

富士山火山噴火ハザードマップ作成のための シミュレーションについて

大幢 匠¹

¹中部地方整備局 富士砂防事務所 調査課 (〒418-0004 富士宮市三園平1100)

我が国には111の活火山があり、この内49火山で活動火山対策特別措置法に基づく火山災害警戒地域が指定されている。火山噴火対策をする上で火山災害要因の被害範囲を地図上に示し、視覚的に表した「火山ハザードマップ（以下HM）」の作成は不可欠である。富士山は1707年に噴火した後、約300年間沈黙してきた。しかし、2000～2001年にかけて富士山直下で低周波地震が多発したことを契機に2004年6月に富士山HMが作成された。その後、富士山に関する新たな各種調査結果により、新しい知見が得られた。そこで富士山火山防災協議会により改定作業を行い、2021年3月にHMの改定が示された。本論文ではHM改定のための溶岩流シミュレーションについて報告する。

キーワード 富士山ハザードマップ、数値シミュレーション、溶岩流、計算刻み時間

1. 富士山ハザードマップの改定

(1) 改定の経緯

ハザードマップとは溶岩流・火砕流・融雪型火山泥流の影響が及ぶ恐れのある箇所を地図上に示したマップである。富士山では2004年にHMが作成されたが、その後、新たな火口や、火砕流堆積物が発見されたことなどの知見が蓄積されたことを踏まえ、HM改定に関する検討が進められてきた。

その成果は2021年3月に、富士山ハザードマップ（改定版）検討委員会報告書¹⁾として公表された。

(2) 当事務所の果たした役割

2015年の活動火山対策特別措置法の改正により、国土交通省の地方整備局等の砂防部局は、火山防災協議会の必須構成員として位置付けられている。富士砂防事務所は富士山火山防災対策²⁾協議会の構成員として、溶岩流・火砕流・融雪型火山泥流のシミュレーションを実施した。

2. シミュレーションにおける問題と対応

(1) 使用する地形データ

溶岩流・火砕流・融雪型火山泥流のシミュレーションでは地形データとして、過年度のレーザー測量から作成した20mメッシュの地形データを使用した。

ただし溶岩流のシミュレーションは対象規模が膨大であるため以下のような問題が発生した。

①レーザー測量では水面でレーザーが反射してその標

高を計測する。この地形データを用いたシミュレーションでは湖面上の平面を溶岩流が流下することとなり、実際の溶岩流の到達時間や範囲と異なるおそれがある。

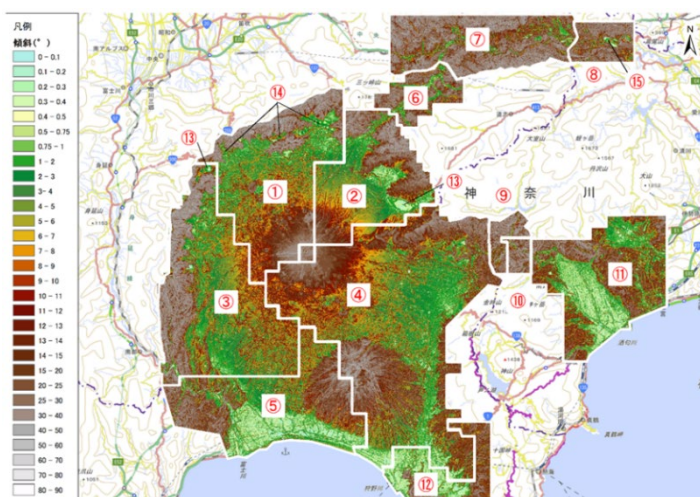
②大規模溶岩流のシミュレーションでは、結果として当初準備した地形データの範囲を超えて溶岩流が流下する結果となった。そのため正確な溶岩流の到達範囲を想定することが不可能となった。

これらの問題に対しては関係機関の協力を得てDEMを再作成し、シミュレーションを実施することにより解決した。

①に対しては国土地理院「湖沼データ・ダウンロードサービス」および山梨県富士山科学研究所、神奈川県からの提供データを用い湖底地形を地形データに反映させた。②に対しては国土交通省が実施した北東の桂川流域、東の酒匂川流域、南の狩野川流域のレーザ航測データを用いて地形データを追加した。（図—1）

(2) シミュレーションの概要

富士山で想定される溶岩流は過去の噴火実績より、大規模、中規模、小規模に区分した。シミュレーションでは、規模によって想定される火口が異なるため、大中小のそれぞれの規模ごとで溶岩流を噴火想定火口から流すことで実施した。溶岩流は流下していく過程において熱放射によって粘性やせん断降伏応力が増加し、流れにくくなって停止するというモデルを用いた。計算条件は富士山の溶岩流の実績到達範囲及び2001年に噴火したイタリアのエトナ火山での溶岩流の日ごとの実績到達を指標として再現計算を実施して設定した。



