

## 河川監視カメラを用いた河川水理状況モニタリング手法の検討\*

東北大学工学部 落合雄太

東北大学大学院工学研究科 梅田 信

国土交通省北上川下流河川事務所 齋藤茂則

### 1. はじめに

一級河川の多くには河川管理を目的とした CCTV(Closed Circuit Television)カメラが設置されている。カメラの利用目的は様々であり、具体例としては不法行為（不法投棄，不法取水，不法工作物）の監視，河川環境の状況把握，洪水時の河川および河岸状況の監視などが挙げられる。しかし，現在，カメラをより有効活用することが望まれている。カメラ画像から河川の状態に関する定量的な情報を引き出すことが可能になれば，活用範囲は広がるのが期待できる。画像から引き出せる可能性がある定量的な情報の一つとして，流速，流量などの河川の流れに関する情報が挙げられる。

本研究では，カメラ画像から流速を計測するために，粒子画像流速計測法(Particle Image Velocimetry，以下，PIV)を用いた。河川の水面を撮影した画像を PIV により解析して河川の表面流速が求められれば，実際に河川に行かずに流速を計測することができる可能性がある。そこで本研究では既設の CCTV カメラ画像を用いて，洪水時の河川の表面流速を PIV で計測した。またこの結果を用いて流量の算出を試みた。

### 2. 解析対象の概要

本研究の対象領域である鳴瀬川は，宮城県にある一級河川である。鳴瀬川水系には，国土交通省により河川管理用の CCTV カメラが数 km ごとに計 23 地点に設置されている。PIV で流速を計測するためには，基準点を得るために河川の両岸が映っていることが必要である。この条件を満たす地点の一つが図-1 に示す野田橋（宮城県大崎市松山町千石）地点である。ここは，河口から約 24.6km 上流に位置し，右岸にカメラが設置されている。

本研究では，2009 年 10 月の台風 18 号により発生した洪水を対象とした。台風 18 号が宮城県を通過する前後の野田橋付近の観測地点の雨量と水位の変化を図-2 に示す。最大雨量は 8 日の 12 時に記録された 28mm/h であり，最高水位は 8 日の 21 時に記録された 4.61m であった。流速が大きい方が解析精度が高くなるとされるため，最高水位を記録した付近の時刻が解析に好ましい時間ではある。しかしながら PIV では撮影した画像が暗いと解析が行えない。そこで本研究では，2009 年 10 月 8 日 12 時 30 分から 17 時までの時間帯を対象に解析を行った。

