

2. オイルシールの密封機構

オイルシールは、なぜ流体をシールすることができるのでしょうか？…このオイルシールの密封機構について説明することは長年のテーマでした。しかし、多くの学者や研究者の努力により、今や基本的機構についてはほぼ説明されています。

この中であって、NOKは1959年にシール理論を発表し、以降も日本機械学会、日本潤滑学会を始め、海外のSAE（米国自動車技術連盟）やBHRA（英国流体力学調査協会）などにおいて数多くの論文の発表をおこない、研究者や関係各界から高く評価されています。

この章では、NOKのシール理論に基づくオイルシールの潤滑特性と密封機構について、概略をご説明いたします。

(1) 潤滑特性

オイルシールは、機械装置に組み込まれ、静止時および軸作動中に流体を密封する主な役割を持っています。また、リップ部の摩擦力が小さく摩耗が少ないことが重要な特性の1つとなっています。

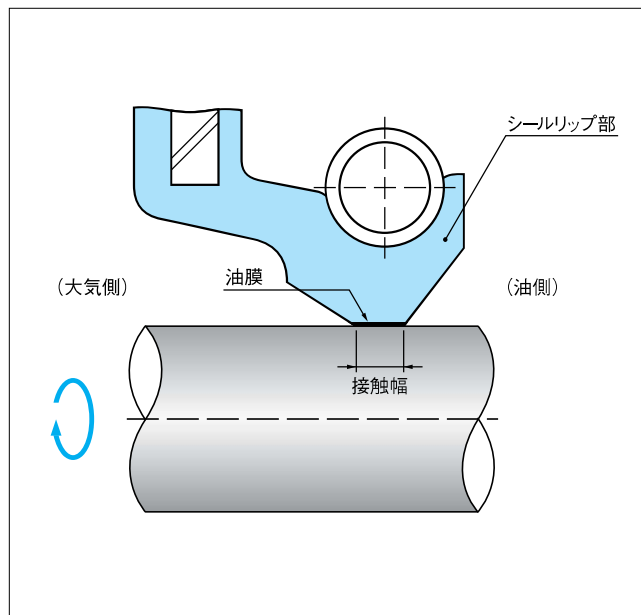
オイルシールの寿命に影響を与えているリップしゅう動面の潤滑特性は、どのようなものなのでしょうか。

ここでは、巨視的現象から潤滑特性について説明いたします。

オイルシールの潤滑状態をつかむためには、その摩擦特性を評価することが重要となっています。

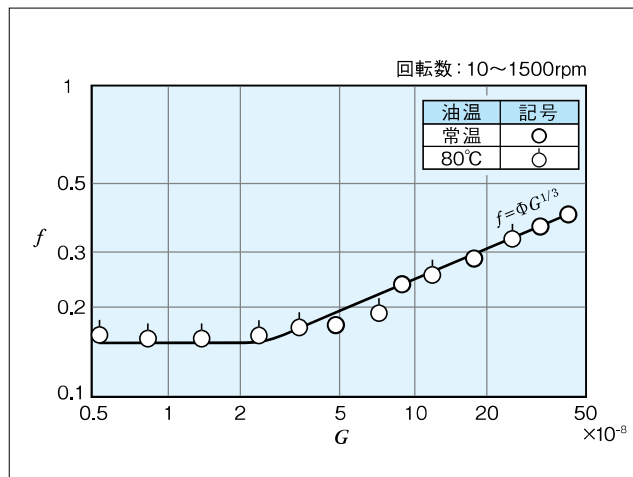
そのため、オイルシールを〈図2-1.〉のような状態で試験機に取り付けて、様々な条件下で軸を回転させ、その摩擦力を計測いたしました。

〈図2-1.〉オイルシール装着の状態



オイルシールの形状や、使用条件によって決定される無次元特性数 G と、そのときの摩擦係数 f との関係が、〈図2-2.〉のように得られました。

〈図2-2.〉回転用オイルシールの摩擦特性 ($f \sim G$ 特性)



ここで、摩擦係数 f と無次元特性数 G の関係は、(1) 式のように表わされます。

$$f = \Phi G^{1/3} \dots (1)$$

ただし

f = 摩擦係数

Φ = 油膜の状態により定まる定数

G = 無次元特性数 ($= \mu \cdot u \cdot b / P_r$)

$$\left(\begin{array}{l} P_r = \text{リップ部の緊迫力 (N/kgf)} \\ \mu = \text{密封流体の粘度 (N} \cdot \text{s/cm}^2 \{ \text{kgf} \cdot \text{s/cm}^2 \}) \\ u = \text{周速 (cm/s)} \\ b = \text{リップ部の接触幅 (cm)} \end{array} \right)$$

