



Title	檜山地方演習林の造林木の樹幹ヤング係数
Author(s)	小泉, 章夫; KOIZUMI, Akio; 高田, 克彦 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 46(2), 441-450
Issue Date	1989-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21296
Type	departmental bulletin paper
File Information	46(2)_P441-450.pdf



檜山地方演習林の造林木の樹幹ヤング係数

小泉 章夫* 高田 克彦** 上田 恒司**

The Modulus of Elasticity of Tree Trunks for Plantation-Grown Conifers in Hiyama Experiment Forest

By

Akio KOIZUMI*, Katsuhiko TAKADA** and Koji UEDA**

要 旨

檜山地方演習林の造林木3樹種(カラマツ, スギ, トドマツ)の樹幹ヤング係数を体重負荷方式の立木曲げ試験によって測定した。試験の目的は非破壊試験によって同演習林の造林木の強度材質を評価すると同時に、局所的な環境差が造林木の材質に及ぼす影響を検討することである。この目的のために各々の樹種について風当りの強いところと弱いところから1林分ずつ選んで供試林とし、結果を比較検討した。その結果、環境条件が樹幹ヤング係数に及ぼす影響は樹種によって異なることが判った。すなわち、スギ、トドマツでは環境の異なる林分間で樹幹ヤング係数に有意差が認められなかったのに対し、カラマツでは大きく異なり風当りなどの環境因子が材質に及ぼす影響が大きいことが示唆された。

キーワード： 立木、非破壊試験、樹幹ヤング係数、材質、環境効果。

1. 結 言

著者らは立木段階で木材の強度材質を非破壊的に評価する方法を考案した¹⁻⁴⁾。この方法は曲げ強さとの相関が大きく、それ自体有用な機械的性質である木材の曲げヤング係数を、試験者体重によるモーメント負荷方式の立木曲げ試験によって求めるものである。これまでにこの方法を用いて道内の間伐期の主にカラマツ造林木を対象として実験を進めてきた結果、環境差が小さい同一の林分内では肥大生長のバラツキに比べて樹幹ヤング係数のバラツキは比較的小

1988年8月31日受理 Received August 31, 1988.

* 北海道教育大学札幌分校

Sapporo College, Hokkaido University of Education.

** 北海道大学農学部林産学科木材加工学講座

Laboratory of Wood Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

さく、変動係数で15%程度以内であることが判った。したがって、この方法は林分の材質等級付けの手段とすることができる。一方、環境差のある林分間・林地間では樹幹ヤング係数の平均値に有意差が認められることが判ってきた。しかし、この材質差が遺伝的なものか環境によるのか、また環境影響とした場合どのような環境因子によるものなのかは不明である。そこで、ここでは遺伝的差異を無視しうる同一林地内の同齢林で局地的な環境差が造林木の強度材質にどのような影響を及ぼすのかを調べることを目的として実験を行った。

この研究を行うにあたり、供試林の選定や試験の実施について多大の便宜、御助言をいただいた檜山地方演習林長 工藤 弘博士に深く感謝する。

2. 供試林と実験

実験は北海道大学檜山地方演習林で行った。同演習林は図1に示すように標高365mの大平山を中心に南北に延びる稜線の東斜面に位置している。土壌は適潤型森林褐色土(B₀型)で理化学的性状は良好だが、林木生育期の東風が強いため、風当りの強い斜面上部と風の当たらない斜面下部でスギ造林木の生長に著しい差が生じることが報告されている⁵⁾。そこで、スギ、カラマツ、トドマツを対象として風当りの強いところ(図1において黒丸で示したプロット)と弱いところ(白丸で示したプロット)で実験を行った。供試林の概要を表1に示す。スギのPlot 1~4およびカラマツ、トドマツの各一对の供試林はそれぞれほぼ同齢で施業履歴にも大差はない。間伐はスギについてのみ1981年(Plot 5)と82年(Plot 1~4)に行われている。また、スギのPlot 1~4は氏家ら⁵⁾が土壌とスギの生長および容積密度数を調査したプロットとほぼ対応している。その報告によれば、Plot 1からPlot 4まで標高が低くなるにつれて樹高、胸高直径ともに段階的に増加する結果、材積で4倍もの差が生じている。一方、土壌は最も下部に位置するPlot 4が特に良好であるが、他の3プロットについては大差がなかった。これらの

