

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4報)^{*1}

ヨシノスギ材の機械的性質と比重の関係^{*2}

藤田 晋 輔
(森林利用学研究室)

Quality and Utilization of Sugi-Wood grown in Takakuma University Forest (IV)^{*1}

The relations between Specific Gravity and Mechanical Properties of
Yoshino - Sugi-Wood^{*2}

Shinsuke FUJITA
(Laboratory of Wood Utilization)

結 言

これまで鹿児島大学農学部高隈演習林に植林されているヤクスギ(樹齢52年)¹⁾、メアサスギ(樹齢27年)²⁾およびクモトオシスギ(樹齢29年)³⁾を供試材として取り上げ、それぞれの機械的性質と比重の関係について報告してきた。これらに引き続き、本報告ではヨシノスギの成長経過とこれの気乾比重と JIS 規格に基づいた機械的性質の関係について検討した。ヨシノスギとは奈良県吉野川流域の小丸太、柱、樽丸などの吉野林業を構成するスギで、これを大別すると、低山と高山系に分けられている⁴⁾⁵⁾。この中の低山系とされる一般にいうヨシノスギにはヤワスギ、イタスギなどがある。材は鮮紅色で木理が正しい。ヨシノスギは全国各地に造林されているが、吉野地方の優良母樹以外の種もあり、高、低山の系統別の植分けも行なわれていないため、不良造林地が発生している。愛媛の久万林業、天竜、西川、那須および木頭林業などはヨシノスギを用いて成功した例として挙げられる。

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7林班(ふ小班)に植林(昭和30年植栽)されたヨシノスギである。この林分内において、標準的樹形を持つ供試木3本を伐採した。(供試木伐採日:昭和57年11月9日,小雨)

この林分の地位および林況は次の通りである(昭和57年10月調査)。

- 地位 ○地位 : 2(1)
 ○方位傾斜 : SE(緩)
 ○基岩 : 粘板岩, 砂壤土
 ○土性結合度: 適, 深, 軟
- 林況 ○haあたりの蓄積量 275m³
 ○連年成長量 17.5m³ (成長率 6.8%)

^{*1} (第3報) 鹿児島大学農学部演習林報告第16号, 1-12 (1988)

^{*2} 本報告は第36回日本木材学会大会(静岡:1986)で発表した。

それぞれの供試木は地上高0.2mの位置で伐採した。採材および実験に供するまでの手順は既報¹⁾と同様である。

2. 実験方法

ヨシノスギの機械的性質を求める試験は、JIS規格に準拠した。強度試験機は島津製作所製DSS-5000Dを、荷重の検出は5000kgおよび500kgのロードセルを使用した。衝撃曲げ試験はシャルピー型衝撃曲げ試験機を使用した。この報告で実施した試験項目と取りまとめた機械的性質を括弧内に示した。

1. 曲げ試験：JIS Z2113-1977 (曲げ破壊係数, 曲げ弾性係数)
2. 衝撃試験：JIS Z2116-1977 (衝撃曲げ吸収エネルギー)
3. 圧縮試験：JIS Z2111-1977 (縦圧縮強さ)
4. せん断試験：JIS Z2114-1977 (柁目面および板目面のせん断強さ)
5. 割裂試験：JIS Z2115-1977 (柁目面および板目面の割裂抵抗)

実験結果と考察

1. 供試木の概要

供試木ヨシノスギの樹幹の概要はTable 1に示す。供試木の樹齢は28年で、胸高直径24.1~27.1cm, 樹高11.5~16.2m, 完満度 ($H/D \times 100\%$) は51.3~60.0をとり、中庸の樹体を示している。

Table 1. Characteristics of sugi-sample tree handled, called "Yoshino-Sugi (*Cryptomeria japonica*)

Number of Specimen	Age (years)	Height (m)	D. B. H. (cm)	H/D (%)	Clear Length (m)	Heart Wood (cm)	Sap Wood (cm)	Ave. (cm)
No. 1	28	11.5	22.4	51.0	13	0.77	0.35	0.56
No. 2	28	16.2	27.1	60.0	12	0.58	0.26	0.42
No. 3	28	14.5	24.1	60.0	13	0.74	0.35	0.55

樹齢は地上高20cmの切り株上で28年輪を数え、胸高位置における心材の平均年輪幅の平均値は0.70cm, 辺材のそれは0.32cm, 辺心材を含めた全平均年輪幅の平均値0.51cmを示した。辺材における平均年輪幅はヤクスギ (0.22cm) より大きく、メアサスギ (0.41cm), クモトオシスギ (0.36cm) より小さい。これらの年輪幅を比較すると、ヨシノスギは他の3品種に比較して、比較的成長の速い品種であると考えられる。しかしながら、気乾比重について見ると、ヨシノスギの全平均値0.38 (最大値0.57, 最小値0.22) で、これらを標準値⁶⁾ (0.32~0.39~0.56) と比較すれば、ほぼ並みのスギであると考えられる。これをこれまで取り扱ったスギ材の気乾比重の平均値, ヤクスギ0.44, メアサスギ0.38, クモトオシスギ0.38と比較すればヤクスギより低い気乾比重を示すが、メアサスギ, クモトオシスギとはほぼ同程度の値を示す。

2. 機械的性質と気乾比重の関係

Table 2には本実験に供した3本の全試験片の平均年輪幅, 気乾比重, 含水率およびそれぞれの機械的性質の平均値, 最大値, 最小値, 標準偏差および変動係数を示す。Fig. 1~6は供試木3本について得られたそれぞれの機械的性質と気乾比重の関係をプロットした。

Table 2. Summary of investigation of mechanical properties of plantation grown Yoshino-sugi wood at Takakuma experimental field in Kagoshima Univ. Forests.

