

路側設置型防雪柵の防雪機能の向上に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 26～平 27

担当チーム：寒地道路研究グループ（雪氷）

技術開発調整監付（寒地機械技術）

研究担当者：松澤勝、西村敦史、小中隆範、渡邊崇史（雪氷）

住田則行、山崎貴志、幸田勝（寒地機械技術）

【要旨】

吹き払い柵は路側に設置できることから、吹雪対策として広く用いられている。しかし、風が柵に対して斜めから入射する場合や、柵下部間隙が閉塞した場合に防雪効果が低下する。本研究では、この点の改善を目的として新型の路側設置型防雪柵の開発を行った。

本研究では、柵の形式を検討の上、通常時は吹き払い、暴風雪等によって下部間隙が閉塞した場合には一時的に吹き止め柵として機能する 1 枚板の防雪板を提案した。また、石狩吹雪実験場に実物大の新型柵と従来型の吹き払い柵を設置して、現地検証試験を行った。その結果、新型柵は従来型柵と比較して風が柵に対して斜めから入射する場合、及び、柵下部間隙の閉塞時においても防雪効果が高いことを確認した。

キーワード：吹雪対策、防雪柵、開発、防雪効果

1. はじめに

積雪寒冷地における上下二車線の道路では、吹雪による視程障害対策として路側に設置可能な吹き払い柵（以降、「従来柵」と記す。）が用いられることが多い。しかし、従来柵では風が柵に対して斜めから入射した場合や積雪により下部間隙が狭められた場合に、視程障害緩和効果や路面の雪を吹き払う効果（以降、併せて「防雪効果」と記す。）が低下することが明らかとなっている¹⁾。

本研究では、この点の改善を目的として、従来柵と同様に路側に設置可能で、風が斜めから入射する場合や、柵下部間隙が閉塞した場合において著しく防雪効果が低下しない路側設置型防雪柵（以降、「新型柵」と記す。）の開発を行った。

本研究では、新型柵の形式について提案し、防雪効果を把握するための風洞実験を行った。さらに、風洞実験により防雪効果が確認できたことから、その結果をもとに実物大の柵を製作し、防雪効果について現地観測を行った。本稿は新型柵の防雪効果に関する風洞実験及び現地観測の結果について報告するものである。

2. 路側設置型防雪柵の形式の提案

従来柵は複数枚の平らな防雪板で構成されるのに対し

て、本研究で提案した新型柵は凹凸状に加工した 1 枚板の防雪板により構成される。これは、下部間隙非閉塞時には従来柵と同様に路面付近の雪粒子を吹き払うが、暴風雪等により下部間隙が閉塞した場合には、吹き払い効果を維持するのではなく、吹き止め柵のように風上側に

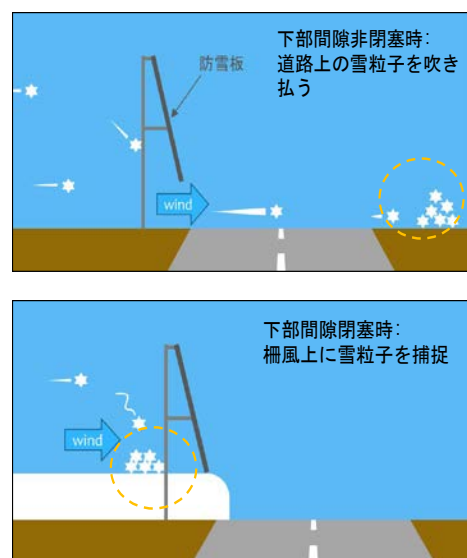


図 - 1 新型柵の下部間隙閉塞前後での防雪効果イメージ

雪粒子を多く捕捉することで、道路上に可能な限り吹きだまりを形成させず、粘り強く防雪効果を発揮することを意図している(図-1)。また、凹凸状に加工した防雪板により、斜めから入射した風を横に逃がさずに下部間隙へ誘導することを意図している(図-2)。

