

「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：寒地道路グループ（雪氷）

技術開発調整監付（寒地機械技術）

研究担当者：松澤勝、上田真代、原田裕介、渡邊崇史（雪氷）

住田則行、山崎貴志、岸寛人（寒地機械技術）

【要旨】

積雪寒冷地の北海道では、国道における通行止め原因の4割を吹雪が占めるなど、吹雪による冬期交通障害が多く発生しており、吹雪対策が重要課題となっている。吹雪対策として最も高い効果が期待できる防雪林は、苗木で植栽するため、早期成長と健全な育成管理が必要であるが、現在、生育基盤の造成方法や密度管理（間引き）などの管理手法が確立されていない。本研究では、防雪林の効果的な育成・管理手法の開発に向け、適切な密度管理開始時期を明らかにするため、年輪解析および枝階の生長解析により樹高生長と樹冠生長を定量的に評価し、樹高生長および樹冠生長の予測を行った。また、防雪機能を維持した密度管理を検討するため、風洞実験による防雪林の防雪機能調査に先立って、風洞実験装置の風速分布調整及び実験に使用する樹木模型の種類の検討を行った。

キーワード：道路防雪林、植生、樹木の生長過程、維持・管理、風洞実験

1. はじめに

北海道の道路防雪林は、1970年代後半に造成が開始されてから、北部と東部を中心に導入が進み、現在、国道における総延長が80km以上に及ぶ¹⁾。

道路防雪林の防風、防雪、視程障害緩和の効果は、樹高や枝張りに大きく影響される。そのため、植栽後の生長過程を把握し、防雪機能が発揮され始める時期や、下枝の枯れ上がり防止のため、密度管理の開始時期等の目安が求められている。樹木の生長は植栽地の環境条件に左右されるが、人工地盤に造成される道路防雪林の標準的な生長速度は示されていない。

本研究は、既存防雪林の主な植栽樹木であるアカエゾマツを対象に、生長過程の再現と密度管理の開始時期の推定把握を目的としている。年輪解析および枝階の生長解析を行い、樹高生長および樹冠生長の定量的把握を実施し、樹高生長・樹冠生長予測を試みた。

また、防雪林の防雪機能を維持した間引き管理を効果的に行うためには、間引きと防雪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なっていない。これらの関係を調査するには実際の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際のフィールドだけでの評価は困難である。このため、風洞実験による防雪林の防雪機能調査に向けて、風洞実

験装置の風速分布調整及び実験に使用する樹木模型の種類検討を行った。

2. 防雪林の初期生育調査

2.1 調査地概要と調査方法

2.1.1 調査の位置と概要

調査対象地は、道北2箇所（A防雪林、B防雪林）、道東1箇所（C防雪林）の計3箇所の道路防雪林である。図-1に位置図、表-1に各防雪林の概要を示す。

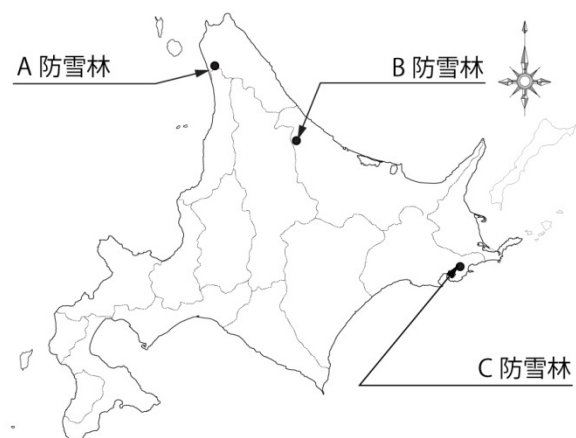


図-1 調査地位置図

表-1 調査対象防雪林の概要

	A防雪林	B防雪林	C防雪林
林帯幅	32.0m	17.6~21.6m	17.0m
全体延長	1,870m	866m	760m
植栽樹種	アカエゾマツ ヤナギ類	アカエゾマツ ブンゲンストウヒ ヤナギ類	アカエゾマツ
植栽配置	列間: 2.4m 苗間: 2.0m 方形植栽	列間: 3.0m 苗間: 2.0m 千鳥植栽	列間: 2.0m 苗間: 2.0m 千鳥植栽
植栽時の樹高 (アカエゾマツ)	0.5m	0.9m	3.0m
植栽年度	H17年度 (2005)	H4年度 (1992)	H元~5年度 (1989~1993)

2.1.2 調査方法

a) A防雪林・B防雪林

A防雪林から生育良好区画1カ所、生育不良区画1カ所、およびB防雪林から生育良好区画2カ所、生育不良区画1カ所を調査箇所として選定し、区画内に植栽されている枯死木や植栽跡を含む20本程度を調査対象木とした。調査項目は、調査対象木の樹高、胸高幹周または根元径、最近3カ年の枝階間の伸長量、4方向の枝の長さである。なお、胸高直径は胸高幹周より算出した。図-2に計測箇所を示す。

