

# 防雪林の防雪機能調査に関する風洞実験

幸田 勝\*1 山崎貴志\*2 住田則行\*1 太田 広\*1

## 1. はじめに

防雪林は樹木の生長に応じて間引きが必要であるが、間引きにより一時的に防雪機能は低下する。冬期道路交通環境を維持する上で防雪機能の低下をできるだけ抑えた間引きは重要であり、そのためには間引きと防雪機能の関係を把握する必要がある。しかし、その関係は未だ定量的には明らかになっていない。

そこで、防雪林の間引きや風向変化による防雪機能への影響を把握することを目的に、模型防雪林を用いた風洞実験による調査を行った。

## 2. 実験条件及び計測方法

実験には寒地土木研究所の風洞実験装置(図-1)を使用した。測定洞内の鉛直方向風速分布は、上空ほど風速が増す自然の風を模擬するため、ベキ法則(ベキ指数は田園地帯を想定した $0.15^{1)}$ に近似するよう調整した。調整は、乱流格子、スパイヤー、バリヤーを組み合わせた風速調整装置を測定洞の上流に設置することにより行った。調整前後の風速分布を図-2に示す。

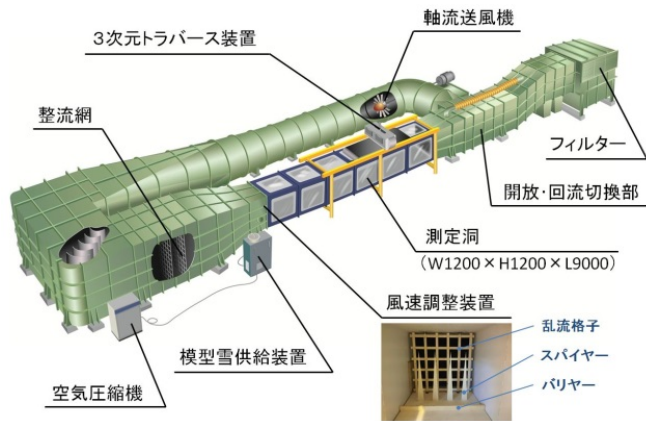


図-1 風洞実験装置

本実験では、老川ら<sup>2)</sup>が建物近傍を対象とした吹雪風洞実験において重要としている、移動臨界摩擦速度比、安息角、ストークスパラメータについて考慮し、模型雪として活性白土を使用した。模型雪を測定洞上流のノズルから圧縮空気とともに風洞内に供給することにより、人工的な吹雪を発生させている。模型雪の供給量は、本実験装置でPIV(粒子画像流速測定法: Particle Image Velocimetry)が可能であることを確認している $230\text{g/min}$ とした。

実験風速は、老川ら<sup>2)</sup>による実験で吹きだまりの再現性が高いとされる $4.5\text{m/s}$ 前後(地面からの高さ $H=50\text{mm}$ での風速)を参考に、 $7\text{m/s}$ ( $H=400\text{mm}$ での風速。このとき前述のベキ法則において $H=50\text{mm}$ では $5.1\text{m/s}$ )とした。

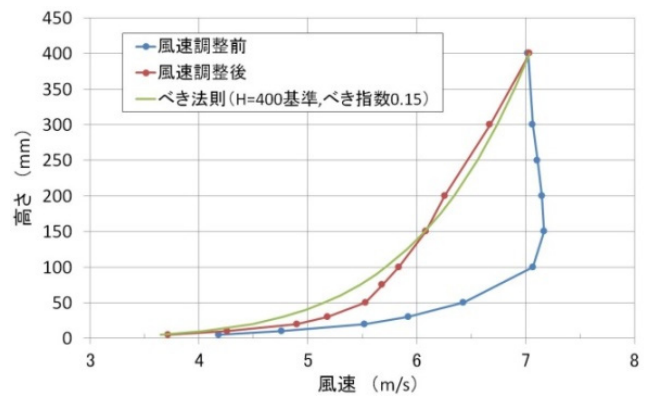


図-2 鉛直方向風速分布

### 2.1 樹木模型

実験に使用する樹木模型は、数種類の形式を検討した結果<sup>2)</sup>、形式の差による実験結果への影響は少ないと考え、製作上の効率等を考慮した図-3に示す形式のものとした。

