

面の状態と摩擦の関係

宮城県仙台第三高等学校

07 班

摩擦は乾燥状態などの面の状態により変化することが知られているが、詳しいことはまだよくわかっていない¹⁾。また、摩擦には様々な種類があるが、通学などで使用する自転車や自動車などに大きく関わる転がり摩擦も摩擦の一つである。路面の状態によって自転車の進む速度に違いが生じることから、面の状態と転がり摩擦の関係について調べることにした。そこで、私たちは面の凹凸とタイヤの転がり摩擦に着目して、溝を入れた木の板の上をゴムタイヤに見立てたゴム筒を転がし、溝の数を変える実験、溝の幅を変える実験、溝への入射角を変える実験の三つの実験を行った。その結果、面につけた溝の数と面の摩擦によるエネルギーの減少量の間には正の相関があり、タイヤの進行方向に対して平行な溝よりも垂直な溝のほうがより多くのエネルギーを減少させることがわかった。また、溝に対する入射角を変える実験を行った結果、ゴムタイヤが完全に溝にはまる前後で、エネルギーの減少の幅が最も大きくなり、その後のエネルギーの減少量はほとんど一定であった。このような実験から、摩擦によるエネルギーの減少量は溝による上下運動により引き起こされたものだということがわかった。この実験により、タイヤをうまくコントロールできるような道路の開発が可能になるだろう。

1 背景

摩擦力は、私たちの身のまわりいたるところではたらいっている。例えば、私たち人間が普段何気なく使用している自動車や自転車には、タイヤと地面の間に摩擦が生じている。摩擦は、乾燥状態などのような面の状態により変化したり¹⁾、垂直抗力の大きさに比例したり²⁾することが知られているが、詳しいことは未だによくわかっていない。そこで私たちは、摩擦の影響を詳しく調べようと考えた。特に、自転車に乗るとき、コンクリート舗装とアスファルト舗装などの地面の状態の違いなどにより進むスピードが大きく変化することなどの経験から、面の凹凸の具合とタイヤの転がり摩擦の間には何らかの関係があるのではないかと考えた。そこで、私たちは自作の実験装置を使用し、実験板に溝を加え、面の状態と溝によるエネルギーの減少量の間にもどのような関係があるのかを溝の数という観点からアプローチを行う実験①、溝の幅という観点からアプロー

チを行う実験②を通して調べることにした。また、実験を進めると、溝の数や幅に正の相関があることに気が付いた。そこで、溝に対して斜めに走行した場合エネルギーの減少量がどう変化するかを調べるため、実験③でゴムタイヤの進行方向に角度をつけ、ゴムタイヤが溝にはまる最大の入射角を調べ、その前後でエネルギーの減少量がどう変化するかを調べた。このような3種類の実験を行い、面の凹凸と摩擦の関係を調べ、その根本原因についての考察を行った。この研究は、摩擦によりタイヤのスピードをコントロールすることなどによって交通事故の削減などに大きな貢献ができるだろう。

2 材料と方法

私たちの実験では、まず以下のような実験装置

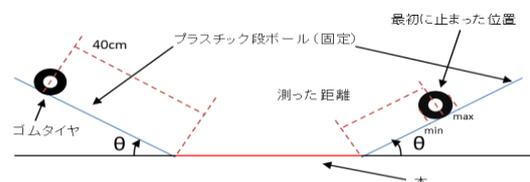


図1 実験装置(横から見た図)

を用いて実験を行った。

実験装置に必要な材料は以下の通りである。

- ・プラスチック段ボール
- ・ゴム筒
- ・実験版（木の板）
- ・メジャー

私たちの実験では、図1のような実験装置の坂になっている部分の下端から40cmのところからゴムタイヤに見立てたゴム筒（今回は質量123.55g、長さ10cm、直径4cmのものを用いた）を静かに転がし、水平な部分を通った後、反対側の坂にのぼっていき、ゴム筒の速度が初めて0になった点から坂の下端までの距離を測った。

（実際の測定には私たちはiOS端末に標準搭載されているアプリ「カメラ」の「スロー」という機能を用いて、止まった位置を面と垂直な位置で撮影して測った。）この実験を20回行い、そこで得られた結果から次の式

$$9.8m\left(40 - \frac{\min + \max}{2}\right) \sin \theta \times \frac{1}{100} \text{ [mJ]}$$

(m[g]は実験に用いたゴムの質量)

を用いて摩擦によるエネルギーの減少量を位置エネルギーの減少量として求め、20回分のエネルギー減少量の平均値を各実験の結果とした。

ただし、ゴム筒には大きさがあるため、ここではゴム筒の重心を仮定の質点と考え、この仮定の質点の位置エネルギーの減少量をゴム筒の位置エネルギーの減少量とした。ここでは、すべての実験が室内の同所で行われており、空気抵抗がゴム筒に及ぼす影響が一定であると考え、無視することとし、斜面部分のプラスチック段ボールの摩擦によるエネルギーの減少量は、どの実験でも一定であるとして考慮しなかった。このとき、坂の下端からゴム筒の重心までの距離は、坂の下端からのゴム筒の距離が最も遠かった部分（図2の「max」）と最も近かった部分（図2の「min」）の中

