

# 煙型雪崩の流動シミュレーション手法の検討

水工学研究室 浅野 正彦  
指導教官 福島 祐介

## 1. はじめに

日本は国土の約 70 パーセントを山林が占めているため、集落や構造物が山岳地帯周辺に密集している地域が多く存在する。積雪地帯の山岳地帯では厳冬期には、しばしば雪崩が発生し、遭難、家屋の倒壊などの災害をもたらすことがある。

このような雪崩による被害を未然に防止するためには、その流動機構を十分に把握することが重要である。雪崩の流動シミュレーションにより流動範囲を知ることができれば、雪崩防災地域（ハザードマップ）の策定を行うことが可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究は、山岳地帯に発生する煙型表層雪崩に着目し、その挙動の解析が容易に行える数値解析シミュレータを開発し、実地形に適用する。さらに、シミュレーションモデルに含まれる各種パラメータを変化させ、その値の妥当性を検討する。

## 3. 解析方法

煙型雪崩は、浮遊状態にある雪粒子と空気の混合流体の密度と周囲の空気との密度の差に起因する重力効果によって流動する流れであり、塩分などの濃度差によって生ずる単純な密度流と類似点が多い。本研究ではその点に着目し、流動モデルとして傾斜サーマル理論を採用した。一方、煙型雪崩では、雪崩全体の雪の量が底面からの巻き上げ、沈降によって変化することから、サーマル理論をそのまま利用ことはできない。このため、本研究では積雪層から雪粒子の巻き上げと沈降を考慮した質量保存の関係式、乱れエネルギーの収支式、連続式、運動量保存式を考慮して解析を行う。

## 4. 煙型雪崩の数値解析シミュレータ

数値解析には、計算結果の比較が容易にできるような解析シミュレータを Delphi を用いて開発した。また、この雪崩シミュレータにより数値解析を行った。

雪崩シミュレータのメインフォームを図 1 に示す。流動の初期値として、雪粒子の直径  $D_s$ 、空気の連行係数の鉛直での値である  $E90$ 、上部・下部境界での摩

擦係数  $f$ 、抗力係数  $C_D$ 、雪崩の初期最大高さ  $h_0$ 、初期流下速度  $U_0$ 、初期雪粒子濃度  $C_0$ 、計算開始・終了位置を入力する。計算の実行ボタンをクリックすることによって、微小な時間ステップごとの距離  $z$ 、標高  $z$ 、雪崩の高さ  $h$ 、速度  $U$ 、濃度  $C$ 、雪崩の総量  $B$ 、乱れエネルギー  $K$  が計算され、その計算結果をテキストファイル、またはエクセル形式のファイルで出力する。この計算結果を基にビットマップ形式のグラフを PC の画面に出力する。このグラフを印刷することもできる。

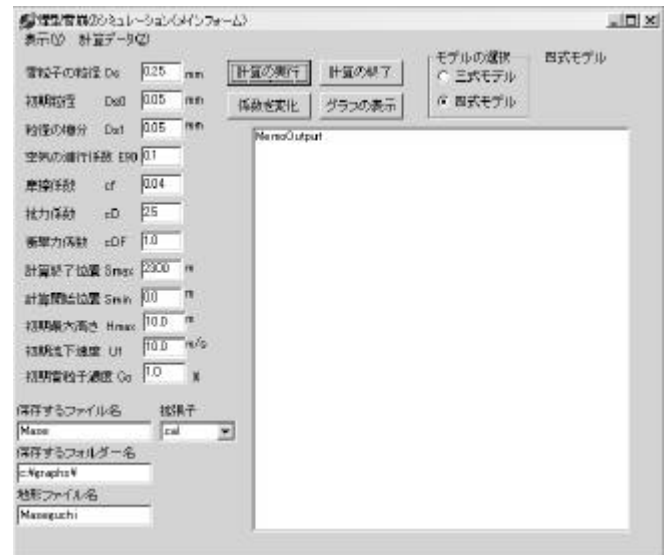


図 1 数値解析シミュレータのメインフォーム

## 5. 新潟県西頸城郡能生町柵口地区で発生した雪崩

柵口雪崩は 1986 年 1 月 26 日午後 11 時過ぎ、新潟県西頸城郡能生町間柵口地区権現岳で発生した表層雪崩で、11 世帯 36 人が被災し、うち 13 人が死亡した大災害であった。図 2 に災害のあった柵口地区付近の地形図を示す。権現岳は、被害のあった柵口地区の南西方向に位置し、権現岳山頂と柵口地区との水平距離は約 1800m である。図中斜線で示した範囲に被災した家屋があり、この位置まで雪崩が到達したことを示している（小林, 1986）。当時新潟県地方には大規模な寒気が襲来しており、能生町の海岸部で測定した 1 月 26 日の日最高気温は  $-0.9$ 、日最低気温は  $-2.3$  であった。観測位置より標高の高い、柵口地区及び権現岳一帯の気温はこれよりさらに低

いと考えられる。従って、1月21日以降に新たに降った雪は乾いており、非粘着性であったと推定される。したがって、この期間に降った雪は、乾いた非粘着性の雪と推定されるので、柵口雪崩は典型的な乾雪表層雪崩であったと考えられている。

