J013012

回転円盤周りの 3 次元流動様相に関する実験的研究

棚橋 健亮^{*1}, 杉山 恭平^{*1}, 古川 裕之^{*2}

Experimental study of three-dimensional fluid condition around a rotation disk in a casing

Kensuke TANAHASHI^{*1}, Kyohei SUGIYAMA^{*1} and Hiroyuki HURUKAWA^{*1} Meijo Univ. Dept. of Mechanical Engineering
Shiogamaguchi 1-501, Tenpaku-ku, Nagoya, Aichi, 468-8502 Japan

In a study of a flow caused by a rotating disk in a casing, as for many of past studies, most of the form of the rotating disk is not considered. However, it became clear by the study of late years that a radial gap affected the flow between the casing base and rotating disks greatly. In this study, we used the rotating disk having different forms and changed the size of the gap in the cylinder casing and tested it about the influence that the radial gap gave to the flow near the fixed disk. As a result, it has been observed that “bead-like-vortex” is generated in a disk. “Bead-like-vortex” is investigated in detail and the result of the experiment and PIV analysis is shown in this paper.

Key Words : Bead-like-vortex, Rotating disk

1. 緒 言

容器内の回転物体により引き起こされる流れは、遠心ポンプや水車など、羽根車の回転によって流体にエネルギーの授受を与える流体機械に見られ古くから Bödewadt⁽¹⁾らによって多くの研究がなされてきている。両円盤間の隙間が大きい場合、分離境界層を持つ流れであり、この場合は Batchelor⁽²⁾によって研究された。

しかし、これまでの多くの研究では回転円盤は単に周速度成分を与えるものとしてしか用いられておらず、形状はほとんど考慮されていない。ところが、半径方向の隙間が容器底面の固定円盤と回転円盤間の流れに大きく影響を与えていることが知られている⁽³⁾。この半径方向の隙間が容器底面と回転円盤間の流れに与える影響を端面効果と呼ぶ⁽⁴⁾。

これまでの研究では、形状の異なる回転円盤を用い、円筒容器内の隙間の大きさを変え、半径方向隙間が容器内ディスクロータ流れに及ぼす影響について実験され、その結果、円盤寸法の違いから、各円盤において異なる流動様相が確認されている。本報では、ある寸法の円盤を使用した時に発生する流動様相を確認し、その流動様相が発生するレイノルズ数の範囲を調べた結果について述べる。

2. 実験装置

2・1 実験装置主要部

図 1 に実験装置主要部を示す。円筒容器は、上下二枚の固定円盤と、それに挟まれる内径 142.0 mm、厚さ 40.0 mm の円筒枠によって構成されている。固定円盤、円筒枠は共にアクリル樹脂製である。回転円盤は回転軸に取り付けられ、軸直径は 20.0 mm である。回転円盤と固定円盤の間の流動様式である両円盤間流れにおいて、回転円盤を挟み容器内空間を対称にするために、円盤締結部は、回転軸と同様の直径 20.0 mm である。

^{*1} 学生員, 名城大学院 理工学研究科

^{*2} 正員, 名城大学 (〒468-8502 愛知県名古屋市天白区塩釜口 1-501)
E-mail: furukawa@meijo-u.ac.jp

Fig.1 Main part of experimental device

2・2 実験装置周辺

容器内部に設置する回転円盤の寸法は半径 $r_d=127.0$ mm, 厚さ $h_d=30.0$ mm (これを円盤 f と呼んでいる) である。

実験装置はアクリルケーシング (三和機器製作所), キセノンスリット光源 (500W, KS2000-30, カトウ光研), インバータ (三菱電機株式会社), デジタルタコメータ (三菱電機株式会社) その先に取り付けられている実験装置主要部から構成されている。撮影には2台のデジタルビデオカメラ (SONY) を4ch レコーダー (SELCO) に接続し, 2方向から撮影する。スリット光源は照射位置が水平になるように円筒容器の真横に配置し, 実験装置は外からの光を遮断するために暗室内にある。また必要な回転数を得るため, モータを無段変換モータに取り替えてある。モータの回転数の制御は, インバータで行い, デジタルタコメータによって軸の回転数を確認する。

3. 実験方法

3・1 供試流体の作成と可視化

供試流体には蒸留水とグリセリンを所定の質量比でよく混ぜ合わせたニュートン流体を用いる。本研究では供試流体の水とグリセリンの割合は3:2で行う。供試流体の動粘度 ν を求めるため, 比重計 (日本計量器工業 K.K) により比重 s を調べ, 粘度 μ は, SV 型粘度計 (SV-10, 株式会社エー・アンド・ディ) を用いて測定を行う。

容器内の三次元流れについて, アルミニウム粉を用いて二次元平面的に可視化を行う。アルミニウム粉による可視化は, 格子幅 $20\mu\text{m}$ の篩いにかけてものを供試流体中に混合する。混合割合は供試流体 2l に対して 40mg である。また, この時点で供試流体の表面張力でアルミニウム粉が浮くのを防ぐため, 0.55ml の家庭用中性洗剤を混合する。この供試流体を容器の中に注入し, キセノンスリット光をあてることで流れを可視化し, 観察する。

