

風洞実験による新型防雪柵の検討

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○山崎 貴志
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム 住田 則行
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム 渡邊 崇史

防雪柵の一つとして広く普及している吹き払い柵は、防雪機能を維持させるために下部間隙の除雪が必要であるが、除雪には多大な労力と費用を要する。そこで、当所では下部間隙の閉塞による防雪機能の低下を緩和するとともに、除雪費用を削減できる新しいタイプの路側設置型防雪柵の開発に向け検討を行っている。本稿では、防雪板1枚で構成される新しいタイプの路側設置型防雪柵の防雪機能について、縮尺模型を用いた風洞実験により調査を行った。その結果、下部間隙閉塞時には吹き払い柵とは異なる機能を発揮して柵風下側の吹きだまりが抑制されることなどがわかった。

キーワード：防雪柵、風洞実験、防雪機能

1. はじめに

道路の吹雪対策施設の一つである吹き払い柵は路側に設置される防雪柵であり、設置に新たな用地取得を必要としないことから広く普及している。吹き払い柵は、下部間隙から吹き抜ける強い風で路面上の雪を吹き払うことを機能とするため、道路除雪による堆雪や積雪などで下部間隙が閉塞すると防雪機能（吹き払い機能）が低下し、路面上に吹きだまりができやすくなると考えられている¹⁾。吹き払い機能を維持させるために下部間隙の除雪を行うこともあるが、機械除雪のみでは難しく、人力除雪を伴うため多大な労力と費用が必要となる。そこで、当所では下部間隙の閉塞による防雪機能の低下を緩和するとともに、除雪費用を削減できる新しいタイプの路側設置型防雪柵の開発に向け検討を行っている。

本稿では、新しいタイプの路側設置型防雪柵の開発にあたり、縮尺模型を用いた風洞実験を行い、その防雪機能について調査を行ったので報告する。

柵と比較のための標準的な吹き払い柵²⁾の模型を用いた(図-1)。模型の縮尺は1/100とした。

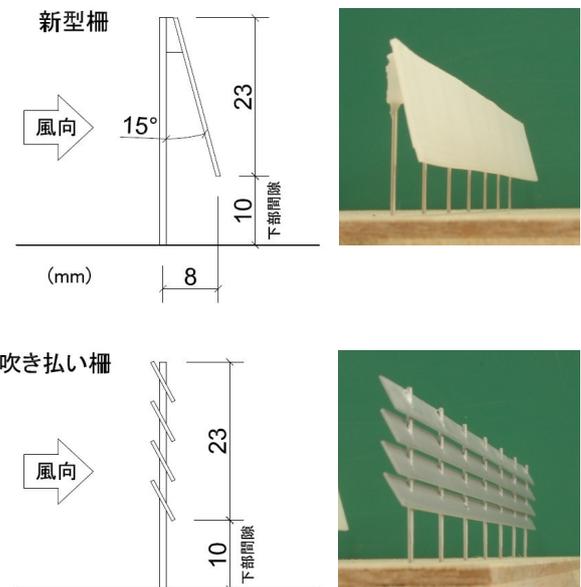


図-1 防雪柵模型

2. 風洞実験

(1) 防雪柵模型

本稿で検討した新しいタイプの路側設置型防雪柵（以降、「新型柵」という。）の形状は、下部間隙が閉塞した場合に吹き払い機能を維持するのではなく、吹き止め柵のように風上側に雪を多く捕捉するよう機能することを意図し、防雪板1枚で構成するものとした。この新型

(2) 風洞実験装置

実験には寒地土木研究所の風洞実験装置(図-2)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0.15³⁾）に近似するよう風速調整装置で調整している。風速分布を図-3に示す。

