

みかん山はどうして土砂崩れしたのか？

その3 土砂崩れを防ぐ対策

和泉市立石尾中学校 2年5組 宇都宮光璃

1. 目的

近年、異常気象により大雨が多数発生し、その影響により土砂崩れの災害が生じています。2021年に静岡県熱海市伊豆山地区にあった盛土が土砂崩れしました。7月18日に、現場の観察をしに行きました。しかし、現場に入ることは出来ず、道路から現場の写真を撮りました。写真1に示すように、土砂崩れした土が泥水となって海水と層を作っていました。

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°とした実験装置を作成しました。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、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。その2の自由研究では土の水分量の影響に



写真1 熱海の海と泥水



写真2 みかん山の土砂崩れ



写真3 自作の実験装置

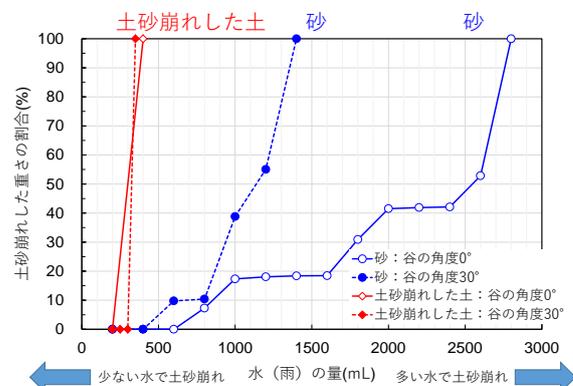


図1 土の重さと水の量の関係

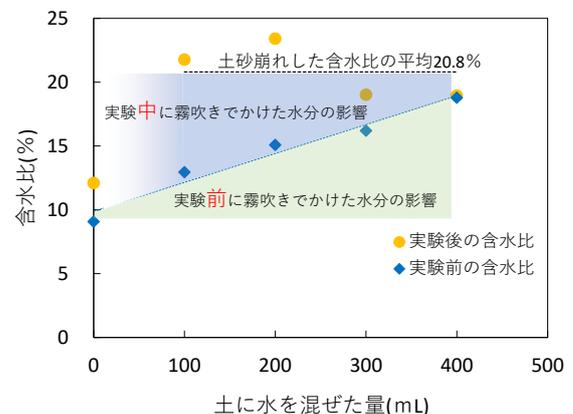


図2 土砂崩れの時の水分量と含水比の関係

ついて実験し、図2に示すように土砂崩れが生じる含水比がわかると、土砂崩れが起きやすい場所の含水比をモニタリングすることで、土砂崩れが起きるタイミングを推測できることがわかりました。本研究では、滑り面の摩擦と木の吸水量に着目し、土砂崩れの対策について検討する。

2. 研究の方法

土砂崩れは写真2に示すように、滑り面が見られ、土と滑り面の摩擦が影響していると思われました。また、土砂崩れを防止するための対策として、地盤の水を流しやすくする方法や木によって吸水させる効果について実験で確認する。

2.1 地盤の摩擦の影響(摩擦係数の測定)

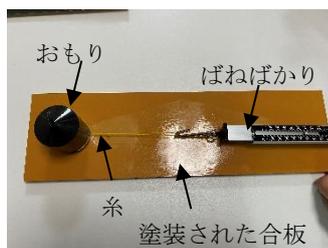
土とすべり面の間の摩擦の違いによって土砂崩れの仕方について実験する。その2まではすべり面を塗装された合板で実験を行っていた。本実験においては、塗装された合板、紙やすり120番、紙やすり320番、スポンジを用いて、滑り面の摩擦の影響を調べる。また、滑り面に水がかかった場合も調べる。

(1) 準備物

おもり(1000g)、塗装された合板、紙やすり120番(目が荒いもの)、紙やすり320番(目が細かいもの)、スポンジ、ばねばかり、糸(おもりに糸をかける)(写真4)、霧吹き(写真5(d))