可視化する箇所は円盤半径方向 r 軸と円盤回転方向 θ 軸の作る平面 $r-\theta$ 断面と, r 軸と軸方向 z 軸の作る平面 $r-z$ 断面である。この2つの断面を同時に可視化するために, $r-\theta$ 断面には幅 2mm , $r-z$ 断面には幅 10mm のスリットをもつ T 字型スリットを用いる。

流れの指標としてはレイノルズ数 $Re=\omega r_d^2/\nu$ を用いる。 ω は回転円盤の角速度であり, 円盤回転数 N から算出する。全ての回転円盤は反時計回りに回転している。円盤の回転の与え方は, 静止状態から急激に目的のレイノルズ数に対応する回転速度まで上げる

4. 実験結果

4・1 $r-\theta$ 断面で観察された渦

レイノルズ数を $Re=5000\sim 10000$ まで 200 刻みで実験を行った結果, $r-\theta$ 断面では何も発生しない・半径方向隙間にビーズ状の渦が発生 (以下これをビーズ渦と呼ぶ)・円筒容器の側面に沿って鎌状の渦が発生 (以下これをシックル渦と呼ぶ)・ビーズ渦に加えて円盤外縁付近に螺旋状の渦 (以下螺旋渦と呼ぶ) が発生する4種類が観察された。この4種類の渦を図2に示す。

Fig.2 Fluid condition in cross-section $r-\theta$ ($r_d=127\text{mm}$ $h_d=30\text{mm}$) .

4・2 $r-z$ 断面で観察された渦

$r-z$ 断面では2セル・3セル・4セルの渦の様相が観察された。2セルに関しては上層が右回り下層が左回りの様相(2セルa)と上層が左回り下層が右回りの様相(2セルb)の2種類が観察された。また、3セルに関しては層となっている(3セルa)と上層の2セルがねじれ状態の渦の様相(3セルb)の2種類の渦が観察された。これら計5種類の渦を図3に示す。さらに、それぞれの渦をPIV解析した結果も合わせて示す。なお、PIV解析を行う際にはキセノンスリット光ではなく、ND-YAG レーザー (DSPP Green Laser, 株式会社日本レーザー) を使用し、カメラは高速度カメラ (VCC-H1000, 株式会社デジモ) を用いた。

Fig.3 Fluid condition in cross-section $r-z$ and result of PIV analysis ($r_d=127\text{mm}$ $h_d=30\text{mm}$) .

4・3 レイノルズ数による流動様相の遷移

r - θ , r - z 断面別のレイノルズ数の違いによる流動様相の結果を表 1 に示す. 表 1 を見ると, 4 種類の流動様相が観察されたことが分かる. 1 つ目は, r - θ 断面では渦は発生せず, r - z 断面では 4 セルから 2 セル a へと遷移する流れである. これは $Re=5000\sim 6400$ の範囲において観察された. 2 つ目は, r - θ 断面ではビーズ渦が発生した後, シックル渦へと遷移する流れとなり, r - z 断面では 3 セル a から 3 セル b へと遷移していく流れである. この流れは $Re=6600\sim 9200$ の範囲において観察された. 3 つ目は, r - θ 断面ではビーズ渦が発生し, r - z 断面では 2 セル b の渦が発生する流れである. この流れは $Re=9400\sim 9600$ の範囲において観察された. 4 つ目は, r - θ 断面ではビーズ渦と螺旋渦の混合渦が発生し, r - z 断面では 2 セル b の渦が発生する流れである. この流れは $Re=9800\sim 10000$ の範囲において観察された.

Table.1 Results for different Reynolds numbers in cross-section r - z and cross-section r - θ .

Reynolds number (Re)	Cross-section	Fluid condition
5000 ~ 6400	r - θ	vortex is not generated
	r - z	4cell $\rightarrow$ 2cell a
6600 ~ 9200	r - θ	bead-like vortex $\rightarrow$ sickle-like vortex
	r - z	3cell a $\rightarrow$ 3cell b
9400 ~ 9600	r - θ	bead-like vortex
	r - z	2cell b
9800 ~ 10000	r - θ	bead-like vortex and spiral roll
	r - z	2cell b

5. 結 言

可視化実験, 及び解析結果から以下の結果を得た.

1. レイノルズ数の変化に対して, 4 種類の流動様相が発生する.
2. 4 種類の流動様相が発生するレイノルズ数の範囲を明らかにした.
3. r - z 断面を PIV 解析する事で, どのような流れになっているかを明らかにした.

文 献

- (1) Bödewadt. U. T., Die Drehströmung über festem Grunde, Z. Angew. Math. Mech, 20 (1940) pp.241-253.
- (2) Batchelor. G. K., Note on a class of solutions of the Navier-Stokes equations representing steady rotationally symmetric flow, Q. J. Mech. Appl. Maths, 4, (1951) pp.29-41.
- (3) E.Serre, E.Crespo Del Arco, P.Bontoux, Annular and spiral patterns in flows between rotating and stationary disk, J.Fluid Mech, 434(2001) pp.65-68
- (4) 筒井, 容器内回転円盤流れの遷移パターンに関する研究, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (2004.11.25-26, 北九州), CD523, pp.1-4.