

火山噴火に起因した土砂災害予想区域図
作成の手引き（案）

平成 25 年 3 月

国土交通省砂防部

目 次

総則

1. 手引きの目的	1
2. 本手引きの内容	3
3. 本手引きで取り扱う災害	3

第1章 火山噴火に起因した土砂災害予想区域図

第1節 予想区域図の用途	5
第2節 作成手順	6
第3節 予想区域図の見直し	9

第2章 予想区域図作成のための基礎資料

第1節 土砂移動実績図	10
第2節 数値標高モデル	10
第3節 現象の規模と特性	11
第4節 数値シミュレーション	11

第3章 予想区域図の作成

第1節 概要	14
第2節 火山泥流災害予想区域図	16
第3節 溶岩流災害予想区域図	17
第4節 火砕流災害予想区域図	19
第5節 降灰後の土石流災害予想区域図	20
第6節 予想区域図の総合化	23

第4章 緊急時の予想区域図の作成

24

総則

1. 手引きの目的

火山噴火に起因した土砂災害予想区域図作成手引き（案）（以下、「本手引き」という）は、火山噴火に起因した土砂移動現象による災害を防止・軽減するためのハード対策及びソフト対策を検討する際に基礎となる火山噴火に起因した土砂災害予想区域図（以下、予想区域図という）の作成に関する基本的な検討項目及び留意点について示したものである。

[解説]

我が国には、世界の活火山約 1500 のうちの約 7%にあたる 110 の活火山が存在している。また、活火山周辺には多数の人が住んでいることから、世界的に見ても火山噴火に伴う災害により多数の犠牲者が発生し、社会・経済活動も大きな被害を被ってきた。

火山噴火に起因した土砂移動現象には、火山泥流、溶岩流、火砕流といった火山噴火とほぼ同時に発生する土砂災害だけでなく、降灰等の堆積後の降水を発生原因とする土石流（以下、降灰後の土石流という）や、火山活動に伴う地震等による山体崩壊といった現象もあり、その他の土砂災害に比べ、影響が激甚かつ広範囲にわたることが多く、長期間継続する可能性があることがわかる。

火山地域の安全を確保し、地域の人々が安心して生活できる基盤を創出するため、火山噴火に起因した土砂災害対策をはじめとして、脆弱な地質条件を有する全国の火山地域で火山砂防事業が実施されてきている。火山砂防事業は、砂防堰堤、遊砂地、溪流保全工等の整備により地域の安全確保をはかるためのハード対策と、火砕流や土石流、火山泥流等の発生監視装置の整備、予想区域図の作成等により地域住民の生命の安全確保をはかるための警戒避難体制確立に資するソフト対策からなる。火山噴火に起因した土砂災害は、構造物対策の適用限界を超える災害となり得ることから、火山砂防事業の実施にあたっては、想定する災害の規模や事業の進捗状況に応じて、ハード対策とソフト対策のバランスを検討する必要がある。

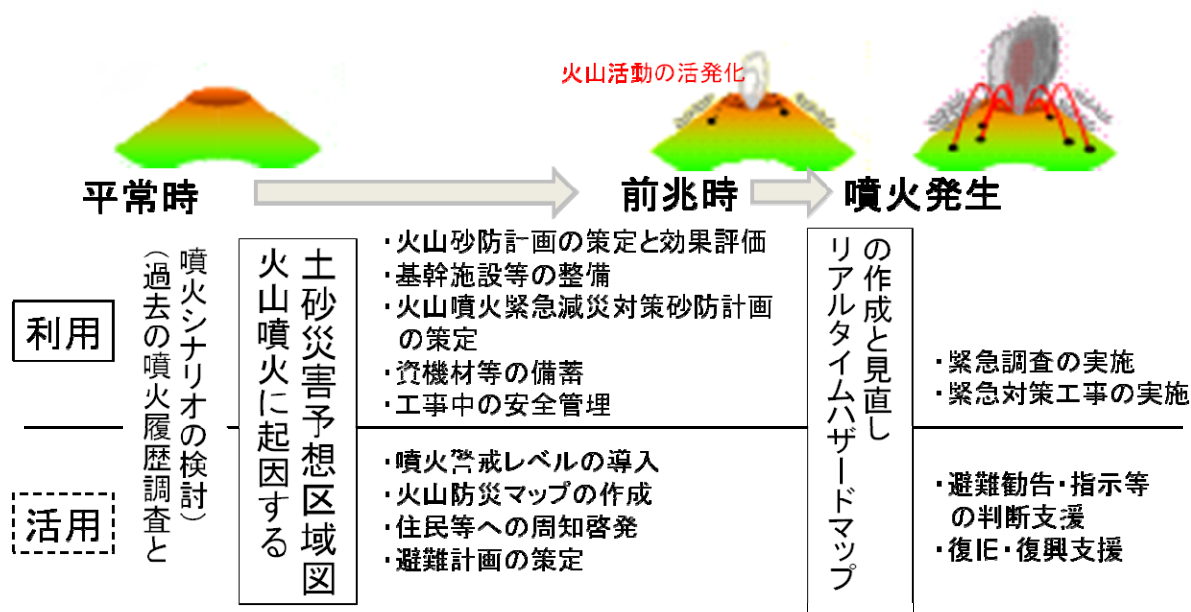
火山噴火に起因した土砂災害対策としてハード対策及び警戒避難体制の確立等に資するソフト対策の検討を行う場合には、火山活動に伴う地形変動が急激であることや、同一流域においても異なる種類の土砂災害が発生する可能性がある等、火山噴火に起因した土砂災害の特性を十分踏まえた検討が必要となることから、土砂災害防止のための対策を専門的に取扱い、かつ火山砂防事業を実施している国土交通省及び都道府県の砂防部局が予想区域図を作成し、火山地域において発生する土砂災害の種類とその想定される規模及びこれらの過去の発生状況等を事前に把握しておくことが必要不可欠である。

作成した予想区域図は、砂防工事の計画策定やその計画の評価及び工事期間中の安全確保のために利用されるだけでなく、火山防災対策の共同検討体制である火山防災協議会を通じて情報共有され、市町村、都道府県、管区・地方気象台等、砂防部局、火山専門家等からなるコアグループが中心となって噴火時等の避難計画の検討や火山防災マップの検討に活用さ

れることが期待される。また、噴火時等には災害対策基本法第 60 条に基づく避難勧告・指示や同法第 63 条に基づく警戒区域の設定等を行う市町村長の判断等に資する資料として有益な役割を果たすものと考えられる。

これらに加え、噴火時等には、進行中の火山活動の状況にあわせてリアルタイムハザードマップを作成し、市町村長の避難判断の支援や緊急減災対策砂防施設の評価を実施することが必要である。

