

## 雪崩発生区域の傾斜角が煙型雪崩の流動特性に及ぼす影響

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。流下に伴い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し、流下方向に加速または減速する。

本研究では煙型雪崩発生区域の傾斜角が、雪崩の発達に対してどのような影響を与えるかを調べるため、数値計算を行った。雪崩の計算には、雪の連行係数の概念を導入し  $k-\varepsilon$  乱流モデルを用いた。雪崩発生区域の傾斜角を変化させて計算を行い、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。その結果を比較することにより雪崩発生区域の傾斜角が煙型雪崩の流動に及ぼす影響を調べた。

### 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  $\varepsilon$  の方程式である。これらの方程式は衛藤・福島<sup>1)</sup>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。数値計算は雪崩発生区域の傾斜角が  $10^\circ \sim 40^\circ$  の 4 パターンで行った。それぞれの雪崩走路の縦断形状は図 - 2 に示すとおりであり、水平方向距離  $0 \sim 1000\text{m}$  までを一定勾配区間、 $1000 \sim 2000\text{m}$  までを勾配が水平に漸近する区間、 $2000\text{m}$  以降は水平とした。雪崩走路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  $12\text{m}$ 、斜面方向長さ  $30\text{m}$  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。雪粒子の密度は  $\rho_s=361.4\text{kg/m}^3$ 、粒径は  $D_s=0.1\text{mm}$  とした。また雪の連行係数  $E_s$  は次式を用いて表した。

キーワード：煙型雪崩、傾斜角、 $k-\varepsilon$  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

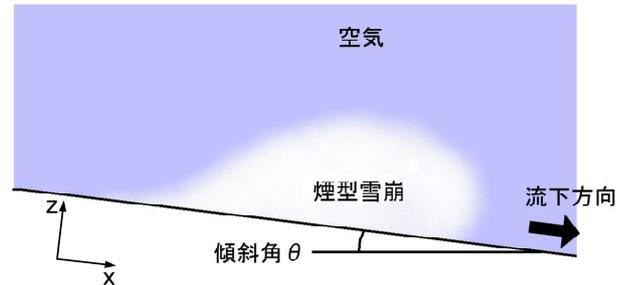


図 - 1 煙型雪崩の模式図

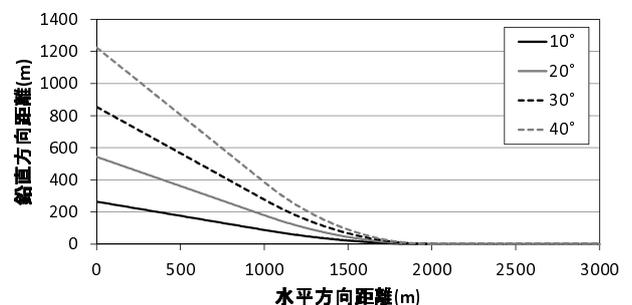


図 - 2 雪崩走路の縦断形状

$$E_s = AZ_u^5 / \left( 1 + \frac{A}{0.03} Z_u^5 \right) \quad (1)$$

ここで、 $A = 1.3 \times 10^{-7}$ 、 $Z_u = R_p^{0.6} u_* / w_s$ 、 $R_p$  は雪粒子のレイノルズ数、 $u_*$  は底面での摩擦速度、 $w_s$  は雪粒子の沈降速度である。上式は Garcia<sup>2)</sup>による開水路浮遊砂流の実験において得られた提案式を参考とし、菊地・福島<sup>3)</sup>による地吹雪の実験において得られた知見を基に定めた。

### 4. 数値計算結果

計算領域は  $x$  軸方向  $5360\text{m}$ 、 $z$  軸方向  $231\text{m}$  とし、格子間隔は  $\Delta x = 10\text{m}$ 、 $\Delta z = 3\text{m}$  とした。時間刻みは  $\Delta t = 1.0\text{s}$  とし  $300\text{s}$  まで行った。

図 - 3 は煙型雪崩の流下速度の水平方向距離変化のグラフである。傾斜角  $10^\circ, 20^\circ$  では流下速度は水平方向距離に対し減少を示しており、上流の一定勾配区間においても雪崩が発達していないことがわかる。 $30^\circ, 40^\circ$  の結果では、流下速度は水平方向距離  $1500\text{m}$  まで加速しその後減少を示していることから、上流で雪崩が発達したのち、勾配が緩やかになるにつれ雪崩が減衰していくことがわかる。また斜面の勾配が大きいものほど雪崩が停止に至る水平方向距離が長い結果と

なった。

図-4は煙型雪崩の層厚の水平方向距離変化のグラフである。傾斜角10°, 20°では層厚は水平方向距離に対し減少を示している。30°, 40°の結果では水平方向距離1500mから急激な層厚の増加を示している。傾斜角30°では、層厚がピークを示した直後に急激な減少を示しており、40°では層厚はピーク後に緩やかな減少を示している。また層厚のピーク値は勾配が急なものほど大きい結果となった。

