

4222 指先の摩擦特性に関する研究

Study on friction characteristics of finger tip

学 鈴木 健太 (埼玉大) 正 渡邊 鉄也 (埼玉大)
正 田中基八郎 (埼玉大)

Kenta SUZUKI, Saitama University, Shimoookubo255, Sakura-ku, Saitamashi, Saitama

Tetsuya WATANABE, Saitama University

Kihachiro TANAKA, Saitama University

Key Words : Finger tip, Friction, Frictional Coefficient, Adhesive Force, Elasticity

1. 結 言

人間の手指は、皮膚の中でも最も効率の良い摩擦を発揮する。一般に、人間の手指の摩擦係数は1.3以上とされており、条件によっては4を越えることが明らかにされている⁽¹⁾。これは金属間の摩擦係数がおよそ0.2~0.5であることと比較すると非常に大きい。この指先の摩擦特性により人間は高度な手作業を可能にしているといえる。ゆえに、手指の摩擦特性を解析しロボットハンドなどに適用すれば、より小さな力で物を把持できるようになると考えられる。

現在、摩擦係数が大きくなる理由としては、手指の柔らかさによる弾性、指紋形状、発汗作用による湿潤などが要因であると考えられている⁽²⁾。これまで、指の摩擦の物理的特性をモデル化した研究は行われているが⁽³⁾⁽⁴⁾、指紋形状や発汗作用による影響まで考慮したものではない。過去のわれわれの研究では、指先の摩擦がクーロン摩擦、指紋と発汗による吸着力、弾性力の3要素で構成されていると考え、摩擦モデルの式を導き出している。本研究では、このモデルの妥当性を検討するため、摩擦を構成する3要素について特性を検討した。

2. 摩擦モデル

過去の研究では、指先の摩擦がクーロン摩擦 μN 、指紋と発汗による吸着力 βF_p 、弾性力 kx の3要素で成り立っていると考え、

$$F = \mu N + \beta F_p + kx \quad (1)$$

という式でモデル化されるとしている。しかしこのモデルは k 、 μ 、 β などのパラメータが具体的に決定されていないため、(1)式について検討していく。

3. クーロン摩擦の検討

3.1 摩擦力測定 図1に実験装置を示す。モータの回転を、タイヤを介してx軸アルミクロスローラステージのマイクロメータ部に伝える。ステージ部分に高さを調節できる台を設置し、その上に三分力計を設置してある。三分力計には指を乗せる治具が設置されており、マイクロメータが回転することでステージが左右に移動し、固定したアクリル板と治具上の指が摩擦を生じる仕組みになっている。このとき生じる治具への反力をそれぞれ摩擦力、垂直抗力として三分力計を用いて計測する。

3.2 測定結果 指先はエタノールで脱脂後20分放置したものを用いた。図2は垂直抗力 $N=2.19(N)$ のときの摩擦力 F の時間変化を表したグラフである。徐々に摩擦力が増加してゆき、最大静止摩擦に達した後、動摩擦へと変化する様子がわかる。動摩擦領域で摩擦力が大小繰り返しているのは、指先とアクリル板の間がすべりと固着を繰り返すスティック・スリップという現象が起こっているためである。

次に指先の摩擦がクーロン摩擦であると仮定して、最大静止摩擦力をそのときの垂直抗力で除算し摩擦係数を求めた。図3に垂直抗力に対する摩擦係数の変化を示す。垂直抗力が高くなるにつれて摩擦係数は指数関数的に減少していき、

