

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

粘着性・非粘着性ラハールの数値モデル化に向けた流動実験

研究代表者 常松 佳恵¹⁾

研究分担者 竹林洋史²⁾, 片岡 香子³⁾

- 1) 山形大学学術研究院 2) 京都大学防災研究所流域災害研究センター
3) 新潟大学災害・復興科学研究所

研究要旨

ラハールは噴火中・噴火後に火砕物が堆積した所に雨が降ることや、噴出物の熱が雪を融かすことなどで起こる。ラハールは速度が大きく、周囲の石礫や河畔林を巻き込んで流下するため破壊力が大きくなり、大変危険な現象である。また、日本の多くの火山では熱水変質帯で生成されるような粘土を多く含む噴出物を母材とした粘着性のラハールが多く発生していることが知られている。本研究では粘着性・非粘着性ラハールの違いを数値シミュレーションで再現できるようにすることを目標とし、それぞれの基本的な流動特性を明らかにすることを目的として室内実験を行った。二年目である今年度は初年度に引き続き人工の水路を用いた実験を行い、模擬的なラハール物質のせん断強度測定を行った。実験の結果、粘土が少量含まれる砂・粘土・水の混合物は砂と水のみ混合物よりも流動性が高いが、粘土の割合が多くなりすぎると流動性は再び低下することが明らかとなった。

A. 研究目的

ラハールは噴火中・噴火後に火砕物と水が共に流下する現象であり、噴出物の熱が雪を融かすことで発生する融雪型、噴火中・噴火後に雨が降ることで発生する降雨型などがある。ラハールは流下速度が大きくなることもあり、流れの周囲にあった石礫や河畔林を巻き込んで流下するため、破壊力が大きくなる大変危険な現象である。そのためラハールの流下範囲を数値シミュレーションによって予測し、ハザードマップ作成や避難計画などの防災対策を講じる必要がある。また、日本の多くの火山では水蒸気噴火が発生するが、水蒸気噴火の堆積物は熱水変質帯で生成される粘土を多く含む(例 蔵王火山: Ban et al., 2015)。粘着性ラハールは火山の熱水変質帯から発生する水蒸気噴火時やその直後 (Kilgour et al., 2010; Kataoka et al., 2018) あるいは熱水変質帯を含む山体崩壊と岩屑なだれからの流れの変化 (flow transformation) などで発生する (Vallance and Scott, 1997; Capra and Macías, 2000)。粘着性ラハールは非粘着性ラハールより遠くまで流れるという報

告もあり (Vallance and Scott, 1997) , 粘着性・非粘着性ラハールの流動特性を考慮した数値モデルが必要である。よって、本研究では実験から粘着性・非粘着性ラハールの流動特性を明らかにし、それを数値モデルに反映させることを目的とする。初年度は水路に珪砂・カオリン・水で構成される模擬的なラハール物質を用いて実験を行い、流下距離を得たが、2 年目となる今年度は水路実験に加えて、模擬的ラハール物質のせん断強度を測定し流動特性の詳細を明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

ラハール物質水路流下実験

粘着性ラハールは砂や礫だけでなく粘土を比較的多く含むため、本研究では試料として入手しやすいカオリン粘土(粒径約 0.005 mm)を用いた。また、砂粒子は 7 号珪砂(粒径約 0.08–0.3 mm)を用い、砂と粘土と水の資料を変えて混合させることで様々なラハール物質を作成し、水路流下実

験とそれら実験物質のせん断力を測定した。

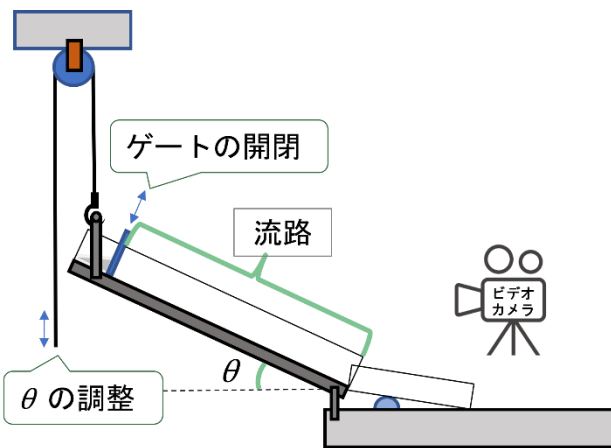


図1 水路流下実験に用いた実験装置の模式図。ゲートの上にラハール物質を投入し、ゲートを開くことで混合物を流下させ、その様子を水路の正面からビデオカメラで撮影した。

