

土にはすきまがいっぱい ― 土の間隙比

地面の土を踏みしめてみましょう。かたくで中味がびっしりつまっている感じがします。しかしこんなしっかりとした地面でも、雨がふったり地震が来たりすると土砂くずれや山くずれをおこしてしまうのはなぜでしょう。これには**土がつぶつぶの集まり**であることが大きく関係しています。一見かたくつまってすきまなどないように見える土であっても、実は**内部にかなりの量のすき間**があるのです。難しい言葉でいうとこれを「土の間隙（かんげき）」といいます。こうした間隙の大きさが変化することによって土が変形したり流動したりするわけです。土の中にある間隙を実感する実験をしてみましょう。

【実験 1；砂質土編】

1. 準備するもの

- (1) 透明なガラスの同じコップを 3 個(上から下までまっすぐの円筒形のコップがよい)。
- (2) 粒径の異なる 3 種類の材料(直径 5 mm、2 mm くらいの石、細かい砂；石は建材ショップ、金魚鉢などを扱っている店に置いてあります。砂は砂場の砂で結構です。)
- (3) 200 cc のビーカーを 3 個



2. 実験の準備

- (1) 1 番目のコップに直径 5 mm の石を、2 番目のコップに直径が 2 mm の小石をつめます。両方ともコップの半分くらいの高さになるようにつめます。3 番目のコップには砂を入れます。砂を入れるときにはだいたい 10 分の 1 くらいの高さまで入れてコップを机にトントンと 10 回ほど当てて密度が均等になるように調整します。この作業を繰り返して石と同じ高さまでつめます。こうして 3 つのコップに同じ体積の種類のちがった材料をつめておきます。
- (2) 次に用意したビーカー 3 つのそれぞれに 200 cc の水を入れておきます。5 mm の石用、2 mm の石用、砂用の水ということにしましょう。



3. 実験の開始

ビーカーにはいった 200 cc の水をそれぞれ直径 5 mm の石、2 mm の小石、砂のはいったコップに注ぎますが、この時一気に注がず、ゆっくりと注いで、石や砂がちょうど浸るところまで水を入れます。どのコップに水を一番多く入れられるでしょうか。皆さんで水が多くはいる順番を予想してみてください。

4. 実験上の注意点

砂や石はふるい分けをして同じふるい目に残ったものを使う方がうまくいきます。こうした材料は粒径（土を構成している粒子の大きさ）がそろった土と言います。また砂のコップに水を入れる時、ビーカーから一気に注ぐと内部に浸透する前に一部表面にたまってしまい、砂面が不均一な形になって石のコップと比較しにくくなります。スプーンなどを使ってゆっくりと入れてやるようにしましょう。

5. 実験結果

大きな石を入れたコップは外側からすき間（間隙）がたくさん見えますが、砂を入れたコップは砂粒がびっしりつまっていて間隙なんかあまりないように見えます。間隙の多い大きい石のつまったコップに水がたくさんはいると予想する人が多くなります。しかし、実際にやってみると、だいたいどのコップにもほぼ同じ量の水がはいるはずです。つまり、大きな石を詰めた場合でも砂を詰めた場合でも、水が入り込める間隙の量がほとんど同じであったということです。外側からはとてもそうは見えませんが、細かい砂にも石の場合とほぼ同じ量のすき間があることがわかります。



6. 身近な地盤に関わる問題との対応

鉄やプラスチックと違って、土には内部にすきま（間隙）があって、空気や水がその中に含まれています。そしてその間隙の量とその中に含まれる水の量によって土の性質が変化し、ある状態では安定化、ある状態では不安定化します。通常、自然の地盤は適度な水分をこうした砂粒の間隙に含んだ状態で存在する（水で飽和はしていないが、適度な量の水分が存在する）ので、砂の粒同士の摩擦と、少量の水があることによって生じる表面張力によって安定していますが、大雨が降るとこの間隙に水が入り込むために隙間は飽和状態に近くなり、表面張力による粒子を引き合う力が低下します。また過剰な水の供給によって間隙の水圧が上昇し、結果として粒同士

