

道路防雪林の下部における防雪機能の検討

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 雪氷チーム ○原田 裕介
同上 吉井 昭博
同上 松下 拓樹

道路防雪林下部の防雪機能が低下した場合における補助対策工の設置諸元を検討するために、北海道の国道における先行事例を調査した。また、下枝打ち(約2m)前後の植物面積密度を求め、下枝打ち後にネット柵(空隙率50%)・シート柵(空隙率0%)を導入した気象観測、空隙率の異なるネット柵およびシート柵(空隙率50%・34%・0%)を設置し、吹雪後の柵周辺の吹きだまり形状観測を実施した。その結果、補助対策工は高さ1.5-2.0m程度、空隙率34%程度のネット柵を、道路防雪林の風上側林縁または林内に施工するのが望ましいことが示された。

キーワード: 道路防雪林、補助対策工、維持管理、防雪機能

1. はじめに

道路防雪林(以下、防雪林)は、道路の風上側または両側に林帯を造成し、風速を減じさせ吹雪による吹きだまりや視程障害を緩和する防雪施設である¹⁾。北海道の国道では、防雪林は1976年より造成され、2022年時点の総計は約140kmである²⁾。また、防雪林は防雪施設と共に、グリーンインフラ推進のための施設とも位置づけられる³⁾。第9期北海道総合開発計画では、自然共生社会の形成に向けた施策として、景観に配慮した防雪林整備や、地域と協働した維持管理等の北海道の地域特性を活かした道路整備・維持管理が示されている⁴⁾。

北海道に防雪林が造成されてから50年近くが経過し、成長に伴う林内木の下枝の枯れ上がりや林内の維持管理のための下枝打ち(枝下高2m程度)を実施した場合に、林内の密度が低下することで防雪機能が低下する懸念が指摘されている^{例えは2)5)}。また、急速に発達した低気圧によってもたらされる暴風雪に伴う障害や、生産年齢人口の減少に伴う人材不足が今後予想される中、防雪林の設計と維持管理の両面において、効率的かつ効果的な手法が必要と考えられる。これまで、道路吹雪対策マニュアルでは、現地の最大吹きだまり量(平年値)に応じた林帯幅10m、20m、30mの各タイプの標準林が規定され¹⁾、併せて下枝の枯れ上がりが見られる防雪林の管理手法に関する技術資料(案)が示されている⁶⁾。しかし、厳冬の暴風雪について、要求性能に基づいた防雪林の設計および補助対策工の設置手法は確立されていない。

著者らは、UAV-LiDAR測量および解析で得られた防雪林の植物面積密度($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$)(Plant Area Density; 以下PAD)の横断方向の積算値(以下 ΣPAD)を用いて、暴風雪時における防雪林の性能を評価する技術を検討している。これまで、常緑針葉樹で構成された林帯を用いて林況調

査と気象観測を行った。それらの結果を整理のうえ、 ΣPAD と風速比・飛雪流量比との関係にもとづくベンチマークデータを作成した⁷⁾⁸⁾。また、ベンチマークデータを用いて適切な計算設定を整理のうえ、防雪林の樹齢や林帯幅に応じた ΣPAD を考慮した数値シミュレーションを実施し、防雪効果との関係を検討した。併せて、下枝の枯れ上がりがみられる防雪林について、補助対策工の設置による防雪効果向上の可能性を評価した⁹⁾。加えて、林帯の現地条件に応じた ΣPAD の推定が可能となるよう、UAV-LiDAR測量解析結果を用いて、防雪林で想定される部位(常緑針葉樹の着葉部・落葉部・生枝高さ(枯れ上がり高さ)未満、落葉したヤナギ)のPAD($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$)を設定した¹⁰⁾。

防雪林の下部における防雪機能を確保するために、補助対策工として空隙を有する防風ネット柵(以下、ネット柵)、空隙のないシート柵(空隙率0%)、防雪林の間引き材を利用した施設などの設置、ならびに中低木が挿植される場合がある。本稿では、防雪林の補助対策工に着目し、はじめに北海道の国道における先行事例を調査した結果を示す。つぎに、防雪林の下部空間の差異と補助対策工による防雪機能を検討するために、石狩吹雪実験場の幅20m長さ20mの林帯を対象に、下枝打ち(枝下高2m程度)前後の ΣPAD を求め、ネット柵(空隙率50%)、シート柵(空隙率0%)を導入した気象観測を2冬期実施した結果を示す。また、釧路圏摩周観光文化センターに構築した吹雪観測サイトに、空隙率の異なるネット柵およびシート柵を設置し、吹雪後の柵周辺の吹きだまり形状を観測した結果を示す。これらの結果に基づき、防雪林の下部における防雪機能について補助対策工導入の観点から考察した。

