

三重県産スギ・ヒノキの曲げ性能

徳 田 迪 夫・田 中 勝 也・鈴 木 直 之

Stiffness and Strength in Bending of Sugi and
Hinoki produced in Mie prefecture

Michio TOKUDA, Masaya TANAKA, Naoyuki SUZUKI

1. はじめに

戦後に植えられた造林木が間もなく主伐期を迎えようとしている。一方、諸外国の木材製品の輸入自由化の攻勢は益々激しく、国内林業を取り巻く情勢は誠に厳しいものがある。1970年代初めに間伐材の利用開発が課題となって、その対応策が十分でないままに早くも主伐材の時代が到来するわけである。今後、国産材をいかに多量に、有効に利用していくかは、林業、林産業が一致団結して考えていかなければならない課題である。

本研究では、三重県産のスギ、ヒノキを建築構造部材として有効に活用していくための基礎研究として、特に曲げ性能をとりあげ、検討してみた。

なお本研究は、「橿田川・宮川地域、国産材流通消費動向調査」(橿田川・宮川県産材対策市町村協議会及び三重県山村・林業問題調査会、委員長、笠原六郎教授)の一環として行ったものである。助言を賜った笠原教授(三重大学)ならびに試験体を提供下さった関連機関に謝意を表します。

2. 製材の規格及び格付けの現状

建築用製材は大別して構造材と造作材に別けることができる。構造材は、はりや柱等、強度的な性能が要求されるもので、造作材は強度的な性能よりむしろ化粧的な評価が基準となるものである。現在、製材品はその多くが構造的な用途に使われるということから、強度面からの等級表示が義務づけられており、化粧面からの等級については任意表示の方式をとっているものの、現行の製材の日本農林規格(JAS)には構造材と造作材に区分した明確な規定がない。それというのも構造材や造作材といっても、実際の利用分野ではその使用範囲は多岐にわたり、同品質、同形状を持つ製材品でも、多種多様な使い方が考えられるため、JASの内容は汎用的にならざるを得ないのが現状である。

製材品の品等表示は徹底しておらず、中には化粧表示のみの製材品が市場に流れている。従っ

て、製材所が造作用製材として生産、出荷した品物が、利用現場では構造的な用途に用いられることも十分あり得るわけである。現在のところ JAS 格付量は非常に低く、昭和58年3月31日現在、製材工場総数20,249工場に対し、JAS 認定工場は 4,917工場で、24.3%に過ぎない。また製材品出荷量総数29,732千 m^3 に対し、JAS 格付け量は 6,160千 m^3 で20.7%に過ぎない。三重県内でみると、表1の如くである。工場数で約 2.5%、格付材積で約7%である。残念ながら、JAS 認定工場でも、JAS の格付け方法は必ずしも守られておらず、各製材工場で独自の判断の下に行っているのが現状である。

また製材品の寸法についてみると、同じ在来工法でも柱割りの標準寸法（モジュール）が異なること、乾燥状態の異なる材を使用することなどが相まって、寸法の統一や規定寸法の採用はかなり困難な状況にある。

表1. 三重県における J A S 認定工場数と格付材積

年 度	J A S 認定工場数	J A S 格付材積(m^3)
昭 和 60 年	108	35,839
58	120	40,923
56	123	50,046
54	131	55,286
52	138	51,977
50	132	39,709

3. 国産材の応力等級区分の必要性

我国の製材業は柱産業と言われる位、在来工法の柱材、あるいは土台としての利用がほとんどであり、国産材と在来工法は切り離して考えることはできない。はりとしてはベイマツ等の大径木を用い、木目や木肌の美しさを賞味する在来工法（正確には在来工法のうちの真壁工法の柱）には国産材が最適であった。しかし柱材にもベイツガや集成柱が増えてきており、情勢は誠に厳しい。

そこで、国産材を構造材として住宅以外にも利用していくとなると、どうしても科学的な等級区分が必要となってくる。1981年より3年間、林野庁のメニュー課題「構造用製材の強度等級区分に関する研究」が実大材（正角）の曲げ性能に重点を置いて、日本農林規格による等級との関係を求める目的で行われた¹⁾。何故、小型の試験でなく実大材なのか。これは欧米の、木材を工業材料として促えるという理念に由来している。残念ながら今までの我国の木材に対する考えからは、実大材を試験するという考えは生じなかった。

1963年、国立林試で「日本産主要樹種の性質、試験計画」が発足し、日本工業規格(JIS)に準

拠した統一的な方法で、数多くの「木材の基準強度値」が示された。節や繊維傾斜等を含まない無欠点小試片を用いた強度値である。北米でも1970年初めまでは木材の基準強度値から、節などの欠点を持つ実大材の強度を推定していたが、1970年代にカナダ、プリティッシュコロンビア大学のマドセン教授(Borg Madsen)らによって行われた膨大な数の実大材による一連の強度試験結果は、従来の考え方とは異なる内容を示すものであった。基準強度値を基にして、いくつかの仮定を設けて誘導した許容応力度は実大材の結果とは必ずしも一致しなかった。すなわち、実際に建築に用いる木材は、そのものの試験を行わないと設計に役立たないことが示されたわけである。現在我が国でも、各地で国産材の実大試験のデータが蓄積されつつある。もう一つ、実大材の強度等級区分をする必要性は、木構造を鉄骨造等の様に構造計算に乗せようとする昨今の情勢にある。建設省は昭和61年度から3年計画で「新木造」というプロジェクトを組み、大型木構造を振興させ、それによって我が国の林業の活性化を計ろうとしている。大型木構造に用いるとなると、在来工法の柱材に用いるのとは違って、構造信頼性が強く要求される。

