

吹雪防雪柵の風向による効果

竹内由香里*¹・小林俊一*¹・和泉薫*¹・佐藤威*²
小杉健二*²・王昕*³・張家平*⁴・彭永恒*⁴

The effect of wind direction on drift control by snow fences

by

Yukari TAKEUCHI, Shun'ichi KOBAYASHI, Kaoru IZUMI, Takeshi SATO,
Kenji KOSUGI, Xin WANG, Jiapin ZHANG and Yongheng PENG

(Abstract)

Snow drifting processes and wind speed profiles by a collector and a blower snow fences were investigated in a cold wind-tunnel. The purpose is to know the effect of wind direction on drift control by snow fences. Snowdrifts were compared among the following three cases about the both type fences. One is a case which the snow fence is perpendicular to the wind direction. The others are it has tilts by 30° and 45°.

When the collector snow fence had tilts, amounts of snowdrift by the fence were much less than that in the case of perpendicular to the wind direction. This mainly caused by that the half width of the fence had no effect on decrease of wind speed. On the other hand, the effect of the blower snow fence did not decrease when it had tilts to the wind direction. It is necessary to be investigated where the blown snow deposit in the case that the blower snow fence has tilts.

Keywords : collector snow fence, blower snow fence, wind-tunnel experiments in the cold room, wind direction, snow drift

キーワード：吹きだめ柵, 吹き払い柵, 低温風洞実験, 風向, 吹き溜まり

I は じ め に

吹雪中の飛雪は一般に風速が弱まると雪面に落下し堆積する。道路や鉄道、建造物は周りの風速を弱めることがあり、しばしば吹き溜まりを発生させる。これを防止するための吹雪防雪柵には大きく分けて「吹きだめ柵」と「吹き払い柵」の2種類がある。前者は風速を弱めて柵の前後に雪を堆積させるものであり、後者は反対に柵の下を通る風を強めて風下の雪を吹き飛ばすものである。

吹きだめ柵による雪の堆積量や堆積分布は、柵の高さ、柵と地面の間のすきま（下部間隙）、柵の密度（柵の実質部分の投影面積が輪郭面積に占める割合）によって決まると考えられ、これらの要素を変化させた場合の柵の効果が早くから調べられてきた。たとえば一般に、柵の高さが高いほど多く

*1 新潟大学積雪地域災害研究センター

*2 防災科学技術研究所新庄雪氷防災研究支所

*3 新潟大学大学院自然科学研究科

*4 中国黒龍江交通高等専科学校

の雪を溜めることができ、また堆積する位置は柵から遠くなる。柵の密度によっても堆積位置は変わり、密度が小さくなるほど柵から離れたところに堆積することが報告されている（塩谷，1967；Verge and Williams, 1981）。

これらの研究はしかし、防雪柵が風向に対して垂直に設置されている場合のみに留まっている。ところが実際には、たとえば道路に沿って柵を設置する際、道路は卓越風向に対して垂直に伸びているとは限らないし直線であるとも限らない。風向も一定ではない。そのため防雪柵の効果を正しく見積もり、より効果的に柵を設置するためには、風向が変化した場合の影響も考慮する必要がある。そこで防雪柵の効果が風向によってどう変わるかを確かめることを目的として、吹きだめ柵と吹き払い柵の双方について風向を変えたときの吹き溜まりの発生状況を低温風洞実験によって調べた。

II 実験方法

実験は科学技術庁防災科学技術研究所新庄雪氷防災研究支所の低温実験室内で風洞装置を用いて行った。風洞装置（図-1）は回流式密閉型で測定部が幅1m、高さ1m、長さ14mの大きさである。防雪柵は風上側より7.5mの位置に設置した。柵を設置したのちに、測定部の底面には平らに雪を敷き詰めた。風を吹かせると同時に吹雪粒子供給装置によって一定の速さで雪粒を供給して地吹雪を発生させた。用いた雪は-15℃の低温室で保存しておいた積雪を砕いてふるいにかけてのものである。室

