

自由研究
の虎の巻!!

まな おうちで学ぶ

土のはたらき

著者

江城静順
土田虎ノ助
水谷昂太郎

山本眞暉
山本亨輔



■注意

本書は著者が独自に調査した結果を出版したものです。

本書の内容を実行・適用・運用したことで何が起きようとも、それは実行・適用・運用した人自身の責任であり、著者や関係者はいかなる責任も負いません。

本書の全部または一部について、著者の許可なく複製することは禁じられています。

はじめに

みなさんは、「土」にどのようなイメージを持っているでしょうか?「公園や田畠にあるもの」「どろだんごを作るのに使う」「服がよごれる」などいろいろなイメージがあるでしょう。実は土というのは、土が身近な人にとっても、そうでない人にとっても、私たちにとって欠かせないものです。毎日食べる野菜の多くは土を使って育てられています。そして何より私たちは土の上で生活をしています。コンクリートやアスファルトにおおわれているところも、その下には土があり、その上に建物や橋が建てられているのです。

このように私たちにとって身近な土には、実は不思議な性質がたくさんあります。例えば、晴れた日が続いたときのグラウンドの土がカチカチであったのが、大雨の後には水がたくさん含まれていてドロドロになるように、状態が変化する性質を持っています。カチカチの状態になる性質は、粘土からろくろを回して陶器を作る時などに役立っています。一方で大雨の時にドロドロの状態になってしまった土が、山からものすごいスピードで流れてくる土石流は、時におうちを壊したり、人の命をうばってしまったりすることがあります。土は私たちにとって身近であり、欠かせないのですが、災害が起きた時には恐ろしい一面も持っているのです。この本では、おうちでできる簡単な実験を通じて、身近な土の不思議なはたらきを体験してもらいたいと思っています。

実験は学校でしかやってはいけないことではありません。安全に十分注意して、大人の方に見てもらいながらであれば、おうちで実験をやってもよいのです。これは土だけでなく理科や算数（数学）、国語、社会でも同じです。何か気になることがあつたら、模型を作って確かめてみたり、学校で習ったことを日常で使えないか試してみたり、自然の中で生き物や地形を観察してみたり。試してみる、作ってみる、観察してみる、そうすると勉強はもっと楽しくなると思います。それでは、安全に気を付けて、実験を楽しみましょう!

2022.08.02
サークル代表・江城静順

目次

はじめに	i
第1章 ミニトマトの水分量を調べよう!	1
1.1 土ってなにからできているんだろう?	2
1.2 ミニトマトを使って、含水比を調べてみよう!	2
1.2.1 準備するもの	3
1.2.2 手順	3
1.3 ミニトマトには水分がどれだけ含まれている?	5
第2章 最強!?どろだんごを作ろう!	7
2.1 最強!?どろだんご道場へようこそ	8
2.2 さっそく作ってみよう	8
2.2.1 準備するもの	8
2.2.2 手順	9
2.3 どろだんごを作っているときのギモン	12
2.3.1 最も固めやすい水の量はどれくらい?	12
2.3.2 なぜ砂を分けたり、スタッキングでみがいたりするの?	13
[コラム] なぜ『ふよう土』や『砂浜の砂』はどろだんご作りに向かないの?	14
第3章 土がふき上がる!?ボイリング現象を観察しよう!	15
3.1 道路に大きな穴が!?	16
3.2 地下にはたくさんの水が溜まっている	16
3.3 体感してみよう	17
3.3.1 準備するもの	17
3.3.2 実験で使う土を用意する	17
3.3.3 実験装置の作りかた	18
3.3.4 観察してみよう	19
3.4 なぜふき上がってしまったのか?	19
3.5 社会に潜むボイリング現象のこわさ	20
第4章 建物が沈む?液状化現象を体感しよう!	21
4.1 世の中の四大恐ろしいもの!	22
4.2 体感してみよう	22

目次

4.2.1	準備するもの	22
4.2.2	実験の進めかた	23
4.3	液状化のアレコレ	25
4.3.1	液状化では何が起こっているのか?	25
4.3.2	土をふるいにかけた後、水で洗うのはなぜ?	26
4.3.3	液状化が起こって困ることは?	27
第5章	土の「水はけ」をはかろう!	29
5.1	「水はけ」の良さがわかるとうれしいこと!	30
5.1.1	めざせ!グラウンド予報士	30
5.1.2	田んぼの土と畑の土	30
5.2	体感してみよう	31
5.2.1	準備するもの	31
5.2.2	実験装置の作りかた	31
5.2.3	実験の進めかた	36
5.3	土の水はけのギモン	37
5.3.1	この実験装置はどうやって土の水はけをはかっているの?	37
5.3.2	もっとも水はけがよい土はどれ?	38
おわりに		39

第1章

ミニトマトの水分量を調べよう!

実験レベル: ★☆☆

土に入っている水の量を知るにはどうすれば…え!はかる方法があるんですか!

【この章の内容】

1.1	土ってなにからできているんだろう?	2
1.2	ミニトマトを使って、含水比を調べてみよう!	2
1.3	ミニトマトには水分がどれだけ含まれている?	5

1.1 土ってなにからできているんだろう?

土の中には砂つぶと、水と、実は空気が入っています。水の量が変わると、土はべちゃべちゃのものからカラカラのものまでさまざまに変化します。どろだんごを作る時、べちゃべちゃでもカラカラでも作りにくいで。みんながご飯を腹8分目食べるのがちょうどよいのと同じで、土にとっても多すぎず少なすぎないちょうどよい水の量があります。ではそもそも、土にどれくらいの水が含まれているかをどのように表せばよいのでしょうか? 実はみなさんが小学校で習った、「比」を使って表すことができます。

たとえば 10g の水と、100g の砂つぶがあったとします。すると水と砂つぶのおもさの比は 1:10、比の値にすると $1/10$ で 0.1 になります。この比の値のことを、「含水比(がんすいひ)」と呼びます。これで水のおもさが砂つぶのおもさの何倍になるのかが分かります。今回であれば水のおもさは砂つぶのおもさの 0.1 倍あるとなります。含水比は一般的に 10% のように % で表すことが多いです。

..... 含水比の求め方

$$\text{含水比} (\%) = (\text{水のおもさ} / \text{砂つぶのおもさ}) \times 100$$

.....

