

道路防雪林の活用条件に関する考察
Study on the Use Condition of Roadside Snowbreak Forest

福澤 義文 廣瀬 哲司 加治屋 安彦

2001 年 4 月

北海道開発土木研究所
防災雪氷研究室

道路防雪林の活用条件に関する考察

Study on the Use Condition of Roadside Snowbreak Forest

福澤 義文^{*} 廣瀬 哲司^{**} 加治屋 安彦^{***}

Yoshifumi FUKUZAWA, Tetuji HIROSE and Yasuhiko KAJIYA

狭帯防雪林の防雪効果を明らかにするため、間伐材を用いた現地での試験調査と、数値シミュレーションによって検討し、狭帯防雪林の適切な規模を選定する活用条件を一試案として示した。その手法は、1)植樹条件・樹高と防雪効果、2)吹雪を抑制する目標値の設定、3)視程・風速階級別累積頻度分布、4)気象条件と植樹条件、5)狭帯防雪林の活用条件、の手順で検討を行い、対象地域の最大風速と視程200m未満の視程障害発生頻度を知ること、狭帯防雪林の活用条件が求まることを示した。例えば、最大風速が14m/s、視程200m未満の視程障害発生頻度40日の地域では、狭帯防雪林の規模として、樹高6m程度で3条林植栽が適切であることなどを明らかにした。《キーワード：狭帯防雪林、吹雪、視程障害、吹雪対策、防雪林》

There is little conventional research and study on the effects of narrow snow break tree lines. Authors made a numerical simulation test and a field test along a road by staking trees that were thinned from afforested pinewoods to promote healthy growth of the non-thinned trees. From the result, we propose a method to select appropriate scale of narrow snowbreak woods. The procedure for both tests were as follows: 1) planting condition of and height of trees and snowbreak effects; 2) setting target value of the wind velocity and the frequency of poor visibility, which both control blowing snow; 3) calmativ histograms of visibility distance and wind velocity by category; 4) weather conditions and tree planting conditions; 5) utilization condition of narrow snowbreak woods. Consequently, we were able to indicate that the appropriate scale of snowbreak woods can be obtained from the maximum, wind velocity and frequency of extreme poor visibility occurrence. For example, at a site with a maximum wind velocity of 14 m/s and extreme poor visibility occurring 40 days/winter, the appropriate scale of snowbreak is three-rows of trees with a height of about 6 m.

Keywords: narrow snowbreak forest, blowing snow, poor visibility, measures against blowing snow, snowbreak forest.

1. はじめに

道路防雪林は、吹雪の一部を風上に吹き止め道路への吹き込みを減らす防雪効果を有していることを、一般国道12号(昭和55年)岩見沢で初めて実測で確認された¹⁾。道路防雪林(以下、防雪林という)は比較的規模が小さくても防雪効果を有していることが明らかになった。この調査結果をきっかけとして、北海道の一般国道や高速道路の各地域で、防雪対策として防雪林の整備が積極的に行われてきた。防雪林は吹きだまり防止や視程障害緩和効果に優れており、防雪林整備は完成した時点では道路を広範囲に地吹雪から防ぐことができる。加えて、景観的にも美しく、自然環境を保全していく上からも優れた対策である。

しかし最近では、1)防雪林整備のための十分な道路用地確保が難しい、2)建設事業のコスト縮減が求められている、など防雪林を整備していく上での課題が多い。このため、道路防雪林の一層の整備を図るために、狭帯防雪林の視程障害緩和などの防雪効果を明らかにすることが求められている。しかし、狭い道路用地向けの防雪林整備については、吹雪対策マニュアル・防雪林編²⁾に示されていない上、狭帯防雪林の防雪効果に関わる調査・研究は余り行われていない。

本文では、現地における試験調査と数値シミュレーションによって狭帯防雪林の防雪効果を明らかにするとともに、活用条件について検討し、一試案として示す。

なお、狭帯防雪林とは林帯幅が10m未満のものをいう。

2. 現地調査による狭帯防雪林の防雪効果

2.1 調査方法

一般国道337号当別バイパスの道路用地で調査を行った。実験力所の周辺は樹木や民家が少なく強い吹雪の多発地帯である。ここで樹高3.5mの間伐材を表1、図1、及び、写真1のように設置し、異なる林帯幅による防雪効果を調査した。視程や風速観測などは視程計を搭載した視程障害移動観測車で行った。

