

建設省土木研究所 ○ 中西 宏  
 建設省土木研究所 浅井 涌太郎  
 建設省土木研究所 仲野 公章  
 建設省土木研究所 下村 忠一

1. はじめに 豪雪地帯の土石流危険渓流では、土石流のみならず、雪崩の危険もある。砂防施設が雪崩により損傷し、土砂調節機能が損なわれたい例も報告されている。

一方、擁壁や杭等の構造物に対する雪崩の作用については、スイス、フランスや我が国で若干の研究がなされているが、まだ不明な点も多い。斜面を流下する雪崩の挙動をはじめとし、構造物の近傍での雪崩の挙動や衝撃力などについて今後の研究が待たれている。

本報では、厳冬期に、斜面模型を用いて雪崩模型実験を行ない、乾雪の雪崩の挙動と擁壁に対する雪崩衝撃力を計測し、その評価式を検討した。

2. 実験法 図1に実験の概要を示す。土木研究所新潟試験所(新井市)の地すべり実験棟内に斜面模型(長さ7.75m、巾1m、傾斜角40°、図2参照)を設置し、その上端より屋根の上まで雪流下箱搬入路を取り付けた。雪流下箱は塗装ベニヤから成る内のり2m×1m×

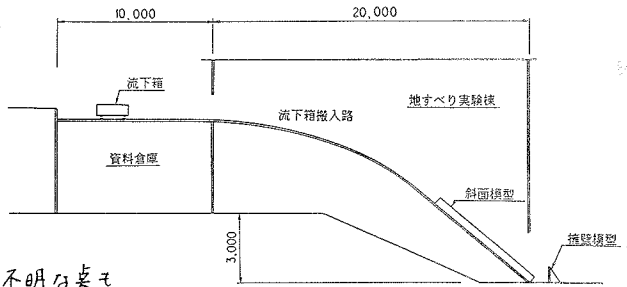


図1 実験の概要

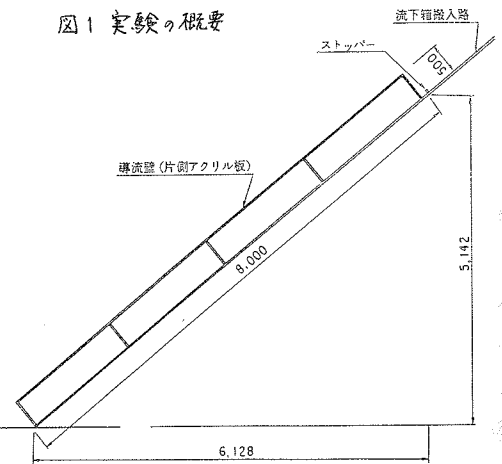


図2 斜面模型

高さ0.8mの大きさである。また斜面下の水平部に、図3の擁壁模型を設置し、さらに高さ156mmの床版を敷いた。

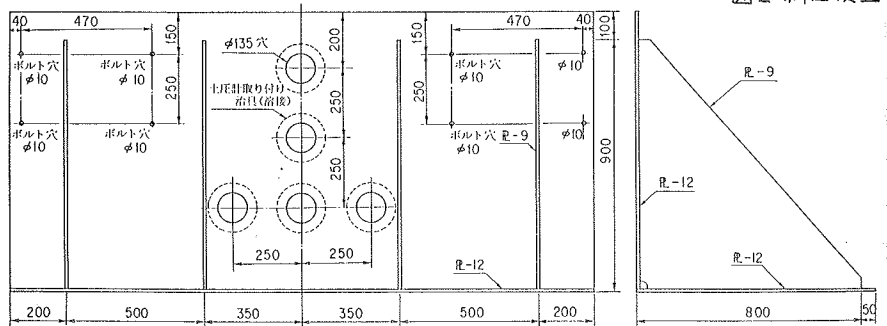


図3 擁壁模型

実験では、屋根上に3つの流下箱を置き、所定の降雪があれば、流下箱を斜面模型の上端まで運び、流下箱の前部の板を倒して雪を流下させた。また、流下箱の周囲の降雪を用いた実験も行なった。また各実験毎に、流下前後の雪の硬

