

# 道路防雪林における樹木の成長モデル案の作成

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 ○ 大宮 哲  
同上 吉井 昭博  
同上 原田 裕介

道路防雪林を適切に形成・維持管理するためには、「計画・設計、施工、育成管理のライフサイクルモデル」を作成することが望ましいが、それには樹木の成長に応じた防雪機能を定量化することが不可欠である。本研究では、その前段として、北海道内18防雪林35箇所樹木調査を実施したほか、過去の樹木調査結果も用い、成長に応じた樹高・胸高直径・生枝高さ・枝張り・枯枝高さを整理のうえ、道路防雪林における樹木の成長モデル案を作成した。

キーワード：吹雪対策、道路防雪林、防雪機能の定量化、グリーンインフラ

## 1. はじめに

### (1) 防雪林の概要

道路防雪林（以下、防雪林）は、吹雪から道路を守るための防雪施設であり、樹林帯による風速の低減や吹雪粒子の捕捉により、道路上の吹きだまりや視程障害を緩和する効果がある。

日本における防雪林の造成は、1977年に北海道岩見沢市岡山（一般国道12号）で始まった。現在も各地で新規造成が進められており、2019年4月時点で、北海道内の国道では累計延長約86km（のべ延長約100km）が整備済みである<sup>1)</sup>（図-1）。

### (2) 研究背景と目的

防雪林を構成する樹木の樹高や着葉度合い、生枝高さ（枯れ上がり高さ）、枝張りなど（図-2）は、防雪機能の大小に影響する要素である。樹木は生き物である故、成長とともに防雪機能も経年変化するが、成長と防雪機能の向上は必ずしもイコールではない。例えば、成長とともに樹高が大きくなる一方、林帯内部の樹木下部には太陽光が届きにくくなるため、徐々に下枝が枯れ上がって生枝高さが高くなり、防雪機能は低下する（図-3）。

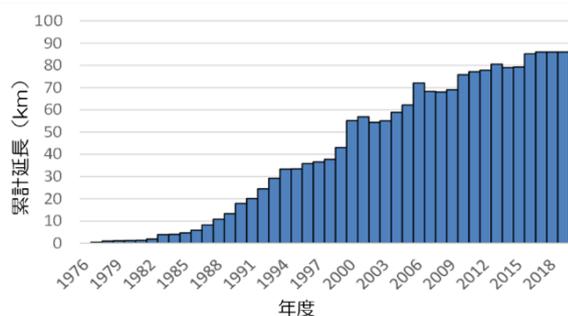


図-1 防雪林の整備延長の推移

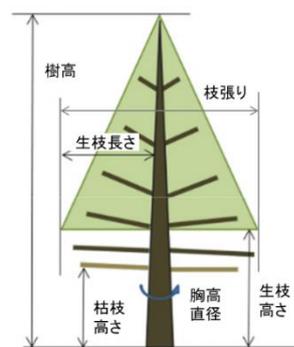


図-2 樹木のイメージ図<sup>2)</sup>を改変



図-3 下枝の枯れ上がりによる防雪機能の低下

下枝の枯れ上がりが今後想定される防雪林に対しては「間引き処理」が、すでに枯れ上がっている防雪林に対しては「低木の導入」や「補助柵の設置」が有効とされている<sup>3)</sup>など。しかし、樹木の成長と防雪機能の関係は定量的にも時系列的にも明らかにされていないため、これらは定性的な記述に留まっている。

道路吹雪対策マニュアル<sup>4)</sup>には樹木の成長予測<sup>5)</sup>に基づく長期的な維持管理計画モデルが提示されているが、この成長予測は産業目的の造林データに基づくものであり、防雪林を対象としたものではない。防雪林は土木工事を伴う人工地盤に造成されること、強風を伴う場所に造成されることなど、林業における造林とは生育環境が異なる。より適切な維持管理計画を策定するためには、防雪機能に影響する要素（生枝高さや枝張りなど）の時

