

寺山産有用樹木の生長と材質について

針葉樹〔1〕

松 田 健 一

(1981年10月15日受理)

The Properties of Important Woods Grown at Terayama District On the Quality of Needle Leaved Tree [1]

Ken-i-chi MATSUDA

I はじめに

鹿児島市の中心から北東 10 km はなれた寺山地区に針葉樹，広葉樹からなる人工林，天然林を主とした山林と実習農場を含め約 31 ha 余の面積をもつ教育研究施設——教育学部所属の寺山自然教育研究施設——がある。本施設では山林をとおしての自然保護，環境保全について，また資源利用に関する学術研究や学生，生徒児童たちの自然教育学習，ならびに集団生活等の利用がなされている。そして，今後も学部が一体となって充実した施設の研究利用が望まれ専門領域毎に各種の利用，研究がすすめられている。

本研究は森林利用に関する基礎的研究の一環として施設内に生育する有用樹木の生長や材質等を究明することを意図したものである。本報では，植林された針葉樹のうちから SUGI, HINOKI を対象として選木し，その生長過程を樹幹解析し，さらに基礎材質，すなわち理学的性質を明らかにし，あわせて，これらの調査木に対して熱処理，冷凍処理，薬品処理を施した場合の材質変化をみるための応用実験を試みた結果をまとめたものである。

II 寺山自然教育研究施設の概要

本施設は学部から北東 16 km はなれた高台に面積 30 ha の山林と 1.2 ha の実習農場と，管理棟，作業棟の諸施設からなっている。その全域が霧島屋久国立公園の第 2 種特別地域内にあり，さらに鹿児島県の都市計画法の風致地域に指定されている。また鹿児島市寺山公園とは，それを内部にとりかこむ状態で隣接し，さらに市水道の水源地帯にもなっている。このように自然環境に恵まれたところに位置する。気象は標高約 400 m の台地にあり，平均気温 15.9°C，月間最高温度 28.9°C，月間最低温度 1.5°C，年間雨量 2602 mm を測定している。調査木は Fig. 1 に示す施設の一画に存する市公園に通じる山道添いの林班“に”，“に₁”の 30° の傾斜地の林内に植生している OBISUGI, HINOKI の中から平均的な生長を示しているものを各 2 本あて選択し 7 月中旬に伐採した。

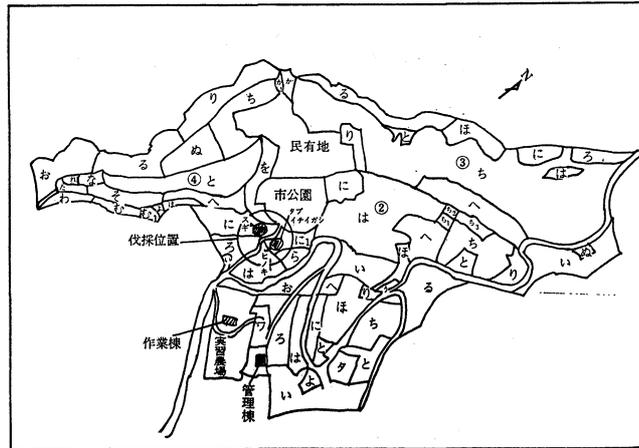


Fig. 1 寺山自然教育研究施設

OBISUGI (*Cryptomeria japonica* D. Don) 樹令 31 年, 樹高 17 m, 胸高直径 30 cm。

HINOKI (*Chamaecyparis obtusa* Endlicher) 樹令 56 年, 樹高 18 m, 胸高直径 34 cm。

III 実験方法

1. 実験項目

i. 樹木の生長

OBISUGI, HINOKI を樹幹解析し, 樹高, 胸高, 材積の各生長ならびに生長率などを樹幹解析法を適用して両樹種の生長過程を検討した。

ii. 樹木の材質

OBISUGI, HINOKI の材質については, 物理的, 機械的性質を JIS 規格を適用して測定し, さらに応用実験として両樹種に外的な因子が加えられた場合の材質変化を機械的性質の面から究明した。

