

スギ3品種の冠雪害の差異と立木強度

嘉戸昭夫^{*}・平英彰^{*}・中谷浩^{**}Differences of snow damage and regisive performance of
tree stem in three sugi cultivarsAkio KATO^{*}, Hideaki TAIRA^{*} and Hiroshi NAKATANI^{**}

要旨：隣接して植栽されているタテヤマスギ、ボカスギおよびマシヤマスギの12年生林分において、56豪雪における冠雪害を調べた結果、マシヤマスギは他品種に比べて著しく被害が少なかった。そこで、品種間差を生じた原因について樹幹形状、木材の強度的性質、根元の拘束力および立木の最大耐力（座屈荷重）などとの関係から検討した。マシヤマスギは形状比が小さくかつ木材のヤング率が大きい特徴があった。マシヤマスギの座屈荷重は他品種のその約2倍の値を示した。座屈荷重は冠雪害に対する立木強度の指標となりうると考えられた。

I. はじめに

スギは品種・系統によって、冠雪害の発生率や被害形態に差異がある^{1)~6)}。冠雪害抵抗性の要因解析は主として、幹や樹冠の形状などとの関係から検討が加えられてきた¹⁾⁴⁾⁷⁾⁸⁾。また、冠雪害は冠雪荷重と立木強度との力関係で発生することから、冠雪荷重や木材の強度の品種間差^{4),8)~12)}などについても研究がなされている。しかし、木材の強度に関するものの多くは、その一要因であるヤング率や最大応力などを測定したもので、冠雪荷重を受けた場合の立木の抵抗力について言及した例はない。

筆者らは冠雪害の発生機構を力学的に解析するために、タテヤマスギ、ボカスギ、マシヤマスギの若齢林において、56豪雪による被害状況を調査するとともに、立木の鉛直荷重試験を行った。このうち前報¹³⁾において、冠雪害を長柱の偏心圧縮による立木破壊とみなした場合の立木の最大耐力が、樹幹形状、木材の強度および根元の拘束条件などから求まる理論値（座屈荷重）と密接な関係があることを明らかにした。本報では、まず冠雪害の品種間差について述べ、ついでこれと立木の形態、木材の強度的性質、

根元の拘束力および座屈荷重との関係について検討した。

なお、本調査を実施するにあたり御協力を得た富山県木材試験場ならびに富山県林業試験場の各位に謝意を表する。

II. 調査地の概況

調査地は富山県砺波市頼成の県民公園内にあり、標高100mの北向きの緩傾斜地である。土壌型はBd(d)で、A層は浅い。1969年5月に、タテヤマスギ(実生)、ボカスギ(サシキ)、マシヤマスギ(サシキ)の3品種が植栽された。ha当りの植栽本数は各品種とも3,000本であったが、調査時のha当り立木本数はタテヤマスギ1,840本、ボカスギ1,915本、マシヤマスギ2,504本であった。

調査地から、北へ約2kmの位置にある富山県和田川ダム管理事務所（標高50m）の気象観測資料¹⁴⁾によると、1981年の最大積雪深は185cmで、1974年から1981年までの8年間の平均値の約2倍であった。また、日降雪深が30cm以上の日は、1980年12月27日から1981年1月12日までの19日間に8日間もあり、日降雪深の最大値は60cmにも達した。このように、

* 富山県林業試験場 Toyama Pref. Forest Expt. Stn., Tateyama, Toyama, 930-13

** 富山県木材試験場 Toyama Wood Products Reserch Institute, Kosugi, Toyama, 939-03

短期間に多量の降雪があり、冠雪害の発生しやすい条件であった。

Ⅲ. 調査および解析方法

1. 被害および立木の形状調査

56豪雪直後の1981年4月に、タテヤマスギ0.78ha、ボカスギ1.0ha、マサヤマスギ1.05haを対象に被害形態と胸高直径を調べた。被害形態は幹折れ（幹が切断されたり、大きな裂が生じたもの）、幹曲り（樹冠が地面につくほど曲った倒伏も含む）に大別された。なお、梢端折れ、枝抜けなどの軽微なものは被害に含めなかった。樹高の測定は、タテヤマスギ69本、ボカスギ50本、マサヤマスギ72本について測程を用いて行った。

各品種の葉重量と樹冠の重心高を比較するため、各品種につき6本ずつ計18本を根元から伐倒し、層厚1mとして層別刈取法に準じて葉の生重量を測定した。なお、葉は緑枝も含んでいる。各層から少量のサンプルを採り、研究室に持ち帰って105℃で乾燥し、生重量を絶乾重に換算した。同時に樹幹解析用に各層の下部から円板を採取したほか、根株を掘り取り根系を観察した。

