

平成8年度 農林水産省補助事業

# エンジニアリングウッド性能評価事業 報告書

平成9年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター



平成 8 年度  
エンジニアリングウッド性能評価事業、報告書

目 次

はじめに	-----	1
要 約	-----	2
第 1 章 スギFJラミナの引張強度に及ぼすジョイント数の影響（森林総研）	----	3
1. 1 ラミナ	-----	3
1.1.1 ラミナの購入状況	-----	3
1. 2 測定と試験方法	-----	4
1.2.1 気乾比重	-----	4
1.2.2 平均年輪幅	-----	4
1.2.3 含水率	-----	4
1.2.4 断面欠損率（集中節径比）	-----	4
1.2.5 動的ヤング係数	-----	5
1.2.6 引張破壊試験	-----	5
1. 3 試験結果	-----	7
1.3.1 ラミナの特性	-----	7
1.3.2 引張試験結果	-----	7
1. 4 考察	-----	10
1.4.1 基準MOEと換算強度	-----	10
1.4.2 寸法効果	-----	14
1. 5 まとめ	-----	16
第 2 章 エゾマツ材の圧縮強度試験（北海道林産試）	-----	17
1 試験の目的	-----	17
2 材料	-----	17
3. 試験方法	-----	17
3.1 試験材の調整	-----	17
3.2 ヤング係数の測定	-----	17
3.3 試験体の採取	-----	17
3.4 欠点等の調査	-----	18

3.5	圧縮試験	-----	18
3.5.1	縦圧縮試験	-----	18
3.5.2	部分横圧縮試験	-----	18
4.	試験結果	-----	19
4.1	縦圧縮試験	-----	19
4.2	中央部部分横圧縮試験	-----	20
4.3	材端部部分横圧縮試験	-----	22
5.	まとめ	-----	23
第3章 スギ平角材の曲げ強度試験（岩手県林業技術センター）			----- 27
1	はじめに	-----	27
2	試験方法	-----	27
2.1	供試材	-----	27
2.2	乾燥	-----	27
2.3	材質の調査項目	-----	28
2.4	縦振動法による動的ヤング係数の計測	-----	28
2.4	実大材の曲げ破壊試験	-----	28
2.5	測定項目の略記法	-----	28
3	試験結果	-----	29
3.1	丸太の形質と動的ヤング係数	-----	29
3.2	節径比	-----	30
3.3	試験材の材質	-----	31
3.4	動的ヤング係数	-----	32
3.5	強度性能	-----	33
3.6	材質と強度との関連性	-----	34
3.7	節径比と強度性能の関係	-----	39
3.8	目視等級区分による曲げ性能	-----	40
4	まとめ	-----	42
第4章 スギラミナの引張及び曲げ試験（宮城県林業試験場、東北大学）			----- 50
1.	試験の目的	-----	50
2.	試験方法	-----	50
2.1	供試体の作製	-----	50
2.2	試験体の性状調査	-----	51
2.3	試験方法	-----	51
2.3.1	引張試験	-----	51

2.3.2 曲げ試験	-----	51	
3. 試験の結果	-----		52
3.1 ラミナの性状調査結果	-----	52	
3.2 引張試験	-----	53	
3.2.1 供試体の性状	-----	53	
3.2.2 引張強度の分布	-----	54	
3.2.3 動的ヤング係数と引張強度の相関関係	-----	55	
3.2.4 その他の因子と引張強度の関係	-----	55	
3.3 曲げ試験	-----	58	
3.3.1 供試体の性状	-----	58	
3.3.2 曲げヤング係数及び曲げ強度の分布	-----	58	
3.3.3 曲げヤング係数と曲げ強度の相関関係	-----	60	
3.3.4 その他の因子と曲げ強度との関係	-----	60	
3.3.5 各強度間の関係	-----	61	
4. まとめ	-----		61
第5章 確率モデルを用いたシュミレーションによる集成材の性能予測			
—新構造用集成材JASの構成基準に基づく集成材の性能予測—			
(東北大学、宮城県林業試験場)	-----		70
1. はじめに	-----	70	
2. 集成材モデル	-----	70	
3. シュミレーション方法	-----	71	
4. シュミレーション結果	-----	73	
5. まとめ	-----	75	
第6章 長野県産カラマツラミナの曲げ、引張試験 (長野県林業総合センター)	-----		76
はじめに	-----		76
1. 材料と方法	-----		76
1.1 材料	-----	76	
1.1.1 カラマツラミナ	-----	76	
1.1.2 ラミナの調整と区分	-----	76	
1.2 ラミナの縦継ぎ条件	-----		76
1.3 ラミナの調査	-----	77	
1.4 ラミナの強度試験	-----	77	
1.4.1 曲げ試験	-----	77	
1.4.2 ラミナの引張り試験	-----	77	

2. 結果と考察	-----	77
2.1 破壊原因	-----	78
2.2 材質指標と曲げ強さ、引張強さの関係	-----	78
2.2.1 MOE、E <sub>fr</sub> 及び材質指標の現れ方	-----	78
2.2.2 材質指標と強度、MOEとの関係	-----	79
2.3 構造用集成材JASとの対応	-----	80
2.3.1 ラミナの視覚的等級区分	-----	81
2.3.2 機械等級区分	-----	83
2.3.3 TSとMORの比率	-----	84
2.3.4 通しラミナのJAS機械等級区分別	-----	85
2.4 E <sub>fr</sub> とMOEの関係	-----	86
3. まとめ	-----	87
第7章 カラマツ正角材の乾燥及び強度性能（長野県林業総合センター）	-----	99
1. 試験の目的	-----	99
2. 試験の方法	-----	99
2.1 供試材	-----	99
2.2 乾燥試験	-----	99
2.2.1 乾燥経過の測定	-----	101
2.2.2 乾燥後の形質変化	-----	101
2.2.3 モルダ（鉋盤）仕上げ後の養生	-----	101
2.3 実大材強度試験	-----	102
2.3.1 正角材の基本振動周波数による動的ヤング率の測定	-----	102
2.3.2 曲げ強度試験	-----	102
3. 試験の結果と考察	-----	102
3.1 乾燥試験	-----	102
3.1.1 乾燥経過	-----	102
3.1.2 仕上がり含水率と水分傾斜	-----	104
3.1.3 形質変化	-----	104
3.2 実大材強度試験	-----	107
3.2.1 曲げヤング率と曲げ強度	-----	107
3.2.2 強度等級区分(JAS)と強度性能	-----	109
3.2.2.1 目視等級区分	-----	109
3.2.2.2 機械等級区分	-----	111

第 8 章 スギ平角の曲げ試験（静岡県林業技術センター） ----- 126

静岡県産スギ中目丸太を原料とし高温乾燥した平角の曲げ試験

8. 1	試験の目的	-----	126
8. 2	試験研究方法	-----	126
8.2.1	供試したスギ中目丸太とその材質調査	-----	126
8.2.2	平角の製材と材質調査	-----	128
8.2.3	平角の人工乾燥と乾燥後におけるフレや材色の調査		128
8.2.4	スギ平角の実大曲げ試験	-----	130
8. 3	試験結果	-----	130
8.3.1	スギ中目丸太の材質	-----	130
8.3.2	製材後におけるスギ平角の材質	-----	130
8.3.3	人工乾燥における含水率と材色	-----	130
8.3.4	曲げ試験結果	-----	131
8. 4	まとめ	-----	137

第 9 章 ヒノキ正角材の曲げ試験（三重県林業技術センター） ----- 150

1.	目的	-----	150
2.	試験方法	-----	150
2.1	供試丸太		150
2.2	供試丸太のタッピング法による動的ヤング係数の測定		150
2.3	製材と乾燥	-----	151
2.4	正角材の材面調査と強度等級区分	-----	151
2.5	実大材強度試験	-----	151
2.5.1	正角材のタッピング法による動的ヤング係数の測定	--	151
2.5.2	曲げ強度試験	-----	151
2.5.3	含水率の測定	-----	151
3.	試験結果と考察	-----	152
3.1	丸太と正角材の動的ヤング係数の関係	-----	152
3.2	正角材の曲げ強度性能	-----	152
3.3	強度等級区分と曲げ強度性能の関係	-----	156

第 10 章 スギ構造用ラミナの引張試験（福岡県森林林業技術センター） ----- 164

1.	はじめに	-----	164
2.	材料と実験方法	-----	164
2.1	供試材	-----	164
2.2	動的曲げヤング係数（ $E_{fr}$ ）の測定	-----	164

2.3	試験体の割り当て	-----	165
2.4	ラミナの材質調査	-----	165
2.4.1	欠点調査（断面欠損率）	-----	165
2.4.2	平均年輪幅	-----	165
2.4.3	曲げヤング係数（ $E_{dw}$ ）	-----	165
2.4.4	含水率	-----	165
2.5	引張強度（ $T_S$ ）	-----	166
3.	結果	-----	167
3.1	試験結果一覧	-----	167
3.2	曲げヤング係数の分布	-----	168
3.3	引張強度の分布	-----	169
3.4	破壊形態毎の出現頻度	-----	170
4.	考察	-----	171
4.1	各測定項目間の関係	-----	171
4.2	動的ヤング係数と重錘載荷法によるヤング係数の関係		172
4.3	曲げヤング係数と引張強度の関係	-----	173
4.4	断面欠損率と引張強度の関係	-----	174
5.	まとめ	-----	175

\*：参考

これまでの実施概要	-----	180
-----------	-------	-----



## はじめに

建築物の構造解析は、世界的にみて、信頼性理論をもとにした限界状態設計法が主流となりつつあり、我が国においても、この設計法に対する関心が高まってきており、そのための準備を急ぐことが必要となっている。本事業は、こうした状況を踏まえ、国産材を原料としたエンジニアリングウッドの性能評価を行うことを目的とするものである。

我が国における集成材ラミナの強度試験方法とその評価は、これまで曲げによるものが主体であったが、①大断面集成材の強度性能を評価するには引張強度の方が望ましいこと、②シュミレーションによって強度分布を予測するには、ラミナの引張試験のデータが大量に必要であることから、ラミナの引張試験を行い、強度予測を行うこととした。

また、製材品の強度性能についても、国産材の曲げ・引張り・圧縮等の強度データが不足し、限界状態設計法を適用するには統一した試験方法を用いてこれらの強度性能のデータを蓄積することが必要である。このため、本年度は正角及び平角材の曲げ試験並びに圧縮試験を行い資料の収集を行うこととした。

事業の実施に当たっては、下記委員会を設置して検討を進めた。

### エンジニアリングウッド性能評価委員会、委員名簿（敬称略、順不同）

- |     |       |                   |              |
|-----|-------|-------------------|--------------|
| 委員長 | 飯島 泰男 | 秋田県立農業短期大学        | 木材高度加工研究所、教授 |
| 委員  | 三橋 博三 | 東北大学工学部建築学科       | 教授           |
| （代理 | 板垣 直行 | 東北大学工学部建築学科       | 助手）          |
| 委員  | 栃木 紀郎 | 筑波大学農林工学系         | 助教授          |
| 委員  | 秦 正徳  | 高岡短期大学産業工芸学科      | 助教授          |
| 委員  | 河合 直人 | 建築研究所耐風研究室        | 主任研究員        |
| 委員  | 林 知行  | 森林総合研究所集成加工研究室    | 主任研究官        |
| 委員  | 長尾 博文 | 森林総合研究所材料性能研究室    | 研究官          |
| 委員  | 工藤 修  | 北海道立林産試験場性能部材料性能科 | 科長           |
| 委員  | 東野 正  | 岩手県林業技術センター       | 上席専門研究員      |
| 委員  | 梅田 久男 | 宮城県林業試験場木材利用科     | 科長           |
| 委員  | 橋爪 丈夫 | 長野県林業総合センター       | 主任研究員        |
| 委員  | 池田 潔彦 | 静岡県林業技術センター       | 副主任          |
| 委員  | 中谷 浩  | 富山県林業技術センター木材試験場  | 主任研究員        |
| 委員  | 山吉 栄作 | 三重県林業技術センター       | 技術史員         |
| 委員  | 廣田 篤彦 | 福岡県森林林業技術センター     | 研究員          |
| 委員  | 阿部 庄吾 | （社）全国木材組合連合会      | 検査部長         |

平成9年3月

（財）日本住宅・木材技術センター  
理事長 岡 勝 男

## 要 約

我が国における集成材ラミナの強度試験方法とその評価は、小断面の集成材が主体であったため曲げ試験によるものが主体であったが、昨今のように主要構造部材に大断面集成材が用いられることが多くなると、引張強度で評価することが合理的と考えられる。また、近年、ラミナの強度分布から集成材の強度分布を予測できるモデルが世界的に重要視されるようになってきた。このような情勢の元で、①大断面集成材の強度性能を評価するには引張強度の方が望ましいこと、②シュミレーションによって強度分布を予測するには、ラミナの引張試験のデータが大量に必要であることから、産地別に外国樹種を含め数樹種について、ラミナの引張試験を行い、その結果をとりまとめた。

一方、製材品については、柱・はり・桁等の構造部材に国産材を用いるためには強度性能についての大量のデータを蓄積することにより強度値の信頼性を高めることが重要である。また、これらのデータを収集するための測定項目や評価方法が必ずしも統一されていない部分があるため、本年度は、現時点で統一できる測定項目や評価項目を定めた試験方法を明らかにし、強度データの収集と結果の検討を行うためにスギ及びカラマツの曲げ強度試験並びにエゾマツ材の圧縮試験及びめり込み試験を実施し、その結果をとりまとめた。

## キーワード

等級区分、含水率、フィンガージョイント、集中節径比、ヤング係数、曲げ試験、引張試験、気乾比重、平均年輪幅、断面欠損率、接合効率、破壊形態、曲げ強度、引張強度、圧縮強度、めり込み強度、集成材、縦継ぎラミナ、通しラミナ、人工乾燥、グレーディングマシン、正角、平角

## 第1章 スギFJラミナの引張強度に及ぼすジョイント数の影響

一般に、大断面集成材に用いるラミナの強度評価方法は、実大の引張試験によるものが望ましい。なぜなら、集成材が曲げ荷重を受けたとき、外層のラミナ内に発生する応力は、集成材の断面が大きくなるほど、純粋な引張応力に近くなるからである。このため、平成8年7月より施行される予定の構造用集成材の日本農林規格（JAS）でも、ひき板の実大引張試験が試験項目の一部に加えられている。

このような実大ラミナの引張強度の評価において考慮すべき点は、試験体の長さ方向の寸法効果である。一般に、試験体の長さが長いほど、引張強度が低下する傾向にあるので、より精度の高い強度評価のためには、この効果の定量性を明らかにしておく必要がある。

そこで昨年度、より精度の高い強度性能評価を行なうための基礎研究の第一段階として、スギラミナの3種類の長さの実大スギラミナを引張試験し、強度特性に及ぼすチャック間長さの影響を検討し、ラミナの引張強度には明確な寸法効果が見られることを明らかにした。

しかしながら、この研究ではフィンガージョイントのない通しラミナを用いたので、フィンガージョイントの数がラミナの寸法効果に及ぼす影響に関しては検討できなかった。

そこで本研究では、1～3個のフィンガージョイントを持つ実大スギラミナを用いて前回と同様の引張試験を行ない、強度特性に及ぼすフィンガージョイントの数の影響を検討した。

### 1. 1 ラミナ

#### 1. 1. 1 ラミナの購入状況

昨年度と同様、宮崎県南部の市場で購入されたスギ原木を原材料に用いた。ただし、前報の材料とは購入時期が異なるため、両者が同一母集団に属するかどうかは不明である。

製材、乾燥、仕上げのモルダー処理などについては、大断面構造用集成材のJAS認定工場で行なった。製材されたラミナを人工乾燥した後、同工場に備え付けられたグレーディングマシンで、2種類の等級（2等：85 ton·f/cm<sup>2</sup>以上、3等：75 ton·f/cm<sup>2</sup>以上）に区分した。この際、目視で等級区分を行ない、JASの各等級に相当しないものについては試験体から排除した。この後、同社においてフィンガージョイント加工を行なった。フィンガーの長さは25mm、ピッチは6.5mm、用いた接着剤はレゾルシノール樹脂接着剤であった。

試験体はFJをはさんで前後に30cmずつの長さをを1単位とし、1、2、3単位のものを用意した（図1-1）。試験体の長さは、1Jが180cm（チャック間距離60cm）、2Jが240cm（チャック間距離120cm）、3Jが300cm（チャック間距離180cm）、また試験体の断

面はいずれも28×130mmであった。

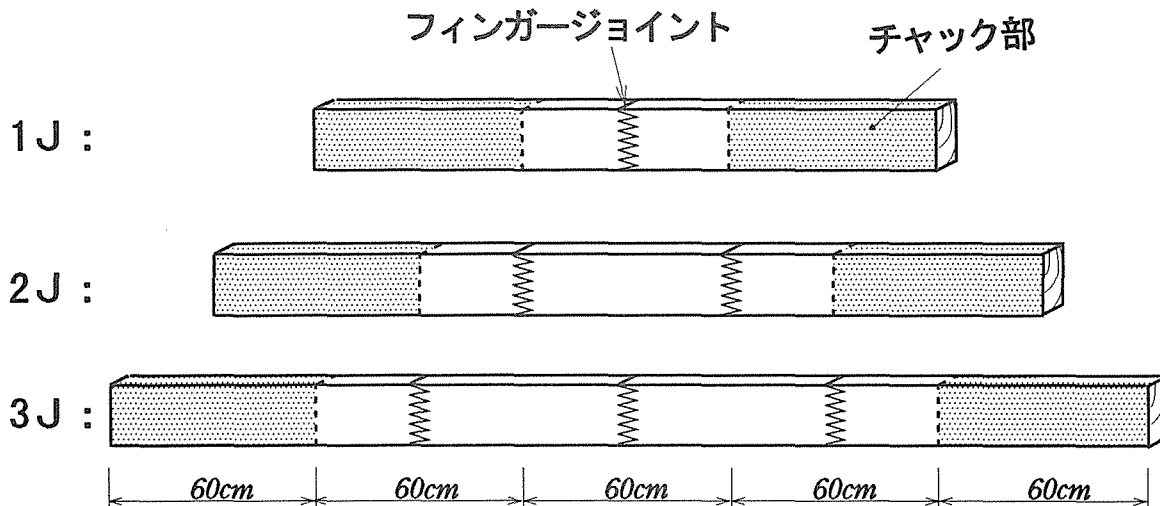


図1-1 試験体の形状と寸法

なお、試験体の数は各等級（2等と3等）およびジョイント数（1J、2J、3J）ごとに各40体であった。

## 1.2 測定と試験方法

昨年と同様、ラミナの基本的な材質調査と視覚的及び機械的等級区分を行うために以下の項目について調査を行った。

### 1.2.1 気乾比重

ラミナの寸法及び重量を測定し、気乾比重を求めた。

### 1.2.2 平均年輪幅

引張試験終了後、破壊部分近傍の健全な無欠点部位から長さ方向3cm程度の試験片を1枚採取し、完全な年輪間の年輪数とその間の距離を測定して平均年輪幅を求めた。

### 1.2.3 含水率

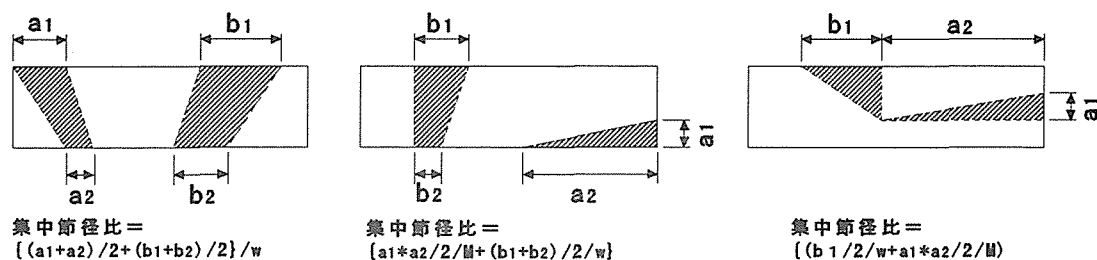
引張試験終了後、破壊部分近傍の健全な無欠点部位から長さ方向3cm程度の試験片を1枚採取して重量を測定した後、105℃に温度設定した恒温器内で24時間乾燥させて絶乾重量を測定し、含水率を求めた。

### 1.2.4 断面欠損率（最大集中節径比）

ラミナの木口面に平行な横断面積に占める15cm区間に存在する総ての節の断面積合計の割合を断面欠損率（集中節径比）とし、単独の節、集中節に関わらずラミナ全体において最大のもの（断面欠損率1）と引張破壊試験時における引張区間内において最大のもの（断面欠損率2）を求めた（図1-2を参照）。

測定は15cm区間に存在する直径およそ5mm以上の節を対象に行い、4材面に出現する総ての節の接線径を測定してラミナ木口面に平行な節の横断面積の合計値を算出し、ラミナ木口面に平行なラミナ横断面積に対する節の横断面積合計の割合を求めた。

同一の節で幅広 2 材面に出現するものは、2 材面の節径を台形の面積を求める式の上底と下底として断面積を求めた。1 材面にしか出現しない節については、節が出現した材面の対称となる面（裏面）に接する頂点を持つ三角形の底辺として節径を測定し、三角形の面積を求めるように断面積を求めた。



ここで  $w$  : ラミナの幅、 $M$  : ラミナの断面積

図 1-2 集中節径比（断面欠損率）の算出方法

### 1. 2. 5 動的ヤング係数

スポンジを敷いた台の上にラミナを載せて一方の木口面をハンマーで打撃し、発生した打撃音を他方の木口面付近に設置したマイクロホンを用いて測定した。この打撃音の基本振動数を FFT アナライザ（小野測器製、CF-360）を用いて求め、次式により動的ヤング係数を算出した。

$$E_f = \frac{4 \times L^2 \times f^2 \times \rho}{g}$$

ここで、 $E_f$  : 動的ヤング係数 ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ )

$L$  : 材長 (cm)、 $f$  : 基本振動数 (Hz)

$\rho$  : 気乾比重、 $g$  : 重力加速度 ( $980 \text{ cm/s}^2$ )

### 1. 2. 6 引張破壊試験

試験機には NET-40 型引張保証荷重試験機（最大容量 40 tf）を用い、チャック間（引張部分）の長さを約 110 cm に設定した。荷重をロードセルで連続的に測定し、ラミナが破壊した時点で得られた最大荷重から引張強度を算出した。なお、破壊までに要した時間は約 1～3 分であった。

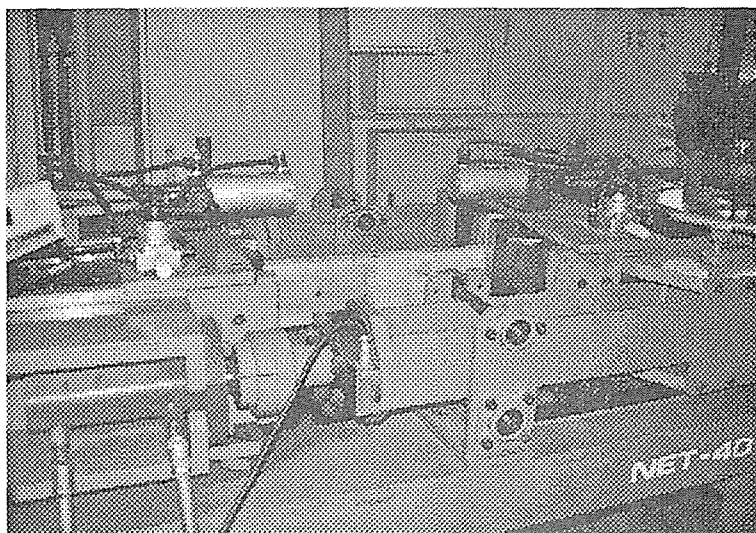


写真1 1Jの引張試験

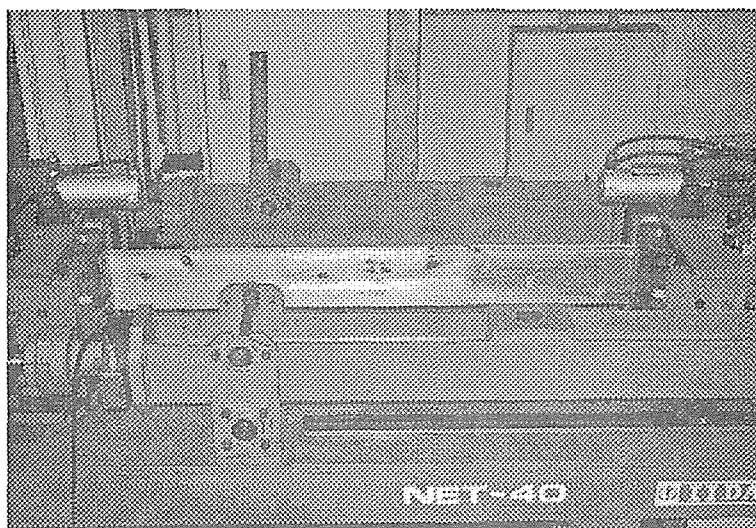


写真2 2Jの引張試験

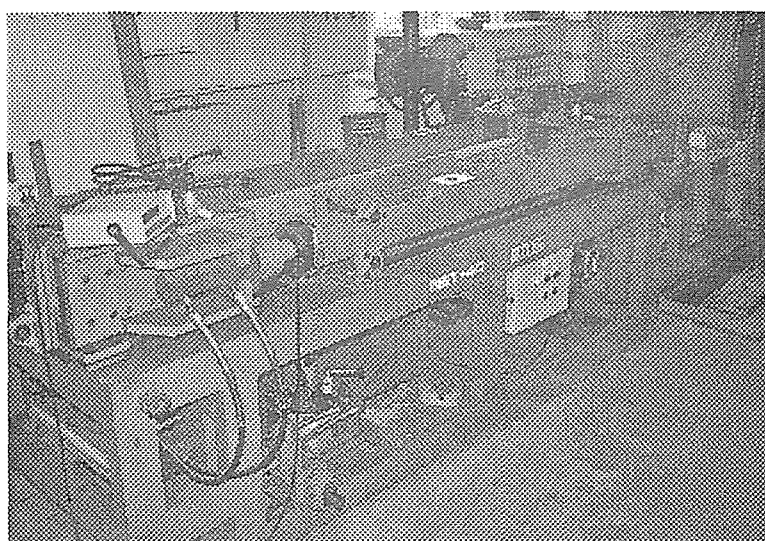


写真3 3Jの引張試験

### 1.3 試験結果

#### 1.3.1 ラミナの特性

表1-1に、試験体数、気乾比重、ヤング係数、最大集中節径比（断面欠損率）、および引張強度の一覧表を示す。なお、（ ）内の数値は変動係数である。

表1-1 ラミナの特性値一覧

試験体	n	集中節径比	容積密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ヤング係数 (ton·f/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
1J-2	40	0.216(66.5%)	0.416(4.83%)	97.6(7.84%)	338(14.2%)
1J-3	40	0.181(68.9%)	0.398(5.85%)	82.6(10.3%)	297(15.7%)
2J-2	40	0.215(45.1%)	0.421(4.29%)	98.1(6.68%)	305(20.4%)
2J-3	40	0.247(49.0%)	0.390(4.60%)	82.3(5.92%)	272(15.4%)
3J-2	40	0.224(42.5%)	0.418(4.29%)	97.1(6.33%)	306(20.4%)
3J-3	40	0.237(42.0%)	0.400(4.25%)	82.0(8.30%)	260(16.2%)

n:試験体数

#### 1.3.2 引張試験結果

##### 1.3.2.1 試験体の破壊形態

試験体の破壊形態はフィンガージョイントのみが破壊を生じたもの（FJ）、木材のみが破壊を生じたもの（W）、両者の混合（FJ+W）の3種類に分類されたが、ジョイント数による明確な差異は観察されなかった（表1-2）。

表1-2 試験体の破壊形態

種類	FJ	FJ+W	W
1J	55	14	11
2J	55	19	6
3J	51	13	16

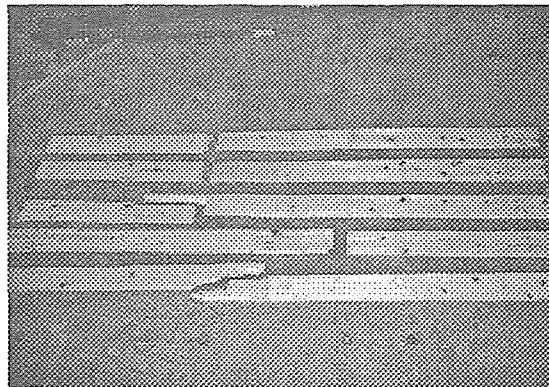


写真4 破壊形態の一例(J3)

### 1. 3. 2. 2 ヤング係数と引張強度の相関関係

ヤング係数 (MOE) と引張強度 (TS) との相関関係を図 1-3、4、5 に示す。

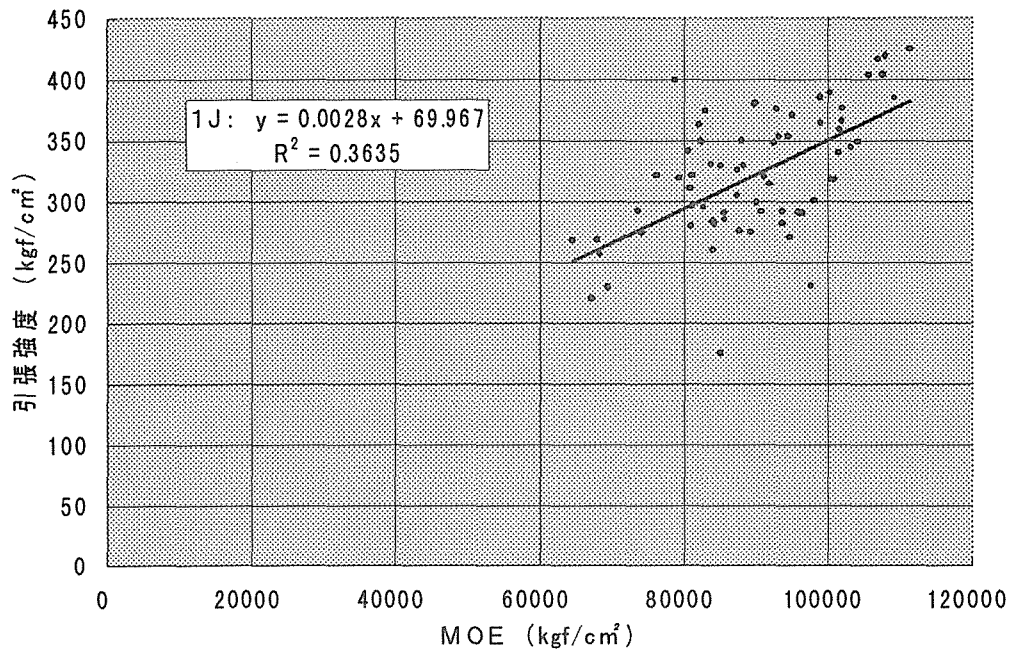


図 1-3 1J の MOE-TS

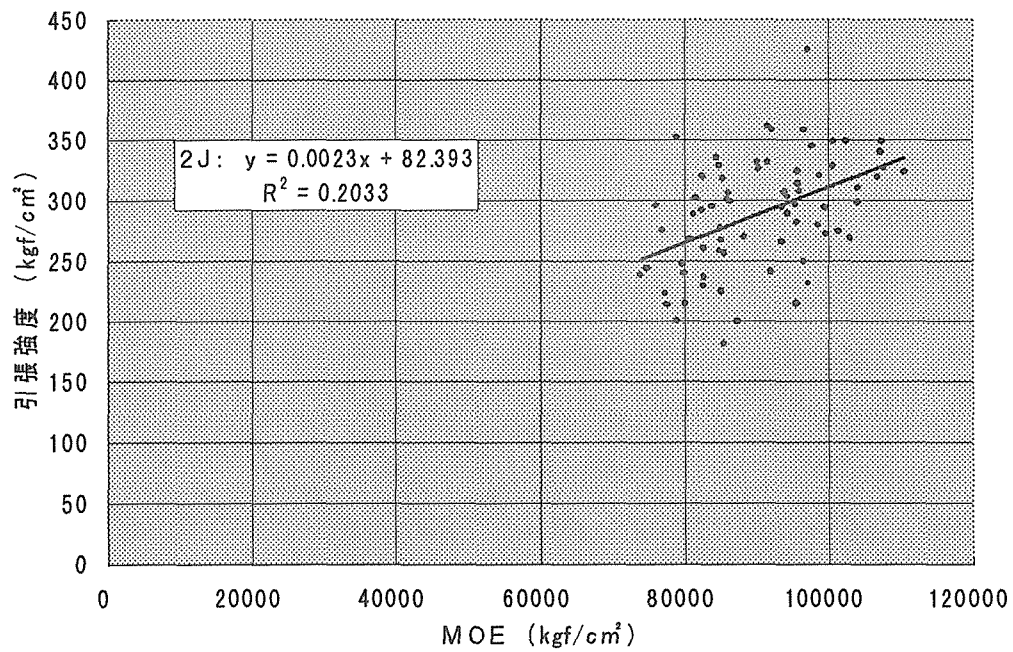


図 1-4 J2 の MOE-TS



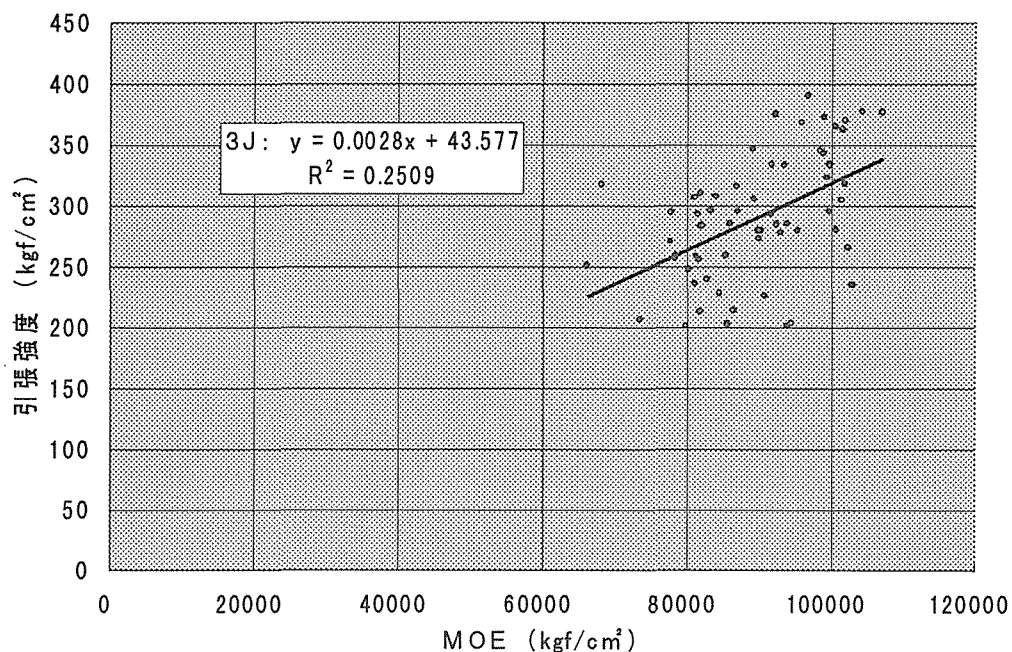


図 1 - 5 3 J の MOE - TS

図 1 - 6 に、3つの図を1つの図にまとめたものを示す。この図から明らかなように、2 J と 3 J の回帰直線はほぼ同一とみなせるが、1 J のそれは明らかに両者とは異なった傾向（傾きはほぼ同一であるが、切片は両者より高い）を示している。

また決定係数（ $R^2$ ）の値からも明らかなように、MOE と TS の相関は比較的低い。これはラミナが工場でグレーディングされたものであり、基本的に MOE の範囲が狭いためと考えられる。

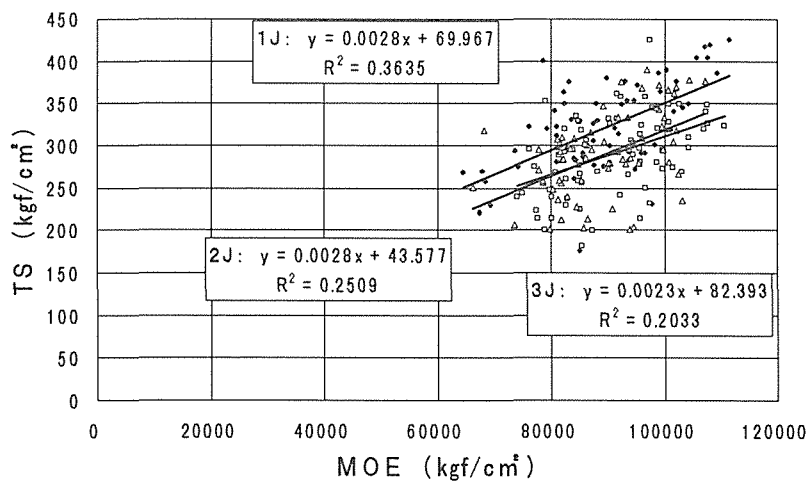


図 1 - 6 MOE - TS (一覽)

(●: 1J、△: 2J、□: 3J)

## 1. 4 考察

### 1. 4. 1 基準MOEと換算強度

一般に木材・木質材料のMOEは強度特性と相関が高いので、MOEの分布が同一と見なせない集団同士の強度特性を比較する場合、何らかの手段を用いてMOEを基準化してから、結果を検討する必要がある。

本研究では前回と同様に回帰直線による基準換算方法を採用し、まず基準のMOE ( $E_s$ ) を  $80 \text{ ton}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$  に決め、すべてのTSの値を回帰直線を利用して  $E_s$  上に1次元化し、これによって得られたTSの分布についての解析を行なった。

基準換算の方法は以下の通りである。

- ①. 一般的な回帰分析を行ない、回帰式を求める。 ( $TS=a\times MOE + b$ )
- ②.  $E_s$  を設定する。例えば本研究では  $E_s=80 \text{ ton}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$  とする。
- ③.  $E_s$  を上の回帰式に代入し、 $TS_s$  の値を求める。
- ④. 各TSの値と回帰直線との誤差を求め、 $TS_s$  の値に加算し、これを基準換算強度値とする。

この関係を図で表すと(図1-7)のようになる。図からも明らかなように、この基準換算はすべてのTSの値を  $E=80 \text{ ton}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$  のところまで平行移動することを意味している。

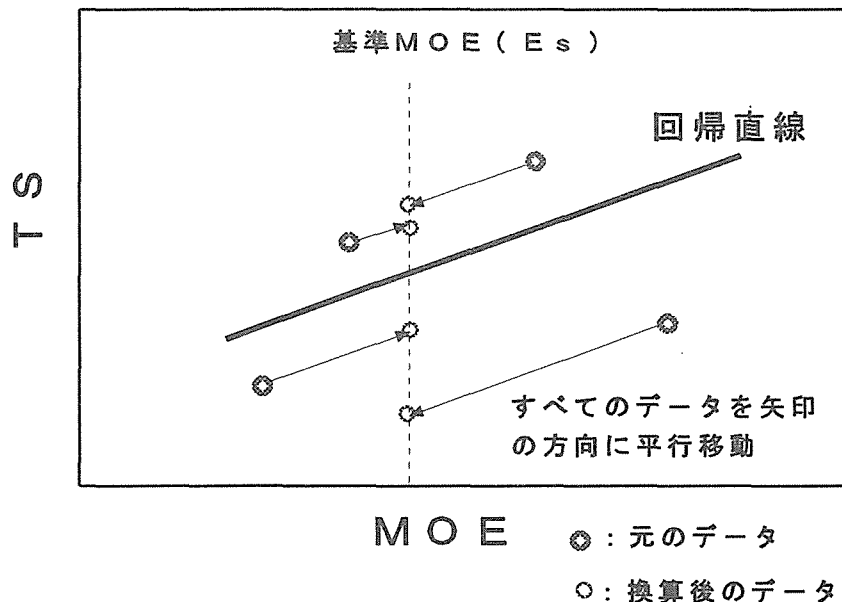


図1-7 TSの換算方法

本研究で得られたすべてのTSの値を  $E_s=80 \text{ ton}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$  へ基準換算した後、分布のパラメータを求めた(表1-3)。この表の正規分布の平均値を見れば明らかなように、FJ数が大きいほど(チャック間長さが大きくなるほど)引張強度は低下しているが、その変動係数は増加している。

表1-3  $E_s=80\text{ton}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ に基準換算されたTSデータのパラメータ

試験体	正規分布		3パラメータワイブル分布		
	平均値 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	変動係数 (%)	位置 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )	形状	尺度 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )
1 J	291.8	15.19	0	7.803	310.2
2 J	275.0	16.23	89.05	4.751	203.2
3 J	270.7	18.12	59.81	4.873	229.9

図1-8は表1-3に示されたワイブル分布のパラメータを用いて分布を図示したものである。

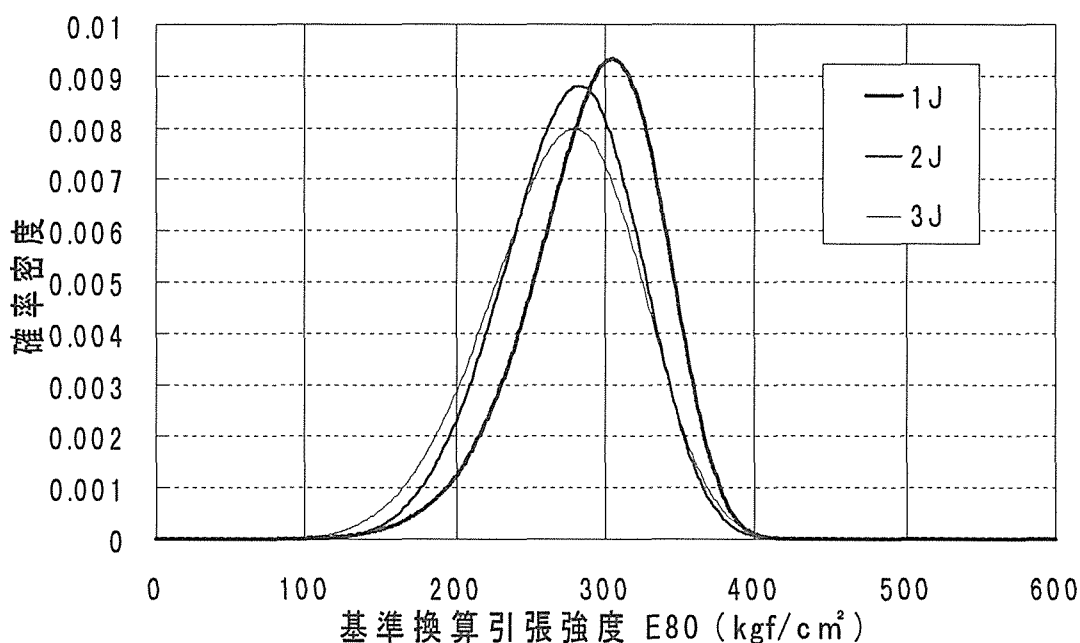


図1-8  $E_s=80\text{ton}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ に基準換算されたTSデータの確率密度分布の比較

昨年度の結果との比較のために、前回得られた通しラミナの強度データを、 $E_s=80\text{ton}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ の基準MOEに換算したものを、本研究の結果とともに図1-9に示す。L60はチャック間距離が60cmで1Jと同寸法のものである。L120、L180も同様に2Jと3Jに対応している。

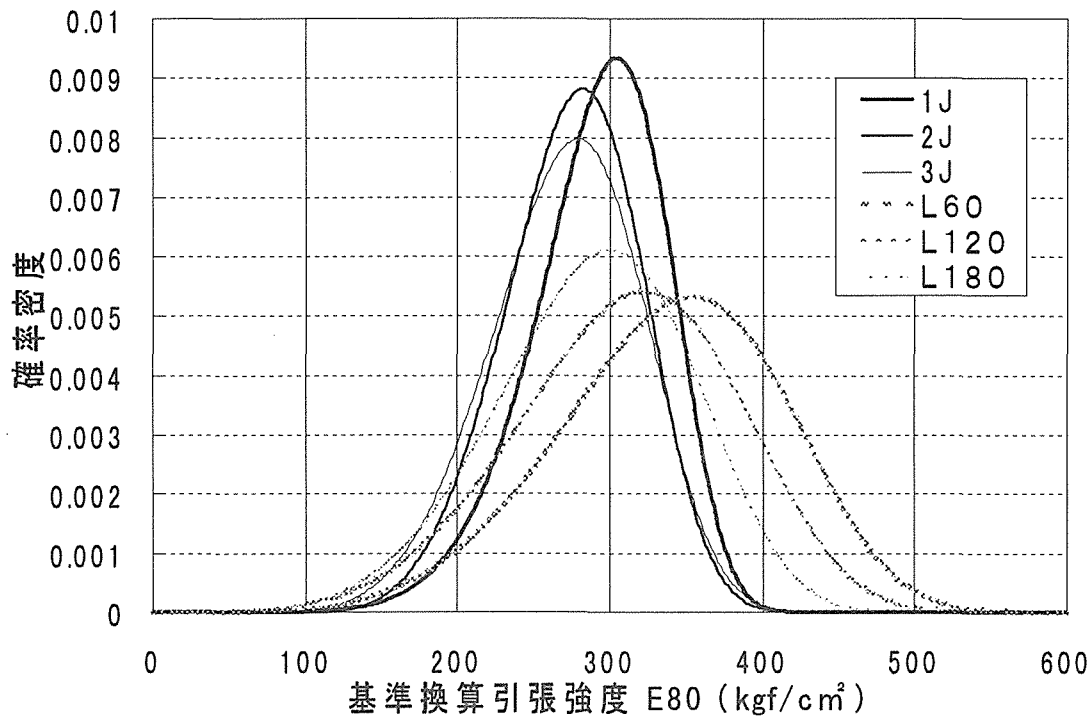


図1-9  $E_s=80\text{ton}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$ に基準換算されたTSデータと通しラミナの比較

図から明らかなように、モード（分布の最大値）における強度値は通しラミナの方が明らかに高いが、分布の下限側では両者の大小関係が逆転していることがわかる。この関係を棒グラフを用いて示したものが図1-10および図1-11である。

平均値はいずれの長さでもN Jの方が高いが（図1-10）、5%下限値はF Jの方が1 Jと2 Jにおいて高い値を示している（図1-11）。

なお、ここでの5%下限値は、得られたワイブル分布のパラメータを用いて、次式により求めたものである。

$$EX5\% = \eta \times (\log(1-0.95))^{1/m} + \gamma$$

ここで、EX5%は5%下限値、 $\eta$ は尺度パラメータ、 $m$ は形状パラメータ、 $\gamma$ は位置パラメータである。

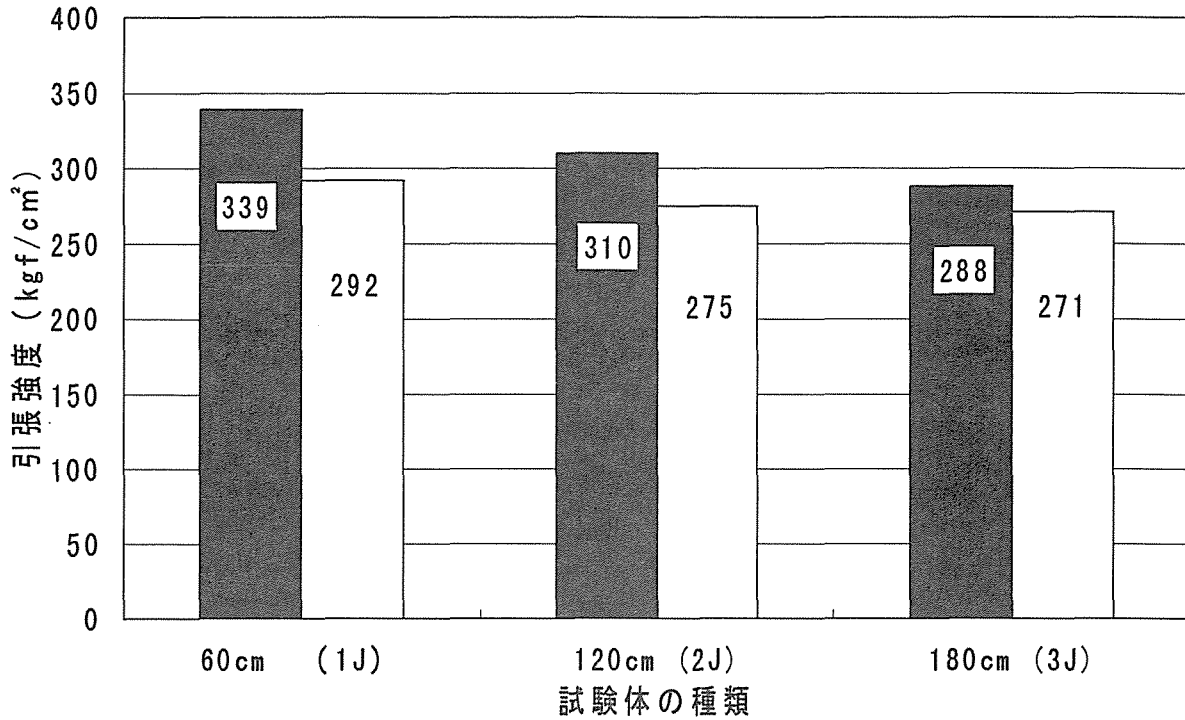


図1-10 FJラミナと通しラミナの平均値の比較

(1J, 2J, 3J: FJラミナ、60cm、120cm、180cm: 通しラミナ)

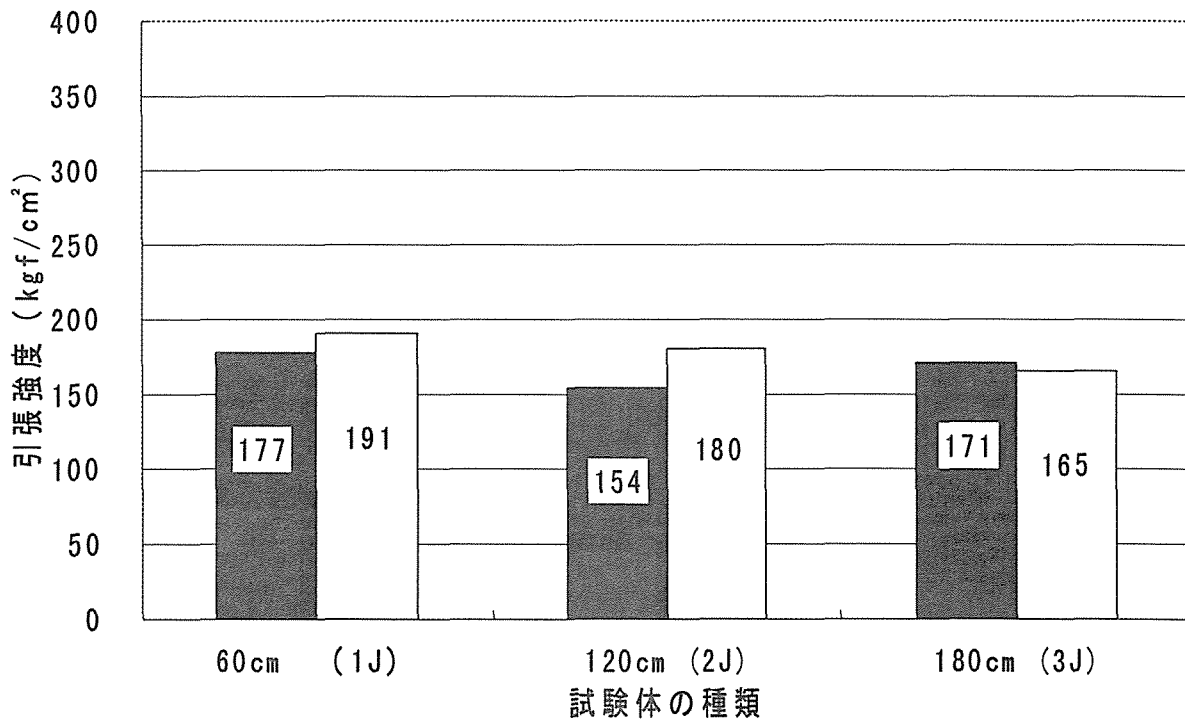


図1-11 FJラミナと通しラミナの5%下限値の比較

(1J, 2J, 3J: FJラミナ、60cm、120cm、180cm: 通しラミナ)

以上の結果から、集成材における積層効果や隣り合うF J 同士の影響などを考慮せずにラミナ単体の引張強度のみを評価するのであれば、フィンガージョイントの存在は、強度の信頼性にほとんど影響を及ぼさないといえよう。ただ、このような結論が定性的に成立するかどうかを判断するには、これだけのデータだけでは十分ではない。今後いくつか他の樹種や他のF J についても検討しておく必要がある。

#### 1. 4. 2 寸法効果

一般的に材料が最弱リンク理論に従うと考えられるとき、寸法効果の関係式は次式のよ  
うに表される。

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\frac{1}{2\alpha}} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma_1$ と $\sigma_2$ は、体積がそれぞれ $V_1$ および $V_2$ の時の強度、 $2\alpha$ は寸法効果を表す定数である。

(1) 式の両辺の対数をとって変形すると、

$$\log \sigma_2 = - \frac{1}{2\alpha} \log \left( \frac{V_2}{V_1} \right) + \log \sigma_1 \quad (2)$$

となる。

したがって、y 軸に $\log \sigma$ 、x 軸に $\log (V_2/V_1)$  をとり、データをプロットして、最小 2 乗法により回帰直線を得れば、その傾きの逆数の絶対値が $2\alpha$ となる。

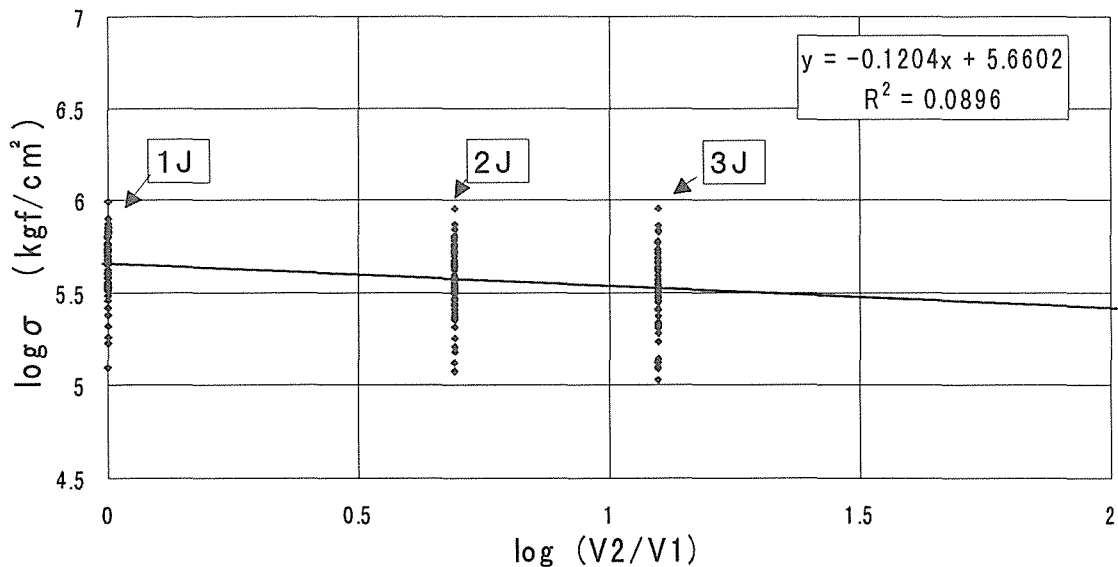


図1-12 FJラミナの寸法効果 (V1:1J)

本試験のデータをこの関係に当てはめたのが図1-12である。なおここでVはチャック間距離とし、V<sub>1</sub>を1Jとして図示した。この回帰式から求めた2αの値は8.306であり、この値は前報の通しラミナで得られた2αの値(6.752)より少し高い。このことは、本実験で用いた程度のジョイント間隔(60cm:厚さの21.4倍)であれば、FJラミナの方がNJよりも寸法効果が小さいことを示すものである。FJラミナではFJで破壊が生じる限り、強度がラミナの長さとは無関係になるので、寸法効果の程度がNJよりも小さくなるものと考えられる。

(1) 式に2α=8.306を代入すると、式(3)の実験式が得られる。

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{-0.1204} \quad (3)$$

(3) 式を図示すると図1-13のようになる。今、FJをはさんで前後に30cmの長さを基準(V<sub>1</sub>)にすれば、チャック間距離がその6倍の長さのラミナ(360cm:FJが6箇所)では、引張強度が約81%程度に低減することになる。

なお、図中には前報で得られたNJの場合の2αの値と曲線も併記した。この図からも明らかなようにFJの方が寸法効果の程度は小さい。

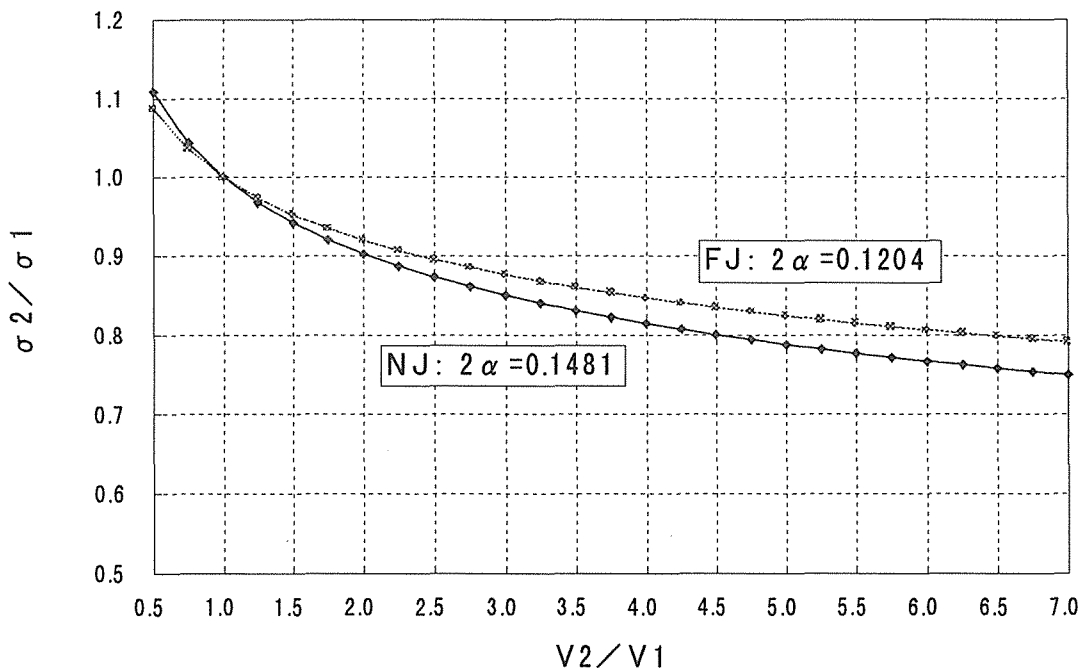


図1-13 FJラミナにおける寸法の比と強度比との関係  
(NJ:通しラミナの場合)

## 1.5 まとめ

集成材ラミナの引張強度に及ぼすF J数の影響を検討するため、1, 2, 3個のF Jを持つ宮崎県産スギラミナについて実大の引張試験を行なった。

各グループのMOEの分布の差をキャンセルするため、基準となるMOE（基準MOE）に引張強度のデータを換算し、その強度（基準換算強度）に基づいて効果を検討した。

その結果、F Jの数が多くなるにつれて、ラミナの引張強度の平均値が低下すること、同寸法の通しラミナと比較すると、5%下限値が高い場合もあること、さらに寸法効果の程度は通しラミナよりF Jラミナの方が小さいことなどが明らかになった。



## 第2章 エゾマツ材の圧縮強度試験

(北海道林産試)

### 1. 試験の目的

木質構造物の構造解析法は、信頼性理論を基礎とした限界状態設計法が世界的に主流となりつつあり、我が国も適切に対応することが必要となっている。

国産材を原料とする製材品については、限界状態設計法に適応させるための適切なデータの蓄積が少ないため、実大強度試験の実施とその性能評価等によって必要とするデータの収集を行い、限界状態設計法への対応を図ることを目的として実験を実施する。

### 2. 材料

試験に用いた材料は公称寸法が10.5mm×10.5mm×3650mmのエゾマツ正角乾燥材100体で、旭川市内の木材会社より等級込みで購入した。従って、産地等は不明である。

### 3. 試験方法

試験は「平成8年度エンジニアリングウッド性能評価事業・エゾマツ小角材の圧縮試験、試験設計書」に基づいて行った。

#### 3.1 試験材の調整

試験材をプレーナに通し、断面寸法を100mm×100mmとした。さらに、中央から鋸断し、材長1800mmの試験材を2体ずつ、計200体を得た。

#### 3.2 ヤング係数の測定

打撃音法と曲げ剛性試験の2通りの方法でヤング係数の測定を行った。打撃音法によるヤング係数の測定にはエーアンドデー社製FFTアナライザAD-3524を用いた。曲げ剛性試験はスパン1700mm、荷重点間距離600mmの2点荷重方式で行い、打撃音法によるヤング係数から推定される曲げ破壊係数の40%の応力まで付加し、全スパンに対する中央たわみから曲げヤング係数を算出した。試験には東京衡機製油圧式強度試験機(容量:曲げ20tf、圧縮:100tf)を用いた。

#### 3.3 試験体の採取

曲げヤング係数の分布が全体の分布と等しくなるように、縦圧縮用、中央部部分横圧縮用、材端部部分横圧縮試験用の3グループに66体ずつ振り分けた。中央部から縦圧縮、および中央部部分横圧縮用に長さ600mmの試験体を採取し、材端部部分横圧縮用に長さ350mmの試験体を採取した。

### 3.4 欠点等の調査

試験体の各材面について、節等の欠点調査を行った。中央部部分横圧縮試験体、材端部部分横圧縮試験体については木口面における年輪傾斜角の測定も行った。柀目面への加力を $0^\circ$ 、板目面への加力を $90^\circ$ として測定した。

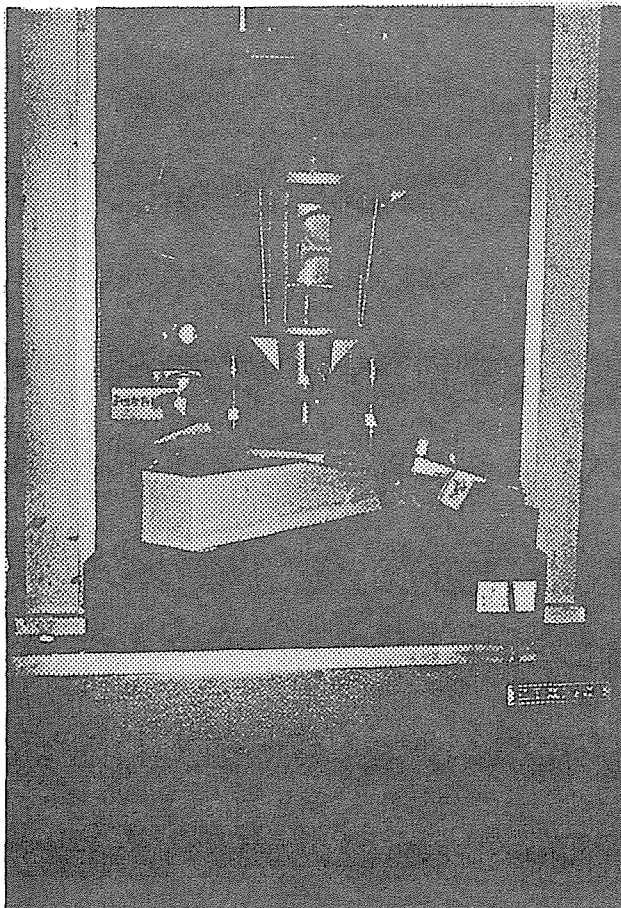
### 3.5 圧縮試験

#### 3.5.1 縦圧縮試験

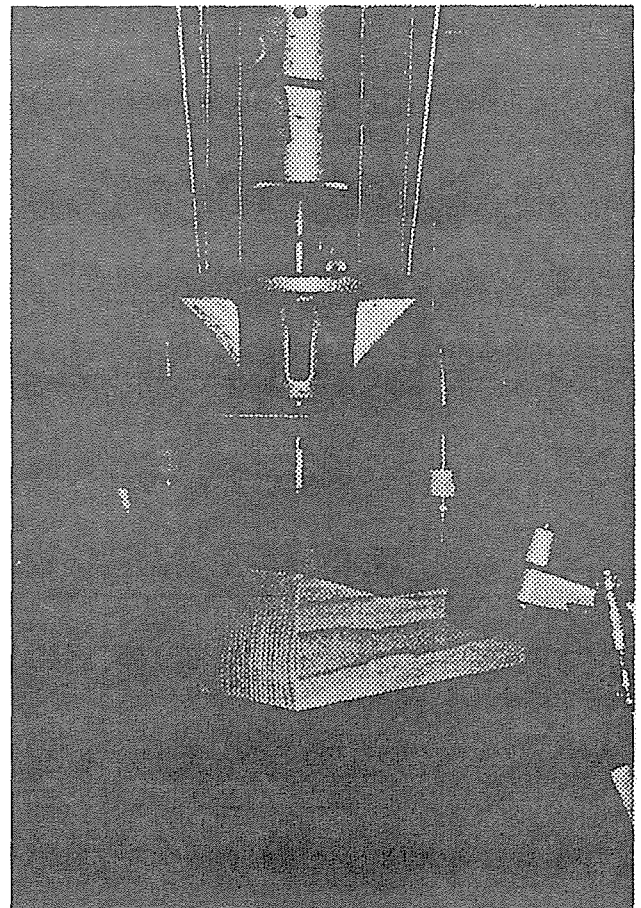
荷重を連続的に測定し、最大荷重から縦圧縮強度を算出した。

#### 3.5.2 部分横圧縮試験

幅100mmの鋼板を介し、縮みが厚さの5%に達するまで、中央部部分横圧縮試験では試験体の中央に加力し、材端部部分横圧縮試験では試験体の材端に加力した(第1、2図)。比例限度荷重と縮みが厚さの5%に達したときの荷重から比例限度応力と5%変形時応力を算出した。なお、試験には島津製作所製オートグラフDSS-10T-S(容量10tf)を使用し、縮みの測定には精度 $1/500\text{mm}$ の変位計を使用した。



第1図 中央部部分横圧縮試験の状況



第2図 材端部部分横圧縮試験の状況

## 4. 試験結果

### 4.1 縦圧縮試験

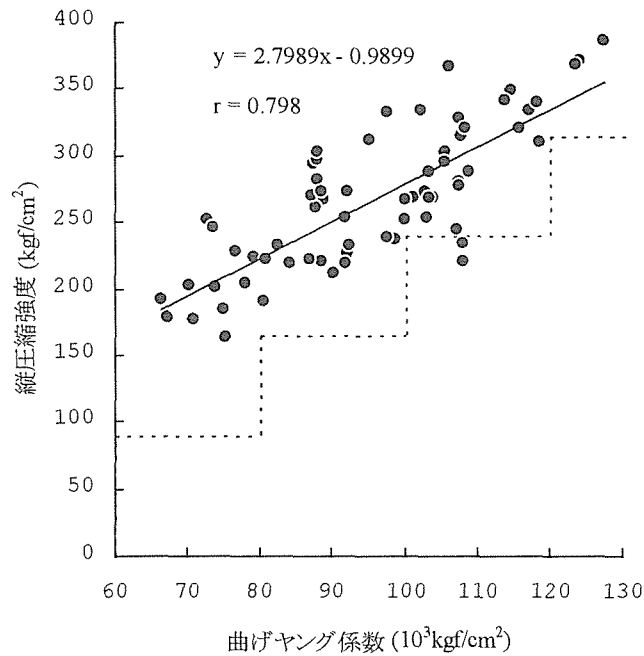
縦圧縮試験の結果を第1表に示した。66体中46体の含水率が $15 \pm 1.5\%$ の範囲にあったため、含水率補正は行っていない。第2表は試験時密度、節径比、集中節径比、曲げヤング係数と縦圧縮強度との相関係数であるが、曲げヤング係数のみならず、節径比についての相関係数も $-0.628$ と大きく、危険率1%で有意であった。一方、集中節を持った試験体は7体しかなく、集中節径比についての相関係数は $-0.271$ であった。第3図に相関係数が最も大きかった曲げヤング係数と縦圧縮強度の散布図を示した。図中の点線は曲げヤング係数で機械等級区分を行ったときの長期許容応力度 $\times 3$ の値を表している。今回の試験では2体がこの値を下回った。これは節が圧縮強度には影響するが、曲げヤング係数への影響が小さな位置にあったことによると考えられる。

第1表 縦圧縮試験の結果

	含水率 (%)	試験時密度 (g/cm <sup>3</sup> )	節径比 (%)	集中節径比 (%)	曲げヤング係数 (10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
最小値	13.5	0.368	0.0	0.0	66.4	162.8
平均値	16.1	0.429	20.3	4.4	95.6	266.5
最大値	21.9	0.476	52.2	58.8	127.5	385.9
標準偏差	1.8	0.023	12.4	13.4	15.2	53.3
変動係数 (%)	11.1	5.4	60.9	302.3	15.9	20.0

第2表 縦圧縮強度との相関係数

項目	相関係数
試験時密度	0.262*
節径比	-0.628**
集中節径比	-0.271*
曲げヤング係数	0.798**



第3図 曲げヤング係数と圧縮強度との関係

#### 4.2 中央部部分横圧縮試験

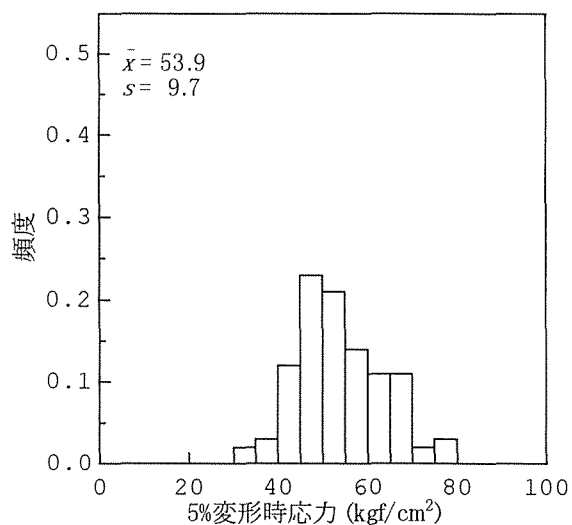
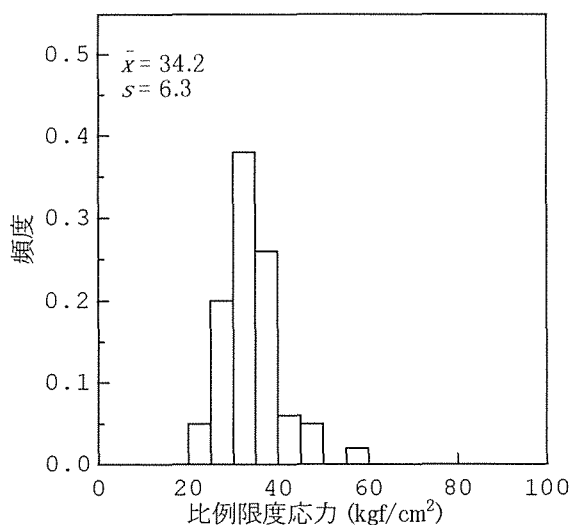
中央部部分横圧縮試験の結果を第3表に、比例限度応力と5%変形時応力の分布を第4図に示した。これについても含水率補正は行っていない。節径比については被圧部分だけで算出したため、小さなものとなっていた。第4表に横圧縮強度との相関係数を示した。試験時密度については比例限度応力と5%変形時応力の両方で相関係数が危険率1%で有意となった。節径比については比例限度応力に対してのみ、相関係数が危険率5%で有意であり、しかも繊維方向の強度とは異なり、正の相関を持っていた。曲げヤング係数との相関係数は5%変形時応力に対してのみ、危険率1%で有意であった。第5図に年輪傾斜角と比例限度応力、ならびに5%変形時応力との関係を示したが、両者ともに一定の傾向は認められなかった。

第3表 中央部部分横圧縮試験の結果

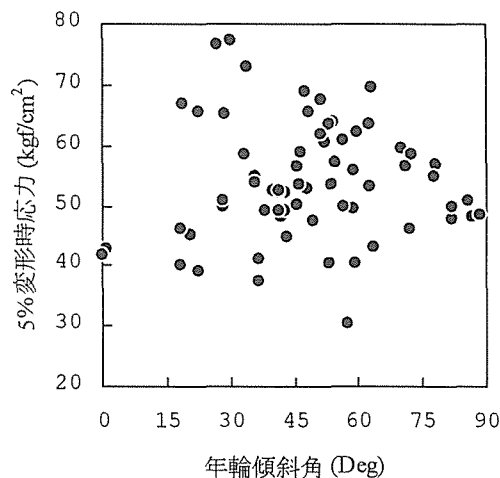
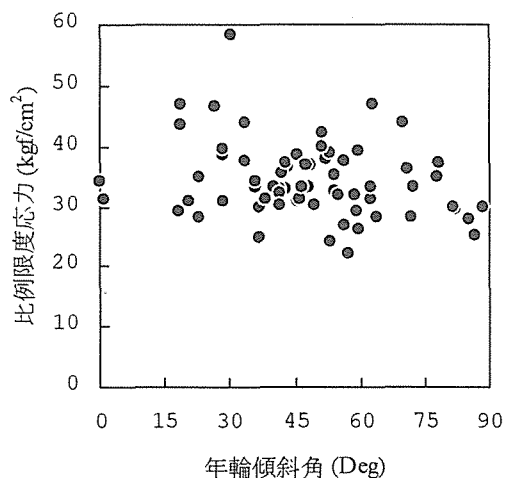
	含水率 (%)	試験時密度 (g/cm <sup>3</sup> )	節径比 (%)	年輪傾斜角 (Deg)	曲げヤング係数 (10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	比例限度応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	5%変形時応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )
最小値	13.7	0.368	0.0	0.0	68.5	22.1	30.5
平均値	16.6	0.428	6.0	48.2	94.7	34.2	53.9
最大値	23.2	0.494	48.7	88.6	120.8	58.4	77.5
標準偏差	2.1	0.028	11.3	19.7	13.2	6.3	9.7
変動係数 (%)	12.9	6.5	187.3	40.8	14.0	18.4	18.0

第4表 中央部部分横圧縮強度との相関係数

	比例限度応力	5%変形時応力
試験時密度	0.338**	0.464**
節径比	0.247*	0.205
曲げヤング係数	0.160	0.441**



第4図 中央部部分横圧縮強度の分布



第5図 年輪傾斜角と中央部部分横圧縮強度の関係

### 4.3 材端部部分横圧縮試験

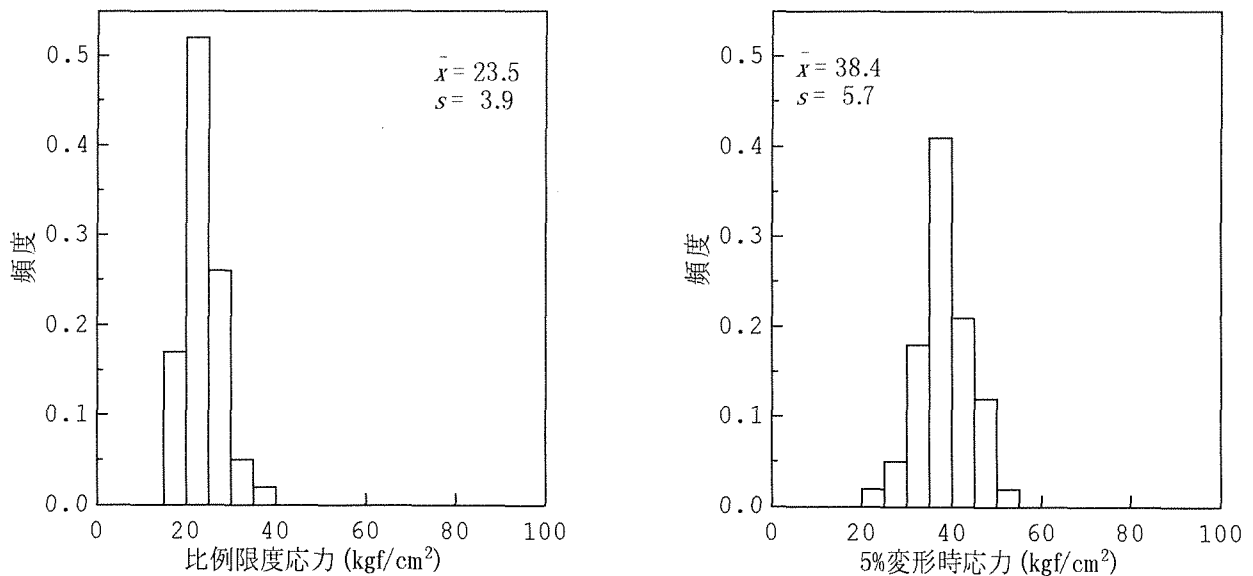
材端部部分横圧縮試験の結果を第5表に、比例限度応力と5%変形時応力の分布を第6図に示した。この場合も含水率補正は行っておらず、節径比は被圧部分だけで算出した。5%変形時応力/比例限度応力の値は平均で1.62となり、中央部部分横圧縮の1.58との違いは少ないが、比例限度応力と5%変形時応力のばらつきは中央部部分横圧縮の場合よりも小さく、これらの標準偏差は両者とも中央部部分横圧縮試験の約60%であった。第6表に材端部部分横圧縮強度との相関係数を示したが、有意となったものは見られなかった。年輪傾斜角については、50°以上では試験体が少なく傾向がつかみ難いが、50°以下の部分に関しては年輪傾斜角の増加に伴い、比例限度応力と5%変形時応力の両方で、減少する傾向がみられた(第7図)。

第5表 材端部部分横圧縮試験の結果

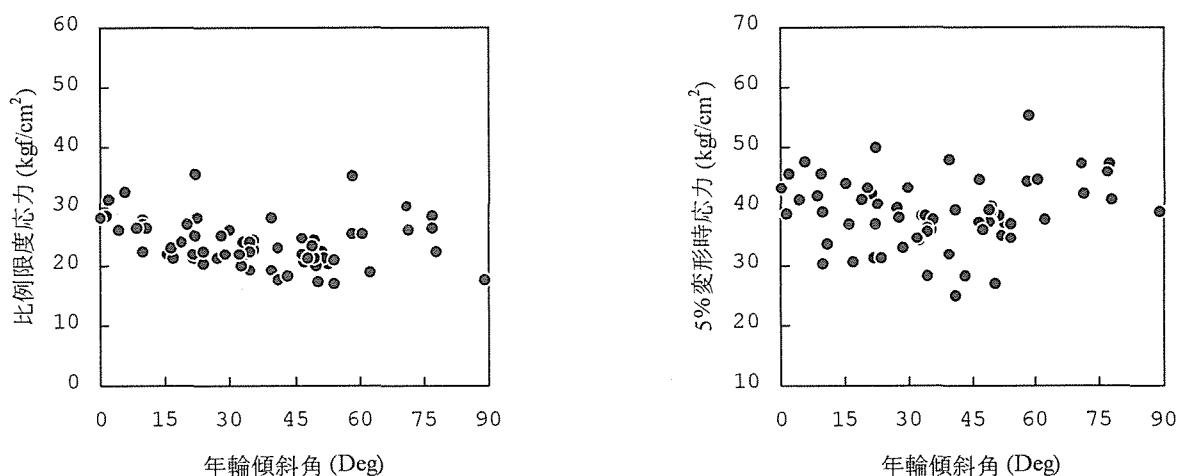
	含水率 (%)	試験時密度 (g/cm <sup>3</sup> )	節径比 (%)	年輪傾斜角 (Deg)	曲げヤング係数 (10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	比例限度応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	5%変形時応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )
最小値	12.2	0.380	0.0	0.6	66.2	16.8	24.9
平均値	13.5	0.417	6.3	37.3	95.5	23.5	38.4
最大値	16.0	0.466	41.4	89.4	123.8	35.3	55.0
標準偏差	0.8	0.023	11.5	20.9	14.3	3.9	5.7
変動係数 (%)	5.9	5.5	183.1	55.9	15.0	16.8	14.8

第6表 材端部部分圧縮強度との相関係数

	比例限度応力	5%変形時応力
試験時密度	-0.064	0.049
節径比	0.160	0.097
曲げヤング係数	0.021	0.136



第6図 材端部部分横圧縮強度の分布



第7図 年輪傾斜角と材端部部分横圧縮強度の関係

## 5. まとめ

実大材の圧縮強度性能を把握し、限界状態設計法に対応するためのデータ収集を行うことを目的として、エゾマツ実大材の各種圧縮試験を行った。

縦圧縮強度の平均値は266.5kgf/cm<sup>2</sup>、標準偏差は53.3 kgf/cm<sup>2</sup>であった。節径比、および曲げヤング係数は縦圧縮強度と高度に有意な相関を持っていたが、節の位置によっては曲げヤング係数と縦圧縮強度の回帰直線において、残差の大きなものが出現した。

中央部部分横圧縮試験では、比例限度応力の平均値は34.2kgf/cm<sup>2</sup>、標準偏差は6.3kgf/cm<sup>2</sup>であった。節径比は比例限度応力と有意な正の相関を持っていた。

材端部部分横圧縮試験では、比例限度応力の平均値は23.5kgf/cm<sup>2</sup>、標準偏差は3.9kgf/cm<sup>2</sup>であった。年輪傾斜角が0～50°の範囲では年輪傾斜角の増加に伴い、比例限度応力が減少する傾向がみられた。

付表-1 縦圧縮試験結果一覧

試験体番号	含水率 (%)	試験時密度 (g/cm <sup>3</sup> )	節径比 (%)	集中節径比 (%)	曲げヤング係数 (10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
1012	14.5	0.380	27.0	0.0	72.7	251.2
1015	15.3	0.384	35.9	0.0	70.2	203.0
1022	17.4	0.411	34.3	0.0	70.8	176.4
1025	17.4	0.419	29.2	0.0	67.3	178.3
1032	15.6	0.435	52.2	0.0	66.4	192.0
1035	14.4	0.427	32.8	58.8	73.8	201.3
1042	16.1	0.418	18.7	0.0	73.7	246.4
1045	17.3	0.421	32.3	0.0	75.0	184.9
1052	21.0	0.411	21.1	0.0	80.4	190.3
1055	21.9	0.428	28.2	0.0	75.3	162.8
1062	18.7	0.441	37.8	0.0	78.1	203.5
1065	15.2	0.414	14.9	0.0	87.9	281.2
1072	16.4	0.405	30.0	0.0	76.6	227.2
1075	18.6	0.415	21.0	0.0	79.1	223.2
1082	19.4	0.455	36.9	37.8	92.0	226.5
1085	19.3	0.452	21.0	0.0	82.3	232.2
1092	16.7	0.432	19.8	39.6	80.8	221.0
1095	15.3	0.412	27.0	0.0	88.8	266.8
1102	13.9	0.455	21.0	0.0	87.4	293.7
1105	15.3	0.461	24.8	0.0	87.8	261.3
1112	18.7	0.430	13.9	0.0	88.5	220.2
1115	19.7	0.436	26.7	45.6	90.3	211.4
1122	15.4	0.464	39.8	0.0	86.7	221.2
1125	14.4	0.426	29.0	0.0	87.1	270.0
1132	15.6	0.398	0.0	0.0	88.0	296.2
1135	16.6	0.411	22.2	0.0	91.8	253.7
1142	18.1	0.413	23.0	0.0	98.7	236.1
1145	18.3	0.442	28.3	51.6	83.9	219.0
1152	16.0	0.389	25.9	0.0	92.4	231.6
1155	14.5	0.368	22.5	0.0	88.6	272.6
1162	15.9	0.414	0.0	0.0	88.0	302.6
1165	18.2	0.439	24.1	0.0	107.7	280.1
1172	15.6	0.416	33.4	0.0	92.2	271.9
1175	15.2	0.414	27.5	0.0	101.3	267.6
1182	16.4	0.434	0.0	0.0	95.2	311.6
1185	15.8	0.444	33.0	0.0	100.0	266.5
1192	13.5	0.395	24.8	0.0	91.9	218.6
1195	13.6	0.384	15.9	0.0	102.8	272.9
1202	14.7	0.454	35.9	0.0	97.5	237.8
1205	14.6	0.439	14.2	0.0	97.7	332.9
1212	14.9	0.434	17.9	0.0	104.1	268.0
1215	14.0	0.439	29.9	0.0	102.2	334.0
1222	15.4	0.438	0.0	0.0	106.3	366.7
1225	14.6	0.457	26.9	0.0	107.5	276.8
1232	16.5	0.415	0.0	0.0	107.5	328.0
1235	15.7	0.404	0.0	0.0	103.4	287.7
1242	16.5	0.411	0.0	0.0	105.7	303.1
1245	16.0	0.418	0.0	0.0	109.0	288.0
1252	16.6	0.430	15.2	29.5	100.1	251.0
1255	19.3	0.436	0.0	0.0	103.1	253.0
1262	16.0	0.456	14.0	0.0	105.5	295.3
1265	15.4	0.457	14.0	0.0	115.9	320.8
1272	16.9	0.416	15.0	0.0	107.3	244.3
1275	15.6	0.414	16.9	0.0	107.8	314.3
1282	15.0	0.444	11.0	0.0	117.3	334.7
1285	15.7	0.452	9.9	0.0	108.5	320.0
1292	14.6	0.438	13.0	0.0	118.7	310.7
1295	14.7	0.431	19.9	29.0	103.3	268.2
1302	15.9	0.430	0.0	0.0	114.7	349.1
1305	14.9	0.444	35.9	0.0	108.2	233.6
1312	15.4	0.453	0.0	0.0	124.1	371.1
1315	14.9	0.476	24.1	0.0	108.0	220.4
1322	15.2	0.465	16.0	0.0	118.5	340.2
1325	13.9	0.443	27.9	0.0	113.9	341.1
1332	14.4	0.447	0.0	0.0	123.6	369.0
1335	14.2	0.471	24.9	0.0	127.5	385.9



