

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—

Utilization of LSPIV Measurement in the Yodo River System

野村 昌生¹・綾 史郎²・武藤 裕則³・藤田 一郎⁴

Masao NOMURA, Shirou AYA, Yasunori Mutou and Ichiro FUJITA

¹学生会員 大阪工業大学大学院 工学研究科都市デザイン工学専攻 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

²正会員 工博 大阪工業大学教授 工学部都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

³正会員 京都大学 防災研究所 (〒612-8235 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

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)

This paper deals with the application of the LSPIV technique for river management in view of the hydraulic aspect as well as ecological aspects, and the utilization of the ITV system and its images in the river basin. Three kinds of application were successfully examined before the use of the actual ITV images. The first one is the measurement of the velocity distributions of the effluent from the Kema Weir. The white air bubbles floating at the water surface on the effluent jet were successfully used as the tracer. The second one is the flow measurement around the groins in the Uji River. Flow characteristics between the main channel and the water in groins were investigated by using the artificial seedlings. The last one is the application of the LSPIV measurement for the hydraulic models of the Yodo River. They demonstrated the new developments of LSPIV measurement though the difficulties of the camera angles and the tracer were pointed out,

Key Word: PIV, Hydraulic Structures, River Management Structures, Velocity measurement

1. はじめに

河岸の建物や堤防などの高所から撮影した斜めビデオ画像を用いた LSPIV 法は著者らによって実河川の表面流速分布の測定や流量計測などの現場計測用に開発され、様々な河川流の計測への応用が行われてきた^{1), 2)}。

³⁾ 著者らが用いている LSPIV システムは家庭用ビデオカメラで撮影されたビデオ画像から計測するので、経済性、簡便性に優れているという特長があるが、このようなビデオカメラの解像度はあまり高くない (DV 規格では 720×480pixels) ため、ビデオカメラ設置位置から離れた地点での計測精度は必ずしも十分なものとは言えない。一方、国土交通省は河川構造物や河川空間の管理のために沿川に巡らせた光ファイバー網に高性能の工業用テレビ (ITV) を連結し、管理事務所で画像の集中制御を

可能としつつある。国土交通省淀川工事事務所と著者らは河川懇談会のもとで、これらの画像を LSPIV を利用した水理解析や生態環境の観察に用いる可能性を検討している。

本論文では ITV の画像の利用を目指して行われた3種の基礎的な LSPIV 解析の結果について報告する。一つ目は重要な河川管理施設である淀川下流毛馬水門からの大川 (旧淀川) への放流水に関する解析であり、高速の放流水に含まれる空気泡を自然のトレーサーとして利用する LSPIV 技術である。二つ目は淀川水系宇治川右岸 42.8km に位置する京都大学防災研究所災害実験センター内の気象観測塔を利用した、宇治川に設けられ水制工周辺の本川および水制域内の流れに関する LSPIV 観測である。重要な河川構造物である実物の水制工の水理機能の研究への応用である。三つ目は近年、生態環境上の重要性が認識されている淀川中流部 33km 左岸の楠葉砂

州⁵付近の流れに関する研究であり、その手始めとして、京都大学防災研究所災害実験センターで行われた縮尺1/70の移動床模型実験に対するLSPIVによる平面流速分布の観測である。大型模型実験へのLSPIV技術の適用性がカメラ位置やトレーサーとの関係で検討される。また、実際の洪水時におけるLSPIV観測との対比も予定されている。

なお、本論文で用いたLSPIVは3次元の物理座標(X,Y,Z)と2次元のCRT座標(x,y)を対応させた平面対空間の関係式⁴⁾を用いて画像変換を行い、相関法により流速ベクトルを得るものであり、その詳細は既報に詳しい^{3) 4)}。

2. 毛馬水門からの放流水の観測

(1) 観測と解析条件

1997年11月20日午後12:00頃(Case A)と午後3:00頃(Case B)の流量の異なる2つの場合について、毛馬水門放流水路下流左岸にある管理棟階段の踊場(高さ約14m)からビデオ撮影した。いずれも放流ゲート3門中右岸側の1門が閉鎖されており、残り2門からのみ放流が行われていたが、高速の放流水に巻き込まれた空気泡がトレーサーとして利用された。撮影時の放流流量およびゲート下流水位はそれぞれ、38.7m³/sec, O.P.+1.50m (Case A), 87.8m³/sec, O.P.+1.61m (Case B)であった。LSPIVの解析条件を表-1に示した。

