

## ライフサイクルに応じた防雪林の効果的な育成・管理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：雪氷チーム、寒地機械技術チーム

研究担当者：松澤 勝、上田 真代、渡邊 崇史（雪氷）  
住田則行、山崎 貴志、石川 真大（機械）

### 【要旨】

本研究は、道路防雪林造成時の望ましい規格を提示し、防雪林の初期成長期における生育障害の減少させること、および樹木の成長過程に応じた防雪林の育成・管理手法の提案により、防雪林の効果的な機能発現に寄与することを目的に既存防雪林の調査や風洞実験を行った。

その結果、植栽基盤造成時は表層の膨軟さを確保し、深さ 40cm 以上に滞水させない必要があること、また、育成管理として、植栽後 3 年目の秋～4 年目頃に生育不良の判定が可能であり、植栽後 15 年が間引き管理計画を立案する目安であることがわかった。さらに風洞実験により、枝下高が防雪機能に大きく影響しており、下枝の枯れ上りを防ぐ間引きが重要であることが確認された。

キーワード：道路防雪林、植栽基盤、生育不良要因、防雪機能、風洞実験

## 1. はじめに

北海道における国道の通行止めの 4 割は吹雪に起因するものであり、吹雪対策が必要とされている。

道路防雪林は、吹きだまりや視程障害を緩和し、視線誘導効果も併せ持つなど吹雪対策として有効である。現在、道路事業において最初の造成から約 30 年が経過し、樹木の成長に伴い育成や管理上の課題が顕在化している。防雪林は強風、多雪地帯において人工的な生育基盤上に造成されるため、過酷な生育環境におかれ、更に永続的な防雪効果の維持が必要とされる。しかし、それに適した生育基盤の造成方法や間引きなどの管理手法は確立されていない現状にある。

本研究は、造成時の生育基盤等の望ましい規格を提示し、防雪林の初期成長期における生育障害の減少に寄与すること、また樹木の成長過程に応じた防雪林の育成・管理手法の提案により、防雪林の効果的な機能発現に寄与することを目的に既存防雪林の現地調査や防雪機能に関する風洞実験を実施したので報告するものである。

## 2. 道路防雪林の育成管理

### 2. 1 研究方法

#### 2. 1. 1 既存防雪林を対象とした現地調査

道路防雪林の生育状況を把握するため、アカエゾ

マツの生育および植栽基盤について調査を実施した。調査対象地は道北の 4 箇所の道路防雪林である。図 1 に位置図、表 1 に各防雪林の概要および調査項目を示す。

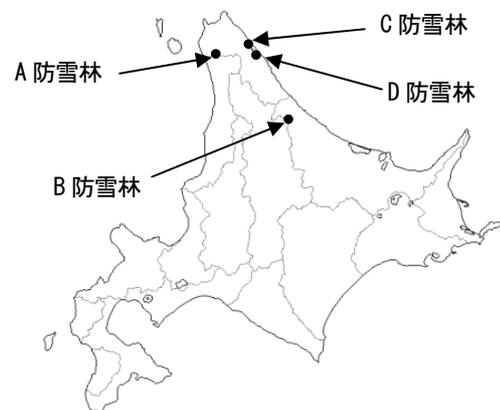


図 1 調査地位置図

表 1 調査対象防雪林の概要と調査項目

|                    | A防雪林                         | B防雪林   | C防雪林                             | D防雪林                              |
|--------------------|------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------------------|
| 林帯幅                | 32.0m                        | 17.6～21.6m   | 30.0m                            | 28.0m                             |
| 全体延長               | 1,870m                       | 942m   | 1,781m                           | 472m                              |
| 植栽配置               | 列間: 2.4m<br>苗間: 1.2m<br>方形植栽 | 1列2条植栽<br>列間: 3.0m<br>苗間: 2.0m<br>条間: 1.0m<br>千鳥植栽 | 列間: 1.5～2.0m<br>苗間: 1.5m<br>千鳥植栽 | 列間: 1.75～2.0m<br>苗間: 1.5m<br>千鳥植栽 |
| 植栽時の樹高<br>(アカエゾマツ) | 0.5m                         | 0.9m   | 0.3～1.2m                         | 0.3～1.2m                          |
| 植栽年度               | H17年度<br>(2005)              | H4年度<br>(1992)                                     | S63～H元年度<br>(1988～1989)          | H元～5年度<br>(1989～1993)             |
| 調査項目               | 生育調査                         | ○  | ○                                | ○                                 |
|                    | 植栽基盤調査                       | ○  | ○                                |                                   |
|                    | 年輪解析<br>(試料木伐採)              |  | ○                                | ○                                 |

(1) 樹木の計測

各防雪林において、生育良好区と不良区に林帯幅×20m程度の方形区を設定し、方形区内の枯死木や植栽跡を含む全ての樹木（20本程度）を対象に樹高や胸高直径等を計測した。調査対象木の樹高、胸高幹周または根元径、最近3ヶ年の枝階間の伸長量、4方向の枝の長さ、下枝の高さ（枯枝高、生枝高）、隣接木との距離を計測し、胸高直径は胸高幹周より算出した。図-2、3に樹木の計測箇所、表-2に計測データの平均値を示す。

