

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

回転ドラム実験による火山砕屑物・水・雪の粗大化とその流動特性の解明

桂木 洋光¹⁾ 小田 憲一²⁾ 新屋 啓文³⁾

1) 名古屋大学 2) 日本大学 3) 新潟大学

研究要旨

本研究では、冠雪活火山地域において発生するテフラ（火山砕屑物）・水・雪が複雑に混合しながら流下する火山泥流の流動特性を解明するための基礎研究として、回転ドラム装置を用いて、テフラ・水・雪の混合流中に形成される凝集体について低温室内での実験を実施した。実験では、回転ドラムの回転速度や回転時間、テフラ・水・雪の混合比率と混合の手順等を変化させ、混合流動層内での凝集体形成条件、形成された凝集体の体積、組成比、力学特性を計測した。得られた結果より、凝集体の形成には雪の混合比率が最も大きく影響することが明らかになった。具体的には、雪の混合比率を上げることにより形成される凝集体の体積が増加し、飽和度が下がる（空隙率が上昇する）ことが分かった。更に、形成した凝集体の力学特性を一軸圧縮試験により求め、弾性率が雪の混合比率の上昇に伴い減少することも確認された。今後は、流動特性と凝集体の力学特性等の関係をより詳しく調べる必要がある。また、実際の融雪型火山泥流の物理的状況を意識した条件下での実験等も今後の課題となる。

A. 研究目的

冠雪した火山で噴火が起こることにより誘起される冠雪型火山泥流は、しばしば麓に甚大な被害を及ぼす。冠雪型火山泥流は火山砕屑物（テフラ）、雪の溶けた水、固体としての雪、空隙（気泡）の混合物で構成され、その流動状態の理解は必ずしも簡単ではない。雪を含む混相流状態にある融雪型火山泥流の中では、雪粒子の付着性等の効果により凝集体が形成される可能性がある。例えば沖田ら(2017)は、融雪型火山泥流を模擬したテフラ・水・雪の混合物を斜面に流下する実験を0°Cの低温室内で行い、泥流中に凝集体が比較的短い時間内に形成されることを明らかにした。

本研究では、これらの背景を受け、融雪型火山泥流に近い状態であるテフラ・水・雪の混合物を回転ドラムを用いて長時間流動させ、その中で凝集体を成長させる実験を行った。混合比率や混合時間などを系統的に変化させ、形成される凝集体の大きさ、個数、および一軸圧縮試験による力学特性の計測を行った。得られた結果より、泥流中で凝集体が形成される条件、形成された凝集体の

テフラ・雪・水・空隙の存在比率（組成比）、力学特性としての弾性率（ヤング率）と凝集体の諸特性量の関係等について議論する。

B. 研究方法

実験は新潟大学災害・復興科学研究所内の低温室で0°Cの状態で行われた。テフラは予め36-63 μmにふるい分けされたもの、混合用の水は蒸留水、雪は天然雪を実験直前に1-2 mmの範囲にふるいわけしたものをそれぞれ用い、それらを混合順や混合比率を変化させながら直径90 mm、高さ150 mmのガラス容器内に展開し、ポットミル回転台の上でガラス容器を回転させた。回転速度、回転時間についてはいくつかのパターンで実験を行ったが、ここでは最も多くのデータをとった回転速度60 rpm、回転時間20分のデータについて主に報告する。

本実験における主要変化パラメータは雪の体積比率となる。テフラと水は27:22の質量比で混合させ、雪は水の体積に対して1%-20%の範囲で混合させ凝集体形成実験を行った。用いた実験系

の写真を図1に示す。

所定の時間ドラム容器を回転させた後に容器から凝集体をふるいを用いて拾い上げ、生成された凝集体の個数とサイズ（写真を撮影して画像解析により算出）、質量を計測し、そのまま引き続き凝集体の一軸圧縮試験を行った。また、圧縮試験の後に凝集体を濾紙に水分吸収させることにより脱水し質量を計測し、更に固体として残っていた雪を溶かしてから完全に乾燥させた後の質量も計測した。これらの計測結果より、凝集体中のテフラ・水・雪・空隙の割合を計算し、サイズから推定された凝集体の体積とその圧縮の様子から圧縮による弾性率を計算した。



図1：ポットミル回転台による泥流中での凝集体形成実験系。

C. 研究結果

実験により得られた実際の凝集体の様子を雪の体積混合比率毎に示したものを図2に示す。図2より、雪の混合比率を上げることにより形成される凝集体のサイズも大きくなっていることが分かる。いくつかの実験条件では複数の凝集体が

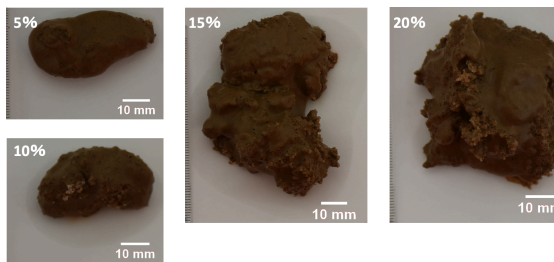


図2：テフラ・水・雪の回転混合流内で形成された凝集体。各写真の左上の数字は雪の水に対する体積混合比率。

形成される場合もあったが、本実験では各実験で形成された最大凝集体についての計測結果を以下に示す。

図3に雪の混合比率と最大凝集体の質量の関係を示す。図3より雪の混合比率がある閾値を超えた場合に凝集体が形成され、その規模は雪の混合比率にほぼ比例して増大することが分かる。