度および密度、流下前の雪の含水率、雪崩の流下速度等を計測した。雪崩の流下速度はビームセンサーおよびビデオにより計測した。

3. 実験ケース 表1に27ケースの実験の内容を示す。雪質のうちの新雪は流下箱への降雪をそのまま使うことを表わし、堆雪は流下箱の周囲の雪を流下箱に詰め実験することと表わす。表1最右欄は模型の設置状態を表わし、図4に示すとおりである。密度は流下前の雪の密度である。

#### 4. 実験結果

4.1 斜面模型での雪崩 全ケースとも、流下箱から滑り出た雪はブロック状のものを斜面模型を滑降し、斜面下の水平部で初め流動化した。流動化した雪は擁壁に衝突すると、上方に吹き上げ、最後に図5に示すように堆積した。なお、雪の流下の際、雪の粘着力に

より、雪が2~3ブロックに分れて流下し、計測値に影響を受けたとみられる場合がかなりあった。

#### 4.2 斜面での流速

図6に斜面下端での雪の流速を示す。

本実験では雪がブロック状で滑落して

ることから、質点の運動として、その速度を次式で評価した。

$$V_0 = \{2Lg(\sin\theta - \mu\cos\theta - \frac{cA}{W})\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$\theta$ : 斜面傾斜角 ( $40^\circ$ )

$\mu$ : 斜面と雪との摩擦係数

$c$ : 同上粘着力

$A$ : 雪ブロックの底面積 ( $2\text{ m}^2$ )

$W$ : 同上重量

$L$ : 斜面の長さ ( $7.75\text{ m}$ )

$g$ : 重力加速度

表1 実験ケース

ケース	実験日	気温(°C)	雪質	雪の密度( $\text{kg/m}^3$ )	雪の深さ(cm)	模型
1	1月21日	0.7	新雪	0.122	31.0	擁壁 0°
2	21日	2.5	堆雪	0.184	50.0	擁壁 0°
3	21日	2.5	新雪	0.123	32.0	擁壁 0°
4	21日	2.0	堆雪	0.232	51.0	擁壁 0°
5	21日	2.0	新雪	0.124	32.0	擁壁 30°
6	21日	1.5	堆雪	0.192	52.0	擁壁 30°
7	21日	1.0	堆雪	0.196	51.0	擁壁 30°
8	21日	1.5	新雪	0.135	25.0	擁壁 45°
9	21日	1.0	堆雪	0.165	49.0	擁壁 45°
10	1月22日	-3.2	新雪	0.099	38.0	擁壁 45°
11	22日	-3.0	堆雪	0.148	68.0	擁壁 45°
12	22日	-2.5	新雪	0.106	39.0	擁壁 30°
13	22日	-2.0	堆雪	0.124	67.0	擁壁 30°
14	22日	-1.5	新雪	0.100	41.0	擁壁 0°
15	22日	-2.0	堆雪	0.147	72.0	擁壁 0°
16	22日	-2.0	新雪	0.111	43.0	擁壁 2次元
17	22日	-2.0	堆雪	0.133	71.0	擁壁 2次元
18	1月24日	1.0	新雪	0.141	79.0	擁壁 0°
19	24日	1.0	堆雪	0.171	36.3	擁壁 0°
20	24日	2.0	新雪	0.133	77.9	擁壁 2次元
21	24日	2.0	堆雪	0.162	36.8	擁壁 2次元
22	24日	3.2	新雪	0.139	76.8	擁壁 30°
23	24日	3.3	堆雪	0.156	32.5	擁壁 30°
24	24日	1.8	新雪	0.126	65.3	擁壁 45°
25	24日	1.8	堆雪	0.232	30.5	擁壁 45°
26	24日	0.5	新雪	0.143	32.3	擁壁 2次元
27	24日	0.5	堆雪	0.174	46.0	擁壁 2次元

