

林木の冠雪害に関する樹木力学的研究 (第3報)

強度的性質の樹幹内分布

中谷 浩*¹, 嘉戸昭夫*², 長谷川益夫*¹
相浦英春*², 飯島泰男*¹

Structural Mechanics Study on the Damage of Tree Stems Caused by Accumulating in the Crown III. Distribution of Mechanical Properties in Tree Stem

NAKATANI, Hiroshi*¹, KATO, Akio*², HASEGAWA, Masuo*¹,
AIURA, Hideharu*³ and IJIMA, Yasuo*¹

Analysis of trunk model with variable mechanical properties must be undertaken to determine accurately the resistance performance of tree stems under snow load.

In this report, we examined the distribution of bending performance in a trunk. A series of specimens (1 × 1 × 16cm) in radial direction was taken from Bokasugi trunk at an interval of three meter from a height 1.3m above the ground. The results are summarized as follows:

- 1) Young's modulus and bending strength increase with ring number from the pith. However, because of the influence of specific gravity, the variation in bending strength is not distinct in comparison with that of Young's modulus. The constant and slope of regression line obtained between Young's modulus in juvenile wood area and ring number from the pith become larger on upper portion of the trunk. This result shows that the wood on upper portion of the trunk matures more rapidly. The bending strength in juvenile wood area increases with height.
- 2) Apparent Young's modulus of a tree trunk does not differ with height until 10 years old. The difference appears as the wood matures: In 25 years old trees, the Young's modulus at 30–70% of the tree height is 1.7 times higher than that at the upper or lower portions.

冠雪荷重下の樹幹耐力をより正確に推測するには、強度的性質の不均質な樹幹モデルでの検討を進めていく必要がある。そのための基礎的知見を得るために、ホカスギの樹幹をもちい、1.3mから3m間隔で髓より1 × 1 × 16cmの試験体を半径方向に連続して採取し、曲げ強度性能の樹幹内変動を検討した。結果はつぎのとおりである。

本報告の一部は第37回日本木材学会(京都)で発表した

* 1 木材試験場

* 2 林業試験場

ヤング率、曲げ強度とも髓からの年輪数に伴い増大する。しかし、曲げ強度は比重の影響を受けるためヤング率ほど明確ではない。未成熟材領域のヤング率と髓からの年輪数に関して得られた回帰直線は、初期値、傾きとも高さが増すにつれ大きくなる。したがって、樹幹上部では、早く成熟化すると考えられる。また、未成熟領域の曲げ強度も高さが増すにつれ増大する。

樹幹ヤング率は林令10年ぐらゐまで高さ方向の差がないが、材の成熟化につれ差を生じ、林令25年では樹高の30~70%部位は梢端および根元の1.7倍となる。

1. はじめに

筆者らはこれまで立木の冠雪害発生機構を冠雪荷重と樹幹耐力の関係からとらえ、力学的な解析を試みてきた。それらの結果から、冠雪荷重下の樹幹耐力は樹幹の形状、強度的性質（特にヤング率）および根元の拘束条件（根元の回転係数で表現）によって示され、樹幹の座屈荷重で近似できることが明らかにされた^{1,2)}。

この解析においては計算の簡略化のため樹幹を強度的に均質な材料と仮定した。しかし、一般に指摘されている未成熟材領域の存在とその分布を考えれば、樹幹の強度的性質は軸方向に均質とは考え難く、樹幹上方では未成熟材の占める割合が増大するため強度的性質は低下することが考えられる。しかも梢端部の変形が冠雪量の増大を誘発する³⁾ことを考えると、このような樹幹の不均質さをふまえた樹幹耐力の検討を進めていく必要がある。

そこで樹幹内における強度的性質の水平、垂直分布状態を探り、樹幹ヤング率の軸方向分布についての基礎的な知見を得ることを目的として実験を行った結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 樹幹内密度変動

樹幹内における強度的性質は、いわゆる未成熟材部において髓から離れるにしたがって大きくなり、成熟材部に至って安定する。そこで、強度的性質の樹幹内変動を検討するのに先だって、対象木となるボカスギの未成熟領域を明らかにするために、予備試験を行った。

未成熟材の範囲の決定には、仮道管長の変動傾向によるのが通例であるが、この手法では各年輪ごとに材を解繊し相当数の仮道管長を実測する必要があ

り、多数の測定には好都合とはいえない。そこで、ここでは軟 X 線とデンシトメーターの併用による各年輪内の最大・最小密度の差の半径方向変動から求める方法を用いた。なお、確認の意味で一部の試料につき仮道管長の測定も併せて行った。

試料は25年生のボカスギ7本であり、高さ0.2, 1.2, 5.2, 9.2mで円盤を採取し、欠点が入らない方向で厚さ5mm、幅20mmの密度変動測定用試片を作成した。これを密度が既知の標準試料(厚さ5mm、密度0.12~0.90、5段階)と同時に軟 X 線を照射しフィルム(フジ XG、キャビネ版)を感光させた。照射距離70cm、印加条件は電圧15kVp、電流10mA、照射時間160秒とした。