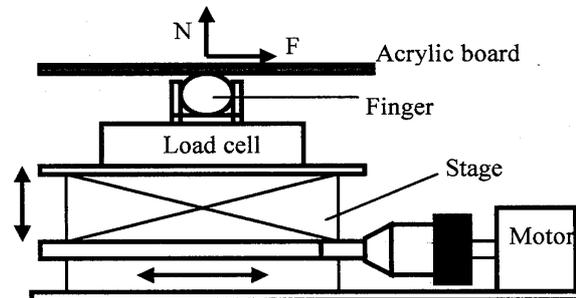


Fig.1 Experimental setup

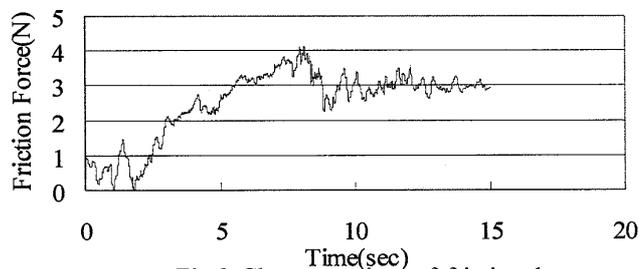


Fig.2 Change at time of frictional

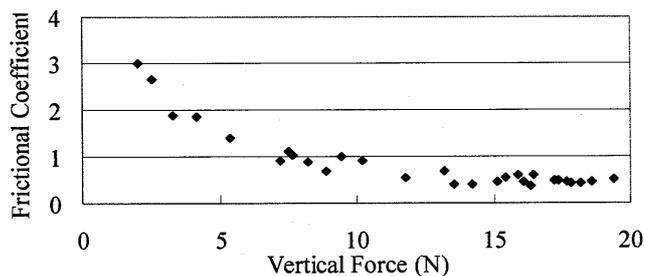


Fig.3 Frictional coefficient

15N 以上では均一となった。摩擦係数は低荷重域で高くなり、最大で3を越え、荷重に対し非常に高い摩擦力を発揮することがわかった。また、約15N以上の高荷重域ではほぼ一定値をとり、クーロン摩擦に近い現象が生じた。したがって、低荷重域において指先には、摩擦係数が一定になるクーロン摩擦が成立せずクーロン摩擦の他に摩擦力を増大させる力が作用していることがわかった。

4. 吸着力の検討

4.1 吸着力の測定 人間の指先は指紋を有しており、発汗作用と指紋形状によって吸盤効果を生じると言われている。本章では指の摩擦特性に吸着力が関係していると考え、吸着力を測定する実験を行う。図4に実験装置の一部を示す。この実験では3章で使用した摩擦力測定装置を用いる。まず片持ち梁状に固定したアクリル板が荷重によって生じる歪を歪ゲージを用いて計測し、荷重に対する歪の傾き α を求めておく。そして、指先でアクリル板を荷重し、その時の最大荷重を計測する。またそこから指先を戻し、アクリル板から剥れたときに生じる歪に求めておいた α をかけることで吸着力を求める。

4.2 測定結果 指をアクリルに押し付けたときの最大荷重を変化させて測定を行い、最大荷重の大きさによる吸着力の変化を調べた。図5に歪ゲージの時刻歴波形を示す。図中 A は指がアクリルから剥れる時間を示している。図6に最大荷重に対する吸着力を示す。アクリルにかけた荷重が増加しても、吸着力はほぼ 2.3(N)から 3.3(N)の間に収まる結果となった。今回の実験の条件上、荷重の限界が3(N)強までだったので一概には言えないが、この結果からは吸着力が最初に指を押し付ける力の大きさに関係なく一定の値をとると考えられる。この一定の吸着力を F_p と表せば、

