

# P14 雪崩誘導柵に関する模型実験

建設省土木研究所 ○小林 純 寺田秀樹 藤澤和範  
大浦二朗 中村良光

はじめに

雪崩防護施設の一つである雪崩誘導工のうち、水平部材が多数配置された誘導面をもつ誘導柵に的を絞って、その部材設置間隔(空隙率)、部材断面形状、及び衝突角度を変化させながら誘導効果を検討した。尚、ここでは誘導工の延長方向に導かれた雪崩の量を誘導量とし、全雪崩量に対する誘導量の割合(誘導率)を誘導柵の効果判定に用いる指標とした。

## 1. 人工雪を用いた低温実験施設内における模型実験

### 1.1 実験装置

実験斜面は、建設省土木研究所新潟試験所・低温実験施設内(室温 $-10^{\circ}\text{C}$ )に設置した(図-1)。斜面長は約5[m]、落下高さは約3[m]であり、斜面下部を水平に固定し上部を $40^{\circ}$ (流速 $3.5[\text{m}/\text{sec}]$ 程度)で使用した。走路面には雪との抵抗を少なくするために、FRP樹脂板を使用している。走路は亚克力板で仕切り、幅は $40[\text{cm}]$ に設定した。試料雪は $-10^{\circ}\text{C}$ で作成した氷を、アイスライザーによって粉状にしたもので、密度 $0.4\sim 0.5[\text{g}/\text{cm}^3]$ 程度、最大粒径 $2[\text{mm}]$ 程度、中央粒径 $1[\text{mm}]$ 程度である。誘導柵模型は横 $80[\text{cm}]$ 、高さ $40[\text{cm}]$ のスノコ状のものである(図-2)。水平部材の断面形状は、鋼管をイメージした棒鋼( $\phi 6[\text{mm}]$ ,以下丸型と記す)と、角形鋼管または形鋼をイメージした角棒鋼( $6\times 6[\text{mm}]$ ,以下角型と記す)の2種類であり、水平部材の間隔を3種類にすることで空隙率を変化させた。

### 1.2 実験方法

①水平部材の断面形状、②空隙率③衝突角度( $\theta$ )、④柵背後の堆積面の有無、と誘導率及び通過流の堆積状況との関係について検討した。①水平部材の断面形状と②空隙率は6種類の模型を使用することで、③衝突角度は模型の設置角度を変えることで対応した。④柵背後の堆積面の有無、については以下の2通りである。

実験(a) - 模型をFRP板の設置面にそのまま設置する。(背後に堆積させる実験)

実験(b) - 模型背後の設置面をくり貫き柵を通過した流れを落下させる。(背後に堆積させない実験)

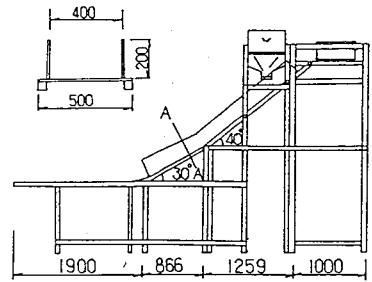


図-1 実験斜面

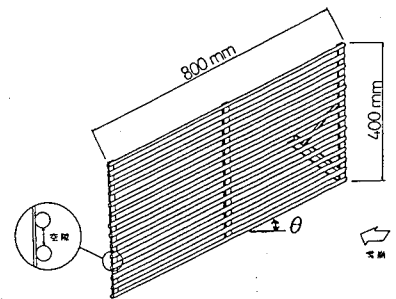


図-2 誘導柵模型

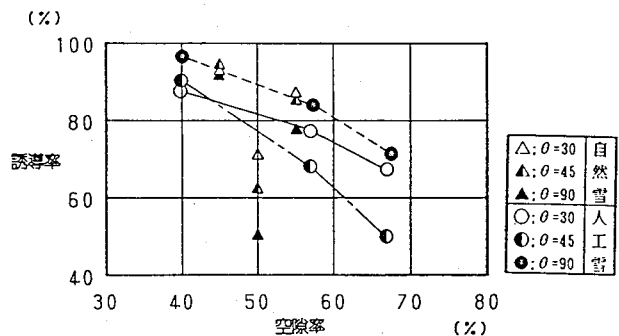


図-3 空隙率と誘導率(水平部材-丸型)