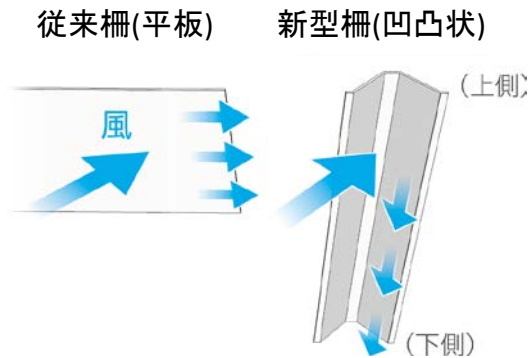


図-2 防雪板の効果イメージ

3. 風洞実験による防雪効果調査

3.1 実験方法

2. で提案した新型柵の防雪効果について把握することを目的に、計測条件の設定が容易な風洞実験において、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。

3.1.1 風洞実験装置

風洞実験には寒地土木研究所が所有する風洞実験装置(図-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0.15²⁾)に近似するよう風速調整装置で調整した。

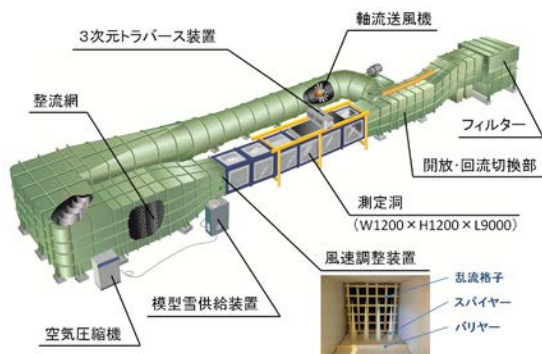


図-3 風洞実験装置の概要

3.1.2 実験条件

老川ら³⁾は、建物近傍を対象とした吹雪風洞実験を行う場合に、移動臨界摩擦速度比、安息角、ストークスパ

ラメータの相似パラメータについて適合させることが重要としている。これらを適合させるため、模型雪として活性白土を使用した。模型雪は測定洞上流のノズルから230g/minで圧縮空気とともに風洞内に供給し、人工的な吹雪を発生させた。

実験風速は、上記相似則のほか、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。

3.1.3 防雪柵模型

実験に使用した防雪柵の模型を図-4に示す。模型の縮尺は1/100とし、どの柵も柵高33mm、下部間隙高さ10mmとした。

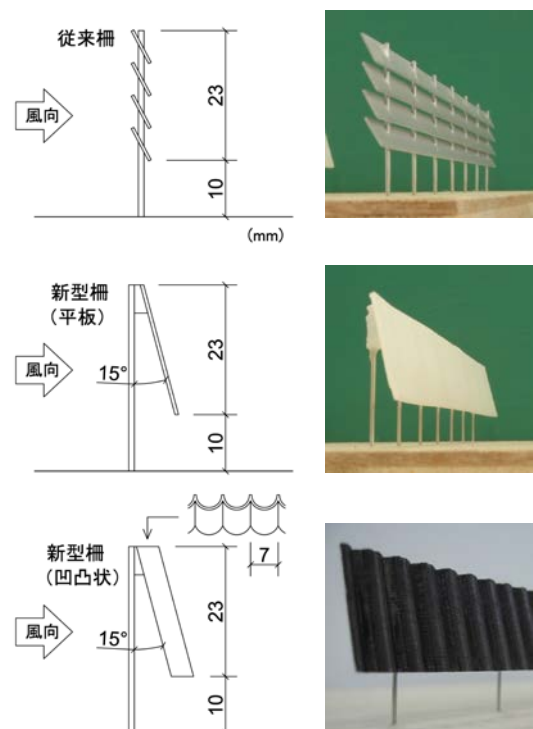


図-4 防雪柵模型

3.2 実験結果と考察

3.2.1 風が斜めから入射した場合の防雪効果

風が斜めから入射した場合における新型柵と従来柵の防雪効果の比較を、PIV(粒子画像流速測定法、particle image velocimetry)による地面付近(地面からの高さ5mm)の流速計測⁴⁾により行った。PIVとは模型雪粒子の動きを撮影した画像の解析により流速を計測する方法で、面的に流れ場を把握できるものである。なお、模型雪粒子の動きは空気の流れと完全には一致しないことから、計測結果は風速ではなく模型雪粒子の速度となる。そのため、ここでは風速とは区別して流速としている。防雪柵

