

数値解析結果を反映した雪崩ハザードマップの作成手法に関する研究

株式会社 東京建設コンサルタント 正会員 ○大澤 範一
長岡技術科学大学 正会員 細山田 得三

1. はじめに

「雪崩」とはいったん斜面上に積もった雪が重力の作用により、肉眼で識別しうる速さで位置エネルギーを変更する自然現象である (IASH, 1966).

国土に多くの豪雪地域を有する日本では冬期から春先にかけてしばしば雪崩災害が発生している。新潟県旧山古志村では平成 16 年の中部地震によって、大規模な地盤崩壊が発生し、冬期には不安定な地盤上に雪が降り積もることで、より一層の雪崩災害の発生が懸念されている。

雪崩災害の対策としては、ハザードマップの作成が挙げられる。ハザードマップは、雪崩発生の危険性のある斜面を特定し表示するだけでなく、雪崩が発生した場合の流下経路や到達位置といった情報を考慮することができれば、防災上の利便性が向上する。

本研究では、新潟県旧山古志村を対象に、数値解析によって得られる流下経路や到達距離を反映した雪崩ハザードマップの作成手法について検討する。

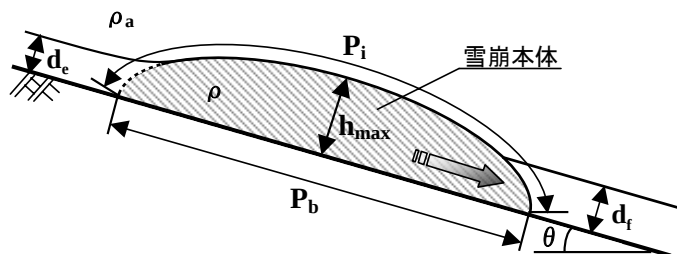


図2 流動モデル模式図

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	雪の連行係数	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

2. 数值解析手法

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二種類に大別される。煙型雪崩は、微細な雪粒子と空気の混在した雪崩であり、一般的に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、斜面上の積雪層自体が崩落することにより発生する雪崩であり、煙型雪崩のような大雪煙を巻き上げることは無い。また滑り面の位置によって全層型と表層型に分類される。全層型の場合、斜面上の積雪全層が崩落し発生するため滑り面が地表面となるのに対して、表層型の場合滑り面は積雪層の内部となる。

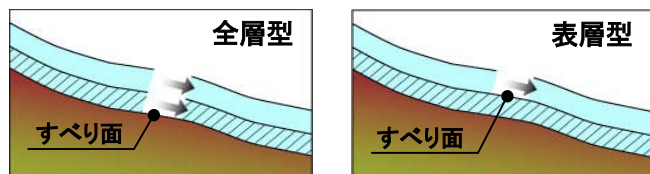


図1 滑り面の位置による雪崩の分類

キーワード: 雪崩ハザードマップ, 数値解析, 流下経路,
LP データ

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 03-5980-2643 FAX 03-5980-2608

2. 2 数值解析手法

数値解析には、大澤・福嶋(2008)の二次元解析モデルを利用した。このモデルは雪崩本体の形状を明確な境界を有する半楕円体(図2)で仮定し、速度や体積、雪濃度といった主要なパラメータの時間変化を推定するモデルである。基礎方程式が常微分方程式で構成されるラグランジュ的なモデルであるため演算時間の面で優れ、数値地図を用いることによって雪崩の流下経路、流動幅、到達距離といったハザードマップを作成する上で重要な情報についても、比較的容易に推定することが可能である。

主な基礎方程式を以下に整理する。基礎方程式には多くの係数が含まれるため、代表的なものについて表 1 に整理する。

雪の質量保存式

$$\frac{d}{dt}CV_0 = \lambda_f C_f U_f A_f - \lambda_e C_e U_e A_e + v_s (E_s - c_b \cos \theta) S_b \quad (1)$$

空気の連続式

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

x 方向運動量方程式 (y 方向も同様に与える)

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

流動幅に関する式

$$\frac{dB_{\max}}{dt} = \alpha_B (\tan \theta)^{-0.264} U_{abs} \quad (4)$$

雪崩は流下に伴い進路上の積雪層からの雪の取り込みや本体からの離脱によって内部の雪量が増減する。このメカニズムは少なからず雪崩運動に影響していると考えられ、二次元解析モデルでは質量保存式において、この雪の取り込みや離脱の定量的な評価が試みられている。質量保存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。右辺第三項は雪煙の巻き上げに伴う微細な雪粒子の底面からの巻き上げや沈降を表す。

