

火山における土砂災害対策

Debris Hazard Mitigative Measures around Volcanoes

安養寺 信 夫 (あんようじ のぶお)

(勘砂防・地すべりセンター火山防災部 技術課長)

1. はじめに

土砂災害は人間の生命や生活に大きな影響を与えるが、その原因の多くは地すべりや土石流と呼ばれるマスマーブメントである。この現象は大雨や融雪、火山噴火や地震などを起因として発生する。とくに活火山では噴火によるマスマーブメントは大規模になることが多く、大きな災害をもたらすため、土砂災害対策の実施方法も災害現象の特徴に適合させる必要がある。本文ではこのような火山周辺地域の土砂災害と対策の考え方を概説する。

2. 火山災害の多様性

2.1 災害現象と災害の発生場

火山とは「噴火活動、まれに浅い貫入活動によって生じた、特徴的な内部構造をもつ地形」である¹⁾。活火山は現在あるいは将来、噴火活動を起こす可能性の高い火山であり、噴火活動による新しい噴出物が新たな地形を形成する場として、土砂災害研究の立場では他の地質の山地とは区別される。日本にはこのような活火山が83座分布している。

火山における土砂災害を原因となる現象で分類すると、噴火に直接起因する場合と、噴出物の二次侵食に起因する場合に大別される。前者は、火砕流や溶岩流、山体崩壊などの噴火現象に起因する。後者では火砕流・降灰堆積物が降雨などによって侵食されて生じる、土石流が代

表的な現象である。これらの災害は、火山噴火とその後の土砂移動によって形成された地形である火山麓、とくに扇状地に多発している。そこで土砂災害対策の検討は、火山の地形要因の分布から出発する。扇状地や開析谷などの地形要素と土地利用の在り方から、そこに及ぶ土砂移動現象の影響が判定される。

土砂災害対策を検討する上では、災害現象の諸特性を理解することは極めて重要である。火山における主な災害現象とその特徴は表1のようになる。火山災害の特徴は、発生現象が多様で大規模となることが多いことである。さらに噴火活動の継続期間によっては災害の長期化や、土石流等の二次災害の頻発などが生じる。

2.2 土砂移動規模

噴火活動に直接起因する土砂移動の規模は一般に噴出物総量に比例し、その到達距離も遠くなる²⁾。火山噴出物量は地下のマグマだまりの大きさに依存していると考えられているが、噴火のメカニズムやマグマだまりの規模の推定などに未解明の点があり、1回の噴火活動による噴出物量を見積もることは難しい。そこで噴火による土砂移動規模を推定するには、噴出物量を過去の実績から想定し、その規模に対応した土砂移動量を設定するのが、現状では妥当な方法と考えられる。

噴出物の侵食による二次泥流(土石流)に対しては、土砂移動を発生させる降雨量を知ることが必要である。インドネシアや日本の事例では、大規模噴火後数年から

10年程度の間は少雨量によっても泥流が発生し長期的な災害となっている。これは火山灰などの細粒物質の被覆が、雨水の浸透を妨げて表面侵食を増大させることが原因である。最近の雲仙・普賢岳噴火では火砕流堆積物の二次侵食によって土石流が多発しているが、時間雨量が10mm以上となると発生しやすくなることが分かってきた。

降雨に起因する土石流の流出土砂量は、表面流の流出量と土石流の平均土砂濃度から次式のように推定できる。

$$V_T = \frac{fR_T A}{1-\lambda} \frac{C_d}{1-C_d} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 V_T ：流出土砂量、 R_T ：土石流にかかわる連続雨量、 A ：集水面積、 f ：流出係数、 λ ：堆積物の空隙率、 C_d ：土石流土砂濃度で、一般に高橋の式⁶⁾を用いる。

表1 火山地域の土砂災害 (文献2)、4)を参考に作成)

