

雪崩の解析に関する実験的研究

岐阜大学 学生会員 片岡雅貴 非会員 小田憲一・野村尚也
 岐阜大学 正会員 八嶋 厚・沢田和秀
 東京工業大学 正会員 森口周二
 防災科学技術研究所 非会員 佐藤篤司・上石 勲

1. はじめに

雪崩の流下経路や到達距離は、経験的におよそ予測することができる。しかし、雪害全てにおいて再現性がなく、統一的に解明することが困難であるため、どの位置で雪崩を制御すれば被害を最小限に抑えられるかということはいまだ不明確である。すでにいくつかの研究¹⁾が行われ、様々な手法で雪崩の発生予測、流動予測を試みているが、雪崩の複雑な運動につまずき、それらを利用して実用化にいたる手法はいまだ見つかっていない。一方で地盤工学の数値解析分野では、モール・クーロンの破壊規準を考慮した Bingham 流体で土砂をモデル化し、CIP 法を用いて精度よく地盤の大変形を解く手法が提案²⁾されている。この手法では、土砂流動による衝撃力、土砂流動の最終形状を精度よくシミュレートすることが過去の研究より実証されている。一部の研究では、雪崩の運動を流体的な運動と仮定することができるという報告がある³⁾。つまり、雪崩の運動を Bingham 流体と仮定することができれば、CIP 法で雪崩の運動を数値的に予測することが可能であると考えられる。このことが可能となれば、任意の箇所で流動中の雪崩のエネルギーを把握することができるようになり、様々なケースで雪崩の防災策を検討することが可能となる。

そこで、本研究では CIP 法によって雪崩のシミュレーションを行うため、流動化した雪の粘性特性を求め、Bingham 流体として仮定できるか否かを確認する。同時にシミュレーションによって雪崩を再現できるか確認するために、低温室(-20℃)内で雪崩の模型実験を行い、雪崩の衝撃力を求める。なお、本研究は、雪崩の詳しい情報や基礎的知識を得るため、新潟県長岡市に所在する雪氷防災センターと共同で研究を行っている。

2. 実験

本研究では、流動化した雪の粘性特性や雪崩の衝撃力を求める実験を行う。本来、実験に用いる雪は、降り積もった直後の新雪を使用することが好ましい。しかし、実験を行った時期が夏季であったため、H19 年度新潟県長岡市で降り積もった新雪を、-20℃の低温質に設置されている氷室で保管されたものを用いた。実験時の雪の状態は、雪氷学で分類されている小しまり雪状であった。以後述べる実験は、すべて低温室内で行った。

2.1 雪の粘性特性を求める実験

流動化した雪の粘性特性が Bingham 流体であるかどうかは、本研究を進める上で非常に重要な課題である。本研究では、流動化した雪の粘性特性を、回転粘度計を用いて求める。雪を流動化させる方法として、Nishimura⁴⁾が行った実験を参考とした。図-1 に回転粘度計と雪を流動化させる装置の写真、図-2 に実験装置の詳細を示す。本研究で用いた回転粘度計は、簡易定トルク式であるため、直接粘性係数やせん断ひずみ速度を求めることができない。そこで、回転粘度計を流動化した雪に入れ、羽が 100 回転するまでの時間(以後 t_{100})を 4 種類のおもり(169.6, 269.3, 369.5, 469.5g)を用いて測定する。 t_{100} はせん断ひずみ速度と関係し、おもりがせん断応力と関係する。この二つの関係から、流動化した雪の粘性特性を簡易的に求めることができる。



図-1 実験装置

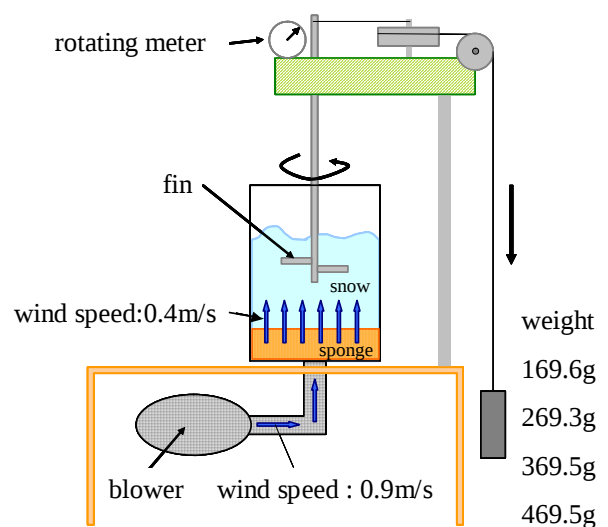


図-2 実験装置の詳細

図-3 に流動化した雪の t_{100} とおもりの関係を示す。おもりが重くなることで、回転数が低下していることが分かる。また、回転数は最初のおもりが軽い状態で急激に低下し、その後なだらかに低下している。このことから、Bingham 流体の挙動とよく似た関係であることがわかる。以上のことから、流動化した雪は Bingham 流体として仮定できるとした。

