

琵琶湖後期放流時における瀬田川流量観測の高度化と実運用に向けた考察

佐々木 彩華¹・川西 英司¹

¹近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 流域治水課 (〒520-2279 滋賀県大津市黒津4丁目5-1)

瀬田川洗堰は琵琶湖の水位と瀬田川の流量を調節している重要な河川施設である。後期放流量の超過は、天ヶ瀬ダム洪水調節容量の減少、淀川水系の治水安全度の低下、逆に過少になれば、琵琶湖沿岸域の浸水被害の長期化につながる。一方、計画流量を安全に流下させるために鹿跳溪谷の河道整備が進められており、瀬田川洗堰からの放流量と大戸川流量の合流量を把握することは河川管理上重要な課題である。そこで本稿では大戸川合流直後の関ノ津水位流量観測所において画像解析法による試験観測を実施し、流量観測の高度化を図るとともにその実運用に向けた検証および考察を行った。

キーワード 非接触型流速計測法、流量観測、STIV解析、遠赤外線カメラ、治水安全度

1. はじめに

瀬田川洗堰の通過流量の把握は通常、越流公式によって求めているが、洪水後の放流においては全開の操作となるためH-Q式から流量を把握する。瀬田川洗堰の全開操作は、1992年(平成4年)から2022年(令和4年)までの間に86回、年平均2.8回実施されている。2011年(平成23年)には最多の9回の全開操作が実施されている。

ただし、後期放流量は琵琶湖水位、大戸川の合流の影響、下流狭窄部などにより複雑な水理現象となっているため、全開操作時の流量を正確に把握するには、過年度のH-Q式では捉えきれず、出水中に流量観測を実施して把握することが望まれる。

関ノ津水位流量観測所(以下、関ノ津観測所とする)は、瀬田川洗堰下流の大戸川合流直後の瀬田川68.8kmに位置する第2種の観測所である。ここに非接触流速計測法である画像解析用のカメラを設置し、画像解析法により流量を求め、その実運用に向けて観測精度の検証と考察を行った。

2. 観測の概要

(1) 観測地点

関ノ津観測所は瀬田川洗堰下流の大戸川合流点より0.2km下流に位置する。下流の鹿跳溪谷までは約1kmの地点である。関ノ津観測所の位置を図-1に示す。

(2) 高度流量観測手法

高度流量観測手法のうち、試験観測で使用した画像解析法には以下の特徴がある。

- ・カメラで録画した動画データを画像解析して波紋、ゴミ等の流下物の速度を計測し、表面流速を算出。
- ・基本的には動画データの解析を観測後に実施して流量を算出(自動化事例有り)。
- ・垂流流速分布を考慮して区分流速を算出(通常は校正係数0.85を使用)。
- ・流速測定可能範囲: 0.1~5.0m/s以上。
- ・表面流速は風の影響を受けるため、補正が必要。

