

摩擦の特性

愛媛県立松山南高等学校 摩擦班

田川智乃進 友石捺南子 福岡利々香 松岡直哉 指導教諭 参河厚史

1. はじめに

摩擦の法則であるクーロン・アモントン則には弾性体において法則を満たさない場合があることが知られている。クーロン・アモントン則とは、「(1)摩擦力は、接触面に垂直に加えられる力に比例し、物体間の見かけの接触面積とは無関係である」「(2)動摩擦力はすべり速度には無関係である」「(3)動摩擦力は最大静止摩擦力よりも小さい」というものである。

私たちは前回までこの法則が正しいかどうかについて自作の斜面を使った装置で実験してきた。その結果、アルミニウムはこの法則に従っていたが、弾性体のときにはこの法則との関係性を見いだすことができなかった。よって、私たちは弾性体における、1つ目のクーロン・アモントン則である最大摩擦力（または、静止摩擦係数）と接触面積との関係を具体的に調べることで摩擦力の性質を明らかにしたいと考え研究を進めた。これまでの実験では、最大摩擦力と面積との関係において傾向を見いだすことができた。さらに、詳細に調べることができるように装置の改良を行い、再実験を行った。

2. 研究の方法と結果・考察

2-1 【実験1】 最大摩擦力と面積との関係

(1) 実験装置の改善

最大摩擦力の測定において、ゴムの面に均一に力が加わることと、正確に面に加わる荷重を調整することを目的として、次の①②の改善を行った。

① ゴムの貼り方 (図1)

変更前：同じ厚さの正形状のゴムシートを同じ面積(2cm×2cm)で切り出して容器の下に両面テープで固定する。正形状のゴムシートの枚数を増やすことで面積を増やす。

変更後：面積から計算された辺の長さを持つ1枚のゴムシートを容器の底に貼り付ける。面積を変えるごとに張り替える。

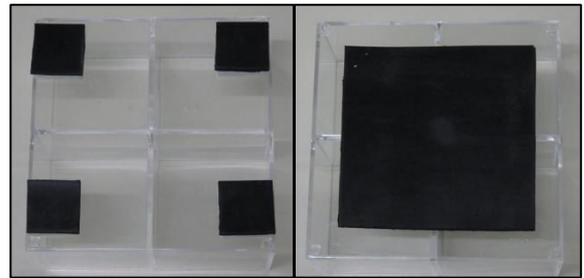


図1 ゴムシートの貼り方
(左：変更前、右：変更後)

② 容器に乗せるおもりの変更

変更前：実験室にあるおもり用いた。

変更後：粒の細かい砂を用いた。

(2) 方法と準備物(図2)

準備物：台車、力センサ、距離センサ、容器、砂、糸、滑車、クリップ、ゴムシート

① 台車に糸をつなぎ、滑車に吊る。

② 1.0cmごとに長さを変えた一辺が5.0~10.0cmの正方形のゴムシートを容器底の中央に貼り

つける。

- ③ 糸の両端にクリップをつけ、容器に挟む。
- ④ カセンサを台車に固定し、測定部に③の糸を引っ掛ける。
- ⑤ 容器を判別できるように距離を置いて距離センサを固定し、容器に砂を重りとして入れる。
- ⑥ 糸を引っ張り、容器を動かして最大静止摩擦力を測定する。距離センサの測定値と合わせて、容器がすべる直前のカセンサの計測値を最大静止摩擦力にする。
- ⑦ 底のゴム板を変えて、①～⑥を繰り返す

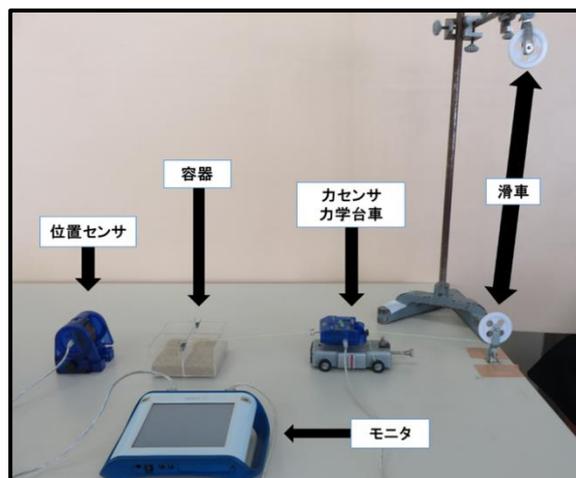


図2 最大摩擦力の測定実験

(3) 結果と考察

(3) - 1 垂直抗力と最大摩擦力との関係

垂直抗力（荷重）と最大摩擦力との関係が比例関係であることがグラフ（図3）で示すことができています。ゴムシートが図2で取り上げた以外の枚数においても、同様のグラフが得られた。グラフの傾きから静止摩擦係数を十分に知ることができる。

