

降灰後の土石流の発生・流出特性について

一般財団法人 砂防・地すべり技術センター ○片山 小裕美、池田 暁彦、藤沢 康弘、佐藤 初洋

1. はじめに

降灰等を伴う噴火が発生した際、その後の降雨により火山灰等の堆積に起因する土石流（以下、「降灰後の土石流」）の発生が想定される。降灰後の土石流は、火山灰が山腹斜面に堆積することにより地表面の浸透能がそれ以前に比べて極端に小さくなり、その結果、表面流が発生しやすくなって、それまで土石流が発生しなかったような小さな雨で発生し、長期間にわたって発生する傾向がある。

降灰後の土石流の定義については、「火山砂防計画策定指針」（令和5年3月）²⁾（以下、「火山砂防計画策定指針」）に示されているが、計画流出土砂量の具体的な設定方法については、「砂防基本計画策定指針」（土石流対策・流木対策編）解説」（平成28年4月）³⁾（以下、「砂防基本計画策定指針」）のように明確に記載されていない。

本研究では、1) 降灰後の土石流を含む土石流の計画流出土砂量の設定方法のレビュー、2) 過去に発生した降灰後の土石流の発生・流出特性の分析、3) 降灰後の土石流の計画流出土砂量の設定事例の整理を行い、降灰後の土石流の計画流出土砂量の設定方法について考察した。

2. 降灰後土石流の計画流出土砂量の設定方法

砂防基本計画策定指針では、原則として「流域内の移動可能土砂量」と「計画規模の土石流によって運搬できる土砂量」（運搬可能土砂量）を比較し小さい方の値を土石流の計画流出土砂量として設定するものとしている。また、火山地域においては、当該流域の土砂移動特性を踏まえ、砂防基本計画策定指針に準じ設定することとされており、降灰後の土石流に特化した設定方法は示されていない。

2.1 降灰後土石流の計画流出土砂量の考え方

「火山砂防計画策定指針（案）」（平成4年4月）⁴⁾（以下、「火山砂防計画策定指針（案）」）においては、降灰後の土石流は特に定義されておらず、降雨対応火山砂防計画における対象現象として位置づけられているため、降灰後の土石流の計画流出土砂量の具体的な設定方法の記載はない。しかし、本指針（案）の降雨対応火山砂防計画では、活火山一帯の火山砂防地域では降灰等の影響によって流域の荒廃が進むこと、恒常的な降灰等によって流域内の不安定土砂量が增大することについては言及されている。

令和5年3月に改定された火山砂防計画指針では、噴火対応火山砂防計画において降灰後の土石流が位置づけられ、土石流の発生の可能性がある流域については、降灰量および降灰の影響時間を考慮すること、あるいは過去の実績に基づき降灰後の土石流の計画流出土砂量を設定することが基本とされている。本指針には、土砂量の算出方法として、移動可能土砂量に溪流内に堆積する火山灰量に流出率を乗じた量を加えることが事例として示されている。この流出率は1991年に噴火した雲仙岳と2000年に噴火した三宅島が参考として示されている（4. に詳述）。

3. 過去の降灰後の土石流の発生・流出特性

降灰後の土石流の計画流出土砂量の設定に際して参考となった過去に発生した降灰後の土石流（降灰により複数回が発生した事例）の発生・流出特性について、有珠山・雲仙岳・三宅島を対象に整理した。

3.1 有珠山（1977年噴火）^{5),6),7)}

有珠山は1977年8月7日に噴火を開始し、9日にかけて計4回にわたる大規模な噴火により多量の火山灰と軽石が北西～南東方向に堆積した。その後も小規模な噴火を繰り返し、1978年10月に終息した。山頂付近には軽石が100cm以上、山腹では20cm～50cm程度の降灰厚となっている。

有珠山では降灰後の土石流を「泥流」と称している。噴火の10日後の8月16日に初めて泥流が発生した。泥流発生時の時間雨量は8～13mm程度である。これ以降、小規模な噴火が繰り返されたためにさらに軽石や火山灰が堆積し、1978年7月頃から小規模な泥流が発生している。9月12日～13日の噴火後の9月26日（約10日後）、10月16日（約30日後）、10月24日（約40日後）に泥流が発生し、10月24日に発生した泥流により下流域に最大規模の被害が発生した。この泥流発生時の時間雨量は14mm程度である。噴火後の調査により火山噴出物の移動形態、物性値等が調査されているものの、流出土砂量は精査されていない。泥流は噴火後5年程度継続して発生している。

