

二次元規則性凹凸面を有するゴムの異なる移動速度および温度下における摩擦特性

Friction Properties of Rubber with Two-Dimensional Regular Wavy Surface under Different Moving Speeds and Temperatures

九工大・院（学）*白澤 竜嘉 九工大・院（非）猪熊 悠平 九工大（正）松田 健次

Ryuga Shirasawa, Yuhei Inokuma, Kenji Matsuda

Kyushu Institute of Technology

1. 緒言

これまでに著者らは、断面形状の異なる二次元規則性凹凸面を有する複数のゴム製ブロックをガラス平板に押し付けることにより、真実接触面積および摩擦特性に及ぼす断面凹凸形状および環境の影響を調査してきた。その結果、摩擦力は第一義的には真実接触面積に依存していることを明らかにしたり、一方で、ゴムの摩擦力には、滑り速度や温度も影響することが古くから知られている^{2,3)}。そこで本研究では、二次元規則性凹凸面を有するゴム試験片を用いることにより、これらが真実接触面積と摩擦特性に及ぼす影響を調査した。

2. 実験方法

実験で使用した試験片は、長さ 9 mm、幅 9 mm、厚さ 5.3 mm のシリコーンゴム製ブロックである。Figure 1 に、試験片の表面形状を示す。半径 5 mm の半球状凹みを千鳥配列状に 3 mm 間隔に配置しており、理論突起高さは 230 μm である。この試験片をシリコーンゴム用の両面テープ（厚さ約 0.085mm）でアルミニウム基材の上に固定した。

Figure 2 に用いた実験装置の概略図を示す。試験片をプリズム底面に押しつけ、電動ステージを所定の速度で駆動させることで、アクリル容器ごとプリズムを移動させた。押付け荷重、および接線力はそれぞれ、水平および鉛直に設置した平行板ばねに添付したひずみゲージ 1、2 により測定した。接触部に対して 45° 方向に設置したデジタルカメラにより接触状態を観察した。ステージ移動速度 v は 0.05 mm/s、0.50 mm/s、1.0 mm/s の 3 条件であり、移動距離はいずれも 4 mm である。これら装置を低温インキュベーター内に設置し、温度 $T=10^{\circ}\text{C}$ 、 20°C 、 40°C の 3 条件下で実験を行った。なお、温度変化に伴う湿度変化、および接触面間への空気閉じ込めの影響を極力なくすために、アクリル容器内をゲージ圧で -0.099 MPa 以下に減圧した。なお、 $T=10^{\circ}\text{C}$ 、 20°C 、 40°C の温度下で測定した試験片のデュロメータ硬さはいずれも A28 程度であり、温度による明確な相違は認められなかった。