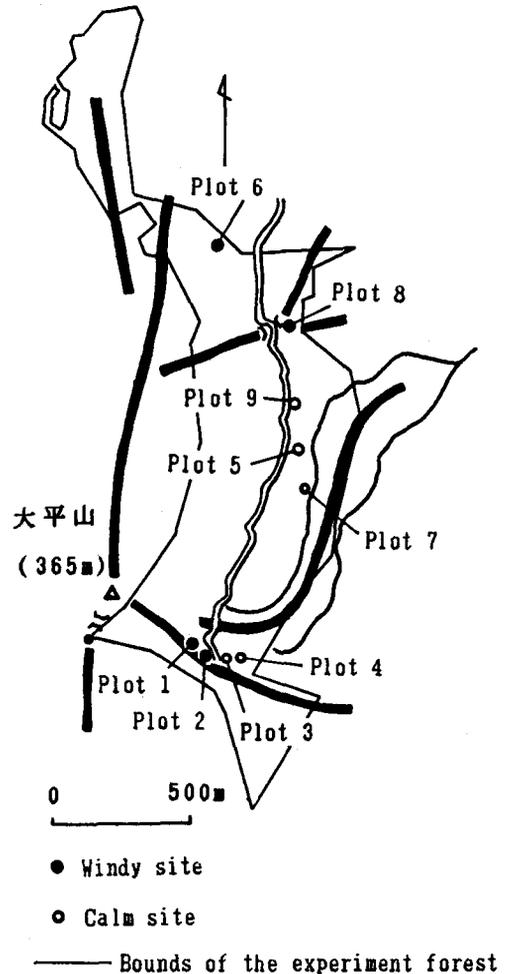


図-1 試験地の位置

Fig. 1. Location of the sample plots.

表-1 供試林の概要
Table 1. Outline of the sample plots

Species	Plot No.	Cpt No.	Established year	Stand age	Elevation (m)	Exposure and inclination of slope
Sugi	1	28	1967	21	240	SE 16°
	2	28	1967	21	220	E 17°
	3	26	1966	22	190	E 25°
	4	26	1966	22	170	Gentle
	5	17	1960	28	120	E 18°
Karamatsu	6	13	1959	29	140	E 22°
	7	17	1960	28	110	E 14°
Todomatsu	8	3	1957	31	150	SE 12°
	9	5-1	1957	31	110	E 25°

ことから標高による生長の差は風当り条件の影響が大きいと結論づけている。なお、胸高部位の容積密度数は Plot 1 のものが約 350 kg/m³ とやや大きく、その他のプロットについては 300 kg/m³前後と報告されている。

実験は各プロットにつき、10本ないし16本の平均的な生長をしている供試木を選び、体重負荷方式の立木曲げ試験によって樹幹ヤング係数を測定した。図2において樹幹ヤング係数 (E_s) は以下の式から求められる。

$$E_s = \frac{s^2 M}{8 I \delta} = \frac{1592 W (L + r_{180})}{\delta (r_{120} - t_b)^4}$$

ここに、 s : 矢高測定区間の長さ (100 cm),
 M : 負荷モーメント, I : 樹幹の断面2次モーメント, δ : 樹幹の曲げ変位, r_{180} : 高さ180 cmの樹幹半径, r_{120} : 高さ120 cmの樹幹半径, t_b : 樹皮厚。

立木曲げ試験およびヤング係数の計算方法は供試木の樹幹形状が矢高測定区間(地上高70~170 cm)で円柱ないしは比較的小きなテーパーを持つ円錐台であることを条件としている。スギについては今回初めて立木曲げ試験を行ったので、この方法の適用性を確認するために樹幹形状を測定した。台番17の林分(28年生)で胸高直径の細いものから太いものまで11本の供試木を選び、地上高20 cmから180 cmまで20 cmごとの周囲長を測定した。

