

LSPIV の改良と平水時河川流計測への適用

神戸大学大学院自然科学研究科	学生員	小澤 純
神戸大学都市安全研究センター	正会員	藤田一郎
大阪工業大学工学部	正会員	綾 史郎
中日本建設コンサルタント		中島丈晴

1. はじめに

著者らは、河岸や橋などから斜め撮影したビデオ画像を利用し PIV(Particle Image Velocimetry)によって河川の二次元表面流速場を求める画像解析の研究を進めてきた。計測可能な対象領域の規模が大きいことから、この手法を LSPIV (Large-Scale Particle Image Velocimetry) と呼ぶこともある。LSPIV では、斜めから撮影された画像を幾何補正によって無歪の画像に変換し解析を行っている。しかしながら、従来の変換法ではこの幾何補正の際に撮影俯角等の影響で正確な変換が行われないケースも見られた。そこで、本研究では幾何補正に改良を加えることによって変換の高精度化を試み、平水時における河川表面流計測への適用を行った。

2. 画像幾何補正

LSPIV における従来型の幾何補正は水平と仮定した水面を XY 平面に一致するものとし、標定点の水面への射影点を CRT 座標上で推定することによって、2 次元対 2 次元の画像幾何補正を行っている¹⁾。物理座標(X,Y)と CRT 座標 (x,y) に関しては以下の関係式を仮定している。

$$x = \frac{aX + bY + c}{gX + hY + 1} \quad y = \frac{dX + eY + f}{gX + hY + 1} \quad (1)$$

ここで、8 個の係数 a~f は両座標系において 4 点以上の標定点座標が既知ならば最小自乗法により求めることができる。しかし、特に撮影俯角が小さくなると標定点座標の補正の際に少なからず誤差が混入し、その結果精度の高い画像変換が行われなくなる場合があった。そこで改良型では、3 次元の物理座標と 2 次元の CRT 座標を対応させることによって精度の高い幾何補正を行えるようにした。即ち、ここでは以下の平面对空間の関係式を用いる。

$$x = \frac{A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4}{C_1X + C_2Y + C_3Z + 1} \quad y = \frac{B_1X + B_2Y + B_3Z + B_4}{C_1X + C_2Y + C_3Z + 1} \quad (2)$$

ここで、11 個の係数 $A_1 \sim A_4$, $B_1 \sim B_4$, $C_1 \sim C_3$ は両座標系において 6 点以上の標定点座標が既知ならば最小自乗法により求めることができる。加えて、物理空間上で水面を想定することによって CRT 平面と水面の関係式を得ることができる。水面を任意の傾きを有する平面と仮定すれば、水面は平面の方程式として次式であらわせる。

$$Z = D_1X + D_2Y + D_3 \quad (3)$$

係数 $D_1 \sim D_3$ は水面上で 3 点以上の座標を与えれば求められる。水面が緩勾配ならば、 $Z = D_3$ とおける。

3. K 川における従来型幾何補正と改良型幾何補正の比較

従来型の幾何補正では CRT 座標と物理座標の対応を平面間で行うのに対して、改良型の幾何補正では 3 次元座標を用いて行っている。理論的には、改良型では 3 次元上で行う分精度の向上が見込まれる。そこで、K 川において斜めから撮影された画像を従来型と改良型の両方法で幾何補正し、変換画像における精度の比較を行った。図-1、図-2 に従来法と改良法で幾何補正した画像、表-1、表-2 にその際用いた標定点座標を示す。従

キーワード： PIV 画像解析 河川表面流計測 可視化 幾何補正

来法で使用する標定点の CRT 座標は、鉛直下向きに水面と交わる点に補正する必要がある。その補正量は、各標定点付近の単位ピクセル長と水面に対する標定点の高さより算出するが、その算出過程で誤差が生じやすくなっており、さらに補正量のわずかな誤差が補正画像に大きな影響を及ぼす危険性がある。2 枚の変換画像を比較してみると、両画像とも画像生成時の単位ピクセル長は 0.08m と同一であるにもかかわらず画像サイズに大きな差が生じた。表-3 にそれぞれの川幅の長さを示す。これによると改良法では誤差範囲に収まっているのに対し従来法では 10m 以上の誤差が生じた。この原因には、撮影俯角が小さかった点および、標定点位置が比較的高かったために補正量が大きくなり誤差が生じやすくなってしまった点が考えられる。