2. 北海道の国道における先行事例の調査

以下に、公表資料と現地確認による結果を示す。

(1) 公表資料

a) ネット柵・シート柵

ネット柵・シート柵の効果を調査した事例として、原田ら¹¹⁾（一般国道44号浜中町茶内防雪林）や、松島ら¹²⁾（一般国道40号天塩町雄信内防雪林）による報告がある。原田ら¹¹⁾は、2020年3月5日～6日の暴風雪時に、茶内防雪林高さ3.2mの補助柵（1.0m幅のパネル3段構造：下段はシート（空隙率0%）、中段・上段はネット（空隙率50%））施工区間で現地観測を実施した。防雪林の風上側林縁に設置された補助柵によって約75%、防雪林内に設置された補助柵によって約24%の吹雪粒子が捕捉されていたこと、併せて補助柵の風下側の樹木（風上側林縁はモンタナマツ、防雪林内はアカエゾマツ成木）に吹雪粒子が付着していたことを確認した（図-1）。松島ら¹²⁾は、2020年度冬期前に雄信内防雪林内中央部に施工した高さ3.0mのネット柵（空隙率50%）について、2021年2月3日の暴風雪時に、雪粒子がネット柵および前後に吹きだまりとして捕捉され、かつ写真判別により道路上の吹雪による視程低下が改善された可能性が高いことを示した（図-2）。

b) 間引き材

一般国道238号浜猿防災事業（浜頓別工区）では、管内の防雪林の間引き材を利用した補助柵を2種類制作・設置のうえ、柵前後の吹きだまりについて調査を行った¹³⁾。その結果、間引き材補助柵は、空隙率を低減させることで、吹雪粒子の捕捉効果が大きくなることが示された（図-3）。

(2) 現地確認

既設防雪林の現況を把握するために、北海道開発局旭川・釧路・網走・稚内開発建設部管内を対象に現地確認を行った。

a) ネット柵・木柵

一例として、一般国道40号中川町国府防雪林などでは、防雪林の風上側林縁に鋼製のネット柵が設置されていた（図-4左）。また、一般国道238号猿払村浜猿防雪林や枝幸町岡島防雪林などでは、防雪林の風上側・風下側林縁に木柵が設置されていた（図-4右）。

b) 間引き材

一般国道391号弟子屈町川湯防雪林では、千鳥間引き実施後の間引き材の枝を払ったうえ、幹を約4m間隔で玉切りし、玉切りした幹を防雪林内の列に沿ってピラミッド状（高さ約1m程度）に積み重ねて配置されていた（図-5左）。また、払った枝は、防雪林風上側林縁周辺に列状に配置されていた。一般国道243号弟子屈町仁多防雪林では、林帯の中央部を列間引きのうえ、発生した間引き材を防雪林風上側林縁林縁周辺に列状に配置されていた（図-5右）。

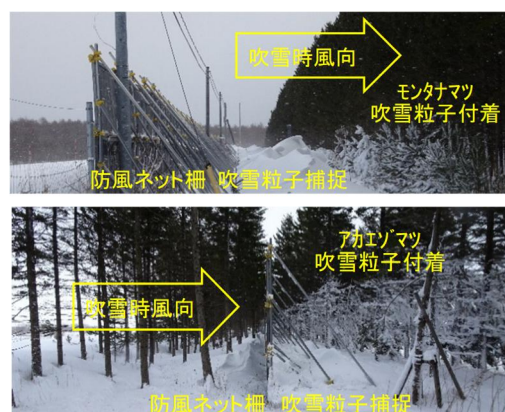


図-1 補助柵の吹雪粒子の捕捉状況¹¹⁾
(於：茶内防雪林 上；風上側林縁、下；防雪林内)



図-2 ネット柵の設置および吹雪粒子の捕捉状況¹²⁾
(於：雄信内防雪林 左；施工時、右；暴風雪時)



