

木材の強度特性に関する研究

主として、その木材梁への適用

沢 田 稔⁽¹⁾

目 次

緒 言.....	116
1. 木材の強度特性.....	118
1.1 単純応力と歪.....	118
1.2 弾性常数.....	133
1.3 比例限度.....	142
1.4 破壊強度.....	145
1.5 強度特性値の総括.....	165
1.6 木材の破壊形態.....	167
2. 木材梁の曲げ剛性と強度.....	168
2.1 梁の横断面内における応力分布の仮定.....	168
2.2 梁の横断面に分布するセンイ歪.....	170
2.3 梁の曲げ剛性.....	172
2.4 梁の曲げ破壊条件と曲げ破壊係数.....	178
2.5 梁の寸法効果.....	180
3. 木材の強度等級に対する考え方.....	183
結 言.....	186
文 献.....	187
図版説明.....	194
Résumé.....	196
付 図.....	198
Plate	1~8

(1) 木材部木材材料科強度研究室長

緒 言

木材が、建物、橋および船などの構造物に重要な材料としてつかわれてきた歴史は古い。コンクリートや金属材料のかなり発達した現在でも、いまだに数多くの軽構造物は主として木造である。しかも、木材の生産は年とともにその需要をみたしがたくなっており、そのための当然の結果として木材利用の合理化がつよくなえられるに至った。

木構造部門でも、あらためて木材強度の適正評価が問題となり、いかにして合理的な許容応力度を定めるべきかが論議されている。

筆者も数年来木造船および木造建物関係の設計規準案作成委員会に参加を命ぜられ、木材強度関係についてその検討に加わってきたのであるが、その結果、もつとも重要な木材の基準強度について、その評価方式に大きな難点のあることを知った。すなわち、木材強度の評価が、そのいちじるしく複雑な異方性にもかかわらず、きわめて個別的である点、さらに、木材強度性能の基礎条件として当然あきらかにされていなければならないはずの応力—歪関係がほとんど究明されておらず、単なる推定によつていて適確な科学的根拠をもつていない点などがあげられる。

また、木構造材料として木材に要求される強度性能をごく大まかにみれば、

- (1) 梁、柱または板としての性能
- (2) 接手性能

に分けて考えることができるようである。

むろん、(1)が一般的にみて重要であるが、木材が異方性のつよい材料であることによつて起るツブレやワレなどの現象と関連して、木材の接手による強度の低減も大きな問題となつている。いずれにせよ、これらの性能を判断するために必要な木材強度上の基礎的性質が、明らかにされなければならないわけである。いま、その具体的な例を木材梁にとつて考えてみると、木材梁の性能すなわち、曲げ破壊に関係する強度は圧縮、引張およびせん断であり、曲げ剛性に関する弾性常数としては、ヤング係数、せん断弾性係数などがある。しかも、つねにこれらの強度または弾性常数は相互に関連したかたちで問題となる。たとえば、

- (1) 引張強度と圧縮強度との関係
- (2) 圧縮強度とせん断強度との関係
- (3) 引張と圧縮におけるヤング係数の一致性
- (4) ヤング係数とせん断弾性係数との関係

などによつて木材梁の性能は理論的に評価されるものである。さらに、このばあい重要なことは、梁の横断面内に分布する応力をどのように単純化して評価するかであり、木材セインの方向が梁軸に関して変化するさいの条件も考慮しなければならない。

ところがまえにも指摘したように、従来このような相互関連によつて木材強度を評価するやり方がとられていながつたために、ならん各強度間の関係的特性値が問題とされず、したがつて、このことに関する研究資料もごく特殊なばあいをのぞいてはほとんどないといつてよい。

筆者はこの点に注目してこの研究をはじめたのであるが、その内容については概略つぎのとおりであ

る。

まず、木材の標準的な条件としての無欠点気乾材を中心に、針葉樹アテ材および若干の多湿材について上記の相互関連評価方式をとることとした。この研究に用いた試料は、針葉樹 10 種、広葉樹 27 種（環孔材 = 9；散孔材 = 15；輻射孔材 = 3）計 37 種で、試験の条件によつて分類された試験群の数は全体で 104 に達している。その全樹種を通じての比重の範囲は 0.25~0.95 で通常とり扱われている木材比重のほぼ全域にわたっているものと考えられる。むろん、筆者は、そのような広い比重範囲について、はたして相互関連評価方式が適正に用いられうるかどうかを強度特性値の評価とともに検討することが目的であつて、おのおのの樹種についての安定な個有値をその強度特性値に関して決定することではなかつた。

このことは、つぎの研究段階において当然とあげられねばならぬ問題であり、木材強度のより合理的な取扱いにさいしてはどうしても欠くことのできない重要な実験的研究にぞくしている。

なお、この研究での具体的な検討事項はつぎのとおりである。

(1) 引張や圧縮の単純な軸応力によつて木材がどのように変形するかを多くの実験でもとめ、これを単純類型化したものについて数値的表現方式を検討した。そのさい、強度特性値として重要と考えられる「最大比例変形度」および「最大変形比」の 2 つの概念を誘導した。

(2) 木材を直交異方性材料として考えたばあいの弾性常数、および強度等の方向差を引張試験によつてもとめ、その特性的な条件を検討した。

(3) 木材の単純軸応力による破損の条件がいかなる定則性によるものであるかを検討し、最大比例変形度によつて支配されることをみとめた。

(4) 木材の梁性能を決定するために必要な条件をあたえる内応力分布の形式と各種強度および弾性常数間の関係を比較検討し、これらを単純統一的に表現するために、さらにいくつかの強度特性値を導入した。

(5) これらの強度特性値を用いて木材梁の性能を理論的に計算するばあいの有効性につき、梁の断面に関する寸法効果をふくめて検討した。

(6) 木材の強度等級類別のための基礎となる無欠点材の基準強度についてその強度特性値による表現方式を例示して筆者の考え方をのべた。

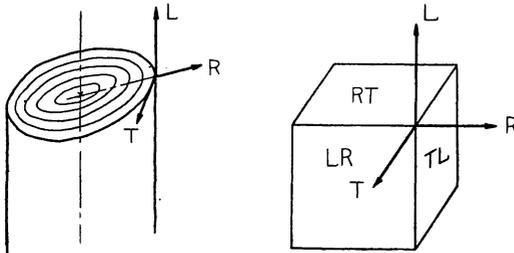
以上のことがらを実験的に検討した結果、筆者のもとめた木材強度特性値が、従来よりはるかに単純化され、かつ統一あるかたちをもつ木材強度の相互関連評価方式として有効となることを確かめえたものとおもわれる。

こんど、さらにこれらの特性値について樹種と材質に応ずる安定域と指標値を決定すること、および、木材の接合条件とこれによる強度、剛性の低減の機構を究明することが重要な課題となるものとかんがえられる。

この研究をおこなうにあたり、終始御親切な御指導をいただいた林業試験場小倉木材部長、構造模型の写真を提供して下さつた東大工学部竹鼻三雄氏に対し、また実験にあつて、つねに有益な助言と協力をあたえられた強度研究室山井技官はじめ室員各位に対し心から感謝の意を表する。

1. 木材の強度特性

木材は近似的には第 1 図に示すような互いに直交する 3 つの主軸をもつ直交異方性材料(Orthotropic material)と考えることができる。



第 1 図 木材の直交 3 軸

Fig. 1 The three axes of wood

L=Longitudinal axis=セニイ方向軸

R=Radial axis=放射方向軸

T=Tangential axis=接線方向軸

LR=Longitudinal-radial surface=柃目面

RT=Radial-tangential surface=木口面

TL=Tangential-longitudinal surface=板目面

また、この 3 軸方向は強度的にもそれぞれ異なる性質をしめしていちじるしく特性的である。そこで、まず、木材の強度特性がこれら 3 軸方向に関してどのようなになっているかについてのべるが、順序として、力学的にもつとも基本的な性質とみられる単純応力と歪の関係を明らかにし、ついで弾性常数、比例限度および破壊強度等の数値的取扱いはいることにする。

また、この 3 軸方向は強度的にもそれぞれ異なる性質をしめしていちじるしく特性的である。そこで、まず、木材の強度特性がこれら 3 軸方向に関してどのようなになっているかについてのべるが、順序として、力学的にもつとも基本的な性質とみられる単純応力と歪の関係を明らかにし、ついで弾性常数、比例限度および破壊強度等の数値的取扱いはいることにする。

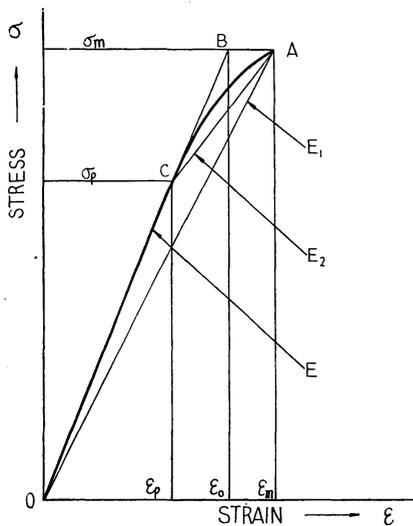
1.1 単純応力と歪

木材の 3 軸方向の引張および圧縮における伸びおよび縮み量の測定方法についてはすでに発表^{7) 21) 28) 29) 63) 85)}したように、試験体中央部の標点間にとりつけられた鏡式 extensometer を用い、とくに、圧縮における試験体全長の縮み量の測定にはダイヤル・ゲージ (10⁻²mm) を用いた。

これまでもおこなってきたかなり多くの実験結果から木材の単純応力-歪曲線の基本型を第 2 図のように考えることができる。これは、その応力が破壊応力に達したところまでを対象としている。

1.1.1 応力-歪曲線の基本型

これまでおこなってきたかなり多くの実験結果から木材の単純応力-歪曲線の基本型を第 2 図のように考えることができる。



第 2 図 応力-歪曲線の基本型

Fig. 2 Standard type of stress-strain curve

これは、その応力が破壊応力に達したところまでを対象としている。

なお、このばあいの歪は試験体の中央部において測られるもので、圧縮における両端末の影響や、引張におけるツカミ部分の二次的な応力による影響をとりぞいたものである。図において、曲線 OCA が応力-歪曲線で OC 部分が直線域、CA 部分が曲線域である。したがって、通常 OC 部分について弾性係数がも定められ、C 点における応力がいわゆる比例限度である。CA 部分は一般に弾塑性域とみられ、A 点での応力が強度である。

つぎに、この曲線を数値的に表現する方法についてのべる。

まず、(1.1) 式によつて「最大比例変形度」の概念を定める。

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p} = \frac{\sigma_m}{\epsilon_0} \dots \dots \dots (1.1)$$

ここに、

E = ヤング係数 σ_p = 比例限度力度
 σ_m = 破壊力度 (強度) ϵ_p = 比例限度歪
 ϵ_0 = 最大比例変形度

= 直線 OC を破壊力度のところまで延長したときの **仮想歪** をあらわす。

さらに、応力—歪曲線の曲線域の広がりをしめす「最大変形比」を (1.2) 式によつて定める。

$$K_0 = \frac{\epsilon_0}{\epsilon_m} = \frac{E_1}{E} \dots \dots \dots (1.2)$$

ここに、

ϵ_m = 破壊歪
 $E_1 = \sigma_m / \epsilon_m \dots \dots \dots (1.3)$
 K_0 = 最大変形比

いま、比例限度力度の破壊強度に対する比を γ であらわすと、

$$\gamma = \frac{\sigma_p}{\sigma_m} \dots \dots \dots (1.4)$$

これらの関係から (1.5) 式がみちびかれる。

$$E_2 = \frac{1-\gamma}{1-\gamma \cdot K_0} \cdot E_1$$

$$= \frac{(1-\gamma)K_0}{1-\gamma \cdot K_0} \cdot E \dots \dots \dots (1.5)$$

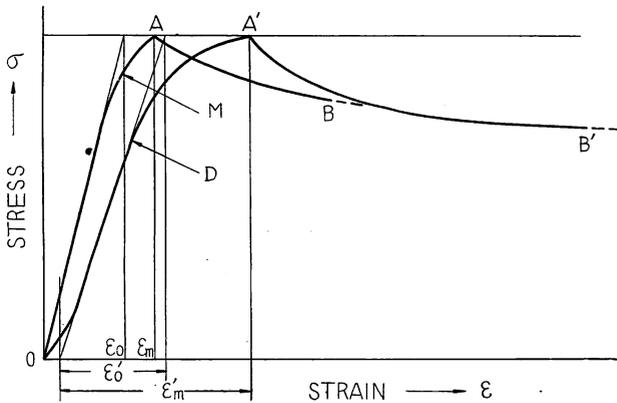
(1.5) 式の E_2 は応力—歪曲線の曲線域を直線表示するばあいの一種の塑性係数にあつてゐる。したがつて、もし K_0 の値がいちじるしく小さければ、 E_2 とこの部分の曲線性とはかなりズレてくる。このやうなときには、 E と E_1 との平均値 E_3 をとり、この E_3 と E または E_1 との間に、 E と E_1 についてもとめたと同様の関係から、 E_2 のかわりに、 E_4 と E_3 に関する折れ線をひくことができるわけである。

このとき、 E_4 を第1次の塑性係数、 E_3 を第2次の塑性係数と考えればよい (むろん、ここにのべた塑性係数は正しい意味のものではなく曲線性を論ずるにあつての便宜的な内容をしめすものである)。このような取扱いは、とくに柱の塑性域座屈のばあい問題となることである。いずれにしても、上記の関係から、もし、圧縮または引張試験によつて、 ϵ_0 、 K_0 および γ などの値をきめることができれば E または σ_m のいずれか一方を知ることによつて応力—歪曲線の数値的な取扱いが可能となる。このばあい、 ϵ_0 、 K_0 および γ の値が樹種と材質に応じてある定まつたものであれば、これらを木材の単純応力—歪曲線における特性値と考えることができるわけである。

このほか、応力—歪曲線の内容をあらわすものとしては、いわゆる 'Völligkeitsgrad' がある。これは、実際にえがかれる応力—歪曲線からもとめられた変形エネルギーが $\sigma_m \times \epsilon_m$ の値に対してしめす比のかたちであらわされる。したがつて、もし全域が直線的ならば、その値は 0.5 となり、曲線域が大きいほど 1.0 にちかづくことになる。

つぎに、圧縮、引張および振りの順序で特徴的な試験の例をあげて説明する。

1.1.2 圧縮応力—歪曲線 センイ方向の応力—歪曲線では、前述した基本型はいうまでもないが、さらに破壊強度に達してからセンイに破損線 (Lüder's line; compression failure line) が生じ、応



第3図 縦圧縮応力—歪曲線型

Fig. 3 Typical stress-strain curve for a compressive test parallel to grain

- M = 鏡式エキテンソメータによるもの (試片中央部)
= By a mirror-extensometer (the center part of a specimen)
- D = ダイアルゲージによるもの (試片全長)
= By a dial-gage (length of a specimen)

力の減少にともなつて歪が増大してゆく傾向をしめす。このことはとくに試験体の全長についてその変形量(縮み)を測定するさいに顕著にみとめられる現象である。いま、その圧縮応力—歪曲線を模式的にえがけば第3図のようになる。

図中 OAB = 試験体の中央部分に関するもの (extensometer)
OA'B' = 試験体の全長に関するもの (Dial gage)

全長に関する応力—歪曲線の特徴としては、ほとんどのばあい、その直線部分が原点を通らず全体としてやや「S」字型を呈している。このことがはたして、単に試験体の両端

末影響とみてよいかどうか、いまだ若干検討の余地はあるが、筆者は試験体両端末の微小な切削損傷による組織の弱化と、この部位にはたらく二次的応力によるセンイの局部的座屈にもとづくものではないかと考えている。

吉識・竹鼻氏¹⁰⁾はこの影響について数値的な取扱いをしている。すなわち、試験体の全長に関するヤング係数と中央部分に関するヤング係数との比をとつて全面圧係数と呼び、1つの特性値をしめすと論じている。

$$\text{全面圧係数} = \frac{\text{中央部分に関するヤング係数}}{\text{全長に関するヤング係数}}$$

しかし、これはあくまで樹種と材質、さらに試験体の仕上げ加工条件、および試片長などによつて変化するものと考えられるので単純に一般化して考えるにはなお若干の問題がのこされているものとおもう。

つぎに、第3図の曲線型式をしめす実例についてのべる。

(1) 針葉樹健全材 エゾマツ、ヒノキの気乾材とオビスギ、トドマツの多湿材に関する応力—歪曲線を第4図(巻末付図)にしめた。この例でもわかるように針葉樹では、一般に比例限度が高くなつてい

す。すなわち、比例限度の破壊強度に対する比(γ_c)が約0.8をしめすものが多いようである(第11表)。また、破壊応力をすぎてからの歪増加にともなう応力の低減は比較的ゆるやかである。もつとも、これはきわめて序々に負荷をおこなつたばあい、荷重速度が相当に大きければ破壊荷重に達してのちかなり急激に応力低減の起ることもある。

(2) 針葉樹アテ材 エゾマツの気乾材とエゾマツ、トドマツの多湿材の例を第5図(巻末付図)にしめた。これは、健全材にくらべて、かなり特性的であり、 γ_c の値もやや低くなつており、破壊点を

すぎてからの応力低減は一時的にははやいが、あるていど落ちると安定してくる傾向がみとめられる。いづれにしてもその曲線域のいちじるしく大きいことが注目される。

(3) 広葉樹散孔材 プナ、マカバおよびアピトンの気乾材とブナの多湿材についてそのやや特徴的とおもわれる応力—歪曲線の例を第6図(巻末付図)にしめた。破壊点をすぎてからの応力低減は針葉樹に比してやはやくなっている。材質の硬いマカバでは、この傾向が特にいちじるしい。

通常、このような図型になるものでは、その破壊線が局部的に集中して起り、かなり急激に迂りを伴う座屈に発達する。また、ときとして、縦にワレ目などを生ずることがしばしば観察される。

(4) 広葉樹環孔材 ミズナラ、ヤチダモ、ケヤキ、ハルニレおよびニセアカシアの気乾材とミズナラの多湿材についてその特徴的な曲線型を第7図(巻末付図)にしめた。このばあいは、一様に破壊点をすぎてからの応力低減はゆるやかであり、また、 γ_0 の値もかなり小さくなっている。とくにこのばあいの特徴としては、破壊点付近でみとめられる破損線はほとんど試験体の全側面にわたって細かく分散し、しだいにセン断分応力の影響によつて1カ所に集中してゆく傾向をしめすことである。なかでも、ケヤキ、ニセアカシアなどでは、筆者のこれまで観察した範囲ではほとんど例外なくこの現象がみとめられた。

もつとも、針葉樹または広葉樹散孔材においても生材か、またはこれに近い多湿材では、これによく似た現象がしばしばみとめられ、このようなばあいには、その応力—歪曲線の曲線域もやや大きくなる傾向をしめすようである。

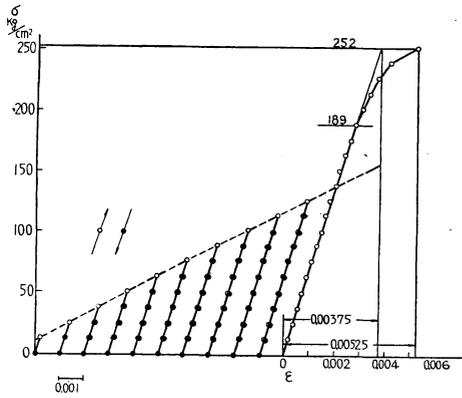
1.1.2.1 縦圧縮応力—歪曲線の直線性 応力—歪曲線の基本型で、そのはじめの応力—歪関係を直線であらわした。しかし、これがつねに、またいかなる木材についてもあてはまるとはいきれない。ほとんど大部分の木材では実験方法に全く手落ちがないかぎり、明らかに直線域をみとめうるのであるがときとして、最初から曲線的なものや極たんに直線域の少ないものもある。これらはおもに、センイの交錯性のつよい多湿材などにみうけられるが、その例はきわめて少ないようにおもわれるので、一般的なものの、すなわち、直線域をもつとみとめられるものについてその直線性を繰返し荷重による残留歪によつて検討した。

まず、スギ、アカマツ、ブナおよびミズナラの気乾材について、荷重の繰返し(負荷—除荷)をあたえながら逐次その繰返し点の応力を増大してゆくときにえがかれる圧縮応力—歪曲線を第8図にしめた。

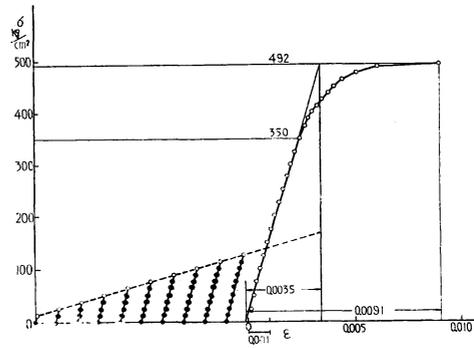
スギおよびアカマツでは、その繰返しにおける最大の応力が比例限度よりかなり低いために、ほとんど曲線に影響するようなズレを生じていない。これに対して、ブナのばあいは比例限度ギリギリまで繰返しをおこなつたために若干の残留歪をしめし、かつ回を重ねるにつれて負荷と除荷の両曲線でループをえがくようになってくる。しかし、このばあいも比例限度付近まではその直線性が失われていない。この傾向は、ミズナラについても全く同様である。

つぎに、残留歪をしらべるために、ある一定の応力に達するまで負荷をおこなつてから、同等の荷重速度で除荷する繰返しを5回おこなつて6回目に破壊せしめる方法をとつた。

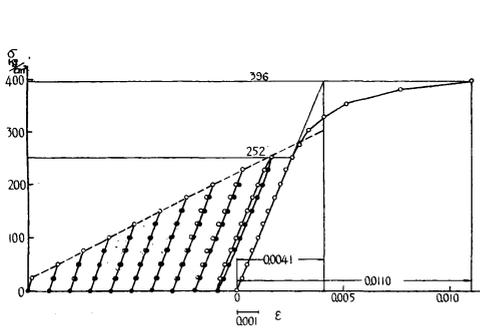
これは、エゾマツの気乾材についてもとめたもので、試料の平均年輪巾は 1.4 mm ; 平均秋材率は 14% ; 含水率は 14.5% ; 気乾比重は 0.42 で試験体の数は 35 個、エゾマツとしては普通の材質のものと考えられる。このばあい、応力の増大でヤング係数をみれば(負荷曲線)平均 $137,500\text{ kg/cm}^2$ で、各5回の測定によるバラツキは $\pm 1\%$ であつた。また、応力の減少でヤング係数をみれば(除荷曲線) $139,100\text{ kg/cm}^2$ で、バラツキは同様に $\pm 1\%$ となり負荷曲線によるヤング係数よりも除荷曲線によるものの方がやや



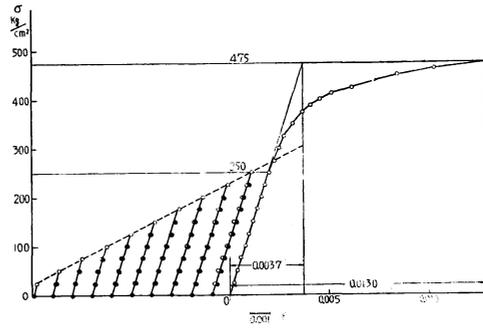
第8図—1



第8図—2



第8図—3



第8図—4

第8図 縦圧縮繰返し応力—歪曲線

Fig. 8 Stress-strain curves for the repeated compressive tests parallel to the grain

No.	Species	b mm	u %	R_u g/cm ²	E 10 ⁹ kg/cm ²	σ_c kg/cm ²	γ_c σ_p/σ_c	ϵ_{0c} σ_c/E	κ_{0c} ϵ_{0c}/ϵ_m	μ_{LR}	μ_{LT}
1	Sugi	5.5	14.0	0.32	67	252	0.75	0.0037	0.71	0.41	0.71
2	Akamatsu	1.4	13.0	0.56	140	492	0.71	0.0035	0.38	0.47	0.67
3	Buna	1.7	12.5	0.59	97	396	0.64	0.0041	0.37	0.46	0.58
4	Mizunara	2.7	14.0	0.77	128	475	0.53	0.0037	0.28	0.54	0.65

大きくなる傾向をしめした（しかし、数値的にはほとんど一致するとみてさしつかえない）。

また、6回目に応力を増大して破壊にいたらしめたときの応力—歪曲線でもとめたヤング係数は平均135,300 kg/cm²で前2者より若干低い値となっている。もつとも、このばあいはその比例限度が繰返し点よりかなり高くとられていることにもよる（圧縮強度=400 kg/cm²；比例限応力度=290 kg/cm²；繰返し点の応力度=170 kg/cm²）。

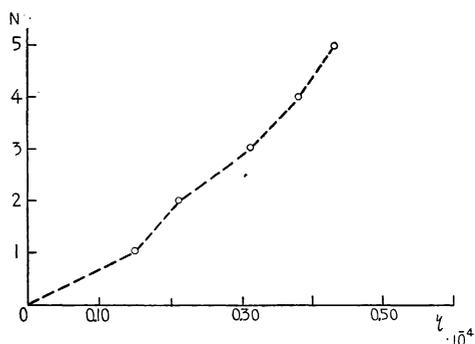
この繰返しによつてどのどの歪が残留したかをしめすが第9図である。

その傾向としては、たしかに繰返しの回を重ねるにしたがつて残留歪は増大するが、その値はきわめて小さく、5回目で 0.000043, すなわち、0.005%にもみたない。

通常、比例限度の歪は、エゾマツで約0.2%ていどはあるから、残留歪はその約2%内外とみてよい。このぐらひは測定精度からみてもあまり問題にはならないものとおもわれる。したがつて、はなはだ厳密な意味では、その比例域における直線性と弾性は完全なものとはいえないにしても、一般的にみて実用上の評価においては十分な弾性的挙動をしめすものとしてその直線性もみとめてよいものと考えられよう。

1.1.2.2 縦圧縮による横方向の伸び

木材が、センイ方向に圧縮応力を生ずると同時に、これと直角の方向、すなわち、放射方向と接線方向とに同時にそれぞれ伸びを生ずる。このことについてはすでに欧米において2, 3の研究¹⁾²⁾がみられるが、わがくににおいては、これまでほとんど研究資料がなかつたといつてよい。筆者は最近ポアソン比をもとめる試験方法として、この横方向の伸び(引張試験では縮み)をセンイ方向の縮みと同時的に測定する装置を考案⁷⁾した。この方法は、すでに発表してあるから詳細な説明は省くが、ナイフ・エツジによる鏡式 extensometer を利用したものである。このばあい、センイ軸方向の圧縮応力に対する歪関係をし

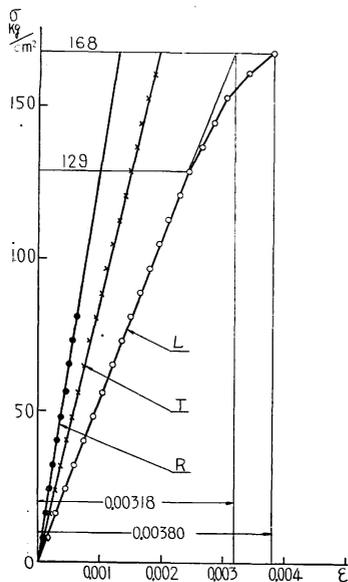


第9図 圧縮比例限度内での繰返し応力による残留歪

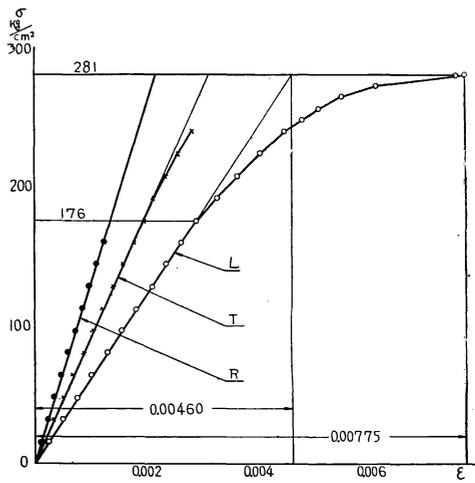
Fig. 9 Residual strain (η) obtained in the repeated compressive tests (at the stress below P. L.)

N = Repeat No.

