

## 104 雪崩の分散に関する模型実験

建設省土木研究所○藤澤 和範

下村 忠一

中島 久男

### はじめに

雪崩の到達範囲を予測するためには、発生位置の予測、流下経路の予測、堆積位置の予測と共にその面的な広がりについての情報が必要になってくる。そこで、雪崩の発生から堆積までの面的な広がりについて災害事例等を参考にして観察みると、一般的に流動域は幅が狭く堆積域は広いことが多い。したがって、ここでは雪崩が流走域から堆積域に進む場合の雪崩の広がりについて模型実験を通して検討する。

### 1 実験の目的

山腹斜面及び谷地形に沿って流下する雪崩が扇状地等の勾配変化点に移動する場合の雪崩の流下幅の変化及び分散角を明らかにするものである。

### 2 実験の概要

実験は新潟試験所の低温実験施設内で行った。実験施設の概要是、雪を投入するための箱と雪を加速させるための流下斜面及び雪崩の分散状況を調べるために堆積面からなっている。実験条件は表-1に示すように室温、雪崩の速度、雪崩の流下幅、堆積面勾配及び堆積面の粗度を変化させて行った。雪崩の速度は斜面の下部で複数のビームセンサーによりその通過時間差から速度を求めた。雪崩の流下深はビデオから読み取った。雪崩の分散状況は5cm間隔のメッシュを入れた堆積面をその上部に吊したビデオにより撮影し、録画画像から読み取った。

### 3 実験結果及び考察

堆積面での雪崩の広がりの状況を図-2に示す。斜面中央部が側壁に近い部分よりも流速が大きいため、雪崩の先頭部分は舌状に広がる。時間の経過とともに、斜面から堆積面に流出する雪崩

表-1 実験ケース

|        |      |      |     |
|--------|------|------|-----|
| 流下斜面勾配 | 30°  | 40°  |     |
| 堆積面勾配  | 0°   | 10°  | 20° |
| 流下斜面幅  | 20cm | 40cm |     |
| 堆積面粗度  | FRP面 | 積雪面  |     |
| 室温     | -1°  | -10° |     |

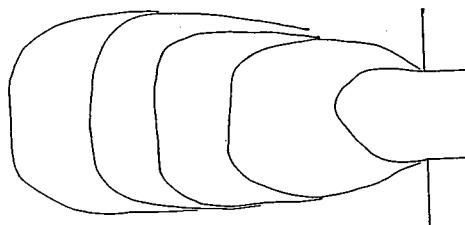


図-2 雪崩の広がりの状況

は直進と共に横にも広がりはじめ紡錘形状を示すようになる。堆積はその紡錘形状の先頭部分がまず停止し、その堆積物が障害となり、後続の雪崩が上流側に堆積を延ばして行く。この時にも斜面の中央部と側壁に近い部分での流量の違いによって堆積を三日月形に近い形状から紡錘形状の堆積へと変化させて行く（図-3）。

図-4には雪崩の流下、堆積までを、一定幅の斜面内において行った実験結果を示してある。この実験でも雪崩の堆積は先頭部分の堆積物が障害になり、堆積が上流側に進行している様子がうかがえる。雪崩の広がりの状況を調べるために図-5に示すように堆積面と斜面の結合部分からの流下距離と雪崩の広がりを計測し、整理したものが図-6である。この図から分かるように流下距離と流下幅の関係は直線ではなく、流下距離が大きくなるにつれて流下幅の広がる割合は小さくなる傾向がみられる。

