

## 吹雪障害防止のための翼形防雪板を有する新形防雪さくの研究開発\* (第1報, 飛雪風洞による性能評価)

坂本 弘志<sup>\*1</sup>, 森谷 優<sup>\*1</sup>  
高井 和紀<sup>\*1</sup>, 小畑 芳弘<sup>\*2</sup>

### Development of New Type Snow Fence with Airfoil Snow Plates for Prevention of Blowing-Snow Disasters (1st Report, Evaluation of Performance by Blowing-Snow Simulation in Wind Tunnel)

Hiroshi SAKAMOTO<sup>\*3</sup>, Masaru MORIYA,  
Kazunori TAKAI and Yoshihiro OBATA

<sup>\*3</sup> Kitami Institute of Technology, Dept. of Mechanical Engineering,  
165, Koen-cho, Kitami, Hokkaido, 090-8507 Japan

The purpose of the present study was to develop a new snow fence with the airfoil snow plates for the prevention of snowdrifts and improvement of visibility on roadways. The design was in accordance with aerodynamic principles, and its performance was evaluated in a wind tunnel test in which natural snow was used to simulate blowing-snow. In general, the snowdrifts and visibility blockage behind the snow fence was caused by the alternate rolling-up of the bottom gap flow and the shear layer separated from the top of snow fence. It was found that the alternate rolling-up of the bottom gap flow and the shear layer separated from the top of snow fence could be prevented by using airfoil snow plates. On the basis of this finding, the airfoil snow plates with an optimum configuration were designed for the prevention of alternate rolling-up of their flows. Consequently, the developed new type snow fence with the airfoil snow plates had a high performance in preventing snowdrifts and improving visibility in comparison with the conventional snow fence.

**Key Words:** Development of Snow Fence, Airfoil Snow Plates, Blowing-Snow Disasters, Snowdrifts and Visibility, Blowing-Snow Simulation, Wind Tunnel Test

#### 1. 緒 論

積雪寒冷地における冬季間の道路の安全走行機能の確保は、道路交通に依存した現在の流通経済活動において極めて重要な課題である。冬季間の道路交通障害の大部分は、吹雪による吹だまりならびに視程の悪化によって誘発される<sup>(1)</sup>。冬季間の吹雪による道路交通障害の改善策の一つとして防雪さくが使用されているが、その形態は旧態依然であるために機能は十分なものとなっていない。現在設置されている防雪さくの吹払い能力は、さく高(3~3.3 m)の1.5~2.0倍下流までが限度であり<sup>(2)(3)</sup>、最近の歩道を有する2車線道路(道路幅13 m)あるいは4車線高規格道路(道路幅20 m以上)においては、防雪さくの設置によって反対車線では吹だまり増加と視程の悪化の逆効果が生じている。そのために一般道路はもちろんのこと、道路幅が20 mを超える高規格道路にも十分に対応することができるところの吹払い性能の高い新形防雪さくの開発

が強く望まれている。

吹払い式防雪さくの性能は、それに取付けられる防雪板(等間隔で4枚取付けられている)によって支配されるが、現在のところ防雪板として単にフラットな板を採用しているために、防雪板間を通過する流れはほとんどなく、かつさく上端からのはく離せん断層と下部かんげき流との相互干渉によって、さく高の1.5~2.0倍下流で下部かんげきを通過した吹雪は巻き上がり、視程の悪化と吹だまりを発生させる。本研究では防雪板として、大迎え角を有するジュウコフスキー翼および円弧翼を採用し、さく下流での流れの巻き上がりを防止して、濃度の高い吹雪を路面に沿って移動させて吹き払うことができるところの高性能の防雪さくの研究開発を行ったものである。防雪さくの吹払い効果ならびに道路空間の視程は、防雪さく後方の気流の特性に強く依存する。またさく後方の気流は、防雪さくの下部かんげき、防雪板の形状と大きさ、ならびにその取付枚数と角度によって強く支配される。

本研究ではまずこれらの各パラメータを種々変化した風洞モデル実験を遂行して、防雪さく周辺の流れを詳細に調べ、流体力学的見地から吹払い効果が高いところの翼形防雪板形状を見いだし、あわせて飛雪風

\* 原稿受付 2000年4月10日。

<sup>\*1</sup> 正員, 北見工業大学(☎090-8507 北見市公園町165)。

<sup>\*2</sup> 北見工業大学。

E-mail: sakamoto@mech.kitami-it.ac.jp

洞実験ならびに実物モデルさくによる野外観測実験を遂行し、道路幅の広い高規格道路にも十分対応ができる高性能の防雪さくの研究開発を行ったものである。

2. おもな記号

- $F_d$ : 雪粒子の径  $d$  に基づくフルード数  $= U/\sqrt{gd}$
- $H$ : 防雪さくの高さ
- $K$ : 下部かんげき
- $L$ : 円弧翼形防雪板の大きさ
- $M$ : 下部かんげき流の運動量 [式(1)]
- $M_0$ : 主流速度  $U$  に基づく下部かんげき流の運動量 [式(1)]
- $R_H$ : さく高  $H$  に基づくレイノルズ数  $=UH/\nu$
- $U$ : 主流速度
- $u$ : 防雪さく後方の  $x$  方向の速度  $=v \cos \theta$
- $v$ : 防雪板後方の流速
- $W$ : ジューコフスキー翼形防雪板の大きさ
- $x$ : 主流方向の座標
- $y$ : 主流と直角方向の座標
- $\beta$ : 防雪板取付角
- $\nu$ : 空気の粘性係数
- $\rho$ : 空気の密度