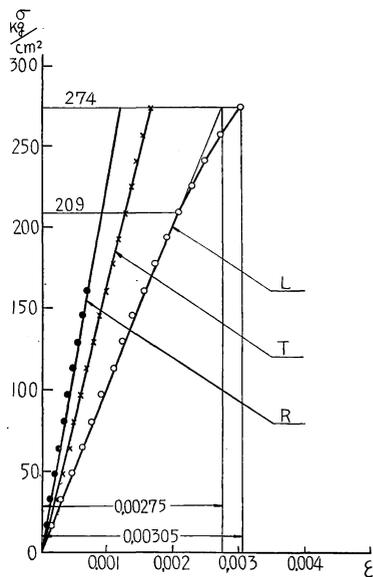
めしたのが第10図である。



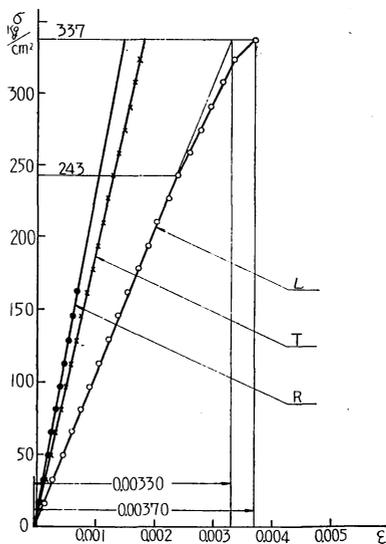
第10図-1



第10図-2



第 10 図—3

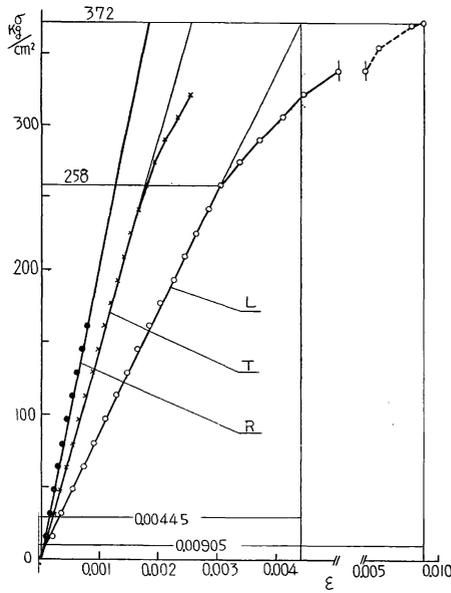


第 10 図—4

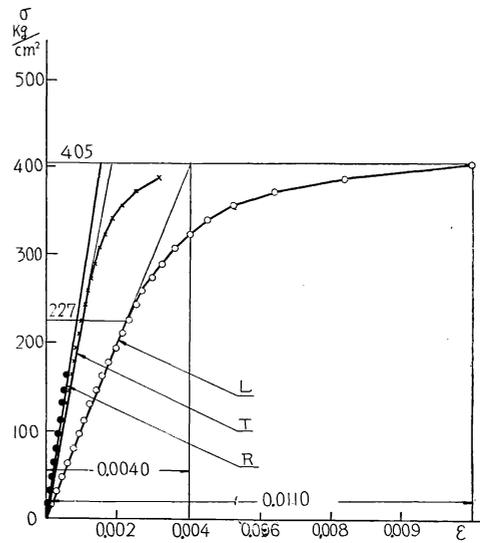
第 10 図 縦圧縮による縮みと横方向の伸び曲線

Fig. 10 Compressive stress-compressive and expansive strain curves

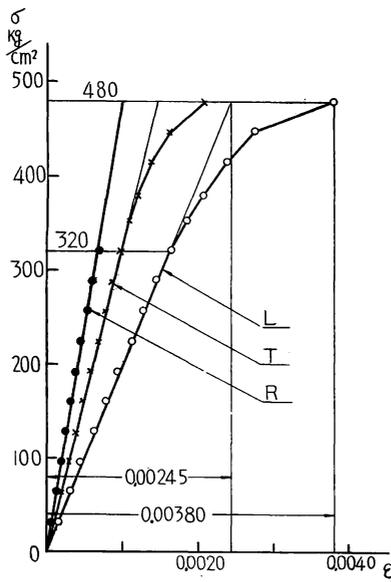
No.	Species	b mm	u %	R _c g/cm ³	R ₀ g/cm ³	E 10 ³ kg/cm ²	E ₁ 10 ³ kg/cm ²	σ _p kg/cm ²	σ _c kg/cm ²	γ _c σ _p /σ _c	ε _{0c} σ _c /E	K _{0c} ε _{0c} /ε _m	μ _{LR}	μ _{LT}
1	Sugi	7.9	18.1	0.25	0.21	52.8	44.2	129	168	0.77	0.0032	0.84	0.41	0.59
2	Obi-sugi	8.0	18.4	0.37	0.31	61.0	36.3	176	281	0.63	0.0046	0.59	0.44	0.65
3	Yezomatsu	1.8	16.1	0.37	0.32	98.9	90.0	209	274	0.77	0.0028	0.90	0.45	0.62
4	Hinoki	1.4	14.8	0.38	0.33	101	91	243	337	0.72	0.0033	0.89	0.44	0.55
5	Akamatsu	1.6	13.0	0.45	0.40	82.4	41.5	258	372	0.70	0.0044	0.49	0.41	0.58
6	Buna	2.0	14.1	0.61	0.54	101	37	227	405	0.56	0.0040	0.36	0.39	0.45
7	Apitong	—	15.9	0.64	0.55	196	127	320	480	0.67	0.0025	0.65	0.40	0.53
8	Kiri	12.0	13.8	0.28	0.25	60	41	176	228	0.77	0.0038	0.69	0.41	0.56
9	Mizunara	2.8	15.5	0.77	0.67	129	31	322	527	0.61	0.0041	0.24	0.45	0.60
10	Locust, black	5.0	13.6	0.77	0.68	113	35.5	324	550	0.59	0.0049	0.32	0.44	0.59
11	Keyaki	4.0	13.6	0.69	0.61	97	36.5	324	474	0.68	0.0049	0.38	0.36	0.54
12	Ichiigashi	2.4	14.9	0.79	0.69	160	55.5	452	638	0.71	0.0040	0.35	0.41	0.54



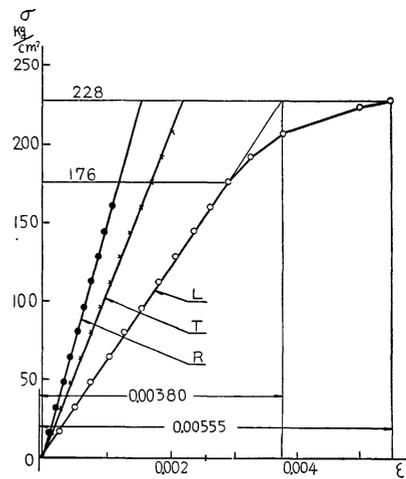
第 10 図—5



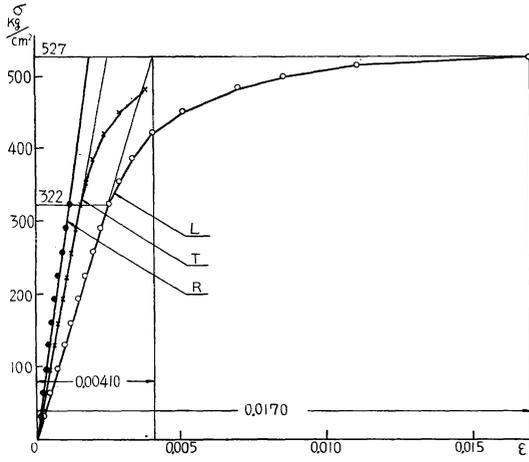
第 10 図—6



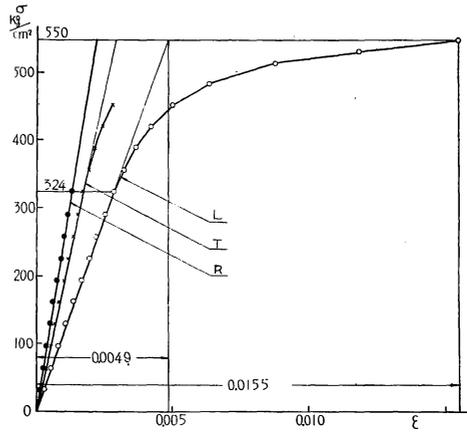
第 10 図—7



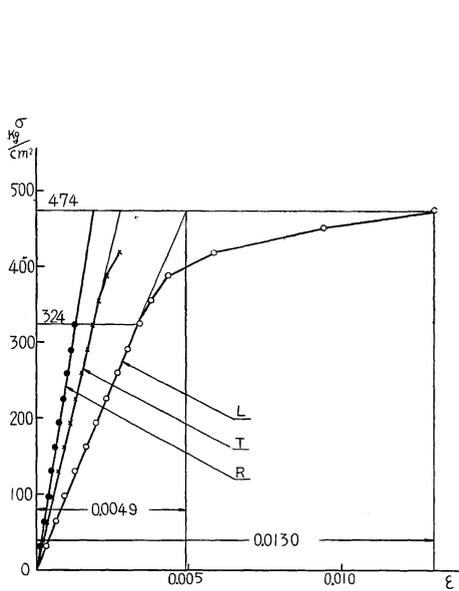
第 10 図—8



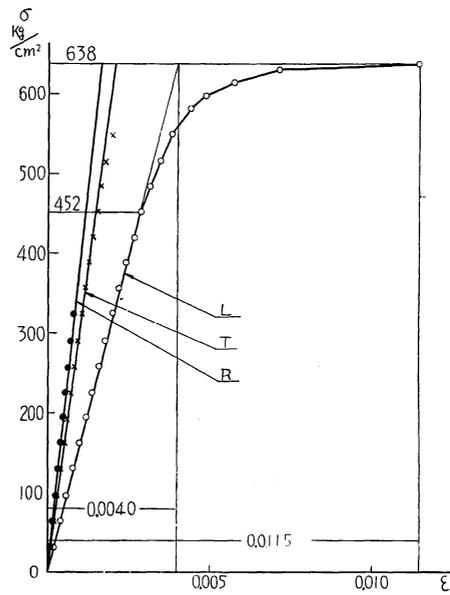
第 10 图—9



第 10 图—10



第 10 图—11



第 10 图—12

針葉樹 5 種、広葉樹 7 種についてその平均的な例でしめたように、ほとんど例外なく接線方向の伸びの方が放射方向の伸びより大きいことが知られた。

1.1.3 引張応力—歪曲線 木材の引張応力—歪曲線に関する実験資料は現在までのところきわめて少ないので、とくにやや詳細な検討を加えてみることにした。

1.1.3.1 縦引張応力—歪曲線 センイ方向(L)の引張による応力—歪曲線は、一般にその破壊応力の点まで直線的とみなされている。

このことは、実用上とくに針葉樹材に重点をおくかぎりではほぼ正しいのであるが、樹種と材質を通じつねに全域直線的であるとはかぎらない。筆者のこれまでにこなつた実験の範囲では、針葉樹と広葉樹の乾燥材で健全なものであればだいたい全域直線的とみてよく、また、針葉樹およびアピトンのような比較的センイ走向の良好な南洋材では、たとえ多湿材であつても直線的となる傾向がつよいようである。これに対して、針葉樹アテ材および大部分の広葉樹多湿材では、かなりな曲線傾向をもっている。

これらの試験例として、針葉樹 11 種 (15 試験群)、広葉樹 6 種 (7 試験群) についてその全域がほぼ直線的とみられるものを第 11 図 (巻末付図) に、また、曲線域のあきらかなものを第 12 図 (巻末付図) にしめた。

このばあい、前述の応力—歪曲線の基本型でのべた特性値 K_0 の値でいえば、0.75~1.0 のものが第 11 図にしめたもの、0.5~0.75 のものが第 12 図にしめたものである。

ここに、針葉樹アテ材は水分条件のいかんをとわず、つねに大きな曲線域をしめしていちじるしく特性的である。

1.1.3.2 放射方向の引張応力—歪曲線 この方向(R)の応力—歪曲線は縦引張のばあいとかなりよく似ている。しかし、針葉樹のなかにも K_0 の値が 0.8 以下となるものがしばしばみうけられるのは注目される。

また、広葉樹では、キリやアピトンのようなものをのぞいてだいたい K_0 の値は 0.8 以下となつており、とくに、イチイガシでは K_0 の値が小さく相当大きな曲線域をしめしている。

針葉樹 3 種、広葉樹 7 種についての曲線を第 13 図 (巻末付図) にしめた。なお、このばあいの変形特性は主としてその春材部細胞膜壁に依存するものと考えられる。

1.1.3.3 接線方向の引張応力—歪曲線 この方向(T)の応力—歪曲線は放射方向のばあいよりやや曲線的傾向がつよくなつている。

放射方向と同等材質の 10 樹種について、その引張応力—歪曲線をしめたのが第 14 図 (巻末付図) である。針葉樹では、エゾマツがやや曲線的の間をもっているが他のスギおよびアカマツではほぼ直線的とみられる。また、広葉樹では、かなり針葉樹にちかい材質をもつとみられるアピトンやキリをふくめて、ほとんどすべてかなり明らかな曲線域をしめしている。

しかし、このばあい、正しく接線方向に一致させて試験することは相当にむづかしく、試験体に年輪矢高の影響をなくすることもほとんどできない。そのうえ、秋材と春材との組織差 (密度差) による応力のかかり方にも一樣な条件をもとめるのは不可能である。したがつて、この方向に関しては、あくまで実際の近似的な意味に考えなければならないものとおもわれる。

1.1.3.4 センイ方向と放射方向とにそれぞれ 45° をなす方向の引張応力—歪曲線 これは、柾目面で 45° の目切れのあるばあいの引張 (LR_{45}) にあたつている。したがつてその軸応力は引張分応力とセ

ン断分応力とに分けられる。

いま、その応力を軸応力にとつて応力—歪曲線をえがけば第 15 図（巻末付図）のようになる。

針葉樹では、ほとんどセンイ方向のばあいと同様な線図になるが、広葉樹では一様に曲線域がみられ、その曲線傾向は放射方向よりもややつよくなつていようである。なお、このばあいの変形の内容としては、セン断分応力による迂り変位がふくまれている。

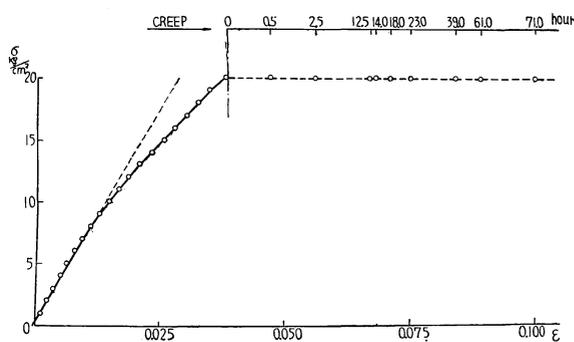
1.1.3.5 センイ方向と接線方向とにそれぞれ 45° をなす方向の引張応力—歪曲線 このばあいは、板目面の目切れが 45° のときにあたつている。これを TL₄₅ の記号であらわすことにする。変形の内容については、前述の LR₄₅ のばあいと同様であり、また、その引張応力—歪曲線の型式でもほとんど同様とみてよい。

これらについては、第 16 図（巻末付図）にしめしたとおりである。

1.1.3.6 放射方向と接線方向とにそれぞれ 45° をなす方向の引張応力—歪曲線 これは追根木取（正しくは四方柱）の材を横方向に引張つたときの応力—歪曲線をさしている。これを RT₄₅ であらわすことにする。このばあいは、前述の 5 つの方向とくらべて最も大きな曲線域をもち、その変形量の絶対値も最大でいちじるしく特性的である。

さらに、この方向では、針葉樹で極たんに伸びが大きく、曲線域も大で、ある限度以上の伸びを extensometer で実測するためには特殊な処置を必要とするほどである。これに対し、広葉樹では、大体において、線図的には接線方向のときと近似している。このことは、引張における針葉樹と広葉樹との特性差をしめすものとみられ、両者のセンダン弾性係数のいちじるしい差異に原因があるものと考えられるが、いずれにしても、この方向の最大伸長度が針葉樹では 10% まはるかにこえるということは、木材としては注目に値することがらである。

これらの特徴的な例を第 17 図（巻末付図）にしめしておく。また、とくにエゾマツについて、この方



第 18 図 RT₄₅ 方向の短時間引張クリープ試験による
応力—歪曲線（エゾマツ）

Fig. 18 A stress-strain curve for a short time
tensile creep test in the direction RT₄₅
(Yezomatsu)

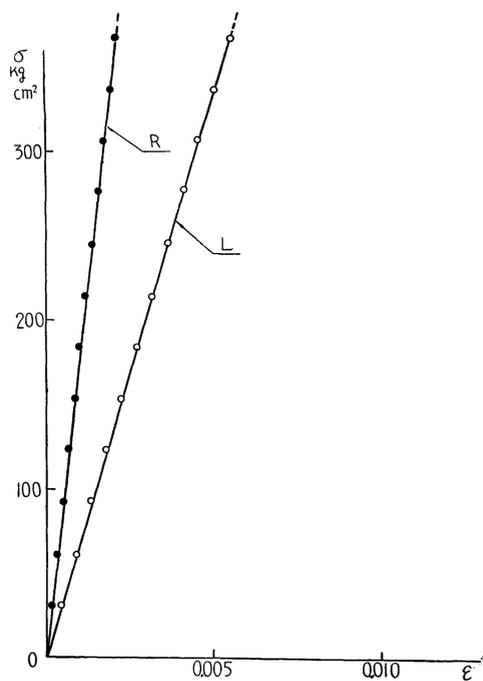
$b=2.0\text{ mm}$; $u=15.0\%$; $R_n=0.38$; $R_0=0.33$
 $E=0.679 \cdot 10^3\text{ kg/cm}^2$; $\sigma_t=43.7\text{ kg/cm}^2$;
 $\epsilon_0=0.064$

向に引張力を加え、比例限度をこえ破壊応力の約 50% までで応力を一定に保ち、短時間のクリープをおこなつたところ、70 時間後には約 10% の伸長度をしめした。第 18 図にその曲線をしめす。

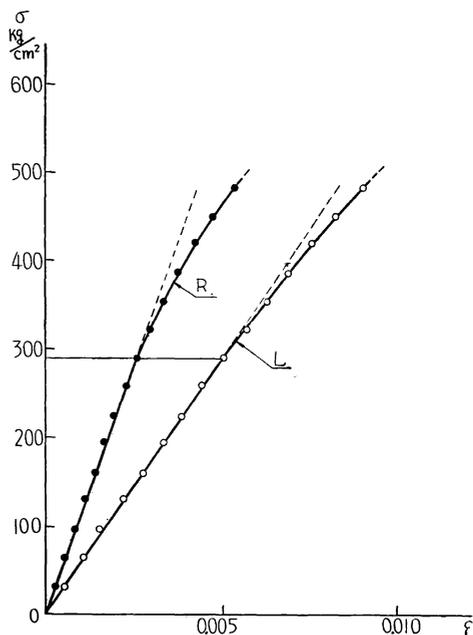
1.1.3.7 センイ方向の引張による放射方向の縮み センイ方向に引張応力をあたえたばあい、木材の放射方向および接線方向に縮みを生ずる。第 19 図に、センイ方向の引張によるその方向の伸びと放射方向の縮み線図を例示した。

これらの線図でもわかるように、その横方向（放射方向）の縮みの発達もセンイ方向の伸びと同様にかなり良い

直線性をしめしている。なお、引張による横方向の縮みと圧縮による横方向の伸びとは、その割合（ポアソン比）においてほとんど一致しているとみられる⁷⁾。



第 19 図—1

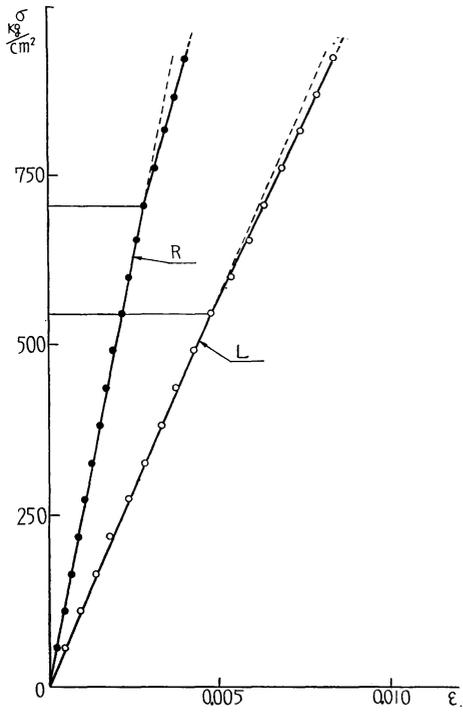


第 19 図—2

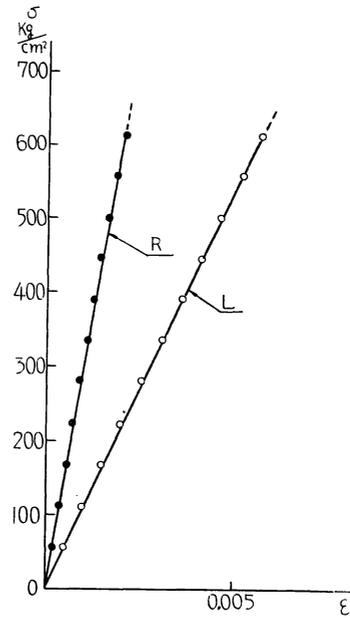
第 19 図 センイ方向の引張による伸びと放射方向の縮み曲線

Fig. 19 Tensile stress-tensile strain and contractive strain in the radial direction curves for tensile tests parallel to the grain

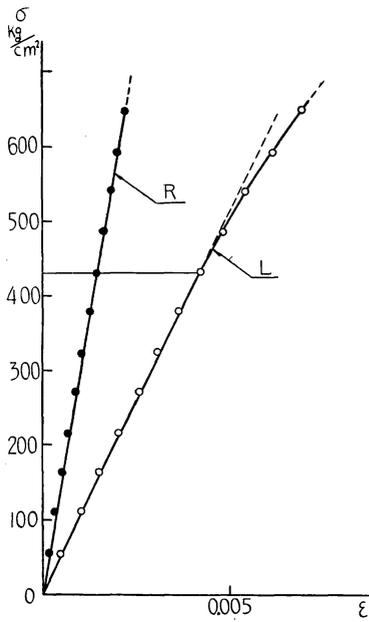
No.	Species	b mm	u %	R_u g/cm ³	R_0 g/cm ³	E 10 ³ kg/cm ²	σ_t kg/cm ²	ϵ_0 σ_t/E	μ_{LR}
1	Sugi	5.7	16.4	0.29	0.25	69.7	561	0.0081	0.40
2	Obi-sugi	7.1	16.3	0.35	0.30	58.2	698	0.0120	0.51
3	Yezomatsu	2.0	15.8	0.37	0.32	110.0	1195	0.0109	0.44
4	Akamatsu	2.0	19.7	0.42	0.35	108.2	991	0.0092	0.36
5	Buna	1.8	15.0	0.56	0.49	101.0	1056	0.0104	0.35
6	Apitong	—	17.5	0.66	0.56	224.5	2110	0.0082	0.40
7	Mizunara	2.5	16.0	0.71	0.62	120.8	1498	0.0124	0.39
8	Keyaki	3.6	15.4	0.68	0.59	97.3	1338	0.0138	0.36
9	Ichiigashi	2.5	15.4	0.79	0.69	172.4	2060	0.0120	0.40



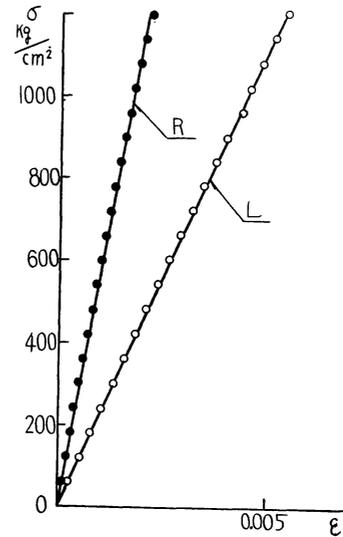
第 19 图—3



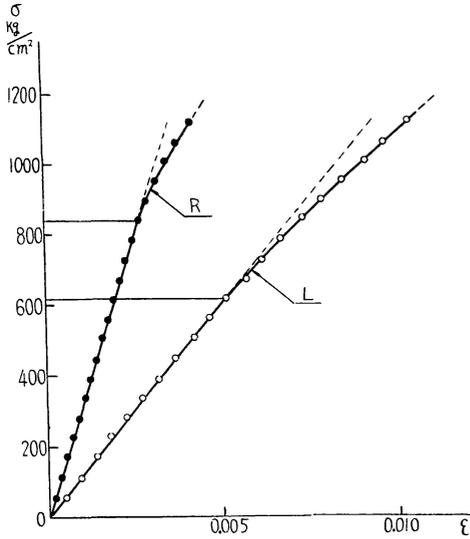
第 19 图—4



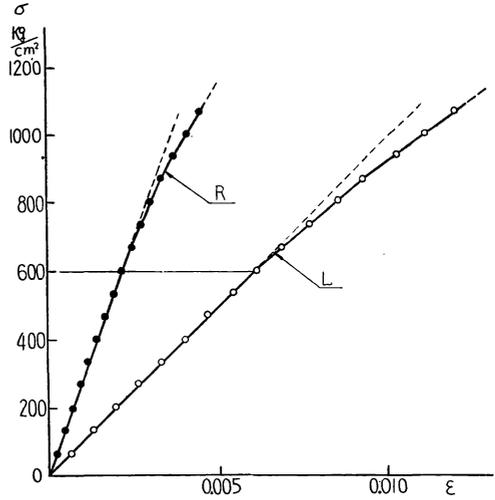
第 19 图—5



第 19 图—6



第 19 図—7

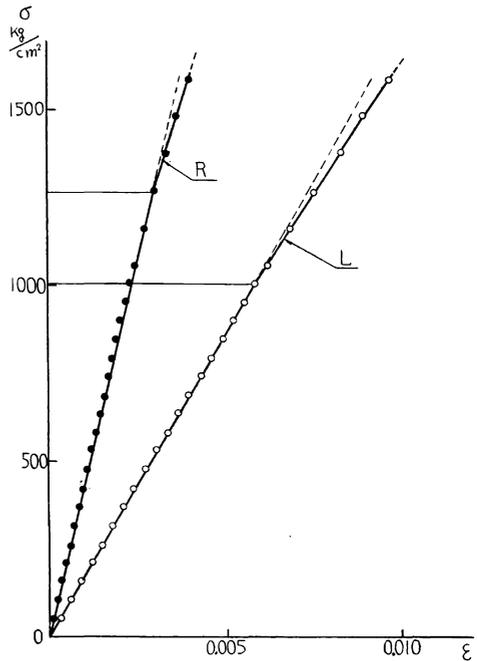


第 19 図—8

1.1.3.8 縦引張における応力—歪曲線の直線性と弾性ヒステリシス 縦引張における比例限度内の応力—歪曲線の直線性をたしかめるために縦圧縮のばあいと同様 5 回の繰返し応力をあたえ 6 回目に引張破壊せしめた。

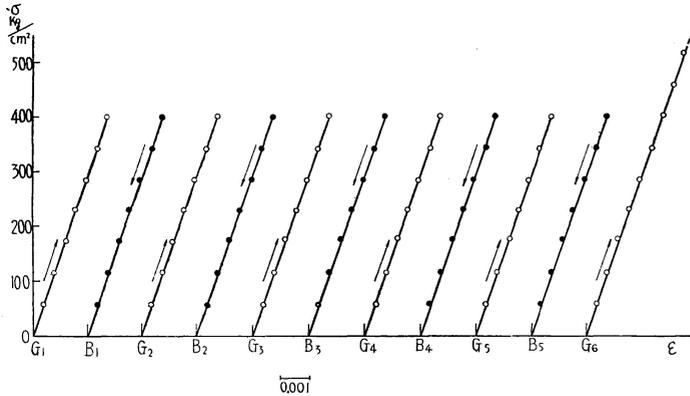
試料はエゾマツで、平均年輪巾=1.3 mm；平均秋材率=14%；平均含水率=14.5%；平均比重=0.41 で前述の圧縮繰返し試験に用いたと全く同等の材質のものである。試験体数は 35 個で、その平均的な例を第 20 図にしめた。

このばあい、繰返し点の応力が引張強度の約 34% であつて、その直線性はきわめて良好である。なお、繰返しによる各回の残留歪をみると、1 回目が 0.0015%；2 回目, 0.0018%；3 回目, 0.0022%；4 回目, 0.0024%；5 回目, 0.0025% となり、繰返し回数が増加につれて若干増大する傾向をしめしているが、その値はきわめて小さく、ほとんど無視しうるでいとみることができよう。

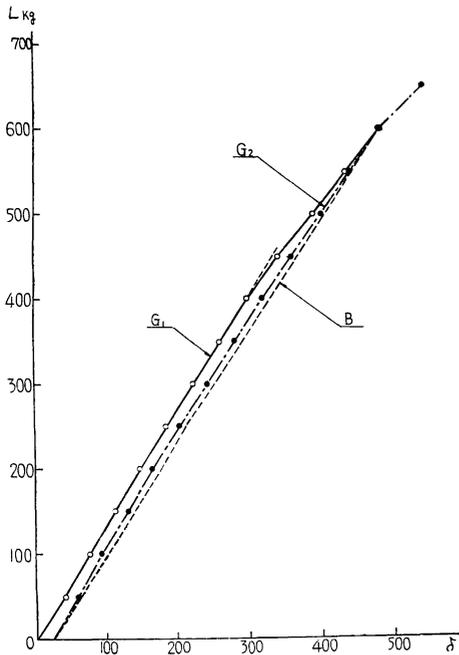


第 19 図—9

つぎに、同様エゾマツについておこなつた弾性ヒステリシス線図を第 21 図にしめす。これは比例限度を少し越えたところから応力を減少せしめたものであるが、かなりきれいなループをえがいている。



第 20 図 エゾマツ材の縦引張繰返し応力—歪曲線
 Fig. 20 Stress-strain curves for a repeated tensile tests parallel to the grain of Yezomatsu
 $b=1.5\text{ mm}$; $u=14.4\%$; $R_n=0.41$;
 $E=145,000\text{ kg/cm}^2$; $\sigma_t=1,181\text{ kg/cm}^2$



第 21 図 エゾマツ材の縦引張弾性ヒステリシス
 Fig. 21 A elastic hysteresis loop for a tensile test parallel to the grain of Yezomatsu

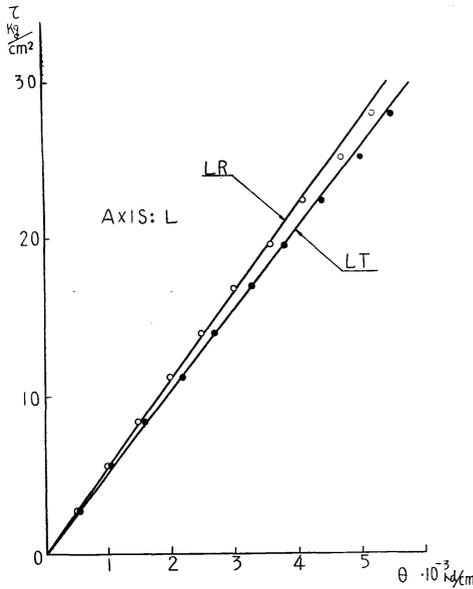
1.1.4 セン断応力—歪

曲線 木材のセン断応力—歪曲線は直交 3 主軸の各 2 軸によつてつくられる平面内での応力と歪関係としてあらわされるが、平板の対角線方向に引張または圧縮をあたえることによつて直接えられるものと、円形または正方形断面棒の軸を各主軸に一致させて振りにあたえてもとめられるものとにわけられる。ドイツにおいてはもつぱら正方形断面棒の振りによつてもとめ

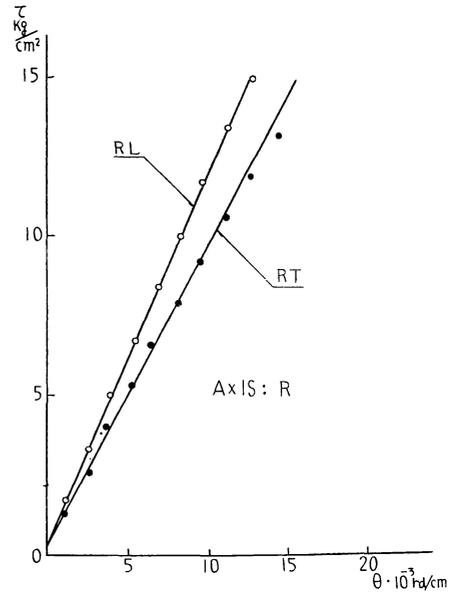
ている¹²⁾が、アメリカのマヂソン林産研究所の最近の報告¹²⁷⁾によれば、平板に振りモーメントをあたえて近似的にもとめている。しかし、正しくは矩形断面のもので直接もとめることは理論上不可能であり、たとえ正方形断面のもので、その数値的なり扱いにおいては、収斂性などの問題もあつて、かなり厄介なものと考えられる。したがつて、最も条件のよいものはいうまでもなく円形断面棒の振りであろう。

筆者は、この円形断面棒の振りにおいて、はたしてその断面の円周上で均一な振り角をしめすかどうかをたしかめるために実験をおこなつてみた。その結果は第 22 図に例示したように試験体の縦断面によつてあるていど差のあることをみとめた。用いた試料はアカマツの気乾材であるが、もつとも方向差の少ないのはセンイ軸の廻りの振り角で、放射軸および接線軸ではいずれも若干異なるようであるが測定上の誤差もあり、数値的にはほとんど、問題にならないようである。

なお、本研究では、セン断弾性係数 (G) の値を JENKIN²⁾ の式から計算でもとめた。これは、現在のところ、十分な精度で振り試験をおこなうことに相当困難な点があり、とくに、他の弾性常数との関係を理論的に一致せしめておいた方が数値的な取扱い



第 22 図—1



第 22 図—2

第 22 図 振り応力—歪曲線 (アカマツ)
Fig. 22 A stress-strain curve for a torsion test of Akamatsu

- 1: Axis L
- 2: " R
- 3: " T

に便宜があると考えたからである。

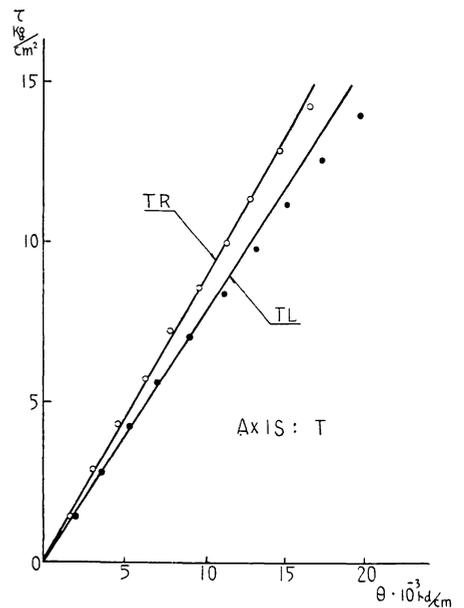
したがって、この応力—歪曲線についての検討は今後
にのこされている。

1.2 弾性常数

1.2.1 ヤング係数 (E)

1.2.1.1 ヤング係数の異方性 木材のヤング係数が圧縮と引張とにおいてほとんど差のないことはすでに明らかであり、これについては筆者もこれまでにかなり多くの実験結果^{28) 63) 64) 65) 66) 67) 85) 86) 87) 88) 95) 106) 107)} を発表している。したがって、問題は木材の直交3軸の方向におけるヤング係数が樹種の差をふくめてどのように異なっているかということである。筆者は、この点の検討をとくに引張試験によつておこなつた。その試験条件はだいたいにおいて日本工業標準規格—木材試験法—(JIS Z 2112) に準じている。また、伸びの測定等についてはすでに発表したものと同様に鏡式 extensometer を用いた。

この試験は気乾材を対象としておこなつたものであるが、各方向 (L, R, T, LR₄₅, RT₄₅, TL₄₅) の試



第 22 図—3

第1表 木材のヤング係数

Table 1. Young's moduli and related properties.