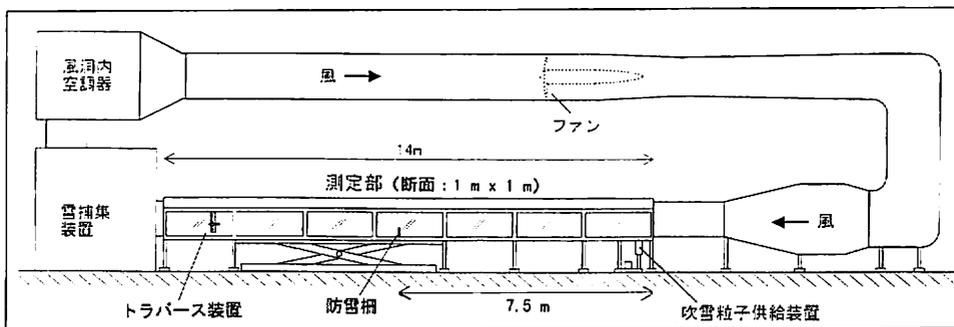


図-1 新庄雪氷防災研究支所の風洞装置の模式図

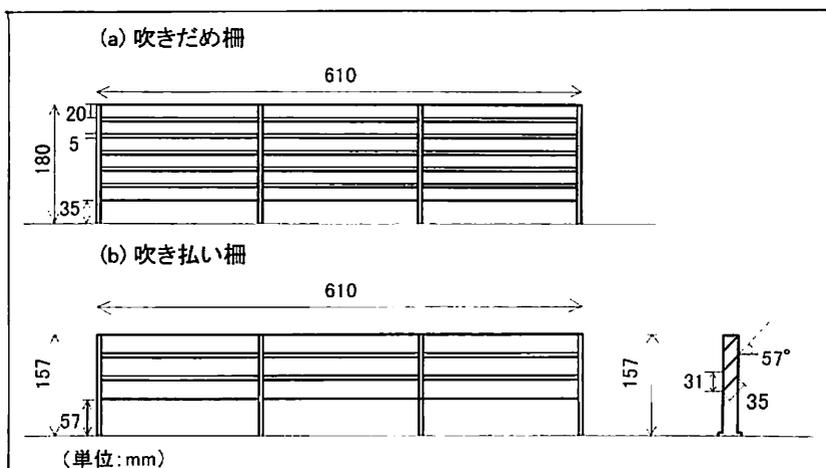


図-2 新庄雪氷防災研究支所所有の防雪柵模型の模式図

温を -10°C に設定し、風速 7 ms^{-1} の風を吹かせた。柵の前後で発生した吹き溜まりの成長が止まり平衡状態に達した時点で、送風および吹雪粒子の供給を中止し吹き溜まりの形状を観察した。

実験には図-2に示す2種類の防雪柵模型を用いた。(a)は吹きだめ柵、(b)は吹き払い柵でいずれもアルミニウム製である。吹きだめ柵は幅61cm、高さ18cm、下部間隙が3.5cmであり、2cm幅の板を鉛直に5段、5mm間隔で取り付けられている。吹き払い柵は幅61cm、高さ15.7cm、下部間隙5.7cmで、3.5cm幅の板が 57° の角度で3段ついている。それぞれの柵を風に対して垂直に設置した場合と、垂直から 30° と 45° の傾きをつけて設置した場合について吹き溜まりの発生状況を比較した。

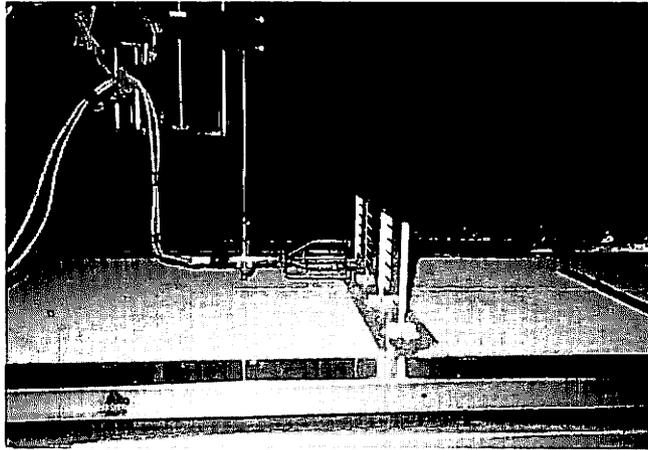


写真-1 超音波風速計による風速分布の測定

また吹き溜まりの観察に先立って地吹雪を発生させない状態で、超音波風速計をトラバース装置に取り付けて移動させながら風速分布を測定した。風速を測定している様子が写真-1である。風洞の真上から見た風速測定点の位置(AからE)を図-3に示す。防雪柵を風向と垂直に設置したときにはA、E点において、柵を 30° 傾けたときにはBからEの4点において、それぞれ雪面から5、7、9、12、17、22、27cmの高さで測定した。柵が垂直のときにはさらに、A点からE点まで10cm間隔で7cmの高さの風速測定を行なった。測定の際は風速計をそれぞれの測定位置で10秒ずつ停止させ、100Hzでサンプリングした。

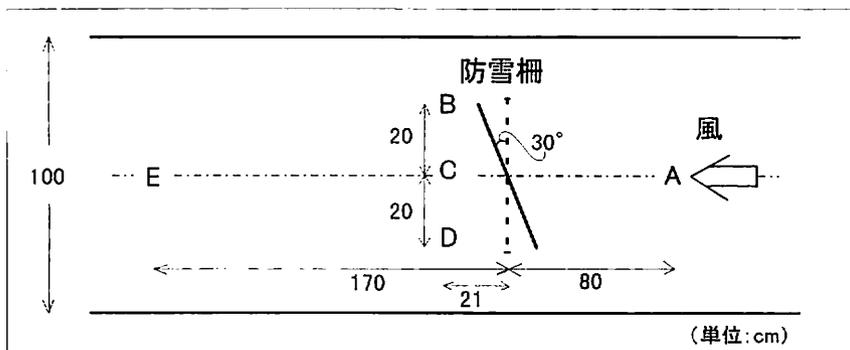


図-3 風速分布の測定位置
風洞を真上から見た位置をAからEの記号で示す。

Ⅲ 実 験 結 果

1. 吹きだめ柵

初めに吹きだめ柵を風向に対して垂直に設置し実験を行なった。350g min⁻¹の速さで吹雪粒子を供給し、80分経過したときの吹き溜まりの断面図と写真を図-4と写真-2に示した。本論文では風下を向いたときの左右を風洞の左および右とする。吹き溜まりは左右対称の形状であり、図-4は柵

