

ビデオ画像解析による洪水時の流速・流量計測

VELOCITY AND DISCHARGE MEASUREMENT OF FLOOD-INFLOW USING VIDEO IMAGE ANALYSIS

岡田拓也¹・川村嘉勝²・青木政一³・藤田一郎⁴・成田秋義⁵

Takuya Okada, Yoshikatsu Kawamura, Masakazu Aoki, Ichiro Fujita, Akiyoshi Narita

¹正会員 学修 アジア航測株式会社 ウォーターリッパデザイン部 (〒243-0016 神奈川県厚木市田村町13-16)

²非会員 地環修 アジア航測株式会社 ウォーターリッパデザイン部 (〒243-0016 神奈川県厚木市田村町13-16)

³正会員 アジア航測株式会社 ウォーターリッパデザイン部 (〒243-0016 神奈川県厚木市田村町13-16)

⁴正会員 学博 神戸大学助教授 都市安全研究センター (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

⁵非会員 建設省東北地方建設局福島工事事務所 調査第一課 調査係 (〒960-8153 福島県福島市黒岩榎平36)

Surface flow velocity distributions of flood flows are measured by using a conventional video camera. Surface flow patterns visualized by water surface ripples, foam, drifting wood, or local differences in color of water are analyzed by a specific PIV (Particle Image Velocimetry) technique developed by one of the authors that can treat oblique angled video images. The point of this paper is to check the accuracy of discharge measurements with PIV by comparing it with those obtained by the other velocity measurement techniques such as the float method, the method that uses aerial photographs and the Manning's formula. In addition, velocity resolution by the PIV measurement is examined in detail as functions of viewing angle and distance from the video camera.

The result shows that estimated discharges by the presented PIV technique are comparable to those obtained by the float method. The PIV technique is a promising method that can farther be extended to an automatic measurement preparing for the coming optical fiber cable network system.

Key Words: PIV, Image Analysis, flood-Inflow measurement, possibility of automatic river inflow measurement

1. 目的

現在、洪水時における河川を対象とした流速計測法は、浮子を流水に水没させて計測する方法（接触型）と河岸や橋梁にビデオカメラや電波流速計等を設置して計測する方法（非接触型）が知られている¹⁾。

そのうちビデオ画像から表面流況（流量・流向）を求める画像解析システムは年々開発が進んでおり^{2)～6)}、河川管理用光ファイバーケーブル網の整備と併せ、河川流速・流量の自動計測の期待が高まってきている。加えて、洪水時の計測自体が危険性を伴う場合が多く、非接触型の流速計測法が望まれている。

しかし、ビデオ画像による流況解析を他の手法による解析結果と比較検討した例は少なく、又速度分解能に関する評価を行ったケースも少ない。

そこで本研究の目的は、第一に洪水時に撮影したビデオ

画像から河川流況（流速・流向）の把握が可能であることを確認し、第二にビデオ特性の分解能に関する評価をすること、第三に計測した流速の妥当性を検証することにある。

また第四にビデオ画像による流量算出結果を他の手法と比較検討し、本手法の可能性を確認する。

2. 方法

(1)対象地域と対象期間

本研究の対象地域は、図-1に示す阿武隈川27.45km付近に設置された水制周辺である。ビデオ撮影は平成10年8月27日～9月17日の間、非連続的に左岸2箇所と右岸1箇所から行った。なお、期間中に発生した台風4、5号時の福島水位観測所の水位観測結果を図-2に示す。

