

(論 文)

アカマツ正角材の曲げ強度性能

東野 正・中野正志・高芝俊雄

Strength properties of Akamatsu square sawn timber

Tadashi HIGASHINO, Masashi NAKANO, Toshio TAKASHIBA

要 旨

県産アカマツ材の建築構造用部材としての利用適性を明らかにするために、県北産アカマツ製材品について、「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」に従い、目視で区分した等級ごとの曲げ強度性能を調査した。供試材は、長さ3 mの10.5cm角の正角材108本である。外観的特性の調査後、実大曲げ試験を行った。供試材は、業者の等級区分と実際の等級区分の結果には差異が認められ、製材業者に等級区分法に習熟していない点があり、特に材縁部及び集中節径比の判定法に混乱が認められた。動的ヤング係数は乾燥することによって増加した。等級別の曲げ強度及び曲げヤング係数の平均値と下限値は等級に対応した格差が認められた。等級込みで、木取り別に強度性能の比較をすると、曲げ強度、曲げヤング係数とも、心去り材が高い傾向を示した。

Full size bending test of Akamatsu (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) square sawn timber was conducted. The accuracy of visual grading at sawmill according to the Japan Agricultural Standard (JAS) visual grading rule for structural timber was examined and found out that the grading at sawmill was not completely agreed with the JAS grading rules. The average and statistical lower limit of bending strength value corresponded to the visual grades. The values of bending strength and Modulus of Elasticity on boxed heart timber showed less strength than those of side cut timber.

キーワード

アカマツ正角材、新JAS、等級区分、曲げ強度、動的ヤング係数

目 次

はじめに	30	2.4.1	材質と強度との関連性	40
1 試験方法	30	2.4.2	ヤング係数と曲げ強度の関係	43
1.1 供試材	30	2.4.3	比重測定省略の動的ヤング係数と曲げ強度性能の関係	43
1.2 材質の調査項目	30	2.5	節径比と強度性能の関係	43
1.3 縦振動法による動的ヤング係数の計測	30	2.6.1	目視等級区分別の強度性能	45
1.4 実大材の曲げ試験	30	2.6.2	目視等級区分別の動的ヤング係数	46
1.5 測定項目の略記法	31	2.7	機械的等級区分別の強度性能	47
2 試験結果	31	2.8	木取り別の強度性能	47
2.1 外観的特性	31	3	まとめ	47
2.2 目視等級区分	34		引用文献	48
2.3 実大材の曲げ強度性能	37			

はじめに

1991年7月31日に「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」(新JAS)が制定され、ヤング係数による機械的等級区分が盛り込まれた。さらに建設省指導課長通達では樹種ごとの新JASに対応した等級別の許容応力度が示されている。

しかし、その許容応力度の樹種区分では、アカマツ材については規定されていない。これはアカマツ材の実大材の強度データの蓄積が少なく、許容応力度を算出できないためと考えられる。このため、岩手県において主要樹種であるアカマツについて、実大材の強度データの蓄積を急ぐ必要がある。

筆者らは、これまでにアカマツの平角材を中心に曲げ強度のデータの蓄積を図ってきた¹⁾。今回は、アカマツ材の需要拡大を図るうえで、県北地域(久慈市)より生産されたアカマツ製材品について、新JASに従って区分した等級ごとの曲げ強度性能を調査した。

また、非破壊検査により製材品の強度を推定する手法を用い、強度面での実用的な等級区分法の可能性についても検討した。

なお、本試験は日本住宅・木材技術センターの受託により実施したものである。

1 試験方法

1.1 供試材

供試材は、県北産のアカマツ丸太から採材した10.5cm角、長さ3mの正角材とした。業者に等級区分を依頼し、甲種構造用製材品の基準に従い目視により1、2、3級に区分された材を各等級あたり36本購入した。

供試材は、仕上がり含水率15%を目標に人工乾燥を行った。

1.2 材質の調査項目

供試材の含水率、試験時の比重、平均年輪幅、繊維走向の傾斜を測定した。

このうち、含水率、試験時の比重、平均年輪幅は曲げ破壊試験後、繊維方向に約2cmの試験片を採材してそれぞれ測定した。繊維走向の傾斜の測定は、同じく繊維方向に10cmの試験材を採材し割裂法により測定した。

また、各材面に現われた最大単独節径比と最大集中節径比については「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」に準じて、材長方法では中央 $\frac{1}{3}$ 区間(荷重点間)と、全区間(中央 $\frac{1}{3}$ 区間と両端の $\frac{1}{3}$ 区間を合わせた区間)に区別し、材幅方法では材縁部(材の稜線から材幅の $\frac{1}{4}$ まで

の範囲で、次に述べる「中央」をはさんで材面の両端の部位)と中央(材幅の中央の部位で、材幅の $\frac{1}{2}$ の範囲)に区分して測定した。

また、曲げ破壊試験において、材料の破壊に関与したと推定される節について、その部位の単独節径比及び集中節径比を測定した。

1.3 縦振動法による動的ヤング係数の計測

生材時及び気乾時に、供試材の木口面を金槌で打撃し、反対側の木口面から非接触でマイクロフォンにより、材中を伝播する縦振動基本周波数をFFTアナライザー(エー・アンド・デイ社製AD-3523型)によって測定した。

打撃による基本振動周波数から(1)式により動的ヤング係数を算出した。

$$E_{fr} = (4 \times f^2 \times L^2 \times \rho) / g \quad \dots\dots(1)$$

E_{fr} : 動的ヤング係数 (tonf/cm²)
 f : 基本振動周波数 (Hz)
 L : 材長 (cm)
 g : 重力加速度 (9.8m/sec²)
 ρ : 密度 (g/cm³)

また、現場的な測定手法を検討するため、密度を算出するために必要な試験材重量の測定を省略した場合²⁾について検討するために(1)式を展開し、

$$E_{fr} / \rho = (4 \times f^2 \times L^2) / g \quad \dots\dots(2)$$

g : 重力加速度 (9.8m/sec²)
 L : 材長 (cm)

試験材の材長と基本振動周波数の測定のみにより算出される(2)式の E_{fr} / ρ を、比重の測定省略による動的ヤング係数 E_{FL} とし、曲げ強度性能との関係について検討した。

1.4 実大材の曲げ試験

実大材の曲げ強度試験は、実大曲げ強度試験機を用い荷重点間距離を90cm、支点間距離を270cmとし、三等分四点荷重方式により行い、曲げ強度及び全スパンとモーメント一定区間の曲げヤング係数を測定した。

さらに、曲げ強度性能について、ASTM D 2915³⁾により含水率15%時の値に換算した。

換算式は以下に示す。

$$P_2 = P_1 \{ (\alpha - \beta M_2) / (\alpha - \beta M_1) \}$$

P_1 : 含水率 M_1 %時の強度性能測定値
 P_2 : 含水率 M_2 %時の強度性能換算値

M₁、M₂：含水率

α、β：含水率補正係数

曲げヤング係数の場合

$$\alpha = 1.44, \quad \beta = 0.0200$$

曲げ強度の場合

$$\alpha = 1.75, \quad \beta = 0.0333$$

1.5 測定項目の略記法

本報告で使用する記号、略記は以下のように使用した。

- S.G：密度 (g/cm³)
- RU：試験時比重 (曲げ試験時の試験体全体の比重)
- ARW：平均年輪幅 (mm)
- MC：含水率 (%)
- eKDC：材縁部の中央 $\frac{1}{3}$ 区間の最大単独節径比 (%)
- eKDL：材縁部の全区間の最大単独節径比 (%)
- cKDC：中央部の中央 $\frac{1}{3}$ 区間の最大単独節径比 (%)
- cKDL：中央部の全区間の最大単独節径比 (%)
- eSKDC：材縁部の中央 $\frac{1}{3}$ 区間の最大集中節径比 (%)
- eSKDL：材縁部の全区間の最大集中節径比 (%)
- cSKDC：中央部の中央 $\frac{1}{3}$ 区間の最大集中節径比 (%)
- cSKDL：中央部の全区間の最大集中節径比 (%)
- SKDL：材面全体での最大集中節径比 (%)
- SofG：繊維走向の傾斜 (mm)
- KAR：節面積比 (%) 製材の木口面に、破壊に参与したと見なされる節を投影したときの、節面積の製材木口面積に対する比
- SKAR：集中節面積比 (%) 製材の木口面に、破壊に参与したと見なされる集中節を投影したときの、集中節面積の製材木口面積に対する比
- Efr-g：生材時の動的ヤング係数 (tonf/cm²)
- Efr-d：気乾時の動的ヤング係数 (tonf/cm²)

E_{F-L-g}：生材時の比重の測定省略による動的ヤング係数 (tonf/cm²)

E_{F-L-d}：気乾時の比重の測定省略による動的ヤング係数 (tonf/cm²)

MOE：曲げヤング係数 (tonf/cm²)

EI：モーメント一定区間ヤング係数 (tonf/cm²)

SPL：曲げ比例限強度 (kgf/cm²)

MOR：曲げ強度 (kgf/cm²)

MOE₁₅：含水率15%時に補正した曲げヤング係数 (tonf/cm²)

MOR₁₅：含水率15%時に補正した曲げ強度 (kgf/cm²)

CV：変動係数 (%)

2 試験結果

2.1 外観的特性

試験時の比重、平均年輪幅、繊維傾斜、最大単独節径比、最大集中節径比の材質及び外観的特性を表-1、またそれぞれの出現分布を図-1に示した。

試験時の比重は0.375~0.617の範囲で、平均値は0.517、平均年輪幅は1.70mm~7.30mmの範囲で、平均値は3.76mm、繊維走向の傾斜は1000mm当たり8mm~230mmの範囲で平均値は69.6mmであった。

最大単独節径比の測定結果を平均値で示すと、材縁部の中央 $\frac{1}{3}$ 区間で11%、全区間で16%、中央部での中央 $\frac{1}{3}$ 区間と全区間ではそれぞれ9、14%で、材縁部と中央部の最大単独節径比には大きな差は認められなかった。

一方、最大集中節径比は、材縁部の中央 $\frac{1}{3}$ 区間で14%、全区間で18%、中央部での中央 $\frac{1}{3}$ 区間と全区間ではそれぞれ12、17%で、最大単独節径比と同様に材縁部と中央

表-1 材質及び外観的特性
Table 1 Description of specimens

試験時 比重	平均 年輪幅	含水率	最大単独節径比				最大集中節径比				繊維 走向 傾斜		
			材縁		中央		材縁		中央			全区間	
			1/3	L	1/3	L	1/3	L	1/3	L			
RU	ARW	MC	eKDC	eKDL	cKDC	cKDL	eSKDC	eSKDL	cSKDC	cSKDL	SKDL	SofG	
	(mm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mm)	
平均値 Ave.	0.517	3.7	16.4	11	16	9	14	14	18	12	17	24	69
最大値 Max.	0.617	7.3	24.0	31	42	47	59	67	67	65	65	70	230
最小値 Min.	0.375	1.7	11.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
標準偏差 S.D	0.053	1.2	3.1	11	12	13	17	13	13	16	18	24	38
変動係数 C.V (%)	10.3	32.2	19.2	96	71	141	115	85	70	124	102	97	55

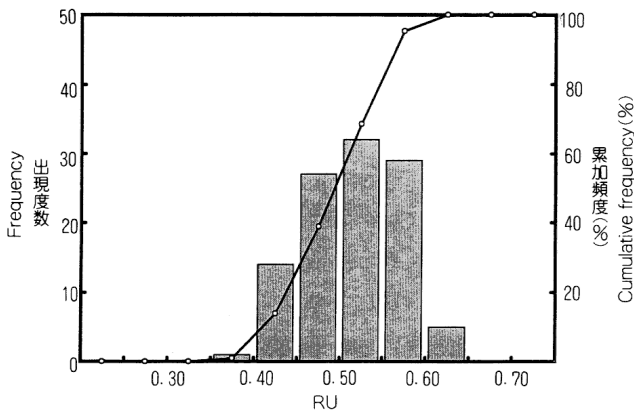


図-1-1 RUの出現頻度・累加頻度
Fig. 1-1 Histograms of density measured in full size.(RU).

