

スティックスリップ現象の発生条件

The Occurrence Conditions of Stick Slip Phenomenon

千葉県立船橋高等学校理数科 3 年
深海優佳 足立瑞季

はじめに

黒板にチョークを立てて動かすと破線を書くことができる。この現象は二つの物体が擦れるときに、静止摩擦力が作用する状態と動摩擦力が作用する状態が交互に発生することによって起きる振動現象であり、スティックスリップ現象と呼ばれている。チョークの長さや形によって破線が書けたり書けなかったりしたので、私達はこの現象が発生する条件について興味をもった。先行研究をインターネットで調べたところ、エレベーターなどの機械によるスティックスリップ現象の抑制についての研究や、地震におけるスティックスリップ現象についての研究はいくつか見られたが、スティックそのもので行ったスティックスリップ現象の発生についての研究はなかった。そこで私達は、スティックを用いたスティックスリップ現象の発生条件を明確にすることを研究の目的とした。主に私達は、スティックと紙の接地面の面積、接地面にかかる最大摩擦力の大きさ、固定点から作用点の長さ、スティックのしなりの違いの 4 つに注目して研究を行った。

目的

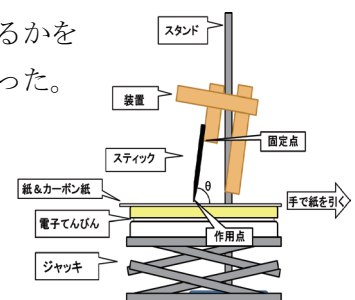
スティックスリップ現象の発生条件を明確にすること。

方法

スタンドにスティックを固定し、スティックの先端を紙と電子てんびんの上にのせ、垂直抗力 $N(N)$ を測定しながら手で紙を引き、現象が発生しているかを見る。今回の研究は全て、スティックと紙のなす角 θ を 80° として行った。

〈予備実験〉

スティックと紙の設置面積が違う 2 つのスティックを用いて実験を行ったところ、どちらでも現象が発生した。これは、最大摩擦力が接地面の面積に依存しないためであると考えられる。

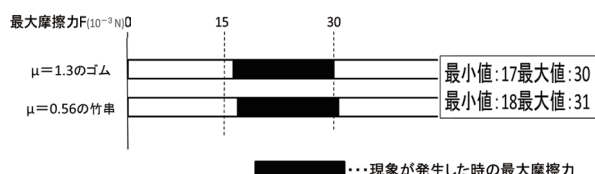


〈実験 1〉

方法

最大摩擦力が現象の発生に与える影響について調べるために、静止摩擦係数 $\mu = 0.56$ の竹串と $\mu = 1.3$ のゴムのカバーを付けた竹串を使い、スティックに加える垂直抗力の大きさを変えて最大摩擦力を変化させ、現象が発生するかどうかを調べた。