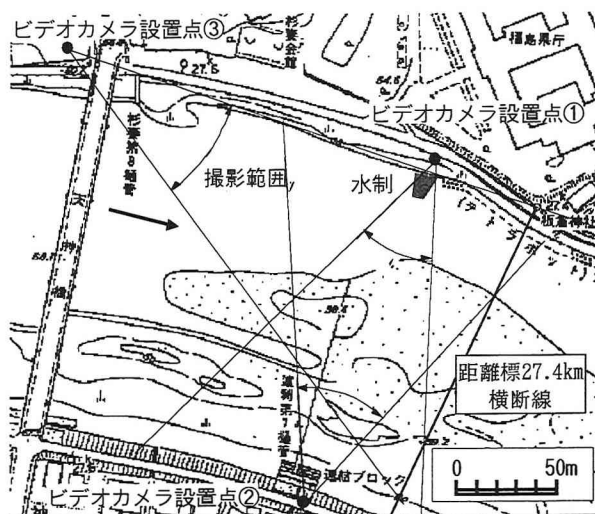


図-1 研究対象地域とビデオカメラ設置

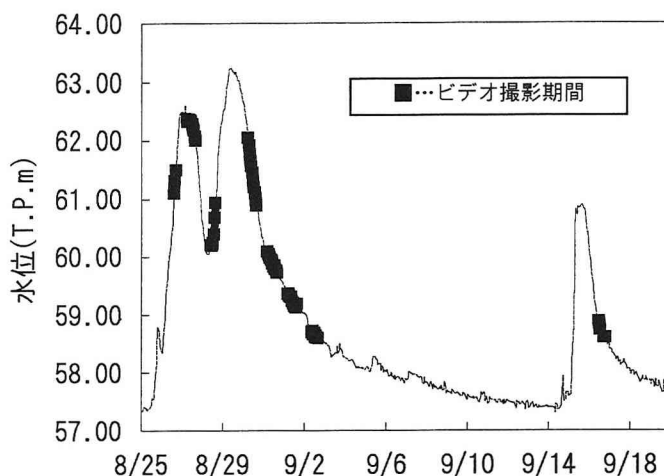


図-2 対象期間中の水位状況（福島水位観測所）

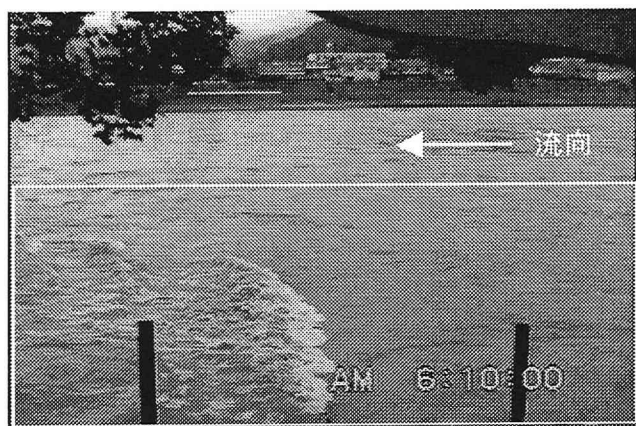


図-3 斜め画像（白線域は画像変換領域）

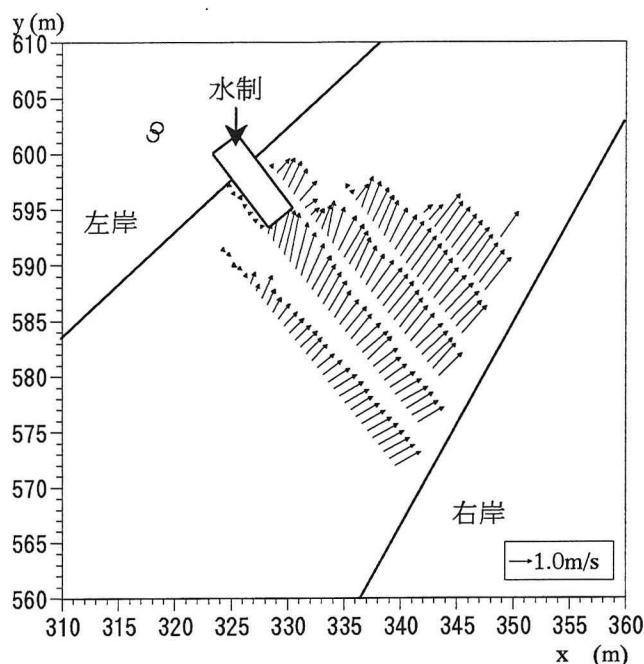


図-4 流速ベクトル図（白丸は図-3手前のポール）

(2)ビデオ画像解析手法

本研究に用いたビデオ画像解析手法は連続する数枚の画像から画像中のある領域のトレーサーパターンの移動を計測し、速度を計測するPIV解析（粒子画像速度計測法; Particle Image Velocimetry）である。

解析手順は次の通りである。市販のCCDカメラ（SONY CCD-V800）で撮影したビデオ画像に対してBMPファイル変換、バイナリモノクロ画像変換を行い、ビデオ画像を量子化した。次に、ビデオ画面上の画面座標を物理座標にするために二次射影変換を行った。最後にPIV解析を行い、二次元流速分布を得た。

