

南九州産木材の機械的性質に関する研究

(キリシマアカマツの強度について)

高橋 四十夫・黒木 晴輝

緒 言

主題に関しては先に西，木村⁽¹⁾によりモミ，ツガに関する研究が発表されているが，筆者等は夫れに引続き霧島赤松に就き，繊維に平行及び繊維に垂直な圧縮，引張り，曲げ，剪断，衝撃曲げ，硬さにつき試験を行つたので其の結果を報告する．試験材の採取，運搬に特別の好意を示された熊本営林局並に加治木営林署及び試験材の乾燥に便宜を与えられた鹿児島営林署に対し深甚の謝意を表す。

I 試験方法

1 試験木の選定及び木取

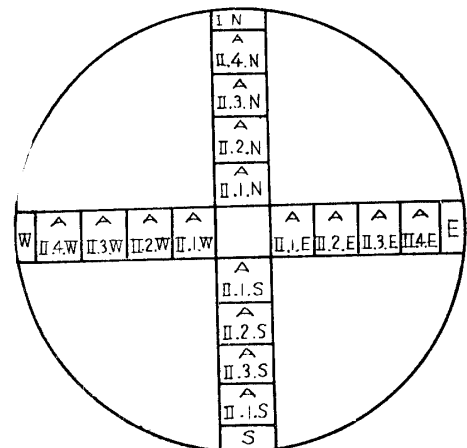
供試材は昭和 23 年 11 月加治木営林署管内西霧島事業区字新床 39 林班へ小班より採取したもので，其の樹齡，胸高直径，樹高及び枝下高は第 1 表に示す通りである。

なお各供試木は前試験に倣い地上 50 cm より上方に約 2 m の長さの丸太を取り之を A とし，更に枝下高より下方に約 2 m の長さの丸太を取りこれを B とした．各丸太よりは第 1 図に示すように約 5.5 cm 角の角柱を取り気乾状態迄乾燥し，各角柱の無疵部分より適宜各種の試験体を採取した。

第 1 表

供試木 番号	胸高直径		樹高 (m)	樹齡	枝下高 (m)
	最小 (cm)	最大 (cm)			
I	82	82	28	203	16.0
II	56	58	22	196	10.0
III	70	70	25	205	9.5
IV	52	54	26	185	13.0
V	56	60	21	185	6.0

第 1 図 (Fig. 1)

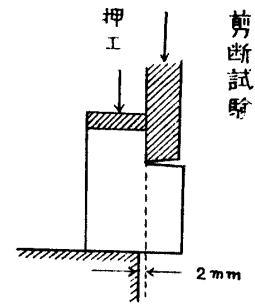


(1) 西 力造・木村大造；南九州産木材の機械的性質に関する研究，鹿児島農林専門学校学術報告 第 15 号 (1949)。

2. 試験体の寸法及び試験方法

試験体の寸法は総て日本建築規格木材試験方法の規定通りとした。

試験は森式万能強弱試験機（最大スパン 1 m, 最大荷重 15,000 kg）により規格通り行つた。但し剪断試験は試験機附属の旧法による方式で、図はそれを示す。衝撃曲げ試験はシャルピー型試験機（能力 10 kg. m）で行つた。その他含水率、容積重等の測定も規格による方法で測定した。



I 試験結果

1. 法正含水率への換算

試験体の含水率を法正含水率に換算する為には各強度試験毎に約 30 箇の試験体を多湿の箇所に置き適宜の時間を隔てて容積重、強度等との関係を求めた。此の結果は 15% 前後では夫等の関係は殆ど直線をなしているので直線として取扱う事とし、其の増減の程度は各関係の後に示す通りである。

2. 各種強度

求めた各種強度を採取位置別 (A 及び B), 方位別 (一方位内の試験体数は 2 個~ 6 個) に纏めた結果は第 2 表に示す通りである。

3. 容積重, 含水率, 平均年輪幅及び各強度間の相互関係

A 容積重と含水率 (第 2 図)

容積重と含水率については次の関係が得られた。但し、試験体の含水率の範囲は 10~20% である。

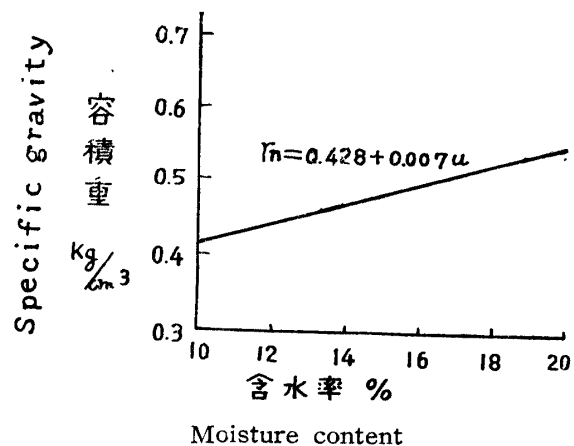
$$r_u = 0.428 + 0.007 u \quad \begin{matrix} r_u: \text{容積重} \\ u: \text{含水率} \end{matrix}$$

含水率が 1% 増減すれば容積重は 1.2% 増減する。之を Chevandier 及び Wertheim の式に当てはめると

$$r_{15} = r_u + 0.012 r_u (15 - u)$$

となり、同氏等の式中の常数 λ が 0.012 に相当し歐洲産松と殆ど同じである。

第 2 図 (Fig. 2)



B 容積重及び秋材率と平均年輪幅 (第 3 図, 第 4 図, 第 5 図)

容積重と平均年輪幅の関係に就いては次の結果を得た。

$$r = 0.428 + 0.087 B - 0.017 B^2 \quad \begin{matrix} \text{最大値 (} B = 2.5, r = 0.541 \text{)} \\ r: \text{容積重} \\ B: \text{平均年輪幅} \end{matrix}$$

