

琉球大学学術リポジトリ

沖縄産スギ材の材質(第4報): 強度的性質(林学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 仲宗根, 平男, 小田, 一幸 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4311

沖縄産スギ材の材質（第4報）

強度的性質

仲宗根平男* 小田一幸*

Hirao NAKASONE and Kazuyuki ODA: Studies on the Quality of Sugi wood (*Cryptomeria japonica* D. Don) grown in Okinawa. IV.

Mechanical properties.

I ま え が き

沖縄産スギ材の材質を明らかにする目的で、これまでに年輪幅、晩材率、気乾比重、仮道管長などの理学的性質および晩材形成について報告してきた³⁻⁵⁾。この一連の研究から、沖縄産スギ材のいろいろな特徴が明らかになったが、その中でも最も大きな特徴は、他県産スギ材と比較して、晩材率が高く、比重が大きいということである。

木材の比重は、物理的および強度的性質と密接な関係にあるために、このような特徴を持ったスギ材の強度的性質にもまた特徴があるのではないかと考えられる。したがって、この実験では、強度的性質を検討するために、前回同様、地スギ（さし木法によって植栽された沖縄在来のスギ）と実生スギ（移入した種子から育苗、植栽されたスギ）に分け、さらにそれぞれ未成熟材部と成熟材部に分けて強度試験を行った。試験項目は縦圧縮試験と曲げ試験の2項目で、縦圧縮強さ、縦圧縮ヤング率および曲げ破壊係数、曲げヤング率を求めた。また、それぞれの試験結果から、比強度、比ヤング率、および強度をヤング率で除した値を算出し、沖縄産スギ材の強度的な特徴を明らかにしようとした。

II 実 験

1. 試験片の製作

供試木には地スギ3本、実生スギ3本の計6本を、沖縄本島北部の6ヶ所から各々1本ずつ、中庸に生育していると思われるものの中から選んだ。その詳細をTable 1に示す。なお、地スギA, B, C木はそれぞれ国頭村比地ユルジ、同じく比地ヤナマタ、大宜味村オシカワから、実生スギD, E, F木はそれぞれ国頭村与那、同じく宇嘉、名護市羽地から採取した。

これらの採取した供試木から試験片を製作するために、各供試木の地上高2~3mの部位から長さ1mの丸太を切り出し、厚さ2.5cmのまさ目板に製材した。次に、これらのまさ目板を気乾状態まで天然乾燥し、未成熟材、成熟材の区別なく無欠点材部分から、寸法7×2×2cmの縦圧縮試験片、20×2×1cmの曲げ試験片を製作した。このとき、各試験片ごとに木口中央部の年輪の髄からの年輪番号を記録

* 琉球大学農学部林学科
琉球大学農学部学術報告 23: 365~373 (1976)

した。このようにして製作した試験片を恒温室内の飽和塩を入れたデシケーター中で、含水率が13~14%になるように調湿し、そのときの比重を測定した。

Table 1. Description of experimental material.

Material		Tree age	Tree height	Diameter of	Average
		years	m	breast-height	ring width
				cm	mm
Ji-sugi	A	28	16.5	26.4	4.9
	B	34	12.3	18.4	2.5
	C	21	13.5	14.8	3.7
Seedling-sugi	D	37	17.0	31.2	4.3
	E	33	14.5	27.1	4.4
	F	27	13.0	20.5	4.1

Material		Average latewood %	Number of specimens	
			Compression	Bending
Ji-sugi	A	62	44	51
	B	61	39	36
	C	48	38	31
Seedling-sugi	D	42	55	42
	E	43	43	40
	F	40	36	38

