

## 総説

# 吹雪とその対策 (3)<sup>1)</sup> ——吹きだまりの発生機構と形——

竹内政夫<sup>2)</sup>

## 要 旨

吹雪の去った後にみられる吹きだまりは身近な現象であるが、視程障害とともに積雪寒冷地の交通の障害要因となっている。また、人工的に吹きだまりを集めて水資源として利用されることもあった。吹きだまりをつくるのは、地吹雪の飛雪粒子を構成する、跳躍粒子と浮遊粒子であるが、そのいずれかによって吹きだまりの発生機構や形が異なる。吹きだまりを二つのタイプに分けて、その成因と形を定性的に紹介した。

キーワード：吹雪，地吹雪，吹きだまり

Key Words: blowing snow, drifting snow, snowdrift

## 1. まえがき

風に乗って移動する飛雪粒子が、運動を停止し堆積した雪の小山が吹きだまりである。鉄道や道路を埋める吹きだまりは、視程障害とともに積雪寒冷地における交通機関の最大の障害要因であった。一方では、自然にあるいは人工的に造られた吹きだまりは、水資源として利用されてきた。家屋のまわりや屋根上での規模の小さい吹きだまりはよく見られる現象であり、山の尾根にできる雪庇も吹きだまりの一種である。防雪林や防雪柵は人工的に吹きだまりを造ることによって、道路等の防雪対象を吹雪から守っており、吹きだまりを利用しているともいえる。吹きだまりは吹雪対策として、また風がつくる自然の造形としても興味がもたれてきた。砂漠における砂嵐や砂丘も吹雪や吹きだまりと同じ現象であるが、これらについてはBagnold (1941) が集大成した研究がよく知られている。雪庇や吹きだまりについての古典的

なものや理学的な研究もされている。本来はそれらを十分に参照した解説であるべきであるが、最近の理学的な研究は少ないこともあり、ここでは吹雪対策にたずさわる技術者、学生や一般の読者を対象に、定性的な内容であるが、吹きだまりのできるしくみを中心に紹介する。

## 2. 吹きだまりのできかた

吹雪や地吹雪の跡に、吹きだまりや雪面が吹き削られた雪面模様がみられる。一様で平坦なところでは、一般には風が強いと削られ風が弱まると吹きだまりができる。吹雪で運ばれる飛雪は主として跳躍粒子と浮遊粒子であるが、堆積するのがこれらのいずれであるかによって、吹きだまりのできかた、形状や内部構造が異なる (Takeuchi, 1989)。吹きだまりをつくる飛雪粒子が跳躍粒子であるか浮遊粒子であるかによって二つのタイプに分けて述べることにする。

### 2.1 跳躍粒子によってできる吹きだまり

飛雪粒子には、雪面上を転がる転動粒子、10 cm 前後の高さを上限として放物線の軌道でジャンプと着地を繰り返す跳躍粒子、および跳躍粒子から発生して時には数百 m の高さを越えて着地することなく漂う浮遊粒子がある。浮遊粒子

1) For the control of blowing snow(3)-Growth and shapes of snowdrift-

2) 日本気象協会北海道本部

〒064-8555 札幌市中央区北4条西23丁目

(Masao Takeuchi, Japan Weather Association Hokkaido Office, N4 W23 Chuo-ku, Sapporo 064-8555)

を含む地吹雪を高い地吹雪、跳躍粒子と転動粒子からなる地吹雪を低い地吹雪と区別することもある。地吹雪粒子は量的には跳躍粒子が多いが、風速が大きくなると浮遊粒子の割合が高くなる。しかし、風速 15 m/s でも浮遊粒子の割合は吹雪量全体の 40 % 程度であり (竹内, 1995), 跳躍粒子と転動粒子の占める割合は高い地吹雪で 60 % 以上, また当然であるが低い地吹雪では 100 % である。そのため吹きだまりも量的には跳躍粒子によるところが大きい。ここでは跳躍粒子によってできる吹きだまりのできかたについて述べるが、移動速度の小さい転動粒子は量が少なく、見方によっては跳躍粒子の一部とみなせる (竹内・松澤, 1993)。ここでは転動粒子は跳躍粒子に含めることにした。