3. 実験装置および方法

3.1 飛雪風洞実験 防雪さくの性能は、吹雪の吹払い効果(吹だまりの防止)ならびに吹雪の濃度分布(視程障害)に基づいて評価できる。これらの評価に当たっては、測定部断面  $1.3 \times 1.3$  m、長さ 10 m の飛雪風洞を用いて行った<sup>(4)</sup>。飛雪風洞における吹雪は、図1に示すように測定部入口から約 4 m の範囲で、その床面上の可動シートに雪を一様に散布し(6~7 cm 程度)、風速によって雪を飛ばしよさせることによって発生させた。この場合、防雪さくのかかなり上方の領域ならびに自然に近い間欠的な吹雪を発生させるために、可動シートの上流端付近に回転ブラシ(回転数  $n=150$  rpm)を設置し、それによって雪が舞い上がる

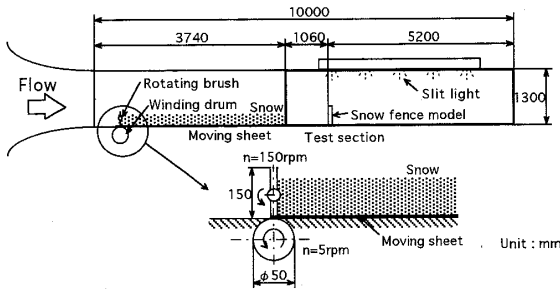


Fig.1 Schematic view of blowing-snow wind tunnel

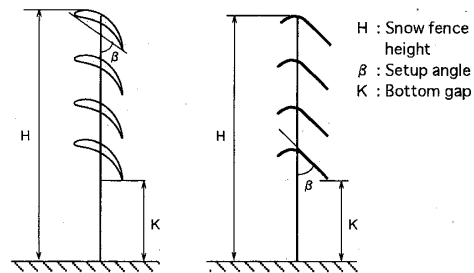
ようにした。また発生する吹雪量を一定に保持するために、床面上のシートを速度を  $0.5$  cm/s で上流方向に移動させ、飛雪は散布した雪の上流端付近からつねに発生するようにしてある。実験に用いた雪は、吹雪が最も起こりやすい新雪(かわき新雪、密度  $0.05 \sim 0.10$  kg/m<sup>3</sup>)とし、気温  $-7 \sim -10^\circ$  の条件下のもとで使用した(飛雪風洞は屋外に設置されている)。

実物さくの  $1/8 \sim 1/6$  とした模型さくは、測定部入口から  $4.8$  m 下流の位置に設置した。実験に当たっては風速を  $6 \sim 8$  m/s とし、吹雪を発生させた。模型さく周辺の吹雪の挙動は風洞天井壁に設けたスリット光源を照射し、ビデオカメラで連続撮影した。録画した映像はビデオデッキによってこま送り再生を行い、画像入力ボードを介して1画素当たり 256 階調で縦 400 画素、横 512 画素の画像データとしてコンピュータに取り込んだ。取り込まれた画像データは階調レベルで6段階に分けてグラフィックス上に色分けして表示し、色の境界部分を線図として描き出し、それに基づいて吹雪濃度の評価を行った。なお飛雪風洞実験におけるさく高  $H$  に基づくレイノルズ数は  $(1.68 \sim 3.0) \times 10^5$  である。

3.2 水路および風洞実験

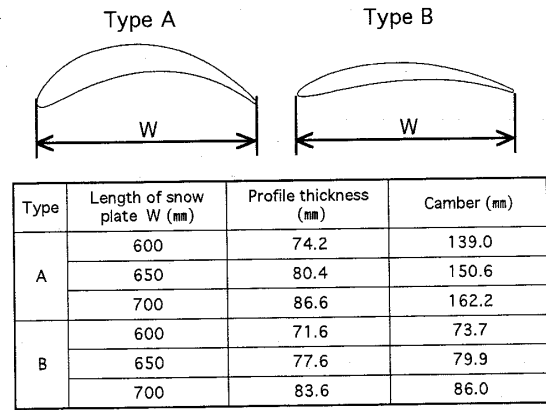
防雪さく周辺の流れの可視化観測に当たっては、深さ  $0.5$  m、幅  $0.4$  m、長さ  $2$  m の測定部を有する回流形水路を用いて行った。流れの可視化は水素気泡法を用いて行った。水素気泡は直径  $20 \mu\text{m}$  のタングステン線を用いて生成した。可視化実験はさくモデルの大きさを実物の  $1/21.7$  とし、流速  $U$  は  $6$  cm/s として行った。そのときのレイノルズ数  $R_H (=UH/\nu)$  は  $6.8 \times 10^3$  である。

また防雪さく後方の気流の流速分布の測定に当たっては、測定部断面  $1.2 \times 0.3$  m、長さ  $2.5$  m の環流形風洞を用いて行った。流速分布の測定は、流れの方向と大きさが同時に測定できるヨーチューブ形四孔ピトー管によって行った。測定に当たっては主流の速度を

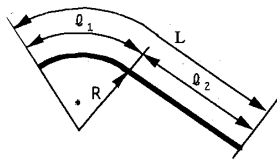


(a) Snow fence with joukowski airfoil snow plate (b) Snow fence with circular arc airfoil snow plate

Fig.2 Configuration of developed snow fence



(a) Joukowski airfoil snow plate



Type	Length of snow plate L (mm)	Length of circular arc Q <sub>1</sub> (mm)	Length of flat plate Q <sub>2</sub> (mm)	Radius of circular arc R (mm)
A	520	300	220	223
	620	357	263	266
	950	547	403	408
B	520	270	250	264
	620	322	298	315
	950	493	457	483