つぎにデンシトメーター(サクラ PDS-15)によりフィルム像の濃度を測定した。チャート紙上の変位(濃度 X)と標準試料密度 y に関し、 $\ln y = a + bx$ の関係式を用い、最小二乗法により各試料ごとに換算式を得た。換算式の相関係数は、0.994以上であり、密度の換算誤差は危険率10%レベルで約10%と考えられる。

仮道管長の測定は、1.2m、5.2m 高さから採取した試片について、2立木のみ行った。解繊はシュルツ氏液を用い常法により行い、各年輪の早材部仮道管長を測定した。撮影には万能投影機(50倍)を用い投影面に印画紙をあて約3秒露光した。測定にはデジタイザーを用い、各年輪につき50本測定した。

2.2 強度的性質

前記試験木とは別に、強度的性質の樹幹内分布を求めるために25年生ボカスギ林(林分現存立木本数1050本/ha、林分平均胸高直径27.21cm、同平均樹高18.78m)より種々の胸高直径階から8本の強度試験用試験木(胸高直径:21.12~30.72、平均26.23cm)を選定した。高さ1.3mから3m間隔で長さ

1 m の 1 cm 厚 柁 目 板 を 採 材 し、無 欠 点 部 より 2 試 料 宛、1 × 1 × 16 cm の 曲 げ 試 験 体 を 連 続 的 に 髓 より 半 径 方 向 に 作 成 し た。曲 げ 試 験 体 は 以 後 飽 水 状 態 に 保 ち、ス パ ン 14 cm、中 央 集 中 荷 重 条 件 に よ り 柁 目 面 に 負 荷 し た。な お 曲 げ 試 験 体 作 成 ま え に 髓 か ら の 年 輪 数 と 距 離、年 輪 幅、試 験 後 に 晩 材 率、全 乾 比 重 を 測 定 し た。晩 材 率 は 早 晩 材 の 色 調 差 に よ り 1/10 mm 目 盛 り 入 り ル ー ベ を 用 い て 測 定 し た。

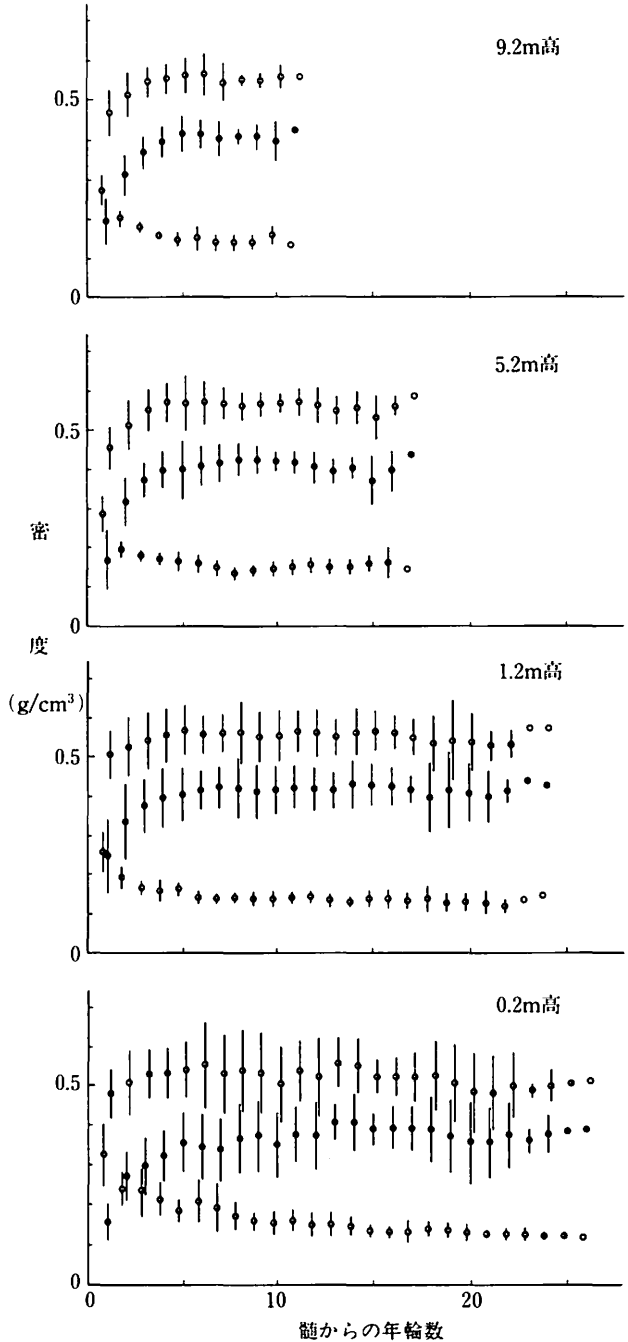
3. 結果と考察

3.1 デンシトメーター法による樹幹内密度変動

デンシトメーター法による年輪内最大密度、最小密度およびその差の変動例を図一に示す。最大密度はばらつきは大きいものの4～5年輪目まで上昇しその後一定となり、逆に最小密度は髓より減少し6～7年輪目で一定となる。密度差が安定域に達するのはほぼ7年輪目からとみられるが、9.2m 高さでは5年輪目からであり樹幹上部では若干早まるようである。なお、0.2m 高さでは13年輪目となり大きく遅れている。これは根張りに伴う肥大成長の影響と思われ、深沢ら⁹⁾が指摘するように根張り材として別に扱うのが妥当と思われる。