#### イ. 障害物の風上の吹きだまり

最も一般的な吹きだまりは障害物のまわりのできるものであるが、その風上と風下では吹きだまりのできかたが異なる。先ず跳躍粒子によって障害物の風上にできる吹きだまりについて述べる。吹雪量は、雪質や吹雪の発達程度にもよるので観測によって大きな違いはあるが、風速の  $n$  乗 ( $n = 2 \sim 4$  が多い) に比例した結果が多い (Takeuchi, 1980)。風の流れを遮る障害物に近づくにつれて風速が減少するので、それとともに吹雪量も減少し、減少した分は障害物の風上に吹きだまりとして堆積する。比較的良く知られている防雪柵の風上にできる吹きだまりを例に、風上に

できる吹きだまりのできかたを述べる。跳躍粒子を発生させ運動を継続させる力である地表面に働くせん断応力は、(1) 式のように高さ方向の風速変化の大きさを表す摩擦速度の自乗に比例する。

$$\tau = \rho u_*^2 \dots \dots \dots (1)$$

$$u_* = (du/dz) \lambda$$

$\tau$  : せん断応力,  $\rho$  : 空気密度,

$u_*$  : 摩擦速度,  $\lambda$  : 混合距離

(Prandtl, 1925 の混合距離理論による)

防雪柵のまわりの等風速線は、図 1 のように分布し、風上側では柵に近づくにつれて等風速線の間隔が広がっている。等風速線の間隔が大きいということは、高さ方向の風速変化 ( $du/dz$ ) が小さくなっていること、すなわちせん断応力が減少していることを示している。また風下では等風速線の離れが大きく風が大きく乱れている。このことは、防雪柵の風上と風下とでは写真 1 のように風の流れは異なり、風上では定常的な地表風の流れが柵の近くまで保たれ、風下では流れが全体的に乱れていることから理解される。このように風上側で柵に近づいて風速が減少することは、同時に雪面に働くせん断応力が小さくなることを意味している。一般に、地吹雪の発生臨界条件をせん断応力ではなく風速で表すことが多いのは、一様で平坦な地表面上では風速とせん断応力とは比例関係にあるので、風速で表すほうが分かりやす

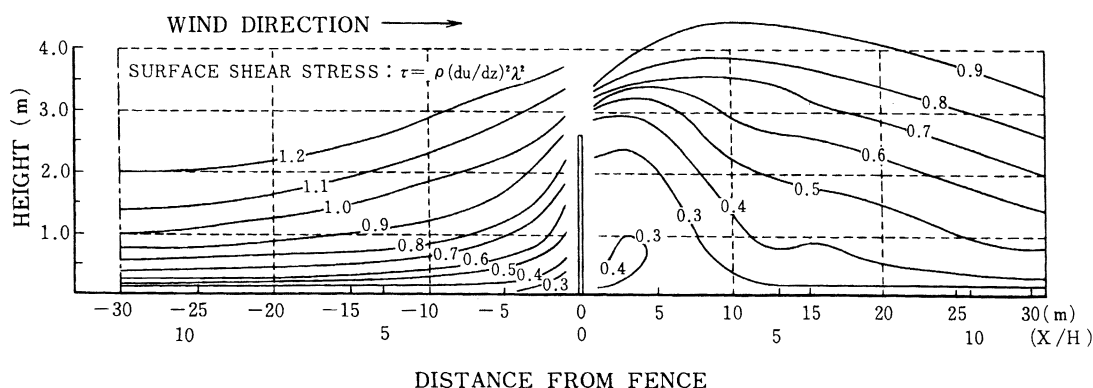


図 1 防雪柵のまわりの風速分布

防雪柵のまわりの等風速線は風上側では柵に近づくにつれて間隔が広がり、せん断応力に比例する高さ方向の風速変化が小さくなっている。また風下では等風速線の離れが大きく、風が乱れていることを示している。

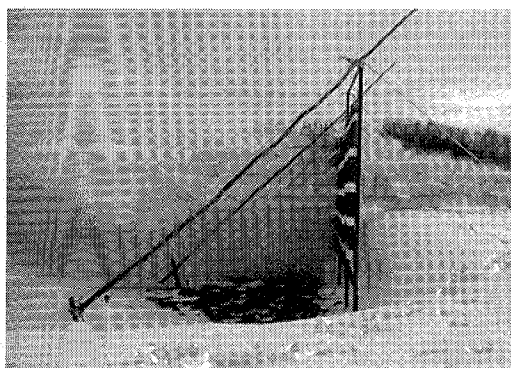


写真1 防雪柵のまわりの風の流れ(撮影: 打矢徹也氏)  
煙をトレーサーとして防雪柵の周りの風の流れを見たものである。右側の風上では乱れが少ないが、風下では柵の高さ全体に乱れている。

