

みかん山はどうして土砂崩れしたのか？

その2 土の水分量の影響について

和泉市立石尾中学校 1年6組 宇都宮光璃

1. 目的

近年、異常気象により大雨が発生し、その影響により土砂崩れの災害が生じています。私たちの通っている石尾中学校でも2017年10月22日にグラウンドの法面の一部が土砂崩れしました。現在、法面の補強工事が行われていますが、2020年7月の長雨の影響で写真1に示すような土砂崩れが再び発生しました。

2018年に写真2に示す愛媛の祖父のみかん山で発生した土砂崩れに関する自由研究を行いました。土砂崩れがどのようにして発生したのかを再現するために、写真3に示すような谷の角度を0°と30°とした実験装置を作成しました。実験装置に砂や土砂崩れした土を入れ、霧吹きで雨を再現し土砂崩れするまで実験し雨に見立てた水の量を測定しました。その結果、図1に示す土砂崩れした土の重さとふきかけた水の量の関係から、砂で実験した場合は、谷の角度の影響がみられたが、みかん山で採取した土は谷の角度の影響はほぼなく、同じぐらいの水の量で一気に崩れました。

土砂崩れは写真1や図1のように一気に崩れていることから、土の水分量が土砂崩れに影響していると考え、研究を行いました。



写真1 グラウンド法面の土砂崩れ



写真2 みかん山の土砂崩れ

2. 研究の方法

写真2に示す土砂崩れしたみかん山の土(以降、土という)を使用する。土の水分量が土砂崩れに影響しているか確認するために、5種類の水分量を調整した土で実験を行う。

2.1 水分量(含水比)を調べる実験

土は水分が多いとドロドロの状態になり、少ないとサラサラまたはカチカチの状態となる。土に含まれる水分量は含水比¹⁾と表される。含水比は土粒子の質量に対する土粒子の隙間に含まれる水の質量の割合を百分率で表したものである。

(1) 準備物

- 1) 土：愛媛の土砂崩れした土(写真2)
- 2) はかり：0.1g まではかれるもの(写真4)
- 3) 乾燥機(写真5)
- 4) 霧吹き(写真6)
- 5) 蒸発皿、スプーン、バケツ、型枠

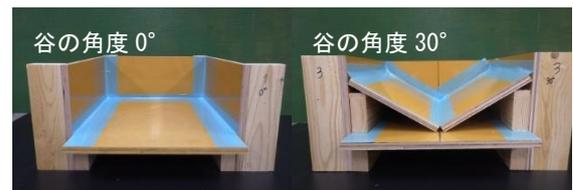


写真3 実験で使った自作の装置

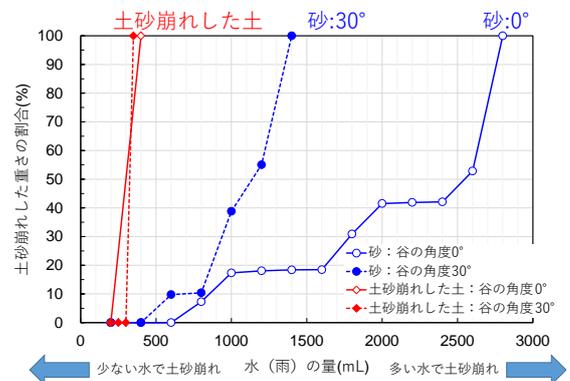


図1 土の重さと水の量の関係

(2)実験の方法

- 1)土を写真7に示すようにバケツに3L取る。水分量を調整するために5種類を用意する。土に加える水分量は、なし、100mL、200mL、300mL、400mLとする。1種類につき3回の測定とする。
- 2)写真8に示すように、出口に蓋をした型枠の中に土を入れる。
- 3)写真9に示すように、霧吹きで所定の水分をスプーンでかき混ぜながら土に水をかける。
- 4)蒸発皿の質量 m_c を測定する。
- 5)土を蒸発皿に入れ、(土+蒸発皿)の質量 m_a を測定する。
- 6)蒸発皿ごと写真5に示す乾燥機に入れ、 $110\pm 5^\circ\text{C}$ で24時間乾燥する。
- 7)(乾燥させた土+蒸発皿)の質量 m_b を測定する。

(3)結果の整理

含水比 w を(1)式で算定する。

$$w = \frac{m_a - m_b}{m_b - m_c} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここに、 m_a は土+蒸発皿の質量(g)、 m_b は乾燥した土と蒸発皿の質量(g)、 m_c は蒸発皿の質量(g)