木材はもともと天然材料であるために、樹種、生育環境等によって材質が異なってくる。これを合理的に強度等級区分することは、信頼性を向上させることにつながるわけである。強度信頼性が得られるとともに、経済的にも利点があるわけである。

現在、北米では集成材のラミナや木製トラス部材に対して、機械的強度等級区分(メカニカルグレーディング)が主流を占めているが我国でも強度的に等級区分された国産材を利用していこうという動きがようやく各地で始まりつつある。

4. 実 験

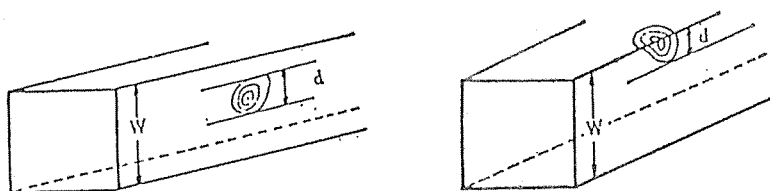
4. 1 実験室内における正角の曲げ試験

供試材料として三重県産スギ、ヒノキの正角材(105×105×3,000mm)を各50本ずつ用意した。内訳はスギが特等16本、1等16本、2等18本、ヒノキが特等16本、1等17本、2等16本である。

曲げ試験に先立ち、JASにのっとって節の調査を行った。測定した項目は、スパン中央 $\frac{1}{3}$ 区間と、全長に対して、それぞれ単独に最大の節径比と集中節径比(以下単に節径比、集中節径比と呼ぶ)である。曲げ試験終了後、含水率測定用、平均年輪巾測定用、比重測定用の試験体を破壊部分の近傍から木取った。

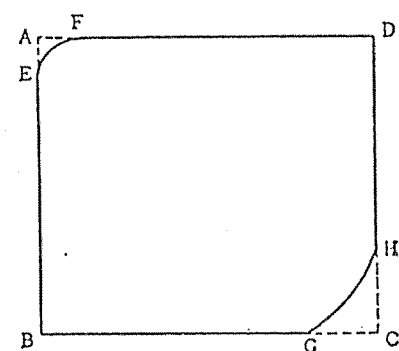
節径比及び丸身の測定方法は図1と図2の如くである。集中節径比とは、15cmの長さの材面に存する節に係る径比の合計である。

曲げ試験はスパン 2,700mm、三等分点四点荷重方式で行った(図3)。



$$\text{節径比} = \frac{d}{W} \times 100\%$$

図1. 節径比の測り方



$$\text{全体丸身}(\%) = \frac{EA + FA + GC + HC}{AB + BC + CD + AD} \times 100$$

$$\text{一角丸身}(\%) = \frac{GC + HC}{AB + BC + CD + AD} \times 100$$

図2. 丸身の測定方法

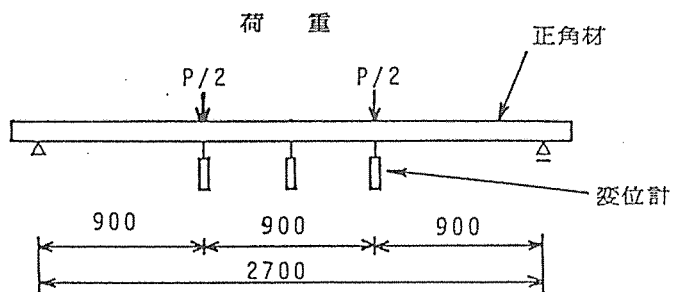


図3. 実験室での曲げ試験方法

4. 2 製材現場における正角の曲げヤング係数の測定

松阪にある2軒の製材工場を尋ね、製材され、栈積みされている正角材を任意に抽出し、その曲げヤング係数を測定した。A製材所はスギの柱を主製品にしており、自社内に乾燥炉を備えていた。B製材所はヒノキの柱材を製材していた。

A製材所で抽出したスギの柱は表2の通りである。ここは特等が主で、わずかに1等を扱っている程度で2等材は全く扱っていない。

試験は図4のように、一對の木製の馬を2700mmはなしておき、ここに製材をわたした。スパン中央にダイヤルゲージをセットした。4枚の10kgの重りを一枚ずつ順次のせていき、その都度たわみを測定した。たわみ測定後、正確な断面寸法と材表面の含水率を含水率計で測定した。スギの場合、含水率傾斜が大きいので表面含水率と内部の含水率が大きく違うのが一般的なので、測定した含水率はあくまでも参考値である。未乾燥材の表面含水率は20%以上で、乾燥材は12%~20%であった。