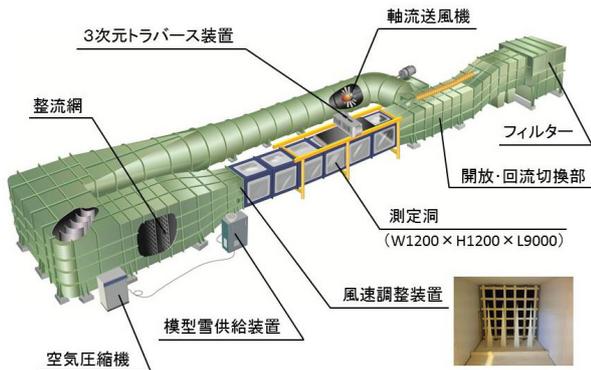


図-2 風洞実験装置

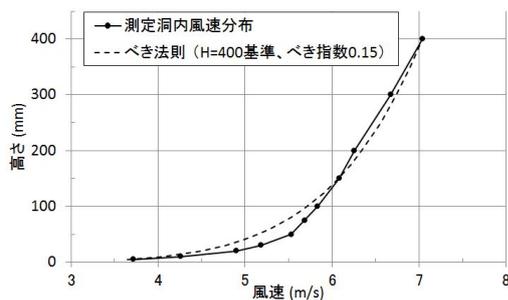


図-3 測定洞内鉛直方向風速分布

(3) 実験条件

老川ら⁴⁾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圧縮空気とともに 230g/min で風洞内に供給し、人工的な吹雪を発生させている。

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。

吹きだまりを発生させる実験を行うに当たっては、飛雪流量鉛直分布が実験結果に影響を与えると考えられるため、測定洞内の飛雪流量鉛直分布を山崎ら⁵⁾が行った計測方法に準じて計測した。計測装置を図-4、計測結果を図-5に示す。飛雪流量鉛直分布は、両対数表示でほぼ直線に近似する分布となっており、これは自然の吹雪における飛雪流量鉛直分布⁶⁾と同様の傾向である。この分布から、多くの模型雪粒子は柵の高さよりも低い位置を移動しているということがわかる。

(4) 吹きだまり計測

防雪柵周辺に発生する吹きだまり (図-6) の状況を調査するため、吹きだまりの高さを計測した。模型雪の供給時間を15分間とし、発生した吹きだまりの高さをトラバース装置に取り付けたレーザー距離計で計測した。計測ラインは風洞中心線上とし、5mm間隔で計測した。

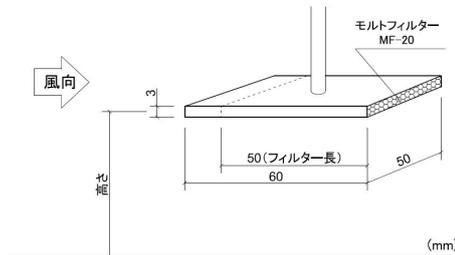
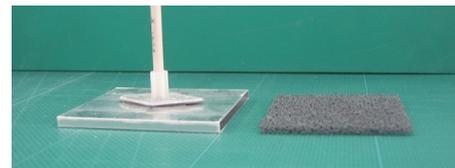


図-4 飛雪流量計測装置

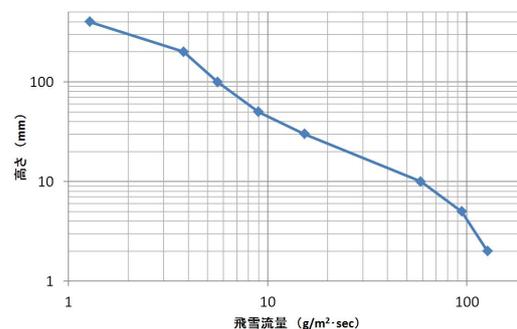


図-5 飛雪流量鉛直分布



図-6 吹きだまり例

(5) 風速計測

風速の計測は熱線風速計により行った。サンプリング周波数 200Hz で計測時間は1箇所あたり 10 秒間とし、得られた計測値の平均を計測結果とした。計測ラインは風洞中心線上で地面からの高さ 5mm とし (図-7)、10mm 間隔で計測した。

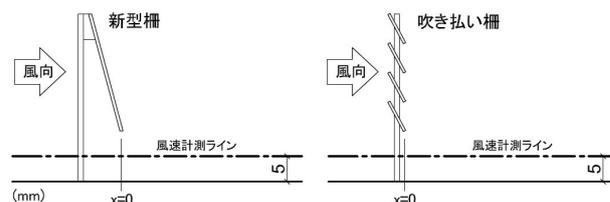


図-7 風速計測ライン

3. 実験結果

(1) 吹き払い柵との比較

新型柵の防雪機能を従来の吹き払い柵と比較するため、吹きだまり計測と風速計測を行った。また、下部間隙が堆雪などにより閉塞した場合を想定し、堆雪模型により下部間隙を閉塞させた条件（図-8）でも実験を行った。吹きだまり計測の結果を図-9、風速計測の結果を図-10に示す。これら以降の図では、防雪柵下端からの水平距離 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。また、風速比とは、各地点における風速を防雪柵が無い場合の同一地点における風速で除した値である。

