

1. まえがき

表層雪崩は空気と雪水粒子の混合した流れであるが、その運動を室内実験から雪崩の内部速度の分布や雪崩の密度等について調査し、この実験を雪崩運動の一つのモデルで評価、検討したものである。

2. 実験の目的

実験は、主に雪崩の流れ部分を解析の対象とし、2つの内容から成っている。1つは、雪崩の流動実験で雪崩の抵抗機構を検討するものである。一定勾配の斜面を用いて雪崩の定常状態をつくり、その速度分布、流下深、雪崩の濃度等を測定し1つの抵抗モデルにより検討を加えるものである。他の1つは、雪崩の堆積実験で上記と同じ条件で雪崩を流下させて勾配の水平な斜面に雪崩が堆積してゆく形状を測定したものである。この実験は雪崩の到達範囲を予測するための基礎的な実験であり、今後数値計算による再現を試みる予定である。

3. 実験方法

3. 1 実験装置の概要

実験は新潟試験所の低温実験施設内で行なった。その中に雪崩流下斜面とホッパーを設置した。斜面は長さ4 m、幅20 cm、側壁の高さ20 cmであり底面はラワン材を用いて、側面はアクリル板を用いた。ホッパーは雪崩の流出口が直径20 cmの円形であり、約0.2 m<sup>3</sup>の雪を入れることができる。ホッパーの口を開けるだけでは試料雪が流下前に焼結し、雪の流出量が一定にならないため、パブレーターを用いてホッパーに振動を与えながら雪を流下させた。雪崩の流動実験と堆積実験では試料雪の運動や堆積状況を把握するため200フィールド/秒の高速再生ビデオカメラを使用した。雪崩の流下実験では試料雪の定常的な流れとその動態変化がわかるように撮影レンズは12.5～75 mmの接近用のレンズを使用した。

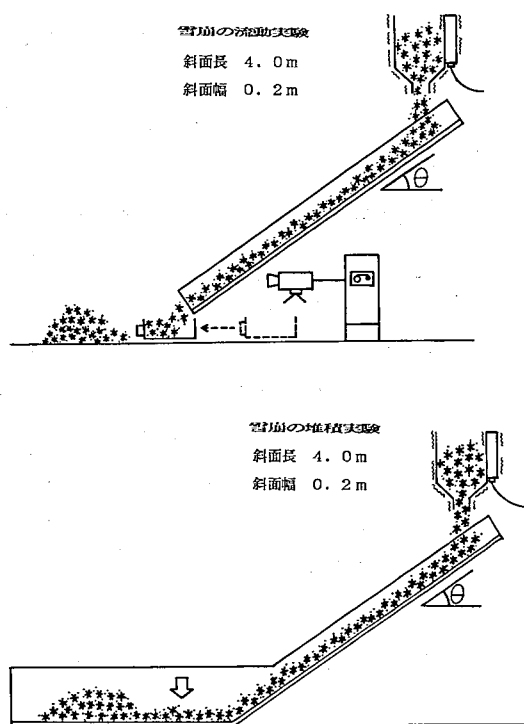


図-1 雪崩の流動実験と堆積実験の概要

堆積実験では雪崩の堆積形状の時系列をとらえるため11～70mmの広角レンズを使用し、勾配変化点付近で固定し、パンニング（場面移動）で撮影した。図-1に流動実験と堆積実験の概要を示す。

### 3. 2 試料雪に関する測定

水をアイススライサーにより粉状にして雪を作成し、更に雪の粒子を追跡し易くするために赤インクを混ぜ合わせた。実験にあたっては、1ケース当たり0.2m<sup>3</sup>を使用し、各実験毎に試料雪を交換した。

次に、これらの試料雪の粒度分布を調べるため、ふるいを用いて粒度分布曲線（図-2）を求めた。

模型斜面の底面はラワン材にスプレーのりを用いて試料雪を接着させた。

試料雪の摩擦係数については、当初模型斜面と同じ方法で粗度を付けた板で実験を行なったが試料雪の焼結時間が早く、1ケース毎の静止摩擦係数が大きくばらついた。そこで、直径が20cmの鉄製の円板の上からじょうごを用いて試料雪を落下させてその安息角をもって動摩擦係数とした。

### 3. 3 実験ケース

実験は3種類の斜面勾配でそれぞれ3回、計9ケース行なった。表-1に実験ケースを示す。

### 3. 4 流動深、速度分布の測定

ホッパーにより試料雪を模型斜面に流し、斜面の下方で高速度ビデオを用いて試料雪の動き、流動深の変化を測定した。そして、流動深が一定になった時間帯を測定の対象として試料雪の動いた距離から速度分布図を作成した。図-3に流動深の時系列図と速度分布図を示す。

