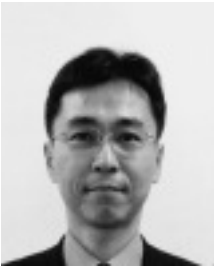


Q&Aコーナー



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

技術士（建設部門） 松 澤 勝

1. はじめに

現在の雪崩予防柵の設計基準では、設計積雪深が小さくなると、雪崩予防柵の列間隔が小さくなり、設置基数が増えてしまうことがあります。設計積雪深が小さくなるのに基数が増えてコストが増えるのは、設計基準上は正しくても、技術者としては矛盾を感じます。なぜこのようなことが起きるのでしょうか？

2. 斜面積雪の雪圧と列間隔

北海道開発局の設計要領1)によると雪崩予防柵の列間隔Lは次式で決まります。

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

ここで、L：列間隔(m)、 H_s ：設計積雪深(m)、 θ ：斜面の角度、 ψ ：雪と地面の摩擦角 ($\tan \psi$ = 摩擦係数 μ で、安全を見て $\mu = 0.5$ を採用する)

まず、この式が導かれる過程を説明します。斜面積雪は、粘性体のように変形する（クリープ）する

と共に、地表面を滑って（グライド）います（図1）。その速度は極めて遅いので、見た目には分かりません。

斜面に直角な面における雪圧は、クリープとグライドからくる圧力と静雪圧からなりますが、30°以上の斜面では前者に比べ後者は無視できます。このときの単位幅当たりに作用する、斜面に平行な雪圧 S_n は次の式で表されます。

$$S_n = \rho g \frac{H^2}{2} \quad (2)$$

ここで、 ρ ：積雪の密度、 H ：斜面鉛直方向の積雪深、 K ：クリープ係数、 N ：グライド係数です。

クリープ係数Kの値は積雪の密度に応じて表1のように決められており、また、グライド係数 N は、表2のように定められています¹⁾。

表1 クリープ係数Kの値

ρ (kg/m ³)	200	300	400	500
$K/\sin 2\theta$	0.70	0.76	0.83	0.92

表2 グライド係数の値（北海道の場合）

地表の状態	北向き 斜面	南向き 斜面
1. 玉石(>30 cm ϕ)の斜面、大岩の凹凸斜面	1.2	1.3
2. 礫(<30 cm ϕ)斜面、丈1 m以上の灌木地、50 cm以上の凹凸地面	1.6	1.8
3. 小さい灌木地、50 cm以下の凹凸斜面、草地	2.0	2.4
4. 平滑岩盤、葉の長い草地、湿地	2.6	3.2

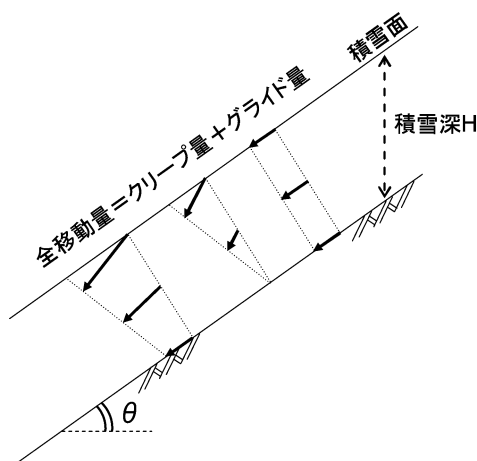


図1 斜面積雪の移動

一方、グライド速度が大きい場合、地面の抵抗はグライド速度によらず一定になります²⁾。このとき、長さ L 、積雪深 H の積雪が、単位幅当たり作用する雪圧 S は(3)式で表されます。雪崩予防柵の設置されている斜面を考えた場合、雪崩予防柵の前面（下から見て）では積雪が寸断されるので、 L は列間隔と見なすことができます（図2）。

$$S = \rho g H \cos \theta (\sin \theta - \mu \cos \theta) L \quad (3)$$

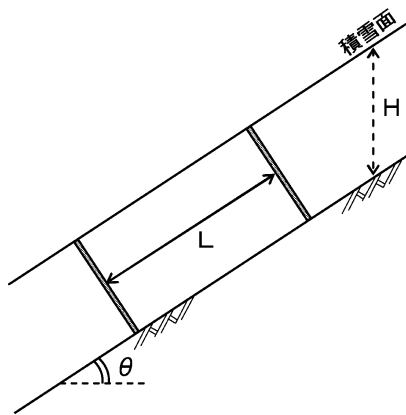


図2 列間隔と(3)式による斜面積雪の雪圧

ここで、 $S = S_n$ 、積雪深 $H =$ 設計積雪深 H_s とおくと(2)式と(3)式から

$$L = \left(\frac{K}{\sin 2\theta} \right) N \left(\frac{\tan \theta}{\tan \theta - \mu} \right) H_s \quad (4)$$

