲第二地点付近を対象として、浮子法およびCCTVカメラ映像を用いた簡易かつ安全な表面流速の計測手法について、それぞれの手法の有効性および課題等の検討結果を報告する。

キーワード 流量観測の高度化、浮子法、画像処理型法、CCTVカメラ、二次元流況解析

1. はじめに

河川管理を適切に行うためには、水文観測による流量等の把握が非常に重要であり、観測結果の蓄積は治水等計画を作成する際に根拠となる基礎資料である¹⁾²⁾。

国土交通省が管理する一級河川では、洪水時の高水流量観測法として一般に浮子法が用いられている。江蔵ら³⁾は、浮子観測が広く用いられる理由について、他の観測手法と比べて安全かつ簡易的に行え、一定の精度を保って観測が可能である点を述べている。しかし同時に、更生係数の妥当性や浮子投入場所の違いによる誤差、わずかな計測区間の違いによる流速の差異など、浮子観測の種々の問題についても論じている。また、橋場ら⁴⁾は浮子観測の確実性、安全性、迅速性、経済性の面においての脆弱性を指摘している。実際の事例としては、平成24年7月の九州北部豪雨による洪水で橋梁等の冠水や安全を確保できない点から、一部観測所では高水流量観測の実施自体が困難となった⁵⁾。今後は、このような状況下でも行える、浮子観測に代わる、あるいは浮子観測を補う新たな流量観測手法が必要である。

大洲河川国道事務所では、肱川大洲第二地点において、近年、研究や実用化が進められている画像処理型流速計測手法の適応を行い、CCTV(Closed-Circuit TeleVision：閉回路テレビ)カメラで撮影された映像を利用した流量計測を試み、浮子法および画像処理型流速計測手法について妥当性・有効性の検討を行ったので、ここに報告する。

2. 大洲第二地点の現状

愛媛県西南部を流れる一級河川「肱川」の計画基準点である大洲第二(肱川橋)地点においても、洪水時の流量観測は浮子観測により行われている。しかしながら、現在大洲第二地点では、肱川橋の老朽化や耐震性能の改善および歩道幅員の拡幅を目的として橋梁架け替え工事が行われている。

架け替えに伴い、工事期間中の浮子観測では仮橋から浮子を投下することとなるが、その場合には、下流側に位置する既設橋脚や新設橋脚から浮子が影響を受け、適正に流下しない可能性が考えられる。図-1に、平成29年9月時点の仮橋空中写真を示す。仮橋下流に既設橋脚が残存していることが分かる。



図-1 仮橋と下流に残存している既設橋脚(H29.9)

これに対し、肱川を管理している大洲河川国道事務所では、従来の浮子観測に代わる(補う)流量観測手法の検討を行った。その結果、大洲第二における観測に適していると考えられた画像処理型流速計測手法の実施を試み、また、工事期間中の浮子観測および画像処理型流速測定手法について精度検証を行い、妥当性・有効性を示す。

3. 検討方法

(1) 解析手法

画像処理型流速計測手法は、CCTVカメラや赤外線カメラの映像を解析・処理することにより、河川表面流速を計測する手法である。画像処理型の特長は、現場に作業員が行く必要がなく、橋梁等の観測スペースも必要ないため、他の手法と比較して迅速・安全・確実・低コストに計測を行える可能性が高いことである。大洲第二地点では、肱川橋下流左岸にCCTVカメラが設置されており、新たな機器の購入等が必要なく簡易に行えることから、大洲第二地点での観測に適していると判断した。

本検討では、いくつかある画像処理解析手法のうち、STIV(Space Time Image Velocimetry：時空間画像速度測定)解析を使用する。STIV解析は、任意に引いた検査線上の表面流速を計測する手法であり、他の解析手法と比べ画像が粗くても計測が行いやすい特長がある。図-2に、