仮道管長の測定結果と同部位の密度変動の関係を図二に示した。仮道管長は一般にいわれる10～14年以降でほぼ一定(2.23mm)した傾向を示しているが、密度差変動は7年輪目からであり、密度差変動で未成熟材領域を決めると仮道管長測定法にくらべ数年早くなるようである。渡辺ら⁹⁾の報告では両者は一致しているようであるが、深沢ら⁹⁾は今回の結果と同様に密度変動は仮道管長よりかなり早く安定域に達することを報告している。

また、今回の実験値は最大・最小密度であり早晩材の代表値ではないにしろ、最大密度安定値0.56、最小密度安定値0.14と渡辺らの結果(晩材:約0.8, 早材:約0.3)からみるとかなり小さく、また仮道管長も一般的なスギの仮道管長3mmに比べ短い。渡辺らの試料木の詳細が不明なため明らかではないが、スギ36品種について行われた佐々木ら¹⁰⁾の



図一 樹幹内密度変動

注) ○ : 最大密度または最小密度
● : 最大密度-最小密度
—●— : 平均値±標準偏差

報告および林ら⁹⁾の報告ではボカスギは比重、仮道管長とも最小のグループであることから、品種による違いが現れたものと思われる。

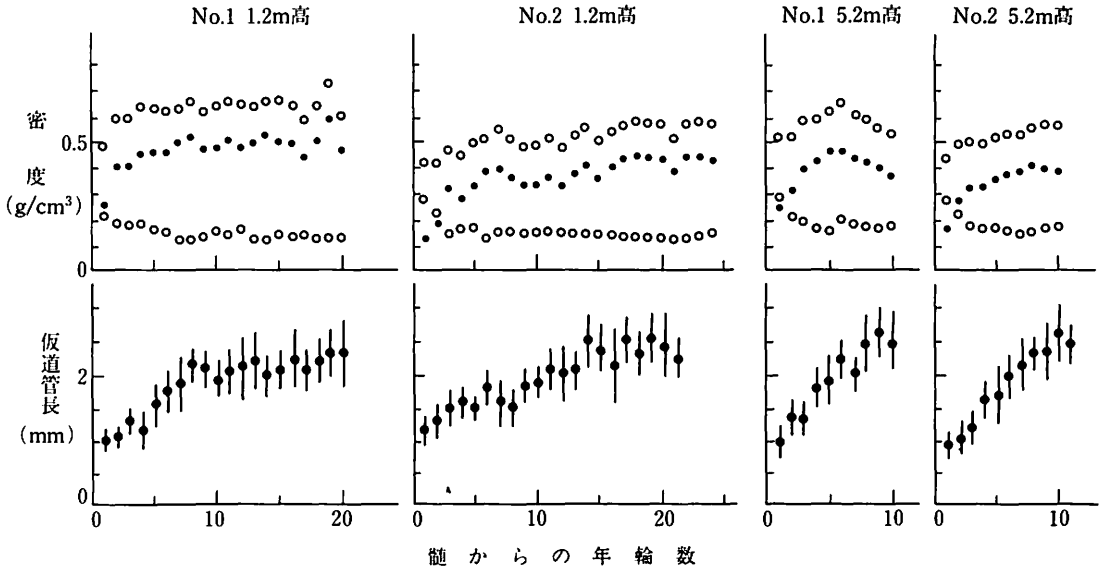


図-2 密度変動と仮道管長変動

注) ○、●密度においては、図-1と同様
 —●—仮道管長平均値±標準偏差

3.2 強度的性質の樹幹内分布

曲げ強度、ヤング率の樹幹内分布を図-3、4に示す。1.3m、4.3m高さの場合髓より4年輪ぐらいまで強度的性質が若干低下する領域が認められるが、これは試験木の初期成長が大きいため、曲げ試験体に早材部のみのものが現れたためと思われる。

これらの図に見られるように強度的性質の半径方向変動には、高さ方向における違いが認められる。一般にいわれる未成熟材の境界から、おおまかに10年輪を境に未成熟材、成熟材を想定した二つのグループに分割して検討する。

曲げ強度の半径方向の変動は、ばらつきが大きく安定域は明確ではないが、樹皮側に向かって増大する傾向が認められている。また、比較のために応力300kg/cm²で線を入れたが、高さの増加につれ曲げ強度が増大しているのが窺える。特にこの傾向は未成熟材領域で明確だが、成熟材領域でも1.3m (312kg/cm²)と4.3m以上 (378kg/cm²)では危険率1%レベルで有意差が認められ、樹幹下部の曲げ強度は低いとみなし得る。

