

流速画像解析法 (STIV) の汎用化・自動化のための流速異常値棄却法の提案

東海旅客鉄道株式会社

非会員

中西 徹真

東京理科大学

正会員

二瓶 泰雄

パシフィックコンサルタンツ株式会社

正会員

○柏田 仁

1. 序論

洪水時の河川流量データは、洪水外力の適切な評価や対策の立案を行う上で極めて重要である。このため、河川管理者によって長年継続的に浮子測法による高水流量観測が実施されている。しかしながら、浮子測法では人力作業を伴うため、観測橋梁や周辺道路の冠水によって観測が実施不能になることや、洪水ピークに間に合わない事例が見られ、課題である。さらに、観測作業の負荷が大きく、観測業務が不調になるといった事例も見られる。このため、省人化・自動化が可能で、かつ、コスト増を極力抑制できる流量観測手法の開発が必要である。このためには、河川に多数設置されている CCTV カメラなどの撮影画像から、画像解析によって流速を非接触計測することが極めて有望である。この画像解析法としては、近年、STIV (Space-Time Image Velocimetry) の市販ソフトウェアの整備や実務への適用が全国規模で進んでいる。今後、STIV による流速観測のさらなる汎用化や自動観測の実現を考えると、STIV の流速異常値の検出・棄却が大きな課題である。本研究では、市販ソフトウェアでも実行できるような STIV の流速異常値の棄却法を新たに提案する。具体には、室内の開水路実験を行い、本棄却法の有効性を検証し、STIV の流速計測性能や夜間条件下への適用性も検討する。

2. 研究方法

(1) STIV の流速計測手順と本棄却法の概要

まず、一般的な STIV の流速計測手順を示す。事前に水面の波紋が明瞭に視認可能な箇所を探すか、波紋の生起を促す。次に、計測対象範囲の周辺に標定点を設置し、幾何補正を可能とする。計測としては、水面を一定時間撮影後、計測対象範囲内に検査線を引く。この検査線上の画素を時間的に蓄積した STI (Space-Time Image, 横軸を検査線上の流下距離、縦軸を時間とし、検査線上画素の濃淡を示す) に見られる縞模様の傾きを輝度勾配テンソル法により求め、流速とする (図-1)。

上記の標準的な手法で流速を求めると計測異常値がたびたび見られた。そこで新たな異常値棄却法として、以下の手順で行う。

- ① STI を時間・空間方向に複数に分割する。
- ② 分割後の各 STI に対して輝度勾配テンソル法を適用し、分割 STI 毎の流速値を求める。
- ③ 全データの中央値を流速とし、それ以外のデータを棄却する。なお、中央値判定時には、明らかに異常な流速範囲 (ここでは負の流速) は除外する。

(2) 室内実験の概要

東京理科大学所有の小型水路 (長さ 9.0m, 幅 0.60m, 高さ 0.44m, 勾配 1/1000) を用いて、表面流速横断分布を計測する (図-2)。撮影区間 (長さ 2.08m) の上流にさん粗度を設置することで波紋を起し、水路側面に設置した CCTV カメラ (FF-200, 三菱電機エンジニアリング(株)製) により撮影した。撮影条件は FULL HD, 30FPS, 撮影時

