

# 接触面形状および表面テクスチャ方向が混合潤滑摩擦係数に及ぼす影響 Effect of Contact Surface Shape and Surface Texture Direction on Mixed Lubrication Friction Coefficient

九工大・工（学）\*北島 史悠 九工大・工（学）松雪 将万 九工大・工（学）諸藤 優志 九工大（正）西川 宏志

Syu Kitajima, Shoma Matuyuki, Masashi Morofuji, Hiroshi Nishikawa

Kyushu Institute of Technology

## 1. 緒言

油潤滑下で運転される機械要素の相対運動面の摩擦・摩耗をコントロールすることは重要な課題であり、表面粗さやテクスチャが及ぼす影響について多くの研究が実施されている。著者らの研究室では、これまで点接触弾性流体潤滑（EHL）下で突起などの微細凹凸形状を形成した表面を用いて油膜挙動に及ぼす影響について調査をおこなってきた。本研究では、試験片表面に一定間隔の矩形状断面を持つテクスチャを形成し、テクスチャ方向が摩擦係数に及ぼす影響について調査した。

## 2. 実験装置及び実験方法

実験装置の概略を Fig. 1 に示す。実験は、ボール試験片（SUJ2）またはローラー試験片（SUJ2）と平滑なガラス円板（BK7）からなる点接触下で実施した。膜厚測定は二色光干渉法を用いた。ボールは運動方向の曲率半径  $R_x$ 、それと直交方向の曲率半径  $R_y$  が同じ 9.5 mm、であり、接触域形状は円（以下 1:1）になる。ローラーは  $R_x$  が 9.5 mm、 $R_y$  が 40 mm であり、接触域形状は長径と短径の比 4:1 で運動方向に対して直交方向へ横長の楕円（以下 4:1）になる。試験片赤道部の表面に Fig. 2 に示す矩形状断面テクスチャを形成し、母線を運動方向に対して平行（0°）あるいは直交（90°）となるようにした。テクスチャの断面は平坦部に一定間隔で溝がある形状であり、溝幅 15  $\mu\text{m}$ 、溝深さ 0.4  $\mu\text{m}$ 、平坦部の幅 15  $\mu\text{m}$  になっている。試料油は自動車用無段変速機用 CVTF（NS-3）を使用した。25  $^{\circ}\text{C}$  における油の性状は密度  $\rho = 842 \text{ kg/m}^3$ 、大気圧下粘度  $\eta_0 = 0.0394 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、粘度圧力係数  $\alpha = 18 \text{ GPa}^{-1}$  である。接触点におけるボール（またはローラー）の表面速度を  $u_B$ 、円板の表面速度を  $u_D$  として、引き込み速度  $u_e = (u_D + u_B) / 2$ 、滑り率  $SRR = (u_D - u_B) / u_e \times 100$  と定義する。

## 3. 実験結果および考察

Figure 3 に中央膜厚と引き込み速度の関係を示す。図中に示す直線は 1:1 と 4:1 それぞれの中央膜厚を Hamrock-Dowson の式<sup>1)</sup>で算出した値である。プロット点は 4:1 の膜厚測定値である。図より引き込み速度が低下すると膜厚が薄くなっている。また、1:1 に比べ 4:1 の膜厚は厚くなることがわかる。

Figure 4, 5 はボール、ローラーを用いた摩擦測定の結果である。測定は  $SRR = 100, -100 \%$  の条件でおこなった。どちらの結果も速度が低下すると摩擦係数が大きくなっている。ボールを用いた測定結果について 1~3 m/s の高速域では 0°, 90° の摩擦係数に差がなく 0.2~0.7 m/s の中速域では 90° が低摩擦であるが、全体として方向や滑りによる摩擦係数への影響は小さい。ローラーを用いた測定結果では 1:1 と同様に 0°, 90° の高速域の摩擦係数に差がない。しかし速度が低くなり 0.1~1 m/s の範囲では 90° が低摩擦であることがわかる。また、

