

スポンジとガラスに挟まれた液体が引き離し力と摩擦力に及ぼす影響

Influence of liquid between sponge and glass on the pull-off and friction forces

千葉工大・工（院）*菊地 帝人 千葉工大・工（正）平塚 健一

Teito Kikuchi*, Ken'ichi Hiratsuka*

*Chiba Institute of Technology

1. 緒言

アモン・クーロンの法則によれば摩擦力は荷重に比例し、その場合摩擦係数は一定の値を取る。しかしながら、荷重を軽くすると摩擦係数が上昇する場合がある。安藤ら¹⁾はブロックゲージと鋼球の摩擦においてそれを確認し、二面間に働く凝着力を荷重に加え、その和を全荷重とすることで摩擦係数が一定になることを示した。スポンジに水を含ませてガラス板に接触させると Fig.1 のように垂直に立てても落ちてこないことから、外部から加えた荷重よりも水によるスポンジの吸着力によって摩擦係数が高くなることがわかる。このように日常でも体験する濡れの効果ではあるが、実際に水によって発生する引っ張り力と摩擦力の関係を接触面積の作用からとらえた実験はあまりない。そこで本研究ではスポンジに水を含ませガラス板と摩擦させ、そこに発生する凝着力と摩擦力の関係を調べることを目的とした。

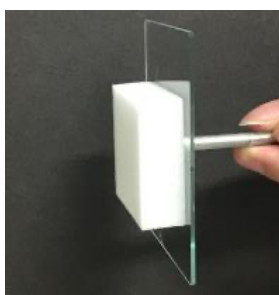


Fig. 1 Friction between glass and sponge with water

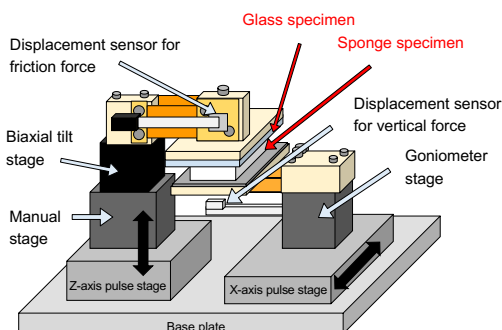


Fig. 2 Outline of the experimental setup

2. 実験方法

Fig. 2 に実験装置の概要を示す。X 軸ステージ上にスポンジを置き、Z 軸ステージの先にガラスをつり下げて、Z ステージを下方に変位させることでそれらを接触させた。Z 軸ステージ、X 軸ステージに取り付けた平行板バネの変位を非接触式の変位計で測定し、それぞれ、摩擦力と垂直荷重・引き離し力を求めた。

Table1 に実験条件を示す。Exp.1 ではスポンジに含ませる液体（本実験では水）の質量と垂直荷重をかけて液体の質量が引き離し力と摩擦力に及ぼす影響を調べた。Exp.2 では、スポンジの面積をかけて見かけの接触面積が引き離し力と摩擦力に及ぼす影響を調べた。なお、水の量については、単位面積あたりの質量を等しくした。Exp.3 では、同じスポンジの面積において、水の質量をかけてそれがおよぼす影響を調べた。

全ての実験において、Z 軸ステージを下降させ荷重を負荷させた後 X 軸ステージの平行移動により摩擦させ、そのまま Z 軸ステージを上昇させスポンジとガラスを引き離した。その際の引き離しの速度は摩擦速度と同じにした。

3. 結果および考察

本研究では、水が介在することでスポンジと相手ガラス面に引っ張り合う力が生じる。そのため、垂直方向の力について、Z 軸ステージの移動に伴いバネによってかけた力を外部荷重 (L)、外部荷重を負にした時に発生している力を凝着力 (ad) とし、それらが働いている時の摩擦力を次のように区別した。

- 1) F_{L+Ad} : 外部荷重と凝着力の和によって生じている摩擦力（これが通常測定される摩擦力）、
- 2) F_{Ad} : 外部荷重 L をゼロにした時（凝着力のみが働いている時）の摩擦力、
- 3) F_L : 正の荷重のみによる摩擦

Table1 Experimental conditions

Exp.	1	2	3
Test pieces	Glass, Melamine sponge		
Liquid in specimen	Pure water		
Temperature, °C	25		
Relative humidity, %	40		
Apparent contact area, mm ²	1521	169, 676, 1521	1521
Liquid mass, g	0, 2.0, 3.0	0, 0.17, 0.67, 1.5	0.06, 0.2, 0.5
Load, mN	43~161	100	100
Sliding distance, μm	1000	3000	1000
Sliding speed, μm/s	100	100	100
Number of friction	1	1	1

力 ($F_L = F_{L+Ad} - F_{Ad}$).

