

京都府和知産スギ間伐木の材質

矢田茂樹・西村隆男・梶田 熙・棕代純輔

SHIGEKI YATA, TAKAO NISHIMURA, HIROMU KAJITA and JUNSUKE MUKUDAI

Physical and mechanical properties of thinned wood of
Sugi grown in Wachi district, Kyoto Prefecture

要旨：京都府和知産のスギ間伐木（市販品）5本の材質を JIS 規格に準拠して試験し、次の結果を得た。① 平均年輪幅は一般の間伐木よりもかなり小さな値を示した。気乾比重はスギ成熟材の標準値よりもやや大きかった。② 曲げ強さ、曲げ弾性係数、縦圧縮強さの平均値はいずれもスギ材の標準値よりも大きかった。しかしバラツキが大きく、95%信頼限界の下限値について比較すると必ずしも大きいとは言えない。各強度値と比重との間には明らかな正の相関が認められた。③ 木口断面上では樹皮側（辺材）の比強度は樹心側（心材）のそれよりも明らかに大きかった。とくに曲げ弾性係数では約30%の差が認められた。樹高方向の位置による差については本実験の範囲内（4m）ではほとんど認められなかった。④ 半径方向および接線方向の収縮率、膨潤率はスギ成熟材の標準値と大差なかった。

I 緒 言

戦後、わが国の造林事業は著しく進展し、現在では約 900 万 ha の人工林が存在している¹⁾。そして多くの造林地では第 1 回目の間伐期に達しつつあり、今後 10 年間に間伐を必要とする間伐木の潜在材積は年平均にして 500~600 万 m³ にも達するとされている。間伐木の材質的特徴は、間伐の目的から容易に理解されることであるが、小径木（末口径 12cm 以下）がほとんどであり、しかも節が多く、根曲り、幹の曲りが大きいなど、いわゆる不良木といわれるものが多いことである。従来間伐木は土木、建築用足場丸太などに利用されてきたが、強度信頼性、耐腐朽性などの安全性および経済性などの点から他の代替材料にとって代わられつつあり、新たな利用開発が緊急な課題となっている。現在間伐材の構造的利用を目的とした新校倉式住宅、7×7 構造住宅^{2,3)} などの開発が進められており、また心持角やひき板のとれない不良木についてはパーティクルボード用チップ^{4,5)} としての利用開発も進められている。

間伐木はそのほとんどがいわゆる未成熟材であるから、強度的に一般の成熟材とは異なることが考えられる。また製材品の曲り、乾燥割れなどを考える上では、収縮性能も材質の指標となるであろう。本研究では、京都府の代表的林業地の 1 つである和知地方のスギ間伐木をとりあげ、その強度性能および収縮率、膨潤率の測定を行なったのでここに報告する。

II 材料および実験方法

1. 供試材

京都府船井郡和知町字下栗野産で、昭和26年に植栽され昭和51年10月に間伐された林齢25年のスギ（*Cryptomeria japonica* D. Don）である。この材は京都府森林組合連合会の間伐材流通センターで市販されているものを購入したもので、無作為に5本選んだ。その外観、寸法は Table 1 のとおりである。

2. 試験方法

材長 4 m の間伐木を 50cm 間隔で鋸断したあと、各丸太の無欠点部から Fig. 1 に示すように曲げ試験片、収縮率および膨潤率測定用試験片をとった。

Table 1. Dimension and gross features of the log of Sugi.

Log number	Length	Butt end		Top end		Width of sapwood
		Diameter	Numbers of annual ring	Diameter	Numbers of annual ring	
1	4.1 m	15.3 cm	25	10.8 cm	17	3.2—4.2 cm
2	4.0	15.9	26	12.1	14	3.3—4.0
3	4.0	14.2	25	11.7	19	2.3—3.1
4	4.0	14.5	25	11.2	13	3.0—4.6
5	4.0	13.9	25	11.1	15	2.7—3.5

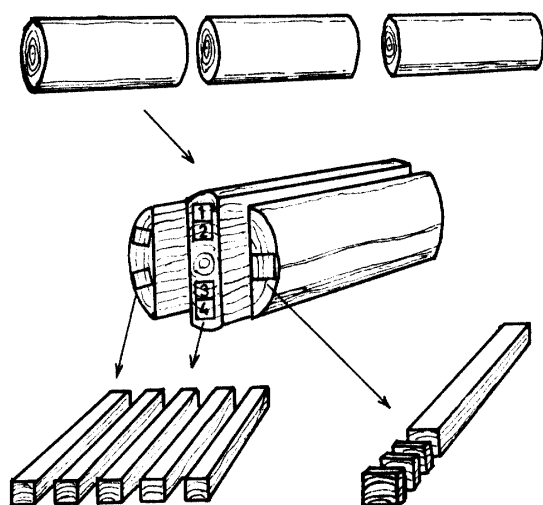


Fig. 1. Preparations of the test specimen.