また、A・B防雪林からそれぞれ生育良好木2本、生育不良木2本を選定して伐採し、現地で各枝階の地面からの高さ及各枝階毎に枝の年間伸長量を計測した。さらに高さ1m(高さ3m未満の樹木では0.5m)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方向別に読み取って年輪解析²⁾を行った。円盤を採取した試料木の大きさを表-2に示す。なお、現地調査は、2011年10月下旬に実施した。

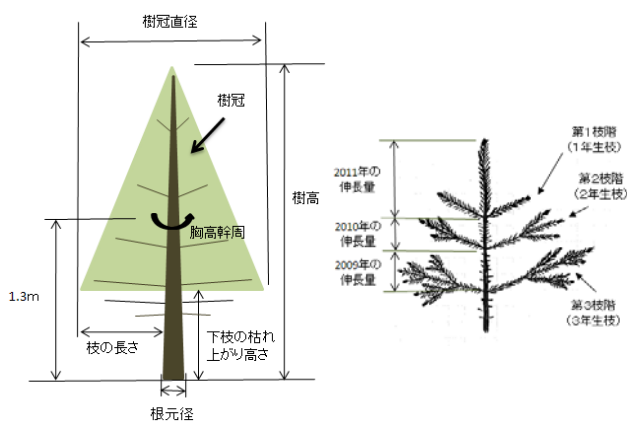


図-2 樹木の計測箇所

b) C防雪林

C防雪林においては、調査対象として生育状態に依らず、3区画を選定した。各区画(延長20m×林帯幅)内の20本を無作為に抽出し、樹高、胸高幹周、最近3カ年の

枝階間の伸長量、4方向の枝の長さ、枯れ上がりの高さを計測した。現地調査は2011年9月下旬に実施した。

表-2 年輪解析に使用した試料木のサイズ

	試料木 No.	樹高 (m)	根元径 (cm)	胸高直径 (cm)
A 防 雪 林	A-001	2.28	3.5	—
	A-002	2.87	4.5	—
	A-003	0.72	2.0	—
	A-004	0.86	2.2	—
B 防 雪 林	B-001	6.85	—	5.4
	B-002	1.66	—	0.6
	B-003	1.35	—	0.7
	B-004	6.70	—	5.6

2.2 生育状況の調査結果

(1) A防雪林

表-3にA防雪林のアカエゾマツの計測データ(平均値)を示す。生育良好区画 a-2(写真-1)の平均樹高は1.81mで、植栽後0.22m/年の伸長量となっている。これに対し、生育不良区画 a-1(写真-2)では、平均樹高は1.06mで年平均伸長量は0.09m/年に留まっていた。a-2の最近3年の伸長量を見ると2010年以降急激に伸長しており、植栽後2~3年程度の生長停滞時期があったことが伺える。

表-3 A防雪林の計測データの平均値

項目	単位	A防雪林		
		区画 a-1	区画 a-2	
1区画本数	本	26	24	
平均樹高	m	1.06	1.81	
平均伸長量	2011年	m	0.11	0.36
	2010年	m	0.10	0.30
	2009年	m	0.08	0.16
植栽後の年平均伸長量	m/年	0.09	0.22	
平均根元径	cm	3.64	5.34	
平均の枝の長さ	m	0.40	0.56	



写真-1 A防雪林の生育良好区画(a-2)



写真-2 A防雪林の生育不良区画(a-1)

(2) B防雪林

表-4にB防雪林のアカエゾマツの計測データ(平均値)を示す。生育良好区画b-2、b-3(写真-3)においては平均樹高が5.54m、および6.07mであった。年平均伸長量はそれぞれ0.24m/年、0.27m/年である。生育不良区画b-1(写真-4)では平均樹高が2.19m、年平均伸長量は0.07m/年であった。

表-4 B防雪林の計測データの平均値の状況の状況

項目	単位	B防雪林			
		区画 b-1	区画 b-2	区画 b-3	
1区画本数	本	20	20	20	
平均樹高	m	2.19	5.54	6.07	
平均伸長量	2011年	m	0.28	0.44	0.45
	2010年	m	0.27	0.54	0.58
	2009年	m	0.21	0.41	0.31
植栽後の年平均伸長量	m/年	0.07	0.24	0.27	
平均胸高直径	cm	1.25	4.25	5.23	
平均の枝の長さ	m	0.55	1.15	1.30	



写真-3 B防雪林の生育良好区画(b-3)の状況

(3) C防雪林

表-5にC防雪林のアカエゾマツの計測データ(平均値)を示す。

調査区画c-1、c-2、c-3の平均樹高はそれぞれ9.1m、

10.7m、7.7mであった。植栽年度は、c-1が平成元(1989)年、c-2が平成2(1990)年度、c-3が平成5(1993)年度である。樹高3.0mの成木植栽であったことから、各区画の年間伸長量は、c-1が0.28m/年、c-2が0.37m/年、c-3が0.26m/年である。