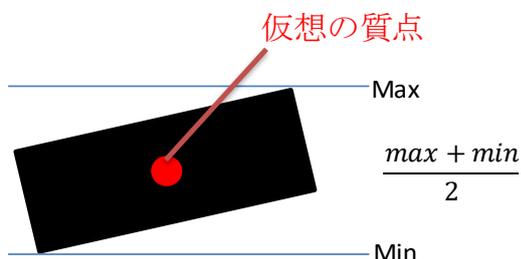


図2 仮定の質点

点までの距離とした。

また、私たちは、各実験において実験装置の水平部分の木の板を実験に用いる面として様々に変えた。まず、実験①では、溝の幅を1mmに固定し、溝の数を0、15、30、60本の4種類に変えて実験を行った。次に、実験②では、溝の幅を1、5、8、10mmの4種類に変え、溝の数は60本に固定して実験を行った。最後に、実験③では、溝の幅を10mmに固定し、ゴム筒の板に対する入射角を4～8度に変えて行った。ただし、ここでの「入射角」はゴム筒の進行方向と溝に対して垂直な直線がなす角とした。（下図参照）

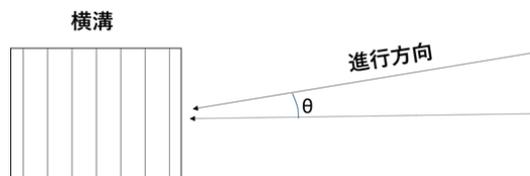


図3 実験③の様子

また、実験①では、横溝と縦溝の2種類の溝を用いて実験を行い、実験②では横溝だけを用い、実験③では横溝に対する入射角を基準の0度として、そこから角度をつけながら実験を行った。今回縦溝を使用しなかった理由は、実験結果に外れ値が多く含まれていたため、本来の実験結果とは異なる判断したためである。また、ここでいう「横溝」や「縦溝」というのはゴム筒の進行方向に対して「横」や「縦」であったことを指す。詳しくは以下の図を参照していただきたい。

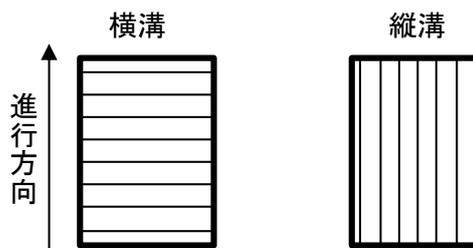


図4 横溝及び縦溝

3 結果と考察

まず、実験①の結果は以下ようになった。

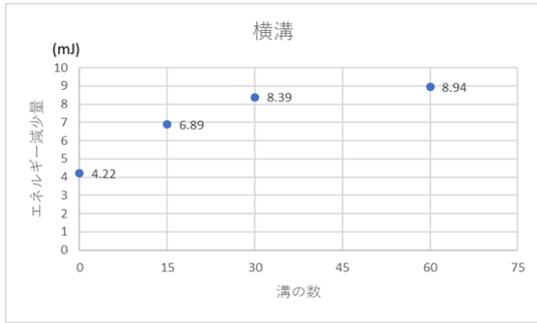


図5 実験①における横溝の結果

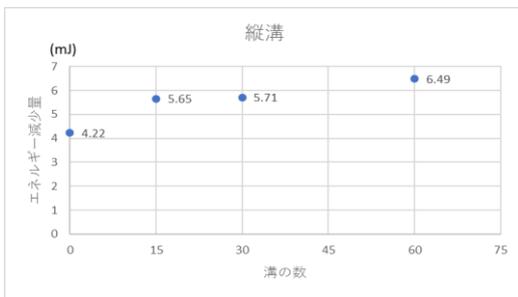


図6 実験①における縦溝の結果

これらの結果から、横溝による摩擦は縦溝による摩擦より大きいことや、溝の数が多くなると溝による摩擦が大きくなるということが分かった。このことから、私たちはこのようなエネルギーの減少は溝による細かい上下運動によるものではないかと考え、実験①の結果は、溝の数を増やしたことでひとつひとつの溝によるエネルギーの減少回数が増えたためにこのような結果が得られたと考えた。

次に、実験②の結果は以下ようになった。

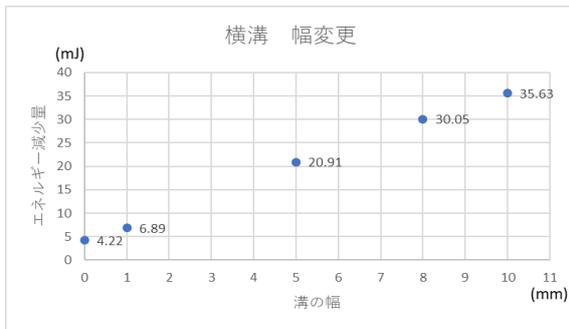


図7 実験②の結果

このような結果から、溝の幅を大きくしたほうが溝によるエネルギーの減少量は大きくなることがわかった。私たちは、これは溝の幅が大きくなったことで溝ひとつあたりのゴム筒に加わる上下運動が大きくなり、ゴム筒のエネルギーが失われる量が増えたためであると考えた。