この手法は作業が比較的簡便であり、作業の熟練者を必要としない点、ほとんど自動的に流れの様子を調べることができる点が特徴である。

3. 結果と考察

(1)実河川における流況の把握

図-3に左岸（図-1に示すビデオカメラ設置点①）からビデオ撮影した斜め画像（720×480 pixel 1998年9月1日午前6時10分撮影）を示す。手前に見える2つの黒い線は二次射影変換に用いる基準ポールであり、図-3では視認できないが、対岸にも標識が2本設置されている。

また、白波が立っている位置には水制が設置されている。この画像を二次射影変換したのち、PIV解析を行い作成した流速ベクトル図が図-4である。各ベクトルは河川横断方向には0.4mピッチ、縦断方向には4mピッチで示している。図-4中の白丸が図-3に示されている2本のポール位置に当る。

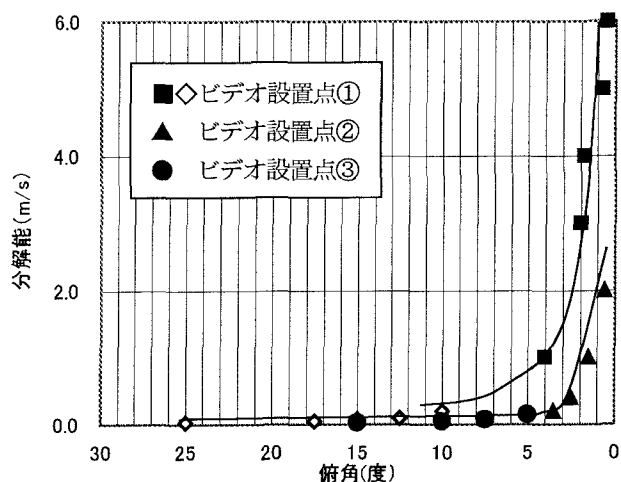


図-5 撮影俯角と速度分解能の関係

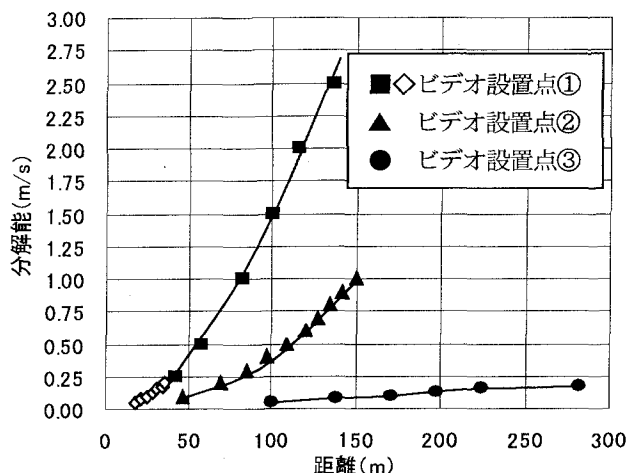


図-6 撮影距離と速度分解能の関係

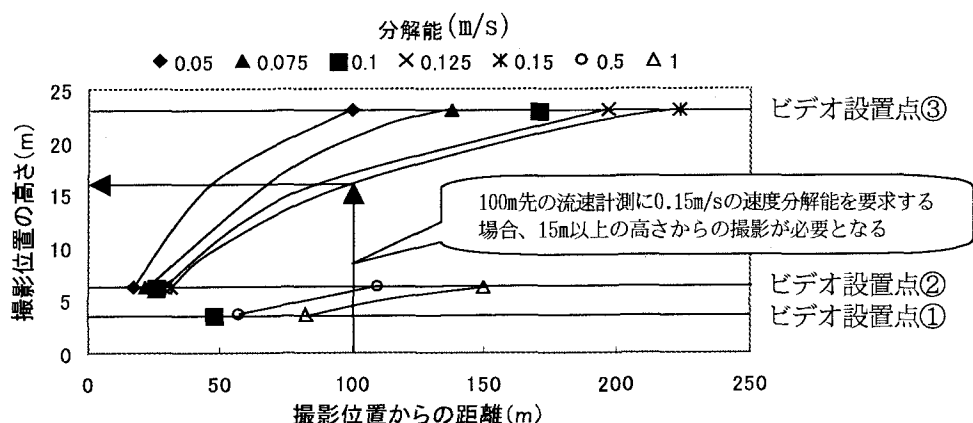


図-7 撮影位置(高さ)から決まる撮影範囲と速度分解能の関係

	高さ (m)	備考
①	3.6	高水敷
②	6.2	堤防天端上
③	23.0	建物屋上

表-1 算出方法の違いによる流速値の比較

流速算出方法	ビデオ画像解析	航空写真	浮子測法	マニング式
対象日時	1998/9/2 13:30	1998/9/2 11:38	*1998/9/2 13:00	1998/9/2 13:00
平均流速算出方法	流速測線上の流速値に修正係数0.85を乗じた後算術平均した	流速測線上の流速値に修正係数0.85を乗じた後算術平均した	H-Q曲線から算出した流量を計測測線断面で除した	平均流速公式を使用した
平均流速(m/s)	2.74	1.33	3.11	2.99