C防雪林では樹高が高くなり、樹冠閉鎖が進み、枝の先枯れが生じて枝張りが小さくなっていった。また、樹高生長とともに下枝が枯れ上がっていく傾向が確認されており(写真-5)通常の木々の生育状態としては問題はないが、防雪効果に問題が生じる可能性がある個体が数多く確認された。



写真-4 B防雪林の生育不良区画(b-1)の状況

表-5 C防雪林の計測データの平均値

項目	単位	C防雪林			
		区画 c-1	区画 c-2	区画 c-3	
1区画本数	本	20	20	20	
平均樹高	m	9.10	10.70	7.70	
平均伸長量	2011年	m	0.30	0.30	0.30
	2010年	m	0.50	0.50	0.50
	2009年	m	0.50	0.50	0.50
植栽後の年平均伸長量	m/年	0.28	0.37	0.26	
平均胸高直径	cm	14.20	18.10	14.80	
平均枯れ上がり高さ	m	4.40	5.60	2.10	
平均の枝の長さ	m	1.43	1.49	1.85	



写真-5 C防雪林の下枝の枯れ上がり状況

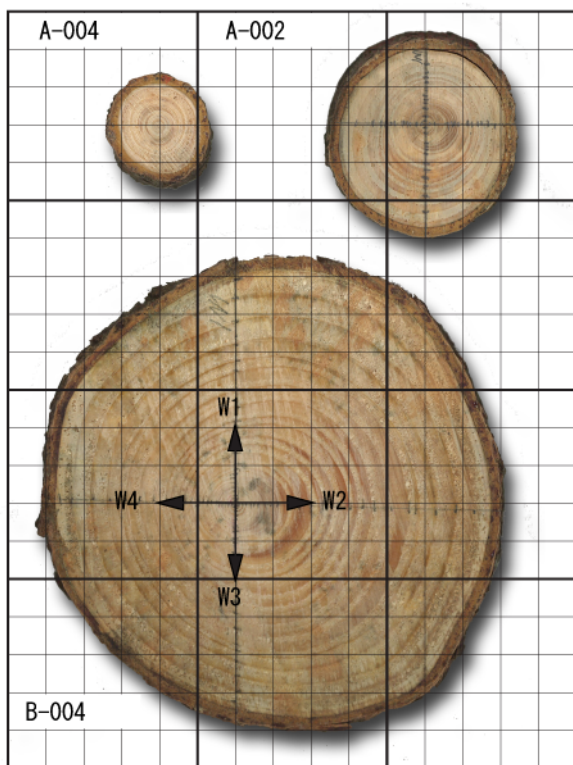
2.3 樹高生長と樹冠生長の解析

(1) 年輪解析

図-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(路線終点方向W1とし、W1から時計回りに90°ずつ、W2、W3、W4とする)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生長量とした。

平均肥大生長量を算出したのちに、生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、同齡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-4、図-5は、B防雪林の生育良好木(B-004)、および生育不良木(B-002)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。

これらの結果を用いて、A防雪林とB防雪林の生育良好木について樹高生長曲線を作成したので、図-6に示す。なお、樹木が採取した円盤の地上高まで生長するには、年数を要することから、樹高生長曲線の作成にあたり、伐採高に応じ1~4年程度を年輪数に加えて樹齡とした。



A-002 : 樹高 2.87m 円盤の地上高 0.04m
A-004 : 樹高 0.86m 円盤の地上高 0.03m
B-004 : 樹高 6.70m 円盤の地上高 0.20m

