

土砂および雪崩の流動予測のための予備実験

岐阜大学 非会員 山川大貴・小田憲一
 岐阜大学 正会員 八嶋 厚・沢田和秀・森口周二
 防災科学技術研究所 非会員 佐藤篤司・上石 勲

1. 背景および目的

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、実際に発生した雪崩の中には予想をはるかに上回り、結果として災害となったものがいくつか報告されている¹⁾。そのため従来の経験的な予想ではなく、雪崩の運動を力学的に解くことでより精度の高い流動予測を行う必要がある。すでいくつかの研究²⁾が行われているが、雪崩の複雑な運動を正確に表現することは難しく、いまだ実用化にいたっていない。一方で地盤工学の数値解析分野では、土砂を流体と仮定した流動予測手法が提案されている³⁾。この手法では、土砂の衝撃力、土砂流動の最終形状を精度よく再現できることが実証されている。一部の研究では、雪崩の運動を流体的な運動で仮定できるという報告がある⁴⁾。つまり、上記の手法を用いて、雪崩の運動を解くことも可能であると考えられる。

そこで、本研究では上記の手法によって雪崩のシミュレーションを行うことが可能であることを確認するため、低温室(-20)内で雪崩の模型実験を行い、雪崩の到達距離と衝撃力を求める。なお、本研究は、新潟県長岡市に所在する防災科学研究所雪氷防災センターと共同で研究を行っている。

2. 実験概要

雪氷防災研究センターの低温室(-20)に設置されている斜面全長約8mの模型斜面上に雪を敷き詰め、斜面上部に取り付けた三角形の木箱に雪を入れ、木箱の扉を開けることによって斜面上に雪の試料を落下させた。写真-1 に模型斜面の全景、図-1 に模型斜面の横断面図を示す。斜面上には、流動中の雪崩がどの位置を流れているかを把握するため、50cm間隔でラインを引いた。実験に用いた雪は粒径約2mm以下に砕いたものを使用し、木箱から落下させる雪の重量は45kg、60kg、75kg、90kgの4ケースとした。木箱の扉の開放は、ゴムの張力を利用して瞬時に開き、雪の流動挙動に影響を与えないようにした。開放スピードが十分であるかどうかは、扉付近を撮影したビデオ画像により確認している。木箱の最下部と斜面底面には30cm程度の間隙を設け、雪を木箱から落下させることで、雪がブロック状にならないようにした。写真-2 に雪の落下状況を示す。衝撃力測定実験では、図-1 に示した受圧板の設置位置に、写真-3 に示す受圧装置を設置して雪崩の衝撃力を測定した。雪崩の速度は、写真-1 と同じ撮影地点に設置したビデオカメラの画像により読み取った。実験は、各ケースについて到達距離測定実験と衝撃力測定実験をそれぞれ5回ずつ実施した。到達距離測定では、雪崩が静止した状態の最高到達距離と堆積した試料の厚さを斜面距離10cmごとに斜面の奥行き

方向に右、中央、左の3点を計測した。衝撃力測定では、受圧板が受けた衝撃力と衝突後に堆積した試料の厚さを受圧板からの水平距離10cmごとに斜面の奥行き方向に右、中央、左の3点を計測した。



写真-1 模型斜面

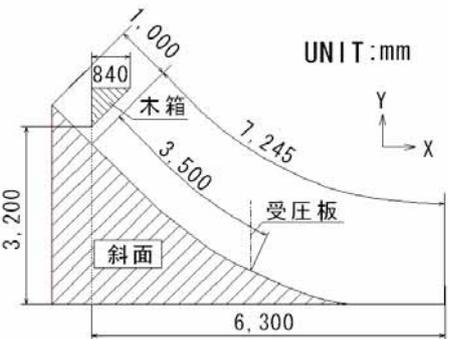


図-1 模型斜面の横断面図



写真-2 実験開始の状況



写真-3 受圧装置

3. 実験結果

3.1 到達距離

図-2 に実験から得られた各ケースの雪崩の平均到達距離を示す。到達距離は雪の重量が大きいくほど遠くまで到達していることが確認できる。図-2 より本実験の条件では、試料重量と到達距離の関係はほぼ直線関係にある。

