

# 台風による森林被害を軽減するには？



- ・ 地形が風速分布に及ぼす影響
- ・ 都市林の強風被害
- ・ 立木の被害形態とそのメカニズム
- ・ 針葉樹人工林の風害発生と樹形の関係
- ・ 風害を軽減するための針葉樹人工林の管理指針

北海道立林業試験場

2002～2004年の3年間、北海道では台風による大規模な森林被害が発生しました。総被害面積は3万ha、総被害額は300億円をそれぞれ超え、山間部の林業・林産業に大打撃を与え、また、都市部でも公園林や街路樹などに倒木被害が発生しました。

今後も、台風の大型化や上陸頻度の増加傾向などの気象環境の変化による森林の強風被害が発生するおそれがあり、被害軽減のための対策が必要です。

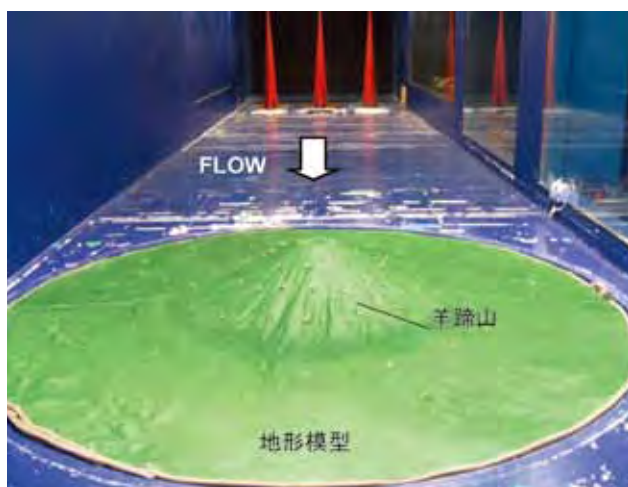
このパンフレットでは、山間部や都市における風害リスクを低減する知見を紹介します。