(2) 結果と考察

a) 表面流速

2ケースの無歪画像と60秒間の平均の表面流速分布を

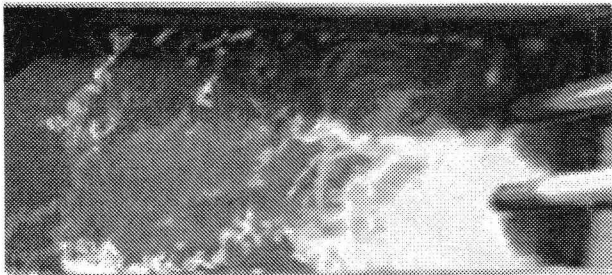


図-1 毛馬水門付近無歪画像 (Case A)。

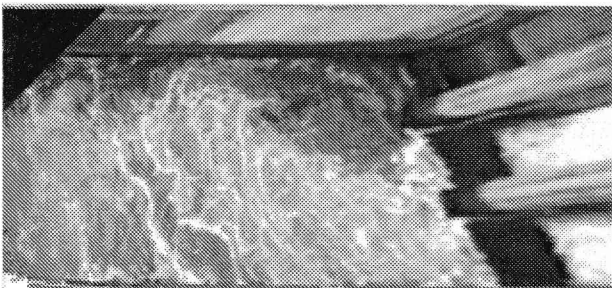


図-3 毛馬水門付近無歪画像 (Case B)。

図-1～図-4に示した。Case Aでは正午前後で太陽光が真上から差し、流速も比較的小さかったため、トレーサーとして利用された空気泡が少ない右岸側のゲート直下のゆっくりとした循環流や右岸下流の流れが十分に計測されなかったが、中間の放流ジェットが拡散している様子は得られた。また、開放された2門のゲート直下流では空気泡により一様に白濁し、濃度分布の動きが確認できなかったため、十分な計測結果が得られなかった。

表-1 毛馬水門における画像解析条件一覧。

	名称		記号	単位	数値	
Case A	時間		T	sec	60	
	画像間隔		Δ t	sec	0.5	
	総画像枚数		N	枚	120	
	相関係数の閾値		Rmax	—	0.6	
	画像サイズ	NX	NY	pixel	318	661
	1ピクセル当りの実長	DX	DY	m	0.1	0.1
	参照フレームサイズ	MX	MY	pixel	25	25
	ベクトルプロット数	NNX	NNY	個	59	26
	ベクトル間隔	MMX	MMY	pixel	5	25
	Xの探査領域	kumax	kumin	pixel	5	-5
Case B	時間		T	sec	60	
	画像間隔		Δ t	sec	0.333	
	総画像枚数		N	枚	180	
	相関係数の閾値		Rmax	—	0.6	
	画像サイズ	NX	NY	pixel	336	885
	1ピクセル当りの実長	DX	DY	m	0.1	0.1
	参照フレームサイズ	MX	MY	pixel	25	25
	ベクトルプロット数	NNX	NNY	個	32	44
	ベクトル間隔	MMX	MMY	pixel	10	20
	Xの探査領域	kumax	kumin	pixel	5	-5
	Yの探査領域	kvmax	kvmin	pixel	10	-5