試験片 番 号	圧縮試験 (繊維に平行)		部分圧縮試験 (繊維に垂直)			衝撃曲げ試験 (シャルピー式)	
	容積重 kg/cm ³	強度 kg/cm ²	容積重 kg/cm ³	部分圧縮 比例限度 kg/cm ²	辺長の5%部 分圧縮強さ kg/cm ²	容積重 kg/cm ³	吸収エネ ルギー kg.m/cm ²
I A N	0.591	553	0.654	124.1	152.0	0.562	0.467
" E	0.621	576	0.641	109.3	133.0	0.577	0.499
" S	0.602	544	0.598	101.3	133.1	0.604	0.485
" W	0.553	539	0.586	126.2	144.9	0.577	0.472
II A N	0.518	490	0.523	95.2	114.7	0.497	0.428
" E	0.510	473	0.512	90.9	117.5	0.513	0.373
" S	0.512	442	0.524	104.1	127.3	0.497	0.429
" W	0.519	435	0.547	114.7	134.9	0.513	0.328
III A N	0.521	469	0.532	98.5	120.2	0.527	0.422
" E	0.528	458	0.492	89.5	111.5	0.518	0.404
" S	0.509	414	0.472	77.1	96.7	0.525	0.329
" W	0.541	437	0.558	101.1	118.0	0.536	0.373
IV A N	0.502	479	0.529	84.7	98.7	0.503	0.391
" E	0.523	480	0.525	91.5	106.8	0.546	0.442
" S	0.514	425	0.536	88.2	104.8	0.517	0.313
" W	0.508	487	0.511	92.6	105.7	0.526	0.378
V A N	0.502	437	0.517	104.5	118.0	0.504	0.401
" E	0.546	484	0.519	102.6	113.3	0.528	0.492
" S	0.548	468	0.577	129.6	139.4	0.534	0.511
" W	0.542	439	0.552	115.6	131.3	0.524	0.453
I B N	0.541	477	0.551	92.4	102.4	0.473	0.304
" E	0.508	472	0.504	0.19	83.0	0.489	0.325
" S	0.483	448	0.527	7.73	113.1	0.508	0.342
" W	0.512	451	0.548	108.4	119.9	0.512	0.435
II B N	0.516	476	0.497	82.8	102.1	0.493	0.362
" E	0.481	483	0.498	82.6	101.9	0.474	0.336
" S	0.480	463	0.480	90.4	102.1	0.479	0.405
" W	0.491	459	0.503	98.3	112.1	0.492	0.367
III B N	0.460	411	0.476	89.3	102.3	0.485	0.352
" E	0.470	374	0.467	83.4	112.6	0.476	0.249
" S	0.452	379	0.462	100.5	117.2	0.471	0.287
" W	0.493	380	0.515	98.1	112.5	0.490	0.266
IV B N	0.467	407	0.466	93.1	100.8	0.470	0.295
" E	0.498	426				0.483	0.256
" S	0.497	437				0.492	0.308
" W	0.501	452	0.506	104.1	123.8	0.480	0.306
V B N	0.490	470	0.529	103.4	127.5	0.498	0.371
" E	0.488	450	0.517	113.7	135.6	0.462	0.302
" S	0.507	443	0.546	108.1	139.9	0.506	0.382
" W	0.560	472	0.550	116.3	141.6	0.541	0.404

表

曲げ試験		引張り試験		剪断試験		硬 さ 試 験			
容積重 kg/cm ³	強度 kg/cm ²	容積重 kg/cm ³	強度 kg/cm ²	容積重 kg/cm ³	強度 kg/cm ²	容積重 kg/cm ³	木口硬さ kg/mm ²	柁目硬さ kg/mm ²	板目硬さ kg/mm ²
0.566	786.4	0.552	1,385.1	0.605	71.2	0.626	4.98	2.64	2.63
0.622	974.7	0.583	1,159.6	0.620	72.6	0.608	5.34	2.77	2.39
0.591	936.1	0.603	1,497.2			0.600	5.28	2.89	2.63
0.591	848.8	0.566	999.4	0.567	60.4	0.565	4.56	2.57	2.41
0.501	664.0	0.513	945.4	0.507	62.9	0.521	4.75	2.60	2.30
0.509	741.6	0.491	1,043.6	0.526	64.5	0.505	4.56	2.59	2.58
0.523	745.6	0.485	918.4	0.533	64.1	0.517	4.43	2.58	2.70
0.504	692.1	0.549	986.9	0.543	69.2	0.547	4.92	2.17	2.31
0.530	736.5	0.551	1,215.5	0.539	71.7	0.537	4.56	2.52	2.37
0.484	683.7	0.517	917.8	0.504		0.551	4.17	2.33	2.17
0.541	719.2	0.535	946.0		61.3	0.516	4.22	2.28	2.38
0.542	720.3	0.551	987.0	0.478	64.0	0.540	4.53	2.25	2.51
0.493	695.6			0.548	68.1	0.561	4.81	2.65	2.14
0.541	777.5	0.507	957.2	0.529	69.8	0.535	4.72	2.17	2.15
0.513	754.2	0.502	1,011.5	0.525	66.5	0.514	4.50	2.16	2.16
0.514	754.6	0.524	1,186.1	0.515	67.8	0.527	4.50	2.21	2.13
0.519	709.7	0.517	1,124.2	0.535	69.2	0.535	4.32	1.93	2.23
0.517	765.0	0.530	1,207.1	0.511	77.3	0.539	4.49	2.34	2.20
0.550	790.1	0.530	829.4	0.532	68.3	0.557	4.61	2.28	2.58
0.557	765.2	0.570	1,213.8	0.467	67.3	0.564	4.66	2.32	2.39
0.478	693.7	0.489	984.0	0.533	66.0	0.511	4.32	2.24	2.04
0.518	732.8	0.467	1,117.9	0.496	61.9				
0.493	645.3	0.520	1,029.4	0.512	66.7	0.532	4.52	2.25	2.49
0.507	717.1	0.514	1,266.7	0.503	63.6	0.507	4.22	2.15	1.94
0.509	713.0	0.514	1,065.4	0.514	62.2	0.519	4.77	2.39	1.95
0.482	720.2	0.486	820.3	0.487	57.9	0.506	4.48	2.17	1.98
0.488	668.0	0.474	836.1	0.491	57.6	0.516	4.43	2.20	2.05
0.521	693.1	0.489	803.6	0.484	53.2	0.486	4.49	2.28	2.25
0.494	615.1	0.498	1,070.8	0.459	57.7	0.474	4.09	2.33	2.25
0.471	614.3	0.417	844.7	0.477	58.3	0.474	4.32	2.23	2.08
		0.440	956.4	0.467	57.1	0.449	4.26	2.17	1.89
0.477	678.7	0.493	959.9	0.495	63.1	0.502	4.50	2.32	2.18
0.506	737.3	0.437	676.4	0.453	59.2	0.496	4.03	2.54	1.99
		0.487	967.4	0.526	69.1	0.541	3.24	2.56	1.89
		0.511	926.4	0.517	70.0	0.537	4.32	2.31	3.09
0.501	698.9	0.525	1,010.0	0.483	65.3	0.543	3.76	2.48	2.17
0.516	656.8	0.493	749.4	0.464	73.5	0.483	3.13	2.11	2.17
0.520		0.449	801.2	0.546	72.6	0.488	3.14	2.22	2.22
		0.497	905.2	0.548	69.2	0.517	4.15	2.28	2.27
	649.3	0.551	1,043.4	0.476	66.5	0.493	3.90	2.29	1.72

