10. 画像処理の水路流速計測への応用

神戸大学 筧 源亮

Velocity measurement using picture processing

Motoaki Yano*

In the channel flow, the velocity distribution is measured by using a tracer method aided by TV and computer.

The travelling distance of the relative particles of the tracer is obtained under the using of new developed software.

This measuring method is seemed to be a step of the auto-measurement system of the flow visualization.

1. まえがき

トレーサ法を用い、微小時間前後の二枚のトレーサ画像より、各トレーサ粒子の移動距離を求め、流速を得ている。トレーサには直径1mm前後のスチロール粒子(比重1.04)を使用した。

トレーサの画像は直接テレビ画像として記録し、そのビデオ信号をA/D変換することにより、計算機に出力させ、これを処理している。

ここでは、トレーサ画像のビデオ入力以降の方法に主点をおいているため、トレーサ法そのものの基本にかかわる、流れと粒子との間の相対運動等については考察していない。

テレビ画像と一般写真画像を比較すると、解像度、コントラスト、画像歪、共に写真の画質が秀れている。それにもかかわらずテレビ計測が除々に盛んとなっているのは、計算機援用を考えると、自動計測の可能性があるからに他ならない。ここで述べる方法はまだ充分でなく、取扱う流れとして以下の条件を付したものである。

1. 流れは一定方向に主流のある流れとする。
2. 乱流成分は平均流速に比較して小さい。
3. 流れに含まれるトレーサ粒子は混合粒径の球形のものであり、個々の粒子は重ね合さったり、接触したりしていないものとする。
4. トレーサの流入出は主流方向に限られ、これに垂直な上下方向からの流入出はないものとする。

したがって、この計測方法は今の所、流れ方向縦断面内における流速の水平垂直の二成分を求めることに適用が限られる。

* Kobe Univ.

2. 計測系

計測系は (i) テレビ部、(ii) A/D 変換部、(iii) 計算機部より構成される。

テレビカメラを用いて、そのまま流れのトレーサを撮影、記録し、その中の一枚の静止テレビ画像を見てみると、トレーサ粒子は粒子としてでなく、流れた軌跡を表わしている。粒子としての画像は、高速シャッターを用いなければ得られない。このシャッターの代わりに、光源としてテレビに同期させたストロボを用いると、その目的を達することが出来る。ストロボの同期信号には、テレビの垂直同期信号を用いる。

計算機にいわゆるマイコンを使用すると、データの転送速度が遅く、二枚の画に対して、二枚の A/D 変換・記録部を用意しなければならない。このため、VTR を用いることとし、一度テレビ画像をこれに記録させた後、コマ送り再生にて静止画としたものを順次 A/D 変換させている。VTR を用いたことにより画像の解像度等、画質はかなり低下したものとなっている。

VTR の一枚の静止画像は、A/D 変換部において 256×256 の画素に分割し粒子を 1、その周辺の流れを 0 の二値化信号としてデジタル化する。¹⁾

模式的な計測系を図-1 に示す。この計測系における各機器の同期信号は、簡単な回路の修正により同期を受け入れやすい機器を同期の入力側としているため、かならずしもビデオ信号を出力する機器のものを基準としていない。

計測は流れの主流方向をテレビ走査線方向にとって行っている。

3. ソフト

3.1 粒子の中心座標の求め方

計算機に入力するデータは、0、1 で構成される 256×256 のマトリクスである。

1 の値のマトリクスの I、J を読めば、それはトレーサ粒子上の一点の座標を示す。計算処理上、取扱う数値が少いに越したことはないから、各粒子の中心座標を求め、それでその粒子を代表させることとする。粒子の中心座標を求めるには、図-2 を参照して、同図の①②-----⑦---の手順に従って、画像の端の粒子のものから求める。これを求めた後、同図の四角の領域を 0 として、この粒子を消去し、次の粒子の中心座標を求めていく。上記の①の点は、マトリクス縦方向の値の計をとり、これが 0 でない点として求め、②の点はその縦軸上を 0 でない点として求め、③は横軸上を 1 でない点の一つ手前の点として求め、④は②

図-1 計測機器系

③ の中点として求め、以下⑤⑥も同様に⑦はその中点として座標 (I, J 値) を求める。⑤-⑥間の長さ (粒子径) は後述のように、粒子の移動距離を求める時必要なデータとなるため、これも求めておく。