狭帯防雪林の2条林、3条林とは樹木を道路に並行して植栽する2列植、3列植のことである。

表1 間伐材の仕様と設置方法

種類	防雪林延長 (m)	樹高 (m)	立木間隔 (m)	樹種	配置
1条	60	3.5	2	針葉樹	-
2条	60	3.5	2	針葉樹	干鳥種子
3条	60	3.5	2	針葉樹	干鳥種子

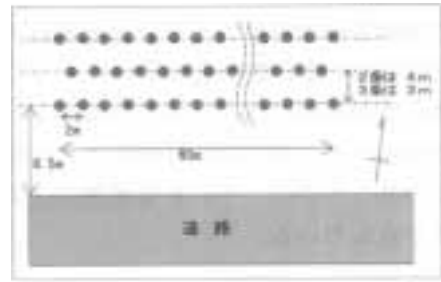


図-1 間伐材の配置



写真1 間伐材による狭帯防雪林の設置状況

2.2 狭帯防雪林の視程障害緩和効果

2.2.1 視程障害緩和効果

狭帯防雪林の視程障害緩和効果を把握するため、視程が300m未満、風速10m/s未満の条件での視程緩和率を示したのが図2である。ここで基準点の位置は、狭帯防雪林の中央から主風向方向(北北西)に35m離れた

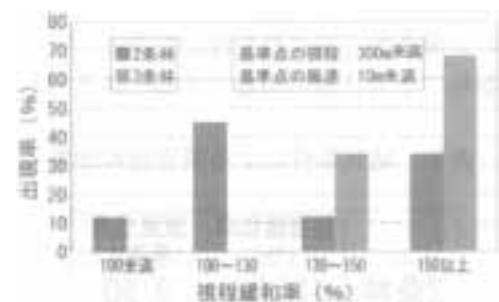


図2 視程緩和率階級別出現率

た位置である。また、視程障害緩和率とは基準点の視程と狭帯防雪林区間の道路上の視程との比で、(%)で示す。3条林の場合、視程緩和率150以上の出現率が約70%であるが、視程緩和率130未満の出現はみられない。2条林では、視程緩和率100未満が約10%出現し、100~130の階級の出現率が高い。視程障害緩和率150%以上の2条林での出現率は、3条林のそれらに比べて半減していて、3条林の視程障害緩和効果が高いことがわかる。

視程障害緩和効果の影響範囲を把握するため、視程と密接に関係する飛雪量の水平分布を植栽条件別に比較した(図3)。風下側の吹雪量比にバラつきはあるが、基準点でのそれに比べて小さい値を示している。道路上に相当する3Hでの吹雪景比は2条林と3条林で同程度であるものの、その影響範囲は3条林の効果が遠くまで及んでいる。

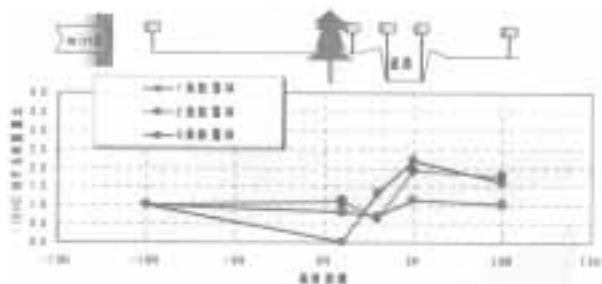


図3 飛雪量の水平分布

表2には、視程100m程度の強い吹雪時の視程障害緩和効果を視程緩和率の平均値で示した。林帯幅が広いほど視程障害緩和効果が増大し、3条林での視程改善効果は169%と大きく改善している³⁾。この結果は、石本ら¹⁾が、一般国道12号岩見沢で行った、狭い林帯幅の防雪林による視程障害緩和調査の結果と同程度の視程改善効果である。さらに石本らは、吹雪が強まるほど視程改善効果が増大することを観測データで確認している。これらの調査結果を勘案すると、観測時と同程度の気象条件下での視程障害対策として、3条林の植栽条件で十分に対応可能であると考えられる。