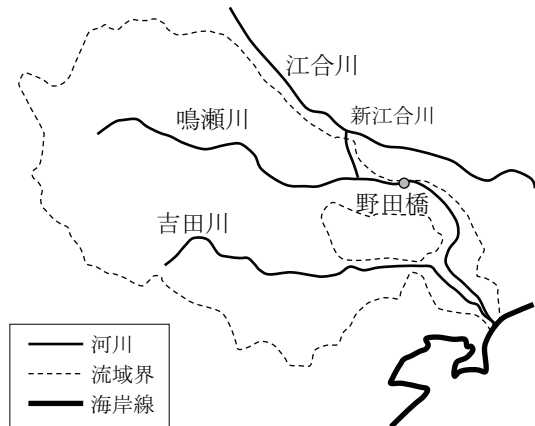


図-1 鳴瀬川水系と野田橋

\*Study on monitoring method of river flow conditions by use of CCTV images

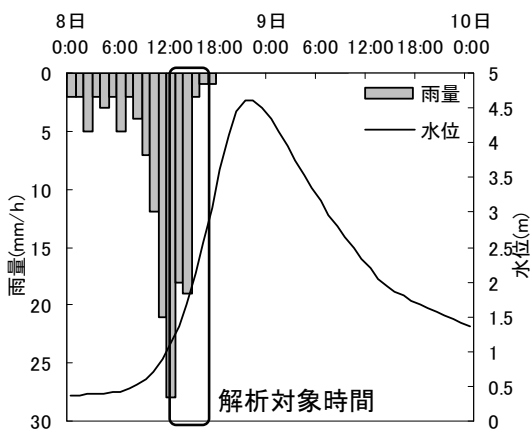


図-2 野田橋付近の観測地点の雨量と水位の変化<sup>1)</sup>

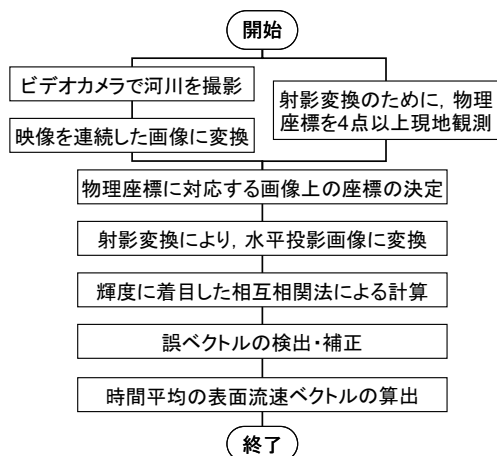


図-3 PIVによる解析方法の流れ<sup>2)</sup>

表-1 解析条件

名称	数値	単位
画像枚数	32	枚
時間	60	sec
画像間隔	1.875	sec
画像サイズ(X, Y)	600   547	pixel
1pixel 当りの実長	0.1317	m
計測領域サイズ(X, Y)	592   544	pixel
ベクトルプロット数(X, Y)	37   68	個
参照フレームサイズ(X, Y)	32   32	pixel
X 方向の探査領域(max, min)	52   20	pixel
Y 方向の探査領域(max, min)	8   -8	pixel



図-4 野田橋カメラ画像

### 3. 画像解析

#### 3.1. 解析方法

図-3に本研究で用いた一般的なPIVによる解析方法の流れ<sup>2)</sup>を示す。PIVは画像の輝度に着目した相互相関法により流速を算出するため、河川表面の浮遊物だけでなく、水面に現れている波紋や気泡も一種のトレーサーとして取り扱うことができる。また、通常CCTVカメラは堤防上に設置されているため、河川を斜めから撮影することになる。このような斜めから撮影した画像であっても、射影変換を行い、水平投影画像に変換することにより、解析を行うことができる。しかしながら、撮影位置から物理的に遠方に位置する場所の画像は、射影変換を行う際、画質が低下してしまうことがある<sup>3)</sup>ため、カメラの位置が河川からなるべく近いことが望まれる。本研究では、射影変換のための基準点4点の設定を台風通過時とは別の日に行い、図-4に白線で示す領域(79m×72mの長方形)の映像に対して、射影変換を施し、PIVによる解析を行った。

#### 3.2. 解析結果と考察

表-1に示す解析条件で12:30から1時間ごとに解析を行った。結果について、平均表面流速ベクトル図を図-5(a)-(e)、平均流速分布を図-6(a)-(e)に示す。なお、解析条件の名称は既往の研究<sup>4)</sup>に準ずる。