く便利なためである。このように、障害物の風上の吹きだまりは、跳躍粒子の運動を持続させるに必要なせん断応力以下の風になり、跳躍粒子が運動を停止してできたものである。防雪柵の風上側の吹きだまりもこのようにしてできたものである。防雪柵が埋まって吹きだまり雪丘が平衡状態になったときの断面は写真2のように、風速が急変する柵の直近までは、規則的な緩い勾配のある成層構造をしている。断面構造は自然の積雪がそうであるように、雪層の境を示す線はその時の吹きだまりの表面であり、これから吹きだまり成長の過程が読みとれる。柵の風上1.5 mには高さ30~80 cmの間に一つの厚い層がみられるが、これは連続した一回の吹雪でできたものである。その上には薄い層が無数に見られるが、層の数だけ降雪や吹きだまりがあったことを示している。成層構造に乱れが見られないのは吹雪発生時の風向もほぼ同じ方向であったことを示している。また、柵に近づくにつれて層が厚くなっているのは、風速分布からも分かるように、せん断応力が小さくなりそれだけ吹きだまりができやすくなっているからである。防雪柵に接する部分の半分ほどが柵の下に潜り込んだ形になっているのは、柵の地表と接する部分に設けてある空間(下部間隙)に向かって風が収束し、加速された強風が吹き抜け局所的にせん断応力が大きくなるからである。そして、下部間隙が雪で閉塞した後は行き場を失った風が柵の上部に抜けるため、吹きだまり断面も上に向かう形になっている。柵に近づくにつれて風

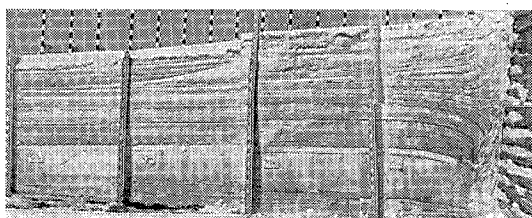


写真2 防雪柵(右端)の風上吹きだまり雪丘の断面  
防雪柵の風上の吹きだまりは跳躍粒子が堆積してできたもので、断面は規則的な成層構造になる。柵に近づくにつれて風速(せん断応力)が減少するので吹きだまりも厚くなる。柵の直近では柵と地表との空間部分にもぐり込み、閉塞すると柵の上に吹き上がる。

速もせん断応力も小さくなるが、一旦できた吹きだまりの頂上は高いために、そこでは風速が大きくなる。また後で述べるように吹きだまりの風上斜面は勾配があることによってせん断応力が大きくなるため、発達過程では、吹きだまりの表面でせん断応力が均一化し吹きだまりはバランスする。積雪の沈降のため吹きだまりの厚さや勾配も多少変化するが、雪層の境を示す断面の濃い線はその時の吹きだまりの表面でありせん断応力の等しい線を表している。このように、吹きだまりの表面がせん断応力の等しい面になるのが、跳躍粒子からできる吹きだまりの特徴である。風上の吹きだまりは無数の跳躍粒子が表面に衝突しながら成長し、比較的締まった固い吹きだまりになるのでそこでは風下と比べると歩きやすくなる。

#### ロ. 積雪表面の粗さ雪質と吹きだまり

既に述べたように、風が跳躍粒子を発生させ持続・増加させるのは、風速の自乗に比例するせん断応力が雪面に働くからである。雪面の上に草木等がでていると、それらにせん断応力がかかるため地表面の風速(せん断応力)が減少し、その中に入り込んだ粒子の跳び出しや移動がなくなり(Bagnold, 1941)、写真3のような吹きだまりができる。このように表面の風速に影響するような、まわりと比べて表面の粗さの大きいところにも吹きだまりができる。写真4は実験的に表面に丸太を粗度にみたてたものであるが(Tabler, 1994)、吹雪量が十分であれば最終的には吹きだまりがこれらを埋め尽くすまで成長する。雪質によって飛雪に働く積雪表面の摩擦抵抗は異なるので、雪面