間変化についての知見が必要である。

防雪林を構成する樹木の成長に関する既往研究としては、上田ら<sup>2)</sup>による年輪解析と枝階解析に基づく分析や、伊東ら<sup>6)</sup>による樹木の生育状況調査等があるが、調査事例数は十分とは言えない。著者らは、北海道内の防雪林で最も多く植栽されているアカエゾマツの成長モデルを作成することを目的に、2024年4～5月にアカエゾマツの成長に関する基礎データを計測した。データの整理・解析には、今回の調査結果に加え、過去2回（Ⅰ期：1994年、Ⅱ期：2014～15年）にわたって実施された同様の樹木調査結果<sup>6)</sup>なども使用した。

本研究では、樹高・胸高直径・生枝高さ（枯れ上がり高さ）・枝張り・枯枝高さの経年推移について整理・解析したほか、アカエゾマツで構成される防雪林（以下、アカエゾマツ防雪林と呼ぶ）の成長モデル案を作成したので、その結果について報告する。

## 2. 調査の概要

### (1) 調査箇所(Ⅰ期・Ⅱ期・今回)について

Ⅰ期調査では、北海道内のアカエゾマツ防雪林20地点39箇所195本を対象に調査が行われた（1箇所あたり5本。調査樹木を特定できる情報なし）。Ⅱ期調査では、Ⅰ期で調査した防雪林のうち、詳細な場所を特定できなかった箇所や工事中の箇所などを除いた18地点35箇所132本を対象に調査が行われた（1箇所あたり4本程度。調査樹木を特定できる情報あり）。なお、実際に調査した個々の樹木についてはⅠ期とⅡ期で異なっていた可能性が高いと報告されている<sup>6)</sup>。図-4に、防雪林の地点と箇所のイメージを載せる。

Ⅰ期調査時には下枝が枝打ちされた樹木はなかったが、Ⅱ期調査時には18地点35箇所132本中、11地点20箇所79本において枝打ちが実施されていた（枝打ち高さは地面から最大2.2m程度まで）。林業における「枝打ち」は、ふしの無い良質な材木を作る目的で機械的に行われる。一方、防雪林においては、積雪（吹きだまり・除雪等）の影響による枝折れ等を防ぐために行われるが<sup>7)</sup>、効率的な管理作業の観点からも枝打ちが実施された<sup>8)</sup>。

今回の調査では、Ⅱ期調査と同一の地点・箇所・調査樹木を対象とした。調査項目は樹高・胸高直径・生枝高さ・生枝長さ・枯枝高さである（図-2）。今回調査を行ったアカエゾマツ防雪林18地点を図-5に記す。

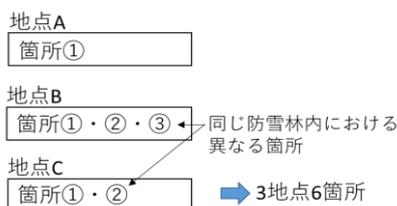


図-4 防雪林の地点と箇所（イメージ）



図-5 調査対象としたアカエゾマツ防雪林の地点

### (2) 調査方法

樹高・生枝高さ・生枝長さ・枯枝高さの計測には、検測桿（長さ12m）と箱尺（長さ5m）を使用した（樹木サイズに合わせて適宜選択）。樹高計測の様子を写真-1に示す。生枝の高さと長さは、それぞれ4方向について（道路に対する縦断方向と横断方向）、各方向ごとに最も長い枝について記録した。胸高直径は、幹周を巻尺で計測した値から求めた。なお、樹高12mを超える樹木については、検測桿を最大に引き伸ばした状態で、離れた場所から目測した。

### 3. データの整理・解析方針

伊東ら<sup>6)</sup>は、樹木の各種成長データを林齢（植栽からの経過年数）の観点から解析しているが、防雪林ごとに植栽時点の樹齢は異なる。今回の調査対象林は樹齢5～15年の樹木を植栽して造成されたものであり、最大で10年間の幅がある。また、本研究の目的は防雪林の成長予測モデルを作成することであるため、本稿では全て樹齢との関係について解析した。なお、Ⅰ期、Ⅱ期それぞれで樹齢不明箇所が1箇所ずつあり、そのデータは解析には使用しなかった。Ⅰ期とⅡ期の調査樹木は異なっていた可能性が高いと報告されているが<sup>6)</sup>、両調査とも各箇所の標準的な樹木を調査対象としたであろうと推察されることから、本解析ではⅠ期とⅡ期のデータには連続性があると仮定して扱った。