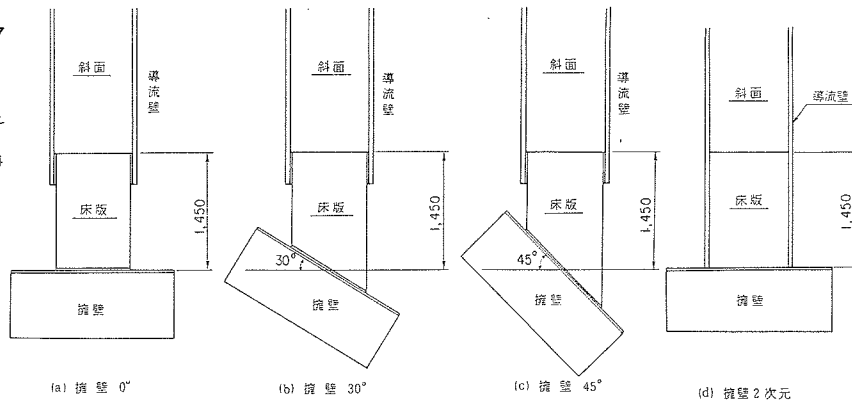


図4 模型の設置状態

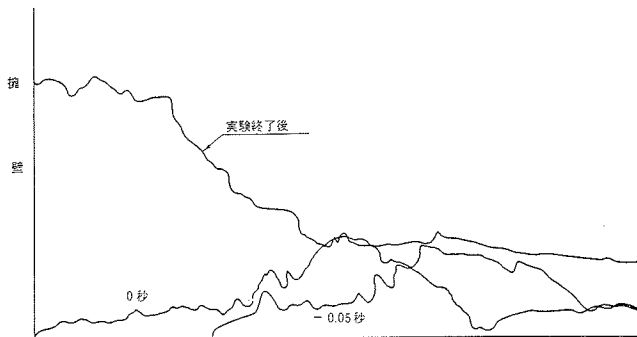


図5 雪崩の堆積の例

図6に、 $C = 4 \text{ kgf/m}^2$ 、 $\mu = 0.1$  としたときの  $V_0$  と実線を示す。図より、式(1)は実験値と良く表わしていることが分る。

4.3 水平部での流速 ブロック状で滑落してきた雪は斜面勾配の変化と共に減速するが、ブロック先端の上部の雪が速い速度で走る場合がある。図8に、斜面下端での流速と水平部での流速の比を示す。また、図8の実線は、水平部の  $H \sin \theta$  の長さだけ摩擦抵抗が小さくとして、水平部の流速  $V_1$  と式(2)で評価したときの  $V_1/V_0$  である。Hは積雪深である。

$$V_1 = V_0 - (2\mu H g / \sin \theta)^{1/2} \quad (2)$$

4.4 水平部の雪崩層厚 水平部で流動化した雪の流動厚は斜面滑落時の雪ブロックの高さに比べてかなり低い。図7にビデオ記録より読み取った雪崩先端の層厚を示す。この層厚は斜面での雪ブロックの流れ方に大きく影響される。図7の○印は、雪ブロックが分割されず、水平部でほぼ均一な層高の流れができた場合のもので、●印は雪が数ブロックに分れて滑落し、水平部で凹凸のある流れを形成する場合のものである。図7の実線は○印の実験値より最小二乗法で求めた曲線である(式(3))