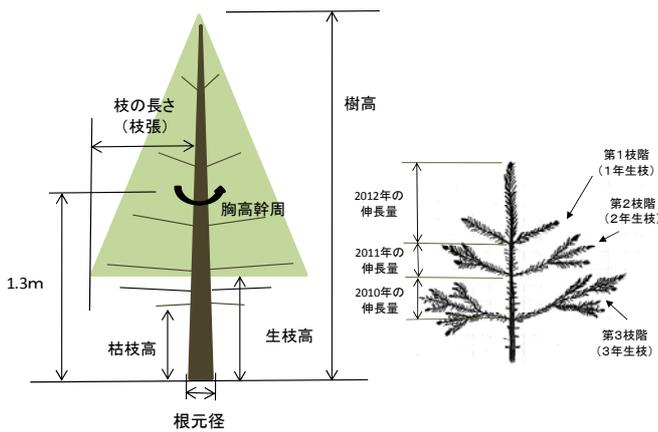


図-2 樹木の計測箇所

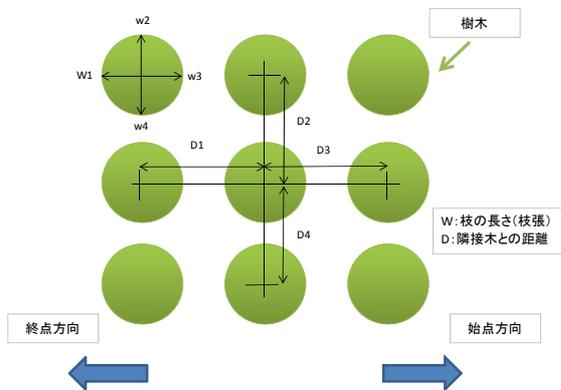


図-3 枝張りとの隣接木との距離の計測

表-2 各防雪林の計測データの平均値

|            | A防雪林    |       | B防雪林  |       | C防雪林  |       | D防雪林  |       |      |
|------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|            | 生育良好区   | 生育不良区 | 生育良好区 | 生育不良区 | 生育良好区 | 生育不良区 | 生育良好区 | 生育不良区 |      |
| 樹高(m)      | 1.68    | 1.08  | 4.64  | 2.97  | 8.53  | 8.25  | 8.15  | 5.88  |      |
| 伸長量(m)     | 2012    | 0.28  | 0.14  | 0.22  | 0.18  | 0.40  | 0.38  | 0.38  | 0.39 |
|            | 2011    | 0.28  | 0.12  | 0.36  | 0.33  | 0.37  | 0.34  | 0.34  | 0.43 |
|            | 2010    | 0.19  | 0.11  | 0.32  | 0.32  | 0.34  | 0.38  | 0.38  | 0.45 |
| 枝の高さ(m)    | 枯枝      | 0.26  | 0.20  | —     | —     | 1.78  | 2.20  | 2.02  | 1.96 |
|            | 生枝      | 0.29  | 0.22  | 1.09  | 0.73  | 3.52  | 3.07  | 3.38  | 1.60 |
| 太さ(m)      | 胸高直径    | 0.01  | —     | 0.07  | 0.04  | 0.15  | 0.14  | 0.14  | 0.10 |
|            | 根元径     | 0.09  | 0.03  | —     | —     | —     | —     | —     | —    |
| 幹周         | 0.05    | —     | 0.23  | 0.13  | 0.48  | 0.45  | 0.45  | 0.32  |      |
|            | W1      | 0.54  | 0.39  | 0.98  | 0.70  | 1.28  | 1.49  | 1.14  | 1.24 |
| 枝張(m)      | W2      | 0.55  | 0.38  | 0.92  | 0.65  | 1.47  | 1.51  | 1.37  | 1.28 |
|            | W3      | 0.55  | 0.37  | 0.99  | 0.69  | 1.31  | 1.26  | 1.22  | 1.35 |
|            | W4      | 0.54  | 0.37  | 1.01  | 0.71  | 1.21  | 1.12  | 1.08  | 1.30 |
|            | D1      | 1.18  | 1.16  | 0.91  | 0.97  | 1.85  | 1.81  | 1.46  | 1.75 |
| 隣接木との距離(m) | D2      | 2.15  | 3.24  | 1.91  | 2.10  | 1.86  | 1.85  | 1.78  | 1.57 |
|            | D3      | 1.21  | 1.19  | 1.01  | 0.98  | 1.89  | 2.05  | 1.48  | 1.69 |
|            | D4      | 2.76  | 2.36  | 1.94  | 1.61  | 1.54  | 1.45  | 1.72  | 1.88 |
|            | 調査本数(本) | 30    | 24    | 20    | 20    | 21    | 22    | 20    | 21   |

(2) 土壌断面調査

生育不良要因の推定を行うため、A防雪林とB防雪林において生育良好および不良区画の平均的な樹木の側に、深さ60cm程度の試孔を掘り、土壌断面の観察を行った(写真-1)。断面観察時には斑鉄(酸化の痕跡)やグライ斑(還元痕跡)に留意した。また、土質室内試験の試料となる土壌を採取し、三相比やpH等を求め、試孔の近辺では現場透水試験を実施した。

なお、グライ化とは次の作用のことである。土壌中の鉄は十分空気が供給される酸化状態では、大部分が赤褐色の酸化鉄として存在する。地下水位が高いなど常時排水不良となっている土壌は、酸素が不足して還元状態となり、酸化鉄は亜酸化鉄(第一鉄)に還元されて青灰色や緑灰色の塊状となる<sup>1)</sup>。このような作用をグライ化と呼び、斑紋状に現れるものをグライ斑、層状をなすものをグライ層という。

写真-2はA防雪林の生育不良区の土壌断面である。2層目では赤斑、グライ斑に富み、地下水位の上昇と下降が頻繁に生じている可能性がある。最下層はグライ層であることから、常時地下水位が存在すると考えられる。



写真-1 土質の目視調査状況

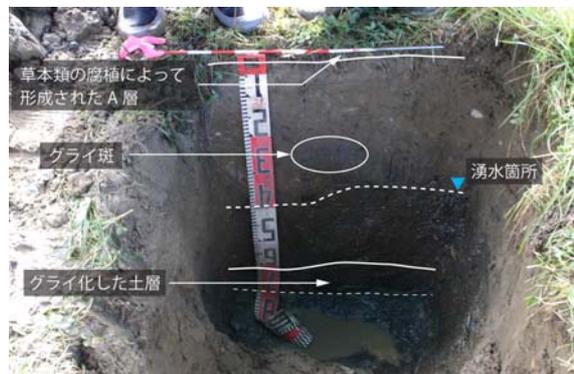


写真-2 A防雪林の生育不良区の土壌断面

## 2. 1. 2 年輪解析および枝の成長解析

樹木の時間経過に伴う変化を調査するため、各防雪林から、それぞれ生育良好木2本、生育不良木2本(合計16本)を選定して伐採し、図-4のように現地で全長と各枝階間の長さを計測した。さらに高さ1m(高さ3m未満の樹木では0.5cm)ごとに幹に垂直で平面となる円盤を切り取り、室内で各円盤の年輪を4方向に読み取り、年輪解析<sup>2)</sup>を行った。

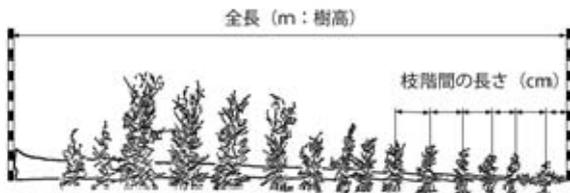


図-4 伐採木の計測項目の模式図

### (1) 年輪解析

写真-3に年輪解析に供した円盤の例を示す。年輪のほぼ中心である髓から4方向に出現する年輪の距離を計測し、4方向の平均値を年間の肥大成長量とした。平均の年肥大成長量を算出したのち、成長の様子を分かり易くするため、縦軸に各円盤を採取した地上高さ、横軸にその円盤に現れた年輪の平均半径をプロットし、同齢の年輪の点を順次結んで樹木を縦に半割したような年輪解析図を作成した。図-5はB防雪林の生育良好木の年輪解析図である。両側の年輪と縦軸の交点は、その年輪が形成されたときの樹高を表す。これらの結果から成長曲線を作成した(図-6)。なお、樹木が採取した円盤の地上高まで成長するには年数を要する。そのため、アカエゾマツは2年生で樹高10cm程度<sup>3)</sup>、6年生の出荷時に樹高30cm<sup>4)</sup>であることから、樹高成長曲線の作成にあたり、最下部の円盤の伐採高に応じて1~4年程度を年輪数に加えて樹齢とした。

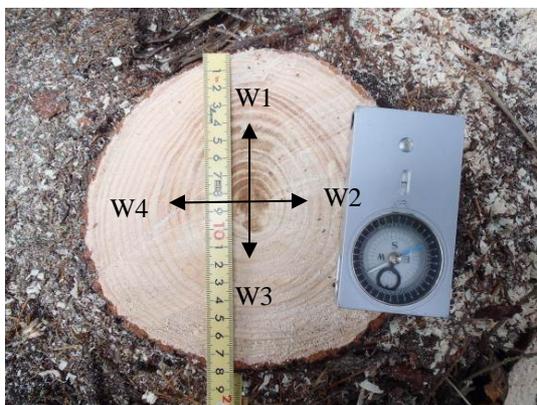


写真-3 年輪解析に用いた円盤の例

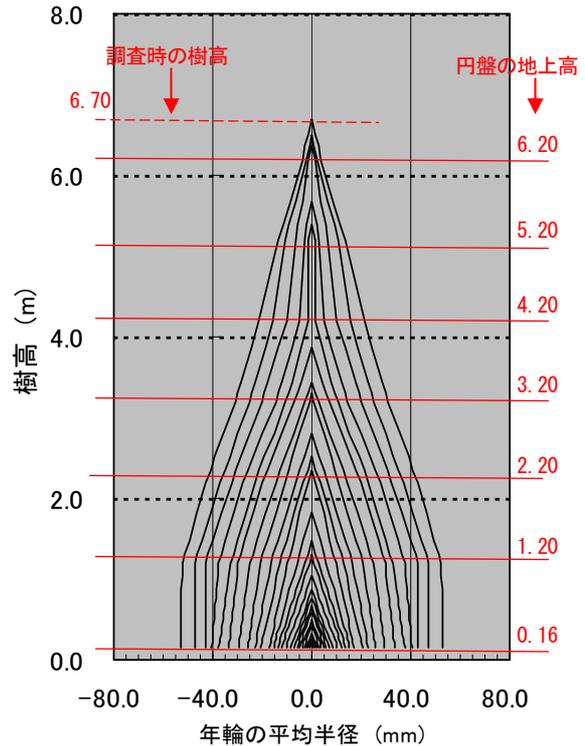


図-5 B防雪林の生育良好木の年輪解析図

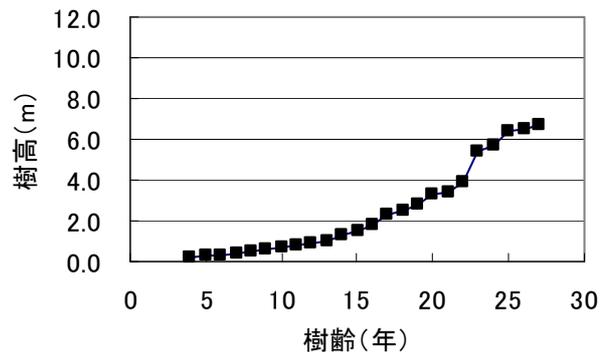


図-6 B防雪林の生育良好木の樹高成長曲線

### (2) 枝の成長解析

年輪解析に用いた試料木の枝階間の成長量、および枝階ごとに枝の年間成長量を計測した。図-7に枝の年間成長量の計測方法を模式的に示す。計測対象は道路と平行なW1とそれに直交するW2である。図-8は、計測結果を枝階ごとに年成長量を整理し、模式的に示したものである。枝は樹幹に直交しないため、必ずしも正確な樹形を表すものではないが、おおよその樹形の成長過程を追うことができる。

