

◆ 特集：土砂災害対策 ◆

# 鉛直型雪崩予防柵の雪圧計測

金子正則\* 花岡正明\*\* 秋山一弥\*\*\* 武士俊也\*\*\*\*

## 1. はじめに

「雪崩予防柵」は雪崩の発生区において雪崩の発生を未然に防止する「雪崩予防工」の一つでありハード対策として最も多く設置されている施設である。予防柵として古くから採用されてきたものは図-1の左側に示すようなコンクリート基礎の上に主柱・支柱をλ型に組み合わせ、その上に横バーを配置したタイプのものである（以下、λ型予防柵と記す）。λ型予防柵の場合、設置箇所ので盤が軟弱で設置箇所の設計積雪深が大きくなると、柵設置に伴う基礎処理が必要でかつ基礎掘削範囲・樹木の伐採範囲が広くなり自然環境・景観に大きな影響を与える場合がある。

それに対し、地盤の削孔後に主柱を鉛直に建て込みそれに横バーを配置するようなタイプの予防柵が設置されるようになってきた（図-1の右側：以下、鉛直型予防柵と記す）。このタイプの場合、上部工が基礎工と一体になっているため効率的に基礎処理がなされ、かつλ型予防柵と比べ地表の攪乱範囲・樹木の伐採範囲が比較的狭くなる。

λ型予防柵については現地における既往雪圧計測事例（柵高さ2m）<sup>1)</sup>があり、その結果が柵の設計に雪圧係数として考慮されている<sup>2),3)</sup>。一方鉛直型予防柵については雪圧計測事例がなく柵に作用する雪圧分布の実態が明らかでないため、設

計においてλ型予防柵の雪圧係数を準用している。

そこで北海道・青森・秋田・山形・長野・岐阜の各道県の計7箇所において鉛直型予防柵に作用する雪圧計測を実施した。しかし近年の少雪により長野県白馬村八方尾根以外の箇所では有効な計測ができなかった。このため本稿では積雪が多量で有効な計測ができた白馬村八方尾根における計測結果を報告する。

## 2. 計測概要

### 2.1 計測箇所

計測は長野県白馬村八方尾根の東向き斜面の鉛直型予防柵設置箇所において実施された。当斜面の標高1,430～1,490mの範囲には鉛直型予防柵が97基設置されており、そのうちの1基に雪圧計測用の計器を設置した。斜面勾配は40°である。

### 2.2 計測方法

計測方法は以下のとおりである。

高さ6mの鉛直型予防柵の山側面の中央部と端部に、ロードセル3個を取り付けた鋼製の受圧板（縦85cm、横50cm、面積0.43m<sup>2</sup>、厚さ9mm）をそれぞれ縦に5枚取り付けた（図-2）。これらロードセルはデータロガに接続されている。受圧板の

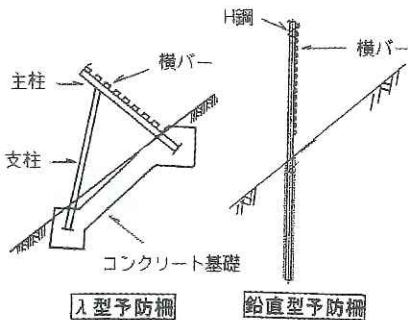


図-1 雪崩予防柵（λ型予防柵・鉛直型予防柵）

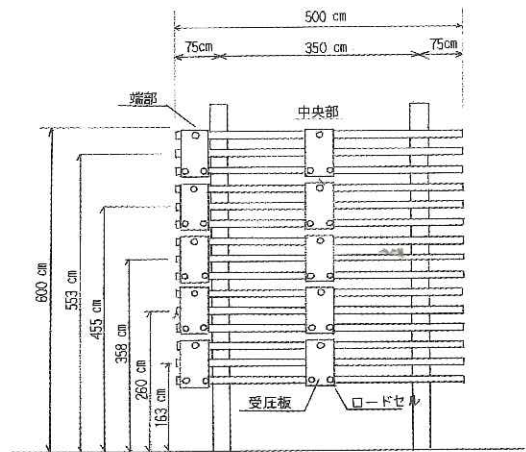


図-2 鉛直型予防柵への受圧板設置状況  
（ロードセルは、受圧板と横バーの間に設置されている）

Measurement of Snow Pressure on Avalanche Preventive Vertical Fence

中心位置の地表面からの高さは、最上段が553cm、2段目が455cm、3段目が358cm、4段目が260cm、5段目が163cmである。

計測項目は、①受圧板に作用する雪圧と②柵設置位置における積雪深である。雪圧データはデータログに一冬期間連続的に記録され、パーソナルコンピュータを用いて回収した。積雪深は柵に取り付けたポールの目盛りを数日に1回の頻度で読み取った。

