

凸型テクスチャを付与したジャーナル軸受の流体潤滑性能向上における キャビテーションの影響

Effect of Cavitation on the Improvement of Hydrodynamic Lubrication Performance of Journal Bearings with Convex Texture

大同大・工（学）*岩田 曹良 大同大・工（正）坪井 涼

Sora Iwata, Ryo Tsuboi

Daido University

1. はじめに

表面テクスチャリングは、表面に微細な凹凸形状を付与する加工技術のことで、流体動圧効果や油だまり効果、なじみの促進など、摺動特性の改善が期待される⁽¹⁾。テクスチャの形状には母材面に機械加工や電解加工にて凹型の帰化形状を付与するのが一般的であるが、本研究では母材とは異なる物質の付与が可能であるという利点から凸型テクスチャを対象にしている。流体潤滑状態におけるテクスチャの流体動圧効果に関して、近年では数値流体力学（Computational Fluid Dynamics, CFD）を用いた研究が多く行われている⁽²⁻⁵⁾。

表面テクスチャの流体潤滑性能を評価するにあたり、キャビテーションの発生は大きな影響を及ぼすと考えられる。特に、表面テクスチャではキャビテーションの発生により負荷容量が増加することが報告されており、これは潤滑性能の向上に寄与する重要な要素である。流体潤滑領域における潤滑性能評価において、負荷容量は主要な指標の一つであり、キャビテーションの影響を明確にすることは極めて重要である。

本研究では、凸型テクスチャを対象とし、流体潤滑状態におけるテクスチャ表面の流体解析を通じて、キャビテーションが潤滑特性に与える影響を明らかにする。また、凸型テクスチャによる摺動性能の改善効果について検討し、その有効性を報告する。

2. シミュレーション方法

本研究は、商用ソフトウェアである ANSYS Fluent 2020 R1（ANSYS Inc., US）を用いて実施した。Figure 1 は本研究で対象とする計算モデルである。偏心した軸と軸受間に潤滑液が満たされた状態を模擬しており、軸受底面には表面テクスチャリングが施されている。軸受側面は周期境界を用いており、これは軸方向に無限遠の状態を意味している。テクスチャを付与した底面の圧力分布に境界条件の影響を及ぼさないようにするために、基準圧力の設定は軸受上部で行う。基準圧力は 0 Pa、軸受の偏心率を 0.04 mm, 0.05 mm, 0.06 mm とした。

テクスチャの形状は長軸 2.0 mm、短軸 1.0 mm の楕円を選択し、テクスチャの高さを 0.01 mm とした。テクスチャ配列を Fig. 2, Table 1 に示す。テクスチャの面積率を 70%、付与するテクスチャの数を統一し、テクスチャの面積率が同じになるように設定されている。

その他の計算条件として、摺動速度を 0.1 m/s, 1.0 m/s, 10 m/s、と変化させた。潤滑油の物性値は、密度が 800 kg/m³ で粘度は 0.03 Pa·s、キャビテーションによる気相の物性値は、密度が 1.225 kg/m³、粘度が 1.79×10⁻⁵ Pa·s である。また、キャビテーション発生圧力はゲージ圧で-1325 Pa⁽⁶⁾である。

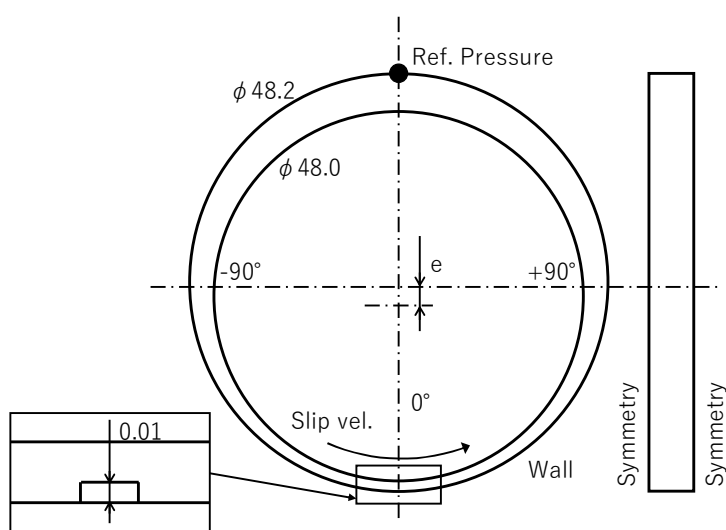


Fig. 1 Outline of simulation

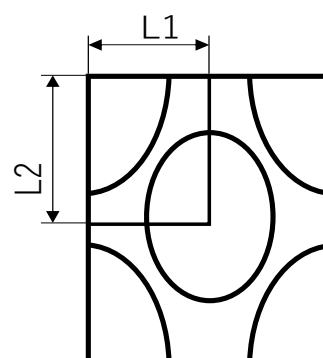


Fig. 2 Geometry of the texture layout

Table 1 Geometry of the texture layout

| L1 [mm] | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
|---------|------|------|------|
| L2 [mm] | 1.87 | 1.40 | 1.12 |

3. 結果と考察

Figure 3 は横軸に負荷容量、縦軸に摩擦力を示しており、テクスチャ配列による比較をした結果である。テクスチャを付与していない場合に比べて、テクスチャを付与した 3 つのパターンでは得られた負荷容量に対しての摩擦力が低くなる傾向がある。偏心や摺動速度などの運転条件によらず、テクスチャを付与することによって性能が改善すると考えられる。