また、図-9は試料木の枯れ上がり形状を模式的に示したものである。樹高8m程度まで成長した樹木の内側の枝は、高さ5m付近を頂点に円錐状に枯れていることが確認できる

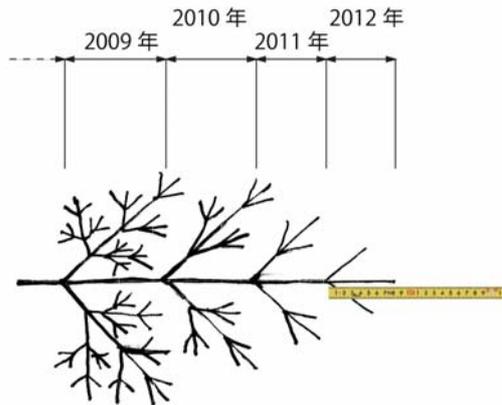


図-7 枝の年間成長量計測の模式図

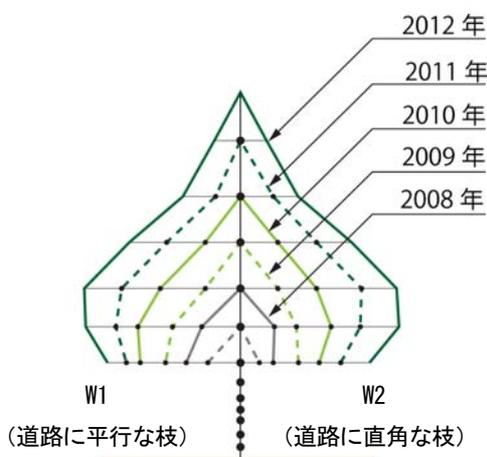


図-8 樹形成長の模式図

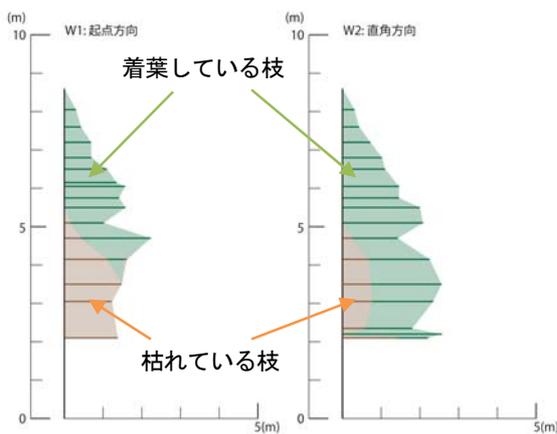


図-9 D 防雪林の生育良好木の枯れ上がりの形状

## 2. 2 研究結果

### 2. 2. 1 生育不良要因の推定

植栽基盤の土壌断面観測を行った結果、二つの調査箇所において、それぞれ生育に影響を及ぼす阻害要因が異なることが推測された。そこで調査箇所ご

とに解析を行った。

### (1) A 防雪林の生育不良要因の推定

#### a) 樹木の生育状況

図-10、11はA防雪林の生育良好区と不良区の樹高と年間伸長量の経過を示したものである。生育良好木と不良木の差は、年間伸長量とそれに伴う樹高に現れている。道路吹雪対策マニュアル（平成23年改訂版）<sup>5)</sup>においては、樹高1m程度の保育期初期の樹木の年伸長量が15cm以上であれば、健全な生育状態と判断しているが、生育不良区では植栽7年を経過した時点で年間伸長量が15cm未満、樹高が1.0mであるのに対し、生育良好区は植栽後5年で年間伸長量が15cm以上となり、植栽後7年で樹高約1.8mまで成長している。なお、葉の色や針葉の長さには大きな差は見られなかった。

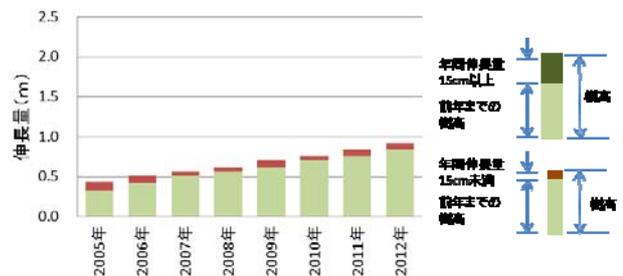


図-10 A 防雪林の生育不良区の年別平均樹高と年別平均年間伸長量（2005年植栽）

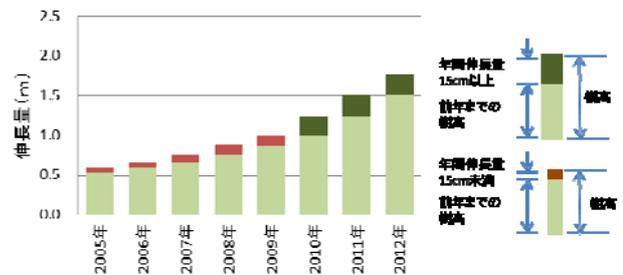


図-11 A 防雪林の生育良好区の年別平均樹高と年別平均年間伸長量（2005年植栽）

#### b) 植栽基盤

図-12は、生育不良区と良好区の土壌断面の違いを模式的に図化したものである。土壌の乾湿については、両試孔とも上層部が半湿（手のひらをつける）と濡れる）、下層部は湿（土塊を握ると水が滴り落ちる）状態であった。地下水位は生育良好区の方が高いが、グライ斑の含有状態から、降雨後の調査であるため、一時的なものと考えられる。一方、生育不良区においては、表層近くまでグライ斑が「すこぶ

る「富む」状態であり、常時還元状態にあることが窺えた。透水試験においても両区共に注水後の水位が上昇しており（図-13）、浸透しにくいのに加え、試孔の周辺から表面張力によって土壌の間隙に保持されている毛管水が流入し、水位が上昇したものと考えられる。特に生育不良区で上昇量が多いことから、生育良好区よりも浸透しにくく、毛管水が上昇しやすい構造であると推測される。