ラハール実験に用いた水路(図1)は幅10cmの矩形の水路である。水路の下流端(下方)には氾濫原を模した水路より広い板を設置した。初年度に使用した水路ではラハールを投入するところから氾濫原の手前までの長さは150cmであったが、二年目は改良されて174cmとなったものを使用した。なお、この水路は傾斜角(θ)を変えられる作りとなっている。

ベーンせん断測定

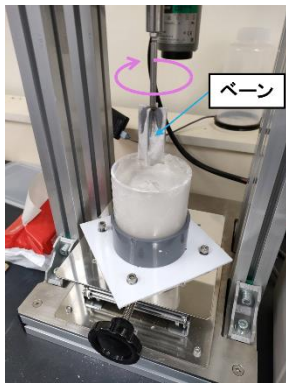


図2 ベーンせん断測定器の試料と設置の様子。資料が入った容器の中にベーン(羽)を入れ、それを一定の速度で回転させて回転モーメント(トルク)を測定する。

ベーンせん断測定の装置は、図2のように中央の台に試料の入ったビーカー等の容器を置き、容器は固定する。容器の中にベーンと呼ばれる羽が入り、それが一定速度で回転する際に必要な力を回転モーメントとして出力する。回転モーメントは時間的に変化するが、最大になった時の値 M_{max} を読み、これをせん断強度に換算する。

なお、ベーンせん断測定の際には、試料の混合比によって結果が大きく異なるため、同量の割合の混合物について数回ずつ測定を行い、それらの平均値を求める。

C. 研究結果

ラハール物質水路流下実験の結果

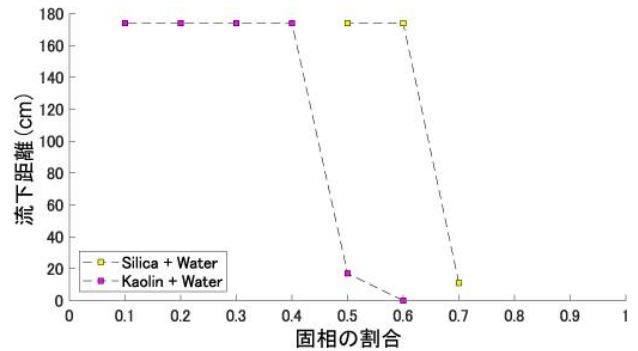


図3 珪砂・カオリンそれぞれを水と混合したものを流下させた実験における固相の割合に対する流下距離の変化。黄色のマーカ―は珪砂と水の混合物の実験結果をピンクのマーカ―はカオリンと水の混合物の実験結果を表している。

水路実験の流下距離は、固体と水の混合(カオリン+水あるいは珪砂+水)では、どちらも固相の割合(質量割合)が増加するにつれて流下距離が減少し、流れにくくなった(図3)。しかし、固相の割合が同量の場合は珪砂の方がより遠くまで流れることが分かる(例: 固相の割合が0.5においてカオリンは20cm程度しか流れないのに対し、珪砂は流路を流れ切った)。

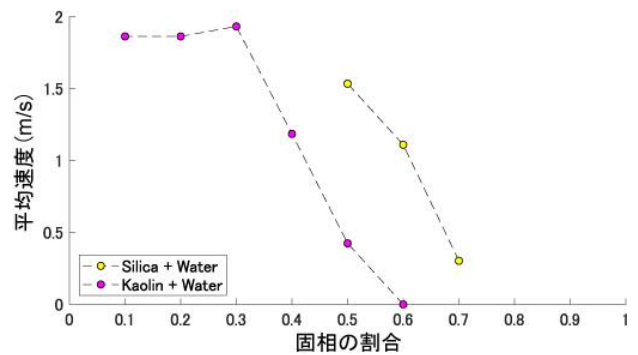


図4 珪砂・カオリンそれぞれを水と混合したものを流下させた実験における固相の割合に対する平均速度の変化。黄色のマーカ―は珪砂と水の混合物の実験結果をピンクのマーカ―はカオリンと水の混合物の実験結果を表している。

平均速度についても同様に、同量の固相の割合では、珪砂と水の混合物の方が平均速度は大きく、カオリンと水の混合物の方が平均速度は小さい結果となった(図4)。

珪砂とカオリンと水を混合させたものを流下させた場合(図5)には、カオリンの割合が大きい時は平均速度が小さいが、カオリンの割合が小さくなると平均速度は大きくなる様子が見られた。特に、珪砂と水だけの混合物の場合は平均速

度が約 1.5 m/s であるが、カオリンを 3 割含む（固相中のカオリンの割合 0.3）場合は約 1.75 m/s となり、固相に珪砂のみを含む場合よりも平均速度が大きい結果となった。