No.	使用データ
①	平成 25 年度 富士山北部航空測量業務
②	平成 20 年度 富士山航空レーザ測量業務
③	平成 23 年度 富士山麓(富士山)航空測量業務
④	平成 25 年度 富士山南部航空測量業務
⑤	平成 24 年度 富士山南西野溪航空測量業務
⑥	平成 21 年度 大規模崩壊地対策航空レーザ計測その 3 業務
⑦	平成 21 年度 大規模崩壊地対策航空レーザ計測その 2 業務
⑧	平成 20 年度 渡良瀬川流域及び鬼怒川流域航空レーザ計測業務
⑨	平成 21 年度 公共測量助言番号 H21E0012
⑩	平成 31 年度 富士山南麓航空レーザ測量業務
⑪	平成 21 年度 公共測量助言番号 H21GC005-06
⑫	平成 25 年度 公共測量助言番号 H25E0258
⑬	富士山科学研究所より提供(本栖湖、山中湖)
⑭	国土地理院「湖沼データ・ダウンロードサービス」(精進湖、西湖、河口湖)
⑮	神奈川県(相模川水系ダム管理事務所)より提供(相模湖)

図-1 シミュレーションで使した地形データ

(3) 計算刻み時間の設定の問題点と対応

溶岩流シミュレーションにおいては、「計算速度 (v) > 溶岩流の実速度」を満たさなければならないという必須条件が存在する (CFL条件)。

今回実施した溶岩流のシミュレーションにおける計算刻み時間 Δt は、メッシュ間隔を Δx とすると、CFL条件より $\Delta t < \Delta x / v$ を満たす必要がある。溶岩流の流速は一般的に人が歩く速度よりも遅く時速数kmと想定される。仮に v を時速3.6km=秒速1mと見積もると、メッシュ間隔 Δx は20mであるため、 $\Delta t < 20$ 秒となる。

計算刻み時間 Δt を大きくすることは繰り返し計算回数を減らすことにつながり計算速度の向上が見込めるが、計算精度が低下する。計算精度との兼ね合いを考慮して $\Delta t=1$ 秒と設定して今回のシミュレーションを実施した。

その結果、中・大規模溶岩流のシミュレーション結果では最大流動深が 600m以上と非現実的な値となっており、検証断面における流動深の時間変化を見ると瞬間的に流動深が増加し、シミュレーション計算が収束せず発散してしまうことが示唆された。

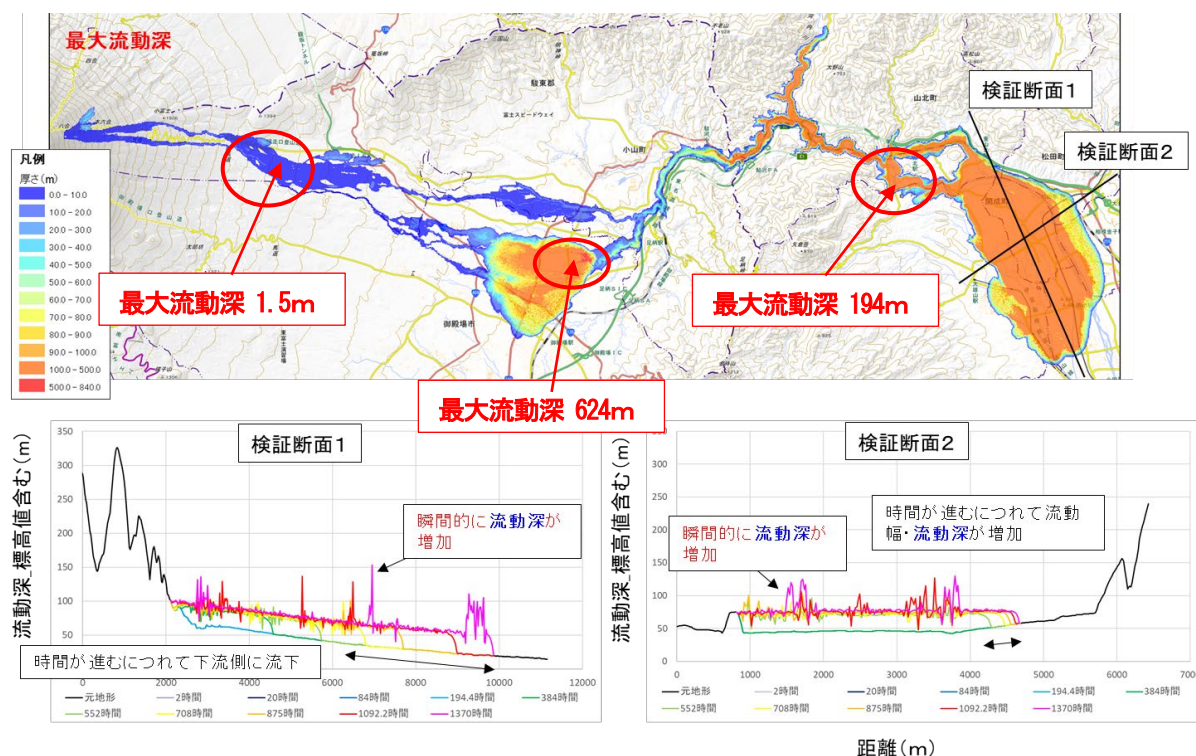


図-2 計算刻み時間 Δt を1秒として大規模溶岩流のシミュレーションを実施した結果

この問題が発生した原因は、実際の溶岩流の速さを単純に溶岩流のみの速さとし、波の速さを考慮していなかったことにある。

シミュレーションモデルでは、溶岩流を流体として扱うため、その速さは流速と波の速さの和で計算をする必要がある。²⁾

波の速さ C は、流動深を h 、重力加速度を g とすると、 $C = \sqrt{gh}$ であるため、CFL条件は

$$\Delta t < \Delta x / (V + C) = \Delta x / (V + \sqrt{gh})$$

となる。

溶岩流の流速を毎秒1m、流動深 h が40m、メッシュ間隔を20mとすると、 $\Delta t < 20 / (1 + \sqrt{9.8 \times 40}) = 0.95$ 秒となる。