図-3 間引き材補助柵の設置状況¹³⁾
(於：浜頓別工区 左；H29設置、右；H30設置)



図-4 左；鋼製のネット柵（於：国府防雪林）、
右；木柵（於：猿払防雪林）



図-5 間引き材の配置状況
(左；川湯防雪林、右；仁多防雪林)

3. 石狩吹雪実験場での現地観測

北海道の南西部に位置する寒地土木研究所石狩吹雪実験場（N43°12'，E141°23'；吹雪時卓越風向W～NNW）において、林況調査および吹雪に関連する気象観測をAおよびB林帯を対象に2冬期実施した（図-6）⁸⁾。ここでは、A林帯を対象に、概況、林帯の構造やPADを把握することを目的とした林況調査、気象観測方法を示す。

(1) 方法

a) A林帯の概況

A林帯は、マツ科植物（常緑針葉樹）を主体とする長さ約80m、幅15-30m、樹高約10mの林帯（N-S方向）で、2022/23および2023/24冬期に林況調査、定点気象観測、吹きだまり観測を実施した。ここでは、林帯に直交する3つの調査測線（W-E方向；A-1からA-3）を設けた（図-6右上）。なお、測線A-1では、2023/24冬期前に、図-6右中の緑点線に示す範囲における平均高さ2mまでの下枝を除去した。2024/1/30にネット柵（空隙率50%：高さ2m×幅15m）を測線始点から横断方向8.6m付近に設置した。加えて、2024/2/28にネット柵からシート柵（空隙率0%）に変更した。

b) 林況調査

LiDARおよびデジタルカメラが搭載されたUAV（DJI Matrice300RTKおよびZemuse L1；以下UAV-LiDAR）を用いて、点群データの取得および写真撮影を、2022/12/2と2024/5/9（測線A-1周辺の枝打後）に実施した。UAV-LiDAR測量では、林帯の鉛直下向き（0°）、斜め（45°）、横向き（60°）から、反復および非反復走査パターンのスキャンモードで計測した（図-6左下）。得られたraw scan data

を用いて、ソフトウェア（DJI Terra）によりLAS形式の点群データ（3D XYZデータ）を作成した。その際、降水粒子を含むLASデータは点群編集ソフト（CloudCompare）を用いて手動でクリーニングした。また、ラップ率80%のカメラ画像を用いて、Structure-from-Motion/Multi-View-Stereo（SfM-MVS）法により観測範囲のオルソ画像（GeoTIFF）を作成した。また、2022/23冬期前にA-1～A-3の調査測線を中心とした幅10mの調査区で、樹木の生育状況調査を実施した（図-7右）。樹木の生育状況調査では、樹高、胸高直径、樹冠幅、生枝高さ（枯れ上がり高さ）、枯枝の下限高さを測定した（図-8）。

c) 気象観測

A林帯では、2022/23冬期および2023/24冬期に気象観測を実施した。測定要素は、吹雪量計（SPC-95）による飛雪流量、プロペラ型風速計（KDC-S04）による風向風速で、高さ1.8mにA林帯の風上側1点、風下側3点に各センサーを設置した（図-6右上）。測定間隔は1分（風向風速）、1秒（吹雪の質量フラックス）とした。これらのデータは10分間の統計データとして整理した。また、石狩吹雪実験場内およびその周辺で降水強度と気温を計測した。A林帯における計測期間と要素を表-1に示す。

(2) 結果

防雪性能（風速比、飛雪流量比；風下側の計測値／風上側の計測値）に影響を与える常緑針葉樹林帯の要素や、

表-1 計測期間と要素（A林帯）⁸⁾に加筆

		2022/23 年冬期	2023/24 年冬期
期 間	開始	2022.12.10	2023.12.1
	終了	2023.3.9	2024.3.30
要 素	林帯風上側	- 風向風速	- 風向風速
	林帯風下側	- 飛雪流量(A-1 欠測)	- 飛雪流量
	実験場	- 降雪強度（降水換算）	- 気温

