

II-185 新潟県能生町柵口地区表層雪崩の数値シミュレーション

長岡技術科学大学建設系 正会員 福嶋祐介

1. はじめに

昭和61年1月26日午後11時過ぎ、新潟県西頸城郡能生町柵口地区の権現岳で表層雪崩が発生し、これがふもとまで流下したため、民家11棟が巻き込まれる災害となった。この雪崩災害により、住民13人が死亡した。本研究は、柵口雪崩の数値シミュレーションを行ったものである。

図1は、災害のあった新潟県西頸城郡能生町柵口地区付近の地形図である。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。災害後の航空写真、現場調査から、雪崩の発生地点は権現岳の山頂付近雪崩の流下経路は、図1に示す破線の範囲内であると推定されている。

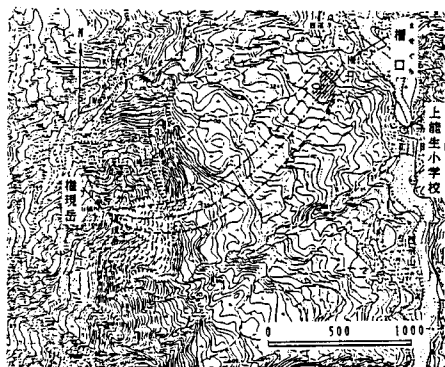


図1 柵口地区雪崩災害の概要

2. 粉雪雪崩の基礎方程式

粉雪雪崩の特徴は、底面を通して積雪層から雪粒子を舞い上げることにより、逆に浮遊していた雪粒子が沈降し堆積を生ずることにより、雪崩全体の雪の総量が変化することにある。粉雪雪崩の模式図を図2に示す。雪崩中の空気の状態式、雪の質量保存式、運動量保存式、乱れエネルギー保存式、雪崩の位置に関する方程式は次のようになる(福嶋、1986)。

$$\frac{dA}{dt} = E_w U P_i \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} CA = v_s (E_s - C_b \cos \theta) P_b \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} (\rho + k_v \rho_a) UA = (\rho - \rho_a) g A \sin \theta - \alpha K (\rho_i P_i + \rho_b P_b) \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} (\rho + k_v \rho_a) KA = \alpha KU (\rho_i P_i + \rho_b P_b)$$

$$+ \frac{1}{2} \rho_a \{ (1+k_v) E_w U P_i + R v_s (E_s - C_b \cos \theta) P_b \} U$$

$$- \rho_a R g v_s A - \beta \rho K^{3/2} A/h$$

$$- \xi \rho_a R g \cos \theta h \left\{ C E_w U P_i + v_s (E_s - C_b \cos \theta) P_b \right\} \quad (4)$$

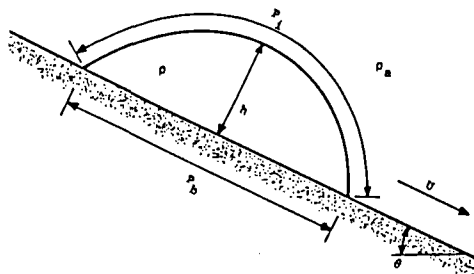


図2 粉雪型雪崩のモデル化

ここで、Aは横から見た雪崩の断面積、hは雪崩の層厚、あるいは高さ、P_bは底面の長さ、P_iは空気との境界面の長さである。また、tは時間、Uは雪崩の移動速度、Cは雪の平均体積濃度、Kは乱れのレベル、sは斜面に沿った雪崩の位置(斜距離)である。ρは雪崩の平均密度であり、雪粒子の密度ρ_sと雪粒子の濃度を用いて、ρ=ρ_s(1+RC)、ρ_b=ρ_s(1+RC_b)と書き表される。ここで、ρ_bは、底面付近の密度であり、C_bは底面付近の濃度である。R=(ρ_s-ρ_a)/ρ_aは空気中の雪粒子の比重であり、雪粒子に空隙がないと考えた場合(純氷の場合)約710である。αは底面と境界面に働くせん断力に関係する無次元係数、βは雪崩内での粘性逸散に関係する無次元係数、k_vは付加質量係数である。E_w、E_sは、それぞれ、周囲の空

気を雪崩に取り込む連行係数、底面の雪を雪崩に取り込む連行係数であり、次のように表す。

$$E_w = 0.1 \theta/90^\circ \quad (5)$$

$$E_s = 3.0 \times 10^{-12} Z^{1.0} (1-Z_c/Z) \quad (6)$$

$$r_\theta = C_b/C = 1+31.5\mu^{-1.46} \quad (7)$$

ここで、 $Z = \sqrt{R_0} \mu$ 、 $\mu = \sqrt{\alpha K/v_s}$ 、であり、 $R_0 = \sqrt{RgD_s}$ 、 D_s/ν は粒子レイノルズ数、 D_s は雪粒子の直径、 ν は動粘性係数、 μ は無次元摩擦速度である。式(6)で、 $Z_c=5$ 、 $Z_m=13.2$ は、それぞれ、 Z の臨界値と最大値である。雪崩の形状は局所的な傾斜角 θ によって決まり流下方向に変化すると考え、Beghin et al. (1981)の解析と同様に与えた。

