

ダイラタント流体の固体時の強度の変化

名古屋高等学校地球科学部

1. 要旨

液体と固体の混合物に力を加えると、液体の状態から固体の状態に変化するダイラタンシー(レイノルズ現象)を利用した防弾チョッキが、開発中である。本研究では、ダイラタント流体を用いた製品開発のために、ダイラタント流体に含まれる馬鈴薯デンプン(以下デンプン粉)の量と液体の種類によるダイラタント流体の固体時の強度の変化について実験を行った。

2. 研究背景・目的

ダイラタント流体は、材料がデンプン粉と水のみで簡単に作ることができる。そのうえ、力を加えると一時的に固体の性質を持つという代用が難しい性質から、防弾チョッキだけではなく、乳児の玩具などの様々な製品に応用ができると考えた。本研究は、ダイラタント流体を用いた製品開発において重要な、ダイラタント流体に含まれるデンプン粉の量と液体の種類によるダイラタント流体の固体時の強度の変化を調べることを目的とする。

3. ダイラタント流体の作り方

デンプン粉と水を混ぜ合わせる。

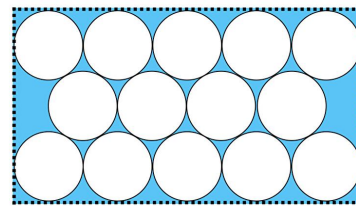


図1 最密充填されたデンプン粉と水

4. ダイラタンシーについて

デンプン粉と水の混合物が密に充填された状態で力を加えられることにより、粒子間の隙間が大きくなる場所と小さくなる場所ができる(レイノルズの膨張の原理)1)。そしてその隙間に水が入ることによって相対的に隙間が小さい箇所が乾いたような状態となり、力を加えられた直後、固体のような性質を呈する。このようにしてダイラタンシーの原理は説明されている。また近年ではその水の表面張力によってデンプンの粒子が互いに押し付けられ、これがダイラタント流体をさらに固化させるという論文も見られる。2)

このようにしてダイラタンシーの特異的な現象は説明されている。

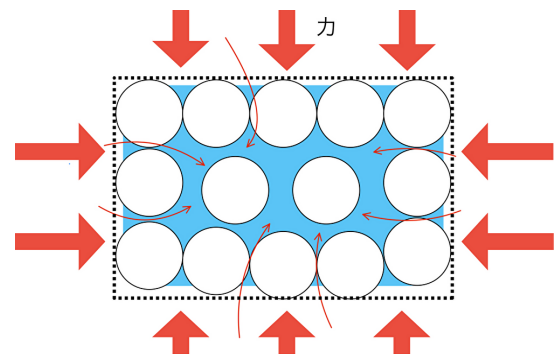


図2 力を加えてできた隙間に水が入る様子

5. 実験1. ダイラタント流体に含まれるデンプン粉の量による、ダイラタント流体の固体時の強度の変化

(1) 方法

- (i) 容器に、デンプン粉2600g、水2000gを入れて混ぜ合わせる。
- (ii) 作成した混合物を水平な床に置き水面の1m上から球(450g)を自由落下させる。これを5回繰り返し、球を自由落下させた瞬間から球が沈むまでの間をスマートフォンで撮影する。球が水面に触れてから球の中心が水面に達するまでのフレーム数を編集ソフトで確認し平均を算出する。

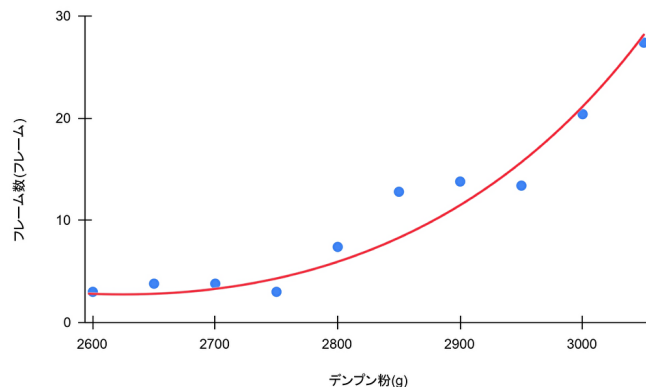


図3 実験1の結果のグラフ

(iii) 算出後、デンプン粉を50g追加し、混ぜ合わせ(ii)を行う。これを混合物内のデンプン粉が3050gになるまで繰り返す。

(2) 結果

図3がその結果である。

(3) 考察

結果からダイラタント流体に含まれるデンプン粉の量と、フレーム数の関係には正の相関がある。このフレーム数が増えると、ダイラタント流体が固体の性質を示す時間が長くなるため、混合物内のデンプン粉の量が多くなるほどダイラタント流体の固体時の強度は上がると考えられる。