実験は、斜面上のホッパーから重量25[kg]の試料雪を流下させ、誘導柵に衝突させることで行う。その際、衝突前の速度、誘導率等を測定した。

### 1. 3 結果及び考察

#### 1. 3. 1 誘導効果

(1) 背後に堆積する場合(実験(a)) - 水平部材の断面形状(丸型を図-3、角型を図-4)、衝突角度及び空隙率毎に誘導率を示した。断面形状で誘導率を比較すると、各衝突角度で角型の方が大きいことがわかる。これはまず第1に衝突した雪崩が誘導されるとき角型は垂直の面で雪崩を誘導すること、第2に雪崩流が柵背後に通過する際の部材の間隙をすり抜けるときの抵抗が角型の方が大きいことが要因であると思われる。

次に誘導率を衝突角度で比較すると、衝突角度30°は空隙率の増加にほぼ比例して徐々に減少するが、45°の場合は急激に減少している。これは誘導工に沿って流れる雪崩の、柵の背後に通過しようとする力が衝突角度45°の方が大きいため、空隙率が大きくなったときの影響がで易いためと思われる。衝突角度90°については衝突時の雪崩の挙動が角度のある他の2つと異なる。直角に雪崩が衝突するときは雪崩流の逃げ場がなく、堆積した雪崩自体が抵抗となり前面の堆積を促進させる。

(2) 背後に堆積させない場合(実験(b)) - 誘導柵の背後に雪崩が堆積した場合と、背後に堆積しない場合との誘導率を比較するために実験を行った(図-5)。衝突角度90°の場合、柵前面に堆積する割合が空隙率57%で10%程度、67%で20%程度減少している。この減少分が柵背後に堆積物があったときに、通過を抑えられている量であるといえる。衝突角度45°の場合、空隙率67%は変化がないが、空隙率57%で5%程度誘導率が減少している。しかし、全般的に衝突角度45°、30°の場合とも大きな差はなく、背後に堆積するか否かは誘導率に大きな影響は与えない結果になった。

#### 1. 3. 2 通過流の堆積状況

ここでは柵の背後に通過した雪崩の広がり方、また空隙率、衝突角度による堆積形状の違い等を検討した。時系列で流れを追って、通過流の分散方向、到達範囲等をみた。図-6に結果の一例を示す。水平部材の断面形状で比較すると、全てにおいて丸型より角型は到達範囲が小さい、分散方向は衝突角度30°と45°のいずれの場合も、

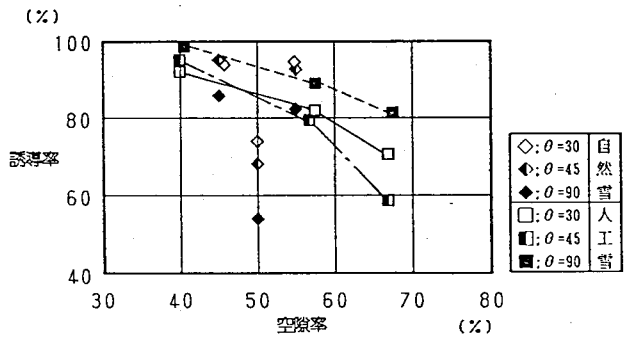


図-4 空隙率と誘導率(水平部材-角型)

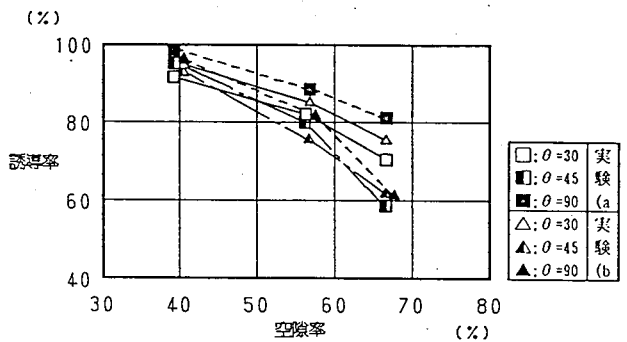
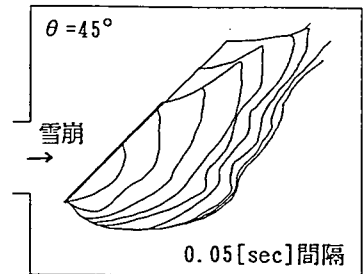


