

パワーステアリング用ロッドシールの摺動抵抗力低減

大林新一 境 真太郎

Analysis to Reduce the Sliding Friction of Power Steering Rod Seals

S. OBAYASHI S. SAKAI

We developed the method to reduce the sliding friction force of power steering rod seals by changing a lip design without lowering its interference and radial load. The data of friction and various items on several kinds of samples were analyzed in order to obtain how to reduce sliding friction force. The sliding friction force can be possibly analyzed using the elastohydrodynamic lubrication (EHL) theory. The contact width and oil film thickness are important factors.

- 1. はじめに
- 2. 摺動抵抗力の測定

- 3. 摺動抵抗力の解析
- 4. おわりに

1. はじめに

パワーステアリングロッド用オイルシール(以下ロッドシールと称す)は、自動車の動力操舵装置の油圧シリンダに使用されており、シリンダ内の油圧作動油を密封する機能を担っている。

軸が往復運動することで、軸とロッドシール間の摩擦による摺動抵抗力は、高い油圧作用状態では問題になることは少ない。しかし、油圧が小さい場合に問題視されることがある。例えば、走行時のハンドル操作後のハンドルの戻り状態に、ロ

ッドシールの摺動抵抗力が影響をおよぼすと言われている。ロッドシールの摺動抵抗力が大きすぎると、ハンドルの戻りが悪くなり、いわゆるハンドルフィーリングが悪いとの指摘を受けることになる。

オイルシールの摩擦抵抗力を低減させるためには、通常はリップしめしろを小さくしたり、緊迫力を低減する方法がとられる¹⁻³⁾。しかし、この手法はオイルシールの密封性を低下させる懸念があるため、高い信頼性を要求される高圧仕様のロ

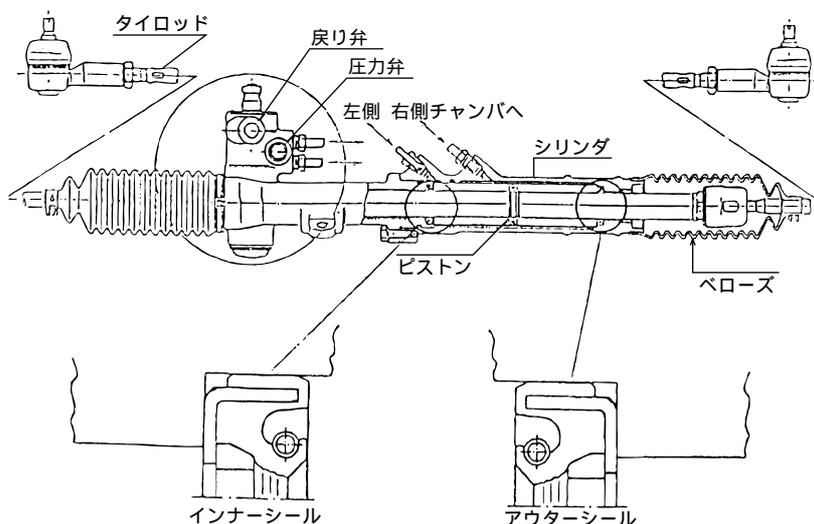


図1 パワーステアリングの構造
Hydraulic power steering assembly

ッドシールでは採用することができない。

摺動抵抗力におよぼす因子を明確にし、有限要素解析を利用することにより摺動抵抗力をシミュレートする手法を確立した。さらに、この手法を用いて摺動抵抗力を低減したシールを開発したので報告する。

パワーステアリングの実機ユニットの概略構造を図1に示す。ロッドシールは、シリンダの部位に2個使用される。

2. 摺動抵抗力の測定

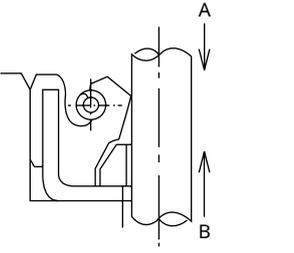
従来手法では、オイルシールのしめしろおよび緊迫力を下げることなく、摺動抵抗力を大幅に低減させることは難しかった。そこで、摺動抵抗力に対する設計諸元の影響を明らかにするため、7種類の試料について、ばね入り、ばねなしの各種諸元および摺動抵抗力を測定し解析した。