2. 根元の回転係数

立木が冠雪荷重を受けると、根元部は根系の発達程度などによって固定条件とはならず回転を生ず

る場合がある(図-1(a))。根元の回転角(θ)が根元に加わるモーメント(M_0)に比例するものと仮定し、根元の回転係数を μ とくと次式が得られる。

$$\theta = \mu \cdot M_0 \quad ; \quad M_0 = \delta \cdot P \quad (1)$$

ここに、 δ ：荷重点の水平変位、 P ：冠雪時の鉛直荷重

本報では、この μ を根系の拘束力をあらわす指数として用いることとし、1982年8月と9月に、タテヤマスギ、ボカスギ各11本、マサヤマスギ10本について調査した。立木に鉛直荷重のみを加えるため図-1(b)のような方法を用いた¹³⁾。根元の回転角は地際より60cmの高さに打った釘の水平移動量から近似的に求めた。荷重点の水平変位は、荷重点から垂下した鉛直線の移動量を地上60cmに設置した巻尺から読み取った。また、荷重はロードセルを用いて測定した。根元の回転係数は一調査木につき5～15回測定した。

3. 曲げ試験

根元の回転係数を調べた後、幹を2.5mに玉切りし、研究室においてスパンを2mとし、中央集中荷重方式により実大曲げ試験を行った。ヤング率は円形断面のテーパー梁とし、最大応力および比例限度力はスパン中央の断面積から計算して求めた。なお、木材の含水率は82～180%であった。

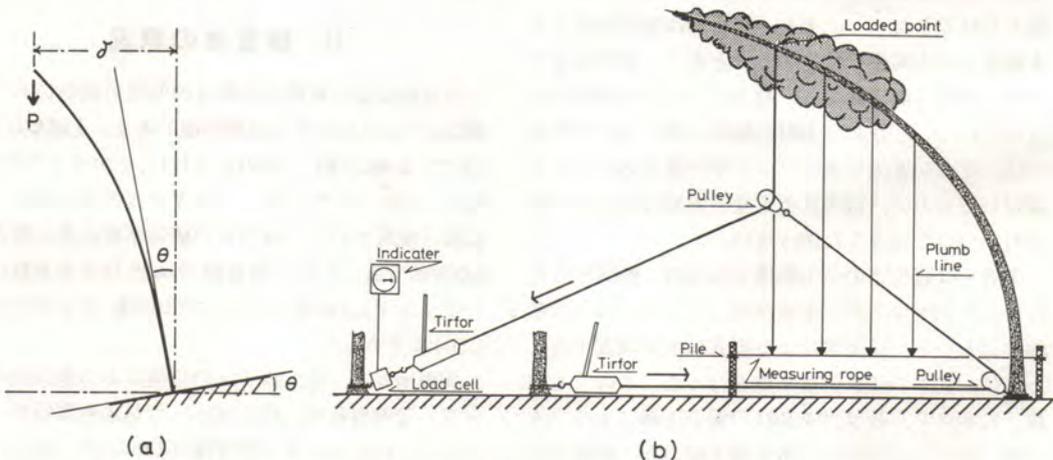


図-1. 根元の回転係数の調査方法

Fig. 1. Test procedure for the state of support of stem by roots.

- | | |
|--------------------|---|
| P ：冠雪時の鉛直荷重 | Snow load accumulated in the crown |
| δ ：荷重点の水平変位 | Deflection at the loaded point |
| θ ：根元の回転角 | Angle of rotation of stem on the ground |

4. 立木の最大耐力

冠雪害の力学的モデルは、立木に加わる外力が冠雪荷重だけの場合を想定すると、テーバー断面をもつ長柱の偏心圧縮として取り扱うことができる¹⁵⁾。このモデルにおいては偏心のない場合に立木の耐力が最大となり、その値は座屈荷重より求まる。また偏心量が大きいほど小さな荷重で破損することから偏心量もまた冠雪害発生に関与する重要な因子と考えられるが、現在のところ冠雪時における偏心量については十分なデータが得られていないので、ここでは偏心がない場合について考えた。

立木を載頭円錐体とみなした場合の座屈荷重(Pcr)は、次式で与えられる¹³⁾。

$$Pcr = \alpha^2 \cdot \gamma^2 \cdot E \cdot I_0 / L^2 \quad (2)$$

ここで、 γ は次式を満足する場合の値である。

$$\frac{\tan \gamma}{\gamma} = \frac{-1}{\beta / \alpha - \mu \cdot \alpha \cdot \gamma^2 \cdot E \cdot I_0 / L} \quad (3)$$

α : 細り比 (根元直径 D_0 に対する荷重点直径 D_L の比)

β : $1 - \alpha$

E : 曲げヤング率

I_0 : 根元の断面二次モーメント ($D_0^4 \cdot \pi / 64$)

L : 荷重点高

μ : 根元の回転係数

なお、当調査地の14年生時における立木の最大耐力の実測値と座屈荷重との間には高い正の相関 ($\gamma = 0.87$) があった¹³⁾。

V. 結 果

1. 被害率

各品種の被害率を表-1に示した。総被害率はタ

テヤマスギが37%でもっとも高く、ついでボカスギの15%であった。これらに比べると、マシヤマスギのそれは著しく少なかった。被害形態別にみると、各品種とも幹曲りの割合が高く、幹折れが少ない。一般に15年生以下の林分の被害は幹曲りが主体をなすが、林齢を増すにつれて幹折れの割合が高くなる¹⁶⁾¹⁷⁾。したがって、本調査地の被害形態は若齢林における典型的な例といえる。