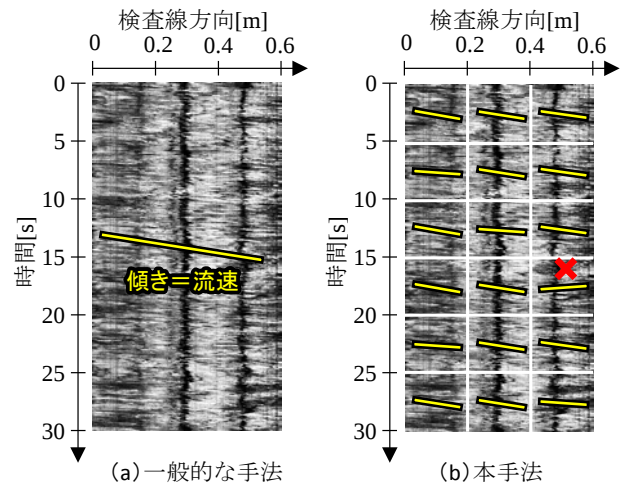


図-1 STIV の解析手法

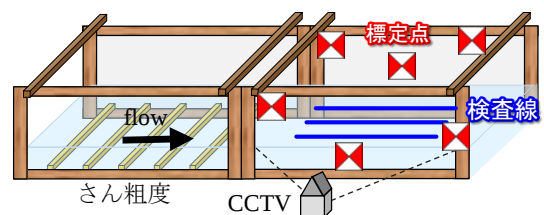


図-2 小型開水路の概要

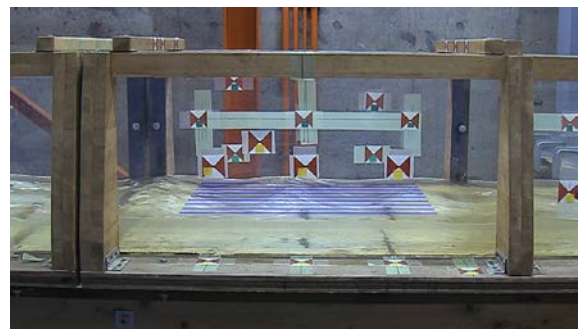


図-3 撮影画像の検査線の配置 (昼間条件を例示)

キーワード：流量観測, 画像解析, STIV, 異常値棄却

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501 (内線 4072) FAX：04-7123-9766

間は 30 秒である。流量 Q は $0.021\text{m}^3/\text{s}$ で一定とし、区間平均水深は 0.077m とした。検証用流速値の計測にはピトー管を用いた。解析ソフトウェアには KU-STIV (株式会社ビーシステム製) を使用し、長さ 0.60m の検査線を 9 本を設け、STIV 解析を実施した。STIV による流速解析方法としては、Band pass filter (BPF) 使用の有無と、上記の本棄却法使用の有無(縦 30sec 、横 0.60m の STI を縦 5sec 、横 0.20m の 18 個に分割)を組み合わせた全 4 ケースを対象とした。

また、光条件は、照度が 130lx 、約 10lx 、約 2lx の 3 ケースとする(一つ目が昼間、残り夜間相当)。さらに、同一夜間照度でも、水面に光の直接照射の有・無の場合を設けた。

3. 結果と考察

(1) 昼間条件における本棄却法の精度検証

本棄却法の精度検証を行うにあたり、その核となる分割 STI に関する流速値のばらつきを確認する必要がある。そこで、昼間の光条件における分割後の STI ($n=18$) に対する流速値の加積曲線を図-3 に示す。ここでは、横断距離 $y=0.20\text{m}$ における BPF 有・無の結果について例示する。これより、流速値は $0.4\sim 0.6\text{m/s}$ の範囲に集中しており、中央値を選ぶことで、異常値と思われる極端な流速値を除外できていることが分かる。なお、本研究ではより慎重にデータ解析を行うため、中央値選定時に負の流速値も除外した。

本棄却法の有効性を調べるために、昼間条件の流速横断分布を図-4 に示す。ここでの STIV として、本棄却法および BPF の適用有無に関する計 4 ケースの結果を表示している。また、検証用データとしてピトー管の結果も図示する。これより、本棄却法無のケースに関して流速値のばらつきが大きく、特に、BPF 無では表示範囲 ($0\sim 1\text{m/s}$) を越える結果となった。一方、本棄却法有のケースでは、本棄却法無で見られたばらつきは小さく一定の効果が見られ、かつ、BPF 有では検証データとほぼ一致した。このように、本棄却法の有効性が示されるとともに、BPF との併用が必須であることが明らかとなった。

(2) 本棄却法における光環境の影響

次に、本棄却法の計測精度に対する光環境の影響を評価するために、各光条件下の流速計側誤差 Err を図-5 に示す。ここでは、本棄却法有・BPF 有の解析結果に関して、検証用のピトー管計測値との差の RMS 値 Err_{RMS} を表示する。また、光照射条件としては、水表面に直接当てる場合(直接照射有)とそうでない場合(無)に分けて示している。これより、昼間条件では Err は 0.074m/s と小さい。夜間条件では、直接照射無では Err は 0.5m/s 強の大きな誤差となっているが、直接照射有では昼間条件と同程度の Err となった。