写真-1 検測桿による樹高計測の様子

#### 4. 結果と考察

##### (1) 調査樹木

###### a) 調査数

今回調査対象とした樹木（Ⅱ期調査と同じ 18 地点 35 箇所 132 本）のうち、17 地点 34 箇所 128 本についてはⅡ期調査と同一の樹木を特定することができ、うち 15 地点 26 箇所 96 本の成長データを取得した（1 箇所あたり平均 3.7 本）。128 本中 32 本は人為的伐採等による欠損のため、データを取得することができなかった。データを取得できた 96 本のうち、5 本は枯死していた。また、生きていた樹木 91 本中 74 本（11 地点 21 箇所）は、枝打ち実施済みのものであった。

###### b) 樹木の生育立地

成長データを取得した樹木（枯死木を除く）、91 本を生育立地ごとに分類したところ、①林帯の内部に位置していた樹木（以下、林内木）は 49 本（9 地点 16 箇所）、②林帯の縁に位置していた樹木（以下、林縁木）は 10 本（3 地点 5 箇所）、③その他は 32 本（7 地点 10 箇所）であった。「その他」に分類した樹木は、過去には林帯内部に位置していたものの、経年による周辺環境の変化（人為的伐採や倒木等）によって林帯内部と見なすことができなくなったものなど、林縁木か林内木かの区別が不明瞭だったものが該当する。なお、林内木と林縁木が混在している箇所が 5 箇所あったが、林内木と林縁木に分けて別の箇所として扱った。

##### (2) 樹木の各種成長データと樹齢の関係

樹木の各種成長データ（a：樹高、b：胸高直径、c：生枝高さ、d：枝張り、e：枯枝高さ）と樹齢の関係を図-6 に示す。図中には、各調査期におけるデータ数（調査箇所数）N を付記した。なお、一部の防雪林については植栽時の樹高が記録されていたため、図-6a にはその樹高も記載してある。また、Ⅰ期では枯枝高さの調査は実施されていない（図-6e）。図-6a、図-6b、図-6c は調査箇所ごとの平均値である。図-6d は、樹木ごとの平均生枝長さと胸高直径から求めた枝張りを、調査箇所ごとに平均した値である。

図-6a、図-6b より、樹高と胸高直径は樹齢とともに線形的に増加する傾向があることが確認できる。図中には、線形近似式とその決定係数  $R^2$ 、近似式による推定値に対するバラツキの度合いを示す二乗平均平方根誤差（RMSE）をそれぞれ付記した。この近似式に基づくと、樹高と胸高直径の年平均成長量は、それぞれ約 0.3m と約 0.5cm である。なお、一般的に、樹木学では樹高の成長は樹齢とともにロジステック曲線（S 字曲線）を描くとされているが<sup>9)</sup>、その曲線は樹木の寿命までの期間を対象としたものである。北海道の原生林におけるアカエゾマツの平均寿命は 255 年程度とされていることから<sup>10)</sup>、

