

建設省土木研究所 ○中西 宏
 建設省土木研究所 仲野 公章
 建設省土木研究所 右近 則男

1. はじめに 雪崩危険度の評価や雪崩対策施設の選定・配置の検討のため、雪崩の運動のシミュレーション解析がしばしば行なわれる。しかし、そのシミュレーション解析法そのものについての検討やその解析が用いられる摩擦係数あるいは粘性係数等の各種の係数の値についての検討と行なった研究は少ない。

本報では、既往のシミュレーション手法を紹介し、それらの手法の問題点を示すとともに、なだれ雪を多数のボールに置換し、それらのボールの運動を数値的に求めるという雪崩運動のシミュレーション手法(離散ボールモデルと呼ぶ)について述べる。また、新潟県西頸城郡能生町柵口地区の雪崩を例にとり本手法のシミュレーション結果を示し、本手法の特徴を示す。

2. 既往の雪崩運動のシミュレーション手法 既往の雪崩運動のシミュレーション手法は、斜面に沿う方向の1次元の動的つり合いを考慮するものと2次元粘性流体の過渡現象として扱うものに大別される。前者は Voellmy により最初に提案され、雪崩には摩擦力と流体抵抗力が作用するとしてそのものである。これらの係数の値は個々の雪崩により大きく異なり、その値の設定が難しい。慣用的に、斜面勾配の変化より雪崩の速度は角度差の余弦関数で低下するとし、摩擦係数は速度に逆比例するとしているが、その妥当性は明らかでない。

後者の2次元粘性流体として扱う方法では、雪崩を非圧縮性粘性流体として扱い、流体境界での流体のスリップを扱うことができる。前者の場合と同様に、これらの粘性係数やスリップ係数の値は雪崩により幅広く変化し、これらの値の設定が難しいと思われる。

なお、上記の二つの方法では、流れは常に斜面に沿うとしており、斜面からの流れのほく離れや擁壁等の防護工の設置等は扱えない。

3. 離散ボールモデル 図1に示すように、雪をボールの集合体として扱

い、それらのボールの運動を求める。その基本的な仮定は次のとおりである。(1) ボールは剛体である。(2) ボールの変位の自由度は2(X方向およびY方向の移動)である。(3) 他のボールまたは斜面に接触しているボールのすべりは Mohr-Coulomb の条件に従う(図2)。(4) 接触より相互に張力が作用し、その値が所定の粘着力を超える場合に接触している相互のボールは離散する。なお、接触したボールに作用する力を得るため、便宜上、相互のボールの間に硬いバネがあるものとする。

いま、ボールの集合体のうちの*i*ボールの質量を m_i 、X方向およびY方向のボールの速度を u_i および v_i 、減衰係数を C_i 、接触力 f_{ij}^n およびすべり力 f_{ij}^s のX方向およびY方向成分をそれぞれ f_{ij}^x および f_{ij}^y 、重力加速度のXおよびY方向成分を g_x および g_y とすると、*i*ボールの運動方程式は、

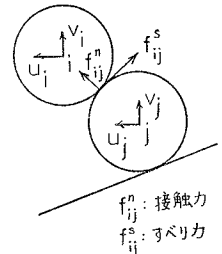


図1 離散ボールモデル

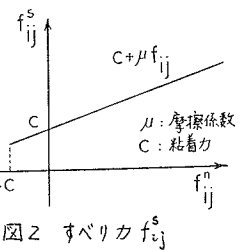


図2 すべり力 f_{ij}^s

$$m_i \dot{u}_i + c_i u_i = \sum_j f_{ij}^x + m_i g_x$$

$$m_i \dot{v}_i + c_i v_i = \sum_j f_{ij}^y + m_i g_y$$

と表わされる。\$F_j\$ はボール \$i\$ に接触している他のボールおよび斜面についての総和を表わす。

各ボールについての式と時間に関して数値積分し、各ボールの運動の数値解を得る。

4. 柵口雪崩の運動シミュレーション

図3に雪崩走路および雪崩モデルを示す。ただし雪の密度を \$0.16 \text{ g/cm}^3\$、斜面-雪および雪-雪の摩擦係数と粘着力をそれぞれ \$0.172\$ (あるいは \$0.175\$) および \$20 \text{ kN/m}^2\$ とした。