2.2 土の水分量の違いによる土砂崩れを調べる実験

(1)降水量の状況

気象庁のホームページ²⁾によると図2に示すように2018年7月5日の午前0時から8日24時までの降水量は西予市宇和で539.5mmと報告されています。これは 1m^2 あたり539.5kgの雨が降ったこととなります。また、一時間当たりの最高降水量は約40mmとなっています。土砂崩れの現場を想定した実験装置の型枠の面積は 0.09m^2 (幅0.3m×長さ0.3m)であることから、約3.6Lの雨が一時間当たり降ったことを意味しています。このように土砂崩れが発生するときは多量の水分が土の中にあ



写真4 はかり



写真5 乾燥機



写真6 霧吹き



写真7 バケツに土3L取る



写真8 型枠に土を入れる



写真9 霧吹き作業

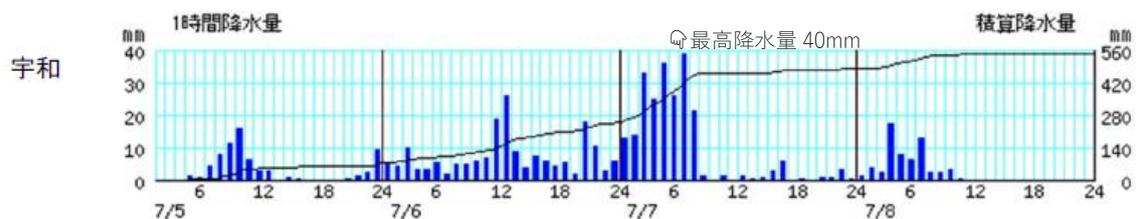


図2 土砂崩れしたみかん山周辺の降水量

ることになります。

(2)準備物

- 1)土：愛媛の土砂崩れした土(写真 2)
- 2)はかり：0.1g まで測れるもの(写真 4)
- 3)乾燥機(写真 5)
- 4)霧吹き(写真 6)
- 5)型枠：谷の角度は 0°とする。
- 6)ステンレス製バット、スプーン、バケツ、角度が測定できるスマートフォンのアプリ、こて、充電ドライバー、デジタルカメラ

(3)実験の方法

型枠を設置するときの角度はみかん山の斜面と同じ 30°とする。雨の再現は霧吹きで行う。

- 1)土をバケツに 3L 取る。(写真 7)水分量を調整するために 5 種類を用意する。土に加える水分量は、なし、100mL、200mL、300mL、400mL とする。
- 2)出口に蓋をした型枠の中に土を入れる。(写真 8)
- 3)霧吹きで所定の水分をスプーンでかき混ぜながら土に水をかける。(写真 9)
- 4)こてで土を平らに均す。(写真 10)
- 5)型枠を斜面と同じ 30°に傾ける。(写真 11)
- 6)崩れてくる土や水を受けるために、ステンレス製バットを置く。型枠のふたを充電ドライバーで外す。(写真 12)
- 7)霧吹きで斜面に水をまんべんなく吹きかける。(写真 13)
- 8)斜面の状況(水や土の流れ)を観察する。
- 9)土砂崩れするまで吹きかけた水の量を測定する。土砂崩れした時の土を採取し、(1)式より含水比を測定する。

