

(論 文)

枝打ちされたアカマツ材の強度性能

東野 正・高橋 忠幸

Strength properties of Pruned *Pinus densiflora*

Tadashi HIGASHINO and Tadayuki TAKAHASHI

要 旨

アカマツ製材品の材面に現れる輪生節の存在が強度性能に与える影響は大きいので、強度等の材質の向上をはかるための基礎資料として、枝打ち後10年経過した40年生の枝打ち材と若齢時に枝打ちされた材の強度性能について検討した。枝打ちされた一番玉から採材された平角材の狭い材面における節の出現率は減少し、強度性能は枝打ちされない材より高い強度値を示した。

Summary

Effect of ring knots of Akamatsu (*Pinus densiflora* SIEB. et Zucc.) on the strength properties appears considerably. To investigate the effect of pruning on the strength properties, bending test were made on pruned timber in early time and pruned timber from stand age of 40 years pruned 10 years ago.

The sum of knot diameters in narrow end surface decreased by pruning and the value of bending strength and Modulus of Elasticity on sawn timber from first log pruned in early time were greater than those of not pruned timber.

キーワード

アカマツ、枝打ち、節径比、曲げ強度性能、縦圧縮強度性能

目 次

緒 言	2	2. 3 乾燥後の形質変化	6
1 試験方法	2	2. 4 形質及び動的ヤング係数	6
1. 1 供試木と枝打ちの時期	2	2. 5 曲げ強度性能	6
1. 2 供試丸太の採材と製材	2	2. 6 縦圧縮強度性能	8
1. 3 節の測定	2	2. 7 動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係	9
1. 4 縦振動法による動的ヤング係数の計測	2	2. 8 強度性能間の関係	11
1. 5 曲げ破壊試験	3	2. 9 材質と強度との関連性	11
1. 6 縦圧縮強度試験	3	2. 10 節径比と強度性能の関係	14
1. 7 測定項目の略記法	3	3 ま と め	14
2 試験結果と考察	4	引用文献	14
2. 1 供試丸太及び供試材の外観的特性	4	4 付 表	15
2. 2 節の出現状況	5		

緒 言

アカマツについて、建築用構造部材としての材料強度を考える場合、アカマツなどの特徴である輪生節の存在は強度性能に与える影響が大きい。枝が樹心を中心に輪生して生長し、枝節は枯れ落ちずにそのまま幹の外周部に残る場合が多く、製材品を木取った場合に、材面に現れた輪生節の影響により強度が著しく低下することがある。曲げ破壊試験を行うと節の部分や節付近の目切れ部から破壊する例がほとんどであり、スギなどに比べて、アカマツは節と強度の相関関係が高い樹種といえる。

そのため、枝打ちを行い無節材を生産することにより、強度等の材質の向上が期待でき¹⁾、挽材面での節のあらわれかたが問題となる化粧の用途に関しても枝打ちによりその価値を増すもの²⁾と考えられる。しかし、スギやヒノキなどの枝打ちにくらべて、アカマツの枝打ちは一般的には行われていないのが現状であり、アカマツを対象とした枝打ち事例が少なく、枝打ちされた材の強度性能等についての報告³⁾も少ない。しかし、ニュージーランドにおいてはラジアータパインの強度性能向上のために、枝打ちが積極的に行われている例もあり、アカマツにおいても枝打ちの効果について検討する必要がある。

枝打ちと強度性能について関連を検討した例は少ない。石垣は、スギ枝打ち材の上層木と下層木についての曲げ強度試験の結果を報告している⁴⁾。しかし、試験丸太の個体間の差やその他の因子から、施業のみの効果を分別することは困難とされているが⁵⁾、施業との関係から枝打ちの効果、特に強度性能への効果についてさらに事例を集めることも必要である。

本報では、岩手県内3市町村の林分で施業時期の明らかな枝打ち材と不明な枝打ち材を供試し、強度性能について検討した結果を報告する。なお枝打ち材の枝打ち後の成長解析及び巻き込み状況については別報で報告する予定である。

1 試験方法

1.1 供試木と枝打ちの時期

1.1.1 九戸村産

九戸村伊保内地区内で高さ8mを目標に枝打ちされ、枝打ち後10年経過した約40年生前後のアカマツ人工林において無作為に選木した立木10本を供試木とし、3本を節解析用、7本を強度試験用とした。

1.1.2 石鳥谷町産

石鳥谷町富沢地内の若齢時に枝打ちされた約50年生前後のアカマツ天然林の林分から、供試木として立木7本を無作為に選定した。

森林所有者からの聞き取りでは、枝打ちは若齢時に行ったとのことであった。枝打ち時期を確認するために、同一の林分から供試材とは別に採材した3本の立木について節解析を行った結果、枝打ちは5～13年生の若齢期にはほぼ1番玉が採材される部位まで行われていたことが判明した。供試丸太の元口年輪数の平均は46であることから、枝打ち後約30年以上経過していた。

1.1.3 種市町産

種市町宿戸地内で枝打ちされた約50年生前後のアカマツ天然林の林分から、供試木として立木10本を無作為に選定した。

森林所有者からの聞き取りでは、枝打ちは15年生時に行い、以後5年おきに順次枝打高をあげて継続して実施したとのことであった。

1.2 供試丸太の採材と製材

各林分より選定した供試木を、地際で伐倒し3番玉まで採材し供試丸太とした。玉切りの際、各番玉の間で成長解析用の厚さ15cmの円盤を採取した。採材にあたっては原則的に材長を4mとしたが、2、3番玉では素材の曲がりに応じて材長3mに玉切りした材もあった。

各供試丸太は丸太の段階で年輪幅などの外観調査を行った後、製材品のJAS規格に準じた寸法で採材しうる最大の寸法の平角・正角に製材しこれらの製材品を供試材とした。また、最初の鋸を入れる際には、樹皮の状態から判断し、材面に節がでないように配慮した。採材寸法は、一番玉においては幅12cmを基本として製材した。

1.3 節の測定

供試材の材面に現れた節について、最大節径比及び集中節径比を測定した。

各材面に現れた単独の最大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、材長方向では中央1/3区間(荷重点間)と、全区間(中央1/3区間と両端の1/3区間を合わせた区間)に区別し、材幅方向では材縁部(材の稜線から材幅の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1/2の範囲)に区分して測定した。

また、材面について節が出現しない無節面の出現状況についても調査した。

1.4 縦振動法による動的ヤング係数の計測

供試丸太及び木口面を金鋸で打撃し、反対側の木口面

で非接触でマイクロフォンで、材中を伝播する弾性波を測定し FFTアナライザー（エー・アンド・デイ社製 AD-3523型）によって縦振動基本周波数を測定し、動的ヤング係数を算出した。

供試材についても製材直後と気乾時に同様の方法で動的ヤング係数を測定した。

1. 5 曲げ破壊試験

製材後の供試材は室内で天然乾燥により、ほぼ気乾状態となった段階で乾燥による狂いの調査を行った後、三等分四点荷重方式により曲げ強度試験を実施した。

実大曲げ破壊強度試験は、実大曲げ強度試験機を用いはりせい18cm未満の材は荷重点間距離を90cm、支点間距離を270cm、はりせい18cm以上の材は荷重点間距離を120cm、支点間距離を360cmとし、三等分点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。

1. 6 縦圧縮強度試験

曲げ強度試験終了後に供試材の両端部分の非破壊部分から、節を含む実大材（細長比λ=17）を採材して縦圧縮試験を行い、さらにその非破壊部分から節を含まないクリヤー材（材長20cm）を採材して、縦圧縮試験を行った。

1. 7 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)
- ARW : 平均年輪幅 (mm)
- ARN : 年輪数
- MC : 含水率 (%)
- neKDC : 狭い材面での中央1/3区間の最大節径比 (%)

- neKDL : 狭い材面での全区間の最大節径比 (%)
- neSKDC : 狭い材面での中央1/3区間の最大集中節径比 (%)
- neSKDL : 狭い材面での全区間の最大集中節径比 (%)
- weKDC : 広い材面での材縁部の中央1/3区間の最大節径比 (%)
- weKDL : 広い材面での材縁部の全区間の最大節径比 (%)
- wcKDC : 広い材面での材幅中央部の中央1/3区間の最大節径比 (%)
- wcKDL : 広い材面での材幅中央部の全区間の最大節径比 (%)
- weSKDC : 広い材面での材縁部のみの中央1/3区間の最大集中節径比 (%)
- weSKDL : 広い材面での材縁部のみの全区間の最大集中節径比 (%)
- wcSKDC : 広い材面での材幅中央部のみの中央1/3区間の最大集中節径比 (%)
- wcSKDL : 広い材面での材幅中央部のみの全区間の最大集中節径比 (%)
- wSKDL : 広い材面での材面全体での最大集中節径比 (%)
- SofG : 繊維走向の傾斜
- Efr-L : 丸太時の動的ヤング係数 (tonf/cm²)
- Efr-g : 気乾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)
- MOE : 曲げヤング係数 (tonf/cm²)
- EI : モーメント一定区間曲げヤング係数 (tonf/cm²)

表-1 供試丸太の形質
Table 1 Description of log specimens.