胸高直径と被害との関係を検討するため、図-2に胸高直径階別の本数分布を示した。なお、被害形態と直径階との間には一定の傾向が認められなかったため、ここでは全被害形態を込みにした。この結果から、各品種とも被害が小径階に集中していることがわかる。このように、同一林分内においては、被害が優勢木に少なく、劣勢木に多いのは一般的な傾向といえる¹⁶⁾¹⁸⁾。

各品種の胸高直径を比較すると、タテヤマスギとマシヤマスギは平均値および直径分布型とも同様の傾向を示すが、これらに比べてボカスギは平均値が約3割大きく、分布のモードも直径の大きな側にあった(表-1, 図-2)。このように品種によって直径分布に差異が認められたため、各品種の被害率について直径階別に検討した。タテヤマスギとボカスギの被害率を比べると、胸高直径8cm未満では後者が、それ以上では前者の方がわずかに高い傾向を示すものの、両者の間には総被害率ほどの大きな差異が認められなかった。一方、マシヤマスギは直径階別にみても他品種に比べて被害率が低い傾向があった。

2. 立木の形態

(1) 胸高直径と樹高の関係

表-1. 各品種の生育状態と56豪雪による冠雪害

Table 1. Growth and tree damage caused by the 1980/81 heavy snow for each cultivar.

品 種 Cultivar	平均胸高直径 Average DBH (cm)	平均樹高 Average tree height (m)	被害率 % of trees damaged		
			幹折れ Stem breakage	幹曲り Stem bending	計 Total
タテヤマスギ Tateyamasugi	9.2	5.7	9.4	27.2	36.6
ボカスギ Bokasugi	12.5	7.0	1.2	13.4	14.6
マシヤマスギ Masuyamasugi	9.7	5.4	1.3	2.2	3.5

図-3に、各品種の胸高直径 (DBH) と樹高 (H) との関係を示した。log DBH と log H との相関係数は、タテヤマスギが0.937、ボカスギが0.965、マサヤマスギが0.960と高かった。胸高直径に対する樹高の回帰式は次のとおりであった。

タテヤマスギ $H = 103.2 \text{ DBH}^{0.771}$ (4)

ボカスギ $H = 77.9 \text{ DBH}^{0.868}$ (5)

マサヤマスギ $H = 98.2 \text{ DBH}^{0.751}$ (6)

各品種の樹高について比較すると、同一胸高直径であればタテヤマスギが最も大で、ついでボカスギ、マサヤマスギの順である。log DBH と log H との共分散分析を行った結果、品種間に1%水準で統計的に有意な差異が認められた。また、最小有意差を求めたところ、各品種間にそれぞれ1%水準で有意性が認められた。

が認められた。

(2) 形状比

図-4に、各品種の形状比 (樹高/胸高直径) を示した。形状比は、各品種とも、小径木ほど大きくなる傾向がある。一般に形状比が大きいほど被害率が

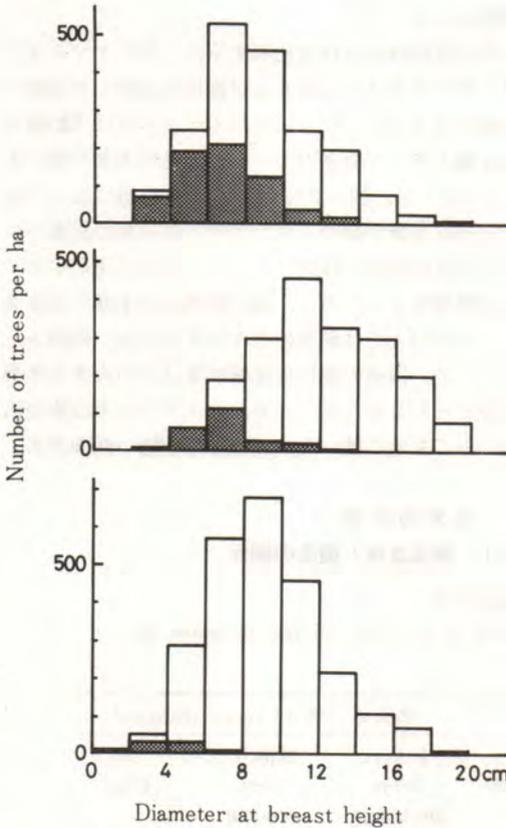


図-2. 各品種の直径階別の本数分布
Fig. 2. Frequency distributions of tree numbers in each diameter class at breast height.