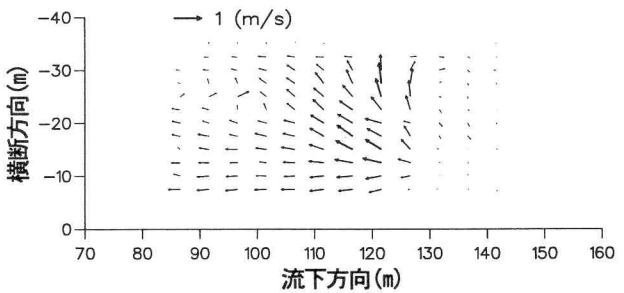


図-2 毛馬水門付近流速ベクトル図 (Case A)。

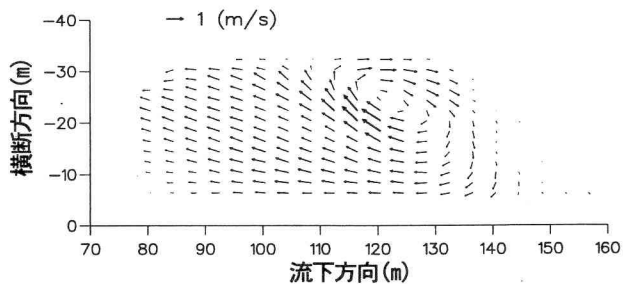


図-4 毛馬水門付近流速ベクトル図 (Case B)。

表-2 毛馬水門における流量計算諸元一覧

	名称	記号	単位	数量
Case A	水位	H	O.P.+ m	1.500
	流積	A	m ²	119.326
	流量	Q'	m ³	38.5
	左岸側基準点	XL YL	m	0.1 96.5
	右岸側基準点	XR YR	m	-33.0 96.6
	計算流量	Q	m ³	22.5
	左岸側基準点	XL YL	m	0.1 101.5
	右岸側基準点	XR YR	m	-33.0 101.6
	計算流量	Q	m ³	32.3
	左岸側基準点	XL YL	m	0.1 105.5
	右岸側基準点	XR YR	m	-33.0 105.6
	計算流量	Q	m ³	38.3
Case B	水位	H	O.P.+ m	1.610
	流積	A	m ²	122.239
	流量	Q'	m ³	87.7
	左岸側基準点	XL YL	m	0.1 96.5
	右岸側基準点	XR YR	m	-33.0 96.6
	計算流量	Q	m ³	72.7
	左岸側基準点	XL YL	m	0.1 101.5
	右岸側基準点	XR YR	m	-33.0 101.6
	計算流量	Q	m ³	73.0
	左岸側基準点	XL YL	m	0.1 106.5
	右岸側基準点	XR YR	m	-33.0 106.6
	計算流量	Q	m ³	65.1

Case B は夕刻で、流量も大きく、空気泡の量も適当であり、放流水に含まれる空気泡が水路全体に広がっていた。それにより、閉鎖している右岸側ゲート下流部に発生した循環流と放流水の拡散ならびにそれに続く水路に沿った流れへの遷移を的確に計測することができた。開放ゲート直下流で十分な計測結果が得られなかったのは、Case A と同様であった。

b) 流量観測

流量の算出は表面流速より「水深方向流速分布に関する 1/7 乗則」を仮定して、水深平均流速を計算し、断面データを用いて行った。Case A, B 共に流れが全幅に広がる下流部で流量算出を行った結果を表-2 に示す。

表面的には奇麗な流速分布が得られた Case B で流量の誤差が大きくなったが、本測定法では把握できない 3 次元的な流れによるものなどが原因と考えられる。水位とゲート開度から算出される流量の精度や撮影範囲の相違を考慮すれば、改良の余地はあるが、巻き込まれた空気泡をトレーサーとして用いるゲートからの放流水の LSPIV も実用可能な範囲に入り得るものと考えられる。

3. 宇治川の水制周辺の流れ場の観測

(1) 観測と解析条件

2001 年 12 月 7 日、宇治川右岸 42.8km 付近の京都大学防災研究所災害観測センター内の気象観測鉄塔から宇治川本流と右岸から突き出た水制内の流れ場がビデオ観測された。水制は右岸側のみに 5 基建設されているが、

表-3 宇治川水制工周辺における画像解析条件一覧

	名称	記号	単位	数値
Case C	時間	T	sec	60
	画像間隔	Δt	sec	1.0
	総画像枚数	N	枚	60
	相関係数の閾値	Rmax	—	0.5
	画像サイズ	NX NY	pixel	351 285
	1ピクセル当りの実長	DX DY	m	0.1 0.1
	参照フレームサイズ	MX MY	pixel	25 25
	ベクトルプロット数	NNX NNY	個	20 38
	ベクトル間隔	MMX MMY	pixel	15 7
	Xの探査領域	kumax kumin	pixel	10 -5
Case D	時間	T	sec	60
	画像間隔	Δt	sec	1.0
	総画像枚数	N	枚	60
	相関係数の閾値	Rmax	—	0.5
	画像サイズ	NX NY	pixel	276 285
	2ピクセル当りの実長	DX DY	m	0.1 0.1
	参照フレームサイズ	MX MY	pixel	25 25
	ベクトルプロット数	NNX NNY	個	17 38
	ベクトル間隔	MMX MMY	pixel	15 7
	Xの探査領域	kumax kumin	pixel	10 -5
	Yの探査領域	kvmax kvmin	pixel	5 -5