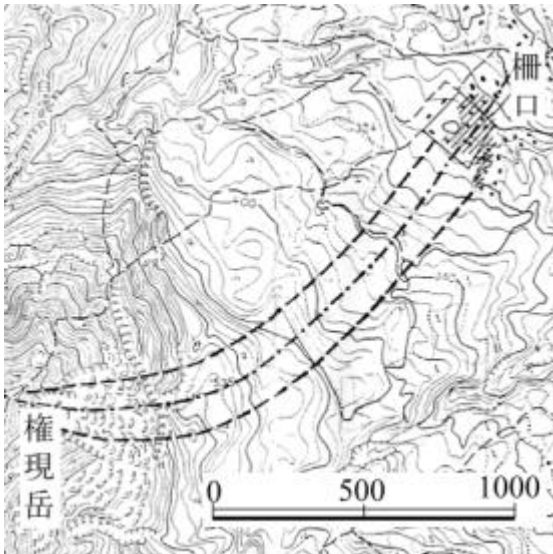


図2 柵口雪崩の流下経路

### 6. 数値解析結果

柵口地区で発生した雪崩（柵口雪崩）を対象としてシミュレーションを行った。シミュレーションには雪崩の基礎方程式、構成方程式を用い、今回開発した雪崩シミュレータで解析した。

雪粒子の性質は時間とともに変化するのが、ここでは雪粒子の空気中比重は氷の値を用い  $R = 710$  とした。このとき、静止空気中の雪粒子の落下速度を  $v_s = 45 \text{ cm/s}$  とし、雪崩の初期層厚は  $h_0 = 10 \text{ m}$  と仮定した。せん断力に関する無次元係数  $\alpha$  の値は、 $\alpha = 0.1$ 、摩擦係数  $f = f_i = f_b = 0.04$  とした。また雪の形状抵抗係数  $C_0 = 2.5$ 、 $D_s = 0.25 \text{ mm}$  とし、空気の連行係数  $E_{90}$  を  $0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30$  に変化させて解析を行った。結果を図3~6に示す。

### 7. 結論

雪崩シミュレータの開発によって容易に雪崩の挙動の解析が可能となった。雪粒子の特性である空気の連行係数を変化させ計算した結果、モデルに含まれる係数の把握ができた。

### 参考文献

- 小林俊一, 1986: 新潟県能生町表層雪崩災害に関する総合的研究, 自然災害 No.B-60-8.  
 福嶋祐介, 1987: 新潟県柵口地区表層雪崩の流動特性, 雪氷 48-4.

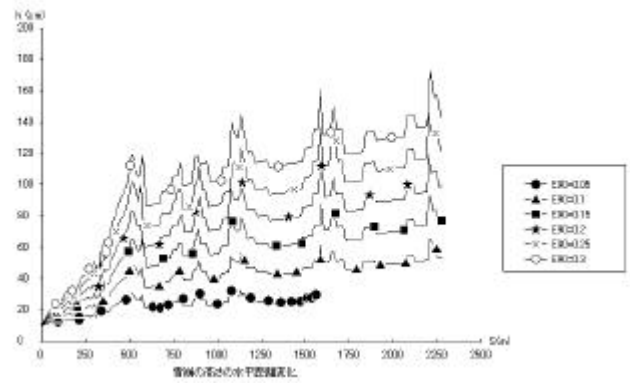


図3 雪崩の高さの水平距離変化

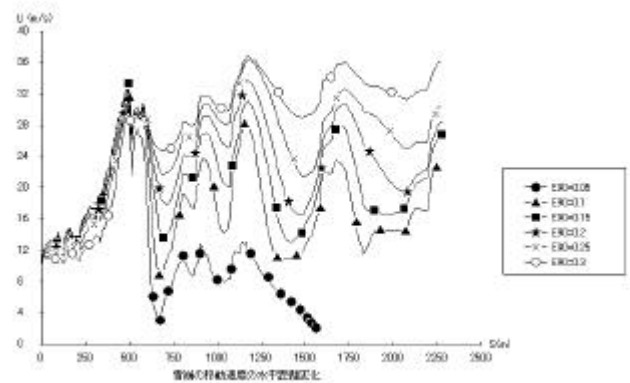


図4 雪崩の移動速度の水平距離変化

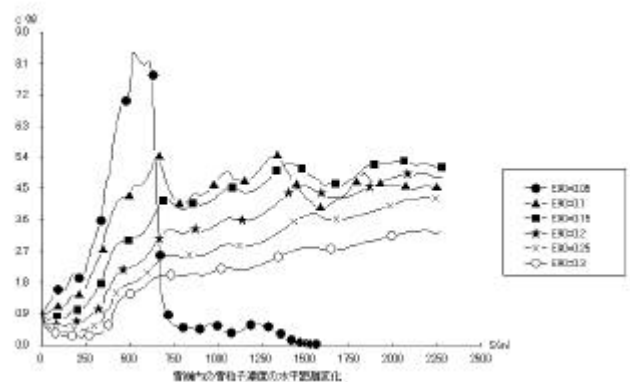


図5 雪崩内の雪粒子濃度の水平距離変化

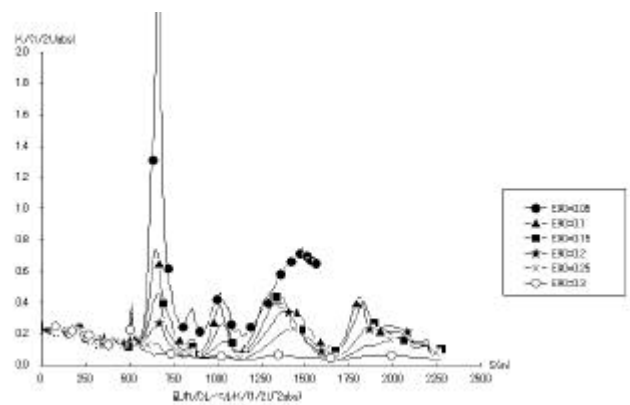


図6 乱れのレベル  $K/(1/2U^2)$