

# 表面のうねりが平行平面すべり軸受の混合潤滑および流体潤滑特性に及ぼす影響

## Effect of Surface Waviness on Mixed Lubrication and Fluid Lubrication of Parallel Slider under Running-In

名工大(学)\*川上 ひかり 名工大(正)劉 曉旭 名工大(正)前川 覚 名工大(正)糸魚川 文広

Hikari Kawakami\*, Xiaoxu Liu\*, Satoru Maegawa\*, Fumihito Itoigawa\*

\*Nagoya Institute of Technology

### 1. はじめに

平行平面すべり軸受の摩擦特性は、摺動面の表面形状、表面粗さ、運転条件によって異なる。摺動面同士が接触する速度領域(境界潤滑域)では、表面粗さや潤滑剤種によって摩擦特性が変化する。一方、混合潤滑域や摺動面同士が接触しない速度領域(流体潤滑域)では、表面形状(うねりやより巨視的な形状)は流体潤滑特性に大きく影響し、それらが摩擦特性を決定する重要な因子となる。ここで、表面粗さが混合潤滑域での摩擦特性に及ぼす影響については、例えば、Patir と Cheng の平均流モデルとしてモデル化されている。表面粗さの違いは圧力流量係数とせん断流量係数の違いとして表現され、流体潤滑特性はそれらを組み込んだ修正レイノルズ方程式を解析することで定量的に計算される。一方で、うねりの影響については一般的なモデル化はなされていない。

本研究で対象とする平行平面軸受では、油膜厚さは接触面内において平均的には均一となる。しかし、細かなスケールで見ると、うねりの影響により表面は数 mm オーダのピッチで起伏を持ち、油膜厚さは空間的に変化している。すなわち、うねりの影響により、接触面内に油膜が薄い領域や厚い領域が混在している。以上を踏まえると、平行平面軸受のような油膜が薄く広く広がる系においては、うねりの存在が潤滑油の流れやすさに影響し、混合潤滑下における粗さの効果と同じように現れるものと予想される。著者らの研究グループではこれまでに、うねりが混合潤滑域および流体潤滑域の両方に影響することを実験的に明らかにしている<sup>1,2)</sup>。

そこで本研究では、上述のうねりが混合潤滑および流体潤滑に及ぼす影響をより詳細に調査して、前述の予想の妥当性を検証するために、うねりが異なる3種類のモデル試験片を準備して、既報と同様の摩擦実験を行った。加えて、それぞれの条件におけるストライバック線図を比較することで、うねりや形状が摩擦特性に及ぼす影響を考察した。以下、その詳細について報告する。

### 2. 実験装置および実験方法

使用した摩擦試験装置の概略図を Fig. 1 に示す。上試験片は装置上部の AC サーボモータによって回転駆動され、下試験片は Fig. 1 の指図で示すようにオイルバス内でピボット支持することにより方当たりを防ぐ機構となっている。上試験片や AC サーボモータなどは2本のスプライン軸により鉛直方向に一体に移動し、これらの自重である約 105 N が接触面に加わる垂直荷重となる。摩擦力は、オイルバスにばねを介して固定されているロードセルで測定する。上下試験片には全焼き入れした SUJ2 を用いた。上下試験片の形状を Fig. 2 に示す。上試験片にはパッドの摺動方向の長さが約 10 mm となるように油溝を施した。潤滑油には鉱油 (ISO VG68) にオレイル酸性リン酸エステル (OLAP) を 0.1 wt % 添加したものをを用いた。

本実験では、下試験片は十点平均粗さ ( $Rz_{jis}$ ) で 3.5  $\mu\text{m}$  程度の粗さを一様に付与し、上試験片は表面粗さおよび形状の異なる3条件のものを作成する。Figure. 3 に準備した上試験片の表面プロファイルを示す。なお、それぞれの試験片は、なじみ条件やサンドブラスト処理による粗さ付けなどにより作成した。すべての試験片で、なじみにより突起頭頂部がトランケートされ、粗さ谷部のみが残っている状態となっている。

