

静止摩擦係数を決定する条件

静岡県立沼津西高等学校

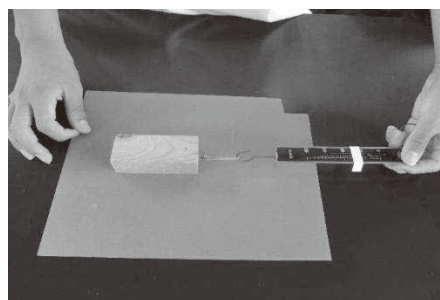
自然科学部 2年 内田賢吾 他2名

1 研究の動機と目的

私たちは、物体と床にはたらく摩擦力がどのような条件で大小を決めるのか不思議に感じ、その関係を調べるために最大摩擦力の計測を思いついた。そこで、サンドペーパーを利用し床や木片の面の粗さ、重さ、面積といった条件を変更して静止摩擦係数との関係を調べることにした。

2 研究の方法

右の図のように#40～#2000 の計 16 通り粗さの異なる床を用いて、下部にサンドペーパーをつけた木片をバネばかりで水平に引っ張り、動き出した瞬間の最大摩擦力の測定を行った。最大摩擦力 F (g 重) 木片の質量 m (g) の場合、静止摩擦係数は $\mu = F/m$ となる。この実験では木片 1 個の質量は 40 g のものを使った。また、誤差を少なくするために、10 回ずつの計測を行い平均した値を F とした。



＜実験に用いたサンドペーパーNo＞

粗目	#40	#60	#80	#100
中目	#120	#150	#180	#240
細目	#320	#400	#600	#800
極細目	#1000	#1200	#1500	#2000

*番号の意味について

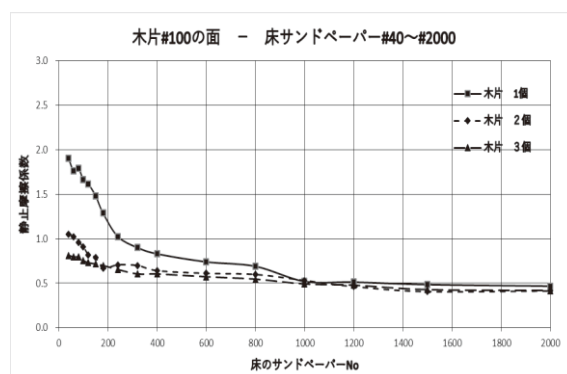
- 番号が小さい(粗い) ←————→ 番号が大きい(滑らか)
- 数字の意味は 1 cm^2 あたりの粒子の個数を表す。
- 番号の規定は JIS 規定によるものである。

3 研究の成果

実験 1 木片の質量を変化させた場合

通説として知られている「物体の質量を変化させても静止摩擦係数にほとんど影響を与えない」ことを確認するために質量を変化させる実験を行った。木片のサンドペーパーNo を #100 に固定し、木片の個数を 1 個、2 個、3 個と変え、質量を変化させた。

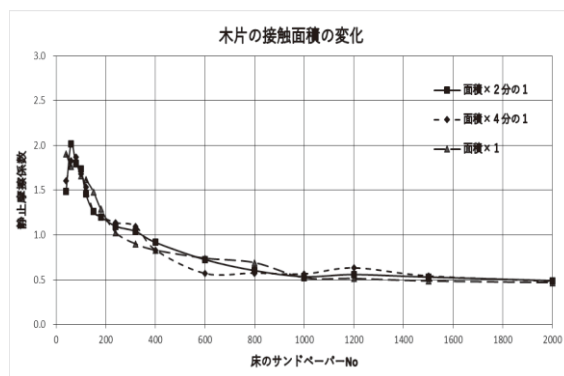
- 木片の質量が大きくなると最大摩擦力は大きくなるが、質量に比例するほど大きくならない。
- 通説とは違い、床のサンドペーパーNo が #800 より小さい場合は、質量が小さいほど静止摩擦係数が大きくなる。