産地 Locality	番玉 P Position of the sample log cut from ground	供試数 N Number of Sample	元口 Butt end			末口 Top end			曲がり Bow
			径 Db Diameter	年輪数 ARN Number of annual rings	年輪幅 ARW Average annual ring width	径 Db Diameter	年輪数 ARN Number of annual rings	年輪幅 ARW Average annual ring width	
			cm		mm	cm		mm	mm
九戸村 Kunohe	1番玉 1st	10	27.9	37.4	3.72	23.5	31.2	3.8	46.0
	2番玉 2nd	10	23.4	31.2	3.75	21.8	26.3	4.1	36.5
	3番玉 3rd	10	21.5	26.3	4.09	18.0	20.2	4.4	36.3
石鳥谷 Ishidoriya	1番玉 1st	7	28.9	45.7	3.15	22.3	36.6	3.0	42.4
	2番玉 2nd	7	21.9	35.9	3.05	19.5	30.1	3.3	24.4
	3番玉 3rd	7	19.1	28.6	3.39	15.1	23.4	3.3	35.6
種市町 Taneichi	1番玉 1st	10	32.0	49.6	3.24	29.2	42.3	3.5	
	2番玉 2nd	10	25.8	43.0	3.02	26.1	35.6	3.7	

- SPL : 曲げ比例限強度 (kgf/cm²)
- MOR : 曲げ強度 (kgf/cm²)
- CS-F : 実大材の縦圧縮強度 (kgf/cm²)
- CS-C : クリヤー材の縦圧縮強度 (kgf/cm²)
- S.G-F : 縦圧縮試験時の実大材の試験体全体の密度 (g/cm³)
- S.G-C : 縦圧縮試験時のクリヤー材試験体全体の密度 (g/cm³)
- SD : 標準偏差
- CV : 変動係数 (%)

2 試験結果

2.1 供試丸太及び供試材の外観的特性

枝打ちされた丸太の形質の調査結果を表-1に、また供試材の採材寸法を表-2に示した。

素材丸太では九戸村産と石鳥谷町産の丸太の元口径と末口径はほぼ同じであり、これに比較して種市町産はやや太い。1番玉からの採材寸法をみると種市町産からはすべて平角材が、他の産地からは正角材が各1本採材された。

丸太1番玉の元口の年輪数の平均は3産地で37~50の範囲にあった。平均年輪幅は3.2~3.7mmであった。

表-2 供試丸太から製材された試験材の数

Table 3 Number of sample sawned from the log specimens.

産地 Locality	番玉 Position of the sample log cut from ground		採材された試験材の断面寸法別の供試数 Section size and number of tested timber sawned						
			寸法 (cm) Size (cm)						
			12×24	12×21	12×18	12×12	10.5×15	10.5×10.5	8×8
九戸村 Kunohe	1番玉	1st		6		1			
	2番玉	2nd		2	3	1	1		
	3番玉	3rd			1	6			
石鳥谷 Ishidoriya	1番玉	1st		5	1		1		
	2番玉	2nd			5	1	1		
	3番玉	3rd					3	3	1
種市町 Taneichi	1番玉	1st	8	2					
	2番玉	2nd	3	5			2		

表-3 供試材の節径比

Table 3 Knot ratio.

産地 Locality	番玉 P Position of the sample log cut from ground	供試数 N	狭い材面 Width				広い材面 Thickness									
			材縁 Edge		材幅中央部 Center		材縁 Edge		材幅中央部 Center		全面 All					
			neKDC	neKLD	neSKDC	neSKDL	weKDC	weKDL	weSKDC	weSKDL	weKDC	weKDL	weSKDC	weSKDL	wKDC	wKDL
			Kmax 1/3 %	Kmax L %	Cmax 1/3 %	Cmax L %	Kmax 1/3 %	Kmax L %	Cmax 1/3 %	Cmax L %	Kmax 1/3 %	Kmax L %	Cmax 1/3 %	Cmax L %	Kmax 1/3 %	Kmax L %
九戸村 Kunohe	1番玉	1st	7	8.8	13.7	13.4	18.4	6.9	9.9	7.4	10.1	10.8	14.8	17.0	23.3	29.0
	2番玉	2nd	7	19.2	22.6	24.4	35.7	10.0	21.9	10.5	22.2	16.0	20.4	20.3	27.2	42.6
	3番玉	3rd	10	22.9	31.3	35.3	46.6	22.6	27.1	24.0	31.1	16.0	22.1	32.2	46.3	67.3
石鳥谷 Ishidoriya	1番玉	1st	7	2.9	2.9	2.9	2.9	2.3	3.7	2.3	3.7	6.4	9.9	9.8	14.9	17.0
	2番玉	2nd	7	14.4	19.6	18.8	24.4	13.6	18.9	16.0	22.0	13.5	14.8	19.5	21.3	35.8
	3番玉	3rd	7	19.4	25.2	24.6	32.4	9.6	18.6	9.6	22.3	17.4	20.2	20.2	23.0	36.5
種市町 Taneichi	1番玉	1st	10	2.6	4.4	3.6	7.2	4.5	10.0	5.3	10.4	7.9	12.0	14.3	20.2	25.1
	2番玉	2nd	10	12.8	22.3	17.1	29.7	13.0	16.6	14.6	20.0	14.0	16.1	17.8	24.3	38.5
無処理材 Not treated	1番玉	1st	66	12.2	18.9	16.6	24.5	10.1	15.0	10.2	15.8	12.4	16.9	17.1	23.7	33.8

Legend : Kmax : Maximum single knot. Cmax : Maximum multiple knots within a length of 15cm. 1/3 : Central one thrid area. L : Full length.

2. 2 節の出現状況

供試材の材面における節径の出現状況を表-3に示した。平角材では、幅の狭い材面と幅の広い材面でそれぞれ測定した値を示した。

1番玉から製材された平角材の狭い材面に現れた全区間での最大単独節径比の平均値が九戸村産13.7%、石鳥谷町産で2.9%、種市町産で4.4%で、若齢時の枝打ちされた材で極めて低く、枝打ちによる節径比低減化の効果が認められた。最大集中節径でも同様に九戸村産と種市町産でやや最大単独節径比より高い値となったがいずれも2番玉での値より極めて低い値である。

表-3の最下段に、県内での枝打ちされていない立木66本分についての測定値⁶⁾を示したが、確実に枝打ちされている1番玉の狭い材面に現れた最大単独節径比と最大集中節径比の平均は、枝打ちされていない材の値より極めて低い値を示し、枝打ちによる狭い材面での節径比の減少が認められる。

平角材をフラットワイズで荷重をかける場合、狭い材面とともに強度に関係する広い材面の材縁部での最大単独節径比をみると、全区間での平均値は九戸村産で9.9%、石鳥谷町産で3.7%、種市町産で10.0%の値であり、材面中央部での全区間ではそれぞれ14.8、9.9、12.0%であった。

材面の広い面では、当然ながら樹心部近くまで切削されることから節径も大きくなったが、ただ、材縁部ではいずれも2番玉の節径比のほぼ半分以下の値となっている。

なお、広い材面で、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最大集中節径比の平均値も1番玉

表-4 供試材の乾燥後の形質変化

Table 4 Sample distortion after air drying.