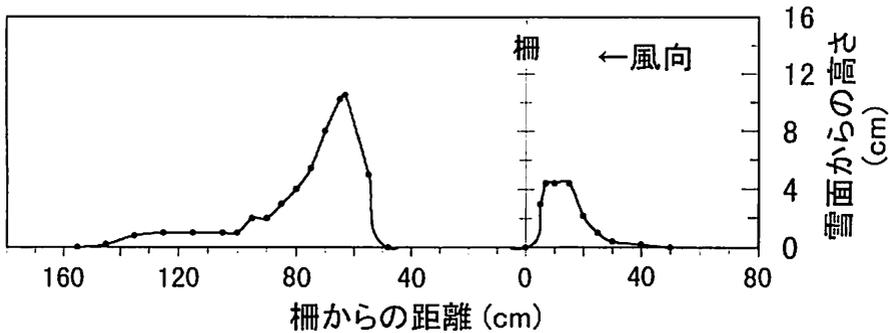


図-4 吹きだめ柵による吹き溜まりの断面図
柵を風向に対して垂直に設置した場合。

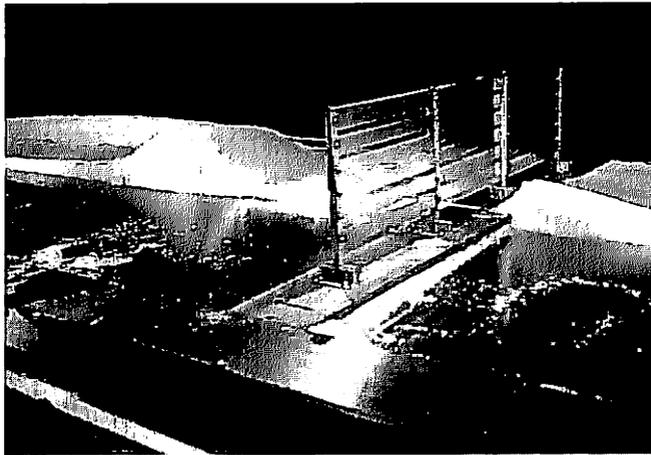


写真-2 吹きだめ柵による吹き溜まりの断面
柵を風向に対して垂直に設置した場合。

の中心を通る、雪が最も厚く堆積した断面である。柵の風上側に比べて風下側により大きな吹き溜まりが形成された。雪は柵から風下側へ約40cm離れた地点で堆積し始め、すぐに高さが最大に達している。元の雪面からの高さは約10.5cmであった。立ち上がりは急であるが、最高部から風下側は緩やかに堆積量が減少し、吹き溜まりの長さは1m近くになった。風上側では柵の根元から堆積し、吹き溜まりの高さは最大約4.5cm、長さは約50cmであった。

次に吹きだめ柵を風向に垂直な状態から柵の右側が風下へ出る形で30°傾けて設置した。380g min⁻¹の速さで吹雪粒子を供給し、30分後に平衡に達したときの吹き溜まりを図-5に示した。これは風洞を真上から見た状態である。吹き溜まりは柵に沿うように右側が伸びた形になった。柵を垂直にしたときには左右対称に堆積したが、傾けると柵の右方向に片寄って堆積し、左半分には堆積していない。