図-3 年輪解析に用いた円盤の例

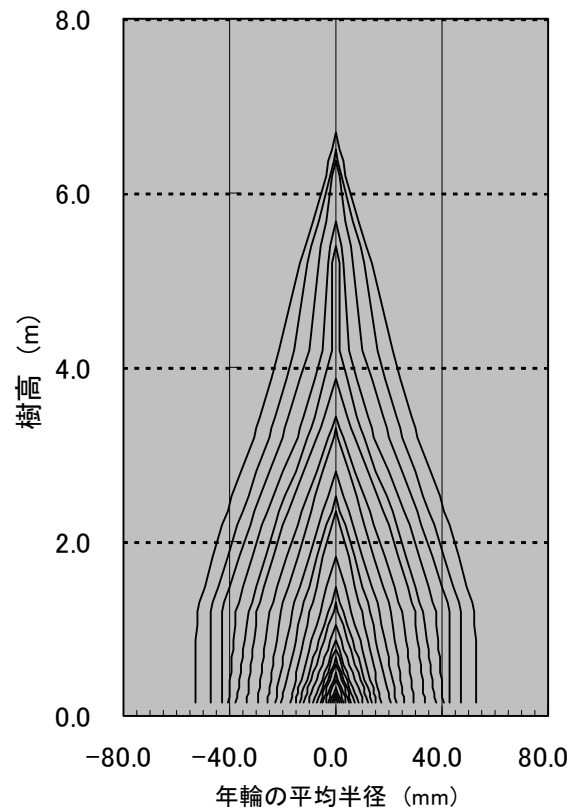


図-4 B防雪林の生育良好木(B-004)の年輪解析図

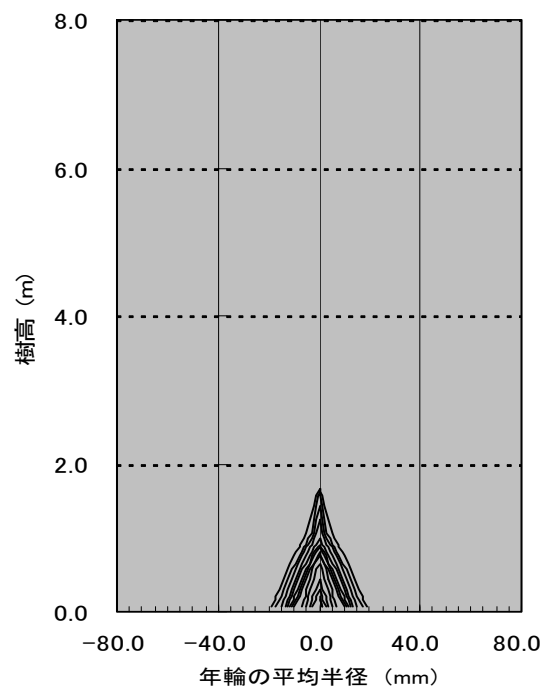
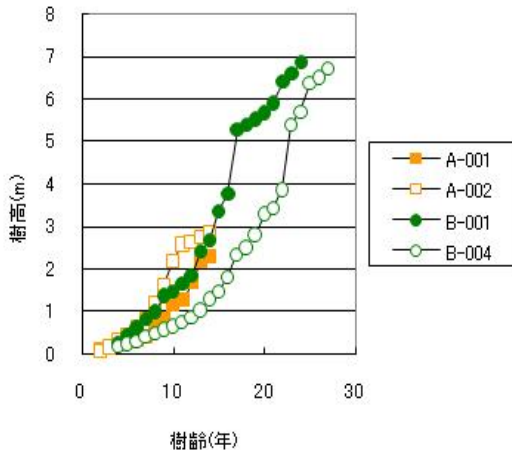


図-5 B防雪林の生育不良木(B-002)の年輪解析図



※ A-001,A-002:A防雪林の生育良好木
※ B-001,B-004:B防雪林の生育良好木

図-6 A・B防雪林の生育良好木の樹高生長

(2)樹冠生長解析

次に樹齡と樹冠直径(図-2参照)の関係について解析を行った。

まず、前述の生育良好木4本の平均値に基づいて樹齡と樹高の関係式(1)を算出した。樹齡と樹高の関係を図-7に示す。長期的に見ると樹木の生長はS字曲線(ロジスティック曲線)を示す³⁾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齡が255年程度である⁴⁾ことを考慮すると、今回の調査対象木が生長初期の段階であることから3次曲線で近似させた。

$$H = -0.0004Y^3 + 0.0245Y^2 - 0.1089Y + 0.3114 \quad \dots(1)$$

ここで、H: 樹高(m)、Y: 樹齡(年)

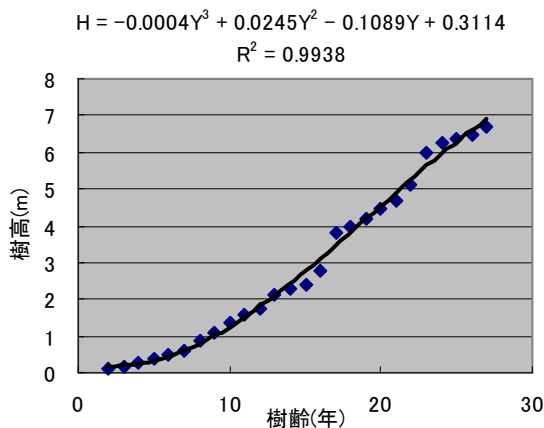


図-7 樹齡と樹高の関係

また、図-8は胸高直径と樹高の関係を図示したものである。この図より、胸高直径と樹高の近似式(2)を算出した。

$$H = 2.6464Ln(D) + 1.7164 \quad \dots(2)$$

ここで、H: 樹高(m)、D: 胸高直径(cm)

