

## 雪崩対策工の合理的設計手法に関する研究(2)

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 21～平 23

担当チーム：寒地道路研究グループ（雪氷）

研究担当者：松澤 勝、中村 浩、松下 拓樹、  
坂瀬 修

### 【要旨】

雪崩予防柵の現行の設計手法では、積雪深が小さいほど斜面方向の設置間隔（列間斜距離）が短くなり、柵の設置基数が多くなる課題がある。本研究では、雪崩予防柵の列間斜距離を長くするための設計手法を検討するため、雪崩予防柵の列間斜距離に関する比較試験と、斜面積雪の破壊条件に関する理論的考察を行った。その結果、列間斜距離が長いと柵に作用する雪圧が大きくなるが、斜面積雪の移動（グライド）速度が大きい場合の理論雪圧を考慮することで、列間斜距離を現行の設計条件よりも長くとることができる可能性が示された。ただし、列間斜距離を長くできるのは、主に積雪深が小さい場合または斜面勾配が小さい場合であると考えられる。

キーワード：雪崩予防柵、設計、列間斜距離、雪圧、グライド、雪の圧縮破壊強度

### 1. はじめに

積雪寒冷地では、雪崩対策として雪崩予防柵が多く設置されている（図 1）。現行の雪崩予防柵の設計方法は<sup>1)</sup>、40 年以上前のスイスでの研究成果等に基づき導入されたものである<sup>2)3)</sup>。例えば、雪崩予防柵の斜面方向の設置間隔（以下、列間斜距離  $L$ ）は式（1）より算定され、北海道開発局の道路設計要領<sup>4)</sup>でも用いられている。

$$L = \frac{2 \cdot \tan \theta}{\tan \theta - \tan \delta} H_s \quad (1)$$

ここで、 $L$ ：列間斜距離（m）、 $H_s$ ：設計積雪深（m）、 $\theta$ ：斜面勾配（°）、 $\delta$ ：雪と地面の摩擦角（°）である。 $\tan$  は雪と地面との摩擦係数  $\mu$  に等しく、除雪・防雪ハンドブック<sup>1)</sup>では  $\mu (= \tan \delta) = 0.5 \sim 0.6$ 、北海道開発局の道路設計要領<sup>4)</sup>では安全を見て 0.5 が採用されている。

式（1）において、 $\tan \theta$  と  $\tan \delta$  は、斜面勾配等が同



図 1 雪崩予防柵(吊柵)の設置状況の例

一とみなせる現地条件の場合には定数となり、列間斜距離  $L$  は設計積雪深  $H_s$  に正比例する。図 2 は、式（1）より求めた列間斜距離  $L$  と設計積雪深  $H_s$  の関係である。この図に示すように、同じ斜面勾配であれば設計積雪深が小さいほど、列間斜距離が短く設定される。つまり、積雪の少ない地域で、列間斜距離が短くなって斜面に設置する雪崩予防柵の基数が多くなるため、建設コストが割高になる課題が指摘されている<sup>5)6)</sup>。

本研究では、雪崩対策工の合理的設計手法の検討として、雪崩予防柵の列間斜距離に関する比較試験と斜面積雪の破壊に関する理論的な考察を行い、雪崩予防柵の列間斜距離を広げる場合の設計の考え方について検討を行った。また、雪崩予防柵上に発達する雪庇（巻きだれ雪）について、事例調査と現地試験を雪崩・地すべり研究センターと実施した。

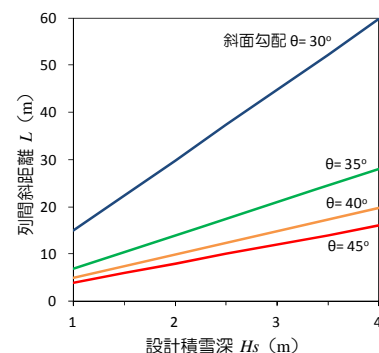


図 2 雪崩予防柵の列間斜距離と設計積雪深の関係

2. 雪崩予防柵の列間斜距離に関する比較試験

2.1 雪崩予防柵の比較試験の方法

2.1.1 比較試験の概要

雪崩予防柵の比較試験は、札幌近郊の中山峠（標高 835m）の平均勾配 37° の斜面で行った。試験箇所的设计積雪深は 2.6m で、これに基づいた雪崩予防柵の設計における柵高は 2.5m、列間斜距離は 15m である。

試験に用いた雪崩予防柵は、柵高 2.5m、幅 2.75m である。図 3 に示すように、この斜面に設置された上下 2 段、左右 3 列の雪崩予防柵 6 基を用いて試験を行い、3 列ある柵の列間斜距離は、それぞれ 10m、15m、20m とした。この 3 列の雪崩予防柵を用いた試験から、以下に示す列間斜距離の違いによる柵への雪圧と斜面積雪の移動状況を調べた。また、積雪深と気温は、近傍の平地にて計測した。

