

雪崩予防柵に取り付ける巻きだれ予防柵の考案

－各部に作用する雪圧の測定及び効果検証－

Development of a snow fence to prevent the hanging snow from the top of snow supporting structures
－Snow pressure measurements and performance evaluation－

佐藤主章¹，平田勝二郎²，大槻政哉³，千葉隆弘⁴

Kazuaki SATOU, Katsuzirou HIRATA, Masaya OTSUKI, Takahiro CHIBA

^{1,2}(株)ノースプラン, ³雪研スノーイーターズ, ⁴北海道科学大学

^{1,2}Northplan Co.,Ltd, ³YukikenSnowEaters Co.,Ltd, ⁴Hokkaido University of Science

1. はじめに

雪崩予防柵の上端部には、その設置位置や向き、気象の推移などが影響し巻きだれが発生する場合がある。この巻きだれは時に落下し、その雪塊が道路に達する恐れがある。

平成22年度に実施された道路法面除排雪実態調査¹⁾では、苫小牧及び室蘭を除いた道路事務所管轄において、具体的な施設名があるものだけで316件の雪崩予防柵が設置されており、この中で平成22年度に行われた除排雪件数は151件に及ぶと報告されている。また、平均1回当たりの除排雪では、3.25日、50人、179万円と多大な人力と費用を要しており、巻きだれを効果的に予防する対策工法の開発が望まれる。

これらの背景を踏まえ、建設業界の人手不足を補い除排雪費を抑えることを目的に、雪崩予防柵の上端部に取り付ける巻きだれ予防柵を考案した。これまで、雪崩予防柵上端部に鋼管やワイヤロープ、その他遮へい材などをを用い実験した事例は幾つかあるが、これらに作用する雪圧を確認した事例は見当たらない。そこで、巻きだれ予防柵を取り付けた場合とそうでない場合の雪圧を測定し、安全な対策工設計に繋がりたいと考えた。

本稿では、これら雪圧測定結果に巻きだれ予防柵の効果を加え報告する。

2. 観測方法

観測箇所を図-1に示す。一般国道393号線、毛無山頂上付近の法面で実施した（N43° 9' 0"，E141° 0' 58"，標高512m，設計積雪深Hs=3.0m，柵高H=2.50m，観測箇所付近の法面勾配θ=51°）。当斜面は積雪が多く巻きだれが毎冬季発生している。観測期間は2019/12/1～2020/3/31とした。観測概要を図-2に示す。

巻きだれ予防柵の遮へい材には、積雪のすり抜けを避け且つ柵背面の融雪を促すことを目的に有孔板を採用し、鉛直方向に2枚設置した。また、降雪時に発生する冠雪を切り落とすことを目的に、柵上端に雪切板を取り付けた（図-3）。



図-1 観測箇所（国土地理院地図に追記）



図-2 観測概要



図-3 巻きだれ予防柵

(1) 雪崩予防柵に作用する雪圧の測定

巻きだれ予防柵を取り付けた場合とそうでない場合の雪崩予防柵に作用する斜面に平行な雪圧は、各中間主索ケーブルにロードセル（共和電業 LTA-C-50KNS、コーキングと防水テープを用いて防水処理を施したもの）を設置し比較した（図-4）。



図-4 主索ケーブルに取り付けたロードセル

(2) 巻きだれ予防柵に作用する雪圧の測定

巻きだれ予防柵に作用する雪圧は、山側にビーム型ロードセル（共和電業 LUB-200KB）3 個を接続した 50cm×50cm の鋼板を設置し、巻きだれ予防柵に作用する水平方向の雪圧を測定した。雪圧は3 個の荷重を合計して作用雪圧とした（図-5）。

測定インターバルは、雪崩予防柵に取り付けたロードセルと共に 60 分とした。

(3) 巻きだれ予防柵の効果に関する観測

測定した雪圧と柵背面積雪の関係及び巻きだれ予防柵の効果を確認するため定点カメラを設け観測した。観測は 4 時 30 分～18 時 30 分、インターバルを 30 分とした。

