

# 防災科学テキスト

— 自然災害のしくみを知る —



企画・編集 自然災害情報室

Edited by Disaster Information Laboratory



独立行政法人  
防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

のが望ましい。

#### 1.4 地すべり

斜面の土塊が非常にゆっくり動くものを地すべりと呼んで、動きの速い斜面崩壊と区別している。動く速度にはかなりの幅があるが、ほぼ1日で数ミリから数センチといった程度である。このような地すべりは、第三紀層泥質岩、変成岩および火山変質岩の地域にほぼ限られている。これらは粘土化しやすい性質の岩石である。一旦滑りやすい条件が作られると、長い間それが持続する。一度止まっても、地下水の増加や人為作用などにより不安定化すると、再び動き出すということを繰り返す。また、一般の斜面崩壊はほとんど起こらない $10\sim 20^\circ$ という緩やかな勾配の斜面でも生じる。

ゆっくりと引続いて動き、規模が大きいということから、地すべりは特徴ある地形を示すので、そこが地すべりであることが容易に分かる。地すべり地形の特徴は、円弧状の急な崖の下に緩やかに起伏する斜面があるという地形である。地すべりの運動開始の主要な誘因は地下水の増加である。道路建設による地すべり土塊先端の切り取り、地すべり地内を通る道路の建設による集水・浸透条件の変化、ダム貯水による地下水位上昇などによって再発することもある。大きな滑動の前には、山腹や道路に亀裂が生じる、湧水がなかったところから水が湧き出す、地鳴りがする、木が傾く、などの前兆が見られるので、危険を察知することが可能である。

## 2. 土石流

### 2.1 発生・運動の機構

大雨による山崩れの土塊が、砕けながら谷間に滑り落ち、増水した谷の水と混じりあって谷底を高速で流れ下るといのが、最もよく起こるタイプの土石流である。岩塊や砂礫の集合体を流れるような状態にする力は、岩や礫が衝突してお互いを跳ねのけあう反発力である。谷底が急勾配であるとその集合体の運動速度が大きくなるので、ぶつかり合いが激しくなって岩や礫の間にすき間ができる。このすき間には泥水が入り込むので岩や礫はいわば浮いたような状態になり、全体が流体にすなわち土石流に変わる。

土石流中には種々の大きさの砂礫や岩塊が混じっているが、小さいものは狭いすき間でもすり抜けて落ちていくので、大きい岩や礫は表面へ押し上げられる。土石流の表面に出た大きな岩礫は、表面の速い流れに運ばれて先頭に集まる。こうして土石流の先端では大きな岩や礫が盛り上がり、激しく転がりながら後から続く流れを従えて進む。谷底に厚い堆積土砂があると、土石流はこれを取り込み流動層を厚くして勢力を増し、さらなる取り込みを行って、雪だるま式に成長していく。運動速度はおよそ $10\sim 20\text{m/秒}$ 程度である。

### 2.2 危険溪流・危険域

谷の勾配が $10^\circ$ 以下ともなると、岩や礫の間の接触抵抗が大きくなり、流動性が低下して減速し始め、勾配がおおよそ $2\sim 3^\circ$ のところでは停止する。この減速・停止域では、砂礫が堆積して扇状地のような地形が作られる。したがって、勾配 $2\sim 3^\circ$ よりも急な谷底の低地や扇状地は、土石流に襲われる危険の大きい場所である

(図3.3)。土石流は停止しても、堰き上げられて後に続く洪水流は、止まることなくさらには下流へと流れ下る。これは多量の土砂や流木を運び、堰き上げによって水深を増しているの、やはり大きな破壊力を持つ。土石流が発生しやすい谷は、山崩れが起きやすい山地内にあり、急勾配区間( $15^\circ$ 以上)が長く、谷底に土砂が厚く堆積している谷である。火山灰や火山礫などで作られている火山の谷では、一般に土石流発生危険が大である。土石流制御の構造物として砂防ダムがあるが、これが設けられている谷でも大きな土石流災害が頻繁に発生している。

