

○ アジア航測株式会社	北原 一平
建設省 土木研究所	寺本 和子
建設省 土木研究所	工藤 賢二
新潟県 砂防課	小林 一三

## はじめに

昭和61年 1月26日午後11時頃、新潟県西頸城郡能生町柵口地区を襲った雪崩は、乾雪表層雪崩であり、その被害は、死者13名、重軽傷者 9名、家屋全半壊11戸りといういたましいものであった。雪崩については、多くの研究がなされているが、乾雪表層雪崩の氾濫予測については、まだ、あまり研究されていない。そこで、本研究では、柵口災害を例にとり、雪崩の2次元的運動モデルであるVoellmy式による雪崩の速度の検討を行い、Voellmy式をベースとしてRWM(RANDOM WOLK MODEL)と数値シミュレーションモデルの構築を試みた。

## 1. Voellmy式による雪崩速度の検討

Voellmy式により、柵口雪崩の縦断方向の速度分布を検討した。

## 1. 1 基礎式

$$\frac{dV(t)}{dt} = g(\sin\theta - \mu\cos\theta) - \frac{1}{(\xi/g)h} V^2(t) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $t$ : 雪崩の運動開始後の時間(s),  $V(t)$ : 時間  $t$ での雪崩の流下速度(m/s),  $g$ : 重力加速度( $9.8\text{m/s}^2$ ),  $\theta$ : 斜面の勾配(度),  $\mu$ : 雪崩底面と斜面との摩擦係数,  $\xi$ : 粘性, 空気抵抗あるいは他の類似のタイプのエネルギー消滅をすべて含む乱流減衰係数(m/s)

## 1. 2 諸条件の設定

(1)式の流動深 $h$ は、式(2)により求めた。ここでは、 $h_0$ を2m、 $h_E$ を6mとした。り

$$h = h_0 + \frac{S}{SE} (h_E - h_0) \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $h_0$ : 発生区の流動深(m),  $h_E$ : 最終到達地点の流動深(m),  $S$ : ある地点までの斜面距離(m),  $SE$ : 最終到達地点までの延長斜距離(m)

Voellmy式の場合、係数 $\mu$ と $\xi$ の決め方が非常に難しいが、今回は、両方を一定とし計算による雪崩の到達距離が実績値と一致する $\mu$ と $\xi$ の組み合わせを検討し、他の研究<sup>2)</sup>との比較から $\mu = 0.15$ ,  $\xi = 1,000$ の組み合わせを採用した。図1に(1)式による縦断方向の速度分布を示す。

## 2. RWMによる雪崩氾濫シミュレーション

今村ら<sup>3)</sup>のRWMを基本に、RWMを雪崩の氾濫シミュレーションに応用した。

## 2. 1 基礎式

$$P_i = (0.25 + 0.75 \cdot \sin\theta_i) \cdot I_n \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $P_i$  :  $i$  方向への遷移確率,  $\theta_i$  :  $i$  方向の斜面勾配(度),  $I_n$  : 雪崩が同一方向に進む場合のみ乗じる慣性力

雪崩の堆積及び停止条件は、次のとおりである。(1) 雪崩は、流下するにつれ、一定の厚さ  $D$  (m) で堆積する。(2) 雪崩の全量を  $V$  (m<sup>3</sup>) とすると、1 回の雪崩が進むメッシュ数は、メッシュ幅を  $A$  (m) とすると、 $n = V / (D \cdot A^2)$  となる。本研究では、 $V = 230,000$  m<sup>3</sup>、 $A = 20$  とし、 $D$  については、値を変えて検討した。

## 2. 2 慣性力一定(慣性力を勾配によって変化させない)の場合

(3) 式の慣性力を一定とした場合の堆積厚さと慣性力の大きさについて検討し、以下の結果を得た。(1) 堆積厚さは、1~2m ぐらいの時、計算と実績の氾濫範囲がおおむね一致する。(2) 慣性力は、大きすぎても小さすぎても氾濫範囲は、広がる傾向にあり、特に大きくなるにつれ、氾濫範囲は、全体にまんべんなく広がる傾向を示す。実績の雪崩走路の地形的特性を比較的よく反映するのは、慣性力が 1.5~2.0 ぐらいである。(3) 慣性力をいくつにしても、棚口災害の被害家屋の位置は、相対的に危険度が高くなる。(4) 雪崩の氾濫危険度予測は、土石流の氾濫危険度予測とほとんど同様の条件の RHM によってもほぼ妥当な結果を得られることが分かった。但し、雪崩の走路についてみると、特に家屋に被害を与えた雪崩の走路と RHM のそれとは必ずしも一致せず、むしろ実績の走路よりも左側の凹地を通る確率の方が高い傾向にある。図 2 に慣性力 1.8, 堆積厚 1.0m の場合の結果を示す。