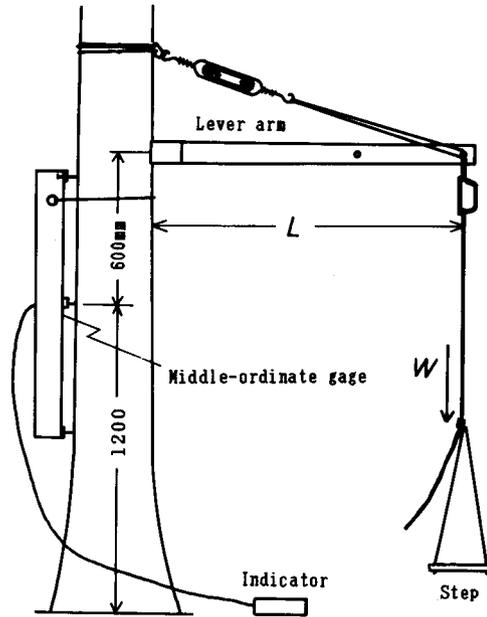


図-2 立木曲げ試験の方法
Fig. 2. Method of the tree bending test.

3. 結果と考察

3.1 スギの樹幹形状

スギ樹幹の地上高と周囲長の関係の典型例を図3に示す。このように、スギの場合も地上高180 cmまでの樹幹形状を2つのテーパ部分で表わすことができた。そこで既報¹⁾と同様の手順で幹足部の高さ、テーパ比およびテーパ率を求めた。まず、2つのテーパ部分の境界のおよその高さを図から読み取って幹足部高さとする。次に地上高80~180 cmまで5ヶ所の周囲長測定値に直線を当てはめて得た回帰式をテーパ関数とする。さらに、この関数から地上高80 cmおよび180 cmにおける樹幹のテーパ比 (α : 地上高80 cmの樹幹径÷地上高180 cmの樹幹径)を求める。同時にテーパ関数から単位長さ当りの樹幹半径の細り率 (ϕ)も求める。

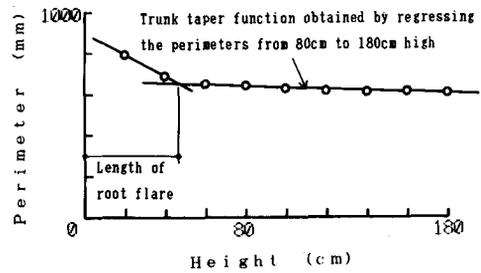


図-3 スギ樹幹形状の測定例

Fig. 3. A typical trunk form for sugi.

表-2 スギの樹幹形状

Table 2. Taper factors for sugi

No.	DBH (cm)	L_R (cm)	α	ϕ (mm/m)	R
1	13.8	42	1.046	3.11	1.004
2	15.5	42	1.076	5.68	0.990
3	16.6	51	1.070	5.59	0.989
4	17.2	30	1.071	5.96	0.988
5	17.5	57	1.034	2.89	1.001
6	18.7	68	1.086	7.66	1.001
7	19.8	48	1.038	3.66	0.997
8	22.2	70	1.057	6.18	0.996
9	22.2	41	1.039	4.25	1.007
10	25.4	60	1.064	7.80	0.998
11	25.8	63	1.026	3.30	1.004
Av.	19.5	51.8	1.055	5.10	0.998
C.V.(%)	19.3	23.5	1.8	33.0	0.6

L_R : Length of root flare

α : Taper quotient = $\frac{\text{Trunk perimeter at 80cm high}}{\text{Trunk perimeter at 180cm high}}$

ϕ : Taper rate as for trunk radius

$R = \frac{\text{Measured trunk radius at 120cm high}}{\text{Estimated radius by interpolation of trunk taper function}}$

このようにして求めたスギの樹幹形状の測定値を表2に示す。これを見ると幹足部高さは平均で52 cm, 最も高いものでも70 cmであり, 立木曲げ試験における矢高測定区間の下端(70 cm)より低く, 測定区間において幹足部の影響を無視できることが判る。一方, テーパー比は平均で1.06, 最大値は1.09であった。樹幹を丸棒と仮定することによるヤング係数の計算誤差はテーパー比が1.17未満であれば1%以内であり(図4参照)¹⁾, この程度のテーパー比であ

