

ダイラタンシー流体の強度測定とその応用

3614 熊崎隆斗 3634 森悠太郎

要旨

私たちの目的は、より強いダイラタンシー現象が発生する流体を作成し、防弾ベストのようにあらゆる衝撃を防ぐ事が出来る物体を作る事である。まず私達は、どの粉末を用いればダイラタンシー現象が起こるのかを調べた。結果、使用した粉末の中では片栗粉と葛粉でダイラタンシー現象を確認する事が出来た。次に私達は粉と水の比率を変え、どの比が最も強い抵抗を示すか調べた。結果は水：粉=1：1.5だった。よって、より強いダイラタンシーの流体は、水：片栗粉=1：1.5であると考ええる。

ダイラタンシー現象とは

粉末固体粒子と液体からなる混合物が示す、異常な粘性。急激な外力に対しては固体のようにふるまい、ゆっくりとした外力に対しては液体のようにふるまう性質を指す。この性質をもつ流体をダイラタンシー流体(ダイラタント流体)という。

[コトバンク内、デジタル大辞泉より引用]

目的

以前、ダイラタンシー現象によって液体の上を走るという企画のテレビ番組が放映していたのを偶然視聴した。

その番組の内容から私達はダイラタンシー現象について興味を持ち、ダイラタンシー現象の発生する混合物を衝撃の吸収や防弾等に活用できないか考えた。そのため、まずどのような粉と水の混合物においてダイラタンシー現象が発生するかについて研究する。その後、より強いダイラタンシーの流体の作成を行い、最終的にはダイラタンシー現象であらゆる衝撃を防ぐ混合物の作成を目指すことにした。

<第一次実験>

1-1. 使用器具・装置

- ・小麦粉・片栗粉・葛粉・水
- ・秤・ボウル・匙・ピーカー



図1 第一次実験に使用した器具

1-2. 実験目的

ダイラタンシー現象が実際に発生するかを確認する。

1-3. 研究・実験の手順

1 三種類のダイラタンシー現象が起こると予想した粉末(小麦粉、片栗粉、葛粉)を用意し、それぞれ75gずつを水50gと混ぜて混合物を作成する。

2 上記1の手順で作成した混合物の表面を匙で叩き、ダイラタンシー現象が起こるか否かについて確認する。

ここでは、ダイラタンシー現象の発生の有無を確認するだけであるため、物体にかかる衝撃の強弱については考えないこととする。

1-4. 仮説

三種類の粉末の混合物全てにおいて、ダイラタンシー現象の発生による抵抗を示す。(匙が衝撃を加えた瞬間、混合物内に埋まらない。)

1-5. 結果

小麦粉	ダイラタンシー現象の発生が確認できなかった。混合物はパン生地のように纏まって流体ではなかった。
片栗粉	ダイラタンシー現象の発生が確認できた。表面は匙で叩いた瞬間、抵抗を示した。
葛粉	ダイラタンシー現象の発生が確認できた。表面は匙で叩いた瞬間、抵抗を示した。

1-6. 考察

小麦粉以外の2種類の粉末(片栗粉、葛粉)において、混合物の表面を匙で叩いた際、通常の粘性を帯びた液体(流体)ではなく固体のように表面が固くなった。よって以上の2種類の粉末はダイラタンシー現象が発生したと考えることができる。小麦粉については上記の2種類の粉末のように流体を作成することができず、粉が纏まってしまった。ダイラタンシー現象は流体のみにおいて発生するため、小麦粉では発生しなかったと考えられる。

小麦粉のみ流体を作成できなかった原因としては、3種類の粉末のうち小麦粉内のみに含まれるたんぱく質(グリアジン、グルテニン)が原因であると考えられる。このたんぱく質が水と結合しグルテンへと変化し、結合して発生したグルテンによって混合物内に粘りが発生し、粉末が固まってしまったためであると考察した。



図2 ダイラタンシー現象を確認できた混合物



図3 混合物でダイラタンシー現象が匙の衝撃によって発生している様子

<第二次実験>

2-1. 実験使用器具、装置

- ・片栗粉・水・秤・ボウル・匙
- ・ビーカー・物差し・ビー玉
- ・ストップウォッチ



図4 第二次実験に使用した器具

2-2. 実験目的

ダイラタンシー現象の発生する混合物の粉末と水の比率を変化させ、粉末と水の最も適当な割合を計測する。

粉末は前実験でダイラタンシー現象の発生を確認した2種類の粉末のうち、手に入りやすく安価な片栗粉を使用した。

2-3. 実験手順

1 ダイラタンシー現象を確認した粉末（片栗粉）を用意し、粉末と水の比率が1:1（粉末100gと水100g）になるように混ぜ合わせることで混合物を作成する。

2 上記1の手順で作成した混合物を水平な机上に置き、混合物の表面から30cm上からビー玉を自由落下させる。

同時にビー玉を落下させた時間から混合物の入る容器の底に着くまでの時間をストップウォッチによって計測する。上記手順を5回繰り返したのち、その計測時間の平均値を算出する。

