ジャーナル軸受におけるキャビテーションの成長に関する研究

Study on growth of cavitation in journal bearing

○学 西田 一樹 (久留米高専 専攻科) 正 大津 健史 (久留米高専)
正 石丸 良平 (久留米高専) 正 和泉 直志 (久留米高専)

Kazuki NISHIDA, Takefumi OTSU, Ryohei ISHIMARU, Naoshi IZUMI,
Kurume National College of Technology, 1-1-1 Komorino, Kurume, Fukuoka

Key Words: cavitation, hydrodynamic lubrication, journal bearing, lubricant, gas

1. 諸言

潤滑部におけるキャビテーションの発生は、エロージョン、潤滑膜の破断、摩擦力の低下、振動の抑制、発泡などに関係し、潤滑性能に大きな影響を与える。キャビテーションの発生を効果的に制御することが可能となれば、それに関係した問題を防止することができ、また効率的な潤滑面設計を行えるようになる。そのためには、各潤滑部におけるキャビテーション現象を詳細に理解することが重要となる。現象の一つに、キャビティ領域が時間とともに拡大する成長現象が挙げられる。これまでに、その成長は油中の溶解気体が時間とともにキャビティ内に析出することによって起こること、溶解気体量が多くなる条件で成長が大きくなることなどの特性が明らかとなっている¹⁾。

本研究では、透明アクリル樹脂製軸受を用いたジャーナル軸受試験機を用い、キャビテーションの発生および成長の直接観察を行った。また、軸受の偏心率、偏心率も測定し、軸受の偏心率状態と成長現象の関係について検討した。

2. 実験方法

2.1 実験装置

Fig.1 は実験装置の概略図を示す。透明なアクリル樹脂製の軸受と鋼製の回転軸を使用し、油膜、およびキャビティを直接観察できる構成となっている。

軸受は上方より支持し、コイルばねを介して軸受の自重と同等の力で引き上げた。回転軸(炭素鋼 S45C 製)はモーターと接続されており、その両端を玉軸受で支持した。荷重は、軸受に設けた支持部より、ワイヤーを介して接続された負荷部に錘を乗せることによって加えた。なお、荷重は錘の数を変化させ、調整した。油槽は軸受下方に設け、軸受と軸の一部(軸受の最下部から約 35 mm)が入るようにした。なお、油槽は透明なアクリル樹脂製である。

軸受は外径 150 mm、内径 100.14 mm、幅 100 mm であり、回転軸は直径 99.5 mm、軸受部長さ 110 mm である。半径

Fig.1 Test apparatus

すきまは 320 μm 、幅径比は約 1.0 である。なお、軸受には Fig.1 に示すように直径 6 mm の給油穴を 4 つ設けている。

キャビティの観察は、軸受正面、および軸受下方の 2 ヶ所から行った。ただし、下方からの像は、鏡に映る像を垂直位置から 30° の角度で観察することによって行った。また、軸受の偏心率を測定するために、軸受の垂直方向と水平方向の位置を変位センサによって測定した。測定結果を基に偏心率、および偏心率角を求めた。

2.2 実験条件

実験条件は、回転数 22 rpm 一定、荷重 20–45 N、潤滑油温度 300 K で行った。荷重は、2 min 毎に 20 N, 30 N, 40 N, 45 N と増加させた。なお、45 N 時の平均面圧は 4500 Pa、ゾンマーフェルト数は 0.034 である。潤滑油には、市販品の軸受油を使用した。動粘度は、11.3 mm^2/s @ 313 K であった。また、キャビティ領域を明確にするために、潤滑油には蛍光物質を添加し、紫外光を照射した時に油膜が蛍光を発し、キャビティ領域が暗くなるようにした。蛍光物質にはピレンを用い、油に 0.3 wt% 添加した。

2.3 キャビティ領域の定義

Fig.2 に、実験時の軸と軸受の位置関係を示す。図中で ϕ は偏心率、 e は偏心率、 h はすきま厚さ、 θ は最大すきまの位置から回転方向に進む角度を示している。本研究では、キャビティ領域の評価として、キャビティ開始角度 θ_s とキャビティ終端角度 θ_e を図に示すように定義した。開始角度 θ_s は垂直位置からキャビティの発生が始まる位置までの角度であり、終端角度 θ_e は垂直位置からキャビティの後端部までの角度である。開始角度 θ_s は、正面から観察する画像を基に幾何学的関係から求め、終端角度 θ_e は下方から観察する画像を基に観察角度 30° を考慮し、幾何学的関係から求めた。

3. 実験結果、および考察

3.1 キャビテーションの発生と成長

Fig.3(a)には、20 N 荷重時のキャビティを下方から観察した結果(白色光源下)である。黒線で囲んだ内部がキャビティ領域を示す。荷重を加えた直後、軸受側方部から空