表2 植栽条件による視程緩和効果

	視程緩和率 (%)	減風効果 (風速比)
2条林	135 (%)	0.50
3条林	169 (%)	0.42

2.2.2 減風効果

狭帯防雪林内の風速と基準点での風速との散布図を図4に示す。さらに、林帯幅10mの道路防雪林による観測結果を比較して示した。2条林、3条林ともに減風効果を有している。とくに、3条林での回帰式の勾配は2条林のそれより小さく、風速の増大に伴い減風効果が高まる傾向が明らかである。これと林帯幅10mの道路防雪林による結果を比較すると、狭帯防雪林の

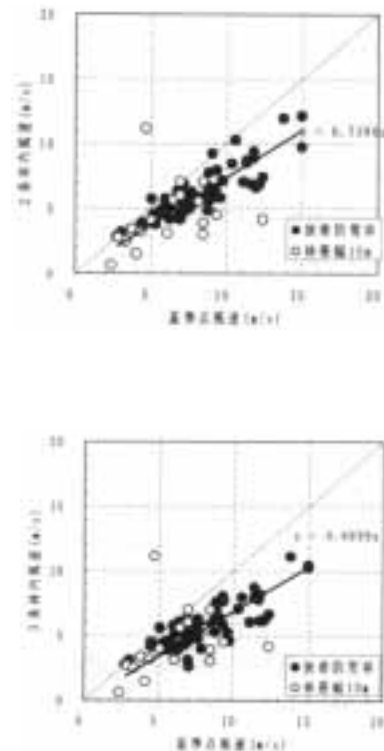


図4 防雪林内と基準点の風速の分布比較

減風効果は小さい傾向を示しているが、これは樹高、林帯幅の違いによるためである。

また、風速の高度分布を2条林、3条林について比較したのが図5である。高倍距離は観測点高度(Y)、樹高(H)とするとY/Hである。2条林より3条林の方が減風効果大きい。高倍距離が大きいと風速比は小さくなり、高倍距離が0.5以上では、風速比は0.6以上となり減風効果が期待できなくなる。つまり、無積雪時は樹高が十分でも、積雪や除雪の影響で防雪林周辺の積雪が増加し、一定の樹高確保が困難な場合は十分な減風効果を得ることが難しいことを示唆している。

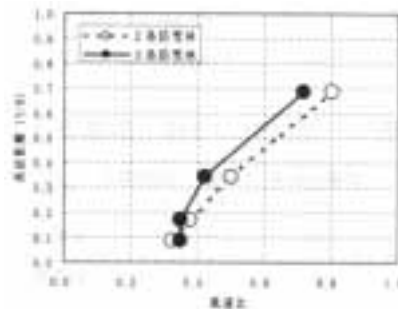


図5 風速比と高倍距離の関係

3. 狭帯防雪林の活用条件の検討

狭帯防雪林の活用条件を検討する場合、樹木の生長過程に応じた視程障害緩和機能の把握が重要になる。樹木は生長に伴い樹高や枝張りが大きくなり、葉面積密度も高まるため防雪効果が徐々に増大する。しかし、現地実験で成長過程に応じた防雪効果調査を行うことは非常に難しい。このため、数値シミュレーションなどによって活用条件を検討する。

3.1 狭帯防雪林の活用条件の検討手法

狭帯防雪林の活用条件の検討を図6のフローに示す手法で行う。

1) 数値シミュレーションによる植樹条件・樹高別の防雪効果の算出

数値シミュレーションにより、植樹条件・樹高別の視程障害緩和、減風効果などについて検討する。

2) 視程障害緩和と風速抑制の目標値の設定

吹雪を抑制する目標値を設定する。視程 200m 未満の視程障害発生日数を、目標値として 10 日間に抑制する。また、風速を地吹雪発生の臨界風速 5m/s 以下に抑制する。

3) 吹雪対策の強弱別視程と風速階級別の累積頻度分布、及び、吹雪を目標値以下に抑制したと判断する視程改善率と風速比の検討

過去の気象データから、吹雪対策の強弱により視程と風速の累積頻度分布を算出する。そして、吹雪を目標値以下に抑制したと判断する視程改善率と減風率を求める。これと、数値シミュレーションで求