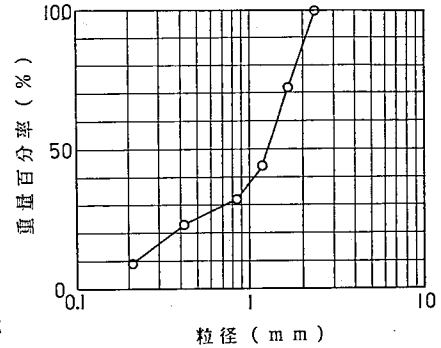


図-2 粒度分布曲線

表-1 実験ケース

No	$\theta$	$\mu_k$	D(cm)	C	$\sigma$	H(cm)	U(cm/s)
1	39.2	0.740	0.13	0.266	0.917	4.0	360
2	//	//	//	0.259	//	4.0	359
3	//	//	//	0.259	//	4.0	368
4	37.1	0.734	0.115	0.289	//	4.0	331
5	//	//	//	0.274	//	4.0	348
6	//	//	//	0.218	//	4.5	354
7	33.7	0.713	0.125	0.273	//	4.0	313
8	//	//	//	0.397	//	3.0	310
9	//	//	//	0.257	//	4.0	318

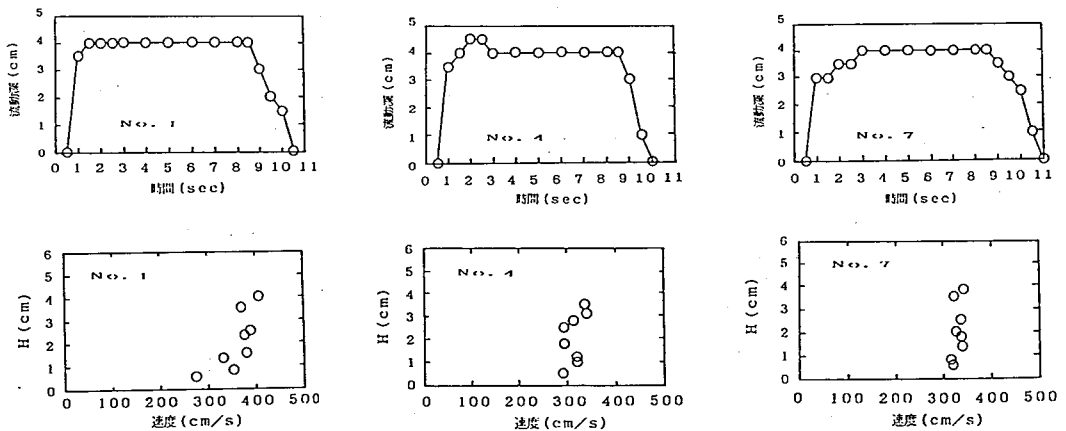


図-3 流動深の時系列図、速度分布図

### 3. 5 雪崩の濃度

雪崩の流動深が一定になってから斜面の下流端で2秒間、採取箱を用いて直接試料雪を採取した。この重量と先に得られた平均流速から流量を求め、式(1)のように雪崩の流下濃度を求めた。

$$C = \frac{W / \sigma}{U \times (B \times h)} \quad \text{----- (1)}$$

C: 雪崩濃度

W: 雪の重量 (g / s)

$\sigma$ : 雪の密度 (g / cm<sup>3</sup>)

U: 雪崩の平均流速 (cm / s)

B: 斜面巾 (cm)

h: 雪崩の流下深 (cm)

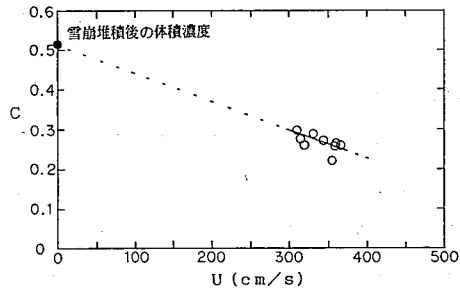


図 - 4 濃度分布

平均流速と雪崩の濃度の関係を図-4に示す。

雪崩の平均流速が大きくなるにつれて雪崩の濃度が小さくなる関係がみられる。また図中には雪崩の堆積実験を行なった際のデブリの濃度を調べ、黒丸で示している。

### 3. 6 雪崩の堆積実験

実験条件は3. 3の流動実験と同じである。雪崩の堆積形状は0. 3秒間隔で画面から読みとった。図-5に雪崩の堆積形状を示す。時間の経過に従って扇状地形が発達するような堆積形状とは異なり、先行する雪のデブリに後続の雪が乗り上げるように堆積して壁をつくりデブリが遡上して行く。

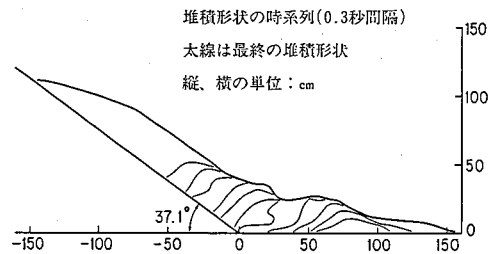
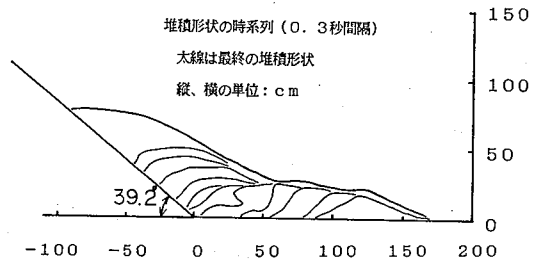