第2章でどろだんごを作りながら、水の量を調節し、含水比の値を大きくしたり、小さくしたりして、1番土を固めやすい水の量を探していきます。まずは含水比を感じてもらうために、この章ではミニトマトの含水比を計算してみましょう。

1.2 ミニトマトを使って、含水比を調べてみよう!

ミニトマトにはたくさんの水分が含まれていることは知っていますか? ミニトマトをかじると、赤い汁が出てきて、服をよごしてしまった経験があるかもしれません。赤い汁の正体は水分なので、それだけミニトマトにはたくさんの水分が含まれています。

ここではどれだけの割合の水が含まれているか、含水比を計算してみましょう。ミニトマトは土ではないので、この章の含水比は、(水のおもさ) / (ミニトマトの皮や種の部分(水以外)のおもさ) ということにします。

♣ 1.2.1 準備するもの

- ミニトマト
- 塩
- はかり
- オーブン
- クッキングシート

♣ 1.2.2 手順

0. 《下準備》オーブンを 130 °C に予熱する。



1. ミニトマトと塩のおもさをはかる（最初のおもさ）。

- ミニトマトの個数は何個でも大丈夫です。
- 塩は 1 つぶならひとつまみ、10 つぶ程度なら小さじ 1 杯程度あると良いです。
- 測った値は記録をしておきましょう。

2. ミニトマトを半分サイズに切り、クッキングシートで軽く水分をとる。

- 切ることで、ミニトマトの中の水分が出てやすくなります。



3. ミニトマトをオーブンに入れる。

- 天板にクッキングシートを敷き、その上にミニトマトの切った面が上になるように並べておきましょう。
- 塩を振り、ミニトマトの水分をできるかぎり抜きましょう。

4. 余熱が完了したオーブンで 60 分加熱して、乾かす。

- 加熱後、天板の上に冷めるまでそのままにしておきましょう。
- こげないように様子を見ながら加熱しましょう。



5. 完全に乾いたミニトマトのおもさをはかる（最後のおもさ）。

- 測った値は記録をしておきましょう。



1.3 ミニトマトには水分がどれだけ含まれている?

ミニトマトの含水比を計算する時は、オープンで乾燥させる前の（最初のおもさ）とオープンで乾燥させた後の（最後のおもさ）を使います。トマトの中には水と、皮や種の部分がありますが、オープンで乾燥させると水が蒸発してなくなります。つまり、乾燥させる前の（最初のおもさ）は水と、皮や種の部分の両方を足し合わせたおもさで、乾燥させた後の（最後のおもさ）は皮や種の部分のおもさとなります。そして、（最初のおもさ）から（最後のおもさ）引くと、トマトの中の水のおもさが求められます。

式で表すとこのようになります。

ミニトマトの含水比の求め方

- ミニトマトの中の水のおもさ = (最初のおもさ) - (最後のおもさ)
- ミニトマトの皮や種の部分のおもさ = (最後のおもさ)
- ミニトマトの含水比 = ミニトマト中の水のおもさ / ミニトマトの皮や種の部分のおもさ

つまり含水比は、
 $\{(最初のおもさ) - (最後のおもさ)\} / (最後のおもさ)$
 で求めることができます。

今回の実験結果を確認してみましょう。ここでは9個のミニトマトで実験しました。最初のおもさが100.4 g、最後のおもさが13.0 gだったときのミニトマトの含水比を求めてみましょう。

- ミニトマトの中の水のおもさ = 100.4 g - 13.0 g = 87.4 g
- ミニトマトの皮や種の部分のおもさ = 13.0 g
- ミニトマトの含水比 = (87.4 g / 13.0 g) × 100 = 670 %

この例だと、ミニトマトの中の水のおもさは、皮や種の部分のおもさの6.7倍のおもさ（含水比 = 670%）ということになります。つまり、ミニトマトにはそれだけたくさん水分を含んでいることがわかります。ミニトマトをかじるときには、水分が飛び散らないように十分注意しましょう！

第2章

最強!?どろだんごを作ろう!

実験レベル: ★☆☆

丈夫でピカピカなどろだんごを作りたいのです!

【この章の内容】

2.1	最強!?どろだんご道場へようこそ	8
2.2	さっそく作ってみよう	8
2.3	どろだんごを作っているときのギモン	12

2.1 最強!?どろだんご道場へようこそ

みなさんはどろだんごを作って遊んだことはありますか? 作るなら、びくともしないくらい丈夫で、ピカピカに光る最強のどろだんごを作りたいですよね。そのために大事なポイントが2つあります。

最強!?どろだんご作りのコツ

- 固めるのにちょうど良い水の量を見つけること
- どろだんごの表面を細かい土の粉でおおって、みがく!

固めるのにちょうど良い水の量を見つけるには、1章（P.2）で勉強した「含水比」を大きくしたり小さくしたりして見つけます。また、細かいさらさらの土の粉を振りかけてみがくと、ピカピカなどろだんごが作れます。

この章では、どろだんご作りに関係する土の特徴も一緒に学びながら、強くてピカピカな最強!?どろだんご作りをしていきましょう!