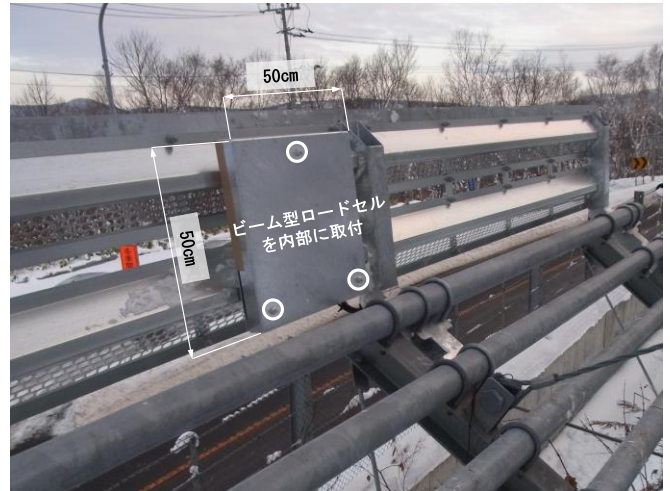


図-5 巻きだれ予防柵に取り付けたビーム型ロードセル

この他、保守点検時の撮影写真などを加え観測結果を整理した。また、3 月 5 日に巻きだれ予防柵を取り付けた場合とそうでない場合について柵裏の積雪断面を調査した。

3. 観測結果

(1) 雪崩予防柵に作用する雪圧の測定結果

雪圧が作用した 1/20～3/31 までの雪圧と気温の推移を図-6 に示す。最も大きな値を示したのは 3/19-5 時で 11.2kN であった。1/20～2/4 及び 3/1～3/10 では巻きだれ予防柵有りの方が大なる値を示し、2/4～3/1, 3/10～3/31 では巻きだれ予防柵無しの方が大なる値を示した。その差は最大でも 1.2kN 程度と小さく、大小なる値をとる方が入れ替わりながら推移し、概ね同等の値を示した。当結果からは、巻きだれ予防柵を取り付ける際のアンカーや主索ケーブルなどの補強の必要性は伺えなかった。

また、雪圧算定式（式 1）及び雪崩予防柵の辺縁効果を考慮した荷重分布の計算に従い、中間主索ケーブルに作用する雪圧を算定すると $T=45.2\text{kN}$ となるが、少雪であったことも手伝い計算値よりもかなり低い値で推移した。算定に用いた値は表-1 に示す通りである。

$$S_n = \gamma \cdot \frac{H_s^2}{2} \cdot K \cdot N \quad \dots \text{(式1)}$$

表-1 雪圧の算定に用いた値

項 目	計算に用いた値	備 考
積雪深 (Hs)	2.45 m	—
※積雪深は、最大雪圧を観測した 3 月 19 日 5 時、毛無山テレメータデータの値を採用した。		
斜面勾配 (θ)	51 °	観測箇所実測
雪の単位体積重量 (γ)	3.5 kN/m ³	—
地表の状況	Ⅲ	—
斜面の向き	南向き	—
クリープ係数 (K)	0.778	—
グライド係数 (N)	2.4	—