となります。ここで、スイスの示方書では、雪密度 270 kg/m^3 の時の $(K/\sin 2\theta) = 0.74$ と $N = 2.7$ を与えることで(注1)、列間隔を与える式(1)が得られます³⁾。

3. 試算例

ここで、斜面の傾斜角 40° 、設計積雪深が 2 m と 2.5 m の場合の雪圧を(2)式と(3)式で求めます（図3）。上述した、列間隔 L を求める(1)式の導入方法からもわかるとおり、(2)式と(3)式の交点が設計上の列間隔になります。従って、設計積雪深が 2.5 m の時は列間隔が約 12 m になります。ところで、設計積雪深が 2.0 m に小さくなった場合、設計上の列間隔は約 10 m になり、設計積雪深が 2.5 m の時より短くなります。

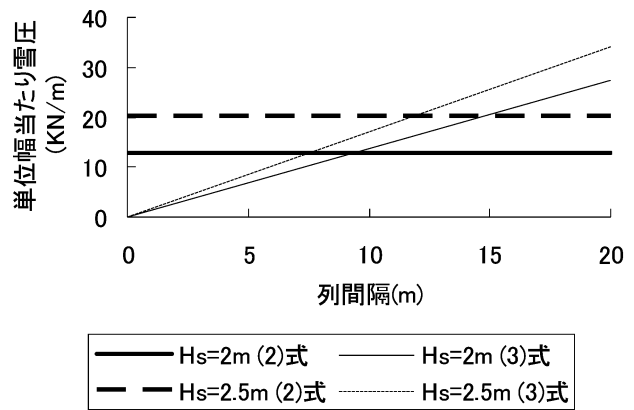


図3 列間隔と雪圧

ところで、改めて図3を見ると、積雪深 2.5 m で列間隔 12 m の場合の雪圧（約 20 kN/m ）に比べ、同じ列間隔 12 m で積雪深 2.0 m の場合の雪圧は(3)式を適用すると、約 16 kN/m と小さくなります。つまり、設計積雪深が小さくなることで列間隔が設計基準より広い状態となっても雪圧が小さくなるため、両者を勘案すると、問題は発生しないものと考えられます。

4. おわりに

結局、スイスの示方書で(2)式と(3)式の交点を与える L を列間隔と決めたことが事の発端になります。しかし基準の列間隔より広くても、(3)式で与えられる雪圧に耐える設計を行えば良いようにも思いますが、私は結論を持ち合わせていません。今後、実測などを重ねて合理的な設計方法について検討が必要だと思えます。

最後に雪研スノーイーターズの大槻技術士（建設部門）には、この件に関しての議論と図版の提供をいただきました。ここに謝意を記します。

参考文献：

- 1) 北海道開発局：北海道開発局道路設計要領、2007.
- 2) Endo: Glide Processes of a snow cover as a release mechanism of an avalanche on a slope covered with bamboo bushes. Contri. Inst. Low Temp. Sci., ser. A 32, 39-68 1983.
- 3) 荘田幹夫ほか：なだれ防御構造物の設計指針

(その1)、道路、昭和41年5月号、63-73、1966.
 (注1)：現在、我が国では設計に用いられる積雪の密度は 350 kg/m^3 であり、 $(K/\sin 2\theta)=0.795$ として

$$L = \left(\frac{2.15 \tan \theta}{\tan \theta - \mu} \right) H_s$$

とすべきであるが、差異が小さいので、スイスの示方書の値をそのまま使っているものと思われる。

(注2)：なぜ、この値を列間隔としたのかについて

は、スイスの示方書には説明がない。(2)式は列間隔 L に依存しないので、なるべく L を長く取った方が柵の数が少なくて済む。一方、融雪期などでグライド速度が大きくなると(3)式で示される雪圧になる。この時、(1)式で与えられる L 以上では、(3)式の雪圧に合わせて設計する必要がありコストが増加する。このため、(2)式と(3)式の交点を与える L を列間隔にしたものと考えられる。