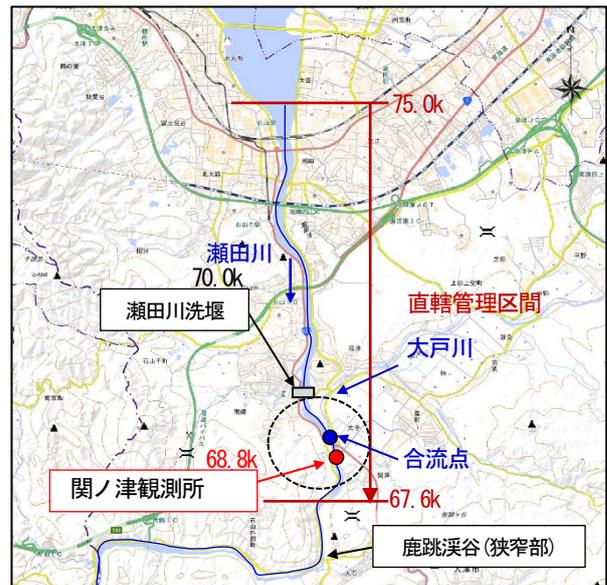


図-1 関ノ津観測所位置図

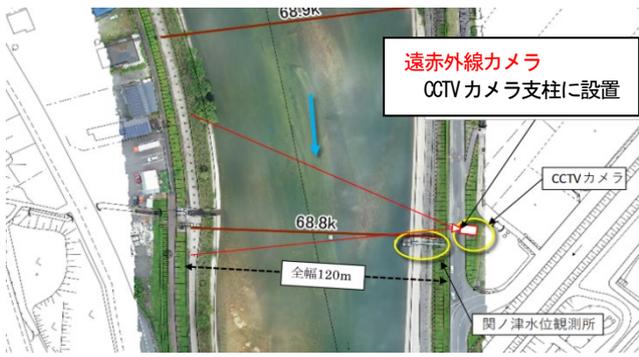


図-2 観測機器（遠赤外線カメラ）の設置位置



図-3 観測機器の設置状況

3. 試験観測の実施

(1) 機器の設置位置

画像解析用のカメラ機器は、図-2、図-3に示す関ノ津観測所左岸に設置されたCCTVカメラの支柱に固定した。

(2) カメラの設置とレンズ選定

予め実施した画角確認により赤外線カメラのレンズ焦点距離は19mm川幅全体を把握でき、また空間解像度も十分であった。設置高は4.8mとして試験観測を実施した。

(3) 流速解析手法

画像解析による流速測定法は、洪水流を撮影した映像を解析することで流速を計測する手法である。ここでは標定測量による幾何補正後に、洪水流量観測事例の多いSTIV法を用いて解析を実施した。

【STIV法の観測原理】

画像解析法による流量観測では、画像から流速を算出する手法として、STIV (Space-Time Image Velocimetry) 法によって解析を実施する。STIV法はPIV法的一种であるが、PIV法が2枚の連続画像から二次元の瞬間速度場を求めるのに対し、STIV法は連続する数十枚の画像から一次元（主流方向）の平均速度場を求めるのが特徴である。STIV法は、数秒間のビデオ画像の数十枚のフレーム画像の情報から流れ方向の速度成分を求める。具体的には

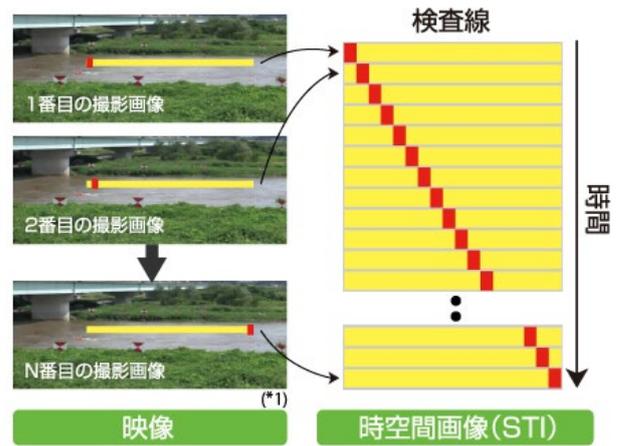


図-4 STIVにおける検査線のイメージ

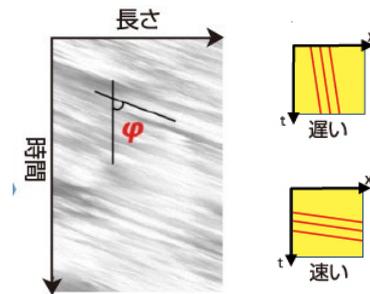


図-5 流速の測定原理

画像の中で検査線を設定し、その細長い画像を切り出して時系列に並べていくイメージである。

図-4の黄色線は検査線、赤四角は表面波紋等の輝度値の特徴を表している。時空間画像 (STI) は検査線上の輝度値を時間方向に並べることで生成され、図-5のような流速に応じた輝度分布の縞模様が現れる。

流速は時空間画像の縞模様の傾き (ϕ)、長さ、および時間から計算される。 ϕ が小さい場合には流れが遅く、 ϕ が大きい場合には流れが速いことを表す。

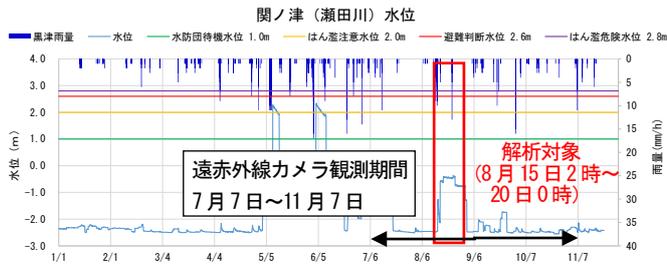
4. 試験観測結果

観測結果の解析対象は、観測期間中において水位が最も高かった台風7号の出水とした。

(1) 台風7号の気象概況

2023年（令和5年）台風第7号は、8月8日9時、南鳥島近海で発生した。その後小笠原近海をゆっくりと西に進み、8月11日には、父島の東海上を北上、8月14日には、八丈島の南西海上に進み、8月15日5時前に和歌山県潮岬付近に上陸、その後北上し日本海へと通過した。