これは Kollmann の著書中に⁽²⁾示されている。G. H. Rochester による曲線を平均年輪幅のものを見れば、その *Pinus banksiana*, *Pinus Strobus* 等に最も似ていると思われる。尙渡辺、和田⁽³⁾によるキリシマアカマツの実験に於ける結果とも極めて類似したものである。

秋材率と平均年輪幅については次式が得られた。

$$S_r = 20.6 + 6.08B - 0.59B^2$$

最大値 (B = 5.2, S_r = 36.1)

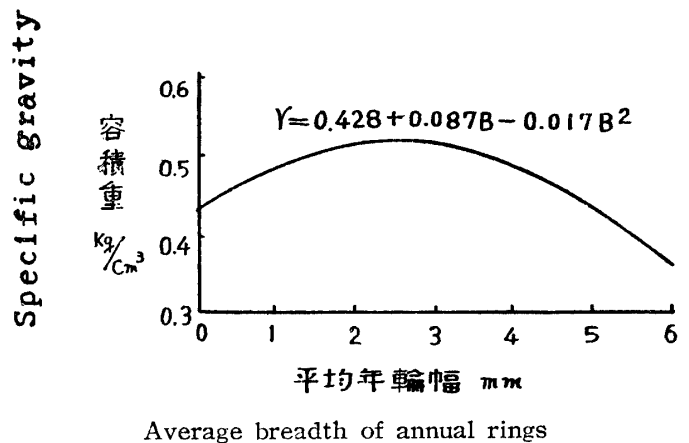
S_r: 秋材率

之は渡辺、和田の曲線より最高点のずれが見られるが、筆者等は先に九州産モミ、ツガの試験⁽⁴⁾に於て殆ど同様の結果を得ている。

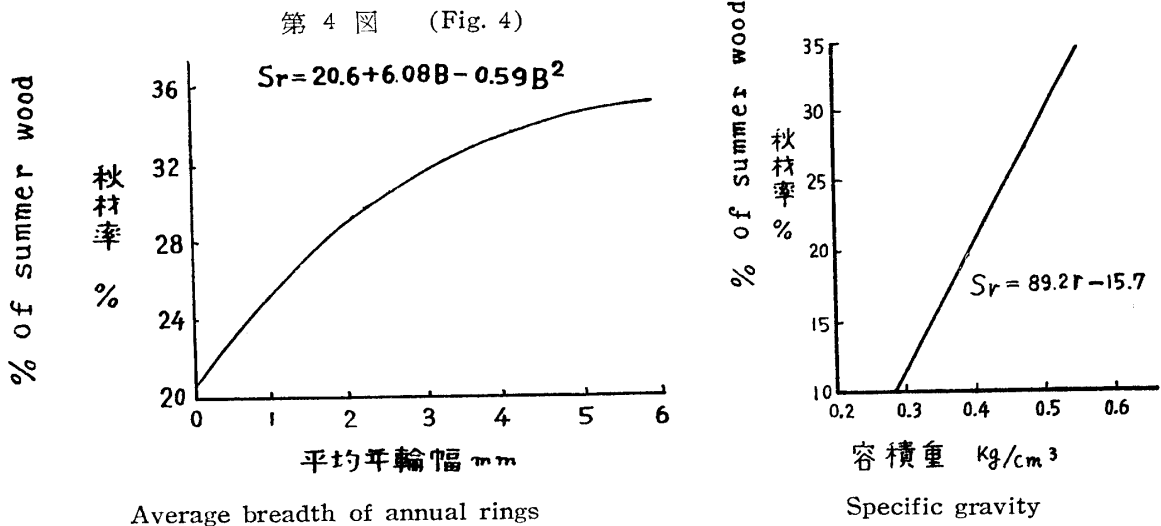
容積重と秋材率に関しては、次の式が得られた。

$$S_r = 89.2r - 15.7$$

第 3 図 (Fig. 3)



第 5 図 (Fig. 5)



C. 含水率と各強度 (第 6 図, 第 7 図)

含水率と各強度の関係は含水率の差が小である場合には直線的関係と見做し得るので、本実験では含水率 15% 近傍で次の如き式が得られた。

(2) F. Kollmann; Technologie des Holzes. P. 43. (1936).

