101 回転円盤に誘起される薄い層内流れの可視化と画像解析

○木澤 修一 (京工繊大院), 村田 滋 (京工繊大)

Visualization for the thin layer flow induced by a rotating disk and its image analysis

Shuichi KIZAWA, Shigeru MURATA

Abstract:

In this paper, we describes the flow visualization and the image analysis results for the thin layer flow induced by a rotating disk supported by a point-contact bearing, such as a pivot bearing. The visualiation images are digitized into a personal computer to obtain velocity vectors maps using a PIV algorithm, direct cross-correlation method. The resulting velocity maps show the strong shear and unsteadiness in the thin layer.

Keyword: Rotating disk; Point-contact bearing; Thin layer

1 緒言

流れの特性を理解することは、流れが関与する回転機械の設計や性能改善において非常に重要なことである。近い将来臨床応用が期待されている人工心臓にも遠心ポンプなどの回転機械が用いられており、血栓形成(血液凝固)防止および溶血(血球破壊)防止、体内埋込みのための小型化や発熱防止などの問題改善に対する研究開発が精力的に行われている [1][2]。

本研究は、一点支持を用いた遠心ポンプのインペラ付近の流れに関する研究を参考にしており、一点支持された回転円盤が外壁と成す薄い流れ場に注目し、円盤の回転によって誘起される薄い層内流れの特徴を調べるために、可視化及び画像解析を試みた。

2 観測方法

Fig.1 は観測系の概略を示している。可視化対象とした一点支持円盤を有する角型アクリル可視化模型を水平に設置し、これを CCD カメラを用いて側面から観測する。可視化模型の下方から、スリットを介して回転軸に平行なシート光を照射し、流れ場を光切断して可視化を行った。可視化画像はマクロレンズを使用して流

れ場を拡大して撮影し、照明には発光間隔を自由に調節できる 2 灯式ストロボを使った。画像サイズは 640×480 (0.00625mm/pixel) であり、ノンインターレース画像を 0.5msec 間隔で撮影したものを一組とした。回転円盤の回転数を 100rpm、150rpm とした時に光切断面を回転軸からそれぞれ 10mm、15mm、20mm と変化させて観測を行った。

Fig. 1: Observation system

本実験で用いた観測装置は以下のとおりである。

- CCD カメラ ; SONY XC-55, B/W プログレッシブ型, 有効画素数 659×496

- レンズ ; SONY 50mm Macro Lens, 倍率× 0.8～1.2, 焦点距離 50mm
- 画像入力装置 ; Matrox Genesis, 640 × 480 画素
- 照明装置 ; ストロボスコープ 日進電子 CF-100EW, 閃光時間 20 μ sec
- トレーサ粒子 ; リルサンパウダー, 粒径 80～200 μ m

3 計測方法

PIVによる画像解析法として、直接濃度相関法 [3] を用いた。測定点数は 35×25 の 875 点、相関領域の大きさは 45×45 画素、探査領域の大きさは 90×90 画素とした。相互相関関数 R の計算は次の式で示されるものを使用した。

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n^2} \{(f_i - \bar{f})(g_i - \bar{g})\}}{\left(\sum_{i=1}^{n^2} (f_i - \bar{f})^2 \cdot \sum_{i=1}^{n^2} (g_i - \bar{g})^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

ただし、 n は相関領域一辺の大きさ、 f_i, g_i はそれぞれの画像における輝度値、 $\bar{f}, \bar{g}$ は $n \times n$ の領域における平均輝度値を表す。

また、サブピクセル処理にはガウス分布を用い、サブピクセル移動量 P の計算には次式のものを採用している。ここで、 p は相関ピーク値で得られる整数画素単位の移動量、 k は一次元方向のある画素位置を表す。

$$P = p - \frac{1}{2} \frac{\log R_{k+1} - \log R_{k-1}}{\log R_{k+1} - 2 \log R_k + \log R_{k-1}} \quad (2)$$

4 計測結果

円盤回転数を 150rpm、光切断面の位置を回転軸から 15mm とした時における結果を示す。円盤外壁の周速度を代表速度、円盤と外壁との間隔を代表長さとした時のレイノルズ数は 1178 である。Fig.2 は可視化画像の一例、Fig.3 は瞬間速度ベクトル、Fig.4 は処理画像組数 75 組に対する時間平均速度ベクトル図である。時間平均速度ベクトル図からは回転円盤に引きずられる方向にクエット流に似た流れが生じており、強いせん断が誘起されていることが分かる。一方、瞬間速度ベクトル図では流れの中に明らかに空間的な速度変動成分が存在することが確認できる。

5 結言

一点支持された回転円盤によって誘起される薄い層内の流れを側面から捉え、可視化および画像解析の結

果を示した。回転円盤によって誘起される流れは、時間平均的には、クエット流のような滑らかな速度勾配をもっているが、一方では、時間変動成分をもつ空間的な渦構造も観測できた。

Fig. 2: A visualization image

Fig. 3: A simultaneous velocity vector map

Fig. 4: A time-averaged velocity vector map

参考文献

- [1] 築谷朋典, 赤松映明: 磁気浮上式遠心血液ポンプの開発, 日本機械学会論文集 (B 編), Vol.61, No.591(1995), pp.3913-3920.
- [2] 山根隆志: 人工心臓の開発と動向, 日本産業技術振興協会技術資料 No.280(1998), pp.62-74.
- [3] 西尾茂: ここが違う PIV の原理実践講義 PIV の要点, 可視化情報学会講習会テキスト, VSJ-PIV-S1(1998), pp.15-25.