■ 被害木 Damaged tree
□ 無被害木 Undamaged tree

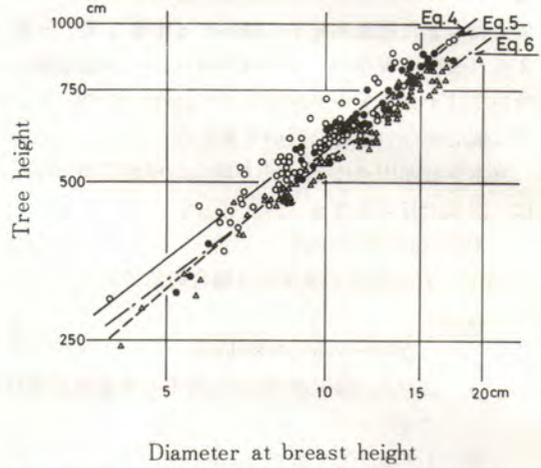


図-3. 各品種の胸高直径と樹高の関係
Fig. 3. Relations between diameter at breast height and tree height for each cultivar.
○, ———: タテヤマスギ Tateyamasugi
●, - - - : ボカスギ Bokasugi
△, - - - : マサヤマスギ Masuyamasugi

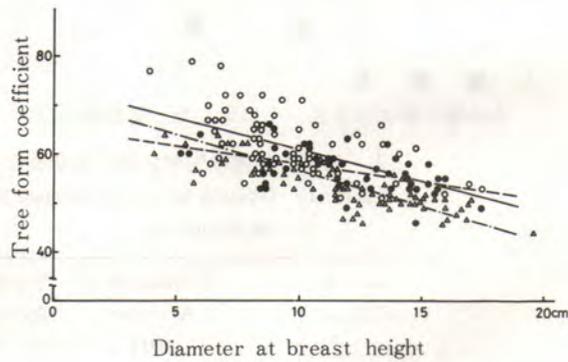


図-4. 各品種の胸高直径と形状比の関係 (記号は図-2.と同じ)
Fig. 4. Relations between diameter at breast height (DBH) and tree form coefficient (tree height / DBH) for each cultivar. Symbols are the same as in Fig. 2.

高くなることが知られているが⁶⁾⁷⁾、本調査地の場合も直径が小さい立木ほど形状比が大きく、かつ被害率も高い傾向を示した(図-2, 4)。

品種間で比較すると、タテヤマスギの形状比が最も大であった。ボカスギとマサヤマスギの形状比を比べると、被害が集中した小径階において著しい差異が認められなかった。

(3) 幹形

各品種の幹形を比較するため相対直径列(根元から樹高の一割の高さの直径に対する各相対樹高における直径の百分率)を求めた。表-2は各品種毎の平均値を示したものである。幹形は、各品種とも、根張の影響がある幹足部を除けば相対樹高と相対直径との間に高い正の相関があったことから、ほぼ円錐体とみなすことができた。しかし、完満度には品種による著しい差異が認められなかった。

(4) 葉重と樹冠の重心高

図-5に、各品種における胸高直径(DBH)と葉乾重(W_L)の関係を示した。 $\log DBH$ と $\log W_L$ との相関係数は、タテヤマスギが0.903、ボカスギが0.975、マサヤマスギが0.976と高い値を示した。そこで、 $\log DBH$ と $\log W_L$ との共分散分析を行った結果、品種間には有意な差異が認められなかった。

各品種の相対重心高を求め、図-6に示した。なお、これは葉重の重心高を樹冠の重心高とみなし、これを樹高に対する相対値で表わしたものである。樹冠の重心は樹高の5割の高さを中心に分布し、胸高直径が大きくなるほどわずかに高くなる。胸高直

径と樹冠の相対重心高との共分散分析を行ったところ、品種による差異が認められなかった。この結果から、同一胸高直径における樹冠の重心高の絶対値は各品種の樹高の違いを反映することとなり、タテヤマスギが最も高く、ついでボカスギ、マサヤマスギの順といえる。

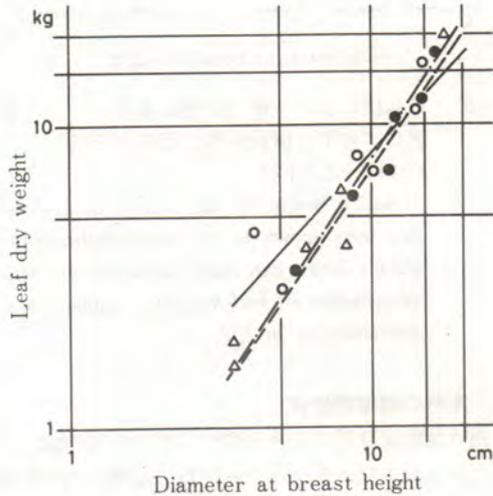


図-5. 各品種における胸高直径と葉乾重の関係(記号は図-2.と同じ)

Fig. 5. Relations between diameter at breast height and leaf dry weight for each cultivar.

Symbols are the same as in Fig. 2.

表-2. 各品種の幹形の比較 表中の数字は各品種毎の平均値である。Do.nは根元から梢端に向かって樹高のn割の位置の直径である。

Table 2. Comparison of stem-forms for three cultivars. Numbers in each column are the mean. Do.n indicates a diameter at n-tenth of tree height (H).