(3) 渡辺 治人・和田 吉弘; 霧島赤松の年輪幅, 秋材率容積重, 圧縮強度間の相互関係に就いて, 九州大学農学部研究速報 第 15 号 (1945).

(4) 高橋四十夫・黒木 晴輝; モミ, ツガの衝撃曲げ強度について, 日本林学会九州支部研究抄報 第 7 回 (1952).

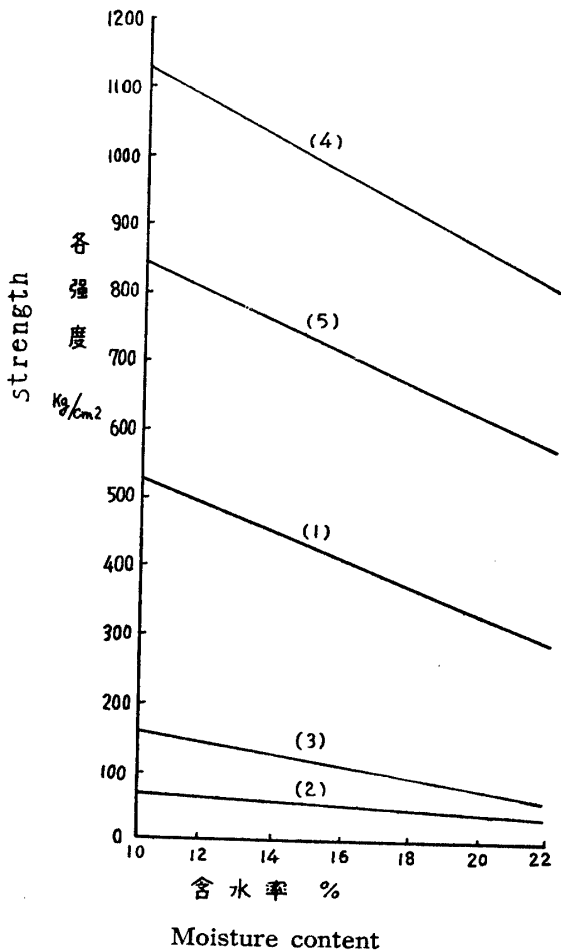
- (1) $\sigma_c = 709.5 - 18.6 u$ σ_c : 繊維に平行な圧縮強度
- (2) $\sigma_c' = 69.87 - 1.12 u$ σ_c' : 繊維に垂直な圧縮強度
- (3) $\sigma_{cp5} = 212.4 - 6.6 u$ σ_{cp5} : 部分圧縮辺長 5% 減込時の強度
- (4) $\sigma_t = 1389.8 - 26.3 u$ σ_t : 引張り強度
- (5) $\sigma_b = 1054.9 - 21.8 u$ σ_b : 曲げ強度

各種強度の修正率は上式より次の如くなり，法正含水率に該当する強度を換算した。

繊維に平行な圧縮強度	+ 4.5 %
繊維に垂直な圧縮強度	+ 2.1 %
部分圧縮強度	+ 5.3 %
引張り強度	+ 2.7 %
曲げ強度	+ 3 %
剪断強度 ⁽⁵⁾	+ 3 %

吸収エネルギーは含水率が 15% 附近では殆どその影響を受けない。

第 6 図 (Fig. 6)



但し + 符号は含水率 1% の減少に依る増加率を示すものである。

硬度と含水率の間には次式が得られた。之は米国林産試験場の結果⁽⁵⁾と大差がない。

(1) $H_{||} = -0.21 u + 7.6$

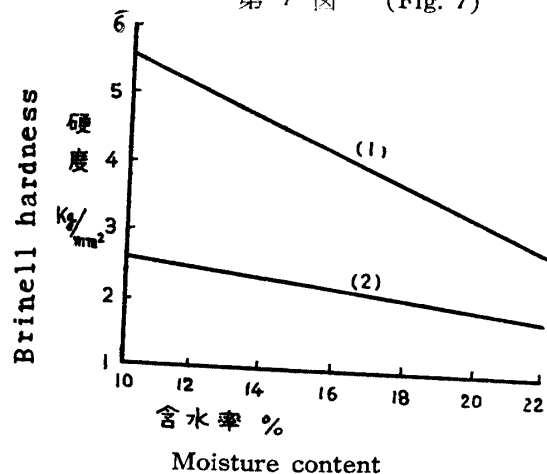
$H_{||}$: 木口硬さ

(2) $H_{\perp} = -0.065 u + 3.2$

H_{\perp} : 板目, 柾目の硬さ

含水率 1% 増減すると木口硬さは 4.5%, 柾目, 板目の硬さは 2.8% 減増する。

第 7 図 (Fig. 7)



