

平滑表面と二次元規則性凹凸面を有するゴムの摩擦特性の比較

Comparison of Frictional Properties: Smooth vs. Two-dimensional Regularly Wavy Rubber Surface

九工大・院（学）*猪熊 悠平 九工大・工（非）野崎 裕太 九工大（正）松田 健次

Yuhei Inokuma, Yuta Nozaki, Kenji Matsuda

Kyusyu Institute of Technology

1. 諸言

先に著者らは、断面形状の異なる二次元規則性凹凸面を有するゴム製ブロックをガラス平板としゅう動させることにより、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示した¹⁾。さらに前報では、移動速度と温度が真実接触面積の変化および摩擦特性に影響を及ぼすことを明らかにした²⁾。これらの二次元規則性凹凸面では、真実接触面積は荷重や凹凸形状、環境によって大きく変化したが、本研究では荷重によって真実接触面積が大きく変化しないと考えられる平滑面に対して調査を行い、荷重や移動速度、温度が真実接触面積と摩擦特性に及ぼす影響を先の二次元規則性凹凸面の結果と比較した。

2. 実験方法

実験で使用した試験片は、長さ 9mm、幅 9mm、厚さ 5mm のシリコンゴム製ブロックである。表面（しゅう動面）は、研削仕上げをした金型材の表面を転写することにより作製した。実験装置および実験方法は前報²⁾と同じである。シリコ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試験片をプリズム下面へ押し付け、プリズムを電動ステージを用いて移動させた。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。この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るために、実質は -0.099 MPa 以下の減圧下で実施した。押付け荷重 W は 2, 4, 6N の 3 種である。

3. 結果および考察

3.1 異なる条件下での接触状態

Figure 1 に周辺温度 $T=10^{\circ}\text{C}$ 、 40°C 、垂直荷重 $W=2\text{N}$ 、 6N でプリズム底面に押し付けた後に、プリズムの移動速度 $v=0.05\text{ mm/s}$ 、 1.00 mm/s で移動させた際の、移動距離 $L \cong 3\text{ mm}$ 地点における接触面の状態を示す。図中の暗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前方の接触部が減少していることが分かる。この傾向は v が大きく、 T が小さい方が顕著にみられる。また、荷重の小さい方がより接触部の減少の程度が大きいことがわかる。

Figure 2 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。いずれの試験片においても、温度によらず

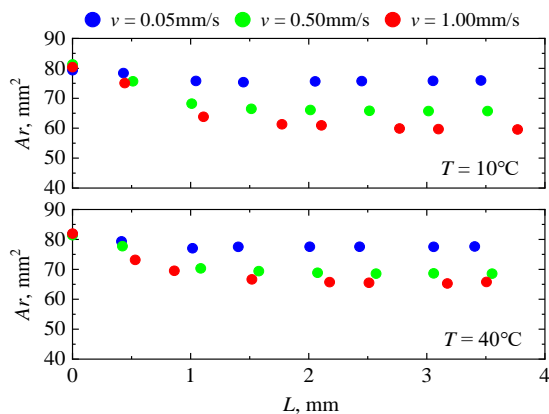


Fig. 2 Variations of A_r with increasing L ($W = 4\text{N}$)

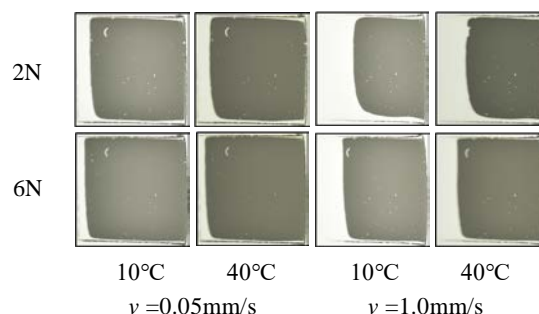


Fig. 1 Variations of the contact image: prism moves from right to left ($L \cong 3\text{mm}$)

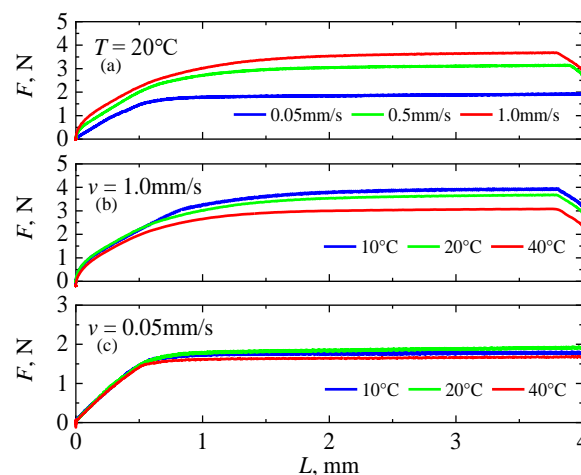


Fig. 3 Variations of F with increasing L ($W = 4\text{N}$)

プリズムの移動開始直後に Ar 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 Ar の減少幅が大きくなっている。この傾向は温度が低い方がより顕著に表れている。

3.2 摩擦特性

Figure 3 に押付け荷重 4N の場合の移動距離 L と接線力 F の関係を示す。(a)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、(b)と(c)はそれぞれ $v=1.0\text{mm/s}$, 0.05mm/s における 3 温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、 $v=0.05\text{mm/s}$ の場合には $L=0.6\text{mm}$ 程度でほぼ一定の値を示しているのに対し、 $v=1.0\text{mm/s}$ では $L=3\text{mm}$ 付近まで上昇し続けていることがわかる。また T の影響に注目すると、(b)の $v=1.0\text{mm/s}$ では温度の影響が明確に表れ、 T が小さいほど F が大きくなるが、(c)の $v=0.05\text{mm/s}$ の場合には、温度の影響はかなり小さい。