実験①②から、溝の数や幅とエネルギー減少量の間には正の相関がみられる。そこで私たちはこの原因は溝による上下運動によるものであると考えた。そうすると、ゴム筒が溝にはまらない様な角度で転がせばエネルギー減少量が少なくなるのではないかと考えた。

最後に、実験③の結果は以下ようになった。

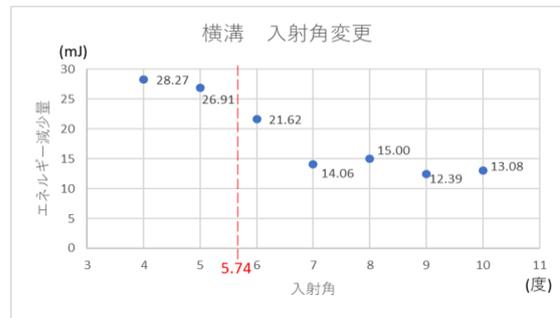
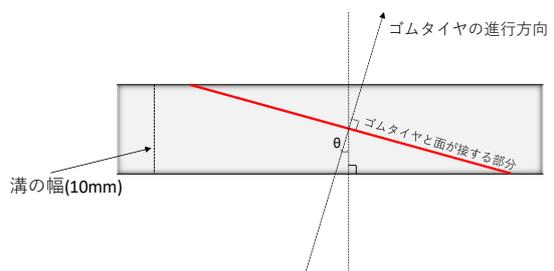


図8 実験③の結果

この結果を見てみると、入射角とエネルギー減少量の間には負の相関があるだけでなく、入射角が5～7度のところでエネルギーの減少量が大きく変化していることがわかる。そこで、私たちはこれも溝がゴム筒に加える細かい上下運動が影響しているのではないかと考えて、「ゴム筒が溝に完全にはまる」ときの最大の入射角を計算した。(これはいくぶんか奇妙な言葉ではあるが、ゴム筒と地面と接している部分全体が溝の中に入ってしまうことを表現しているつもりである。) 次のような図(図の中の θ が今回計算した



※上から見た図

図9 「ゴム筒が溝に完全にはまる」入射角

入射角) を考えて、今回私たちが使ったゴム筒の横の長さ(10cm)から計算した結果、およそ5.74度となった。(図8点線部分)

そこで、ここで計算した5.74度と実験③の結果を比べてみると、5.74度はエネルギーの減少量が大きく変化した5~7度の範囲に入っている。このことから、大きくエネルギーの減少量が減少していったことは、実験③のグラフと私たちが求めた値の間には若干の誤差が生じるものの、おおむねは5.74度を超えると溝にはまらなくなるという私たちの計算の結果と合う。誤差が生じた理由については、ゴム筒を転がすときに若干角度にずれが生じてしまったり、そもそも入射角を正確に計測すること自体が困難であったりするためであったと考えられる。しかしながら、以上のことから、やはり溝によるエネルギーの減少の主原因は溝による上下運動であったことが推測できる。

4 まとめ・結論

この研究の主な目的は、転がり摩擦と面の凹凸の間にはどのような関係があるか調べることであった。今回の私たちの研究では、木の板に溝を入れ、この面とゴム筒の間に絞ってどのような関係があるかを調べた。その結果、溝の数や幅と溝によるエネルギーの減少量との間には正の相関があることが分かった。この結果自体は、容易に予想できるものではあるが、私たちはより踏み込んで、この現象の根本原因は、ゴム筒に加わる溝による細かい上下運動が大きく関係していることだと推測した。このことは、後に行われた実験③において、溝による上下運動がエネルギーの減少量に大きく影響すると仮定したうえで、エネルギーの減少量が大きく変化すると思われる入射角を計算し、実際に入射角を変更して得られた結果と比べた結果、実際にエネルギーの減少量が大きく変化する範囲と計算で求めた値が近い範囲であったため、この推測は非常に妥当なものであるという裏付けが得られた。実験③の結果からだけ

でなく、実験①の「横溝によるエネルギーの減少量と縦溝によるエネルギーの減少量では横溝によるエネルギーの減少量のほうが大きい」という結果からも、縦溝を横溝の入射角90度での実験と考えることで、この結果も私たちの溝による細かい上下運動が影響しているという推測と一致していて、この結果も私たちの推測が妥当なものであると示しているといえるだろう。

総括すれば、私たちの研究により、摩擦と面の状態(今回は溝の数)には明確な因果関係があり、その主な原因は溝による細かな上下運動の影響を大きく受けているためであるということが明らかになった。

5 参考文献

1) 摩擦と表面 内山吉隆

https://www.jstage.jst.go.jp/article/gomu1944/65/5/65_5_312/_pdf/-char/ja

2) 物理基礎 数研出版