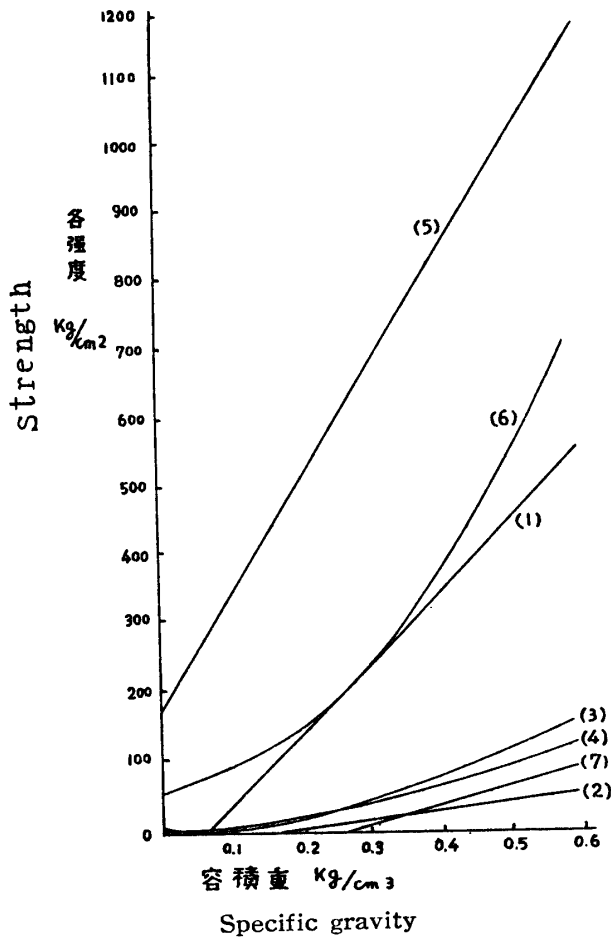
(5) 平井信二・北原覚一; 木材理学 P. 86. (1953).

D. 容積重と各強度 (第8図, 第9図, 第10図)

容積重と各強度の関係は種々なものが発表されているが, 本試験では次に示す様に, 圧縮, 引張り,

剪断の各強度及び硬度と容積重との間には直線的関係がある. メリ込比例限度, 曲げ強度との間には直線に近い拋物線関係が得られた.

第8図 (Fig. 8)



- (1) $\sigma_c = 973 r - 50$
- (2) $\sigma_c' = 166.6 r - 33.7$
- (3) $\sigma_{cp} = 358 r^2$
- (4) $\sigma_{cp5} = 418 r^2 + 3.5$
- (5) $\sigma_t = 1624.5 r + 179.7$
- (6) $\sigma_b = 1777.8 r^2 + 66.5$
- (7) $\sigma_s = 256.1 r - 67.3$

σ_{cp} : 部分圧縮比例限度
 σ_s : 剪断強度

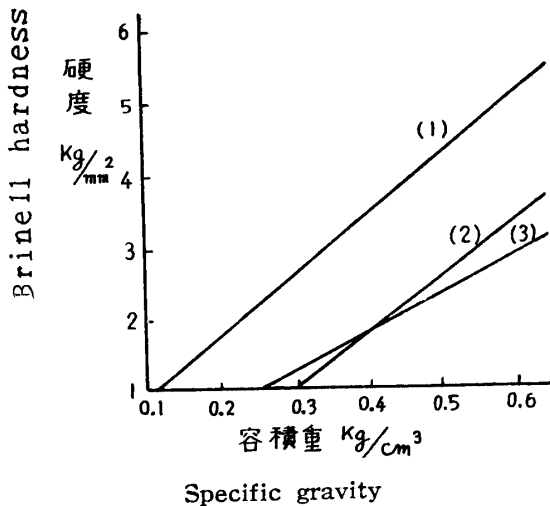
- (1) $H_{11} = 8.25 r + 0.06$
- (2) $H_{+1} = 5.42 r - 0.59$
- (3) $H_{+2} = 5.20 r - 0.31$

H_{+1} : 柁目硬さ
 H_{+2} : 板目硬さ

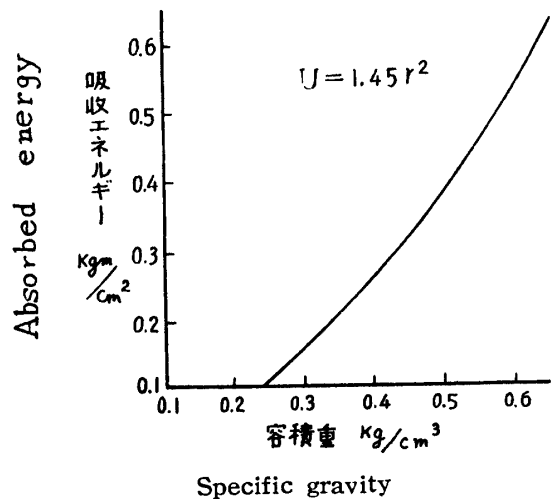
$U = 1.45 r^2$

U: 吸収エネルギー

第9図 (Fig. 9)



第10図 (Fig. 10)



E. 秋材率と各強度 (第11図, 第12図, 第13図)

秋材率と各強度との関係は発表せられたものが比較的少ないが, 次の如き結果を得た. 圧縮強度に関しては, 渡辺, 和田⁽³⁾の場合と殆ど同じである. 他の強度との関係も直線的関係が得られた.

(1) $\sigma_c = 6.9 S_r + 236.8$

(4) $\sigma_{cp} = 3.64 S_r + 2.5$

(2) $\sigma_c' = 0.55 S_r + 36.61$

(5) $\sigma_t = 11.7 S_r + 659.2$

(3) $\sigma_{cp5} = 4.43 S_r + 3.4$

(6) $\sigma_b = 7.4 S_r + 562.1$

(1) $H_{||} = 0.10 S_r + 1.87$

(3) $H_{L2} = 0.057 S_r + 0.74$

(2) $H_{L1} = 0.048 S_r + 1.10$

$$U = 0.008 S_r + 0.151$$

F. 平均年輪幅と各強度 (第14図, 第15図, 第16図)

(1) $\sigma_c = 412.0 + 29.02 B - 6.05 B^2$ 最大値 ($B = 2.4, \sigma_c = 445$)