雪崩が静止した状態の雪の堆積厚さを木箱設置位置から斜面距離10cmごとに測点を取り計測した。斜面奥行き方向に右、中央、左の平均堆積厚さを5回の測定で平均したものを図-3 に示す。図より、試料の重量が大きいくほど雪崩の層厚も大きくなることが確認できる。

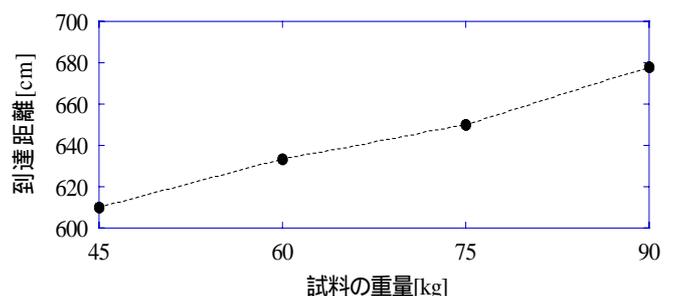


図-2 雪崩の到達距離

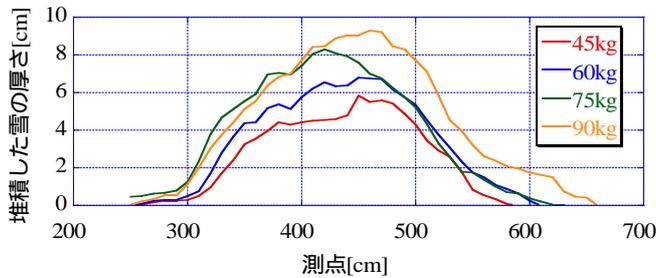


図-3 雪崩の堆積厚さ

3.2 雪崩の速度

到達距離測定時に撮影した動画から、雪崩の先端位置を読み取り、雪崩の流下速度を求めた。読み取りの開始は木箱から落下した雪が斜面上に着地した時点からとした。雪崩の流下時間と速度の関係を図-4 に示す。図に示した値は各重量 5 回の計測結果を平均して示している。図より、開始から約 0.2 秒間は加速し、その後の 0.3 秒間は加速していないことが確認できる。雪崩の到達距離と速度の関係を図-5 に示す。図-5 示した角度は、図に示されている縦線を境界として、斜面の勾配が変化していることを示している。なお、図に示した結果は各重量 5 回の計測結果を平均して示している。図より斜面勾配が 30° 以下になる点から速度が減少し、斜面勾配 0° 付近で点から急激に減速することがわかる。また、各ケースの速度に変化がほとんど見られないことから、雪崩の速度は雪の重量に依存しないことがわかる。各ケースの最高速度は平均して 5.7m/sec であった。一般的に知られている雪崩の速度は 10 ~ 20m/sec であるため、実際の雪崩に比べて小さい値である。