## 1. 地形が風速分布に及ぼす影響（その1. 羊蹄山周辺の風速分布の特徴）

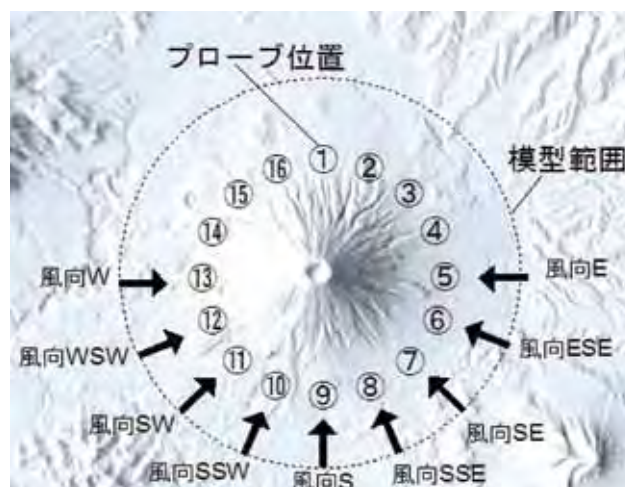
羊蹄山周辺では、2004年の台風18号により大きな森林被害が発生しました。

そこで、そのときの風況を検証するため、羊蹄山を中心とした半径7.2kmの範囲を再現した地形モデルを用いて、風洞実験を行いました。

縮尺は1/9,000としました。



1-1 風洞内に設置した羊蹄山の模型



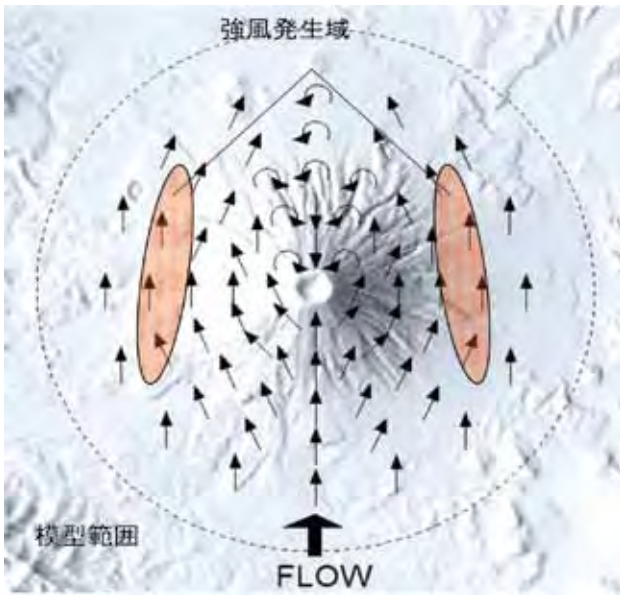
1-2 風向・風速の測定方向

気象観測データの解析の結果、台風の接近・通過にともなって、強風時の風向は、「東→南→西」に変化したことがわかりました。

そこで、地形モデルによる実験も、模型を回転させることにより風向を「東→南→西」と変化させて実施しました。

実験風速は12m/s、風速はプローブ（針）状の風速計を用いて測定しています。





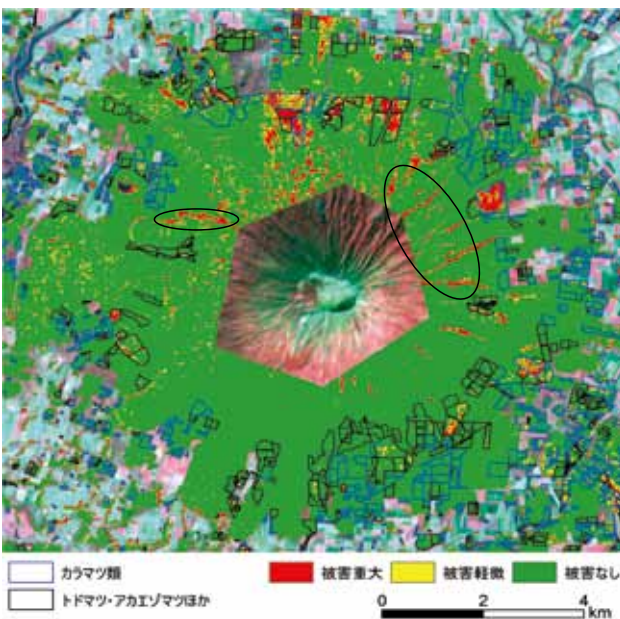
1-3 風向と強風発生域

### 風洞実験の結果

図1-3は、南からの風に対する風速分布の特徴を示しています。

羊蹄山に向かって吹く風は、中心および左右の3方向に分流し、両側面で主流方向の風と合流します。この合流により山の両側面に強風発生域が形成されます。

また、山の背面では、主流方向と逆向きの斜面を吹き上げる風が発生しており、風が弱くなる傾向があります。



1-4 衛星リモートセンシングによる森林被害の抽出

衛星画像の分析を行い、森林被害が発生した場所を抽出すると、左の写真のようになります。

写真中の赤い部分は被害が甚大だったところ、黄色い部分は被害が軽微だったところ です。

※ ○で囲った部分  
大渓谷などの地形によって生じた陰影部では誤判読を引き起こしており、森林被害は生じていない。

## 1のまとめ

風洞実験の結果(1-3)から、強風域は風向に対して山の両側面に発生することがわかりました。したがって、台風の接近・通過にともなって、「東→南→西」に風向が変化すると、結果的に山麓の全周で地形効果による強風域が発生していたと考えられます。

衛星写真の解析結果(1-4)をみると、重大な森林被害は北側に集中していますが、被害発生域は羊蹄山のほぼ全周域に及んでいます。

## 2. 地形が風速分布に及ぼす影響（その2. 樽前山周辺の風速分布の特徴）

ここでは、2004年の台風18号により甚大な森林被害が発生した樽前山周辺の台風時の風況を、1と同様に地形模型を用いた風洞実験で検証しました。

地形模型は、森林被害が発生した場所を中心に、樽前山と風不死岳を含む14.4km×20.8kmの範囲とし、縮尺は1/16,000としました。

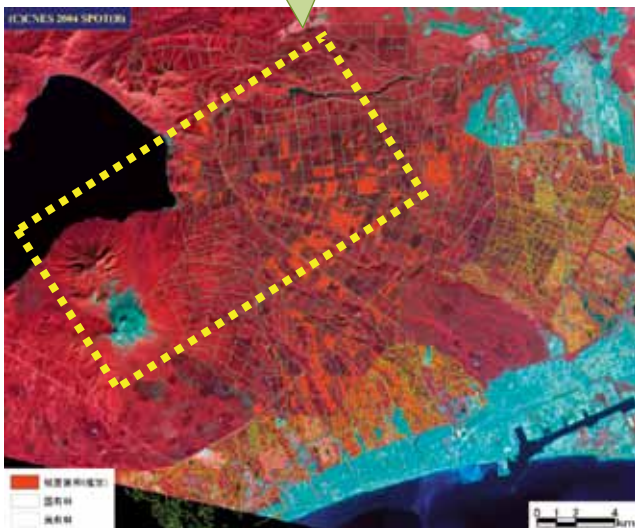


苫小牧・支笏湖周辺のアメダス概要

観測地点名	最大風速 (m/s)	最大瞬間風速 (m/s)	風速計の高さ (m)
苫小牧	18.6 (SW)	32.7 (SSW)	19.1
千歳	23 (SW)	—	9.8
支笏湖畔	7 (SW)	—	8.4

