

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

On the Accuracy of Image Processing Measurement of River Flow using Video Camera

藤田一郎*・綾史郎**・石川貴大***

By Ichiro FUJITA , Shirou AYA , Takahiro ISHIKAWA

The accuracy of the image processing velocimetry developed by the authors is examined by a field calibration. In this method, water-surface velocity distributions of river flows can be obtained by using the video images of the flow. In the field calibration, the speed of a motor-boat moving at nearly a constant speed is analyzed using the images taken from the both sides of the Yodo River. The analyzed velocities are found to agree fairly well with the moving speed of the motor boat with the maximum error of about 25cm/s.

Keywords: image processing, PIV, food flow, field measurements

1. はじめに

著者らはこれまで、ビデオ画像を利用した河川表面流速の計測手法の開発を行ってきた¹⁻³⁾。この手法によれば、河岸からのビデオ撮影によって河川表面の二次元的な流速分布、さらには流量を推定することが可能であり、簡便な計測手法としての将来性に期待がもたれている。この手法は画像計測法を利用する点において原理的には絶対計測法と言うこともできるが、実際のビデオ画像に適用する際には様々な補正に伴う誤差が生じる可能性がある。その点において、本手法の計測精度に関しては検討が不十分であった。そこで本研究では、電磁流速計を設置したボートを流木等に見立てたフィールドキャリブレーションを行い、精度の検証を試みた。

2. 画像変換の原理

ビデオ画像解析では図-1のように撮影位置が河岸近辺か橋上に限られるため、航空写真と比較するとカメラから河岸表面までの距離が相対的に短くなり、得られる画像がかなりの歪を伴ったものになる。そこで、画像解析を行う前に、ビデオ画像の無歪画像への変換が必要となる。画像変換を行うためには、ビデオ画像

* 正会員 学博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科 (〒501-11 岐阜市柳戸1番地の1)

** 正会員 工博 大阪工業大学助教授 工学部土木工学科 (〒535 大阪市旭区大宮5丁目16-1)

*** 学生員 岐阜大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 (〒501-11 岐阜市柳戸1番地の1)

の中に写っているいくつかの目印（標識点）の座標をカメラの設置位置を中心とする座標系（物理座標系）に対応させる必要がある。

本研究では、河川表面を平面とみなした物理座標（ X, Y ）とそれに対応するCRT画面上の座標（ x, y ）の間に以下に示す二次射影変換を適用し、画像間の変換を行っている。

$$X = \frac{ax+by+c}{gx+hy+1} \quad Y = \frac{dx+ey+f}{gx+hy+1} \quad (1)$$

ここに $a \sim f$ は変換係数で、少なくとも4つの標識点（目印）の位置が両座標系で既知ならば最小自乗法にて確定できる。但し、本研究では画像変換における効率を高めるために、（2）式に示す逆変換式を用いた。すなわち、図-2に示すように物理平面上の任意のメッシュに対応するCRT座標値を直接求めることで処理を高速化し、また、解析範囲を河川表面が内接されるような領域にとることにより無駄を省いた。濃度の補間処理には（3）式に示す距離の逆数に比例する補間法を用いた。

$$x = \frac{(hf-e)X + (b-ch)Y + eh-bf}{(ge-hd)X + (ah-bg)Y + bd-ae} \quad (2)$$

$$y = \frac{(d-gf)X + (cg-a)Y + af-cd}{(ge-hd)X + (ah-bg)Y + bd-ae}$$

$$C_T = \frac{\frac{C_A}{l_1} + \frac{C_B}{l_2} + \frac{C_C}{l_3} + \frac{C_D}{l_4}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{l_i}} \quad (3)$$

ここに C は変換後の画像における濃度、 $C_A \sim C_D$ はCRT上の濃度、 $l_1 \sim l_4$ は式（2）によって求めたCRT上の点とその点を囲む周囲の点の間の距離を表す。この手法の採用により、画像変換が高速化され、解析領域を全領域に広げることが容易となっている。