Item		Average	Max.	Min.	S. D.	C. V. (%)
Average Ring Width (cm)		0.89	3.07	0.15	0.56	63.6
Specific Gravity (g/cm ³)		0.38	0.57	0.22	0.05	12.1
Moisture Content (%)		15.5	19.1	13.6	0.83	5.4
Modulus of Rupture in Bending (kg/cm ²)		483	678	221	87.0	18.0
Modulus of Elasticity in Bending ($\times 10^3$ kg/cm ²)		43	89	21	13.3	30.9
Absorbed Energy in Impact Bending (kg · m/cm ²)		0.56	0.96	0.32	0.14	21.5
Crushing Strength (kg/cm ²)		255	363	146	32.9	12.9
Shearing Strength (kg/cm ²)	Plane-cut	91	131	37	15.8	17.4
	Quarter-cut	84	120	48	16.7	13.9
Cleavage Resistance (kg/cm)	Plane-cut	16	27	4	3.8	24.3
	Quarter-cut	14	27	8	3.4	24.3

1) 曲げ試験 (曲げ破壊係数, 曲げ弾性係数)

曲げ試験に供した試験片の個数は108個である。これらの全試験片に得られた平均年輪幅の平均値は、1.01cm, 含水率17.2%, 気乾比重は0.28~0.49の間にあり、これの平均値は0.38であった。スギの気乾比重の標準値⁶⁾(0.32~0.39~0.56)と比較すれば、ここに供したヨシノスギはごく標準的なスギであることになる。しかし、曲げ破壊係数は221~483~678kg/cm²を示し、これの平均値はスギの曲げ破壊係数の標準値⁶⁾(350~470~600kg/cm²)や同一演習林内に植林されているメアサスギ(201~489~957kg/cm²)に近似した値を示したが、最小値は標準値のそれ、最大値はそれぞれに得られている値より低い。一方、曲げ弾性係数の平均値は43 $\times 10^3$ kg/cm²を示す。これとスギ材の曲げ弾性係数の標準値⁶⁾(54 $\times 10^3$ kg/cm²)および高隈演習林に植栽されているヤクスギ, メアサスギ, クモトオシスギ等と比較すると、スギの標準値⁶⁾, ヤクスギ, メアサスギ, クモトオシスギ(それぞれ54 $\times 10^3$, 60 $\times 10^3$, 40 $\times 10^3$, 52 $\times 10^3$ kg/cm²)より低い値を示した。これはFig. 2のプロットにも明らかなように、全体的に見て、ヨシノスギは低い曲げ弾性係数を示している。これは平均年輪幅が広く、これの最大値が2.0cmを示す試験片もあり、供試した試験片中に1.0~2.0cmの平均年輪幅を持つ試験片が全体の約53%を占めていること、さらに、春材層の幅が大きいこと、1年輪内の夏材層の占める割合が非常に小さいことなどに原因していると考えられる。Fig. 1~3はそれぞれ気乾比重と曲げ破壊係数, 気乾比重と曲げ弾性係数および曲げ破壊係数と曲げ弾性係数の関係を示した。これらの図から明らかなように気乾比重と曲げ破壊係数の間には相関係数 $r=0.55$ と比較的

