

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

○ 山田毅,伊東靖彦,加治屋安彦((独)土木研究所 寒地土木研究所)

小杉健二,根本征樹((独)防災科学技術研究所),今西伸行((株)ドーコン)

1. はじめに

防雪林は冬期の安全で確実な交通を確保するために吹雪対策施設として造成される樹林帯である。初期に造成された防雪林は生長によって、間伐が必要な時期を迎えつつある。一方、間伐によって樹木密度が小さくなり一時的に防雪効果が低下することが懸念される。しかし現時点では樹木形態と防雪効果の関係は明らかになっていない。そこで防雪林の防雪効果を維持できる適正な樹木密度を明らかにするため、北海道内の道路防雪林をモデルに縮小模型による風洞実験を行ったので、その結果を報告する。

2. 実測

本風洞実験では風速分布、飛雪流量、吹きだまり分布の3つの測定を行い、モデルとした防雪林での実測と比較をした。

(1) モデルとした防雪林

モデルとした防雪林は一般国道40号天塩町雄信内の道路防雪林である(図1)。雄信内防雪林は1981年から植栽が始まり、初期に植栽されたものの樹高は6~8mになっている(写真1)。

(2) 実測方法

この雄信内防雪林で樹木寸法調査、風速分布測定、視程計測、積雪横断測定の調査を行った。観測位置は図2に示す3ヶ所(定点、密な林帯(林帯A)、疎な林帯(林帯B))である。観測位置の道路横断構成を図3に示す。

風速分布測定では小型三杯風速計((株)牧野応用測器研究所 電接風速計発信器 AC750)を使用し、2003年2月12日に測定した。測定高さは雪面上高さ0.6、0.9、1.2、2.4、4.8mの5点とした。防雪林前後の減風効果を確認するため、測定は道路中心を $X=0\text{m}$ 、風下を正とする道路の垂線の距離 $X=-150\text{m}$ 、 -37.5m 、 -25m 、 -19m 、 -7m 、 7m の6点で行った。また

観測時間は1観測点あたり2分である。測定日は2003年2月12日である。

視程計測は視程計(明星電気(株)TZE-4)、風速計(コーナシステム(株)KDC-S4)を用い、図2に示す3ヶ所で計測した。

積雪横断測量は2005年2月28日にトータルステーション((株)ニコン GF-5)を用いて道路垂線で積雪形状を計測した。



図1 調査箇所



写真1 調査箇所(全景)



図2 観測点位置

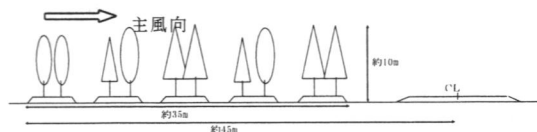


図3 防雪林の横断構成

これらの調査の結果、疎な林帯 B では密な林帯 A に比べて視程改善効果が劣ることが確認された(伊東ら(2006))。そこで間伐による防雪林の防雪効果への影響を調査するため、林帯 A と林帯 B の 2 つの対照的な林をモデルとして模型林を作成し実験を行った。

3. 風洞実験装置

風洞実験は、防災科学技術研究所長岡雪氷防災研究所新庄支所(当時)の密閉回流式低温風洞装置(断面 1m×1m、測定部 14m)(佐藤ら(1999)参照)を用いて、2005 年 10 月に実施した。実験時の風洞内気温は約-10℃、模型サイズは 1/100 とした。実験用に作製した模型は表 2、図 4 に示す 4 パターンである。このうち P1 は林帯 A を再現したもの、P2 は P1 の広葉樹を約 1/4 間伐したもので、P3 は P1 の広葉樹を 1/2 に間伐したもの、P4 は林帯 B を再現したものである。模型木の大きさを表 3 に、模型材質を表 4 に示す。

表 2 模型林帯一覧表

パターン (P)	モデル	林帯幅 (cm)	針葉樹 1 (本)	針葉樹 2 (本)	針葉樹 3 (本)	広葉樹 1 (本)	広葉樹 2 (本)
1	密な林帯	31.5	152	-	117	299	-
2	密な林帯(間伐 1)	31.5	152	-	117	233	-
3	密な林帯(間伐 2)	31.5	152	-	117	166	-
4	疎な林帯	31.5	-	59	-	-	160

表 3 模型木の大きさ

	樹高 (cm)	枝下高 (cm)
針葉樹 1	8.5	1.7
針葉樹 2	8.5	1.8
針葉樹 3	6.3	0.9
広葉樹 1	5.9	1.3
広葉樹 2	6.6	1.2

表 4 模型の材質

項目	材質	型番
模型林前後の木板	木製 シランハ [®] 材	厚さ 20mm
樹林 (針葉樹)	葉部分	モルトフィルター イノアック製 型番 MF-8
	幹部分	硬ステンレス棒
樹林(落葉広葉樹)	亜鉛メッキ軟質線材#30 0.28mm	
ガーゼ(板に貼り付け)	綿日本薬局方ガーゼ [®] 分類 Type I	