産地 Locality	番玉 Position of the sample log cut from ground	供試数 N Number of Sample	ねじれ Twist mm	曲り Bow mm	そり Grook mm
九戸村 Knohe	1番玉 1st	7	17.4	6.1	6.9
	2番玉 2nd	7	22.0	5.4	3.6
	3番玉 3rd	10	34.6	4.6	5.9
石鳥谷 Ishidoriya	1番玉 1st	7	10.8	3.7	3.4
	2番玉 2nd	7	15.0	3.4	2.4
	3番玉 3rd	7	19.4	4.0	4.0
種市町 Taneicthi	1番玉 1st	10	13.9	3.3	3.3
	2番玉 2nd	10	15.2	3.1	3.5

が2、3番玉より低い値を示した。

また、材面において、完全に無節の材面の出現状況をみると、1番玉では、平角材で材面の狭い面の46材面中(23本分)無節の材面が23材面となり、出現率は50%と高い値を示した。これに対して、材面の広い面では、当然ながら樹心部近くまで切削されることから無節材面の出現率は4.7%と低い値を示した。

九戸村産では1番玉から製材された平角材材面の狭い面に、無節材面は6本分の12材面中4材面あられ、無節面の出現率は33%であるが、枝打ち後10年しか経過していないことと、素材に曲がりや偏心があり、また製材をJAS規格の製材寸法に準拠したためという点を考慮しても枝打ちの効果があったと考えられる。

平角材のような断面では狭い材面が無節であるだけでも製材品の強度性能の向上が期待できることから、令級の高い段階での材の枝打ちもある程度効果が期待できる。

表-5 供試丸太の形質及び動的ヤング係数

Table 5 Weight and specific gravity and Modulus of Elasticity of log.

産地 Locality	番玉 P Position of the sample log cut from ground	供試数 N Number of Sample	材長 L Length of log	丸太重 Wg Weight of log	密度 S.G Specific gravity of log	振動周波数 f Fundamental vibration frequency	丸太の動的ヤング係数 Efr-L Modulus of elasticity by logitudinal vibration in log.	
			平均 Ave. m	平均 Ave. kg	平均 Ave. g/cm ³	平均 Ave. Hz	平均 Ave. tonf/cm ²	変動係数 CV %
九戸村 Kunohe	1番玉 1st	7	4.1	212.2	0.928	390.4	97.6	11.9
	2番玉 2nd	7	3.9	166.0	0.901	400.0	87.8	16.8
	3番玉 3rd	10	4.0	134.6	1.039	359.0	88.5	19.4
石鳥谷 Ishidoriya	1番玉 1st	7	4.1	243.1	0.990	384.3	105.6	19.5
	2番玉 2nd	7	3.9	160.4	1.047	408.6	116.5	11.5
	3番玉 3rd	7	3.5	102.1	1.114	425.0	102.7	12.5
種市町 Taneichi	1番玉 1st	10	4.1	279.1	0.946	466.0	138.4	11.2
	2番玉 2nd	10	4.0	219.1	1.014	470.5	150.2	10.2

Legend : CV : Coefficients of variation.

表-6 供試材の動的ヤング係数
Table-6 Modulus of Elasticity at green and airdried conditions.

産地 Locality	番玉 P	供試数 N	重量 Wg	生材時 In green condition				気乾時 In airdried condition					
				密度 S.G	振動周波数 f	動的ヤング係数 Efr-g		重量 Wg	密度 S.G	振動周波数 f	動的ヤング係数 Efr-d		
				Specific gravity	Fundamental vibration frequency	Mmodulus of elasticity by logitudinal vibration in log.		Weight	Specific gravity	Fundamental vibration frequency	Mmodulus of elasticity by logitudinal vibration in log.		
				平均 Ave.	平均 Ave.	平均 Ave.	平均 Ave.	変動係数 CV	平均 Ave.	平均 Ave.	平均 Ave.	平均 Ave.	変動係数 CV
			Kg	g/cm3	Hz	tonf/cm2	%	Kg	g/cm3	Hz	tonf/cm2	%	
九戸村 Kunohe	1番玉	1st	7	66.97	0.695	434.6	90.5	12.3	42.64	0.463	561.4	100.4	10.6
	2番玉	2nd	7	53.93	0.660	473.6	84.7	10.5	34.83	0.451	600.0	93.5	10.2
	3番玉	3rd	10	39.21	0.649	424.3	76.2	19.1	23.09	0.429	580.7	86.0	16.1
石鳥谷 Isihdoriya	1番玉	1st	7	83.69	0.773	466.6	119.8	16.4	52.99	0.539	602.1	126.2	11.5
	2番玉	2nd	7	61.61	0.687	482.9	105.2	14.7	39.43	0.498	632.9	111.6	12.2
	3番玉	3rd	7	29.17	0.564	580.0	100.8	29.8	19.04	0.469	728.6	98.0	15.6
種市町 Taneichi	1番玉	1st	7	89.18	0.773	446.0	103.3	7.1	54.44	0.508	578.5	114.1	6.0
	2番玉	2nd	7	74.98	0.749	429.0	91.8	9.8	44.65	0.479	567.5	103.0	8.8

Legend : CV:coefficients of variation.

今回のような、横架材を想定して12cm幅の心持ち平角材を採材する場合、完全な無節材にするためには、立木に軽微な曲がりや偏心のあることを予測して、枝打ち時期をもう少し早めることも必要である。

2. 3 乾燥後の形質変化

室内放置による天然乾燥後の供試材の形質変化の平均値を表-4に示した。

ねじれは試験材のねじれの矢高量で示したが、1番玉で比較すると、末口年輪数が少ないほど大きい値を示し、地上高別では、地上高の部位が高くなるにつれ増加する傾向がある。製材の木取り方法によって材面に現れる未成熟材部の割合にはバラツキがあることは考えられるが、製材品という形状での比較では今回のような結果となった。特に3番玉の正角材・正割材では、ねじれは著しく大きく発生した。

2. 4 形質及び動的ヤング係数

供試丸太の段階での重量、みかけの密度、動的ヤング係数を表-5に示した。

密度をみると比較的完満な1番玉では3産地での平均は0.95前後であった。みかけの密度を求めるために材積を測定する必要があり、材積の求値式によっては、計算誤差により、動的ヤング係数を過大にあるいは過小に評価される可能性もあるが⁷⁾、表には丸太の末口と元口の径の平均値により材積を計算した結果を示した。

種市町産の動的ヤング係数がかかなり高い値を示しているが、スギの凍結材の動的ヤング係数が高く測定された⁸⁾例もあり、測定時に材が凍結していた状態で基本振動周

波数が高めに測定されたためと考えられる。

供試材の重量、みかけの密度、動的ヤング係数を表-6に示した。

密度をみると1番玉では3産地での平均は、生材時で0.7~0.77であった。なお、丸太段階で凍結状態であった種市町産もこの段階では凍結しておらず、各林分内で地上高別にみると、1番玉が最も高く、地上高が高くなるにつれ、動的ヤング係数が低くなる傾向を示した。

気乾時にも同様な傾向は認められ、また同一の試験材での動的ヤング係数の変化をみると、生材時に比べほぼ1割乾燥により増加する傾向が認められた。

2. 5 曲げ強度性能

供試材の曲げ試験時の密度、繊維傾斜、平均年輪幅、等の材質及び曲げ強度試験結果を表-7に示した。

試験時の密度は3産地の一番玉の平均値で0.45~0.54の範囲で、地上高が高くなるにつれて減少した。

平均年輪幅も同様に3産地の一番玉で3.5~4.9mmの範囲であり、繊維走向の傾斜は100mm当たり6mm~9mmの範囲であった。

一番玉の曲げ強度性能は、全スパンの曲げヤング係数では石鳥谷町産が高く平均値119.1tonf/cm²、ついで種市町産で平均値111.6tonf/cm²、九戸村産の98.2tonf/cm²の順となった。製材寸法が異なっている材も一番玉として総括して平均を求めていることから、単純な比較はできないが、若齢時に枝打ちされている材は強度性能が高くなっている傾向は認められる。