また、生育不良区は、良好区に比べ固相の割合が高く、植栽基盤が硬く締まっており、2層目に硬盤層が確認された。

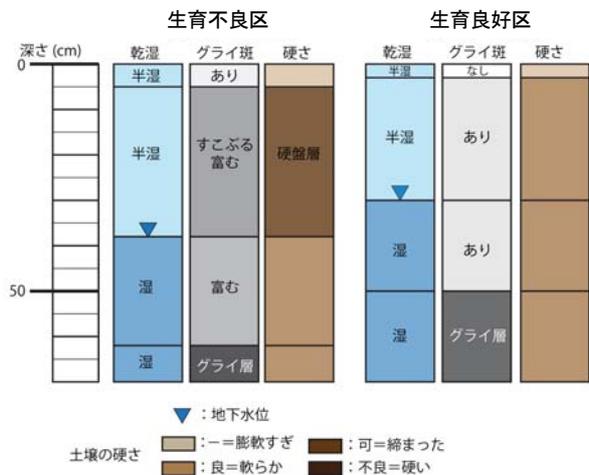


図-12 A 防雪林の生育不良区と良好区の  
土層断面の模式図

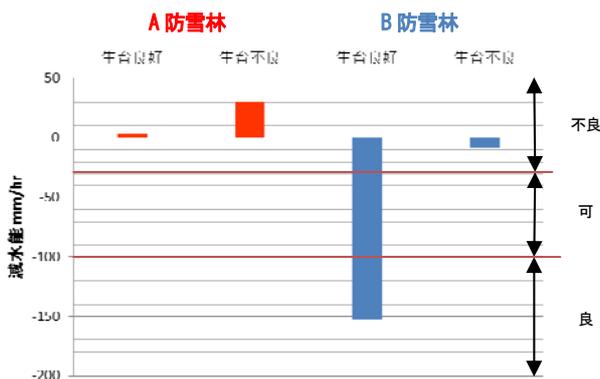


図-13 A 防雪林と B 防雪林の  
現場透水試験の結果

c) A 防雪林の生育不良要因の推定

既存の調査から植栽基盤の過湿に対するアカエゾマツの反応として、針葉が短くなる可能性が高い<sup>6)</sup>。しかし、本調査では、針葉の短葉化や葉色の淡色化は顕著に確認されていなかった。

一方、植栽基盤の硬さに対するアカエゾマツの反応は、年間伸長量が小さい期間が長く続き、「ずんぐりむっくり」の樹形になると考えられている。本調査地の生育不良区の年間伸長量は、植栽後調査時点まで 15cm 未満であり、年間伸長量が小さいことが確認された。

これらの結果から、植栽基盤の過湿と硬さが A 防雪林の生育不良の要因として考えられる。

(2) B 防雪林の生育不良要因の推定

a) 樹木の生育状況

図-14、15 は B 防雪林の生育良好区と不良区の樹高と年間伸長量の経過を示したものである。生育良好木と不良木の差は、樹高に現れているが、2008 年以降の年間伸長量に差は確認されていない。



図-14 B 防雪林の生育不良区の年別平均樹高と  
年別平均年間伸長量（1992 年植栽）



図-15 B 防雪林の生育良好区の年別平均樹高と  
年別平均年間伸長量（1992 年植栽）

図-16 に生育良好木の枝階の判別可能な年からの年別平均樹高と平均年間伸長量を示す。調査時に生育良好と判断した樹木であっても、植栽後 10 年程度は成長が停滞していたことを示している。一方、生育不良木は、2008 年以降から年間伸長量が連続的に 20cm 以上となっており、成長停滞期間は生育良好木よりも長く、15~16 年程度であった。

生育不良区および良好区共に、年伸長量から見ると健全な生育をしていると判断されるが、葉の黄変や褐変の割合が高かった。写真-4、5 に計測木の

変色状況を示す。生育良好木と不良木においては、葉の変色の割合に有意な差は確認されなかったが、葉の大きさが異なり、不良木は葉が小さい傾向が見られた（写真－6）。



図-16 B 防雪林の生育良好区の1998年以降の年別平均樹高と年別平均年間伸長量



写真-4 B 防雪林の生育良好区の計測木全体と針葉の褐変事例



写真-5 B 防雪林の生育不良区の計測木全体と針葉の褐変事例



写真-6 B 防雪林における生育良好木と不良木の針葉の長さの比較

## b) 植栽基盤

図-17は、B 防雪林の生育不良区と良好区の土層断面の違いを模式的に図化したものである。

土壌の乾湿については、両者とも半湿の状態であった。生育良好区では地下水は確認されていないが、不良区では深さ 40cm 付近にあり、調査後には周辺からの毛管水の流入により試孔が満水となった。不良区は良好区に比べ一段低い盛土で、近辺から水が流入しやすいため、地下水水位が常時高い状態にある可能性がある。但し、石礫が多いため明瞭なグライ斑は確認できなかった。また、現場透水試験の結果、不良区と良好区に明瞭な差が生じており、不良区は非常に浸透能が低いのに対し、良好区は高い浸透能を示した（図-13）。

土壌の硬さについては、石礫が多く明確な差は確認されなかったが、三相比から不良区では良好区よりも固相率が高く、締め固まっていると考えられる。

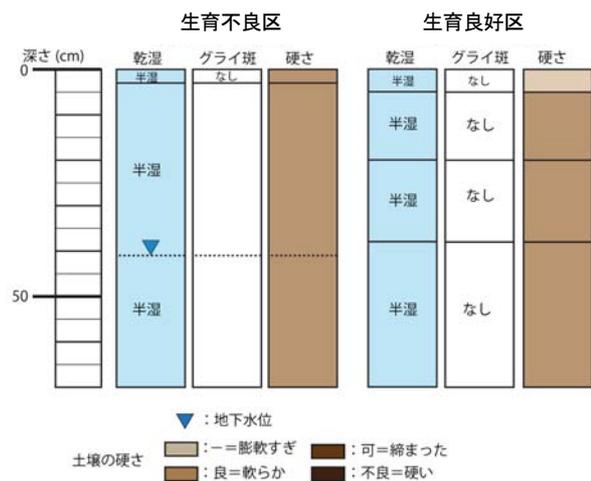


図-17 B 防雪林の生育不良区と良好区の土層断面の模式図

## c) B 防雪林の生育不良要因の推定

先に述べたように、植栽基盤の過湿に対するアカエゾマツの反応は、針葉が短くなることに現れる可能性が高く<sup>6)</sup>、植栽基盤の水環境による差が針葉の大きさに影響を及ぼしていると考えられる。

生育調査や植栽基盤の調査の結果から、B 防雪林の生育不良の要因として土壌の水分環境が推測される。

また、B 防雪林は、不良区と良好区共に土壌の pH がアルカリを示していた。アカエゾマツは比較的中性に近い値を示す土壌 (pH6.7) でも生育することが報告されており<sup>7)</sup>、葉の黄変や褐変に影響を及ぼし

ているかは現時点で不明である。但し、過湿環境でない良好区のアカエゾマツだけではなく、隣接するブンゲンストウヒにおいても褐変が生じていることから、何らかの影響がある可能性は否定できない。

### (3) 生育不良要因の推定

今回の調査から防雪林の生育不良の主な要因として、土壌の硬さ、および土壌水分環境が考えられた。

写真-7はA防雪林の生育良好区の土壌断面である。深さ25cm付近までアカエゾマツの根系が確認されているが、グライ斑・斑鉄が不鮮明であり、地下水位による根系への影響は生じていない。このことから、植栽初期の段階においては、土壌の硬さが樹木の生育状態に影響し、その後土壌水分環境により生育状態を左右すると考えられる。

また、生育不良要因に対するアカエゾマツの反応として、土壌の硬さに対しては年間伸長量が小さい期間が長く続き、「ずんぐりむっくり」の樹形となり、過湿に対しては針葉が短くなると考えられる。

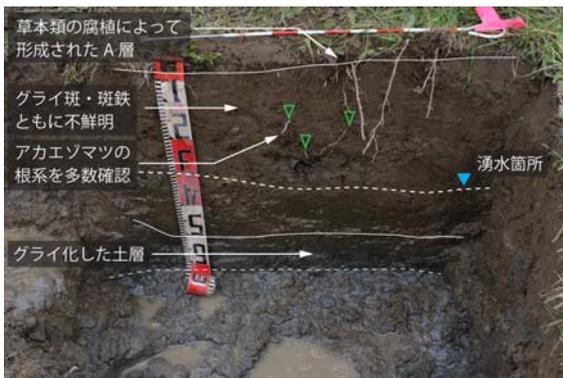


写真-7 A防雪林の生育良好区の土壌断面

## 2. 2. 2 生育不良の判定とその要因の推定方法

### (1) 保育期初期における生育不良の判定

樹木の植栽時には、根の切断や乾燥等により一時的に生育が停滞する植え傷みが生じる場合がある。

そこで、生育良好木の年間伸長量のデータを用い、植え傷みが継続する期間の推定を行った。

図-18に、植栽翌年からの平均樹高と平均年間伸長量の6ヶ年の推移を示す。但し、全ての個体が樹高0.5mで植栽されたと仮定している。

生育良好木であっても、植栽後3ヶ年は道路吹雪対策マニュアル(平成23年改訂版)<sup>5)</sup>の健全木の指標である年間伸長量15cm以上を満たしていない。しかし、4年目以降は15cm以上の年間伸長量が見られる。

