



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	防風林の風倒要因の解析 : 2004年台風18号による北海道美唄市の例
Author(s)	佐藤, 創; 鳥田, 宏行; 真坂, 一彦 他
Citation	日本森林学会誌, 91(5), 307-312 https://doi.org/10.4005/jjfs.91.307
Issue Date	2009
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/67684
Type	journal article
File Information	Journal of the Japanese Forest Society 91_307.pdf



防風林の風倒要因の解析 — 2004 年台風 18 号による北海道美唄市の例 —

佐藤 創^{*1}・鳥田 宏行²・真坂 一彦²・今 博計²・澁谷 正人³

2004 年台風 18 号により風倒被害を受けた、北海道美唄市内の防風保安林の風倒要因を解析した。この台風による最大風速は 21 m/s であった。調査を行った防風林はヨーロッパトウヒ、カラマツ、シラカンバ、ヤチダモ人工林である。防風林に 21 箇所の方形区を設定し、各個体の胸高直径と「根返り」、「幹折れ」、「無被害」別の被害状況を記録した。また、深さ別の土壌の硬さを簡易貫入試験機により測定した。さらに、樹種別に風倒被害の異なる要因を知るために、幹を側方に引き、根返りを発生させる際の最大抵抗モーメントを測定した。数量化 2 類による解析の結果、カラマツが最も被害を受けやすく、次いでヨーロッパトウヒ、シラカンバ、ヤチダモの順に風倒被害を受けにくくなった。胸高直径は 30 cm をピークに被害を受けやすかった。被害の種類については、カラマツとシラカンバは根返りしやすく、ヨーロッパトウヒは幹折れしやすかった。土壌の硬さは被害にあまり影響していなかった。根返り抵抗モーメントはヤチダモ>シラカンバ≒カラマツ≒ヨーロッパトウヒとなり、樹高や葉量の違いとともに、樹種別の風倒被害の違いを引き起こす要因となっていると考えられた。

キーワード：数量化 2 類、2004 年台風 18 号、根返り、風倒木、幹折れ

Hajime Sato,^{*1} Hiroyuki Torita,² Kazuhiko Masaka,² Hirokazu Kon,² and Masato Shibuya³ (2009) Analysis of Windthrow Factors in Windbreaks: In the Case of Bibai, Hokkaido by Typhoon No.18 in 2004. J. Jpn. For. Soc. 91: 307-312. Windthrow factors in windbreaks in Bibai, Hokkaido, which was damaged by typhoon No.18 (max wind speed 21 m/s) in 2004, were analyzed. The windbreaks investigated were plantations of *Picea abies*, *Larix leptolepis*, *Betula platyphylla*, or *Fraxinus mandshurica*. Diameter at breast height (DBH) and the type of damage (e.g., "uprooted", "snapped", or "undamaged") were determined for each tree in 21 quadrats. The vertical profile of soil hardness was also measured using a simplified dynamic cone penetrometer in each quadrat. The maximum moment of resistance against uprooting was measured by pulling the trunk of a standing tree laterally for each species to determine why the sensitivity to windthrow differed. The sensitivity to windthrow decreased in the order *L. leptolepis* > *P. abies* > *B. platyphylla* > *F. mandshurica*. The sensitivity to windthrow had a bell-shaped distribution with a peak at DBH = 30 cm. *L. leptolepis* and *B. platyphylla* were more likely to be "uprooted", while *P. abies* was more likely to be "snapped". Soil hardness was not closely related to the sensitivity to windthrow. The moment of resistance against uprooting was higher for *F. mandshurica* than for the other three species. The sensitivity to windthrow might be related to tree height and leaf mass, in addition to the moment of resistance against uprooting.