モーメント一定区間の曲げヤング係数でも同様である。

表一 7 供試材の曲げ強度性能

Table 7 Bending characteristics of pruned timber

産地 Locality	番玉 Position of the sample log cut from ground			含水率 MC Moisture contents %	密度 RU Specific gravity g/cm ³	繊維傾斜 SofG Maximum slope-of grain mm	平均年輪幅 ARW Annual ring width mm	曲げヤング係数 MOE EL		曲げ比例限度 Sp Stress at proportional limit kgf/cm ²	曲げ強度 MOR Bending strength kgf/cm ²
								全区間 L tonf/cm ²	モーメント区間 1/3 tonf/cm ²		
九戸村 Kunohe	1 番玉 1st	平均	Ave.	13.6	0.449	9.1	4.90	98.2	95.0	311	468
		標準偏差	SD	0.6	0.032	3.5	0.67	12.2	13.7	75.2	97.1
		最小	Min	12.5	0.394	6.5	4.20	83.6	75.4	201	274
		最大	Max	14.2	0.488	14.0	6.10	111.7	109.6	422	576
		供試数	n	7	7	5	7	7	7	7	7
	2 番玉 2nd	平均	Ave.	13.2	0.421	13.3	5.47	90.3	91.9	254	339
		標準偏差	SD	0.3	0.033	7.4	0.75	6.5	7.2	79.2	150.8
		最小	Min	12.7	0.381	5.5	4.30	82.4	80.7	165	184
		最大	Max	13.6	0.481	27.0	6.30	99.5	103.4	346	554
		供試数	n	7	7	7	7	6	6	6	6
	3 番玉 3rd	平均	Ave.	13.1	0.398	12.8	5.62	78.2	78.2	227	283
		標準偏差	SD	1.4	0.029	4.4	0.92	12.7	16.2	72.3	85.9
最小		Min	12.1	0.360	4.5	4.00	59.2	55.4	157	167	
最大		Max	16.9	0.453	21.0	7.10	101.6	108.5	377	454	
供試数		n	10	10	10	10	10	10	10	10	
石鳥谷 Ishidoriya	1 番玉 1st	平均	Ave.	15.6	0.539	6.3	3.45	119.1	122.2	391	617
		標準偏差	SD	0.8	0.042	2.7	0.81	12.2	14.4	29.8	32.4
		最小	Min	14.4	0.490	2.0	2.33	100.2	105.1	351	575
		最大	Max	16.5	0.605	9.0	4.82	136.1	138.8	427	660
		供試数	n	7	7	7	7	7	7	7	7
	2 番玉 2nd	平均	Ave.	15.8	0.496	6.4	4.09	105.7	113.7	328	449
		標準偏差	SD	0.4	0.046	1.8	0.41	12.2	15.3	81.0	107.6
		最小	Min	15.4	0.451	3.5	3.55	93.3	93.1	251	324
		最大	Max	16.6	0.552	8.5	4.65	126.3	137.4	480	656
		供試数	n	7	7	7	7	7	7	7	7
	3 番玉 3rd	平均	Ave.	14.9	0.462	9.1	4.34	92.4	102.2	266	383
		標準偏差	SD	0.4	0.045	3.7	0.55	14.6	20.6	51.1	104.9
最小		Min	14.3	0.403	3.5	3.59	77.2	83.2	191	236	
最大		Max	15.3	0.509	15.5	5.20	118.9	123.5	331	500	
供試数		n	7	7	7	7	7	4	7	7	
種市町 Taneichi	1 番玉 1st	平均	Ave.	14.2	0.484		4.69	111.6	120.3	326	518
		標準偏差	SD	0.8	0.021		0.82	8.4	13.4	45.7	19.4
		最小	Min	13.0	0.441		3.29	100.2	106.6	227	484
		最大	Max	15.3	0.514		5.88	125.5	149.1	373	545
		供試数	n	10	10		10	10	10	10	10
	2 番玉 2nd	平均	Ave.	13.1	0.445		5.13	98.8	103.9	263	417
		標準偏差	SD	0.9	0.030		0.90	9.0	13.7	21.4	75.7
		最小	Min	11.3	0.395		3.45	85.5	80.8	220	261
		最大	Max	14.2	0.491		6.60	116.1	127.1	293	519
		供試数	n	10	10		10	10	10	10	10

Legend : MOE : Modulus of elasticity measured at full span.
 EL : Modulus of elasticity measured at constant moment section.

表-8 供試材の縦圧縮強度性能
Table 8 Compressive characteristics.

産地 Locality	番玉 Position of the sample	供試数 N Number of Sample	実大材 Full size sample				クリヤー材 Small clear size (Knot area cross-section removed)			
			縦圧縮強度 CS-F Compressive strength		密度 S.G Specific gravity		縦圧縮強度 CS-C Compressive strength		密度 S.G Specific gravity	
			平均 Ave. kgf/cm ²	変動係数 CV %	平均 Ave. g/cm ³	変動係数 CV %	平均 Ave. kgf/cm ²	変動係数 CV %	平均 Ave. g/cm ³	変動係数 CV %
九戸村 Kunohe	1番玉 1st	7	375	8.4	0.459	5.3	411	9.3	0.451	6.2
	2番玉 2nd	7	338	8.5	0.427	7.4	377	8.0	0.418	5.5
	3番玉 3rd	10	338	13.8	0.409	6.4	354	13.5	0.404	7.1
石鳥谷 Ishidoriya	1番玉 1st	7	416	6.8	0.539	7.7	411	10.2	0.534	6.4
	2番玉 2nd	7	417	7.9	0.496	9.2	440	6.1	0.485	8.8
	3番玉 3rd	7	370	15.4	0.462	9.9	428	14.5	0.459	9.8
種市町 Taneichi	1番玉 1st	10	331	4.7	0.475	4.4	349	7.7	0.475	4.4
	2番玉 2nd	10	328	6.4	0.450	5.3	355	5.4	0.449	4.8

Legend : CV : Coefficients of variation.

曲げ強度でも、一番玉と比較すると石鳥谷町産が高く平均値で617kgf/cm²、種市町産で518kgf/cm²、九戸村産で468kgf/cm²の値を示した。

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、285 kgf/cm²であり、1番玉と2番玉の平均値はこれを上回っている。

特に確実に枝打ちされている1番玉からの平角材は、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）を満足する値を示した。

また、アカマツの曲げヤング係数は、木構造設計基準で上級構造材で90.0tonf/cm²とされているが、1番玉と2番玉の平均値はこれを上回っている。九戸村産の枝打

ちされていない3番玉ではそれ以下の値を示した。

供試材の曲げヤング係数も曲げ強度と同様に、地上高の高い部位で低くなる傾向を示している。

一番玉では無節材面や節径比の小さいものが多く、節による目切れも少ないことにより強度性能が高まったと考えられる。特に九戸村産は枝打ち後10年しか経過していない材であるが、曲げヤング係数がやや低いものの、曲げ強度は基準値をこえていた。

曲げ強度、曲げヤング係数ともに強度性能は、県内の枝打ちしない材の平均値⁶⁾を上回っていた。

2. 6 縦圧縮強度性能

実大材とクリヤー材の縦圧縮試験の結果を表-8に示した。

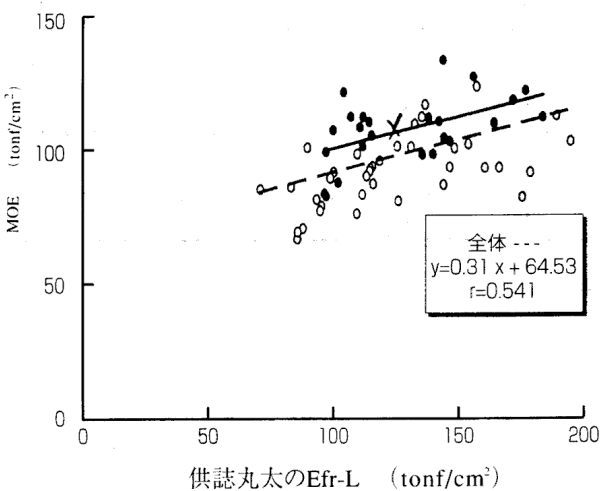


図-1-1 丸太のEfr-LとMOEの関係
Fig.1-1 Relationships between Efr-L and MOE.

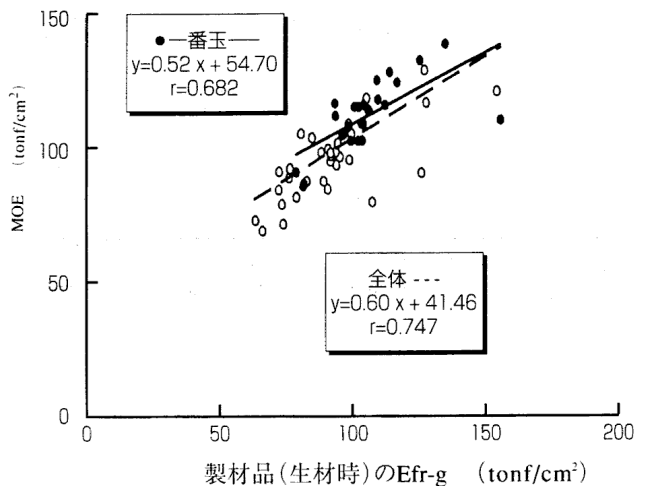


図-1-2 製材品(生材時)のEfr-gとMOEの関係
Fig.1-2 Relationships between Efr-g and MOE.