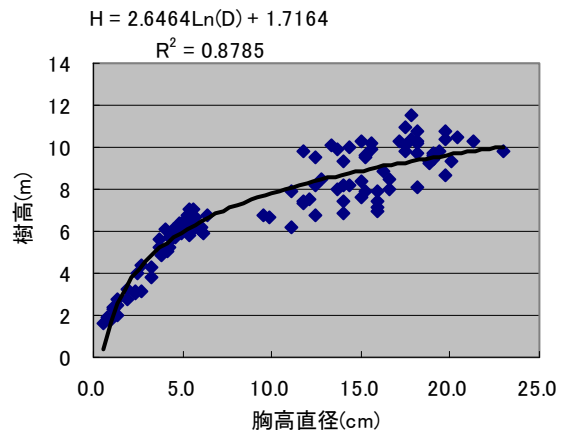


図-8 胸高直径と樹高の関係

胸高直径と樹冠直径の関係においては、拡張相対成長式(Ogawa et al. 1965⁵⁾; 小川1980⁶⁾)が適用可能であり⁷⁾、拡張相対成長式は式(3)で得られる。

$$1/C = 1/\alpha D^h + 1/y \quad \dots(3)$$

ここで、C: 樹冠直径(m)、D: 胸高直径(cm)、 $\alpha \cdot h \cdot y$ 定数。

定数を求めるためには、相当数のサンプルと胸高直径60cm前後の大径木での最大樹冠直径が必要である。しかし、本調査ではサンプル数が少ないうえ、大径木もないため拡張相対成長式の適用はできなかった。そこで、図-9に示すようなB防雪林とC防雪林の胸高直径と枝の長さのデータから関係式を導くこととした。

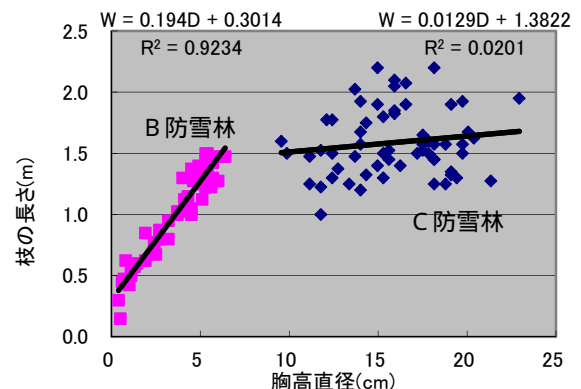


図-9 胸高直径と枝の長さの関係

式(3)によれば、樹冠直径にはある限界があり、それに対して対数曲線に近いカーブを描く。しかしC防雪林では樹冠が鬱閉し隣接木が相互に干渉しているために胸高

直径と枝の長さの間には相関が見られない。ここでは防雪林生長初期の段階のみに着目し、1次式での近似が可能と考え、図-9より近似式(4)を算出した。

$$W = 0.194D + 0.3014 \quad \dots (4)$$

ここで、 W : 枝の長さ(m)、 D : 胸高直径(cm)

樹冠直径は枝の長さの2倍とし、式(1)、式(2)、式(4)より、樹齢の関数として次の式で表すことができる。

$$2W = 0.38 \exp(aY^3 + bY^2 + cY + d) + 0.60 \quad \dots (5)$$

ここで、 $2W$: 樹冠直径(m)、 Y : 樹齢(年)

$a = -0.00015, b = 0.00925, c = -0.04109, d = -0.53208$

2.4 考察

現況の道路防雪林を想定し、「道路吹雪対策マニュアル(平成15年版)⁸⁾」における標準林の植栽配置上での生育状態を予測した。6年生・樹高0.47mのアカエゾマツを列間3.5m、苗間2.0mの3列に植栽したと仮定し、式(5)を用いて植栽後の樹高、および樹冠直径を算出した。図-10は道路防雪林の生長予測模式図であり、図-10上は平面図、図-10下は道路方向から見た側面図である。

道路縦断方向では植栽後15年を過ぎると樹冠が触れあうようになり、植栽後20年では重なり合っている。横断方向では植栽後20年を超えてから隣接する列の樹冠と触れあい、植栽後25年では重なり合う。植栽20年後の樹高は6.7m、植栽25年後の樹高は8.4mである。

B防雪林の事例では、樹高6m程度で隣接木(苗間2m)と樹冠が重なり合っていたが、列間は3mで隣接する列との枝の接触は生じていない。また、下枝の枯れ上がりもわずかしが確認されなかった。

C防雪林の事例では、列間2m、苗間2mの千鳥植栽で、樹高9~10mで樹冠は完全に閉鎖し、下枝の枯れ上がりが地面から5m前後となっていた。また平均樹高8m弱の調査区C-3では、下枝の枯れ上がりは地面から2m程度であった。

これらの生長予測、および調査事例から判断すると、現在造成されている道路防雪林の標準配置(列間3.5m、苗間2m)における適正な間引き時期は、植栽後20年程度で、樹高が7mを超える頃ではないかと推定される。