曲げ試験は、森試験機製作所製 500kg 万能試験機を使用し、JIS Z 2113 (1969) に準拠して行なった。中央のたわみは、1/100 mm 精度のダイヤルゲージで測定した。なお、試験片寸法は 20(T)×20(R)×300(L) mm で、気乾材である。

縦圧縮試験は、曲げ試験を行なったあとの端部の未破壊部から長さ 4 cm の試験片をとり、JIS Z 2111 (1969) に準拠し、森製作所製 10ton 万能試験機を使用して試験した。歪は森製作所製ステイジャーストレインメーター (G. L.; 20mm, 最小目盛; 1/1000 mm) で測定した。

収縮率と吸湿性試験は JIS Z 2103 (1969) および JIS Z 2105 (1966) に準拠した。試験片寸法は 30(T)×30(R)×5(L) mm である。接線方向および半径方向について含水率 1% あたりの収縮率、気乾までの収縮率、全収縮および含水率 1% あたりの膨潤率を求めた。なお平均年輪幅および気乾比重は曲げ試験片の一部を用いて測定した。

III 結果および考察

1. 強度性能

平均年輪幅、気乾比重および各強度値をまとめて Table 2 に示す。なお試験時の試片含水率は 10.3~13.1% であった。平均年輪幅は 1.6~8.1 mm, 平均 3.4 mm でバラツキが大きい。この値は高知産のスギ間伐木⁶⁾、タテヤマスギ間伐木^{7,8)}、ボカスギ間伐木⁹⁾などに比べてかなり小さく、高密度仕立てによる吉野スギ間伐木¹⁰⁾とほぼ等しい。したがって、本実験の供試木は、かなり成長の悪い材ということができる。気乾比重は 0.30~0.51, 平均 0.40 であった。この値は他のスギ間伐木の値⁶⁻¹⁰⁾に比較してかなり大きい。奈良県吉野産のスギ間伐木¹¹⁾よりは小さな値を示しており、スギ成熟材の標準的な値 (0.30~0.45, $\bar{x}=0.38$)¹⁴⁾と比べるとやや大きい。各樹体別にみると 1, 2, 4 号木は低比重, 3, 5 号木は高比重になっている。

強度性能は、曲げ強さ、圧縮強さともに平均値はこれまでのスギ間伐木についての試験結果⁶⁻¹⁰⁾よりも大きく、成熟材の標準的な値¹⁴⁾よりもなお 14~20% 大きくなっている。しかしながら、バラツキが大きいために測定値の 95% 信頼限界の下限値は、曲げ強さで 481 kg/cm², 曲げ弾性係数では 48.3×10³ kg/cm², 縦圧縮強さでは 243 kg/cm² と相当に小さくなる。これらの値を平均値に対する比で表現すると、曲げ強さは 0.65, 曲げ弾性係数は 0.53, 縦圧縮強さは 0.59 となる。わが国の木構造設計規準では普通構造材の許容応力度の算定にあたり、標準強度の平均値の 3/4 をもって標準強度の下限値とみなしている¹⁷⁾。これは平均値の 3/4 が統計的な意味において、95% 信頼下限値にはほぼ相当するという根拠にもとづいているが、本実験のスギ間伐木のようにバラツキの大きい材では、3/4 では不十分ということになる。

本実験の強度値が大きいのは、高比重材であることによるものと推測されるが、未成熟材では強度値と比重との関係は、必ずしも明確ではないとする報告もある^{12,13)}。本実験の試験片は樹心からの年輪数にして 5~20, その中でもとくに 10~15 あたりのものが多く、ほとんどが未成熟材に相当するものと考えられる。こ

Table 2. Physical and mechanical properties of thinned wood of Sugi.