雪崩のシミュレーションでは、地形データを与え、式(5)、(6)、(7)の条件のもとで式(1)から式(4)を時間的に積分する。

3. 柵口地区雪崩の数値シミュレーション

雪粒子の性質は時間と共にかなり変化するのが、ここでは、 $D_s=0.15$ mm、 $R=710$ とし解析を行った。これに対応する雪粒子の落下速度は、 $v_s=45$ cm/sである。雪崩の初期層厚は $h_0 = 10$ mとした。抵抗係数 C_D 、無次元係数 α の値は $c_D=0.02$ 、 $\alpha=0.1$ とした。風速、濃度の初期値は権現岳の山頂付近の傾斜角を与えたとき、流下方向に加速する条件を与えた。図3 aから図3 dは、新雪層厚が十分に大きく、底面から雪の供給が制約を受けないと仮定して数値シミュレーションを行った結果である。図3 aには縦断形状も記しており、各図では急勾配区間を矢印で示し対応させている。図3 bを見ると、権現岳の急斜面を流下した雪崩は、急激に加速しており、始め10m/s 以下だった流速が $x=500$ mでピークに達し約50 m/sになっている。緩勾配の区間で減速、急勾配の区間(矢印で示す)で加速を繰り返しながら柵口地区には、6.7m/s程度の流速で到達する。権現岳の山頂から柵口地区の外れに到達する迄の時間は約 120 秒であった。図3 dは、雪崩による洗掘層厚、堆積層厚を、空隙を零とした氷の体積、層厚に換算したものである。新雪層の空隙率を 0.95 と仮定し、洗掘層厚のピーク値を新雪層厚に換算すると約3m前後になり、上能生小学校で測定された、2月20日以降の積雪深に近い。

Beghin, P., Hopfinger, E.J. and Britter, R.E., 1981, J. Fluid Mech., 107, 407-422. 福嶋祐

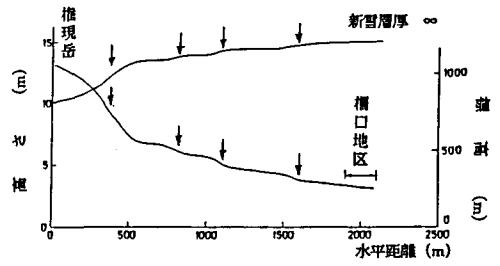


図3 a 雪崩の高さの流下方向変化

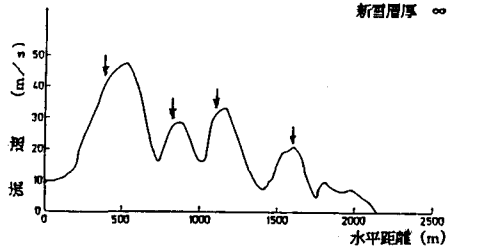


図3 b 雪崩の速度の流下方向変化

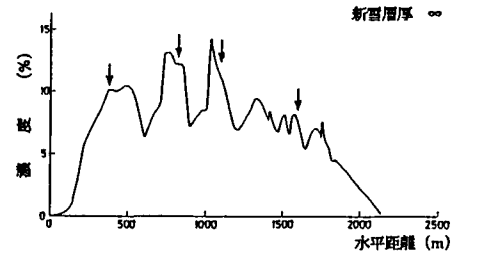


図3 c 雪粒子濃度の流下方向変化

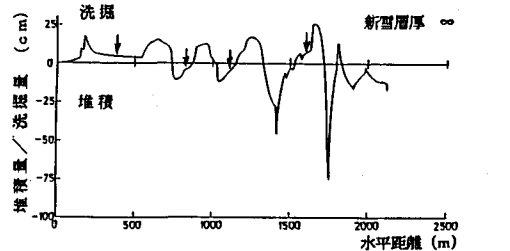


図3 d 雪崩による洗掘量と堆積量
(縦軸は純水の体積に換算した値)

介、1986：粉雪雪崩の流動機構の解析、雪氷に投稿予定。新潟地方気象台、1986：昭和61年1月21日から29日にかけての新潟県の大雪と能生町の雪崩、災害時気象速報。新潟県砂防課、1986：柵口雪崩災害概要中間報告。