模型縮尺は、間引きを行う時期とされる樹高 $6\text{m}$ 前後<sup>4)</sup>の樹木を想定し、この樹木の縮尺模型を設置した場合における測定洞(高さ $1.2\text{m}$ )の閉塞率を $5\%$ 程度以内<sup>1)</sup>とするため、 $1/100$ とした。

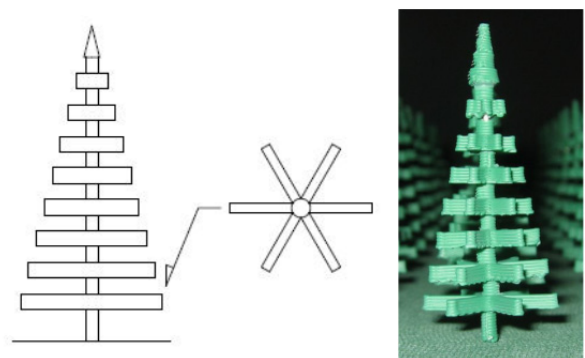


図-3 樹木模型

\*1 (国研) 土木研究所 寒地土木研究所 \*2 国土交通省 北海道開発局 札幌開発建設部 (前 寒地土木研究所)

## 2. 2 計測方法

流速の計測方法はPIVとした。PIVは、流れに沿って移動するトレーサー（追跡子）を連続撮影した画像の解析により流速を計測する方法であり、面的な流れ場を把握することができる。なお、模型雪の動きは空気の流れと完全には一致しないため、計測結果は風速ではなく模型雪の移動速度としての流速となる。この流速から流速比を求めることで防雪機能を評価する指標として利用できる<sup>3)</sup>。本実験においても流速比を防雪機能の評価指標とした。なお、流速比とは、各地点における流速を防雪林がない場合の同一地点における流速で除した値である。画像の撮影は毎秒2,000枚で5秒間行い、2枚の画像から1組得られる流速分布を5,000組分平均したものを計測結果とした。計測面は3項では鉛直面、4項では水平面（図-4）とした。

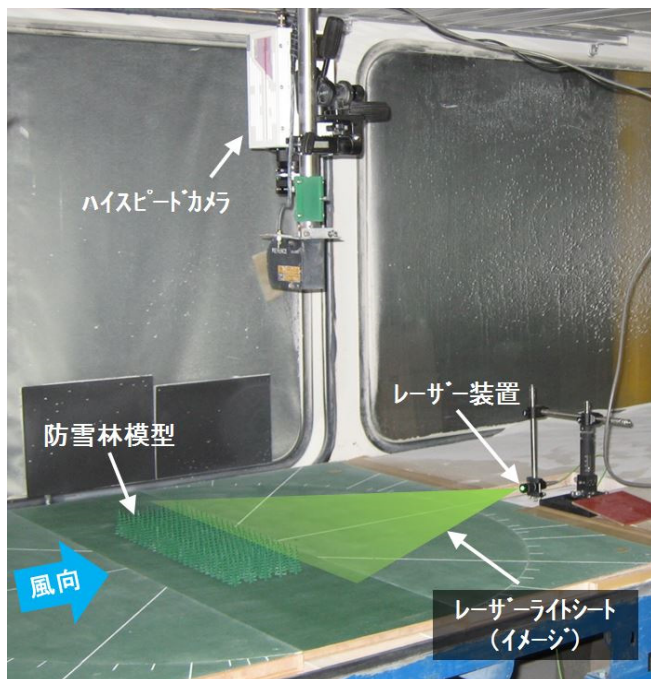


図-4 PIV計測（水平面計測）

## 3. 間引きと樹高・枝下高の影響調査

間引きの有無、樹高の違い、枝下高の違いが防雪機能に与える影響について調査を行った。

### 3. 1 実験パターン

防雪林を構成する樹木について、樹高と樹冠直径は道路吹雪対策マニュアル<sup>4)</sup>等を参考に、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4種類（樹木A、B、C、D）設定した（図-5）。