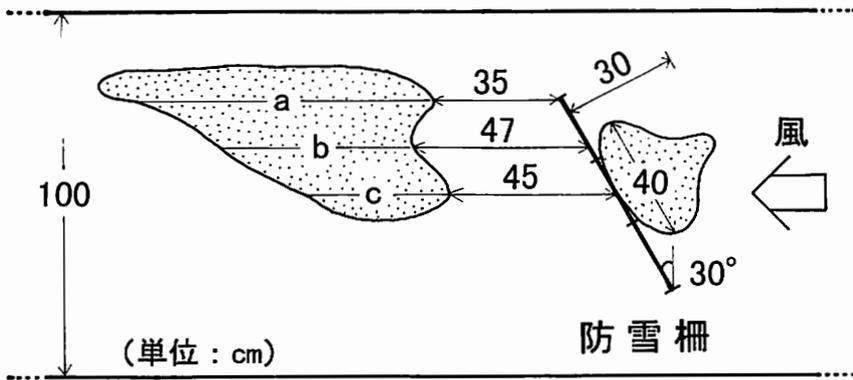


図-5 吹きだめ柵を 30° 傾けたときの吹き溜まり（ハッチの部分）
風洞を真上から見た吹き溜まりの形状を示す。

柵の風上側には柵に対して左右対称な形の吹き溜まりができた。大きさは幅と長さが最大で約40cmと30cm、高さは最大で2cm程であった。

図中の a, b, c の断面図を図-6 に示した。吹き溜まりの高さは図-6 b の最も高いところで約

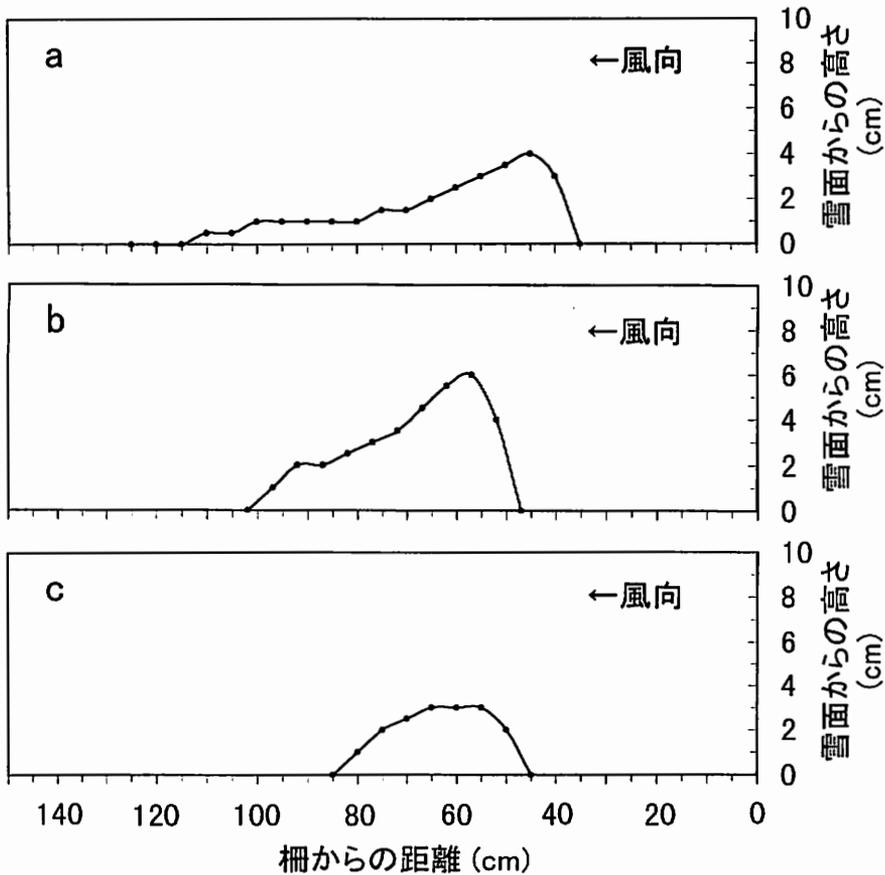


図-6 吹きだめ柵を 30° 傾けたときの吹き溜まりの断面図
a~c は図-5 に対応している。

6 cmであり、柵を風向と垂直にした場合の半分ほどにしかならなかった。一方、吹き溜まりまでの平均的な距離は約40cmであり、垂直な場合と等しくなった。また、吹き溜まりは風上側の立ち上がりが急で風下側が緩やかな形状である点も垂直な場合と類似している。

さらに柵の傾きを大きくし、風向に垂直な状態から45°傾けたときの結果を図-7に示した。これは図-5と同様に380g min⁻¹の速さで吹雪粒子を供給し、30分経過したときの吹き溜まりを真上から見た図である。柵の右端から風下へ約40cm離れたところに長径35cm、短径8 cm、高さが最大で約1.5 cmの吹き溜まりが形成された。雪の堆積量は30°の場合に比べてもさらに減少した。

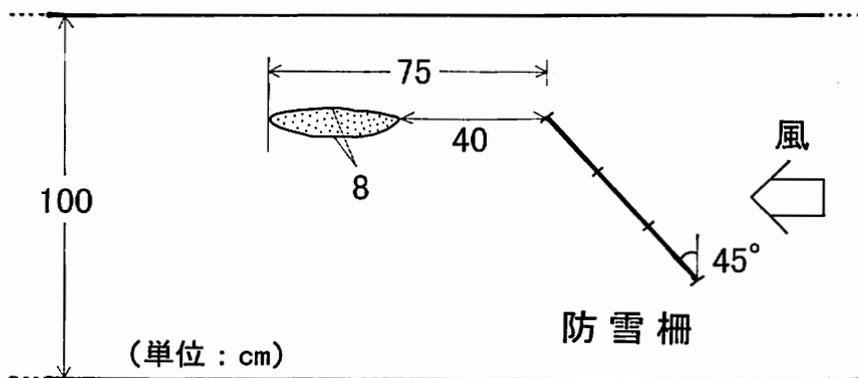


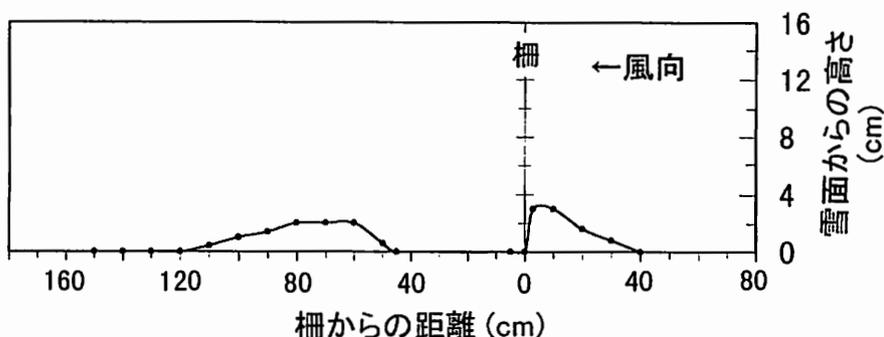
図-7 吹きだめ柵を45°傾けたときの吹き溜まり（ハッチの部分）
風洞を真上から見た吹き溜まりの形状を示す。