2.1.2 雪圧の測定値方法

雪崩予防柵に作用する雪圧の計測は、各列下段の柵に対して行い、2 本ある主索ケーブルのうち 1 本にロードセル(LU-5TE)を設置して行った(図 4)。主索ケーブルの引張荷重の計測値(N)の 2 倍を柵全体に作用する荷重と考え、これを柵幅で除した値を雪圧(N/m)とした。測定期間は、2009 年 12 月 4 日から 2010 年 5 月 10 日である。ただし、列間斜距離 15m の柵への雪圧は、1 月 6 日以降欠測となったため解析から除いた。



図 3 試験斜面の状況

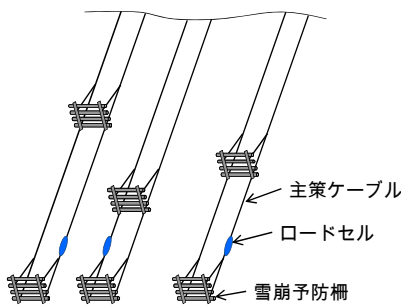


図 4 ロードセルの設置状況

2.1.3 斜面積雪の移動状況に関する断面観測

斜面積雪は重力の作用により変形、移動する。積雪の変形による雪粒子の変位をクリープ、地面での積雪の滑りをグライドといい、クリープとグライドを合わせたものが実際の積雪の移動量となる。

ここでは斜面積雪の移動状況として、グライドに着目する。グライドは、図 5 に示すおがくずを用いる方法<sup>7)</sup>により観測した。積雪深が 2m 以上となった 3 月 6 日に、スノーサンプラー(断面積 20cm<sup>2</sup>)を用いて雪面から積雪を鉛直方向に円筒状に抜き取り、地面に目印の杭を打った後に積雪内におがくずを充填した。おがくずの充填箇所は、柵から斜面上方の斜距離で 1.1m、3.1m、5.1m、10.1m の位置である(図 6)。杭位置からのおがくずの変位量は、おがくず充填から 32 日後(4 月 7 日)と 51 日後(4 月 26 日)に、おがくず充填箇所の積雪横断面を露出させて測定した。この測定値から地面における斜面方向の変位量を求め、これをおがくず充填日からの日数で除した値をグライド速度  $U_g$  (cm/day) とした(図 5)。また、雪面付近の移動速度  $U_a$  (図 5) を求め、式(2)よりグライド係数  $N$  を求めた。

$$N = \sqrt{1 + 3 \left( \frac{U_g}{U_a - U_g} \right)^2} \quad (2)$$

なお、断面観測では積雪密度を鉛直方向に 30cm 間隔で測定し、その平均値を全層平均密度とした。

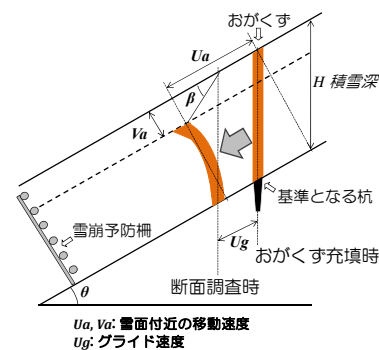


図 5 おがくずを用いた積雪移動状況の観測方法

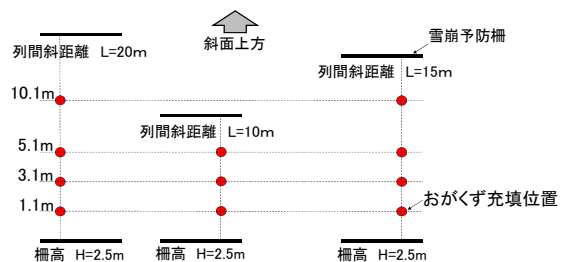


図 6 雪崩予防柵の配置とおがくず充填箇所

## 2.2 雪崩予防柵の比較試験の結果

### 2.2.1 試験期間中の気温と積雪深の状況

図7aは、試験期間中の気温と積雪深の推移である。試験期間中の積雪深は1月初旬に2m以上となり、増減を繰り返しながら最大3mに達した。おがくず充填から第1回断面観測までは、気温0以下の日が多く積雪深が増加した期間であり、第1回断面観測から第2回断面観測までは、気温0以上となる日が増えて積雪深が減少し融雪が進行した期間であった。

### 2.2.2 雪崩予防柵に作用する雪圧の測定結果

図7bに示す雪圧の推移より、積雪深が2mを超えた1月初旬から列間斜距離10mと20mの雪崩予防柵への雪圧に差がみられ始め、4月上旬の融雪期までその差が広がりながら雪圧は増加を続けた。

