

吹き払い柵の防雪機能に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：雪氷チーム、寒地機械技術チーム

研究担当者：松澤勝、渡邊崇史（雪氷）

住田則行、山崎貴志（寒地機械技術）

【要旨】

本研究では、吹き払い柵の下部間隙と防雪機能の関係および切土区間における吹き払い柵の防雪機能を明らかにするため、実物大フィールド実験と風洞実験を行った。その結果、吹き払い柵の下部間隙が60%～80%程度閉塞すると防雪機能が低下することが明らかとなった。また、深さ2mの擬似切土区間に吹き払い柵を設置した実験では、平坦地に設置した場合と比較して道路上の視程が40%程度低いという結果が得られ、防雪機能が十分に発揮されないことが示された。

キーワード：視程障害対策、吹き払い柵、防雪機能、切土

1. はじめに

積雪寒冷地における上下二車線の道路には、路側に設置可能な吹き払い柵(写真 - 1)が用いられることが多い。

吹き払い柵は視程障害対策に用いられる施設で、傾斜した複数の防雪板により風の流れを下向きに変え、ドライバー目線における飛雪量を減らすことで視程障害を緩和させる。同時に、高さ1m程度の下部間隙から吹き出す強風により、道路上の雪を吹き払う。以降、上記の視程障害緩和機能と吹き払い機能をあわせて「防雪機能」と記す(図 - 1)。

しかし、吹き払い柵は積雪により下部間隙が狭められた場合に防雪機能が低下すること、気流が弱められる箇所では防雪機能を発揮しないことから、多雪地域や切土区間での採用は不適とされる¹⁾。

ただし、柵の下部間隙がどの程度閉塞した場合にどの程度防雪機能を維持しているのか明らかとなっておらず、また、切土区間において防雪機能に関する調査を行った事例はない。

このため、当研究所が所有する石狩吹雪実験場において実物大フィールド実験と風洞実験を行い、これらの結果を基に吹き払い柵の防雪機能を定量的に明らかにすることとした。

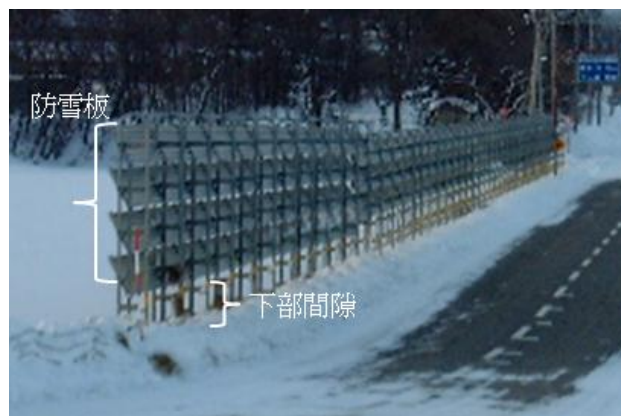


写真 - 1 吹き払い柵

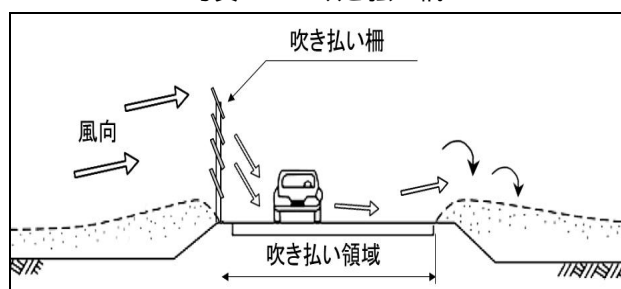


図 - 1 吹き払い柵の防雪機能のイメージ

2. 柵の下部間隙と防雪機能に関する実物大フィールド実験

2.1 実験方法

本実験は石狩吹雪実験場(図 - 2)で行った。本実験で利用した吹き払い柵は柵高3.3m、下部間隙の高さ1m、防雪板4枚で構成され、北海道の国道に一般的に設置されているものである。また、柵を設置した試験用

道路は平坦地で上下2車線である。

平成25年度に、風向・風速を柵風下の試験用道路周辺と、柵の影響を受けない柵風上遠方(以下、基準点と記す)で観測した。柵風下側における風向風速計設置位置の概要を図-3に示す。試験用道路周辺に設置した風向風速計の高さは、下部間隙の中心の高さ(0.5m)とドライバーの視線高さ(1.5m)とし、横断位置は柵風下1.5mとした。基準点は柵から風上側に約100m離れた位置に設け、風向・風速計の高さは1.5mとした。また、約1週間ごとに下部間隙付近の積雪深の計測を行った(写真-2)。



