

シャーペンの芯にかかる摩擦力の測定ー書き味の数値化を目指してー

愛媛県立松山南高等学校 2代目摩擦班

楠本乃愛 重見陸斗 橋亜美佳 指導教諭 参河厚史

1. はじめに

私たちは日常的に使っているシャーペンの書き味に注目した。倭文ら(2016)の先行研究では、シャーペンの芯にはたらく最大静止摩擦力和静止摩擦係数を用いてこれを解析していた。しかし、実際に字を書く際にシャーペンの芯に働く力は動摩擦力である。そこで私たちは動摩擦力を測定できる装置を開発し、動摩擦力の測定を可能にしようと考えた。そして、今回はシャーペンの芯にかかる荷重などを変えて動摩擦力を算出し、その値をもとにシャーペンの書き味の数値化を試みた。しかし書き味といっても人それぞれであるため今回は荷重2.45(N)、紙は画用紙、芯がHBの時の動摩擦係数を μ_0 としこれをもとに他の条件での動摩擦係数との比較を行っていく。

2. 実験について

(1) 実験原理

図1のように、一端が固定されたアルミニウム板の他端に外力 F を加えたときに、ひずみゲージを貼り付けた位置に加わる応力 σ は、ひずみを ε 、縦弾性係数 $E(GPa)$ とすると、

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \dots \textcircled{1}$$

と表すことができる。これより、このアルミニウム板のひずみ ε は、曲げモーメントを M 、アルミニウム板の断面係数を Z とすると、

$$\varepsilon = \frac{M}{ZE} \quad \dots \textcircled{2}$$

のように表すことができる。曲げモーメントの大きさはアルミニウム板にはたらく外力の作用点からひずみゲージセンサーまでの距離 L を用いると、 $M = F \cdot L$ となる。また、アルミニウム板の断面係数は、断面が長方形のときは $Z = \frac{1}{6}bh^2$ ($b(m)$ は板の厚み、 $h(m)$ は板の高さ)となる。よって②式のひずみ ε は

$$\varepsilon = \frac{6FL}{EBh^2} \quad \dots \textcircled{3}$$

となる。③式より外力 F の大きさは、

$$F = \frac{EBh^2}{6L} \varepsilon \text{となる。}$$

図2のように、このアルミニウム版にはたらく外力 F はシャーペンの芯にはたらく動摩擦力 f と同じ大きさになる。ひずみゲージで ε を算出しこの式に代入することで動摩擦力を算出することができる。加えた荷重を m [kg]、重力加速度を g [m/s²]とすると、垂直抗力 N は、

$$N = mg \quad \dots \textcircled{4}$$

となる。また、摩擦係数を μ とすると、

$$F = \mu N \quad \dots \textcircled{5}$$

となり、④、⑤より $\mu = F/mg$ となる。

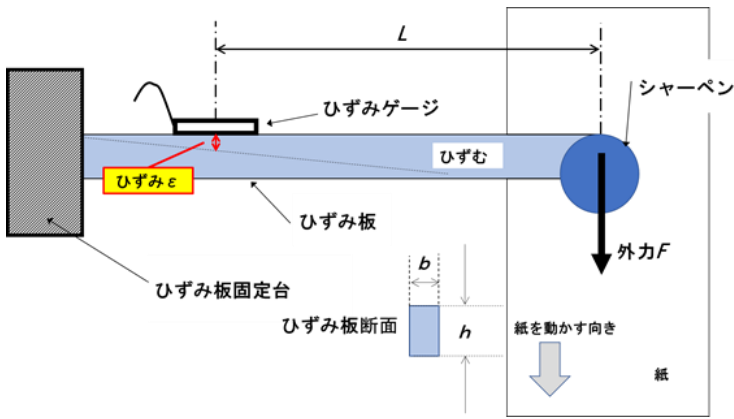


図1 ひずみ板にはたらく力(上から見た図)

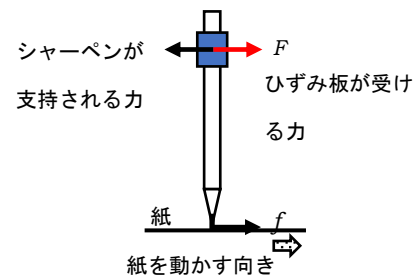


図2 シャーペン・ひずみ板にはたらく力(水平方向)

(2) 実験装置の開発

私たちは、ひずみゲージ、ひずみ版(アルミ無垢材)、ペットボトル、鉄球、スタンドを用いて動摩擦力の測定をするための装置を開発することにした。シャーペンに輪切りにしたペットボトルを固定し、その中に鉄球を入れることで荷重を変化させることを可能にした(図3)。次にひずみゲージからアルミ板までの長さについては、試作で短すぎると上手くひずまず、逆に長すぎるとひずんだ時に生じる振動が大きすぎてうまく測定ができなかった。複数、試作を作った結果、今回は0.13(m)のものを使用した。また、これまでの予備実験から図4のように動摩擦力は常に一定に働くのではなく変動しながらはたらくとステック・スリップ現象を観察することができた。

(3) 動摩擦力の測定方法

- ① シャーペンをひずみ板(アルミニウム製)に固定した。
- ② シャーペンの下に紙を敷き手で滑らした。
- ③ 確実に動摩擦力の値を取れるようにするため測定を開始し、3秒後から5秒後の2秒間のデータを取りそれを平均した。
- ④ ③を同じ条件下で5回行った。
- ⑤ 条件を変えて計測した。ひずみは電圧として計測器からDrDAQ(pico scope)に出力される。出力された電圧を V とひずみ ε との関係は、 $\varepsilon = 2.0 \times 10^{-3} \times V$ である。



