

鹿児島大学農学部高隈演習林に植林された スギ材の材質と利用（第1報）

ヤクスギ材の機械的性質と比重の関係*¹

藤田 晋輔・池田 俊士*²

(森林利用学研究室)

Quality and Utilization of Sugi-wood in Takakuma University Forest

The relationship between Specific Gravity and
Mechanical Properties of Yakusugi

Shinsuke FUJITA and Takashi IKEDA*

(Laboratory of Wood Utilization)

緒 言

スギ (*Cryptomeria japonica*) はわが国ならびに中国 (?) にわたって分布する東洋特産の樹種である¹⁾²⁾。わが国では北海道南部から九州屋久島にいたる広い地域に分布している。しかし、現在では天然林と称される地域は、非常にまれとなり、北は秋田杉、南は屋久杉が最も有名である。しかし、屋久島以南には天然の杉は存在していない²⁾³⁾。

このようにスギはわが国独特の樹種と考えられ、遠い過去にあっては間接的効用（人間生存上の物理的、心理的有益効果→防風林、水源涵養林、社寺林……）と直接的効果（人間生活上直接関与する有益効果→森林生産物の利用）があげられる。

わが国の人工造林の歴史は古く、300～500年ほど前から始まったといわれている林業地は多い³⁾。スギは生長が良く、加工しやすいため、ヒノキとともに建築材ばかりでなく、家具その他の道具の製作など多方面に利用されている⁴⁾。

このようなことから、各地にスギ人工造林地が造成され、各地方それぞれに特徴を持つスギ材が生産されるようになった。なかでも、近年の育林技術の展開により非常に多くの品種が育成され、「地スギ」と称せられるスギ材から改良者の氏名、地方名を名付け、呼称されているものまで十数種類に及ぶ。

現在ではこれらの多くのスギ品種が、成林後の有効利用、適地、適木の可否を問題にすることなく、広葉樹伐採跡地への拡大造林樹種として植林されていることが多い³⁾と思われる。この拡大造林樹種としてのスギの植林の議論はともかくとして、非常に多くのスギ品種があるにもかかわらず、ただ経験的に「ねばりのあるスギ」、「もろいスギ」、「おかべスギ**」などと称して色々の評価が行われているにすぎない。

*¹ 本研究の一部は、第32回日本木材学会大会（福岡，1982. 4）、昭和57年度日本林学会九州支部大会（熊本，1982. 10）で発表した。

*² 鹿児島大学大学院学生

** 「おかべ(方言)」：豆腐の意。したがって、釘もとまらないほど軟かいスギの意味となる。

さいわいに、高隈演習林では種々のスギ品種を林班毎の試験林として植林し、林業サイドからの各種のデータを集積中である⁵⁾。

これまでわが国のスギ造林木の材質に関する研究は多く報告されている。しかし、材質は同一品種でも植林された地方、地域の気象条件、地位によって異なることが予想される。

本学高隈演習林における造林樹種計画に伴う品種決定を行うためにも、現在、植林されているスギ品種の材質は明確にする必要があると考えられる。そこで、本研究は各品種のスギ材の材質と利用を調査研究し、将来の演習林における造林樹種の決定のための一助となることを願う。

今回はヤクスギの生長経過と基礎材質について実験を行ったが、本報告は主に JIS 規格にもとづく機械的性質と比重の関係をとりまとめた。生長経過、繊維長などにかかわる実験のとりまとめの結果は次の機会にゆずる。

材料および実験方法

1. 供試木の選定と採材

供試木は鹿児島大学農学部高隈演習林（鹿児島県垂水市海潟）の15林班（か小班）に植林（昭和3年植栽）されたヤクスギである。この林分の苗木は、実生苗か、さし木苗か不明である。供試木の選定は、この林分内の標準的胸高直径（45 cm 前後）を有し、標準的樹形である3本を伐倒した（昭和56年11月5日、小雨）。この林分の地況および林況は、次のとおりである。