植栽配置は同マニュアルにおける標準林2.0mタイプを想定した樹木列数5列と、これより列数が少ない場合の影響を把握するための3列とし、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（配置A、B、C、D）と

した（図-6）。列間及び苗間については同マニュアル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。樹木4種類についてそれぞれ配置パターン4種の計16パターンで実験を行った。計測面は風洞中心線上の鉛直面とした。

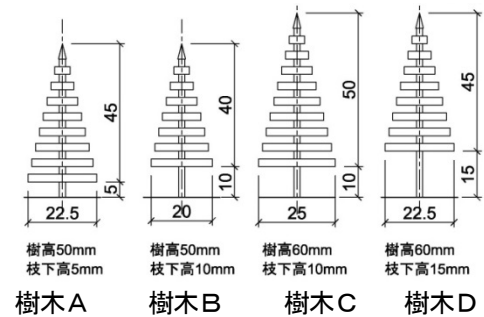


図-5 樹木模型

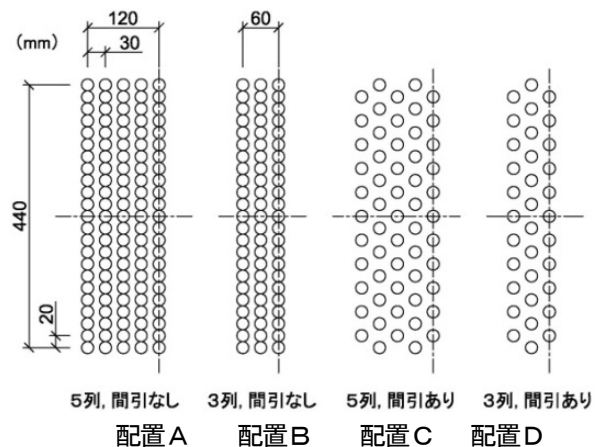


図-6 植栽配置

## 3. 2 実験結果

「樹木A、配置A」および「樹木D、配置A」における流速分布をそれぞれ図-7、8に示す。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と考えられる。

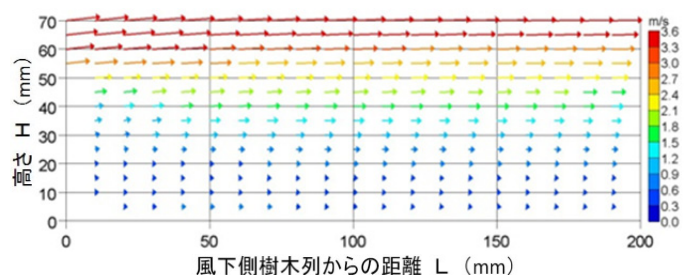


図-7 流速分布（樹木A、配置A）

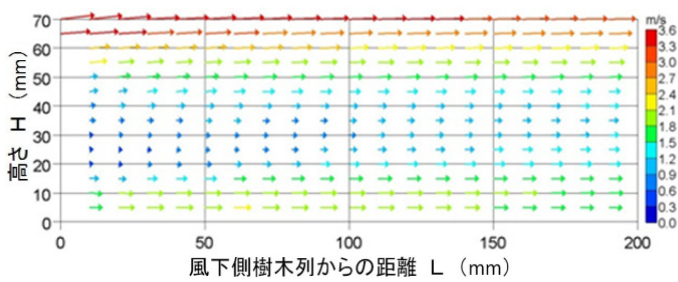


図-8 流速分布 (樹木D、配置A)

樹木A、D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-9、10に示す。風下側樹木列からの距離 $L=100\text{ mm}$ 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 $0.2\sim 0.3$ 上昇している。また、「間引なし」において、枝下高が $5\text{ mm}$ から $15\text{ mm}$ になることで流速比は $L=100\text{ mm}$ 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雪機能の低下は、樹木の本数が半分となる間引きによる防雪機能の低下に相当する場合があることを示唆している。