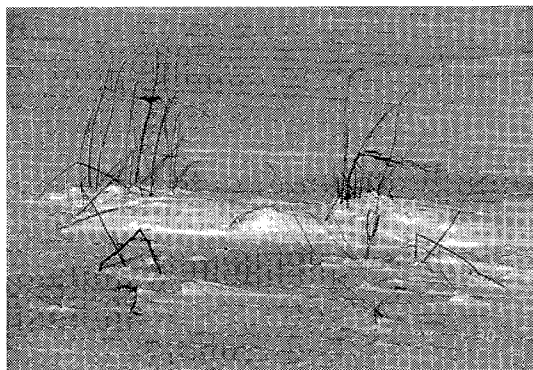


写真3 枯れ草にできた吹きだまり  
枯れ草にかかるせん断応力は地表面の風速(せん断応力)を減少させ吹きだまりができる。

を移動できる最大の吹雪量である飽和吹雪量も異なる (Takeuchi, 1980)。例えば表面が固いざらめ雪のように摩擦抵抗が小さいと飽和吹雪量は大きく、新雪のように摩擦抵抗が大きいと飽和吹雪量は小さくなる。このためざらめ雪で飽和吹雪量であったものが、しまり雪のように異なる雪質の表面になると、飛雪の一部(雪質による飽和吹雪量の差)は堆積するようになる。一様な表面に見える広い雪原でも部分的に雪質が違うことがあり、部分的にこのようにしてできた吹きだまりが見られる。また同様に、雪面の凹部に堆積した雪が周囲より摩擦抵抗が大きいために吹きだまりに成長することがある。しかし、表面の雪質の違いは降雪その他の影響で時間経過とともに均一化されるので、それによる雪の堆積が成長する大きさには限界があり、吹きだまりと呼ぶには異論があるかもしれない。吹きだまりの大きさについては後で述べる。

## 2.2 浮遊粒子のつくる吹きだまり

山の尾根のように、地形の不連続なところにある雪庇や防雪柵の風下にある吹きだまりは、主として浮遊粒子によってできる。不連続な地形の凸部頂上付近では、図2の模式図のように、風の流線が地表からはく離する。図の風速ゼロの線から下には渦が発生し、地表にはせん断応力は働かなくなるので跳躍粒子は推進力を失う。低い地吹雪を発生させている程度の風速ではそこで吹きだまりができる。風速が大きい場合は、強い乱流渦になり渦に巻き込まれた跳躍粒子は浮遊粒子に変わる。例えば、地形の不連続部だけでなく、家

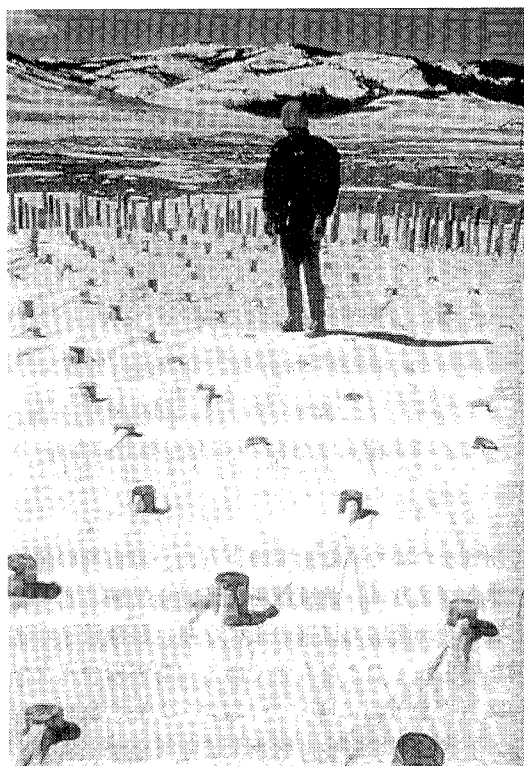


写真4 粗度による吹きだまり (Tabler, 1994)  
高さ1.2 m, 直径130 mmの丸太を間隔を変えて打ち込んだ実験。粗度が大きい(間隔が小さい)ほどせん断応力を減少させるのでそこでの吹きだまりが大きくなる。

