

画像解析による高水流量観測の有効性 —千代田実験水路を活用した実流量との比較検証—

帯広開発建設部 治水課 ○小泉 和久
米元 光明
濱中 昭文

近年、集中豪雨や局地的豪雨が全国各地で頻発している中で、急激な増水により高水流量観測態勢の構築が困難な状況が発生しており、非接触型流速計測法の活用が期待される。

本報告では、中小河川規模の実験施設であり、かつ流量コントロールが可能である千代田実験水路分流堰を活用して、実流量とADCP及び画像解析（STIV法）により得られた流量を比較検証し、画像解析による流量観測の有効性と課題について報告するものである。

キーワード：流量観測、画像解析、実験水路

1. はじめに

近年、災害が局地化・集中化・激甚化していると言われている。本年では台風7号および停滞していた前線によって集中豪雨が発生し、西日本を中心に広い範囲で記録的な大雨となった。岡山県倉敷市では複数箇所では堤防が決壊し、4,600棟あまりが浸水、広範囲で冠水する被害があったほか、広島県を中心に大規模な土砂崩れが発生し、甚大な被害が発生し、平成最大の死者数となった。

北海道においても近年の気象は明らかに変化しており、強い短時間降雨や接近する台風の発生頻度が増加している。平成28年8月では北海道に相次いで台風が上陸し、空知川、札内川など9河川で堤防が決壊、また79河川で氾濫するなど大規模かつ広域的な災害が発生した。

十勝管内でも、道路の通行止めや橋梁の損壊などが多数発生し、観測所にアクセスできない、高水流量観測が実施できないといった問題が生じたほか、作業員の安全確保にも課題が残った。

また、高水流量観測は浮子を投下し一定区間の流下時間を計測する浮子法が現在の主流である。しかし、近年の短時間に集中する豪雨や、人手不足のために複数の現場を担当している等の理由から、観測が間に合わないといった問題も発生している。

このような観測上の諸問題を解決するため、非接触型流速計測法の技術が開発・研究され、水文観測規程の改定及び現場マニュアルの作成が進められており、各地で実際に活用も始まっている。

非接触型流速計測法の中でも画像処理型流速測定法は安全性・利便性・コスト面などから有効な手法

であると考えられる。

今回、十勝川中流部に位置する千代田新水路の一部である千代田実験水路（図1）では正確な水位・流速・流量の把握が可能であり、新技術を含めた様々な観測の比較検証も可能である。流量コントロールが可能である本実験水路を活用し実流量とADCP及び画像解析により流量算出を行い、その有効性と課題について報告する。

また、STIV法では表面流速から区分断面流速を算出するに当たり流速補正係数については一律0.85を過去の研究事例から適用されているが、事例が非常に少なく補正係数の妥当性を検証し、必要に応じて修正する必要があるとされていることから今回補正係数についても妥当性の確認を行った。



図-1 千代田実験水路

2. 画像処理型流速計測法の概要

動画から流速を計測する手法として「平成14年度版

水文観測」ではPIV(Particle Image Velocimetry)法やオプティカルフロー方式の記述があり、古くから考案・研究されてきた技術である。

PIVは画像上の各画素を256段階の濃淡情報（白黒）に変換し、濃淡のパターンが連続する次の画像でどの方向に移動したかを求める手法である。

この手法の場合、カメラから遠い部分では計測精度が低下する。これは、遠距離では1画素あたりの実距離が長くなり、濃淡のパターン移動を正確に追跡できなくなるためである。この欠点を補うためにSTIV(Space-Time Image Velocimetry)法が開発された。

STIV法では任意の線（検査線と呼称される）を設定し、その線上の輝度の変化を追跡する（図2）。そのため、画素サイズに影響されることなく計測でき、現在の画像処理型流速計法の主流となっている。

なお、画像解析では「一般に水面に発生する波紋（水面波紋）を追跡している。水面波紋は乱流によって生じるものであり、局所的には方向性が無いが、マクロ的には面的に移流しており、表面流速とほぼ同じ速度である」（藤田,2013）ことがこれまでの研究で検証されている。