Figure 4 は摺動速度が 1.0 m/s の条件下における負荷容量と摩擦力の関係を表したグラフである。キャビテーションなしの計算結果では負荷容量が小さく、摩擦力が大きい結果となった。一方で、キャビテーションありの計算結果では負荷容量が増加し、摩擦力が小さくなっていることが分かる。また、摺動速度が 1.0 m/s 付近の条件下では、L1 が 0.6 mm の配列パターンが摩擦力に対して大きな負荷容量を得られることがわかる。

Figure 5 は L1 が 0.6 mm、偏心が 0.05 mm、摺動速度が 1.0 m/s におけるテクスチャ部でのキャビテーションの発生の様子を示している。最も下流側のテクスチャの端部からキャビテーションが発生している様子が確認できる。Figure 6 は -90° から $+90^\circ$ までの軸方向中心の圧力分布を表している。ここでは、偏心量が 0.05 mm、摺動速度が 1.0 m/s の条件下における、配列とキャビテーションの有無による圧力分布の比較を行った。L1 が 0.6 mm の配列が、キャビテーション発生位置が最も下流側であり、他の配列に比べ高压領域が大きくなっており、結果として負荷容量が大きくなったと考える。

4. 結言

凸型テクスチャをジャーナル軸受に付与した際のキャビテーションの影響を数値シミュレーションによって明らかにし、以下の知見を得た。

- (1). 凸型テクスチャの付与により、摩擦力の低減、負荷容量の増加が確認できた
- (2). 最も下流側のテクスチャの端部からキャビテーションが発生し、負荷容量の増加の要因となる。

今後の課題としてテクスチャ配列の個数を増やすなど条件を変え、最良の配列の確認を行う予定である。また、同様のシミュレーションを凹型テクスチャで行い凹型、凸型の比較を行うことを予定している。

文献

- 1) 佐々木信也：表面テクスチャリングによるトライボロジー特性の向上，表面技術，65 巻 12 号（2014），pp. 568-572.
- 2) Ryo Tsuboi, Katsuhiko Usami, Tomomi Honda, Yuji Mihara: Tribological properties of oval shaped convex texture for sliding surface of internal combustion engine, The 10th International conference on modeling and diagnostics for advanced engine systems (2022).
- 3) 吉田拓司，坪井涼：凸型テクスチャを用いた摺動面における流体潤滑特性に対するキャビテーションの影響に関する数値的研究，日本機械学会 2023 年度年次大会，東京。
- 4) 釣部拓人，坪井涼：流体潤滑状態における凸型テクスチャの形状が摺動特性に及ぼす影響に関する数値的研究，日本機械学会 第 21 回機素潤滑設計部門講演会（MDT2022），オンライン。
- 5) 岩田曹良，坪井涼：凸型テクスチャを用いたジャーナル軸受の流体潤滑性能向上についての数値シミュレーション，トライボロジー学会 トライボロジー会議 2024 秋 名護，沖縄。
- 6) 大津健史：潤滑におけるキャビテーション—キャビテーションの成長現象—，トライボロジスト 58 巻 6 号（2013），pp. 373-380.

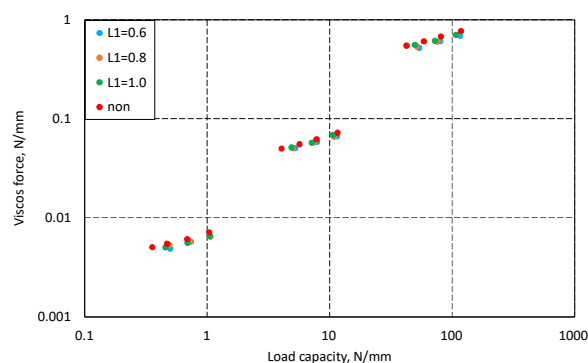


Fig. 3 Comparison of between load capacity and viscous force in changing texture layout

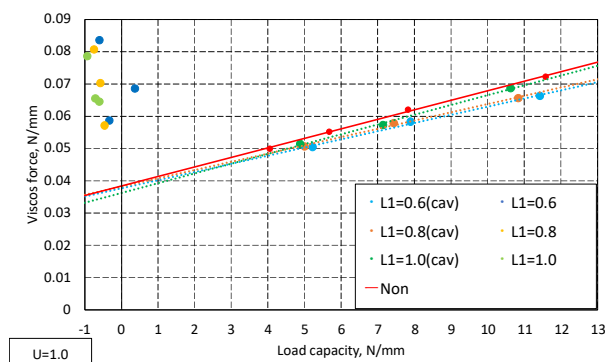


Fig. 4 Comparison of between load capacity and viscous force in changing texture layout and cavitation on/off



Fig 5 Distribution of cavitation generation

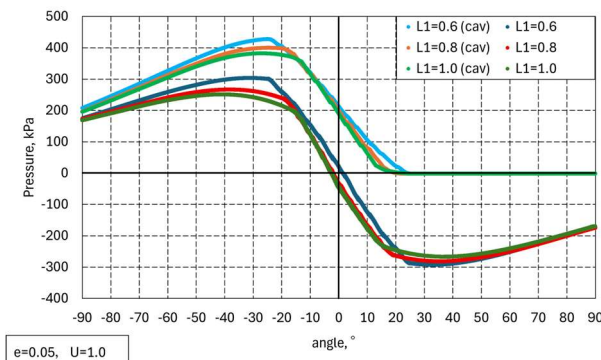


Fig. 6 Comparison of pressure distribution in changing cavitation on/off