(2) $\sigma_c' = 48.4 + 5.4 B - 0.55 B^2$ " ($B = 4.9, \sigma_c' = 66$)

(3) $\sigma_b = 721.1 + 8.76 B - 0.87 B^2$ " ($B = 5.0, \sigma_b = 743$)

(1) $H_{||} = 4.17 + 0.38 B - 0.077 B^2$ 最大値 ($B = 2.6, H_{||} = 4.34$)

(2) $H_{L1} = 2.20 + 0.25 B - 0.05 B^2$ " ($B = 2.5, H_{L1} = 2.51$)

(3) $H_{L2} = 2.01 + 0.16 B - 0.015 B^2$ " ($B = 5.3, H_{L2} = 2.34$)

$$U = 0.308 + 0.112 B - 0.026 B^2 \quad \text{最大値 } (B = 2.2, U = 0.421)$$

以上の中圧縮強度に関しては, 渡辺, 和田⁽³⁾の結果と殆ど同様である.

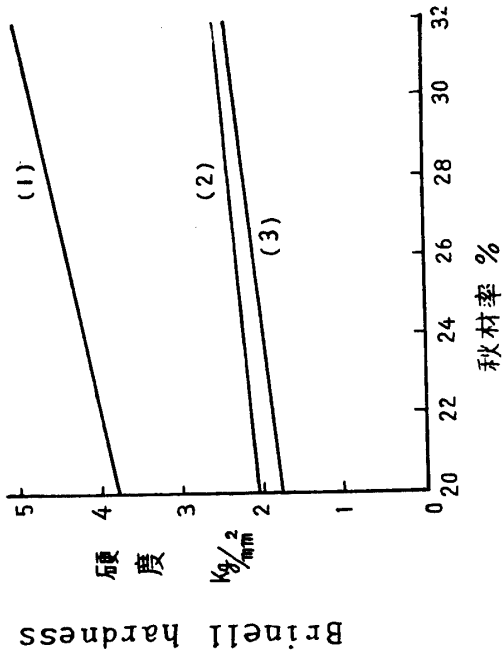
4. 採取位置と強度

前述の A の部分と B の部分の強度を比較すれば第3表の如く総てに於て A 部, 即ち地面に接近した部分の方が枝下に近い部分より強度が稍大である事が知られる.

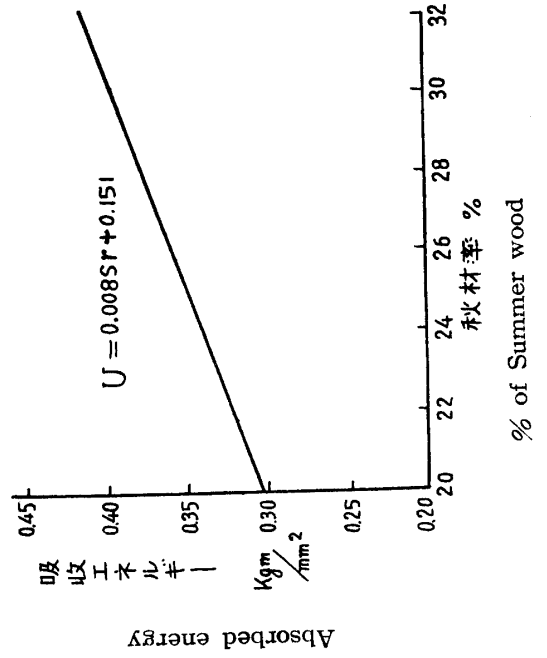
第 3 表

試 験	採 取 位 置		試 験	採 取 位 置	
	A	B		A	B
縦圧縮強さ kg/cm^2	477.0	432.0	引張り強さ kg/cm^2	1080.6	941.8
辺長5%減込 部分圧縮強さ kg/cm^2	121.1	112.7	剪断強度 kg/cm^2	67.6	61.3
部分圧縮 比例限度 kg/cm^2	102.0	95.7	木口硬さ kg/mm^2	4.64	4.17
吸 エネルギー kg.m/cm^2	0.427	0.327	柾目硬さ kg/mm^2	2.41	2.28
曲げ強さ kg/cm^2	763.1	682.3	板目硬さ kg/mm^2	2.37	2.14
弾性係数 kg/cm^2	86803.0	75924.0			

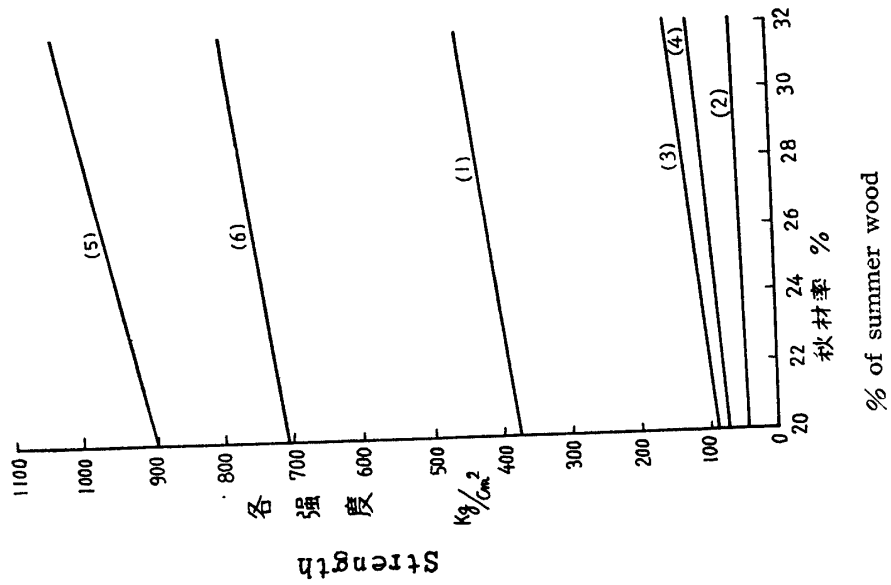
第 12 図 (Fig. 12)