図8は、列間斜距離10mと20mの雪崩予防柵に作用する雪圧を比較したものである。積雪深が増加傾向にあった3月までの期間では、列間斜距離20mの雪圧は、10mの雪圧の約1.2倍であった。一方、4月以降の融雪期から雪圧は減少傾向となり、両者の関係にばらつきがみられるが、雪圧の差はさらに大きくなり、最大で約1.6倍となった。

### 2.2.3 斜面積雪の移動状況に関する測定結果

図9は、おがくず充填から第2回断面観測までの期間のグライド速度と柵からの斜距離との関係である。柵から離れるほどグライド速度が大きくなる傾向にあり、また列間斜距離が10m、15m、20mと大きくなるにつれグライド速度が大きくなる傾向となった。また、グライド係数(図省略)は列間斜距離の違いによる差はみられず、列間斜距離を長くしても試験斜面のグライド係数の設計値である2.6を上回らない結果となった<sup>8)</sup>。

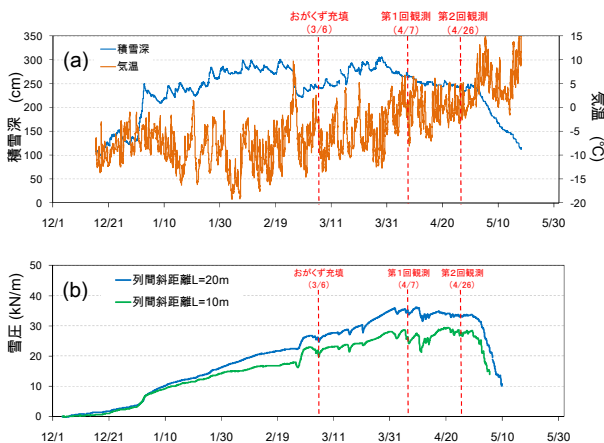


図7 試験期間中の気温と積雪深、雪圧の推移

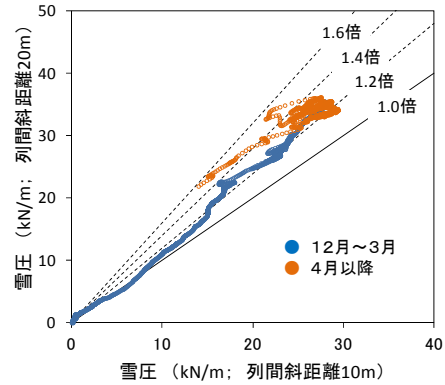


図8 列間斜距離10mと20mの場合の雪圧の比較

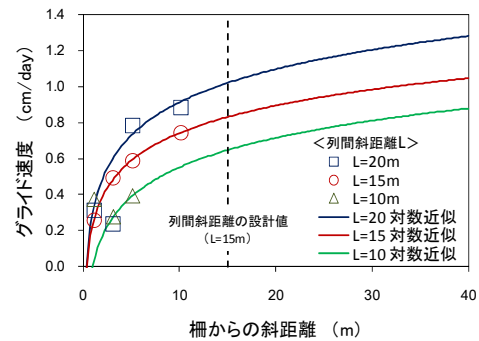


図9 グライド速度と柵からの斜距離との関係

## 2.3 雪崩予防柵の比較試験結果の考察

### 2.3.1 雪圧の測定値と設計値の比較検討方法

現行の雪崩予防柵の列間斜距離の決定は、雪圧論に基づき行われている<sup>1)</sup>。雪崩予防柵の設計に直接関係する雪圧の観点から、列間斜距離を現行の設計条件よりも長くとする場合の考え方を考察するため、今回の雪崩予防柵に作用する雪圧の測定結果と設計雪圧の比較検討を、以下のように行った。

現行の雪崩予防柵の設計雪圧は、式(3)から求められる<sup>1)</sup>。また、雪圧の理論式には式(4)もある<sup>9)</sup>。式(3)は底面の抵抗力がグライド速度に比例する場合、式(4)は垂直応力に比例する場合に適用され、後者はグライド速度が大きく斜面積雪が滑りやすい状態の理論式と考えることができる(但し適用条件は明確ではない)<sup>9)</sup>。

$$S = \rho g \frac{H^2}{2} KN \quad (3)$$

$$S = \rho g H \cos \theta (\sin \theta - \mu \cos \theta) L \quad (4)$$

ここで、 $\rho$ : 積雪密度 ( $\text{kg/m}^3$ )、 $g$ : 重力加速度 ( $\text{m/s}^2$ )、 $H$ : 積雪深 (m)、 $\theta$ : 斜面勾配 ( $^\circ$ )、 $\mu$ : 積雪の地面に対する摩擦係数、 $L$ : 列間斜距離 (m) である。