本結果に示す樹齢 50 年程度までの期間内ではロジステック曲線に当てはめるのは適当ではないと考える。また、実務面からの扱いやすさについても考慮し、ここでは線

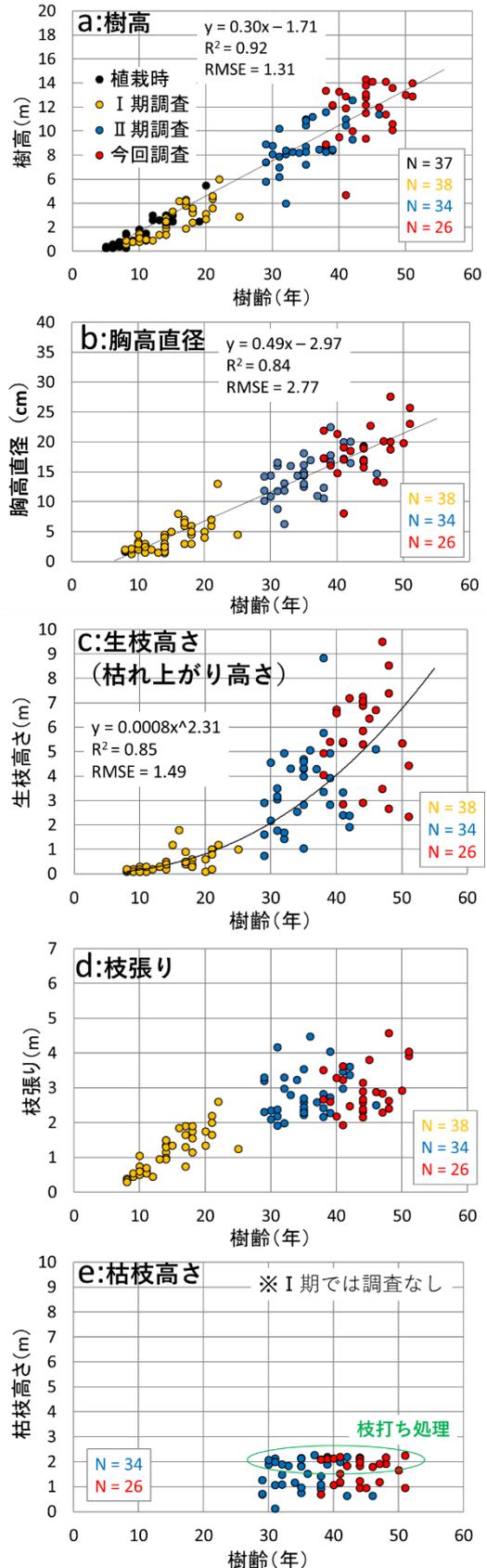


図-6 樹木の各種成長データと樹齢の関係

(a: 樹高, b: 胸高直径, c: 生枝高さ, d: 枝張り, e: 枯枝高さ)

形近似に従うと仮定した。

調査対象とした防雪林の一部において、I期調査からII期調査の間に枝打ちが実施されていたことは上述のとおりであるが、**図-6c**のII期調査結果から、生枝高さの多くは枝打ち高さ（最大約 2.2m）をすでに超えている。また、このII期調査において、生枝高さが 2.2m 以下のプロットは、全てが枝打ち未実施の防雪林箇所であった。以上より、生枝に関するデータ（**図-6c**：高さ、**図-6d**：枝張り）に対する枝打ちの影響は無いと考えられる。したがって、生枝に関するデータはI期調査から今回調査にかけて連続性を有するものとして扱う。

**図-6c**より、生枝高さは樹齢とともに急速に増加する傾向があることが確認できるが、これは樹木の枯れ上がりが急速に進行することを示すものである。図中には、第一近似として、べき乗近似式とその  $R^2$ 、RMSE を付記した。

**図-6d**より、枝張りはII期調査時からほぼ頭打ち状態であることが確認されたが、この考察については次節で述べる。

**図-6e**より、枯枝高さは枝打ち高さ（最大約 2.2m）を超えておらず、II期調査時からほぼ不変であった。これは、枝枯れ後も落枝せずに幹に付着し続けることを示す結果であり、現地での目視観測からも枯枝が生枝高さまで多数残っている事を確認した。

### (3) 林内木に着眼した整理

林内木は四方が他の樹木と隣接している一方、林縁木は一方方向が開けている。この開けた方向は太陽光を遮るものがないため日光状態が良く、相対的に枯れ上がりが生じにくい。**写真-2**に示す林縁木の様子からも、開けた林縁方向は枝ぶりが良く、低い位置まで生枝が存在していることが確認できる。