※ ( ) 内は記録時の風向

南西から強い風が吹いたことがわかります。

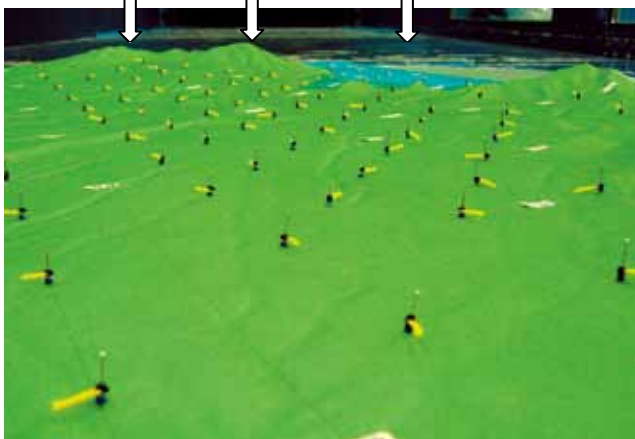


### 2-1 衛星画像の解析による被害地域の推定

樽前山・風不死岳周辺には、目立った被害がみられません。

山の風下に位置する平坦な地域に被害が多く発生しています。

樽前山 風不死岳 支笏湖



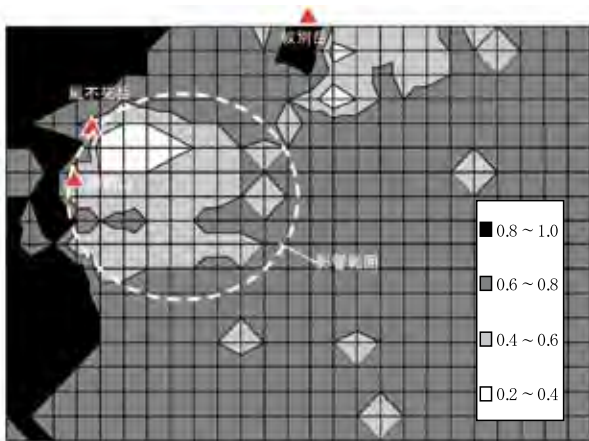
### 2-2 タフトを用いて風の流れを可視する

毛糸でつくったタフトを模型表面に設置しました。

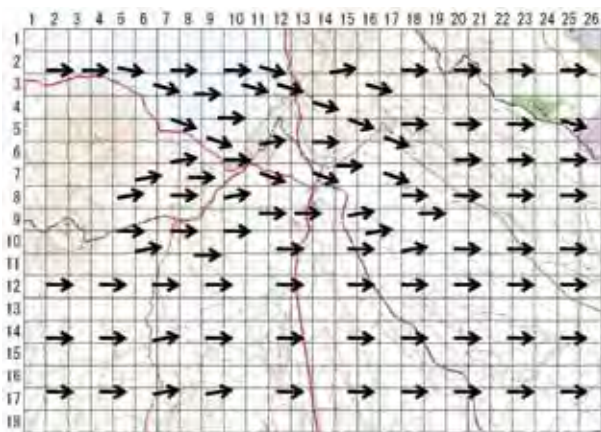
タフトの動きをビデオカメラで記録し、映像から平均的風向を判断しました。

※ タフト：房状の吹き流し





2-3 風速比の分布



2-4 風向きの様子

※ 図の左側が南西

図2-3に、風速を比(0~1)で表し、その分布を示しました。

風が強いエリアは、樽前山、風不死岳の風上側および側面側であることがわかります。また、紋別岳付近でも風が強くなっています。

風が弱いエリアは山の風下側で、山頂付近は強風域と弱風域が隣接しています。

樽前山・風不死岳が風下側におよぼす影響範囲は、風速比0.4~0.6の範囲であると考えられます。

図2-4は風向きの様子を示しています。

支笏湖の湖畔付近では風が収束していますが、平坦部においては風洞の主流方向と同一の様な風が吹いていたと考えられます。

※ 風速比：最大風速を1としたときの風速

## 2のまとめ

風向が南西の場合、風速比が高い場所は、樽前山、風不死岳の風上側および側面に集中します。

また、支笏湖温泉北側の紋別岳付近の風速比も高く、これは、山を回り込むように側面側へ風が流れ込み、風速が増すことが影響していると考えられます(2-3)。

風洞実験によれば、樽前山および風不死岳が風下側におよぼす影響範囲は、風向が南西の場合、風下約7.2kmの範囲と推察されます。

タフト法による風向測定の結果、風向が南西の場合、支笏湖畔付近に風が収束するとともに、平坦部では主流方向と同一風向(南西)に風が流れました。

風速分布の測定、タフト法による風向測定から、苫小牧北部の森林被害におよぼす風上側山地(樽前山、風不死岳)の影響は、極めて限定的であったと推察されます(2-1・4)。

