

指モデル接触子を用いた動的摩擦特性に及ぼす正弦波駆動の影響

Effect of Sinusoidal Drive on Dynamic Friction Characteristics of an Artificial Skin Block

都産技研（正）*齋藤 康賀 都産技研（非）吉次 なぎ 都産技研（非）村井 まどか

トリニティーラボ（正）野村 修平 山大（正）野々村 美宗

Yasuyoshi Saito*, Nagi Yoshitsugu*, Madoka Murai*, Shuhei Nomura**, Yoshimune Nonomura***

* Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute, ** Trinity-Lab Inc., *** Yamagata University

1. 結言

昨今、製品の触り心地(触感)を数値化したいという要望は各業界において高まっており、触感を定量的に評価可能な手法の構築が求められている。しかしながら、触感は肌とモノの接触・摩擦動作によって励起された各感覚受容器からの信号を脳内で処理した結果であり、そのシステムの複雑さから完全な解明には至っていないのが現状である。触感を摩擦の観点から評価しようとする様々な取り組みの中で、Kikegawa ら¹⁾はヒトがモノを触れる際の動きが正弦運動的に加減速していることに着目し、正弦波駆動での摩擦試験によって得られた摩擦パラメータによる触り心地評価方法を提案している。

本研究では、表面突起を有する柔軟性に富む指モデル接触子の動的な摩擦応答に着目し、指モデル接触子の動的摩擦特性に及ぼす正弦波駆動の影響を実験的に明らかにする。また、等時間間隔のデータとして取得した摩擦データを位置情報でリサンプリングし、位置情報に由来する摩擦振動成分を抽出することで、指モデル接触子の表面突起に起因する摩擦信号とサンプル表面粗さの影響を明らかにする。

2. 実験条件

実験には Fig. 1 に示すウレタン製の指モデル接触子(株式会社トリニティーラボ製)を用いた。接触子表面は平滑部(10 mm × 15 mm)に 0.5 mm 間隔の指紋模擬突起を有する。摩擦試験装置には等速駆動テーブルと正弦波駆動テーブルの 2 種類を用い、往復しゅう動の摩擦試験を実施した。等速駆動テーブルの場合にはすべり速度 V を 1 mm/s, 10 mm/s, 20 mm/s, 40 mm/s, 正弦波駆動テーブルの場合には回転速度 N を 1.5 rpm, 15 rpm, 30 rpm, 60 rpm とした。各条件におけるすべり距離は 20 mm であり、正弦波駆動における平均すべり速度は 1 mm/s, 10 mm/s, 20 mm/s, 40 mm/s である。試験荷重 W は 0.20 N, 0.49 N, 0.98 N とした。相手材料は本革(牛皮, Sa 14.95 μm, Spk 5.50 μm), 合皮(PVC, Sa 35.69 μm, Spk 23.08 μm), 塗膜(武蔵塗料株式会社製ネオバラサン, Sa 23.42 μm, Spk 1.41 μm)の計 3 種類を用いた。各試験条件において摩擦試験を 3 回実施し、サンプリングレート 1000 Hz にて摩擦係数を算出した。

本研究における正弦波駆動テーブルはレーザ変位計によって位置情報を取得しており、カーブフィッティング処理を施した後に変位情報を微分計算することで各点の速度を算出している。また、等時間間隔($\Delta t = 1\text{ msec}$)の摩擦情報を線形補間のリサンプリングによって位置情報に対して等間隔($\Delta X = 0.01\text{ mm}$)な摩擦情報へと変換処理を施すことで、空間周波数に対するスペクトル解析を実施した。