図-5 堆積面の有無と誘導率(角型部材)



水平部材; 丸型 空隙率57%

図-6 通過流の流下状況

流れの主流は施設の設置された延長方向に向かって延びている。

これは雪崩の先端が衝突した後、模型に誘導されて延長方向へ進みながら柵の間隙をすりぬけるためと思われる。

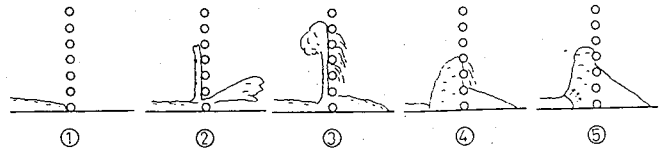


図-7 衝突角度90°の衝突時の挙動

到達範囲を衝突角度で比較すると、45°に対して30°は広がり到達距離が大きい。これは衝突時の速度の減衰が30°の方が小さいため、誘導工に沿って流れる速度が大きく、延長方向に進みながら通過する流れの到達範囲も大きくなるためと思われる。

衝突角度90°については空隙率67%、57%と比較して、40%は著しく到達範囲が小さい。これは40%のときには、閉塞効果が生じたためである。空隙率57%と67%の場合は閉塞は生じず、衝突時にはそのまま通過する流れと模型の壁に沿って上方方向に飛び上がる流れがある(図-7②)。そして、上方方向の流れが着地した時点でそれが抵抗となり、柵を通過する流れを停止させる(図-7⑤)。

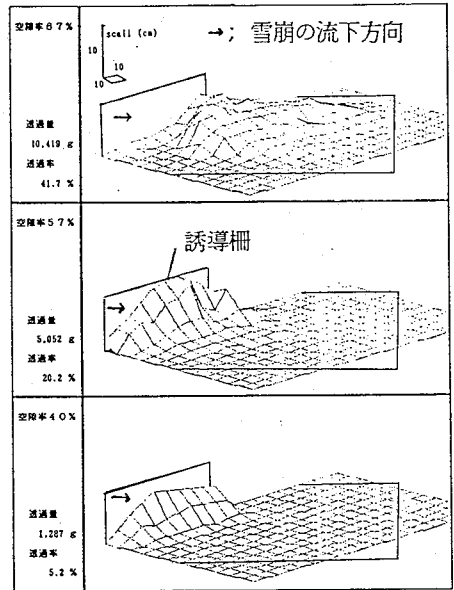


図-8 堆積形状( $\theta = 45^\circ$ )

雪崩流下終了後の柵背面の最終堆積形状を、3次元的に図化した(図-8)。空隙率の大きなものから小さなものへ順次みてゆくと、堆積物が徐々に柵に近づいているのがわかる。

これは空隙率の大きなものは先端部の停止距離が長く、そこを起点に堆積してゆくためである。堆積形状の違いを衝突角度で比較すると、30°の場合通過する速度が速いために先端の停止距離が長く、柵背後へ擁壁状に堆積するまでには至りにくいことがわかった。45°の場合は柵の背面で堆積しており、相対的に停止距離が短いことを示している。

## 2. 自然雪を用いた構内実験斜面における模型実験

### 2.1 実験装置

構内実験用斜面は建設省土木研究所新潟試験所に設置した(図-9)。斜面長は約20[m]、落下高さは約9[m]、勾配は27°であり、走路幅は1[m]である。誘導柵模型はパイプを組み立てた横3[m]、高さ約2[m]のもので、水平部材の断面形状は丸型パイプ( $\phi 48.6$

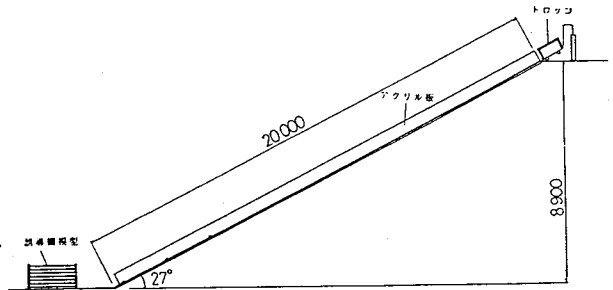


図-9 構内実験斜面

ある。試料雪は実験開始前24時間以内に降り積もった新雪を、縦1,000×幅1,000×高500[mm]のケースに密度が変化しないように静かに積めた。

### 2.2 実験方法

①水平部材の断面形状,②空隙率,③衝突角度と誘導率との関係について検討した。①水平部材の断面形状と②空隙率はそれぞれ模型の水平部材の断面形状,部材間隔(3種類)を変えることで,③衝突角度は模型模型の設置角度を変えることで対応した。落下箱から流動状態で流下される試料雪を、誘導柵模型へ衝突させ誘導率等を測定した。