本研究の目的はアカエゾマツの成長モデルを作成することであるが、その次の研究ステップとして、この成長モデルに基づく防雪林の成長予測と防雪機能の定量化および時系列変化の把握、さらには防雪林の維持管理に関するライフサイクルモデルの作成を目指している。そこで、本節では防雪機能の低下に寄与する枯れ上がりの生じやすさの違いに着眼すべく、樹木の生育立地の違いの点からデータを再整理した。**図-6**に示した樹木の各種



写真-2 林縁木の枝ぶりの違い

成長データを、林内木とそれ以外（林縁木・その他）とに分け、**図-7**に示した。ここでは、II期調査と今回調査のデータ（個々の調査樹木が特定されている箇所のデ

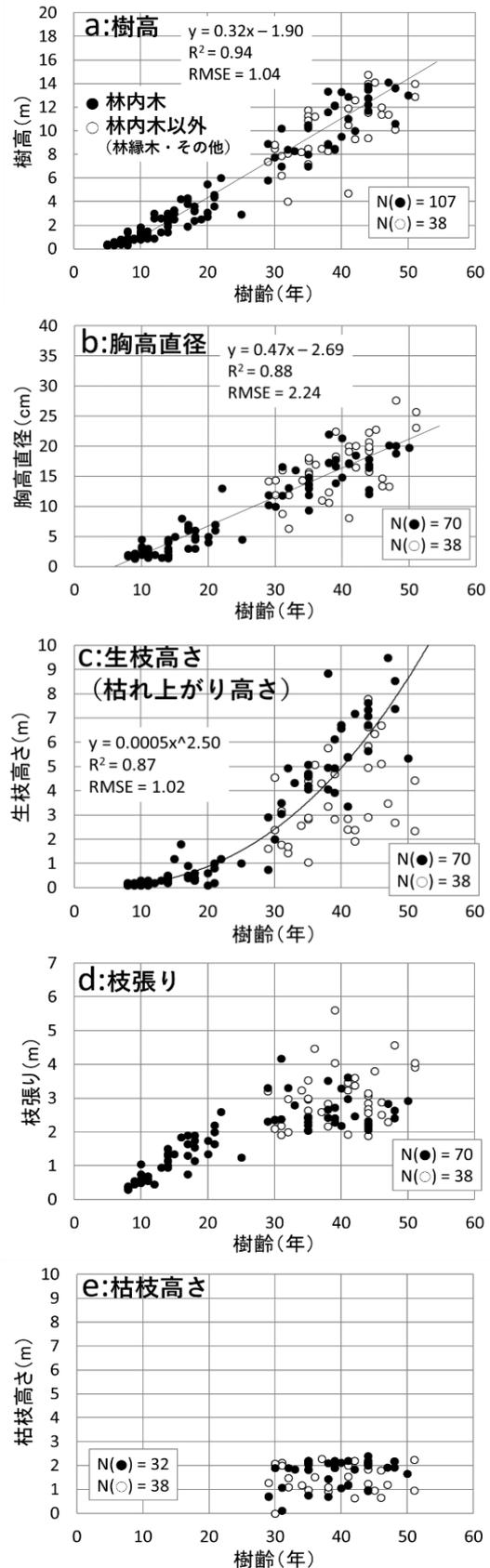


図-7 生育立地に着眼した各種成長データの整理 (a:樹高, b:胸高直径, c:生枝高さ, d:枝張り, e:枯枝高さ)

ータ)を区別の対象とした。個々の調査樹木が不明な植栽時と1期調査のデータについては区別の対象外とし、全て林内木として扱った。図-7中の近似式、 $R^2$ 、RMSEは、全て林内木(●)を対象に求めたものである。

全調査樹木を対象とした結果(図-6)と同様、林内木の樹高(図-7a)、胸高直径(図-7b)は樹齢とともに線形的に増加する傾向があること、また生育立地の違いで大きな差異は無いことが確認された。生枝高さ(図-7c)の増加速度については、全調査樹木の結果(図-6c)よりも早いことが確認されたが、これは陽光状態が良い林縁木を除いたためであると解釈できる。全調査樹木の結果(図-6a~図-6c)に比べ、図-7a~図-7cは、いずれも近似式の $R^2$ が増加、RMSEが減少した。

