

可視化手法による水制周辺の流動特性

名古屋工業大学 ○田本典秀 名古屋工業大学 学生会員 井嶋康二
 名古屋工業大学 正会員 富永晃宏

1. はじめに 近年, 流れ場の流速計測手法として画像計測が一般的になりつつある. それは, 従来の流速計による手法では困難であった流れ場における複雑で瞬間的な流れを捉えることができるからである. しかしながら, 3次元の乱れの強い流れ場における可視化画像計測の精度については検証がなされていない. 本研究では水制周辺の乱流構造を PIV 計測法, LDA 計測法を用いて計測し, 結果を比較検討したものである.

2. 実験方法 実験水路は, 水路幅 $B=0.3\text{m}$, 長さ $H=8\text{m}$ の長方形勾配可変型開水路を用い, 路床勾配 $i=1/2000$ とした. 水制設置場所は水路の中間部を水制区間とし, 左岸側壁に沿って2個の連続水制モデルを配置した. 水制モデルは, 長さ $l=5.0\text{cm}$, 幅 $b=2.0\text{cm}$ に固定し, 水制高 $d=4\text{cm}$ とした. また水制間隔は水制長の2倍程度が比較的渦構造が安定する $s=10\text{cm}$ とした実験条件のもとで PIV 計測と LDA 計測を用いて実験を行った. 流量 $Q=4.1\text{ l/s}$ の定常流量を通水し, 水制を設置しない状態で, 下流部での堰上げを調整して水深 $H=8.0\text{cm}$ とした. PIV 計測の流れの可視化には, 比重 1.02, 粒径 50micron のナイロン樹脂粒子を用い, 厚さ約 3mm のシート状にした 500mW アルゴンレーザー光 (Ion Laser Technology) を開水路鉛直縦断面 ($x-z$ 平面) に照射した. この可視化画像は高速ビデオカメラを用いて 1/120s で撮影した. 画像計測には VISIFLOW (AEA Technology) PIV システムを用い, 相互相関法により画像解析した. 相関法では検査エリアを 32×32 画素, オーバーラップは 50% とし, 高速ビデオカメラで連続撮影可能な計 1963 枚, 約 16 秒間平均値と流速ベクトルデータを得, 統計処理した.

LDA 計測は He-Ne レーザーで 15mW の出力とする前方散乱型である. 流速は約 41 秒間計測しサンプリング周波数は約 100hz とし, 鉛直縦断面のみの合計 4 断面 (水制側側壁から $Y=5, 25, 45, 55\text{mm}$) の流速データを得た. 本研究の座標系は, 原点を第 1 水制前面根元にとり,

流下方向に x 座標, 水路床鉛直上向きに z 座標としている.

3. 解析結果および考察 PIV, LDA の鉛直縦断面平均流速ベクトルを図-1, 2 に示す. PIV ベクトル図は約 16 秒間平均を LDA ベクトル図は約 41 秒間平均である. 各断面において水制域内では横断渦構造を確認することができる. その渦の中心は $X=50 \sim 80\text{mm}$ 付近にあり, PIV と LDA においてその渦構造における差がないことがわかる. 両計測とも水制側側壁から離れるにつれ第 2 水制底面から第 1 水制背部に向かう逆流速がはっきりと現れていることと, 水制域外から第 2 水制前面で水制域内に流入する流れが両者とも同様に現れていることから, PIV 計測は十分な精度を有しているといえる. また, 第 1 水制を越流する流れに関しても PIV と LDA における流れ構造に大きな差はないが, $Y=5\text{mm}$ 断面において, 第 2 水制を越流する流れが LDA では斜め上向き方向を示しているが, PIV ではほぼ主流方向を示している. 次に第 1 水制と第 2 水制頂部を結ぶ線上, すなわち水制域境界面における流速を $Y=45\text{mm}$ 断面での U, W 流速分布を図-3, 4 に示す. 主流速 U に関して, 流速分布形状は PIV, LDA 共に同様な分布形状を示しているが, 第 1 水制を越流する流速が LDA では非常に強く出ているのに対し PIV ではそれほど強くは出てはいない. また LDA では第 2 水制上部の流速の落ち込みがあるのに対し, PIV では, それほど大きくない. また全体的に LDA のほうが PIV よりも若干流速が大きくなっている. 流速差については, 最大約 5cm/s である. 次に主流速 U と同様に流速 W を検討する. 流速分布形状はほぼ同様である. 主流速 U とは異なり, 流速値は PIV, LDA について大きな差はないが, 第 1 水制を越流する所で最大 2cm/s の流速差が生じており, 流速の強弱が両分布図より LDA のほうがはっきりしていることがわかる. 水制域周辺における流速変動特性を詳細にするために PIV よりも流速, レイノルズ応力が大きく出る LDA において解析することにより信