この結果から類推し、植栽後3年目の秋から4年

目頃に追跡調査を実施し、年間伸長量が15cm程度に達しない場合には、植え傷みだけでなく、何らかの生育阻害要因を疑う必要があるものと考えられる。

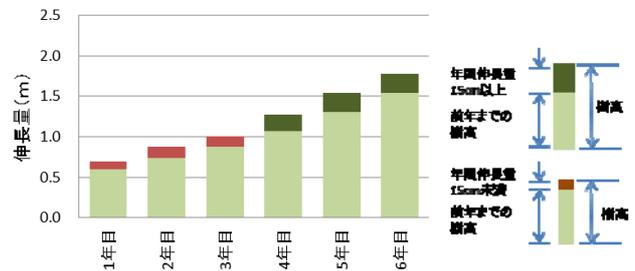


図-18 生育良好木に基づく保育期初期の平均樹高と平均年間伸長量

### (2) 保育期初期における生育不良要因の推定方法

生育不良要因の推定方法は、基本的に道路吹雪対策マニュアル(平成23年改訂版)<sup>5)</sup>の保育期の生育不良要因推定フローによるが、現場での適用が困難なものや、定量的に示されていないものがあることから、現場で簡易に判断できる指標を補足していく必要がある。そこで、ここでは保育期初期の生育不良の要因である土壌の硬さと過湿状態の判断方法について補足的に述べる。

#### a) 土壌の硬さ

植栽基盤の硬さについては、長谷川式土壌貫入計または山中式土壌硬度計で計測する。しかし、これまでの調査結果から礫質の植栽基盤の場合、石礫のために必ずしも得られた数値が土壌の硬さを表していないことが示唆されている。そのため、これらの測器が活用で計測が難しい場合には、植栽木から50cm程度離れた箇所(植栽時の植穴よりも外側)に深さ30cm程度の試孔を掘り、表-3の方法により簡易的に基盤の硬さを判断することも可能である。

表-3 指の貫入による硬さの確認

| 指の貫入  | 山中式土壌硬度計 | 硬さの表現          | 評価 |
|---|----------|----------------|----|
| ほとんど抵抗なく指が貫入する  | <=10mm   | 11mm以下で「膨軟すぎ」  | —  |
| やや抵抗はあるが貫入する(11~15mm)。またはかなり抵抗はあるが第一関節以上は貫入する(15~18mm)。 | 11~18mm  | 11~20mmで「柔らかか」 | 良  |
| 第一関節まで貫入する(19~20mm)。貫入せずへこむ程度(20~24mm)。                 | 19~24mm  | 20~24mmで「縮まった」 | 可  |
| 指あとはつくが貫入しない。   | 25~28mm  | 24mm以上         | 不良 |
| 指あともつかない。   | >=29mm   | 「硬い」           |    |

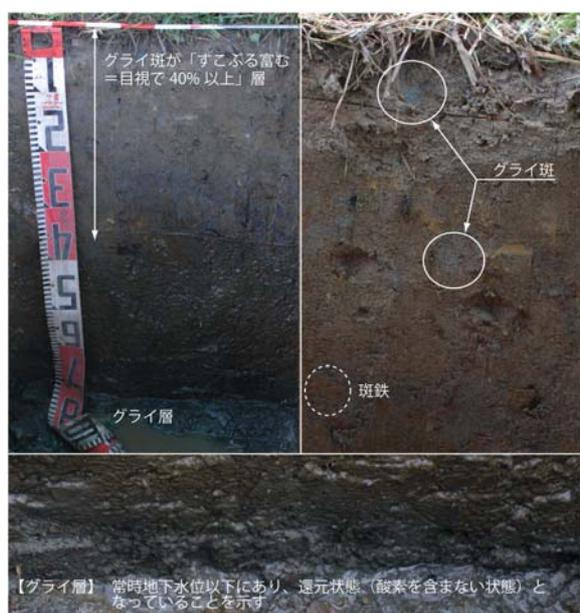
※ 指の貫入状態と山中式土壌硬度計の関係は「土壌調査ハンドブック」<sup>8)</sup>による  
※ 硬さの表現と評価は「植栽基盤整備技術マニュアル」<sup>9)</sup>による

## b) 土壌の過湿状態

深さ 50cm 程度の孔を掘り、その断面を観察することで、土壌水分状態を類推することが可能である。

地下水位は季節変動や降雨後の上昇などがあり、調査時の情報が土壌水分状態を代表するわけではない。地下水位の変動の痕跡はグライ斑や斑鉄などに現れることから、これらを指標にできる(写真-8)。

グライ層は常時水に浸かっている状態を示し、グライ斑は時折酸化された斑鉄とともに出現し、地下水位の変動があることを示す。グライ層が形成されていない状態でも、グライ斑に富む状態の断面であれば、樹木にとって過湿状態であると推定される。



グライ斑：土壌の空隙が水で満たされていると、その周辺の鉄が酸素不足のために還元状態となる。これが青灰色や緑灰色の斑紋として現れる。  
斑鉄：酸化した鉄の斑紋。酸素が供給されていることを示す。

写真-8 グライ斑・斑鉄・グライ層

## (3) 生育基盤造成に関する提案

本調査の結果、植栽初期の段階（保育期初期）には土壌の硬さが樹木の生育状態を規定し、初期の段階で枯死に至らなかった個体は、保育期中期（樹高 1~3m 程度）には土壌水分環境により生育状態が規定されると推測される。

そのため、基盤造成においては、表層の「膨軟さ」を確保できる盛土方法を検討することが重要となる。

また、地下水位に関しては、道路吹雪対策マニュアル（平成 23 年改訂版）<sup>5)</sup>における有効土層厚（上層 60cm、下層 20~40cm）を確保し、それが水位以上の高さであれば問題は生じないが、必要最低限の盛土厚（上層 40cm）とならざるを得ない場合には、

地下水位を盛土厚以下にすることが重要である。アカエゾマツの根系の深さについては、明らかではないが、同属のトウヒでは地表 40cm 以内に殆どの根系があることが報告されており<sup>10)</sup>、排水溝の確保などにより深さ 40cm 以上に滞水しない方法を採用する必要がある。

## 2. 2. 3 道路防雪林の標準的な成長

道路防雪林の主な植栽木であるアカエゾマツを対象に、成長過程を再現するため、樹高成長および枝の成長解析を行った。

### (1) 樹高成長の解析

年輪解析を行った樹木のデータを用いて、アカエゾマツの平均的な樹高成長の算出を行った。

各試料木の植栽時の樹高が統一されていないため、比較できるようにそれぞれ樹高 0.5m で植栽されたと仮定して補正を行い、樹高成長曲線を作成した。長期的に見ると樹高成長は本来 S 字曲線（ロジスティック曲線）を示す<sup>11)</sup>が、北海道の原生林におけるアカエゾマツの最終的な平均樹齢が 255 年程度である<sup>12)</sup>ことを考慮すると、今回の試料木が成長初期の段階であることから 3 次曲線で近似させた。樹高成長曲線を図-19 に示す。成長式は次の通りである。

$$H = -0.0006Y^3 + 0.0253Y^2 + 0.012Y + 0.6906 \quad \dots (1)$$

ここで、 $H$ ：樹高(m)、 $Y$ ：林齢（植栽後の年数）（年）

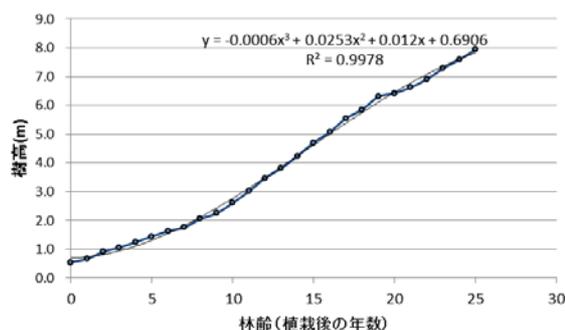


図-19 年輪解析の平均値から算出した  
樹高成長曲線

### (2) 枝の成長の解析

林齢と枝張りの関係を知るため解析を行った。

図-20 に胸高直径と枝張りの関係を示す。胸高直径は計測データ、枝張りは調査時の 4 方向の平均値を使用した。次式は胸高直径と枝張りの関係の近似式である。

$$W_0 = 8.1123D + 0.4476 \quad \dots (2)$$

ここで、 $W_0$  : 枝張り (片側) (m)、 $D$  : 胸高直径 (m)

