

II-192

粒子画像シミュレーションによるPIVの精度の検討

岐阜大学大学院 学生員○海津利幸

岐阜大学工学部 正 員 藤田一郎

1. まえがき

最近、流れ場の流速計測手法として画像計測が注目されている。画像計測手法にはいわゆるPTV(particle tracking velocimetry)とPIV(particle image velocimetry)があるが、ここでは、トレーサ粒子の付着や軌跡の重なりが問題とならず、相関計算だけの処理で簡単に流れ場全体の速度ベクトル分布が求められる「PIV」¹⁾について模擬粒子シミュレーションを行い、その精度、最適な画像条件、計算条件などについて検討を行う。

2. 模擬粒子画像生成

模擬粒子画像は1つの画像を $n \times n$ 画素から構成される小領域に分別し、その中に粒子を配置して生成する。粒子の座標は各小領域内でランダムな値をとり、粒子の x, y 方向の径は一定の範囲内でランダムに与える。粒子の輝度は各粒子についてランダムに与え粒子中心がもっとも明るく端になるほど暗くなるように分布させる。このように各小領域に対して1つの粒子が入るため、小領域の大きさ、粒子の大きさを変えることにより様々なイメージの模擬粒子画像が生成できる。

ここでは、模擬粒子画像生成に関する指標として次のようなパラメータを設けた。²⁾

$$AP = S_x S_y \quad (1)$$

$$NP = \frac{S_x S_y}{4A_0 B_0} \quad (2)$$

$$PP = AP \cdot NP \quad (3)$$

ここに、 S_x, S_y : 小領域の横、縦方向の画素数、 A_0, B_0 : 模擬粒子の X, Y 方向の半径であり、 AP は小領域サイズ、 NP は小領域内に配置できる最大の粒子個数を示す。

AP, NP の説明図を図1に示す。このとき $PP=100$ である。 AP, NP, PP は大きいほど粒子密度が粗になり、小さいほど密になる。ここでは $PP=50, 100, 350, 1000, 3500, 10000$ の6通り、粒子サイズ2通りの計12種類の模擬粒子画像を生成した。図2に $PP=350$ の模擬粒子画像を示す。

3. 粒子移動

PIVの精度は粒子群のせん断変形量に依存すると考えられるので粒子群の移動方法として、図3に示すような4種類のせん断変形量を与え、これにPIVを適用する。

4. 結果および考察

PIVでは相互相関係数を計算する領域(参照フレーム)の大きさにより精度が変化する。そこで、与えたベクトルと計算結果のベクトルの誤差が1pixel以内のものを正常ベクトルとみなし、正常ベクトル発生率と参照フレームサイズの関係性を調べた。粒子パラメータ $PP=350$ の場合を図4に示す。このようにせん断変形

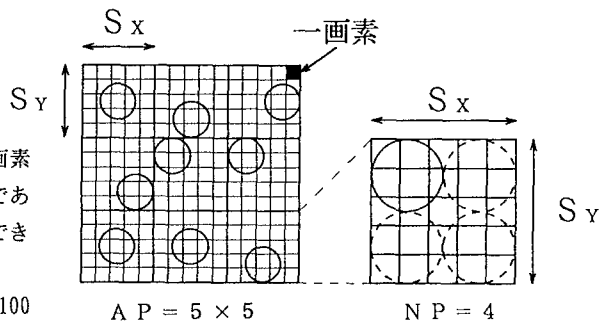
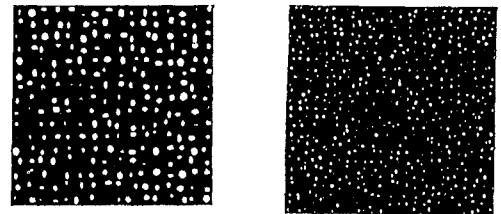


図1 AP・NPの説明図



粒子サイズ:大

粒子サイズ:小

図2 模擬粒子画像($PP=350$)