図-2 石狩吹雪実験場位置図
(国土地理院電子国土webシステムを利用)

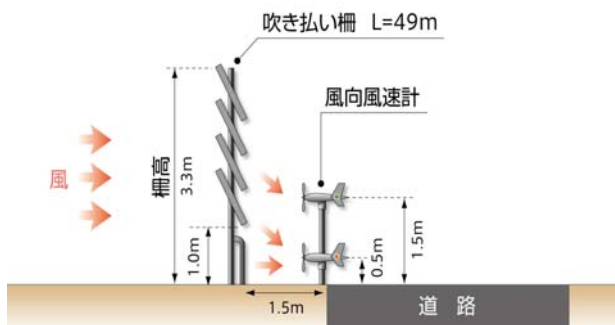


図-3 風向風速計設置位置の概要



写真-2 下部間隙付近の積雪深の計測

2.2 データの抽出条件

吹き払い柵は、柵に対して主風向が概ね直角の場合に有効であり、風が弱い地域の場合には適用できないこととされている¹⁾。このため、基準点において風向が防雪柵に対し概ね直角となる西北西±2方位(北北西から西南西)で、吹雪が生じていると考えられる下記の または の条件で観測データを抽出した²⁾。風向風速データは10分平均値、気温は特別値を用いた。

風速 5 m/s 以上かつ気温 - 5 以下

風速 6 m/s 以上かつ気温 0 ~ - 5

なお、抽出条件として用いた風速は雪面の粗度長を 0.00014m と仮定し³⁾、対数則で高さ 7m の値に高度補正¹⁾した値を用いた。

2.3 実験結果および考察

吹き払い柵の下部間隙が防雪機能に及ぼす影響について検討するため、観測した柵下部間隙付近の積雪深を柵下部間隙の高さで除すことで下部間隙閉塞率を求めた(以下、閉塞率と記す)。平成25年度における閉塞率の時間変化を図-4に示す。閉塞率は12月下旬以降増加し、1月中旬以降は70%程度で推移した。このため下部間隙が完全閉塞した場合の防雪機能を評価するため、3月10日に人工的に完全閉塞させて閉塞率を100%とした。本検討では、閉塞率を0~20%、20~40%、40~60%、60~80%、80~100%の5階級に振り分けて解析を行った。

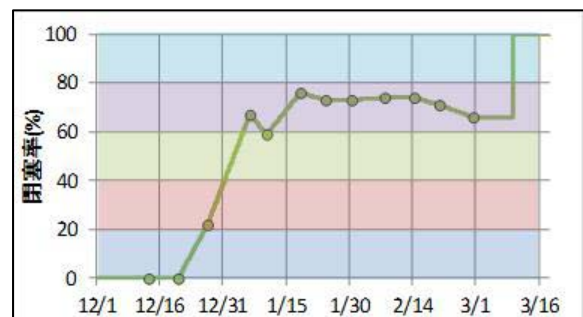


図-4 閉塞率の時間変化

次に、柵風下の風速を基準点風速で除した値((以降、風速比と記す)を用い、風速比と閉塞率の関係を図-5に示す。高さ0.5mにおける風速比の平均値は、閉塞率が60%~80%以下の場合に1を超えており、吹雪時には柵の吹き払い効果によって路面付近の風が強められている。ただし、閉塞率の増加とともに風速比に低下が見られる。一方、高さ1.5mにおける風速比は、閉塞率の増加にしたがい増加する傾向が見られるものの、全ての閉塞率階級において1以下であり、基準点に比べて風速が低下していることがわかる。吹雪時の視程は、空間を流れる雪粒子の量(飛雪流量)の増加に伴い

低下し、飛雪流量は風速に比例して大きくなる⁴⁾。このことから吹き払い柵は閉塞率によらずドライバーの視線高さで風速を抑制し、視程障害緩和効果を発揮していると考えられる。しかし、閉塞率が100%時の風速比は閉塞率60~80%時と比べおよそ2倍であり、閉塞率の増加に伴う視程障害緩和効果の低下が認められる。