Key words: typhoon No.18 in 2004, quantification method of the second type, snapped, uprooted, windthrow

I. は じ め に

2004 年 9 月 5 日に沖縄本島を通過し、7 日には北海道を襲った台風 18 号により、道内各地の森林は風倒被害を受けた。この台風による風の強さは、北海道全体としては、ちょうど 50 年前の 1954 年に発生した通称「洞爺丸台風」以来のものであることから、50 年ぶりの強風に見舞われたことになる。美唄市に隣接する岩見沢市内の測候所では今回の台風の最大風速（10 分間平均値）は 18.7 m/s であるのに対し、洞爺丸台風の最大風速は 34.4 m/s であり今回の約 2 倍であった。美唄地域気象観測所では、洞爺丸台風時のデータはないが、今回の台風の最大風速は 21 m/s であった。おそらく美唄でも洞爺丸台風ほどの風速は示さなかった

が、それ以降では最大の風速を示したと推測される。今回の強風によって美唄市内ではビニールハウスの倒壊、取り付けの不完全な家屋外装材の剥離などの被害が発生した。樹木の被害は家屋周辺の樹木が倒れたり、電線に倒木が引っかかり停電を起こすなどがあったが、最も顕著なものは農地の防風林の被害であった（図-1, 2）。一部の防風林では倒木が農地に散乱し、被害を拡大した。本来、防風林は保護対象を風から守るべきものであるが、その防風林自体が倒れ、保護対象に被害を及ぼすとあっては、本末転倒である。また、それ以上に防風林が一度に失われてしまうと、再造成しても農作物の保護効果を発揮するまでは長年がかかるため、風倒被害に遭にくい防風林づくりが必要である。

* 連絡先著者 (Corresponding author) E-mail: hajime@hfri.pref.hokkaido.jp

¹ 北海道立林業試験場道南支場 〒041-0801 函館市桔梗町 372-2 (Donan Station, Hokkaido Forestry Research Institute, 372-2 Kikyo-cho, Hakodate 041-0801, Japan)

² 北海道立林業試験場 〒079-0198 美唄市光珠内町東山 (Hokkaido Forestry Research Institute, Higashiyama, Koshunai, Bibai 079-0198, Japan)

³ 北海道大学大学院農学研究院 〒060-8589 札幌市北区北 9 条西 9 丁目 (Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita 9, Nishi 9, Kita-ku, Sapporo 060-8589, Japan)

(2008 年 7 月 28 日受付; 2009 年 6 月 9 日受理)



図-1. 農地に倒れたヨーロッパトウヒ防風林
美唄市役所提供。



図-2. 根返りを起こしたカラマツ
土壌は泥炭土で、根は1m以深には張っていない。

これまでも森林の風倒木被害に関しては、その実態や要因について多くの研究が行われてきた。しかし、国内で樹種間の耐風倒性に注目した研究は多くはない(玉手, 1967; 木上ら, 2006; 阿部, 2005; 佐藤・阿部, 2006; 諫本・高宮, 1992; 鳥田, 2006)。本研究で対象とした防風林は、地形が単純であるため、特に樹種の耐風倒性の違いを検出しやすい。そこで、どのような樹種で倒木が多かったのか、また、どのようなサイズで倒木が多かったのかなど、風倒を引き起こす要因を解析した。さらに、幹の根返り抵抗力を測定することにより、耐風倒性の樹種間差を引き起こしたメカニズムについて検討した。最後に、風倒被害に遭いにくい防風林造成について考察を加えた。

II. 調査方法

1. 調査地の被害状況

美唄市内には農作物の保護を目的として、幅 30~60 m ほどの防風保安林が縦横に走っている。ほとんどが人工林で、ヨーロッパトウヒ、カラマツ、シラカンバ、ヤチダモなどが主要な樹種となっている。美唄は南北方向の風が卓越しているので、東西方向に伸びた防風林が約 600 m 間隔で南

北に、また南北に伸びた防風林が約 2 km 間隔で東西に配列されている。今回の強風が南向きであったため、東西に伸びる防風林にほぼ直角に風が当たったことになる。

2. 被害調査

被害調査は周囲の被害状況を代表するような地点で、防風林の幅方向の両端(長さ 22~60 m)を含むように面積 500~1,000 m² の方形区を 21 箇所設定し、胸高直径 5 cm 以上の樹木について、胸高直径と被害状況について記録した。被害状況は根系がほぼ 90 度回転して地表に露出しているものを「根返り」とした。根系が完全に回転せず地表に盛り上がった状態になっているものもわずかにみられたが、これも「根返り」に含めた。また、幹が途中から折れているものを「幹折れ」とした。幹折れの位置は地際から数メートルの高さまでさまざまであった。被害を受けていないものを「無被害」とした。根返りも幹折れも起こさずに幹が傾いているだけの個体もわずかにみられたが、「無被害」に含めた。今回の調査では早急に調査を行う必要があったため、全個体の樹高を測定することができなかったが、風倒被害には樹高も影響することが考えられた。そこで、胸高直径から樹高を推定するために、各方形区から 5~15 本の無被害木を選び、樹高を測定した。