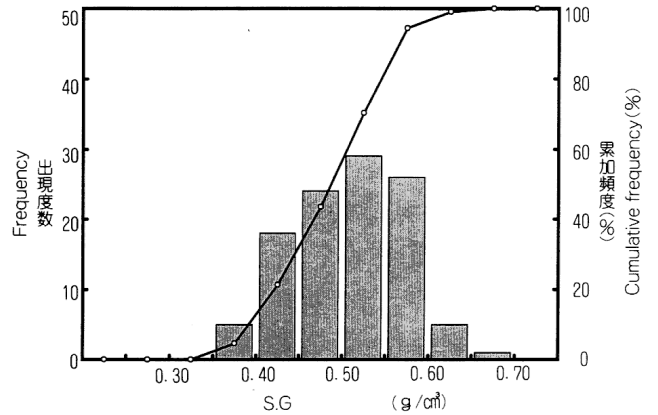


図-1-2 S.Gの出現頻度・累加頻度
Fig. 1-2 Histograms of density (S.G).

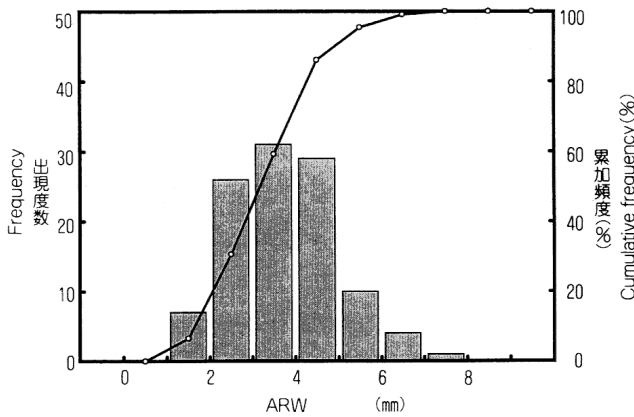


図-1-3 ARWの出現頻度・累加頻度
Fig. 1-3 Histograms of annual ring width (ARW).

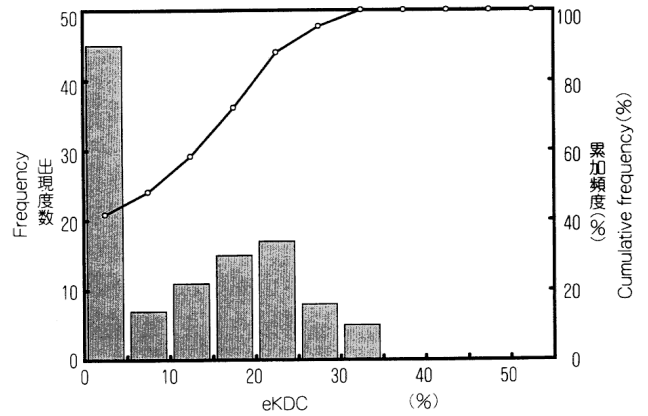


図-1-4 eKDCの出現頻度・累加頻度
Fig. 1-4 Histograms of maximum single edge knot at central one third area (eKDC).

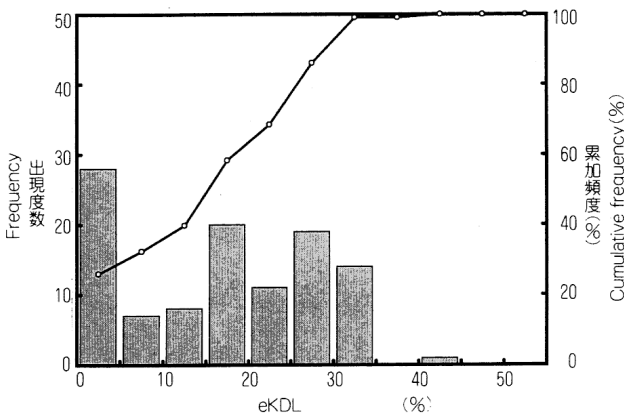


図-1-5 eKDLの出現頻度・累加頻度
Fig. 1-5 Histograms of maximum single edge knot at full length (eKDL).

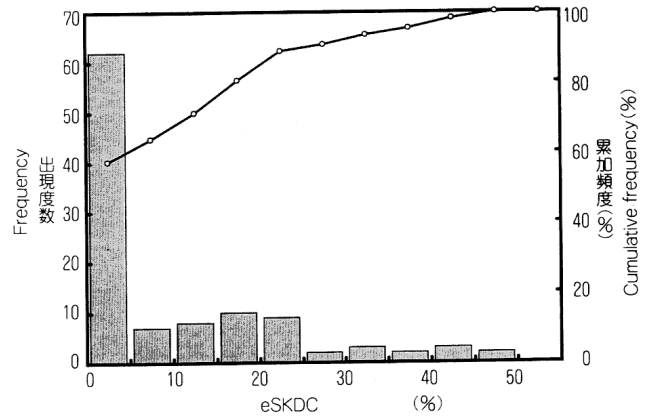


図-1-6 eSKDCの出現頻度・累加頻度
Fig. 1-6 Histograms of maximum single center knot at central one third area (eSKDC).

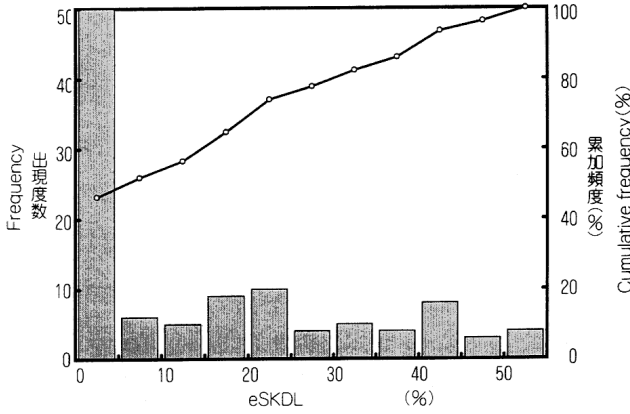


図-1-7 eSKDLの出現頻度・累加頻度

Fig. 1-7 Histograms of maximum single center knot at full length (eSKDL).

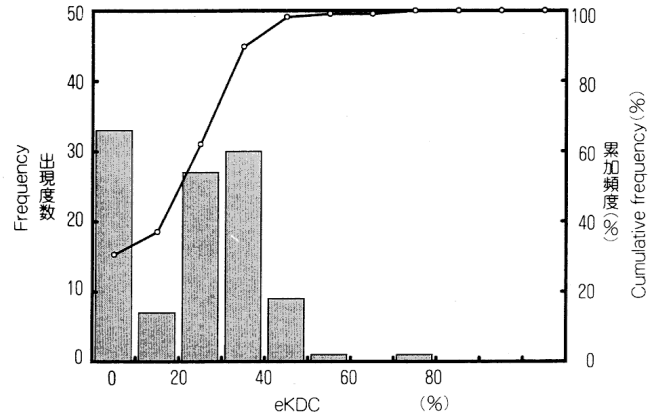


図-1-8 cKDCの出現頻度・累加頻度

Fig. 1-8 Histograms of maximum group edge knot in distance of 15cm at central one third area (cKDC).

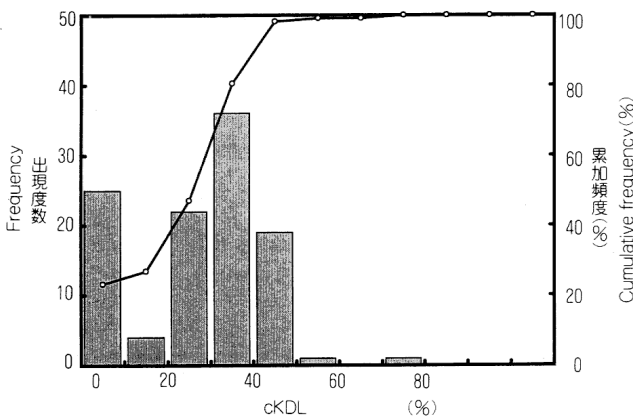


図-1-9 cKDLの出現頻度・累加頻度

Fig. 1-9 Histograms of maximum group edge knot in distance of 15cm at full length (cKDL).

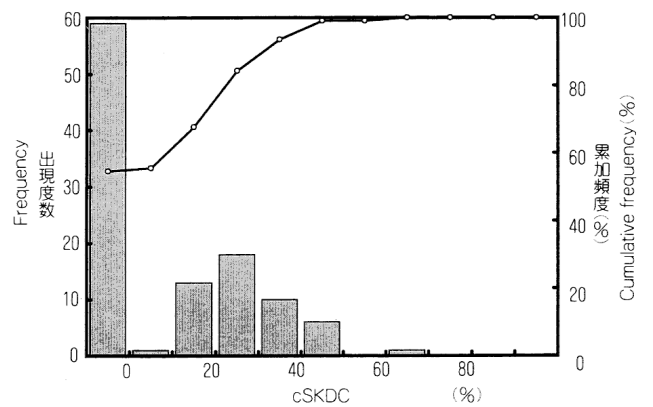


図-1-10 cSKDCの出現頻度・累加頻度

Fig. 1-10 Histograms of maximum group center knot in distance of 15cm at central one third area (cSKDC).

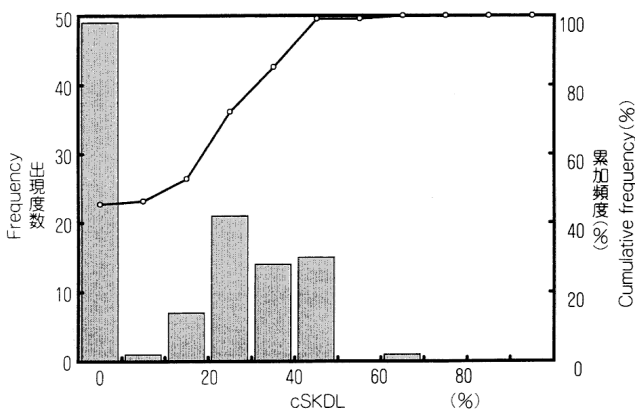


図-1-11 eSKDLの出現頻度・累加頻度

Fig. 1-11 Histograms of maximum group center knot in distance of 15cm at full length (cSKDL).

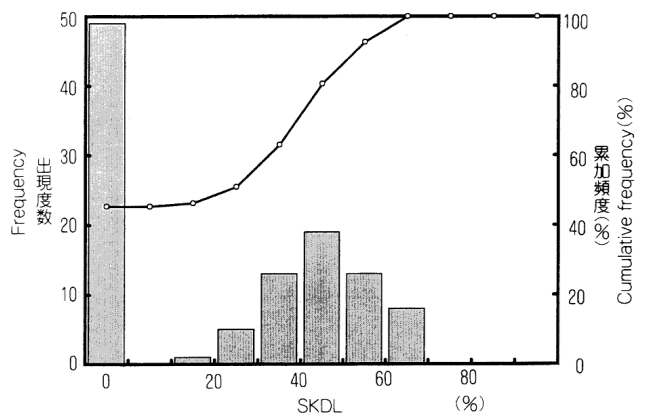


図-1-12 SKDLの出現頻度・累加頻度

Fig. 1-12 Histograms of maximum group knot in distance of 15cm at full length (SKDL).

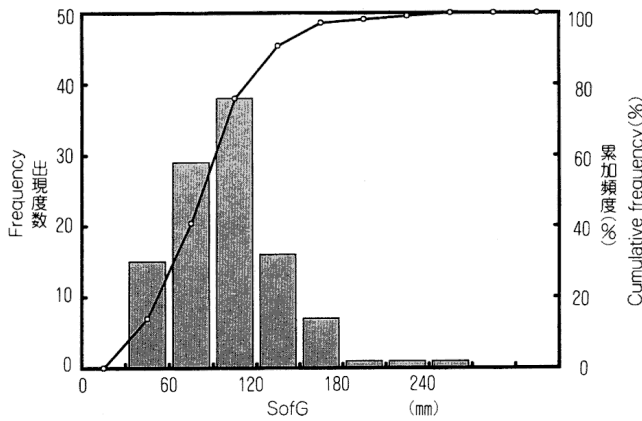


図-1-13 SofGの出現頻度・累加頻度

Fig. 1-13 Histograms of maximum slope-of-grain (SofG).