	Species	b	s	ϕ_a	u	Ru	E (Young's modulus) $10^3 \cdot kg/cm^2$					
		mm	mm	%	%	g/cm^3	L	R	T	LR ₄₅	RT ₄₅	TL ₄₅
Softwoods	Sugi	6.1	0.23	3.5	15.5	0.32	64	6.0	2.8	12.1	0.57	5.3
	Yezomatsu	1.7	0.20	10.5	15.0	0.39	110	8.7	3.8	13.2	0.69	7.7
	Akamatsu	1.4	0.48	34.0	13.0	0.55	139	12.9	6.7	23.5	1.18	11.8
Hardwoods	Kiri	11.2			11.0	0.28	60	6.5	2.3	—	—	—
	Kokonoe-Kiri	17.5			11.0	0.28	59	6.9	1.7	—	—	—
	Buna	1.6			13.5	0.61	107	16.2	6.2	22.1	6.7	10.3
	Mizunara	2.4			14.0	0.76	120	16.4	9.6	22.9	6.0	14.7
	Keyaki	3.5			13.0	0.69	92	16.0	10.8	25.4	10.4	18.9
	Ichiigashi	2.6			13.5	0.81	162	18.0	8.8	33.8	13.8	16.6
	Locust	7.5			14.5	0.73	144	18.7	13.4	—	—	—
	Apitong	—			15.0	0.62	200	10.2	5.6	15.2	—	11.6
	Kruin	—			15.0	0.82	191	14.5	5.2	—	—	—

b=Width of annual ring; s=Width of summerwood; ϕ_a =Percentage of summerwood at cross-section of specimen; u=Moisture content; R_u =Specific gravity at test; L=Longitudinal direction; R=Radial; T=Tangential; LR₄₅=45° in LR plane; RT₄₅=45° in RT plane; TL₄₅=45° in TL plane.

第2表 ヤング係数の異方性

Table 2. Values of E/E_L

	Species	u	R_u	$\frac{E_R}{E_L}$	$\frac{E_T}{E_L}$	$\frac{E_{LR45}}{E_L}$	$\frac{E_{RT45}}{E_L}$	$\frac{E_{TL45}}{E_L}$	Researcher
		%	g/cm^3						
Softwoods	Sugi	15.5	0.32	0.094	0.043	0.190	0.009	0.084	SAWADA, M. (1956)
	Spruce	12	0.37	0.074	0.041				CARRINGTON, H. (1921)
	do.	12	0.39	0.078	0.043				" "
	Yezomatsu	15.0	0.39	0.079	0.034	0.120	0.006	0.070	SAWADA, M. (1956)
	Spruce	12	0.43	0.066	0.036				JENKIN, C. F. (1920)
	do.	12	0.50	0.051	0.042				CARRINGTON, H. (1921)
Hardwoods	Scots pine	10	0.55	0.067	0.035				HÖRIG, H. (1935)
	Akamatsu	13.0	0.55	0.093	0.049	0.169	0.009	0.085	SAWADA, M. (1956)
	Oregon pine	9	0.59	0.079	0.055				STAMER, J. (1933)
	Kiri	11.0	0.28	0.108	0.038				SAWADA, M. (1956)
	Kokonoe-kiri	11.0	0.28	0.117	0.029				" "
	Maple	10	0.59	0.152	0.087				HÖRIG & STAMER (1935)
Hardwoods	Buna	13.5	0.61	0.152	0.058	0.207	0.063	0.096	SAWADA, M. (1956)
	Birch	9	0.62	0.068	0.038				HÖRIG & STAMER (1935)
	Beech	11	0.75	0.164	0.083				STAMER, J. (1935)
	Oak	12	0.66	0.403	0.183				" "
	Ash	9	0.67	0.096	0.051				HÖRIG & STAMER (1935)
	Mizunara	14.0	0.76	0.137	0.080	0.191	0.050	0.123	SAWADA, M. (1956)
	Keyaki	13.0	0.69	0.174	0.118	0.276	0.113	0.206	" "
	Ash	14	0.80	0.109	0.065				JENKIN, C. F. (1920)
	Ichiigashi	13.5	0.81	0.111	0.054	0.208	0.085	0.102	SAWADA, M. (1956)
	Locust	14.5	0.73	0.130	0.093				" "
	Apitong	15.0	0.63	0.051	0.028	0.076	0.032	0.058	" "
	Kruin	15.0	0.82	0.076	0.027				" "

験体はすべて材質的に同等とみなしうるように同等部位から(試料材片の)注意深く木取つたもので、その含水率および比重についても同等性をたしかめている。その試験結果を総括してしめたのが第1表である。

さらに、これまで外国においてもめられている結果¹⁾を加えて、センイ方向のヤング係数(E_L)と他の5つの方向のヤング係数($E_R, E_T, E_{LR45}, E_{RT45}, E_{TL45}$)との関係を比のかたちでしめたのが第2表である。

まず、 E_R/E_L の値でセンイ方向と放射方向とのヤング係数を比較すれば、針葉樹では、0.05~0.10の間にあり、広葉樹では、南洋材の2種をのぞいて0.10~0.15の範囲におさまるようである。なお、南洋材

は針葉樹群とほぼ同一の範囲にはいることは特性的である。また、 E_T/E_L の値でセンイ方向と接線方向とのヤング係数を比較すれば、針葉樹と南洋材では、0.03~0.05の範囲に、広葉樹では、キリをのぞいてほしい0.05~0.10の範囲にあつて、ちょうど針葉樹の E_R/E_L のばあいと一致しているようである。

この表中、STAMERのおこなつた実験でOakの値が他のものといちじるしくズレているが、もし、実験的な点で誤りがなければ、このOakは材質的に特異なものと考えられるようである。いずれにせよ、このような分布範囲のズレは針葉樹群と広葉樹群との特性的な差異をしめすものとして注目される。とくに、その分布域がわずかに重なつてつづいていることには興味がある。

参考のために、各2つの軸とそれぞれ45°をなす方向のヤング係数とセンイ方向のヤング係数とを比較すればつぎのようになる。

E_{LR45}/E_L の値では、

針葉樹および南洋材 : 0.10~0.20

広葉樹 : 0.20~0.30

また、

E_{TL45}/E_L の値では、

針葉樹 : 0.05~0.10

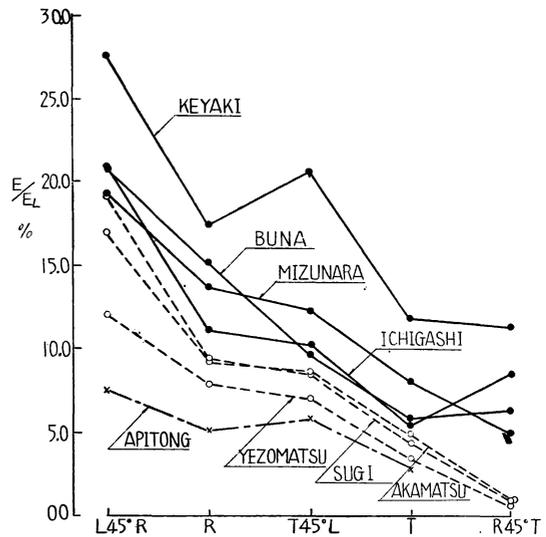
広葉樹 : 0.10~0.20

でほしい E_R/E_L の分布域と一致している。

つぎに、 E_{RT45}/E_L の値では、

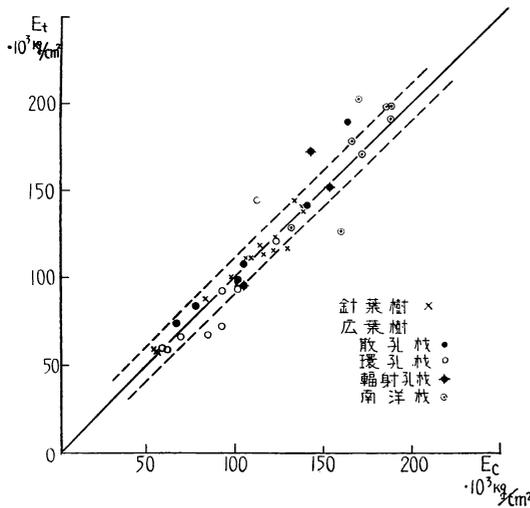
針葉樹 : 0.005~0.010

広葉樹 : 0.05~0.10



第23図 引張における E/E_L

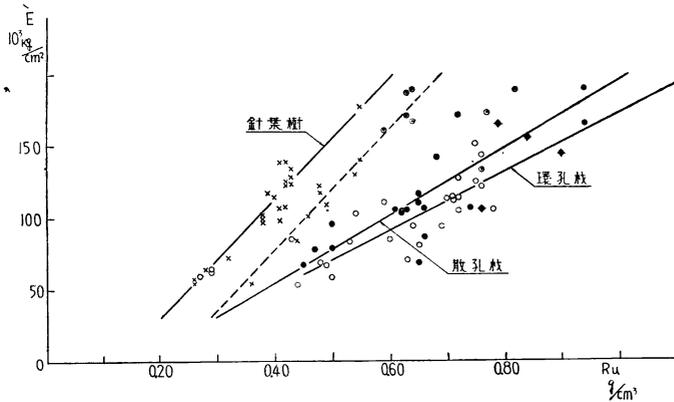
Fig. 23 E/E_L for tensile tests
 E_L = Young's modulus in the longitudinal direction



第 24 図 引張と圧縮におけるヤング係数の比較

Fig. 24 Comparisons of tensile and compressive Young's modulus

- x = Softwoods
- = Hardwoods (diffuse-porous)
- = " (ring-porous)
- ◆ = " (radial-porous)
- ⊙ = Tropical woods (Apitong etc.)
- t = Tension ; c = Compression



第 25 図 ヤング係数と比重との関係

Fig. 25 Relations between Young's modulus (E) and specific gravity (R_u)

- x = Softwoods ; ○ = Hardwoods (ring-porous)
- = Hardwoods (diffuse-porous)

のスピと近似しており、ミズナラのヌカ目材では（ヤチダモでも同様）とくに低い値をしめして特性的である。

全体としてみれば、比重 0.25~0.95 の範囲で、ヤング係数は 50~200 (10^3 kg/cm^2) の間に分散している。針葉樹の比重 0.4 のもののヤング係数と広葉樹の比重 0.65 のもののヤング係数とがほぼ一致して

となり、針葉樹はいちじるしく小さくなり、広葉樹がほぼ E_T/E_C のそれと一致しているのに対してはなほだ特性的である。なお、これらの方向差を傾向的にしめたのが第23図である。

1.2.1.2 センイ方向におけるヤング係数の変動と分散

1. 引張と圧縮によるヤング係数の差異

まえにものべたように、引張と圧縮とでヤング係数の値にほとんど差異はなく、各試験でもとめられる数値のバラツキの範囲内にとどまるものとみられる。ただ、第 24 図にしめたように、とくに比重の割に引張強度の低い材、たとえば、ミズナラのヌカ目材などでは引張のヤング係数の方が圧縮のそれに比して若干低くなる傾向がみうけられる。その他では、一般的にみて、わずかながら引張の方が圧縮より高い値をしめす傾向がある。

2. 比重（気乾比重= R_u ）による変動と分散

第 25 図にしめすように、比重の増大にもないヤング係数は大きくなるという一般的な傾向は問題なくみとめられる。ただ、その内容にはかなり樹種の材質的特性がでていようである。

比重によるヤング係数の増加率では、

針葉樹 > 広葉樹散孔材 > 広葉樹環孔材

の順序であり、散孔材にぞくする南洋材（たとえばアピトン）のなかにはほぼ針葉樹と同様な傾向のものがある。その他、環孔材のキリも低比重材で針葉樹

いるようにみうけられる。

したがって、ヤング係数に関するかぎり、どんなに大まかにみても、針葉樹と広葉樹とを一括して比重との間にある連続した曲線関係をもとめることはできない。

このことは木材の弾性的変形が相当つよくその内部構造によつて影響されるためと考えられる。すなわち、その細胞膜壁のフィブリル傾斜、セニ相互のカラミ合いや旋回性などにより多分に構造的な弾性を表現しているものとみることができるようである。

このほか、ミズナラのヌカ目材等にみられる異常なヤング係数の低下は、その導管部分の増大にもなつてしだいに薄肉円筒束としての特性をしめし、局部的に微細な座屈が連続的に起るためではないかとも考えられる。なお、このばあい、あるていど、吉識・竹鼻氏らの構造模型¹⁰⁾に近似しているようにおもわれる。

3. 生材または多湿材のヤング係数 はじめに生材または多湿の状態では弾性試験をおこなつてから室内で自然乾燥したものについて試験したばあいは第3表にしめたように、含水率1%の増減によるヤング係数の低減または増加率は約1%ていどとみることができるようである。いくら広葉樹の方の低減率が大きいように思われるが試験資料が少ないのであまり明らかではない。

いずれにしても、ヤング係数におよぼす水分の影響はかなり小さいようである。

第3表 ヤング係数におよぼす含水率の影響

Table 3. Effect of moisture content on the Young's modulus.

Species	b	R _n	E	ΔE/E·Δu
	mm	g/cm ³	·10 ³ kg/cm ²	
Yezomatsu	1.5	0.43	134	0.006
Todomatsu	4.1	0.39	117	0.006
Spruce	2.4	0.42	115	0.019
Hemlock	4.1	0.48	116	0.013
M				0.011
Buna	2.0	0.63	105	0.010
Mizunara	2.3	0.76	142	0.021
Locust, black	7.0	0.70	113	0.009
Apitong	—	0.64	188	0.010
M				0.013
A				0.012

u=Moisture content (%)

4. 針葉樹アテ材のヤング係数 第4表に針葉樹アテ材のヤング係数が正常材に比してどのていど低くなるかの例をしめた。このばあい、むろん、アテの程度が問題となるが、エゾマツやトドマツではその見掛けの秋材率(濃色部分の比率)が比重とほぼ直線的な関係をしめすことからおおその見当はつけられるようである。しかし、この傾向にはアテ材の質的条件をふくめた一般性をもとめないで、やはり比重そのものを根拠にして論ずべきであろう。

なお、この表でわかるように、数値的にみて、相当いちじるしい低減のみられることははなはだ特性的である。

第4表 針葉樹アテ材のヤング係数

Table 4. Young's modulus of 'compression wood'

Species		b	u	R_n	R_0	E_t	E_c	E
		mm	%	g/cm^3	g/cm^3	$\cdot 10^3 kg/cm$	$\cdot 10^3 kg/cm^2$	$\cdot 10^3 kg/cm^2$
Yezomatsu	N	1.5	16.6	0.43	0.37	144	134	139
	C	1.5	16.0	0.72	0.62	65	64	65
	C/N	1.00	0.96	1.68	1.68	0.45	0.48	0.47
	N	1.5	27.7	0.45	0.35	121	125	123
	C	2.0	24.0	0.58	0.47	84	80	82
	C/N	1.33	0.87	1.29	1.34	0.69	0.64	0.67
Todomatsu	N	4.0	28.9	0.41	0.32	110	106	108
	C	3.6	25.0	0.73	0.54	77	80	79
	C/N	0.90	0.87	1.78	1.69	0.70	0.76	0.73

N=Normal wood

C=Compression wood

1.2.2 ポアソン比 (μ) ポアソン比 (Poisson's ratio) の測定方法については、すでに日本木材学会誌上に発表⁷⁾したので省略するが、アメリカ林産研究所においておこなわれたローラ型の extensometer¹²⁷⁾ に対して筆者はナイフ・エツヂ型の extensometer を用いた。

ポアソン比の値については、引張と圧縮とでほとんど変わらないことが実験的にたしかめられている⁷⁾。

現在までに針葉樹4種、広葉樹7種の計11種の気乾材について実験をおこなったが、その値を欧米の実測値と比較してしめたものが第5表である。

このポアソン比の値は他のいろいろの強度性能とくらべてはなはだ特性的である。すなわち、ほとんど比重の大小には関係がなく、また、針葉樹と広葉樹との差異も少ない。

したがって、きわめて概括的にみるならばほぼ一定の値をしめすと考えられ、その値は $\mu_{LR} \approx 0.42$; $\mu_{LT} \approx 0.54$ 程度とみられるが、そのバラツキはかなり大きい。

いずれにしても、このようなバラツキは主として、樹種と材質による材の組織上の特性によるものと考えられる。さらに、 μ_{LR} (セン方向荷重による放射方向のポアソン比) と μ_{LT} (同接線方向のポアソン比) との差異はその材の異方性をしめす1つの重要な指標と考えることができる。第5表にしめすように μ_{LT}/μ_{LR} の値では、おおよそ、1.10~1.50 の範囲に分散し、平均的には約 1.30 程度とみることができよう。表中 STAMER らのおこなったものなかで、Oregon pine と Birch のみは約 0.9 をしめして $\mu_{LT} < \mu_{LR}$ となっているが、おそらく実験上の不備か、用いた試料の材質が異常であつたかに因るものではないかと思う。なお、ポアソン比 μ_{LR} および μ_{LT} は木材の含水率によつて変化することが知られている¹⁾。

すなわち、 μ_{LT}/μ_{LR} の値は含水率が増すほど大きくなるようである。

1.2.3 セン断弾性係数 (G) セン断弾性係数は実験的には振りによつてもとめられるものであるが、これまでのところでは、まだその適当な方法と取扱いが定まつていない。

アメリカ合衆国のマヂソン林産研究所においては、もつばら平板の振り¹²⁷⁾によつて近似的にこれをもとめているが、試験体の木取上さげられないさまざまな欠陥、たとえば、正しい柁目板、板目板または年

第5表 木材のポアソン比
Table 5. Poisson's ratios of woods

Species	b	u	R _u	μ_{LR}	μ_{LT}	$\frac{\mu_{LT}}{\mu_{LR}}$	*G _{LR}	*G _{LT}	E _L	E _L	Researcher	A. C.	
	mm	%	$\frac{g}{cm^3}$				$\frac{10^3 kg}{cm^2}$	$\frac{10^3 kg}{cm^2}$	$\frac{E_L}{G_{LR}}$	$\frac{E_L}{G_{LT}}$			
Softwoods	Sugi	6.1	15.50	0.32	0.41	0.60	1.46	6.2	2.6	10	25	SAWADA	1956
	Spruce		12	0.37	0.44	0.56	1.27	5.1	6.2	20	16	CARRINGTON, H.	1921
	"		12	0.39	0.38	0.51	1.27	5.1	6.3	16	16	"	"
	Yezomatsu	1.7	15.00	0.39	0.45	0.64	1.42	5.3	4.0	21	27	SAWADA	1956
	Spruce		12	0.43	0.45	0.54	1.20	7.4	5.1	19	27	JENKIN, C. F.	1920
	"		12	0.50	0.36	0.52	1.44	6.4	8.6	26	20	CARRINGTON, H.	1921
	Scots pine		10	0.55	0.42	0.51	1.22	11.8	7.0	14	24	HÖRIG, H.	1935
	Akamatsu	1.4	13.00	0.55	0.38	0.62	1.50	11.0	5.2	13	27	SAWADA	1956
	Oregon pine		9	0.59	0.43	0.37	0.86	12.0	9.3	14	18	STAMER, J.	1933
	Taiwan-Hinoki	1.7	14.00	0.54	0.52	0.57	1.10					SAWADA	1956
A				0.42	0.54	1.27			17	22			
Hardwoods	Kiri	11.7	13.00	0.29	0.42	0.62	1.47					SAWADA	1956
	Maple		10	0.59	0.46	0.50	1.09	12.5	11.2	8	9	HÖRIG & STAMER	1935
	Buna	1.6	13.50	0.61	0.37	0.48	1.30	8.6	4.4	13	24	SAWADA	1956
	Birch		9	0.62	0.49	0.43	0.88	12.0	9.3	14	18	HÖRIG & STAMER	1935
	Beech		11	0.75	0.45	0.51	1.13	16.4	10.8	9	13	STAMER, J.	1933
	Oak		12	0.66	0.33	0.50	1.52	13.1	7.8	4	7	"	"
	Ash		9	0.67	0.46	0.51	1.11	13.7	9.1	12	18	HÖRIG & STAMER	1935
	Mizunara	2.4	14.00	0.76	0.42	0.61	1.45	8.9	5.9	14	20	SAWADA	1956
	Keyaki	3.5	13.00	0.69	0.36	0.54	1.50	10.9	8.3	9	11	"	"
	Ash		14	0.80	0.53	0.65	1.23	8.8	6.2	18	25	JENKIN, C. F.	1920
	Ichigashi	2.6	13.50	0.81	0.40	0.55	1.38	16.3	7.8	10	21	SAWADA	1956
	Urazirogashi	3.0	14.20	0.90	0.42	0.60	1.43					"	"
	A				0.43	0.54	1.29			11	17		
	Apitong		15.00	0.63	0.39	0.53	1.36	6.1	6.0	33	33	SAWADA	1956
Ā				0.42	0.54	1.29			(14)	(19)			

A = Average (): except Apitong

μ_{LR} = Poisson's ratio (R direction)

μ_{LT} = " (T direction)

* Calculated value by Jenkin's eq. (SAWADA's results)

輪矢高などの影響をどれだけ規整しうるかははなはだ疑問であり、さらに、適用式が、等方性（平面等方性）の理論によるものであつて、理論的にも適当とはおもわれぬ。また、ドイツにおいては正方形断面棒の振りを規格化しているが¹⁹⁾、はたして十分な精度で測定されうるかどうか問題がある。なおこのばあい、その値を第 1 近似値にとるか、第 2 近似値までもとめるか、さらには十分な収斂域まで繰り返し計算してもとめているのかわからない。いずれにせよ、これらはすべて振り試験における特性的問題をのこしているようにおもわれる。

筆者が予備的に円形断面棒でおこなつた振り試験で、前述したように、その軸をふくむ直交 2 平面（L 軸のものでは LR と LT 面；T 軸のものでは TL と TR；R 軸では RL と RT）の振り角は、L 軸のばあいをのぞけば、他の 2 つの軸に関して多少差異が生じているようである。したがつて、この 2 つを平均してその軸のまわりの振り角とすることで、はたしてセン断弾性係数を正しく定めうるか、また、このばあい理論的にみてどの程度の誤りをおかしたことになるかなどを明らかにしなければこのようなセン断弾性係数の実測値の取扱いには問題がのこるわけである。

そこで、現在の段階では、正しい振り試験によるセン断弾性係数をもとめるかわりに JENKIN の理論式²⁰⁾によつて計算的にもとめたものを第 5 表の中にしめた。

すなわち、

$$\frac{1}{E_{45}} = \frac{1}{4} \left\{ \frac{1}{E_T} + \frac{1}{G_{LT}} - \frac{2\mu_{LT}}{E_L} + \frac{1}{E_L} \right\} \dots\dots\dots (1.6)$$

が JENKIN の式であるが、これは G_{LT} （LT 面内での迂りによるもの）を例にとつてしめたものである。したがつて、 $E_{45} = E_{LT45}$ である。

JENKIN はさらに、この式による計算値と直接のセン断試験による結果とを比較しているが、Light mahogany, Spruce, Ash および Walnut の 4 樹種について、Light mahogany はほとんど一致し、Walnut もかなりよく合うが、Spruce では若干ズレ、Ash はかなりことなつている。この原因について JENKIN は前 2 者が相当均一な材質をもつているのに対し、後 2 者は均一でないためであるとのべている。‘homogeneous’ という表現にも問題はあるが、振り試験における見掛けの振り角が直交 3 軸に関していかなる対応条件をしめすかについての試料と測定方法の検討がないかぎり適確な判断を下すことはむずかしい。とにかく、この点は今後にのこされた重要な、しかも興味のある課題となるものとおもわれる。

さて、第 5 表の G の計算値についてのべるが、材料力学的な点—たとえば、梁の曲げ剛性に関して—で重要なものは E/G の値である。この値についてみるに、針葉樹では、 E/G_{LR} の平均は 17 (10~26)； E/G_{LT} で 22 (16~27) となつている。これに対し広葉樹では、それぞれ、11 (4~18)；17 (7~25) をしめし針葉樹に比してかなり小さくなつている。このばあい、興味のあるのはアビツンで、いずれも 33 をしめして他とかけはなれて大きいことである。このことは、梁の剛性においてとくに不利な条件となるものであるが、その詳細はのちにのべる。

なお、全樹種を通じてごく大まかにみて、木材以外の材料と比較するさいには、 $E/G_{LR} \approx 15$ 、 $E/G_{LT} \approx 20$ 程度とみつものがよいとおもわれる。

さらに、前述の JENKIN 式で、 $1/E_T$ と $2\mu_{LT}/E_L$ の値ははなはだ接近しており、かつ $1/E_T$ および $1/E_{45}$ にくらべて非常に小であるため、前記 2 項を省略しても計算結果にはあまり影響しない。

すなわち,

$$G'_{LT} = -\frac{E_{45}}{4 - \frac{E_{45}}{E_T}} \dots \dots \dots (1.7)$$

として計算してもさしつかえないようである。この計算値と JENKIN 式による計算値とを比較したのが第 6 表である。

第 6 表 セン断弾性係数 G の計算値
Table 6. Calculated value of rigidity modulus G.

