

様々な条件下におけるダイラタンシー現象の抵抗力の変化について

班員大田 采音 干場 開晴 細谷 一心 森田 結衣
担当教諭 北原 点

キーワード：ダイラタンシー現象 ダイラタント流体 振動数

In this experiment, in order to understand the dilatancy phenomenon, we conducted experiments focusing on the gap between the potato starch particles and the viscosity of the solvent. We investigated the change in the resistance force associated with the dilatancy phenomenon. It was found that the resistance increased with the amount of potato starch deposited and decreased with an increase in the viscosity of the solvent.

1 はじめに

不溶な粉粒体と液体から構成される流体は、通常時、または、与えられる衝撃が非常に弱いときは液体のような挙動を見せるが、強い衝撃を与えた際は固体のようにふるまう。この現象をダイラタンシー現象という。

この現象において、抵抗力について着目し、様々な条件を設定した上で、抵抗力に見られる変化について調べることが目的とした研究を行った。

水と片栗粉を用いて「ダイラタント流体」を作成した。流体を入れた容器を力学台車に固定し、流体内に机に固定した金属棒を挿入した状態で、滑車と糸を結び、糸との他端におもりを取り付け、滑車を介しておもりをぶら下げた。おもりが落下するときの力学台車の移動速度を測定することで、ダイラタンシー現象の抵抗力の変化を調べた。

片栗粉の沈殿量と溶媒の粘度を変化させて実験を行った結果、力学台車の移動速度の振動数と、力学台車が受ける抵抗力との間には相関があるということが分かった。

2 現象の説明

通常、片栗粉の粒子は、粒子間の隙間

が最も小さくなるように積まれており、衝撃が与えられると片栗粉の粒子が移動して隙間が大きくなる。片栗粉が水中にある時、粒子間の隙間が大きくなっても水はすぐに移動しないため、水が不足し、粒子間に負圧が発生する。この負圧により、粒子が固定され、固体のようにふるまう（図1）。時間が経つと、粒子間の隙間に水が十分に入り込むため、負圧がなくなり、液体のようにふるまう。

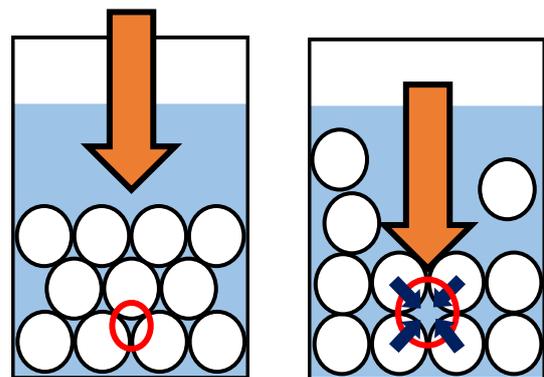


図1 粒子の模式図
(通常時)

粒子の模式図
(衝撃時)

3 実験方法

水と片栗粉でダイラタント流体を作成し容器に入れ、それを速度センサーがついた力学台車に取り付ける。そこにテーブルに固定した金属棒を底に触れさせないように挿入した（図2）。

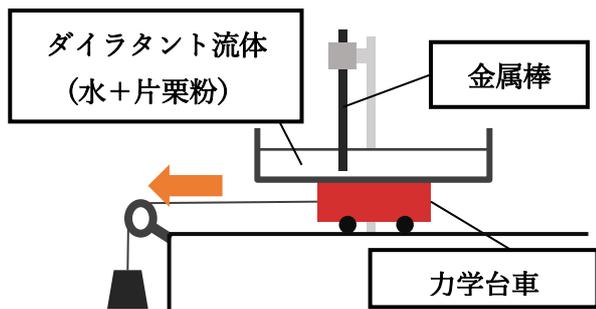


図2 装置の模式図

滑車と重りを用いて台車を移動させ、速度を測定し、データをグラフ化した(図3)。そのグラフから見られた振動に着目し、台車の速度の振動数を調べた。速度の振動数を求めるときはFFT(高速フーリエ変換)を用いた。

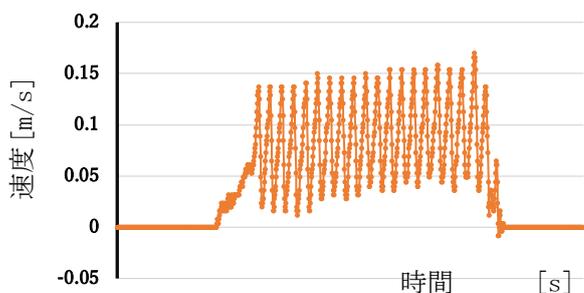


図3 力学台車の速度

また、台車の移動時間を計測し、走行距離が同じことを利用して実験ごとの台車の平均の速度を求め、ダイラタンシー現象に伴う平均の抵抗力を調べた。

4 実験結果・考察

〈実験Ⅰ〉

ダイラタント流体を十分に攪拌してから、台車を離すまでの待ち時間を変化させた。(水96g 片栗粉105g)