なお、平成 23 年 5 月に土砂災害防止法が改正され、降灰後の土石流等について、一定の要件を満たす場合に、国土交通大臣は緊急調査を実施し、調査の結果、重大な土砂災害の急迫した危険があると認める時に、重大な土砂災害が想定される土地の区域及び時期に関する情報を関係市町村及び都道府県に通知することによって、災害対策基本法に基づく市町村長の避難勧告等の判断を支援することとなっており、前述のリアルタイムハザードマップのうち、降灰後の土石流に関するものが、法的に位置づけられた事になる。



図ー1 火山噴火に起因した土砂災害予想区域図の目的

2. 本手引きの内容

本手引きは、第1章において予想区域図の内容を示し、第2章においてその作成のための基礎知識の概説、第3章において土砂移動現象毎の予想区域図の作成方法と留意事項、第4章においては緊急時の予想区域図の作成方法と留意事項について示している。

3. 本手引きで取り扱う災害

火山噴火に起因した土砂災害の原因となる種々の現象のうち、本手引きでは、発生頻度が高く、人的及び物的被害や社会・経済に与える被害が大きくなり得る、火山泥流、溶岩流、火砕流及び降灰後の土石流により発生する災害について取り扱う。

[解説]

表-1に示すように火山噴火に起因して種々の現象が起き、それらにより多種多様な災害が発生する。これらの災害を生じる現象のうち、降下火砕物、溶岩流、火砕流、火山泥流、土石流、岩屑なだれ（山体崩壊）によって発生する、いわゆる火山噴火に起因した土砂災害による死者は、火山噴火による犠牲者の80%以上を占めており、地域の社会・経済に与える影響も大きい。

本手引きでは、影響範囲を定量的に精度良く推定する事が現在の技術水準で可能となっている、火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流による災害についてのみ取り扱うものとする。さらに、火山泥流、土石流にともなって発生・流下する流木による災害についても必要に応じて検討する。

噴石（噴火時に火口から吹き飛ばされる直径数cm以上の岩塊）は火山山麓での土砂災害の直接的原因とはなりにくいので、本手引きでは取り扱わないことを原則とする。ただし、火山噴火緊急減災対策砂防工事の作業安全管理上、噴石の到達範囲予測が必要となる場合には実績等によって検討する。

その他、降下火砕物、火山ガス、津波、空振、地殻変動、火山性地震、異常気象については直接的な土砂災害ではないので本手引きでは取り扱わない。

また、岩屑なだれ（山体崩壊）は、被害は大きいですが、発生原因が地震や火山噴火など多様であり、事前に崩壊規模や影響範囲を定量的に精度良く推定することが現在の技術水準では困難な場合が多いことから、本手引きでは取り扱わない。

表－1 火山活動とそれに伴う災害

年 月 日	火山名	被害の概要
1410(応永17).3.5	那須岳	噴石や埋没により死者約180人
1640(寛永17).7.31	北海道駒ヶ岳	津波により死者約700人
1741(寛保元).8.29	渡島大島	津波により死者約1,475人
1779(安永8).11.8.9	桜島	溶岩流、噴石により死者153人
1781(天明元).4.11	桜島	海底噴火。津波により死者8人、行方不明7人
1783(天明3).8.4	浅間山	火砕流・溶岩流・火山泥流。吾妻川、利根川に洪水。死者1,151人
1785(天明5).4.18	青ヶ島	死者130～140人。八丈島に避難し50年余り無人島に
1792(寛政4).5.21	雲仙岳	津波と火山泥流により死者約1万5,000人。
1822(文政5).3.23	有珠山	熱雲により旧虻田郡落全滅。死者50人
1856(安政3).9.25	北海道駒ヶ岳	1村落焼死。軽石流により死者約20人
1888(明治21).7.15	磐梯山	大泥流により山麓の村落が埋没。死者461人
1900(明治33).7.17	安達太良山	火山の硫黄鉱山施設、山林耕地施設に被害。死者72人
1902(明治35).8.7	伊豆鳥島	中央火口丘爆砕。全島民125人死亡
1914(大正3).1.12	桜島	溶岩流出、村落埋没、消失。地震鳴動顕著。死者58人
1926(大正15).5.24	十勝岳	大泥流発生。2ヵ村村落埋没。死者144人
1940(昭和15).7.12	三宅島	火山弾、溶岩流出。死者11人
1947(昭和22).8.14	浅間山	噴石により死者11人
1952(昭和27).9.24	ベヨネーズ列岩	海底噴火。観測船第5海洋丸の遭難により全員(31人)死亡
1958(昭和33).6.24	阿蘇山	噴石により死者12人
1962(昭和37).6.	十勝岳	死者4人、行方不明1人
1974(昭和49).6.17,8.9	桜島	土石流で死者8人
1974(昭和49).7.28	新瀧焼山	噴石により死者3人
1977(昭和52).8.～ 1983(昭和58).10.3	有珠山	泥流、降灰砂、地盤変動。死者3人。有珠新山生成
1979(昭和54).6～7	阿蘇山	死者3人、負傷者11人
1983(昭和58).10.3	三宅島	溶岩流出、阿古地区家屋焼失・埋没394棟
1986(昭和61).11.15～	伊豆大島	12年ぶりに噴火。全島民等約1万人が島外避難
1990(平成2).11.17～	雲仙岳	火砕流により死者・行方不明44人、負傷者12人
2000(平成12).3.31～	有珠山	23年ぶりに噴火。虻田町、壮瞥町、伊達市で約16,000人が避難、家屋771棟が被災
2000(平成12).7.8～	三宅島	泥流、降灰により36戸が被災。9月2日に全島避難指示。全島民約4000人が9月4日に避難。平成17年2月1日に避難指示解除。
2000(平成12).10.10	桜島	火山礫により、車35台以上のガラスの破損。ビニールハウスの一部破損。
2004(平成16).9.1	浅間山	山麓で窓ガラス破損(空振)、農作物(火山灰など)
2011(平成23).1.26～	霧島山(新燃岳)	噴石、空振により、窓ガラス等破損。1月30日に宮崎県高原町は513世帯(1158人)に対して避難勧告を発(2月15日解除)

*
*

出典：砂防便覧（平成20年度版）p58『10人以上の犠牲者を出した噴火及び最近の火山の災害』に※印（同p90より）を加筆。

第1章 火山噴火に伴う土砂災害予想区域図

第1節 予想区域図の用途

火山噴火に起因した土砂移動現象による災害を防止、軽減するためのハード及びソフト対策を検討する際には、対象とする火山に応じた、現在の地形条件下で移動する土砂の移動過程や影響範囲、堆積深等を土砂移動現象毎に想定した図、いわゆる予想区域図が必要となる。予想区域図は、対象とする火山の火山形成史、土砂移動実績図及び想定される規模の土砂移動現象の数値シミュレーション結果等を基に、総合的知見によって作成される。

予想区域図は、過去の火山噴火現象等を参考に、平常時から作成するもののほか、火山噴火が活発化し、噴火の前兆期以降の緊急時に作成するものがある。

[解説]