実験2 木片の摩擦面の面積を変更した場合

木片のサンドペーパーNo を #100 に固定し、木片と床の接する面積を 1、1/2、1/4 倍に変化させて実験を行った。

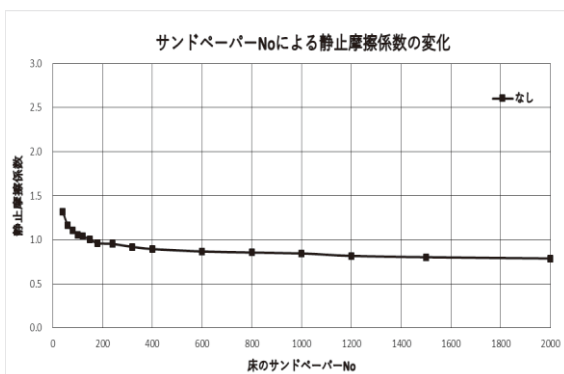
- ・右図の通り、面積が 1、1/2、1/4 倍のグラフはほぼ一致した。
- ・したがって接触面積を変化させても静止摩擦係数にほとんど影響はない。



実験3 木片のサンドペーパーNo を変化させた場合

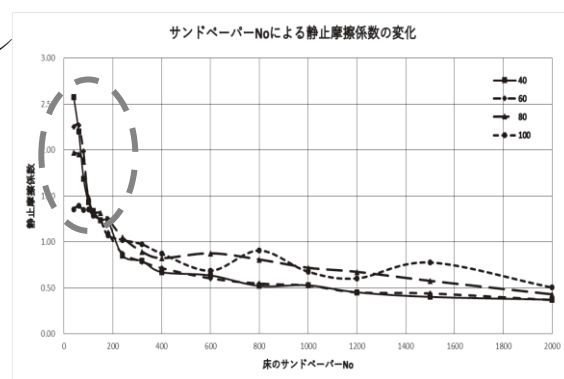
実験3-1 木片サンドペーパーなし — 床サンドペーパー#40~#2000

- ・粗い面、すなわち番号が小さくなると静止摩擦係数は大きくなるのが分かる。



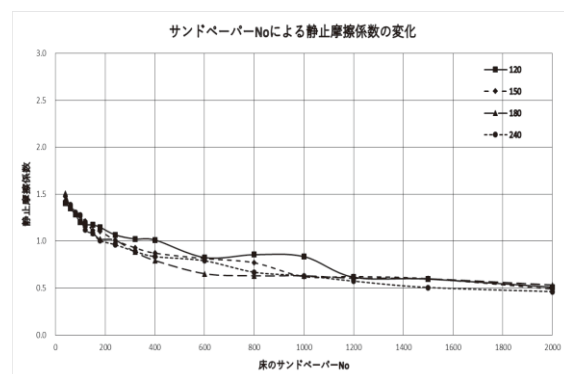
実験3-2 木片サンドペーパー#40~#100 — 床サンドペーパー#40~#2000

- ・木片#40 — 床#40, 最も粗い面同士で最大値をとる。
- ・指数関数のような変化になった。



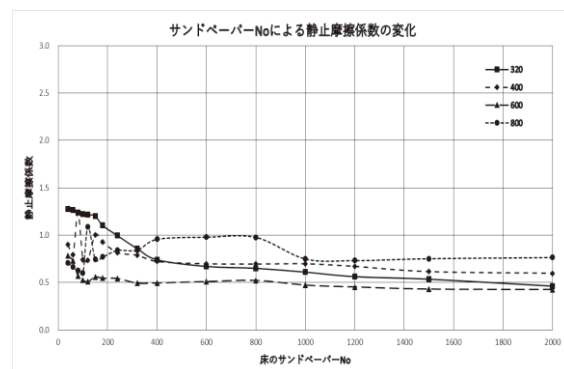
実験3-3 木片サンドペーパー#120~#240 — 床サンドペーパー#40~#2000