（地況）・地 位：3 (2)

・方 位：南面（急）

・土 砂：砂岩・砂壤土

・結合度：適中軟

（林況）・ha あたり蓄積量 323 m³

・連年生長量：4.7 m³（成長率 2.3%）（昭和52年10月調査）

それぞれの供試木は、地上高 0.2 m のところで伐採した。樹幹解析、平均年輪幅、生材含水率、繊維長および容積密度数などの測定用円板（厚さ約 2.5 cm）を伐倒高およびそこから 2 m 毎に 2 枚を得た（これらの測定結果は別途報告の予定である）。

上述の 2.5 cm 厚の 2 枚の円板の間の残りの約 1.95 m の各地上高位置にある幹材は、機械的性質を求めため、樹心を通る厚さ 3 cm の正まさ目板を採取した。この正まさ目板は生材の機械的性質供試用と気乾材のそれとを樹軸方向に沿って交互に JIS 規格試験項目毎に採取した。生材の機械的性質の実験は、木取りを含めて 1 週間以内に実施した。他の気乾材の機械的性質を求めため供試材は、約 3 ヶ月間屋外の雨にあたらぬ場所で天然乾燥したあと、再び実験室内の通風のよい場所に約 3 ヶ月放置、その後、JIS 規格に基づいた試験項目別の形状・寸法に仕上げた。この完成されたそれぞれの試験片は、更に約 3 ヶ月実験室内の風通しのよい場所に積積したあと実験に供した。なお、JIS 規格に基づく機械的性質を求めため試験片は、各地上高の横断面で樹心（髓）より両樹皮側へ向って半径方向に連続して採取することにした。本報での機械的性質は供試木 3 本のあらかじめ設定したそれぞれの地上高について得たすべての値を図上にプロットし、それぞれの平均値を求めた。

機械的性質を求めため強度試験には、島津製作所、テンシロン UTM-5000D を使用した。強度試験における荷重量検出にはロードセル 5000 kg および 500 kg を使用した。実験した試験項目は次のとおりである。

1. 曲げ試験 (曲げ強さ, 曲げ弾性係数)
2. 圧縮試験 (縦圧縮強さ)
3. 衝撃曲げ試験 (衝撃曲げ吸収エネルギー)
4. せん断試験 (まさ目面および板目のせん断強さ)
5. 割裂試験 (まさ目面および板目面の割裂試験)

実験結果と考察

1. 供試木樹幹の概要

供試木●ヤクスギの樹幹の概要は, Table 1 に示す。胸高直径 39.0~48.0 cm, 樹高は 22.4~26.7 m の比較的通直な材である。これは造林地が谷すじであるため, 上長生長が大きいことによるものと考えられる。一方, 地上高 20 cm の切株での樹齢は, 供試木 No. 1, 3 が 52 年, No. 2 が 53 年であった。いずれの供試木でも, 心材部の平均年輪幅は 0.48~0.62 cm, 辺材部でのそれは 0.21~0.24 cm, 全平均年輪幅は 0.39~0.44 cm であった。同一地域, 同一標高でないので, 直接の比較対象とは出来ないが, 天然ヤクスギに得たそれぞれの値と比較すれば, 心材部の平均年輪幅は天然ヤクスギの約 4 倍, 辺材部のそれは, 天然ヤクスギの値とほとんど近似の値を示している。樹高および胸高直径の成長は, いずれの供試木でも樹齢 25 年付近まで旺盛であるが, 以後では樹齢とともにやや緩慢となっている⁶⁾。なお, 生長経過, 繊維長などの調査結果は別途とりまとめ報告の予定である。

Table 1. Characteristics of sample trees (*Cryptomeria japonica*)

Species	Tree No.	Age (years)	Hight (m)	D.B.H. (cm)	H/D×100	Clear length (m) *	Annual ring at D.B.H. (cm)		
							Heartwood	Sapwood	Average
YAKUSUGI	I	52	26.7	39.0	68.5	24.0	0.477	0.238	0.385
	II	53	22.4	48.0	46.7	20.0	0.604	0.207	0.421
	III	52	24.7	45.0	54.9	22.0	0.616	0.222	0.440

* In this case, it means the height to 5 cm diameter of main stem.

