11 相関法による合流部剥離泡の非定常特性に関する検討

岐阜大学工業短期大学部 藤田 一郎

岐阜大学工学部 河村 三郎

Investigation of Unsteady Features of a Separation-Bubble at a Confluence by the Correlation Method

Ichiro Fujita* and Saburo Komura**

Unsteady features of the surface flow at an open-channel confluence were examined by using a correlation method which is one of image processing techniques. In this research, gray level intensities between the centers of respective pixels were efficiently interpolated to improve the accuracy. By applying the improved method, two-dimensional mean velocity and turbulent intensity distributions were obtained with a reasonable accuracy. And the effects of discharge ratios to the time-dependent features of the separation bubble and separated vortices were verified in detail.

1. ま え が き

画像計測によって流れの速度場を求める手法は、近年のハードウェアの発達にともなって著しく発展してきており、二次元・三次元場における流れの計測手法として注目されている。相関法はそのような画像計測手法のひとつであり、様々な流れに対する適用例が示されるようになってきた^{1)~4)}。本研究は、直角に合流した開水路流れの表面流に対して相関法を適用したものであり、特に合流部剥離泡にともなって生じる剥離渦の非定常な特性に関して検討を行った。

2. 実験方法および画像処理システム

実験には本流水路(長さ10m,幅30cm)と支流水路(長さ2.5m,幅20cm)を直角に合流させた水平床の開水路を用いた。本研究では、合流後の水深が5.0cm,フルード数が0.238の流れにおいて、流量比 Q_r (=支流流量/本流流量)が0.4(RUN B2)および0.6(RUN B3)のケースについて検討した。表面流況は平均粒径が1mm程度のおがくずを均等に散布して可視化し、合流部の流況は水路上方に設置したCCDカメラを通してビデオに記録した。

画像計測システムをFig.1に示す。パソコン用のモノクロ画像処理装置(三谷商事製,8ビット,256x256画素,4画面)を用いてビデオ画像の取り込みを行い、得られた濃淡画像データ(バイナリデータ)はミニコンピュータに転送し、相関法の計算および結果の出力を行った。相関法では二枚一組の画像を用いるが、本研究では画像間の時間差 $\Delta t = 1/15$ 秒

* College of Technology, ** Faculty of Engineering, Gifu University, Yanagido 1-1, Gifu, 501-11, Japan.

とし、流速データのサンプリング間隔は1/7.5秒とした。ここでは各ケースに対して連続した250組(500枚)の画像(約33.3秒間)を処理した。

3. 相関法の適用

対象とした画像の例(79x256画素)をFig.2に示す。参照フレームのサイズは11x11とした。参照フレームの移動は画素単位で行うと精度が著しく低下するので、本研究では画素中心間の濃度を二次元補間から求め、画素間の移動も考慮した。ただし、画素間の分割数を大きくとると計算時間が膨大になるため、次のような手順で参照フレームの移動を行い、計算の効率化をはかった。まず、画素単位の移動から相関値が最大となる位置を求め、次にその点を中心に画素間を三分割し、25通りの移動から最大相関点を求める。さらに、その点を中心に分割点間をさらに二段階に二分分割して探索領域を順次しばっていく、最終的な最大相関点の位置を求める。この結果、画素中心間を12分割した状態で相関法を適用することが可能となった。

4. 解析結果

4. 1 平均流速および乱れ強度分布

250組の瞬間的な二次元流速分布から求めた平均流速分布および乱れ強度分布をFig.3およびFig.4に示す。図には比較のために、直径3mmのプロペラ流

Fig.1 Image Processing System

Fig.2 Original Images(RUN B2, $\Delta t=1/15\text{sec}$)

Fig.3 Mean Velocity Distributions (RUN B3)

Fig.4 Turbulence Intensity Distributions (RUN B3)

速計によって求めた水面付近の各分布も示した。平均流速分布に関しては、参照フレームのサイズが約4cm四方とかなり大きいにもかかわらず、点計測の結果との良好な一致が得られている。乱れ強度分布についても、流速勾配が非常に大きい剥離直後の断面でピークの位置に多少のずれがある点を除けば、ほぼ妥当な結果が得られている。以上より、画素中心間の参照フレームの移動等を考慮すれば、ある程度の空間分解能のもとで相関法による乱流計測が可能になるとがわかる。

