

消しゴムを折らないためには

3629 原悠輔 3503 伊藤智保 3523 西田蒼太 3621 辻真乃介

研究の目的は、折れて捨てられしまう消しゴムの量を減らすことである。折れる原因を解明するためにあたって、「消す際の消しゴムのゆがみが大きいと消しゴムが折れやすくなる」という仮説を立てた。カバーの長さが短いとゆがみが大きくなることを確かめてから、消しゴムをほぼ一定の力で往復させ、カバーの長さを変えることによってゆがみを変え、それぞれ何往復で消しゴムが折れるのかを調べた。その結果、カバーが短い、すなわち消しゴムのゆがみが大きいほど消しゴムが折れやすくなることが分かった。また、消しゴムの素材である PVC が熱可塑性樹脂であることに注目して、板バネのゆがみを求める公式を用いることによって、カバーの長さが短い方が消しゴムは折れやすいことを証明できた。

1. 目的

どうして消しゴムが折れてしまうのかを明らかにする。

普段、勉強している間に消しゴムを使っていると、折れてしまうことがあり、その時できた小さなかけらを多少は使うものの、途中で使いにくくなってしまい結局は捨ててしまう。このことから捨ててしまう消しゴムを少しでも減らしたいと考えた。

2. 仮説

- ①消しゴムはゆがみが大きくなると折れやすくなる。
- ②消しゴムの素材が可塑性樹脂であることが、消しゴムの折れやすさに関係している。
- ③消す角度が 90 度の時、カバーと接地面が平行になるため消しゴムに均等に力が伝わり、最も折れにくくなる。

3. 使用した器具・装置など

- 実験(1)…「MONO」PE01A (PVC), 電子ばかり
 実験(2)…「MONO」PE01A (PVC), 電子ばかり, 紙, セロハンテープ
 実験(3)…「MONO」PE01A (PVC), 電子ばかり, 紙, セロハンテープ, スタンド, 発泡スチロール, 分度器, カッター
 実験(4)…「MONO」PE01A (PVC), 電子ばかり, 紙, セロハンテープ, 力学スタンド, 発泡スチ

ロール, 分度器, ハサミ

4. 消しゴムとゆがみの関係 (実験(1))

4-1. 実験方法

- ①消しゴムを消しゴムの先端から 0.2cm の場所に電子ばかりが約 300g 程度を示すように力を加えた。
- ②その時のゆがみの大きさを、カバーの長さを 1.8 cm, 3.6 cm にしてそれぞれ調べた。

4-2. 結果

以下の図のように、消しゴムが歪んだ。

- ①カバーの長さ 1.8 cm のとき



図1 実験(1)の様子-1

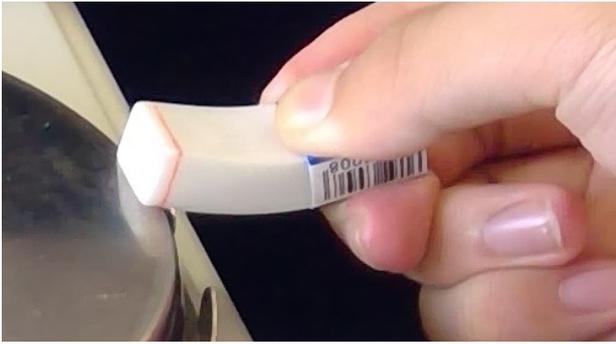


図2 消しゴムがゆがんだ様子

②カバーの長さ 3.6 cm のとき



図3 実験(1)の様子-2



図4 消しゴムがゆがむ様子

4-3. 考察

電子ばかりがほぼ同じ力を示しているが、カバーの長さが短いときの方にゆがみが大きくなったので、カバーが短いときのほうが消しゴムのゆがみが大きくなるといえる。

5. カバーの長さで折れやすさの関係(実験(2))

5-1. 実験方法

- ①カバーの長さを 2.4cm から 0.6cm 刻みでカバーの元の長さである 3.6cm まで変えた。
- ②消し幅 4cm を目安として、電子ばかりが 500g 程度を示す力に保ち、折れるまでにかかった往復回数を調べた。