本調査においては、下枝の枯れ上がり開始時期を推定できるデータは計測できなかった。しかし、樹冠閉鎖によって枯れ上がりが促進されるのは明確であり、樹冠閉鎖時期を推定したことにより、適切な密度管理計画に繋

がるものと考えられる。

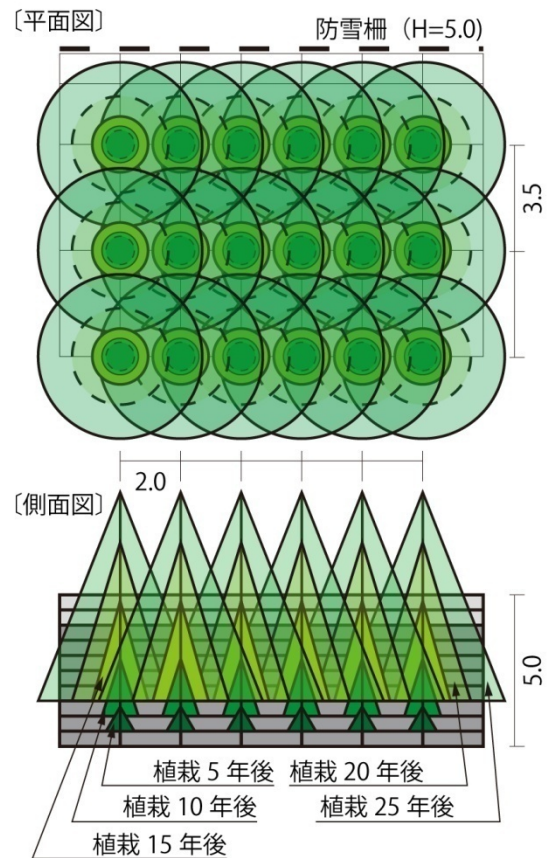


図-10 道路防雪林生長予測模式図

3. 風洞実験による防雪林の防雪機能調査

3.1 風洞実験装置の風速分布調整

本実験では、全長約29m、測定洞全長約9m、測定洞断面1.2m×1.2mの風洞実験装置を用いた。全体図を図-11に示す。防雪林に関する実験を行うに先立ち本実験装置の測定洞内風速分布調整を行った。

風速分布調整は測定洞上流に様々な形状の風速調整装置を組み合わせて設置することにより行った。調整後の風速調整装置は乱流格子、スパイヤー、バリヤーと呼ばれる調整装置を組み合わせたもので、写真-6に示す。

風速分布調整は、横断方向の風速分布が計測範囲内で一様となること、鉛直方向の風速分布が防雪施設の設置地点である田園地帯を想定したべき指数(0.15⁹⁾)のべき法則に近似することを目標として行った。

高さ400mmでの風速7m/sにおける調整前後の風速分布を図-12,13に示す。調整前の風速分布は、横断方向分布が一様ではなく、鉛直方向分布はべき法則となっていなかった。また、境界層高さは100mm程度で設置予定の模型高さに比べ十分な高さとなっていないことがわかった。

調整後の風速分布は、横断方向分布が計測範囲（800mm）内ではほぼ一定、鉛直方向分布がべき指数0.15のべき法則に近似しており、境界層高さは400mm以上で設置予定の模型高さに比べ十分な高さとなっていることがわかった。

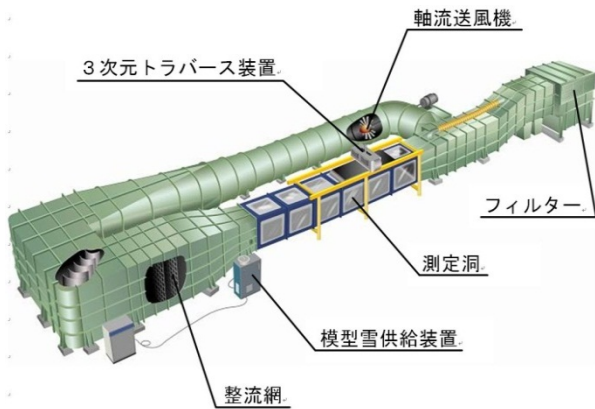


図-11 風洞実験装置

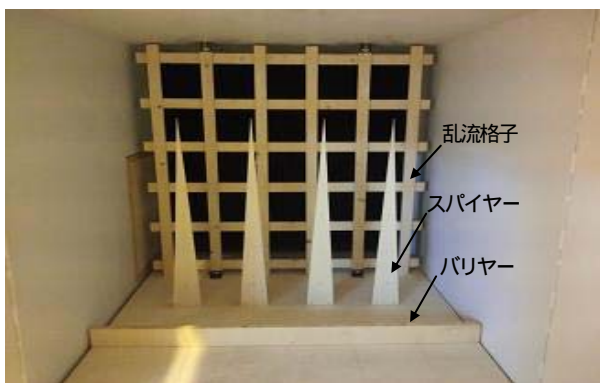


写真-6 風速調整装置(風速分布調整後)

