

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ついての 数値シミュレーション

Numerical Simulation about 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⁽²⁻⁴⁾。CFDを用いてテクスチャの形状や配置の比較を行う際、境界圧力などのパラメーターの設定により、解が異なる場合がある。そのため、計算結果の妥当性を確保し産業的応用を行う場合には、計算条件や比較の方法について、詳細な検討が必要となる⁽⁵⁾。

テクスチャ表面の流体潤滑を対象とした一般的な CFD のシミュレーションにおいては、境界条件として固定圧力を設定し、その影響を小さくするために、テクスチャを付与した領域の遠方にその境界を設置するが、相対的に表面のテクスチャ率が著しく小さくなる。そのため、テクスチャによる摺動性能の変化への影響が小さくなる、複数の配置を比較した場合にテクスチャ率を統一することが出来ないといった問題が存在する。その問題を解消するために、本研究では、ジャーナル軸受を参考にした計算モデルを提案した。

本研究では、凸型テクスチャを対象に、流体潤滑状態におけるテクスチャ表面の潤滑油の流動解析について、解析方法についての検討を行い、凸型テクスチャによる摺動性能の改善について報告を行う。

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 は本研究で提案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、軸受の偏心量を 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、テクスチャを付与した部分での平均膜厚が同じになるように設定されている。また、テクスチャを付与していない条件との比較を行った。

その他の計算条件として、摺動速度は約 1.0 m/s、潤滑油の物性値は、密度が 800 kg/m³ で粘度は 0.03 Pa・s である。

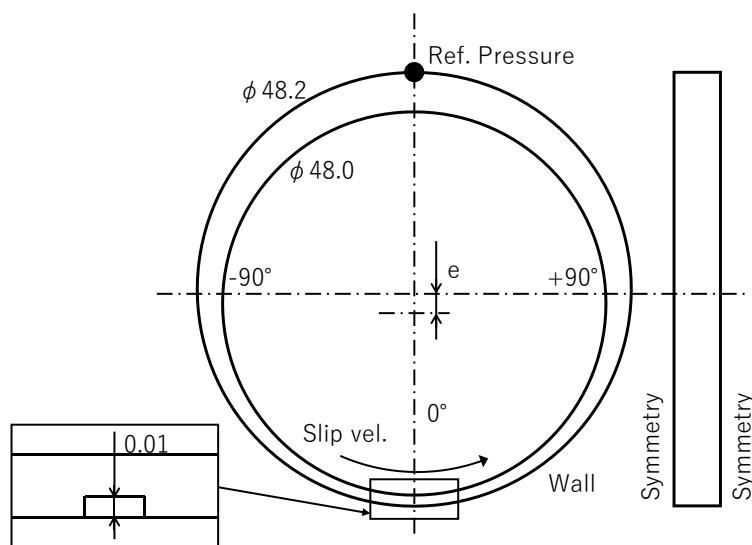


Fig. 1 Outline of simulation

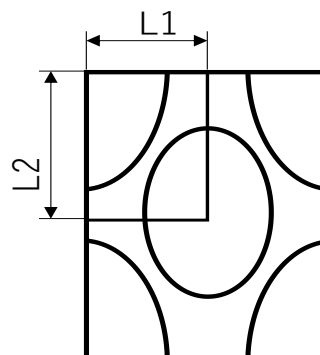


Fig. 2 Geometry of the texture layout

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 および Fig. 4 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。Figure 3 は偏心が 0.04 mm で、配置の比較を示している。テクスチャを付与していない場合と比べ、テクスチャを付与した 3 つのパターンではテクスチャを付与した部分で圧力の絶対値が大きくなっている。これにより、高压領域、低压領域が増加したことが分かる。また、圧力の絶対値は $L1$ が 0.6 mm で最大となり、 $L1$ が大きくなるとともに圧力の絶対値が小さくなっていくことが分かる。これは偏心の量を変化させても同様であった。Figure 4 は $L1$ が 0.6 mm で、偏心の量を変化させた比較である。偏心による圧力変化は配列による変化よりも大きいことがわかる。偏心が大きくなると最小膜厚が小さくなるため、くさび効果のような圧力の変化が大きくなるということが考えられる。これは、 $L1$ を変化させても同様であった。