の摩擦抵抗が下がってしまいます。これらの相乗作用によって地盤の固結力が無くなって崩壊してしまうのです。天気予報で、「雨が降ると地山（ぢやま）が緩みます。土砂崩れには十分注意して下さい。」とよく言われますが、こうしたメカニズムが背景にあるのです。**土の粒自体は石英を主体とした堅い鉱物で出来ていて十分な強さを持っているのですが、粒と粒との間隙がいたずらをして粒の集合体である地盤の変形が起こるわけです。**このように、土の中にある間隙は大変重要な意味を持っているのです。

【実験 2；粘土編】

実験 1 では石や砂を使って間隙を測定する実験を行いました。では粘土の場合はどうなのでしょう。粘土は粒子が大変細かいため水を通しにくく、じわりと時間をかけて変形する材料です。粘土を一見すると、隙間なくびっしりと粒子が集合しているように見えます。実際はどうなっているのか調べてみましょう。

1. 準備するもの

- (1) 粘土をひとかけら（できれば体積がわかるように 2～3 センチ角くらいの直方体か立方体に切っておくとよい）
- (2) 電子レンジ
- (3) 重さを量るための秤



2. 実験の開始

2～3 cm 角に切った粘土の寸法を測り、大まかな体積を求めておき、続けて粘土の重さを量ります。次にこの粘土を電子レンジに入れて乾燥させます。これくらいのサイズなら 10 分程度で乾燥します。乾燥した粘土を取り出して再度重さを量ります。粘土の間隙を測定する実験はこれで完了です。

3. 実験結果

乾燥させる前の粘土の重さが W_1 グラムであったとします。体積が測定できていれば、初期体積を V とします。次に乾燥後の重さが W_2 であったとします。電子レンジに入れても石英質鉱物でできている粘土粒子の量は変わりませんので、乾燥前後の重さの差は粘土内に含まれる水の有

無によるものです。したがって、両者の差 $w = W_1 - W_2$ が粘土に含まれていた水の重さとなります。水の重さ：粘土粒子の重さ $= w : W_2$ となりますね。粘土に含まれる水の量が思いのほか多いことがわかります。ここで水は 1 g が 1 cm^3 ですので、水の体積は $w \text{ cm}^3$ となります。もとの粘土の体積 V と w を比べてみましょう。粘土中の水の占有領域が結構大きいことに驚かされますね。全体体積 V のうち水の入っているすき間部分が粘土でも大変大きいことがわかります。



4. 身近な地盤に関わる問題との対応

粘土は粒径が小さく（国際基準では $2 \mu\text{m}$ 以下）見た目には間隙など存在しないように見えますが、**実は砂よりも間隙の総量は大きく** w / W_2 で定義される含水比（がんすいひ；土の粒子だけの重さに対する水の重さ）が高くなっています。日本の沖積粘土（一万年から二万年前以降に堆積した最も新しい粘土）では $40 \sim 80\%$ くらいが平均値となります。中にはもっと水分の多い粘土もあります。今問題になっている関西国際空港の地盤沈下もこの間隙に起因しています。スポンジに水を含ませて外から力をかけてやると、水を絞り出しながら圧縮していきます。粘土も同じ原理で圧縮します。埋立などによって大きな力を受けると、粘土は、スポンジから水を排出するように、受けた力に釣り合うまで水を排出して圧縮するのです。圧縮するためには間隙から排水しないといけないのですが、**粘土は水を通しにくい材料なので、厚さ 10 m 以上もある粘土層が所定の水を搾り出すのには数十年かかってしまうのです**。その結果、工事が終わって 10 年近く経った現在でもまだ粘土は間隙の水を排出し続けており、その結果として沈下が続いているというわけなのです。もしこれらの粘土層が砂のように水を通しやすい材料だったら、関西空港の沈下はもっと早く終わっているということになります。