(2) 観測対象の出水と解析期間



解析対象 (8月15日2時~20日0時)

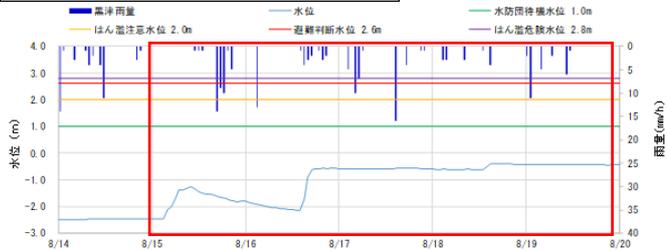


図-6 関ノ津観測所水位・雨量

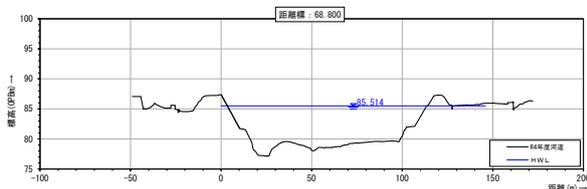


図-7 横断面 (68.8k)

観測期間中、関ノ津観測所の水位が最も高かった台風7号の出水を対象とし解析を実施した。解析対象とした出水について、関ノ津観測所の水位・雨量グラフを図-6に示す。なお、8月16日の瀬田川洗堰放流量は250m³/s、8月19日は300m³/sであった。

(3) 変数の整理

STIV解析に使用した変数は以下のとおりである。

- ・水位：関ノ津観測所水位
- ・横断形状：68.8k、2022年度定期横断測量 (図-7)

(4) 流速解析結果

表面流速の解析は、標定測量データを用いてSTIV解析により実施した。関ノ津観測所における8月19日後期放流時 (300m³/s) の解析例を図-8に示す。

(5) 流量の整理

本検討では本川上流1.0kmの瀬田川洗堰放流量と支川の大戸川上流1.1kmの黒津観測所の2022年度 (令和4年度) HQ式から求めた流量を合算し評価の基準とした。

到達時間の補正については、観測所間の距離と断面平均流速より流下時間を求めて補正した。

具体的には黒津観測所8月15日出水におけるピーク時の平均流速は1.53m/s (浮子流量観測結果より)、関ノ津観測所までの距離は1.1kmである。これらより流下時間は12分程である。関ノ津地点では黒津観測所流量の10分



図-8 STIV解析結果 (水位ピーク8月19日14:00時)

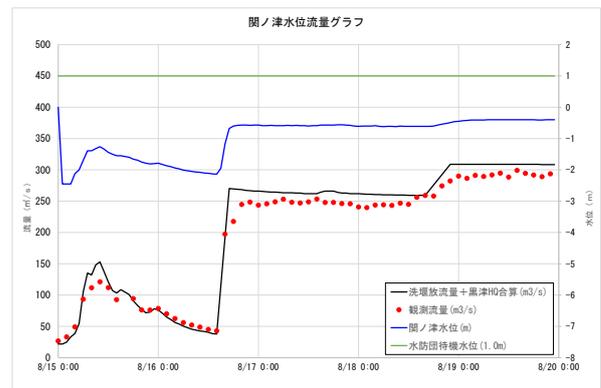


図-9 放流量+黒津流量と観測流量

前の流量を適用した。また瀬田川堰も1.0kmとほぼ同等の距離にあるため10分前のデータを採用した。図-9に放流量+黒津流量と観測流量のグラフを示す。

8月15日出水、また後期放流での水位は、水防団待機水位に達していない。観測期間中の放流量は、瀬田川洗堰のゲート操作により8月16日14:00~16:00に250m³/s また、8月18日13:00~14:00に300m³/sとなっている。遠赤外線カメラによる流量観測結果は、流量の変動は同じ傾向であった。なお、100m³/sを超える流量ではやや低い値を示している。

5. 精度検証

(1) 浮子観測データとの整合性の確認の実施方針

非接触型流速計測法による観測データと浮子測法による観測データとの整合性については以前より課題になっているところである。非接触型流速計測法データと浮子観測データとの整合性の確認にあたっては2023年 (令和5年) 3月29日の事務連絡により実施方針 (案) が示されている。