付表-2 中央部部分横圧縮試験の結果一覧

試験体番号	含水率 (%)	試験時密度 (g/cm <sup>3</sup> )	節径比 (%)	年輪傾斜角 (Deg)	曲げヤング係数 (10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	比例限度応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	5%変形時応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )
3012	15.2	0.430	41.8	45.6	69.5	38.4	56.6
3015	16.6	0.438	48.7	43.4	69.5	36.6	44.7
3022	15.9	0.386	0.0	0.9	69.1	31.1	42.8
3025	14.8	0.368	0.0	0.0	78.5	34.1	41.7
3032	16.3	0.403	17.2	41.9	68.5	35.5	48.3
3035	15.5	0.383	0.0	42.8	74.7	37.2	49.2
3042	22.7	0.423	0.0	63.7	76.2	28.2	43.0
3045	21.8	0.409	0.0	57.4	78.5	22.1	30.5
3052	19.3	0.391	0.0	72.0	85.2	28.1	46.3
3055	17.5	0.383	0.0	86.9	79.0	25.2	48.0
3062	17.7	0.400	0.0	18.2	77.5	29.0	40.2
3065	16.2	0.392	0.0	20.5	81.1	30.9	45.0
3072	18.0	0.410	0.0	78.1	92.1	37.1	57.0
3075	18.6	0.424	14.9	70.1	82.9	43.9	59.7
3082	19.0	0.396	0.0	82.0	92.6	29.4	48.0
3085	16.4	0.402	0.0	88.6	83.9	29.8	48.5
3092	20.6	0.430	0.0	72.4	86.2	33.1	58.5
3095	17.9	0.416	0.0	59.1	89.5	29.3	49.4
3102	17.8	0.394	0.0	22.8	79.0	28.1	39.2
3105	17.8	0.401	23.8	37.0	88.6	29.8	41.2
3112	23.2	0.494	0.0	36.9	83.8	24.7	37.4
3115	20.0	0.464	0.0	28.4	88.1	30.8	49.8
3122	16.4	0.429	0.0	18.5	92.9	43.7	46.1
3125	15.6	0.427	0.0	18.7	88.1	46.8	66.8
3132	16.3	0.402	0.0	59.5	88.6	26.1	40.5
3135	17.7	0.384	0.0	53.3	84.9	24.2	40.6
3142	15.0	0.461	0.0	48.4	90.6	36.9	65.6
3145	14.8	0.463	0.0	47.5	92.3	36.7	68.9
3152	14.8	0.434	20.2	26.8	100.5	46.7	76.6
3155	13.8	0.450	0.0	30.3	86.8	58.4	77.5
3162	18.8	0.464	0.0	49.4	97.3	30.1	47.6
3165	20.4	0.485	0.0	42.8	92.5	32.8	52.2
3172	18.2	0.426	24.2	28.5	89.1	38.6	65.4
3175	16.8	0.445	28.9	33.8	96.1	43.8	72.9
3182	14.5	0.401	0.0	38.3	104.4	31.3	49.3
3185	13.7	0.410	0.0	35.9	92.7	33.2	54.9
3192	14.2	0.450	30.8	41.3	92.1	32.9	52.3
3195	15.1	0.440	0.0	40.2	104.5	33.1	52.4
3202	15.6	0.400	13.9	56.6	96.6	26.7	49.7
3205	15.0	0.402	15.9	58.7	97.1	31.8	55.7
3212	16.0	0.422	0.0	62.6	104.1	31.3	53.0
3215	14.5	0.422	0.0	56.6	93.1	37.5	60.7
3222	16.0	0.438	13.0	54.1	99.3	35.1	63.8
3225	17.5	0.435	0.0	53.9	114.4	32.6	53.4
3232	15.9	0.433	0.0	59.9	108.3	39.2	62.3
3235	16.5	0.447	0.0	62.7	101.9	33.2	63.7
3242	15.9	0.430	0.0	45.6	103.7	30.9	50.0
3245	14.0	0.436	0.0	48.2	99.4	33.2	52.9
3252	13.8	0.403	19.8	22.6	103.5	34.8	65.5
3255	14.3	0.422	0.0	28.4	91.5	39.7	50.9
3262	18.2	0.427	0.0	81.8	103.6	29.8	49.8
3265	19.0	0.434	0.0	85.5	109.5	27.8	50.9
3272	15.8	0.438	0.0	52.2	108.8	37.8	60.6
3275	14.6	0.443	0.0	46.2	109.7	31.1	53.7
3282	14.6	0.449	28.5	41.6	99.9	32.2	52.7
3285	15.0	0.444	0.0	41.6	111.4	30.3	49.3
3292	15.5	0.453	0.0	46.6	113.3	33.1	58.7
3295	15.6	0.470	20.0	51.4	108.5	42.2	67.4
3302	16.9	0.429	11.0	77.9	109.0	34.9	54.8
3305	16.4	0.421	0.0	71.0	112.1	36.1	56.4
3312	15.5	0.482	0.0	53.1	120.8	38.9	63.6
3315	15.7	0.481	10.0	63.0	109.4	47.0	69.7
3322	15.4	0.452	0.0	54.8	104.4	32.0	57.2
3325	15.5	0.457	14.1	51.2	111.1	39.7	62.0
3332	14.7	0.450	0.0	35.9	115.3	34.0	53.7
3335	13.8	0.455	0.0	33.7	120.2	37.7	58.4

付表-3 材端部部分横圧縮試験結果一覧

試験体番号	含水率 (%)	試験時密度 (g/cm <sup>3</sup> )	節径比 (%)	年輪傾斜角 (Deg)	曲げヤング係数 (10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	比例限度応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	5%変形時応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )
2012	14.1	0.408	0.0	10.5	66.2	27.4	38.9
2015	13.3	0.385	0.0	22.0	68.9	21.1	31.3
2022	13.6	0.402	0.0	33.4	76.3	23.9	38.2
2025	13.5	0.397	0.0	34.3	72.2	21.9	38.1
2032	15.7	0.405	30.5	2.0	74.5	28.0	38.3
2035	14.3	0.395	14.0	6.2	81.6	32.1	47.3
2042	14.0	0.424	41.4	49.7	67.1	24.2	38.6
2045	14.2	0.404	20.0	50.8	75.1	17.1	26.9
2052	13.4	0.394	0.0	34.8	87.9	18.9	27.9
2055	13.4	0.414	32.9	35.9	66.4	24.1	35.7
2062	13.7	0.396	35.7	15.6	80.7	21.9	43.4
2065	12.8	0.380	0.0	10.1	80.6	26.8	45.2
2072	13.2	0.401	0.0	53.1	91.5	20.0	36.8
2075	13.6	0.401	0.0	51.7	71.5	22.0	38.2
2082	14.0	0.402	0.0	10.5	84.8	22.0	30.2
2085	13.9	0.387	0.0	11.1	87.8	26.0	33.4
2092	14.0	0.421	14.0	36.1	85.5	22.3	37.4
2095	12.9	0.410	0.0	30.3	84.0	26.0	42.7
2102	13.2	0.402	0.0	24.1	83.9	20.2	31.4
2105	13.5	0.382	0.0	17.4	82.0	21.2	30.5
2112	12.8	0.383	0.0	0.6	96.8	27.9	42.9
2115	12.8	0.381	0.0	2.3	85.7	30.9	45.1
2122	13.4	0.391	0.0	71.7	97.1	25.9	41.8
2125	12.8	0.384	0.0	77.6	84.6	28.0	46.8
2132	13.4	0.405	13.1	89.4	93.3	17.5	38.9
2135	13.3	0.394	0.0	78.3	90.4	22.1	40.7
2142	13.9	0.435	0.0	58.7	97.7	25.2	43.8
2145	14.0	0.457	0.0	47.0	89.3	24.3	44.3
2152	13.6	0.452	0.0	50.1	90.5	21.5	38.8
2155	13.1	0.455	0.0	47.5	102.9	20.3	36.1
2162	12.9	0.408	18.9	58.7	99.4	34.8	55.0
2165	14.0	0.418	0.0	60.9	102.6	25.0	44.2
2172	12.7	0.393	0.0	62.9	103.6	18.8	37.5
2175	13.0	0.408	0.0	54.8	97.3	16.8	36.7
2182	14.9	0.466	12.9	35.0	103.3	23.9	36.3
2185	15.0	0.459	0.0	41.3	90.2	22.9	39.0
2192	13.5	0.423	0.0	40.0	94.8	19.2	31.9
2195	13.7	0.423	0.0	41.4	96.2	17.3	24.9
2202	13.6	0.461	0.0	52.1	97.2	21.0	34.7
2205	13.2	0.440	0.0	54.6	106.1	20.8	34.5
2212	15.8	0.435	19.0	50.1	102.7	19.9	37.2
2215	13.3	0.420	0.0	49.7	104.4	21.2	37.2
2222	12.8	0.409	0.0	21.8	100.1	21.9	41.7
2225	12.7	0.419	0.0	27.6	96.2	21.2	39.6
2232	13.0	0.408	0.0	22.5	99.8	24.9	36.7
2235	12.6	0.401	22.9	16.7	107.3	22.9	36.8
2242	13.2	0.414	33.9	35.1	101.3	22.1	35.6
2245	13.0	0.413	0.0	23.0	103.7	27.9	40.0
2252	12.7	0.441	0.0	77.3	108.2	26.1	45.5
2255	13.1	0.464	16.0	71.2	107.8	29.8	46.9
2262	14.1	0.435	0.0	33.2	102.7	19.9	34.1
2265	14.1	0.442	11.0	32.6	112.0	21.9	34.6
2272	13.9	0.427	0.0	29.1	102.7	21.9	32.9
2275	15.5	0.416	0.0	24.2	99.2	22.1	31.2
2282	12.8	0.403	31.9	4.5	115.3	25.9	40.9
2285	12.9	0.408	0.0	8.8	106.7	26.0	41.5
2292	16.0	0.431	0.0	40.0	108.2	28.0	47.6
2295	14.2	0.423	0.0	43.7	108.2	18.0	28.1
2302	12.8	0.419	32.6	28.3	123.8	24.8	38.0
2305	12.9	0.431	0.0	19.3	103.3	23.9	40.7
2312	12.9	0.454	0.0	49.8	118.4	21.0	40.0
2315	13.1	0.440	0.0	47.2	116.2	21.9	37.2
2322	13.3	0.433	0.0	49.7	119.4	23.1	39.3
2325	13.6	0.435	0.0	48.3	118.2	21.0	35.7
2332	12.6	0.443	0.0	20.5	117.9	26.9	43.0
2335	12.2	0.445	12.9	22.6	112.3	35.3	49.5

## 第3章 スギ平角材の曲げ強度試験

岩手県林業技術センター

### 1 はじめに

スギ平角材について、実大材の強度データの蓄積を図ることを目的とし、新JAS（針葉樹の構造用製材の日本農林規格）に従って区分した各等級ごとの曲げ強度性能を前年に引き続き調査した。試験材は岩手県の南東部にあたる気仙地方産のもので、またこの地域はスギ材の銘柄化を推進しており、また伝統的な在来軸組工法が発達している地域でもある。

製材品の非破壊検査により木材の強度を推定する手法で、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。

### 2 試験方法

#### 2.1 供試材

供試材は陸前高田市のスギ林分から末口径27～41cm、材長4m材の81本の丸太を採材し、供試材としたが、同一の林分の材ではなく、同じ市内の2つの林分からの材が混入していた。

丸太の形質の調査として直径、年輪数等の測定後、縦振動法により丸太の動的ヤング係数を測定し、民間の製材工場で断面寸法12×24cmの平角材を製材した。丸太の形質と動的ヤング係数の測定等もその製材工場の土場で行った。

#### 2.2 乾燥

前年度は天然乾燥を行い、一部の材で蒸気式乾燥により仕上がり含水率30%を目標に人工乾燥を行ったが、試験期間の関係で乾燥が不十分だったことから、本年度は直接人工乾燥を行った。乾燥室の容量の関係から蒸気式人工乾燥装置で35本ずつ2回転で計70本を、下記のスケジュールにより目標含水率20%として乾燥した。

残る10本は熱板減圧乾燥装置で乾燥を行ったが、これは60℃一定に温水により加熱した熱板で試験材をはさみ、減圧乾燥するもので、乾燥時間を2週間とした。

なお試験材のうち1本を乾燥スケジュール用試験材として使用したため、強度試験用材は計80本となった。また、供試丸太の伐採は12月上旬、製材が12月下旬、人工乾燥は1月に行った。

#### 乾燥スケジュール

含水率 %	生材~40	40~30	30~25	25~20
乾球温度 °C	85	85	90	95
温度差 °C	5	7	10	15

### 2.3 材質の調査項目

試験材の含水率、試験時の密度、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。

また、各材面に現われた節について、節径が約5mm以上のものは全て測定し、「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」に準じて、単独の最大節径比と最大集中節径比を、材長方向では荷重点間と全区間に、材幅方向では材縁部と材幅中央部に区分して測定し、目視による等級区分を行った。

### 2.4 縦振動法による動的ヤング係数の計測

丸太と、製材直後の平角材の生材時及び人工乾燥終了時に、供試材を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 FTT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、縦振動法による動的ヤング係数を算出した。

### 2.5 実大材の曲げ破壊試験

実大曲げ破壊強度試験は、実大曲げ強度試験機（前川試験機製 曲げ能力20tonf）を用い荷重点間距離を130cm、支点間距離を390cmとし、三分点二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。

### 2.6 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。

MC	: 含水率 (%)
RU	: 試験時密度 (曲げ試験時の試験体全体の比重) ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
ARW	: 平均年輪幅 (mm)
nKDC	: 狭い面における荷重点間の最大単独節径比 (%)
nKDL	: 狭い面における全区間の最大単独節径比 (%)
nSKDC	: 狭い面における荷重点間の最大集中節径比 (%)
nSKDL	: 狭い面における全区間の最大集中節径比 (%)
wKDC-C	: 広い面の材幅中央部における荷重点間の最大単独節径比 (%)
wKDC-E	: 広い面の材縁部における荷重点間の最大単独節径比 (%)
wKDL-C	: 広い面の材幅中央部における全区間の最大単独節径比 (%)
wKDL-E	: 広い面の材縁部における全区間の最大単独節径比 (%)
wSKDC-C	: 広い面の材幅中央部における荷重点間の最大集中節径比 (%)
wSKDC-E	: 広い面の材縁部における荷重点間の最大集中節径比 (%)
wSKDL-C	: 広い面の材幅中央部における全区間の最大集中節径比 (%)
wSKDL-E	: 広い面の材縁部における全区間の最大集中節径比 (%)
Efr-L	: 丸太の動的ヤング係数 ( $\text{tonf}/\text{cm}^2$ )
Efr-g	: 生材時の動的ヤング係数 ( $\text{tonf}/\text{cm}^2$ )
Efr-d	: 気乾時の動的ヤング係数 ( $\text{tonf}/\text{cm}^2$ )
MOE	: 全スパンにおける曲げヤング係数 ( $\text{tonf}/\text{cm}^2$ )
EL	: モーメント一定区間におけるヤング係数 ( $\text{tonf}/\text{cm}^2$ )
SPL	: 曲げ比例限強度 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )
MOR	: 曲げ強度 ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ )

### 3 試験結果

#### 3.1 丸太の形質と動的ヤング係数

供試丸太の形質と動的ヤング係数を表-1に示した。

末口側でみると、末口径の平均は31cm、年輪数は34.1、平均年輪幅は4.6mmであった。

動的ヤング係数測定時の試験材の密度は平均で $0.705\text{g}/\text{cm}^3$ 、動的ヤング係数は

66.5tonf/cm<sup>2</sup> であった。

表-1 丸太の形質と動的ヤング係数

	末口				元口			重量 Kg	周波数 f	密度 g/cm <sup>3</sup>	Efr-L tf/cm <sup>2</sup>
	材長	末口径	年輪数	年輪幅	元口径	年輪数	年輪幅				
	cm	cm	年	mm	cm	年	mm				
平均	405.2	31.0	34.1	4.6	37.7	39.0	4.9	266	374	0.705	66.5
最小	400.5	27.2	25.0	3.4	31.4	29.0	2.8	195	290	0.515	41.9
最大	413.8	41.3	43.0	6.8	55.3	63.0	7.6	486	430	0.828	96.4
標準偏差	2.1	2.6	3.2	0.6	4.3	4.3	0.7	55.8	30.1	0.066	11.8
変動係数	0.5	8.4	9.3	12.1	11.5	11.0	13.9	21.0	8.0	9.3	17.7
試験体数	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81

### 3. 2 節径比

試験材の材面に現れた節径比の測定結果を表-2に、平角材断面の短辺方向の狭い材面と、長辺方向の広い材面に区別して示した。

最大単独節径比の測定結果を全供試材の平均値で示すと、狭い材面の荷重点間で9.9%、全区間で15.6%、最大集中節径比は荷重点間と全区間ではそれぞれ10.6、18.2%の値を示した。

同じく、広い面での最大単独節径比の平均値は、材縁部の荷重点間と全区間でそれぞれ9.4、12.6%、材幅中央部の荷重点間と全区間で10.5、11.8%の値を示した。

最大集中節径比は材縁部の荷重点間と全区間で10.5、15.8%、材幅中央部の荷重点間と全区間で14.7、18.8%の値を示した。

表-2-1 平角材の狭い材面における節径比

	最大単独節径比		最大集中節径比	
	中央1/3	全区間	中央1/3	全区間
	nKDC	nKDL	nSKDC	nSKDL
	%	%	%	%
平均	9.9	15.6	10.6	18.2
最小	0.0	0.0	0.0	0.0
最大	42.2	42.2	42.2	53.1
標準偏差	10.23	9.93	10.84	12.62
変動係数	103.1	63.8	102.3	69.4
試験体数	80	80	80	80

表-2-2 平角材の広い材面における節径比

	材縁部				材幅中央部				最大集中節径比
	最大単独節径比		最大集中節径比		最大単独節径比		最大集中節径比		
	中央1/3	全区間	中央1/3	全区間	中央1/3	全区間	中央1/3	全区間	全区間
	wKDC-E	wKDL-E	wSKDC-E	wSKDL-E	wKDC-C	wKDL-C	wSKDC-C	wSKDL-C	wSKDL-L
	%	%	%	%	%	%	%	%	
平均	9.4	13.7	10.5	15.8	10.5	11.8	14.7	18.8	22.9
最小	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	6.2	5.0	8.7	6.6
最大	22.3	22.5	36.4	43.4	33.3	33.3	33.3	34.0	43.4
標準偏差	5.08	4.72	6.35	6.69	3.93	3.96	5.04	4.98	6.2
変動係数	53.8	34.5	60.4	42.4	37.6	33.4	34.2	26.4	27.1
試験体数	80	80	80	80	80	80	80	80	80

### 3.3 試験材の材質

曲げ試験時の密度、含水率、平均年輪幅の測定結果を表-3に示した。また、それぞれの出現分布を図1~3に示した。

試験時の含水率の平均は14.5%であった。最も含水率が高い材では27%、逆に含水率が最も低い材では8.8%とかなりのバラツキがあった。乾燥法が2種類、また蒸気式人工乾燥も2回に分けて実施しているうえ、乾燥性の悪い黒心材も一部混じっていたため、必ずしも仕上がり含水率は均一ではなかったが、それぞれを区分しないでデータをとりまとめることとした。

曲げ強度試験時の供試材の密度は0.310~0.477g/cm<sup>3</sup>の範囲で、平均値は0.374であった。

平均年輪幅は3.44mm ~8.40mmの範囲で、平均値は5.09mmの値を示した。試験材の産地である気仙地方は、岩手県でも比較的温暖な気候でスギの成長が良い地方として知られており、今回の測定結果もそれを裏付けるものとなった。

表-3 強度性能

	MC	RU	ARW	Efr-L	Efr-g	Efr-d	MOE	EL	MOR	SPL
	%	g/cm <sup>3</sup>	mm	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
平均	14.5	0.374	5.09	66.5	66.6	75.1	78.4	82.9	363	287
最小	8.8	0.310	3.44	41.9	35.6	41.2	42.7	40.0	159	135
最大	27.4	0.477	8.40	96.4	94.3	107.7	117.3	124.1	605	425
標準偏差	4.7	0.032	0.98	11.8	12.2	13.8	14.2	16.0	94.3	58.7
変動係数	32.5	8.5	19.3	17.8	18.3	18.4	18.1	19.3	26.0	20.4
下限値									208	
試験体数	80	80	79	81	81	80	78	78	78	78

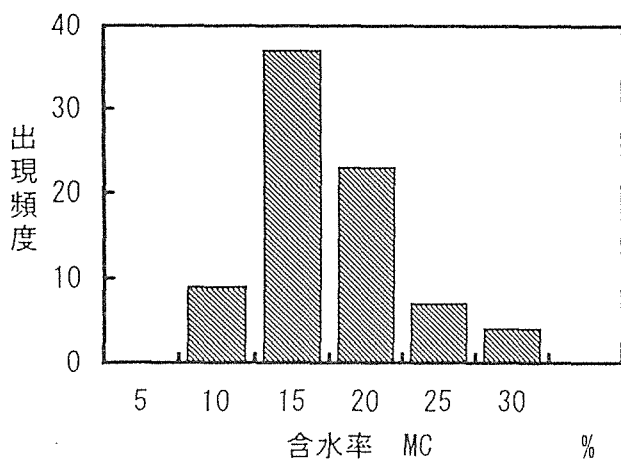


図-1 含水率の出現分布

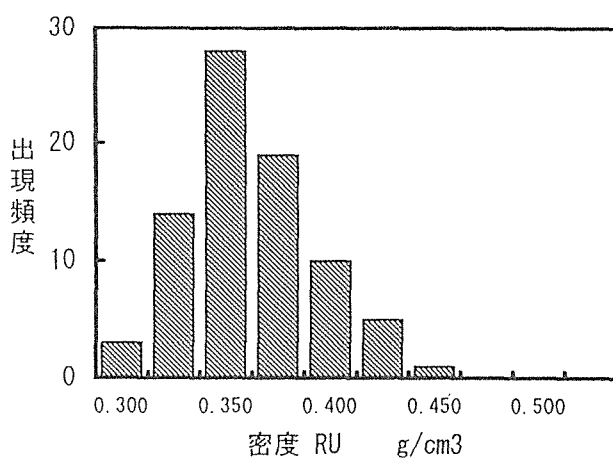


図-2 密度の出現分布

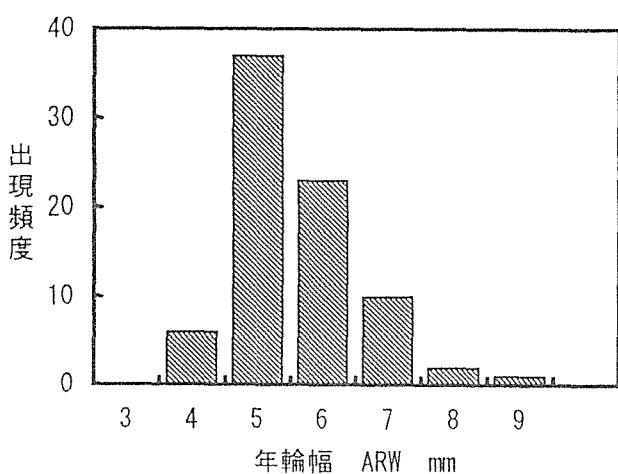


図-3 年輪幅の出現分布

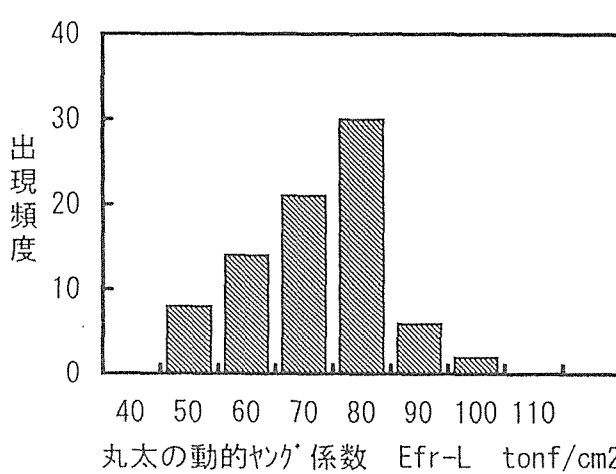


図-4 丸太の動的ヤング係数の出現分布

### 3.4 動的ヤング係数

丸太の動的ヤング係数と、製材後の生材時及び人工乾燥後の試験材の動的ヤング係数の測定結果を表-3に、その出現分布を図-4~6に、また正規化順位曲線を図-7に示した。

測定値の全供試材の平均値を示すと丸太の動的ヤング係数は66.5tonf/cm<sup>2</sup>、製材後の生材時は66.6tonf/cm<sup>2</sup>、人工乾燥後は75.1tonf/cm<sup>2</sup>、の値を示した。

丸太と生材時の値はほぼ同じで、乾燥により動的ヤング係数の値は約13%増加した。



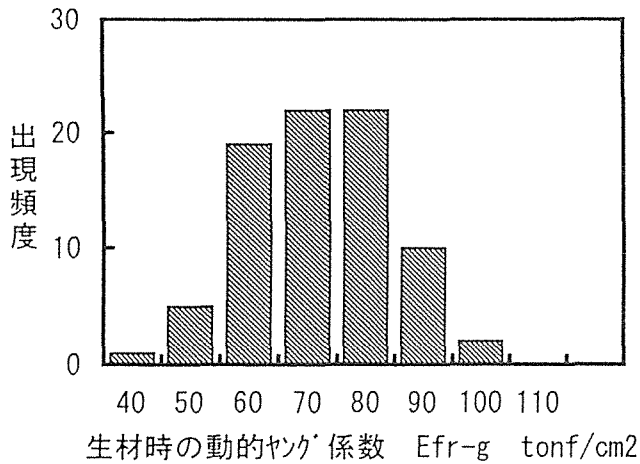


図-5 生材時の動的ヤング係数の出現分布

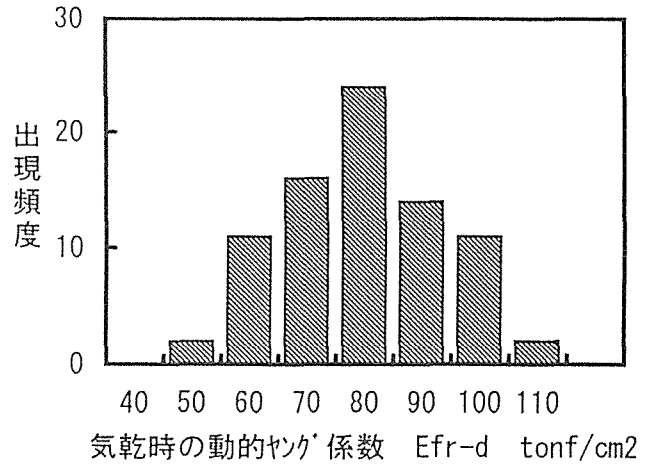


図-6 気乾時の動的ヤング係数の出現分布

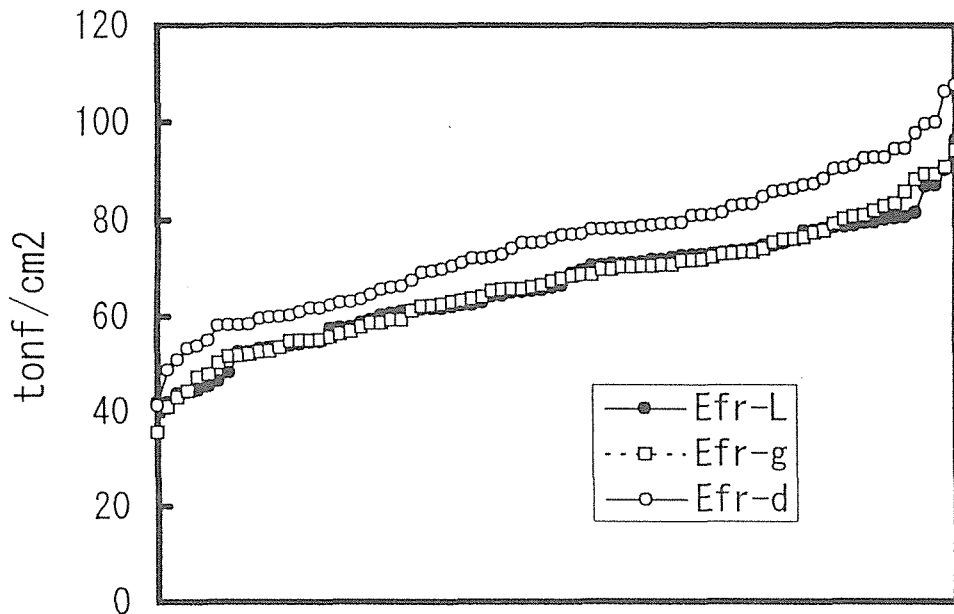


図-7 動的ヤング係数の正規化順位曲線

### 3. 5 強度性能

曲げ強度試験結果を表-3に示した。曲げ強度と曲げヤング係数の出現分布を図-8～9に、正規化順位曲線を図10～11に示した。

曲げ強度は159～605kgf/cm<sup>2</sup>の範囲で平均値は363kgf/cm<sup>2</sup>であった。

曲げヤング係数は42.7～117.3tonf/cm<sup>2</sup>の範囲で平均値は78.4tonf/cm<sup>2</sup>であった。

変動係数は曲げ強度が26%、曲げヤング係数が18.1%である。

曲げ強度の極端に低かった材には材縁部に入り皮などの組織の傷害が認められた

材もあった。

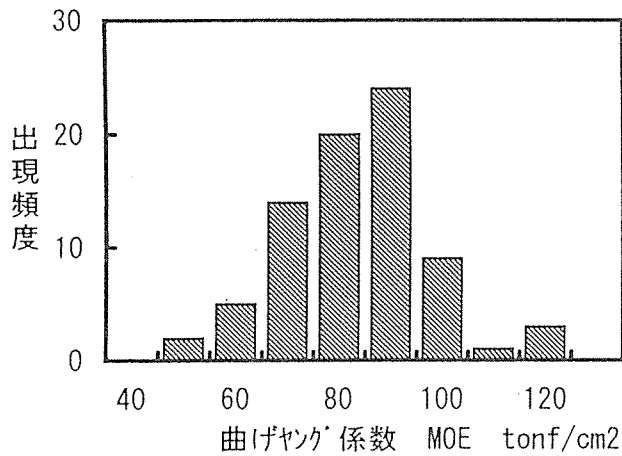


図-8 曲げヤング係数の出現分布

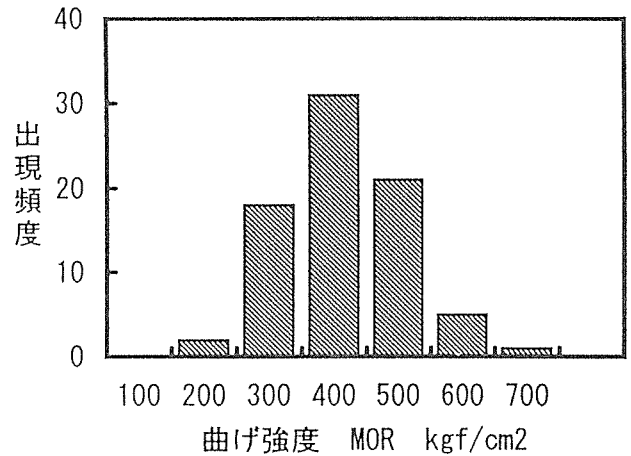


図-9 曲げ強度の出現分布

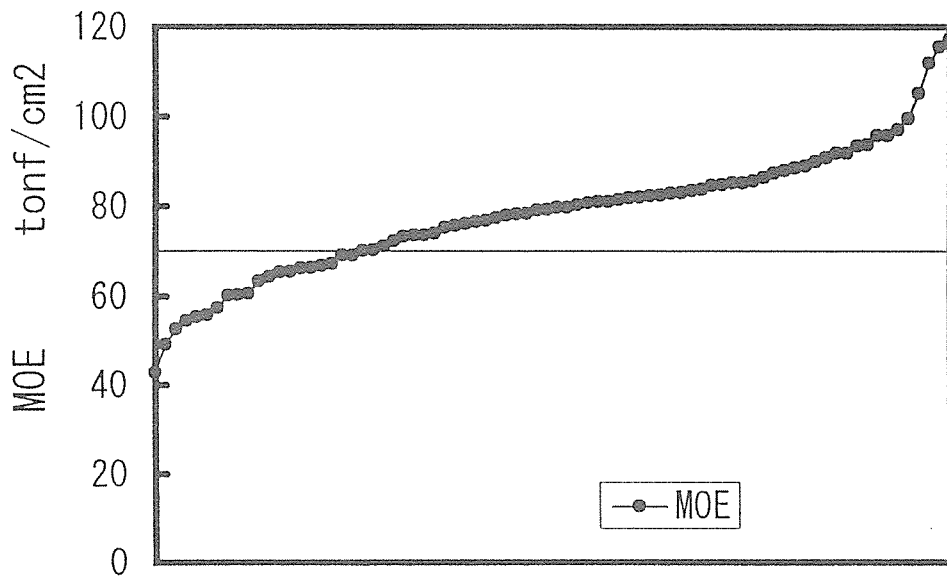


図-10 曲げヤング係数の正規化順位曲線

### 3.6 材質と強度との関連性

平均年輪幅、密度及び強度性能間の相関係数を表-4に示した。またそれぞれの関係を図-12~24に示した。

曲げ強度と試験時の密度との相関係数は0.215、平均年輪幅とは-0.530、曲げヤング係数とはそれぞれ0.314、-0.556と比較的高い相関関係が認められた。

曲げヤング係数について、縦振動法により求めた動的ヤング係数と値と曲げ破壊試験時の全スパンの曲げヤング係数には、0.8~0.9の高い相関関係が認められた。

動的ヤング係数と曲げ強度との相関係数は0.55~0.58、全スパンの曲げヤング係数と曲げ強度では0.753の相関係数を示した。

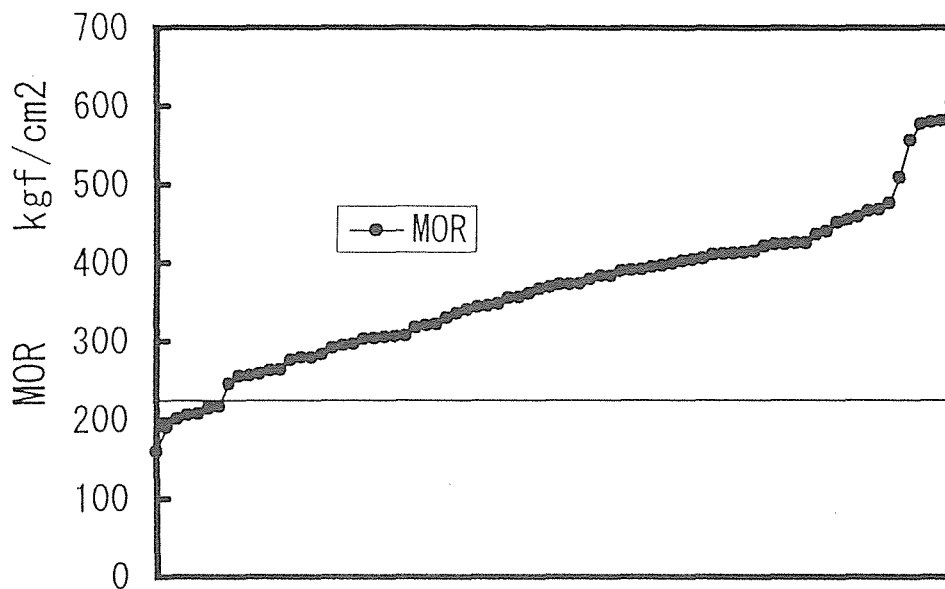


図-11 曲げ強度の正規化順位曲線

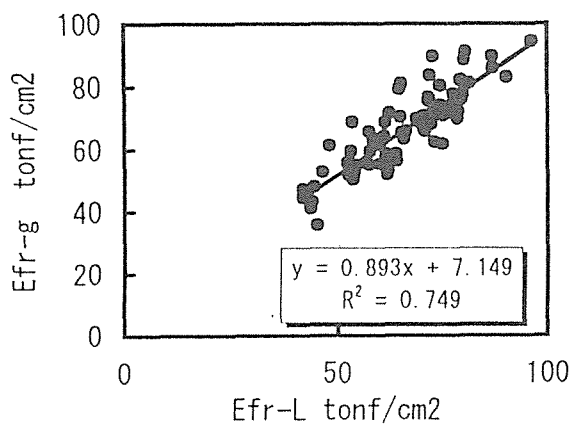


図-12 丸太と製材品の動的ヤング係数の関係

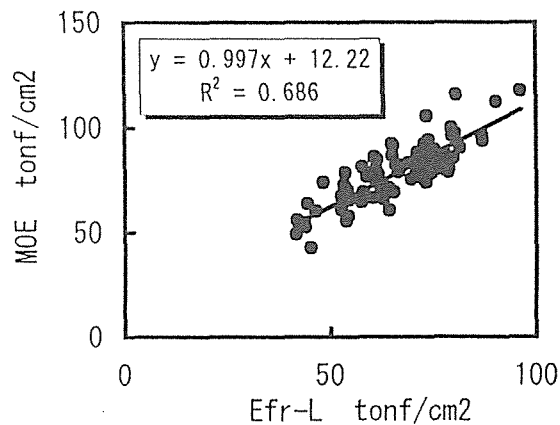


図-13 丸太の動的ヤング係数と曲げヤング係数の関係

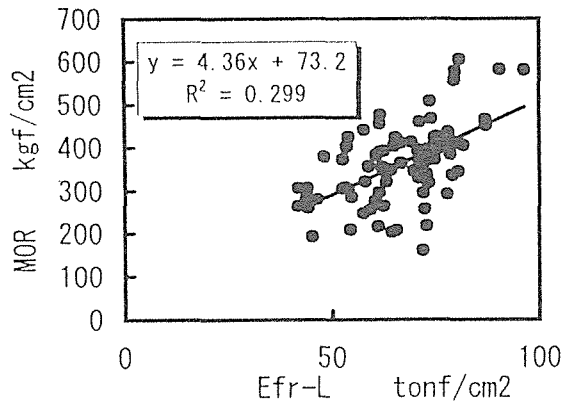


図-14 丸太の動的ヤング係数と  
曲げ強度の関係

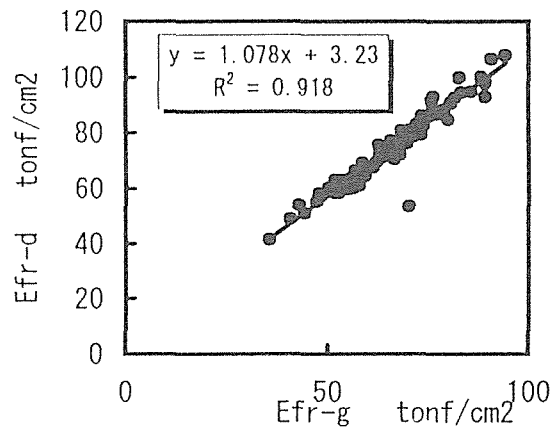


図-15 生材時と気乾時の動的ヤ  
ング係数の関係

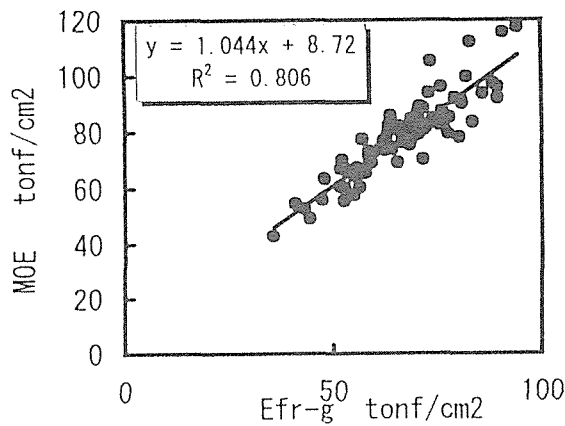


図-16 生材時の動的ヤング係数  
と曲げヤング係数の関係

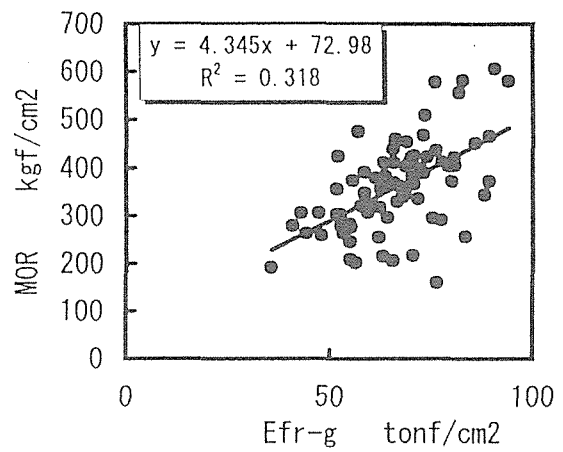


図-17 生材時の動的ヤング係数  
と曲げ強度の関係

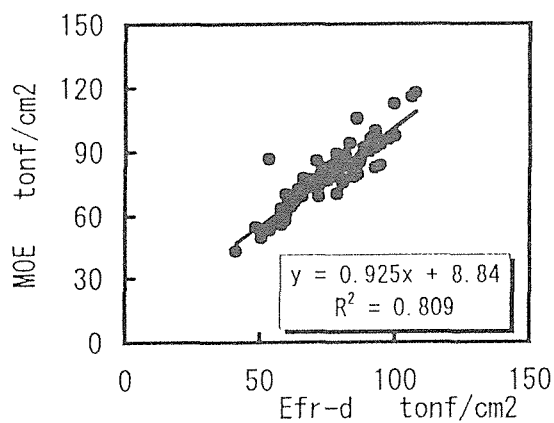


図-18 気乾時の動的ヤング係数  
と曲げヤング係数の関係

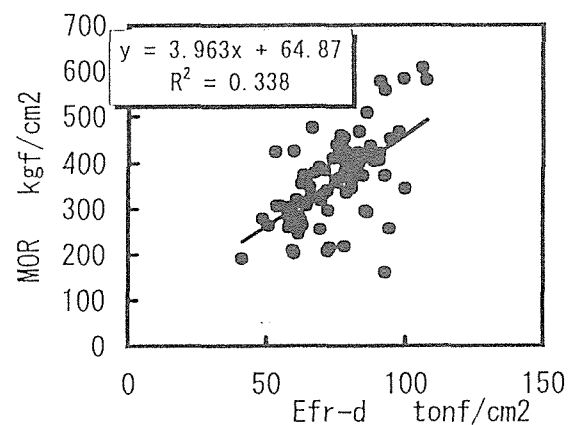


図-19 気乾時の動的ヤング係数  
と曲げ強度の関係

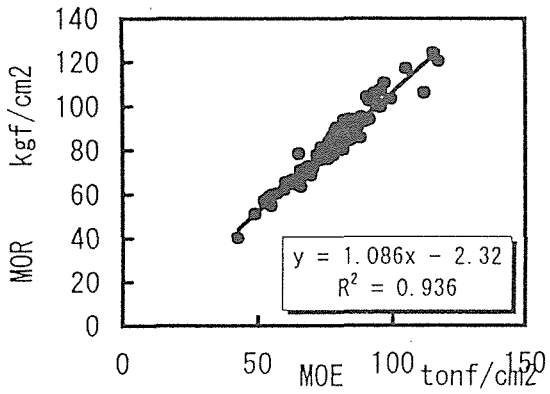


図-20 曲げヤング係数と曲げ強度の関係

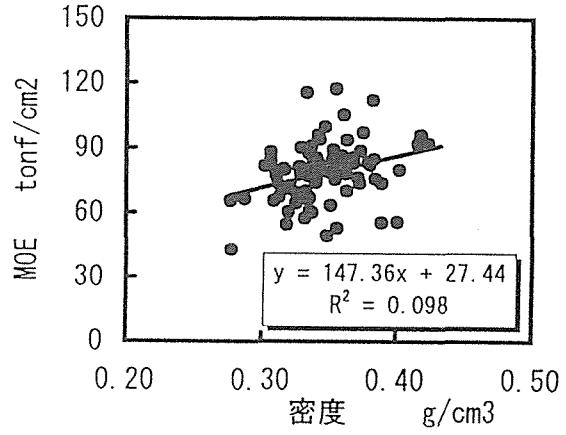


図-21 密度と曲げヤング係数の関係

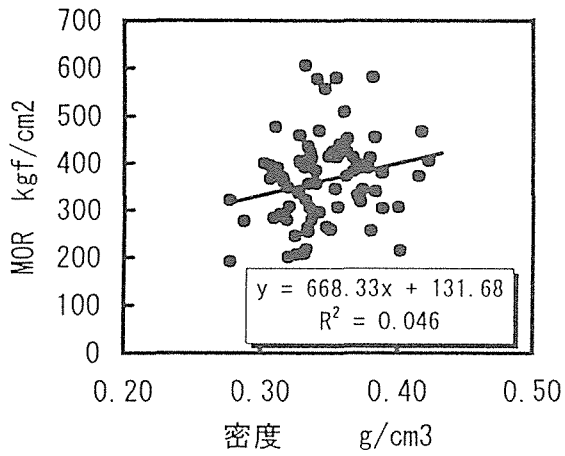


図-22 密度と曲げ強度の関係

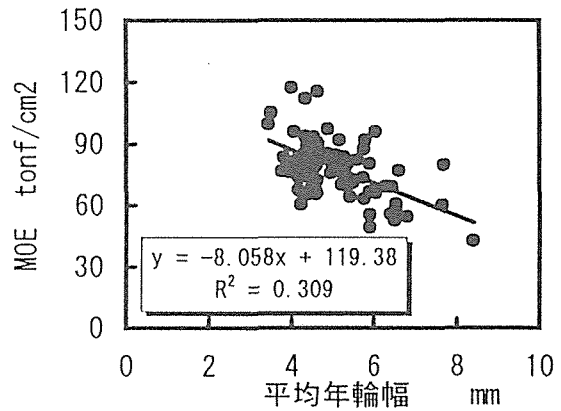


図-23 平均年輪幅と曲げヤング係数の関係

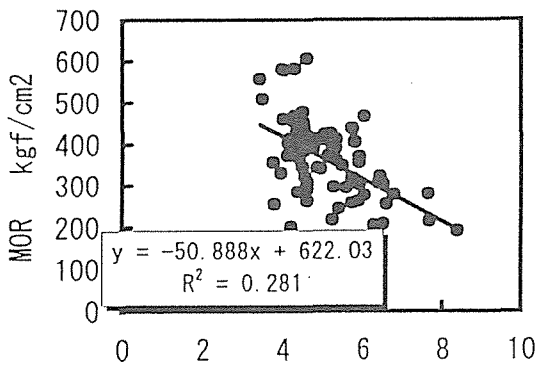


図-24 平均年輪幅と曲げ強度の関係

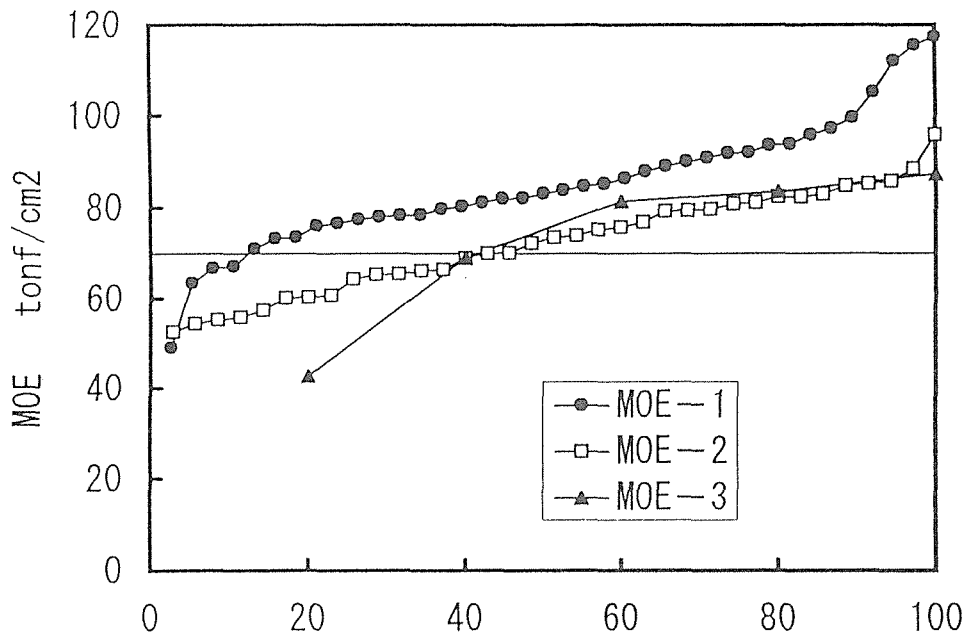


図-25 等級別曲げヤング係数の正規化順位曲線

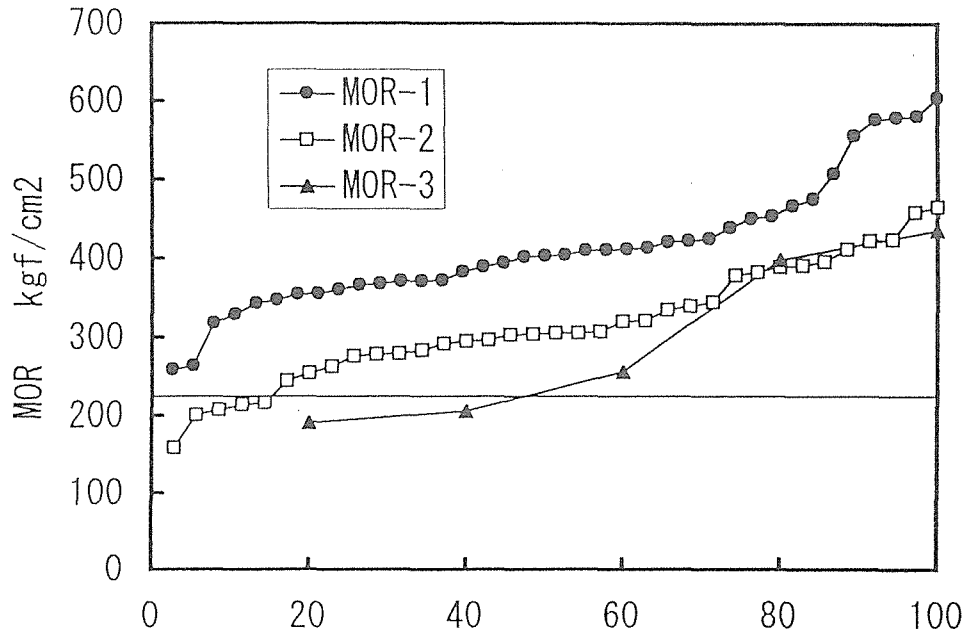


図-26 等級別曲げ強度の正規化順位曲線

表－4 強度性能間及び強度性能と材質の関係

	Efr-L	Efr-g	Efr-d	MOE	EL	MOR	SPL	RU	MC	ARW
Efr-L	1.000									
Efr-g	0.866	1.000								
Efr-d	0.855	0.959	1.000							
MOE	0.828	0.898	0.900	1.000						
EL	0.790	0.887	0.891	0.968	1.000					
MOR	0.547	0.564	0.582	0.753	0.695	1.000				
SPL	0.496	0.456	0.465	0.584	0.544	0.861	1.000			
RU	0.132	0.289	0.254	0.314	0.285	0.215	0.105	1.000		
MC	0.019	0.010	-0.025	-0.108	-0.110	-0.216	-0.280	0.381	1.000	
ARW	-0.482	-0.525	-0.510	-0.556	-0.528	-0.530	-0.475	-0.035	0.128	1.000

### 3. 7 節径比と強度性能の関係

材縁及び中央部の節径比と、強度性能の相関係数を表－5に示した。

スギの場合、節径比と曲げ強度との相関は比較的低いとされているが、今回の全供試材について相関係数をみると狭い材面での全区間の最大単独節径比と曲げ強度は-0.456、全区間の最大集中節径比と曲げ強度は-0.372の相関係数を示した。

広い材面での節径比と、曲げ強度の相関係数では強度に影響すると推定されるが、材縁部の全区間の最大単独節径比と曲げ強度は-0.490、全区間の最大集中節径比と曲げ強度は-0.367の相関係数を示した。材幅中央部の節径比と曲げ強度の相関関係は材縁部とのそれに比較してやや低い傾向を示した。

表－5 節径比と強度性能の関係

	Efr-L	Efr-g	Efr-d	MOE	EL	MOR	SPL
nKDC	-0.075	-0.078	-0.070	-0.254	-0.259	-0.482	-0.440
nKDL	-0.225	-0.203	-0.186	-0.314	-0.327	-0.456	-0.447
nSKDC	-0.084	-0.080	-0.072	-0.248	-0.253	-0.475	-0.431
nSKDL	-0.235	-0.203	-0.179	-0.251	-0.273	-0.372	-0.409
wKDC-E	-0.141	-0.195	-0.171	-0.236	-0.225	-0.237	-0.142
wKDL-E	-0.209	-0.254	-0.239	-0.357	-0.335	-0.490	-0.385
wSKDC-E	-0.098	-0.155	-0.140	-0.219	-0.201	-0.187	-0.114
wSKDL-E	-0.080	-0.155	-0.136	-0.250	-0.239	-0.367	-0.328
wKDC-C	-0.099	-0.209	-0.217	-0.285	-0.294	-0.346	-0.258
wKDL-C	-0.150	-0.236	-0.280	-0.337	-0.332	-0.377	-0.267
wSKDC-C	-0.078	-0.281	-0.254	-0.285	-0.332	-0.311	-0.224
wSKDL-C	-0.129	-0.264	-0.293	-0.329	-0.343	-0.317	-0.189
wSKDL-L	-0.236	-0.326	-0.336	-0.411	-0.419	-0.487	-0.388

曲げヤング係数については、曲げ強度ほど節径比との相関係数は高くはなく、狭い材面及び広い材面での材縁部及び材幅中央部の節径比と曲げ強度性能との相関係数はいずれも0.2~0.3の範囲の値を示した。

### 3. 8 目視等級区分による曲げ強度

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されている。

節径比の測定値により、それぞれの甲種構造用IIの等級区分の基準値に従い、供試材を等級区分した結果を年輪幅による等級区分と合わせて表-6に示した。

表-6 等級区分結果

等級	試 験 体 数 比 率 %													
	総合	ARW	nKDC	nKDL	nSKDC	nSKDL	wKDC-E	wKDL-E	wSKDC-E	wSKDL-E	wKDC-C	wKDL-C	wSKDC-C	wSKDL-C
1	48	83	86	70	95	85	89	63	95	80	99	99	100	100
2	46	15	11	26	5	15	11	38	5	19	1	1	0	0
3	6	1	3	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

総合等級で1級に区分された試験材の比率は48%で2級材の46%とほぼ同じであった。年輪幅で6mm以下で1級に区分された材は83%であった。

節径比では狭い材面での最大単独節径比で1級材の比率が70%、広い材面では材縁部での最大単独節径比で1級が63%と低かったものの他の節径比での等級区分の結果はほとんど1級材格付けの材の比率が90%を越えていた。

甲種構造用IIの等級区分による各等級の強度性能を表-7に示した。またその正規化順位曲線を図-25~26に示した

1級38本、2級37本、3級5本に区分された等級別の全スパン及びモーメント一定区間の曲げヤング係数を平均値で見ると、1級2級及び3級でそれぞれ84.9、

72.2、72.8tonf/cm<sup>2</sup>の値を示し、3級材の本数が少ないが、2級と3級材の曲げヤング係数の等級に対応した格差は認められなかった。

曲げ強度を、平均値で示すと1級2級及び3級でそれぞれ415、316、297kgf/cm<sup>2</sup>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スギの長期許容応力度値から計算される材料強度は、225kgf/cm<sup>2</sup>であり、本試験における曲げ強度試験結果より信頼下限



表-7 甲種構造用Ⅱ 等級別強度性能

総合 等級	MC %	RU g/cm <sup>3</sup>	ARW mm	Efr-L tf/cm <sup>2</sup>	Efr-g tf/cm <sup>2</sup>	Efr-d tf/cm <sup>2</sup>	MOE tf/cm <sup>2</sup>	EL tf/cm <sup>2</sup>	MOR kgf/cm <sup>2</sup>	SPL kgf/cm <sup>2</sup>	
1級	平均	13.6	0.349	4.71	69.7	70.5	79.6	84.9	90.0	415	319
	最小	8.8	0.307	3.44	41.9	44.3	50.8	49.1	50.9	259	228
	最大	24.7	0.423	5.91	96.4	94.3	107.7	117.3	124.1	605	425
	標準偏差	3.8	0.027	0.68	11.3	11.6	13.3	13.8	15.4	81.3	44.2
	変動係数	27.9	7.9	14.5	16.3	16.5	16.7	16.2	17.2	19.6	13.9
	下限値									281	
	試験体数	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
2級	平均	16.3	0.349	5.41	62.8	62.6	70.4	72.2	76.3	316	258
	最小	8.9	0.277	4.03	41.9	40.9	48.8	52.6	54.6	159	135
	最大	27.4	0.432	7.69	87.0	89.5	97.8	95.8	99.3	465	364
	標準偏差	5.1	0.034	0.97	11.3	10.8	11.8	10.9	12.3	73.9	52.3
	変動係数	31.6	9.7	17.9	18.0	17.3	16.7	15.1	16.1	23.4	20.3
	下限値									195	
	試験体数	37	37	36	37	37	37	35	35	35	35
3級	平均	12.3	0.324	5.72	67.4	66.6	75.7	72.8	75.9	297	250
	最小	9.2	0.278	3.81	45.3	35.6	41.2	42.7	40.0	191	180
	最大	18.3	0.381	8.40	77.9	83.5	94.5	87.3	92.7	435	359
	標準偏差	3.2	0.035	1.62	11.8	16.5	18.7	16.2	19.2	100.7	69.6
	変動係数	26.3	10.6	28.4	17.6	24.8	24.7	22.3	25.3	33.9	27.8
	下限値									131	
	試験体数	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

値（平均値－1.645 ×標準偏差値）を計算すると、それぞれ281、195、131kgf/cm<sup>2</sup>であり、等級に対応した強度性能の格差が認められるが、2、3級材ではスギ材の材料強度の基準値225kgf/cm<sup>2</sup>を下回った。

#### 4 まとめ

スギ平角材について、目視等級区分による上位の等級材の曲げ強度は材料強度を満足する値を示した。しかし下位の等級区分材は曲げヤング係数の平均は基準値の70tonf/cm<sup>2</sup>を越えたものの、曲げ強度では下限値が材料強度を満足するものではなかった。

平均年輪幅が6mmに近く、比較的生長の良好な産地のスギであったためとも考えられるが、丸太段階での動的ヤング係数と年輪幅などの目視による等級区分のより有効な組み合わせにより、梁材などの構造用部材としての利用適正を予め予測することにより、特に下位等級区分材の別な用途への利用を図る必要がある。

付表一 1 - 1 丸太の形質と動的ヤング係数

No	材長 cm	末口			元口			重量 Kg	周波数 f	密度 g/cm <sup>3</sup>	Efr-L tf/cm <sup>2</sup>
		末口径 cm	年輪数 年	年輪幅 mm	元口径 cm	年輪数 年	年輪幅 mm				
1	400.5	30.5	37	4.12	37.4	42	4.45	279	370.0	0.770	69.0
2	405.0	29.5	34	4.34	35.5	39	4.55	225	385.0	0.670	66.5
3	405.0	32.0	31	5.16	37.2	36	5.17	233	375.0	0.612	57.6
4	404.2	27.4	33	4.15	34.6	40	4.33	205	405.0	0.672	73.5
5	403.5	28.9	37	3.91	33.9	41	4.13	228	405.0	0.730	79.5
6	404.5	30.6	36	4.25	37.6	41	4.59	254	405.0	0.688	75.3
7	404.8	28.0	32	4.38	32.8	36	4.56	211	385.0	0.718	71.2
8	405.2	29.0	31	4.68	36.0	36	5.00	214	380.0	0.637	61.6
9	403.4	33.1	38	4.36	41.6	42	4.95	304	380.0	0.688	66.0
10	405.5	28.3	33	4.29	31.9	37	4.31	212	400.0	0.735	78.9
11	405.7	35.0	35	5.00	55.3	43	6.43	383	335.0	0.590	44.5
12	402.5	31.0	36	4.31	39.3	42	4.68	236	395.0	0.604	62.3
13	405.0	28.0	34	4.12	31.6	38	4.16	196	390.0	0.694	70.7
14	405.0	31.2	36	4.33	36.0	41	4.39	251	390.0	0.699	71.2
15	405.7	30.6	34	4.50	41.9	41	5.11	289	322.5	0.690	48.2
16	404.5	27.7	34	4.07	32.0	38	4.21	221	430.0	0.781	96.4
17	404.8	32.6	37	4.41	42.8	39	5.49	345	375.0	0.763	71.8
18	404.8	29.5	34	4.34	33.0	38	4.34	228	390.0	0.734	74.7
19	404.0	32.4	36	4.50	41.0	41	5.00	298	375.0	0.697	65.3
20	404.5	34.9	37	4.72	45.5	43	5.29	374	300.0	0.728	43.8
21	405.5	30.8	34	4.53	40.0	38	5.26	270	345.0	0.677	54.0
22	403.5	33.1	35	4.73	39.9	41	4.87	280	370.0	0.663	60.3
23	406.5	32.6	36	4.53	36.8	40	4.60	266	410.0	0.692	78.5
24	408.6	34.8	33	5.27	40.8	37	5.51	340	360.0	0.741	65.5
25	404.5	33.1	35	4.73	40.2	39	5.15	254	395.0	0.595	62.0
26	404.0	33.5	31	5.40	37.8	35	5.40	297	385.0	0.736	72.7
27	403.0	28.6	35	4.09	34.7	39	4.45	211	365.0	0.665	58.8
28	401.6	29.5	33	4.47	34.8	37	4.70	256	325.0	0.785	54.6
29	404.2	29.7	27	5.50	33.3	31	5.37	241	375.0	0.765	71.7
30	404.4	29.0	32	4.53	32.6	39	4.18	237	415.0	0.787	90.4
31	405.0	28.2	33	4.27	39.4	37	5.32	272	360.0	0.748	64.9
32	406.5	27.2	31	4.39	33.7	36	4.68	244	335.0	0.824	62.4
33	404.5	28.7	36	3.99	32.4	40	4.05	226	395.0	0.762	79.4
34	401.3	28.4	34	4.18	35.8	39	4.59	228	365.0	0.702	61.5
35	404.6	34.0	37	4.59	40.5	42	4.82	314	385.0	0.712	70.5
36	405.0	27.6	31	4.45	32.0	34	4.71	213	380.0	0.754	72.9
37	403.0	31.9	37	4.31	36.7	42	4.37	257	400.0	0.690	73.2
38	404.8	30.9	34	4.54	33.8	38	4.45	249	400.0	0.748	80.1
39	403.5	31.5	37	4.26	37.8	42	4.50	261	375.0	0.686	64.1
40	406.7	30.3	31	4.89	34.8	36	4.83	238	405.0	0.703	77.9
41	404.2	32.3	37	4.36	43.0	41	5.24	321	370.0	0.713	65.1
42	403.0	33.0	35	4.71	40.4	41	4.93	300	390.0	0.704	71.0
43	405.5	27.8	34	4.09	31.4	37	4.24	199	385.0	0.713	70.9
44	404.0	35.1	38	4.62	41.5	42	4.94	320	405.0	0.688	75.1
45	406.8	28.3	33	4.29	35.5	37	4.80	219	340.0	0.674	52.6

付表-1-2 丸太の形質と動的ヤング係数

No	材長 cm	末口			元口			重量 Kg	周波数 f	密度 g/cm <sup>3</sup>	Efr-L tf/cm <sup>2</sup>
		末口径 cm	年輪数 年	年輪幅 mm	元口径 cm	年輪数 年	年輪幅 mm				
46	403.5	31.0	34	4.56	35.0	38	4.61	267	390.0	0.774	78.2
47	405.0	28.5	32	4.45	32.9	35	4.70	195	425.0	0.650	78.7
48	404.1	29.8	37	4.03	36.8	42	4.38	235	360.0	0.668	57.7
49	406.0	30.3	35	4.33	36.5	41	4.45	262	350.0	0.737	60.7
50	404.5	30.2	32	4.72	34.3	36	4.76	256	410.0	0.775	87.0
51	405.5	32.5	37	4.39	39.4	43	4.58	314	380.0	0.763	73.9
52	406.5	32.4	36	4.50	41.8	41	5.10	291	360.0	0.662	57.9
53	404.5	30.5	32	4.77	35.8	37	4.84	275	320.0	0.788	53.9
54	404.3	36.7	37	4.96	43.7	42	5.20	396	345.0	0.772	61.3
55	405.3	29.0	33	4.39	32.3	38	4.25	237	405.0	0.793	87.2
56	405.8	33.1	36	4.60	39.6	42	4.71	282	370.0	0.670	61.6
57	404.6	33.0	36	4.58	43.1	41	5.26	381	290.0	0.828	46.5
58	405.0	28.8	36	4.00	35.9	40	4.49	216	430.0	0.649	80.3
59	404.3	33.0	37	4.46	39.2	33	5.94	213	395.0	0.515	53.6
60	404.2	34.2	36	4.75	44.5	40	5.56	363	385.0	0.738	73.0
61	404.0	29.7	34	4.37	38.6	41	4.71	266	335.0	0.719	53.7
62	404.7	28.0	31	4.52	33.0	35	4.71	220	405.0	0.744	81.6
63	405.0	31.0	35	4.43	39.0	39	5.00	266	420.0	0.683	80.6
64	405.0	27.5	35	3.93	34.6	40	4.33	250	370.0	0.815	74.7
65	407.0	41.3	37	5.58	46.9	42	5.58	486	340.0	0.782	61.1
66	402.2	30.7	35	4.39	40.5	41	4.94	306	325.0	0.764	53.3
67	406.2	32.0	32	5.00	36.5	37	4.93	275	375.0	0.735	69.6
68	403.1	28.0	27	5.19	36.5	37	4.93	203	365.0	0.616	54.5
69	411.0	29.2	43	3.40	35.3	63	2.80	217	380.0	0.646	64.4
70	406.4	32.8	33	4.97	37.7	39	4.83	293	395.0	0.739	77.7
71	407.4	29.2	35	4.17	33.9	38	4.46	260	365.0	0.816	73.7
72	412.0	29.4	39	3.77	34.4	40	4.30	221	395.0	0.671	72.6
73	406.0	29.0	25	5.80	35.3	29	6.09	199	360.0	0.604	52.6
74	403.0	34.0	27	6.30	47.0	31	7.58	297	332.5	0.572	41.9
75	409.7	33.3	28	5.95	40.5	32	6.33	275	320.0	0.628	44.0
76	408.5	34.1	25	6.82	40.0	31	6.45	261	335.0	0.593	45.3
77	409.0	31.6	33	4.79	33.6	38	4.42	218	380.0	0.639	63.0
78	407.5	29.8	27	5.52	38.7	30	6.45	213	330.0	0.567	41.9
79	413.8	30.2	38	3.97	35.1	45	3.90	268	375.0	0.774	76.0
80	406.5	32.2	36	4.47	38.5	44	4.38	248	415.0	0.622	72.2
81	405.0	37.7	34	5.54	46.9	40	5.86	436	340.0	0.766	59.3
平均	405.2	31.0	34.1	4.6	37.7	39.0	4.9	266.2	374.1	0.705	66.5
最小	400.5	27.2	25.0	3.4	31.4	29.0	2.8	195	290.0	0.515	41.9
最大	413.8	41.3	43.0	6.8	55.3	63.0	7.6	486	430.0	0.828	96.4
標準偏差	2.1	2.6	3.2	0.6	4.3	4.3	0.7	55.8	30.1	0.066	11.8
変動係数	0.5	8.4	9.3	12.1	11.5	11.0	13.9	21.0	8.0	9.3	17.7
試験体数	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81

付表－２－１ 節径比の測定結果

No	nKDC %	nKDL %	nSKDC %	nSKDL %	wKDC-E %	wKDL-E %	wSKDC-E %	wSKDL-E %	wKDC-C %	wKDL-C %	wSKDC-C %	wSKDL-C %	wSKDL-L %
1	0.0	18.4	0.0	18.4	2.1	8.3	2.1	8.3	11.1	11.1	19.0	19.0	19.0
2	0.0	8.6	0.0	8.6	9.1	9.5	9.1	17.4	9.1	9.1	8.7	15.7	17.4
3	10.3	16.3	10.3	16.3	18.2	18.2	18.2	18.2	7.9	9.1	15.7	15.7	24.0
4	0.0	0.0	0.0	12.8	8.3	10.9	8.3	10.9	9.6	10.0	10.9	13.4	17.5
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.5	7.5	14.5	14.5	14.5
6	0.0	6.0	0.0	6.0	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	18.2	18.2
7	9.8	9.8	28.6	28.6	7.7	12.9	7.7	12.9	10.3	11.1	18.0	18.4	27.8
8	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0	7.9	0.0	7.9	8.3	8.3	12.5	15.8	22.1
9	0.0	17.0	0.0	17.0	14.2	14.2	14.2	14.2	10.4	12.9	18.3	18.3	21.7
10	0.0	9.2	0.0	9.2	11.5	18.5	20.9	20.9	11.1	11.1	20.9	20.9	20.9
11	18.7	18.7	18.7	18.7	14.0	14.0	14.0	14.0	10.3	11.5	17.7	18.1	23.5
12	24.8	24.8	24.8	24.8	12.8	18.2	12.8	18.2	20.7	20.7	28.5	28.9	31.4
13	0.0	5.9	0.0	5.9	0.8	6.2	0.8	6.2	10.7	10.7	20.1	20.1	20.1
14	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0	7.9	14.2	10.0	17.5	17.5
15	0.0	18.8	0.0	34.3	6.6	10.3	6.6	10.3	7.0	10.0	7.0	16.5	16.5
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	0.0	17.0	6.2	6.6	12.0	12.0	17.0
17	26.3	26.3	28.8	28.8	16.7	17.1	16.7	19.2	8.4	10.4	10.9	14.2	25.1
18	12.7	17.0	12.7	17.0	19.1	19.1	19.1	19.1	13.7	14.1	13.7	21.1	21.1
19	16.1	16.1	16.1	16.1	12.9	12.9	12.9	12.9	10.4	10.4	10.4	10.4	18.7
20	11.7	16.7	11.7	16.7	10.0	13.7	10.0	20.3	12.9	12.9	19.9	22.4	24.1
21	13.5	13.5	13.5	13.5	18.6	21.5	18.6	21.5	8.3	14.4	13.6	16.5	30.1
22	9.1	9.1	9.1	9.1	8.3	9.9	8.3	16.1	9.5	9.5	16.5	17.3	17.3
23	11.0	11.0	11.0	11.0	9.1	13.2	9.1	13.2	8.2	9.9	14.8	18.1	21.4
24	33.7	34.5	33.7	34.5	6.1	22.5	6.1	43.4	14.3	14.3	14.3	21.3	43.4
25	11.0	15.2	11.0	11.0	11.2	11.2	19.5	19.5	8.3	8.3	8.3	15.8	19.5
26	16.0	16.0	16.0	16.0	15.2	19.7	15.2	19.7	8.2	11.1	11.5	11.5	23.4
27	12.7	12.7	12.7	12.7	8.4	8.4	8.4	8.4	12.6	12.6	19.3	19.3	19.3
28	23.8	23.8	23.8	23.8	5.4	17.7	5.4	17.7	12.8	13.6	21.0	21.0	26.8
29	18.7	25.6	18.7	25.6	5.3	17.7	5.3	34.1	7.4	11.9	11.9	19.7	34.1
30	0.0	11.0	0.0	11.0	8.3	8.3	8.3	13.8	7.9	8.3	12.5	13.4	14.2
31	0.0	11.1	0.0	11.1	8.7	12.4	8.7	12.8	11.5	11.5	11.5	20.2	24.7
32	8.4	11.8	8.4	14.3	11.2	16.1	15.3	18.2	9.1	10.3	12.4	16.1	25.2
33	0.0	5.9	0.0	18.5	8.6	8.6	8.6	8.6	7.8	8.2	7.8	17.7	21.8
34	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	9.1	17.8	17.8	5.0	7.0	9.1	12.4	17.8
35	2.6	13.6	2.6	21.3	4.1	11.6	4.1	13.6	8.7	9.5	15.7	15.7	18.6
36	20.1	32.6	20.1	46.0	13.7	13.7	16.2	16.2	11.2	11.2	14.9	24.0	31.9
37	7.5	7.5	7.5	7.5	8.3	13.7	8.3	17.8	9.1	10.8	15.7	26.5	26.5
38	0.0	5.1	0.0	5.1	14.0	17.7	14.0	17.7	16.5	16.5	22.2	22.2	22.2
39	10.9	14.3	10.9	14.3	9.9	9.9	9.9	9.9	10.7	11.9	16.9	21.0	21.0
40	17.0	40.0	17.0	40.0	11.2	20.7	11.2	20.7	11.6	12.0	19.0	23.2	29.8
41	5.8	7.5	5.8	7.5	6.2	6.2	8.6	8.6	7.4	14.0	7.4	20.1	20.1
42	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	11.9	10.3	11.9	13.6	13.6	21.0	21.0	23.0
43	15.4	15.4	15.4	15.4	10.4	12.0	10.4	22.8	12.4	12.4	17.8	17.8	22.8
44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45	6.8	11.1	6.8	11.1	10.7	10.7	10.7	10.7	8.7	13.2	14.8	26.0	26.0

注) No. 44は乾燥スケジュール用試験材として使用

付表－２－２ 節径比の測定結果

No	nKDC	nKDL	nSKDC	nSKDL	wKDC-E	wKDL-E	wSKDC-E	wSKDL-E	wKDC-C	wKDL-C	wSKDC-C	wSKDL-C	wSKDL-L
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
46	16.0	22.8	16.0	22.8	6.6	14.8	6.6	22.7	14.4	14.4	22.2	22.2	23.5
47	13.3	13.3	13.3	13.3	12.0	12.4	12.0	17.0	9.1	12.4	17.8	22.3	22.3
48	0.0	3.4	0.0	3.4	6.2	9.9	6.2	9.9	9.5	12.0	15.7	15.7	17.4
49	0.0	32.0	0.0	49.7	0.0	22.0	0.0	22.0	9.6	9.6	23.7	23.7	28.2
50	19.5	13.5	19.5	16.9	17.0	17.0	21.9	23.2	8.3	12.8	14.9	21.1	23.2
51	5.0	10.0	7.5	10.0	9.5	9.5	9.5	9.5	11.1	11.1	16.9	16.9	16.9
52	0.0	23.4	0.0	23.4	22.3	22.3	22.3	22.3	18.5	26.4	18.5	30.1	30.1
53	8.6	21.5	12.9	26.7	7.4	18.2	7.4	18.2	10.7	12.4	16.9	17.8	28.9
54	29.9	29.9	35.0	35.0	11.2	21.6	11.2	14.9	10.8	10.8	17.8	17.8	25.7
55	4.2	12.5	4.2	12.5	8.3	13.2	8.3	13.2	9.5	10.7	11.1	19.8	21.5
56	0.0	3.4	0.0	3.4	4.2	12.5	4.2	12.5	7.1	10.5	10.5	18.4	21.3
57	20.9	20.9	20.9	20.9	12.4	12.4	12.4	23.1	9.5	9.5	11.1	13.6	30.1
58	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	6.2	5.0	6.2	5.0	11.6	11.6
59	5.9	16.8	5.9	16.8	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	12.5	12.9	22.9	22.9
60	13.2	13.2	18.1	18.1	6.6	6.6	6.6	6.6	4.9	7.4	5.3	11.5	11.5
61	5.8	27.6	5.8	47.6	13.3	16.6	13.3	16.6	9.1	9.1	14.5	16.2	26.9
62	0.0	16.1	0.0	16.1	0.0	11.2	0.0	11.2	8.7	8.7	13.7	13.7	16.6
63	0.0	6.8	0.0	9.3	0.0	5.0	0.0	5.0	8.7	8.7	8.7	8.7	6.6
64	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	8.0	3.6	8.0	6.0	7.2	6.0	11.2	11.2
65	19.4	22.8	19.4	27.0	10.9	17.6	10.9	20.9	11.3	12.6	19.7	19.7	20.9
66	19.3	19.3	19.3	19.3	13.9	17.2	13.9	17.2	12.3	12.3	15.2	20.9	22.6
67	17.0	20.3	17.0	20.3	14.6	14.6	14.6	14.6	12.1	12.1	15.0	20.0	22.5
68	0.0	10.3	0.0	10.3	0.0	15.7	0.0	15.7	20.2	20.2	20.2	25.2	28.9
69	23.5	24.3	23.5	24.3	9.9	9.9	9.9	9.9	33.3	33.3	33.3	33.3	33.3
70	26.3	26.3	26.3	39.9	12.3	18.0	12.3	18.0	9.0	10.7	13.1	13.1	18.0
71	16.6	16.6	17.5	17.5	16.8	16.8	17.6	17.6	10.6	11.0	13.9	13.9	23.3
72	15.0	15.0	15.0	15.0	10.1	18.3	15.8	18.3	11.4	11.4	15.0	17.9	32.5
73	16.0	21.9	28.7	28.7	7.4	17.7	14.4	17.7	9.9	11.1	16.9	25.1	25.1
74	0.0	30.3	0.0	41.2	11.2	21.5	11.2	21.5	10.3	10.3	10.3	16.1	25.2
75	11.8	19.5	11.8	19.5	9.6	13.8	17.9	17.9	7.1	11.3	7.1	16.7	17.9
76	16.5	20.7	16.5	41.4	11.1	14.9	11.1	14.9	10.3	11.6	16.5	18.6	28.5
77	0.0	22.5	0.0	22.5	15.0	15.0	16.3	16.3	10.2	13.4	11.8	21.6	24.4
78	8.4	8.4	10.0	10.0	7.8	10.3	7.8	10.3	7.0	9.4	14.8	14.8	14.8
79	42.2	42.2	42.2	53.1	20.5	20.5	36.4	36.4	11.5	16.4	14.3	34.0	36.4
80	41.0	41.0	41.0	41.0	8.3	16.6	14.9	16.6	14.9	17.4	19.1	27.8	33.2
81	4.2	13.6	4.2	13.6	7.5	18.3	7.5	20.8	8.3	11.6	10.0	22.9	27.5
平均	9.9	15.6	10.6	18.2	9.4	13.7	10.5	15.8	10.5	11.8	14.7	18.8	22.9
最小	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	6.2	5.0	8.7	6.6
最大	42.2	42.2	42.2	53.1	22.3	22.5	36.4	43.4	33.3	33.3	33.3	34.0	43.4
標準偏差	10.23	9.93	10.84	12.62	5.08	4.72	6.35	6.69	3.93	3.96	5.04	4.98	6.2
変動係数	103.1	63.8	102.3	69.4	53.8	34.5	60.4	42.4	37.6	33.4	34.2	26.4	27.1
試験体数	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80

付表-3-1 強度試験結果

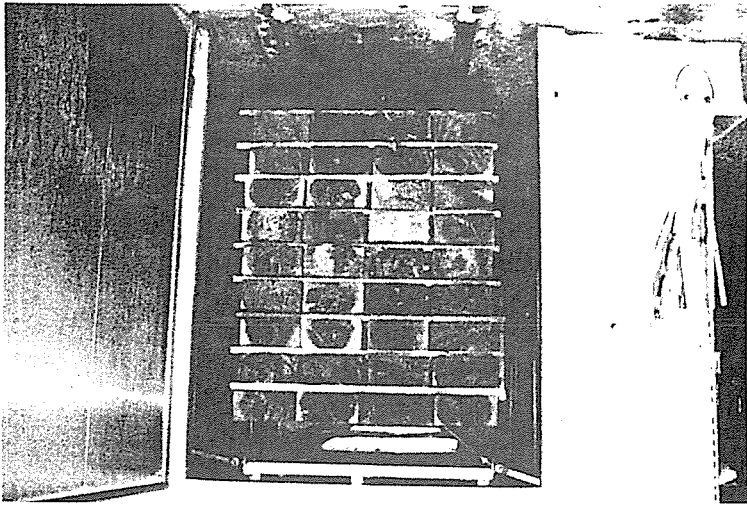
No.	MC %	RU g/cm <sup>3</sup>	ARW mm	Efr-L tf/cm <sup>2</sup>	Efr-g tf/cm <sup>2</sup>	Efr-d tf/cm <sup>2</sup>	MOE tf/cm <sup>2</sup>	EL tf/cm <sup>2</sup>	MOR kgf/cm <sup>2</sup>	SPL kgf/cm <sup>2</sup>	総合等級
1	24.7	0.368	4.19	69.0	69.7	76.2	83.0	87.9	412	309	1
2	10.9	0.381	5.04	66.5	65.8	77.1	81.9	87.8	411	285	1
3	15.5	0.325	5.42	57.6	55.1	61.7	64.3	65.5	245	236	2
4	10.9	0.361	3.50	73.5	73.5	86.1	105.1	117.0	508	383	1
5	10.5	0.342	4.07	79.5	75.9	91.2	95.8	107.3	576	382	1
6	15.5	0.353	4.38	75.3	70.7	78.4	88.9	94.9	425	360	1
7	15.5	0.307	4.42	71.2	70.7	81.0	87.9	91.7	366	312	1
8	8.8	0.311	4.52	61.6	56.9	66.3	77.4	81.9	475	341	1
9	12.3	0.338	5.36	66.0	63.3	74.0	82.1	80.1	410	342	1
10	10.0	0.328	—	78.9	71.7	78.9	80.7	89.3	335	306	2
11	11.3	0.351	5.76	44.5	48.0	58.2	63.3	66.5	259	228	1
12	25.7	0.334	4.62	62.3	53.5	63.1	66.4	70.9	263	251	2
13	15.2	0.371	3.97	70.7	66.5	70.4	76.1	77.3	330	264	1
14	12.9	0.317	5.36	71.2	67.4	75.3	79.7	90.2	360	330	1
15	8.9	0.389	4.19	48.2	61.3	67.6	73.5	77.1	379	266	2
16	11.0	0.355	4.00	96.4	94.3	107.7	117.3	120.3	579	388	1
17	12.5	0.339	4.50	71.8	76.5	92.9	82.4	90.7	159	135	2
18	15.0	0.353	5.09	74.7	74.1	82.9	84.7	84.4	422	359	2
19	16.5	0.337	4.62	65.3	80.7	90.7	90.8	103.9	421	329	1
20	16.1	0.319	6.79	43.8	40.9	48.8	54.4	58.8	279	224	2
21	15.4	0.363	5.23	54.0	52.2	59.8	70.0	70.5	424	332	2
22	12.9	0.288	6.05	60.3	55.2	62.4	66.1	63.4	276	265	2
23	16.8	0.341	4.50	78.5	70.3	79.4	85.1	88.5	383	299	1
24	18.3	0.326	6.30	65.5	65.4	72.0	69.0	72.6	206	180	3
25	9.5	0.335	5.91	62.0	51.9	62.9	66.7	69.2	355	299	1
26	15.6	0.333	5.26	72.7	70.4	78.2	79.2	88.9	216	169	2
27	9.4	0.341	3.77	58.8	62.6	75.4	76.5	76.0	356	303	1
28	10.5	0.309	4.40	54.6	54.9	61.7	65.2	64.0	283	275	2
29	18.7	0.343	5.61	71.7	75.4	85.8	82.3	93.7	295	252	2
30	12.8	0.383	4.33	90.4	82.9	99.6	111.9	105.9	581	342	1
31	15.4	0.423	5.80	64.9	79.2	88.5	91.9	102.2	403	347	1
32	27.1	0.333	4.50	62.4	71.6	78.7	70.1	68.5	391	260	2
33	18.9	0.347	3.44	79.4	82.0	92.7	99.5	103.2	556	352	1
34	11.9	0.384	4.29	61.5	68.8	78.0	84.6	93.9	454	311	1
35	10.5	0.307	5.27	70.5	70.5	81.0	83.8	87.6	394	318	1
36	17.9	0.373	4.64	72.9	71.6	81.5	88.5	85.5	396	299	2
37	23.2	0.373	5.75	73.2	62.3	69.8	73.5	75.4	318	251	1
38	14.5	0.356	4.88	80.1	77.8	87.1	85.2	93.9	412	342	2
39	12.1	0.320	5.50	64.1	58.6	65.7	71.0	71.7	348	265	1
40	10.0	0.335	5.76	77.9	76.1	87.5	87.3	92.7	435	359	3
41	12.3	0.360	4.57	65.1	70.3	53.3	86.3	88.2	423	316	1
42	14.7	0.316	5.91	71.0	65.8	77.0	80.2	84.7	368	296	1
43	9.4	0.329	4.03	70.9	66.1	76.9	81.1	82.0	458	364	2
44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45	11.6	0.313	4.18	52.6	55.8	63.6	67.2	71.3	373	302	1

注) No. 44は乾燥スケジュール用試験材として使用

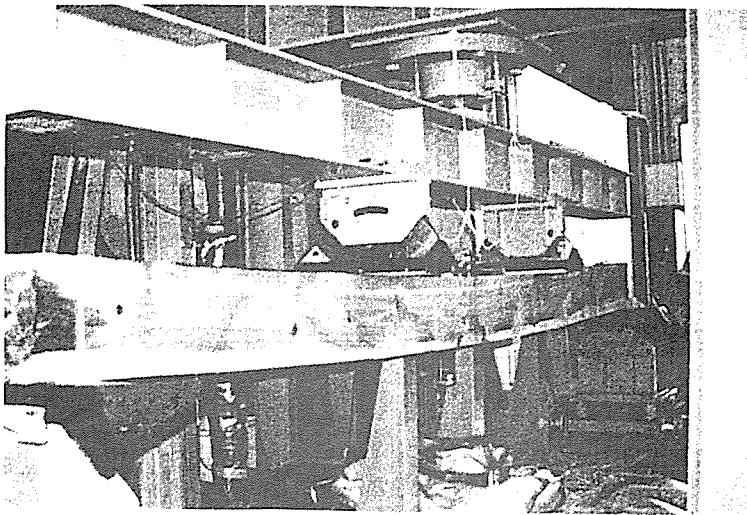
付表-3-2 強度試験結果

No.	MC %	RU g/cm <sup>3</sup>	ARW mm	Efr-L tf/cm <sup>2</sup>	Efr-g tf/cm <sup>2</sup>	Efr-d tf/cm <sup>2</sup>	MOE tf/cm <sup>2</sup>	EL tf/cm <sup>2</sup>	MOR kgf/cm <sup>2</sup>	SPL kgf/cm <sup>2</sup>	総合等級 級
46	24.5	0.381	5.43	78.2	73.4	79.3	—	—	—	—	2
47	9.3	0.350	4.48	78.7	69.7	78.1	78.4	77.7	414	364	1
48	13.8	0.358	4.55	57.7	65.6	75.3	81.1	89.3	439	348	1
49	9.0	0.368	4.54	60.7	63.7	71.1	85.7	86.5	383	234	2
50	19.0	0.418	6.05	87.0	89.5	97.8	95.8	99.3	465	337	2
51	13.3	0.343	4.33	73.9	72.9	83.2	93.7	101.7	467	308	1
52	15.1	0.333	6.44	57.9	59.3	66.0	69.0	71.6	321	259	2
53	27.4	0.389	5.91	53.9	52.7	58.2	55.3	54.6	303	244	2
54	16.1	0.340	5.30	61.3	64.1	72.3	74.0	81.4	296	241	2
55	12.2	0.364	4.54	87.2	85.9	94.7	93.4	105.7	451	425	1
56	9.1	0.312	5.35	61.6	58.6	69.1	73.2	77.9	390	380	1
57	14.7	0.337	7.65	46.5	52.7	58.3	60.1	62.0	279	241	2
58	17.4	0.375	4.88	80.3	88.4	100.0	97.1	110.4	344	244	1
59	10.4	0.329	4.15	53.6	68.7	78.2	78.2	86.2	402	302	1
60	18.6	0.416	5.16	73.0	89.5	92.8	91.8	94.0	372	277	1
61	25.9	0.432	5.50	53.7	50.3	60.3	—	—	—	—	2
62	12.6	0.329	4.64	81.6	81.0	90.5	90.0	93.0	405	338	1
63	12.5	0.333	4.63	80.6	90.9	106.4	115.5	124.1	605	330	1
64	10.4	0.363	4.13	74.7	80.2	84.7	78.0	85.6	372	316	1
65	23.2	0.402	7.69	61.1	63.1	72.9	79.7	89.4	214	152	2
66	12.6	0.321	4.63	53.3	59.4	64.5	72.2	77.9	307	240	2
67	21.3	0.355	4.50	69.6	68.4	80.8	75.2	78.7	345	307	2
68	11.9	0.332	6.53	54.5	55.0	59.7	57.4	60.2	208	203	2
69	17.6	0.320	4.23	64.4	56.4	60.0	60.2	61.9	201	184	2
70	19.1	0.314	4.62	77.7	77.4	86.5	79.4	87.3	291	257	2
71	15.6	0.379	4.79	73.7	73.1	79.1	82.9	88.5	390	273	2
72	20.7	0.384	4.96	72.6	67.9	72.1	75.7	78.7	340	278	2
73	13.2	0.336	6.53	52.6	51.8	58.2	60.6	65.5	304	262	2
74	14.4	0.401	6.41	41.9	47.3	55.1	55.8	59.7	306	263	2
75	11.8	0.356	6.50	44.0	43.0	53.9	52.6	56.8	305	253	2
76	9.2	0.278	8.40	45.3	35.6	41.2	42.7	40.0	191	180	3
77	12.7	0.277	4.58	63.0	57.8	60.9	65.4	78.4	320	253	2
78	20.8	0.348	5.90	41.9	44.3	50.8	49.1	50.9	263	230	1
79	11.1	0.303	4.31	76.0	72.3	83.2	81.4	89.7	398	298	3
80	13.0	0.381	3.81	72.2	83.5	94.5	83.4	84.7	256	235	3
81	10.8	0.335	6.61	59.3	62.1	69.4	76.8	83.7	255	215	2
平均	14.7	0.348	5.09	66.4	66.6	75.1	78.4	82.9	363	287	
最小	8.8	0.277	3.44	41.9	35.6	41.2	42.7	40.0	159	135	
最大	27.4	0.432	8.40	96.4	94.3	107.7	117.3	124.1	605	425	
標準偏差	4.7	0.032	0.98	11.8	12.2	13.8	14.2	16.0	94.3	58.7	
変動係数	31.7	9.1	19.2	17.8	18.4	18.3	18.1	19.3	26.0	20.4	
試験体数	85.0	83	83	83	83	83	83	83	83	83	

