

微小摩耗を伴う NBR と金属のしゅう動特性に充てん剤が与える影響

Influence of Fillers on the Tribological Properties between NBR and Metal with Minor Wear

内山工業（正）*石田 浩規 岡山大・工（正）塩田 忠

Koki Ishida*, Tadashi Shiota**

*Uchiyama Manufacturing Corp., **Okayama University

1. はじめに

機械材料の一つであるゴムは、わずかな押し付け荷重でも相手面に沿って柔軟に変形する性質を有することから、密封装置（シール）のしゅう動部に広く採用されている。近年、機械装置の省エネルギー化が求められる中、取り付けられた密封装置にも作動時の抵抗低減が必要になっている。したがって密封装置に用いられるゴムにおいては、その特徴の一つである大きな摩擦力の低減が重要な課題となっている。

密封装置のゴムしゅう動部では微小変形と微小摩耗は混在して生じており、以前からゴムの摩擦力がヒステリシス成分と凝着成分の組み合わせと考えられてきた¹⁻²⁾。したがって両成分の影響度を明らかにする必要がある。

本研究ではゴムの複雑なしゅう動特性を検討するにあたって、補強のために配合される充てん剤の種類と比率を変えたゴム供試材に対し、所定の荷重で金属リングを押し付け、金属リングが回転したときの摩擦力を測定することで実験的に摩擦係数を比較した。試験後しゅう動面は拡大観察を行い凝着摩耗の状態を踏まえ考察を行った。

2. ゴム供試材の配合

Table 1 にゴム供試材の配合部数を示す。同一のポリマーに対して補強性の異なるカーボンブラック、タルク、珪藻土の3種類を充てん剤とし、ゴム硬度がおおよそ A80 前後となるよう割合を変えた。なお、ゴム 1 および 4 におけるカーボンブラック 3 phr.の配合は、供試材の色調を黒とし、表面観察時の統一性に配慮したためである。

Table 2 には各供試材の力学的特性を示す。

Table 1 Rubber compound formulations (phr.)

Rubber No.	1	2	3	4	5
NBR	100	100	100	100	100
Carbon black	3	40	40	3	65
Talc	100	60	—	—	—
Diatomite	—	—	60	100	—
ZnO	4	4	4	4	4
Stearic acid	1	1	1	1	1
Sulfur	1	1	1	1	1
Accelerator	4	4	4	4	4
Total	213	210	210	213	175

Table 2 Physical properties

Rubber No.		1	2	3	4	5
Hardness	pts.	A75	A82	A79	A76	A81
100% Modulus	MPa	4.2	7.3	3.3	1.0	5.8
Tensile strength	MPa	16.6	21.6	13.0	2.8	18.7
Elongation	%	520	330	280	460	280

3. しゅう動試験と摩擦係数測定

しゅう動試験には、厚さ 2 mm に成形したゴムシートから切り出した 15 mm×35 mm の短冊状試験片を用いた。対向材には、ステンレス鋼(SUS430)を外径 32 mm、幅 5 mm に加工した金属リングを用いた。なおリング表面は、円周方向の表面粗さを FCA Ra0.1 μm とし、外径端部は R3 mm でクラウニングを施している。

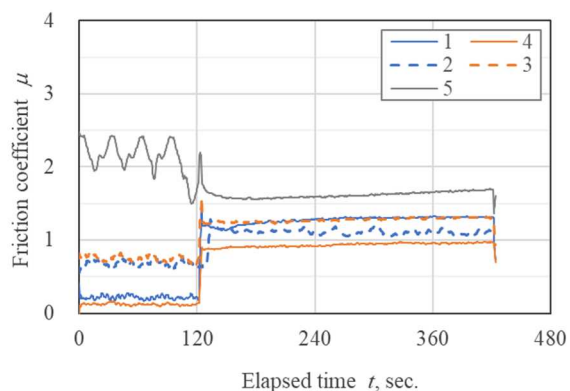
試験は以下の手順で実施した。まず、ゴム試験片と金属リングを荷重 100 g または 300 g で接触させ、5 分間 500 rpm でしゅう動させることでゴム表面のスキン層を除去した。次に、しゅう動部が室温に達するまで十分な時間放置した後、同一箇所を 2 分間 2 rpm の低速しゅう動、続いて 5 分間 500 rpm の高速しゅう動を連続的に行った。

測定結果である摩擦係数は、金属リングの回転軸に取り付けた UNIPALSE 製回転トルクメータ UTMⅢ-2Nm で測定した軸トルクから摩擦力を換算し、これを試験時の押し付け荷重で除すことで算出した。

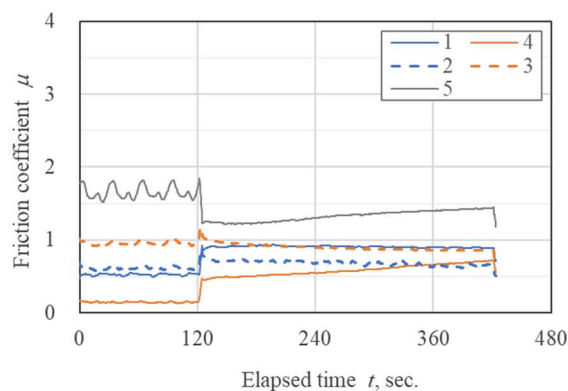
4. 評価結果

Fig.1 にしゅう動試験で得られた摩擦係数変化を示す。

摩擦係数は、充てん剤としてカーボンブラックのみを配合したゴム 5 が最も大きい値を示した。タルクまたは珪藻土のみを配合したゴム 1, 4 では低速の摩擦係数が小さい一方、高速へ変化する際に大きく増加する傾向を示した。また、ゴム 4 は高速しゅう動の時間経過によっても徐々に増加した。カーボンブラックと同時にタルクまたは珪藻土を配合したゴム 2, 3 では、低速から高速へ遷移時に摩擦係数変化が比較的小さいことが特徴であった。また、ゴム 4 や 5 に見られた高速しゅう動の時間経過による摩擦係数の増加は見られなかった。