本流と 2 基目と 3 基目の水制域内の流れを観測した Case C と、その 30 分後に本流と 3 基目と 4 基目の水制域内の流れを観測した Case D の 2 回行った。いずれの場合も本流部では十分な輝度分布の移動が目視でも観測されたが、水制域では、輝度分布は観測されなかったので、トレーサー（商品名ノボンフォーム）を投入し、可視化を行った。観測時の流量および水位は向島水位流量観測所（44.9km）でそれぞれ、117.8m³/s、O.P.+5.8m であった。画像解析の条件を表-3 に示した。

(2) 結果と考察

Case C, D で得られた 60 秒間の平均表面流速分布を合成したものを図-5 に、無歪画像を図-6 に示した。水制域内にトレーサーが散布されたので、微小な循環流が観測されたのに対し、左岸側では、太陽光や植生の影が映っており、計測の欠損した部分が生じた。しかし、河川中央部で最大流速となり、水制付近では水はね効果により主流域に向かう流れが生じていることがわかる。ビデオ撮影時には、水制の先端部から小さな渦がいくつも形成されながら流れていく様子や、様々な渦が見られたが、ベクトル図には表れなかった。このような小さな流れを解析するには、1 pixel の実長を小さくしたり、画像間隔を短くするなどの解析方法の工夫が必要と考えられる。

4. 淀川の大型模型実験

(1) 観測および解析条件

2002 年 2 月 19 日に京都大学防災研究所災害観測センターに設けられた淀川楠葉砂州付近の 1/70 縮尺の移動

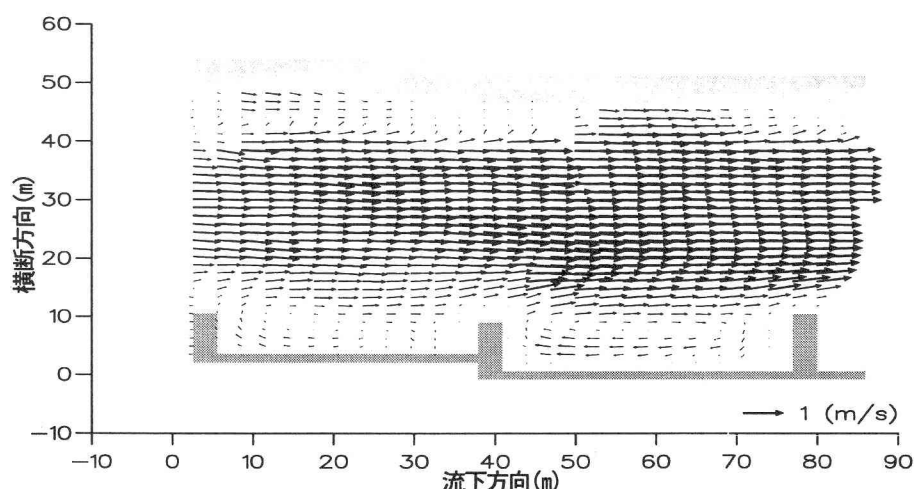


図-5 宇治川水制工周辺における流速ベクトル図(合成)。



図-6 宇治川水制工周辺における無歪画像(合成)。

床模型の流れのビデオ観測を行った。観測は右岸からほぼ横方向(Case E)と右斜め後方より上流に向かった方向(Case F)の、ほぼ同じ高さ(約6.5m)の2個所の地点から行った。

実河川と異なり、模型水路内では水面の輝度の濃淡は観測されないため、アルミ粉を塗布したおが屑をトレーサーとした可視化を行った。さらに、電磁流速計を用いて流速分布を計測し、LSPIVによる結果と比較することとした。なお、設定流量は30.0l/sであった。共に30秒の画像を用いて、平均流速分布を求めたが、その他の解析条件を表4に示した。

