

## 往復すべり摩擦における試験条件がグリース油膜切れ発生に及ぼす影響

Effects of Friction Conditions on Grease Starvation under Reciprocating Sliding Motion

ソミック石川 (正) \*鈴木 学 ソミック石川 (非) 荒川 健 ソミック石川 (非) 江塚 晃葉

豊橋技科大 (正) 竹市 嘉紀

Manabu Suzuki \*, Ken Arakawa \*, Akiha Ezuka \*, Yoshinori Takeichi \*\*

\*SOMIC Ishikawa Inc., \*\*Toyohashi University of Technology

## 1. 緒言

自動車用ボールジョイントは金属と樹脂のグリース潤滑下での往復動すべりにて摩擦部が構成される。面圧、すべりの方向、振幅量が複雑に変化するため潤滑機構を理解することは容易ではない。しかしながら、製品の性能向上のためにグリース潤滑を理解する必要がある。ボールジョイントのトルク予測や潤滑保持力向上のため、テストピースを用いた試験で摩擦に対する条件因子の影響調査を行っている。往復摩擦における油潤滑下での摩耗については油粘度が高いほど低摩擦、低摩耗となるが粘度が高すぎる場合には損傷が大きくなると報告している。<sup>1)</sup> そこで本報告ではグリース潤滑下の往復摩擦について様々な条件の組み合わせで試験を実施し、油膜切れに与える影響を考察した。

## 2. 試験

Figure 1 に示した球状突起を持つ樹脂製のピン試料と金属プレートのグリース潤滑条件での往復すべり摩擦を実施した。グリース種類、ピン試料の曲率半径および試験条件（試験荷重、振幅、周波数）を組み合わせて実施する。試験条件、使用したピン試料の曲率半径、ヘルツ接触円で計算した最大面圧、平均すべり速度を Table 1 に示す。Table 2 に示した 4 種類のグリースについて往復すべり摩擦を実施した。試験は平均摩擦係数が 0.2 を超えた時点で打ち切り、最大 20 万往復まで実施した。

## 3. 結果まとめ

往復すべりの摩擦係数は変動するので 5 周期分の絶対値移動平均を平均摩擦係数とする。平均摩擦係数の推移の例を Fig. 2 に示す。いずれの条件においても開始直後の平均摩擦係数は 0.05 以下の低い値を示す。平均摩擦係数 0.05 から 0.08 付近で安定するものと顕著な摩耗が発生し 0.1 を超える条件があった。試験条件および複合的な要因が 10 万回往復での平均摩擦係数に及ぼす影響について考察する。

10 万回往復の平均摩擦係数  $\mu$  に対して試験条件および計算値について主成分分析を行った。対象とする試験条件は振幅  $A$ 、周波数  $f$ 、突起曲率半径 SR、ヘルツ接触円径  $d$ 、ヘルツ面圧  $P$ 、すべり速度  $V$  および計算値として  $PV$ 、 $P/V$ 、 $fd$ 、 $Vd$ 、 $Pd/V$ 、 $ho$  ( $= (V/P)^{2/3} * SR^{1/3}$ ) を用いた。

Table 1 Test conditions

|  |  |
|--|--|
| Load, N  | 100, 300, 500  |
| Amplitude, mm × Frequency, Hz                  | $\pm 1.5 \times 1, 3, 5$<br>$\pm 3.0 \times 0.5, 1.5, 2.5$ |
| Material of pin specimens                      | POM  |
| Sphere radius of pin, mm                       | 5, 10, 17.5, 30, 60, 100                                   |
| Material of plate                              | SCM  |
| Surface roughness of plate (Sa), $\mu\text{m}$ | < 0.05   |
| Maximum Hertzian stress, MPa                   | 26 - 329   |
| Average velocity, mm/s                         | 6 - 30   |

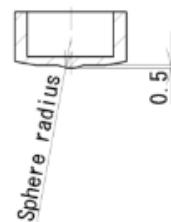


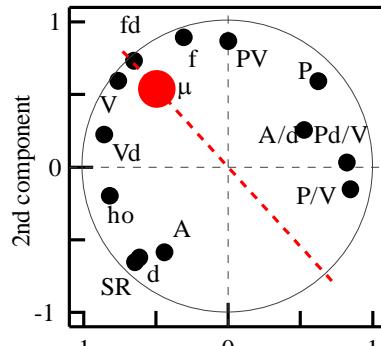
Fig. 1 Profile of pin specimen

Table 2 List of test grease

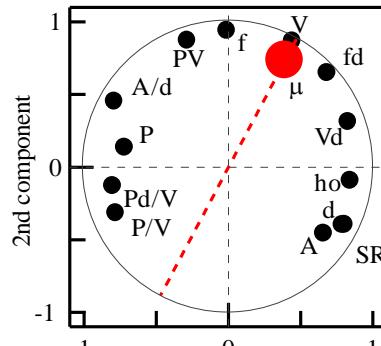
|   | G1               | G2               | G3                      | G4               |
|---|------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| Thickener type  | Lithium stearate | Lithium stearate | Lithium hydroxystearate | Lithium stearate |
| Base oil type   | Mineral oil      | PAO              | PAO                     | PAO              |
| Base oil kinematic viscosity at 40° C, $\text{mm}^2/\text{s}$ | 113              | 1247             | 2600                    | 3450             |

各要素の主成分分析をした結果の一例を Fig. 3 に示す。平均摩擦係数  $\mu$  に近い位置にプロットされているのは、すべり速度  $V$ 、周波数  $f$  および接触円径と周波数の積  $fd$  であった。面圧  $P$ 、振幅比  $A/d$ 、突起の曲率半径  $SR$  は平均摩擦係数  $\mu$  に対して相関が弱いことが分かった。