Species	G_{LR}	G'_{LR}	$\frac{G'_{LR}}{G_{LR}}$	G_{LT}	G'_{LT}	$\frac{G'_{LT}}{G_{LT}}$
	kg/cm ²	kg/cm ²		kg/cm ²	kg/cm ²	
Sugi	6,200	6,100	0.98	2,600	2,500	0.96
Yezomatsu	5,300	5,300	1.00	4,000	3,900	0.98
Akamatsu	11,000	10,800	0.98	5,200	5,300	1.02
Buna	8,600	8,400	0.98	4,400	4,400	1.00
Mizunara	8,900	8,800	0.99	5,900	6,000	1.02
Keyaki	10,900	10,600	0.97	8,300	8,400	1.01
Ichiigashi	16,300	16,000	0.98	7,800	7,900	1.01
Apitong	6,100	6,100	1.00	6,000	6,000	1.00
(Average)			0.98			1.00

G_{LR}, G_{LT} : Calculated value by eq. (1.6)
 G'_{LR}, G'_{LT} : " " " (1.7)

この表でわかるように両者の計算値にはほとんど差がなく、ポアソン比の影響によつて G_{LR} では(1.6) 式によるものの方が大きく、 G_{LT} ではこれと反対になっている。

なお、北海道大学の今博士は理論的に次式を導いている。

$$G = \frac{E_{45}}{2(1 + \mu_{45})} \dots \dots \dots (1.8)$$

ただし、 $\mu_{45} = 45^\circ$ 方向のポアソン比

この式は理論的にはむろん正しいが、 μ_{45} の実測ははなはだ困難である。(1.7) の近似式でもわかるように、 $2(1 + \mu_{45})$ の値は 2.1~2.5 といとみられる ($G_{LR}; G_{LT}$) ので μ_{45} の値はきわめて小さいことが予想される。このような測定精度上の困難さに加えて、 45° 方向の変形は迂りが大きく、かなり複雑となるので通常の方法ではそのポアソン比をうまく測ることができない。筆者は Mirror extensometer および電気抵抗線歪計を用いて繰返し実測してみたがいずれも失敗に終わっている。しかし、この方法さえ適当にきまれば、最も簡単に、しかも理論上正当なセン断弾性係数 G の値を算出できる有利さがある。

1.2.4 弾性常数の総括 これまでのべた弾性常数の特性および諸関係を総括的にのべればつぎのようになる。

1. 弾性常数に関するかぎり、引張と圧縮とでほとんど差異はなくその一致性は一般に良好である。
2. ヤング係数 E については、その 3 主軸方向 (L, R, T) およびこれらの相互 2 軸とそれぞれ 45° をなす方向 ($LR_{45}, RT_{45}, TL_{45}$) できわめていちじるしい差異がみとめられる。

たとえば、針葉樹の放射方向 (R) と接線方向 (T) とにそれぞれ 45° をなす方向のヤング係数 ($E_{RT_{45}}$)

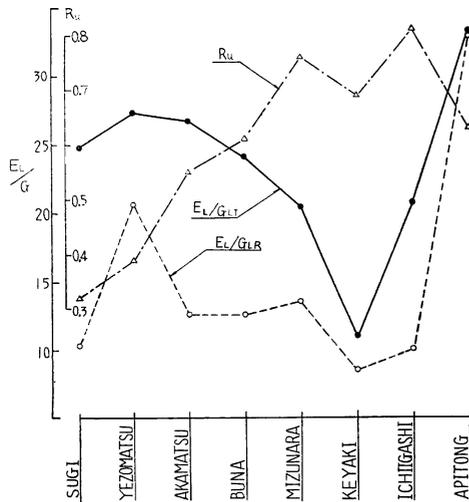
はセンイ方向のヤング係数 (E_L) の1%にもみたくないことなどは注目に値する。一方、広葉樹ではそのような傾向はみられず、針葉樹に比して異方性の度合はかなり低くなっている。ただし、アピトンのような南洋材では全く針葉樹と同等の異方性をしめして特性的である。

3. 針葉樹アテ材のヤング係数 (E_L) は正常材に比して、その比重が大きいかにかかわらずいちじるしく低減する。これは主として、アテ材の細胞膜壁に存在するワレ=Spiral cracking によるものと思われる。

4. 放射方向のヤング係数はセンイ方向のヤング係数の5~15%で、広葉樹>針葉樹>南洋材となっている。また接線方向のばあいには3~10%で、大小の傾向は放射方向と同様である。

5. ポアソン比については、材の比重に関せずほぼ近似した値をしめしている。すなわちおおよその指標値としては、 $\mu_{LR} \approx 0.42$, $\mu_{LT} \approx 0.54$ とみられるようである。なお、放射方向に関するポアソン比と接線方向のそれとを比較すれば $\mu_{LT} \approx 1.3 \cdot \mu_{LR}$ となるがそのバラツキはかなり大きい。

6. セン断弾性係数の G_{LR} と G_{LT} について、これを計算的にもとめるばあい、JENKIN 式を用いるのがよいが、さらに、その数値的な近似性からみて(1.7)式を略算式として用いてもさしつかえないものとおもわれる。



第 26 図 E_L/G の値

Fig. 26 Values of E_L/G

E_L = Young's modulus, G = Rigidity modulus

7. 木材梁の曲げ剛性等に影響をあたえる E/G の値については、針葉樹で、 $E/G_{LR} \approx 15$; $E/G_{LT} \approx 20$ といとみられる。これに対して、広葉樹では $E/G_{LR} \approx 10$; $E/G_{LT} \approx 15$ といとで少し小さくなっている。なお、アピトンでは、 $E/G_{LR} \approx E/G_{LT} \approx 30$ をしめして特に大きいことが注目される。

8. 以上のことから、木材の弾性常数を考えるにあたって重要なことは、それがかなりいちじるしい樹種特性をしめすということである。すなわち、少なくとも針葉樹、広葉樹環孔材、広葉樹散孔材および南洋材(アピトンやラワンのようなもの)の4つのグループに分けて考える必要がある。むろん、できれば樹種ごとにその材質条件に応じた適当な分類をおこなつたうえで(このばあいは比重によればよい)、その弾性常数の諸関

係を判定しようとする資料をうるのが最も望ましいことはいうまでもないことである。

これらのことは、木材の弾性常数が必ずしも一義的にはその比重によつて変動するものではなく、その材構成における組織上の特性によつて大きく左右されるためと考えられるからである。

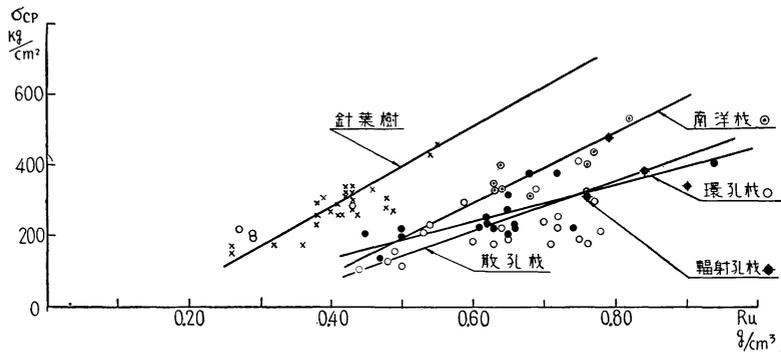
1.3 比例限度力度 (σ_p)

1.3.1 比例限度のきめ方 圧縮や引張試験をおこなつてそのえられる応力-歪曲線から比例限度をきめる方法について日本工業標準規格、木材試験法 (JIS Z 2111) に定めてあるのは、始原接線に対して5%だけ大きな歪に対応する応力によつてもとめるものである。

この方法は木材の応力—歪曲線が全域にわたって曲線的とみなされるばあいの取扱い方に重点をおいたものであろうが、筆者がこれまで鏡式 extensometer によって測定した多くの試験結果によれば、必ずしも当をえたものとは考えられない。すなわち、木材の応力—歪曲線は前述の例でもわかるように、だいたいにおいて十分な直線域をもっていることが知られている。むろん、この直線域での点のパラッキも多少はあるが、JIS の方法によるよりは一定の応力増加に対する歪増加量の平均をとることと、この平均的な歪増加量をこえる点を比例限度とみるべきものと考えられる。

応力—歪曲線が、とくに全域にわたって曲線的になる例外的なばあいもまれにはあるが、このようなときには、その歪増加量と応力との間にはほぼ直線的とみなしうる部分の存在することが多いので、その線図上の比例上限点を比例限度に準ずる点とみなすのがよいと思われる。以上の方法によらず、たとえば JIS の方法を用いたばあいはヤング係数はやや過少評価になる。しかし、これは実用上の安全性からみてたいして問題とはならないが、比例限度について実際より高く評価する危険はさけられない。

1.3.2 縦圧縮比例限度応力度 縦圧縮比例限度応力度 (セニ方向 σ_{cp}) は木材の強度性能、とくに梁や柱などの構造部材としての性能をきめるばあいに重要である。筆者がこれまでにおこなった実験の範囲では、その比例限度応力度の最小は約 100 kg/cm^2 で、最大は約 550 kg/cm^2 となっている。これは材比重 $0.25 \sim 0.95$ の範囲の気乾材についてもとめたものである。なお、この比例限度応力度と比重との関係については、気乾材のばあい第 27 図のようになった。



第 27 図 圧縮比例限度応力度 (σ_{cp}) と比重 (R_u) との関係

Fig. 27 Relations between stresses at P. L. (σ_{cp}) in compressive tests and specific gravity (R_u)

× = Softwoods; ○ = Hardwoods (ring-porous)

● = Hardwoods (diffuse-porous)

この図によつて判断されることは、

1. 比重増大に伴う比例限度応力度の増加率は針葉樹が最も大きく、これに南洋材、散孔材、輻射孔材とつぎ環孔材が最も小さい傾向がみられる。また、その不規則なパラッキでは環孔材が最もいちじるしい。とくに、キリでは環孔材の系列からはずれて針葉樹群にはいつている。

2. これらの分散域をみると、おおよそ、

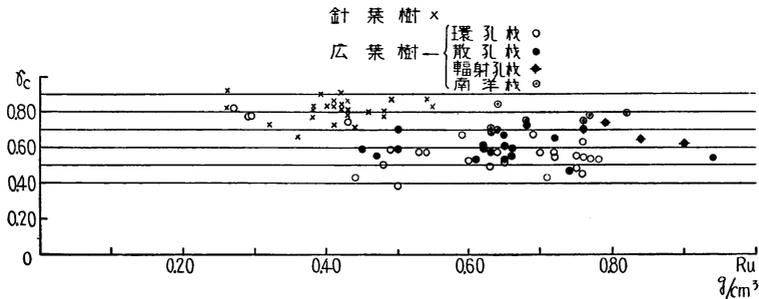
針葉樹 : $100 \sim 450 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ 環孔材 : $100 \sim 400$ 散孔材 : $200 \sim 400$
 輻射孔材 : $300 \sim 500$ 南洋材 : $300 \sim 550$

となっているが、全体を通じて最も多く集まっているのは散孔材によつて代表される $200 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$ の

区間とみられよう。したがって、この区間より低い値をしめす材は低比例限度の材、これよりも高いものは高比例限度の材と評価することが便宜上ゆるぎされてよいものと思う。

1.3.3 縦圧縮比例限度力度の縦圧縮強度に対する比 (γ_c) これは木材の強度性能を論ずるにあつて重要な数値の 1 つである。

すなわち、第 28 図にしめすように、比重との間になら規則的な増減関係はみとめられず、バラツキはあるが、ほぼ樹種と材質に応じてある範囲の定値をとることがみとめられるからである。したがって、筆者はこれを木材強度に関する 1 つの特性値と考えることにした。



第 28 図 比重と γ_c との関係

Fig. 28 Relations between specific gravity (R_u) and γ_c (σ_{cp}/σ_c)

× = Softwoods; ○ = Hardwoods (ring-porous)

● = Hardwoods (diffuse-porous) ◆ = Hardwoods (radial-porous)

まず、図において、つぎのような分散域がみとめられる。

- 針葉樹 : 0.7~0.9
- 広葉樹 : 0.4~0.8
- 輻射孔材 : 0.6~0.8
- 散孔材 : 0.5~0.7
- 環孔材 : 0.4~0.7
- 南洋材 : 0.7~0.8

したがって、全樹種を通じての分散域は、0.4~0.9 となつており、とくに環孔材中、キリのみは約 0.8 をしめしてその系列からはずれている。

なお、針葉樹の γ_c についてアメリカのマヂソン林産研究所の資料⁵⁴⁾より筆者が計算したものをしめせばつぎのとおりである。

Cedar=0.76; Cypress=0.73; Douglas fir=0.83; Fir=0.83; Hemlock=0.76;

Larch=0.73; Spruce=0.79; Ponderosa pine=0.78

また、これらの全平均では 0.78 となり、筆者の実験による分散域とよく一致している。

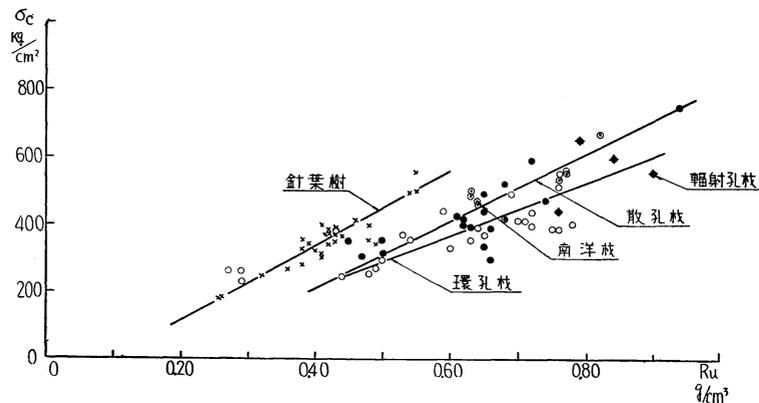
1.3.4 縦引張比例限度力度 センイ方向の引張においてもめられる縦引張比例限度力度 (σ_{tp}) は針葉樹アテ材および広葉樹多湿材をのぞけば、ほとんどその破壊応力度に一致するとみなしうほど接近している。このことは、応力—歪曲線において、その曲線域をとくに考える必要性のないことにも関連するがその曲線域に関する判定値 K_{0c} の値がほとんど 1 にちかいことから引張における比例限度力度は通常のばあいあまり重要ではないようである。

しかし、いうまでもなく針葉樹アテ材および広葉樹多湿材にあつては十分考慮の余地がある。

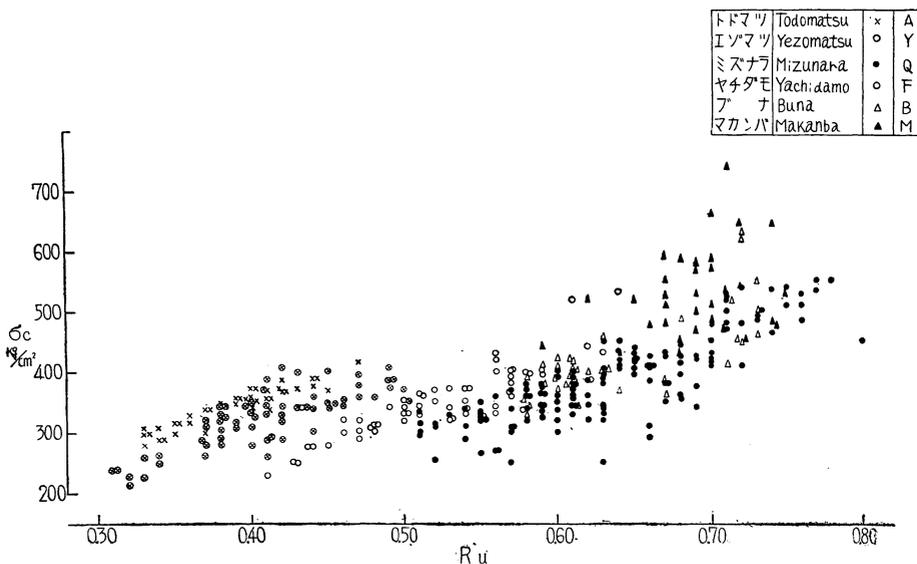
1.4 破壊強度

1.4.1 縦圧縮強度 (σ_c) センイ方向の圧縮によつて静的にもとめられる縦圧縮強度は木材のあらゆる強度性能のなかでとくに重要であり、かつ、一般的にみてもつとも広くおこなわれてきたものである。

まず、筆者のこれまでおこなつた実験について、その正常気乾材の縦圧縮強度が比重の大小によつてどのように変動しているかをしめすと第 29 図のようになる。



第 29 図—1



第 29 図—2

第 29 図 縦圧縮強度と比重との関係

Fig. 29 Relations between compressive strength (σ_c) and specific gravity (R_u)

- × = Softwoods; ○ = Hardwoods (ring-porous)
- = Hardwoods (diffuse-porous)
- ◆ = Hardwoods (radial-porous)
- ◎ = Tropical woods (Apitong etc.)

この図についてその変動の傾向をみると、

1. 全体として、比重 0.25~0.95 の範囲内で、その強度値は、180~750 kg/cm² の間にあることがわかる。しかし、これは各試験群の平均値でしめたものであつて、個々にはもつと分散域がひろい。とくに年輪巾の広い低比重のスギなどでは 150 kg/cm² 程度のものもある。

2. 一般的傾向としては、比重の増大にともなつて強度も増大するが、その増加率では、針葉樹と広葉樹とで若干ことなつてゐる。

すなわち、針葉樹は最も増加率が大きく、その変動のし方もやや単調であるが、散孔材はこれより増加率低く、バラツキも大きくなつており、環孔材では最も変動が不規則でバラツキも大きく、その増加率も小さくなつてゐる。とくに、キリのような低比重材の環孔材はどちらかといえば針葉樹群にちかい傾向がみうけられる。また、輻射孔材は実験資料が少なく、あきらかな傾向をみとめるにいたつてゐないが、大まかにみて、ややバラツキが大きく、いくぶん散孔材にちかいようである。

1.4.1.1 縦圧縮強度と縦圧縮ヤング係数との関係 このことについては、すでに木材梁に関する研究⁹⁶⁾⁹⁸⁾¹⁰⁶⁾の中でも若干ふれてゐるが、筆者はこれを重要な強度特性と考え、つぎの特性値を誘導して「最大比例短縮度」と呼ぶことにした。

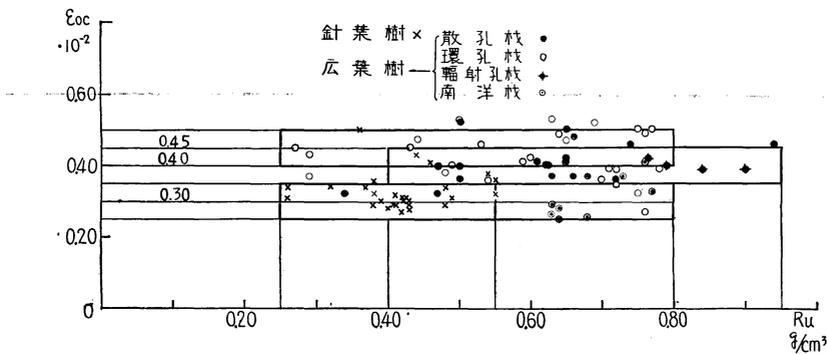
$$\epsilon_{0c} = \frac{\sigma_c}{E_c} \dots \dots \dots (1.9)$$

(1.9) 式から明らかなように、特性値 ϵ_{0c} は前述の応力-歪曲線のところでもしめたように、同曲線の直線部分をそのまま延長して破壊応力点に達せしめたときの**仮想歪**をあらわしている。もしも、この値が樹種と材質に応じてある一定値をとるとすれば、木材の圧縮破損を説明する 1 つのキメ手ともなる内容をもつてゐる。

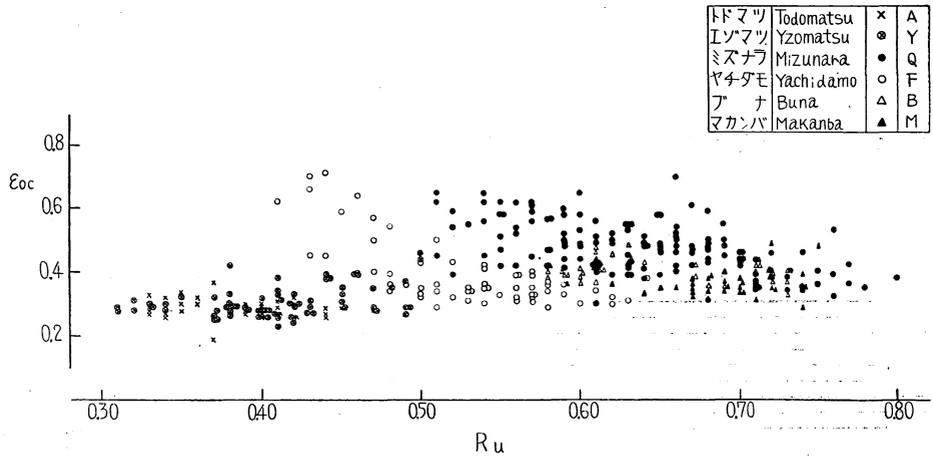
つぎに、この ϵ_{0c} の値が正常気乾材でどのように変動しているかを材の比重に関してしめたのが第 30 図である。

同図から、おおよそつぎのような傾向がみとめられる。

- 1. 針葉樹でも広葉樹でも、その比重の増大によつて一定の増減傾向をしめさず、ほぼ定まつた分散域をもつてゐる。
- 2. 多少のバラツキはあるが、 ϵ_{0c} の値としては、



第 30 図— 1



第 30 図— 2

第 30 図 ϵ_{0c} と R_u との関係

Fig. 30 Relations between ϵ_{0c} (σ_c/E) and R_u (sp. G.)

- × = Softwood; ○ = Hardwoods (ring-porous);
- = Hardwoods (diffuss porous); ◆ = Hardwoods (radial-porous)
- ⊙ = Tropical woods (Apitong etc.)

針葉樹 } $0.30 (0.25 \sim 0.35) \cdot 10^{-2}$
 南洋材 }
 散孔材 } $0.40 (0.35 \sim 0.45) \cdot 10^{-2}$
 輻射孔材 }
 環孔材 $0.45 (0.40 \sim 0.50) \cdot 10^{-2}$

のようになる。ただし、針葉樹群のなかでも、低比重ではあるがかなり樹脂細胞の発達しているオビスギ、およびアカマツのうちでとくに樹脂分の多いものや、若干木理の斜走旋回性のあるものではこの分散域からハズレて高い値をしめしている。また、広葉樹の環孔材のなかで、いわゆるヌカ目材は通常の環孔材分散域よりも高い値をしめし、年輪中の比較的広い堅い材にあつては低い値をしめし、散孔材の分散域にはいるものもある。いずれにせよ、この数値はかなり強くその樹種と材質による特性差をあらわすものとみてよいようにおもわれる。また、ごく一般的にみて、特異な材質のものを除けば、上述のようなかなりまとまつた分散域と、これを代表する指標値としての ϵ_{0c} の存在をみとめることができるようである。したがつて、この ϵ_{0c} にある定値をみとめるならば、ヤング係数から圧縮強度を、また、反対に圧縮強度からヤング係数を推定することができるわけである。

さらに、このことは木材の圧縮破損の法則性にもつながるもので、つぎのように表現することができると思われる。

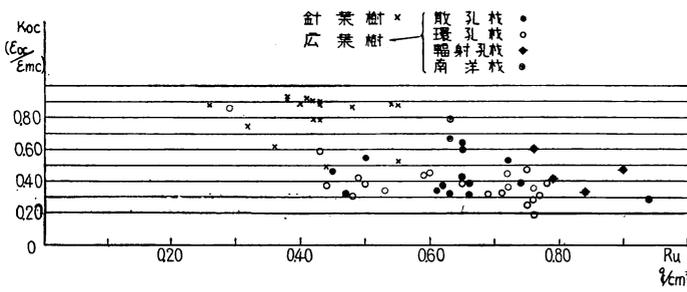
「木材の縦圧縮破損は、その最大比例短縮度によつて決まる。なお、この最大比例短縮度は樹種と材質に関してある定値を有する。」

なお、この最大比例短縮度は材の含水率によつて変動するもので、多湿材では気乾材にくらべて小さくなる傾向がある(第 11 表)。

1.4.1.2 最大比例短縮度と破壊短縮度との関係—最大変形比— これは圧縮応力—歪曲線における曲線域の広がりをしめすものとして特性的である。いま、次式によつてこの関係をあらわすことにしよう。

$$K_{0c} = \frac{\epsilon_{0c}}{\epsilon_{mc}} \dots \dots \dots (1.10)$$

ここに、 K_{0c} = 最大変形比、 ϵ_{mc} = 破壊歪



第 31 図 K_{0c} と R_u との関係

Fig. 31 Relations between K_{0c} and R_u

× = Softwoods; ○ = Ring-porous woods;
● = Diffuse-porous woods; ◆ = Radial-porous woods

これは前述した応力—歪曲線のところでとり扱つた (1.3) 式からもとめられる 1 種の塑性係数 E_2 の値をきめるばあいにも必要な数値である。また、 K_{0c} の値と比重との関係をみると第 31 図のようになる。このばあいも、その分散傾向は ϵ_{0c} のときと一致している。

すなわち、

1. 全体として 0.20~0.95 の広い分散域をもつているが、とくに比重の増大による数値の増減傾向はみとめられない。

2. 樹種と材質とに応じてほぼ一定の分散域と指標値をしめすようである。

- 針葉樹 : 0.85 (0.75~0.95)
- 南洋材 : 0.70 (0.60~0.80)
- 散孔材 } : 0.45 (0.30~0.60)
- 輻射孔材 }
- 環孔材 : 0.40 (0.30~0.50)

このばあい、オビスギとアカマツとはともに低くハズレ、散孔材のグループにはいつているほか、環孔材のキリは高く、高比重のミズナラはやや低くハズれている。

なお、多湿材では、針葉樹、広葉樹環孔材および散孔材ともいく分大きくなる傾向をしめすようである。これに対し、南洋材ではかなり極たんに小さくなるのが注目される (第 11 表)。

1.4.1.3 木口面カタサと縦圧縮強度との関係 この関係については、すでにその 1 部を発表²³⁾したが、両者の間には、ほぼ直線比例的関係がみとめられ、

$$\sigma_c = \alpha \cdot H_f \dots \dots \dots (1.11)$$

ここに、

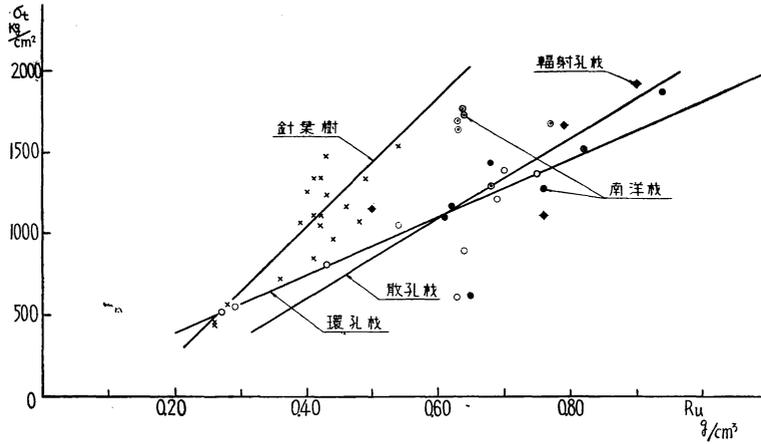
σ_c = 圧縮強度、 H_f = 木口面カタサ、 α = 実験的に定まる係数

による α の値について引きつづき実験を重ねた。

その結果、 $\alpha = 90 \pm 5$ の関係がだいたいにおいて成立するものとみられる。したがつて、正常気乾材の小試片にあつては、その縦圧縮強度を木口面カタサからおおよそ推定することができるものと考えられる。

1.4.2 縦引張強度 (σ_t)

1.4.2.1 比重による変動 正常気乾材では第 32 図に示すような傾向がみとめられる。
すなわち、



第 32 図 引張強度と比重との関係

Fig. 32 Relations between tensile strength (σ_t) and specific gravity
 \times = Softwood; \circ = Ring porous woods;
 \bullet = Diffuse porous woods; \blacklozenge = Radial porous woods

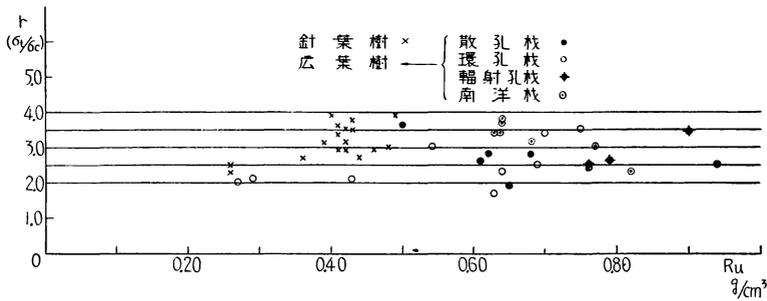
1. 針葉樹と広葉樹とを合わせて、比重が 0.25~0.95 の区間で引張強度は 400~2000 kg/cm^2 の間に分散変動している。
2. 比重の増大にともなう強度の増加率は針葉樹が最も大きく、センイ走向の良好なアピトンのような南洋材はこの針葉樹群に属するようである。これについて、散孔材、輻射孔材の増大率が高く、環孔材は最も低い。
3. 一般に、引張強度の分散は圧縮強度などに比べてかなり大きい、これは木材のもつ中空角筒束または円筒束としての組織的な条件がつねに二次的応力を誘発し、局所的な欠陥（力学的な意味での）に応力が集中するためと考えられる。
4. 以上のことから、引張については概して環孔材が不利な条件となることは当然で、針葉樹の有利であることはいうまでもない。

1.4.2.2 引張強度と圧縮強度との関係 同一の材片から引張試験体と圧縮試験体とを連続して木取り、その年輪巾、含水率および比重などの基礎材質をできるかぎり同等にした条件のもとでこの両者の関係を検討した結果、第 33 図に示すような分散となり、このばあいとめられる関係特性値 r は次式によつてあらわされる。

$$r = \frac{\sigma_t}{\sigma_c} \dots \dots \dots (1.12)$$

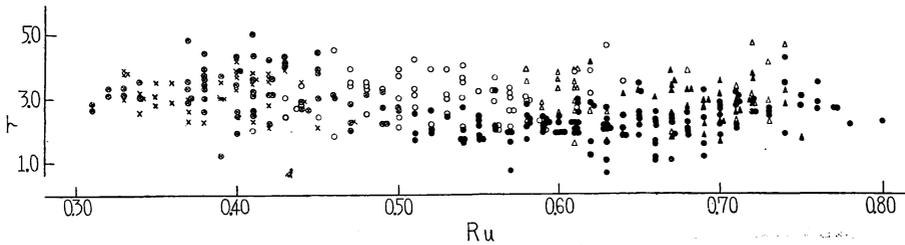
ただし、 σ_t = 引張強度、 σ_c = 圧縮強度

この分散は全試料を通じて比重との間にある定まつた増減傾向をしめさず、 $r = 1.5 \sim 4.0$ の区間をもち、全く樹種特性値とみられるようである。なお、同図の (a) は樹種と試験群による平均値でしめたばあいであり、(b) は個々の試験結果の 1 例をしめたもので、このときの分散域は 1.0~5.0 とい



第 33 図—(a)

トドマツ	Todomatsu	×	A
エゾマツ	Yezomatsu	○	Y
ミズナラ	Mizunara	●	Q
ヤチダモ	Yachidamo	○	F
ブナ	Buna	△	B
マカンバ	Makanba	▲	M



第 33 図—(b)

第 33 図 $r (\sigma_t/\sigma_r)$ と R_u との関係

Fig. 33 Relations between r and R_u

× = Softwood; ○ = Ring porous woods;
● = Diffuse porous woods; ◆ = Radial porous woods

