

鉛筆の落下による芯への影響

The Effect of Stress on Pencil Lead

Abstract

When we use our pencils, the lead sometimes breaks and it irritates us. One pencil company's website says that lead in pencils made correctly will not break even if we drop or step on them. But others say they break because of stress from when we drop them. These are contradictory and there is no previous research into why lead breaks. We conducted experiments to determine this. First, we drop pencils many times and open them to check whether the lead broke and then, took out the lead from other pencils and drop them to find what angle between the lead and the ground they are dropped tends to make the lead break and how the lead broke by dropping. We use video cameras and found that lead tends to break when it falls almost parallel to the ground, about 1 to 5 degrees.

1. はじめに

日常生活で鉛筆を使用する際、使用中に芯が折れることに煩わされた経験は誰しもあるだろう。本研究では、鉛筆の落下に注目して、芯が折れることと鉛筆の落下の関係を調べることを目的とした。芯の折れ方に関わる要素としては、鉛筆や床の素材など様々なものが考えられるが、今回は衝突時の床と鉛筆のなす角（以下、接地角という。図1参照）と芯の折れやすさの関係を確かめることにした。接地角によって芯への力の加わり方は変わるはずだと考え、同じ高さから様々な接地角で落下させ、それぞれ芯が折れる確率を調べた。但し、実際の鉛筆そのもので落下実験を行うと芯の状態を観察するのが困難であった（「落下前から折れていたのかもしれない」、「落下後、芯の状態を観察しようと外枠の木を取り除く作業中に芯が折れてしまったのかもしれない」といった可能性を排除できない）ため、今回はあらかじめ芯を取り出し、芯のみを落下させて実験を行った。

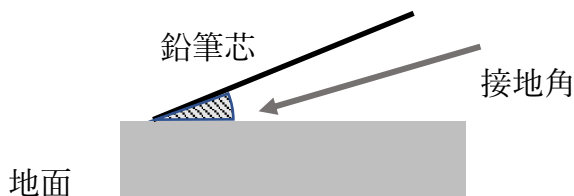


図1 接地角の定義

2. 仮説

接地角が 0° 以外の場合、鉛筆の片側だけが先に床に衝突し床から上向きの抗力を受けるが、鉛筆全体としては慣性のために反対側は下向きへ運動しようとするはずである。この時、鉛筆に加わる抗力によって鉛筆には回転運動やひずみが生じ、内部の芯にも力が伝わってひずみが生じる。接地角によってこのひずみが大きくなり、耐えられなくなった時に芯が折れるのではないかと考えた。接触角

が 0° では両端が同じように運動するため、 90° では2力が直線方向に働くため、曲げの力は生じにくいと考えられるため(図2)、その中間である接地角 45° で落下の時に最も折れやすいのではないかと仮説を立てた。

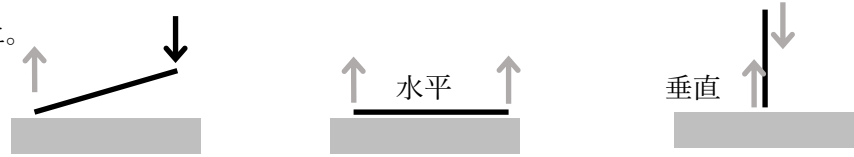


図2 接地時の模式図

3. 研究方法

- (1) 鉛筆を長時間(1日以上)水につけておくことで、木と芯の間の糊を溶かした。外枠の木を割って、鉛筆から芯のみを取り出した。※ 鉛筆は、HBのものを使用した。
- (2) (1)で取り出した芯を高さ80.4cm※から落下させ、床との衝突前後の様子を撮影※した。
 ※ 80.4cmとは、物理実験室の床から机までの高さである。
 ※ 実験を始めた当初はハイスピードカメラで撮影を行っていたが、芯の折れる確率が高くなかったため、使い勝手の良い手持ちのスマートフォンのスロー連射撮影機能を活用して撮影を行った。
- (3) 撮影できた画像を元に、分度器で接地角を計測した。
- (4) 芯の折れの有無と、折れていた場合には接地した側の端から芯が折れた位置までの距離を計測した。当初は接地角 0° 、 30° 、 45° 、 60° 、 90° となるように落下させて実験を進めようとしていたが、角度を一定に保ったまま落とすことが困難であったため、途中でこの実験方法に変更した。