品 種 Cultivar	相 対 直 径 Relative stem-form				
	(D _{0.1} に対する直径の百分率) (% of diameter to D _{0.1})				
	D _{0.1}	D _{0.3}	D _{0.5}	D _{0.7}	D _{0.9}
タテヤマスギ Tateyamasugi	100	73.8	52.3	32.8	10.0
ボカスギ Bokasugi	100	77.7	55.2	33.2	9.3
マサヤマスギ Masuyamasugi	100	76.0	54.5	31.8	9.7

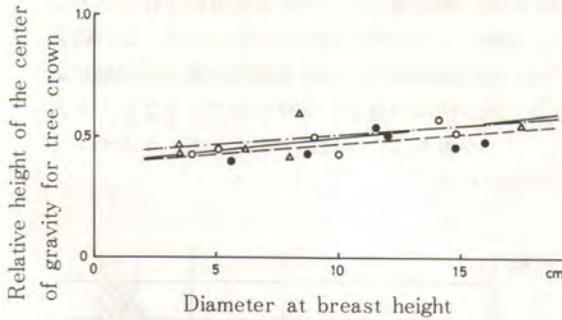


図-6. 各品種における樹冠の相対重心高。この値は樹高に対する樹冠の重心高の比で示した（記号は図-2.と同じ）。

Fig. 6. Relative height of the center of gravity for tree crown to the tree height. The values were calculated from the vertical distribution of leaf weight. Symbols are the same as in Fig. 2.

3. 木材の強度的性質

曲げ試験より得た生丸太のヤング率、比例限度力、最大応力およびテトマイヤー係数の品種別の平均値を表-3に、これらの品種間差を検定するための分散分析結果を表-4に示した。

ヤング率はマサヤマスギが最も大で、ついでタテヤマスギ、ボカスギの順であった。分散分析の結果品種間に1%水準で有意な差異があった。各品種間の最小有意差を求めると、マサヤマスギはボカスギと1%水準で、タテヤマスギとは5%水準でそれぞれ有意性を示した。

比例限度力および最大応力とも、マサヤマスギが最大で、ついでタテヤマスギ、ボカスギの順であった。分散分析では、いずれについても、品種間に5%水準で有意性があった。

テトマイヤー係数は0.5から1の間で変動し、破壊までの荷重とたわみとの関係が直線的で塑性域が存在しない場合には0.5、塑性域が明瞭に現われるほど1に近くなる。この係数を比較すると、タテヤマスギとボカスギはほぼ同値であるが、マサヤマスギはこれより低かった。分散分析の結果、品種間に1%水準で有意性が認められた。

以上の結果を総合すると、ボカスギは小さな荷重でも変形しやすく、復元力も小さくてかつ塑性域が明瞭なタイプといえる。同様の傾向は佐々木ら¹⁹⁾も認めている。一方、マサヤマスギは曲げたり、破壊したりするのに大きな荷重が必要で、かつ塑性域が比較的はつきりしないタイプといえる。また、タテヤマスギは両者の中間的な強度特性を有しているようである。

4. 根元の回転係数

図-7に根元直径と根元の回転係数(μ)の関係を示した。各品種とも、根元直径が大きいほど μ 値が小さく、根元が回転しにくい傾向がある。そこで、根元直径と根元の回転係数との共分散分析を行った結果、品種間に有意な差異が認められなかったが、マサヤマスギはボカスギより根元の回転係数が小さく、タテヤマスギの回転係数は他品種のそれに比べて変動が大きい傾向を示した。なお、被害直後に根株を観察したところ、根の基部の総断面積には品種

表-3. 各品種の生材の強度特性

Table 3. Mechanical properties of green timbers for each cultivar. Numbers in each column are the mean.

品 種 Cultivar	ヤング率 Young's modulus (10^3 kgf/cm^2)	比例限度力 Proportional stress (kgf/cm^2)	最大応力 Maximum stress (kgf/cm^2)	テトマイヤー係数 Tetmajer's coefficient
タテヤマスギ Tateyamasugi	31.2	138	305	0.69
ボカスギ Bokasugi	26.4	104	266	0.72
マサヤマスギ Masuyamasugi	40.3	143	312	0.60

表-4. 生材の強度特性についての分散分析結果

Table 4. Analyses of variance for Mechanical properties of green timbers.

要因 Source of variation	自由度 d. f	平方和 Sum of squares	平均平方 Mean squares	F 値 F value
A. ヤング率 Young's modulus				
品種 Cultivar	2	1035.65	517.83	6.07**
誤差 Error	29	2474.41	85.32	
B. 比例応力 Proportional stress				
品種 Cultivar	2	9844.4	4922.2	3.79*
誤差 Error	29	37647.3	1298.2	
C. 曲げ破壊応力 Maximum stress				
品種 Cultivar	2	13663.2	6831.6	3.95*
誤差 Error	29	47230.8	1749.3	
D. テトマイヤー係数 Tetmajer's coefficient				
品種 Cultivar	2	0.061	0.031	6.49**
誤差 Error	29	0.139	0.0048	

*. ** はそれぞれ 5, 10% 水準で統計的有意性をあらわす。

*. ** stand for statistical significance at the 5 and 1 percent level, respectively.

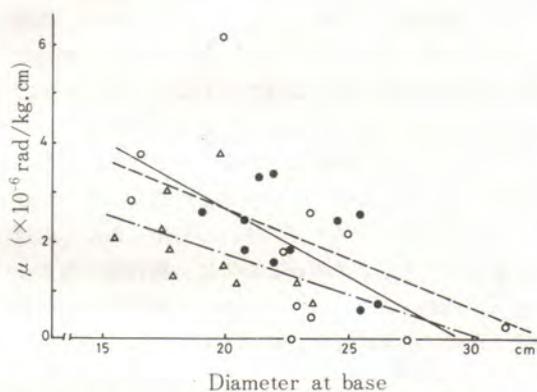


図-7. 根元直径と根元の回転係数 (μ) との関係 (記号は図-2. と同じ)

Fig. 7. Relations between diameter at base and constant (μ) for the state of the support of the trunk by the roots. Symbols are the same as in Fig. 2.

