

勾配の小さい斜面における 雪崩予防柵の列間斜距離と雪圧との関係について

Snow pressure acting on snow bridges for avalanche prevention regarding slope distance between bridges in slope of low gradient

松下拓樹, 松澤勝, 中村浩, 笠村繁幸 (独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所)
Hiroki Matsushita, Masaru Matsuzawa, Hiroshi Nakamura and Shigeyuki Kasamura

1. はじめに

雪崩予防柵の現行の設計手法では、積雪深が小さいほど柵の斜面方向の設置間隔である列間斜距離が短くなり、柵の設置基数が多くなる課題が指摘されている¹⁾。著者らは、この課題に対して、雪崩予防柵の列間斜距離に関する現地試験²⁾と雪圧と積雪の破壊に関する理論的検討³⁾を行い、積雪深が小さいほど、及び斜面勾配が小さいほど柵の列間斜距離を長くできる余地があることを示した。ただし、斜面勾配の小さい箇所における検証がまだ行われていないため、ここでは勾配の小さい斜面において雪崩予防柵の列間斜距離と雪圧に関する現地試験を実施した。

2. 試験の方法

2. 1 試験箇所の概要

試験は、芦別市滝里の平均勾配 29° の斜面で行った(図-1)．試験では、柵高 1.0m、柵幅 2.75m の実物大の雪崩予防柵(吊柵)を用い、柵の列間斜距離を 10m、15m、20m とした．設計積雪深を 1m、斜面勾配を 30° とすると列間斜距離の設計値は 15m となる．なお、斜面途中に幅 1.0m の小段があるため、小段上に高さ 0.45m の木製斜面模型を設置して斜面を延長した．斜面模型を置いた範囲は、列間斜距離 15m の斜面では上側 3.5m、列間斜距離 20m では上側 8.5m である(図-1、図-2)．また、気温と積雪深は、斜面上部の平坦な場所で観測した．

2. 2 雪圧の測定方法

雪崩予防柵に作用する雪圧の測定は、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-3a)。

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力と考え、これを柵幅で除した値を

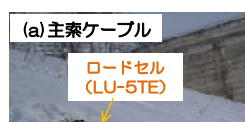


図-3

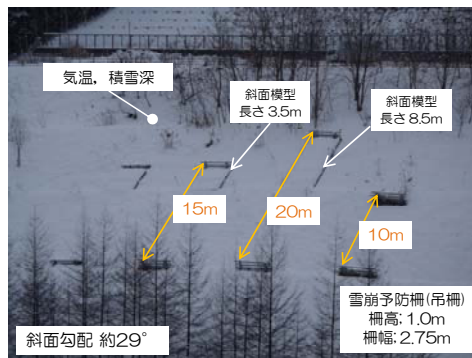


図-1 試験斜面の状況

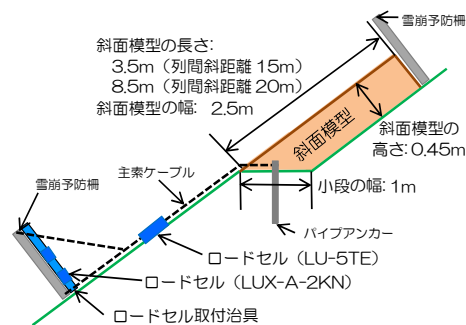


図-2 試験斜面の横断概要図

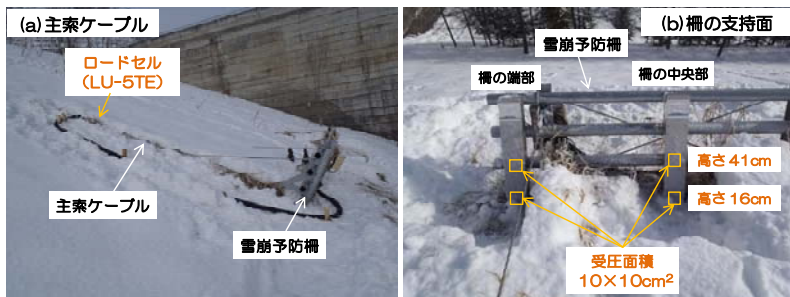


図-3 ロードセルの取付状況

雪圧 (N m^{-1}) とした. また, 柵の支持面の地面からの高さ 16cm と 41cm の位置にもロードセル (LUX-A-2KN) を取付けた (図-3b). このロードセルを厚さ 10cm, 幅 16cm のステンレス製の箱に格納し, 箱の面から少しだけ出ている面積 $10 \times 10 \text{cm}^2$ の板を取付けて, それに作用する圧縮荷重 (N) を測定した. この測定値を板の面積で除した値を, それぞれの位置の雪圧 (N m^{-2}) とした. これらの測定期間は, 2011 年 12 月 9 日から 2012 年 3 月 12 日である.