は風向に対して 90° 、 67.5° 、 45° となるように設置した(図-5)。計測結果を図-6~8に示す。図における柵からの距離は、防雪柵高さ $H=33\text{mm}$ で無次元化した。また、流速比は、各地点における流速を防雪柵が無い場合の同一地点における流速で除した値であり、1以上であれば吹き払い効果が及んでいることを意味する。

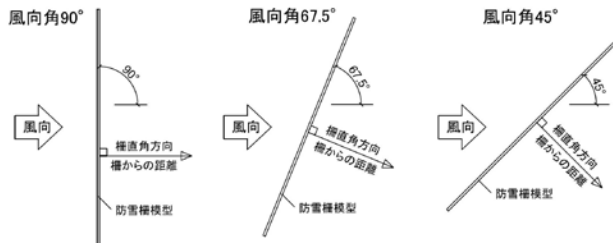


図-5 防雪柵模型設置平面図

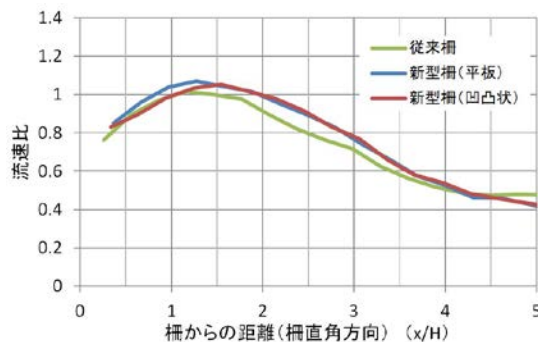


図-6 柵からの距離と流速比の関係(風向角 90°)

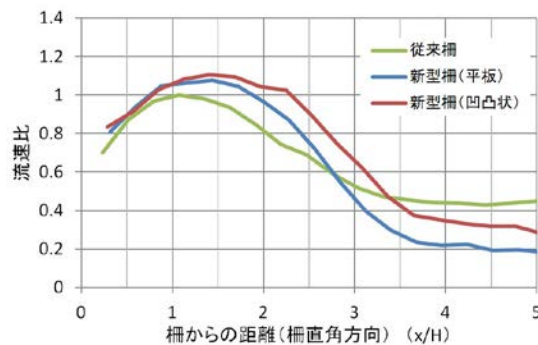


図-7 柵からの距離と流速比の関係(風向角 67.5°)

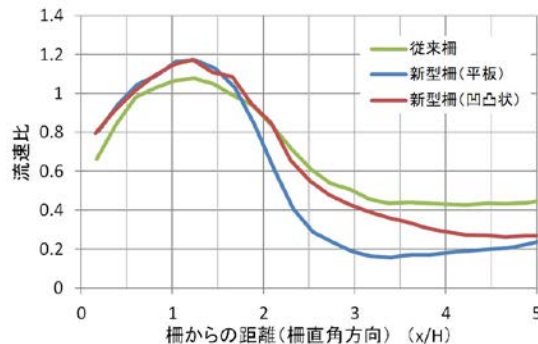


図-8 柵からの距離と流速比の関係(風向角 45°)

図-6より、風向角 90° の場合、 $x/H=4$ 以内の範囲で、新型柵(平板)と新型柵(凹凸状)はともに従来柵と比較して流速が同程度または高くなっている。

図-7より、風向角 67.5° の場合、新型柵(平板)は従来柵に比べて最大流速比で約8%高く、 $x/H=2.8$ 程度までの範囲で従来柵より流速が高くなっている。また、新型柵(凹凸状)では、新型柵(平板)に比べてさらに流速が高くなっている。

図-8より、風向角 45° の場合、新型柵(平板)は従来柵に比べて最大流速比で約8%高いが、 $x/H=1.8$ 程度以遠では従来柵よりも流速が低くなっている。また、新型柵(凹凸状)では、風向角 67.5° の時と同様に新型柵(平板)に比べてさらに流速が高くなっている。

従来柵の吹き払い効果が及ぶ範囲は $x/H=2\sim3$ 程度までとされ¹⁾、この範囲において、風向角 67.5° の斜風時では新型柵は従来柵よりも吹き払い効果が高くなっているが、風向角 45° の斜風時では新型柵の優位性は明確ではない。また、防雪板を凹凸状の形状にすることにより風が斜めから入射する場合の吹き払い効果が高められていると考えられる。

