

II - 49

PTV解析精度に及ぼすトレーサー粒子径及び解析格子の影響

東北工業大学 ○正員 相原昭洋 正員 阿部至雄
東北学院大学 正員 上原忠保

1. はじめに

PTV 可視化技術を流れ場の計測に適用する場合、推算される乱流統計量の精度は可視化技術や解析アルゴリズムに左右される。特に、可視化の際に使用するトレーサー粒子の周囲流体の流動に対する追従性や視認性は、精度に関わる重要な要素である。本研究では、透過性植生ワット周辺の流れ場の計測に PTV 可視化技術を適用し、トレーサー粒子径の違いや解析格子が乱流統計量の解析精度に及ぼす影響について検討した。

2. 実験及び解析の概要

実験に用いた水路は長さ 10m、幅 0.6m の勾配可変型二次元開水路である。その水路床に砂礫粒径の異なる粗度板を配置し、模擬複断面河道部を作成した後、水路中央部左岸に透過性植生ワットモデル(開口部幅 30cm、奥行 10cm、植生帯長さ $L=90\text{cm}$ 、幅 $b/B=0.6$)を設置した。実験は、同一流量条件の基に、トレーサー粒子(比重 1.02)の粒径を変化させ、表 1 に示す 3 ケースについて実施した。流れの可視化は、一様に混入されたトレーサー粒子に厚さ約 3mm のレーザーシート光を照射し、ワットを中心に $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ の水平面で行い、水路上方から流況を CCD カメラで約 10 分間撮影した。その概略図を図 1 に示した。

本解析では、60 秒間のアニメ画像から 1/30sec で抽出した 1800 フレームのデジタル画像を使用し、4 時刻粒子追跡手法を用いて粒子追跡を実施したのち、乱流統計量を推算した。この時の粒子の最大移動距離は 16°ケル 、空間解像度は 1°ケル あたり $0.6\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ である。

3. 実験結果及び考察

図 2(a),(b)に、せん断流の卓越するワット開口部を中心

に $19\text{cm} \times 31\text{cm}$ の領域で解析格子間隔を変化させた場合の解析結果を LDA との比較で示した。図によれば、格子間隔を変化させても時間平均流速、乱れ強度の結果はさほど変わりはなく、格子間隔の解析精度に及ぼす影響は思いの外小さいが、格子間隔が狭くなるほど変動場の様子を表現している。なお、格子間隔が狭いほど解析時間は長くなる事を考慮すると、本解析に用いた画像空間に対しては $11.5 \times 19.0\text{mm}$ 程度の格子間隔で対応できるものと考えられる。

図 3(a),(b)は時間平均流速と乱れ強度の解析結果に与えるトレーサー粒子径の影響について示したものである。図(a)より、トレーサー粒子の比較的小さい実験ケース C4P1、C4P2

表 1 実験条件

Case	Q cm ³ /s	H cm	b/B	Re $\times 10^3$	Fr	粒径 μm
C4P1	3700	3.2	0.6	5.71	0.34	75~150
C4P2	3700	3.2	0.6	5.71	0.34	250~420
C4P3	3700	3.2	0.6	5.71	0.34	250~600

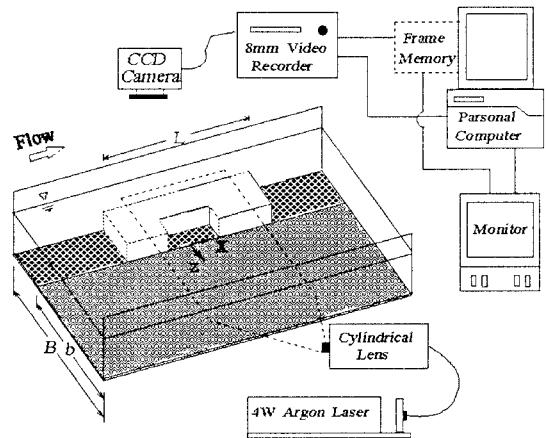


図 1 流れ場の模式図

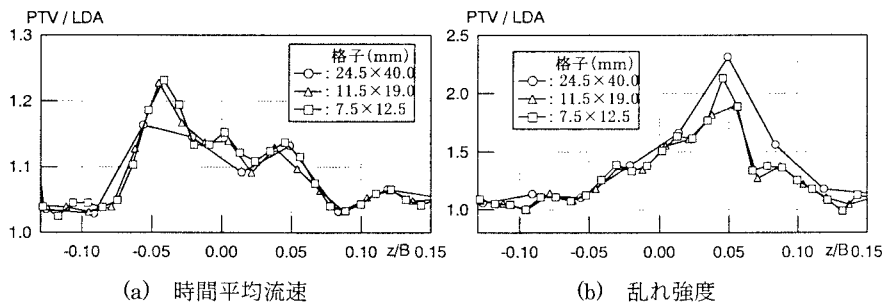
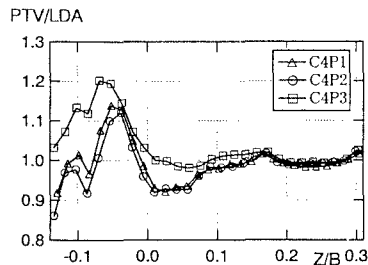
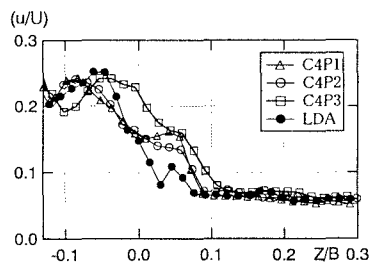