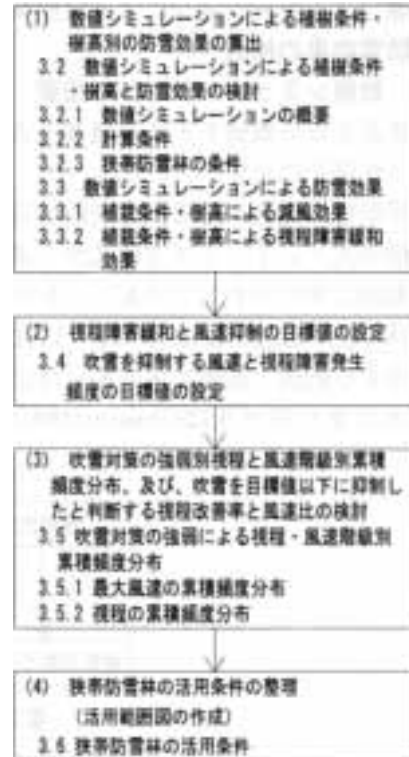


図6 狭帯防雪林の活用条件検討フロー

めた植樹条件・樹高別の視程改善率と減風率の結果を考慮して、適切な気象条件と植樹条件・樹高の関係を求める。

4) 狭帯防雪林の活用条件の整理

3) の検討で得られた気象条件と植樹条件・樹高との関係から、狭帯防雪林の活用範囲図を作成する。

表3 数値モデルの概要

気流計算モデル	
座標系	直交座標系
基礎方程式	連続の式・レイノルズ方程式
乱流モデル	K-εモデル
初期条件	対数則により作成
境界条件	初期値固定(上端・流入側)、freeslip(流出側)
防雪林の扱い	Liu et al. (1996)
解法アルゴリズム	SIMPLER法(バタンカー、1985)
吹雪・吹きだまりモデル	
基礎方程式	移流拡散方程式
吹きだまりモデル	Uematsu et al. (1991)

3.2 数値シミュレーションによる植樹条件・樹高と防雪効果の検討

3.2.1 数値シミュレーションの概要

吹雪・吹きだまりの数値モデルの概要を表3に、数値計算フローを図7に示す。

本計算は平坦地形であるため、直交座標系を用いた。気流場は連続の式・レイノルズ方程式から求め、乱流モデルは一般的に用いられているK-モデルを採用した。防雪林の扱いはLiu et al.(1996)⁴⁾に従い、葉面積密度に相当する抵抗・乱流エネルギーなどを与えた。

吹雪・吹きだまりモデルはUematsu(1991)⁶⁾を基本

3.2.2 計算条件

(1) 地形条件

計算地形は平坦として2次元の数値計算を行った。また、雪堤の高さは試験防雪林付近で現地観測実施時の高さを参考に1.0mとした。また、防雪林の設置位置は、間伐材による試験防雪林設置方法と同様に、路側から8.0mとした。