三輪³⁾はスギについて今回とほぼ同様の試験(胸高より半径方向に連続してJIS曲げ試験体作成)から、未成熟材の方が強度の高い品種が多いと報告し

ている。報告のなかではホカスギにふれられていないが、図-3の結果から見る限りホカスギについては、未成熟材部のほうが強度の低い品種と見なし得る。

ヤング率については、髓部分から増大し10年輪をすぎたあたりから安定した領域が認められる。したがって、先の密度差変動からの未成熟材範囲とは必ずしも一致しないようである。

また、未成熟材領域ではヤング率が髓からの年輪数と比例関係が認められるため10年以下の試験体について回帰直線を計算、図-4に記入した。この回帰直線は、初期値、傾きとも樹幹上部に至るにつれ大きくなる。このことは髓からの年輪数(形成層齢)による変動、すなわち形成層の成長にともなうヤング率の変動が、形成層のできた樹齢によって異なっていることを示すものである。そこで、各年輪が形成されたときの樹齢(便宜的に、各高さに到達した時の年数と髓からの年輪数の和として求めた)とヤング率の関係を図-5に示した。寄与率は $r^2=0.60$ であり、同一林分の立木における樹幹各部のヤング率は、樹齢25年程度まで経時的な変動が支配的であるといえよう。また、右上がり分布しており、樹幹上部では髓におけるヤング率(初期値)が高いことが窺える。

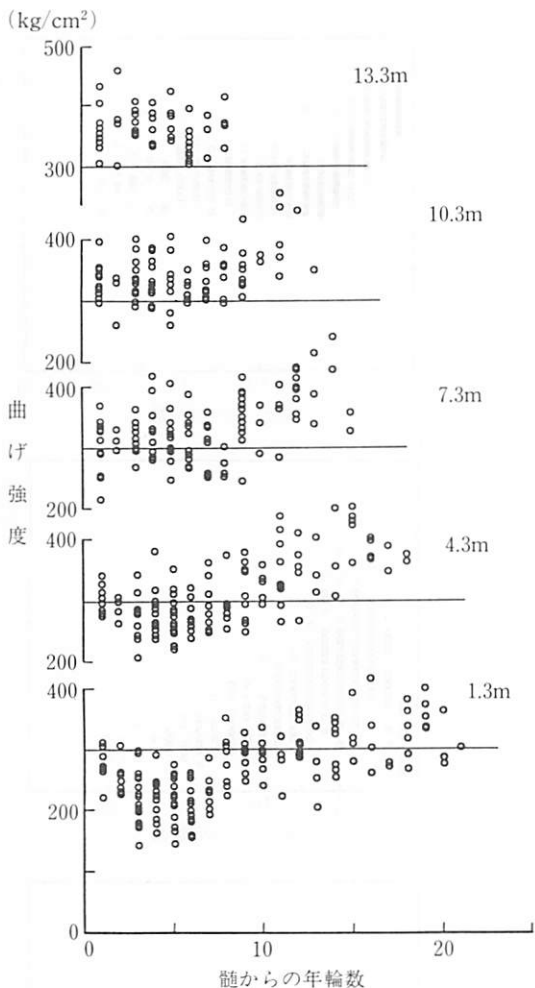


図-3 曲げ強度の樹幹内分布

11年輪以降の成熟材領域におけるヤング率の平均は、1.3m: 31.7t/cm²、4.3m: 48.8、7.3m以上で57.8t/cm²であり、いずれも危険率1%レベルで有意差が認められ、曲げ強度の場合より高さによる違いが大きい。

成熟材のヤング率として11年輪以降の試験体の平均値をとることとし、最も大きな7.3m高さ以上の平均値57.8t/cm²を与えた場合について(有意差のある1.3m、4.3m高さについてそれぞれの平均値を与えた場合を()で付記する)、この値に達する年輪数を図-4の式から計算すると、1.3mで29年輪(14年)、4.3m: 17年輪(14年)、7.3m: 13年輪、10.3m: 11年輪、13.3m: 9年輪となった。1.3m高さでは、根張りによる繊維傾斜の影響のために低いヤング率となったものと思われるが、このように