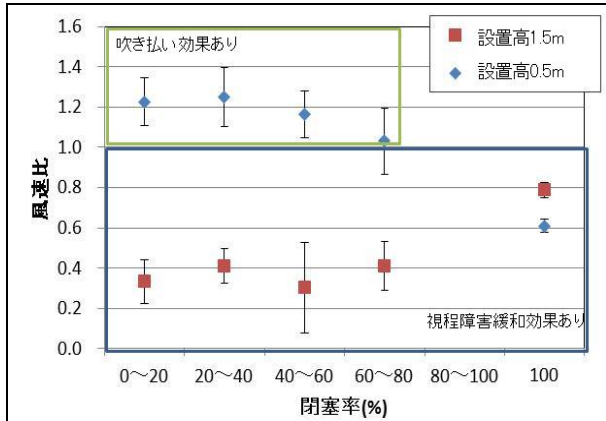


図 - 5 閉塞率と風速比の関係

3. 切土区間における防雪機能に関する実物大フィールド実験

3.1 実験方法およびデータ解析方法

本実験は2.1で記した吹き払い柵を利用した。平成25年12月1日から平成26年3月16日までの間、柵の風下1.5m地点において高さ0.5mで風向風速を、高さ1.5mで風向風速と視程を試験用道路上で観測した(図-10)。さらに、柵から風上へおよそ100m離れた地点を基準点とし、高さ1.5mで風向風速と視程を観測した。また、吹き払い柵を平坦地に設置した場合と切土に設置した場合の防雪機能を比較するため、平成26年2月7日に、積雪を整形して柵風上2mの位置に深さ2mの疑似切土(写真-3)を作成した。

解析にあたって、風向風速データは2.2で記した方法で抽出した。また、視程データは風向風速データの抽出条件に加え、基準点における視程が1000m以下の条件で抽出した。さらに、切土作成前は平地積雪深cm以下の条件でデータを抽出した。

吹き払い柵の防雪機能を評価するための指標として、2.3で定義した風速比に加え、視程比を以下の通り定義した。

視程比 = 柵風下の視程 / 基準点視程

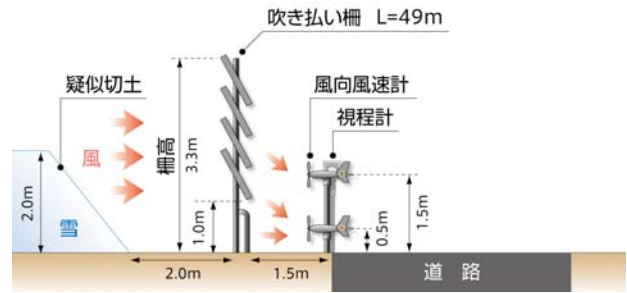


図 - 10 観測機器の設置位置概要(疑似切土作成後)



写真 - 3 吹き払い柵風上に作成した疑似切土

3.2 実験結果および考察

道路構造と高さごとの風速比を図-11に示す。図-11の高さ0.5mにおいて、切土作成前の風速比は中央値で1を上回り、吹き払い効果を発揮していると考えられる。対して、切土作成後は風速比が低下し、最大値においても1を下回っていることから吹き払い効果を発揮していないことがわかる。また、高さ1.5mにおいては平坦、切土ともに道路上の風速比が1を下回り、視程障害緩和効果を発揮していると考えられる。ただし、切土では平坦に比べて風速比が増加しており、相対的な防雪効果の低下が示唆される。

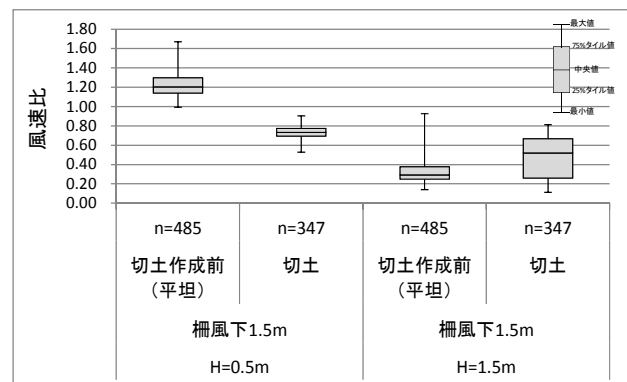


図 - 11 道路構造と風速比の関係

次に、道路構造と視程比の関係について図 - 1 2 に示す。今回行った実験における高さ 1.5m における視程比の中央値は平坦で 0.8、切土で 0.5 であり、切土では平坦地と比べて視程比の中央値が 40%程度低下していた。このことから、切土に吹き払い柵を設置した場合、平坦地に比べ防雪機能が十分に発揮されないことがわかった。