(2) 気象条件

気象条件は実際に出現した激しい吹雪を想定した。移動気象観測による観測視程が100m程度(一般国道275号当別)であった2000年1月11日の吹雪を想定する。

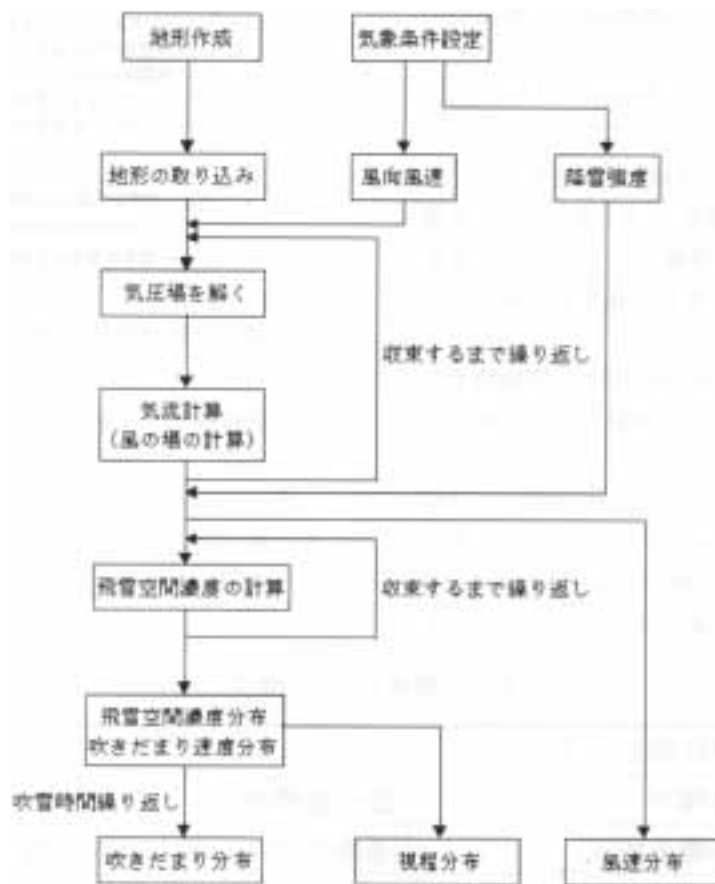


図7 数値計算フロー

としたモデルを採用した。本モデルの特徴は、跳躍による雪の移動を考慮している点である。雪面に最も近い格子において、沈着速度および侵食速度が求められ、これらの差によって吹きだまり速度が求められる。

また、浮遊による雪の移動は、移流拡散方程式によって求めた。

風速を12.0m/sとし、雪堤の高さは、間伐材の試験防雪林区間で0.93~0.96mであるため1.0mとした。

3.2.3 狭帯防雪林の条件

計算に用いた防雪林の条件を表4に示す。高さは3.5mを基本とし、狭帯防雪林の生長に伴う防雪効果の変化を把握するため、樹高5.0m、7.0mの計算も実施した。

3.4 吹雪を抑制する風速と視程障害発生頻度の目標値の設定

狭帯防雪林の適正規模の検討にあたって、吹雪発生の主要なファクターである風速と視程障害発生頻度を明らかにする。そのため、目標値を定めて吹雪の発生を抑制する必要がある。

目標値設定の考え方としては、

地吹雪発生の臨界風速が5m/sであるため、風速を同程度まで抑制する。

吹雪・降雪によって視界状況が、かなり不良になる視程は平均200m未満⁸⁾であるため、視程200m未満の発生頻度を10日間まで抑制する。

である。

吹雪抑制の目標値を示したことで、対応する視程改善率と減風効果を求める必要がある。

次に吹雪対策の強弱別の階級別累積頻度分布について検討する。

3.5 吹雪対策の強弱による視程・風速階級別累積頻度分布の比較

3.5.1 最大風速の累積頻度分布

石狩地方は北海道でも有数の強い吹雪の多発地帯である。ここでの日最大風速の累積出現頻度分布をアメダス観測データから求めて図9に示した。過去23冬期のデータを使用している。

無対策では、地吹雪発生の臨界風速である5.0m/sより風速が低い日の出現頻度が約30%と低く、日常的に雪堤からの飛雪による視程障害が発生していると推測される。しかし、防雪林などで風速を30%減少させること(風速比70%)で、風速5m/s以上の出現頻度を約50%に抑制できることがこの図からわかる。また、風速を70%減少させた(風速比30%)場合、風速m/s以上の出現がほぼなくなり吹雪の発生を抑制できると考えられる。このことから、地吹雪による視程障害の

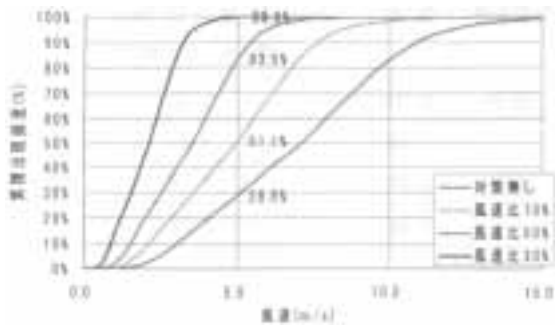


図9 吹雪対策の強弱による風速の累積出現頻度分布の比較

抑制には風速比30%以下の植栽方法を選択する必要がある。

3.5.2 視程の累積頻度分布

図10はアメダス観測データから推定算出した日最低視程の累積出現頻度分布である。対策無しの状態で視程1000m以下の出現頻度を100とし、対策による累積発生頻度の変化をみた。対策により1.2倍に視程が改善された場合、視程200m未満の視程障害の出現率は、無対策の場合の60%に減少する。また、視程が2.0倍の改善率では、視程200m未満の出現率が無対策の場合の23%になる。つまり、視程改善率2.0倍の狭帯防雪林を植栽することで、視程障害発生頻度を約1/4倍(23%)に抑制できるということになる。これらをまとめると図11となり、この関係から表6の植栽条件・