### 3. 都市林の強風被害

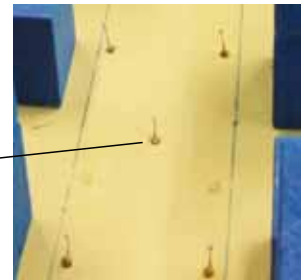
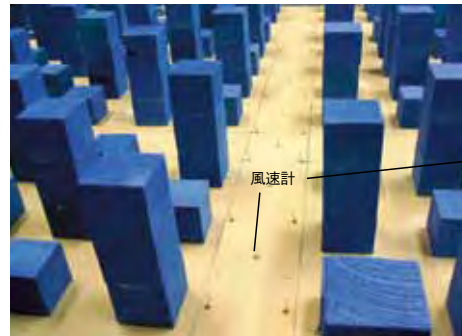
2004年の台風18号により、札幌市では、街路樹4,058本、公園樹6,378本に被害が発生しました。

そこで、街路内において強風が発生しやすい条件を検討するため、建物の高さ、密度、グロス建ぺい率を変化させた都市モデル風洞実験を行いました。

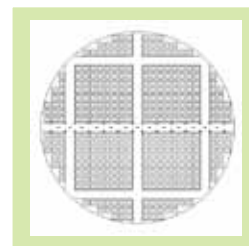
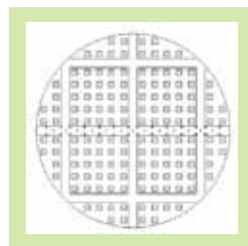
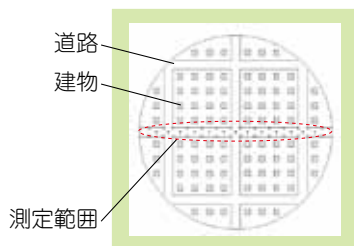
※ グロス建ぺい率：街区全面積に占める建物面積の割合



幹折れ被害

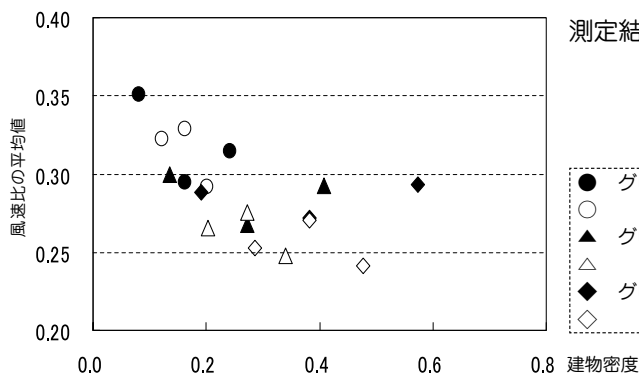


都市モデルを用いた風洞実験の様子



建物配置図

左から低密度、中密度、高密度



#### 3のまとめ

街路内の風の強さは、街路に対する風向、グロス建ぺい率、建物の高さによって大きく異なります。

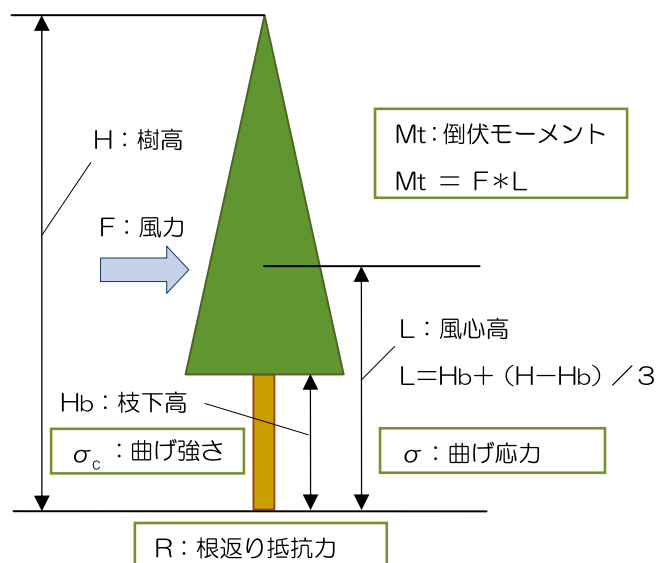
街路内で風が強くなるのは、グロス建ぺい率が小さくて建物密度が低い場合、建物の高さが低層が高層で一定の場合です。