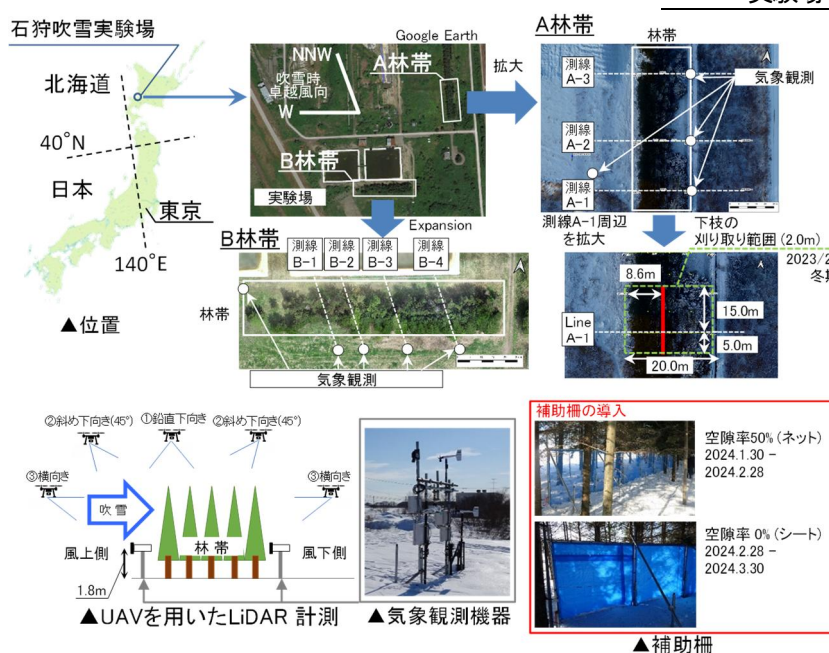


図-6 観測箇所の概要 ⁸⁾に加筆

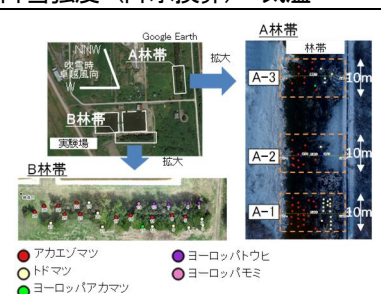


図-7 樹木の生育状況調査位置 ⁸⁾に加筆

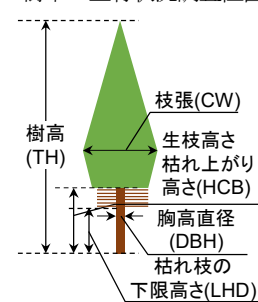


図-8 樹木の生育状況調査部位 ⁸⁾に加筆

ネット柵・シート柵導入の効果を把握するため、林況調査（UAV-LiDAR測量および生育状況調査）と気象観測結果を整理および解析した。A林帯では、風上側観測点において以下の気象条件を対象とした。

- ・風向：W
- ・風速（1.8m高さ）：5m/s以上（風速比）
3m/s以上（飛雪流量比）
- ・気温：0℃以下（飛雪流量比）
- ・降水強度：0<Pr≤5mm（飛雪流量比）

a) 気象観測高さ 1.8mにおける PAD の算出

UAV-LiDAR 測量により鉛直下向き(0°)、非反復走査計測で取得した点群データから、Bouvier et al. (2015)¹⁴⁾の方法が実装されている統計ソフトRのライブラリlidRを用いて¹⁵⁾、測線を中心とした幅10mを対象にPADの平均値の横断分布（解像度1m³グリッド）を作成した（図-9）。lidRは、上部から照射されたレーザーが内部に到達するまでの減衰過程をモデル化した方法である。本手法の防雪林への適用については、林況調査結果との妥当性が確認されている⁸⁾。なお、0-1m高さは地表面の影響を受けるため除外した。つぎに、各測線における1.8m高さのΣPADの平均値（ΣPAD_Ave.H1.8m）を表-2に示した。ここで、1.8m高さのPADは、1-2mと2-3m高さのPADグリッド値の平均とした（図-9参照）。その結果、測線A-1（下枝打ち前）～A-3は6.35～7.34(m² m³)、A-1の下枝打ち前後で2.16(m² m³)の低下となった。

b) 樹木の生育状況および気象観測

樹木の生育状況調査の結果、測線A-1は概ね7列で構成され（図-7）、下枝打ちにより風上側林縁の生枝高さ（HCB）の平均値が1.2mから2.0m、全体の枯枝高さ（LHD）の平均値が1.3mから2.3mとなった（図-10）。つぎに、気象観測から得られた風速比・飛雪流量比を、図-11にそれぞれ示した。ここで、測定位置が風下側林縁から離れると風が強まり、風速比が増加することに留意したい（測線A-2；図-6右上参照）。風速比や飛雪流量比の両方と関係が見られた樹木観測の要素は、1.8m高さのΣPADの平均値で（表-2）、測線A-3と測線A-1（下枝打ち前）は林帯幅が同じ（19m）でも風速比が異なっていた。また、測線A-1（下枝打ち後）は測線A-1（下枝打ち前）より風速比が約0.35大きくなった。このことから、下枝打ちした箇所のΣPAD_Ave.H1.8mの