Log number		W (mm)	r_a	σ_b (kg/cm ²)	E_b 10 ³ (kg/cm ²)	σ_c (kg/cm ²)
1	n	47	47	45	45	43
	\bar{x}	2.9	0.36	649	81.5	335
	s	1.0	9.03	71	14.2	31
2	n	70	70	69	69	68
	\bar{x}	4.0	0.36	636	74.2	343
	s	0.8	0.03	57	11.0	39
3	n	71	71	70	70	68
	\bar{x}	3.0	0.45	874	108.6	486
	s	1.6	0.03	125	23.6	71
4	n	61	62	60	60	62
	\bar{x}	3.7	0.37	679	83.5	382
	s	0.7	0.03	60	9.4	41
5	n	59	59	58	58	56
	\bar{x}	3.2	0.44	857	101.9	492
	s	0.9	0.04	72	16.4	40
Total	n	308	309	302	302	297
	\bar{x}	3.4	0.40	744	90.4	410
	s	1.1	0.05	134	21.5	85
	c.v.	32%	13%	18%	24%	21%
Basic value*1	min.	—	0.30	500	55	250
	\bar{x}	—	0.38	650	75	350
	max.	—	0.45	850	100	450

W : average width of annual ring.

r_a : specific gravity in air-dry condition (MC; 10.3~13.1%).

σ_b : bending strength.

E_b : modulus of elasticity in bending,

σ_c : compressive strength (parallel to the grain).

*1: basic values in mature wood of Sugi (Ref. 14).

れら試験片による強度値を気乾比重に対してプロットしたのが Fig. 2 と 3 で両者の間には明らかに正の相関が認められる。回帰直線の傾きは高知産スギ間伐木のそれ⁶⁾ に比較して大きい。また曲げ強さと縦圧縮強さとの間にも正の相関が認められた (Fig. 4)。なお縦圧縮弾性率については、本実験では荷重と歪との間に良好な直線関係の得られないケースが多く信頼性に欠けるが、比較的良好なものについて一応の概算値を求めたところ $36 \times 10^3 \sim 238 \times 10^3$ kg/cm² ($\bar{x} = 100 \times 10^3$ kg/cm², $n = 280$, C. V. = 40%) となった。

2. 木口断面での採材位置と強度性能

前に述べたように本実験の試験片は、その多くが未成熟材であるから、樹心側と樹皮側では強度性能に差があるかも知れない。Fig. 1 中の 1 と 2, 3 と 4 のよ

うに樹心側と樹皮側とが隣接して採材された試験片について、強度値を気乾比重で除した値、つまり比強度をそれぞれ求めて比較した (Table 3)。分散分析の結果、いずれも危険率 1% で有意差が認められ、樹皮側は樹心側よりも比強度が大きいと結論できる。その差は曲げ強さと縦圧縮強さでは約 8% であるが、比曲げ弾性係数では約 30% に達している。結局、樹心側は、曲げおよび縦圧縮強さに比べて曲げ弾性係数がとりわけ低いといえよう。

3. 樹高方向における強度性能の差異

本実験の供試材は長さ 4 m であったから、その内部で樹高方向の位置により大きな差が現われるとは考えられないが、強度値を 1 m 間隔でとりまとめて図示したのが Fig. 5 である。ただし、これは樹皮側 (辺材)

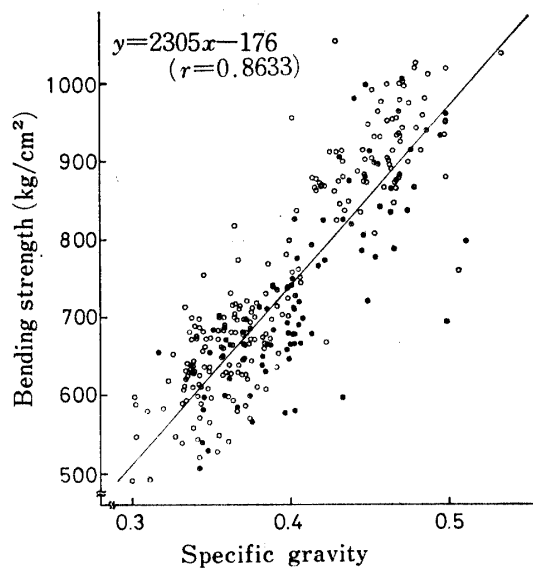


Fig. 2. Effect of specific gravity on bending strength.

○: sapwood, ◐: specimen containing heartwood less than 50 percent, ●: specimen containing heartwood 50 percent and more than.