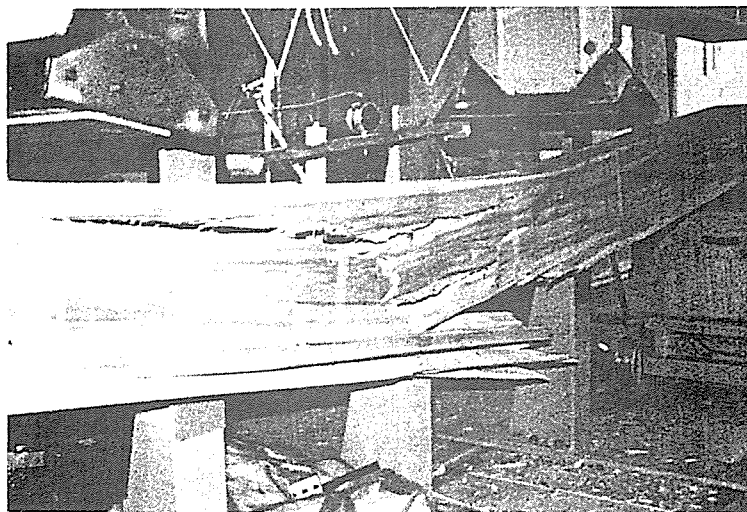




蒸気式人工乾燥装置による試験材の乾燥



実大曲げ試験



曲げ破壊の状況

## 第4章 スギラミナの引張及び曲げ試験

宮城県林業試験場  
東北大学工学部建築学科

### 1 試験の目的

本事業は大断面集成材をシミュレーションにより性能評価するときの精度を高めるために必要となる大量のラミナデータの収集をその目的としている。本章では特にノンジョイントラミナ(以下NJラミナ)とフィンガージョイントラミナ(以下FJラミナ)のヤング係数及び引張・曲げ強度性能とこれらとの間の相関関係を明らかにすることを目的として、同一母集団からNJラミナ・FJラミナを動的ヤング係数分布(平均値・分散)が等しくなるように用意し、同一試験体で引張・曲げの力学的性能を調査した結果について報告する。

### 2 試験の方法

#### 2.1 供試体の作製

宮城県鳴子町産スギ中径木丸太(材長4.0m)88本から幅13cm×厚3.5cm×長4.0mのラミナ324本を作製した。これを人工乾燥後、動的ヤング係数(Efr-org)を打音法により測定した。不良材を除いた後、これらを集成材作製用ラミナ139本とラミナ性能試験用ラミナ173本に区分した。このとき両者のEfrの度数分布が同一の形状を持つように区分を行った。

ラミナ性能試験用とした173本をモルダーで幅120mm×厚30mmに仕上げた後、再度打音法により動的ヤング係数(Efr-4m)を測定した。このEfr-4mの度数分布と平均値・分散が等しくなるように173本から100体を選別し、NJラミナ引張試験供試体として材長2.5mに切断した。残りの73本とNJラミナ用を切断した後の端部からEfr-4mが近接するもの同士を組み合わせ、FJラミナ引張試験供試体を作製した。なお、FJラミナについてはラミナ調査後、幅を115mmに調整した。引張試験供試体についてまとめると次のとおりである。

引張試験供試体数及び寸法

区分	材幅 mm	材厚 mm	材長 mm	本数 体
NJラミナ	120	30	2,500	99
FJラミナ	115	30	2,500	100

曲げ試験体は引張試験終了後の非破壊部分から採取した。NJラミナは断面不変のまま材長を70cmとした。FJラミナについては引張試験体の両端から採取し、引張試験体作製時と同一の製造条件でFJ加工を施した後、カンナ盤等で幅110mm、厚28mmに調整した。これをまとめると次のとおりである。

曲げ試験供試体数及び寸法

区分	材幅 mm	材厚 mm	材長 mm	本数 体
NJラミナ	120	30	700	99
FJラミナ	110	28	700	100

なお、フィンガージョイントの製造条件は次のとおりである。

・寸法等

フィンガー長	16.0 mm
フィンガーピッチ	6.0 mm
先端厚さ	1.2 mm
底部幅	0.8 mm
スカーフ傾斜比	1/8.0
かん合度	0.4 mm

・接着条件

接着剤	レゾルシノール系(大鹿振興D-40)
圧縮圧力	18 kgf/cm <sup>2</sup>
硬化方法	常温硬化

## 2.2 試験体の性状調査

各試験体について次の項目を調査した。

- ・動的ヤング係数(Efr) : FFTアナライザ(小野測器 CF-350)で打音法により求めた基本振動数と密度から算出した。ただし、引張試験体のみ。
- ・密度( $\rho$ ) : 試験体の寸法(幅・厚は3点の平均)と重量から算出した。
- ・平均年輪幅(ARW) : NJラミナについては両木口の平均とし、FJラミナについては両木口を測定し、広い方を採用した。
- ・節 : 試験体全長にわたって単独節および集中節の節径、位置、  
全長最大集中節径比(wSKDL)  
全長最大単独節径比(wKDL)  
チャック間最大集中節径比(wSKDC)  
チャック間最大単独節径比(wKDC)  
節径比、節の状態を調査した。引張試験体の節径比については調査結果から全区間およびチャック間の集計を行った。ただし、位置情報については今回の報告では割愛する。
- ・含水率(MC) : 試験終了直後に木口から試片を採取し絶乾法により含水率を測定した。FJラミナについては両木口から試片を採取して含水率を測定し、その平均を試験体の含水率とした。

## 2.3 試験方法

### 2.3.1 引張試験

容量40tfの引張保証荷重試験機(飯田工業 NET-40)を用いてチャック間長さ約110cmとして行い、試験体が破壊した時点で得られた荷重を最大荷重として引張強度(TS)を求めた。

### 2.3.2 曲げ試験

構造用集成材のJASラミナC試験に準拠し、スパン63cm、3等分4点荷重による静的載荷により行った。載荷は木材用万能試験機(ミネベアTCM-10000、容量10tf)を用いた。また、電気式変位計、レーザー光式変位計を用いてたわみを測定し、曲げヤング係数(EL:全スパンに関するヤング係数、EI:モーメント一定区間に関するヤング係数)を求めた。

### 3 試験の結果

#### 3.1 ラミナの性状調査結果

作製した全ラミナ ( $t=3.5\text{cm}$ 、 $w=13.0\text{cm}$ 、 $l=4.0\text{m}$ 、324本)のEfr-org分布を次に示す。平均値  $83.7\text{tf/cm}^2$ 、標準偏差  $18.3\text{tf/cm}^2$ のほぼ正規分布に近いものとなった。

n=324	密度 $\text{g/cm}^3$	Efr-org $\text{tf/cm}^2$
最小値	0.29	44.74
平均値	0.39	83.65
最大値	0.49	128.93
分散	0.00	334.99
標準偏差	0.03	18.30
変動係数(%)	8.79	21.88
5%下限値	-	54.06

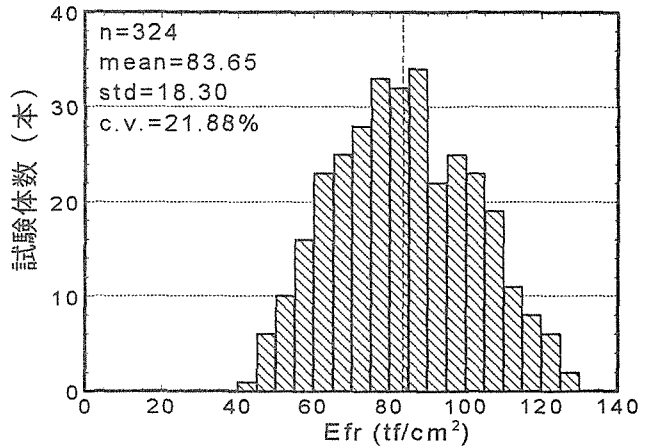


図3.1.1 4.0mラミナのEfr分布

次にラミナ性能試験用に区分したラミナ ( $t=30\text{mm}$ 、 $w=120\text{mm}$ 、 $l=4.0\text{m}$ 、173体)のEfr-4m分布を示す。平均値  $82.7\text{tf/cm}^2$ 、標準偏差  $18.0\text{tf/cm}^2$ であり、区分前の分布と平均値・分散がほぼ等しいものとなった。また、正規分布としたときの5%下限値についても同じく約  $54\text{tf/cm}^2$ であった。

n=173	Efr-org $\text{tf/cm}^2$
最小値	47.09
平均値	82.69
最大値	125.22
分散	325.08
標準偏差	18.03
変動係数(%)	21.80
5%下限値	53.54

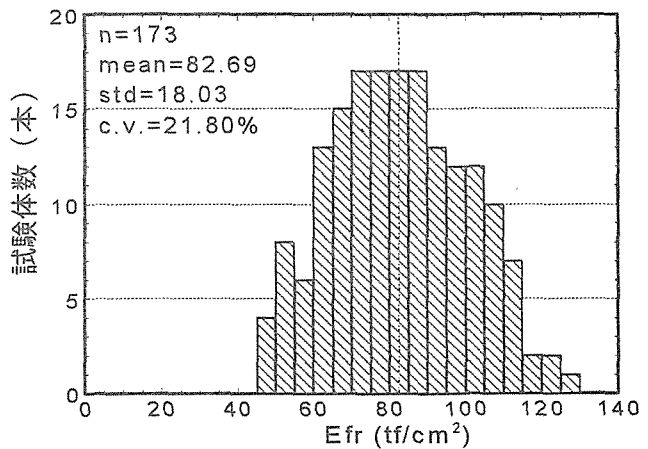


図3.1.2 4.0mラミナのEfr-4m分布

### 3.2 引張試験

#### 3.2.1 供試体の性状

供試体の性状調査結果を表3.2.1に示す。また、Efrの度数分布を図3.2.1、図3.2.2に示す。Efrの分布は両ラミナともEfr-4mの分布と比べ平均値はわずかに下がったものの、標準偏差に大きな差はなかった。両ラミナともEfrの平均値は81tf/cm<sup>2</sup>前後であったが最頻値はこれよりも低く70tf/cm<sup>2</sup>付近でありやや左に偏った分布を示した。ねらいどおりに両ラミナのEfr分布をそろえることができた。

表3.2.1 引張試験体性状調査結果

試料数	NJラミナ					FJラミナ				
	材長 l cm	材幅 w cm	材厚 t cm	密度 $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	ヤング係数 Efr tf/cm <sup>2</sup>	材長 l cm	材幅 w cm	材厚 t cm	密度 $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	ヤング係数 Efr tf/cm <sup>2</sup>
	99					100				
最大値	249.9	12.00	3.00	0.46	126.48	265.5	12.10	3.00	0.48	125.36
平均値	249.7	11.98	3.00	0.38	80.44	254.9	11.99	2.99	0.39	81.79
最小値	249.5	11.40	2.93	0.30	46.35	246.0	11.60	2.90	0.30	41.47
標準偏差	—	—	—	0.03	17.58	—	—	—	0.03	18.61
変動係数	—	—	—	8.59%	21.86%	—	—	—	8.21%	22.75%
5%下限値					52.04					51.67

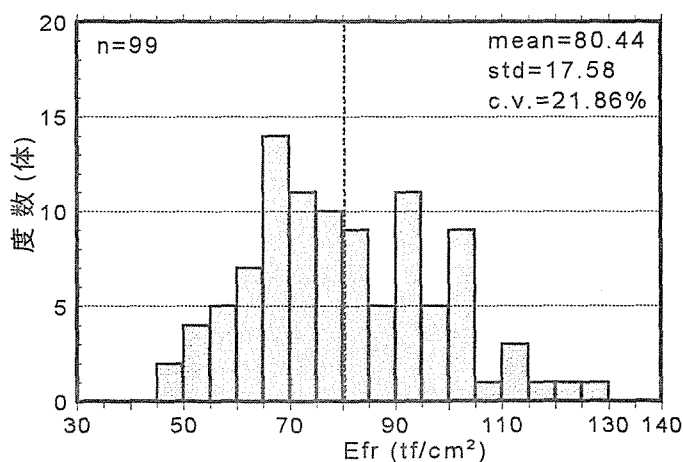


図3.2.1 NJラミナのEfr分布

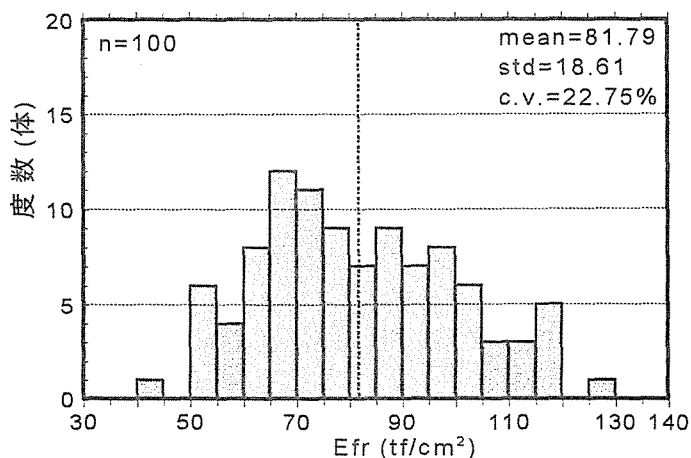


図3.2.2 FJラミナのEfr分布

### 3.2.2 引張強度の分布

引張試験結果を表3.2.2に示す。また、TSの度数分布を図3.2.3および図3.2.4に示す。TSの下限値には30kgf/cm<sup>2</sup>ほどの差しかないが平均値では100kgf/cm<sup>2</sup>ほどの差があった。NJラミナは最大値で619kgf/cm<sup>2</sup>でありばらつきが大きかったのに対し、FJラミナは最頻値近傍の度数が高かった。

表3.2.2 引張試験結果

	NJラミナ n=99		FJラミナ n=100	
	TS kgf/cm <sup>2</sup>	MC %	TS kgf/cm <sup>2</sup>	MC %
最大値	619.4	18.6	390.4	16.7
平均値	322.2	15.6	225.2	13.9
最小値	138.3	13.5	102.0	11.9
標準偏差	109.3	0.0	65.2	1.2
変動係数(%)	33.9	7.9	28.9	8.4
5%下限値	142.6		118.8	

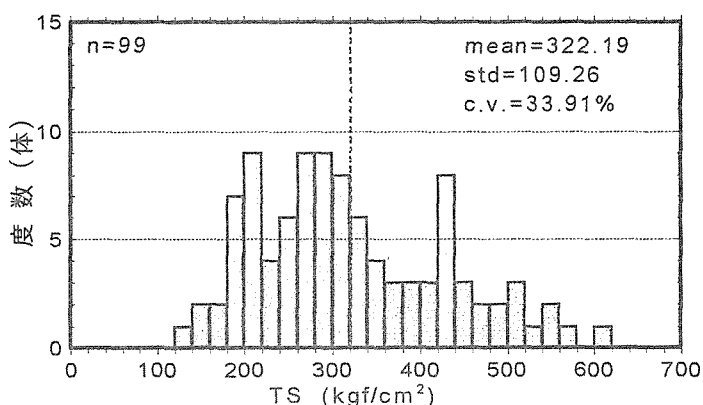


図3.2.3 NJラミナのTS分布

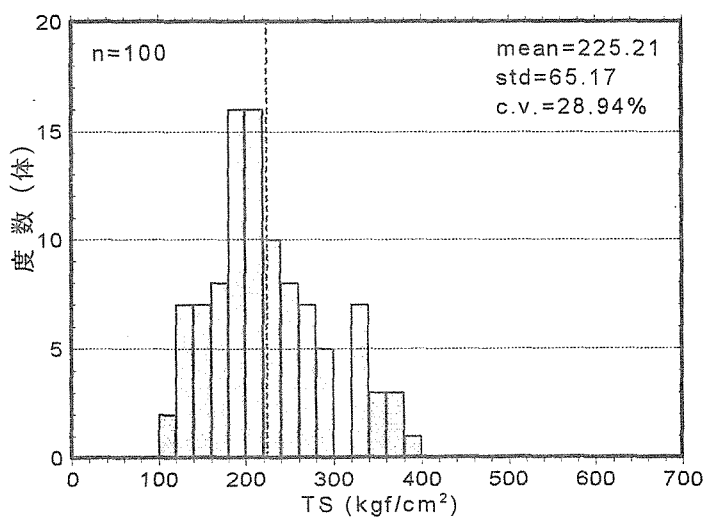


図3.2.4 FJラミナのTS分布

また、TSに関する接合効率も次のとおりであった。FJラミナはばらつきが小さいため、5%下限値の接合効率が高い値となった。

表3.2.3 TSの接合効率

	NJラミナ kgf/cm <sup>2</sup>	FJラミナ kgf/cm <sup>2</sup>	接合効率 %
TS (平均値)	322.2	225.2	69.89
TS (5%下限値)	142.6	118.8	83.31

### 3.2.3 動的ヤング係数と引張強度の相関関係

ラミナの動的ヤング係数(Efr)と引張強度(TS)の相関関係を次に示す。NJラミナ、FJラミナとも高い相関関係が認められ、特にFJラミナは $r=0.853$ であり非常に高い相関が認められた。Efrが低い場合、NJラミナとFJラミナの散布域が重なる部分が見られた。FJラミナの回帰式の傾きはNJラミナの約69%であった。

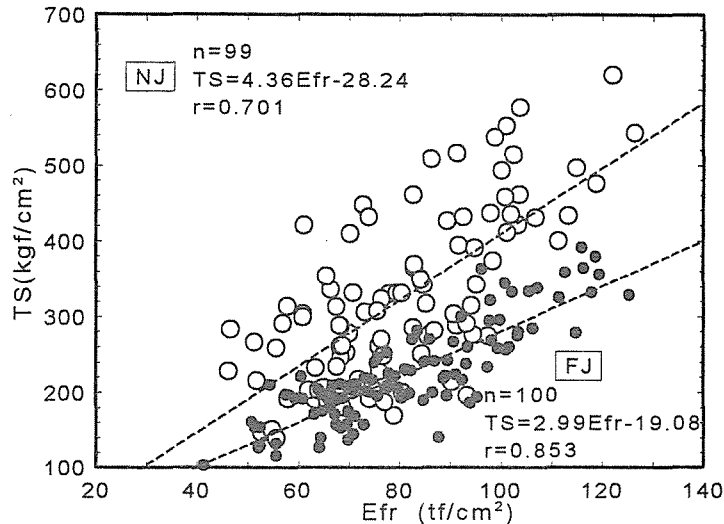


図3.2.5 EfrとTSの相関関係

### 3.2.4 その他の因子と引張強度の関係

FJラミナについて破壊部位を調査したところ次表のように71%がフィンガー部による破壊であった。また、FJ部で破壊したラミナのみについてEfrとTSの相関をみると $r=0.893$ であり相関の向上が見られた。

表3.2.4 破壊部位ごとの引張試験結果(FJラミナ)

破壊部位	ジョイント	節	その他
試料数 (体)	71	24	5
TS平均 (kgf/cm <sup>2</sup> )	233.17	213.24	-
Efr平均 (tf/cm <sup>2</sup> )	82.31	81.75	-
EfrとTSの相関係数	0.893	0.746	-

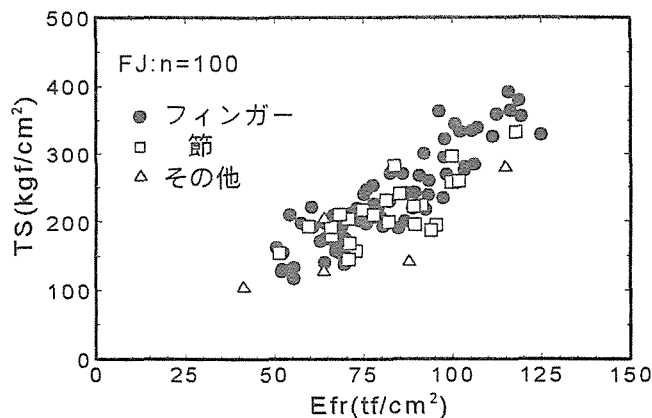


図3.2.6 破壊部位と引張強度

各測定項目間の相関係数の一覧を次に示す。相関をみる意味のないものも含まれるが機械的に示すこととする。両ラミナともTSに相関が高いのはEfr-4m、EfrであるがFJラミナの方がより高い相関関係がある。また、NJラミナのTSは集中節径比との相関が認められる(後述)。

表3.2.5 相関係数一覧

NJ	$\rho$	MC	ARW	Efr-4m	Efr	TS	wSKDC	wSKDL	wKDC	wKDL
$\rho$	1.000	0.122	0.072	0.231	0.295	0.011	0.196	0.237	0.266	0.228
MC		1.000	0.099	0.126	0.189	0.201	0.082	0.159	0.205	0.192
ARW			1.000	0.590	0.536	0.581	0.546	0.587	0.232	0.306
Efr-4m				1.000	0.955	0.727	0.532	0.598	0.230	0.270
Efr					1.000	0.701	0.488	0.543	0.179	0.230
TS						1.000	0.618	0.658	0.522	0.536
wSKDC							1.000	0.224	0.704	0.598
wSKDL								1.000	0.612	0.638
wKDC									1.000	0.790
wKDL										1.000

FJ	$\rho$	MC	ARW	Efr-4m	Efr	TS	wSKDC	wSKDL	wKDC	wKDL
$\rho$	1.000	0.116	0.235	0.552	0.577	0.511	0.044	0.002	0.125	0.104
MC		1.000	0.043	0.071	0.006	0.087	0.054	0.125	0.032	0.010
ARW			1.000	0.592	0.592	0.609	0.458	0.496	0.287	0.155
Efr-4m				1.000	0.928	0.805	0.481	0.532	0.242	0.241
Efr					1.000	0.853	0.427	0.508	0.205	0.200
TS						1.000	0.472	0.538	0.274	0.302
wSKDC							1.000	0.838	0.672	0.429
wSKDL								1.000	0.547	0.556
wKDC									1.000	0.656
wKDL										1.000

平均年輪幅(ARW)とTSの相関関係をみてみると、相関係数は $r=0.58\sim 0.61$ であり高い相関は認められなかった。散布図をみると(図3.2.7)、平均年輪幅が6mm以上では両ラミナのTSに差はないが、6mm未満ではNJラミナとFJラミナのTSに開きが見られる。

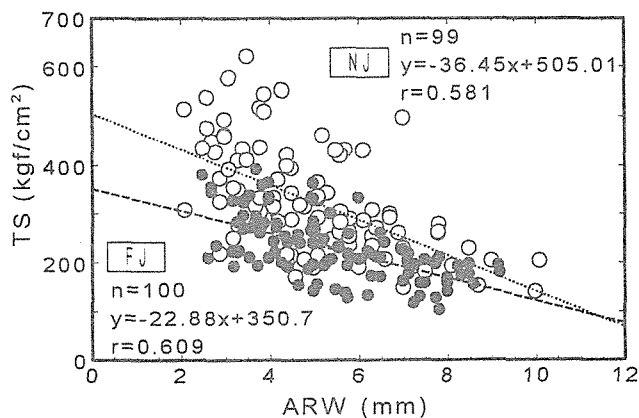


図3.2.7 平均年輪幅とTSの関係

チャック間の最大単節径比(wKDC)・最大集中節径比(wSKDC)とTSの相関関係をみると、FJラミナでは破壊がジョイント部で発生していることから明らかなように節径比とTSに相関は認められなかった。NJラミナについてはwSKDCで $r=0.618$ でありやや相関があったものの、wKDCでは $r=0.522$ であり相関は認められなかった。(図3.2.8～図3.2.11)



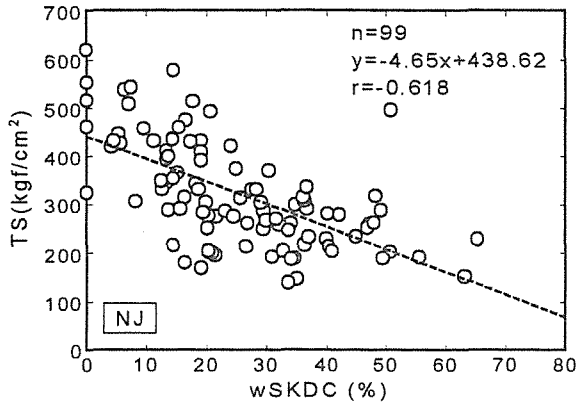


図3.2.8 wSKDCとTSの関係

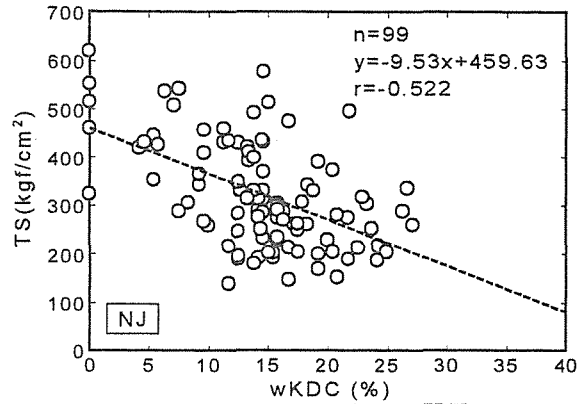


図3.2.9 wKDCとTSの関係

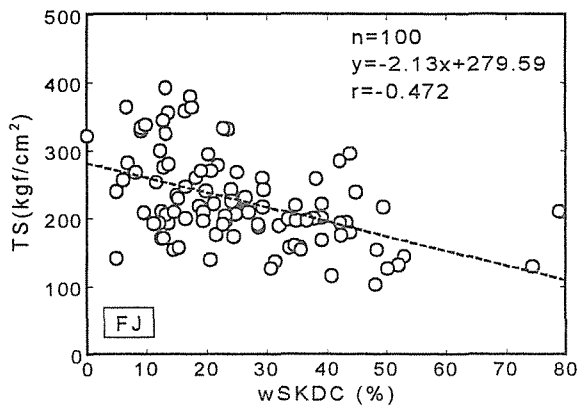


図3.2.10 wSKDCとTSの関係

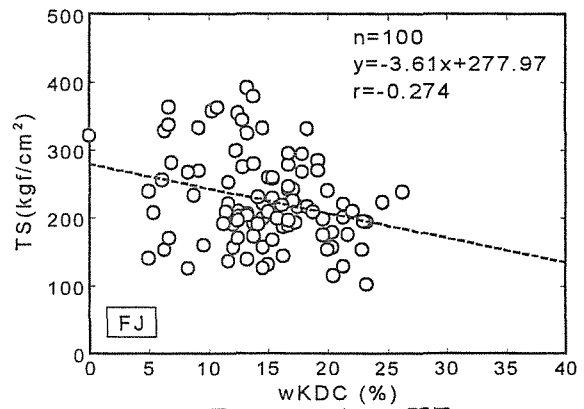


図3.2.11 wKDCとTSの関係

また、全区間における最大集中節径比(wSKDL)・最大単独節径比(wKDL)とTSの相関をみると(図3.2.12、図3.2.13)、チャック間で見たよりも相関の向上が認められた。

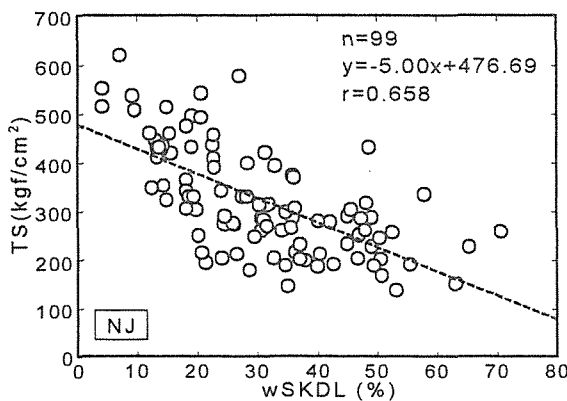


図3.2.12 最大集中節径比(全長)とTSの関係

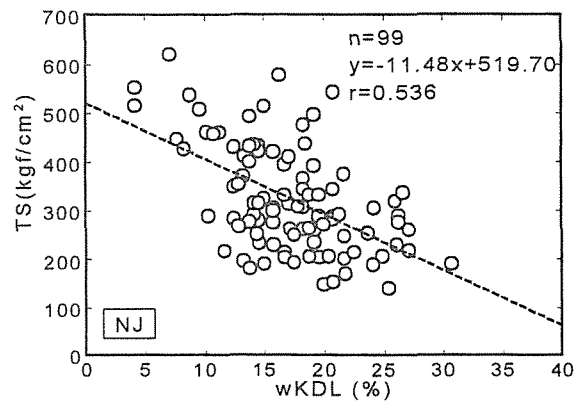


図3.2.13 最大単独節径比(全長)とTSの関係

### 3.3 曲げ試験

#### 3.3.1 供試体の性状

供試体の性状調査結果を次に示す。

表3.3.1 曲げ試験体性状調査結果

	NJラミナ		FJラミナ	
	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	ARW mm	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	ARW mm
試料数	99		100	
最大値	0.46	10.14	0.48	9.20
平均値	0.38	5.02	0.39	5.46
最小値	0.30	2.07	0.30	2.50
標準偏差	0.03	1.74	0.03	1.73
変動係数(%)	8.59	34.69	8.21	31.74

#### 3.3.2 曲げヤング率及び曲げ強度の分布

曲げ試験結果を表3.3.2及び表3.3.3に示す。またEL、EI、 $\sigma_b$ の度数分布を図3.3.1～図3.3.6に示す。NJラミナの曲げヤング係数については測定ミスのため試料数が若干少ない。ELについてはFJラミナの方が平均値がやや低い変動係数に大きな差はなく正規分布と仮定したときの5%下限値もほぼ同じ値を示した。EIでも平均値はFJラミナの方がやや低い、変動係数には差がありFJラミナの方がばらつきは小さく、5%下限値は逆転してFJラミナの方が大きい。

一方、 $\sigma_b$ はNJラミナが高く平均値で180kgf/cm<sup>2</sup>もの差があり、NJラミナの下限值付近がFJラミナの平均値となった。しかし、変動係数に大きな差はなく、ちょうどNJラミナの度数分布をシフトした分布を示した。

表3.3.2 NJラミナの曲げ試験結果

NJラミナ	曲げヤング係数		曲げ強度
	EL	EI	$\sigma_b$
	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
試料数	97	95	99
最大値	114.40	179.85	801.5
平均値	71.48	84.25	506.7
最小値	35.32	29.76	289.2
標準偏差	19.19	30.48	100.1
変動係数(%)	26.85	36.18	19.76
5%下限値	40.44	34.61	343.1

表3.3.3 FJラミナの曲げ試験結果

FJラミナ	曲げヤング係数		曲げ強度
	EL	EI	$\sigma_b$
	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
試料数	100	100	100
最大値	114.03	133.48	462.0
平均値	69.63	79.45	321.3
最小値	22.71	19.92	173.3
標準偏差	18.19	24.51	69.0
変動係数(%)	26.12	30.85	21.47
5%下限値	40.23	39.61	208.7

また、曲げ強度に関する接合効率はこのとおりである。

表3.3.4  $\sigma_b$ の接合効率

	NJラミナ	FJラミナ	接合効率
	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%
$\sigma_b$ (平均値)	506.7	321.3	63.41
$\sigma_b$ (5%下限値)	343.1	208.7	60.83

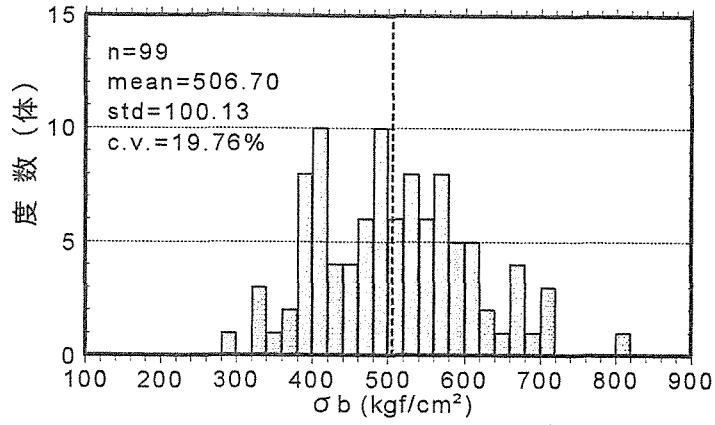


図3.3.1 NJラミナの $\sigma_b$ 分布

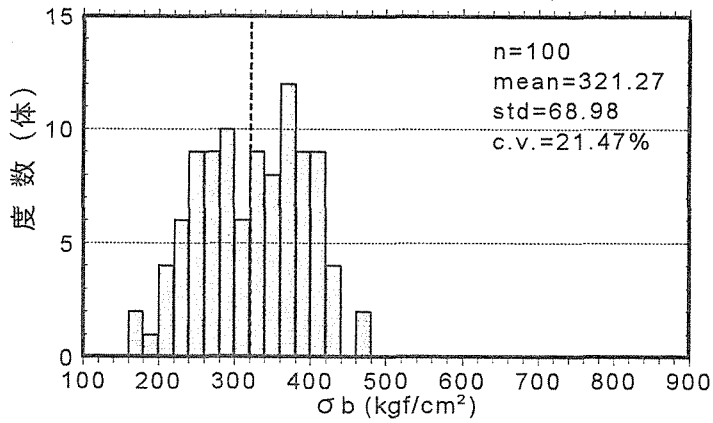


図3.3.2 FJラミナの $\sigma_b$ 分布

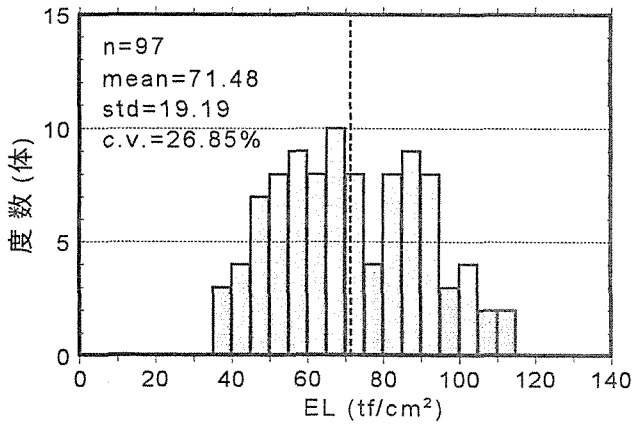


図3.3.3 NJラミナのEL分布

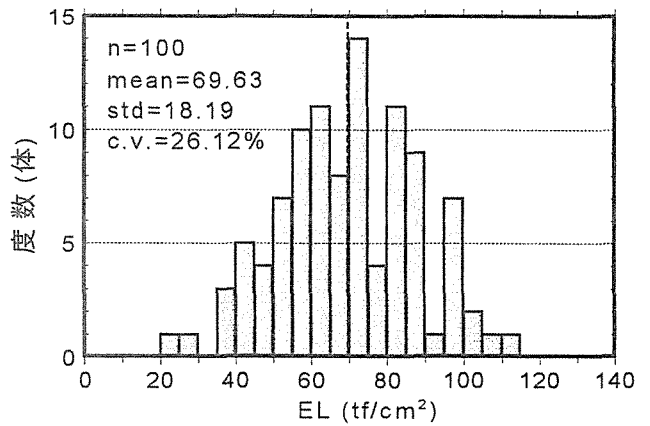


図3.3.4 FJラミナのEL分布

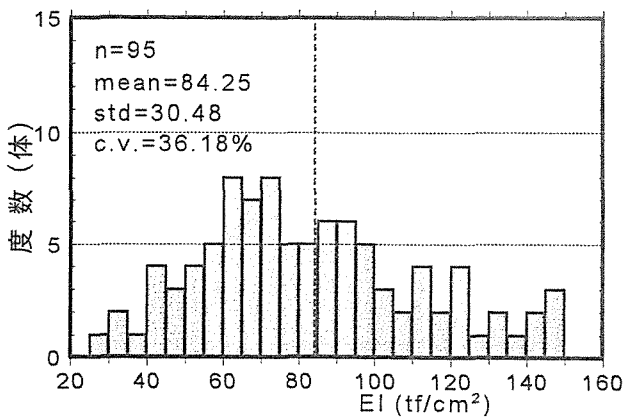


図3.3.5 NJラミナのEI分布

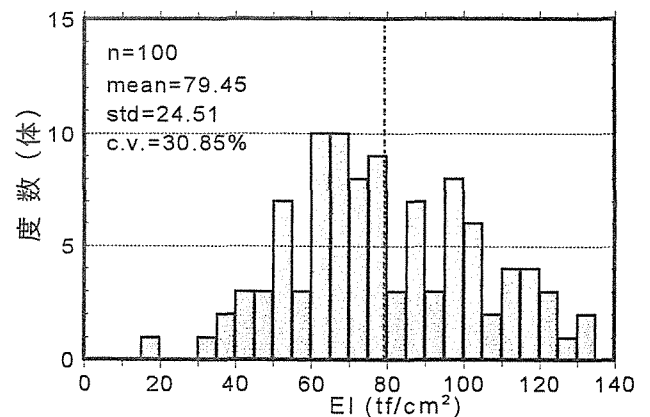


図3.3.6 FJラミナのEI分布

### 3.3.3 曲げヤング係数と曲げ強度の相関関係

曲げヤング係数(EL)と曲げ強度( $\sigma_b$ )の相関関係を次に示す。両ラミナとも $r=0.8$ 程度で高い相関が認められ、相関の高さに差はみられなかった。また、FJラミナの回帰式の傾きはNJラミナの約73%であった。

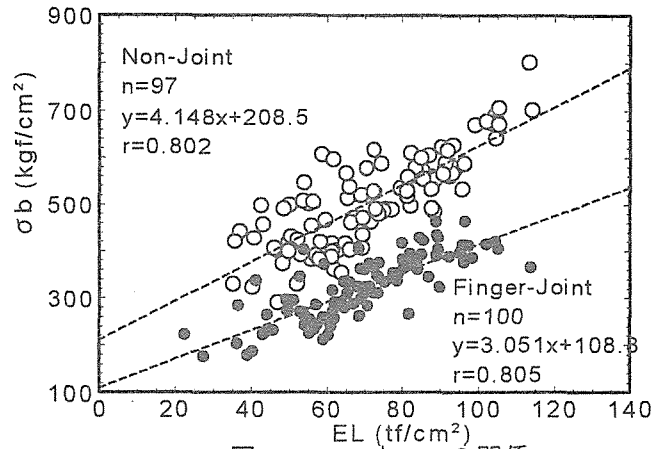


図3.3.7 ELと $\sigma_b$ の関係

### 3.3.4 その他の因子と曲げ強度との関係

各測定項目間の相関係数一覧を次に示す。ヤング係数を除いて $\sigma_b$ と相関が高いのはFJラミナの場合のARWとTSである。

表3.3.5 相関係数一覧

NJ	$\rho_t$	$\rho_b$	MC	ARW	Efr-4m	Efr	TS	EL	EI	$\sigma_b$
EL	0.195	0.263	0.087	0.528	0.843	0.830	0.657	1.000	0.845	0.809
EI	0.167	0.238	0.015	0.442	0.670	0.650	0.548		1.000	0.655
$\sigma_b$	0.306	0.384	0.201	0.502	0.739	0.698	0.583			1.000
$\rho_b$	0.883	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-

FJ	$\rho_t$	$\rho_b$	MC	ARW	Efr-4m	Efr	TS	EL	EI	$\sigma_b$
EL	0.541	0.447	0.800	0.530	0.871	0.911	0.734	1.000	0.816	0.805
EI	0.402	0.322	0.005	0.477	0.706	0.730	0.586		1.000	0.654
$\sigma_b$	0.552	0.511	0.071	0.736	0.818	0.836	0.738			1.000
$\rho_b$	0.894	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-

平均年輪幅(ARW)と $\sigma_b$ の関係を図3.3.8でみると、回帰式に大きな差はみられない。年輪幅が密になるとNJラミナでは $\sigma_b$ の高いものがあり、これが相関係数を下げる原因となっている。

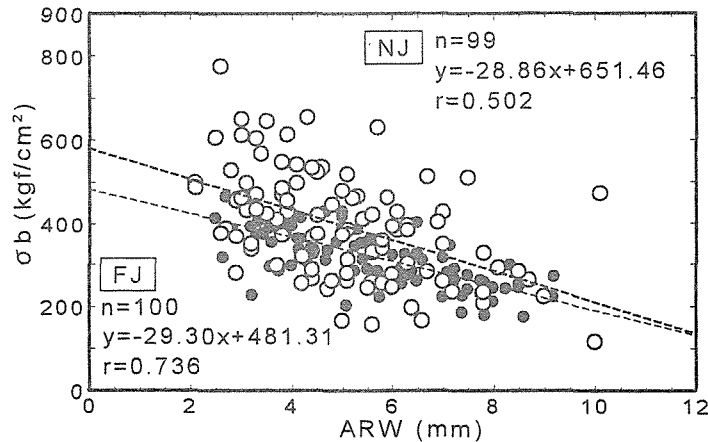


図3.3.8 平均年輪幅と $\sigma_b$ の関係

### 3.3.5 各強度間の関係

曲げ強度( $\sigma_b$ )と引張強度(TS)の相関関係を次に示す。FJラミナでは $r=0.738$ であり高い相関が認められた。これはTSのばらつきに差があったこともあるが、NJラミナでは引張と曲げで全く異なる欠点で破壊したのに対し、FJラミナでは両試験とも同じ条件の欠点とみなせるFJで破壊したためと考えられる。

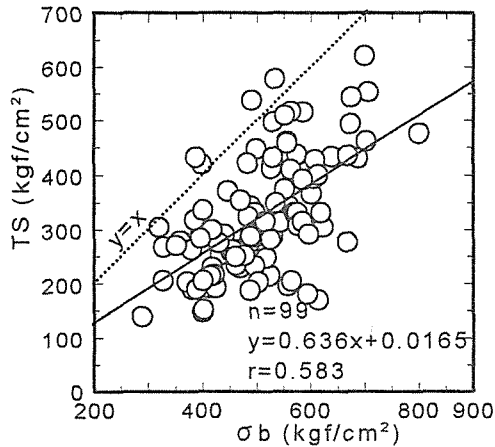


図3.3.9 強度間の関係(NJ)

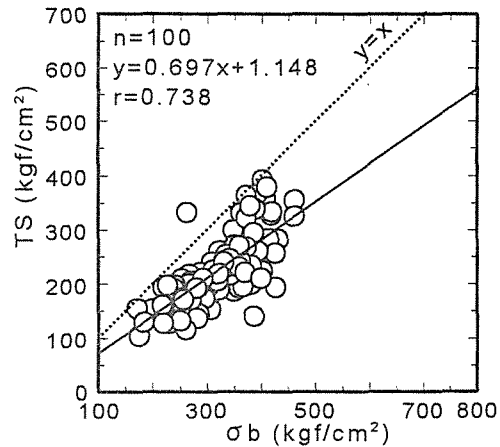


図3.3.10 強度間の関係(FJ)

## 4 まとめ

スギラミナ(NJ・FJ)の同一試験体について引張および曲げ試験を実施し、ヤング係数・各強度間の関係を調査した結果次のことが明らかとなった。

- 引張強度分布はNJラミナでは大きくばらつくが、FJラミナではジョイント部で破壊するものが多く、ばらつきが小さくなる。このため、平均値での接合効率率は約70%であるが5%下限値での接合効率率は約83%となった。
- 曲げ強度分布はNJラミナ・FJラミナともばらつきはほぼ同様であったが、FJラミナが低い方にシフトした分布となった。平均値での接合効率率は約63%であった。
- ヤング係数と曲げ強度の関係はNJラミナ・FJラミナとも同程度の相関の高さであったが、引張強度との関係ではFJラミナの相関がより高かった。
- 曲げ強度と引張強度の関係はNJラミナでは低かったが、FJラミナでは高い相関が認められた。
- フィンガージョイント接合部の性能に与える平均年輪幅の影響はFJラミナの曲げ強度を除いて必ずしも大きいものではなかった。

付表1 NJラミナ：引張試験結果

No.	$\rho t$	Efr-4m	Efr	TS	M.C.	ARW	wSKDL	wKDL	wSKDC	wKDC	
log.	lam.	g/cm <sup>3</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	mm	%	%	%	
1	B	0.38	91.98	91.33	287.8	15.1%	3.9	49.2	26.3	49.2	26.3
1	E	0.36	76.30	75.88	260.6	14.9%	5.8	34.1	18.3	34.1	18.3
3	A	0.42	113.47	113.41	432.2	15.6%	3.4	19.2	14.6	19.2	14.6
4	B	0.35	102.21	95.27	341.7	13.9%	4.5	24.1	20.8	13.4	9.2
4	C	0.33	91.79	83.02	364.4	14.7%	5.1	18.3	18.3	15.3	9.2
4	D	0.34	67.93	70.04	277.8	14.0%	7.8	42.2	14.6	42.2	14.2
5	C	0.40	61.87	63.54	189.4	16.2%	7.2	34.7	15.0	34.7	12.5
7	A	0.43	111.96	114.89	496.1	15.7%	7.0	19.2	19.2	50.8	21.8
7	C	0.44	78.75	78.96	169.2	14.7%	4.6	50.8	21.8	19.2	19.2
8	A	0.34	91.04	93.45	195.0	14.7%	5.9	21.5	13.3	21.5	12.5
11	C	0.44	78.72	76.04	227.8	17.4%	7.0	49.1	26.1	40.0	20.0
12	B	0.42	89.44	90.41	213.3	14.2%	4.5	26.7	16.7	26.7	16.7
12	C	0.37	102.00	98.06	435.6	14.5%	3.8	22.7	18.5	14.5	14.5
14	A	0.35	78.53	72.90	446.7	15.9%	2.7	13.1	7.7	5.4	5.4
14	C	0.35	51.51	52.82	146.5	15.7%	7.0	35.1	20.0	35.1	16.7
16	A	0.42	119.31	118.89	475.0	14.7%	2.6	18.3	18.3	16.7	16.7
16	B	0.40	114.81	106.88	430.0	14.8%	5.7	13.4	12.5	17.5	12.5
16	C	0.39	68.03	68.38	259.4	14.3%	6.9	70.7	27.1	47.4	27.1
17	B	0.37	74.73	71.99	216.6	15.0%	2.9	36.3	27.1	36.3	24.2
18	B	0.35	55.13	56.97	290.0	13.9%	5.1	45.1	14.2	36.8	14.2
20	B	0.40	103.75	97.54	274.4	15.3%	3.8	26.3	26.3	21.7	21.7
20	C	0.37	93.29	84.79	341.7	16.7%	5.3	18.3	18.3	18.3	18.3
22	A	0.41	102.60	98.54	372.7	15.7%	2.9	35.9	21.7	25.0	20.4
22	C	0.41	56.79	54.81	150.6	14.9%	8.7	63.1	20.8	63.1	20.8
23	B	0.36	84.46	80.83	199.4	15.4%	4.4	38.0	21.7	21.0	19.2
23	D	0.37	56.90	55.79	138.3	13.9%	10.0	53.3	25.4	33.6	11.7
29	D	0.43	70.28	69.55	252.2	14.7%	6.3	47.0	23.7	47.0	23.7
29	E	0.39	77.98	74.15	191.1	14.6%	6.0	42.7	17.5	30.9	15.4
29	F	0.38	97.59	90.86	302.8	14.9%	3.8	20.0	15.8	20.0	15.8
30	B	0.38	99.06	91.80	393.3	14.8%	4.5	33.0	16.7	13.4	13.4
30	D	0.39	67.73	67.56	312.2	17.2%	4.8	31.7	17.1	25.8	14.6
30	E	0.39	61.19	55.79	258.3	17.7%	7.8	52.6	19.2	32.2	10.0
30	F	0.39	88.99	78.06	330.0	17.4%	5.1	27.6	16.7	27.6	14.6
30	G	0.40	47.09	46.35	227.8	17.9%	8.5	65.4	15.8	65.4	15.8
31	A	0.34	72.45	73.25	305.6	15.0%	6.3	18.3	18.3	8.3	8.3
32	C	0.43	81.02	82.84	285.2	15.6%	6.1	47.5	20.8	23.3	14.6
32	D	0.42	100.17	103.55	420.2	14.7%	4.4	31.4	14.6	24.1	13.3
33	D	0.41	72.87	68.41	286.7	17.6%	4.5	30.8	19.6	29.6	16.3
33	F	0.39	108.41	101.18	551.7	15.6%	4.3	4.2	4.2	0.0	0.0
34	A	0.31	79.29	70.40	408.9	16.1%	3.3	22.9	17.1	19.2	9.6
34	F	0.30	64.71	61.16	419.4	17.7%	5.6	15.8	15.8	4.2	4.2
35	B	0.36	83.04	76.59	323.3	16.0%	2.9	15.0	15.0	0.0	0.0
36	D	0.41	99.43	102.63	513.3	17.3%	2.1	15.0	15.0	17.9	15.0
37	A	0.38	92.84	89.53	425.6	15.3%	2.8	14.1	8.3	5.8	5.8
37	D	0.41	69.48	68.41	245.6	17.2%	5.4	50.5	21.7	33.7	12.5
37	E	0.38	84.39	82.75	459.9	18.0%	5.2	15.5	11.3	15.5	11.3
37	F	0.36	100.85	91.48	515.3	18.6%	3.8	4.2	4.2	0.0	0.0
38	B	0.43	107.50	103.87	576.1	17.2%	3.1	27.1	16.3	14.6	14.6
39	D	0.36	83.33	94.25	313.5	15.0%	3.7	32.0	14.2	16.5	14.2
40	F	0.40	85.71	79.68	330.6	17.6%	4.1	18.8	18.8	18.8	18.8
41	A	0.38	105.36	101.37	410.6	18.4%	3.5	13.4	13.4	13.4	13.4
41	D	0.38	71.12	68.19	287.2	15.3%	5.8	35.9	10.4	13.8	7.5
41	G	0.40	125.22	122.07	619.4	15.3%	3.5	7.1	7.1	0.0	0.0
42	A	0.36	77.03	68.45	260.6	15.1%	5.6	30.7	17.2	26.9	17.2
42	C	0.37	72.47	60.98	302.8	15.5%	5.6	45.7	24.2	29.2	23.3
42	F	0.36	73.49	67.71	233.3	15.2%	5.8	45.0	19.2	45.0	15.8
42	G	0.37	99.16	85.75	274.4	15.0%	3.7	24.6	15.8	24.6	15.8
44	B	0.34	61.05	60.91	298.6	14.6%	6.7	34.8	15.8	34.8	15.8

付表1 NJラミナ：引張試験結果

No.		$\rho t$	Efr-4m	Efr	TS	M.C.	ARW	wSKDL	wKDL	wSKDC	wKDC
log.	lam.	g/cm <sup>3</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	mm	%	%	%	%
47	C	0.39	116.27	111.53	398.9	13.8%	4.4	28.5	13.8	13.8	13.8
49	A	0.37	89.36	80.51	330.6	17.2%	5.0	19.6	18.8	12.7	12.7
49	B	0.35	67.25	62.06	201.8	15.5%	9.0	37.1	16.7	20.4	15.4
49	C	0.38	61.00	58.04	191.1	15.4%	8.1	55.6	17.5	55.6	14.2
55	A	0.39	78.62	70.82	330.6	14.3%	3.8	28.4	19.6	28.4	13.8
55	C	0.38	87.17	75.69	306.7	15.7%	2.1	36.3	17.9	36.3	17.9
56	A	0.33	84.97	57.86	313.1	17.4%	4.1	30.4	14.6	36.1	13.3
56	B	0.39	92.96	83.04	368.8	15.1%	4.2	36.1	13.3	30.4	14.6
59	A	0.33	89.59	86.39	507.8	15.5%	3.9	9.6	9.6	7.1	7.1
61	C	0.39	65.99	63.48	231.8	15.2%	6.3	37.1	14.6	37.1	14.6
62	A	0.37	91.73	94.96	390.0	15.3%	3.1	23.0	19.2	19.2	19.2
63	A	0.40	111.41	103.77	460.6	14.8%	3.0	12.1	10.2	0.0	0.0
63	C	0.42	65.68	64.15	201.7	15.6%	6.0	50.7	19.6	50.7	15.0
64	D	0.38	94.95	92.74	430.6	15.4%	5.5	48.7	13.8	11.3	11.3
64	E	0.36	92.90	100.94	457.2	15.8%	3.0	22.9	10.8	9.6	9.6
65	A	0.36	85.98	84.38	348.3	14.9%	3.3	12.5	12.5	12.5	12.5
65	D	0.37	58.19	51.92	215.0	16.8%	4.4	20.9	11.7	14.6	11.7
66	C	0.37	82.53	85.37	316.7	16.9%	4.7	48.3	26.0	48.3	22.9
66	D	0.36	96.62	98.95	536.7	16.7%	2.6	9.2	8.8	6.3	6.3
68	B	0.37	69.99	66.40	335.0	14.1%	5.1	58.0	26.7	36.7	26.7
70	A	0.40	105.17	94.58	276.1	14.4%	3.3	26.2	13.8	20.5	14.2
70	E	0.39	110.59	100.18	492.2	15.8%	3.0	20.8	13.8	20.8	13.8
72	D	0.40	81.42	86.97	280.6	14.2%	5.6	40.2	20.8	40.2	20.8
72	E	0.43	120.59	126.48	542.8	14.8%	3.9	20.8	20.8	7.5	7.5
74	A	0.34	80.83	84.45	250.6	15.5%	5.8	20.3	14.4	20.3	14.4
74	A'	0.30	80.62	77.00	247.8	15.6%	3.2	29.6	17.5	29.6	17.5
74	B	0.32	70.37	65.19	205.0	17.1%	6.6	32.8	24.9	32.8	24.9
74	C	0.35	68.12	68.82	261.5	16.7%	7.8	48.0	18.8	48.0	17.5
75	C	0.39	77.86	74.21	212.2	14.5%	5.1	40.4	22.5	40.4	22.5
76	A	0.41	106.66	102.11	434.1	14.3%	2.5	14.5	14.2	14.5	11.7
77	B	0.46	80.64	77.17	187.2	14.7%	5.0	40.0	24.1	34.1	24.1
78	C	0.42	63.09	68.79	179.7	13.5%	7.5	28.8	13.8	16.5	13.8
78	D	0.42	63.64	65.87	188.6	15.3%	6.0	49.5	30.7	49.5	21.7
79	C	0.38	50.20	46.68	282.2	17.5%	4.2	31.2	12.5	19.6	12.5
79	D	0.36	86.81	74.10	430.6	17.3%	6.1	13.8	13.8	4.6	4.6
80	D	0.44	74.75	70.78	202.8	13.8%	10.1	46.8	18.8	40.9	17.5
80	E	0.42	95.98	93.30	290.0	14.1%	6.7	24.7	21.3	15.8	15.8
81	E	0.31	74.78	65.65	352.8	15.3%	3.2	14.6	12.9	14.6	5.4
85	C	0.37	53.50	51.49	265.6	18.4%	5.0	35.7	12.9	30.0	9.6
86	B	0.38	75.17	74.78	204.4	14.7%	4.8	24.2	20.4	20.4	20.4
88	D	0.36	72.53	76.59	269.4	15.2%	6.4	31.7	20.0	31.7	16.3
最大値		0.46	125.22	126.48	619.4	0.19	10.1	70.7	30.7	65.4	27.1
平均値		0.38	83.58	80.44	322.2	0.16	5.0	30.9	17.2	25.0	14.4
最小値		0.30	47.09	46.35	138.3	0.13	2.1	4.2	4.2	0.0	0.0
分散		0.00	311.91	309.08	11936.7	0.00	3.0	206.8	26.0	211.0	35.8
標準偏差		0.03	17.66	17.58	109.3	0.01	1.7	14.4	5.1	14.5	6.0
変動係数		8.6%	21.1%	21.9%	33.9%	7.9%	34.7%	46.5%	29.6%	58.0%	41.5%
5%下限値		-	-	52.04	142.6	-	-	-	-	-	-

付表2 FJラミナ：引張試験結果

No.	$\rho$	Efr-4m	Efr	TS	M.C.	ARW	wSKDL	wKDL	wSKDC	wKDC	破壊形態	
Grade	g/cm <sup>3</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	mm	%	%	%	%		
1	1	0.42	124.28	125.36	327.0	13.0%	4.0	12.5	10.4	9.1	6.3	F
1	3	0.42	120.12	119.58	354.2	12.3%	2.7	13.8	12.5	13.8	12.5	F
2	2	0.46	116.50	114.93	277.6	15.2%	4.2	22.0	16.7	22.0	16.7	O
2	3	0.45	115.14	117.94	330.4	14.1%	5.0	23.7	18.3	23.7	18.3	K
2	4	0.42	114.43	112.84	357.1	15.6%	3.9	16.7	15.8	16.7	10.4	F
2	5	0.42	111.13	116.05	390.4	14.3%	3.7	17.5	17.5	13.3	13.3	F
2	6	0.41	113.19	116.51	362.9	12.9%	4.0	11.7	11.7	6.7	6.7	F
3	2	0.40	113.21	103.47	274.0	13.4%	3.8	20.8	15.8	12.9	12.9	F
3	3	0.40	104.60	105.63	332.6	13.1%	4.0	17.9	13.3	9.2	9.2	F
3	4	0.43	108.15	111.63	324.1	14.9%	3.2	30.0	20.0	13.3	13.3	F
3	6	0.38	109.76	107.37	336.8	12.6%	3.6	17.1	12.1	10.0	6.7	F
3	7	0.44	106.86	118.87	378.0	14.1%	2.5	18.0	13.8	17.5	13.8	F
3	8	0.44	106.85	83.65	281.0	14.8%	3.3	10.8	10.8	6.9	6.9	K
3	10	0.38	107.51	102.39	331.6	13.1%	6.0	23.0	14.6	23.0	14.6	F
3	11	0.48	104.54	106.46	282.9	16.7%	5.0	42.2	20.0	42.2	19.2	F
3	13	0.39	101.28	101.27	255.1	14.0%	4.7	13.7	11.3	6.1	6.1	F
3	14	0.38	101.10	103.66	278.8	13.8%	3.9	18.3	18.3	13.8	13.8	F
3	16	0.41	103.55	101.83	258.6	14.6%	6.5	30.8	15.0	29.4	15.0	K
4	2	0.45	94.81	95.44	193.1	12.6%	5.0	43.4	23.3	43.4	23.3	K
4	3	0.41	100.85	86.73	198.8	11.9%	5.3	28.9	14.6	16.7	14.6	F
4	5	0.43	96.12	98.35	267.2	16.0%	3.4	29.1	17.9	25.2	17.9	F
4	6	0.41	96.37	99.99	294.5	15.8%	3.4	44.0	23.3	44.0	16.7	K
4	7	0.44	92.86	96.45	361.7	15.3%	5.0	18.4	14.6	17.8	10.8	F
4	8	0.39	100.37	87.84	139.7	12.6%	5.0	27.1	27.1	5.0	5.0	O
4	9	0.42	95.89	99.62	256.8	12.9%	5.8	38.3	15.4	38.3	15.4	K
4	10	0.41	97.53	93.54	258.6	12.7%	3.8	33.8	15.8	18.3	15.4	F
4	11	0.40	98.74	92.33	298.3	12.9%	5.4	36.9	20.0	12.3	12.3	F
4	12	0.40	98.84	82.66	269.1	12.6%	3.6	37.7	13.8	20.9	9.2	F
4	14	0.38	92.13	94.08	185.5	13.1%	4.9	28.8	16.3	28.8	16.3	K
4	16	0.38	94.04	98.07	320.6	14.0%	3.4	8.3	8.3	0.0	0.0	F
4	17	0.39	93.87	97.92	293.1	14.7%	3.7	20.4	17.9	20.4	17.9	F
5	1	0.38	88.30	89.26	220.3	15.4%	3.2	30.7	20.7	25.1	14.6	K
5	3	0.36	93.48	88.91	217.4	12.7%	4.1	34.2	15.8	18.9	15.8	F
5	5	0.39	90.68	80.67	191.9	15.2%	5.8	20.8	20.8	13.8	13.8	F
5	7	0.41	88.24	85.12	239.1	13.0%	6.6	27.5	20.0	20.0	20.0	K
5	8	0.40	87.50	93.29	237.1	13.5%	5.0	44.9	26.3	44.9	26.3	F
5	9	0.40	86.75	91.32	222.0	13.2%	3.3	24.6	24.6	24.6	24.6	K
5	11	0.37	89.81	79.93	205.2	14.1%	5.4	25.0	13.3	25.0	13.3	F
5	12	0.35	87.77	90.77	265.9	13.4%	5.0	18.5	15.7	8.3	8.3	F
5	13	0.38	88.16	89.57	194.2	14.3%	5.0	23.3	23.0	23.3	23.0	K
5	14	0.35	85.88	84.92	188.4	12.9%	4.4	32.2	19.2	32.2	16.7	F
5	16	0.38	85.26	77.66	251.9	16.6%	4.4	12.5	12.5	11.7	11.7	F
5	17	0.40	84.28	87.18	240.5	12.0%	4.4	30.9	21.3	24.2	16.7	F
5	18	0.39	85.06	97.56	232.5	14.0%	2.8	38.0	21.7	15.1	8.8	F
5	19	0.38	88.20	101.02	343.2	13.1%	2.7	12.9	12.9	12.9	12.9	F
5	21	0.37	83.87	89.60	240.9	14.7%	4.1	29.6	17.1	29.6	17.1	F
5	22	0.38	81.70	82.13	197.7	12.3%	4.3	33.6	19.6	33.6	19.6	K
5	23	0.41	84.80	86.15	269.0	13.4%	4.2	33.3	25.0	19.2	19.2	F
5	24	0.38	84.55	70.02	207.0	13.0%	2.6	14.2	10.0	9.6	5.4	F
5	25	0.40	87.13	92.56	215.7	13.3%	7.1	49.6	19.2	49.6	17.5	F
5	26	0.31	80.81	68.60	152.5	13.3%	4.7	15.1	10.0	14.7	6.3	F
5	27	0.35	80.08	82.37	228.4	12.9%	5.6	15.4	15.4	15.4	15.4	F
6	2	0.40	79.27	76.00	245.2	16.7%	5.3	23.8	16.7	16.7	16.7	F
6	3	0.46	78.88	81.28	229.6	14.9%	5.6	47.5	20.8	26.6	14.2	K
6	5	0.38	83.57	71.54	209.9	13.0%	6.4	20.6	13.8	12.5	12.5	F
6	6	0.41	79.27	73.86	200.0	13.6%	7.8	39.1	21.3	39.1	21.3	F
6	7	0.40	78.87	79.30	220.2	12.9%	6.2	20.9	11.7	21.3	11.7	F
6	8	0.41	77.47	78.09	224.3	13.3%	7.0	24.3	17.1	24.3	17.1	F



付表2 FJラミナ：引張試験結果

No.	$\rho$	Efr-4m	Efr	TS	M.C.	ARW	wSKDL	wKDL	wSKDC	wKDC	破壊形態	
Grade	g/cm <sup>3</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	mm	%	%	%	%		
6	10	0.35	79.08	77.73	204.6	14.9%	6.0	21.7	15.4	13.3	13.3	F
6	12	0.40	75.98	60.67	219.7	12.7%	3.3	39.2	21.3	39.2	21.3	F
6	13	0.37	78.53	68.96	191.4	12.8%	5.3	37.5	22.9	12.1	12.1	F
6	15	0.30	73.86	75.23	238.3	13.2%	4.7	13.3	13.3	5.0	5.0	F
6	17	0.39	73.06	70.01	172.2	15.8%	8.3	24.6	16.3	24.6	13.8	F
6	18	0.39	73.09	70.83	202.3	13.6%	7.1	34.5	20.8	23.2	12.5	K
6	20	0.38	77.32	69.67	155.9	12.8%	7.5	35.7	20.4	35.7	20.4	F
6	21	0.41	78.72	74.78	215.9	13.0%	5.8	58.8	18.3	29.5	18.3	K
6	23	0.39	71.13	73.00	155.9	14.8%	8.0	33.8	15.0	33.8	14.6	K
6	24	0.35	69.49	77.89	208.1	13.9%	7.8	30.4	15.0	27.1	15.0	K
6	25	0.32	69.02	66.89	207.5	15.4%	4.0	19.6	18.8	19.6	18.8	F
6	26	0.36	72.75	75.90	194.8	13.9%	7.3	48.4	23.8	19.6	16.7	F
7	1	0.39	72.61	71.03	143.5	13.6%	5.5	53.1	22.1	53.1	16.3	K
7	2	0.40	73.84	68.49	209.3	12.5%	6.5	78.9	22.1	78.9	22.1	K
7	3	0.40	68.39	71.19	167.0	14.4%	8.0	54.7	16.7	39.2	15.4	K
7	4	0.40	68.50	66.24	178.6	13.2%	9.2	52.4	20.4	44.0	20.4	K
7	5	0.34	69.57	70.01	174.5	14.1%	8.5	48.7	21.7	21.7	21.7	F
7	6	0.35	62.21	64.11	202.9	16.6%	7.5	23.3	13.8	23.3	13.3	O
7	8	0.35	68.55	66.13	190.1	13.5%	3.2	38.4	16.7	22.9	12.1	K
7	9	0.34	72.82	64.46	138.5	12.4%	8.0	46.2	14.2	20.8	13.3	F
7	10	0.36	70.73	67.52	155.9	13.0%	7.4	20.1	11.3	15.5	12.1	F
7	11	0.41	65.21	66.48	198.3	13.4%	7.1	37.9	16.7	37.9	15.8	F
7	12	0.36	67.51	73.25	218.0	14.0%	6.3	34.9	16.2	34.9	16.2	F
7	13	0.39	63.31	64.75	196.0	16.0%	8.5	56.3	20.0	35.0	12.5	F
7	14	0.39	66.32	67.21	192.4	14.3%	9.2	42.3	17.3	42.3	17.3	F
7	15	0.36	61.92	54.55	208.7	16.3%	3.6	30.0	19.2	14.8	11.5	F
7	16	0.35	66.04	61.06	190.1	13.1%	8.3	28.7	14.2	28.7	14.2	F
7	17	0.39	60.73	63.20	169.9	13.3%	6.3	28.8	19.6	12.5	12.5	F
7	18	0.41	60.45	64.74	174.0	13.4%	7.1	43.3	20.0	42.5	19.6	F
7	19	0.35	60.76	59.74	191.3	14.8%	3.8	21.4	17.1	11.3	11.3	K
7	20	0.37	61.81	67.27	169.5	14.6%	6.5	29.7	20.4	12.9	6.7	F
7	21	0.37	62.63	69.97	136.2	14.8%	5.7	31.5	17.1	31.5	11.7	F
8	3	0.36	59.38	64.22	125.8	13.5%	7.8	30.8	12.5	30.8	8.3	O
8	4	0.39	58.81	57.81	196.0	13.3%	7.8	52.1	23.3	36.7	16.7	F
8	5	0.39	55.74	55.74	114.9	15.6%	7.3	44.7	20.5	40.9	20.5	F
8	6	0.36	54.08	51.54	152.9	13.8%	5.1	48.5	22.9	48.5	22.9	K
8	8	0.38	58.55	55.72	131.0	12.8%	6.2	71.2	15.4	52.2	15.0	F
8	9	0.37	55.46	50.87	160.0	13.3%	7.0	39.5	14.2	34.7	9.6	F
8	10	0.35	50.87	52.29	125.8	15.6%	5.8	50.4	14.6	50.4	14.6	F
8	11	0.34	85.22	52.62	153.0	12.7%	8.6	45.4	20.0	35.8	20.0	F
9	3	0.34	48.84	41.47	102.0	13.2%	7.8	48.3	23.3	48.3	23.3	O
9	4	0.37	48.53	52.54	128.1	12.5%	7.4	74.6	21.3	74.6	21.3	F
最大値	0.48	120.12	119.58	390.4	16.7%	9.2	78.9	27.1	78.9	26.3		
平均値	0.39	82.74	81.35	224.2	13.9%	5.5	32.2	17.5	25.7	14.7	F:71	
最小値	0.30	48.53	41.47	102.0	11.9%	2.5	8.3	8.3	0.0	0.0	K:24	
分散	0.00	299.90	330.37	4184.7	0.0	3.0	202.1	15.8	207.7	23.9	O: 5	
標準偏差	0.03	17.32	18.18	64.7	1.2%	1.7	14.2	4.0	14.4	4.9		
変動係数	8.2%	20.9%	22.3%	28.9%	8.4%	31.7%	44.1%	22.6%	56.1%	33.3%		
5%下限値	-	-	51.67	118.8	-	-	-	-	-	-		

付表3 NJラミナ：曲げ試験結果

No.	$\rho t$	Efr-4m	Efr	TS	M.C.	ARW	EL	EI	$\sigma_b$	$\rho_b$	
log. lam.	g/cm <sup>3</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	mm	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	g/cm <sup>3</sup>	
1	B	0.38	91.98	91.33	287.8	15.1%	3.9	81.27	72.88	531.4	0.38
1	E	0.36	76.30	75.88	260.6	14.9%	5.8	59.65	71.78	467.0	0.35
3	A	0.42	113.47	113.41	432.2	15.6%	3.4	104.76	122.53	640.5	0.45
4	B	0.35	102.21	95.27	341.7	13.9%	4.5	75.84	83.82	489.4	0.33
4	C	0.33	91.79	83.02	364.4	14.7%	5.1	87.19	95.49	602.7	0.35
4	D	0.34	67.93	70.04	277.8	14.0%	7.8	61.86	78.41	360.1	0.33
5	C	0.40	61.87	63.54	189.4	16.2%	7.2	55.77	63.80	381.5	0.43
7	A	0.43	111.96	114.89	496.1	15.7%	7.0	95.95	118.36	531.3	0.43
7	C	0.44	78.75	78.96	169.2	14.7%	4.6	72.55	88.87	615.3	0.41
8	A	0.34	91.04	93.45	195.0	14.7%	5.9	87.37	88.61	558.8	0.33
11	C	0.44	78.72	76.04	227.8	17.4%	7.0	67.39	70.25	470.0	0.44
12	B	0.42	89.44	90.41	213.3	14.2%	4.5	72.72	68.85	524.8	0.43
12	C	0.37	102.00	98.06	435.6	14.5%	3.8	94.08	116.32	576.8	0.39
14	A	0.35	78.53	72.9	446.7	15.9%	2.7	55.37	58.18	500.0	0.36
14	C	0.35	51.51	52.82	146.5	15.7%	7.0	46.92	44.95	400.7	0.36
16	A	0.42	119.31	118.89	475.0	14.7%	2.6	113.58	148.61	801.4	0.43
16	B	0.40	114.81	106.88	430.0	14.8%	5.7	104.61	124.90	689.0	0.42
16	C	0.39	68.03	68.38	259.4	14.3%	6.9	65.65	67.66	512.7	0.38
17	B	0.37	74.73	71.99	216.6	15.0%	2.9	49.88	61.32	416.3	0.36
18	B	0.35	55.13	56.97	290.0	13.9%	5.1	37.23	42.29	441.4	0.32
20	B	0.40	103.75	97.54	274.4	15.3%	3.8	77.50	101.57	487.9	0.39
20	C	0.37	93.29	84.79	341.7	16.7%	5.3	92.47	147.35	560.5	0.39
22	A	0.41	102.60	98.54	372.7	15.7%	2.9	88.58	124.27	552.4	0.42
22	C	0.41	56.79	54.81	150.6	14.9%	8.7	46.19	60.13	403.5	0.42
23	B	0.36	84.46	80.83	199.4	15.4%	4.4	69.30	78.84	405.4	0.36
23	D	0.37	56.90	55.79	138.3	13.9%	10.0	46.92	57.94	289.2	0.38
29	D	0.43	70.28	69.55	252.2	14.7%	6.3	69.58	70.34	434.4	0.44
29	E	0.39	77.98	74.15	191.1	14.6%	6.0	61.32	59.28	414.4	0.39
29	F	0.38	97.59	90.86	302.8	14.9%	3.8	93.53	91.25	624.9	0.38
30	B	0.38	99.06	91.8	393.3	14.8%	4.5	58.64	50.02	606.0	0.38
30	D	0.39	67.73	67.56	312.2	17.2%	4.8	53.89	63.68	545.4	0.40
30	E	0.39	61.19	55.79	258.3	17.7%	7.8	55.99	71.08	452.8	0.38
30	F	0.39	88.99	78.06	330.0	17.4%	5.1	50.28	52.35	498.1	0.40
30	G	0.40	47.09	46.35	227.8	17.9%	8.5	35.83	41.30	418.7	0.42
31	A	0.34	72.45	73.25	305.6	15.0%	6.3	53.68	72.60	506.0	0.34
32	C	0.43	81.02	82.84	285.2	15.6%	6.1	82.35	121.81	496.8	0.43
32	D	0.42	100.17	103.55	420.2	14.7%	4.4	88.57	86.29	483.6	0.41
33	D	0.41	72.87	68.41	286.7	17.6%	4.5	48.72	53.48	490.1	0.41
33	F	0.39	108.41	101.18	551.7	15.6%	4.3			708.4	0.40
34	A	0.31	79.29	70.4	408.9	16.1%	3.3	93.19	130.92	564.9	0.34
34	F	0.30	64.71	61.16	419.4	17.7%	5.6	62.91	63.81	399.9	0.30
35	B	0.36	83.04	76.59	323.3	16.0%	2.9	75.31	113.91	485.0	0.36
36	D	0.41	99.43	102.63	513.3	17.3%	2.1	91.47		586.9	0.42
37	A	0.38	92.84	89.53	425.6	15.3%	2.8	82.44	94.50	609.3	0.39
37	D	0.41	69.48	68.41	245.6	17.2%	5.4	69.10	98.27	518.7	0.40
37	E	0.38	84.39	82.75	459.9	18.0%	5.2	84.54	94.52	558.0	0.38
37	F	0.36	100.85	91.48	515.3	18.6%	3.8	90.78	179.85	564.7	0.37
38	B	0.43	107.50	103.87	576.1	17.2%	3.1	79.70	81.40	534.8	0.43
39	D	0.36	83.33	94.25	313.5	15.0%	3.7	81.52	71.83	517.0	0.35
40	F	0.40	85.71	79.68	330.6	17.6%	4.1	90.59	112.43	620.7	0.40
41	A	0.38	105.36	101.37	410.6	18.4%	3.5	81.31	108.80	527.4	0.38
41	D	0.38	71.12	68.19	287.2	15.3%	5.8	61.34	69.43	397.4	0.39
41	G	0.40	125.22	122.07	619.4	15.3%	3.5	114.40	135.78	700.7	0.41
42	A	0.36	77.03	68.45	260.6	15.1%	5.6	43.22	57.83	455.3	0.35
42	C	0.37	72.47	60.98	302.8	15.5%	5.6	40.44	37.52	321.2	0.36
42	F	0.36	73.49	67.71	233.3	15.2%	5.8	71.83	68.81	462.6	0.36
42	G	0.37	99.16	85.75	274.4	15.0%	3.7	50.48	57.46	430.2	0.36
44	B	0.34	61.05	60.91	298.6	14.6%	6.7	58.27	60.31	418.9	0.35

付表3 NJラミナ：曲げ試験結果

No.	$\rho t$	Efr-4m	Efr	TS	M.C.	ARW	EL	EI	$\sigma b$	$\rho b$	
log. lam.	g/cm <sup>3</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	mm	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	g/cm <sup>3</sup>	
47	C	0.39	116.27	111.53	398.9	13.8%	4.4	92.03	113.25	614.7	0.38
49	A	0.37	89.36	80.51	330.6	17.2%	5.0	85.28	100.82	571.6	0.37
49	B	0.35	67.25	62.06	201.8	15.5%	9.0	48.42	44.80	372.0	0.34
49	C	0.38	61.00	58.04	191.1	15.4%	8.1	40.95	49.32	426.0	0.38
55	A	0.39	78.62	70.82	330.6	14.3%	3.8	70.47	64.40	576.7	0.39
55	C	0.38	87.17	75.69	306.7	15.7%	2.1	83.61	91.53	578.0	0.38
56	A	0.33	84.97	57.86	313.1	17.4%	4.1	74.67	94.48	585.6	0.43
56	B	0.39	92.96	83.04	368.8	15.1%	4.2			447.4	0.36
59	A	0.33	89.59	86.39	507.8	15.5%	3.9	85.53	104.12	553.2	0.33
61	C	0.39	65.99	63.48	231.8	15.2%	6.3	42.83	47.64	496.5	0.41
62	A	0.37	91.73	94.96	390.0	15.3%	3.1	96.45	140.59	586.0	0.38
63	A	0.40	111.41	103.77	460.6	14.8%	3.0	105.64	134.40	704.6	0.41
63	C	0.42	65.68	64.15	201.7	15.6%	6.0	56.53	90.79	504.2	0.44
64	D	0.38	94.95	92.74	430.6	15.4%	5.5	57.18	50.95	388.7	0.38
64	E	0.36	92.90	100.94	457.2	15.8%	3.0	81.50	96.33	557.3	0.38
65	A	0.36	85.98	84.38	348.3	14.9%	3.3	66.01	78.21	536.3	0.38
65	D	0.37	58.19	51.92	215.0	16.8%	4.4	52.30	68.07	422.8	0.37
66	C	0.37	82.53	85.37	316.7	16.9%	4.7	61.21	47.51	386.4	0.38
66	D	0.36	96.62	98.95	536.7	16.7%	2.6	88.01	146.63	490.5	0.36
68	B	0.37	69.99	66.4	335.0	14.1%	5.1	50.31	62.51	401.8	0.37
70	A	0.40	105.17	94.58	276.1	14.4%	3.3	99.31	98.07	668.2	0.41
70	E	0.39	110.59	100.18	492.2	15.8%	3.0	103.29	127.44	674.2	0.41
72	D	0.40	81.42	86.97	280.6	14.2%	5.6	72.45	79.81	526.8	0.40
72	E	0.43	120.59	126.48	542.8	14.8%	3.9	102.31	109.70	676.2	0.44
74	A	0.34	80.83	84.45	250.6	15.5%	5.8	73.96	89.80	478.1	0.31
74	A'	0.30	80.62	77	247.8	15.6%	3.2	66.49	72.23	460.9	0.32
74	B	0.32	70.37	65.19	205.0	17.1%	6.6	52.06	29.76	328.8	0.34
74	C	0.35	68.12	68.82	261.5	16.7%	7.8	58.00	78.82	380.6	0.35
75	C	0.39	77.86	74.21	212.2	14.5%	5.1	64.98	80.30	416.3	0.37
76	A	0.41	106.66	102.11	434.1	14.3%	2.5	105.59		669.5	0.41
77	B	0.46	80.64	77.17	187.2	14.7%	5.0	73.05	141.42	489.1	0.46
78	C	0.42	63.09	68.79	179.7	13.5%	7.5	61.72	80.21	595.5	0.41
78	D	0.42	63.64	65.87	188.6	15.3%	6.0	53.10	67.59	390.0	0.41
79	C	0.38	50.20	46.68	282.2	17.5%	4.2	49.90	31.79	396.9	0.37
79	D	0.36	86.81	74.1	430.6	17.3%	6.1	87.79	97.09	531.9	0.37
80	D	0.44	74.75	70.78	202.8	13.8%	10.1	65.06	66.07	566.0	0.42
80	E	0.42	95.98	93.3	290.0	14.1%	6.7	85.08	85.12	597.3	0.44
81	E	0.31	74.78	65.65	352.8	15.3%	3.2	69.72	87.76	471.0	0.31
85	C	0.37	53.50	51.49	265.6	18.4%	5.0	35.32	30.32	328.2	0.39
86	B	0.38	75.17	74.78	204.4	14.7%	4.8	66.19	112.78	401.9	0.37
88	D	0.36	72.53	76.59	269.4	15.2%	6.4	63.87	82.33	352.5	0.36
最大値		0.46	125.22	126.48	619.4	18.6%	10.1	114.40	179.85	801.4	0.46
平均値		0.38	83.58	80.44	322.2	15.6%	5.0	71.48	84.25	506.7	0.38
最小値		0.30	47.09	46.35	138.3	13.5%	2.1	35.32	29.76	289.2	0.30
分散		0.00	311.91	309.08	11936.7	0.00	3.0	368.33	929.07	10027.0	0.00
標準偏差		0.03	17.66	17.58	109.3	1.2%	1.7	19.19	30.48	100.1	0.03
変動係数		8.6%	21.1%	21.9%	33.9%	7.9%	34.7%	26.8%	36.2%	19.8%	9.1%
5%下限値		-	-	52.04	142.6	-	-	40.44	34.61	343.1	-

付表4 FJラミナ：曲げ試験結果

No.	$\rho t$	Efr-4m	Efr	TS	ARW	M.C.	EL	EI	$\sigma b$	$\rho b$	
Grade	g/cm <sup>3</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	mm	%	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	g/cm <sup>3</sup>	
1	1	0.42	124.28	125.36	327.0	4.0	13.0%	104.73	95.72	419.7	0.42
1	3	0.42	120.12	119.58	354.2	2.7	12.3%	96.70	109.99	462.0	0.42
2	2	0.46	116.50	114.93	277.6	4.2	15.2%	102.36	119.31	411.9	0.45
2	3	0.45	115.14	117.94	330.4	5.0	14.1%	114.03	111.30	363.3	0.45
2	4	0.42	114.43	112.84	357.1	3.9	15.6%	97.60	110.40	409.0	0.42
2	5	0.42	111.13	116.05	390.4	3.7	14.3%	105.40	89.49	402.9	0.43
2	6	0.41	113.19	116.51	362.9	4.0	12.9%	95.64	96.81	392.6	0.41
3	2	0.40	113.21	103.47	274.0	3.8	13.4%	89.67	94.32	401.8	0.39
3	3	0.40	104.60	105.63	332.6	4.0	13.1%	85.71	98.67	420.9	0.39
3	4	0.43	108.15	111.63	324.1	3.2	14.9%	89.16	102.97	461.5	0.43
3	6	0.38	109.76	107.37	336.8	3.6	12.6%	85.19	77.65	390.1	0.37
3	7	0.44	106.86	118.87	378.0	2.5	14.1%	96.15	113.81	410.8	0.44
3	8	0.44	106.85	83.65	281.0	3.3	14.8%	89.32	100.81	432.8	0.46
3	10	0.38	107.51	102.39	331.6	6.0	13.1%	81.93	95.05	264.6	0.38
3	11	0.48	104.54	106.46	282.9	5.0	16.7%	80.14	124.61	415.2	0.49
3	13	0.39	101.28	101.27	255.1	4.7	14.0%	89.73	101.99	426.8	0.38
3	14	0.38	101.10	103.66	278.8	3.9	13.8%	96.37	97.92	374.3	0.38
3	16	0.41	103.55	101.83	258.6	6.5	14.6%	89.95	127.53	322.0	0.41
4	2	0.45	94.81	95.44	193.1	5.0	12.6%	84.70	74.24	427.2	0.46
4	3	0.41	100.85	86.73	198.8	5.3	11.9%	84.05	87.08	382.9	0.42
4	5	0.43	96.12	98.35	267.2	3.4	16.0%	71.45	92.36	371.5	0.43
4	6	0.41	96.37	99.99	294.5	3.4	15.8%	83.88	133.36	374.8	0.40
4	7	0.44	92.86	96.45	361.7	5.0	15.3%	74.16	102.26	373.0	0.45
4	8	0.39	100.37	87.84	139.7	5.0	12.6%	89.08	101.51	387.9	0.40
4	9	0.42	95.89	99.62	256.8	5.8	12.9%	87.20	98.80	343.7	0.44
4	10	0.41	97.53	93.54	258.6	3.8	12.7%	95.34	118.08	394.7	0.41
4	11	0.40	98.74	92.33	298.3	5.4	12.9%	73.32	66.76	349.2	0.40
4	12	0.40	98.84	82.66	269.1	3.6	12.6%	77.83	87.38	351.9	0.40
4	14	0.38	92.13	94.08	185.5	4.9	13.1%	79.09	85.52	350.8	0.37
4	16	0.38	94.04	98.07	320.6	3.4	14.0%	80.79	91.17	373.7	0.38
4	17	0.39	93.87	97.92	293.1	3.7	14.7%	92.53	83.54	387.0	0.39
5	1	0.38	88.30	89.26	220.3	3.2	15.4%	82.24	112.74	391.6	0.39
5	3	0.36	93.48	88.91	217.4	4.1	12.7%	78.86	123.79	334.9	0.37
5	5	0.39	90.68	80.67	191.9	5.8	15.2%	69.05	77.67	360.2	0.41
5	7	0.41	88.24	85.12	239.1	6.6	13.0%	72.48	86.36	308.7	0.40
5	8	0.40	87.50	93.29	237.1	5.0	13.5%	72.48	74.13	365.1	0.38
5	9	0.40	86.75	91.32	222.0	3.3	13.2%	68.51	62.73	402.9	0.42
5	11	0.37	89.81	79.93	205.2	5.4	14.1%	73.75	122.02	309.4	0.38
5	12	0.35	87.77	90.77	265.9	5.0	13.4%	83.54	78.00	373.2	0.35
5	13	0.38	88.16	89.57	194.2	5.0	14.3%	71.89	72.10	367.7	0.37
5	14	0.35	85.88	84.92	188.4	4.4	12.9%	68.39	76.16	323.5	0.36
5	16	0.38	85.26	77.66	251.9	4.4	16.6%	41.48	44.37	335.7	0.40
5	17	0.40	84.28	87.18	240.5	4.4	12.0%	75.60	67.85	331.9	0.40
5	18	0.39	85.06	97.56	232.5	2.8	14.0%	98.68	100.77	383.2	0.40
5	19	0.38	88.20	101.02	343.2	2.7	13.1%	80.34	87.18	380.3	0.38
5	21	0.37	83.87	89.60	240.9	4.1	14.7%	80.67	133.48	362.5	0.37
5	22	0.38	81.70	82.13	197.7	4.3	12.3%	65.49	106.71	307.3	0.38
5	23	0.41	84.80	86.15	269.0	4.2	13.4%	84.31	115.84	359.7	0.42
5	24	0.38	84.55	70.02	207.0	2.6	13.0%	61.58	63.00	314.9	0.38
5	25	0.40	87.13	92.56	215.7	7.1	13.3%	73.98	79.66	343.2	0.40
5	26	0.31	80.81	68.60	152.5	4.7	13.3%	70.09	81.83	307.9	0.32
5	27	0.35	80.08	82.37	228.4	5.6	12.9%	64.65	70.55	333.2	0.34
6	2	0.40	79.27	76.00	245.2	5.3	16.7%	52.98	64.36	342.7	0.41
6	3	0.46	78.88	81.28	229.6	5.6	14.9%	70.22	73.98	360.0	0.46
6	5	0.38	83.57	71.54	209.9	6.4	13.0%	70.81	89.96	281.5	0.25
6	6	0.41	79.27	73.86	200.0	7.8	13.6%	68.68	79.17	260.0	0.40
6	7	0.40	78.87	79.30	220.2	6.2	12.9%	62.02	54.94	288.5	0.43
6	8	0.41	77.47	78.09	224.3	7.0	13.3%	71.31	62.15	313.0	0.41