実際には、水を付与していない時は F_{Ad} はゼロなので F_L は F_{L+Ad} に等しくなる。また、2面が離れる瞬間に凝着力は最大値を取る。その力を引き離し力 Pull-off force とした。

Fig. 3 に実際の測定例として垂直力を青線、摩擦力を赤線で示す。80 秒付近で除荷し始めたが荷重がゼロになっても、さらに負の荷重になっても、摩擦力は発生し続けた。最終的に二面間が離れて摩擦力はゼロになった。

Fig. 4 に、与えた水の質量と垂直荷重を変えたときの摩擦係数を示す。 μ_L は F_{L+ad} を外部荷重で除した摩擦係数、 μ_{L+ad} は F_{L+ad} を外部荷重と引き離し力の和で除した摩擦係数、() 内は水の質量を示している。水を付与することで乾燥状態よりも摩擦係数が増加し、荷重が小さくなるにつれて摩擦係数 μ_L (▲, ●) が増大した。ただし、引き離し力を荷重に加算して算出した摩擦係数 μ_{L+ad} (△, ○) は、乾燥状態の摩擦係数 μ_L (□) に近くなった。

外部荷重をゼロにして凝着力だけが働いている時の摩擦力 F_{ad} に及ぼす引き離し力の影響については、Fig.5 のように比例関係にあることが示された。

スポンジの見かけ面積は同じの場合でも、水量によって Pull-off force と摩擦力 F_{ad} が変化した。プリズムを用いて接触面の観察を行った結果、Table 2 のように含ませた水の質量が大きくなるにつれて接触している部分 (白い部分) の面積が大きくなった。外部荷重がゼロになった時、ならびに、引き離し力が最大になった時の接触面画像を二値化し、面積を求めた。Fig.6 に水の質量を変えたときの Pull-off force と外部荷重がゼロになった時の摩擦力 F_{ad} に対する接触面積の影響を示す。このように、液体の量を変えたことで面積が変わり Pull-off force と F_{ad} は変化した、どちらも原点を通る直線になった。これは Pull-off force と摩擦力 F_{ad} が液体の面積に比例して大きくなることを示している。

4. 結言

スポンジに水を付与しガラスと摩擦した際の摩擦現象について次の結論を得た。

- (1) 水付与により二面間に引っ張り合う力が生じ、その値を引き離し力として荷重に加えることで摩擦係数はほぼ一定になった。
- (2) 外部荷重ゼロの場合の摩擦力ならびに引き離し力は水を介して接触している面積に比例することが示された。

文献

- 1) 安藤泰久, 石川雄一, 北原時雄, 「微小荷重面の摩擦と凝着力ー凝着力が摩擦力に及ぼす影響ー」, トライボロジスト, 第 39 巻第 9 号, (1993) pp. 814-820.

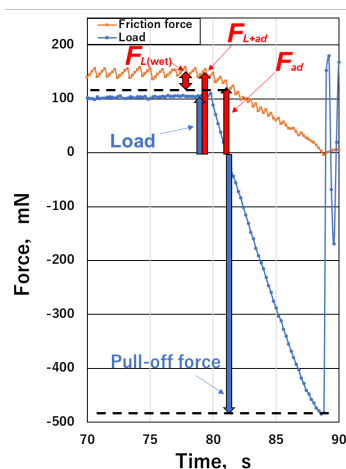


Fig. 3 Pull-off force and friction force while the load changes from positive to negative

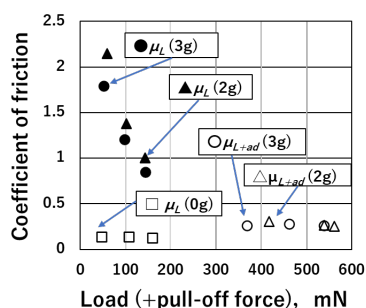


Fig.4 Influence of external load and pull-off force on the coefficient of friction

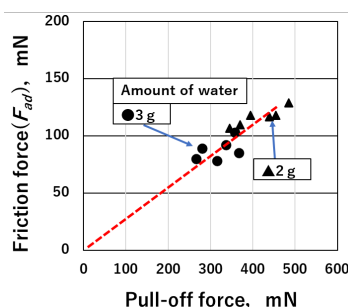


Fig.5 Influence of pull-off force on F_{ad}

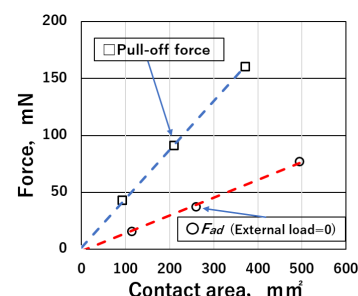


Fig.6 Influence of contact area on F_{ad} and pull-off force

Table 2 Contact area

Water , g	Contact surface when external load is zero	Contact surface at maximum pull- off force
0.06		
0.2		
0.5		