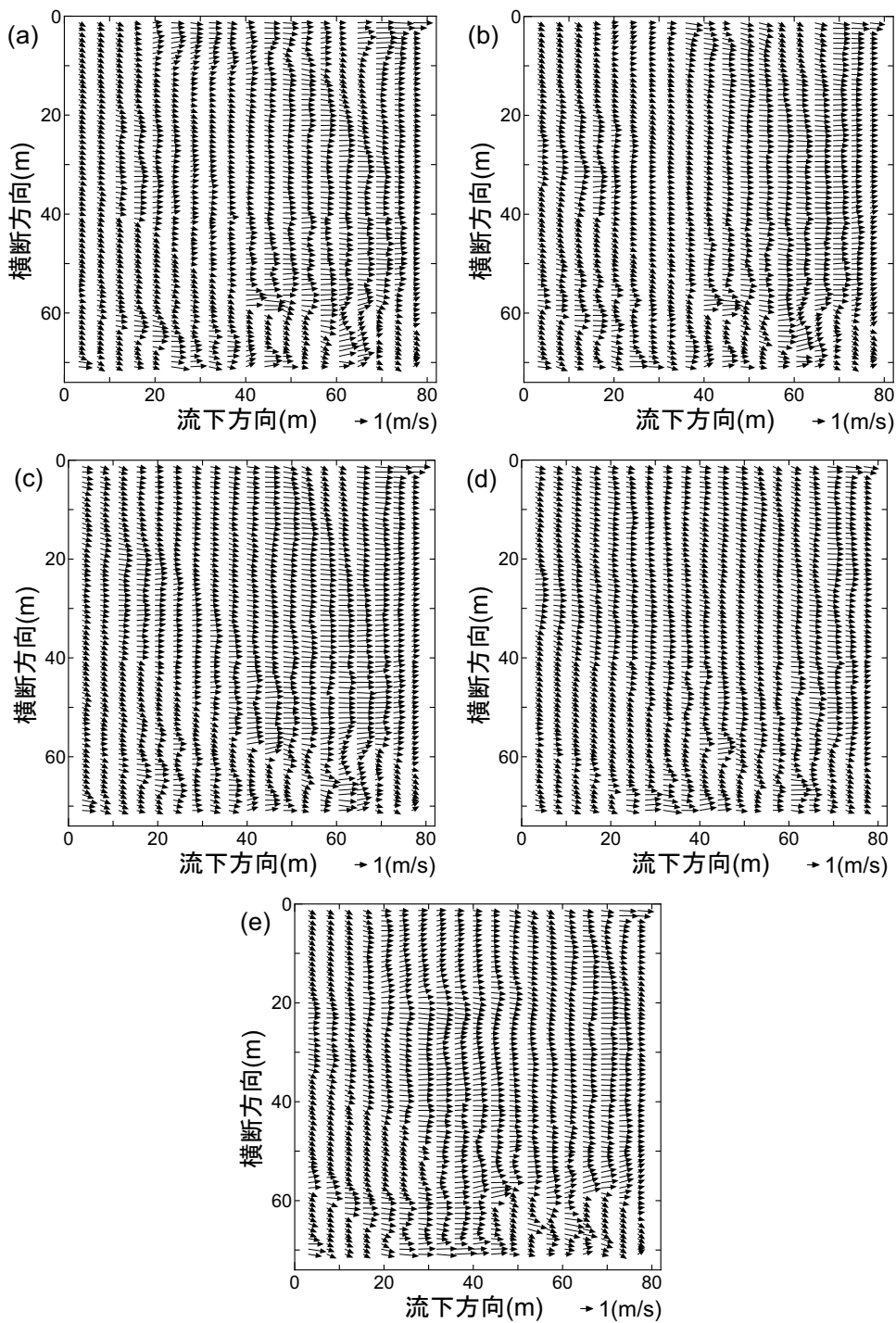


図-5 1分間の平均表面流速ベクトル (a)12:30~12:31 (b)13:30~13:31 (c)14:30~14:31 (d)15:30~15:31 (e)16:30~16:31