試験片 A, B, C のプロファイル曲線にフィルタ処理を行い、うねり成分と形状変動成分を求めた結果が Fig. 4 である。なお、うねりは元のプロファイルから波長 1 mm ~ 8 mm 成分以外を除去、形状は波長 8 mm 成分以下を除去した結果である。Figure. 4 からそれぞれの試験片におけるうねりプロファイルと形状プロファイルの平均二乗値を算出した。その結果を Fig. 5 に示す。試験片 A はうねりと形状ともに小さい。試験片 B は大きなうねり成分を含む一方で試験片 C は形状プロファイルの振幅が大きい。

試験片 A, B, C のプロファイル曲線にフィルタ処理を行い、うねり成分と形状変動成分を求めた結果が Fig. 4 である。なお、うねりは元のプロファイルから波長 1 mm ~ 8 mm 成分以外を除去、形状は波長 8 mm 成分以下を除去した結果である。Figure. 4 からそれぞれの試験片におけるうねりプロファイルと形状プロファイルの平均二乗値を算出した。その結果を Fig. 5 に示す。試験片 A はうねりと形状ともに小さい。試験片 B は大きなうねり成分を含む一方で試験片 C は形状プロファイルの振幅が大きい。

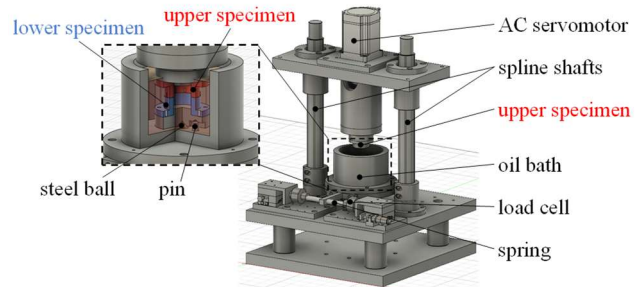


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

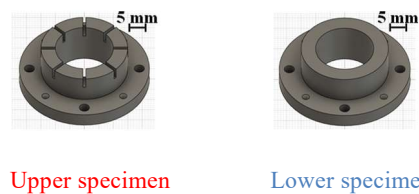


Fig. 2 Shape of upper and lower specimen

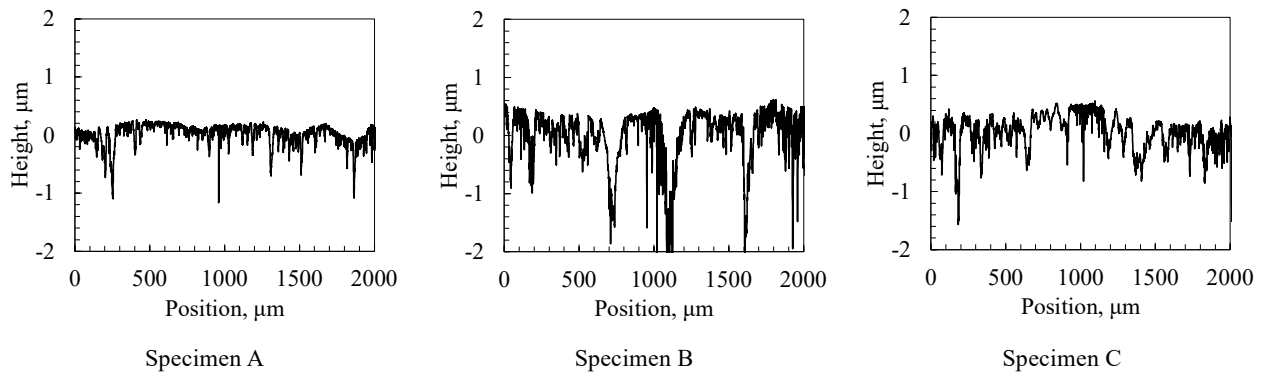


Fig. 3 Surface profile of three specimens

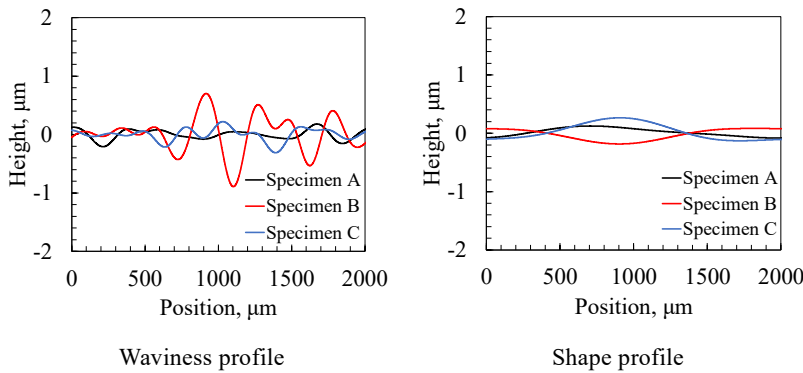


Fig. 4 Filtered surface profile

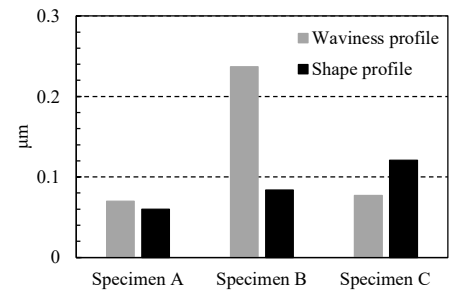


Fig. 5 Colloquial relationship