差（2.16(m² m³））が、風速比に影響を与えることが確認された。加えて、測線A-1の補助柵の効果について、ネット柵（空隙率50%）、シート柵（空隙率0%）の順に風速比が小さくなり、シート柵の風速比は枝打ち前と同程度であった（図-11）。つぎに、飛雪流量比について、PAD_Ave.H1.8mが0.36(m² m³)大きくかつ林縁から測器までの距離が1mの測線A-3の方が、測線A-2よりも小さかった。また、測線A-2・A-3とも、風速が大きくなるにつれて、飛雪流量比が小さくなることが確認された。

4. 弟子屈吹雪観測サイトでの現地観測

北海道の東部に位置する釧路圏摩周観光文化センター内に、寒地土木研究所が構築した弟子屈吹雪観測サイト（N43° 31′, E144° 27′；吹雪時卓越風向NW～NNW）にお

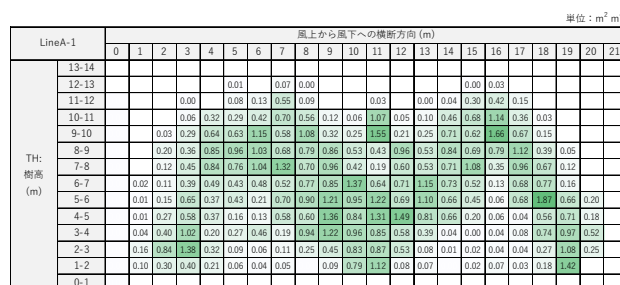


図-9 平均 PAD 分布の横断図（測線A-1；下枝打ち前）¹⁰⁾

表-2 各測線における 1.8m 高さの ΣPAD の平均値

測線 Line	下枝 打ち	ΣPAD_Ave. H1.8m(m ² m ³)	測線 Line	ΣPAD_Ave. H1.8m(m ² m ³)
A-1	前	6.35	A-2	6.98
A-1	後	4.19	A-3	7.34