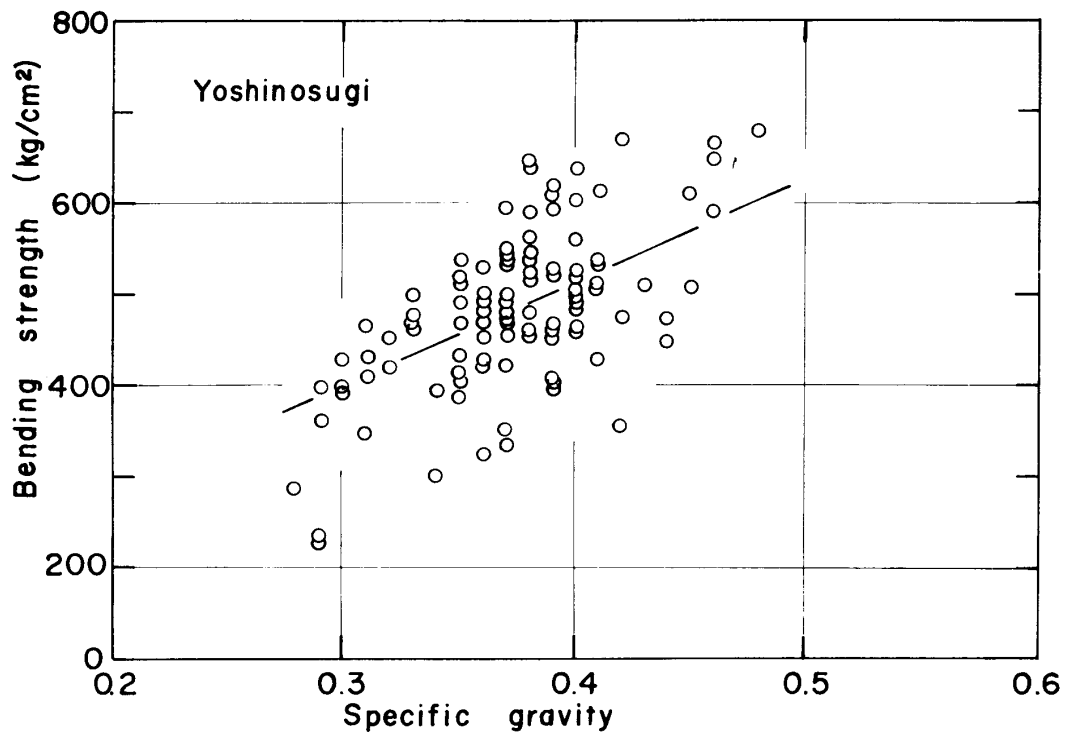


Fig. 1 Relations between specific gravity and bending strength in Yoshino-sugi-wood.

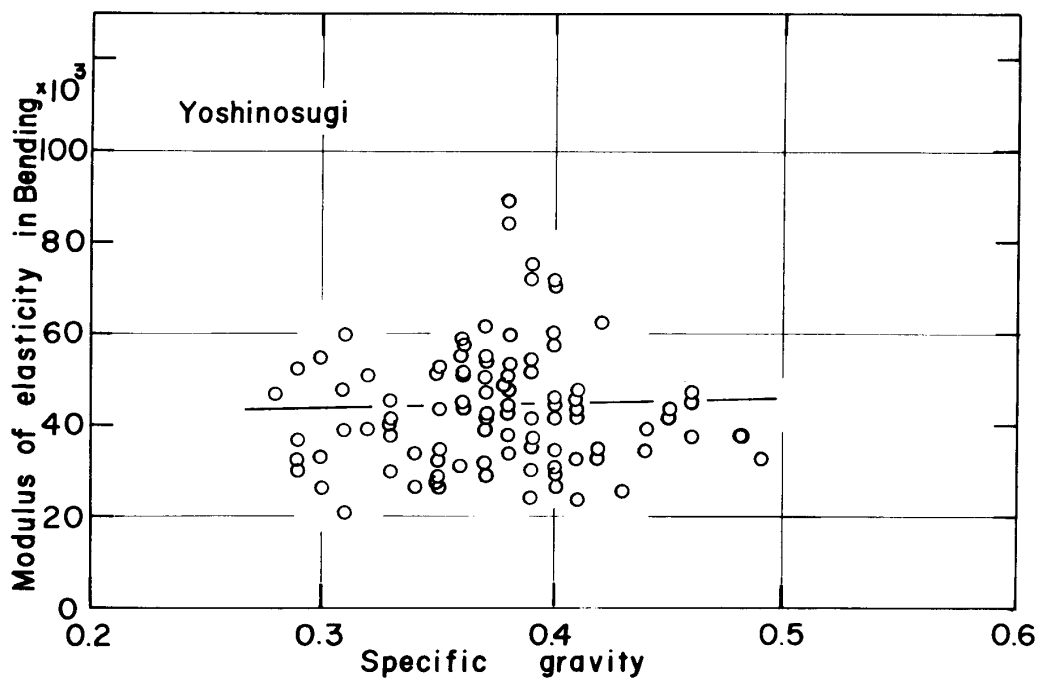


Fig. 2 Relations between specific gravity and modulus of elasticity in Yoshino-sugi-wood.