付表4 FJラミナ：曲げ試験結果

No.	$\rho t$	Efr-4m	Efr	TS	ARW	M.C.	EL	EI	$\sigma b$	$\rho b$
Grade	g/cm <sup>3</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	mm	%	tf/cm <sup>2</sup>	tf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	g/cm <sup>3</sup>
6 10	0.35	79.08	77.73	204.6	6.0	14.9%	70.30	79.12	321.5	0.36
6 12	0.40	75.98	60.67	219.7	3.3	12.7%	59.35	65.56	370.7	0.39
6 13	0.37	78.53	68.96	191.4	5.3	12.8%	57.17	67.81	282.9	0.37
6 15	0.30	73.86	75.23	238.3	4.7	13.2%	66.04	119.90	331.7	0.31
6 17	0.39	73.06	70.01	172.2	8.3	15.8%	69.21	72.13	297.1	0.39
6 18	0.39	73.09	70.83	202.3	7.1	13.6%	64.76	76.12	278.4	0.39
6 20	0.38	77.32	69.67	155.9	7.5	12.8%	61.17	81.25	238.7	0.39
6 21	0.41	78.72	74.78	215.9	5.8	13.0%	61.50	69.17	268.3	0.41
6 23	0.39	71.13	73.00	155.9	8.0	14.8%	57.52	54.35	243.3	0.40
6 24	0.35	69.49	77.89	208.1	7.8	13.9%	62.13	75.13	254.7	0.35
6 25	0.32	69.02	66.89	207.5	4.0	15.4%	49.38	44.75	294.4	0.33
6 26	0.36	72.75	75.90	194.8	7.3	13.9%	63.86	68.80	287.2	0.39
7 1	0.39	72.61	71.03	143.5	5.5	13.6%	67.19	97.12	286.6	0.39
7 2	0.40	73.84	68.49	209.3	6.5	12.5%	53.89	56.48	400.4	0.40
7 3	0.40	68.39	71.19	167.0	8.0	14.4%	56.88	60.35	241.0	0.40
7 4	0.40	68.50	66.24	178.6	9.2	13.2%	52.86	60.94	268.9	0.39
7 5	0.34	69.57	70.01	174.5	8.5	14.1%	60.71	51.29	249.9	0.35
7 6	0.35	62.21	64.11	202.9	7.5	16.6%	49.60	44.78	271.4	0.36
7 8	0.35	68.55	66.13	190.1	3.2	13.5%	43.69	48.55	224.3	0.35
7 9	0.34	72.82	64.46	138.5	8.0	12.4%	59.20	65.37	209.8	0.35
7 10	0.36	70.73	67.52	155.9	7.4	13.0%	55.50	71.49	222.6	0.37
7 11	0.41	65.21	66.48	198.3	7.1	13.4%	53.68	55.18	267.4	0.41
7 12	0.36	67.51	73.25	218.0	6.3	14.0%	71.55	96.76	322.8	0.36
7 13	0.39	63.31	64.75	196.0	8.5	16.0%	56.95	71.10	242.5	0.39
7 14	0.39	66.32	67.21	192.4	9.2	14.3%	60.61	65.17	220.0	0.39
7 15	0.36	61.92	54.55	208.7	3.6	16.3%	51.26	52.20	293.3	0.38
7 16	0.35	66.04	61.06	190.1	8.3	13.1%	54.33	61.13	240.3	0.34
7 17	0.39	60.73	63.20	169.9	6.3	13.3%	49.67	60.63	272.6	0.41
7 18	0.41	60.45	64.74	174.0	7.1	13.4%	54.31	64.36	259.0	0.42
7 19	0.35	60.76	59.74	191.3	3.8	14.8%	36.64	50.78	282.1	0.35
7 20	0.37	61.81	67.27	169.5	6.5	14.6%	59.01	64.22	258.1	0.36
7 21	0.37	62.63	69.97	136.2	5.7	14.8%	64.12	68.57	282.9	0.36
8 3	0.36	59.38	64.22	125.8	7.8	13.5%	56.58	59.46	231.0	0.37
8 4	0.39	58.81	57.81	196.0	7.8	13.3%	45.96	54.90	228.8	0.41
8 5	0.39	55.74	55.74	114.9	7.3	15.6%	44.31	37.51	261.3	0.40
8 6	0.36	54.08	51.54	152.9	5.1	13.8%	36.50	36.53	200.7	0.35
8 8	0.38	58.55	55.72	131.0	6.2	12.8%	55.53	68.09	252.7	0.39
8 9	0.37	55.46	50.87	160.0	7.0	13.3%	43.19	50.63	219.6	0.36
8 10	0.35	50.87	52.29	125.8	5.8	15.6%	22.71	19.92	220.2	0.37
8 11	0.34	85.22	52.62	153.0	8.6	12.7%	27.61	31.10	173.3	0.35
9 3	0.34	48.84	41.47	102.0	7.8	13.2%	39.25	45.54	176.8	0.34
9 4	0.37	48.53	52.54	128.1	7.4	12.5%	40.55	48.43	184.2	0.34
最大値	0.48	120.12	119.58	390.4	9.2	16.7%	114.03	133.48	462.0	0.49
平均値	0.39	82.74	81.35	224.2	5.5	13.9%	69.28	79.28	320.3	0.39
最小値	0.30	48.53	41.47	102.0	2.5	11.9%	22.71	19.92	173.3	0.25
分散	0.00	299.90	330.37	4184.7	3.0	0.00	321.72	603.87	4706.9	0.00
標準偏差	0.03	17.32	18.18	64.7	1.7	1.2%	17.94	24.57	68.6	0.04
変動係数	8.2%	20.9%	22.3%	28.9%	31.7%	8.4%	25.9%	31.0%	21.4%	9.1%
5%下限値	-	-	51.67	118.8	-	-	40.23	39.61	208.7	-

# 第5章 確率モデルを用いたシミュレーションによる集成材の性能予測 —新構造用集成材JASの構成基準に基づく集成材の性能予測—

東北大学工学部建築学科 三橋博三 板垣直行  
宮城県林業試験場 梅田久男 江刺拓司

## 1. はじめに

集成材は再構成材料であり、その性能は構成要素(ラミナ)の性能とその構成方法に大きく依存するため、ラミナのグレーディング及び断面の構成により、その性能をコントロールすることが可能であると考えられる。また集成加工によりラミナの性能が平均化され、ばらつきが減少するため、集成材は性能信頼性も高く評価できる。したがってこれらの特性を上手に活かすことにより、要求性能に応じて合理的に集成材を生産することが可能であるが、このような集成材の性能設計方法は未だ確立していない。今後、集成材の需要拡大に対し効率的で安定した供給を図っていくためには、その性能設計方法を確立し、必要性能に応じて合理的に生産するシステムを開発することが急務であるといえる。

こういった状況の中、昨年2月に改正された構造用集成材JASでは、集成材の性能を曲げヤング係数と曲げ強度の組み合わせによる強度等級で区分し、その性能を確保するためのラミナの性能を機械的等級区分によっても格付けできるようになっており、改正以前に比べてかなり具体的に力学的性能との関係が明確になっている。また、目標とする性能を誘導するためのラミナの構成基準もそれらに基づき具体的に示されており、ある程度性能設計としての要素が取り入れられているといえる。とはいえ、これらはいくまでも下限値としての条件を規定している製造規程であって、構成基準に従って製造された集成材が強度等級をクリアするとは限らない。また性能の分布に対して、合理的な構成であるかどうかとも検討する必要がある。

そこで本研究では、既往のラミナの性能データを基に、シミュレーションモデルを用いて新構造用集成材の日本農林規格(JAS)の構成基準に基づく集成材の性能予測を行い、これらの基準について検討した。本報では、JASの構成基準に基づく異等級対称構成スギ集成材について積層数を変えたものについて曲げヤング係数(MOE)及び曲げ破壊係数(MOR)の性能分布を予測し、検討した。

## 2. 集成材モデル

性能予測を行う集成材のラミナを150×22.5mmとし、8ply, 16ply, 32plyの3種類の集成材について性能予測を行った。これらの集成材に構造用集成材JASの異等級対称構成集成材の構成基準を適用すると、断面の構成は図1の様になる。またこのときのスギラミナの機械的等級区分基準値及び集成材の強度等級に対応する各層の機械区分によるラミナの等級区分を表1, 表2に示す。

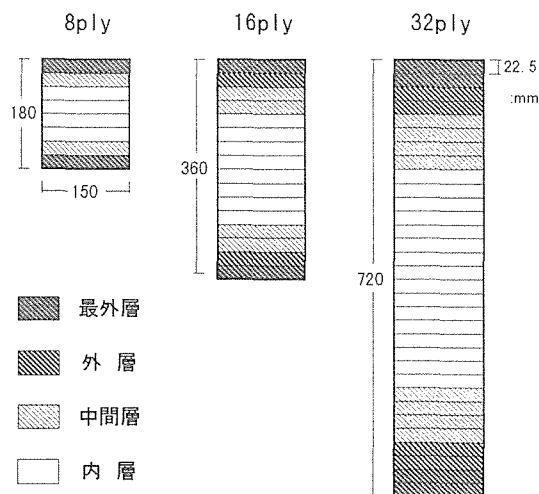


図1 集成材の断面構成

表1ラミナの等級区分

機械区分による等		L110	L100	L90	L80	L70	L60	L50
ヤング係数 (tf/cm <sup>2</sup> )	上限	125	110	100	90	80	70	60
	下限	110	100	90	80	70	60	50

表2 強度等級に対応する各層のラミナの等級区分

		集成材の強度等級			
		E95-F270	E85-F255	E75-F240	E65-F225
ラミナの 機械的 等級区分	最外層	L110	L100	L90	L80
	外層	L100	L90	L80	L70
	中間層	L90	L80	L70	L60
	内層	L70	L60	L50	L50

### 3. シミュレーション方法

シミュレーションは、昨年報告したモデル<sup>1)</sup>とほぼ同様のモデルを用いており、まずモンテカルロ法を用いて仮想のラミナを作製し、そのラミナのデータを各構成に従い性能予測解析モデルに入力し、ヤング係数及び曲げ破壊係数を求めるという手順で行う。今回の解析では以下の点が昨年のモデルから変更されている。

#### ①仮想ラミナの力学的性能を決定する確率モデル

今回の解析では、集成材のラミナ構成はJASの構成基準に従うものであるため、各等級において十分にラミナがプールされている状況が想定される。従ってラミナのヤング係数分布は母集団によることなく各等級において一様であると仮定し、各等級のヤング係数の下限値(MOE<sub>low</sub>)と上限値(MOE<sub>up</sub>)の間に一様乱数(r=0~1)を発生させ、仮想ラミナのMOEを決定する。

$$MOE_i = MOE_{low} + (MOE_{up} - MOE_{low}) \times r_i \quad (1)$$

決定したMOEに対して、図2に示すように回帰線上の値を求め、さらに回帰から誤差を与えて仮想ラミナの性能とする。

これらの回帰データは図2に示すMOE-TS、MOE-MORの回帰データ（一昨年度の本事業報告書<sup>2)</sup>に林が報告した、スギラミナのデータベースの一部）及び昨年度の本事業に梅田等が報告したスギラミナ試験データ<sup>1)</sup>を用いたが、図3に示すように、フィンガージョイント（以下FJ）ラミナのMOR及びTSについては、シミュレーションの実用性を考慮し、ノンジョイント（以下NJ）ラミナのMOEに対する回帰線を基準にして、MOR、TSの値を80%に、回帰からの標準誤差を50%にして与えた。

#### ②集成材の性能予測解析モデル

昨年度の報告書の性能予測解析モデル<sup>2)</sup>では破壊の発生は最外層で生じると仮定していたが、積層数が多い集成材では断面における応力勾配が緩やかになり、各層の差が小さくなるため、最外層以外で破壊する可能性が高くなる。そこで集成材の断面が直線的なひずみ分布を持つという平面保持を仮定し、

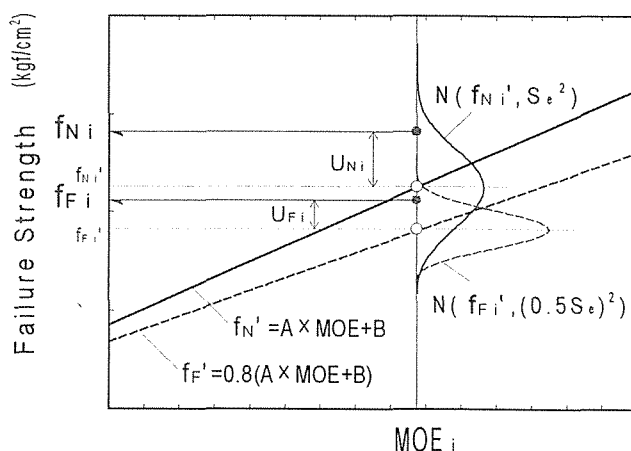


図2 仮想ラミナの強度決定方法

各層の引張側外縁の最大ひずみとラミナのヤング係数及び最大耐力から求めた最大ひずみとを比較して一番最初に破壊する層を求め、その時に集成材にかかる荷重より集成材のMORを求めた。

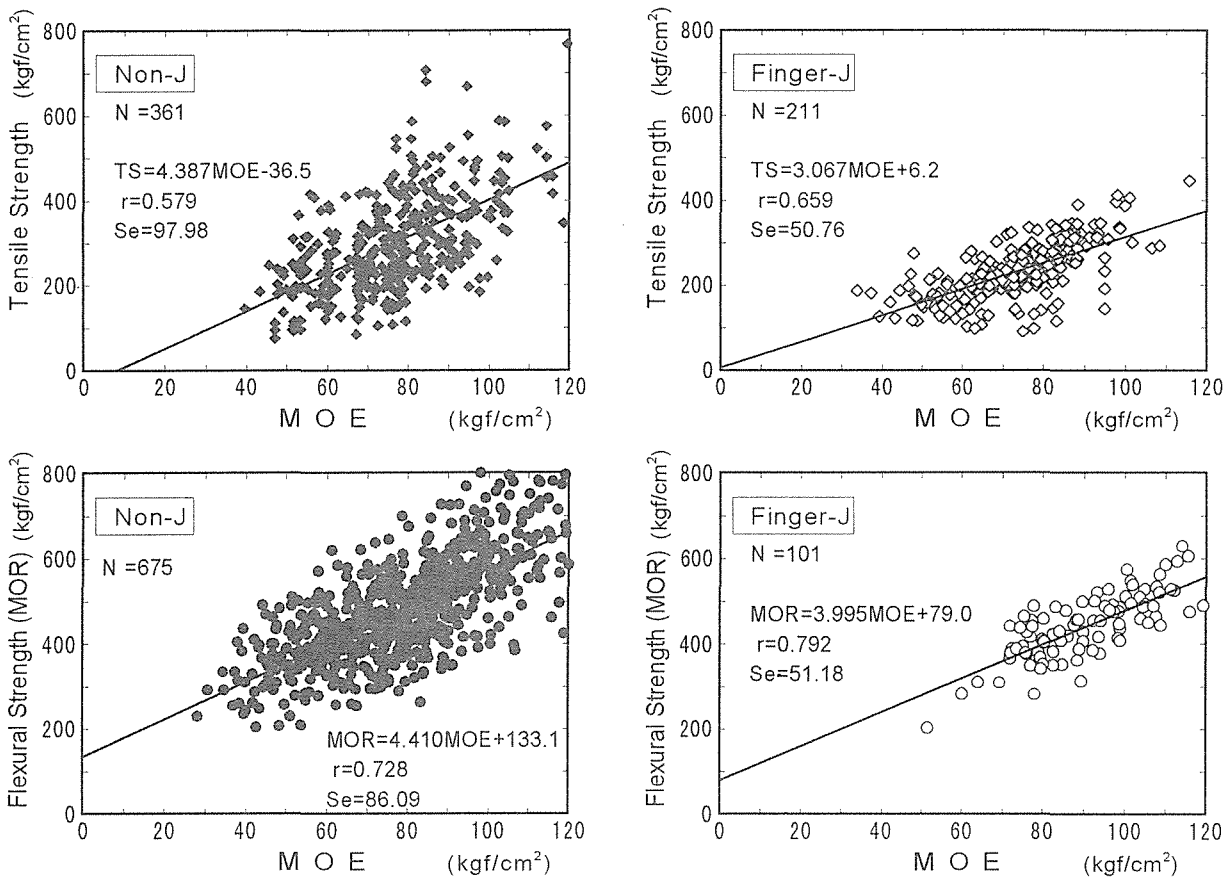


図3 ラミナのMOE-TS、MOE-MORの関係

積層による補強効果は、最外層については前報<sup>1)</sup>と同様に破壊の確率過程理論を用いて引張試験の結果から、引張強度を1.15倍にして評価した。また最外層以外の各層は接着積層により両面が補強され、節等の欠点による引張強度の低下が抑制されるとし、その抑制効果分を補強効果と見なした。具体的には図4に示すヤング係数と引張強度の関係<sup>3)</sup>において、材そのものが破断した試験体と節などの欠点により破壊した試験体の回帰直線の比から欠点による引張強度の低下量を仮定し、補強効果として引張強度を1.25倍にして評価した。

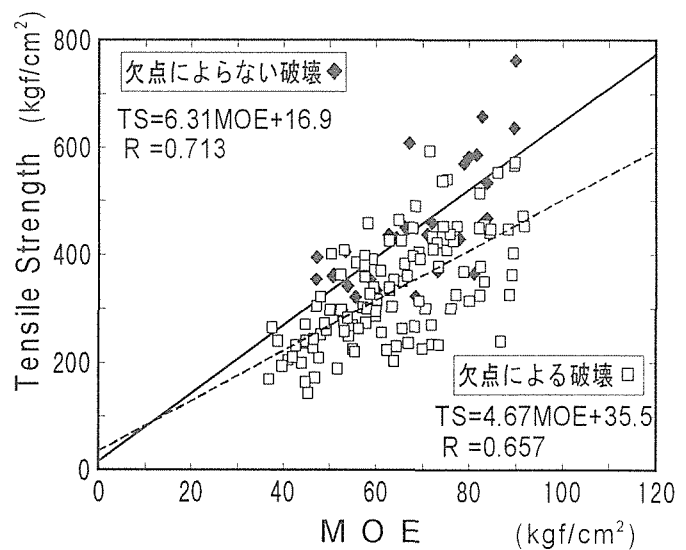


図4 破壊別に見た引張強度とヤング係数の関係



#### 4. シミュレーション結果

前節で述べた新たなモデルを用いて、仮想集成材3,000体のMOE、MORを求め、性能分布を予測した。各構成の集成材の性能を統計的にとりまとめたものを表3に示す。また、MORの性能分布を図5に、各分布の5%下限値を表4に示す。

ヤング係数については、値のばらつきが非常に小さく、いずれも適合基準を平均値で10tf/cm<sup>2</sup>程度、下限値で15~20tf/cm<sup>2</sup>程度上回っている。シミュレーションで求められたヤング係数は、各層のラミナが均質であると仮定し、等価曲げ剛性の関係式より求めているため、基準値が意味しているせん断力の影響を含めたヤング係数より多少高い値になると考えられる。また実際の集成材においては計算値に対して若干の誤差が生じると考えられるため、それらを考慮すると構成基準はだいたい基準に適合するものであると考えられる。

表3 シミュレーションより求められた集成材のMOE、MOR

			E95-F270		E85-F255		E75-F240		E65-F255	
			MOE	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR	MOE	MOR
Non Joint	8ply	Average	105.5	479.2	94.0	433.3	84.0	392.9	75.3	302.3
		Max	111.1	628.4	98.5	577.0	87.8	562.6	79.4	415.4
		Min	100.2	243.2	90.0	181.9	80.0	141.5	71.4	160.3
		S.D.	1.9	50.6	1.4	54.8	1.3	58.2	1.3	37.6
		C.V.(%)	1.78	10.57	1.44	12.66	1.59	14.82	1.79	12.45
	16ply	Average	102.4	441.1	91.6	396.4	81.6	353.6	72.8	314.2
		Max	106.4	576.6	94.9	555.4	84.4	507.7	76.2	490.3
		Min	98.3	110.4	88.4	125.5	78.3	51.2	69.2	42.1
		S.D.	1.2	50.8	1.0	53.4	1.0	57.7	1.0	63.4
		C.V.(%)	1.21	11.51	1.06	13.48	1.20	16.31	1.33	20.17
	32ply	Average	102.4	428.0	91.6	382.0	81.6	341.9	72.8	302.9
		Max	105.2	545.1	94.0	520.6	83.7	499.4	74.9	451.2
		Min	99.5	219.6	89.0	172.1	79.1	127.3	70.6	56.9
		S.D.	0.9	47.0	0.7	51.3	0.7	53.3	0.7	58.9
		C.V.(%)	0.85	10.98	0.74	13.42	0.83	15.58	0.94	19.44
Finger Joint	8ply	Average	105.4	416.9	94.1	374.3	84.0	336.4	75.3	302.3
		Max	111.2	510.3	98.0	472.8	88.2	442.5	79.4	415.4
		Min	100.4	271.5	90.1	236.7	80.0	192.0	71.4	160.3
		S.D.	1.9	32.1	1.3	34.5	1.3	35.2	1.3	37.6
		C.V.(%)	1.78	7.70	1.43	9.23	1.57	10.46	1.79	12.45
	16ply	Average	102.4	385.9	91.6	345.6	81.6	308.2	72.8	273.7
		Max	106.3	476.2	94.6	434.8	84.8	409.9	75.9	386.0
		Min	99.0	263.6	88.5	215.8	78.7	177.0	69.6	144.9
		S.D.	1.2	30.0	1.0	32.4	1.0	33.6	0.9	35.2
		C.V.(%)	1.17	7.77	1.04	9.37	1.18	10.90	1.30	12.85
	32ply	Average	102.4	375.1	91.6	335.2	81.6	298.0	72.8	264.5
		Max	105.0	468.1	94.0	430.5	83.8	379.2	75.3	366.0
		Min	99.5	230.8	89.2	227.9	79.4	164.5	70.4	142.9
		S.D.	0.9	29.2	0.7	30.6	0.7	31.6	0.7	32.9
		C.V.(%)	0.84	7.77	0.74	9.13	0.82	10.61	0.94	12.44

Non-joint

Finger-joint

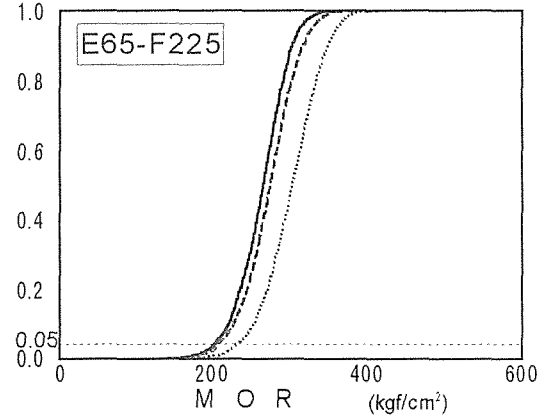
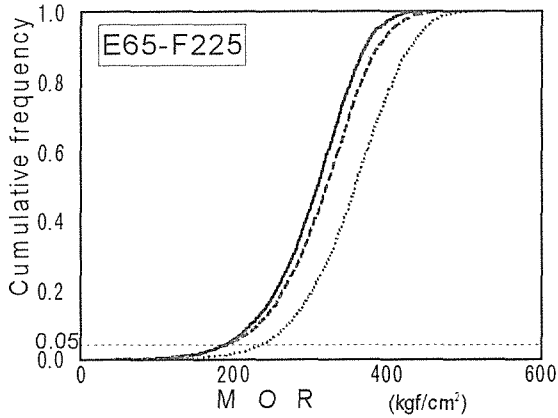
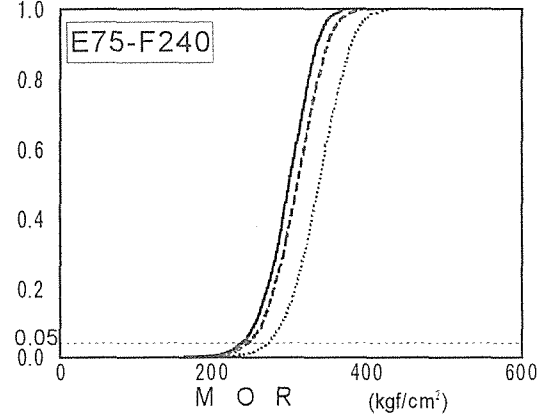
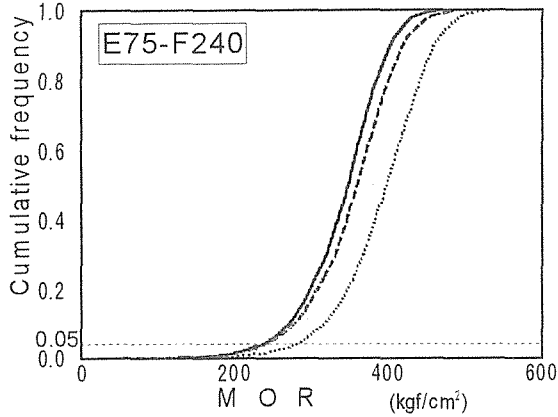
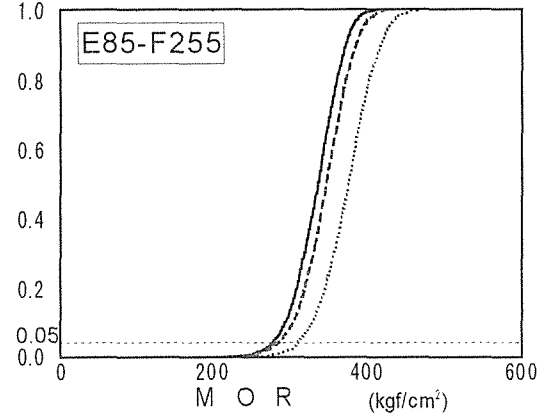
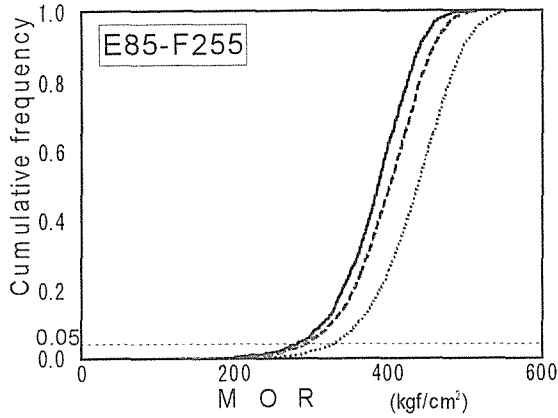
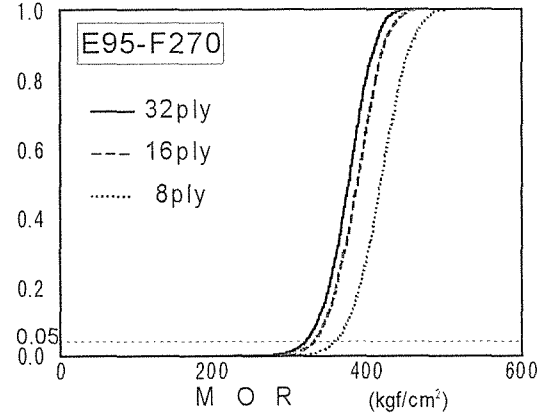
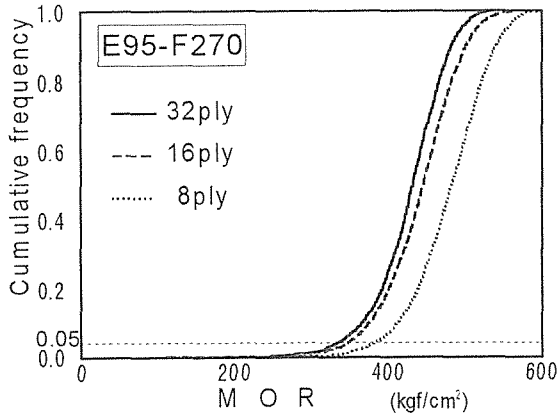


図5 各集成材のMOR分布

表4 各集成材のMOR分布の5%下限値

:kgf/cm<sup>2</sup>

	基準値			Non-joint			Finger-joint		
	8ply	16ply	32ply	8ply	16ply	32ply	8ply	16ply	32ply
E95-F270	284	259	246	391	365	341	363	326	324
E85-F255	268	245	232	334	314	289	314	282	282
E75-F240	252	230	218	288	263	246	276	255	243
E65-F225	236	216	205	244	217	196	237	206	207

□ 基準値以下のもの

各集成材のMOR分布は、E65-F255の等級が若干基準値を下回ったものの、他のものは十分にクリアしており、特に等級が上位のものほど、性能分布が基準値よりかなり上位にずれている。

積層数については8ply、16ply、32plyの順にMORの分布が低下しており、特に8ply、16plyの間の差が開いている。これは構成の等級区分が、16plyでは最外層及び外層にあたる層が、8plyの場合は最外層に読み替えられてしまうので、断面に対する第1等級の比率が高くなるためと考えられる。また32plyでは最外層2層が第1等級になり、さらに応力勾配が緩やかになるため、その2層の低い方、あるいは更に内側の層で破壊するものが多くなり、分布が若干下側にシフトする傾向がみられた。各分布の5%下限値についても同様の傾向が見られるが、16plyと32plyとの差は僅かな差であった。

NJラミナ集成材とFJラミナ集成材を比較すると分布の平均値はNJラミナ集成材の方が高かったが、FJラミナ集成材の方がばらつきが小さいため、下限値では両者の差はほとんどなく、16ply、32ply集成材の下位の等級ではFJラミナ集成材の方が若干高い値となった。

## 5. まとめ

JASの構成基準に基づいた集成材について、シミュレーションにより曲げヤング係数、曲げ強度を予測した結果、ヤング係数については、構成基準はほぼ強度等級基準に適合するものと考えられた。曲げ強度については、E65-F255等級で若干基準値を下回ったものの、ほとんどの集成材が基準値をクリアしており、上位の等級のものは基準値よりもかなり高い性能分布を示した。また、積層数が多くなると破壊が最外層以外の性能の低い層で発生し、性能の分布が若干低下する傾向がみられた。さらに、積層数が少ない集成材については構成するラミナの等級が上位の等級に読み替えられることによりかなり性能が向上することが分かった。

## 参考文献

- 1) 平成6年度エンジニアリングウッド性能評価事業報告書, 財団法人 日本住宅・木材センター, 1995
- 2) 平成7年度エンジニアリングウッド性能評価事業報告書, 財団法人 日本住宅・木材センター, 1996
- 3) 二宮佐知子 他3名:集成材ラミナの引張破壊に及ぼす節の影響評価のための実験的研究(2), 日本建築学会大会学術講演梗概集C-1, 1996

## 第6章 長野県産カラマツラミナの曲げ、引張試験

長野県林業総合センター  
橋爪丈夫、吉田孝久

はじめに

信頼性の高い集成材を製造するためにはラミナの力学的な性質を明らかにする必要がある。そこで本年度は、カラマツについて曲げおよび引張り試験を行い、新しく制定された構造用集成材のJAS（以下JAS）との関係で検討した。さらに通しラミナの引張り強度については前年度までに実施したものも含めて考察した。

### 1 材料と方法

#### 1.1 材料

##### 1.1.1 カラマツラミナ

連続測定式グレーディングマシン MGFS-251（飯田工業（株）製）によって等級区分したMSRラミナ（公称寸法： $17.5 \times 3.0 \times 400$  cm）からJASに基づく機械等級 L 80（ $80 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2 \leq \text{MGE}_{\text{AVG}} < 90 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ ）、L 100（ $100 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2 \leq \text{MGE}_{\text{AVG}} < 110 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ ）、L 120（ $120 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2 \leq \text{MGE}_{\text{AVG}} < 130 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ ）の3区分から、各区分ごとに120枚、合計360枚を試験に供した。

##### 1.1.2 ラミナの調整と区分

各区分ごとに50枚、計150枚を通しラミナ用、同様に70枚、計210枚をFJラミナ用とした。

###### (1) 通しラミナ

通しラミナ用は1/2に切断し、 $2.4 \times 14.9 \times 200$  cmにモルダーにより仕上げ、通しラミナとした。通しラミナは縦振動法により求めた $E_{fr}$ により順位化し、奇数番を引張り試験用、偶数番を曲げ試験用とした。引張り用、曲げ用各150枚のラミナを得たが、通しラミナで1試験体のデータ取りに失敗したので、通しラミナの曲げ試験の結果は149枚で検討した。

###### (2) FJラミナ

FJラミナ用はJASに従い、FJ部に節がこないように配慮して、長さ約1mのラミナを切り出し、2枚ずつを縦継ぎしてFJラミナとした。なお、縦継ぎは基本的には同一4mラミナから切り出したものの縦継ぎ、それができない場合は同一等級内での縦継ぎとし、異等級間では縦継ぎは行わなかった。通しラミナと同様に、 $2.4 \times 14.9 \times 200$  cmにモルダーにより仕上げ、 $E_{fr}$ により順位化し、奇数番を引張り試験用、偶数番を曲げ試験用とした。

最終的に得られたラミナは引張り試験用156、曲げ試験用155であった。

#### 1.2 ラミナの縦継ぎ条件

ラミナの縦継ぎ条件を表-1、表-2に示した。

接着剤の塗布は手塗りとした。

表-1 縦継ぎの状況

フィンガー長さ mm	フィンガーピッチ mm	先端厚さ mm	フィンガー低部幅 mm	スカーフ傾斜比
18.63	6	0.8	0.6	1/8.1

表-2 接着の状況

接着剤(主剤、硬化剤)	圧縮圧 kgf/cm <sup>2</sup>	備考
大鹿ディアノール 33 : パラホルムアルデヒド (100 : 15)	50	フィンガー両面手塗り

### 1.3 ラミナの調査

仕上げたラミナに対して次の項目について調査した。

- (1) 密度：仕上げたラミナの寸法と重量から求めた。
- (2) 年輪幅：引張り試験終了後非破壊部分から切片を採取し、それにより測定した。縦継ぎラミナについては2枚の平均値とした。
- (3) 髄からラミナ中心までの距離 (DP) および年輪数 (NARP)：年輪幅を測定した試験片によってその年輪形態から推定した。
- (4) 節：曲げ試験用は上部スパン間 (中央) と下部スパン間 (全長)、引張り試験用はチャック間 (中央) および全長における集中節径および材縁の節を測定し、集中節径比 (SK)、材縁の節径比 (EK) に換算した。
- (5) 動的ヤング係数 (E<sub>d</sub>)：FFT アナライザを用い打撃法により求めた基本振動数と比重から算出した。
- (6) JAS等級：構造用集成材のJASに基づく視覚等級区分は、集中節径比、平均年輪幅、材縁の節径比で行った。

### 1.4 ラミナの強度試験

#### 1.4.1 曲げ試験

- (1) 曲げヤング係数 (MOE)

引張り用ラミナについて材料試験機TCM-5000 (ミネベア製) を用い、長期許容応力度レベルまで荷重をかけ、曲げヤング係数を求めた。試験条件はスパン 120cm、3等分点荷重方式とした。

- (2) ラミナの曲げ破壊試験

曲げ試験用ラミナについては (1) の条件で行い、曲げ強さ (MOR)、曲げヤング係数 (MOE) を求めた。

#### 1.4.2 ラミナの引張り試験

引張り強度試験機NET-501E (飯田工業製) を用い、チャック間隔を 100cm として行い、破壊荷重から引張り強さ (TS) を算出した。

## 2 結果と考察

試験結果については曲げ試験および引張り試験の結果を対比しながら考察する。

## 2.1 破壊原因

表-3 および図-1に破壊原因の割合を示した。

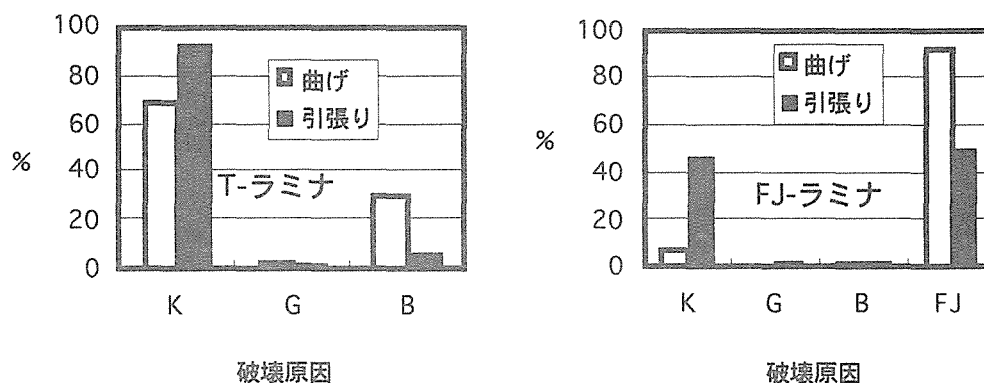
通しラミナでは節が破壊原因と判断されたものは、曲げおよび引張りでそれぞれ67.8%、92.2%であり、節の影響は引張りにおいて大きかった。

FJラミナではFJ部が破壊原因と判断されたものは、曲げおよび引張りでそれぞれ92.3%、50.0%であり、FJ部の影響は曲げにおいて著しかった。また、引張りでは残りの46.8%が節が破壊原因と判断された。なお、FJとほかの要因が複合されたと思われるものはFJを優先させた。

表-3 通しラミナ、FJラミナの破壊原因割合 (%)

破壊原因	通しラミナ		FJラミナ	
	曲げ	引張り	曲げ	引張り
K	67.8	92.2	6.5	46.8
G	2.7	2.0	0.0	1.3
B	29.5	6.0	1.3	1.9
FJ	-	-	92.3	50.0
合計	100	100	100	100

破壊原因： K：節、G：目切れ、B：その他、  
FJ：フィンガージョイント部



破壊原因：表-3に同じ

図-1 通しラミナ、FJラミナの破壊原因割合 (%)

## 2.2 材質指標と曲げ強さ、引張り強さの関係

### 2.2.1 MOE、E<sub>fr</sub> および材質指標の現れ方

表-4にラミナの種別別に材質指標の現れ方を示した。通しラミナとFJラミナではMOE、E<sub>fr</sub>、密度、全長評価のSK、EKはほとんど同じと判断できる。中央区間評価のSK、EKは通しラミナのほうが大きい傾向が認められるが、これは縦継ぎにおいてFJ部に節がこないように配慮した結果が反映しているものと思われる。

表-4 ラミナの種別別 MOE、Efr および材質指標の現れ方

区分	通しラミナ (299試験体)			FJラミナ (311試験体)		
	AVG	STD	CV*	AVG	STD	CV
MOE ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )	128.9	22.5	17.4	127.4	20.5	16.1
Efr ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )	130.7	20.8	15.9	130.3	21.5	16.5
密度( $\text{g/cm}^3$ )	0.538	0.055	10.2	0.545	0.048	8.7
SK中央(%)	23.9	14.4	60.5	19.8	13.6	68.8
SK全(%)	28.9	14.2	49.2	28.2	13.6	48.4
EK中央(%)	7.7	9.1	119.0	6.4	9.1	141.6
EK全(%)	11.9	9.8	82.4	12.0	10.5	87.5
年輪幅(mm)	3.5	1.3	36.7	-	-	-
D P(mm)	52.1	25.8	49.6	-	-	-
NARP	9.7	5.1	52.1	-	-	-

\*: CV: 単位は%

\*\* : SK中央、EK中央は曲げ試験では中央区間、引張り試験ではチャック間

## 2.2.2 材質指標と強度、MOE との関係

表-5 にラミナの種別別に MOR、TS に対する材質指標の関係を示す単相関係数を示した。

通しラミナでは相関係数はすべての場合 1%水準で有意であるが、MOE との関係が最も高い。また、節との関係も中央区間でみると集中節径比、材縁の節径比とも相関係数は-0.5 に近い。年輪幅との関係は TS との関係が比較的高く、MOR との関係は高くない。また、密度と MOR、TS との関係は低かった。DP、NARP との相関は有意であったが、それほど強い相関は認められなかった。

MOR と節との関係は FJ ラミナと通しラミナでほぼ同程度であるが、TS と節との関係は通しラミナにおけるよりも FJ ラミナにおいて高い相関係数 ( $r = -0.5$  以上) が得られた。密度との関係でも通しラミナよりも FJ ラミナのほうにはるかに高い相関が認められ、MOE との間にも通しラミナにおけるよりも高い相関が認められた。

表-5 材質指標、MOE と MOR、TS の関係 (単相関係数)

ラミナ区分	強度区分	N	密度	集中節径比		材縁の節径比		年輪幅	DP	NARP	MOE
				中央区間	全区間	中央区間	全区間				
通しラミナ	MOR	149	0.242**	-0.478**	-0.438**	-0.485**	-0.376**	-0.237**	0.339**	0.289**	0.687**
	TS	150	0.213**	-0.473**	-0.495**	-0.477**	-0.492**	-0.435**	0.304**	0.304**	0.678**
FJラミナ	MOR	155	0.568**	-0.489**	-0.412**	-0.224**	-0.431**	-	-	-	0.766**
	TS	156	0.527**	-0.547**	-0.536**	-0.579**	-0.536**	-	-	-	0.734**

表-6 に材質指標と MOE との相関係数を示した。通しラミナは密度、年輪幅、DP、NARP との関係は MOR、TS におけるよりも高い傾向にある。一方 MOE と節との関係は MOR、TS におけるよりも低い傾向が認められる。FJ ラミナでは密度と MOE の間に極めて高い相関 ( $r = 0.740$ \*\* ) が認められ、節と MOE との関係も同程度か、通しラミナより高い傾向が認められた。

表-6 材質指標と MOE の関係 (単相関係数)

	N	密度	集中節径比		材縁の節径比		年輪幅	DP	NARP
			中央区間	全区間	中央区間	全区間			
通しラミナ	299	0.471**	-0.369**	-0.338**	-0.357**	-0.345**	-0.583**	0.463**	0.476**
FJラミナ	311	0.740**	-0.493**	-0.482**	-0.343**	-0.452**	-	-	-

これらの関係の中で、MOE との関係を図-2 に示した。MOE と MOR および MOE と TS の関係はその傾向が大きく異なった。すなわち、FJ ラミナの MOR はそのほとんどが通しラミナの回帰直線の下側であるのに対して、TS では通しラミナおよび FJ ラミナとも同様の範囲にばらつき、回帰直線も接近し、 $MOE 80 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$  近傍で交差した。相関係数が FJ ラミナのほうが高いのは MOR、TS とも共通した傾向であった。

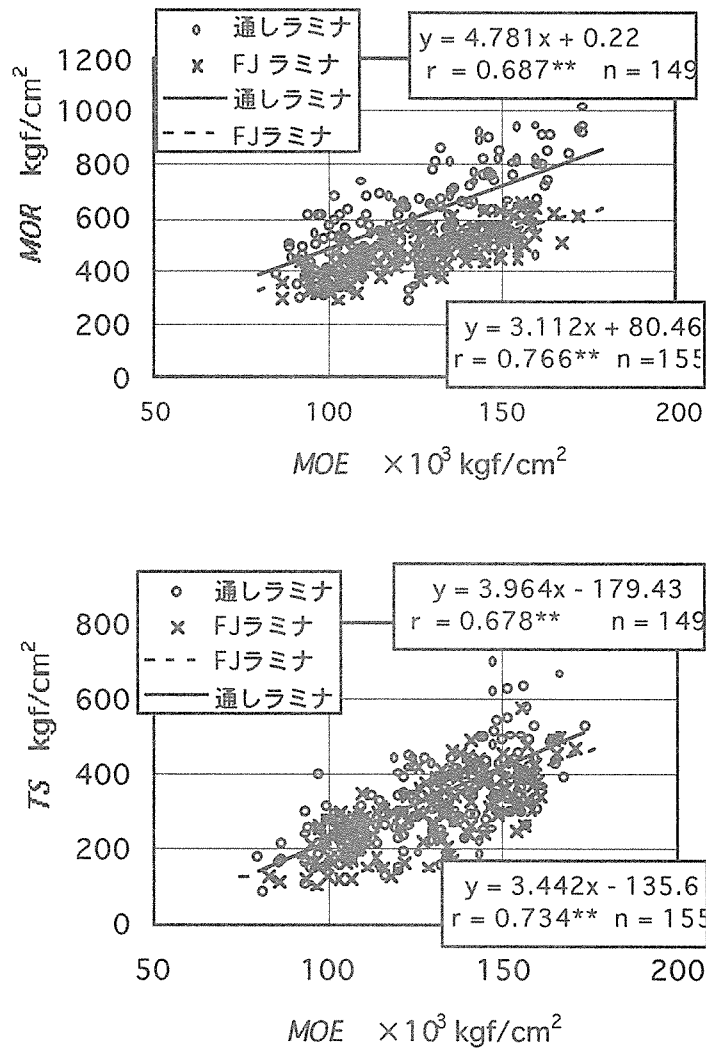


図-2 MOE と MOR、TS の関係

### 2.3 構造用集成材の JAS との対応

JAS における目視等級区分の集中節径比、材縁節径比、年輪幅の制限値と、機械等級との対応および最外層、外層用ラミナとしての機械等級に対応する強度性能の基準値を表-7 に示した。この中で、強度性能の基準値はその等級内の変動係数が MOE の場合 10%、MOR および TS の場合 15% 程度を想定していることが表より明らかである。



表-7 ラミナの目視等級区分制限値と機械等級との対応（樹種群C）

		1等	2等	3等	4等
集中節径比 %		20	30	40	50
材縁節径比 %		17	25	33	50
年輪幅 mm		6	6	-	-
MOE	平均値	125	110	100	-
× 10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	(5%下値)	(105)	(95)	(85)	
MOR	平均値	485	450	420	-
kgf/cm <sup>2</sup>	(5%下値)	(365)	(340)	(315)	
TS	平均値	285	265	245	-
kgf/cm <sup>2</sup>	(5%下値)	(215)	(200)	(185)	
機械等級		L125	L110	L100	-

\* 樹種群C：ヒノキ、ヒバ、カラマツ.....

\*\* 強度性能は最外層、外層用ひき板に適用される。

### 2.3.1 ラミナの視覚的等級区分

#### (1) JAS 視覚的等級区分とMOE

MOEについては通しラミナ、FJ ラミナを含めた610枚で検討した。表-8に目視等級区分の結果を示した。図-3に平均値、標準偏差の範囲および5%下限値を示した。表および図に示すように平均値では等級に対応しているが、格外がばらつきが比較的少なかったため、5%下限値では4等と逆転している。また、変動係数は等級による傾向はなく、14~17%の範囲であった。

表-8 JAS 目視等級区分とMOE

	N	AVG tf/cm <sup>2</sup>	STD tf/cm <sup>2</sup>	CV %	5%PTL tf/cm <sup>2</sup>
1等	294	136.9	19.82	14.49	102.9
2等	142	125.6	19.11	15.22	92.36
3等	110	118.2	19.33	16.35	84.62
4等	42	112	19.08	17.03	77.06
格外	22	109	15.85	14.53	82.27
全体	610	128.2	21.51	16.78	86.95

5%PTL: 5%下限値 : ASTM D-2915の方法による。

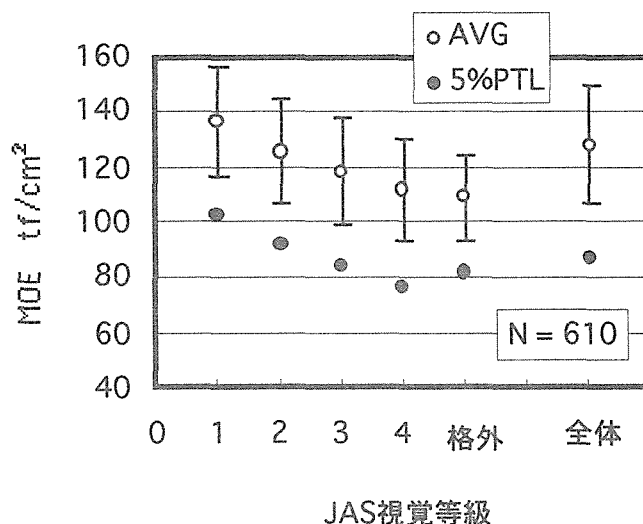


図-3 目視等級とMOE

(2) JAS 視覚的等級区分とMOR、TS

JAS 視覚等級別に通しラミナとFJラミナを分けてMOR、TSの集計を表-9、表-10に示した。また、継ぎ手効率を平均値と5%下限値で算出して示し、等級と平均値および5%下限値の関係を図-4に示した。

表-9、表-10に示すように視覚等級の4等および3等は試験体数が少ないので、ここでは1~3等の範囲で考察する。通しラミナ、FJラミナともMOR、TSとも平均値、5%下限値とも3等までの範囲では等級に対応している。MORについてみると、平均値では明らかに通しラミナがFJラミナよりも大きいですが、FJラミナはばらつきが小さいために5%下限値ではほとんど差がない。TSでは通しラミナとFJラミナでは平均値での差は小さく、ばらつきが少なくなることから5%下限値では1等、2等はFJラミナのほうが大きく、3等でも同程度であった。

継ぎ手効率はMORでは平均値、5%下限値の評価でそれぞれ77.2%、97.1%であり、等級による傾向は認められない。TSでは同様にそれぞれ91.7%、128.1%であり、継ぎ手効率は明らかにTSのほうが高かった。また、1~3等の範囲では平均値評価では傾向は認められないが、5%下限値では上位等級のものほど継ぎ手効率が高かった。

表-9 JAS 視覚等級別 MOR と継ぎ手効率

JAS 視覚等級	N	通しラミナ				FJラミナ					継ぎ手効率	
		AVG tf/cm <sup>2</sup>	STD tf/cm <sup>2</sup>	CV %	5%PTL tf/cm <sup>2</sup>	N	AVG tf/cm <sup>2</sup>	STD tf/cm <sup>2</sup>	CV %	5%PTL tf/cm <sup>2</sup>	AVG %	5%PTL %
1等	75	690	153	22.1	418	104	498	76	15.3	364	72.2	87.2
2等	35	571	117	20.4	355	25	461	70	15.2	329	80.8	92.7
3等	23	528	118	22.4	303	13	408	74	18.1	258	77.4	85.4
4等	7	534	136	25.5	228	12	397	70	17.6	254	74.4	111.5
格外	9	469	125	26.6	202	1	344	-	-	-	-	-
全体	149	616	158	25.6	342	155	476	83	17.4	332	77.2	97.1

5%PTL: 5%下限値 : ASTM D-2915の方法による。

表-10 JAS 視覚等級別 TS と継ぎ手効率

JAS 視覚等級	N	通しラミナ				FJラミナ					継ぎ手効率	
		AVG tf/cm <sup>2</sup>	STD tf/cm <sup>2</sup>	CV %	5%PTL tf/cm <sup>2</sup>	N	AVG tf/cm <sup>2</sup>	STD tf/cm <sup>2</sup>	CV %	5%PTL tf/cm <sup>2</sup>	AVG %	5%PTL %
1等	51	415	135.9	32.8	169	64	348	74	21.1	216.4	84.0	128.3
2等	41	327	108.6	33.3	127	41	323	92	28.5	152.9	98.9	120.0
3等	39	270	88.0	32.6	107	35	255	80	31.4	107.3	94.6	100.0
4等	13	264	99.8	37.8	59	10	201	92	45.9	6.8	76.1	11.4
格外	6	211	63.2	29.9	64	6	164	46	28.0	56.9	-	-
全体	150	332	129.8	39.1	106	156	304	97	31.8	135.8	91.7	128.1

5%PTL: 5%下限値: ASTM D-2915の方法による。

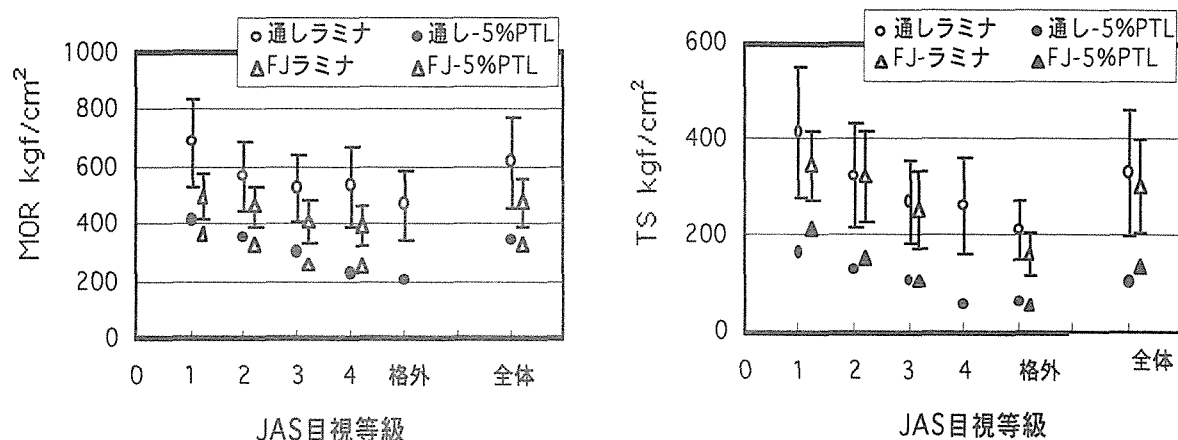


図-4 JAS 視覚等級別 MOR、TS の平均値、標準偏差の範囲および 5% 下限値

### 2.3.2 機械等級区分

JAS 機械等級別に通しラミナと FJ ラミナを分けて MOR、TS の集計を表-11、表-12 に示した。また、平均値と 5% 下限値の関係を図-5 に示した。

表-11、表-12 に示すように機械等級の L80、L160 は試験体数が少ないので、ここでは L90~L140 で考察する。通しラミナ、FJ ラミナとも MOR、TS とも平均値、5% 下限値とも等級に対応している。

MOR についてみると、平均値では明らかに通しラミナが FJ ラミナよりも大きい。FJ ラミナのばらつきが小さいために 5% 下限値ではほとんど差がない。TS では通しラミナと FJ ラミナでは平均値での差は小さく、ばらつきが少なくなることから 5% 下限値では L125 以上では FJ ラミナのほうが大きく、他も同程度であった。

通しラミナの MOR の変動係数は L90~L140 で、17~22% 程度、FJ ラミナでは 10~12% 程度とばらつきは小さくなった。JAS の基準強度との対応では、平均値評価では図-5 に示すように明らかに基準を上回っているが、FJ ラミナでは基準強度よりもやや低い傾向にあった。5% 下限値評価では L100 から L140 では通しラミナ、FJ ラミナとも基準強度を満たしていた。

通しラミナの TS の変動係数は L90 から L140 の範囲では 18.2% から 34.1% と大きく、FJ ラミナでも 18.2% から 28.0% と非常に大きかった。JAS の基準強度との対応では図-5 に示すように通しラミナでは L90 以上、FJ ラミナでは L125 以上で基準強度を満たしていた。一方、5% 下限値の評価では、

変動係数が大きい結果、基準を満たすものはほとんどなかった。

表-11 JAS 機械等級別 MOR と継ぎ手効率

機械等級	通しラミナ				FJラミナ				継ぎ手効率	
	N	Average kgf/cm <sup>2</sup>	CV %	5%PTL kgf/cm <sup>2</sup>	N	Average kgf/cm <sup>2</sup>	CV %	5%PTL kgf/cm <sup>2</sup>	Average %	5%PTL %
L 80	4	460	10.0	335.9	2	330	8.1	-	71.8	-
L 90	18	448	22.1	254.4	14	372	11.7	284.8	83.0	111.9
L100	17	547	17.0	364.2	29	400	12.8	302.8	73.1	83.1
L110	23	559	17.7	369.8	21	478	12.4	364.2	85.6	98.5
L125	34	595	19.4	380.0	39	487	11.8	381.0	81.8	100.3
L140	39	705	18.3	465.8	47	543	10.0	443.3	77.0	95.2
L160	14	860	11.3	664.7	3	585	8.4	430.5	68.0	64.8
Total	149	616	25.6	341.6	155	476	17.4	331.7	77.2	97.1

表-12 JAS 機械等級別 TS と継ぎ手効率

機械等級	通しラミナ				FJラミナ				継ぎ手効率	
	N	Average kgf/cm <sup>2</sup>	CV %	5%PTL kgf/cm <sup>2</sup>	N	Average kgf/cm <sup>2</sup>	CV %	5%PTL kgf/cm <sup>2</sup>	Average %	5%PTL %
L 80	5	164	26.2	58.0	2	124	7.2	-	75.9	-
L 90	15	223	34.1	72.8	12	192	30.4	72.405	85.8	99.4
L100	15	242	18.2	154.8	34	235	23.0	133.81	97.0	86.4
L110	31	292	31.3	121.4	16	251	28.0	112.05	86.1	92.3
L125	28	306	28.7	139.4	39	328	23.4	185.92	107.2	133.3
L140	47	420	27.8	207.4	48	372	18.2	249.11	88.7	120.1
L160	9	513	22.7	264.0	5	453	12.5	314.07	88.3	119.0
Total	150	332	39.1	106.0	156	304	31.8	135.85	91.7	128.1

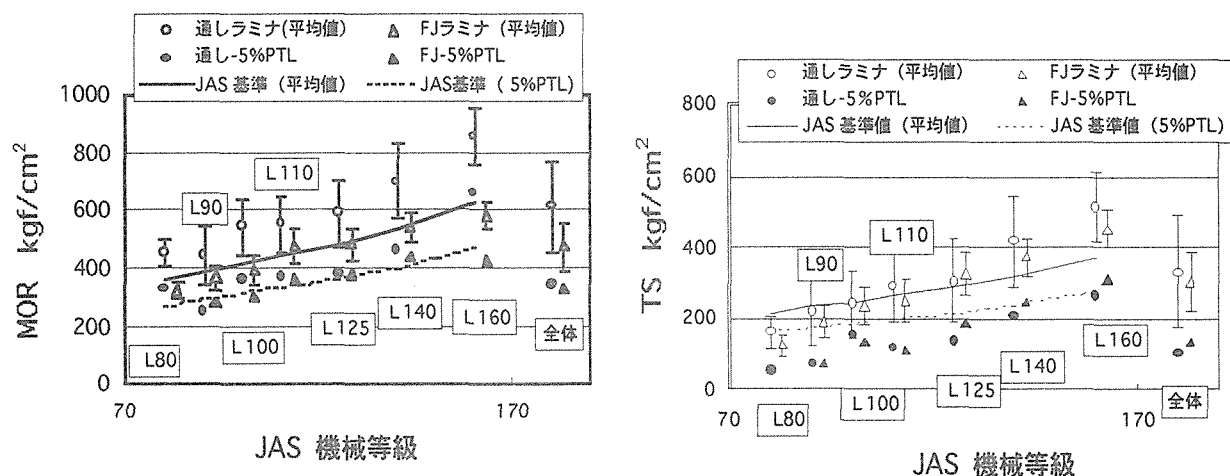


図-5 JAS 機械等級と MOR、TS の平均値、標準偏差の範囲および 5% 下限値

### 2.3.3 TS と MOR の比率

TS と MOR の割合 (TS/MOR) の関係を表-13、図-6 に示した。TS/MOR は平均で通しラミナ、FJ ラミナそれぞれ 0.54、0.64 であった。機械等級との関係は等級が上がるほどその割合が大きくなる傾向にあった。

表-13 機械等級別 TS/MOR

機械等級	通しラミナ	FJラミナ
L 80	0.36	0.38
L 90	0.50	0.52
L100	0.44	0.59
L110	0.52	0.53
L125	0.51	0.67
L140	0.60	0.69
L160	0.60	0.77
Total	0.54	0.64

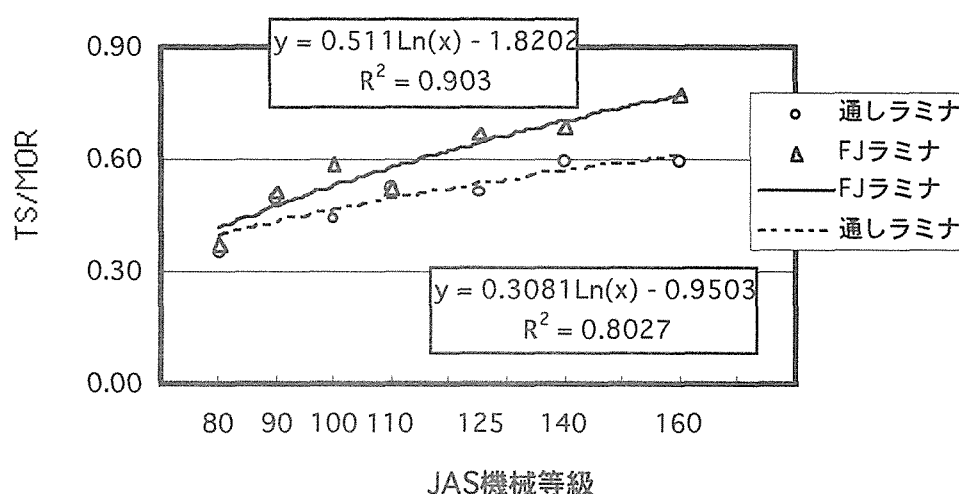


図-6 JAS 機械等級別 TS/MOR

### 2.3.4 通しラミナの JAS 機械等級区分別 TS

前項までの結果、機械等級別 TS の JAS の基準強度の評価では変動係数が大きいため、特に5%下限値の基準を満たすのは困難であった。そこで、前年までの通しラミナの引張り試験の結果を含め、453試験体で検討する。

表-14に機械等級別 TS の平均値と、5%下限値を示した。各等級に含まれる試験体数が50以上のL90からL140で、TSの変動係数は28.0~34.7%であり、非常に大きかった。この変動係数はJASで想定している変動係数の2倍に近いものと考えられる。

既往の研究からカラマツの場合、最外層および外層用ラミナはL100、L110、L125、L140と考えられる。そこで、この等級に含まれるラミナのTSの平均値と5%PTLを図-7の左に示した。この場合も平均値評価ではJASの基準を十分満足するが、5%下限値評価では特に下位等級において基準強度に及ばなかった。したがって、最外層、外層用ラミナの引張り試験において、JASの製造基準に示されている5%下限値の基準強度を満たすことは困難であると判断できる。

次に機械等級に目視区分の集中節径比20%以下という条件を加えて区分した結果を図7の右に示した。L100、L110では5%下限値が基準を下回ってはいるが、L125、L140では基準を満たしていた。

以上の結果からカラマツラミナについて、TSがJASの製造基準を満たすためには機械等級に視覚的

な基準を加える必要が認められた。

表-14 通シラミナのJAS機械等級区分別TSの平均値と5%下限値

機械等級	N	AVG kgf/cm <sup>2</sup>	STD kgf/cm <sup>2</sup>	CV %	5%PTL kgf/cm <sup>2</sup>
L70	12	158	105.7	66.8	-58
L80	34	192	84.5	44.0	34
L90	56	239	80.9	33.9	92
L100	54	271	87.9	32.5	111
L110	118	313	108.7	34.7	122
L125	88	352	100.8	28.6	174
L140	77	439	122.9	28.0	220
L160	12	598	174.5	29.2	241
L180	2	732	43.6	6.0	-
全体	453	324	139.4	43.0	88

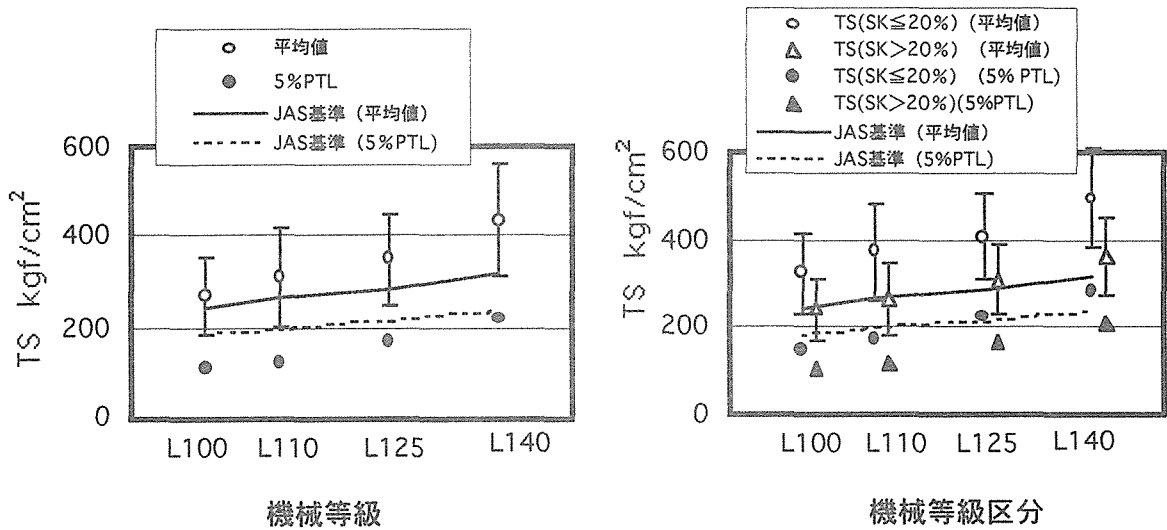


図-7 JAS 機械等級と TS および集中節径比を加味した区分と TS

#### 2.4 Efr と MOE の関係

Efr と MOE の関係を図-8 に示した。MOE=0.982Efr ( $r=0.974^{**}$ ) の関係が認められた。

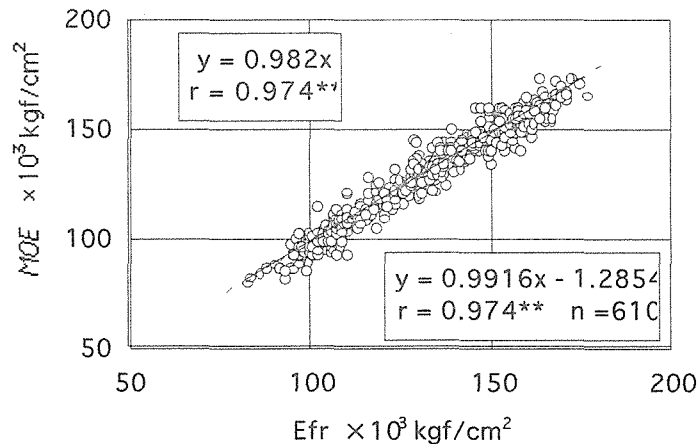


図-8 Efr と MOE の関係

### 3. まとめ

カラマツラミナの曲げおよび引張り試験を行い、JAS との関係で考察した。また、通しラミナの引張り試験結果については、前年度までに実施した分も含めて考察した。

#### I 曲げおよび引張り試験

(1) 通しラミナでは節が破壊原因と判断されたものは曲げ、引張りでそれぞれ67.8%、92.2%であり、節の影響は引張りのほうが大きかった。FJ ラミナではFJ 部が破壊原因と判断されたものは曲げ、引張りで92.3%、50.0%であり、FJ の影響は曲げにおいて大きかった。

(2) MOE と MOR、TS の相関は FJ ラミナのほうが通しラミナにおけるよりも高かった。FJ ラミナの MOR はほとんどが通しラミナの回帰直線の下側に分布したが、TS は通しラミナ、FJ ラミナとも似た範囲にばらつき、回帰直線も近く、MOE :  $80 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$  付近で交差した。

(3) MOE の全体の変動係数は 16.8% であり、JAS の視覚的等級区分をしても変動係数を小さくする効果は少なかった。

(4) MOR の変動係数は全数で通しラミナ 25.6%、FJ ラミナ 17.4%、TS の変動係数は同様に 39.1%、31.8% で FJ ラミナのほうがばらつきが小さかった。また、TS のほうが MOR よりばらつきが大きかった。視覚的に等級区分しても、ばらつきを減らす効果は少なかった。

(5) ラミナの継ぎ手効率は MOR の平均値、5% 下限値で 77.2%、97.1% であった。TS では平均値でも 91.7% と高く、5% 下限値では 128.1% と逆転した。

(6) 最外層、外層用ラミナとしての MOR の JAS の基準値との対応では平均値は通しラミナでは明らかに基準を上回っていたが、FJ ラミナでは基準値よりやや低い傾向にあった。5% 下限値評価では機械等級 L100~L140 では両ラミナとも基準値を上回った。TS の基準値との対応では平均値評価では両ラミナとも L100 以上の等級であればほぼ基準値を満たしていたが、5% 下限値評価では基準を満たすものはほとんどなかった。

(7) TS/MOR の割合は全数で、通しラミナ、FJ ラミナで 0.54、0.64 であり、機械等級の高いラミナほどその割合が高い傾向が認められた。

(8)  $E_{fr}$  と MOE の関係は  $MOE = 0.982 \times E_{fr}$  ( $r = 0.974^{**}$ ) で示された。

#### II 前年までの通しラミナの引張り試験結果を含めた考察

(1) 453 枚の通しラミナで検討した結果でも TS の平均値は JAS の基準値以上であったが、5% 下限値評価では基準を下回った。

(2) そこで、機械等級に集中節径比を加えた区分を行ったところ、L125、L140 では基準を満たした。このことから、TS の 5% 下限値が JAS の製造基準を満たすためには、機械等級に視覚的な基準を加える必要が認められた。

JAS 製造基準では、ラミナの強度試験は曲げ、引張りのいずれかが選択できることになっている。本試験の結果では曲げで評価するか、引張りで評価するかでその結果が異なることを示していた。したがって JAS の基準値の見直しも必要と考えられた。

なお、本試験における 5% 下限値は ASTM D-2915 の方法で求めているので、試験体が少なければ 5% 下限値は低い値になる。したがって、さらに試験体を増やした検討が必要である。

#### 4 謝辞

試験に際して齋藤木材工業(株)工場長齋藤健氏、上伊那森林組合工場長下平隆男氏の協力を得た。試験実施にあたりお手伝いいただいた吉田祐美子さんに感謝します。



付表1-1 カラマツラミナの曲げ試験結果

樹種	種類 区分	NO	JAS*1	密度 g/cm <sup>3</sup>	集中節径比%		材縁節径比%		年輪幅 mm	含水率 %	ヤング係数tf/cm <sup>2</sup>		MOR kgf/cm <sup>2</sup>	破壊原因*2	心*3
					中央	全長	中央	全長			Ef	MOE			
カラマツ	NJラミナ	101	2	0.445	20.5	20.5	0.0	0.8	4.1	11.0	86.0	85.0	389	K	0
カラマツ	NJラミナ	102	2	0.468	29.9	47.3	1.7	23.5	4.3	12.4	90.5	88.5	509	B	1
カラマツ	NJラミナ	103	1	0.449	12.4	42.4	6.7	25.2	2.4	10.3	95.7	96.5	404	EK	0
カラマツ	NJラミナ	104	5	0.481	65.1	65.1	26.5	26.5	3.9	11.1	96.4	88.5	491	K	0
カラマツ	NJラミナ	105	3	0.474	18.8	18.8	3.6	10.9	6.4	10.7	96.6	94.3	615	B	0
カラマツ	NJラミナ	106	3	0.510	37.2	57.8	17.8	17.8	3.3	9.9	96.8	94.5	411	K, EK	1
カラマツ	NJラミナ	107	3	0.507	33.6	45.3	10.1	30.8	5.7	10.7	98.0	96.6	499	EK	0
カラマツ	NJラミナ	108	2	0.483	28.9	28.9	16.1	16.1	5.4	11.7	98.5	94.9	439	EK	0
カラマツ	NJラミナ	109	2	0.466	27.4	27.4	10.1	10.1	5.4	10.7	99.3	91.2	352	B	1
カラマツ	NJラミナ	110	3	0.524	30.1	30.1	11.0	11.0	3.9	11.8	99.5	89.1	450	K	1
カラマツ	NJラミナ	111	3	0.542	23.5	23.5	13.8	13.8	6.5	10.3	100.1	92.6	464	EK	0
カラマツ	NJラミナ	112	1	0.447	0.0	26.8	0.0	0.0	3.5	10.3	101.0	97.8	614	B	0
カラマツ	NJラミナ	113	5	0.510	52.2	52.2	37.1	37.1	4.9	10.6	101.4	92.2	299	EK	0
カラマツ	NJラミナ	114	3	0.453	19.8	61.4	0.0	9.8	7.2	12.0	101.5	98.7	522	K	1
カラマツ	NJラミナ	115	2	0.474	28.5	28.5	4.6	34.8	4.3	10.2	101.7	96.3	366	EK	0
カラマツ	NJラミナ	116	2	0.471	21.5	21.5	2.8	2.8	4.1	10.7	102.1	100.6	570	K	0
カラマツ	NJラミナ	117	3	0.486	38.0	47.5	21.5	21.5	2.0	11.7	103.4	96.2	537	B	1
カラマツ	NJラミナ	118	3	0.547	35.9	38.1	26.1	26.1	6.4	11.2	103.9	102.0	591	B	1
カラマツ	NJラミナ	119	1	0.499	0.0	6.3	3.6	0.0	5.0	12.9	104.5	97.7	611	B	0
カラマツ	NJラミナ	120	5	0.524	52.0	52.0	14.1	23.5	3.6	11.5	105.0	99.6	350	K	0
カラマツ	NJラミナ	121	2	0.565	29.5	43.0	0.0	21.8	4.8	11.6	105.4	104.9	523	B	0
カラマツ	NJラミナ	122	3	0.476	12.4	12.4	0.0	0.0	6.1	9.8	105.7	103.2	531	K	0
カラマツ	NJラミナ	123	4	0.589	42.1	42.1	32.7	32.7	6.5	13.4	105.8	94.6	359	EK	0
カラマツ	NJラミナ	124	5	0.469	73.6	73.6	40.0	40.0	4.3	11.0	106.0	100.6	470	K	1
カラマツ	NJラミナ	125	2	0.474	21.1	27.9	5.5	18.1	4.4	9.5	106.3	105.2	440	EK	0
カラマツ	NJラミナ	126	1	0.454	10.4	36.9	0.0	13.4	5.0	10.2	106.8	103.5	610	B	1
カラマツ	NJラミナ	127	2	0.536	23.6	31.5	10.1	5.3	4.9	12.0	107.6	101.1	534	B	0
カラマツ	NJラミナ	128	1	0.481	7.3	7.3	0.6	0.6	4.9	13.5	107.6	102.0	688	B	0
カラマツ	NJラミナ	129	4	0.530	49.5	49.5	21.0	21.0	3.5	13.3	108.0	96.6	320	EK	1
カラマツ	NJラミナ	130	1	0.472	19.4	20.1	11.3	11.3	3.9	12.2	108.4	99.7	408	EK	1
カラマツ	NJラミナ	131	2	0.521	22.1	29.9	0.0	0.0	4.4	11.1	109.0	102.9	519	K	0
カラマツ	NJラミナ	132	1	0.473	15.7	29.2	15.7	15.7	3.9	10.6	109.5	105.7	512	K	0
カラマツ	NJラミナ	133	1	0.525	17.9	17.9	7.8	7.8	4.2	11.4	109.9	106.7	336	EK	1
カラマツ	NJラミナ	134	3	0.499	31.2	31.2	8.4	12.1	3.3	11.5	110.0	112.3	538	K	0
カラマツ	NJラミナ	135	3	0.580	26.5	26.5	11.2	28.5	6.6	12.8	110.2	92.8	491	EK	1
カラマツ	NJラミナ	136	2	0.551	25.7	38.3	1.2	1.2	4.9	14.0	110.4	105.1	555	K	0
カラマツ	NJラミナ	137	5	0.520	51.0	51.0	9.2	19.1	6.2	10.6	110.7	106.2	452	EK	0
カラマツ	NJラミナ	138	2	0.521	29.0	29.0	17.9	24.8	4.8	11.1	112.7	105.9	636	EK	0
カラマツ	NJラミナ	139	1	0.456	19.2	19.2	3.8	13.9	4.9	9.8	114.3	114.6	554	K	0
カラマツ	NJラミナ	140	1	0.457	4.7	4.7	0.0	0.0	5.3	11.3	115.5	109.5	738	B	0
カラマツ	NJラミナ	141	1	0.517	1.7	24.5	12.7	12.7	4.9	11.5	115.9	109.7	586	B	1
カラマツ	NJラミナ	142	1	0.463	9.1	35.3	0.0	17.9	5.0	10.0	116.1	110.8	612	K	0
カラマツ	NJラミナ	143	1	0.506	14.4	25.8	1.7	1.7	3.8	11.6	118.0	122.6	640	G	0
カラマツ	NJラミナ	144	3	0.518	31.2	31.2	14.1	14.1	1.8	9.6	119.0	120.6	480	EK	0
カラマツ	NJラミナ	145	3	0.481	34.0	46.2	4.5	15.6	2.6	9.8	119.8	115.9	498	K	0
カラマツ	NJラミナ	146	1	0.504	17.4	17.4	0.0	0.0	2.8	11.7	120.6	118.5	534	K	0
カラマツ	NJラミナ	147	2	0.497	29.2	29.2	4.2	12.8	4.0	10.5	123.6	126.9	485	B	0
カラマツ	NJラミナ	148	1	0.450	5.0	14.8	0.0	10.6	5.3	10.5	123.9	117.7	680	B	0
カラマツ	NJラミナ	149	1	0.553	9.4	18.5	0.0	1.8	4.0	11.0	130.1	138.7	541	B	0
カラマツ	NJラミナ	150	1	0.478	6.7	21.5	0.0	8.5	1.8	11.3	138.4	133.7	492	K	0
カラマツ	NJラミナ	201	2	0.558	20.8	20.8	0.0	2.8	2.6	13.5	108.8	110.8	680	B	1
カラマツ	NJラミナ	202	2	0.518	23.8	23.8	0.0	23.8	3.5	9.4	114.9	114.7	691	K	0
カラマツ	NJラミナ	203	2	0.506	28.3	28.3	2.8	2.8	3.1	11.0	117.1	117.5	512	K	0
カラマツ	NJラミナ	204	2	0.538	25.4	84.9	14.0	52.4	4.9	9.5	118.4	124.4	601	EK	1
カラマツ	NJラミナ	205	1	0.502	15.3	15.3	0.6	0.6	3.4	10.5	119.0	117.9	519	EK	0
カラマツ	NJラミナ	206	3	0.530	31.5	31.5	0.0	0.0	3.3	12.0	120.8	111.6	573	K	0
カラマツ	NJラミナ	207	1	0.525	16.4	16.4	0.0	0.7	3.1	11.3	122.5	117.5	576	B	0
カラマツ	NJラミナ	208	2	0.519	21.5	20.5	1.4	10.4	3.9	9.9	123.2	120.7	617	B	0
カラマツ	NJラミナ	209	3	0.530	31.4	61.9	30.2	30.2	3.2	11.5	123.7	120.6	477	EK	1
カラマツ	NJラミナ	210	3	0.522	34.2	34.2	20.5	20.5	3.5	8.9	124.9	123.3	289	EK	0
カラマツ	NJラミナ	212	2	0.535	29.5	39.3	17.1	21.5	2.2	12.2	127.0	123.6	559	K	0
カラマツ	NJラミナ	213	2	0.505	22.5	22.5	0.0	0.0	3.0	10.2	127.7	126.4	576	B	0

\*1: JAS視覚的等級区分: 集中節径比、材縁の節は中央区間によった。

\*2: 破壊原因: K; 節、G: 目切れ、B: その他、FJ: フィンガージョイント部

\*3: 0: 心去り、1: 心持ち、0.5: FJラミナで心持ちと心去りが縦継ぎされたもの

その他: 中央の評価は曲げについては上部スパン内、引張りについてはチャック間、全長の評価は曲げについては、下部支点間、引張りについては全長

付表1-2 カラマツラミナの曲げ試験結果

樹種	種類 区分	NO	JAS*1	密度 g/cm <sup>3</sup>	集中節径比%		材縁節径比%		年輪幅 mm	含水率 %	ヤング係数tf/cm <sup>2</sup>		MOR kgf/cm <sup>2</sup>	破壊原因*2	心*3
					中央	全長	中央	全長			Ef	MOE			
カラマツ	NJラミナ	214	2	0.576	25.8	25.8	11.1	11.1	3.0	11.3	128.0	127.2	422	EK	0
カラマツ	NJラミナ	215	3	0.510	16.8	23.2	0.0	1.3	6.1	9.5	128.9	131.1	485	B	0
カラマツ	NJラミナ	216	5	0.568	64.0	64.0	37.2	29.1	5.5	9.7	129.3	126.0	499	K	1
カラマツ	NJラミナ	217	5	0.683	67.2	67.2	0.0	42.8	3.7	12.1	129.6	126.4	675	EK	1
カラマツ	NJラミナ	218	1	0.493	5.0	9.4	0.0	0.0	0.3	10.6	129.7	121.9	660	B	1
カラマツ	NJラミナ	219	5	0.620	58.7	58.7	29.9	29.9	2.1	9.2	129.8	123.5	334	EK	0
カラマツ	NJラミナ	220	3	0.624	39.8	39.8	12.3	9.1	3.2	8.5	130.5	125.0	344	K	0
カラマツ	NJラミナ	221	4	0.530	45.7	45.7	28.0	28.0	3.2	11.5	130.9	124.3	575	EK	1
カラマツ	NJラミナ	222	1	0.580	10.7	32.6	1.5	8.7	3.6	9.1	131.0	133.6	568	G	0
カラマツ	NJラミナ	223	1	0.538	10.1	26.1	0.0	12.7	1.7	11.8	131.9	129.8	645	K	0
カラマツ	NJラミナ	224	2	0.516	21.7	19.1	2.8	22.4	3.0	9.7	132.5	132.7	865	K,EK	0
カラマツ	NJラミナ	225	5	0.707	59.4	59.4	0.0	24.5	4.5	10.8	132.9	129.2	654	K,EK	0
カラマツ	NJラミナ	226	1	0.501	17.8	17.8	0.0	0.7	4.4	9.4	133.7	135.7	699	K	0
カラマツ	NJラミナ	227	3	0.518	35.6	35.6	0.0	0.0	4.9	9.5	134.1	132.2	642	K	0
カラマツ	NJラミナ	228	1	0.499	14.4	21.1	0.0	5.9	5.8	8.2	134.2	136.0	713	K	0
カラマツ	NJラミナ	229	1	0.591	9.1	22.8	0.0	22.8	3.2	8.8	134.6	126.9	572	B	0
カラマツ	NJラミナ	230	2	0.675	27.9	34.2	19.5	28.5	5.9	10.4	135.1	121.7	650	K,EK	0
カラマツ	NJラミナ	231	4	0.713	43.8	43.8	12.6	12.6	3.2	9.0	135.3	135.7	547	K,EK	0
カラマツ	NJラミナ	232	1	0.515	12.1	12.1	0.0	0.0	3.3	9.1	135.5	130.6	786	K	0
カラマツ	NJラミナ	233	2	0.533	24.2	32.6	0.0	13.8	4.0	8.8	136.0	135.9	563	K	0
カラマツ	NJラミナ	234	1	0.499	15.8	35.5	8.4	8.4	4.0	9.4	136.3	140.5	647	K,EK	0
カラマツ	NJラミナ	235	2	0.576	20.1	20.1	0.0	1.7	3.7	9.2	136.6	127.5	520	EK	0
カラマツ	NJラミナ	236	1	0.617	9.4	11.7	9.4	9.4	2.4	9.2	137.0	141.3	513	EK	0
カラマツ	NJラミナ	237	2	0.530	21.1	21.1	0.0	0.0	2.8	10.2	137.2	136.0	512	K	0
カラマツ	NJラミナ	238	2	0.545	21.8	31.2	14.1	14.1	2.9	9.6	137.8	142.9	568	EK	0
カラマツ	NJラミナ	239	2	0.501	29.0	29.0	12.6	12.6	3.0	9.3	138.9	140.1	566	K,EK	0
カラマツ	NJラミナ	240	1	0.542	3.7	23.5	3.4	8.7	1.9	12.2	139.2	132.8	673	K	0
カラマツ	NJラミナ	241	1	0.534	7.7	15.1	0.0	3.9	3.1	11.5	139.4	136.4	577	K	1
カラマツ	NJラミナ	242	4	0.704	42.3	57.4	24.2	24.2	4.8	10.8	139.7	142.3	735	EK	0
カラマツ	NJラミナ	243	4	0.694	42.6	42.6	0.0	21.8	1.8	9.4	140.1	134.4	566	K	0
カラマツ	NJラミナ	244	2	0.545	24.8	24.8	8.1	10.1	4.0	8.9	141.2	141.9	661	K,EK	0
カラマツ	NJラミナ	245	1	0.609	13.4	19.1	10.7	10.7	3.3	8.6	142.1	138.5	543	K,EK	0
カラマツ	NJラミナ	246	2	0.670	26.6	26.6	13.1	13.1	3.2	8.5	142.5	135.2	678	K	0
カラマツ	NJラミナ	247	3	0.714	31.5	31.5	3.7	12.1	4.5	8.3	142.9	138.9	660	K	0
カラマツ	NJラミナ	248	4	0.706	40.9	40.9	20.1	20.1	1.9	9.4	145.0	144.4	632	EK	0
カラマツ	NJラミナ	249	1	0.537	4.7	19.2	0.0	10.1	3.1	11.0	145.6	143.5	892	B	1
カラマツ	NJラミナ	250	1	0.610	0.0	10.4	0.0	0.0	2.0	9.0	148.1	147.9	496	G	0
カラマツ	NJラミナ	301	1	0.511	7.7	16.4	0.0	1.3	2.1	10.9	130.8	132.3	506	K	0
カラマツ	NJラミナ	302	1	0.562	7.0	17.1	0.0	0.0	3.8	11.3	135.0	131.0	815	K	0
カラマツ	NJラミナ	303	3	0.522	34.9	34.9	0.0	0.0	3.0	11.3	136.7	135.0	611	K	0
カラマツ	NJラミナ	304	1	0.550	0.0	22.5	0.0	0.0	1.7	11.8	138.4	135.1	815	B	0
カラマツ	NJラミナ	305	2	0.518	26.0	26.0	9.5	9.5	4.1	10.1	138.7	139.7	478	K	0
カラマツ	NJラミナ	306	1	0.540	10.4	16.6	0.0	4.2	3.6	11.6	141.3	140.5	724	K	0
カラマツ	NJラミナ	307	2	0.521	23.2	23.2	2.0	2.0	3.8	11.4	142.9	148.1	744	K	0
カラマツ	NJラミナ	308	3	0.551	36.2	36.2	0.0	0.7	3.4	9.7	143.3	146.1	907	B	0
カラマツ	NJラミナ	309	1	0.584	3.0	9.1	0.0	0.0	3.4	11.6	144.7	147.5	762	B	0
カラマツ	NJラミナ	310	1	0.540	19.5	19.5	0.0	2.4	1.7	12.1	144.8	145.0	766	K	0
カラマツ	NJラミナ	311	3	0.505	38.3	38.3	14.7	14.7	3.7	10.1	145.8	139.9	517	EK	0
カラマツ	NJラミナ	312	1	0.570	0.0	25.8	0.0	17.4	1.8	11.3	145.9	159.9	460	EK	0
カラマツ	NJラミナ	313	1	0.628	4.7	33.9	0.0	10.1	3.8	12.7	147.2	159.6	829	K	0
カラマツ	NJラミナ	314	2	0.559	26.2	26.2	0.0	1.3	2.0	11.6	147.6	145.8	765	K	0
カラマツ	NJラミナ	315	1	0.543	10.4	14.4	6.4	6.4	4.5	10.5	148.0	152.7	805	B	0
カラマツ	NJラミナ	316	1	0.569	12.1	23.2	12.1	12.1	2.0	11.6	149.0	155.2	650	EK	0
カラマツ	NJラミナ	317	1	0.637	3.4	19.5	0.0	7.1	4.1	12.3	149.2	158.6	646	B	0
カラマツ	NJラミナ	318	1	0.543	15.8	15.8	0.0	0.0	1.4	13.3	149.6	141.9	772	K	0
カラマツ	NJラミナ	319	1	0.634	11.8	20.5	0.0	12.8	2.9	12.0	149.8	147.2	638	K	0
カラマツ	NJラミナ	320	1	0.576	5.0	16.2	0.0	13.8	2.8	12.9	150.8	146.3	777	B	0
カラマツ	NJラミナ	321	1	0.553	12.1	26.3	0.0	6.5	1.7	11.1	151.5	149.7	853	K	0
カラマツ	NJラミナ	322	1	0.493	0.0	4.0	0.0	0.5	3.4	10.2	151.9	157.1	656	B	0
カラマツ	NJラミナ	323	1	0.508	9.4	14.1	0.0	3.9	3.1	10.2	152.2	154.4	650	K,EK	0
カラマツ	NJラミナ	324	1	0.520	1.8	7.7	1.8	1.8	3.3	10.2	152.4	160.1	804	B	0
カラマツ	NJラミナ	325	1	0.537	4.4	13.8	0.0	0.0	1.8	10.6	152.9	147.9	577	K	0