2. 測定方法

i. 樹木の生長に関する測定

樹幹解析法によって調査木を Fig. 2 に示すように, 一定の樹高ごとに円盤を採取し, その円盤

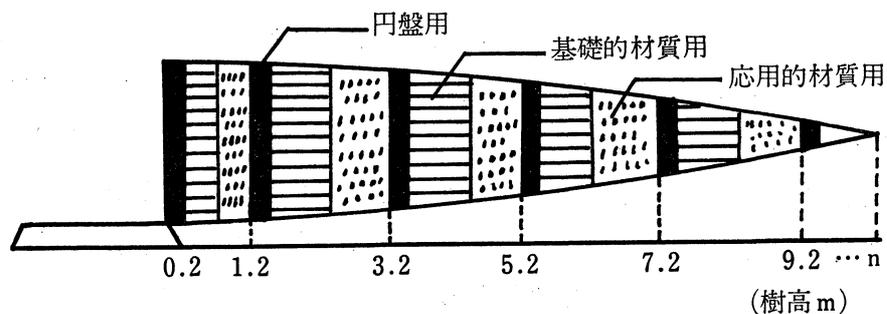


Fig. 2 生長・材質試験片採取位置

の年輪巾等を測定し両樹種の生長過程を解析した。樹令については樹高 0.2 m 部の円盤の年輪数に、その高さに達すると予測される年数3年を加えて樹令とし、そして5年を一令階と定めた。

ii. 樹木の材質に関する測定

樹木の理学的性質に関する基礎的実験は JIS 規格を適用し、Fig. 2 に示す部分から試験片を採り、両樹種の樹高別、年輪方向別の含水率、比重の分布、年輪巾、晩材率、収縮率を測定し、さらに万能材料試験機 (TOM-5000D型, 新興通信製) で圧縮、曲げ、剪断の各強度と、硬度を、シャルピー型衝撃試験機 (0.8 kg-cm, 島津製) を用いて衝撃吸収エネルギーを測定した。測定値は1項目あたり5~20本の平均である。応用実験は、これらの両樹種と広葉樹の ICHIGASHI, TABU の2樹種に熱処理、冷凍処理、注水処理、薬品処理を施した場合の材質変化を強度面から測定し、その際の細胞組織の破壊形態を走査型電子顕微鏡 (S-405型, 日立製) で観察撮影した。

IV 実験結果, 考察

1. 樹木の生長について

Fig. 3 は寺山で生育した OBISUGI (以後 SUGI と略す), HINOKI を樹幹解析し樹幹断面図として表わしたものである。この図から樹木が伸長生長と肥大生長によって生育してゆく過程を知る。SUGI は年輪巾が広く、樹令別の樹高差が大きく肥大、伸長生長が著しいことを認めることができる。そして成熟材の構成が樹心から年輪方向 10~15 cm の位置、すなわち25年輪ふきんから認めることができる。HINOKI の方は樹令20年までは生育は早い、このあと生長が遅くなり年輪も狭く密なる材質を呈する。そして成熟材の構成が25年輪 (樹心から年輪方向へ 10~15 cm)

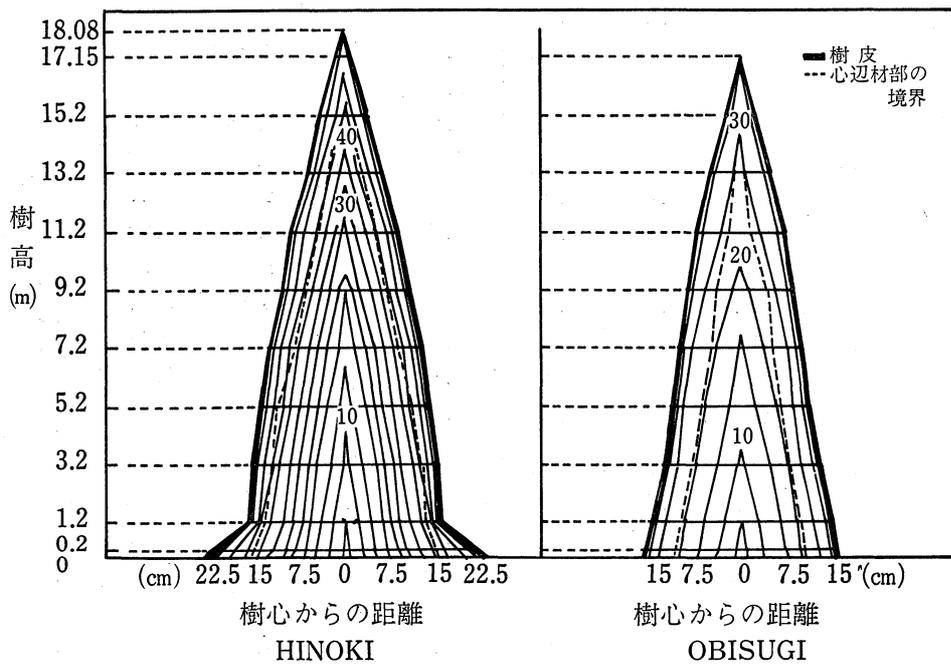


Fig. 3 樹幹断面図

あたりからみとめられる。心辺材の割合は SUGI は樹高 7.2 m までに 20 年輪に沿ってみられるが、この樹令をこすと辺材部が増加してくる。HINOKI は心材の占める比重が大きく、辺材との境界が 45 年輪に沿ってみとめられた。樹皮率は SUGI で 6.2%, HINOKI で 7.8% であった。