2.2 さっそく作ってみよう

♣ 2.2.1 準備するもの

- 土（葉っぱの入った土（ふよう土）や、砂浜の砂はどろだんご作りには向きません。）
- 水
- 計量カップ
- はかり
- スコップ
- スpoon（使い捨てのものがおすすめ）
- 皿・プラカップ（使い捨てのものがおすすめ）
- 粉ふるい（お菓子作りなどに使うもの。目の粗さが1mmくらいがよい。）
- ストッキング

♣ 2.2.2 手順

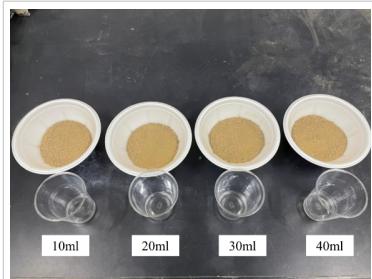


1. 必要なものを準備する。

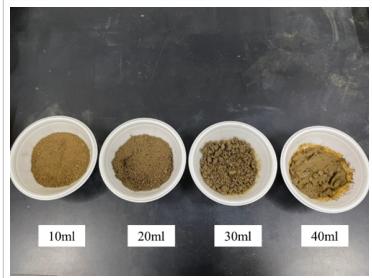
- 土はよく乾いたものを 1 kg ほど用意しましょう。



2. 土を 200g ずつ 4 皿に取り分ける。

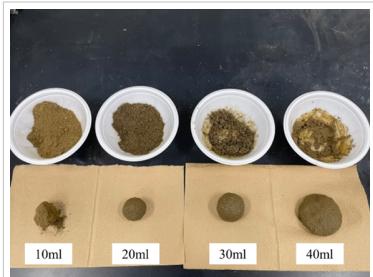


3. 水を 10、20、30、40ml ずつ用意する。



4. 土に水を加え、よくかき混ぜる。

- 全体に水がしみこむように、スプーンで底からすくってよくかきませましょう。



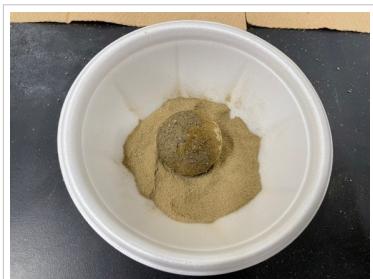
5. 土を握って固め、どろだんごを作る。

- 加えた水の量のちがいによって、固めやすさも変わることがわかります。
- うまく固められたものを選んで、次に進みましょう。



6. 乾いた土をふるいにかけ、細かい砂と粗い砂に分け、細かい砂を皿に取っておく。

- 粗い砂はこの後使いません。
- 細かい砂はこの後⑦、⑩で使います。



7. 湿っている所を探して細かい砂を振りかけ、余分な砂は振り落とす。

- 余分な砂をちゃんと落とすのが、きれいに作るコツです!



8. 全体の湿り気がなくなるまでこの作業を繰り返す。

- どろだんごが全体的に白っぽくなるまで続けましょう。

9. 風通しの良い日陰で 30 分乾燥させる。



10. ストッキングに、6 でふるい分けた細かな砂つぶを入れる。

- ストッキングはいらなくなつたもので大丈夫です。



11. ストッキングの両端を持って上下させると、より細かな土の粉が出てくる。

- 土の粉は⑫で使います。



12. 乾燥後、土の粉を振りかけて指ですり込むようにみがき、また乾燥させる。

- でこぼこをなくすように、指の腹でていねいにみがきましょう。





13. 乾燥後、手にストッキングをはめて、手のひらでやさしくみがく。

- どろだんごの表面がはがれないようにそっとみがきましょう。



14. ピカピカになるまでみがいたら完成!

- 満足するまで根気強くみがきましょう。

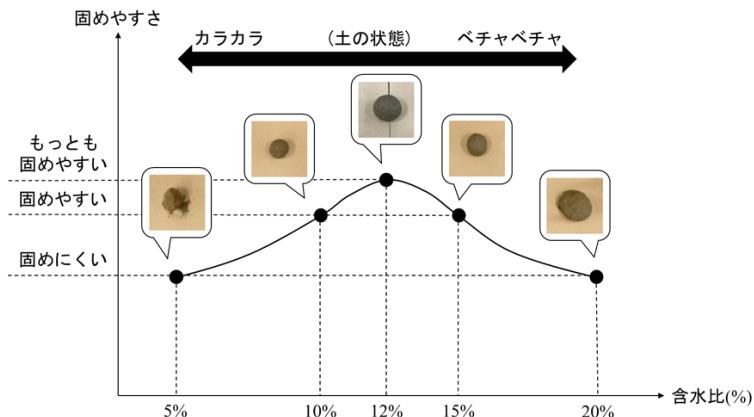
2.3 どろだんごを作っているときのギモン

♣ 2.3.1 最も固めやすい水の量はどれくらい?

土に水を加える作業では、同じ量の土(200g)に、10、20、30、40mlの水を加え、4種類の湿った土を用意しました。少ない水を加えたカラカラの土はうまく固まらず、反対に多くの水を加えたべちゃべちゃの土もうまく固まりません。つまり土を固めるには、水の量が多すぎず、少なくすぎず、ほどよく中くらいの水の量が1番良いのです(図2.1参照)。今回用意した土では、含水比(第1章P2参照)が10%~15%の状態が、最もどろだんご作りに適しているといえます。

なお今回の実験では、200gの乾いた土に24gの水を加えた、含水比12%の状態の土が最も作りやすかったです。

土を固めるのに最も適した状態の含水比は「最適含水比(さいてきがんすいひ)」とよばれます。今回使った土の最適含水比はおよそ12%です。



▲図 2.1: 含水比による固めやすさ

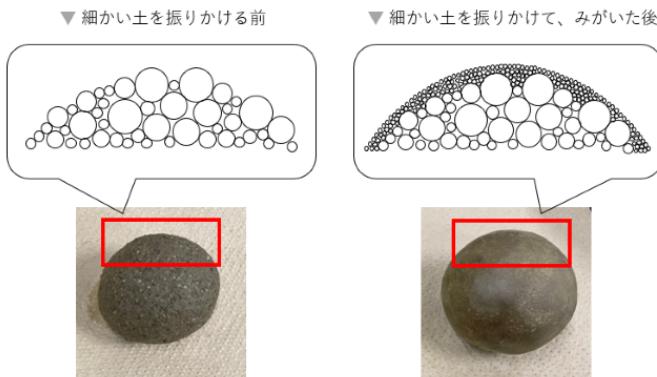
♣ 2.3.2 なぜ砂を分けたり、ストッキングでみがいたりするの?