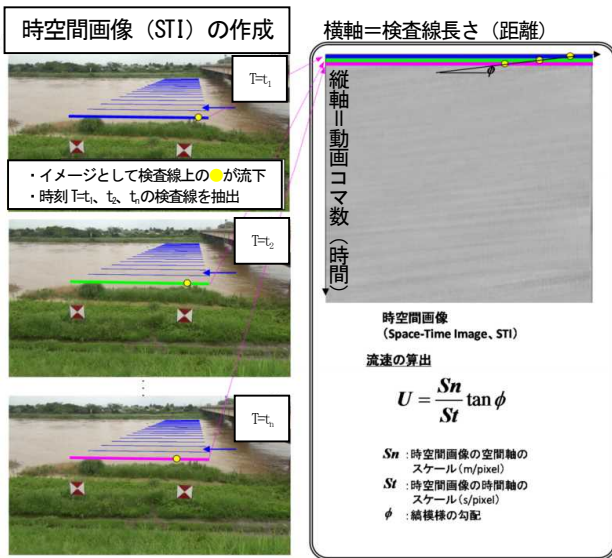


図-2 STIV法（非接触型流速計測法の手引きより）

3. 今回の観測方法

撮影はポータブルビデオカメラ（図3）を使用し、河岸より三脚を用いて行った（図4）。また撮影箇所について、今回の実験では水路内を矢板で締め切り、水路幅10m～15mほどで通水しているが、その矢板締め切りより下流の箇所（通常的水路幅）とした（図5）。

撮影間隔は30分に1回、30秒程度とし、10時～15時30分の間で12回撮影した（図6）。



株式会社 JVC ケンウッド
 EverioR (GZ-RX680)
 映像素子:1/5.8型 251万画素
 絞り値:1.8~6.3
 焦点距離:2.9mm~116mm
 動画画素数:1920×1080
 フレームレート:60fps

図-3 ポータブルビデオカメラ仕様

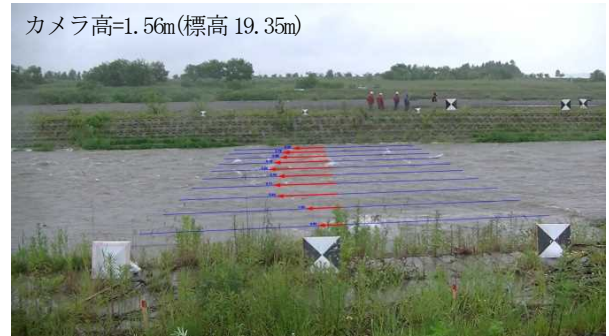


図-4 撮影・解析状況



図-5 撮影箇所

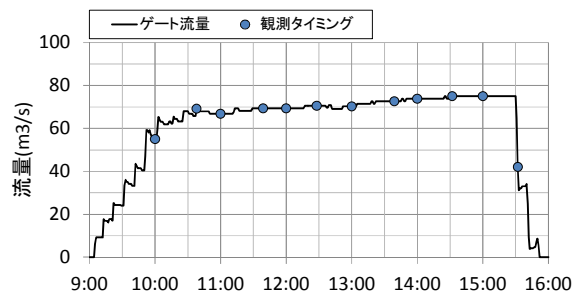


図-6 計測タイミング

4. 観測結果

(1) 流速解析結果

ピーク流量70m³/s到達時の観測結果を図7に示す。なお、画像処理型流速計測法では表面流速しか計測できないため、鉛直分布は春日屋の鉛直分布式で表現（推定）している。

70m³/s到達後、撮影地点での流速は最大3.8m/s、平均で2.5~2.9m/sであった。STIV撮影箇所は急拡部であり、右岸側に流心が偏っている。

上流のADCP観測地点（矢板締切により水路狭窄部）では、3m/sほどであった。STIV箇所と異なり水路の中心が最大となっている。鉛直流速分布は上層から下層まで変化は少ない。