街路内で風が比較的弱くなるのは、グロス建ぺい率が大きく、建物の高さが異なる場合です。

## 4. 立木の被害形態とそのメカニズム

強風による立木の被害形態（幹折れ、根返り）を左右する3つの要素について明らかにします。

1. 風力Fによって発生するもの
  - ① 根返りを引き起こす力  
倒伏モーメント： $Mt = F * L$
  - ② 幹を破壊する力  
曲げ応力： $\sigma$
2. 幹の強さ  
曲げ強さ： $\sigma_c$
3. 根系による根返り抵抗力： $R$



立木が強風によって被害を受けるか否か、どのような被害形態（幹折れ、根返り）になるかを判断するには、1～3の3つの情報が必要です。

風力によって発生する1の①、②は、計算から求められます。

以下の条件によって、幹折れするのか、根返りするのか、おおよそ推定できます。

- I.  $R > Mt$ ,  $\sigma > \sigma_c$ : 幹折れ発生
- II.  $R < Mt$ ,  $\sigma < \sigma_c$ : 根返り発生
- III.  $R > Mt$ ,  $\sigma < \sigma_c$ : 被害なし（幹折れも根返りもなし）

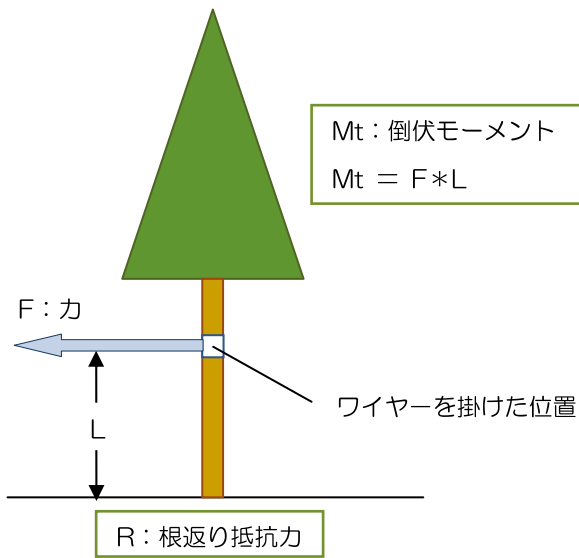
曲げ強さ（ $\sigma_c$ ）は樹種により異なり、実験などから求めることができます。

下の表に過去の調査例から、主な数値を抜粋しました。

過去に調べられた樹種別の曲げ強さ				
樹種	スコットパイン	トウヒ	カンバ類	カラマツ
曲げ強さ (MPa)	37.3	36.3	40.7	46.4



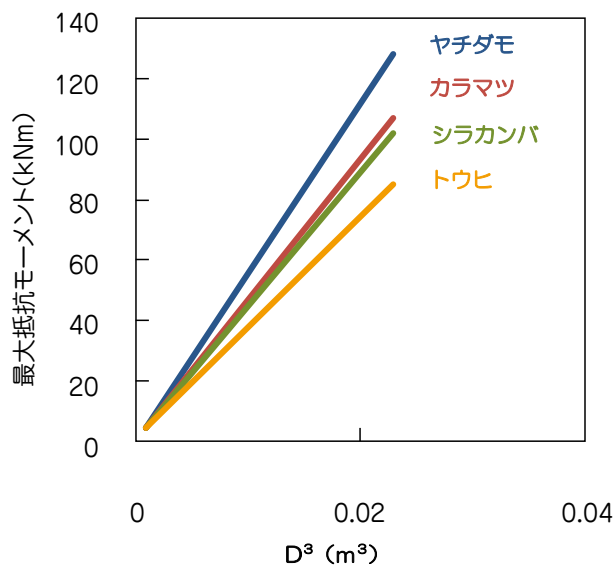
根系による根返り抵抗力（R）は、野外で引倒試験を実施することで得られます。



※ 立木にワイヤーを掛け、引っ張る。



シラカンバを引き倒しているところ



根返りしたカラマツ

#### 4-2-1 根系の抵抗力とサイズ（胸高直径Dの3乗）との関係

### 4のまとめ

根返ったときの最大倒伏モーメントが、根系の最大根返り抵抗モーメントとなります。

$$Mt = R$$

（引倒試験の結果）

根返り抵抗モーメントは、胸高直径Dが大きくなるにしたがって大きくなります。樹種ごとにその抵抗力を比較すると、高い順に、ヤチダモ、カラマツ、シラカンバ、トウヒとなりました（4-2-1）。