対象とする火山に応じた現在の地形条件下で移動する土砂の移動過程や影響範囲、堆積深を土砂移動現象毎に想定した図を予想区域図と呼ぶ。この予想区域図は火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流による災害を防止・軽減するための構造物によるハード対策及び構造物によらない監視・警戒避難体制の整備等のソフト対策を計画、実施するために用いられる。これらの土砂移動現象は、保全対象までの到達時間が短く、発生の覚知から避難までの時間が十分確保できない場合も想定されるため、この予想区域図は危険範囲を示すだけでなく、火山噴火や対象とする土砂移動現象の想定規模や発生頻度、時間の経過による影響範囲の変化、土砂の堆積深の分布等も示す精度の高いものであることが望ましい。従って、予想区域図の検討、作成にあたっては、対象とする火山の火山形成史・過去の噴火等の火山噴火に起因した土砂移動実績等に基づいて被害が想定される区域を示すだけでなく、現在の地形条件、想定される土砂量や各種条件を適切に用いた土砂移動現象毎の数値シミュレーション結果等を基に総合的に判断する必要がある。

また、予想区域図は、対象とする土砂移動現象毎に、想定される土砂移動量、想定される土砂移動現象の発生頻度、想定に用いた諸条件（例えば、噴火口の位置、地形条件、想定される噴出物の物理的特性、気象条件）を明らかにした上で、土砂移動現象による被害が想定される範囲とその程度を把握するため、時間の経過による土砂移動の影響範囲の変化、最大流動深、最終的な堆積深の分布等を示す必要がある。

緊急時に作成する予想区域図は、火山噴火の状況に合わせて、随時作成するため、精度と作成時間のバランスを考慮する必要がある。

第2節 作成手順

予想区域図は、過去の火山噴火に起因した土砂移動実績、数値シミュレーション等の調査を行い、その結果を基に、現象毎の予想区域図及びその予想区域図の総合化を行う。

[解説]

予想区域図は、過去の火山噴火に伴い発生した火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の土砂移動実績に関する調査を行い、過去の現象を参考に、発生の可能性の高い現象について、数値シミュレーション等の手法を用い、火山噴火に起因した土砂災害が想定される区域について調査・検討し、作成するものである。

予想区域図は、以下の調査を実施して作成する。

作成のフローを図-2に示す。

(1) 実績調査

過去の火山噴火に起因して発生した火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の発生、流下、堆積等の土砂移動実績について、文献、航空写真、既往調査資料、現地調査、航空レーザ計測データ、地質情報等より調査・検討し、土砂移動実績図にとりまとめる。

(2) 火山の特徴、現象の種類と頻度、規模に関する調査

火山噴火に起因した土砂移動に関する実績調査成果を、火山噴火の規模とその頻度及びその活動時に発生した現象の種類とその特性・特徴、規模について整理する。

また、これらの調査結果を基に、火山噴火に起因して発生する土砂移動現象のパターンあるいは発生する可能性等について検討し、対象とする火山の特徴としてとりまとめる。

(3) 実績のある、あるいは発生が十分想定される現象の抽出

(1)、(2)の調査結果から、対象とする火山で発生が予想される噴火とその噴火時に発生が予想される土砂移動現象を特定し、整理する（第2章第3節参照）。

(4) 数値シミュレーションの項目と範囲の設定

(1)～(3)の調査結果を基に、数値シミュレーションを実施する土砂移動現象の種類とその範囲を設定する。

また、設定された範囲の数値標高モデルを、数値シミュレーションの特性を考慮して作成する。

(5) 現象毎の数値シミュレーション条件の設定

火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の現象毎に、流動、停止、堆積等を支配するパラメータや流量時系列がそれぞれ異なるため、対象とする現象毎に、(1)、(2)の調査成果及び再現計算等を基に数値シミュレーションに用いるパラメータ及び流量時系列等の条件を設定する。

(6) 数値シミュレーションの実施と結果のとりまとめ

(5)で定めた条件で現象毎に数値シミュレーションを実施し、現象毎の数値シミュレーション

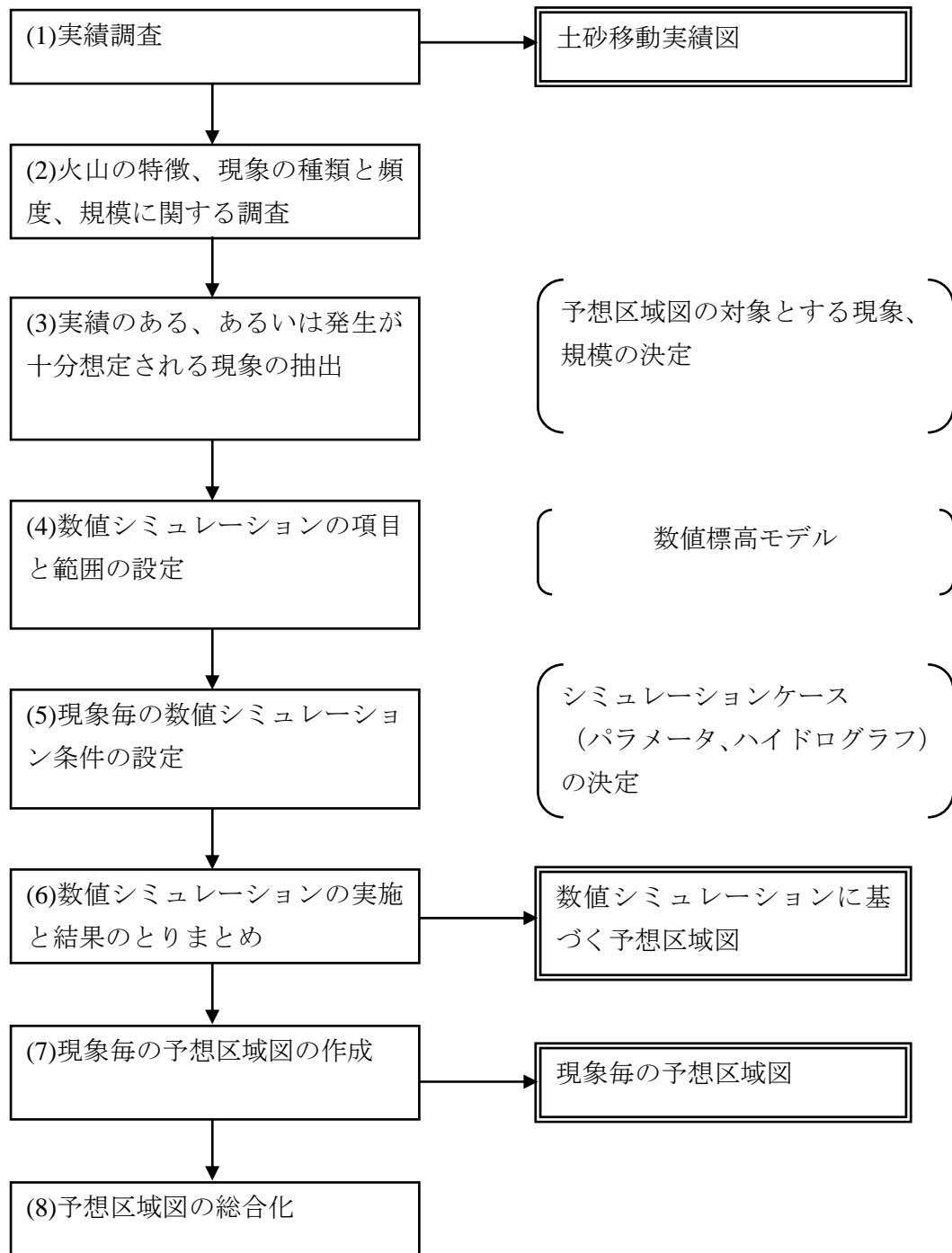
ョンによる予想区域を設定する。設定される土砂災害予想区域には、数値シミュレーションの特性を生かし、時間の経過による影響範囲の変化、土砂の流動深など、必要な情報を盛り込んだものとするのが望ましい。