(2) 実験の方法

おもりに糸をかける。次に、ばねばかりを引っかける。乾燥している状態の塗装された合板、紙



(a) 塗装された合板



(b) 紙やすり 120 番



(a) はかり



(b) 乾燥機



(c) 紙やすり 320 番



(d) スポンジ



(c) ガンタッカー



(d) 霧吹き

写真4 摩擦係数の測定に用いた準備物・実験状況

写真5 摩擦係数違いの土砂崩れの影響 準備物

やすり 120 番、紙やすり 320 番、スポンジの上でおもりをのせ、動いた時の力を測定する。濡れている状態も同様に測定する。測定回数は各 5 回とする。

摩擦係数、おもりの重さと力の関係は(1)式となる。

$$F = \mu N \quad (\text{g}), \quad \mu = F/N \quad (1)$$

ここで、 F はおもりが動いた時の力(g)、 μ は摩擦係数、 N はおもりの重さ(g)

2.2 地盤の摩擦係数の違いによる土砂崩れの影響

土とすべり面の間の摩擦の違いによって土砂崩れの仕方について実験する。

(1) 準備物

写真 2 の場所で採取した土砂崩れした土、型枠(写真 3)紙やすり 120 番と 320 番、スポンジ、(写真 4)、はかり(0.1g まで測れるもの)、乾燥機、霧吹き、ガンタッカー(写真 5)、蒸発皿、スプーン、バケツ、インパクトドライバー

(2) 実験の方法

- 1)土をバケツに 3L 取る。滑り面の摩擦を変化させるために、塗装された合板、紙やすり 120 番、紙やすり 320 番、スポンジの 4 種類とする。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。
- 2)紙やすり 120 番、320 番、スポンジは土を入れる前に、ガンタッカーを用いて型枠にとめる。(写真 6(a)、(b))
- 3)出口に蓋をした型枠の中に土を入れる。(写真 6(c)) 土をスプーンでかき混ぜながら、霧吹きで水 50cc をかける。こてで土を平らにならす。
- 4)型枠を斜面と同じ 30° に傾ける。(写真 6(d)) 崩れてくる土や水を受けるため、ステンレス製バットを置く。型枠の蓋をインパクトドライバーで外す。
- 5)霧吹きで斜面に水をまんべんなく吹きかける。(写真 6(e))斜面の状況(水や土の流れ)を観察する。
- 6)実験後に土の含水比¹⁾を測定する。土に含まれる水分量は含水比で表される。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 種類につき 3 回測定する。蒸発皿の質量 m_c を測定する。土を蒸発皿に入れ、(土+蒸発皿)の質量 m_a を測定する。蒸発皿ごと写真 5(b)に示す乾燥機に入れ、110±5°C で 24 時間乾燥する。(乾燥させた土+蒸発皿)の質量 m_b を測定する。含水比 w を(2)式で算定する。

$$w = \frac{m_a - m_b}{m_b - m_c} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

ここで、 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)

2.3 木の吸水の影響

山に降る雨水を木がスポンジのよう吸水し、蓄えることができれば小さなダムとなり、土砂崩れを防ぐことができるのではないかと考えた。木がどのくらい水を吸水することができるかを実験する。

(1) 準備物

はかり、スギ、ヒノキ、ベイマツ、ケヤキ、みかん、いよかん(写真7)、デジタルノギス、ステンレス製バット、食紅(赤)、バケツ、タオル、乾燥機

(2) 実験の方法

- 1) スギ、ヒノキ、ベイマツ、ケヤキは幅 3cm、厚さ 3cm、長さ 10cm の寸法のものを用意した。
みかんといよかんは、愛媛の祖父から 10cm 程度に切ったものを、生木の状態で写真 8(a)の状態
で密封して送ってもらった。祖父の話では樹齢 40~50 年、木の高さは 3m で直径が 3cm 程度
である。実験前に木の寸法を測る。実験は各 5 本とする。
- 2) ステンレス製バットにスポンジをしき 6 種類の木を 5 つずつ並べる。食紅と水を混ぜた食紅水
をバットの中に入れる。(写真 8(b))
- 3) 0 時間から 33 時間までは、30 分から 3 時間の間隔で重さを細かく計測する。46 時間からは、だ
いたい 12 時間おきに計測する。測定の際は、木の余分な水分をタオルで拭き取る。
- 4) 食紅水で、木の吸水量を直定規で計測する。(写真 8(c))
- 5) 吸水しなくなるか、400 時間に達したら乾燥機に入れて乾燥させる。(写真 8(d))



