

建設省土木研究所 ○寺田 秀樹  
 下村 忠一  
 藤沢 和範

1. まえがき

大規模な表層雪崩に対する対策としては、まず発生区における予防施設による対策が考えられるが、地形・地質条件や経済性等から、走路・堆積区における防護施設を計画した方が有利な場合がある。集落を保全するための雪崩防護施設には、減勢工、誘導工及び阻止工があるが大規模な表層雪崩に対しての設計・施工法については不明な点が多く、その確立が急がれているところである。

そこで、防護施設のうち誘導工について、誘導擁壁に作用する衝撃力特性や擁壁の設置角度と雪崩の誘導効果との関係等を明らかにすることを目的として低温室内において基礎的な実験を行ったので報告する。

2. 研究方法

新潟試験所低温実験施設内に設置した斜面(図-1)において斜面上部から資料雪を流下させ、斜面下方に設置した擁壁模型等に衝突させ、その際の衝撃力等を測定すると

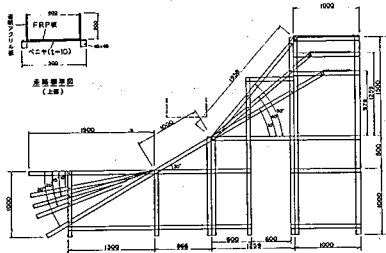


図-1 模型斜面

ともに、誘導量、越流量等を計測した(図-2)。また、擁壁模型衝突後の流下状況を上方に吊したビデオカメラにより撮影した。

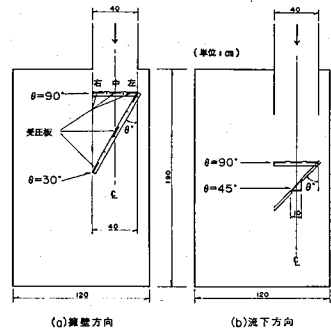


図-2 受圧板模型設置模式図

3. 研究結果

3. 1 誘導擁壁に作用する衝撃力

3. 1. 1 受圧板の位置と衝撃力

模型斜面を流下する雪崩の速度は、走路の側板等の影響によりその両端で遅く、中央で速くなる。

このため、雪崩方向に直角に擁壁を設置した場合には、衝撃力の分布も、中央で最も大きな値を示す(図-3)。そこで、直角に設置

した際に各々の受圧板に作用した衝撃力に対する比で表すことにより、それらの影響を補正した。図-4に設置角度を変化させた場合の、受圧板の位置別の衝撃力比の分布を示した。

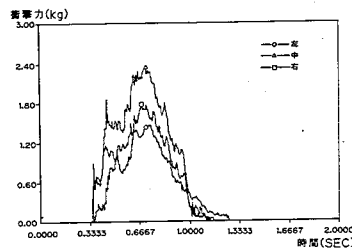


図-3 受圧板に作用する衝撃力波形(90°)

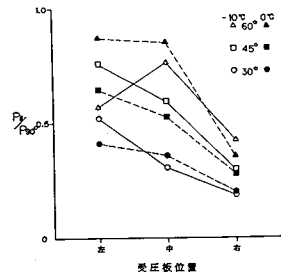


図-4 受圧板位置別衝撃力比

これから、設置角度が鋭角になる程衝撃力比が低下し、その分布は流下方

向に向かって左側（上流側）の方が大きく、右側に向かうほど小さくなるのがわかる。

これは、擁壁の設置方法が、左端を上流端としているためと考えられる。すなわち、擁壁の設置角度によって、擁壁沿いに左端（上流側）から右端（下流側）に向かう流れが生じるため、正面から流下した雪崩に対して、緩衝作用を及ぼすものと考えられる。

### 3. 1. 2 壁面に作用する衝撃力

雪崩に対してある角度をもって設置された擁壁に、直角に作用する衝撃力の算定式について検討した。

雪崩層厚を一定と考えると、雪崩方向に直角な壁面に作用する単位幅（= B）当りの衝撃力  $P_0$  は、次式で与えられる<sup>1)</sup>。

$$P_0 = \frac{\gamma}{g} \cdot V^2 \cdot B \quad \text{----- (1)}$$

ここに、  
 $\gamma$ : 雪崩の密度 ( $t/m^3$ )  
 $g$ : 重力の加速度,  $9.8 (m/s^2)$   
 $V$ : 衝突時の雪崩速度 ( $m/s$ )

この雪崩に対し、角度  $\alpha$  をもって設置されている擁壁に直角に働く衝撃力を  $P_{y1}$  とすると（図-5）、雪崩の流下方向に直角な作用幅（= B）に対する衝撃力が擁壁の設置角度とかわりなく一定であれば、以下のよう