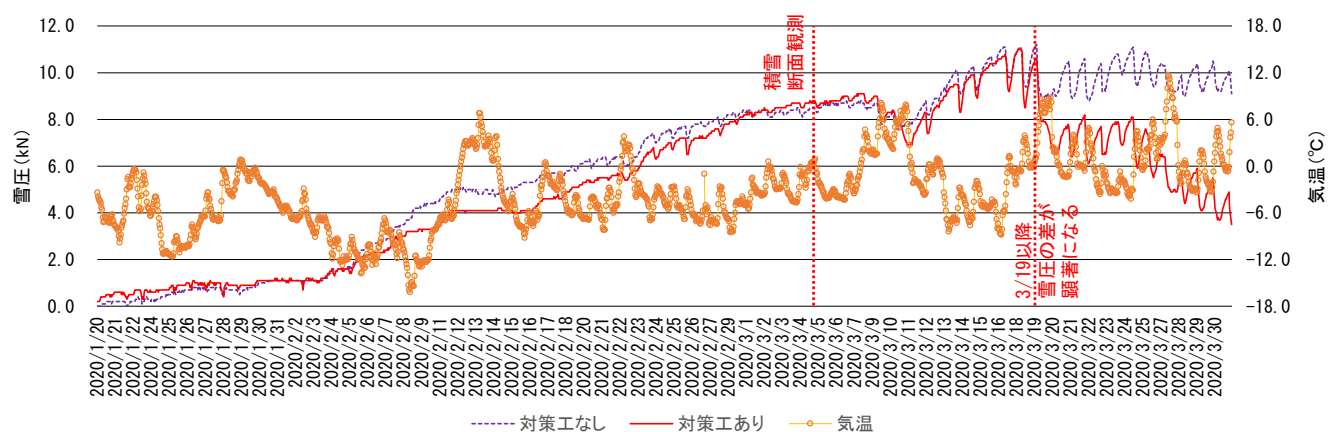


図-6 雪圧と気温の推移

尚、3/19以降に巻きだれ予防柵有りの雪圧が大幅減少に転じ、無しとの雪圧差が大きく開いた。これは3/5の積雪断面観測後に戻した積雪がブロック状で表面積が大きくなったため、3/19以降のプラス気温で周囲よりも一早く融雪が進んだためと推察される。

(2) 巻きだれ予防柵に作用する雪圧の測定結果

積雪が巻きだれ予防柵に接し雪圧が作用した2/6～2/12の雪圧推移を図-7に示す。最も大きい雪圧は2/10-10時で0.36kN/mを記録した。柵背面の積雪状況を図-8に示す。この時の積雪高さは巻きだれ予防柵の上端付近であったことから、柵高(H)=0.6mを設計積雪深(Hs)とし、雪圧

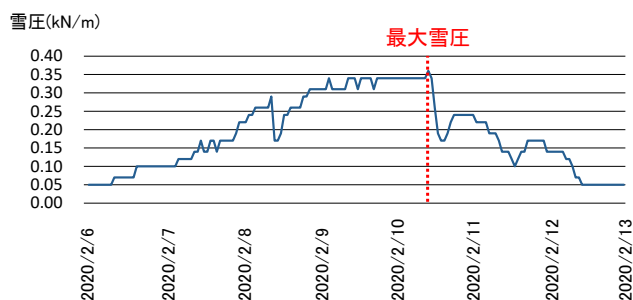


図-7 雪圧の推移



図-8 2/10-10時の積雪状況

算定式を用いて水平分力を推定すると0.74kN/mとなる。積雪深以外の算定に用いた値は表-1による。

巻きだれ予防柵に作用した水平方向の雪圧0.36kN/mは、雪圧算定式により推定した雪圧0.74kN/mを下回った。

このことから、部材設計は図-9に示すように、巻きだれ予防柵の高さを設計積雪深と見立て雪圧を算定し、この水平分力を用いて部材応力度を照査すれば安全であると考えられる。

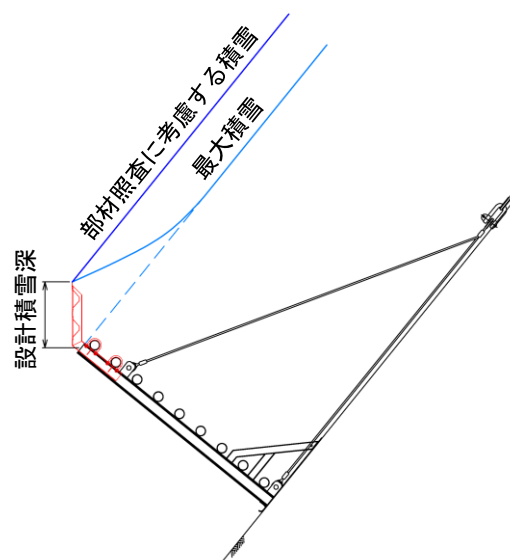


図-9 部材照査時の設計モデル

(3) 巻きだれ予防柵の効果に関する観測結果

既存雪崩予防柵に発生した巻きだれ状況を図-10に示す。巻きだれ予防柵無しの場合は巻きだれが発生したが、巻きだれ予防柵を取り付けた場合では巻きだれが発生しなかった。