防風林の位置する区域は泥炭土となっており(国土庁土地局, 1977)、根系が深くまで侵入しにくく、根返りが生じやすい状況となっていることが予想された。そこで、根返りの生じやすさと土壌の性質をみるために、各方形区において 1 箇所の土壌断面を記載し、2 箇所での土の深度別の硬さを斜面用簡易貫入試験機(筑波丸東製)を用いて調査した。この試験機はロッドの先端に付属したコーン抵抗体を、錘を落下させる打撃力により貫入させるもので、10 cm 貫入させるのに要する打撃数を土の硬さ(N_c 値)とした。深さ 100 cm 以下には、根返り木の観察から根は分布していないと判断されたため(図-2)、 N_c 値は深さ 100 cm まで測定した。

3. 根返り抵抗モーメントの測定

上記の被害調査により樹種別に被害の受けやすさが違うことが明らかになった。その違いの原因の一つには、根系の抵抗力や幹の強度が異なり、抗力が同じでも倒れやすさが異なることが考えられる。一方、樹形や葉量が異なり、抗力が異なることも考えられる。これらのことを明らかにするために、幹にワイヤーをかけて根返りを発生させる際の抵抗モーメントを測定した。上記の被害調査を行った防風林の範囲内で、おもな植栽樹種であるシラカンバ 18 本、ヤチダモ 15 本、カラマツ 12 本、ヨーロッパトウヒ 13 本について、胸高直径を測定した後、樹高の 1/3 の高さを目安にして幹の高さ 1~5 m の位置にワイヤーをかけ、約 25~30 m 離れた位置にある立木の根元にアンカーをとり、間にチルホールとロードセルを接続した。チルホールで一定の速度でワイヤーを引いて根返りが起きるまで幹を傾かせ、荷重を測定した。その間に記録された最大の荷重とワイヤーの取り付け高さの積を根返り抵抗モーメントとした。

表-1. 各カテゴリー別の被害種類別の本数

説明変数	カテゴリー	無被害	根返り	幹折れ
樹種	カラマツ	81 (48.8)	70 (42.2)	15 (9.0)
	ヨーロッパトウヒ	233 (75.4)	35 (11.3)	41 (13.3)
	シラカンバ	198 (93.8)	10 (4.7)	3 (1.4)
	ヤチダモ	157 (98.1)	1 (0.6)	2 (1.3)
胸高直径	～15 cm	140 (97.2)	2 (1.4)	2 (1.4)
	15～20 cm	203 (90.6)	14 (6.3)	7 (3.1)
	20～25 cm	168 (77.8)	29 (13.4)	19 (8.8)
	25～30 cm	91 (60.7)	36 (24.0)	23 (15.3)
	30～35 cm	36 (53.7)	25 (37.3)	6 (9.0)
	35 cm～	31 (68.9)	10 (22.2)	4 (8.9)
N _c 値	<1	294 (69.7)	92 (21.8)	36 (8.5)
	1≤	375 (88.4)	24 (5.7)	25 (5.9)

数字は本数, () 内はカテゴリー別にみた被害の種類別の百分率を示す。

なお、本来は最大の荷重を水平力と鉛直力に分けて算定する必要があるが、アンカーをとった立木までの距離を正確に測定しなかったため、厳密な意味での抵抗モーメントとはいえない。しかし、仮にワイヤーをかけた高さが5 m、アンカーをとった立木までの距離が25 mとした場合でも、水平力は最大荷重の98%となりほとんど差はなかったのので、上記の値がほぼ抵抗モーメントを表しているといえる。