(b) Circular arc airfoil snow plate

Fig. 3 Configuration of airfoil snow plate

10 m/s 一定として行った。また模型さくの寸法は実物さくの1/10とした。このときのレイノルズ数は  $1.85 \times 10^5$  である。

**3.3 開発された防雪さくモデル** 本研究で開発された防雪さくを図2に示してある。開発さくは従来さくの平板形防雪板とはまったく異なる翼形防雪板を有するものである。翼形防雪板としては、図3に示すように円弧翼形防雪板とジューコフスキー翼形防雪板の2種類である。なお図3中に示す寸法はいずれも実物に対するものである。円弧翼形防雪板は防雪板前縁部が円弧形を有するもので、大きさが異なる二つおりのものとした。またジューコフスキー翼形防雪板は反り線が異なる二つおりのものとした。いずれの翼形防雪板も図3に示すようにそれぞれ幾何学的に相似である大きさが異なる三つおりのものとした。研究開発に当たっては、風洞モデル実験を遂行して防雪板の形状、大きさ、取付角およびさくの下部かんげきを変化させて、最も吹払い効果の高いものを見いだした。

#### 4. 雪粒子を用いた飛雪風洞モデル実験の相似則

吹雪時の防雪さく周辺の流れを規定するパラメータとして、風速  $U$ 、さく高  $H$ 、雪粒子の径  $d$ 、重力の加速度  $g$ 、および空気の動粘度  $\nu$  が考えられる。これらから導かれる無次元パラメータとして、以下のものが考えられる。

- (1) さく高  $H$  に基づくレイノルズ数

$$R_H (=UH/\nu)$$

- (2) 雪粒子の径  $d$  に基づくレイノルズ数

$$R_d (=Ud/\nu)$$

- (3) さく高  $H$  に基づくフルード数

$$F_H (=U/\sqrt{gH})$$

- (4) 雪粒子の径  $d$  に基づくフルード数

$$F_d (=U\sqrt{gd})$$

- (5) 雪粒子の径  $d$  とさく高  $H$  との比  $d/H$

まずレイノルズ数  $R_d$  および  $R_H$  について検討する。模型雪として実際の雪粒子を用いる場合には、 $R_d$  は実物とモデル実験において同一となるために考慮する必要がなくなる。また防雪さく周辺の流れのようにはく離を伴う場合、流体力学的にはレイノルズ数が  $10^4$  を超えるとその影響をあまり受けない。さくモデルと実物さくのレイノルズ数  $R_H$  は、 $(1.68 \sim 3.0) \times 10^5$  および  $1.8 \times 10^6$  (風速 8 m/s のとき) であり、いずれも  $10^4$  を超えた値となるためにレイノルズ数  $R_H$  は考慮する必要がなくなる。

一方雪粒子モデルの径  $d$  とさく高  $H$  とに基づく無次元パラメータ  $d/H$  は、さくモデルの寸法を  $1/n$  スケールとした場合には、雪粒子の大きさも  $1/n$  としなければならない。その結果雪粒子の径に基づくレイノルズ数  $R_d$  は、実際のその  $R_d = 50 \sim 100$  ( $d = 0.1 \sim 0.2$  mm) の  $1/n$  となる。しかし雪粒子の運動は、低レイノルズ数では  $R_d$  に強く依存するために雪粒子の大きさをさくのモデル寸法に合せて小さくすると、実物とモデル実験における雪粒子の運動はかなり異なったものとなる。したがって、本実験では相反するものとなるこれら二つの無次元パラメータ  $R_d$  と  $d/H$  のうち、 $R_d$  を一致させる手法を採用することとした。

次にフルード数  $F_H$  および  $F_d$  について検討する。さく高  $H$  に基づくフルード数  $F_H$  が相似則を規定するパラメータとした場合、自然界の吹雪が発生し始める風速  $6 \sim 7$  m/s に相当するモデル実験のそれは、モデルさくの大きさを実物の1/10としたときには  $U = 1.9 \sim 2.2$  m/s となる。しかし雪粒子を用いた飛雪風

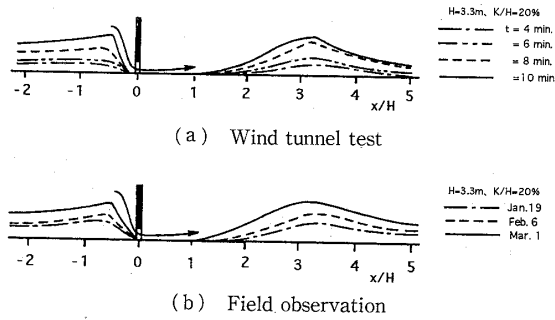


Fig. 4 Comparison of wind tunnel model with full-scale snow fence for snow drifts

洞実験での吹雪が発生する風速は、実際の場合と同様に  $U=6\sim 7\text{ m/s}$  である。このことから、フルード数  $F_H$  は相似則を規定するパラメータにはなり得ない。したがってこれらの二つのフルード数において、雪粒子モデルの径  $d$  に基づく  $F_d$  が流れの相似則を規定するパラメータとなる。結果的に、吹雪時の防雪さく周辺の流れを規定するパラメータは、いずれも雪粒子モデルの径  $d$  に基づくレイノルズ数  $R_d$  とフルード数  $F_d$  の二つとなる。本実験のように雪粒子モデルとして実際の雪粒子を用いた場合には、実物とモデル実験における  $R_d$  および  $F_d$  は同一となるためにモデル実験で行っている風速は同程度の風速における実際の結果を再現しているものと考えてよいこととなる。

図4には吹だまり形状に関して、風洞モデル実験と実物さくによる野外観測実験<sup>5)</sup>とを比較した結果を示してある。両者は極めて類似していることから、雪粒子を用いた風洞モデル実験は、その風速に対応する実物のそれをかなりの精度をもって再現しているものと考えてよい。