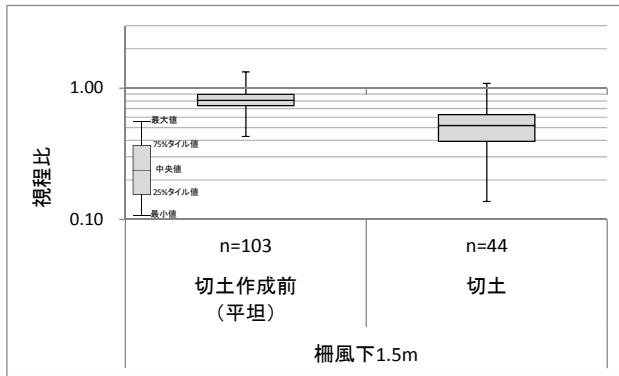


図 - 1 2 道路構造と視程比の関係

4. 模擬実験における防雪機能調査

4.1 実験方法

吹き払い柵の防雪機能を把握するためには、実際の吹き払い柵で計測することが望ましいが、自然条件下では計測条件を設定し比較を行うことは困難である。そこで、計測条件の設定が容易な風洞実験において、吹き払い柵の下部間隙閉塞が防雪機能に与える影響と切土区間に吹き払い柵を設置した場合の防雪機能について把握することを目的に、縮尺模型を用いて吹きだまりの計測と流速の計測を行った。

4.1.1 実験条件

実験には寒地土木研究所の風洞実験装置(図 - 1 3)を使用した。測定洞内の鉛直方向風速分布は、上空ほど風速が増す自然の風を模擬するため、べき法則(べき指数は田園地帯を想定した 0.15⁵⁾)に近似するよう調整した。調整は、乱流格子、スパイヤー、バリアーを組み合わせた風速調整装置を測定洞の上流に設置することにより行った。調整前後の風速分布を図 - 1 4 に示す。

本実験では、老川ら⁶⁾が建物近傍を対象とした吹雪風洞実験において重要としている、移動臨界摩擦速度比、安息角、ストークスパラメータについて考慮し、模型雪として活性白土を使用した。模型雪を測定洞上流のノズルから圧縮空気とともに風洞内に供給することにより、人工的な吹雪を発生させている。模型雪の供給量は、本実験装置で PIV 計測が可能であることを

確認している 230g/min とした。実験風速は、老川ら⁶⁾による相似則のほか、予備実験により吹きだまりが形成されやすいことを確認した、7m/s (地面からの高さ 400mm での風速)とした。

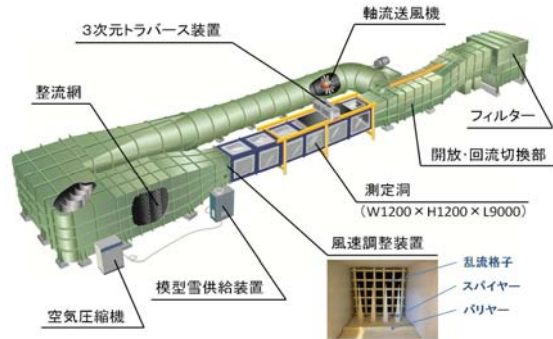


図 - 1 3 風洞実験装置

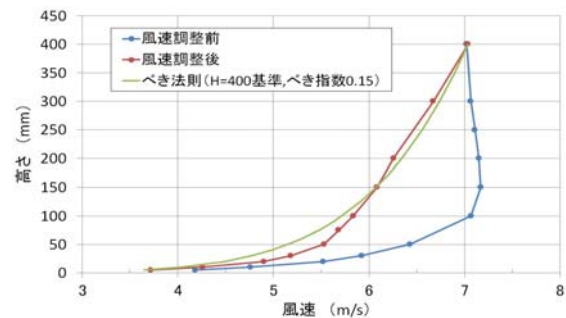


図 - 1 4 鉛直方向風速分布

4.1.2 吹き払い柵模型

実験に使用する吹き払い柵模型は、北海道開発局道路設計要領⁸⁾に掲載されている吹き払い柵を基準として縮尺 1/100、柵高 33mm、下部間隙高さ 10mm で製作した(図 - 1 5)。

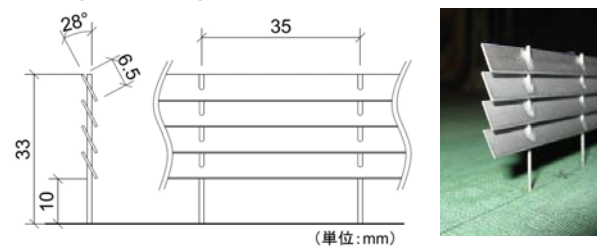


図 - 1 5 吹き払い柵模型

4.1.3 吹きだまり計測

模型雪の供給時間を 15 分とし、吹き払い柵周辺に発生する吹きだまり(図 - 1 6)の高さをレーザー距離計により非接触で計測した。計測ラインは風洞中心線とした。