$$d = [H_0(H - H_0)]^{1/2} \quad H_0 = 0.14 \text{ m} \quad (3)$$

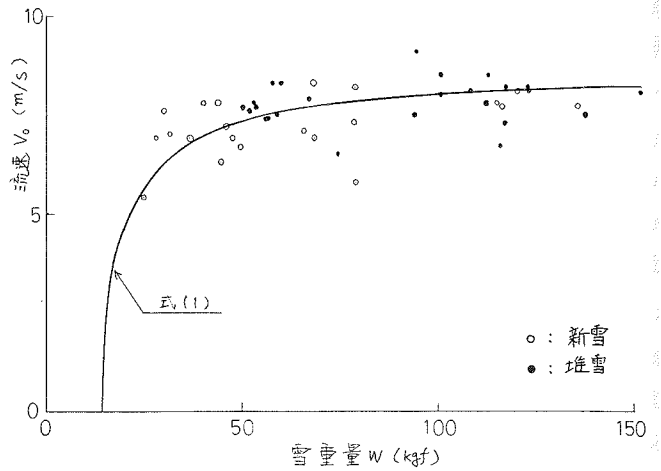


図6 斜面下端での流速

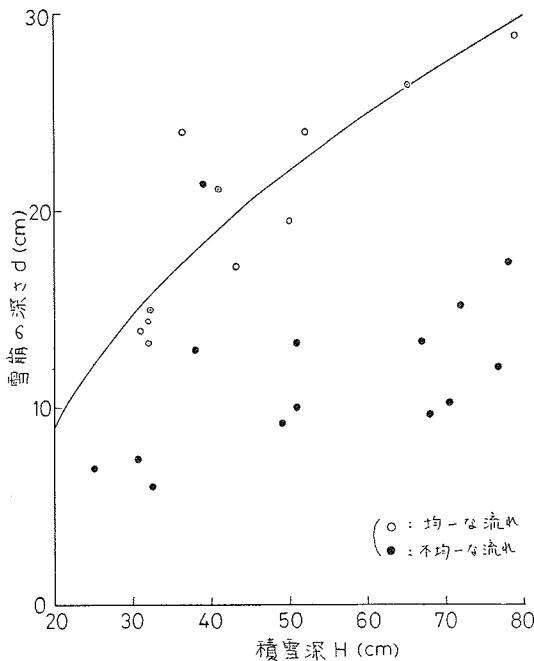


図7 水平部での雪崩の深さ

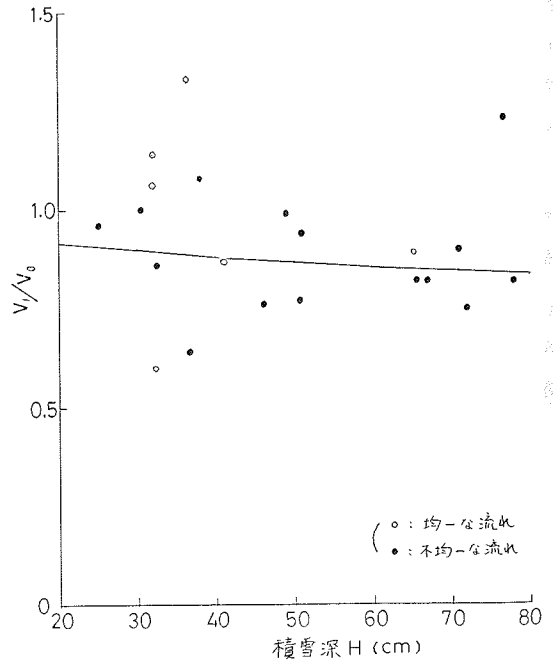


図8 斜面下端と水平部での流速の比

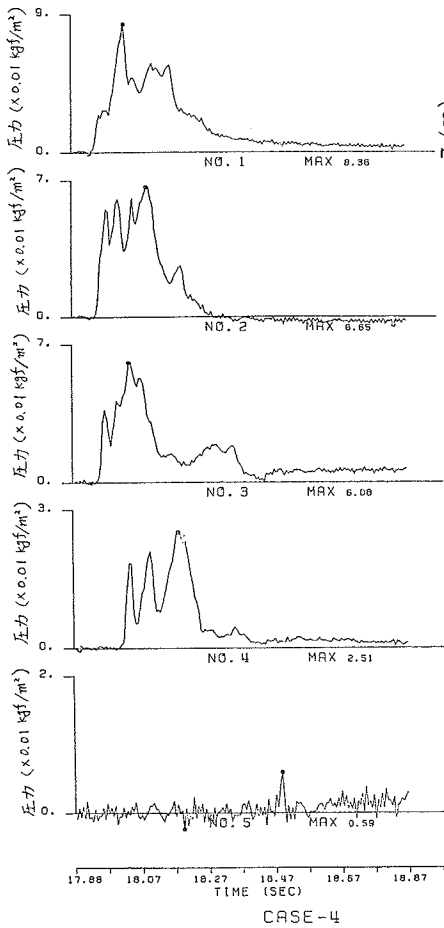


図9 雪崩衝撃圧の計測例

4.5 雪崩衝撃力 図9に擁壁模型に取り付けた土圧計の計測値の1例を示す。No.1~3は下段に取り付けた土圧計 (No.2が中央) の記録であり、それらのピーク値にはかなりのバラツキがある。No.3は中段、No.4は上段の土圧計の記録である。

図10に、擁壁模型に雪崩が垂直に衝突した場合の衝撃圧の計測ピーク値 $P$ とその評価値 $P_e$ の比を示す。衝撃圧の評価値 $P_e$ は、図12の流れと想定し、つぎの流れ関数中より、

$$p = \frac{V_1}{9d^2} x^2 y - \frac{V_1}{3d} x^2 - \frac{V_1}{27d^2} y^3 + \frac{V_1}{3d} y^2 \quad (5)$$