2. 実験方法

1) 未成熟材と成熟材の分け方

スギ材を柱などの構造部材として使用するとき、相当の大径木でないかぎり一部に未成熟材部が含まれる。また、小径木を柱に製材するときは髓が中心になるように木取されるので、柱全体が未成熟材部といってよかろう。したがって、成熟材はもちろんのこと、未成熟材の強度的性質を知ることが重要であるが、両者を同じように取り扱うわけにはいかない。未成熟材と成熟材に分けて、それぞれについて強度試験を行う必要がある。ところが、未成熟材部と成熟材部を明確に区分することは困難で、その境界は画然としたものではなく、多分にあいまいであるが、この実験では、強度的性質と樹令との関係を求め、強度的性質が安定する樹令を境として分けた。すなわち、前にも述べたように、試験片ごとの木口中央部の年輪番号を記録しているので、圧縮と曲げ試験結果から、後でも述べるように10年輪目前後を境界として、それ以下を未成熟材、それ以上を成熟材とした。

2) 縦圧縮試験

ヤング率と圧縮強さの測定はヤング率の精度を上げるために別々に行った。まず、試験片の含水率を13~14%に調整したのち、2つのまさ目面を研削し、両面に1枚ずつストレングージを貼った。次に、弾性域内と考えられる450 kgまで荷重を加え、ストレンアップと容量500 kgのロードセルを用いて、X-Yレコーダーに荷重-ひずみ曲線を描かせ、ヤング率を算出した。圧縮強さはロードセル交換ののち、ヤング率の測定が終了した試験片を破壊させ、その最大破壊荷重を読むことによって求めた。なお、試

験片数は地スギ未成熟材部56個，成熟材部65個，実生スギではそれぞれ69個，65個であった。

3) 曲げ試験

スパンを17cmにとり，中央集中荷重方式で行った。たわみは荷重点において精度 $1/100$ mmのダイヤルゲージを用いて，荷重10kg増加ごとに測定した。試験片数は地スギ未成熟材部58個，成熟材部60個，実生スギではそれぞれ62個，58個であった。

III 結果と考察

1. 強度的性質と樹令との関係

沖縄産スギの仮道管長やフィブリル傾角は髓から10年輪目前後から安定するので，ここを境として未成熟材と成熟材に区分することができる。しかし，強度的性質もこの10年輪目前後から安定するのかわからないので，圧縮試験と曲げ試験を行い，強度およびヤング率と樹令との関係を調べた。その結果は各供試木とも同じ傾向を示したので，それらの一例をFig. 1とFig. 2に示す。Fig. 1は地スギA木と実生スギD木の圧縮試験の結果を，Fig. 2は同じく曲げ試験の結果を示し，各プロットは試験片7～10個の平均値である。