積雪と気温の推移に主な観測結果を加えたものを図-13に示す。



図-10 巻きだれ発生状況

既存雪崩予防柵に発生した巻きだれは、2/11に最も成長し、巻きだれ長さ（図-11）で35cm程度であった。巻きだれ長さは、図-12の右上に見える既存雪崩予防柵に発生した巻きだれを参考にした。

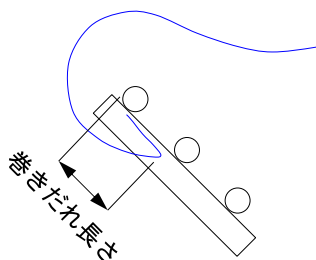


図-11 巻きだれ長さ



図-12 最大巻きだれ時の状況

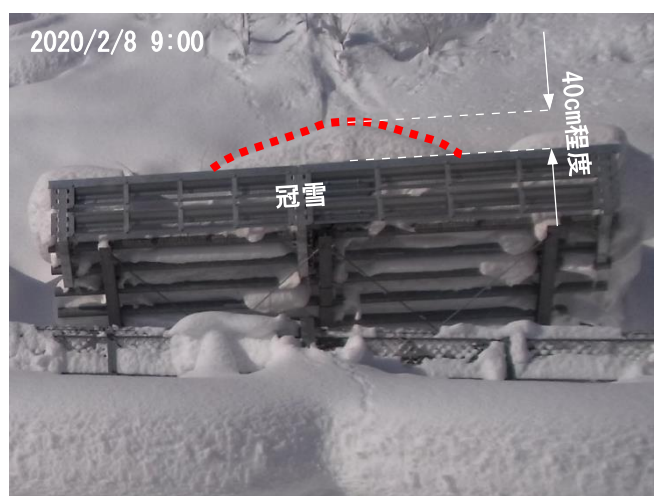


図-14 最大冠雪時の状況

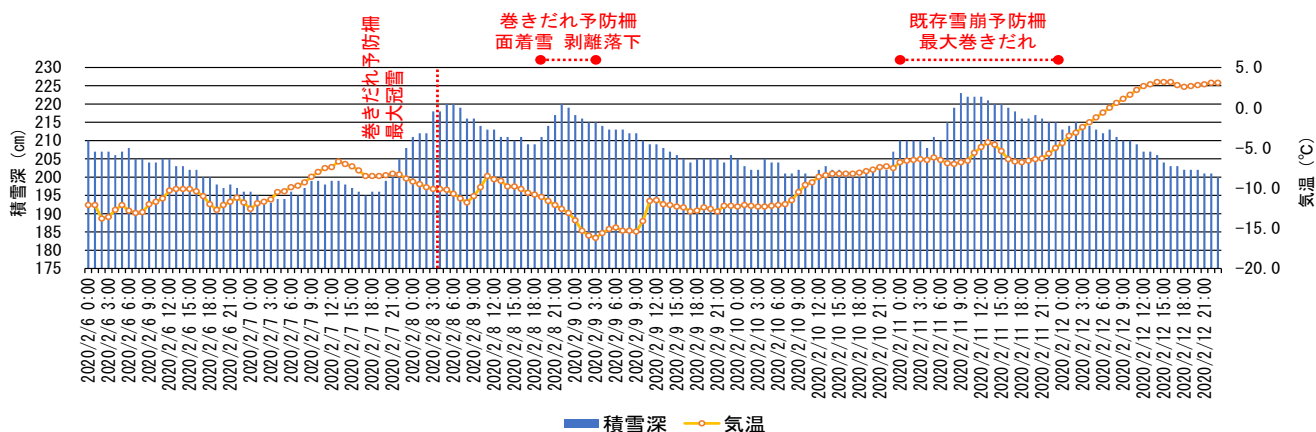


図-13 積雪深と気温の推移

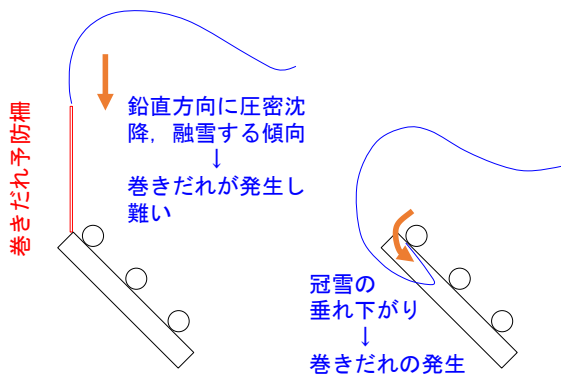


図-15 冠雪の動き

破線囲みに示す巻きだれ予防柵の面着雪（図-16）が2/8画像撮影終了 18:20～翌日撮影開始 4:30 の間に落下した。

（当調査で面着雪を確認したのは当事例のみ）面着雪が成長する頻度は低と考えられるが、当事例のように面着雪が発生した場合でも巻きだれの発達には至らず、規模や密度が小さい段階で落下する傾向にある。

また、巻きだれ予防柵を取り付けた一つ隣以降の雪崩予防柵区間において、点線で囲んだ斜面中腹より下側の表層が何らかの要因で崩れた。これに伴い巻きだれも崩れ落ちた。箇所によっては、落下した雪塊が谷側斜面を流れ落ちた跡が確認できる。このような事象が発生した場合でも、巻きだれ予防柵が効果を発揮することが確認された。



図-16 面着雪落下及び表層崩れの状況