計測は平成7年から14年までの7冬期間行った。ただし、平成7-8年冬期、平成8年-9年冬期については、柵の中央部のみの計測である。

### 3. λ型雪崩予防柵の設計外力<sup>2),3)</sup>

#### 3.1 設計外力

##### 3.1.1 斜面雪圧

スイス国営工事示方書において用いられているのが *Haefeli* の雪圧論であり、我が国の雪崩対策の技術指針においてもこれを採用している。斜面雪圧の算定式は以下のとおりである。

$$S_N = \gamma_s \cdot \frac{H_s^2}{2} \cdot K \cdot N \quad (1)$$

$$S_Q = \frac{a}{N \tan \psi} \cdot S_N \quad (2)$$

$$a = \frac{1 - 2\nu_c}{2(1 - \nu_c)} \quad (3)$$

$$\nu_c = 0.4\gamma_s \quad (4)$$

ここに、 $S_N$ ：雪圧の斜面上に平行な成分 (kN/m)、 $S_Q$ ：雪圧の斜面上に直角な成分 (kN/m)、 $\gamma_s$ ：積雪の平均密度 (kN/m<sup>3</sup>)、 $H_s$ ：設計積雪深 (m)、 $K$ ：クリープ係数、 $N$ ：グライド係数、 $\psi$ ：斜面勾配、 $a$ ：雪圧に関する比 (0.2から0.5まで変化する)、 $\nu_c$ ：積雪の粘性ポアソン比 (圧縮) である。

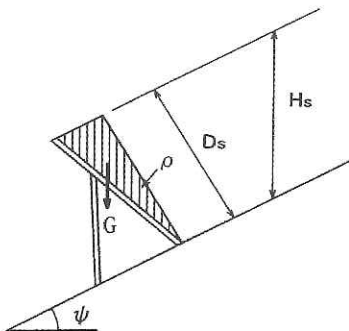


図-3 スノープリズム

#### 3.1.2 スノープリズム

予防柵の支持面が斜面上に垂直でない場合には図-3の網掛け部分の積雪荷重を考慮する。

$$G = \gamma_s \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \tan \rho \quad (5)$$

$$D_s = H_s \cdot \cos \psi \quad (6)$$

ここに、 $G$ ：予防柵の単位長さあたりのスノープリズム荷重 (kN/m)、 $D_s$ ：斜面上に垂直方向の積雪厚さ (m)、 $\rho$ ：予防柵の支持面と斜面法線のなす角度である。

#### 3.1.3 付加荷重

斜面雪圧の25%の値を地表面から柵高の1/4までの間に作用させる。

#### 3.1.4 辺縁効果

予防柵の支持面の延長が限られている場合は辺縁効果が発生する。この力は支持面の端部付近における雪の塑性的な流れによるものである。よって柵の端部には辺縁効果による荷重を考慮する。

$$S_R = f_R \cdot S_N \quad (7)$$

$$f_R = (0.92 + 0.65N) \frac{A}{2} \leq 1.00 + 1.25N \quad (8)$$

$$\Delta l = 0.60 \frac{A}{2} \leq \frac{D_s}{3} \quad (9)$$

ここに、 $S_R$ ：辺縁効果荷重 (kN/m)、 $f_R$ ：辺縁効果係数、 $A$ ：柵と柵の水平間隔 (m)、 $\Delta l$ ：辺縁効果の作用範囲 (m) である。

#### 3.1.5 雪圧係数

高さ2mのλ型予防柵における雪圧計測結果<sup>1)</sup>をもとに、図-4に示すような雪圧係数が設定されている<sup>2),3)</sup>。図-4は柵の模式図に雪圧係数を記したものであり、柵中央部の下半分に作用する雪圧を基準にして、中央部上半分の雪圧は1.5倍、端部の雪圧は2倍する。

#### 3.2 荷重の組合せ

λ型予防柵の設計にあたっては表-1のように荷重を組合せることになっている。

(図中数字は雪圧係数)

(端部)				(中央部)				(端部)				B <sub>1</sub> / 短冊
500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	
2	2	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	B <sub>1</sub> / 2				
2	1.5	1	1	1	1	1.5	2	B <sub>1</sub> / 2				

図-4 雪圧係数

表-1 荷重の組合せ (○印は考慮する場合を示す)