3 算出後、混合物内の粉末と水の比率のうち、粉末の比を0.1上昇させるために片栗粉粉末10gを追加し、手順2を行う。

以降、ストップウォッチの計測時間の平均値を算出後、粉末と水の比率のうち粉末の比だけ0.1ずつ増加（片栗粉を10gずつ追加）させ、ダイラタンシー現象の発生が確認できなくなるまで計測を行う。ダイラタンシー現象の未発生については粉末の内部に100gすべての水が吸収され、流体としての形を保たなくなる点を判断基準とする。

2-4. 仮説

ダイラタンシー現象の発生する混合物の最も適当な割合は粉末と水の比が1:1.3である。

2-5. 結果

水と粉末との比率1:1から1:1.6まで行い、実

験手順通りに5回ずつ底に着くまでの時間を測定した。以下がそれぞれの結果である。表内結果

比率/回	1回	2回	3回	4回	5回
1:1.0	0.50	0.42	0.30	0.32	0.38
1:1.1	0.48	0.74	0.85	0.59	1.38
1:1.2	1.26	1.25	1.54	1.17	1.46
1:1.3	1.42	1.55	1.67	1.59	1.75
1:1.4	2.18	2.39	2.46	2.62	2.61
1:1.5	3.49	3.49	3.15	3.14	3.64
1:1.6	—	—	—	—	—

の単位はすべて秒である。

測定結果を比率ごとに平均化し表とグラフに

水:片栗粉の比率	有無	平均時間 (s)	備考
1:1	×	0.41	流体ではなく、片栗粉と水のコロイド溶液であった。
1:1.1	×	0.81	混合物の底でのみ、ダイラタンシー現象が発生していた。
1:1.2	△	1.34	表面で抵抗を示したが、まだ表面が水分で覆われていた。
1:1.3	○	1.60	
1:1.4	○	2.45	
1:1.5	○	3.39	
1:1.6	×	—	片栗粉が1つの固形物に纏まって流体でなくなった。

した。

有無はダイラタンシー現象の発生の有無を表す。○では現象の発生、×では現象の未発生、△は判断に難しいことを表す。

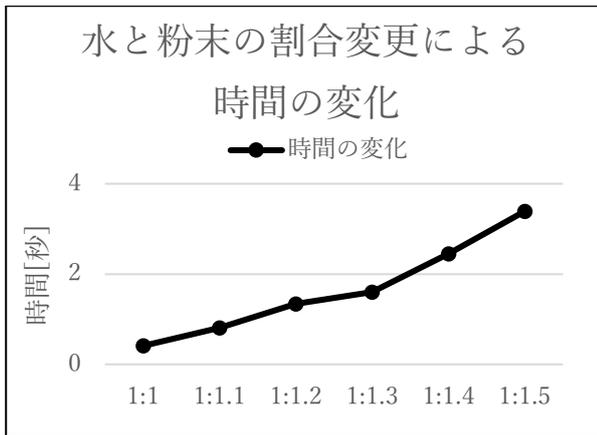


図5 平均値の変化 比率[水:片栗粉]



図6 比率 1:1.6 時に作成された片栗粉塊

2-6. 考察

結果より、ダイラタンシー現象の発生する混合物の最も適している比率は水 1 に対して粉末 1.5 から 1.6 であるのではないかと考察できる。しかし、1:1.1 の結果でも、混合物は底のみではあるがダイラタンシー現象が発生していた。そのため、上記考察と組み合わせダイラタンシー現象は特定の比率になったときに発生するのではないかと考察した。

また、結果時間の誤差に関しては、今回はすべて人の手によって計測したことによって完全に容器底にビー玉が着くと同時にストップウォッチを止めることができず、また落とす瞬間に意図せず力を加えてしまった可能性があるために誤差が発生してしまったのではないかと考察した。

<第三次実験>

3-1. 実験器具、装置

- ・片栗粉・水・匙・洗濯バサミ・紐・秤・瓶
- ・鉄製スタンド・ハイスピードカメラ
- ・セロハンテープ・ビー玉



図7 第三次実験に使用した器具

3-2. 実験目的

第二次実験の考察にて、第二次実験の方法を用いると、誤差が生じてしまう課題点があった。

そのため、第二実験を改良することで再度最適なダイラタンシー流体を模索した。なお、比率に関しては実験にかかる時間を考慮して前実験の結果で○であった3つのみ行うこととする。それにあたって、今実験では流体が持つビー玉の運動が停止するまでの時間の違いを引き起こす性質を『粘性』、その粘性の大きさを『粘度』として定義し、粘度が高いほど最適なダイラタンシー流体であるとして実験する。

3-3. 実験手順

1 前実験同様、片栗粉粉末を用意し、水と粉末との比率が 1:1.3(水 20 g、片栗粉粉末 26 g)になるように瓶内にて混ぜ合わせ、ダイラタンシー現象の発生する混合物を作成する。