図-5は煙型雪崩の雪粒子最大濃度の水平方向距離変化のグラフである。発達を示した傾斜角30°, 40°の結果では水平方向距離1500mまで濃度は増加し、その後急激な減少を示している。また最大濃度は勾配が急なものほど大きい。

図-6は煙型雪崩の浮遊粒子総量の水平方向距離変化のグラフである。傾斜角10°, 20°では顕著な増加は見られない。傾斜角30°, 40°では水平方向距離1500mで最大値を示し、その後30°では急激な減少、40°では緩やかな減少を示している。また浮遊粒子総量は他の結果と同様に、勾配が急なものほど大きくなっている。

5. 結論

煙型雪崩について、 $k-\epsilon$ 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SIMPLE法を採用した。煙型雪崩発生区域の勾配を変化させた条件で数値計算を行った。結果から得られた雪崩の流下速度、層厚等の水平方向距離変化をグラフで表し、雪崩発生区域の勾配が煙型雪崩の流動に大きく影響を与えることが計算された。また勾配が大きいほど煙型雪崩は大きく発達し、遠方まで到達することが示された。

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) Garcia, M.: Depositing and eroding sediment driven flows:turbidity currents, St. Anthony Falls Hydraulic Laboratory, University of Minnesota, Project Report No. 306, 179 p, 1990
- 3) 菊地卓郎・福嶋祐介: 乱流拡散方程式を用いた固体粒子浮遊流の底面条件に関する検討, 混相流, 21巻 2号, pp.177~184, 2007.

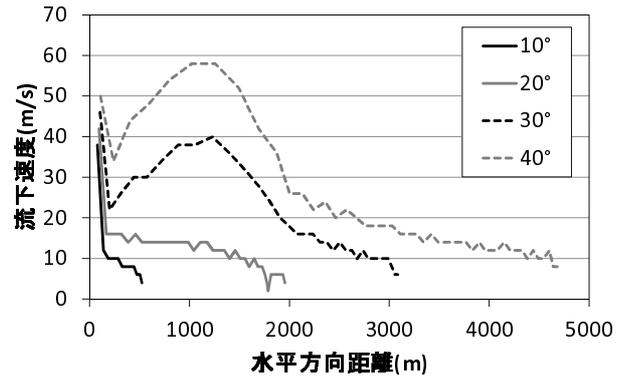


図-3 煙型雪崩の流下速度の水平方向距離変化

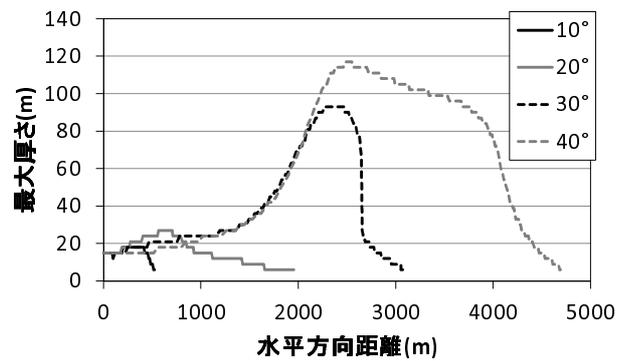


図-4 煙型雪崩の層厚の水平方向距離変化

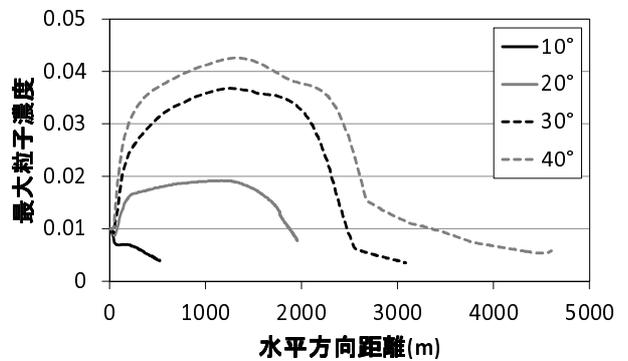


図-5 煙型雪崩の雪粒子最大濃度の水平方向距離変化

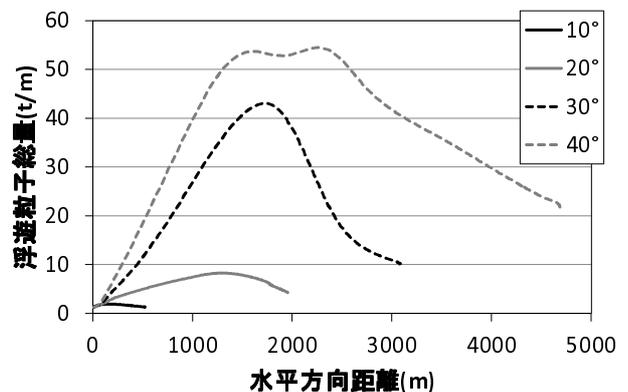


図-6 煙型雪崩の浮遊粒子総量の水平方向距離変化