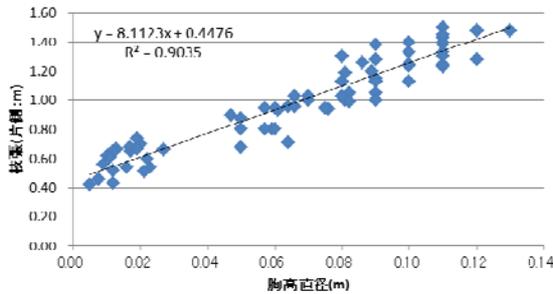


図-20 胸高直径と枝張りの関係

また、図-21 は樹高と胸高直径の関係を図示したものである。この図より、樹高と胸高直径の関係の近似式(3)を算出した。

$$D = -0.0003H^2 + 0.023H - 0.0293 \quad \dots (3)$$

ここで、 $D$  : 胸高直径 (m)、 $H$  : 樹高 (m)

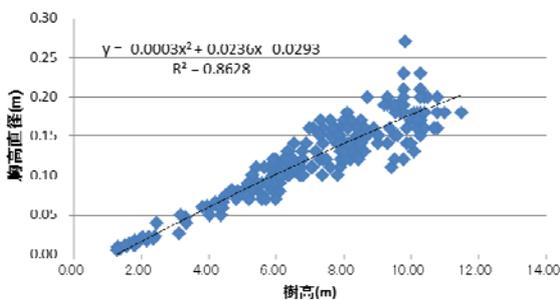


図-21 樹高と胸高直径の関係

式(2)、式(3)、および林齢と樹高の関係式(1)から林齢別に枝張り (片側) を算出した。

なお、代入式をそのまま林齢の関数として表すと 6 次式となり複雑であるため、計算結果から樹齢と枝張り (片側) の値をプロットし (図-22)、3 次式で近似させた (式(4))。

$$W_0 = -0.0001Y^3 + 0.0038Y^2 + 0.0144Y + 0.3062 \quad \dots (4)$$

ここで、 $W_0$  : 枝張り (片側) (m)、 $Y$  : 林齢 (植栽後の年数) (年)

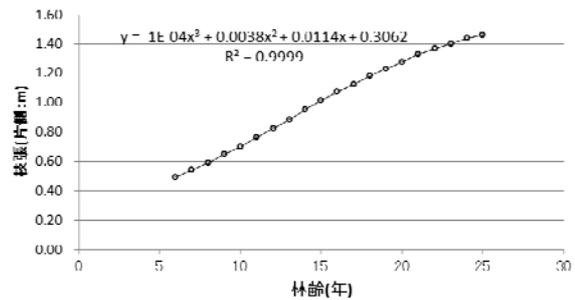


図-22 林齢と枝張り (片側) の関係

## 2. 2. 4 下枝の枯れ上がり開始時期の推定

樹冠閉鎖林分では、あるところから年輪成長が抑制され、樹冠閉鎖時期と重なると考えられる。樹冠が閉鎖すると肥大成長が抑制され、年輪幅は狭くなる<sup>12)</sup> ことから、樹冠閉鎖が生じている防雪林を対象とした年輪解析および枝の成長解析結果を用いて、密度 (植栽間隔) の異なる防雪林の樹冠閉鎖 (下枝の枯れ上がり) 時期を比較した。

### (1) 樹冠閉鎖開始時期と解放時期の推定

年輪の読み値から、樹冠閉鎖開始時期と解放 (間引き) 時期の推定を試みた。

年輪の成長幅はその年代の気候などに影響を受け、温暖な場合には成長量は大きく、寒冷な場合には小さいことが知られている<sup>11) 13)</sup>。また、短期的に見ると、年輪幅の増加傾向や減少傾向は光条件の変化による生産量の増減を示している。今回の年輪判読は、樹木の寿命からすると短期的であることから、年輪幅の増加傾向は樹冠の競合が発生せずに成長している状況を示し、年輪幅の減少は樹冠閉鎖が始まり樹冠の競合が生じた結果、生産量も減少している状況であると判断することとした。

図-23 は、C 防雪林の植栽後の年別年輪成長量 (mm/年) の例である。林齢 10 年で年間年輪成長量がピークを迎え、翌年から減少傾向が続き、林齢 18 年で年間年輪成長量が最小値となり、その後増加傾向に転じている。そして、林齢 22 年を再ピークとして再び減少傾向が窺える。これは、林齢 10 年から樹冠閉鎖が始まり、樹齢 18 年で間引きが行われ樹冠が解放されたと考えられる。また、その後 4 年程度で再び樹冠閉鎖が生じたと推測される。

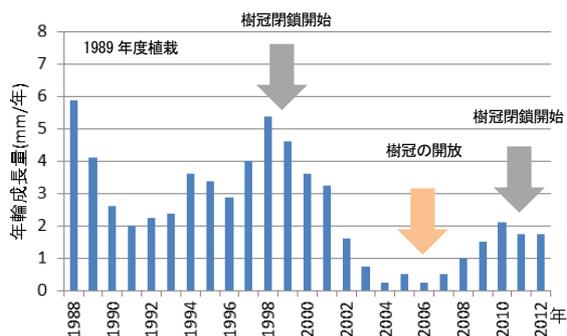


図-23 C 防雪林の年別年輪成長量と樹冠閉鎖・開放時期の推定図

図-24 は D 防雪林、図-25 は B 防雪林の年別年輪成長量と樹冠閉鎖および解放時期の推定図の代表例である。D 防雪林は、林齢 9 年で樹冠閉鎖が始まり、18 年で間引きを実施、21 年で樹冠が再開したと推測される。また、B 防雪林では、1 列 2 条植栽で列間が 3m 以上あるため、現地での視認からは樹冠閉鎖状態に無いと判断したが、年輪の読み取りからは列内の 2 条間ですでに樹冠の競合が生じていることが示された。