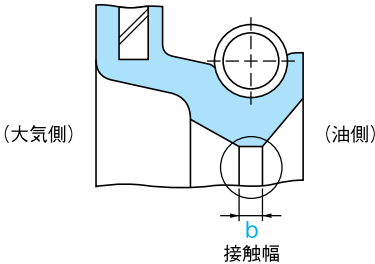
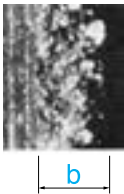
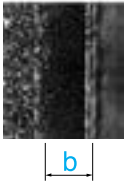
〈図2-2.〉のように、摩擦特性が正の勾配になっている領域の現象は、潤滑理論において流体潤滑の特性として説明されています。このような潤滑状態では、軸受における特性と同じようにオイルシールの摩擦特性は、流体の粘度としゅう動速度に支配され、そのしゅう動部分では油膜が存在していることになります。つまり、オイルシールと軸のしゅう動二表面は、巨視的に油膜によって分離された流体潤滑状態で滑り運動をしており、そのためにオイルシールの摩擦力が小さく摩耗が少なく保たれているものといえます。

(2)密封機構

オイルシールの密封機構は、最新の画像処理技術を用い、NOKが世界で初めて解明に成功しております。オイルシールしゅう動接触面内の油の動きは、大気側から油側へ、さらに油側から大気側へと循環しており、しゅう動面の潤滑を良くし摩耗の進行を防止しますが、結果として漏れることはありません。この密封のメカニズムは、しゅう動面の凹凸と、接触部に発生する圧力分布によって決まることが、理論的研究によって明らかにされています。ここで、その概要を巨視的現象を通じて説明いたします。

リップ材料は、オイルシールのしゅう動面の凹凸を形成する上で重要な因子となります。〈図2-3.〉にリップ材料の違いによるしゅう動面の様子を示しますが、リップ材料Aは、リップ材料Bに比べ、しゅう動面上に多数の凹凸が見られます。

〈図2-3.〉 リップしゅう動面の状態

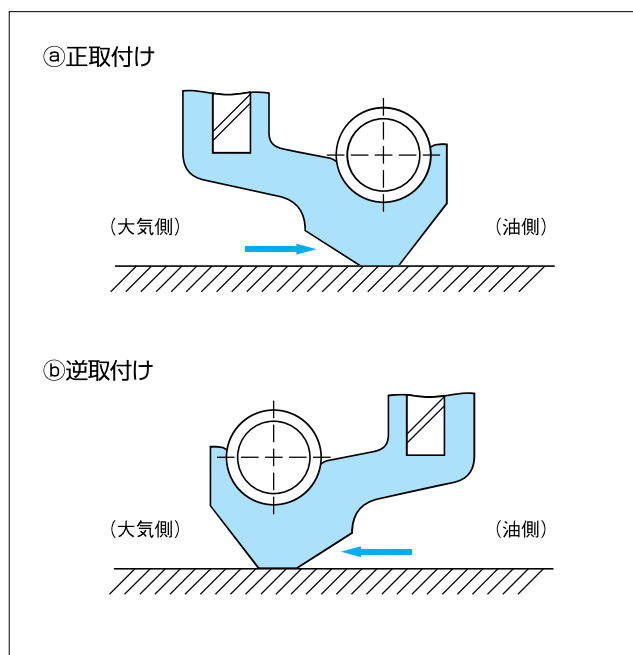
		
リップ材料A		しゅう動面に、多数の凹凸がみられる。
リップ材料B		しゅう動面に、凹凸がほとんどみられない。

この2つのリップ材料を使い、接触圧力分布が同一となるようにオイルシールを製作しました。

大気の送り込み量を計量することは、一般的に難しいので、代わりにオイルシールを逆向きに取り付けて内側に油を満たし、大気側に流出する油量を計量することによって、正取付け時の流体送り込み量を把握する方法が用いられています。

〈図2-4.〉において、③は正取付けによる油の密封状態、すなわち大気が油側に送り込まれている状態を示しますが、④は逆取付けによって油が大気側に漏れている状態を示します。

〈図2-4.〉 オイルシール取付け状態



④において、油が大気側に漏れる時間あたりの量(正取付け時における流体送り込み量に相当)を計測することにより、オイルシールの持つ密封機能の一端を定量的に把握しようとしたものです。

その結果、リップ材料Aの方がリップ材料Bに比べ、大気側から油側へ流体を送り込もうとする能力が高いことが確認されました。これは、あくまでもリップ形状を固定した上での結果ですが、同一リップ材料でもリップ形状の変更など、接触圧力分布のプロフィールを変えることによって送り込み能力は変化します。

以上のように、オイルシールの密封メカニズムを支配する2つの因子(潤滑特性、密封機構)は、リップ材料、リップ形状の2つの設計因子によって微妙に制御されます。このとき微視的観点からは、しゅう動接触面内における循環流の吸い込み、吐き出し領域の平均膜厚制御を念頭においた材料科学的視点からの設計が必要となってくることはいうまでもありません。

NOKは、上記設計思想に基づき、特にリップ材料の自主開発に力を注ぎ、色々な条件に対応できるオイルシールを開発してきました。

今後共、一層開発に力を入れ、高性能、高品質な製品を供給するよう努力してまいります。