この粒子の中心を求める方法では、粒子が球形であっても、図-2の④⑧のように粒子端の値を取残すことがあり、これを別粒子として取扱うこととなる。トレーサ粒子の最小径は推定可能故、粒径の小さなものは取除く方法を取入れる。これは同時に画像の雑音除去を行うことにもなる。

このようにして求めた粒子の中心とその輪郭との関係の具体例を図-3に示す。この図からもわかるように粒子が接触あるいは重ね合っていると、求めた中心は意味がなくなり、まえがきに述べた非接触の条件が必要となる。

図-2 粒子中心座標の求め方

図-3 粒子輪郭と中心座標

3.2 速度成分の求め方

VTRを用いると、コマ送り静止画像の時間間隔は1/30秒故、この前後の2枚の画像中の相対する粒子の組合せが得られれば、3.1

において、その中心座標は既知故、流速が求められる。流れに主流が卓越しているため、一枚目の画像の粒子配列は、概略相似の関係を保って流下し二枚目の粒子配列になるものと考えられる。ただ一枚目の下流側及び二枚目の上流側には、流出入により相対関係の見出せない粒子が一般に存在し、このため両画像の各粒子数の合計も一致しない場合が多い。従って一枚目の下流端、あるいは、二枚目の上流端より粒子を除去し、両画像の粒子数を一致させる。この粒子数が一致しても、相対粒子以外のものが混入している可能性が存在する。このため、画像より1ケづつ、すなわち一枚目の下流端側より、二枚目の上流端側より粒子を取除いた画像の組を順次作成し、これらより相対粒子を見出すこととする。

相対粒子を見出すには、図-4 A、Bに示す二通りの方法により、画像粒子の番号付けと配列を行う。この二方法による両画像の配列組合せから判断して相対粒子を見出す。

一画像に①②と番号付けした二粒子の配列を考えると、二画面を通じての配列の組合せは表-1に示すようになる。

図-4に示す二方法によるその配列組合せは、表-1の最後の欄に示す四通りとなる。今正しくない組合せについて考えてみると、粒子は図-5に示すような移動をしていることがわかり、主流の発達した、取れん、発散のない流れでは存在しないと考えられる。

図-4 粒子番号付けと配列方法

従って上記二方法により粒子の組合せの同じものが得られれば、その粒子は相対粒子であると判断出来る。一枚目あるいは、二枚目のいずれかの画像に別の粒子が混入した場合は、同じ組合せは生じない。従って多数粒子の場合、相対粒子以外のものが混入する

一枚目の配列	二枚目の配列	両画像の粒子の組合せ
① ②	①' ②' or ②' ①'	① ② ① ② ①' ②' or ②' ①'
② ①	①' ②' or ②' ①'	② ① ② ① ①' ②' or ②' ①'

表-1 粒子の組合せ

と、上記二方法による配列が変化し、組合せの一致したものが得られにくい。

この粒子配列の組合せの一致したものの数が最大の場合、各画像共相対する粒子のみの画像と考えられ、同時に相対粒子も判明することとなる。

この方法では画像中のすべての粒子について、その相対する粒子が判明するとは限らない。

他の方法（例えば斜配列等）により、その判別を行うことは可能であるけれども、時系列等の資料を得るためでなければその判別は必要なく、判別出来るものだけで充分と思われる。

図-5 粒子組合せの異なる場合の粒子の移動

この方法で得られた相対

粒子の検査は、粒径の一致と、流下移動距離が正であること（二枚目画像の粒子X座標から一枚目のを引算する方法を採用）により行う。不適なものは取除く。

この方法により、流速ベクトルを求めた例を図-6、7に示す。

この方法では、流れに混入する粒子が多いと重なり合ったり、接触した画像となり、適当に少ない方が良好な結果が得られやすい。

3.3 粒子の輪郭の求め方

流れの流速成分を求めることと直接関係はないけれども、粒子の輪郭を求めておき、これを図示すると便利な場合が多い。

また後述のようにこの手法を応用すると粒子の中心も求めることが出来る。

粒子の輪郭を上下左右の四ヶの側のものについて求めることとすると、各々の側のものをそれぞれ求めた後にこれらを合成する方法をとる。

今粒子の右側の輪郭を求めるものとする、図-8に示すように、元の粒子の2値化画像Aマトリクスを一行左によせBとし、このBのNOTを取り、これとAのANDを取れば粒子の右側輪郭Cが求まる。この時Bの作成時において、最右行を1とするか0とするかにより、画像の右端にかかった粒子の右側が0か1となる。

