

流れ型雪崩の二次元流動モデルの構築

長岡技術科学大学博士後期課程 (株式会社 東京建設コンサルタント) 学生会員 ○大澤 範一
長岡技術科学大学 正会員 福嶋 祐介

1. はじめに

近年異常気象に伴う自然災害が世界規模で頻発しており, 本州日本海側を中心とした豪雪地帯を国土に有する日本では, 厳冬期から春先にかけて雪崩による被災も懸念される. 最近ではH18年豪雪に伴う雪崩による家屋などへの被災が例年に比べ顕著なものであった. またH16年に中越地震により被災した新潟県では, 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雪崩による被災がよりいっそう懸念される.

雪崩災害を防止や軽減するためには, 雪崩の流動モデルを構築することが重要である. 流動モデルにより雪崩の運動機構を明らかにすることが出来れば, ハザードマップの作成などに反映させることが期待できる. 本研究では, 流体力学的手法により導き出された福嶋・大澤(2007)の雪崩の一次元解析モデルを二次元解析モデルへと拡張する. 二次元解析モデルの利点は, 任意の発生地点からの雪崩の流下経路を特定できる点と解析対象を雪崩全領域としている点にある.

2. 数値解析手法

2. 1 運動形態による雪崩の分類

雪崩はその運動形態により煙型雪崩と流れ型雪崩の2種類に大別される. 煙型雪崩は, 積雪層表面の細かな雪粒子が風などによって巻き上げられ, 斜面方向に流下する雪崩であり, 大雪煙を巻き上げることが知られている. 一方流れ型雪崩は, 斜面の積雪層が崩落することにより発生する雪崩である. 流れ型雪崩は, さらに表層型と全層型に分類される. 全層型雪崩は積雪層すべてが崩落することにより発生する雪崩であり, その滑り面は地表面となる. これに対して

キーワード: 流れ型雪崩, 二次元解析モデル,

流下経路, 煙型雪崩

連絡先: 〒170-0004 東京都豊島区北大塚 1-15-6

(株)東京建設コンサルタント 技術第三部

TEL 03-5980-2543 FAX 03-5980-2608

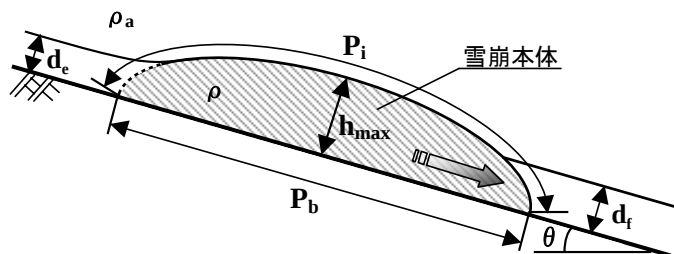


図1 流動モデル模式図

表層型雪崩は, 積雪層の上部が崩落することによって発生する雪崩であるため, その滑り面は雪面となる. これにより摩擦抵抗などが異なるため, 一般的に流れ型雪崩は全層型雪崩に比べ高速で, 流下距離も大きくなることが知られている.

2. 2 数値解析手法

雪崩本体の形状については図1に示すような半楕円体を仮定し, 主な基礎方程式として以下に示す式を用い数値解析を実施する.

$$\frac{d}{dt} CV = \lambda_f C_f U_f A_f - \lambda_e C_e U_e A_e + v_s (E_s - \alpha_b \cos \theta) S_b \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} V_o = \lambda_f U_f A_f - \lambda_e U_e A_e + E_a U_{abs} S_i \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (\rho + \rho_a k_v) U_x V_o &= \rho_a R g C V (\sin \theta_k - \mu \cos \theta_k) \\ &- \rho_a R g B_{\max} \cos \theta_k \left(\frac{1}{2} C_f d_f^2 - \frac{1}{2} C_e d_e^2 \right) \\ &- \left\{ \rho_f \frac{h_f A_f}{h_f - d_f} U_f^2 - \rho_a E_a U_{abs}^2 S_i + \frac{1}{2} \rho_a f_i U_{abs}^2 S_i \right. \\ &\left. + \frac{1}{2} \rho_b f_b U_{abs}^2 S_b + \frac{1}{2} C_D \left(\rho_f A_f + \rho_a \left(\frac{1}{2} S_i - A_f \right) \right) U_f^2 \right\} \frac{U_x}{U_{abs}} \end{aligned} \quad (3)$$

(1)式は雪の質量保存式, (2)式は空気の連続式である. (3)式はx方向運動量方程式でありy方向も同様に与え雪崩の流下経路を特定する. 基礎方程式は多くの係数を含むため主なものを表1に整理する.

