

土砂災害モデルを用いた“対”地すべり防災方法の再現

石川県立金沢泉丘高等学校 2年

沖野翔太郎 荻野恭輔 金子舜 佐藤慶暉 宮田理央

1. 要旨、概要

2014年に広島県で発生した土砂災害を受けて、土砂災害の減災に着目した。土砂災害はいくつかに分類されるが、北陸地方は其中で「地すべり」が集中していた。そこで、地すべりによる被害を減らすことを目的とした「防災機構」に注目し、モデルを用いた実験を通してその効果を検証し、比較することとした。

先行研究では、斜面に盛った砂を水で押し流す、土石流のモデルは存在したが、砂の内部でせん断面を形成する地すべりのモデルは存在しなかった。そこで、自分たちで地すべりのモデルを作成し、それを用いた研究を行った。

2. 研究目的

本実験の目的は、現実で発生する地すべりの被害を軽減するために、防災機構の効果を検証することである。そのために、地すべりを再現できるモデルを作成してそこに様々な機構を施し、特定の条件下における地すべりの被害を最小にする機構を調べることである。そこで私たちは、地すべりの被害を軽減できる最適な防災機構とその使用方法が存在するという仮説を立てて実験を行った。

また、私たちが扱える大きさのモデルで実験を行うことには、つくば市や京都市にある大規模な実験施設にはできない、試行回数の多いの実験を可能にするという利点がある。

3. 研究方法

3.1 予備実験

私たちは防災機構をモデル化して比較する前に、予備実験を行った。

まず、高さ19.5cm、縦40cm、横15cmのプラスチックケースに珪砂を入れて、砂の一番盛り上がっているところに、穴をあけたホースを差し込み、水を入れて地滑りを起こそうとした(写真a)。水をこのようにしみこませたのは、雨を再現して水を上から落とすと地表面を大きく削ってしまい、現実のスケールに戻したときに雨粒の大きさが、巨大にな

り現実とはかけ離れてしまうと考えたからだ。また、霧吹きで雨の大きさを再現できたとしても、しみこませるのに時間がかかりすぎてしまう。私たちはそう考えたため水をこの様にしみこませた。また、土砂の崩壊が起きた時刻を土砂が動き始めた瞬間と定義した。しかし、この実験装置で実験していると問題点がいくつか出てきた。

1. 蛇口に直接ホースをつないでいたので、蛇口のひねり方が毎回変わるため、しみこませる水の水压を一定にできない。
2. 水压が大きすぎると砂から水が飛び出して崩れてしまう。
3. 奥行きが足りないので地滑りが起きた瞬間がわかりづらい。
4. しみこませて珪砂から出てきた水を排出しないため、たまっていた水によって地滑りが起きている可能性があった。

そこで、まず2を解決するためガラスの仕切り板を土に差し込んでみた(写真b)。すると、2は解決できたがその他の問題は残っていたので、実験装置を変えることにした。

高さ10cm、横4cmの水槽の一方の壁を取り除いたもの(後の写真)を用いて水を排水できるようにした。仕切りは、土の入れるところと水の入れるところに分けるようにし、ホースは土に差し込まなくてもいいようにした(写真c)。また水をこのようにしみこませることによって仕切りの間隔、貯める水位を変えなければ水压を一定にできるようになった。この装置で上記の問題点は解決できた。しかし新たな問題が生じた。

1. 装置が大きいため一回の実験で使う砂の量が多すぎる
2. 防災機構を設置する水のしみこまない土台がない。

そこで装置を小型化することにし、土台を作ることにした。先ほどと同じような仕組みの高さ10cm、横4cmの実験装置を用意し、土台を発泡スチロールでつくった。発泡スチロールは去年の本校の上級生の研究チームのうち、津波の研究班が海底の再現に同じものを使用していたからである。しかし、発泡スチ

ロールは崩れやすくもろい。また、元の形を作ろうとしても形を作りづらかったため、代わりに粘土を用いてみた。が、粘土は水に弱く、溶けてしまった。そこで、シリコーンを用いてみた。すると今迄の素材の中で私たちの求める条件にあったので、シリコーンを土台に用いた小型の装置（写真 d）を使うことにした。