災害現象	移動特性	被害形態	災害事例
溶岩流	溶けたマグマの流動(粘性により流動性が異なる)。高温(800~1200℃)。比較的低速(~100 m/min)。	埋没 焼失	桜島1914, 三宅島1983 伊豆大島1986 エトナ1669
火砕流	火山灰・軽石・溶岩塊を含む固気混相流, 高温(400~800℃)。高速(20~100 km/h), 破壊力大。	埋没 焼失 破壊	モン・プレー1902 メラビ1984, 1994 雲仙岳1992
岩屑流	山体崩壊による崩壊土塊の流動。低温・高速(~100 km/h)。海湖に突入して津波を起こす事あり。	埋没 破壊	北海道駒ヶ岳1640 眉山1792, 磐梯山1888 セントヘレンズ1980
降灰	火山灰・軽石の噴出によって周辺に降下堆積。高層風で遠方まで到達。火山周辺では厚く堆積。	倒壊 大気汚染	富士山1707, 浅間山1783 桜島1914, 有珠山1978 ピナツボ1991
火山泥流	高温の火砕流等が積雪や氷河を急速に溶かすことなどによって発生。中~高速(10~30 m/s)。	流失 埋没 破壊	浅間山1783, 十勝岳1926 ネヴァド・デル・ルイス1985 クルー1919, ガルングン1822
土石流 二次泥流	主に降雨が堆積物を侵食して発生。高温の火砕流堆積物を発生源とする場合は70~80℃になる。速度(~20 m/s)。	流失 埋没 破壊	有珠山1978, 桜島1976~ ピナツボ1991~, 雲仙1993~ メラビ, スメルー等多数

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 σ 、 ρ ；砂礫と流水の密度、 θ ；溪床勾配、 ϕ ；砂礫の内部摩擦角である。

融雪型火山泥流の規模は、(1)式の表面流出量の代わりに融雪水量を当てはめて推定する。融雪水量は熱力学モデルによって噴出物の温度と積雪融解熱の関係から得られる。例えば、積雪温度0℃、噴出物温度800℃の時、噴出物量の約5倍の融雪水量が得られることになる。

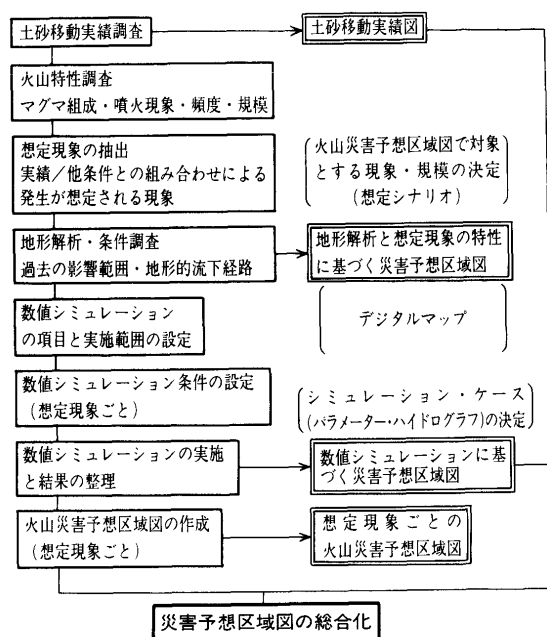
以上のように土石流や泥流の規模を見積もることができるが、重要なのは想定される条件を組み立てて適切なシナリオを設定することである。

3. 災害の予測

3.1 火山災害の可能性

火山噴火の予知は、継続的な観測が実施されている特定の火山を除いて非常に難しいとされている⁵⁾。さらに次の噴火で発生する現象とその規模を予測することは困難である。しかし、噴出マグマの性質や最近の火山活動状況などから、発生しそうな噴火現象を絞り込んだり、類似火山の事例から推定することは可能であろう。

災害現象の予知・予測がどの程度要求されるかは、社会状況によって異なると考えられるが、予測の段階でどこまで科学的な裏付けを取れるかが、この信頼性を判断する要素になろう。その意味では、噴火現象の発生時期や絶対的な規模を正確に予知することはできない。しかし、防災事業で要求するような現象の種類と規模に対応した危険区域や危険の程度の想定は、これに対する適正なシナリオを描くことによって可能である⁶⁾。ここでは、防災として必要な情報を得る意味での危険度の想定に絞った論議を進める。



図一 火山災害予想区域図の作成手順

3.2 災害危険範囲の想定

火山地域の土砂災害防止対策の1例として現在建設省の火山砂防計画で検討している土砂災害想定区域の考え方と設定手法⁸⁾を概述する(図一1)。

ここでは、火山砂防計画の対象となる火山で、過去に発生した現象と同様の現象が再現するという仮説を立てる。もちろん、過去に発生しなかった噴火現象が将来も発生しないということではなく、防災上必要であれば発生実績がない土砂移動現象を想定することもある。

この考えに基づき、地質学・岩石学・火山学などを応用した調査によって、噴火時期ごとの土砂移動実績図を作成する。これは堆積物の性状と分布を示すだけではなく、物理特性や量的な把握もなされる。この結果が火山砂防計画の基礎資料となるため、関連調査は重要である。しかし、火山によって研究成果や調査資料の多寡にばらつきがあり、内容にも差があるのが現状である。