- ・実験3-2と同様に、指数関数のような変化がみられた。



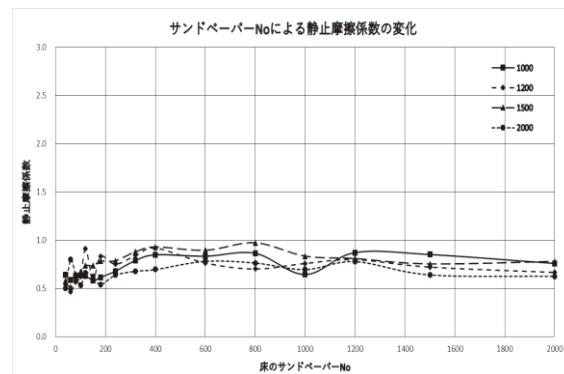
実験3-4 木片サンドペーパー#320~#800 — 床サンドペーパー#40~#2000

- ・#320 までは緩やかではあるが、指数関数のような変化に減少した。
- ・#400 以降の形は歪になったもののデータの的にはほとんど変わらない。



実験 3-5 木片サンドペーパー#1000～#2000 - 床 サンドペーパー#40～#2000

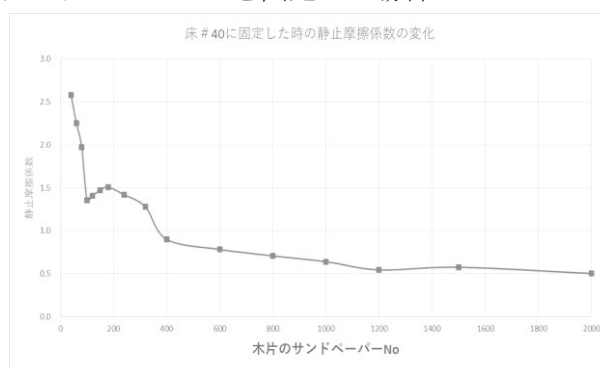
- ・実験 3-4 と同様に、歪なもののほとんど変化がないといえる。



〈静止摩擦係数のデータの分析 part 1〉

実験 3 のデータを別の形で処理をした。

木片のサンドペーパーNo を固定した場合と床のサンドペーパーNo を固定した場合

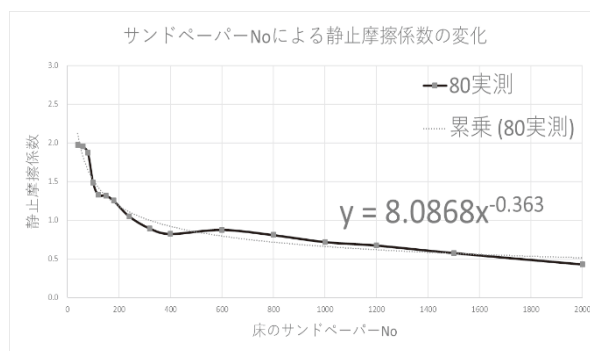
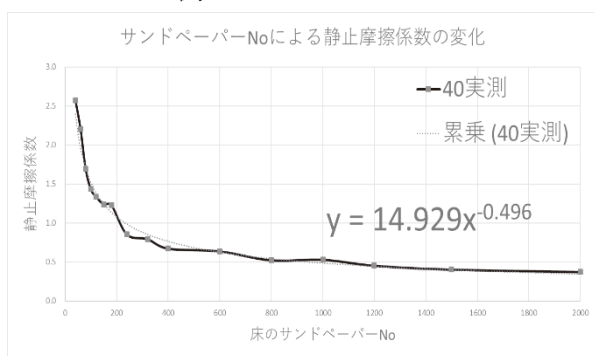


グラフより、木片のサンドペーパーを固定した場合と、床のサンドペーパーを固定した場合、すなわち、木片と床のサンドペーパーを入れ替えてもほとんど静止摩擦係数に変化はない。