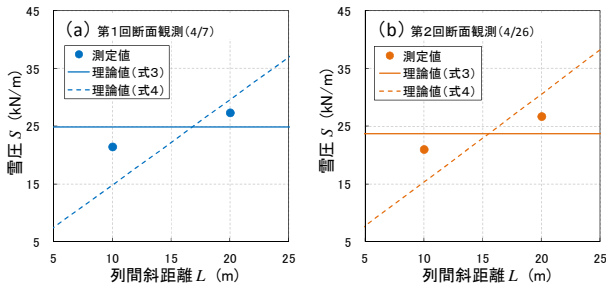


図10 雪圧の理論値と設計値の比較  
(a) 第1回断面観測、(b) 第2回断面観測

これらの雪圧の式(3)と式(4)を連立させることで、式(5)が得られる。現行の列間斜距離の設計値の算定式(式(1))は、スイスの示方書<sup>2)3)</sup>により、式(5)に  $K/\sin 2\theta = 0.74$  と  $N = 2.7$  を与えることで得られたものである。

$$L = \left( \frac{K}{\sin 2\theta} \right) N \left( \frac{\tan \theta}{\tan \theta - \mu} \right) H \quad (5)$$

式(3)の設計雪圧及び式(4)の理論値と比較試験によって測定された雪圧とを比較し、雪崩予防柵の列間斜距離を現行の設計条件よりも長くとする場合の考え方を考察した。

### 2.3.2 雪圧と列間斜距離の関係について

図10は、雪圧  $S$  と列間斜距離  $L$  の関係において、2回の積雪断面観測時の測定値と式(3)と式(4)による理論値を比較した結果である。雪圧の測定値は、周辺積雪の辺縁荷重<sup>1)</sup>を設計計算により見積もって差引いた値とした。雪圧の理論値の計算では、

積雪深  $H$  と積雪の平均密度  $\rho$  は、断面観測の測定値を用い、斜面勾配  $\theta$  は  $37^\circ$ 、摩擦係数  $\mu$  は  $0.5$ 、グライド係数  $N$  は設計値<sup>1)</sup>の  $2.6$  とした。また、クリーブ係数  $K$  は、密度  $\rho$  の測定値(第1回断面観測:  $337\text{kg/m}^3$ 、第2回:  $397\text{kg/m}^3$ )に対応する値を、密度  $100\text{kg/m}^3$  ごとの設計値<sup>1)</sup>から内挿して求めた。なお、図10において、列間斜距離の設計値は、式(3)と式(4)の設計上の交点にあたる  $15\text{m}$  である。

図10より、列間斜距離が設計条件より短い  $10\text{m}$  の場合、雪圧の測定値は、式(3)よりも小さく、設計条件からみて安全側の値となった。一方、列間斜距離  $L$  が設計値よりも長い  $20\text{m}$  の場合、雪圧の測定値は、設計雪圧の式(3)よりも大きくなった。ただし、列間斜距離  $20\text{m}$  の雪圧の測定値は、式(4)から求めた理論値よりは小さい。

以上より、列間斜距離を長くすることにより雪崩

予防柵に作用する雪圧は大きくなるが、式(4)によって雪圧の増加分を考慮することで、列間斜距離を現行の設計条件よりも長くとることができる可能性が示唆される。

## 3. 合理的な雪崩予防柵の設計手法に関する検討

### 3.1 雪崩予防柵の合理的設計手法の検討方法

雪崩予防柵の比較試験(2.)では、雪崩予防柵の列間斜距離を長くすると、雪圧が増加することが示された。雪圧が増加すると斜面積雪の破壊が起き、雪崩が発生することが懸念される。そこで、列間斜距離を長くとることのできる範囲を明らかにするために積雪の破壊条件に着目し、雪圧として積雪に作用する荷重と積雪の破壊強度との比較検討を行った。

#### 3.1.1 単位面積あたりの雪圧の算出方法

雪崩予防柵が設置されている斜面において、雪圧は柵付近で最も大きくなると考えられる。雪圧  $S$  を雪の破壊強度と比較する場合、式(3)と式(4)の雪圧の単位 ( $\text{N/m}$ ) を単位面積あたりの荷重 ( $\text{N/m}^2$ ) にする必要がある。そこで、図11に示すように、式(3)と式(4)の雪圧  $S$  ( $\text{N/m}$ ) を斜面に垂直な方向の積雪深  $H \cos \theta$  ( $\text{m}$ ) で除して、単位面積あたりの雪圧  $P$  ( $\text{N/m}^2$ ) とした(式(6)、式(7))。

$$P = \frac{S}{H \cos \theta} = \rho g \frac{H}{2 \cos \theta} KN \quad (6)$$

$$P = \frac{S}{H \cos \theta} = \rho g (\sin \theta - \mu \cos \theta) L \quad (7)$$