(2) 結果と考察

a) 表面流速分布

トレーサーの散布による可視化が行われたが、水路全体にトレーサーは分散せず、流下とともに右岸側に偏ったり、照明が十分でなく、トレーサーの濃淡分布が明示されない部分があった。このため、低精度(相関係数の小さい)のデータを除去した条件付き平均結果を表面流速のベクトル図として、図-8、図-10に示した。条件付き平均化を行ったことより、トレーサーの瞬間的分布より広い、解析時間内にトレーサーが存在したほぼすべての領域である模型水路全体の流速ベクトルを得ることができたが、測定点(流速ベクトルの計算点)により平均

表-4 模型水路における画像解析条件一覧。

	名称	記号	単位	数値
Case E	時間	T	sec	30
	画像間隔	Δt	sec	1.0
	総画像枚数	N	枚	30
	相関係数の閾値	Rmax	—	0.5
	画像サイズ	NX NY	pixel	593 283
	1ピクセル当りの実長	DX DY	cm	2.0 2.0
	参照フレームサイズ	MX MY	pixel	25 25
	ベクトルプロット数	NNX NNY	個	39 18
	ベクトル間隔	MMX MMY	pixel	15 15
	Xの探査領域	kumax kumin	pixel	10 -5
	Yの探査領域	kvmax kvmin	pixel	5 -5
Case F	時間	T	sec	30
	画像間隔	Δt	sec	1.0
	総画像枚数	N	枚	30
	相関係数の閾値	Rmax	—	0.5
	画像サイズ	NX NY	pixel	783 285
	2ピクセル当りの実長	DX DY	cm	2.0 2.0
	参照フレームサイズ	MX MY	pixel	25 25
	ベクトルプロット数	NNX NNY	個	51 18
	ベクトル間隔	MMX MMY	pixel	15 15
	Xの探査領域	kumax kumin	pixel	10 -5
	Yの探査領域	kvmax kvmin	pixel	5 -5

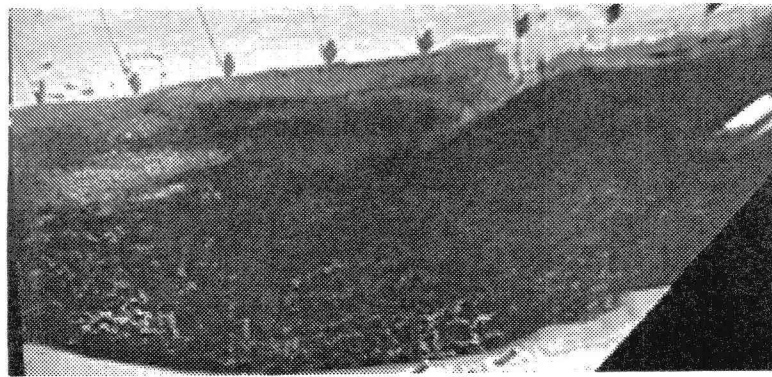


図-7 模型水路における無歪画像 (Case E).

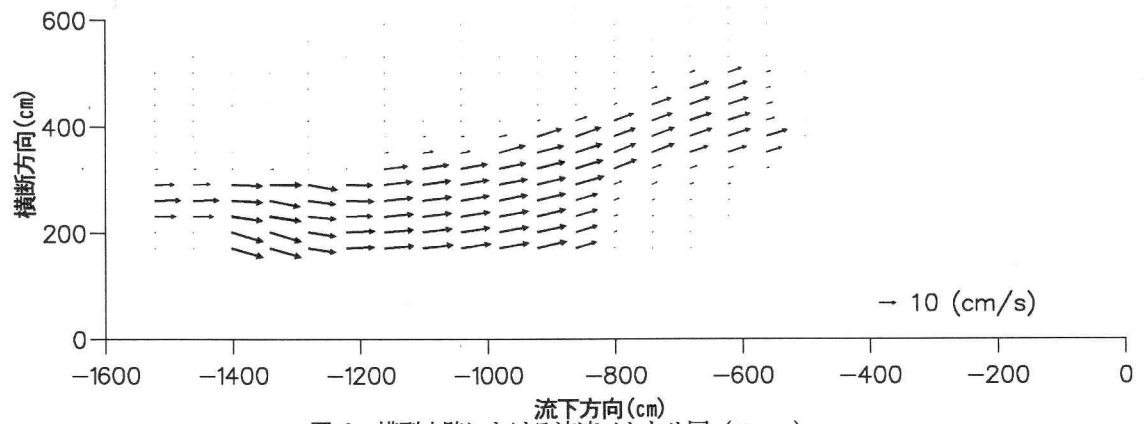


図-8 模型水路における流速ベクトル図 (Case E).