結果



グラフより、 μ が違う物体でも、最大摩擦力がほとんど同じ値のとき現象は発生している。

考察

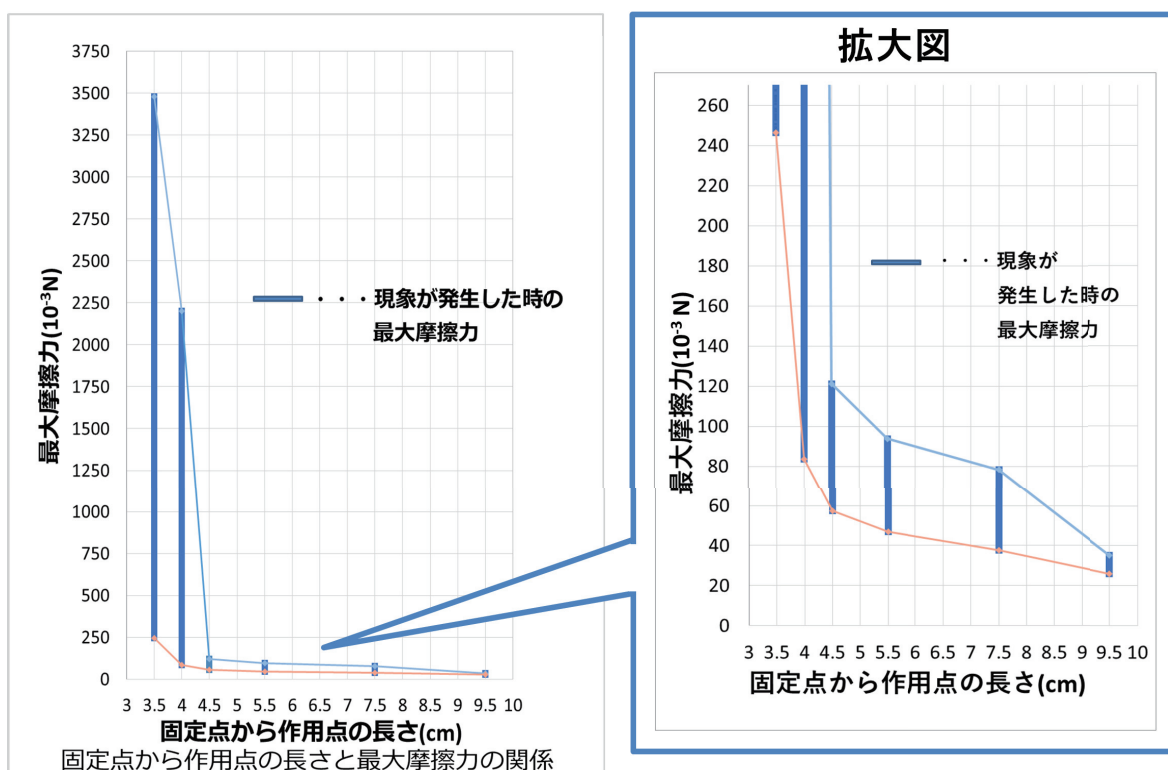
最大摩擦力は現象の発生に影響を与えており、 μ の値に関わらず最大摩擦力がほとんど同じ値のときに現象が発生すると考えられる。

<実験Ⅱ>

方法

固定点から作用点の長さが現象の発生に与える影響について調べるために、固定点から作用点の長さが 3.5 cm、4.0 cm、4.5 cm、5.5 cm、7.5 cm、9.5 cm の 6 つのスティック ($\mu = 1.3$ のゴムのカバー付き) を用いて、実験 2 と同様に現象が発生した時の最大摩擦力を測定した。

結果



横軸は固定点から作用点の長さ、縦軸は最大摩擦力の大きさを表している。最大摩擦力の大きさがグラフの線の範囲にあるとき現象は発生し…①、最大値を超えたときは現象が発生せず直線を書いた…②。

..... ①

..... ②

グラフより、固定点から作用点の長さが長くなるにつれて、現象が発生するときの最大摩擦力の最小値・最大値がともに小さくなっていることがわかる。また、固定点から作用点の長さが短いほど、現象が発生する最大摩擦力の値の範囲が大きくなっている。

考察

最大摩擦力の最小値・最大値の変化の仕方に関係性を見出すことはできなかったが、固定点から作用点の長さを変化させると現象が発生するときの最大摩擦力の大きさが変化したことから、固定点から作用点の長さは現象の発生に影響を与えていると考えられる。