B製材所ではヒノキ正角54本（特等27本、1等27本）の曲げヤング係数を測定した。

表2. 曲げヤング係数を測定したスギ正角

等 級	寸法 (mm) 縦×横×長さ	含水率状態	試験体数
特 等	120×120×3,000	未 乾 燥	11
特 等	120×120×3,000	乾 燥	35
特 等	105×105×3,000	未 乾 燥	15
特 等	105×105×3,000	乾 燥	36

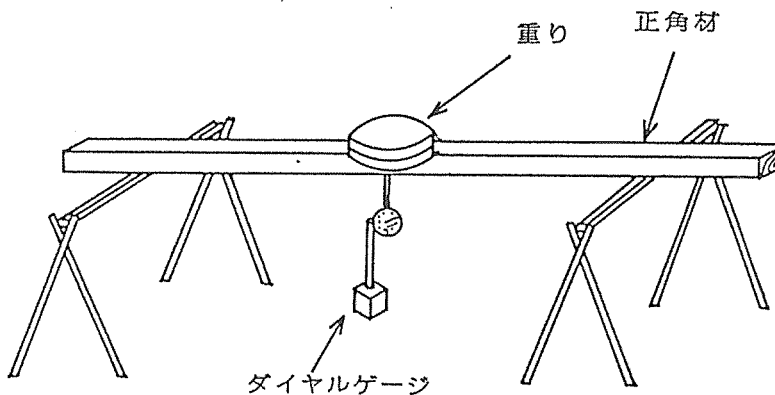


図4. 製材現場における曲げヤング係数の測定

5. 結果及び考察

5. 1 実験室内での正角の曲げ試験結果

表3に三重県産スギとヒノキの正角材の測定結果を示した。すべて16～18体の平均値及び変動係数である。表4には文献1から引用した各県のスギのデータを参考のために示した。

表3. 三重県産スギ・ヒノキの性質

			最大節径比(%)		最大集中節径比(%)		全体丸身	一角丸身	含水率	MOE	MOR
			中央区間	全体	中央区間	全体	(%)	(%)	(%)	($\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$)	(kgf/cm^2)
ス	特等	平均	28.3	26.4	43.3	46.1	1.47	1.35	40.8	83.5	407
		C. V.	15.3	19.0	26.4	27.8	14.1	14.1	38.8	15.6	18.4
	1等	平均	20.5	25.5	35.7	41.1	19.22	11.0	38.5	91.2	411
		C. V.	40.2	30.0	43.4	32.3	23.0	22.5	28.8	13.5	16.0
ギ	2等	平均	22.0	25.7	33.3	41.3	33.6	23.8	39.9	86.2	399
		C. V.	19.1	19.3	22.7	21.4	22.6	40.1	45.6	20.7	21.1
ヒ	特等	平均	27.9	30.4	45.1	52.2	2.56	2.45	22.5	97.9	492
		C. V.	15.9	13.7	23.6	22.3	10.8	11.2	15.2	14.6	13.6
ノ	1等	平均	26.7	32.3	42.7	52.3	30.9	22.1	25.0	97.3	478
		C. V.	26.9	34.4	30.4	26.1	22.9	41.3	16.1	17.3	22.7
キ	2等	平均	17.6	21.9	29.9	32.2	38.5	26.3	24.0	103.5	504
		C. V.	37.7	38.7	48.8	44.9	24.2	34.6	23.0	20.3	20.5

C. V.: 変動係数(%)

表 4. スギ正角材の実大曲げ試験結果 (文献 1 より引用)

