

神戸大学工学部建設学科

学生員 ○椿 涼太

神戸大学都市安全研究センター

正会員 藤田一郎

1. はじめに

著者らは、洪水時の河川表面に大量のトレーサーを散布することなく、波紋などによる濃度分布のゆらぎをトレーサーにみだてて表面流速分布を計測する手法を開発してきた。この手法、LSPIV (Large-Scale Particle Image Velocimetry) により、一定の成果をあげることはできたが、いくつかの実用上の問題点も明らかになってきた。この中で、撮影位置の制約による小俯角の状況では有効な情報を得ることができないという LSPIV の短所を解消する新手法を開発したのでここに報告する。

2. 情報密度の不均一性

LSPIV では、幾何補正を行った画像に対し、PIV 解析を行ない流速の計測を行っているが、画像の濃淡分布は離散的であり、幾何補正を行うことで濃淡情報の密度が大きく変化する。図1のように、カメラと撮影対象との垂直距離(高さ)を Z 、水平距離を X 、1ピクセルに相当する角度を θ とする。次に、1ピクセルに相当する領域の左右方向の幅 Dw を考えると(図2)、幾何関係と、 $\theta \approx 0$ から $Dw = L\theta$ を得る。

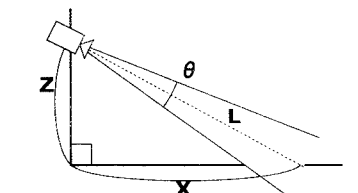


図1 鉛直断面

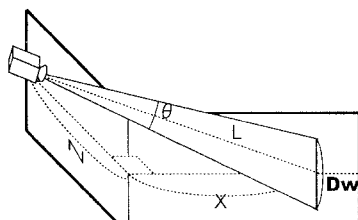


図2 ななめ

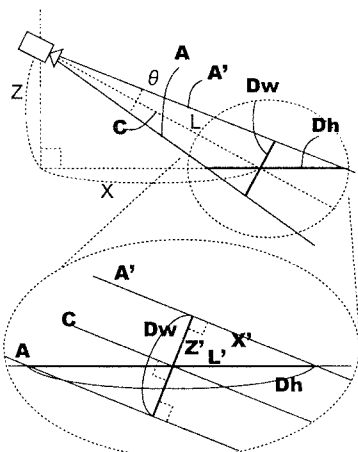


図3 拡大図

また、 $L = \sqrt{Z^2 + X^2}$ であり、 $X \gg Z$ つまり、水平距離が長い場合、1ピクセルの左右方向幅 Dw は X に比例することがわかる。次に、遠近方向の幅 Dh であるが、図3の拡大部分のように撮影範囲の上下限 A, A' と撮影範囲の中心線 C は $\theta \approx 0$ からほぼ平行とみなすことができるので、三角形 ΔZXL と相似な $\Delta Z'X'L'$ から遠近方向の幅は、
$$Dh = Dw \frac{L}{Z} = \frac{L^2}{Z} \theta$$
となる。このことから、俯角が小さい場合には、遠近方向の幅 Dh は X^2 に比例することがわかる。

LSPIVでは経験的に撮影俯角が 10° 以下での解析は困難であると言われる。俯角が 10° であるとき、左右幅(Dw):遠近幅(Dh)= $1:5.6$ であり、これが 6° になると $Dw:Dh=1:9.5$ となる。撮影俯角の制約は、このように撮影地点から見た左右幅と遠近幅のアンバランスが原因となっていると考えることができる。ところで、水平距離が大きくなった場合の密度低下は、遠近方向に比べると、左右方向では非常に少なく、また、常に同じ地点においては、遠近方向より左右方向の情報密度は高いといえる。

3. 解析方向の限定による情報の有効利用

左右方向と流れ方向がほぼ等しいとみなせる場合、濃淡の移動は左右方向に生じる。よって、遠近方向の濃淡情報は使用せずに、左右方向(流れ方向)の情報のみでも移動速度を解析することができると考えられる。そこで、ある線分長を有する検査線を斜め撮影画像上に設け、これに沿った xt 時空間断面画像を生成し、この断面上の濃淡分布の軌跡を追跡することで、速度計測を行う。