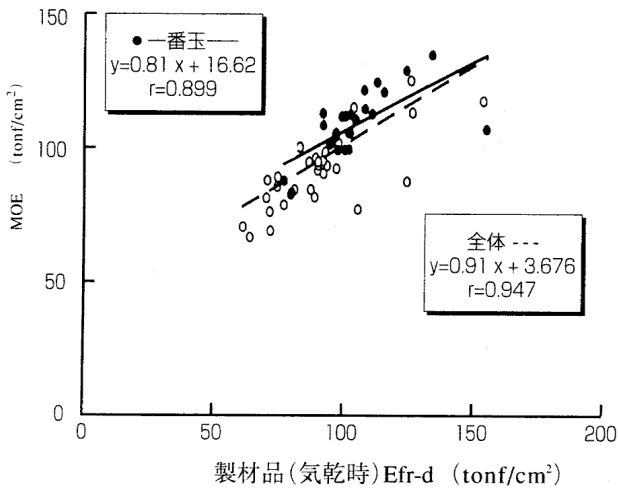


図-1-3 製材品(気乾時)Efr-dとMOEの関係
Fig.1-3 Relationships between Efr-d and MOE.

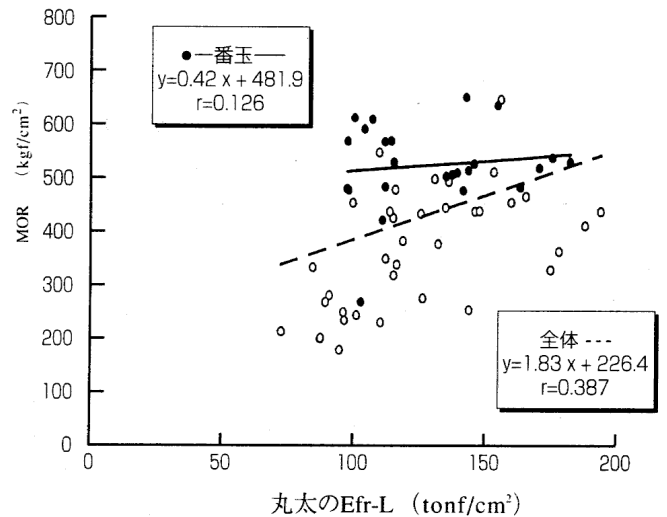


図-2-1 丸太のEfr-LとMORの関係
Fig.2-1 Relationships between Efr-L and MOR.

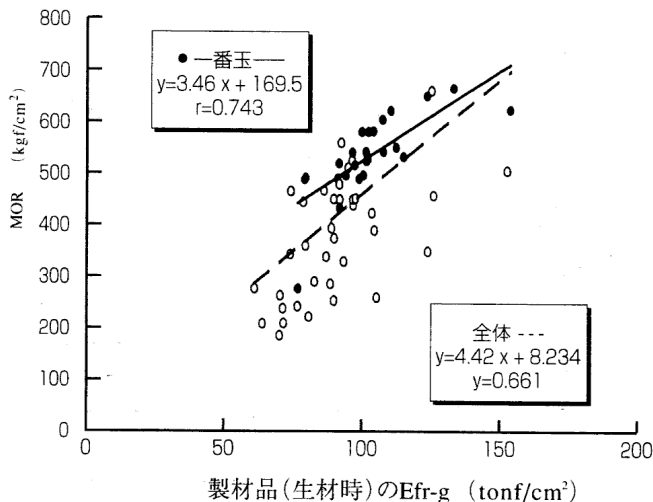


図-2-2 製材品(生材時)のEfr-gとMORの関係
Fig.2-2 Relationships between Efr-g and MOR.

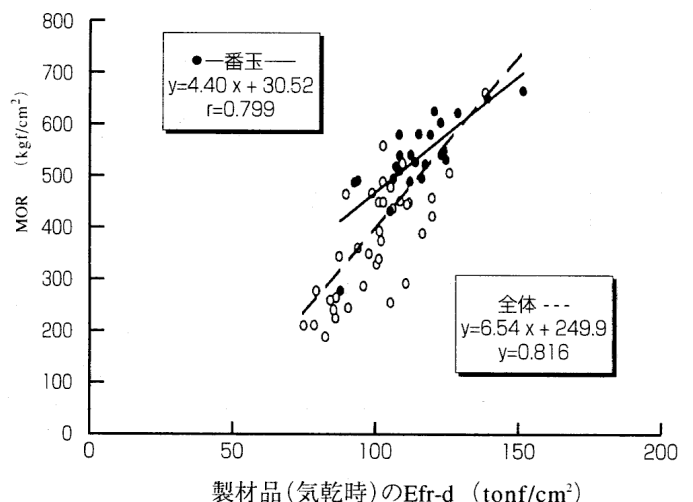


図-2-3 製材品(気乾時)のEfr-dとMORの関係
Fig.2-3 Relationships between Efr-d and MOR.

曲げ強さと曲げヤング係数は地上高の高い部位では低くなる傾向を示したが、縦圧縮強度は地上高別に強度の差はあまりなく、1番玉と2番玉との差もわずかであった。

1番玉と比較すると石鳥谷町産が最も高く平均値で416kgf/cm²、九戸村産で375kgf/cm²、種市町産で331kgf/cm²の値を示した。

2. 7 動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係

供試丸太及び供試材の生材時及び気乾時の動的ヤング係数と曲げ強度試験時に測定された曲げヤング係数との関係を図-1に示した。

供試丸太の動的ヤング係数と曲げヤング係数との相関はやや低いがこれは、種市町産の供試丸太が凍結していたためと考えられる。

製材後の、供試材全体での生材時の動的ヤング係数と

曲げヤング係数の相関係数は0.748、気乾時では0.947と高い相関関係が認められた。

同様に動的ヤング係数と曲げ強度との関係を図-2に示した。

供試丸太の動的ヤング係数と曲げ強度との相関は、種市町産の試験材が凍結していたため低い。

製材後の生材時の動的ヤング係数と曲げ強度との相関係数は、1番玉を含めた試験材全体では0.661、1番玉だけでは0.743の値を示した。しかし、1番玉ではいずれも曲げ強度が高いため、1番玉だけでみた場合と1番玉を含めた試験材全体での回帰直線の傾きと切片が異なっている。

同様な傾向は、気乾時の動的ヤング係数と曲げ強度との関係でも認められた。相関係数は、1番玉を含めた試験材全体では0.816、1番玉だけでは0.799の値を示した。

表-9 強度性能間の相関係数

Table 9 The correlation coefficient values of strength properties.

	Efr-L	Efr-g	Efr-d	MOE	EL	Sp	MOR	CS-F	CS-C
Efr-L	1.000								
Efr-g	0.357	1.000							
Efr-d	0.528	0.808	1.000						
MOE	0.542	0.748	0.947	1.000					
EL	0.559	0.645	0.871	0.926	1.000				
Sp	0.270	0.688	0.796	0.753	0.670	1.000			
MOR	0.388	0.662	0.816	0.803	0.717	0.874	1.000		
C-FULL	0.004	0.605	0.588	0.506	0.439	0.555	0.443	1.000	
C-SMALL	-0.050	0.4527	0.499	0.447	0.409	0.476	0.400	0.804	1.000

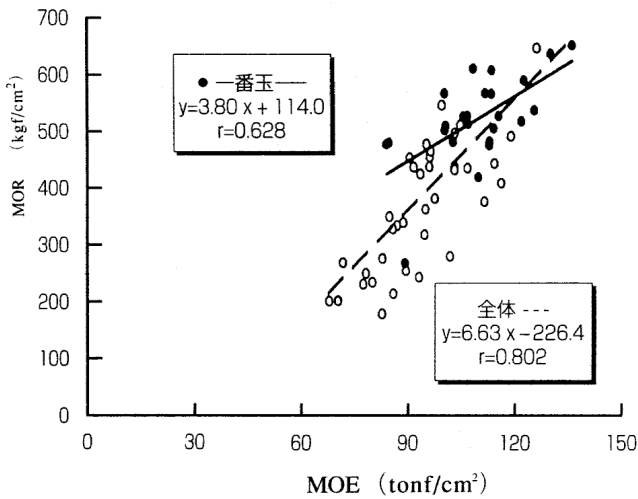


図-3 MOEとMORの関係
Fig.3 Relationships between MOE and MOR.