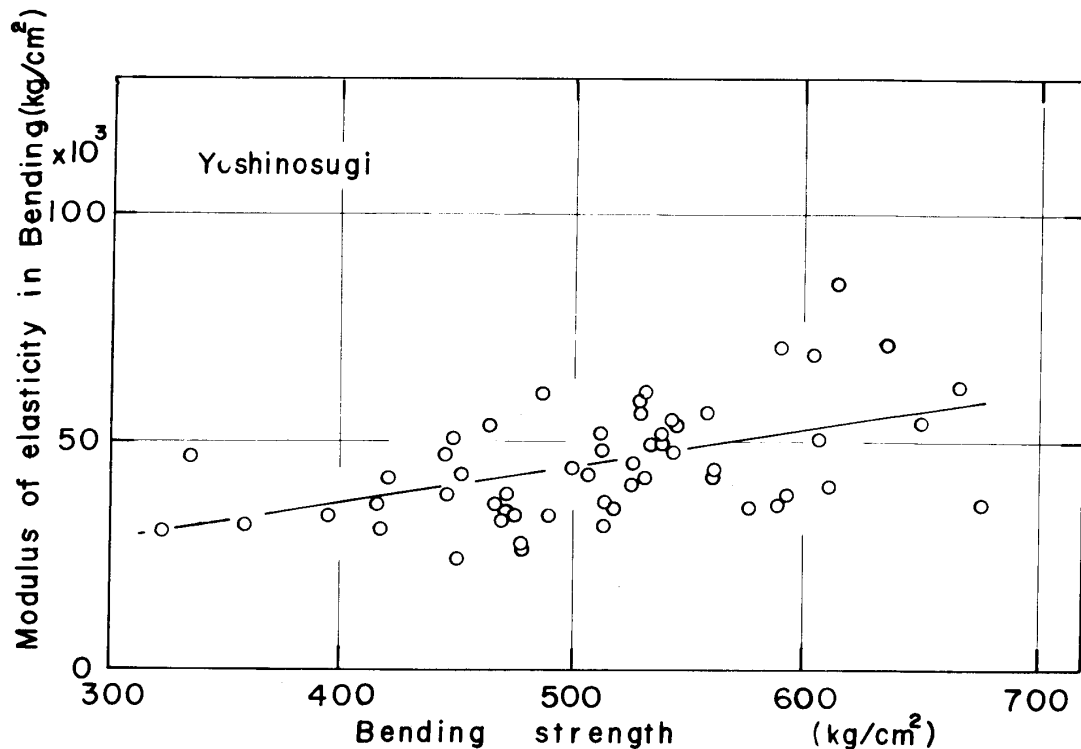


Fig. 3 Relations between bending strength and modulus of elasticity in bending in Yoshino-sugi-wood.

低い相関係数でありながら従来の結果と同様に気乾比重の増大に伴って曲げ破壊係数は増大し、直線式 $\sigma_b = 1123\rho + 62$ が成立する。一方、気乾比重と曲げ弾性係数の間には、直線式 $E_b = 7.7\rho + 40.2$ (相関係数 $r = 0.03$)、曲げ破壊係数と曲げ弾性係数との間には、直線式 $E_b = 0.08\sigma_b + 4.8$ (相関係数 $r = 0.52$) が得られた。これらはいずれもこれまでに示されているのと同じような傾向を示した。

2) 衝撃曲げ試験 (衝撃曲げ吸収エネルギー)

衝撃曲げ試験に供した試験片個数は109個、全供試片全体の平均年輪幅の平均値は1.1cm、平均含水率は17%、気乾比重の平均値は0.38 (最大値0.51, 最小値0.28) であった。

Table 2に見られるように、衝撃曲げ吸収エネルギーの平均値は $0.56 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ (最大値 $0.96 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$, 最小値 $0.32 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$) を得た。この平均値はスギの標準値 $0.35 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ より高い値を示した。Fig. 4に気乾比重と衝撃曲げ吸収エネルギーの関係を示した。図から明らかなように、本報告で取り扱ったヨシノスギは、ヤクスギの場合と同様にやや集団状を呈している。しかし、これらの間の回帰直線および相関係数を求めて見ると、直線式 $a = 0.61\rho + 0.33$ が得られ、相関係数は $r = 0.12$ と非常に弱い。全体的には気乾比重が高くなるに伴って衝撃曲げ吸収エネルギーも増大している。

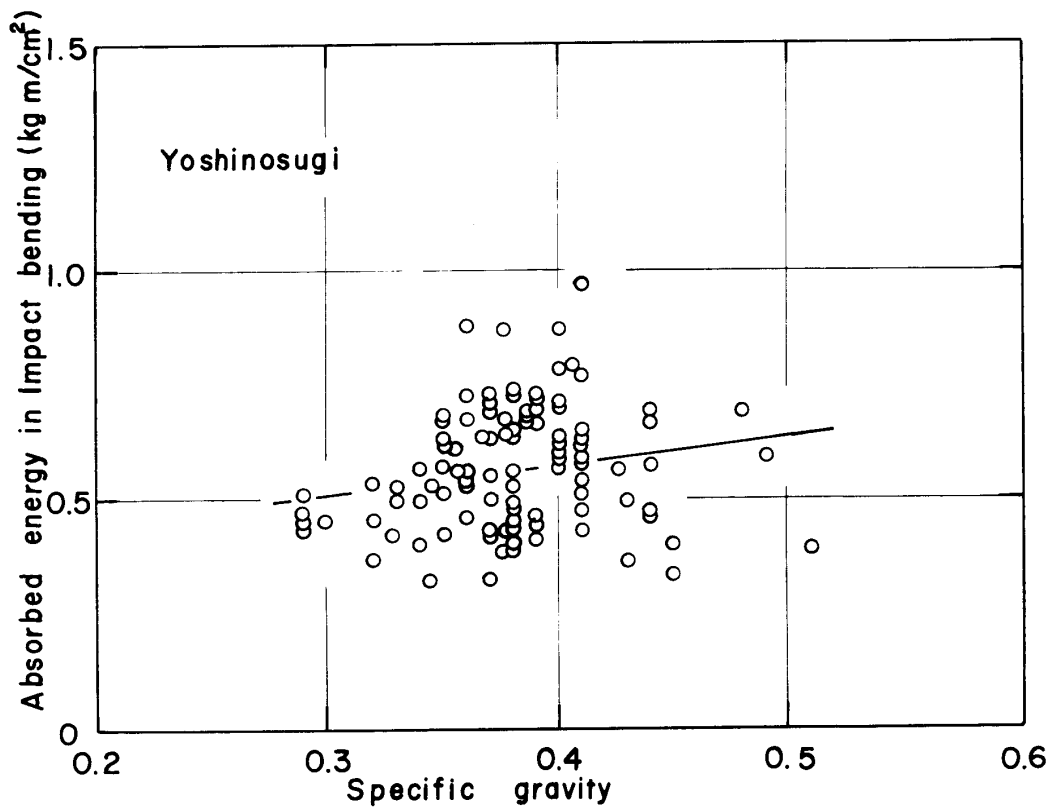


Fig. 4 Relations between specific gravity and absorbed energy in impact bending in Yoshino-sugi-wood.