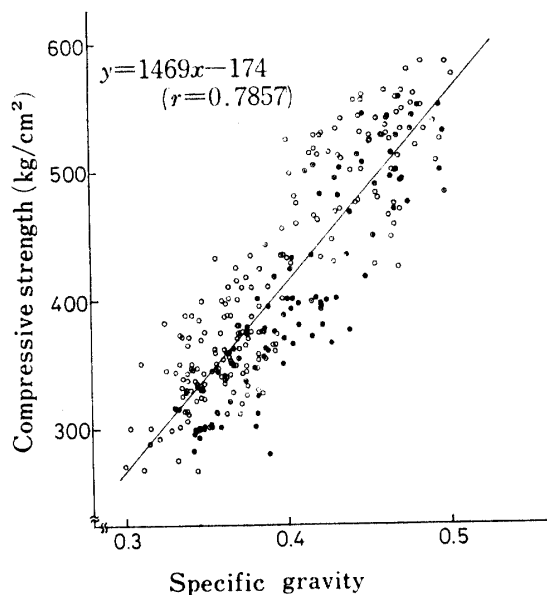


Fig. 3. Effect of specific gravity on compressive strength parallel to the grain. Symbols; same as Figure 2.

のみからなる試片についての結果であり、比強度で表示してある。分散分析の結果、曲げ強さについては全く差は認められなかったが、圧縮強さの場合には、樹高が高くなるにつれ強度値もやや大きくなる傾向が認められた。曲げ弾性係数についてみると、供試木により有意差のあるものと無いものが現われた。全体的に

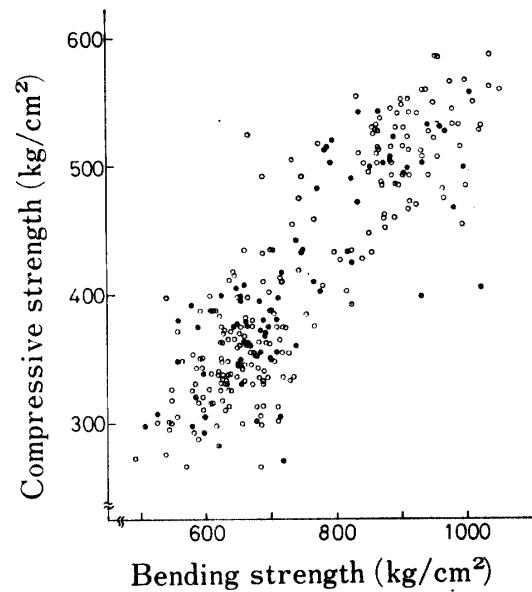


Fig. 4. Relationship between the bending strength and the compressive strength. Symbols: same as Figure 2.

Table 3. Comparison of the specific strengths between the inner zone and the outer zone on a cross section of wood.

		σ_b/r_a	E_b/r_a	σ_c/r_a
Outer	\bar{x}	1896	242×10^3	1050
location	n	66	66	63
Inner	\bar{x}	1749	187×10^3	972
location	n	66	66	63

Letters; same as Table 2.

みると、樹高による差異はこの範囲内(4 m)ではほとんど無いが、あるいはあるとしても非常に僅少であるといえよう。

4. 収縮率および膨潤率

Table 4 は収縮率、膨潤率の測定結果である。供試間伐木の含水率1%あたりの平均収縮率は、スギ成熟木の値(半径方向:0.05~0.21%, 平均0.10%, 接線方向:0.21~0.30%, 平均0.25%)¹⁴⁾と比べて大差ない。またこの値はボカスギ辺材¹⁵⁾、カワイダニスギ辺材¹⁶⁾の値に類似している。

全収縮率は、半径方向で1.78~4.20%, 平均2.80%, 接線方向では3.89~9.00%, 平均7.09%であった。この値はカワイダニスギ¹⁵⁾よりも少し下まわっている。

収縮率を各樹体別にみると1, 2, 4号木では小さく3, 5号木では大きくなっている。これは、Table 2 から明らかなように、前者が低比重材、後者が高比重材であることから容易に理解されよう。ちなみに全収縮率

Table 4. Shrinkage and swelling properties of thinned wood of Sugi.