2. 曲げ試験

Table 2 より曲げ強さの全供試材の平均値は 607.65 kg/cm^2 を, 曲げヤング係数のそれは $59.57 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ を示した。これらの値は既往の値の範囲 ($500 \sim 650 \text{ kg/cm}^2$) に十分はいる, 特に強度が低いとは言えない。しかし, 供試体 No. 1, No. 2, および No. 3 の曲げ強さの最低値は, それぞれ 147.04 kg/cm^2 , 56.94 kg/cm^2 および 307.21 kg/cm^2 を示した。これは供試片作製の際, 目切れなどに注意しているにもかかわらず, 目切れ, 節の存在, また髓近くの年輪幅が広いことなどに原因していると思われる。一方, 曲げヤング係数を見ると, 全供試体の平均値は $59.6 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ を示し, 既往の平均値 $75 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ よりやや低い値を示した。これは 3 供試木 No. 1, No. 2 および No. 3 の曲げヤング係数の最小値が, それぞれ 40×10^3 , 13×10^3 および $27 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ の値をとり,

特に供試木 No. 2 の値が異常に低かったことに原因している。これは供試木 No. 2 の地上高が低い位置での年輪幅が他の 2 供試体より広いこと、節が多く存在したことなどのため、数字的に小さくなったものと考えられる。

Fig. 1 は 3 供試木の全試験片に得た曲げ強さと比重の関係をプロットした。供試個体数は 354 個、平均含水率は 13.3%，平均年輪幅は 0.73 cm である。比重は 0.31~0.54 と幅が広く、平均値は 0.43 であった。低い比重値は地際より地上高 2 m 付近までの部分にあり、この位置の心材部分での年輪幅

Table 2. Summary of the results of investigation of mechanical properties for plantation-grown Yakusugi-wood at Takakuma field in Kagoshima University Forest.

Items	Average	Max.	Min.	S.D.	C.V.(%)	
Average ring width Rw (cm)	0.435	1.429	0.164	0.473	80.33	
Specific gravity (g/cm ³)	0.435	0.681	0.238	0.552	12.36	
Moisture content u (%)	13.726	17.847	9.298	0.804	6.52	
Bending strength (kg/cm ²)	607.650	947.440	56.940	121.070	20.14	
Modulus of elasticity in bending ($\times 10^3$ kg/cm ²)	59.570	103.420	13.110	13.608	23.62	
Absorbed energy in impact bending (kg · m/cm ²)	0.729	1.318	0.117	0.167	25.04	
Compressive strength (kg/cm ²)	369.310	571.880	203.290	52.490	14.64	
Shearing strength (kg/cm ²)	Tangential face	84.139	208.000	23.730	24.460	29.09
	Radial face	71.200	299.540	25.060	28.220	39.38
Cleavage resistance (kg/cm)	Tangential face	20.549	44.000	8.040	4.854	24.40
	Radial face	16.143	79.060	3.910	4.803	33.60

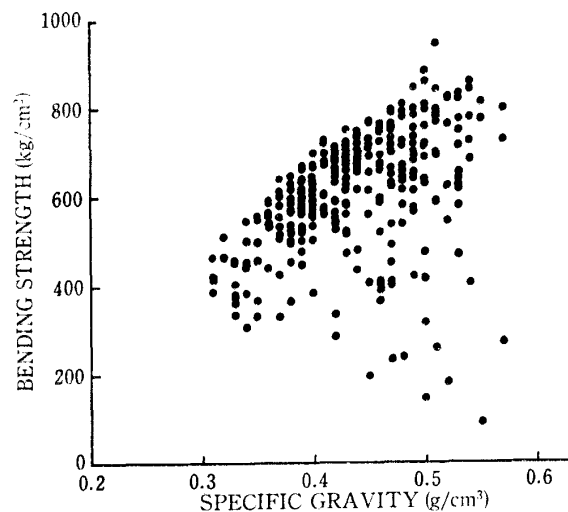


Fig. 1. Relations between bending strength and specific gravity in Yakusugi.