摺動抵抗力測定条件と測定方法を表1に示す。

表1 測定条件および測定方法

Conditions and method of measuring sliding friction force

測定条件		測定方法
温度	室温	
速度	27mm/s	
圧力	大気圧	
油	PSオイル	
測定値	最大摺動力	
荷重計	ロードセル	
軸径	26.5mm	



軸の摺動方向により摺動抵抗力の値が異なるので、表1の図のA, B, 2方向について測定した。その平均を平均摺動抵抗力とする。摺動抵抗力の目標値を表2に示し、現行品より約40%低減させることを目標とした。

表2 目標諸元

Target specifications

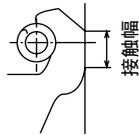
項目	従来品	目標値
しめしろ, mm	2.0	2.0
緊迫力, N	39.2	39.2
平均摺動抵抗力, N	12.3	6.9

測定結果を表3に示す。

- 試料 : 従来品であり、摺動抵抗力が大きい。
- 試料 : 摺動抵抗力は小さいが、しめしろが小さすぎる。
- 試料 : 接触幅が大きすぎ、摺動抵抗力も大きい。
- 試料 : 接触幅は小さく、摺動抵抗力も小さいが、緊迫力が小さすぎる。
- 試料 : 接触幅は小さく、摺動抵抗力も小さいが、しめしろが小さすぎる。
- 試料 : 接触幅は小さく、摺動抵抗力も小さいが、緊迫力、しめしろが共に小さすぎる。
- 試料 : 接触幅は小さく、摺動抵抗力も小さいが、しめしろが小さすぎる。

表3 測定結果例

Examples of measurement results

項目	試料	(従来品)			
軸上断面					
しめしろ, mm		2.0	1.1	2.0	0.7
緊迫力, N		39.2	28.6	41.2	23.5
接触幅, mm		0.83	0.53	1.14	0.26
平均摺動抵抗力, N		12.3	7.3	20.8	4.8
項目	試料	-			
軸上断面					-
しめしろ, mm		1.4	1.0	1.4	-
緊迫力, N		30.6	27.0	41.2	-
接触幅, mm		0.39	0.31	0.43	-
平均摺動抵抗力, N		7.6	5.5	6.3	-