(3) - 2 弾性体の面積と最大摩擦力との関係（図4）

図4に弾性体の面積と最大摩擦力との関係を示す。面にはたらく荷重ごとに面積と最大摩擦力との関係を示している。クーロン・アモントン則に従えば、同一荷重においては、面積が変わっても最大摩擦力は変わらないはずではあるが、どの荷重においても、1辺の長さが0.06m（面積 $3.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ）を境に、最大摩擦力が一度減少した後元に戻る傾向が見られた。荷重が大きくなるとこの傾向が強くなり、これは改良前にも行った測定結果と似た結果となった。

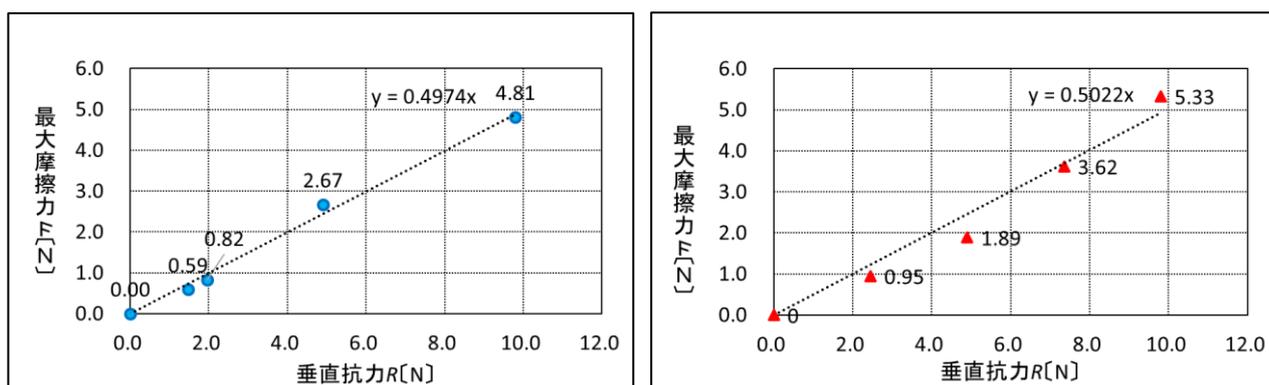


図3 最大摩擦力と垂直抗力（面にかかる荷重）との関係

（左：ゴムシート4枚，右ゴムシート5枚）

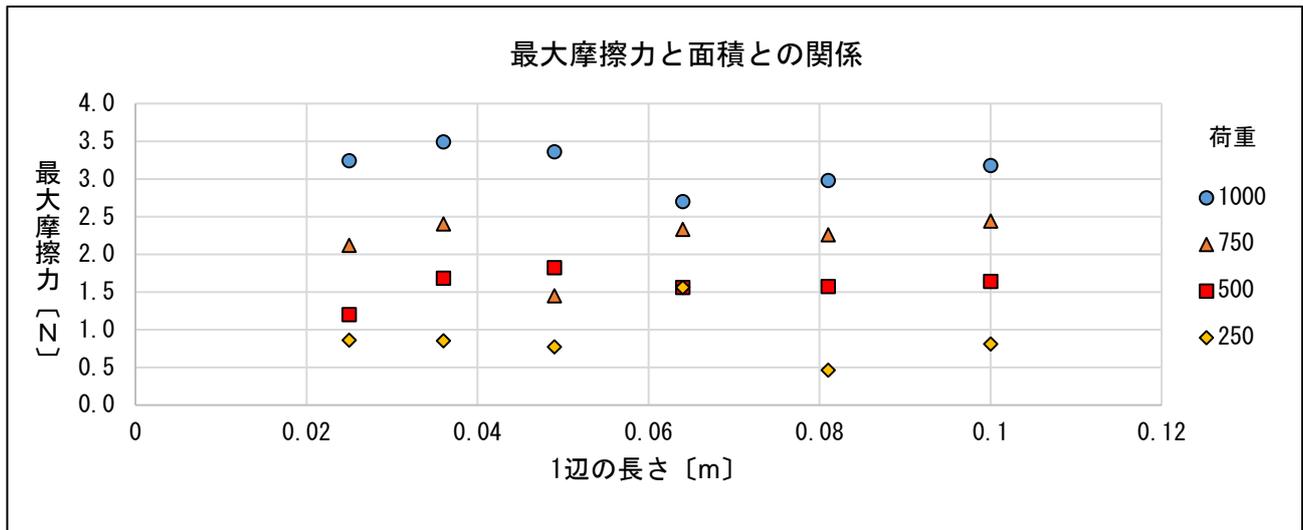


図4 最大摩擦力と面積との関係（凡例の数値はおもりの質量 [g] である）

2-2 【実験2】 周囲の環境が摩擦力に与える影響について

2-1の実験の結果から、同じ垂直抗力（荷重）で最大摩擦力が変わるとするのはなぜかと考えた。私たちは垂直抗力と最大摩擦力を結びつける静止摩擦係数 μ が、最大摩擦力を測定する周囲の環境によって変わるのではないかと考えた。教科書には「静止摩擦係数は面の種類や状態で定まる」と記載されている。面の種類を変えずに状態を変えるものとして、物体と面との間に存在する空気の状態の違いが静止摩擦係数を変えることになると考えた。まず、空気の状態を表す要素として温度、圧力、湿度が考えられる。まず、私たちは湿度が静止摩擦係数に及ぼす影響を調べてみることにした。湿度を変えることができる

温室（図5）を作り、実験2-1と同じ方法で最大摩擦力の測定を行った。

(1) 準備物

台車、力センサ、距離センサ、容器、砂、糸、滑車、クリップ、ゴムシート、温室（図5）

(2) 方法

実験1と同じ装置を用いて湿度が一定となるように温室を利用し温室内で実験を行う。

そして、最大静止摩擦力と湿度の関係について調べるために、5%刻みで湿度を変化させた。

(3) 結果と考察