は曲げ試験片の幅 (2 cm) 内に1年輪すら存在していない個体もあった。一方、比重が高い試験片は試験片内に生節が存在したことによる。しかし、比重が高いにもかかわらず、非常に低い曲げ強さを示しているのは、試験片の-span内の引張り側に節が存在したためである。Fig. 2 は曲げ弾性係数と比重の関係を示した。図から明らかなように、比重の増加と共に曲げ弾性係数は増大することがわかる。しかし、比重0.45付近で、低い曲げヤング係数を示したのは、引張り側の節の存在のためである。本実験では樹幹内全域にわたる未成熟材や節などの欠点を含んだまま実験に供したが、曲げ強さおよび曲げヤング係数の平均値は、既往値⁷⁾とほとんどそんじょくないものとする。

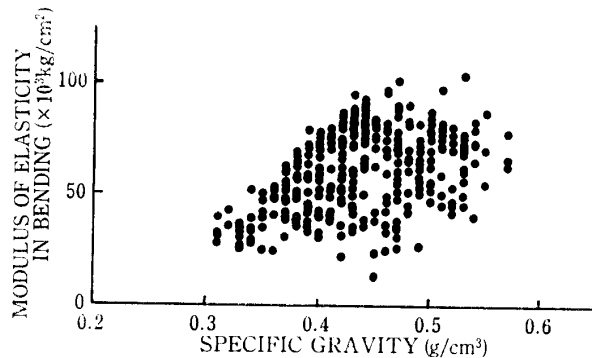


Fig. 2. Relations between modulus of elasticity in bending and specific gravity in Yakusugi.

3. 圧縮試験

Table 2 より縦圧縮強さの全試験片の平均値は 369.31 kg/cm^2 を示している。この値を既往値 (350 kg/cm^2) と比較すると、わずかであるが高い値を示している。一方、縦圧縮強さの最低値 (平均値) は 203.29 kg/cm^2 で既往値 (250 kg/cm^2)⁷⁾ よりはるかに低い。これは供試木 No. 1: 268.29 kg/cm^2 , No. 2: 223.68 kg/cm^2 , No. 3: 203.29 kg/cm^2 を示し、No. 3の最低値が予想よりはるかに低い値であることによる。

Fig. 3 は3供試木の全試験片に得た縦圧縮強さと比重との関係を示した。実験に供した試験片数は678個、平均含水率は12.92%、平均年輪幅は0.69 cm、平均比重は0.43である。Fig. 3の図中、

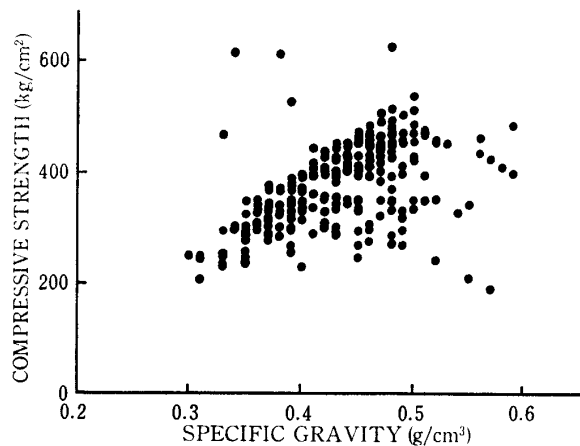


Fig. 3. Relations between compressive strength parallel to grain and specific gravity in Yakusugi.

