

巻きだれ雪の形成と消滅-危険な巻きだれの見分け方

竹内政夫・成田英器 (NPO 雪氷ネットワーク), 佐々木勝男 (北海道工業大学)

1. はじめに

緩勾配から急勾配に変化する道路の切土部や雪崩柵頂部にできる巻きだれは、崩落によって雪崩を誘発し、あるいは大きな雪塊になって道路に転落し交通の障害になる。このため人力や機械によって巻きだれは除去処理されてきた。同一法面上にできたものでも、形成のメカニズムによって崩落するものもしないものが観察され、除去の必要のない巻きだれもあると感じていた。同じ疑問は道路維持の現場にもあって、経費の節約のために、巻きだれ除去の要不要を評価しようと考えようようになってきた。そこで、巻きだれの危険性評価のために、道路沿道からの目視と写真による巻きだれ、および巻きだれ崩落の現場を観察した。また、巻きだれ破断崩落の発生条件を、巻きだれの種類と崩落時の気象（気温）条件で整理した。

2. 巻きだれの種類 - 冠雪型と雪庇型 -

一般には山の稜線の風下側に張り出す雪を雪庇というが、道路の現場では庇状に巻かれた雪を雪庇と呼んでいる。筆者は成因の違いは様々あっても重力で沈降して庇状に巻



写真-1 同一斜面上の2種類の巻きだれ

だれた雪を雪庇とする考えを持っていた¹⁾。しかし、雪庇といえば山の稜線風下に着雪で成長発達する雪庇のイメージが強いので、ここでは巻きだれと呼ぶことにし雪崩柵にできるものについて述べる。雪崩柵にできる巻きだれは生成機構によって、冠雪型と雪庇型の2種類に分けられる²⁾。写真-1の上段は冠雪型で下段は雪庇型である。

2-1. 冠雪型巻きだれ

冠雪型は雪崩柵の頂部に積もった冠雪が沈降して巻かれたものである。降雪を重ねて成長し大きくなる。時間を経て密度が大きくなると内部のコアは固く締まった雪塊になり、崩落しても細かくは砕けずに塊のまま斜面を転がり道路へ達する危険がある。見た目の特徴は、写真-1の上段のように、柵一つ一つの巻きだれ（冠雪）が孤立し柵背面の積雪とも分離していることである。柵上部に雪が積もって大きくなったもので、柵の

高さや積雪面との差が大きく冠雪が背面の雪と結びつかない場合に冠雪型ができる³⁾。降雪が積もってできる初期の冠雪型巻きだれは、密度が小さく落下しても細かく砕けるのでここでの対象としないことにする。

2-2. 雪庇型巻きだれ

柵背面の雪がクリープして柵最上部を越えて巻きだれたものである。雪庇型巻きだれは降雪（冠雪）とクリープで成長する。柵背面の積雪と同じ層でつながり一体化し、写真-1 下段のように隣接する柵の巻きだれともつながり、互いに支え合っている。支え合う雪の引っ張り強度（温度、密度の関数）は $5 \sim 20 \text{ ton/m}^2$ ⁴⁾と大きく気温 0°C 以下では安定している。初めは冠雪型であったものが、度重なる降雪で柵高と斜面積雪との差が小さくなり、冠雪と柵背面の雪が結合し雪庇型になることもある。

3. 巻きだれの消滅過程とその条件

巻きだれの危険性は巻きだれが大きな固い塊で転落するかどうかにかかっている。巻きだれの成長期はコア部分の密度が、そして強度も、大きくなる。厳寒期には巻きだれの新しく伸びた成長部分はちぎれることはあっても、密度の大きいコア部分が破断することはない。しかし温度上昇によって積雪の力学的強度は小さくなる⁴⁾。さらに融雪が進むと雪粒子の3次元網目構造の結合部分に水が入り融解が進み⁵⁾（若浜，1965）、雪の強度は小さくなる。このように、融雪によって雪の引っ張り強度が極端に低下するので破断しやすくなる。これまで観測された巻きだれの転落や破断は融雪時に発生している。

3-1. 冠雪型巻きだれの転落例

写真-1 上段右端が冠雪型巻きだれの転落例である。最寄りのアメダスの最高気温が $+5^\circ\text{C}$ に上がった最初の融雪時に落下後、二つに分裂して斜面を転がり下段の柵で止められた。このように巻きだれ全体が一気に崩落すると危険である。この箇所の巻きだれが消失するまで観察を続けたが、融解や表面からの剥離で薄く小さくなった巻きだれ部分が複数個に分かれて破断転落していた。写真 1. 上段は冠雪型巻きだれであるが斜面の積雪が増えることによって冠雪の一塊での落下が抑えられるのが観られた。

3-2. 雪庇型巻きだれの破断と表面からの消滅

1) 巻きだれ表面からの剥離

雪崩柵にできる雪庇型巻きだれは、クリープ速度が小さいため稜線にできる雪庇のようには大きくはみ出さない。また左右および背面の雪に支えられているためか、厳冬期には破断例は観察されていない。日の当たる斜面では、積雪表面を透過する短波放射熱によって内部で融解し積雪内部に小さな空洞ができるために結合が弱くなった雪が薄いフレーク状に剥離して落下しているのが観られた。融雪期には表面からの融解も加わって消滅に向かう。