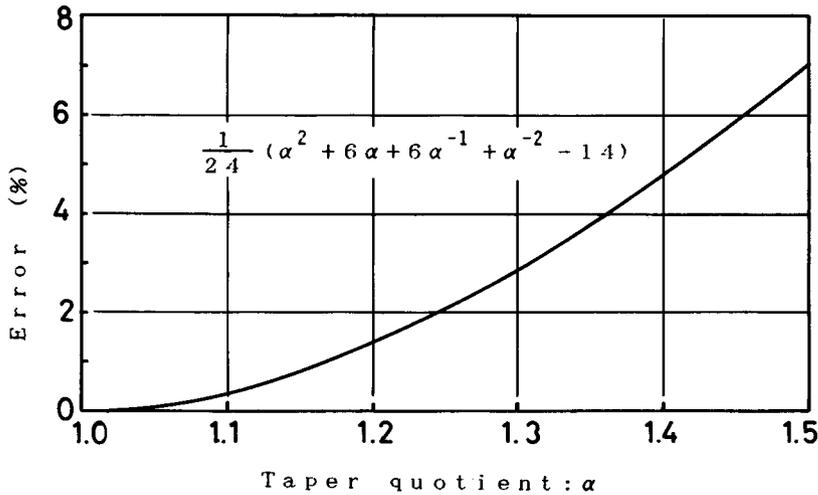


図-4 樹幹のテーパー比とヤング係数の計算誤差の関係

Fig. 4. The error involved in the MOE calculation ignoring the taper in relation to the taper quotient.

れば全く問題ない。また, 地上高80~180 cm間のテーパーの直線性は極めて良好であった。表2右欄のR値はテーパー関数に内挿して得た地上高120 cmの周囲長推定値に対する実測値の比である。ほとんどが1%以内の推定誤差であり, 地上高120 cmのみの周囲長と樹皮厚から樹幹の断面2次モーメントを決定して差支えない。これらの結果から, スギについても従来の実験・計算方法が適用できることが確かめられた。

3.2 胸高直径と樹幹ヤング係数

立木曲げ試験の結果を一括して表3に示す。また, 各々の樹種について供試木の胸高直径と樹幹ヤング係数の関係を図5~7に示した。さらに各樹種について風当り条件の異なる一対の対照林分で樹幹ヤング係数の平均値に差があるかどうかt検定を行った(表4)。これを見ると, カラマツのみ林分間で樹幹ヤング係数に有意差があることが判る。以下, 樹種別に考察する。

スギ: 標高が段階的に異なるPlot 1~4の結果を比較すると胸高直径は標高が下がるにつれて大きくなり, とくにPlot 4のものが大きい。これはPlot 4の土壌が特に良好なためかもしれない。一方, 樹幹ヤング係数はPlot 1~4間で差は認められない。二つの林分(Plot 1, 2お

表-3 試験結果
Table 3. Test results

Species	Plot No.	Number of sample trees	DBH		Trunk MOE	
			Av. (cm)	C. V. (%)	Av. (tf/cm ²)	C. V. (%)
Sugi	1	5	15.2	7.3	58.9	18.2
	2	5	15.1	7.6	51.9	11.7
	3	5	16.5	11.5	56.5	28.4
	4	5	19.7	11.3	53.6	5.5
	5	11	18.9	12.3	61.2	16.5
Karamatsu	6	10	17.7	12.0	93.1	12.6
	7	10	18.6	7.8	121.0	10.6
Todomatsu	8	10	12.6	12.2	110.3	9.8
	9	16	16.9	14.0	114.3	7.2