図5 実験(2)に使用した器具



図6 実験(2)の様子

5-2. 結果

表1 カバーの長さとし消しゴムが折れるまでにかかった往復回数の関係

カバーの長さ (cm)	1人目	2人目	3人目	4人目
2.4	90	49	133	192
3.0	690	643	422	764
3.6		6422		

5-3. 考察

MONO 消しゴムは熱可塑性樹脂である PVC で出来ており、熱可塑性樹脂は、板バネというバネに使われている。

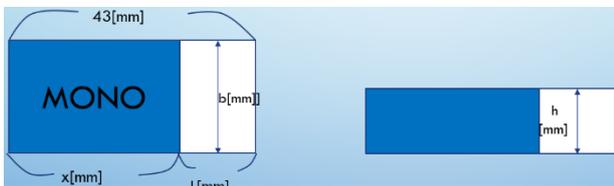


図7 上面から見た図 側面から見た図

板バネにはいくつかの公式が成り立つことが分かっており、ゆがみの大きさを計算する公式を利用してゆがみの大きさとカバーの長さとの関係を調べる。板バネのゆがみの大きさの公式は

$$\text{ゆがみ } \delta = \frac{PL^3}{3EI} \quad [\text{mm}]$$

P : 加えた力 (電子ばかりが示す値 \times 重力加速度)

※重力加速度は 9.8 m/s^2

L : 消しゴムの先端からカバーまでの長さ

E : ヤング率

I : 断面二次モーメント

ただし断面が長方形の場合は以下の式で計算できる。

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad B \text{ は幅, } H \text{ は厚さ}$$

以上の式に、 $P=P[N]$, $L=43-x[\text{mm}]$, $b=17[\text{mm}]$, $h=11[\text{mm}]$ を代入する。(x はカバーの長さ) 電子ばかりの示す値は上から消しゴムを押さえつける力であり、式の P の値ではないため P は測

定できていない。そのため $P[N]$ とした。

$$\delta = \frac{P[N] \cdot \{(43-x)[\text{mm}]\}^3}{3 \cdot E[\text{Mpa}] \cdot \frac{(11[\text{mm}])^3 \cdot 17[\text{mm}]}{12}}$$

$$= \frac{4P(43-x)^3}{22627E} \quad [\text{mm}]$$

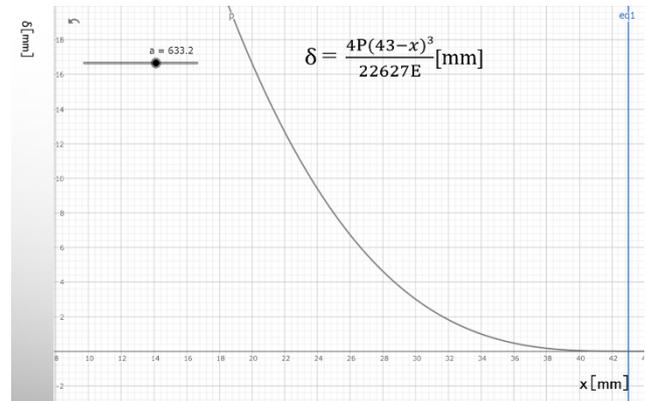


図8 カバーの長さとしゆがみの関係

以上から、カバーの長さが短いほどゆがみが大きくなる。(図8)

また、ヤング率 E でゆがみの大きさが変化することから素材によってもゆがみは変化する。

これまでの結果を踏まえるとゆがみが大きくなればなるほど、消しゴムが折れやすいといえる。

6. 消す角度と折れやすさの関係(実験(3))

6-1. 実験方法

地面に対して任意の角度 (30 度, 45 度, 60 度, 90 度) になるように発泡スチロールの板で固定し、その板に沿って電子ばかりが 500g 程度を示す力に保ち、折れるまでにかかった往復回数を調べた。

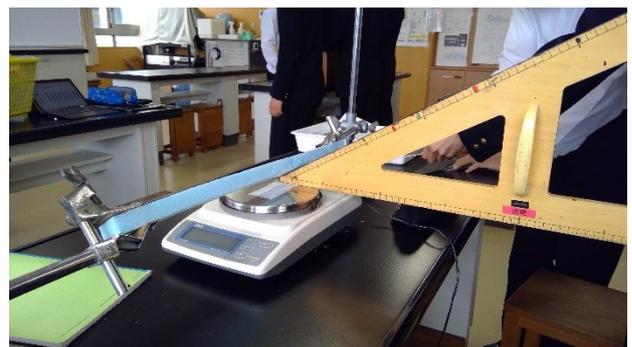


図9 実験(3)の様子

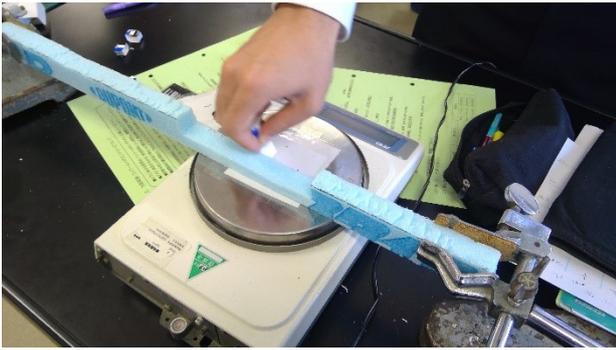


図 10 実験の様子

6-2. 実験結果

表 2 消す角度と折れやすさの関係

消す角度	30度	45度	60度	90度
1人目 ①	120	122	134	149
②	176	89	137	170
③	189			
2人目 ①	217	131	131	185
②	186	141	141	190
③				
3人目 ①	97	146	137	145
②	186	122	96	152
③	129			

