粘弾性材料の摺動特性に及ぼす表面粗れの影響

Effects of Surface Feature on Friction Characteristic of Viscoelastic Material

正 藤井 正浩（岡山大） ○学 横山 武久（岡山大院） 非 國富 裕太（岡山大） 正 石田 浩規（内山工業）

Masahiro FUJII, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-Naka, Kita-ku, Okayama

Takehisa YOKOYAMA, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-Naka, Kita-ku, Okayama

Yuta KUNITOMI, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-Naka, Kita-ku, Okayama

Koki ISHIDA, Uchiyama Manufacturing Corp. 1106-11, Ohkanda, Akaiwa, Okayama

Key Words : Viscoelastic Material, Friction coefficient, Surface topography, Lubrication

1. 緒 言

自動車をはじめとする様々な産業機械の回転部や摺動部に用いられる機械要素部品にシールがあり、近年の省エネルギー、環境負荷低減の観点から低摩擦・長寿命なシール設計が求められている。これに対し密封性を確保しつつ緊迫力を低減する⁽¹⁾、シール材料や接触部形状を改善する⁽²⁾といった取組みが行われてきたが、更なる改善には摺動部での摩擦特性を詳しく知る必要がある。金属面同士の潤滑において、接触表面の粗れや凹凸、幾何学的な形状が摩擦係数低減に効果を発揮するという研究報告がなされている⁽³⁾。本研究では、粘弾性材料の接触表面の粗れが摩擦に及ぼす影響を定量的に捉えることを目的として、ゴムを用いた油潤滑下での摺動試験を行った。試験片材料にはシール材として広く使用されているニトリルブタジエンゴム（NBR）を用い、摺動相手側に鋼を用いた。試験片作成の課程で接触部のゴム表面や鋼表面に粗れを施し、接触部表面の粗れが摩擦特性に及ぼす影響を考察した。

2. 試験片および試験方法

2.1 試験片

図1にゴム試験片、金属試験片及び摺動部の概略図を示す。ゴム試験片は、炭素鋼 S45C 製の円板上に NBR を成型と同時に加硫接着し、0.5mm 幅で平面の環状突起部が金属試験片表面と接触する。金属試験片の材質はクロモリブデン鋼（SCM415）を浸炭焼入れ焼戻し後、接触面を平面研削仕上げした。本試験では接触表面の粗れが摺動特性に及ぼす影響を明らかにするため、ゴム試験片及び金属試験片の摺動面に対し粗れを付与したのもも作成した。

Fig.1 Schematic view of test apparatus

(iv) 3D observation of metal surface-c, and profile curve A-A'

Fig.2 Surface of a test specimen & Profile curve

ゴム試験片は金型表面にブラスト処理を施すことにより粗れを付与した。金属試験片は摺動面を平面研削仕上げ後、(a)研磨による表面仕上げ、(b) a の後ブラストを用いた粗さの付与、(c) b の後、研磨仕上げで表面の突起部を除去（摩擦低減効果があるとされているプラトー面⁽⁴⁾に近い構造を得るため）、の3種類の試験片を準備した。図2ではゴム試験片・金属試験片の接触部表面を三次元で表し、図中の A-A' の断面の断面曲線を示した。(i), (ii)にはゴム試験片, (iii), (iv)にはそれぞれ金属試験片 b, c の接触部表面を示す。(i)は粗れを付与していないゴム試験片 A, 接触面の表面粗さが約 $0.29\sim0.40\mu\text{mRa}$ 。(ii)は粗れを付与しているゴム試験片 B, 約 $0.61\sim0.78\mu\text{mRa}$ 。(iii)は金属試験片 b (表面仕上げ(b)後), 約 $1.277\mu\text{mRa}$ 。(iv)は金属試験片 c (表面仕上げ(c)後), 約 $0.923\mu\text{mRa}$ であった。表面を粗したゴム表面では $20\sim40\mu\text{m}$ の周期性を持った凹凸が表面に観察できた。また、金属試験片 a (表面仕上げ(a)後)の表面粗さは約 $0.025\mu\text{mRa}$ であった。

2.2 試験方法

本試験では、ISO VG68 相当の油潤滑下（潤滑油粘度 $67.64\text{mm}^2/\text{s}$ [313K]）で摩擦特性の評価試験を行った。試験片回転側にゴム試験片を、負荷側に金属試験片を取付け、接触部へ油を適量滴下した後、所定の負荷を電動シリンダーにより加え、試験片を回転させて摺動試験を行った。試験中に潤滑剤の補給は行わなかった。垂直荷重および摩擦力をロードセルによって測定した。試験片表面温度測定のため、金属試験片の接触面より約 1.5mm の深さ位置に熱電対先端がくるように試験片側面からあけた直径 1mm の穴に、熱電対を設置した。試験片温度は試験開始直後から上昇するが、この温度が定常となるまで摺動試験を行った。定常状態での試験片温度の平均値、垂直荷重と摩擦力から計算した摩擦係数の平均値を考察に用いた。

4. 試験結果

4.1 試験条件

表1に試験条件を示す。金属試験片 a, b, c に対して、ゴム試験片 A, B（材質：NBR, 接触幅： 0.5mm ）を組み合わせて試験した。押込荷重を $3\sim4\text{N}$ 及び約 10N の2条件で、すべり速度は $V_s=0.3\text{m/s}$ とした。

Table.1 Experimental conditions

NBR specimen	Metal specimen	Normal force N	Velocity m/s
A	a	3.5	0.3
		10.0	
	b	10.0	
		3.9	
B	c	10.0	
		3.0	
	a	10.0	
		3.5	
	c	10.0	

4.2 負荷曲線

図3に、ゴム試験片と金属試験片の負荷曲線を示す。負荷曲線は試験片の接触表面を走査型レーザー顕微鏡で測定後、二次元高さデータから作成した。更にこの負荷曲線上に等価直線を引き、接触面上で油溜りとなり得る谷部の体積を、ゴム試験片、金属試験片の両方において求めた。

4.3 摩擦係数

図4では、ゴム試験片と金属試験片の谷部（図2の測定範囲内）の和を横軸にとり、縦軸の摩擦係数との相関を示した。図4から伺えるように、金属試験片 c 使用時の摩擦

係数は他に比べ低い値を示した。これはその表面形状が、良好な潤滑油の保持・供給能力を持つプラトー面に近いと考えられる。それは、試験片 a のように粗さを小さく抑えた場合や、試験片 b のように凹凸差を大きく付けた場合よりも、適度な粗れや表面形状を持たせることが良好な潤滑を保つ上で必要であることを示している。更に、ゴム試験片側の表面粗れに着目すると、金属試験片 a を用いた試験においては、ゴム試験片 B 使用時の方がゴム試験片 A 使用時に比べ摩擦係数が低い値を示しているのに対し、金属試験片 c を用いた試験においては、ゴム試験片 B は A よりも高い摩擦係数を示した。これは、ゴム表面の粗れが摩擦低減に関与しつつも、その働きが摺動相手側表面に影響されやすいためと考えられる。

Fig.3 Load curve of contact surface on specimens

Fig.4 Relation between μ and V

5. 結言

以上より、粘弾性材料と金属材料の油潤滑において、

- 金属材料表面側に適度な粗れを施すことで、摩擦低減効果が得られる。
- ゴム材料表面に粗れを付与する効果はあるが、潤滑特性は金属材料表面の状態に依存するところが大きく、一概にゴム表面を粗すだけでは摩擦低減効果は得られない。

という結論を得た。

【参考文献 省略】