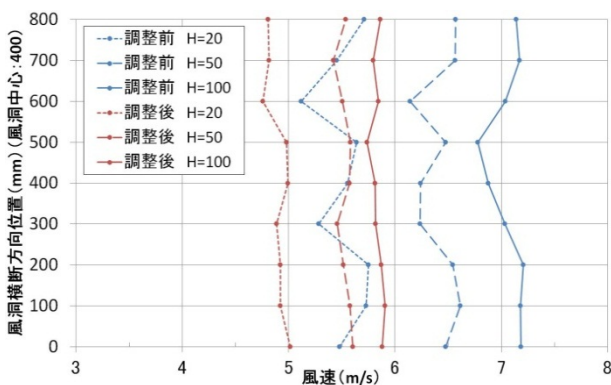


図-12 風速分布(横断方向)

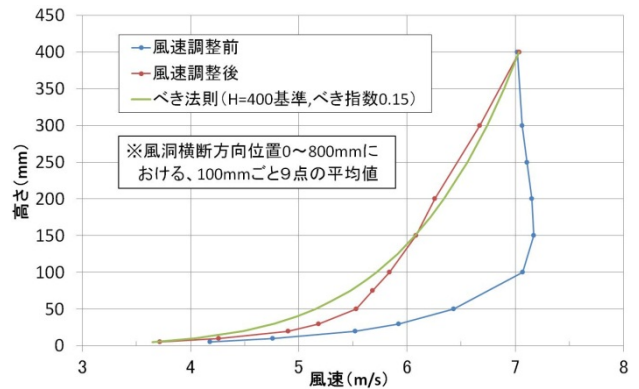


図-13 風速分布(鉛直方向)

3.2 樹木模型の検討

防雪林に関する風洞実験はこれまでに数多く行われているが、実験に用いられる樹木模型はそれぞれの実験で異なった種類の模型が使用されており、模型種類の統一はなされていない。しかしながら、模型の種類によって異なった実験結果となることが予想されるため、樹木模型の種類による防風機能の違いについて検討を行った。

比較した樹木模型は、フィルター材及びブラシでそれぞれ樹冠を作製した2種類(フィルター模型、ブラシ模型)と、比較のため樹冠の外形を面材で作製した模型(外形模型)の計3種類とした(写真-7)。模型寸法は樹高80mm、樹冠幅30mm、枝下高10mmとした。樹木の配列は吹雪対策マニュアルによる狭帯林とし、縮尺は1/100とした。実験風速は高さ400mmにおける風速で7m/sとした。計測点は図-14に示す1断面あたり100点で3断面計測した。風速の計測は熱線式風速計を使用し、1計測点あたり200Hzで1024回計測した平均値をその計測点での風速とした。

防雪林中心から風上側400mmにおける風速を基準風速とし、各計測点での風速を同一高さにおける基準風速で除した値を風速比とした。防雪林中心から風下側50、100mmにおける風速比の3断面平均を図-15に示す。

図-15より風速比はフィルター模型、ブラシ模型、外形模型の順に高くなっている。フィルター模型の風速比が高さ40~80mm付近で他に比べ低くなっているが、これは模型が寸法値より若干大きかったことが原因と考えられる。このことを考慮するとフィルター模型とブラシ模型の間には防雪機能に顕著な違いは確認できない。外形模型では表面がなめらかで風が他に比べ乱されずに林帯を通り抜けたために風速比が高かったと考えられるが、これは実際の防雪林の防雪機能とは異なるものと考えられる。

異なる樹木模型の防雪機能の違いについて、今回の実

験では顕著な差は確認できなかった。しかしながら、今回使用したフィルター模型と同種の模型を用いた実験¹⁰⁾では実際の防雪林よりも風速比が小さくなっているため、今回使用した模型よりも風速比が大きくなるよう、樹冠の疎密度がより低い模型を検討する必要があると考える。



写真-7 樹木模型

(左: フィルター模型、中: ブラシ模型、右: 外形模型)

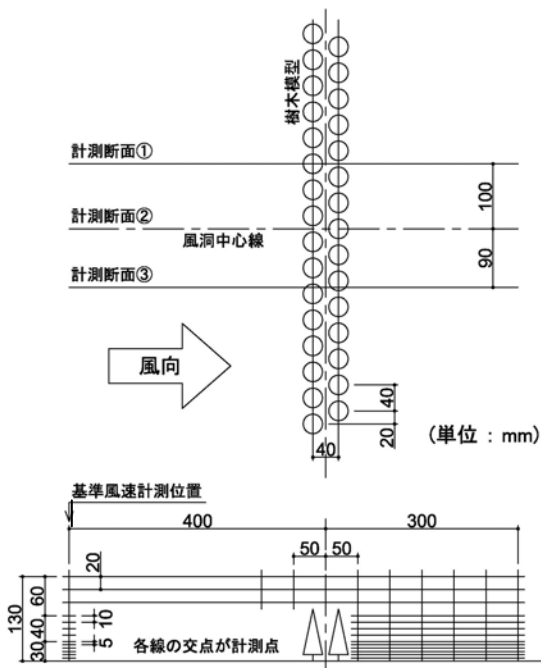


図-14 風速計測点(上: 平面図, 下: 立面図)

