

オイルシールの摩擦に影響を及ぼす表面粗さの特徴抽出

Feature extraction of surface roughness that affect friction of oil seals

九大・工（院）＊本田 悠 九大・工（非）古庄 和真 九大・工（正）田中 宏昌 九大・工（正）杉村 丈一

Hisashi Honda*, Kazuma Furusho*, Hiroyoshi Tanaka*, Joichi Sugimura*

*Kyushu University

1. はじめに

オイルシールの低フリクション化と性能向上を目指す上で、その密封機構および潤滑機構についての理解が必要である。密封作用と潤滑作用のいずれもシール面の微視的形狀が影響されるため、これまでマイクロ EHL の理論解析が行われ、キャビテーションや突起変形をともなう潤滑作用と表面形状の関係が示されてきた¹⁻³⁾。しかし、それらの研究では実際のシール面におけるランダムあるいは確率論的な性質は考慮されていなかった。本研究では、潤滑性能に優れた表面形状の設計を行うための基礎を確立することを目的として、実際のオイルシールを用いた摩擦試験と共焦点レーザ顕微鏡を用いた表面観察から、摩擦特性に影響を与える微視的表面形状の特徴について考察した。

2. 実験・理論

単軸トルク試験機(Fig. 1)を用いてオイルシールのトラクション特性を測定した。試験片は内径 85mm エンジンシール(Fig. 2)を用いた。シールは母材をフッ素ゴム FKM で統一し、フィラーの種類、大きさ、配合量を変更することでなじみ後の表面形状を変えたものを 10 種類用意した(Table 1)。フィラーの種類は「針状 (needle)」、「球状 (sphere)」、「鱗片状 (scale)」の 3 つである。以降、各試験片はフィラー形状・フィラーの大きさ・配合量で表記する。例えば試験片 1 は「針状・小・中」。潤滑油は合成潤滑油 PAO(VG32)を用いた。試験条件を Table 2 に示す。試験温度は 80℃で保持し、回転数 1~6000rpm で摩擦トルクを計測した。摩擦試験後、オイルシール試験片を共焦点レーザ顕微鏡により観察した。

Table 1 test seals

specimens	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Filler shape	Needle				Sphere		Scale			
Filler size μm	4(small)	8(large)				small	large	2(small)	7.5(large)	
Filler rate	middle		low	high	middle		middle		low	high

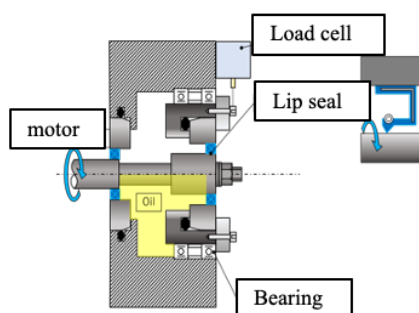


Fig. 1 Torque test equipment



Fig. 2 Seal specimen

3. 結果と考察

3.1. 摩擦特性

摩擦試験の結果を Fig. 3 に示す。低 G 域ではフィラー形状ごとに摩擦係数に差が生じ、粒径による差は見られなかった。針状は最も低摩擦、鱗片状は高摩擦、球状はその中間を示した。Figure 4 に鱗片状・大・少と球状・大・中の試験結果を示す。高 G 域で鱗片状・大や針状・大では周速の増加に伴い摩擦係数が大きく上昇した。球状・小、球状・大、針状・小では摩擦係数の増加は小さかった。