一般には土砂移動実績図に基づいて、火山砂防計画で対象とすべき土砂移動現象や規模を決定する。現状では他の防災事業の計画規模設定条件なども考慮して、過去200年程度以内に発生した噴火現象と土砂移動規模を参考に決定することになっている。しかし、多少長めにとってもこの期間内に顕著な噴火履歴のある活火山は限られており、規模の設定には対象とする火山のマグマ組成や噴火間隔等の噴火特性を考慮する必要がある。

また、火山の状況によっては実績がなくても発生が想定される現象を計画に含む。例えば、積雪地帯にある活火山では過去に融雪型泥流の発生実績が無くても、積雪期の噴火によって泥流の発生が予想され得る場合には、これを計画対象現象とすることがある。

次に、地形解析や微地形条件に基づいて計画対象現象の影響が及ぶ範囲を整理して、概略の災害予想区域図を作成する。これは、数値シミュレーションの検討範囲を決定するために用いられる。土砂移動現象はその流動形態によって運動特性が異なり、それを反映した火山泥流、土石流、溶岩流、火砕流に関する運動モデルが研究されている³⁾。これに基づく数値シミュレーションは、メッシュグリッドで整理された数値地形データを用いて演算される。これらの計算では想定される現象ごとに、流動・停止・堆積等を支配するパラメーターが異なるため、それらの決定と適切な流量時系列を設定しなければならない。土質試験資料や実績の再現計算などによってこれらの数値を設定する。図二は十勝岳において検討した火山泥流の想定氾濫範囲を示しているが、1926年の実績⁷⁾をほぼ的確に再現している。

最終的には計算結果に基づき、現地の微地形要因などを加味して総合的な災害予想区域図が作成される。数値シミュレーションによるこの図の特徴は、現象の規模に対応した影響範囲が得られることのほか、流速や流動方向、流動深や堆積深などの定量的な分布が計算可能なことである。この結果を用いて、施設配置計画や、避難計画、被害想定などへの応用が可能となる。

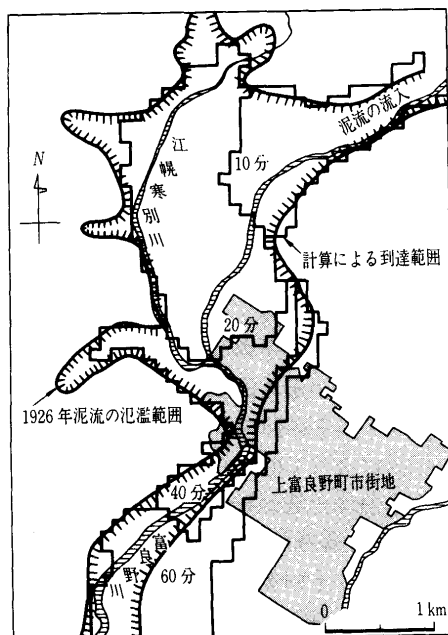


図-2 火山泥流のシミュレーション (十勝岳の事例)

4. 土砂災害の防止軽減対策

4.1 対策の概念

砂防事業は、土砂災害から人間の生命や財産・生活基盤を守り災害に強い環境をつくるものである。

自然災害を防止軽減するためには、その原因となる自然現象の性質や特徴をよく知ることが前提である。さらに対策を効果的・経済的に進めるためには、対象現象の調査や具体的な対応策を行う手順をあらかじめ設定しておく必要がある。このような手続きを示したものが砂防計画である。砂防計画は「土砂災害を防止軽減するための対策の目標と、調査や対策の実施手順や実施手段などをあらかじめ立案したもの」である。

火山地域の土砂災害対策は次の手順で立案される (図-3)。

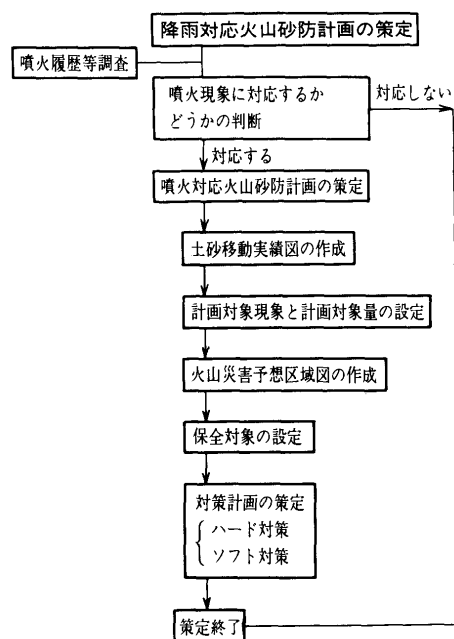


図-3 火山砂防計画の策定手順

4.2 対策の目標設定

(1) 対象とする現象の決定……対象火山の過去の土砂移動特性を調査して、発生が想定される災害現象を選定する。火山の特性により、泥流、土石流のほか溶岩流や火砕流などの噴火現象も対象になる。

