

中山間地における雪崩の特性に関する数値実験

建設工学課程 長谷川 舞

指導教官 細山田 得三

1. はじめに

日本は世界でも有数の豪雪国であり、豪雪地帯と呼ばれる地域は 24 道府県にも及んでいる。日本の中央には大きな山脈が存在し、その日本海側とでは、冬季に大量の積雪がある。豪雪地帯に該当する地域の人口は日本全体の人口の約 2 割となる。

また、日本は国土の約 7 割を山林が占めているため、豪雪地帯の中でも山間部に集落や建造物が存在する場合も多く、このような地域では多くの雪崩の危険にさらされている。厳冬期から比較的温暖な春先にかけては家屋被害や道路閉鎖など様々な雪崩災害が懸念される。

本学が位置している新潟県においては県内全域が豪雪地帯であり、その中でも長岡市を始め 14 市 4 町 1 村が特別豪雪地帯に指定されている。また、雪崩についても記録に残っているうちでは日本最大の雪崩被害となった 1918 年の新潟県南魚沼郡三俣村(現湯沢町)の大規模表層雪崩をはじめ、数多くの雪崩被害が記録されている。

近年では 2004 年 10 月の中越地震によって多くの地盤崩壊が発生しており、このような不安定な地盤を有する地域ではより一層の雪崩災害の発生が懸念された。

雪崩災害の防止には、雪崩の運動を理解することが、基本的な要件となっており、このため雪崩の流動モデルの開発が重要な研究のひとつとなる。数値解析により雪崩の運動を再現出来れば、ハザードマップの作成や雪崩防御施設の設計へ反映させることが期待できる。

そこで、本研究では雪崩の流動モデルを使用した雪崩の特性に関する数値実験を行うことを目的とした。

2. 数値計算手法

数値計算には、以下に示した式を差分法によって離散化して求めた。

浅水系方程式は最も簡単に流体の運動を記述した方程式系である。流体は、等密度であり、非圧縮性流体であるとする。等密度流体を考えているため、 $z(p)$ 方向の微分は 0、鉛直方向の移流は考慮せず、この流体の運動を支配する運動方程式は式(2)(3)であり、連続の式は(1)でそれぞれ表される。

2.1 連続方程式

$$\frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

h : 雪崩高さ, M : x 方向の速度成分, N : y 方向の速度成分, t : 時間座標, x, y : 水平座標

2.2 運動量方程式

x 方向の運動量方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{h} \right) = -g h \frac{\partial(\cdot + h)}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) - \frac{gn^2}{h^{\frac{7}{3}}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (2)$$

y 方向の運動量方程式

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{h} \right) = -g h \frac{\partial(\cdot + h)}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) - \frac{gn^2}{h^{\frac{7}{3}}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3)$$

g : 重力加速度, ρ : 雪崩の密度, A_h : 拡散係数, n : マニングの粗度係数, z : 基準水平面から地面までの高さ

2.3 雪粒子移流拡散方程式

微細な雪粒子の底面からの巻き上げ、沈降及び移流、拡散を考慮すると雪粒子移流拡散方程式は式(4)のように表される。

$$h \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} \right) = \quad (4)$$

$$h \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_{sx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_{sy} \frac{\partial c}{\partial y} \right) \right] + w_0 E_s - c a_s w_0$$

c : 雪崩高さ平均濃度 , u : x方向の速度 , v : y方向の速度 , ε_{sx} , ε_{sy} : x , y方向の渦動粘性係数 , w_0 : 沈降速度 , E_s : 無次元巻上げ速度 , a_s : 積雪深と平均濃度と底面での雪粒子濃度を関係付ける係数

2.4 雪の取り込みに関する方程式

雪崩の質量は、滑走中一定ではなく、雪の取り込みと堆積のために、時々刻々変動している。一般的には、初期の加速域では増え、減速域では変わらないか減ると考えられる。ここでは、滑走距離及び速度に比例して増加すると仮定し雪崩の質量変化率kに次のような速度依存性を加え、式(5)のように仮定した。

$$k = \frac{dm}{dr} = \frac{1}{V} \frac{dm}{dt} = \alpha_b \cdot b \cdot h_b W \quad (5)$$