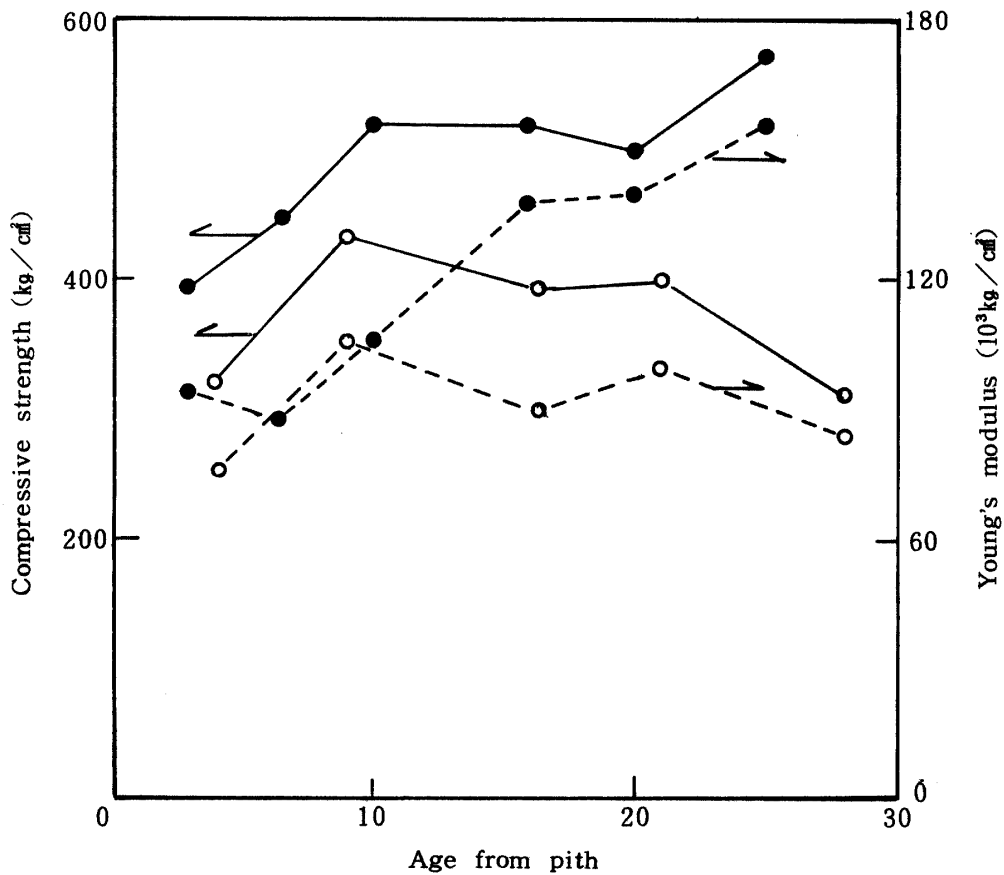


Fig. 1 Change of compressive strength and Young's modulus in radial direction of Sugi stems.

● Ji-sugi, ○ Seedling-sugi

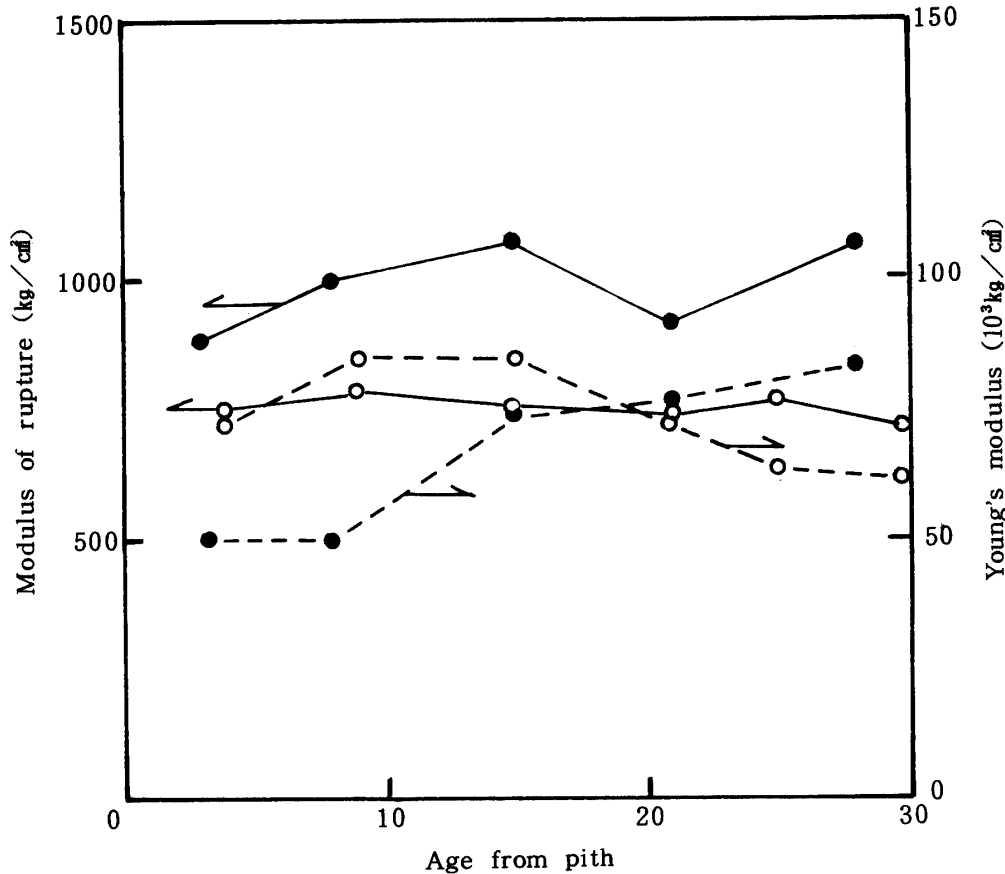


Fig. 2 Change of modulus of rupture and Young's modulus in radial direction of Sugi stems.