(a)紙やすり 120 番
型枠

(b)スポンジ 型枠

(c)土を型枠に入れる

(d)型枠を 30° 傾ける

(e)霧吹き

写真 6 摩擦係数の違いによる土砂崩れの実験方法



写真 7 木の吸水の影響の実験に用いた木材

3. 実験結果および考察

3.1 地盤の摩擦の影響(摩擦係数の測定)

滑り面の状態の違いでおもりが動いた力と摩擦係数の結果を表1と図3に示す。

1)塗装された合板の場合、乾燥状態は平均 350g (摩擦係数)、濡れている状態は平均 212g である。
乾燥状態と比べ、濡れている状態は 0.61 倍となる。

2)紙やすり 120 番の場合、乾燥状態は平均 878g(摩擦係数)、濡れている状態は平均 822g である。
乾燥状態と比べ、濡れている状態の差が見られない。

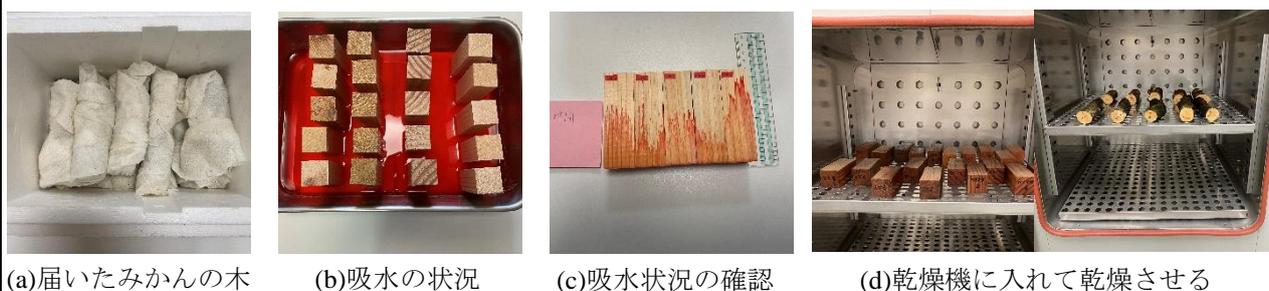
3)紙やすり 320 番の場合、乾燥状態は平均 728g(摩擦係数)、濡れている状態は平均 556g である。
目が細かいため土の粒が紙やすりの凹凸の内部に入り込んで、紙やすりの意味がなくなった。塗装された合板と同じ状態となり、乾燥状態と比べ、濡れている状態は 0.78 倍となる。

4)スポンジの場合、乾燥状態は平均 350g(摩擦係数)、濡れている状態は平均 298g である。乾燥状態と比べ、濡れている状態の差が見られない。

以上より、塗装された合板に比べ、紙やすりは摩擦係数が増加し、スポンジは同程度であることが分かった。また、乾燥状態と比べ濡れた状態は摩擦係数が 0.61 から 0.94 となり、低下した。

3.2 地盤の摩擦係数の違いによる土砂崩れの影響

1)から 4)に地盤の種類の違いによる実験の状況を示す。



(a)届いたみかんの木 (b)吸水の状況 (c)吸水状況の確認 (d)乾燥機に入れて乾燥させる

写真 8 木の吸水の影響 実験方法

表 1 地盤の摩擦の影響 測定結果

滑り面の状態	測定項目	塗装された合板	紙やすり 120番	紙やすり 320番	スポンジ
乾燥状態	おもりを動かす力(g)	350	878	728	350
	摩擦係数 μ	0.35	0.88	0.73	0.35
濡れた状態	おもりを動かす力(g)	212	822	566	304
	摩擦係数 μ	0.21	0.82	0.57	0.30