## 2. 3 慣性力を変化させる場合

雪崩の速度は、斜面勾配により激しく変化することが予想されるので、慣性力を一定とする方法には、若干無理がある。そこで、(1) 式を積分した (4) 式によって与えられる雪崩の速度(運動量)から慣性力を与える試みを行なった。

$$v = \sqrt{v_f^2 - (v_f^2 - v_0^2) \exp(-2gs/\xi h)} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 $s$  : 斜距離 (m),  $v_0$  : 初速度 (m/s),  $v_f = \sqrt{\xi h (\sin\theta - \mu \cos\theta)}$

慣性力は、(5) 式で与えた。

$$I_n = a \cdot m \cdot v + b \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 $I_n$  : 慣性力,  $a$ ;  $b$  : 係数,  $m$  : 雪崩の雪の質量(ここでは、 $0.0204 \times 10^6$  g/m<sup>3</sup>),  $v$  : 雪崩の速度 (m/s)

係数  $b$  は、2. 2 の結果より 1.7 とし、 $a$  については、堆積厚さを一定にして大きさを変化させて検討し、以下の結果を得た。(1) 堆積厚さ 1m の場合、 $a$  の値が 2~20 の範囲では、ほとんど同様の氾濫範囲となり、実績ともおおむね一致した。(2) 慣性力一定の場合の結果と比較して、それほど大きな違いはみられないが、雪崩走路については、慣性力一定の場合より実績と一致する傾向が強い。(3) 慣性力一定の場合と同様に、慣性力をいくつにしても、棚口災害の被害家屋の位置は、相対的に危険度が高くなる。図 3 に  $a = 9.8$ , 堆積厚 2m の場合の結果を示す。

## 3. 数値シミュレーションモデルによる雪崩氾濫シミュレーション

土石流の氾濫シミュレーションとして使われている不定流モデル<sup>4)</sup>を雪崩の氾濫シミュレーションモデルに応用した。

### 3. 1 基礎式

x 方向の運動方程式

y 方向の運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial (M \cdot u)}{\partial x} + \beta \frac{\partial (M v)}{\partial y} = -g \cdot h \cdot \frac{\partial H}{\partial x} - F_x \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial (N \cdot u)}{\partial x} + \beta \frac{\partial (N v)}{\partial y} = -g \cdot h \cdot \frac{\partial H}{\partial x} - F_y$$

連続式 ..... (6)

..... (7)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad \text{..... (8)}$$

ここに、M；N：x，y 方向の運動量フラックス(m<sup>2</sup>/s)，u；v：x，y 方向の流速(m/s)，β：運動量補正係数，H：流動面標高(m)，F<sub>x</sub>；F<sub>y</sub>：x，y 方向の摩擦力，q<sub>x</sub>；q<sub>y</sub>：x，y 方向の単位幅当たりの雪の流量(m<sup>2</sup>/s)

(6)，(7) 式の摩擦力としては、Voellmy 式の摩擦項を用いた。

$$F_x = \mu \cdot g \cdot h \cdot \cos \theta_x + \frac{g}{\xi} u^2 \quad \text{..... (9)} \quad F_y = \mu \cdot g \cdot h \cdot \cos \theta_y + \frac{g}{\xi} v^2 \quad \text{..... (10)}$$

### 3. 2 境界条件

(9)，(10) 式の μ，ξ は、1. 2 と同じ条件とした。雪崩の量 230,000m<sup>3</sup>，流入点の流速 45m/s，メッシュ幅 20m，流動深さ 10m，計算の刻み時間 0.1 秒，継続時間 21 秒として数値計算を行なった。

### 3. 3 結果

図 4 に計算結果と実績の比較を示す。これによると、計算による雪崩の堆積は、流入点を頂点にして扇状地を形成している。これは、流入した雪崩が勾配の急変のために停止し、土石流が扇状地を形成するのと同様なプロセスで雪の扇状地を形成したものと考えられる。このように計算と実績が一致しないのは、摩擦項が強すぎるためと考えられる。したがって、今後の課題としては、次のようなことが考えられる。(1) Voellmy 式を摩擦力として用いる場合には、この式が一方向のみの速度変化の式であることを考慮して、パラメータのとり方を変える。(2) Voellmy 式を用いる場合、流動深が重要であるため、流動深の与え方を工夫する。(3) 摩擦力として別のモデルの適用を試みる。

#### 参考文献

- 1) 新潟県砂防課、桐口雪崩災害概要 中間報告 1986年 2月
- 2) Martinell 他、Calculations of avalanche friction coefficient from field data, Journal of Glaciology, vol26 No94 1980
- 3) 今村遼平、杉田昌美 RANDOM WOLK MODEL による土砂堆積シミュレーションについて 新砂防 114号 1980年 3月
- 4) 矢澤昭夫、水山高久、北原一平 土石流氾濫シミュレーションモデルによる土石流対策工の効果評価に関する研究 土木研究所資料2392号 1986年 4月