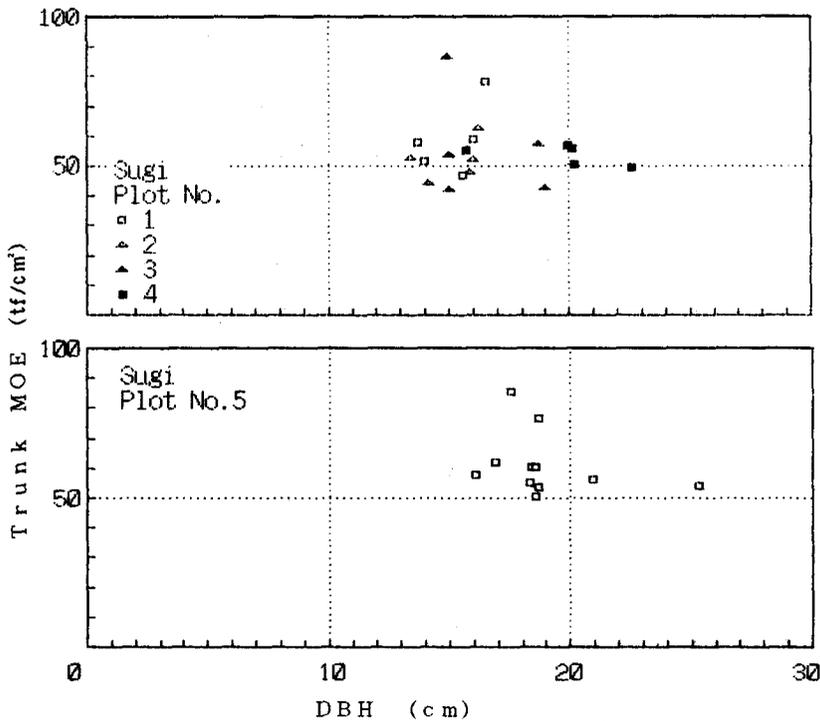


図-5 スギ供試木の胸高直径と樹幹ヤング係数

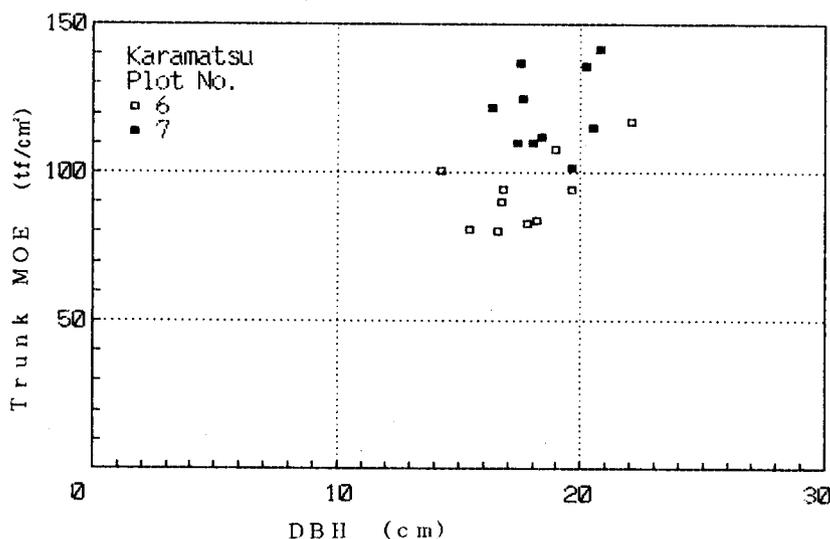
Fig. 5. DBH and trunk MOE for the sample trees of sugi.

よび Plot 3, 4)に分けた場合の *t* 検定の結果においても有意差は認められなかった(表4)。図5を見ると胸高直径の小さなものに樹幹ヤング係数の大きなものが出現しているが、樹幹ヤング係数の下限値は胸高直径によらずほぼ一定値をとっており、両者の散布図は右下がりの楔型をしている。これらのことから、スギの場合、風当り条件は生長の良否には影響するが強度材

表一4 2林分の樹幹ヤング係数の差の検定結果
Table 4. Statistical differences of the trunk MOEs between the contrastive sites

Species	F_0	t_0
Sugi	1.56-	0.04-
Karamatsu	1.30-	4.51**
Todomatsu	1.80-	1.03-

F_0 : Variance ratio; t_0 : t value.
 - : Not significant
 ** : Significant at 1% level.