部には大きな差は認められなかった。

なお、全区間で材縁部と中央部にまたがって存在した節についての最大集中節径比の平均値は24%であった。

2.2 目視等級区分

針葉樹の構造用製材の日本農林規格においては、節径比は目視による等級区分の重要な因子であり、材面に現われた節について、材縁部、中央部と細かく区分して測定することとされている。

今回の供試材は、あらかじめ甲種構造用の基準に従い、業者により1、2、3級に等級区分されたものを等級別に36本、計108本入手した。

その等級区分された材について、等級別に材縁部及び材幅中央部における最大単独節径比と最大集中節径比の

表-2 入荷時の等級別節径比

Table 2 Results of visual grading at sawmill

等級 本数 Grade n	材縁部 Edge section		材幅中央部 Central section		
	最大単独 節径比	集中 節径比	最大単独 節径比	集中 節径比	
	eKDL	eSKDL	cKDL	cSKDL	
	%	%	%	%	
1 3	平均Ave. 2.5	2.7	4.7	4.9	
甲種 II	最大Max. 13.0(15)	16.9(20)	23.2(30)	23.3(45)	
2 36	平均Ave. 19.4	21.2	22.3	26.7	
Structural	最大Max. 30.2(25)	46.8(40)	66.6(40)	66.6(60)	
timber II	3 36	平均Ave. 27.8	35.3	29.6	36.5
		最大Max. 42.0(35)	58.6(50)	42.0(70)	65.4(90)

() : 心去り材の本数 Number of speicemen of side cut timber.

平均値と最大値を表-2に示した。

節径比の最大値をみると、その等級区分の基準値を超える材があり、特に2級と3級に等級区分されている材で材縁部の節径比の基準値を超えていて、再度格付けした結果では1ランク下に等級が下がる材も多くあった。節径比の測定を基にして、供試材を甲種構造用II及び乙種構造用の基準に従って等級区分した結果を表-3に示した。

その結果、甲種構造用IIでの等級区分では、1級36本、2級23本、3級30本、級外19本に区分された。また、同様に乙種構造用の規格で格付けすると1級71本、2級29本、3級8本に区分された。

甲種構造用IIでは、業者格付け2級の材に、1級や級

表-3 入荷時と再測定による等級区分

Table 3 Comparson of grading between at sawmill and at laboratory

業者格付け 甲種構造用 II Grading at sawmill	再測定による等級区分 Grading at laboratory						
	甲種構造用 II Structural timber II				乙種 Grade B Structural timber		
	等級 本数	1級	2級	3級	級外(4)	1級	2級
Grade n	1 st	2 nd	3 rd	4 th	1 st	2 nd	3 rd
1 36 (34)	33 (32)	3 (2)			36 (34)		
2 36 (25)	3 (3)	17 (13)	12 (7)	4 (2)	26 (19)	9 (6)	1 (0)
3 36 (2)		3 (1)	18 (0)	15 (1)	9 (0)	20 (1)	7 (1)
計 108 (61)	36 (35)	23 (16)	30 (7)	19 (3)	71 (53)	29 (7)	8 (1)

() : 心去り材の本数 Number of speicemen of side cut timber.

表-4 曲げ強度性能

Table 4 Bending properties of Akamatsu square sawm timber.

		動的ヤング係数		曲げヤング係数		曲げ比例 限 強度	曲げ強度
		生材時	気乾時	全区間	モーメント 一定区間		
		Efr-g	Efr-d	MOE	E 1	SPL	MOR
		tf/cm ²	tf/cm ²	tf/cm ²	tf/cm ²	kgf/cm ²	kgf/cm ²
平均値	Ave.	93.8	106.5	101.2	104.5	258	479
最大値	Max.	128.2	146.0	167.6	186.2	418	766
最小値	Min.	49.9	69.5	67.8	68.4	111	226
標準偏差	S.D	18.4	17.7	17.8	19.3	74	118
変動係数	C.V (%)	19.7	16.6	17.6	17.9	28	24
下限値		63.5	77.3	71.9	72.7	136	284

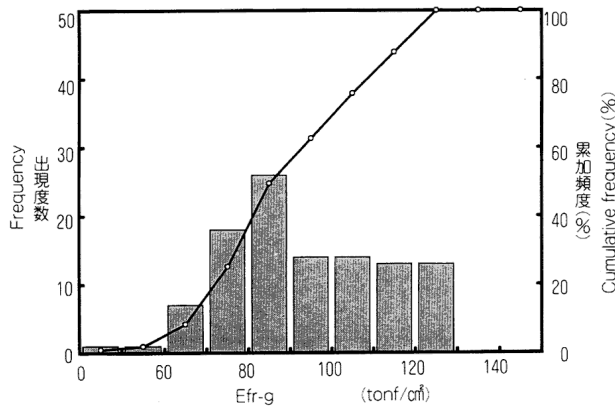


図-2-1 Efr-gの出現頻度・累加頻度

Fig. 2-1 Histograms of modulus of elasticity by longitudinal vibration in green condition (Efr-g).

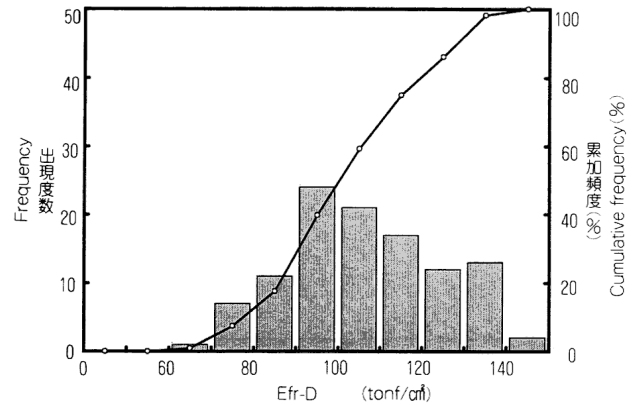


図-2-2 Efr-dの出現頻度・累加頻度

Fig. 2-2 Histograms of modulus of elasticity by longitudinal vibration in airdried condition (Efr-d).

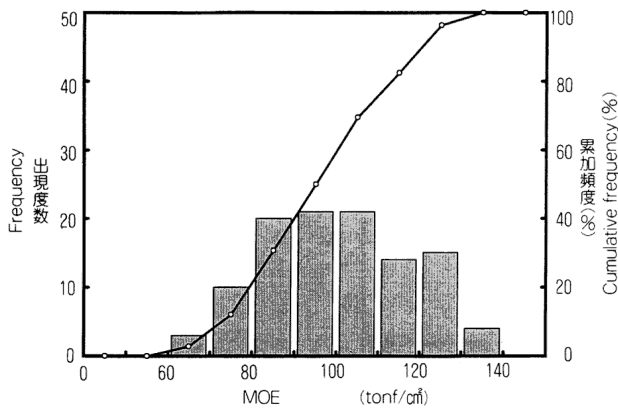


図-2-3 MOEの出現頻度・累加頻度

Fig. 2-3 Histograms of modulus of elasticity measured at full span (MOE).

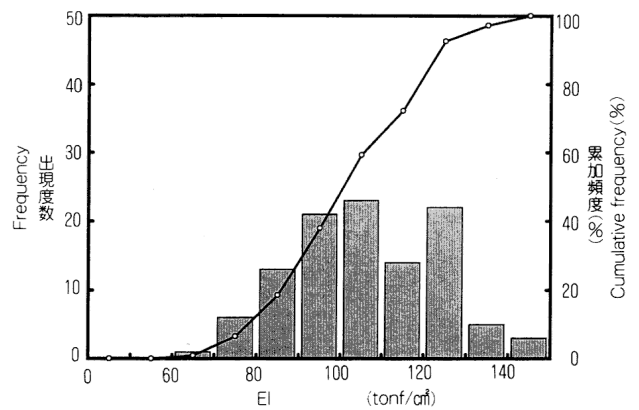


図-2-4 EIの出現頻度・累加頻度

Fig. 2-4 Histograms of modulus of elasticity measured at constant moment section (EI).

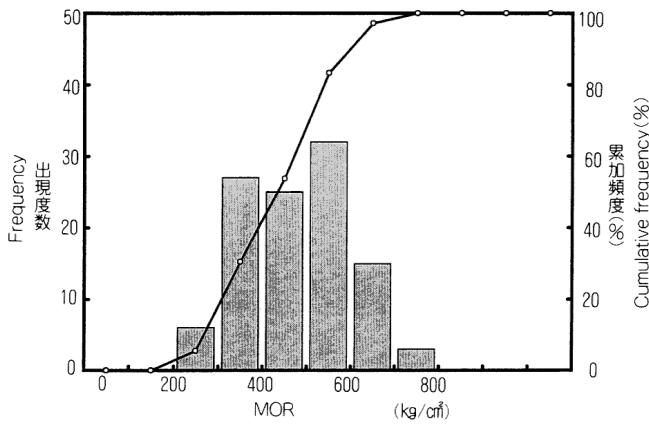


図-2-5 MORの出現頻度・累加頻度

Fig. 2-5 Histograms of bending strength (MOR).

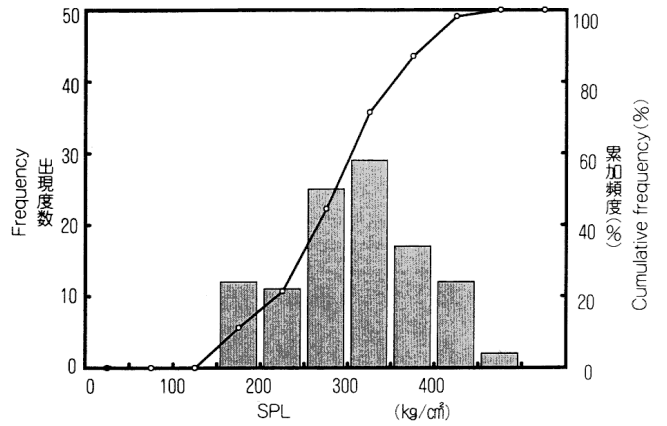


図-2-6 SPLの出現頻度・累加頻度

Fig. 2-6 Histograms of stress at proportional limit (SPL).

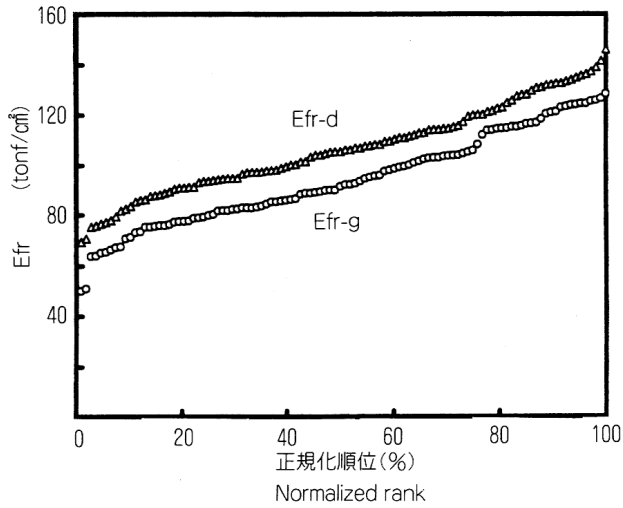


図-3-1 Efrの正規化順位曲線

Fig. 3-1 Normalized rank of modulus of elasticity by longitudinal vibration.

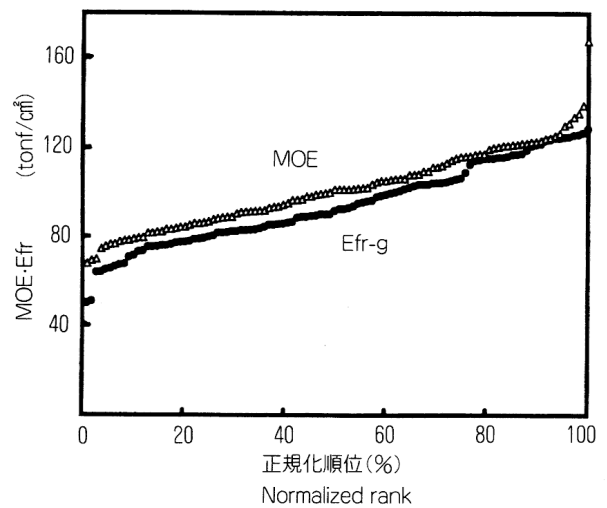


図-3-2 ヤング係数の正規化順位曲線

Fig. 3-2 Normalized rank of modulus of elasticity by longitudinal vibration and bending.