Figure 4 に、摩擦係数が安定したと見なされる $L \cong 3\text{mm}$ 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。本実験の速度範囲では、 v が大きくなるほど Ar は減少し μ は増加している。すなわち、先の規則性凹凸面の場合と同様に、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り生じたと考えられる。

3.3 平滑表面と二次元規則性凹凸面の比較

Figure 5 に $L \cong 3\text{mm}$ における真実接触面積 Ar と摩擦係数 μ のグラフを示す。塗りつぶしは平滑面、白抜きは規則性凹凸面の結果を示す。平滑面は全結果が 1 本の直線状に並んでいる。一方、規則性凹凸面の場合、荷重によって真実接触面積に大きな相違が生じ、荷重が増加するにつれて平滑面の分布領域に近づいていることがわかる。いずれにおいても、速度の増加とともに μ は増加している。一方、同一速度においては、規則性凹凸面では荷重の増加に対し μ は若干増加するのに対し、平滑面では荷重が小さい方が顕著に増加している。両表面形状の同一速度、同一荷重の結果は 0 を通る直線付近に大略並んでいることがわかる。

Figure 6 に $L \cong 3\text{mm}$ における平均接触圧力 p と限界せん断応力 τ 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。同図には全荷重の結果を示している。 Ar が荷重によって大きく変化しない平滑面では、荷重ごとに異なる直線状に結果が並んでいる。一方規則性凹凸面では、全ての結果が比較的狭い帯の中に並んでおり、その傾きは平滑面に近いことがわかる。これはいずれの表面形状においても、摩擦力 F の増加→試験片のたわみの増加→ Ar の低下→ p の増加をもたらすが、速度および温度変化による τ の増加が F に及ぼす影響が、 Ar の低下の効果よりも大きいと言えらる。同一速度、温度の結果を比較すると、いずれの表面形状においても荷重によって τ の値は若干変化しているが、 $T=10^{\circ}\text{C}$, $v=1.0\text{mm/s}$ の場合を除いて両者の値に大きな相違はない。すなわち荷重によって真実接触面積が大きく変化しない平滑面も含めて、同一速度、温度条件における摩擦力は第一義的には真実接触面積に依存していると言える。また速度、温度が限界せん断応力に与える影響の程度に、平滑面と規則性凹凸面の両者において大きな相違がないことが確認された。

4. 結言

平滑な表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、先の二次元規則性凹凸面の結果との比較の観点から、荷重、移動速度、温度が真実接触面積の変化および摩擦特性に及ぼす影響を明らかにした。

文献

- 1) K. Matsuda, D. Hashimoto, K. Nakamura: Tribology International, 93 (2016) 523.
- 2) 白澤・猪熊・松田: トライボロジー会議予稿集, 2024, 名護, D3 358-359.

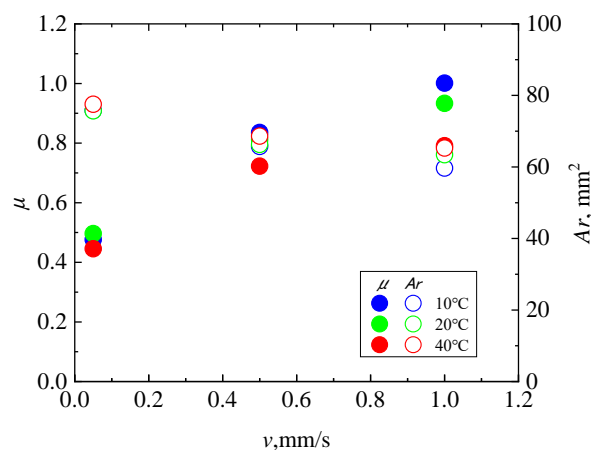


Fig. 4 Variations of μ and Ar with increasing v ($W = 4\text{N}$)

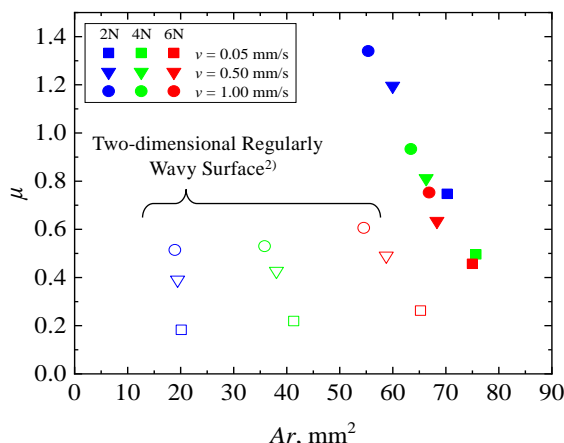


Fig. 5 Relation of μ and Ar ($T = 20^{\circ}\text{C}$)

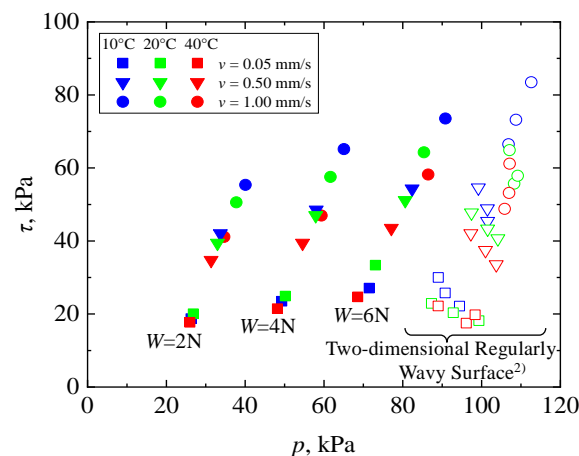


Fig. 6 Relation between τ and p