になつている。

つぎに、樹種群別にその分散域をみると、

1. 針葉樹：平均的にみて指標的な r の値は約 3.2 で分散域は 2.5~4.0 となつている（個々のばあいには 2.0~5.0 の分散域をしめす）。ここで、 r の値の小さいものは低比重のスギ（広年輪巾のもの）およびアカマツである。これは、低比重のスギではかなり春材部の材質特性が支配的であり、アカマツはやや斜走旋回性の木理をもつ傾向のあることによつて影響されているとみられる。また、一般的にみて、アテ材やセンイ走向の不良なものでは 2.0 付近にちかづいている。

針葉樹のばあい、全くアテのふくまれないものはむしろ少ないようにもおもわれるので、かなりその影響のはいつてくることを考える必要があらう。また、 r の値の大きいものは、概してセンイ走向の一般に良好なもの、たとえば、エゾマツ、ヒノキおよびタイワンヒノキなどにみうけられる。

総じて、針葉樹の r の値は、実用的にはほぼ 3.0 でいとみて大きな誤りはないものとおもわれる。

2. 広葉樹散孔材：このばあい、 r の平均指標は 2.7 で 2.0~3.5 の分散域をしめしている。ただし、センイ走向などによつて、個々には 1.5~4.0 の分散域をしめすが、一般的にみて針葉樹より小さい傾向がある。

3. 広葉樹輻射孔材：これは資料が少ないので明らかな傾向をみとめがたいが、おおよそ、 $r \approx 3.0$ で

分散域は 2.3~3.5 ていどとみられ、ほぼ針葉樹群と一致するが、材質的な点からいつて散孔材群に入れる方がよい。

4. 南洋材：もともと散孔材の中で論ずべきであるが、ここに取り扱ったアピトンのようなものはその材質的特性がかなりことなっているためにとくに分けた。しかし、その指標値は 3.0 で分散域 2.5~3.5 をもち、前 2 者と異なるない。

5. 広葉樹環孔材：このばあいの平均指標は 2.5 で最も小さく、分散域も 1.5~3.5 をしめしている。とくに、この材の特徴は、ヌカ目材または年輪巾 1 mm 前後のものにみられ、r の値は 1.0~2.5 の間に分散している。

これに対し、年輪巾の広い高比重材では、他の樹種群と同様 3.0~4.0 の分散域をもつのが普通である。このほか、斜走旋回性の木理を有するものや、キリやキハダのような低比重材では、r の値がかなり小さくなっている。なお、ここでとくに注意すべきことは、少しでも初期腐朽がふくまれている材にあつては、たとえ、圧縮強度にみるべき低減がないにしても引張強度の低減は相当にいちじるしく、したがつて、r の値も急激に減少することである。とくに r の値の低いものでは、たとえ外見上健全なようでも枯損材または初期腐朽材であることが多いようである。

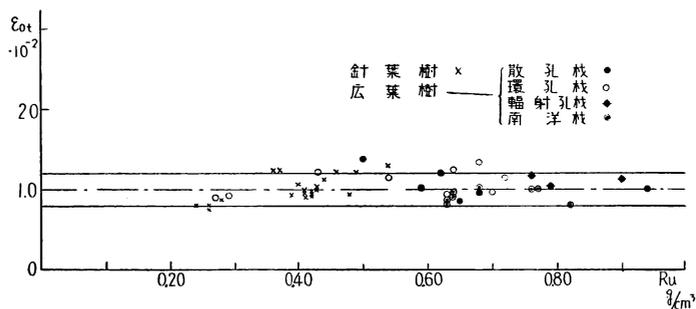
1.4.2.3 引張強度とヤング係数との関係 これも圧縮のばあいと同様に、最大比例伸長度 ϵ_{0t} によつてその特性的な関係をあらわすことができる。

すなわち、

$$\epsilon_{0t} = \frac{\sigma_t}{E_t} \dots \dots \dots (1.13)$$

なお、この ϵ_{0t} の比重による変動と分散は第 34 図にしめしたとおりであるが、 $\epsilon_{0t} = (1.0 \pm 0.2) \cdot 10^{-2}$ となつている。

これらの結果から、木材の縦引張における最大比例伸長度は約 1% と判断することができるようである。したがつて「木材の縦引張破壊は、その最大比例伸長度が 1% となる応力によつて起る」と考えてもよいものとおもわれる。



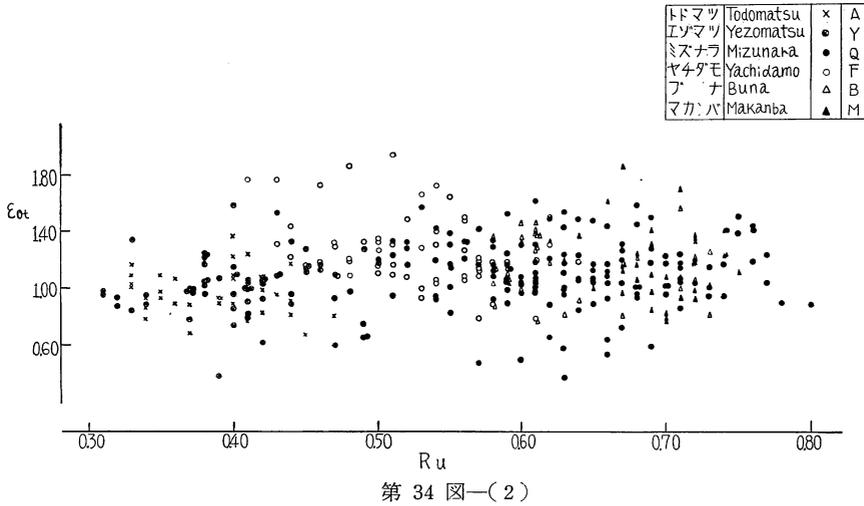
第 34 図—(1)

第 34 図 ϵ_{0t} と R_u との関係

Fig. 34 Relations between ϵ_{0t} and R_u

× = Softwoods; ○ = Ring-porous woods;

● = Diffuse-porous woods; ◆ = Radial porous woods



1.4.2.4 最大比例伸長度と破壊伸長度との関係 いま、破壊伸長度を ϵ_{mt} とすると、つぎの関係式がみちびかれる。

$$K_{0t} = \frac{\epsilon_{0t}}{\epsilon_{mt}} \dots \dots \dots (1.14)$$

この K_{0t} は、前述の最大変形比に当るもので引張応力—歪曲線の曲線域の広がりをしめす指標となることは圧縮のばあいと全く同様である。

K_{0t} の値については、針葉樹と南洋材（アピトン類）とではほとんど 1.0 となり、他のものでも 0.8 以下となることは少なく、平均的にみて 0.9 といとみられる（第 11 表）。

したがつて、このことによつても正常気乾材では、縦引張における応力—歪曲線を全域直線的とみなしてさしつかえないことが判断される。

第 7 表 針葉樹アテ材の ϵ_0 と K_0
Table 7. ϵ_0 and K_0 of 'Compression wood'

Species		b	u	R_u	σ_c	ϵ_{0c}	K_{0c}	σ_t	ϵ_{0t}	K_{0t}
		mm	%	g/cm ³	kg/cm ²	σ_c/E_c	$\epsilon_{0c}/\epsilon_{mc}$	kg/cm ²	σ_t/E_t	$\epsilon_{0t}/\epsilon_{mt}$
Yezomatsu	N	1.5	16.6	0.43	389	0.0029	0.89	1,481	0.0102	1.00
	C	1.5	16.0	0.72	483	0.0075	0.38	910	0.0142	0.47
	C/N	1.00	0.96	1.68	1.24	2.59	0.43	0.61	1.39	0.47
	N	1.5	27.7	0.45	237	0.0019	0.81	1,342	0.0111	0.98
	C	2.0	24.0	0.58	311	0.0039	0.65	921	0.0110	0.66
	C/N	1.33	0.87	1.29	1.31	2.05	0.80	0.69	1.00	0.67
Todomatsu	N	4.3	28.9	0.41	204	0.0019	0.87	1,160	0.0105	0.89
	C	3.6	25.0	0.73	351	0.0044	0.59	902	0.0117	0.51
	C/N	0.90	0.87	1.78	1.72	2.32	0.68	0.78	1.12	0.57

N=Normal; C=Compression wood

なお、針葉樹アテ材においては、第7表に示すように、 K_{0t} の値はいちじるしく小で、その応力-歪曲線に大きな曲線域をもっていることがわかる。

このほかアテ材は、比重と圧縮強度の増大とは反対に、引張強度が大きく低減することも注目される。

さらに、広葉樹の多湿材では、南洋材をのぞいて、かなり K_{0t} の値が小さくなっていること (第11表) も木材の応力と歪の関係論ずるうえでは十分考慮をばらう必要がある。

1.4.3 引張強度と最大比例伸長度にみられる異方性 前述の弾性常数について異方性をもとめたと同一の試験体で強度および最大比例伸長度の異方性をも検討した。

引張強度については第8表に、また最大比例伸長度は第9表にそれぞれ平均値による結果をしめた。

第8表 引張強度における異方性

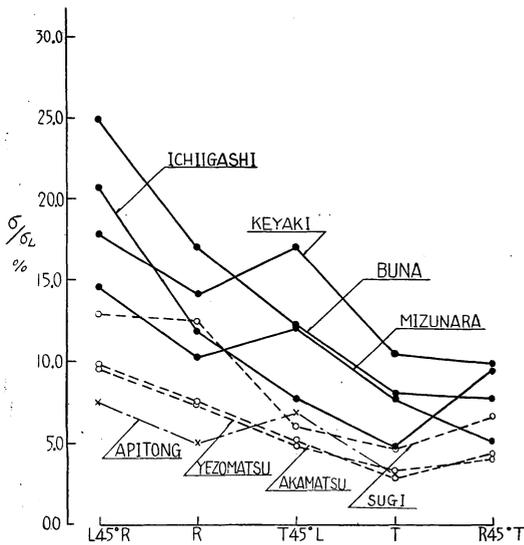
Table 8. Tensile strength (σ_t) \perp & \parallel to grain

Species	R_{it} g/cm^3	σ_t (kg/cm^2)						$\frac{L}{R}$	$\frac{T}{L}$	$\frac{LR_{45}}{L}$	$\frac{RT_{45}}{L}$	$\frac{TL_{45}}{L}$
		L	R	T	LR ₄₅	RT ₄₅	TL ₄₅					
Sugi	0.32	565	70	26	73	37	34	0.124	0.046	0.129	0.066	0.060
Yezomatsu	0.39	1,105	81	36	105	44	53	0.073	0.033	0.095	0.040	0.048
Akamatsu	0.55	1,340	96	38	131	58	69	0.072	0.028	0.098	0.043	0.052
Buna	0.61	1,103	187	88	274	85	134	0.170	0.080	0.249	0.077	0.122
Mizunara	0.76	1,371	139	105	198	70	165	0.102	0.077	0.145	0.051	0.121
Keyaki	0.69	1,212	171	126	216	119	206	0.141	0.104	0.178	0.098	0.170
Ichiigashi	0.81	1,670	198	79	346	157	128	0.119	0.047	0.207	0.094	0.077
Kiri	0.28	520	44	38	—	—	—	0.085	0.073	—	—	—
Apitong	0.63	1,667	83	52	125	—	113	0.050	0.031	0.075	—	0.068
Kruin	0.82	1,516	113	62	—	—	—	0.075	0.041	—	—	—

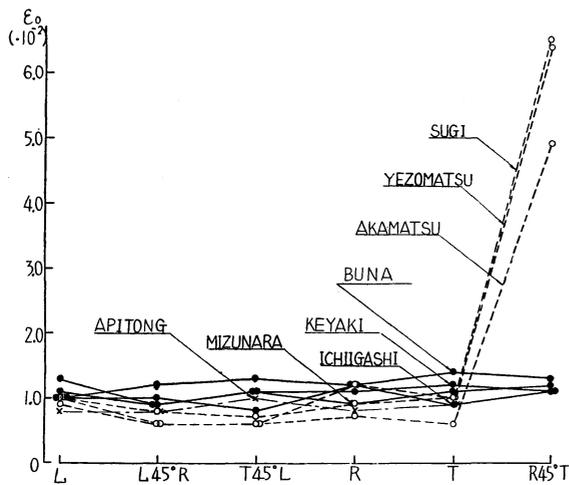
第9表 最大比例伸長度 ϵ_0 の値

Table 9. Values of $\epsilon_0 = \sigma_t/E$

Species	$\epsilon_0 = \sigma_t/E$						$\frac{R}{L}$	$\frac{T}{L}$	$\frac{LR_{45}}{L}$	$\frac{RT_{45}}{L}$	$\frac{TL_{45}}{L}$
	L	R	T	LR ₄₅	RT ₄₅	TL ₄₅					
Sugi	0.0089	0.0116	0.0095	0.0060	0.0650	0.0064	1.30	1.07	0.67	7.30	0.72
Yezomatsu	0.0100	0.0093	0.0096	0.0080	0.0638	0.0069	0.93	0.96	0.80	6.38	0.69
Akamatsu	0.0096	0.0075	0.0057	0.0056	0.0491	0.0059	0.78	0.59	0.58	5.12	0.62
Buna	0.0103	0.0115	0.0142	0.0124	0.0126	0.0130	1.12	1.38	1.20	1.22	1.26
Mizunara	0.0114	0.0085	0.0109	0.0087	0.0118	0.0112	0.75	0.96	0.76	1.03	0.98
Keyaki	0.0132	0.0107	0.0117	0.0085	0.0114	0.0109	0.81	0.89	0.65	0.86	0.83
Ichiigashi	0.0103	0.0110	0.0090	0.0102	0.0114	0.0077	1.07	0.87	0.99	1.10	0.75
Kiri	0.0089	0.0067	0.0172	—	—	—	0.75	1.93	—	—	—
Apitong	0.0082	0.0081	0.0093	0.0082	—	0.0097	0.99	1.13	1.00	—	1.18
Kruin	0.0079	0.0078	0.0122	—	—	—	0.99	1.55	—	—	—



第 35 図 引張における σ/σ_L の値
 Fig. 35 Values of σ/σ_L for tensile tests
 σ_L =tensile strength parallel to the grain



第 36 図 引張における ϵ_0 の値
 Fig. 36 Values of ϵ_0 for tensile tests

これによつてもわかるように、針葉樹では最も弱い接線方向の引張強度がセンイ方向強度の 3~5 % までいとなつてゐる。

また、広葉樹では、その最も弱い方向は針葉樹と同様接線方向であるが、そのセンイ方向強度に対する比率では 5~10 % となり針葉樹に比して低減度は小さい。ただしアピトン類は広葉樹の中では例外的にこの比率が低く、5 % にみえない傾向をしめし、ほぼ針葉樹と同等な比率関係にあることは注目される。

広葉樹の中で、イチイガシの接線方向がとくに他の方向に比して低いのは、その発達した髓線部以外に放射状にならんだ導管配列のためであるらしい。このことは、その破断面がたいていこの部位にあつまる傾向からも判断されることである。なお、ミズナラの放射方向引張強度の比較的低いことも同様に、この導管配列の影響と考えられる。

つぎに、最大比例伸長度についてみると針葉樹と広葉樹とできわめていちじるしい特性差があらわれている。すなわち、最大比例伸長度 ϵ_{0e} の値が最大をしめす方向は針葉樹では、接線、放射両方向とそれぞれ 45° をなす RT_{45} 方向で、5~7 % にも達している。その他の方向ではいずれも 0.6~1.0 % までいどの値であるのに対して極たんに大きい。ところが、広葉樹においては、このような方向差はほとんどみとめられず、いずれも大よそ 1 % (0.8~1.2) となつてゐる。

1.4.4 セン断強度 木材のセン断強度ははなはだ重要なものであるが試験方法がむづかしく、いわゆる単純なセン断応力のみによる試験は振り以外ではほとんど不可能にちかきようである。通常用いられている JIS Z 2114 の方法にしても局部的に相当大きな応力集中が起り、その原因の 1 つである曲げモーメントの影響もさけられないために、当然の結果として試験体の寸法による結果の差異を生ずる。参考として、2cm 型のもの と 3cm 型 のものを比較した試験例を第 10 表にしめす。

第 10 表 セン断試験における試験寸法の影響

Table 10. Effect of dimensions of specimen in shearing test

Species	Dimensions Mark		b	u	R _u	τ _T (kg/cm ²)		τ _R (kg/cm ²)		τ _T τ _R	Specimens
			mm	%	g/cm ³	M	±Δ%	M	±Δ%		
Buna	3×3cm ² 2×2	A	1.8	43	0.69	110	2.9	82	4.4	1.34	20
		B	2.0	41	0.69	121	2.7	92	3.4	1.32	24
		A/B	0.90	1.05	1.00	0.91		0.89		1.01	
Yezomatsu	3×3 2×2	A	1.9	16.6	0.43	84	5.1				20
		B	1.9	16.0	0.40	90	9.0				25
		A/B	1.00	1.04	1.07	0.93					

τ_T=Tangential; τ_R=Radial
M=Average ±Δ%=Deviation

これによると、ブナの生材で板目面セン断強度が柾目面セン断強度の約 1.3 倍であり、3 cm 型のもは、板、柾両者のセン断強度を通じて 2 cm 型のもの約 90 % となつている。このことは、エゾマツ気乾材の板目面セン断においても同様である。したがつて、できるかぎり曲げモーメントの影響や、局部的な接しよく面圧による応力集中をさけるためには、セン断応力に関する負担断面を小さくする必要があり、この意味では 3 cm 型よりも 2 cm 型の方がやや合理的のようにおもわれる。

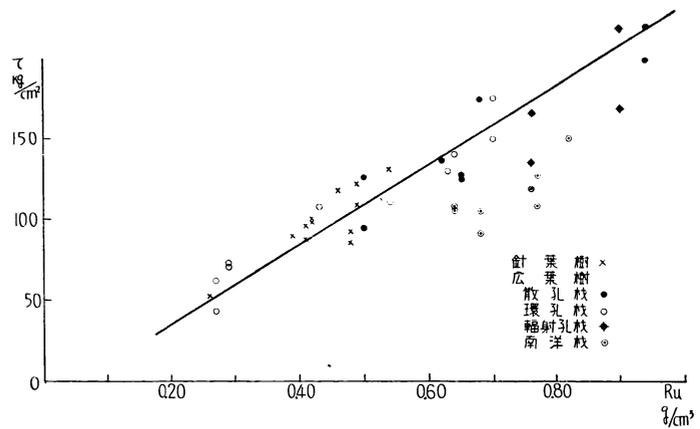
さらに、木材によつては、旋回、斜走および交錯木理がセン断試験の条件をいちじるしく複雑にするものもあるが、このようならば 2 cm 型の方がやや良好な条件をあたえるようである。

1.4.4.1 セン断強度の比重による変動と分散 正常気乾材についてしらべた結果を第 37 図にしめす。

図よりほぼ明らかのように、セン断強度においては、その板目面強度と柾目面強度を一括してもかなりよく比重と比例している。

他の強度とことなつている点は、とくに針葉樹と広葉樹とを区別することなく、多少のバラツキはあるが全比重区間（この試験での）にわたり、50~200 kg/cm² で変動していることである。なお、南洋材（アピトン類）のみが、その比重に比してかなり低い値をしめしていることは注目される。

1.4.4.2 板目面セン断強度 (τ_T) と柾目面セン断



第 37 図 セン断強度と比重との関係

Fig. 37 Relations between shearing strength (τ) and specific gravity (R_u)

×=Softwoods; ○=Ring porous woods;
●=Diffuse porous woods; ◆=radial porous woods

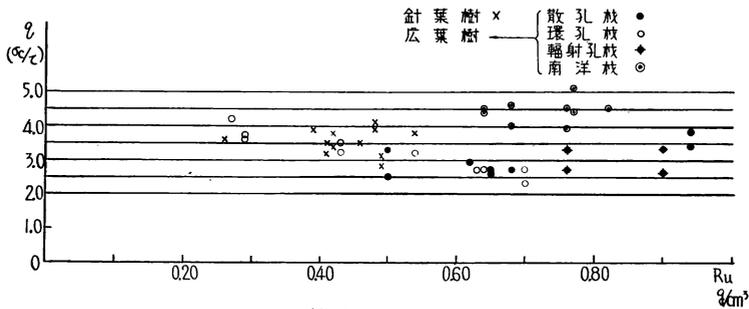
強度 (τ_R) との関係 第 11 表についてみるように、ごくおおまかにみれば、 $\tau_T > \tau_R$ の傾向がある。しかし、たとえば、日本キリやキハダのように柢目面せん断強度の方が若干大きくなっているものもあり、九重キリやベニタブのようにほとんど異なるものもある。

また、他のばあいでも、板目面せん断強度が柢目面せん断強度より 30 % 以上大きくなっている例は少ない。おおよそ、10~20 % ほど大きいとみるのが適当とおもわれる。

1.4.4.3 セン断強度と縦圧縮強度との関係 これは次式でしめされる特性値 q の値によつてもとめられる。

$$q = \frac{\sigma_c}{\tau} \dots \dots \dots (1.15)$$

第 38 図にその比重に関する q の変動と分散をしめたが、他の特性値よりもむしろ分散域はせまい傾向がある。



第 38 図—1

第 38 図 q と R_u との関係

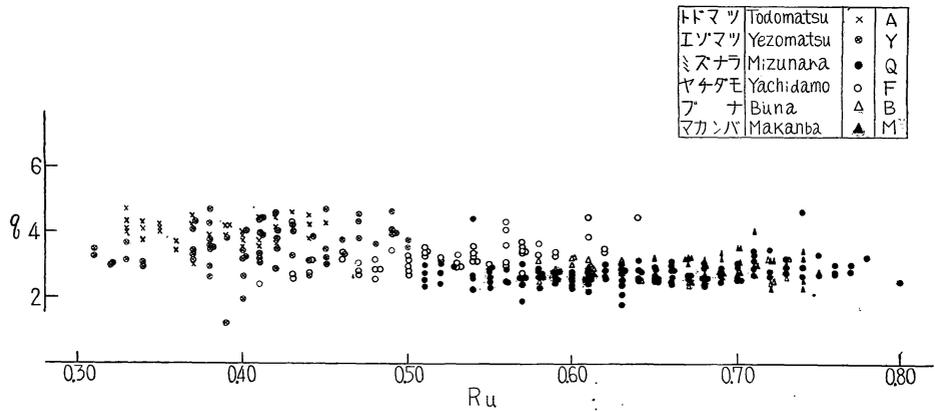
Fig. 38 Relations between q and R_u

×Softwoods; ○=Ring porous woods; ●=Diffuse porous woods
◆=Radial-porous woods

第 11 表

1. 針葉樹 Softwoods

No.	Species	b	u	R_u	R_0	E_t	E_c	σ_t	$\sigma_{c,p}$	σ_c	τ_R
		mm	%	g/cm^3	g/cm^3	$10^3 kg/cm^2$	$10^3 kg/cm^2$	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2
1	Yezomatsu clear & airdry	1.3	17.0	0.43	0.36	122	123	1,237	275	349	—
2	"	3.0	13.6	0.38	0.33	—	102	—	292	357	—
3	"	1.3	14.5	0.41	0.36	141	138	1,340	291	400	—
4	"	1.5	16.6	0.43	0.37	144	134	1,481	338	389	—
5	"	2.0	14.8	0.42	0.37	138	139	1,337	343	377	99
6	"	2.8	15.0	0.42	0.35	110	108	1,045	—	340	100
7	"	1.8	13.9	0.41	0.36	111	107	1,108	261	304	—
8	"	2.3	14.4	0.41	0.35	100	98	854	260	310	—
9	"	1.7	14.3	0.40	0.35	118	114	1,258	269	323	—
10	"	1.7	16.3	0.38	0.32	—	99	—	231	278	—
11	Todomatsu	3.0	14.3	0.42	0.36	119	125	1,106	313	383	—



第 38 図—(2)

1. 全樹種を通じて、 $q = 2.5 \sim 5.0$ の分散域をもっているものとみられる。
2. 広葉樹環孔材のみは、比重の増大によつてやや q の値が低減する傾向をしめしているが、その他ではほとんど比重による影響はみとめられない。
3. おのおのの樹種群についての分散域はつぎのとおりになっている。

針 葉 樹 : 3.5 (3.0~4.0)
 南 洋 材 : 4.5 (4.0~5.0)
 (アビトン類)
 散 孔 材 } : 3.0 (2.5~3.5)
 輻 射 孔 材 }
 環 孔 材 : 3.0 (2.5~4.0)

Table 11

τ_T	ϵ_{0t}	ϵ_{0c}	K_{0t}	K_{0c}	γ_c	r	q_R	q_T	n			産 地 Place of growth
	kg/cm^2	σ_t/E_t	σ_c/E_c	$\epsilon_{0t}/\epsilon_{mt}$	$\epsilon_{0c}/\epsilon_{mc}$	σ_{cp}/σ_c	σ_t/σ_c	σ_c/τ_R	σ_c/τ_T	T	C	
—	0.0102	0.0028	0.99	0.90	0.79	3.54	—	—	50	30	—	苫 小 牧 Tomakomai
—	—	0.0032	—	—	0.82	—	—	—	—	60	—	天 塩 Teshio
—	0.0095	0.0029	0.98	0.92	0.73	3.35	—	—	35	35	—	苫 小 牧 Tomakomai
—	0.0102	0.0029	1.00	0.89	0.87	3.81	—	—	39	38	—	〃
—	0.0097	0.0027	—	—	0.91	3.54	3.8	—	5	23	6	上 芦 別 Kamiashibetsu
—	0.0095	0.0031	—	—	—	3.10	3.4	—	20	30	10	大 夕 張 Ōubari
96	0.0099	0.0029	—	—	0.86	3.61	—	3.2	30	30	30	陸 別 Rikubetsu
88	0.0089	0.0032	—	—	0.84	2.85	—	3.5	30	30	30	〃
—	0.0107	0.0028	—	0.89	0.83	3.90	—	—	—	—	—	上 芦 別 Kamiashibetsu
—	—	0.0029	—	0.92	0.83	—	—	—	—	6	—	定 山 溪 Jōzankei
—	0.0093	0.0031	0.99	0.91	0.82	2.90	—	—	48	47	—	野 幌 Nopporo

1. 針葉樹 (つづき) Softwoods (Continued)

第 11 表 (つづき)

No.	Species	b	u	R _n	R ₀	E _t	E _c	σ _t	σ _{cp}	σ _c	τ _R
		mm	%	g/cm ³	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
12	Todomatsu clear & Akamatsu airdry	4.1	14.3	0.39	0.35	113	117	1,065	310	344	—
13	" "	1.5	14.6	0.46	0.40	96	101	1,167	327	408	118
14	" "	1.6	13.6	0.44	0.39	88	84	965	254	363	—
15	" "	1.4	13.0	0.55	0.49	—	139	—	332	497	—
16	Sugi	7.5	14.5	0.26	0.23	57	57	440	174	189	53
17	" "	6.1	17.2	0.32	0.28	—	72	—	176	243	—
18	" "	7.1	17.1	0.26	0.22	58	55	463	152	187	—
19	" "	7.2	17.8	0.36	0.31	59	54	729	174	266	—
20	" "	6.1	16.5	0.28	0.24	64	—	566	—	—	—
21	Taiwan-Hinoki	1.7	14.0	0.54	0.47	117	130	1,540	431	495	131
22	" "	1.0	17.5	0.49	0.41	111	109	1,344	267	341	109
23	Hinoki	1.2	14.7	0.38	0.33	—	97	—	253	328	—
24	Douglas fir	1.6	16.5	0.48	0.41	115	122	1,074	284	356	86
25	Spruce	1.3	13.6	0.43	0.38	—	126	—	300	374	—
26	" "	2.4	13.8	0.42	0.37	—	122	—	315	373	—
27	Hemlock	0.6	15.9	0.55	0.47	—	177	—	454	558	—
28	" "	4.1	16.4	0.48	0.41	—	116	—	306	397	—
29	Hinoki moist	0.4	24.2	0.48	0.36	102	108	1,222	219	269	68
30	" "	1.2	20.0	0.51	0.43	80	79	1,140	227	317	97
31	" "	4.6	21.0	0.49	0.40	71	78	1,012	195	295	82
32	Hiba	0.8	20.0	0.50	0.41	58	58	915	145	250	92
33	" "	3.0	20.0	0.47	0.40	100	97	903	225	329	84
34	Spruce	1.3	20.0	0.43	0.36	86	98	948	177	220	85
35	" "	5.0	22.2	0.46	0.38	68	48	725	106	140	73
36	" "	2.4	19.8	0.44	0.37	102	130	1,140	233	258	81
37	Hemlock	0.6	19.0	0.55	0.46	139	155	1,502	308	406	106
38	" "	4.1	20.3	0.50	0.42	100	121	1,180	192	249	94
39	Yezomatsu	1.5	16.0	0.72	0.62	65	64	910	267	483	—
40	" comp. wood	1.5	27.7	0.45	0.35	121	125	1,342	200	237	—
41	" "	2.0	24.0	0.58	0.47	84	80	921	250	311	108
42	Todomatsu	4.0	28.9	0.41	0.32	110	106	1,160	182	204	55
43	" "	3.6	25.0	0.73	0.54	77	80	902	265	351	92

Table 11 (Continued)