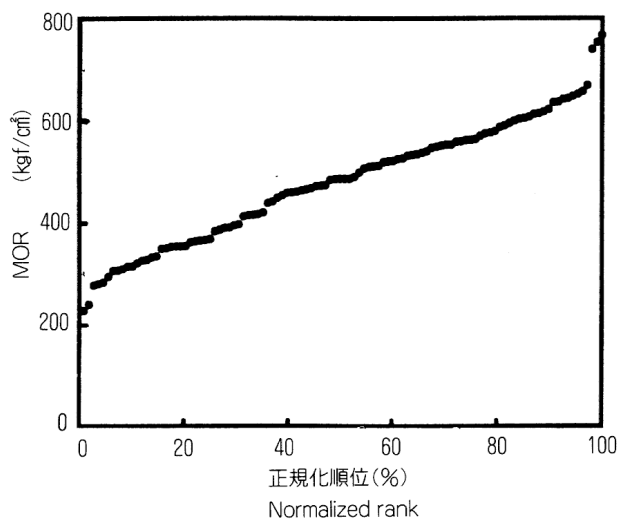


図-3-3 MORの正規化順位曲線

Fig. 3-3 Normalized rank of bending strength.

外に格付けされるものが含まれ、その傾向は3級の材にも認められた。これは、針葉樹の構造用製材の日本農林規格の制定直後でもあり、製材業者に等級区分法に習熟していない点があったためである。

アカマツ材では輪生節が出現するために、製材した材面に出現する集中節径比が大きいのが特徴であり、今回の例では特に材縁部及び集中節径比の判定法に混乱が認められ、節の測定法には留意する必要がある。

今回の供試材で品等が1級区分の材はほとんどが心去り材であり、比較的大径材から採材されたものと推定されたためである。

2.3 実大材の曲げ強度性能

曲げ強度性能として、生材時及び気乾時の動的ヤング係数、曲げ強度、曲げ比例限度、全区間及びモーメント一定区間の曲げヤング係数を表-4、それぞれの出現分布を図-2、正規化順位曲線を図-3に示した。

動的ヤング係数は生材時で49.9~128.2tonf/cm²、平均値93.9tonf/cm²、気乾時では69.5~146.0tonf/cm²、平均値106.6tonf/cm²であった。

気乾時における曲げ強度性能では、曲げ強度は226~766kgf/cm²、平均値479kgf/cm²、変動係数24%、曲げヤング係数は全スパンで67.8~167.6tonf/cm²、平均値

表-5 材質と強度性能の相関係数
Table 5 Correlation coefficient values.

	RU	SG	ARW	MC	KAR	SKAR	SofG	Efr-g	Efr-d	E _{FL} -g	E _{FL} -d	MOE	EI	SPL	MOR
RU	1.000	0.924	-0.339	0.704	-0.356	-0.621	0.005	0.535	0.513	0.427	-0.100	0.497	0.404	-0.255	0.646
SG		1.000	-0.250	0.696	-0.360	-0.618	0.040	0.466	0.427	0.377	-0.144	0.425	0.330	-0.224	0.625
ARW			1.000	-0.371	0.165	0.444	-0.101	-0.470	-0.509	-0.458	-0.350	-0.459	-0.391	-0.142	-0.515
MC				1.000	-0.335	-0.668	-0.052	0.577	0.480	0.366	0.060	0.428	0.273	-0.341	0.554
KAR					1.000	0.474	-0.196	-0.068	-0.057	-0.088	0.192	-0.057	-0.015	0.106	-0.344
SKAR						1.000	-0.121	-0.397	-0.367	-0.356	0.015	-0.330	-0.202	0.239	-0.575
SofG							1.000	-0.298	-0.243	-0.084	-0.286	-0.196	-0.193	-0.030	0.001
Efr-g								1.000	0.964	0.808	0.744	0.900	0.811	0.097	0.696
Efr-d									1.000	0.829	0.800	0.935	0.877	0.188	0.735
E _{FL} -g										1.000	0.661	0.814	0.783	0.194	0.645
E _{FL} -d											1.000	0.732	0.728	0.404	0.399
MOE												1.000	0.913	0.156	0.718
EI													1.000	0.235	0.638
SPL														1.000	0.157
MOR															1.000

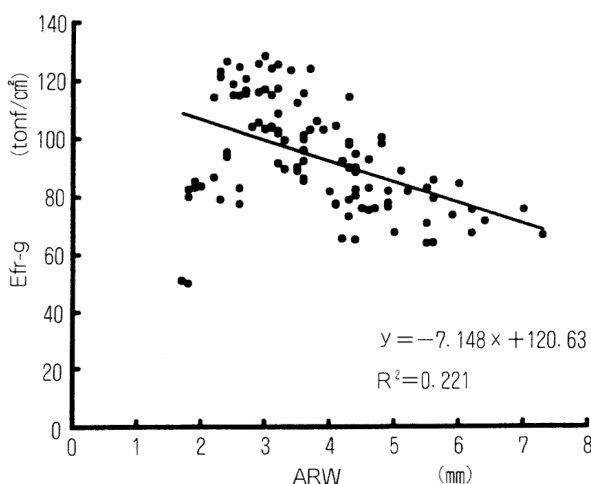


図-4-1 ARWとEfr-gの関係

Fig. 4-1 Relationship between ARW and Efr-g.

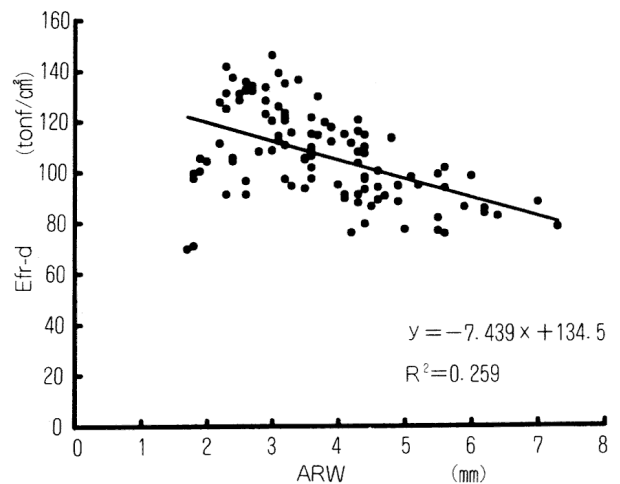


図-4-2 ARWとEfr-dの関係

Fig. 4-2 Relationship between ARW and Efr-d.

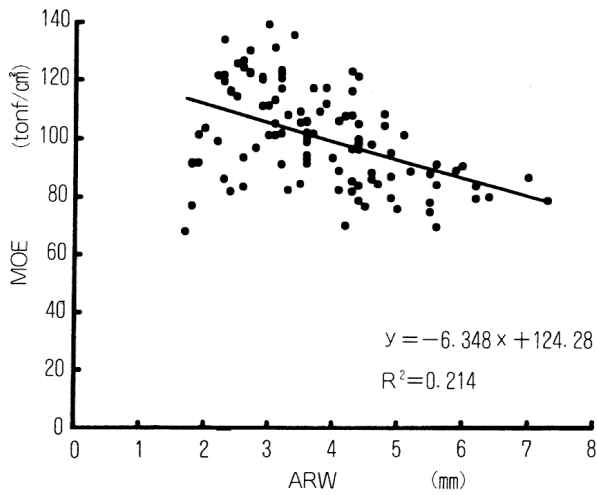


図-4-3 ARWとMOEの関係

Fig. 4-3 Relationship between ARW and MOE.

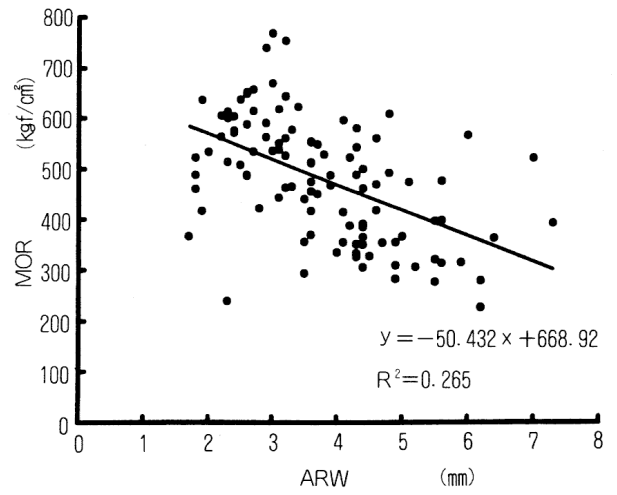


図-4-4 ARWとMORの関係

Fig. 4-4 Relationship between ARW and MOR.

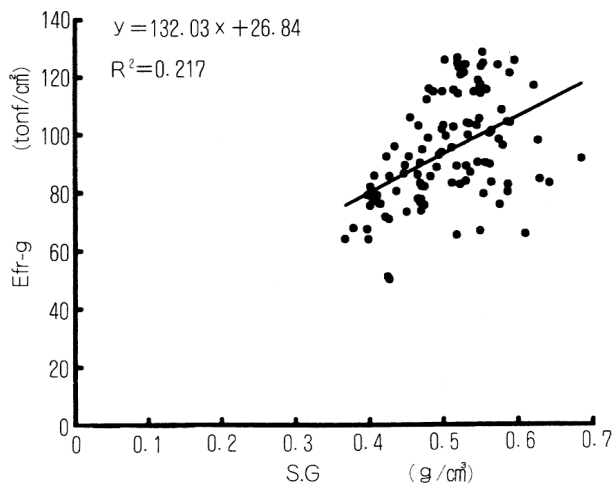


図-4-5 S.GとEfr-gの関係

Fig. 4-5 Relationship between S.G and Efr-g.

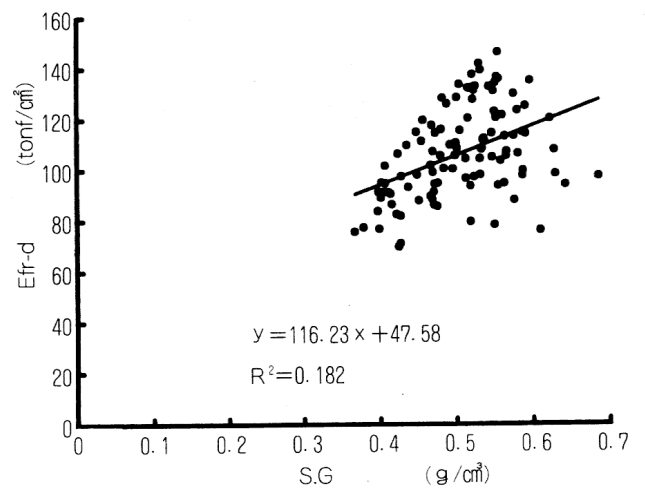


図-4-6 S.GとEfr-dの関係

Fig. 4-6 Relationship between S.G and Efr-d.

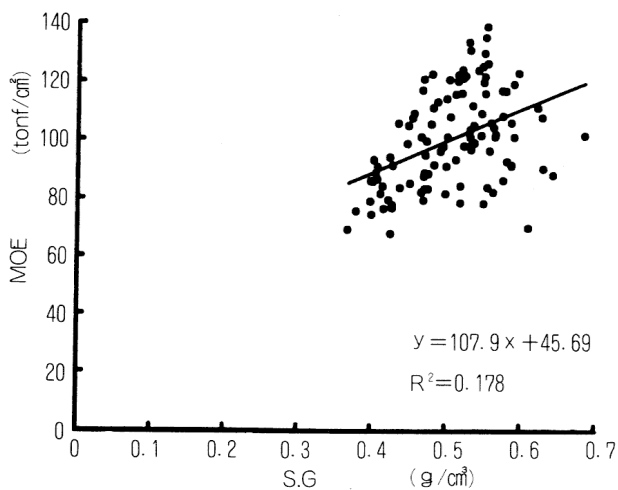


図-4-7 S.GとMOEの関係

Fig. 4-7 Relationship between S.G and MOE.