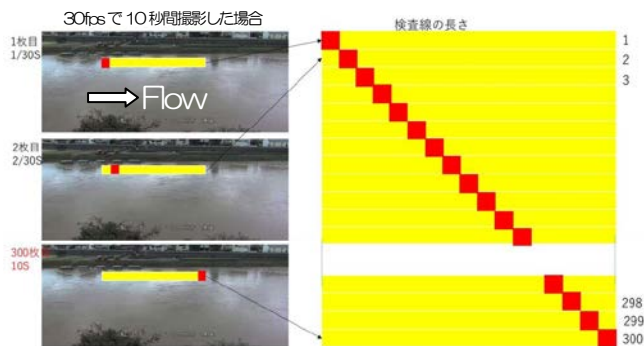


図-2 STIV 概念図

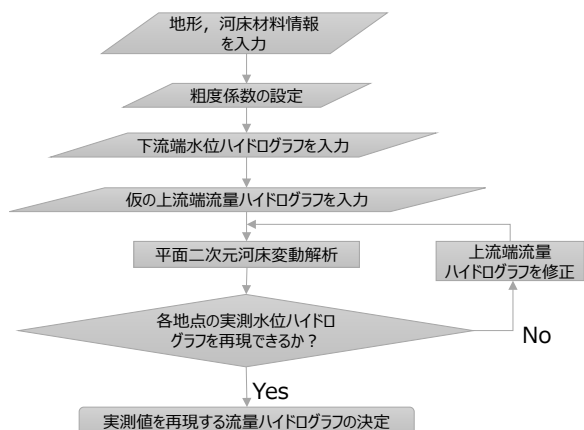


図-3 二次元流況解析を用いた流量逆算法フロー図

STIV解析の概念図を示す。STIV解析では、解析画面上で流向方向に検査線を引き、検査線上の動画ピクセルを時間フレームで積上げ、時空間画像(STI)を作成する。このSTIには水面波紋が縞パターンとして表現されるため、このパターンを解析することで流速を求める。

(2) 精度検証の手法

浮子観測およびSTIV解析手法の精度検証を行う上で、任意の値を正であると仮定して比較する必要がある。本検討では、逆算粗度係数を求める手法と同様に、二次元流況解析を用いて流量の逆算を行い、そこから得られた流量および流速について各手法の値と比較することで、精度の検証を行っていく。図-3に、二次元流況解析を用いた流量逆算法のフロー図を示す。地形データ、河床材料情報、粗度係数の設定を行い、検討区間下流端の洪水時水位を計測し入力、流量に適切な値を入力して、数値解析を行い、各地点の実測水位と解析水位を比較する。この時、実測値と解析値に差が生じた場合、入力した流量の値を修正して再度解析を行う。この作業を繰り返すを行い、値に差が無い、つまり実際の洪水時流況を再現できている流量を探索する。

(3) 事前準備

図-4に、検討区間水位計・カメラ位置図を示す。STIV解析を行う場所として、大洲第二地点に加えて、約300m上流の渡場地点CCTVカメラも対象とした。また、二次元流況解析を用いた流量の逆算を行うために、対象区間内で縦断的に水位計を5か所に設置した。二次元流