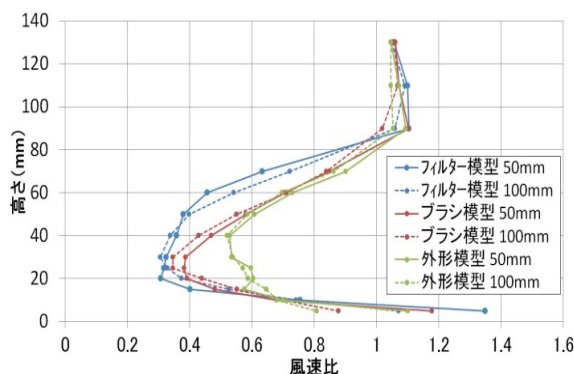


図-15 風速比(3断面平均)

4. おわりに

今回の樹高生長および樹冠生長予測報告は数少ない事例から生長予測式を求めているため、必ずしも道路防雪林の標準的な予測式とはいえない。今後は調査事例を増やし、より標準化された生長予測式を提供する必要がある。また、本稿においては、生育不良木の生長予測について論じていないが、生育不良木を放置した場合には防雪林の機能発揮は困難と考えられる。そのため、どの時点で、どのような生育状態であれば改植が必要であるかを判断する基準について検討する必要がある。

また、風洞実験による防雪林の防雪機能調査については、樹木模型の種類による防雪機能の違いに着目して風速計測による検討を行ったが、今回用いた模型では顕著な差は確認できなかった。今後はさらに多様な模型を用いた実験を行い、適切な模型条件について検討する予定である。

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) 第2編 防雪林編, 2011.
- 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, pp.59-60, 博友社, 1999.
- 3) ピーター・トーマス: 樹木学, 263pp, 築地書館, 2001,
- 4) 渡邊定元: 樹木社会学, p83, 東京大学出版会, 1994,
- 5) Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino and T. Kira: Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand . Plant biomass, Nature and Life in Southeast Asia, 4, pp 49-80,1965.
- 6) 小川房人: 個体群の構造と機能, 植物生態学講座5, p27, 朝倉書店, 1980.
- 7) 岸田昭雄, 向出弘正, 中村和子: 天然林における各樹種の胸高直径と樹冠直径との関係, 北方林業, 41,5, pp.11-14, 北方林業会, 1989,
- 8) 独立行政法人 北海道開発土木研究所: 道路吹雪対策マニュアル(平成15年7月) 第2編 防雪林編, 国土交通省北海道開発局, 2005.
- 9) 財団法人日本建築センター: 実務者のための建築物風洞実験ガイドブック, 2008
- 10) 山田毅, 伊藤靖彦, 松澤勝, 小杉健二, 根本征樹, 望月重人, 齋藤佳彦: 風洞実験による防雪林の樹木形態と防雪効果の関係について その2, 北海道の雪氷, No.26, pp.21-24, 2007

Study on how to effectively grow and manage snowbreak woods according to lifecycle

Research budget: grants for operating costs (general account)

Research period: 2011 ~ 2014

The team in charge: Snow and Ice Research Team,

Machinery Technology Research Team

The person in charge: Matsuzawa Masaru, Ueda Masayo,

Harada Yusuke, Watanabe Takashi,

Sumita Noriyuki, Yamazaki Takashi,

Kishi Norihito

[Abstract]

In Hokkaido, a snow-accumulating cold region, snowstorms account for 40 percent of the causes of road closures on the national highway, and traffic obstructions in winter due to snowstorms occur frequently. This makes us focus on countermeasures against snowstorms. Snowbreak woods, the most prospective and effective countermeasure against snowstorms, planted from seedlings, should be grown as fast as possible and under the sound growth management. Currently, a certain management method, including the method of building the planted ground or density control (i.e. thinning them out), has not been established yet. In this study, we quantified the growth of the height and the crown by means of analyzing annual rings and position growth to predict the growth of the height and the crown, in order to develop effective growth management of snowstorms and properly determine the exact timing of the launch of such density control. We also evaluated the adjustment of wind velocity distribution and experimental equipment for a wind tunnel and the category of tree models to be used for the experiments before performing an examination for snow control functions by means of a wind tunnel experiment, in order to evaluate density control which maintains snow control functions.

Keywords: road snowbreaks, vegetation, the process of tree growth, maintenance and management, wind tunnel experiment