● Ji-sugi, ○ Seedling-sugi

さて、Fig. 1から、圧縮強さおよび圧縮ヤング率は地スギ、実生スギとも樹令の増加にともなって10年輪目まで増加し、その後はほぼ安定するといえよう。なお、10年輪目以降、地スギの圧縮強さおよび圧縮ヤング率がやや増加の傾向にあることと、実生スギのそれらがやや低下の傾向にあるのは、比圧縮強さおよび比圧縮ヤング率を求めた結果、比重の影響だと推測された。また、Fig. 2では、破壊係数および曲げヤング率は圧縮試験結果同様に、地スギ、実生スギとも樹令の増加にともなって10年輪前後まで増加し、その後は安定した値を示した。したがって、以上のことから沖縄産スギの10年輪以降の木部では、強度的性質が安定することがわかった。

ところで、樹木の形成層には未成熟期と成熟期とがあり、未成熟期の形成層によって作られる木部を未成熟材、成熟期の形成層によって作られる木部を成熟材と定義すれば、強度的性質からただちに未成熟材、成熟材と分けることはおかしいかもしれない。しかし、今回の圧縮および曲げ試験の結果は、前にも述べたように沖縄産スギの仮道管長が10年輪目前後から安定することと一致したので、10年輪目を境として未成熟材、成熟材と分けてもさしつかえないであろう。このような理由で、次から地スギ、実生スギを10年輪目からそれぞれ未成熟材部、成熟材部に分けて取り扱った。

2. 縦圧縮試験の結果

Table 2 に地スギ、実生スギをそれぞれ未成熟材、成熟材に分けて、気乾比重(γ_u)、圧縮強さ(σ_c)、比圧縮強さ(σ_c/γ_u)、圧縮ヤング率(E_c)、比圧縮ヤング率(E_c/γ_u)、および圧縮強さを圧縮ヤング率で除した値(σ_c/E_c)の平均値と範囲を示した。表から明らかなように、地スギは実生スギと比較して比重、圧縮強さ、圧縮ヤング率が大きく、比圧縮強さ、比圧縮ヤング率も成熟材部で高い値を示した。また、未成熟材と成熟材では、一般に未成熟材の方の強度値が劣るのがふつうであるが、実生スギでは成熟材の比重が小さいこともあって、成熟材の圧縮ヤング率は未成熟材と変わらないが、圧縮強さは小さかった。このことは実生スギの特徴なのかどうか、供試木の数が少なくてわからないが、未成熟材と成熟材の間の比圧縮強さ、比圧縮ヤング率にも大差が認められなかった。

Table 2. Results of compression test (Air dry condition).

Material	γ_u	σ_c kg/cm ²	σ_c/γ_u kg/cm ²	
Ji-sugi	Juvenile wood	0.56 0.49 ~ 0.65	378 278 ~ 480	669 491 ~ 807
	Adult wood	0.59 0.51 ~ 0.71	468 365 ~ 611	791 677 ~ 871
Seedling-sugi	Juvenile wood	0.51 0.40 ~ 0.62	363 254 ~ 472	710 604 ~ 816
	Adult wood	0.45 0.37 ~ 0.57	316 236 ~ 406	697 598 ~ 798

Material	E_c 10 ³ kg/cm ²	E_c/γ_u 10 ³ kg/cm ²	σ_c/E_c 10 ⁻²	
Ji-sugi	Juvenile wood	84 43 ~ 125	148 83 ~ 219	0.51 0.35 ~ 0.73
	Adult wood	137 99 ~ 159	232 198 ~ 261	0.36 0.34 ~ 0.41
Seedling-sugi	Juvenile wood	74 52 ~ 107	143 92 ~ 199	0.51 0.41 ~ 0.79
	Adult wood	75 59 ~ 108	168 135 ~ 202	0.42 0.34 ~ 0.51

The value given in the upper line is the mean. Below it is given the range.