粒子全体の輪郭は、このようにして求めた個々の輪郭のORを取ればよい。

粒子の中心は、上記のBマトリクスを作る時、一行でなく粒子径が奇数か偶数かを考え、その半分以下だけ左によせる。こ

のようにして上下左右側から最終的に得たCと元のAとの差をとると、粒子の中心あるいは、一般に (2×3) 、 (3×2) 以下のマトリクスが得られる。この場合の粒子の中心の定め方をきめ、中心を求める。

粒子には大小の粒径のものが存在する故、大きいものから中心を求めた後、画像からそれを消去して、順次小さいものへと移って行けばよい。

図-6 実験例 (I)

図-7 実験例 (II)

A	B	NOT B	C=(NOT B) AND A
0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	1 1 1 1 1 0	0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 0 0	0 1 1 0 0 1	1 0 0 1 1 0	0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 0	1 1 1 1 0 1	0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 1 0
0 1 1 1 1 0	1 1 1 1 0 1	0 0 0 0 1 0	0 0 0 0 1 0
0 0 1 1 0 0	0 1 1 0 0 1	1 0 0 1 1 0	0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 1	1 1 1 1 1 0	0 0 0 0 0 0

図-8 輪郭の求め方 (右側)

4. 流れに横断方向の粒子座標を求める試み

流れ方向の縦断面に垂直な方向の粒子座標 (Z) を求めることは、二台のカメラを使用し、立体視しないかぎり幾何学的に求まらない。

ここでは一台のカメラを用い、粒子影像の濃淡を利用して、粒子の Z 座標を求めることを試みてみた。図-1の水路中央に粒子を設置し、これにカメラの焦点を合わせる。カメラ焦点をそのまま固定しておいて粒子を Z 方向に移動させ、その濃淡値と距離との関係とを求めると図-9に示すようになる。この場合、赤フィルタをレンズに付し、長波長の光について測定をしている。また粒子影像の濃淡は8ビット(256階調)でA/D変換を行っている。この計測では、撮像管を30分程事前に動作させ、安定させておく必要がある。実験結果の図-9からもわかるように、その曲線勾配が緩やかな上、誤差範囲が大きいので、このままでは、個々の Z 値を求めるわけにいかず、多数の粒子の測定から平均的な Z 値を求めるに過ぎない。

2)
光の水中の消散により、図-9の結果を得たものと思われるけれども詳細な検討は行っていない。

5. 考察

以上述べた方法は、計測の短時間処理を第一目的として研究を行ったものである。その結果、開発したソフトは完全でなく、まえがきに記したように、かぎられた流れにのみ適用出来るものであり、流体力学上興味ある High Shear Flow、Vortex Flow、Unsteady Flow 等には用いられないこととなったけれども、やむを得ない所である。

この方法を水路の流れに適用して見て、気付いた点を列記し考察にかえる。

① 上下境界、すなわち水面、底面位置が不明確であり工夫が必要、② 粒子に着色すれば相対粒子判別の条件が増し、ソフト開発は容易になると思われる ③ 粒子は流れにおいて一様な配置が望ましい ④ 雑音除去のため粒径はある程度以上の大きさとなるよう視野を選ぶ必要があり、したがって測定範囲、流速共に限定される ⑤ 水質はゴミ等のない良質なものを用いる ⑥ 計測にカウント誤差を必ず共なう故、画像上の流下距離が小さいと測定誤差が大となり、この点からも測定範囲は限定される。

この研究はあくまで流れの可視化自動計測への第一歩と考えており、今後多くの人々の研究により、より完全なソフトが開発されることを念願している。

参考文献

- 1) 小林、石原他 円柱まわりの流れの画像処理の一例、流れの可視化 No.8
- 2) 黒木敏郎 海洋測定法 1972年 東京大学出版会 P.116