3. 2. 2 下部間隙が閉塞した場合の防雪効果

下部間隙非閉塞時と閉塞時における新型柵(平板)と従来柵の防雪効果の比較を、防雪柵周辺に発生する吹きだまりの高さを計測することにより行った⁴⁾。下部間隙閉塞時の防雪柵模型を図-9に、計測結果を図-10に示す。なお、風向角は 90° とし、柵からの距離 x と吹きだまり高さ h は、防雪柵高さ $H=33\text{mm}$ で無次元化した。

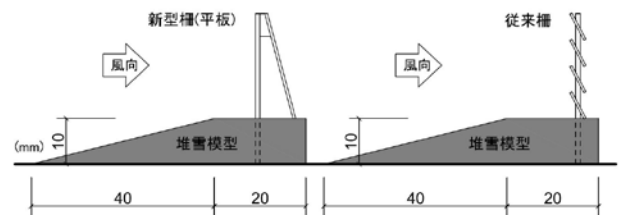


図-9 下部間隙閉塞時の防雪柵模型

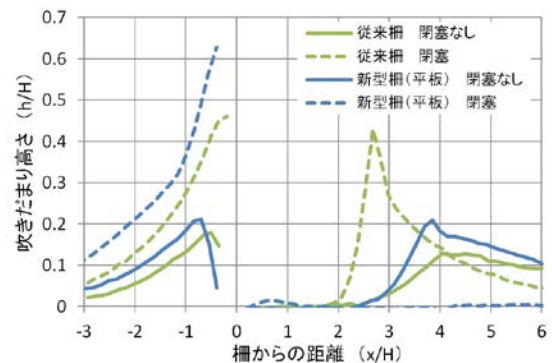


図-10 柵からの距離と吹きだまり高さの関係

図-10より、下部間隙非閉塞時における $x/H = 0 \sim 3$ 程度の範囲では、新型柵と従来柵に明確な差がみられなかった。従来柵の吹き払い効果が及ぶ範囲は $x/H = 2 \sim 3$ 程度とされている¹⁾が、この範囲において新型柵と従来柵は同程度の吹き払い効果を発揮しているといえる。また、下部間隙閉塞時において、従来柵では $x/H = 2$ 程度から大きな吹きだまりが生じたが、新型柵では柵風下側に吹きだまりがほとんど生じなかった。これは、従来柵では下部間隙閉塞時においても防雪板と防雪板の間を模型雪粒子が通過するのに対し、1枚の防雪板で構成される新型柵では模型雪粒子が防雪柵を通過しないためと考えられる。

このことから、当初の想定通り下部間隙閉塞時には新型柵は吹き止め柵のように風上側に模型雪粒子を多く補足し、従来柵にはない防雪効果を発揮すると考えられる。

3. 2. 3 下部間隙を機械除雪した場合の防雪効果

従来柵では、下部間隙が閉塞した時に吹き払い効果を回復させるため下部間隙の除雪を行う場合がある。しかし、標準的な従来柵では支柱が障害となることから人力除雪によらざるを得ない。これに対して新型柵では、下部間隙の機械除雪を可能とするため防雪板をオーバーハングさせている。機械除雪後を想定した堆雪条件(図-11)で前節と同様の実験を行った。結果を図-12に示す。