＜実験Ⅲ＞

方法

実験Ⅱでスティックが長くなるほどスティックがしなりやすくなったことから、スティックのしなりの違いは現象の発生に影響を与えると考え、実験を行った。

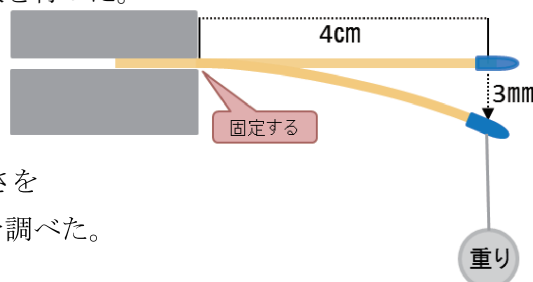
固定点から作用点の長さが 4.5 cm の 3 本のスティック

($\mu = 1.3$ のゴムのカバー付き) を用意し、固定点から

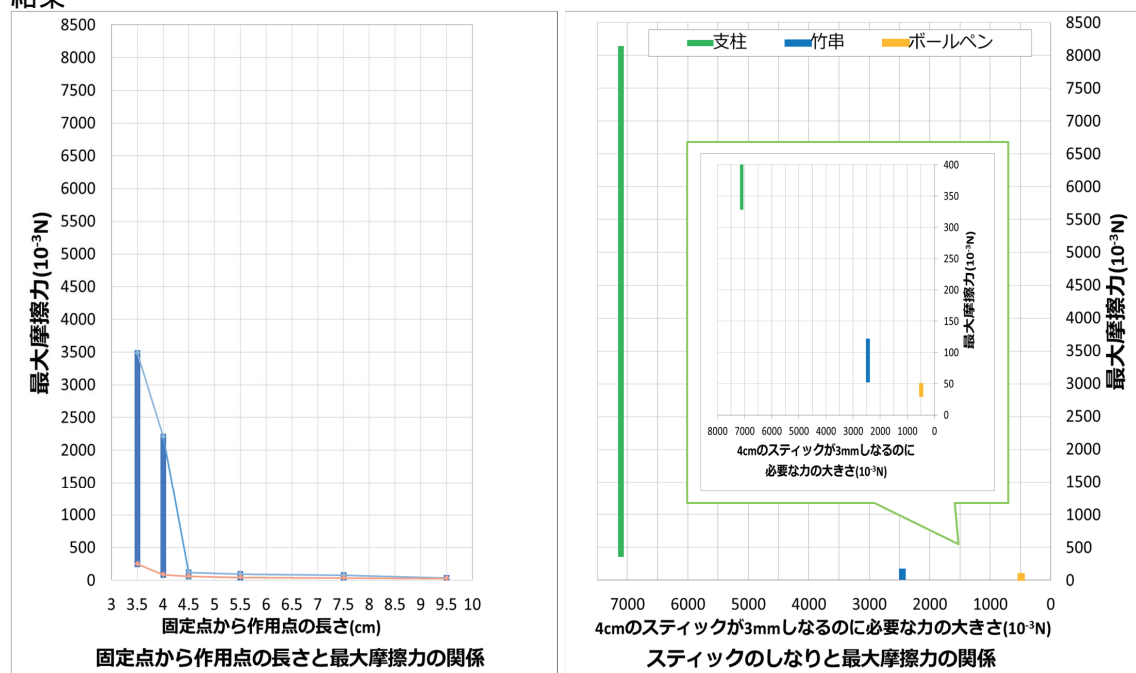
4 cm のところにおもりをつけ、その端が 3mm しなるのに

必要な力の大きさ (10^{-3} N) を測定した。その力の大きさを

グラフの横軸として表し、しなりの違いが与える影響を調べた。



結果

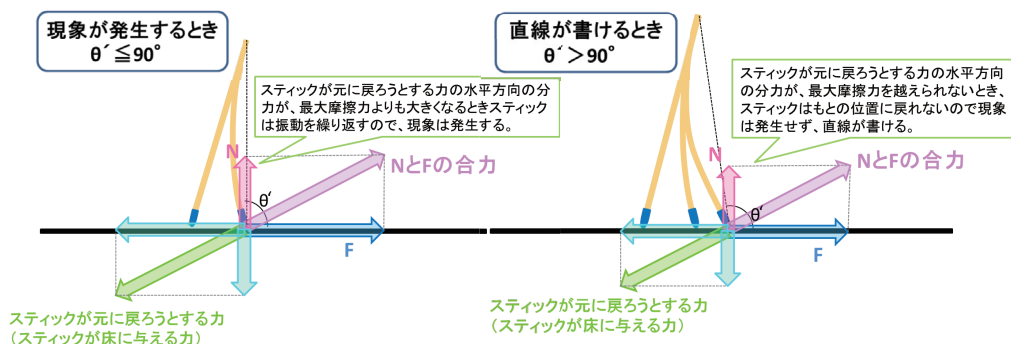


左のグラフは実験Ⅱの縦軸の値を揃えたもの、右のグラフは今回の実験のものである。どちらのグラフも横軸はスティックのしなりやすさ、縦軸は最大摩擦力の大きさを表している。また、横軸が左に行くほどスティックがしなりにくいということを表している。