間差がなかったが、マヤマサギでは表層根の発生が多く、四方に網目状に発達していたのに対し、タテヤマサギでは細根が少なく、根の分布が不均一な個体が多く見受けられた。この結果から、タテヤマサギの根元の回転係数値の変動が大きい傾向は根系

の発達の仕方と関係が深いものと考えられた。

3品種を込みにした場合の根元直径と根元の回転係数との相関係数は -0.461 で5%水準で有意性が認められた。一方、胸高直径と根元の回転係数との相関係数は -0.324 と低く、根の拘束力は胸高直径よりも根元直径との関連が深かった。

5. 立木の最大耐力

被害を受けた12年生時における各品種毎の座屈荷重を推定し、図-8に示した。なお、推定にあたって次の仮定をおいた。

- 各品種における胸高直径と樹高の関係は、(4), (5), (6)式で近似した。
- 各品種の幹形は、表-2に示した相対樹高と相対直径の関係を直線回帰式で近似して求めた。
- 荷重点高は冠雪荷重が樹冠の重心に集中荷重するものとし、各品種とも樹高の5割の位置とした(図-6)。
- 根元の回転係数は品種間に有意差が認められなかったため、ここでは根元が回転しないものとした。

この結果、座屈荷重は各品種とも胸高直径の大きな立木ほど大となる傾向がある。品種間で比較をす

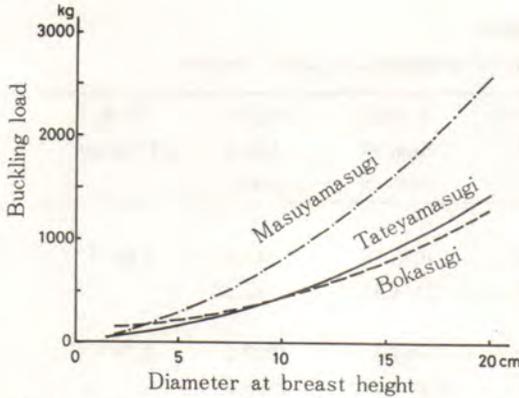


図-8. 各品種の座屈荷重の推定値の比較
Fig. 8. Comparisons of the estimated values of buckling load for three cultivars.

ると、同一直径ではボカスギの値が最も大きく、他品種の約2倍の値を示した。また、タテヤマスギとボカスギの座屈荷重は各直径階においてもほぼ等しい傾向があった。

VI. 考 察

1. 被害率の品種間差

マサヤマスギは林分毎にみても胸高直径階別にみても、タテヤマスギやボカスギに比べて被害率が低かった。矢野³⁾も21年生のマサヤマスギとボカスギの冠雪害を比較し、前者の被害率が低かったと報告している。これらのことから、マサヤマスギは他品種よりも冠雪害に対する抵抗力が大きいと考えられた。

タテヤマスギとボカスギとは直径階別の被害率に大きな差異がなかったが、林分毎の被害率は前者の方が著しく高かった。被害は各品種とも小径木に集中していることから、胸高直径10cm以下の本数が全本数に占める割合を求めると、タテヤマスギが60%であるのに対し、ボカスギが21%と少なかった。これらのことから、両林分の被害率に差異が生じた主たる原因として、両者の直径分布の差異、すなわち生育状態の違いをあげることができよう。ただし、植栽地によってはタテヤマスギがボカスギよりも生長が良いという報告²⁰⁾もあることから、冠雪害に対する両品種の抵抗性の差異を明らかにするためにはさらに検討を要する。

2. 被害と冠雪荷重要因

冠雪害の品種間差異と冠雪荷重要因との関係につ

いて検討した。これまでの報告^{12), 21)~23)}によると、冠雪荷重は葉重にほぼ比例して増加することが明らかになっている。山口ら²⁴⁾はボカスギが他品種に比べて冠雪害に弱い一因として枝葉量の多いことを指摘している。しかし、各品種の葉乾重を比較したが、各品種間には差異が認められなかった。筆者ら^{22) 23)}が行った調査では、葉重が同じであればボカスギとマサヤマスギ、ボカスギとタテヤマスギの冠雪荷重にはそれぞれ差異が認められなかった。以上の結果を考慮すると、本調査地における冠雪害の品種間差異は葉重や冠雪荷重の差異に起因するものとは考え難い。