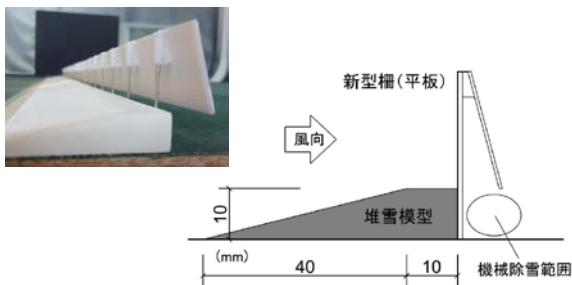


図-11 下部間隙除雪時の防雪柵模型

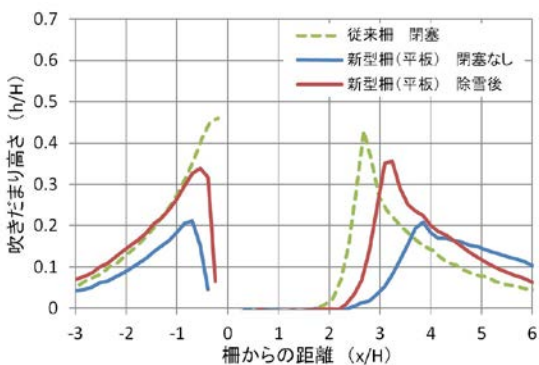


図-12 柵からの距離と吹きだまり高さの関係

図-12より、下部間隙の除雪を行うことで、消失していた吹き払い効果がある程度回復していることがわかる。吹きだまり高さ $h/H = 0.1$ となる柵からの距離 x/H は、除雪後には下部間隙非閉塞時の約 81%まで回復し、下部間隙除雪を行っていない従来柵の約 118%と、吹き払い効果が高くなっている。

4. 現地観測による防雪効果調査

4. 1 観測方法及びデータ解析方法

風洞実験によって新型柵の防雪効果が確認できたことから、実物大の柵を製作し現地観測を行った。現地観測は、図-13に示す石狩吹雪実験場において、平成26年12月1日から平成27年1月24日までと平成27年12月2日から平成28年2月26日までの2冬期行った。観測サイトの概要を図-14に示す。

防雪効果の比較のため新型柵と従来柵を並べて設置し、風向風速計(コーナシステム製KDC-S4)と視程計(明星電気製TZE-4)を用いて観測を行った。それぞれの柵の風下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



図-13 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)

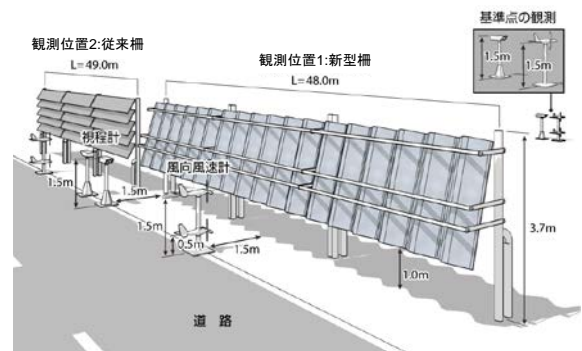


図-14 観測サイトの概要

風速と視程を観測した。ここで、高さ0.5mは柵下部間隙

の中心高さであり、高さ 1.5m はドライバー目線付近⁵⁾の高さである。また、防雪柵から風上側におよそ 40m 離れた地点を基準点とし、高さ 1.5m で風向風速と視程の観測を行った。解析に際して、風速は、基準点において吹雪が発生すると考えられる 5m/s 以上⁶⁾、気温は 0℃以下、かつ基準点の視程 1000m 以下の条件でデータを抽出した。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⁷⁾、対数則で高さ 7m の値に高度補正¹⁾した値である。解析には 10 分平均値を用いた。

抽出したデータは、両防雪柵の防雪効果について以下で定義する風速比 RV 、視程改善率 $RVIs$ を用いて防雪柵に対する風向角ごとに整理した。

図-14 に示した観測位置 N (観測位置 1 : 新型柵、観測位置 2 : 従来柵) において、雪面からの高さ h (m) で観測した風速 (m/s) を $V(N, h)$ 、その観測点での風速比を $RV(N, h)$ とし、 RV は以下で定義する。

$$RV(N, h) = V(N, h) / Vf \quad \dots (1)$$

Vf は、 $V(N, h)$ 観測時の基準点の風速とする。

また、観測位置 N において観測した視程 (m) を $Vis(N)$ 、その観測点での視程改善率を $RVIs(N)$ とし、 $RVIs$ は以下で定義する。