*但し、浮子測法、マニング式の対象日時は使用した水位データの日時である

図-4に示すように水制周辺の流れは、水制の先端付近で向きが変化し、接近流の様子が明らかになっている。

特に水制上流側の流速の減衰が顕著に表れており、水没した水制周辺の流況を的確に再現していると考えられる。

ビデオ撮影時の俯角は10度以上あり、速度分解能も0.5(m/s)以下であることが確認されており、精度の良いベクトルが得られたと思われる。

この時の流速は0.01~2.2m/sの範囲であった。

(2)速度分解能に関する評価

ビデオ画像解析の特性として、撮影時の俯角と撮影距離によって速度分解能に差が生じる。それらの差を明らかにするため、本研究におけるビデオ特性の速度分解能

の評価を行った。それぞれのビデオ設置点から流速計測地点までの俯角と距離を計算し、その地点における速度分解能を整理した。図-5に撮影俯角と速度分解能の関係、図-6に撮影距離と速度分解能の関係、図-7にそれらの関係を整理した撮影位置(高さ)から決まる撮影範囲と速度分解能の関係を示す。

図-5に示すように、本研究においても最低必要な俯角といわれている10度⁹⁾以上あれば分解能が0.25m/s以下と十分な速度分解能が得られることがわかった。図-6から撮影距離が同じでも、撮影高さの違いによって速度分解能が数倍異なることが明らかとなった。図-7に示すように、例えば100m先の流速計測に0.15m/sの速度分解能を要求する場合、15m以上の高さからの撮影が必要となる計算になった。

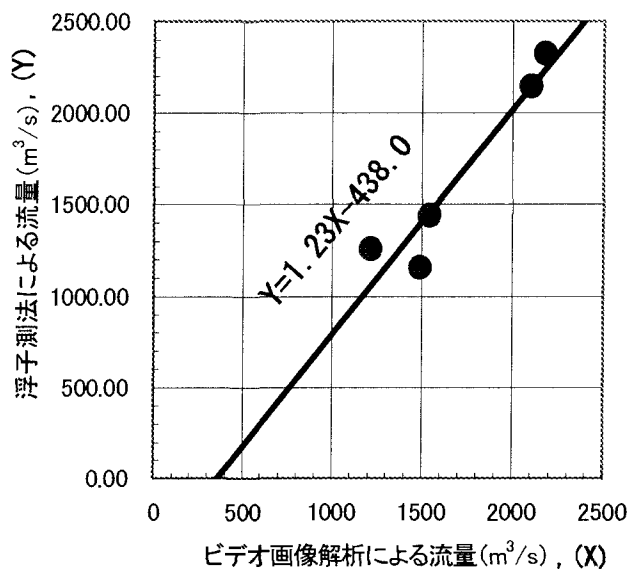


図-9 ビデオ画像解析と浮子測法による流量の関係

但し、これらの数値はあくまでも本研究に使用したビデオ画像解析システムによって本対象地域に適用した場合の数値であることを注記したい。

(3)ビデオ画像解析による流速計測法の妥当性

ビデオ画像解析によって計測された流速の妥当性を検証するために、ビデオ画像解析と他の方法によって算出した流速値の比較検討を行った（表-1参照）。

他の方法とは、同時期に実施された航空写真、浮子測法、マンニングの公式の3つである。なお、比較検討に用いた流速測線は、距離標27.4kmの横断面とした。

その結果、ビデオ画像解析、浮子測法、マンニングの平均流速公式から得られた流速値は、それぞれ2.74、3.11、2.99m/sと近似しているのに対して、航空写真による流速はかなり小さい値となった。これは、航空写真撮影時がピーク流量から下降期にあたり、トレーサーとなる泡やゴミが少なく、撮影条件が適していなかったことと思われる。