3.2 雲仙岳（1991年噴火）^{1),7)}

雲仙岳は1990年11月17日に噴火を開始し、1991年3月29日の噴火により雲仙岳周辺に火山灰が堆積した。5月20日に山頂に溶岩ドームが形成され、5月24日に溶岩ドームの崩落により火砕流が発生した。6月3日には最大規模の火砕流が発生し、死者・行方不明者43人の甚大な被害が発生した。その後も溶岩ドームの成長方向の変化に合わせて火砕流は流下方向を変えて広範囲に堆積し、1996年6月に終息した。

3月29日噴火の約40日後の5月15日に初めて土石流が発生した。土石流発生時の時間雨量は27.5mm、日雨量105.5mmである。土石流1イベント当たりの流出土砂量は50,000～70,000m³程度であった。火砕流発生後の6月30日（約30日後）に大規模な土石流が発生している。火砕流は1996年まで流下方向を変えながら断続的に発生し、土石流も頻発するようになった。6月3日に大規模火砕流が発生するまでに発生した土石流は火山灰の侵食・流出、火砕流発生後では火砕流堆積物の侵食・流出によるものだと推定された。噴火前では時間雨量30mmを超える降雨があっても土砂移動はみられなかったが、噴火後には時間雨量10mm、連続雨量30mm程度で土石流／土砂流出が発生するようになった。土石流1イベント当たりの流出土砂量は20,000～950,000m³程度である。土石流は噴火後10年程度継続して発生している。

3.3 三宅島（2000年噴火）^{8),9)}

三宅島は2000年7月4日に噴火が始まり、8月にかけて大量の火山灰噴出を伴う噴火が発生し、山頂

付近での降灰厚は100cm程度であった。7月8日、14日～15日、8月10日の噴火では北東部に降灰が卓越し、8月18日、29日の噴火では全島で降灰がみられた。その後も小規模な噴火を繰り返したが、顕著な降灰をもたらす噴火は8月29日が最後であった。

噴火後に降雨によるリル・ガリー侵食がみられ、降灰を伴う噴火後の7月26日(18日後)に初めて土石流が複数の溪流で発生した。土石流発生時の時間雨量26mm、総雨量48mmである。8月12日にも降灰が卓越した北東部の流域で土石流が発生している。その後、全島に降灰をもたらした8月29日の噴火後の9月5日(7日後)にも土石流が発生し、以降、全島で土石流／土砂流が頻発している。8月12日以前の土石流は時間雨量10mm以上、連続雨量30mm以上で発生していたが、8月29日の噴火以降では時間雨量10mm以下で発生している。2000年9月以降は全島避難となったことにより、土砂流出実態や土石流の流出土砂量は精査されていない。土石流は噴火後8年程度継続して発生している。

4. 降灰後の土石流の計画流出土砂量の設定事例

(富士山火山砂防計画の例)¹⁰⁾

富士山火山砂防計画では、山体を源頭とする溪流の内、降灰シミュレーションによって小規模噴火時に降灰厚が10cm以上となる可能性がある溪流を降灰後の土石流が想定される対象溪流としている。富士山では、砂防基本計画策定指針に基づき、移動可能土砂量と運搬可能土砂量を比較し小さい方の値を降灰後の土石流の計画流出土砂量として設定している。以下に、降灰の影響を踏まえた移動可能土砂量と運搬可能土砂量の算出方法について示す。

4.1 移動可能土砂量の算出方法

移動可能土砂量は、現況の移動可能土砂量に、溪流内で想定される火山灰量の内、その一部が土石流となって流出する土砂量を加えて算出している。

- －溪流内に堆積する火山灰量は、小規模噴火時の噴出物量1,700万m³を用いた降灰シミュレーションにより算出
- －土石流となって流出する土砂量は、過去の事例に基づく流出率(流出した火山灰量／溪流全体に堆積した火山灰量)を用いて算出
- －流出率は、平成2年に噴火した雲仙岳(流出率:5%)と平成12年に噴火した三宅島(流出率:3%)が参考として5%に設定
- －溪流内に堆積する火山灰量に流出率(5%)を乗じて移動可能土砂量を算出