III. 解析方法

調査木は全体で898本であった。このうちシラカンバ、ヤチダモ、カラマツ、ヨーロッパトウヒが846本と大半を占めていたので、この4種に絞って解析を行った。

各方形区の2地点の同じ深度のN_c値を平均した値を求め、さらに深さ30～100 cmの値を平均したものを平均N_c値とし、その方形区の土の硬さとした。30 cmより浅い部分は腐植や客土の影響で硬さにばらつきがあるため除外した。方形区内の平均N_c値を方形区内の各樹木の生育する土の硬さとした。

まず、846本すべての樹木が被害を受けたか受けなかったかに、樹種や胸高直径、また平均N_c値がどの程度影響を及ぼしたのかを数量化2類を用いて解析を行った。目的変数は被害の有無、説明変数は樹種、胸高直径、N_c値とし、それぞれのカテゴリーは表-1に示したとおりである。次に、被害を受けた177本が根返りしたか、幹折れしたかに、上記カテゴリーがどの程度影響を及ぼしたかについて、同様に数量化2類を用いて解析を行った。後者の解析においては、被害本数の少なかったヤチダモについては除外し、同様に被害本数の少なかった胸高直径15 cm以下については15～20 cmのカテゴリーに統合した。

IV. 結果

1. 被害の遭いやすさに及ぼす要因

上記の4種846本についての本数被害率は根返りは13.7%、幹折れは7.2%、無被害は79.1%であった。なお、美唄市内の防風保安林の大半を占める美唄市有林全体の被害本数率は4.9%である(美唄市役所調べ)。したがって、今回の調査地はやや被害の大きかった場所を選んだことになる。

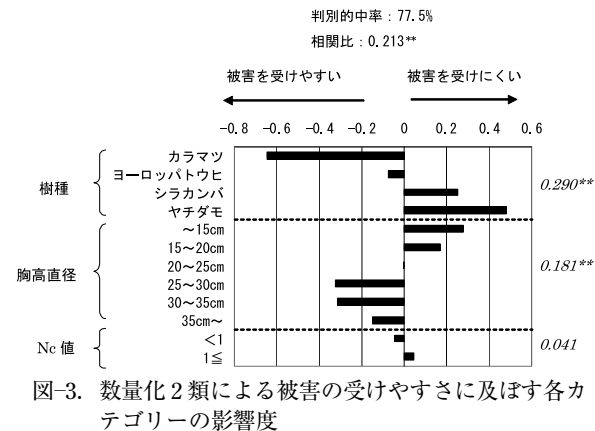


図-3. 数量化2類による被害の受けやすさに及ぼす各カテゴリーの影響度

グラフ横軸は影響度を表すカテゴリースコアを示す。グラフ右側のイタリック数字は、各項目の偏相関係数を示す。** $p < 0.01$ 。

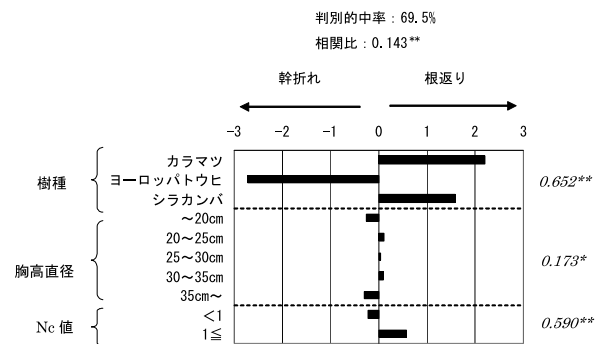


図-4. 数量化2類による被害の種類に及ぼす各カテゴリーの影響度

グラフ横軸は影響度を表すカテゴリースコアを示す。グラフ右側のイタリック数字は、各項目の偏相関係数を示す。** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ 。