2. 3 斜面積雪の変位と移動の測定方法

雪崩予防柵の雪圧に寄与する斜面積雪の移動や変位の測定を行った. 測定は, 積雪内におがくずを充填する方法 (図-4) で行った. 積雪深が 80cm を超えた 2 月 12 日に, 全層用スノーサンプラー (断面積 20cm^2) を用いて雪面から積雪を鉛直方向に円筒状に抜き取り, 地面に杭を打つなどの目印を付けた後に積雪内におがくずを充填した. そして, 1 ヶ月後の 3 月 12 日に, おがくず充填箇所の積雪横断面を露出させて, おがくずの水平および鉛直方向の変位量を測定した. おがくずの充填箇所は, 充填時の雪面における雪崩予防柵からの距離で 2m, 4m, 8m, 12m の 4 箇所である (図-5).

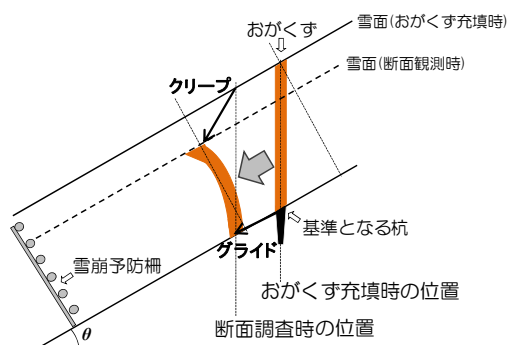


図-4 おがくずを用いた測定方法

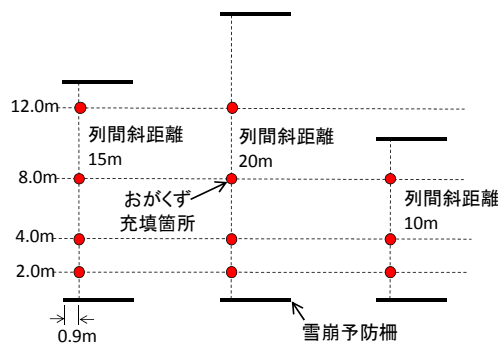


図-5 おがくずの充填箇所

3. 試験の結果

3. 1 試験期間の気象と積雪の状況

図-6a は, 試験期間中の気温と積雪深の推移である. 試験期間中の気温は 0°C 以下であり, 積雪深は最大 92cm であった. おがくず充填から断面観測までの期間は, 積雪深が最大となり融雪が進行し始めた時期にあたりと考えられる. おがくず充填箇所の積雪深は, 充填時で 70~95cm, 断面観測時で 30~75cm であった. また, 断面観測時の積雪密度は $300 \sim 400 \text{kg m}^{-3}$, 雪温はほぼ 0°C で, ざらめ雪が主体の積雪であり, これらの列間斜距離による違いはみられなかった.

3. 2 雪圧の計測結果

図-6b は, 柵の主索ケーブルで測定した雪圧の推移である. 雪圧は, 12 月中旬からしだいに増加し, 3 月上旬に最大となった. 柵の列間斜距離の違いに着目すると, 2 月上旬以降, 列間斜距離 10m の雪崩予防柵への雪圧が最も大きくなり, 3 月上旬になると他の列間斜距離の雪圧との差がさらに大きくなった. 一方, 列間斜距離が 15m と 20m の柵への雪圧を比較すると, 2 月下旬までは列間斜距離 20m の柵に作用する雪圧が大きいものの, 雪圧が最大となった 3 月上旬では両者は同程度となった.