(a) Applied load 100 g



(b) Applied load 300 g

Fig.1 Changes in the friction coefficient on each test rubber

Fig.2 に試験後のしゅう動面をレーザー顕微鏡で観察した結果の一部を示す．図中の赤線部で測定した表面粗さは、ゴム 3 が Rt11.7 μm ，ゴム 4 が Rt37.2 μm ，ゴム 5 が Rt1.1 μm であった．

試験後のしゅう動面を観察すると，ゴム 3 は凹部が表面に分布しており，一方ゴム 4 では凸部が分布する摩耗形態であった．ゴム 5 では試験片に初期から存在する薄い傷が確認出来る程ほぼ摩耗が無く，極めて平滑であった．

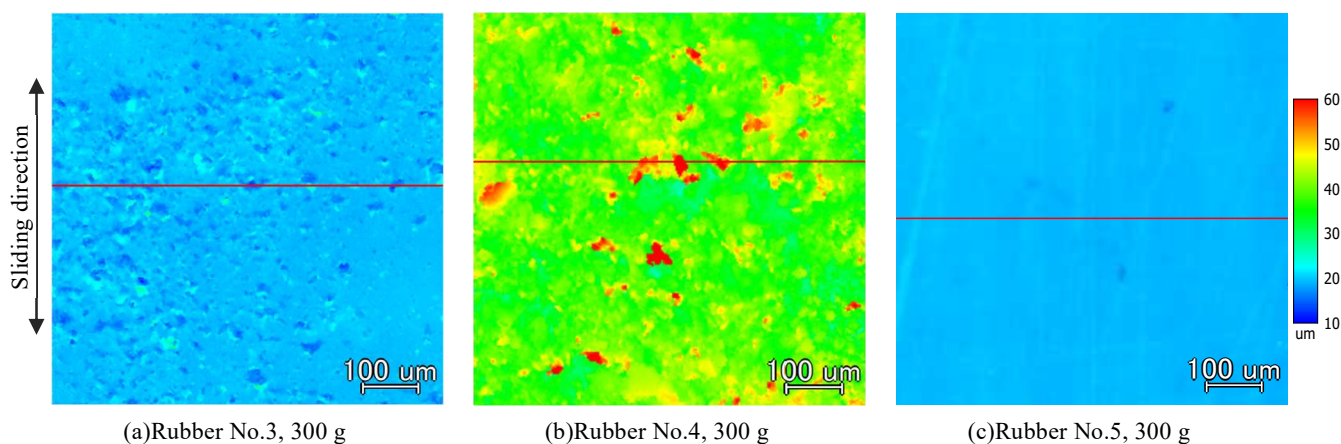


Fig.2 High map of rubber surface after sliding test

5. 考察

まず，ゴム 5 はカーボンブラックのポリマーへの高い補強効果によりしゅう動面の摩耗がほとんど生じず，結果として金属リングとの真実接触面積が他の材料より大きくなり，大きな摩擦係数を示したと考えられる．

タルクまたは珪藻土のみを配合したゴム 1 または 4，特に珪藻土のみを充てん剤としたゴム 4 はベースとなるポリマーの補強性が低いため，ポリマーと珪藻土が一体なったゴム摩耗粉が生成し，しゅう動面に再付着することで凸部を形成したと考えられる．このため低速しゅう動時には接触面積が小さく低い摩擦係数を示すが，高速しゅう動時には摩擦熱によってゴム摩耗粉の凸部の凝着力が増し，摩擦係数が徐々に大きくなったと考えられる．

カーボンブラックに加えてタルクまたは珪藻土を同時に配合したゴム 2 または 3 では，カーボンブラックで補強されたポリマーに埋まった状態のタルクや珪藻土が露出している．この比較的大きな充てん剤が接触荷重の一部を受け持つことで，ポリマーの速度依存性や摩擦熱の影響が小さくなったと推察される．

さらにゴムと金属のしゅう動特性に及ぼす微細な表面凹凸の影響を確認するため，レスカ製超薄膜スクラッチ試験機 CSR5100 にてゴム表面微小領域の摩擦係数を評価した．測定は先端形状 R15 μm のサファイヤ圧子を用い，スクラッチ方向と垂直に振幅 100 μm ，周波数 45 Hz で振動させながら，スクラッチ速度 10 $\mu\text{m/s}$ で 120 秒間走査した．

結果，圧子走査時に得られた摩擦係数の変動は，充てん剤がカーボンブラックのときが最も小さく，次いでタルク，珪藻土と大きくなる傾向が見られた．充てん剤の平均粒径は，カーボンブラックがおよそ 0.035～0.045 μm ，タルクが 0.8～15 μm ，珪藻土がおよそ 2～40 μm となっていることから，表面に露出した充てん剤が相手面との部分的に接触することで摩擦係数に変動をもたらし，しゅう動特性に影響を及ぼしていることが示唆された．

文献

- 1) 網野：シリカ配合およびカーボン配合 SBR の摩擦機構に関する研究，日本ゴム協会誌 74, 3(2001)110
- 2) 桃園：エラストマーの凝着を伴う摩擦の発生機構，日本ゴム協会誌 88, 2(2015)48