

一次元全層雪崩のシミュレーション手法に関する研究

株式会社 東京建設コンサルタント 技術第三部 学生会員○大澤 範一
長岡技術科学大学 環境・建設系 正会員 福嶋 祐介

1.はじめに

本州日本海側の豪雪地帯はその雪量にも係わらず比較的温暖である。このため2月から3月にかけては全層雪崩が頻発し、人家に被害を及ぼしたり道路の閉塞を伴う被害が発生する。全層雪崩については、剛体モデル（Nohguchi,1989）、離散ボールモデル（Nakanishi et al.,1991）、水理学的なモデル（西村・納口,1998）などがあるが、これらのモデルの特徴は雪崩の運動をまったく異なった運動でモデル化している点にある。

本研究では雪崩の運動を流体力学的手法でモデル化し、これに伴う係数を適切に設定することで、全層雪崩の一次元流動モデルのシミュレーション手法を開発する。一次元流動モデルの特長は簡明であることにあり、この基礎方程式を検討することにより、取り込み係数、離脱係数の雪崩の流動に及ぼす影響を確認することができる。

2.数値解析手法

本研究では流体力学の基礎方程式を元に、これを斜面に対して直交方向と流れ方向に積分して、全層雪崩の基礎方程式を求めた。なお雪崩本体の形状については図-1に示すような半楕円体であると仮定し、一定の傾斜角 θ の斜面上に一定の厚さ d の積雪層があり、そこを最大厚さ h_{max} の雪崩が流下するものとした。

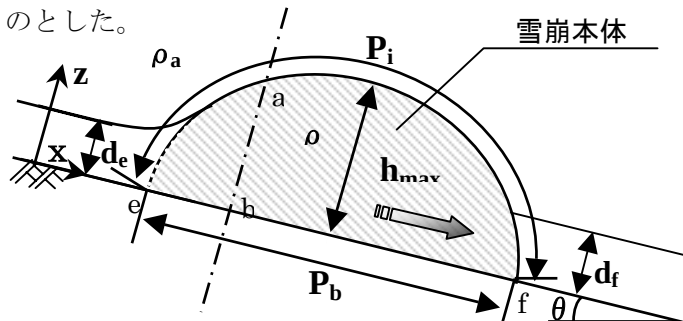


図-1 全層雪崩モデル図

キーワード：全層雪崩、一次元シミュレーションモデル
取り込み係数、離脱係数

連絡先：〒171-0014 東京都豊島区池袋 2-43-1

(株)東京建設コンサルタント 技術第三部

TEL 03-3982-9281 FAX 03-5396-6754

ここで、 ρ は雪崩内の雪の密度、 ρ_a は空気の密度、 d_f は雪崩前方の積雪層の厚さ、 d_e は雪崩後方の積雪層の厚さ、 P_i は雪崩の空気との界面の長さ、 P_b は雪崩底面の長さである。

雪崩内の雪濃度を C 、単位幅あたりの雪崩の体積を A 、雪崩の速度を U とおくと全層雪崩の一次元解析における基礎方程式は以下ようになる。

$$\frac{d}{dt}CA = \lambda_f C_f V_f d_f - \lambda_e C_e V_e d_e + v_s(E_s - c_b \cos \theta)P_b \quad \dots \dots (1)$$

$$\frac{d}{dt}A = \lambda_f V_f d_f - \lambda_e V_e d_e + E_a U P_i \quad \dots \dots (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}(\rho + \rho_a k_v)UA = & -\rho_f \frac{h_f d_f}{h_f - d_f} V_f^2 + \rho_a u_a E_a U P_i \\ & + \rho_a RgCA(\sin \theta - \mu \cos \theta) - \rho_a Rg \cos \theta \left(\frac{1}{2} C_f d_f^2 - \frac{1}{2} C_e d_e^2 \right) \\ & - \frac{1}{2} c_D (\rho_f d_f + \rho_a (h_{max} - d_f)) U_f^2 - \frac{1}{2} \rho_a f_i U^2 P_i - \frac{1}{2} \rho_b f_b U^2 P_b \quad \dots \dots (3) \end{aligned}$$

(1)式は質量保存式、(2)式は空気の連続式、(3)式は運動方程式であり、無次元係数 λ_f は雪の取り込み係数、 λ_e は雪の離脱係数である。この基礎方程式をみても明らかであるが、雪の取り込み係数 λ_f 及び雪の離脱係数 λ_e は、全層雪崩の運動に関して非常に重要な係数となることがわかる。

3.解析条件及び結果

全層雪崩の数値解析を行うにあたり、雪の取り込み係数 λ_f 及び離脱係数 λ_e は重要な係数となるため、これをパラメータとし、表-1に示すケースを想定し解析を行うものとした。

表-1 全層型雪崩解析条件

	λ_f	λ_e
Case-1	0.30	0.10
Case-2	0.10	0.30
Case-3	0.20	0.20

地形データについては実地形を用いた場合、その幾何学的形状が複雑なことから、モデルの特性を定量的に評価することが困難となる。したがってここでは図-2 に示すような仮想地形データを流下経路とし、数値解析を行った。