	斜面 雪圧	スノー プリズム	付加 荷重	辺縁効 果荷重	雪圧係数に よる割増し
集落雪崩対策 <sup>2)</sup>	○	-	-	-	○
道路 防 災 <sup>3)</sup>	雪密度の小 さい地域*	○	○	○	-
	(北海道)	○	-	-	○
それ以外の 地域(本州)	○	○	-	-	○

\*積雪の状況等に応じてどちらかの組合せを選択する。

## 4. 計測結果

### 4.1 計測された雪圧荷重の経時変化

7冬期のうち、平成9-10年冬期は計測機器が正常に作動せず有効な計測ができなかった。それ以外の6冬期については、いずれも積雪深が6mを超え最上段の受圧板まで積雪に覆われ雪圧荷重が作用し有効な計測ができた(写真-1)。このうち代表例として、平成11-12年冬期の雪圧荷重の経時変化を図-5に示す。なお比較しやすいように図中には最上段、3段目、5段目の受圧板の雪圧計測結果のみを示す。

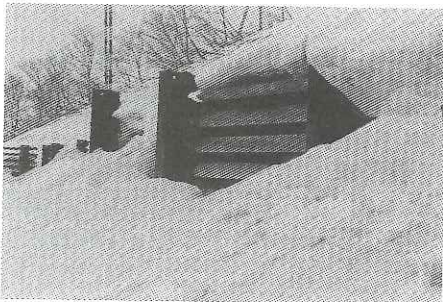


写真-1 鉛直型予防柵計測箇所における積雪状況

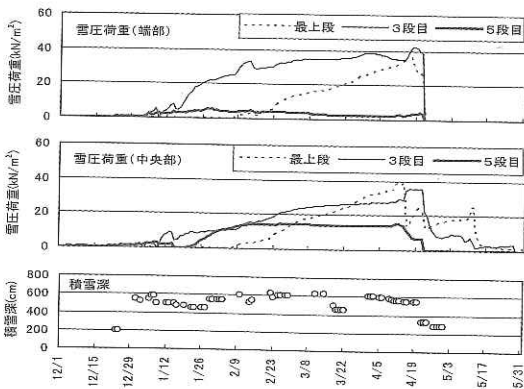


図-5 計測結果 (平成11-12年冬期)

図-5によると、端部と中央部の雪圧荷重は、ともに1月初めから上昇を始め4月中旬にピークを示している。また端部と中央部ともに、最上段と3段目の雪圧荷重が大きく5段目は小さい。

雪圧荷重のピークは、平成11-12年以外の冬期においても3月中旬から4月中旬までの間に記録されている。この時期は最大積雪深を記録する2月中・下旬からは遅れており、また4月上・中旬に本格的な融雪の始まる前である。この時期にクリープ・グライドによる積雪層の移動・変形と積雪密度の増大により、雪圧荷重が大きくなるものと考えられる。

### 4.2 比較・検討

鉛直型予防柵に作用する比雪圧(柵の単位高さあたりの雪圧)は以下のとおり求められる。

$$P = \frac{P}{B_k} \quad (10)$$

$$q = \frac{Q}{B_k} \quad (11)$$

$$P = R \sin(90^\circ - \psi - \varepsilon) \quad (12)$$

$$Q = R \cos(90^\circ - \psi - \varepsilon) \quad (13)$$

$$R = \sqrt{(S_N^2 + S_Q^2)} \quad (14)$$

$$\varepsilon = \tan^{-1}(S_Q/S_N) \quad (15)$$

ここに、 $P$ : 支持面に垂直な比雪圧 ( $\text{kN/m}^2$ )、 $q$ : 支持面に平行な比雪圧 ( $\text{kN/m}^2$ )、 $B_k$ : 支持面の高さ (m)、 $R$ : 斜面雪圧の合力 ( $\text{kN/m}$ )、 $P$ : 合力  $R$  の支持面に垂直な成分 ( $\text{kN/m}$ )、 $Q$ : 合力  $R$  の支持面に平行な成分 ( $\text{kN/m}$ ) である。

そして、式(1)、式(10)、式(12)、式(14)、式(15)に、現地計測実施箇所における諸条件を代入して、支持面に垂直な比雪圧  $P$  を求める。ここで、設計積雪深  $H_s = 6.0\text{m}$ 、斜面勾配  $\psi = 40^\circ$ 、積雪の平均密度  $\gamma_s = 3.5\text{kN/m}^3$ 、クリープ係数  $K = 0.783$ 、グライド係数  $N = 2.4$  である<sup>4)</sup>。また計測対象の鉛直型予防柵は集落雪崩対策として設置されており、表-1より柵の設計にあたっては雪圧係数を考慮する。雪圧係数は図-4を適用し、柵中央部の上半分は1.5、柵端部は2を用いる。