Table 1 は SUGI, HINOKI の樹幹解析総括表であるが、この表から各項目の生長について検討を加えることにする。

(a) 樹高生長 SUGI, HINOKI の伸長生長量は樹令 20 年頃までは、ほぼ同様の傾向を示しているが、その後 30 年までは SUGI は直線的に生長しているのに対し、HINOKI は生長がにぶってきている。この両樹種の伸長生長の傾向は次式で求めることができる。

SUGI の樹高生長を H_s , HINOKI の樹高生長を H_h , 樹令を Y とすると、

$$H_s = 0.0003 Y^2 + 0.64 Y - 2.2$$

$$H_h = 0.0031 Y^2 - 0.50 Y - 0.59$$

(b) 胸高直径生長 両樹種の胸高部の年輪方向の生長は胸高直径 R (SUGI を R_s , HINOKI を R_h) とすると、樹令 Y との間に次式であらわすことができる。

$$R_s = -0.017 Y^2 + 1.85 Y - 10.95$$

$$R_h = -0.0053 Y^2 + 0.96 Y - 4.78$$

Table 1 樹 幹 解 析 総 括 表

樹種	年令	樹 高 生 長					直 径 生 長				
		総生長量 (m)	定期 生長量 (m)	連年 生長量 (m)	平均 生長量 (m)	生長率 (%)	総生長量 (m)	定期 生長量 (m)	連年 生長量 (m)	平均 生長量 (m)	生長率 (%)
HINOKI	5	1.20	1.20	0.24	0.24	—					
	10	4.20	2.00	0.40	0.42	28.47	4.43	4.43	0.89	0.44	—
	15	6.70	2.50	0.50	0.45	9.79	8.65	4.22	0.84	0.58	14.32
	20	9.20	2.50	0.50	0.46	6.55	12.28	3.63	0.73	0.61	7.26
	25	9.77	0.57	0.11	0.39	1.21	15.25	2.97	0.60	0.61	4.43
	30	11.80	2.03	0.41	0.39	3.85	18.25	3.00	0.60	0.51	3.66
	35	12.80	1.00	0.20	0.37	1.64	22.03	3.78	0.76	0.63	3.84
	40	14.06	1.26	0.25	0.35	1.90	25.07	3.67	0.73	0.64	3.13
	45	15.44	1.38	0.28	0.30	1.89	28.80	3.10	0.62	0.64	2.30
	50	16.64	1.20	0.24	0.33	1.51	29.60	0.80	0.16	0.59	0.55
	55	17.84	1.20	0.24	0.32	1.40	31.58	1.98	0.40	0.57	1.30
56	18.08	0.24	0.24	0.32	1.35	31.85	0.27	0.27	0.57	0.85	
OBISUGI	5	1.20	1.20	0.24	0.24	—					
	10	3.87	2.67	0.53	0.39	26.39	5.90	5.90	1.18	0.59	—
	15	7.64	3.77	0.75	0.51	14.57	12.73	6.83	1.37	0.85	16.63
	20	9.87	2.23	0.45	0.49	5.26	19.15	6.42	1.28	0.96	8.51
	25	14.53	4.66	0.93	0.58	8.04	24.75	5.60	1.12	0.99	5.26
	30	16.76	2.23	0.45	0.56	2.90	29.15	4.40	0.88	0.97	3.33
	35	17.15	0.39	0.39	0.55	2.33	29.85	0.70	0.70	0.96	2.40

(c) 胸高断面積生長 両樹種のこの生長は(b)と密接な関係を持ち、その生長傾向は同じである。

(d) 樹幹材積生長 この場合も樹令が多くなるにつれて(a),(b)と同様の傾向を示しながら材積が増加しているが、この材積増加量は樹幹材積 V (SUGI を V_s , HINOKI を V_h) とすると樹令 Y との間に次の関係式が成立する。

$$V_s = 0.001 Y^2 - 0.031 Y + 0.038$$

$$V_h = 0.0003 Y^2 - 0.004 Y + 0.012$$

また、この連年、平均生長は、SUGI は樹令に比例して増加しており連年成長は5~10年輪部で 0.0015 m^3 であるが、30~31年輪部では 0.042 m^3 と約30倍となっている。両樹種を比較するとSUGIの方が連年、平均生長とも大きくて顕著である。