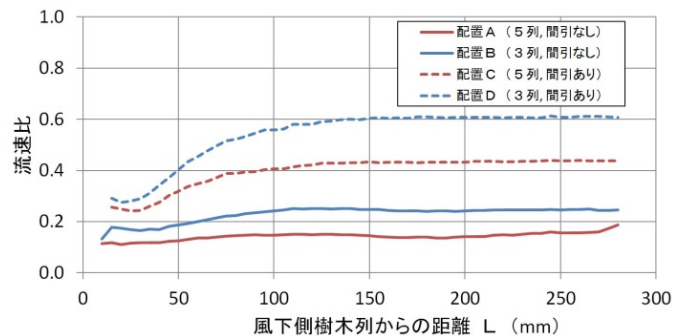


図-9 流速比 ( $H=15\text{ mm}$ 、樹木A)

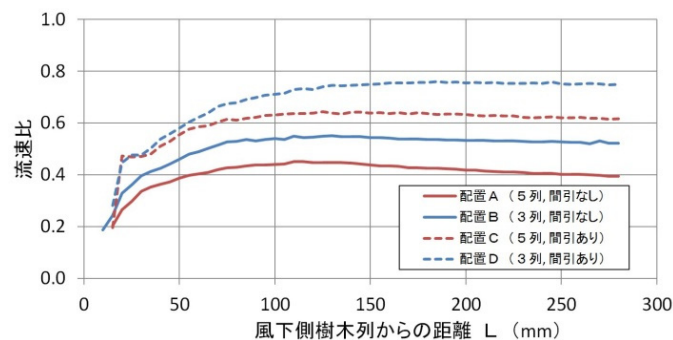


図-10 流速比 ( $H=15\text{ mm}$ 、樹木D)

配置Aについて、 $L=100\text{ mm}$  (風上側路肩付近を想定)における流速比の鉛直分布を図-11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。乗用車の目線高さが $1.5\text{ m}$  (実験スケールで $15\text{ mm}$ )程度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。

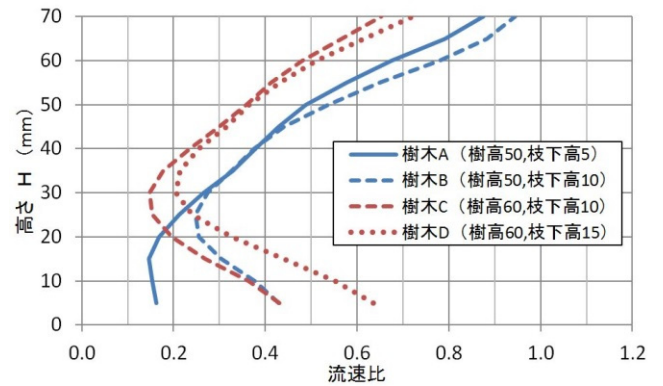


図-11 流速比 ( $X=100\text{ mm}$ 、配置A)

#### 4. 間引きと風向の影響調査

間引きパターンの違い (千鳥間引きと列間引き) および風向が防雪機能に与える影響について調査を行った。

##### 4.1 実験パターン

樹木模型は、前項で最も防雪機能が高かった樹木A (樹高 $50\text{ mm}$ 、枝下高 $5\text{ mm}$ )とした。植栽配置は前項と同様5列と3列とし、それぞれ間引きを行わないもの、列間引き及び千鳥間引きを行ったものの計6パターンとした (図-12)。風向が防雪林帯に対して直角の場合のほか、 $16$ 方位で1および2方位ずれた場合の防雪機能を調査するため、これらの模型をそれぞれ風向に対して $90^\circ$ 、 $67.5^\circ$ 、 $45^\circ$ に設置して計測を行った。

また、風向が防雪機能へ与える影響をより詳細に調査するため、樹木列数3列の列間引きと千鳥間引きについて、図-13に示す植栽配置の模型 (列間、苗間は図-12と同一)を風向に対して $90^\circ$ 、 $82.5^\circ$ 、 $75^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $56.3^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $36.9^\circ$ 、 $30^\circ$ に設置して計測を行った。なお、 $56.3^\circ$ は千鳥間引きにおいて3本の樹木が風向方向に並ぶ風向角、 $36.9^\circ$ は列間引きにおいて3本の樹木が風向方向に並ぶ風向角である (図-14)。