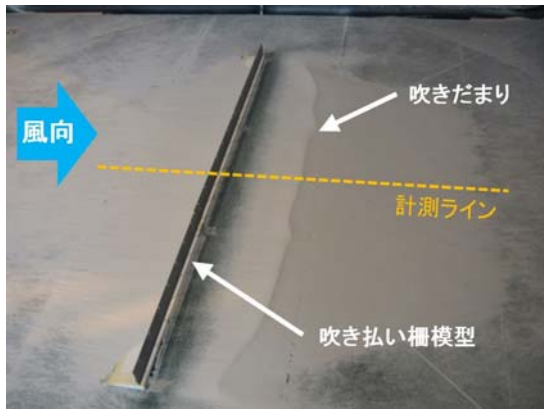


図 - 16 吹きだまり計測

4.1.4 流速計測

流速の計測方法は PIV とした(図 - 17)。PIV は、流れに沿って移動するトレーサーを連続撮影した画像の解析により流速を計測する方法であり、面的に流れ場を把握することができる。トレーサーには模型雪の活性白土を利用した。なお、模型雪の動きは空気の流れと完全には一致しないので、計測結果は風速ではなく模型雪の移動速度としての流速となる。画像の撮影は毎秒 2000 枚で 5 秒間行った。撮影した画像 2 枚 1 組から得られる流速分布を 5000 組分平均したものを計測結果としている。計測面は、風洞中心線上にある柵の支柱の影響を避けるため、風洞中心線から 17.5mm (柵支柱間隔: 35mm) オフセットさせた鉛直面とした。

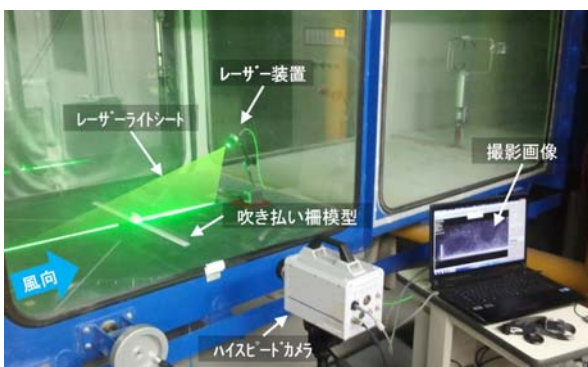
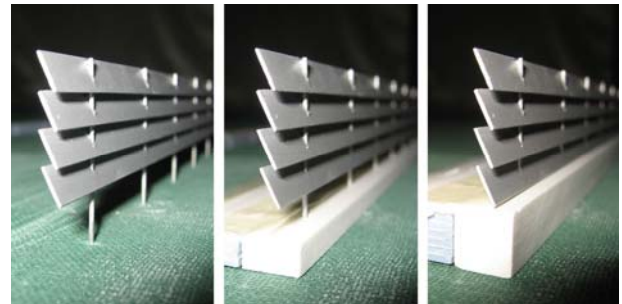


図 - 17 PIV による計測状況

4.2 下部間隙閉塞と防雪機能の関係調査

吹き払い柵の下部間隙閉塞率の違いによる防雪機能(吹き払い機能)への影響について調査するため、柵の下部間隙に板を挿入することにより下部間隙閉塞率を調整し(図 - 18)、0%、30%、50%、80%、100%の5段階の閉塞率で、吹きだまり計測および流速計測を行った。吹きだまり計測結果を図 - 19、流速計測結果