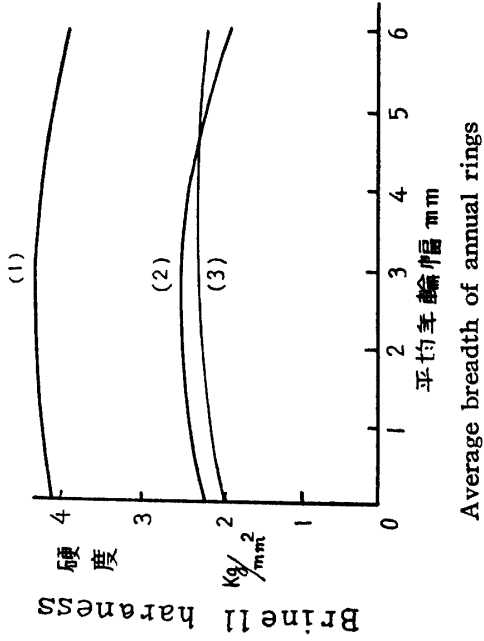
第 13 図 (Fig. 13)



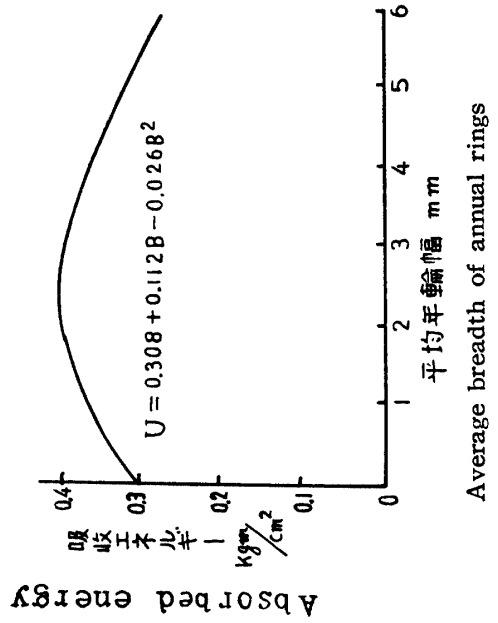
第 11 図 (Fig. 11)



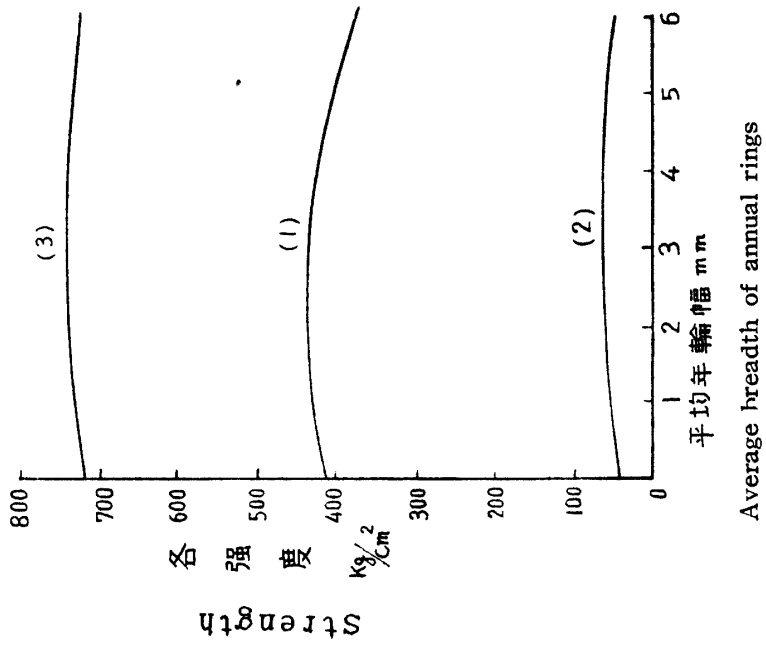
第 15 図 (Fig. 15)



第 16 図 (Fig. 16)



第 14 図 (Fig. 14)



5. 強度と方位

強度と方位の間は第4表に示す如く特別の関係は見られない。

第 4 表

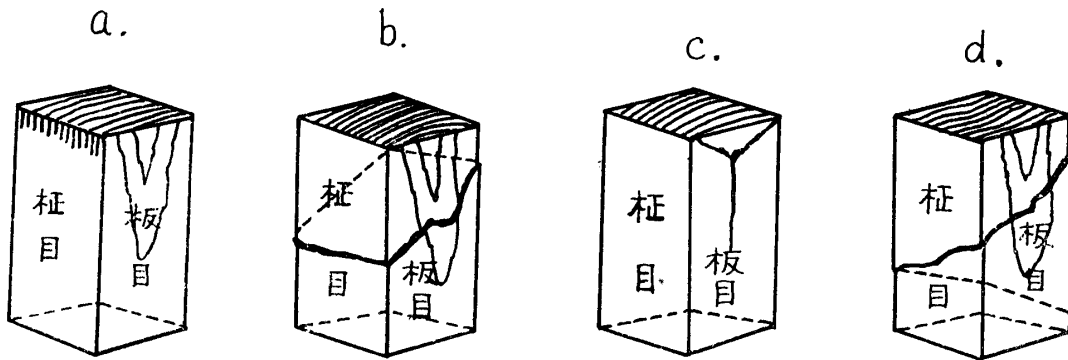
各強度		方位			
		N	E	S	W
縦圧縮強度	kg/cm ²	465	466	446	456
引張り強度	kg/cm ²	1024.2	886.9	893.7	1045.7
曲げ強度	kg/cm ²	700.8	739.9	674.6	729.9
吸収エネルギー	kg. m/cm ²	0.389	0.388	0.380	0.387