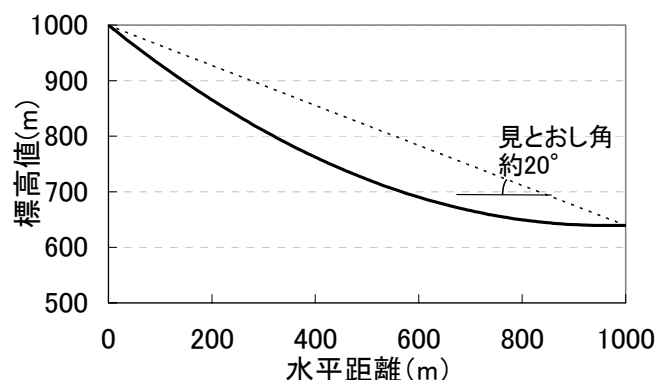


図-2 仮想地形データ

また初期速度、初期最大高さ、初期雪濃度についてはそれぞれ以下のように与えた。

$$U_0 = 0 \text{ m/s}, \quad h_{\max 0} = 2.0 \text{ m}, \quad C_0 = 30\%$$

以上のような初期条件を与え全層雪崩の数値解析を実施した結果、雪崩の速度、高さ、濃度の水平距離変化は図-3 から図-5 に示ようになった。

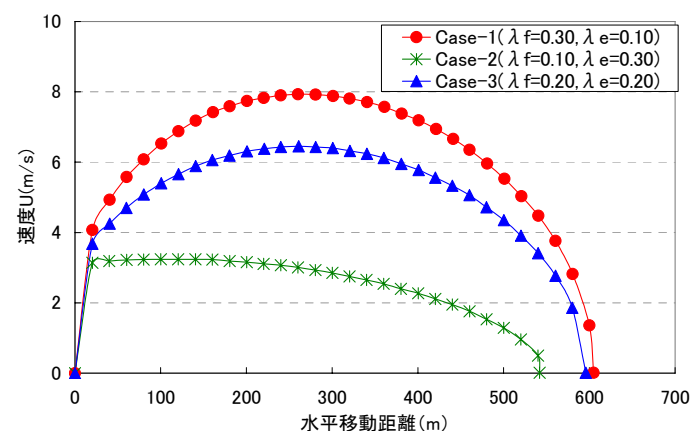


図-3 雪崩の速度の水平距離変化

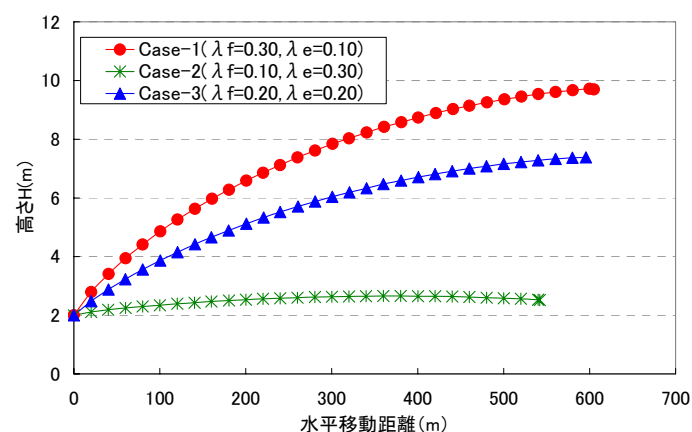


図-4 雪崩の高さの水平距離変化

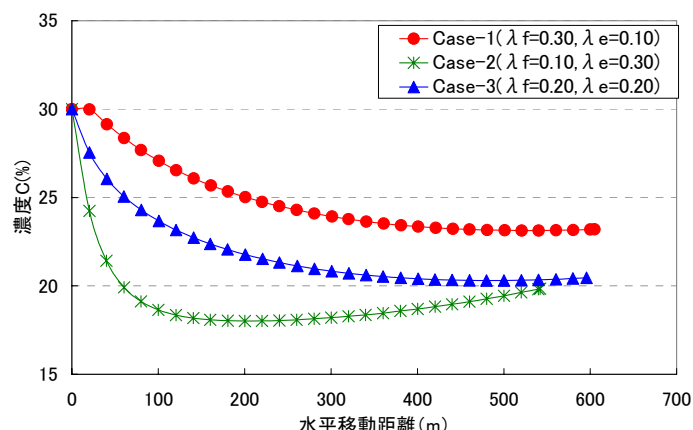


図-5 雪崩内の雪濃度の水平距離変化

4. 結論

解析結果より以下のように考察できる。

- (1) 発生直後に雪崩は急激に加速する。
- (2) 雪崩は比較的緩勾配な斜面へと流入することで急激に減速し停止に至る。
- (3) 雪崩の高さは発生直後より増加を続ける。
- (4) 雪濃度は発生より減少を続ける。これは雪の取り込みに比べ、空気の連行が顕著であるためである。
- (5) 雪の取り込み係数が大きくなると、雪崩の高さ、速度が大きくなり、雪濃度の減少も緩やかになる。これは前方からの雪の取り込みが顕著になることによって、雪崩内の雪量が相対的に増加し、運動を維持又は増加させるエネルギーが大きくなるためである。
- (6) 雪の離脱係数が大きくなると、後方からの雪の離脱が顕著になるため、速度、高さが小さくなり、雪濃度の減少も急激になる。

本研究で提案するモデルは一次元解析モデルであり計算は単位幅を対象とする。実際の全層雪崩の挙動を適切に評価するには、2次元解析モデルへの拡張が有効であると考えられる。これにより、雪崩全体を評価することが可能となり、停止に至るプロセスやその挙動が鮮明になると考えられる。

参考文献

- 大澤範一、福嶋祐介、2004： 三次元地形上の二次元煙型雪崩の流動モデル、雪氷、**66-4**, 473-483
- 福嶋祐介、1986： 粉雪雪崩の流動機構の解析、雪氷、**48-4**, 189-194.
- 福嶋祐介、1987： 新潟県柵口地区表層雪崩の流動解析、雪氷、**49-1**, 1-8.
- 福嶋祐介、早川典生、1992： 三次元地形を考慮した粉雪雪崩の数値解析、雪氷、**54-1**, 11-18.