A402 パッド型ジャーナル軸受内の潤滑流体の流れに関する研究 —パッド形状がテイラー渦の挙動におよぼす影響—

野間 正泰[○] (舞鶴高専), 森 淳暢 (関西大)

Study on Oil Flows in Submerged Multi-Pad Journal Bearings - Influence of Pad Shape on the Behaviour of Taylor Vortices -

Masayasu NOMA, Atsunobu MORI

ABSTRACT

In this report, in order to evaluate influence of pad shape on the behaviour of Taylor vortices in submerged multi-pad journal bearings, fluid film flow in bearing clearance and fluid flow between pads were visualized experimentally. Critical Taylor number decreased with an increase of pad spacing irrespective of pad shape. Two-dimensional flow field between pads were measured by Particle Image Velocimetry. In the case of streamlined pads, fluid flow entered rear pad fluently.

Key Words: Multi-Pad Journal Bearings, Taylor Vortex Flow, Vortex, Particle Image Velocimetry

1. 緒言

すべり軸受の性能解析・設計に関して、軸受内流れの層流から遷移域に至る挙動の把握は、新油と循環油の混合油温度などの温度境界条件の解明に対して重要になっている¹⁾。著者らはパッド型ジャーナル軸受内に発生するテイラー渦に着目し、トレーサ法による流れの可視化を用いて、パッド間隔が軸受すきま内膜流れの臨界テイラー数およびテイラー渦の安定性におよぼす影響について報告した²⁾。

本研究では、トレーサ法による流れの可視化を用いて、パッド形状がパッド内膜流れの臨界テイラー数およびテイラー渦の安定性におよぼす影響について調べた。また、パッド間およびパッド背面の2次元速度場はPIVを用いて計測し、パッド形状がパッド間流れにおよぼす影響についても検討した。

2. 実験装置および方法

Fig. 1に実験装置主要部の概略図を示す。透明アクリル製の円筒容器の中で、透明アクリル製のパッドを同心になるように設置し、アルミニウム製の軸を回転させる。軸の回転数は無段変速機により変化させる。流体は水とし、上面は自由表面の影響を除くために透明アクリル製の平板で覆われており、水温の変化は $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ に抑えられている。パッドはFig. 2に示す標準型と流線型を用いる。Table 1に実験条件を示す。観察する断面は、回転軸に垂直な方向と平行な方向とする。

PIVを用いた計測について以下に説明する。トレーサ一粒子にはアルミニウム粉末 (325mesh) を使用した。それを流れに混入し、濃度パターンを形成した。光源は

回転軸に垂直な断面の可視化には、ハロゲンファイバー照明装置を用い、ライトガイド (シート厚0.5mm) によってシート状にした光を容器底面から55mmの位置に照射した。これに対して、回転軸に平行な断面の可視化には、ハロゲン光をスリットに通し軸受すきま内に照射した。可視化画像は、まずデジタルVTRに記録する。その後、動画像対応画像処理ボード (192フレーム) に取込んで、PIVの高速アルゴリズムである逐次棄却法³⁾によって平均速度ベクトルを求める。

Fig.1 Experimental Apparatus

Fig. 2 Schematic drawing of Pads

Table 1 Experimental Conditions

Journal Diameter [mm]	191.0, 192.0, 193.0
Journal Length [mm]	110
Radial Clearance [mm]	3.5, 4.0, 4.5
Journal Rotating Speed [rpm]	0 ~ 40
Pad Shape	Standard, Streamlined
Pad Arc Extent [degree]	70, 80
Pad Radius of Curvature [mm]	100

3. 実験結果および考察

Photo.1 は開き角 70° の標準型パッドを4個設置した場合の回転軸に平行な面の流れの可視化画像である。パッド間隔は 20° であり、2本の縦線の間領域がパッド間に相当する。ただし、 $Ta = (C/R)^{1/2} Re$ である。(a)ではパッド内にテイラー渦が発生し、流れは軸方向に周期的構造を持っている。軸受すきま内にテイラー渦が発生する臨界テイラー数は、全周ジャーナル軸受の場合に比べて低下している。ここで注目すべきことは、パッド内に発生したテイラー渦の渦輪が下流のパッド間においても保持されていることである。これは、渦の慣性効果によるものと解釈できる²⁾。パッド間ではすきまが大きくなるため、パッド内に比べて流れは不安定になるが、そのすきま比に対応するテイラー渦の発生は確認されていない。(b)では軸方向にゆるやかな攪乱があらわれ、軸方向にも周期的な構造を持つようになる。(c)、(d)と Ta の増加にともない軸方向の攪乱は増加するが、軸方向および回転方向の周期的構造は残存している。さらに Ta を増加させても、本実験の範囲内 ($Ta < 400$) では、この傾向は変わらなかった。