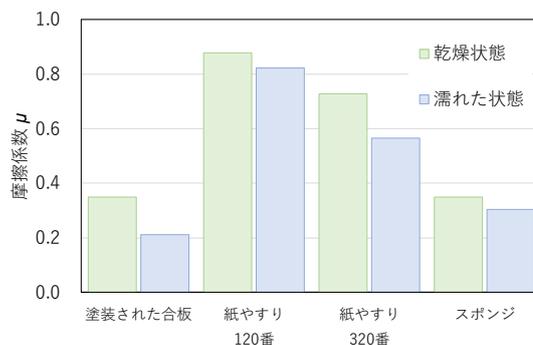


図 3 地盤の摩擦の影響

1)写真 9 に塗装された合板の実験状況を示す。表面に吹きかけた水は中に吸い込まれていった。510cc の時に、10%ぐらい崩れ始めた。550cc の時に、20%崩れ、泥水も流れ始めた。600cc の時に、30%崩れた。700cc の時に、約 50%崩れた。750cc の時に、90%崩れた。850cc の時に、全て崩れ落ちた。

2)写真 10 に紙やすり 120 番の実験状況を示す。200cc から 500cc までは変化が無かった。550cc の時に、水が流れ始め、端の部分から土も落ち始めた。600cc の時に、約 10%崩れ、泥水も少し流れ始めた。700cc の時に、約 20%崩れた。950cc の時に、約 30%崩れ、泥水がよく流れてきた。1400cc の時に、約 70%崩れた。2100cc から 5000cc まで変化が無かった。塗装された合板の場合と比べ、約 2 倍の水分量であった。細かい土の粒は落ちて、ゴツゴツとした石は残っている。

3)写真 11 に紙やすり 320 番の実験状況を示す。200cc から 400cc まで変化は無かった。500cc の時に、端の部分から 10%崩れ、泥水も流れ始めた。600cc の時に、泥水が流れ始めた。800cc の時に、60%の辺りで地面の表面にひび割れができた。1500cc の時に、ひび割れができているところから崩れ落ちた。(60%程度)1500cc から 5000cc まで変化が無かった。写真 11(b)に示すように、水分によって紙やすりがよぼよぼ状態(ガンタッカーでとめた部分)になり、土がそれに引っかかって崩れにくくなっていた。砂防堤のようになっていたともいえる。

4)写真 12 にスポンジの実験状況を示す。400cc の時に、端の部分が崩れ落ちた。600cc の時に、水が流れ落ち、水の流れ道がわかった。800cc の時に、端の部分が 5%崩れ、泥水が流れ始めた。1000cc の時に、少し端の部分が崩れた。1000cc から 5000cc まで変化が無かった。スポンジは、たくさん水を吸って流していった。崩れたのは少しだけだった。

表 2 に実験前後の土の含水比の測定結果、図 4 に土の含水比の比較を示す。実験前の含水比は、8.1 から 9.6%であり、差はあまり見られない。実験後は、塗装された合板は 25.5%で土砂崩れしている。その他は 20%前後であり土砂崩れしなかった。

以上より、地盤の摩擦係数を高めることで、土砂崩れがしにくくなる。地盤面の間にスポンジのような水を通しやすい素材を用いることも土砂崩れ防止に効果的である。

3.3 木の吸水量

図 5 に木の違いによる吸水量と時間の関係を示す。表 3 に単位容積あたりの吸水量と時間の関係を示す。

1) 吸水した高さが頂点の 100mm になった時間は、ベイマツは 82 時間、スギは 124 時間、ケヤキは 148 時間、ヒノキは 9 時間となった。みかんといよかんは生木であったことから吸水していな



(a)実験前 (b)実験後(850cc)

写真9 塗装された合板の実験状況



(a)実験前 (b)実験後(50)

写真10 紙やすり 120番の実験状況



(a)実験後(50) (b)実験後の紙やすり

写真11 紙やすり 320番の実験状況



(a)実験前 (b)実験後(50)