\*1: JAS視覚的等級区分: 集中節径比、材縁の節は中央区間によった。

\*2: 破壊原因: K: 節、G: 目切れ、B: その他、FJ: フィンガージョイント部

\*3: 0: 心去り、1: 心持ち、0.5: FJラミナで心持ちと心去りが縦織されたもの

その他: 中央の評価は曲げについては上部スパン内、引張りについてはチャック間、全長の評価は曲げについては、下部支点間、引張りについては全長

付表1-3 カラマツラミナの曲げ試験結果

樹種	種類 区分	NO	JAS*1	密度 g/cm <sup>3</sup>	集中節径比%		材縁節径比%		年輪幅 mm	含水率 %	ヤング係数tf/cm <sup>2</sup>		MOR kgf/cm <sup>2</sup>	破壊原因*2	心*3
					中央	全長	中央	全長			Ef	MOR			
カラマツ	NJラミナ	326	1	0.612	11.4	12.7	1.0	1.0	3.0	13.3	153.0	154.5	945	B	0
カラマツ	NJラミナ	327	1	0.550	12.4	12.4	0.0	0.4	4.0	12.0	153.0	149.2	826	K	0
カラマツ	NJラミナ	328	1	0.618	8.1	12.8	0.0	6.4	2.5	13.3	153.1	149.3	568	G	0
カラマツ	NJラミナ	329	1	0.635	15.4	0.0	11.4	11.4	2.7	12.3	153.8	140.1	456	EK	0
カラマツ	NJラミナ	330	1	0.612	3.0	15.4	0.0	10.7	3.0	13.6	154.1	144.7	822	B	0
カラマツ	NJラミナ	331	1	0.523	5.0	5.0	0.0	0.0	3.3	10.9	154.5	154.6	815	B	0
カラマツ	NJラミナ	332	1	0.635	0.0	3.7	0.0	0.0	3.6	13.5	154.8	143.6	927	B	0
カラマツ	NJラミナ	333	2	0.543	29.4	34.6	0.0	12.6	2.7	12.4	155.6	151.5	667	EK	0
カラマツ	NJラミナ	334	1	0.523	9.4	16.0	0.0	10.6	3.4	10.2	156.7	160.0	951	B	0
カラマツ	NJラミナ	335	2	0.559	23.3	23.3	8.6	8.6	2.6	10.7	157.8	153.6	766	K	0
カラマツ	NJラミナ	336	1	0.551	8.4	22.8	0.0	15.1	2.6	11.9	159.1	162.2	726	K	0
カラマツ	NJラミナ	337	1	0.533	19.8	19.8	0.0	0.4	1.9	11.5	159.6	152.3	533	K	0
カラマツ	NJラミナ	338	1	0.534	11.1	11.1	0.0	9.5	4.7	11.9	159.9	163.2	853	EK	0
カラマツ	NJラミナ	339	1	0.556	0.0	11.1	0.0	0.0	2.7	11.2	160.6	156.7	638	B	0
カラマツ	NJラミナ	340	1	0.566	8.1	20.1	0.0	10.1	2.3	13.9	161.0	161.9	800	K	0
カラマツ	NJラミナ	341	1	0.533	17.1	17.1	0.0	2.9	2.2	11.3	162.0	163.5	742	K	0
カラマツ	NJラミナ	342	1	0.568	0.0	10.3	0.0	6.9	2.8	13.2	163.0	161.9	909	B	0
カラマツ	NJラミナ	343	1	0.523	0.0	17.6	0.0	9.8	2.0	10.8	163.7	173.2	921	B	0
カラマツ	NJラミナ	344	1	0.538	6.4	6.4	0.0	0.0	2.4	11.2	164.7	164.0	920	B	0
カラマツ	NJラミナ	345	1	0.595	19.1	19.1	0.0	0.0	1.8	13.4	165.6	160.2	671	K	0
カラマツ	NJラミナ	346	1	0.628	3.4	7.0	0.0	0.0	3.1	14.2	167.0	154.2	829	B	0
カラマツ	NJラミナ	347	1	0.519	7.7	10.7	2.2	6.7	3.3	10.5	168.0	172.2	940	EK	0
カラマツ	NJラミナ	348	1	0.608	16.1	24.2	0.0	0.0	3.1	10.0	169.1	169.7	840	B	0
カラマツ	NJラミナ	349	1	0.613	5.4	18.1	0.0	0.0	2.4	12.6	171.9	173.7	1022	B	0
カラマツ	NJラミナ	350	1	0.616	15.1	15.1	0.0	15.1	3.3	10.1	172.6	173.3	948	K	0
カラマツ	FJラミナ	1	4	0.523	19.5	19.5	47.0	47.0	4.5	11.8	91.4	86.9	303	EK	0.5
カラマツ	FJラミナ	2	4	0.531	44.7	50.3	5.3	5.3	4.8	10.1	94.5	86.7	357	EK	0
カラマツ	FJラミナ	3	1	0.581	2.3	50.7	0.0	33.6	4.8	9.8	95.2	92.0	445	F、B	0
カラマツ	FJラミナ	4	1	0.499	18.1	59.8	0.0	19.6	5.6	10.6	95.4	93.9	364	F	0
カラマツ	FJラミナ	5	3	0.458	25.5	25.5	0.0	6.6	6.2	10.1	96.1	96.6	390	F	0
カラマツ	FJラミナ	6	4	0.456	43.3	43.3	6.3	16.1	6.0	11.1	96.4	93.7	408	F	0
カラマツ	FJラミナ	7	3	0.467	9.4	45.5	9.8	26.2	6.1	11.7	97.2	96.8	323	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	8	4	0.534	40.6	40.6	18.5	25.8	3.8	10.8	97.7	93.4	397	EK	0.5
カラマツ	FJラミナ	9	2	0.508	27.9	48.3	0.0	21.1	4.8	10.3	99.7	99.3	385	F	0
カラマツ	FJラミナ	10	3	0.488	31.5	84.7	0.0	52.9	5.9	11.9	100.0	98.2	337	F、EK	0.5
カラマツ	FJラミナ	11	1	0.482	17.4	32.8	0.0	13.1	5.5	9.9	100.4	94.6	331	F	0
カラマツ	FJラミナ	12	3	0.547	30.2	30.2	16.1	16.1	3.5	10.8	100.9	93.4	442	EK	0.5
カラマツ	FJラミナ	13	3	0.486	22.5	34.9	9.8	16.8	6.3	11.9	101.7	97.4	320	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	14	1	0.489	12.4	27.5	0.0	18.5	5.1	11.6	101.8	101.0	414	F	0
カラマツ	FJラミナ	15	4	0.473	43.2	43.2	11.3	11.3	5.5	12.4	102.7	99.7	327	K、EK	0
カラマツ	FJラミナ	16	1	0.464	16.8	16.8	0.0	0.0	5.0	10.1	103.2	104.0	382	F	0
カラマツ	FJラミナ	17	4	0.485	49.6	49.6	0.0	15.7	4.9	10.7	103.5	101.5	355	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	18	1	0.486	5.0	15.4	0.0	0.0	5.1	11.3	103.7	100.3	334	F	1
カラマツ	FJラミナ	19	3	0.530	38.4	28.2	13.4	23.2	4.4	10.7	104.1	94.8	411	EK、K	0
カラマツ	FJラミナ	20	3	0.439	35.2	40.6	0.0	18.5	4.2	12.4	104.2	102.4	292	EK	1
カラマツ	FJラミナ	21	2	0.460	29.0	29.0	15.7	15.7	4.8	11.2	104.8	102.0	436	EK、F	0
カラマツ	FJラミナ	22	1	0.510	12.8	42.6	0.8	28.2	5.5	12.3	105.0	104.7	373	F	0
カラマツ	FJラミナ	23	4	0.536	48.1	48.1	35.7	35.7	4.4	10.0	105.1	103.6	355	B	0
カラマツ	FJラミナ	24	1	0.470	8.4	28.4	0.0	10.9	4.5	11.4	105.4	100.4	320	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	25	2	0.503	21.5	52.0	1.7	31.2	5.4	9.6	105.6	93.9	326	F	0
カラマツ	FJラミナ	26	3	0.463	30.5	30.5	0.0	21.9	4.2	11.2	106.4	104.8	459	F	0
カラマツ	FJラミナ	27	1	0.475	8.4	32.6	0.0	22.1	5.7	11.5	106.5	109.7	397	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	28	4	0.484	43.2	43.2	0.0	41.3	4.2	11.9	106.8	100.7	396	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	29	3	0.493	35.2	35.2	11.7	11.7	4.3	12.5	107.0	103.2	394	F	0
カラマツ	FJラミナ	30	1	0.502	18.1	33.2	0.0	23.5	4.9	10.8	107.1	108.9	424	F	0
カラマツ	FJラミナ	31	5	0.469	50.6	34.2	29.1	29.1	4.2	11.2	107.7	104.9	344	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	32	1	0.497	18.5	18.5	0.0	0.0	4.0	10.7	107.8	108.9	438	F	0
カラマツ	FJラミナ	33	1	0.534	14.1	62.1	0.0	5.8	5.5	11.0	108.3	108.0	379	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	34	1	0.488	5.0	7.7	0.0	0.0	4.7	11.8	108.4	106.3	480	F	0
カラマツ	FJラミナ	35	1	0.488	7.4	27.4	0.0	22.1	4.7	11.0	108.5	107.7	320	F	0
カラマツ	FJラミナ	36	1	0.554	3.7	34.2	0.0	0.0	4.8	12.6	108.7	102.0	466	F	0
カラマツ	FJラミナ	37	2	0.445	26.2	26.2	0.0	0.0	4.6	11.5	108.7	108.9	419	F、B	0

\*1: JAS視覚的等級区分: 集中節径比、材縁の節は中央区間によった。

\*2: 破壊原因: K; 節、G: 目切れ、B: その他、FJ: フィンガージョイント部

\*3: 0: 心去り、1: 心持ち、0.5: FJラミナで心持ちと心去りが継ぎされたもの

その他: 中央の評価は曲げについては上部スパン内、引張りについてはチャック間、全長の評価は曲げについては、下部支点間、引張りについては全長

付表1-4 カラマツラミナの曲げ試験結果

樹種	種類 区分	NO	JAS*1	密度 g/cm <sup>3</sup>	集中節径比%		材縁節径比%		年輪幅 mm	含水率 %	ヤング係数tf/cm <sup>2</sup>		MOR kgf/cm <sup>2</sup>	破壊原因*2	心*3
					中央	全長	中央	全長			Ef	MOE			
カラマツ	FJラミナ	38	1	0.475	14.4	23.8	0.0	14.4	4.5	11.6	109.0	111.8	477	F	0
カラマツ	FJラミナ	39	2	0.516	23.5	39.4	13.8	23.1	5.0	10.2	109.2	106.3	410	F	0
カラマツ	FJラミナ	40	1	0.459	10.1	16.8	0.0	1.5	4.6	11.3	109.7	104.8	405	F	0
カラマツ	FJラミナ	41	1	0.490	17.9	27.2	0.0	13.4	5.1	10.1	109.9	108.8	389	F, G	0
カラマツ	FJラミナ	42	3	0.509	37.9	37.9	17.4	17.4	4.2	11.8	110.5	107.8	488	F	0
カラマツ	FJラミナ	43	2	0.469	21.1	21.1	11.3	11.3	4.1	11.1	111.2	110.4	428	F	0
カラマツ	FJラミナ	44	1	0.489	13.1	22.1	0.0	1.4	4.4	11.3	112.3	109.0	484	F	0
カラマツ	FJラミナ	45	2	0.557	22.5	22.5	0.0	12.1	4.3	13.4	113.1	105.2	389	F	0
カラマツ	FJラミナ	47	2	0.534	25.7	37.9	17.3	20.8	4.8	10.7	113.9	108.5	380	F	0
カラマツ	FJラミナ	48	1	0.497	15.2	38.5	2.8	22.5	3.6	11.6	114.1	111.9	496	F	0
カラマツ	FJラミナ	49	1	0.535	18.8	46.3	0.0	19.1	4.6	11.4	114.2	116.0	414	F, B	0
カラマツ	FJラミナ	50	2	0.561	18.5	18.5	18.5	18.5	4.0	11.1	114.9	108.6	471	F	0
カラマツ	FJラミナ	51	2	0.544	23.9	37.0	9.8	22.1	3.8	12.5	117.1	111.2	435	F	0
カラマツ	FJラミナ	52	1	0.480	17.6	29.3	12.5	17.8	3.0	11.1	118.2	115.7	498	F	0
カラマツ	FJラミナ	101	1	0.565	14.1	31.5	0.0	21.1	2.3	9.7	102.4	114.5	379	K	0
カラマツ	FJラミナ	102	1	0.581	3.4	19.1	0.0	19.1	2.9	10.0	115.9	115.5	543	F	0
カラマツ	FJラミナ	103	1	0.573	9.7	28.3	0.0	13.3	2.5	9.2	117.4	116.6	477	F, B	0
カラマツ	FJラミナ	104	4	0.601	44.6	35.2	25.8	25.8	3.0	8.7	119.0	126.3	373	EK	0
カラマツ	FJラミナ	105	1	0.523	15.4	15.4	0.0	0.0	3.2	10.5	121.0	118.1	508	B, F	0
カラマツ	FJラミナ	106	1	0.546	18.0	24.8	2.9	14.1	4.0	8.7	121.4	119.6	418	F	0
カラマツ	FJラミナ	107	2	0.556	20.8	31.5	0.0	0.0	3.4	9.1	122.6	114.2	431	F, K	0
カラマツ	FJラミナ	108	1	0.558	2.2	30.8	2.2	4.3	2.3	10.9	123.1	120.4	653	F	0
カラマツ	FJラミナ	109	4	0.506	44.3	44.3	0.0	0.0	3.8	10.1	123.8	120.3	463	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	110	1	0.580	8.4	46.3	0.0	16.8	2.5	11.0	124.9	120.7	538	F, EK	0
カラマツ	FJラミナ	111	1	0.570	13.8	13.8	0.0	0.0	2.7	10.0	125.7	124.4	496	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	112	1	0.523	8.7	55.1	0.0	18.9	2.9	9.7	126.0	125.1	552	F	0
カラマツ	FJラミナ	113	4	0.613	44.3	44.3	0.0	16.8	3.8	10.7	126.5	124.2	453	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	114	1	0.549	16.8	23.5	4.2	11.7	3.0	10.7	127.1	120.0	552	F	0
カラマツ	FJラミナ	115	3	0.615	37.0	37.0	9.8	9.8	3.9	11.1	128.0	128.2	449	F, EK	0
カラマツ	FJラミナ	116	1	0.537	13.8	29.9	7.4	20.8	4.4	9.8	128.3	130.9	433	F, EK	0
カラマツ	FJラミナ	117	1	0.560	7.7	55.7	0.0	0.0	1.6	9.5	128.6	145.2	638	F	0
カラマツ	FJラミナ	118	2	0.548	20.5	36.9	12.4	14.8	2.9	10.5	129.0	135.8	530	F	0
カラマツ	FJラミナ	119	2	0.516	22.1	26.5	0.0	14.4	4.2	9.1	129.0	126.3	396	F	0
カラマツ	FJラミナ	120	2	0.548	29.8	29.8	22.4	22.4	3.1	10.3	129.8	120.5	495	F	0
カラマツ	FJラミナ	121	1	0.529	13.8	13.8	6.4	6.4	3.7	10.6	130.3	128.3	498	F	0
カラマツ	FJラミナ	122	2	0.537	25.6	25.6	7.8	7.8	3.7	10.2	130.3	129.5	498	F	0
カラマツ	FJラミナ	123	1	0.546	13.1	20.5	0.0	0.0	3.8	9.3	130.5	126.6	459	F	0
カラマツ	FJラミナ	124	2	0.573	17.6	56.0	17.6	21.5	4.3	10.9	130.6	130.1	502	F	0
カラマツ	FJラミナ	125	2	0.556	26.2	26.2	1.6	4.5	3.1	9.9	130.9	125.8	404	F	0
カラマツ	FJラミナ	126	1	0.532	11.4	11.4	0.0	0.0	3.1	9.4	131.0	129.8	494	F	0
カラマツ	FJラミナ	127	1	0.512	9.7	15.4	0.0	3.4	3.0	9.1	131.1	127.9	436	F	0
カラマツ	FJラミナ	128	2	0.532	24.2	24.2	0.0	21.1	2.5	10.5	132.0	129.7	573	F	0
カラマツ	FJラミナ	129	1	0.547	9.1	18.5	0.0	6.0	3.7	10.4	132.8	132.6	380	F	0
カラマツ	FJラミナ	130	1	0.532	13.4	13.4	0.0	6.3	3.0	9.7	133.2	136.3	548	F	0
カラマツ	FJラミナ	131	2	0.485	25.5	25.5	0.0	0.9	3.1	10.2	133.6	128.7	526	F	0
カラマツ	FJラミナ	132	1	0.578	16.4	15.8	0.0	1.0	4.1	9.9	133.8	131.0	467	F	0
カラマツ	FJラミナ	133	1	0.565	17.8	17.7	2.9	3.6	3.2	10.9	134.0	132.4	457	F	0
カラマツ	FJラミナ	134	1	0.492	0.0	5.0	0.0	0.0	2.2	9.0	134.7	135.7	614	F	0
カラマツ	FJラミナ	135	1	0.500	17.4	26.8	0.0	0.0	3.4	10.7	134.9	132.0	526	F	0
カラマツ	FJラミナ	136	1	0.505	0.0	22.5	0.0	0.0	2.8	10.7	135.2	134.6	549	F, B	0
カラマツ	FJラミナ	137	1	0.581	11.1	36.9	0.0	18.8	3.6	10.8	135.6	134.1	428	F, K	0
カラマツ	FJラミナ	138	2	0.564	15.1	21.8	21.8	21.8	3.7	8.8	135.7	135.7	509	F	0
カラマツ	FJラミナ	139	1	0.569	0.0	14.4	0.0	0.0	2.5	8.2	136.0	141.7	529	F	0
カラマツ	FJラミナ	140	1	0.491	5.0	7.7	0.0	0.7	3.2	9.4	136.3	134.7	562	F	0
カラマツ	FJラミナ	141	1	0.538	11.4	26.6	0.0	1.1	2.9	10.3	136.7	132.4	412	F, B	0
カラマツ	FJラミナ	142	1	0.560	4.7	20.8	0.0	0.0	2.3	9.1	136.9	144.8	522	F	0
カラマツ	FJラミナ	143	1	0.532	15.8	15.8	15.8	15.8	3.4	9.8	137.2	132.5	488	F	0
カラマツ	FJラミナ	144	2	0.560	29.5	37.1	8.4	8.4	2.2	11.4	138.1	136.2	524	F	0
カラマツ	FJラミナ	145	1	0.563	0.0	19.5	0.0	0.0	3.6	10.6	138.8	140.5	474	F	0
カラマツ	FJラミナ	146	1	0.577	0.0	22.1	0.0	11.7	3.4	11.4	139.9	140.3	524	F, EK	0
カラマツ	FJラミナ	147	1	0.575	19.3	30.3	0.0	3.8	3.6	9.5	140.5	138.1	536	F	0
カラマツ	FJラミナ	148	1	0.606	13.4	19.3	0.0	1.8	2.9	10.5	141.5	139.4	551	F	0

\*1: JAS視覚的等級区分: 集中節径比、材縁の節は中央区間によった。

\*2: 破壊原因: K: 節、G: 目切れ、B: その他、FJ: フィンガージョイント部

\*3: 0: 心去り、1: 心持ち、0.5: FJラミナで心持ちと心去りが縦継ぎされたもの

その他: 中央の評価は曲げについては上部スパン内、引張りについてはチャック間、全長の評価は曲げについては、下部支点間、引張りについては全長

付表1-5 カラマツラミナの曲げ試験結果

樹種	種類 区分	NO	JAS*1	密度 g/cm <sup>3</sup>	集中節径比%		材縁節径比%		年輪幅 mm	含水率 %	ヤング係数tf/cm <sup>2</sup>		MOR kgf/cm <sup>2</sup>	破壊原因*2	心*3
					中央	全長	中央	全長			Ef	MOE			
カラマツ	FJラミナ	149	1	0.551	3.7	8.9	0.0	4.2	3.0	10.9	142.0	139.2	442	F	0
カラマツ	FJラミナ	150	1	0.567	14.8	17.1	0.0	0.0	3.4	9.4	144.0	139.3	496	F	0
カラマツ	FJラミナ	151	1	0.564	18.1	18.1	2.0	2.0	2.8	10.5	146.6	142.7	520	F	0
カラマツ	FJラミナ	152	1	0.519	8.4	15.8	3.3	3.3	3.3	11.0	147.4	149.6	573	F	0
カラマツ	FJラミナ	153	1	0.525	15.0	15.0	0.0	8.6	3.6	10.5	154.3	154.7	478	F	0
カラマツ	FJラミナ	201	1	0.562	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	12.9	122.9	121.3	446	F	0
カラマツ	FJラミナ	202	1	0.569	2.7	20.1	0.0	0.0	2.8	12.3	128.5	127.0	559	F	0
カラマツ	FJラミナ	203	3	0.536	31.2	31.2	0.0	8.7	4.7	10.3	130.2	118.2	440	F	0.5
カラマツ	FJラミナ	204	2	0.585	27.9	27.9	0.0	3.4	2.3	11.2	132.2	129.6	403	F	0
カラマツ	FJラミナ	205	1	0.566	5.0	25.7	0.0	15.6	3.8	11.9	137.3	131.6	467	FB	0
カラマツ	FJラミナ	206	1	0.563	5.0	10.1	1.2	1.2	2.9	12.6	139.8	131.1	491	B	0
カラマツ	FJラミナ	207	1	0.528	0.0	26.8	0.0	0.0	3.6	12.4	143.5	138.6	482	F	0
カラマツ	FJラミナ	208	2	0.592	20.8	20.8	0.0	0.7	3.1	12.8	144.7	144.0	580	F	0
カラマツ	FJラミナ	209	1	0.592	14.0	13.8	12.3	12.3	3.6	12.1	147.0	139.9	522	F	0
カラマツ	FJラミナ	210	3	0.546	32.2	34.7	0.0	34.7	2.8	12.0	147.4	145.4	565	F, B	0
カラマツ	FJラミナ	211	1	0.557	7.4	12.4	0.0	0.0	3.0	13.1	148.0	144.8	496	F	0
カラマツ	FJラミナ	212	2	0.559	29.2	29.2	0.0	4.5	2.9	11.1	148.7	140.2	475	F	0
カラマツ	FJラミナ	213	1	0.610	13.1	22.5	0.0	16.8	2.0	11.3	149.2	140.5	541	F, B	0
カラマツ	FJラミナ	214	1	0.584	0.0	20.1	0.0	10.6	2.7	11.7	149.6	149.4	576	F	0
カラマツ	FJラミナ	215	1	0.565	18.8	18.8	0.0	10.4	3.0	13.3	150.0	141.6	572	F	0
カラマツ	FJラミナ	216	1	0.582	2.0	11.4	0.0	2.3	2.2	11.8	150.2	151.8	625	F	0
カラマツ	FJラミナ	217	1	0.587	4.0	24.8	0.0	0.0	3.5	13.3	150.3	134.6	467	F	0
カラマツ	FJラミナ	218	1	0.573	17.4	14.1	0.0	1.7	4.4	13.0	151.2	145.0	433	F	0
カラマツ	FJラミナ	219	1	0.598	3.4	44.1	0.0	25.7	3.6	12.8	152.6	154.3	508	F	0
カラマツ	FJラミナ	220	1	0.595	0.0	22.1	0.0	0.2	2.0	11.7	152.4	149.3	628	F	0
カラマツ	FJラミナ	221	1	0.615	8.1	16.9	0.0	12.1	3.4	13.5	152.8	143.2	466	F	0
カラマツ	FJラミナ	222	1	0.566	18.8	18.8	0.0	3.1	2.9	11.8	155.5	148.5	562	F	0
カラマツ	FJラミナ	223	1	0.549	10.1	10.1	0.0	1.0	3.9	11.5	153.4	145.2	531	F	0
カラマツ	FJラミナ	224	1	0.574	0.0	28.2	0.0	0.3	3.1	12.7	153.7	151.1	577	F	0
カラマツ	FJラミナ	225	1	0.535	9.7	13.8	0.0	3.4	2.5	12.2	154.1	150.5	517	F	0
カラマツ	FJラミナ	226	1	0.612	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	11.7	154.3	146.6	570	F	0
カラマツ	FJラミナ	227	1	0.552	4.0	33.9	0.0	18.1	2.9	10.5	154.3	149.3	450	F	0
カラマツ	FJラミナ	228	1	0.602	8.7	8.7	0.0	2.0	2.9	11.9	155.2	146.5	568	F	0
カラマツ	FJラミナ	229	1	0.577	8.3	11.1	4.9	4.9	3.6	11.8	155.7	149.1	463	F	0
カラマツ	FJラミナ	230	1	0.625	13.3	13.3	8.9	8.9	2.9	12.1	156.5	148.0	537	F	0
カラマツ	FJラミナ	231	1	0.557	12.4	14.4	0.0	14.4	2.8	12.9	156.9	141.2	473	F	0
カラマツ	FJラミナ	232	1	0.605	0.0	38.3	0.0	4.2	1.8	11.8	157.2	159.7	643	F	0
カラマツ	FJラミナ	233	1	0.597	4.7	4.7	0.0	0.0	3.1	11.1	157.6	153.8	554	F	0
カラマツ	FJラミナ	234	1	0.661	0.0	2.3	0.0	0.0	1.7	10.6	157.9	155.6	538	F	0
カラマツ	FJラミナ	235	1	0.642	4.2	23.8	4.2	4.2	2.8	10.1	158.1	152.5	517	F	0
カラマツ	FJラミナ	236	1	0.620	6.7	8.0	2.5	2.5	2.2	10.5	158.6	152.3	545	F	0
カラマツ	FJラミナ	237	1	0.589	1.7	20.1	0.0	0.0	1.8	11.5	158.8	155.5	667	F	0
カラマツ	FJラミナ	238	1	0.558	4.9	8.4	1.6	1.6	2.7	12.4	159.4	149.4	530	F	0
カラマツ	FJラミナ	239	1	0.567	0.0	28.1	0.0	2.9	2.4	12.7	159.8	158.0	618	F	0
カラマツ	FJラミナ	240	1	0.608	3.4	18.8	0.0	0.8	3.3	12.0	160.4	159.2	544	F	0
カラマツ	FJラミナ	241	4	0.588	40.8	40.8	23.4	23.4	3.0	13.4	160.8	149.0	575	F	0
カラマツ	FJラミナ	242	1	0.556	8.1	8.1	0.0	0.0	2.2	12.5	161.1	146.9	537	F	0
カラマツ	FJラミナ	243	1	0.590	3.4	5.7	0.0	5.7	1.9	11.4	161.6	155.8	594	F	0
カラマツ	FJラミナ	244	1	0.591	15.7	15.7	3.9	3.9	3.3	12.4	161.8	150.4	512	F	0
カラマツ	FJラミナ	245	1	0.557	4.7	3.8	0.0	2.2	3.0	12.5	162.6	156.3	503	F	0
カラマツ	FJラミナ	246	2	0.616	22.5	22.5	22.5	22.5	3.2	13.2	164.8	153.6	608	F	0
カラマツ	FJラミナ	247	1	0.579	3.0	9.4	0.0	0.0	2.2	12.2	165.4	154.3	457	F	0
カラマツ	FJラミナ	248	1	0.576	0.0	4.7	0.0	0.0	3.0	11.4	167.0	158.3	586	F	0
カラマツ	FJラミナ	249	1	0.615	0.0	11.1	0.0	0.0	3.4	10.6	170.4	167.0	516	F	0
カラマツ	FJラミナ	250	1	0.588	0.0	2.3	0.0	0.0	3.1	11.7	170.5	164.9	622	F	0
カラマツ	FJラミナ	252	1	0.644	0.0	28.8	0.0	22.8	2.5	10.2	174.3	171.7	618	F	0

\*1: JAS視覚的等級区分: 集中節径比、材縁の節は中央区間によった。

\*2: 破壊原因: K; 節、G: 目切れ、B: その他、FJ: フィンガージョイント部

\*3: 0: 心去り、1: 心持ち、0.5: FJラミナで心持ちと心去りが縦織ぎされたもの

その他: 中央の評価は曲げについては上部スパン内、引張りについてはチャック間、全長の評価は曲げについては、下部支点間、引張りについては全長

付表2-1 カラマツラミナの引張り試験

樹種	種類 区分	NO	JAS*1	密度 g/cm <sup>3</sup>	集中節径比%		材縁節径比%		年輪幅 mm	含水率 %	ヤング係数tf/cm <sup>2</sup>		TS kgf/cm <sup>2</sup>	破壊原因*2	心*3
					中央	全長	中央	全長			Ef	MOE			
カラマツ	NJラミナ	101	3	0.447	34.6	34.6	10.1	11.1	5.2	11.9	82.6	80.0	178	EK	1
カラマツ	NJラミナ	102	1	0.439	10.7	38.6	2.3	7.7	3.9	9.9	87.9	86.6	218	B	1
カラマツ	NJラミナ	103	2	0.491	23.8	23.8	3.4	7.7	3.4	10.5	93.2	81.4	86	K	0
カラマツ	NJラミナ	104	5	0.495	50.1	50.1	17.9	17.9	5.4	11.4	95.7	86.1	173	EK	1
カラマツ	NJラミナ	105	4	0.517	43.3	43.3	35.6	35.6	4.9	10.8	96.4	93.0	109	EK	1
カラマツ	NJラミナ	106	4	0.479	48.9	48.9	16.9	16.9	3.5	12.3	96.7	99.0	211	EK	0
カラマツ	NJラミナ	107	1	0.535	11.1	27.9	11.1	11.1	4.8	10.8	97.1	96.2	154	EK	0
カラマツ	NJラミナ	108	3	0.428	29.2	29.2	18.2	18.2	6.5	9.9	98.4	93.6	243	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	109	5	0.481	63.1	63.1	29.1	29.1	4.6	10.5	98.9	85.6	164	EK	1
カラマツ	NJラミナ	110	1	0.501	17.8	17.8	10.8	10.8	4.6	11.9	99.5	93.9	259	K, EK	0
カラマツ	NJラミナ	111	4	0.512	40.8	40.8	20.4	20.4	6.3	11.3	99.9	101.2	275	EK	0
カラマツ	NJラミナ	112	3	0.480	35.0	35.0	10.6	10.6	4.7	11.7	100.4	93.0	166	EK	1
カラマツ	NJラミナ	113	1	0.455	18.5	34.6	11.7	11.7	3.9	11.0	101.0	101.4	296	EK	0
カラマツ	NJラミナ	114	2	0.442	27.5	27.5	12.3	12.3	3.4	9.8	101.4	96.8	398	EK	0
カラマツ	NJラミナ	115	3	0.566	35.9	35.9	9.7	9.7	5.8	11.9	101.7	93.1	174	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	116	3	0.487	25.8	25.8	27.9	27.9	3.3	11.3	102.0	96.7	186	EK	1
カラマツ	NJラミナ	117	1	0.452	8.1	22.5	0.0	10.4	3.6	10.3	102.9	99.3	317	B	1
カラマツ	NJラミナ	118	3	0.459	13.8	31.9	29.4	29.4	6.8	11.8	103.7	100.4	163	EK	0
カラマツ	NJラミナ	119	3	0.501	39.9	39.9	1.6	27.7	6.0	11.1	104.0	100.2	275	K	0
カラマツ	NJラミナ	120	3	0.502	36.2	40.4	1.5	1.5	6.0	10.5	105.0	104.5	237	K	0
カラマツ	NJラミナ	121	1	0.491	16.9	27.3	4.5	6.7	1.9	10.6	105.3	96.2	261	K	0
カラマツ	NJラミナ	122	3	0.460	33.6	33.6	0.0	18.5	4.8	10.3	105.5	104.4	211	EK	0
カラマツ	NJラミナ	123	3	0.480	16.4	42.3	0.0	8.9	7.1	10.5	105.8	104.9	270	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	124	2	0.548	27.6	27.6	9.8	9.8	3.3	11.4	105.9	94.3	151	EK	0
カラマツ	NJラミナ	125	4	0.447	48.1	48.1	24.8	35.7	5.0	10.1	106.1	98.3	148	EK	0
カラマツ	NJラミナ	126	2	0.545	25.5	57.4	24.0	24.5	4.4	13.0	106.4	110.9	215	EK	0
カラマツ	NJラミナ	127	1	0.523	17.9	38.9	7.7	26.8	5.2	11.3	107.5	114.2	220	EK	0
カラマツ	NJラミナ	128	3	0.476	25.7	25.7	27.8	27.8	5.7	10.8	107.6	104.2	268	EK	0
カラマツ	NJラミナ	129	3	0.519	36.2	36.2	18.5	25.8	4.7	14.1	107.7	93.3	299	EK	1
カラマツ	NJラミナ	130	4	0.513	43.6	43.6	25.2	33.6	5.6	13.1	108.2	99.5	277	EK	1
カラマツ	NJラミナ	131	4	0.503	43.6	43.6	0.0	11.4	4.5	12.8	108.9	110.9	273	K	0
カラマツ	NJラミナ	132	1	0.453	18.4	18.4	7.1	7.1	5.0	10.0	109.2	104.8	274	EK	0
カラマツ	NJラミナ	133	2	0.479	22.1	22.1	0.0	2.2	3.3	12.1	109.9	106.7	247	G, EK	0
カラマツ	NJラミナ	134	2	0.508	27.7	27.7	13.8	13.8	4.0	12.6	109.9	103.4	224	EK	1
カラマツ	NJラミナ	135	5	0.525	60.1	60.1	21.5	21.5	3.4	10.4	110.0	120.6	140	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	136	1	0.488	17.1	17.1	5.1	5.1	4.6	10.8	110.2	111.0	234	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	137	3	0.547	36.9	36.9	24.2	24.2	4.0	11.2	110.5	121.8	197	EK	0
カラマツ	NJラミナ	138	2	0.459	27.9	30.9	16.8	16.8	2.6	10.6	112.3	109.4	190	EK	0
カラマツ	NJラミナ	139	1	0.492	15.1	15.1	6.2	6.2	4.4	11.2	112.9	109.4	320	K	0
カラマツ	NJラミナ	140	5	0.527	56.0	45.3	20.4	18.8	4.4	13.1	115.0	114.5	332	EK	0
カラマツ	NJラミナ	141	3	0.472	33.6	33.6	22.1	22.1	4.8	10.3	115.6	115.1	154	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	142	2	0.509	29.9	29.9	3.8	3.8	4.8	13.0	115.9	117.3	294	K	0
カラマツ	NJラミナ	143	1	0.462	19.4	19.8	6.3	6.3	4.0	11.5	117.7	116.4	267	K	0
カラマツ	NJラミナ	144	3	0.506	35.9	35.9	16.8	16.8	6.1	10.0	118.1	113.6	263	EK	0
カラマツ	NJラミナ	145	1	0.519	19.6	50.3	1.2	14.4	1.2	11.6	119.2	119.1	259	EK	0
カラマツ	NJラミナ	146	4	0.556	42.5	42.5	1.3	11.7	4.6	11.6	120.5	121.2	391	K	0
カラマツ	NJラミナ	147	3	0.482	15.1	34.6	1.7	7.0	6.1	11.5	122.7	119.9	405	B	0
カラマツ	NJラミナ	148	1	0.457	10.7	12.1	0.0	12.1	3.5	12.1	123.8	123.2	419	EK	0
カラマツ	NJラミナ	149	3	0.520	37.8	37.8	0.0	18.9	1.5	12.8	125.3	121.0	303	K, EK	0
カラマツ	NJラミナ	150	1	0.486	16.4	34.6	0.0	13.8	2.4	10.5	130.8	130.9	231	K	0
カラマツ	NJラミナ	201	4	0.502	47.9	47.9	18.0	18.0	3.1	9.5	108.6	105.5	202	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	202	3	0.648	31.9	31.9	19.6	17.8	3.9	11.0	110.0	112.7	340	K	0
カラマツ	NJラミナ	203	2	0.606	22.4	22.4	1.7	1.7	4.4	9.3	116.0	120.6	343	K	0
カラマツ	NJラミナ	204	2	0.538	24.7	24.7	5.6	7.0	4.1	11.7	118.2	105.7	180	EK	1
カラマツ	NJラミナ	205	1	0.534	18.6	19.8	10.9	10.9	3.0	10.4	118.6	118.8	444	G	0
カラマツ	NJラミナ	206	2	0.565	26.8	38.6	0.0	0.0	2.9	11.8	119.2	121.8	350	K	0
カラマツ	NJラミナ	207	3	0.495	37.9	33.6	13.8	15.4	5.8	8.5	122.2	123.5	266	K	0
カラマツ	NJラミナ	208	4	0.608	43.6	43.6	12.8	20.8	3.1	11.3	122.9	120.6	149	EK	0
カラマツ	NJラミナ	209	3	0.528	37.9	37.9	16.1	16.1	3.3	12.2	123.3	119.9	229	EK	0
カラマツ	NJラミナ	210	2	0.587	22.5	55.0	0.0	19.1	3.4	9.4	123.8	132.5	160	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	211	3	0.604	35.6	35.6	0.0	6.7	2.3	9.4	125.3	115.8	128	K	0
カラマツ	NJラミナ	212	1	0.510	10.1	21.1	2.2	3.6	2.5	11.9	126.0	124.5	439	K	0

\*1: JAS視覚的等級区分: 集中節径比、材縁の節は中央区間によった。

\*2: 破壊原因: K; 節、G: 目切れ、B: その他、FJ: フィンガージョイント部

\*3: 0: 心去り、1: 心持ち、0.5: FJラミナで心持ちと心去りが縦継ぎされたもの

その他: 中央の評価は曲げについては上部スパン内、引張りについてはチェック間、全長の評価は曲げについては、下部支点間、引張りについては全長

付表2-2 カラマツラミナの引張り試験

樹種	種類 区分	NO	JAS*1	密度 g/cm <sup>3</sup>	集中節径比%		材縁節径比%		年輪幅 mm	含水率 %	ヤング係数tf/cm <sup>2</sup>		TS kgf/cm <sup>2</sup>	破壊原因*2	心*3
					中央	全長	中央	全長			Ef	MOE			
カラマツ	NJラミナ	213	2	0.533	27.9	27.9	5.8	5.8	2.0	13.1	127.6	124.8	418	K	0
カラマツ	NJラミナ	214	3	0.571	30.9	39.3	20.0	20.0	4.6	10.3	127.9	126.0	190	EK	1
カラマツ	NJラミナ	215	3	0.554	37.2	37.2	17.8	17.8	4.0	8.6	128.2	126.9	346	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	216	3	0.576	34.2	34.2	18.8	18.8	2.0	8.8	129.1	143.5	188	EK	0
カラマツ	NJラミナ	217	2	0.555	24.2	24.2	7.8	7.8	4.7	9.6	129.5	129.8	249	EK	1
カラマツ	NJラミナ	218	2	0.475	28.9	28.9	0.0	5.9	1.3	11.2	129.6	130.9	394	K	0
カラマツ	NJラミナ	219	4	0.530	47.3	65.8	13.8	26.8	3.8	11.9	129.8	119.9	306	EK	1
カラマツ	NJラミナ	220	2	0.511	24.2	24.2	5.7	5.7	3.4	9.8	130.4	123.5	449	K	0
カラマツ	NJラミナ	221	1	0.494	8.1	8.4	0.0	0.0	1.6	12.9	130.6	127.5	446	B	0
カラマツ	NJラミナ	222	2	0.552	22.3	22.3	12.6	12.6	3.5	9.2	130.9	121.1	299	EK	0
カラマツ	NJラミナ	223	2	0.571	28.7	28.7	14.0	14.0	3.9	9.3	131.1	133.8	172	EK	0
カラマツ	NJラミナ	224	3	0.528	34.8	34.8	16.8	16.8	3.7	9.5	132.5	129.9	251	EK	0
カラマツ	NJラミナ	225	1	0.533	16.1	16.1	5.0	5.0	2.9	12.8	132.8	129.5	428	EK	0
カラマツ	NJラミナ	226	2	0.568	23.2	42.9	18.1	19.1	3.4	9.1	133.6	135.0	310	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	227	5	0.705	81.7	81.7	49.2	49.2	3.1	9.2	133.8	122.0	236	K	0
カラマツ	NJラミナ	228	2	0.570	21.5	21.5	1.7	4.2	3.4	9.3	134.1	141.8	341	K	0
カラマツ	NJラミナ	229	2	0.503	20.8	20.8	0.0	0.0	2.9	10.9	134.4	135.5	440	K	0
カラマツ	NJラミナ	230	3	0.613	34.2	50.0	25.2	25.2	3.7	9.6	135.0	135.7	157	EK	0
カラマツ	NJラミナ	231	2	0.535	29.2	29.2	11.7	21.1	2.6	9.7	135.3	143.5	225	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	232	2	0.492	22.5	36.6	11.2	13.1	3.0	9.6	135.4	135.9	272	K	0
カラマツ	NJラミナ	233	2	0.504	29.1	29.1	12.2	30.2	4.0	9.6	135.6	137.4	281	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	234	3	0.518	34.2	34.2	20.8	20.8	3.4	10.1	136.2	139.3	230	EK, EK	0
カラマツ	NJラミナ	235	2	0.531	22.3	22.3	9.2	9.2	3.5	11.8	136.4	133.5	389	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	236	4	0.520	40.3	62.9	17.8	19.5	3.8	9.8	136.7	133.1	296	EK	0
カラマツ	NJラミナ	237	5	0.678	69.4	69.4	20.8	20.8	5.0	12.1	137.0	129.5	223	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	238	2	0.656	25.8	25.8	16.8	16.8	5.1	11.4	137.2	124.6	288	EK, K	1
カラマツ	NJラミナ	239	4	0.491	41.9	41.9	18.1	18.1	2.7	9.3	138.2	133.7	302	EK	0
カラマツ	NJラミナ	240	1	0.591	16.4	33.9	0.0	25.5	2.9	12.3	139.0	144.1	405	EK	0
カラマツ	NJラミナ	241	3	0.587	37.2	37.2	0.0	14.0	2.0	9.1	139.3	144.9	252	K	0
カラマツ	NJラミナ	242	3	0.518	39.3	39.3	2.8	16.1	2.5	9.6	139.4	142.2	298	K	0
カラマツ	NJラミナ	243	2	0.600	27.7	28.5	3.9	3.9	4.3	10.4	139.9	138.9	400	K	0
カラマツ	NJラミナ	244	1	0.500	14.8	14.8	6.0	6.0	2.3	9.4	140.9	135.9	416	K	0
カラマツ	NJラミナ	245	2	0.531	22.1	22.1	5.9	5.9	3.4	9.8	141.7	132.1	252	K	0
カラマツ	NJラミナ	246	1	0.532	15.4	15.4	12.2	12.2	3.3	11.4	142.1	145.1	434	EK	1
カラマツ	NJラミナ	247	1	0.496	11.7	16.7	3.1	3.1	3.5	10.1	142.8	143.7	504	G	0
カラマツ	NJラミナ	248	1	0.594	15.1	17.8	0.0	15.1	3.5	9.1	144.4	144.1	385	K	0
カラマツ	NJラミナ	249	3	0.634	30.5	30.5	0.0	16.4	1.8	9.9	145.5	141.6	395	K	0
カラマツ	NJラミナ	250	3	0.603	38.0	38.0	3.8	15.1	2.9	9.4	146.6	146.8	256	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	301	1	0.487	14.8	14.8	5.3	5.9	3.3	10.3	129.3	136.7	417	K	0
カラマツ	NJラミナ	302	3	0.533	35.7	10.9	10.9	10.9	1.8	12.6	132.1	129.9	311	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	303	1	0.514	11.7	11.7	11.7	11.7	2.0	11.9	135.9	141.5	343	EK	0
カラマツ	NJラミナ	304	3	0.559	32.6	32.6	3.3	17.4	3.5	12.6	137.5	140.4	297	EK	0
カラマツ	NJラミナ	305	1	0.498	18.1	18.1	12.1	12.1	3.5	10.6	138.5	137.4	292	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	306	1	0.560	16.4	22.8	0.0	0.0	2.8	13.0	141.0	143.4	499	K	0
カラマツ	NJラミナ	307	2	0.586	26.5	26.5	4.2	8.4	3.5	12.4	141.8	135.7	402	K	0
カラマツ	NJラミナ	308	2	0.503	24.2	24.2	14.1	14.1	3.2	10.3	143.0	136.6	303	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	309	1	0.499	14.9	30.9	6.7	17.1	2.2	11.8	144.1	143.2	381	EK	0
カラマツ	NJラミナ	310	2	0.608	29.9	29.9	15.8	15.8	2.9	13.0	144.7	145.4	279	B	0
カラマツ	NJラミナ	311	2	0.553	25.8	25.8	6.3	6.3	3.4	10.9	144.9	142.5	428	K	0
カラマツ	NJラミナ	312	1	0.540	16.7	16.7	2.2	2.2	2.0	13.2	145.9	144.2	498	EK	0
カラマツ	NJラミナ	313	3	0.564	30.9	30.9	6.7	6.7	2.7	13.2	146.6	142.2	368	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	314	1	0.576	10.4	16.1	0.0	0.0	2.3	13.7	147.4	147.3	624	K	0
カラマツ	NJラミナ	315	2	0.512	20.5	27.5	0.0	14.4	1.9	12.2	147.7	147.2	481	K	0
カラマツ	NJラミナ	316	1	0.497	13.4	22.5	0.0	9.4	3.2	11.1	148.8	146.0	376	B	0
カラマツ	NJラミナ	317	1	0.570	19.1	21.8	6.7	6.7	2.9	13.1	149.2	151.6	550	K	0
カラマツ	NJラミナ	318	1	0.553	12.1	20.1	0.0	0.0	3.5	12.6	149.4	147.0	699	K	0
カラマツ	NJラミナ	319	3	0.558	36.2	39.6	13.4	24.2	1.8	11.8	149.6	159.7	311	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	320	3	0.569	30.2	30.2	12.8	12.8	2.9	13.1	150.1	147.7	512	K	0
カラマツ	NJラミナ	321	2	0.509	25.8	25.8	9.4	9.4	2.1	11.2	151.3	147.9	347	EK	0
カラマツ	NJラミナ	322	1	0.518	10.4	17.4	0.0	0.0	3.2	10.8	151.9	151.6	633	K	0
カラマツ	NJラミナ	323	2	0.508	22.5	22.5	8.4	8.4	3.4	10.6	152.0	148.1	548	K	0
カラマツ	NJラミナ	324	1	0.581	12.6	33.9	0.5	7.4	1.5	12.9	152.3	155.2	503	EK, K	0

\*1: JAS視覚的等級区分: 集中節径比、材縁の節は中央区間によった。

\*2: 破壊原因: K: 節、G: 目切れ、B: その他、FJ: フィンガージョイント部

\*3: 0: 心去り、1: 心持ち、0.5: FJラミナで心持ちと心去りが縦置きされたもの

その他: 中央の評価は曲げについては上部スパン内、引張りについてはチャック間、全長の評価は曲げについては、下部支点間、引張りについては全長

付表2-2 カラマツラミナの引張り試験

樹種	種類 区分	NO	JAS*1	密度 g/cm <sup>3</sup>	集中節径比%		材縁節径比%		年輪幅 mm	含水率 %	ヤング係数tf/cm <sup>2</sup> TS		破壊原因*2	心*3	
					中央	全長	中央	全長			Ef	MOE kgf/cm <sup>2</sup>			
カラマツ	NJラミナ	213	2	0.533	27.9	27.9	5.8	5.8	2.0	13.1	127.6	124.8	418	K	0
カラマツ	NJラミナ	214	3	0.571	30.9	39.3	20.0	20.0	4.6	10.3	127.9	126.0	190	EK	1
カラマツ	NJラミナ	215	3	0.554	37.2	37.2	17.8	17.8	4.0	8.6	128.2	126.9	346	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	216	3	0.576	34.2	34.2	18.8	18.8	2.0	8.8	129.1	143.5	188	EK	0
カラマツ	NJラミナ	217	2	0.555	24.2	24.2	7.8	7.8	4.7	9.6	129.5	129.8	249	EK	1
カラマツ	NJラミナ	218	2	0.475	28.9	28.9	0.0	5.9	1.3	11.2	129.6	130.9	394	K	0
カラマツ	NJラミナ	219	4	0.530	47.3	65.8	13.8	26.8	3.8	11.9	129.8	119.9	306	EK	1
カラマツ	NJラミナ	220	2	0.511	24.2	24.2	5.7	5.7	3.4	9.8	130.4	123.5	449	K	0
カラマツ	NJラミナ	221	1	0.494	8.1	8.4	0.0	0.0	1.6	12.9	130.6	127.5	446	B	0
カラマツ	NJラミナ	222	2	0.552	22.3	22.3	12.6	12.6	3.5	9.2	130.9	121.1	299	EK	0
カラマツ	NJラミナ	223	2	0.571	28.7	28.7	14.0	14.0	3.9	9.3	131.1	133.8	172	EK	0
カラマツ	NJラミナ	224	3	0.528	34.8	34.8	16.8	16.8	3.7	9.5	132.5	129.9	251	EK	0
カラマツ	NJラミナ	225	1	0.533	16.1	16.1	5.0	5.0	2.9	12.8	132.8	129.5	428	EK	0
カラマツ	NJラミナ	226	2	0.568	23.2	42.9	18.1	19.1	3.4	9.1	133.6	135.0	310	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	227	5	0.705	81.7	81.7	49.2	49.2	3.1	9.2	133.8	122.0	236	K	0
カラマツ	NJラミナ	228	2	0.570	21.5	21.5	1.7	4.2	3.4	9.3	134.1	141.8	341	K	0
カラマツ	NJラミナ	229	2	0.503	20.8	20.8	0.0	0.0	2.9	10.9	134.4	135.5	440	K	0
カラマツ	NJラミナ	230	3	0.613	34.2	50.0	25.2	25.2	3.7	9.6	135.0	135.7	157	EK	0
カラマツ	NJラミナ	231	2	0.535	29.2	29.2	11.7	21.1	2.6	9.7	135.3	143.5	225	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	232	2	0.492	22.5	36.6	11.2	13.1	3.0	9.6	135.4	135.9	272	K	0
カラマツ	NJラミナ	233	2	0.504	29.1	29.1	12.2	30.2	4.0	9.6	135.6	137.4	281	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	234	3	0.518	34.2	34.2	20.8	20.8	3.4	10.1	136.2	139.3	230	EK, EK	0
カラマツ	NJラミナ	235	2	0.531	22.3	22.3	9.2	9.2	3.5	11.8	136.4	133.5	389	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	236	4	0.520	40.3	62.9	17.8	19.5	3.8	9.8	136.7	133.1	296	EK	0
カラマツ	NJラミナ	237	5	0.678	69.4	69.4	20.8	20.8	5.0	12.1	137.0	129.5	223	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	238	2	0.656	25.8	25.8	16.8	16.8	5.1	11.4	137.2	124.6	288	EK, K	1
カラマツ	NJラミナ	239	4	0.491	41.9	41.9	18.1	18.1	2.7	9.3	138.2	133.7	302	EK	0
カラマツ	NJラミナ	240	1	0.591	16.4	33.9	0.0	25.5	2.9	12.3	139.0	144.1	405	EK	0
カラマツ	NJラミナ	241	3	0.587	37.2	37.2	0.0	14.0	2.0	9.1	139.3	144.9	252	K	0
カラマツ	NJラミナ	242	3	0.518	39.3	39.3	2.8	16.1	2.5	9.6	139.4	142.2	298	K	0
カラマツ	NJラミナ	243	2	0.600	27.7	28.5	3.9	3.9	4.3	10.4	139.9	138.9	400	K	0
カラマツ	NJラミナ	244	1	0.500	14.8	14.8	6.0	6.0	2.3	9.4	140.9	135.9	416	K	0
カラマツ	NJラミナ	245	2	0.531	22.1	22.1	5.9	5.9	3.4	9.8	141.7	132.1	252	K	0
カラマツ	NJラミナ	246	1	0.532	15.4	15.4	12.2	12.2	3.3	11.4	142.1	145.1	434	EK	1
カラマツ	NJラミナ	247	1	0.496	11.7	16.7	3.1	3.1	3.5	10.1	142.8	143.7	504	G	0
カラマツ	NJラミナ	248	1	0.594	15.1	17.8	0.0	15.1	3.5	9.1	144.4	144.1	385	K	0
カラマツ	NJラミナ	249	3	0.634	30.5	30.5	0.0	16.4	1.8	9.9	145.5	141.6	395	K	0
カラマツ	NJラミナ	250	3	0.603	38.0	38.0	3.8	15.1	2.9	9.4	146.6	146.8	256	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	301	1	0.487	14.8	14.8	5.3	5.9	3.3	10.3	129.3	136.7	417	K	0
カラマツ	NJラミナ	302	3	0.533	35.7	10.9	10.9	10.9	1.8	12.6	132.1	129.9	311	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	303	1	0.514	11.7	11.7	11.7	11.7	2.0	11.9	135.9	141.5	343	EK	0
カラマツ	NJラミナ	304	3	0.559	32.6	32.6	3.3	17.4	3.5	12.6	137.5	140.4	297	EK	0
カラマツ	NJラミナ	305	1	0.498	18.1	18.1	12.1	12.1	3.5	10.6	138.5	137.4	292	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	306	1	0.560	16.4	22.8	0.0	0.0	2.8	13.0	141.0	143.4	499	K	0
カラマツ	NJラミナ	307	2	0.586	26.5	26.5	4.2	8.4	3.5	12.4	141.8	135.7	402	K	0
カラマツ	NJラミナ	308	2	0.503	24.2	24.2	14.1	14.1	3.2	10.3	143.0	136.6	303	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	309	1	0.499	14.9	30.9	6.7	17.1	2.2	11.8	144.1	143.2	381	EK	0
カラマツ	NJラミナ	310	2	0.608	29.9	29.9	15.8	15.8	2.9	13.0	144.7	145.4	279	B	0
カラマツ	NJラミナ	311	2	0.553	25.8	25.8	6.3	6.3	3.4	10.9	144.9	142.5	428	K	0
カラマツ	NJラミナ	312	1	0.540	16.7	16.7	2.2	2.2	2.0	13.2	145.9	144.2	498	EK	0
カラマツ	NJラミナ	313	3	0.564	30.9	30.9	6.7	6.7	2.7	13.2	146.6	142.2	368	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	314	1	0.576	10.4	16.1	0.0	0.0	2.3	13.7	147.4	147.3	624	K	0
カラマツ	NJラミナ	315	2	0.512	20.5	27.5	0.0	14.4	1.9	12.2	147.7	147.2	481	K	0
カラマツ	NJラミナ	316	1	0.497	13.4	22.5	0.0	9.4	3.2	11.1	148.8	146.0	376	B	0
カラマツ	NJラミナ	317	1	0.570	19.1	21.8	6.7	6.7	2.9	13.1	149.2	151.6	550	K	0
カラマツ	NJラミナ	318	1	0.553	12.1	20.1	0.0	0.0	3.5	12.6	149.4	147.0	699	K	0
カラマツ	NJラミナ	319	3	0.558	36.2	39.6	13.4	24.2	1.8	11.8	149.6	159.7	311	EK, K	0
カラマツ	NJラミナ	320	3	0.569	30.2	30.2	12.8	12.8	2.9	13.1	150.1	147.7	512	K	0
カラマツ	NJラミナ	321	2	0.509	25.8	25.8	9.4	9.4	2.1	11.2	151.3	147.9	347	EK	0
カラマツ	NJラミナ	322	1	0.518	10.4	17.4	0.0	0.0	3.2	10.8	151.9	151.6	633	K	0
カラマツ	NJラミナ	323	2	0.508	22.5	22.5	8.4	8.4	3.4	10.6	152.0	148.1	548	K	0
カラマツ	NJラミナ	324	1	0.581	12.6	33.9	0.5	7.4	1.5	12.9	152.3	155.2	503	EK, K	0

\*1: JAS視覚的等級区分: 集中節径比、材縁の節は中央区間によった。

\*2: 破壊原因: K: 節、G: 目切れ、B: その他、FJ: フィンガージョイント部

\*3: 0: 心去り、1: 心持ち、0.5: FJラミナで心持ちと心去りが縦ぎされたもの

その他: 中央の評価は曲げについては上部スパン内、引張りについてはチャック間、全長の評価は曲げについては、下部支点間、引張りについては全長



付表2-4 カラマツラミナの引張り試験

樹種	種類	NO	JAS*1	密度	集中節径比%		材縁節径比%		年輪幅	含水率	ヤング係数 $tf/cm^2$		TS	破壊原因*2	心*3
					中央	全長	中央	全長			mm	%			
区分				$g/cm^3$											
カラマツ	FJラミナ	37	2	0.536	26.2	26.2	5.0	11.7	4.3	10.7	108.7	105.1	182	EK	0
カラマツ	FJラミナ	38	2	0.475	22.5	32.6	19.7	19.7	5.0	11.8	109.0	105.3	205	K,(F1)	0
カラマツ	FJラミナ	39	1	0.446	8.4	30.2	0.0	8.4	4.3	11.3	109.0	109.4	259	F1	0
カラマツ	FJラミナ	40	2	0.539	23.5	23.5	10.1	10.1	5.6	12.1	109.5	106.9	270	EK, F1	0
カラマツ	FJラミナ	41	3	0.467	26.2	39.3	6.7	6.7	6.3	11.9	109.8	108.0	284	F1	0.5
カラマツ	FJラミナ	42	1	0.543	10.7	21.8	0.0	37.3	4.1	11.1	110.3	109.9	290	F2	0
カラマツ	FJラミナ	43	2	0.504	24.2	45.7	0.0	16.8	3.0	11.2	111.1	109.2	273	F1	0.5
カラマツ	FJラミナ	44	3	0.480	32.6	32.6	24.8	24.8	4.6	10.9	112.1	111.3	157	EK	0
カラマツ	FJラミナ	45	3	0.526	34.1	34.1	10.9	15.8	4.1	11.1	112.3	112.4	240	EK	0.5
カラマツ	FJラミナ	46	2	0.467	28.9	28.9	7.1	7.1	5.1	11.0	113.2	109.6	278	K,(F1)	0
カラマツ	FJラミナ	47	2	0.511	20.8	20.8	8.4	7.7	4.1	10.6	113.6	108.9	300	F2	0
カラマツ	FJラミナ	48	4	0.521	40.8	31.2	23.7	18.5	4.9	11.1	114.1	106.9	171	EK, K	0
カラマツ	FJラミナ	49	3	0.513	37.6	37.6	12.8	15.1	4.3	10.3	114.2	115.3	156	EK, K	0
カラマツ	FJラミナ	50	1	0.529	17.4	26.5	0.0	9.7	3.9	11.0	114.8	113.6	299	F2	0
カラマツ	FJラミナ	51	2	0.541	23.3	23.3	3.5	16.1	4.2	12.4	115.5	110.9	233	EK, K	0
カラマツ	FJラミナ	52	2	0.541	26.8	46.4	0.0	31.3	3.7	11.4	117.5	113.4	177	K	0
カラマツ	FJラミナ	53	1	0.588	13.1	19.8	15.7	15.7	3.5	11.4	123.4	115.3	310	F1	0
カラマツ	FJラミナ	101	3	0.528	36.2	36.2	22.1	22.1	3.2	11.0	109.0	103.4	298	F2	0.5
カラマツ	FJラミナ	102	5	0.576	52.4	52.4	18.9	18.9	3.2	9.7	116.0	128.7	156	EK	0
カラマツ	FJラミナ	103	1	0.535	10.1	10.1	7.0	7.4	3.9	8.6	118.1	121.8	166	EK,(F1)	0.5
カラマツ	FJラミナ	104	2	0.519	20.1	36.9	9.7	25.2	5.1	9.1	120.0	120.9	302	F2	0
カラマツ	FJラミナ	105	3	0.554	32.3	38.4	9.5	11.2	3.7	10.3	121.2	117.8	306	EK, K	0
カラマツ	FJラミナ	106	2	0.497	26.7	26.7	5.9	5.9	3.0	9.9	121.4	114.3	319	K	0.5
カラマツ	FJラミナ	107	2	0.591	27.2	27.2	24.2	24.2	4.0	11.4	123.1	122.5	343	F2	0
カラマツ	FJラミナ	108	3	0.483	35.6	35.6	5.0	17.4	3.6	9.1	123.6	117.8	132	EK, F1	0
カラマツ	FJラミナ	109	3	0.491	4.0	43.2	29.8	29.8	3.3	10.0	124.7	126.6	223	EK, K	0
カラマツ	FJラミナ	110	1	0.492	18.8	18.8	6.5	9.8	4.3	9.1	128.4	130.6	313	F1	0
カラマツ	FJラミナ	111	1	0.544	18.0	29.5	1.3	20.8	3.8	9.7	128.4	136.2	347	EK, K	0
カラマツ	FJラミナ	113	3	0.555	35.2	35.2	15.4	15.4	3.8	9.3	126.5	122.5	279	G, (F1)	0
カラマツ	FJラミナ	114	2	0.503	23.2	23.2	7.4	7.4	3.8	10.0	127.8	124.2	346	F1	0
カラマツ	FJラミナ	115	1	0.524	7.4	19.8	0.0	31.3	4.5	9.8	128.0	131.9	323	F2	0.5
カラマツ	FJラミナ	116	3	0.533	35.9	35.9	0.0	0.0	2.0	9.4	128.3	136.2	283	K, F1	0
カラマツ	FJラミナ	117	4	0.552	44.3	44.3	18.5	18.5	2.7	10.2	128.7	133.5	209	K	0
カラマツ	FJラミナ	118	1	0.523	15.1	15.1	10.4	10.4	4.1	10.0	129.0	126.0	301	EK	0.5
カラマツ	FJラミナ	119	1	0.465	12.8	16.9	7.7	7.7	4.3	9.5	129.2	127.3	296	F2	0
カラマツ	FJラミナ	120	1	0.590	17.1	33.9	14.1	14.1	3.0	9.8	130.1	131.4	247	EK	0
カラマツ	FJラミナ	121	1	0.533	18.1	42.3	0.8	17.1	4.2	10.0	130.3	129.0	321	F2	0
カラマツ	FJラミナ	123	1	0.514	19.8	19.8	0.0	3.1	2.4	10.3	130.5	128.5	343	F2	0
カラマツ	FJラミナ	124	1	0.481	15.4	18.1	0.8	0.8	3.4	10.5	130.6	130.4	347	K	0
カラマツ	FJラミナ	125	2	0.535	27.9	27.9	7.8	7.8	3.5	10.6	130.9	125.7	367	EK,(F1)	0
カラマツ	FJラミナ	126	1	0.555	14.8	19.8	0.0	0.0	2.2	10.2	134.1	130.4	386	F2	0
カラマツ	FJラミナ	127	3	0.582	35.6	35.6	15.1	15.1	3.2	10.8	134.3	135.7	175	EK	0
カラマツ	FJラミナ	128	1	0.520	12.4	18.5	1.7	1.7	4.5	10.7	132.1	130.4	338	F2	0.5
カラマツ	FJラミナ	129	1	0.566	13.8	13.8	0.0	0.0	2.5	10.5	133.0	133.2	358	B	0.5
カラマツ	FJラミナ	130	2	0.505	27.9	27.9	7.9	7.9	4.2	8.9	133.3	127.0	297	F1	0.5
カラマツ	FJラミナ	131	1	0.551	17.3	39.6	6.3	23.5	3.5	11.0	133.7	130.6	398	F1	0
カラマツ	FJラミナ	132	1	0.583	15.0	33.6	0.0	18.8	3.4	10.8	133.8	129.5	272	EK,(F1)	0.5
カラマツ	FJラミナ	133	3	0.548	31.2	31.2	15.4	15.4	3.4	10.1	134.1	132.8	293	EK, F1	0
カラマツ	FJラミナ	134	2	0.497	24.2	24.2	0.0	0.8	2.8	10.1	134.9	132.7	387	K,(F1)	0
カラマツ	FJラミナ	135	3	0.574	31.9	31.9	4.6	4.6	3.0	10.7	134.9	133.5	402	K	0
カラマツ	FJラミナ	136	5	0.589	61.1	61.1	23.5	23.5	3.4	11.2	135.2	129.6	259	EK, K.	0
カラマツ	FJラミナ	137	1	0.568	19.7	25.8	12.3	12.3	3.5	10.2	135.7	134.2	313	F2	0
カラマツ	FJラミナ	138	1	0.552	15.8	38.9	2.9	24.2	2.4	9.5	135.9	140.7	265	EK,(F1)	0
カラマツ	FJラミナ	139	2	0.553	25.5	25.5	4.0	4.0	2.7	11.4	136.2	127.6	378	F1	0
カラマツ	FJラミナ	140	3	0.562	35.4	35.4	6.9	6.9	2.7	9.6	136.4	130.6	351	F2	0
カラマツ	FJラミナ	141	2	0.596	27.9	27.9	4.6	4.6	2.8	10.5	136.8	133.2	316	K	0.5
カラマツ	FJラミナ	142	2	0.565	20.5	40.4	3.5	19.0	3.7	9.5	137.1	134.7	188	EK, F1	0
カラマツ	FJラミナ	143	4	0.569	41.3	41.3	20.1	20.1	2.0	11.2	139.7	137.3	458	F1	0
カラマツ	FJラミナ	144	3	0.574	33.1	33.1	25.5	25.5	2.6	9.8	138.1	140.0	244	EK, K	0
カラマツ	FJラミナ	145	2	0.528	24.0	24.0	2.2	2.2	2.0	9.5	139.3	139.7	451	F1	0
カラマツ	FJラミナ	146	1	0.560	15.4	23.8	0.6	2.2	2.6	9.1	140.1	136.4	403	K	0
カラマツ	FJラミナ	147	1	0.542	4.7	33.6	6.4	12.8	3.5	16.3	140.9	142.8	394	F2	0

\*1: JAS視覚的等級区分: 集中節径比、材縁の節は中央区間によった。

\*2: 破壊原因: K; 節、G: 目切れ、B: その他、FJ: フィンガージョイント部

\*3: 0: 心去り、1: 心持ち、0.5: FJラミナで心持ちと心去りが縦継ぎされたもの

その他: 中央の評価は曲げについては上部スパン内、引張りについてはチャック間、全長の評価は曲げについては、下部支点間、引張りについては全長

付表2-5 カラマツラミナの引張り試験

樹種	種類 区分	NO	JAS*1	密度 g/cm <sup>3</sup>	集中節径比%		材縁節径比%		年輪幅 mm	含水率 %	ヤング係数tf/cm <sup>2</sup> TS		破壊原因*2	心*3	
					中央	全長	中央	全長			Ef	MOE kgf/cm <sup>2</sup>			
カラマツ	FJラミナ	148	2	0.550	23.5	27.5	0.0	0.0	1.8	10.5	142.0	140.9	494	F2	0
カラマツ	FJラミナ	149	2	0.573	27.9	27.9	0.0	5.1	3.2	9.5	142.2	144.7	381	F2	0.5
カラマツ	FJラミナ	150	1	0.574	9.7	31.5	4.4	14.0	2.2	9.7	144.8	143.7	394	F1	0
カラマツ	FJラミナ	151	1	0.534	9.1	36.2	2.1	17.8	3.3	10.3	147.2	154.0	372	F1	0
カラマツ	FJラミナ	152	1	0.580	4.0	21.8	0.0	13.1	3.5	11.1	150.6	149.8	461	F1	0
カラマツ	FJラミナ	201	3	0.591	33.9	33.9	15.7	15.7	3.0	10.9	120.0	109.6	351	F2	0
カラマツ	FJラミナ	202	1	0.548	7.4	16.4	4.9	14.1	3.3	12.5	127.8	125.8	425	F2	0
カラマツ	FJラミナ	203	1	0.506	6.0	10.7	0.0	0.0	3.7	12.8	129.6	132.3	413	EK	0
カラマツ	FJラミナ	204	3	0.577	31.0	31.0	9.2	9.2	3.3	12.2	131.4	120.7	259	F1	0
カラマツ	FJラミナ	205	3	0.619	30.5	30.5	15.8	15.8	2.5	11.5	134.4	132.1	234	EK, F2	0
カラマツ	FJラミナ	206	3	0.609	34.2	34.2	17.8	17.8	2.4	11.6	138.8	149.9	304	EK	0
カラマツ	FJラミナ	207	1	0.582	9.6	60.7	2.5	30.2	1.9	11.5	141.3	135.7	465	EK, F1	0
カラマツ	FJラミナ	208	1	0.603	8.8	35.2	8.8	30.5	3.6	13.3	144.0	136.7	393	F1	0
カラマツ	FJラミナ	209	2	0.561	20.6	20.6	3.4	3.9	2.8	11.8	145.8	149.3	419	F1	0
カラマツ	FJラミナ	210	1	0.579	16.1	21.8	2.5	2.5	2.9	11.8	147.0	144.1	239	EK, K	0
カラマツ	FJラミナ	211	1	0.556	11.7	11.7	11.7	11.7	2.6	11.4	147.7	146.6	330	K	0
カラマツ	FJラミナ	212	1	0.567	5.0	6.7	0.0	6.7	2.2	10.5	148.5	140.3	430	F1	0
カラマツ	FJラミナ	213	2	0.561	23.8	23.8	10.5	10.5	2.8	11.6	149.0	137.8	355	F1	0
カラマツ	FJラミナ	214	2	0.575	20.1	20.1	9.1	9.1	3.3	11.2	149.4	140.1	366	F1	0
カラマツ	FJラミナ	215	1	0.603	8.1	11.7	0.0	0.0	3.3	13.2	149.6	141.0	424	F2	0
カラマツ	FJラミナ	216	1	0.600	11.1	48.5	0.0	12.6	3.1	13.3	150.1	145.1	384	F1	0
カラマツ	FJラミナ	217	2	0.557	20.5	40.7	1.3	19.6	2.0	11.8	150.3	140.1	427	F2	0
カラマツ	FJラミナ	218	1	0.552	12.1	47.3	0.0	3.6	2.6	10.8	151.1	148.3	292	F1	0
カラマツ	FJラミナ	219	3	0.601	33.6	33.6	0.0	0.0	2.5	11.4	151.5	144.1	420	F1	0
カラマツ	FJラミナ	220	1	0.652	5.4	34.9	0.0	10.7	2.5	11.9	152.2	153.6	320	B, F1	0
カラマツ	FJラミナ	221	3	0.550	30.5	30.5	12.6	12.6	2.6	12.3	152.7	149.5	390	EK, F1	0
カラマツ	FJラミナ	222	1	0.597	15.1	15.1	0.0	0.0	3.6	11.4	152.9	148.5	299	F2	0
カラマツ	FJラミナ	223	1	0.576	5.0	22.1	0.0	0.0	2.6	12.4	153.2	142.9	445	F1	0
カラマツ	FJラミナ	224	1	0.549	15.4	15.4	0.0	0.0	3.6	12.4	153.5	149.1	347	F1, K	0
カラマツ	FJラミナ	225	2	0.611	23.2	31.8	2.2	17.4	2.5	13.5	154.0	150.5	363	F1	0
カラマツ	FJラミナ	226	3	0.626	33.2	33.2	4.5	19.1	4.1	11.4	154.1	146.4	313	F1	0
カラマツ	FJラミナ	227	1	0.541	5.4	14.4	0.0	1.0	3.6	11.7	156.4	144.8	417	F1	0
カラマツ	FJラミナ	228	2	0.592	25.2	25.2	20.1	16.8	2.8	13.8	154.9	153.4	250	EK	0
カラマツ	FJラミナ	229	1	0.622	8.4	8.4	2.1	2.1	2.1	6.1	155.5	148.3	357	F2	0
カラマツ	FJラミナ	230	1	0.614	0.0	25.8	0.0	0.0	3.0	11.6	156.0	154.7	334	B, (F1)	0
カラマツ	FJラミナ	231	2	0.617	26.2	29.9	0.4	0.4	1.5	12.0	156.7	155.1	577	K	0
カラマツ	FJラミナ	232	1	0.527	18.7	18.7	5.6	5.6	3.1	12.2	157.0	156.7	337	F1	0
カラマツ	FJラミナ	233	2	0.593	21.8	21.8	21.8	21.8	2.0	11.2	157.6	158.3	372	F2	0
カラマツ	FJラミナ	234	2	0.635	20.5	24.5	20.5	20.8	2.0	10.7	157.7	156.0	270	EK	0
カラマツ	FJラミナ	235	3	0.553	37.2	37.2	0.0	9.8	3.3	10.5	158.0	140.8	326	EK, F1	0
カラマツ	FJラミナ	236	1	0.579	9.7	9.7	0.0	0.0	4.4	13.0	158.4	149.5	361	F2	0
カラマツ	FJラミナ	237	1	0.584	3.0	3.0	0.0	0.4	2.1	11.1	158.7	151.8	440	F1	0
カラマツ	FJラミナ	238	1	0.595	9.4	18.8	0.0	0.0	2.7	12.8	159.4	156.9	393	F1	0
カラマツ	FJラミナ	239	2	0.664	20.8	38.4	0.0	20.1	3.0	14.0	159.8	159.0	425	F1	0
カラマツ	FJラミナ	240	1	0.603	16.8	16.8	3.1	3.1	2.9	11.4	160.1	153.1	438	F1	0
カラマツ	FJラミナ	241	1	0.550	7.0	10.7	0.0	4.2	3.3	12.0	160.5	157.2	476	F1	0
カラマツ	FJラミナ	242	3	0.624	31.1	31.1	16.8	16.8	2.1	11.9	160.8	150.1	343	EK, K	0
カラマツ	FJラミナ	243	1	0.635	15.4	18.1	7.0	7.0	2.9	12.9	161.3	152.3	345	F1	0
カラマツ	FJラミナ	244	1	0.651	19.5	25.2	15.4	18.5	2.9	11.3	161.7	158.1	307	EK	0
カラマツ	FJラミナ	245	1	0.580	16.8	20.6	0.5	0.5	2.8	12.3	162.1	158.3	392	F1	0
カラマツ	FJラミナ	246	2	0.573	20.5	20.5	0.0	10.1	2.8	13.0	163.7	154.9	408	F1	0
カラマツ	FJラミナ	247	1	0.617	9.1	16.1	4.0	7.8	2.2	10.7	165.0	159.8	388	F1	0
カラマツ	FJラミナ	248	1	0.628	2.0	20.5	2.0	2.0	3.2	12.0	166.9	155.5	397	EK, F1	0
カラマツ	FJラミナ	249	1	0.604	10.7	10.7	10.7	10.7	2.4	12.0	167.6	160.7	344	EK, F1	0
カラマツ	FJラミナ	250	1	0.550	9.1	9.1	2.5	2.5	2.2	11.8	169.7	164.4	490	F1	0
カラマツ	FJラミナ	251	2	0.623	23.4	23.4	10.6	10.6	2.5	10.6	170.6	166.2	500	F1	0
カラマツ	FJラミナ	252	1	0.684	18.8	18.8	0.0	4.2	2.7	10.2	175.0	170.6	473	F1	0
カラマツ	FJラミナ	253	1	0.602	0.0	13.1	0.0	0.0	2.3	11.8	176.9	165.4	459	F1	0

\*1: JAS視覚的等級区分: 集中節径比、材縁の節は中央区間によった。

\*2: 破壊原因: K; 節、G: 目切れ、B: その他、FJ: フィンガージョイント部

\*3: 0: 心去り、1: 心持ち、0.5: FJラミナで心持ちと心去りが縦継ぎされたもの

その他: 中央の評価は曲げについては上部スパン内、引張りについてはチャック間、全長の評価は曲げについては、下部支点間、引張りについては全長

## 第7章 カラマツ正角材の乾燥及び強度性能

長野県林業総合センター 吉田孝久  
橋爪丈夫  
馬渡栄達

### 1. 試験の目的

国産材製材品について、乾燥試験及び実大材強度試験を実施し、その性能評価等を行うことにより限界設計法への対応を行うことを目的とする。

### 2. 試験の方法

#### 2.1 供試材 (表-1)

供試材は長野県中信地区産の末口径φ16~20cm、長さ3mのカラマツ中径材である。供試本数は、表-1に示す5回の試験で計210本を用いた。

供試材は、乾燥後モルダーにより12cm正角に仕上げることを前提として、135×135×3000mmに製材した。製材寸法は木曽地方のヒノキ等では12cm正角仕上げに対して130~132mmに設定されるが、カラマツはねじれが大きいと予想され、乾燥後の挽き直ししろが大きいと考えられるため、前記の寸法とした。したがって、製材品の中には丸身のある材もかなり含まれている。

#### 2.2 乾燥試験

乾燥条件を表-1及び図-1に示した。

表-1 乾燥条件及び試験材本数 ☆D.B.T.: 乾球温度 W.B.T.: 湿球温度

区 分	供試材	乾燥スケジュール			
条件 1	背割材 50本	D.B.T.-W.B.T.		D.B.T.-W.B.T.	
	無背割材 0本	100℃蒸煮 ⇒ (6H)	105℃-100℃ (12H)	⇒	110℃-100℃ (24H)
条件 2	背割材 45本	D.B.T.-W.B.T.		D.B.T.-W.B.T.	
	無背割材 5本	100℃蒸煮 ⇒ (6H)	105℃-100℃ (12H)	⇒	120℃-100℃ (24H)
条件 3	背割材 45本	D.B.T.-W.B.T.		D.B.T.-W.B.T.	
	無背割材 5本	100℃蒸煮 ⇒ (6H)	105℃-100℃ (12H)	⇒	130℃-100℃ (24H)
条件 4	背割材 25本	D.B.T.-W.B.T.			
	無背割材 5本	100℃蒸煮 ⇒ (3H)	⇒	110℃-80℃ (39H)	
条件 5	背割材 25本	D.B.T.-W.B.T.			
	無背割材 5本	100℃蒸煮 ⇒ (3H)	⇒	120℃-90℃ (39H)	

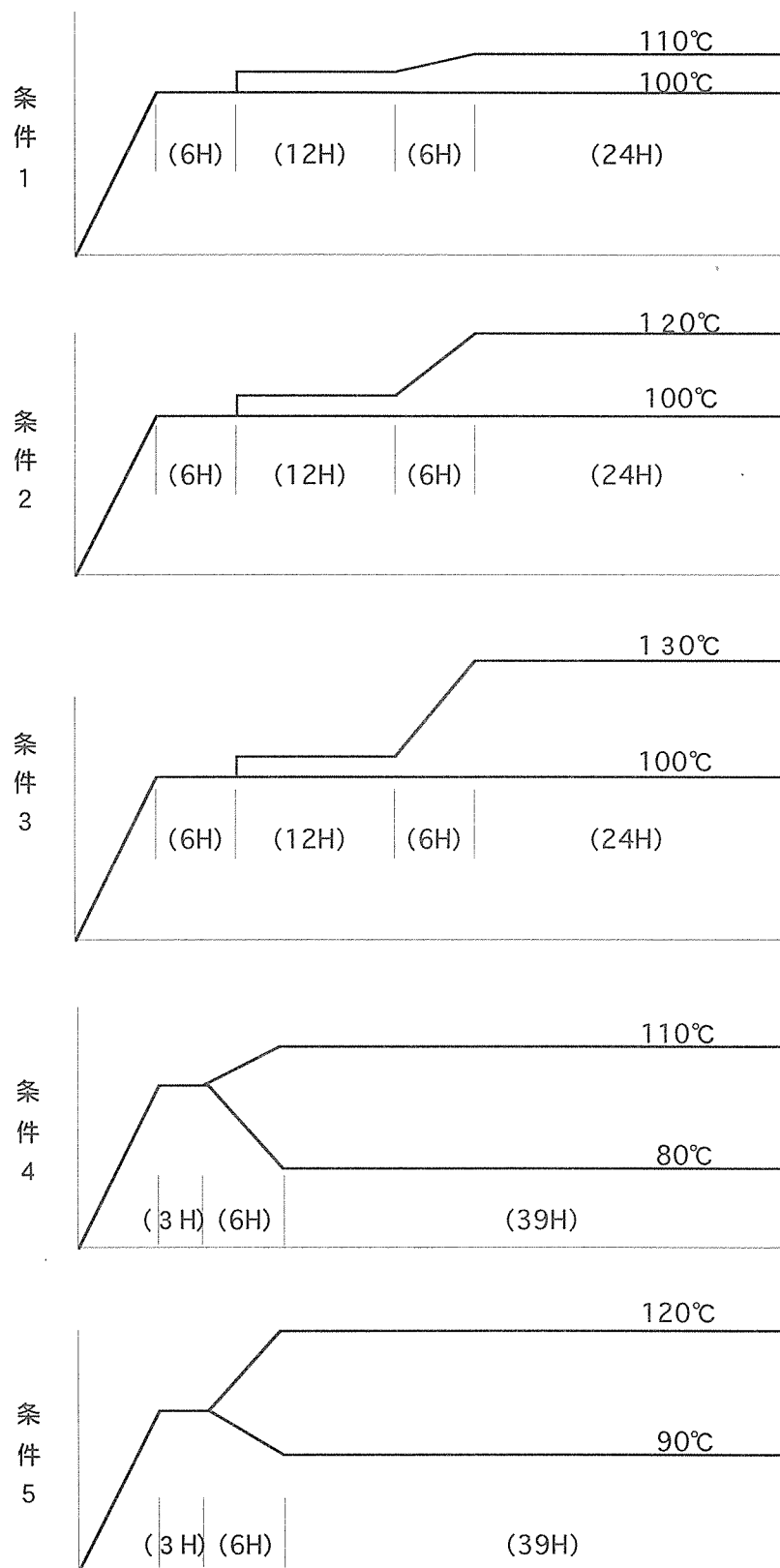


図-1 乾燥スケジュール

乾燥スケジュールはタイムスケジュールとし、全乾燥時間を48時間（2日間）に設定した。この48時間は、室内温度が98～100℃に達してからの時間である。今回採用した乾燥スケジュールは、乾燥条件1、2、3においては、昇温後6時間蒸煮、その後乾球温度105℃、乾湿球温度差 $\Delta t=5^{\circ}\text{C}$ を12時間続け、さらに6時間かけて最終スケジュールに移行した。また、乾燥条件4、5においては、昇温後3時間蒸煮、その後6時間かけて最終スケジュールに移行した。

乾燥条件の全てには、狂い抑制のため荷重約3 tonを積載した。

### 2.2.1 乾燥経過の測定

乾燥経過は水分抵抗式含水率センサーを材40mm深部に打ち込み、これにより追跡した。

通常、乾燥経過を把握するには、乾燥装置内に試験材を置き、これを取り出し重量を測定し、含水率を推定するが、100℃以上の高温乾燥では、試験材の取り出しの際のエネルギーロスが大きいため、扉の開閉を行わないよう、水分抵抗式の含水率センサーを用いて含水率を測定した。含水率センサーは3本である。

乾燥終了後の含水率を知るため、数本の材を木口から1mの部分で切断し、全乾法により含水率を求めた。また材内水分傾斜を、材内部を10分割し全乾法により求めた。

### 2.2.2 乾燥後の形質変化

乾燥前と乾燥後に、幅、厚さ、重量、曲がり、ねじれ、含水率（含水率計DELTA-5）、割れを測定し、乾燥による形質変化を把握した。

柱材の幅（背割り面と反対側）及び厚さは、材の中央部で測定し、乾燥後に測定部に割れが生じた場合は、同じ材面で割れの生じていない部分を測定した。また、これらの値から収縮率を求めた。

曲がり、発生している材面の最大矢高を、また、ねじれは平面上で3点を固定し他の1点の浮き上がりを計測した。

含水率は、背割りの反対面の3箇所を高周波含水率計で測定し、この平均値を材の含水率とした。

### 2.2.3 モルダ（鉋盤）仕上げ後の養生

乾燥後の形質変化を測定した後、モルダにより120×120×3000mmの柱材に仕上げ、含水率を一定にするために栈積み状態で7か月間養生した。

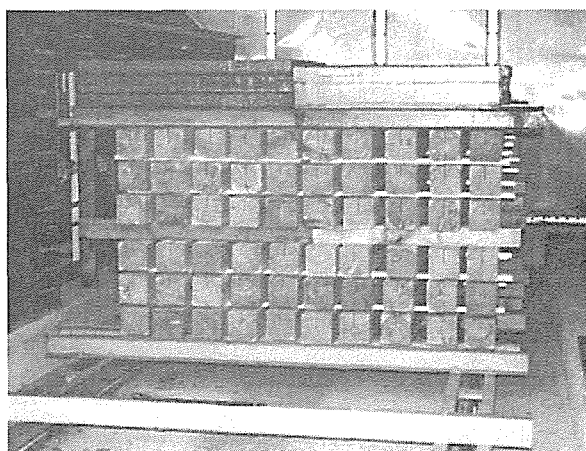


写真-1 カラマツ柱材の高温高速乾燥

## 2.3 実大材強度試験

7か月間養生した柱材は、その間に発生した狂いを修整するため、再度モルダールにより105×105×3000mmの柱材に仕上げ、これを曲げ強度試験に供した。供試材本数は、乾燥用試験材や不良品を除いた144本である。

### 2.3.1 正角材の基本振動周波数によるヤング率（動的ヤング率）の測定

重量を測定した後、FFTサウンドアナライザーを用い、次式により動的ヤング率 $E_f$  (tonf/cm<sup>2</sup>)を算出した。

$$\text{動的ヤング率 } E_f \text{ (tonf/cm}^2\text{)} = 4 \ell^2 \cdot R_u \cdot f^2 / g$$

ここで $\ell$ は材長、 $R_u$ は密度、 $f$ は固有振動数、 $g$ は重力加速度(980cm/s<sup>2</sup>)である。

### 2.3.2 曲げ強度試験

実大材曲げ強度試験における荷重方向は背割面からの荷重とした。スパン270cm、3等分点4点荷重方式により柱材の曲げ破壊試験を実施した(図-2)。試験機はTCM-30000(ミネベア製)を用い荷重スピード5mm/minで行い、次式により全スパンにおける曲げヤング率 $E_L$  (tonf/cm<sup>2</sup>) (静的ヤング率)とモーメント一定区間における曲げヤング率 $E_I$  (tonf/cm<sup>2</sup>)及び曲げ強度MOR (kgf/cm<sup>2</sup>)を算出した。

$$\text{全スパンにおける曲げヤング率 } E_L \text{ (tonf/cm}^2\text{)} = \Delta P \cdot a (3L^2 - 4a^2) / (4b \cdot h^3 \cdot \Delta y)$$

$$\text{モーメント一定区間における曲げヤング率 } E_I \text{ (tonf/cm}^2\text{)} = 3 \cdot \Delta P \cdot a \cdot \ell^2 / (4b \cdot h^3 \cdot \Delta y)$$

$$\text{曲げ強度 MOR (kgf/cm}^2\text{)} = 3a \cdot P_m / b h^2$$

ここで $P_m$ は破壊荷重、 $\Delta P$ は比例域内における上限荷重と下限荷重との差、 $\Delta y$ は $\Delta P$ に対応するたわみ、 $L$ はスパン、 $a$ は支点と荷重点との距離(90cm)、 $\ell$ はモーメント一定区間におけるスパン(40cm)、 $b$ は材の幅、 $h$ は材の高さである。

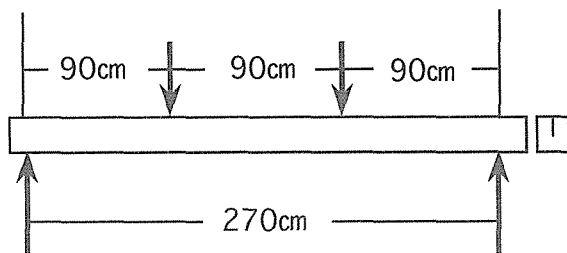


図-2 実大材曲げ強度試験条件

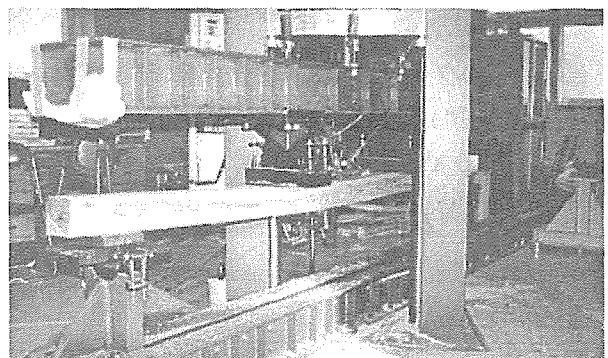


写真-2 実大材曲げ強度試験

## 3. 試験の結果と考察

### 3.1 乾燥試験

#### 3.1.1 乾燥経過

各乾燥条件での乾燥経過を図-3に示した。乾燥条件1では乾燥末期の乾湿球温度差 $\Delta t$ が10°Cと小さいことから2日間の乾燥では含水率20%以上のテストピースもあった。しかし、乾燥終了時の乾燥材の含水率は含水率計DELTA-5の測定で12%程度であり、JASに規定するD15は十分にクリアできる値であった。

一方、乾燥条件2、3、4、5ではかなり速い乾燥速度を示した。これは、乾湿球温度差 $\Delta t$ が大き

いこと、さらに乾球温度が高いことが原因している。乾湿球温度差 $\Delta t$ の影響は、乾燥条件2、3で $\Delta t$ を開くと同時に急激な含水率低下を示すことから伺える。

表-2に含水率およそ25%から15%までの範囲の乾燥速度を各乾燥条件別に示した。最も遅い乾燥条件1での乾燥速度が0.392%/hourであるのに対し、最も速い乾燥条件3では2.533%/hourと非常に大きい。同じ温度差30℃である乾燥条件3(130℃)、4(110℃)、5(120℃)を比較してみると、温度が上がるにつれ急激な速度アップとなる。また、乾燥温度が同じである乾燥条件1と乾燥条件4(110℃)および乾燥条件2と乾燥条件5(120℃)を比較してみると、110℃の場合は温度差が10℃と30℃の違いということもあって、後者は前者の3倍の速度を示した。ところが、120℃の場合は温度差が20℃と30℃であり、この場合の平衡含水率の違いが約1%と僅差なためか、乾燥速度はほとんど変わらない値であり、今回の試験では、逆転の結果となった。