γ_u : Specific gravity. σ_c : Compressive strength parallel to grain.

E_c : Young's modulus in compression parallel to grain.

ところで、比重と圧縮強さの相関を調べてみると次のとおりであった。

地スギの未成熟材では、

$$\sigma_c = 886.9\gamma_u + 122.6 \quad r = 0.652$$

成熟材では,

$$\sigma_c = 935.5\tau u + 83.4 \quad r = 0.873$$

実生スギの未成熟材では,

$$\sigma_c = 726.5\tau u - 7.6 \quad r = 0.823$$

成熟材では,

$$\sigma_c = 859.0\tau u - 71.8 \quad r = 0.887$$

いずれの場合も比重と圧縮強さの間に直線回帰が認められるとともに、相関係数は高い値を示し、圧縮強さの比重依存性が高いことがわかった。次に、比重と圧縮ヤング率の相関関係を検討したところ、直線回帰ないしは曲線回帰が認められたが、供試木間のバラツキが大きく、高い相関は認められなかった。今、仮に比重と圧縮ヤング率の関係を直線回帰で表わすとすれば、その相関係数は地スギの未成熟材では $r = 0.264$ 、成熟材では $r = 0.668$ 、実生スギではそれぞれ $r = 0.364$ 、 $r = 0.496$ となり、圧縮ヤング率は成熟材よりは未成熟材が、あるいは全般的に比重依存性の低いことを示した。

さて、圧縮強さを圧縮ヤング率で除した値は木材の強度特性を表わすとされており、Table 2 から明らかなように、地スギ、実生スギとも成熟材より未成熟材の方が高く、両者の間に差異が認められた。ところで、沢田⁹⁾ は気乾比重 0.25 ~ 0.55 の針葉樹では $0.25 \sim 0.35 \times 10^{-2}$ という値を、大塚⁷⁾ はオビスギを対照に 0.30×10^{-2} という値を得ている。明らかに沖縄産スギの値はこれらの値より大きいので、沖縄産スギは圧縮強さと圧縮ヤング率との関係に特徴があるのではないかと推測された。そこで、圧縮強さと圧縮ヤング率との関係を求めたところ、次のような直線回帰式が得られた。

地スギの未成熟材では,

$$E_c = 0.371\sigma_c - 61.69 \quad r = 0.827$$

成熟材では,

$$E_c = 0.263\sigma_c + 20.97 \quad r = 0.792$$

実生スギの未成熟材では,

$$E_c = 0.218\sigma_c - 4.41 \quad r = 0.745$$

成熟材では,

$$E_c = 0.175\sigma_c + 19.84 \quad r = 0.692$$

ここで E_c の単位は 10^3 kg/cm^2 である。したがって、このように圧縮強さと圧縮ヤング率との間に、材が未成熟材、成熟材とに関係なく、高い相関が得られたことによって、圧縮強さを圧縮ヤング率で除した値が大きいことは、沖縄産スギの特徴であろうと考えられた。

3. 曲げ試験の結果

Table 3 に試験の結果得られた、気乾比重 (τu)、破壊係数 (σb)、比破壊係数 ($\sigma b / \tau u$)、曲げヤング率 ($E b$)、比曲げヤング率 ($E b / \tau u$)、破壊係数を曲げヤング率で除した値 ($\sigma b / E b$) の平均値と範囲をまとめて示した。

地スギと実生スギとでは、地スギの比重が高かったため、成熟材部では破壊係数、曲げヤング率が大さいが、比破壊係数、比ヤング率は差がなかった。また、成熟材と未成熟材とでは、地スギでは未成熟材の強度値が劣るが、実生スギでは圧縮試験の結果同様、むしろ成熟材の方が劣り、比破壊係数、比曲げヤング率は変わらなかった。