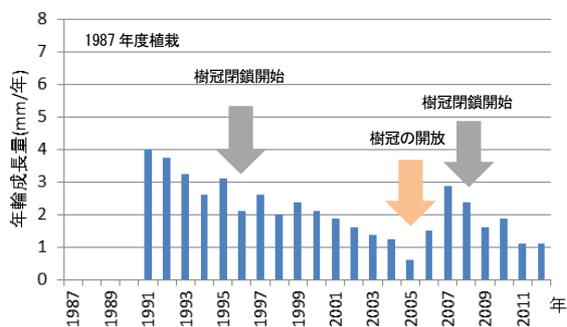


図-24 D 防雪林の年別年輪成長量と樹冠閉鎖・開放時期の推定図

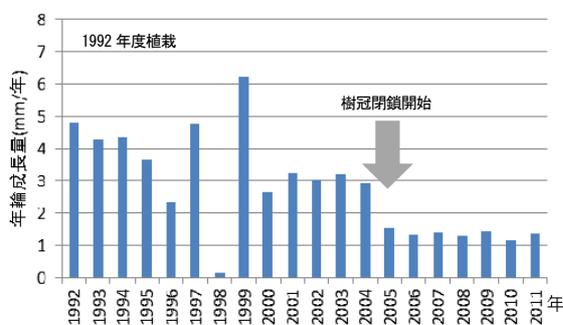


図-25 B 防雪林の年別年輪成長量と樹冠閉鎖・開放時期の推定図

## (2) 下枝の枯れ上がりと隣接木との距離の関係

調査した枝のうち、全て枯れ上がり成長が止まっている枝のデータを用いて、密度と隣接木の関係を解析した。

その結果、植栽密度と生存していた時までの枝の長さ、および枝の生存年数に相関は見られなかった。

また、隣接木の距離と生存していた時までの枝の長さの関係に相関は見られなかったが、隣接木との距離が離れるほど、枝の生存年数が長くなる傾向が見られた (図-26)。

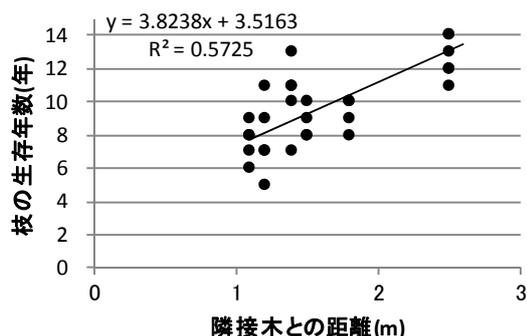


図-26 隣接木との距離と枝の生存年数の関係

## (3) 樹冠閉鎖開始と下枝の枯れ上がり、間引きに関する考察

年輪解析から推定した樹冠閉鎖時期は、林齢で見ると 6~13 年と幅があった。試料木のデータから算出した林齢と枝張りの関係 (図-22) によると、枝張りが 0.5m~0.9m の状態で樹冠閉鎖が開始したことになる。

C 防雪林は、列間 1.0m、苗間 1.5m の千鳥植栽、D 防雪林では列間 0.75m、苗間 1.5m の千鳥植栽と狭い間隔で植栽したために樹冠閉鎖が若齢のうちに生じたものと考えられる。

現在は道路吹雪対策マニュアル (平成 23 年改訂版)<sup>5)</sup> で列間 3.0m、苗間 2.0m を標準としていることから、試料木の場合よりも樹冠閉鎖時期は遅いと考えられる。樹齢 15 年での枝張りは 1m 程度となることが予想されることから、その時期を一つの目安として間引き管理計画を立案する必要がある。

## 3. 風洞実験による防風機能調査

### 3.1 研究方法

防雪林の防雪・防風機能を維持した間引き管理を効率的に行うためには、間引きと防雪・防風機能の関係が明確でなければならないが、現時点ではその関係は明らかとはなっていない。これらの関係を調査

するには実フィールドにおける調査が理想だが、実際に間引きを行うことに限度があることや実験条件の統一が難しいことなどから実フィールドだけでの評価は困難である。このため、模擬実験により間引きと防雪・防風機能の関係を示すデータを得ることは、防雪・防風機能を維持した間引き管理を検討する上で重要である。そこで、ここでは風洞実験で模型防雪林下流側の流速計測を行うことにより、防雪林の間引きや樹高・枝下高の違いによる防風機能への影響についての調査を行った。実験には寒地土木研究所の風洞実験装置を使用し、測定洞内の風速分布は、自然の風を模擬するため、ベキ法則に近似するように調整した。模型雪は活性白土を使用し、測定洞上流のノズルから圧縮空気とともに 230g/min で風洞内に供給される。実験風速は地面からの高さ 400mm における風速で 7m/s とした。

防雪林を構成する樹木については写真-9 に示す模型を用い、樹高と樹冠直径は道路吹雪対策マニュアル（平成 23 年改訂版）<sup>5)</sup>などを参考に、間引きを行う目安とされる隣接する樹木の樹冠が触れあう時期を想定して設定した（図-27）。模型の縮尺は 1/100 とした。

植栽配置は、列数 5 列および 3 列でそれぞれ間引きしないものと千鳥間引きをしたものの計 4 パターンとし、道路吹雪対策マニュアル（平成 23 年改訂版）<sup>5)</sup>における標準林の植栽配置に準じて列間 30mm、苗間 20mm とした（図-28）。

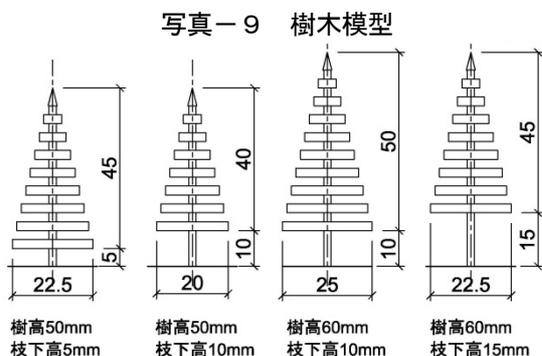


図-27 樹木模型

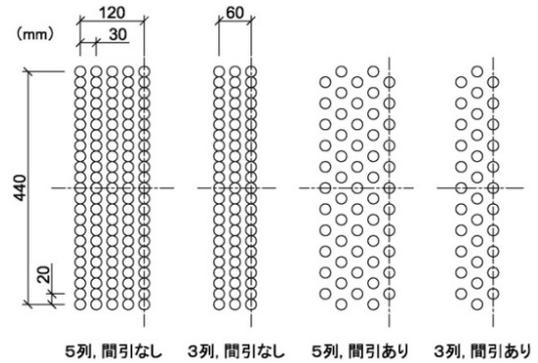


図-28 植栽配置

流速の計測方法は活性白土をトレーサーとして用いた PIV（粒子画像流速測定法）とし、計測線は風洞横断方向中央とした。計測用画像の撮影は毎秒 2000 枚で 5 秒間とした。計測に用いた画像は 10000 枚で、乱流による影響を極力排除するため、2 枚の画像からそれぞれ得られる 5000 個の結果の平均を計測結果とした。

### 3. 2 研究結果

風洞実験による模型防雪林下流側の流速計測の結果を以降に記す。

「樹高 50mm、枝下高 5mm、5 列、間引なし」および「樹高 60mm、枝下高 15mm、5 列、間引なし」における流速分布をそれぞれ図-29、30 に示す。樹木模型の縮尺は 1/100 であり、それぞれ「樹高 5m、枝下高 0.5m」、 「樹高 6m、枝下高 1.5m」の樹木に相当する。これら 2 つのパターンにおける樹木模型の樹冠の大きさは同じであるが、減風される範囲は枝下高が低い方が広範囲となっている。ここでは図示していないが他のパターンとの比較においても枝下高が高いほど地面付近の流速は速くなっており、枝下部分では気流が吹き抜けやすくなっている。

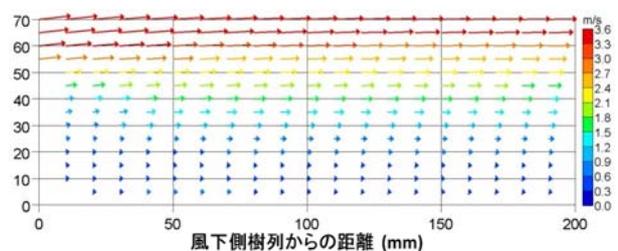


図-29 流速分布（樹高 50mm、枝下高 5mm、5 列、間引なし）

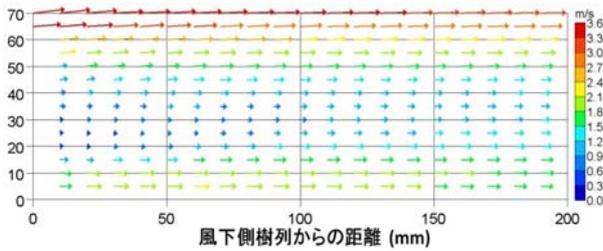


図-30 流速分布 (樹高 60mm、枝下高 15mm、5 列、間引なし)

各パターン各地点における流速の水平方向成分と、樹木がない場合の同一位置での流速の水平方向成分との比を流速比とし、「樹高 50mm、枝下高 5mm」および「樹高 60mm、枝下高 15mm」について、地面からの高さ  $H=15\text{mm}$  における流速比をそれぞれ図-31、32 に示す。風下側樹列からの距離  $X=100\text{mm}$  以遠で流速比の値はほぼ一定となっており、この区間での流速比は間引きによりおおむね 0.2~0.3 上昇している。また、「間引なし」において、枝下高が 5mm から 15mm になることで流速比は  $X=100\text{mm}$  地点で 0.3 程度上昇している。このことは、枝下高が高くなることによる防風機能の低下は、樹木の本数が半分となる間引きによる防風機能の低下に相当する場合があることを示唆している。

