

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

火山砕屑物や雪を含む複雑混合流における粘性計測

桂木 洋光¹⁾ 小田 憲一²⁾ 新屋 啓文³⁾

1) 大阪大学 2) 日本大学 3) 新潟大学

研究要旨

冠雪火山の噴火により噴出した火山砕屑物(テフラ)は雪や水と混合した複雑泥流の状態で流下する。そのような複雑泥流の流下距離や速度は泥流の状態に依存して大きく変化する。特に大量の雪解け水を含む泥流の流下は激しく、麓に大きな災害をもたらすこともあり、融雪型火山泥流の流動特性を物理的に理解することは、防災・減災の観点から極めて重要である。しかしながら、複数種の固体成分(テフラおよび雪)を含む固液混相系の流動特性の理解は容易ではなく、その重要性にも関わらずこれまで十分に研究されてこなかった。ことさら、雪粒子は付着性を持つため、泥流中の固体成分を凝集させる効果をもたらす。一方で、激しく流動する泥流内では凝集する固体成分の破碎も起こる。このような複雑挙動を含む融雪型火山泥流の特性理解を目指すことが本研究の大きな目標となる。これまでの一連の研究の中で、雪・水・テフラ混合流中における凝集体形成の可能性について実験的研究を行い、実際の融雪型火山泥流の流動状態では巨視的サイズを持つ凝集体が形成される可能性が低いことを明らかにした。続いて、凝集体のような複雑構造体を含まない泥流の物理的特徴付けを目指し、泥流の粘性計測に取り組んだ。水・テフラ混合系の粘性計測を回転式粘度計および音叉式粘度計により行った。これにより、音叉式粘度計を用いた粘性計測が泥流の特徴付けには適していることが明らかになった。そこで本年度は、泥流の中に雪を混合させた場合に、泥流の粘性がどのように変化するかについて系統的实验を行った。また、泥流中の固体成分における粒子形状等の効果を確認するために、同様の実験をテフラの代わりに球形のガラスビーズを用いて行い、粘性挙動を比較した。その結果、泥流の粘性は概ね固体成分の濃度の増加により増大し、球形のガラスビーズよりテフラを含む泥流の方が大きな粘性を示すことが分かった。また、雪を混合させた場合は粘性値が不安定となることも明らかになった。ただし、固体成分が十分泥流中で分散している場合は、ニュートン流体的挙動が多くの実験条件範囲で確認された。今後は、より広いテフラ濃度での安定した粘性計測、得られた粘性値データから泥流の粘性構成則を導くことなどが課題となる。

A. 研究目的

融雪型火山泥流は雪解け水を多く含有するため、一般の火山性泥流に比べて大きな被害をもたらすことがある。火山砕屑物(テフラ)は雪や雪解け水と複雑な相互作用を及ぼしあいながら泥流として流下し、流下中には大気とも相互作用するため、その流動特性や流下距離等を精度良く推定することは難しい。

このような複雑混相系の挙動理解は基礎学理の側面からも興味深いトピックであるが、その複雑さゆえに具体的研究は十分には進んでいない。

本研究で扱うような多成分混合複雑流体の流動特性の理解が達成されれば、火山泥流の他にも様々な産業応用等において重要な知見がもたらされると考えられる。そこで、本研究では比較的簡単な室内実験で、複雑泥流の基礎理解を目指す実験的研究を行うこととした。

融雪型火山泥流の挙動理解に関する先行研究として、沖田ら(2018)[融雪型火山泥流の流動性に与える雪の影響、沖田竜馬、河島克久、松元高峰、片岡香子、渡部俊、寒地技術論文・報告集, Vol. 34, I-007 (2018)]が上げられる。この研究では、テフラ・

水・雪の混合物を人工斜面上で流下させ、その挙動を観察した。実験は 0°C の低温室内で行われ、流下の初期段階で泥流中に凝集体が形成され流動が阻害される場合があることが新たに発見された。このような凝集体の形成が実際の泥流でも起こるとしたら、凝集体の挙動は泥流の流動特性に大きな影響を及ぼすと考えられる。