$$RVIs(N) = Vis(N) / Visf \times 100 (\%) \dots (2)$$

$Visf$ は、 $Vis(N)$ 観測時の基準点の視程とする。

4. 2 調査結果と考察

4. 2. 1 積雪深と下部間隙の関係

吹き払い柵は、柵の下部間隙の閉塞によって防雪効果が低下することが知られている。図 15 に、防雪柵の影響を受けていない場所における積雪深と、従来柵及び新

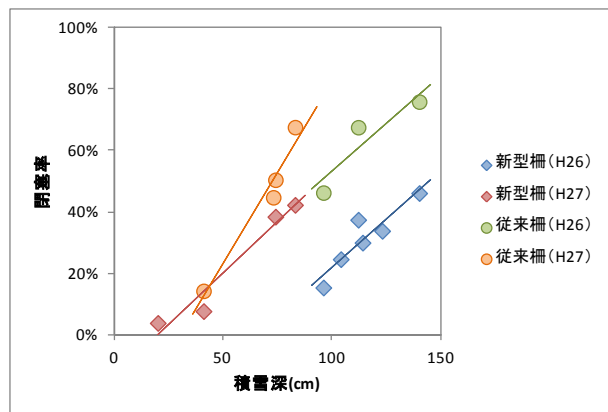


図-15 積雪深と柵下部間隙の閉塞率の関係

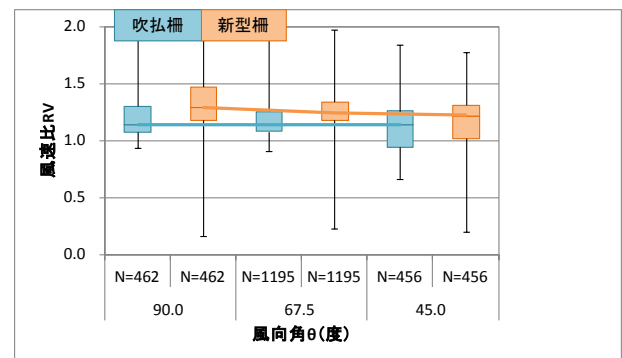
型柵の下部間隙の閉塞率(柵下部の積雪深と間隙の比×100%)の関係について整理した。平成 26 年度に着目すると、積雪深が同じ場合、従来柵に比べ新型柵の閉塞率が 40%程度低く、平成 27 年度でも 10~30%程度低い傾向にある。すなわち、積雪が増加しても、従来柵と比べ新型柵では閉塞しづらいため、吹き払い効果が持続しやすいと考えられる。

4. 2. 2 風速比を用いた防雪効果検証

従来柵と新型柵の風下側の路面付近の風速より、吹き払い効果を検証した。検証は、防雪柵の風下側の風速(柵からの距離 1.5m、高さ 0.5m)について、風上側の基準点の風速(高さ 1.5m)で除した風速比 RV を比較しておこなった。風速比が大きければ、防雪柵風下側の路面付近の風速が大きく、吹き払い効果が期待される。なお、4. 2. 1 に示したように、同じ積雪深であっても、従来柵と新型柵とでは閉塞率が異なる。ここでは、実際に各防雪柵が設置された状況を想定して、積雪深が同じ状態における比較を行って整理した。

図 16 に示されるように、積雪深 100cm 未満の場合、直交風・斜風のいずれにおいても新型柵の方が従来柵より風速比が高い傾向にあった。また、新型柵では風速比が 1.0 より大きいことから、斜風時にも吹き払い効果が発揮されていることがわかる。

積雪深 0~75 cm



積雪深 75~100 cm

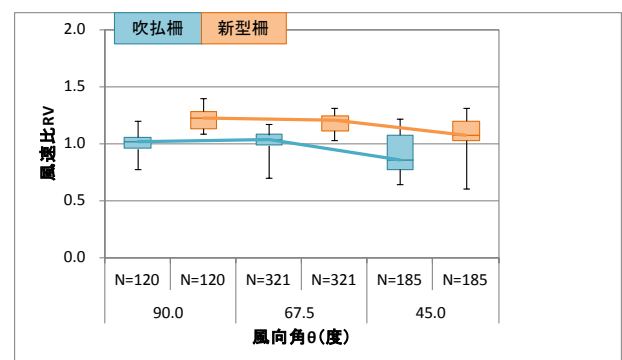
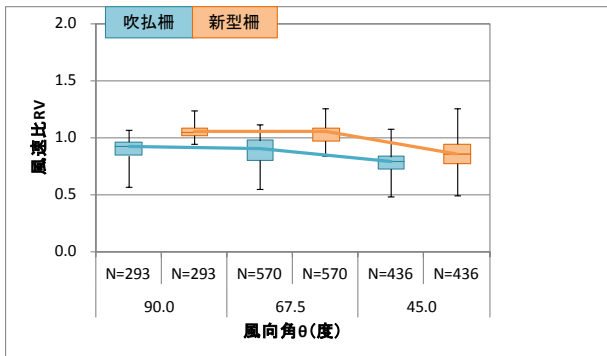


