

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含有粘土の評価

研究代表者 常松 佳恵¹⁾

研究分担者 片岡 香子²⁾, 竹林洋史³⁾, 飯田航世⁴⁾, 石川智也⁵⁾

1) 山形大学学術研究院 2) 新潟大学災害・復興科学研究所

3) 京都大学防災研究所流域災害研究センター 4) 山形大学理学部 5) 山形大学理工学研究科

研究要旨

ラハールとは火山周辺において火砕物と水が混合して流下する現象である。噴火の最中や噴火後に発生し、過去にも甚大な被害をもたらしたため、その流下範囲を予測するための数値モデルは重要である。日本の多くの火山では熱水変質帯が発達し、水蒸気噴火を起こす。水蒸気噴火の火砕物には変質帯で生成された粘土を含むことがあり、これが水とともに流下する場合には粘着性ラハールが発生する。本研究では粘着性・非粘着性が表現できるラハールの数値モデルを開発するため、ラハール物質の流動性を明らかにすることを目的として実験を行った。このプロジェクトの3年目となる今年度は、特に粘着性ラハール堆積物の定義となる堆積物のマトリクス中の粘土の質量分率 (>3-5 wt%) を参考にし、ラハールの流下速度やせん断強度がどのようなふるまいを示すかを調べた。その結果、ラハールの流下速度は、粘土を全く含まない場合よりも、少量の粘土を含む場合に急激に増加し、ある含有率で極大値を取り、さらに粘土の含有率が高くなると再び速度が減少に転じるという傾向を示した。この特徴はカオリンとスメクタイトどちらの粘土についても表れ、極大値を取る粘土の含有率がカオリンよりもスメクタイトで小さくなる。また、高いせん断強度で流下速度が小さく、低いせん断強度で流下速度が大きいという関係が見られた。

A. 研究目的

ラハールは噴火中・噴火後に火砕物と水が混合して流下する現象である。流下速度が大きくなることもあり、周囲にあった建造物や木々を破壊してそれらの破片を取り込みながら流れ、下流では破壊力が大きくなる。ラハールによる災害を軽減するためには、数値モデルから流下範囲を予測することが重要である。一方、ラハールは粘着性と非粘着性の2種類のタイプが報告されており、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)。また、粘着性ラハールは非粘着性ラハールよりも流下距離が長くな

ることも報告されている (Vallance and Scott, 1997)。このような違いを数値的に表すモデルを開発するため、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、数値モデルに反映させることを目的とする。これまで、珪砂・カオリン・水で構成されるラハール物質を用いて水路流下実験とせん断強度の測定を行ってきたが、今年度は特に①堆積物中の粘土の質量分率が 3-5 wt%に相当する、固相中の粘土の質量分率が 3-5 wt%の周辺の値に注目した流下速度とせん断強度の測定、②粘土鉱物としてスメクタイトを用いた水路流下実験を実施した。さらに、天然のラハール物質を用いた実験を行うため、天然の試料を採取した。また、ラハールの分布と物質の流動特性との関係を調べるため、十勝岳においてフィールド調査を行った。

B. 研究方法

ラハール物質水路流下実験

ラハールの模擬材料のうち、非粘着性の物質として珪砂と、粘着性を表す粘土としてはカオリンを利用し、それらを水と混合させて流下させる。カオリン粘土は粒径約 0.005 mm のものを用い、珪砂は 7 号（粒径約 0.08–0.3 mm）を用いた。

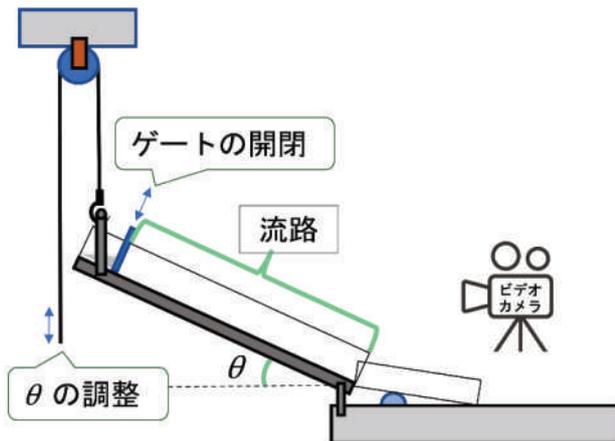


図1 水路流下実験に用いた実験装置の模式図。ゲートの上にラハール物質を投入し、ゲートを開くことで混合物を流下させ、その様子を水路の正面からビデオカメラで撮影した。