比重が低いにもかかわらず、高い圧縮強さを示す試験片、逆に高い比重を示すにもかかわらず、低い縦圧縮強さを示す試験片が存在する。相関係数 $r=0.18$ と低い値を示したのは、このバラツキに原因しているのであろう。上述のような挙動を示す試験片は、心材部もしくは樹皮に近い部分から得たそれである。すなわち、心材から得た試料は年輪幅が広いこと、また地上高 0.2~1.8 m の間の樹皮に近い部分から得た試験片は斜走木理、節の存在などにある。しかし、これらの一部のバラツキを除けば、従来から言われているように、縦圧縮強さは比重が高くなるにしたがって高い値を示している。

4. 衝撃曲げ試験

Table 2 より衝撃曲げ吸収エネルギーの平均値は 0.729 を示した。この値は既往値⁷⁾ (0.35) の約 2 倍という大きい値を示したが、最低値は 0.12 と既往値 (0.20) の約 60% の値であった。これは供試木 No. 1, 2 の試験片内で極端に低い最低値 (それぞれ, 0.117, 0.119) が存在したことに原因している。Fig. 4 は衝撃曲げ吸収エネルギーと比重の関係を示した。供試試験片は 353 個、平均年輪幅 0.53 cm, 平均比重は 0.44, 平均含水率 12.41 % である。各供試木毎のプロットの分布を見ると、供試木 No. 1 はほぼ集団状, No. 2 は横軸 (比重) にほぼ平行をとる帯状, No. 3 は比重が高くなるにしたがって、曲げ吸収エネルギーはやや高い値を示している。これらの全供試木の衝撃曲げ吸収エネルギーと比重との相関係数は $r=0.13$ と低く、従来から言われている明確な放物線的傾向は示さなかった。

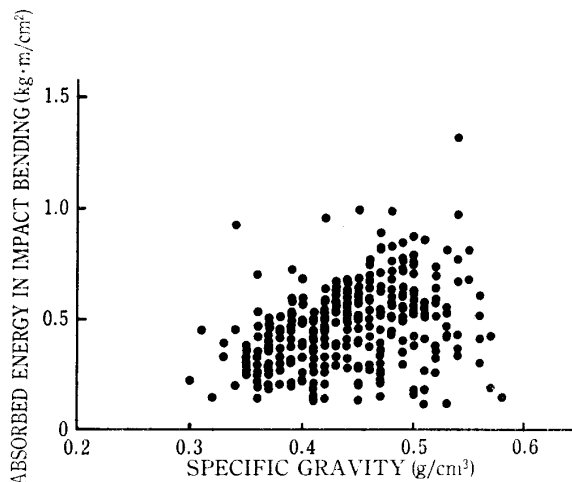


Fig. 4. Relations between absorbed energy in impact bending and specific gravity in Yakusugi.

5. せん断試験

Table 1 のせん断強さのまさ目面および板目面の平均値を見ると、まさ目面では 71.2 kg/cm^2 , 板目面では 84.1 kg/cm^2 を得た。これらの値は既往値 (60 kg/cm^2) と比較すると、まさ目面は約 1.2 倍、板目面は約 1.4 倍を示した。しかし、両面のせん断強さの最低値は既往値のそれ (40 kg/cm^2) よりも低い値を示した。すなわち、まさ目面では供試木 No. 1 : 34.36 kg/cm^2 , No. 2 : 32.06 kg/cm^2 , No. 3 : 24.70 kg/cm^2 を示した。一方、板目面では供試木 No. 1 : 23.73 kg/cm^2 , No. 2 : 37.03 kg/cm^2 , No. 3 : 40.72 kg/cm^2 を示し、No. 3 がかろうじて既往値と同程度である。