3. 高精度化のための処理

3. 1 フレーム画像の分離

通常のビデオ画像はいわゆるフレーム画像で構成されているが、ここではこの画像をさらに奇数フィールド画像と偶数フィールド画像に分離した。これは、画像処理装置によってフレームメモリに取り込んだフレーム画像には、記録時刻の異なる両フィールド画像が同時に交互に写し込まれているために、トレーサ等が二重になっているのを防ぐためである。この処理により、空間的なトレーサ位置の精度を高めることが可能となる。

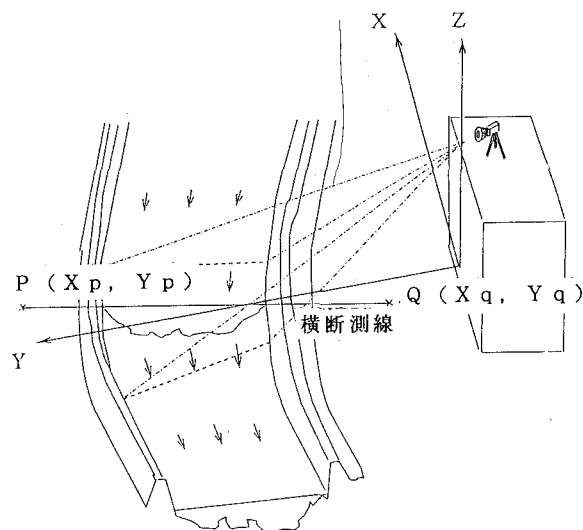


図-1

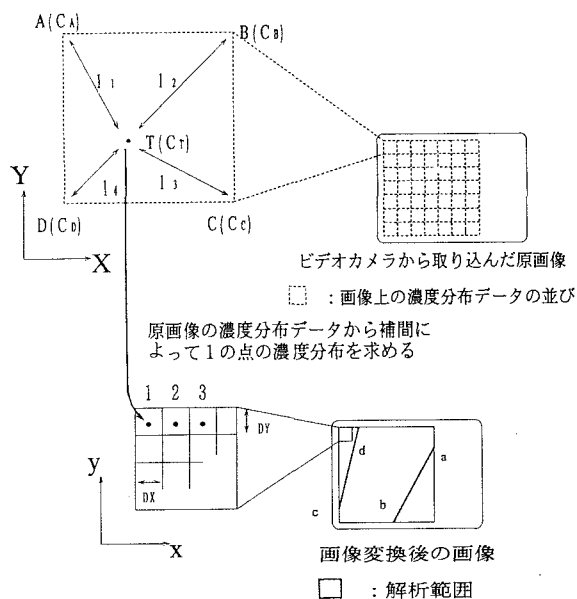


図-2

3. 2 画像の平滑化

式(2)を利用して生成した画像には、画像変換に伴う微小なノイズが生じており、そのために精度の低下を招く恐れがあることがわかった。そこで、本研究では、画像平滑化処理を施すことによってこれらのノイズ除去を行っている。ただし、ノイズ除去は、原画像に含まれる情報を最大限有効利用するために、最低限のレベルの平滑化処理を行った。

4. フィールドキャリブレーション

4. 1 測定方法

相關法で得られている表面流速分布の精度、および、斜め撮影による情報量の欠落の程度を確かめるため、電磁流速計をとりつけたモーターボートを河川縦断方向に往復させ、その航行状況を同時刻に河川両岸から撮影したビデオを解析した。撮影場所は、淀川河岸(河口から約13Km)に立地している大阪工業大学の屋上、および、対岸側の建物(豊里団地)の二カ所である(図-3)。これは、ビデオカメラの位置の違いによる影響等を調べるためである。

ボートは、河川横断方向の五つの縦断線に沿って、ほぼ一定の速度で撮影区間を航行するように努めた。速度は、平均速度が約1m/s、2m/s、およびそれよりも大きな速度の三通りとした。三番目の平均速度が不明なのは、搭載した電磁流速計(計測レンジ=0~2m/s)では測定できなかったからである。ここでは、簡単のため航行位置とその向きに応じた番号付けを次のように決めておく。すなわち、下流に向かう方向が奇数番号(1, 3, 5, 7, 9)、上流に向かう方向が偶数番号(2, 4, 6, 8, 10)として整理してある。なお、画像変換に必要な標識点座標は、予め現地測量によって10点程度求めている。この際には、白く塗った1m四方程度のベニヤ板を標識点として用いた。