産 地	試験時比重 r u		含水率 M. C. (%)	平均年輪幅 A R W (mm)	節 径 比		集 中 節 径 比		曲げヤング係数 M O E (10^3 kgf / cm ²)	曲げ破壊係数 M O R (kgf / cm ²)
					中央1/8 区間 (%)	全区間 (%)	中央1/8 区間 (%)	全区間 (%)		
岩 手 県	n	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	Mean	0.37	19.0	5.3	22	24	33	39	72.2	362
	S.D.	0.032	0.74	1.5	0.055	0.054	0.086	0.095	16.3	73.0
	C.V.(%)	8.6	3.9	28	25.0	22.5	26.1	24.4	22.6	20.2
	Min	0.30	17.7	1.7	9	11	15	15	31.5	204
	Max	0.48	22.0	10.0	40	50	51	70	132.4	625
山 形 県	n	65	65	65	65	65	65	65	65	65
	Mean	0.43	19.0	5.0	21	23	36	41	69.5	379
	S.D.	0.041	1.38	1.6	4.24	4.47	11.0	10.46	17.6	70.8
	C.V.(%)	9.5	7.3	32	20.2	19.4	30.6	25.5	25.3	18.7
	Min	0.34	17.4	2.4	9.6	13	14.4	19.7	41.1	247
	Max	0.52	25.8	8.2	31.3	33	85.4	85.4	115.6	586
静 岡 県	n	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Mean	0.43	23	3.6	23	25	37	43	85.0	408
	S.P.	0.033	4.34	0.9	5.85	5.05	13.04	12.08	18.5	71.6
	C.V.(%)	76.7	18.9	25	25.4	20.2	35.2	28.1	21.8	17.5
	Min	0.35	18.9	2.5	9.2	14	15.6	23.4	57.2	256
	Max	0.52	39.1	6.4	34.4	34	69.1	69.1	118.9	589
奈 良 県	n	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	Mean	0.42	17.2	3.0	24	26	39	46	86	448
	S.D.	0.050	1.3	1.1	5.8	5.6	11.9	13.0	17	97
	C.V.(%)	11.9	7.6	37	24.2	21.5	30.5	28.3	19.8	21.7
	Min	0.33	16.0	1.0	12	15	15	20	52	259
	Max	0.59	22.5	6.1	35	39	63	86	137	798
徳 島 県	n	104	104	104	104	104	104	104	104	104
	Mean	0.38	17.8	2.9	22.4	25.4	34.1	41.9	75.3	372
	S.D.	0.040	2.14	1.0	6.64	6.52	14.9	13.3	13.9	66.5
	C.V.(%)	10.5	12.0	34	29.6	25.7	43.7	31.7	18.5	17.9
	Min	0.321	13.3	1.6	8.6	8.6	8.6	8.6	49.4	197
	Max	0.500	22.5	5.8	33.3	42.9	78.1	78.1	122.4	546
島 根 県	n	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	Mean	0.42	17.4	4.7	20.8	24.1	35.8	41.0	74.1	385
	S.D.	0.047	1.10	2.1	5.95	6.05	—	—	13.2	77.0
	C.V.(%)	11.19	6.3	45	28.6	25.1	—	—	17.81	20.0
	Min	0.33	15.3	1.6	9.5	15.2	9.5	15.2	43.7	136
	Max	0.50	20.2	12.2	38.1	38.1	49.5	76.2	100.8	537

注) n : 試験体数, Mean : 平均値, S. D. : 標準偏差, C. V. (%) : 変動係数,

Min : 最小値, Max : 最大値

1) 節径比

スギの節径比の総平均値は25.9%で、10%から40%の範囲である。全国平均とほぼ同じである。

スギ、ヒノキとも節径比は等級による差はほとんど見られない。すなわち製材現場ではJASの節による等級分けは行われていないことになる。実際行っていないとのことであった。スギとヒノキで概ね節径比が同じなのも注目される。

2) 丸身

スギ、ヒノキとも等級が低くなる程、一角丸身、全体丸身が増大している。このことから現場での等級分けは並材では丸身によって行い、役物は当然丸身はなく、節によって等級分けが行なわれていると言えよう。

3) 曲げヤング係数(MOE)と曲げ破壊係数(MOR)

試験時の含水率は、スギはほとんどが繊維飽和点以上で、ヒノキは繊維飽和点よりやや低かった。スギの含水率のばらつきが大きいのは、辺材と心材とで含水率傾斜が大きかったためであろう。

図5にスギの曲げヤング係数及び曲げ破壊係数の出現頻度と累加頻度を示した。生材の全国平均 $67.9 \times 10^3 \text{ kg f/cm}^2$ に比べると28%高かった。日本建築学会が定めている値 $70 \times 10^3 \text{ kg f/cm}^2$ は平均値である。従って三重県産材はこれを約25%上回っていることになる。曲げ破壊係数も全国平均の 382 kg f/cm^2 より6%程高い。スギの材料強度 225 kg f/cm^2 を大半がクリアーしており、この実験から求まる曲げ強度の下限值(5%棄却)は約 280 kg f/cm^2 である。三重県産のスギは実際使用上特に問題がないと言える。

図6にはヒノキの結果を示した。曲げヤング係数は日本建築学会が定めているヒノキの平均値 $90 \times 10^3 \text{ kg f/cm}^2$ より約10%上回っている。ヒノキの材料強度 270 kg f/cm^2 を大半が満足し、5%の下限值は 330 kg f/cm^2 であった。

4) 曲げヤング係数と曲げ破壊係数の間の相関関係

構造用製材を等級区分する手段として最も有効な手段である曲げヤング係数と曲げ破壊係数の関係を図7と図8に示した。

表3によるよ2等材のMOEとMORのばらつきが大きい。これは丸身が多いため計算誤差が多少でたものと思われる。そこでこれからは2等材を除外して考えることにする。

図7-aはスギのMOEとMORの関係である。文献1から引用した全国のデータ者の回帰直線及び無欠点小試片の回帰直線をあわせて示した。これを眺めると全国の回帰直線とほぼ一致していることが看取できる。

図7-bはヒノキのMOEとMORの関係である。ヒノキの場合、全国データがないため、静岡県³⁾のデータ³⁾の回帰直線を引用した。両県の回帰直線はほぼ同じと見てよいだろう。スギとヒノキを比較してみると、ヒノキの相関が低いのがわかる。丸山らも、スギで $r=0.76$ 、ヒノキで $r=0.59$ と報告している。このことは無欠点小試片でも同様で、スギで0.74、ヒノキで0.49であった(図8)。樹種によって、MOEとMORの相関が大きいものと小さいものがあるので、応