### 3. 実験結果および考察

摩擦実験の結果を Fig. 6 に示す. まず, 混合潤滑域について着目すると, 試験片 A が最も低く, 以降 B, C と続く. このことから, 少なくともうねり振幅および形状振幅の増大は混合潤滑域での摩擦係数を増加させることが分かる.

次に, 流体潤滑域の摩擦係数に着目すると, 試験片 A と C は同程度であるのに対して, 試験片 B のみが低くなっている. 平行平面軸受の摩擦係数は, 全体的な形状が摩擦を決定する因子であるが, Fig. 5 で示した本実験の形状振幅の違い程度では摩擦係数に影響を及ぼさないことが分かる. 一方で, うねりが大きい試験片 B においてのみ摩擦係数が減少していることから, Fig. 4 や Fig. 5 で示したうねりの存在は流体潤滑域での潤滑油の流れやすさに影響することが分かる. 現状では定量的なモデルの検討は難しいものの, 可能性の一つとして, 混合潤滑域における粗さの影響と同様の効果が生じたものと予想される.

### 4. まとめ

うねりが混合潤滑域や流体潤滑域に及ぼす影響について, 平行平面軸受を対象としたモデル試験により検証した. 現状では, 試験片の一部のみの 2 次元表面プロファイルの情報のみにとどまるが, これまでの報告を含めて考察した結果, うねりの大小が流体潤滑域の摩擦特性に影響することが実験的に明らかとなった. より定量的な評価に向けて, 接触面全域における 2 次元プロファイルの取得, 評価の容易なうねり表面 (例えば規則的なうねり) を用いた実験および解析を行う予定である.

### 文献

- 1) 川上, 劉, 前川, 糸魚川: 異なる 2 種類の仕上げ面からなるパターンング摺動面のなじみ特性について, トライボロジー会議予稿集 (東京 2022)
- 2) 川上, 劉, 前川, 糸魚川: 混合潤滑域に着目した平面スラスト軸受の安定化に関する研究, トライボロジー会議予稿集 (福井 2022)

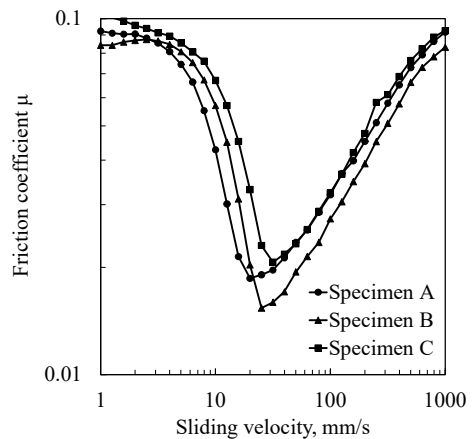


Fig. 6 Stribeck curve