Fig. 5 はまさ目面, Fig. 6 は板目面のせん断強さと比重の関係を示した。まさ目面のせん断強さの実験に供した試験片数は535個, 平均比重は0.43, 平均年輪幅は0.77 cm, 平均含水率は12.50%を示した。一方, Fig. 6 に示した板目面のせん断強さを求めた試験片数は512個, 平均比重は0.43, 平均年輪幅は0.69 cm, 平均含水率は12.50%を示した。Fig. 5 および Fig. 6 によれば, 両面のせん断強さと比重の関係を見ると, 比重が増大すればせん断強さも増加することがわかる。それぞれの断面のバラツキを見ると, バラツキは板目面がまさ目面よりはるかに大きい。一方, 板目断面のせん断強さとまさ目断面のそれを比較すると, Table 2 より板目面のせん断強さはまさ目面のそれよりやや大きいことがわかる。また, それぞれの面のせん断強さと縦圧縮強さを比較して見ると, まさ目面のせん断強さは縦圧縮強さの約19%, 板目面では約23%を示し, 既往のデータ⁸⁾の範囲(20~25%)に十分対応していると考えられる。

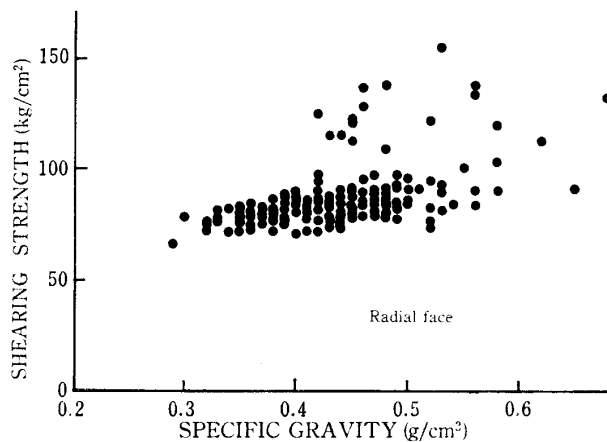


Fig. 5. Relations between shearing strength and specific gravity in Yakusugi.

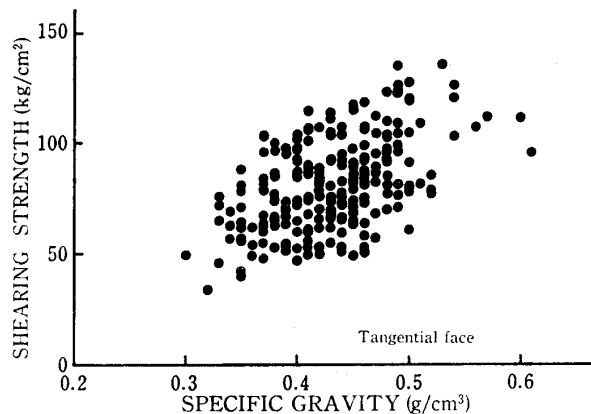


Fig. 6. Relations between shearing strength and specific gravity in Yakusugi.

6. 割 裂 強 さ

割裂抵抗は割裂性だけでなく, 被加工性の一つの尺度となるが, 割裂面の応力の測定が困難であるので, 数的データは非常に少ない。Table 2 によれば, 割裂抵抗(まさ目面および板目面)の全平均値は, それぞれ 16.14 kg/cm, 20.55 kg/cm を示した。それぞれの供試木のまさ目面の割裂抵抗の

平均値は、供試木 No. 1 : 17.00 kg/cm, No. 2 : 16.52 kg/cm, No. 3 : 15.82 kg/cm を示した。一方、板目面では供試木 No. 1 は 21.55 kg/cm, No. 2 は 20.49 kg/cm, No. 3 は 19.11 kg/cm を示した。これらの値を比較すると、両面ともに供試木 No. 3 の割裂抵抗が最も小さい。これらのことから、割裂抵抗は板目面がまさ目面よりやや大きいと言える。

Fig. 7 にまさ目面の割裂抵抗と比重の関係を、Fig. 8 には板目面の割裂抵抗と比重の関係を示した。Fig. 7 のまさ目面の割裂試験に使用した試験片数は 217個、平均比重は 0.43、平均年輪幅は 0.81 cm、平均含水率 12.20% である。一方、Fig. 8 の板目面の割裂試験に使用した試験片数は 199個、平均比重は 0.43、平均年輪幅は 0.73cm、平均含水率は 12.5% である。