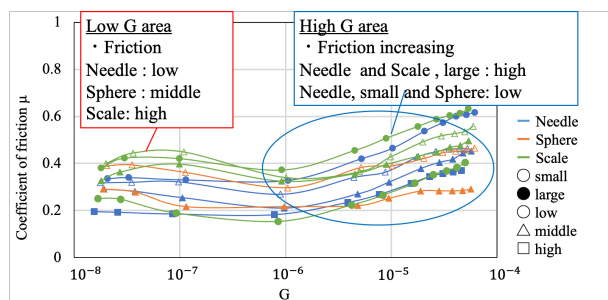


Fig. 3 coefficient of friction with different fillers

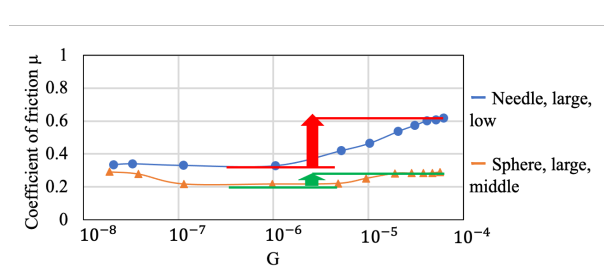


Fig. 4 friction behavior of radial lip seals

3.2. 特徴観察

Table 2 に 20 倍で撮影した表面画像を示す。Figure 5 には針状・大・少、Fig. 6 には針状・小・中の 20 倍の表面画像と 150 倍の 3D イメージを示す。Figure 5 のような針状・大や鱗片状・大のものではシールの油槽側から軸とシールの接触部分に向け深く連なった溝が見られた。一方、Fig. 6 の針状・小では細かい溝は見られたものの、針状・大や鱗片状・大のような深く連なった溝は見られず、むしろ突起が点在するような表面を示した。またフィラー形状が球状のものは、フィラーが摩耗により抜け落ちたとみられる穴が点在しているものの溝の連なりは見られなかった。したがって、上述の溝の連なりによって高 G 領域の摩擦特性が変化することが示された。

Table 2 Confocal images of seal surface

	Needle	Sphere	Scale
Small, middle	↑Air ↓Oil 100μm		
Large, low		—	
Large, middle			
Large, high		—	

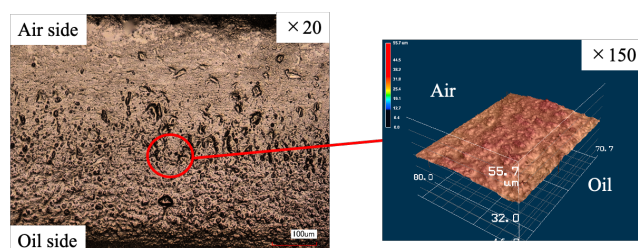


Fig. 5 Surface of No.3 seal: Needle, large, low

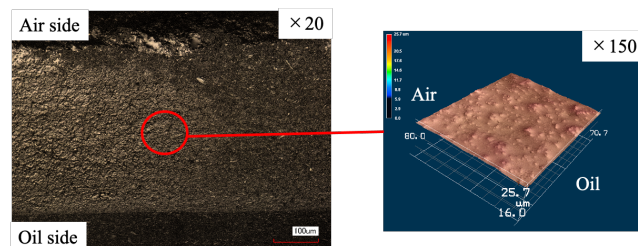


Fig. 6 Surface of No.1 seal: Needle, small, middle

3.3. 表面形状と摩擦特性の関係

低 G 域では境界潤滑特性がフィラー形状ごとの表面形状に影響を受けたと考えられる。針状では平坦な部分が多くあり、周速が小さい場合でも摩擦係数が上がりにくかった。鱗片状では溝が多く粗さが大きく周速が小さくなると十分な油膜が形成されず摩擦係数は増加した。球状では平坦な部分が多いがフィラーが摩耗により抜け落ちた部分は大きなくぼみとなり、針状と鱗片状の中間的な性質を示した。高 G 域で摩擦係数が大きく増加したものは、油槽側から連なる深い溝を伝って潤滑油が接触部へ流入しやすくなっていた。このように表面形状の影響で接触部への潤滑油の引き込みやすさに違いが生じた。潤滑油を引き込みやすいものでは流体膜が形成される範囲が大きくなり、流体粘性による摩擦係数の増加につながったと考えられる。また、高 G 域での摩擦係数の増加が小さかったものは、低い境界摩擦が維持されていたと考えられる。

4. 結言

低 G 域では、境界潤滑特性がフィラー形状ごとの表面形状に影響を受けることがわかった。高 G 域ではシールの微視的な表面形状により接触部への潤滑油の引き込みやすさが変わり、流体膜の形成に差が生じた。摩擦係数が増加しているものは流体膜の形成される範囲が大きく、流体粘性による影響を受けた。摩擦係数が増加しにくいものは低い境界摩擦を維持していた。

参考文献

- (1) 兼田：シールの密封理論, トライボロジスト, 43, 2 (1998) 39
- (2) 水田, 佐藤, 杉村：オイルシールのしゅう動面の微視的形狀パラメータと摩擦係数の関係, トライボロジスト, 57, 1 (2012) 52
- (3) 杉村：省エネ・環境に貢献するシール研究, トライボロジスト, 56, 2 (2011) 105