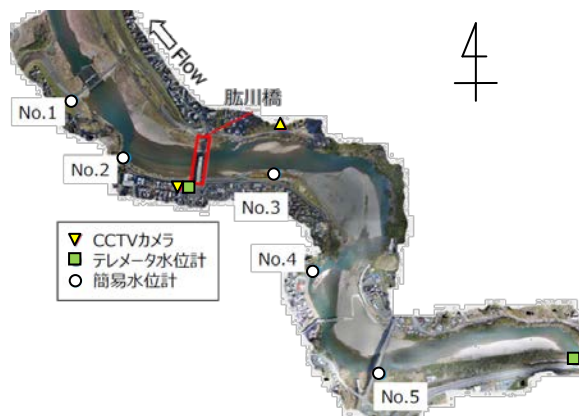


図-4 検討区間水位計・カメラ位置図

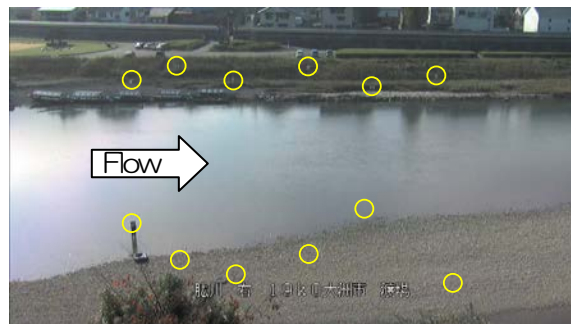


図-5 渡場解析アングル・標定点設置位置

況解析に使用する地形データは、解析の再現性を向上させるために、UAVおよびDGPS測深器を使用して、従来の横断測量データより詳細な地形データを取得した。

STIV解析の準備物として、カメラおよび撮影画角内の標定点となる複数個所の三次元座標、標定点設置時および洪水時の撮影映像、洪水中の水位が必要である。図-5に標定点測量の様子を示す。標定点は、大洲第二地点で右岸6か所、左岸4か所、渡場で左右岸ともに6か所に設置を行い、RTK-GNSSを使用して座標の計測を行った。

対象の洪水は、平成29年度に発生した二つの台風洪水とした。台風18号洪水を対象に、浮子観測と大洲第二地点のSTIV解析および二次元流況解析による流量逆算、台風22号洪水を対象に、渡場地点のSTIV解析および二次元流況解析による流量逆算を行った。(以下それぞれT18洪水、T22洪水と呼称)

4. 検討結果

(1) 洪水概要・観測結果

T18洪水で行った浮子観測結果からは、ピーク流量は約 $1,800\text{m}^3/\text{s}$ である旨の結果が得られた。図-6に、T18洪水および過去(平成16~25年度)洪水の浮子観測結果から得られた、大洲第二地点の水位・流量(H-Q)関係を示す。T18洪水ではこれまでの洪水と比べて、同程度の水位に対する流量が小さく計測されている結果となった。

図-7に、T18洪水について、二次元流況解析により流量逆算を行った時の実測水位と解析水位の比較を示す。

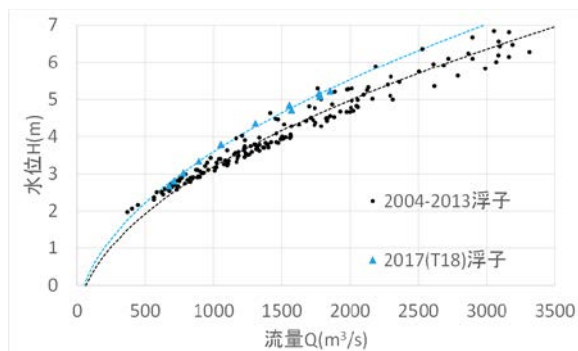


図-6 大洲第二 H-Q 関係図

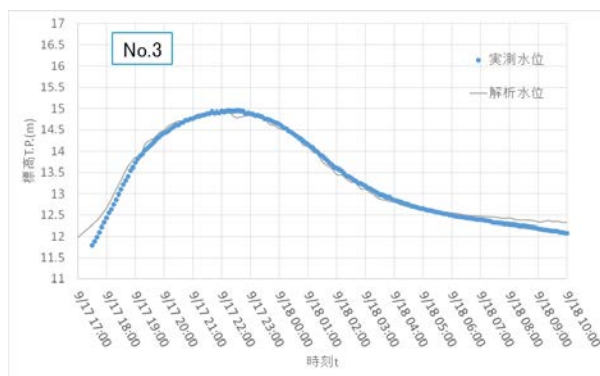


図-7 H29T18 解析水位と実測水位比較

ここでは、精度検証を行う肱川橋や渡場に近いNo.3の箇所について示す。洪水中の実測値と解析値の差が10cm以内となり、再現性が高い解析を実行できている。この解析で得られた流量および流速を用いて、浮子法、画像処理型流速計測手法の妥当性、有効性を次項において確認する。

(2) 浮子観測精度

図-8に、T18洪水の大洲第二地点における浮子観測流量と逆算流量の比較を示す。逆算流量と浮子流量は同程度の値となっており、浮子観測によって計測された流量は、下流に橋脚等の障害物がある状況でも問題ない精度で観測できていると考えられる。