10)土の含水比と吹きかけた水の関係のグラフを作る。

3. 実験結果および考察

3.1 水分量(含水比)を調べる実験

土に水を混ぜた量と含水比を測定した結果を表 1 に示す。水を混ぜた量が多くなると、含水比は高くなっている。これは土粒子の隙間に水がたく



写真 10 土をこてで均す



写真 11 斜面の角度 30°

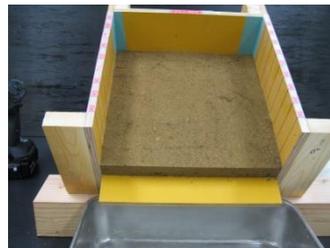


写真 12 試験前の状態



写真 13 霧吹で水をかける

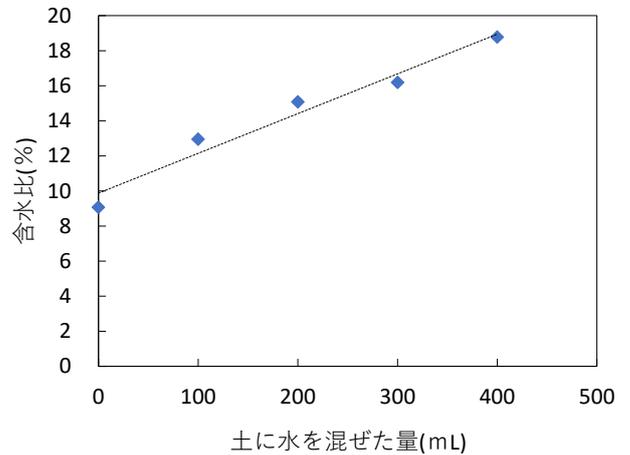


図 3 土に水を混ぜた量と含水比の関係

表 1 土に混ぜた水分量と含水比測定結果

混ぜた水の量(mL)	水なし			水100m L			水200m L			水300m L			水400m L		
容器番号	34	35	96	10	30	90	13	84	34	34	85	96	12	51	53
試料と容器の質量 m_a (g)	74.4	79.9	72.3	106.1	110.0	109.0	188.8	198.8	199.6	97.2	90.0	89.8	124.2	105.6	94.4
乾燥試料と容器の質量 m_b (g)	73.1	77.9	70.9	100.6	103.7	102.9	185.7	193.4	195.7	91.8	85.0	85.4	113.0	97.4	89.5
容器の質量 m_c (g)	58.2	56.2	55.8	57.6	56.5	54.9	164.6	157.6	170.5	58.1	56.8	55.7	55.9	57.6	59.1
含水比 w (%)	8.7	9.2	9.3	12.8	13.3	12.7	14.7	15.1	15.5	16.0	17.7	14.8	19.6	20.6	16.1
含水比の平均値 w (%)	9.1			12.9			15.1			16.2			18.8		

さんあるためである。また、図 3 に示すように土に混ぜた水の量と含水比の関係は比例の関係がある。

3.2 土の水分量の違いによる土砂崩れを調べる実験

表 2 に実験後の土に混ぜた水分量と含水比を測定した結果を示す。水なしの試験体を除いて、土 3L に対し、水分量の合計が 550mL 以上で土砂崩れが発生した。また、400mL の試験体を除いて、約 3~9% 含水比が高くなった時に土砂崩れが発生した。

写真 14~18 にそれぞれの実験状況を示す。

- 1) 写真 14 に示す「水なし試験体」は、水を 108mL 吹きかけた時に表面にひびが入り一気に崩れた。地盤を想定した黄色い型枠は濡れておらず、土は水の重みで滑り落ちたと考えられる。
- 2) 写真 15 に示す「水 100mL 試験体」は、水を 360mL 吹きかけた時から泥水が落ち始めた。407mL の時に、下側からほんの少し崩れ落ちた。651mL の時に 30% 崩れ落ちた。804mL の時に全て崩れ落ちた。
- 3) 写真 16 に示す「水 200mL 試験体」は、試験前の土表面を見ると少し濡れていた。水を 279mL 吹きかけた時から泥水が落ち始めた。378mL の時に、下側からほんの少し崩れ落ちた。622mL の時に全て崩れ落ちた。
- 4) 写真 17 に示す「水 300mL 試験体」は、試験前

の土表面を見ると少し濡れていた。水を 115mL 吹きかけた時から泥水が落ち始めた。223mL の時に、下側からほんの少し崩れ落ちた。307mL の時に全て崩れ落ちた。

5) 写真 18 に示す「水 400mL 試験体」は、試験前の土表面を見るとかなり濡れていた。型枠の蓋を開けた瞬間から泥水が流れた。100mL の時に、下側からほんの少し崩れ落ちた。158mL の時に全て崩れ落ちた。

図 4 に土砂崩れが生じた時の水分量と含水比の関係を示す。水なし試験体は実験後の含水比が 12% であり、他の試験体に比べ小さい。これは、実験の状況からもわかるように、地盤を想定した黄色い型枠は濡れておらず、土は水の重みで滑り落ちたため、含水比が小さくなったと考えられる。

土に水を混ぜた量が 100mL~400mL の試験体は土砂崩れした時の含水比の平均は 20.8% であり、ある一定の水分量に達すると土砂崩れすると考えられる。これより、土の特性(土砂崩れが生じる含水比)が分かると、土砂崩れが起きやすい場所は土の水分量(含水比)をモニタリング(観察)することで土砂崩れが起きるタイミングを推測することができると思う。

4. まとめ

研究を通して次のことが分かった。

- ・土に混ぜた水の量と含水比の関係は比例の関係がある。

表 2 実験後の土に混ぜた水分量と含水比測定結果

混ぜた水の量(mL)	水なし			水100mL			水200mL			水300mL			水400mL		
容器番号	89	75	44	58	62	53	36	56	78	75	51	12	10	90	62
試料と容器の質量 m_a (g)	87.4	85.3	87.2	130.9	132.4	139.8	110.5	295.4	252.8	115.9	128.2	103.1	127.5	104.5	88.5
乾燥試料と容器の質量 m_b (g)	84.2	82.6	84.1	117.5	118.3	126.4	100.3	279.6	243.6	106.6	116.7	95.8	116.3	96.9	83.1
容器の質量 m_c (g)	59.5	59.2	57.8	58.9	55.7	59.1	56.4	212.6	204.3	58.4	57.6	55.9	57.6	54.8	55.7
含水比 w (%)	13.0	11.5	11.8	22.9	22.5	19.9	23.2	23.6	23.4	19.3	19.5	18.3	19.1	18.1	19.7
実験後の含水比の平均値 w (%)	12.1			21.8			23.4			19.0			18.9		
実験前の含水比の平均値 w (%)	9.1			12.9			15.1			16.2			18.8		
実験前に混ぜた水の量(mL)	0			100			200			300			400		
霧吹きでかけた水の量(mL)	108			804			622			307			158		
土の水分量の合計(mL)	108			904			822			607			558		