5. 実験結果および考察

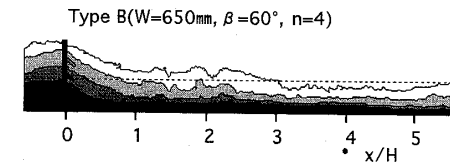
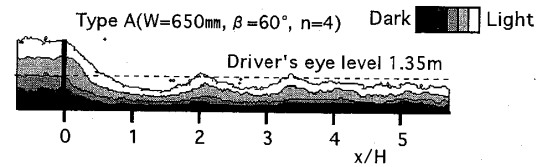
5.1 防雪さくの性能評価方法

防雪さくに求められる性能は、防雪板間ならびに下部かんげきを通過した吹雪を路面近傍に沿ってたい雪させることなく移動させることである。そのためには、下部かんげき流の路面に沿う流速の減少をできる限り抑制し、かつ後方での流れの路面からはく離と巻上りの防止を図ればよいことになる。したがって防雪さくの性能は、次に示す二つの方法によって評価できることとなる。一つはさく後方の流れ、特に下部かんげき流の特性、他の一つは視程を支配するさく後方の吹雪の空間濃度を調べることである<sup>(6)(7)</sup>。本研究では、防雪さくの性能評価は吹雪の空間濃度分布ならびにさく後方の流れの特性に基づいて行った。

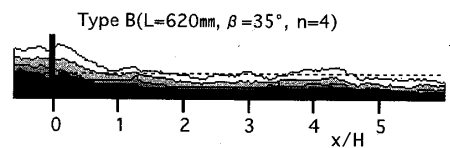
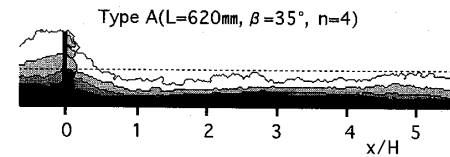
5.2 防雪さくの性能を支配するパラメータ

Table 1- Classification of light and shade distribution of 256 graded digital image

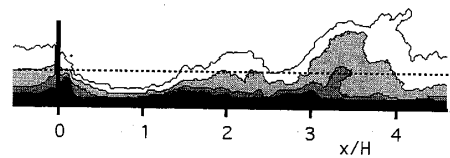
Classification of light and shade intensity	I	II	III	IV	V	VI
Gradation range	255-224	223-192	191-160	159-128	127-96	95-64
Sign of light and shade						



(a) Snow fence with Joukowski airfoil snow plate



(b) Snow fence with circular arc airfoil snow plate



(c) Conventional snow fence

Fig. 5 Density distribution of blowing-snow for difference of snow plate shape

雪さくの性能は、(1)防雪板の形状、(2)防雪板の大きさ  $W, L$ 、(3)防雪板の取付角  $\beta$ 、(4)防雪板の枚数  $n$ 、(5)下部かんげき  $K$  および(6)防雪さくの高さ  $H$  によって支配される。この中で防雪板の枚数は、現在のところ4枚が基本であることから本研究においても枚数  $n=4$  に限定して行った。また防雪さくの高さは、通常3m前後であることから本研究ではさく高さ  $H$  を2.8mと一定とし、検討事項から除外した。したがって本研究では、他の残りの四つのパラメータについて詳細に検討し、開発さくの性能の評価を行った。

### 5.3 吹雪の空間濃度に基づく性能評価

#### 5.3.1 翼形防雪板の形状の相違に基づく性能評価

図5は、翼形防雪板の形状を変化させた場合の防雪さく下流の吹雪濃度分布を示したものである。実験に当たっては、モデルさくの寸法を一定でなく、実物の1/8~1/6の範囲で変化させているために、防雪さくの各諸元を実物の寸法をもって、以下表現するものとする。防雪板としては、図2に示すようにジューコフスキー翼形は二とおり、円弧翼形は二通りのものとした。また、吹雪の濃度分布の測定は、浮遊する雪粒子の空間濃度によって、スリット光源から照射された散乱光の強度が変わることを利用して、コンピュータに取り込んだ画像256階調の濃淡分布に分けることによって行った。具体的には表1に示すように吹雪濃度を6階調に分けて評価した<sup>(8)</sup>。なお表1に示す階調数は、それが大きいほど高濃度の吹雪となっている。また、図5に示すものはさく高 $H$ を2.8m一定とし、上述した四つのパラメータを種々変化させた場合の各防雪さくの中で最も性能が高いと判断されたものである。

まずジューコフスキー翼形防雪板を有する防雪さくの場合には、反りの大きな防雪板A形は反りが小さなB形に比べ、高濃度の吹雪の大部分がより路面近傍を通過することから、吹払い性能が高いことがわかる。これはジューコフスキー翼形防雪板A形の反りがB形に比べて大きいために、さくを通過した吹雪は路面方向に強く偏向されることによるものと考えられる。次に円弧翼形防雪板を有する防雪さくにおいては、防雪板の円弧部分がいくぶん大きなA形はB形に比べて若干性能がよくなっている。

また、図5には従来形の防雪板を有する防雪さくの吹雪濃度分布を示してある。さく後方 $x/H=1.5\sim 2.0$ 付近から吹雪は巻き上がり、高濃度の吹雪が一般乗用車の視程高さ1.35mよりはるか上方を通過している。したがって、翼形防雪板を有するいずれのさくも従来さくに比べ、大幅に性能が向上していることがわかる。特にさく後方の $x/H=5.0$ を超えても高濃度の吹雪の大部分は、巻き上がることなく路面近傍を通過していることから、道路幅が20mを超える高規格道路に対しても十分対応ができるものと考えられる。

#### 5.3.2 防雪板の大きさの相違に基づく性能評価

図6は、Type Aのジューコフスキー翼形防雪板の大きさ(実物寸法で示す)を $W=600, 650$  mmおよび700 mmの三とおり、Type Aの円弧翼形防雪板の大きさを $L=520, 620$  mmおよび950 mmの三とおり変化させた場合における防雪さく後方の吹雪の濃度分布を示したものである。この場合さく高は $H=2.8$  m

