

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・水・雪の混合泥流における凝集体の形成条件および物理特性

桂木 洋光<sup>1)</sup> 小田 憲一<sup>2)</sup> 新屋 啓文<sup>3)</sup>

1) 名古屋大学 2) 日本大学 3) 新潟大学

### 研究要旨

火山砕屑物（テフラ）と雪が混在する冠雪活火山の噴火により、雪解け水を含む混合物が流下する融雪型火山泥流が発生することがある。融雪型火山泥流はしばしば麓に甚大な被害を及ぼすこともあり、その流下特性を理解することは防災・減災上重要となる。本研究では、この融雪型火山泥流の流動特性を理解するための第一歩として、テフラ・雪・水の混合物が流動中にどのような挙動を示すのかについて基礎実験を行った。特に、雪粒子の持つ付着性により泥流中に形成される凝集体の構造と力学特性に注目することとした。具体的には、0℃にコントロールされた低温室内の回転ドラムで、テフラ、雪、水を混合流動させ、凝集体が形成される条件を調べた。更に、凝集体が形成された場合は、そのサイズや力学特性を計測した。昨年度にも同様の実験を行っており、凝集体のサイズが雪の混合比率に大きく依存することなどが明らかにされた。今年度はこれに加えてテフラの混合量とサイズ（代表径）を系統的に変化させ実験を行い、より詳細な凝集体形成条件を明らかにした。また、凝集体の圧縮試験も行った。得られたデータより、構築された凝集体の圧縮特性をモデルにより、領収対の力学特性がテフラ濃度等のパラメータにほとんど依存しないことが分かった。一方、圧縮特性は強い非線形性を示したが、線形領域における実効的強度値を見積もると、その値はおよそ 10 kPa のオーダーとなることが明らかになった。今後はこのような凝集体の存在が泥流状態のバルク流動特性にどのような影響を及ぼすかについても調べることが課題となる。

### A. 研究目的

冠雪した火山で噴火が起こることにより発生する冠雪型火山泥流は、火山砕屑物（テフラ）が雪、雪解け水と混じりながら流下することにより発達していくと考えられている。このような複数の要素が混合する泥流は、複雑なレオロジー特性を持つことが予想され、その流下特性の理解は簡単な問題ではない。そのような複雑泥流の特性理解を目指し沖田ら(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℃の低温室内で行った。この研究により彼らは、泥流中に凝集体が比較的短い時間内に形成され、この凝集体の形成により泥流の流れが停止することさえあることを明らかにした。

本研究では、この背景を受け、融雪型火山泥流の状態を模倣すべく、テフラ・水・雪の混合物を

回転ドラムを用いて混合させ、その中で凝集体が形成される条件について系統的に調べる実験を行った。昨年度までの研究では、主に混合物中での雪の比率を変化させることにより、形成される凝集体の特性（主にサイズ）がどのように変化するのかを調べた。今年度は、更にテフラの混合率、サイズを変化させて、その凝集体形成への影響を調べることにした。また、形成した凝集体の力学特性を定量的に特徴付けるために、試験機を用いた圧縮試験も行った。得られた実験結果より、凝集体の力学特性を説明する経験的モデルの構築にも取り組んだ。

### B. 研究方法

凝集体の形成実験は新潟大学災害・復興科学研

研究所内の低温室内で 0°C の状態下で行われた。テフらはふるい分けによりあらかじめ、32  $\mu\text{m}$ 、128  $\mu\text{m}$ 、250  $\mu\text{m}$  の 3 種類の代表粒径に分類されたものを用いた。このテフラと蒸留水と天然雪（実験直前に 1-2 mm の範囲にふるいわけしたもの）とを混合させ、その混合物を直径 90 mm、高さ 150 mm のガラス容器内に展開し、回転速度 60 rpm で 5 分間回転させた。