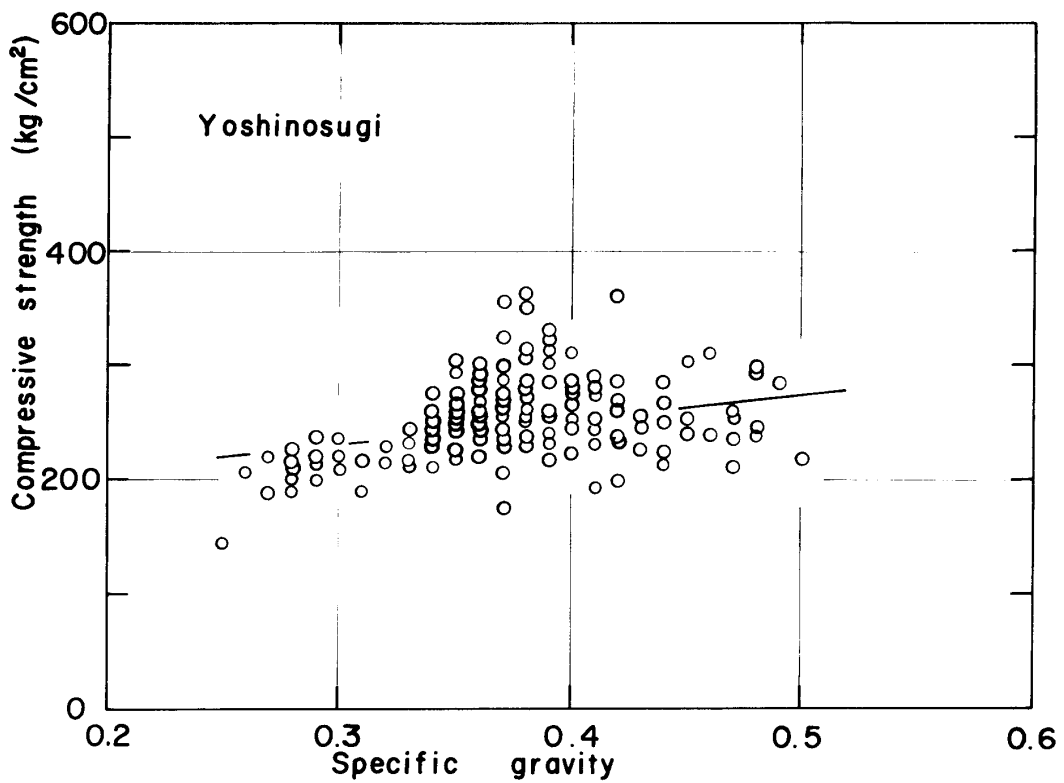


Fig. 5 Relations between specific gravity and compressive strength in Yoshino-sugi-wood.

3) 縦圧縮試験 (縦圧縮強さ)

縦圧縮試験に供した試験片の個数は143個, これの全試験片の気乾比重の平均値は0.38 (最大値0.50, 最小値0.25), 平均年輪幅は0.53cm, 含水率は14.5%を示した。Table 2に示されるように, 縦圧縮強さの平均値は249kg/cm² (最大値331kg/cm², 最小値146kg/cm²)を示し, これをスギ標準値⁶⁾ (平均値350kg/cm²)と比較すると, 標準値の71%, メアサスギの85%であった。Fig. 5は気乾比重と縦圧縮強さの関係を示した。本実験においても従来の通説のように気乾比重の増加に伴って縦圧縮強さも増大していると見てよい。このようなことから, 気乾比重と縦圧縮強さの回帰直線を求めると, $\sigma_c = 211\rho + 170$ (相関係数 $r = 0.33$)を示すことから, わずかながらも気乾比重の増大とともに縦圧縮強さも増大していることが明らかとなる。

4) セン断試験 (柁目面および板目面のせん断強さ)

柁目面および板目面のせん断試験に供した試験片の個数はそれぞれ109, 110個, 供試した全試験片の平均年輪幅の平均値は, それぞれ1.09, 1.00cm, 含水率の平均値は13, 15%, 気乾比重の平均値はそれぞれ0.37, 0.38であった。柁目面および板目面のせん断強さの平均値はそれぞれ91, 84 kg/cm²を示す (Table 2)。これらの値をスギの標準値 (60kg/cm²)⁶⁾と比較すれば, いずれの断面も高い値を示し, ヤクスギ造林木と比較すると, 柁目面は高いが, 板目面はほとんど同じ値を, メアサスギに得た値 (それぞれ66, 70kg/cm²)より高い値を示した。

Fig. 6-a, bは柁目面および板目面のせん断強さと気乾比重の関係を示した。ヨシノスギの場合もこれまでの多くの報告に見られるように, 気乾比重の増大とともにせん断強さも増大している。