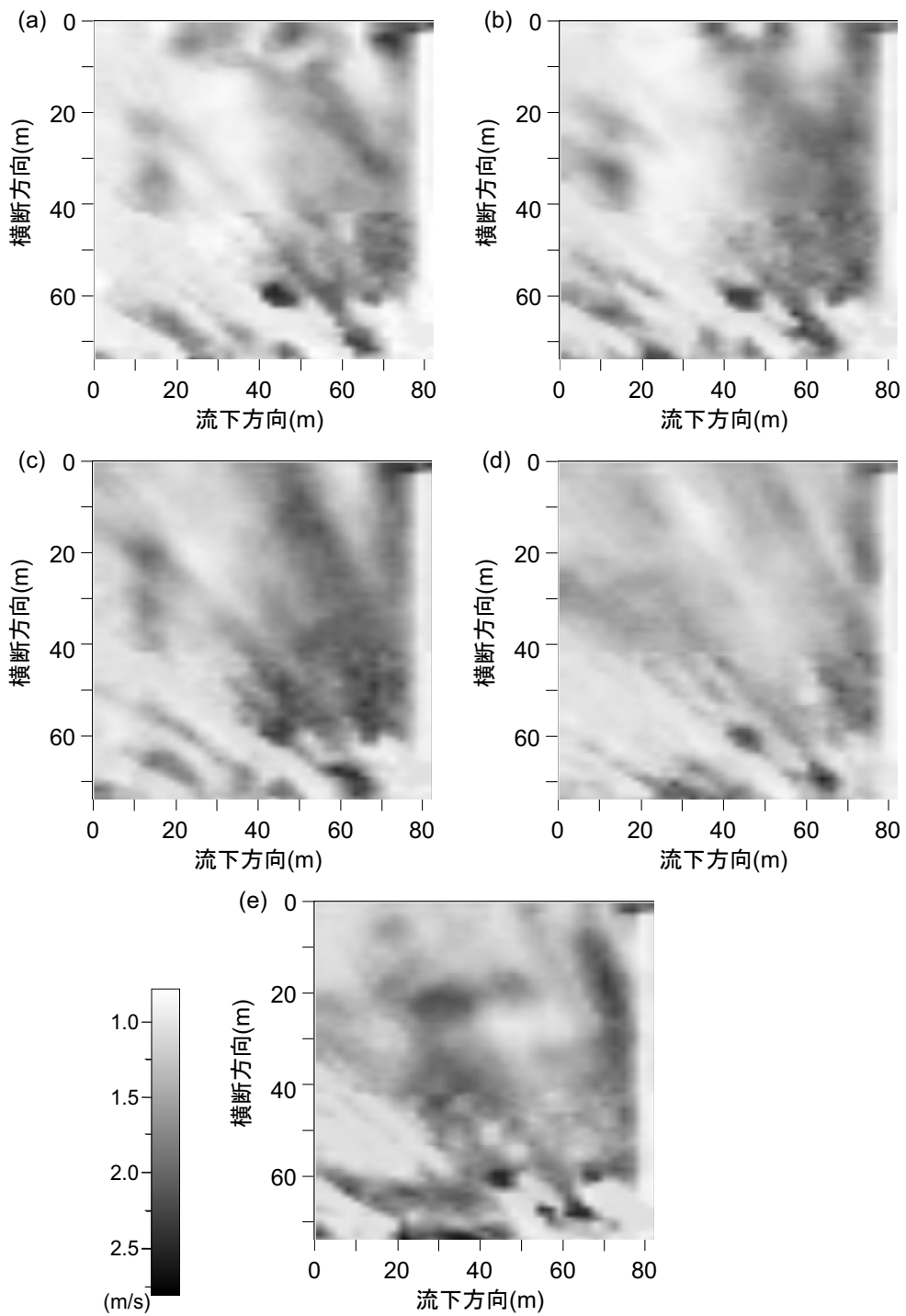


図-6 1分間の平均表面流速分布図 (a)12:30~12:31 (b)13:30~13:31 (c)14:30~14:31 (d)15:30~15:31 (e)16:30~16:31

河川の流下状況から考え、図-5の表面流速ベクトルの向きは概ねうまく計測できたと推測される。図-6(a)~(c)より、時間が経過するごとに全体的に流速が大きくなっていき、流速分布が類似していることがわかる。しかしながら、河川の状況から考え、さらに流速が大きくなると推測される図-6(d)において、流速が全体的に小さくなってしまっている。これは雨粒がカメラのレンズに付着したため、画像が不鮮明になり、誤ベクトルが計測されてしまったのではないかと考えられる。また、図-6(e)においても流速が全体的に小さく、他の時間帯とは多少異なった流速分布になっている。これは既に日没時刻に近く、画像が暗いため、十分な輝度が得られなかったと考えられる。その他の誤ベクトルを計測する原因としては、橋脚の影が河川に映ったこと、射影変換を行う際に画質が低下してしまったことなどが考えられる。

## 4. 流量推定

### 4.1. 推定方法

計測した表面流速から流量の推定を行う。流量を推定するために、まず、横断測量を行い、河床横断面図を得る。次に測量した横断面を水平方向にいくつか分割し、それぞれの横断面に対応する流速を掛ける。その横断面と流速の積を合計することにより流量を推定することができる。用いた横断面は、図4で示した測定範囲内にある、野田橋から約75m下流の横断面(図-7)を用いた。また、横断面の分割幅は2mとした。

流量の算定は、計測した表面流速とそこから推定される水深平均流速の2通りを行った。なお、水深平均流速  $U$  は、表面流速  $V$  から対数則を用いて、(1)式から推定した。

$$U = V - \frac{u_*}{\kappa} \quad (1)$$

ここに、 $u_*$ : 摩擦速度、 $\kappa$ : カルマン定数、である。なお  $u_*$  は以下の式で得られる。

$$u_* = \sqrt{gRI_e} \quad (2)$$

ここに、 $R$ : 径深、 $I_e$ : エネルギー勾配である。なお、今回は  $\kappa = 0.4$ 、 $I_e$  は河床勾配と仮定して計算した。河床勾配は、図-7とそこから100m下流の横断面を用いて算出した。