量により精度が異なり、参照フレームもそれぞれの場合において最適な大きさがあると考えられる。そこで、各ケースで正常ベクトル発生率が最も高く、かつ参照フレームサイズが最も小さいものを最適参照フレームサイズとし、粒子パラメータPPとの関係を調べた。最適参照フレームサイズは粒子パラメータPP(粒子密度)の他に粒子群のせん断変形量にも多少依存しているが、実際の流れ場のせん断変形量は一定ではない。従って、せん断変形量0.05~0.20のすべてのケースにおける粒子パラメータ(PP)と最適参照フレームサイズ(Mop)との関係を示すと図5のようになり、最も大きい最適参照フレームサイズに対して回帰式を求めると次式のようなになる。

$$Mop = INT(0.0019PP + 17.96) \quad (4)$$

また、実際PIVに適用するのは粒子がかなり密なPP=数100程度の画像であることからPP=50~350に対して回帰式を求めると次式のようなになる。

$$Mop = INT(0.0045PP + 15.58) \quad (5)$$

これにより、粒子パラメータPPが数100のオーダーではMopはほぼ一定で15~17(pixel)程度であることがわかる。

せん断変形量0.05に対する精度の検討結果を図6に示す。Mopを用いた計算結果と真値との誤差は全領域で1pixel以内、特にPP=500以下ではほぼ0.2pixel以内であり、かなり精度がよいことがわかる。

5. あとがき

PIVの適用にあたって、画像における参照フレームサイズの決定方法などを明らかにした。また、せん断変形量が小さければ精度はかなり良く、流速計測手法としてのPIVはかなり有効であることがわかった。

参考文献

- 1) 藤田・河村・神田：相関法の精度と洪水流航空写真への適用、水工学論文集、35巻, pp. 293-198, (1991).
- 2) Fujita, I. and Komura, S.: On the Accuracy of the Correlation Method: Flow Visualization IV, Springer-Verlag, pp. 858-862, (1992).

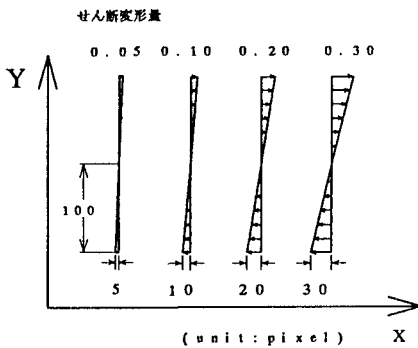


図3 粒子群のせん断変形量

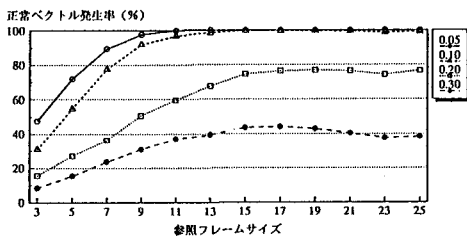


図4 参照フレームサイズと正常ベクトル発生率

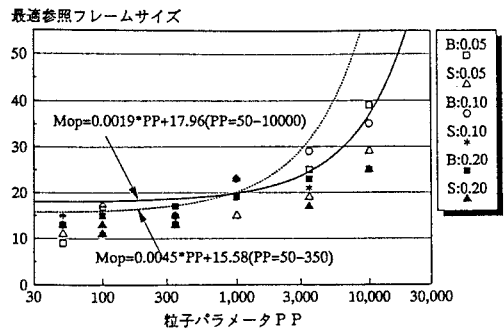


図5 粒子パラメータPPと最適参照フレームサイズ

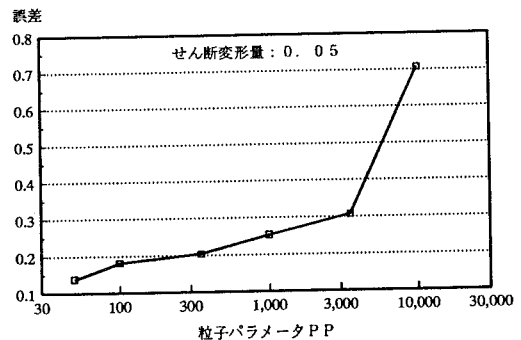


図6 粒子パラメータPPと誤差