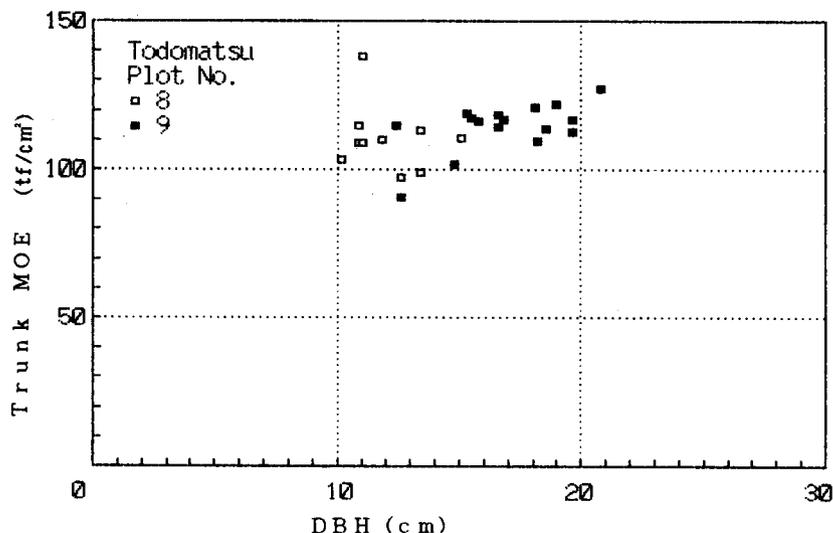


図一6 カラマツ供試木の胸高直径と樹幹ヤング係数
Fig. 6. DBH and trunk MOE for the sample trees of karamatsu.

質への影響は小さいことが示唆される。

Plot 1~4 の樹幹ヤング係数の平均値は 55.1 tf/cm² とかなり小さい。林齢が 21, 22 年生と若いため未成熟材の影響が現われているとみられるが、28 年生の Plot 5 の平均樹幹ヤング係数も 61.2 tf/cm² と小さい。これはこの地方の環境条件の影響かあるいは遺伝的なものなのかは不明である。檜山地方演習林で昭和 30 年代に植栽されたスギ苗木は秋田県の民苗で“粗悪な形質”⁶⁾のものであったとも言われている。いずれにせよ、その時期に植栽されたスギについては、今後強度材質の優れたものを収穫することはあまり期待できない。

カラマツ：カラマツではスギとは顕著に異なる傾向がみられた。図 6 に見るように尾根筋に近く風当りの強い Plot 6 は風当りの弱い Plot 7 に比べて胸高直径もやや小さいが、とくに樹幹ヤング係数の差が明白に判る。樹幹ヤング係数の平均値の差は高度に有意であった (表 4)。



図一七 トドマツ供試木の胸高直径と樹幹ヤング係数
Fig. 7. DBH and trunk MOE for the sample trees of todomatsu.

このように林分間の差はあるが、平均樹幹ヤング係数は Plot 6 についても 93 tf/cm^2 と大きく、この演習林から生産されるカラマツは優れた強度材質を有することが期待できる。

トドマツ：支尾根上に位置し風当りの強い Plot 8 と斜面下部の Plot 9 を比較すると、肥大生長の差は大きく Plot 9 の方がよいが樹幹ヤング係数に差は認められなかった(図7)。これはスギに近い傾向と言える。

トドマツの平均樹幹ヤング係数は両林分とも 110 tf/cm^2 台であり、この樹種としてはかなり大きいといえる。この地域における水喰いの発生については不明だが、現状では優れた強度材質を有しているといえる。

以上の試験結果から、環境が樹幹ヤング係数に及ぼす影響は樹種によって異なることが判った。その原因は樹種による年輪構成の違いによるものかも知れない。例えば、スギ(品種による差は大きい)やトドマツのように早材から晩材への移行が比較的緩やかで早材幅に比べて晩材幅の狭い樹種では、環境が晩材形成に何らかの影響を及ぼすとしてもそれによる全体の密度や強度材質への影響は小さいと考えられる。これに対し、カラマツのように晩材への移行が急で厚い晩材を持つ樹種では晩材形成プロセスの違いが晩材率に影響し、ひいては密度や強度に影響することが予想される。今回は供試木を伐採していないのでこれらの検証は今後の課題である。

4. 結 言

檜山地方演習林のスギ、カラマツ、トドマツ造林木を対象として立木曲げ試験を行い、樹

幹ヤング係数を測定した。その結果、スギの樹幹ヤング係数はかなり小さく、これらの林分から強度材質の優れた木材を生産することはあまり期待できないが、カラマツ、トドマツについては強度材質は道内の同樹種造林木の平均以上と推定された。

3 樹種について風当りの異なる林分間で材質差が生じているかを調べた。肥大生長はどの樹種においても風当りの弱い林分の方が良い。一方、樹幹ヤング係数はスギとトドマツでは林分間で差がないのに対し、カラマツでは風当りの弱い林分の方が約 30 tf/cm^2 大きかった。非破壊試験ゆえ、この材質差がどのような木材組織上の違いによるのかは不明であり、今後の検討課題となろう。