Figure 5 は軸方向の長さ 1 mm あたりの摺動面の摩擦力の比較を表している。こちらも圧力分布の変化と同様に、配列によりも偏心により変化する摩擦力の方が大きいことが分かる。テクスチャを付与していない場合ではテクスチャを付与した場合に比べ摩擦力が小さくなっている。これは、テクスチャを付与していない場合では平均膜厚が大きく、摺動面における速度勾配が小さくなったためと考えられる。

4. 結言

凸型テクスチャを対象に、流体潤滑状態におけるテクスチャ表面の潤滑油の流動解析について、解析方法についての検討を行い、凸型テクスチャによる摺動性能の改善について以下の知見を得た。

- (1) テクスチャを付与することで圧力の高压領域、低压領域が増加する。
- (2) 圧力、摩擦力ともに配列による影響よりも偏心による影響が大きい。
- (3) 偏心によって摩擦力が小さくなる配列は異なる。

今後の課題としてキャビテーションを考慮した場合の摺動特性の変化を、負荷容量も含め評価していくことである。また、凹型で同様のシミュレーションを行うことで凸型と凹型の比較をすること、摺動速度を変化させたときの変化を確認すること、テクスチャを配置する部分を上流部、下流部のみにすることによって、キャビテーションに依存しない負荷容量の増加が得られるのか確認を行う予定である。様々なパターンのジャーナル軸受を模擬し評価していく。

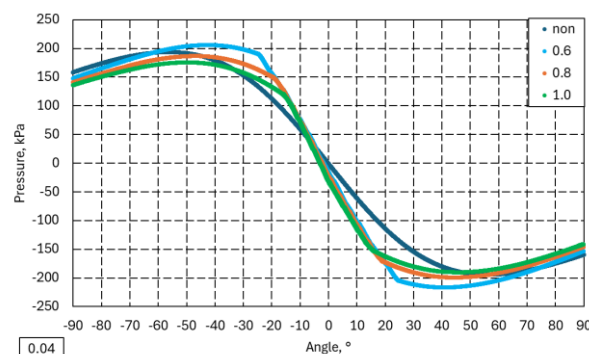


Fig. 3 Comparison of pressure distribution in changing texture layout

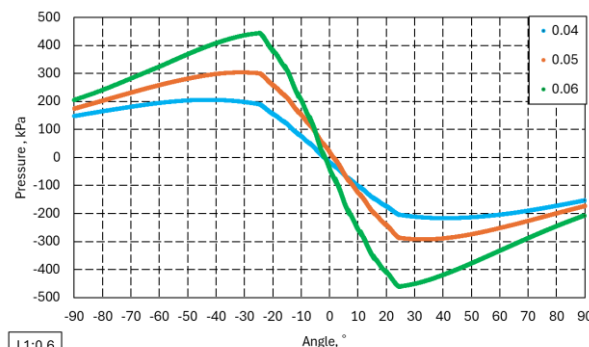


Fig. 4 Comparison of pressure distribution in changing eccentricity

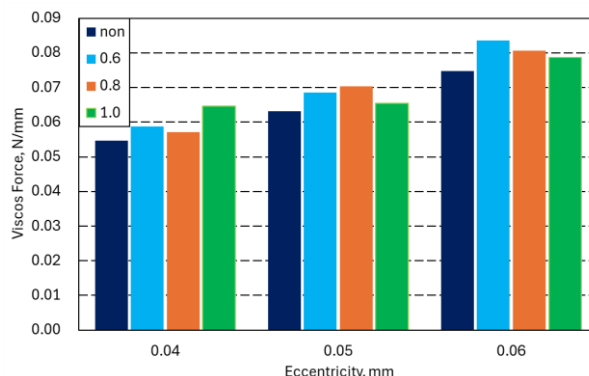


Fig. 5 Comparison of friction force in changing texture layout and eccentricity

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：凹型・凸型テクスチャを用いた摺動表面の性能向上に関する研究，日本機械学会 東海支部 第 55 回学生員卒業研究発表講演会，愛知．