写真12 スポンジの実験状況

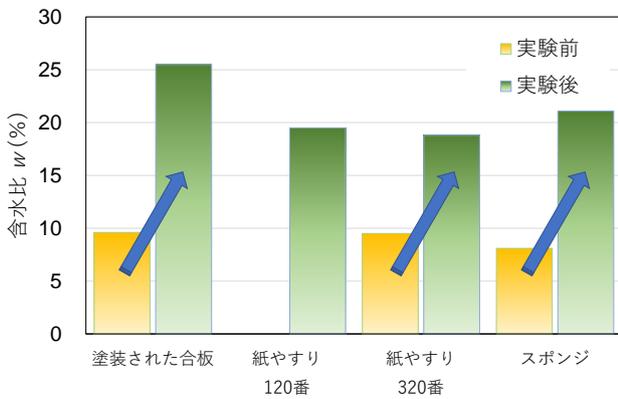


図4 土の含水比の比較

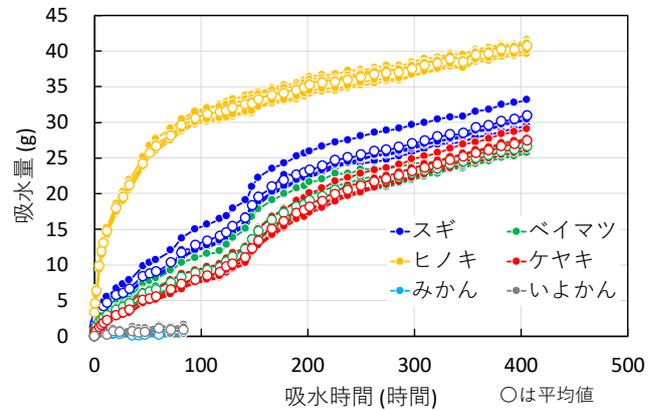


図5 木の違いによる吸水量と時間の関係

表2 土の含水比の測定結果

摩擦面の種類	塗装された合板	紙やすり 120番	紙やすり 320番	スポンジ
実験前の含水比 w (%)	9.6	データなし	9.5	8.1
実験後の含水比 w (%)	25.5	19.5	18.8	21.1

表3 単位容積あたりの吸水量

木の種類	スギ	ベイマツ	ヒノキ
単位容積あたりの吸水量 (l/m^3)	383	368	497
木の種類	ケヤキ	みかん	いよかん
単位容積あたりの吸水量 (l/m^3)	373	533	540

かった。

2)スギ、ベイマツ、ケヤキは、じわじわと吸水していった。なかなか吸水しなかったので、148 時間後に木を横に倒して、吸水する面積を大きくしたら吸水量が増加した。406 時間を経ても、満水にはならなかった。

3) ヒノキは、95 時間までは、水を毎回約 1g 吸水していたが、その後は、スギ、ベイマツ、ケヤキと同様に水をじわじわと吸水していった。406 時間を経ても、満水にはならなかった。

4) みかんといよかんは、生木であり、水分を多く含んでいたため、ほとんど変化が見られなかった。

参考文献 2)によると樹高 21m、直径 38cm のスギ・ヒノキでは体積が 1m^3 である。よって、表 2 よりスギで $383\ell/\text{m}^3$ 、ヒノキで $497 \ell/\text{m}^3$ の水を貯めることができる。木を植えることが小さいなダムをつくることになる。

4. まとめ

研究を通して次のことが分かった。

- ・紙やすりやスポンジは摩擦を起し滑りにくくなった。乾燥状態と比べ濡れた状態は摩擦係数が 0.61 から 0.94 となり、低下した。
- ・水分によって紙やすり 320 番がよぼよぼ状態(ガンタッカーでとめた部分)になり、土がそれに引っかかって崩れにくくなった。砂防堤のようになっていたともいえる。
- ・地盤の摩擦係数を高めることで、土砂崩れがしにくくなる。地盤面の間にスポンジのような水を通しやすい素材を用いることも土砂崩れ防止に効果的である。
- ・木の吸水量はスギで $383\ell/\text{m}^3$ 、ヒノキで $497 \ell/\text{m}^3$ の水を貯めることができる。木を植えることが小さいなダムをつくることになる。

5. 感想

自由研究を行う前は、木の水の吸い方に違いがないと考えていましたが、木によって吸水する速さや量に違いがあり驚きました。また、より深く木について勉強してみたいなと思いました。自由研究を通して、災害現場を実際に見て、人の生命や財産を守ることの難しさをとても感じました。

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)立木幹材積表：林野庁計画課編、p65-85