

粘性を持つ流体が受ける抵抗による 加速度の変化から行う粘度分析

班員 石坂 聖也、北原 誓也、島崎 聖大、出崎 翔大
担当教諭 井藤 龍真

キーワード：粘度、波、ダイラタンシー、

In this experiment, in order to measure the viscosity of a fluid, we utilized a mechanical dolly with a velocity sensor and considered the viscosity from the change in acceleration due to the viscosity of the fluid. When attempting to measure the viscosity at the yam, an increase or decrease in acceleration was observed in several graphs. As a result of comparison experiments with water and dilatant fluids, we considered that the increase or decrease in acceleration at the Tororo was due to the generation of waves and the dilatant fluid-like properties of the fluid.

1 はじめに

粘度を求める測定方法⁽¹⁾は細管式、落球式、回転式、振動式など様々な方法があるが、様々な流体を測定できるデジタル粘度計は高価であることや、安価な装置では測定できる流体に限られるという欠点がある。そこで、比較的安価で、様々な流体の粘度を測定する方法を、本校にある道具を使って確立したいと考えた。

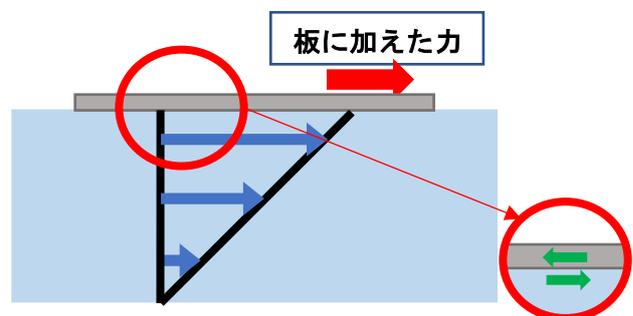
粘度 μ [Pa・s] を定義する式は、 τ [Pa] を剪断応力、 U [m/s] を速度、 H [m] を板間距離とし、次で表される。

$$\tau = \mu \frac{U}{H} \quad \dots\dots \textcircled{A}$$

定義式 \textcircled{A} より、板間距離 H を固定すれば剪断応力 τ が速度 U に比例し、横軸を速度 U 、縦軸を剪断応力 τ としたグラフの傾きで粘度 μ を求められる。

ここで、粘性によって生じる力を考えるために、2枚の板に挟まれた流体の流れを考える。上の板を右向きに動かすと、粘性を持った流体により板は進行方向である右向きと逆の左向きの力を受ける(図1)。一方、板の下部では粘性を持つ流体の内部摩擦によ

り、力を加えた板の進行方向である右向きに流体は動く。このように板に平行な方向に働く力のことを剪断力といい、板 1m^2 当たりの剪断力のことを剪断応力という。



私た 図1 剪断応力の説明の図 することが難しいと感じた。速度が上がり剪断応力が大きくなると、加速度は減少すると考え、横軸を速度、縦軸を加速度としたグラフの傾きを用いることで、粘度を求める式を定義できるのではないかと考えた(図2)。

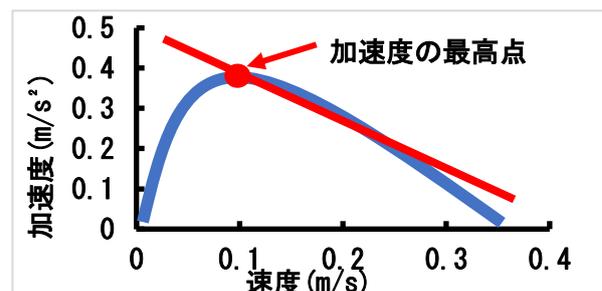


図2 仮説で考えた速度と加速度のグラフ

2 材料と方法

本校における課題研究のダイラタンシー現象を調べる実験⁽²⁾で使用されていた装置を参考にし、流体をプラスチック容器に入れ、速度センサー付き力学台車(図3)の上に養生テープで固定した。この容器の底に触れないよう、縦にした金属棒を流体のなかに挿入し、スタンドで固定した状態で滑車と重りを用いて力学台車を引っ張った(図4)。