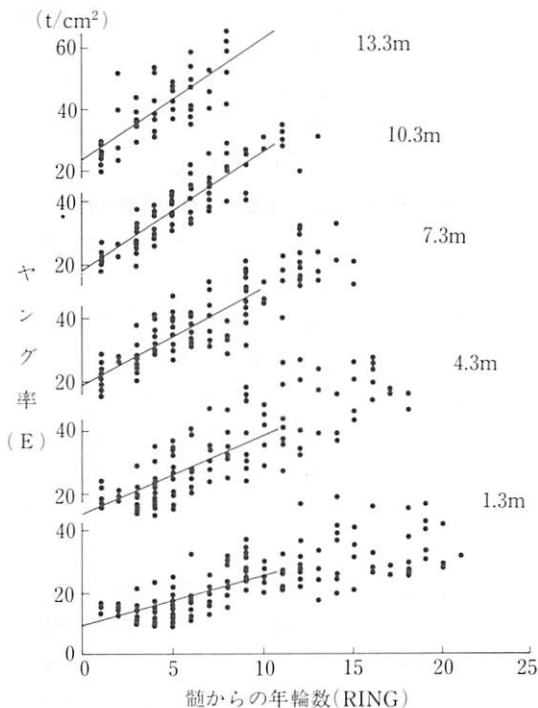


図-4 ヤング率の樹幹内分布

- 注) 1.3m $E = 8.3 + 1.73 \text{ RING}$ $r = 0.68$
 4.3m $E = 12.2 + 2.77 \text{ RING}$ $r = 0.74$
 7.3m $E = 18.8 + 3.07 \text{ RING}$ $r = 0.83$
 10.3m $E = 17.5 + 3.85 \text{ RING}$ $r = 0.90$
 13.3m $E = 23.3 + 3.96 \text{ RING}$ $r = 0.78$

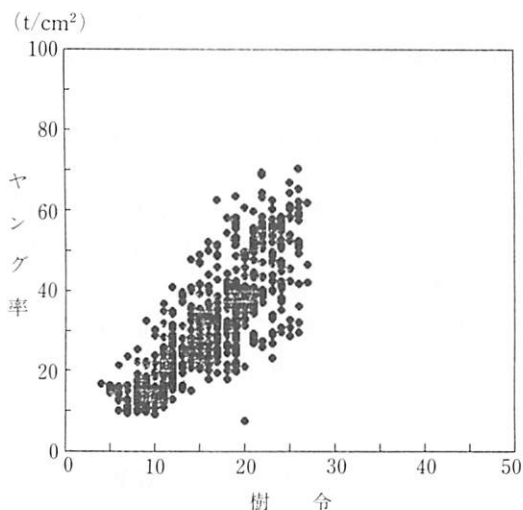


図-5 樹令とヤング率の関係

図-4, 5の結果は樹幹上部のほうが髓からの年輪数でみると早く成熟材に達することを示唆していると思われる。樹幹上部では未成熟, 成熟材の境界がいくぶん髓に近づく傾向は渡辺ら¹⁰⁾が圧縮試験から塩倉¹¹⁾が仮道管長測定結果から指摘している。

3.3 重回帰分析による強度的性質の変動の推定

これまで述べてきたように, ホカスギの強度的性質は樹幹内においてもかなり大きく変動し, ヤング率で7.6~70.2t/cm², 曲げ強度で141~479kg/cm²の範囲を示した。これらの変動は樹木の成長過程における材質の変化によって引き起こされたものであり, 今後, 施業と樹幹耐力の関係を考えていくうえで, 強度的性質の変動がどのような材質の変動に起因しているのかを把握しておくのが有効と思われる。

ここでは髓からの年輪数 (R), 距離 (S : cm), 高さ (H : m), 年輪幅 (ARW : mm), 晩材率 (SP : %) , 全乾比重 (SG) を因子としてとりあげ, 重回帰分析法により強度的性質の推定と, 強度的性質の変動に対する因子の影響度の検討を試みる。

未成熟領域と成熟領域ではこれらの因子の影響も異なってくるのが考えられる。例えば比重と強度性能との関係も未成熟材部とは異なることを渡辺ら⁵⁾, 太田ら¹²⁾が報告している。そこで図-6に比重, 年輪幅, 晩材率と髓からの年輪数の関係をそれぞれ示した。比重の安定する年数は6年輪ぐらいであり, また年輪幅も5, 6年輪目にピークを持った曲線型を示している。したがって図-4のヤング率変動の安定域とは, これら材質因子の安定域と必ずしも一致しない。

そこで未成熟材, 成熟材それぞれの特徴を示すように便宜的に10年輪で区分し, それぞれ重回帰分析を行うこととした。重回帰式は線形式を用い, 変数減少法によりt値の小さい順に消去し有意水準1%レベルで有意な因子を最後に残した。

全試験体の場合を含めて得られた重回帰式を示す。曲げヤング率(E : t/cm²), 曲げ強度(σ : kg/cm²), に関して

未成熟材 (R ≤ 10)