長さが 174 cm、幅が 10 cm の矩形の水路を流下実験に用いた（図 1）。水路の底面には実験で使用した 7 号珪砂を敷き詰めた板を引き、河床と同様の摩擦を再現した。なお、この水路は上部に取り付けられた滑車を利用して、傾斜角(θ)を変化させることができる仕組みになっている。また、水路の先には傾斜 3°の氾濫原を設置し、この水路を模擬的なラハールが流れる様子を正面からビデオカメラで撮影した。本研究では、最終的に水路を流下した距離を、流れ切るのにかかった時間で割ったものを平均速度と呼ぶ。

ベーンせん断測定

ベーンせん断測定装置は、ベーンと呼ばれる羽を物質の中に投入し、それを回転させて回転させるのに必要な力を回転モーメントとして出力する（図 2）。回転モーメント (M) 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、模擬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

らの平均値を求めた。

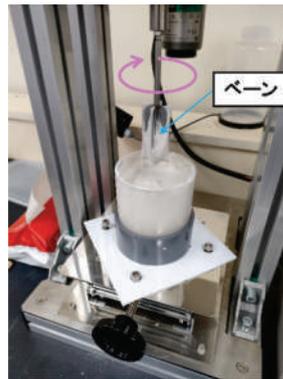


図2 ベーンせん断測定器の試料と設置の様子。資料が入った容器の中にベーン(羽)を入れ、それを一定の速度で回転させて回転モーメント(トルク)を測定する。

フィールド調査

十勝岳の 1926 年の 5 月 24 日に発生した大正泥流を主に調査対象として、地質調査を行った。この泥流（ラハール）は上澤（2008）および Uesawa（2014）によると 1926 年の噴火の堆積物は Unit A, B, C の三層に分かれ、Unit A は 1926 年の噴火の中心であった中央火口丘の西側の壁が崩れたことに由来し、Unit B はその後引き続き発生した高温の熱水サージ堆積物と考えられている。この Unit B が当時辺りに積もっていた雪を溶かして融雪型泥流を引き起こし、美瑛川と富良野川に沿って流下し、麓の美瑛町と上富良野町を襲って被害を拡大させた。Unit C は火口壁の崩壊直後に重力的に不安定になった部分がさらに崩壊したことによる堆積物と考えられている。本研究では、中央火口丘近くの Unit A, B, C が観察できる地点と、山麓で泥流堆積物を保存している上富良野町のフットパスセンターで露頭観察を行った。また、水路流下実験とベーンせん断測定のために泥流堆積物を採取した。

C. 研究結果

ラハール物質水路流下実験

珪砂・粘土・水の混合物を用いた流下実験における平均速度の結果を図 3 に示す。固相中の粘土の質量分率を増加させると、少量の粘土が混合しただけで、ラハール物質の平均速度は急に増大する。一旦増大した後は、ほぼ同じくらいの速度を保ち、粘土の質量分率がおよそ 0.5（固相の半分）を超えた辺りで急激に平均速度が減少する。図中の点線はそれぞれの傾斜角における珪砂と水のみの場合の速度であり、粘土の質量分率が 0.4 程度までは粘土を含む場合の平均速度の方が珪砂と水のみを平均速度を上回る結果となっている。

このような傾向は粘土をカオリン・スメクタイトとした、いずれの実験でも同様に見られた。さらに、図4に示すようにスメクタイト用いた実験においてはカオリンを用いた場合よりも固相の粘土の質量分率が小さい値で平均速度が減少に転じることが分かる。

