

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～

松浦 峻大 清水 光希 林 航平 森 健太郎

兵庫県立神戸高校 総合理学科 2 年

六甲山系斜面部に位置する神戸高校で最も憂える自然災害の一つは地震や豪雨による土砂災害である。

我々は、土砂災害のメカニズムを再現して理解するため、規模を縮小した実験モデルを製作した。中間発表を経て改善したモデルの性能を検証するとともに、土砂災害被害軽減の要因の一つである森林に関して、斜面の角度との相関を、実験を通して研究した。

1.序論

何時おこるとも知れぬ自然災害への対策は現代社会が直面する最大の問題の一つであり、安全確保のための技術の発展が期待されている。

昨年は広島県広島市安佐北区および安佐南区周辺に土砂災害が発生し、甚大な被害をもたらした。

近年の地球をとりまく異常気象のもとでは、局所的に起こる突発的な豪雨もさほど珍しいことではない。しかし、2014 年の全国での土砂災害による死亡者の 81 名のうち、74 名が広島県の事故によるものであった。なぜ広島県でこれほど被害が拡大したのか。その理由の追究が、減災につながる。

そこで我々は土砂災害のメカニズムの理解、再現装置の製作、および現実的な防災手段の評価を目的とした。

2.研究背景

先述の広島の土砂災害では、山地を形成する土壌の成分が、主としてマサ土で構成されているということが大々的にメディアで報じられた。マサ土とは花崗岩が風化することによってできる土砂で、土砂崩れが発生しやすいと言われている。

また、六甲山の土壌も同じくマサ土で構成されており、土砂崩れや土石流などが起こりやすい。実際、715 名の死者が出た昭和 13 年の阪神大水害をはじめとしてこれまで数多くの土砂災害が発生

してきた。

それらのことを考慮し、我々は実験題材としてマサ土を使用することにした。

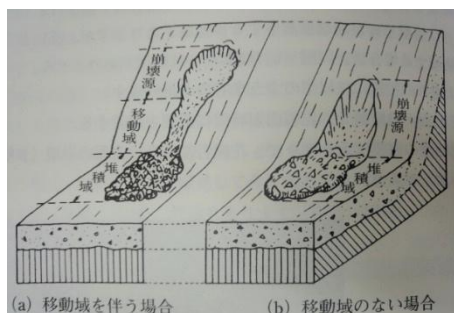
3.土砂崩れの発生

土砂崩れは基本的には、豪雨・長雨などによって土層中の間隙水圧が増加し、斜面内のある面の土の剪断抵抗力が減少して破壊すること、あるいは地震の震動が作用するために斜面内のある面が破壊することによって崩壊する現象である。剪断抵抗力とは土自体の重みと構造物や堆積物等による外力によって発生する力のことである。

山腹斜面の崩壊は一瞬にして大量の土砂を生産し、場合によっては土石流を併発して下流部に大被害を引き起こすこととなる。

また土砂崩れは広く分類すると山崩れと地すべりの二種類に分類されるが、数値や形状による明確な基準はなく短時間に破壊されるものを山崩れ、緩慢に移動するものを地すべりと呼んでいる。後述の実験では比較的短時間での崩壊だったため山崩れと分類できる。

また、土砂崩れの形状は通常、崩壊源、移動域、体積域から構成される(図 1)。土砂崩れのモデルを製作するうえではこうした形状を再現することが不可欠である。



(図 1) 土砂崩れの形状

4. 予備実験方法

我々は最も基本的な要因である山の角度と土砂崩れの発生の相関について調べた。

その際、はじめにマサ土の内部摩擦角、即ち、降雨なしで重力に従って土砂が滑り出す最低の角度を測定した。

次に、降雨ありでも測定を行い、崩壊が起こる下限の角度を調べた。

実験に使用したのは以下の装置である。(図 2) 側面は透明なアクリル板で、その片側には傾斜角度を測定する分度器が取り付けられている。



(図 2) 予備実験で用いた装置

5. 予備実験結果

予備実験により、得られたデータを以下に記す。

	15°	10°	9°	8°	7°
1回目	○	○	○	×	×
2回目	○	○	○	○	×
3回目	○	○	○	×	×
4回目	○	○	○	○	×
5回目	○	○	○	○	×

○：崩壊が起きる ×：崩壊が起きない

(図 3)