実験パターンの一覧を表-1に示す。計測面は実スケールにおいて乗用車の目線高さに相当する、地面からの高さ $H=15\text{ mm}$ の水平面とした。

表-1 実験パターン

No.	樹木列数	間引きパターン	風向角
P1	3列	間引なし	90°, 67.5°, 45°
P2		列間引	
P3		千鳥間引	
P4	5列	間引なし	
P5		列間引	
P6		千鳥間引	
P7	3列	列間引	90°, 82.5°, 75°, 60°, 56.3°, 45°, 36.9°, 30°
P8		千鳥間引	

4. 2 実験結果

実験パターンNo. P1~P3について、風下側樹木列における風洞中心線に最も近い樹木背後および樹木間中央(図-15)での流速比分布を図-16~18に示す。

図-16(P1)より、L=150mm以下における風向変化に対する流速比の変化や、樹木背後と樹木間中央との流速比の差はほとんど見られない。L=150mm以上において風向角45°で流速比の上昇がみられるが、これは植栽端部の影響と考えられる。

図-17、18(P2、P3)より、P1と比較して全体的に流速比が高くなっており、間引きにより防雪機能が低下していることがわかる。また、樹木背後と樹木間中央の流速比の差は、樹木間からの吹き抜けによるものと考えられるが、この差は下流ほど小さくなっている。列間引き(P2)では風向変化による流速比の変動が大きく、風向角が45°では流速比が低い反面、風向角が90°では流速比が高くなっている。一方、千鳥間引き(P3)では、風向変化に対して流速比は安定しており、列間引きと比較して流速比は高くない。ここでは図示していないが、樹木列数5列(P4~P6)の場合は、樹木列数3列の場合よりも全体的に流速比が低くなっており、高い防雪機能を発揮しているが、風向変化に対する傾向は樹木列数3列の場合と同様となっている。

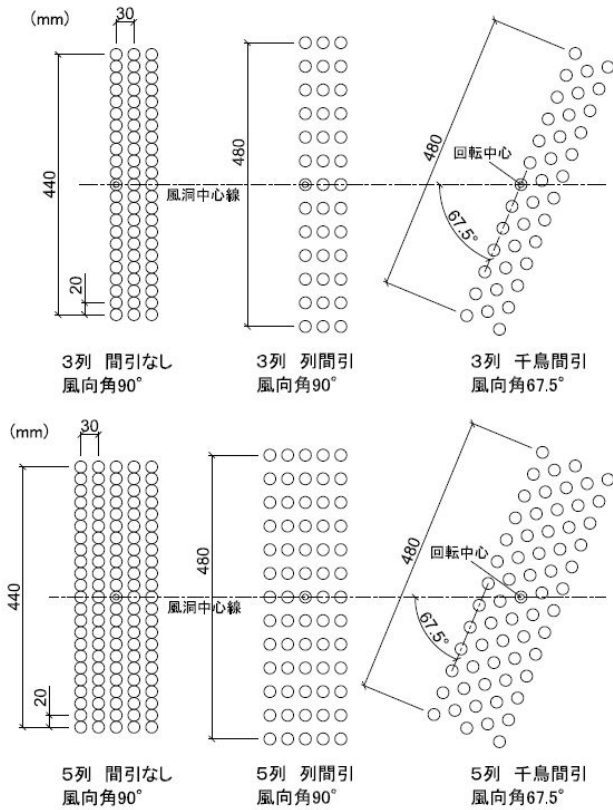


図-12 植栽配置

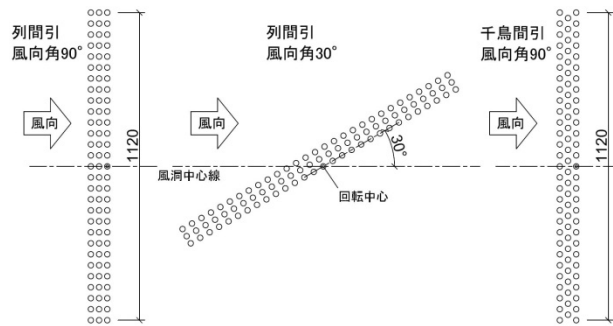


図-13 植栽配置

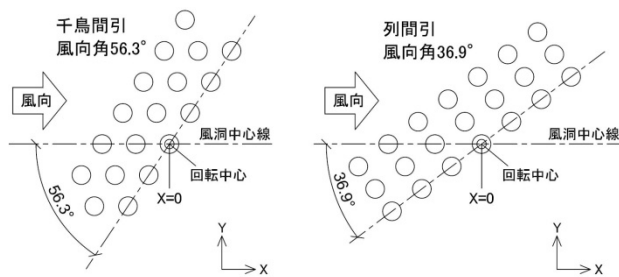


図-14 植栽配置(詳細)