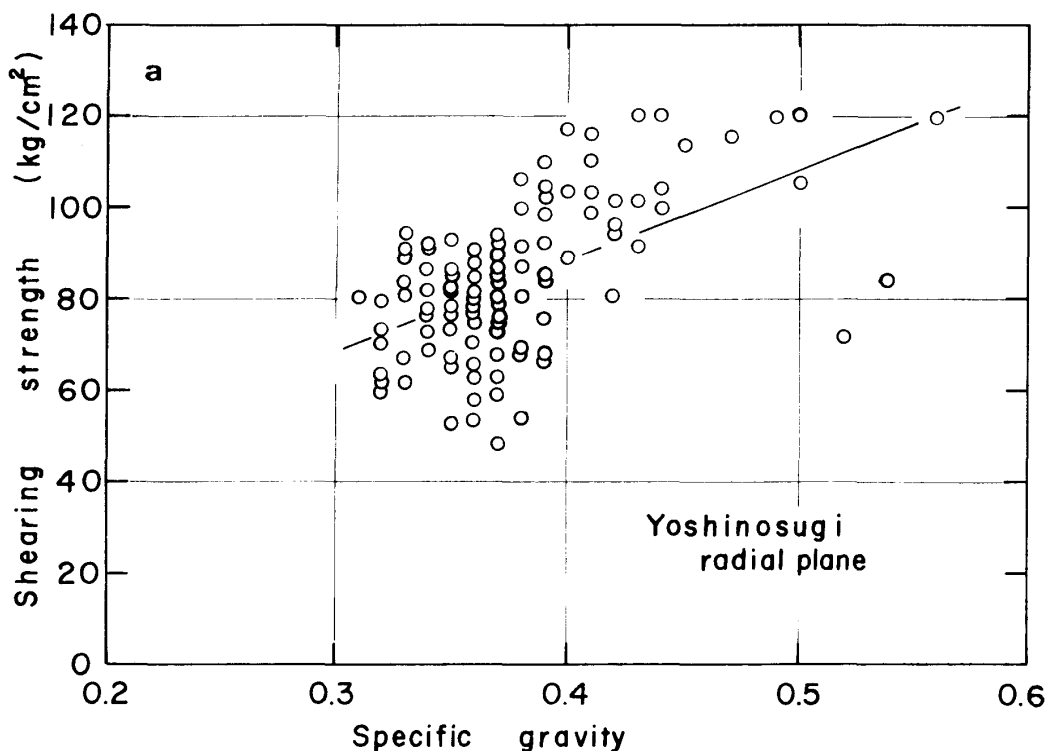


Fig. 6-a Relations between specific gravity and shearing strength in radial plane in Yoshino-sugi-wood.

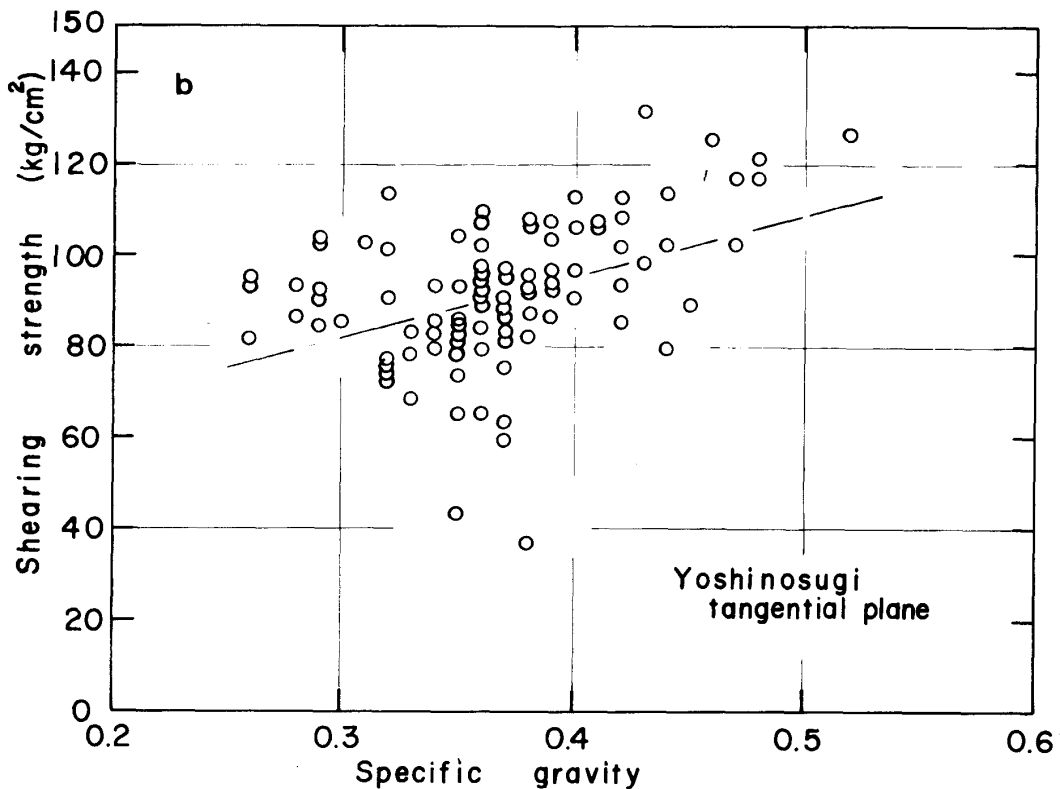


Fig. 6-b Relations between specific gravity and shearing strength in tangential plane in Yoshino-sugi-wood.