模型林は風洞装置測定部の風上端から 8500mm 風下に設置した(図 5)。風方向を x 軸におき、測点は道路中心を x=0m として、風下側を正とした。吹きだまり計測の都合上、模型林周辺の地表部分は木板とし、佐藤ら(2003)を参考に表面にガーゼを貼り付けた。木板の前後は低温室内で長期間保存していたザラメ状の雪を敷き詰めて、雪表面に霧を吹き固い雪面とした。実験で使用した飛雪は、人工の氷球からなる雪(佐藤ら(1999)参照)を 2 日間室温約-10℃の低温室で保存し、しまり雪になったものをほぐして使用した。

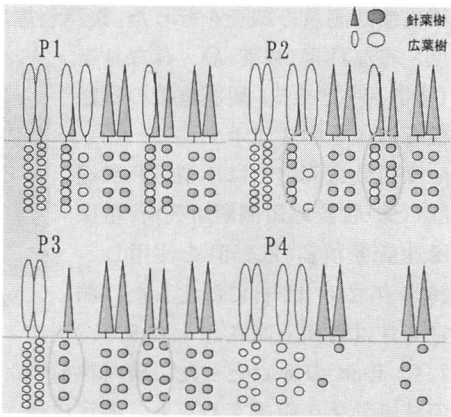


図 4 実験パターンの構成図



図 5 風洞内の模型配置(側面図)

4. 風洞実験方法と結果

(1) 風速分布測定

風速分布は1パターン毎に90点を熱線風速計(TSI製: Model IFA300 Sencer No.4624)を用いて1点あたり16.4s測定した。以降の風速データはこの平均値である。ここで風速の測定高さ(z)は地表面からの高さとする。風洞中心風速は10m/sと設定した。

また防雪林内の積雪を考慮して林内に木片を6本挿入して測定を行った(写真2)。使用した木片は風挙動が野外の実測値に合うように、厚さ7mm、幅15mmの3本、幅20mmの3本でガーゼを貼り付けた。

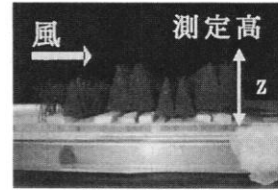


写真2 実験状況

風速分布測定結果を図6、図8に風速比で示す。ここで風速比は、 $x=-200\text{cm}$ における同じ高さ(z)での風速を1としたときの各測点での風速とする。

P1の風速比の最小は、防雪林と道路の間に位置し、高さにより0.1~0.2を示した(図6)。

図7に林帯Aでの実測における減風率を示す。ここで減風率Aは、 $A=(B/C)/(D/E)$ (但し B: 風速分布測定した各観測点での風速, C: B計測時の定点(図2)の風速, D: 風速分布測定した $X=-150\text{m}$ の風速, E: D計測時の定点(図2)の風速)とする。

減風率の最小は防雪林と道路の間に位置し、0.2を示した。減風率の最小となる位置は図6の風速比が最小となる位置とほぼ同じであり、値も同程度であった。

このことから、林帯Aにおいて実験値と実測値の風速分布がほぼ一致し、防雪林における縮小モデルの再現性を確認することができた。

図8には、P1とP3の風速比を示す。 $z=1.2\text{cm}$ の風速比が最小になる位置はP1とP3ともに道路上で、値も0.1と同程度を示した。 $z=2.4\text{cm}$ の風速比が最小になる位置はP1とP3ともに防雪林の風下端でその値も0.1と同程度を示した。これより林帯Aでは、広葉樹を間引いても風速分布に変化がなく防雪効果の低下はないと考えられる。

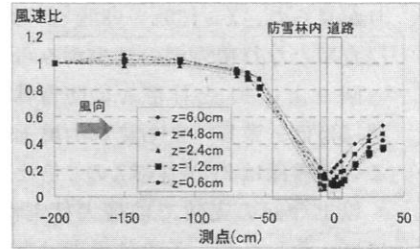


図6 風速比(P1)

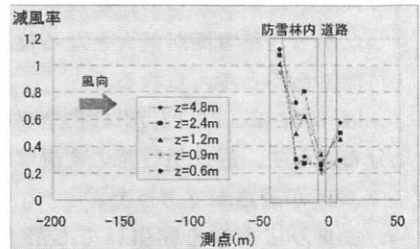


図7 減風率(林帯A)

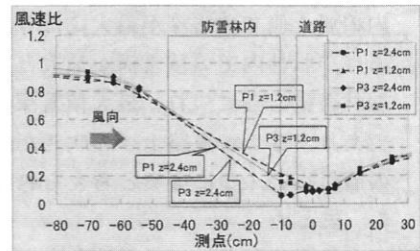


図8 風速比(P1, P3比較)