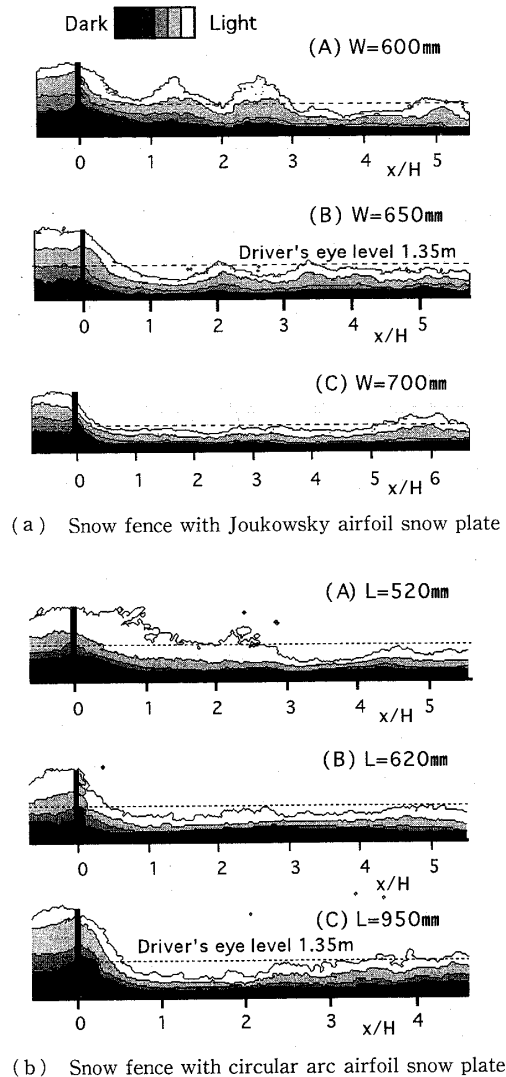


Fig. 6 Density distribution of blowing-snow for difference of snow plate size

と一定とし、下部かんげき $K$ はいずれも $K=1.2$  mとしてある。なおモデルの寸法は、これら実物寸法の1/6~1/8とした。また防雪板の取付角 $\beta$ も、ジューコフスキー翼形防雪板では $60^\circ$ 、円弧翼形防雪板では $35^\circ$ と一定としてある。まずジューコフスキー翼形防雪板の場合、 $W$ が大きくなるにしたがってさくの性能は向上することがわかる。また円弧翼形防雪板においても同様の結果を示している。ただジューコフスキー翼形防雪板の $W=600$  mm、円弧翼形防雪板の $L=520$  mmにおいては、防雪板の大きさが小さくなるために防雪板間の吹雪の吹抜けが生じ、さくの性能は低下している。したがって、高濃度の吹雪の大部分が一般乗用車の視程高さ1.35m以下を通過することをさく性能の評価の基準とすると、ジューコフスキー翼形では $W=650$  mm、円弧翼形では $L=620$  mmが大きさの最小限界であると判断される。

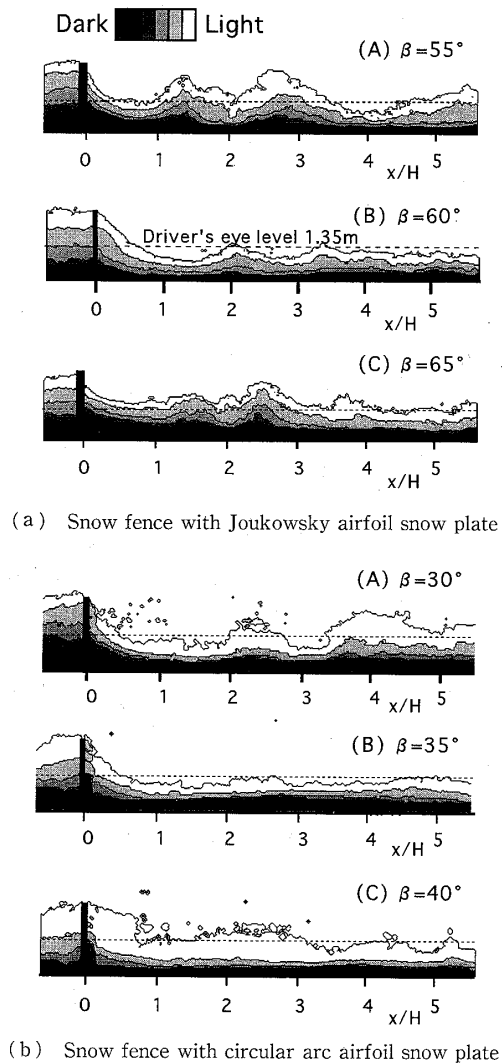


Fig. 7 Density distribution of blowing-snow for difference of setup angle  $\beta$  of snow plate

**5.3.3 翼形防雪板の取付角の相違に基づく性能評価**  
 図7は実物寸法で示すさく高  $H=2.8$  mとし、防雪板の取付角  $\beta$  を変化させた場合のさく後方の吹雪の濃度分布を示したものである。図7中に示す吹雪濃度区分はいずれも表1に基づくものである。またジュールコフスキー翼形防雪板(Type A)を有するさくでは、下部かんげき  $K=1.2$  m、防雪板の大きさを  $W=650$  mm、円弧翼形防雪板のそれでは(Type A),  $K=1.2$  m,  $L=620$  mm としてある。まずジュールコフスキー翼形防雪板を有する防雪さくでは、防雪板の取付角  $\beta=55^\circ$  の場合、防雪板間の流れが阻害されるためにさく後方に形成される渦領域が大きくなり、その結果下部かんげき流の巻上りが生じ、さくの性能は低下している。また  $\beta=65^\circ$  においては、防雪板間の流れの偏向が小さいために防雪板間での吹雪の吹抜けが生じて、さくの性能は低下する。したがって、防雪板の取