2) 巻きだれの破断例

雪庇型巻きだれの破断を観察したのは、日射の入らない斜面で写真-2 の一例だけである。北向き斜面に融雪期まで残った雪庇が気温上昇によって破断したものである。最寄りの気象観測所では崩落の数日前から平均気温はプラスで最高気温は 13℃を超えた条件で発生した。破断した雪は小さな塊に分裂するので危険は小さい。



写真-2 融雪期による雪庇型巻きだれの破断

4. 危険な巻きだれ

道路で危険なのは固く大きな雪塊が転落するケースであるが、これまでの観察では意外に少なく、上に述べた冠雪型巻きだれの一例だけであった。雪庇型巻きだれが破断すれば大きな雪塊になるが、厳冬期には雪の力が強く、雪の結合が小さくなって発生する融雪期に破断しても分裂するので危険は小さい。そこで、ここでは時間をかけて大きくなった冠雪型巻きだれを危険とし、その見分け方について述べる。

5. 危険な巻きだれの判別法

これまで述べたように危険な巻きだれを特定するのは冠雪型かどうかの判別が最も重要である。実用を考え道路側から見た写真で示す。

5-1. 冠雪型と雪庇型の判別

1) 柵間に隙間があると冠雪 (写真-1) - 基本的な例-

上段が冠雪型でその特徴は柵と柵との間に隙間が開いていることである。下段は雪庇型であるが、柵間に隙間が見えず隣接する柵の巻きだれと一体化していることで判別できる。背面の雪は道路から見えなくても隙間がなければ雪庇型と判断してよい。

2) 柵間に隙間のある雪庇型の例

柵間が離れていても背面の雪と繋がっている巻きだれは、上で述べたように破断しにくい雪庇型と考えてよい。写真-3 は柵の風上側に吹きだまりと巻だれが繋がった例である。



写真-3 巻だれと繋がった風上側の吹きだまり

3) 危険な巻きだれ除去を決めるための判別フロー

次の三つの条件, ①冠雪型巻きだれ, ②大きく古い巻きだれ, ③融雪時によって, 判別フローをつくると図-1 のようになる.

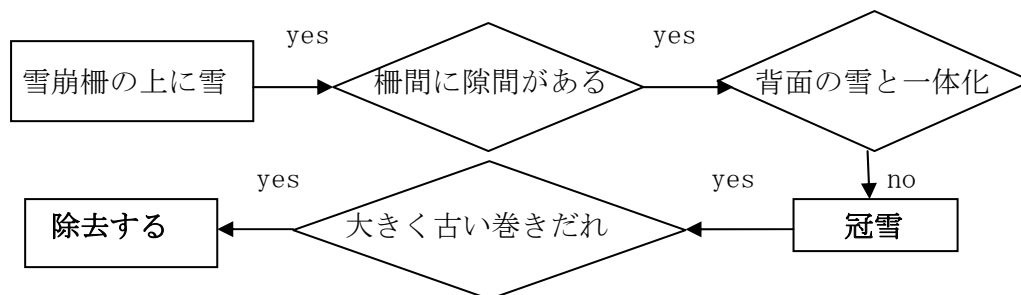


図-1 雪崩柵上の巻きだれ除去をきめる判別フロー (融雪時)

6. まとめとあとがき

雪崩柵の上のできる巻きだれが道路へ転落する危険があるとされていたが, 身の回りで見ると巻きだれや雪庇は落とそうとしても容易には破断しない. また雪崩柵が低過ぎるから巻きだれができるので, 柵を嵩上げするということを聞いて直感的にそれはおかしいと思った. 冬はドライブの度にできるだけ雪崩柵の巻きだれを見るようにしてきた. 雪崩柵からの巻きだれ除去についても, 危険性が高い巻きだれを重点的に行うことによってコスト縮減を図りながら効果的なものになると考えられる. これまで見た唯一の転落例は, 防災ドクター (現道路防災有識者) として現場で, 同じ切土の雪崩柵が上下 2 段で異なる形状の巻きだれを見て追跡調査してもらった写真-1 で示したものである. 上段の巻きだれだけが転落した. 雪崩柵の巻きだれは柵が低いから出来るのではなく, 逆に高すぎるからできることは知っていたが, 高すぎる柵の巻きだれは転落し危険であることは, この時の調査で分かった. 北海道開発局から相談されたので, 少ないデータではあるが雪の力学的性質で補って判別フローをつくった. このように巻きだれの転落についての調査もデータも少ないので, これから補足していただければ幸いである.

文献

- 1) 竹内政夫, 2007: 雪庇について, 第 23 回寒地技術シンポジウム技術論文・報告集, pp.421-424.
- 2) 竹内政夫, 小林昭彦, 2008: 雪崩予防柵にできる雪庇と柵高, 北海道の雪氷, 27, pp.21-24.
- 3) 竹内政夫, 小林昭彦, 2008: 雪崩予防柵にできる堅固な雪庇と転落する冠雪, 第 24 回寒地技術シンポジウム技術論文・報告集, pp.360-363.
- 4) Narita H.: An Experimental Study on Tensile Fracture of Snow, Contribution No.2625 from the Institute of Low Temperature Science.
- 5) 若浜五郎, 1965: 水を含んだ積雪の変態, 低温科学, 物理編 第 23 輯, pp.51-66.