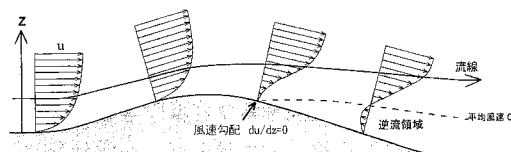


図2 凸部斜面の風の流れ  
尾根等の登り斜面では風のせん断応力は大きくなるが、風下斜面では風の流線が地表からはく離する。平均風速ゼロの線の下では渦が発生し、せん断応力は0から逆方向の弱いものになり、跳躍粒子は推進力を失い吹きだまりができる。

屋の周りや樹木の根元から白い煙のように風に乗って流れる雪粒子は、積雪が浸食されたものもあるが、多くは強い乱流渦の発生で跳躍粒子が浮遊粒子に変わったものである。それまでの浮遊粒子に加えて、跳躍粒子から変化した浮遊粒子が渦の中で落下してできるのが障害物や雪庇の風下の吹きだまりである。このような吹きだまりは、道路や鉄道の切土や盛土の風下等にもみられる。写

真5は道路の切土にできた吹きだまりであるが、写真手前の盛土部には、逆に部分的に吹き払われた風食域も見られる。

防雪柵の風下雪丘の断面(写真6)から、浮遊粒子によってできる吹きだまりの特徴を見ることにする。柵の風下、約4mの位置に高さ1.5mの広い頂点をもつ吹きだまりができています。これは風上に見られた、最も大きい吹きだまりと同じ時の吹雪でできた吹きだまりである。防雪柵の下部間隙を通して抜けてきた跳躍粒子が、乱流渦の中で浮遊粒子になって沈降・堆積してできたものである。柵のまわりの風速分布(図1)と重ね合わせてみると、最も風速の小さいところにできたことが分かる。等風速分布のため渦の状態は良くは表現されていないが、等風速線の間隔が広がっていることから、この風速の小さいところは乱れが最も大きい領域であることが推測できる。柵から5~6mの間に風下に向けて傾斜の大きい吹きだまりができています。ここでは風が剥離するので、風下に乱れた渦巻き状の雪の層を積み重ねながら雪庇が成長しているのが見られる。乱れた雪の層が厚いのは、この部分で飛雪が多く捕捉されていることを示している。雪庇の風下には成層構造が見られるが、砂丘のように安息角で安定するスリップ面(slip face)ができたものと考えられる。最終的に雪の層がなめらかに繋がっており、この防雪柵の吹きだまりはほぼこれ以上大きくならない平衡状態になったことを示している。このように断面観測から吹きだまりの初期から最終状態ま

での発達の様子が見られるが、それぞれの過程での雪の層は沈降によって圧縮されており当初の形が保存されているわけではない。そのため断面からは雪庇がはっきりしないが、実際には写真7のように防雪柵の風下の吹きだまりは雪庇をつくりながら発達する。吹きだまりが大きくなると、下部間隙からの強風が吹きだまりに沿って吹き上がり、そこではせん断応力が発生する。このため、風下の吹きだまりでもせん断応力のはたらく風上側は、後で述べる動的臨界せん断応力で安定する。山の尾根等に見られる雪庇は、風上では主に跳躍粒子が堆積し風下の風が剥離するところでは浮遊粒子の堆積や付着が繰り返されて成長し、雪庇全体の沈降の程度によってひさし状に巻き込んだ形に成長すると考えられる。

### 3. 吹きだまりの形

吹きだまりの大きさは様々であるが、基本的には主風向に平行な縦断面が、鯨の背のような形と

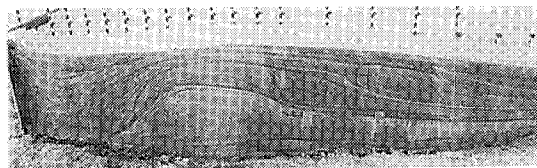


写真6 防雪柵(左端)の風下吹きだまりの断面  
風上の吹きだまりと異なり雪庇の風下は乱れた層構造で雪庇特有の雪の巻き込みとslip faceがみられる。実験的に設置した高さ約2mの低い柵のため吹きだまりは平衡状態になり鯨の背の形をしている。