雪圧  $P$  の計算は、北海道開発局の設計要領<sup>4)</sup>に基づいて、積雪密度  $\rho$  は  $350\text{kg/m}^3$ 、摩擦係数  $\mu$  は  $0.5$ 、クリーブ係数  $K$  は斜面勾配  $\theta$  ごとの設計値(例えば、 $\theta = 30^\circ$  で  $K = 0.69$ 、 $\theta = 45^\circ$  で  $K = 0.80$ )、グライド係数  $N$  は、列間斜距離の設計条件(式(1))の導出に用いられた  $2.7$  とした。

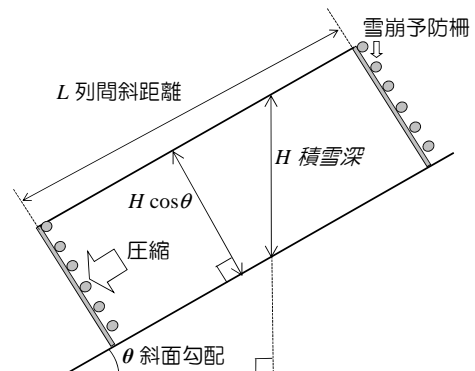


図11 雪崩予防柵と斜面における積雪深

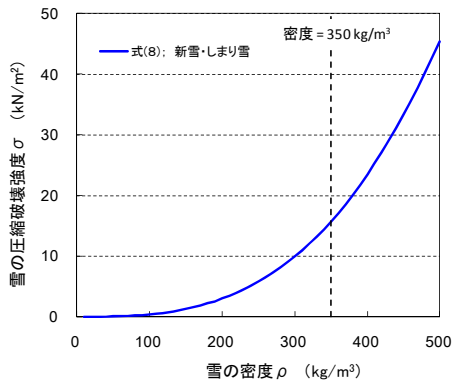


図 12 雪の密度と圧縮破壊強度の関係．  
Watanabe(1977)<sup>10</sup>によって得られた新雪としまり雪  
における関係式(式(8))．

### 3.1.2 雪の圧縮破壊強度の推定方法

雪圧  $P$  として斜面積雪に作用する荷重は、図 11  
に示すように、ここでは単純に雪を斜面下方に圧縮  
する方向に働くと考える。雪の圧縮破壊強度は、新  
雪としまり雪に対して得られた式(8)に示す積雪密  
度 との関係式<sup>10</sup>から求めた。

$$\sigma = 10g \times 10^{2.97 \log \rho 10^{-3} + 3.56} \quad (8)$$

ここで  $\sigma$  は雪の圧縮破壊強度 ( $\text{N/m}^2$ ) である。図 12  
は、式(8)から求めた積雪の圧縮破壊強度 と密度  
との関係である。雪圧  $P$  との比較検討では、雪の  
圧縮破壊強度 は、雪圧  $P$  の計算と同様に、積雪密  
度  $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$  の値を式(8)から求めた。

### 3.2 雪崩予防柵の合理的な設計手法の検討結果

式(6)と式(7)から求められた単位面積あたりの  
雪圧  $P$  と、式(8)から求まる積雪の圧縮破壊強度  
との比較を行い、列間斜距離  $L$  を長くすることの  
できる範囲を検討した。

#### 3.2.1 雪圧と積雪の圧縮破壊強度の比較結果

図 13 は、列間斜距離  $L$  との関係において、柵付  
近の積雪に作用する単位面積あたりの雪圧  $P$  (式  
(6)、式(7)より計算で求めた雪圧)と、式(8)か  
ら求めた雪の圧縮破壊強度 を比較したものである。  
雪圧  $P$  は、斜面勾配 を  $30^\circ$ 、 $35^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $45^\circ$  とし  
た 4 つの場合について計算した。また、現行の設計  
に用いられる式(6)から求めた雪圧  $P$  は、積雪深  $H$   
によって異なるため、各々の斜面勾配において積雪  
深  $H$  が  $2\text{m}$  と  $3\text{m}$  の場合について計算した。式(6)  
と式(7)により求められた雪圧  $P$  の交点が、設計上  
の列間斜距離であり、図 13 には、積雪深  $H$  が  $2\text{m}$  と  
 $3\text{m}$  の場合に対応した 2 つの交点がある。この交点