図5のグラフのように、最大静止摩擦力と湿度には関係があることが分かった。湿度が高くなると、最大摩擦力は大きくなる傾向が見られた。湿度40~45%は冬場の平均湿度程度、65%は夏場の平均湿度程度である。データのばらつきを示す分散値も湿度が大きくなると大きくなる傾向にある。これらのことから、最大摩擦力または静止摩擦係数の測定値は、湿度の影響を受けやすく、湿度の高いときは最大摩擦力の測定には不向きであることが分かった。夏場に実験を行うのであれば、エアコン等で湿度を一定に保つという管理が必要であることが分かった。



図5 温室

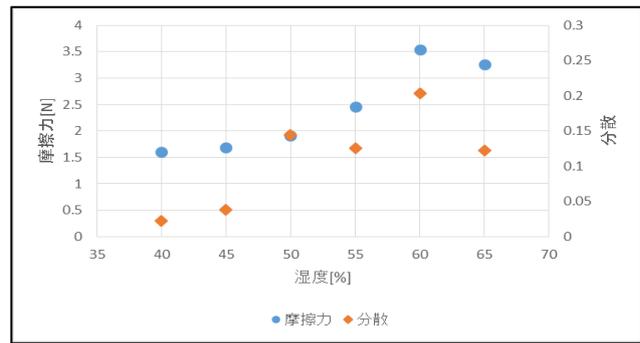


図6 摩擦力と湿度との関係

4. 結論

(1) 【実験1】1つ目のクーロン・アモントン則「最大摩擦力とみかけの接触面積」との関係

最大摩擦力は垂直抗力（荷重）に比例することが明らかとなり、この関係においては法則に従うことが分かった。最大摩擦力と面積との関係においては、1辺の長さ0.06m（面積で $3.6 \times 10^{-3} \text{m}^2$ ）を境に最大摩擦力が一度低下して再び元に戻る傾向が見られた。垂直抗力（面に加わる加重）が大きくなるとその傾向は強くなる。この点に関しては法則に従わないことが分かった。

(2) 【実験2】最大摩擦力と湿度との関係

最大摩擦力と湿度には湿度が高くなると大きくなる傾向がある。

5. まとめ

今回の実験から、弾性体においては、最大摩擦力（または静止摩擦係数）は、みかけの接触面積に無関係であるというクーロン・アモントン則に従わない場面があることがうかがえる。また、弾性体が湿度の影響を受けやすいことが分かった。今後は、測定データのばらつきが小さい45%の湿度に保って最大摩擦力の測定を行いたい。気圧が摩擦に与える影響は、気圧の変化と面にかかる荷重との関係を計算によって推察できると考えるので、その点についても同時に進めていきたい。

6. 参考文献

- 青山学院大学 大槻道夫, 松川宏 (2013)「摩擦の新法則を発見」
- 岡山県立倉敷天城高等学校 (2015)「3つの異なるアプローチによる動摩擦係数・静止摩擦係数測定」
- 岡山県立総社高等学校 (2016)「静止摩擦係数が生じる要因」