(7) 現象毎の予想区域図の作成

数値シミュレーションに基づき設定された個々の現象の土砂災害予想区域を基に、過去の土砂移動実績調査結果（土砂移動実績図）や現況の地形等を考慮して必要に応じて修正を加え、現象毎の予想区域図を作成する。

(8) 予想区域図の総合化

(7) で作成された現象毎の予想区域図を総合化して火山全体としての予想区域図を作成する。



図－2 予想区域図の作成フロー図

第3節 予想区域図の見直し

一定規模以上の火山噴火が発生した場合及び予想区域図作成後の調査の進展等により、新たな事実が判明した場合、既存の予想区域図の見直しを行う。

[解説]

一定規模以上の火山噴火が発生した場合には、最新の火山噴火の実績や情報が追加されたり、地形条件が変化したりするが多いため、既存の予想区域図の見直しを行う。

火山噴火が発生しない場合でも、その後の調査の進展等により、新たな事実が判明した場合、または新たに砂防施設の整備が進んだ場合には、必要に応じて、既存の予想区域図の見直しを行う。

第2章 予想区域図作成のための基礎資料

第1節 土砂移動実績図

土砂移動実績図は過去の火山噴火に伴い発生した土砂移動実績を示したもので、予想区域図作成の対象とする土砂移動現象とその規模の決定及び火山の特性を把握するための基礎資料となる。

[解説]

過去の火山噴火に伴い発生した火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の土砂移動現象及び降灰について、それぞれ、火山噴火の規模毎にそれらの発生地点、流下域、氾濫停止範囲及び分布をとりまとめることが、火山の特性、火山噴火に伴い発生する土砂移動現象の特性を把握する上で重要である。

土砂移動実績図は、このような土砂移動現象に関する情報を、火山噴火の規模毎に既往の文献、航空写真、既往調査資料、現地調査、航空レーザ計測データ、地質情報等を基に図示したものである。

この土砂移動実績図を基に、予想区域図作成の対象とする土砂移動現象とその規模及び作成の基本的な方針が設定される。

土砂移動実績図の作成手順としては、文献・資料の収集・解析及び現地調査（地形、地質、露頭の観察等）等により過去の主要な噴火時期毎に、発生した各種の土砂移動現象の種類、発生・流下・堆積範囲及び被害状況を整理する。そして、それを基に土砂移動実績図を作成する。

土砂移動実績図は、検討対象火山の活動履歴を基に、主に現在の活動期の期間内で生じた主要な噴火活動を対象として作成する。複数の重要な噴火時期がある場合は活動期毎に作成することが望ましい。

第2節 数値標高モデル

数値標高モデルは、火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流を適切に表現するように作成されなければならない。

[解説]

数値標高モデルは地形を標高値の組み合わせで表現したもので、火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の氾濫、堆積の数値シミュレーションを実施するための最も基礎的な資料である。数値シミュレーションの中では、火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流は、この数値標高モデルの上を流れる。

数値標高モデルの作成範囲は、現象の性質、地形的特性から想定される火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の氾濫範囲を含むように余裕をもたせて設定する必要がある。

数値標高モデルの解像度（メッシュサイズ）が大きければ地形は数値標高モデル上で粗く表現され、メッシュサイズが小さければ地形は精度よく表現される。

火山泥流、溶岩流、火砕流等のような大規模な流動現象については、メッシュサイズはさほど小さくする必要はない。実際、流れは非常に広い範囲に氾濫するため、あまり微地形に左右されない。また、小さなメッシュサイズにすると、計算時間が非常に長くかかるようになるので実用面からも不利となる。その一方で、降灰後の土石流などの規模の小さな流動現象に対しては、微地形が流れの現象に大きくかかわってくるので微地形が表現されるようにメッシュサイズを小さく設定する必要がある。

一般的には、火山泥流、溶岩流や火砕流等の規模が大きい流動現象の場合、メッシュサイズは数十メートル程度とする（ただし、現象の規模が小さい場合、読み取り間隔は十メートル程度と小さく設定する必要がある。）。

また、降灰後の土石流のような小さな規模の流れや、その発生と規模に及ぼす降灰の影響把握のためには、数メートル程度から 10～20m 程度で作成する。

第3節 現象の規模と特性¹⁾

数値シミュレーション等の手法により火山噴火に起因した土砂災害予想区域を設定する際、将来発生が予想される各土砂移動現象の規模や量的・時間的な変化、土砂移動現象の物性を表すパラメータ等の計算条件を適切に設定する。

[解説]

予想区域図を作成する場合、作成の対象とする現象の特性を明らかにしておく必要がある。

現象の特性は、物性を表す物理量と、現象の規模、総量及びその供給時系列（流動現象であれば、ハイドログラフ）、その他の現象を支配するパラメータにより示される。このうち、物性は、火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の現象毎に異なった物理量によって表される。

また、降灰後の土石流を除き、現象の総量は土砂移動実績図等の過去の土砂移動現象の規模と頻度に関する検討から定められ（火山砂防計画策定指針第3章第2節第3項参照）、供給時系列とその他の現象を支配するパラメータは、過去の現象に関する実績や類似の火山における資料等を基に検討する。

現象の規模と特性については、必要に応じ当該火山に詳しい専門家の意見を聞くものとする。

降灰後の土石流の規模については、第3章第5節によるものとする。

第4節 数値シミュレーション

数値シミュレーションは、力学的な基礎方程式を数値的に解く手法を用いる。また、数値シミュレーション実施にあたっては、現象の特性をよく説明し、現象をよく表現できる数値シミュレーション・プログラムを用いる。

[解説]