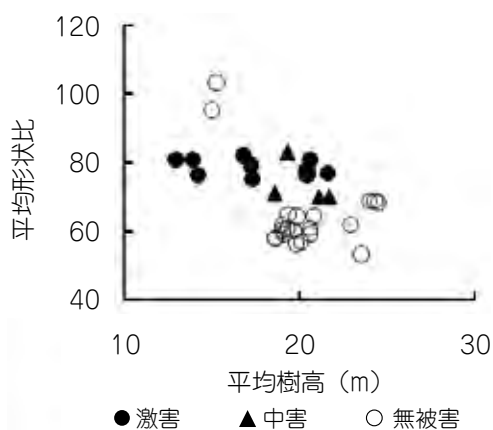


## 5. 針葉樹人工林の風害発生と樹形の関係

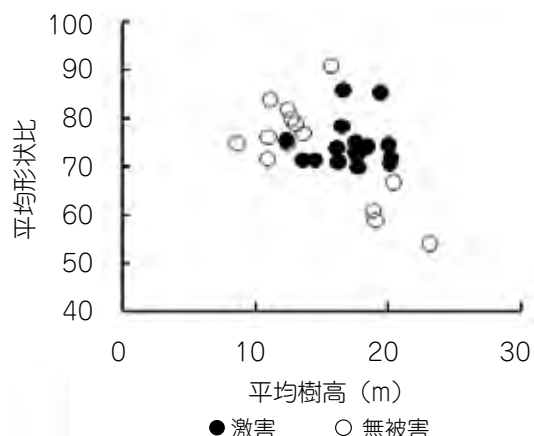
気象害（風害・雪害）に対する抵抗性を示す指標として、形状比があります。その定義は、樹高Hを胸高直径Dで除した値です。つまり、形状比の値が大きいとホッソリとした立木となり、反対に値が小さいとズングリとした立木となります。

$$\text{形状比} = H / D$$

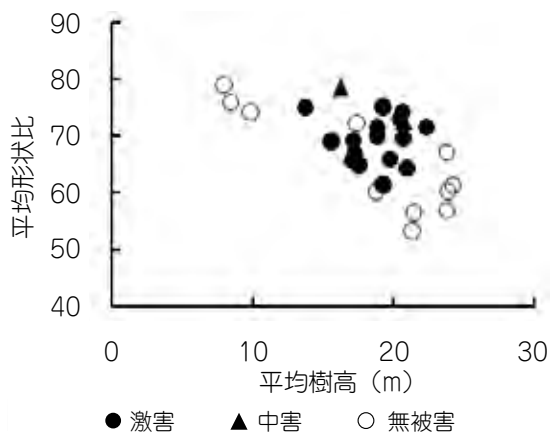
一般には、この値が大きいと被害を受けやすく、小さいと被害を受けにくいと言われています。そこで、この形状比が、どの程度小さければ被害を受けにくくなるのかを検討しました。



5-1 カラマツ林の平均形状比と平均樹高の関係



5-2 トドマツ林の平均形状比と平均樹高の関係



5-3 エゾマツ林の平均形状比と平均樹高の関係

平均樹高の低い無被害林分を除くと、無被害林分は被害林分よりも平均形状比が小さい傾向がみられます。

- ・ カラマツでは、無被害林分の平均形状比は70未満、激害・中害をあわせた被害林分では70以上（5-1）
- ・ トドマツでは67以下と70以上（5-2）
- ・ エゾマツでは、一部重複はありますが、樹高の高い無被害林分の平均形状比は、おおよそ61以下であり、被害林分では、おおよそ64以上（5-3）

### 5のまとめ

樹高が高くなると風当たりが強くなり、風害を受けやすくなります。

風害を軽減するための平均形状比の目安を示すと、カラマツおよびトドマツでは70未満、エゾマツは60以下となります。

## 6. 風害を軽減するための針葉樹人工林の管理指針

ここでは、どのような密度管理を行うと風害に強い林分を形成できるか検討し、表にまとめました。

表一 風害を軽減するためのカラマツ人工林の林分管理指針(間伐指針, Ry上限:0.5)