$$E = 4.2 + 2.94R + .020H - .383ARW$$

$$\sigma = 63.1 + 448SG + 8.03R + 2.58SP + .092H - 2.16ARW$$

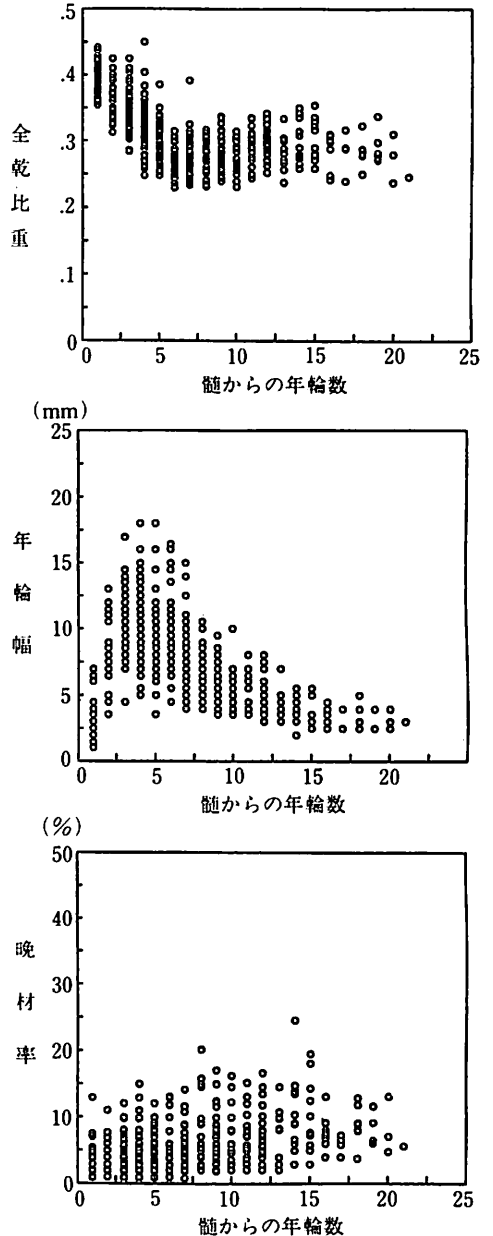


図-6 各因子の髓からの年輪数による変動

成熟材 (R > 10)

$$E = -3.4 + 146SG + .030H - 2.12ARW$$

$$\sigma = -3.8 + 1232SG + .061H - 7.86ARW$$

全体

$$E = 15.5 - 27.0SG + 1.99R + 2.26H - .42ARW$$

$$\sigma = 64.4 + 446SG + 6.91R + 2.99SP + 9.67H - 2.13ARW$$

これらの回帰式に関する寄与率、偏相関係数を表-1に一括して示した。

未成熟材、成熟材とも強度的性能の変動の約70%がこれらの因子で説明される。成熟材領域の強度的性質の変動は、ほぼ比重、年輪幅と高さの変動に起因したものと考えられる。未成熟材領域については、髓からの年輪数と高さが支配的であり、ヤング率ではこれに年輪幅、強度ではさらに比重と晩材率の影響が付加されているとみなしう。未成熟材のヤング率を除くと、よく知られる強度的性質と比重あるいは年輪幅の関係と一致している。

また、今回の試験木が25年生という比較的若令の立木であり成熟材領域が少ないためか、試験体全体でみても寄与率はあまり低下していない。

髓からの年輪数および高さは、強度的性質の変動にかなり大きな影響を与えている。しかしこれらは材質因子というより、成長にともない変動するような他の材質因子の影響を反映したと思われる。たとえば、仮道管二次壁中層のフィブリル傾角がその一つであり、渡辺ら⁹⁾、太田ら¹²⁾が傾角が髓部分で最も大きく外側に向かって減少し10~15年輪で一定になること、則元ら¹³⁾が細胞壁のヤング率がフィブリル傾角の影響を大きく受けることを報告している。したがって未成熟材領域のヤング率で髓からの年輪数の偏相関係数が高いこと、成熟材において髓からの年輪数が影響しないことなどは、フィブリル傾角の変動によって説明されよう。しかし高さの因子の影響については、フィブリル傾角の高さ方向変動に関する報告例が少なく、必ずしもフィブリル傾角に起因したものか明らかではない。

ここで得られた強度的性質に影響をおよぼす比重、年輪およびフィブリル傾角などの材質因子は、施業方法あるいは品種によって変化するものであり、今後施業方法と冠雪害抵抗性を考えるうえで重要な因子であると思われる。

表-1 重回帰分析結果

区 分	寄与率	偏相関係数					
		髓からの年輪数	高さ	比重	年輪幅	晩材率	
未成熟材	ヤング率	0.74	0.76	0.77	—	-0.32	—
	曲げ強度	0.70	0.35	0.73	0.37	-0.19	0.22
成熟材	ヤング率	0.70	—	0.71	0.40	-0.32	—
	曲げ強度	0.68	—	0.43	0.66	-0.29	—
全 体	ヤング率	0.68	0.59	0.73	-0.12	-0.14	—
	曲げ強度	0.70	0.49	0.73	0.41	-0.16	0.27

—: 危険率1%で有意差なし

3.4 樹幹ヤング率の分布

既報^{1,2)}では冠雪荷重に対する樹幹の耐力推定にさいしては、樹幹の強度的性質を均質なものと仮定し、樹幹断面のみかけのヤング率(以下樹幹ヤング率)を高さ方向に一定値を与えて計算してきた。しかし3.2で述べたように、樹幹内における各部のヤング率は髓から半径方向および高さ方向に変動しており、したがって、樹幹ヤング率もまた樹齢、高さ方向によって変動すると思えねばならない。ここでは樹幹の平均ヤング率の高さ方向分布を樹齢を含めて検討する。