4. 実験結果

(1) 接地角と芯が折れる確率の関係

芯が折れたのは、接地角が $1^\circ \sim 13^\circ$ の時のみであった。480回程度落下させたが、 13° 以上の接地角では芯は1回も折れなかった。また、接地角 3° の時、折れる確率が14回中6回(43%)と最も高かった(図3)。

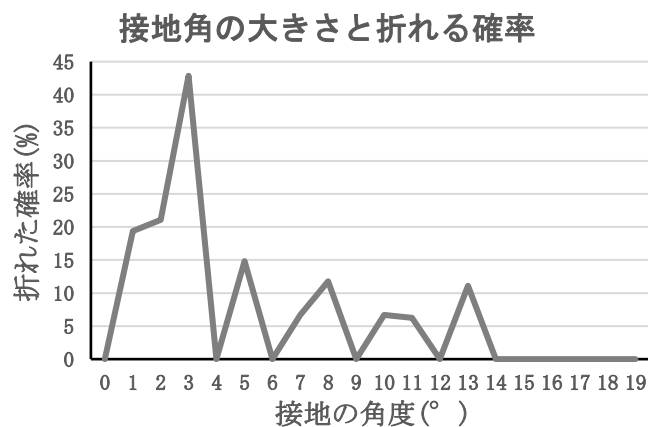


図3 接地角の大きさと折れる確率

(2) 接地角と折れの位置の関係

接地角が小さいほど、接地した側の端から芯が折れた位置までの距離にばらつきがあった。また、接地角が大きくなると、芯の中央付近で折れやすくなるという傾向が見られた(図4)。

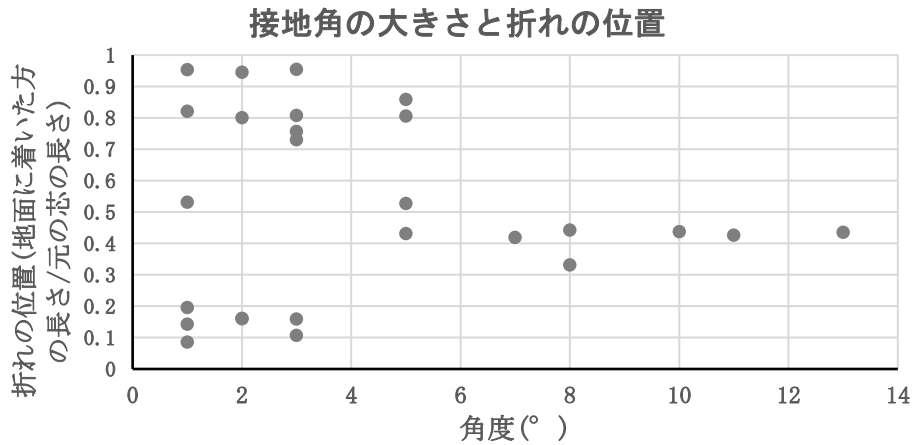


図4 接地角の大きさと折れの位置

(3) 接地後の芯の様子

①芯が折れない場合

- i : 衝突によって芯の左端のみに床からの抗力がはたらき、芯全体に時計回りの回転運動が生じる。右側は鉛直方向に落下しようとし続ける。
- ii : i の時計回りの回転運動によって右端が床に衝突し床からの抗力がはたらき、芯全体に反時計回りの回転運動が生じる。
- iii : ii の反時計回りの回転運動によって再び左端が床に衝突し床からの抗力がはたらき、芯全体に反時計回りの回転運動が生じる。または、ii の回転を弱める。
- iv : 鉛筆全体があまり、もしくは全く回転運動しない状態で床から離れる向きに運動する。地面に近づいてきた芯の向き(図5のiの向き)と地面から離れる芯の向き(図5のivの向き)は一致する場合が多かった。但し、接地角が大きい場合はiiiの後そのまま地面に静止するものも見られた。

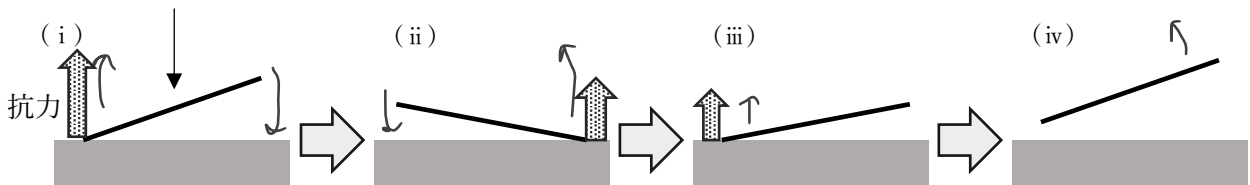


図5 芯が折れなかった場合の跳ね返り方 先に左側が接地

②芯が折れる場合

折れた後、芯の断片が回転しながら飛んでいく場合が複数見られた。回転方向は一定でなく、断片が短いものほどよく飛んだ。撮影画質とレートの具合で、折れたタイミングまでは正確には分からないものがほとんどであったが、2度目の接地(図5のii)の時に折れている様子が確認できるものがあった。(図6)