り、 $\Delta x=1$ 秒ではCFL条件が成り立っていなかったため、計算が発散し流動深が異常値を示した。

そのため再度 Δt を設定して、中・大規模溶岩流のシミュレーションをやり直すこととなったが、富士山ハザードマップ（改定）検討スケジュールの遅延を最小限に抑えるため、計算を集束させるためできるだけ Δt を大きく＝シミュレーションに必要な計算時間を短くする必要があった。

そこで狭窄部を通過する大規模溶岩のケースをモデルとして、 Δt を0.5～0.2秒の範囲で変えた感度分析を行い $\Delta t=0.5$ 秒であれば全ての箇所での計算が収束することを確認した。また計算するPC数を確保し同時に計算可能なケース数を増加させることにより、シミュレーション計算作業に必要な時間を短縮した。

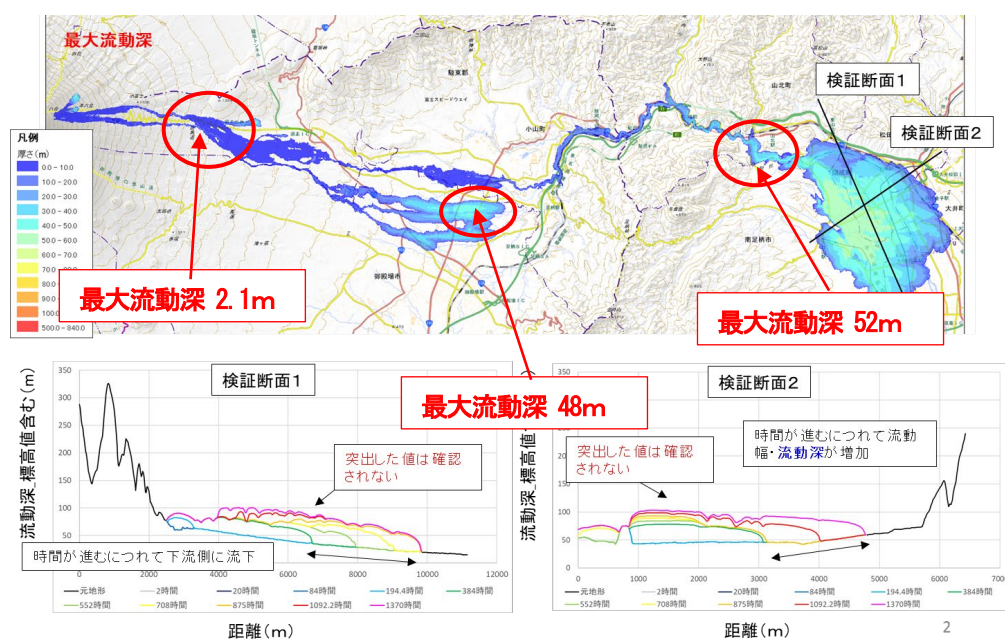


図-2 計算刻み時間 Δt を0.5秒として大規模溶岩流のシミュレーションを実施した結果

3. まとめ

富士山HM改定は富士山火山防災対策協議会全体で取り組んでいたため、決められたスケジュールの中で確実にシミュレーションを実施する必要があった。

特に溶岩流のシミュレーションでは地形データや計算刻み時間に関連する問題が発生したが、関係機関の協力や学識経験者からの助言によりこれらを乗り越え、火山防災協議会の砂防部局構成員として求められた役割を果たすことができた。

今後は地域住民の安全・安心のため、このHMに基づく富士山火山防災対策協議会が担う広域避難計画の改定に協力していきたい。

謝辞：本論文を作成するにあたり、砂防・地すべり技術センター吉田室長の協力とともに、事務所の職員に指導いただいた。

参考文献

1) 富士山火山防災対策協議会 富士山ハザードマップ（改定版）検討委員会報告書。

<https://www.pref.yamanashi.jp/kazan/fujisankazanbousai.html>

http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/fujisanbousai_houkokusyo.html

*2) 北海道開発局 建設部 河川計画課 iRIC を操作する上での注意点について 北海道河道技術研究会資料

<https://i-ric.org/webadmin/wp-content/uploads/2018/11/d8bf5c9f38b5c9cb61faf902b4a9e217.pdf>

* 2004年の富士山ハザードマップは富士山火山防災協議会によって作成された。後に、協議会の組織が改まり富士山火山防災対策協議会に改まっている。