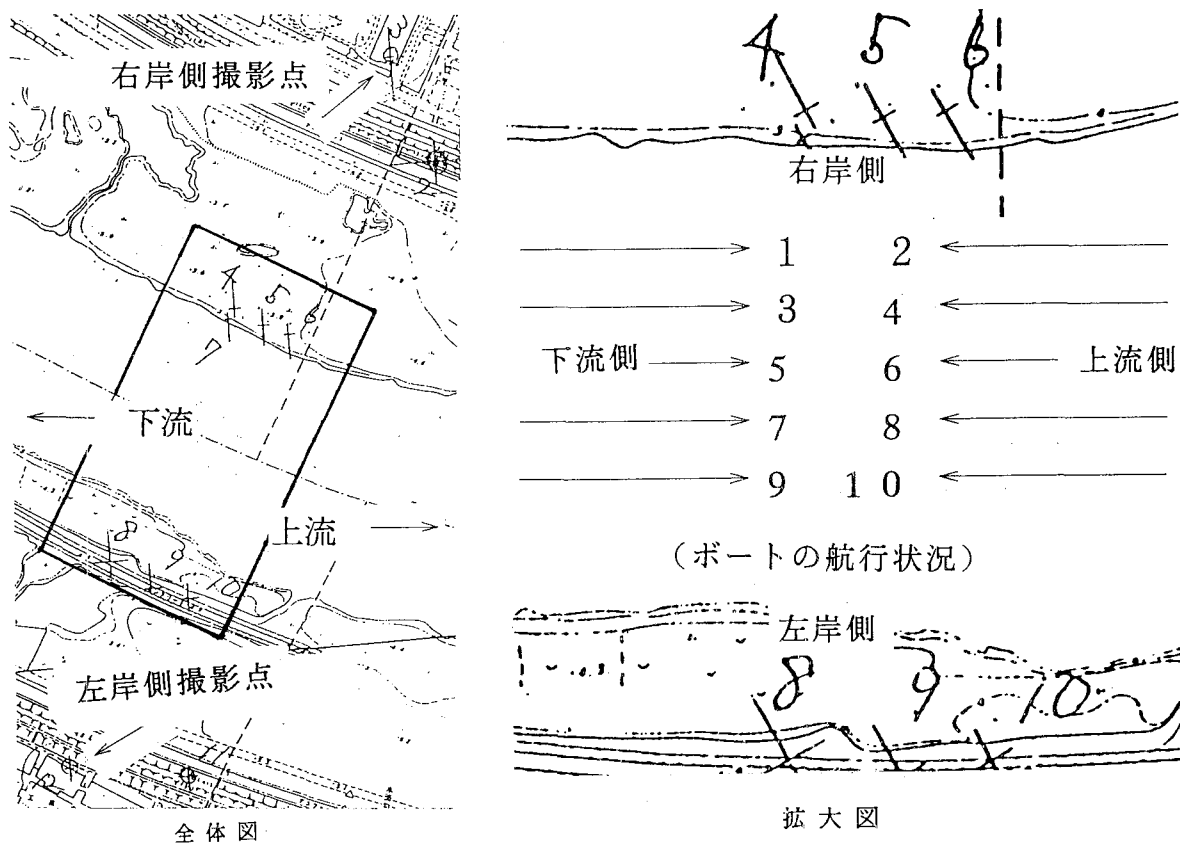
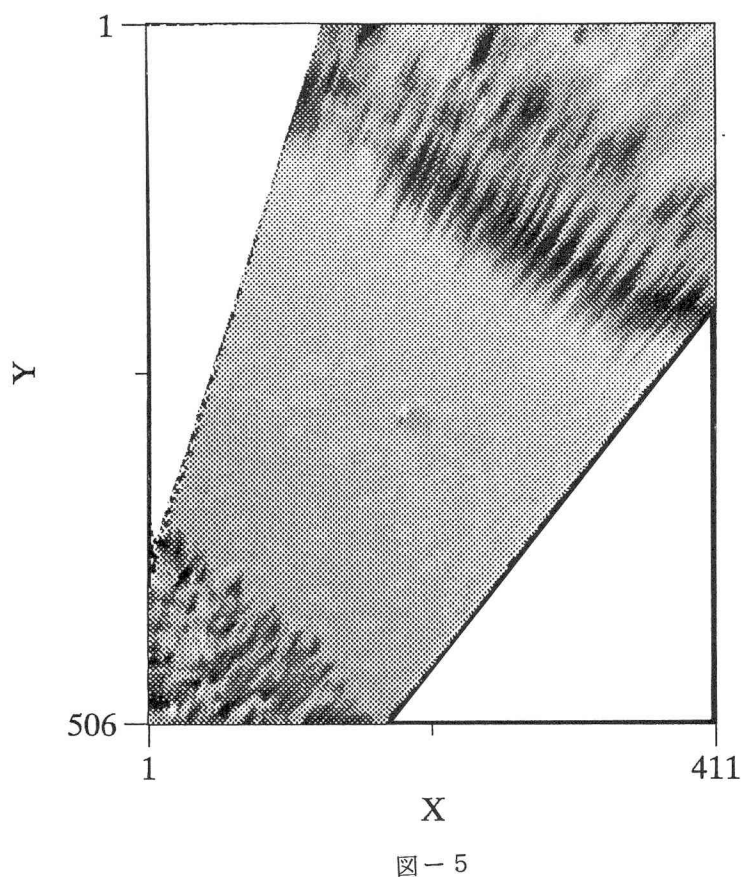