## 2. 3 結果及び考察

### 2. 3. 1 気象状況と雪崩の状態

実験は1日6ケース、3日間にわたって行われた。実験ケース毎に測定した値の平均値を以下に示す。

第1日目-空隙率45%;雪密度0.16[kg/cm<sup>3</sup>],流下速度10[m/s]

第2日目-空隙率50%;雪密度0.36[kg/cm<sup>3</sup>],流下速度11[m/s]

第3日目-空隙率55%;雪密度0.09[kg/cm<sup>3</sup>],流下速度10[m/s]

時系列の流下深の変化を図-10に示す。第1日目と第3日目では比較的湿度が高い時の新雪を使用したので雪の付着力が強かった。流下深の時系列変化で凹凸の激しい流れは雪塊を多く含んでいること示している。第2日目は降雪後約20時間経過した試料が朝方の低温で冷却されたので、密度の高いざらめ状の雪となった。雪の離れがよいので、流れは流動状態であり流下深は小さかった。

### 2. 3. 2 誘導効果

本実験の結果を人工雪実験の結果に重ねて示した(図-3,4)。自然雪を用いた実験のデータは空隙率50%を除き衝突角度が90°のときは人工雪の値よりも小さく、30°,45°の場合には大きな値となった。衝突角度90°の場合は、自然雪実験は流下時間が短く誘導柵前面の堆積物による抵抗の影響がでる前に雪崩流が終了したために人工雪の結果よりも誘導率が小さくなったものと思われる。空隙率50%のデータは前述のように雪同士の離れがよく、ほとんど雪塊を形成せず低い流下深で流れた。そのため部材間の空隙をすり抜けてしまい、通過する量が空隙率45%,55%と比較し多かった。

空隙率45%と55%の実験を観察すると両者とも雪崩が大小の雪塊を含み軽い雪の流れであることで、衝突時の状態がよく似ている。堆積物の状態も、柵の背面には間隙以下の直径の雪塊があり、前面にはそれよりも大きなものが存在することが共通していた。背面に通過した堆積物は間隙より小さな雪塊と雪粒子であるが、衝突で碎かれ柵の間隔より小さなものが通過したと思われる。つまり、雪塊の大きさと構造的な強さがこの実験では誘導率に寄与していると考えられる。

## 3. まとめ

誘導柵の効果を誘導率で評価した場合、柵の水平部材は丸型よりも角型、空隙率は小さいほど誘導効果が高い。空隙率が大きくなるにつれ大きな衝突角度ほど誘導率が低下する。柵の背後の堆積物は誘導率に影響がない。通過流の主流は誘導柵の延長方向に向かって伸び、小さな衝突角度の方が到達範囲は大きい。通過した雪崩は空隙率の大きなものほど先端部の停止距離が長く、そこを起点に堆積してゆく。これらを実設計にどのように反映させるかが今後の検討課題である。

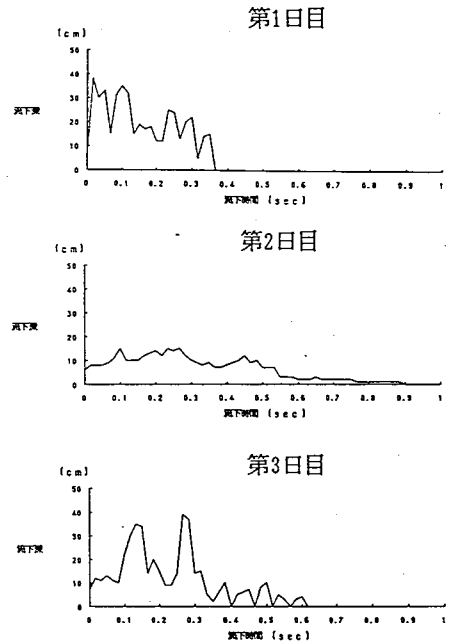


図-10 流下深変化