図8は今回撮影した動画の時空間画像（STI画像）である。STI画像は検査線上の映像を集約した画像となっており、縦軸が動画のコマ数（=時間）、横軸が検査線の長さである。水面に流れがあり輝度に変化（移動）している場合、斜めの縞模様が現れる。この縞パターンを解析すること（距離÷時間）が即ち流速を求めることとなる。

検査線上を一定の速さで流れている場合は、左上から右下まで一直線の縞パターンが現れる。ただし、前提条件として水面が平面であるとして解析される。今回の撮影地点は矢板締切より下流で狭窄部から急拡になっている箇所である。水面はやや波立っていたが、何れの測線においてもSTI画像は明瞭かつ一直線のパターンが今回は得られており（図8）、解析には影響がなかったと考えている。

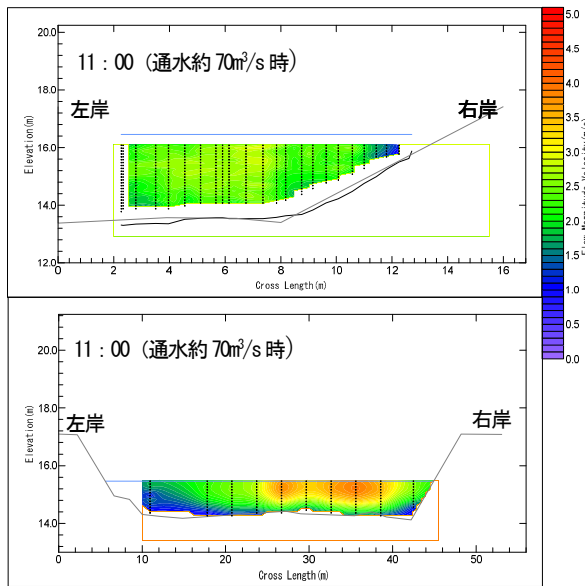


図-7 流速分布（上段：ADCP地点、下段：STIV地点）

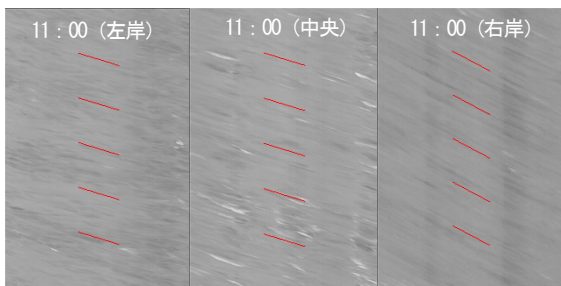


図-8 時空間画像

(2) 流量算出結果

次に得られた流速から流量を算出し、ADCP流量およびゲート流量（通水流量）と比較した。

流量の算出にあたっては、①「非接触型流速計測法の手引き」に基づき区分求積法（区分断面ごとの平均流速を算出し区分断面積を乗じ流量の総和をとる手法）を用い、流速の補正係数は0.85としたパターンと、②春日屋の流速分布式（鉛直平均流速と代表流速の比は0.85とした）を用いて層（10cm）毎の流速を算出し各層の面積を乗じて流量を算出する2パターンで計算を行った。

なお、区分断面積を求める際に各測線が受け持つ幅については、画像上で測線に座標が設定されるため、撮影箇所の横断測量距離に落として決定した（図9）。

図10が流量比較結果である。まずADCP観測について、ゲート流量70m³/sに対し、前半はほぼ一致している。今回、破堤実験を行っており、ADCP観測地点は破堤部下流となるため破堤後はゲート流量より少なくなり30m³/sほどで推移しているが、破堤前の流量がゲート流量と一致していることから妥当な値と考えられる。

次にSTIV法で算出した流量について、算出方法の違いによる差はほとんどないことがわかる。しかし、流量は最大で100m³/sほどでゲート流量に比べ過大となっている。破堤後においても35m³/sほどで推移しており、ADCP観測流量に比べ若干過大傾向である。