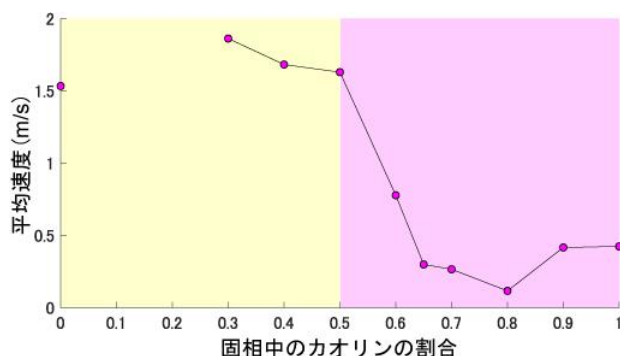


図 5 珪砂+カオリン+水の混合物を流下させた実験における固相中のカオリンの割合に対する平均速度の変化。固相中のカオリンの割合が 0 とは、珪砂と水だけの混合物を表し、1 とはカオリンと水だけの混合物のことを表している。なお、固相の割合は 0.5（固定）とした。

ベーンせん断測定の結果

カオリンと水の混合物について、固相の割合を変化させた場合のせん断応力の変化を図 6 に示す。カオリンと水だけの混合物は固相の割合（カオリンの量）が増加するにつれてせん断応力が増加する傾向が見られた。

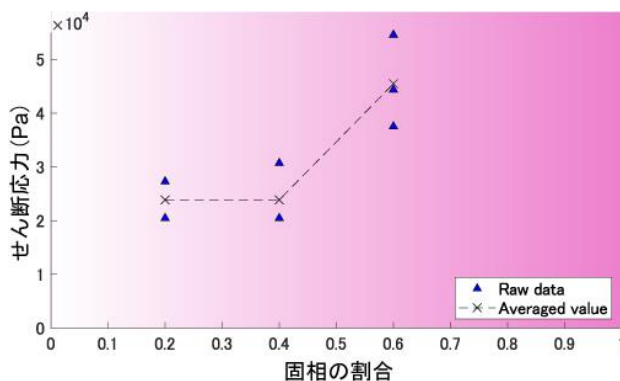


図 6 カオリンと水の混合物におけるせん断応力を測定した結果。固相の割合と共にせん断応力も増加する。

一方、珪砂とカオリンと水の混合物ではやや異なる結果となった。固相中に含まれる珪砂とカオリンの量比を変化させた場合のせん断応力を測定した結果を図 7 に示した。なお、固相の割合は 0.5 と固定している。この場合は、カオリンの量比が 0.2 から増加するとせん断応力が減少し、0.5 で極小値を取り、その後は再びカオリンの量比が増えるにしたがってせん断応力が増加した。

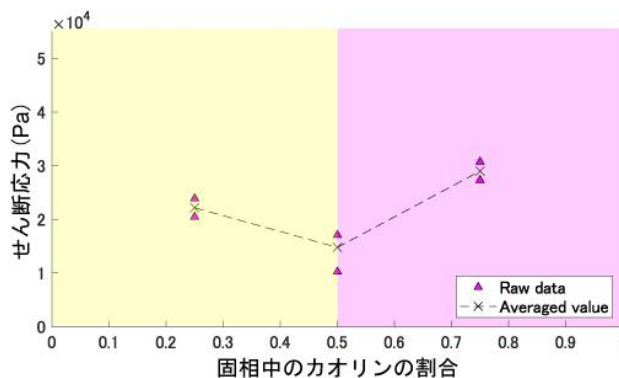


図 7 珪砂・カオリンと水を混合したもののせん断応力の測定結果。

D. 考察

水路流下実験から得られた結果とせん断応力測定から得られた結果を比較して考察を行う。水路流下実験においてもせん断応力の測定においても固相が単体試料の場合には、固相の量比を増加させると流れにくくなる傾向が見られた。水路流下実験からは、珪砂よりもカオリンの方がその傾向が顕著であり、カオリンは固相の割合が 0.5 を超えると混合物はほとんど水路を流下しなくなる。

珪砂とカオリンと水の 3 種を混合した場合には珪砂と水だけの場合よりも、少量のカオリンを加える方が平均速度は大きくなり、流れやすくなる様子が見られた。せん断応力の値についても珪砂にカオリンが加わった場合にせん断応力の値は極小値を取り、流れやすくなる傾向が見られた。これらの傾向は水路流下実験とせん断応力の測定で共通して見られる。