図-7 は, 柵の支持面で測定した雪圧の推移で, 柵の中央で測定した結果である. 柵の上側 (高さ 41cm) の雪圧の推移 (図-7a) をみると, 12 月下旬から列間斜距離 10m の柵への雪圧が大きくなり, 3 月上旬の最大値は列間斜距離 20m の柵への雪圧の 2 倍

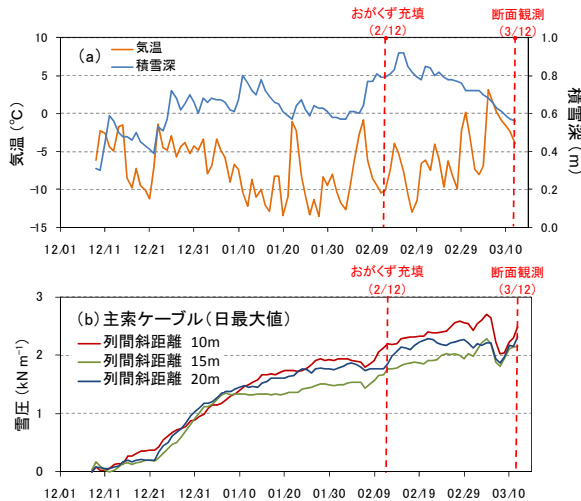


図-6 試験期間中の(a)気温と積雪深、
(b)柵全体の雪圧の推移。

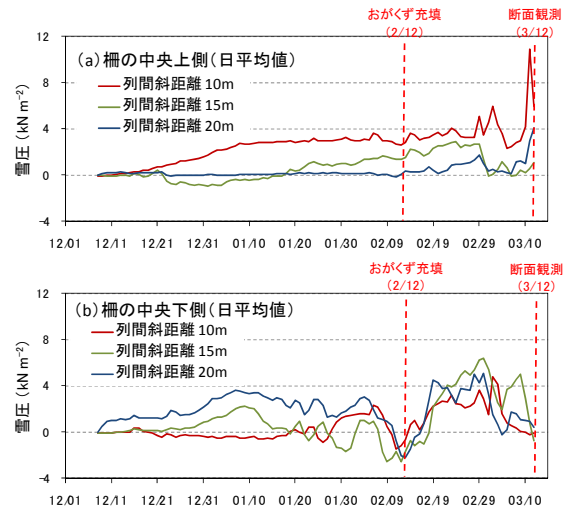


図-7 柵の支持面の雪圧の推移。(a)柵
の中央上部、(b)柵の中央下部

以上となった。一方、柵下側（高さ 16cm）の雪圧（図-7b）は、12 月から 2 月上旬までは列間斜距離が最も長い 20m の柵に作用する雪圧が大きく、3 月上旬になると列間斜距離 15m の柵への雪圧が最も大きくなった。これに対し、列間斜距離 10m の柵への雪圧は、それより長い列間斜距離の柵への雪圧より小さい場合が多い。

3. 3 斜面積雪の変位と移動の測定結果

図-8 は、おがくずの変位量の測定結果で、横軸と縦軸が 0 の箇所が杭の位置である。おがくずの変位量は、各箇所とも地面からの高さが高くなるほど、また雪崩予防柵から離れるほど大きい。雪崩予防柵から 8m までの箇所における地面付近の変位量をみると、列間斜距離の違いに関わらず各箇所とも同程度のグライドが生じたと考えられる。ただし、柵から 4m の箇所では、列間斜距離 10m の場合のみグライドがみられなかった。また、列間斜距離 20m の場合の柵から 12m の箇所でもグライドは小さかった。

一方、柵に近い 2m の箇所における雪面付近の変位量は、列間斜距離 10m の場合で大きく積雪のクリープが顕著である。そこで、柵から 8m までの箇所のクリープによる変位量をみるため、地面付近の変位量（図-8 のグライド）を差し引いた