〈静止摩擦係数のデータの分析 part 2-1〉

静止摩擦係数と床のサンドペーパーNo の関係を明確にするため、木片#40～#100 - 床サンドペーパー#40～#2000 の計測値を使って、EXCEL の近似式表示機能を利用し計算式にしたところ、次のようになった。

〈#40 と#80 の例〉



また#40～#100 のデータを式で表してみると

#40: $y = 15x^{-0.5}$ #60: $y = 14x^{-0.5}$ #80: $y = 8x^{-0.4}$ #100: $y = 4x^{-0.2}$ となる。

ここでは、 y …静止摩擦係数

x …床のサンドペーパーNo

上記の#40～#100 のデータを一般化すると、次のようになる。

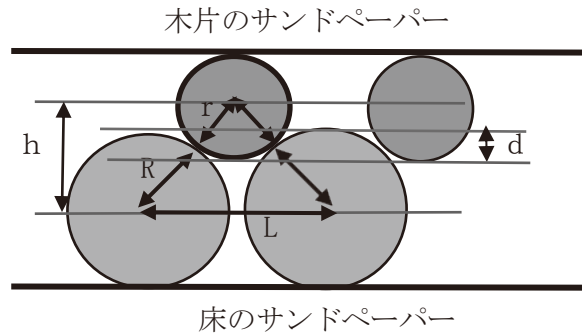
$$y = kx^n$$

このように指数関数的な変化には床のサンドペーパーNo が関わっていることが分かる。

〈静止摩擦係数のデータの分析 part 2－2〉

分析 part 2－1 では指数関数的な変化を示すことがわかった。

そこでこの変化がサンドペーパーの粒子の大きさに原因があるのではないかを確認するためにサンドペーパーの粒子の大きさによる木片のサンドペーパー－床のサンドペーパーの食い込み具合に着目することにした。図にすると次のようになる。(粒子を球として)



この図から、数式に直すと、

$$h = \sqrt{(R + r)^2 - \left(\frac{L}{2}\right)^2}$$

$$d = (R + r) - h$$

- ・ 木片のサンドペーパーの粒子の半径＝ r (cm)
- ・ 床のサンドペーパーの粒子の半径＝ R (cm)
- ・ 床のサンドペーパーの粒子間の距離＝ L (cm)
- ・ 食い込み具合＝ d (cm)

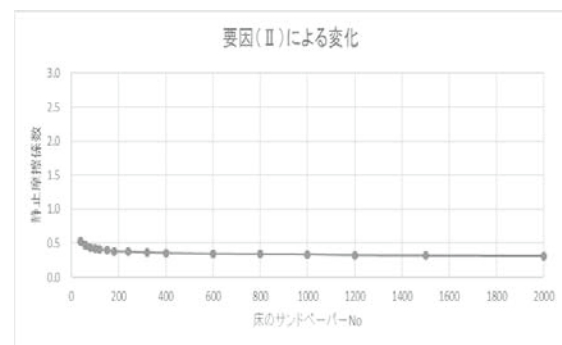
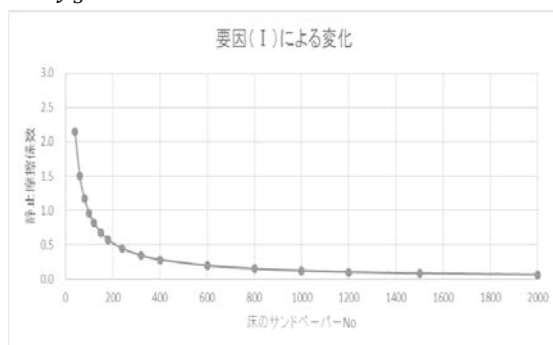
サンドペーパーNo が「 1cm^2 あたりの粒子の個数を表す」を利用して、 $L = \frac{1}{\sqrt{x}}$ より L を求め、目視から粒子の半径＝ $L/3$ として、上記の式を利用した。