次に基準とする実験の条件を決めるため、砂の量、水の量、傾斜の角度を変えて実験を行った。実験の回数を重ねるにつれ、砂の量 200ml、傾斜の角度 30 度、水の量 1100ml とするほうが一番無駄がなく、地滑りの起こりやすい条件だとわかった。そのため、これらの条件で防災機構の比較実験を行うことにした。

3.2 実験 1

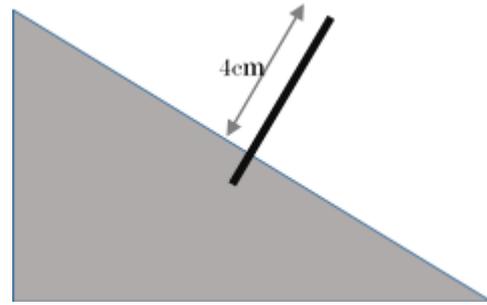
実験 1 では杭工と呼ばれる工法を私たちのモデルで検証した。杭工とは、地表から地下の岩盤にかけて杭を打ち込むことで表層の崩壊を防止する工法である。杭の径は 190~550mm ほどで、中には外径 1000mm を超えるものもある。私たちは杭を釘で再現して実験を行った。

I. 使用したもの

- ・釘 (N50×3)
- ・その他は予備実験と同じ

II. 方法

- ① 予備実験と同様にモデルをセットし、釘を斜面に垂直に打つ。場所は、下の土台の中心であり、下 1cm を下の土台に埋めた。
- ② 土を盛り、予備実験と同様の実験を行う。
- ③ 実験開始から崩壊が始まるまでの時間を、10 回測定した。
- ④ 釘の数を 3 本に増やし、横一列に 1cm 間隔で配置して、同様の実験を行い、1 本の時、0 本の時と比較する。



(図 1. 横から見た杭工のモデル)

3.3 実験 2

実験 2 では排水トンネル工と呼ばれる工法を私たちのモデルで検証した。ここで、排水トンネル工について説明しておく。排水トンネル工とは、地滑りの原因となる地下水がたまっている地下水脈から水をあらかじめ抜くことによって地滑りを起こりにくくする工法だ。私たちは排水トンネルを、ビニル製のチューブを用いて図のように再現した（写真 e）。私たちは原因となる水を抜くということから排水トンネル工は非常に有効であると考えた。

実験手法は以下のとおりである。

1. 装置の貯水部と外部をつなぐようにしてチューブを入れる
2. 装置に珪砂を注ぎ入れ、傾斜の形を整える。
このとき、チューブの排水口が埋まらないように気を付ける
3. 装置に水を注ぎ入れ、水をそそぎ終わってから崩壊までの時間を計測する。この時、排水によって水位が下がってしまうので、そのことによって水圧が下がらないように水を追加し続ける。

実験 3

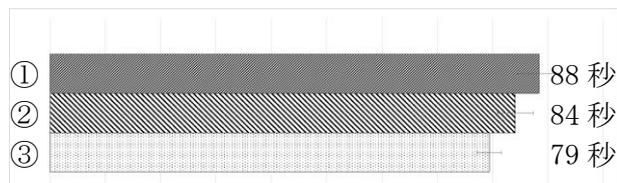
実験 3 では排水トンネル工の有用性をより確実な方法で確認すること、また排水トンネルの再現に用いられた物体の崩壊に対する障害物としての効果を確認した。排水効果の検証のために実験 3 ではチューブをストローへと変更して検証した。また、ストローと形状がよく似ているが、筒状ではなく棒状であり、排水効果のないガラス棒を用いた対照実験も行った。

実験の手順は 3-2 と同様であるが、1. の際にチューブをストローやガラス棒に変え、また 3. の際に水の追加は行わなかった。

4. 結果

実験 1

測定結果は以下の通り(グラフ 1)。



①釘 3 本 ②釘 1 本 ③釘なし

(グラフ 1 釘の数と崩壊までの時間の関係)

グラフを見ると、釘無しと釘 1 本とでは、崩壊までの時間に差がなく、誤差の範疇に収まっているように見える。

しかし、釘無しと釘 2 本を比べるとその差は誤差の範囲を超えているので確かに差が現れているとみなせる。

実験 2

装置を用いない場合と用いた場合それぞれ 10 回計測し、平均をとった結果は以下の通り(グラフ 2)。



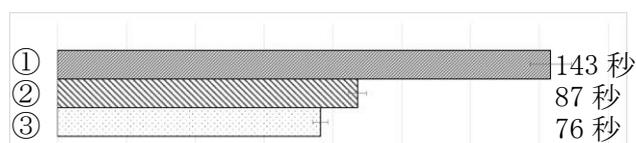
①ホースあり ②ホースなし

(グラフ 2 ホースの有無と崩壊までの時間との関係)