図-7に示したように、ヤング率の髓からの年輪数にともなう変化を、増大域と安定域の二つに分割しそれぞれ最小二乗法による直線と平均値の線で表すこととした。なお、図にみられるように、髓から数年輪までヤング率が低下あるいは一定の領域が認められる場合には、その領域に定値を与えた。この直線によって各年輪のヤング率を計算し、小泉ら¹⁴⁾が行ったように、樹幹を同心円状の年輪からなる層構造とみなし次のように樹幹ヤング率を計算した。

各年輪の髓からの距離、ヤング率をそれぞれ $r_1, r_2, \dots, r_n, E_1, E_2, \dots, E_n$ とおくと i 年輪層の断面二次モーメントは

$$I_i = \pi (r_i^4 - r_{(i-1)}^4) / 4$$

となる。樹幹の全体剛性を EI とすると

$$EI = E_1 I_1 + E_2 I_2 + \dots + E_n I_n$$

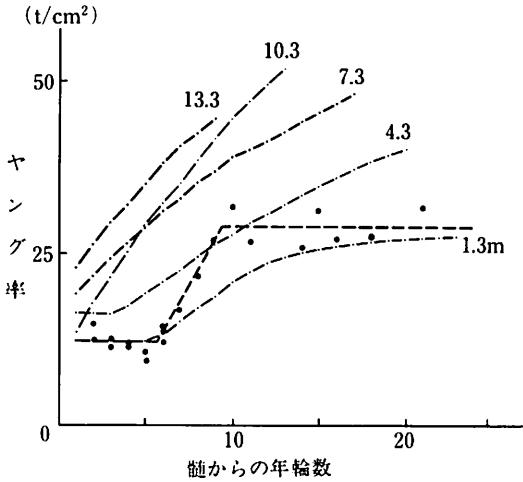


図-7 樹幹ヤング率の変化

注) ● : 小試験体の曲げヤング率
 --- : 樹幹ヤング率

であり、 $I = \pi r_n^4 / 4$ より
 樹幹ヤング率は

$$E = \sum E_i I_i / I$$

によって得られる。

樹幹ヤング率の半径方向変動もあわせて図に示されているが、樹幹ヤング率も高さにより大きく異なっているのが窺える。図-8に樹幹ヤング率の高さ方向分布を林齢10年生時より5年間隔で示した。なお高さは、その時点における樹高に対する比で示されている。

10年生時にはヤング率の高さ方向の差はほとんど認められず、ほぼ20t/cm²となる。これまで指摘されてきた未成熟材の分布を考えると、樹幹上部のヤング率は低下するはずであるが、図-3で指摘したように高さが増すにつれヤング率の年輪当たりの増分が増すことまた初期値も高いため樹幹高さ方向に差が生じていない。しかし、15年生時になると胸高部では根張りによる繊維傾斜の影響のためと思われるが、樹幹ヤング率の上昇は小さく26t/cm²、これより上は樹高の9割以上で若干低くなりはじめているが、ほぼ同レベルで推移し32t/cm²となった。20年生時には、高さ方向の差がめだちはじめ、中央部では44t/cm²に対し両端近くは30t/cm²にすぎない。伐採時の25年生時には上下の差はきわめて大きくなり、胸高部では30t/cm²、4.3mで48

t/cm²、7.3から13.3mまでがほぼ安定した値をとり52t/cm²、以降は低下をはじめ8.3mで30t/cm²となる。樹高の3~8割部はおおまかにみて定値とみてもよいようである。このように樹幹ヤング率は樹齢を経るにしたがい樹幹部位により約1.7倍の違いがでてくる。このような樹幹ヤング率の高さ方向分布の樹幹耐力に対する影響については今後検討する予定であるが、雪害抵抗性比較を目的とした樹幹の強度的性質の測定においても、このような樹幹高さ方向における強度的性質の分布を考慮しておく必要がある。

4. まとめ

冠雪害に対する樹幹の耐力の重要な因子である樹幹の強度的性質については、未成熟材から成熟材へという基本的な変動パターンを持っている。したがって、冠雪荷重下の樹幹の耐力もまたその影響を考える必要がある。そこで本報告では、樹幹内における強度的性質の半径方向、高さ方向分布を検討し