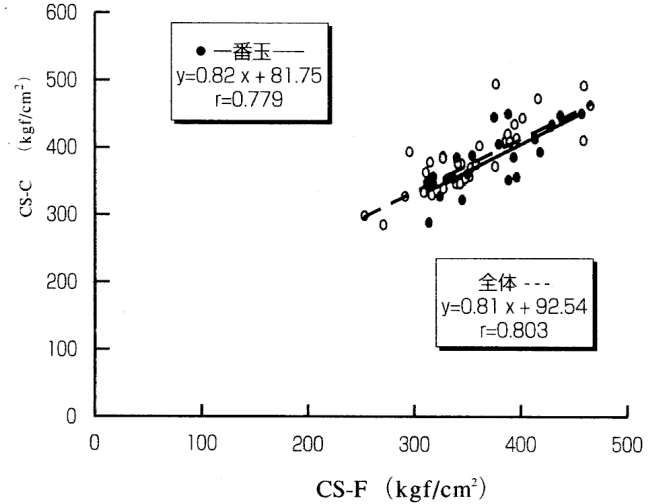


図-4-1 実大材とクレーヤ材の縦圧縮強度の関係
Fig.4-1 Relationships between CS-F and CS-C.

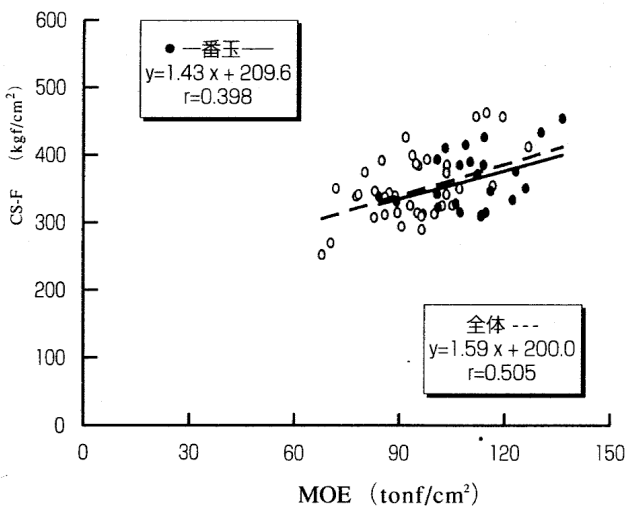


図-4-2 MOEとCS-Fの関係
Fig.4-2 Relationships between MOE and CS-F.

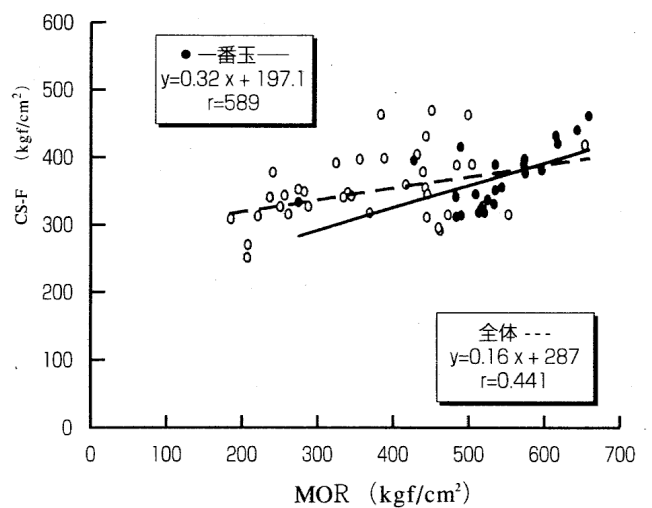


図-4-3 MORとCS-Fの関係
Fig.4-3 Relationships between MOR and CS-F.

2. 8 強度性能間の関係

動的ヤング係数、曲げヤング係数、曲げ強度及び縦圧縮強度間の相関係数を、試験材全体と1番玉だけに分けて表-9に、曲げヤング係数と曲げ強度の関係を図-3に、曲げ強度性能と縦圧縮強度との関係を図-4に示した。

曲げヤング係数と曲げ強度の関係をみた場合、1番玉だけでは相関係数が0.628と1番玉を含めた試験材全体での0.802に比べて低いものの、図-3から明らかなように回帰直線の傾きと切片が異なっている。これは1番玉の曲げ強度が全般に高いためであり、このことから枝打ちは、曲げヤング係数の増加より曲げ強度の増加に効果があると考えられる。

曲げ強度性能と縦圧縮強度との相関係数は試験材全体の曲げヤング係数と縦圧縮強度が0.505、曲げ強度と縦圧縮強度では0.441であった。

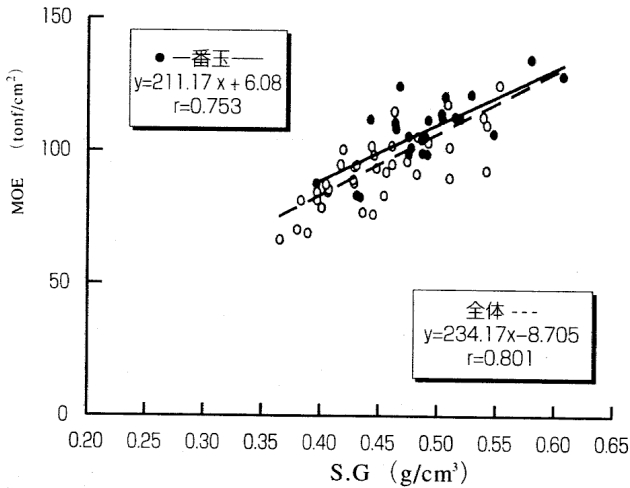


図-5-1 S.GとMOEの関係
Fig.5-1 Relationships between S.G and MOE.

縦圧縮強度では、実大材とクaryana材との相関係数は0.8前後であった。

2. 9 材質と強度との関連性

平均年輪幅、密度、繊維走向の傾斜と強度性能間の関係を図-5、その試験材全体についての相関係数を表-10に示した。

曲げ強度と試験時の密度との相関係数は0.755、平均年輪幅では-0.651、繊維走向の傾斜とは-0.521の値を示した。

曲げヤング係数と試験時の密度との相関係数は0.754と高い値を示したが、平均年輪幅とは-0.387、繊維走向の傾斜とは-0.337とやや低い値を示した。

縦圧縮強度と試験時の密度との相関係数は1番玉のみの方がやや相関係数が高い値を示した。

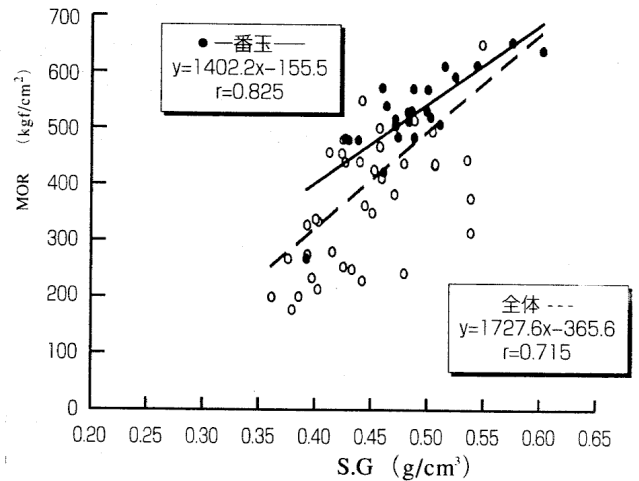


図-5-2 S.GとMORの関係
Fig.5-2 Relationships between S.G and MOR.

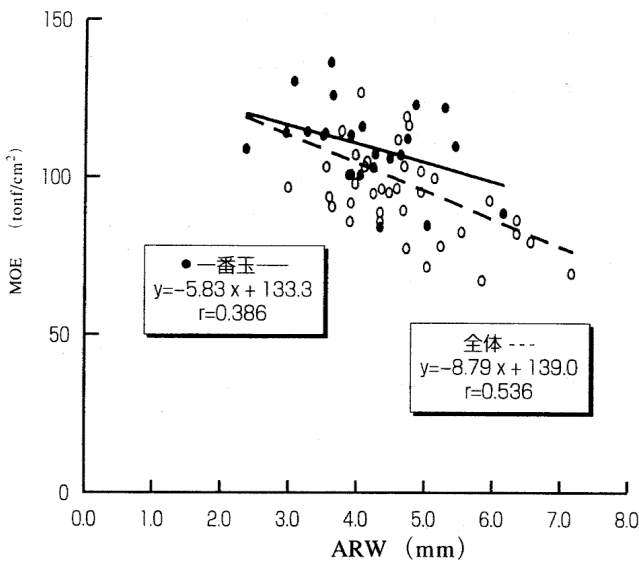


図-5-3 ARWとMOEの関係
Fig.5-3 Relationships between ARW and MOE.

