

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
岐阜大学大学院	学生会員	中島丈晴
神戸大学工学部建設学科	学生会員	〇小澤純

1.はじめに

われわれは、河岸や橋などから斜め撮影したビデオ画像を利用して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。この手法では、洪水時の河川表面に現れる流木、色の濃淡、ごみ、あるいは表面波紋をトレーサの代わりに見立てて表面流速分布を計測する。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は、市販のビデオカメラとパーソナルコンピュータで行えるため、簡便性、経済性に優れ、洪水時においても河岸や橋などから撮影するため安全性にも優れている。本研究では、LSPIVの高精度化を試みると同時に河川表面流計測への適用を行った。

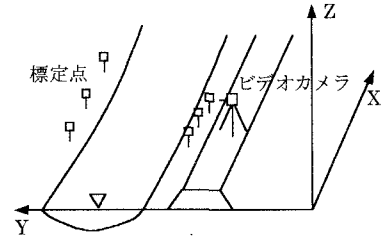


図-1 ビデオカメラによる撮影

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平面とし、物理座標上での標定点の座標を鉛直下向きに水面と交わる点とすることによって、2次元対2次元の画像幾何変換を行っている¹⁾。しかしこれには、煩雑な手作業が必要であり、さらに遠方の標定点や高い位置にある標定点に対しては少なからず誤差が生じやすくなっており精度の高い画像変換が行われているとはいえなかった。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。撮影状況を図-1に示す。

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

ここで、11個の係数 $A_1 \sim A_4$ 、 $B_1 \sim B_4$ 、 $C_1 \sim C_3$ はM点($M \geq 6$)の標定点座標を用いて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。

$$Z = D_1X + D_2Y + D_3 \quad (2)$$

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、 $Z \approx D_3$ とおける。

3. 計測誤差 (速度分解能)

斜め画像の歪みを正確に考慮した以下のような考え方で計測誤差 (あるいは速度分解能) を求める。CRT座標上の微小移動量を($\Delta x, \Delta y$)とすると、その移動量に対応する水面上 (物理平面上) の微小移動量($\Delta X_c, \Delta Y_c$)は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \Delta X_c &= \frac{s_1y + s_2}{(p_1x + p_2y + p_3)^2} \Delta x + \frac{-s_1x + s_3}{(p_1x + p_2y + p_3)^2} \Delta y \\ \Delta Y_c &= \frac{s_4y + s_5}{(p_1x + p_2y + p_3)^2} \Delta x + \frac{-s_5x + s_6}{(p_1x + p_2y + p_3)^2} \Delta y \end{aligned} \quad (3) \quad \text{ここに} \quad \begin{aligned} s_1 &= p_1c_2 - p_2c_1 & s_2 &= p_1c_3 - p_3c_1, \\ s_3 &= p_2c_3 - p_3c_2 & s_4 &= p_1q_2 - p_1q_2, \\ s_5 &= p_1q_3 - p_3q_1 & s_6 &= p_2q_3 - p_3q_2 \end{aligned}$$

である。計測誤差はその異方性を考慮して次式で評価できる。

$$\Delta u = \frac{C_E \Delta X_C}{\Delta t} \quad \Delta v = \frac{C_E \Delta Y_C}{\Delta t} \quad (4) \quad \Delta U = \sqrt{\Delta u^2 + \Delta v^2} \quad (5)$$

ここで、 Δu 、 Δv はそれぞれ物理座標におけるX、Y軸方向の計測誤差、 ΔU はそれらの合成値を表している。これらの値は空間的に変化する。

4.K 川における LSPIV の適用

従来の幾何補正と改良した幾何補正によって変換した2枚の画像を比較した。図-2に斜め画像、図-3に従来型と改良型で行った変換画像を示す。2枚の変換画像を比較してみると、改良型は現地の状況通り両河岸がほぼ平行なのに対して従来型では明らかにずれており、波紋の形も微妙に変化しているのがわかる。次に改良型で幾何補正した画像を用いて PIV 解析を行った。平水時には、画像解析の際に相関値を高める波紋、流木、ゴミなどのパターンがほとんど現れないため、トレーサ等を通してその代用とするが、トレーサを用いず平水時の河川でどの程度まで流速分布が得られるかを調べた。表-1に示す解析条件のもと PIV 解析を実行した。図-4に平均流速分布、図-5に撮影俯角と速度分解能を示す。平均流速分布には所々で間がぬけている箇所があり、撮影俯角と速度分解能は画像解析条件としては必ずしも良好とは言えないが、撮影画像における河川表面のパターンの少なさを考慮に入れば、妥当な結果であると言える。さらに精度のよい計測を行うには、やはりトレーサの導入が必要と思われる。

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，vol44，2000。

表 1. 画像解析条件

画像サイズ	(813, 1616)
画像枚数	251 枚
画像時間間隔	0.25 秒
1画素サイズ(m)	0.05
テンプレートサイズ	100×100
ベクトル間隔(X Y)	20 20
探査領域(上下)	10 0
探査領域(左右)	3 -5
相関係数しきい値	0.4

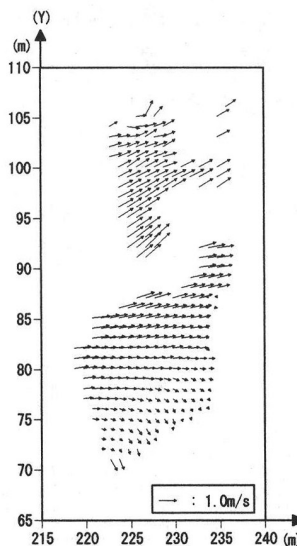


図-4 表面平均流速

従来型 改良型

図-3 幾何補正画像

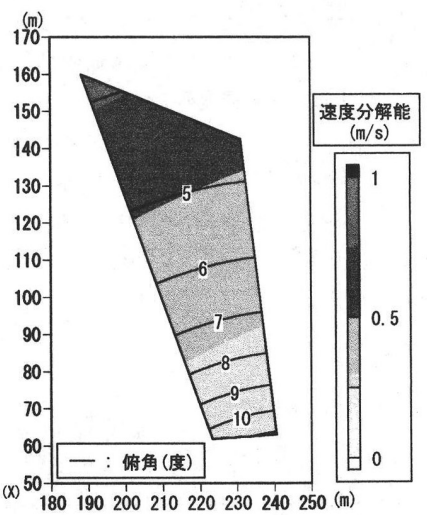


図-5 俯角と速度分解能