τ_T kg/cm ²	ϵ_{0t} σ_t/E_t	ϵ_{0c} σ_c/E_c	K_{0t}		γ_c σ_{cp}/σ_c	r σ_t/σ_c	q_R σ_c/τ_R	q_T σ_c/τ_T	n			産地 Place of growth
			$\epsilon_{0t}/\epsilon_{mt}$	$\epsilon_{0c}/\epsilon_{mc}$					T	C	S	
90	0.0094	0.0030	—	—	0.90	3.14	—	3.9	60	60	60	野幌 Nopporo
—	0.0122	0.0041	—	—	0.80	2.86	3.5	—	8	31	8	鹿兒島 Kagoshima
—	0.0112	0.0043	—	0.49	0.71	2.66	—	—	5	7	—	〃
—	—	0.0036	—	0.52	—	—	—	—	—	—	—	〃
—	0.0077	0.0031	—	—	0.92	2.32	3.6	—	8	19	5	秋田 Akita
—	—	0.0034	—	0.75	0.73	—	—	—	—	6	—	〃
—	0.0079	0.0034	—	0.88	0.82	2.48	—	—	6	6	—	〃
—	0.0125	0.0050	—	0.62	0.66	2.74	—	—	10	10	—	肥田 Obi
—	0.0088	—	—	—	—	—	—	—	5	—	—	秋田 Akita
—	0.0131	0.0038	0.98	0.88	0.87	3.11	3.8	—	7	39	20	肥田 Formosa
123	0.0121	0.0031	—	—	0.78	3.94	3.1	2.8	10	10	10	〃
—	—	0.0034	—	0.93	0.77	—	—	—	—	12	—	長野 Nagano
92	0.0094	0.0029	—	—	0.80	3.02	4.1	3.9	10	10	10	アメリカ America
—	—	0.0030	—	0.78	0.81	—	—	—	—	8	—	アラスカ Alaska
—	—	0.0031	—	0.79	0.84	—	—	—	—	8	—	〃
—	—	0.0032	—	0.88	0.81	—	—	—	—	10	—	〃
—	—	0.0034	—	0.87	0.77	—	—	—	—	7	—	〃
—	0.0119	0.0025	—	—	0.82	4.55	4.0	—	4	4	4	木曾 Nagano
—	0.0143	0.0040	—	—	0.72	3.60	3.3	—	8	8	8	〃
—	0.0143	0.0038	—	—	0.66	3.43	3.6	—	12	12	12	愛知 Aichi
—	0.0158	0.0043	—	—	0.58	3.66	2.7	—	4	12	12	青森 Aomori
—	0.0110	0.0034	—	—	0.69	2.75	3.9	—	12	12	12	〃
—	0.0110	0.0022	—	—	0.80	4.31	2.6	—	10	10	10	アラスカ Alaska
—	0.0107	0.0029	—	—	0.75	5.18	1.9	—	10	10	10	〃
—	0.0112	0.0020	—	—	0.87	4.42	3.2	—	10	10	10	〃
—	0.0108	0.0026	—	—	0.76	3.70	3.8	—	10	10	10	〃
—	0.0118	0.0021	—	—	0.77	4.75	2.7	—	10	10	10	〃
—	0.0142	0.0075	0.47	0.38	0.55	1.89	—	—	10	10	—	野幌 Nopporo
—	0.0111	0.0019	0.98	0.81	0.85	5.66	—	—	39	38	—	野幌 Tomakomai
86	0.0110	0.0039	0.66	0.65	0.80	2.96	2.9	3.6	54	52	20	定山溪 Jōzankei
60	0.0105	0.0019	0.89	0.87	0.89	5.69	3.7	3.4	50	50	90	野幌 Nopporo
67	0.0117	0.0044	0.51	0.59	0.76	2.57	3.8	5.2	33	36	78	〃

第11表 (つづき)

2. 広葉樹 Hardwoods 環孔材 Ring-porous woods

No.	Species		b	u	R _n	R _o	E _t	E _c	σ _t	σ _{cp}	σ _c	τ _R
			mm	%	g/cm ³	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	Nippon-Kiri	clear airdry	10.0	10.5	0.27	0.25	60	59	520	215	260	62
2	Kokonoe-Kiri	"	11.2	13.0	0.29	0.26	—	64	—	195	231	—
3	Mizunara	"	10.5	10.8	0.29	0.26	59	62	545	205	260	71
4	"	"	0.9	12.9	0.63	0.56	66	70	613	173	353	—
5	"	"	1.1	13.3	0.64	0.56	72	93	892	221	388	—
6	"	"	2.3	16.9	0.76	0.66	—	142	—	173	383	—
7	"	"	2.5	15.5	0.76	0.66	—	121	—	326	510	—
8	"	"	0.9	13.0	0.60	0.53	—	84	—	181	330	—
9	"	"	1.3	15.9	0.65	0.56	—	80	—	189	369	—
10	"	"	2.0	15.8	0.75	0.65	120	124	1,371	186	387	—
11	"	"	2.3	16.0	0.78	0.67	—	105	—	210	399	—
12	Yachidamo	"	1.5	12.3	0.54	0.48	93	102	1,054	231	356	—
13	"	"	1.6	11.6	0.53	0.47	—	83	—	210	368	—
14	"	"	3.0	13.6	0.59	0.52	—	110	—	294	441	—
15	"	"	1.4	14.3	0.50	0.43	—	58	—	112	297	—
16	Keyaki	"	3.5	13.5	0.69	0.61	92	93	1,212	329	488	—
17	"	"	4.6	8.3	0.75	0.69	—	151	—	410	744	—
18	Locust	"	7.0	15.3	0.70	0.61	144	113	1,385	235	410	150
19	"	"	4.8	13.7	0.76	0.66	—	114	—	298	548	—
20	"	"	6.5	14.0	0.77	0.67	—	113	—	294	562	—
21	"	"	12.7	14.8	0.71	0.62	—	111	—	169	409	—
22	"	"	8.7	14.9	0.72	0.63	—	127	—	247	433	—
23	"	"	4.8	14.7	0.72	0.62	—	104	—	216	393	—
24	Kihada	"	1.6	13.0	0.43	0.38	67	85	813	283	382	121
25	Harigiri	"	1.2	13.9	0.44	0.39	—	53	—	102	244	—
26	"	"	3.5	12.9	0.48	0.42	—	68	—	126	249	—
27	Harunire	"	1.1	14.1	0.49	0.43	—	67	—	157	271	—
28	Mizunara	moist	2.3	51.0	0.93	0.62	110	103	1,155	—	300	115
29	Locust	"	7.0	40.3	0.81	0.58	109	101	1,145	210	325	110

Table 11 (continued)

τ_T kg/cm ²	ϵ_{ot}	ϵ_{oc}	K_{ot}	K_{oc}	γ_c	r	q_R	q_T	n			産 地 Place of growth
	σ_t/E_t	σ_c/E_c	$\epsilon_{ot}/\epsilon_{mt}$	$\epsilon_{oc}/\epsilon_{mc}$	σ_{cp}/σ_c	σ_t/σ_c	σ_c/τ_R	σ_c/τ_T	T	C	S	
43	0.0089	0.0045	0.94	0.80	0.82	2.00	4.2	6.1	10	30	20	赤 沼 Akanuma
—	—	0.0037	0.95	0.67	0.78	—	—	—	—	6	—	〃
72	0.0092	0.0043	—	—	0.78	2.10	3.7	3.6	10	30	20	〃
129	0.0093	0.0053	—	—	0.49	1.70	—	2.7	45	45	45	陸 別 Rikubetsu 河
140	0.0125	0.0049	—	—	0.57	2.27	—	2.7	150	150	150	浦 Urakawa
—	—	0.0027	—	0.19	0.45	—	—	—	5	—	—	〃
—	—	0.0042	—	0.28	0.63	—	—	—	5	—	—	〃
—	—	0.0042	—	0.45	0.52	—	—	—	4	—	—	〃
—	—	0.0047	—	0.39	0.51	—	—	—	5	—	—	〃
—	0.0114	0.0032	—	0.25	0.48	3.54	—	—	5	4	—	〃
—	—	0.0039	—	0.38	0.53	—	—	—	—	4	—	〃
111	0.0114	0.0036	—	—	0.65	2.98	—	3.2	75	75	75	〃
—	—	0.0046	—	0.34	0.57	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0041	—	0.44	0.67	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0053	—	0.38	0.38	—	—	—	—	5	—	〃
—	0.0132	0.0052	—	0.31	0.67	2.49	—	—	5	5	—	東 京 目 黒 Meguro
—	—	0.0050	—	0.47	0.55	—	—	—	—	5	—	〃
175	0.0096	0.0036	0.78	0.40	0.57	3.38	2.7	2.3	62	63	131	秋 田 Akita
—	—	0.0049	—	0.35	0.54	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0050	—	0.31	0.53	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0039	—	0.32	0.42	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0035	—	0.45	0.57	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0039	—	0.36	0.55	—	—	—	—	5	—	〃
108	0.0121	0.0045	0.91	0.59	0.74	2.13	3.2	3.5	10	10	10	宮 崎 Miyazaki
—	—	0.0047	—	0.37	0.42	—	—	—	—	5	—	北 海 道 Hokkaido
—	—	0.0038	—	0.30	0.50	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0040	—	0.42	0.59	—	—	—	—	5	—	〃
—	0.0105	0.0029	0.67	0.45	0.72	3.85	—	—	9	9	—	沼 田 Numata
120	0.0105	0.0032	0.57	0.52	0.65	3.52	3.0	2.7	50	73	140	秋 田 Akita

第 11 表 (つづき)

3. 広葉樹 Hardwoods 散孔材 Diffuse-porous woods

No.	Species		b	u	R _n	R ₀	E _t	E _r	σ _t	σ _{r,p}	σ _r	τ _R
			mm	%	g/cm ³	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	Buna	clear airdry	1.5	12.7	0.62	0.56	98	102	1,170	236	400	—
2	"	"	2.0	14.9	0.63	0.55	—	105	—	218	388	—
3	"	"	1.9	14.0	0.61	0.53	107	105	1,103	226	427	—
4	"	"	2.2	13.7	0.66	0.59	—	86	—	218	297	—
5	"	"	2.0	14.0	0.62	0.54	—	104	—	251	416	—
6	"	"	1.5	14.5	0.65	0.56	—	110	—	276	440	—
7	Makaba	"	2.9	13.1	0.68	0.60	141	141	1,442	374	519	—
8	"	"	1.7	13.3	0.72	0.63	—	171	—	377	588	—
9	Hōnoki	"	2.2	18.4	0.50	0.42	83	78	1,147	219	314	95
10	Isunoki	"	—	15.6	0.94	0.82	189	164	1,867	405	749	198
11	Benitabu	"	1.8	14.2	0.65	0.57	74	67	622	202	334	124
12	Katsura	"	1.1	13.3	0.45	0.40	—	67	—	204	350	—
13	Asada	"	1.3	13.4	0.65	0.57	—	116	—	317	490	—
14	"	"	1.2	13.7	0.74	0.65	—	106	—	220	470	—
15	Hannoki	"	1.6	13.4	0.50	0.44	—	95	—	201	356	—
16	Kaede	"	1.8	14.5	0.66	0.57	—	106	—	230	391	—
17	Shinanoki	"	0.7	12.4	0.47	0.42	—	78	—	137	305	—
18	Buna	moist	2.0	48.0	0.75	0.51	93	94	910	—	275	90

第 11 表 (つづき)

4. 広葉樹 Hardwoods 輻射孔材 Radial-porous woods

No.	Species		b	u	R _n	R ₀	E _t	E _r	σ _t	σ _{r,p}	σ _r	τ _R
			mm	%	g/cm ³	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
1	Itajii	clear airdry	3.1	17.9	0.76	0.65	95	105	1,109	308	440	134
2	Urajiro- gashi	"	3.0	14.2	0.90	0.79	172	143	1,924	342	555	168
3	Ichiigashi	"	3.3	14.8	0.84	0.73	—	155	—	384	597	—
4	"	"	2.8	14.5	0.79	0.69	162	164	1,666	478	648	—

Table 11 (Continued)

τ_T	ϵ_{0t}	ϵ_{0c}	K_{0t}	K_{0c}	γ_c	r	q_R	q_T	N			産地
kg/cm^2	σ_t/E_t	σ_c/E_c	$\epsilon_{0t}/\epsilon_{mt}$	$\epsilon_{0c}/\epsilon_{mc}$	σ_{cp}/σ_c	σ_t/σ_c	σ_c/τ_R	σ_c/τ_T	T	C	S	Place of growth
136	0.0119	0.0040	—	—	0.59	2.80	—	2.9	45	45	45	秋田
—	—	0.0037	—	0.32	0.57	—	—	—	—	5	—	沼田
—	0.0101	0.0041	—	0.34	0.53	2.59	—	—	5	5	—	〃
—	—	0.0048	—	0.38	0.55	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0040	—	0.37	0.60	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0041	—	0.42	0.52	—	—	—	—	5	—	〃
174	0.0096	0.0037	—	—	0.72	2.77	—	2.7	45	45	45	浦河
—	—	0.0036	—	0.53	0.65	—	—	—	—	4	—	〃
126	0.0138	0.0040	0.91	—	0.70	3.65	3.3	2.5	10	10	10	東京目黒
219	0.0099	0.0046	0.86	0.28	0.54	2.50	3.8	3.4	10	10	10	飯肥
127	0.0084	0.0050	0.80	0.64	0.61	1.86	2.7	2.6	10	10	10	〃
—	—	0.0053	—	0.46	0.59	—	—	—	—	5	—	北海道
—	—	0.0042	—	0.60	0.67	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0046	—	0.39	0.47	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0036	—	0.55	0.59	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0037	—	0.31	0.59	—	—	—	—	5	—	〃
—	—	0.0040	—	0.32	0.55	—	—	—	—	5	—	〃
—	0.0098	0.0029	0.74	0.52	0.89	3.30	3.0	—	18	18	18	沼田

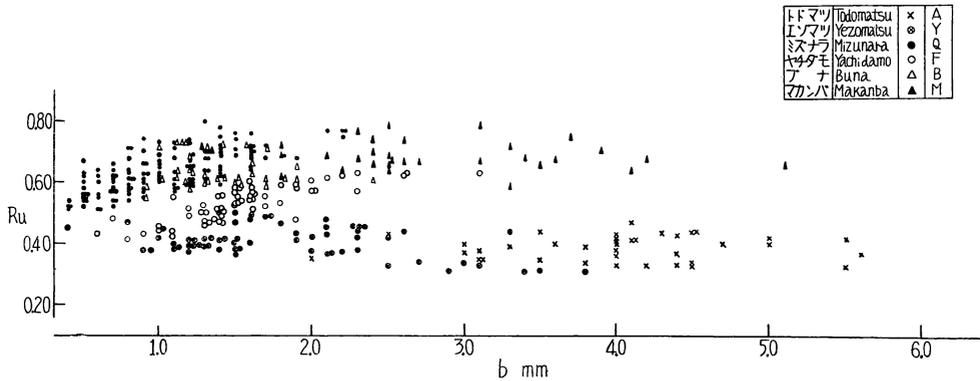
Table 11 (Continued)

τ_T	ϵ_{0t}	ϵ_{0c}	K_{0t}	K_{0c}	γ_c	r	q_R	q_T	n			産地
kg/cm^2	σ_t/E_t	σ_c/E_c	$\epsilon_{0t}/\epsilon_{mt}$	$\epsilon_{0c}/\epsilon_{mc}$	σ_{cp}/σ_c	σ_t/σ_c	σ_c/τ_R	σ_c/τ_T	T	C	S	Place of growth
165	0.0117	0.0042	0.90	0.60	0.70	2.52	3.3	2.7	10	10	10	宮崎県飯肥
218	0.0112	0.0039	0.93	0.47	0.62	3.47	3.3	2.6	20	20	20	〃
—	—	0.0039	—	0.33	0.64	—	—	—	—	6	—	〃
—	0.0103	0.0040	—	0.41	0.74	2.57	—	—	5	5	—	〃

第 11 表 (つづき)

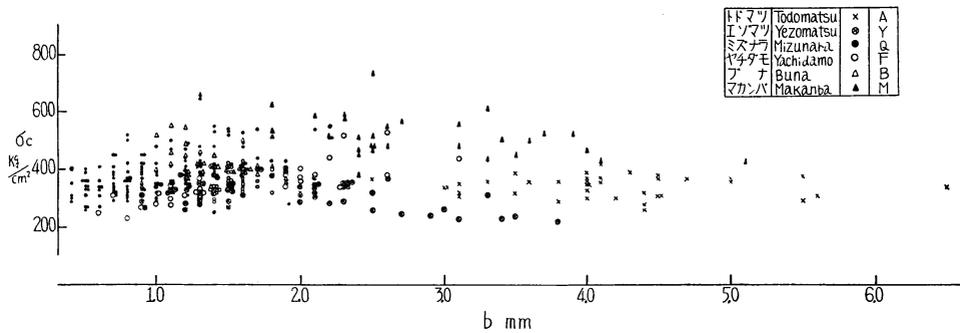
5. 南洋材 Hardwoods Tropical wood

No.	Species		u	R _n	R ₀	E _t	E _c	σ _t	σ _c	σ _c	τ _R	τ _T
			%	g/cm ³	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²				
1	Apitong	clear airdry	15.5	0.64	0.56	178	166	1,725	330	470		108
2	"	"	14.8	0.64	0.56	198	188	1,765	400	475		105
3	"	"	15.9	0.63	0.54	198	186	1,640	331	483		—
4	"	"	16.5	0.63	0.54	202	170	1,694	345	500		—
5	Kuruin	"	13.0	0.82	0.73	191	188	1,516	530	670		150
6	Chhoeuteal	"	15.2	0.77	0.67	171	172	1,677	435	556	108	127
7	Koki	"	16.6	0.76	0.65	128	132	1,277	402	534	119	136
8	Phdiek	"	14.4	0.68	0.59	126	160	1,302	312	415	91	105
9	Apitong	moist	42.8	0.78	0.54	161	158	1,215	300	390		84
10	"	"	41.0	0.77	0.55	164	161	1,090	245	420		66



第 39 図 比重と年輪巾との関係

Fig. 39 Relations between specific gravity (R_n) and width of annual rings (b)



第 40 図 年輪巾と縦圧縮強度との関係

Fig. 40 Relations between width of annual rings (b) and compressive strength (σ_c)

Table 11 (Continued)

ϵ_{0t}	ϵ_{0c}	K_{0t}	K_{0c}	γ_c	r	q_R	q_T	n			産地
σ_t/E_t	σ_c/E_c	$\epsilon_{0t}/\epsilon_{mt}$	$\epsilon_{0c}/\epsilon_{mc}$	σ_{cp}/σ_c	σ_t/σ_c	σ_c/τ_R	σ_c/τ_T	T	C	S	Place of growth
0.0097	0.0028	0.98	0.55	0.70	3.67	4.4		39	34	70	ミンダナオ島 Mindanao
0.0089	0.0025	0.96	0.72	0.84	3.72	4.5		103	48	141	"
0.0085	0.0026	—	0.67	0.69	3.40	—		5	5	—	"
0.0081	0.0029	—	0.79	0.69	3.39	—		5	5	—	"
0.0079	0.0037	—	—	0.79	2.26	4.5		10	30	30	南ボルネオ South Borneo
0.0099	0.0033	—	—	0.78	3.02	5.1	4.4	5	5	10	カンボジア Cambodia
0.0100	0.0041	—	—	0.75	2.39	4.5	3.9	5	5	10	"
0.0109	0.0026	—	—	0.75	3.14	4.6	4.0	5	5	10	"
0.0076	0.0025	0.89	0.59	0.77	3.12	4.6		47	85	62	ミンダナオ島 Mindanao
0.0067	0.0026	0.79	0.51	0.58	2.60	6.4		36	88	59	"

1.5 強度特性値の総括

以上にのべた木材の強度特性に関し、その特性値と考えられるもののうち、とくに実用上重要であり、梁の性能にも関連するものについて、その平均的指標値と分散域に関して総括的にしめたのが第 12 表である。

第 12 表 木材の強度特性値
Table 12. The 'Characteristics' in strength of wood

Group	Sp. G. (R_n)		γ_c	ϵ_{0c}	ϵ_{0t}	K_{0c}	K_{0t}	r	q	α
			σ_{cp}/σ_c	σ_c/E_c	σ_t/E_t	$\epsilon_{0c}/\epsilon_{mc}$	$\epsilon_{0t}/\epsilon_{mt}$	σ_t/σ_c	σ_c/τ	σ_c/H_t
Softwoods	0.25	M	0.80	0.0030	0.010	0.85	1.0	3.2	3.5	90
	~0.55	D	0.7~0.9	0.0025 ~0.0035	0.008 ~0.012	0.75 ~0.95	0.9~1.0	2.5~4.0	3.0~4.0	85~95
Hardwoods	0.45	M	0.55	0.0045	0.011	0.40	0.9	2.5	3.0	90
	~0.80	D	0.4~0.7	0.0040 ~0.0050	0.009 ~0.012	0.30 ~0.50	0.8~1.0	1.5~3.5	2.5~4.0	80~100
	0.45	M	0.60	0.0040	0.010	0.45	0.9	2.7	3.0	90
	~0.95	D	0.5~0.7	0.0035 ~0.0045	0.008 ~0.012	0.30 ~0.60	0.8~1.0	2.0~3.5	2.5~3.5	80~100
	0.75	M	0.70	0.0040	0.011	0.45	0.9	3.0	3.0	90
~0.90	D	0.6~0.8	0.0035 ~0.0045	0.010 ~0.012	0.30 ~0.60	0.8~1.0	2.5~3.5	2.5~3.5	80~100	
Apitong	0.60	M	0.75	0.0030	0.009	0.70	1.0	3.0	4.5	95
~0.85	D	0.7~0.8	0.0025 ~0.0035	0.008 ~0.010	0.60 ~0.80	9.0~	2.5~3.5	4.0~5.0	90~100	

M=Mean D=Distribution

σ_{cp} =Compressive stress at P. L.; σ_c =Compressive strength; σ_t =Tensile strength;
 τ =Shearing strength; E_c =Young's modulus in compression test; E_t =Young's
 modulus in tensile test; H_t =End hardness (Brinell); ϵ_{mc} =Compressive strain at
 maximum stress; ϵ_{mt} =Tensile strain at maximum stress

また、これらの数値はあくまで樹種のおよび材質の特性値として把握される必要があり、この表にしめしたものは、いうまでもなくおおよその推定根拠をあたえるものと考えらるべきである。したがって、さらに精確な特性値を定めようとするなら、当然各樹種とその材質に応じて検討を加えなければならない。

すくなくとも、本邦における最も一般的な木構造材料、すなわち、針葉樹では、スギ、ヒノキ、エゾマツ、カラマツおよびアカマツの 5 種、広葉樹では、ブナ、ミズナラ、ケヤキおよびカシの 4 種にアビトンとラワンていどを加え合計 11 種ていどのものについての分類評価が必要であろう。このばあい、同一樹種であつても材質的に特異なものもあるので（たとえば人工林産スギのうちオビスギのように樹脂細胞のいちじるしく発達したものや、ミズナラなどのヌカ目材および針葉樹アテ材）、これらをどのていどまで分類して評価するかは今後にのこされた課題である。

なお、表よりつぎの関係がみとめられるのは木材梁の横断面内における応力分布の型式を推定するうえに好都合であると同時に興味がある。

$$\frac{\epsilon_{ot}}{\epsilon_{oc}} = r = \frac{\sigma_t}{\sigma_c} \dots \dots \dots (1.16)$$

つぎに、これらの強度特性値による木材強度性能の評価方法についてのべよう。

いま、エゾマツを例にとつて考える。ここで第 1 におこなう必要のあるのは縦圧縮強度またはヤング係数の推定である。ところが、最も一般的にとり扱われているのは圧縮強度の方であるから、これを推定することにしよう。その推定の方法にはつぎのふたとおりがある。

1. 間接的推定：あたえられた材の年輪巾や秋材率（針葉樹であるから）から比重を推定し、さらにその比重に対応すると考えられる圧縮強度をきめる。これは、それ以前に比重と圧縮強度との関係が資料的に明らかにされていなければならないが、要するに、この推定方法は材料条件としてごくおおよその目安をあたえる必要のあるときにのみおこなわれるべきものであろう。

2. 直接的推定：これには、さらに 2 つの方法があり、その 1 つは多少間接的になるが、あたえられた材の木口面カタサ H_t を実測して圧縮強度をきめるものと、全く直接に圧縮試験をおこなつてきめるものがある。これはかなり正しく強度を判定しようとするときに採られる方法といえる。

したがって、これらの方法のいずれをえらぶかは、木材を利用するさいの条件によつても異なり、またその研究資料の有無にもよることはいうまでもない。

いま、このいずれかの方法によつてエゾマツの圧縮強度が推定されたものとして、その値を 350 kg/cm^2 であつたとする。

つぎに第 12 表によつて、他の強度性能を推定すれば、

圧縮強度 = 350 kg/cm^2

ヤング係数 = $117,000 \text{ kg/cm}^2$

圧縮比例限度 = 280 kg/cm^2

引張強度 = $1,120 \text{ kg/cm}^2$

せん断強度 = 100 kg/cm^2

木口面カタサ = 3.9 kg/mm^2

のようになる。この値を第 11 表のエゾマツで圧縮強度 349 kg/cm^2 のものとの比較をとれば、（実測値）／（計算値）の比であらわすと、

ヤング係数：1.15

比例限度力度：0.98

引張強度：1.10

となつて、若干実測値の方が大きい傾向はあるが、あまり大きな差はないようである。

なお、このほか、木材梁としての曲げ性能も推定されるのであるが、これについては後述するのでここでは省略する。

1.6 木材の破壊形態

1.6.1 縦圧縮破壊形態 木材の圧縮破壊機構は他の材料にくらべていちじるしく特性的である。すなわち、木材は圧縮応力をうけて、まず、セニ細胞膜に座屈が起り、ついでセン断分応力によつて迂るといふかなり典型的な発達形式をとるものである。このばあい、放射方向と接線方向とでセンの通直性がことなり、接線面内での偏心性がつよく、したがつて、まずこの面内で接線方向の変形による座屈がおこるものとみられる。このことはポアソン比の値でもつねに接線方向の方が大きく、また引張およびセン断強度でも接線方向が放射方向より弱い傾向をしめすことによつても首肯される。

このような圧縮破壊の現象的観察についてはすでに一部を公表²¹⁾しているもので、その詳細についてはのべないが、とくに特性的で興味のある2、3の点についてだけ説明する。

第47図(Plate 1)の1-(a)はケント紙による中空角筒束模型で軽比重の針葉樹に、また、1-(b)は細い銅線をハンダで固めたものでセンの比較的強靱な広葉樹(同図-2, 3, 4)にそれぞれその破壊形態がよく似ている。なお、この1-(a)および(b)の構造模型は東大理工学研究所の竹鼻氏の実験によるものである。

これらの構造上の近似性は、ともに長軸方向の結合は強く、これと直角な横方向の結合が弱いことである。このようなばあい両者ともに、まず、材料を構成するセンイまたは銅線が軸応力(圧縮)をうけて屈曲する。これは横方向の結合力が弱いためにその方向の拘束ができず、局部的な座屈がいちばん外側のセンイのどこかで起ることになる。ついで、これを起点として順次にセンイの座屈がすすみ同時にセン断分応力によつて斜めに迂りを起す結果となるようである。

いずれにせよ、縦方向の結合力と横方向の結合力との関係が木材のそれに近いほど大まかにみて、その破壊形態は類似してくるものと思われ、模型的な実験によつて木材の破壊機構を検討するうえで興味もたれる。

つぎに、筆者がとくにエゾマツについて観察した圧縮破壊形態の発達過程を第48図(Plate 2)に一括してしめた。

1.6.2 引張破壊形態 セニ方向の引張破壊形態については、すでに知られているとおり、いわゆる「ササラ状」に破断するものと「櫛型」および「平面的破断」の3種が多くあらわれる。むろん、これらの中間的なものもあるが、比較的センイ走向の良好なエゾマツ、ヒノキおよびアビツンのようなものでは「ササラ状」破断をしめすものが多い。しかし、これらの樹種でも、エゾマツやヒノキなどで年輪巾がかなり広がると、あるていど「櫛型」破断形に近づく傾向があり、これは主として春材部破断のさいの特徴である平面的破断の量がふえるためとみられる。前述のように、アビツンのような南洋材でも、エゾマツのような「ササラ状」破断形態をしめすことは、その材質がこれまでのべたように、いろいろの点で針葉樹と類似していることと考えあわせてなかなか興味がある。また「櫛型」破断では、前述したように

年輪巾の比較的広い針葉樹や軽度のアテ材にしばしばみうけられるもので、これは春材部と秋材部との強度差がいちじるしいとみられるものに特徴的である。他の一般の広葉樹と、かなり強度のアテ材(針葉樹)またはやや腐朽している材では、かなり平面的破断の傾向がよくなっている。もつとも、広葉樹のなかでも、散孔材と輻射孔材には比較的「ササラ状」破断形をしめすものが多く、環孔材では多く平面または「櫛型」状であり、まれに「ササラ状」を呈するものもある。要するに、これらの破壊形態はかなり樹種的に特有のものであり、必ずしも破壊形のみによつて単純にはその強度の大小を論ずることはできない。しかし、おおよその傾向としては「ササラ状」>「櫛型」>「平面破断」となるばあいが多い。

つぎに、センイに直角方向の引張では、ほとんど大部分のものが平面状破断形態をとる。とくべつのはあいとして、まれに「櫛型」状を呈するものもみられるが、一般的には平面的と考えてさしつかえないようである。

センイ方向と 45° またはこれにちかい傾斜をもつ方向の引張では、例外なくそのセンイ方向に沿う面によつて破壊する。これは主としてセン断応力がこの面内で有効にはたらくためであろう。放射方向と接線方向とにそれぞれ 45° 、またはこれにちかい角度をもつ方向の引張では、やや櫛型にちかい平面状破断が起る。なお、エゾマツのこの方向のものについて、短時間(約 70 時間)クリープをおこなつてから引張破壊せしめたものでは、センイ方向と 45° をなすばあいにみられたと同様な迂り面(年輪の境界面)で破壊した。これを第 48 図(Plate 2)の 2 にしめす。さらに、接線方向の引張では、髓線の分離がみとめられ、広葉樹における広髓線において特徴的である。

これら引張破壊の形態を第 49 図(Plate 3, 4, 5)に一括例示した。

1.6.3 セン断破壊形態 このばあい、板目面セン断ではそのセン断破壊面がかなり平滑となるが、柘目面セン断では多少段がついて秋材部と春材部とでそのセン断破壊面がことなることが多いようである。

また、針葉樹アテ材においてはいちじるしく特徴的で、板目面セン断のさい、その春秋材境界面から迂り破壊を起すことはしばしば観察される。これは、この破壊面が必ずしも力学的なセン断応力最大の面と一致しなくとも起るのが普通である。したがつて、そのセン断破壊面は年輪に沿つている。その例を第 50 図(Plate 5)にしめす。

なお、実際試験のばあい、純粋なセン断応力のみではなく、かなりいちじるしい曲げモーメントを伴い局部的に応力が集中し、これによつてかなり大きな横引張の影響があるようである。

2. 木材梁の曲げ剛性と強度

以上にのべた木材の単純軸応力—歪曲線、弾性常数、強度特性値等を木材梁の性能評価に適用してみることにする。

2.1 梁の横断面内における応力分布の仮定

梁の横断面内に分布する応力は通常考えられているよりはかなり複雑なものとおもわれるが、実用的取扱いはできるかぎり単純化する必要があるので、その弾性域から塑性域への発達形式を第 41 図のように仮定した。

さらに、図(a)の弾性域についてはこの仮定はほぼ実際のばあいと一致するもので問題はないが、(b)