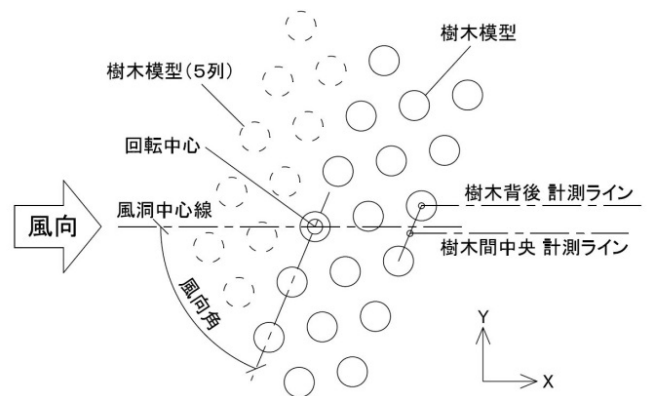
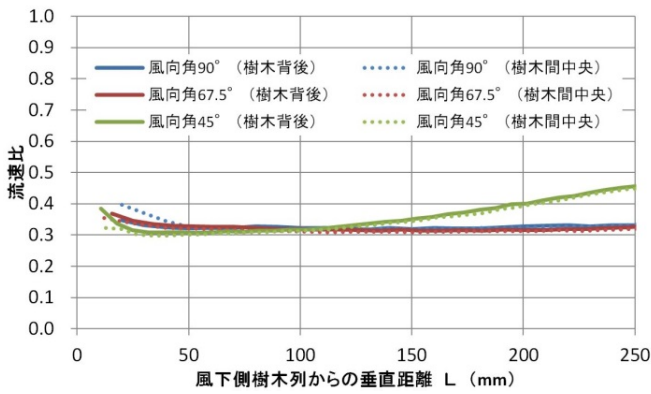
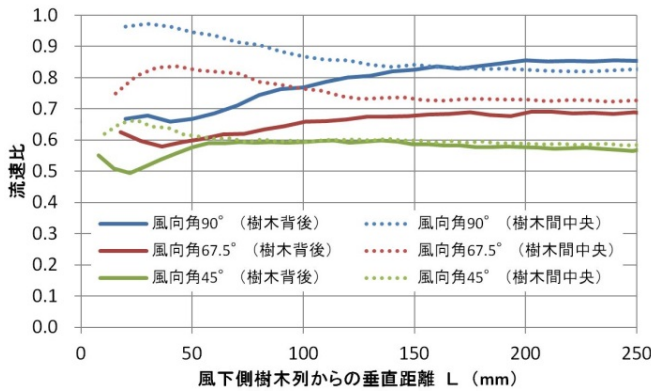


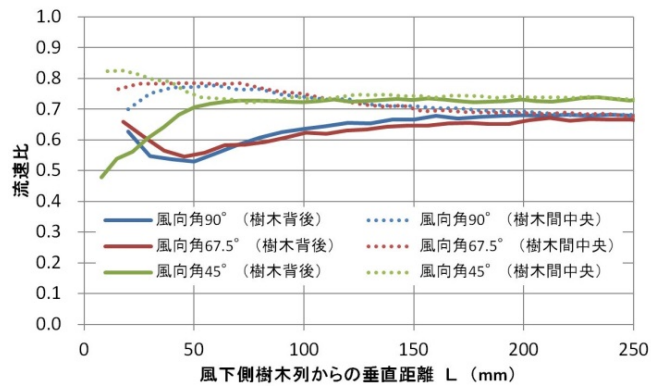
図-15 計測平面図(千鳥間引)