を図 - 20 に示す。地面からの高さ $H=5\text{mm}$ における流速の水平方向成分を図 - 21 に示す。



下部間隙閉塞率 0% 下部間隙閉塞率 50% 下部間隙閉塞率 100%

図 - 18 下部間隙の閉塞率調整

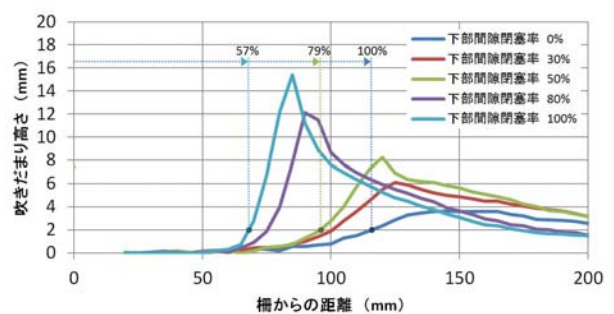


図 19 柵からの距離と吹きだまり高さの関係

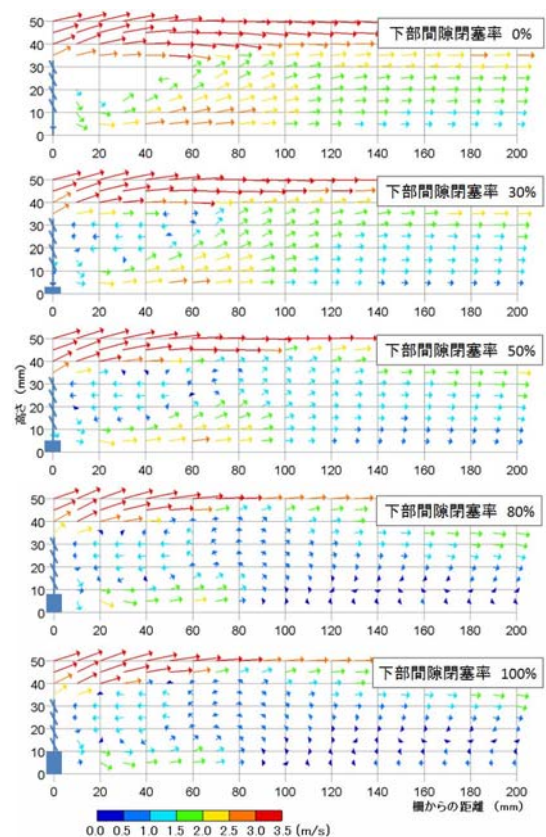


図 - 20 下部間隙閉塞率ごとの鉛直面流速分布

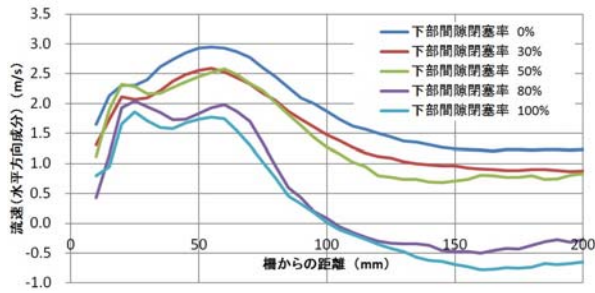


図 - 2 1 柵からの距離と流速の関係
(水平方向成分、H=5mm)

図 - 1 9 より、下部間隙閉塞率が高いほど吹きだまりの発生位置が柵に近接し、下部間隙閉塞率が 50% より高くなると大きく近接した。吹きだまりの高さが 2mm となる柵からの距離は、下部間隙閉塞率 0% の場合と比較して、下部間隙閉塞率 50% で約 79%、下部間隙閉塞率 100% で約 57% となっている。また、吹きだまり量についても下部間隙閉塞率が高くなるほど多くなっている。

図 - 2 0 より、柵の吹き払い機能により、柵高以下の範囲内における流速の最大値は下部間隙閉塞率にかかわらず地面付近で生じているが、下部間隙閉塞率が高いほど地面付近の流速は低下している。なお、下部間隙閉塞率 0% において柵の背後にベクトルがない範囲があるが、これは模型雪の分布が少なく解析が行えなかったためである。

図 - 2 1 は吹き払い機能に影響すると考えられる地面付近(H=5mm)の流速の水平方向成分を示したものであるが、下部間隙閉塞率が高くなるほど低下しており、下部間隙閉塞率 80 % から大きく低下している。また、下部間隙閉塞率 50 % 以下では逆流は生じていないが、下部間隙閉塞率 80 % 以上では柵からの距離 100mm 付近から逆流が生じている。

これらのことから、下部間隙閉塞率が高くなるほど吹き払い機能は低下し、50% を超えると大きく低下すると考えられる。

4.3 切土高と防雪機能の関係調査

吹き払い柵を切土区間に設置した場合における、切土高と下部間隙閉塞率の違いによる防雪機能(吹き払い機能)の違いについて調査するため、切土模型の切土高 5 段階(0mm(平地)、9mm、15mm、21mm、30mm)(図 - 2 2)それぞれについて下部間隙閉塞率 3 段階(0%、50%、100%)で吹きだまり計測を行った。計測結果を図 - 2 3 ~ 2 5 に示す。