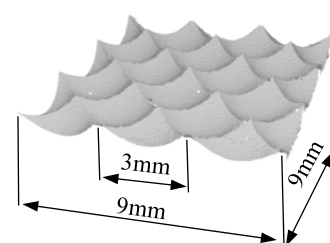


Fig. 1 Surface profile of specimen

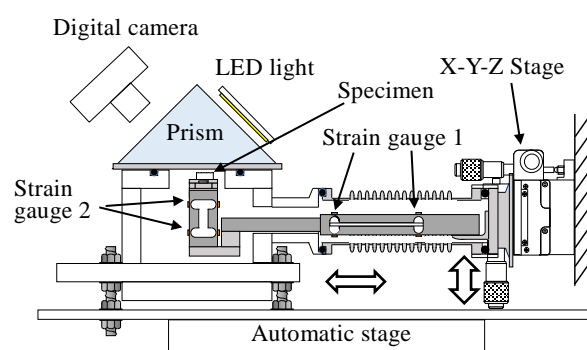


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

3. 結果および考察

3.1 異なる条件下での接触状態

Figure 3 に周辺温度 $T=10^{\circ}\text{C}$ 、 40°C 、垂直荷重 $W=4.0\text{ N}$ でプリズム底面に押し付けた後に、プリズムを移動速度 $v=0.05\text{ mm/s}$ 、 1.00 mm/s で移動させた際の、移動距離 $L=0\text{ mm}$ 、 3 mm における接触面の状態を示す。図中の黒色部が接触部であり、プリズムは右から左へ移動している。いずれの条件においてもプリズムが移動するにしたがって、プリズムの進行方向後方の接触部が拡大し、進行方向前方は接触部が減少していることが分かる。この傾向は v が大きい方が顕著である。また T が低くなると接触面積が若干大きくなっているのが分かる。Figure 4 に、プリズム移動距離 L と真実接触面積 A_r の変化を示す。いずれの温度においても、プリズムの移動開始直後に A_r は減少し、その後ほぼ一定値を呈しているが、 v が大きくなるにしたがって移動に伴う A_r の減少幅が大きくなっている。一方、温度の影響は速度の最も小さい $v=0.05\text{ mm/s}$ の場合に最も顕著に現れており、 T の増加に伴い A_r は減少していることがわかる。

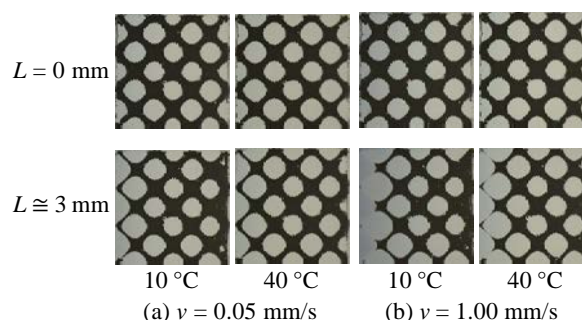


Fig. 3 Variation of the contact image; prism moves from right to left ($W \cong 4\text{ N}$)

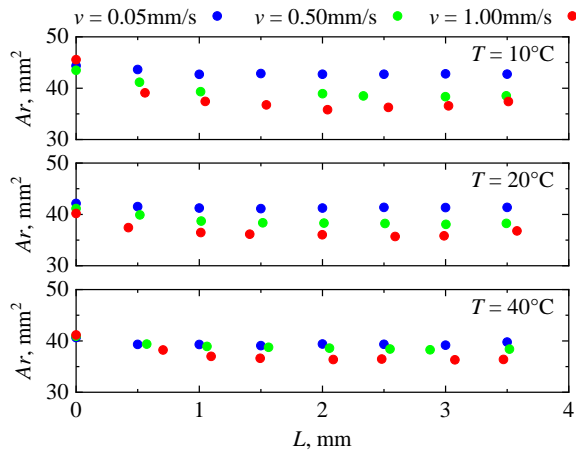


Fig. 4 Variations of Ar with increasing L ($W \cong 4N$)

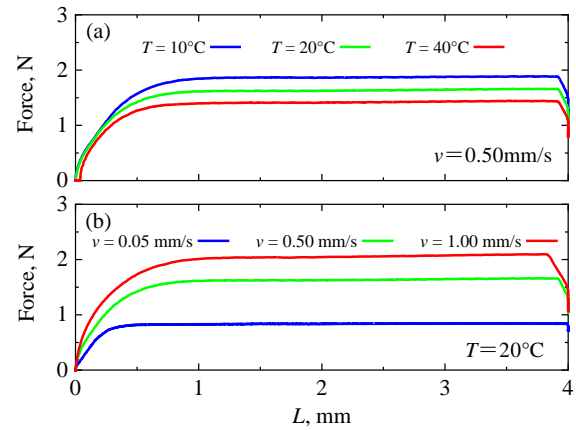


Fig. 5 Variations of F with increasing L at different moving speeds and temperatures ($W \cong 4N$)

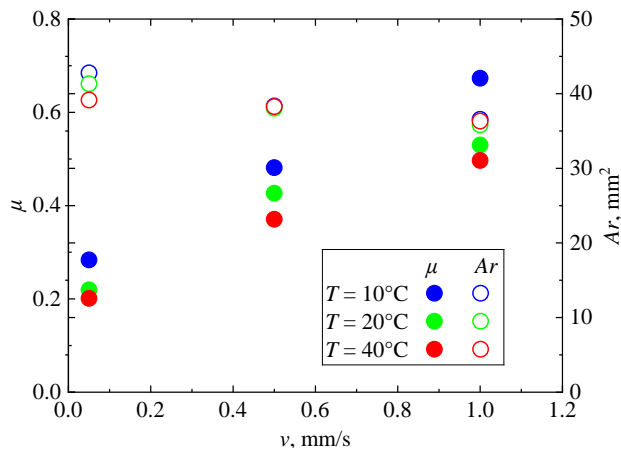


Fig. 6 Variations of μ and Ar with increasing v ($W \cong 4N$)