4. 2 再付着点変動および剥離渦の運動

剥離泡側の側壁に最も近接した流速ベクトル列(側壁から約2.1cm)を用いて、側壁に沿う流れの順流・逆流の分布を時間経過とともに示したのがFig.5である。Xは剥離点から下流に取った座標、 B_3 は本流幅である。順流と逆流の境界が剥離泡の再付着点に対応するものと考えられるが、逆流域が大規模な時間変動をしている様子がよくわかる。その変動には非常に

(a) RUN B2

(b) RUN B3

Fig.5 Fluctuation of Reattachment Point; shadowed region shows $U > 0$.

(a) Y=2.8cm (RUN B2)

(b) Y=4.4cm (RUN B2)

(c) Y=2.8cm (RUN B3)

(d) Y=4.4cm (RUN B3)

Fig.6 Fluctuation of Transverse Velocity Components; shadowed region shows $V > 0$.

大きな変動とその間の小規模な変動が混在している。また、逆流域が発達すると二つに分裂し、下流側に伸びた部分が消滅していく様子も得られている。このような変動の周波数は計測時間が十分でないため明確ではないが、大規模な変動は0.1Hzのオーダー、小規模な変動は0.5～1.0Hz程度の変動周波数を有しているようである。また、流量比の大きいRUN B3はRUN B2よりも大スケールの変動が現われており、流量比の変化が合流部剥離泡の非正常特性に大きな影響を与えていることがわかる。

Fig.6には、剥離泡側の側壁からわずかに離れた二つの線上（側壁から約4.4cmと約2.8cm）における流速ベクトル列の横断方向の流向分布を時間経過とともに示す。影の入った部分が側壁に向かうベクトル（ $V \leq 0$ ）、入らない部分が反対方向のベクトル（ $V > 0$ ）の存在する位置を示している。Fig.5とは異なって、影の入った領域と入らない領域が斜め方向に交互に現われていることがわかる。一つの渦塊が通過する際には横断方向の流速が向きを変える点を考慮すると、この斜め方向の帯状の領域が一つの渦塊の軌跡を示しており、その傾きが移動速度に相当している。RUN B2の場合、帯状領域はほとんど平行であり、剥離渦の移動速度がほぼ一定（約11cm/s）であることがわかる。帯状領域の幅は剥離渦の規模に対応しているが、大規模なものと小規模なものが混在している。その発生頻度は1 Hz程度であり、Fig.5において大規模な変動が現われていた領域においても小規模な剥離渦が存在していることがわかる。RUN B3の場合、帯状領域の傾きは必ずしも平行ではなく剥離渦の移動速度は、10～15cm/sの範囲の中で変動している。一様流領域の流速が30cm/s程度であることから、剥離渦の移動速度は一様流速の1/3から1/2程度であることがわかる。

5. あとがき

本研究において得られた結果をまとめると次のようである。

- 1) 画素間の濃度を効率良く補間することによって、平均流場や乱流場の計測にも相関法が適用できることを明らかにした。
- 2) 開水路合流部における剥離泡の再付着点変動の特性およびそれに対する流量比の影響を明らかにした。
- 3) 剥離泡から放出される剥離渦の発生頻度の特性、また剥離渦の移動速度、流量比および一様流速との関係を明らかにした。

参考文献

- 1) 木村・高森・井上：相関を利用した流れの画像計測－非定常流れへの適用－，流れの可視化，Vol.6, No.22, pp.105-108, 1986.
- 2) 藤田・河村・旧井：画像処理による開水路合流部の流れの解析，流れの可視化，Vol.8, No.30, pp.263-266, 1988.
- 3) 藤田・河村・和田：画像計測による開水路直角合流部の表面流解析，水工学論文集，Vol.34, pp.683-688, 1990.
- 4) 宇民・上野：画像処理による曲線水路の断層面内流況の乱流構造の測定，水工学論文集，Vol.34, pp.653-658, 1990.