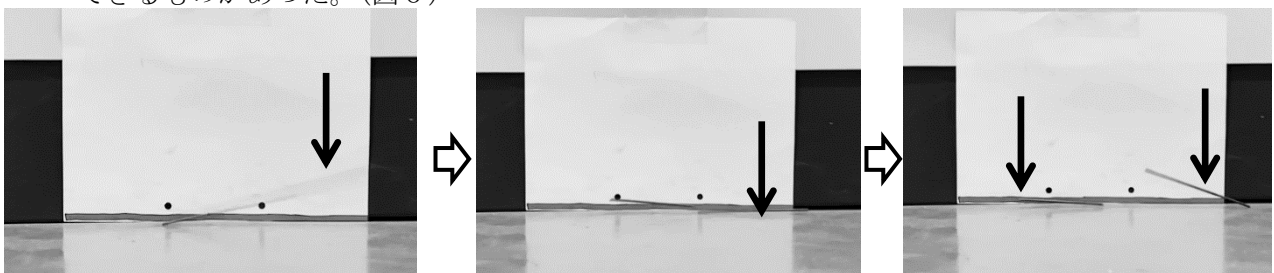


図6 落下によって芯が折れる様子 矢印は鉛筆芯の位置を表す

5. 考察と結論

(1) 芯の折れるタイミングについて

1度目の接地（図5のi）の後、芯の左端は上向きに運動するが芯全体の重心はまだ下向きに運動していることにより、2度目の接地で右端が床に衝突する速さは、1度目の接地で左端が床に衝突する速さよりも速く、受ける抗力も大きいのではないかと考えた。この考察と図6の様子がたびたび観察されたという事実から、芯が折れるのは、2度目の接地時（図5のii）の抗力によるのではないかと考えた。

(2) 接地角と芯が折れる確率の関係

接地角が小さい方が折れる確率が高かったのは、1度目の接地（図5のi）と2度目の接地（図5のii）の時間間隔が短いことと、床からの抗力の作用点から重心までの水平距離が大きくなることによると考えた。時間間隔が短いと、回転の速さがあまり衰えずに2度目の迎えることになり抗力が大きくなるため、また接地角が小さいと抗力の作用点から重心までの水平距離が大きくなって力のモーメントが大きくなるため、芯が折れやすいのではないかと考えた。

(3) 芯が折れる位置について

図4の接地角と折れの位置の関係を表すグラフから接地角の大きさが5度の時を境にそれより小さければ端の方で折れ、それより大きければ中央部で折れるというように折れる位置が変化していることが分かる。これを踏まえて図3を見ると、5度を境に折れる確率が一気に減っているようにも見える。このことから、接地角5度に何らかの意味があるとも考えられる。

一方で（1）、（2）ともに撮影画質とレートの具合で、芯が折れる瞬間という決定的な証拠は捉えておらず、追加の検証が必要となる。撮影した映像から、落下時に芯が曲がっている様子は観察できたので、芯が曲げの力によって折れていることはほぼ間違いないと考えられる。ところが剛体を曲げるには少なくとも三つの力が必要であり、芯の両端で進もうとする方向が異なるだけでは物体は回転するのみなので、どのような仕組みで曲げの力が生じるかは解明できなかった。

6. 今後の課題

鉛筆使用時に芯のみが落下し折れるという場面は日常生活であり得ることではないため、外枠の木に覆われたままの状態かつ鉛筆が削られている状態という、より実際に近い設定での実験を行う必要がある。また、手で落下させるといづらか芯に回転が生じてしまうため、芯を何か道具ではさんだ状態から落下させるなど、実験装置の開発が必要である。さらに、どのタイミングで芯が折れているのかを検証するために、芯が落下した時に片方の端のみが接地し、もう片方は力を受けないような状況で実験を行うなどして何度目の接地によって芯が折れるのかを調べる必要もある。

7. 参考文献

久保田浪之介、「トコトンやさしい材料力学の本—今日からモノ知りシリーズ」、B&T ブックス、2011年6月