装置を用いても崩壊にかかる時間が装置を用いなかった場合の時間 87 秒程度に対して 5 秒伸びただけであり、私たちの予想よりはるかに小さい差しか生じなかった。これは排水以外の条件を一定にしようと考え、土にかかる水圧を一定にするために排水された分の水を追加し、水位を一定に保ち続けたが、そのことによって排水の効果が追加した水により相殺されたことが原因ではないかと考えた。そこで、水を追加せずに同じ実験を行うことにした。また、5 秒の差が生じた原因について考えた結果、チューブが土への注水口を狭めた、水圧の固定が一定ではなかった、などが考えられたが、最終的にはチューブは崩壊に対して壁のような何らかの障害物として機能したのではないかと考えに至り、排水の効果についてのみ考えられるよう、排水効果についての対照実験を行うことにした。

実験 3

各 10 回計測し、平均をとった結果は以下の通り(グラフ 3)。



①ストロー ②ガラス棒 ③装置なし

(グラフ 3 各装置と崩壊までの時間の関係)

装置なし、ガラス棒、ストローを用いた場合で段階的に崩壊にかかる時間が伸びていることがわかる。

ガラス棒とストローの場合を比べると、崩壊にかかる時間が 60%以上伸びた。

5. 考察

私たちの当初の予想通り、排水は防災の観点から非常に有効であった。また、装置なしとガラス棒を用いた場合とを比較すると、崩壊にかかる時間が 10%以上伸びた。このことから、地下に何かを埋めておくということだけでも、崩壊を防ぐ上で何らかの効果がある。私たちは上記の二つの実験から次のように考察した。

- ・水圧が上がるほど崩壊までの時間は短くなる。
- ・杭工、排水トンネル工は減災に効果があり。特に排水トンネル工は大きな効果がある。

一つ目の考察は予備実験の段階で水量を増やして行った実験から判断でき、実際にも大雨やゲリラ豪雨、雪解けの後に土砂災害は起こりやすく、これらの要因は地下水の増加に関わることから判断できる。

二つ目の考察は私たちの実験から杭工は三本で約 10%、排水トンネル工は約 40%の差が生まれたことから判断できる。しかし、杭工はすべり面を挟む層と層をつなぎとめるというのが本来の役目である。それに対して、私たちのモデルでは斜面が一つの層できており、またその層のもとになる砂も粒が小さくまとまってなかったためその役割が果たせなかった。実際の杭工は結果よりも減災への効果は大きいと考えられる。

排水トンネル工は地下水を直接抜いてしまうという工法である。そのため、私たちのモデルでも使用の有無で大きな差が生じたと考えられる。

6. 結論

私たちの実験では、実際に行われている減災法を検証するにとどまった。

実験 1 と実験 2 から地中に柱状物体を埋めることで、層と層を固定する以外の何らかの点において、減災に効果があることが考えられる。またその柱状物体は、水の地中への浸水速度を減衰させる働きを持つ可能性が高いと考えられる。今後は物体の形状や配置を変え、最適な方法を考えていきたい。また、物体がどのように浸水を妨げているかについてもさらに考察していきたい。

実験 2 の排水トンネル工においては、先行研究が見つからなかったため自分たちで考え、検証を繰り返して今の形に落ち着いたが、それでも問題点が複数ある。

1. 斜面は一つの砂によって構成されている。
2. 水を染み込ませる量が実際よりも非常に多い。
3. 砂を盛る際、常に一定に盛ることができない。

一つ目は上述したとおり杭工をうまく再現できなかったことや実際よりも流れやすくなっていることに関係している。

二つ目は、自分たちの実験は崩壊したあと減災に防災機構がどのように影響するか検証する研究だったため実際よりも意図的に崩れやすくしたため、実際の地滑りと条件が離れてしまったと考えられる。そのためある程度早く崩れかつ実際の条件に近いものを作れるようこれからも考えていく必要がある。