(e) 胸高係数 これから両樹種の肥大、伸長生長の関係をみると、HINOKI の場合は樹令10年で胸高係数が最大値を示し、そして10~15年で最少値となり、その後はあまり大きな変動はみられない。このことより、肥大と伸長生長との関係は樹令10年までは肥大生長の方が盛んであり、15年後から減少気味を呈している。その後は一定の生長がみとめられる。SUGI は樹令10年あたりで最大に達し、その後は減少している。このことから SUGI も樹令10年ごろまでは伸長生長に比して肥大生長が盛んであり、年数が経つにつれて伸長と肥大生長との間に1つのバランスがとれ

$$\text{生長率}(p) = \left(\sqrt[n]{\frac{M}{m}} - 1 \right) \times 100$$

断 面 積 生 長					材 積 成 長					胸高係数
総生長量 (m^2)	定 期 生長量 (m^2)	連 年 生長量 (m^2)	平 均 生長量 (m^2)	生長率 (%)	総生長量 (m^3)	定 期 生長量 (m^3)	連 年 生長量 (m^3)	平 均 生長量 (m^3)	生長率 (%)	
0.0015	0.0015	0.0003	0.0002	—	0.0041	0.0041	0.0008	0.0001	—	0.651
59	44	9	4	31.51	193	146	29	13	32.65	0.488
118	59	12	6	14.87	523	330	66	26	22.06	0.481
183	65	13	7	9.17	950	427	35	38	12.68	0.531
262	79	16	9	7.44	1471	521	104	49	9.14	0.476
381	119	24	11	7.78	2268	797	159	65	9.05	0.405
519	138	28	13	6.38	3315	1047	209	83	7.89	0.455
651	132	26	14	4.64	4398	1078	216	98	5.79	0.471
688	137	7	14	0.52	5530	1137	227	111	4.71	0.483
783	95	19	14	2.62	6829	1299	260	124	4.31	0.489
797	114	14	14	1.79	7013	184	184	125	2.69	0.487
0.0027	0.0027	0.0005	0.0003	—	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	—	0.683
127	100	20	8	36.80	461	390	78	30	45.37	0.475
288	161	32	14	17.80	1440	979	196	72	25.58	0.506
481	193	39	19	10.80	2909	1469	294	116	15.01	0.416
667	186	37	22	6.76	4575	1666	333	153	9.48	0.409
700	33	33	23	4.95	5001	426	426	161	9.31	0.417

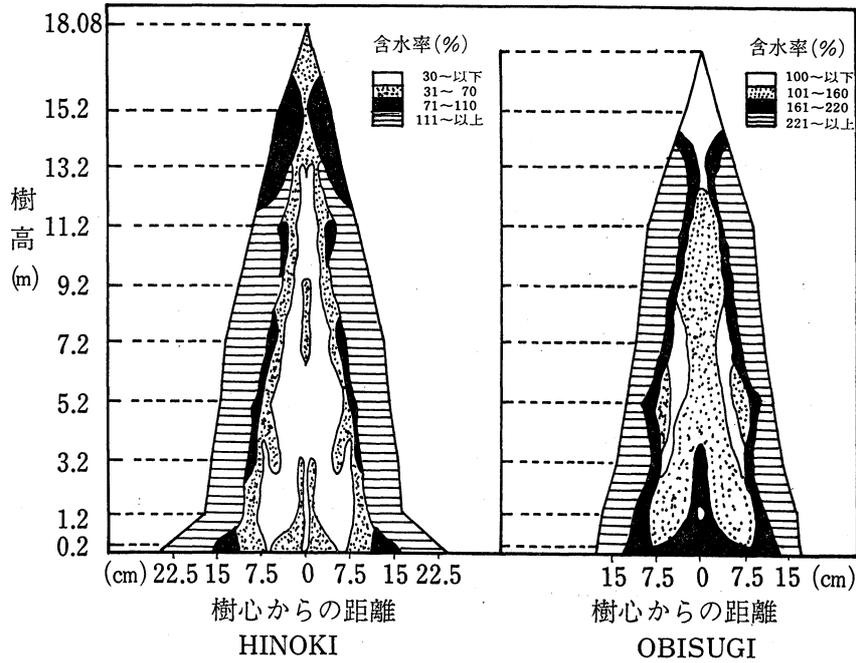


Fig. 4 含水率分布図

てくることが判る。この肥大と伸長生長の2因子は樹令と深いかかわり合いをもち、針葉樹では生長の初期において肥大生長が著しいために年輪巾も大きく、未成熟材部を構成し理学的材質が不安定にして劣ることが予測される。