次に、図-9にT18洪水ピーク時の大洲第二地点における浮子更正流速と、二次元流況解析から得られた水深平均流速分布の比較を示す。既設橋脚の影響で特に左岸側の解析結果流速分布が大きく波打っている。右岸側で解析結果流速が浮子更正流速よりも大きく算出される結果となり、流速の比較からは、下流に橋脚等の障害物がある状況における浮子観測は、流れを適正に捉えられないと考えられ、前述の流量の比較結果とは異なる結論となる。しかしながら、解析での既設・仮橋脚の位置や形状について詳細な設定をしていないことや、解析流速を第一断面のみで比較していること等、多くの課題、改善の余地があり、引き続き同様の検討を続ける必要がある。

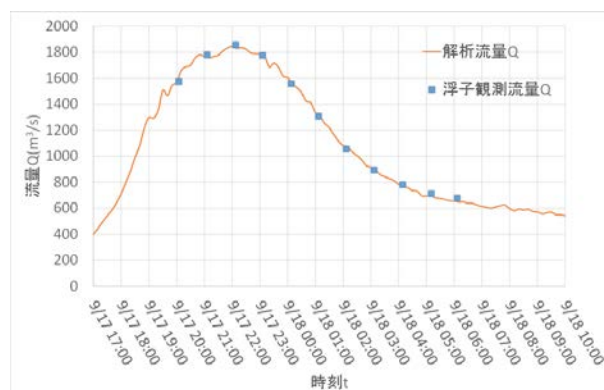


図-8 H29T18 大洲第二 浮子流量と逆算流量比較

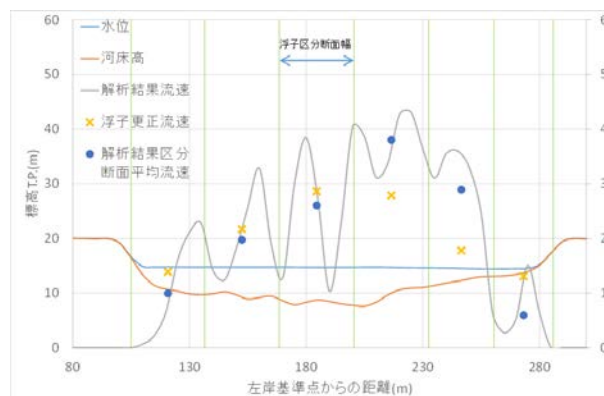


図-9 H29T18 大洲第二 浮子流下速度と解析流速分布比較

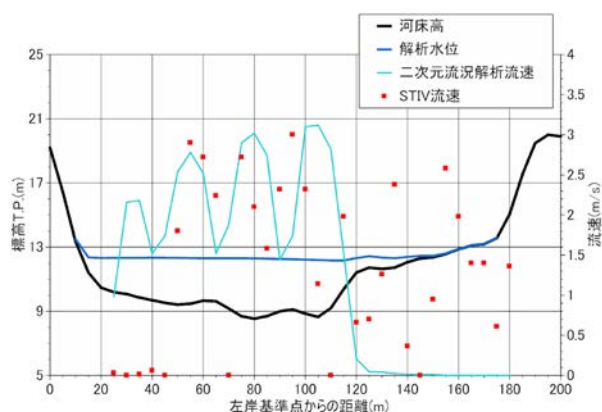


図-10 H29T18 大洲第二 STIV 解析結果

(3) 画像処理型流速計測手法精度

図-10に、T18洪水の大洲第二地点におけるSTIV解析結果表面流速分布を示す。全体的にばらつきが大きく、解析が正常に実行できていないことが分かる。この原因として、STIV解析の原理上、ある程度一定方向に流れる箇所でないとは流速の計測が困難であることが理由として挙げられる。したがって、橋脚による後流が激しい大洲第二地点では、STIV解析による流量観測は困難である旨の結果となった。