三つ目は、これは手動でやっていたことで、常に同じ条件でできなかったことが誤差として大きく出てしまったことの原因だと考えられる。

これらの課題から、私たちはモデルに更なる改良を加える必要があると考えた。具体的には

1. もうひとつの硬い地層を用いたすべり面の表現
2. 表層の型の作成による、条件の厳密な再現

1 を行うべきだと考える理由は、実際のすべり面は厚さ数 mm 程度であるのに対し私たちの実験では表層が滑り面の役割を果たしたため再現できなかったため、必要だと考えた。

2 を行うべきだと考えた理由は上述したとおり手動では斜面の形が毎回実験を行う度に変わってしまいそれにより誤差が生じるからだ。これを改善するためには変形しないプラスチックや発泡スチロールなどで型を作りそれで坂を作ればよい。

7. 参考文献

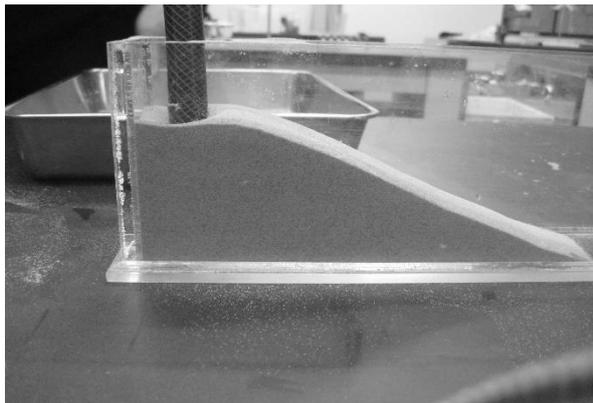
- ・ 広島大学附属高等学校 井森 椋 寺西 諒 恭野村 優太 (2014) 『2014 広島大学附属高等学校 課題研究論文集 X』 「広島県における土石流災害の傾向と対策に関する基礎研究」
- ・ 兵庫県立神戸高校 松浦 峻大 清水 光希 林 航平 森 健太郎 (2014) 「土砂災害モデルの製作～森林は土砂災害を防止しうるか否か～」
- ・ 地すべり—山地災害の地質学 藤田 崇

8. 謝辞

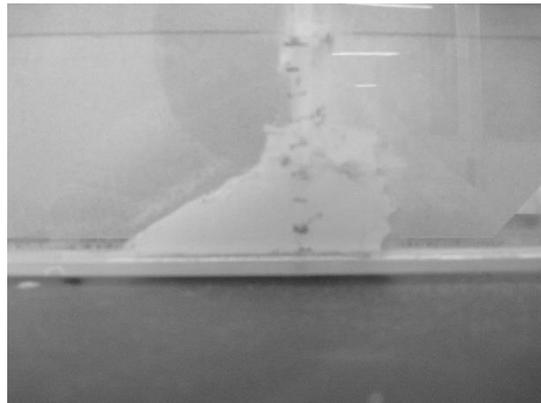
今回の実験をするに当たって、協力して下さった先生方、金沢大学理工研究域 環境デザイン学系の松本樹典(まつもとたつのり)教授をはじめとする大学教授の方々、留学生の方々、本当にありがとうございました。

私たちの実験が今後、世の中の役に立ってくれるとを切に願います。

(写真 a) 3.1 予備実験



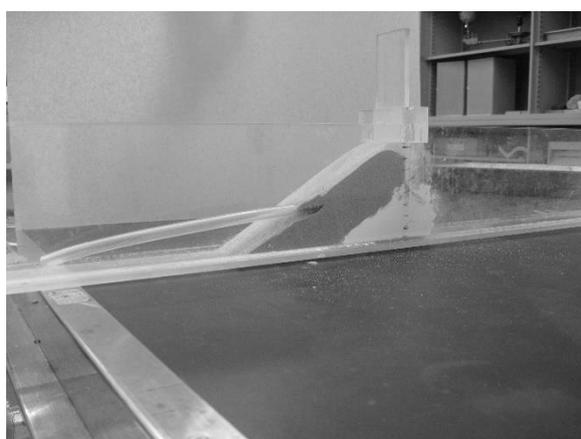
(写真 d) 土台



(写真 b) 仕切り 有



(写真 e) ホース 有



(写真 c) モデル完成版