さて、比重と曲げ強さの関係を求めてみると、次のような直線回帰が認められた。

地スギの未成熟材では,

$$\sigma b = 1673\tau u - 230.9 \quad r = 0.729$$

成熟材では,

$$\sigma b = 1596\tau u + 41.0 \quad r = 0.651$$

実生スギの未成熟材では、

$$\sigma b = 1218\tau u + 191.1 \quad r = 0.699$$

成熟材では、

$$\sigma b = 1312\tau u + 103.0 \quad r = 0.664$$

いずれの場合も比重と破壊係数の間に高い相関が認められ、破壊係数の比重依存性が高いことを示した。しかし、次に、比重と曲げヤング率との相関を検討してみると、直線回帰ないしは曲線回帰が認められたが、データのバラツキが大きく、高い相関係数は得られなかった。すなわち、地スギの未成熟材では $r = 0.245$ 、成熟材では $r = 0.235$ 、実生スギではそれぞれ $r = 0.264$ 、 $r = 0.249$ となり、曲げヤング率の比重依存性が低いことが明らかになった。

Table 3. Results of bending test (Air dry condition).

Material	τu	σb kg/cm ²	$\sigma b/\tau u$ kg/cm ²	
Ji-sugi	Juvenile wood	0.57 0.47 ~ 0.68	831 585 ~ 1115	1460 1092 ~ 1735
	Adult wood	0.57 0.49 ~ 0.67	954 766 ~ 1171	1670 1330 ~ 1909
Seedling-sugi	Juvenile wood	0.52 0.43 ~ 0.62	822 671 ~ 1014	1595 1356 ~ 1863
	Adult wood	0.46 0.36 ~ 0.55	703 507 ~ 872	1547 1272 ~ 1816

Material	Eb 10 ³ kg/cm ²	$Eb/\tau u$ 10 ³ kg/cm ²	$\sigma b/Eb$ 10 ⁻²	
Ji-sugi	Juvenile wood	60 30 ~ 115	104 59 ~ 213	1.54 0.98 ~ 2.00
	Adult wood	88 68 ~ 117	154 105 ~ 200	1.11 0.87 ~ 1.39
Seedling-sugi	Juvenile wood	77 51 ~ 103	150 94 ~ 199	1.32 0.77 ~ 1.39
	Adult wood	68 44 ~ 95	152 99 ~ 206	1.07 0.77 ~ 1.40

The value given in the upper line is the mean. Below it is given the range.

τu : Specific gravity. σb : Modulus of rupture in bending.

Eb : Young's modulus in bending.

破壊係数を曲げヤング率で除した値は、地スギ未成熟材では1.54、成熟材では1.11、実生スギではそれぞれ1.32、1.07となり、地スギと実生スギの間に大差はないが、成熟材と未成熟材とでは成熟材の方が小さく、差異が認められた。試みに破壊係数と曲げヤング率との間の相関関係を計算してみると、

地スギの未成熟材では、

$$\sigma_b = 0.100 Eb - 24.0 \quad r = 0.645$$

成熟材では、

$$\sigma_b = 0.063 Eb + 27.7 \quad r = 0.539$$

実生スギの未成熟材では、

$$\sigma_b = 0.083 Eb + 8.9 \quad r = 0.551$$

成熟材では、

$$\sigma_b = 0.089 Eb + 5.7 \quad r = 0.618$$

が得られ、高い相関が認められた。なお、ここでは Eb の単位は 10^3 kg/cm^2 である。破壊係数を曲げヤング率で除した値は、スギについては少なく、今村¹⁾が間伐木から求めた $0.62 \sim 0.70$ という値以外に見当たらないようである。そこで著者らは破壊係数と曲げヤング率を同時に掲載した文献^{2,6,8)}から算出したが、 1.0 より大きくなることはなかった。したがって、上述のように沖縄産スギでは破壊係数と曲げヤング率の間に高い相関があることによって、破壊係数を曲げヤング率で除した値が大きいことは、圧縮試験の結果同様に、沖縄産スギの特徴であろうと考えられた。