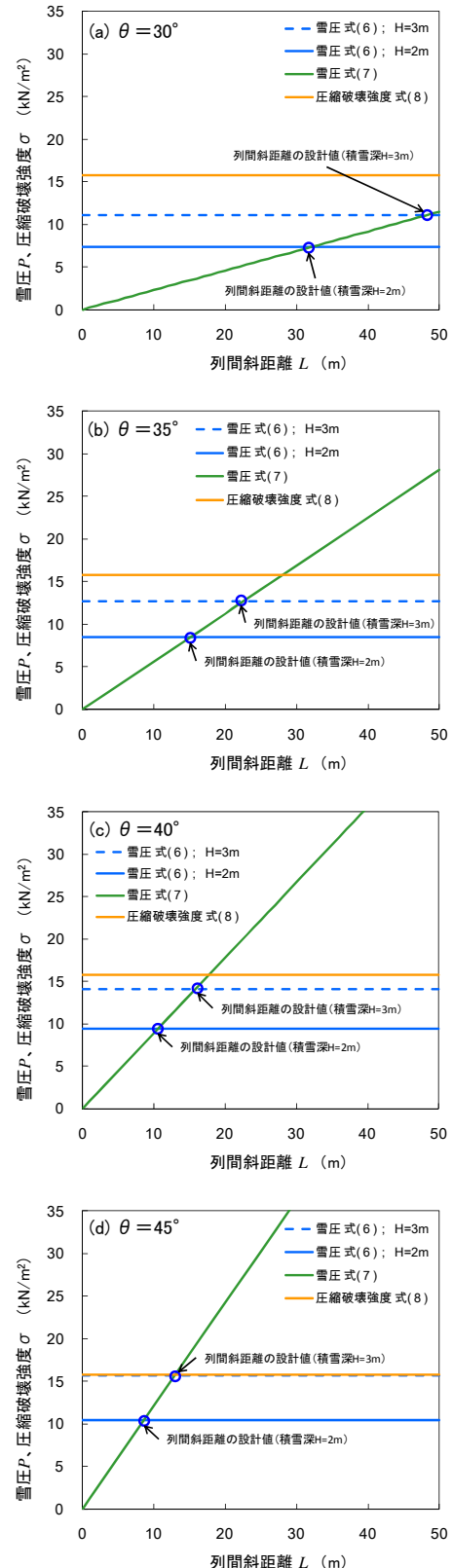


図 13 列間斜距離と雪圧及び雪の圧縮破壊強度と  
の関係．斜面勾配 が(a) $30^\circ$ 、(b) $35^\circ$ 、(c) $40^\circ$ 、  
(d) $45^\circ$  の場合の比較 積雪密度 は  $350 \text{ kg/m}^3$  とし、  
摩擦係数  $\mu$  は  $0.5$ 、クリープ係数  $K$  は斜面勾配 ご  
との設計値<sup>4)</sup>、グライド係数  $N$  は  $2.7$  とした．

の移動が、列間斜距離の変更を意味する。

また、図13には、式(8)から求めた積雪密度が  $350 \text{ kg/m}^3$  のときの圧縮破壊強度も示した。この圧縮破壊強度と、現行の設計に用いられる式(6)から求めた雪圧  $P$  を比較すると、積雪深  $H$  が  $2\text{m}$  の場合、いずれの斜面勾配においても雪圧  $P$  は圧縮破壊強度より小さく、斜面積雪の圧縮破壊が起こる可能性は低いと考えられる。ただし、積雪深  $H$  が  $3\text{m}$  で、斜面勾配が  $45^\circ$  (図13d) の場合、式(6)による雪圧  $P$  は、雪の圧縮破壊強度(式(8))と同程度の大きさとなった。

一方、式(7)による雪圧  $P$  と雪の圧縮破壊強度を比較すると、列間斜距離  $L$  が長くなるに従って雪圧  $P$  は大きくなり、ある列間斜距離以上になったときに雪圧  $P$  は雪の圧縮破壊強度を上回る(式(9))

$$\sigma \leq P = \rho g (\sin \theta - \mu \cos \theta) L \quad (9)$$

図13において、式(9)となる条件は、式(7)による雪圧  $P$  と圧縮破壊強度との交点より列間斜距離  $L$  が長い場合であり、このとき斜面積雪の圧縮破壊が起きる可能性があると考えられる。よって、列間斜距離  $L$  を現在の設計条件である式(6)と式(7)の交点よりも長くとも場合、式(9)とならない条件、つまり式(10)で表される条件を満たすことが要求され、これが列間斜距離  $L$  を長くできる上限値になると考えられる。

$$L < \frac{\sigma}{\rho g (\sin \theta - \mu \cos \theta)} \quad (10)$$

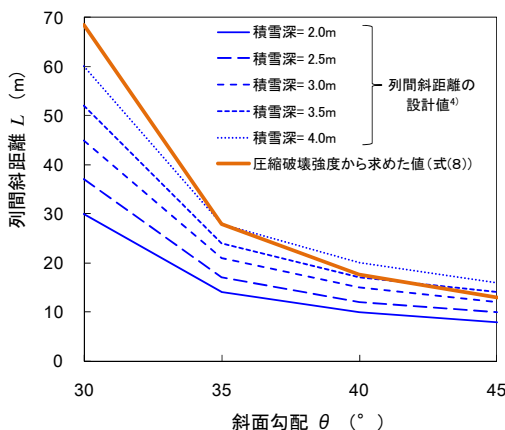


図14 斜面勾配と列間斜距離の関係。青線は、積雪深と斜面勾配に応じた列間斜距離の設計値<sup>4)</sup>、赤線は、図13で示した雪圧  $P$  (式(7))と圧縮破壊強度(式(8))が同じとなる列間斜距離の計算結果。