図-7dに示す林内木の枝張りも、図-6dと同様、ほぼ頭打ち状態であった。林内木の枝張りは林内木以外の枝張りよりも小さい傾向があり、その多くは2~3mであった。この一因には枝ぶりの良好な林縁木のデータが除かれたことが挙げられるが、樹木同士の間隔が起因していると考えられる。今回調査した防雪林の平均樹木間隔は、列間(道路横断方向)1.6m、苗間(道路縦断方向)2.5mであり、その幅は林内木の枝張りと同程度もしくはそれ以下であったことから、枝同士の干渉によって枝張りの成長が抑制されたものと考えられる。なお、現場での目視観測からも、隣接する樹木の枝同士が互いに重なっていること、またそれに伴う樹冠閉塞が生じていることを確認した。樹冠が閉塞すると地上への直達光が届きにくくなる。すなわち、枝張りの成長が鈍化する(枝張りが樹木間隔と同程度になる)タイミングを下枝の枯れ上がりが始まるタイミングと捉え、間引き処理を行う目安の一つにすることも可能であろう。なお、枯枝高さについては、樹木の生育立地の違いによる明確な違いは見られなかった(図-7e)。

## 5. アカエゾマツ防雪林の成長モデル案の作成

防雪林の維持管理計画を策定するにあたっては、その対象を、より防雪機能が低い、すなわちより枯れ上がりが進行している林内の樹木にすべきと考える。そこで、図-7で示した成長データに基づき、アカエゾマツ防雪林を構成する林内木の成長モデル案を作成した。樹高と胸高直径、生枝高さについては図-7中にそれぞれ記した近似式を用いた。また、枝張りについては、樹齢1年の計3年間分のデータを平均して求めた(例:樹齢30年における枝張りは、樹齢29~31年の枝張りデータの平均値)。枯枝高さについては、下枝処理されていない防雪林箇所の平均枯枝高さ(約1m)で固定した。作成した成長モデル案を図-8に記す。

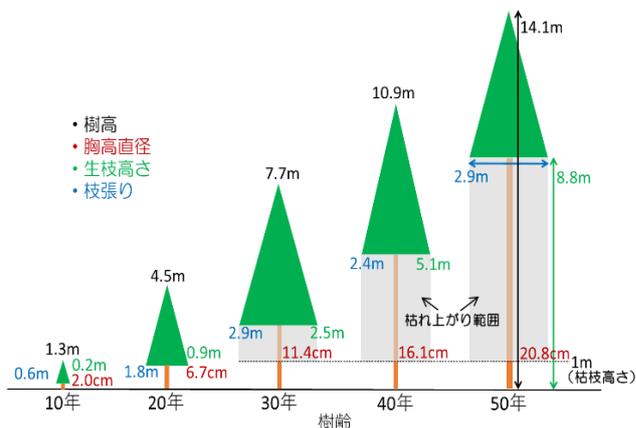


図-8 アカエゾマツ防雪林(林内木)の成長モデル案

## 6. まとめと今後の展望

本研究では、北海道内の防雪林で最も多く植栽されているアカエゾマツの成長モデルを作成することを目的に、主に北海道東部と北部に位置する防雪林を対象に樹木調査を行った。過去の調査結果と合わせてデータ解析を行ったところ、樹齢とともに樹高と胸高直径は線形的に増加する傾向が、生枝高さ(枯れ上がり高さ)は急速に増加する傾向が、枝張りは頭打ちする傾向があることが確認された。樹木の生育立地に着眼したデータ整理を行ったところ、林帯の内部に位置する樹木(林内木)ほど枯れ上がり速度は大きいことが確認された。最後に、林内木の成長データをもとにアカエゾマツの成長モデル案を作成した。