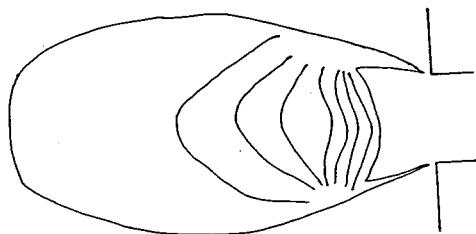


図-3 雪崩の堆積の進行状況

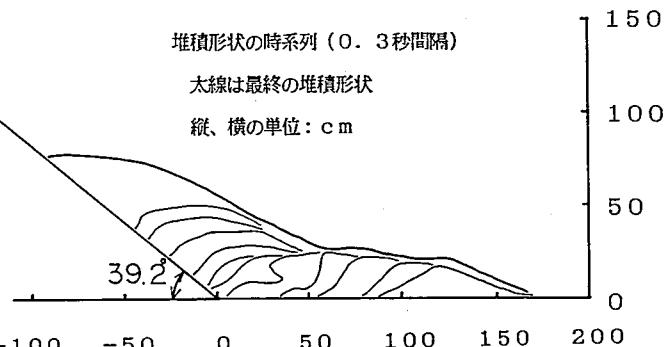


図-4 側壁に囲まれた斜面内での堆積の進行状況

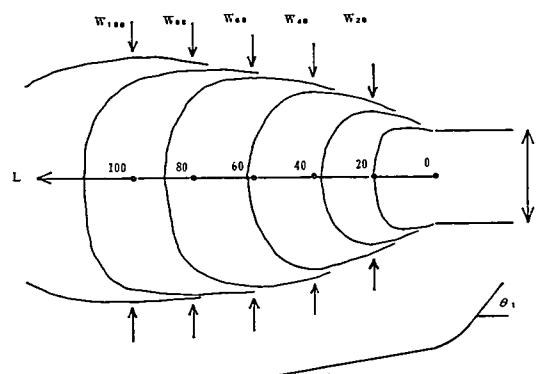
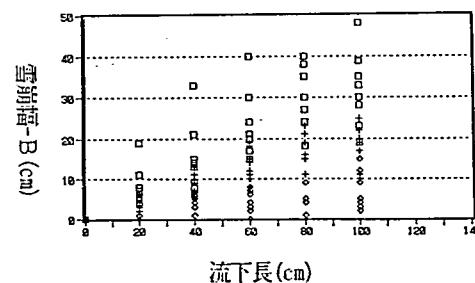
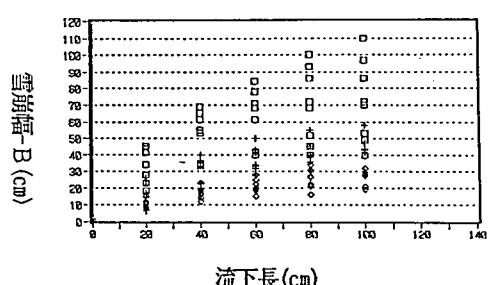


図-5 雪崩の広がりの測定位置



□: 堆積面勾配0°、+: 10°、△: 20°

図-6 雪崩幅の流下長の関係

ここで、雪崩の広がりを説明するために、雪崩を構成する1つの粒子に着目し、次のようなモデルを考えた。図-7に示すように雪崩を構成する粒子は、 $V_0$  の速度で勾配変化点に流下した場合、この粒子は $V_u$  の速度で堆積面に衝突することになる。衝突後のこの粒子の運動を考えてみると、 $V_u$  で堆積面に対し直角に衝突した粒子は、衝突点を中心とする半円球方向のいずれかへ  $kV_u$  の速度を持って移動することが予想できる。ここで  $k$  は衝突によって失われるエネルギーに関する係数である。 $V_H$  は堆積面に平行する速度ベクトルであるため、衝突後の粒子の運動はこの  $V_H$  と  $V_u$  を合成したものになる。この場合、最も大きく外側へ運動する可能性として  $V_1$  が考えられる。 $V_1$  で運動する粒子は図-8で示されるように X 方向、Y 方向の摩擦抵抗を受け、停止に至る。

このモデルにしたがって雪崩の運動及び広がりを記述するとき次のようになる。

$$V_H = V_0 \cos \theta_1$$

$$V_u = V_0 \sin \theta_1$$

$$V_1 = (V_0^2 - (kV_u)^2)^{0.5}$$

$$\tan \theta_2 = kV_u/V_1$$

$$W = (V_1 \sin \theta_2)^{0.5} / 2\mu g$$

$W$  は  $V_0$ 、 $\theta_1$ 、 $\mu$  及び  $g$  で記述でき次のようになる。

$$W = \frac{\sqrt{V_0 \sin \theta_2 / (\cos^2 \theta_1 - k^2 \sin^2 \theta_1)}}{2\mu g}$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{k \sin \theta_1}{\sqrt{\cos^2 \theta_1 - k^2 \sin^2 \theta_1}}$$