表 1 係数一覧表

V_o	雪崩の体積	B_{max}	雪崩の最大広がり幅
C	雪の平均濃度	U_{abs}	雪崩進行方向の速度
U_x	X方向速度ベクトル	θ	雪崩進行方向の傾斜角
λ_f	雪の取り込み係数	λ_e	雪の離脱係数
E_s	粒子の連行係数	E_a	空気の連行係数
S_i	空気界面の接地面積	S_b	地面との接地面積
θ_x	斜面のX方向傾斜角	A_f	前方積雪層との接地面積
ρ	混合流体の密度	A_e	後方離脱層との接地面積
R	空気中の雪の比重	μ	クーロン摩擦係数
v_s	雪粒子の沈降速度	C_D	抗力係数

(1)式の左辺は雪崩内の雪量の時間変化を表し、右辺第一項、二項はフロントからの雪塊の取り込みや後方への離脱を表す。右辺第三項は浮遊細粒子の影響を表す項であり、これは煙型雪崩の特徴を表す。今回提案する流動モデルは、このように雪崩を雪塊と浮遊細粒子の混在した流れとして評価することにより様々な運動形態の雪崩に対応する。

3. 数値解析結果

雪崩の頻発地帯である針の木岳周辺(長野県)の地形メッシュデータを入力データとし、実際に数値解析を実施した。発生点はスバリ岳山頂付近とし、雪崩の運動形態について流れ型の表層雪崩、全層雪崩および煙型雪崩の三形態を想定し、それぞれクーロン摩擦係数 μ や初期形状などの計算条件を適切に設定し、数値解析を実施した。

図2に雪崩中心部の流下経路、図3に雪崩の速度、図4に到達距離及び最高速度の解析結果を整理した。全層雪崩を想定した場合は比較的低速で、このため雪崩は他のケースのように進路を変えることは無く水平移動距離約500mほどで停止に至る。これに対し表層雪崩を想定した場合は、流下距離が2,500mにも達した。煙型雪崩については、大澤・福嶋(2004)の解析例があるが、今回提案するモデルでもこれと同様に発生直後の雪崩の爆発的な加速や、流れ型と比較してその速度や到達距離など非常に大規模なものとなる挙動を再現することが出来た(本研究では乱れの運動エネルギーによる影響は考慮していない)。

一般的に知られている雪崩の運動特性も今回の解析結果と同様である。

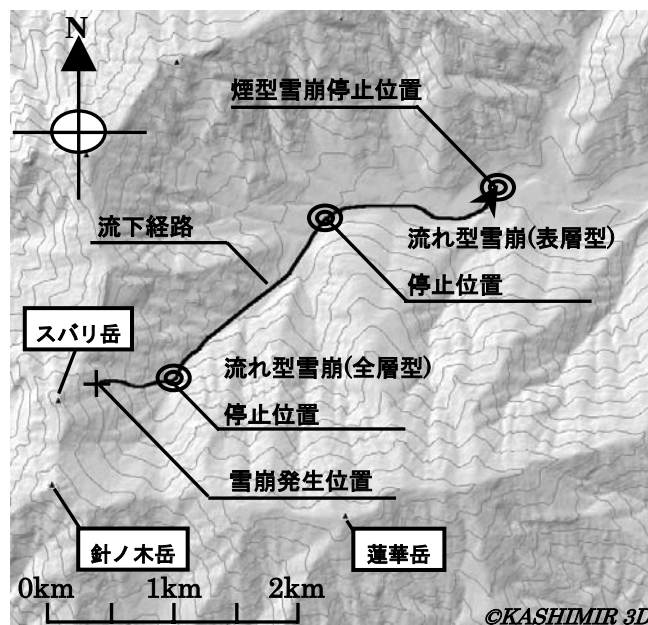


図2 雪崩流下経路の解析結果

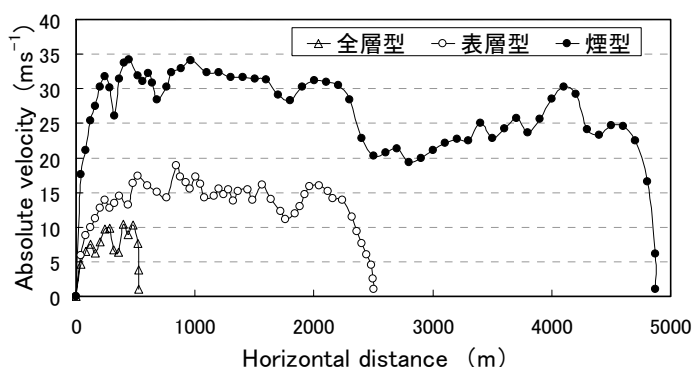


図3 雪崩速度の水平距離変化

表 2 数値解析結果

	μ	到達距離	最高速度
全層雪崩	0.40	526m	10.5m/s
表層雪崩	0.05	2,500m	19.0m/s
煙型雪崩	-	4,873m	34.4m/s

4. 結論

雪崩の流下経路なども解析可能な二次元モデルを構築した。解析には多くの仮定条件が必要であるが、条件の設定によっては様々な運動形態の雪崩についてこれを適用できることを示した。

参考文献

- ・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, **69-3**, 掲載予定.
- ・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**, pp473-483