図 2 解析格子の影響

の時間平均流速は、ワット開口部($z/b=0$)やワット奥部($z/B=1$)で LDA の計測結果より約 10%程度小さく推算されるのに対し、トレーサー粒子径が大きい C4P3 の場合は、LDA の結果より相対的に大きく推算され、トレーサー粒子径の大きさによって、特に、乱れの



(a) 時間平均流速



(b) 相対乱れ強度

図 3 トレーサー粒子径の影響

激しいせん断領域やワット奥部の比較的流れの遅い領域の解析結果に違いが見られる。同図(b)に相対乱れ強度の比較を示した。図より、主流域一様乱流場での LDA と PTV の相対乱れ強度の結果には相違は認められず、せん断流の卓越するワット開口部付近の結果に差異が生じている。特に、粒径 $250\sim650\mu\text{m}$ のトレーサー粒子を使用したケース C4P3 の結果は、平均流速に占める乱れ強度の割合は他のケースに比べ大きく、流動に対するトレーサー粒子の追従性による影響が表れているものと考えられる。

図 4(a)~(d)にワット開口部に捕捉された流速変動の時系列を示した。これらの図によれば、PTV で得られる流速記録には、平面渦による流速変動が再現されている。特に、同図(b)に示すケース C4P2 の場合、微細な流速変動も捕捉され、LDA の計測結果とよい対応を示している。しかし、これよりトレーサー粒子径が小さくなると流動に対する追従性は良くなるが、トレーサー粒子からの散乱光強度は粒径の 2 乗に比例するので、得られる粒子画像の輝度は低下し、粒子追跡時に捕捉される速度ベクトル数は減少する。その結果、同図(a)に示す様にケース C4P1 の流速の時系列には、図(b)に比べ小さな流速変動は捕捉されていないと思われる。

次に、図 5 に流速変動のスペクトルをケース C4P2 の場合について示した。同図には、ワット開口部上流端から剥離する平面渦の発生周期に相当する周期 3.0sec のスペクトルの励起、さらに、 $-5/3$ 乗則に従う慣性領域が認められる。この事は、乱流場の乱れ計測に PTV 技術を応用することの妥当性を示すものである。

4. あとがき

トレーサー粒子の粒径と解析格子が PTV 可視化技術の解析精度に与える影響について検討を実施した。その結果、粒子径の大きさによって、せん断流領域や流れの遅い領域の解析結果に違いが見られた。また、追従性を求めトレーサー粒子径を小さくと解析精度はむしろ低下し、逆に視認性を良くするためトレーサー粒子大きくすると解析結果は相対的に LDA の結果より大きく推算されるので、要求される精度に対し、PTV 技術の特性を適切に考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 佐賀、他：自励振動流の PIV と LDA による計測、可視化情、1999、Vol.19,Suppl.No1,P293-296
- 2) 相原、阿部：乱流計測における画像処理手法の比較検討、H10 年度、東北支部、p148-149

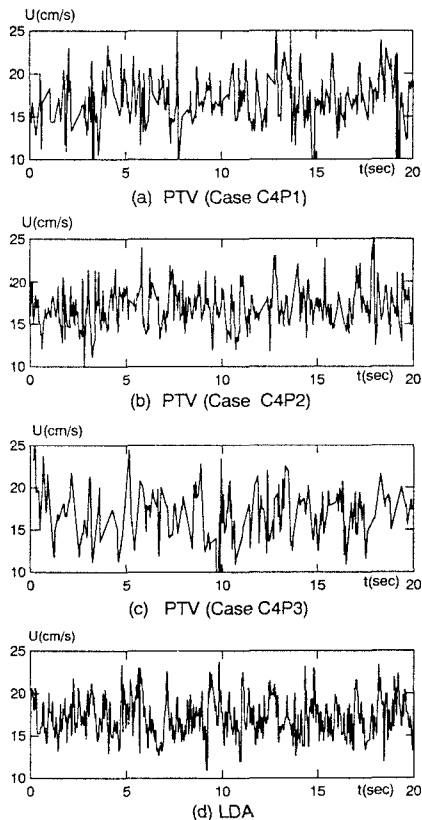


図 4 流速変動の時系列

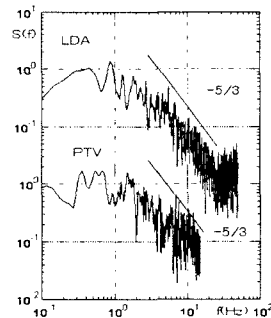


図 5 流速変動のスペクトル