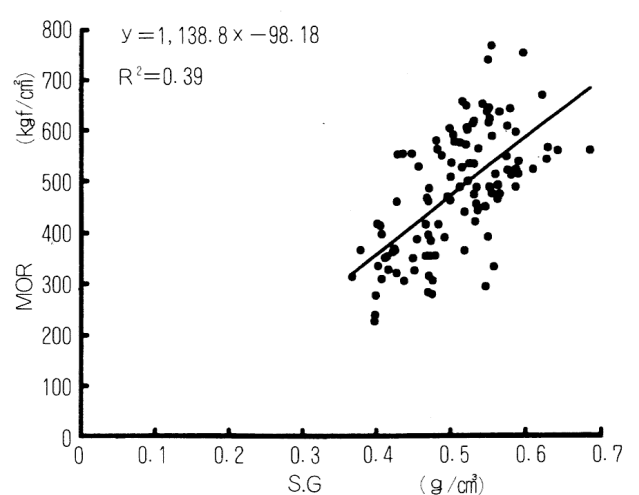


図-4-8 S.GとMORの関係

Fig. 4-8 Relationship between S.G and MOR.

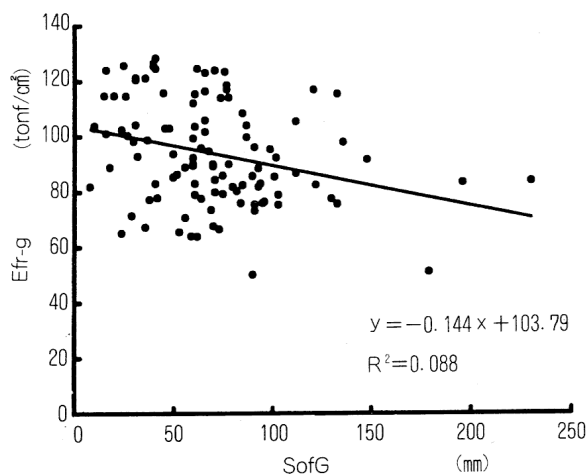


図-4-9 SofGとEfr-gの関係

Fig. 4-9 Relationship between SofG and Efr-g

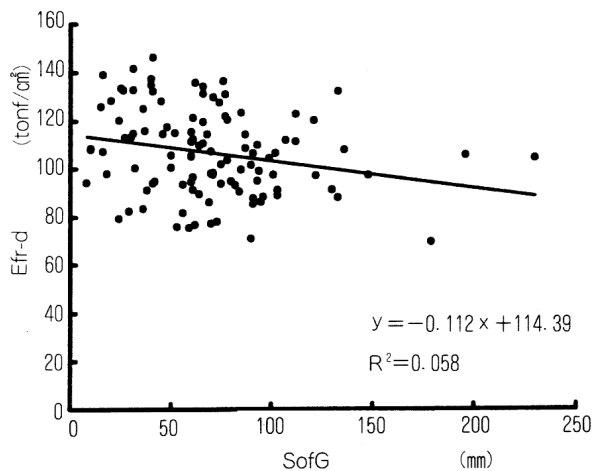


図-4-10 SofGとEfr-dの関係

Fig. 4-10 Relationship between SofG and Efr-d

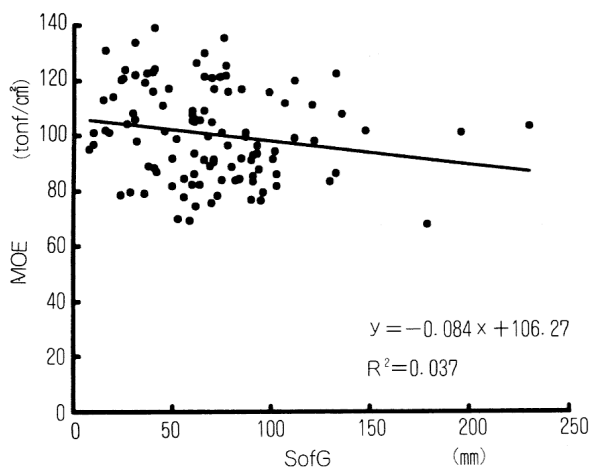


図-4-11 SofGとMOEの関係

Fig. 4-11 Relationship between SofG and MOE

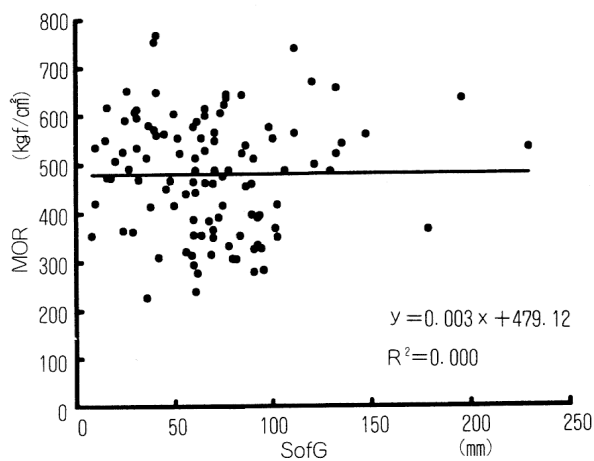


図-4-12 SofGとMORの関係

Fig. 4-12 Relationship between SofG and MOR

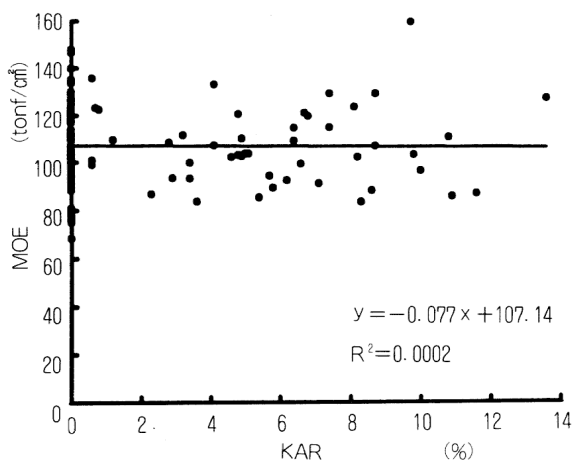


図-4-13 KARとMOEの関係

Fig. 4-13 Relationship between knot diameter ratio of the maximum single knot near fracture (KAR) and MOE.

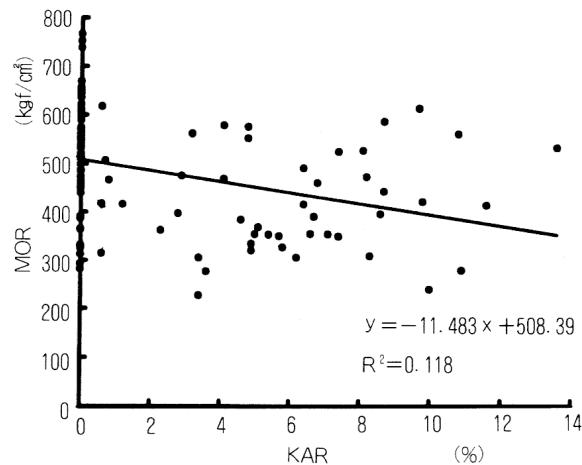


図-4-14 KARとMORの関係

Fig. 4-14 Relationship between knot diameter ratio of the maximum single knot near fracture (KAR) and MOR.

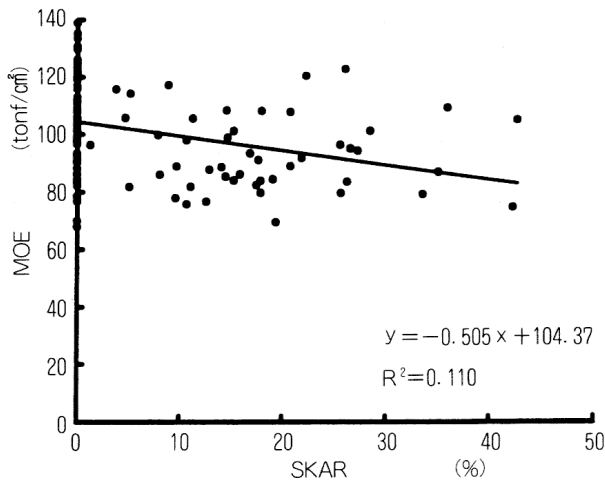


図-4-15 SKARとMOEの関係

Fig. 4-15 Relationship between knot diameter ratio of the maximum single knot near fracture (SKAR) and MOE.

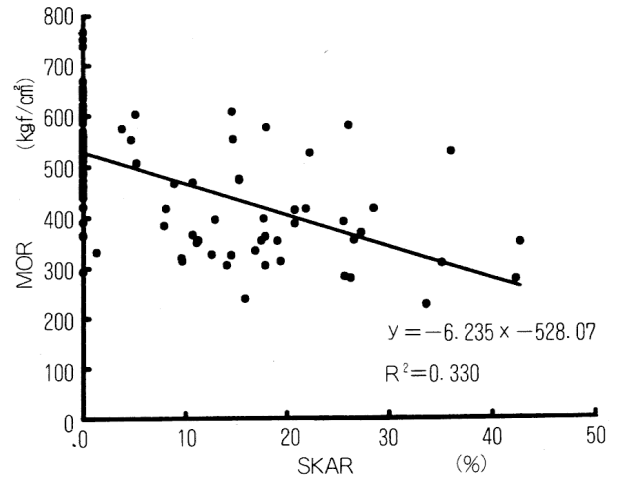


図-4-16 SKARとMORの関係

Fig. 4-16 Relationship between knot diameter ratio of the maximum single knot near fracture (SKAR) and MOR.

101.3tonf/cm²、変動係数17%、モーメント一定区間では67.1~165.3tonf/cm²、平均値104.6tonf/cm²、変動係数17%であった。

建築基準法施行令第89条に規定されているアカマツの長期許容応力度の値から計算される材料強度は、285kgf/cm²であり、本試験における曲げ強度試験結果より信頼下限値(平均値-1.645×標準偏差値)を計算すると、284kgf/cm²ではほぼ建築基準法施行令の値を満足する値を示した。

島根県産正角材のデータ⁴⁾では、曲げ強度の平均値は352kgf/cm²、曲げヤング係数は99.5tonf/cm²であり、今回の供試材は特に曲げ強度で高い値を示しているが、これは原木の径級と心去り材という木取り条件が要因と考えられる。

アカマツ材に関する材質と育種の報告のなかで東北産と関西産のアカマツ材について比較が行われているが⁵⁾、そのなかで強度と高い相関のある容積密度数は関西産が高いこと、また晩材率なども関西産が高いことが報告されており、県産アカマツ材の実大材における強度性能は関西産と比較して異なる傾向をしめすものと考えられる。

2.4.1 材質と強度との関連性

平均年輪幅、比重、破壊に参与したと推定される節径比、繊維走向の傾斜と強度性能間の関係を図-4、その相関係数を表-5に示した。

曲げ強度と試験時の比重との相関係数は0.646、平均年輪幅での-0.515と高い相関関係を示したが、繊維走向の傾斜とは相関関係は全く認められなかった。また曲

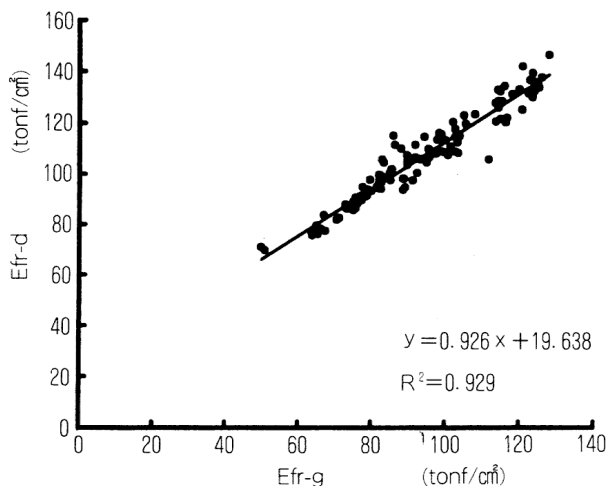


図-5-1 Efr-gとEfr-dの関係

Fig. 5-1 Relationship between Efr-g and Efr-d.