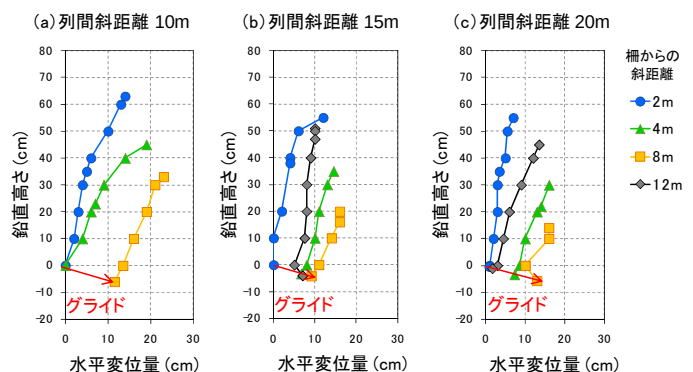


図-8 おがくずの変位量の測定結果

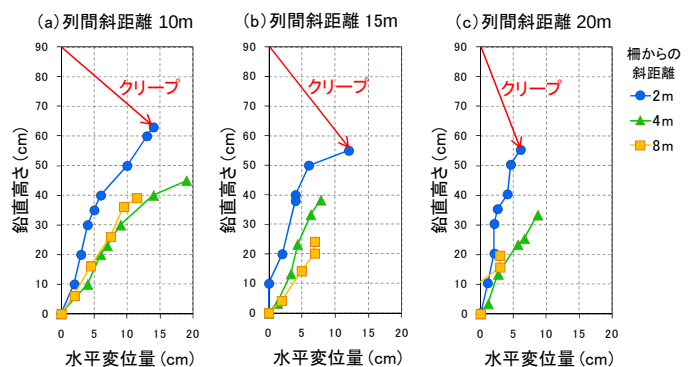


図-9 クリープによる変位量

値を図-9に示す。図中の矢印は、柵から2mの箇所のおがくず充填時の位置からの変位である。断面観測時、積雪の融雪が進行して雪面付近のおがくずがやや崩れていたため、クリープによる正確な変位量を算出できなかったが、柵から2mの箇所における高さ40～50cm（雪圧の測定高さに相当）の水平変位量を比較すると、列間斜距離10mの場合で変位量が最も大きい。

4. 考察

積雪深2～3m（柵高2.5m）で平均勾配 37° の斜面で行った試験²⁾では、雪崩予防柵の列間斜距離を長くすると、柵に作用する雪圧と斜面積雪のグライドはともに大きくなった。これに対して、積雪深が1m程度で平均勾配 29° の斜面で行った今回の試験では、列間斜距離が長くなるにしたがい柵に作用する雪圧は小さくなった。一般に、クリープに基づく雪圧はグライドに基づく雪圧に比べて小さい⁴⁾。しかし、今回の試験では、列間斜距離が短い場合では、柵付近の積雪のクリープによる変位が大きく、柵の上部に作用する雪圧が大きい結果となり、これにより柵全体に作用する雪圧が大きくなったと考えられる。この理由について、(1)斜面勾配が小さくかつ積雪深が小さい斜面では、積雪の自重によって生じる斜面下方向の応力に対して積雪の底面と地面との摩擦の影響が相対的に大きいこと、(2)このため列間斜距離（斜面積雪の長さ）の違いによる積雪全体の移動（グライド）に顕著な差がみられなくなること、(3)また列間斜距離（斜面積雪）の長さに応じた斜面上方における積雪の引張領域⁴⁾の影響などが可能性として考えられる。しかし、これらを定量的に説明するためには、斜面積雪内部の応力と抗力の分布を考慮した斜面積雪の移動や変位に関するより詳細な解析が必要であるので、今後の課題としたい。

5. おわりに

勾配の小さい斜面において、雪崩予防柵の列間斜距離と雪圧の関係に着目した現地試験を行った。その結果、列間斜距離が短いと、柵付近の積雪のクリープによって柵に作用する雪圧が大きくなった。このことは、勾配が小さい斜面で柵の列間斜距離を広げることに対しては有利な結果であると考えられる。

謝辞

現地試験の実施にあたり、北海道開発局札幌開発建設部空知川河川事務所及び滝里ダム管理支所の関係各位にお世話になった。ここに記して感謝申し上げる。

【参考・引用文献】

- 1) 大槻政哉, 2009: 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*, **25**, 270-275.
- 2) 松下拓樹, 松澤勝, 中村浩, 坂瀬修, 2011: 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*, **701**, 10-16.
- 3) 松下拓樹, 坂瀬修, 松澤勝, 2012: 雪圧と積雪の破壊条件に基づく雪崩予防柵の列間斜距離に関する検討, *第55回北海道開発技術研究発表会 発表論文集*, ふ17(道).
- 4) 遠藤八十一, 2000: 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, 24-42.