このように環境が生長や材質に及ぼす影響は樹種によって異なることが明らかとなった。スギやトドマツでは風当り条件は生長に影響するが、強度材質には直接影響しないとみられる。これに対し、カラマツでは風当り条件は生長と強度材質の両者に影響する。その材質への影響は生長速度が材質に及ぼす影響 (たとえば、年輪幅と密度の関係) より大きいと考えられる。したがって、カラマツの場合、良好な環境条件を与えれば、生長量が大きくかつ強度材質も優れた林木を得ることが期待できる。これは造林樹種として優れた特性と言えよう。

今回の対照実験においてとりあげた主要な環境因子は林木生育期の風当り条件であったが、土壌条件など他の因子も影響していると考えられる。しかし、気温、降水量、日照、土壌などの個々の環境因子が林木の材質に及ぼす影響を定量化することはほぼ不可能と言ってよいだろう。それよりは当該林分の総合的な環境が造林木の生長や材質にどのような影響を与えるかを樹種別に調べる方が現実的である。つまり、本研究で行ったように、それぞれの林地において樹種との組合せによる「林分環境の等級付け」を行うのである。このような環境影響のデータは、立木曲げ試験によって各地の間伐期林分の材質評価を実施していく過程で蓄積できよう。

参 考 文 献

- 1) 小泉章夫, 上田恒司: 木材学会誌, 32 (9), 669-676 (1986).
- 2) 小泉章夫, 上田恒司: 木材学会誌, 32 (11), 860-867 (1986).
- 3) 小泉章夫, 上田恒司: 木材学会誌, 33 (6), 450-456 (1987).
- 4) 小泉章夫: 北大演研報, 44 (4), 1329-1415 (1987).
- 5) 氏家雅男, 工藤 弘, 片寄 謙: 北大演研報, 42 (3), 559-584 (1985).
- 6) 工藤 弘: 北大演研報, 43 (3), 543-684 (1986).

Summary

The authors have developed a tree bending test to evaluate the MOE of tree trunks¹⁻⁴⁾ and have conducted a series of tests at several plantation forests of conifers in Hokkaido. From the research, the variation of the trunk MOE within a stand has been found to be small compared with the DBH variation. The results suggest the applicability of the tree bending test to the preliminary stress rating of forest crops by section. It was also found that the average value of trunk MOE varies according to the site or locality due to environmental factors or other inherent characteristics.

In this investigation the trunk MOEs of sugi (*Cryptomeria japonica*), karamatsu (*Larix kaempferi*) and todomatsu (*Abies sachalinensis*) grown in Hiyama Experiment Forest of Hokkaido University were examined. The authors intention was to make advanced quality evaluation of the planted stands as well as to discuss local environmental effects on trunk MOE values.

Materials and test method

Two sections of the forest having differing wind conditions were chosen for each species as sampling areas (Fig. 1 and Table 1). The tree bending test was made on about ten trees per section. The trunk MOE is calculated from the force applied to the tree given by an operator's weight, the deflection of the trunk as measured by a middle-ordinate gage and the moment of inertia determined from the trunk circumference and the bark thickness at 120cm above ground level (Fig. 2).

Results and discussion

Average trunk MOE values for sugi were small even in the 28-year-old stand (Table 3). It can not be ascertained whether the low values were due to the lower degree of adaptability of this species to the climate of Hokkaido or the inferior character of the original seeds. Karamatsu and todomatsu show comparatively large trunk MOE values. They can be expected to produce lumber of high structural quality.

Although all species showed faster radial growth at the calm site than at the windy site, the environmental effects of wind conditions on trunk MOE was found to be different between the species. No significant difference of trunk MOE was found between the windy site and the calm site for sugi and todomatsu (Figs. 5 and 7). However, karamatsu showed distinct differences between the two sample plots with the average trunk MOE for the calm site exceeding that for the windy site by 30tf/cm² (Fig. 6). The result suggests that the influence of environmental effects on the structural properties of the wood is greater than that of the growth rate for karamatsu. This difference might be attributed to the process of latewood formation and its anatomical characteristics in karamatsu, namely, karamatsu shows an immediate changeover from earlywood to latewood and has thicker latewood than the other two species.

The special characteristics of karamatsu which help it to adapt to environmental effects and which lead to both higher yields and better quality trees at the proper sites, make it a desirable commercial species for plantations.