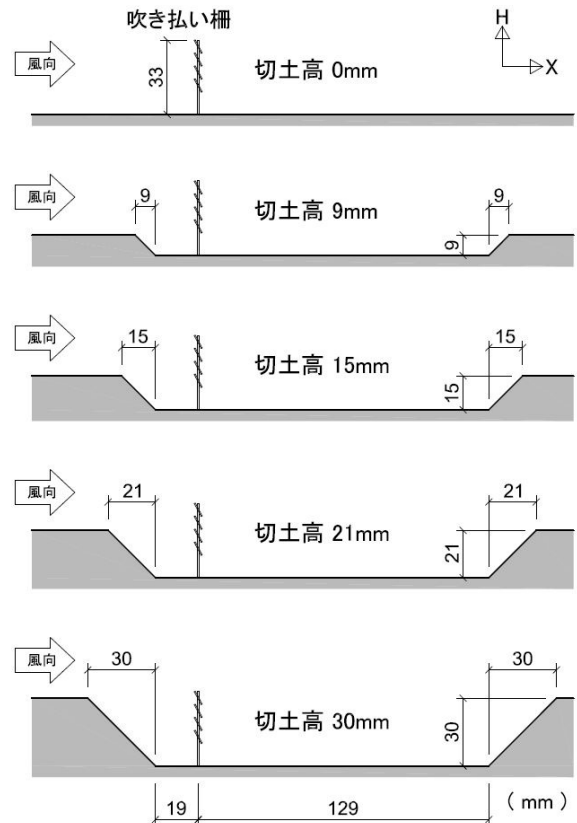


図 - 2 2 切土模型概要

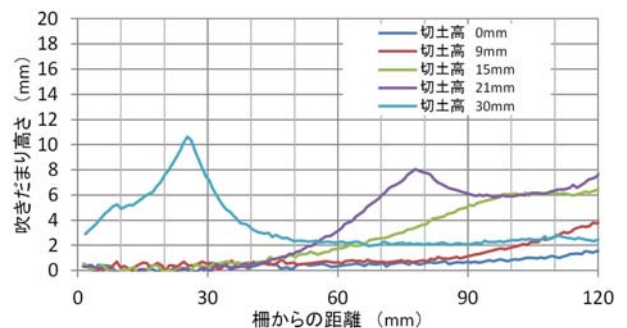


図 - 2 3 柵からの距離と吹きだまり高さの関係
(下部間隙閉塞率 0%)

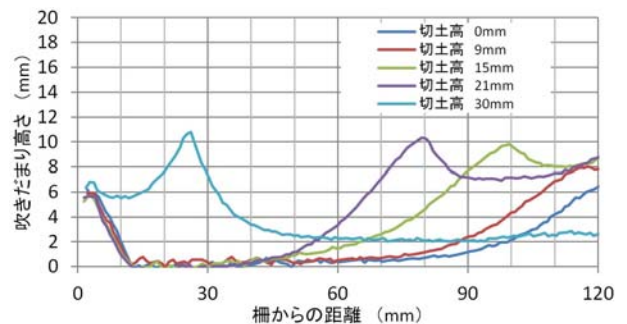


図 - 2 4 柵からの距離と吹きだまり高さの関係
(下部間隙閉塞率 50%)

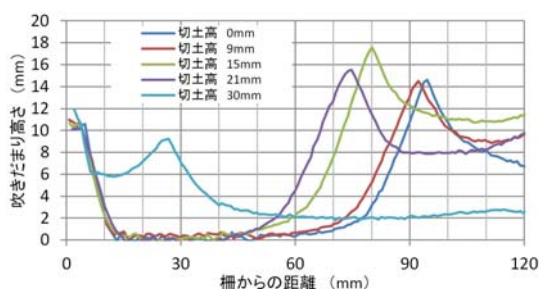


図 - 2 5 柵からの距離と吹きだまり高さの関係
(下部間隙閉塞率 100%)

図 - 2 3 より、下部間隙閉塞率 0% では、切土高が高いほど吹きだまりのピーク位置が柵に近接し吹き払い機能が低下している。切土高 9mm では明確なピークは現れておらず、平地に近い吹き払い機能があると考えられる。切土高 21mm では、吹き払い領域が見られるものの、吹きだまりピーク位置は $X=77\text{mm}$ 程度となっており、これは平地での下部間隙閉塞率 100% におけるピーク位置 $X=95\text{mm}$ (図 - 2 5) よりも柵に近い。このことから切土高 21mm では、下部間隙未閉塞であっても平地における下部間隙完全閉塞の場合よりも吹き払い機能が低いことがわかる。切土高が柵高に近い 30mm では、吹き払い領域は見られず、吹き払い機能は消失している。