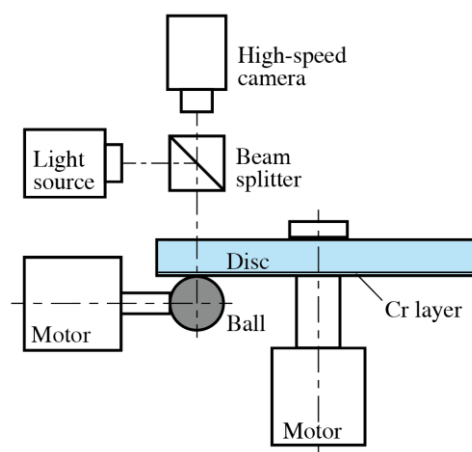


Fig. 1 Experimental equipment

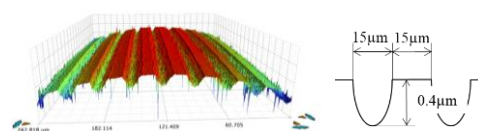


Fig. 2 Groove texture

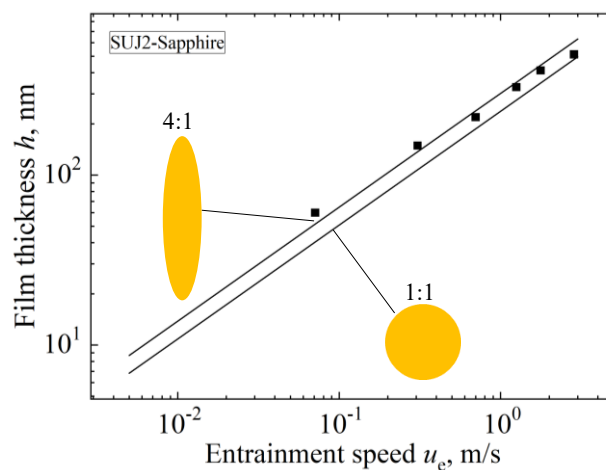


Fig. 3 Relationship of  $h_c$  and  $u_e$

1:1, 4:1 の 0.1 m/s では 90° の SRR = -100 % が低摩擦であることがわかる。0° に比べ 90° は滑り率の正負での摩擦係数の差が大きい。

Figure 3 - 5 より膜厚と表面粗さが同程度になる速度は 1:1 で 3 m/s, 4:1 で 2 m/s 程度であり、その速度域以下では摩擦係数が速度低下に伴い大きくなっている。これは速度が低下し膜厚が溝深さと同程度まで薄くなったため二面間の固体接触が生じて、流体潤滑から混合潤滑へ移行したと考えられる。すなわち流体潤滑膜によって支えられていた状態から、摩擦係数が高い固体接触も生じる状態になったため摩擦係数が上昇する。さらに低速になり膜厚が薄くなると固体接触が増加して摩擦係数が大きく境界潤滑の摩擦係数に近くなる。

Figure 6 に接触域形状およびテクスチャ方向が摩擦に及ぼすメカニズムを示す。4:1 の場合、運動方向に対して直交方向へ接触域が伸びているため接触域の側方への流れが小さく、接触域方向への油の移動が促進される。1:1 の場合、その形状から側方に流れやすい。そのため 1:1 に比べ 4:1 の膜厚が大きくなると考えられる。

テクスチャ方向による影響について、4:1 の場合、0° 方向では流路面積は溝によって影響を受けるものの運動方向へ移動しても断面積は一定である。90° 方向の場合は、運動方向への移動に伴う断面積の変化があり面積が狭くなる。このため流れの抵抗が生じ圧力が上昇することで膜厚を厚くする効果がある。よって 90° 方向の場合に摩擦係数が低下すると考えられる。一方 1:1 では側方流れが大きく、0° 方向の場合は側方流れを防止する効果はあるが大きな影響はないと考えられる。90° 方向は圧力を上昇させる効果はあるが、接触域側方の圧力が低い部分とつながる流路を形成することにもなり 4:1 ほど膜厚を厚くする効果は生じないと推測される<sup>2)</sup>。これらの影響で 1:1 では溝方向による差が小さく 4:1 より高い摩擦係数を示すと考えられる。

滑り率の違いによる影響について検討する。0° 方向は運動方向の断面積変化がないため滑り率の正負での差が小さいと考えられる。しかし 90° 方向の -100 % では溝がある面が速いので油膜の接触域内への移動を促進することになり +100 % より膜厚が厚くなる傾向があるため相対的に摩擦係数が低下すると推測している。