図一 16 流速比（樹木列数3列、間引なし、P 1）



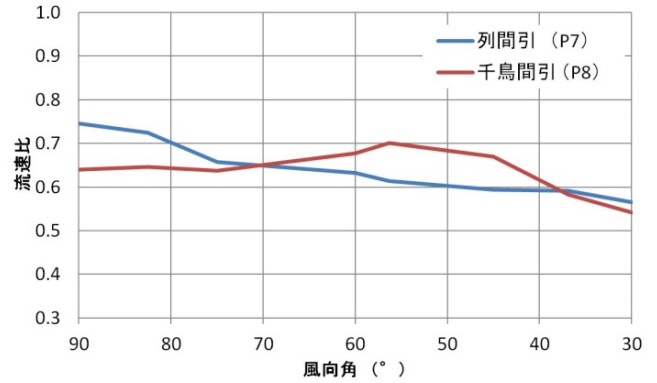
図一 17 流速比（樹木列数3列、列間引、P 2）



図一 18 流速比（樹木列数3列、千鳥間引、P 3）

P 7、P 8における風洞中心線上 $L = 150\text{ mm}$ での風向角と流速比の関係を図一 19に示す。 $L = 150\text{ mm}$ は、道路吹雪対策マニュアル<sup>4)</sup>の標準林における基本林の道路側樹木列から道路中心線（片側1車線道路を想定）までの距離約1.5mを想定している。流速比は風向角が $90 \sim 70^\circ$ 程度の範囲では千鳥間引きの方が低く、風向角が $65 \sim 40^\circ$ 程度の範囲では列間引きの方が低くなっている。千鳥間引きでは風向角 $56.3^\circ$ で3本の樹木が風向方向に並び、流速比のピークが現れているが、列間引きでは3本の樹木が風向方向に並ぶ風向角 $36.9^\circ$ においても明確なピークは現れ

ていない。また、風向角が $40^\circ$ 程度以下では列間引きと千鳥間引きにおける流速比に明確な差はみられない。風向角 $90 \sim 45^\circ$ の範囲における流速比の最小値と最大値の差は列間引きで0.15、千鳥間引きで0.06程度となっており、列間引きでは風向変化にともなう流速比の変動が大きく、千鳥間引きでは変動が小さくなっている。



図一 19 流速比（P 7、P 8）（ $L = 150\text{ mm}$ ）

## 5. まとめ

道路防雪林について、間引きの有無、樹高・枝下高の違い、間引きパターンの違い及び風向が防雪機能に与える影響を把握することを目的に、模型防雪林を用いた風洞実験を行った。

間引きと樹高・枝下高の影響調査の結果、枝下高が防雪機能に与える影響が大きく、枝下高が高くなることによる防雪機能の低下が、樹木数が半分となる間引きによる防雪機能の低下に相当する場合があることや、樹高や樹冠の大きさに比べて大きく影響することがわかった。このため、安定した防雪機能を発揮させるためには、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。

間引きと風向の影響調査の結果、間引きにより防雪機能が低下することや、間引きパターンの違いにより風向変化に対する防雪機能の変動の傾向に違いがあることがわかった。列間引きでは風向の変化にともなう防雪機能の変動が比較的大きく、風向角 $90^\circ$ 付近での防雪機能は低いが、風向角が減少するに従い防雪機能は高くなった。一方、千鳥間引きでは、風向の変化に対して防雪機能は比較的安定しており、列間引きのような風向角 $90^\circ$ 付近での防雪機能の低下はないが、風向角 $65 \sim 40^\circ$ 程度の範囲では列間引きよりも防雪機能は低くなった。このことから、実際の間引きを行う際には、現地の冬期主風向を考慮して間引きパターンを変えることにより、間引きによる防雪機能の低下をある程度抑えられるものとする。

今後、下枝の枯れ上りがある防雪林の再現模型を用いた風洞実験により、詳細な調査を行うとともに、防雪機能低下を軽減する対策について検討する予定である。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 老川進、苫米地司、石原孟：建物近傍の雪吹きだまりの風洞相似則に関する考察、日本雪工学会誌、Vol. 23、No. 2、PP. 13-32、2007.
- 3) 山崎貴志、住田則行、中村隆一：吹雪風洞実験における防雪林縮尺模型とPIVについて、雪氷研究大会（2014・八戸）講演要旨集、P240、2014
- 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、2011