r : 滑走距離 , m : 質量 , $b \cdot h_b W$ (b : 進行方向積雪密度 , h_b : 進行方向積雪深 , W : 雪崩幅) ,

b : 雪の取り込み率 (0 < b < 1) , V : 流下速度

雪の取り込み率 b は、取り込みによる増加と堆積による減少との差し引きであるから、メカニズムは極めて複雑であるが、次のような関数で書き表されると仮定した。

$$\alpha_b = \alpha_\infty (1 - e^{-V/V_m})$$

α_∞ : 高速時の取り込み率 , V_m : 速度の次元を持つ定数

3. 結果

3.1 仮想地形モデルを対象とした解析

単純な仮想地形モデルを対象とした解析では、斜面を流下する一連の運動挙動を数値解析によって表現可能である事が確認できた。

また、雪崩先端部の雪崩高さが高くなっているのに対して、後方は低くなっている。これより、流下方向の雪の取り込み及び後方への離脱表現

が可能である事が確認できた。

さらに、図1、図2より防護壁による雪崩の挙動を確認することができた。

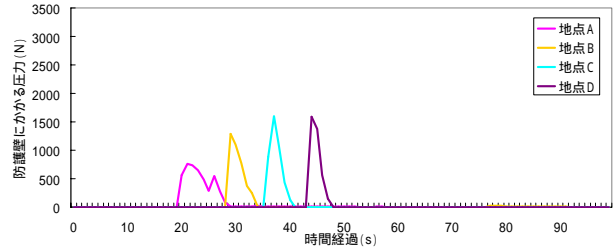


図1 防護壁に作用する圧力の時系列変化

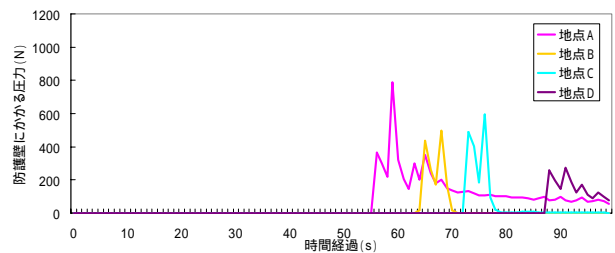


図2 防護壁に作用する圧力の時系列変化

3.2 実地検証

実地検証として、中山間地である新潟県長岡市半蔵金(図3)を対象地域として数値実験を行った。

図4に実地モデルの一部の雪崩防護柵がない場合の雪崩挙動の変化を示す。これにより、雪崩が南西の方向に流下している様子が分かる。また、図5は、防護柵を設置した場合の雪崩の挙動である。図4と比較しても雪崩の流下挙動の変化がみられる。防護壁を設置することで、雪崩を防護できている様子が確認できた。

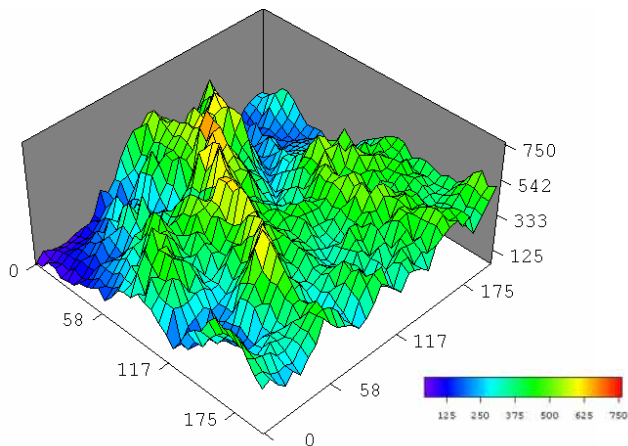


図3 中山間地の例（新潟県長岡市半蔵金）

3)防護壁による雪崩の挙動を確認することができた。

参考文献

- 1) 福嶋祐介・大澤範一，2007：一次元全層雪崩のシミュレーション手法に関する研究．雪氷，69，357-368
- 2) 福嶋祐介・大澤範一，2004：三次元地形上の二次元煙型雪崩の流動モデル．雪氷，66，473-483
- 3) 前野紀一，西村浩一：三次元地形における雪崩運動の数値計算．Low temperature science.Series A, Physical sciences, 46 99-110

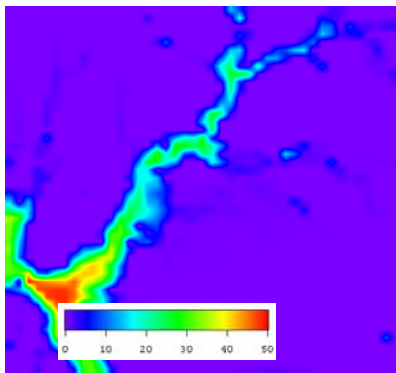


図4 防護柵接地前の雪崩の挙動

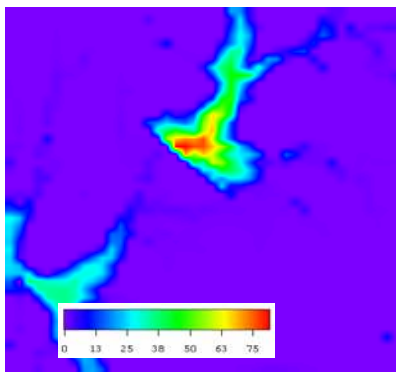


図5 防護柵設置後の雪崩の挙動

4. まとめ

以下に本研究の結果をまとめる。

- 1) 斜面を流下する一連の運動挙動を数値解析によって表現可能である事が確認できた。
- 2) 連続的な防護壁に作用する圧力の時間変化を確認できた。