本年度の実験における主要変化パラメータはテフラのサイズと混合比率となる。上記三種のテフラの重量濃度を 0-40% の範囲で変化させて、凝集体の形成実験を行った。形成された凝集体（図 1）のサイズ、総質量、乾燥質量等を計測し、テフラ、雪、水の混合率を求めた。また、卓上型試験機（イマダ、ZTA-500N）を用いて凝集体の圧縮特性も調べた。凝集体の圧縮速度は 1/6 mm/s に固定し、100 Hz のサンプリング・レートで圧縮力を 0.1 N の分解能により計測した（図 2）。

### C. 研究結果

実験により形成された凝集体の体積とテフラ濃度の関係を図 3 に示す。データのバラツキは大きく、各条件での平均を表す円形シンボルの傾向を見ても形成される凝集体のサイズとテフラ濃度には明確な傾向が確認できない。また、テフラの代表粒径に依存した系統的变化も見られない。この結果より、泥流中に形成される凝集体のサイズはテフラの濃度やサイズに強い依存性を持たないことが示唆される（典型的なサイズは 10  $\text{cm}^3$  程度）。すなわち、数 100  $\mu\text{m}$  程度の粒径までのテフラ粒子が十分に存在する泥流中では、このような凝集体が形成される可能性が高いと言える。

続いて、形成された凝集体の圧縮試験の結果例



図 1：テフラ・雪・水の混合により形成された凝集体の例。



図 2：凝集体の圧縮実験の様子（左）と圧縮された後の凝集体の様子。

を図 4 に示す。圧縮力  $F$  は圧縮ストローク  $\delta$  に対して非線形的に上昇する傾向が認められる。この傾向は全ての実験条件で見られる普遍的なものであった。より一般的な力学特性を特徴づけるために応力  $\sigma$  とひずみ  $\gamma$  の関係にしたものを図 4 のインセットに示した。応力ひずみ関係でも同様な非線形挙動が明確に確認できる。

### D. 考察

凝集体の示す非線形的な応力ひずみ関係をモデル化するために様々な解析を行い、最終的に以下の経験的関係を得た。

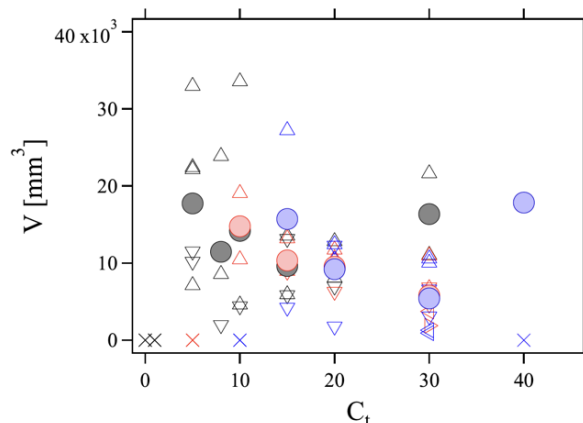


図 3：凝集体の体積  $V$  とテフラ濃度  $C_t$  の関係。 (黒)32  $\mu\text{m}$ 、(赤)128  $\mu\text{m}$ 、(青)250  $\mu\text{m}$  のテフラを用いた結果を表し、三角状シンボルは核実験の凝集体サイズのランクを意味して、大きいほうから順番に  $\Delta$ ;  $\nabla$ ;  $\triangleleft$ ;  $\triangleright$ 。円形シンボルは各条件の平均値を示している。クロス状シンボルは凝集体ができなかった条件を表す。

$$\tau = T_b \exp\left[\frac{\gamma}{\gamma_b} - T_s \exp\left(-\frac{\gamma}{\gamma_s}\right)\right]$$

ここで、 $T_b$ 、 $T_s$ 、 $\gamma_b$ 、 $\gamma_s$ はそれぞれ凝集体の硬さを特徴づける2つのパラメータと凝集体の表面粗さ、応力値が $e$ 倍になる歪み量、をそれぞれ表す。凝集体は圧縮の初期段階では表面の凹凸構造を壊すことに応力が費やされ、後半はバルク凝集体を圧縮するために応力が使われているため、上記のようなやや複雑なモデルを導入することとなった。