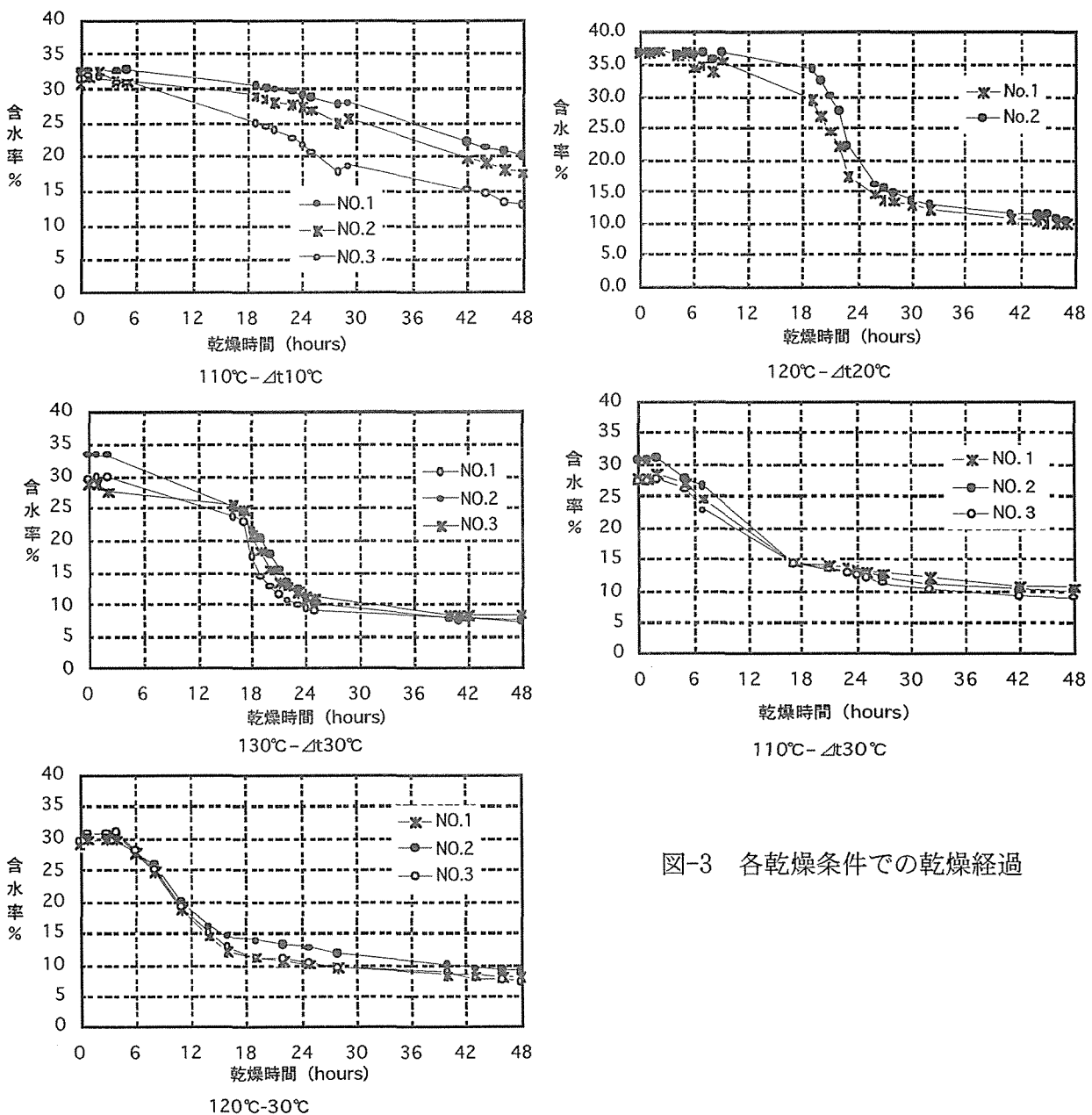


図-3 各乾燥条件での乾燥経過

全ての乾燥条件において乾燥速度は、含水率15%を下回るあたりから急激な速度ダウンとなった。ちなみに、乾球温度110℃、乾湿球温度差 $\Delta t$ 10℃の木材平衡含水率は約7%、120℃- $\Delta t$ 20℃で約4%、110℃- $\Delta t$ 30℃、120℃- $\Delta t$ 30℃、130℃- $\Delta t$ 30℃は3者ともほぼ同じで約3%である。

乾燥条件3の130℃乾燥では、内部割れの発生した材もあり、内部割れの発生しやすい温度等諸条件については今後検討する必要がある。

表-2 乾燥速度 (含水率25%~15%まで)

乾燥スケジュール	乾球温度-温度差	乾燥速度 (%/hour)	指数
条件1	110℃-10℃	0.392	0.15
条件2	120℃-20℃	1.835	0.72
条件3	130℃-30℃	2.533	1.00
条件4	110℃-30℃	1.071	0.42
条件5	120℃-30℃	1.619	0.64

	平衡含水率	湿度
110℃-10℃	7.1%	70%
120℃-20℃	4.4%	51%
130℃-30℃	3.0%	37%
110℃-30℃	3.0%	32%
120℃-30℃	3.0%	35%

### 3.1.2 仕上がり含水率と水分傾斜

仕上がり含水率(含水率計)は、背割材で条件1が12.1%、条件2が11.9%、条件3が7.3%、条件4が8.7%、乾燥条件5が10.0%であった。また、無背割材においても含水率計での測定であれば、ほぼ同様な値であった。これを全乾法で比較してみると、無背割材は背割材より2~3%高い値を示した。

さらに、図-3に示した材内部の水分傾斜をみると、乾燥仕上がり後の水分傾斜は大きいものとなり、材表層部と材中心部との含水率差は、15~25%にまで及んだ。また背割材では、背割部分での含水率低下が見られるのに対して、無背割材では、材中心部での含水率は、乾燥前の状態より若干下がる程度であった。

乾燥時間が短く、水分が材の表面から順次蒸発していくことを考えれば、当然の結果であるが、この水分傾斜はその後の狂い発生に影響した。特にカラマツの場合、ねじれに起因する繊維傾斜が髓周辺ほど大きいため、この部分に水分が依然残っている無背割材では、その後のねじれ発生が多かった。もちろん、背割材であっても水分傾斜は残るため、7か月の養生後には曲がり方が0.5mm~2.0mm、ねじれが1.8mm~11.1mm発生した。

### 3.1.3 形質変化

表-3に人工乾燥後における背割材及び無背割材の形質変化を示した。収縮率は乾燥条件1が、仕上がり含水率がやや高かったこともあり、2%程度であったが、他の乾燥条件ではおよそ3%であった。つまり実質的には4mm程度の収縮となる。これは無背割材と比較して0.5~1.0%ほど高い値であった。



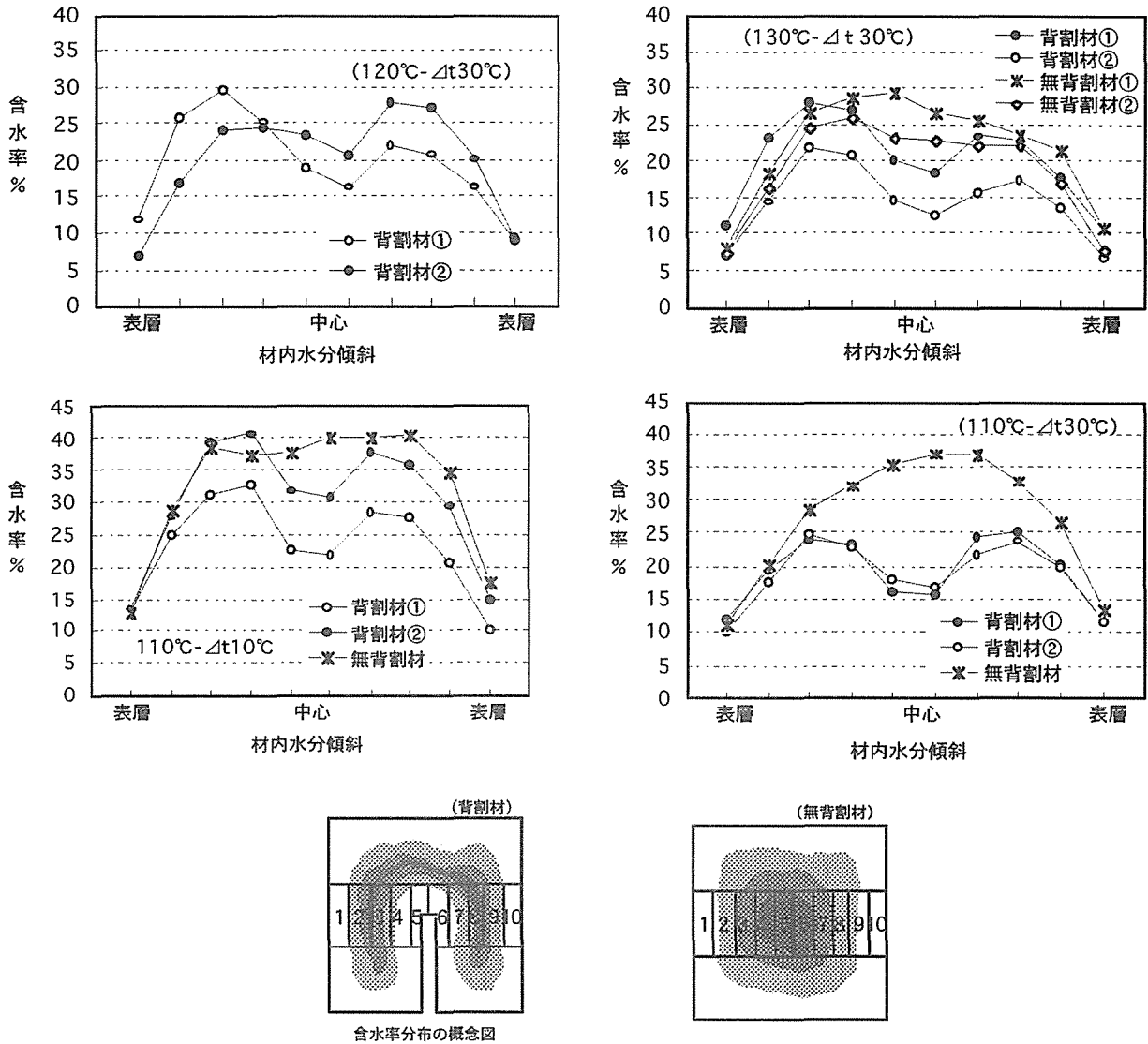


図-4 乾燥後の水分傾斜

乾燥後の曲がり、背割材において乾燥条件1、2が2~3mm/3m、乾燥条件3、4、5が3~4mm/3mとなった。この中でJAS1級許容限度である6mmを越えるものは全乾燥条件で4本であった。また、乾燥条件1、2の曲がりやや少なかったことは、含水率が他の乾燥条件に比べて若干高かったことに起因するものと思われる。

乾燥によるねじれ発生は、乾燥温度の影響（乾燥条件別）ではなく、仕上がり含水率に影響されるようである。特に低含水率である乾燥条件3、4は6~9mm/3mの大きなねじれとなった。ねじれの発生量については、地元の人達の中には、産地別（標高別、樹齢別）に狂いの違いがあるという見方もあり、今後の検討課題である。

今回の試験では、ねじれ抑制のため、被乾燥材の上部に3tonの荷重を積載（栈木加圧3.7kg/cm<sup>2</sup>）したが、これはベイツガの栈木がつぶされほどの荷重であるにもかかわらず、ねじれの発生を防止することができなかった。結果をみると初期蒸煮時間の少なかった（3時間）乾燥条件4と乾燥条件5にねじれが多いように思われるが、ねじれが大きいのは蒸煮時間の影響なのか、あるいは、たまたま被乾燥材の繊維傾斜が大きかったのか、さらには前述したように産地間の違いなのか、今後追究すべき問題である。

乾燥材には荷重によるスティッカーマークが付くものの、これはプレーナー仕上げにより完全に消去された。3tonの荷重は、栈木を押つぶしその後の乾燥試験には使用不可能となった。（このため、第二回目からの試験では、アルミ製の栈木を用いて行った。）

収縮に伴う背割り幅の増大は大きく、乾燥前に4.5mmであったものが、乾燥後にはおよそ12mmにも達した。特に乾燥条件3においては、含水率が低いこともあって14mm近い値を示した。

乾燥による割れの発生状況は、どの乾燥条件であっても、材面割れ・木口割れともに少ない値であり、利用上問題となる程度のもものではなかった。ただ、乾燥条件3が他の乾燥条件に比べ、材面割れのみがやや大きい値となったが、これは材面の表層部がかなり過乾燥になったのが原因しているものと思われる。また、割れの発生は、乾燥前にヘアークラック程度に入っていたものが、乾燥後に拡大延長したものが多かった。

形質変化測定後、プレーナーにより120mm正角に仕上げたが、高温乾燥による色焼けはあるものの、プレーナー仕上げを行えば、通常の100℃以下の乾燥材と変わらない材色となった。この材色の変化が少ないことは、スギの高温乾燥による材色変化を考えると、カラマツ材の高温乾燥に対しての大きなメリットであると言える。

表-3 乾燥後の形質変化

(背割材)

	含水率 (%)	収縮率(%)		曲がり (mm/3m)	ねじれ (mm/3m)	材面割れ (cm/1本)	木口割れ (cm/1本)	背割幅 (mm)	重量比 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
		幅方向	厚方向							
条件1	12.1	1.93	2.43	2.1	2.6	27	12	12.05	0.86	0.55
条件2	11.9	2.42	3.35	2.5	2.8	13	15	12.26	0.81	0.52
条件3	7.3	3.09	3.83	3.4	6.0	28	18	13.97	0.80	0.53
条件4	8.7	2.56	3.14	3.6	8.3	124	12	11.86	0.82	0.52
条件5	10.0	2.89	3.58	3.6	4.8	18	17	12.26	0.78	0.52

(無背割材)

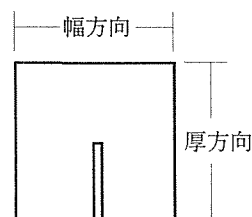
	含水率 (%)	収縮率(%)		曲がり (mm/3m)	ねじれ (mm/3m)	材面割れ (cm/1本)	木口割れ (cm/1本)	背割幅 (mm)	重量比 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
		幅方向	厚方向							
条件1	13.3	1.53	1.45	3.6	3.2	16	47	—	0.89	0.57
条件3	7.5	2.98	2.82	1.0	5.4	116	34	—	0.86	0.54
条件4	9.4	1.98	2.81	3.0	8.6	250	123	—	0.82	0.52
条件5	9.5	2.59	2.96	3.4	9.0	90	59	—	0.81	0.54

☆含水率は含水率計DELTA-5による測定値

☆収縮率の幅方向は背割面の反対面、厚方向はこれと直角面

☆重量比=乾燥後重量/乾燥前重量

☆密度：人工乾燥後の密度



### 3.2 実大材強度試験

#### 3.2.1 曲げヤング率と曲げ強度

表-4及び図-5に実大材曲げ強度試験の結果を乾燥温度別に示した。また、表-5には全体の結果を示した。

静的曲げヤング率の全体平均値は98.1tonf/cm<sup>2</sup>であり、条件1（110℃-10℃差）及び条件2（120℃-20℃差）の値がやや低いように思われるが、これは、乾燥処理温度の影響というより、個体群の差の影響であると思われる。またこれらの値は、日本建築学会制定の木質構造設計規準に示されたカラマツのヤング率（普通構造材80tonf/cm<sup>2</sup>、上級構造材90tonf/cm<sup>2</sup>）と比較すると、平均値では全て上級構造材となるが、個々では90%の材が普通構造材、74%の材が上級構造材に入る。

曲げ強度の全体平均値は409 kgf/cm<sup>2</sup>であるが、乾燥処理温度別にみると条件2（120℃-20℃差）の値が366.6 kgf/cm<sup>2</sup>とやや低い。しかし、これが処理温度の影響であるかは条件3（130℃-30℃差）及び条件5（120℃-30℃差）が全体平均値を上回っていることから結論できない。また、材料一本一本について建築基準法施行令のカラマツ材料強度値270 kgf/cm<sup>2</sup>と比較してみると、これを下回るものは全体144本中で9本であった。

表-4 実大材曲げ強度試験結果（乾燥温度別）

条 件		乾燥条件（乾燥日数は2日間）				
		110-10℃差 (35本)	110-30℃差 (19本)	120-20℃差 (30本)	120-30℃差 (27本)	130-30℃差 (33本)
静的曲げヤング率 (tonf/cm <sup>2</sup> )	平均値	94.0	102.6	95.1	100.8	100.4
	標準偏差	13.8	13.0	15.6	13.0	16.6
	最低値	64.5	72.5	65.0	78.6	64.7
	最高値	124.5	123.7	150.8	133.2	137.9
曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	平均値	406	439	367	416	426
	標準偏差	85	95	82	74	97
	最低値	234	263	237	313	238
	最高値	592	692	642	572	623

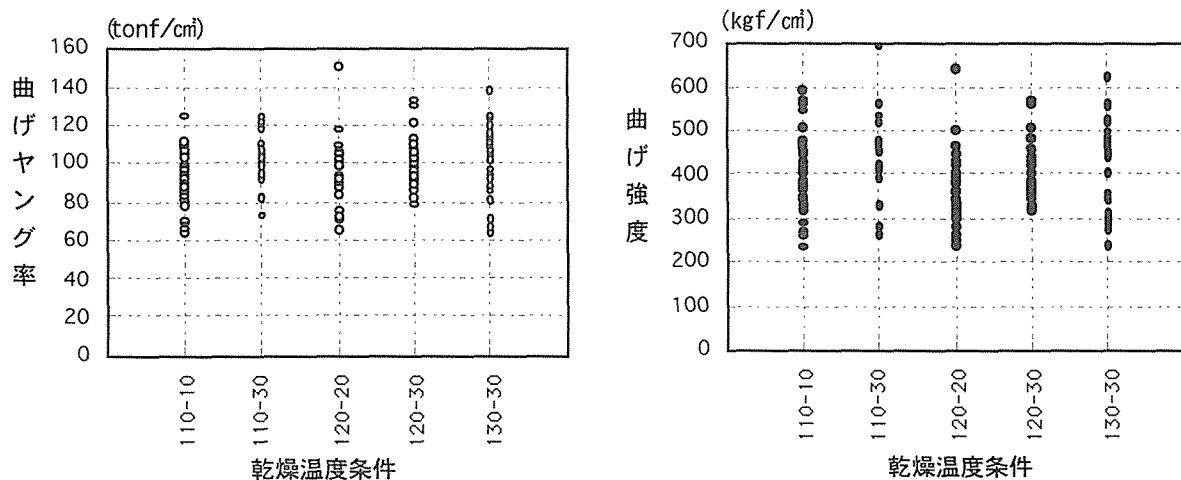


図-5 実大材曲げ強度試験結果（乾燥温度別）

表-5 全体の実大材曲げ強度試験結果

試験材本数144本

区分	動的ヤング率 (tonf/cm <sup>2</sup> )	静的ヤング率 (tonf/cm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	含水率 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	平均年輪幅 (mm)
平均値	107.3	98.1	408.6	12.8	0.49	4.82
標準偏差	15.1	15.0	89.8	0.8	0.04	1.13
変動係数	14.1	15.3	22.0	5.9	8.22	23.35
最低値	72.4	64.5	233.8	9.8	0.42	1.43
最大値	161.4	150.8	691.8	15.1	0.60	10.78

静的曲げヤング率と動的曲げヤング率及び曲げ強さのそれぞれの関係を図-6、図-7に示した。静的曲げヤング率は動的曲げヤング率より10tonf/cm<sup>2</sup>ほど低く表われる傾向にあり、動的曲げヤング率と静的曲げヤング率との相関関係は非常に高い。このことにより、材を叩くいわゆる打撃法により正角材の静的曲げヤング率の推定が可能であることが示唆された。また、静的曲げヤング率と曲げ強さとの関係も高く、静的曲げヤング率による曲げ強さの推定の有効性が示された。

図-8に曲げ強度及び曲げ静的ヤング率の出現頻度を示した。曲げ強度については、およそ400kgf/cm<sup>2</sup>を中心に、また静的曲げヤング率は100tonf/cm<sup>2</sup>を中心に正規分布を示す型となった。

図-9に密度と曲げ強度との関係を、図-10に平均年輪幅と曲げ強度との関係を示した。両者ともに曲げ強度との大きな相関関係は見られなかった。

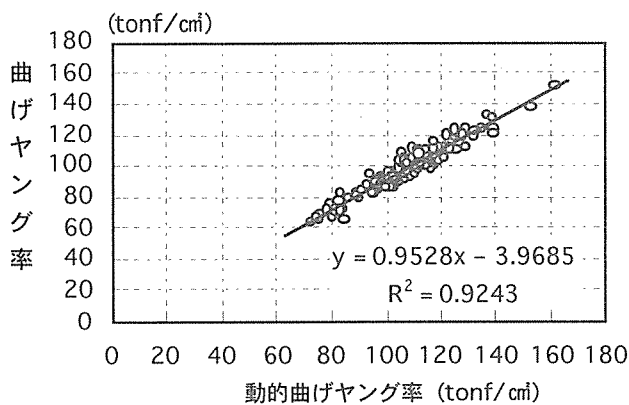


図-6 動的曲げヤング率と静的曲げヤング率との関係

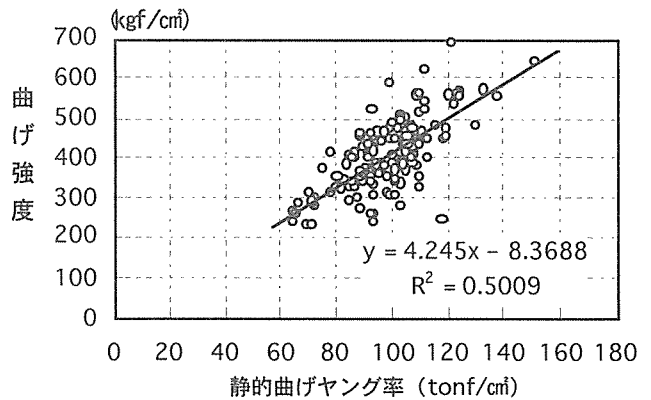


図-7 静的曲げヤング率と曲げ強度との関係

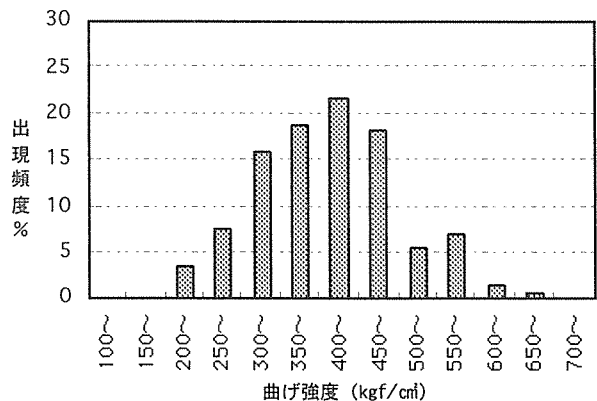
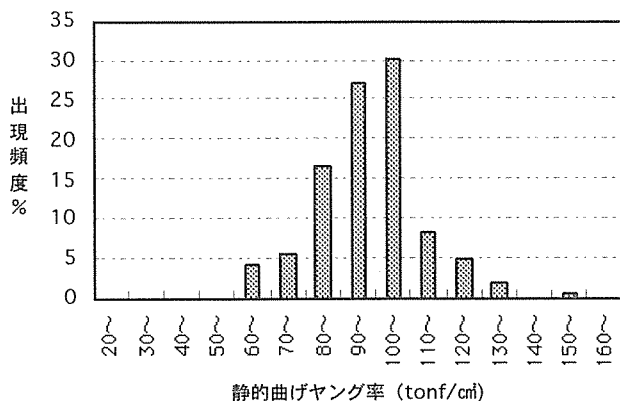


図-8 静的曲げヤング率及び曲げ強度の出現頻度

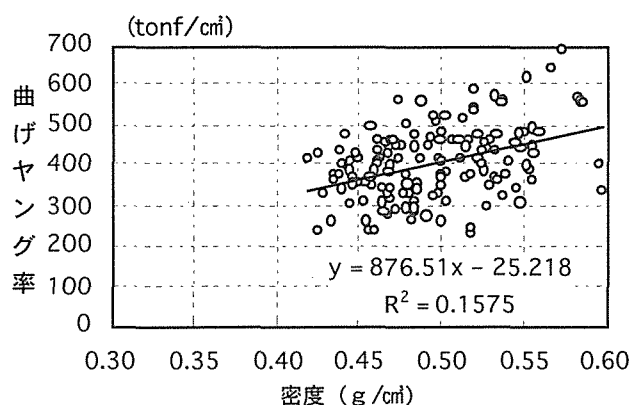


図-9 密度と曲げ強度との関係

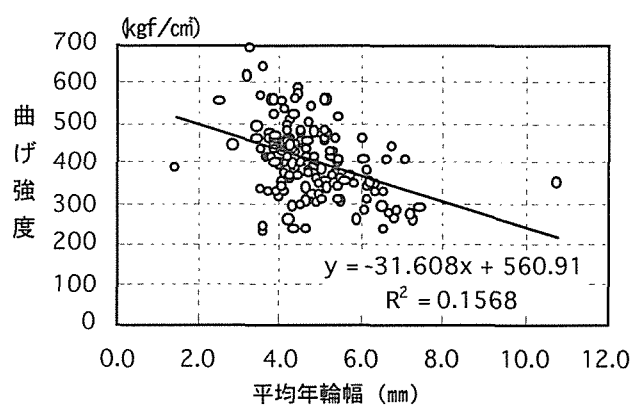


図-10 平均年輪幅と曲げ強度との関係

### 3.2.2 強度等級区分 (JAS) と強度性能

#### 3.2.2.1 目視等級区分

針葉樹構造用製材の日本農林規格 (JAS) に基づき、10.5cm正角にモルダーで整形した材について目視等級区分を行った (図-11、図-12)。

柱材 (乙種) として、節のみについて格付けを行った場合、1級68本 (47.2%)、2級53本 (36.8%)、3級20本 (13.9%)、格外が3本 (2.1%) とかなり高位に格付けされた。さらに平均年輪幅を含めた格付けでは、1級61本 (43.1%)、2級60本 (41.0%)、3級19本 (13.2%)、格外が4本 (2.8%) となり1級の7本が2級にまた3級の1本が格外となった。

また、横架材として (甲II種) 目視等級区分を行った場合、節のみの格付けでは、1級4本 (2.8%)、2級70本 (48.6%)、3級48本 (33.3%)、格外が22本 (15.3%) となった。さらに平均年輪幅を含めた格付けでは、1級4本 (2.8%)、2級70本 (48.6%)、3級47本 (32.6%)、格外が23本 (16.0%) となり3級の1本が格外となった。

平均年輪幅は2級である6mm~8mmが12本、格外の10mmを越えるものは1本であり、全本数の平均年輪幅は4.82mmとカラマツの初期成長量の大きいことが伺える。

表-7及び図-13に甲種構造用IIの目視等級区分と強度性能との関係を示した。また、表-8及び図-14に乙種構造材の目視等級区分と強度性能との関係を示した。目視等級区分により、ばらつきの範囲は大きい、ある程度はその曲げ強度は推測される。

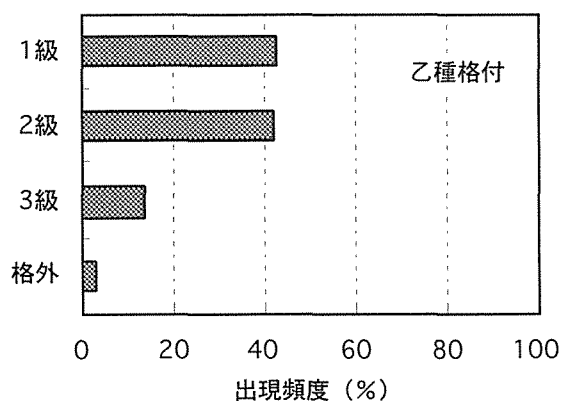


図-11 目視等級区分による出現頻度 (乙種)

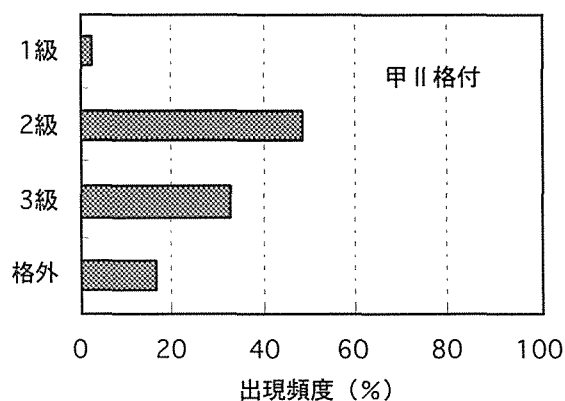


図-12 目視等級区分による出現頻度 (甲II)

表-7 乙種構造材の目視等級区分と強度性能との関係

乙種等級	本数 (本)	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )			曲げヤング率 (tonf/cm <sup>2</sup> )		
		平均値	標準偏差	5%下限値	平均値	標準偏差	5%下限値
1級	61	443	97	283	104.6	13.7	82.1
2級	60	391	72	273	95.1	14.2	71.7
3級	19	372	79	242	90.2	12.3	70.0
格外	4	319	32	266	81.5	12.3	61.3

表-8 甲種構造用Ⅱの目視等級区分と強度性能との関係

甲Ⅱ等級	本数 (本)	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )			曲げヤング率 (tonf/cm <sup>2</sup> )		
		平均値	標準偏差	5%下限値	平均値	標準偏差	5%下限値
1級	4	422	57	329	99.9	7.8	87.1
2級	70	431	86	289	101.7	14.2	78.3
3級	47	404	96	246	98.8	14.2	75.4
格外	23	350	62	248	84.9	12.8	63.8

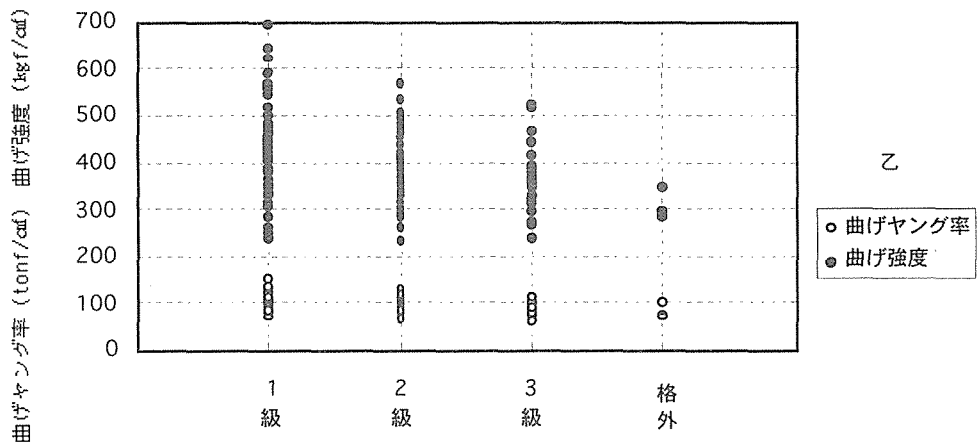


図-13 目視等級区分と曲げ強度との関係 (乙種)

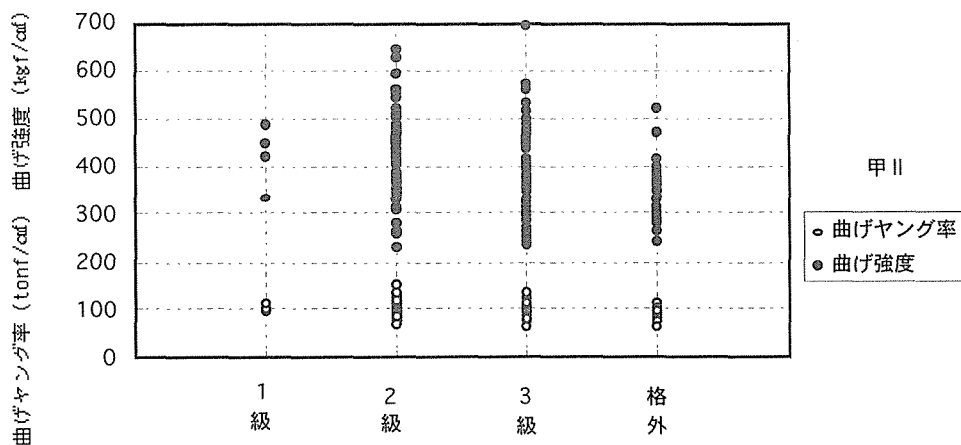


図-14 目視等級区分と曲げ強度との関係 (甲Ⅱ)

### 3.2.2.2 機械等級区分

表-9及び図-15に機械等級区分と強度性能との関係を示した。機械等級区分が上位にいくほど曲げ強度値は高くなり、機械等級区分の有効性が示された。

図-16~20に、節径比(%)と曲げ強度の関係を示した。全ての節径比と曲げ強度とには負の相関が見られる( $R^2=0.10\sim 0.18$ )。この中で曲げ強度に最も関係の深いのは、材長方向中央部1/3区間における単独節の影響であった。

強度試験時の破壊形態は、通常写真-7や8の様に年輪に沿ってねばりながら薄く剥がれる破壊が多かったが、中には写真-9に示す様に、破壊後二体に破断するものも見られた。これが特別に弱い曲げ強度を示すというわけではないが、この様な破壊形態を示すのは、人工乾燥時の高温の影響があるのだろうか、さらに追究した試験が必要である。

図-21~23には参考までに繊維傾斜とねじれの関係を示した。全てに正の相関があり、最も相関係数が高かったのは、材縁の繊維傾斜の合計(図-20のC+D)であった。

表-9 機械等級区分と強度性能との関係

乙種等級	本数(本)	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )			曲げヤング率 (tonf/cm <sup>2</sup> )		
		平均値	標準偏差	5%下限値	平均値	標準偏差	5%下限値
E 70	14	293.5	49.6	211.9	70.3	4.5	62.9
E 90	63	381.0	63.9	275.9	91.3	5.0	83.1
E110	55	435.9	70.4	320.1	107.0	4.9	98.9
E130	11	571.3	51.4	486.7	128.4	8.8	113.9

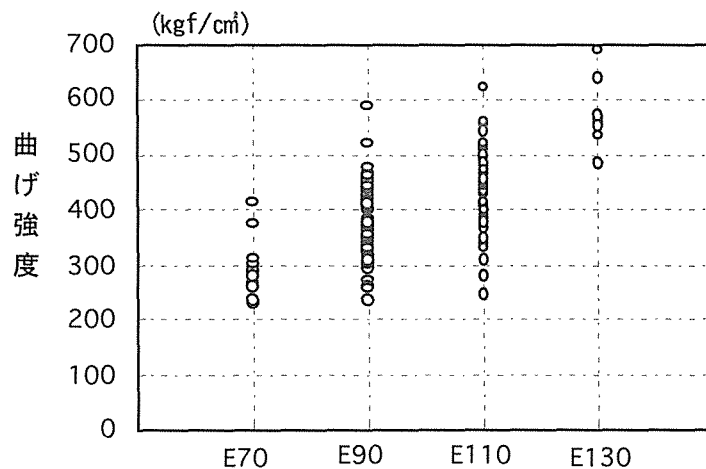


図-15 機械等級区分と曲げ強度との関係

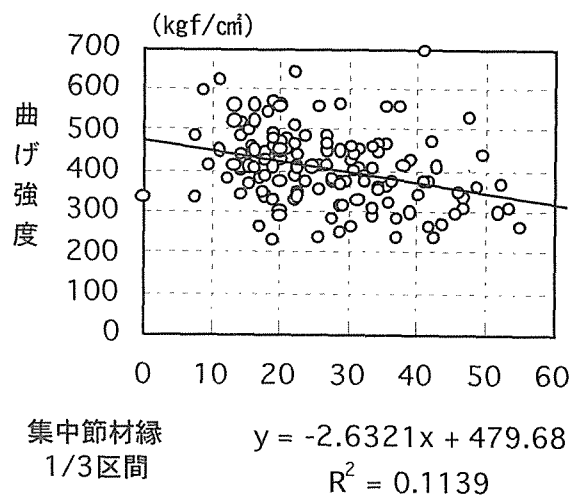
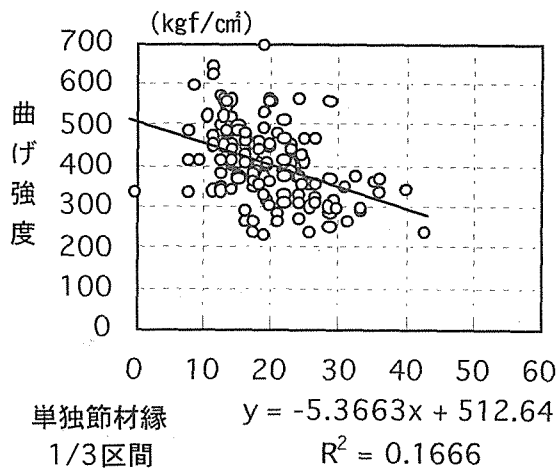


図-16 材長1/3区間における材縁部節径比と曲げ強度との関係

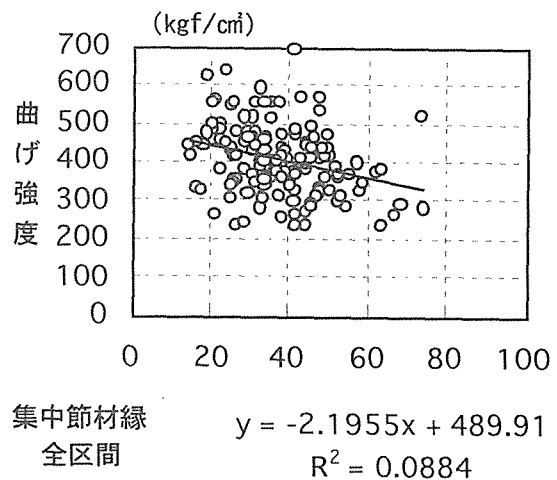
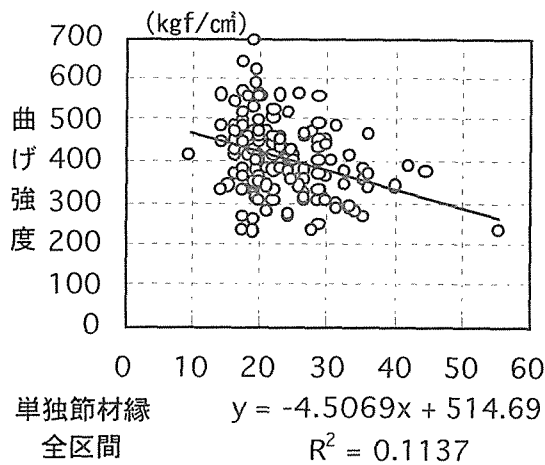


図-17 材長全区間における材縁部節径比と曲げ強度との関係

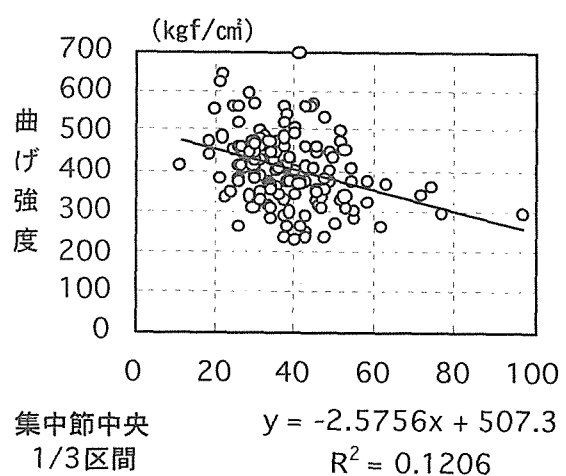
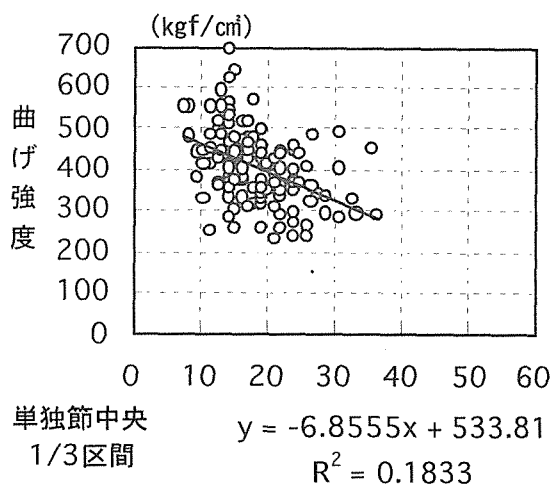


図-18 材長1/3区間における材幅中央部節径比と曲げ強度との関係



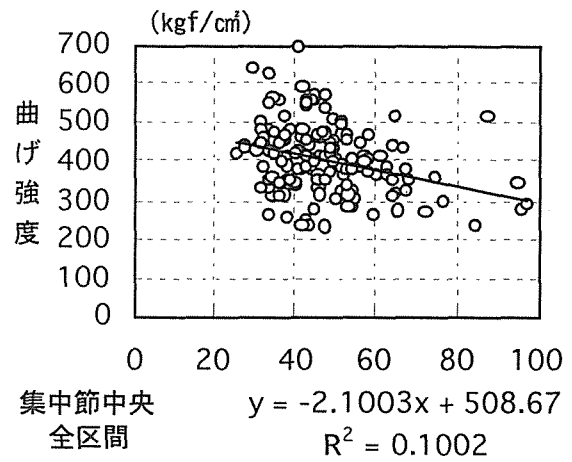
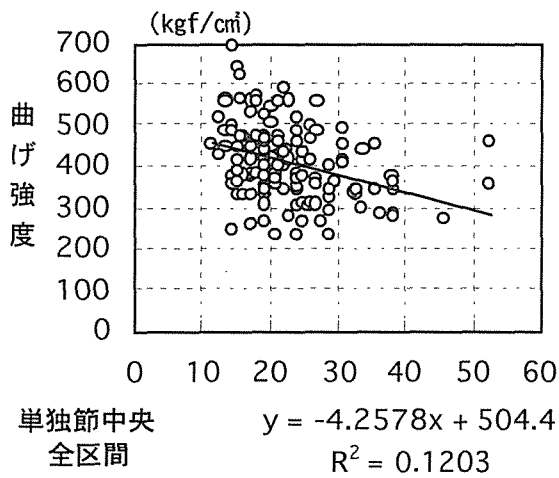


図-19 材長全区間における材幅中央部節径比と曲げ強度との関係

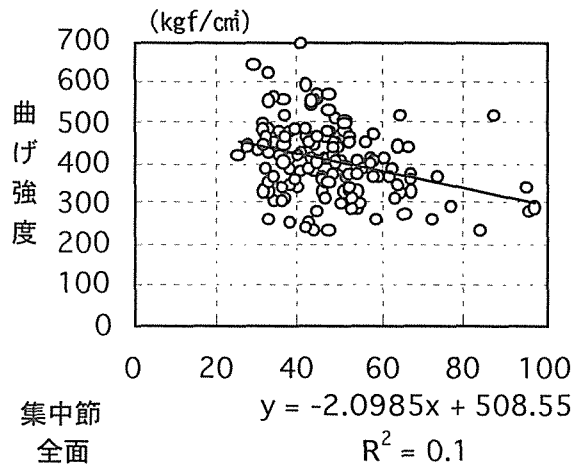
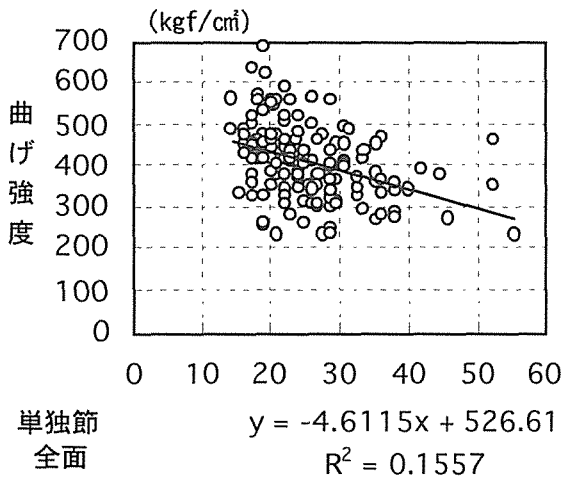


図-20 材長全区間における材幅中央部節径比と曲げ強度との関係

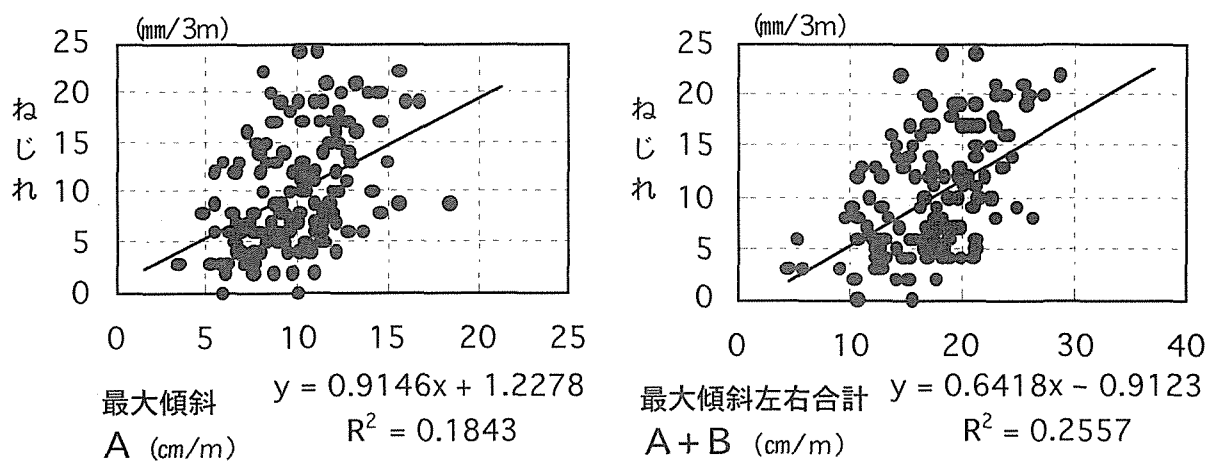


図-21 最大繊維傾斜とねじれとの関係

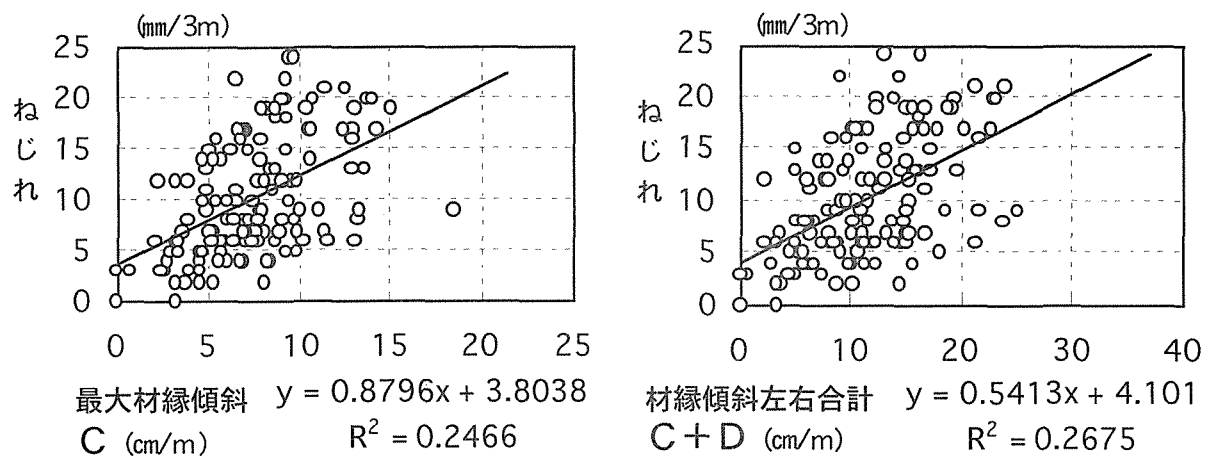


図-22 材縁部繊維傾斜とねじれとの関係

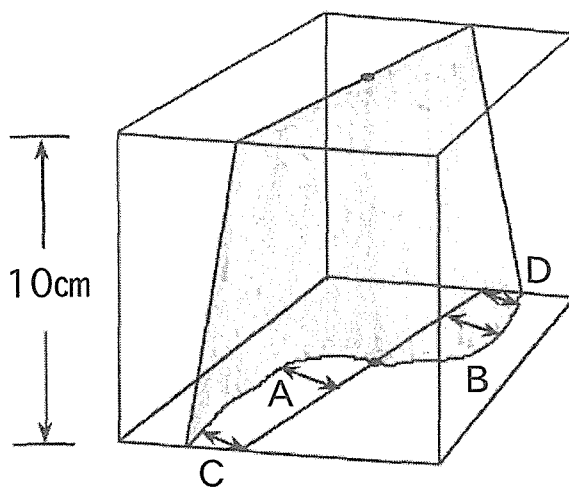


図-23 ねじれ測定図

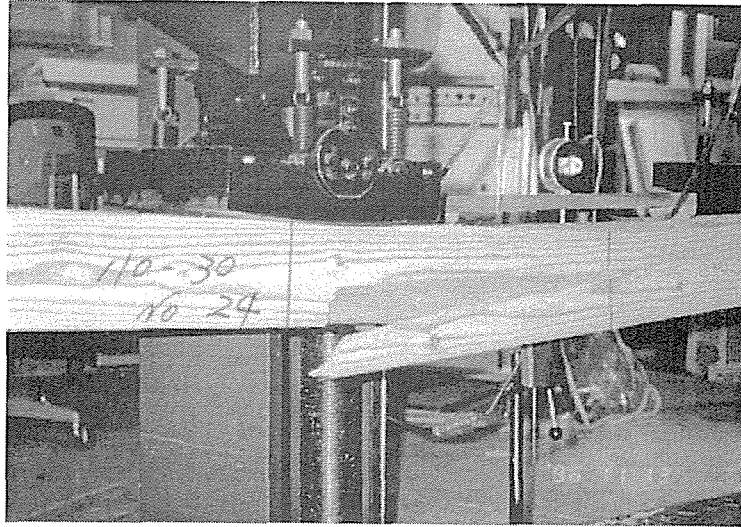


写真-7 破壊形態 (1)

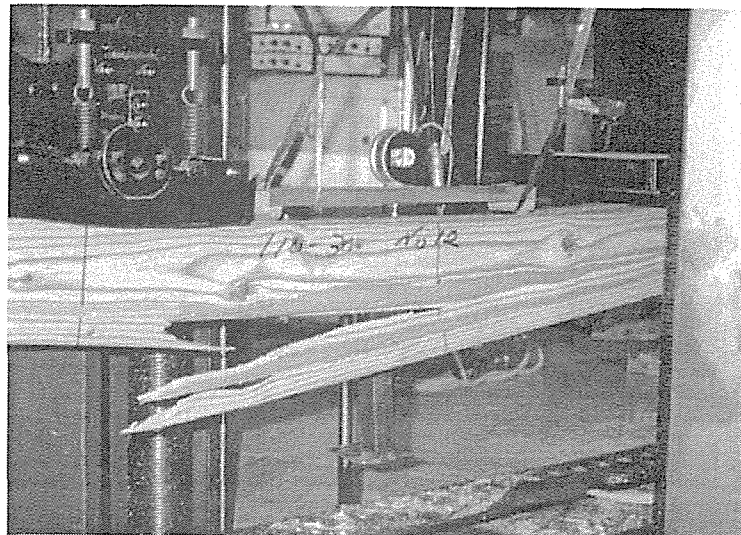


写真-8 破壊形態 (2)

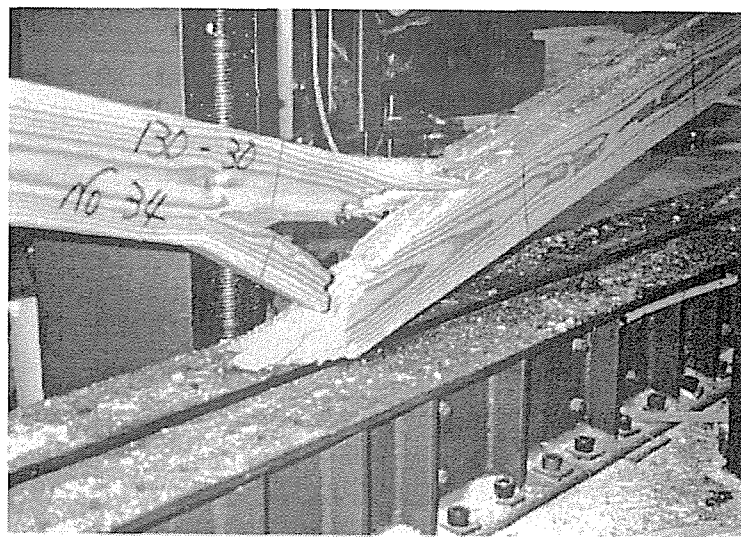


写真-9 破壊形態 (3)

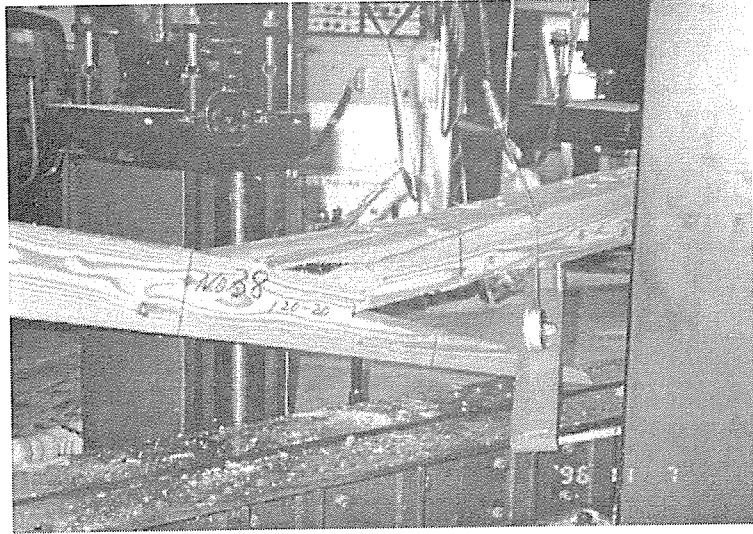


写真-10 破壊形態 (4)

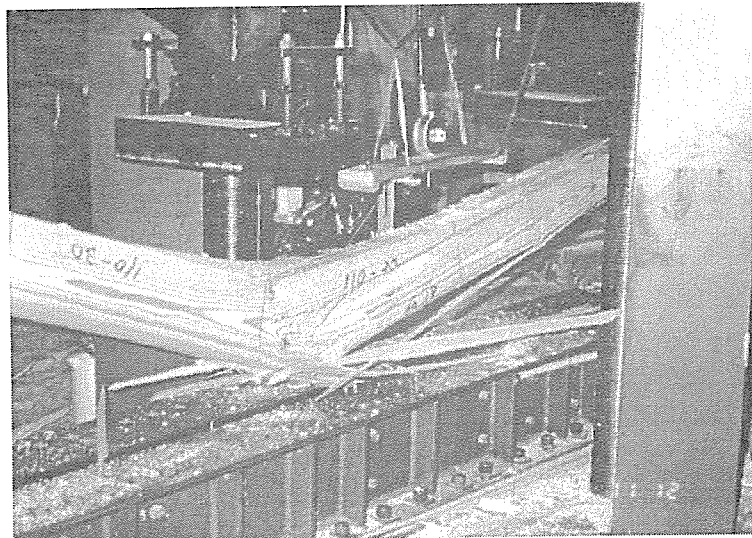


写真-11 破壊形態 (5)

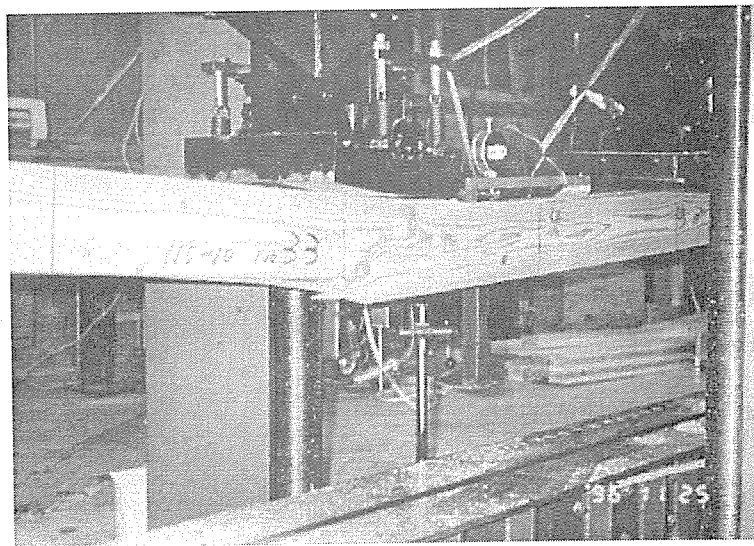
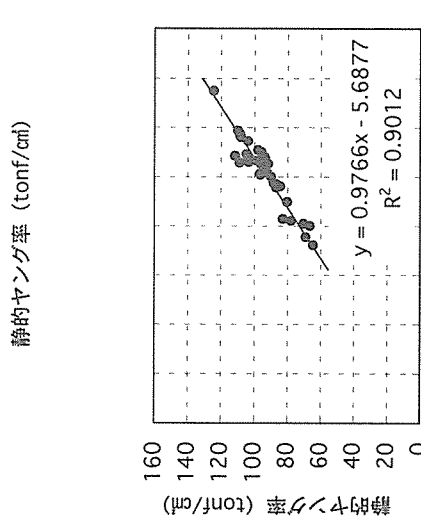
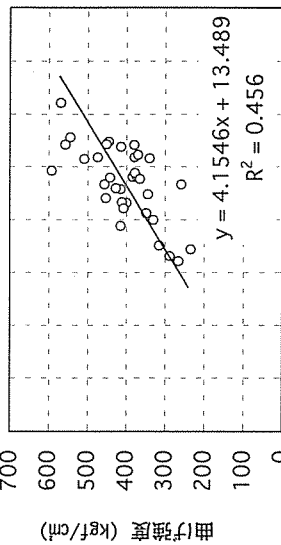
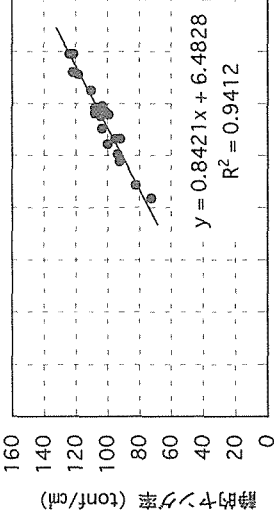
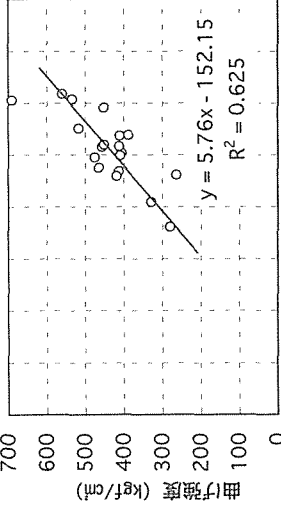


写真-12 破壊形態 (6)

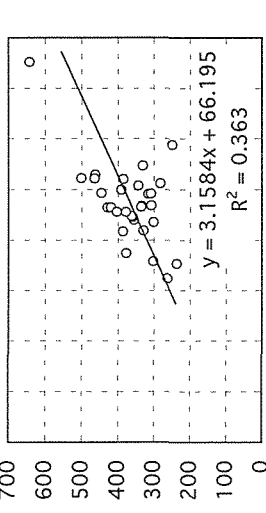
N O	幅 (cm)	厚さ (cm)	長さ (cm)	重量 (g)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ポコン (Hz)	比例応力	最大荷重 (kg)	(mm)	動的ヤング率 (tonf/cm <sup>2</sup> )	静的ヤング率 (tonf/cm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	含水率 (%)	平均年輪幅 (mm)
2	10.536	10.500	301.4	15943	0.48	777.5	1282	1632	5.551	107.2	103.8	379.4	13.5	4.34
3	10.506	10.523	301.2	16618	0.50	765.0	1035	1116	3.949	108.1	93.5	259.1	13.7	4.21
6	10.503	10.493	311.5	16259	0.47	750.0	1085	1778	7.747	105.5	91.7	415.0	13.0	5.29
7	10.509	10.500	301.0	15645	0.47	767.5	1218	1958	7.978	102.6	93.6	456.3	12.8	5.10
8	10.509	10.513	300.5	16719	0.50	737.5	963	1653	6.430	101.0	96.3	384.2	13.5	6.16
9	10.502	10.508	311.9	17790	0.52	607.5	764	1004	5.228	75.7	69.0	233.8	12.9	3.64
10	10.498	10.507	307.7	18257	0.54	750.0	1113	1632	5.357	116.9	108.5	380.2	13.5	4.14
11	10.487	10.520	300.0	15931	0.48	640.0	733	1142	6.672	72.4	64.5	265.6	13.0	6.85
12	10.514	10.531	306.1	16265	0.48	700.0	801	1424	10.170	89.9	80.1	329.7	13.3	3.70
15	10.509	10.523	310.9	17682	0.51	707.5	1062	1611	6.057	101.6	96.6	373.7	12.8	5.73
16	10.499	10.478	310.6	17830	0.52	747.5	1212	2023	8.385	114.8	103.9	473.9	13.2	3.77
17	10.490	10.497	302.0	16788	0.50	810.0		2004		123.3		468.1	13.3	6.02
18	10.491	10.493	300.7	18352	0.55	762.5	1169	1907	6.512	119.0	109.7	445.8	13.5	4.34
19	10.488	10.511	308.8	18200	0.53	752.5	1255	2394	9.680	117.8	108.6	557.7	13.4	5.18
24	10.495	10.494	305.5	17477	0.52	735.0	1117	2535	12.120	106.9	98.7	592.1	13.4	4.46
26	10.508	10.507	312.0	15912	0.46	670.0	917	1783	10.121	82.4	77.8	414.9	13.2	3.68
27	10.510	10.504	311.9	18307	0.53	720.0	1199	1589	5.505	109.4	104.8	369.9	13.5	5.34
28	10.551	10.495	304.2	14297	0.42	797.5	1216	1841	8.058	102.0	92.1	427.6	13.1	5.30
29	10.485	10.522	314.0	17182	0.50	735.0	1283	2188	9.666	107.8	103.3	508.9	12.9	4.28
30	10.521	10.529	305.5	17657	0.52	765.0	1222	1789	7.395	116.3	107.8	414.2	13.3	4.68
31	10.502	10.523	307.0	14909	0.44	792.5	1069	1464	5.001	106.2	103.4	339.8	13.3	4.65
32	10.523	10.522	304.0	14906	0.44	762.5	1250	1728	7.266	97.1	86.5	400.4	12.8	4.88
33	10.506	10.511	305.8	17479	0.52	750.0	1181	1628	6.382	111.1	97.9	378.6	13.5	4.49
34	10.502	10.518	305.8	15809	0.47	770.0	1309	1943	7.372	105.9	108.8	451.6	13.3	3.91
36	10.503	10.515	301.0	15708	0.47	677.5	899	1238	6.688	80.2	66.4	287.9	12.9	7.44
38	10.484	10.528	300.5	18380	0.55	735.0	1122	1573	5.871	110.3	95.6	365.4	13.4	5.50
39	10.511	10.538	300.7	15367	0.46	750.0	1134	1780	8.733	95.8	86.8	411.8	13.0	6.05
40	10.501	10.518	311.2	20450	0.59	640.0	990	1752	9.719	96.3	84.5	407.1	13.2	4.13
41	10.490	10.511	309.5	19902	0.58	770.0	1381	2442	9.480	135.2	124.5	568.9	13.8	3.54
42	10.508	10.538	309.1	15841	0.46	745.0	956	1488	6.058	100.2	89.8	344.4	12.8	6.17
44	10.517	10.522	308.1	15576	0.46	685.0	1034	1503	6.598	83.1	82.6	348.4	13.1	6.34
45	10.499	10.527	309.0	16187	0.47	727.5	1070	1955	10.686	97.8	88.3	453.6	12.8	4.51
46	10.480	10.467	298.3	16972	0.52	760.0	1332	2316	9.332	108.8	111.4	544.7	13.1	4.78
47	10.495	10.509	301.3	16710	0.50	660.0	918	1351	7.182	81.2	70.4	314.6	12.6	6.15
48	10.496	10.478	307.0	18489	0.55	707.5	1196	1889	8.358	105.4	96.1	442.6	13.0	6.76
N O	幅	厚さ	長さ	重量	密度	ポコン	比例応力	最大荷重	最大たわみ	動的ヤング率	静的ヤング率	曲げ強度	含水率	平均年輪幅
AVG	10.504	10.511	305.9	16908.5	0.50	732.3	1103.1	1744.3	7.568	102.7	94.0	406.0	13.2	5.01
STD	0.014	0.017	4.4	1373.0	0.04	46.7	159.9	359.9	1.875	13.7	13.8	84.5	0.3	1.02
MIN	10.480	10.467	298.3	14297.0	0.42	607.5	753.0	1004.0	3.949	72.4	64.5	233.8	12.6	3.54
MAX	10.551	10.538	314.0	20450.0	0.59	810.0	1380.6	2534.5	12.120	135.2	124.5	592.1	13.8	7.44



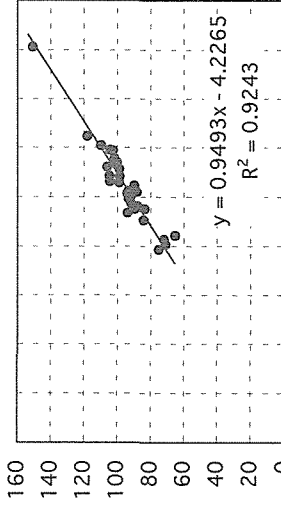
NO	(cm) 幅	(cm) 長さ	(g) 重量	(g/cm <sup>3</sup> ) 密度	(Hz) ポコン	(kg) 比例限度力	(kg) 最大荷重	(cm) 最大たわみ	(ton/cm <sup>2</sup> ) 動的ヤング率	(ton/cm <sup>2</sup> ) 静的ヤング率	(kg/cm <sup>2</sup> ) 曲げ強度	(%) 含水率	(mm) 平均年輪幅
1	10.506	304.0	15453	0.46	820.0	1313	1744	6.230	116.8	100.8	405.9	12.6	5.48
2	10.536	316.8	15728	0.45	740.0	1202	1775	6.971	100.7	93.8	413.0	11.9	4.63
4	10.497	304.0	17181	0.51	805.0	1263	2218	7.769	125.3	110.3	516.8	12.6	5.45
5	10.501	304.1	14879	0.44	790.0	1068	1759	6.549	104.5	99.9	410.2	12.3	6.61
7	10.501	305.8	14600	0.43	770.0	918	1130	4.206	97.9	92.4	263.1	12.4	7.31
9	10.515	305.5	15720	0.47	790.0	1272	1970	7.181	110.6	103.2	456.9	12.8	4.52
11	10.515	304.3	16745	0.50	752.5	854	1800	8.028	106.5	92.0	418.1	13.0	4.87
12	10.515	304.5	17781	0.53	730.0	904	2002	8.887	106.6	95.2	465.4	12.9	4.24
13	10.508	303.7	16504	0.49	842.5	1337	1946	6.921	131.3	118.4	451.7	12.5	4.37
14	10.501	304.8	15880	0.47	802.5	1350	1939	9.536	115.3	104.1	451.6	12.3	3.84
15	10.522	303.0	16188	0.48	800.0	1068	2048	8.582	115.9	99.2	475.9	13.1	4.53
16	10.496	303.0	19501	0.58	797.5	1284	2401	7.980	139.2	123.7	560.3	13.5	5.10
18	10.500	305.0	19262	0.57	800.0	1884	2970	9.403	139.1	121.3	691.8	12.9	3.25
21	10.508	303.7	14341	0.43	742.5	927	1414	6.365	88.8	82.0	329.5	12.4	6.56
22	10.508	302.8	17340	0.52	825.0	1333	2297	7.404	132.1	121.7	534.5	13.0	4.13
24	10.523	304.2	15439	0.46	820.0	1062	1676	5.434	116.4	107.7	388.2	12.3	5.04
25	10.534	304.0	15685	0.47	690.0	793	1211	5.895	83.7	72.5	281.0	11.6	6.73
28	10.507	306.5	16874	0.50	787.5	1181	1760	6.000	118.8	107.5	410.9	13.6	7.06
29	10.520	309.2	18416	0.54	752.5	1142	1770	7.830	119.2	103.5	412.6	14.1	5.46
NO	幅	長さ	重量	密度	ポコン	比例限度力	最大荷重	最大たわみ	動的ヤング率	静的ヤング率	曲げ強度	含水率	平均年輪幅
AVG	10.511	305.2	16501	0.49	782.0	1176.5	1885.8	7.219	114.1	102.6	438.8	12.7	5.22
STD	0.011	0.009	1429	0.04	37.5	253.9	407.3	1.348	15.0	13.0	95.0	0.6	1.13
MIN	10.496	302.8	14341	0.43	690.0	792.7	1130.2	4.206	83.7	72.5	263.1	11.6	3.25
MAX	10.536	316.8	19501	0.58	842.5	1883.9	2970.0	9.536	139.2	123.7	691.8	14.1	7.31



NO	幅 (cm)	厚さ (cm)	長さ (cm)	重量 (g)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ポコン (Hz)	比例応力 (kg)	最大荷重 (kg)	最大たわみ (cm)	動的ヤング率 (tonf/cm)	静的ヤング率 (tonf/cm)	曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	含水率 (%)	平均年輪幅 (mm)
1	10.512	10.525	306.0	18179	0.54	665	740	1418	6.722	90.8	84.1	328.7	15.1	4.82
2	10.509	10.547	308.0	17967	0.53	765	1173	1670	5.656	119.3	104.3	385.7	14.8	4.61
3	10.466	10.529	302.1	16604	0.50	777.5	1051	1986	8.838	112.3	106.0	462.3	14.5	3.74
5	10.513	10.530	307.2	18549	0.55	742.5	998	1482	5.640	115.8	101.8	343.4	12.6	5.44
6	10.523	10.538	309.5	17780	0.52	785.0	938	1080	3.185	124.8	117.8	249.5	13.7	3.65
7	10.516	10.528	303.7	16784	0.50	647.5	965	1627	8.046	78.8	75.1	377.0	13.3	5.37
8	10.533	10.538	302.8	17946	0.52	742.5	1122	2009	8.069	106.5	104.5	463.7	13.3	5.11
9	10.502	10.510	303.3	15503	0.46	765.0	945	1322	5.019	101.8	93.9	307.7	13.2	4.65
10	10.510	10.528	303.7	18608	0.55	740.0	1254	1687	6.110	114.2	100.1	391.1	13.9	1.43
11	10.509	10.535	302.5	17633	0.53	700.0	873	1300	5.400	96.4	87.4	300.9	13.7	4.50
13	10.540	10.557	293.3	15811	0.48	775.0	950	1547	8.605	102.2	88.2	355.6	13.9	6.27
15	10.513	10.523	303.7	15202	0.45	747.5	1057	1547	6.457	95.2	89.3	358.7	12.6	5.60
16	10.512	10.513	308.0	15518	0.46	785.0	1441	2154	10.668	108.8	104.6	500.5	13.3	4.17
21	10.524	10.533	306.2	15930	0.47	777.5	1111	1365	4.778	108.6	98.5	315.5	13.1	4.00
22	10.507	10.514	302.4	18569	0.56	692.5	1052	1842	8.288	99.5	93.1	428.2	13.9	4.11
23	10.498	10.506	302.2	18851	0.57	875.0	2112	2757	7.554	161.4	150.8	642.4	14.0	3.65
24	10.477	10.490	303.6	16090	0.48	810.0	899	1206	4.197	119.0	102.7	282.4	13.3	6.10
25	10.519	10.539	306.0	16159	0.48	717.5	831	1442	8.018	93.7	93.8	333.2	14.1	4.12
26	10.521	10.541	306.5	16503	0.49	742.5	977	1814	8.542	102.6	93.1	418.9	13.9	3.73
27	10.499	10.512	305.5	17990	0.53	717.5	907	1556	6.662	104.6	89.7	362.0	14.0	4.29
28	10.512	10.528	301.9	18304	0.55	739.5	946	1333	4.911	111.5	98.6	308.8	13.3	5.52
30	10.521	10.535	305.8	15417	0.45	682.5	554	1025	5.155	80.9	71.0	236.9	13.7	4.65
31	10.516	10.519	307.9	15986	0.47	745.0	1230	1738	6.781	100.8	91.4	403.3	9.8	4.30
32	10.490	10.516	312.8	15678	0.45	682.5	822	1131	5.496	84.5	65.0	263.2	12.6	5.91
33	10.515	10.525	312.0	20626	0.60	657.5	938	1447	6.132	102.6	93.4	335.5	14.5	3.55
34	10.512	10.532	313.0	15390	0.44	732.5	1087	1669	8.455	95.3	83.6	386.4	12.7	4.84
35	10.523	10.526	309.0	17035	0.50	790.0	1121	1428	4.600	121.1	109.6	330.7	13.1	3.94
36	10.527	10.553	302.5	14904	0.44	707.5	831	1314	7.000	82.9	71.7	302.6	13.3	4.94
37	10.503	10.509	303.5	14548	0.43	772.5	1189	1623	6.829	97.4	91.4	377.8	13.0	4.85
38	10.515	10.542	305.3	17825	0.53	727.5	1333	1928	7.811	106.1	98.8	445.4	12.1	4.17
NO	幅	厚さ	長さ	重量	密度	ポコン	比例応力	最大荷重	最大たわみ	動的ヤング率	静的ヤング率	曲げ強度	含水率	平均年輪幅
AVG	10.511	10.527	305.3	16910	0.50	740.2	1048.3	1581.5	6.654	104.6	95.1	366.6	13.4	4.53
STD	0.015	0.014	3.8	1427	0.04	48.3	265.9	350.6	1.649	15.8	15.6	81.6	1.0	0.94
MIN	10.466	10.490	293.3	14548	0.43	647.5	533.6	1024.6	3.185	78.8	65.0	236.9	9.8	1.43
MAX	10.540	10.557	313.0	20626	0.60	875.0	2111.9	2756.9	10.668	161.4	150.8	642.4	15.1	6.27

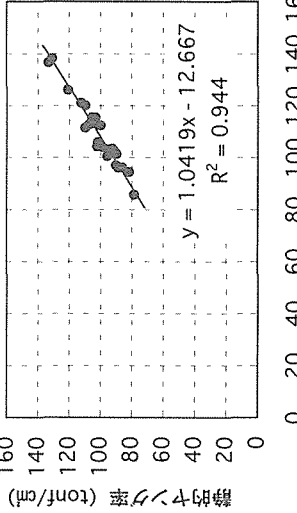
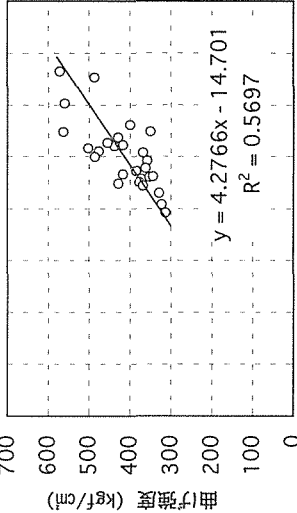


静的ヤング率 (tonf/cm)



動的ヤング率 (tonf/cm)

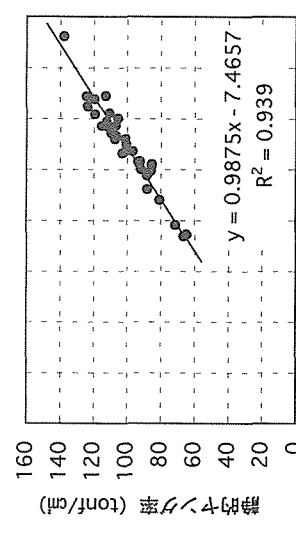
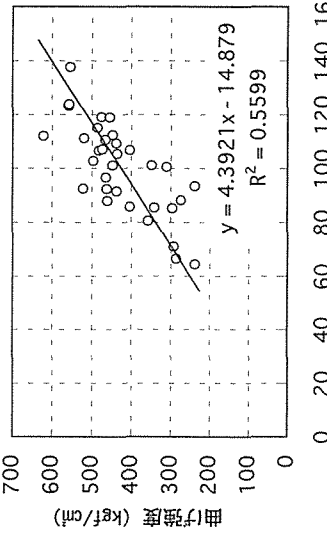
NO	幅 (cm)	厚さ (cm)	長さ (cm)	重量 (g)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	ポコン (Hz)	比例限度力 (kg)	最大荷重 (kg)	最大たわみ (cm)	静的ヤング率 (tonf/cm <sup>2</sup> )	動的ヤング率 (tonf/cm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	含水率 (%)	平均年輪幅 (mm)
1	10.492	10.509	308.5	16983	0.50	787.5	1000	1503	5.244	120.3	109.9	350.2	12.3	5.84
2	10.509	10.515	311.0	17563	0.51	750.0	1212	1796	6.296	113.5	104.7	417.4	12.5	3.80
4	10.510	10.506	310.1	16018	0.47	750.0	1141	1653	7.275	103.3	94.6	384.8	12.2	4.71
5	10.496	10.497	305.5	18540	0.55	760.0	1211	1712	5.406	121.2	112.5	399.7	13.3	4.01
9	10.510	10.514	304.5	17892	0.53	750.0	1141	1886	6.977	113.2	104.3	438.3	13.0	3.55
10	10.503	10.52	309.0	18161	0.53	812.5	1493	2461	8.381	136.9	133.2	571.7	12.0	4.46
12	10.512	10.517	313.2	15581	0.45	760.0	1119	1541	5.658	104.1	98.6	357.9	12.0	5.14
13	10.508	10.503	303.5	14551	0.43	785.0	1101	1556	5.939	100.6	95.8	362.4	11.9	4.94
14	10.511	10.526	308.2	15226	0.45	782.5	1282	1591	5.490	106.0	101.7	368.9	12.1	4.44
15	10.515	10.511	309.2	15933	0.47	727.5	903	1417	6.020	96.3	86.2	329.4	12.4	6.35
17	10.493	10.509	311.1	16695	0.49	810.0	1601	2404	7.696	126.1	120.7	560.1	12.0	3.82
20	10.506	10.508	307.3	16963	0.50	730.0	854	1600	6.672	102.7	91.5	372.4	12.5	4.26
22	10.517	10.518	308.5	18768	0.55	805.0	1413	2095	5.842	138.4	130.8	486.1	12.5	4.53
24	10.512	10.504	305.7	15039	0.45	780.0	1071	1516	5.906	103.4	92.3	352.9	12.6	4.05
25	10.520	10.513	310.2	15352	0.45	760.0	1103	1844	7.755	101.5	89.8	428.3	12.1	5.26
28	10.493	10.511	308.9	14909	0.44	755.0	1047	1618	7.826	97.2	90.3	376.9	12.3	4.74
30	10.507	10.512	308.1	16826	0.49	702.5	867	1387	6.446	94.5	81.9	322.5	11.8	5.00
31	10.515	10.515	309.1	15941	0.47	787.5	1303	1849	6.356	112.8	107.6	429.3	11.9	4.41
32	10.502	10.507	308.2	16085	0.47	780.0	1382	2418	9.401	111.6	109.8	563.1	12.1	4.42
33	10.506	10.512	305.3	15794	0.47	762.5	1016	1481	5.910	103.6	92.5	344.4	12.4	4.02
36	10.500	10.497	307.0	14892	0.44	785.0	1125	2041	8.511	104.3	102.3	476.3	12.0	4.97
37	10.513	10.516	309.1	17072	0.50	760.0	1063	2095	9.217	112.5	100.0	486.5	11.9	4.19
40	10.525	10.522	308.2	16308	0.48	790.0	1513	2169	7.876	115.6	103.4	502.6	12.0	4.76
41	10.511	10.515	310.5	15510	0.45	695.0	1038	1348	6.325	85.9	78.6	313.2	12.1	5.08
42	10.509	10.51	305.6	17742	0.53	760.0	1304	1959	7.776	115.7	105.5	455.7	12.3	4.24
44	10.490	10.509	310.2	14284	0.42	787.5	1075	1793	9.962	101.7	93.4	417.8	12.3	4.21
45	10.514	10.52	309.3	15602	0.46	735.0	1072	1588	7.027	96.2	88.9	368.4	12.1	5.36
NO	幅	厚さ	長さ	重量	密度	ポコン	比例限度力	最大荷重	最大たわみ	静的ヤング率	動的ヤング率	曲げ強度	含水率	平均年輪幅
AVG	10.507	10.512	308.3	16305	0.48	764.8	1164.7	1789.7	7.007	108.9	100.8	416.2	12.2	4.61
STD	0.009	0.007	2.2	1212	0.04	29.1	189.2	316.0	1.278	12.1	13.0	73.5	0.3	0.63
MIN	10.490	10.497	303.5	14284	0.42	695.0	853.9	1348.2	5.244	85.9	78.6	313.2	11.8	3.55
MAX	10.525	10.526	313.2	18768	0.55	812.5	1601.2	2461.1	9.962	138.4	133.2	571.7	13.3	6.35





NO	幅 (cm)	厚さ (cm)	長さ (cm)	重量 (g)	密度 (g/cm³)	ポコン (Hz)	比例応力 (kg)	最大荷重 (kg)	最大たわみ (cm)	動的ヤング率 (tonf/cm)	静的ヤング率 (tonf/cm)	曲げ強度 (kg/cm)	含水率 (%)	平均年輪幅 (mm)
1	10.517	10.504	304.8	18654	0.55	712.5	1077	2134	9.268	106.6	102.9	496.6	14.2	3.47
6	10.513	10.505	311.3	18796	0.55	725.0	1329	2073	8.998	113.7	106.7	482.5	12.8	4.88
7	10.511	10.513	307.3	16377	0.48	770.0	1217	1337	4.636	110.2	100.7	310.8	12.2	5.43
8	10.521	10.499	311.8	16145	0.47	705.0	990	1978	9.656	92.5	88.1	460.6	12.4	3.93
9	10.510	10.520	308.0	16459	0.48	647.5	953	1264	6.163	78.5	71.2	293.5	10.7	6.52
10	10.513	10.508	309.0	14503	0.42	672.5	832	1022	5.584	74.9	64.7	237.7	11.6	6.57
11	10.455	10.481	310.3	15663	0.46	770.0	1188	1976	9.149	107.3	96.7	464.4	12.5	3.47
12	10.504	10.513	311.5	15076	0.44	760.0	1273	1879	7.718	100.3	91.7	437.0	11.9	4.66
13	10.515	10.512	304.7	16535	0.49	725.0	1050	1176	4.783	97.8	88.3	273.3	11.1	7.22
14	10.515	10.513	307.2	15574	0.46	765.0	1028	1025	3.782	103.4	93.6	238.2	12.0	4.37
15	10.501	10.509	305.3	16116	0.48	750.0	934	1270	5.441	102.4	85.4	295.7	12.4	4.33
16	10.498	10.498	312.5	18015	0.52	760.0	1086	1870	8.714	120.4	105.6	436.5	12.7	4.33
18	10.466	10.481	305.0	17711	0.53	747.5	1091	1483	5.418	112.3	101.3	348.2	12.6	5.02
19	10.511	10.507	310.4	16602	0.48	730.0	989	1465	6.478	101.5	85.5	340.9	12.9	5.20
20	10.504	10.511	313.0	17621	0.51	712.5	1436	1987	8.185	103.5	92.5	462.4	12.8	5.39
22	10.478	10.460	312.2	18386	0.54	765.0	1565	2370	7.486	125.1	123.5	558.2	13.3	3.88
23	10.504	10.507	309.3	16462	0.48	755.0	1200	1925	10.290	107.3	101.3	448.2	12.9	4.28
24	10.483	10.493	303.0	18379	0.55	760.0	1390	2663	10.904	119.4	112.2	622.9	13.4	3.22
25	10.472	10.487	304.7	15412	0.46	810.0	1238	1872	8.028	114.5	109.5	439.0	11.9	3.87
26	10.488	10.486	306.8	16612	0.49	770.0	1333	2021	6.998	112.1	107.3	473.2	12.4	3.92
27	10.502	10.516	304.5	16129	0.48	697.5	1001	1534	7.048	88.3	80.7	356.6	11.9	10.78
28	10.502	10.532	304.4	15616	0.46	650.0	815	1237	7.433	74.1	66.7	286.7	12.3	6.92
29	10.488	10.442	313.8	18302	0.53	755.0	1307	2014	6.484	122.0	119.3	475.6	12.8	5.21
31	10.503	10.493	309.0	17528	0.51	802.5	1724	1920	6.016	129.2	112.6	448.3	12.3	2.83
32	10.491	10.492	305.0	14751	0.44	772.5	1088	1727	8.327	99.6	85.8	403.7	12.6	4.57
33	10.479	10.472	303.8	17857	0.54	800.0	1563	2369	7.238	129.1	124.1	556.6	12.7	4.03
34	10.419	10.493	305.4	17494	0.52	767.5	1229	1716	5.813	117.5	106.8	404.0	13.1	3.92
36	10.476	10.491	306.5	16903	0.50	780.0	1348	2222	7.851	117.1	111.4	520.4	12.1	3.85
37	10.498	10.496	303.7	19575	0.58	832.5	1666	2373	6.885	152.6	137.9	554.0	13.3	2.52
38	10.504	10.464	306.8	18830	0.56	740.0	1389	2071	6.867	117.5	115.3	486.2	11.6	5.11
39	10.516	10.520	305.1	16697	0.49	737.5	1106	2250	10.733	102.2	92.6	522.0	12.3	4.35
40	10.493	10.516	304.0	18241	0.54	790.0	1417	1957	6.464	128.0	119.3	455.3	12.6	4.70
41	10.507	10.518	307.2	15956	0.47	822.5	1300	2007	7.085	122.5	110.8	466.3	11.9	6.03

NO	幅 (cm)	厚さ (cm)	長さ (cm)	重量 (g)	密度 (g/cm³)	ポコン (Hz)	比例応力 (kg)	最大荷重 (kg)	最大たわみ (cm)	動的ヤング率 (tonf/cm)	静的ヤング率 (tonf/cm)	曲げ強度 (kg/cm)	含水率 (%)	平均年輪幅 (mm)
AVG	10.496	10.499	307.5	16938.7	0.50	750.3	1216.8	1824.0	7.331	109.2	100.363	425.9	12.4	4.81
STD	0.021	0.019	3.1	1282.3	0.04	43.4	224.7	413.4	1.722	16.3	16.579	97.3	0.7	1.53
MIN	10.419	10.442	303.0	14503.0	0.42	647.5	815.4	1022.0	3.782	74.1	64.719	237.7	10.7	2.52
MAX	10.521	10.532	313.8	19575.0	0.58	832.5	1724.2	2662.7	10.904	152.6	137.885	622.9	14.2	10.78