柵を30°や45°傾けた場合、柵の前後で堆積した雪の量より柵の風下側で風洞の右壁に沿って堆積した量の方が多く、特に45°のときには20倍にもなった。吹きだめ柵は柵の前後で飛雪を溜めて対象物を吹き溜まりから守る柵であるから、堆積させる雪が多いほど柵の効果が高いといえる。そこで柵の効果を表すために、風洞内の吹雪粒子供給装置で供給された雪粒子のうち、吹きだめ柵によって堆積した量の割合を「堆積率」とした。厳密には発生した地吹雪には、風洞内に敷き詰めた雪面から跳ね上がった雪粒子も含まれているが、その量は吹雪粒子供給装置による供給量に比べてわずかであるので、ここでは加えていない。柵が風向に垂直なときは堆積率が70%であったが、30°と45°傾けたときにはそれぞれ12%と0.4%にまで減少した。柵を傾けたときは柵の前後で堆積した雪を丁寧に回収して重さを測定し、堆積率を求めた。一方垂直なときは堆積量を直接測定しなかったため、風洞の風下側出口にある雪捕集装置で回収した雪の量を供給量から引いて堆積量とし、堆積率を求めた。そのため雪捕集装置まで達しなかった雪は、柵の前後で堆積しなくても堆積量に含まれてしまい、堆積率が過大評価している可能性が高い。しかしそのことを考慮しても、吹きだめ柵が風向に対して傾きをもつ場合、垂直な状態から離れると吹きだめ効果が激減することが確かめられた。

2. 吹き払い柵

吹き払い柵を風向と垂直に設置し、480g min⁻¹の速さで吹雪粒子を供給して59分後の結果を図-8に示した。雪を吹き飛ばす構造の吹き払い柵であるのに、高さが2 cmと3 cmのわずかな吹き溜まりがそれぞれ柵の風上、風下側に形成された。

次に柵を垂直な状態から30°傾けて設置し、400g min⁻¹の速さで吹雪粒子を供給しながら吹き溜



図一八 吹き払い柵による吹き溜まりの断面図
柵を風向に対して垂直に設置した場合。

まりが発生するのを待った。しかし20分経過しても雪は柵の前後には全く堆積せず、柵の風下側で右方向へ吹き寄せられて風洞の右壁際に堆積していった。風洞の幅が1 mであるから幅61cmの柵を30°傾けて中央に設置すると柵の左右には壁との間に各25cmほどの隙間ができる。雪粒子の多くがこの隙間を通過してしまったおそれがある。そこで同じ構造の柵をもう一台用意して、風洞の幅いっぱいになるように設置した。再度吹き溜まりの発生状況を観察したが結果は同じであった。すなわち柵の前後に吹き溜まりはできず、右方向へ吹き寄せられた雪は壁際だけに堆積した。さらにこれまで 7ms^{-1} であった風速を 10ms^{-1} に上げて再度試したが、柵の前後では堆積しないという同じ結果になった。言うまでもなく、柵の傾きを 45° にした場合も同様の結果が得られた。

IV 考 察

Ⅲ章で示した吹き溜まりの発生理由あるいは吹き溜まりが発生しなかった理由を風速分布のデータにもとづいて考察した。図-9は吹きだめ柵(a)と吹き払い柵(b)を風向に垂直に設置したときに柵の風上80cmと風下170cm(図-3のAとE)で測定した風速分布である。風速は風洞の縦方向成分のみの値である。横棒の範囲が風速の最大値と最小値で変動幅を表わしている。A点では7cmより低い位置の風速を対数分布則によって回帰して求めた。吹きだめ柵の風下側(E点)では全ての高さで風速が減少したが、柵によって乱れが生じたため変動幅は大きくなった。(b)の吹き払い柵の場合も風下側で風速が減少した。柵から170cm離れたためか吹きだめ柵(a)との違いがほとんど見られないが、よく見ると雪面近くで減少幅が小さくなっている。これは柵の吹き払い効果がいくらか影響しているためと考えられる。