### 4.2. 推定結果と考察

前節の方法で算出した流量と、以下に示すHQ式より求めた流量を比較した結果を図-8および表-2に示す。

$$Q = 53.96(H + 0.09)^2 \quad (0.28 \leq H \leq 3.78) \quad (3)$$

ここに、 $Q$ : 流量、 $H$ : 水位である。

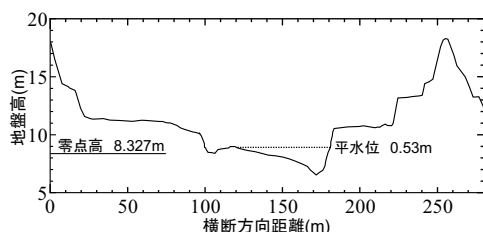


図-7 河床横断面図

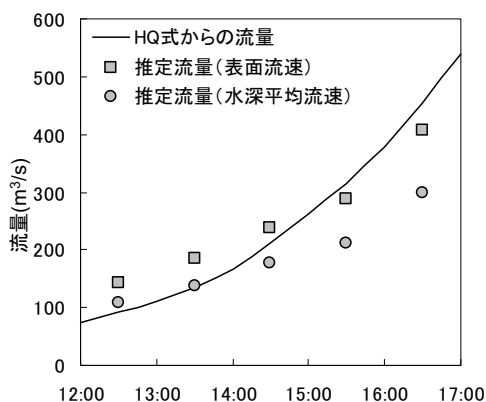


図-8 HQ式と推定流量の比較

表-2 HQ式と推定流量の比較

時刻	水位(m)	HQ式からの 流量(m <sup>3</sup> /s)	推定流量(m <sup>3</sup> /s)		HQ式との差(%)	
			表面流速	水深平均流速	表面流速	水深平均流速
12:30	1.22	92.60	143.00	107.21	54.4	15.8
13:30	1.51	138.14	185.98	138.57	34.6	0.3
14:30	1.89	211.54	238.96	176.78	13.0	-16.4
15:30	2.34	317.32	287.57	211.57	-9.4	-33.3
16:30	2.82	455.37	407.19	299.88	-10.6	-34.1

12:30~14:30において、HQ式から求めた流量と表面流速から推定した流量を比較すると、推定流量の方が大きくなった。しかしながら、水深平均流速から推定した流量と比較すると、差は比較的小さく、概ね良好な結果が得られたと考えられる。しかしながら、16:30と17:30において、HQ式より求めた流量に比べ、表面流速、水深平均流速の両者から推定した流量が小さくなった。これは、第3章で述べたように、得られた画像の条件が良くなったため、流速が過小評価されたためではないかと考えられる。また、今回、水位が大幅に上昇し、川幅が解析範囲を大きく超えてしまい、流速が計測できなかった部分があることも誤差原因として考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、CCTVカメラの有効活用する一つの方法として、カメラ画像からPIVにより洪水時の河川における表面流速の計測と流量の算出をすることを提案した。計測結果は概ね良好であり、本研究より、カメラの活用方法の可能性を広げたとと言える。PIVによる解析は、今回のような洪水時の急激な水位上昇に対しても、画像を得ることが可能であれば、流速、流量の計測が行うことできる。

しかしながら課題点として、周囲が暗かったり、雨粒がレンズに付着したりするような悪条件の画像や、射影変換の際の画質低下等により、解析精度が低下してしまうことが挙げられる。その結果、撮影条件が限定されてしまうことを確認した。カメラをズームすることにより、画像の解像度を上げ、解析精度を上げることができるが、ズームにより撮影範囲が限定されてしまうため、ズームと撮影範囲のかね合いを考慮する必要がある。今後、撮影条件およびPIVの解析条件の変化に伴う解析結果の変化を確認し、適切な解析条件の検討が必要である。

**謝辞**：本研究は、河川整備基金の助成を受けて実施された。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 水情報国土データ管理センタークリアリングハウス：<http://idc.river.go.jp/ch/page1.htm>
- 2) 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，第39巻，pp.447-452，1995
- 3) 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，第38巻，pp.733-738，1994
- 4) 野村昌生、綾史郎、武藤裕則、藤田一郎：淀川水系におけるLSPIVの利用に関する研究 - ITV画像の利用を目指して - ，河川技術論文集，第8巻，pp.471-476，2002