6-3. 考察

消す角度が 30 度の時は往復回数にばらつきがある。これは角度が 30 度の時は消すのが難しく、力の加わり方にばらつきが生まれてしまったためだと考えられる。45 度と 60 度、90 度の結果を比べると、45 度と 60 度とでは往復回数に目立った違いは見られなかった。一方、90 度では他の角度より多くの往復回数を要したといえる。

断面二次モーメント I (曲げモーメントに対する変形のしにくさ) の大きさが地面と消しゴムとの角度によって変化するか調べる。

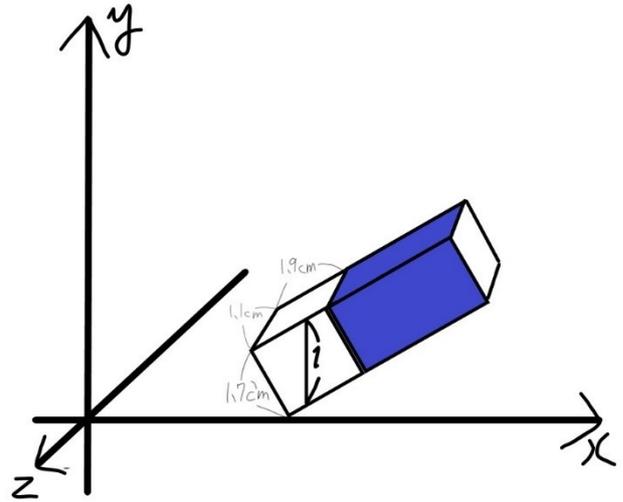


図 11 軸の設定

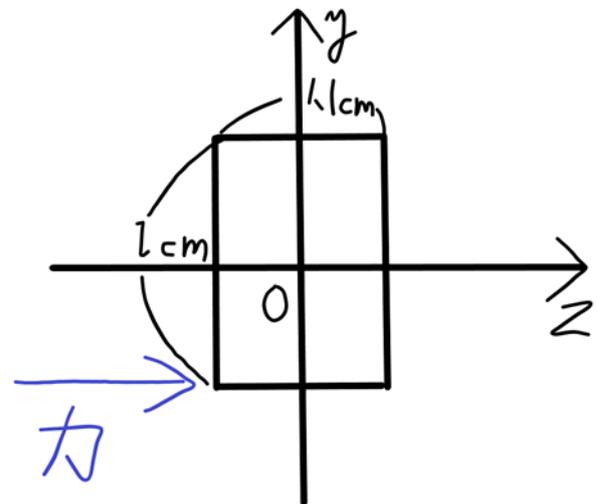


図 12 力の加わる向き

力が z 軸正の向きに加わっているとすると (図 12), 断面二次モーメントは

$$\begin{aligned}
 I &= \int y^2 dA \\
 &= l \int_0^{0.55} y^2 dy \\
 &= \frac{1331}{24000} l
 \end{aligned}$$

ただし $l[\text{cm}]$ は x によって変化する。これを $f(x)$ とおく。

接地面と消しゴムとの角度を θ とすると、 l は座標平面上のグラフ同士の x 座標の差として求めることができる。ただし、ゴムの部分の対角線が x 軸の方向に正か負かどうか、すなわち $\tan \theta$ が

$\frac{19}{17}$ (約 48° , $\frac{4\pi}{15}$ ラジアン) 以上か以下かで場合分けを行う。

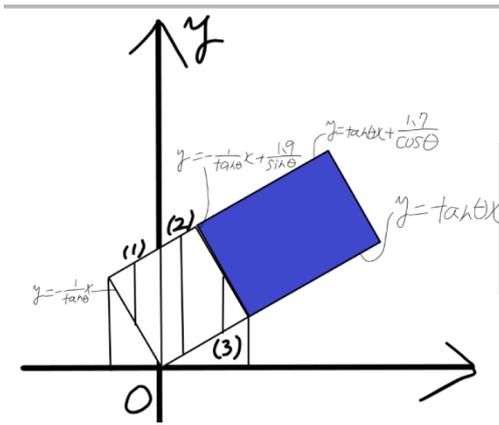


図 13 場合分け①

- ① $0 < \tan \theta \leq \frac{19}{17}$ ($0^\circ \leq \theta \leq 48^\circ$) のとき
 (1) $-1.7 \sin \theta \leq x \leq 0$ のとき

$$l = \left(\tan \theta + \frac{1}{\tan \theta} \right) x + \frac{1.7}{\cos \theta}$$