Fig. 7 および Fig. 8 の割裂抵抗と比重との関係を見ると、両者共に非常にバラツキが大きく、特定の傾向を見い出せない。これは試験体の形状により応力の集中度の程度が異なるので、測定値にも違いが生じる⁹⁾。本実験では、JIS 規格に準じた試験体形状を使用したのも、同一形状の試験体でも切り欠み段階における試験片に生ずるアーティファクトの影響も非常に大きいと考えられる。

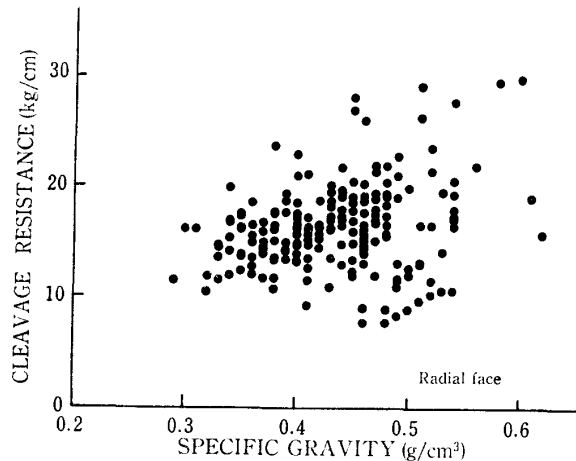


Fig. 7. Relations between cleavage strength and specific gravity in Yakusugi.

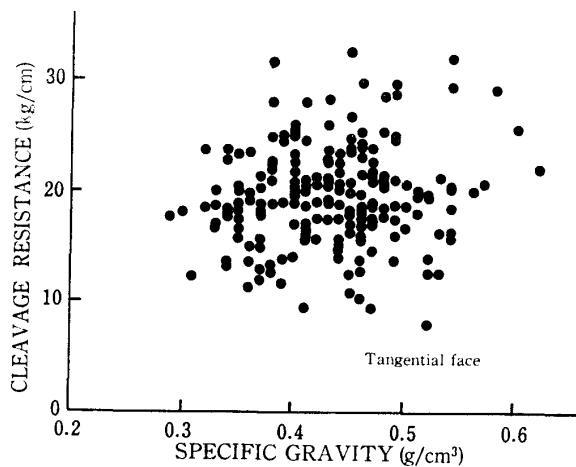


Fig. 8. Relations between cleavage strength and specific gravity in Yakusugi.

要 約

鹿兒島大学農学部高隈演習林(鹿兒島県垂水市海瀨)に植林された樹齡52~53年生のヤクスギ(胸高直径 39.0~48.0 cm) 3本の供試木を伐採し, 円板を採取後, 円板間の幹材について, JIS 規格に準ずる強度試験を行った。これらの結果はつぎのように要約される。

1) 供試木 3本の比重は 0.68~0.24 の範囲(平均値 0.44)にあり, 平均年輪幅は 1.43~0.16 cm(平均値 0.44 cm), 平均気乾含水率は 17.85~9.3%(平均値 13.73%)であった。

2) 心材部の平均年輪幅は天然ヤクスギのその約 4 倍を示したが, 辺材部のそれはほとんど近似の値を示した。

3) それぞれの機械的性質を既往値と比較すれば, 曲げ強さ, 曲げヤング係数がやや低い値を示したが, 他の縦圧縮強さ, 衝撃曲げ吸収エネルギー, せん断強さ(まさ目面および板目面)ともに高い値を示した。

4) 本実験では樹幹内全域における未成熟材や節, 斜走木理など欠点を含んだまま実験に供したが, 得られたそれぞれの機械的性質の平均値と既往値を比較した時, 曲げ試験以外の性質は既往値と比べて劣るところはない。しかし, 曲げ試験で低い値となった。これは, 曲げ試験における試験片のスパン内に存在している種々の欠点が, 直接データに影響したものである。