地位指数:21

植栽本数 (本/ha)	林齢 (年)	上層高 (m)	間伐前		間伐木		間伐後			間伐率	
			Ry	平均直径 (cm)	本数 (本/ha)	材積 (m <sup>3</sup> /ha)	本数 (本/ha)	Ry	平均直径 (cm)	本数 (%)	材積 (%)
1000	15	9.9	0.39	12.6	-	-	-	-	-	-	-
	20	12.9	0.52	15.7	292	28	634	0.40	16.6	31.5	23.3
	26	16	0.52	19.8	186	33	438	0.40	21.0	29.8	21.3
	36	20	0.52	24.9	134	49	299	0.40	26.5	30.9	23.6
主伐	63	24	0.50	30.5	295	248	-	-	-	100	100
1500	15	9.9	0.50	11.8	-	-	-	-	-	-	-
	20	12.9	0.65	14.6	530	41	800	0.47	16.1	39.8	27.2
	22	14	0.52	17.2	248	31	548	0.40	18.2	31.2	23.1
	28	17	0.50	21.3	147	33	393	0.40	22.4	27.2	20.1
	40	21	0.51	26.4	113	47	274	0.40	27.8	29.2	21.8
主伐	63	24	0.47	30.9	273	234	-	-	-	100	100
2000	15	9.9	0.60	11.3	710	29	1100	0.43	12.4	39.2	28.7
	20	13	0.57	15.4	420	38	640	0.41	16.7	39.6	28.7
	26	16	0.52	19.7	196	35	438	0.40	21.0	30.9	22.3
	36	20	0.52	24.9	134	49	299	0.40	26.5	30.9	23.6
主伐	63	24	0.50	30.5	295	248	-	-	-	100	100
2500	15	9.9	0.67	10.8	840	29	1350	0.49	11.9	38.4	25.9
	19	12	0.60	13.9	520	37	780	0.43	15.3	40.0	28.8
	22	14	0.51	17.3	224	28	548	0.40	18.2	29.0	21.4
	28	17	0.50	21.3	147	33	393	0.40	22.4	27.2	20.1
	40	21	0.51	26.4	113	47	274	0.40	27.8	29.2	21.8
主伐	63	24	0.47	30.9	273	234	-	-	-	100	100

Ry:収量比数.

北海道のカラマツ人工林の林分密度管理図(日本森林技術協会 1999)にもとづき作成.  
地位指数は猪瀬ら(1992)による.



カラマツの激害林分(左)  
と無被害林分(右)

表二 風害を軽減するためのトドマツ人工林の林分管理指針(間伐指針, Ry上限:0.70)

地位指数:24

植栽本数 (本/ha)	林齢 (年)	上層高 (m)	間伐前		間伐木		間伐後			間伐率	
			Ry	平均直径 (cm)	本数 (本/ha)	材積 (m <sup>3</sup> /ha)	本数 (本/ha)	Ry	平均直径 (cm)	本数 (%)	材積 (%)
1500	25	10.9	0.60	13.3	-	-	-	-	-	-	-
	30	13.1	0.69	15.5	420	26	1010	0.60	17.2	29.4	13.5
	38	16	0.70	20.3	305	39	684	0.60	22.6	30.8	14.4
	54	20	0.71	27.1	227	63	443	0.60	30.7	33.9	15.9
主伐	69	22	0.65	33.1	440	422	-	-	-	100	100
2000	25	10.9	0.68	12.3	-	-	-	-	-	-	-
	30	13.1	0.76	14.1	720	32	1150	0.63	16.6	38.5	15.3
	35	15	0.70	18.4	361	35	779	0.60	20.7	31.7	14.4
	49	19	0.72	24.9	281	62	490	0.60	28.6	36.4	16.8
主伐	69	22	0.67	32.2	483	439	-	-	-	100	100
2500	25	10.9	0.73	11.4	-	-	-	-	-	-	-
	30	13.1	0.81	13.1	900	33	1400	0.69	15.6	39.1	14.8
	32	14	0.72	16.5	506	38	884	0.60	18.9	36.4	17.0
	45	18	0.72	23.1	315	58	547	0.60	26.6	36.5	17.2
主伐	69	22	0.70	31.2	537	456	-	-	-	100	100
3000	25	10.9	0.77	10.7	1090	25	1700	0.64	12.7	39.1	15.9
	30	13	0.73	14.6	640	36	1030	0.60	17.0	38.3	18.1
	38	16	0.71	20.1	326	41	684	0.60	22.6	32.3	15.1
	54	20	0.71	27.1	227	63	443	0.60	30.7	33.9	15.9
主伐	69	22	0.65	33.1	440	422	-	-	-	100	100

Ry:収量比数.

北海道のトドマツ人工林の林分密度管理図(真辺 1974)にもとづき作成.  
地位指数は阿部(1989)による.



