

粘着性ゲルシートのすべり摩擦特性

JST/CREST, 東大工 山口 哲生¹, 大亦 聡, 土井 正男

粘着性のあるゲルシートの片端を掴んで引っ張ると、ゲルシートは粘着性のため界面ですべることができず、その結果尺取虫のように基板からの剥離と濡れ（再接着）の波を伝播させながら重心が移動するという奇妙な摩擦現象が現われる。本研究では、すべり速度を変えて摩擦実験を行なったところ、摩擦力はすべり速度依存性を示し、 $V_c \sim 50 \mu\text{m/s}$ を境に規則的なストライプ状のパターン ($V > V_c$) から不規則に気泡が入り込むバブル状のパターン ($V < V_c$) へと変化するところを見出した。

1 はじめに

すべり摩擦において、粘着（凝着）と摩擦との関係は以前から議論されている。簡単に言うと、すべりの過程で接触面同士が接着するがせん断変形が限界を迎えると界面破壊が生じ、その際の力学的エネルギーの散逸が摩擦力に寄与する、というものである [1]。しかしながら、実際にこの過程を観察するとなると、金属などのように粘着力が小さく弾性率が大きい物質では真実接触域が極めて小さく破壊が高速に起こるため、通常容易ではない。一方、粘着力が大きく弾性率が小さい物質を用いると上記の問題を回避することができると期待される。

本研究では、やわらかくて粘着性のあるゲルシートを用いてすべり摩擦挙動の観察を試みた。

2 実験

粘着性ゲルシート（商品名スーパーゲル，木原産業（株）製，厚さ 3mm ）を長さ 150mm 、幅 50mm にカットし、両面に付いている 2 枚のフィルムの片方を剥離することにより現われる粘着面を摩擦界面として実験に用いた。このゲルシートには粘着面を内側にして曲率半径が $40 \pm 5\text{mm}$ の曲げが付いていた。図 1 に示すような装置ですべり速度 V を $2000 \mu\text{m/s}$ から $0.1 \mu\text{m/s}$ まで段階的に変化させながらロードセルに水平方向にかかる力を摩擦力として記録した。ゲルシートの摩擦挙動は、キーエンス（製）のデジタルマイクロスコープを用い、5 倍で観察した。その際、接触域/非接触域を明瞭に区別するためガラス基板裏面にゴムシートを貼り付けた。

¹E-mail: yamaguchi@rheo.t.u-tokyo.ac.jp

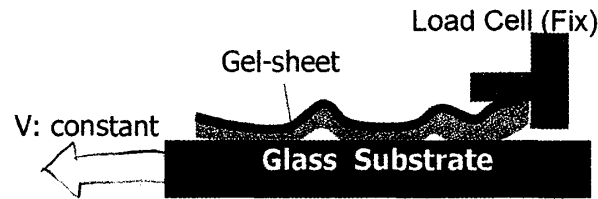


図 1: 実験装置の概略

3 結果と考察

図 2(a) に摩擦力の時間変化を示す。このように本実験では全てのすべり速度域に渡って摩擦力の振動が見られた。また、摩擦力のすべり速度依存性を確かめるため各すべり速度における摩擦力の時間平均を図 2(b) にプロットした。遷移速度 V_c より大きな領域ではすべり速度の増加とともに摩擦力が増加、 V_c より小さな領域ではすべり速度の増加とともに摩擦力が減少する傾向を示した。

次に、各すべり速度におけるパターンを図 3 に示した。摩擦力挙動に対応し、 V_c より小さな領域では気泡が試料後方から不規則に流入するバブル状のパターン (図 3(a)) (接触域は黒、非接触域は白)、 V_c より大きな領域では規則的なストライプ状のパターン (図 3(b)) を示した。

このように摩擦力やパターンが変化する理由としては以下のことが考えられる。非接触域が試料後方から前方に向かって伝播する際、基板からの剥離と濡れ (再接着) がそれぞれ非接触域の前方、後方で起こっているが、剥離速度はすべり速度に応じて変化するものの、濡れには速度の限界 (下限) が存在する。そのためすべり速度がある速度 (V_c) より遅くなると濡れが剥離に追いついてしまい、その結果定常的なストライプ状の波が不安定になる。実際、濡れ速度の下限となるゲルの自発的な濡れ速度を別の実験で測定し、その値からすべり速度を見積もってみたところ、 V_c の値と同程度の結果が得られ、濡れがパターンの変化を支配していることが示唆された。

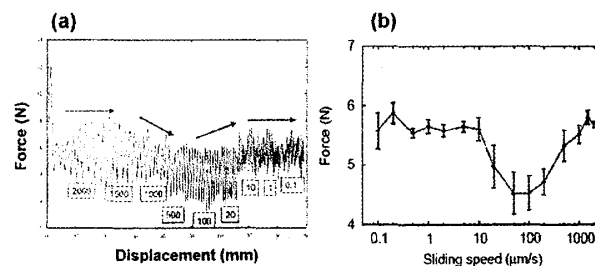


図 2: (a) 基板変位-摩擦力曲線。本実験ではすべり速度を段階的に $2000\mu\text{m/s}$ から $0.1\mu\text{m/s}$ まで変化させた。(b) すべり速度-摩擦力曲線。各すべり速度で摩擦力を時間平均した。

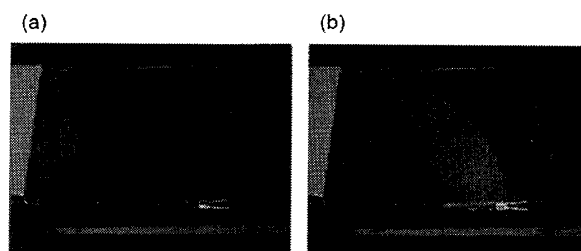


図 3: すべり摩擦の際にゲルに現われるパターン。(a) $V = 1\mu\text{m/s}$, (b) $V = 1000\mu\text{m/s}$

4 まとめ

本研究では、粘着性のあるゲルシートを用いてすべり摩擦実験を行なった。摩擦力がすべり速度依存性を示すとともにゲルのすべり挙動が変化することを見出し、濡れの過程がすべり摩擦挙動に重要な影響を与えていることを示した。更に接触面積や接触履歴の定量、モデル化なども容易に行なえるため、現在引き続き詳細な分析を行なっているところである。近い将来それらの結果を報告する予定である。

Acknowledgment

有用なアドバイスを与えて頂いた北海道大学の田中良巳氏に感謝します。

参考文献

- [1] B. N. J. Persson, Sliding Friction: Physical Principles and Applications (Springer, New York, 1997)