被害の受けやすさについてみると、最も重要な要因は樹種で、カラマツが最も被害を受けやすく、次いでヨーロッパトウヒ、シラカンバ、ヤチダモの順に被害を受けにくくなった(図-3)。ヤチダモの本数被害率は1.9%と非常に低かった(表-1)。次いで、重要な要因は胸高直径で、胸高直径が30 cmまでは直径が大きくなるにつれて、被害を受けやすくなったが、30 cm以上になると被害を受けにくくなった(図-3)。最も重要度が低い要因はN_c値で、土壌の硬さは被害の受けやすさにほとんど影響を与えていなかった。

2. 被害の種類に及ぼす要因

被害を受けた木に関して、根返りか幹折れかの違いに及ぼす要因としては、樹種が最も重要で、カラマツとシラカンバが根返りしやすく、ヨーロッパトウヒは幹折れしやすかった(図-4)。本数被害率でも、カラマツとシラカンバでは幹折れよりも根返りが多かったのに対し、ヨーロッパトウヒでは根返りよりも幹折れが多かった(表-1)。次いで重要なのはN_c値で、土壌が硬い方がやや根返りしやすいという矛盾した傾向がみられた。グラフからレンジは小さいことが読み取れ、N_c値は根返りか、幹折れかにあまり影響を及ぼさなかったと判断される。最も重要度が低い

は直径で、20 cm 以下と 35 cm 以上で幹折れしやすくなる傾向がみられた。

3. 根返り抵抗モーメント

いずれの樹種でも胸高直径が大きくなるほど、根返り抵抗モーメントが大きくなる傾向がみられた(図-5)。胸高直径と根返り抵抗モーメントの関係をべき乗関数で近似すると、ヤチダモの曲線が最も上に位置しており、抵抗モーメントが最も大きかった。それ以外の3種の間では、胸高直径20 cm 付近で回帰曲線が交差しており、明瞭な抵抗モーメントの違いはみられなかった。

4. 胸高直径-樹高関係

同じ胸高直径に対する樹高はヤチダモ、カラマツでは大きく、ヨーロッパトウヒ、シラカンバでは小さい傾向がみられた(図-6)。サンプル木の胸高直径に対する樹高の関係を式を用いて、すべての調査木の胸高直径から樹高を推定し、樹種ごとに平均すると、ヤチダモ 17.0 m、カラマツ 19.2 m、ヨーロッパトウヒ 13.4 m、シラカンバ 13.3 m となった。

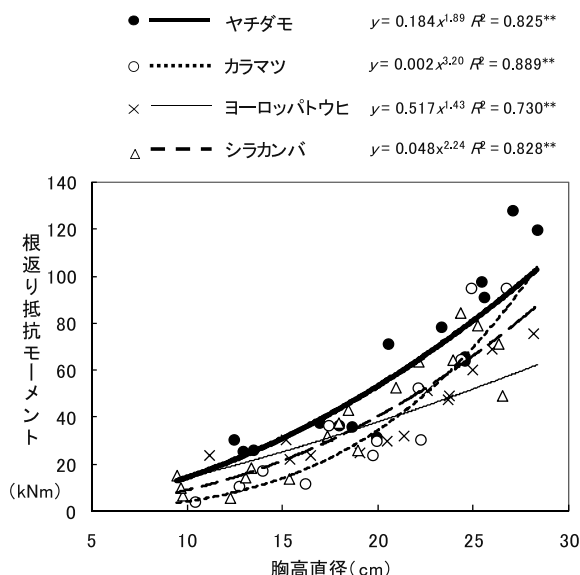


図-5. 胸高直径と最大根返り抵抗モーメントの関係

回帰はべき乗関数を用いた。** $p < 0.01$.