等級区分

(ton/cm)		(kg/cm)		(ton/cm)		(kg/cm)		(ton/cm)		(kg/cm)	
乙	曲げヤング率	曲げ強度	乙	曲げヤング率	曲げ強度	乙	曲げヤング率	曲げ強度	乙	曲げヤング率	曲げ強度
1	103.8	379.4	2	69.0	233.8	3	91.7	415.0	格	72.5	281.0
1	93.5	259.1	2	80.1	329.7	3	64.5	265.6	外	101.8	343.4
1	93.6	456.3	2	96.6	373.7	3	96.1	442.6	格	71.2	293.5
1	108.5	380.2	2	103.9	473.9	3	110.3	516.8	外	80.7	356.6
1	109.7	445.8	2		468.1	3	95.2	465.4			
1	108.6	557.7	2	77.8	414.9	3	84.1	328.7	AVG	81.5	318.6
1	98.7	592.1	2	104.8	369.9	3	75.1	377.0	STD	12.3	32.0
1	92.1	427.6	2	103.3	508.9	3	100.1	391.1	COUNT	4	4
1	107.8	414.2	2	103.4	339.8	3	89.7	362.0			
1	97.9	378.6	2	86.5	400.4	3	94.6	384.8			
1	108.8	451.6	2	66.4	287.9	3	81.9	322.5			
1	124.5	568.9	2	95.6	365.4	3	88.9	368.4			
1	111.4	544.7	2	86.8	411.8	3	100.7	310.8			
1	70.4	314.6	2	84.5	407.1	3	64.7	237.7			
1	103.2	456.9	2	88.3	453.6	3	88.3	273.3			
1	99.2	475.9	2	100.8	405.9	3	85.4	295.7			
1	123.7	560.3	2	93.8	413.0	3	101.3	348.2			
1	121.3	691.8	2	99.9	410.2	3	109.5	439.0			
1	107.7	388.2	2	92.0	418.1	3	92.6	522.0			
1	103.5	412.6	2	118.4	451.7						
1	104.3	385.7	2	104.1	451.6	AVG	90.2	371.9			
1	117.8	249.5	2	82.0	329.5	STD	12.3	78.7			
1	104.5	463.7	2	121.7	534.5	COUNT	19	19			
1	93.9	307.7	2	106.0	462.3						
1	104.6	500.5	2	87.4	300.9						
1	93.1	428.2	2	88.2	355.6						
1	150.8	642.4	2	89.3	358.7						
1	93.8	333.2	2	98.5	315.5						
1	93.1	418.9	2	91.4	403.3						
1	98.6	308.8	2	65.0	263.2						
1	71.0	236.9	2	93.4	335.5						
1	109.6	330.7	2	83.6	386.4						
1	98.8	445.4	2	71.7	302.6						
1	109.9	350.2	2	91.4	377.8						
1	104.7	417.4	2	112.5	399.7						
1	104.3	438.3	2	133.2	571.7						
1	95.8	362.4	2	98.6	357.9						
1	120.7	560.1	2	101.7	368.9						
1	130.8	486.1	2	86.2	329.4						
1	89.8	428.3	2	91.5	372.4						
1	107.6	429.3	2	92.3	352.9						
1	109.8	563.1	2	90.3	376.9						
1	92.5	344.4	2	103.4	502.6						
1	102.3	476.3	2	78.6	313.2						
1	100.0	486.5	2	102.9	496.6						
1	105.5	455.7	2	91.7	437.0						
1	93.4	417.8	2	105.6	436.5						
1	106.7	482.5	2	85.5	340.9						
1	88.1	460.6	2	107.3	473.2						
1	96.7	464.4	2	66.7	286.7						
1	93.6	238.2	2	119.3	475.6						
1	92.5	462.4	2	115.3	486.2						
1	123.5	558.2	2	119.3	455.3						
1	101.3	448.2	1	96.3	384.2						
1	112.2	622.9	1	89.8	344.4						
1	112.6	448.3	1	82.6	348.4						
1	85.8	403.7	1	92.4	263.1						
1	124.1	556.6	1	107.5	410.9						
1	106.8	404.0	1	102.7	282.4						
1	111.4	520.4	1	110.8	466.3						
1	137.9	554.0									
			AVG	95.1	390.8						
AVG	104.6	443.4	STD	14.2	71.9						
STD	13.7	97.4	COUNT	59	60						
COUNT	61	61									

等級区分

(ton/cm)		(kg/cm)		(ton/cm)		(kg/cm)		(ton/cm)		(kg/cm)	
甲 II	曲げヤング率	曲げ強度	甲 II	曲げヤング率	曲げ強度	甲 II	曲げヤング率	曲げ強度	甲 II	曲げヤング率	曲げ強度
1	93.8	333.2	2	103.8	379.4	3	108.5	380.2	格外	91.7	415.0
1	93.1	418.9	2	93.5	259.1	3	96.6	373.7	格外	64.5	265.6
1	100.0	486.5	2	93.6	456.3	3	103.9	473.9	格外		468.1
1	112.6	448.3	2	96.3	384.2	3	108.6	557.7	格外	66.4	287.9
			2	69.0	233.8	3	86.5	400.4	格外	95.6	365.4
AVG	99.9	421.7	2	80.1	329.7	3	97.9	378.6	格外	72.5	281.0
STD	7.8	56.5	2	109.7	445.8	3	86.8	411.8	格外	84.1	328.7
COUNT	4	4	2	98.7	592.1	3	124.5	568.9	格外	101.8	343.4
			2	77.8	414.9	3	96.1	442.6	格外	75.1	377.0
			2	104.8	369.9	3	110.3	516.8	格外	89.3	358.7
			2	92.1	427.6	3	99.9	410.2	格外	93.4	335.5
			2	103.3	508.9	3	92.0	418.1	格外	71.7	302.6
			2	107.8	414.2	3	95.2	465.4	格外	94.6	384.8
			2	103.4	339.8	3	118.4	451.7	格外	112.5	399.7
			2	108.8	451.6	3	104.1	451.6	格外	86.2	329.4
			2	84.5	407.1	3	121.3	691.8	格外	91.5	372.4
			2	89.8	344.4	3	82.0	329.5	格外	78.6	313.2
			2	82.6	348.4	3	121.7	534.5	格外	88.9	368.4
			2	88.3	453.6	3	107.5	410.9	格外	71.2	293.5
			2	111.4	544.7	3	106.0	462.3	格外	64.7	237.7
			2	70.4	314.6	3	117.8	249.5	格外	101.3	348.2
			2	100.8	405.9	3	100.1	391.1	格外	92.6	522.0
			2	93.8	413.0	3	87.4	300.9	格外	80.7	356.6
			2	92.4	263.1	3	88.2	355.6			
			2	103.2	456.9	3	98.5	315.5	AVG	84.9	350.2
			2	99.2	475.9	3	89.7	362.0	STD	12.8	62.4
			2	123.7	560.3	3	71.0	236.9	COUNT	22	23
			2	107.7	388.2	3	91.4	403.3			
			2	103.5	412.6	3	65.0	263.2			
			2	104.3	385.7	3	91.4	377.8			
			2	104.5	463.7	3	98.8	445.4			
			2	93.9	307.7	3	133.2	571.7			
			2	104.6	500.5	3	98.6	357.9			
			2	93.1	428.2	3	101.7	368.9			
			2	150.8	642.4	3	81.9	322.5			
			2	102.7	282.4	3	92.5	344.4			
			2	98.6	308.8	3	102.9	496.6			
			2	83.6	386.4	3	100.7	310.8			
			2	109.6	330.7	3	91.7	437.0			
			2	109.9	350.2	3	88.3	273.3			
			2	104.7	417.4	3	93.6	238.2			
			2	104.3	438.3	3	85.4	295.7			
			2	95.8	362.4	3	105.6	436.5			
			2	120.7	560.1	3	109.5	439.0			
			2	130.8	486.1	3	66.7	286.7			
			2	92.3	352.9	3	115.3	486.2			
			2	89.8	428.3	3	110.8	466.3			
			2	90.3	376.9						
			2	107.6	429.3	AVG	98.8	403.5			
			2	109.8	563.1	STD	14.2	95.6			
			2	102.3	476.3	COUNT	47	47			
			2	103.4	502.6						
			2	105.5	455.7						
			2	93.4	417.8						
			2	106.7	482.5						
			2	88.1	460.6						
			2	96.7	464.4						
			2	85.5	340.9						
			2	92.5	462.4						
			2	123.5	558.2						
			2	101.3	448.2						
			2	112.2	622.9						
			2	107.3	473.2						
			2	119.3	475.6						
			2	85.8	403.7						
			2	124.1	556.6						
			2	106.8	404.0						
			2	111.4	520.4						
			2	137.9	554.0						
			2	119.3	455.3						
			AVG	101.7	430.5						
			STD	14.2	85.9						
			COUNT	70.0	70.0						

等級区分 乙種

110-10		110-30		120-20	
4は等級外		4は等級外		4は等級外	
試験体番号	甲 II 乙	試験体番号	甲 II 乙	試験体番号	甲 II 乙
	静的ヤング率 (ton/mt)		静的ヤング率 (ton/mt)		静的ヤング率 (ton/mt)
	曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
2	2	1	2	1	4
3	2	1	2	2	3
6	4	3	3	3	2
7	2	1	3	5	4
8	2	1	2	7	3
9	2	1	1	9	4
10	3	1	3	11	3
11	4	3	3	12	2
12	2	2	3	13	1
15	3	2	3	14	3
16	3	2	2	15	2
17	4	2	1	16	2
18	2	1	3	18	1
19	3	1	3	21	3
24	2	1	3	22	2
26	2	2	2	24	2
27	2	2	4	25	2
28	2	1	3	28	1
29	2	2	2	29	2
30	2	1	1		
31	2	2	0	1級	8
32	3	2	8	2級	8
33	3	1	10	3級	10
34	2	1	1	級外	1
36	4	2			
38	4	2	19		19
39	3	2			
40	2	2			
41	3	1			
42	2	1			
44	2	1			
45	2	2			
46	2	1			
47	2	1			
48	3	3			
1級	0	17			
2級	21	15			
3級	9	3			
級外	5	0			
	35	35			
1級	2	14			
2級	10	11			
3級	12	4			
級外	6	1			
	30	30			

120-30		4は等級外 静的ヤング率 (ton/ont)		(kg/ont)		4は等級外 静的ヤング率 (ton/ont)		(kg/ont)	
試験体番号	甲II	乙	試験体番号	甲I	乙	試験体番号	甲II	乙	試験体番号
1	2	1	109.9	350.2	1	3	2	102.9	496.6
2	2	1	104.7	417.4	6	2	1	106.7	482.5
4	4	3	94.6	384.8	7	3	3	100.7	310.8
5	4	2	112.5	399.7	8	2	1	88.1	460.6
9	2	1	104.3	438.3	9	4	4	71.2	293.5
10	3	2	133.2	571.7	10	4	3	64.7	237.7
12	3	2	98.6	357.9	11	2	1	96.7	464.4
13	2	1	95.8	362.4	12	3	2	91.7	437.0
14	3	2	101.7	368.9	13	3	3	88.3	273.3
15	4	2	86.2	329.4	14	3	1	93.6	238.2
17	2	1	120.7	560.1	15	3	3	85.4	295.7
20	4	2	91.5	372.4	16	3	2	105.6	436.5
22	2	1	130.8	486.1	18	4	3	101.3	348.2
24	2	2	92.3	352.9	19	2	2	85.5	340.9
25	2	1	89.8	428.3	20	2	1	92.5	462.4
28	2	2	90.3	376.9	22	2	1	123.5	558.2
30	3	3	81.9	322.5	23	2	1	101.3	448.2
31	2	1	107.6	429.3	24	2	1	112.2	622.9
32	2	1	109.8	563.1	25	3	3	109.5	439.0
33	3	1	92.5	344.4	26	2	2	107.3	473.2
36	2	1	102.3	476.3	27	3	3	80.7	356.6
37	1	1	100.0	486.5	28	3	2	66.7	286.7
40	2	2	103.4	502.6	29	2	2	119.3	475.6
41	4	2	78.6	313.2	31	1	1	112.6	448.3
42	2	1	105.5	455.7	32	2	1	85.8	403.7
44	2	1	93.4	417.8	33	2	1	124.1	556.6
45	4	3	88.9	368.4	34	2	1	106.8	404.0
1級	1	14	静的ヤング率	曲げ強度	36	2	1	111.4	520.4
2級	15	10	100.8	416.2	37	2	1	137.9	554.0
3級	5	3	13.0	73.5	38	3	2	115.3	486.2
級外	6	0	78.6	313.2	39	4	3	92.6	522.0
			133.2	571.7	40	2	2	119.3	455.3
					41	3	1	110.8	466.3
					1級	1	15	静的ヤング率	曲げ強度
					2級	16	9	100.4	425.9
					3級	12	8	16.6	97.3
					級外	4	1	64.7	237.7
								137.9	622.9
					33	33			

## 第8章 スギ平角の曲げ試験

### 静岡県産スギ中目丸太を原料とし高温乾燥した平角の曲げ試験

静岡県林業技術センター

#### 1 試験の目的

スギ中目丸太の需要拡大の一つとして、それを平角に製材し在来軸組工法木造住宅の梁、桁として利用することが考えられる。現在、それに使用されている樹種は、大半が北米産のベイマツ平角でありスギ平角の比率は極めて低い状況にある。

一方、プレカット加工の普及やPL法の施行に伴い、今後、木造住宅の構造部材に性能保証が必要となる事が予想され、梁、桁として信頼性の高いスギ平角を”エンジニアリング・ウッド”として普及するためには、乾燥と強度の性能について保証する技術やそれらを効率良く製造するシステムが必要と思われる。しかし、スギ平角の適正な乾燥手法や乾燥が材質や強度に及ぼす影響等の基礎データは少ないのが現状である。

このため、本試験では、在来軸組工法における梁、桁としてスギ平角の利用を促進するため、スギ平角に適した人工乾燥スケジュールの模索と天然乾燥または人工乾燥した場合の含水率分布と材色変動に関する基礎データの収集を行うとともに、スギ中目丸太等から製材された平角の曲げ強度性能を明らかにする。また、その強度性能に応じたエンジニアリング・ウッド（建築構造部材）として活用するための基礎データを蓄積する。

本年度は、天然乾燥および高温スケジュールにより蒸気式人工乾燥したスギ平角について実大曲げ試験による性能評価を行う。

#### 2 試験研究方法

本試験におけるフローチャートを図-1に示す。

##### 2.1 供試したスギ中目丸太とその材質調査

スギ平角の原料は静岡県の佐久間町（試験地A：推定林齢50年）および春野町（試験地B：推定林齢40年と試験地C：推定林齢70年）の3つの林分より産出されたスギ中目丸太の1番玉各30～50本とした。試験地A

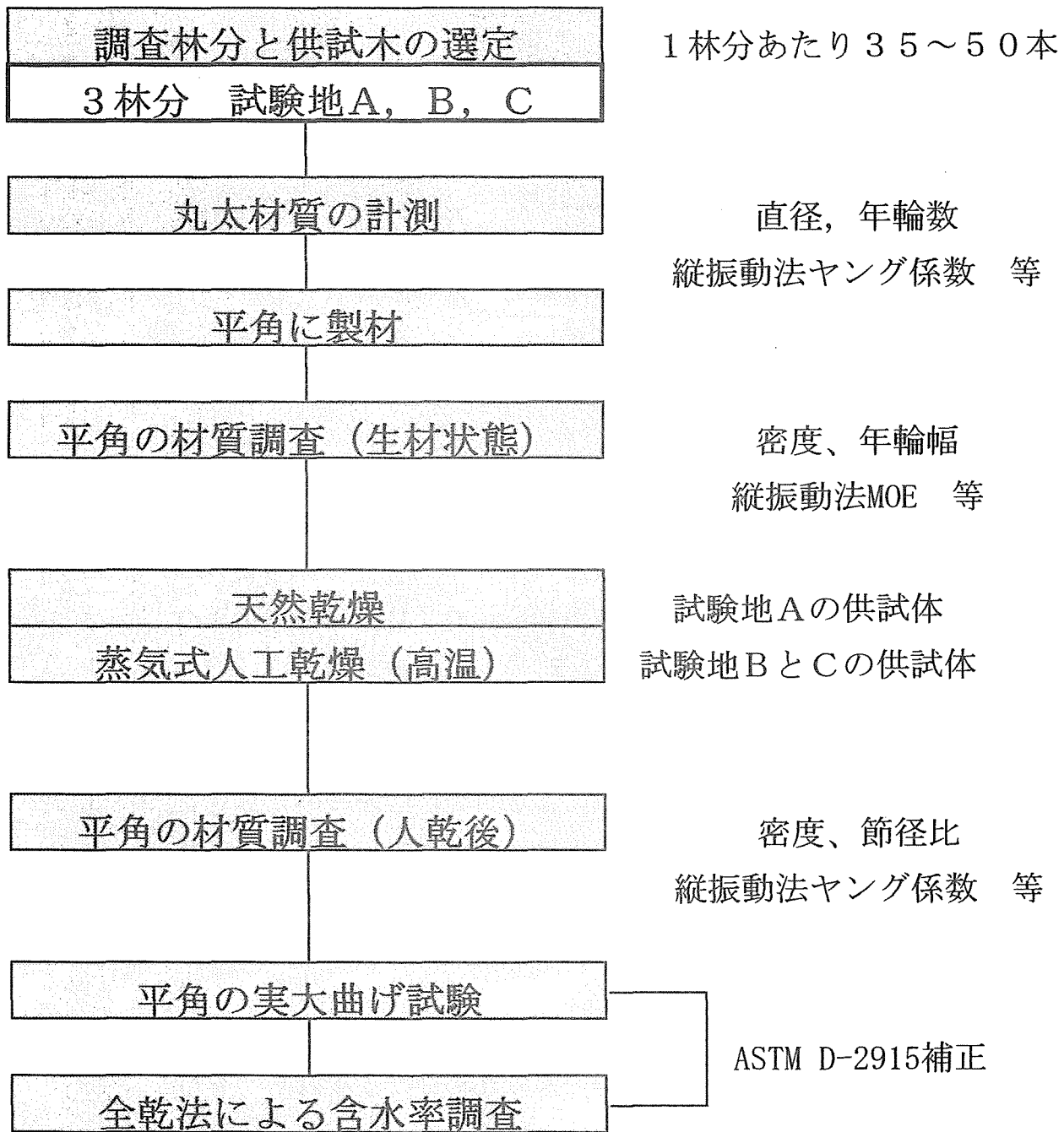


図-1 本試験のフローチャート

の供試丸太は、伐倒後3ヶ月間葉枯らし乾燥を行った後、試験地Bと試験地Cのそれは伐採後直ちに搬出した。製材工場の土場において、直径、年輪数、年輪幅およびタッピング法による動的ヤング係数(E<sub>fr</sub>)、等の材質調査を行った。

## 2. 2 平角の製材と材質調査

スギ丸太は、製材工場において、断面寸法が幅10.5cm、厚15cm～21cm、長さ3.8mまたは4mの平角に製材した。製材した段階で、腐れ等著しい欠点が認められた平角は試験体から除いた。

平角は、表-1に示した各種節径比、平均年輪幅、含水率計(モコ)による含水率、密度、心材率、FFTアナライザーを用いた縦振動法による動的ヤング係数の計測を行った。

## 2. 3 平角の人工乾燥と乾燥後におけるワレや材色の調査

天然乾燥は、試験地A(林齢50年)の平角について行い、当センター構内の軒下に積み上げて約6ヶ月間自然放置した。

人工乾燥は試験地B(林齢40年)と試験地C(林齢70年)の平角について行った。試験体の心材は、試験地Bの大半が黒心材であったが、試験地Cのそれは大半が赤心材であった。人工乾燥は、試験地Bと試験地Cを別々に行い、仕上がり目標含水率を20%とした。乾燥スケジュールは、初期の乾球温度85℃、乾湿球温度差5℃の高温域によるものとし段階的に温度を高め温湿度差を広げた。また、開始時に乾燥割れを抑えるため初期蒸煮(乾球温度、湿球温度ともに85℃)を行った。人工乾燥は愛知県林業センターの蒸気式乾燥機を用いた。また、各タイプともに1体を含水率計測用のモニター材とした。

人工乾燥が終了後、速やかに曲がりや割れをコンベックス等を用いて調査した。平角の含水率は木口から10cm内側の部分を切り出しそれらを9分割した試片を用いて全乾法にて測定した。

材色は、含水率計測用の試片の木口面(表面と内部)と板目面について測色色差計を用いて3刺激値XYZを測定しJIS Z 8722によりL<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup>表色系に変換した。



表-1 材質調査や曲げ試験における測定項目

大項目	項目	単位	説明
製材品	含水率	%	全乾法による含水率
	気乾密度	g/cm <sup>3</sup>	気乾状態 (MC=15%) における密度
	平均年輪幅	mm	1 木口面における完全年輪部分の平均値
節径比 (狭い面の節)  (広い面の節)	nKDC	%	狭い面における荷重点間の最大単独節径比
	nKDL	%	狭い面における全区間の最大単独節径比
	nSKDC	%	狭い面における荷重点間の最大集中節径比
	nSKDL	%	狭い面における全区間の最大集中節径比
	wKDC-C	%	広い面の材幅中央部における荷重点間の最大単独節径比
	wKDC-E	%	広い面の材縁部における荷重点間の最大単独節径比
	wKDL-C	%	広い面の材幅中央部における全区間の最大単独節径比
	wKDL-E	%	広い面の材縁部における全区間の最大単独節径比
	wSKDC-C	%	広い面の材幅中央部における荷重点間の最大集中節径比
	wSKDC-E	%	広い面の材縁部における荷重点間の最大集中節径比
	wSKDL-C	%	広い面の材幅中央部における全区間の最大集中節径比
	wSKDL-E	%	広い面の材縁部における全区間の最大集中節径比
曲げ強度性能	E <sub>fr</sub>	GPa	縦振動法によるヤング係数
	E <sub>d</sub>	GPa	重錘法によるヤング係数
	E <sub>l</sub>	GPa	モーメント一定区間における曲げヤング係数
	E <sub>L</sub>	GPa	全スパンにおける曲げヤング係数
	σ <sub>bp</sub>	MPa	曲げ比例限度
	σ <sub>b</sub>	MPa	曲げ強さ(最大応力)
	δ <sub>bp</sub>	mm	曲げ比例限度たわみ
	δ <sub>b</sub>	mm	最大荷重時のたわみ
強度等級	グレードによって行われた等級区分		
	新JAS甲種構造材 2	針葉樹の構造用製材の日本農林規格による等級	
	新JAS乙種構造材	針葉樹の構造用製材の日本農林規格による等級	
	欠点調査表に基づいて行われた等級区分		
	新JAS甲種構造材 2	針葉樹の構造用製材の日本農林規格による等級	
	新JAS乙種構造材	針葉樹の構造用製材の日本農林規格による等級	

## 2. 4 スギ平角の実大曲げ試験

スギ平角の実大曲げ試験は、実大強度試験機（容量50tonf）を用いて、スパン360cm、3等分点4点荷重方式で行い、曲げヤング係数および曲げ強度等を調べた。

## 3 試験結果

### 3. 1 スギ中目丸太の材質

表-2にスギ中目丸太の材質調査結果を示す。また、図-2（上：供試したスギ中目丸太 試験地Aのデータ、下：同じく試験地Bと試験地Cのデータ）に縦振動法による動的ヤング係数の分布を示す。

元口年数の平均値は、試験地Aが47、試験地Aが37、試験地Aが71、であり、推定林齢と近い結果となった。供試した丸太の動的ヤング係数の平均値は、70.4～87.3 tonf/cm<sup>2</sup>であり、林齢が高くなるにつれて大きい値を示した。本試験に供試した丸太の動的ヤング係数は、これまでに当センターで蓄積された中目丸太の平均値89 tonf/cm<sup>2</sup>と比べるとやや小さかった。

密度（みかけの）は試験地Bの丸太は葉枯らし乾燥を行っているため、他の試験地のそれに比べて小さくなっている。

### 3. 2 製材後におけるスギ平角の材質

表-3に製材後におけるスギ平角生材の材質を、図-3に動的ヤング係数の分布を示す。平角の動的ヤング係数の平均値等は丸太のそれと比較すると、試験地Bではほぼ近似しているが、試験地Aと試験地Cでは小さくなっている。試験地別に平角の動的ヤング係数の順位をみると、試験地Aと試験地Bが丸太のそれと逆転した。これは丸太を平角に製材する際、試験地Aと試験地Cでは辺材部から役物の板材が採材したためと考えられる。

図-4に丸太およびとそれを平角に製材した直後の動的ヤング係数の関係を示す。両者間には、昨年度の試験結果と同様に比較的高い相関関係が認められた。

### 3. 3 人工乾燥における含水率と材色

表-4に人工乾燥のスケジュールと各スケジュール段階で要した時間を示

す。表中の試験B、試験Cは試験地Bおよび試験地Cの供試体を乾燥した結果である。乾燥に要した全体の時間は、試験Bでは25.2日、試験Cでは18.5日であった。両者間の人工乾燥に要した日数の違いは、試験Bの試験体は大半が黒心材であったことと、試験Bの結果より乾燥終了後の余熱による養生で乾燥が進行するため乾燥機の運転を早めに終了したためである。既存のデータによれば、スギ平角の蒸気式乾燥による乾燥日数は概ね30～40日程度要することが報告されているが、今回高温域で乾燥することにより乾燥日数を大きく減少する結果となった。また、昨年度実施したように、伐採後の葉枯らし乾燥等を併用することにより人工乾燥に要する日数はより減少すると思われ、今後、スギ材の乾燥の低コスト化を図るためにも、このような乾燥手法の検討が必要と考えられる。

モニター材のデータによれば、初期における乾燥速度（含水率の減少）は試験Aが試験Bに比べて遅かったが、後期では逆転する結果となった。

図-5に全乾法によるスギ平角の含水率分布を示す。含水率の平均値は、試験Bでは全体で9%、心材部で12%となり、目標含水率を下回りほとんどが目標値に対して過乾燥の状態となった。一方試験Cでは、3/4が目標含水率以下であったが、残りは20%以上で特に心材部の乾燥が不十分であった。これらの結果から、仕上りの目標含水率に対する個体やロットのバラッキ等を減少することは今後の課題と思われ、乾燥前の含水率や重量による区分等の手法が必要と考えられる。

天然乾燥した試験地Aの含水率は、含水率計による平均値で20%であったが、現在のところ全乾法による調査を行っておらず、心材部等では含水率が高い状態にあることが予想された。

乾燥により材面等に発生した割れは微かであり蒸煮の効果と思われたが、曲がりやねじれ等の狂いはJAS基準値を上回るものが数体みられた。

表-5に乾燥後の材色を示す。高温乾燥した材色は、辺材心材ともに昨年度に測定した天然乾燥した材色や文献値と比較すると、明度指数L※、クロマティックネス指数a※b※ともに明確な差異が認められ、表面、内部ともに黒茶褐色化する傾向が認められた。

### 3. 4 曲げ試験結果

曲げ試験に供試したスギ平角全試験体の結果を付表1～3に示した。

図-6に天然乾燥した試験地Aの、図-7、図-8に人工乾燥した試験地

表-2 供試したスギ丸太の材質

丸太 産地		直径		長さ (cm)	年輪数		平均年輪幅		密度 (g/cm <sup>3</sup> )
		元口 (cm)	末口 (cm)		元口	末口	元口 (cm)	末口 (cm)	
A	平均	32.6	26.1	410.3	47	37	0.36	0.50	0.58
	標準偏差	3.9	2.0	19.1	11	9	0.08	0.00	0.11
	変動係数	12	8	5	23	23	23	0	19
	最大	41.2	31.1	452.1	82	56	0.51	0.50	0.84
	最小	26.5	22.6	382.1	30	23	0.20	0.50	0.42
B	平均	30.9	24.1	434.2	37	33	0.41	0.37	0.94
	標準偏差	5.1	4.7	14.9	2	2	0.07	0.07	0.09
	変動係数	17	20	3	6	7	17	19	9
	最大	42.0	35.3	472.0	42	39	0.55	0.53	1.08
	最小	21.5	16.0	401.5	30	26	0.30	0.27	0.69
C	平均	27.5	22.9	433.5	71	64	0.20	0.18	0.78
	標準偏差	4.4	4.1	16.1	5	5	0.03	0.03	0.12
	変動係数	16	18	4	7	8	14	15	15
	最大	38.0	35.8	465.0	77	73	0.25	0.27	1.04
	最小	21.0	17.1	399.5	54	49	0.14	0.14	0.53

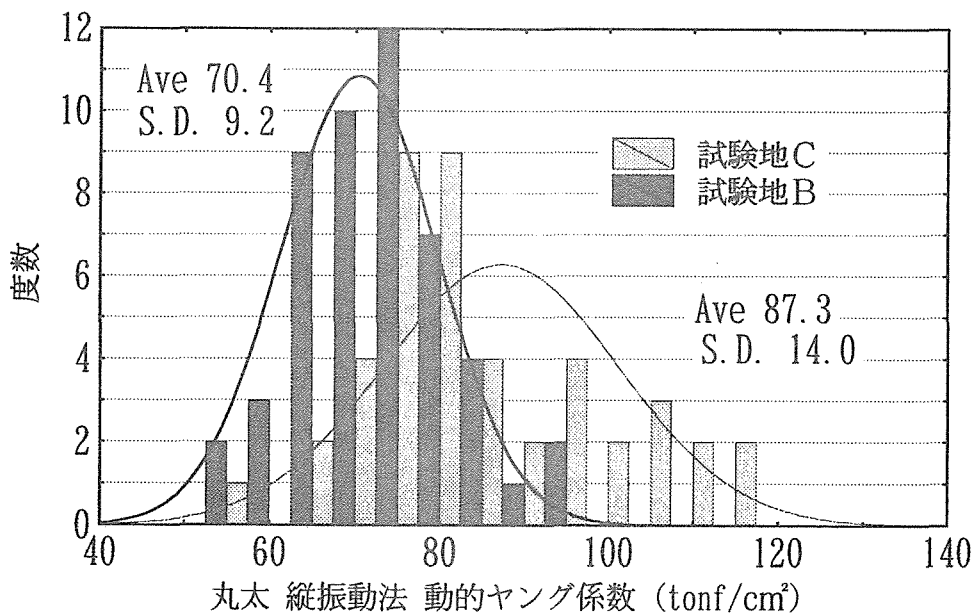
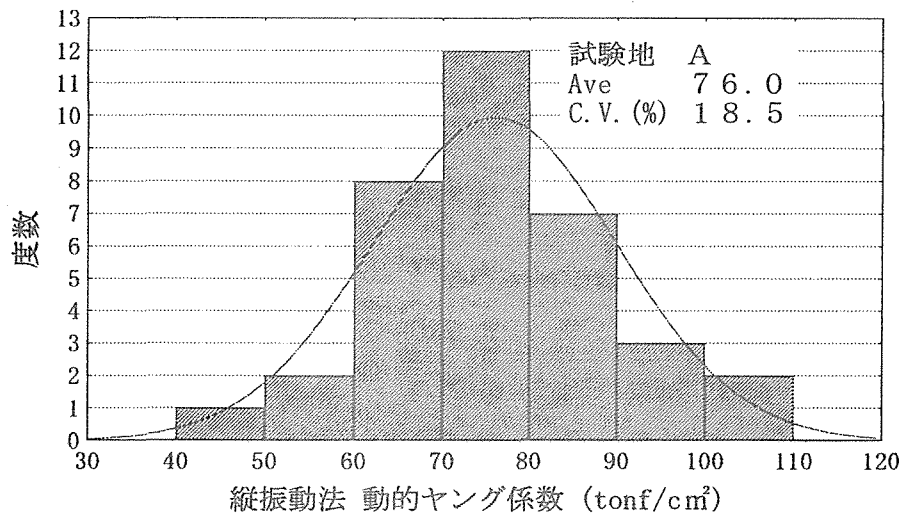


図-2 スギ丸太縦振動法動的ヤング係数の度数分布

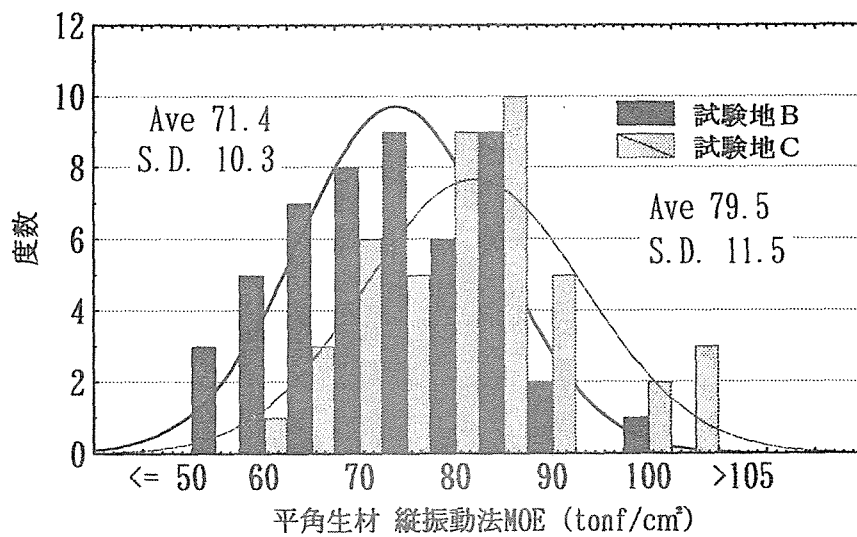
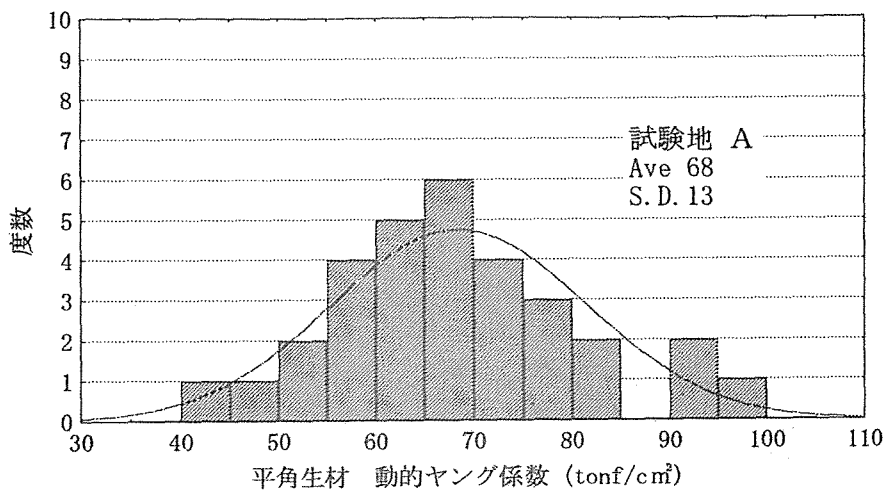


図-3 平角生材動的ヤング係数の度数分布

表-3 スギ平角の製材後における材質

	幅 (cm)	厚 (cm)	長 (cm)	含水率 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	年輪幅 (mm)	節径比 (%) ※			
							最大節径比		集中節径比	
							1	2	1	2
試験地 A										
Average	10.7	19.7	407	45	0.55	5.1	10	11	15	3
C. V. (%)	1.1	0.8	4	37	18.97	28	55	108	60	237
試験地 B										
Average	11.7	16.9	409	195	0.89	5.6	12	14	23	9
C. V. (%)	0.8	0.8	0	16	11	30	36	54	45	150
試験地 C										
Average	11	17.2	409	93	0.67	3.6	15	6	15	2
C. V. (%)	7	2.7	1	27	13	28	52	142	120	460

最大節径比 1 : 広い面の材幅中央部における全区間の最大単独節径比  
 最大節径比 2 : 広い面の材縁部における全区間の最大単独節径比  
 集中節径比 1 : 広い面の材幅中央部における全区間の最大集中節径比  
 集中節径比 2 : 広い面の材縁部における全区間の最大集中節径比

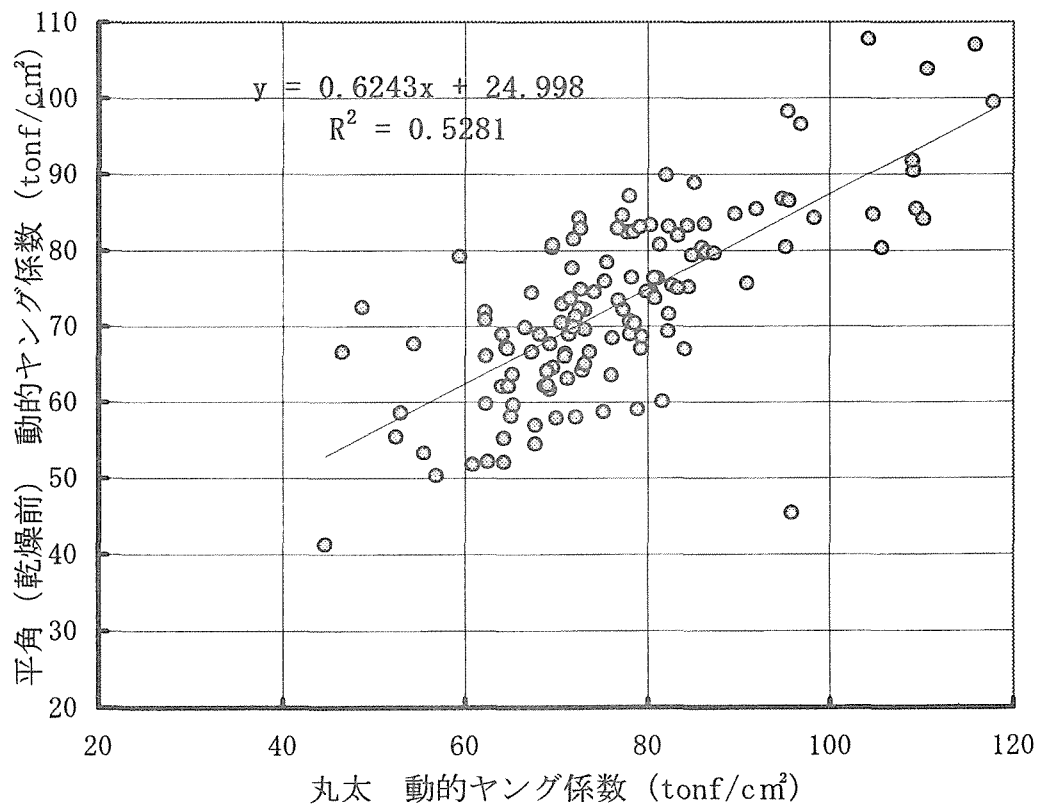
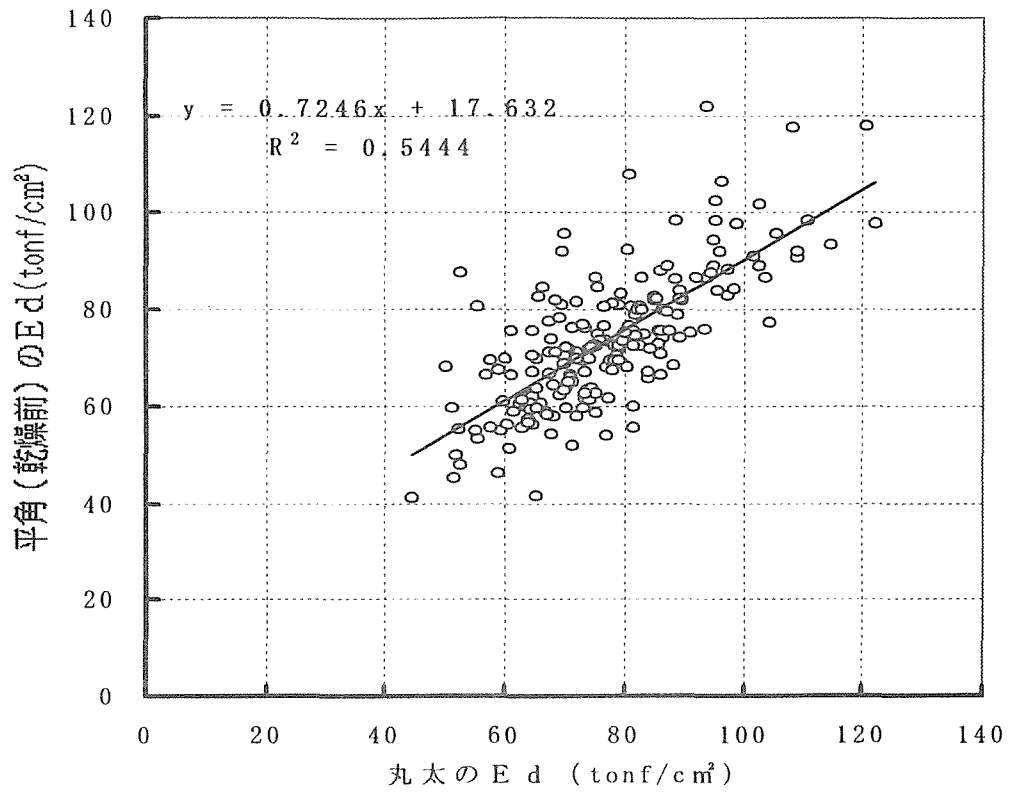


図-4 スギ中目丸太と製材直後の平角の動的ヤング係数の関係  
 上が昨年度の結果、下が本年度の結果

表-4 人工乾燥のスケジュール

含水率範囲 (%)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	試験B	試験C
			所用時間 (hr)	
初期蒸煮	85.0	85.0	24.0	34.0
70~65	85.0	80.0	204.0	50.0
65~60	86.0	80.5	43.0	26.0
60~55	87.0	80.8	54.0	55.0
55~50	88.0	80.9	43.0	38.0
50~45	89.0	80.5	36.0	35.0
45~40	90.0	80.4	27.0	52.0
40~35	91.0	80.0	30.0	48.0
35~30	92.0	79.7	42.5	50.0
30~25	93.0	79.0	44.5	55.0
25~20	94.0	77.0	57.0	
乾燥時間合計 (hr)			605.0	443.0
(日)			25.2	18.5

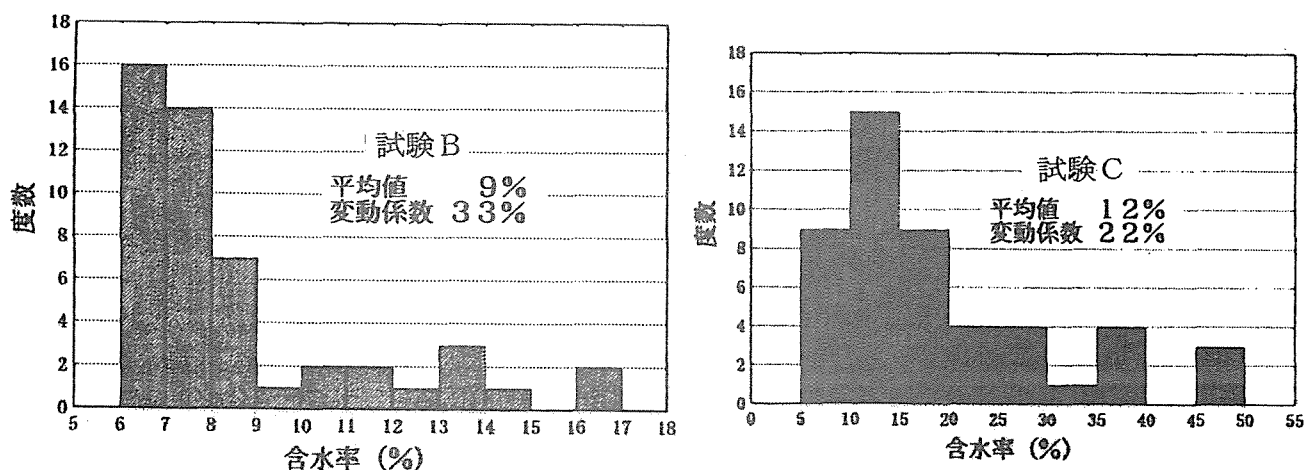


図-5 スギ平角の人工乾燥後における含水率分布 (全乾法)

表-5 高温乾燥後のスギ平角の材色

		材面			木口面 (表層)			木口面 (内部)		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
試験B	辺材	53.5	22.2	31.6	47.4	22.1	27.5	50.6	22.5	23.6
	心材	60.3	23.0	32.6	43.9	23.1	29.3	48.4	21.2	29.5
試験C	辺材	65.4	15.1	32.8	48.1	20.8	27.4	55.6	18.7	27.4
	心材	68.5	14.7	32.9	41.1	22.5	26.2	51.4	20.0	27.4

BおよびCの実大曲げ試験による、スギ平角の曲げヤング係数（以下、「MOE」）と曲げ強度（以下「MOR」）の度数分布とそれに正規分布の確率密度曲線の当てはめを行った結果を示す。前章で記したように、曲げ試験時における含水率のバラツキがあったため、各図中にはASTM D-2915により含水率（試験地Aは含水率計による値、試験地BとCは全乾法による値）による強度補正を行った結果も併せて示した。

天然乾燥した平角（試験地A）のMOE平均値は73 tonf/cm<sup>2</sup>、同じくMORの平均値は377 kgf/cm<sup>2</sup>であった。

人工乾燥した平角のMOE平均値（ASTM D-2915による補正值）は、試験地BおよびCともに木質構造計算規準・同解説（日本建築学会編）における上級構造材の基準値80 tonf/cm<sup>2</sup>とほぼ同等もしくは上回る結果となった。

MORの平均値は、試験地Bが355 kgf/cm<sup>2</sup>、試験地Cが427 kgf/cm<sup>2</sup>であった。MORの分布に対する確率密度曲線の当てはめは、図-9に示すように、正規分布に比べて3パラメータワイブル分布の適合性が良い結果となった。表-6に正規分布、3パラメータワイブル分布およびノンパラメトリックによる5%下限値および75%許容限界値を示す。3パラメータワイブル分布による5%下限値は試験地Bが218 kgf/cm<sup>2</sup>、試験地Cが270 kgf/cm<sup>2</sup>となった。それらはスギ上級構造材および普通構造材の材料強度（長期許容応力度の3倍）285、225 kgf/cm<sup>2</sup>と比較すると、試験地Cが上級構造材の材料強度と、試験地Bが普通構造材のそれとほぼ同等な値となる。

図-10に曲げ試験を行った全試験体のMORと主な節径比、ヤング係数、構造用製材のJAS等級（目視等級区分、機械等級区分）との関係を示す。

MORと各節径比の相関は、ヤング係数とのそれに比べて低い結果となった（付表-4参照）。このため、MORの平均値や下限値は、JASの機械等級区分によれば等級が上位になるにつれて大きくなるが、視覚等級区分では両者の関係が明確ではなかった。

図-11に人工乾燥した試験地Bと試験地CのMOEとMORとの関係を示す。図中に構造用製材の日本農林規格に示されるヤング係数による機械等級区分ラインを示すが、林齢が40年（試験地B）の1番玉からはE70、E90、林齢70年（試験地C）の1番玉からはE90、E110の等級を中心としたスギ平角製品の製造ができる可能性が得られた。



#### 4 まとめ

3つの林分（林齢40年～70年）から採材したスギ平角における試験結果の概要を記す。

(1) 丸太およびそれを平角に製材した直後の動的ヤング係数には、比較的高い相関関係が認められ、両者の平均値や変動係数が近似する結果となった。

(2) スギ平角の高温スケジュールによる蒸気式人工乾燥に要した全体の時間は、試験Bでは25.2日、試験Cでは18.5日であり、高温域で乾燥することにより乾燥日数が常温スケジュールに比べ減少する結果となった。

(3) 人工乾燥後における全乾法による含水率の平均値は、試験Bで全体平均9%、心材部12%となり、目標含水率を下回ったが過乾燥の状態となった。一方試験Cでは、3/4が目標含水率以下であったが、残りは20%以上で特に心材部の乾燥が不十分であった。

(4) 乾燥後の材色をL<sup>\*</sup>a<sup>\*</sup>b<sup>\*</sup>表色系で評価した結果、明度指数L<sup>\*</sup>、クロマティックネス指数a<sup>\*</sup>、b<sup>\*</sup>ともに、乾燥条件が厳しくなるにつれて低下する（黒茶色系統になる）傾向が顕著であった。

(5) 乾燥後における割れと曲がりとは、人工乾燥では初期蒸煮を行ったため標準や高温スケジュールでは天然乾燥のものより割れの発生が少なかった。曲がり等は人工乾燥でやや多く発生しJAS基準値を上回るものがみられた。

(6) 天然乾燥した平角（試験地A）のMOE平均値は73 tonf/cm<sup>2</sup>、同じくMORの平均値は377 kgf/cm<sup>2</sup>であった。

(7) 人工乾燥した平角のMOE平均値（ASTM D-2915による補正值）は、試験地BおよびCともに木質構造計算規準・同解説（日本建築学会編）における上級構造材の基準値80 tonf/cm<sup>2</sup>とほぼ同等もしくは上回る結果となった。MORの平均値は、試験地Bが355 kgf/cm<sup>2</sup>、試験地Cが427 kgf/cm<sup>2</sup>であった。

(8) MORと各節径比の相関は、ヤング係数とのそれに比べて低い結果となった（付表-4参照）。このため、MORの平均値や下限値は、JASの機械等級区分によれば等級が上位になるにつれて大きくなるが、視覚等級区分では両者の関係が明確ではなかった。

(9) 林齢40年（試験地B）の1番玉LからはE70、E90が、林齢70年（試験地C）の1番玉からはE90、E110の等級を中心とした平角製品が製造できる可能性が得られた。

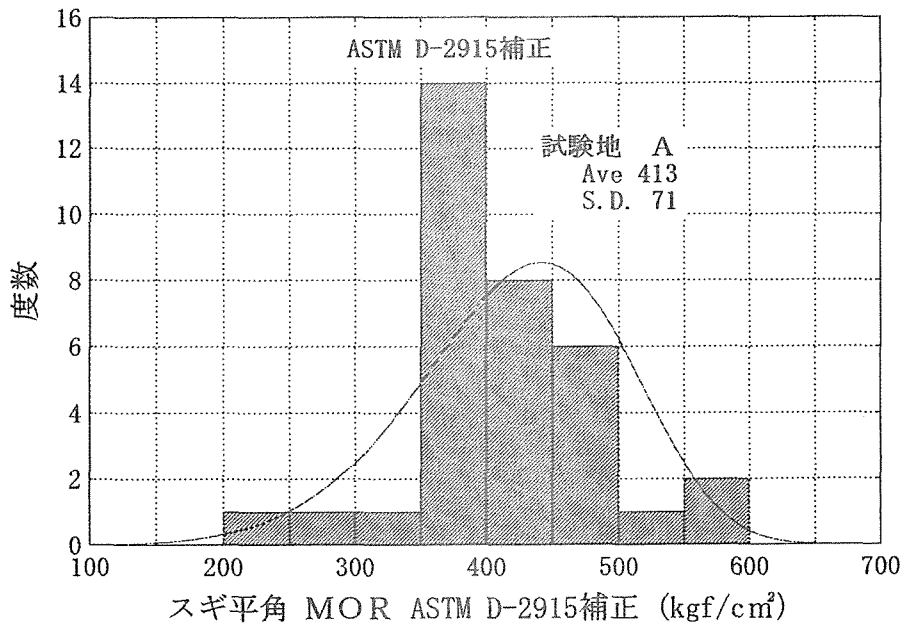
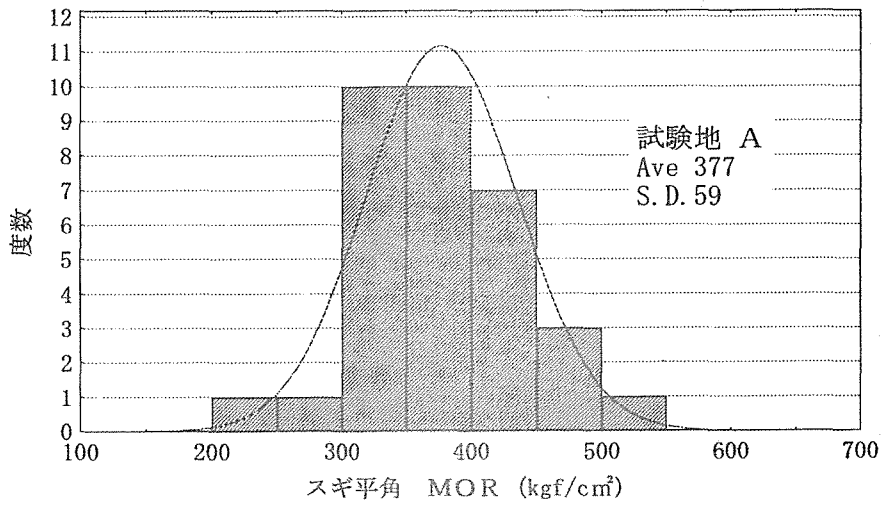
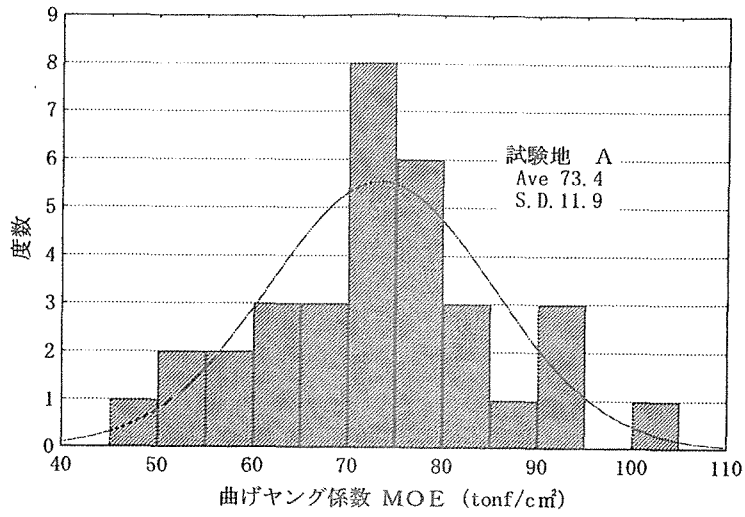


図-6 スギ平角 天然乾燥後のMOEとMORの分布

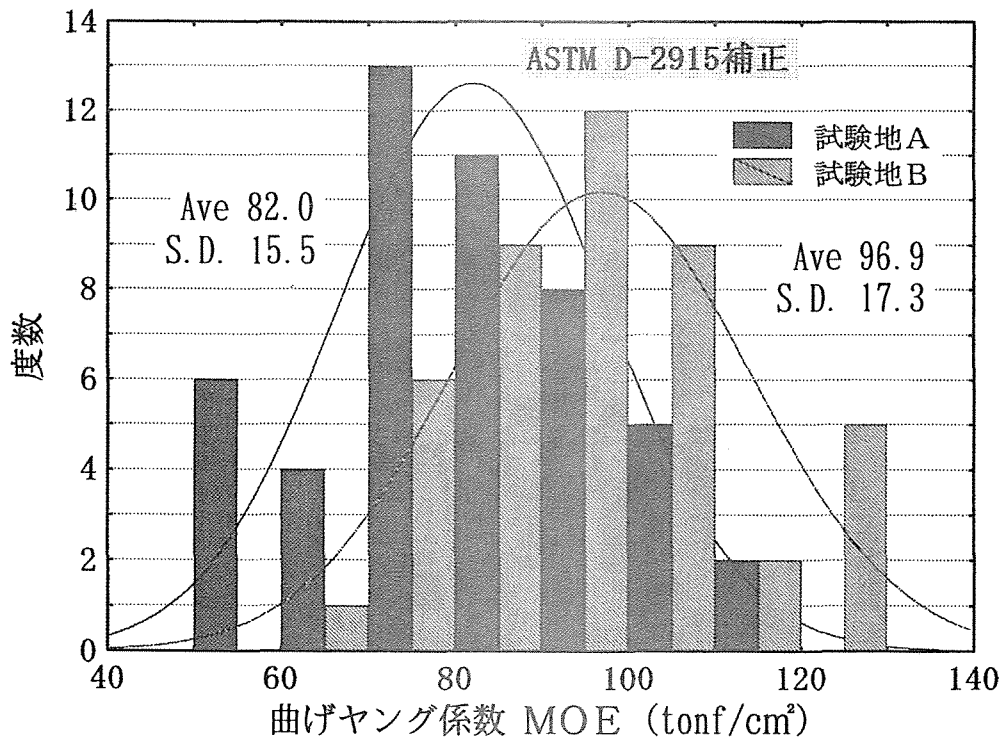
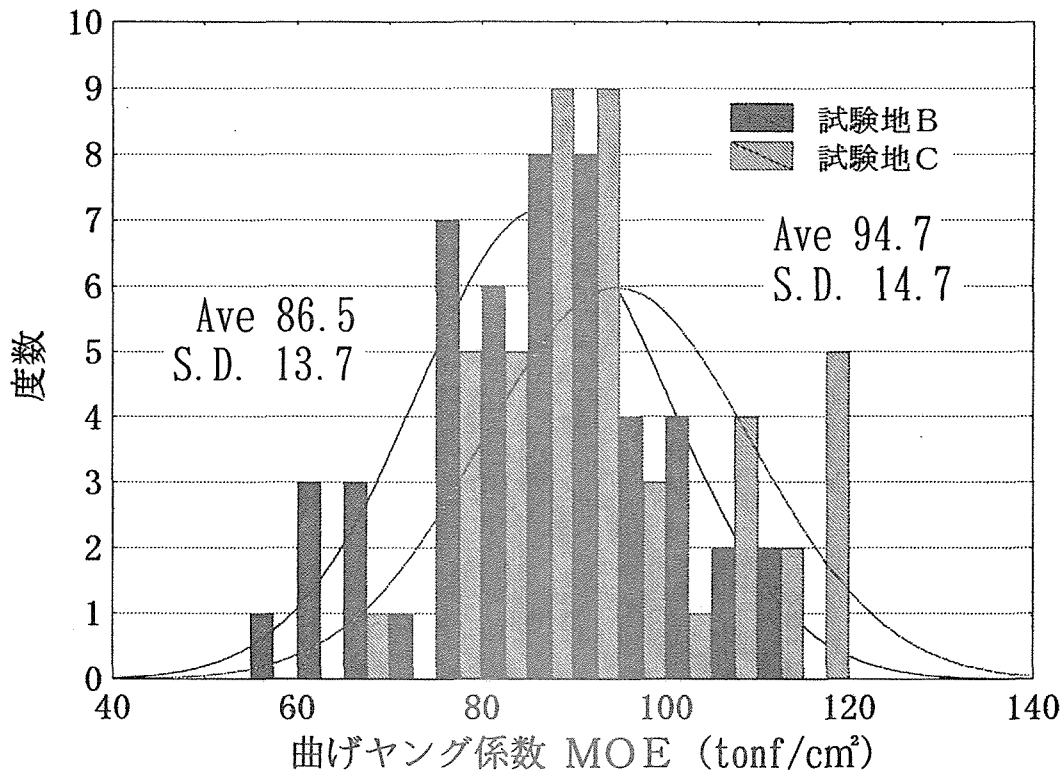


図-7 スギ平角 人工乾燥後のMOE度数分布

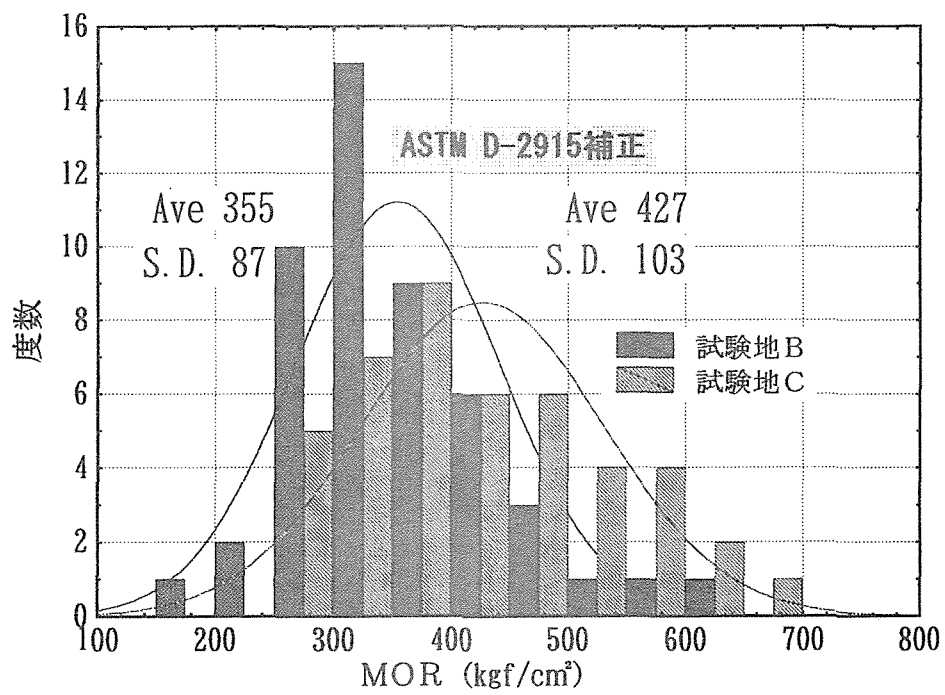
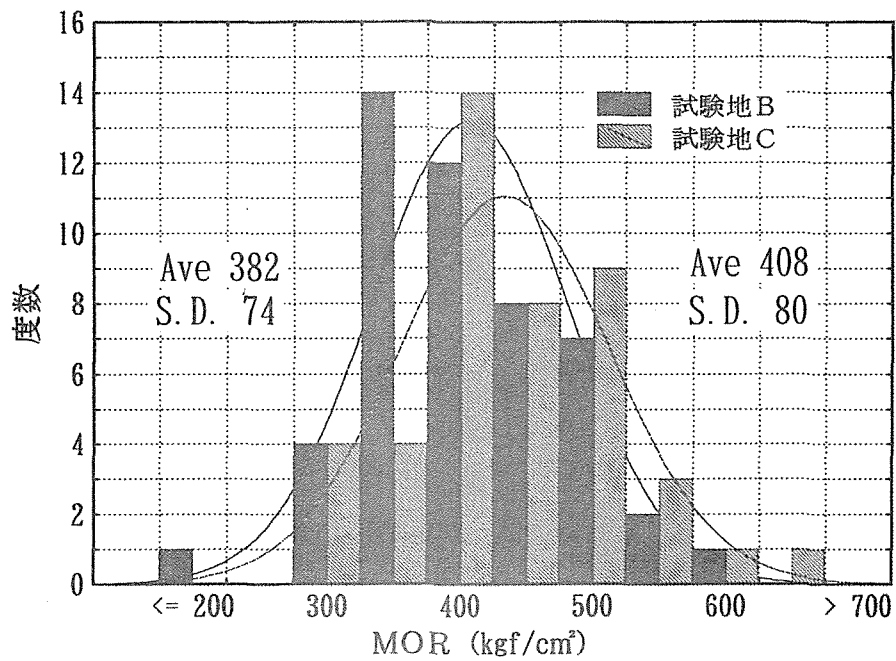


図-8 スギ平角 人工乾燥後のMOR度数分布

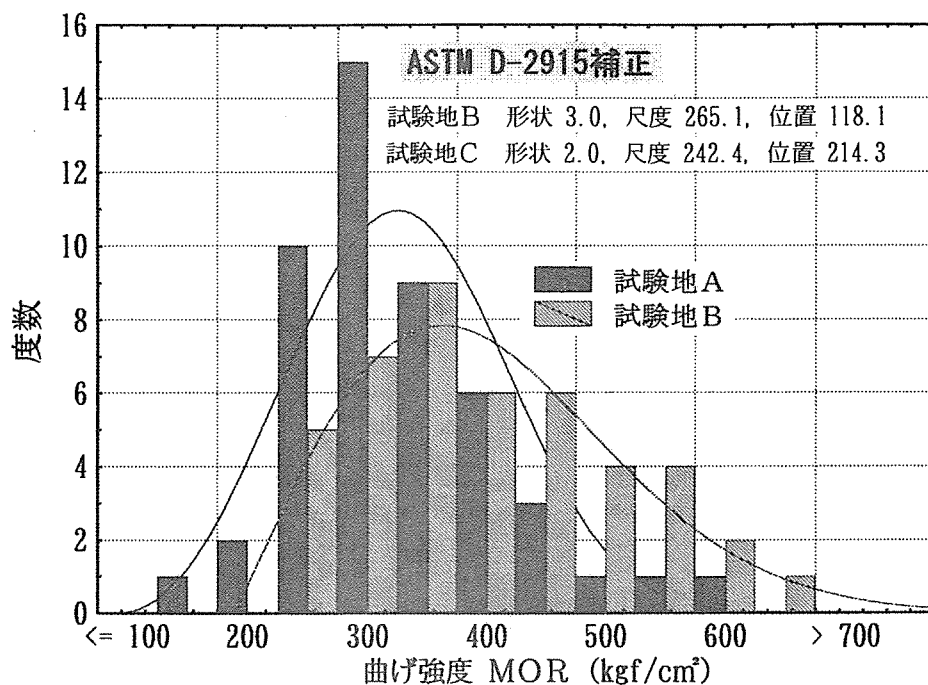


図-9 スギ平角 人工乾燥後のMOR度数分布  
確率密度曲線は3Pワイブル分布

表-6 スギ平角 乾燥後におけるMORの統計的下限值

	5%下限値(kgf/cm <sup>2</sup> )			75%許容限界値(kgf/cm <sup>2</sup> )		
	試験地A	試験地B	試験地C	試験地A	試験地B	試験地C
	天然乾燥	蒸気式高温乾燥		天然乾燥	蒸気式高温乾燥	
正規分布	(294)	208	253	(283)	196	238
3P-ワイブル分布	(272)	218	270	(258)	208	262
ノンパラメトリック	(276)	241	269	(234)	223	268

ASTM D-2915 の含水率による強度性能補正によるデータ

試験地Aは高周波式含水率計による含水率、試験地BとCは全乾法による含水率による

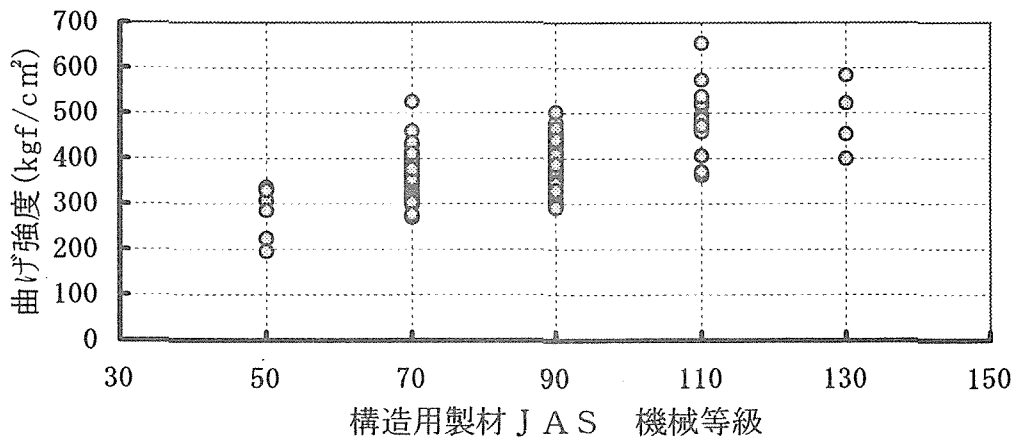
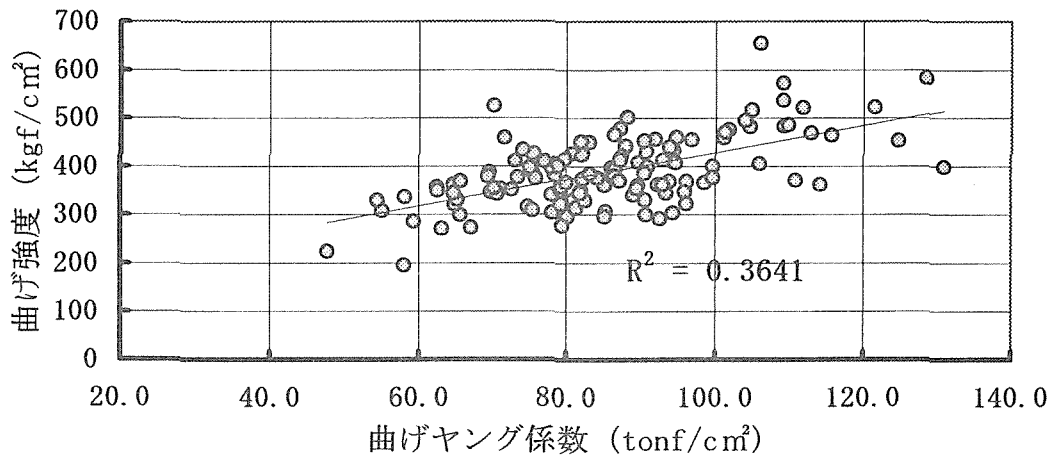
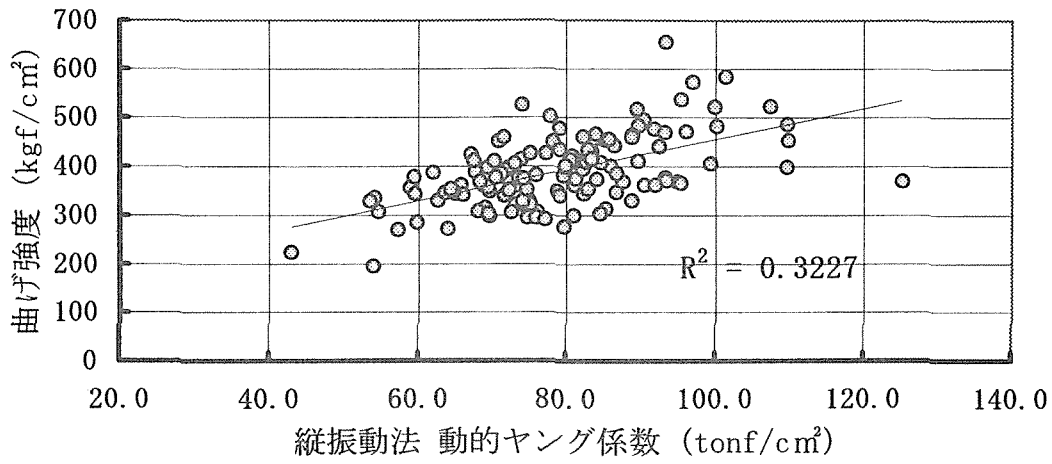


図-10 曲げ強度とヤング係数、JAS機械等級との関係

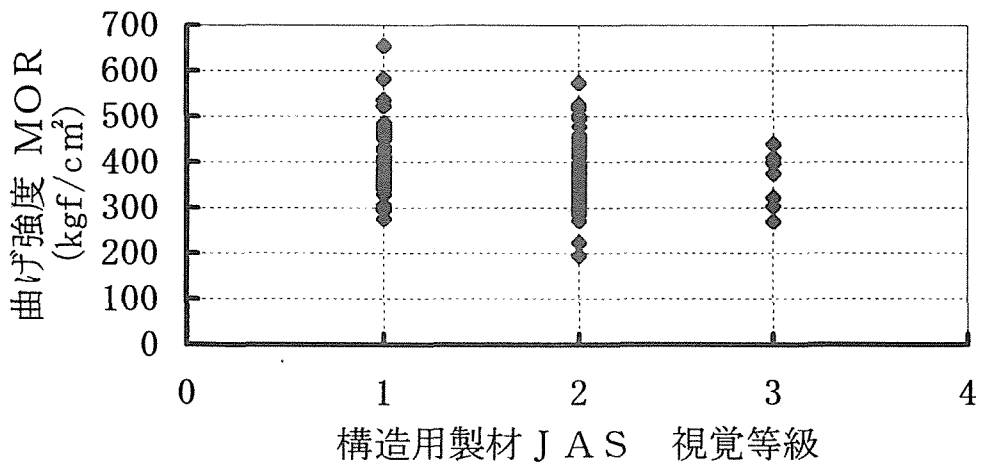
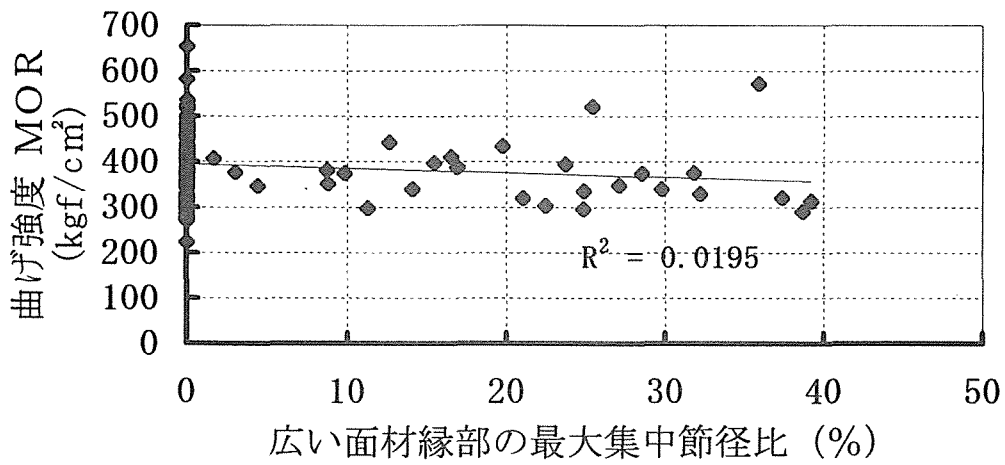
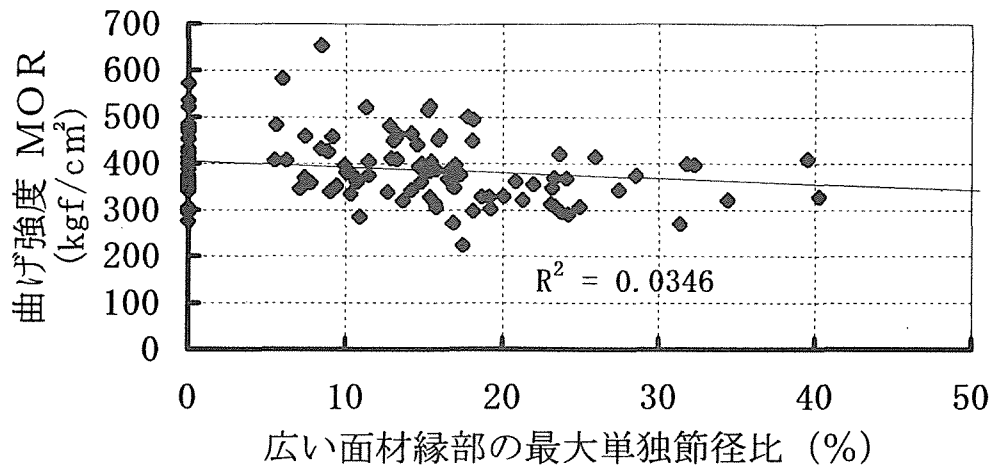


図-10 曲げ強度と節径比、JAS視覚等級との関係

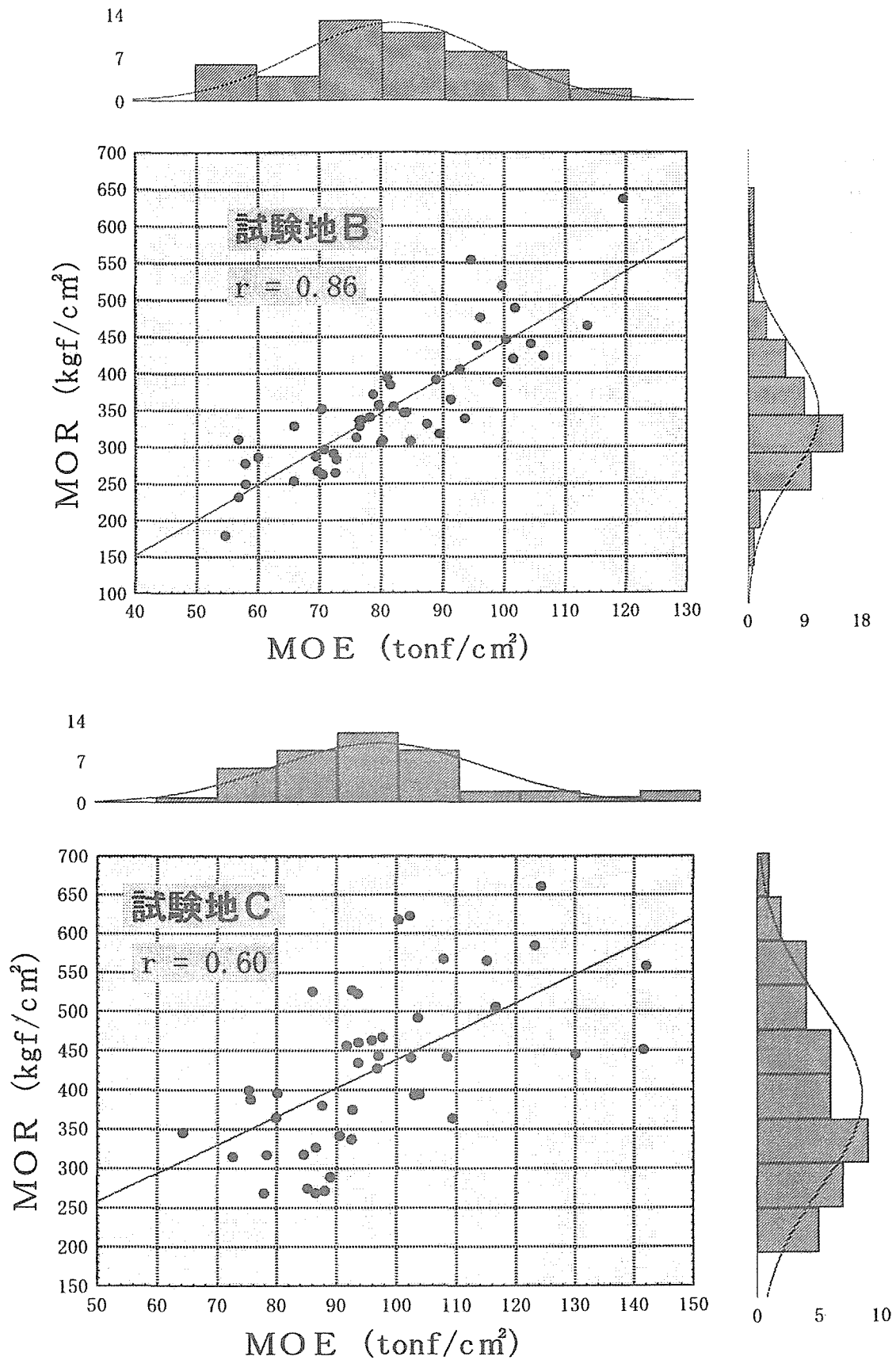
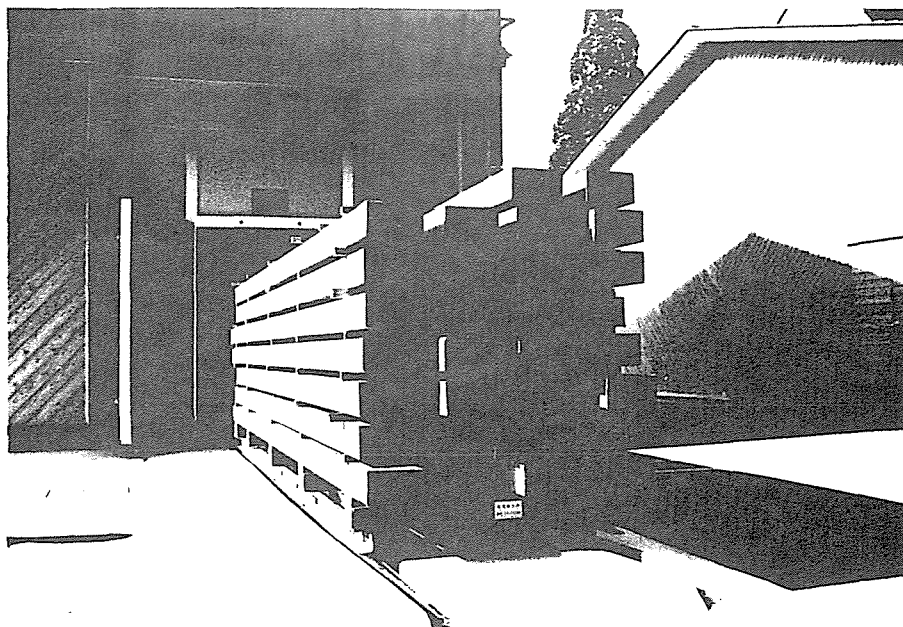


図-11 スギ平角 人工乾燥後 MOEとMORとの関係  
ASTM D-2915補正したデータによる

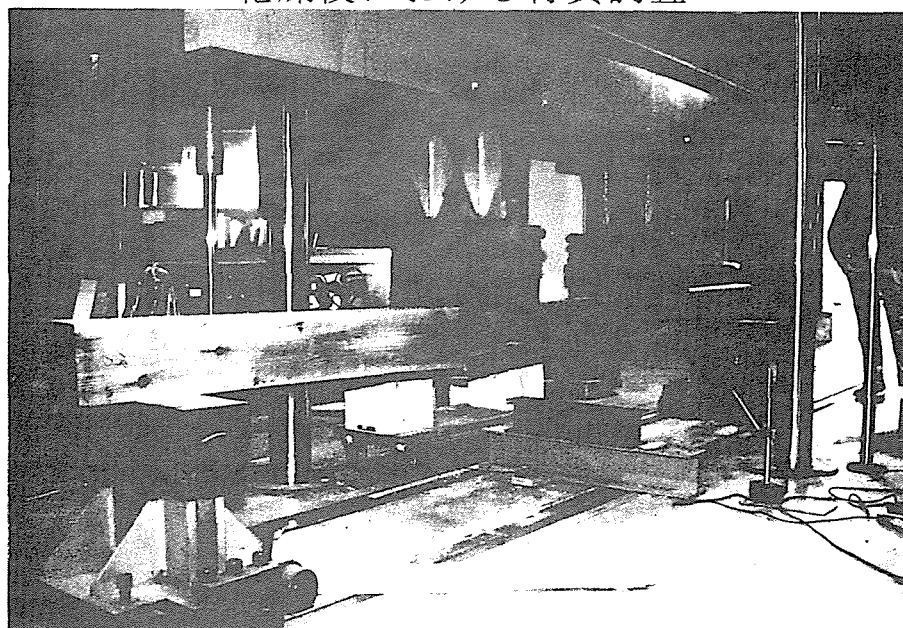




高温スケジュールで人工乾燥した後のスギ平角



乾燥後における材質調査



スギ平角の実大曲げ試験







附表-4 相關係數表

	mor	SG	ARW	MC	EF+LOG	EF+B	EF+A	EL	EI	σ bp	nKDC	nKDL	nSKDC	nSKDL	wKDC-C	wKDC-E	wKDL-C	wKDL-E	wSKDC-C	wSKDC-E	wSKDL-C	wSKDL-E	
mor	1.000																						
SG	0.240	1.000																					
ARW	-0.268	-0.195	1.000																				
MC	-0.016	0.036	-0.193	1.000																			
EF+LOG	0.465	0.120	-0.313	0.161	1.000																		
EF+B	0.523	0.437	-0.290	0.173	0.727	1.000																	
EF+A	0.568	0.513	-0.283	0.015	0.655	0.876	1.000																
EL	0.603	0.501	-0.287	-0.090	0.662	0.812	0.873	1.000															
EI	0.624	0.506	-0.287	-0.082	0.642	0.814	0.863	0.950	1.000														
σ bp	0.523	0.215	-0.205	-0.095	0.383	0.399	0.492	0.554	0.445	1.000													
nKDC	-0.217	-0.042	0.029	-0.298	-0.168	-0.198	-0.177	-0.154	-0.228	0.059	1.000												
nKDL	-0.247	-0.001	0.027	-0.289	-0.211	-0.255	-0.150	-0.139	-0.229	0.059	0.812	1.000											
nSKDC	-0.150	0.188	0.007	-0.195	-0.073	-0.007	0.042	0.056	0.015	0.031	0.276	0.382	1.000										
nSKDL	-0.194	0.120	0.036	-0.291	-0.190	-0.165	-0.088	-0.054	-0.066	-0.052	0.384	0.504	0.798	1.000									
wKDC-C	-0.192	0.012	-0.008	-0.101	-0.121	-0.148	-0.161	-0.115	-0.139	-0.193	0.261	0.236	0.358	0.356	1.000								
wKDC-E	-0.124	-0.031	0.091	-0.183	-0.109	-0.145	-0.059	-0.131	-0.121	0.024	0.244	0.191	0.003	0.038	-0.122	1.000							
wKDL-C	-0.166	0.145	-0.033	-0.083	-0.188	-0.174	-0.112	-0.044	-0.138	-0.053	0.302	0.376	0.386	0.330	0.673	-0.079	1.000						
wKDL-E	-0.186	0.013	0.263	-0.299	-0.190	-0.226	-0.113	-0.174	-0.174	-0.025	0.231	0.312	0.199	0.270	-0.106	0.744	0.058	1.000					
wSKDC-C	-0.192	0.027	-0.042	-0.118	-0.128	-0.191	-0.123	-0.099	-0.137	-0.050	0.396	0.401	0.316	0.305	0.068	0.058	0.212	0.187	1.000				
wSKDC-E	-0.124	0.031	0.133	-0.123	-0.179	-0.197	-0.130	-0.121	-0.156	-0.022	0.010	0.200	0.259	0.214	0.153	0.014	0.238	0.165	0.061	1.000			
wSKDL-C	-0.273	0.106	-0.009	-0.295	-0.220	-0.213	-0.145	-0.084	-0.121	-0.074	0.460	0.475	0.439	0.515	0.283	0.210	0.332	0.336	0.657	0.144	1.000		
wSKDL-E	-0.140	0.107	0.230	-0.207	-0.161	-0.199	-0.103	-0.127	-0.148	-0.052	0.007	0.211	0.335	0.285	0.249	0.033	0.210	0.153	0.046	0.770	0.196	1.000	

## 第9章 ヒノキ正角材の曲げ試験

三重県林業技術センター

### 1. 目的

我が国の木材分野が、現在世界的に移行しつつある限界状態設計法に遅れることなく対応していくためには、製材品実大レベルでの強度データを大量に蓄積しておくことが必要である。

本試験では、限界状態設計法への対応に向けた製材品強度データの蓄積ということを踏まえ、ヒノキ正角材の実大強度試験を実施し、その強度性能について検討した。また、非破壊的手法によるヒノキ正角材の強度推定の可能性について検討を行った。

### 2. 試験方法

#### 2.1 供試丸太

供試丸太は、県内のM地域産ヒノキ 52 本とS地域産ヒノキ 50 本を用いた。各供試丸太の材長、末口径、元口径、密度を測定し、その結果を表-1に示した。密度は、重量をリ-ケ式で算出した材積で除して求めた。

表-1 供試丸太の測定結果

M産 (n=52)	末口径 (cm)	元口径 (cm)	材長 (cm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
平均値	19.2	21.7	306.4	0.58
変動係数	6.3	7.0	0.8	8.7
最小値	17.1	19.0	302.5	0.51
最大値	21.9	25.0	311.5	0.68
S産 (n=50)	末口径 (cm)	元口径 (cm)	材長 (cm)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
平均値	19.7	22.7	304.6	0.65
変動係数	7.6	6.8	0.4	9.1
最小値	16.5	19.2	301.3	0.51
最大値	22.8	25.7	307.5	0.80

#### 2.2 供試丸太のタッピング法による動的ヤング係数の測定

供試丸太の木口打撃音をFFTアナライザー（小野測器製）で周波数解析し、材固有の基本振動周波数を測定した。動的ヤング係数は、次式を用いて求めた。

$$Efr = (2lf)^2 \rho / g / 10^6$$

ここに、Efr は動的ヤング係数 (tf/cm<sup>2</sup>)、l は材長 (cm)、f は基本振動周波数 (Hz)、ρ は密度 (g/cm<sup>3</sup>)、g は重力加速度 (cm/s<sup>2</sup>) である。

### 2.3 製材と乾燥

供試丸太から 11cm 角 × 3 m 長の無背割り正角材を製材し、蒸気式により人工乾燥を行った。

### 2.4 正角材の材面調査と強度等級区分

正角材の材面調査は、平均年輪幅と節径比の測定を行った。節径比の測定は、「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」に準拠して、材幅中央部(材幅の 1/2)と材縁部(材幅の 1/4)、および荷重点間と全区間で区分し、それぞれ最大単独節径比と最大集中節径比を求めた。また、甲種構造材構造用Ⅱと乙種構造材について、これら節径比による目視等級区分を行った。

### 2.5 実大材強度試験

#### 2.5.1 正角材のタッピング法による動的ヤング係数の測定

供試丸太と同様、FFTアナライザー(小野測器製)で正角材の基本振動周波数を測定し、同式を用いて動的ヤング係数を求めた。

#### 2.5.2 曲げ強度試験

曲げ強度試験は、スパン 270cm、ロードスパン 90cm の 3 等分点 4 点荷重方式で、荷重速度 15mm / 分で行った。強度試験機は、最大容量 10tf のロードセルを備えた万能試験機(インストロン社製)を用いた。全区間における曲げヤング係数、モーメント一定区間における曲げヤング係数、曲げ強度を次式により算出した。

$$EL = \triangle P a (3L^2 - 4a^2) / (4bh^3 \triangle y) / 10^3$$

$$EI = 3 \triangle P a \ell^2 / (4bh^3 \triangle y) / 10^3$$

$$MOR = 3 P_{max} a / bh^2$$

ここに、EL は全区間における曲げヤング係数 (tf / cm<sup>2</sup>)、EI はモーメント一定区間における曲げヤング係数 (tf / cm<sup>2</sup>)、MOR は曲げ強度 (kgf / cm<sup>2</sup>)、L はスパン (270cm)、a は 1/2 シェアスパン (90cm)、ℓ はモーメント一定区間におけるスパン (60cm)、b は材幅 (cm)、h は材高 (cm)、P<sub>max</sub> は最大荷重 (kgf)、△P は比例域内における上限荷重と下限荷重との差 (kgf)、△y は△P に対応するたわみ (cm) である。