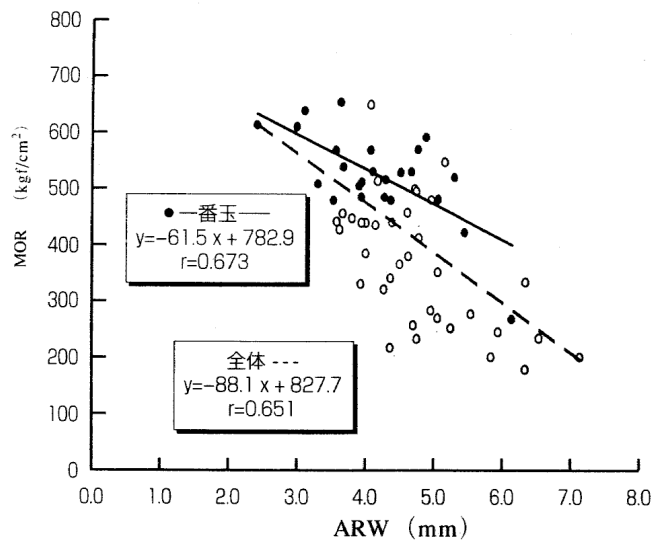


図-5-4 ARWとMORの関係
Fig.5-4 Relationships between ARW and MOR.

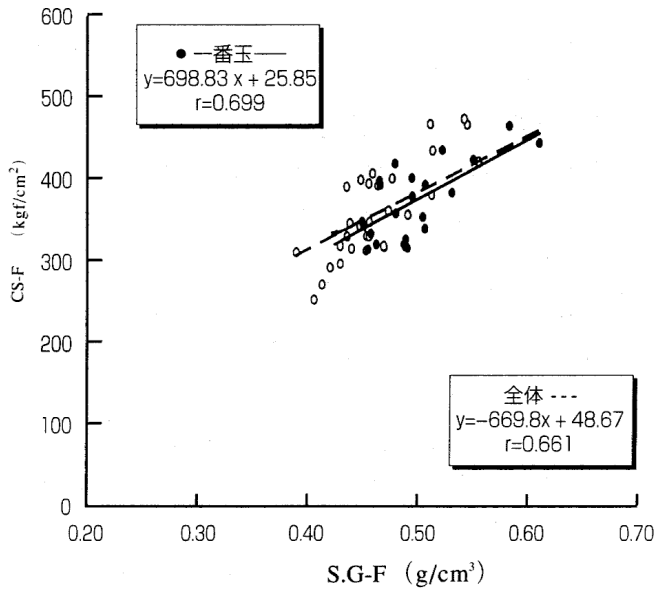


図-5-5 S.G-FとCS-Fの関係
Fig.5-5 Relationships between S.G-F and CS-F.

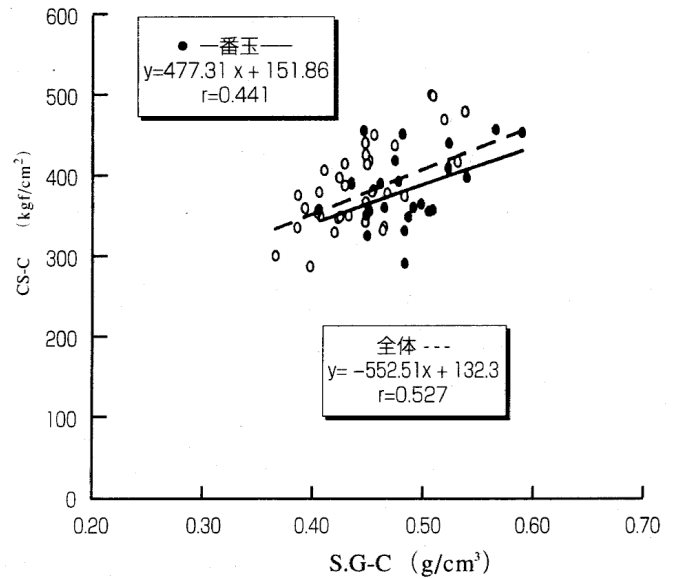


図-5-6 S.G-CとCS-Cの関係
Fig.5-6 Relationships between S.G-F and CS-F.

表-10 材質と強度性能の相関係数

Table 10 The correlation coefficient values.

	ARN-L	ARW-L	S.G	SofG	ARW	S.G-F	S.G-C
Efr-L	0.359	-0.363	0.360	-0.464	-0.418	0.333	0.401
Efr-g	0.558	-0.520	0.727	-0.421	-0.561	0.729	0.763
Efr-d	0.749	-0.535	0.861	-0.391	-0.577	0.863	0.902
MOE	0.769	-0.550	0.828	-0.382	-0.538	0.818	0.859
EL	0.690	-0.611	0.769	-0.279	-0.582	0.744	0.774
Sp	0.830	-0.598	0.711	-0.451	-0.546	0.740	0.764
MOR	0.864	-0.717	0.755	-0.521	-0.651	0.754	0.793
CS-F	0.548	-0.420	0.668	-0.440	-0.327	0.662	0.667
CS-C	0.292	-0.502	0.531	-0.291	-0.261	0.540	0.528

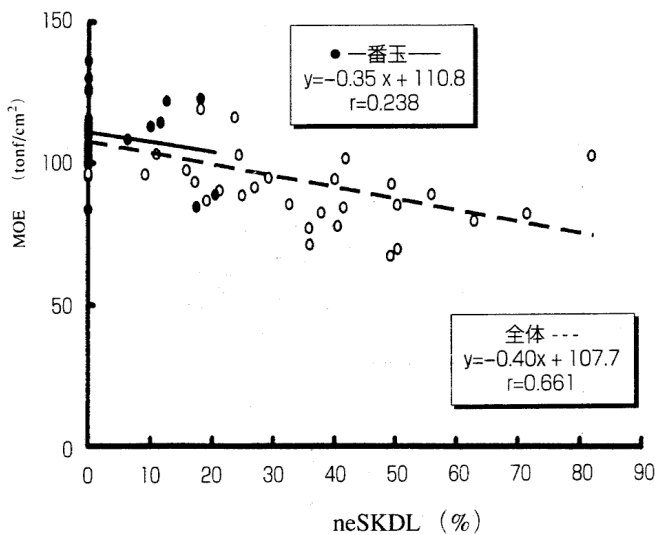


図-6-1 neSKDLとMOEの関係
Fig.6-1 Relationships between neSKDL and MOE.

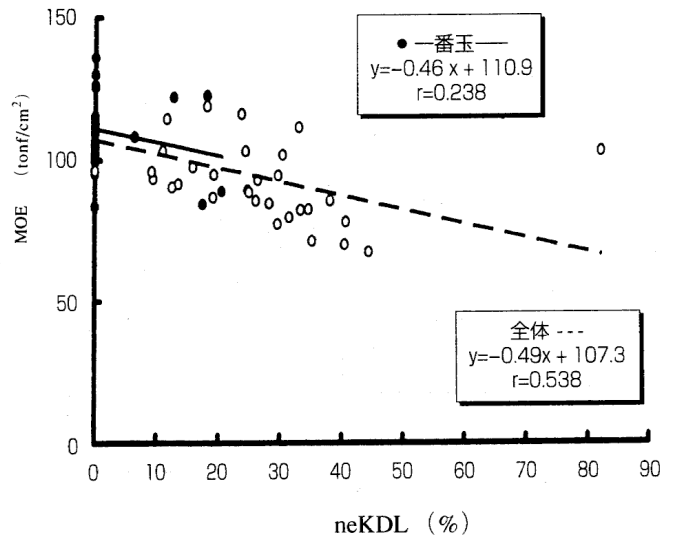


図-6-2 neKDLとMOEの関係
Fig.6-2 Relationships between neKDL and MOE.