IV ま と め

沖縄産スギ材の強度的性質を明らかにするために、地スギ、実生スギを対象に、縦圧縮試験と曲げ試験を行った。

1. 圧縮強さおよび曲げ破壊係数は地スギ、実生スギとも樹令の増加とともに、髓から10年輪目前後まで増加し、その後はほぼ安定する。このことは、仮道管長が10年輪目あたりから安定することと一致したので、10年輪前後までを未成熟材、それ以降を成熟材とすることができる。

2. 圧縮強さを圧縮ヤング率で除した値、および破壊係数を曲げヤング率で除した値は、地スギ、実生スギとも他県産スギ材より大きいので、沖縄産スギ材の特徴であろうと考えられる。また、未成熟材と成熟材では、未成熟材の方がこれらの値が大きい。したがって、未成熟材はヤング率のわりに強度が大きいといえる。

3. 地スギと実生スギとでは、地スギの比重が高いこともあって、強度およびヤング率は地スギの方がすぐれているが、比強度、比ヤング率は両者に大差が認められない。

4. 地スギ、実生スギとも、圧縮強さおよび曲げ破壊係数は比重依存性が高いが、圧縮ヤング率および曲げヤング率は比重依存性が低い。

文 献

1. 今村祐嗣ら 1974 スギ間伐木製品の強度性能, 奈良県林業試験場研究報告, 5 : 77 ~ 82
2. 猪瀬理, 渋谷昌資 1975 スギ材の強度特性, 愛媛大学農学部演習林報告, 12 : 77 ~ 88
3. 仲宗根平男 1970 沖縄産スギ材の材質 (第1報), 地スギの年輪幅, 晩材率, 気乾比重, 仮道管長について, 琉球大学農学部学術報告, 17 : 192 ~ 202
4. _____ 1970 _____ (第2報), 移入実生スギ材の年輪幅, 晩材率, 気乾比重, 仮道管長について, 同上, 17 : 203 ~ 212
5. _____ 1975 _____ (第3報), 1年輪内の晩材形成における季節変化, 同上, 22 : 703 ~ 708
6. 大塚誠 1970 オビスギ材の材質, 曲げ特性について, 日本林学会九州支部研究論文集, 24 : 261

～263

7. _____ 1973 オビスギ材の圧縮強度，同上，26：259～260
8. _____ 1974 曲げ試験における破壊時期と形態，同上，27：227～228
9. 沢田稔 1958 木材の強度特性に関する研究，主としてその木材梁への適用，農林省林業試験場報告，108：115～224

Summary

Compression tests parallel to grain and bending tests were carried out to examine the mechanical properties of Ji-sugi (Okinawan indigenous Sugi propagated by cuttings) and introduced Seedling-sugi grown in Okinawa.

- 1) Compressive strength and modulus of rupture of both Ji-sugi and introduced Seedling-sugi increased with tree age until about 10th annual ring from pith, and afterwards, these were approximately constant as shown in Fig. 1 and 2. As this result agrees with that obtained by measurement of tracheid length which becomes constant from 10th annual ring, it can be considered that juvenile wood zone of these Sugi is from pith to 10th annual ring and adult wood zone is from 10th annual ring to cambium.
- 2) From the results of compressive and bending tests, we observed considerable differences between these Sugi grown in Okinawa and those grown on other prefectures on σ_c/E_c and σ_b/E_b . That is, the values of σ_c/E_c and σ_b/E_b of Ji-sugi and introduced Seedling-sugi were higher than those of other Sugi. Furthermore, we found that though there was no differences in these values between Ji-sugi and introduced Seedling-sugi, these values of juvenile wood of these Sugi were higher than those of adult wood as shown in Table 2 and 3.
- 3) On Ji-sugi and introduced Seedling-sugi, specific gravity showed high correlation to compressive strength and modulus of rupture, but it showed low correlation to Young's modulus in compression and bending.