10 万回時点での平均摩擦係数  $\mu$  と関係のあった  $fd$  を新たな指標として各グリースとの平均摩擦係数  $\mu$  の関係を Fig. 4 に示す。それぞれ弱い相関が見られる。平均摩擦係数 0.1 として、これを超える  $fd$  条件をそれぞれ赤線で示した。ここで得られた  $fd$  値を基油動粘度に対してプロットしたものを Fig. 5 に示す。G2 から G4 の  $fd$  値は基油動粘度に対して逆相関となる結果を示した。



(a) G2



(b) G4

Fig. 3 Results of the principal component analysis

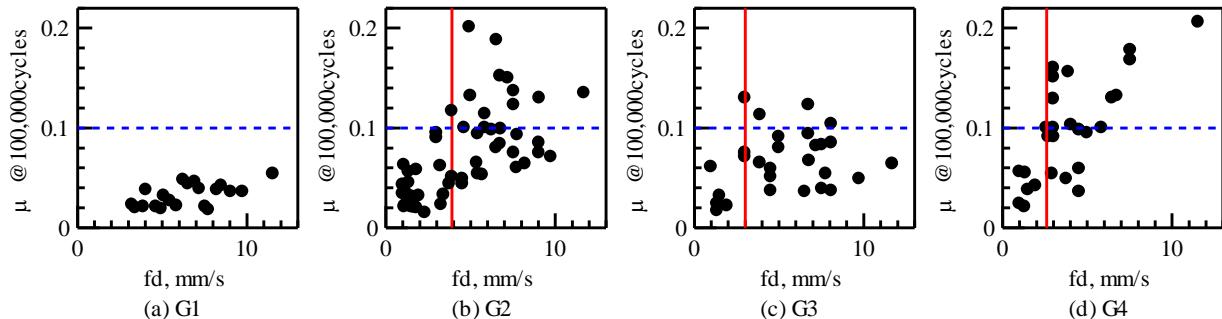


Fig. 4 Relation between friction coefficient and  $fd$  in each grease

#### 4. 考察

接触円径と周波数の積  $fd$  について考察する。往復すべりにおいて接触部は高い面圧によりグリース膜厚は少なく、すべり動作によって後方に貧潤滑領域を形成すると考えられる。この貧潤滑領域は周囲のグリースからの供給により膜厚が回復し反転時に接触部前方となり、すべり動作により接触部へ潤滑材が供給される。計算されるヘルツ接触面積が貧潤滑領域となっているとし、速度  $V_g$  で流入すると流入に必要な時間が  $d/2V_g$  と計算される。これが周期  $1/f$  よりも長時間であれば供給が不足し油膜切れに繋がると考えた。この関係を式(1)に表し、式(2)と変形できる。

$$\frac{d/2}{V_g} \geq \frac{1}{f} \quad (1)$$

$$fd/2 \geq V_g \quad (2)$$

つまり、流入速度  $V_g$  が  $fd/2$  よりも小さいとき、油膜切れとなると考えられる。流入速度  $V_g$  は基油動粘度に逆相関する特性と考えられ、結果として Fig. 5 に示したように基油動粘度が高いほど油膜切れ発生する  $fd$  値は小さくなつたと考える。今回の結果は丸山らの研究による低粘度基油のグリースほど損傷が少なかった結果<sup>2)</sup>と整合している。

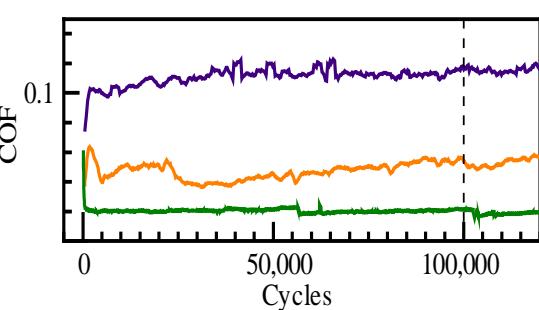


Fig. 2 Variation in friction coefficient (example)

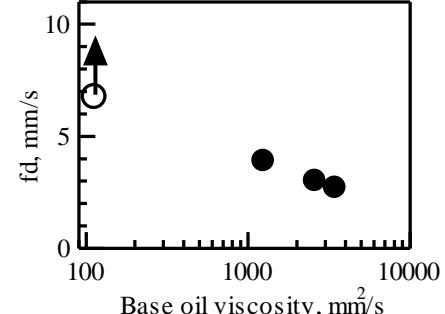


Fig. 5 Relation between base oil viscosity and  $fd$

## 5. まとめ

各種グリースにて金属と樹脂の往復すべり摩擦における摩擦条件の油膜切れ発生への影響を調べ、次の結果を得た。

- 1) 試験周波数  $f$  と樹脂ピン接触円径  $d$  を乗じた  $fd$  が油膜切れ発生に影響する。
- 2) 油膜保持の限界となる  $fd$  値は、グリースの基油粘度と逆相関がみられた。グリース基油に対して適切な  $fd$  値を選択することで油膜保持性向上の可能性が示唆された。

## 文献

- 1) 鈴木 他：往復すべりにおけるグリース用基油の粘度の潤滑への影響、トライボロジー会議予稿集（2017-11）F27
- 2) 丸山 他:油およびグリース潤滑下におけるフレッチング摩耗防止メカニズムの違い、トライボロジスト第 56 卷、第 12 号(2011), 788~796