Fig. 3 Change of Ta/Ta_c with Pad Shape

Photo.2 はパッド形状を流線型とした場合の流れの可視化画像である。パッド内の流れはパッドのレンズ効果のために確認しにくいことを除けば、Photo.1 の標準型パッドの場合と軸近傍の流れの傾向は同様である。

Fig.3 はパッド間隔を変化させて、 Ta/Ta_c におよぼすパッド形状の影響を示している。ここで、 Ta_c はパッド間隔が 0° の場合の臨界テイラー数である⁴⁾。標準型、流線型、いずれの場合もパッド間隔の増加とともに Ta/Ta_c は減少するが、パッド間隔が約 110° 以上では一定値 (約 0.65) になっている。パッド間隔が 100° 、 110° の場合は、パッド2個を対象に設置した場合と3個を設置した場合があり、パッド3個の場合の方が Ta/Ta_c は大きい。このことは、パッド間の流れがつぎのパッド内の流れに影響をおよぼしていることを示しているものと考えられる。 Ta/Ta_c に関しては、パッド形状の影響はあらわれていない。

Photo.3 に開き角 70° の標準型パッドの場合の回転軸に垂直な断面 (下面から 55mm) の流れの可視化画像を PIV によって求めた速度ベクトルとともに示す。テイラー渦が発生するまでは、軸近傍の流れとパッド間の流れが見かけ上分離される。(a)では軸近傍のテイラー渦の渦輪部分は白っぽくなっている。パッド間に時計回りの大きな渦が存在するが、パッド背面の流れはほとんどない。(b)では軸方向流れが発生し、テイラー渦の渦輪が広がっている。(c)ではこの傾向がより顕著になり、パッド背面の流れがあらわれる。(d)ではパッド背面後端に渦が発生するが、パッド開き角が 80° (パッド間隔 10°) の場合は、パッド間隔が狭いため渦の挙動が異なる。

Photo.4 にはパッド形状を流線型とした場合の結果を示すが、Photo.3 とは明らかに流れの傾向が異なっている。(a)、(b)ではテイラー渦の渦輪が広がっているが、標準型パッドのような明瞭な時計回りの大きな渦は確認できない。(c)、(d)ではパッド背面後端に渦の発生が確認され、パッド背面からつぎのパッド軸受面入口に向う流れが見られる。

4. 結言

本研究によって得られた結果を要約するとつぎのようになる。(1) Ta/Ta_c はパッド間隔の増加とともに小さくなるが、パッド間隔が約 110° 以上では一定値(約 0.65)になる。(2) パッド形状は Ta/Ta_c に影響をおよぼさない。(3) パッド間に誘起される流れは、パッド形状の影響を受け、発生する渦の挙動が異なる。

参考文献

- 1) 田中：トライボロジスト，44-5(1999)308-314.
- 2) 野間，森：日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集，No. 99-19(1999).
- 3) 加賀，井上，山口：可視化情報，14-53(1994)108-115.
- 4) 日本潤滑学会編：潤滑ハンドブック，養賢堂(1987)139.

(a) $Ta=40$

(b) $Ta=54$

(c) $Ta=72$

(d) $Ta=180$

Photo. 1 Visualized Flow Pattern

(a) $Ta=38$

(b) $Ta=56$

(c) $Ta=75$

(d) $Ta=189$

Photo. 2 Visualized Flow Pattern

(a) $Ta=40$

(b) $Ta=50$

(c) $Ta=72$

(d) $Ta=189$

Photo. 3 Visualized Velocity Vectors

(a) $Ta=38$

(b) $Ta=57$

(c) $Ta=76$

(d) $Ta=192$

Photo. 4 Visualized Velocity Vectors