- ・土砂崩れがおきる前には泥水が流れ、土砂崩れは一気におきる。
- ・土砂崩れは、一定の水分量(含水比)に達するとおきると考えられる。
- ・土の特性(土砂崩れが生じる含水比)が分かると、土砂崩れが起きやすい場所は土の水分量(含水比)をモニタリング(観察)することで土砂崩れが起きるタイミングを推測することができる。

5. 感想

土の中の水分が多くなると土砂崩れがおきやす

くなり、このようにして災害が起きるんだなと感じました。次は、地盤が滑りにくくしてみようと思いました。

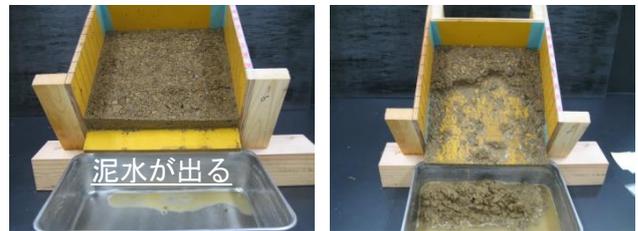
参考文献

- 1)土質試験 基本と手引き 第一回改訂版：社団法人地盤工学会、p.17-19
- 2)気象庁ホームページ：
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2018/20180713/20180713.html>、2020年8月19日確認



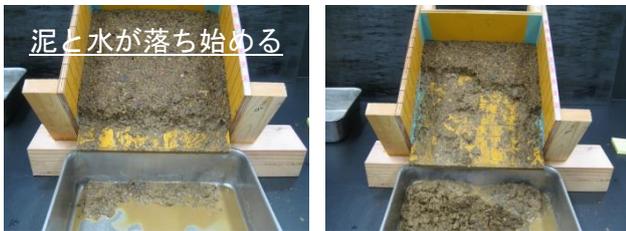
(a)実験前 (b)実験後

写真 14 水なし試験体の実験状況



(a)霧吹き量 360mL (b)実験後

写真 15 水 100mL 試験体の実験状況



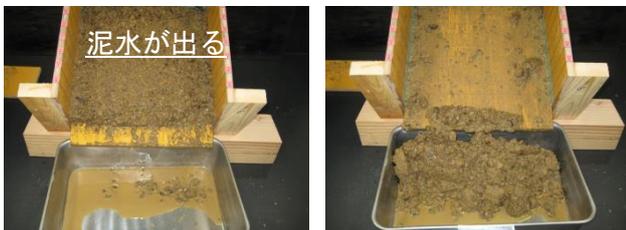
(a)霧吹き量 378mL (b)実験後

写真 16 水 200mL 試験体の実験状況



(a)霧吹き量 115mL (b)実験後

写真 17 水 300mL 試験体の実験状況



(a)霧吹き量 100mL (b)実験後

写真 18 水 400mL 試験体の実験状況

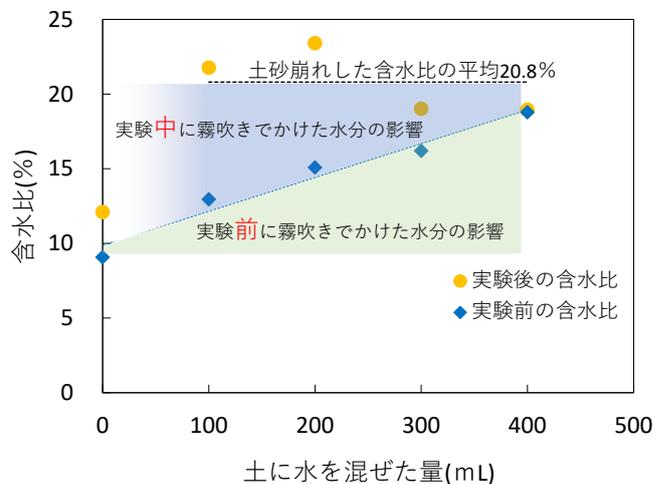


図 4 土砂崩れが生じた時の水分量と含水比の関係