そこで、本研究では雪を含む泥流中で凝集体が形成される条件を、系統的実験によりこれまで明らかにしてきた。具体的には、融雪型火山泥流の状態を模擬したテフラ・水・雪の混合物を回転ドララムにより流動攪拌し、凝集体が形成される流動条件について実験的に明らかにした。また、凝集体の圧縮試験も行った。これらの実験結果より、実際の泥流中での凝集体形成の可能性について検討し、一般的泥流状態では凝集体が形成される可能性が高くないことを明らかにした [Formation conditions and mechanical properties of aggregates produced in tephra-water-snow flows, H. Niiya, K. Oda, D. Tsuji, and H. Katsuragi, Earth, Planets and Space, Vol. 72, 148:1-14 (2020)]. この事実は、融雪型火山泥流中でテフラ凝集体形成等の複雑現象を考える必要がないことを示唆している。

続いて、テフラと水の混合泥流の粘性計測に着手した。泥流中で凝集体の形成を考える必要がなくなったので、シンプルな回転式粘度計により粘性を計測する試みから取り組んだ。しかし、テフラの泥流中でのテフラ粒子の沈殿が計測に大きな影響を及ぼし、正確な粘性計測が難しいことが明らかになった。そこで、音叉式粘度計を用いた粘性計測にも取り組んだ。その結果、こちらでは比較的安定した計測結果を示すことが明らかになった。

これらの背景とこれまでの研究成果を受け、本年度は、雪を含むテフラ・水混合系およびガラスビーズ・水混合系の粘性計測を行い、泥流中の固体成分の特性が泥流の粘性にどのような影響を及ぼすかについて明らかにすることを目指すこととした。

B. 研究方法

雪を含む泥流の粘性計測のために、計測は全て新潟大学災害・復興科学研究所内の低温室 (0°C 環境) で行われた。粒径が 32-63 μm , 125-250 μm ,

250-500 μm のテフラもしくは、平均粒径が 38 μm , 177 μm のガラスビーズを体積濃度 5%, 10%, 20%, もしくは 30% 含む水と粒子の混合系を作成し、その粘性を音叉式粘度計 (A&D RV-10000A) により計測した。測定中にテフラやガラスビーズが水中で十分に分散した状態を維持するために、サンプルを十字型のマグネティック・スターラーにより常時攪拌流動させて計測を行った (図 1)。また、これらの粒子懸濁液に雪を体積濃度 10% で付加した場合に粘性がどのように変化するかも確認した。

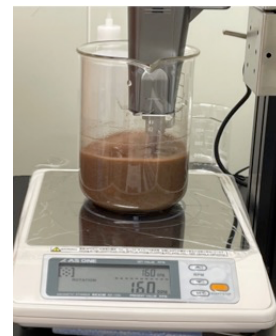


図 1 : 粘度計測中の様子。テフラ・水・雪混合系はスターラーで攪拌されている。

C. 研究結果

昨年度行った粘性計測では、懸濁液の攪拌が十分に行えない場合があったため、攪拌能力のより大きなマグネティックスターラーを用いた実験を本年度は行った。この計測条件の違いの影響を確認するために、昨年度と同様の計測を今年度も行い結果を比較した (図 2)。図中で黒枠のあるシンボルが昨年度の計測結果で、同じシンボルの色と形が同じ実験条件の結果を示している。テフラ

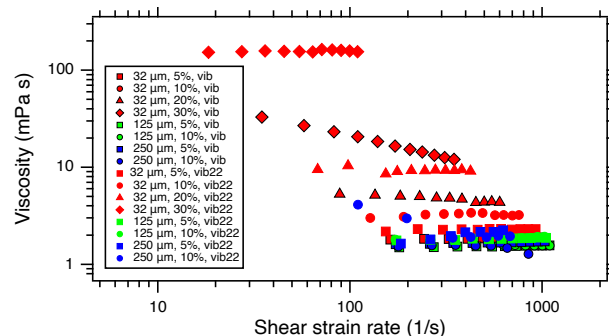


図 2 : 粘性計測結果 1. 昨年度と今年度の同条件での計測結果の比較。黒枠のあるデータが昨年度の結果。

濃度が比較的小さい状態では両者はほぼ一致しており、テフラ濃度が高い状態では差が確認されたが、テフラ濃度が上昇するにつれて粘性が上がる傾向は両者で共通であり、計測値のオーダーも一致している。