### 3.2.2 列間斜距離の拡張可能な範囲について

図13の検討結果について、列間斜距離  $L$  と斜面勾配との関係について整理したのが図14である。図14は、積雪深  $H$  が  $2\text{m}$  から  $4\text{m}$  まで  $0.5\text{m}$  ごとに示したもので、北海道開発局の設計要領<sup>4)</sup>に示されている列間斜距離  $L$  の設計値である。また、図14には、式(7)の雪圧  $P$  と雪の圧縮破壊強度が同じとなる列間斜距離  $L$  (図13で示した式(7)の雪圧  $P$  と雪の圧縮破壊強度との交点)を求め、これと斜面勾配との関係を示した。

図14より、積雪深が  $3\text{m}$  以下の列間斜距離の設計値は、雪の圧縮破壊強度から求めた列間斜距離よりも短く、安全側の設計条件といえる。つまり、現行の設計で求まる列間斜距離を長くできる余地があると考えられる。しかし、斜面勾配が  $40^\circ$  以上になると列間斜距離の設計値と圧縮破壊強度から求めた列間斜距離が近い値となり、積雪深が  $3.5\text{m}$  以上で斜面勾配が  $35^\circ$  以上となる場合、列間斜距離の設計値は圧縮破壊強度から求めた距離を上回り、これ以上列間斜距離を長くすることは難しいと判断される。

以上の検討結果から、列間斜距離を長くすることができるのは、主に積雪深が小さい場合または斜面勾配の小さい場合であると考えられる。なお、図14において列間斜距離の設計値が、積雪の圧縮破壊強度から求めた距離を超えている場合がある(例えば、斜面勾配が  $40^\circ$  以上、積雪深が  $4\text{m}$  の場合)。図14は、積雪密度の設計値である  $350 \text{ kg/m}^3$  の場合の検討結果であり、柵の近傍で実際の積雪密度がそれよりも大きい場合は圧縮破壊強度も大きくなり、それに基づく列間斜距離も長くなる。これまでに実際の斜面で積雪の圧縮破壊が生じた例はないことから、図14は列間斜距離に関して安全側の検討結果と考えられる。

## 4. 雪崩予防柵上の巻きだれ雪発達に関する調査

### 4.1 巻きだれ雪除去作業の事例調査

#### 4.1.1 事例の収集方法

雪崩予防柵の高さと巻きだれ雪の発達状況との関係について、実際に巻きだれ雪を除去処理する作業がどのような積雪状況のときに行われているのかを調べるため、平成17年度から平成20年度までの4冬期の新潟県湯沢町内の国道17号及び平成17年度と平成20年度の2冬期の妙高市内の国道等を例に事例調査を行った。なお、平成17年度冬期は、平成18年豪雪にあたる。

#### 4.1.2 事例調査の結果

新潟県湯沢地区における巻きだれ雪の除去処理が行われたときの積雪状況を調べたところ<sup>11)</sup>、積雪深が増加傾向のときよりも、やや減少傾向にある時期に作業が行われており、また必ずしも積雪深が柵高を超えた場合に作業が行われているとは限らないことがわかった。これは、作業時の安全確保や降雪時は道路の除雪が優先されることなどが要因と考えられる。ただし、毎冬期の作業回数は、積雪深にほぼ比例して増える傾向にあった<sup>11)</sup>。

#### 4.2 巻きだれ雪発達に関する現地試験

##### 4.2.1 現地試験の方法

雪崩予防柵上に発達する巻きだれ雪の状況を把握するために、雪崩予防柵の高さや列間斜距離と巻きだれ雪の発達状況との関係について現地試験を実施した。現地試験は、新潟県十日町市大倉地区と上越市名木山地区(雪崩・地すべり研究センター実施<sup>12)</sup>)、北海道中山峠と芦別市滝里(雪氷チーム実施<sup>13)</sup>)の各箇所において実施し、柵上の巻きだれ雪の発達状況の経過観察等を行った。

##### 4.2.2 現地試験の結果

現地試験の結果、柵が積雪深より高い場合に巻きだれ雪が発達する状況を観察できたが、具体的な発達条件を見いだすことはできなかった。また、柵の列間斜距離と巻きだれ雪の発達について、柵付近の積雪の移動状況(図15)から調査を行った結果<sup>13)</sup>、雪崩予防柵の列間斜距離を長くすることによる巻きだれ雪発達への影響は小さいと考えられた。