図 - 5 雪崩の堆積の時系列図

### 4. 解析及び検討

粒子流の運動機構については、すでに研究されている<sup>1)</sup>。ここでは計算過程の積分定数を考慮すると、速度分布曲線  $u(h)$ 、平均流速  $U$  について次の式が得られる。

$$u(h) = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{Cg(\sin\theta - \mu_k \cos\theta)}{(\pi/12)\sin^2\alpha(1-e^2)(1/b)D^2}} \{H^{3/2} - (H-h)^{3/2}\} + u_a \quad \text{----- (2)}$$

$$U = \frac{2}{5} \sqrt{\frac{Cg(\sin\theta - \mu_k \cos\theta)}{(\pi/12)\sin^2\alpha(1-e^2)(1/b)D^2}} H^{3/2} + u_a \quad \text{----- (3)}$$

ただし、C:雪崩の体積濃度 g:重力加速度 H:雪崩の厚さ  $\theta$ :斜面勾配  $\mu_k$ :試料雪の動摩擦係数  $\alpha$ :試料雪の衝突角 e:試料雪の反発係数 b:試料雪の間隔に関する係数 D:試料雪の直径

$u_e$  は試料雪のすべりによる速度であり、移動距離と速度の関係は次のように求められる。

$$u_e = \sqrt{2g(\sin\theta - \mu \cos\theta)l} \quad \text{----- (4)}$$

$l$ : 斜面上を移動した距離

ここでNo.1の実験について(2)式を用いて速度分布図を求める。 $C, g, H, \theta, \mu, D$ は測定されており表-1に整理している。 $b$ の値は図-6に示す試料雪の配列モデルを考えると

$$C = \frac{(\pi/6)D^3}{(bD)^3} \quad \text{すなわち} \quad b = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6C}} \quad \text{である。}$$

また試料雪の反発係数 $e$ は水の反発係数についての研究成果を参考にした<sup>2)</sup>。水粒子の反発係数は水粒子表面の微小な凹凸や亀裂により大きくばらつき、雪崩内部での雪水粒子の衝突併合についても同様な現象が生じていることが予想される。従ってその雪水粒子の衝突速度は図-3のNo.1の速度分布図等から数十cm/sであることを考慮して $e = 0.5$ とした。 $\alpha$ の値については土石流の研究から $\alpha = 30^\circ$ とした<sup>3)</sup>。また計算により $u_e = 2.0 \text{ m/s}$ である。以上により求めた速度分布図を、図-7に示す。このことから粒子流の抵抗則とすべり速度を考慮することにより、うまく雪崩内部の速度分布を表現できることがわかる。

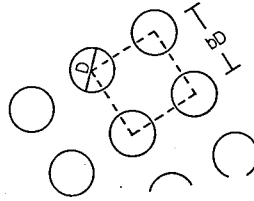


図-6 試料雪の配列モデル

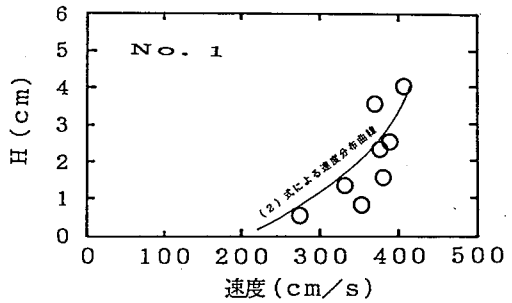


図-7 速度分布図

## 5. 研究結果

- 1 雪崩内部の速度分布図、及び雪崩の堆積形状の時系列を室内実験により測定した。
- 2 運動中の雪崩濃度を実測より求めた。
- 3 流れ型雪崩の運動について、粒子流の抵抗則が応用できることを示した。
- 4 流れ型雪崩の速度分布について、すべり速度を考慮に入れる必要のあることを示した。

## 6. おわりに

実際の雪崩の速度については数十mに達するものがあり、この場合には空気の抵抗が無視できないものと考えられる。また雪崩の堆積形状を見ても粒子流とは異なったものになっている。今後、詳細に速度分布形状や堆積状況等を検討し雪崩の抵抗機構について検討を進める予定である。

- 参考文献
- 1) 崩土流下時の抵抗則について 藤沢他 平成元年度砂防学会研究発表会概要集
  - 2) 水の反発係数の測定 荒岡邦明、前野紀一 低温科学 物理編 36号
  - 3) 土石流の発生と流動に関する研究 高橋 保 京大防災研究所年報 20号B2
  - 4) 降雪粒子の落下速度に関する一考察 鈴木他 雪氷 50巻2号 (1988) P63-71