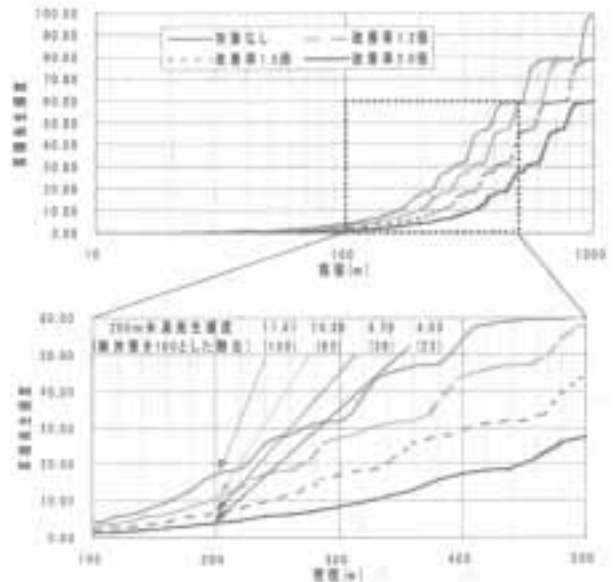


図10 対策の強弱による視程の累積出現頻度の比較

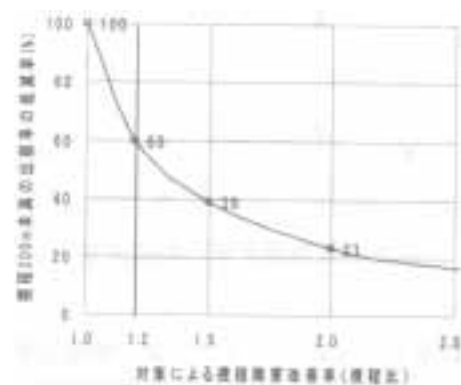


図11 対策による視程障害改善率(視程)と視程200m未満出現率の低減率との関係

表4 計算に用いた防雪林の条件

植栽方法	樹高
2条	3.5 m, 5.0 m, 7.0 m
3条	3.5 m, 5.0 m, 7.0 m

なお、雪堤の高さを1.0mとしたため計算上有効な狭帯防雪林の高さは1.0m低くなる。

防雪林の葉面積密度(PAD)は、同樹種であれば単位面積当たりの植栽密度に比例すると仮定し、佐藤ら7)が千歳市のアカエゾマツ防風林で観測した結果との比例関係から、0.94m²/m³とした。

また、形状に注目すると、高さによる枝の長さの違いや枝下の空隙など、1本の防雪林においても枝葉の疎密がみられる。ここでは、枝下高(H=0.1m)までの葉面積密度を0とした。また、樹冠層の形状がほぼ円錐形であることから、図8に示すPAD鉛直分布、つまり防雪林の先端でPAD=0とし、1/2の高さ(H=1.8m)ではPADが平均葉面積密度と等しくなるようにし、葉の抵抗係数は0jとした。

実施した計算は狭帯防雪林の無い状態を含め中程度の吹雪の場合と激しい吹雪の場合の計算をしたので、

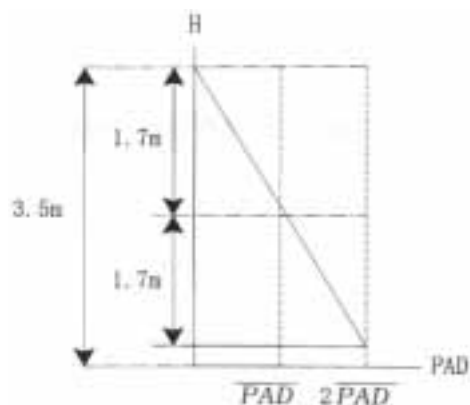


図8 葉面積密度の鉛直分布

3.3 数値シミュレーションによる防雪効果

3.3.1 植栽条件・樹高による減風効果

数値シミュレーションで得られた対策後の風速比を示したのが表5である。この結果から、現地の風速分北海道開発土木研究所月報 No.575 2001年4月

布を把握し、対策後に目標とする地吹雪発生臨界風速5 m/s以下の風速出現率を定めることで、選択可能な狭帯防雪林の植栽条件を決定できる。

表5 狭帯防雪林による減風効果の比較

植栽条件	樹高	対策後風速比
		風速 12.0 m/s
2条	3.5 m	0.60
3条	3.5 m	0.49
	5.0 m	0.36
	7.0 m	0.34

3.3.2 植栽条件・樹高による視程障害緩和効果

植栽条件・樹高による視程障害緩和効果を求めたのが表6である。地吹雪の発達する風速12m/s、降水量1.0mm/hrの条件による視程比を示した。視程比とは、数値シミュレーションで求める対策前の視程を1.0として、対策後の視程との比をいう。つまり、視程改善率を示していることになる。