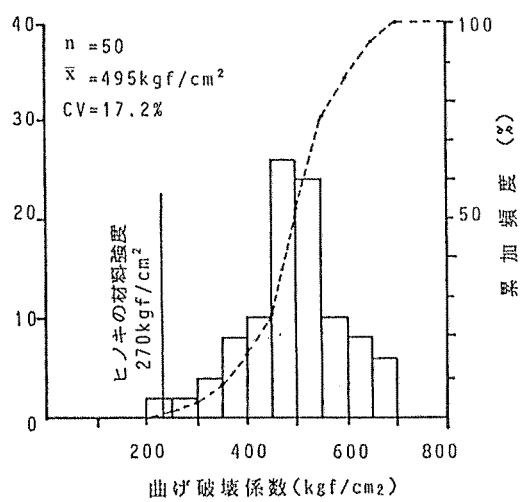
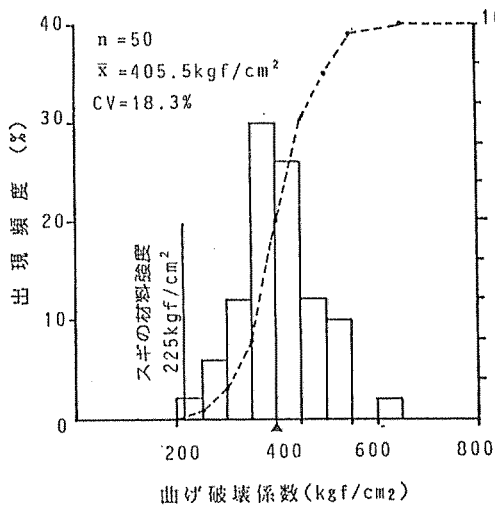
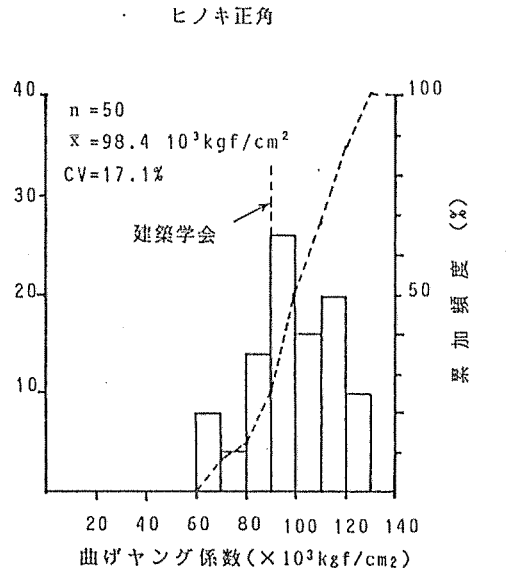
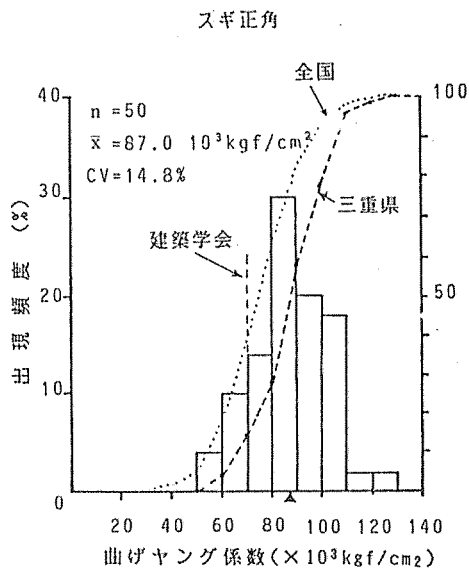