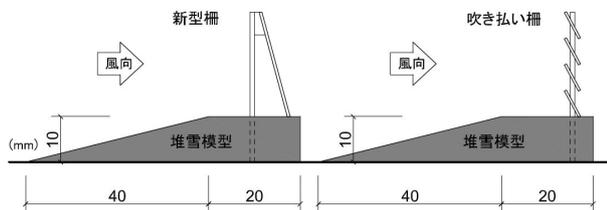


図-8 堆雪条件（下部間隙閉塞）

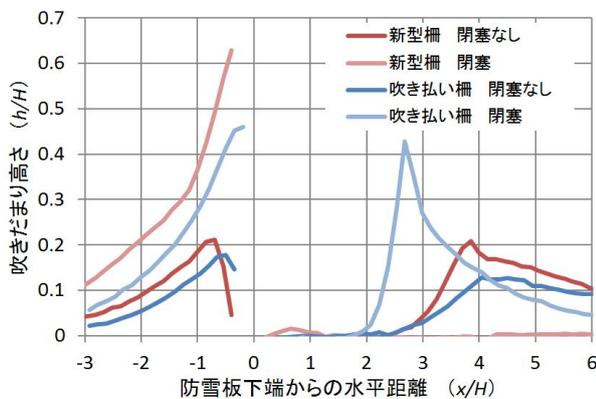


図-9 吹きだまり高さ

図-9 より、下部間隙が閉塞していない場合、 $x/H = 0 \sim 3$ 程度の範囲では、新型柵と吹き払い柵に明確な差がない。吹き払い柵の吹き払い機能が及ぶ範囲は $x/H = 2 \sim 3$ 程度とされている¹⁾ため、この範囲においては新型柵と吹き払い柵は同程度の吹き払い機能があると考えられる。下部間隙が閉塞している場合、新型柵では柵風下側に吹きだまりがほとんど生じていない。前節の実験条件で述べたように多くの模型雪粒子は防雪柵高さよりも低い位置を移動するため、1枚の防雪板で構成される新型柵では、下部間隙閉塞時には多くの模型雪粒子が柵を通過できないことにより、柵風上側の吹きだまりが大き

くなり、柵風下側に吹きだまりが形成されなかったと考えられる。また、吹き払い柵では $x/H = 2$ 程度から大きな吹きだまりが生じている。これは、防雪板と防雪板の間を通過した模型雪粒子が堆積したもので、下部間隙非閉塞時に比較して柵に近い位置に生じている原因は、下部間隙閉塞時には地面付近の風速が低い（図-10）ことにより吹き払い機能が低下したためと考えられる。

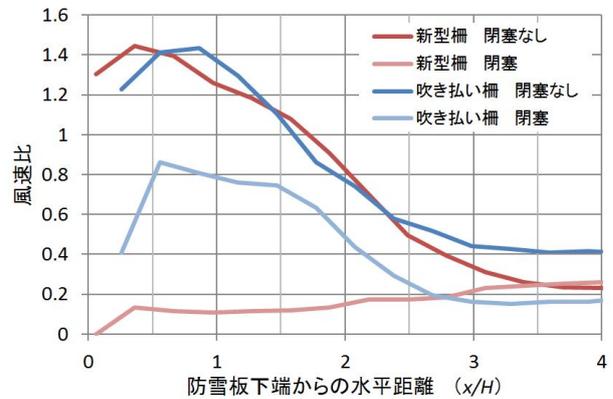


図-10 風速比

図-10 より、下部間隙非閉塞時は吹き払い柵と新型柵に大きな差はない。下部間隙閉塞時は吹き払い柵では風速が低下しているのに対して新型柵では風をほとんど遮断している。

これらのことから、下部間隙閉塞時には新型柵と吹き払い柵では異なった働きによる防雪機能を発揮すると考えられる。

(2) 除雪後の防雪機能回復比較

吹き払い柵では、下部間隙が閉塞した時に吹き払い機能を回復させるため下部間隙の除雪を行う場合があるが、標準的な吹き払い柵では支柱が障害となり機械除雪が困難なため人力除雪を必要とする。このことから、新型柵では下部間隙の機械除雪を可能とするために防雪板をオーバーハングさせる構造を検討している。人力除雪を伴わない機械除雪のみを行った場合に、どの程度防雪機能が回復するかを調査するため、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。吹きだまり計測の結果を図-12、風速計測の結果を図-13に示す。