(2) 対象現象の規模設定……降雨に起因する泥流や土石流は、降雨量をもとに流出する洪水で運搬される土砂量で規模を設定する。噴火現象については過去の噴火事例から噴出土砂量を推定することが多い。対象現象ごとにこれらの規模を設定する。

(3) 計画の達成目標の決定……対象現象ごとにそれぞれの規模と対応の可能性を吟味し、防災対策で主として用いる手段ごとに達成目標や実施期間を定める。例えば、泥流対策は砂防施設によって計画規模の土砂をすべてコントロールして災害を防ぐ、火砕流対策は警戒避難体制を整備して人的被害を防止するなどである。

(4) 防災対策の実施手段……砂防計画においては、砂防施設を配置して流出する土砂を直接処理することにより災害を防止するハード対策と、警戒避難体制を支援して人命の保全を図るソフト対策の2種類の対策が計画される。ハード対策では砂防ダムや遊砂地の必要基数と位置、施設規模などを検討する。ソフト対策では現象の発生監視施設の配置や情報伝達、避難方法などを検討する。総合的な土砂災害対策はハード対策とソフト対策を適切にバランスよく組み合わせることによって成立する。

(5) 火山災害予想区域図の作成……以上の対策を進めるために災害規模や対象現象に応じた火山災害予想区域図の作成が重要である。この図によって泥流や火砕流の影響範囲が認知されるほか、到達時間や水深などの情報によって砂防施設の適切な配置場所や避難方法などが具体的に検討される。

4.3 施設による対策

土砂移動現象は流水や高圧の気体などを媒体として生じる。基本的には重力やせん断力などから構成される力学系でこの運動が説明されるが、自然界では様々な要因が複雑に相互関連しているので、力学系のみですべてを詳細に説明するのは困難である。

ハード対策は力学系を基礎としているが、経験則に依るところも大きく、これらの相互補完によって成り立っている。ハード対策の第1は自然現象の力に対してそれに耐え得る構造物を建設することである。

火山砂防計画においてハード対策は極めて重要であるが、発生する多様な現象のすべてに対応できる万能施設を建設することは困難である。とくに火山砂防計画では対象とする土砂量が大量で、砂防施設も大規模になるので、投資効果を市場経済原理のみで評価すると費用便益効果が生じにくい。この問題に関する理解を得るには、長期的な経済視点に立った防災施設整備に対する評価が要求されよう。

同時に、技術的に大量の土砂を砂防施設だけで処理することが困難な場合にはソフト対策と組み合わせることによって相互の効果を高めなければならない。

表-2 火山砂防施設の機能と種類

名 称	主な施設機能	施設配置位置	施 設 例
土砂生産抑制機能	流水や地下水、雪崩などによる侵食を防ぎ、下方に運搬される土砂量を低減させる機能。	不安定な土砂の存在する斜面や渓流源頭部に設ける。	山腹工や渓流源頭部の階段工や護岸工。樹木植栽や草木の播種
土砂流出抑制機能	泥流や土石流によって運搬される土砂を捕捉して、下流域で堆積氾濫して災害となる土砂をカットする機能。 噴火によって膨大な不安定土砂が流域に存在している場合には、泥流が繰り返して発生し、土砂が堆砂地に堆積して容量が減少するので、除石による機能回復が必要になる。また、除石土砂の処分場の確保も必要である。	渓流部や谷出口、扇状地などの土砂捕捉ポケット容量が確保しやすい場所に設ける。	砂防ダム 遊砂地
流向制御機能	氾濫土砂の溢流防止や洪水の流向を制御して災害のおそれのある地域への溢流を防止する機能。また、流末の処理を行う。	浅い谷の尾根部や扇状地など氾濫しやすい場所に設ける。	導流堤 流路工