続いて、懸濁液中の固体成分がテフラの場合とガラスビーズの場合の粘性を比較した結果を図3に示す。図中でシンボルの形と色が粒子の種類と混合濃度を表す（同系色の暗色系で紫枠がガラスビーズの場合に当たる。凡例のGがガラスビーズのケースであることを示している）。昨年度の計測結果との比較（図2）と同様に、固体成分の濃度が高い場合に両者に差が認められるが、両者の一致は概ね良好である。また、図2、3を通してほとんどの粘性値がせん断率依存性を持たないことが分かる。これは、泥流がほぼニュートン流体的挙動を示していることを表している。

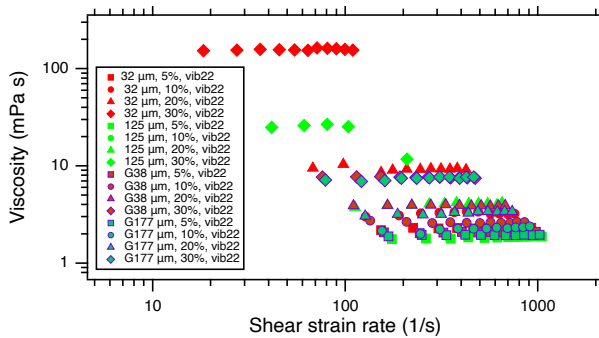


図3：粘性計測結果2。テフラとガラスビーズの比較。同系色暗色系で紫枠線のシンボルがガラスビーズの結果。

続いて、泥流中に雪を含めた場合の粘性への影響を調べた結果を図4に示す。図中でシンボルの色と形は実験条件を表しており、白抜きシンボルが雪を含む場合の計測結果に当たる。図より、懸濁液中に雪を混合させることにより、粘性値がわずかに上昇し、計測値のばらつきが大きくなる傾向が認められた。

D. 考察

図2、3において、テフラ濃度が高い場合に粘性値がより敏感に実験条件に依存することが明らかになった。さらに濃度を上げた場合は、テフラを十分に分散させることが難しくなり安定し

た粘性計測が行えなかった。今後は、より高い濃度領域でも粘性計測を可能とするために、攪拌機構などの改良を検討する必要がある。

図4より、雪を含む懸濁液では粘性値が不安定になることが分かる。これは、懸濁液中の雪粒子が粘度計のプロブに当たっている等の影響と考えている。このような誤差要因を軽減する努力も今後必要になる。

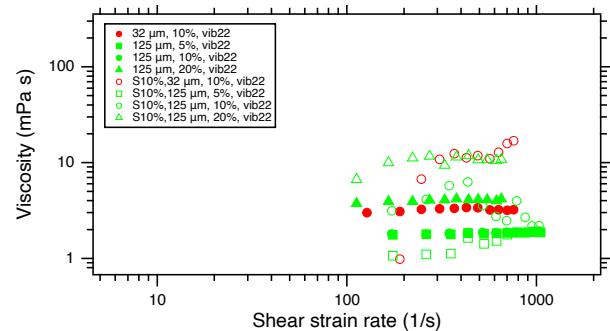


図4：粘性計測結果3。懸濁液中に雪を含まない場合と雪を含む場合の比較。白抜きのシンボルが雪を含む場合に対応する。シンボルの色と形は実験条件を表す。

E. 結論

様々な粒径のテフラと水、雪の比率を変化させつつそれらを混合した泥流模擬サンプルを作成し、その粘性を音叉式粘度計で系統的に計測した。また、固体成分としてテフラを用いた場合とガラスビーズを用いた場合の違いについても実験的に明らかにした。今後は更に広範囲での計測を実現するための計測系の改良や、得られた計測値を元にした泥流の実効的粘性構成則の検討などが課題となる。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表 (学会名・発表年月・開催地なども記入)

雪を含む火山泥流における凝集体の形成条件と力学特性, 新屋啓文, 小田憲一, 辻大輔, 桂木洋光, 地球惑星科学連合大会 2022 年大会, 2022 年 5 月 22-27 日, 千葉幕張。

雪・水・火山砕屑物による混合流の粘性特性計測に関する検討, 小田憲一, 新屋啓文, 桂木洋光, 雪氷研究大会 (2022・札幌), 2022年10月1-5日, 札幌コンベンションセンター.

積雪寒冷地における火山泥流の流動予測 ～火山砕屑物・水・雪の三相混合流～, 新屋啓文, 小田憲一, 桂木洋光, 地球表層における重力流のダイナミクス, 2022年12月26日, 東京・フクラシア八重洲.

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)
なし