			Log number					Total
			1	2	3	4	5	
β'_I	R	n	34	44	48	47	44	217
		\bar{x}	0.10	0.09	0.13	0.11	0.13	0.11
		s	0.014	0.014	0.017	0.015	0.016	0.024
	T	n	34	44	48	47	44	217
		\bar{x}	0.26	0.27	0.28	0.26	0.28	0.27
		s	0.051	0.040	0.031	0.027	0.037	0.035
β_I	R	n	33	41	48	46	40	208
		\bar{x}	1.06	0.90	1.40	0.96	1.38	1.15
		s	0.19	0.22	0.22	0.23	0.28	0.31
	T	n	33	44	48	47	42	214
		\bar{x}	2.91	3.07	3.37	2.88	3.68	3.19
		s	0.87	0.37	0.52	0.37	0.44	0.48
$\beta_{I \max}$	R	n	34	43	48	47	46	218
		\bar{x}	2.57	2.19	3.34	2.58	3.23	2.80
		s	0.22	0.38	0.29	0.19	0.43	0.54
	T	n	34	45	48	47	45	219
		\bar{x}	6.73	6.98	7.38	6.55	7.70	7.09
		s	1.37	0.61	0.74	0.59	0.53	0.89
α_I	R	n	31	44	45	47	45	212
		\bar{x}	0.10	0.10	0.14	0.11	0.13	0.12
		s	0.016	0.023	0.022	0.016	0.034	0.029
	T	n	30	45	43	47	41	206
		\bar{x}	0.26	0.30	0.32	0.29	0.34	0.30
		s	0.076	0.028	0.046	0.028	0.039	0.051

β'_I : average shrinkage per 1 percent moisture content change (%).

β_I : shrinkage from green to air-dry condition (%).

$\beta_{I \max}$: shrinkage from green to oven-dry condition (%).

α_I : average swelling per 1 percent moisture content change (%).

R: radial direction. T: tangential direction.

を比重に対してプロットしたのが Fig. 6 である。半径方向の場合は明らかな正の相関を示したが、接線方向はバラツキが大きく、そのような傾向は認められなかった。本実験の場合、間伐小径木であるため試片中の年輪の矢高が大きく（矢高 / 試片幅 = 0.06 ~ 0.16）、しかも同一試片内でも樹心側と樹皮側では矢高が異なること、試片内で年輪幅に著しい差異があることなどの理由により、同一試片内でも場所により寸法変化率が異なるため、接線方向にこのように大きなバラツキが生じたのであろう。

収縮率の半径方向に対する接線方向の比、つまり収

縮異方度は約 2.5 であった。これは標準的なスギ材のそれ¹⁴⁾にはほぼ等しい。収縮率、膨潤率におよぼす樹高方向における位置の影響は全く認められなかった。

本実験では半径および接線方向の収縮率、膨潤率を調べたが、間伐材の乾燥にともなう反り、曲げなどを考える上では、さらに樹心部から樹皮部にかけて繊維方向の収縮率も測定する必要があるだろう。

以上の結果は、供試木の選択方法から、京都産のスギ間伐木の材質を代表するものとはいえないが、しかし普通に生産されて市場に出てきている間伐木を対象にしているので一応の目安にはなるであろう。

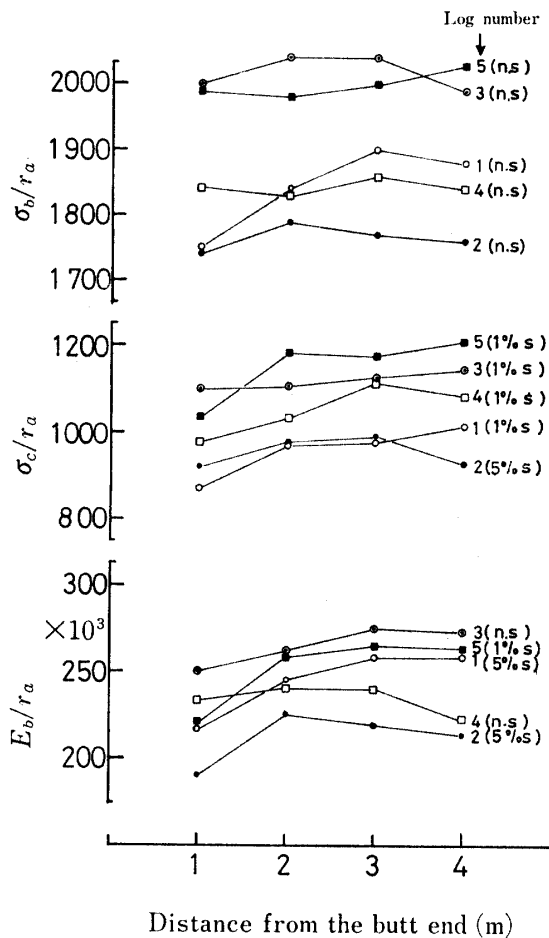


Fig. 5. Effect of the location in height of tree trunk on the specific strength. Letters in parentheses are results of analysis of variance. n.s: not significant, 1% s: 99% level of significance, 5% s: 95% level of significance.