図-16 風向角と風速比 (h=0.5m) の関係
積雪深 100~125 cm



積雪深 125 cm以上

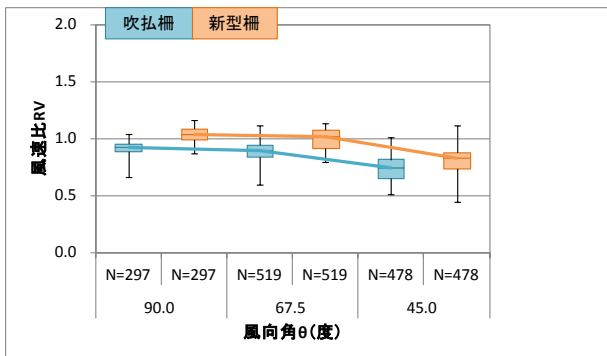


図-16 風向角と風速比 (h=0.5m) の関係

積雪深 100cm 以上の場合、従来柵における風速比が 1.0 より低くなるのに対し、新型柵では風向角 67.5 度以上における風速比は 1.0 より大きい。吹き払い効果が発揮されていることがわかる。以上のことから、新型柵は積雪深が 100cm 以下の場合には直交風・斜風のいずれの場合も、従来柵と比較して高い吹き払い効果を発揮し、また、積雪深が 100 cm 以上の場合でも風向角 67.5 度以上では吹き払い効果が持続して発揮されるので、従来柵より高い防雪効果を持つと言える。

4. 2. 3 視程改善率を用いた防雪効果検証

新型柵では、柵下部間隙が閉塞した場合、吹き払い効果を維持するのではなく、吹き止め柵のように風上側に雪粒子を捕捉することで、道路上の吹きだまりを抑制する効果が期待される。そこで柵下部間隙の閉塞率に着目し、閉塞率毎に視程改善率 R_{vis} を整理した。その結果を図 17 に示す。なお、吹雪により視程が低下している状況を想定し、基準点の視程が 500m 以下のデータのみ使用して整理した。新型柵では閉塞率が高い 50%以上 75%未満 (図-17 上) から 100% (図-17 下) に変化すると、新型柵の風下側の視程改善率が 100%以上となり、改善していることが分かる。したがって、新型柵の下部間隙が

閉塞した場合、風上側の基準点と比べ視程に影響を与え

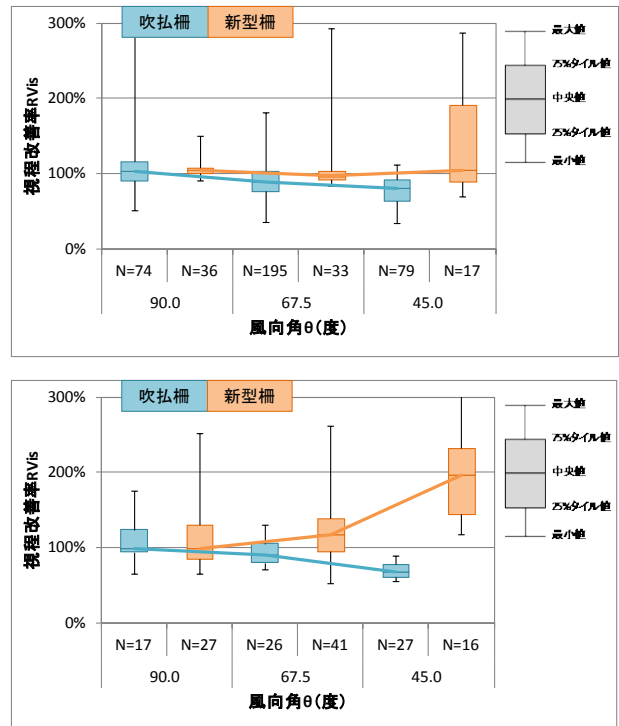


図-17 風向角と視程改善率の関係 (上: 柵下部間隙の閉塞率 50%以上 75%未満、下: 従来柵は 75%以上 100%未満、新型柵は 100%)