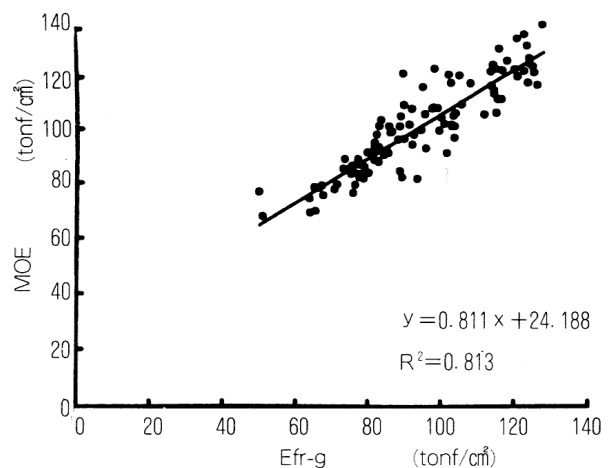


図-5-2 Efr-gとMOEの関係

Fig. 5-2 Relationship between Efr-g and MOE.

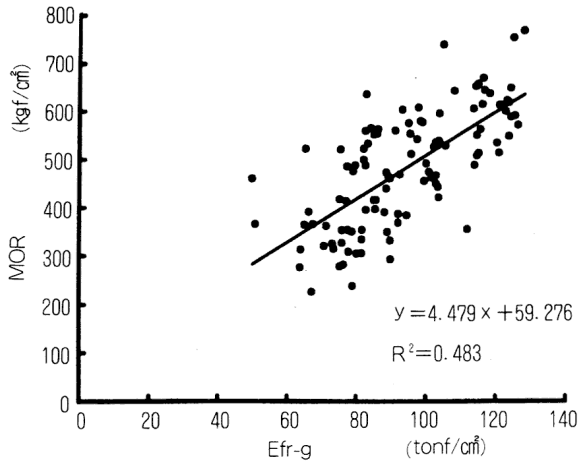


図-5-3 Efr-gとMORの関係

Fig. 5-3 Relationship between Efr-g and MOR.

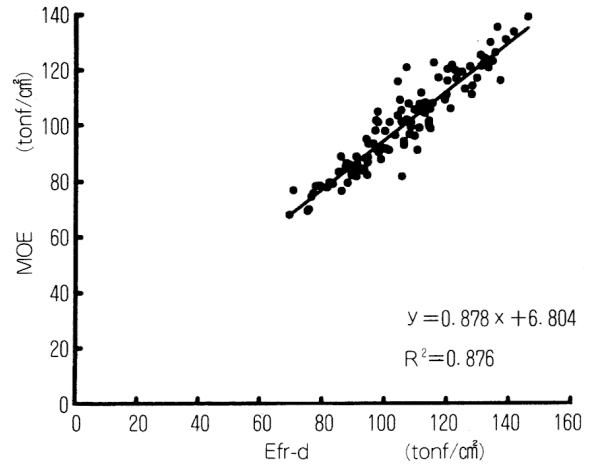


図-5-4 Efr-dとMOEの関係

Fig. 5-4 Relationship between Efr-d and MOE.

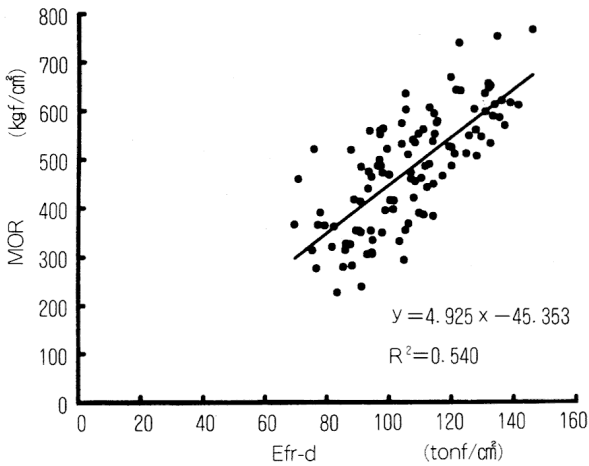


図-5-5 Efr-dとMORの関係

Fig. 5-5 Relationship between Efr-d and MOR.

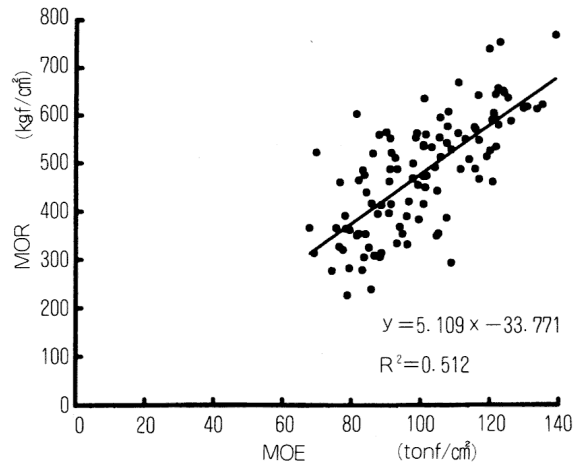


図-5-6 MOEとMORの関係

Fig. 5-6 Relationship between MOE and MOR.

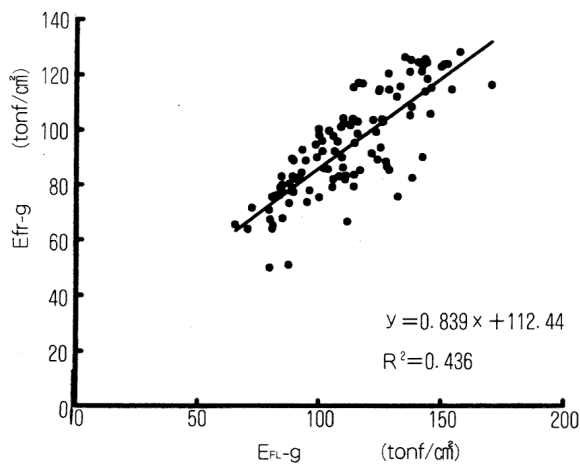


図-6-1 EFL-gとEfr-gの関係

Fig. 6-1 Relationship between modulus of elasticity by logitudinal vibration by omission of density in green condition (EFL-g) and Efr-g.

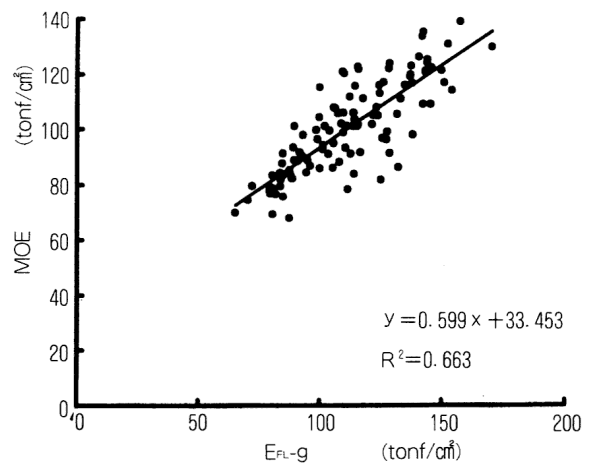


図-6-2 EFL-gとMOEの関係

Fig. 6-2 Relationship between EFL-g and MOE.

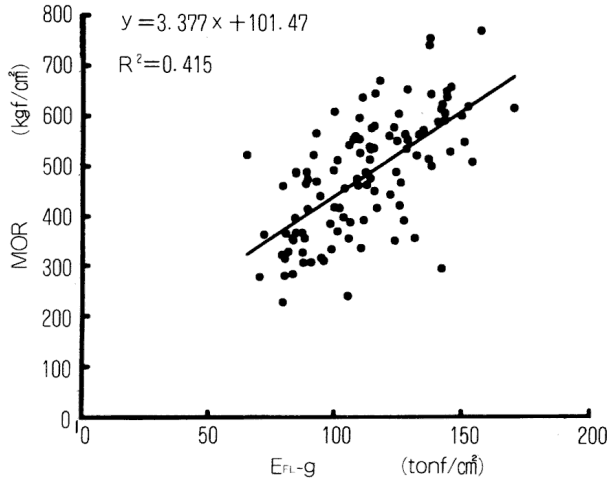


図-6-3 EFL-gとMORの関係

Fig. 6-3 Relationship between EFL-g and MOR.

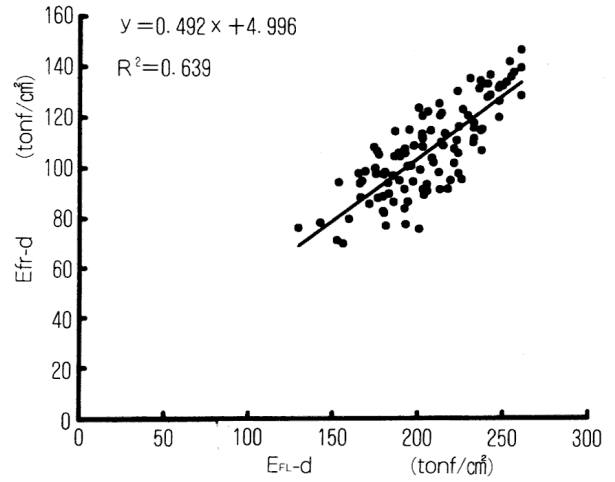


図-6-4 EFL-dとEfr-dの関係

Fig. 6-4 Relationship between modulus of elasticity by logitudinal vibration by omission of density in airdried condition (EFL-d) and Efr-d.

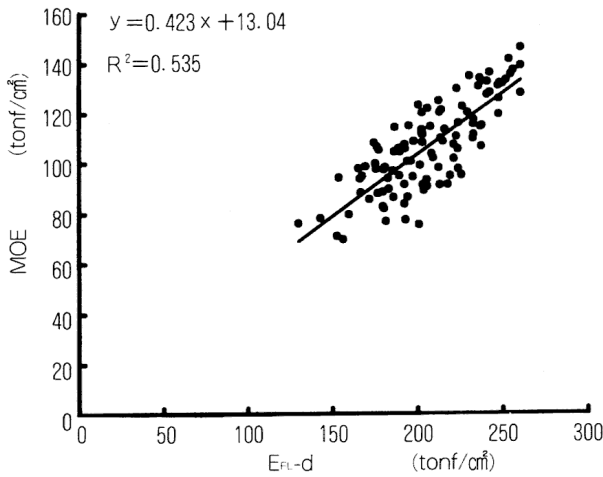


図-6-5 EFL-dとMOEの関係

Fig. 6-5 Relationship between EFL-d and MOE.

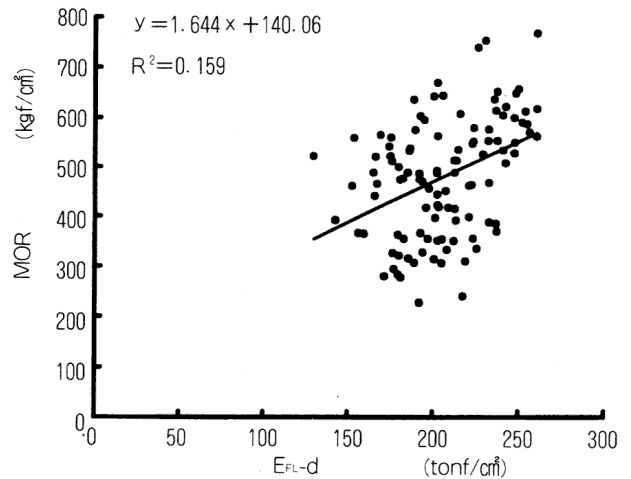


図-6-6 EFL-dとMORの関係

Fig. 6-6 Relationship between EFL-d and MOR.

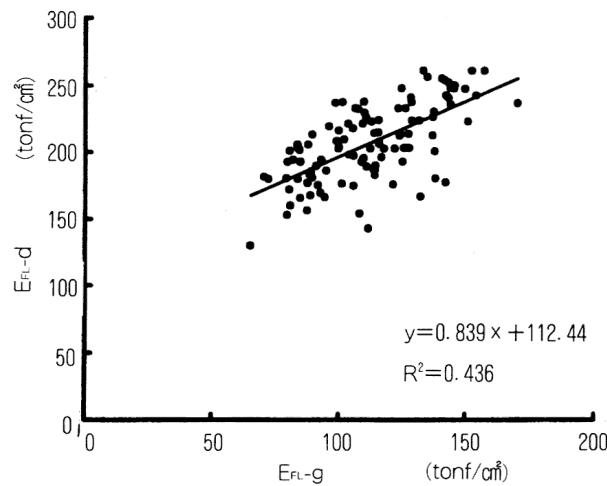


図-6-7 EFL-gとEFL-dの関係

Fig. 6-7 Relationship between EFL-g and EFL-d.