ふるい分けをした後の土を観察してみよう。



▲図 2.2: ふるい分けによる違い

ふるいを通りぬけた土は粗さがとれてさらさらになります。ストッキングを通り抜けた土はさらに細かな砂つぶが集まり、粉のようになっています。このように土は、「大きなつぶ」から「粉のように細かなつぶ」まで、いろいろな大きさのつぶが合わさってできています。どろだんごをピカピカにするには、その表面に細かなつぶがそろっていることが必要です。ふるいにかける前の土を湿らせて固めただけだと、その表面には大小さまざまの大きさのつぶがあり、でこぼこしています。そこに、より細かなつぶを振りかけてみがくことで、細かなつぶがそれらのでこぼこを埋め、表面が平らになります。さらに、ストッキングでやさしくみがくことで表面のつぶがきれいに整って、ピカピカになっていきます。



▲図2.3: 細かい砂つぶをふりかける前後の表面の違い

外でどろだんご作りをする時は、振りかけるためのさらさらの砂が手に入る場所を探すこともあります、ふるいやストッキングを使うことで、細かい土の粉を手に入れるることができます。

【コラム】なぜ『ふよう土』や『砂浜の砂』はどろだんご作りに向かないの?

皆さんは「土」を準備しようと思ったら、どのような土を思い浮かべますか? グラウンドの土、畑の土、森の土、砂浜の砂、河原の砂…

ひとことに「土」といってもいろいろな土があります。ただし、ふよう土(森や畑の土)や砂浜の砂はどろだんご作りには向いていません。確かにふよう土や砂浜の砂も、水にぬらしてぎゅっと握れば固めることはできます。

2.3.2(P.13)で説明したように、どろだんごをピカピカにするためには、細かい砂つぶを振りかける必要があります。しかし、砂浜の砂には細かい砂つぶがほとんど含まれていません。また、ふよう土には細かい砂が含まれていますが、細かい砂つぶが多くふくまれている土としては、川の堤防や、公園の砂場、グラウンドの土などが挙げられます。乾いた状態の土をひとにぎり手に取ってさらさらと落とし、砂ぼこりが舞ったら、それは細かい砂つぶが多くふくまれた、どろだんご作りに向いている土といえるでしょう。

第3章

土がふき上がる!?ボイリング現象 を観察しよう!

実験レベル: ★★☆

いきなり地面がふき上がるって本当ですか?

【この章の内容】

3.1	道路に大きな穴が!?	16
3.2	地下にはたくさんの水が溜まっている	16
3.3	体感してみよう	17
3.4	なぜふき上がってしまったのか?	19
3.5	社会に潜むボイリング現象のこわさ	20

3.1 道路に大きな穴が!?



▲図3.1: 地面に空いた大きな穴^{*1}

みなさんは道路に大きな穴が開いてしまったというニュースを見聞きしたことはありませんか? 実は日本の至る箇所でこういった事故が発生しています。このような事故が起きたら、数日の間道路が使えなくなってしまい、車が通れなくなったり、近くのビルで働いている人はビルの中で働けなくなったりします。

道路や線路など私たちの生活を支えているものなどを「インフラ」といいます。インフラが使えなくなると、多くの人の生活が止まってしまいます。上のような大きな穴が開いてしまう「陥没(かんぼつ)」を含め、インフラが使えなくなってしまう地盤の現象はたくさんあります。

そのような現象のうち、今回本書では簡単に実験ができる「ボイリング現象」を3章で、「液状化(えきじょうか)」を4章で扱います。実験を通じて地盤の不思議な現象を体感し、こういった現象がなぜ起こるかと一緒に考えていきましょう。

3.2 地下にはたくさんの水が溜まっている

東京をはじめ多くの都市では、地下鉄やデパートの地下階など、ふだんのくらしの中で地下空間の利用は切っても切り離せません。地下に建物を作るには、地面で工事ができる空間を作っています。そんな地下には実は、多くの場所で水がたくさん溜まっています。このたまたまた水が工事現場で事故を引き起こす原因になることがあります。

^{*1} photoAC:<https://www.photo-ac.com/main/detail/22270897>

この章では土と地下にたまっている水に関わる問題の1つである、「ボイリング現象」というものを体感してみましょう。

3.3 体感してみよう

3.3.1 準備するもの



▲図3.2: 準備するもの

- 土
- 粉ふるい（都合の良い砂つぶをふるい分けます）
- 中身の見える容器（保存容器など）
- 下敷き
- セロハンテープ
- コップ
- ペン
- 定規
- はさみ
- スマホ（現象は一瞬なので、動画で撮影しておきましょう!）

3.3.2 実験で使う土を用意する

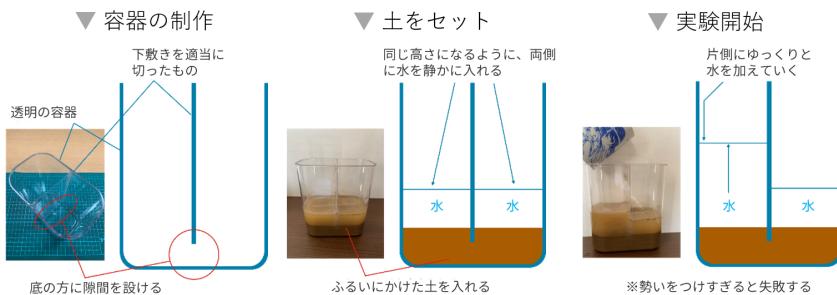
土をふるいにかけ、水で洗います。ふるいで小石を取り除きます。また洗うことで、細かい砂つぶを取り除きます。細かい砂つぶを残しておくと、実験の時、水が濁ってしまってよく見えません。ふるいをかけた後も、目で見て大きめの石や砂があれば手で取り除きます。これで実験用の土が作れました。



▲図3.3: ふるいにかける様子

※公園の砂場から砂を取ってくるのは止めましょう。

♣ 3.3.3 実験装置の作りかた



▲図3.4: 準備～実験の手順

まず、容器を作りましょう。容器の長さを測り、長さが合うように下敷きを切ります。次に、下敷きで容器を仕切れます。この時、底の方にすき間が開くようにしましょう（図3.3-左）。うまく調節できたら、セロハンテープなどを使って固定します。底以外にはすき間ができないようにしましょう。（参考: この例では、高さ178mm、幅78mm）