Fig.2 Definitions of cavity angle, θ_s and θ_e

Fig.3 Photograph of cavity at 20 and 40 N

Fig.4 Cavity growth at 45 N

気の吸込みが生じ、油膜内でキャビテーションが発生した。キャビテーションは、一定位置にとどまることはなく、 θ_s が約 135° から θ_e が 225° (給油口のある角度)の領域で前進、後退を繰り返した。また、その形状は円形に閉じた形や枝分かれした形などに变化した^{2,3)}。軸受の各位置の測定結果より、垂直、水平方向に振動していたことも分かった。

30 Nに荷重を増やすと、キャビテーション領域が流れ方向と逆方向に移動し、開始角度 θ_s が約 100° 、終端角度 θ_e が約 152° となった(Fig.3(b))。形状は開始位置で枝分かれし、後端部は閉じた形⁴⁾となっている。その後の時間において、キャビテーションの大きさや各角度の変化はほぼ起こらなかった。40 Nに荷重を増やすと、30 Nの時と同じく、キャビテーション領域が移動し、 θ_s が約 77.5° 、 θ_e が約 130° と小さくなった。なお、キャビテーションの大きさは、20, 30 N時の側方から発生する小さなキャビテーションの数や大きさによって変化するため、実験によってその大きさは変化していた。

Fig.4には、荷重を45 Nにした直後と2 min後のキャビテーションの正面からの観察結果を示す。また、Fig.5には、2 min間における θ_s と θ_e の時間変化を示す。測定は、軸受中央部における位置で行った。45 Nに荷重を増やすと、 θ_s が約 70° まで小さくなった。また、 θ_e が小さくなると同時に、側方から小さなキャビテーションが発生し、これまでに存在していたキャビテーションの後端位置で合体した。このキャビテーションの発生と合体は連続的に起こり、キャビテーション領域は時間とともに拡大していく。Fig.5より、キャビテーションの成長とともに、 θ_s は徐々に小さくなり、 θ_e は徐々に大きくなることが分かる。Fig.4からも分かるように、キャビテーションは、成長とともに θ_s を小さく、 θ_e を大きくするように広がる。また、約20 s以後には多くの小さなキャビテーションが発生し、キャビテーションが急速に成長した。これにより、各角度もそれぞれ θ_s が約 59° 、 θ_e が約 173° に大きく変化する。約50 s以後、キャビテーションの成長は小さくなり、各角度の時間変化も小さくなる。なお、この成長において、各角度の変化する速度は側方からの小さなキャビテーションの発生量と関係しており、実験によって開始後早期にキャビテーション

Fig.5 Changes in cavity angle with time

Fig.6 Changes in eccentricity ratio and attitude angle with time

が拡大し、各角度の変化が大きくなる場合もあった。

3.2 キャビテーションの成長と偏心状態の関係

Fig.6は、荷重を45 Nにした直後から2 min間における偏心率 ε と偏心角 ϕ の変化を示したものである。この図より、 ε は時間とともに徐々に大きくなり、 ϕ は徐々に小さくなることが分かる。また、約20 s以後に大きく変化しており、 ε が約0.83、 ϕ が約 39° にそれぞれ変化する。その後、 ε 、 ϕ に大きな変化は見られない。Fig.5と比較すると、キャビテーションの成長と偏心状態に関係性があることが分かる。キャビテーションが成長すると、最小油膜位置後方の拡がりすきま部の完全油膜領域が小さくなるため、圧力分布が変化する。その結果、例えばキャビテーション圧を大気圧とした場合、負荷容量の低下が起こる。しかし、実験時の荷重は一定であるので、必要な負荷容量を発生させるため、軸受は前方の狭まりすきま部での圧力発生を高めるように、その位置を変化させると考えられる。そのため、キャビテーションの発生とともに ε は大きく、 ϕ は小さくなったと考えられる。

4. 結言

- (1) 45 Nでの実験において、キャビテーションは、時間とともに軸受側方から発生する小さなキャビテーションと合体することにより成長した。
- (2) キャビテーションの成長により、キャビテーション開始角度は小さく、終端角度は大きくなった。
- (3) キャビテーションの成長は軸受の偏心状態を変化させ、成長とともに偏心率は大きく、偏心角は小さくなった。

文 献

- 1) T. Otsu et al., Trib. Int., 53(2012), pp.68-75.
- 2) 森ら、日本機械学会論文集(第3部), 33, 248(1967), pp.658-666.
- 3) 和田ら、潤滑, 16, 1(1971), pp.50-58.
- 4) D.Dowson, TRIBOLOGY, 1, 2(1968), pp.150-156.

謝 辞

本研究は、(財)JKA 平成25年度 機械工業振興補助事業 研究補助(オートレース)により実施しました。ここに謝意を表します。