2 ビー玉に紐を括り付け、万が一紐がビー玉から離れてしまわないようにセロハンテープで補強する。その後、紐を括り付けたビー玉を洗濯バサミにて挟み、鉄製スタンドを用いて手順 1 にて

作成した混合物の液面よりビー玉の下部までの距離が 30 cm になるように合わせて固定する。

3 固定した洗濯バサミをゆっくり開き、ビー玉を自由落下させる。このとき、ビー玉が液面に触れてから沈み始めるまでの時間を正確に測定するためにハイスピードカメラを用いる。

4 粉末を 2 g ずつ加え、測定を繰り返す。この手順を比率が 1:1.5 になるまで繰り返す。

3-4. 仮説

粘度が最も高いのは水と粉末との比率が 1:1.5 の時である。

3-5. 結果

1,000fps のハイスピードカメラを用いて、液面にビー玉が触れた瞬間から沈み始める瞬間までの時間を計測した。以下の表とグラフがその結果である。

比率	時間(s)	備考
1:1.3	0.054	
1:1.4	0.040	
1:1.5	0.021	

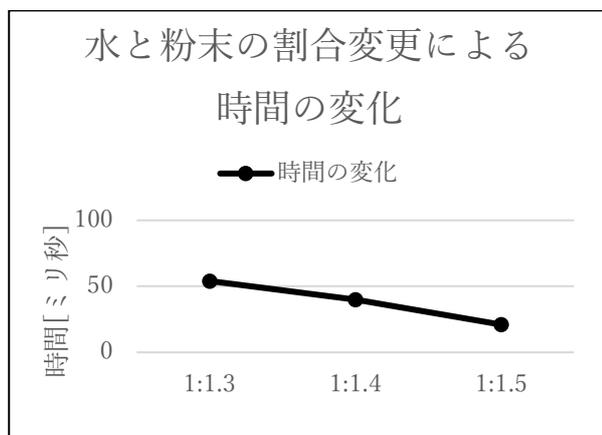


図 8 割合による時間の変化 比率[水:片栗粉]

3-6. 考察

結果より、比率が上昇するにつれてビー玉の下

部が液面に触れた瞬間から沈み始める瞬間までの時間がわずかではあるが減少していることが分かった。比率を上昇させるにつれて時間が減少しているということは、上述の粘性が比率上昇につれて上がっていったのではないかと考えられる。また、第二次実験で発生した誤差に関してもできる限り初速度に影響が出ない仕組みにしたため、水と片栗粉粉末との 1:1.5 が最適なダイラタンシー流体であると言える。

4 全体の考察

今回行った 3 つの実験よりダイラタンシー現象は葛粉、片栗粉粉末で発生し、水との粉末との比率では 1:1.5 最適であると考察した。また、第一次実験よりグルテンのような粉末と水を合成してしまうような物質が発生しない限り、ダイラタンシー現象は粉末と水の混合物内で発生するのではないかと考える。実験後、参考文献中の資料よりダイラタンシー流体は瞬間的に与える力が高ければ高いほど強い粘性を示すことが分かった。

今後の実験では、そういった特性についても考慮して研究を行いたい。

5 今後の展望

今後、純粋な水以外での液体との混合物ではダイラタンシー現象は発生するのか、混合物の温度によつてのダイラタンシー現象の発生の有無、強度変化等の実験を重ねることによって、最終目的である最も強度という面で高い混合物を作成することに尽力していきたい。また、全体の考察で述べた点についても研究を進めていきたい。

また、当初の目的であった防弾チョッキの作成のほかにも別のアプローチができないかについても模索していきたいと考える。

6 参考文献、引用文献

石綿良三, 根本光正著

流れのふしぎ[遊んでわかる流体力学の ABC]

発行: 講談社

山口浩樹, 松本洋一郎著
道具としての流体力学
発行：日刊工業新聞社

伊藤信一郎著
『流れの法則』を科学する[数式なしで見える
流体力学]
発行：技術評論社

竹内淳著
高校数学でわかる流体力学[ベルヌーイの定理
から翼に働く揚力まで]
発行：講談社

https://www.ed.tus.ac.jp/~kaken/column/001_dilatancy.html
Topic001 軟らかい？硬い？ダイラタンシー

<https://kotobank.jp/word/%E3%83%80%E3%82%A4%E3%83%A9%E3%82%BF%E3%83%B3%E3%82%B7%E3%83%BC-157544>
ダイラタンシー現象 コトバンク

<https://www.rs.kagu.tus.ac.jp/~elegance/jikkensp10/dairatansi.html>
ダイラタンシーを作る実験

<https://www.tacmina.co.jp/library/coretech/288/>
9-1. 粘度とは？基礎講座 技術情報・便利ツール株式会社タクミナ

http://www.primix.jp/mixer_lecture/vol2/02.html
文系でもわかるレオロジー かくはん塾 -プライミクス株式会社