土石流は谷の上流部で発生することが多いが、この場合には山麓にまで到達するのに数分~数十分の時

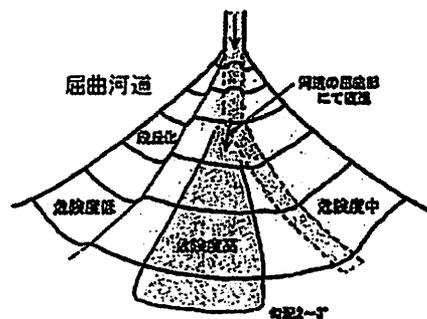


図3.3 扇状地の土石流危険域

間がかかる。これをいち早く察知して知らせ、避難を行う余地がある。土石流は谷を塞いで流下し谷の水を一時堰き止めるので、大雨時に谷の水が急に減るといのは、土石流の発生を示すかなり確かな前兆である。巨大な岩塊も転がってくるので、山鳴り・地鳴りが生じる。山崩れによって起きることが多いので、谷の水が急に濁るという現象を伴う場合もある。豪雨時にはこのような前兆に注意を向けねばならない。夜間の場合には山鳴りが頼りであるが、雨の音や雷鳴によって聞きとりにくくなる可能性がある。上流での発生をセンサーにより検知して、下流の集落に警報を伝えるという方法もあり、土石流が頻発する火山の谷などで実施されている。

### 3 地震地すべり・岩屑流

#### 3.1 地震動の作用

地震動の加速度は重力加速度に合成されて、瞬間的に斜面の傾斜および重量（重力加速度）が大きくなったような効果が生じる（図 3.4）。水平加速度 250 ガル、垂直加速度 100 ガルの地震動（かつての震度 6 の下限に相当）が作用した場合、斜面傾斜角が最大で  $13^\circ$ 、重量が最大で 12% 増大し、この結果滑動力は 50% ほど増大する計算になる。地震動のこの効果から、地震による斜面崩壊は、大雨の場合では安全である傾斜  $10\sim 25^\circ$  の緩やかな斜面でも発生する。また、表土層のない切り立った崖も崩落させる。つまり大雨の場合よりも広い勾配範囲にわたって崩壊が生じる。地震動は側面からの抑えが小さい地形的突出部（周りが空気である）で大きくなり、また水を集める条件は関係しないので、尾根・山稜などでも崩れる。雨の浸透は表層部に限られるのに対し、地震動は山体の全体に作用するので、地震による崩壊の規模は巨大化する可能性がある。

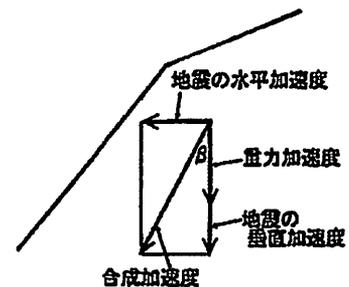


図 3.4 地震動の効果

このように、地震による斜面崩壊は発生場所が限定し難いし、大規模になる可能性があり、また、先行する降雨といったような前駆現象がなくて突発的であるので、対応がきわめて難しい現象である。緊急避難の余地はほとんどあり得ない。地震時に崩壊を起こさなくても、震動によって山体が脆くなり、その後の大雨で崩れを起こしやすくなる。危険な場所はあらかじめ避けるという対応は自然災害全体に共通する基本的対応であるが、地震崩壊の場合にはこの対応しかないということになる。2004 年の中越地震 (M6.8) は、日本有数の第三紀層地すべり丘陵の直下で起こったので、非常に多数の地すべり・斜面崩壊が発生した。地すべり山地は奥地にまで集落が広く散在して立地できる地形を提供しているの、このようなところが強震動域に入ると道路交通の広域途絶により、地域社会に深刻な影響が生ずる可能性がある。

#### 3.2 山体崩壊・岩屑なだれ

降雨とは違い地震は山体全体を振動し変形させるので、深いところで破壊が生じて崩壊が大規模になる可能性がある。巨大崩壊が起きやすいのは、大起伏で大きな体積をもち深部亀裂の生じやすい地質構造の山地である。富士山型の大型成層火山はその代表である。

大量の崩壊土砂は大規模な岩屑なだれとなり、深い谷を埋め高い尾根をも乗り越えて高速で流下して、非常に遠方にまで到達する。崩壊地点と停止地点との間の高度差と水平距離との比を等価摩擦係数とよび、運動土塊に作用した摩擦力の大きさを簡易に表現する。豪雨による通常規模の斜面崩壊ではこの値は  $1\sim 0.5$  程度であるが、巨大崩壊による岩屑なだれでは  $0.1$  程度にまで小さくなる、つまり見掛けの摩擦抵抗が小さくなり崩壊土砂がより遠くまで到達する。1970 年のペルー地震 (M7.7) により、ペルーアンデスの 6000m 峰ワスカランの山頂急崖が大規模に崩落し、これによって生じた巨大岩屑なだれは平均時速 300km を超える高速で流下した。岩屑なだれの一部は谷底からの高さが 230m もある尾根を乗り越え、人口 2.5 万の街ユンガイを厚さ  $5\sim 10$ m に埋め、およそ 1.8 万人が犠牲になった。日本では、1984 年の長野県西部地震 (M6.8) により木曾・御岳において巨大崩壊と岩屑なだれが発生した。火山体は、粒度や固結度の違