2. 樹木の材質について

1 物理的性質

(a) 含水率分布 Fig. 3 は SUGI, HINOKI の伐採直後の樹高別、年輪方向別の含水率を測定した結果を樹幹断面に分布図として模式的にあらわしたものである。この図から、木材内の含有水分の状態は樹種によっても異り、一本の樹木の中でも心材、辺材部の位置と場所によっても、また高さによっても異なることが判る。すなわち、樹令31年の SUGI は心材部で150%，辺材部で250%前後もあった。樹令56年の HINOKI は心材部で30%，辺材部で150%前後であった。しかし針葉樹の場合、樹種により、生育条件により、伐採時期によっても含有水分の量、またその分布状態は変るであろうが、その分布を樹幹内に模式化してあらわすと一つのパターンのあることが認められる。

(b) 比重分布 Fig. 5 は両樹種の年輪方向、樹高別の比重を伐採直後の生材、次いで気乾時、さいごに全乾時について測定したが、その結果から材内の全乾比重を樹幹断面に模式化して分布図としてあらわしたものである。この図から、樹種によって比重の大小差はあるが、樹幹内の比重分布には同じ傾向があることが判る。すなわち、全乾比重は年輪方向から観察すると、樹心部の髓が高く、それを囲んで狭い範囲で次の比重層が存在し、そのまわりをその材の平均比重となる大きな面積を占める比重層がみられ、丁度樹心から10~15cmの距離のところ存在している。最

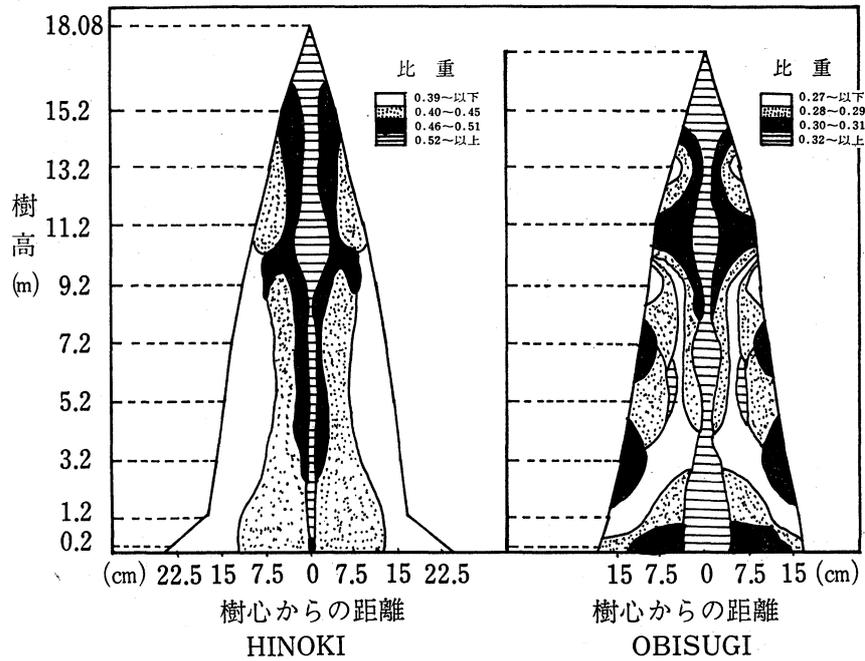


Fig. 5 全乾比重分布図

後に最外部の辺材部を低比重の層がとりかこんで樹幹が構成されている。標高方向についてみると、上部にゆくにしたがって高い比重層のしめる割合が多くなっている。これは生材比重と比較すると生材比重は辺材部が高く、内部へ移行するにつれて低くなってゆく。このことはその木材の空隙率と密接な関係を持ち、辺材部では空隙率大なるゆえに水分の含有量も多く、生材比重を高くしていることになる。

(c) 収縮, 膨張率 Table 2 は両樹種の気乾状態から全乾状態に達したときの収縮率と全乾状態から飽和含水率までの膨潤による膨張率をあらわしている。この全収縮率と全膨張率を含水率1%当りの収縮率, 膨張率に換算すると吸湿時と放湿時の材の動きが異なることが判る。

Table 2 収縮率および膨張率

樹種	収縮率 (%)			膨張率 (%)		
	接線方向	半径方向	繊維方向	接線方向	半径方向	繊維方向
HINOKI	3.60	1.57	0.32	6.47	2.49	0.71
OBISUGI	4.18	1.41	0.58	7.75	2.69	1.02