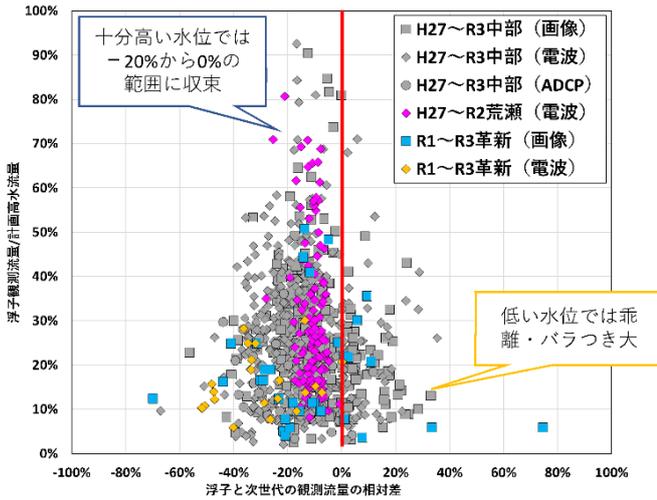


図-10 (観測流量の相対差) — (出水規模)
 (浮子測法と非接触型流速計測法の観測流量の相対差)
 = (非接触型流速計測法-浮子観測流量) / 浮子観測流量

【浮子観測データとの整合性の確認の実施方針(案)】

- 1) 浮子測法との同時流量観測が実施されている観測所については、図上に同時流量観測データをプロットする。
- 2) 同時流量観測データが概ね相対差-20%から0%の範囲に収まっている場合には、「浮子観測データとの整合性」が保たれていると判断し、当年の水位流量曲線の作成に非接触型流速計測法データを使用することができる。

2018年度(令和元年度)~2021年度(令和3年度)にかけて実施された革新的河川技術プロジェクト(第4弾)等の河川流量観測の高度化に関する検討等によって蓄積されてきた観測データを整理した結果、浮子観測データと非接触型流速計測法データの相対差について、図-10に示すとおり、低い水位では乖離やバラツキがあるものの、十分高い水位(重要度の高い領域)では-20%から0%の範囲に収束し、浮子測法の持つ不確実性程度(±20%程度)に収まることがわかってきた。

(2) 検証方法

関ノ津観測所での今回の観測においては、浮子による同時流量観測を行っていないこと、また2022年度(令和4年度)のH-Q式も適用範囲外であるため浮子測法との比較検証は行えない。

そこで、図-11に示すとおり、2023年(令和5年)3月29日の事務連絡(浮子観測データとの整合性の確認の実施方針(案)について)3.審議方針3)「浮子観測法との同時流量観測が実施されていない場合」により95%予測区間を利用した「非接触型流速計測法による観測データの妥当性」(「水文観測データ品質照査の手引き」参照)の照査を実施した。

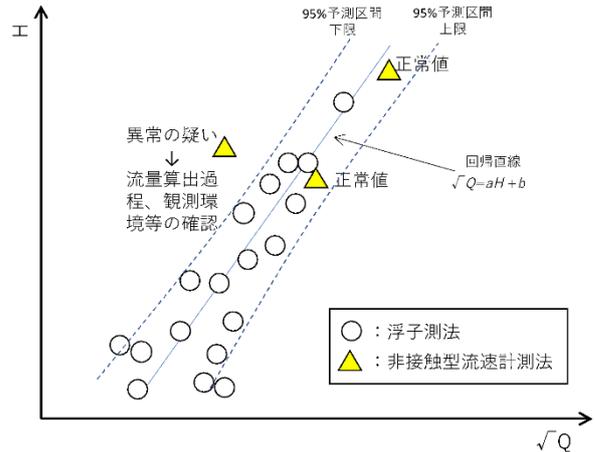


図-11 浮子観測データによる95%予測区間と非接触型流速計測法データ

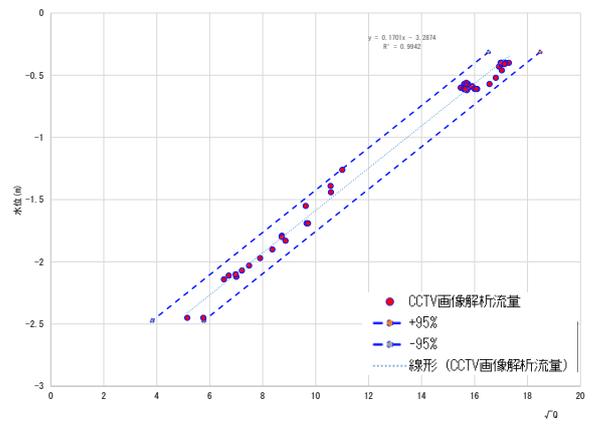


図-12 95%予測区間による検証結果

(3) 検証結果及び考察

図-12に示すとおり、観測結果は±95%予測区間内に収まることから、観測流量は妥当と判断される。

なお、2023年(令和5年)3月に改訂された水文観測データ品質照査の手引き(改定案)においては、AQCでの検出の目安としてより寛容な99%予測区間が設定されている。