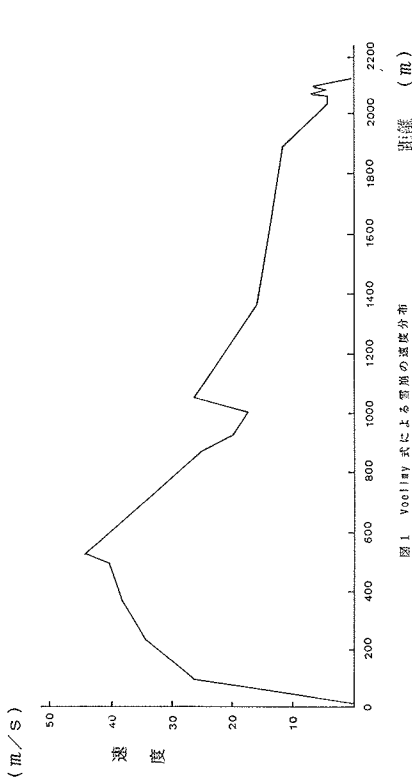


図1 Yonemitsu式による雪降の垂直分布

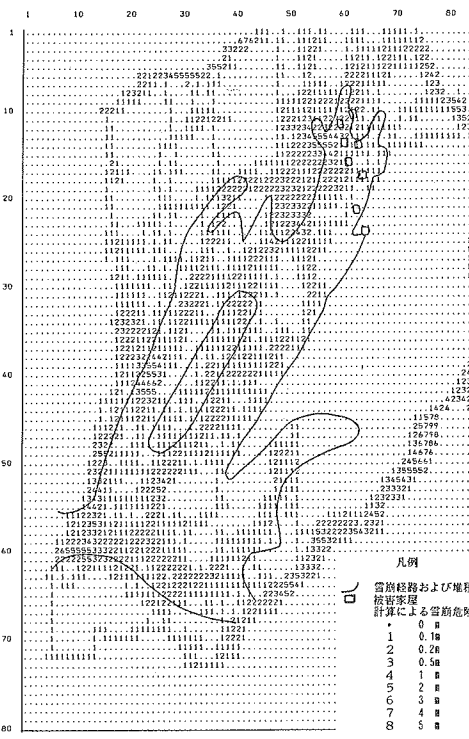


図2 RNHによる雪降の汎雪シミュレーション結果(傾性力一定)

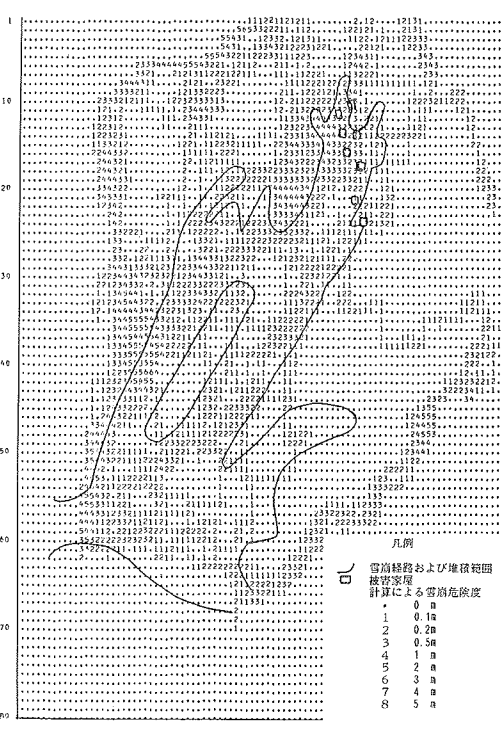


図3 RNHによる雪降の汎雪シミュレーション結果(傾性力変化する)

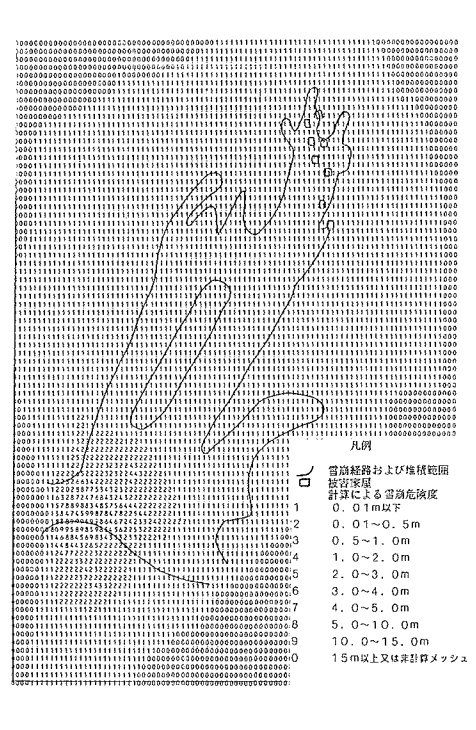


図4 数値シミュレーションモデルによる雪降の汎雪シミュレーション結果