本研究の最終目標は、防雪林の「計画・設計、施工、育成管理のライフサイクルモデル」(図-9)を作成し、時間的要素を考慮した各時期(造成時、保育期、育成期、維持期)での維持管理作業を提示することである。一例として、各時期における下枝の枯れ上がりに対する対応策<sup>9)</sup>を表-1に示す。ライフサイクルモデルに応じた対応策(作業内容)を明確に示し、道路吹雪対策マニュアルに反映することで、より適切な防雪林造成・維持管理計画の策定に貢献できると考えている。

今後は、防雪林の成長程度に応じた防雪機能を定量的に明らかにすべく、現地調査や吹雪シミュレーションに基づく検討を行う。



図-9 防雪林の維持管理に関するライフサイクルモデル

表一 各時期における下枝の枯れ上がりに対する対応策<sup>8)</sup>

時期	樹高の目安	対応策
造成時	-	広い列間で植える（列間3.5m×苗間2.0m）、樹木の成長に伴い約50%を間引く（千鳥間引きを基本とする）
		防雪林の林縁には基本林の樹種でなく、ヤナギ類やモンタナマツなどの低木類で、刈込みに耐える樹種を配置する
保育期～維持期	-	枯れ上がりの最小化を目的に、前生林などとの競合や隣接樹木との接触を回避するため、下刈り、除伐、間引き管理を徹底する
保育期	5m未満	風上側防雪柵や前生林を高さ2m程度残置する
育成期	5m以上10m未満	道路上の吹きだまりを抑制するために、裾枝打ちを実施しない、または最小化する（実施高さを年最大積雪深以下とするなど）
		改植、補植 ※防雪機能を期待できない場合
		密度管理（間引き） ※下枝の枯れ上がりが始まる前に実施
維持期	10m以上	巡回点検時に下枝の枯れ上がり状況に着目する
		吹雪防止機能が損なわれていなければ現状維持 ※単木的に下枝が枯れ上がった場合
		改植、補植 ※塊状に下枝の枯れ上がりが生じ、かつ緊急性が低い場合
		風上側林縁に防風施設を併用する ※狭帯林
		吹込み防止用に高さが低い防雪柵を設置 ※下枝の枯れ上がりが塊状に生じた場合に実施
		防雪林の風上側や林内に、防風ネット柵や低木などの補助工法を施工
		更新 ※通常は2回目の密度管理を実施した後 ※防雪機能の低下を予防すべく、タイミングを検討

参考文献

- 1) 北海道開発局：道路現況調書 平成31年4月現在、pp. 184-185、2020.
- 2) 上田真代、渡邊崇史、松澤勝：道路防雪林における植栽樹木の生長過程について、第55回（平成23年度）北海道開発技術研究発表  
<https://thesis.ceri.go.jp/db/giken/h23giken/JiyuRonbun/FY-16.pdf>（2024年12月27日閲覧）
- 3) 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）  
[https://www2.ceri.go.jp/jpn/pdf2/202303-CERI\\_Document-Snowbreak\\_Woods.pdf](https://www2.ceri.go.jp/jpn/pdf2/202303-CERI_Document-Snowbreak_Woods.pdf)（2024年12月27日閲覧）
- 4) 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2編 防雪林編、p. 2-7-3、2011.
- 5) 北海道林業改良普及協会：北海道主要造林樹種 収穫表と成長量に関する資料（第I編）、北海道林業改良普及協会、105pp、1976.
- 6) 伊東靖彦、渡邊崇史、高玉波夫、松澤勝、佐藤圭洋、鈴木哲、渡辺淳、佐藤嘉昭：道路防雪林におけるアカエゾマツの樹高および枝張の推移、寒地土木研究所月報、No. 773、pp. 12-20、2017.
- 7) 阿部正明、斎藤新一郎、佐藤金八：道路防雪林の下枝の枯れ上がりについて～事例からみた対策～、北海道の雪氷、No. 36、pp. 73-76、2017.
- 8) 原田裕介、吉井昭博、大宮哲：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  
<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gi.jyutu/slo5pa000001a6ux-att/slo5pa000001aatx.pdf>（2024年12月27日閲覧）
- 9) ピーター・トーマス：樹木学、263pp、2001.
- 10) 渡邊定元：樹木社会学、p. 83、1994.