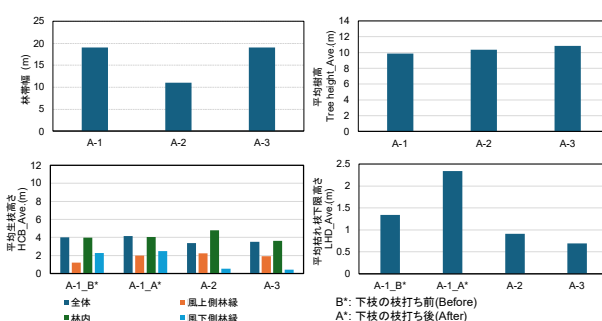


図-10 樹木の生育状況調査結果⁸⁾に加筆

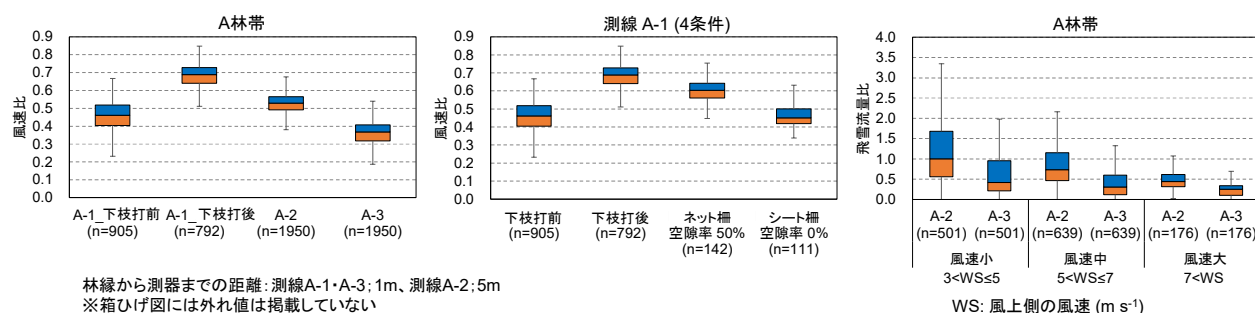


図-11 A 林帯の風速比・飛雪流量比⁸⁾に加筆

いて、ネット柵およびシート柵の吹きだまり範囲および形状の観測を実施した^{16, 17)}。その結果を以下に要約する。

(1) 方法

a) 吹きだまり範囲

シート柵・ネット柵の差異による吹きだまり範囲を推定するために、2024年2月13日にシートとネット（空隙率34%）を、それぞれ幅7.5 mと6.5 m・高さ1mのフェンスに取り付け、シート・ネット柵を設置した。吹きだまり範囲を調べるためのUAV（DJI Phantom 4 Pro）による空撮を、吹雪前の2月15日と吹雪後の翌16日に実施し、空撮画像をSfM処理することで、吹雪前後の雪面形状の変化を取得した。また、UAV空撮と並行して、シート・ネット柵の中央から卓越風向に沿って積雪深を2月15日、16日、3月6日の計3回実測した。

b) 吹きだまり形状の経時変化

12時間程度地吹雪（風向は概ねフェンスに直交し一定）が継続したイベント時における、吹きだまり形状の経時変化を把握するために、幅7.5m・高さ1mのフェンスを各吹雪イベント前に設置のうえ、以下に示す期間に吹きだまりを観測した。吹きだまりの形状は、小型LiDAR（Livox Horizon）を用いて、1時間間隔で行い、各々10秒間で点群を取得した。

- ・シート；2022年1月9日6-17時
- ・ネット（空隙率34%）；2024年2月16日0-12時
- ・ネット（空隙率50%）；2025年1月7日12時-8日0時

(2) 結果

a) 吹きだまり範囲

吹きだまりは吹雪前の平坦でない雪面の影響を受けた可能性があるため、以下の①と②の仮説で柵のみによる吹きだまり範囲を推定した（表-3）。

①吹きだまりは発達するので、積雪深は変化する

②吹きだまり形状は風上・風下の二峰型となる

また、基準面（風上側の吹きだまり末端）からの柵の高さにより吹きだまり形状を規格化した結果、シート柵に比べネット柵は風上側に広く雪を捕捉し、風下側に雪を深く溜める機能を示した（図-12）。

b) 吹きだまり形状の経時変化

各吹雪イベントの12時間経過後における、柵周辺の積雪深の分布を図-13に示す。その結果、シート柵では、フェンス風上1.5 m付近にピークが形成され、風上側に延びている。フェンスによる吹き下ろしの影響で、フェンス近傍の吹きだまりは見られない。フェンス風下側に吹きだまりは形成されない。また、ネット柵（空隙率34%および50%）では、風上側の吹きだまりは、フェンスに近づくにしたがって増加し、フェンスに隣接する領域で最大となっている。空隙率34%では、フェンス風下1.5 m付近に大きなピークが形成され、それより後方では、積雪が急速に減少し、3.0 m付近でほぼ積雪が見ら

れない。空隙率50%では、フェンス風下3.0 m付近まで、フェンス風上と同程度の積雪深が続いた後、6.0 m付近まで緩やかに減衰していた。

5. 考察

2章から4章の結果に基づき、防雪林の下部における防雪機能について補助対策工導入の観点から考察した。

(1) 先行事例の調査

防雪林施工箇所によって、補助対策工の種類や配置箇所が異なっていることが確認された。補助柵（ネット・シート柵）の高さは2-3mで、暴風雪後における柵周辺の吹きだまりの飽和は認められなかった^{11, 12)}。設置位置は、補助柵（ネット・シート柵）および間引き材とも風上側林縁または林内であった。間引き材補助柵および木柵は、該当箇所の吹雪時風向が道路のR・L側（両方向）かつ年間を通して強風のため、林帯の風上側・風下側に設置され、道路上の吹雪の軽減のほか樹木の保護機能を有していると考えられる。