すなわち  $W$  は、雪崩の流下速度  $V_0$ 、勾配変化角度  $\theta_1$ 、衝突によって失われるエネルギーに関する係数  $K$  そして摩擦係数  $\mu$  によって支配される。ここで  $\mu$  の値を推定するために雪崩の到達した距離  $L$  と  $V^H$  の関係を用いて求めている。すなわち、雪崩質点の運動と考えると

$$L = \frac{V_H^2}{2g\mu} \quad \mu = \frac{V_H^2}{2gL}$$

である。このようにして求めた積雪面の  $\mu$  の値

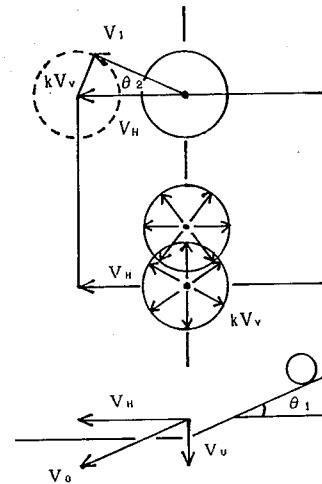


図-7 勾配変化点での衝突後の雪粒子の運動

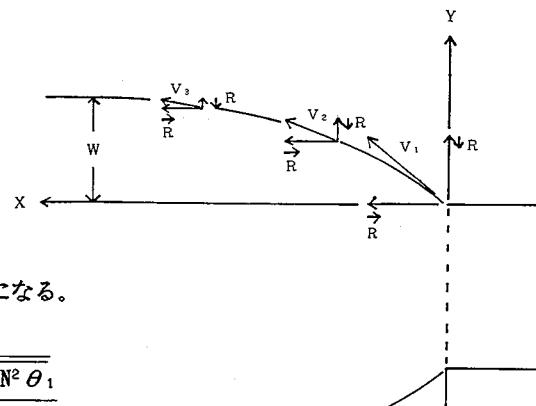


図-8 雪粒子の運動の軌跡

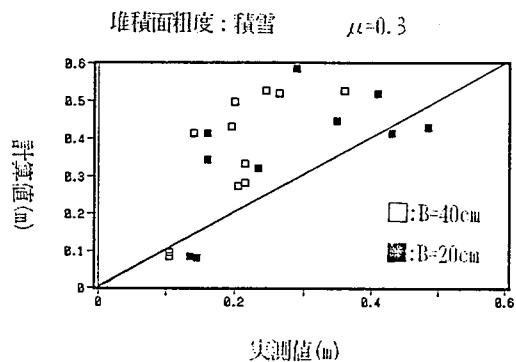


図-9 雪崩の広がりの計算値と実験値の比較

は約0.3である。この $\mu$ の値を使ってデータを整理したものが図-9である。

またFRP面を用いた実験では雪崩が堆積面内に停止せず、こぼれるため、 $\mu$ の逆算ができなかった。

図-9から分かるように雪崩の広がり幅Wは、雪崩流下斜面の巾による影響は見られない。また、計算値の方が実測値より大きい傾向が見られる。このことは計算値の算出にあたって、Wの値が最も大きくなるように取り扱ったことを考えれば、以上の結果は理解されよう。

#### 4 まとめ

雪崩の分散に関する実験より以下の知見が得られた。

1). 雪崩の堆積区域での広がりは、流送域境界からの距離によって変化する。

2). 雪崩の堆積域の最大幅Wは、ほぼ次の式で求められる。

$$W = \frac{\sqrt{V_0 \sin \theta_2 \sqrt{\cos^2 \theta_1 - k^2 \sin^2 \theta_1}}}{2 \mu g} \quad \theta_2 = \tan^{-1} \frac{k \sin \theta_1}{\sqrt{\cos^2 \theta_1 - k^2 \sin^2 \theta_1}}$$