

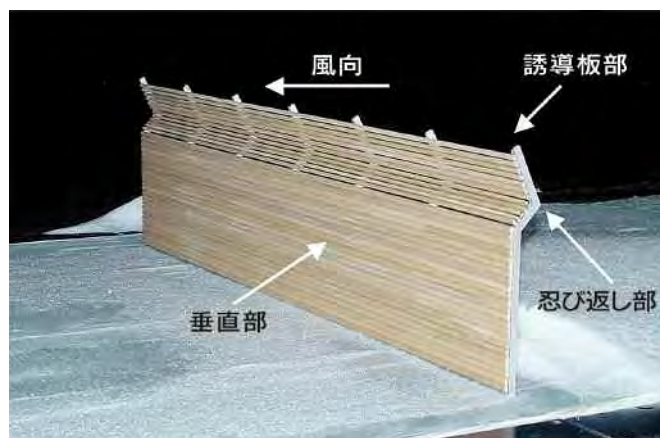
# カラマツ間伐材を用いた木製防雪柵の開発 －木製防雪柵の防雪効果－

鳥田 宏行

北海道には広大なカラマツ林が存在しており、森林の公益的機能や健全性を高めるための間伐施業が行われています。間伐施業により産出された木材は間伐材と呼ばれていますが、小径木の使用方法が限定されているため、需要の促進には新たな有効利用方法が求められています。一方、北海道は寒冷多雪な地域であるため、毎年、吹雪による交通障害が発生して、死亡事故につながることもあり、雪害（吹雪や雪崩などによる交通障害など）に対応した環境整備が急務となっています。そこで間伐材の需要喚起を視野に入れ、吹雪による雪害を軽減するための木製防雪柵を開発したので、主にその防雪効果について風洞実験と現地試験による検証結果を紹介します。

## モデル風洞実験及び現地試験の概要と結果

モデル風洞実験では、1. 柵周辺の風速分布（防風効果）、2. 吹きだまり分布（吹雪粒子の捕捉効果）、3. 吹雪粒子の動態（視程緩和効果）について検証し、実物の防雪柵を用いた現地試験では4. 野外観測（モデル実験の検証）について検証しました。写真－1に実験に使用した柵模型を示します。この防雪柵の構造は、垂直部、忍び返し部、誘導板部の3つからなり、空隙率（忍び返し部 $\alpha$  50%、誘導板部 $\beta$  =30%）は開発初期の基礎実験結果から効果的な値を採用しています。実際の柵高は4m、柱の支間3m、直径100mmの半円型間伐材からなり、実験に用いた模型柵の縮尺は、1/25（風速分布、吹きだまり分布の測定）、1/50（吹雪粒子の動態）です。1の実験には、北海道立北方建築総合研究所の環境風洞を、2と3の実験には、（独）防災科学技術研究所の低温風洞を使用しました。



写真－1 実験に用いたモデル防雪柵

写真は、斜め風下から撮影した。右側が風上に相当する。縮尺1/25。

## 柵周辺の風速分布

柵周辺の平均風速の測定は、縮尺1/25の模型柵を風洞装置の測定部に設置して実験を行いました。主流速度は10.0m/sで、測定領域は柵位置を0として水平方向に3～18H（Hは柵高を、マイナスは風上を表す。図－1参照）、鉛直方向に0～2Hです。測定間隔は－3～6H間では0.25Hで測定し、それ以外は0.5Hで測定しました。全測定箇所は453点です。

図-1に柵周辺の等風速分布 ( $u/U_0$ ) を示します。風速 $u$ は柵上流の境界層の風洞基準風速 $U_0$ で無次元化され、図-1では相対風速で表現されています。地表付近の風速の場合、風下 $< 10.2H$ では主流風速の60%、 $10.2 \sim 13.2$ では50%、 $13.2 \sim 18.0$ では40%の風速の低下がみられました。柵高 $< 1H$ の範囲では、風下 $< 10H$ で50%の風速低下域がみられました。風速は風下7H付近から回復し始め、風下17H付近で柵上流の風速と同程度となりました。