この差の要因を調べるために、夜間条件(約 2lx)における STI を図-6 に示す。これより、直接照射有では昼間条件と同様に STI 内に縞模様が明瞭に見えるが、直接照射無では縞が明瞭ではないため、流速算定が良好にできなかった。そこで KU-STIV に実装されている Gaussian filter を適用した結果、相対的には明瞭な縞模様が現れ、流速算出が良好にできるものと考えられる。以上より、夜間では、少ない光量でも水面を直接照射する光源を用意するか、もしくは、Gaussian filter を適用することが有用であることが明らかとなった。

以上のように、本棄却法は、既存ソフトウェアでも実行可能と比較的簡便でありながら、BPF との併用や照明環境に配慮することで、安定的かつ良好に水表面流速を計測可能であることが示された。

参考文献

- 1) Fujita, I. et al., Int. J. River Basin Management, Vol.5, No.2, pp.105-114, 2007.

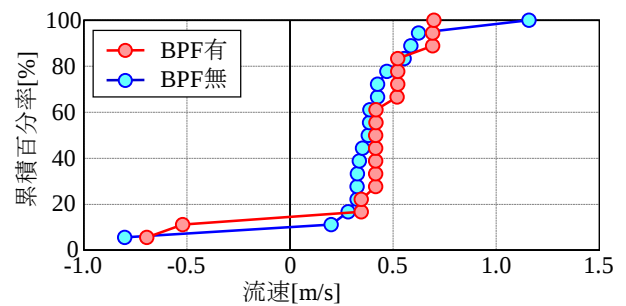


図-3 分割 STI の流速加積曲線(昼間, $y=0.20\text{m}$)

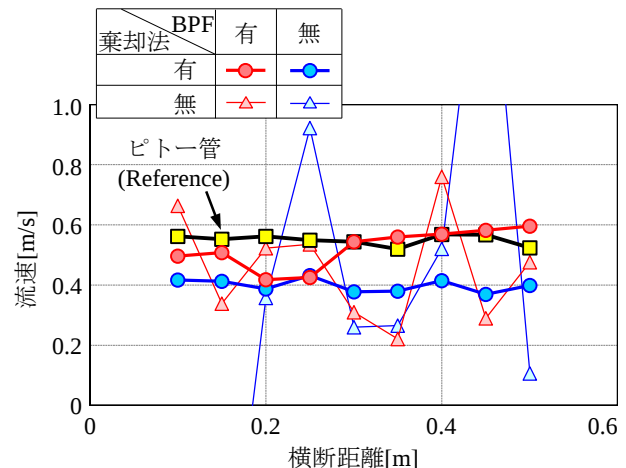


図-4 流速横断分布の計測結果(昼間)

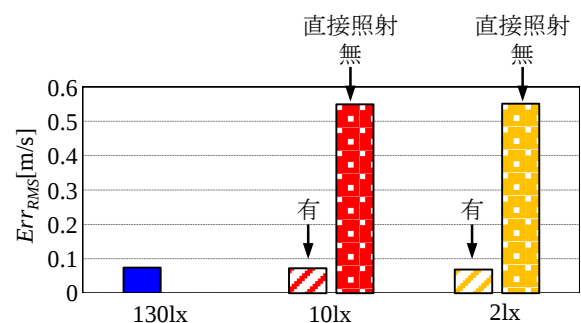


図-5 各光条件における流速誤差値 Err (本棄却法有, BPF 有のケース)

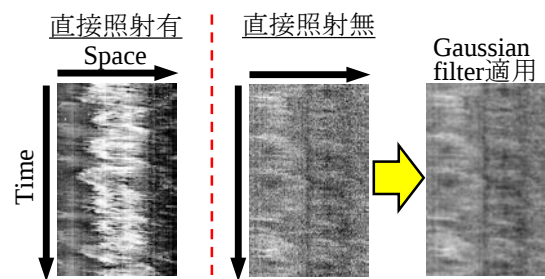


図-6 夜間条件の STI の比較 (2lx , $y=0.10\text{m}$)