第2章第1節で設定した想定される現象と規模を用いて火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の現象毎に数値シミュレーション計算を行う。

数値シミュレーションには、基本的な問題の立て方、解法により、数多くの手法があるが、ここで数値シミュレーションと呼んでいるものは、火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の現象をよく説明する力学的な基礎方程式を数値的に解くことにより、現象を表現する手法をいう。

数値シミュレーションは、地形解析に基づく手法に比較し、物性や現象の力学的特性、現象の及ぼす種々の条件の相違による現象の違いが表現でき、地形解析に基づく手法からは得られない流れの強さの分布やその時間的変化等の情報を得ることができる。このように、数値シミュレーションは火山噴火に起因した土砂災害予想区域を検討する際の非常に有効な手法であり、数値シミュレーションを実施することにより質の高い予想区域図を作成することができる。火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流のように流れが不規則な地形上を流動するような現象の数値シミュレーションは、力学的な基礎方程式を数値的に微小な演算単位時間で追跡する方法を用いて、刻々と変化する流れの諸量を計算する。

微小な演算単位時間は、数値シミュレーションが現象を適切に表現するように設定されなければならない。とくに、現象が火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流のような流動現象の場合、演算単位時間があまりに長すぎると、計算結果は有意な解とならないことが理論的に分かっている。また、演算単位時間が短すぎても、計算時間（数値シミュレーションに要する時間）が多くなるだけでなく、繰り返し計算による誤差が蓄積される場合が出てくる。

演算単位時間は、火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の各現象によって、さらにはそれぞれの流れの規模、数値標高モデルのメッシュサイズにより異なる。現象が流動現象の場合、一般には、演算単位時間内に現象が数値標高モデルのメッシュサイズを越さないという条件が演算単位時間の必要条件として与えられる。

すなわち、

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{U + \sqrt{gh}}$$

ここに、 U はシミュレーション範囲内の最大流速、 h は流動深、 g は重力加速度、 Δx は数値標高モデルのメッシュサイズ、 Δt は演算単位時間である。演算単位時間は、ケースによって異なるが、右辺の約1/2～1/10程度の値をとる。

2次元の氾濫シミュレーションにおける演算単位時間（ Δt ）の例を示すと、流速が最大で数十 m/s に達する火砕流や降灰後の土石流のような高速な現象を仮に 10m メッシュで計算すれば 0.1 秒程度、流速が数 m/s 程度の溶岩流のような現象を仮に 100m メッシュで計算すれば数秒(1～10 秒)程度である。すなわち、2次元の氾濫シミュレーションでは、このような微小時間の間の流れの変化を逐次追跡していることになる。

参考資料

- 1)建設省河川局砂防部；火山砂防計画策定指針（案），1992

第3章 予想区域図の作成

第1節 概要

予想区域図は、火山を単位として作成し、その火山で将来発生が予想される土砂移動現象について作成する。予想区域図は、使用目的を考慮して、現象毎の土砂災害予想区域が把握し易くなるように現象毎に作成する。また、全体としての土砂災害予想区域が容易に把握できるように、それらを総合化する。

[解説]

(1) 予想区域図の作成単位

予想区域図は火山を単位として作成する。これは、火山は火山毎に異なった特性を持っており、また、現象が流域や行政界を越えて極めて広域に影響を及ぼすことがあるからである。

(2) 基本的な作成手順

予想区域図作成は、火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流のそれぞれの土砂移動現象毎に行う。また、作成した現象毎の予想区域図は、火山全体としての火山噴火に起因した土砂災害予想区域を把握するために総合化する。総合化は、現象毎の土砂災害予想区域の重なりあいや、予想される災害の形態・程度の土砂移動現象間の比較などが容易にできるよう、それぞれの現象毎の予想区域図を重ね合わせることにより行う。

(3) 現象毎の予想区域図の基本的な作成方法

土砂移動現象毎の予想区域図は、数値シミュレーションを実施して、より詳細な現象の特性を把握し災害の想定加害要因とその程度の分布を抽出するとともに、過去の土砂移動実績等を参考に、当該現象の土砂災害予想区域を総合的に判断して作成する。数値シミュレーションの結果は、現象の時間的变化を把握し、現象のおよぶ範囲の時間的变化の把握や警戒避難の検討に資するために、目的に応じて、必要な流れの諸量（例えば、最大流動深等）の空間分布の時間的变化が把握できるように、それらの諸量の時間変化図を作成する。

(4) 計算条件・ケースの基本的な考え方

数値シミュレーション等に与える条件が数通り考えられる場合、その中でも発生の可能性が特に高いと判断される条件について検討するか、それらすべての条件について検討する。

(5) 数値シミュレーションにおいて現象の時間的变化を追跡する時間間隔

一般的には、現象の発生から停止までの時間を5～10に区切って現象の時間的变化を追跡するが、特に、警戒避難体制の検討に資するため、現象の発生からしばらくの間や速度が大きい現象については、追跡の時間間隔を小さくとり、その間の現象の時間的变化を把握し易くする。

溶岩流の場合は、溶岩流の物性と規模にもよるが、発生からの時間の経過とともに現象の速度が小さくなるため、追跡の時間間隔を発生からしばらくの間は、数十分程度に設定し、その後は、数時間毎に現象の追跡を行う。

火砕流は、現象の速度が大きく、短い時間で計算が終了するため、追跡の時間間隔は数分から数十分程度である。

火山泥流や降灰後の土石流の場合は、数分から数十分の間である。

(6) 予想区域図の表現にあたっての留意事項

予想区域図を作成する場合は、紙に印刷して使用することを考慮して縮尺や解像度を定める。

(7) 予想区域図の縮尺・大きさ

予想区域図の縮尺については火山の大きさ、火山噴火に起因した土砂災害予想区域の大きさ、当該予想区域図の目的により以下のように設定する。

① 索引図

全体の土砂災害予想区域の把握と②、③の索引をかねた1～数葉からなる小縮尺の予想区域図：索引図の縮尺は、火山の大きさを考慮して定めることとするが、一般的には、1/200,000～1/100,000の縮尺を用いる。

② 流域あるいは現象を単位とする予想区域図

火山泥流、溶岩流、火砕流、降灰後の土石流の規模の大きな現象の土砂災害予想区域の表示を主な目的とする流域あるいは現象を単位とする予想区域図：流域、規模の大きな現象が数葉の図面で表現できるように、1/25,000～1/50,000の縮尺を用いる。

③ 大縮尺の予想区域図

警戒避難体制の検討の資料として有用な大縮尺の予想区域図：縮尺は1/10,000以上であることが望ましい。

これらの予想区域図を目的に応じて適宜組み合わせるものとする。なお、紙に印刷して使用する場合は、掲示や配布等の使用目的に応じて適切な大きさを印刷する。

(8) GIS(地理情報システム)の活用

予想区域図を活用するための手段として、GIS上で保全対象等他の地理情報と重ね合わせて分析する方法等が考えられることから、GISで使用可能な形式で予想区域図を作成することが望ましい。GISを用いた場合には任意の縮尺で閲覧することが可能であるため、極端に大縮尺で閲覧した場合には、当該予想区域図が非常に高い精度を持つように誤解される可能性がある。作成した予想区域図が本来持つ以上の精度があるように誤解される事のないよう、留意事項の表示を徹底する等、十分に注意する必要がある。