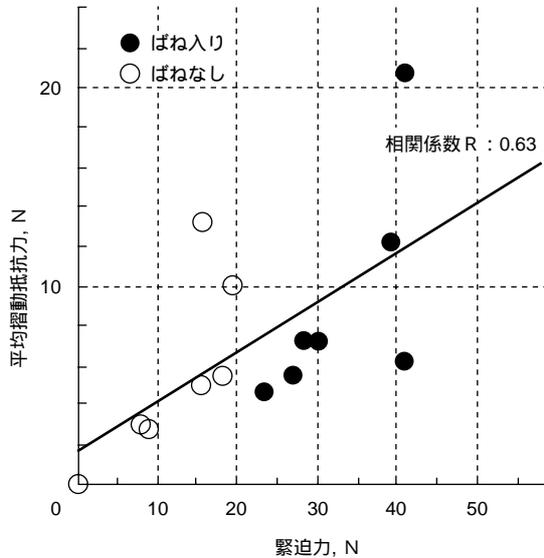


図2 緊迫力と摺動抵抗力の相関

Relation between radial load and sliding friction force

緊迫力と摺動抵抗力の相関を図2に示す。

この図から、緊迫力と摺動抵抗力との間には、相関は認められるがばらつきが大きいことがわかる(相関係数 R : 0.63)。

したがって、緊迫力からは一義的に摺動抵抗力を決定できないと判断した。

次に、リップ接触幅と摺動抵抗力の相関を図3に示す。

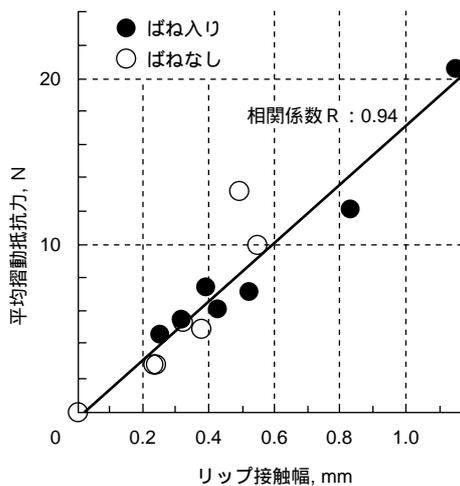


図3 リップ接触幅と摺動抵抗力の相関

Relation between width of lip contact and sliding friction force

これは、ばらつきも小さく、強い相関が認められる(相関係数 R : 0.94)。リップ接触幅は重要な決定因子であることがわかる。

ただし、これだけでは摺動方向の向きによる摺動抵抗力の違いを説明することができず、さらに

検討が必要である。

そこで弾性流体潤滑(Elastohydrodynamic Lubrication: EHL)理論の応用を検討した。

3. 摺動抵抗力の解析

EHL理論によれば、摺動抵抗力は油粘度、軸速度、接触面積に比例し、油膜厚さに反比例する⁴⁾。接触部のモデルを図4、関係式を式(1)、(2)に示す。

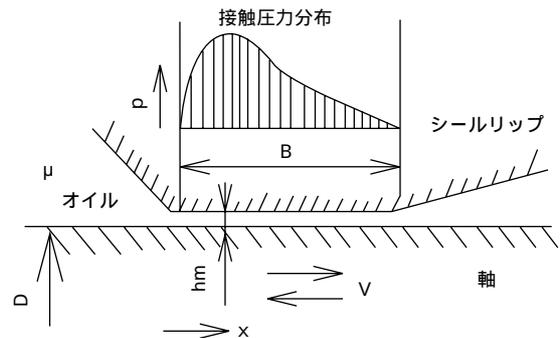


図4 接触部のモデル

Model of contact area

<記号説明>

- F : 摺動抵抗力, N
- μ : 油粘性係数, $N \cdot s/cm^2$
- V : 軸速度, cm/s
- D : 軸径, cm
- B : リップ接触幅, cm
- h_m : 最大接触圧に対応する油膜厚さ, cm
- p : リップ接触圧力, N/cm^2
- dp/dx : 接触圧力勾配, N/cm^3
- $(dp/dx)_{max}$: 接触最大圧力勾配, N/cm^3