結果

待ち時間が長いほど速度の振動数は大きくなった(図4)。

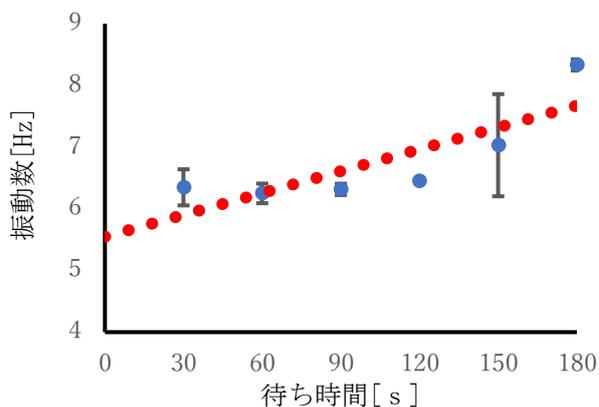


図4 待ち時間と振動数の関係

また、力学台車の平均速度が小さくなったことから、抵抗力が大きくなったことが分かった(図5)。

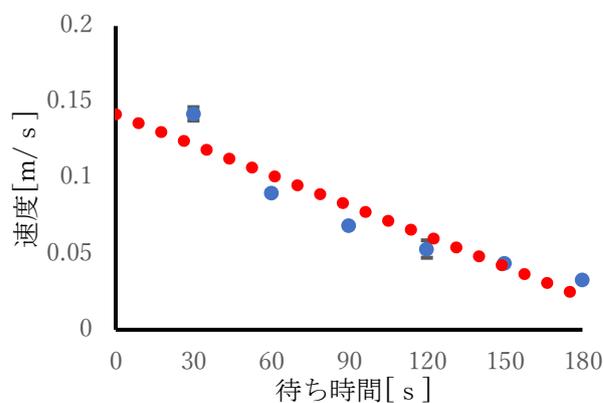


図5 待ち時間と速度の関係

考察

待ち時間が長いほど、より多くの片栗粉が容器の底に堆積するため、ダイラタンシー現象が起こる部分が多くなり、抵抗力が大きくなったのではないかと考えた。

〈実験Ⅱ〉

砂糖を1gずつ12gまで加え、溶媒の粘度を大きくした。(水96g 片栗粉105g 待ち時間2分)

結果

溶媒の粘度が大きくなるほど振動数は小さくなった(図6)。

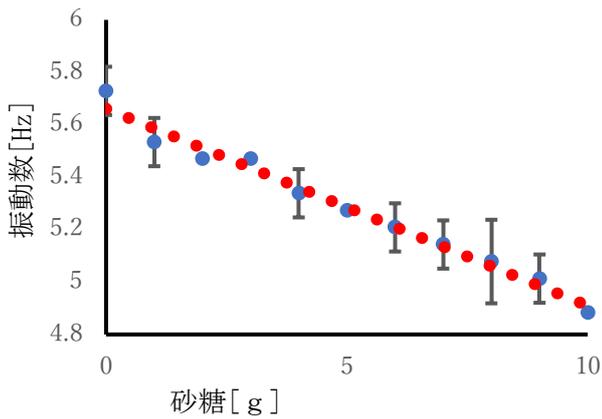


図6 溶媒の粘度と振動数の関係

また、力学台車の平均速度が小さくなったことから、抵抗力が大きくなったことが分かった(図7)。

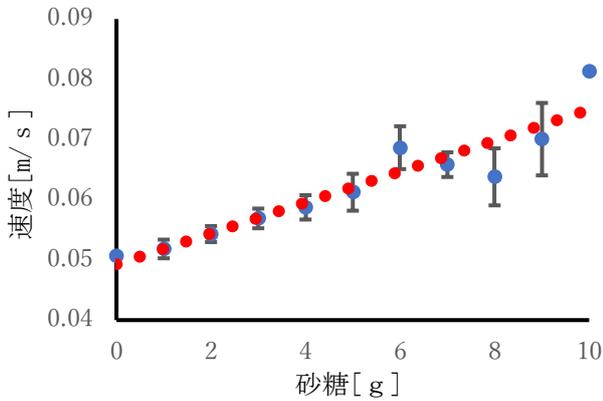


図7 溶媒の粘度と振動数の関係

考察

一般に溶媒の粘度が大きくなると抵抗力が大きくなるが、今回は抵抗力が小さくなった。これはダイラタンシー現象の性質だと考えられる。溶媒の粘度が大きいほど衝撃を与えた際に、片栗粉の粒子が移動しにくく、粒子間の隙間が変化しにくくなるため、発生する負圧が小さくなり、粒子が固定されにくくなったことが原因だと考えた。