第2節 火山泥流災害予想区域図

過去の火山泥流の特性、火山噴火の特性等から、火山泥流の発生原因と位置、規模、力学的特性等について検討し、地形解析、数値シミュレーション等の手法を用いて火山泥流による土砂災害予想区域を設定し、土砂移動実績図を参考に、総合的に判断して火山泥流災害予想区域図を作成する。

[解説]

(1)現象の概説¹⁾

火山泥流は火山噴火に伴い発生する濃度の高い土砂と水の混合流体である。火山泥流は溪流や河川に沿って流下し、百数十 km 以上遠方まで流下する場合もある。温度は 100℃以下であるが、高温の溶岩塊を含んでいると、これらが家屋等に接触して火災を起こす場合もある。速度は最大で約 100km/hr と速いために発見してからでは避難できない場合も多く、流下域では家屋や施設が破壊・流出し、人命に対する危険性も高い。

(2)流体のモデルと支配的物性

火山泥流は、一般に流れの規模が大きいため流れは乱流として取り扱われることが多い。このような流れでは、流れの抵抗則として対数則やマニング則を用いることが多い。したがって、粒径、流体密度が重要なパラメータとなる。

また、火山泥流は、受食性の高いルーズな火山性堆積物とその間隙に含まれる多量の水を侵食し流れに取り込むことにより、はるかに大きな規模にまで発達することが多いので、このような堆積物の材料特性とその分布、地中水の状況について考慮する必要がある。

(3)必要な調査

火山泥流災害予想区域図を作成するため、以下の項目について調査することを標準とする。

- ① 噴火時に供給される水の量とその位置
- ② 泥流発生時の、あるいは十分発達した地点での泥流総量
- ③ ハイドログラフ
- ④ 土砂の量と粒径・密度等の材料特性
- ⑤ 積雪分布、積雪密度、雪温
- ⑥ 泥流流下氾濫特性

(4)上記(3)の調査方法

①と②については、原則として第2章第3節で示される位置と量を用いる。

③については、発生形態によって支配要因が異なってくるので、実績や類似の火山における資料等を基に定める。

④については、現地調査を行い、土質試験を行う。

⑤については、資料収集、現地調査、または現地観測を行う。

⑥については、過去の泥流の氾濫範囲、泥流によって運搬された土砂の堆積範囲に関する調査を行う。

(5)火山泥流災害予想区域図作成手段

①～⑤に基づいて、2次元数値氾濫シミュレーションにより火山泥流災害予想区域を定めることとする。

また、数値シミュレーション結果は、⑥に基づいて精査するものとする。

(6)シミュレーション結果のとりまとめ方法

数値シミュレーションで得られた結果は、現地の微地形、土地利用状況や土砂移動実績図と比較して、その妥当性を確認する。著しく妥当性に欠けると考えられる場合には、現地条件を基に結果を修正するか、計算条件を適宜修正し数値シミュレーションを再度実施する。

以上の結果を基に、火山泥流災害予想区域図を、泥流の氾濫範囲の時間変化、流動深の最大値の分布、流体力の最大値の分布等の想定加害要因毎にとりまとめて作成する。

第3節 溶岩流災害予想区域図

過去の溶岩流の特性、火山噴出物の物性、火山噴火の特性等から溶岩流の発生位置、規模、物性等について検討し、数値シミュレーション等の手法を用いて溶岩流災害予想区域を設定し、土砂移動実績図を参考に、総合的に判断して溶岩流災害予想区域図を作成する。

[解説]

(1)現象の概説¹⁾

溶岩流は地表に噴出したマグマが液体として流れ出したものであり、粘性が低いと極めて緩い勾配の斜面でも比較的早い流速(30km/hr程度)で流下する。1000℃前後の高温であるので流下した範囲及びその周辺の家屋、施設、森林等は焼失する。さらに、溶岩流の流下の際の圧力により家屋や施設が破壊されたり、溶岩の堆積により道路等の施設や田畑が埋没したりすることがある。流速が遅い場合には徒歩でも逃げられるが、速い場合には避難できない場合もあり人命に対しても危険である。

(2)流体のモデルと支配的物性

溶岩流の物性は、一般にビンガム流体として表されることが多く、その場合、せん断降伏応力、粘性が重要なパラメータとなる。また、これらのパラメータは、溶岩の組成、溶岩流

の温度に依存する。したがって、溶岩流温度とその変化も重要なパラメータである。

(3)必要な調査

溶岩流災害予想区域図を作成するため、以下の項目について調査することを標準とする。

- ①溶岩を噴出する火口の位置
- ②溶岩流の総量
- ③溶岩流の噴出レート
- ④溶岩流を構成する材料の物性（例えば、せん断降伏応力、粘性係数等）

溶岩流として挙動中の物性を示すパラメータ（例えば、粘性係数等）については、類似の溶岩流に関する既往検討成果を利用するか、再現計算によって調整する必要がある。

(4)上記(3)の調査方法

①及び②については、第2章第3節によるほか、当該火山の噴火特性を踏まえ、過去の1イベントでの溶岩流噴出量や、長期的な溶岩流噴出レート（階段ダイアグラム）などを参考にして設定する。

④のせん断降伏応力については、溶岩流が斜面に停止している状況（勾配、停止厚さ）から、④の粘性係数については、溶岩流の流下時間、流下速度に関する資料から推定することができる。ただし、それらを推定するに十分な資料がない場合には、組成が類似した溶岩流に関する資料等から推定する。

③については、溶岩流の規模等によりその支配要因が異なるため、実績や類似の火山における資料等を基に定める。

(5)溶岩流災害予想区域図作成手段

①～④に基づいて、溶岩流数値シミュレーションにより溶岩流による土砂災害予想区域を定めることとする。

(6)シミュレーション結果のとりまとめ方法

数値シミュレーションで得られた結果は、現地の微地形、土地利用状況や土砂移動実績図と比較して、その妥当性を確認する。著しく妥当性に欠けると考えられる場合には、現地条件を基に結果を修正するか、計算条件を適宜修正し数値シミュレーションを再度実施する。

以上の結果を基に、溶岩流災害予想区域図を、流下・氾濫範囲の時間変化と最終の停止範囲、溶岩流の最大流動深の分布、停止厚さの分布、流動中の最大流体力の分布等の災害の想定加害要因毎にとりまとめて作成する。