$$F = \frac{\mu V DB}{h_m} \quad (1)$$

$$h_m = \sqrt{\frac{8 \mu V}{9 (dp/dx)_{max}}} \quad (2)$$

これらによって、摺動抵抗力に関する設計因子は、リップ接触幅と接触圧力分布の勾配であることがわかる。

これらリップ接触幅と接触圧力分布を得るため、有限要素法を適用し、数値解析を行なった。

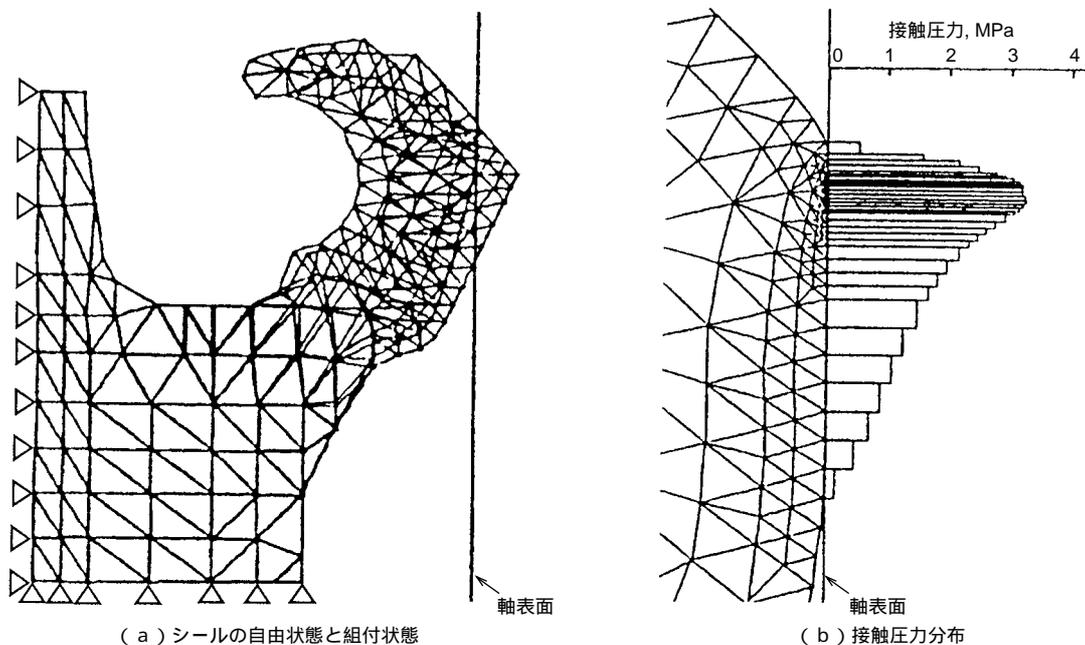


図5 有限要素解析結果事例

Example of FEM analysis

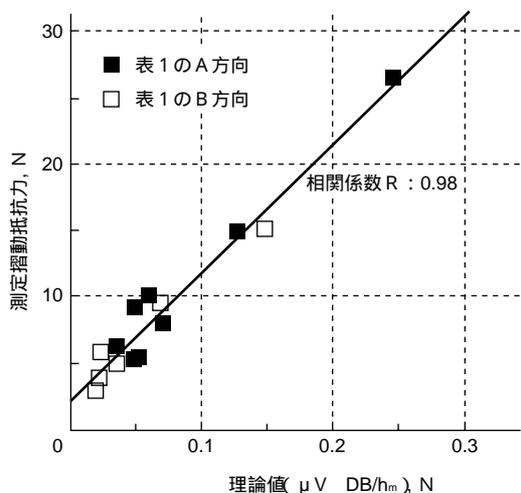


図6 理論値と測定値の比較

Comparison between calculated and measured data

有限要素法による解析例を図5に示す。リップ全体を粗く要素分割し、リップ先端部は細分割する方法を採用した。ばね荷重は、節点に等しくかかるように換算し与えた。ゴムの材料定数は、NBR相当材料のものを使用した。

表3に示す試料について有限要素解析を行ない、得られた結果から算出した理論値と、測定値の対比を図6に示す。摺動抵抗力の方向に関わらず、理論値と測定値は良く一致した。

この手法を応用して開発品を設計し試作した結果、ほぼ予測した通りの結果が得られた。

開発品の形状と特性をまとめたものを表4に示す。ほぼ、目標値を満足していることがわかる。

表4 開発品の性能

Summary of developed design and characteristics

項目	試料	従来品	開発品	目標値
形状				-
しめしろ, mm		2.0	1.9	2.0
緊迫力, N		39.2	38.2	39.2
接触幅, mm		0.83	0.37	-
平均摺動抵抗力, N		12.3	6.8	6.9

4. おわりに

1. EHL理論から、オイルシールの摺動抵抗力の検討には、リップ接触幅と油膜厚さが重要であることがわかった。これらを考慮することにより、緊迫力を低減させることなく、従来品より摺動抵抗力だけを約40%低減したオイルシールの開発が可能となった。背反する顧客の要望を克服したロッドシールの開発と理論に裏付けられた設計手法を確立することができた。
2. オイルシールの接触状態の検討には、有限要素法が非常に有用であることがわかった。リップの接触角、接触幅および接触圧力分布を求めることが可能で、より詳細な設計検討が可能となる。

参考文献

- 1) W. M. Riley : Rack seal evaluation (1981) CR Engineering Report.
- 2) A. Heins : Steering gear drag test study on microstoned shaft (1986) CR Engineering Report.
- 3) L. Horve : Steering rack seal test (1987) CR Engineering Report.
- 4) 平野富士夫 : 潤滑 , vol. 18 , no. 8 (1973) 597 .

筆者



大林新一*
S. OBAYASHI



境 真太郎*
S. SAKAI

* 光洋シーリングテクノ株式会社
技術部