次に、ふるいにかけた土を容器の底に入れます。仕切りのすき間よりも上まで土を入れます。その上に静かに水を加えます（図3.3-中央）。水の量は、仕切りの両側で大体同じ高さになるようにしましょう。

準備ができたら、コップなどを使ってゆっくりと水を加えていきます。勢いよく水を加えると、水がにごったり、土がかき乱されたりしてしまって、ボイリング現象が観察にくくなってしまいます。

最後にカメラをセットして、ボイリング現象を記録できるようにしましょう。

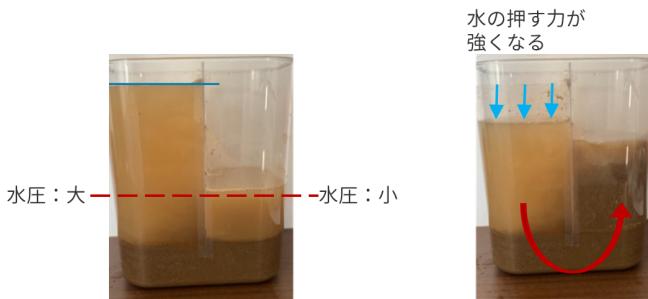
♣ 3.3.4 観察してみよう

片側にゆっくりと水を加えていくと、ある所で急に水位が低い側の底の土がふき上げられ、水がにごる様子が観察できます。そして、両側の水位が同じ高さになるまでどんどん底の土がふき上げられてしまいます。これがボイリング現象です。



▲図 3.5: ボイリング現象の観察

3.4 なぜふき上がってしまったのか?



▲図 3.6: ボイリング現象が起こるしくみ

みなさんはお風呂の洗面器を逆さにして、湯ぶねの中にしづめた経験はあるでしょうか? 水面から深くなるほど、大きな力が必要だったとおもいます。このように水圧は、水面から深くなるほど、大きくなります。

図 3.6-左を見て、同じ高さで水圧を比較してみましょう。仕切りより左側の方が右

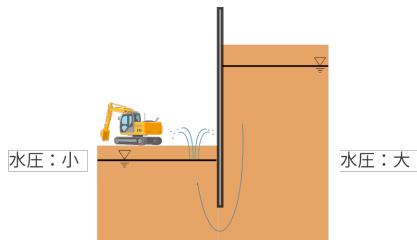
側に比べて、水圧は大きくなります。すると力は大きいほうから小さいほうへ、仕切りを境に、反時計回りに伝わっていきます。これで土が噴き上げられましたのです。

3.5 社会に潜むボイリング現象のこわさ

地下空間を作るためには、重機を使って地面に穴をあけて、掘り進めていきます。掘り進めていくと、だんだん水が湧いて出てきてしまうことがあります。何も対策しないと、重機などが水没しで使えなくなったり、工事をしている人がまき込まれてしまったりする可能性があり、とても危険です。

そうならないように、掘った穴の周りをぐるっと鋼鉄の板で囲んでしまって、水が流れ込んでくるのを防ぎます。

鉄板で周りを囲ってしまえば大丈夫!と感じますが、掘っている足元の土にも水が含まれています。この水もゆっくり上へ出てこようとしているのですが、足元の土を掘っていきたいので、鉄板で覆うわけにも行きません。



▲図3.7: 工事現場とボイリング現象

掘り進めていくと、鉄板で押さえられている土の中の水と、底面の水の高低差が大きくなっています。そして、ある所まで掘り進めたら、大きな高低差によって底面の水が噴水のように上へとふき上がろうとして、土と一緒にふき上がります。こうなると、工事をしている底面に水がどんどん流れ込んできて、工事は大失敗になります。

こういった事故を防ぐために、工事現場ではたらく人は細心の注意を払って作業を進めたり、対策をしたりしています。

第4章

建物が沈む？ 液状化現象を体感しよう！

実験レベル: ★★☆

「液状化」って言葉は聞いたことあるけれど… いったい何なのですか？

【この章の内容】

4.1	世の中の四大恐ろしいもの!	22
4.2	体感してみよう	22
4.3	液状化のアレコレ	25

4.1 世の中の四大恐ろしいもの！

みなさんは、「地震・雷・火事・おやじ」という言葉を聞いたことがありますか？これは江戸時代から伝わる言葉で「恐ろしいもの」を順番に並べたものです。ここで「地震」が最初にくることから、私たちの国日本では、地震が昔から恐れられていたことがわかります。近年も大きな地震が起こっており、建物や道路が壊れてしまった様子を見たことがある人もいるでしょう。

また地震の怖い面のひとつとして「液状化（えきじょうか）」というものがあります。一度はこの言葉を聞いたことがある人もいるでしょう。しかし、この「液状化」が一体何なのかを知っている人は、きっと少ないのではないか？

この章では、地面の模型を作って液状化を起こす実験の方法を紹介します。「液状化」では一体何が起こっているのか、また起こるとどんな良くないことがあるのか、実験を通して考えてみましょう。

4.2 体感してみよう

♣ 4.2.1 準備するもの

- 土（公園で実験する場合、砂場の砂を使ってみてもよいです。その場合は土は元あった場所にもどしましょう。）
- 水
- スコップ
- 粉ふるい（お菓子作りなどに使うもの。目のあらさが1mmくらいのものがよい。）
- ストッキング
- 土より軽いもの（消しゴムや発泡スチロールなど）
- 土より重いもの（鉄球など）
- 水洗い用の容器（小さめのボウルやタッパー）
- 液状化実験用の容器（小さめのボウルやタッパー）
- 木づち

✿ 4.2.2 実験の進めかた



1. 必要なものを用意する。



2. 土をふるいでふるう。



3. ふるった後の土はこのようになる。



4. 容器に水をためる。



5. ふるった後の土をストッキングに入れる。



6. 土をいれたストッキングを水につけて、ゆすったり、もんだりする。

- こうすることで、細かな土のつぶが取り除かれます。



7. じやりじやりした感触になったら、土をストッキングから取り出し、液状化実験用の容器に入れる。⑤～⑦の作業を繰り返す。実験用容器の底から 3cm ほど土を入れる。