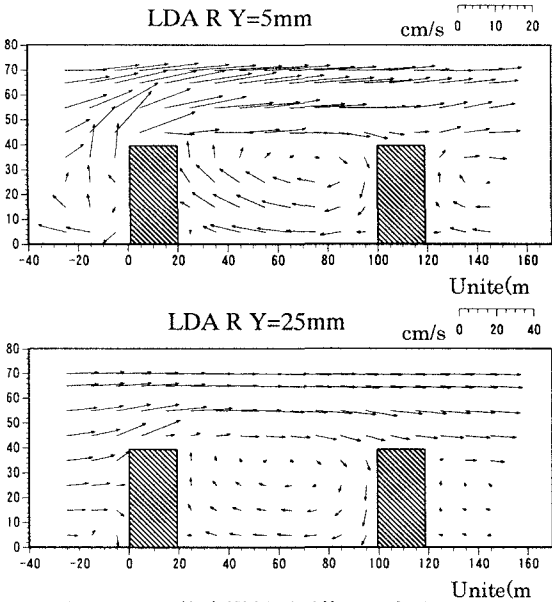


図-1 LDA 鉛直縦断面平均ベクトル

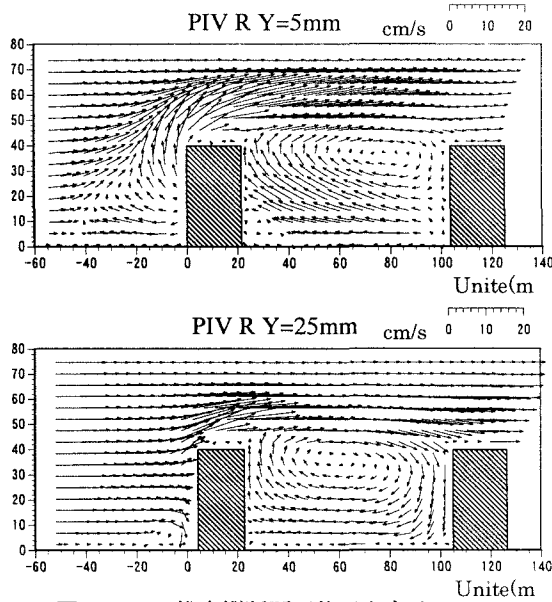


図-2 PIV 鉛直縦断面平均ベクトル

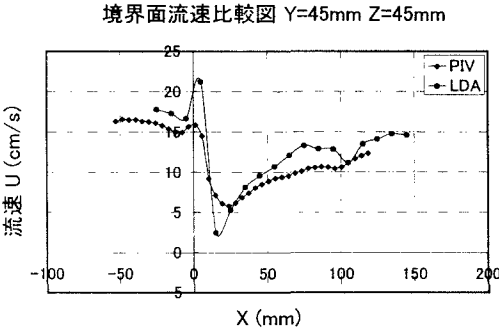


図-3 Y=45mm 断面 境界面 Z=45mm 流速 U 分布

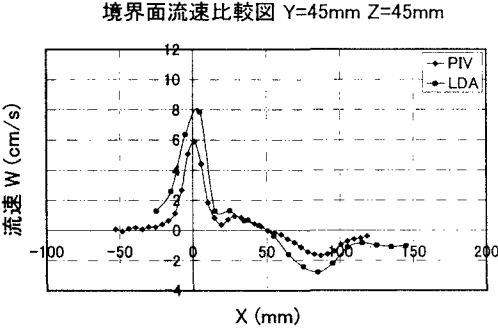


図-4 Y=45mm 断面 境界面 Z=45mm 流速 W 分布

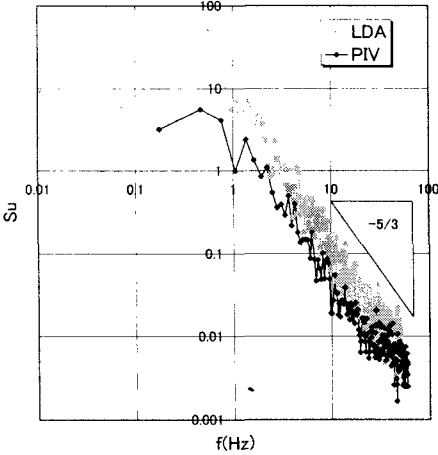


図-5 Y=25mm 断面 PIV・LDA スペクトル比較図
憑性の高いデータで行うことにより PIV, LDA
における流速 W の時系列スペクトル解析を行
った. スペクトル解析は FFT 法を用いた. スペ
クトル解析を行ったポイントは水制間隔 $1/2$
付近の $Y=25\text{mm}$ 断面の $X=60\text{mm}$, $Z=40\text{mm}$ のポ
イントを比較したものを図-5 に示す. PIV の方が全

体的にパワースペクトルが全体に小さくなっており、LDAと比較すると少し乱れ強度が弱いことを意味している。しかしその形状は非常によく似ている。低周波数域でのピーク特性がほぼ一致し、高周波数側へ直線的に減少しておりその傾きは $-5/3$ に等しくなっている。これは慣性水領域の存在を意味し、剪断乱流の乱れ特性を示している。したがって渦構造に関してPIVはLDAとほぼ同程度に捉えているといえる。

4. おわりに LDAとPIVの流れ構造自体に差は生じないが、PIVの流速はLDAの流速に比べて小さく過小評価される傾向がある。特に、第1水制を越流する付近では流速差に大きな違いが見られ、その剥離における乱れを検討する上ではLDAを用いて検討するほうが好ましい。しかしこのような複雑な乱流現象の流れ構造を評価するためには、PIVの特徴である瞬間的なものを考慮にいれなければならない。