第4節 火砕流災害予想区域図

過去の火砕流の特性、火山噴出物の物性、火山噴火の特性等から火砕流の発生位置、規模、力学的特性等について検討し、数値シミュレーション等の手法を用いて火砕流災害予想区域を設定し、土砂移動実績図を参考に、総合的に判断して火砕流災害予想区域図を作成する。

[解説]

(1)現象の概説¹⁾

火砕流は、溶岩塊、溶岩片等が高温、高速で山腹斜面を流下する現象である。溶岩塊等が高速で流下するため流下範囲にある家屋や施設等は壊滅的な被害を受ける。高速であるため発見してからでは避難が間に合わず、人命に対する危険度は極めて高い。

(2)流体のモデルと支配的物性

火砕流の流動特性は、粒子流として特徴づけられる本体部と密度流あるいは高速高温の固・気混相流として特徴づけられる熱風部の2層流として特徴づけられる。特にメラピ型火砕流では、熱風部は本体部の運動に依存していることが確認されている。

本体部の運動については粒子流としての数値シミュレーションが可能である。粒子流としての火砕流本体部の流動機構は粒子同士の衝突・接触に伴うエネルギー消費に規定される。

一方、熱風部の運動については、密度流としての数値シミュレーションを本体部と一体のものとして実施する必要があるが、現在の段階ではこのような複雑な現象をシミュレートするプログラムが開発されていない。また、定性的にも熱風部の運動はまだ十分に予測できるまでには至っておらず、したがって、熱風部の運動は本体部の運動に依存しているとして、その到達範囲を本体部に関する検討結果及び過去の熱風部の広がりに関する実績や類似の火山における資料等を基に推定することとする。

(3)必要な調査

火砕流災害予想区域図を作成するため、以下の項目について調査することを標準とする。

- ① 火砕物を噴出する火口の位置
- ② 火砕物の総量
- ③ ハイドログラフ
- ④ 本体部を構成する材料の特性（例えば、粒径、密度、粒子間摩擦係数等）

火砕流として挙動中の物性を示すパラメータ（例えば、粒子間摩擦係数等）については、類似の火砕流に関する既往検討成果を利用するか、再現計算によって調整する必要がある。

(4)上記(3)の調査方法

- ①②については、原則として第2章第3節で示される位置と量を用いる。

③については、火砕流の規模などによりその支配要因が異なるため、実績等を基に定める。

④については、まず、過去の火砕流の堆積の分布と堆積地毎の代表粒径、堆積勾配等に関する調査からこれらの堆積物が主に本体部の堆積物か、熱風部の堆積物かについて推定して、本体部と判断された堆積物について調査を実施する。ただし、これらの物性値を推定するに十分な資料がない場合は類似の火砕流に関する資料等から推定する。

(5)火砕流災害予想区域図作成手段

①～④に基づいて、以下の手法により火砕流による土砂災害予想区域を定めることとする。

- ・火砕流数値シミュレーション（本体部）
- ・経験的手法による到達範囲推定（熱風部）

熱風の到達範囲については、本体部と熱風部の到達範囲の関連に関する実績²⁾や類似火山における例などを参考に、地形特性等を考慮して経験的に推定する。

(6)シミュレーション結果のとりまとめ方法

数値シミュレーションで得られた結果は、現地の微地形、土地利用状況や土砂移動実績図と比較して、その妥当性を確認する。著しく妥当性に欠けると考えられる場合には、現地条件を基に結果を修正するか、計算条件を適宜修正し数値シミュレーションを再度実施する。

以上の結果を基に、火砕流災害予想区域図を、火砕流本体部の最終の停止範囲、最大流動深の分布・堆積深の分布・流動中の最大流体力の分布等の災害の想定加害要因毎にとりまとめて作成する。

第5節 降灰後の土石流災害予想区域図

降灰後の土石流災害予想区域図は、降雨により発生する降灰後の土石流により災害の発生が予想される区域を示したもので、流域に存在する不安定土砂量、流域に新規に供給される火砕物の影響及びそれらの粒度分布、流域特性、降水量、流木等の降灰後の土石流の発生と規模、性質を支配するパラメータについて調査を行い、地形解析、数値シミュレーション手法等を用いて降灰後の土石流災害予想区域を設定し、実績調査成果を参考に、総合的に判断して作成する。

[解説]

(1)現象の概説¹⁾

降灰後の土石流は、降雨等により、火山砕屑物等が堆積した山腹斜面や溪床から流出する濃度の高い土砂と水の混合流体である。土石流の到達範囲、速度等は火山泥流よりも小さい場合が多い。土石流は比較的高速でしばしば巨礫を含むことから流下域では家屋や施設を破壊、流出し、人命に対する危険性も高い。

土石流は、固・液混相流としての性質をもち、水と微細砂からなる流体相と石礫からなる

粒子相により構成されるが、新規火砕物の流域への供給により、微細土砂による流体相の増加、見かけの密度の増加が生じ、同一の降雨に対して土石流の規模が増大する傾向がある。また、火山灰のような微細な火砕物の流域への供給は、流域の流出環境を変化させ、降雨の表面流出を増大させる場合が多く、土石流の物性の変化と相乗して土石流規模をさらに増大させる場合が多い。また、少量の降雨によっても除石が困難なほど高頻度に連続して発生する場合が多い。

(2)流体のモデルと支配的物性

降灰後の土石流の物性は、土石流に含まれる土砂の粒度分布、密度、細粒の火砕物を含む泥水の見かけの密度等の物性が重要である。

(3)必要な調査

降灰後の土石流災害予想区域図を作成するため、以下の項目について調査することを標準とする。

- ① 流域内の不安定土砂量
- ② 流域に新規に供給される火砕物の量とそれらの粒度分布
- ③ 流域面積、河床勾配等の流域特性
- ④ ハイドログラフ

(4)上記(3)の調査方法

①については、「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説」に準拠して調査する³⁾。

②については、原則として第4節の火砕流災害予想区域図作成時の調査結果及び第2章第1節で求めた過去の降灰分布実績等を用いる。なお、過去に適切な降灰分布の実績が無い場合には、数値シミュレーション等によっても良いものとする。

③については、地形図や航空レーザ計測などの地形情報を用いて計測する。

④については、新規に流域に供給される火砕物による、降雨の表面流流出量増大化や、火砕物の表面流への混入による降灰後の土石流の発生条件や規模への影響等を考慮して、下記に示す通り適切なハイドログラフを想定し、設定する。ハイドログラフの設定方法は、「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説」に準拠するが、通常の溪流に比べて、同量の降雨で流出する土砂量が多くなることに留意する³⁾。

なお、ハイドログラフは、火山砂防計画に基づく基本対策の施設配置計画を検討する場合は計画規模の降雨を想定し、緊急対策の施設配置計画やソフト対策を検討する場合は毎年発生する程度の規模の降雨や、除石に要する時間等を考慮した一定期間内に連続する雨量を想定する。また、火山周辺では、斜面の向きによって大きく降雨特性が異なることが多いことから、適宜複数想定するものとする。