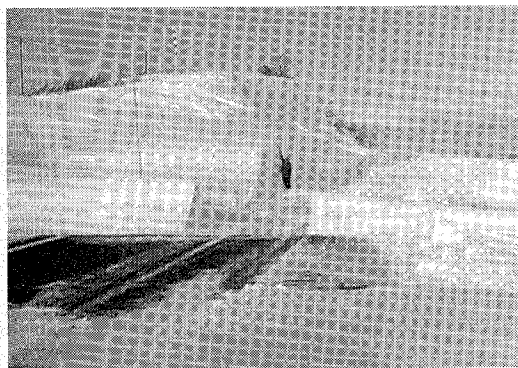


写真5 道路の切土を埋めた吹きだまり  
道路の切土部を一夜にして埋め尽くした吹きだまり。写真の前面には切土と盛土の境界で強い風が吹き抜けてできた吹き払い域がみられる。

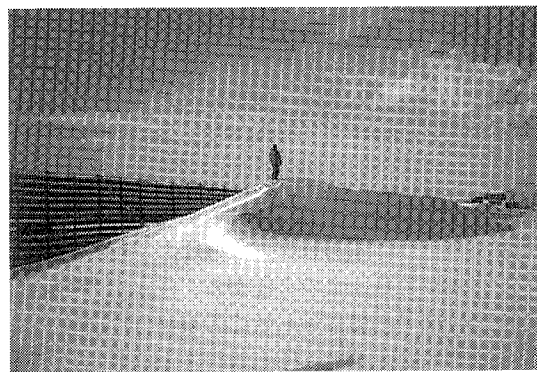


写真7 防雪柵の風下雪丘にできた雪庇  
防雪柵の風下ではある程度吹きだまりが大きくなると雪庇ができ、雪庇の風下に浮遊粒子を捕捉しつつ雪丘は成長する。

雪庇状の2種類の形がある。鯨の背に似た形は跳躍粒子がつくる吹きだまりの殆どである。雪庇状のものは、主に浮遊粒子からなる吹きだまりであるが、風上側は跳躍粒子の堆積と風食を繰り返す。吹きだまりの形は、主にそれをつくる飛雪粒子の運動形態によるが、大きさ等は吹雪量、風向風速、気温と雪質等にも影響される。次に、定性的であるが、吹きだまりの形について述べる。

### 3.1 鯨の背の形

跳躍粒子のつくる吹きだまりを風向に平行な断面でみると、鯨の背のようになだらかな勾配をもった小山になるものが多い。防雪柵の風上側の吹きだまりは、風下に頭部をもつ典型的な鯨の背の形をしている。断面観測や風速分布などのデータも揃っているので、防雪柵の吹きだまりを例に鯨の背の形の吹きだまりの成因をみる。既に述べたように、跳躍粒子の運動を発生し継続させる原動力は、表面に働く風のせん断応力である。吹きだまりのできる前の状態では、図1で示したように防雪柵に近づくにつれて風速が減少し、風のせん断応力が小さくなる。そして、跳躍粒子の運動を継続させる最小限の風のせん断応力(以下、動的臨界せん断応力(dynamic threshold)とよぶ)よりも小さくなると、粒子は運動を停止する。また、積雪表面から雪粒子を跳びださせ、地吹雪を発生させるときの臨界せん断応力を、静的臨界せん断応力(static threshold)ということにする。静的臨界せん断応力は、動的臨界せん断応力より大きく、雪質による違いも大きい。運動を停止した跳躍粒子が堆積すると吹きだまりが誕生する。ある程度の大きさに成長すると、風上斜面の勾配が大きくなるので、図2で表されているように同じ風でも斜面に働くせん断応力は大きくなる。動的臨界せん断応力より大きくなると、跳躍粒子の運動は停止することなく継続するため吹きだまりの成長は止まる。このことから跳躍粒子のできる吹きだまりは、動的臨界せん断応力でバランスしているといえる。このことから、吹きだまりの鯨の背の形は動的臨界せん断応力の等しい表面すなわち、等動的臨界せん断応力面ということが出来る。動的臨界せん断応力は静的臨界せん断応力ほどではないが、雪質や気温によって異なるので、吹きだまりの形や大きさは風速、気温や雪質に