図 8 (a)珪砂と水の混合物、(b)珪砂とカオリンと水の混合物をそれぞれ流下させた水路流下実験後の水路。

上に述べたような、珪砂をカオリンが流れやすくする傾向の原因について以下に考察する。珪砂と水だけの場合は、流下中に珪砂と水が分離する様子が見られ、水は珪砂がなす溝状の地形を流下

し、珪砂だけが斜面に取り残された様子が見られた (図 8a)。一方、珪砂と水にカオリンが加わると、三つが分離することなく流下する様子が見られた (図 8b)。珪砂はカオリンよりもかなり粒径が大きく、粒子同士の摩擦も大きいことが、流れにくさの一要因と考えられる。また、カオリン単体と水と混合した場合は、カオリンの含有量が高いほど粘性が高くなり、流れにくくなると考えられる。一方で、珪砂に少量のカオリンが混合することで、珪砂粒子の間にカオリン粒子が入り込み、砂粒子間の摩擦を軽減する潤滑油の役割を果たしたことが予想できる。

粘着性ラハールの堆積物中に 3-5wt.% 以上の粘土を含むことで定義される (Scott et al., 1995)。固相中のカオリンの割合が 0.1 や 0.2 程度の少ない割合においての実験結果がまだ得られていないため、今後は粘着性ラハールの定義とされる境界値の付近の混合比を考慮し、水路流下実験とせん断応力の測定を行っていきたい。

E. 結論

本研究では粘着性・非粘着性ラハールを数値モデルの開発を目的として、流動特性を調べるために粘土と珪砂を用いた模擬的なラハール物質の水路流下実験とせん断強度の測定を行った。珪砂と水、カオリンと水のそれぞれの混合物を比較すると、珪砂と水の混合物の方が流動性は高いが、珪砂と水にカオリンを少量加えると流動性が増すことが分かった。珪砂と水にカオリンが加わった場合、固相中のカオリンの割合に応じて、せん断強度が極小になる場所がある。カオリンが多い場合は粘性によってせん断強度が増して流れにくくなり、珪砂が多い場合は粒子間の摩擦によってせん断強度が増して流れにくくなることが推測される。カオリンは、珪砂同士の粒子間の摩擦を軽減する潤滑油的な機能を持つため、珪砂と水にカオリンが少量加わると流動性が増すと考えられる。今後は実際の粘着性ラハールを想定した混合割合の水路流下実験とせん断強度の測定をさらに進め、数値モデル化を行う。

F. 参考文献

- Ban M., Oikawa T., Yamasaki S. (2015) Geological map of Zao Volcano. Geological map of volcanoes, Geol. Soc. Japan., 18: 1-8.
- Ban M., Kawashima K., Tsunematsu K., Kataoka K.S.,

Imura T. (2022) Lahar deposits along the Nigorikawa River in the eastern foot of Zao Volcano, Japan, during the last 8000 years, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 432: 107685.

Capra, L., Macías, J.L., 2000. Pleistocene cohesive debris flows at Nevado de Toluca Volcano, central Mexico. J. Volcanol. Geotherm. Res., 102, 149–168.

Kataoka, K.S., Matsumoto, T., Saito, T., Kawashima, K., Nagahashi, Y., Iyobe, T., Sasaki, A., and Suzuki, K. (2018) Lahar characteristics as a function of triggering mechanism at a seasonally snow-clad volcano: Contrasting lahars following the 2014 phreatic eruption of Ontake Volcano, Japan. Earth, Planets and Space, 70(1): 113.

Kilgour G., Manville V., Della Pasqua F., Graettinger A., Hodgson K.A., Jolly G.E. (2010) The 25 September 2007 eruption of Mount Ruapehu, New Zealand: directed ballistics, surtseyan jets, and ice-slurry lahars. J. Volcanol. Geotherm. Res. 191:1–14.

Scott, K.M., Vallance, J.W., Pringle, P.T., 1995. Sedimentology, behavior, and hazards of debris Flows at Mount Rainier, Washington. USGS Professional Paper 1547, 106 pp., 1 plate). US Geological Survey, Reston, VA.

Vallance J.W., Scott K.M. (1997) The Osceola Mudflow from Mount Rainier: Sedimentology and hazard implications of a huge clay-rich debris flow. Geol. Soc. Am. Bull., 109 (2): 143-163.

G. 謝辞

新潟大学災害・復興科学研究所の渡部直喜氏と新潟大学自然科学研究科大学院生の相場菜摘氏には、ベーンせん断測定の際の機材を貸していただくだけでなく、測定方法をご教示いただきました。ここに感謝申し上げます。