図3 力学台車 スマートカート (株式会社島津理化)

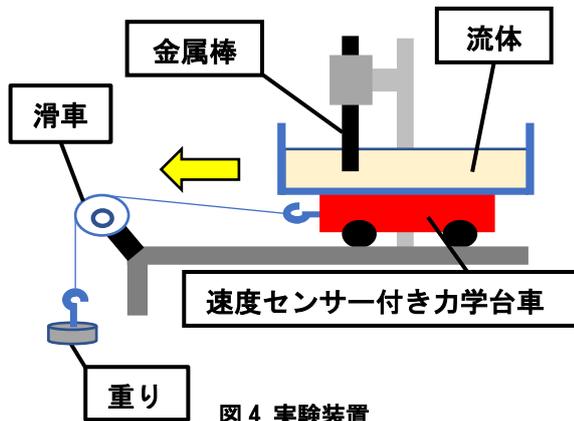


図4 実験装置

これにより、台車が進むときに、固定した棒は流体から、台車の進行方向の力を加えられるが、その反作用として流体は棒から抵抗を受ける。この棒からの抵抗を、流体が受ける剪断応力とみなした(図5)。

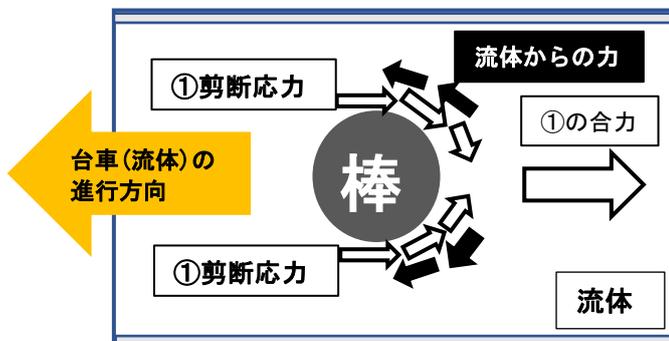


図5 実験において台車を上から見た図

さまざまな流体を用い、力学台車の速度と加

速度の変化をグラフ化し、加速度の最高点からの近似直線の傾きを比較することで、粘度を定められるのではないかと考えた。しかし、実際に実験を行い、グラフ化すると加速度の増減が見られたため、その要因を考察した。最初の実験では、身近にあるとろろを流体として用いた。

3 実験結果・考察

〈実験Ⅰ〉

とろろ 300 mL(重り 10 g)での加速度の変化を容器の端に金属棒がぶつかるまで測定した。

結果

加速度は速度0.114 m/sのときに最大(0.225 m/s^2)になり、その後速度の上昇とともに直線的に減少した。そして速度0.186 m/sから上昇し、速度0.228 m/sから再び減少した(図6)。このように加速度は速度の上昇ともなっており、増減する傾向が見られた。

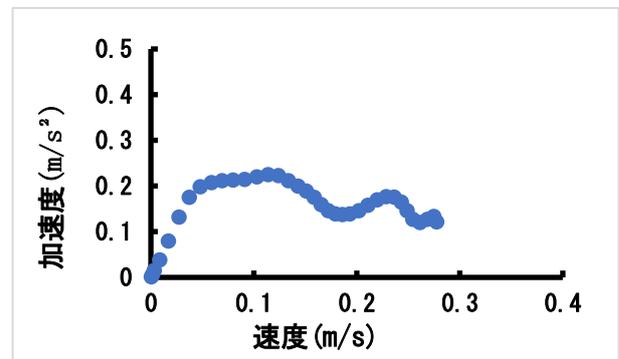


図6 とろろ 300 mL(重り 10 g)での測定

考察

加速度の増減の要因として、とろろの粘性に特有の性質があるのではないかと考えた。

〈実験Ⅱ〉

とろろの粘性により加速度の増減が発生したと考えたため、実験Ⅰの比較実験として、とろろと比べ粘度が低い水300 mL(重り 10 g)での加速度の変化を容器の端に金属棒がぶつかるまで測定した。仮説として加速度は増減せず直線的に単調減少すると考えた。