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機能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 x/H は、下部間隙非閉塞時と比較して約 81%で、吹き払い機能は完全には回復しないが、吹き払い柵の下部間隙閉塞時よりも約 18%大きく、下部間隙除雪を行っていない吹き払い柵よりも吹き払い機能が高くなっている。また、除雪により多くの模型雪粒子が柵を通過できるようになったため、柵風上側の吹きだまりは、吹きだまり高さのピーク値で下部間隙閉塞時 $h/H = 0.63$ （図-9）と比較して約 54% ($h/H =$

0.34) と少なくなっている。

図-13 より、下部間隙除雪後の風速は下部間隙非閉塞時と比較して低くなっているが、下部間隙除雪を行っていない吹き払い柵より高く、吹きだまり計測の結果と同様な傾向となっている。

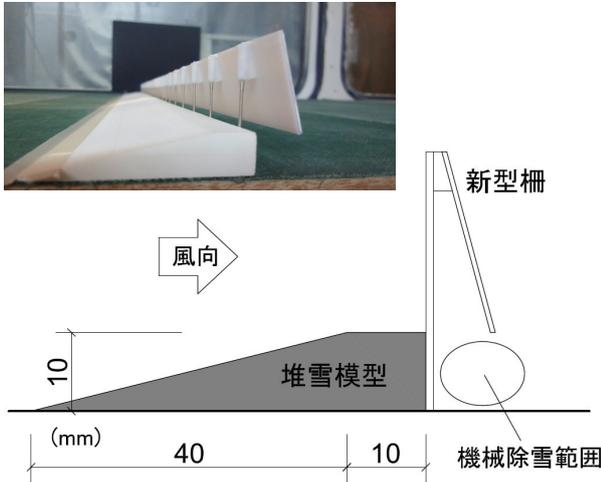


図-11 堆雪条件 (除雪後)

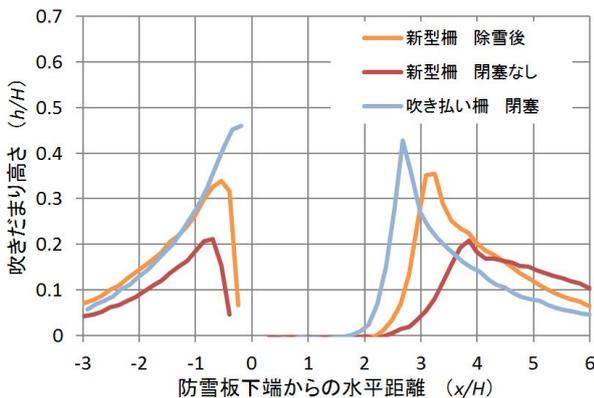


図-12 吹きだまり高さ

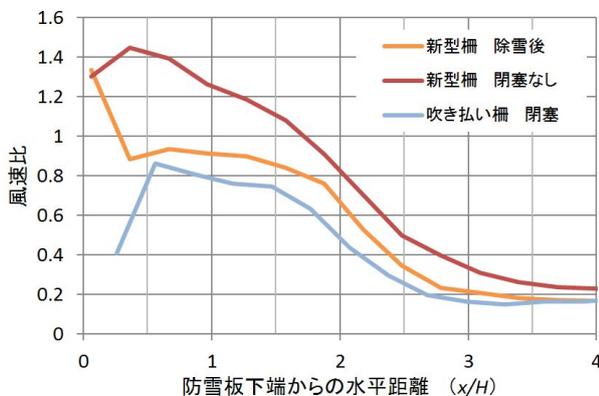


図-13 風速比

4. まとめ

新しいタイプの路側設置型防雪柵の開発に向けて、縮尺模型を用いた風洞実験を行った結果、今回検討した防雪板 1 枚で構成される新型柵は、下部間隙非閉塞時には吹き払い柵と同程度の吹き払い機能があり、下部間隙閉塞時には吹き払い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、また、機械除雪のみの下部間隙除雪により吹き払い機能がある程度回復することがわかった。しかしながら、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。

今後は実験条件を増やして風洞実験を継続するとともに実柵による実験を行い、新しいタイプの路側設置型防雪柵の開発に向けた検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 独立行政法人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) 第 3 編 防雪柵編, 2011
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 山崎貴志, 住田則行, 石川真大：風洞実験による道路防雪林の防雪・防風機能調査, 国土交通省北海道開発局第 56 回 (平成 24 年度) 北海道開発技術研究発表会, 2013
- 6) 竹内政夫, 石本敬志, 野原他喜男：吹雪量と飛雪量垂直分布, 雪氷, Vol. 37, No. 3, pp. 8-15, 1975