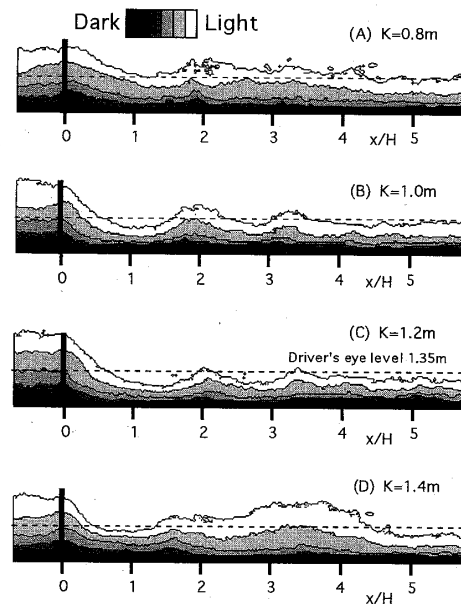


Fig. 8 Density distribution of blowing-snow for difference of bottom gap

付角  $\beta$  の最適値は  $60^\circ$  付近であると判断される。一方円弧翼形防雪板を有するさくにおいても、取付角  $\beta$  の相違によってジュールコフスキー翼形防雪板の場合と同様な現象が生じ、結果的に防雪板の取付角は  $\beta=35^\circ$  付近が最適となる。

#### 5.3.4 下部かんげきの相違に基づく性能評価

図8は、ジュールコフスキー翼形防雪板を有する防雪板に関して、下部かんげき  $K$  を変化させた場合のさく後方の吹雪濃度分布を示したものである。いずれの場合も実物寸法で示すさく高  $H=2.8$  m、防雪板の大きさ  $W=650$  mm、取付角  $\beta=60^\circ$  としてある。下部かんげき  $K$  が  $0.8$  m の場合には、等間隔で取付けられる防雪板の間隔が大きくなるために、それらの間の吹雪の吹抜けが生じ、さくの性能は低下している。

一方下部かんげき  $K$  が  $1.0$  m および  $1.2$  m においては、 $K=1.2$  m は  $K=1.0$  m に比べて防雪板間の吹抜けも少なく、高濃度の吹雪は路面近傍に沿って流下し、高い吹払い性能を示している。さらに下部かんげきが  $K=1.4$  m の場合には防雪板間の流れが阻害されるために、その後方に形成される渦領域が増大することによって、下部かんげき流の巻上りが発生し、さく性能は低下している。したがって、防雪板の吹払い効果が最も高くなる下部かんげき  $K$  は、さく高を  $H=2.8$  m とした場合には  $1.2$  m 程度であると判断される。また円弧翼形防雪板を有するさくについても同様の検討を行った結果、最適な下部かんげき  $K$  は  $1.2$  m 程度であることが判明した。

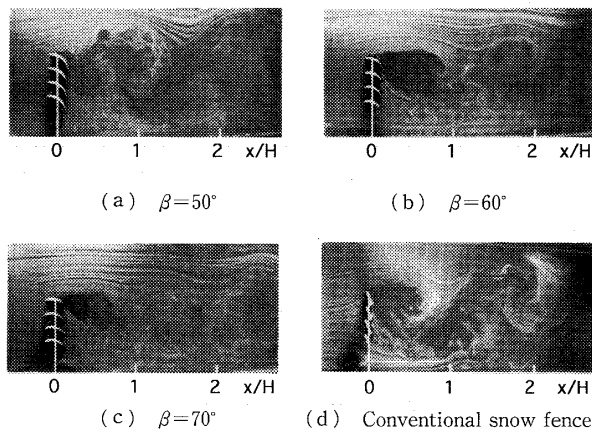


Fig. 9 Visualization of flow pattern around snow fence

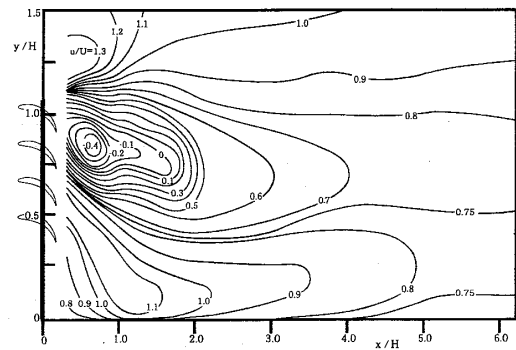
#### 5.4 フローパターンに基づく性能評価

フローパターンに基づく防雪さくの性能評価は、ジュコフスキー翼形防雪板を有する防雪さくを代表させて行った。またフローパターンの観測に当たっては、防雪さく後方の吹雪の濃度分布に基づいた性能評価で、最も性能が高かった実物寸法で示す翼形防雪板の大きさ  $W=650$  mm, 下部かんげき  $K=1.2$  m なる防雪さくを代表させて行った。図9は翼形防雪板の取付角  $\beta$  を三とおり変化させたときのさく周辺のフローパターンの観測結果を示したものである。なおさく高  $H$  は  $2.8$  m 一定としてある。

