

OpenFOAM を用いた左俣谷における煙型雪崩の数値解析

長岡工業高等専門学校 環境都市工学専攻 青柳 凜
長岡工業高等専門学校 環境都市工学科 衛藤 俊彦

1. はじめに

煙型雪崩とは、巻き上がった雪粒子が重力により斜面方向へ流下する現象である。流動中に雪粒子の巻き上げや沈降・堆積を伴うため流動機構は複雑であり、流動範囲や速度の予測には数値解析が重要となる。

先行研究で内藤¹⁾は、雪粒子の巻き上げおよび沈降・堆積を考慮した解析モデルを用いて流動解析を実施し、解析モデルの妥当性を検証し、煙型雪崩の流動特性を調べた。その結果、雪崩の停止位置での速度が 20~30m/s であり、雪崩が停止したと判断するには速度が大きすぎたため、妥当性が得られないという課題が残された。

そこで本研究では、停止判定時の速度に着目して解析条件を再設定し、解析モデルの妥当性と煙型雪崩の流動特性について検討した。

2. 解析方法

2.1 解析モデル

本研究では解析モデルとして、OpenFOAM の twoLiquidMixingFoam ソルバを用いた。乱流モデルは LES モデルを採用し、雪粒子の沈降・堆積および底面からの巻き上げを考慮した煙型雪崩の流動解析を行った。

OpenFOAM はオープンソースの流体解析ツールであり、複雑地形を含む計算領域の解析が可能である。本研究では雪粒子の沈降・堆積および底面からの巻き上げを考慮した解析モデルを構築し、実地形上における煙型雪崩の流動特性を解析するために OpenFOAM を用いた。

2.2 解析対象

解析対象は 2000 年 3 月 27 日に左俣谷で発生した煙型雪崩である。

2.3 解析条件

本研究では、先行研究の解析条件に新たに条件を

表 1 主な解析条件

①初期濃度の違いによる比較			
雪崩の初期濃度	0.005	0.02	0.04
雪粒子の密度[kg/m ³]	100		
連行係数	0.003		
濃度判定値	0.00209		
②密度の違いによる比較			
雪崩の初期濃度	0.04	0.02	0.0133
雪粒子の密度[kg/m ³]	100	200	300
連行係数	0.003		
濃度判定値	0.00209	0.0019	0.0017
③連行係数の違いによる比較			
雪崩の初期濃度	0.01		
雪粒子の密度[kg/m ³]	200		
連行係数	0.00003	0.0003	0.003
濃度判定値	0.0019		
④砂防ダムの有無による比較			
雪崩の初期濃度	0.01		
雪粒子の密度[kg/m ³]	200		
連行係数	0.00003		
濃度判定値	0.00015		
砂防ダム	無	有	

加え、雪粒子の濃度、密度、そして先行研究では考慮されなかった連行係数の違い、砂防ダムの有無の差が雪崩に与える影響を調べた。解析ケースの条件を表 1 に示す。

3. 解析結果および考察

図 1~4 は、それぞれ初期濃度、密度、連行係数の違い、砂防ダムの有無による、雪崩の流下速度の流動距離変化を示したグラフである。

3.1 初期濃度の影響

図 1 より、初期濃度が大きい条件ほど、初期に与えられる雪粒子質量が増加するため、速度が維持され、流動距離も増加した。濃度 0.04 では終端付近の速度が 10~15 m/s まで低下し、先行研究¹⁾の 20~30 m/s に比べて停止位置付近の速度が小さくなった。ただし、速度はゼロに達していないため、雪崩が完全に停止したとは判断せず、解析上の先端追跡が終了した状態として扱った。

3.2 雪粒子密度の影響

密度を変えることにより、雪崩の初期質量が変化するため、初期質量が同一となるように初期濃度を設定した。図2より、いずれの条件も速度変化と流動距離が概ね一致し、 $100\sim 300\text{ kg/m}^3$ の範囲では密度の影響は小さかった。