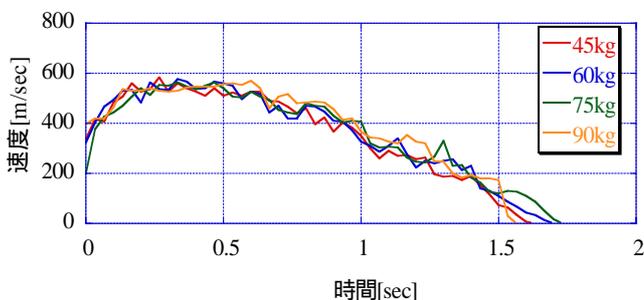


図-4 速度の時刻歴

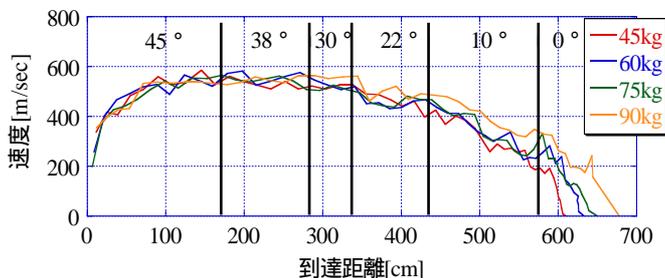


図-5 到達距離と速度の関係および斜面勾配変化点

3.3 衝撃力

実験で得られた雪崩の衝撃力の時刻歴を図-6 に示す。図に示した値は各重量 5 回の計測結果を平均して示している。時刻歴は受圧板に試料が衝突した直後を計測開始地点として整理している。45kg のケースでは雪が受圧板に衝突する際、明確な衝撃力のピーク値が現れないが、60kg 以上のケ

ースでは衝撃力に明確なピークが現れている。また、各ケースともに 1 回目のピークが現れた後に衝撃力が下がり、その後もう一度小さなピークが確認できる。受圧板を撮影した動画を確認したところ、雪が受圧板に衝突した直後に上空に跳ね上がり、その間に後から次の衝突が発生していることが確認できる。受圧板の前に堆積した雪の平均厚さを 5 回の測定で平均したものを図-7 に示す。この図より、雪の重量に応じて受圧板に堆積する雪の高さが大きくなることを確認できる。

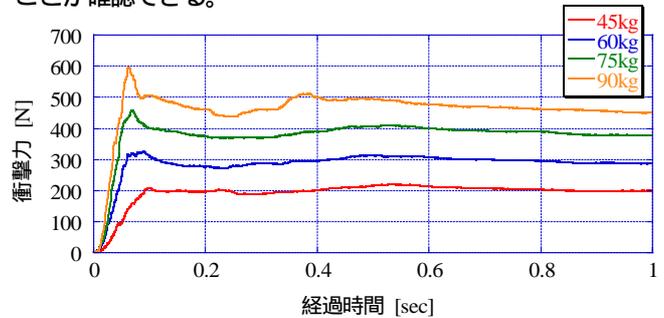


図-6 衝撃力の平均値

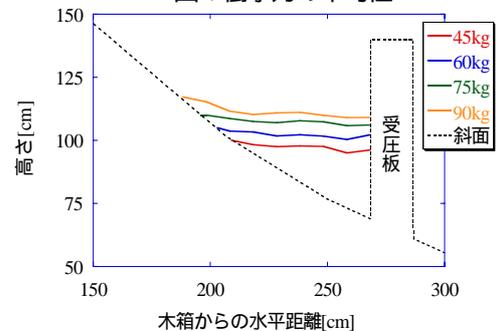


図-7 受圧板に堆積する雪の厚さ

4. まとめ

本実験では、-20 の低温室内で雪崩の模型実験を行った。4 ケースの重量の雪を流下させて到達距離と衝撃力を測定した。最終的な到達距離は、流下する雪の重量に依存することが確認された。到達距離測定実験から、流下中の雪崩は流下直後に加速し、その後等速運動となり、斜面勾配が 30° 以下となる変化点以降で減速し、地面と水平となる変化点以降で急激に減速することがわかった。衝撃力測定実験から、雪の重量が 45kg のケースでは、雪崩の衝突時に明確なピーク値が確認されなかったが、60kg より大きい重量のケースでは明確なピーク値を確認することができた。

今後は実験で得られた結果をシミュレーションによって再現し、雪崩の運動を解く為に必要な解析パラメータを決定する。そこで得られたパラメータを用いて実際の雪崩を再現し、本研究で用いた解析手法の雪崩に対する有効性を検討する。

参考文献

- 1) 国土交通省砂防部ホームページ：平成 17 年 12 月からの雪崩等災害発生状況(詳細版), <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/h17nadare/nadare20final.pdf>, 2006.
- 2) 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.
- 3) Moriguchi, S.: CIP-based numerical analysis for large deformation of geomaterials, 岐阜大学学位論文, 2005.
- 4) Dent, J. D. and Lang, T. E. A.: Biviscous modified bingham model of snow avalanche motion. Annals Glaciology, 4, pp42-46. 1983.