#### 4. 結言

矩形断面を持つテクスチャをボールおよびローラー試験片表面に形成し、テクスチャ方向が摩擦係数に及ぼす影響について調査し以下のことがわかった。

- ・高速域での摩擦係数は 0° 方向と 90° 方向で差がない。
- ・混合潤滑領域において円接触より楕円接触の摩擦係数が小さく、0° 方向より 90° 方向の摩擦係数が小さい。
- ・90° 方向でテクスチャ面の速度が速い場合に摩擦係数は最も小さくなる。

#### 5. 謝辞

本研究の一部は、2024 年度自動車用動力伝達研究組合 (TRAMI) の委託研究により実施したものです。

#### 6. 参考文献

- 1) Hamrock, B.J. and Dowson, D.: Ball Bearing Lubrication, John Wiley & Sons (1981).
- 2) Zhu D., Wang Q. J.: Effect of Roughness Orientation on the Elastohydrodynamic Lubrication Film Thickness, Journal of Tribology(2013)135, 031501.

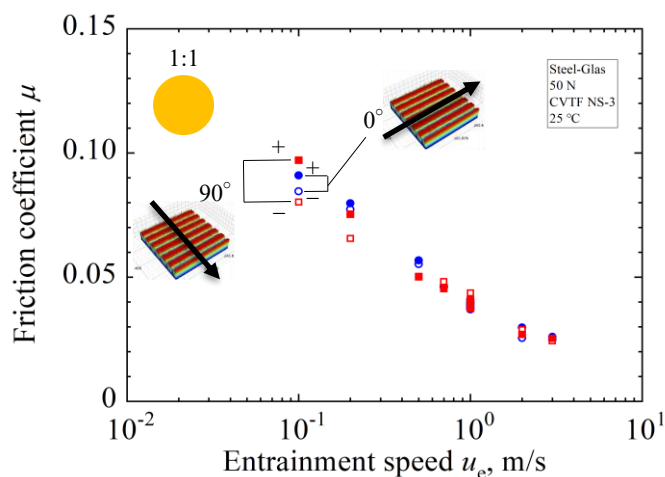


Fig. 4 Effect of orientation for circular contact

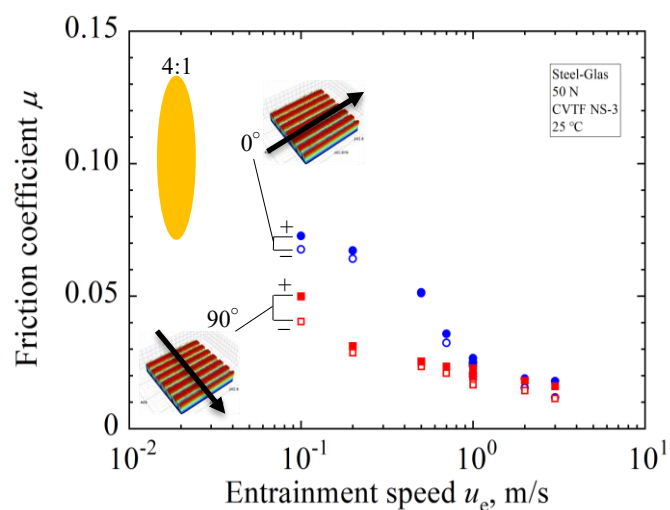


Fig. 5 Effect of orientation for elliptical contact

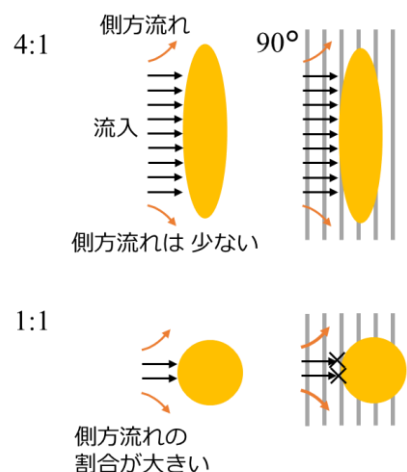


Fig. 6 Effect of contact shape