次に関ノ津観測所では台風7号出水時に浮子流量観測を実施していないが、代替の指標として瀬田川洗堰放流量と支川大戸川に位置する黒津観測所のH-Q式(2022年度)換算流量を合算して求めた合成H-Q曲線を作成した(図-13)。

8月15日7:00から8月16日の5:00までの2日間の観測データにおいて、低い水位で流量規模が小さな領域では「(洗堰放流量)+(大戸川黒津H-Q)」と「画像解析方式による流量」の差にバラツキが大きくなる傾向があったが、流量規模が比較的大きい場合は、バラツキが小さくなる傾向となった。この傾向は他河川で観測された浮子測法との相対差(図-10)でも同様の傾向が見られることから、十分高い水位となる後期放流時においてはバラツキが小さくなると推察される。

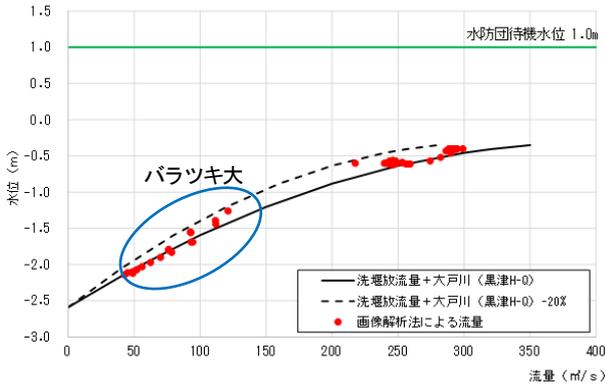


図-13 合成 H-Q と画像解析方式による観測流量

6. 実運用に向けた課題

関ノ津観測所で実施した今回の試験観測では水防団待機に達しない $300\text{m}^3/\text{s}$ 程度の出水規模であったが、十分な観測精度が確保できることが確認できた。

今後は実用に向けた以下の検討が必要である。

- ① 関ノ津観測所の計画流量は $1,500\text{m}^3/\text{s}$ であり、より流量規模の大きな出水の観測を実施し、浮子観測との比較検証を行うことにより、 $0\sim -20\%$ の範囲を検証することによって、観測データの整合性を担保していくことが重要である。
- ② 瀬田川洗堰の運用に資するためには、瀬田川洗堰の通過流量を正確に把握することが重要であり、大戸川黒津観測所と関ノ津観測所の同時流量観測を実施することが必要である。具体的には大戸川黒津観測所における流量観測装置の設置等が求められる。

現在、瀬田川洗堰の通過流量はH-Q式により把握されている。一方、鹿跳溪谷の掘削工事の進捗により、下流

の水利条件（背水の条件）が変化し、H-Q関係も変化することが予想される。関ノ津観測所における非接触の観測手法による流量観測が可能となれば、河道改修の途中段階においても正確な流量の把握が期待できる。

7. 観測精度向上のための今後の課題

① 標定点の追加と横断観測

今回の試験観測結果は非接触型流速計測法の手引き（案）では検証範囲に収まり妥当とされるが、堰放流量との比較では一定の差異がみられる。これらは、洪水観測前後の横断測量の実施、標定測量点の追加等を実施することにより精度向上が望めると考えられる。

② 観測精度維持のための植生管理

画像解析法においては、死角が発生することが大きな障害となる。また、試験観測では、対岸の植生により遠赤外線が障害され画像が不明瞭になることが確認された。このため兩岸における植生の管理は必要となる。

③ 自動解析について

STIV解析ソフトには、自動解析による流速解析が選択できるが、今回の観測では精度が高いとは言えないため、手動による解析を実施した。「ディープラーニング法」は、今後観測を継続して教師データを増やすことで精度向上が期待される。

参考文献

- 1) ISO748 : 2021 (Hydrometry-Measurement of liquid flow in openchannels-Velocity area methods using point velocity measurements)
- 2) 萬矢敦啓・後藤功次・山本晶：異なる計測手法から得られた河川流量値の違いに関して，土木技術資料 63-5，2021
- 3) 藤田，河川表面流速の画像計測ソフトウェア-KU-STIV 開発の背景とその応用，2015 ハイドロ総研 HP，HydroSTIV
- 4) 非接触型流速計測法の手引き（案），2023
- 5) 水文観測データ品質調査の手引き（改定案），2023