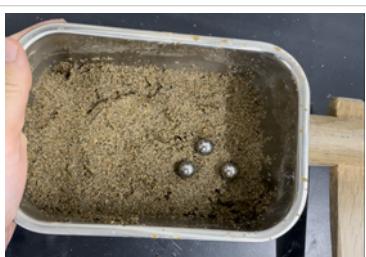
8. 土をかき混ぜ、表面を平らにしたら、用意した重いものを土の上にそっと置き、軽いものを土の中に埋める。

- 重いもの: 鉄球
- 軽いもの: 発泡スチロール

9. 埋めた後の様子はこのようになる。



10. 容器の横から木づちでたたき、振動を与える。



11. たたいていくと、土の中から水が吹き出して、重いものは沈み、軽いものは浮いてくる。

- 上手くいかなかったら、水を足してかき混ぜて、⑧からやり直しましょう。
- ⑧に戻ればまた液状化を起こすことができます。



4.3 液状化のアレコレ

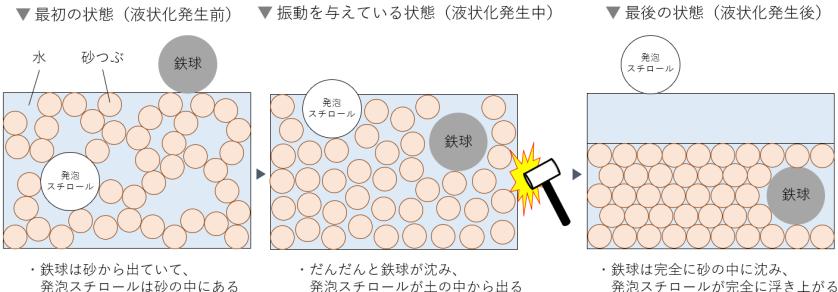
♣ 4.3.1 液状化では何が起こっているのか？

地面が液状化すると、土から水がしみ出していくことが実験で分かりました。このとき土の中では何が起こっているのでしょうか？

同じくらいの大きさの砂つぶの集まった土が、水を含んでゆるく積もった状態に、地震の揺れ（実験では木づちの衝撃）が加わることで、ばらばらにゆるく積もっていた土が、水のようになります。すると、砂つぶ同士のすき間に入り込んでいた水が土の中からふき出して、重い砂つぶは下に、軽い水は上に行きます。

また土が水のようになると、土は上に乗っているものを支えられなくなるため、重

い鉄球は土の中に沈み、土の中の軽い発泡スチロール玉は浮き上がる、ということが起こります。



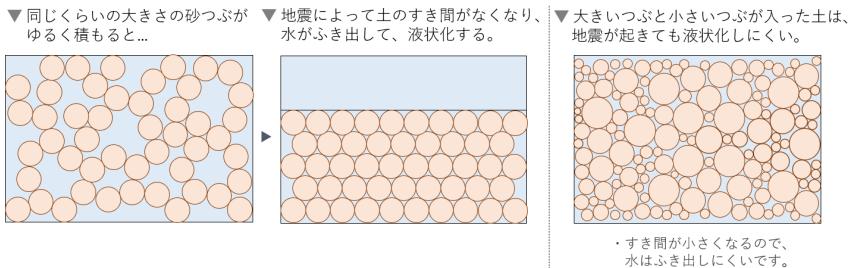
▲図4.1: 実験装置で液状化が起こるしくみ

♣ 4.3.2 土をふるいにかけた後、水で洗うのはなぜ？

液状化が起こりやすい土の条件として、図4.1の図のように「同じくらいの大きさの砂つぶが集まっていること」、「その土がふんわりとゆるい状態で積もっていること」、「土に多くの水がふくまれていること」が挙げられます。

用意した土を、1mmの目のふるいにかけると、ふるいを通り抜けた土は、1mmより大きい砂つぶが取り除かれています。次に、その土をスタッキングに入れて水で洗うと、スタッキングの繊維の目よりも細かい土の粉が洗い流されます。そして、スタッキングの中には、細かい土の粉が取り除かれた、1mmくらいの砂つぶだけが残ります。

こうすることで、液状化が起こりやすい、同じくらいの大きさの砂つぶが集まった土を作ることができます。

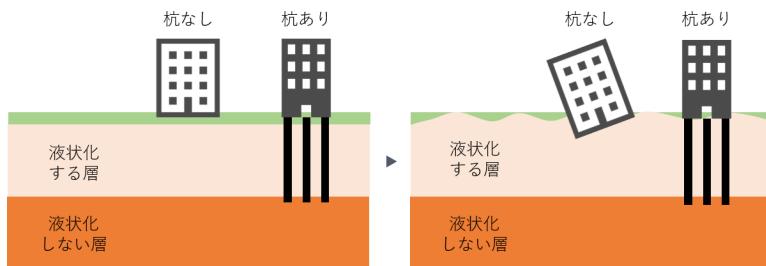


▲図4.2: 液状化が起こりやすい土と起こりにくい土

♣ 4.3.3 液状化が起こって困ることは?

液状化が起こると、地面の「支える力」がなくなります。すると、実験で鉄球が沈んだように建物が沈み込んで傾いたり、発泡スチロールが浮かび上がったように、空気の入ったマンホールが浮かびあがったりします。過去に起きた大きな地震では、このような被害をたくさん受けました。

こうした被害が出ると、修理をするのがとても大変です。そのため、最近では液状化が起こらないようにするための工事が行われています。例えば、爆発の衝撃を使って、地震がくるより先に液状化を起こしてしまう工事や、液状化を起こさない深い層に建物が足をつけるように杭を打つ工事をしています。



▲図 4.3: 液状化の起こる前後

第 5 章

土の「水はけ」をはかろう!

実験レベル: ★★★

「乾きやすい土」と「乾きにくい土」って何がちがうんですか?