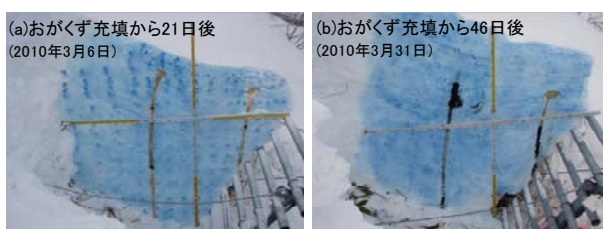


図15 雪崩予防柵上部の積雪に充填したおがくずの状況。中山峠において、2月13日に積雪内に充填したおがくずの(a)21日後と(b)46日後の状況<sup>13)</sup>。

#### 5. まとめ

本研究では、合理的な雪崩予防柵の設計手法の検討として、雪崩予防柵の列間斜距離を長くするための設計手法を検討するため、雪崩予防柵の列間斜距離に関する比較試験と、斜面積雪の破壊条件に関する理論的考察を行った。

その結果、列間斜距離が長いと柵に作用する雪圧が大きくなるが、斜面積雪の移動(グライド)速度が大きい場合の理論雪圧を考慮することで、列間斜距離を現行の設計条件よりも長くとることができる可能性が示された。ただし、列間斜距離を長くできるのは、主に積雪深が小さい場合または斜面勾配が小さい場合であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 日本建設機械化協会、雪センター：「雪崩対策」, 2005 除雪・防雪ハンドブック, pp143-246, 2005年
- 2) 荘田幹夫ほか：「なだれ防御構造物の設計指針(その1)」, 道路, pp63-73, 1966年5月
- 3) Margreth, S., "Defense structures in avalanche starting zones", Technical guideline as an aid to enforcement. Environment in Practice no. 0704, Federal Office for the Environment, Bern; WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, Switzerland, pp134, 2007.
- 4) 北海道開発局：「北海道開発局 道路設計要領 第2集 道路付帯施設」, 2010年
- 5) 松澤勝者：「設計積雪深が小さくなるとなぜ雪崩柵の数が増えるのか」, コンサルタント北海道, No.115, pp45-47, 2008年
- 6) 大槻政哉：「雪崩対策施設の設計に関する課題～雪崩予防柵の列間斜距離に着目して～」, 日本雪工学会誌, Vol.25, pp270-275, 2009年
- 7) 本郷栄次郎：「送電用鉄塔脚部に作用する積雪荷重について」, 雪氷, 60巻, pp473-490, 1998年
- 8) 松下拓樹、松澤勝、中村浩、坂瀬修：「雪崩予防柵の列間斜距離に関する一考察」, 寒地土木研究所月報, No.701, pp10-16, 2011年10月
- 9) 遠藤八十一：「斜面積雪の動きと応力分布」, 雪崩と吹雪(前野紀一・福田正己編), 古今書院, pp24-42, 2000
- 10) Watanabe, Z., "The influence of snow quality on the breaking strength". Sci. Rep. Fukushima Univ., 27, pp27-35, 1977.
- 11) 伊藤陽一、渡邊一儀、石井靖雄、野呂智之：「雪崩予防柵の巻きだれ処理に関する事例調査」, 雪氷研究大会(2010・仙台)講演要旨集, pp102, 2010年9月
- 12) 雪崩・地すべり研究センター：「雪崩対策工の合理的設計手法に関する研究(1)」, 土木研究所 平成22年度戦略研究報告書, 戦.37, pp5, 2011年
- 13) 松下拓樹、松澤勝、坂瀬修、中村浩：「雪崩予防柵の列間斜距離と巻きだれ雪発生との関連について」, 寒地技術論文・報告集, Vol.27, pp219-222, 2011年12月

## RESEARCH ON A RATIONAL METHOD OF DESIGN FOR AVALANCHE COUNTERMEASURE STRUCTURES (2)

**Budget** : Grants for operating expenses  
General account

**Research Period** : FY2009-2011

**Research Team** : Cold-Region Road Engineering Research  
Group (Snow and Ice Research Team)

**Author** : MATSUZAWA Masaru  
NAKAMURA Hiroshi  
MATSUSHITA Hiroki  
SAKASE Osamu

**Abstract** : According to present snow bridge design method for prevention of avalanches, in regions with less snow, the distance between bridges on a slope is shorter, and there are cases in which the cost of installing snow bridges is higher as more bridges need to be installed. To consider new methods for increasing the distance between bridges compared with present method, field tests and theoretical examination were carried out regarding pressure of snow on bridges, snow movement on slopes and condition for snow fracture near the bridges in cases with different distances between bridges.

The test results revealed that the snow pressure and glide speed in the case with a long distance between bridges was larger than those in the case with a short distance. However, increase in snow pressure due to long distance between bridges can be estimated from a theoretical equation in the case of high glide speed. A comparison of the design snow pressures with the theoretical snow compressive strength indicated that there is a possibility that the distance between bridges can be increased in region with shallower snow depth and low slope angle.

**Key words** : snow bridge, design method, slope distance between bridges, snow pressure, glide, snow compressive strength