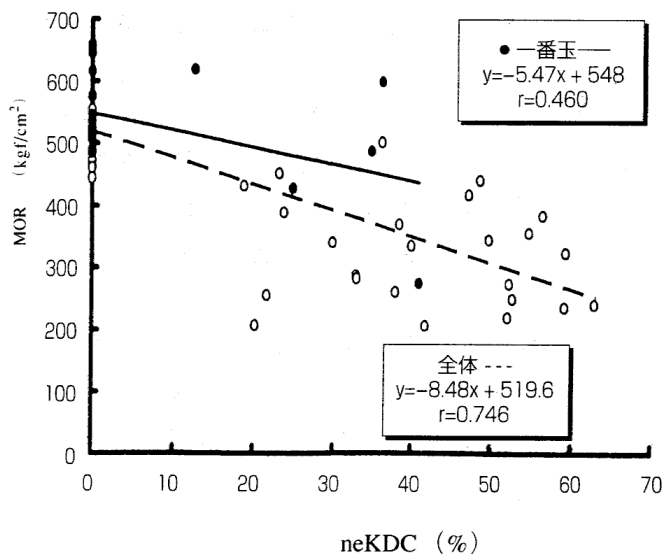


図-6-3 neKDCとMORの関係
Fig.6-3 Relationships between neKDC and MOR.

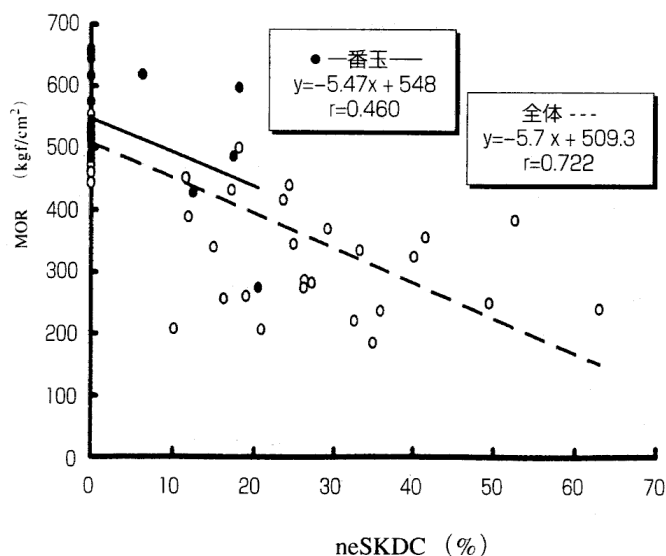


図-6-4 neSKDCとMORの関係
Fig.6-4 Relationships between neSKDC and MOR.

表-11 節径比と強度性能の相関係数

Table 11 The correlation coefficient values between strength properties and knot size.

	Efr-L	Efr-g	Efr-d	MOE	EL	Sp	MOR	CS-F	CS-C
neKDC	-0.258	-0.382	-0.473	-0.478	-0.422	-0.497	-0.594	-0.053	0.110
neKDL	-0.166	-0.416	-0.508	-0.515	-0.397	-0.562	-0.587	-0.165	-0.061
neSKDC	-0.332	-0.534	-0.554	-0.595	-0.547	-0.602	-0.667	-0.148	-0.011
neSKDL	-0.240	-0.578	-0.599	-0.599	-0.484	-0.701	-0.701	-0.235	-0.089
weKDC	0.028	-0.118	-0.265	-0.227	-0.228	-0.417	-0.512	-0.005	0.058
weKDL	-0.101	-0.367	-0.507	-0.394	-0.338	-0.565	-0.695	-0.173	-0.072
weSKDC	0.041	-0.197	-0.315	-0.290	-0.302	-0.461	-0.555	-0.034	0.008
weSKDL	-0.056	-0.394	-0.536	-0.453	-0.417	-0.592	-0.734	-0.183	-0.109
weKDC	-0.245	-0.374	-0.516	-0.482	-0.473	-0.380	-0.519	-0.144	-0.043
weKDL	-0.254	-0.428	-0.512	-0.435	-0.477	-0.359	-0.527	-0.193	-0.152
weSKDC	-0.266	-0.432	-0.529	-0.488	-0.460	-0.440	-0.511	-0.316	-0.307
weSKDL	-0.119	-0.445	-0.429	-0.359	-0.359	-0.420	-0.418	-0.391	-0.316
wSKDL	-0.170	-0.488	-0.564	-0.485	-0.491	-0.595	-0.731	-0.234	-0.254

(注) 凡例は表-3に同じ
Legend. The same as in table 3.

表-12 曲げ試験における引張り側の材面での節径比と強度性能の相関係数

Table 12 The correlation coefficient values between strength properties and size of knot in tension side.

	Efr-L	Efr-g	Efr-d	MOE	EL	Sp	MOR	CS-F	CS-C
neKDC	-0.359	-0.346	-0.472	-0.488	-0.432	-0.580	-0.746	-0.018	0.018
neKDL	-0.280	-0.357	-0.502	-0.539	-0.464	-0.642	-0.711	-0.191	-0.140
neSKDC	-0.318	-0.328	-0.414	-0.459	-0.407	-0.571	-0.723	-0.017	0.018
neSKDL	-0.298	-0.435	-0.539	-0.560	-0.487	-0.704	-0.781	-0.208	-0.159

(注) 凡例は表-3に同じ
Legend. The same as in table 3.

2. 10 節径比と強度性能の関係

材縁及び中央部の節径比と、強度性能の関係を図-6、その相関係数を表-11に示した。

また曲げ強度試験時に試験材をセットした際に、引張側となった材面の節径比と強度性能の相関係数を表-12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0.4~0.7の範囲にあった。また、引張側にセットした材面の節径比と強度性能の相関係数はいずれも高い値を示した。1番玉のみでは、節径比がいずれも低いため曲げ強度との相関係数は低いが、1番玉を含めた試験材全体での相関係数は高い。

節径比と曲げヤング係数については、曲げ強度との場合よりやや低い相関係数を示し、節径比と動的ヤング係数とほぼ同程度の値を示した。

以上のことから、アカマツは節径比と強度性能の相関関係が高い樹種であり、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、製材品の材縁部での節径比の低減化をねらった枝打ちによる無節材の生産が有効と考えられる。

3 ま と め

枝打ちが実施されたアカマツ材について、枝打ちによる材質への影響等を調べた。

枝打ちにより、平角材の狭い材面における節の出現率は減少した。枝打ち後10年程度の材においても枝打ちによる節径比減少の効果が認められ、枝打ちされた1番玉及び2番玉の曲げ強度性能は、平均値ではアカマツの材料強度を満足していた。

アカマツの場合、建築構造用部材としては横架材等の比較的大きな断面で使用されることが多く、平角材のよ

うな断面では狭い材面が無節であるだけでも製材品の強度性能の向上が期待できるため、齢級の高い材での枝打ちも効果が期待できるものと考えられる。さらには、構造用集成材用の無節ラミナの出現率向上も期待できる。

今後大量に出材される造林木の強度を向上させ、用途拡大を図るためにも枝打ちを行う必要がある。特にアカマツについては、スギやヒノキの場合とは異なり、無節材生産の化粧効果よりも輪生節による強度性能への影響をのぞき、強度性能向上を目的とした枝打ちが、できる限り低コストの方法で行われることを期待したい。

引用文献

- 1) 高橋政治(1988) トドマツ材の枝打ち効果. 北方林業40(8):1-5
- 2) 加納孟・枝松信之・蕪木自輔・斉藤久夫(1966) 製材用原木としてのスギ造林木の品質(第3報). 林業試験場研究報告 185:57-197
- 3) 東野正・高橋忠幸(1995) アカマツの枝打ちに関する研究(Ⅷ) - 枝打ち後10年経過材の強度性能. 日本林学会東北支部会誌 47:137-138.
- 4) 石垣和夫(1981) 優良材の材質指標に関する調査研究- 県産スギの価格と材質および強度性能. 山形県林試研報 12:1-26
- 5) 鈴木滋彦(1991) 木材の科学と利用技術Ⅱ. 5. スギ日本木材学会研究分科会報告書
- 6) 東野正: 未発表
- 7) 小泉章夫・飯島泰男・佐々木貴信・川井安生・岡崎泰男・中谷浩(1997) 秋田県産スギ材の強度特性(第1報) 丸太のヤング率. 木材学会誌 43:46-51
- 8) 東野正: 未発表