6. 破壊型 (第17図, 第18図)

破壊型を正確に分類することは困難であるが、圧縮試験体 (繊維に平行な圧縮の場合) 及び曲げ試験体について次の様に分類して見た。

第 17 図 (Fig. 17)

縦 圧 縮 試 験 体



第 5 表

破壊型	出現個数	圧縮強度 kg/cm ²		
		最小	最大	平均
a	48	355	575	478
b	73	312	631	471
c	12	341	558	439
d	4	382	570	479

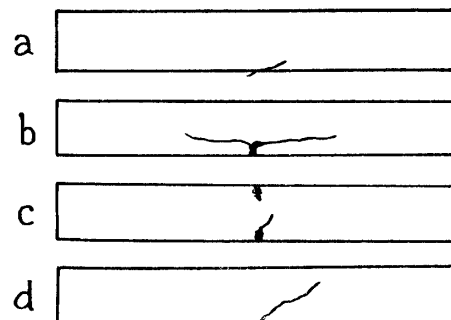
第 6 表

破壊型	出現個数	曲げ強度 kg/cm ²		
		最小	最大	平均
a	16	618	1058	787
b	18	668	827	749
c	4	720	738	733
d	34	598	987	702

第 18 図

(Fig. 18)

曲 げ 試 験 体



第5表においては標準型とも云うべき b 型が最も出現個数多く c, d は少い。

第6表中 a は関谷の著書中⁽⁶⁾に現われ, b 及び d は Record の著書⁽⁷⁾中に現われたもので, d が最も多く出現した。

Ⅱ 摘 要

以上実験結果を要約すれば次の通りである。

1.

測 定 事 項	実 験 値			
	最 小	最 大	平 均	
平均年輪幅	mm	0.50	7.22	1.90
秋材率	%	15.41	42.98	29.58
容積重	kg/cm ³	0.402	0.682	0.532
繊維に平行な圧縮強度	kg/cm ²	312.0	631.0	457.0
繊維に垂直な圧縮強度	"	45.6	61.8	55.8
部分圧縮強度(辺長5%減込の時)	"	60.8	164.5	117.5
部分圧縮比例限度	"	53.3	135.1	99.3
吸収エネルギー	kg. mc/m ²	0.183	0.588	0.389
曲げ強度	kg/cm ²	589.0	1,058.4	733.0
曲げ弾性係数	"	61,128.0	115,126.0	81,366.0
引張強度	"	676.4	1,712.9	1,012.3
剪断強度	"	49.1	79.4	64.9
木口硬度	kg/mm ²	3.13	5.74	4.44
柁目	"	1.83	3.32	2.35
板目	"	1.64	3.39	2.27

2. 容積重と強度との関係は圧縮強度, 引張り強度, 剪断強度及び硬度は大体正比例即ち直線式の関係であるが, 部分圧縮, 曲げの各強度及び衝撃曲げ試験に於ける吸収エネルギーは二次曲線式の関係が得られた。

秋材率と強度との間は正比例的関係が得られた。

平均年輪幅との関係は圧縮, 曲げの各強度, 吸収エネルギー及び硬度との間に拋物線式的関係が得られた。引張り, 部分圧縮, 剪断の各強度との間には数的関係は得られなかつた。

3. 供試木の採取位置に就ては下部が上部より稍強大である。

4. 破壊型の正確な分類は困難であるので, 十分な結論は得られなかつた。

(6) 関谷文彦; 木材工学 P. 248 (1948).

(7) S. J. Record; Mechanical Properties of Wood. P. 35 (1914).

R É S U M É

Studies on the Mechanical Properties of Woods from South Kyushu

On the strength of the Kirishima Akamatsu
(*Pinus densiflora* S. et Z. from Kirishima Mt.)

YOSOO TAKAHASHI and Seiki KUROKI

The results of the tests on the strength of the Kirishima Akamatsu (*Pinus densiflora* S. et Z. from Kirishima Mt.) are as follows:

(1)		Min.	Max.	Aver.
Average breadth of annual rings (B)	mm	0.50	7.22	1.90
Percentage of summer wood (S_r)	%	15.41	42.98	29.58
Specific gravity (γ)		0.402	0.682	0.532
Compression to grain (σ_c)	kg/m ²	312.0	631.0	457.0
" \perp to grain (σ_c')	"	45.6	61.8	55.8
" at 5% of the side (σ_{cp5})	"	60.8	164.5	117.5
Proportional limit (C. \perp G.) (σ_{cp})	"	53.3	135.1	99.3
Absorbed energy (U)	kg. m/cm ²	0.183	0.588	0.389
Bending (σ_b)	kg/cm ²	589.0	1,058.4	733.0
Modulus of elasticity in bending	"	61,128.0	115,125.0	81,366.0
Tension (σ_t)	"	676.4	1,712.9	1,012.3
Shearing (σ_s)	"	49.1	79.4	64.9
Brinell hardness (cross section) ($H_{ }$)	kg/mm ²	3.13	5.74	4.44
" (radial section) ($H_{\perp 1}$)	"	1.83	3.32	2.35
" (tangential section) ($H_{\perp 2}$)	"	1.64	3.39	2.27

(2) Concerning relations between specific gravity, average breadth of annual rings and strength, see Fig. 2 ~ Fig. 16.

(3) The test pieces taken from the lower part of the wood are stronger than those from the upper part.

(4) On the relations between the types of failures and the strength, could not be obtained satisfactory results because of the difficulty of classification of the types of failures.