次に雪面から7cmの高さの風速を図-3のA点からE点まで10cm間隔で測定した結果を図-10に示した。縦棒の範囲が風速の最大値と最小値で変動幅を表わしている。負の値は風向が逆向きになったことを表わすので、風の乱れが大きいことを意味する。さらにそれぞれの柵で形成した吹き溜まりの断面図(図-4、図-8と同じ図)を点線で重ねて示した。吹きだめ柵では柵の風下側にくると風速が最大で 2ms^{-1} 以下に減少している。図を見るとちょうど風速が弱まったところと一致して雪が堆積していることがわかる。しかし、柵のすぐ風下側には堆積していない。これは柵の近くでは風速は弱まるものの乱れが激しく雪粒子が浮き上がるためと考えられる。柵から40cm程離れると一旦乱れが小さくなるので雪が堆積しはじめたと推察できる。柵によって減少した風速は柵から90cm離れた辺りで上昇しはじめた。これと一致して雪の堆積量は減少し、堆積量がゼロになった地点は風速の最大

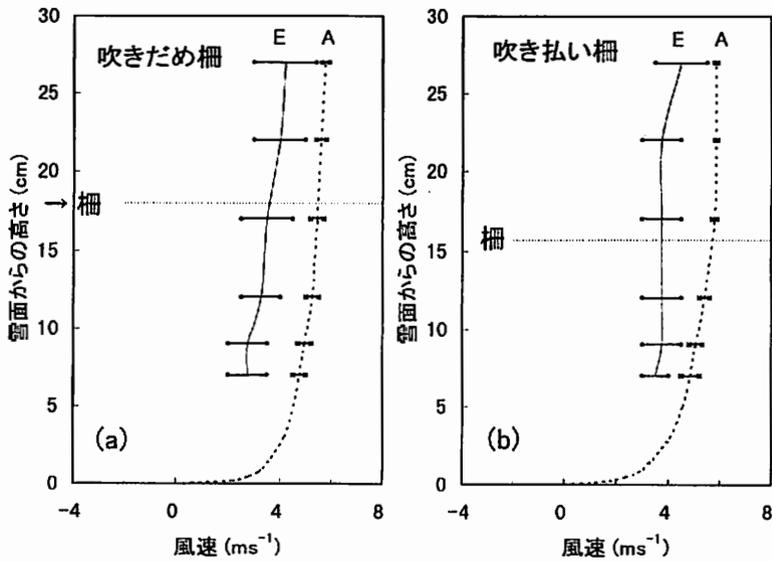


図-9 防雪柵の風上 (A) と風下 (E) の風速分布
吹きだめ柵 (a) と吹き払い柵 (b) を風向に垂直に設置した場合。

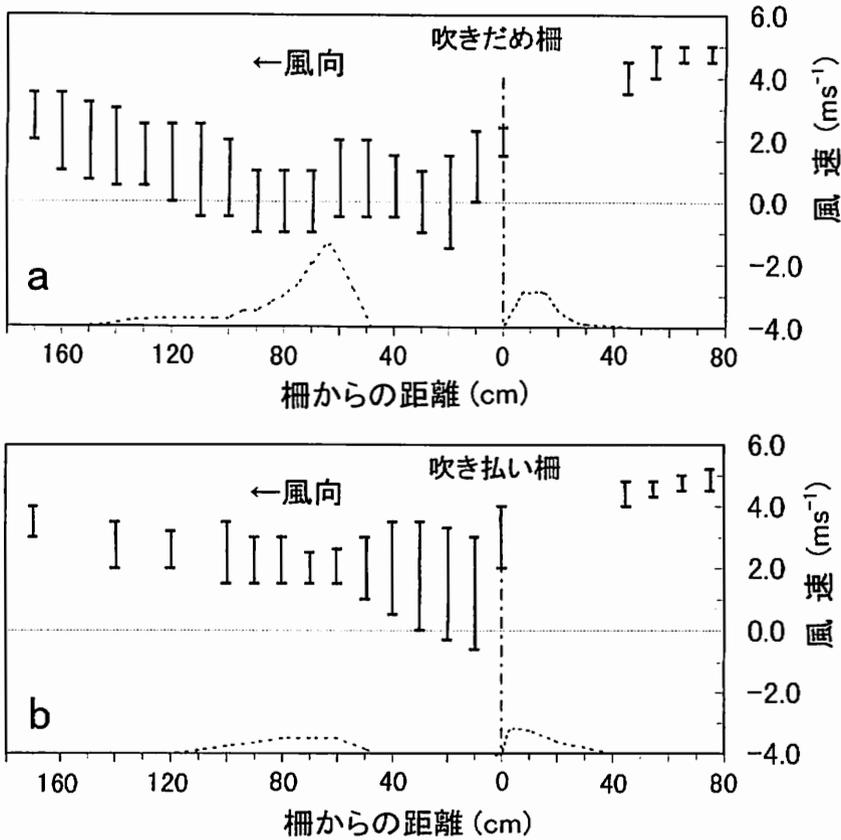


図-10 風速の変動と防雪柵からの距離との関係
柵が風向に垂直な場合に高さ7 cmで測定。

値が 3 ms^{-1} となっていた。

一方、吹き払い柵では柵による風速の減少が小さいことがわかる (図-10 b)。しかし柵から50cm程離れた地点で風速の最大値が減少し、変動幅も小さくなったため、わずかな吹き溜まりを生じさせたものと考えられる。