の塑性域（圧縮側の）をもつばあい。取扱いにはかなり問題がある。いま、この(b)のばあいについて、このような完全塑性を仮定し、この条件を成立させるための応力—歪関係を検討してみる。

まず、梁の内応力に関する平衡条件としての同一断面内の垂直応力の総和が0となることから次式がみちびかれる。

$$\sigma_c \cdot b \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \mu (\sigma_c + \sigma_t) \cdot b \dots \dots \dots (2.1)$$

ただし、b = 梁幅とする。

また、このばあい弾性域のみのばあいと同様、梁の縦センイは曲げモーメントの平面に平行する同軸円弧状をなして曲るものと仮定すれば、

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{0c}} = \frac{h - \lambda}{\mu - \lambda} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\frac{\epsilon_t}{\epsilon_{0t}} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \dots \dots \dots (2.3)$$

ただし、 ϵ_c = 圧縮側外皮歪 ϵ_t = 引張側外皮歪

ϵ_{0c} = 引張側より μ の位置における圧縮歪 = σ_c / E

(2.3) の両辺に1を加えたものを(2.2)の両辺から1を差し引いたもので除すと、

$$\mu = \frac{\epsilon_{0c} + \epsilon_t}{\epsilon_c + \epsilon_t} \cdot h \dots \dots \dots (2.4)$$

をうる。

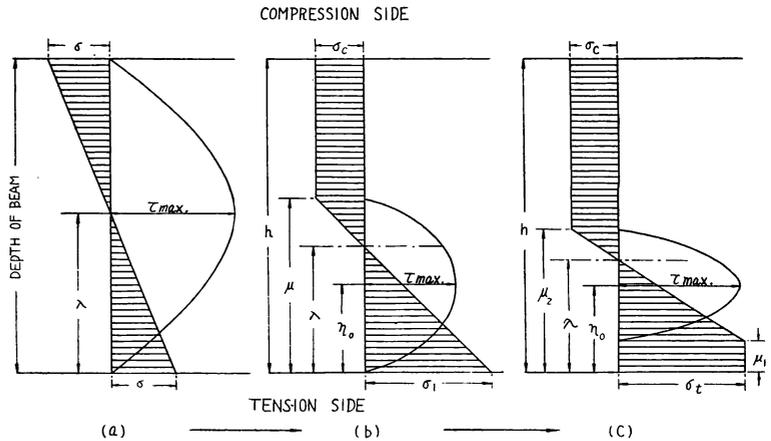
つぎに、(2.4)式を(2.1)に代入し、かつ、この梁の引張破壊条件として、 $\sigma_t = \sigma_t$; $\epsilon_t = \epsilon_t$ を代入する。このさい、前述の条件から、 $\sigma_t = r \cdot \sigma_c$; $\epsilon_t = r \cdot \epsilon_{0c}$ の関係を適用すると、(2.1)式はつぎのように変形される。

$$2(\epsilon_c + r \cdot \epsilon_{0c}) = (1+r)^2 \cdot \epsilon_{0c} \dots \dots \dots (2.5)$$

したがって、

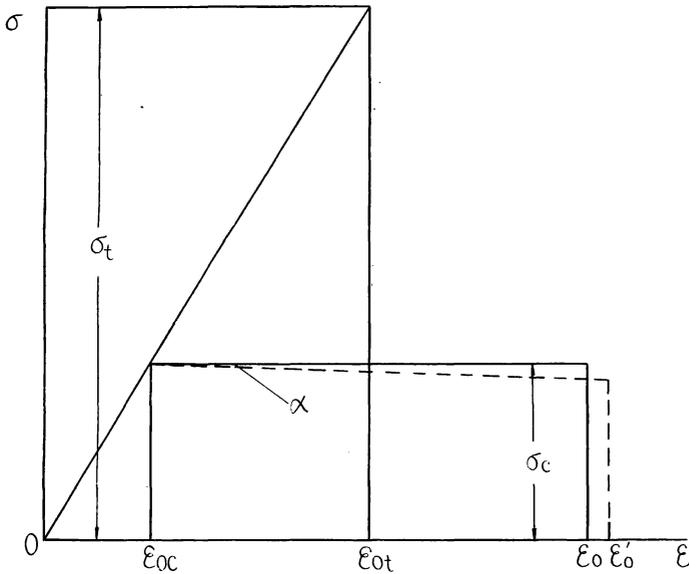
$$\epsilon_c = \frac{1+r^2}{2} \cdot \epsilon_{0c} \dots \dots \dots (2.6)$$

なる関係が導かれる。



第 41 図 梁の断面内応力分布の発達

Fig. 41 Development of stress distribution in the cross-section of a wooden beam



第 42 図 応力—歪曲線の模式化

Fig. 42 Simplified stress-strain curves
t = Tension; c = Compression

ゆえに、圧縮応力—歪曲線が圧縮強度に達してから完全塑性型をとり、梁の圧縮側が塑性域にはいつても梁の彎曲が同軸円弧状を呈すると仮定すれば、その圧縮側外皮の最大歪は最大比例短縮度 ϵ_{0c} の $(1+r^2)/2$ 倍となることが推定される。

たとえば、 $r=3$ のときは、梁の破壊応力に対応する最大圧縮歪 ϵ_c は ϵ_{0c} の 5 倍に達することになるわけである。

また、針葉樹のエゾマツやトドマツのように圧縮応力—歪曲線の曲線域の小さいもの、つまり K_{0c} の値がほとんど 1 にちかいものでは、圧縮強度のかわりに圧縮比例限応力度 σ_{cp} をとる方が実際にあてはまる。このことは、第 42 図において、応力—歪曲線が圧縮強度に達してから傾角 α をもつてしだいに低減する傾向があり、 $\epsilon_{0c} \sim \epsilon_0'$ まで発達するので、その部分が長ければ長いほど完全塑性の仮定が適合しえなくなるからである。アカマツや一般の広葉樹で比較的 K_{0c} の値が小さく、圧縮応力—歪曲線の曲線域の大きいものでは、 $\epsilon_{0c} \sim \epsilon_0'$ の区間も短くなつて完全塑性の仮定はかなり適合する。このような理由から、エゾマツのように K_{0c} の値が大きく 1 にちかい針葉樹などのばあいには、圧縮比例限応力度をもつて圧縮強度におきかえる方が妥当であると考えられる。

2.2 梁の横断面に分布するセニ歪

電気低抗線歪計 (Electric strain meter) によつて単一梁、釘着合せ梁および接着集成梁の横断面に分布するセニ歪を実測してみたのでその結果についてのべる。

2.2.1 単一梁 梁の引張側および圧縮側のセニ歪を測定した例を第 43 図にしめた。

この例でもわかるように、弾性域においてはほとんど中立軸と中心軸とは一致している。なお、塑性域における歪分布については、歪ゲージの限度もあつて測定は困難である。

2.2.2 釘着合せ梁 アカマツ乾燥材の幅 10 cm、厚さ 2.5 cm のものを 3 枚重ね合わせ、3 寸 5 分

一方、単純軸応力—歪曲線について、引張と圧縮とを比較すれば第 42 図のようになるが、引張破壊応力 σ_t に達したときの引張応力—歪曲線の変形エネルギーと、相等しい変形エネルギー (符号反対) をもつまで圧縮応力—歪曲線の塑性域を完全塑性のままに延長したばあいの仮想圧縮歪を ϵ_0 とすれば、

$$\frac{1}{2} \sigma_t \cdot \epsilon_{0t} = \frac{1}{2} \sigma_c \cdot \epsilon_{0c} + \sigma_c (\epsilon_0 - \epsilon_{0c}) \dots (2.7)$$

これに、 $\sigma_t = r \cdot \sigma_c$; $\epsilon_{0t} = r \cdot \epsilon_{0c}$ を代入してかき改めると、

$$\epsilon_0 = \frac{1+r^2}{2} \cdot \epsilon_{0c} \dots (2.8)$$

したがつて、 $\epsilon_c = \epsilon_0$ となる。

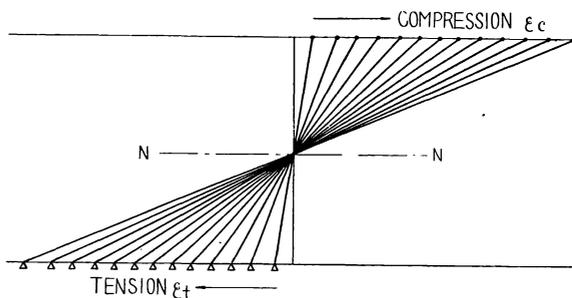
の丸釘で釘着した。このばあい、釘の打込み方法は、まず所定の位置に釘を打ち込み、その頂部が板面よりメリ込むまでつづけ、その後3枚目の板のウラで釘の先を木のセニ方向と直角に折り曲げてつよく打ちこれも材面より完全にメリ込ませるようにする。この方法は電線ドラムなどの釘着に通常用いられているものである。さらに、釘1本の保持面積は釘と釘との距離と板幅とによつてきめられる。したがつて

板の側面から 2.5 cm はなれたところに第1本目の釘を打ち込み、つぎに板の幅方向に 5 cm、長さ方向に 4 cm はなして第2の釘を打ち込み、その後はこれを交互にくり返せば、チドリ式に釘が打ち込まれることになり、このときの釘1本当りの保持面積は 40 cm² となる。このばあいを 3N40 の記号であらわすことにする。同様に釘と釘との間隔を 8 cm にしたものや 14 cm にしたものをそれぞれ 3N80, 3N140 としてあらわす。また、幅と厚さの同じ板を2枚釘着したものも同様なあらわし方を用いる。たとえば、釘の保持面積が 40 cm² のものは 2N40 であらわす。

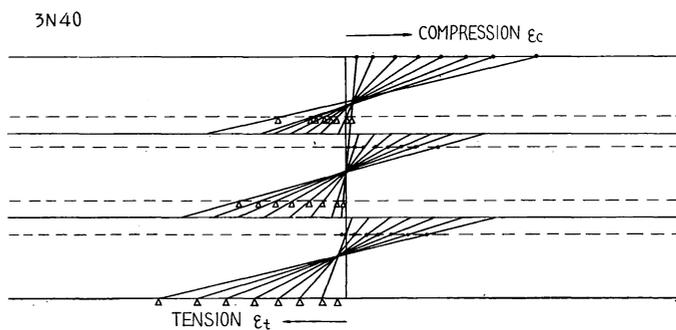
つぎに、曲げ試験の方法としては、2点荷重とし、スパンは 105 cm (3枚合せのとき) で3分点のところに2点荷重を加える。このときスパン中央の断面にストレイン・ゲージをはりつけてセニ歪の発達をもとめた。その3枚合せのばあいの例を第44図にしめす。

これをみると、最も多く釘を打つた 3N40 のばあい上下の板でややそれぞれの板の中心軸と中立軸とにズレを生じているが、その他のものはほとんど一致していることがわかる。このことは、これらの板が釘によつて集成されているにもかかわらずほとんどその結合効果があらわれていないことをしめしている。つまり、単に重ね合わせた梁の応力分布型式をとつていることがわかる。

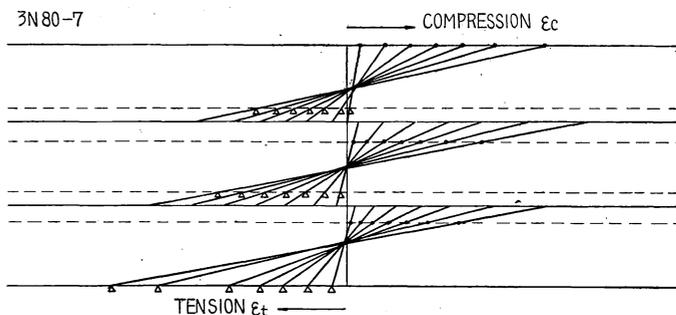
通常、釘着接合がそれほどの結合効果は期待できないに



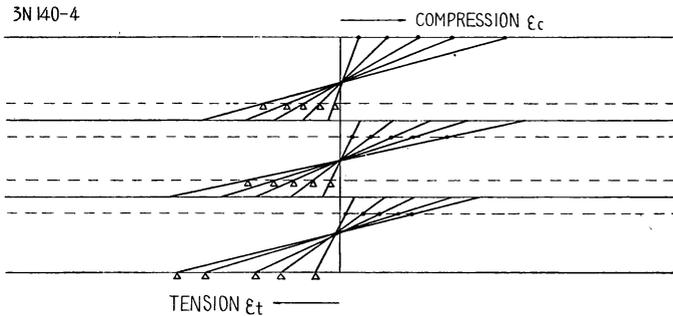
第 43 図 素材梁の断面内歪分布 (ストレイン・ゲージ)
Fig. 43 Strain distribution in a wooden beam (electric strain gage)



第 44 図—(1)

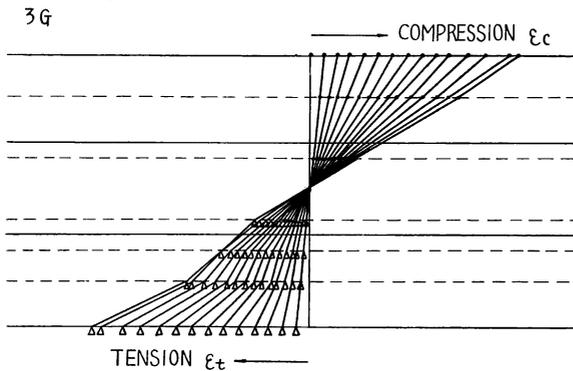


第 44 図—(2)



第 44 図—(3)

第 44 図 釘着重ね梁の断面内歪分布 (ストレイン・ゲージ)
Fig. 44 Strain distribution in nailed beams
(electric strain gage)



第 45 図 接着集成梁の断面内歪分布 (ストレイン・ゲージ)
Fig. 45 Strain distribution in a glued laminated
beam (electric strain gage)

しても、このような応力分布をすることは考えられていなかったように思われるが、はなはだ興味深い結果である。

この原因についてはいろいろ考えられるが、最も重要なことは釘着による接合においては、その打込釘の周囲、すなわち、釘に接する木部の局部的な歪が大きく影響しているものとみられる。

2.2.3 接着集成梁 合成

樹脂接着剤によつて十分良好な条件で接着されたばあいは、第 45 図やこれまでにおこなつたミズナラの通直集成材¹⁰⁷⁾でも全く単一梁と同様な歪分布をしめすことがみとめられる。

第 45 図にしめしたものは、尿素樹脂接着剤によつてアカマツの 10 cm 幅 2.5 cm 厚の板を 3 枚積層接着したものである。その試験方法はすべて釘着梁のばあいと同様である。

2.3 梁の曲げ剛性

2.3.1 単一梁における 曲げ 剛性の

計算 矩形断面の単一梁に関する荷重—撓曲線については第 41 図の完全塑性型応力分布の条件によつてつぎのような計算式がえられる。なお、その誘導についてはすでに発表⁸⁸⁾⁹⁴⁾⁹⁵⁾したとおりである。すなわち、

1. 中央集中荷重における梁中央の撓

$$y_c = \frac{1}{\beta^3} \left[\frac{36}{3-\beta} - 17 - 12 \log_e \frac{2}{3-\beta} \right] \cdot y_e$$

$$= \phi_c \cdot y_e$$

$$y_e = Pl^3/48EI \dots \dots \dots (2.9)$$

2. 2点荷重における梁中央の撓

$$y_{c-l} = \frac{4}{\beta(3-\beta)^2} \cdot y_e$$

$$= \phi_l \cdot y_e$$

$$y_e = Pa l^3/16EI \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\begin{aligned}
 y_{c-l} &= \frac{8}{3\gamma^2-4} \left[\phi_c + \frac{3}{8}(\gamma^2-4)\phi_l \right] \cdot y_c \\
 &= \phi_L \cdot y_c \\
 y_c &= pa(3L^2-4a^2)/48EI \dots \dots \dots (2.11)
 \end{aligned}$$

ここに、

- y_c = 中央集中荷重におけるスパン中央の撓
- y_{c-l} = 2点荷重における中央荷重点間一定曲げモーメント区間の中央撓
- y_{c-L} = 2点荷重におけるスパン中央の撓
- E = ヤング係数
- P = 集中荷重
- I = 断面2次モーメント
- l = 中央集中荷重ではそのスパン, 2点荷重ではその中央荷重点間の距離
- L = 2点荷重におけるスパン
- a = 2点荷重における支点と荷重点との距離 = (L-l)/2
- $\beta = \sigma_b' / \sigma_c$
- ただし、針葉樹で $K_{0c} \approx 1$ のものでは $\sigma_b' / \sigma_{c,p}$
- $\sigma_b' =$ 曲げ応力度 = $M/W \geq \sigma_c$ or $\sigma_{c,p}$
- M = 曲げモーメント
- W = 断面係数
- $\gamma = L/a$

なお、以上3式の係数 ϕ_c , ϕ_l および ϕ_L について β に関する数値表は木材梁に関する研究第4報⁹⁵⁾の巻末にかかっている。

さて、これらの曲げ剛性の計算においてとくに検討を要するものは E と β のきめ方である。

1. 曲げヤング係数 (E_b): 2点荷重によつて純曲げの条件があたえられているばあいは、 $E_b = E_c$ の関係が成り立つものとみてよい。このことは、筆者もこれまでたびたび実験してその適合性を確かめている⁹⁵⁾。また、スパン—ハリタケ比が 20 をこえるようなものでは、中央集中荷重のばあいでも成り立つと考えてよい⁹⁸⁾。しかし、スパンに比してハリタケの大きなものではこの関係は成立しなくなってくる。すなわち、中央集中荷重のスパン中央の撓が弾性域においてセン断応力による撓が加わると次式のようになる。

$$y_c = \left[1 + \frac{6}{5} \cdot \frac{E}{G} \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right] \frac{Pl^3}{48EI} \dots \dots \dots (2.12)$$

ここに G はセン断弾性係数である。したがつて、E/G の値によつてその影響の度合がことなるわけである。

すでにのべたように、E/G の値は針葉樹で約 15~20; 広葉樹で 10~15 となつているので、いま、針葉樹で $E/G \approx 20$ として考えると、h/l の値が 1/5, 1/10, 1/15, 1/20 のときの撓み増加率はそれぞれ、96%, 24%, 11%, 6% となり、かなりいちじるしい影響のあることが推定される。よつて、中央集中荷重による曲げ試験で木材のヤング係数を評価しようとするばあいは、針葉樹で $h/l \leq 1/20$, 広葉樹では、

$h/l \leq 1/15$ ていどにすべきであろう。広葉樹のばあいでも E/G の値は少なくとも 10 ぐらいにはみなければならぬから、このとき、 h/l が $1/15$ で約 5% 過大な撓をあたえることになり、 $h/l > 1/15$ の区間でもとめることは標準的なヤング係数の評価に誤りをおかす原因となるおそれがある。そのうえ、中央集中荷重ではとくに、その荷重点のところに局部的なメリ込み圧が作用し、この二次的な応力の集中のために正しい撓の測定をあやまる公算もあり、とくに、 h/l が大きくなるほど、また軟らかい針葉樹ほどその影響は大きくなる。

したがって、木材の曲げ試験からヤング係数を評価するばあいは、原則として 2 点荷重方式をとるべきであり、実用上、とくに中央集中荷重によらねばならぬときは h/l の値を、 $1/15 \sim 1/20$ でおこなうべきであろう。

2. β のきめ方： β は曲げ応力度 σ_b' と圧縮強度 σ_c 、または圧縮比例限度応力度 σ_{cp} との比の値として計算されるものである。このばあい、通常は σ_c をとつて β をきめるが、針葉樹などのなかで σ_{cp} をとらねばならぬものもある。これをつぎの条件からもとめる。

$$K_{0.0} \geq 0.75 \rightarrow \sigma_{cp} \text{ をとる。}$$

すなわち $K_{0.0}$ の値が大きくて 1 にちかいことはその圧縮応力—歪曲線の曲線域がきわめて少ないことを意味している。このようなばあいは、梁において、その圧縮側セインが圧縮強度に等しい曲げ応力となつてから相当長く変形がすすむので、それ以後の圧縮応力はかなり低減する傾向をしめすことになる。そのために完全塑性の条件仮定が適用しがたくなるので、比例限度応力のところで完全塑性型を仮定する必要があるわけである。このことは、後にのべる梁の曲げ破壊応力の計算のばあいについても同様である。

3. 曲げ比例限度応力度 (σ_{bp}) の推定：理論的には圧縮比例限度応力度 (σ_{cp}) と一致すべきものと考えられるが、実際には圧縮強度よりも大きい値をとるのが普通である。

むろん曲げ試験によつてもとめられる比例限度はその荷重—撓曲線からとるのであつて、そのかぎりでは測定の精度にもよるが、前述の計算式によつて荷重—撓曲線をえがいたばあいでも、これを実験のときとほぼ同様の精度でおこなえばその圧縮強度または圧縮比例限度応力度よりも相当高いところに曲げ比例限度応力がくる。すなわち、中央集中荷重のばあいでは、 β をきめるときに基準とした応力度 (σ_c または σ_{cp}) の 1.27 倍の曲げ応力度のところで約 1% だけ撓増加があり (弾性撓に対して)、2 点荷重の純曲げ区間では $\beta = 1.12$ 、スパン全体としては $\beta = 1.13$ ていどで同様約 1% の撓増加がみられるにすぎない。また、その撓増加を 3% 程度にしたときで曲げ比例限度をきめれば、中央集中荷重と 2 点荷重とでそれぞれ β の値は 1.40 と 1.20 になる。実際の曲げ試験では、このていどの精度で比例限度をとらえることが多いとおもわれるので、両者を合わせて、低い方の $\beta = 1.20$ をとることを提案したいと思う。なお、筆者はこの方法によつて曲げ比例限度を推定したものと実測値とを比較しておおよそ一致することをたしかめている⁸⁸⁾⁹⁵⁾¹⁰⁷⁾。

4. クリープ撓影響：単一梁の 2 点荷重方式による曲げクリープ試験の結果については一部をすでに発表している⁹⁵⁾が、梁の曲げ剛性を塑性域まで延長して考えるばあいはきわめて重要な条件となつてくる。

すなわち、曲げ応力度がその材の圧縮比例限度応力度に達しないものではほとんどクリープによる影響を無視しうとおもわれるが、これをこえて応力が増大すると、しだいに影響が大きくなつてくる。つまり曲げ応力度が圧縮強度に相応する応力に達する付近では、もし十分な時間をあたえれば約 20% 程度の撓増加があるようである。それ以上曲げ応力度が大きく、曲げ破壊応力の 70% ていどになると約 60%

前後のクリープ撓が増加することが針葉樹材についてはほぼ明らかである。むしろ、材の含水率、外的温湿度条件等によつてこの数値は異なつてくるであろうが、いずれにせよ、かなり大きなクリープ撓のあることは事実のようである。実際、静的曲げ試験をおこなうばあいでも、破壊荷重の約 80 % 付近からはかなり著しいクリープ撓の増加が観察される。したがつて、曲げにおける荷重—撓曲線を塑性域まで延長して計算するさいに注意すべきことは、その計算にいかなる方法をとるにしても、曲げ破壊係数の 80 % 以内でその適合性をたしかめるべきであろう。

よつて、それ以上の曲線域を計算的に表現しようとするば、当然クリープによる撓増加を加算する必要があり、それが温湿度条件等によつていちじるしく影響されるかぎり、とうてい正当な評価はできないといつてよい。

2.3.2 釘着梁の曲げ剛性 前述の応力分布のところでのべたように通常の釘着梁ではほとんど単なる重ね合せ梁の条件をみたしているにすぎないので、その 1 枚の板の曲げ剛性に比して見掛けの曲げ剛性は重ねる枚数に等しい数だけ倍加されることになる。

すなわち、 n 枚の板を重ね合わせればあい、見掛けの曲げ剛性を EI とし、板 1 枚の曲げ剛性を E_0I_0 とすれば、

$$EI = n \cdot E_0I_0 \dots\dots\dots (2.13)$$

となり、さらにこのときの見掛けのヤング係数 E と板のヤング係数 E_0 との間にはつぎの関係が成立する。

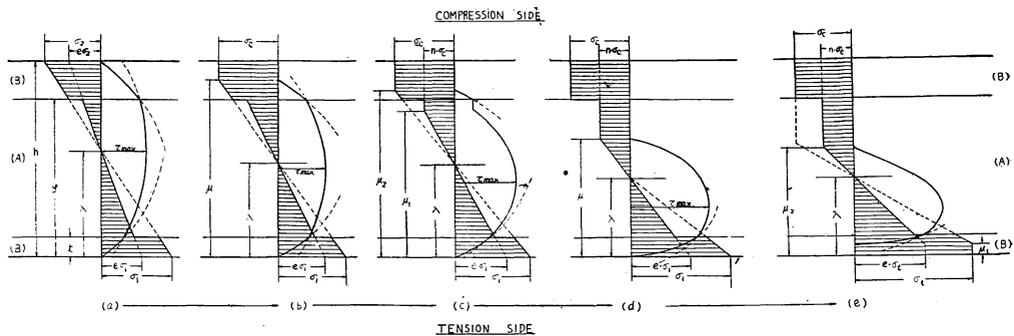
$$E = \frac{E_0}{n^2} \dots\dots\dots (2.14)$$

つぎに、3 枚重ねの釘着梁を例にとつて実験結果をみると、見掛けの E と 1 枚の板の E_0 との比の平均値は、

$$\frac{E}{E_0} \doteq 0.14$$

となる。これは単なる重ね合せ梁の E/E_0 の値が 0.11 であるのに比して大差のないことである。

したがつて、釘着梁については、曲げ剛性に関するかぎりほとんど釘着結合の効果は期待できないようにおもわれる。



第 46 図 2 樹種接着集材の断面内応力分布の発達

Fig. 46 Development of stress distribution in a glued laminated beam, consisting of two kinds of wood

2.3.3 接着集成梁の曲げ剛性 十分確実な接着をおこなった接着集成梁においては、各挽板の基本強度が等しければ単一梁と全く同等の取扱いができる¹⁰⁶⁾¹⁰⁷⁾¹⁰³⁾。すなわち、単一梁についておこなった計算がすべてそのまま適用しうるわけである。このことに関する実験的検討はすでに発表¹⁰⁷⁾してあるので、ここでは、基本強度の相異なる 2 種の材を組み合わせたばあいについてのべることにする。このばあいにおいてもその理論的な取扱いはすでに発表¹⁰⁶⁾してあるので省略する。

なお梁横断面内での応力分布の発達形式を第 46 図のように仮定する。

1. 曲げヤング係数の計算： まず、A、B 両材の強度条件とこの接着集成梁の曲げ条件および断面構成をつぎのように仮定する。

$$A = \text{中材}, B = \text{添材として}, E_A = e \cdot E_B \quad (e < 1)$$

$$e' = 1 - e; \varphi_0 = \varphi/h; t_0 = t/h$$

いま、計算によつてもとめられる梁の曲げヤング係数を E_r とすれば、

$$\left. \begin{aligned} E_r &= \delta_0 \cdot E_B \\ \delta_0 &= \frac{4ac - 3b^2}{b} \\ a &= 1 - e'(\varphi_0 - t_0) \\ b &= 1 - e'(\varphi_0^2 - t_0^2) \\ c &= 1 - e'(\varphi_0^3 - t_0^3) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.15)$$

2. 曲げ比例限応力度の計算： このばあいも単一梁と同様の理由で材の圧縮強度にあたる曲げ応力の 20%増で曲げ比例限応力度を推定する。すなわち、添材の圧縮側外皮応力がこの材の圧縮強度に当る応力に達したときの梁の曲げ応力度を σ_{bpr} とすれば、

$$\sigma_{b'} = S_0 \cdot \sigma_{cB} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\sigma_{bpr} = 1.2 \cdot S_0 \cdot \sigma_{cB} \dots\dots\dots (2.17)$$

ただし、

σ_{bpr} = 曲げ比例限応力度の計算値

σ_{cB} = B 材の圧縮強度

$$\left. \begin{aligned} S_0 &= \frac{4ac - 3b^2}{d} \\ d &= 1 - e'(\varphi_0 - t_0)(2 - \varphi_0 - t_0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.17 a)$$

つぎに、2 樹種を組み合わせてつくった接着集成梁の実験結果とその原料挽板 (S. W.) および同接着集成梁から切り取ったもの (L. W.) の強度性能から接着集成梁の曲げヤング係数と曲げ比例限応力度を計算したものとを比較してみよう。

エゾマツを中材とし、添材にブナ、マカバ、ヤチダモおよびミズナラを用いたものと、ヤチダモのヌカ目材を中材にしてミズナラを添材にしたものを実験した。荷重方式は中央集中荷重である。

第 13 表にこれらの梁の断面構成、使用した原料挽板の基礎的な材質およびこれらによつてもとめた曲げヤング係数の計算値 (E_r) と曲げ比例限応力度の計算値 (σ_{bpr}) をしめた。

なお、挽板厚は各 2 cm で 5 枚積層、接着集成梁のハリタケは 10 cm、幅は 10 cm でスパンは 200 cm である。

さらに、接着集成梁の試験結果を第 14 表に、また、計算値と実測値との比較を第 15 表にしめた。

第 13 表 2 樹種接着集成梁の断面構成

Table 13. Conditions of glued laminated beams consisting of two species

Construction	σ_c kg/cm ²		ϵ_{oc}		γ		q		q'		n	e	φ_0	t_0	E_r	σ_{bpr}
	A	B	A	B	A	B	A	B	q_A/n	σ_{cA}/σ_{cB}	E_A/E_B	φ/h	t/h	$\cdot 10^3$ kg/cm ²	kg/cm ²	
BY	344	549	0.0032	0.0038	2.98	2.80	3.74	3.10	6.0	0.63	0.76	0.812	0.193	134	623	
MY	368	635	0.0036	0.0036	3.22	3.12	3.83	3.22	6.6	0.58	0.57	0.800	0.194	162	680	
FY	347	527	0.0032	0.0036	3.03	3.63	4.23	4.47	6.4	0.66	0.74	0.807	0.192	137	594	
QY	300	448	0.0028	0.0042	3.90	2.51	3.62	2.86	5.4	0.67	1.00	0.800	0.196	106	540	
QF	290	504	0.0064	0.0048	2.20	2.06	3.15	3.05	5.5	0.58	0.43	0.802	0.200	92	530	

Y=Yezomatsu; B=Buna; M=Makaba; F=Yachidamo; Q=Mizunara;
 BY=B+Y+Y+Y+B; t=2 cm; h=5 t=10 cm; t=Thickness of a lamination;
 h=Depth of beam