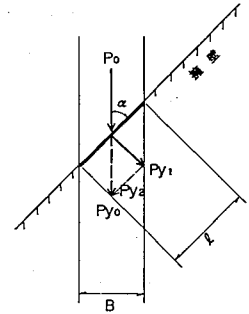


図-5 擁壁に作用する力と作用幅

$$P_{y1} = P_0 \cdot \sin \alpha \quad \text{----- (2)}$$

そこで、受圧面の角度を変えて、雪崩方向に直角な一定の作用幅（B = 10cm）に作用する衝撃力を計測した（図-2(b)）。その結果を図-6に示した。衝撃力は、受圧板を雪崩幅の中央に設置したため、90°の擁壁の値に対し70%程度の値となっているが、30°と45°とでは、ほぼ一定の値を示している。

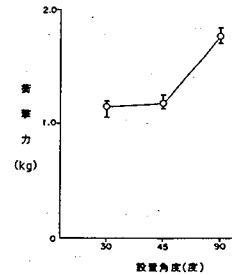


図-6 流下方向に作用する衝撃力

したがって、式（2）に式（1）を代入すると、雪崩の流下方向に直角な作用断面積（ここでは、作用幅 B）に対して擁壁方向に直角に作用する衝撃力は、次式で表すことができることになる。

$$P_{y1} = \frac{\gamma}{g} \cdot V^2 \cdot B \cdot \sin \alpha \quad \text{----- (3)}$$

ところで、雪崩方向に直角な単位幅 B に対応する擁壁延長は、

$$B = l \cdot \sin \alpha \quad \text{----- (4)}$$

であるから、式（2）は雪崩の作用する擁壁方向の長さ  $l$  に対しては、

$$\begin{aligned} P_{y1} &= \frac{\gamma}{g} \cdot V^2 \cdot (l \cdot \sin \alpha) \cdot \sin \alpha \\ &= \frac{\gamma}{g} \cdot V^2 \cdot l \cdot \sin^2 \alpha \quad \text{----- (5)} \end{aligned}$$

と表すことができる。

そこで、角度を変えて設置した擁壁に作用した衝撃力を計測した（図-2(b)）。この際の受圧板は、走路左端（上流端）のもので、その大きさは一定（10cm×10cm）である。この衝撃力を雪崩方向に直角に設置した擁壁の左端の受圧板に作用した衝撃力に対する比の形で整理した。

すなわち、式（5）において  $l = \text{const}$  とすると、

$$P_{\alpha} / P_{90^{\circ}} = \sin^2 \alpha$$

また、式（3）において、 $B = \text{const}$  とすると、

$$P_{\alpha} / P_{90^{\circ}} = \sin \alpha$$

となる。

図-7に、各々に対応した値を設置角度別に示した。なお、 $B = \text{const}$  の場合には（ $\div \sin \alpha$ ）として  $B = 10$  cmとなるように換算している。この図から、実験値は

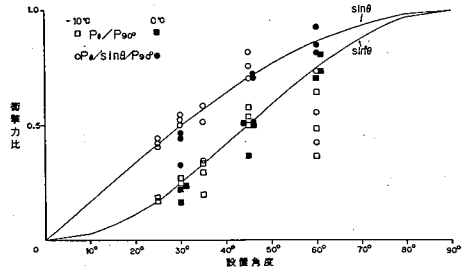


図-7 設置角度と衝撃力比

バラツキはあるものの、式（3）、（5）から求められる各々の曲線と適合していると考えられる。

### 3. 2 誘導擁壁の各種効果

#### 3. 2. 1 検討方法

誘導擁壁の効果については、次の3つの項目から検討した。すなわち、雪崩通過後の擁壁前面での堆積量、擁壁の背後方向への越流量及び擁壁の延長方向の外側へ流下した誘導量である（図-8）。

#### 3. 2. 2 設置角度・長さとの誘導率

設置角度を変化させた場合の誘導率を図-9に示した。ここで、誘導率とは全流下量に対する誘導量の割合である。これから、設置角度が45°より大きくなると誘導率は15%程度であるが、30°にすると40%程度まで急激に上昇することがわかる。