図5. スギの曲げヤング係数及び曲げ破壊係数の出現頻度と累加頻度

図6. ヒノキの曲げヤング係数と曲げ破壊係数の出現頻度と累加頻度

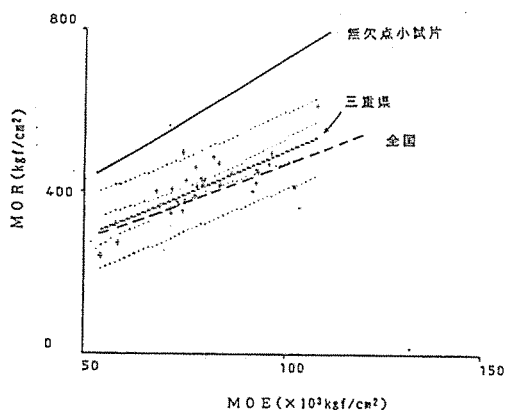


図7-a. スギ正角（特等，1等および2等）の曲げヤング係数(MOE)と曲げ破壊係数(MOR)の関係

注：三重県の回帰直線式： $y = 4.30x + 70.1$

$$r = 0.781$$

図中の点線は回帰直線の95%信頼限界及び個々のデータの95%信頼限界

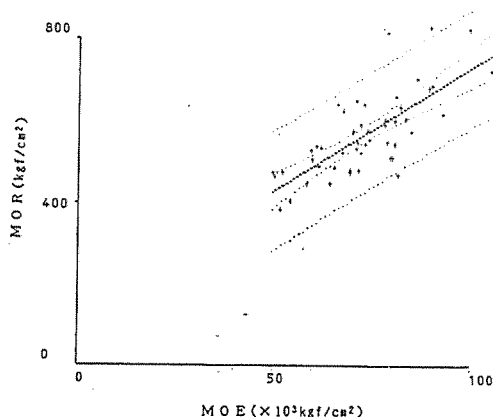


図8-a. スギ無欠点小試片のMOEとMORの関係

直線回帰式： $y = 6.04x + 126$

$$r = 0.741$$

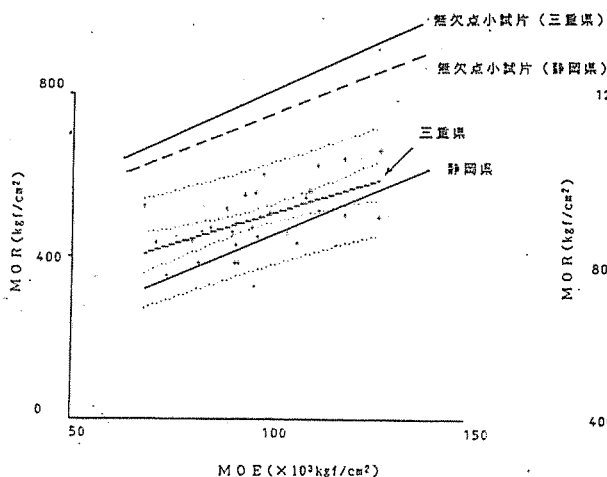


図7-b. ヒノキ正角（特等，1等および2等）のMOEとMORの関係

三重県の回帰直線式： $y = 3.02x + 197$

$$r = 0.612$$

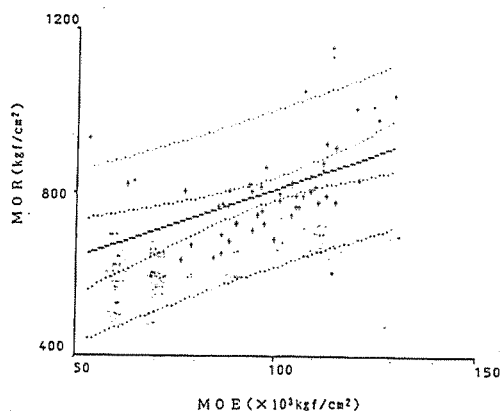


図8-b. ヒノキ無欠点小試片のMOEとMORの関係

直線回帰式： $y = 3.43x + 465$

$$r = 0.487$$

力等級区分にも工夫が必要である。

5) 節径比と曲げ破壊係数の関係

節径比と MOR 及び集中節径比と MOR の関係を、スギは図 9 に、ヒノキは図 10 に示した。

ひき角類の等級別の節の JAS の基準は表 5 の如くである。

5% の下限値を基準としたとき、材料強度を満足する節径比及び集中節径比は図から、スギで約 40% と約 70%、ヒノキで約 50% と約 80% である。現行の JAS 規格でいうとスギ、ヒノキとも 1 等材がこれに当り、2 等では、材料強度を満足しないものがある恐れがあり、曲げのかかる部位には向かないことがわかる。

表 5. 正角の規格 (JAS)

区 分	基 準		
	特 等	1 等	2 等
節	径比が30%以下であり、かつ、集中径比が40%以下であること。	径比が40%以下であり、かつ、集中径比が60%以下であること。	径比が70%以下であり、かつ、集中径比が80%以下であること。

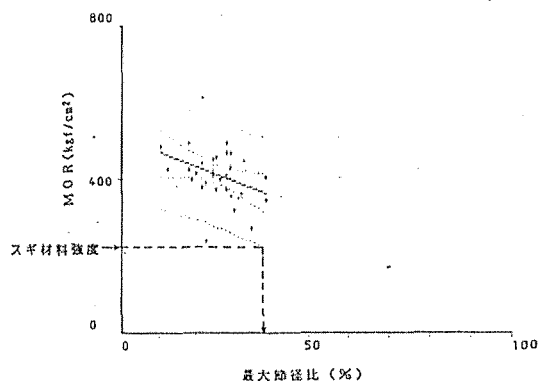


図 9 - a. スギ正角 (特等および 1 等) の節径比と MOR の関係
直線回帰式; $y = -3.68x + 505$
 $r = -0.349$

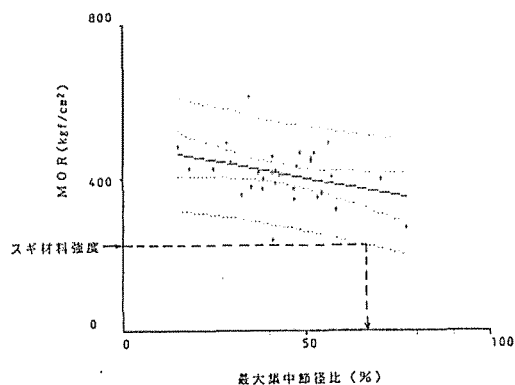


図 9 - b. スギ正角 (特等および 1 等) の集中節径比と MOR の関係
回帰直線式; $y = -1.83x + 489$
 $r = -0.351$

