

$k - \epsilon$ 乱流モデルを用いた煙型雪崩の数値計算の試み

長岡工業高等専門学校	正会員	衛藤俊彦
福島工業高等専門学校	正会員	菊地卓郎
株式会社 東京建設コンサルタント	正会員	大澤範一

1. はじめに

煙型雪崩は、何らかの原因によって地面から巻き上げられた雪粒子が重力によって斜面方向に流下する現象である。流下の際に地面からの雪粒子の巻き上げや、地面への沈降・堆積を伴うため、煙型雪崩の負の浮力の総量は増減する。

本研究では煙型雪崩について、その流動特性を明らかにするため $k - \epsilon$ 乱流モデルを用いて数値計算を行った。離散化手法に陰解法、圧力方程式の解法に S.V.Patankar による SIMPLE 法を採用した。数値計算結果から得られた雪崩の流下速度、層厚などの流下特性を求める。また計算結果から雪粒子濃度コンター、流速ベクトル図を描き、雪崩内部の流動特性について明らかにする。

2. 計算モデル

数値計算に用いた基礎方程式は、連続式、 x, z 方向のレイノルズ方程式、雪粒子濃度の輸送方程式、乱流運動エネルギー k の方程式、分子粘性逸散率 ϵ の方程式である。これらの方程式は衛藤・福島¹⁾の研究と同様のものを用いた。

3. 数値計算条件

図 - 1 に煙型雪崩の模式図を示す。計算の座標軸は斜面方向を x 軸、それと鉛直方向を z 軸とした。一定の傾斜角 $\theta = 30^\circ$ をもつ二次元の斜面上には雪粒子が堆積しているとし、上流端においては初期高さ 20m、斜面方向長さ 20 m の領域に、初期雪粒子濃度 $c_0 = 0.01$ を与え、これが計算開始とともに斜面方向に流下する条件で計算を行った。雪粒子の密度 $\rho_s = 161.4 \text{ kg/m}^3$ 、粒径 $D_s = 0.146 \text{ mm}$ は、西村、根本²⁾が南極みずほ基地での地吹雪の現地観測で得たものを用いた。また粒径の違いが煙型雪崩の流動に与える影響を見るため $D_s = 0.100 \sim 0.140$ の範囲で粒径を変化させて計算を行った。計算条件を表 - 1 に示す。

4. 実験結果と数値計算結果の比較

計算領域は x 軸方向 1000m、 z 軸方向 220m とし、格子間隔は $\Delta x = 4\text{m}$ 、 Δz は地面から 20m まで

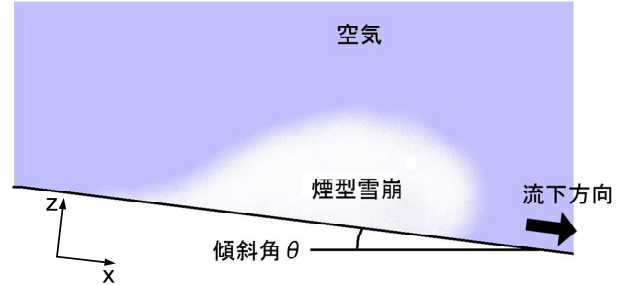


図 - 1 煙型雪崩の模式図

表 - 1 計算条件

Case No.	雪粒子の粒径 D_s (mm)
1	0.110
2	0.120
3	0.130
4	0.140
5	0.146

は $\Delta z = 1\text{m}$ 、それ以降は $\Delta z = 2\text{m}$ とした。時間刻みは $\Delta t = 0.1\text{s}$ とし 180s まで行った。また計算領域は煙型雪崩の流下とともに、その位置を x 方向に移動させながら計算を行った。

図 - 2 は煙型雪崩の流下速度の流動距離変化のグラフである。雪粒子の粒径が小さいほど、流下速度が大きい結果となっている。Case1 ~ 3 では、ある程度流下した後は流下速度が一定の速度になっており、それ以外のケースでは流動距離に対し徐々に減速する結果となった。これは粒径が小さいケースでは、底面からの雪粒子の巻き上げと沈降・堆積がある所で釣り合ったため速度が一定となったと考えられる。また粒径が大きいケースでは、底面からの巻き上げよりも沈降・堆積が卓越したため、流動距離に対し減速に至ったものと考えられる。

図 - 3 は煙型雪崩の層厚の流動距離変化のグラフである。いずれのケースでもある程度の流動距離までは層厚は線形的に増加しており、その増加の度合いは粒径が大きいものほど大きくなっている。また流下速度が減速する Case4, 5 では層厚は増加し続けているのに対し、流下速度が一定になる Case1 ~ 3 においては層厚は初期の増加の後には一定となる結果となった。

キーワード：煙型雪崩、 $k - \epsilon$ 乱流モデル、SIMPLE 法、数値計算
 連絡先：〒 940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 番地
 長岡工業高等専門学校 Tel 0258-32-6435