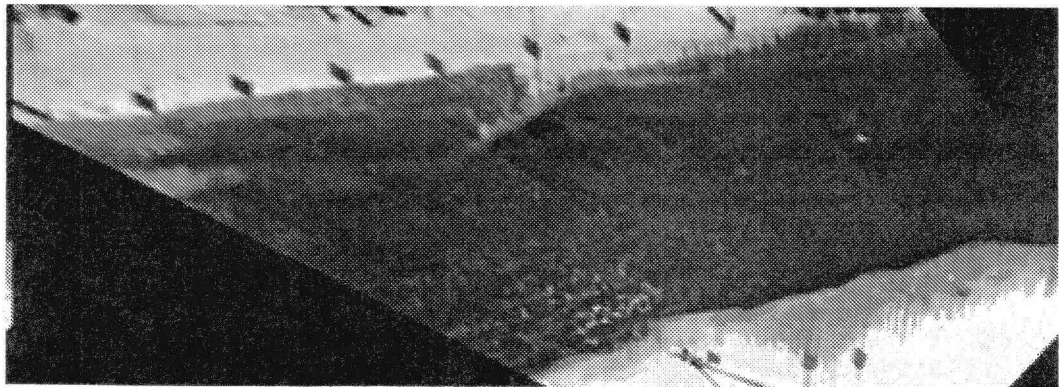


図-9 模型水路における無歪画像 (Case F).

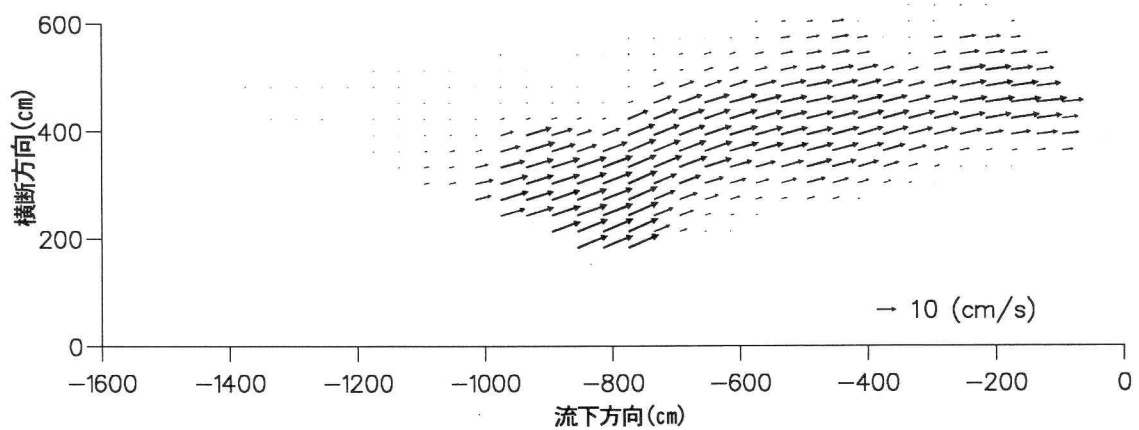


図-10 模型水路における流速ベクトル図 (Case F).