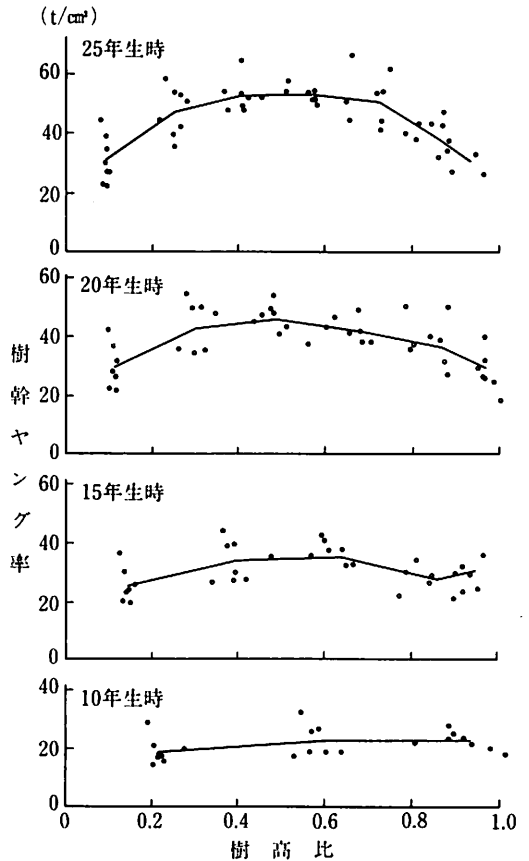


図-8 樹幹ヤング率の高さ方向分布

た。結果は次のとおりである。

- 1) 仮道管長が10~15年で一定になるのに比べ、テンシトメーター法による年輪内の密度差の変動は、より早く7年輪目で一定になっている。
- 2) 曲げ試験体比重は髓から6年輪まで低下し以後一定となる。しかもばらつきが小さく高さ方向には差が認められない。
- 3) ヤング率は髓からの年輪数に伴い増大しやがて定値となる、またこの増大域における回帰直線は、高さが増すにつれ初期値、傾きとも大きくなる。このことは高くなるにつれ早く成熟材に達することを示唆していると思われる。
- 4) 未成熟材領域の曲げ強度もまたヤング率と同様に高さが増すにつれ増大する。しかし年輪数にともなう変化は比重の影響を受けるためばらつきが大きくヤング率ほど明確ではない。

文 献

- 1) 中谷 浩, 嘉戸昭夫, 平 英彰ら: "スギ造林木の冠雪荷重による樹幹の変形と耐力", 木材誌, Vol. 30, No.11, p.886-893, (1984)
- 2) 中谷 浩, 嘉戸昭夫, 平 英彰: "林木の冠雪害に関する樹木力学的研究(第2報)", 富山県木材試験場報告, No.66, p.1-6, (1986)
- 3) 片岡健次郎, 栗田稔美: "スギ地方品種の耐雪性について(予報)", 日林東北支誌, No.32, p.117-120 (1980)
- 4) 深沢和三: "スギ樹幹内の材質変動に関する研究", 岐阜大農研報, 25, p.47-128, (1967)
- 5) 渡辺治人, 堤 寿一, 小島敬吾: "未成熟材に関する研究(第1報)", 木材誌, Vol. 9, No. 6, p.225-230, (1963)
- 6) 深沢和三, 高部圭司, 八田章文ら: "北海道産スギ造林木の材質", 第36回日本木材学会大会研究発表要旨集, p.76. (1986)
- 7) 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・資料, No.17, p. 192-205, (1983)
- 8) 林 昭三, 角谷和男, 野村隆哉: "スギ36品種

- 5) 未成熟材領域における強度的性質の変動を説明する因子を重回帰分析により検討した結果, ヤング率の変動は髓からの年輪数, 高さ, 年輪幅の3因子で曲げ強度はさらに比重, 晩材率を加えた5因子により, 変動のほぼ70%が説明される。また, 成熟材領域においては, ヤング率, 曲げ強度とも比重, 年輪幅, 高さの3因子により, 変動の70%が説明される。
- 6) 樹幹ヤング率は高さ方向に関して樹齢10年ぐらいいでは上下に差がないが, 主幹部の成熟化につれ差を生じ, 樹齢25年では, 胸高部で30t/cm², 樹高の3~8割部で52t/cm², 以後低下し9割部位では30t/cm²となり, 高さによって約1.7倍の差を生じている。したがって, 冠雪荷重下における樹幹の耐力についてもその影響を考える必要があると思われる。

- の組織構造的性質", 木材研究・資料, No.18, p.81-92, (1983)
- 9) 三輪雄四郎: "スギの品種別材質試験(II)", 第36回木材学会大会研究発表要旨集, p.72, (1986)
- 10) 渡辺治人, 堤 寿一, 松本昴ら: 未成熟材に関する研究(第2報)", 木材誌, Vol.14, No. 5, p.125-130, (1964)
- 11) 塩倉高義: "針葉樹幹材における未成熟材の区分とその範囲", 木材誌, Vol.28, No. 2, P.85-90, (1982)
- 12) 太田貞明, 渡辺治人, 松本昴ら: "未成熟材の力学的特性に関する研究(第2報)", 木材誌, Vol.14, No. 5, P.261-268, (1968)
- 13) 則元 京, 田中文夫, 大釜敏正, 生宗里佳子: "木材の繊維方向における比動的ヤング率と内部摩擦", 木材研究・資料, No.22, P.53-65, (1986)
- 14) 小泉章夫, 上田恒司: 立木の曲げ試験による材質評価(第2報)", 木材誌, Vol.32, No.11, P.860-867, (1986)