3.3 連行係数の影響

図3より、連行係数0.003では、ほかの条件より流動距離が長く、約1,000 mまでの速度も大きかった。これは連行係数が大きくなるにつれて巻き上げる雪粒子の量が大きくなり、雪崩の質量が増大したためと考えられる。また、連行係数0.003の条件では、終端付近の流下速度が $10\sim 15\text{ m/s}$ 程度まで低下した。先行研究において解析終了時の流下速度は $20\sim 30\text{ m/s}$ 程度であったことから、本研究では連行係数を変化させて検討した結果、雪崩の減速過程をより適切に再現できたと考えられる。

3.4 砂防ダムの影響

図4より、砂防ダムの有無による流動距離の差は小さく、本研究で対象とした煙型雪崩に対して顕著な減勢効果は確認できなかった。本研究で解析対象とした煙型雪崩において、砂防ダムは煙型雪崩の流動距離に大きな影響を及ぼさないといえる。ただし解析結果のコンター図から、砂防ダムによって雪崩の流動が堰き止められ、以降の雪崩の濃度が減少していることが確認できた。

4. 結論

左俣谷で発生した煙型雪崩を対象として、初期雪崩領域および解析条件を再検討し、OpenFOAMによる流動解析を行った。その結果、初期濃度は速度の維持時間と流動距離に影響し、雪粒子密度の影響は小さいことが分かった。連行係数は速度の発達と到達距離に大きく影響した。砂防ダムは最終到達距離への影響は限定的であったものの、雪崩の速度を低下させる効果が確認された。停止位置付近の速度は先行研究と比較して低下したが、物理的な停止状態を再現したとは断定できない。今後は停止判定方法を明確化するとともに、複数の事例に適用することで解析モデルの妥当性を検証する必要がある。

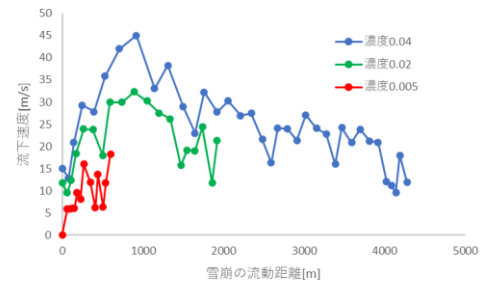


図1 初期濃度の違いによる比較

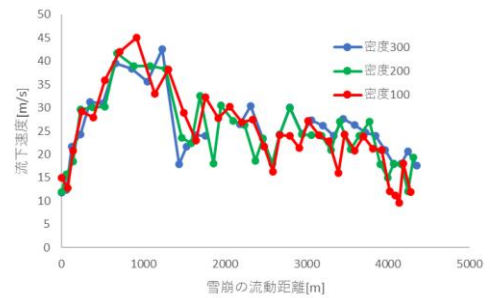


図2 密度の違いによる比較

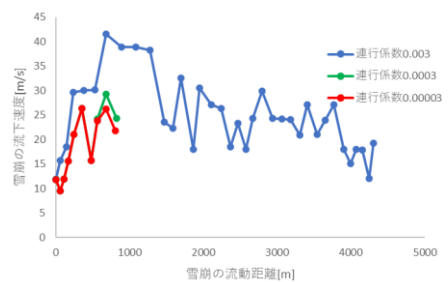


図3 連行係数の違いによる比較

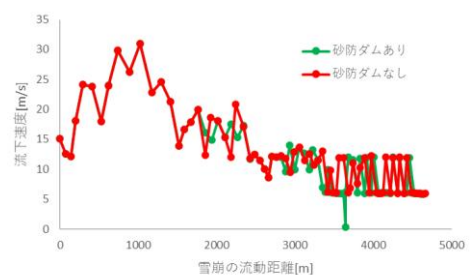


図4 砂防ダムの有無による比較

参考文献

- 1) 内藤伶太：左俣谷で発生した煙型雪崩を対象とした流動解析及び解析の精度向上の試み，令和5年度環境都市工学科卒業論文集，2023。
- 2) 日本雪氷学会：3.27 左俣谷雪崩災害調査報告書，2001。