樹高3.5mの2条林、3条林での視程比を、視程障害緩和率で現すと112%、131%となり、約10%~30%視程が改善されることになる。この結果は、表2に示す間伐材による現地試験結果に比べて低い視程障害緩和率であるが、これは、風速12m/sの強風条件で計算を行ったため、中程度の吹雪として計算した風速6 m/sの場合では、現地試験結果とほぼ同程度の視程障害緩和効果が得られたため、狭い林帯幅の防雪林でも高い視程障害緩和効果を得られるものと考えられる。

表6 狭帯防雪林による視程障害緩和効果の比較

植栽条件	樹高	対策後視程比
		風速 12.0m/s 降水 1.0mm/hr
2条林	3.5m	1.12
3条林	3.5m	1.31
	5.0m	1.79
	7.0m	2.05

樹高別の視程比（視程改善率）に対応する、視程 200 m 未満の視程障害出現率の改善率を求められる（表 7）。

例えば、視程 200m 未満の視程障害の発生が年間 30 日の対象地域では、防雪対策を施すことで視程障害発生日数を 10 日にする場合、視程障害発生率が 29% の 3 条林（樹高 5 m）の狭帯防雪林で対応するのが適切であるということである。

表 7 視程改善率(視程比)と視程障害出現率の低減率の関係

植栽条件	樹高 (m)	視程改善率(視程比)	視程障害出現率の低減率 (%)
2条林	3.5m	1.12	73%
3条林	3.5m	1.31	51%
	5.0m	1.79	29%
	7.0m	2.05	22%

効果とを対比し、狭帯防雪林の選択可能な活用条件を図 12 に示した。

X 軸は対策前の視程 200m 未満の視程障害発生日数であり、Y 軸の風速は、目標とする 5 m/s 以下の風速発生頻度に対応する対策前の最大風速である。この関係から、対象地域の視程 200m 未満の視程障害発生日数と最大風速を知ること適切な狭帯防雪林の植栽方法を決定できる。

なお、雪面からの樹高が等しければ防雪効果は等しいと仮定している。また、目標とする視程障害発生日数を 5 日とする場合は X 軸の数値を 1/2 に、20 日の場合は X 軸の数値を 2 倍におきかえる。