結果

加速度は速度0.046 m/sのときに最大(0.334 m/s²)になり、その後速度の上昇とともに直線的に減少した。そして速度0.164 m/sから上昇し、速度0.254 m/sから再び減少した(図7)。このように水でもとろろのときと同様に加速度は速度の上昇にともなって、増減する傾向が見られた。

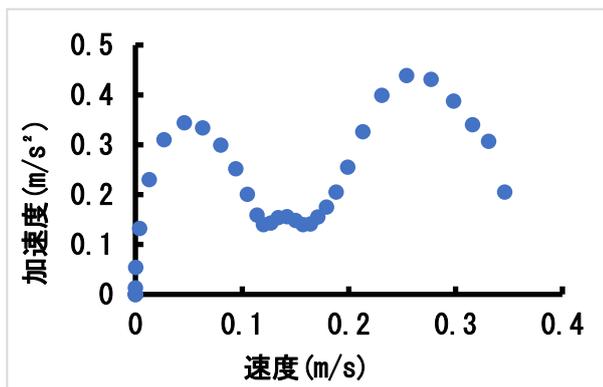


図7 水 300 mL(重り 10 g)での測定

考察

直線的に減少せず増減した理由を探るために、デジタルカメラを用いて水面を撮影すると、加速度が増加するタイミングで水面が下がり、加速度が減少するタイミングで水面が上がる様子が確認された。このことから、水での加速度の増減の要因は発生した波の影響ではないかと考えた。また、とろろでも同様に波が発生したと考えられ、とろろでの加速度の増減の要因も発生した波によるものではないかと考えた。

〈実験Ⅲ〉

予備実験を行っていたときに、多量のとろろを用いて台車の動きを観察すると、台車が停止と運動を繰り返していた。通常は液体のようにふるまう流体が衝撃を与えると粒子の隙間が大きくなって表面の水が内部に移動し表面が乾いた状態になって抵抗力を生じ、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い、この現象を示す流体をダイラタント流体という。とろろのグラフで加速度が増減した理由は、とろろにダイラタ

ント流体のような性質があるためではないかと考えた。速度が増加するときにとろろが固体のようにふるまうことで抵抗が大きくなり加速度が減少し、液体に戻ることで加速度が再増加することを繰り返していたためではないかと考え実験を行った。