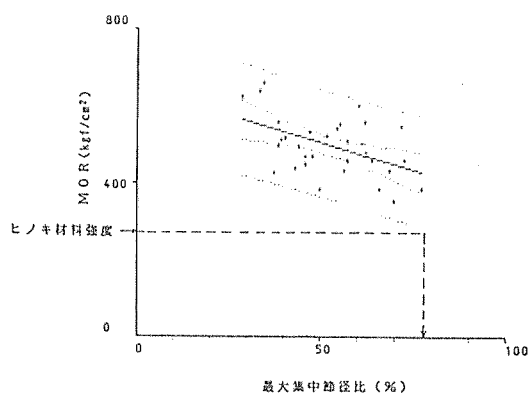
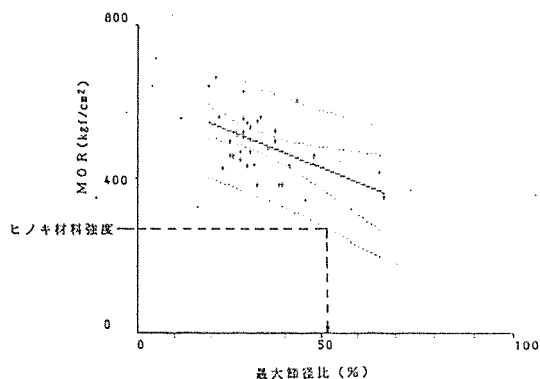


図10-a. ヒノキ正角（特等および1等）の
節径比とMORの関係
直線回帰式； $y = -3.89x + 618$
 $r = -0.467$

図10-b. ヒノキ正角（特等および1等）の
集中節径比とMORの関係
直線回帰式； $y = -2.82x + 641$
 $r = -0.482$

6) 節径比と強度比の関係

強度比とは実大材の強度の、無欠点小試片の強度に対する比のことである。節径比と強度比の関係をスギは図11に、ヒノキは図12に示した。

節径比、集中節径比とも強度比と負の相関が見られる。相関係数はスギの方がヒノキより大きい。先に求めた材料強度を満足する限界の節径比及び集中節径比に対応する強度比は、スギ、ヒノキとも約 0.4であることが読み取れる。逆に言う、建築基準法で定められている材料強度は、無欠点小試片の強度の 5%下限値の約40%の値であり、安全率は 2.5となっている。

5. 2 製材現場における測定結果

曲げヤング係数の分布を図13に示した。スギの場合、実験室内での値より低くなっている。全国平均よりもやや低い値である。原因は明らかでないが、スギがばらつきの大きい材であるためと考えられる。

ヒノキの場合、実験室での値とほぼ一致した。

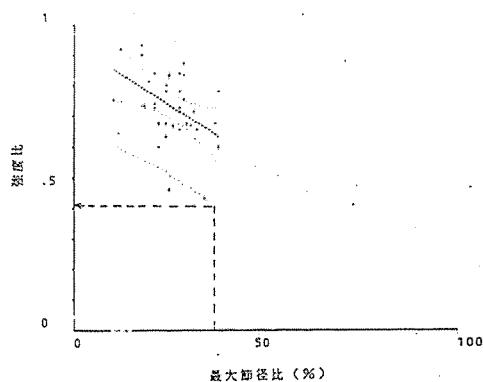


図11-a. スギ正角（特等および1等）の節径比と強度比の関係
直線回帰式； $y = -7.59 \times 10^{-3}x + 0.928$
 $r = -0.424$

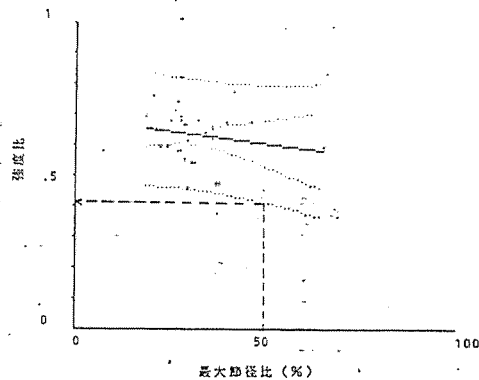


図12-a. ヒノキ正角（特等および1等）の節径比と強度比の関係
直線回帰式； $y = -1.50 \times 10^{-3}x + 0.677$
 $r = -0.157$

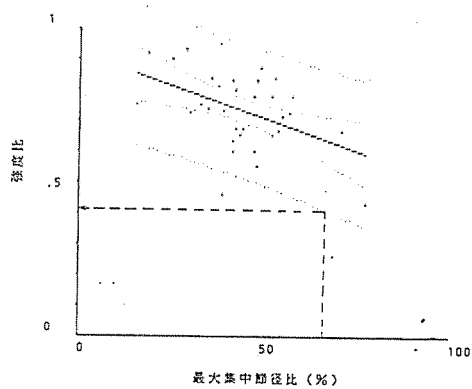


図11-b. スギ正角（特等および1等）の集中節径比と強度比の関係
直線回帰式； $y = -4.17 \times 10^{-3}x + 0.913$
 $r = -0.472$