吹きだめ柵を風向に垂直な状態から 30° 傾けて設置したときの風速分布を図-11に示した。黒丸が平均値である。横棒の範囲は図-9と同様に変動幅を表わしている。BからEは図-3中のBからEの位置に対応している。参考のため柵を垂直にしたときにA点で測定した風速分布 (図-9 aのA) を点線で示した。柵の風下約20cmのB、C、D点を比べると風速の分布に顕著な違いが見られた。柵の中央と右寄りのC点、B点においては柵の高さ (18cm) より低い位置の風速がゼロ近くまで減少し

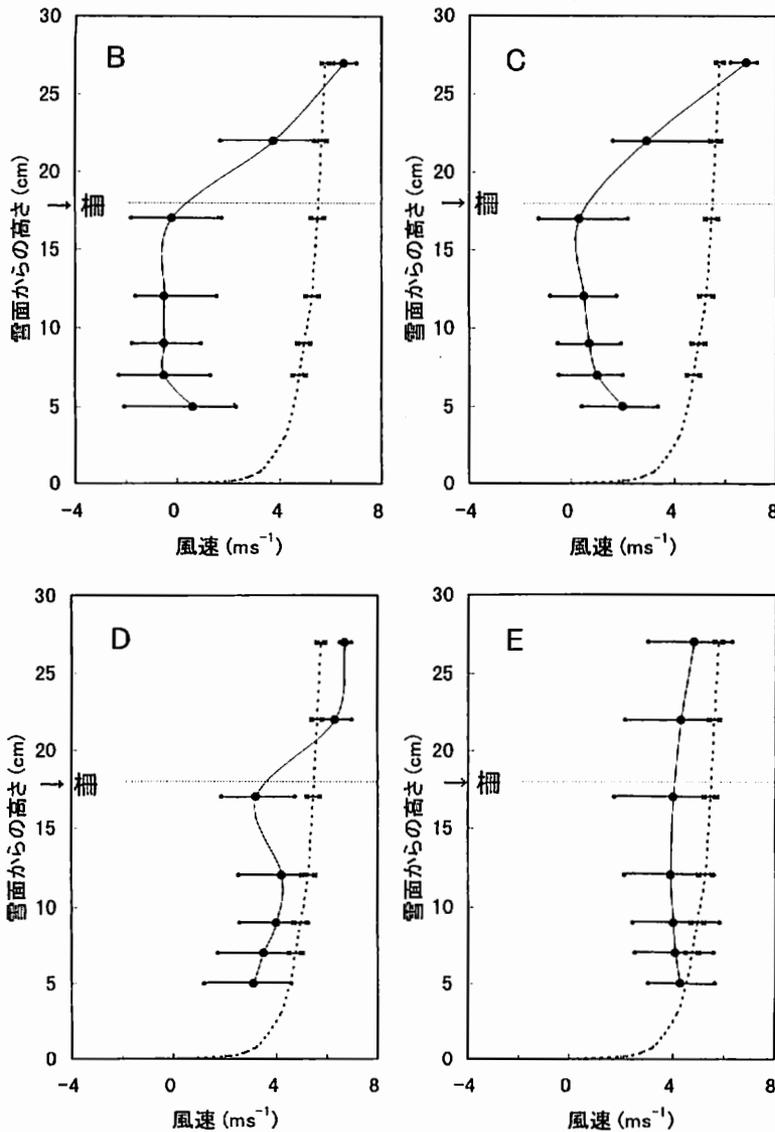


図-11 吹きだめ柵を 30° 傾けたときの風速分布
B～Eは測定位置を表わし、図-3に対応している。点線はA点の風速分布。

ている。一方、左寄りのD点では柵の上端に近い17cmの高さで大きく減少していることを除くと、風速の減少幅はわずかであり、柵の効果がほとんどない。以上のことから、吹き溜まりが柵の中心より右寄りにできた(図-5)のは、柵の左半分では風速を弱める効果が失われていたためであるといえる。このことはまた、傾けた吹きだめ柵の堆積率が小さくなった主な要因でもある。柵から170cm離れたE点では柵の影響が小さい。しかし、雪面に近づくほど風速の減少幅が小さくなっていて、垂直にしたとき(図-9 a)と比べると違いがよくわかる。柵を30°傾けたことの影響がわずかに表われているといえる。

次に吹き払い柵を30°傾けて設置したときの風速分布を図-12に示す。ここにもA点で測定した風速分布(図-9 bのA)を点線で示した。図-11と同様にB、C点とD点とで風速分布には顕著な違