図 - 2 4、2 5 より、下部間隙閉塞率 50% および 100% では、切土高が高いほど吹きだまりピーク位置が柵に近づく傾向は下部間隙閉塞率 0% の場合と同様である。切土高 15mm 以下ではピーク位置は下部間隙閉塞率が高いほど柵に近く、吹きだまり量も多いが、切土高 21mm では下部間隙閉塞率の違いによるピーク位置の差は小さい。切土高 30mm では下部間隙閉塞率の違いによるピーク位置、吹きだまり量の違いはほとんどなく、吹き払い領域も見られないことから、吹き払い機能が全く発揮されていないと考えられる。

5. まとめ

5.1 実物大フィールド実験

本研究では、吹き払い柵の下部間隙と防雪機能の関係を明らかにするため、石狩吹雪実験場に設置した吹き払い柵について、柵風下での風向風速の観測および下部間隙閉塞率の変化の観測を行った。その結果、吹き払い柵の視程障害緩和効果は閉塞率によらず発揮されるが、閉塞率の増加に伴い、その効果が低下する傾向が見られた。吹き払い効果については、閉塞率が 60% ~ 80% 以下の場合には下部間隙を通過する強風により

効果を発揮していたが、閉塞率の増加とともに効果が低下する傾向が見られた。

また、切土区間における吹き払い柵の防雪機能を明らかにするため、石狩吹雪実験場に設置した吹き払い柵風上に積雪を用いて疑似切土を作成し、柵風下で風向風速および視程の観測を行った。その結果、風速比を指標とした効果の評価から、切土区間では吹き払い柵の吹き払い機能が発揮されないこと、視程障害緩和効果は発揮するものの、平坦地と比べて相対的な防雪効果が低下することが示唆された。視程比を指標とした評価では、平坦地に比べて視程がおおよそ 40% 低下し、切土に吹き払い柵を設置した場合、平坦地に比べ防雪機能が十分に発揮されないことがわかった。

5.2 風洞実験

下部間隙閉塞時や切土区間における吹き払い柵の防雪機能について、縮尺模型と模型雪を用いた風洞実験により調査を行い、以下の結果を得た。

吹きだまりの発生位置は、下部間隙閉塞率が高いほど柵に近接し、下部間隙閉塞率が 50% を超えると大きく近接する。また、吹き払い機能に影響すると考えられる地面付近の流速は、下部間隙閉塞率が高くなるほど低下し、50% を超えると大きく低下することがわかった。切土区間における吹き払い機能は平地に比べて切土高が高くなるほど大きく低下し、切土高が柵高程度では吹き払い機能は全く発揮されないことがわかった。

参考文献

- 1)(独)土木研究所寒地土木研究所、道路吹雪対策マニュアル (平成 23 年改訂版)、p1-3-32、2011.3
- 2)日本雪氷学会北海道支部(編)、雪氷調査法、p19、1991
- 3)近藤純正、水環境の気象学-地表面の水収支・熱収支-、朝倉書店、p101、1998
- 4)竹内政夫、吹雪時の視程に関する研究、土木研究所報告、74、pp1-31、1980
- 5)財団法人日本建築センター、実務者のための建築物風洞実験ガイドブック、2008
- 6)老川進、苔米地司、石原孟、建物近傍の雪吹きだまりの風洞相似則に関する考察、日本雪工学会誌、Vol.23、No.2、pp.13-32、2007
- 7)国土交通省北海道開発局、北海道開発局道路設計要領 第 6 集 標準設計図集、2013

Snow Control Performance of the Blower Snow Fence

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2009-2011

Research Team :

Snow and Ice Research Team,
Machinery Technology Research Team

Authors :

MATSUZAWA Masaru, WATANABE Takashi
(Snow and Ice)

SUMITA Noriyuki, YAMAZAKI Takashi,
(Machinery Technology)

Abstract :

In this study, a full-scale field experiment and a wind tunnel experiment were done to clarify the relationship between the bottom clearance of a blower snow fence and its snow control performance. The snow control performance of such a fence installed at the cut section of a road was also investigated.

The experiments clarified that the snow control performance of the blower snow fence decreases when 60% ~ 80% or more of the bottom clearance is blocked by snow. In an experiment with a blower snow fence installed at a model road section with a 2-m-deep cut, the visibility on the road section was about 40% lower than the visibility on a road section on flat land. The result indicates that the snow control performance of a blower snow fence is insufficient on cut road sections.

Key words :

poor visibility mitigation, blower snow fence, snow control performance, cut section