図3 実験装置の外観

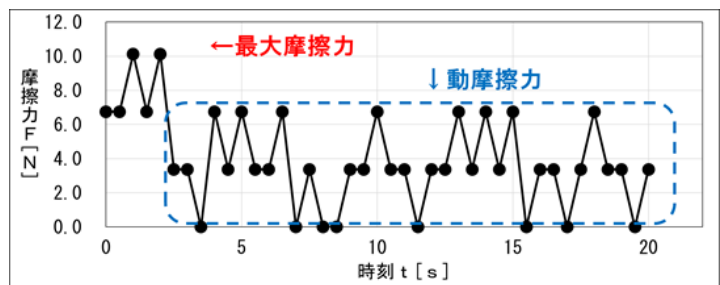


図4 観察されたスティック・スリップ現象

3. 実験結果と考察

(1) 筆圧(荷重)を変えて測定(実験1)

実験では、筆圧(シャープの芯にかかる荷重)を 2.45、4.90、7.35、8.82 [N] で測定した。どちらも紙の材質は画用紙を、芯は「uni」の 0.5mm の HB を使用した。だが、8.82(N)の時は紙が破れたり、芯が折れたりして計測が困難であったため、今回は結果に含めないこととした。その結果が下の図5である。図5は加えた荷重と動摩擦力 F 、動摩擦係数 μ 、2.45 [N] の時の動摩擦係数を 1 とした時の相対摩擦係数の関係を表している。図5から、加えた荷重と動摩擦力との間には比例関係があることが分かる。また、表1から、動摩擦係数 μ は加えた荷重が大きいほど減少傾向にあることが分かる。

(2) 紙の材質を変えて測定(実験2)

この実験では紙の材質をざらしに変え、画用紙の時と比較した。どちらも荷重は 0.25 (kg) を、芯は uni の 0.5mm の HB を使用した。その結果が表2である。生じた動摩擦力は画用紙よりざらしのほうが大きかった。意外とざらしは書く時に労力を消費しているのかもしれない。

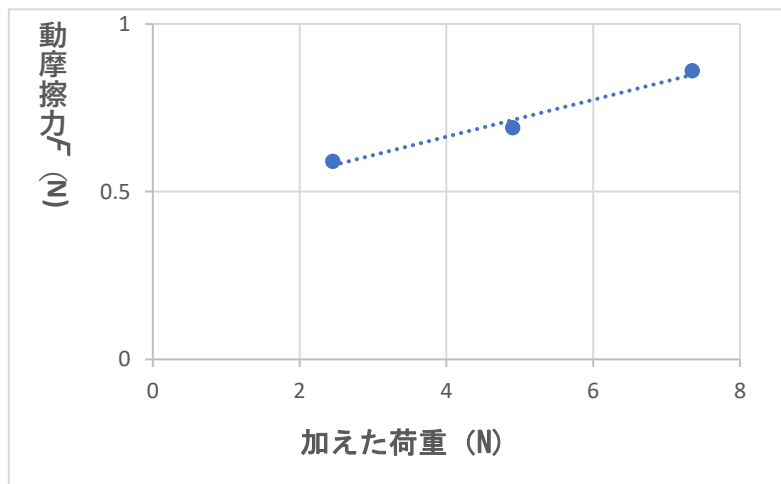


図5 加えた荷重 [N] と動摩擦力 F との関係

表1 加えた荷重と動摩擦力、動摩擦係数との関係

加えた荷重(N)	2.45	4.90	7.35
動摩擦力 F (N)	0.59	0.69	0.86
動摩擦係数 μ	0.24	0.14	0.12
相対摩擦係数	1.00	0.59	0.49

表2 紙による動摩擦力や動摩擦係数の違い

	画用紙	ざらし
動摩擦力 F (N)	0.59	0.67
動摩擦係数 μ	0.24	0.27
相対摩擦係数	1.0	1.1

(3) 芯の濃さを変えて測定（実験3）

この実験では uni の 0.5mm の B を用いて測定し、HB の芯の時と比較した。どちらも荷重は 2.45(N) を、紙の材質は画用紙を使用した。その結果が表3である。芯がHかHBかの違いだけで動摩擦力が 0.060(N) も変化した。もっと濃い芯や薄い芯を使用すれば更に変化が顕著に現れるのではないかと。

表3 芯による動摩擦力や動摩擦係数の違い

	HB	B
動摩擦力 F(N)	0.59	0.65
動摩擦係数 μ	0.24	0.27
相対摩擦係数	1.0	1.1

4. まとめ

実験から紙をざらしに変えたり芯をBに変えたりしたときに起こった変化は、荷重を変えたときに比べ微小であったが今回の測定時間は2秒間であるため学生のように一日に何度も文字を書けばその差が大きな差となるだろう。今回の実験ではざらしやBの芯を使ったときに荷重を変えて実験を行わなかったため今後どうなるか実験していきたい。また、現段階では紙を等速度で引く手段が確立されていないため、紙を等速度で引く装置の開発にも取り組んでいきたい。

5. 参考文献

- ・倭文龍騎・田辺晴希（2016）「書くということ」川崎市立川崎高等学校科学部