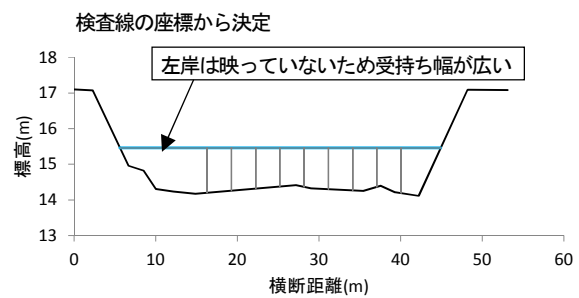


図-9 各測線の受持ち区分

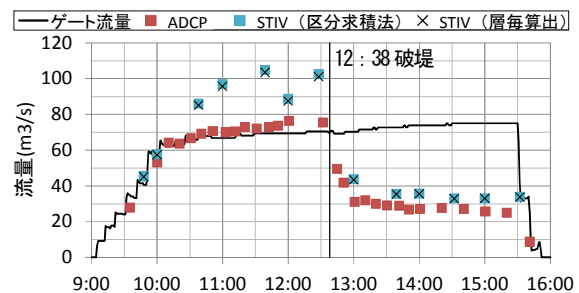


図-10 流量比較

5. 検証

今回、縞パターンが明瞭であったことから、流速解析結果は概ね正しいものと考えている。流量が過大になる原因として鉛直平均流速を求めるための更正係数が一般的な値（手引きに基づく0.85）から乖離していたのではないかと推測される。しかし、今回 ADCP 観測地点と動画撮影地点が異なるため、ADCP の鉛直流速分布を使用し検証することができない。

そこで河川シミュレーションソフト iRic を用いて、検証を行った。ソルバーは「Nays Cube」を使用し3次元流の計算を実施した（図-11）。使用する断面については、通常の横断測量結果（12m ピッチ計26本）と、測量を行っていない下流部分は、UAV で撮影した画像から復元された3次元点群データを使用した。

また、流量は実験とほぼ同様の1時間で70m³/sに到達するものとし計算を実施した。

まず、モデルの妥当性を確認するために、iRic と実流量と整合が図られている ADCP の結果を用いて流速の比較を実施した。その結果を図-12示す。ADCP と iRic による計算結果は概ね一致している状況が確認できたことから、このモデルを使用して画像解析地点において流速の比較検証を実施した。

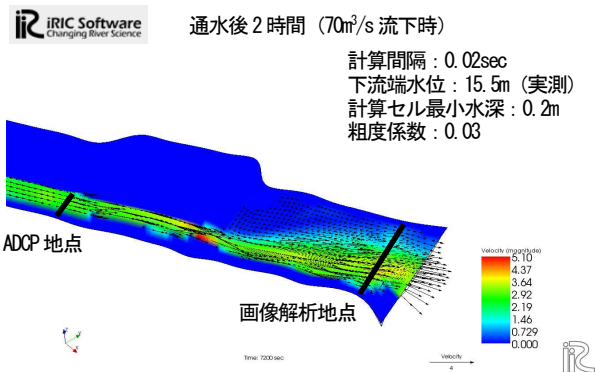


図-11 iRicを用いたシミュレーション結果

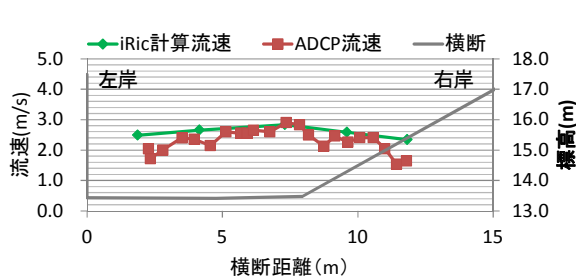


図-12 iRicとADCPの流速比較

図13はiRicの計算流速とSTIV法による流速の比較である。まず、iRicとSTIV法との比較では、左岸側では

ややSTIV法の流速が速いが流心部では概ね一致している。河岸部の流速差が生じた箇所については画像解析画角に入らない河岸部の検査線受け持ち領域の広い範囲で誤差が生じているが、その他計測箇所では表面流速は問題なく解析できていたと考えられる。