降雨なしでの実験からマサ土の内部摩擦角は 34.6° と判明した。

また、降雨ありでの実験の結果、土砂崩れが起こる下限の角度は 8° という結果になった。(図 3)

しかし、実際の山と比較した場合や文献での調査と照らし合わせると、崩壊下限 8° という値は過度に小さく、正確性に欠けるということであった。

6. 予備実験考察

この装置で崩壊に関係するのは底面の板とマサ土との摩擦であり実際の山(土砂同士の摩擦)とは違う環境であるという指摘もいただいた。さらに、末端の土は支えがないため崩れやすい、実際の山では異なる土の層がある、実際の山では森林が植わっているなど加味すべき要素が多く見つかった。

7. 実験方法

7.1 実験装置の改良

前述の実験での不備を考慮して、新しい実験装置を製作した。(図 4)

寸法は森林総合研究所で使用されている実験装置を参考にさせていただいた。



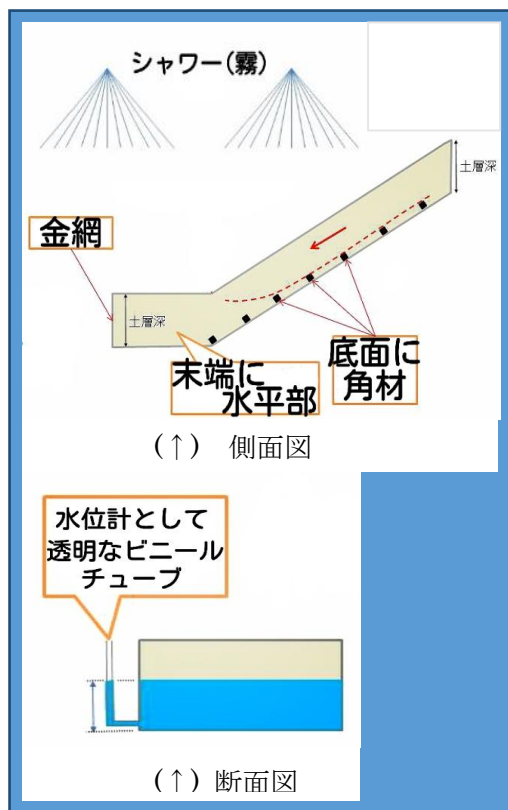
(図 4) 新装置による実験の様子

主な改善点は以下の 4 つである。

- ① 底面に角材を取り付けた。
- ② 斜面末端に水平部を取り付けた。
- ③ 水を噴霧するシャワーを 2 台に増やした。
- ④ 斜面にビニールチューブを取り付けた。

実験に使用していたマサ土も、以前は園芸用に肥料をいれて調節されている土を使用していたが、より再現性を高めるため調節されていない天然の

マサ土を使用することにした。また、粒径の大きなものは土の強度を上げるため斜面各部で土壌の強度が均一でなくなり基礎的な原理を再現するうえでは不適である。そこで実験に使用するマサ土はふるいにかけて粒径は5mm以下に揃えた。



(図5) 装置模式図

7.2 降雨量の均一化

斜面各部に降り注ぐ雨量を比較する。

土砂崩れが起こる要因の一つとして土層内の水位が均一に上昇することが肝要である。

そのため、斜面を16等分し、容器を設置し、一定時間あたりの降水量を比較した。(図6)

7.3 森林の土砂災害防止効果の検証

我々は減災要因として森林に着目し、木々の有無と角度との相関を検証する実験を行った。

30°～50°までの角度で、樹木がある場合と、ない場合で実験を行い、その土砂流出量を比較する。

実験は、苗木を森林の一部に見立てて行った。

その実験手順は

- ① 斜面の角度を固定し、土砂をのせる。
- ② ノズルを開き一定時間霧状に降水する。
この降水量は148mm/hであった。観測史上最高が153mm/hであることを鑑みると、妥当な値だと考えた。
- ③ 斜面部から堆積域へと流れ込んだ土砂重量(乾燥重量)を測定する。