(2) 飛雪流量測定

飛雪流量測定は紙面の都合により省略するが、縮小モデルにおける飛雪流量の再現性について確認することはできなかった。

(3) 吹きだまり分布測定

防雪林として雪粒子の捕捉能力が高い樹木形態を調査するため吹きだまり分布の測定を行った。実験では佐藤ら(2003)を参考に風洞中心風速を7m/sに設定し、吹雪粒子供給装置を稼働させて吹雪を再現した。吹雪の供給時間は300sとした。吹雪供給後に模型林外の吹きだまり形状を測定した。測定には林外でレーザー距離計(KEYENCE製: LB-300 s/n 082055)を、模型林内では曲尺を用いた。実験時の吹雪粒子供給量と雪密度を表5に示す。

吹きだまり形状の実測値と実験値の比較にあたっては、鳥田ら(2004)に倣い、吹きだまりのピーク(最大積雪深)の位置、深さに着目した。

図9は、P1と林帯Aの吹きだまり分布を示す。但しP1の測定は100倍(cm→m)してある。図9において注釈するとX=-150~-50mおよびX=5~30mでP1の積雪深が0mに対し林帯Aが1.5m程度であるが、これは主に降雪のためである。またX=-150mより手前に小さな林があるためにX=-150m付近で吹きだまりが見られ、X=-130m~-80mまでが風速の回復により浸食域となり積雪深の減少がみられる。

図9よりP1と林帯Aの防雪林内の最大積雪深の位置はほぼ一致し、ともに林内風上側であった。しかしこの積雪深はP1が林帯Aの2倍と異なるものであった。

以上今回の実験では最大積雪深の位置は実測値とほぼ一致したが、その積雪深は実験値と実測値で異なり、吹きだまり分布の再現性は不十分であった。しかしながら、積雪深が最大となる位置は目安として利用可能であると考えられる。

図10には、P1、P3、P4の模型実験による吹きだまり分布を示す。最大積雪深の位置はP1とP3が防雪林内で、P4が道路上であった。

つまり広葉樹を間引いても最大積雪深の位置は変わらず、道路上へ吹きだまりが発生しなかった。防雪林内のみに着目するとP1とP3は林内の風上側で積雪深が最大になり、P4は林内の風下側で最大になった。林が密から疎になるにつれ林内での積雪深が最大となる位置は風下側に移動している。また密な林帯から疎な林帯になるにつれ、最大積雪深の位置が林内で風下へ移動していることから、林帯が疎でありすぎると道路上への吹きだまり発生も懸念され、適正な樹木密度を検討していく際の着目点の1つになると考えられる。

5. まとめ

今後の課題として、風速分布については密な林帯の針葉樹を様々に間引いた模型パターンで追加の実験を行い、防雪林の適正な樹木密度を明らかにしたいと考えている。飛雪流量、吹きだまり分布については風速、雪粒子(雪質、径)、雪の供給量について調整し、防雪林の縮小モデルの再現性を確認してゆきたい。

表5 実験に用いた雪の供給量と密度

	雪の供給量	雪の密度
P1	4560 cm ³	310 kg/m ³
P3	4712 cm ³	280 kg/m ³
P4	4560 cm ³	249 kg/m ³

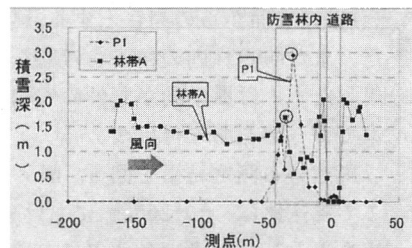


図9 吹きだまり分布
(P1・林帯A)

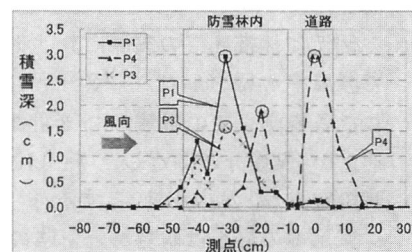


図10 吹きだまり分布
(P1、3、4)

参考文献

- 伊東靖彦・山田毅・武知洋太・加治屋安彦, 2006: 樹木形態の異なる道路防雪林の視程改善効果. 雪工学会誌, 22(5) (投稿中).
- 佐藤威・小杉健二・佐藤篤司, 2003: 非平衡状態における防雪柵風下の吹き溜まりの比較実験. 防災科学技術研究所研究報告, 64, 36.
- 佐藤威・小杉健二・佐藤篤司, 1999: 雪粒子を用いた風洞実験による吹雪の研究. 寒地技術論文・報告集, 15, 50-51.
- 鳥田宏行・根本征樹・西村浩一, 佐藤威, 2004: 防雪林に関する野外観測と風洞実験の比較. 雪氷学会誌, 66(3), 377-387.