図 - 4 は $D_s=0.146\text{mm}$ の Case5 における流動開始 120s 後の雪粒子濃度コンター，流速ベクトル図である．コンターの濃度の最大値は 0.001 としている．煙型雪崩先端部において雪粒子濃度が大きくなっており，底面からの雪粒子の巻き上げによる雪崩フロント部が形成されているのがわかる．またそのやや後方上部においても雪粒子濃度が大きくなっている．流速ベクトルはその後部の高濃度部分を中心として循環流が形成されており，この真下の底面近傍で流速ベクトルが最も大きくなっている．

図 - 5 は $D_s=0.110\text{mm}$ の Case1 における流動開始 120s 後の雪粒子濃度コンター，流速ベクトル図である．コンターの濃度の最大値は図 - 4 の 10 倍の 0.01 としている．Case5 と比較すると形状が大きく異なっている．また Case5 に比べ煙型雪崩の雪粒子濃度は非常に大きくなっており，底面付近における流速ベクトルも非常に大きくなっている．これは雪粒子の粒径が小さいため底面からの粒子の巻き上げ量が多くなり雪粒子濃度が増加し，流下方向への負の浮力の総量が増大したためと考えられる．

5. 結論

煙型雪崩について， $k-\varepsilon$ 乱流モデルを用いて数値計算を行った．離散化手法に陰解法，圧力方程式の解法に SIMPLE 法を採用した．数値計算は雪粒子の粒径を変化させ 5 ケースで行った．得られた雪崩の流下速度，層厚の流動距離変化をグラフで表し，粒径の違いによる煙型雪崩の流下特性の違いを表した．また数値計算結果から雪粒子濃度コンター，流速ベクトル図を描くことによって，煙型雪崩の内部構造が粒径により大きく異なることを明らかにした．

参考文献

- 1) 衛藤俊彦・福嶋祐介：加速を伴う泥水サーマルの流動解析，水工学論文集，第 47 巻，pp.1171～1176，2003.
- 2) 西村浩一・根本正樹：南極みずほ基地における吹雪観測，2001 年度日本雪氷学会全国大会予稿集，p.147，2001.

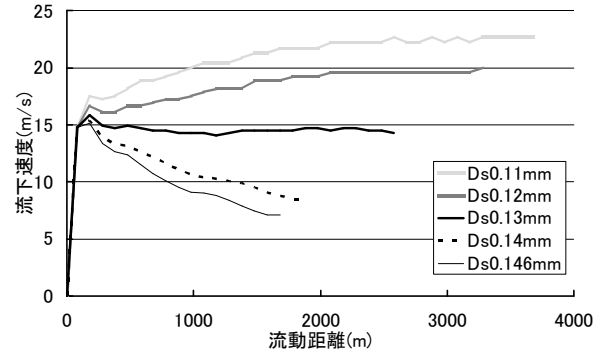


図 - 2 煙型雪崩の流下速度の流動距離変化

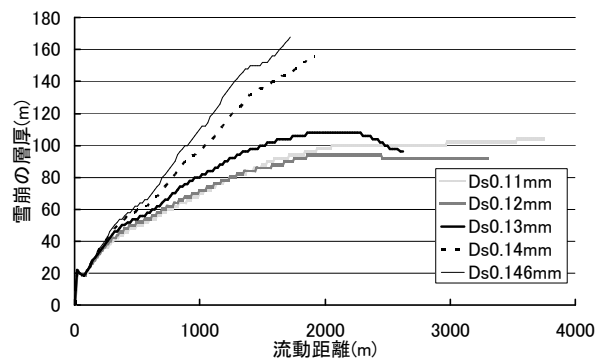


図 - 3 煙型雪崩の層厚の流動距離変化

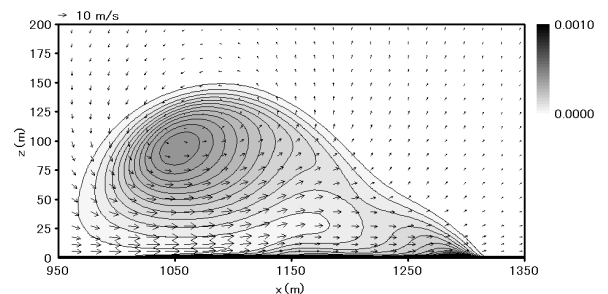


図 - 4 Case5 の雪粒子濃度コンターと流速ベクトル図

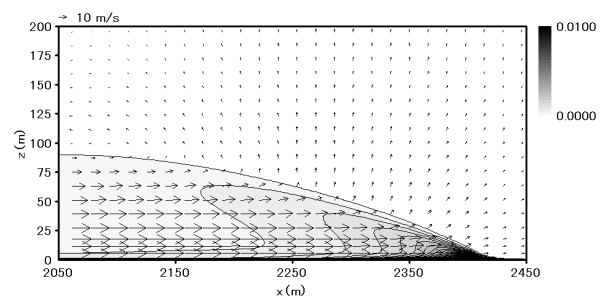


図 - 5 Case1 の雪粒子濃度コンターと流速ベクトル図