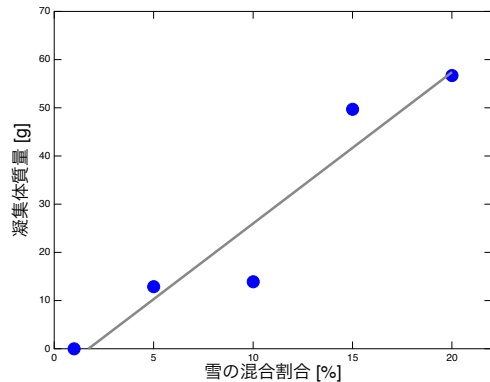


図3：雪の混合比率と形成される最大凝集体の質量の関係。雪の混合比率が増加するにつれてより大きな凝集体が形成されている。

また、形成された凝集体中の空隙に対する水の飽和度を雪の混合比率の関数として示したプロットを図4に示す。図4より、雪の混合比率と飽和度は負の相関を持つことが見てとれる。

更に、形成された凝集体の一軸圧縮試験の結果より推定された凝集体の弾性率（ヤング率）の雪の混合率依存性を図5に示す。図5によると、多少バラツキはみられるものの、雪の混合比率と凝集体の弾性率にはおおよそ負の相関があることが分かる。

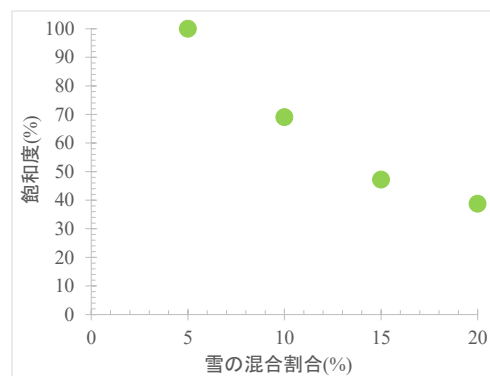


図4：雪の混合比率を変化させた際に形成された凝集体の飽和度。飽和度と雪の混合比率には明確な負の相関がみられる。

以上の結果より、テフラ・水・雪の混合流中に形成される凝集体の体積は雪の混合率が増加するにつれて大きくなり、凝集体の飽和度および弾性率は反対に減少することが明らかとなった。すなわち、雪の比率が増すと体積・空隙率が大きく柔らかな凝集体が形成されると言える。

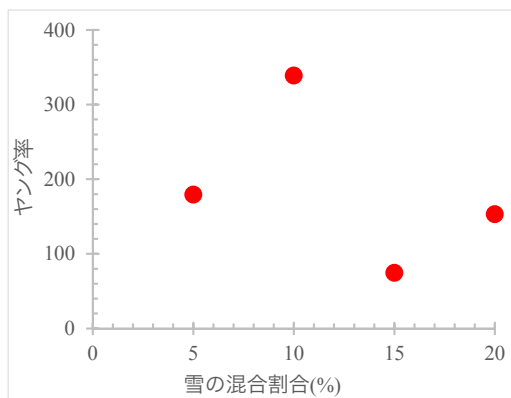


図5：雪の混合比率を変化させた際に形成された凝集体のヤング率。ヤング率と雪の混合比率に負の相関が見られる。

D. 考察

雪の混合比率が凝集体の形成や成長、力学特性に大きな影響を及ぼすことが分かった。しかし、本研究では時間の制約等もあり十分なサンプル数の実験を行うことができなかった（合計 13 サンプル）。本研究における予備的実験の試行錯誤の中で混合手順等の実験実施に関する標準的のプロトコルは確立されつつあるので、今後は統計的有意性を高めるためにもより多くの実験を行うことが課題となる。また、力学特性や組成比を計測する手法についても、本研究では簡易な方法を用いたが今後自動計測化などの高精度化が期待される。本研究により、テフラ・水・雪混合流中の凝集体形成についての基礎的条件についてはある程度明らかになってきたが、形成される凝集体が実際の融雪型火山泥流の状態でどのように流れ特性へ影響を及ぼすかについてもまだ検討が進められておらず、そのような実際の現象への応用も今後の重要な課題と言える。

特に、実際の融雪型火山泥流は長距離を流下することにより麓では水が主成分となる状態に近づくため、本実験結果が適用できる範囲は限られたものとなる可能性がある。また、本研究では比

較的細粒のテフラ粒子を用いたが、実際はサイズ分布を持ったテフラが泥流を構成している。様々な意味で実際の融雪型火山泥流に近い状態での凝集体形成およびその流れ特性への影響を慎重に検討する必要がある。

E. 結論

融雪型火山泥流の中で起こる可能性のある凝集体の形成について、回転ドラムを用いた実験的研究を行った。凝集体形成のためには雪の混合比率が一定以上である必要があることが実験より明らかになり、更に雪の混合比率を上げると大きな凝集体が形成されることも明らかになった。また、組成比の解析から雪の混合比率を上げることにより凝集体の飽和度が減少することが明らかになった。更に、凝集体の一軸圧縮試験から雪の混合比率が高く大きな凝集体ほど弾性率は小さくなることも明らかになった。すなわち、混合流中で雪の混合比率が上昇すると、大きく、空隙を多く含み、柔らかい凝集体が形成されることが本研究により明らかになったと言える。今後の課題としては、各種計測法の改良、実験サンプル数の追加、火山泥流中での流れ特性への凝集体の影響の考慮などが考えられる。

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)

2019 年度 (公社) 日本雪氷学会 北信越支部研究発表会「融雪型火山泥流を模した回転ドラム実験 -凝集体の形成とその物性の解明-」, 新屋啓文, 小田憲一, 桂木洋光, 2019 年 6 月 1 日, 長岡技術科学大学 (発表予定)。

第 5 4 回地盤工学研究発表会「融雪型火山泥流に含まれる凝集体に関する基礎的研究」, 小田憲一, 桂木洋光, 新屋啓文, 2019 年 7 月 16-18 日, ソニックシティ (発表予定)。

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

なし