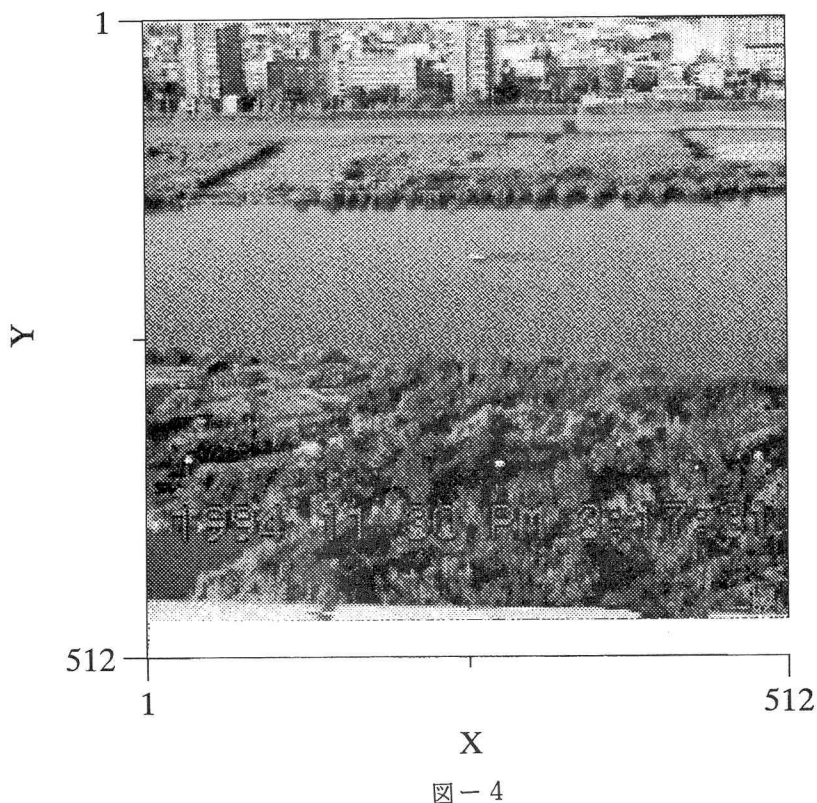