4. 時空間断面の傾斜角

時空間断面上には移動の軌跡が線状にあらわれる。この軌跡の傾斜を計測することで、濃淡の移動速度を知ることができる。そこで、信頼性のある速度情報を引き出すためには、画像に含まれる模様様の傾斜角を精度よく計測する必要がある。このことから、今回使用した傾斜角計測法の精度を調べるため、模様様の傾斜角がわかっている模擬画像（図 4）を用意しこれに対し解析を行なった。

図 5 に示したものは、解析結果である。10° から 80° にかけて、非常に精度の良い値が得られることが確認できた。傾斜角 10° は 0.17 ピクセル/フレームであり、80° は 5.67 ピクセル/フレームである。移動速度がこの間に入らない場合、信頼できる値が得られない。その場合は、撮影条件の変更や、フレームの間引きを行う必要がある。



図 4 模擬画像

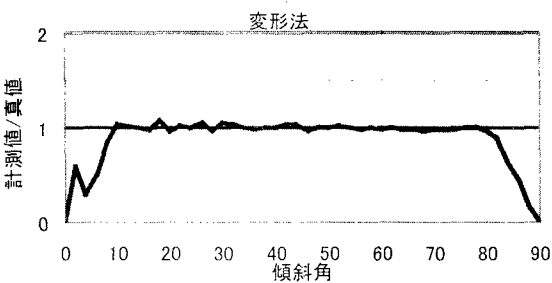


図 5 精度検証

5. K 川の解析

K 川の水制設置部で撮影されたビデオ画像を使い、本手法で解析を行なった。計測領域は、横断方向に 6 測線、それぞれの測線上に 100 計測点（線）を設けた。それぞれの計測点の空間軸は流れ方向と思われる方向に設定し、空間幅 100 ピクセル、時間幅 2 秒（60 フレーム）を 1 セットとし、これを 4 セット

合計 8 秒間の解析を行った後に、時空間平均を取って最終的なベクトルを得た（図 7）。また、図 8 に、示したものは、今回の解析における代表的な時空間画像である。図中の矢印は、計測された計測角を表している。時空間画像は、この図のようにかなり不鮮明な場合もあるが、このような画像に対しても、良好な傾斜角、すなわち流速が得られていることがわかる。

6. まとめ

解析した画像では、撮影時の流れがゆっくりしており大きな波紋が発生せず、河川表面の濃淡が不明確であった。一方、小さな波紋による細かな変動がノイズ的な情報として強くあらわれていた。従って LSPIV で流速を得ることができたのは、手前側の限られた領域であった（図 6）。これに対し、本手法ではこのような不鮮明な画像に対しても、水制による減速部と合わせ、撮影領域全体にわたる流速分布を得られることが確認できた。

参考文献

1) 藤田一郎，中島丈春：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，第 44 巻，2000。

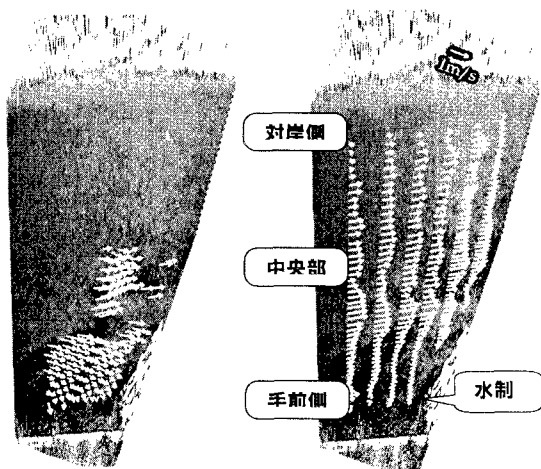


図 6 LSPIV

図 7 本手法



図 8 時空間断面画像