凹凸による食い込み具合の要因(Ⅰ)と平らな面から受ける凝着による要因(Ⅱ)により静止摩擦係数が決定されるとして、木片#40－床サンドペーパー#40～#2000 に対して計算しグラフにすると次のようになる。

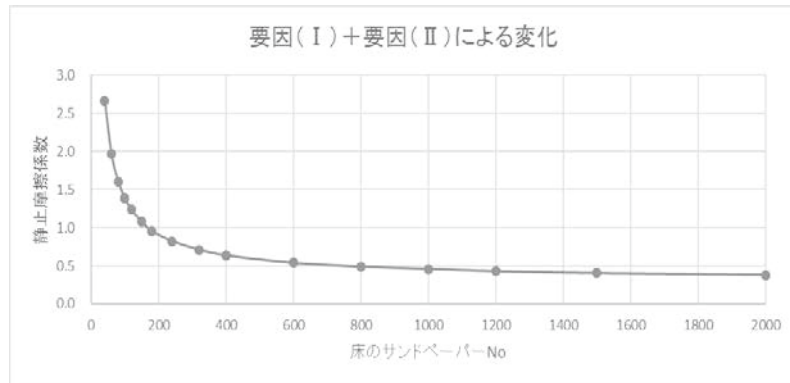
要因(Ⅰ)： $y_1 = \alpha \times d$ α は係数

要因(Ⅱ)： $y_2 = \beta \times y_3$ β は係数

y_3 は 3-1 の木片サンドペーパーなし－床サンドペーパー#40～#2000 のデータ



この両方の要因を足すと以下のようになった。



木片#40 - 床サンドペーパー#40～#2000 の計測値のグラフと似たようなグラフが得られ、2つの要因による影響が大きいと考える。

4 考察

- ・物体の接触面積が変化しても、静止摩擦係数はほとんど変化がない。(実験2)
- ・最も粗い面の#40 - #40 の場合で静止摩擦係数の最大値を得たことから、面の粗さが大きいほど静止摩擦係数が高い。(実験3-2)
- ・木片#40～#320 までは指数関数の変化を示したのは、摩擦面がそれ以降の面よりも凹凸が顕著であるからと思う。(実験3-2、3-3)
- ・木片#320 以降はほとんど変化がなかったことから、凹凸が少ないとほぼ同様な面として扱うことができると考えられる。(実験3-4、3-5)
- ・上下の面を交換しても、静止摩擦係数はほぼ同じであるため、上下関係なく両方の面の粗さで決定される。(分析 part 1)
- ・静止摩擦係数を決定する要因として凹凸による食い込み具合が大きいと考えられ、それにより指数関数的な変化になることがわかる。(分析 part 2-2)

5 反省と今後の課題

- ・今回の研究では、膨大な計測データをとって分析したが、測定が安定しなかった。最大摩擦力を正しく測定する方法を考える必要がある。
- ・通説として知られている「物体の質量を変化させても静止摩擦係数にほとんど影響を与えない」が木片のサンドペーパーNoが#800以下では言えない(実験1)ことから、サンドペーパーによる摩擦と平らな面の摩擦では違いが生じるようである。粒子による分析をしたが、さらにそこを深めて、この違いを導き出してみたい。

6 参考文献

- ・改訂版 物理基礎 (数研出版社)
- ・摩擦-Wikipedia
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%91%A9%E6%93%A6>
- ・サンドペーパーの粗さについて
<https://www.toishi.info/faq/question-eight/papergrit.html>
- ・紙ヤスリの選び方。番号(数字)と目の粗さの関係について
<https://homecen.com/sandpaper>
- ・3種類の摩擦係数の測定による摩擦の発生原理に関するレポート
(www.jpho.jp/2015/2015-1st-chall-exp-report/1543002.pdf)