図-3

4. 2 計測結果

図-4に左岸側（大阪工大側）から撮影したビデオの原画像の例を示す。河川中央に大きな流木に見立てたボートが航行している様子が得られている。図-5には、上述の方法によって画像変換を行った結果生成した画像例を示す。ここでは、物理座標上で $0.4 \times 0.4 \text{ m}$ の解像度となるように画像生成を行った結果、 411×506 画素の画像を得ている。ただし、画像生成に際しては、河川表面を含む領域、すなわち図-4における横長の長方形領域のみを変換対象としている。図-5より、河川中央にボートが航行している様子が明瞭に現れていることがわかる。このボートをトレーサ（流木）とみなして、画像解析を行えば流速ベクトルが得られる。ここでは、ボートの存在している局所的な地点にのみ相関法を適用し、5つ程度の流速ベクトルの平均値をもってボートの速度とすることにした。

平均流速が 2.0 m/s としたケースに関する結果を以下に示す。表-1、表-2に相関法による解析結果の表面流速ベクトルのU、V成分を、図-6、図-7に表面流速ベクトルの解析位置と合成ベクトルを示す。また、図-8にはボートの位置の流速ベクトルを河岸からの距離と移動方向別に



グラフにしたものを示す。ちなみに、この流速は連続3画像の平均値である。

解析結果のU、V成分を見るかぎり、ベクトル方向に関しては多少の変動は認められるが、ほぼ良好な結果が得られている。流速ベクトルの位置に関しては、左岸側からのものと右岸からのものに多少のズレが生じているが、全体的にはうまくボートの位置をとらえられている。これらは、標識点を増やすか、あるいは測量精度を向上させることによって改善可能と考えられる。また、図-8からは画像解析結果が、流速計の値と比較すると多少過小評価気味となっているが、画像上の位置によらずほぼ同精度で得られていることがわかる。この場合、最大のずれは25cm/s程度であった。兩岸からの測定誤差に関しては、兩岸からのデータがともにほぼ同じ値が解析されていることから、本計測においては斜め撮影による対岸側の情報の欠落はそれほどでもなかったものと思われる。なお、電磁流速計(測定レンジ0~2(m/s))の出力結果の時系列を見ると、ボートの速度は走っていた場所によりかなりの幅があることがわかっており、それを考え合わせてこの誤差範囲であれば、許容できると思われる。なお、他の平均流速に対してもほぼ同様の傾向の結果が得られている。