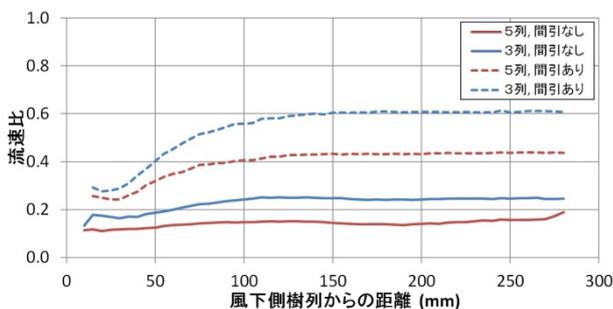


図-31 流速比 ( $H=15\text{mm}$ 、樹高 50mm、枝下高 5mm)

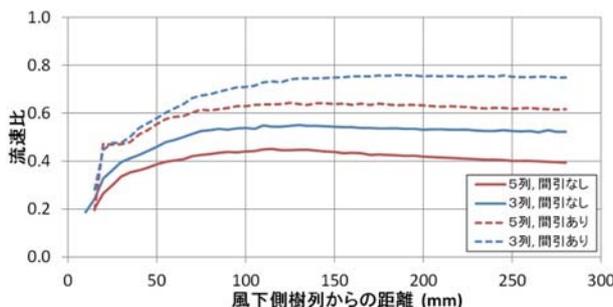


図-32 流速比 ( $H=15\text{mm}$ 、樹高 60mm、枝下高 15mm)

「5 列、間引なし」について、風下側樹列からの距離  $X=100\text{mm}$  (風上側路肩付近を想定) における流速比の鉛直分布を図-33 に示す。流速比について、 $H=20\text{mm}$  程度以下の範囲では地面に近いほど樹高に比べ枝下高の影響を強く受けている。 $H=40\text{mm}$  程度以上の範囲では枝下高の違いによる流速比の違いはほとんどなく、樹高の違いによる流速比の違いが大きくなっている。道路構造令による小型車ドライバーの目の高さが 1.2m であることを考慮すると、道路防雪林として高い機能を発揮させるためには、樹高を高めることよりも、枝下高を低く抑えることが重要と考えられる。

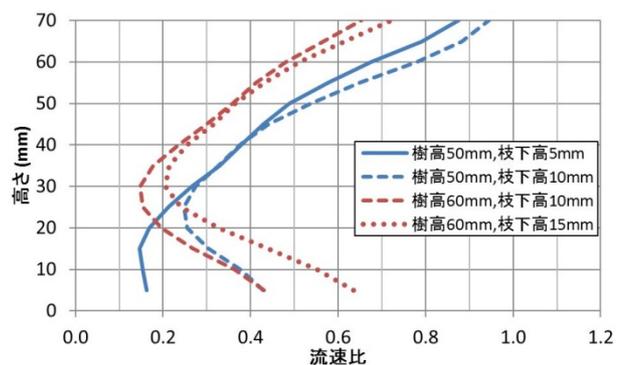


図-33 流速比 ( $X=100\text{mm}$ 、5 列、間引なし)

## 4. まとめ

### 4.1 防雪林の基盤造成と育成管理

既存防雪林を対象とした現地調査および解析結果から、以下のことが明らかとなった。

- 1) 樹木の生育状態は、植栽後初期の段階 (樹高 1m 未満) においては土壌の硬さに規定され、樹高 1~3m 程度では土壌水分環境に規定されると推定される。そのため、植栽基盤造成時は表層の「膨軟さ」を確保し、深さ 40cm 以上に滞水しないようにする必要がある。
- 2) 植栽後 3 年目の秋~4 年目頃に追跡調査を実施して、年間伸長量が 15cm 程度に達しない場合は、何らかの生育阻害要因が存在する可能性があるため、土壌の硬さや土壌の水環境等の調査を行う必要がある。
- 3) 道路防雪林の標準配置<sup>5)</sup> (列間 3.0m、苗間 2.0m) においては、林齢 15 年で枝張りが約 1.0m となることが予想されることから、間引き管理の一つの目安として、植栽後 15 年頃が適当と考えられる。

今後は調査事例を増やし解析精度の向上を図ると共に、防雪効果を考慮した間引き時期について検討

する必要がある。

#### 4. 2 防雪林の防風機能

風洞実験により防雪林の防風機能について調査を行った。実験結果から、間引きを行う時期における防雪林について、間引きを行うことにより防風機能は低下するが、枝下高による影響も大きく、枝下高が高くなることによる防風機能の低下が樹木の本数が半分となる間引きによる防風機能の低下に相当する場合があることがわかった。また、乗用車の車高程度の高さ範囲においては、樹高や樹冠の大きさに比べて枝下高が防風機能へ大きく影響することがわかった。防風機能の高い防雪林とするためには、枝下高を高くしないこと、すなわち下枝の枯れ上がりを防ぐことを優先する間引き管理が重要と考えられる。

今後も風洞実験を継続してより多くの条件における防雪機能について調査する予定である。

#### 参考文献

- 1) 久馬一剛、佐久間敏雄ほか編：土壌の事典、朝倉書店、1993
- 2) 森林立地調査法編集委員会：森林立地調査法 森の環境を測る、博友社、pp. 59-60、1999
- 3) 広谷巍：苗畑設計 北方林業会編 北方林業叢書 36 北海道の育苗ハンドブック 前編、北方林業会、pp. 2-27、

1967

- 4) 北海道山林種苗協同組合：平成 23 年度 道苗組自主標準価格表、2011
- 5) 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、2011
- 6) 真坂一彦、山田健四、佐藤弘和：「アカエゾマツの葉サイズに対する微地形の影響—長寿命の葉を利用した過湿環境の評価—」、日本森林科学会誌、87,3、pp. 225-232、2005
- 7) 香山雅純：「トウヒ属樹木の蛇紋岩土壌における適応機構の解明と環境修復に関する研究」、北海道大学演習林報告、63,1、pp. 33-78、2006
- 8) 日本ペドロロジー学会編：土壌調査ハンドブック改訂版、博友社、1997
- 9) 国土交通書都市・地域整備局公園緑地・景観課緑地研究室 監修：植栽基盤整備技術マニュアル 改訂第 2 版、(財)日本緑化センター、2009
- 10) 苅住昇：新装版樹木根系図説、p. 1121、誠文堂新光社、1987
- 11) ピーター・トーマス：樹木学、築地書館、2001
- 12) 渡邊定元：樹木社会学、p. 83、東京大学出版会、1994
- 13) 堀大才、岩谷美苗：図解 樹木の診断と手当て—木を診る 木を読む 木と語る—、pp. 49-57、(社)農山漁村文化協会、2002

## STUDY ON EFFECTIVE GROWTH MANAGEMENT OF SNOWBREAK WOODS IN ACCORDANCE WITH LIFE CYCLE

**Budget** : Grants for operating expenses  
(general account)

**Research Period** : FY2011-2014

**Research Team** : Snow and Ice Research Team  
Machinery Technology Research Team

**Author** : MATSUZAWA Masaru

UEDA Masayo

WATANABE Takashi

SUMITA Noriyuki

YAMAZAKI Takashi

ISHIKAWA Masahiro

### **Abstract** :

In this study, existing snowbreak woods were surveyed and wind tunnel experiments based on such woods were conducted. The aims were to mitigate the poor growth of trees in the early stages by proposing ideal specifications for the planting of highway snowbreak woods, and to help snowbreak woods attain full functionality by suggesting growth management methods for each growth phase.

Our study found that, in making a planting base, the surface soil must be loose and water must not stagnate higher than 40 cm below the surface soil. Our study also clarified that, in managing the growth of trees, their poor growth becomes distinguishable from the autumn of the third to fourth years after planting and that the 15th year after planting is the appropriate time for developing a thinning plan. The wind tunnel experiments verified that the height of the lowest branches affects the trees' degree of snow control and that thinning is essential to avoid the death of lower branches.

### **Key words** :

highway snowbreak woods, planting base, factors of poor growth, snow control, wind tunnel experiment.