$P_{x=0}$  となるについて  $0 \sim 3d$  まで積分したものが  $\rho V^2 d / (1+\mu)$  に等しいと考え、式(6)のように求めた。

$$P_e = \left\{ \frac{9+4\mu}{15(1+\mu)} - \frac{1}{2} \left( \frac{2\mu}{3d} - \frac{y^2}{9d^2} \right)^2 \right\} \rho V_1^2 \quad (6)$$

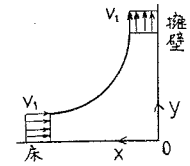


図12 擁壁上部の流れ

また、図11に、擁壁に $\beta$ の角度で雪崩が衝突する場合の衝撃圧の計測ピーク値と $P_e \sin \beta$ の比を示す。バラツキが大きいのが、 $P_e \sin \beta$ はほぼ実験値と表わすといえる。

5. あとがき 本実験では雪の流れの状態および画像記録の読み取りによる誤差がかなりあると思われる。現在、パライトを用いた室内実験を行っており、今後併せて考察を加えていく。

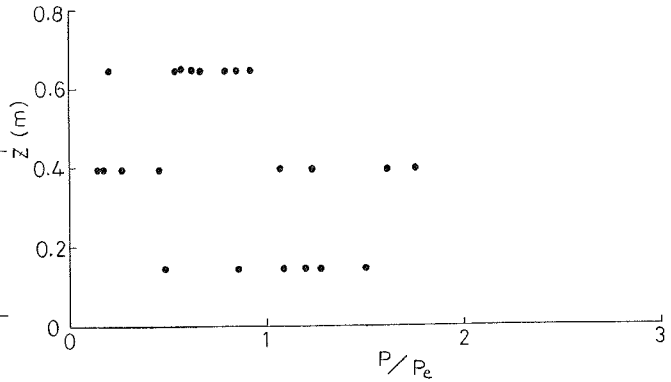


図10 雪崩衝撃圧

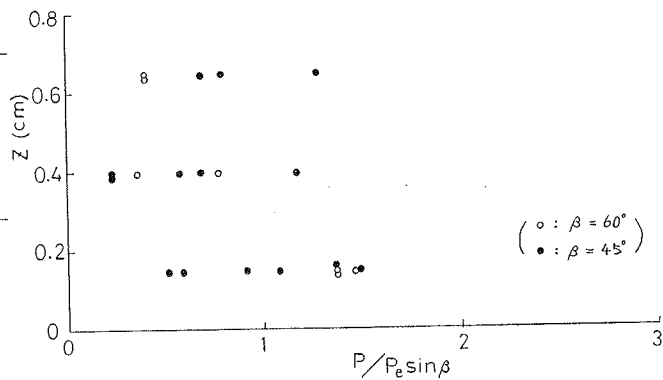


図11 雪崩の衝突角度による衝撃圧の変化