2 機械的性質

Fig. 6, 7 は両樹種の年輪方向と樹高方向における曲げ強さ, 圧縮強さ, および, それぞれのヤング係数をあらわしている。樹幹内の年輪方向の曲げ強さは, 樹心部が高く, 次いで未成熟材部と称される年輪中の広い層が低い値を示し, 樹心から年輪方向に 10~15 cm の成熟材部で再び強度が増加している。そして HINOKI において最外部の辺材部では低下する。この強度分布の状態

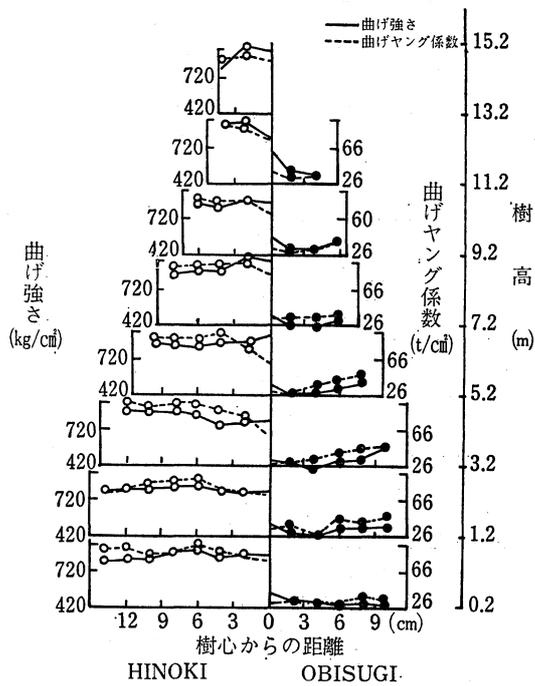


Fig. 6 樹高, 年輪方向における曲げ強さ

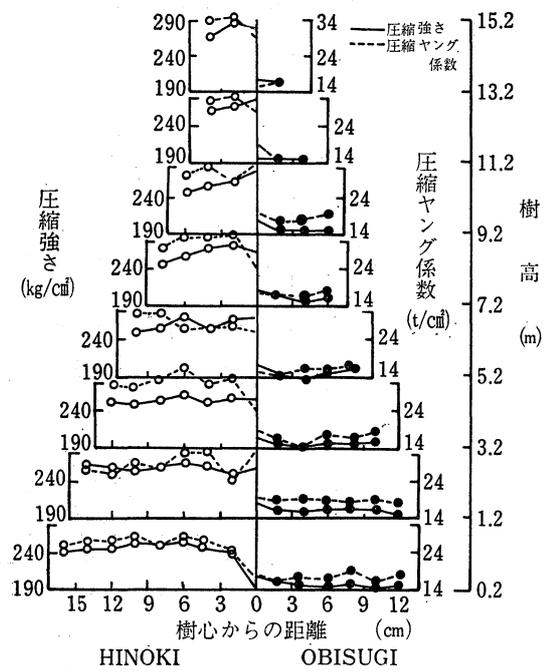


Fig. 7 樹高, 年輪方向における圧縮強さ

は Fig. 5 で示した比重分布と一致していることが認められる。なお、曲げ強さ σ_b (SUGI... σ_{bs} , HINOKI... σ_{bh}) とヤング係数 E_b (SUGI... E_{bs} , HINOKI... E_{bh}) との間には次の関係が成立する。

$$\sigma_{bs} = 3.51 E_{bs} + 355.89$$

$$\sigma_{bh} = 2.00 E_{bh} + 684.52$$

ただし、樹心部は曲げ強さにくらべてヤング係数は低く、かたくて脆い材質である。

Fig. 8~10 には両樹種の生長過程で構成される各因子、すなわち、年輪巾、晩材率、比重と曲げ強さとの相関をみたものである。Fig. 11~12 は木口面の硬さが圧縮強さ、剪断強さに及ぼす影