フィッティングにより得られた $T_b$ と $\gamma_b$ の値を図5に示した。図3と同様にこれらのバルク圧縮特性値もテフラのサイズや濃度への明確な依存性を示さない。指数関数的な応力ひずみ関係を持つバルク圧縮領域の初期段階を線形近似することにより実効的強度を求めるとおよそ10 kPaのオーダーであることが分かった。この値はテフラの濃度やサイズ等に強く依存しないため、凝集体に関する普遍的な値とみなすことができると考えている。

## E. 結論

融雪型火山泥流の中で形成される凝集体を模擬する回転ドラム実験を行い、凝集体のサイズと力学特性のテフラサイズ、濃度依存性を調べた。得られた実験結果より凝集体のサイズや力学特性はテフラのサイズや濃度には強く依存せず、典型的な値（体積10 cm<sup>3</sup>、実効強度10 kPa）を持つことが分かった。このようなサイズや力学特性を持つ凝集体が泥流の流れ特性にどのような影響

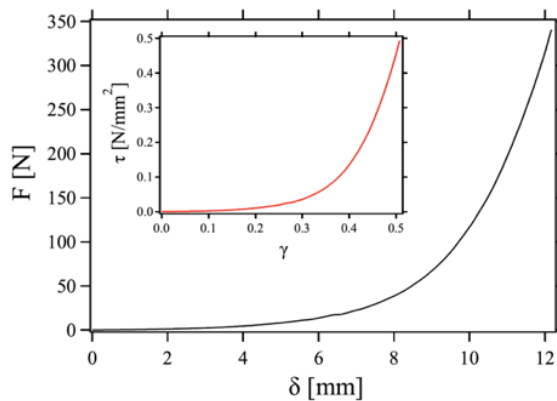


図4：凝集体の圧縮ストローク $\delta$ と圧縮力 $F$ の関係。インセットは対応する応力 $\tau$ とひずみ $\gamma$ の関係（ $C_t$ 30%、32  $\mu$ m テフラ）。

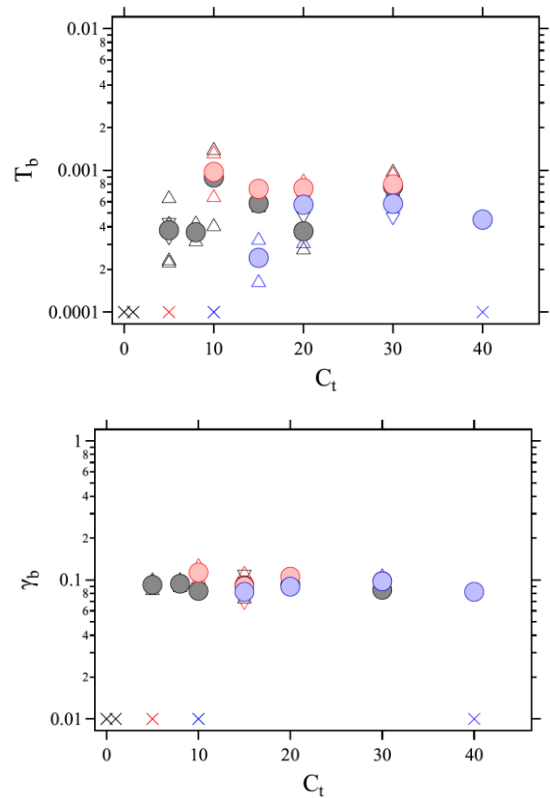


図5：圧縮実験で得られた $T_b$ と $\gamma_b$ の $C_t$ 依存性。

をもたらすかについて検討を進めることが今後の課題となる。

## 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）

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。

第54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。

第38回日本自然災害学会学術講演会「火山砕屑物・水・雪の混合泥流における凝集体の時間発展」, 新屋啓文, 小田憲一, 桂木洋光, 2019年9月21-22日, 釧路生涯学習センター

雪氷研究大会 (2019・山形)「火山砕屑物・水・雪の混合泥流における凝集体の形成とその物性」, 新屋啓文, 小田憲一, 桂木洋光, 2019年9月8-11日, 山形テルサ.

**G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)**  
なし