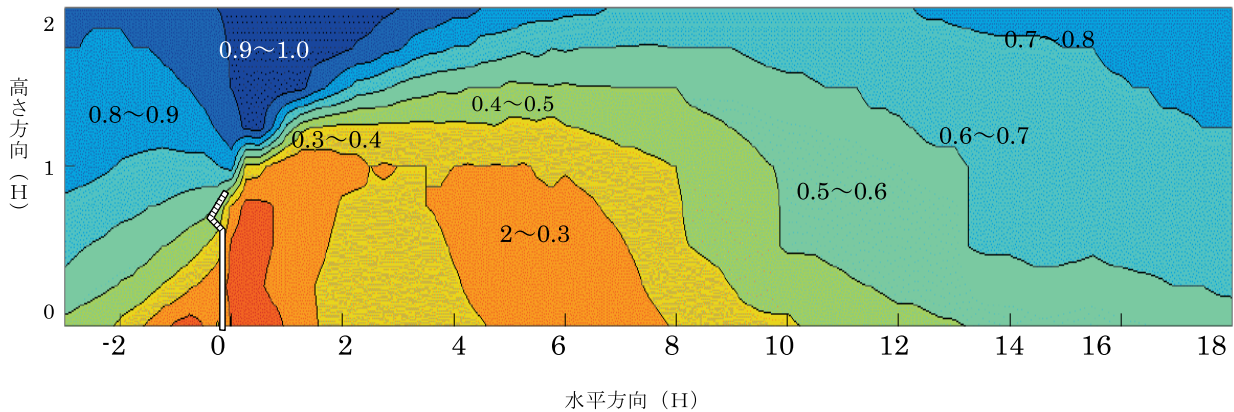


図-1 柵周辺の相対等風速分布図 ( $u/U_0$ )  
縦軸および横軸の目盛りは、柵高 $H$ で規格化している。

#### 吹きだまり分布

吹きだまり分布の測定は、縮尺1/25の模型柵を風洞装置の雪面に設置し、吹雪粒子供給装置を用いて人工吹雪実験によって行いました。実験条件は、地表を硬めの雪面で再現し、風洞内温度を約 $15^{\circ}\text{C}$ 、風洞基準風速を $7.0\text{m/s}$ で設定しました。

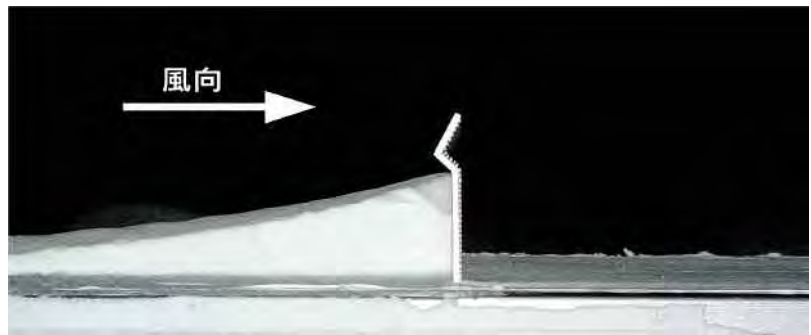


写真-2 モデル実験による吹きだまりの形成

写真-2からは、吹雪粒子が風上で捕捉されて、風下に吹きだまりの形成がないことがわかります。図-2には、吹きだまりの経時変化を示しました。実験開始後10分で、風上に吹きだまりの形成が始まり、風上側の柵近傍で、時間の経過と共に大きな吹きだまりが形成されています。一方風上側の吹きだまりの成長が著しいのに対して、風下側では、実験開始からほとんど吹きだまりの成長はみられませんでした。風上側の吹きだまりは、風上 $-7.5 \sim 0H$ に形成されました。