2. 3 数値解析条件

対象エリアは新潟県旧山古志村周辺とし、入力データとしてLPデータより作成した10m地形メッシュデータを適用した。中山間地である旧山古志村では、一般的に厳冬の高山において発生する煙型雪崩の発生は少ないと考えられる。したがって運動形態としては流れ型雪崩を想定し、摩擦係数や初期形状などの数値解析条件を与えシミュレーションを実施する。

3. 雪崩ハザードマップの作成

ハザードマップにおける危険度の評価については、すべてのメッシュを仮想雪崩発生地点として繰り返し計算を行い、この際雪崩が通過した回数をメッシュごとに集計し、この各メッシュの雪崩の通過頻度を危険度の指標とした。また、雪崩の危険性(衝撃力)は速度と質量に依存すると考えられる。これより本研究では、雪崩が通過した際の速度が低速な場合は危険メッシュとしてカウントしないものとし、雪崩の速度が3m/s(約10km/h)を上回ったときのみ、危険エリアとして集計した。

本研究では、この危険度(通過頻度)に従って各メッシュをコンター図化し、これを地形図上に重ねあわせ雪崩

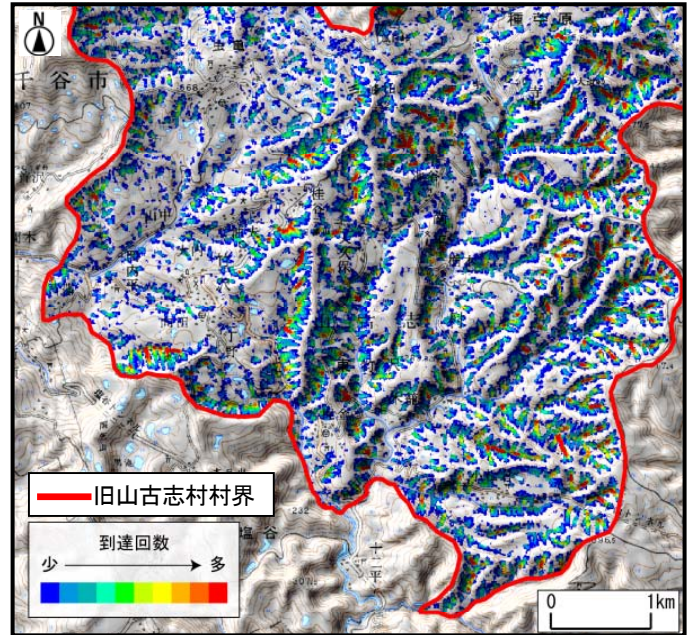


図3 雪崩ハザードマップ(表層型)

ハザードマップとした。ハザードマップの試作例として山古志村周辺を対象に、この手法により作成した表層型の流れ型雪崩のハザードマップを図3に示す。

4. 結論

数値シミュレーションによる雪崩の流下経路や到達距離を反映した雪崩ハザードマップの作成手法を提案し、これを新潟県の旧山古志村に適用した。提案した手法により旧山古志村のような広大なエリアに対してハザードマップを作成した場合、膨大な繰り返し計算を要するが、数値解析に用いたモデルは単純な常微分方程式で構成されるラグランジュ的なモデルであるため、一回の演算に要する時間は短く、比較的容易にシミュレーションを行なうことができる。

実際にシミュレーションを行なうためには、多くの仮定条件が必要であるため、こういった数値解析条件の精査が今後の課題となる。また、植生や構造物による影響をシミュレーションで考慮することも、ハザードマップの汎用性を高めるために重要となる。

参考文献

- ・ 大澤範一, 福嶋祐介(2008): 流れ型雪崩の二次元流動モデルの構築, 雪氷, 70, 掲載予定.
- ・ 日本雪氷学会(1998): 日本雪氷学会積雪・雪崩分類.
- ・ International Association of Scientific Hydrology (IASH)(1966): International symposium on scientific aspects of snow and ice avalanches, 5-10 April 1965, Davos Switzerland. Publication No.69 of IASH, pp.424.