3/5 に柵背面の積雪断面調査を実施した（図-17）。巻きだれ予防柵無しでは、横梁（鋼管）上から3本目上方の積雪が75cm、有りでは90cmであった。巻きだれ予防柵を取り付けた場合は積雪が高くなるが、図-14に示した通り冠雪が大きくなっても巻きだれの発生には至らず、巻きだれの予防効果を発揮している。

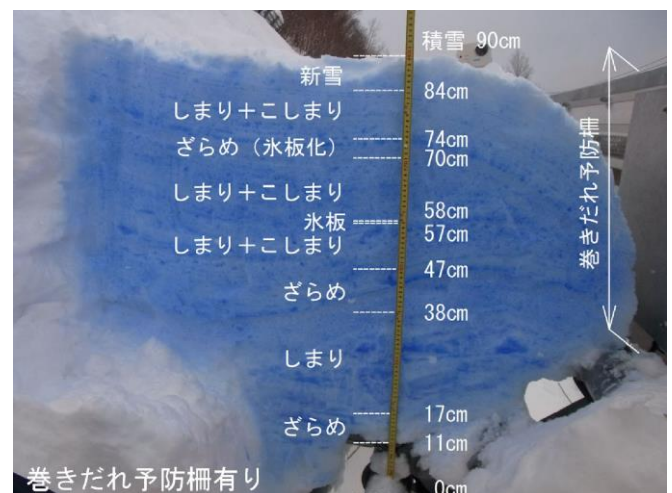


図-17 柵背面の積雪状況

（上-巻きだれ予防柵無し、下-巻きだれ予防柵有り）

4. おわりに

道路法面除排雪の実態と人手不足などの背景から巻きだれ予防柵を考案し、適正な部材設計及び既存雪崩予防柵の支持力照査に向け雪圧測定と効果検証を行った。

今冬季は例年に比べ小雪であったものの、巻きだれを予防する効果が確認でき、雪崩予防柵全体に付加的な荷重がかかることはなく、巻きだれ予防柵にも過剰な雪圧がかからないことを確認できた。

しかしながら、多雪の年では柵の背面積雪からクリープ作用を強く受け荷重が大きくなる可能性があるし、山間部では現地積雪が最大積雪等深線図による設計積雪深を上回ったり、斜面が吹きだまり易い場合がある。このような箇所では巻きだれが発生し成長する可能性を否認ない。

今後は、このような厳しい条件下における巻きだれ予防柵の効果や安全性を確認する予定である。

5. 謝辞

本調査にあたっては、北海道開発局小樽開発建設部小樽道路事務所に大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

1) 中村隆一ら、北海道の国道における道路法面の除排雪実態と除排雪工法の基礎資料―平成 22～23 年度の実態調査、寒地土木研究所, p.2, 2014