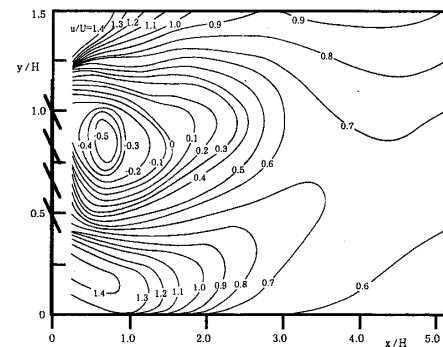
まず翼形防雪板の取付角  $\beta=50^\circ$  においては、さく背後に大きな渦領域が形成されている。またさく上端を通過する流れと翼形防雪板間を通過する流れとがさく背後に交互に巻き込み、大規模渦が形成されている。この交互に巻き上がるはく離流れによって下部かんげき流が引き込まれ、上方に巻き上がることとなる。その結果高濃度の吹雪がさく後方の空間全体に広がり、視程の悪化と吹だまりを生じさせることとなる。

次に防雪板の取付角  $\beta=60^\circ$  においては、その間を通過した流れは、路面近傍に偏向し、下部かんげき流とともに路面に沿って流下している。その結果高濃度の吹雪は路面に沿って移動するためにさくの吹払い性能が向上するものと考えられる。さらに  $\beta=70^\circ$  においては、翼形防雪板間を通過した流れは巻き上がることはないが、それによる流れの偏向が小さいために高濃度の吹雪が路面よりかなり上方の空間領域においても存在することとなり、さくの性能は低下することとなる。

また図9中には従来さく周辺のフローパターンもあわせて示してある。防雪さくへの近寄り流れは防雪さくによって上下に分けられ、さくの上端からはく離



(a) Snow fence with Joukowski airfoil snow plate



(b) Conventional snow fence with flat snow plate

Fig. 10 Equi-velocity line behind snow fence model

流れと下部かんげき流とが交互に巻き上がって流下している。この下部かんげき流の巻き上がりは、さく後方のさく高  $H$  の  $1.5\sim 2.0$  倍付近に吹だまりと、高濃度の吹雪による視程の悪化を生じさせることとなる。したがって、さくの吹払い性能の向上は、さく背後に形成されるはく離領域をできる限り小さくし、かつそれによる下部かんげき流の巻き上がりを防止することが重要となる。

#### 5.5 流動特性に基づく性能評価

##### 5.5.1 時間平均速度分布

防雪さくの性能を支配する下部かんげき流ならびに防雪さく背後のはく離領域を評価するために、その後方の時間平均速度分布の測定を行った。測定に当たって採用した防雪さくは、ジュコフスキー翼形防雪板を有するもので、飛雪風洞モデル実験でさくの吹払い効果が最も高いと評価された実物寸法で示すさく高  $H=2.8$  m, 下部かんげき  $K=1.2$  m, 翼形防雪板の大きさ  $W=650$  mm, 取付角  $\beta=60^\circ$  とした。また比較検討のために、現在使用されている防雪さく(従来さく)についての測定もあわせて行った。いずれのモデルも実物寸法の  $1/10$  とした。

図10は、防雪さく後方の時間平均速度に基づいて得られた  $x$  方向の速度  $u(=v \cos \theta)$  の等速度線図を示したものである。まず従来さくの下部かんげき流は

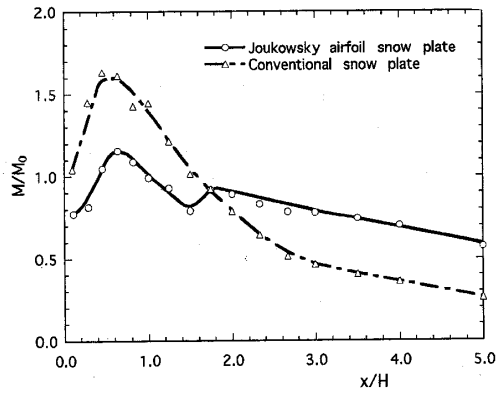


Fig. 11 Momentum of bottom gap flow of snow fence

さく直後においてかなり増速しているが、下流での路面に沿う流れの減速も早く、かつさく後方  $x/H=2$  を超えると上方に向かっている。そのために下部かんげきを通過した高濃度の吹雪は、この上方に向かって速度が大きくなる流れによって巻き上げられ、さくの吹払い効果が低下するものと考えられる。しかし翼形防雪板を有する防雪さくにおいては、さく直後の下部かんげき流の増速はあまりないが、下流での減速は小さく、かつ路面に沿って流速を保持して流下している。このように下部かんげき流が路面に沿って、かつ流速を保持して流下することによって、吹払い性能が向上するものと考えられる。

次にさく直後に形成される逆流領域(渦領域)に注目すると、従来さくのそれはさくの背後全体をほぼ覆う大規模なものとなっている。しかし翼形防雪板を有する防雪さくの逆流領域は、さく上端の翼形防雪板背後のみに形成されている。下部かんげき流の上方への巻き上がりは、防雪さく背後に形成される渦領域によって引き起こされることから、翼形防雪板を有するさくの渦領域の縮小は下部かんげき流の巻き上りを小さくし、吹払い性能を向上させることとなる。

さらに防雪板間の流れに注目すると、従来さくでは防雪板間の流れはほとんど生じていない。そのためにさく上流側の高濃度の吹雪はさく上端と下部かんげきとに分割されて通過する。それらはさく背後に形成される大規模な渦領域に引き込まれて巻き上がるために、吹雪はさく背後の空間全体に広がり、さく性能を低下させることとなる。しかし翼形防雪板を有する防雪板では、防雪板間を通過した吹雪は、それによって偏向された流れによって路面方向に流下し、下部かんげきを通過した吹雪とともに巻き上がることなく、路面に沿って移動する。その結果さくの吹払い性能が大幅に向上することとなる。

