

II-26

乱流計測における画像処理手法の比較検討

東北工業大学 正員 ○ 相原昭洋

東北工業大学 正員 阿部至雄

1. はじめに

植生ワンド周辺の流れ場の運動量輸送機構を把握することを目的として、これまで PTV 可視化技術を用いて流れ場の乱流計測を実施してきた。PTV 解析手法のアルゴリズムとしては 4 時刻粒子追跡法、二値化相関法が代表的な手法であったが、最近、Okamoto¹⁾らによって新たな解析アルゴリズム（バネモデル法）が開発された。周知のように、PTV 技術の流れ場に適用する場合、流れ場のサイズや要求される測定精度によって、可視化方法、PTV システムの構成、PTV 解析手法の選択をより適正に行わなければならない。そこで、本報告では、4 時刻粒子追跡法に加え、バネモデル法を用いて、解析アルゴリズムの違いや解析時間の長さ、粒子追跡領域の設定が解析結果の精度に及ぼす影響について検討した。

2. 解析の概要

実験の概要：実験は模擬複断面河道部の左岸に凹部（長さ 30cm、奥行 10cm）を有する模擬植生帯（ $b/B=0.6$ ）を設置して常流状態で行った。その際、水路上方から投入したトレーサ粒子（粒径 $250\sim650\ \mu\text{m}$ 、比重 1.02）に、水路右岸側方から厚さ 3mm のレーザーシート光を照射して流れ場の可視化を行い、凹部を中心に $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ の水平面を水路上方から CCD カメラで撮影した。

画像処理の概要：解析には 60 秒間の画を $1/30\text{sec}$ でサンプリングした 1800 フレームの画像を用いた。画像の空間解像度は $1\text{ピクセルあたり約 } 0.8\text{mm} \times 0.8\text{mm}$ 、また、粒子の最大移動距離は約 16ピクセル 、1 画像の粒子数は $100\sim150$ 個である。この画像に対し 4 時刻粒子追跡法及びバネモデル法を用い、解析時間の長さ、粒子追跡領域をパラメータとして、乱流統計量を求めた。

解析アルゴリズムの概要：バネモデル法¹⁾では、2 枚の画像を用いて粒子追跡が行われる。まず、図 2 の時刻 $t=0$ において、追跡する粒子 P とその周辺の粒子分布パターンに着目する。その際、仮想のバネで粒子 P と周辺の粒子を連結した粒子分布パターンのモデルを考える。次に、時刻 $t=1$ では、移動と共に粒子分布パターンは流れによって変形するので、バネには変形による歪みで荷重が加わる。この時、個々のバネに加わる加重を平均し、その平均加重が最小の時に粒子分布パターンの対応付けを行い、粒子 P の移動経路を同定する。なお、4 時刻粒子追跡法については既報²⁾を参照されたい。

3. 解析結果とその考察

解析アルゴリズム：解析精度を検証するため、PTV 解析で得られた平均流速 U と乱れ強度 u ($\equiv \sqrt{u'^2}$) を LDA 計測結果と比較して図 3 (a)、(b) にそれぞれ示した。図 3(a) によれば、主流方向の流速 U に対する PTV の解析結果と LDA の計測結果との差異が、局所流が形成されるワンド内の上流部分とワンド下流の主流域で、僅