図4に斜面を流下するボールの状態を示す。また図5に、各ボールについての平均速度と先頭ボールの水平移動距離の関係を示す。このシミュレーション結果では、ボールは急斜面下で一部舞い上がり、大きく速度を減ずるとともに斜面を拡散しながら流下している。

なお、本手法の所要計算時間は、ボール総数にもよるが、一般に非常に長い。

5. あとがき 図6に雪崩堆積区に防護壁を置いたモデルを示す。今後このようなモデルおよび雪崩走行区に防護工を置いたモデル等について同様のシミュレーション解析を行ない、これらの防護工の効果の検討を行なう予定である。

- ① 「雪の動力学的問題解析へのコンピュータ技術の応用」, 国土防災科学技術センター研究速報, 459号, 昭和59.3
- ② Parla, R., Lied, K. and K. Kristiansen: "Particle simulation of Snow Avalanche Motion", Cold Regions Science and Technology, 9, 1984

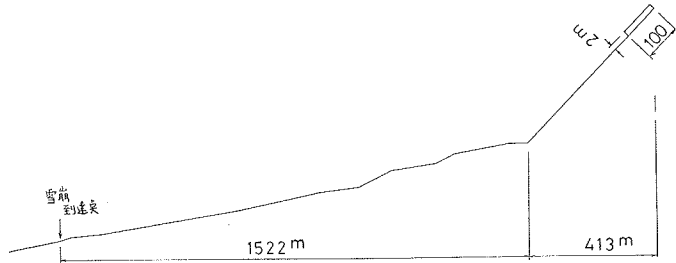


図3 柵口雪崩の走路と雪崩モデル

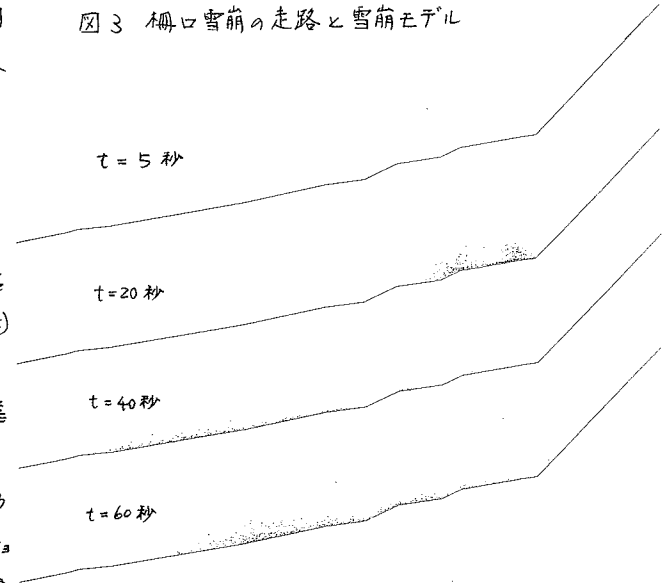


図4 ボールの流下状態

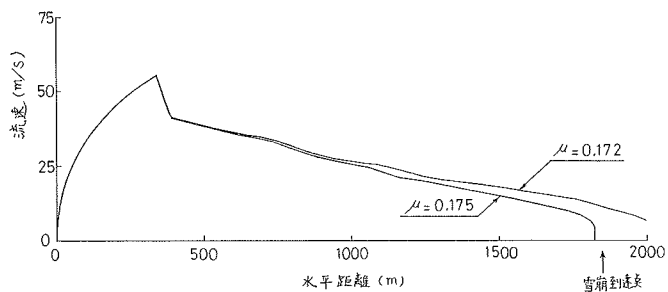


図5 先頭ボールの水平移動距離と平均流速

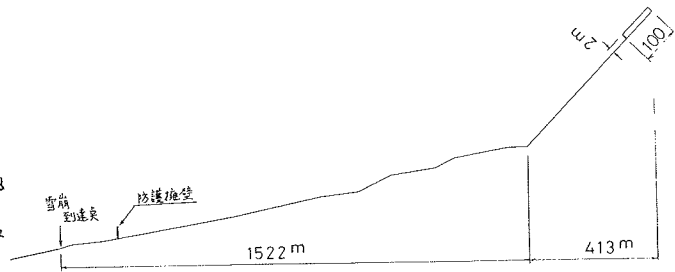


図6 計算モデル