よっても異なる。動的臨界せん断応力は、乾いたさらさらした雪は小さく湿った雪は大きいので、乾いた雪では斜面勾配は緩く湿った雪では斜面勾配がよりきつい吹きだまりになる。全く同じ構造の防雪柵でも、気象条件によって、風上側の吹きだまりの形状が異なるのはこのためである。例えば、暖かい地方と寒い地方の吹きだまりを比べると、温暖なほうが斜面勾配が大きい(竹内ら, 1983)。防雪柵の風上では柵に近づくにつれて吹きだまりは少しづつ高さを増す。その頂点は発達段階では柵の少し風上に位置するが、柵が吹きだまりに埋没する最終段階では柵位置で頂点をもつ平衡状態になる。降積雪を被って障害物より大きく見えることもあるが、吹きだまりそのものは最大の高さが障害物の高さと等しくなるまで成長する。これは低いブッシュや写真4のような丸太を並べたものでも同じである。吹きだまりが大きくなると、それに働くせん断応力も大きくなるため、吹きだまりの大きさには限界があることを示している。このように、鯨の背の形の吹きだまりは、高さが障害物等の高さを限度とした動的せん断応力の等しい面とみることができる。風が強くなり静的臨界せん断応力を超えると表面が風食されるが、一旦落ち着いた積雪表面の静的せん断応力は大きく、風速15 m/sを超えるような強風時を除くと、簡単に風食されることはない。

### 3.2 雪庇状の形

山の尾根にできる雪庇(cornice)は、風下に庇のように突き出た部分のことである(写真8)。雪庇は吹きだまりの一部であり、ここでは雪庇をもつ吹きだまり全体を、雪庇状の吹きだまりと称することにする。庇の部分は着雪も加わって伸びたものであるが、沈降力が働いて風下斜面の方に巻き込みながら成長する。雪庇の風下では風がはく離し、乱流渦に巻き込まれた跳躍粒子から変換した浮遊粒子が落下して、安息角でつり合ったslip faceをもつ吹きだまりのできる。雪の場合の安息角は比較的大きく雪質によっても大きく異なる(Kuroiwa *et al.*, 1966)。そのため、本州のように高温高湿な地方の湿雪の安息角は大きく、低温乾燥地の雪は砂に近く安息角は小さい。雪庇の前面(風上側)は、跳躍粒子による吹きだまりと降雪や着雪が積み重なったもので突き出た鼻のよう

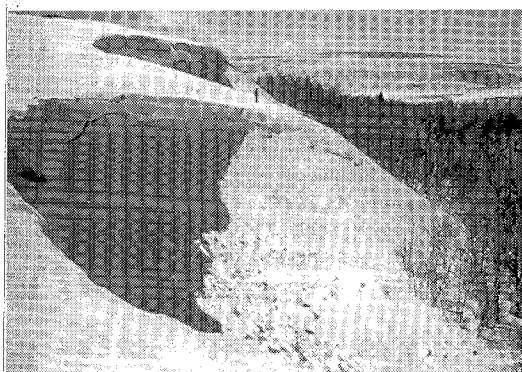


写真8 尾根上の雪庇

尾根の風下にできた雪庇で、風上のやや平坦な部分は跳躍粒子と降雪が堆積したもので nose ともよばれる。風下の切れ落ちた部分では風がはく離し跳躍粒子から変わった浮遊粒子が落下しスリップフェースをもつ吹きだまりとなる。斜面勾配が雪粒子の安息角より大きいとスリップフェースの存在は明確でなくなる。

にも見えることから nose ともよばれる。nose 面は動的限界せん断応力面である。尾根や切土にできる nose 面は、成長の過程では図3のようにほぼ同じ勾配を保つ (Tabler, 1975 ; 石本他, 1981)。勾配は異なるが、同じ構造の防雪柵の風下の前面の吹きだまり (nose) も、跳躍粒子からできるもので、成長過程では動的せん断応力の等しい同じような勾配面をもつ形になる。深い山の尾根や風下が安息角よりきつい斜面勾配では雪庇の形は長く保たれるが、道路の切土等で  $20^\circ$  以下の緩勾配の短い斜面では、雪庇が成長すると slip face が失われた吹きだまりになることがある (石本他, 1981)。障害物風下の吹きだまりは、成長過程では雪庇状になるが、最終的に平衡状態にまで成長すると、写真6のように風上に頭部を持つ鯨の背の形になる。