る飛雪流量が減少し、道路上に吹きだまりが形成されにくくなると予想される。

5. まとめ

本研究では、従来柵と同様に路側に設置可能で、風が斜めから入射する場合や、柵下部間隙の閉塞時において著しく防雪効果が低下しない新型柵の開発を目的とし、柵形式の提案、風洞実験と現地観測による新型柵の防雪効果の調査を行った。

5. 1 風洞実験による新型柵の防雪効果調査

本研究において提案した 1 枚板の防雪板を用いる新型柵について、縮尺模型を用いた風洞実験を行った。

その結果、下部間隙非閉塞時には従来柵と同程度以上の吹き払い効果があり、下部間隙閉塞時には従来柵とは異なる機能を発揮し柵風下側の吹きだまりが抑制されることがわかった。また、機械除雪で行える程度下部間隙除雪により吹き払い効果がある程度回復し、さらに、防雪板の形状を凹凸状とすることで斜風時における吹き払い効果の低下を緩和させられることがわかった。ただし、下部間隙閉塞後は柵風上側への吹きだまりが多くなることから、柵埋没などについても考慮しなければなら

ない。

5. 2 現地観測による新型柵の防雪効果調査

風洞実験によって新型柵の防雪効果が確認できたことから、石狩吹雪実験場内に実物大の新型柵を設置し、風速比・視程改善率を指標に防雪効果を評価した。その結果、新型柵は従来柵と同等以上の吹き払い効果を有し、風が斜めから入射した場合においても著しく効果が低下しないこと、積雪深が 100 cm 以下の場合には直行風・斜風時のいずれの場合でも常時吹き払い効果が発揮されることがわかった。また、柵下部間隙の閉塞率が高い場合でも視程改善率が高く、吹きだまりが形成されにくいことがわかった。

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)、3-2-14、2011
- 2) 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
- 3) 老川進、苫米地司、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
- 4) 山崎貴志、住田則行、渡邊崇史: 新しい路側設置型防雪柵の開発に向けての風洞実験による検討、寒地土木研究所月報、74 0、pp. 36-40、2015
- 5) 山田毅、伊東靖彦、松澤勝、加治屋安彦: 防雪柵を評価するための適切な視程の測定位置の検討、雪氷研究大会(2008・東京) 講演要旨集、p91、2008
- 6) 日本雪氷学会北海道支部: 雪氷調査法、北海道大学図書刊行会、p19、1991
- 7) 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

STUDY ON QUANTIFICATION OF EFFECTIVENESS OF HIGHWAY STRUCTURES TO MITIGATE SNOWDRIFTS

Budget : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2014-2015

Research Team: Cold-Region Road Engineering Research
Group (Snow and Ice Research Team)
Director for Cold-Region Technology
Development Coordination (Machinery
Technology Research Team)

Author : MATSUZAWA Masaru
NISHIMURA Atsushi
KONAKA Takanori
WATANABE Takashi (Snow and Ice)
SUMITA Noriyuki
YAMAZAKI Takashi
KOUDA Masaru(Machinery Technology)

Abstract :

Blower snow fences have been widely used for drift control, since they can be installed at the immediate roadside. However, their drift control effectiveness decreases when quartering winds blow or when the gap at the base of the fence is blocked. For the purpose of improving this situation, a new type of snow fence that is designed for installation at the immediate roadside was developed in this study.

In this study, types of fences were examined and a snow fence with a single snowbreak slat was proposed. It normally works as a blower snow fence, but it works as a temporary collector snow fence when the bottom clearance is blocked due to snowstorm or other snow cover. A full-scale blower snow fence of the new type and a full-scale blower snow fence of the conventional type were installed at the Ishikari Blowing Snow Test Field for onsite verification tests. The new type of snow fence was found to control snow more effectively than the conventional type, even in quartering winds and when the bottom clearance is blocked.

Keywords : drift control, snow fence, development, snow control effectiveness