実験Ⅰ・Ⅱともに平均速度と振動数には負の相関がみられた。そこから、抵抗力と振動数には正の相関があることが分かった。

5 結論

ダイラタンシー現象における抵抗力と台車の速度の振動数には正の相関があり、振動数か

らも現象の抵抗力を読み解くことができることが分かった。また現象の抵抗力を決める条件に、片栗粉の堆積量と溶媒の粘度があることが分かった。

ダイラタンシー現象は肉眼では観測できない粉粒体の粒子間における隙間の変化により生じる現象である。しかし私たちは、「台車の移動速度を測定するだけ」の簡単な実験で溶媒粒子の配置のような微細な構造変化を読み解くことができたと考えている。

6 今後の展望

研究の再現性を高めるため、挿入する棒の深さや形状を変えて実験を行いたい。また、砂糖を加える以外の方法でも溶媒の粘度を変えて実験を行いたい。

さらに、実験データから抵抗力を求め、横軸に速度、縦軸に抵抗力をとり、グラフを作成した。すると従来のダイラタント流体のグラフ(図8)とは異なる概形のグラフが得られた。(図9)。

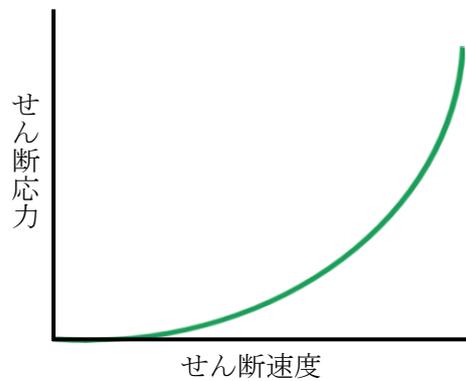


図8 従来のダイラタント流体のグラフの概形

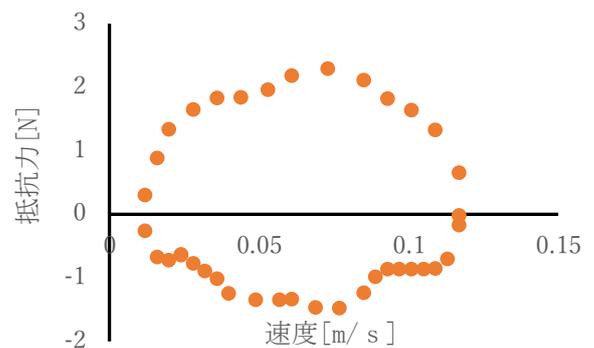


図9 抵抗力と速度の関係

衝撃を与えると抵抗力が大きくなるダイラタンシー現象に対して、抵抗力が小さくなるチクソトロピーという現象があるチクソトロピー現象では、過去にはたらいた抵抗力が変化するとヒステリシスを示し、グラフ上でループを描く(図10)。そして、そのループの大きさがチクソトロピーの大きさの尺度であることが知られている。このことから、ループの大きさがダイラタンシー現象の大きさの尺度になりうるのではないのかと考えている。

抵抗力と速度について実験を重ね、考察を深めることで、さらにダイラタンシー現象の本質に迫りたいと考えている。

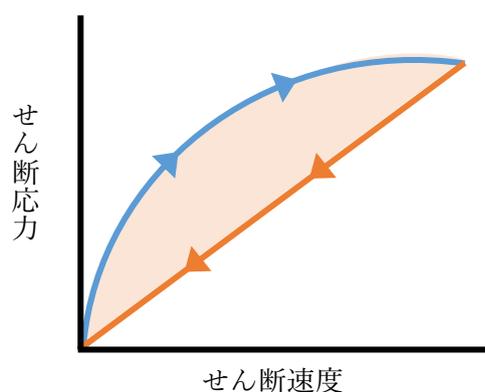


図10 チクソトロピーのグラフの概形

7 参考文献

- (1) 小笠原 麻友、中川 佑歌子、剣持 淳也、松田 広久、長澤 裕、岡田 正、宮坂 博. 超高速分光法による糖水溶液中の分子ダイナミクスの測定. 2004. 分子構造総合討論会2004 講演要旨集.
- (2) 越後 奈津子、長野佑紀、中山 紘斗、宮本悠生.ダイラタンシー現象による振動とその周期. 令和元年度七尾高校課題研究論文集.
- (3) “多糖類とは 3つの主要な効果”,DSP 五協フード&ケミカル,入手先https://www.tatourui.com/about/02_outcome.html,参照2021 - 12 - 14