3. 被害と立木強度要因

つぎに、冠雪害の品種間差異について樹幹形状、木材の強度的性質および根元の拘束力などから検討した。

冠雪荷重が樹冠の重心に集中荷重するとの前提にたつと、立木の最大耐力に及ばず樹幹形状要因は、(2)式から、幹の細り比、直径および荷重点高などである。幹の細り比は相対直径列および樹冠の相対重心高に品種間差が認められなかったことから、品種による差異が小さかったものと考えられる。樹冠の重心高の絶対値は同一直径であればマサヤマスギの方がタテヤマスギより小さいことから、前者の方がより冠雪害に強い樹幹形状を有しているとみられ、事実、被害率は前者の方が後者より高かった。しかし、ボカスギとマサヤマスギは小径階における樹冠の重心高に著しい差異がないのに、被害率に大きな違いが認められた。このことから、被害率の品種間差は単にこの要因だけに基づくものとは考えられない。

一般に被害率の高い樹幹形態として、形状比が大きいことがあげられる^{16) 17)}。しかし、樹冠の重心高の場合と同様に、形状比の大小だけでは被害率の品種間差を説明できず、冠雪害に対する抵抗性の指標としては不十分である。この原因として、形状比は長柱の座屈理論における細長比にほぼ対応するもので長柱の耐力の指標値として力学的な意味をもつ²⁵⁾が、木材の強度や根元の拘束力などについて考慮されていないことがあげられる。

被害率と木材の強度的性質の関係についてみるとヤング率および最大応力とも最も大であるマサヤマスギは被害率が最も低かった。マサヤマスギはボカ

スギより強度特性が優れており、かつ被害も少なかったことを矢野¹⁰⁾も報告している。しかし、タテヤマスギはボカスギに比べてヤング率および最大応力とも大であったが、直径階別の被害率には著しい差異が認められなかった。このことは、被害の発生が木材の強度要因のみに影響されるものではないことを示唆している。

根元の回転係数には品種間で有意な差異が認められなかったが、マサヤマスギはボカスギより小さい傾向があり、これが被害率の差異に微妙な影響を及ぼしたかもしれないこと、この係数の個体変動が大きいことなどから、さらに調査数を増して検討する必要があると考えられる。

以上のように、マサヤマスギは他品種に比べて樹幹形状や木材の強度など冠雪害に対して勝れた強度要因を有していた。しかし、タテヤマスギはボカスギに比べて木材の強度特性が勝っているが、樹幹形状が劣っており、これらの要因を個別に検討してみても、被害率の品種間差を十分説明できないものと考えられる。

4. 被害と座屈荷重

冠雪害に対する立木の抵抗力を樹幹形状やヤング率などから総合的に評価する目的で各品種の座屈荷重を求め、これと被害率との関係について検討した。座屈荷重は直径の大きな立木ほど大となるが、同一直径ではマサヤマスギが最大であり、タテヤマスギとボカスギはほぼ同値であった。この結果に直径階別の被害率を重ねあわせると、座屈荷重の大きな品種は被害率が低く、座屈荷重のほぼ等しい品種同士は被害率も等しい傾向を示した。以上の結果から、マサヤマスギの被害率が低かった大きな理由として立木の耐力が大であったことがあげられる。また、各品種の座屈荷重と被害率とはよく対応していることから、被害と立木強度の関係を検討する場合には個々の要因を比較するだけでは不十分であり、これらを総合的に評価できる座屈荷重を用いた方がより合理的であると考えられる。

同一林分内において優勢木が劣勢木に比べて被害率が低く、直径階別の耐力に差異がなければ平均直径の大きな品種の方が被害が少ない傾向があった。このように直径の大きな立木ほど被害が少ないのは、立木の耐力が直径の4乗に比例して大となるためと考えられる。すなわち、直径が小さな場合には立木の耐力と冠雪荷重との差異が小さいので被害を受け

る確率が高いが、直径が大きくなるほど立木の耐力の方が冠雪荷重よりも大きくなるため被害が少なくなるのではないだろうか。したがって、除間伐などによって個々の立木の肥大生長を促すことが、冠雪害に対する抵抗力を高めるうえで重要と考えられる。

今回の調査結果をもとに、立木強度面からみた冠雪害抵抗性品種の具すべき条件をあげると、(1)形状比が小さくてかつ生長の旺盛なこと、(2)ヤング率、最大応力とも大で木材の強度的性質が勝れていること、(3)根張りが良く、根元の拘束力が大きいことなどである。

V. おわりに

富山県における代表的なスギ3品種を対象に、冠雪害の品種間差異と立木強度との間には密接な関係があることが判明した。しかし、このような傾向が林齢や立地条件の異なる林分においても認められるか否かについてさらに検討の余地がある。また、立木の耐力を高めるための施業として、除間伐は有効な手段であるが、一般に行われているような弱度の下層間伐では残存木の生長を促すことができない²⁶⁾。今後は、冠雪害を考慮に入れた間伐の方法、割合および回数などについて明らかにする必要がある。