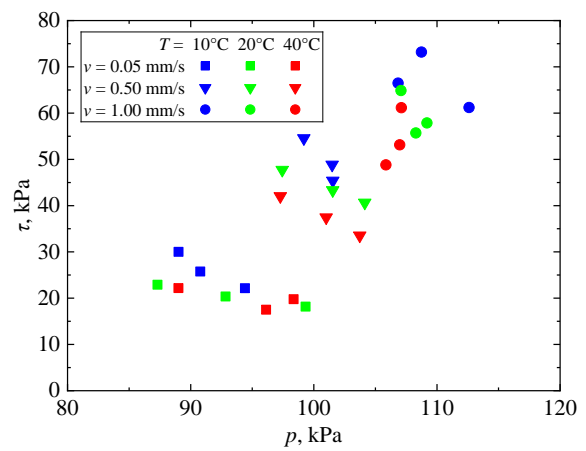


Fig. 7 Relation between τ and p

3.2 摩擦特性

Figure 5 にプリズム移動距離 L と接線力 F の関係を示す。(a)は $v=0.50\text{mm/s}$ における 3 温度条件の結果を比較したもの、(b)は $T=20^\circ\text{C}$ における 3 速度条件の結果を比較したものである。いずれの条件においても、移動開始直後に接線力は急激に増加し、 $L=1\text{mm}$ 程度以降ではほぼ一定の値を示している。このときの F の値は、 T が低いほど、また v が大きいほど大きいことが分かる。この傾向は、Mclaren ら²⁾や Ludema ら³⁾の滑り速度が比較的小さい領域における実験結果と一致している。

Figure 6 に、 $L=3\text{mm}$ における摩擦係数 μ および真実接触面積 Ar と移動速度 v の関係を示す。本実験の速度範囲においては、 v の増加に対して μ はほぼ直線的に増加していることが分かる。一方、 Ar は若干減少する傾向を示している。すなわち、移動速度の増加による摩擦係数の増加は、限界せん断応力の増加が主要因となって生じたことが示唆される。Figure 7 に、 $L=3\text{mm}$ における界面せん断応力 τ と平均接触圧力 p の関係を示す。ここで、 τ 、 p はそれぞれ、 $\tau = F/Ar$ 、 $p = W/Ar$ で定義した。同図には、3 種の垂直荷重 $W=2, 4, 6\text{N}$ の結果を示している。滑り速度が大きいほど、移動に伴う Ar の減少の程度が大きいため p の大きい領域に存在しているが、滑り速度を 0.05mm/s から 1.0mm/s へ 20 倍増加することによって、界面せん断応力はおよそ 3 倍程度増加しており、 0.5mm/s と 1.0mm/s の間にも明確な差異が認められる。すなわち、本実験で使用した試験片においても、境界潤滑下の摩擦特性に及ぼすしゅう動速度の影響は小さくはないことが確認された。

4. 結言

二次元規則性凹凸面を有するゴム試験片を減圧下でガラス平面としゅう動させることにより、移動速度と温度が真実接触面の変化および摩擦特性に及ぼす影響を明らかにした。

5. 文献

- 1) K. Matsuda, D. Hashimoto, K. Nakamura: Real Contact Area and Friction Property of Rubber with Two-dimensional Regular Wavy Surface: Tribology International, 93 (2016) 523.
- 2) K. G. Mclaren & D. Tabor: Visco-Elastic Properties and the Friction of Solids: Friction of Polymers : Influence of Speed and Temperature, Nature, 197 (1963) 856.
- 3) K. C. Ludema & D. Tabor: The Friction and Visco-elastic Properties of Polymeric Solids, Wear, 9 (1966) 329.