この結果より、ビデオ画像解析による流速計測は、ビデオ撮影ができれば容易に平均流速を計測できる可能性が示された。

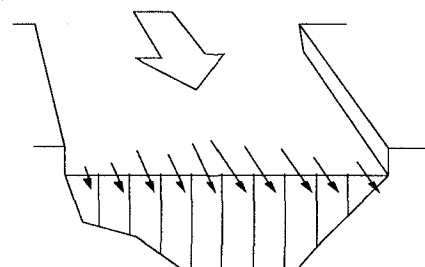
(4)流量の算出

ビデオ画像は表面流を撮影したものであり、流速の鉛直分布を直接的に把握することは不可能である。

そこで、建設省河川砂防技術基準(案)同解説 調査編に示す表面浮子の更正係数0.85を乗じることにより平均流速を求めた。対象とした流速測線（距離標27.4km）を分割し、区分ごとの横断面積と区分した断面ごとの平均

表-2 ビデオ画像解析と浮子測法による流量

ビデオ観測流量 (m³/s)	浮子による流量 (m³/s)
2178.6	2318.1
1546.8	1436.1
2103.7	2142.0
1219.2	1250.0
1493.6	1151.5



表面流速×更正係数×断面積=流量

図-8 流量算出概念図

流速の積を算出し、全測線について合計したものを流量とした（図-8参照）。

図-9、表-2にビデオ画像解析と浮子測法により算出した流量の関係を示す。その結果、両者の間には以下の関係が見られた。ただし、この関係の一般性は確認されていないが、洪水流であれば場所的な要因があっても一次曲線で表現できるであろう。

$$Y=1.23X-438.0 \quad (R^2=0.91)$$

これまでのビデオ画像解析による流量の算出結果は淀川の例⁹⁾を除けば、ほとんど発表されたことはない。本研究のみから断定することは困難であるが、ビデオ画像解析によって流量算出が十分に行えることを示した。

4. 結論

本研究により以下の事柄が明らかとなった。

- (1) 洪水時の水制周辺を中心とした河川流況が明らかとなった。特に、局所的な場の流速分布が明らかとなった。ビデオ画像の特性上、画面から離れた地点の速度分解能は低下するが、本研究で実施したように兩岸あるいはビルの屋上等の高い場所から撮影することにより速度分解能を向上させることができる。
- (2) ビデオ画像解析による速度分解能の関係を図-5～図-7で明らかにした。これらの関係はどこ

でも使えるといった普遍的な関係ではないが
今後全国各地で調査・研究する場合の参考となる
であろう。

(3) ビデオ画像解析による流速計測と他の方法（航空写真・浮子測法・マニング式）による流速計測はこれまであまり比較・検討されてこなかった。本研究においてそれぞれの方法を比較した結果、ビデオ画像による流速計測値は他の方法による流速観測値と大きく異なることがなく、その流速の計測の可能性が確認された。

(4) 既知横断面とビデオ画像解析によって算出した平均流速から求めた流量と近傍に位置する流量観測所の流量値を比較した。
その結果、本研究においては両者の関係に相関があり、ビデオ画像解析による流量算出が行えることが示された。

今後、さらに現場において本手法の調査・研究を積み重ねデータを蓄積し、また光ファイバーケーブル等の情報網の整備により流速・流量計測の自動化が期待できる。

参考文献

- 1) (社) 日本河川協会編:建設省河川砂防技術基準(案) 同解説調査編、pp.35-58、山海堂、1997.
- 2) 藤田一郎、河村三郎:ビデオ画像解析による河川表面流計測の試み、水工学論文集、Vol.38、pp.733-738、1994.
- 3) 綾史郎、藤田一郎、柳生光彦:画像解析を用いた河川の洪水時の流れの観測、水工学論文集、Vol.39、pp.447-452、1995.
- 4) 藤田一郎、綾史郎、石川貴大:ビデオリモートセンシングによる河川表面流速の計測精度、河道の水理と河川環境シンポジウム論文集、pp.115-120、1995.
- 5) Fujita, I., Aya, S. and Deguchi, T.:Surface velocity measurement of river flow using video images of an oblique angle, Proceedings of the 27th Congress of IAHR, Environmental and Coastal Hydraulics, pp.227-232, 1997.
- 6) 藤田一郎:トレーサを利用した実河川水制周辺流れのビデオ画像解析、水工学論文集、Vol.42、pp.505-510、1998.

(1999.9.30受付)