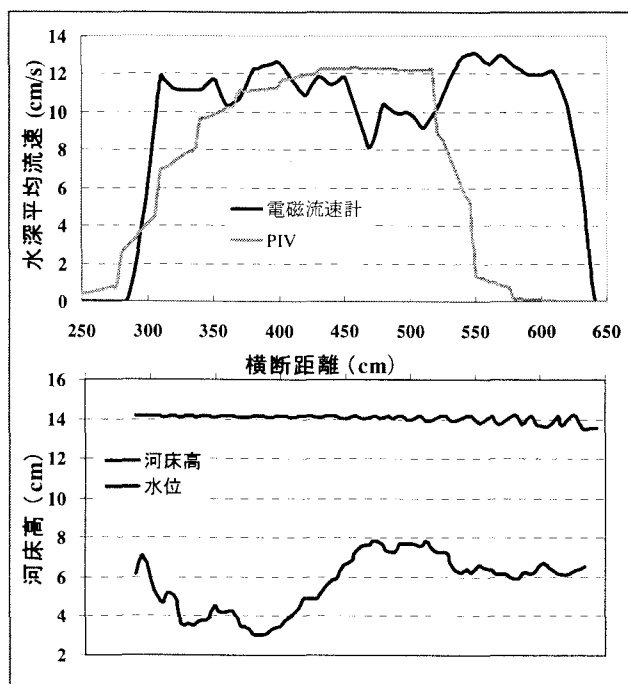


図-11 流速計およびPIVによる流れ方向の流速分布と横断面図。

化の回数は異なっている。また、楠葉砂州の植生模型付近でも同時に、トレーサー投入を別途に行い、可視化を行ったが、主流域に比べると小さい流速であり、輝度分布の動きも確認し難く、計測できなかった。

b) 電磁流速計による流速分布との比較

流下方向400cm (32.3km) 付近で電磁流速計を用いた流速計測が行われた。LSPIVの結果 (Case F) と比較するため、1/7 乗則を用いて双方の水深平均流速を求め、その結果を図-11 に比較して示した。トレーサーの密度が不足して、可視化が十分に行われなかった兩岸付近はLSPIVでは欠測部分となった。中央部では、2cm/s 程度の違いがあり、20%程度の誤差となる。また、横断距離450～550cm 付近で流速計による値が低い、この付近では水深が小さく、計測が河床付近で行われていたことが影響している。

c) 流量計測

Case E, F の画像に映っていた各測線上のデータを用いて流量の算出を行い、その結果を表-5 に示した。双方の画像に映っていた測線-830cm (32.6km) 付近の結果では、Case F では流量誤差が-5.4%と良好な結果が得られたのに対し、Case E では、流量誤差が-50.7%と精度が悪いが、対象測線上は照明の具合により、可視化が十分に行えなかったため、欠測部分が多くなったためである。しかし、Case E の-1046.4cm (32.8km) 付近やCase F では流速の小さい左岸側植生付近を除いては、流速分布が良好に得られ、精度の良い流量結果を得た。これらに示されるように、流量計測の精度は、欠測部分の大小に左右されている。

表-5 模型水路における流量計算諸元一覧。

	断面	流下方向	流積	計算流量
	(km)	(cm)	$A(\text{cm}^2)$	$Q(\text{l/s})$
Case E	33.0km	-1331.4	2225.1	18.9
	32.8km	-1046.4	2600.8	25.8
	32.6km	-828.4	3042.2	14.8
Case F	32.6km	-828.4	3042.2	28.4
	32.4km	-560.1	2972.8	18.7
	32.3km	-400.0	2886.7	22.4
	32.2km	-306.1	2886.7	22.7

5. 結論

本論文では、ITVによる画像を利用したLSPIV技術の河川管理施設や構造物周辺の流れの観測、ならびに河川生態環境調査への応用等を目的とし、淀川水系に関わる3つの事例について、LSPIVを用いた観測とその結果を報告した。本論文では実際のITV画像を利用した解析には至っておらず、その前段階として、家庭用ビデオカメラにより得られた画像をLSPIV解析し、その可能性と問題点を検討した。これらの事例研究より、河川構造物管理や河川空間観察用のITVの画像を用いたLSPIV技術の適用の可能性が確信されるとともに、空気泡の利用や模型実験への応用などLSPIVの新しい技術と応用が示された。

謝辞：本研究を進めるに当たり、資料を提供して頂いた国土交通省淀川工事事務所に謝意を表します。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 藤田一郎・原 基樹・森本貴雄・大西努：PIV技術の実河川表面流速への応用，河川技術論文集，Vol. 4，pp. 41-46，1998。
- 3) 綾 史郎・露口 肇・柿木理史・室田 有紀・藤田一郎：淀川下流部におけるPIVを用いた洪水時の流速観測，水工学論文集，第44巻，pp. 455-460，2000。
- 4) 藤田一郎・綾 史郎・小澤 純：河川表面流のモニタリング手法LSPIVの改良，神戸大学都市安全研究センター研究報告，第4号，2000。
- 5) 綾 史郎・紀平 肇・松波由佳・井田康夫：河川の水位・流量の周年／経年変化と河川生態環境，河川技術に関する論文集，Vol. 6，pp. 93-98，2000。

(2002. 4. 15 受付)