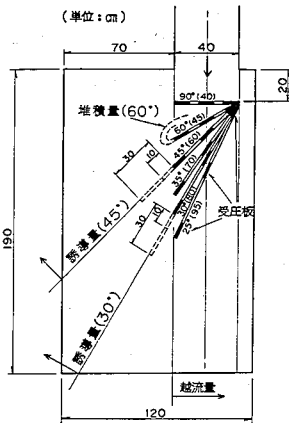


図-8 誘導効果の計測量模式図

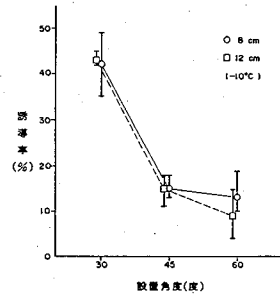


図-9 擁壁設置角度と誘導率（雪量別）

次に、設置角度30°と45°について擁壁の長さを下流方向に各々10cm及び30cm延ばした場合（45°:60cm+10~30cm、30°:80cm+10~30cm）について検討した（図-10）。

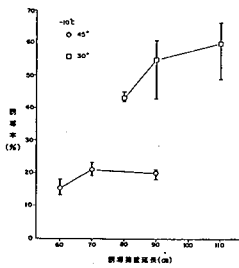


図-10 誘導擁壁の長さとの誘導率（設置角度別）

これから、10cm延長することによって誘導率は、5~10%程度向上するが30cm延長しても、それほど上昇しないことがわかる。

#### 3. 2. 3 設置角度と越流量

擁壁背後に雪崩が流出した量は、設置角度が30°~45°程度ではほぼ

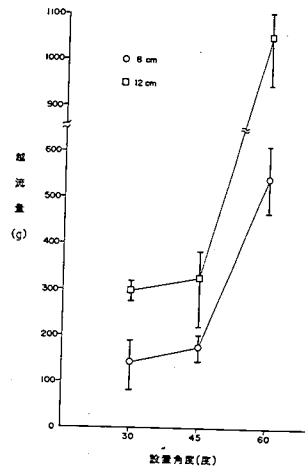


図-11 擁壁設置角度と越流量

同程度であるが、60°になると急激に増加していることがわかる（図-11）。

また、雪崩量を5割増した場合にも同様な傾向を示すが、越流量の増加割合は、2倍程度にもなった。これは、擁壁衝突時の雪崩層厚が増大しているためと思われる。しかしながら、雪崩層厚は、雪量8cm（60×40×8）の場合に5～6cm程度で、雪量12cm（60×40×12）の場合でもせいぜい1～2cm程度の増大であることから、擁壁の高さ（今回は10cm）は、越流量に大きく影響するものと考えられる。

### 3. 2. 4 設置角度と堆積量

設置角度による擁壁前面への雪崩の堆積量の変化を図-12に示した。これから、設置角度が大きくなると堆積量が増加する傾向がわかる。また、図-12には室温別にも示したが、温度が0℃になると堆積量は増加し、特に60°の設置角度の場合の増加量が顕著であった。これは、温度が高くなると雪粒子の粘着力が増大し、流動性が低下するためと考えられる。

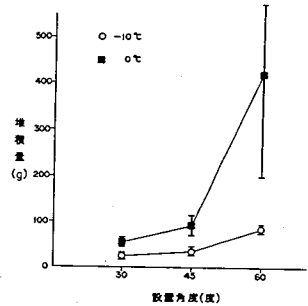


図-12 擁壁設置角度と堆積量（室温別）

しかしながら、堆積量そのものは今回の実験の範囲では、最大でも全流下量の1割未満であった。

これは、斜面表面に雪と抵抗の少ないFRP板を使用しているためと思われる。

### 3. 2. 5 誘導効果

以上から、誘導効果についてまとめると、誘導率として評価した場合、設置角度30°に対して45°以上の場合は効果が低くなったが、越流量及び堆積量としてみた場合には、30°と45°とではそれほど大きな差はみられなかった。

また、30°の場合の誘導率を見ても40%程度であることから、雪崩の多くの部分は、今回評価した誘導と越流の中間の部分へ流下していると考えられる。したがって、雪崩の直進幅の外側では、衝突後の雪崩幅に見合うだけ擁壁を下流側に下げて設置する等の検討も必要になる。

さらに、衝突した雪崩が壁面に沿って飛び上がる等から擁壁の高さとともに、壁面の法勾配が誘導効果に大きく影響するものと考えられた。

## 4. 今後の研究の方向

衝撃力の算定方法については、雪崩幅全体の衝撃力について計測し、今回の結果について確認するとともに、雪崩幅と擁壁方向の衝撃が減衰率との関係について検討する必要がある。また、誘導効果については、擁壁の高さ、法勾配について検討する必要がある。さらに、衝突後の流下経路そのものの検討も必要と考えられることから、斜面勾配による変化についても検討の必要がある。

今後は、これらについて、雪崩速度や雪崩量等との関係を検討して行く予定である。

## 参考文献

- 1) (社)日本建設機械化協会(編), 新編防雪工学ハンドブック, 1988, 森北出版(株)