(2) 石狩吹雪実験場での現地観測

A林帯の気象観測結果から、防雪林の防雪機能のうち減風効果はΣPADに影響し、吹雪粒子の捕捉効果はΣPADや風速が大きくなるほどその効果が大きくなること

表-3 仮説①を積雪深の実測データ（2/15, 16, 3/6）、②をDEM差分データ（2/16吹雪後）に適用した場合の吹きだまり範囲¹⁶⁾

吹きだまり範囲	①	②	①&②
ネット柵	-7~6 m	-7.5~2 m	-7~2 m
シート柵	-4~5 m	-5~2 m	-4~2 m

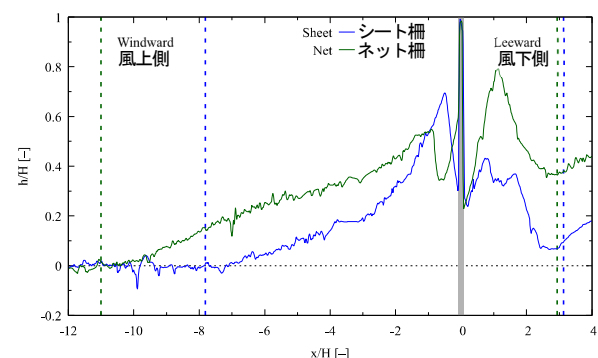


図-12 基準面からの柵の高さ(H)で規格化した吹きだまり範囲¹⁶⁾

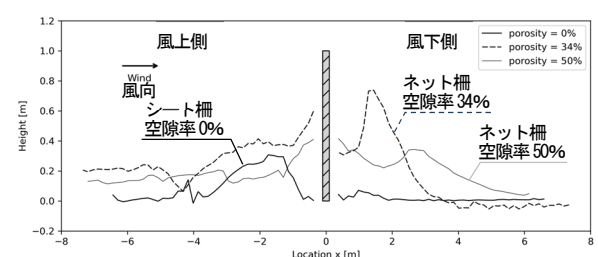


図-13 12時間経過後の積雪深の分布¹⁷⁾

が確認された。つぎに、測線A-1について、下枝打ち後は下枝打ち前より風速比が約0.35大きくなり、 Σ PAD_Ave.H1.8mの差が $2.16(\text{m}^2 \text{ m}^3)$ であったこと、シート柵（空隙率0%）の風速比は下枝打ち前と同程度、かつネット柵（50%空隙率）の風速比は下枝打ち後とシート柵の中間程度（図-11中）であったことから、ネット柵（50%空隙率）はPAD_Ave.H1.8mが $1.0(\text{m}^2 \text{ m}^3)$ 程度、シート柵は $2.0(\text{m}^2 \text{ m}^3)$ 程度の減風効果が定性的に見積もられる。ただし、柵周辺の吹きだまり捕捉は考慮していない。

(3) 弟子屈吹雪観測サイトでの現地観測

飛雪を吹きだまりとして捕捉する場合は、ネット柵（空隙率34%）が優位であることが確認された。ネット柵（空隙率50%）は、空隙率34%より飛雪を捕捉しない。また、ネット柵（空隙率34%）の風上側の吹きだまり範囲は高倍距離（水平距離／柵高）の10倍程度、風下側は最大で高倍距離の5倍程度を見積もるのが望ましい。加えて、シート柵（空隙率0%）について、風下側に堆雪する場合は渦流で運ばれた雪が想定される。

(4) 総括

① 防雪林の下枝打ちが枝下高2m程度であること、下枝打ちを実施しない場合の枯れ枝の下限高さが1m程度であることを考慮すると、補助対策工の高さは1.5-2.0m程度が望ましい。② 補助対策工の設置位置について、防雪林の風上側林縁周辺に設置するのが優位であると考えられる。ただし、ネット柵（空隙率34%）の場合、風上側の吹きだまり範囲は高倍距離の10倍程度であることを踏まえて、風上側の地権者と必要に応じて事前協議を実施するのが望ましい。また、林内に設置する場合は、道路除雪の影響を考慮し、ネット柵（空隙率34%）の場合は二次堆雪帯から高倍距離5倍程度を確保するのが望ましい。林内にシート柵（空隙率0%）を設置する場合は、風下側（道路側）の風速の低減が期待されるが、柵の風下側の樹木に飛雪がより多く付着し、柵直上の風速も強まることが考えられるので、樹木に係るモーメントを考慮すると避けることが望ましい。加えて、補助対策工を防雪林の風下側に設置するのは不利であると考えられる。景観面の観点から、道路近傍となる風下側林縁付近に中低木を捕植する場合は、防雪機能のうち吹きだまり捕捉効果を期待しないことが望ましい。③ 間引き材について、防雪林の風上側林縁または林内に、玉切りした幹をピラミッド状に配置、払った枝を列状に配置する場合は、凸部周辺での吹きだまり捕捉効果が期待される。また、大型土嚢（高さ1m程度）を防雪林の風上側林縁または林内に配置する場合も、吹きだまり捕捉効果が期待できると考えられる。いずれの場合も、防雪林の風下側に設置するのは避けることが望ましい。