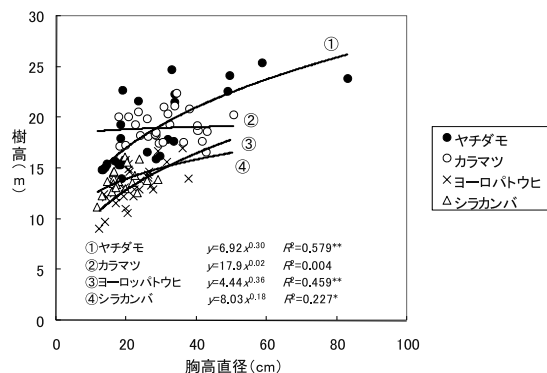


図-6. サンプル木の胸高直径と樹高の関係

回帰はべき乗関数を用いた。** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

V. 考 察

風倒被害のメカニズムは、風心高(樹冠の下から1/3の高さ)の位置に風を受け(玉手, 1967), そこでの抗力は、風向からみた樹冠の投影面積, 風速の2乗, 抗力係数の積で表される(図-7)。そして、抗力と風心高の積で表される回転モーメントが根返り抵抗モーメントよりも大きくなると根返りを起こし、抗力と風心高から幹折れ位置までの長さの積で表される曲げモーメントが幹折れ抵抗モーメント(幹折れに対する抵抗モーメント)よりも大きくなると幹折れを起こす, というように理解することができる。風速の増加に伴い、先に回転モーメントが根返り抵抗モーメントを上回った場合には根返りが起き、先に曲げモーメントが幹折れ抵抗モーメントを上回った場合には幹折れが起きると考えられる。なお、以下の考察では、風心高および抗力係数に関するデータはないため、前者は樹高に比例し、後者は樹種間で同じと仮定する。風倒被害の受けやすさはカラマツ、ヨーロッパトウヒ、シラカンバ、ヤチダモの順となっていたが(図-3), これを上記のメカニズムから考えると、ヤチダモは他の3種に比べて根返り抵抗モーメントが大きい(図-5)ことが被害を受けにくかったことにつながったと考えられる。根返り被害の多かったカラマツとシラカンバでは、根返り抵抗モーメントは顕著な差がみられないが(図-5), カラマツはシラカンバに比べて風心高が高いため、受ける風速も大きくなり(安田, 1994) 抗力が大きくなるが、風心高が高いことからさらに根返りモーメントが大きくなったと予想される。このことがシラカンバよりもカラマツで被害を受けやすかったことにつながったと考えられる。

根返り被害の受けやすさは、根の深さと関係があると予想され(Peltora *et al.*, 2000; Coutts, 1986; Ray and Nicol, 1998), カラマツは中間型、ヤチダモは深根型、シラカンバは浅根型であるといわれている(荻住, 1979)。このことから根返り被害の受けやすさはシラカンバ>カラマツ>ヤチ

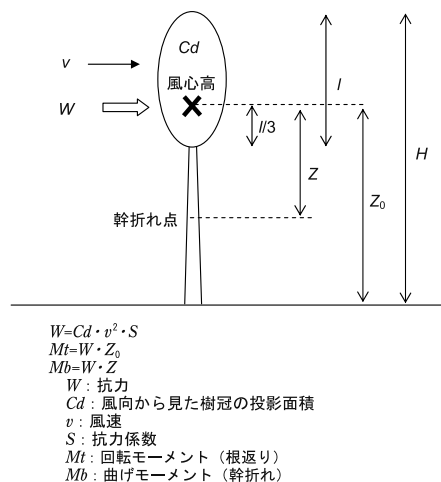


図-7. 風倒発生メカニズムの模式図

ダモであることが予想されるが、実際にはカラマツ>シラカンバ>ヤチダモであった。このことは従来いわれている根系型と根返りしやすさは単純には一致しないことを示している。

ヨーロッパトウヒは根返り抵抗モーメントについてはシラカンバやカラマツと顕著な差はみられなかった(図-5)。ヨーロッパトウヒはシラカンバと同様の風心高を示したが、常緑針葉樹であるために強風下でも落葉しにくく、風向からみた投影面積は大きかったと推察される。したがって、抗力が大きく、回転モーメントや曲げモーメントがシラカンバよりも大きくなり、シラカンバよりもヨーロッパトウヒの被害が多くなったと推察される。また、ヨーロッパトウヒとカラマツを比較すると、風心高はカラマツの方が高かった。したがって、回転モーメントはカラマツの方が大きくなり、ヨーロッパトウヒよりもカラマツの被害が多くなったと推察される。ヨーロッパトウヒで幹折れが多かったのは、早期に曲げモーメントが幹折れ抵抗モーメントよりも大きくなったためだと思われる。すなわち他の3種に比べて幹折れ抵抗モーメントが小さいことが予想される。材の曲げヤング係数はカラマツは9.8 GPa、ヨーロッパトウヒは10.8 GPa、シラカンバは7.1 GPa、ヤチダモは9.3 GPaである(貴島ら, 1977)。ヨーロッパトウヒは4種中最も曲げヤング係数が大きく、上記の予想とは一致しなかった。曲げヤング係数は製材の強度を示すもので、風倒のメカニズムを明らかにするには、立木の状態での幹折れ抵抗性を測定する必要がある。