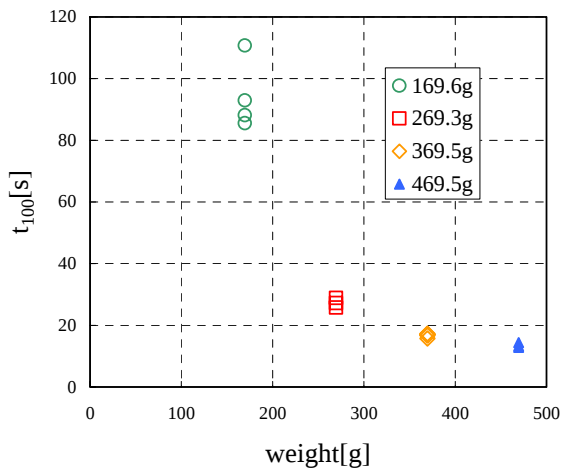


図-3 流動化した雪の t_{100} とおもりの関係

2.2 雪崩の流動実験

雪崩のシミュレーション結果が実際の雪崩を表現できているかを実験的に確認するための対象を得る目的で、模型斜面 (図-4、図-5) で雪崩を発生させ、雪崩の速度や衝撃力を求める。雪崩は、横 40cm・高さ 40cm・奥行き 70cm の雪のブロックを斜面の上部から滑らせて発生させた。模型斜面の底面は雪を敷き詰め、凍らせてある。



図-4 模型斜面

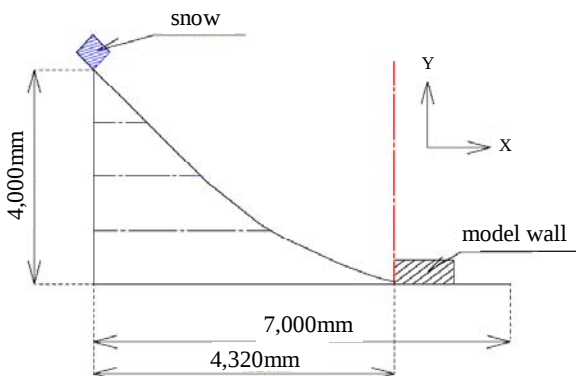


図-5 模型斜面 断面図

図-6 に衝撃力測定用の模型壁とロードセル設置状況を

を示す。ロードセル位置は図-6 の右に示したように名前をつけて表した。例えば、U-R は、雪崩の進行方向に模型壁を見た場合、右上に位置するロードセルを示す。模型壁は雪の初期位置から水平距離約 4m のところに設置した。実験は 7 回行った。

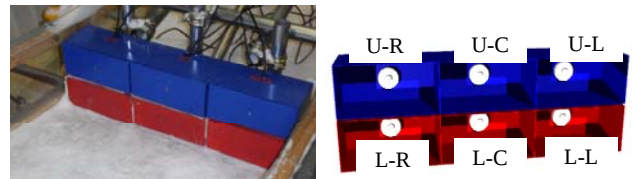


図-6 模型壁とロードセル設置状況

図-7 に雪の衝撃力と時間の関係を示す。図の時間は測定開始からの時間である。U-R はロードセルの不備で計測できていないが、他の計測結果を見ると、模型壁下部の方が大きな衝撃力を計測しており、上部は下部の約 2/3 程度の値となることが分かった。

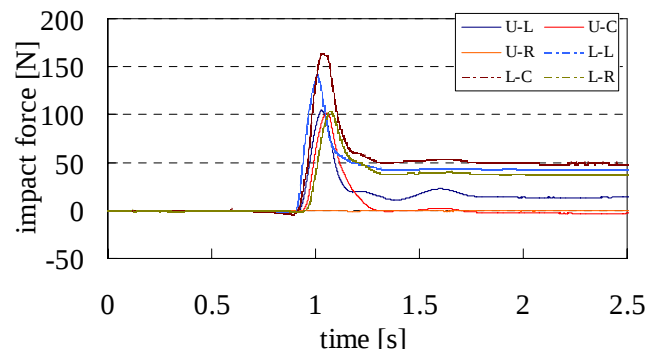


図-7 雪崩の衝撃力と時間の関係

3. 結論

Casassa ら⁵⁾が行った雪の摩擦係数を求める実験では、雪の摩擦係数は、同じ温度の雪であれば、モール・クーロンの破壊規準で表すことができるという成果が示されている。さらに、本研究で行った流動化した雪の粘性特性を把握する実験により、流動化した雪は Bingham 流体で仮定できることがわかっている。これらのことから、雪崩を表現する材料パラメータを粘着力と摩擦係数で与えれば、本研究で用いる流動解析手法で雪崩を再現できると考えられる。今後、雪崩の模型実験の結果がシミュレーションによって再現できるか確認する。

参考文献

- 1) 例えば、中村勉：雪崩の研究とその災害防止の現状と将来展望、雪崩予知予防 長岡国際シンポジウム論文集、pp5-25, 1992.
- 2) Moriguchi, S.: CIP-based numerical analysis for large deformation of geomaterials, 岐阜大学学位論文, 2005.
- 3) Dent, J. D. and Lang, T. E. A.: biviscous modified bingham model of snow avalanche motion. Annals Glaciology. 4, pp42-46. 1983.
- 4) Nishimura, K.: Studies on the Fluidized Snow Dynamics, Contributions from the Institute of Low Temperature Science. A37, pp1-55, 1991.
- 5) Casassa, G., H. Narita and N. Maeno : Shear cell experiments of snow and ice friction. J. Appl. Phys., 69(6), pp3745-56, 1991.