6. 今後の取り組み

常緑針葉樹で構成される防雪林の成長モデルを考案のうえ、樹齢や成長過程に応じた防雪林下部（地面から

5mまで）における Σ PADの平均値を推定する。また、防雪林の要求性能の目標値を設定のうえ、 Σ PADの平均値と吹雪との関係を整理し、目標値に満たない場合における補助対策工の設置諸元を提示する予定である。

謝辞：防雪林と補助対策工との関係について、東京科学大学大風翼准教授、新潟大学新屋啓文准教授と議論させていただいた。記して、御礼申し上げる。

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）, 2011.
- 2) 原田裕介ほか: 道路防雪林における今後の課題と対応策の検討. 第67回(2023年度)北海道開発技術研究発表会発表論文集, pp.785-790, 2024.
- 3) 国土交通省: グリーンインフラ推進戦略2023. 23p, 2023.
- 4) 国土交通省: 第9期北海道総合開発計画. pp.30, 2024.
- 5) 大宮哲ほか: アカエゾマツ防雪林を対象とした樹木の成長モデル作成検討. 寒地土木研究所月報, 830, pp.67-73, 2024.
- 6) (国研) 土木研究所寒地土木研究所: 下枝の枯れ上がりが見られる防雪林の管理手法に関する技術資料(案), 28p, 2023.
- 7) Harada, Y., et al.: Observations and analysis to develop performance requirements for a Living Snow Fence during severe snowstorm events, Proceedings of International Snow Science Workshop 2023, pp.803-810, 2023.
- 8) Harada, Y., et al.: Analysis of field observation data to develop performance requirements for living snow fences during severe snowstorm events, Proceedings of International Snow Science Workshop 2024, pp. 905-911, 2024.
- 9) Harada, Y., et al., 2026: Development of performance requirements for living snow fences during severe snowstorm events, 17th World Congress on Road Winter Service, Resilience and Decarbonisation (Accepted for publication).
- 10) 原田裕介ほか: 道路防雪林における植物面積密度の設定. 第寒地技術シンポジウム論文集, 41, I-029, 2025.
- 11) 原田裕介ほか: 補助工法が導入された道路防雪林の効果検証に向けた現地観測—2020年3月一般国道44号浜中町茶内防雪林の事例—. 第64回(2020年度)北海道開発技術研究発表会発表論文集, pp.425-430, 2021.
- 12) 松島哲郎ほか: 既設道路防雪林の機能向上に関する一考察（第1報）—一般国道40号 天塩町雄信内での補助柵設置による視界不良対策事例—. 寒地土木研究所月報, 826, pp.27-40, 2022.
- 13) 磯田卓也ほか: 浜猿防災事業における防雪対策の取組について—間伐材を用いた防風柵の効果検証—. 第63回(2019年度)北海道開発技術研究発表会, pp.141-146, 2020.
- 14) Bouvier, M., et al.: Generalizing predictive models of forest inventory attributes using an area-based approach with air-borne las data, Remote Sensing of Environment, 156, pp.322-334, 2015.
- 15) GitHub_r-lidar/lidR: Airborne LiDAR data manipulation and visualization for forestry application, <https://github.com/r-lidar/lidR> ; 2026年1月7日閲覧
- 16) 新屋啓文ほか: ネット式防雪柵による吹きだまり範囲の推定—その1: シート式防雪柵との比較・検証—. 雪氷研究大会(2025・津)講演要旨集, pp.152, 2025.
- 17) 大風翼ほか: ネット式防雪柵による吹きだまり範囲の推定—その2: 小型LiDARによる吹きだまり形成過程の比較—雪氷研究大会(2025・津)講演要旨集, pp.153, 2025.