#### 2.5.3 含水率の測定

正角材の含水率は、曲げ破壊した正角材の破壊の影響が及んでいない部位から、約 2 cm 厚の小片を 2 枚取り、全乾法により求めた 2 枚の各含水率の平均値で求めた。

### 3. 試験結果と考察

#### 3.1 丸太と正角材の動的ヤング係数の関係

丸太段階で測定した動的ヤング係数 (Efr) と、その丸太から製材した正角材の乾燥後に測定した動的ヤング係数の結果を表-2に示した。M産の場合、丸太 Efr の平均値は 117.3 (tf/cm<sup>2</sup>)、乾燥後正角材 Efr の平均値は 133.1 (tf/cm<sup>2</sup>) であり、S産の場合、丸太 Efr の平均値は 117.1 (tf/cm<sup>2</sup>)、乾燥後正角材 Efr の平均値は 133.6 (tf/cm<sup>2</sup>) であった。両産地間における丸太および乾燥後正角材の動的ヤング係数の分布形態は近似しており、産地間による相違はなかった。また、乾燥後正角材の Efr は、丸太の Efr に対して約 14 % 増の傾向を示した。丸太と乾燥後正角材の動的ヤング係数の関係を図-1に示した。両動的ヤング係数間の相関性は高く、丸太段階からの強度等級区分が行えると言える。

表-2 丸太と乾燥後正角材の動的ヤング係数測定結果

M産 (n=52)	丸太 Efr (tf/cm <sup>2</sup> )	正角材 Efr (tf/cm <sup>2</sup> )	S産 (n=50)	丸太 Efr (tf/cm <sup>2</sup> )	正角材 Efr (tf/cm <sup>2</sup> )
平均値	117.3	133.1	平均値	117.1	133.6
変動係数	8.9	8.4	変動係数	11.5	9.1
最小値	99.1	112.5	最小値	87.4	108.8
最大値	137.3	156.1	最大値	147.3	159.9

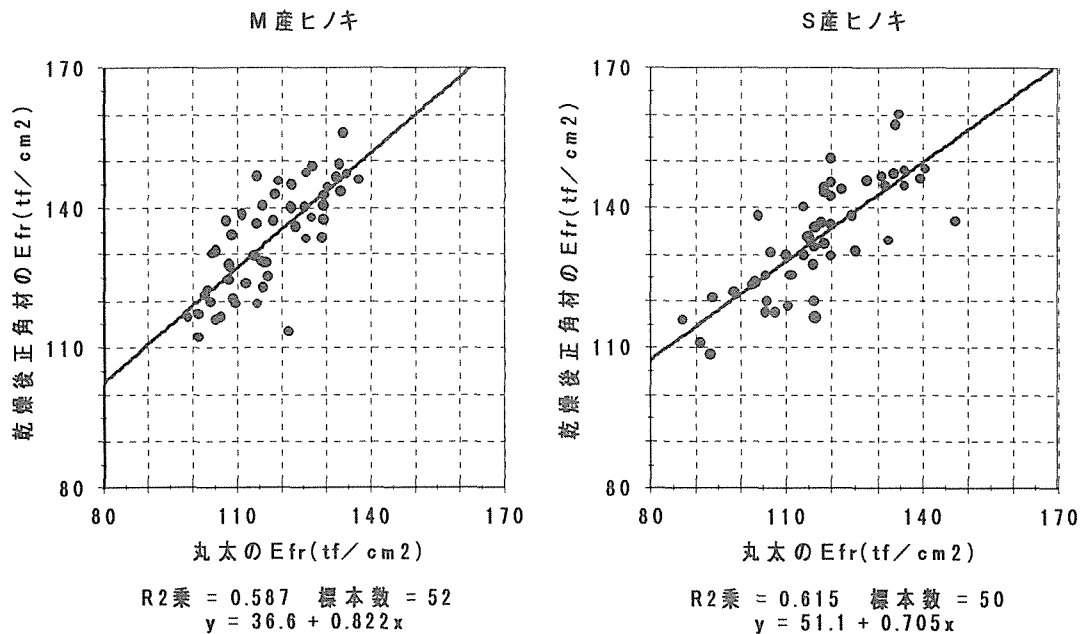


図-1 丸太と乾燥後正角材の動的ヤング係数の関係

#### 3.2 正角材の曲げ強度性能

正角材の曲げ強度試験結果を表-3に、全区間における曲げヤング係数 (EL) および曲げ強度 ( $\sigma_b$ ) の頻度分布をそれぞれ図-2、3に示した。M産およびS産正角材の EL



の最小値は、木質構造設計規準・同解説で規定されているヒノキ普通構造材の曲げヤング係数基準値 90 (tf/cm<sup>2</sup>) を満足しており、両産地とも 100 % 普通構造材であった。また、

表-3 正角材の曲げ強度試験結果

M産 (n=52)	平均年輪幅 (mm)	試験時密度 (g/cm <sup>3</sup> )	試験時含水率 (%)	EL (tf/cm <sup>2</sup> )	σ b (kgf/cm <sup>2</sup> )
平均値	2.45	0.53	14.1	120.8	608.2
変動係数	13.3	5.3	4.6	8.8	18.7
最小値	1.70	0.47	12.9	101.0	338.2
最大値	3.35	0.60	15.6	139.8	822.7

S産 (n=50)	平均年輪幅 (mm)	試験時密度 (g/cm <sup>3</sup> )	試験時含水率 (%)	EL (tf/cm <sup>2</sup> )	σ b (kgf/cm <sup>2</sup> )
平均値	2.07	0.56	14.5	117.4	547.3
変動係数	18.4	4.7	5.0	9.7	24.2
最小値	1.30	0.48	13.3	90.9	318.2
最大値	2.85	0.62	17.2	142.4	862.2

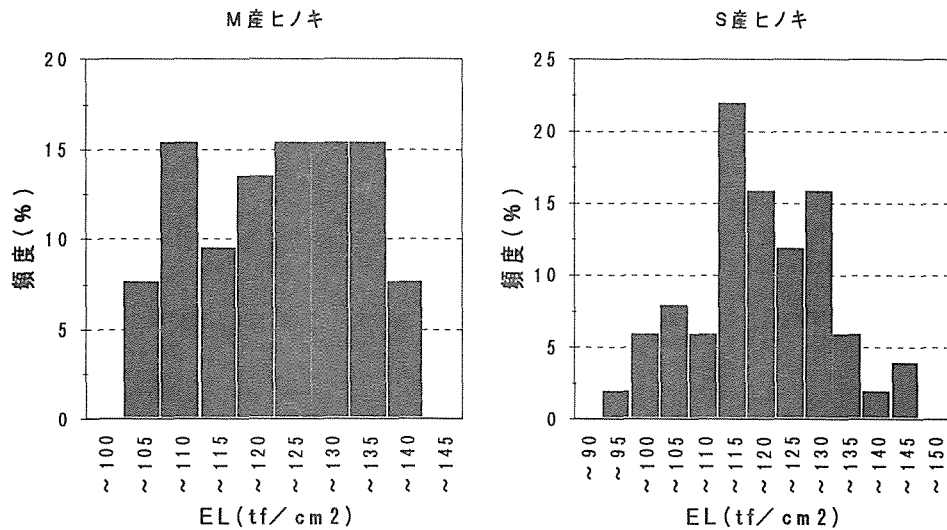


図-2 全区間における曲げヤング係数の頻度分布

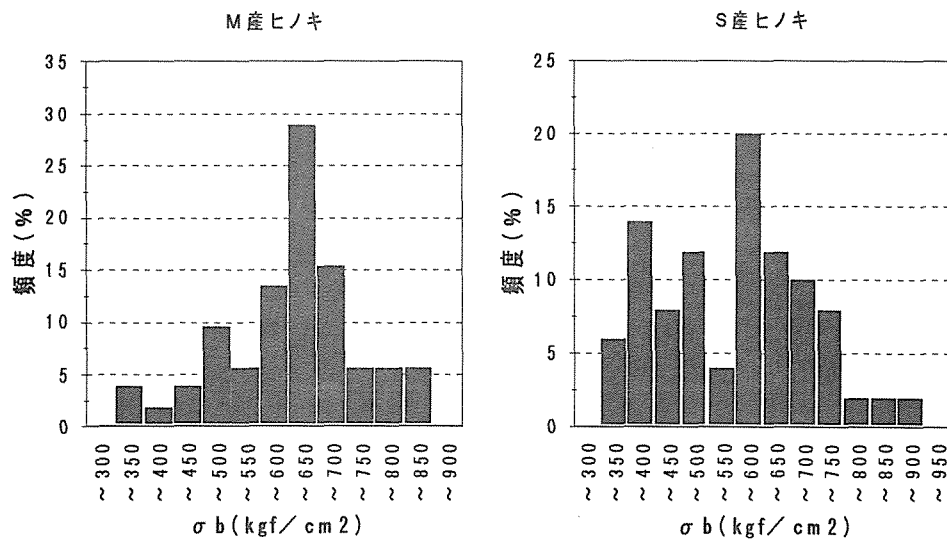


図-3 曲げ強度の頻度分布

上級構造材の基準値 100 (tf/cm<sup>2</sup>) でみても、上級構造材の比率はM産で 100 %、S産で 92 %であった。一方、両産地の  $\sigma_b$  の最小値は、ヒノキ普通構造材の許容応力度 90 (kgf/cm<sup>2</sup>) の3倍値 270 (kgf/cm<sup>2</sup>) を満足しており、曲げ強度においても 100 %普通構造材であった。

正角材の動的ヤング係数 (Efr) と全区間における曲げヤング係数 (EL) の関係を図-4に、全区間における曲げヤング係数 (EL) と曲げ強度 ( $\sigma_b$ ) の関係を図-5に示した。

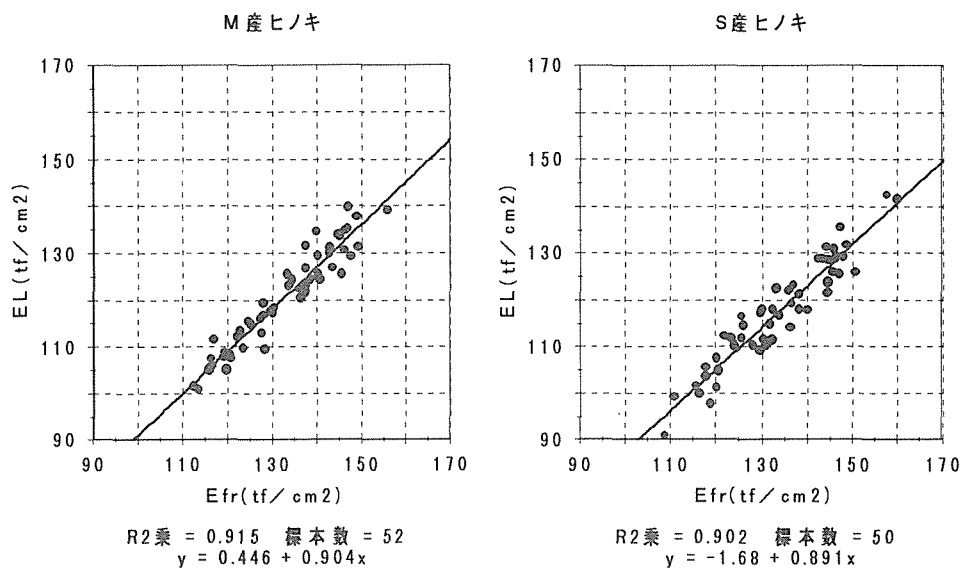


図-4 動的ヤング係数と全区間における曲げヤング係数の関係

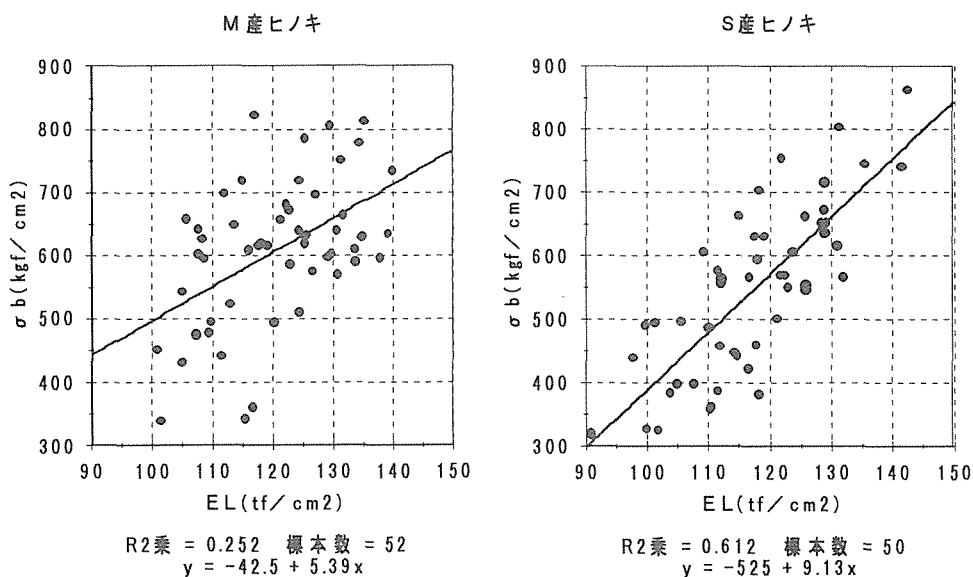


図-5 全区間における曲げヤング係数と曲げ強度の関係

正角材の EL は Efr に対して約 10 ~ 20 (tf/cm<sup>2</sup>) 低くなるが、両者の間には非常に高い相関性が認められた。また、EL と  $\sigma_b$  の関係は、S産においては高い相関性が認められたが、M産における両者間の相関性は低かった。この低かった原因としては、M産、S産とも多

数の節がみられ、品質的には低級材が多く、これら節の存在による繊維走向の乱れ等の影響が起因していることが考えられる。そのため節の多い低級材においては、曲げヤング係数と曲げ強度の相関が低い場合があり、曲げ強度を曲げヤング係数のみから推定するにはまだ問題があると思われる。

平均年輪幅と曲げ強度、密度と曲げ強度の関係を図-6、7に示した。平均年輪幅は最大でも 3.35mm であり、構造材 1 級の平均年輪幅の条件値 6 mm 以下を十分満足するものであった。平均年輪幅および密度と曲げ強度の相関性は認められなかった。

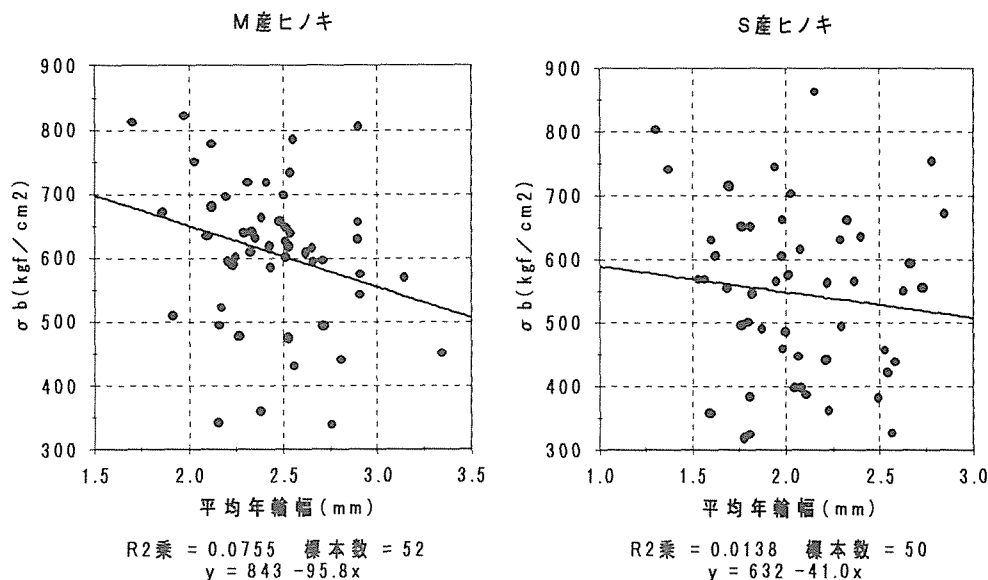


図-6 平均年輪幅と曲げ強度の関係

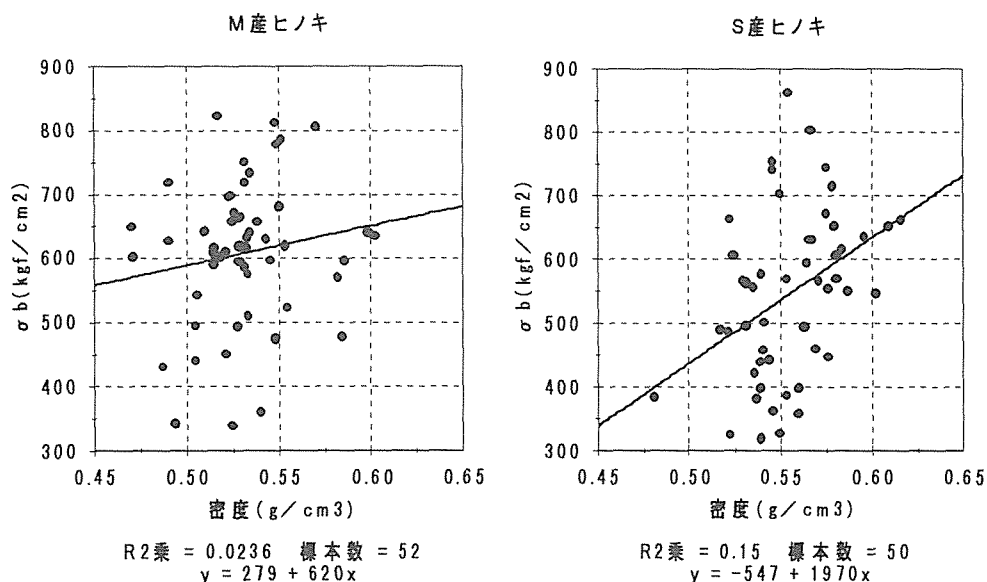


図-7 密度と曲げ強度の関係

### 3.3 強度等級区分と曲げ強度性能の関係

節径比のみによる目視等級区分を行った場合の甲種構造材構造用Ⅱにおける等級別曲げ強度性能を表-4に、乙種構造材における等級別曲げ強度性能を表-5に示した。また、タッピング法により求めた動的ヤング係数を用いて機械等級区分を行った場合の等級別曲げ強度性能を表-6に示した。各表中の5%下限値は〔平均値-1.645×標準偏差〕で求めた。目視等級区分の結果、甲種構造材構造用Ⅱにあつては低級材の占める割合が非常に

表-4 甲種構造材構造用Ⅱの目視等級区分別の曲げ強度性能

甲種構造材Ⅱ M産ヒノキ			EL(tf/cm <sup>2</sup> )			σ b(kgf/cm <sup>2</sup> )		
目視等級	度数	頻度%	平均値	変動係数(%)	5%下限値	平均値	変動係数(%)	5%下限値
1級	2	4	122.2	—	—	759.4	—	—
2級	6	12	118.9	9.0	101.2	638.7	4.8	588.5
3級	21	40	122.7	6.4	109.8	623.5	16.4	455.5
級外	23	44	119.3	10.9	97.9	573.1	22.2	363.7
甲種構造材Ⅱ S産ヒノキ			EL(tf/cm <sup>2</sup> )			σ b(kgf/cm <sup>2</sup> )		
目視等級	度数	頻度%	平均値	変動係数(%)	5%下限値	平均値	変動係数(%)	5%下限値
1級	0	0	—	—	—	—	—	—
2級	1	2	142.4	—	—	862.2	—	—
3級	2	4	132.0	—	—	655.1	—	—
級外	47	94	116.2	9.0	99.0	536.0	23.3	330.3

表-5 乙種構造材の目視等級区分別の曲げ強度性能

乙種構造材 M産ヒノキ			EL(tf/cm <sup>2</sup> )			σ b(kgf/cm <sup>2</sup> )		
目視等級	度数	頻度%	平均値	変動係数(%)	5%下限値	平均値	変動係数(%)	5%下限値
1級	17	33	122.3	7.0	108.2	642.3	17.4	458.1
2級	19	37	121.7	9.2	103.3	610.5	18.1	428.7
3級	15	29	117.6	10.4	97.5	568.2	20.9	372.8
級外	1	2	123.0	—	—	585.7	—	—
乙種構造材 S産ヒノキ			EL(tf/cm <sup>2</sup> )			σ b(kgf/cm <sup>2</sup> )		
目視等級	度数	頻度%	平均値	変動係数(%)	5%下限値	平均値	変動係数(%)	5%下限値
1級	2	4	132.4	—	—	715.9	—	—
2級	10	20	122.3	9.4	103.4	629.4	18.6	437.0
3級	34	68	115.0	9.1	97.9	508.6	24.2	306.3
級外	4	8	117.4	10.8	96.6	586.1	12.4	466.8

表-6 動的ヤング係数による機械等級区分別の曲げ強度性能

M産ヒノキ			EL(tf/cm <sup>2</sup> )			σ b(kgf/cm <sup>2</sup> )		
機械等級	度数	頻度%	平均値	変動係数(%)	5%下限値	平均値	変動係数(%)	5%下限値
E110	9	17	106.0	3.2	100.4	522.1	21.2	339.7
E130	26	50	118.7	5.8	107.4	603.4	19.7	407.5
E150	17	33	131.7	3.6	123.9	661.1	11.6	534.7
S産ヒノキ			EL(tf/cm <sup>2</sup> )			σ b(kgf/cm <sup>2</sup> )		
機械等級	度数	頻度%	平均値	変動係数(%)	5%下限値	平均値	変動係数(%)	5%下限値
E110	7	14	99.9	4.8	92.0	397.4	19.8	267.8
E130	26	52	114.2	4.8	105.3	519.8	21.2	338.8
E150	17	34	129.3	4.9	119.0	650.9	15.5	485.0

高く、S産では94%が級外であった。全区間における曲げヤング係数(EL)、曲げ強度(σ<sub>b</sub>)は、全般的に高い等級のもの程高い傾向を示しているが、一部の等級間で逆転現象がみられる。目視による強度等級区分の有効性については、本試験では目視等級間において頻度の偏りが非常に大きいため言明することはできないが、ある程度の曲げ強度性能

の推定には有効といえる。これに対し機械等級区分の場合、EL、 $\sigma_b$  は高い等級のもの程高い傾向を示し、曲げ強度性能の推定は可能といえる。

荷重点間（90cm）における最大単独節径比および最大集中節径比と曲げ強度との単相関を、材幅中央部、材縁部で区分して、表－7に示した。最大単独節径比、最大集中節径比ともに、材幅中央部より材縁部節径比の方が曲げ強度との相関性は高いが、総体的に単相関係数は低い。

表－7 荷重点間における各節径比と曲げ強度間の単相関

$\sigma_b$	単独節径比		集中節径比	
	材幅中央部	材縁部	材幅中央部	材縁部
M産	-0.133	-0.423	-0.260	-0.439
S産	-0.143	-0.301	-0.160	-0.337

[参考]

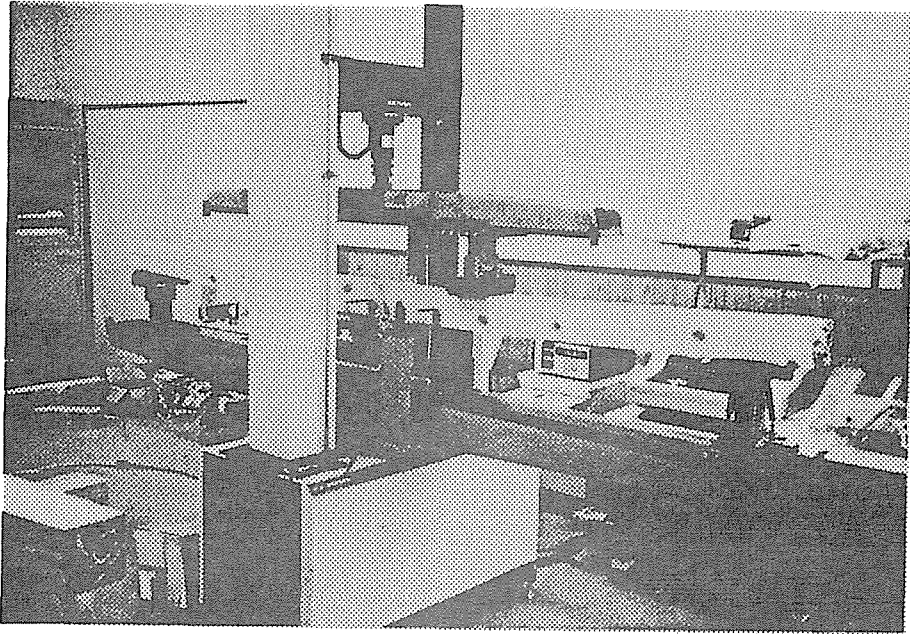


写真-1 ヒノキ正角材の曲げ強度試験状況

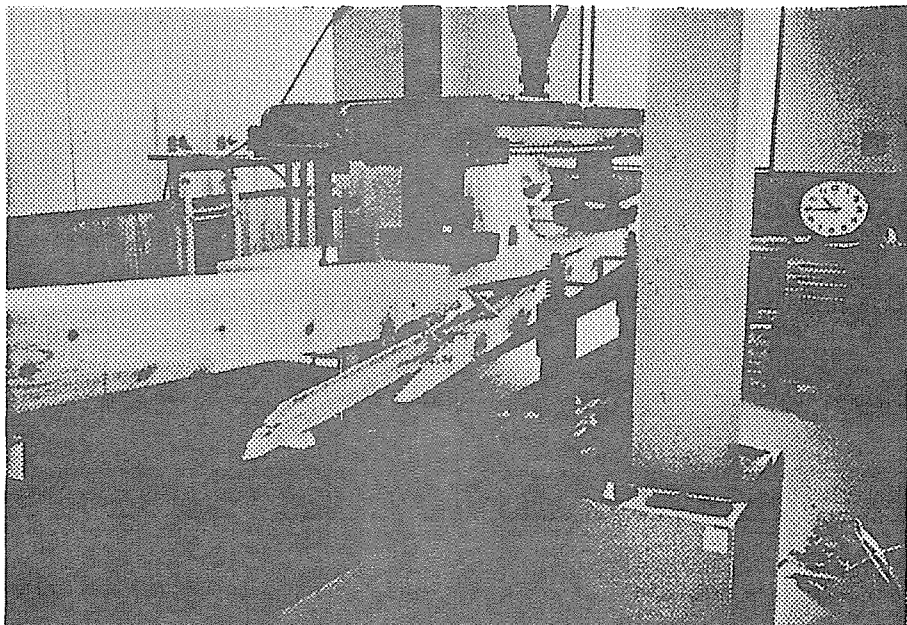


写真-2 曲げ破壊形態の一例

## [付表]

### <略号の意味>

- $E_{fr}$  : タッピング法による動的ヤング係数  
 $E_1$  : モーメント一定区間における曲げヤング係数  
 $E_L$  : 全区間における曲げヤング係数  
 $\sigma_{bp}$  : 曲げ比例限度応力  
 $\sigma_b$  : 曲げ強度 (最大応力)  
 $\delta_{bp}$  : 曲げ比例限度たわみ  
 $\delta_b$  : 最大荷重時のたわみ  
 $w_{KDC-C}$  : 材幅中央部における荷重点間の最大単独節径比  
 $w_{KDC-E}$  : 材縁部における荷重点間の最大単独節径比  
 $w_{KDL-C}$  : 材幅中央部における全区間の最大単独節径比  
 $w_{KDL-E}$  : 材縁部における全区間の最大単独節径比  
 $w_{SKDC-C}$  : 材幅中央部における荷重点間の最大集中節径比  
 $w_{SKDC-E}$  : 材縁部における荷重点間の最大集中節径比  
 $w_{SKDL-C}$  : 材幅中央部における全区間の最大集中節径比  
 $w_{SKDL-E}$  : 材縁部における全区間の最大集中節径比

付表-1. 1 M産正角材の曲げ強度試験結果

試験体 No.	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	平均年輪幅 (mm)	含水率 (%)	E <sub>fr</sub> (tf/cm <sup>2</sup> )	E <sub>I</sub> (tf/cm <sup>2</sup> )	E <sub>L</sub> (tf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{bp}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_b$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\delta_{bp}$ (mm)	$\delta_b$ (mm)
1	0.51	2.62	12.9	127.4	121.2	116.2	421	609	51	88
2	0.52	1.98	13.2	130.0	117.6	117.1	562	823	67	123
3	0.53	2.40	14.7	140.6	140.2	124.4	520	718	58	97
4	0.52	2.32	14.4	145.2	154.9	133.7	514	610	53	67
5	0.51	2.66	13.5	128.2	123.7	119.3	397	617	48	84
6	0.54	2.90	13.7	137.3	133.9	121.4	536	655	61	82
8	0.51	2.23	13.7	144.7	145.6	133.9	493	590	52	100
9	0.53	2.54	13.8	146.2	145.6	130.6	528	641	56	72
11	0.57	2.90	14.1	140.3	144.4	129.5	446	806	48	120
12	0.55	2.11	15.0	136.1	137.3	122.2	458	681	52	90
13	0.51	2.81	14.2	117.2	119.9	111.6	403	441	50	56
14	0.54	2.38	14.2	128.2	133.0	116.7	297	361	39	62
15	0.60	2.10	13.5	156.1	156.8	139.2	625	634	63	64
16	0.53	2.54	13.9	147.2	163.7	139.8	601	734	61	95
17	0.52	2.20	14.0	143.5	133.2	127.2	557	696	61	88
18	0.52	3.35	15.0	113.4	99.9	101.0	270	451	37	71
19	0.53	1.86	15.0	137.2	130.5	122.8	349	672	40	94
20	0.55	2.11	13.0	139.8	139.2	134.4	604	778	63	92
21	0.51	2.91	14.9	119.8	128.1	105.0	487	542	62	73
22	0.60	2.29	15.4	134.3	135.3	124.2	519	639	58	75
23	0.53	2.43	14.3	133.8	127.1	123.0	489	586	55	71
24	0.49	2.51	14.1	120.4	107.7	108.4	427	626	54	100
25	0.53	2.35	13.1	140.5	138.8	125.5	534	632	57	72
26	0.53	2.38	14.5	137.8	139.0	131.5	549	664	58	80
27	0.58	2.27	14.9	128.5	138.3	109.5	450	479	57	63
28	0.49	2.15	13.8	124.7	122.8	115.5	343	343	41	41
29	0.53	2.43	13.0	145.5	143.6	125.4	443	619	49	76
30	0.55	2.53	14.6	121.1	114.7	107.4	392	474	50	64
31	0.49	2.56	13.6	115.9	120.8	105.0	362	431	48	58
32	0.55	2.71	13.3	147.6	132.7	129.2	522	598	58	73
33	0.53	2.03	13.4	149.2	151.6	131.4	500	752	52	94
34	0.51	2.16	14.1	123.8	122.7	109.7	385	497	52	74
35	0.55	2.55	15.2	133.5	141.5	125.4	412	786	45	101
36	0.52	2.25	13.5	142.5	154.4	129.9	457	602	48	68
38	0.53	2.91	14.3	137.7	136.6	126.8	512	575	56	69
39	0.59	2.21	14.2	149.1	155.2	137.9	459	596	47	86
40	0.52	2.76	15.6	112.5	99.8	101.5	338	338	46	46
41	0.54	2.89	13.7	146.5	143.7	134.9	398	630	41	73
42	0.55	2.17	14.4	127.8	147.7	113.1	302	522	37	80
43	0.47	2.52	14.3	119.4	137.4	107.9	371	601	48	91
44	0.47	2.51	13.6	123.0	124.1	113.6	529	650	64	99
45	0.53	2.66	13.9	129.9	135.0	117.9	471	616	56	79
46	0.53	2.72	13.6	136.6	139.0	120.4	406	494	48	59
47	0.58	3.15	14.2	143.0	142.1	131.0	532	570	57	65
48	0.53	1.91	14.2	138.6	143.7	124.4	483	511	54	58
49	0.52	2.48	13.6	116.6	129.0	105.8	466	658	60	101
50	0.53	2.66	14.8	119.5	126.1	108.7	404	594	52	90
51	0.49	2.31	13.9	125.4	129.5	114.9	495	718	59	118
52	0.51	2.33	13.3	116.2	109.5	107.5	502	643	65	90
53	0.55	2.53	14.4	130.8	121.7	118.3	488	618	57	82
54	0.52	2.50	13.6	122.3	118.9	112.1	496	699	61	103
55	0.55	1.70	14.6	146.8	157.9	135.3	453	813	47	110
平均値	0.53	2.45	14.1	133.1	133.8	120.7	461	608	53	81
変動係数(%)	5.3	13.3	4.6	8.4	10.8	8.8	17.4	18.7	13.9	22.4
最小値	0.47	1.70	12.9	112.5	99.8	101.0	270	338	37	41
最大値	0.60	3.35	15.6	156.1	163.7	139.8	625	823	67	123



付表-1. 2 M産正角材の節径比調査結果

試験体 No.	最大単独節径比 単位:%				最大集中節径比 単位:%				目視等級区分	
	wKDC-C	wKDC-E	wKDL-C	wKDL-E	wSKDC-C	wSKDC-E	wSKDL-C	wSKDL-E	甲種Ⅱ	乙種
1	41.0	26.6	41.0	28.8	47.1	30.1	47.1	34.0	3	3
2	22.2	0.0	22.2	0.0	22.2	0.0	22.2	0.0	1	1
3	35.3	22.2	41.5	33.8	35.3	22.2	41.5	37.1	3	3
4	33.8	14.0	33.8	30.3	33.8	14.0	33.8	36.5	3	2
5	19.7	26.5	25.0	26.5	25.0	31.3	25.0	51.2	4	2
6	24.0	14.1	24.0	28.5	24.0	33.8	24.0	40.7	3	1
8	18.7	9.6	28.9	21.0	25.9	9.6	28.9	41.1	3	1
9	20.4	24.6	24.6	32.5	30.7	31.9	42.1	38.6	3	2
11	25.4	27.5	27.1	33.2	25.4	29.3	37.3	59.5	4	2
12	35.4	17.7	42.4	26.4	35.4	17.7	42.4	26.4	3	3
13	22.2	23.9	27.5	32.8	55.9	35.5	55.9	43.4	3	2
14	23.9	26.5	23.9	36.3	37.2	31.0	37.2	56.6	4	2
15	22.4	60.2	29.8	60.2	27.8	60.2	29.8	60.2	4	3
16	20.2	20.5	25.8	26.4	32.9	20.5	32.9	57.9	4	2
17	18.6	0.0	18.6	9.0	35.4	0.0	35.4	9.0	1	1
18	40.2	39.3	51.0	39.3	56.3	60.8	61.7	60.8	4	3
19	20.6	8.8	20.6	15.0	20.6	18.6	20.6	18.6	2	1
20	44.6	20.5	44.6	24.9	44.6	53.5	47.2	66.8	4	3
21	28.2	22.1	28.2	37.9	28.2	33.6	34.4	56.5	4	2
22	28.4	27.6	36.5	27.6	60.4	38.3	60.4	38.3	3	3
23	40.2	26.6	40.2	93.9	64.7	45.2	64.7	106.3	4	4
24	30.8	19.3	30.8	40.4	47.5	27.2	47.5	44.8	4	3
25	21.4	31.2	33.9	31.2	22.3	41.8	33.9	49.8	3	2
26	18.7	13.3	28.5	20.5	18.7	18.7	38.3	27.6	2	1
27	15.3	40.3	27.2	40.3	15.3	54.8	44.7	54.8	4	3
28	27.6	23.3	27.6	28.7	27.6	23.3	27.6	33.2	3	1
29	22.0	13.4	23.7	24.2	32.2	26.0	43.0	40.4	3	1
30	38.4	41.6	38.4	41.6	38.4	59.3	57.5	59.3	4	3
31	30.0	32.6	37.0	46.7	45.8	48.5	45.8	57.5	4	3
32	34.0	22.4	34.0	31.3	34.0	31.3	50.1	46.5	3	2
33	23.5	23.5	27.0	24.8	23.5	24.8	36.6	41.6	3	1
34	18.8	37.4	20.5	37.4	30.3	52.6	33.9	52.6	4	2
35	29.3	8.0	29.3	25.8	29.3	24.0	37.3	53.3	4	2
36	13.4	22.3	18.7	22.3	13.4	35.7	18.7	35.7	2	1
38	22.2	13.4	23.0	31.0	22.2	34.6	38.1	71.8	4	3
39	23.5	30.4	32.1	30.4	23.5	53.9	32.1	53.9	4	2
40	35.4	31.0	35.4	44.3	41.7	58.5	41.7	84.2	4	3
41	19.6	31.1	28.5	31.1	19.6	50.7	33.8	50.7	4	2
42	42.5	30.1	42.5	49.9	42.7	60.2	50.5	85.0	4	3
43	17.8	14.3	17.8	24.0	25.8	14.3	25.8	34.7	2	1
44	19.5	8.0	21.3	10.7	20.4	26.7	31.1	37.3	2	1
45	33.9	25.9	33.9	25.9	50.0	35.7	50.0	48.2	3	2
46	23.9	24.8	24.8	24.8	23.9	46.0	46.9	54.8	4	2
47	35.0	27.8	36.8	30.5	60.1	58.3	60.1	58.3	4	3
48	21.8	17.4	21.8	24.4	21.8	26.1	28.5	40.9	3	1
49	27.6	36.5	27.6	36.5	34.7	54.3	34.7	55.2	4	2
50	21.0	26.7	24.5	26.7	21.0	40.9	26.2	40.9	3	1
51	23.1	22.1	28.4	22.1	24.8	44.2	30.9	44.2	3	1
52	18.0	19.6	27.9	19.6	29.7	31.5	55.7	34.1	2	2
53	25.0	21.1	25.5	22.4	34.3	43.2	34.3	43.2	3	1
54	24.0	16.9	32.1	25.8	24.0	28.5	39.2	44.5	3	2
55	20.6	16.8	22.1	27.4	20.6	16.8	22.1	27.4	3	1
平均値	26.2	23.1	29.6	30.5	32.5	34.8	38.9	47.0	1 : 1 級	
変動係数(%)	29.4	46.2	25.2	44.1	38.1	45.2	29.4	37.8	2 : 2 級	
最小値	13.4	0.0	17.8	0.0	13.4	0.0	18.7	0.0	3 : 3 級	
最大値	44.6	60.2	51.0	93.9	64.7	60.8	64.7	106.3	4 : 級外	

付表-2. 1 S産正角材の曲げ強度試験結果

試験体	密度	平均年輪幅	含水率	E <sub>fr</sub>	E <sub>I</sub>	E <sub>L</sub>	$\sigma_{bp}$	$\sigma_b$	$\delta_{bp}$	$\delta_b$
No.	(g/cm <sup>3</sup> )	(mm)	(%)	(tf/cm <sup>2</sup> )	(tf/cm <sup>2</sup> )	(tf/cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(kgf/cm <sup>2</sup> )	(mm)	(mm)
1	0.57	1.98	14.7	140.1	123.6	117.8	460	460	53	53
3	0.57	1.96	13.7	148.5	139.3	131.9	469	566	49	78
6	0.54	2.22	14.6	125.9	119.5	114.8	295	444	37	59
7	0.58	1.81	14.4	144.8	151.7	128.4	522	653	56	79
8	0.55	2.79	14.3	135.8	135.7	122.0	538	755	61	117
9	0.55	1.57	15.3	133.3	147.0	122.3	467	570	54	71
10	0.52	1.98	14.2	131.8	127.3	115.0	476	666	57	91
11	0.54	2.01	14.3	130.5	139.0	111.7	340	576	43	85
12	0.62	2.33	13.9	146.9	132.2	125.7	588	662	65	82
13	0.57	1.60	15.2	129.8	132.4	117.4	432	631	51	99
14	0.58	1.69	13.3	150.6	146.5	125.8	438	556	49	77
15	0.58	1.54	15.0	144.5	134.3	121.6	543	569	61	65
17	0.53	1.76	13.9	117.7	113.9	105.7	279	498	37	96
18	0.54	1.80	14.0	138.3	133.7	121.2	494	504	55	59
19	0.59	2.63	14.3	137.1	157.8	123.1	471	551	52	137
20	0.55	1.37	14.0	159.9	159.1	141.6	589	741	59	81
21	0.61	1.77	15.1	148.1	139.7	129.3	457	653	50	92
22	0.58	2.85	15.7	143.3	130.6	128.7	597	673	65	80
23	0.53	2.37	14.5	134.0	128.6	116.8	433	568	52	74
24	0.48	1.81	14.6	117.7	105.7	103.8	359	385	48	54
25	0.57	2.29	14.6	136.7	173.4	119.1	452	631	53	102
26	0.52	1.63	14.7	129.6	120.1	109.3	440	607	56	113
27	0.55	2.11	13.8	132.3	98.2	111.6	305	387	40	91
28	0.58	2.07	15.4	136.5	151.6	114.4	320	446	39	60
29	0.58	1.70	15.2	142.5	125.3	128.9	541	714	62	89
30	0.57	1.30	14.1	144.1	140.8	131.2	560	803	60	117
31	0.54	2.55	15.5	125.8	119.9	116.5	380	423	47	53
32	0.52	1.81	14.4	115.9	112.3	101.7	322	324	44	45
33	0.53	2.22	14.1	121.8	119.8	112.2	424	562	53	81
34	0.58	1.94	14.4	147.2	155.8	135.5	498	746	52	99
35	0.60	1.82	14.8	145.7	134.1	125.8	372	548	43	107
36	0.56	1.60	14.0	127.8	121.7	110.3	305	360	38	67
37	0.56	2.30	17.2	120.2	109.8	101.3	377	496	56	89
38	0.54	2.59	13.4	118.8	104.7	97.8	269	438	39	112
39	0.52	2.00	14.0	123.9	123.4	110.1	413	487	53	98
40	0.55	2.23	14.8	130.9	119.5	110.5	363	363	45	45
41	0.56	2.08	15.3	120.2	108.8	107.6	382	399	49	53
42	0.54	2.53	14.4	123.3	110.1	111.9	446	457	52	57
43	0.60	2.41	13.5	146.1	144.7	129.1	412	637	46	97
44	0.54	2.49	14.9	138.4	156.2	118.2	255	383	31	47
45	0.55	2.57	13.5	116.5	103.5	100.0	327	327	46	46
46	0.55	2.03	13.9	132.6	128.6	118.2	532	703	62	104
47	0.55	2.16	13.4	157.7	157.4	142.4	624	862	60	121
49	0.52	1.87	14.2	110.9	106.3	99.6	390	491	55	121
50	0.54	2.74	14.0	125.6	124.9	112.0	473	556	58	71
51	0.58	2.08	13.9	145.8	157.6	131.0	453	617	49	123
52	0.54	1.78	15.3	108.8	99.8	90.8	318	318	48	48
53	0.56	2.67	15.0	130.0	140.9	118.0	328	595	38	78
54	0.54	2.05	14.0	120.6	124.1	104.9	345	398	52	62
55	0.58	1.98	13.8	144.6	129.5	123.8	475	607	55	89
平均値	0.56	2.07	14.5	133.6	130.4	117.4	427	547	51	82
変動係数(%)	4.7	18.4	5.0	9.1	13.7	9.7	22.1	24.2	15.6	29.2
最小値	0.48	1.30	13.3	108.8	98.2	90.8	255	318	31	45
最大値	0.62	2.85	17.2	159.9	173.4	142.4	624	862	65	137

付表-2. 2 S産正角材の節径比調査結果

試験体 No.	最大単独節径比 単位:%				最大集中節径比 単位:%				目視等級区分	
	wKDC-C	wKDC-E	wKDL-C	wKDL-E	wSKDC-C	wSKDC-E	wSKDL-C	wSKDL-E	甲種Ⅱ	乙種
1	21.6	32.8	42.2	41.6	26.0	52.1	42.2	87.7	4	3
3	20.3	37.9	39.4	37.9	20.3	64.4	63.1	64.4	4	3
6	29.8	40.7	52.7	40.7	32.5	57.9	52.7	79.0	4	3
7	27.7	17.9	33.9	26.8	46.4	31.9	50.9	50.0	4	2
8	29.3	21.4	39.2	35.6	29.3	33.8	39.2	53.5	4	2
9	24.8	25.9	25.9	25.9	29.3	44.7	43.8	44.7	3	1
10	37.2	40.4	49.4	43.1	68.2	40.4	68.2	71.9	4	3
11	28.1	35.9	47.6	46.7	35.2	64.6	48.3	73.6	4	3
12	37.6	22.4	37.6	40.1	37.6	59.9	37.6	82.0	4	3
13	34.1	24.9	44.0	44.0	66.4	45.4	66.4	59.2	4	3
14	33.8	45.6	36.6	45.6	33.8	56.7	36.6	72.2	4	3
15	38.7	40.5	48.8	44.3	38.7	89.6	71.8	94.0	4	4
17	32.9	38.3	37.4	38.3	32.9	49.9	37.4	54.9	4	2
18	20.5	27.7	38.4	31.2	32.9	67.8	41.8	69.6	4	3
19	26.6	28.3	38.2	32.9	43.3	33.6	47.8	85.3	4	3
20	38.5	0.0	38.5	28.6	38.5	0.0	38.5	28.6	3	2
21	33.2	41.3	44.8	45.2	45.2	77.9	87.9	112.1	4	4
22	20.2	26.4	22.0	26.4	35.2	61.5	35.2	61.5	4	3
23	36.2	36.6	36.2	36.6	41.1	56.3	41.1	56.3	4	2
24	36.4	22.4	36.4	36.4	40.0	58.2	58.2	66.2	4	3
25	31.3	35.8	42.8	42.9	31.3	101.1	39.4	101.1	4	4
26	39.9	33.7	39.9	35.5	69.1	60.2	69.1	60.2	4	3
27	35.6	35.8	35.8	38.4	35.6	64.1	67.0	64.1	4	3
28	50.6	51.0	50.6	51.0	50.6	51.0	62.6	62.6	4	3
29	39.4	23.0	50.6	37.5	39.4	56.5	57.2	56.5	4	3
30	31.4	34.1	56.8	60.1	31.4	45.8	83.0	63.7	4	3
31	38.4	25.0	38.4	35.7	43.8	56.3	60.1	82.6	4	3
32	30.3	34.7	34.7	34.7	56.1	65.0	56.1	65.0	4	3
33	38.1	33.8	46.1	35.5	38.1	48.0	72.9	86.3	4	3
34	33.1	26.3	33.1	29.5	38.5	46.5	38.5	56.4	4	2
35	59.5	45.1	59.5	48.7	64.0	87.5	64.0	87.5	4	3
36	32.1	36.6	32.9	36.6	48.2	74.1	52.7	88.4	4	3
37	42.7	29.4	42.7	46.3	42.7	54.3	42.7	75.6	4	3
38	17.9	31.3	31.9	44.7	22.4	53.2	31.9	88.6	4	3
39	35.8	25.8	37.6	46.5	45.3	40.0	52.8	80.9	4	3
40	22.1	31.0	37.0	34.5	33.6	77.0	59.0	77.0	4	3
41	25.0	26.8	29.5	30.1	25.0	39.0	37.2	57.6	4	2
42	34.7	35.6	38.3	35.6	34.7	65.9	49.0	84.6	4	3
43	25.1	39.5	34.1	39.5	38.3	46.2	53.0	54.8	4	2
44	33.5	49.2	42.3	49.2	33.5	61.7	42.3	69.6	4	3
45	40.8	17.7	40.8	44.4	40.8	42.6	45.2	79.8	4	3
46	22.3	24.9	40.0	39.3	24.0	48.8	55.9	51.8	4	2
47	17.9	14.3	19.7	20.6	17.9	31.4	29.5	31.4	2	1
49	35.7	32.7	44.6	47.3	43.3	62.4	89.2	93.6	4	4
50	26.6	31.9	33.7	47.0	42.6	52.3	46.1	67.4	4	3
51	38.5	44.8	49.3	44.8	38.5	69.8	60.0	69.8	4	3
52	42.7	37.4	42.7	48.0	59.6	64.9	59.6	71.2	4	3
53	31.4	39.4	32.1	39.4	53.8	39.4	53.8	57.9	4	2
54	30.4	34.8	41.8	35.7	59.6	77.7	62.3	77.7	4	3
55	32.0	41.8	35.0	44.4	43.7	63.0	44.6	82.2	4	3
平均値	32.5	32.2	39.7	39.4	40.4	55.9	52.9	70.3	1 : 1級	
変動係数(%)	25.1	29.4	19.8	19.1	29.8	30.5	26.6	23.6	2 : 2級	
最小値	17.9	0.0	19.7	20.6	17.9	0.0	29.5	28.6	3 : 3級	
最大値	59.5	51.0	59.5	60.1	69.1	101.1	89.2	112.1	4 : 級外	

## 第10章 スギ構造用ラミナの引張試験

福岡県森林林業技術センター

占部達也・片桐幸彦・村上英人

### 1. はじめに

近年、福岡県内でも各地に大断面集成材を用いた木造建築物が建設されるようになってきた。しかしその材料をみると、北米材を使ったものが大半であり、スギ・ヒノキを使ったものはほとんど見かけられない。

これは、我が国では北米等に比べて大断面集成材についての歴史が浅いため、強度性能を調べたデータがきわめて乏しく、その結果、スギ材が大断面集成材の材料としてどの程度使えるかを示す基礎的な資料がまだ十分そろっていないのが原因の一つであると思われる。

ここでは、県産スギを大断面用集成材として利用するための第一歩として、その基礎的データを得ることを目的に、スギの通しラミナ及び縦継ぎラミナについて、強度に大きく影響を及ぼす引張破壊試験を行い、その強度性能について検討を行った。

### 2. 材料と実験方法

#### 2. 1 供試材

福岡県産スギを供試材として用いた。県内の製材工場から4×16×300cmのラミナを240本購入し、福岡県森林林業技術センターにおいて1F型蒸気式乾燥機を用いて目標含水率13%で人工乾燥を行った。

#### 2. 2 動的曲げヤング係数(E<sub>fr</sub>)の測定

人工乾燥前後にラミナの動的ヤング係数を測定した。ヤング係数は、試験材の寸法、重量を測定後、FFTアナライザ(リオン社製, SA-77)を用いて縦振動法により一次の周波数を測定し、次式によりSI単位系で算出した。

$$E_{fr} = 4 \times L^2 \times f^2 \times \rho$$

ここで、E<sub>fr</sub> : 動的ヤング係数、 L : 材長

f : 基本振動周波数、 ρ : 気乾比重

### 2. 3 試験体の割り当て

動的ヤング係数の測定結果から、平均と分散がほぼ等しくなるように120本ずつ2グループに分けた。そして、一方を通しラミナ、他方をフィンガージョイント縦継ぎラミナ（以下 FJラミナ）とし、鹿児島県内の集成材工場においてFJ用ラミナのフィンガージョイント加工を行った。接着にはレゾルシノール系接着剤を用いた。

FJ加工後、すべてのラミナについて、モルダーで断面寸法を32mm×140mmに調整した。フィンガースhapeについて表1に示す。

表-1 フィンガースhape

フィンガース長さ (mm)	フィンガースピッチ (mm)	先端厚さ (mm)	フィンガース底部幅 (mm)	スカーフ傾斜比
25.03	6	1.35	1.2	1/14.5

### 2. 4 ラミナの材質調査

#### 2. 4. 1 欠点調査（断面欠損率）

引張試験時にチャック間に位置するラミナの中心部120cmの区間について、節・腐れ等の大きさ・位置等の調査を行った。さらに長さ方向15cm間に存在する節について、木口面に平行な断面に占める面積の割合が最も大きいものを断面欠損率として算出した。なお腐れ・変色等が著しいもの5本を除去したため、以下の試験は235本で行った。

#### 2. 4. 2 平均年輪幅

引張試験終了後に、破壊部分と両木口との中央部位から長さ方向2cm程度の小片を1体ずつ採取し、それぞれの年輪数と距離を測定して平均年輪幅を求めた。

#### 2. 4. 3 曲げヤング係数（Edw）

重錘載荷法により材のたわみを測定して、曲げヤング係数を求めた。スパンは220cmで錘は10kgのものを用い、これを1～3個スパン中央部に載荷し、それぞれの時点でのたわみ量を測定して曲げヤング係数（Edw）を測定した。

#### 2. 4. 4 含水率

引張試験終了後に、破壊部分と両木口との中央部位から長さ方向2cm程度の小片をそ

れぞれ1体ずつ採取し、これらの小片の含水率を全乾法により求めて試験時のラミナの含水率を推定した。

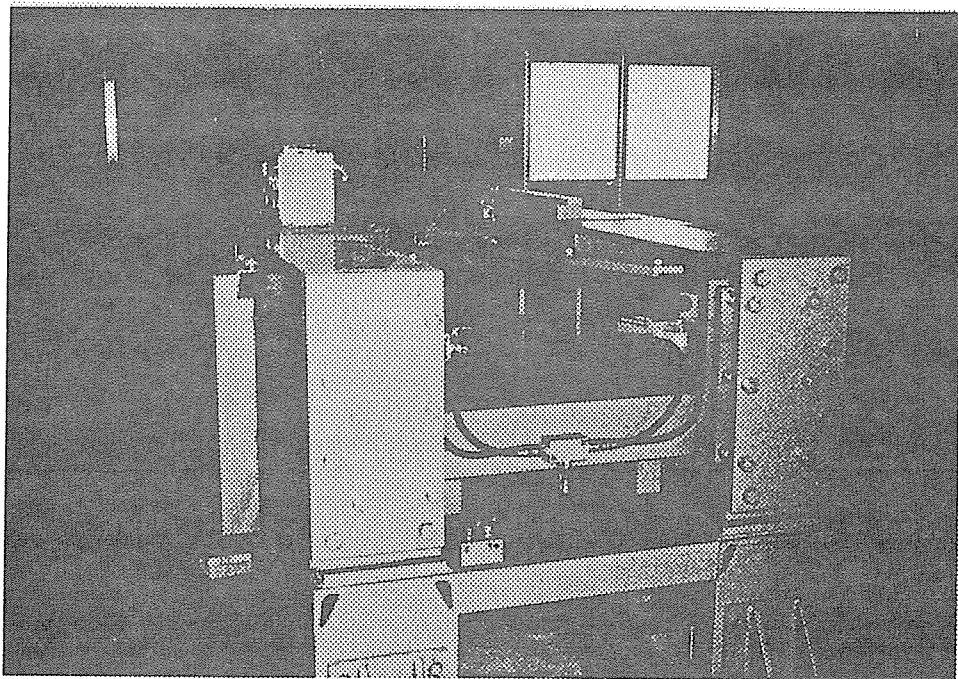
## 2. 5 引張強度 (TS)

ラミナの引張試験は、前川試験機製HZ-50横型引張試験機(最大容量500kN)を用いて行った(写真1)。試験体設置は、FJラミナについてはスパン中央部にFJ部がくるようにした。試験時間は検力器の目盛り上昇開始から試験体の破壊までが3分程度で終了するように設定し、定速ストローク制御により行った。破壊荷重(最大荷重)から引張強度を求めた。

なお、試験条件は次のとおりである。

- ・チャック間隔 : 120cm
- ・チャック長さ : 60cm
- ・加重速度 : 3.65mm/min

写真1



### 3. 結果

#### 3. 1 試験結果一覧

通し・FJラミナそれぞれについて、測定結果を表2に示す。

全本数について、FJ・モルダー加工前のEfrをもとに前述の条件で2グループに分けを行ったが、2つのラミナについて、含水率がわずかにFJラミナが高いものとなったほかは、気乾密度・平均年輪幅・断面欠損率・Efr・Edwについては、平均値及び変動係数にはグループ間での差はほとんど無く、両ラミナは同等の材質と見なすことができる。

ただ断面欠損率が同等ということは、FJ加工における節の除去が十分行われていない可能性があるということであり、FJ部が逆に欠点として強度低減を引き起こすことが考えられる。

引張強度については両ラミナ間に差が認められた。平均値は通しラミナが28.4MPaに対し、FJラミナでは24.9MPaとFJラミナが12%程低い値を示した。FJ部が強度低下要因になったためと思われる。また5%下限値では、通しラミナが18.1MPaに対し、FJラミナが16.4MPaと約10%低い値となり、節等の欠点の除去（フィンガージョイント）による引張強度の5%下限値の向上は認められなかった。変動係数については通しラミナ29%に対し、FJラミナ24%と、FJの方が若干ばらつきが小さかった。

表 2 試験結果一覧

通しラミナ n=117

	気乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	平均年輪幅 (mm)	含水率 (%)	断面欠損率 (%)	Efr (Gpa)	Edw (Gpa)	TS (MPa)
平均値	0.426	5.90	12.02	29.0	6.27	6.22	28.4
最大値	0.509	12.30	19.04	61.1	10.60	10.81	52.5
最小値	0.344	1.83	8.86	0	2.24	2.48	6.9
標準偏差	0.041	1.97	1.99	11.3	1.72	1.71	8.3
変動係数	10%	33.3%	17%	39%	28%	27%	29%
5%下限値	—	—	—	—	3.67	3.69	18.1

FJラミナ n=118

	気乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	平均年輪幅 (mm)	含水率 (%)	断面欠損率 (%)	Efr (Gpa)	Edw (Gpa)	TS (MPa)
平均値	0.421	6.06	12.44	28.2	6.28	6.29	24.9
最大値	0.530	12.48	18.69	60.4	11.93	11.36	42.4
最小値	0.339	1.79	8.54	3.2	2.33	2.08	10.5
標準偏差	0.038	1.93	1.74	10.5	1.74	1.65	6.1
変動係数	9%	32%	14%	37%	28%	26%	24%
5%下限値	—	—	—	—	3.86	3.93	16.4

### 3. 2 曲げヤング係数の分布

ラミナ全体及び通し・FJラミナそれぞれについて、重錘載荷法により求めた曲げヤング係数 ( $E_{dw}$ ) の分布を図1、2、3に示す。

それぞれのラミナは、FJ・モルダー加工前に縦振動法による動的ヤング係数を元に、その平均と分散が等しくなるように2グループに割り当てたが、加工後も2つのグループの曲げヤング係数 ( $E_{dw}$ ) についてはほぼ同様な値を示した。

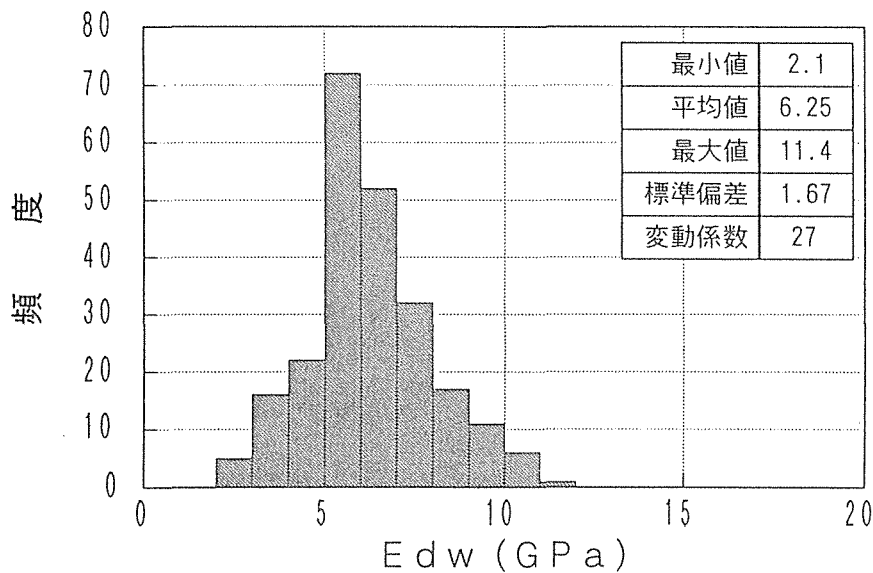


図1  $E_{dw}$ 分布  
(全体)

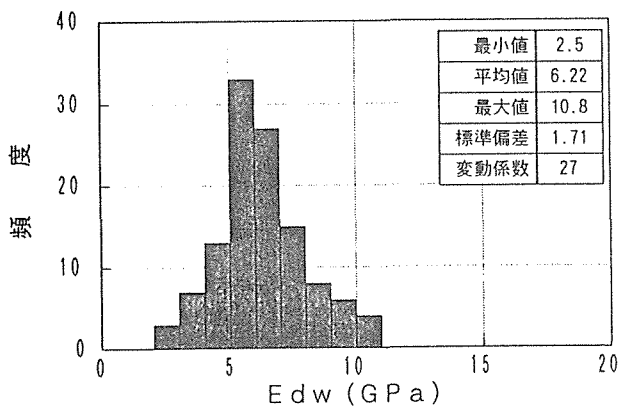


図2  $E_{dw}$ 分布  
(通しラミナ)

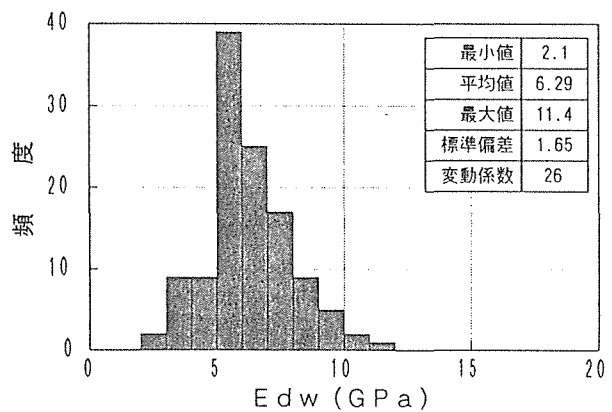


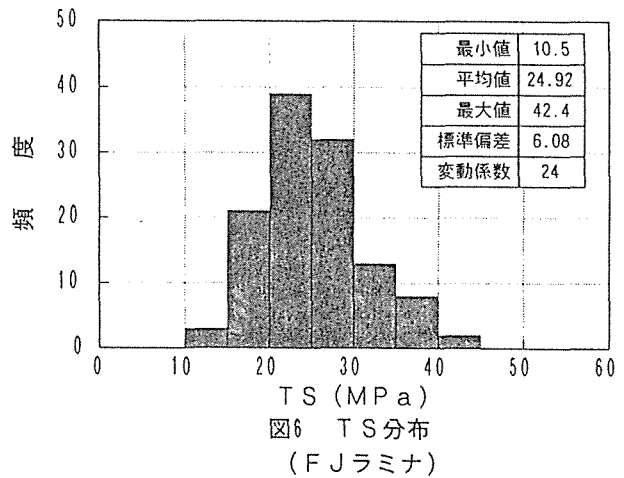
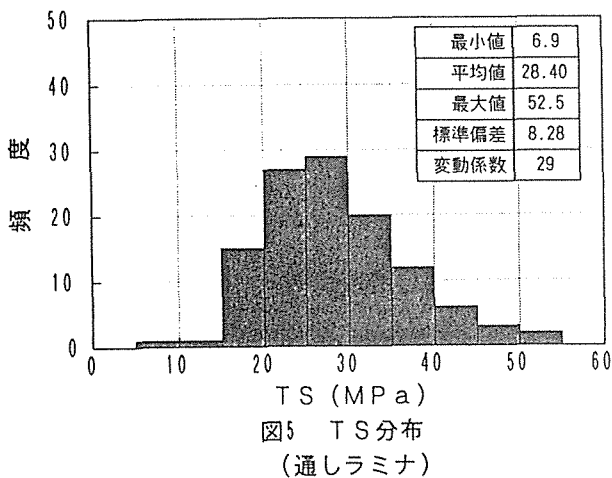
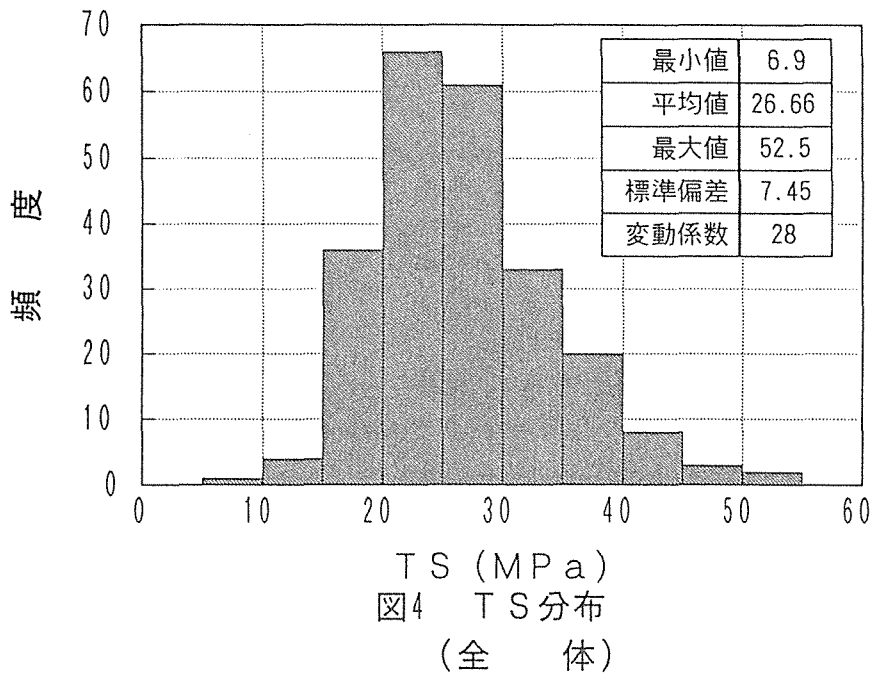
図3  $E_{dw}$ 分布  
(FJラミナ)



### 3. 3 引張強度の分布

ラミナ全体・通し・F Jラミナそれぞれについて、引張破壊試験により求めた引張強度の頻度分布を図4、5、6に示す。

通しラミナは、分布の幅は大きいものの、平均値はF Jラミナに比べ高い値を示した。



引張強度の接合効率を（FJラミナの引張強度の平均値）／（通しラミナの引張強度の平均値）×100として求めると、88%であった。

### 3. 4 破壊形態毎の出現頻度

引張破壊試験終了後に試験体の破壊の状態を観察した。その破壊形態毎の出現頻度を表-3に示す。

通しラミナについては、その8割が材縁の節（Ke）を伝わる破壊を起こしていた。

FJラミナについては、FJ部を境に真っ二つに破壊したもの（FJ）が62.7%と最も割合が高かった。次に大きな要因が材縁の節で20.3%となり、FJ部と絡み合った破壊を起こしたもの（FJ+Ke）の11.9%を合わせると、約3割に材縁の節の影響が見られる。両ラミナ共に、材縁の節が引張強度に与える影響は大きいと考えられる。

表-3 破壊形態の頻度

	Ke	Kc	目切れ	繊維切れ	チャック	FJ	FJ+Ke	FJ+Kc	計
通しラミナ	93	2	5	8	9	-	-	-	117
割合(%)	(79.5)	(1.7)	(4.3)	(6.8)	(7.7)	-	-	-	(100)
FJラミナ	24	14	0	1		74	14	2	118
割合(%)	(20.3)	(11.9)	(0)	(0.8)	(0)	(62.7)	(11.9)	(1.7)	(100)

#### 4. 考察

##### 4. 1 各測定項目間の関係

ラミナの強度性能に関係があると思われる因子について、各測定項目間の相関係数を求めた結果を表4に示す。

曲げヤング係数については、通し・FJラミナ共に縦振動法で求めた動的ヤング係数（Efr）と非常に高い相関を示した。引張強度と相関が認められたものは曲げヤング係数で、これは両ラミナ共に $r=0.6$ 程度であった。

断面欠損率については、通しラミナで0.50の相関を示したがFJラミナでは相関は認められなかった。

その他の気乾密度、平均年輪幅についてはほとんど相関が認められなかった。

表-4 各測定項目間の関係

##### 通しラミナ ( n=117 )

	密度	平均年輪幅	含水率	断面欠損率	Efr	Edw	TS
密度	1						
平均年輪幅	-0.39	1					
含水率	0.26	-0.34	1				
断面欠損率	0.32	0.15	0.09	1			
Efr	0.26	-0.33	0.02	-0.14	1		
Edw	0.19	-0.32	0.00	-0.20	0.98	1	
TS	0.08	-0.31	0.04	-0.50	0.61	0.62	1

##### FJラミナ全体 ( n=118 )

	密度	平均年輪幅	含水率	断面欠損率	Efr	Edw	TS
密度	1						
平均年輪幅	-0.30	1					
含水率	0.25	-0.20	1				
断面欠損率	0.07	0.17	-0.09	1			
Efr	0.36	-0.26	0.09	-0.15	1		
Edw	0.35	-0.23	0.12	-0.22	0.94	1	
TS	0.32	-0.46	0.18	-0.22	0.65	0.64	1

#### 4. 2 動的ヤング係数と重錘載荷法によるヤング係数の関係

動的ヤング係数（ $E_{fr}$ ）と重錘荷重法によるヤング係数（ $E_{dw}$ ）との関係を図7、8に示す。図7はFJラミナの場合、図8は通しラミナの場合である。

今回の $E_{dw}$ 測定は、両ラミナ共に中央集中荷重によるものであったが、FJラミナについて、 $E_{fr}$ が数本かなり低めに評価されるものがあったほかは、それぞれの相関係数は、 $r = 0.98$ 、 $0.94$ といずれの場合も非常に高い相関を示した。

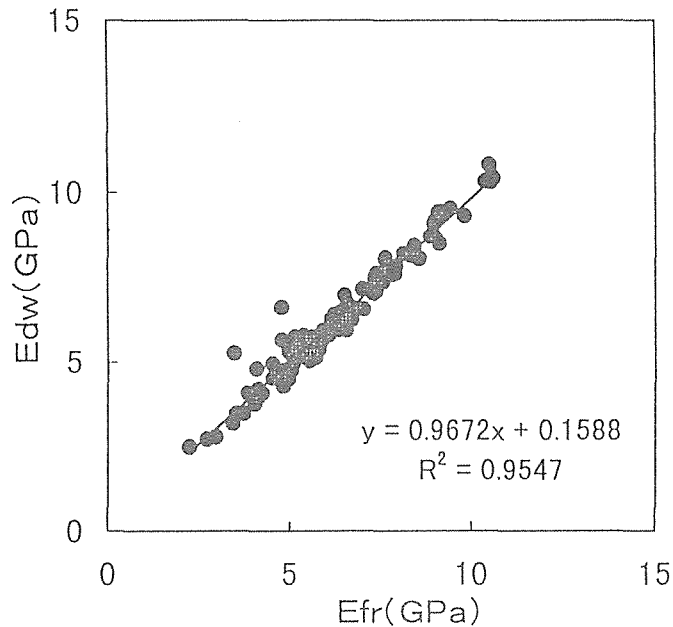


図7  $E_{fr}$ と $E_{dw}$ の関係  
( 通しラミナ )

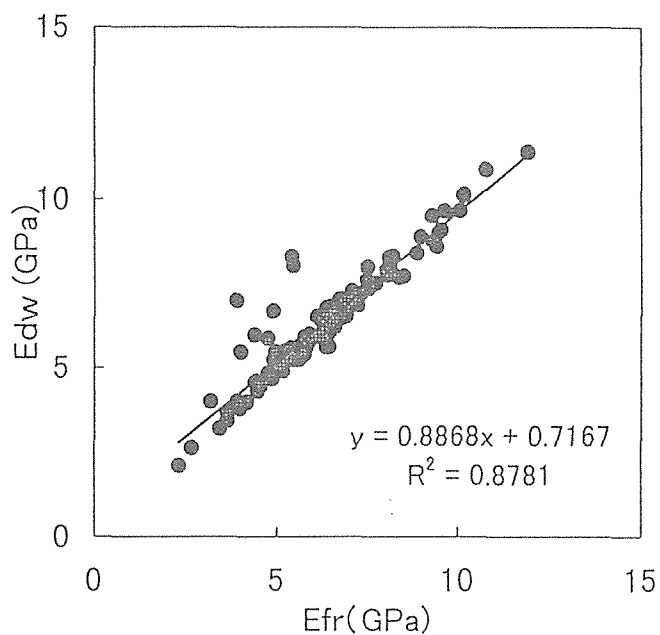


図8  $E_{fr}$ と $E_{dw}$ の関係  
( FJラミナ )

#### 4. 3 曲げヤング係数と引張強度の関係

重錘载荷法により求めた曲げヤング係数 ( $E_{dw}$ ) と引張強度 ( $TS$ ) の関係について、通しラミナの場合を図9に、FJラミナの場合を図10に示す。通し・FJラミナ共に  $r = 0.6$  程度の相関を示した。

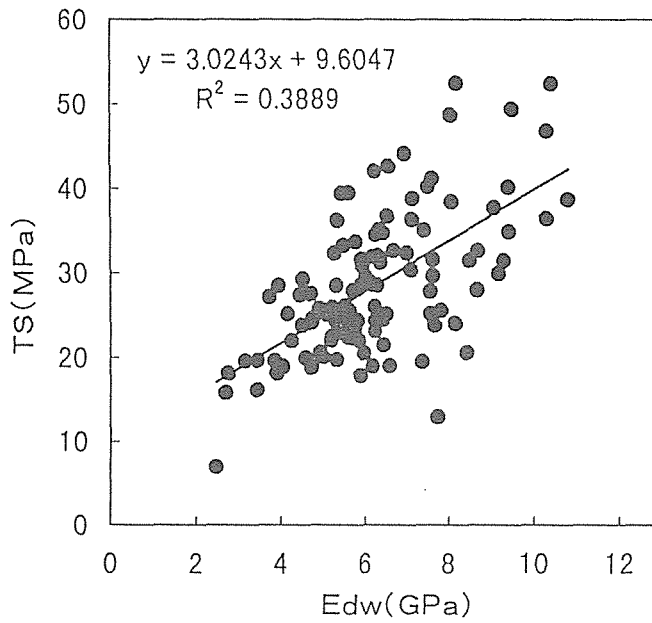


図9  $E_{dw}$ と $TS$ の関係  
( 通しラミナ )

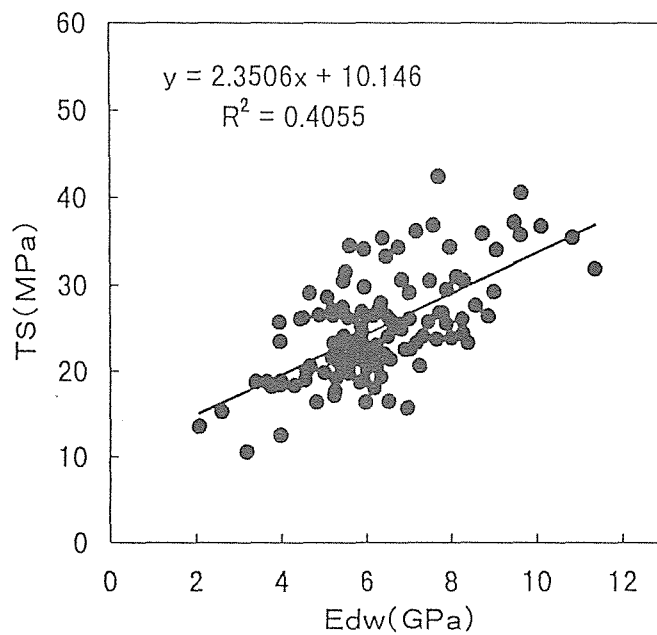


図10  $E_{dw}$ と $TS$ の関係  
( FJラミナ )

#### 4. 4 断面欠損率と引張強度の関係

節が引張強度に及ぼす影響を調べるために、節による断面欠損率と引張強度（TS）との関係をそれぞれのラミナについて、図11，12に示す。

断面欠損率と引張強度の相関をとると、通しラミナでは  $r = -0.50$  という値を示した。材断面に占める節の面積割合が引張強度の低下にある程度影響していることが分かる。しかし、FJラミナについては相関は認められず、節による断面欠損率の大小が引張強度に及ぼす影響より、むしろFJ部自体が強度を低下させる大きな要因となっていることが考えられる。

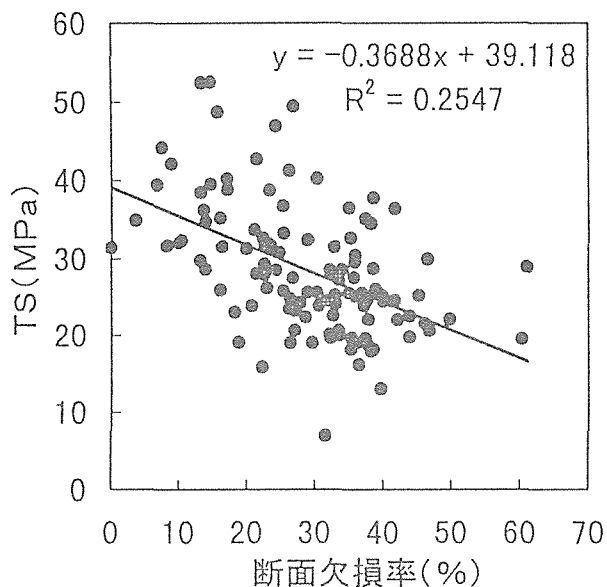


図11 断面欠損率とTSの関係  
( 通しラミナ )

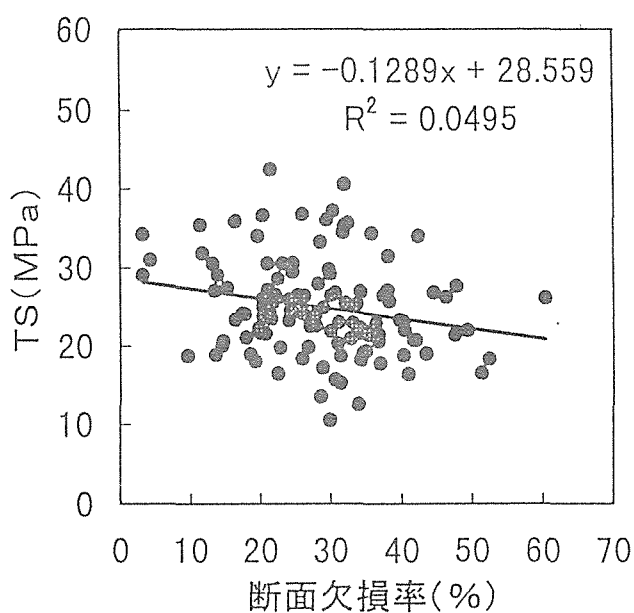


図12 断面欠損率とTSの関係  
( FJラミナ )

## 5. まとめ

福岡県産スギラミナについて、通しラミナの場合とフィンガージョイント加工を行ったラミナの場合とに分けて引張破壊試験を行った。結果をまとめると次のようになる。

- 1) 各ラミナの引張強度について、平均値は通しラミナで28.4 MPa、FJラミナでは24.9 MPaであった。FJラミナは通しラミナに比べ、約12%減少し、接合効率は88%であった。ばらつきは、FJラミナがFJ加工によってわずかに小さくなったのみで、5%下限値についても、通しラミナに比べ10%減となり、FJ加工によるばらつきの減少、5%下限値の向上が認められず、材料強度の信頼性を向上させることができなかった。これは、試験条件でFJ部がスパン中央部にくるように試験体を設置したため、FJ加工時に制約があり、節等の欠点の除去が十分なされてなく、むしろFJ部そのものが強度低減因子になったためと思われる。
- 2) FJラミナについても、通しラミナと同様に $E_{fr}$ と $E_{dw}$ の相関は高く、縦継ぎによるヤング係数への影響は認められないことから、縦振動法による曲げヤング係数測定は有効と考えられる。
- 3) 両ラミナ共に引張強度と曲げヤング係数との間に $r=0.6$ の相関が認められ、曲げヤング係数測定による引張強度の予測はある程度有効と思われる。
- 4) 通しラミナについて破壊したものを調べると、材縁部の節を伝わる破壊形態が多かった。このことから、明らかに節が強度に影響しているラミナは節の部分を取り除いてFJ加工することが必要と思われた。しかし、一方では、FJ部も一つの強度低減因子となることが予想されるため、そのまま十分強度が得られるラミナは通しラミナのまま使用する事も一つの方法と考えられる。

今回の試験で、通しラミナについては引張強度と断面欠損率の間にある程度の相関が認められたことから、節が強度に及ぼす影響を明らかにすることで、ラミナの加工の際、そのまま通しラミナとして使うか、節を取り除きFJ加工を施すべきかの判断が可能になると思われた。このことは、ラミナ材料強度の信頼性をより向上させる有効な手段の一つになると考えられ、今後十分検討する必要がある。











## 参考

### これまでの実施概要（平成6年度～平成8年度）

本事業は、農林水産省補助事業として平成6年度から始まり、平成10年度までの5カ年間の実施事業である。実施目的は、本報告書の冒頭に記したように信頼性理論をもとにした限界状態設計法により、国産材を原料としたエンジニアリングウッドの性能評価を行うことを目標としている。現在の我が国の状況では、限界状態設計法を適用して集成材や製材品の性能評価を行うためには基礎的なデータの収集が充分でない。そのため、平成6年度から集成材ラミナの引張試験を実施しており、その結果を基に集成材の性能をシミュレーションによって性能予測を行い、実際の集成材との性能比較を行うことを目標とし、平成8年度もデータの収集を実施している。

製材品については、試験方法と評価方法が確立されていないことから、試験体の選定方法、試験の実施手順、データの取り方、評価内容等についての試験基準を提案し、平成7年度から正角材、平角材の曲げ試験を行い、平成8年度からは曲げ試験とともに圧縮試験を行ってデータの収集を実施している。

これまでに実施した試験の種類、試験実施機関、試験体数、実施年度等を別表に示す。

#### 1. 平成6年度の実施内容

- |                      |  |
|----------------------|--|
| 1) エゾマツ集成材ラミナの引張試験、  | 北海道立林産試験場  |
| 2) カラマツ集成材ラミナの引張試験、  | 北海道立林産試験場<br>長野県林業総合センター                               |
| 3) スギ集成材ラミナの引張試験、    | 森林総合研究所<br>静岡県林業技術センター<br>三重県林業技術センター<br>徳島県林業総合技術センター |
| 4) スプルース集成材ラミナの引張試験、 | 北海道立林産試験場  |
| 5) トドマツ集成材ラミナの引張試験、  | 北海道立林産試験場  |
| 6) ヒノキ集成材ラミナの引張試験、   | 静岡県林業技術センター  |
| 7) ベイツガ集成材ラミナの引張試験、  | 静岡県林業技術センター  |
| 8) ベイマツ集成材ラミナの引張試験、  | 森林総合研究所  |

#### 2. 平成7年度の実施内容

- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| 1) カラマツ集成材ラミナの引張試験、 | 長野県林業総合センター         |
| 2) スギ集成材ラミナの引張試験、   | 森林総合研究所<br>宮城県林業試験場 |

- 3) ベイマツ集成材ラミナの引張試験、
- 4) スギ集成材ラミナの曲げ試験、
- 5) スギ正角製材の曲げ試験、
  
- 6) スギ平角製材の曲げ試験、

長野県林業総合センター  
 徳島県林業総合技術センター  
 長野県林業総合センター  
 宮城県林業試験場  
 三重県林業技術センター  
 福岡県森林林業技術センター  
 長野県林業総合センター  
 岩手県林業技術センター  
 静岡県林業技術センター

### 3. 平成8年度の実施内容

- 1) スギ集成材ラミナの引張試験、
  
- 2) アカマツ集成材ラミナの引張試験、
- 3) カラマツ集成材ラミナの引張試験、
- 4) スギ集成材ラミナの曲げ試験、
  
- 5) カラマツ集成材ラミナの曲げ試験、
- 6) カラマツ正角製材の曲げ試験、
- 7) スギ平角製材の曲げ試験、
  
- 8) エゾマツ正角製材の圧縮試験、

森林総合研究所  
 宮城県林業試験場  
 静岡県林業技術センター  
 森林総合研究所  
 長野県林業総合センター  
 宮城県林業試験場  
 長野県林業総合センター  
 長野県林業総合センター  
 長野県林業総合センター  
 岩手県林業技術センター  
 静岡県林業技術センター  
 福岡県森林林業技術センター  
 北海道立林産試験場

別表 これまでの実験実施概要（平成6年度～平成8年度）

製材					
樹種	断面寸法	項目	n	機関	年度
エゾマツ	10×10	縦圧縮	66	北海道	H8
エゾマツ	10×10	全面横圧縮	66	北海道	H8
エゾマツ	10×10	材端部部分横圧縮	66	北海道	H8
カラマツ	10.5×10.5	曲げ	144	長野	H8
スギ	10.5×10.5	曲げ	100	三重	H7
スギ	10.5×10.5	曲げ	30	福岡	H7
スギ	12×12	曲げ	100	長野	H7
スギ正角、曲げ 計			230		
スギ	12×24	曲げ	83	岩手	H7
スギ	12×24	曲げ	80	岩手	H8
スギ	平角	曲げ	192	静岡	H7
スギ	平角	曲げ	150	静岡	H8
スギ	平角	曲げ	60	福岡	H8
スギ平角、曲げ 計			565		
ヒノキ	10.5×10.5	曲げ	100	三重	H8
			合計		1237

集材材ラミナ

N J材					F J材				
樹種	項目	n	機関	年度	樹種	項目	n	機関	年度
アカマツ	NJ引張	131	岩手	H6	アカマツ	FJ引張	99	岩手	H6
アカマツ(島根)	NJ引張	98	森林総研	H8	アカマツ(島根)	FJ引張	105	森林総研	H8
		計	229				計	204	
エゾマツ	NJ引張	126	北海道	H6	エゾマツ	FJ引張	123	北海道	H6
		計	126				計	123	
カラマツ	NJ引張	98	北海道	H6	カラマツ	FJ引張	98	北海道	H6
カラマツ	NJ引張	200	長野	H6	カラマツ	FJ引張	200	長野	H6
カラマツ	NJ引張	104	長野	H7	カラマツ	FJ引張	103	長野	H7
カラマツ	NJ引張	150	長野	H8	カラマツ	FJ引張	156	長野	H8
カラマツ引張 計		552			カラマツ引張 計		657		
カラマツ	NJ曲げ	149	長野	H8	カラマツ	FJ曲げ	155	長野	H8
カラマツ曲げ 計		149			カラマツ曲げ 計		155		
スギ	NJ引張	170	静岡	H6	スギ	FJ引張	170	静岡	H6
スギ	NJ引張	103	三重	H6	スギ	FJ引張	110	三重	H6
スギ	NJ引張	145	徳島	H6	スギ	FJ引張	142	徳島	H6
スギ(宮崎)	NJ引張	100	森林総研	H6	スギ	FJ引張	100	森林総研	H6
スギ(栃木)	NJ引張	94	森林総研	H6	スギ	FJ引張	118	森林総研	H7
スギ	NJ引張	143	宮城	H7	スギ	FJ引張	100	森林総研	H7
スギ	NJ引張	63	徳島	H7	スギ	FJ引張	100	長野	H7
スギ(宮崎)	NJ引張	159	森林総研	H7	スギ	FJ引張	100	宮城	H8
スギ(秋田)	NJ引張	100	長野	H7	スギ	FJ引張	100	静岡	H8
スギ	NJ引張	100	宮城	H8	スギ	FJ引張	240	森林総研	H8
スギ	NJ引張	100	静岡	H8					
スギ 計		1277			スギ 計		1280		
スギ	NJ曲げ	132	宮城	H7	スギ	FJ曲げ	100	宮城	H8
スギ	NJ曲げ	100	宮城	H8	スギ	FJ曲げ	100	長野	H8
スギ(秋田)	NJ曲げ	100	長野	H8					
スギ 計		332			スギ 計		200		
スギ	NJ圧縮	127	宮城	H7					
スギ 計		127							
スプルース	NJ引張	122	北海道	H6	スプルース	FJ引張	121	北海道	H6
スプルース 計		122			スプルース 計		121		
トドマツ	NJ引張	120	北海道	H6	トドマツ	FJ引張	120	北海道	H6
トドマツ 計		120			トドマツ 計		120		
ヒノキ	NJ引張	120	静岡	H6	ヒノキ	FJ引張	120	北海道	H6
ヒノキ 計		120			ヒノキ 計		120		
ベイツガ	NJ引張	120	静岡	H6	ベイツガ	FJ引張	120	静岡	H6
ベイツガ 計		120			ベイツガ 計		120		
ベイマツ	NJ引張	91	森林総研	H6	ベイマツ	FJ引張	101	森林総研	H6
ベイマツ	NJ引張	100	長野	H7	ベイマツ	FJ引張	99	長野	H7
ベイマツ 計		191			ベイマツ 計		200		
合計		3465			合計		3300		

F J : フィンガージョイント、N J : フィンガージョイントなし