ここではとろろとダイラタント流体(水と片栗粉を1:2で混ぜた物) 800mLでそれぞれ加速度の変化を測定した。

結果

どちらにも加速度と速度が減少と再増加を繰り返す渦巻き状のグラフが見られた(図8、図9)。加速度と速度の減少が起きるタイミングでは、台車が一時停止していた。

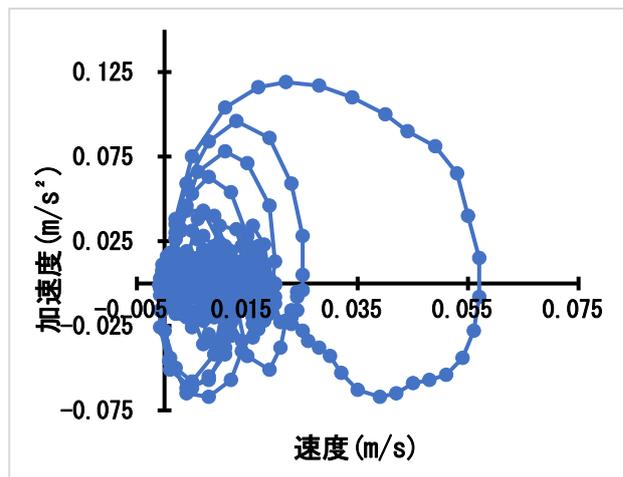


図8 とろろ 800 mL(重り 20 g)での測定

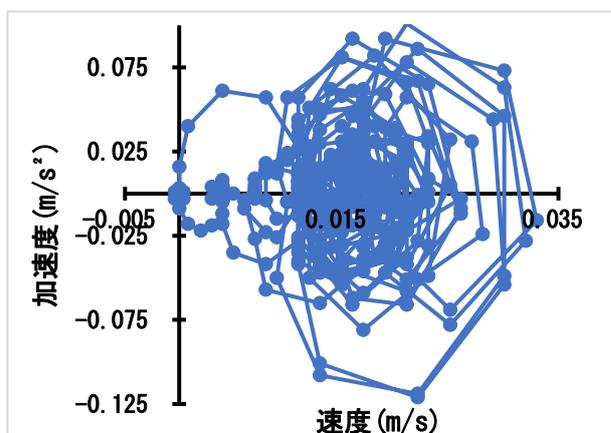


図9 1:2の水と片栗粉(ダイラタント流体) 800 mL(重り 20 g)での測定

考察

ダイラタント流体で見られた渦巻き状のグラフがとろろでも同様に見られた。撮影した動

画ではどちらの台車も似たような動きをしたため、とろろにダイラタント流体のような性質があると考えた。しかし、とろろがダイラタント流体だと断定するには根拠が不十分であるため、衝撃を加えた際のとろろの粒子と水の移動を顕微鏡で観察するなど、これらの他にダイラタント流体としての特徴を確認する実験によりダイラタント流体であるかを調べる必要がある。

4 結論

様々な流体の粘度を安価な器具を用いて測定するために考察した方法では、グラフの加速度が増減したため粘度を定義付けするまでに至らなかった。このグラフの増減の原因は、目に見えない波が発生したこと、とろろのダイラタント流体のような性質によるものである可能性が高い。また、とろろと水の比較実験において、それぞれグラフの増減の仕方に違いがあり、これら2つ以外の要因もあると考えられた。

5 今後の展望

グラフの加速度の増減の要因を解明し、新たな粘度測定の方法を確立したい。そのために、すでに粘度が知られている流体（ビンガム流体、塑性流体、ダイラタント流体、ニュートン流体など）を用いて流体の種類によってグラフの概形にどのような特徴があるのかを調べたい。

また、加速度の増減の程度がグラフの右に行くにつれて小さくなっていった。このことは時間経過とともに波が減衰することや、容器内に発生した波同士が互いに打ち消しあうことで波が小さくなり、波が棒に加える力が弱まるためであると考えた。そこで波がないとみなせるほどより長い時間測定するために、実験に用いるプラスチック容器を十分長くして実験を行い、波の影響を抑えることで粘性以外の要因を排除し、粘性を定義していきたい。

6 参考文献

- (1) “粘土測定の基礎知識” 分析計測ジャーナル
(参照2023-04-23)
https://bunseki-keisoku.com/article/normal/viscometer_measuring_device
- (2) 大田 采音、干場 開晴、細谷 一心、森田 結衣. 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. 令和三年度七尾高校課題研究論文集
- (3) “粘度と動粘度 - 機械設計エンジニアの基礎知識” MONOWEB
(参照2022-04-20)
<https://d-engineer.com/fluid/nendo.html>
- (4) “文系でもわかるレオロジー” PREMIX
(参照 2022-10-31)
https://www.primix.jp/mixer_lecture/vol2/02.html
- (5) “粘度一覧表” テムコファイン株式会社
(参照 2022-10-10)
<https://temcofine.co.jp/img/PDF/nendo.pdf>
- (6) “熱流体解析の基礎 15” HEXAGON
(参照 2023-10-10)
<https://www.cradle.co.jp/media/column/a175>