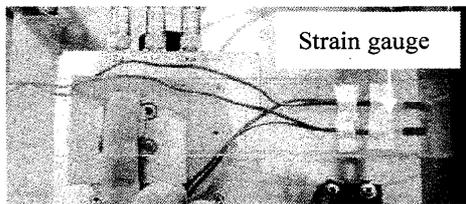


Fig.4 Measurement of adhesive force

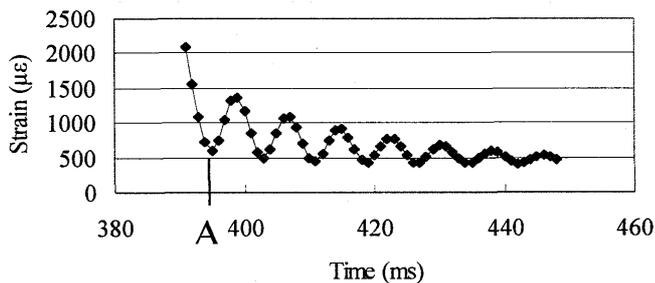


Fig.5 Change at time of strain

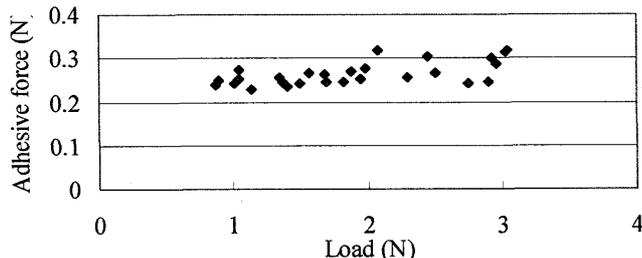


Fig.6 Relation between load and adhesive force

ば、指先の摩擦には、過去の研究で示したように吸着力の項を βF_p として考えることができる。

5. 指先の弾性に関する検討

指先の持つ弾性特性が、摩擦力を増大させる一要因であると考えられている。ここではアクリルに押し付けた時の指先とアクリルとの接触面積を計測することで、摩擦力の挙動との関連性を検討する。

実験には3章で使用した摩擦測定装置を用いる。まず朱肉を塗った指先をアクリル板に押し付け、そのときの垂直抗力を計測する。アクリル板に写った楕円状の朱肉の跡から指先の接触面積を計測する。

図7に垂直抗力に対する接触面積の変化を示す。垂直抗力が大きくなると一定の値へ収束していく傾向を示した。この結果と、図3の垂直抗力に対する摩擦係数と比較すると、どちらも高荷重域で一定値に収束する傾向にある。このことから、垂直抗力に対する摩擦係数と接触面積には関係があり、指の弾性が摩擦に大きく関わってくることが推測できる。

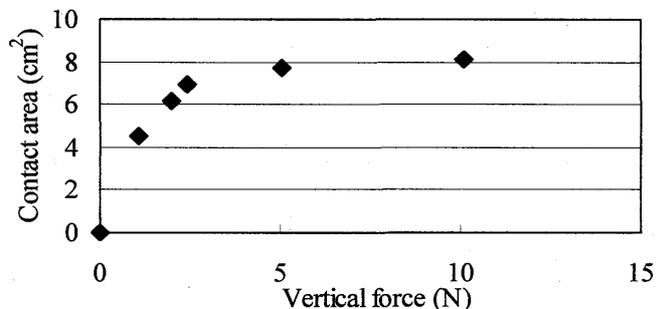


Fig.7 Contact area

6. 結 言

本研究では、指先の摩擦特性について実験を行い、以下の結果を得た。

- (1) 指先の摩擦係数は垂直抗力に対して減衰する傾向を示し、クーロン摩擦以外の力が作用している。
- (2) 指先とアクリル板の間には、初期荷重に関わらず一定の吸着力が作用する。
- (3) 垂直抗力に対する指先の接触面積を計測した結果、垂直抗力に対する摩擦係数の変化と関係があり、指の弾性が摩擦に大きく関わっている。

今回検討した吸着力や弾性は、摩擦に対して垂直方向に関するものである。今後、摩擦方向へどう影響するか、また指先の湿潤状態の違いによる摩擦力の変化を調べ、より具体的な指先の摩擦モデルを検討していく。

参考文献

- (1) 笹田, 井出, 川上, ヒト皮膚の摩擦特性 (第1報), 千葉工業大学研究報告, 理工編, 45,(1998) pp. 13-19.
- (2) 笹田, 栗原, ヒト皮膚の摩擦特性(第2報), 千葉工業大学研究報告, 理工編, 45, (1998) pp. 21-28.
- (3) 山羽, 高野, 尾崎, 人間の指の物理的特性 (摩擦と柔らかさ, 代行材料), バイオメカズム, 3, (1975) pp. 27-36.
- (4) 嶋田, 鉦庸, 川村, 人間の手指の摩擦特性の解析, 計測自動制御学会論文集, 32-12, (1996) pp. 1581-1587.