回帰直線を求めると、それぞれ正の相関係数、柎目面 $r=0.41$ 、板目面 $r=0.55$ を示し、直線式 $\tau_r = 135\rho + 41$ 、 $\tau_t = 199\rho + 9$ を得た。

5) 割裂試験 (割裂抵抗)

柎目面および板目面の割裂試験に供した試験片の個数はそれぞれ132個である。これらの供試片の平均年輪幅はそれぞれ1.0cm、含水率は15、16%、気乾比重の平均値はそれぞれ0.38を示した。柎目面および板目面における割裂抵抗は、Table 2に見られるようにそれぞれ14、16kg/cmであった。これらの値とこれまでに得たヤクスギ、メアサスギ、クモトオシスギに得られた値を比較すると、柎目面においては、ヤクスギ、メアサスギ (それぞれ16、15kg/cm) より低い値を、板目面においては、ヤクスギ (20kg/cm)、メアサスギ (18kg/cm) とほぼ同じ程度の値を示した。Fig. 7-a, bに柎目面および板目面の割裂抵抗と気乾比重の関係を示した。次にこれまでと同様にそれぞれの断面について、割裂抵抗と気乾比重との回帰直線を求めると、それぞれ相関係数 $r=0.44$ 、回帰直線 $C1_r = 34.6\rho + 1.0$ 、 $C1_t = 39.2\rho + 1.8$ を示した。これまでの多くのデータと同様に板目面の割裂抵抗が柎目面のそれよりやや高い位置に分布することが良くわかる。

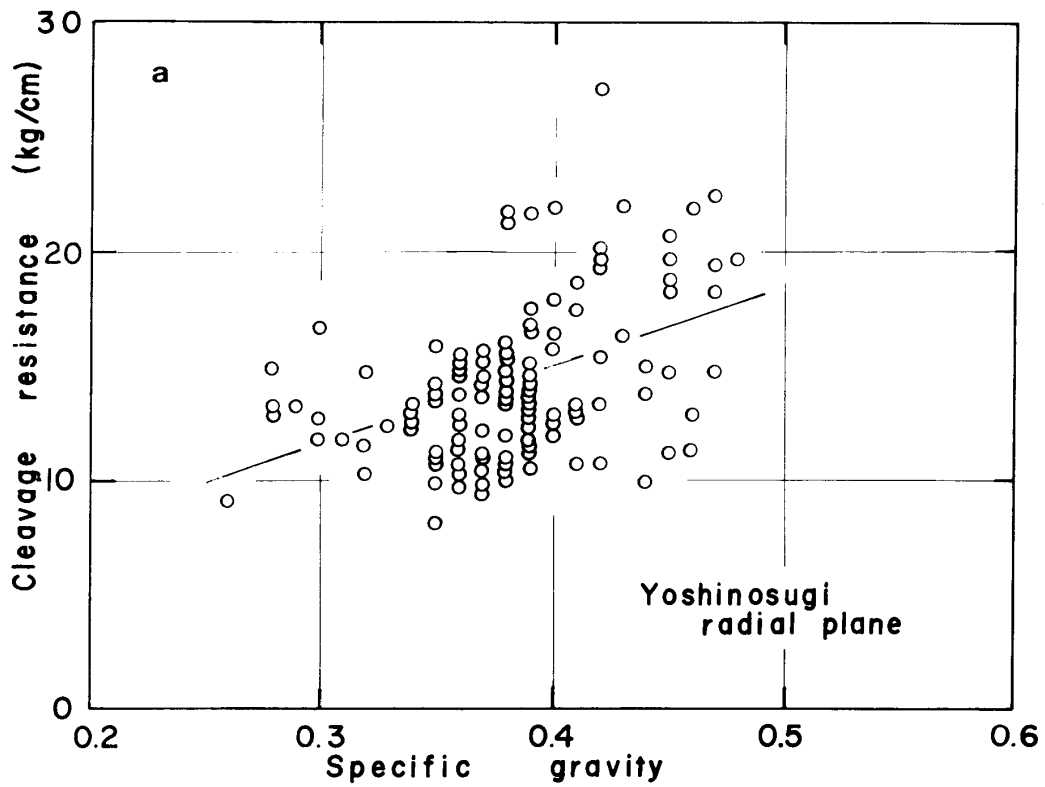


Fig. 7-a Relations between specific gravity and cleavage resistance in radial plane in Yoshino-sugi-wood.