【この章の内容】

5.1	「水はけ」の良さがわかるとうれしいこと!	30
5.2	体感してみよう	31
5.3	土の水はけのギモン	37

5.1 「水はけ」の良さがわかるとうれしいこと!

この章では、実験を通じて、土によって水はけが変わることを観察します。そこでまず、身の回りの水はけが関係する現象について考えてみましょう。

♣ 5.1.1 めざせ!グラウンド予報士



▲図 5.1: グラウンド*1

サッカーや野球で使うグラウンドは雨が降っているときや、雨が止んすぐには、地面がべちゃべちゃで使えなくなってしまいます。グラウンドが乾いて使えるようになるまであとどれくらいかかるのか、みなさん天気予報や普段そこを使っているときの感覚で予想していることでしょう。しかしグラウンドの土、アスファルトの校庭などをはじめとして、場所や条件が変われば、地面が乾くまでの時間はまったく違います。この「水はけ」のよさを、場所や条件によって見極め方が分かれば、はじめての場所でもある程度どのくらいでまた使えるようになるかを予測することができます。実験を通じて、グラウンド予報士も目指してみましょう!

♣ 5.1.2 田んぼの土と畑の土

みなさんが毎日食べているお米や野菜はどこで作られているか知っていますか? お米であれば新潟県、北海道、秋田県で、野菜のなかでも例えばトマトは北海道や茨城県、熊本県で多く収穫されています。このように作物によって各県の収穫量は様々であり、それは気候や土の状態、水が手に入りやすいかななど、その土地に合わせたものを作ってきたからです。

*1 photoAC:https://www.photo-ac.com/main/detail/23907960#goog_rewareded

今回は特に水や土の状態について見ていくことにします。お米であれば5月ごろに田んぼ一杯に水をはらなければならず、水はけのわるい土が好まれるのに対して、野菜であればある程度水はけがよく、古い空気と新しい空気が循環できるような土が好まれます。この水はけのよしさが、土の種類によって大きく変わります。

5.2 体感してみよう

5.2.1 準備するもの

- 土（100円ショップの鹿沼土や赤玉土、ふよう土、川原の砂などがおすすめです。）
- はさみ
- 2L ペットボトル
- プラカップ 2個
- ガムテープ
- 穴をあけるもの（千枚通しやアイスピックなど）
- 割りばし
- 口の大きいアルミストロー
- ガムテープ
- コーヒーフィルター
- マジックペン
- 割りばし
- はかり
- ストップウォッチ
- 定規

5.2.2 実験装置の作りかた



1.2L のペットボトルから写真のように飲み口の部分を切り取る。

- 面がまっすぐの部分を使います。



2. ペットボトル中央付近に穴をあけて、外側に向けて、口の部分が出るようにする。

- ペットボトルの切り口だけがをしないよう気を付けましょう。



3. プラカップの底に、写真のようにペンで印をつける。

- 底の中心とその周り 6 点に印をつけましょう。



4. アイスピックなどを使って印のところに穴を開ける。

- 穴を開けるときは、道具だけがをしないように十分気をつけましょう。



5. プラカップの上方に 2 つ穴を開け、割りばしをさして穴を広げる。

- 割りばしが完全に入ったら、いったん取りのぞきましょう。



6. 割りばしを刺した下あたりに、アルミストローをさす穴をあける。

- 割りばしをさすのに邪魔にならないところにしましょう。



7. もう一つプラカップを準備し、上から 5cm 位のところに線を引く。

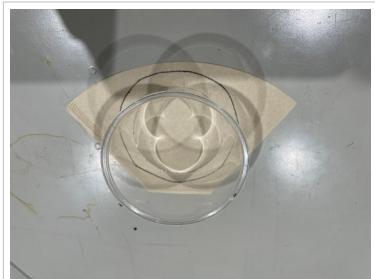


8.7 で印をつけたところで切る。



9.8 で作ったプラカップに $1.5\text{cm} \times 3\text{cm}$ くらいの切り込みを一か所入れる。

- 割りばしをさすのに邪魔にならないところにしましょう。



10. コーヒーフィルターの上に 8 で作ったプラカップをのせ、プラカップに沿った円とそれより少し大きい円を描いて切る。



11.10 で作った円状のコーヒーフィルターに写真のような線を描き、花びらのように切る。



12.11 で作った円状のコーヒーフィルターを、8 で作ったプラカップにかぶせて、テープで止める。



13.6 で作ったプラカップを穴を開けていないプラカップに重ね、水を入れる。水の中に土を落としながら入れていき、線のところまでを土でいっぱいにする。



14.13 の土入りプラカップに、12 で作った
プラカップをはめこむ。



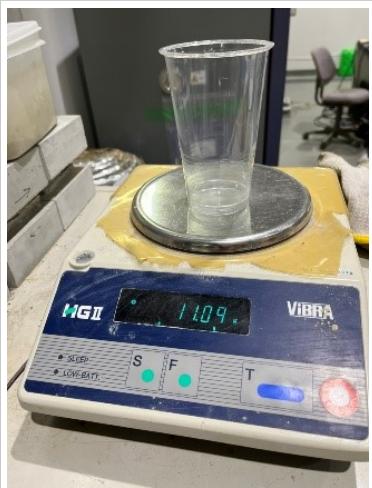
15.14 で作ったプラカップに割りばしとアル
ミストローを刺す。アルミストローは水がも
れないようにすき間をテープで埋める。