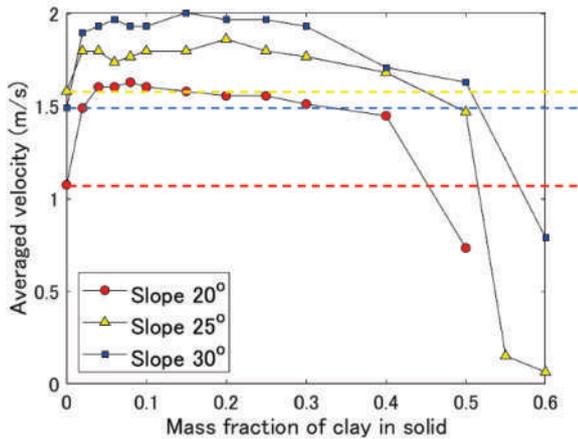


図3 水路流下実験における平均速度と固相中の粘土の質量分率の関係。水と固相の割合は1:1。固相には珪砂と粘土を混合させたものを用い、粘土はカオリンを使

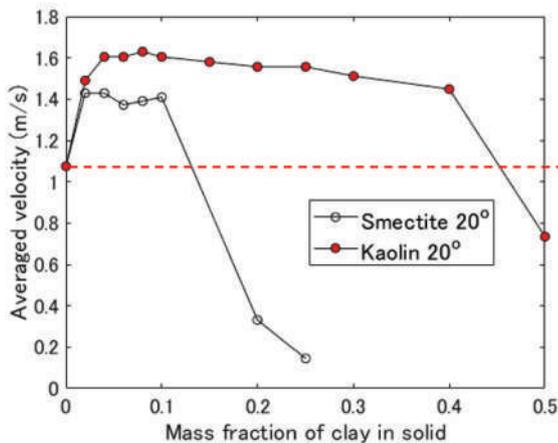


図4 水路流下実験における平均速度と固相中の粘土の質量分率の関係。水と固相の割合は1:1。固相には珪砂と粘土を混合させたものを用い、粘土はスメクタイトを使用。赤い点線は水路の傾斜が20°、25°、30°のときの珪砂と水のためのラハール物質の平均速度を示す。

ベーンせん断測定

ベーンせん断装置を用いてせん断強度を測定した結果を図5に示す。固相中の粘土の質量分率を増加させると、せん断強度は減少し、固相中の粘土の質量分率が約0.4で極小値を取り、その後はせん断強度が上昇して高い値を取る。

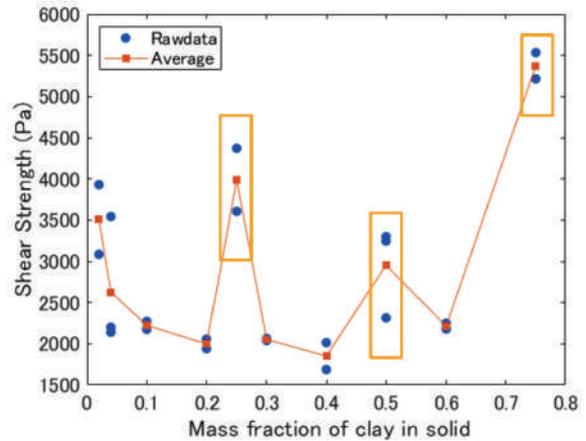


図5 ベーンせん断測定におけるせん断強度と固相中の粘土の質量分率の関係。オレンジの四角で囲われた測定点は、今年度ではなく2022年度に測定された値である。昨年度はベーンせん断装置のトルクの位置を一番外側で測定していたが、今年度は一番内側で測定した。固相中の粘土はカオリンを用いた。

フィールド調査

フィールド調査のうち、図6中の露頭1と露頭2で行った調査の結果を図7に示す。露頭1ではUnit A, B, Cすべての層が確認でき、Unit Aは崩壊堆積物の特徴であるパッチ状の構造が確認できた(図7a)。また、Unit A, B, Cそれぞれの色や粒度は異なり、Unit A, Bは青灰色であるが、Unit Cは茶色から橙色で、Unit Cの方がマトリクスは細粒であった。露頭2においては1926年の泥流と噴火前の土壌の境界が図7bのように明瞭に見られた。また、1926年の層はマトリクス支持であるものの全体的には円礫を多く含む。また、最下部には、層厚数cmの比較的礫の少ないシルト混じり砂層が見られた。