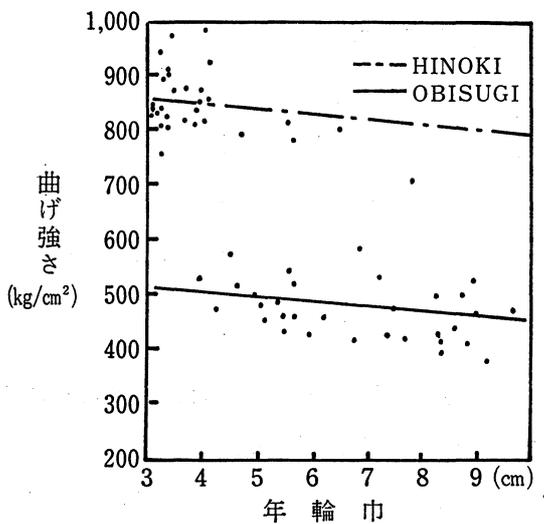


Fig. 8 年輪巾と曲げ強さの関係

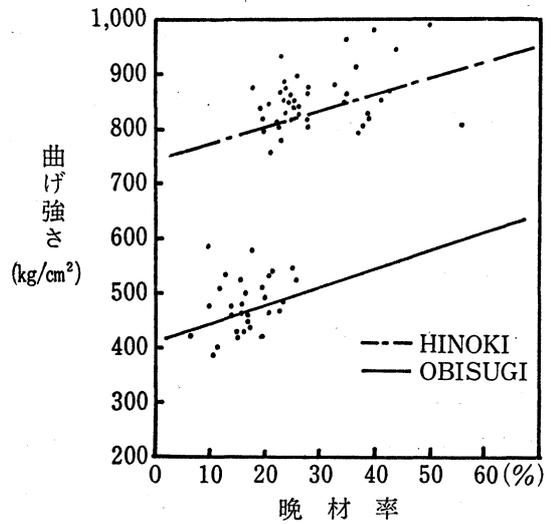


Fig. 9 晩材率と曲げ強さの関係

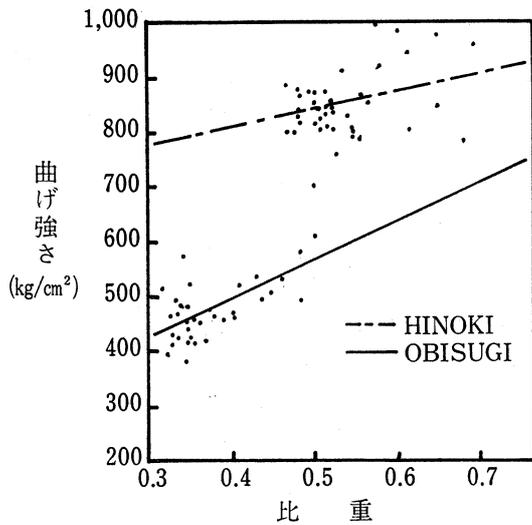


Fig. 10 比重と曲げ強さの関係

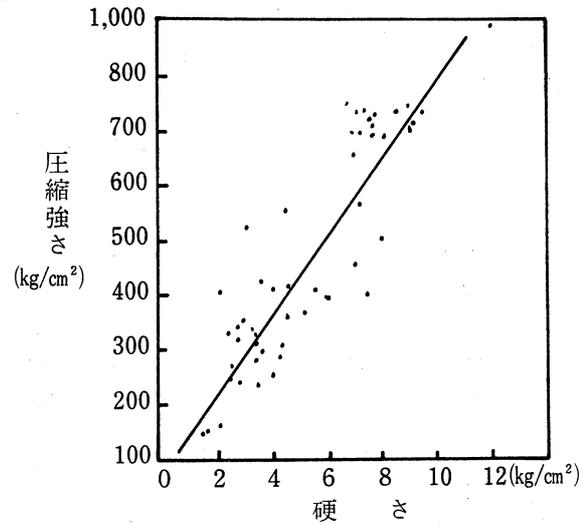


Fig. 11 木口面硬さと圧縮強さの関係

響を示したものである。

Table 3 は、樹高方向による各強度比をあらわした。すなわち、樹高の胸高部 (1.2 m) の強度を 0 として、これを基準にしその強度に対する変化を変動係数としたものである。これによって胸高部の強度を測定すれば、その樹木の樹高方向の強度の傾向を推定することが可能で、一本の樹幹内の強度を知ることが出来る。本実験に供した調査木 SUGI (樹令 31 年) の場合、各強度とも胸高部から樹高 7.2 m あたりまでは変動係数が少く、総体的に材質が安定していることが判る。樹令 56 年の HINOKI の場合は樹高 9.2 m あたりまでは変動係数のばらつきが少く、材質が安定しているものとみなすことができる。ただ両樹種とも剪断強さについては、胸高部に対する他樹高部の変動が大きく、他の強度と異なる現象を呈した。この原因についてはさらに試験本数をふやして再検討の要がある。