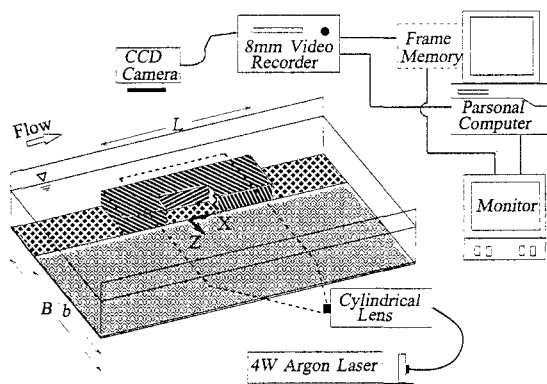


図 1 PTV 構成

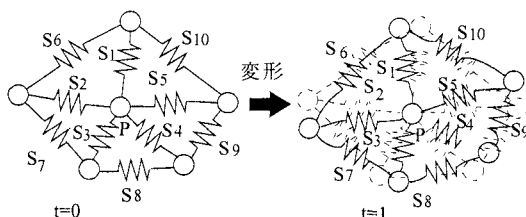


図 2 バネモデル法

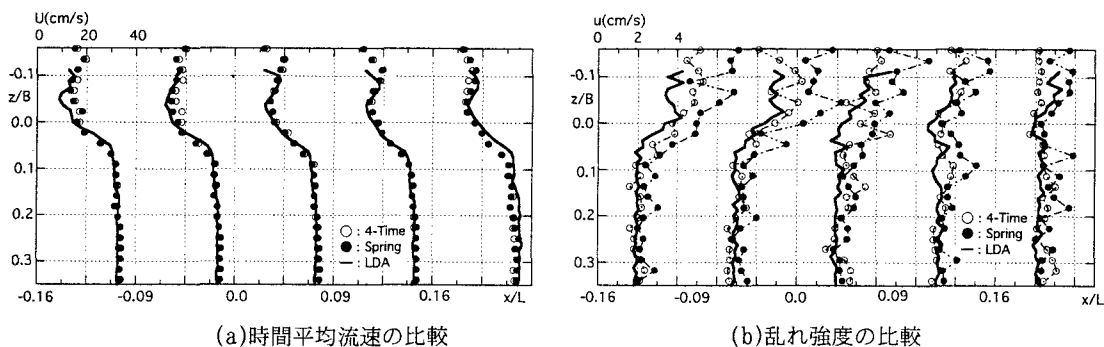


図3 PTV可視化計測とLDA点計測との比較

かに認められるだけなので、点計測との対応は良好である事が分かる。従って、PTVの解析精度は時間平均流速に対してはLDAと同程度の精度とを有していると言える。他方、図3(b)の乱れ強度 u の結果によれば、ワイド内の乱れ強度はPTVによる解析結果の方がLDAの結果より相対的に大きくなる。しかし、4時刻追跡法とバネモデル法の解析結果は、共にLDAの結果と類似する分布を示している、流れ場の乱れの基本的特性は再現されていると思われる。

粒子追跡領域： 図3を求めたときの粒子追跡領域 P_s を基準として、粒子追跡領域 P を変化させ、粒子追跡領域広さの影響について示したのが図4である。図の縦軸は、 P_s の解析結果に対する標準偏差 σ で表したものである。同図より、粒子追跡領域の設定が適切でないと、バネモデル法の $P/P_s=0.8$ の解析結果が示す様に、精度の低下を招くことになる。バネモデル法では粒子分布パターンを用いることから、解析結果の精度は、粒子追跡領域に存在する粒子数に左右されと考えられる。その結果、 $P/P_s=0.9 \sim 1.2$ と粒子追跡領域を変化させても、その追跡領域の広さに関係なく解析結果は、ほぼ同一の精度で得られている。他方、4時刻粒子追跡法では1個の粒子に着目した粒子追跡が行われる。従って、4時刻粒子追跡法で解析する方がバネモデル法に比べ粒子追跡領域の広さに解析結果は左右されるので、より適切な粒子追跡領域の設定が必要となる。

解析時間長： 平均化の時間長さに対する解析例を示したのが図5である。図の縦軸は、解析時間長さ60secの解析結果からの標準偏差である。図より、平均流速 U と乱れ強度 u に対しては解析時間長さが解析結果に及ぼす影響は少ない事が知れる。しかし、レイルス応力 $-\overline{uw}$ には影響を及ぼすことが分かる。また、今回の解析に用いた粒子画像の条件の基で解析精度をLDAと同程度に要求すると、乱流統計量の平均化時間の長さは、少なくとも50sec以上必要となる。

4. あとがき

乱流計測にPTV技術を適用し、4時刻粒子追跡法とバネモデル法による解析を実施した。粒子追跡領域、解析時間の長さを適切に考慮することによってLDAと同等の精度で乱流統計量が得られることを示した。最後に、本解析に際して高橋多也君、只野英博君の助力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Okamoto, K, et al.: New Tracking Algorithm for Particle Image Velocimetry, Experiments in Fluids 19, 1995, 342-347
- 2) 相原、阿部: PIV可視化手法による円柱周辺の成層流れの流速測定、H8年度、東北支部、p130-131

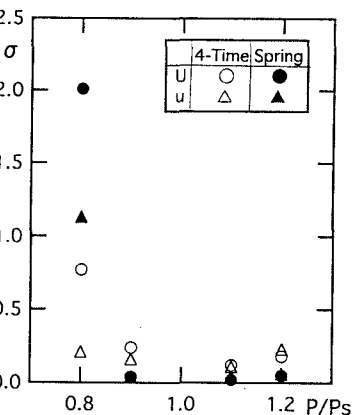


図4 粒子追跡領域による影響

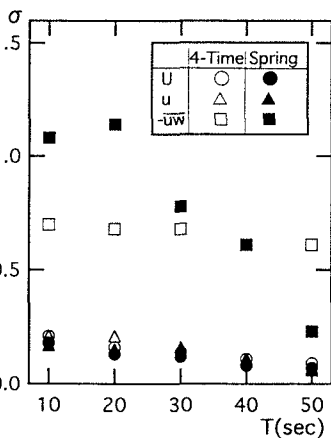


図5 解析時間による影響