げヤング係数と材質との関係においても同様な傾向が認められた。

破壊に関与したと推定される節径比と強度性能との相関関係は、最大単独節径比よりも集中節径比が曲げ強度との相関が高く、曲げヤング係数とはあまり高くない傾向を示した。

2.4.2 ヤング係数と曲げ強度の関係

ヤング係数と曲げ強度性能の関係を図-5に示した。

縦振動法により求めた動的ヤング係数の値と曲げ破壊試験時の曲げヤング係数には、高い相関関係が認められた。さらに曲げヤング係数及び動的ヤング係数と曲げ強度との相関関係はいずれも高い傾向を示した。

2.4.3 比重測定省略の動的ヤング係数と曲げ強度性能の関係

比重の測定を省略した動的ヤング係数と曲げ強度性能

の関係を図-6に示した。

この結果、生材時における、動的ヤング係数と破壊試験時の曲げヤング係数との相関係数は0.814、曲げ強度との相関係数では0.645と高い相関関係が認められた。動的ヤング係数を測定する際に、供試材の重量及び密度の測定を省略することで曲げ強度を推定する可能性が得られることが明らかとなった。

同様な方法で気乾時における、動的ヤング係数と破壊試験時の曲げヤング係数との相関係数は0.732であったのに対し、曲げ強度との相関係数では0.399と低い値を示した。しかしこの原因については、乾燥による割れ等の基本振動特性への影響なども考えられるがさらに資料を蓄積して検討する余地がある。

2.5 節径比と強度性能の関係

材縁部及び中央部の節径比と、強度性能の関係を図-

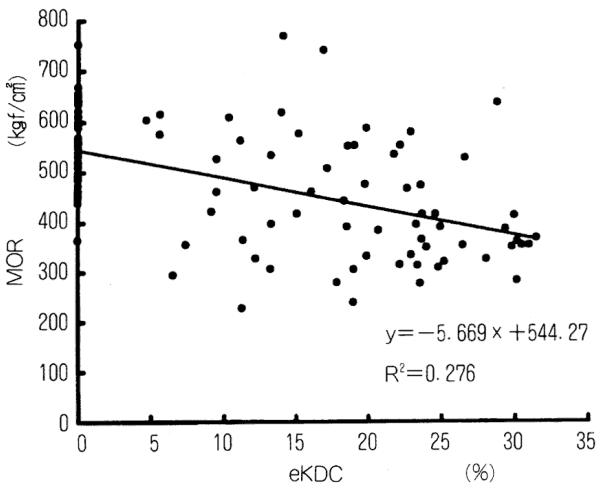


図-7-1 eKDCとMORの関係

Fig. 7-1 Relationship between eKDC and MOR.

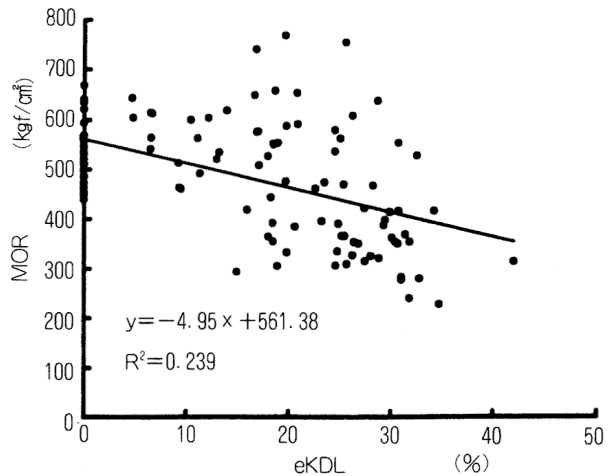


図-7-2 eKDLとMORの関係

Fig. 7-2 Relationship between eKDL and MOR.

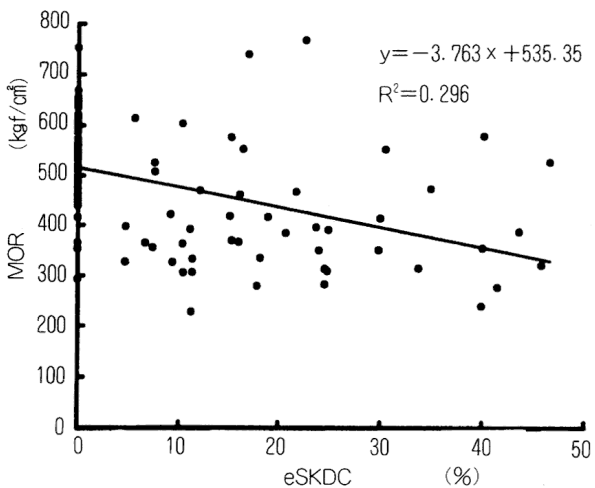


図-7-3 eSKDCとMORの関係

Fig. 7-3 Relationship between eSKDC and MOR.

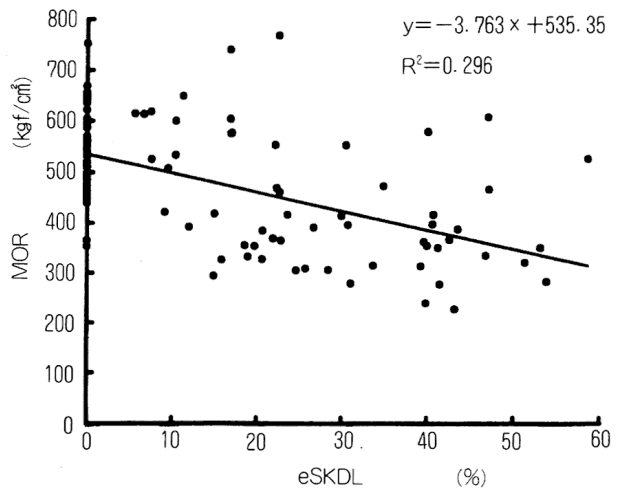


図-7-4 eSKDLとMORの関係

Fig. 7-4 Relationship between eSKDL and MOR.

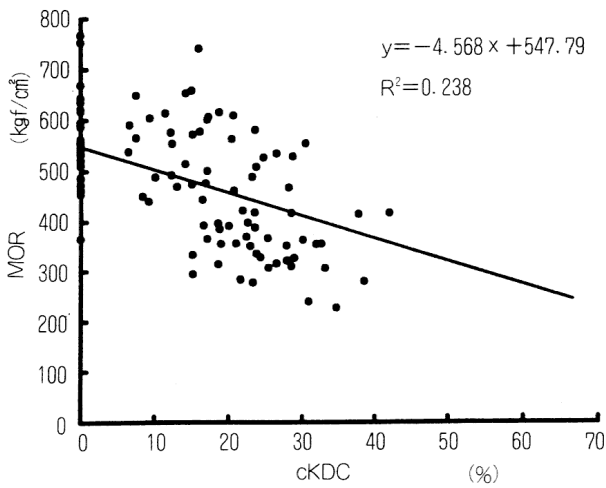


図-7-5 cKDCとMORの関係

Fig. 7-5 Relationship between cKDC and MOR.

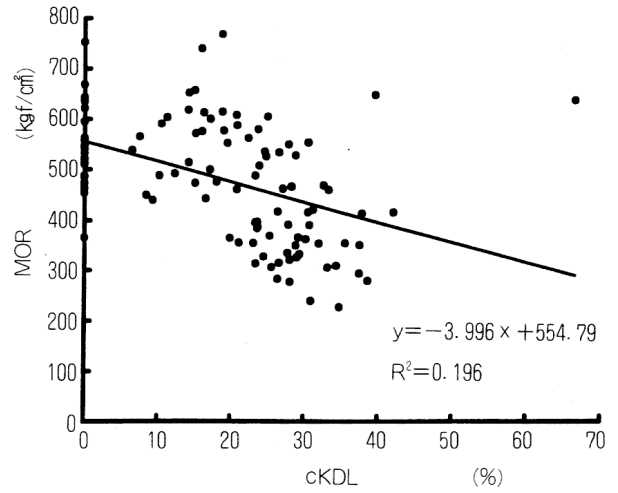


図-7-6 cKDLとMORの関係

Fig. 7-6 Relationship between cKDL and MOR.

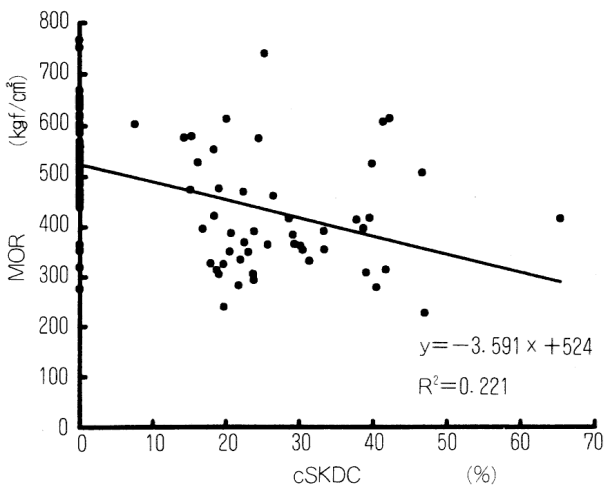


図-7-7 cSKDCとMORの関係

Fig. 7-7 Relationship between cSKDC and MOR.

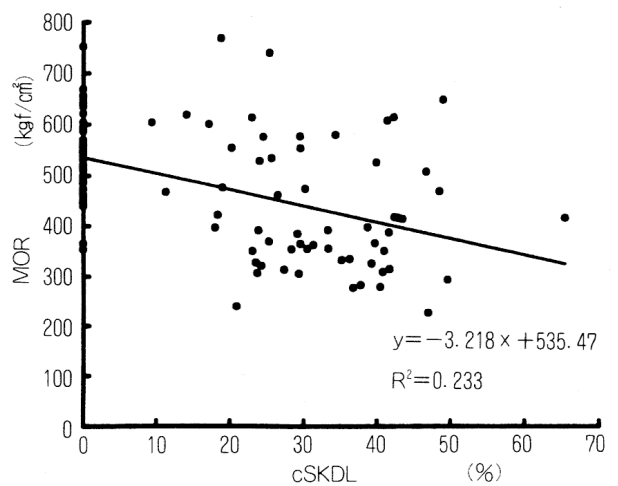


図-7-8 cSKDLとMORの関係

Fig. 7-8 Relationship between cSKDL and MOR.

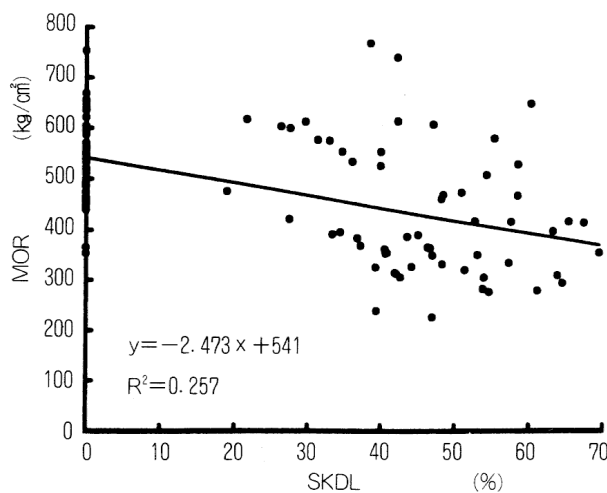


図-7-9 SKDLとMORの関係

Fig. 7-9 Relationship between SKDL and MOR.