トドマツの激害林分（左）  
と無被害林分（右）

表一三 風害を軽減するためのエゾマツ人工林の林分管理指針(間伐指針, Ry上限:0.65)

地位指数: 24

植栽本数 (本/ha)	林齢 (年)	上層高 (m)	間伐前		間伐木		間伐後			間伐率	
			Ry	平均直径 (cm)	本数 (本/ha)	材積 (m <sup>3</sup> /ha)	本数 (本/ha)	Ry	平均直径 (cm)	本数 (%)	材積 (%)
1500	25	10.9	0.60	13.3	-	-	-	-	-	-	-
	30	13.1	0.69	15.5	570	39	860	0.56	17.9	39.9	20.3
	38	16	0.66	21.3	280	43	568	0.55	23.8	33.0	16.9
	54	20	0.66	28.7	189	64	370	0.55	32.2	33.8	17.3
	69	22	0.60	34.9	369	391	-	-	-	100	100
2000	25	10.9	0.68	12.3	-	-	-	-	-	-	-
	30	13.1	0.76	14.1	720	32	1150	0.63	16.6	38.5	15.3
	32	14	0.67	17.5	408	38	732	0.55	19.9	35.8	18.4
	41	17	0.65	23.4	224	43	503	0.55	25.8	30.8	15.6
	60	21	0.66	30.8	157	64	339	0.55	34.3	31.7	16.2
69	22	0.58	35.7	338	375	-	-	-	100	100	
2500	25	10.9	0.73	11.4	910	27	1450	0.60	13.3	38.6	18.1
	30	13	0.69	15.4	570	38	860	0.55	17.9	39.9	20.2
	38	16	0.66	21.4	277	42	568	0.55	23.8	32.8	16.6
	54	20	0.66	28.7	189	64	370	0.55	32.2	33.8	17.3
	69	22	0.60	34.9	369	391	-	-	-	100	100
3000	25	10.9	0.77	10.7	1090	25	1700	0.64	12.7	39.1	15.9
	30	13	0.73	14.6	640	36	1030	0.60	17.0	38.3	18.1
	35	15	0.67	19.1	380	43	640	0.55	21.8	37.3	18.5
	49	19	0.67	26.6	221	62	409	0.55	30.0	35.1	18.1
	69	22	0.62	34.0	404	407	-	-	-	100	100

Ry: 収量比数.

北海道のトドマツ人工林の林分密度管理図(真辺 1974)にもとづき作成.  
地位指数は阿部(1989)によるトドマツのものを適用した.



エゾマツの激害林分（左）  
と無被害林分（右）

## 6のまとめ

風害を軽減するためには、形状比を低く抑え、耐風性の高い林分に仕立てる必要があります。

収量比数 (Ry) は、カラマツ人工林では0.5以下、トドマツ人工林では0.7以下、エゾマツ人工林では0.65以下に管理します。

植栽本数が多い場合は、強めの間伐を繰り返して実施する必要があります。



## 立木の曲げ強さに関する参考文献

小泉章夫（1987）生立木の非破壊試験による材質評価に関する研究．北大演研報44：1329-1415.  
Peltola, H., Kellomki, S., Hassinen, A., and Granade, M. (2000) Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch : an analysis of tree-pulling experiments in Finland . For. Ecol. Manage . 135 : 143-153.

この研究に関する主な成果は北海道立林業試験場のホームページから検索することができます。  
以下の文献で詳しく知ることができます。

2004年台風18号による風倒木被害の要因－道有林での解析事例－

佐藤 創・阿部 友幸 光珠内季報143（2006）

台風18号による緑化樹の被害調査報告書

三岡 修・佐藤 孝夫・清水 一・石井 弘之・清水口 進・金田 秀行・中山 康博 北海道立林業試験場緑化樹センター（2005）

2004年台風18号被害に関する調査速報

対馬 俊之・菅野 正人・寺澤 和彦・木幡 靖夫・阿部 友幸・佐藤 創・三岡 修・原 秀穂・浅井 達弘 光珠内季報137（2004）

台風18号（2004）により北海道の森林が受けた被害（風倒害）－被害把握と要因解析－

阿部 友幸・菅野 正人・対馬 俊之 日本森林学会北海道支部論文集54（2006）

2002年台風21号により北海道十勝の防風保安林に発生した風害の要因解析

鳥田 宏行 日本森林学会誌88（2006）

支笏湖周辺風倒木被害復旧対策検討委員会報告書 同委員会（2005）

リモートセンシングによる森林風倒害解析報告書－2004年台風18号による被害調査－

北海道森林災害リモートセンシング研究会，北海道（2005）

防風林の防風防雪機能と気象害に関する研究

鳥田宏行 北海道林業試験場研究報告46（2009）

**この研究は、北海道立林業試験場、北海道立北方建築総合研究所、北海道大学大学院農学研究科の3機関が共同で実施しました。**

このパンフレットについてのお問い合わせは…

**北海道立林業試験場 森林環境部 防災林科**

〒079-0198 美幌市光珠内町東山

TEL：0126-63-4164 FAX：0126-63-4166

URL <http://www.fri.hro.or.jp/>

E-mail [forestry@hro.or.jp](mailto:forestry@hro.or.jp)

**平成22年3月発行  
北海道立林業試験場**