*土砂の密度を計測し、それをもとに計算した。

8.実験結果

8.1 実験装置改良の効果

- ① 150×2×2mmの細長い角材を横向きで2cm間隔で敷き詰めた。これにより土砂と装置底面との摩擦が著しく大きくなり、土層内部での崩壊が可能となった。

実際の現象に近づける上で最重要関門であり、旧型装置との決定的な違いである。

- ② 図1からもわかるように土砂崩れ発生時には往々にして傾斜が緩やかな部分に体積域が生じるため、斜面下端に水平部を接続した。斜面末端に支えとなる土砂が存在することによって、より本来の山の環境に近づけることができる。

- ③ 結果 8.2 参照

- ④ 大気圧によりチューブ内の水位は必然的に土層内部の水位と一致する。これにより土層のうちどれだけが飽和状態にあるのかを視覚化することが可能となった。

8.2 降雨量の均一化

図6は16個に区分された装置の各部に降り注いだ降水量をグラフに表したものである。

それからも分かるように比較的斜面各部において降水量のむらがなくなった。

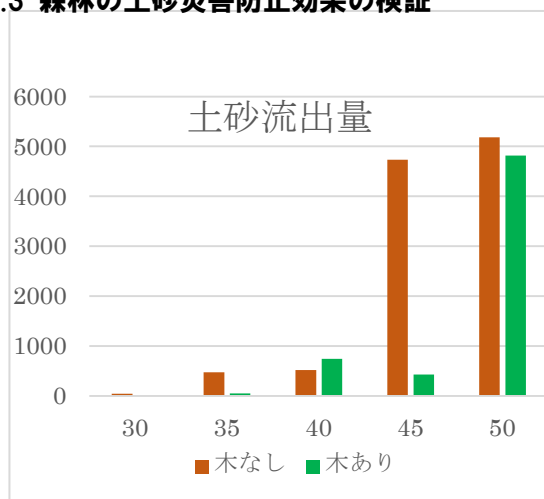
これで、土層内の水位が均一に上がり、実際の土砂災害のメカニズムにより近づけることができる。

1台		2台	
7.6	10	19	19
18	27	21	22
20	20	22	20
16	16	20	22
15	15	21	27
14	11	22	33
8.5	7.8	19	24
5.7	6.1	15	22

(ml)

(図 6) 一定時間あたりの降水量

8.3 森林の土砂災害防止効果の検証



(図 7)

9. 考察

樹木なしでは 40° と 45° の間に大きな隔たりがあるのに対し、樹木ありでは 45° と 50° の間に大きな隔たりがある。これは、その隔たりのある角度以上では明確な崩壊が起こったが、それ以下では地すべりのようにゆっくりと微量の土砂が流出するのみだったからである。(崩壊は底面との滑りではなく土層内に亀裂が入った。)

すなわち、樹木によって崩壊しない限界の角度が増加したと思われる。

このことから、森林は土砂崩れの防止および軽減に多大な効果がある事が実証された。また、森

林の効果が最も発揮されるのは、森林が無い場合に土砂崩れが起こる境界である角度、45° 前後であると推察できる。

ただし、50° のデータで考えると、実際に崩壊が発生してしまった場合には森林の効果はあまり見られないと考えられる。

ただし、自然の山地では、表土が落葉などの堆積物、草や低木に覆われているため、降雨による土壌の流出を抑えていて、裸地に比べ土砂流出量が 1/150 だという研究結果もある。

今回の実験装置を総合的に評価すると、この度の装置は、ある一定までは簡易的に実験でき、かつ現実に近い装置となったのではないだろうか。

10. 今後の展望

今回の実験では、森林を再現する際に苗を森林の一部と見立てて実験を行った。しかし、これがどれほど実際の山を再現出来ているかは検証不足であった。

また、40° におけるデータが森林のある場合の方が無い場合よりも流出量が多くなってしまった。この原因については理にかなった推論が出来なかった。

さらに、天然の森林と植林による人工林では効果が異なる可能性もある。

今後の改善点としては、より現実に近い森林を想定した実験を行うことである。

11. おわりに

また、森林総合研究所の落合博貴様、防災研究所斜面災害研究センターの佐々恭二様、指導教諭の大嶋洋平先生には厚く御礼申し上げます。

12. 参考文献・URL

- ・ 林拙郎, 保全砂防学入門, 電気書院, 2008
- ・ 吉嶺充俊, Excel で学ぶ土質力学, オーム社, 2006
- ・ 丸山岩三, 森林水文, 農林出版, 1970
- ・ 内閣府防災担当