16.15 で作ったプラカップを、2 で作った
のペットボトルにセットして、実験装置が
完成。

♣ 5.2.3 実験の進めかた

1. プラカップのおもさをはかる。



2. ペットボトルに水を入れる。



3. 土入りプラカップをペットボトルにセットし、上から水を流し入れる。アルミストローとペットボトルから水が出始めたら測定を始める。

- アルミストローとペットボトルそれぞれから出てくる水の量が一定になるようになります。





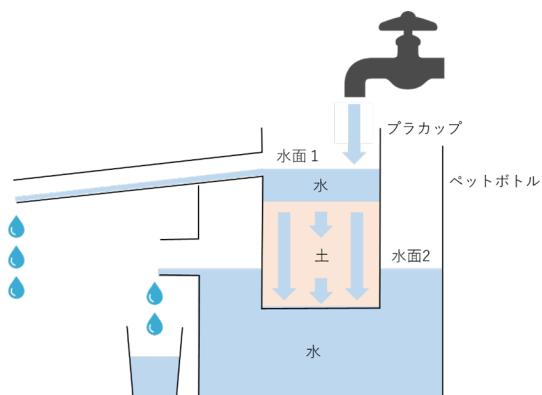
4.30 秒間で下から流れ出てくる水の重さをはかる。

- 水が入ったカップの重さから、カップのみの重さを引くことで、水のみの重さを求められます。
- 測定は 5 回行い、その平均を求めましょう。

5.3 土の水はけのギモン

♣ 5.3.1 この実験装置はどうやって土の水はけをはかっているの？

川の水が流れたり滝の水が落ちるのように、水は高い所から低い所に流れる性質を持っています。この実験装置はその性質を使って水はけをはかっています。今回作った実験装置を、もう少しあかりやすく図で表してみます。



▲ 図 5.2: 実験装置のしくみ

この実験装置には、ラバカップとペットボトルに 2 つの水面ができるようになっています。この図を見てもわかる通り、ラバカップにできる水面 1 の方が、ペットボトルにできる水面 2 よりも高い位置にあります。このような状態になると、水面 1 の水は、土の中を通り抜けて水面 2 に流れていきます。すると、ペットボトルの中の水が増えて水面 2 が上がります。そして、増えた分の水がペットボトルの口から流れ出ま

す。この流れ出た水の量は、土の中を通り抜けた水の量と同じになります。

こうして、土の中を通り抜ける水の量が多いときは「水はけのよい土」、土の中を通り抜ける水の量が少ないときは「水はけの悪い土」と見分けることができます。

◆ 5.3.2 もっとも水はけがよい土はどれ?

今回の実験では、3種類の土を使って実験しました。30秒間で土の中を通り抜けた水の量(g)は、次のようになりました。

土の種類	鹿沼土	ふよう土	川原の砂
1回目	13	227	531
2回目	13	232	552
3回目	14	229	592
4回目	13	228	589
5回目	12	227	581
平均	13.0	228.6	569.0

▲図5.3: 実験結果

結果を比べてみると、通り抜けた水の量は、鹿沼土がもっとも少なく、川原の砂がもっとも多いことがわかります。これは、鹿沼土がもっとも「水はけ」が悪く、川原の砂がもっとも「水はけ」がよいことを示しています。

このように、土の水はけがよくなったり悪くなったりするのには様々な理由がありますが、大きな原因として、①土がつまっていること、②細かい土の粒が多いことが挙げられます。

今回の実験では、水をためたカップの中に土を落としながら入れているので、それほど土はつまっています。土のつぶの大きさを観察すると鹿沼土は細かいつぶが多く、川原の砂は細かいつぶが少なく、ふよう土はその真ん中くらいです。これが鹿沼土、ふよう土、川原の砂で水はけが変わる理由のひとつです。

この水はけの良しあし(水の通りやすさ)のことを「透水性(とうすいせい)」と呼び、水はけのよい土ほど透水性が高いといいます。野菜や果物を作る畑の土は水はけがよいため「透水性が高い土」といえ、田んぼの土は水はけが悪いため「透水性が低い土」といえます。

おわりに

♣ 著者紹介



江城静順 (@Eshirosh)/京都大学大学院工学研究科修士 1 年

家に親が来るときは、ベントナイトを隠しておきましょう。あと「みずかがみ」みんな食べてね!!(<https://x.gd/QjdG7>)



土田虎ノ助 (@splitting_test)/香川高等専門学校建設環境工学科 4 年

恋する小惑星と紡ぐ乙女と大正の月はいいぞ!



水谷昂太郎 (@mizuDoboku)/東京都市大学工学部都市工学科 4 年

土にまったく関係ない出張で、100 円ショップの土を持ち歩いたのはいい思い出。



山本真暉 (@Shearstrength20)/京都大学大学院工学研究科博士 1 年

みんな、博士課程は最高やで。



山本亨輔 (@yamamoto_k_1983)/筑波大学システム情報系助教

出会い系アプリの使い方を教えてほしい今日この頃。

♣ 前日譚



「『自宅実験と素朴な疑問で学ぶ土質力学』みたいな本を出したら売れるだろうか。ツイートボタンぽちー」



「コミケに出しましょう！」



「1 人だと絶対だらけるので誰か手伝ってもらいたいな。
ちら |Δ°)」



「えええ？」



「授業で使えますよ。」



「はい、かしこまりました。」



「やった！」



「私も参加したいです！いいですか？」



「もちろん！頼りにしているよ!!」



「なんかおもしろいもんやってるやん、透水試験と締固め試験なら何十回
とやったから手伝えるよ？」



「ぜひぜひ、お願いします！」



「あれ、話が大きくなつた...。」

～数か月後～



「完成したなあ！」



「毎度のことながら、めちゃくちゃぎりぎりになったな（笑）でも達成感
はんぱないな!!」



「ただのつぶやきが現実になったー(｀;ω;｀)」



「話がすごく大きくなった...」

♣ 謝辞

本書制作では京都大学大学院工学研究科修士2年の竹川雄大氏、修士1年鎌森元吾氏、京都大学4年の藤枝大智氏にご助力いただきました。また本書印刷等のために多くの方からご支援いただきました。

ご支援ご協力いただいた全ての皆様に御礼申し上げます。

おうちで学ぶ！ 土のはたらき

2022年8月13日 (コミックマーケット100)

著 者 江城静順、土田虎ノ助、水谷昂太郎、山本眞暉、山本亨輔
イラスト 尾藤大喜 (https://www.instagram.com/design_kanji/)
発行者 江城静順
連絡先 dobopro1106@gmail.com
<https://dobopro.github.io/DoboPro>
@DoboPro (<https://twitter.com/DoboPro>)
印刷所 プリントパック

© 2022 含水比計測中

(powered by Re:VIEW Starter)