以上を踏まえて、STIV解析の対象を大洲第二地点から約300m上流の、洪水中の流向が一定となると考えられる渡場CCTVカメラへ変更を行い、再び標定点測量やアングル調整を行い、その後に発生したT22洪水についてSTIV解析を行った。なお、T22洪水は規模が小さく、浮子観測は実施しておらず、水位計No.2のゼロ点高まで水位が上昇していない。図-11に、T22洪水ピーク時の渡場地点における、STIV解析結果表面流速分布と、二次元流況解析結果水深平均流速分布の比較を示す。どちらの結果もほぼ同様な横断流速分布を示しているが、河道中央部でSTIV解析結果の方が50cm/s程度小さく計測されている。また、横軸についても少しずれているような分布になっており、この原因は、標定点やCCTVカメラの座標が正確でなかったためであると考えられる。今後は、座標の再計測や、様々な流量規模で計測するなど、引き続き検討を行う必要がある。

5. おわりに

本検討において得られた結果は以下の通りである。

詳細な河道地形や、洪水時の縦断面水面計の時間変化の計測を行い、二次元流況解析を用いてT18洪水およびT22洪水の流量ハイドログラフの推定を行った。その結果、浮子観測を行った18号洪水では浮子観測と同様な値が得られ、かつ平成29年度とそれ以前のH-Q関係が異なる

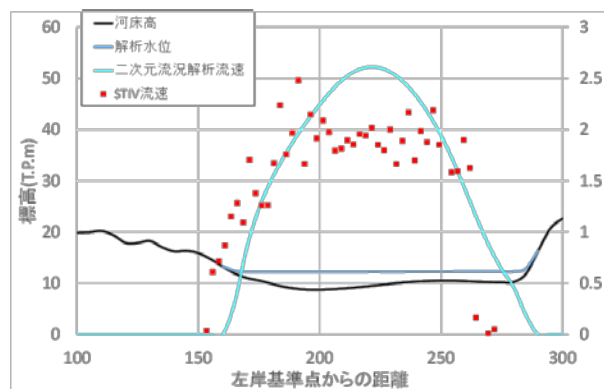


図-11 H29T18 渡場 STIV 解析結果と解析流速分布比較

結果となった。しかしながら、流速について解析結果と浮子観測結果を比較すると、右岸側で解析結果より浮子観測結果が小さく計測されている。これについて、解析のより細かい設定を行う、浮子観測と比較する解析結果流速を見通しを行う区間の平均とするなど、種々の改善を行い引き続き検討を行っていく。

また、CCTVカメラを用いたSTIV解析から表面流速分布を求めた結果、大洲第二地点では既設橋脚の後流の影響が強く、STIVの特性上、横断流速分布の再現は困難である旨の結果となった。これに対し、STIV解析を実施する箇所を約300m上流の渡場地点に変更を行い、T22洪水についてSTIV解析を行ったところ、二次元流況解析の結果とは若干異なる流速分布となり、現段階ですぐ浮子法の代替法とすることは難しいことが分かった。これについて、標定点やカメラの座標の再計測を行い、より詳細な設定を行った二次元流況解析と引き続き比較、検討を行う。

謝辞：本検討を行うに当たり、高知工業高等専門学校ソーシャルデザイン工学科准教授の岡田将治氏より、多くのご助言や資料提供を頂いた。ここに記して深謝の意を表する。

参考文献

- 1). 四国地方整備局河川部 四国水文観測検討会：第2版水文観測の手引き（案）高水流量観測編，平成16年3月
- 2). 国土交通省河川砂防技術基準維持管理編（河川編）
- 3). 江蔵 拓，笹川 幸寛，手計 太一：各種河川流速観測手法に関する基礎的検討，河川流量観測の新時代，第3巻，2012年9月
- 4). 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，2014年2月
- 5). 島本重寿，藤田一郎，萬矢敦啓，柏田仁，浜口憲一郎，山崎裕介：画像処理型流速測定法を用いた流量観測技術の実用化に向けた検討，土木学会河川技術論文集，第20巻，2014。