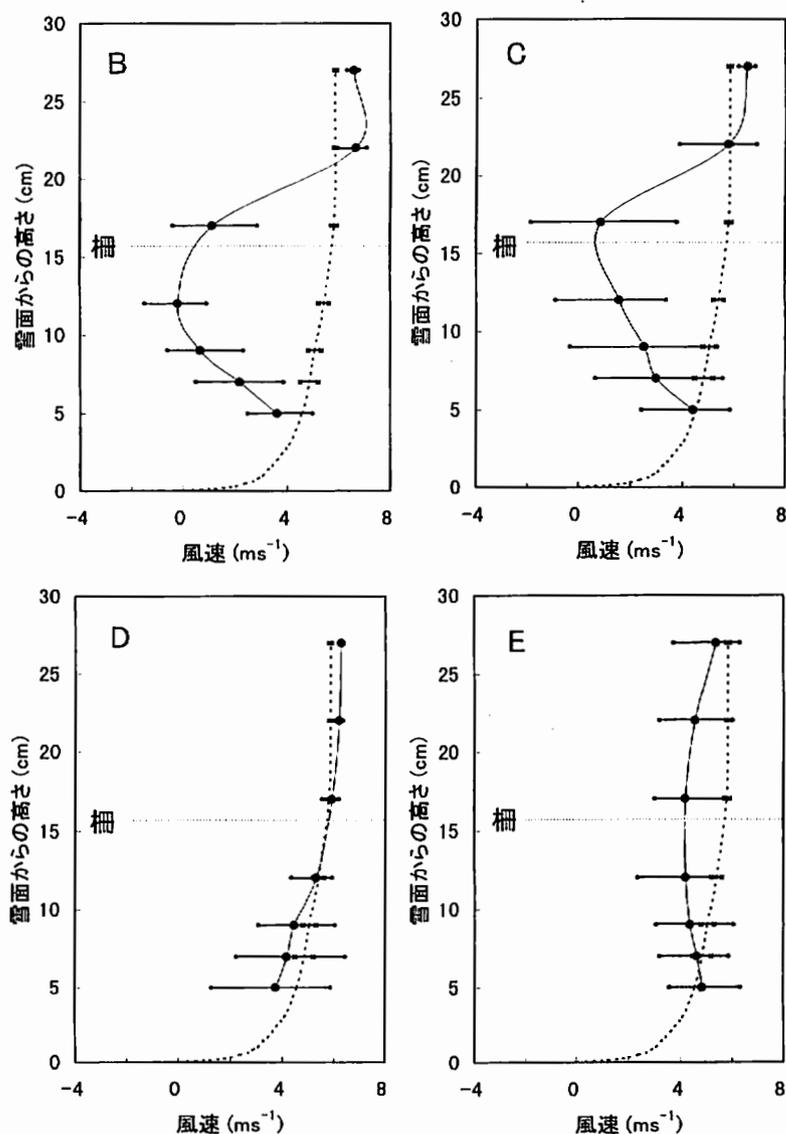


図-12 吹き払い柵を30°傾けたときの風速分布
B～Eは測定位置を表わし、図-3に対応している。点線はA点の風速分布。

いがみられた。すなわち、左寄りのD点では変動幅が大きくなったものの風上側のA点と等しい風速分布を示した。一方、柵の中央のC点と右寄りのB点では柵の高さ（15.7cm）付近で風速がゼロに近いほど大幅に減少した。ところが図-11の吹きだめ柵の場合と違って、減少幅は雪面に近づくほど小さくなっている。高さ5cmの風速はA点とほぼ等しい、つまり減少していないことがわかる。さらに、この高さ5cmの風速はB、C、Dの3点で差がないこと、E点ではむしろA点より強められていることもわかる。以上のことから、吹き払い柵は風向に対して傾けて設置しても雪を吹き飛ばす吹き払い効果が弱まるとはいえない。本実験において、吹き払い柵であっても風向に垂直なときにはわずかな吹き溜まりを生じさせたのに対し、30°や45°傾けて設置したときには吹き溜まりが全く発生しなかった。すなわち風向に対して傾きをもたせた方が吹き払い効果が高まるといえるかもしれない。ただし、風洞内では多量の雪が風洞の壁に吹き寄せられて堆積した。実際には、たとえば道路沿いに吹き払い柵を延々と並べて設置する場合、吹き寄せられた雪がどこで堆積するかが問題である。吹き払い効果を高める設置方法について結論を得るには、この問題を解決する必要があるだろう。

V ま と め

防雪柵の効果が風向によってどう変わるかを明らかにするため、低温風洞実験によって吹き溜まりの発生状況と風速分布を吹きだめ柵と吹き払い柵の双方について調べた。その結果から以下のことがわかった。

- 1) 吹きだめ柵は風向に対して傾きがあると垂直に設置したときに比べて吹きだめ効果が大幅に減少する。これは吹きだめ柵の幅の半分が風速を弱める機能を果たさなくなるためである。
- 2) 吹き払い柵は風向に対して傾きがあっても垂直に設置したときに比べて吹き払い効果が弱まることはない。風速を強める効果はむしろ増大する。ただし、結論を得るには柵に沿って吹き寄せられる吹雪粒子の行方を解明する必要がある。

謝 辞

本研究は科学技術庁防災科学技術研究所および中国黒龍江交通高等専科学校との共同研究で行なったものである。実験は防災科学技術研究所新庄雪氷防災研究支所の低温実験室の風洞装置を用いて行なった。同研究所の武田竹志氏には実験装置の作動に関して多大なご協力と有益な助言をいただいた。また新潟大学工学部建設学科学生の大月満明氏には実験の支援をしていただいた。心から感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 塩谷正雄（1967）：防雪柵。雪氷，29，No.4，pp.100-106。
Verge, R. W. and Williams, G. P. (1981) : Drift Control. Handbook of Snow, ed. by D. M. Gray and D. H. Male, Pergamon Press, pp.630-647.