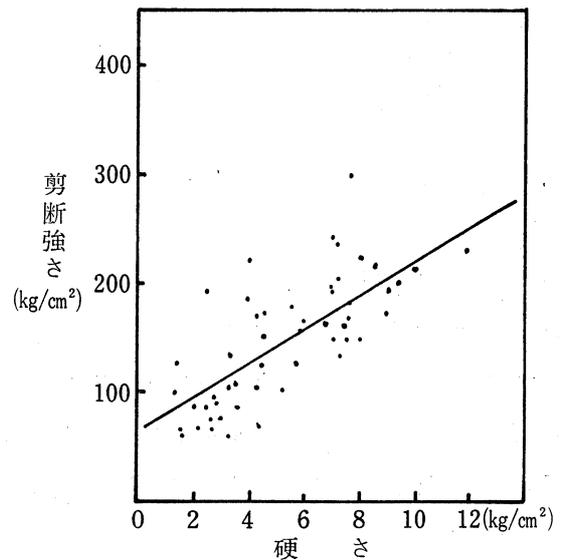


Fig. 12 木口面硬さと剪断強さの関係

V 結 語

本実験では、施設の事情により一樹種 2 本しか伐採できず、寺山地区に生育する針葉樹の OBI-SUGI, HINOKI の全体的な生長の傾向、および理学的性質等を把握することはできなかった。しかし一樹木における生長過程や材質についてはかなり深く究明することができた。その結果を要約すると次のとおりである。

Table 3 胸高部の強度に対する樹高別の強度比 () 内は変動係数

樹種	樹高 (m)	圧縮強さ (kg/cm ²)	圧縮ヤング係 数 (t/cm ²)	曲げ強さ (kg/cm ²)	曲げヤング係 数 (t/cm ²)	剪断強さ (kg/cm ²)	衝撃吸収 エネルギー (kg·m/cm ²)
HINOKI	0.2	253 (-38)	27 (-10)	842 (3)	86 (4)	139 (36)	0.51 (4)
	1.2	408 (0)	30 (0)	818 (0)	83 (0)	102 (0)	0.49 (0)
	3.2	398 (- 2)	32 (7)	830 (12)	86 (4)	125 (23)	0.51 (4)
	5.2	414 (1)	29 (- 3)	864 (6)	85 (2)	143 (40)	0.49 (0)
	7.2	415 (2)	31 (- 3)	916 (12)	90 (8)	157 (54)	0.51 (4)
	9.2	413 (1)	34 (13)	847 (4)	82 (- 1)	151 (48)	0.55 (12)
	11.2	437 (7)	31 (3)	882 (8)	85 (2)	165 (62)	0.58 (18)
	13.2	246 (12)	33 (0)	916 (12)	89 (7)	157 (54)	0.57 (16)
OBISUGI	0.2	215 (- 4)	18 (- 5)	468 (-1)	32 (-20)	96 (9)	0.49 (- 2)
	1.2	224 (0)	19 (0)	473 (0)	40 (0)	89 (0)	0.50 (0)
	3.2	211 (- 6)	16 (-15)	470 (-1)	37 (- 8)	96 (8)	0.47 (0)
	5.2	215 (- 4)	18 (- 5)	475 (0)	37 (- 8)	107 (22)	0.46 (- 8)
	7.2	230 (3)	18 (- 5)	431 (-9)	34 (-15)	111 (25)	0.44 (-12)
	9.2	202 (-10)	19 (0)	513 (8)	34 (-15)	115 (29)	0.47 (- 6)
	11.2	248 (11)	16 (-15)	581 (23)	35 (-13)	131 (47)	0.49 (-21)
	13.2	246 (10)	17 (-10)	—	—	143 (61)	0.52 (4)

OBISUGI, HINOKI の両樹種は各生長量には樹種間に差は生じるが、しかし生長の傾向は類似している。すなわち、樹令10年ごろまでは伸長生長にくらべて肥大生長の方が盛んで年輪方向に大きくなるのが早い。しかし樹令15年を境にして肥大生長はおとろえはじめ、年を経るに従って伸長と肥大生長の間に一定のバランスが生じて成熟材部を構成している。

材質については、含水率、比重を樹幹内に挿入して分布図を描くことによって、これらが生長の過程とも関連し、あわせて機械的性質に密接な影響を与えることが判る。また樹高方向別の強度の変動係数を算出することによって胸高部(1.2m)の各強度を測定し、全樹幹部の材質を推測することができた。

尚、寺山自然教育研究施設に生育する樹木の生長、材質を解析してゆくにあたり、資料の提供、伐採等についてご協力いただいた細山田主任、桜井技官、山下技官に厚く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山田茂夫, 村松保男: 例解測樹の実測, 地球出版.
- 2) 渡辺治人: 木材理学総論, 農林出版.
- 3) 小野和雄: 木材物理実験書, 農業図書.
- 4) 北原覚一: 木材物理, 森北出版.
- 5) 島地 謙, 須藤彰司, 原田 浩: 木材の組織, 森北出版.