引用文献

- 1) 高橋銑十郎 (1976) : 林業技術, No. 417, 7-11
- 2) 山井良三郎 (1977) : 林業技術, No. 421, 8-11
- 3) 杉山英男 (1978) : 木材工業, **33**, 95-99
- 4) 梶田 熙・椋代純輔・矢田茂樹 (1978) : 第28回日本木材学会大会 (名古屋) 発表要旨集, 201
- 5) 小野広治・山口和道・今村祐嗣 (1978) : 奈良林試, 木材加工資料, No. 7, 3-6
- 6) 中山義雄・山崎憲輔 (1972) : 高知大学学報・

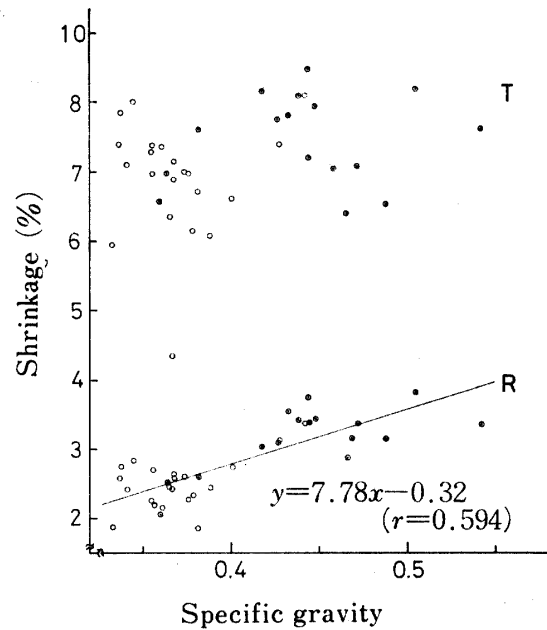


Fig. 6. Effect of the specific gravity on the shrinkage from green to oven-dry condition. T: tangential direction, R: radial direction. Symbols; same as Figure 2.

農, **21**, 119-128

- 7) 鷺岡 雅・大森幹夫・吉田直隆 (1973) : 木材と技術, No. 14, 7-11
- 8) 斎藤 勉・大森幹夫・吉田直隆 (1975) : 木材と技術, No. 23, 7-10
- 9) ———— (1974) : 木材と技術, No. 18, 5-9
- 10) 山口和道・小野広治・今村祐嗣 (1976) : 奈良林試, 木材加工資料, No. 6, 4-7
- 11) ———— (1978) : 奈良林試, 木材加工資料, No. 7, 1-3
- 12) 渡辺治人・堤 寿一・小島敬吾 (1963) : 木材学会誌, **9**, 225-230
- 13) ————・松本 昂・太田貞明 (1964) : 木材学会誌, **10**, 125-130
- 14) 日本木材加工技術協会 (1954) : 木材工業, **9**
- 15) 鷺岡 雅・吉田直隆 (1972) : 木材と技術, No. 11, 13-15
- 16) 斎藤 勉 (1975) : 木材と技術, No. 21, 16-18
- 17) 杉山英男 (1976) : 木質構造の設計, 丸善, 79-80

Summary

Physical and mechanical properties of Sugi (*Cryptomeria japonica* D Don) produced by thinning of an artificial forest in Wachi district, Kyoto Prefecture, were determined according to Japanese Industrial Standards. Results obtained are as follows;

1) Average width of annual ring was narrow in comparison with that of general thinnings of Sugi. Average specific gravity in air dry condition was 0.40. This value was considerably higher than that of general thinnings and slightly higher than the basic value of mature wood (Table 2).

2) Average of bending strength, modulus of elasticity in bending and compressive strength was respectively stronger than the basic strength in mature wood (Table 2). However, the lower 95% confidence limits of these values were greatly reduced

because of the large variation (σ_b : 481, E_b : 48×10^3 , σ_c : 243 kg/cm²). These limits were smaller than that of the basic strength in mature wood. A linear relationship was obtained between the strength and the specific gravity (Figures 2 and 3).

3) Location of specimen on a cross section of wood had influence upon the specific strength (Table 3). The specific strength of the specimen in outer zone (location 1 and 4 in Figure 1) was stronger 8 to 30% than that of inner zone (location 2 and 3 in Figure 1). Effect of location in height of tree trunk on the specific strength was only a few in the range of this experiment (Fig. 5).

4) Shrinkage in radial and tangential direction of the thinnings was similar to that of mature wood (Table 4).