表-6 節径比と強度性能の相関係数

Table 6 The correlation coefficient values between strength properties and knot size.

	eKDC	eKDL	eSKDC	eSKDL	cKDC	cKDL	cSKDC	cSKDL	SKDL
Efr-g	-0.38	-0.31	-0.32	-0.38	-0.24	-0.19	-0.30	-0.29	-0.29
Efr-d	-0.34	-0.28	-0.28	-0.35	-0.21	-0.16	-0.27	-0.25	-0.25
E _{FL} -g	-0.29	-0.24	-0.26	-0.33	-0.18	-0.10	-0.17	-0.19	-0.19
E _{FL} -d	0.07	0.18	0.07	0.48	0.12	0.21	-0.01	0.07	0.11
EL	-0.29	-0.25	-0.22	-0.28	-0.18	-0.13	-0.19	-0.17	-0.17
EI	-0.18	-0.14	-0.09	-0.14	-0.80	-0.60	-0.80	-0.30	-0.40
SPL	0.28	0.31	0.18	0.26	0.27	0.32	0.18	0.26	0.31
MOR	-0.53	-0.49	-0.44	-0.54	-0.49	-0.44	-0.47	-0.48	-0.51

7、その相関係数を表-6に示した。

節径比と曲げ強度との相関は比較的高い傾向を示し、その相関係数は0.4~0.5の範囲にあり、目視による等級区分として有効であると考えられる。

強度に直接関係するものと想定していた材縁部の節径比と曲げ強度との相関係数は、中央部の節径比と曲げ強度との相関係数との差がほとんど認められなかった。

しかし、曲げヤング係数については、中央部の節径比との相関係数は高くないものの、材縁部の節径比とは相関関係が高い傾向がある。同様な傾向は動的ヤング係数と節径比との関係にも見られた。

また、曲げヤング係数よりも生材時と気乾時における動的ヤング係数と節径比との相関関係は高くなっている。しかし、比重を考慮しないで動的ヤング係数をみた

場合、生材時では節径比との相関関係はある程度みとめられるものの、気乾時では相関関係は認められなかった。

以上のことから、アカマツ材特有の輪生節による強度性能への影響を低減するためにも、製材品の材縁部への節出現を低減化するためにも、枝打ち等による無節材の生産が必要と考えられる。

2.6.1 目視等級区分別の強度性能

甲種構造用Ⅱ及び乙種構造用の規準に従い、目視により区分した各等級の強度性能を表-7、同じ区分で曲げ強度及び曲げヤング係数を含水率15%時に換算した補正値を等級別に表-8に示した。

甲種構造用による等級別の曲げ強度の平均値は、1級で534kgf/cm²、2級で544kgf/cm²、3級で429kgf/cm²の値を示した。同じく曲げ強度の下限值でみると、それぞれ

表-7 目視による等級別の曲げ強度性能

Table 7 Bendig properties according to the JAS visual grading rules at laboratory

等級	本数	含水率	密度	MOE		MOR				
				平均	変動係数	平均	変動係数	下限値		
Grade	n	MC	RU	Ave.	C.V	Ave.	C.V	S.L		
		%	g/cm ³	tf/cm ²	%	kgf/cm ²	%	kgf/cm ²		
甲種	Ⅱ	1	36(35)	19.1	0.564	102.4	13.8	534	11.3	435
Structural	2	23(16)	16.7	0.522	112.2	18.9	544	17.0	393	
timber	Ⅱ	3	30(7)	14.7	0.486	97.4	16.8	429	31.7	205
		4	19(3)	13.8	0.471	91.9	15.2	376	23.6	230
乙種		1	71(53)	17.6	0.539	105.6	16.9	526	18.8	363
Grade B		2	29(7)	14.4	0.475	93.9	15.9	401	26.5	226
Structural		3	8(1)	13.4	0.471	89.2	11.7	346	15.0	261
timber										

C.V : Coefficient of variation, S.L : Statistical lower limit, () : 心去り材の本数 Number of speicemen of side cut timber.

表-8 目視による等級別の曲げヤング係数

Table 8 Modulus of Elasticity of the visual graded timber.

等級	本数	MOE(MC15%補正)		MOR(MC15%補正)				
		MOE ₁₅		MOR ₁₅				
Grade	n	平均	変動係数	平均	変動係数	下限値		
		Ave.	C.V	Ave.	C.V	S.L		
		tf/cm ²	%	kgf/cm ²	%	kgf/cm ²		
甲種	Ⅱ	1	36(35)	110.8	15.9	603	13.5	469
Strucutral	2	23(16)	116.3	20.0	577	20.7	380	
timber	Ⅱ	3	30(7)	97.3	19.5	431	37.2	167
		4	19(3)	90.1	16.2	365	25.1	214
乙種		1	71(53)	111.2	18.5	523	22.5	311
Grade B		2	29(7)	93.2	17.9	399	30.1	202
Structural		3	8(1)	86.9	12.3	332	13.2	255
timber								

C.V : Coefficient of variation, S.L : Statistical lower limit, () : 心去り材の本数 Number of speicemen of side cut timber. MOE₁₅ : MOE adjusted at 15% MC, MOR₁₅ : MOR adjusted at 15%

表-9 目視による等級別の動的ヤング係数

Table 9 Frequency modulus of Elasticity (Efr) of the visual graded timber.

等級 Grade	本数 n	Efr-g	Efr-d	Efr-d	Efr-d
		tf/cm ²	tf/cm ²	/	/
甲種 II	1	36(35)	98.3	109.6	1.11
Structural	2	23(16)	102.5	116.0	1.13
timber II	3	30(7)	89.0	102.3	1.15
	4	19(3)	82.6	96.0	1.16
乙種	1	71(53)	99.5	111.7	1.12
Grade B	2	29(7)	83.9	97.4	1.16
Structural	3	8(1)	79.5	93.4	1.17
timber					MOE

() : 心去り材の本数 Number of specimen of side cut timber.

れ435kgf/cm²、393kgf/cm²、205kgf/cm²であり、等級に対応した強度性能の格差が認められるものの3級材ではアカマツ材の材料強度の基準値285kgf/cm²を下回った。

甲種構造用の曲げ強度及び曲げヤング係数は1、2級と3級には格差が認められ、特に曲げ強度の下限値に大きな差を示していた。

同様に乙種構造用による等級別の曲げ強度の平均値は、1級で526kgf/cm²、2級で401kgf/cm²、3級で346kgf/cm²の値を示し、下限値でみると、それぞれ363kgf/cm²、226kgf/cm²、261kgf/cm²で2、3級材ではアカマツ材の材料強度の基準値を下回った。乙種でも1級と2級以下には格差が認められた。

含水率15%時に換算した補正値を等級別で示した区分

表-11 Efr(生材時)による等級別の曲げ強度性能

Table 11 Efr (green) of mechanically graded timber.

等級 Grade	本数 n	MOR (MC15% 補正)		
		MOR ₁₅		
		平均	変動係数	下限値
		Ave.	C.V	S.L
		kg f/cm ²	%	kg f/cm ²
甲種 II	1	401	10.6	332
Structural	2	359	26.9	200
timber II	3	480	24.2	289
	4	607	18.4	423
	5	684	11.9	550

C.V : Coefficient of variation S.L : Statistical lower limit,

MOR₁₅ : MOR adjusted at 15% MC

表-10 MOE等級別の曲げ強度性能

Table 10 Strength properties of mechanically graded timber.

等級 Grade	本数 n	MOR (MC15% 補正)		
		MOR ₁₅		
		平均	変動係数	下限値
		Ave.	C.V	S.L
		kg f/cm ²	%	kg f/cm ²
甲種 II	1	344	24.6	210
Structural	2	417	26.9	233
timber II	3	531	17.7	376
	4	678	11.5	549
	5	705	18.7	488

C.V : Coefficient of variation S.L : Statistical lower limit,

MOR₁₅ : MOR adjusted at 15% MC

値においても、同様な傾向が認められ、その等級別の曲げヤング係数の平均値は、甲種構造用では1級で110.8tonf/cm²、2級で116.3tonf/cm²、3級で97.3tonf/cm²、乙種構造用ではそれぞれ111.2tonf/cm²、93.2tonf/cm²、86.9tonf/cm²の値を示した。

2.6.2 目視等級区分別の動的ヤング係数

目視により区分した各等級の生材時及び気乾時の動的ヤング係数を表-9に示す。

動的ヤング係数の生材時に対する気乾時の比を等級別にみると、動的ヤング係数は乾燥することによって11~17%増加し、その比は等級の低い材ほど高く、逆に等級の高い材ほど乾燥による増加の割合は低い傾向を示した。

表-12 Efr(気乾時)による等級別の曲げ強度性能

Table 12 Efr (airdried) of mechanically graded timber.

等級 Grade	本数 n	MOR (MC15% 補正)		
		MOR ₁₅		
		平均	変動係数	下限値
		Ave.	C.V	S.L
		kg f/cm ²	%	kg f/cm ²
甲種 II	1	377	23.6	234
Structural	2	407	30.4	204
timber II	3	505	20.4	336
	4	672	13.1	528
	5	704	13.4	549

C.V : Coefficient of variation S.L : Statistical lower limit,

MOR₁₅ : MOR adjusted at 15% MC

表-13 木取り別の外観的特性

Table 13 Comparison of visual characteristics of specimens between sawing patterns.

木取り Sawing patterns	本数 n	含水率 MC %	密度 RU g/cm ³	材縁部 Edge section		林幅中央部 Central section	
				最大節 径比 eKDL %	集中節 径比 eSKDL %	最大節 径比 cKDL %	集中節 径比 cSKDL %
				心持ち材 Boxed heart timber	47	13.8	0.476
心去り材 Side cut timber	61	18.5	0.550	9.5	9.6	12.7	13.6

また、気乾時の動的ヤング係数は曲げ破壊試験時の曲げヤング係数より3~7%高い値を示した。

2.7 機械的等級区分別の強度性能

曲げヤング係数により機械的等級区分し、曲げ強度を含水率15%時に換算した補正値を等級別に表-10に示した。

曲げヤング係数の区分値に対応して曲げ強度が高い材が区分され、E110では下限値が376kgf/cm²とかなり高い値を示している。E110以下では平均値をみるとアカマツ材の材料強度値を上回っているが、下限値が低く基準値を満たしていない。

同様に生材時の動的ヤング係数と気乾時の動的ヤング係数により機械的等級区分し、曲げ強度を含水率15%時に換算した補正値を等級別に表-11、12に示した。動的ヤング係数で機械的等級区分した場合でも、ほぼ等級に対応した強度性能を示す材に区分できていることが認められた。生材時の動的ヤング係数では、E90以上の等級区分材で、気乾時の動的ヤング係数では、E110以上の材で下限値がアカマツの材料強度を上回っていた。

2.8 木取り別の強度性能

等級込みで、心持ち材と心去り材の材質と曲げ強度性能の比較をした結果を表-13、14に示した。

試験時の比重が約0.08、心去り材が高く、最大単独節径比及び集中節径比も心持ち材の2~3倍高い値を示した。含水率15%時に換算した曲げヤング係数で約20tonf/cm²、曲げ強度で約200kgf/cm²、心去り材が高い傾向を示した。

3 まとめ

生材時の強度試験結果と比較し、気乾時の強度性能は生材時より増大する傾向が認められ、目視等級区分や機械的等級区分のいずれによっても上位の等級材の曲げ強度の下限値はアカマツの材料強度を満足していたが、今後ともさらにデータの蓄積を図る必要があると考えられる。

また、現場的な手法として製材品の縦振動法において動的ヤング係数の測定は、重量を測定する必要もなく、

表-14 木取り別の曲げ強度性能

Table 14 Comparison of bendig properties between two sawing patterns.

木取り Sawing patterns	本数 n	MOE (MC15%補正) MOE ₁₅		MOR (MC15%補正) MOR ₁₅		
		平均 Ave. tf/cm ²	変動係数 C.V %	平均 Ave. kgf/cm ²	変動係数 C.V %	下限値 S.L kgf/cm ²
		心持ち材 Boxed heart timber	47	93.9	19.1	392
心去り材 Side cut timber	61	112.9	17.5	598	19.4	406

C.V : Coefficient of variation S.L : Statistical lower limit, MOR₁₅ : MOR adjusted at 15% MC

材長を単に打撃による基本周波数の測定の方法でも強度性能の推定にかなり有効であると言えるので、さらに精度を向上させる方法について検討する余地があると考えられる。

引用文献

- 1) 東野 正・中野正志(1990)アカマツの強度性能. 日本木材学会研究発表要旨集**40**: 378
- 2) 飯島泰男(1990)実大試験データの集積と信頼性評価による分析. 昭和63年、平成元年度科学研究費補助金(総合研究A)研究成果報告書(研究課題番号63302060): 97~108
- 3) ASTM D 2915-90(1991) Standard Practice for Evaluating Allowable Properties for Grades of Structural Lumber”
- 4) 錦織 勇・勝部理市・安井 昭(1987)構造用製材の強度性能(Ⅲ)アカマツ正角材の曲げ強度. 島根県林業技術センター研究報告**38**: 51~59
- 5) 材質育種研究班(1972)材質育種に関する研究 第2報 関西地方アカマツ. 林試研報**244**: 17~114