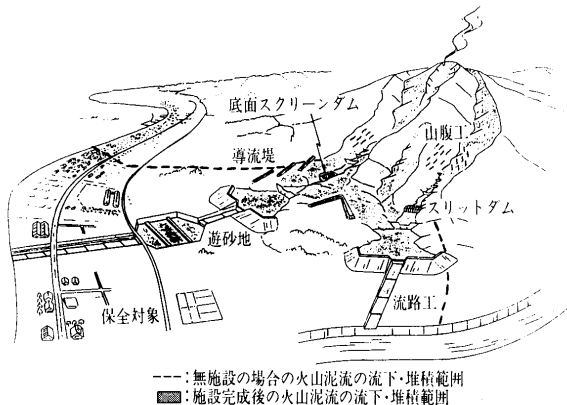


図-4 火山泥流対策施設の配置に関する概念図

火山砂防施設の機能と種類を表-2に示す。また、泥流対策施設の概念図を図-4に示す。

4.4 ソフト対策

ソフト対策の基本は認識と回避である。認識とは災害を引き起こす要因の特徴と相互の関係を理解することである。回避とはこれらの認識に基づいていかに災害要因を減らすかということになる。

まず最初に火山災害による影響区域の範囲を知ることが重要である。危険区域や警戒区域のゾーニングは、災害原因である噴火規模や土砂量との関連で論じられるべきである。火山砂防計画においては、想定する現象ごとの数値シミュレーションが応用される。この方法の利点は、流れの物理量に基づく災害危険度に応じた危険区域のゾーニングが可能なことである。また、この結果は監視システムの整備計画や警戒避難体制の実行計画に適用される。

監視システムは、災害現象の発生検知とその情報の処理・伝達で構成される。土砂災害予想区域図に基づいてセンサーなどの監視所を設けるべき位置が決定される。そして、そこから得られた情報を防災責任者に提供し、避難の指示が出される。監視システムの要点は、短時間に正確な情報をあまねく伝えることである。これらの情報を一元的に処理・伝達することによって緊急時の不

要な混乱と錯綜を回避することができる。

避難計画では、避難を要する地区と安全な避難路、避難場所の確保が問題となる。とくに避難のタイミングは重要である。例えば泥流が発生後何時間で到達するかを事前に知ることができれば、発生を検知してからいつまでに避難しなければならないかを判断できる。また、流動深の分布は安全な避難路や避難場所を選定するのに役立つ。これらの避難計画を支援するものが監視システムと砂防施設の整備である。監視システムによつて的確な避難情報が提供され、砂防施設は氾濫区域の面積を減少させるだけでなく、避難路や避難場所の安全を確保する。

ソフト対策をよりの確なものにするために、地域住民に対する防災教育が必要である。砂防施設の必要性や防災情報のもつ意味、安全な避難方法、緊急時の心構えなどの知識が住民一人一人の生命を守ることを知ってもらうことが重要である。また、防災訓練を実施しておくことは実際の避難行動に有益である。

5. おわりに

火山災害は我々の生活に大きな脅威となるが、これを回避することは不可能ではない。噴火現象や土砂移動現象の発生を抑止することはできなくとも、事前にどのような災害が発生しどの程度の影響があるのかを調べて、これを回避する方策を講じておけば、被害を最小限にくい止めることは可能である。このような意味で、火山砂防ではハード対策とソフト対策を的確に組み合わせることが重要である。さらに今後は火山防災体制の総合化が必要であるし、これらの体系化なども考慮されなければならないと考える。

参 考 文 献

- 1) 中村一明：地形学辞典中の「火山」の記載，二宮書店，1981.
- 2) Blong, R. J. : Volcanic Hazards, Academic Press, Sydney, 1984.
- 3) Yamashita, S, Miyamoto, K. : Numerical Simulation Method of Debris Movements with a Volcanic Eruption, Proc. JUWSLDPC 1991, pp. 433~442, 1991.
- 4) 横山・荒牧・中村：火山，岩波講座 地球科学 7，岩波書店，1979.
- 5) 岡田 弘：十勝岳の火山噴火の予知と防災，月刊 地球，号外 No. 7, 1993.
- 6) 高橋 保：土石流の発生と流動に関する研究，京大防災研究所年報，Vol. 20 B-2, 1977.
- 7) 北海道防災会議：十勝岳，北海道における火山に関する研究報告 第1編，pp. 37~48, 1971.
- 8) 建設省河川局砂防部：火山砂防計画策定指針(案)，および火山災害予想区域図作成指針(案)，1992.
- 9) 安養寺・宮本・山下：火山噴火に伴う土砂災害の被害想定，火山工学シンポジウム発表論文集，土木学会，1994.

(原稿受理 1994.12.22)