引用文献

- 1) 八重樫良暉・嘉村 耕：三陸沖低気圧による冠雪害実態と2, 3の知見, 日林東北支講, 24, 84-87, 1974
- 2) 二見謙次郎・梶谷 孝：島根県における昭和53年1月3日の異常降雪によるスギ幼壮齡林冠雪害の調査, 島根県林試研報, 31, 1-23, 1981
- 3) 矢野進治：スギ品種試験地の冠雪害, 日林関西支講, 33, 68-71, 1982
- 4) 原 雅継：スギ品種間の被害と特性(56豪雪による福井地方の森林被害調査報告書, 225pp.), 福井県, 129-199, 1982
- 5) 勝田 柁・松田 清：冠雪害におけるスギ品種・系統間での被害差異(1), 林木の育種, 131, 12-17, 1984
- 6) ————：冠雪害におけるスギ品種・系統間での被害差異(2), 林木の育種, 132, 20-24, 1984
- 7) 原 雅継：スギ耐雪性品種の地域適応性に関する試験, 福井林試報, 17, 1-17, 1979

- 8) 野原勇太・大河原昭衛・児玉武男・青山安藏：スギの耐雪性品種に関する研究(第1報)スギの葉型ならびに樹型と冠雪量について，林試研報，**161**，73-104，1963
- 9) 渡辺成雄・大関義男：冠雪の研究(第2報)スギの冠雪比較実験，林試研報，**169**，122-139，1964
- 10) 矢野進治：冠雪害に関する基礎的研究，兵庫県林試業務報告(昭和56年度)，16-17，1982
- 11) 山本福寿・汰木達郎・今田盛生・荒上和利・中井武司：スギの冠雪害に関する研究(Ⅱ)冠雪害の品種間差と材質，93回日林論，251-252，1982
- 12) 片岡健次郎・村井正文・栗田稔美・遠田武・井沼正之：スギ在来品種の冠雪量と樹冠形態(予報)，94回日林論，721-722，1983
- 13) 中谷浩・嘉戸昭夫・平英彰・飯島泰男・沢田稔：スギ造林木の冠雪荷重による樹幹の変形と耐力，木材学会誌，**30**，886-893，1984
- 14) 富山県土木部・日本気象協会富山支部：過去8年間の降雪，積雪の状況(富山県降雪及び気温観測調査報告書(Ⅷ))，1-28，1981
- 15) 沢田稔：風および冠雪による針葉樹幹の変形，林試北海道支場研究資料，**128**，18pp.，1983
- 16) 高橋啓二：わかりやすい林業研究解説シリーズ61巻 造林地の冠雪害とその対策，日林協，46pp.，1977
- 17) 石川政幸：雪害(坂口勝美監修：スギのすべて，629pp.)，全林協，380-395，1983
- 18) 嘉戸昭夫・平英彰：冠雪害をうけたボカスギ林の解析，93回日林論，259-260，1982
- 19) 佐々木光・角谷和男・瀧野真二郎：スギ36品種の力学的性質，木材研究，**17**，192-205，1983
- 20) 平英彰：多雪地帯におけるスギさし木品種の雪圧害抵抗性について，富林試研報，**10**，24-29，1984
- 21) 松田正宏：冠雪害に関する研究(Ⅱ)スギの冠雪量について，日林誌，**63**，328-330，1981
- 22) 嘉戸昭夫・平英彰：冠雪害の発生機構(Ⅲ)ボカスギ，マサヤマスギの冠雪荷重，96回日林論，447-448，1985
- 23) ————：冠雪害の発生機構(Ⅳ)ボカスギとタテヤマスギの冠雪荷重，昭和60年度雪氷学会秋期大会講演予稿集，215，1985
- 24) 山口清・中谷和司・戸田清佐・肥垣津登：56豪雪におけるスギ造林地の冠雪害実態調査，岐阜寒冷地林試研報，**5**，33-71，1982
- 25) 嘉戸昭夫：冠雪害に関与する立木強度要因，雪と造林，**5**，24-27，1983
- 26) 菊沢喜八郎：間伐効果に関する定量的研究(Ⅰ)収量-密度図を用いた分析，日林誌，**63**(2)，51-59，1981

Summary

Differences in snow damage were investigated among three cultivar stands of 12-year-old sugi (*Cryptomeria japonica* D. DON), Tateyama-sugi, Boka-sugi and Masuyama-sugi stands were contiguous to each other. The factors of stem resistance to this damage were evaluated for the different cultivars. Thus the stem form, the mechanical properties of the wood and the state of the support of the stem by the roots were investigated. From these factors, the buckling loads of the stem were estimated. The results obtained from this study were as follows.

1) Tateyama-sugi stand showed the highest percentage of snow damage, followed by Boka-sugi stand. Relatively few trees were damaged in Masuyama-sugi stand. Susceptibility to snow damage decreased as DBH increased within the stand.

2) The "tree form coefficient," (height of tree/DBH) of Tateyama-sugi stand was higher than that of the other stands. There were no differences in the dry weight of the leaf among the three

stands. The center of gravity of the tree crowns was about half of tree height above the ground for each stand.

3) The modulus of elasticity of the green timber of Masuyama-sugi was superior to those of Tateyama-sugi and Boka-sugi.

4) No differences were found in the state of the support of the stem by the roots among the three stands.

5) The estimated buckling load of the stem in the Masuyama-sugi stand was about twice that of Tateyama-sugi stand and Boka-sugi stand. This load appears to be necessary to explain the resistance of the tree against damage by snow accumulating in the crown. Difference in percent damage between Tateyama-sugi stand and Boka-sugi stand can be ascribe to the difference in DBH distribution.