以上をまとめると、ヤチダモは根返り抵抗モーメントが大きく、幹折れも少なかったことから、幹折れ抵抗モーメントも大きいと考えられ、それらにより被害を最も受けにくかったと考えられる。シラカンバとカラマツは根返り抵抗モーメントは小さいが、幹折れ抵抗モーメントはそれよりは大きく、被害としては根返りが多かった。両者の被害の受けやすさの違いには樹高が関係したものと推察される。ヨーロッパトウヒは根返り抵抗モーメントはシラカンバやカラマツと差はなかったが、シラカンバとは葉量の違いが原因で被害の受けやすさが異なり、カラマツとは樹高の違いが原因で被害の受けやすさが異なると考えられる。

これまでの樹種間の耐風倒性を比較した報告では、広葉樹は全般に針葉樹よりも耐風倒性が大きく、針葉樹造林樹種の中ではヒノキ、クロマツ、アカマツが最も耐風倒性が大きく、スギ、エゾマツ、トドマツが中間的で、カラマツが最も小さかった(玉手, 1967)。本研究で対象とした2004年台風18号による被害報告では、苫小牧地方での解析では、天然性広葉樹の被害が最も少なく、シラカンバ・マツ類、ポプラ類・トウヒ類、トドマツ、カラマツの順に風倒被害が多くなり(阿部, 2005)、北海道有林全体の解析では、天然林の被害が最も少なく、広葉樹人工林、アカエゾマツ・カラマツ、トドマツの順に風倒被害が多くなった(佐藤・阿部, 2006)。2002年台風21号による十勝地方の防風

保安林の解析結果では、天然性のカシワが最も被害が少なく、トドマツ・アカエゾマツ・ヨーロッパトウヒ、カラマツ、チョウセンゴヨウ・ストロブマツ、シラカンバの順に被害が多くなった(鳥田, 2006)。このようにカラマツが針葉樹の造林樹種の中でも最も耐風倒性が小さいという報告が多く、本研究結果と一致している。また、ヨーロッパトウヒがカラマツよりも耐風倒性が大きいことは、過去の研究結果(阿部, 2005; 鳥田, 2006)と一致する。しかし、シラカンバの耐風倒性については、他と若干異なる報告例もあり(鳥田, 2006)、土壌条件や雨量の違いといった気象条件あるいは立木密度などにより、異なる結果を生じたものと考えられる。樹種は異なるが、九州でも針葉樹が広葉樹よりも耐風倒性が小さいという報告があり(木上ら, 2006; 諫本・高宮, 1992)、この傾向は一般的なものであるといえる。

胸高直径については30 cm前後が最も風倒が起きやすく、それより細くなっても太くなっても風倒が起きにくくなる傾向がみられた。胸高直径と樹高の関係には頭打ちになる傾向がみとれ(図-6)、直径が小さい範囲では直径の増加とともに樹高が増加することで、風倒が起きやすくなったものと考えられる。一方、直径が大きい範囲では、樹高成長は頭打ちとなった一方、根系の伸張とともに根返り抵抗性が増加したことや、幹折れ抵抗性が増加したため風倒が起きにくくなったのではないかと推察される。これまでのサイズと風倒の起きやすさの関係に関する報告(Putz and Sharitz, 1991; Foster and Boose, 1992; 諫本・高宮, 1992; 阿部, 2005; 佐藤・阿部, 2006; 鳥田, 2006)を総合すると、胸高直径が0 cmから100 cm前後までの範囲内では、直径が大きくなるにつれて風倒が起きやすくなるが、ある直径を超えると風倒が起きにくくなるという傾向が一般的であるといえる。