以上のことから, 高隈演習林に植林されたヤクスギ造林木の材質が, 他の地域に植林されているスギ(品種はともかくとして)に比較して, 材質的に劣ることはない, といえる。

謝 辞

この研究の計画にあたって, 鹿兒島大学農学部附属演習林, 黒木晴輝助教授, 高隈演習林主任馬田英隆助手に謝意を表す。また, 鹿兒島大学農学部高隈演習林, 前田利盛, 日高安美, 港虎熊, 岡山光秀ならびに田中勇の各技官には, 昭和56年11月4, 5日にわたる現地調査, 雨の中での供試木の採取, 搬出, 運搬など多岐にわたって, また実働を願った従業員の各位に御援助, 御協力いただいた。ここに記して感謝の意を表する次第である。なお, 本報告の一部は著者の一人(池田)の卒業論文~~の一部~~を利用したことを付記する。

引 用 文 献

- 1) 佐藤弥太郎: 監修“スギの研究”. 養賢堂, 東京 (1950).
- 2) 林 弥栄: スギの天然分布と環境. 植物と自然, 14 (No. 14), 4-8 (1980).
- 3) 四手井綱英: 日本各地のスギ林とスギの特性. 植物と自然, 14 (No. 14), 9-15 (1980).
- 4) 上村 武: 建築材としてのスギ. 植物と自然, 14 (No. 14), 26-29 (1980).
- 5) 九州大学農学部附属演習林: 六演習林共同試験資料(資料 I, 六演習林共同スギ品種地域特性(適応性)試験(1977)).
- 6) 藤田晋輔, 吉田茂二郎, 辻本克己: やくすぎの組織と材質(I). 第32回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 22 (1982).
- 7) 林業試験場編: “木材工業ハンドブック”. 丸善, p. 188-189 (1982).
- 8) 梶田 茂編: “木材工学”, 養賢堂, p. 203 (1961).
- 9) 大河平行雄: 木材割裂試験体の形状係数に関する研究 (第 I 報) JIS 割裂試験体の形状係数, 三重大学農学部学術報告, No. 36, 23-62 (1967).

Summary

In this paper, some fundamental properties of plantation-grown "Yakusugi-wood" (*Cryptomeria japonica*) were investigated. Three presentative "Yakasugi" trees having 39.0 to 48.0 cm diameter breast height (52~53 years old) were selected as materials for analyzing the stem and for investigating some physical and mechanical properties.

The measurements of mechanical properties were performed based on Japanese Industrial Standard (JIS). Specimens were obtained continuously along the direction of stem diameter from sapwood to another one through pith.

The following mechanical properties were handled.

- 1) Bending test (for bending strength and modulus of elasticity).
- 2) Compressive test (for compressive strength parallel to grain).
- 3) Impact bending test (for absorbed energy of impact bending).
- 4) Shearing test (for shearing strength of radial and tangential plane).
- 5) Cleavage test (for cleavage resistance of radial and tangential plane).

Table 1 shows the characteristics of sample trees handled for this investigation. The experimental results are summerized in Table 2 and Figs. 1~8.

The main results obtained are as follows.

- 1) The specific gravity and average ring width ranged from 0.68 to 0.24 (Ave. 0.44), from 1.43 cm to 0.16 cm (Ave. 0.44 cm), respectively.
- 2) Summary of the mechanical properties is shown in Table 2. They showed high value, especially absorbed energy in impact bending, compressive strength, shearing strength for tangential and radial plane parallel to grain comparing with the each of average value reported⁷⁾.
- 3) The value of shearing strength for radial and tangential parallel to grain increased with increasing the specific gravity, $r=0.64$, 0.47 , respectively.
- 4) The mechanical properties of plantation-grown Yakusugi-wood at Takakuma field in Kagoshima Universite Forest was almost the same as that of Sugi-wood in another districts in Japan⁷⁾ having the same specific gravity.