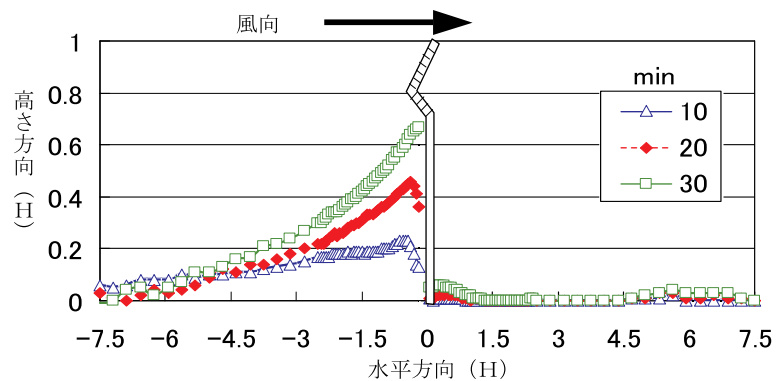


図-2 吹きだまりの経時変化

### 吹雪粒子の動態

吹雪粒子の動態は、縮尺1/50の模型柵を用いて、上記の吹きだまり分布の実験と同様に人工吹雪によって、粒子の軌跡の可視化を行って観測しました（風洞基準風速は5.5m/s）。吹雪粒子の可視化は、光源のYAGレーザーを2次元スリット光化して測定部上方から照射して行っています。写真 3には、可視化した吹雪粒子の様子を示しました。連続画像による解析からは、吹雪粒子が忍び返し部を抜けて誘導板部に沿う流れによって、風下側上方に吹き上げられ、柵風下側直後の視程が確保されるとともに、吹きだまりの形成を防いでいる様子が観測されました。風下後方に拡散された吹雪粒子が、もっとも柵近くの地表に落下する位置は、風下7H付近です。この領域を視程障害緩和領域とすると、その水平方向に風下約0～7Hの範囲内と考えられます。

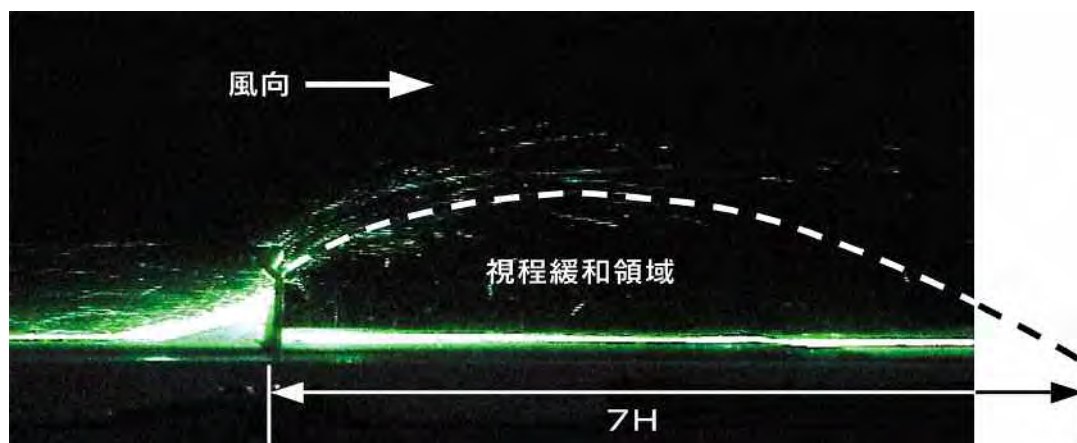


写真-3 レーザー光線による吹雪粒子の可視化  
柵を乗り越えた多くの粒子は、風下7H以降に落下した。

### 現地試験

実際に試験施工（北海道新得町、柵の総延長30m、柵高4m）を実施し、防雪柵の周辺にて気象観測を行いました。観測項目は、風速、吹雪フラックス、積雪深、気流の可視化です。風速は、風上約85mの位置に基準風速として超音波風速計を設置し、柵周辺には、3杯風速計を設置しました。また、柵周辺の水平風速分布を詳しく測定するため、風速に関する移動観測も行っています。吹雪フラックスの観測には、吹雪計（Snow Particle Counter）を用いました。柵周辺の風速分布と柵周辺および同路線対照区の柵なしの吹きだまり分布を図