### 3.3 その他の吹きだまり

砂漠に見られる小山ほどの大きさと風下に slip face をもつ三日月形をしたバルハン (barchan) 砂丘のようには大きくはないが、高さ  $10 \sim 30$  cm のバルハン (雪氷辞典 (1990) に写真が紹介されている) や写真9のような高さ  $20 \sim 40$  cm 長さ  $10$  m 以上の波状雪丘 (snow wave) などの吹きだまりもある。いずれも風向に直角に面しているが波状雪丘は、風速が小さく比較的大きい雪粒子が転動する乾燥低温の気象条件でみられ

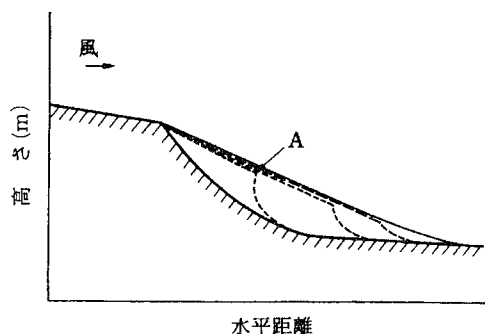


図3 雪庇の斜面勾配

尾根や切土にできる雪庇は成長過程では nose の風下にスリップ面ができる。nose 面の傾斜は成長過程をとってほぼ一定する (Tabler, 1975; 石本ら, 1981)。



写真9 波状雪丘 (snow wave) (Tabler, 1994)

比較的大きな雪粒子が転動してできる snow wave (波状雪丘) は、乾燥した低温時に比較的小さい風速の気象条件でみられる。風向は snow wave に直角である。

る (Tabler, 1994)。孤立した家屋や太い樹木等の周りには、主風向に平行方向に、馬蹄形に雪が掘られた風食域とその周りの風上側には跳躍粒子が、風下には浮遊粒子が堆積した吹きだまりができる。これは河川における橋脚の乱流渦による洗掘と同じ現象である。

## 4. あとがき

吹きだまりは、理学的な研究から技術的な関心に移っているようで、最近は雪氷学会の話題とされることが少なくなっているようである。しかし、防雪や水資源としての重要性は少なくない。本文は学生や技術者向けを念頭にしたものであるが、ここで示したように定性的なことはある程度までいえるが定量的なものではなく、研究対象として

の興味も余地も残されている。本文が防雪技術の進歩のためにも新たに研究意欲を刺激することになれば幸いである。

尚、打矢徹也氏、Dr. Tablerの両氏には貴重な写真を使わせていただいたことを付して感謝する。

## 文 献

- Bagnold, R.A., 1941: The physics of blown sand and desert dunes. Methuen and Co. Ltd., 265pp.
- 石本敬志, 竹内政夫, 福沢義文, 野原他喜男, 1981: 切土区間の道路における防雪対策について.土木試験所月報. **335**, 13-28.
- Kuroiwa, D., Mizuno, Y., Takeuchi M., 1966: Micromeritical properties of snow. Inter. conference on low temperature science, 751-772
- 日本雪氷学会, 1990: 雪氷辞典, 古今書院, 196 pp.
- Prandtl, L., 1925: Über die ausgebildete Turbulenz, ZAMM **5**, 136-139.
- Tabler, R.D., 1994: Design guidelines for the control of blowing and drifting snow. National Research Council, SHRP-H-381, 364pp.
- Tabler, R.D., 1975: Predicting profile of snowdrift in topographic catchments. 43rd Western Snow Conference Preceeding **43**, 87-97.
- 竹内, 石本, 福沢, 野原, 1983, 防雪柵の非平衡雪丘の形状, 昭和58年度雪氷学会予稿集, 168.
- 竹内政夫, 1995: 吹雪の構造と発生機構. ゆき, **20**, 69-74.
- 竹内政夫, 松澤勝, 1993: 吹雪粒子の運動と垂直分布. 雪氷. **53**, 309-315.
- Takeuchi, M., 1980: Vertical profile and horizontal increase of drift-snow transport. J.Glacio., **26**, 481-492.
- Takeuchi, M., 1989: Snow collection mechanisms and the capacities of snow fences. Annals of Glaciology, **13**, 248-251.

(1999年10月7日受付)