4.2 運搬可能土砂量の算出方法

運搬可能土砂量は、砂防基本計画策定指針に基づく100年超過確率規模の日雨量と噴火後の影響期間内に発生限界雨量を超える一連降雨(24時間雨量)を比較し大きい方の値を用いて算出している。

- －噴火後の影響期間は、3.で示した有珠山、雲仙岳、三宅島の事例に基づき、10年間を想定
- －雲仙岳では噴火直後に時間雨量7～10mm程度で土石流が発生していたこと、その後時間が経つにつれて土石流発生時の降雨量の下限值が上がる傾向であったことを踏まえ、噴火後1年目は時間雨量10mm以上、2年目以降は時間雨量20mm以上になると土石流が発生すると想定(発生限界雨量の設定)

－過去の実績降雨から平均的な10年間の降雨量を設定し、その期間内における発生限界雨量を超える一連降雨(24時間雨量)(土石流の発生に寄する総雨量)を算出し、運搬可能土砂量を算出

5. 考察

これまで降灰後の土石流の発生が確認されている有珠山・雲仙岳・三宅島の土石流の発生・流出特性について、以下の知見や課題が確認された。

- ・火山の噴火時系列(噴火規模やその回数・頻度、噴火期間)と火山噴出物の特性(軽石／細粒火山灰、火砕流堆積物)、降灰後の降雨流出特性により土石流の発生・流出特性が異なる。
- ・降灰後の土石流の発生限界雨量は噴火前に比べて小さく、時間雨量10mm程度で土石流が発生する傾向がある。ただし、噴火が終息して時間の経過とともに発生限界雨量が上がる(噴火前に戻る)傾向がある。
- ・降灰後の土石流が頻発する期間は噴火の期間や堆積する火山灰や火砕流堆積物の量に依存し、3火山においては概ね5年～10年程度であった。
- ・降灰範囲や降灰厚、火山噴出物の移動形態、土石流／土砂流の発生実態などは概ね把握されているものの、雲仙岳以外では流出土砂量について詳細に把握できていない。

こうした噴火特性や土砂移動特性は、富士山火山砂防計画の設定事例にも示したように、降灰後の土石流の計画流出土砂量の設定における移動可能土砂量と運搬可能土砂量の算出に必要となる。特に、1)堆積した火山灰の厚さとその流出プロセス、2)流出土砂量とその時系列、3)降雨と流出土砂量の関係、4)降灰の影響期間が重要と考えられる。また、流域特性(火口との位置関係、流域面積、河床勾配)によっても降灰後の土石流の発生・流出特性は変化するものと考えられる。

しかしながら、降灰後の土石流の発生事例は未だに少ないことから、今後も引き続き火山や流域の特性を考慮しながら、その発生実態を継続的に調査・分析する必要である。そして、これらの結果に基づき降灰後の土石流の流出土砂量の設定方法を検討する必要がある。

引用文献

- 1) 池谷：雲仙水無川における流出土砂量の推定方法、砂防学会誌47-5、1995、
- 2) 国土交通省砂防部：火山砂防計画策定指針、2023、
- 3) 国土交通省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、2016、
- 4) 建設省河川局砂防部：火山砂防計画策定指針(案)、1992、
- 5) 北海道開発局土木試験所：「1977年有珠山噴火」に伴う堆積火山灰層の安定性ならびに泥流の発生・流動機構に関する調査研究報告書、1980、
- 6) 池谷：有珠山周辺に発生した泥流災害について、新砂防110、1979、
- 7) 独立行政法人土研他：火山灰堆積調査法に関する共同研究報告書、2009、
- 8) 土井ら：2000年に噴火した三宅島における降雨流出・土砂流出の実態、第2回土砂災害に関するシンポジウム論文集、2004、
- 9) 厚井ら：火山噴火後に土石流を引き起こす降雨量の変化に関する考察、平成30年度砂防学会研究発表会概要集、2018、
- 10) 国土交通省富士砂防事務所：富士山火山砂防計画の策定指針解説、2009