4. まとめ

現地における試験調査と数値シミュレーションにより、狭帯防雪林の適切な規模を選定する活用条件について、一試案として示した。

対象地域の最大風速と視程 200m 未満の視程障害発

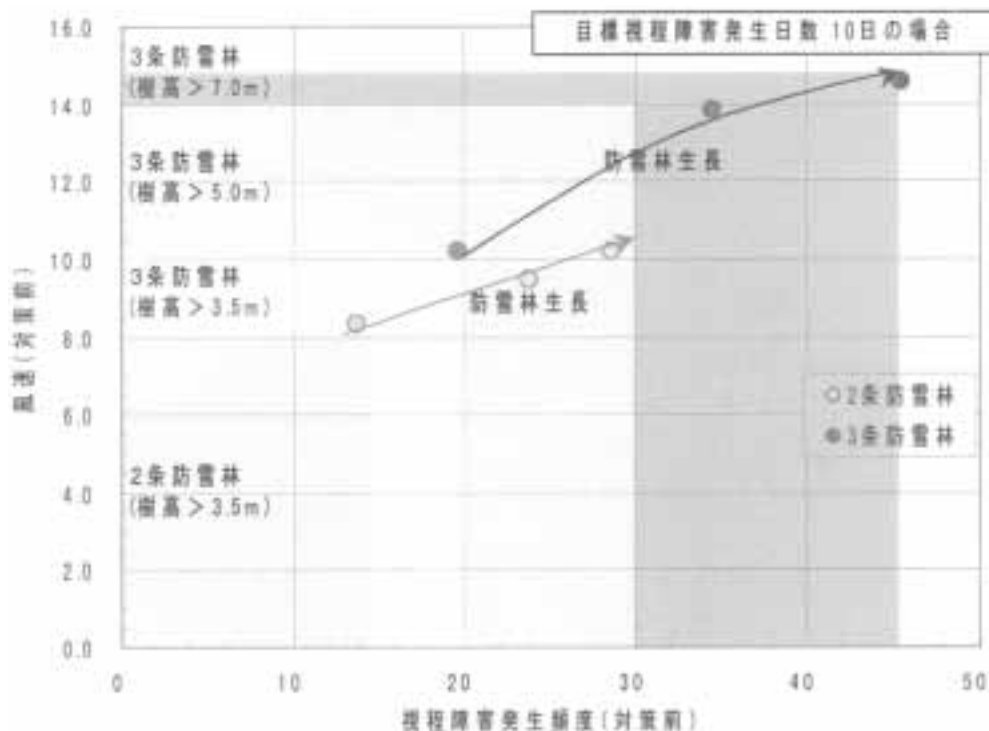


図 12 狭帯防雪林の活用条件(目標：視程 200m 未満の視程障害発生日数 10 日の場合)

3.6 狭帯防雪林の活用条件

吹雪対策の有無による風速と最低視程の累積頻度分布から、吹雪強さを目標値に抑制する風速比と視程改善率を求めた。これと数値シミュレーションで得られた異なる植栽条件・樹高での減風効果と視程障害緩和北海道開発土木研究所月報 No.575 2001年4月

生頻度を知ること、選択可能な狭帯防雪林の植栽方法を図 12 の関係から容易に決定できる。ただ、視程障害の発生頻度分布によっては活用範囲が変化することに注意を要する。また、狭帯防雪林の活用条件外でも、風速と視程障害発生頻度を抑制する目標値を変えるこ

とで、活用範囲が広がる可能性がある。

狭い道路用地において狭帯防雪林による吹雪対策の検討を行ったが、降雪や除雪作業によって防雪林周辺に積雪や雪堤が生じることもある。これにより雪面上の樹高が見かけ上は低くなり、十分な防雪効果を得ることが難しい状況になることも考えられる。

今後、樹高6～7mの狭帯防雪林の活用条件を検証するため、現地実験などで継続して防雪効果調査を行う予定である。

謝 辞

本調査の実施にあたって、(財)日本気象協会北海道支社調査部道路調査課の小林利章氏、畠山拓司氏に多大なご尽力を頂いた。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 石本敬志、竹内政夫、福澤義文、野原多喜男、1980:道路防雪林による吹雪時の視程障害緩和効果、土木試験所月報、No320、210-215.
- 2) (社)北海道開発技術センター、1990:道路防雪対策マニュアル(案)防雪林編、北海道開発局監修、平成2年3月、1-140.
- 3) 福澤義文、加治屋安彦、廣瀬哲司、丹絵和博、川俊一:道路防雪林の防雪機能に関する検討、平成11年度寒地技術シンポジウム、1999年11月.
- 4) Liu, J., Chen, J. M, Black, T. A. and Novak, M. D.,1996:E-ε modeling of turbulent air flow downwind of a model forest edge. Boundary-Layer Meteorol.,77、21-44 .
- 5) S. V.パタンカー、コンピュータによる熱移動と流れの数値解析、森北出版、1985.
- 6) Uematsu,T.,Nakata,T.,Takeuchi,K.,Arisawa,Y. and Kaneda,Y.,1991,Three-dimensional numerical simulation of snowdrift.Cold Reg.Sci.Technol.20 , 65-73.
- 7) 佐藤隆光、浦野慎一、武田知己、2000、幅と密度の異なった防風林における風速分布の観測、農業気象、56(1)、25-30.
- 8) 建設省、2000 : ITS プロジェクトの全国展開に係る展開ガイドライン、2000年4月、1-96.



福澤 義文*

北海道開発土木研究所
道路部
防災雪氷研究室
副室長
博士(工学)



廣瀬 哲司**

旭川開発建設部
道路第二課
道路防災係長
(前防災雪氷研究室
研究員)



加治屋安彦***

北海道開発土木研究所
道路部
防災雪氷研究室
室長