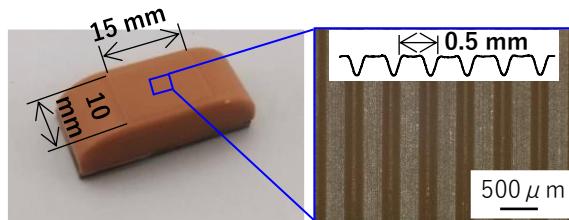


Fig. 1 Images of artificial skin block with pattern

3. 実験結果および考察

Figure 2 に正弦波駆動 $N = 1.5 \text{ rpm}, 60 \text{ rpm}$ によって得られた動的摩擦挙動を示す。同図は最終往復時の位置情報 X に対する摩擦係数の関係を示しており、正の摩擦係数は往路、負の摩擦係数は復路における摩擦状態を意味している。同図より、 $N = 1.5 \text{ rpm}$ の駆動条件においては激しい摩擦振動が起こっているのに対して、 $N = 60 \text{ rpm}$ の駆動条件においては摩擦振動が小さくなっていることが分かる。また、正弦波駆動の特性から $X = 10 \text{ mm}, X = -10 \text{ mm}$ のポジションにおいてテーブルが反転するためにすべり速度は限りなく 0 に近づき、 $X = 0 \text{ mm}$ のポジションにおいて最大の速度を示す。このことから、本革、塗膜サンプルにおいては 1 ストローク間における速度の増加に伴う摩擦係数の増加の傾向を示しており、摩擦試験時の速度影響を確認することができる。Figure 3 に各条件で得られた最大速度到達時の動摩擦係数と速度の関係を示す。同図に示す通り、駆動形態によらず速度に対する動摩擦係数の傾向は同様の傾向を示している。この速度影響に対する傾向は Fig. 2 の動的摩擦特性の傾向とも一致しており、すべり動作中における抵抗感の変化を評価できるものと期待できる。一方で、低すべり速度における摩擦振動情報は高すべり速度条件では検出されにくくなることから、触感評価への適用を考える際には駆動速度条件の設定には十分な検討が必要と考えられる。

Figure 4 に正弦波駆動 $N = 1.5 \text{ rpm}$ の試験条件における、摩擦データのスペクトル解析結果の一例を示す。同図に示す通り、 $2 / \text{mm}, 4 / \text{mm}$ の空間周波数領域において強いピークを検出されていることが分かる。木下ら²⁾は、0.5 mm のピッチ溝構造を有する接触子と繊維サンプルの等速すべり摩擦試験において、 $2 / \text{mm}$ の空間周波数領域にピークを持つ摩擦振動が生じることを報告している。加えて、この摩擦振動の発生については、接触モデルの数値解析結果から

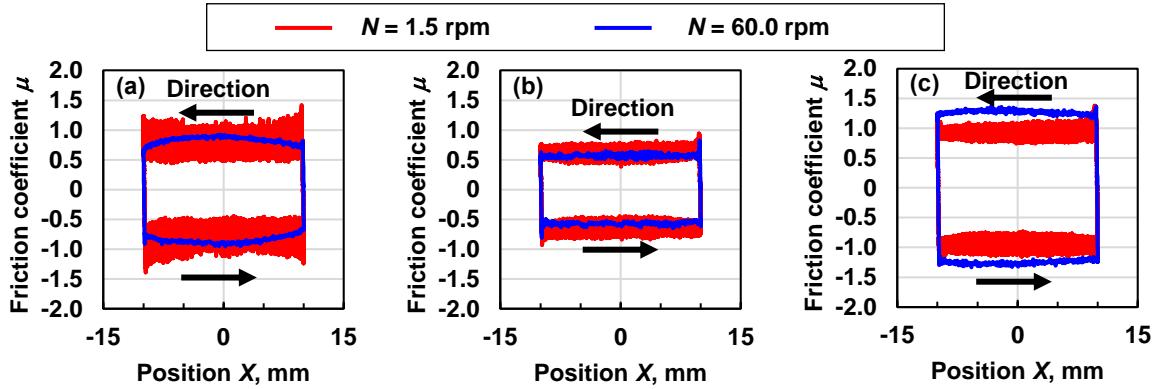


Fig. 2 Dynamic friction patterns ($W = 0.49 \text{ N}$) (a) Genuine leather, (b) Synthetic leather, (c) Coating film