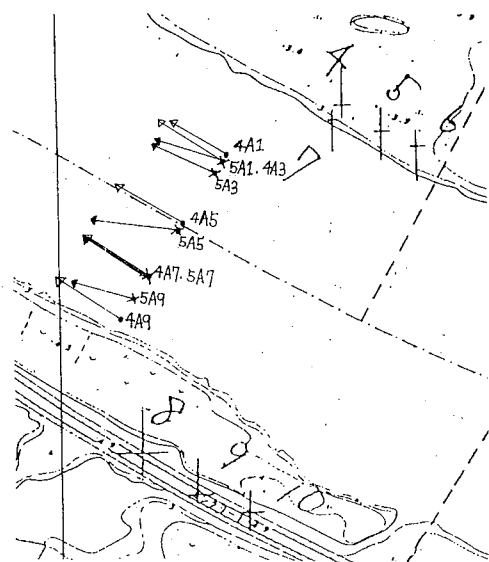


図-6

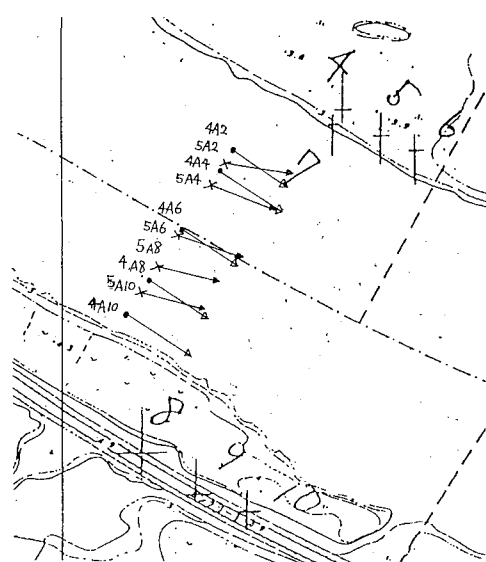


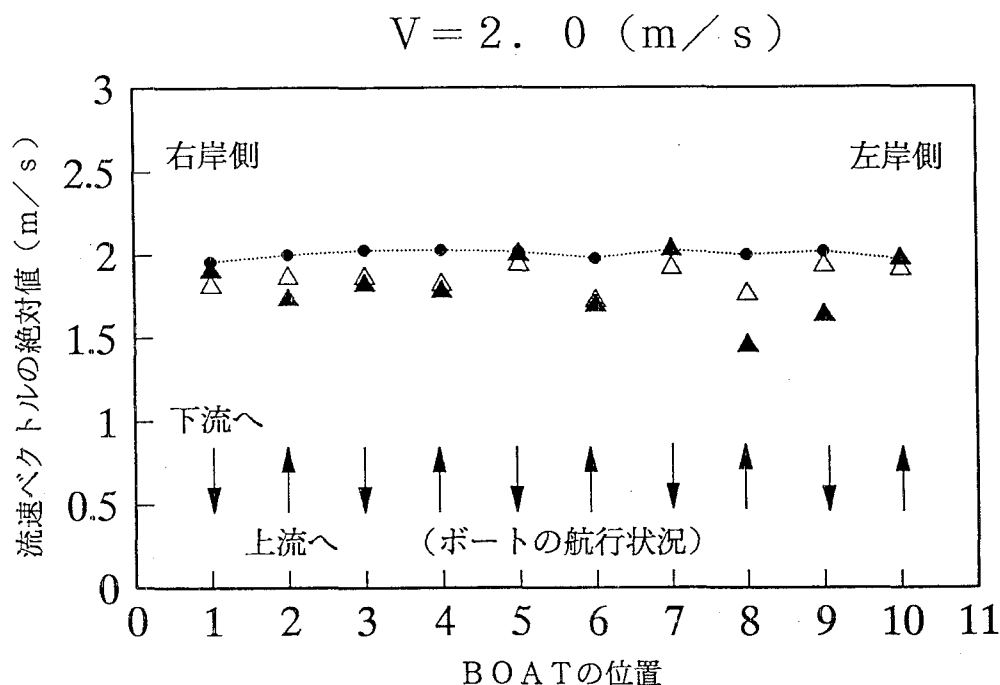
図-7

表-1

	測点	U(m/s)	V(m/s)	$U^2+V^2(m/s)$
左岸側	1	-1.39	-0.83	1.62
	3	-1.57	-1.04	1.88
	5	-1.69	-0.98	1.95
	7	-1.62	-1.01	1.91
	9	-1.59	-1.09	1.93
右岸側	1	-1.66	-0.55	1.75
	3	-1.57	-0.74	1.74
	5	-1.70	-1.19	2.08
	7	-1.42	-1.40	1.99
	9	-1.59	-0.44	1.65

表-2

	測点	U(m/s)	V(m/s)	$U^2+V^2(m/s)$
左岸側	2	1.62	1.13	1.64
	4	1.51	1.01	1.82
	6	1.43	0.91	1.69
	8	1.48	0.98	1.78
	10	1.63	1.04	1.93
右岸側	2	1.67	0.25	1.39
	4	1.61	0.63	1.48
	6	1.67	0.55	1.76
	8	1.54	0.39	1.59
	10	1.56	0.46	1.63



相関法による流速値 (大阪工大側から) $\triangle$
 相関法による流速値 (豊里団地側から) $\blacktriangle$
 電磁流速計による値 $\cdots \bullet \cdots$

図-8

7. おわりに

画像解析による流速ベクトルの計測精度をフィールドキャリブレーションによって検証することができた。流速計の値と比べると少し小さめの値が得られたが、全体的には河川全幅にわたってほぼ一樣な精度で計測可能であることが明らかとなった。斜め撮影による対岸側の情報の欠落がそれほどでもなかったことから、撮影角度がある程度あれば(10度程度)を片側からのビデオ撮影で十分であることがわかった。今後は計測例を増やし、本手法の適用限界等に関してさらに検討を行う必要があると思われる。

なお、本研究は、土木学会基礎水理部会における研究分科会「水理実験・数値実験のV & P」(代表者大阪大学中辻啓二助教授, メンバー: 大阪工大綾史郎助教授, 長岡技科大福島祐介助教授, 名古屋工大富永晃宏助教授, 電力中央研究所水鳥雅文主査研究員, 岐阜大学藤田一郎助教授)における活動の一貫として得られた成果の一部であることをここに記す。最後に、現地観測において協力頂いた大阪大学石井義裕助手に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 藤田一郎、綾史郎、河村三郎：ビデオ画像を利用した洪水流量の新計測法，年次学術講演会講演概要集，No. 49, pp. 382～383, 1994.
- 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，No. 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，No. 39, pp. 447～452, 1995.