(5)降灰後の土石流災害予想区域図作成手段

①～④に基づいて、2次元数値氾濫シミュレーションにより降灰後の土石流による土砂災害予想区域を定めることとする。

(6)シミュレーション結果のとりまとめ方法

数値シミュレーションで得られた結果は、現地の微地形、土地利用状況や土砂移動実績図と比較して、その妥当性を確認する。著しく妥当性に欠けると考えられる場合には、現地条件を基に結果を修正するか、計算条件を適宜修正し数値シミュレーションを再度実施する。

以上の結果を、降灰後の土石流の氾濫範囲の時間変化、最大堆積深の分布、最大流動深の分布、流体力の最大値の分布等の災害の想定加害要因毎に整理し、数値シミュレーションによる降灰後の土石流災害予想区域図としてとりまとめる。

第6節 予想区域図の総合化

対象とする火山において土砂移動現象毎の土砂災害予想区域及びその重なり合いが容易に把握できるよう、現象毎の予想区域図を重ね合わせるにより総合化をはかる。

[解説]

第2節～第5節の予想区域図を同一の基図の上に重ね合わせるにより、土砂移動現象による土砂災害予想区域の重なり合いや、対象とする火山において予想される災害の特性を把握しやすくすることが重要である。

第2節～第5節の現象毎の予想区域図は、総合化が容易にできるように、第1節で示した同一の基図に重ね合わせ、土砂災害予想区域の重なり合いを把握できることを前提に作成する。

また、同時に任意の現象毎の予想区域図を重ね合わせることもでき、その土砂災害予想区域の重なり合いも把握できるようにする。

参考資料

- 1)R.J.BLONG ; VOLCANIC HAZARDS, Academic Press, Sydney, 1984
- 2)松井宗廣、水山高久、安養寺信夫、皆川淳；火山ハザードマップにおける火砕サージの到達範囲に関する考察，砂防学会誌，Vol63，No.5，p33-36，2011
- 3)国土技術政策総合研究所；砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，2007

第4章 緊急時の予想区域図の作成

緊急時には、進行中の火山噴火の状況にあわせて、リアルタイムハザードマップによって土砂移動現象の影響範囲、堆積深等を随時想定する。

[解説]

リアルタイムハザードマップとは、予想区域図の一種で、噴火の前兆期以降に、火山噴火の状況にあわせて土砂移動現象の影響範囲、堆積深等を想定したものである。主な活用方法は、避難支援のための情報提供や緊急減災対策砂防施設の効果確認である^{1),2)}。特に前者の場合には、火山噴火の状況の推移の速さにもよるが、可能な限り早期に情報提供する必要がある。したがって、一定程度の精度を有しつつ、なるべく速やかに作成することが必要である。また、市町村防災担当者へは、想定条件等の詳細な解説を行うとともに、住民へは、簡潔で的確な表現の説明を行う必要がある。これらの解説文、説明文については、予め文案等を準備しておく必要がある。

リアルタイムハザードマップには、迅速性が要求されることから、事前に作成システムを準備する。リアルタイムハザードマップ作成システムは、噴火時の状況を見ながらシミュレーション計算を実施する部分（リアルタイムアナリシス・システム）と、既存の予想区域図を記録・保存しているデータベース部（プレアナリシス・システム）から構成される^{1),2)}。

表-2 利用面から考えたリアルタイムハザードマップのコンセプト

おもな活用方法	要求精度	提供時間	表示・提供メディア	解説の必要性
避難支援のための情報提供	空間的には 50~100m の精度が確保できればよい。 到達時間予測は現象によって異なる。 火砕流；算出不要 溶岩流；時間~日 泥流；時間 降灰後の土石流；算出不要	状況変化が確認されてからできるだけ早い時間内での提供が求められる。	印刷物の提供では間に合わない場合もある。 Web-GIS の利用 関係機関への情報伝達メディアの確保（専用光回線）	市町村防災担当者への想定条件等の詳細な解説は必要不可欠。 住民へは簡潔で的確な表現となるよう、予め文案を作成しておく。
緊急減災対策砂防施設効果確認	時間精度より空間精度が要求される。 現象のスケールに応じて、5~25m 程度とする。 到達時間予測は、溶岩流の場合のみ日単位で算出を要する。	施設の計画~設計の各段階に間に合う程度の提供時間が求められる。	計画・工事担当者の設計支援であり、デジタルデータと図面表示が必要。	流動深、流速、礫径、流体密度などの物理量の数値提供が必要。 とくに各項目の空間分布を設計項目に応じて示す必要がある。

(1) プレアナリシス・システム

プレアナリシス・システムとは、複数の噴火規模、現象を想定して予め土砂災害予想区域を特定し、その情報を GIS 上にデータベースとして格納しておき、火山噴火の状況に応じて

必要となる情報を引き出すことが可能なシステムである。土砂災害予想区域の設定方法は、第3章で述べた方法による。想定しておく現象や規模は、火山噴火緊急減災対策砂防計画で想定する噴火シナリオと整合している必要がある。

(2) リアルタイムアナリシス・システム

火山噴火活動に伴い大きな地形変化がある場合や事前に当該火山で定められた噴火シナリオにおける想定から大きく異なった現象が発生した場合には、シミュレーション計算により、改めて火山噴火に起因した土砂災害予想区域を設定する。土砂災害予想区域の設定方法は、第3章で述べた方法に準拠するが、緊急時であるため、かけられる時間や条件設定のために得られる情報も限られていることから、相対的にシミュレーション計算結果に影響の少ない因子については、事前に定めたデフォルト値を暫定的に使う等の措置を講じ、一定程度の精度を保ちながら速やかに計算を実施する³⁾。なお、リアルタイムアナリシスによって作成した予想区域図は、ある時点で得られたデータに基づく暫定的な結果であることから、より精度の高いデータ等が得られた場合には、速やかに情報を更新する必要がある。

なお、降灰後の土石流のリアルタイムアナリシス・システムについては、「土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き（噴火による降灰等の堆積後の降水を発生原因とする土石流対策編）」において区域の情報を提供するための手法として詳述されている⁴⁾。

参考資料

- 1)国土交通省砂防部：火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン、2007
- 2)国土交通省：災害情報を活用した迅速な防災・減災対策に関する技術開発及び推進方策の検討総合報告書、2006
- 3)内田太郎、山越隆雄、清水武志、吉野弘祐、木佐洋志、石塚忠範：河道閉塞（天然ダム）及び火山の噴火を原因とする土石流による被害範囲を速やかに推定する手法、土木技術資料、Vol.53, No.7, pp.18～23、2011
- 4)国土交通省河川局砂防部砂防計画課、国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター、独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ：土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き（噴火による降灰等の堆積後の降水を発生原因とする土石流対策編）、2011