4. 平水時における水制付近の画像解析

表-4 に示す条件のもと K 川における平水時の画像解析を行った。解析には改良型で幾何補正した画像を用い、図-2 の白枠で囲んだ部分を解析領域として、図-3 の表面平均流速分布を得た。平水時には、色の濃淡、ごみ、波紋等が少ないためトレーサを流してパターンを強調するが、このときはトレーサを用いなかったため、ベクトルはほとんど検出されないものと思われた。しかし、画像時間間隔を短くし相互相関係数のしきい値を 0.4 まで下げることにより、流況を把握できる程度のベクトルを検出することができた。これは、水制によって生じたボイル等が水面の光の反射度を変化させ、その状況が表面流とともに移流したためである。

参考文献

- 1) 藤田, 中島：実河川流計測における LSPIV の汎用化と水制間流れへの適用, 水工学論文集, vol.44, pp.443-448, 2000.

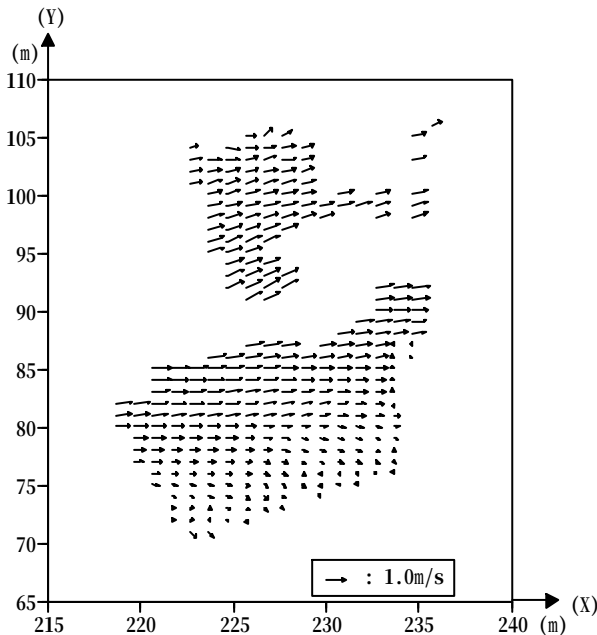


図-3 表面平均流速分布

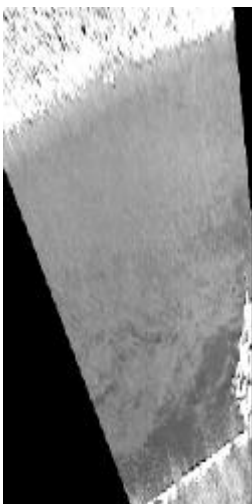


図-1 従来型
(419×819pixel)
(33.52×65.52m)



図-2 改良型
(508×1010pixel)
(40.64×80.8m)

表-1 従来型幾何補正に用いる各標定点の座標値

NO	CRT 座標(pixel)		CRT 座標(補正後)		物理座標(m)	
	x	y	x	y	X	Y
1	108	351	108	583	233.02	48.08
2	669	236	669	304	240.28	75.76
3	40	54	40	138	202	130.58
4	568	32	568	104	228.47	139.06

表-2 改良型幾何補正に用いる各標定点の座標値

NO	CRT 座標(pixel)		物理座標(m)		
	x	y	X	Y	Z
1	108	351	233.02	48.08	49.1
2	327	338	236.69	49.51	49.1
3	571	287	237.67	74.16	45.65
4	669	236	240.28	75.76	47.02
5	40	54	202	130.58	49.61
6	331	42	216.7	135.64	49.3
7	568	32	228.47	139.06	48.97

表-3 川幅の距離

測量データ	66.48m
従来法	53.73m
改良法	65.22m

表-4 画像解析条件

画像枚数	251 枚
画像時間間隔	0.25 秒
テンプレートサイズ	100×100
相関係数しきい値	0.4