また、本調査域の範囲内では、土壌の硬さは風倒被害にそれほど影響を及ぼしていなかった。本調査地全体が泥炭土の分布する地帯で、根系が浅い部分にしか張っていないと推察される。観察では、山地の褐色森林土に成立する森林では比較的風倒被害が少なかった。したがって、本調査地全体が風倒被害の発生しやすい土壌を有していたといえる。

VI. 結 論

最大風速21 m/sの強風により、平坦地の防風保安林で根返りや幹折れなどの風倒被害が発生した。被害の有無に影響を及ぼした要因は樹種が最も重要で、カラマツが最も被害を受けやすく、次いでヨーロッパトウヒ、シラカンバ、ヤチダモの順に被害を受けにくくなった。次いで胸高直径が重要で、30 cmまでは直径が太くなるにつれて被害を受けやすくなったが、30 cm以上になると被害を受けにくくなった。樹種別の風倒被害の受けやすさは、根返り抵抗モーメントや樹高、葉量で説明することができた。

今回の結果から、本調査域で風倒被害に遭いにくい防風

林造成を考えると、樹種としては風倒被害を受けにくかったヤチダモが挙げられる。ヤチダモは泥炭のような過湿土壌にも強いことから、適地適木の観点からも推奨される樹種である。その他の樹種を用いる場合には、風倒被害に遭いにくい広葉樹を用いるようにする。また、林分構造の面からは、成長とともに最も風倒被害を受けやすいサイズ(胸高直径 25~35 cm) が訪れる。このサイズに達する前の小径木のみでは樹高が低く防風効果は望めないため、このサイズを越えて、防風効果の高いサイズへと育てる必要がある。その場合、万が一風倒被害を受けた場合でも早期の効果回復を図るためには、最も風倒被害を受けやすいサイズのための林とならないように異齢または異樹種からなる複層林を造成することが望ましいと考えられる。

引用文献

- 阿部友幸 (2005) 苫小牧王子製紙社有林における風倒被害の要因解析とハザードマップ作成。リモートセンシングによる森林風倒被害解析報告書。62 pp, 北海道森林災害リモートセンシング研究会, 札幌。
- Coutts, M.P. (1986) Components of tree stability in Sitka Spruce on peaty gley soil. *Forestry* 59: 173-197.
- Forster, D.R. and Boose, E.R. (1992) Patterns of forest damage resulting from catastrophic wind in central New England, USA. *J. Ecol.* 80: 79-98.
- 諫本信義・高宮立身 (1992) 1991 年 9 月台風 19 号により発生した大分県における森林被害の要因解析。大分県林試研究時報 18: 1-43.
- 菊住 昇 (1979) 樹木根系図説。1121 pp, 誠文堂新光社, 東京。
- 貴島恒夫・岡本省吾・林 昭三 (1977) 原色木材大図鑑。204 pp, 保育社, 大阪。
- 木上真一郎・村上拓彦・溝上展也・吉田茂二郎 (2006) 九州における風倒木被害の発生リスクに関する研究レビュー。九州森林研究 59: 292-295.
- 国土庁土地局 (1977) 土壌図 (土地分類図, 北海道Ⅲ, 空知支庁)。
- Peltola, H., Kellolmäki, S., Hassinen, A., and Granander, 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.
- Putz, F.E. and Sharitz, R.R. (1991) Hurricane damage to old-growth forest in Congaree National Monument, South Carolina, USA. *Can. J. For.* 21: 1765-1770.
- Ray, D. and Nicol, B.C. (1998) The effects of soil water-table depth on root-plate development and stability of Sitka spruce. *Forestry* 71: 171-182.
- 佐藤 創・阿部友幸 (2006) 2004 年台風 18 号による風倒木被害の要因一道有林での解析事例。光珠内季報 143: 7-11.
- 玉手三葉寿 (1967) 森林の防風害とその防除法。林業技術 7: 21-25.
- 鳥田宏行 (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。日林誌 88: 489-495.
- 安田延壽 (1994) 基礎大気科学。204 pp, 朝倉書店, 東京。