う種々の火砕物や溶岩流が山体傾斜の方向に積み重なって構成されており、また、温泉水により変質をうけるので、非常に不安定である。

#### IV 火山噴火災害

火山噴火は少数の活動的火山で起こるといふ発生場所がきわめて限定される現象であるが、一方、噴火規模が巨大になり被災域が広範囲に、ときには全世界に影響が及ぶという災害である。火山噴火は大量の熱エネルギーによる山体内部からの激しい変動であるから、ハードな方法での抵抗は無意味であり、敬遠方策が基本の対応となる。

#### 1. 火山噴火

##### 1.1 噴火様式

マグマ（熱やガスも含む）が地表に噴出するのが噴火であり、この噴出のしかたが爆発的であれば破壊力は強大で、噴石・火砕流・山体崩壊などさまざまな災害現象が生じ、大きな被害を引き起こされる。噴火が爆発的か否かはマグマの粘性やガス含有量などによって決まる（表 4.1）。粘性などを大きくする化学組成をもつマグマは、沈み込みのプレート境界において形成される。日本が位置する環太平洋域はほぼ

表 4.1 マグマの種類と噴火様式

化学組成	玄武岩 ←→ 安山岩		石英安山岩 斑岩
岩石の名称	玄武岩	安山岩	石英安山岩 斑岩
二酸化珪素の量	45% 少ない	←→	多い 75%
岩石の色	黒っぽい	←→	白っぽい
噴出時の粘性	小さい(流れやすい)	←→	大きい(流れにくい)
噴火様式	非爆発的(溶岩溢れ出し)	←→	爆発的
噴出物	溶岩	火砕物・溶岩	火砕物・溶岩
溶岩流	速く遠く広がる	流れにくく厚くたまる	流れない
火山の形	盾状火山	成層火山	溶岩円頂丘
火山の例	伊豆大島・三宅島	浅間山・桜島	有珠山・霧仙岳

全域沈み込み境界にあたり、火山噴火災害の危険が非常に大きい地帯である。沈み込み境界では、海洋プレートにより持ち込まれる大量の水による融点降下、融点の低い大陸地殻（花崗岩質）への高温マグマの混入などによって、一般に珪酸含有量の多い珪長質マグマが形成される。珪酸は重合して糸のようになり網状の構造を作って高粘性を示す。珪酸含有量が 50%ほどの岩石を安山岩という。日本の火山の 70%は安山岩質である。

マグマが地表近くまで上昇してくると冷却および圧力低下により結晶が次第に成長してくる。残りの液相の部分ではガス成分が多くなり、その発泡によってマグマ上部のガス圧が増大する。ガス成分の大部分は水で、これを多く含むマグマはガス圧が高くなる。高粘性であるとガス成分は容易には外へ逃げ出せない。したがって珪長質マグマではガス圧が高くなる。マグマが火口近くへ上がってきてガスの発泡が進み急激に体積を膨張させると、マグマ片とガスの混合物は火口から激しく噴出する。これによりマグマが細かく砕かれた物質（火砕物）が多量に放出され、また、山体の一部も破砕され、激しい噴火となる。ガス成分が多くてもその脱出・分離が効率的に進めば、爆発には至らない。これ以外のタイプの爆発には、マグマが火山体中の地下水や海水を熱し急速気化させることによって起こる水蒸気爆発あるいはマグマ水蒸気爆発（マグマ自体も粉碎される）がある。

火山は噴火の様式を反映した形に造られる。低粘性の玄武岩質マグマの火山は溶岩が火口から溢れ出すという比較的穏やかな噴火を行い、溶岩流は広く遠くまで拡がってなだらかな盾状火山をつくる。ハワイ島の火山はその典型である。爆発的噴火では、噴き上げられた火砕物が火口近くほどより多く降下・堆積する結果として、円錐火山がつくられる。安山岩質マグマの場合、火砕物噴出と溶岩流出とが生じ、これが非常に多数回繰り返されて成層火山が形成される。粘性率の非常に大きい石英安山岩質の場合で脱ガスが効率的に進むと、溶岩はほぼ固った状態のまま押しあがり、溶岩円頂丘が出現する。

##### 1.2 危険火山

日本の活火山の総数はおよそ 100 で、そのうちの 15 は無人の火山島である。活火山とは現在活動しているかあるいは将来噴火する可能性のある火山で、その判定は最近 2000 年間に活動したことを基準としてい