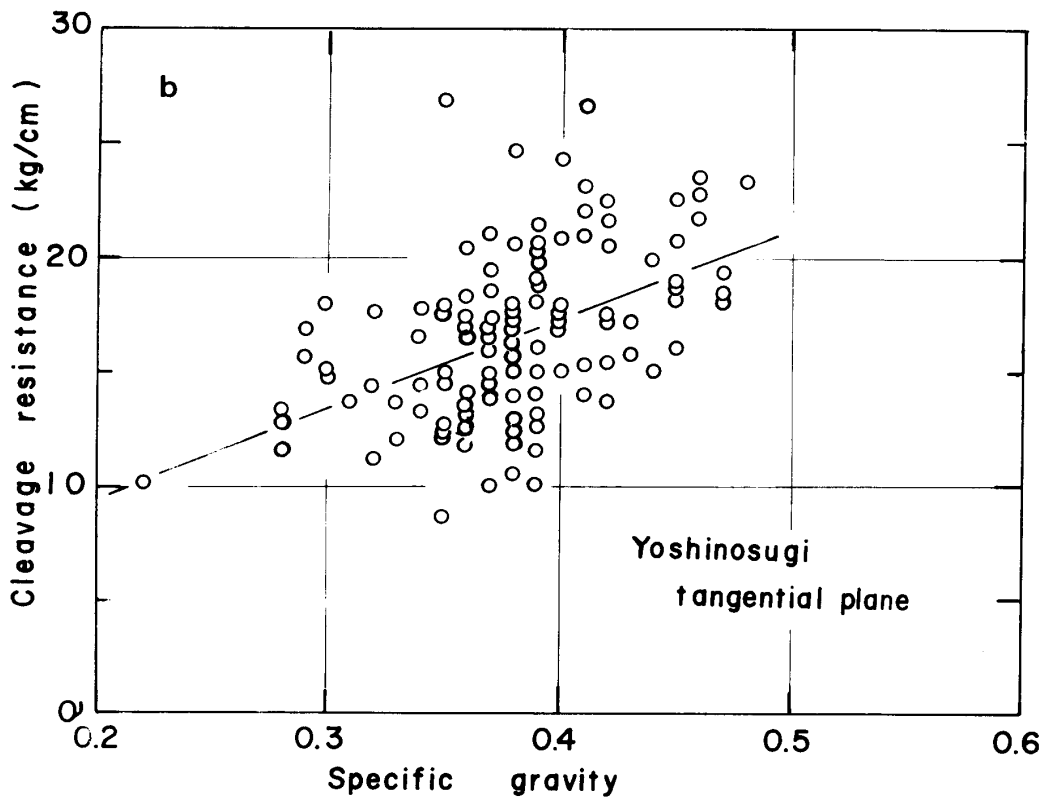


Fig. 7-b Relations between specific gravity and cleavage resistance in tangential plane in Yoshino-sugi-wood.

要 約

鹿児島大学農学部高隈演習林（鹿児島県垂水市海潟）に植林された樹齢28年生のヨシノスギ（胸高直径24.1～27.1cm）3本の供試木を伐採し、あらかじめ設定した地上高位置の円盤を採取後、円盤間にある各地上高の幹材について、JIS規格に準ずる強度試験を行った。これらの結果は次のように要約される。

- 1) 供試木3本の気乾比重の平均値は0.38（最大値0.57, 最小値0.22）にあり、平均年輪幅の平均値は0.51cm（最大値3.07cm, 最小値0.15cm）、含水率の平均値は15.5%であった。
- 2) 胸高部位における心材部および辺材部の平均年輪幅は、それぞれ0.70cm, 0.32cmを得た。
- 3) それぞれの機械的性質をこれまでに得た3品種（ヤクスギ, メアサスギおよびクモトオシスギ）とほぼ近似した値を得た。

謝 辞

本実験を実施するにあたって、鹿児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大変お世話になった。また、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, また従業員の各位に供試木の伐採, 搬出など多岐にわたり、御援助いただいた。ここに記して感謝の意を表す。

引 用 文 献

- 1) 藤田晋輔：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 鹿大農演報, No.12, 57-66 (1983)
- 2) ————：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2報）メアサスギ材の機械的性質と比重の関係 鹿大農演報, No.13, 123-133 (1984)
- 3) ————：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3報）クモトオシスギ材の機械的性質と比重の関係 鹿大農演報, No.16, 投稿中 (1987)
- 4) 石崎厚美：スギ品種目録, その性質—九州地方のさし木品種；最近の林業技術, No.15, 日本林業技術協会 (1968)
- 5) 日本林業技術協会編：林業百科辞典457-466 (1961)
- 6) 林業試験場編：木材工業ハンドブック p. 132, 丸善 (東京) (1982)

Summary

In this paper, some fundamental properties of plantation grown "Yoshino-sugi-wood" (*Cryptomeria japonica*) were investigated. Three presentative "Yoshino-sugi" tree having 22.4cm to 27.1cm diameter breast high (28 year old) were selected as the 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 sap-wood to another one through. The following mechanical properties were handled.

- 1) Bending test (a test carried out for the ascertainment of the bending strength and modulus of elasticity in bending).
- 2) Compressive test (a test to ascertain the compressive strength parallel to the grain).
- 3) Impact bending test (a test to ascertain the absorbed energy in impact bending).

4) Shearing strength(a test to ascertain the shearing strength in radial and tangential faces).

5) Cleavage test(a test to ascertain the cleavage resistance in radial and tangential faces).

The experimental results are summarized in Table 1, 2 and Figs. 1—9. Table 1 shows the characteristics of samples tree handled for this investigation.

The main results are as follows:

1. The specific gravity and average ring width ranged from 0.22 to 0.57(Ave. 0.38), from 0.15cm to 3.07cm(Ave. 0.89cm), respectively.

2. The mechanical properties of plantation-grown“Yoshino-sugi-wood)at Takakuma field in Kagoshima Univ. Forest. was almost the same as that of Measa-sugi-wood, Kumotoushi-sugi-wood in same field.