次に鉛直分布を確認した（図14）。iRicによる計算では、河岸を除き何れの測線も表面流速が最大となっており、下層に従って低減していく分布となっている。この表面流速に対する鉛直平均流速の比を算出したところ、0.57~0.85（平均0.72）となった（破堤前までの各観測時間に相当する計算結果を抽出し測線ごとに平均している）。

この鉛直平均-表面流速比（補正係数）を用いて再度流量計算を行った結果が図15である。70m³/s通水時においてSTIV法の流速から算出した流量は80~90m³/s程度となっており、過大傾向は変わらないが、破堤後は概ね一致する結果となった。

流量が完全に一致していない要因の一つとして、通水直後に河道内工事があったため推定の断面を使用し流量計算を行っていること。また、撮影地点は急拡部であり河床が大きく変動していたものと推察されることから、今後更なる検証が必要と考えている。

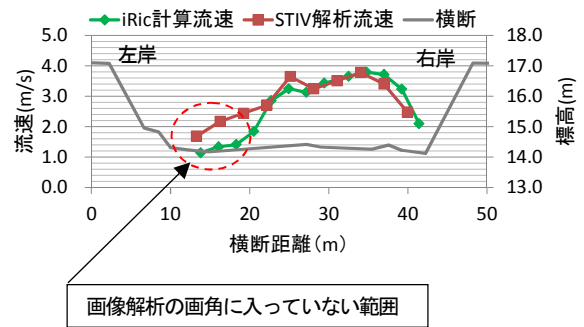


図-13 iRicとSTIVの流速比較

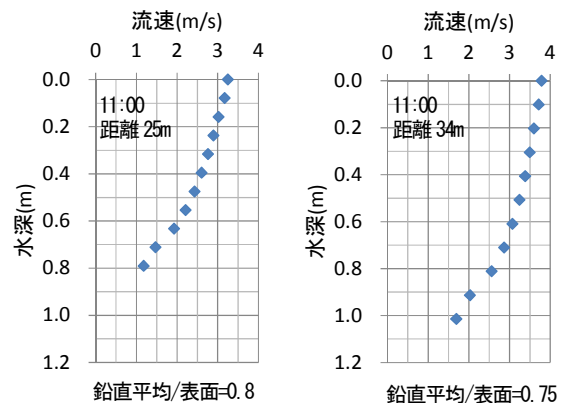


図-14 シミュレーションによる鉛直分布

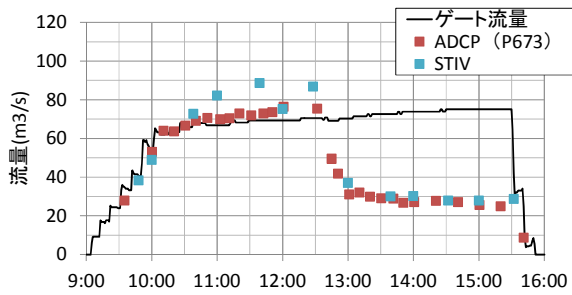


図-15 補正係数見直し後の流量

6. まとめ

- 千代田実験水路を用いて画像処理型流速計測法による解析を行った。
- ゲート流量およびADCP観測流量と比較したところ画像解析による流速を用いた場合は過大傾向であった。
- iRic によるシミュレーションでは表面流速は画像解析による流速とほぼ一致していた。

- シミュレーションで得られた補正係数を用いて、流量を再計算したところ、流量が小さく河床が変動しづらい時点については画像解析結果と実流量で整合が図られた。
- ピーク時において流量不一致の要因として、通水後の横断を推定していること、画角に入らない河岸部の未計測領域があることなどが考えられる。
- 今後は、同一箇所でもADCP観測を行い河床変動と流速鉛直分布の関係を詳細に確認すると共に、実施前後の横断測量の実施及び、CCTVやUAVを利用し高い箇所からの撮影で未計測領域を軽減するなどして誤差の要因を検証していくことが必要と考えられる。

参考文献

- 日本流体力学会：河川流速・流量の画像計測における遠赤外線カメラの活用（2013, 藤田）
- 土木学会：開水路の垂直流速曲線における平均流速の位置の分布性について（1955, 春日屋 伸昌）