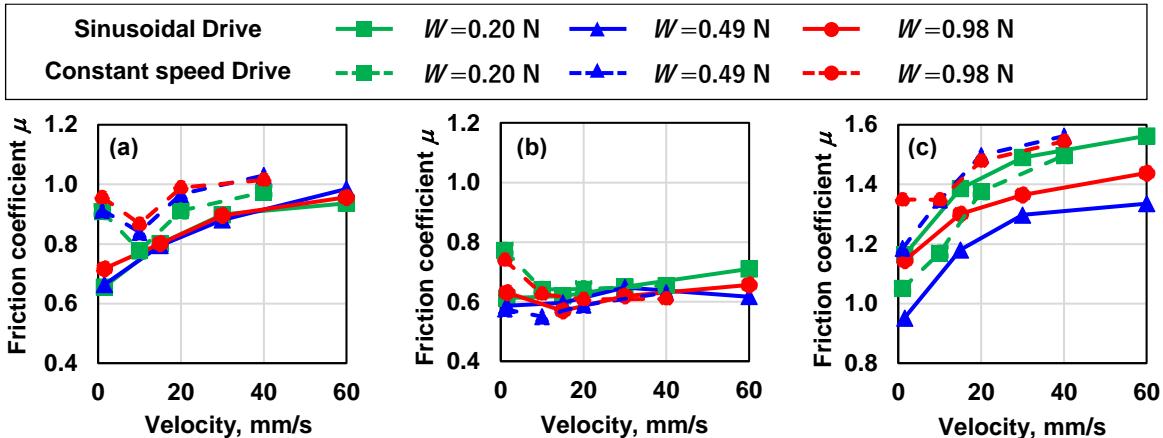


Fig. 3 Relation between friction coefficient and velocity (a) Genuine leather, (b) Synthetic leather, (c) Coating film

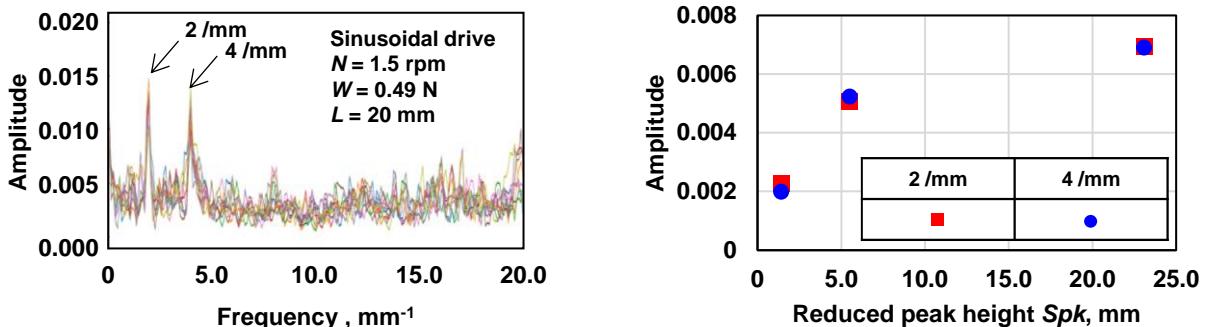


Fig. 4 Spectrum analysis for genuine leather

Fig. 5 Relation between amplitude and reduced peak height

指紋パターンとサンプル特性に応じた摩擦振動であることを明らかにしている。本研究においては速度が刻々と増減する正弦波駆動であることから位置情報に対して不等間隔な摩擦データであったものの、十分に細かいデータサンプリングでデータを記録することによって、指紋突起間隔に起因する摩擦振動が記録できたものと考えられる。また、正弦波駆動摩擦データから取得した $2/\text{mm}$, $4/\text{mm}$ のピーク強度と各サンプル表面の突起高さ Spk の関係を Fig. 5 に示す。同図に示す通り、突起高さの増加に伴い、各スペクトル強度は増加する傾向を示しており、突起高さに起因する摩擦抵抗の増大が示唆される。また、この傾向は触ったサンプルの表面凹凸が指紋突起に対して連続的な摩擦刺激を加えている情報とも考えられ、凹凸感などの触感評価における摩擦パラメータとしての利用が期待できる。

4. 結言

- 1) 正弦波駆動の摩擦試験によって得られる動的摩擦特性は速度変化の影響を受けており、サンプル間における速度応答特性に応じた摩擦データを 1 ストロークの摩擦波形で得られることを明らかにした。
- 2) 指モデル接触子を用いた正弦波駆動の摩擦データを位置情報に対して等間隔な摩擦データにリサンプリングし、そのデータをスペクトル解析することで、空間周波数 $2/\text{mm}$, $4/\text{mm}$ の振動成分が摩擦情報内に含まれていることを明らかにした。また、そのピーク強度と表面粗さが正の相関を示すことを明らかにした。

文献

- 1) K. kikegawa, R. Kuhara, J. Kwon, M. Sakamoto, R. Tsuchiya, N. Nagatani & Y. Nonomura: Physical origin of a complicated tactile sensation: 'shittori feel', R. Soc. Open Sci., 6, 190039 (2019).
- 2) 木下・野田・秋山・松尾：布の摩擦力波形の周波数分析，繊維機械学会誌，50, 7 (1997) 103.