3に示します（現実感を重視して、縦軸ならびに横軸は柵高で規格化せずに示しました。）。風上側の風速は、柵に近づくとつれて緩やかに低下し、風下側では急激に低下しました。吹きだまり分布は、モデル実験（写真-2、図3）に近似しており、柵に近づくとつれて吹きだまり量が急激に増してゆく傾向を示しました。これは、柵に近づくとつれて風速が低下し、同時に雪面に働くせん断応力が小さくなって吹雪粒子（跳躍粒子）が運動を停止してで

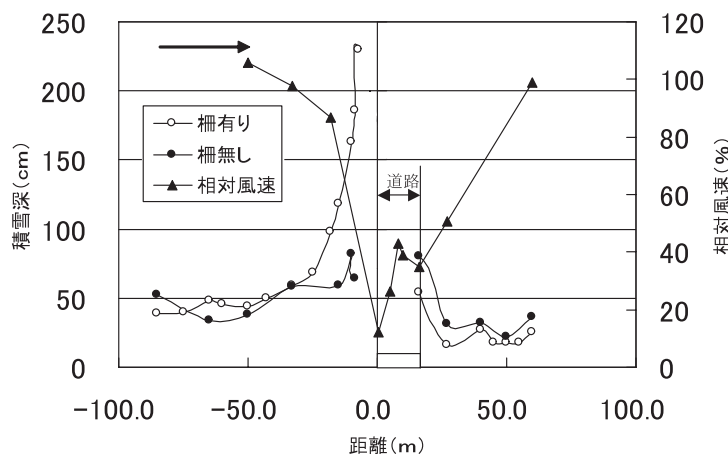


図-3 試験施工による防雪柵（実物）での観測結果

きたものと考えられます。吹雪フラックスの分布も、柵に近づくにつれてフラックスが減少する傾向を示し、吹雪粒子（跳躍粒子）の減少が確認されました（図省略）。

一方、風下においては、急激な風速の低下がみられますが、顕著な吹きだまりの形成はみられません。これは、防雪柵の垂直部において設計上の空隙率が0であるため、柵を通過する吹雪粒子がほとんど存在しないことに起因しています。しかしながら、高く舞い上がった吹雪粒子は、防雪柵の垂直部よりも高い位置を移動し、柵を乗り越える場合もあります。風洞実験では、柵を乗り越えた吹雪粒子が忍び返し部を抜けた気流に押し流されて、柵から離れた風下後方に拡散されることが示されていますが、野外観測においても同様なメカニズムが機能したため（写真 4）、風下には吹きだまりが形成されなかったと考えられます。柵を乗り越えた気流が、再び風下に着地する地点は、気流の可視化により柵から24～32m（柵高の6～8倍）であると推察されました。



#### 写真－4 気流の可視化

忍び返し部からの上昇気流によって、気流は風下後方に押し流される。これにより、風を動力とする吹雪も柵から離れた位置に吹き飛ばされる。

#### まとめ

モデル風洞実験および現地試験からは、木製防雪柵の防雪効果に関する基本性能が示されました。今回開発した防雪柵は、柵から風上に7H程度離れた位置から吹雪粒子を捕捉して、吹きだまりを形成し、高く舞い上がった吹雪粒子も特徴的な柵形状から得られる流体特性を活かし、柵の後方高く拡散させる効果があることがわかりました。拡散された吹雪粒子が再び地表に落下する位置は、柵から約6～8Hであると推測され、視程緩和領域もこれに準じた領域であることが示されました。これまでに、本木製防雪柵は、主に道内で設置が開始されており、今後の更なる改良と普及が期待されるところです。

(防災林科)