以上のように求めた柵の端部と中央部の比雪圧の設計値と、各受圧板ごとに計測された雪圧荷重の各冬期の最大値を併せて、柵の高さ方向に図-6

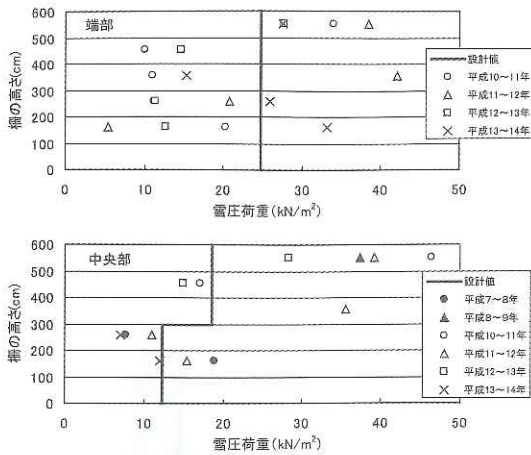


図-6 柵の高さ方向の設計値と計測値との比較  
(計測値は、各受圧板で計測された各冬期の雪圧荷重最大値)

に示す。なお、計測データのうち明らかに異常な値を示しているものについては除外した。

図-6より以下の傾向が読み取れる。

- (1) 柵の端部の雪圧荷重最大値は、およそ10～40 kN/m<sup>2</sup>の範囲でばらついており柵の高さ方向に傾向は見られない。
- (2) 柵の中央部の雪圧荷重最大値は、柵の上部ではおよそ25～45kN/m<sup>2</sup>の大きめの値を示す一方、柵の下部ではおよそ10～20kN/m<sup>2</sup>の小さめの値を示している。
- (3) λ型予防柵の雪圧計測をもとに求められた雪圧係数(図-4)を、鉛直予防柵に適用して求めた設計値と計測された雪圧荷重最大値とを比較すると、柵高5m程度までは設計値を上回るものが何点かあるものの概ね設計値の範囲に収まっている。一方、最上段受圧板の雪圧荷重最大値は設計値を上回っている。その理由として、写真-1で示すように積雪が柵高を上回り、柵上部では巻きだれが形成され

て、集中的に上部に雪圧が作用したためと考えられる。なお、最上段の部材には変形は生じていない。

## 5. まとめと今後の課題

鉛直型予防柵設置箇所において、柵に作用する雪圧の現地計測を行った。その結果の概要及び今後の課題は以下のとおりである。

柵の端部の雪圧荷重最大値は高さ方向に傾向は見られなかったが、中央部の雪圧荷重最大値は柵の上部では大きく下部では小さかった。

また、雪圧荷重の最大値を取る時期は3月中旬から4月中旬までの間であり、この時期にクリープ・グライドによる積雪層の移動・変形と積雪密度の増大のため、雪圧荷重が大きくなるものと考えられる。

今後は、本計測の結果を踏まえ、鉛直型予防柵を対象とした適切な雪圧係数の設定検討や、積雪層の移動・変形を考慮した雪圧シミュレーションによる本計測結果の検証等が必要であると考えられる。

本計測は長野県姫川砂防事務所の協力のもと実施された。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 建設省土木研究所、(社)鋼材倶楽部：雪崩予防施設の設計・設置法に関する共同研究報告書(その3)、pp.1-117、平成3年11月
- 2) 建設省河川局砂防部監修、(社)雪センター：集落雪崩対策工事技術指針(案)本編、pp.105-112、平成8年2月
- 3) (社)日本建設機械化協会、(社)雪センター：2005防雪・除雪ハンドブック(防雪編)、pp.189-201、平成16年12月
- 4) 長野県姫川砂防事務所：平成6年度県単雪崩対策工事(詳細設計)設計計算書、pp.10、平成7年

金子正則\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター主任研究員  
Masanori KANEKO

花岡正明\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ雪崩・地すべり研究センター所長  
Masaaki HANAOKA

秋山一弥\*\*\*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム主任研究員(前 新潟試験所主任研究員)  
Kazuya AKIYAMA

武士俊也\*\*\*\*



ネパール水資源省治水砂防局派遣専門家(前 新潟試験所所長)  
Toshiya TAKESHI