- (2) $0 \leq x \leq 1.9 \cos \theta - 1.7 \sin \theta$ のとき

$$l = \frac{1.7}{\cos \theta}$$

- (3) $1.9 \cos \theta - 1.7 \sin \theta \leq 1, 9 \cos \theta$ のとき

$$l = -\left(\tan \theta + \frac{1}{\tan \theta} \right) x + \frac{1.9}{\sin \theta}$$

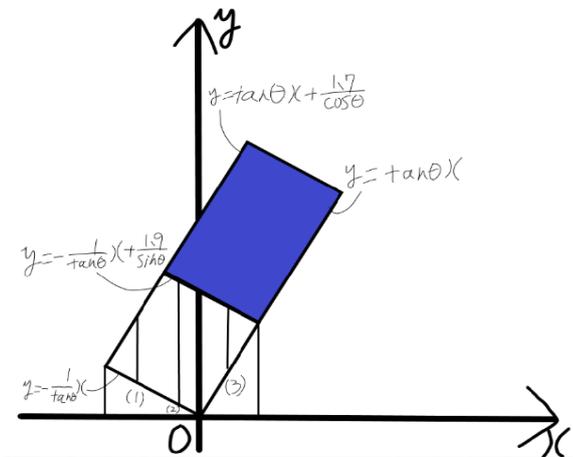


図 14 場合分け②

- ② $\frac{19}{17} \leq \tan \theta$ ($48^\circ \leq \theta < 90^\circ$) のとき
 (1) $-1.7 \sin \theta \leq x \leq -1.7 \sin \theta + 1.9 \cos \theta$ のとき

$$l = \left(\tan \theta + \frac{1}{\tan \theta} \right) x + \frac{1.7}{\cos \theta}$$

- (2) $-1.7 \sin \theta + 1.9 \cos \theta \leq x \leq 0$ のとき

$$l = \frac{1.9}{\sin \theta}$$

- (3) $0 \leq x \leq 1.9 \cos \theta$

$$l = -\left(\tan \theta + \frac{1}{\tan \theta} \right) x + \frac{1.9}{\sin \theta}$$

これらが最大になるとき I も最大となる。よってこれらが最大になるときの θ がいくらか求めればよい。

この実験では消しゴムは接地点 0 で z 軸正の向きに力を受けると仮定すると、

① では $l = \frac{1.7}{\cos \theta}$ [cm]

② では $l = \frac{1.9}{\sin \theta}$ [cm]

また、 $\theta = 90^\circ$ のときは、

$$I = \frac{22627}{120000} = 0.18855833 \dots [\text{cm}^4]$$

これらを踏まえてグラフを描くと下図 15 のようになる。

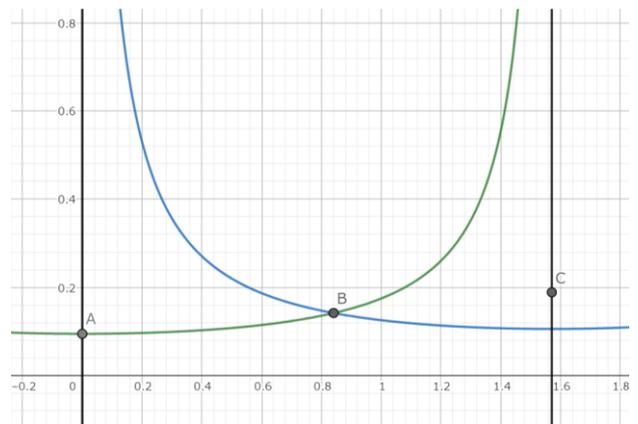


図 15 断面二次モーメントの変化

7. 結論

$0^\circ \leq \theta < 90^\circ$ のとき、 $\theta \doteq 48^\circ$ で最も折れにくく、 $\theta = 90^\circ$ のときさらに折れにくい。

一般的には、消しゴムの、カバーから出ている部分の対角線が地面と垂直になる角度か、地面と垂直になるように消すとよい。

8. 展望

今回の結果を通して消しゴムのゆがみや消すときの角度と折れやすさの関係が明らかになった。今後はさらにカバーの形を変えることで折れやすさに違いが生じるのかなど消しゴムが折れないためにはどうすればよいのか追求していきたい。

9. 謝辞

佐々木先生をはじめとした物理科の先生方々，
ご指導ありがとうございました。

10. 参考文献

- ・ばね技術研究会（編），1998，「ばねの種類と用途例」初版，日刊工業新聞社〈ばね技術シリーズ〉
- ・ばね技術研究会（編），2000，「ばね用材料とその特性」初版，日刊工業新聞社〈ばね技術シリーズ〉
- ・消しゴム工場，トンボ KIDS，TOMBOW PENCIL