図6 十勝岳の1926年大正泥流の流下範囲と調査地点(露頭1・2)の位置関係。

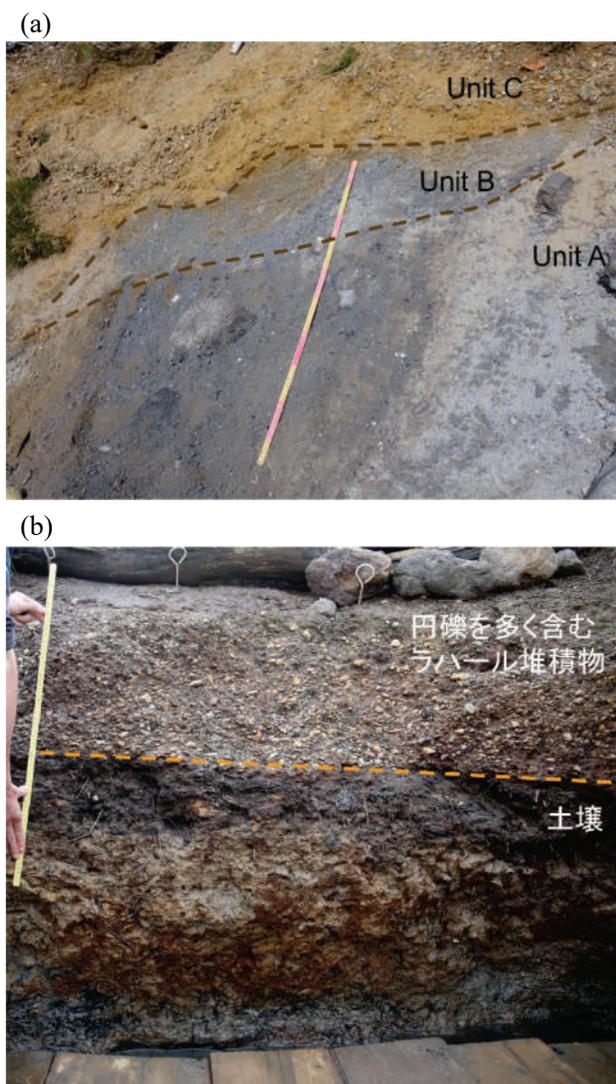


図7 (a) 露頭1で見られた堆積物, (b) 露頭2で見られた堆積物.

D. 考察

実験結果における考察

水路流下実験とベーンせん断測定の結果を比較すると、水路流下実験における平均速度が大きい粘土含有率ではせん断強度の値が低く、平均速度が急激に減少するにつれ、せん断強度も急激に増加する状況が見られた(図3,5)。これはせん断強度が大きい場合は流動性が小さくなることを示していると解釈できる。

図5中のオレンジの四角で示したデータは前年度に測定されたものである。いずれのデータも今年度の測定より大きい値を示すため、前年度の測定においては誤差を大きく含んでいる可能性が考えられる。よって、せん断強度のグラフは、今年度の測定条件で測定した場合には滑らかなカーブを描く可能性があり、水路流下実験における

平均速度の粘土含有量に応じた変化とせん断強度の関連を示す値が得られるものと予想される。このように、せん断強度が精度良く測定できれば、ラハール物質の流動特性を示す指標としてせん断強度の値は有用であることが示唆される。

また、スメクタイトは水を吸収しやすい粘土であることが知られている(例えば、田村ほか, 2007)。そのため、スメクタイトが少量含まれる場合は流動性を高める効果があるものの、質量分率が高くなるほどラハール物質中の水を吸収し、流動性を下げた可能性が考えられる。

フィールド調査結果に関する考察

当初、十勝岳の泥流に関しては、粒径 $8\Phi(4\mu\text{m})$ 以下の粒子が5 wt%を超える粘着性ラハール堆積物が山麓で確認されていたことから(Uesawa, 2014)、天然の粘着性ラハール堆積物を採取して実験に用いることを想定していた。しかし、今回の調査では火山近傍と遠方のどちらにおいても露頭観察で判別できうるほどの粘土含有量の高いラハール堆積物は確認できなかった(ただし、試料を粒度分析して、実際に粘土の割合を分析する必要がある)。

E. 結論

粘着性・非粘着性ラハールの違いは流下距離などに影響を及ぼすことから、流下範囲をシミュレーションする数値モデルにこれらの違いを反映させるため、水路流下実験とベーンせん断測定を行い模擬的なラハール物質の流動特性を調べた。その結果、水路流下実験から得られた平均速度の結果とせん断強度の結果は整合的であり、流動性を評価するのにせん断強度の測定が有用であることが示唆された。

F. 参考文献

- 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-cladvolcano: 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.

田村 栄治・浄内 明・松崎 伸一・長谷川 修一 (2007) 結晶片岩中のスメクタイト含有破砕帯の膨潤特性と隆起メカニズム, *応用地質*, 48(2): 80-89.

上澤真平(2008) 北海道十勝岳火山 1926 年噴火大正泥流堆積物層序の再検討と古地磁気特性, *火山*, 53(6): 171-191.

Uesawa, S. (2014) A study of the Taisho lahar generated by the 1926 eruption of Tokachidake Volcano, central Hokkaido, Japan, and implications for the generation of cohesive lahars *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 270 23–34.

Vallance J.W. and 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博士には、ベーンセン断測定機器の使用を認めていただき、測定方法をご教示いただきました。十勝岳ジオパークの富島千春博士には十勝岳の調査でフィールドを案内していただきました。ここに心から感謝申し上げます。