実験Ⅲのグラフは、全体的に実験Ⅱのグラフと似た形となった。スティックがしなりやすいほど、現象が発生するときの最大摩擦力の最小値・最大値がともに小さくなっている。また、スティックがしなりにくいほど現象が発生する最大摩擦力の値の範囲が大きくなっている。

考察

結果より、スティックのしなりの違いは現象の発生に影響を与えていることが考えられる。また、実験Ⅱと実験Ⅲより、現象が発生するときと直線がかけるときのメカニズムが考えられた。



スティックが摩擦によって紙に引っ張られているとき、スティックは垂直抗力と摩擦力の合力を受けていて、その反作用としてスティックが元に戻ろうとする力が働いている。元に戻ろうとする力の水平方向の分力が $\theta' \leq 90^\circ$ の状態で摩擦の力を超えると、スティックは元の形に戻ることができ、現象は発生する。しかし、 $\theta' > 90^\circ$ の状態ではスティックが紙に突っかかってしまい戻ることができず、直線が書ける。元に戻ろうとする力の水平方向の分力が摩擦力を超えるのは、垂直抗力に対する摩擦の大きさが最大摩擦力に達し、動摩擦力に変化する瞬間である。実験Ⅱ・Ⅲのグラフの左側(つまりスティックがしなりにくいとき)に現象が発生する最大摩擦力の値の範囲が大きくなったのは、スティックがしなりにくいために、なかなか θ' が 90° に達しないからであると考えられる。また、グラフの右側(つまりスティックがしなりやすいとき)でも最大摩擦力の値が小さいときに現象が発生したのは、スティックにかかる垂直抗力が小さいため、それに対する最大摩擦力も小さく、摩擦の大きさがすぐに最大摩擦力に達するためだと考えられる。

結論

4つの実験から、以下のことがわかった。

1. 現象の発生に接地面の面積は影響していないこと。
2. 最大摩擦力の大きさは現象の発生に影響しているということ。
3. 固定点から作用点の長さスティックのしなりの違いは現象の発生に影響していて、 $\theta' \leq 90^\circ$ のとき現象は発生するという事。

謝辞

研究発表会で様々な先生方からご指摘をいただいた。お礼申しあげる。

参考文献(先行研究を調べた際に参考にしたページ)

東海大学紀要海洋学部「海—自然と科学」第7巻第3号(2009)

中野 健「スティックスリップ回避のための設計指針」

研究の経過・反省・感想等

1年生のときは、調べたい分野を決めたら先生がある程度実験のテーマを提案してくださったのですぐに決められたが、2年生の課題研究は自分たちでテーマを見つけなければいけなく、見つけるのが難しかった。始めは現象や実験データのどこに注目すればよいのかわからず実験の考察をするのに時間がかかったが、だんだんと注目すべき場所がわかるようになってきてより色々な考察ができるようになってよかった。

最初は台車に取り付けたスティックの方を動かそうとしたが、水平なものがなかなかなくて断念し、スティックを固定して紙を動かすことにした。また、スティックをシャーペンや鉛筆にすると、削れることで垂直抗力が減ってしまうので、カーボン紙を使うことにした。今回の研究では手動で台を調節して垂直抗力を変えていたので、狙った値に設定するのが大変だった。条件をそろえるために、スティックのしなりを変えずに摩擦係数の値を変えるにはどうすればいいか困ったが、先生がカバーをつけるアイデアをくださった。千葉大や千葉工大へ発表しに行ったことで、大学の教授やほかの高校の先生から「もっとこうした方がいい。」などのアドバイスがもらえてうれしかった。

うまくいかないことや遅くまで残らなければならない日もあり、研究はとても大変だったが、結果が綺麗にでたときは嬉しかった。英語のポスター発表の時に特に感じたが、練習をすればするほど発表が上手になるのが自分でもわかり楽しかった。台湾研修に行って自分たちの研究を英語で伝えるという貴重な経験ができてよかった。パワーポイントやエクセルを人並みに使えるようになってよかった。2年間の課題研究を通して学んだことを、大学等でのこれからの研究に生かしたいと思う。

最後に、夜遅くや日曜まで研究に付き合ってくれた先生方、大変お世話になりました。ありがとうございました。