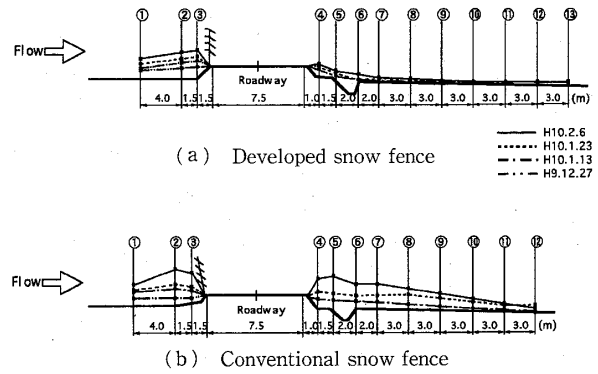


Fig. 12 Field observation for full-scale snow fence model on snow drifts

5.5.2 下部かんげき流の運動量 防雪さくの吹払い性能は、下部かんげき流ができる限り大きな流速を保持して路面に沿って流下することが必要となる。いわゆる吹雪の輸送力は、下部かんげき流が有する運動量の大きさによって支配されることとなる。図11は、速度分布の測定結果に基づいて算出した下部かんげき流の運動量を示したものである。縦軸の  $M/M_0$  は式(1)によって算出される運動量、横軸は防雪さく後方の距離  $x/H$  を示してある。

$$\left. \begin{aligned} M &= \int_0^K \rho Q v \cos \theta \, dy = \rho \int_0^K (v \cos \theta)^2 \, dy \\ M_0 &= \rho K U^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $v$  は絶対速度、 $U$  は主流速度、そして  $K$  は下部かんげきである。また  $M_0$  は下部かんげき流の速度を  $U$  と仮定した場合の運動量である。従来さくではさく直後の運動量はかなり大きなものとなっているが、下流方向での減少割合は大きく、 $x/H=5.0$  においてはさく直後のその25%程度となっている。

一方翼形防雪板を有する防雪さくにおいては、さく直後の運動量は従来さくのそれに比べて小さいが、下流方向での減少は小さく、 $x/H=5.0$  においてもさく直後のその75%とかなり大きな運動量を保持している。また  $x/H=1.7$  付近で再び運動量が増加するのは、防雪板間を通過した流れの運動量の一部が付加されるためであると考えられる。このような翼形防雪板を有するさくにおける下流方向での運動量の減少が小さいことが、吹払い性能の向上を生み出すものと考えられる。

6. 野外観測実験による性能評価

野外観測に用いた実物さくモデルは、 $L=950$  mm の円弧翼形防雪板を有し、全長 30.4 m のものである。



設置に当たっては、従来さくとの比較検討を行うために、それに隣接する形とした。性能評価に当たっては、さく風上側に3本、道路風下側に10本のたい雪高測定用ポールを設置し、たい雪高さの評価を行った。図12は、平成9年12月27日から平成10年2月6日までにおけるさく上流側と下流側におけるたい雪の観測結果を示したものである。

まずさく上流側においては、開発さくではたい雪量は少なく、下部かんげきの閉そくも生じていない。しかし従来さくではたい雪量が多いため下部かんげきの閉そくが生じている。したがって開発さくではたい雪による下部かんげきの閉そくが生じないために、つねに吹払い機能が保持されることとなる。

一方さく下流側のたい雪高さは、開発さくでは最大で50 cm程度であるが従来さくのそれは200 cmにも達している。またたい雪量も開発さくでは少なく、さく風下側の30 m付近においてもほとんど生じていない。したがってさくの下部かんげき流による吹払い効果は、さく高の10倍下流(さく後方30 m)程度においても保持されているものと考えられる。このことから、開発さくの吹払い性能は従来さくのそれに比べてかなり高いものと判断される。

## 7. 結 論

本研究で得られた結果を要約すると、以下のようになる。

- (1) 雪粒子モデルを用いた風洞実験における相似則は雪粒子の径  $d$  に基づくフルード数  $F_d (= U/\sqrt{gd})$  によって規定される。
- (2) 防雪さくの後方の下部かんげき流の巻上がりは、その背後に形成される渦領域によって誘起され

る。したがって、さくの吹払い性能の向上化を図るためには、渦領域をできる限り縮小させることである。

(3) 翼形防雪板はさく背後に形成される渦領域の縮小と吹雪流を路面方向に偏向させる。その結果路面近傍の高濃度の吹雪流は巻き上がることなく路面に沿って流下し、さくの吹払い性能を大幅に向上させる。

(4) 翼形防雪板の大きさ、取付角、ならびにさくの下部かんげきは、さく性能を支配する重要なパラメータとなり、さくの吹払い効果が最も高くなるそれらの最適値を見いだした。

(5) 翼形防雪板を有する防雪さくの吹払い性能ならびに視程は、従来さくのそれに比べて大幅に向上することが野外観測試験からも確認された。

最後に本研究は文部省科学研究費基盤研究 [(B) (2) (No. 09558048)] により行なわれたものである。ここに記して謝意を示す。

## 文 献

- (1) 山田知充・秋田谷英次・立花義裕, 寒地技術シンポジウム'88論文集, (1988), 179-184.
- (2) 日本建築機械化協会, 新編防雪工学ハンドブック, (1988), 253-254.
- (3) 坂本弘志・羽二生博之・清田稔・小畑芳弘, 機論, 58-550, B(1992), 2017-2023.
- (4) 坂本弘志, 自然災害科学資料センター報告, 13(1998), 53-65.
- (5) 石本敬志, 北海道開発局技術研究発表会論文集, (1982), 416-420.
- (6) 坂本弘志・羽二生博之・小畑芳弘, 寒地環境工学合同シンポジウム講演論文集, 8(1995), 71-80.
- (7) 坂本弘志・五十嵐裕一・村上正幸, 寒地環境工学合同シンポジウム講演論文集, 11(1998), 45-50.
- (8) 羽二生博之・坂本弘志, *J. Natural Disast. Sci.*, 17-1(1995), 53-64.