6. 実験2. 砂糖水とデンプン粉を混ぜた場合のダイラタント流体の固体時の強度の変化

(1) 方法

(i) 容器に、デンプン粉2900gと砂糖水2100g(水2000gに砂糖100gを溶かした物)を混ぜ合わせる。

(ii) 作成した混合物を水平な床に置き水面の1m上から球(450g)を自由落下させる。これを5回繰り返し、球を自由落下させた瞬間から球が沈むまでの間をスマートフォンで撮影する。球が水面に触れてから球の中心が水面に達するまでのフレーム数を編集ソフトで確認し平均を算出する。

(iii) 算出後、砂糖を100g追加し、混ぜ合わせ、砂糖水の濃度を上げ、(ii)を行う。これを混合物内の砂糖が300gになるまで繰り返す。

(2) 結果

図4がその結果である。

(3) 考察

結果からダイラタント流体に含まれる砂糖の量と、フレーム数の関係には負の相関がある。このフレーム数が減ると、ダイラタント流体が固体の性質を示す時間が短くなるため、混合物内の砂糖水の濃度が高くなるほどダイラタント流体の固体時の強度は下がると考えられる。原因は、大きくなった粒子間の隙間に本来流れ込んでくるはずの水が砂糖と水和したことによって粘度が高くなったことに起因すると考えられる。粘度が高くなると、流動性が低くなるため、砂糖を含んだ水が粒子間の隙間に流れ込みにくくなるからだと考えられる。そのため、水と水和し粘度を上げるような物質、すなわち水に溶ける物質は本研究における砂糖と同じように、ダイラタント流体の固体としての性質の発現を弱めると考えられる。

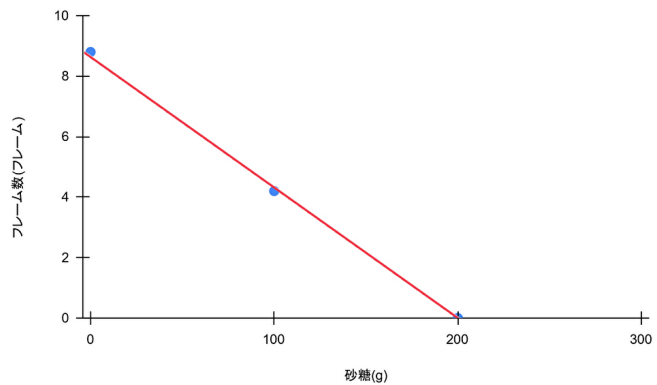


図4 実験2の結果のグラフ

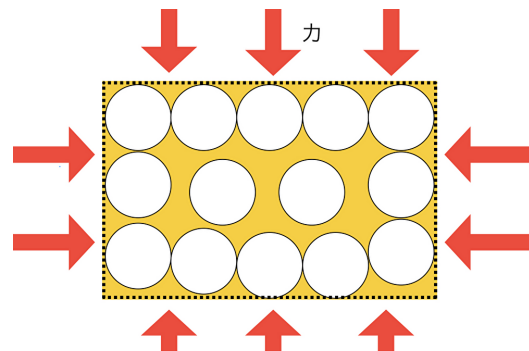


図5 最密充填されたデンプン粉と砂糖水に力が加わる様子

7. 結論・展望

ダイラタント流体に含まれるデンプン粉の量を変えたり、砂糖が含まれているとダイラタント流体の固体時の強度が変わることが分かった。

砂糖以外の物質でも実験2と同様の現象が起こり、考察と合致するかどうかとも実験する必要がある。

謝辞

本研究は、名古屋高等学校地球科学部所属の中尾貞二氏に研究場所を提供して頂きました。地球科学部顧問の岡田素彦先生には特別な指導を承りました。本研究は、名古屋高等学校有志団体ダイラタンシー研究会と地球科学部に所属している生徒で行いました。ダイラタンシー研究会は、ダイラタンシー体験会を実施し、その事前準備として本研究を行いました。材料費について名古屋高等学校生徒会の支援を受けました。ここに感謝します。

参考文献

1)O. Reynolds, Phil. Mag. 20 (1885) 469. "On the dilatancy of media composed of rigid particles in contact. With experimental illustrations"

2)M E Cates, M D Haw and C B Holmes(2005). Dilatancy, jamming, and the physics of granulation. IOPscience.