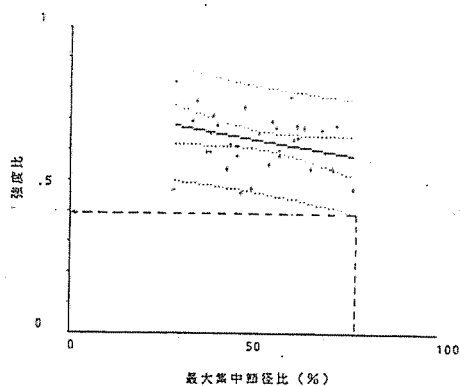


図12-b. ヒノキ正角（特等および1等）の集中節径比と強度比の関係
直線回帰式； $y = -2.07 \times 10^{-3}x + 0.737$
 $r = -0.308$

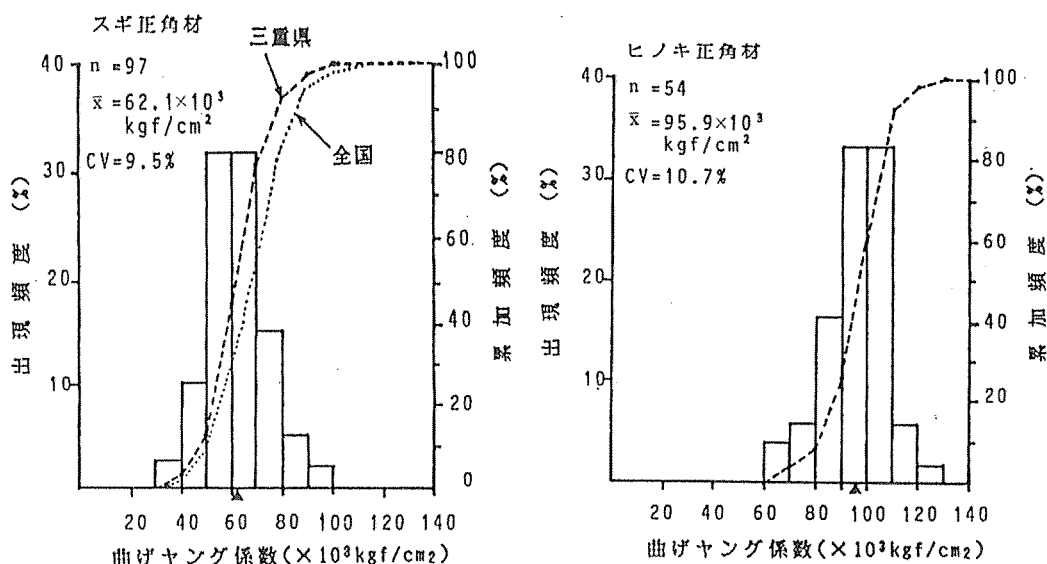


図13. 製材現場における、スギ、ヒノキ正角の曲げヤング係数の測定結果

6. 結 論

今回の三重県産材の実験及び調査は、試験体の数及び抽出方法に多少問題はあるものの、傾向として、スギ、ヒノキとも MOE と MOR はほぼ全国平均であることがわかった。

正角材の等級分けは必ずしも JAS 通りになっておらず、並材の正角についてみると、現場での等級分けは丸身によって、従って節径比及び集中節径比は等級間の差がなかった。

スギ、ヒノキとも MOE と MOR との間には正の相関があった。ヒノキの相関係数はスギよりも小さかった。

材料強度を満足する節径比と集中節径比はスギ、ヒノキとも、現行 JAS の 1 等の基準値にほぼ相当した。

スギ及びヒノキの材料強度は無欠点小試片の 5% 下限値の約 40% の値であり、安全率は 2.5 であった。

文 献

- 1) 中井 孝, 木材工業, Vol. 39-11, P. 42-46, 1984
- 2) 丸山則義, 有馬孝禮, 岡崎 光, 早村俊二, 静岡大学農学部演習林報告, No. 7, P. 39-44, 1982
- 3) 同上, No. 8, P. 69-76, 1984
- 4) 製材等の日本農林規格並びに解説, 1983

Summary

For the study on adequate classification according to the stress grading, the bending tests were conducted on Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) column of a 105mm square cross-section grown in Mie Prefecture. And, the bending stiffness of commercial square lumber was also investigated at the local saw mill.

The following conclusions were derived.

- 1) The distribution of modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) was almost the same as that of other prefectures.
- 2) Current grading system of column lumber practiced at the saw mill does not always conform to the terms in JAS.
- 3) Correlation between modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) of Hinoki column wood was not so high significant compared with that of Sugi column wood.
- 4) The ratio of maximum knot diameter to the width of the lumber and the ratio of the maximum sum of knot diameter within 15cm length of lumber to the width of the lumber which satisfy the strength established by Building Standard Law is equivalent to those of the first grade in JAS.

Therefore, the second grade column lumber is not suitable for bending members.

- 5) MOR of Sugi and Hinoki column lumber was about the 40% of five percentile significant level of clear wood MOR and the safety index was about 2.5.