第 14 表 2 樹種接着集成梁の曲げ試験結果

Table 14. Test results of glued laminated beams consisting of two species

Const.	b	h	w	I	M_{max}	E_b	σ_{bp}	L_V	T	H	l
	cm	cm	cm ³	cm ⁴	10 ³ kg·cm	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ² ·min	~°C	%	cm
BY	9.67	10.41	174.6	909.0	296	124	573	62	28	78	200
MY	9.92	10.50	182.3	957.2	338	159	660	66	"	"	"
FY	9.53	10.44	173.1	903.7	264	133	437	75	"	"	"
QY	10.27	10.46	187.2	979.1	278	106	454	61	27	"	"
QF	9.64	10.20	167.1	852.3	268	112	568	80	"	"	"

b=Width of beam; h=Depth of beam; w=Section modulus; I=Moment of inertia;
 M_{max} =Max. bending moment; E_b =Young's modulus in bending; σ_{bp} =Bending stress
 at P. L.; L_V =Loading speed; T=Temperature; l=Span; H=Relative humidity

第 15 表 計算値と実測値の比較 (ヤング係数と曲げ比例限度)

Table 15. Comparisons of computed and observed values (E & σ_{bp})

Const.	E_b (10 ³ kg/cm ²)			$\frac{E_b}{E_r}$	$\frac{E_b}{E'_r}$	σ_{bp} (kg/cm ²)			$\frac{\sigma_{bp}}{\sigma_{bpr}}$	$\frac{\sigma_{bp}}{\sigma_{bpr}'}$
	L. B.	S. W.	L. W.			L. B.	S. W.	L. W.		
BY	124	134	129	0.93	0.96	573	623	540	0.92	1.06
MY	159	162	172	0.98	0.92	660	680	718	0.97	0.92
FY	133	137	135	0.97	0.98	437	594	506	0.74	0.86
QY	106	106	119	1.00	0.89	454	540	450	0.84	1.01
QF	112	92	115	1.22	0.97	568	530	507	1.07	1.12
M				1.02	0.94				0.91	0.99
±Δ%				10.0	3.6				12.3	9.5

L. B.=Observed values of laminated beams
 S. W.=Computed values by the strength properties of laminae
 L. W.=Computed values by the strength properties of laminations from beam

これらの結果から、いずれの計算値もかなりよく実測値と一致しているようである。

2.4 梁の曲げ破壊条件と曲げ破壊係数

2.4.1 単一梁のばあい 梁の断面内応力分布がその塑性域に関して完全塑性型をとるものと仮定して曲げ破壊条件と曲げ破壊係数を理論的にもとめ、すでにその2, 3の実験的検討についても発表^{86), 95), 107)}したように、その重要な強度特性値として、 $r = \sigma_t / \sigma_c$; $q = \sigma_c / \tau$; $\gamma_c = \sigma_{cp} / \sigma_c$ などがあげられる。すなわち、 r と q の値とハリタケースパン比 (h/l) によつて梁が引張破損によつて壊れるかセン断破損によつて壊れるかがきまるものである。

また、針葉樹アテ材や広葉樹多湿材などでは引張側にも塑性域を考慮する必要があり、このことは、同様、特性値 K_{0t} ($\epsilon_{0t} / \epsilon_{mt}$) の値の大きさによつて定まることが知られた⁸⁶⁾。

いうまでもなく、梁の曲げによる破壊条件はその断面形や荷重の種類およびそのかかり方などによつて異なるものであるが、筆者は矩形断面梁の中央集中荷重および2点荷重の単純支持梁での破壊条件と曲げ破壊係数をもとめてその実験的に妥当であることを明らかにしている^{86), 95)}。

このばあい問題となるものは q の値であるが、通常セン断試験によつてもとめられるセン断強度はどうしてもその切欠端部にはたらく二次的応力の影響があつて、梁の断面内に生ずる水平セン断応力より小さくなるものと考えられるので真実の q よりもやや大きく評価していることになる。したがつて、曲げ破壊条件式でのセン断破壊点の h/l は実際にはまだ引張破損の公算があるわけである。

ただし、なんらかの事情で梁の断面内に2次的応力が作用し、このためにセン断応力が早く発達するようばあいには上の条件とは反対になる。このことについては後にのべる。

つぎに、2, 3の荷重のかかり方による曲げ破壊の条件を、前述の強度特性値を用いて一般的に概算すると、

1. 針葉樹 (比較的軽比重で $K_{0c} \approx 1.0$)

このばあいは第 12 表より、 $r = 3.2$; $q = 3.5$; $\gamma_c = 0.8$ を用いて破壊条件をもとめる。

(i) 全等布荷重を加えるばあい。このばあいは、塑性域引張破損か弾性域セン断破損かのいずれかが破壊原因となつて塑性域セン断破損が原因となることはない。また、その h/l の値については、上の2つの破損原因の境界となるものは $1/6.2$ である。したがつて $h/l < 1/6$ であればだいたい引張破損が原因で梁は破壊するとみてよいであろう。

(ii) 中央集中荷重のばあい。このときは h/l の値が $1/7.7$ より小さければ引張破損、 $1/1.4$ よりも大きければ弾性域セン断破損、この中間にあれば塑性域セン断破損が原因となる。

したがつて、たとえば塑性域引張破損で破壊せしめようとするれば、その h/l をおおよそ $1/7$ 以下にすればよいことがわかる。

(iii) 2点荷重のばあい。このときは、一方の支点からその方向の荷重点までの距離 a ($(L-l)/2$) に関して条件がきまる。すなわち、 h/a の値が、 $1/3.9$ よりも小さければ引張破損、 $1/0.7$ 以上では弾性域セン断破損が原因となり、この両者の中間の h/l では塑性域セン断破損が原因となる。

2. 広葉樹散孔材 (アピトン類南洋材をのぞく) 第 12 表より、 $r = 2.7$; $q = 3.0$; $\gamma_c = 0.6$; $K_{0c} = 0.45$ であるから、

(i) 全等布荷重のばあい。 h/l が $1/5.8$ 以上であれば弾性域セン断破損、これ以下では塑性域引張破損が原因となり、塑性域セン断破損は起さない。

(ii) 中央集中荷重のばあい。 h/l が $1/5.3$ 以下では塑性域引張破損を、 $1/1.5$ 以上では弾性域セン断

破損を、またこの中間であれば塑性域セン断破損を原因として梁は破壊する。

(iii) 2点荷重のばあい。h/a が 1/2.7 以下では塑性域引張破損, 1/0.75 以上では弾性域セン断破損, この中間で塑性域セン断破損が破壊原因となる。

3. 広葉樹環孔材: $r=2.5$; $q=3.0$; $\gamma_e=0.55$; $K_{nc}=0.40$; $K_{nt}=0.9$ であるから,

(i) 全等布荷重のばあい。h/l が 1/5.6 以下で塑性域引張破損, これ以上では弾性域セン断破損を原因として破壊する。

(ii) 中央集中荷重のばあい。h/l が 1/4.9 以下では塑性域引張破損, 1/1.5 以上では弾性域セン断破損, この両者の中間では塑性域セン断破損を原因として破壊する。

(iii) 2点荷重のばあい。h/a が 1/2.4 以下では塑性域引張破損, 1/0.75 以上では弾性域セン断破損, この中間では塑性域セン断破損を原因として破壊する。

4. 南洋材 (アピトン類): $r=3.0$; $q=4.5$; $\gamma_e=0.75$; $K_{nc}=0.70$; $K_{nt}=1.0$ の材質条件から,

(i) 全等布荷重のばあい。h/l が 1/9.0 以下では塑性域引張破損, これ以上では弾性域セン断破損を原因とする。

(ii) 中央集中荷重のばあい。h/l が 1/9.0 以下では塑性域引張破損, 1/2.25 以上では弾性域セン断破損, この中間では塑性域セン断破損を破壊原因としている。

(iii) 2点荷重のばあい。h/a が 1/4.5 以下では塑性域引張破損, 1/1.125 以上では弾性域セン断破損, この中間では塑性域セン断破損が原因となる。

以上を総括して, 気乾正常材でセン断破損の危険がないと考えられる条件は, 中央集中荷重のばあいては, h/l が 1/9 以下であればよいことになり, 最もセン断破損を起しやすものはアピトン類で, 針葉樹, 散孔材とつづき, 環孔材はセン断破損を起しにくい材ということになる。

なお, 以上にのべた破損条件式についてはすでに発表³⁵⁾しているのでここでは省略する。

また, 同等材質の挽板からなる接着集成梁については単一梁と全く同様の手続きによつてその曲げ破壊条件ならびに曲げ破壊係数をもとめることができる。このことの詳細についてはその実験的検討をふくめてすでに発表¹⁰⁷⁾したとおりである。

2.4.2 異強度材の組合せによる接着集成梁の破壊条件と曲げ破壊係数 この理論的なり扱いについてはすでに発表¹⁰⁶⁾してあるので, ここでは, 前述の曲げ剛性のところでのべた実験に関してその適用性を検討するにとどめる。すなわち, この中央集中荷重の単純支持梁において, そのハリタケースパン比

第 16 表 曲げ破壊条件

Table 16. Conditions of bending failure

Const.	$h_0 = h/l$		$(h/l)_p$		$(h/l)_c$		Condition of failure		Position of τ_m		$\beta; \theta$		Type of failure
	S.W.	L.W.	S.W.	L.W.	S.W.	L.W.	S.W.	L.W.	S.W.	L.W.	S.W.	L.W.	
BY	0.052	〃	0.087	0.085	0.366	0.430	T	T	A	G	β_0, θ_1	β_0, θ_3	T
MY	0.053	〃	0.116	0.106	0.358	0.332	〃	〃	G	〃	β_0, θ_3	〃	S
FY	0.052	〃	0.074	0.057	0.345	0.398	〃	Tor S	〃	〃	β_0, θ_3	〃	S
QY	0.052	〃	0.103	0.105	0.369	0.467	〃	T	A	A	β_0, θ_1	β_0, θ_1	T
QF	0.051	〃	0.192	0.148	0.459	0.480	〃	〃	〃	〃	β_0, θ_1	〃	T

$h_0 = h/l =$ At test condition; T=Tension; S=Shear; G=Glue line between A & B

(h/l) によつて、破壊条件をもとめると第 16 表のとおりになる。表中 (h/l)_p は塑性域セソ断破損を起す条件、(h/l)_e は弾性域セソ断破損を起す条件、 τ_m は梁の断面内に生ずる最大水平セソ断応力、 β および θ については既報¹⁰⁶⁾を参照されたい。

つぎに、曲げ破壊係数を上の条件によつて計算したものと実測値とを比較して第 17 表にしめた。

第 17 表 計算値と実測値との比較 (曲げ破壊係数)
Table 17. Comparisons of computed and observed values (σ_b)

Construction	Bending Strength σ_b (kg/cm^2)			$\frac{\sigma_{bL}}{\sigma_{bSW}}$	$\frac{\sigma_{bL}}{\sigma_{bLW}}$
	σ_{bL}	σ_{bSW}	σ_{bLW}		
B Y	848	925	907	0.92	0.94
M Y	930	1120	1084	0.83	0.86
F Y	770	970	905	0.79	0.85
Q Y	742	815	745	0.91	1.00
Q F	800	731	755	1.09	1.06
* M				0.91	0.94
±Δ%				11.3	8.6

* M=Mean value; ±Δ%=Deviation
 σ_{bL} =Observed values
 σ_{bSW} =Computed values by laminae
 σ_{bLW} = " " by laminations from laminated beam

このばあい、1つ問題となることはその破壊条件において、試験梁 M Y (マカバとエゾマツ) が、計算ではその梁破壊の原因が塑性域引張破損となるにもかかわらず実際にはセソ断破損がその原因となつたとみられる点である。

その理由としては、梁における接着層のセソ断接着力または、この部位に接して弱材であるエゾマツの細胞の質質 (接着圧縮時の横圧縮による接着境界面付近での座屈) に問題があるか、さらに、このようないちじるしい強度差のあるものの接着接合では曲げ応力の発達ともなる梁の水平セソ断応力の発達が単純ではなくなり、その部位に 2 次的応力の生ずるためであるかのいずれかであろうと考えられる。接着層のセソ断接着力自体はすくなくとも弱材であるエゾマツのセソ断強度よりも大きくなつてはいるが、その試料の採取について、はたして全体が同様な接着条件にあつたかどうかは判定いたしがたい。

しかし、第 17 表にしめてあるとおり、このようなばあいでも実測値は計算値の約 85 % 程度にはなつてはいるからそれほど大きな低落でもない。ややこれと類似した現象が F Y (ヤチダモとエゾマツ) のときにもみられたが、これについてはその破損条件が引張とセソ断との境界付近にあるのであまり問題ではない。また、他のものでは、ほとんど計算値と実測値とが一致しており、全体としては、実用上の精度からみてほぼ計算的推定が可能であることが判断される。

ただし、実際には、実測値の方が若干低くなる傾向があるので、計算でもとめられる値の約 10 % 減を判定値とするのがよい。

2.5 梁の寸法効果

2.5.1 単一梁 (素材梁) のばあい 一般に木材梁においてどの程度の寸法効果があるか、またその原因が何にもとづくものであるかを検討するために、種々の断面寸法をもつた実大寸法の矩形断面梁につ

いて比較的実用的な条件で試験をおこなった。

すなわち、節、目切れおよび干ワレなどの欠点をもつ実大寸法の梁についての試験結果を一括してしめせば第 18 表のとおりである。

第 18 表 実大梁の曲げ試験結果

Table 18. Test results of large beams in static bending

Species	Test beam No.	Dimensions		Span <i>cm</i>	E_B		σ_B		Defects	Grade	Place of growth
		h	b		kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2			
Spruce	1	31	15	600	88,000	131	210	checks small knots	1	Alaska	
	2	41	15	600	88,000	212	300				
Hemlock	1	19	15	600	136,000	345	455	checks small knots	1	"	
	2	21	15	600	91,000	268	400				
Hinoki	1	18	20	150	64,000	300	355	red knots	2	Nagano	
	2	18	20	150	62,000	235	325	"	2	"	
	3	18	20	150	48,000	170	380	"	1	"	
	4	18	20	150	68,000	430	560	"	1	Aichi	
	5	18	20	150	49,000	370	460	"	2	"	
	6	18	20	150	47,000	285	480	"	1	"	
Hiba	1	18	20	150	72,000	265	410	" small knots	2	Aomori	
	2	18	20	150	59,000	250	355		1	"	
	3	18	20	150	82,000	230	450		1	"	
	4	18	20	150	58,000	370	425		1	"	
Taiwan-Hinoki	1	7	13	150	115,000	438	635	pin knots	1	Formosa	
	2	7	13	150	123,000	460	713	"	1	"	
	3	7	13	150	79,000	326	522	"	1	"	
	4	11.5	11.5	160	113,000	566	845	"	1	"	
Douglas fir	1	6.5	12.5	150	114,000	458	596	small knots	1	U. S. A.	
	2	6.5	12.5	150	84,000	322	432	"	1	"	
	3	6.5	12.5	150	68,000	229	431	"	1	"	
Todomatsu	1	21	21	360	60,000	—	294	"	1	Hokkaido	
	2	23	23	360	63,000	—	261	"	1		

E_B =Young's modulus; σ_{Bp} =Bending stress at P. L.

σ_B =Modulus of rupture in bending; h=Depth of beam (cm); b=Width of beam (cm).

つぎに、この実大梁から破損の影響のないとみとめられる部分で無欠点試料を切りとつて小試験梁を作り比較のための試験をおこなった。その結果を第 19 表にかかげた。この材料の年輪巾、含水率および比重はすべて無欠点小試験梁について平均的にもとめたものであらわされている。

さらに、この両者の断面係数、ヤング係数、曲げ比例限度力度および曲げ破壊係数についての比較を第 20 表にしめた。

これによると、スプルース (アラスカ産) の No. 1 のみいちじるしく低下しているが、これは目切れに沿うて第 51 図—1, 2 (Plate 6) にしめすような「干ワレ」の入っていたことが破壊の原因となつていたためとみられる。また、同じくスプルース No. 2 でも、目切れはないが梁の端部でハリタケの中央部付近に水平な干ワレがあり、このために典型的な水平せん断破壊を生じたものである。これを第 51 図—3 にしめしておいた。

なお、第 20 表の結果から判断されることを列記すると、

第 19 表 実大梁より切りとつた無欠点小試片の曲げ試験結果

Table 19. Test results of the clear small specimens from the large beams

Species	Test beam No.	b	u	R _u	Dimension		Span	E _b	σ _{bp}	σ _b	Type of loading
		mm	%	g/cm ³	h	b	l	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	
Spruce	1	3.1	21	0.44	3	3	72	109	368	584	Two-point
	2	2.4	20	0.44	3	3	72	108	382	606	
Hemlock	1	0.6	19	0.55	3	3	72	148	646	910	"
	2	4.1	21	0.50	3	3	72	103	435	680	
Hinoki	1	1.3	20	0.51	3	3	42	69	340	505	Center
	2	0.4	24	0.48	3	3	42	79	310	520	
	3	1.1	20	0.50	3	3	42	62	320	635	
	4	5.5	21	0.51	3	3	42	79	405	695	
	5	4.2	20	0.48	3	3	42	67	350	635	
	6	4.1	22	0.48	3	3	42	65	400	535	
Hiba	1	2.8	19	0.46	3	3	42	81	255	560	"
	2	3.0	20	0.43	3	3	42	72	240	475	
	3	3.2	19	0.52	3	3	42	92	330	650	
	4	0.8	20	0.50	3	3	42	44	250	480	
Taiwan-hinoki	1	0.7	18	0.49	2	2	46	107	473	714	Two-point
	2	0.9	18	0.49	2	2	46	108	439	698	
	3	1.3	18	0.48	2	2	46	89	415	584	
	4	2.0	14	0.53	2.5	2.5	72	115	525	972	
Douglas-fir	1	1.6	17	0.48	2	2	50	116	390	639	"
	2	1.6	16	0.42	2	2	50	87	327	565	
	3	1.1	16	0.39	2	2	50	67	327	508	
Todomatsu	1	2.0	25	0.40	3	3	72	68	—	351	"
	2	2.8	28	0.36	3	3	72	85	—	392	

E_b=Young's modulus in bending; σ_{bp}=Bending stress at P. L.; σ_b=Bending strength.

第 20 表 実大梁の強度性能の低減

Table 20. Decrease of strength properties of large beams

Species	Test beam No.	$\frac{W_B}{W_b}$	$\frac{E_B}{E_b}$	$\frac{\sigma_{Bp}}{\sigma_{bp}}$	$\frac{\sigma_B}{\sigma_b}$
Spruce	1	534	0.80	0.36	0.36
	2	934	0.81	0.56	0.50
Hemlock	1	201	0.92	0.53	0.50
	2	245	0.88	0.62	0.59
Hinoki	1	240	0.93	0.88	0.71
	2	"	0.79	0.76	0.63
	3	"	0.77	0.53	0.60
	4	"	0.86	1.06	0.81
	5	"	0.73	1.06	0.72
	6	"	0.72	0.71	0.90
Hiba	1	"	0.89	1.04	0.73
	2	"	0.82	1.04	0.75
	3	"	0.89	0.70	0.69
	4	"	(1.32)	(1.48)	0.89
Taiwan-Hinoki	1	80	1.07	0.93	0.89
	2	80	1.14	1.05	1.02
	3	80	0.89	0.79	0.90
	4	97	0.98	1.08	0.87
Douglas fir	1	66	0.98	1.17	0.93
	2	"	0.97	0.99	0.77
	3	"	1.01	0.70	0.85
Todomatsu	1	343	0.88	—	0.84
	2	451	0.74	—	0.67
M			0.89	0.83	0.75
±Δ%			12.1	27.4	21.1
Max.			1.14	1.17	1.02
Min.			0.72	0.36	0.36

W_B=Section modulus of large beam;

W_b=Section modulus of small clear beam; M=Mean.

1. 曲げヤング係数は梁の断面寸法が相当に異なつていてもあまり低落しないようである。このことは上質材（きわめて欠点の少ないもの）においてはほとんど差のないこととともに注目される。したがつて、実大梁がいろいろの欠点をもつていることによつて生ずる寸法効果は、曲げヤング係数に関するかぎりでは約 10 % 程度とみればよいと思う。

2. 曲げ比例限度力はバラツキがかなり大きいのであまり明らかではないが、前述のような特殊な欠点条件を考えないかぎりでは、無欠点材の約 60 % 程度を期待できるようである。

3. 曲げ破壊係数もかなりバラツキはあるが、スプルース No. 1 をのぞけば、だいたい 50 % 以上にはなつており、とくに上質材ではほとんど無欠点材と異なるものもある。

以上の結果から、各種の欠点をもつた実大寸法の梁がその寸法効果として剛性および強度の低減をしめすとすれば、それはもつばらその実大梁のもつ欠点の質と量によつて決せられるものと判断される。したがつて、単に断面寸法が大きいというだけの理由で単純に強度低下が起るとする考え方は正しくないと思う。とくに寸法の影響が考えられるのは、あくまでもハリタケースパン比のような力学的条件と、ほかになんらかの条件で、支点または荷重点部位に二次的応力の集中などが生ずるばあにかぎられるものとみてさしつかえないであらう。

2.5.2 接着集成梁のばあい これについてはすでに、集成材に関する研究（第 1 報）¹⁰⁷⁾ のなかでものべておいたが、原料挽板の曲げ性能と接着集成梁の曲げ性能とは、ともに無欠点材であるかぎりほとんど差異のないことをたしかめている。このばあいの原料挽板から木取つた小試験梁の断面係数は接着集成梁のそれに比して約 1/125 にあたつている。

以上の結果を総合して、梁の寸法効果は主としてその断面寸法の大きくなることによる欠点増加に起因するものと考えられる。

ただし、とくにハリタケースパン比の大きい深い梁では、荷重点にツブレを生じ、このために局部的な応力集中を誘発して梁性能を低下させる危険がある。しかし、この種の二次的な応力にもとづく寸法効果についてはここでは論じないことにする。

いずれにせよ、梁の寸法効果が、たんにその材料のもつ欠点によつてきまるものとすれば、たとえ梁の断面寸法が実大寸法まで増大したばあいでも、木材の強度特性値を用いてその剛性や強度の基準値を計算推定することができるわけであつてはなほ都合である。

すなわち、この基準強度に実大梁の欠点条件による低減係数を乗じてやればよいわけである。

3. 木材の強度等級に対する考え方

木材を構造材料として使用するばあい、その強度等級をいかに判断すべきかはなほ重要な問題である。すなわち、一般には木材の基準的強度値（その材料の下限品質と考えられる無欠点材の強度をとるばあいと、標準強度として平均的品質と考えられるものをとるばあいとがあるが、いずれにしても試験資料の多少に関してあり、あくまでもある程度の指標的意義を有するにすぎない）を推定し、これに含水率、節、目切れおよびワレなどの欠点を考慮して強度の低減係数をもとめ、さらに使用条件（主として荷重条件）によつて実用上安全と考えられる許容応力度を決定している。

たとえば、木構造計算規準¹²⁸⁾では、

$$\text{短期許容応力度} = \text{木材の下限品質強度} \times \frac{2}{3} \times \text{欠点係数}$$

$$\text{長期許容応力度} = \text{短期許容応力度} \times \frac{1}{2}$$

としており、その欠点係数の値を圧縮に対しては 0.6；引張と曲げに対しては 0.5；セン断に対してはこの欠点係数のかわりに 0.25 まとつている。

また、木船構造計算¹⁰¹⁾では、

$$\text{許容応力度} = \text{標準強度} \times C_w \times C_d \times C_k \times C_p(C_e) = \text{標準強度} \times C_a$$

とし、 C_w = 材の含水率増加による強度の低減率； C_d = 標準試験体と使用材料のムラによる強度低減率； C_k = 節その他の欠点による強度低減率； C_p = 比例限度応力度と強度の比； C_e = クリープ限度応力と強度の比であらわしている。むろんこのばあいはその使用条件によつて、 C_p か C_e のいずれか一方をとることになる。また、これら強度低減率の相乗積として C_a であらわし、その値を大よそ 1/7.5 ていどとみているようである。

これらの低減係数の決定にはむろん多くの問題が残されているが、現実にはごく限られた資料によつて大まかな推定をしている。したがつて、こんど、この欠点による低減係数の試験資料の蓄積が重要な問題となつてくることは当然である。また一方において木材の基準強度の評価と扱い方もきわめて重要であり、現在これに対する考え方が全く不統一であることから筆者自身の考え方をのべてみたいと思う。

すなわち、現在木構造部門でおこなわれている樹種分類では、たとえそれが無欠点材であつても樹種の材質の条件によつて相当にいちじるしいバラツキがあり、これを 1 つの基準強度値で表現することは必ずしも実用的とはいえないものとおもわれる。なぜなら、高品質のものと低品質のものを一括しているから、もし低品質のもので基準値をきめると高品質のものがあまりに安全にすぎて利用上の合理性がうすくなり、その反対ならば、設計上の危険を伴うことになるからである。

筆者の意見では、木材の基準強度そのものに材質に応ずるいくつかの等級類別が必要であると考え。理想をいえば、アメリカ合衆国のように¹¹⁹⁾、重要な木構造用樹種については個々にそのようなとり扱いがなされるべきであろう。しかし、わがくにの現状では、実際上からもまた研究資料の点からもなかなか困難な事情もあるので、そこまでは直ちに期待しないにしても第 21 表にかかげた程度での分類は必要であろう。

この表は木材のセンイ方向の強度特性値で、主として梁性能を決めるのに必要と思われるもののみをしめしている。このほか、 K_{0c} や K_{0t} の数値を考慮して梁性能を評価することがより確実であるのはいうまでもない。

なお、各圧縮強度に対応する他の強度値については、一応標準等級表の例として第 22 表をかかげておく。

この A, B, C の 3 つの等級については、A がその材の指標的材質をあらわしており、B および C は材を使用するさいの条件によつて安全評価を必要とするばあい、そのていどに応じて用いればよいと思う。

さらに、このような強度の評価方法は従来のように欠点も多く、しかも未乾燥材を対象とするかぎりではその欠点などによる低減係数の数値的取扱い自体にも問題があるので直ちに実用に供しえないが、今後急速にその発展が予想されている接着集成材の断面構成などのさいはきわめて重要であり、また有効となることは確実であろう。

第 21 表 強度特性値による等級区分

Table 21. Strength grading by strength-characteristics

Group	$\epsilon_{0c} = \sigma_c / E_c (10^{-2})$			$r = \sigma_t / \sigma_c$			$q = \sigma_c / \tau$			$\gamma_c = \sigma_c p / \sigma_c$			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Softwoods	0.30	0.35	0.40	3.0	2.5	2.0	3.5	4.0	4.5	0.80	0.75	0.70	
Hardwoods	Ring-porous	0.45	0.50	0.55	2.5	2.0	1.5	3.0	3.5	4.0	0.55	0.50	0.45
	Diffuse-porous	0.40	0.45	0.50	3.0	2.5	2.0	3.0	3.5	4.0	0.60	0.55	0.50
	Radial-porous	0.40	0.45	0.50	3.0	2.5	2.0	3.0	3.5	4.0	0.70	0.65	0.60
	Apitong	0.30	0.35	0.40	3.0	2.5	2.0	4.5	5.0	5.5	0.75	0.70	0.65

A=1st class (standard quality)
 B=2nd " (lower quality)
 C=3rd "

第 22 表 標準強度等級表の一例

Table 22. An example of standard strength-grading

Group	σ_c	$\sigma_t \text{ kg/cm}^2$			$\tau \text{ kg/cm}^2$			$\sigma_b \text{ kg/cm}^2$			$E \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$			
	kg/cm^2	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Softwoods	200	600	500	400	55	50	45	350	320	300	65	55	50	
	300	900	750	600	85	75	65	520	490	450	100	85	75	
	400	1,200	1,000	800	115	100	90	690	650	600	135	115	100	
	500	1,500	1,250	1,000	145	125	110	860	810	750	165	145	125	
	600	1,800	1,500	1,200	170	150	135	1,040	970	890	200	170	150	
Hardwoods	Ring-porous	300	750	600	450	100	85	75	560	500	420	65	60	55
		400	1,000	800	600	135	115	100	750	670	560	90	80	75
		500	1,250	1,000	750	165	145	125	930	830	700	110	100	90
		600	1,500	1,200	900	200	170	150	1,120	1,000	840	135	120	110
		700	1,750	1,400	1,050	235	200	175	1,300	1,170	980	155	140	130
Hardwoods	Diffuse-porous & Radial-porous	300	900	750	600	100	85	75	600	560	500	75	65	60
		400	1,200	1,000	800	135	115	100	800	750	670	100	90	80
		500	1,500	1,250	1,000	165	145	125	1,000	930	830	125	110	100
		600	1,800	1,500	1,200	200	170	150	1,200	1,120	1,000	150	135	120
		700	2,100	1,750	1,400	235	200	175	1,400	1,300	1,170	175	155	140
Hardwoods	Apitong	300	900	750	600	65	60	55	600	560	500	100	85	75
		400	1,200	1,000	800	90	80	75	800	750	670	135	115	100
		500	1,500	1,250	1,000	110	100	90	1,000	930	830	165	145	125
		600	1,800	1,500	1,200	135	120	110	1,200	1,120	1,000	200	170	150
		700	2,100	1,750	1,400	155	140	125	1,400	1,300	1,170	235	200	175

結 言

以上の木材強度特性に関する研究を総括的にのべて結論とする。

すなわち、木材の強度特性を論ずるにあたってその重要な基礎となる単純応力—歪曲線を実験的に検討し、その類型化をはかつて樹種および材質によつて定まる特性値 ϵ_0 および K_0 を誘導した。

ここに、 ϵ_0 を木材の「最大比例変形度」、 K_0 を「最大変形比」と呼ぶことにした。

なお、木材の軸応力による破損は「一定の最大比例変形度」に達したときの応力のもとで起るものと考えられる。

木材は特殊な例外をのぞき、だいたいにおいて明らかな弾性域（直線比例域）をもっている。

このことは圧縮と引張におけるヤング係数の相等しいことから、また繰返し応力による残留歪の大きさからもみとめられることである。この研究では、弾性常数および強度に関する異方性を引張試験によつてもとめたが、針葉樹群と広葉樹群とのあいだには、かなりいちじるしい特性差がみとめられた。すなわち、その最も特徴的な例をあげると、放射方向と接線方向とにそれぞれ 45° をなす方向の最大比例変形度であつて、針葉樹群ではこの値が放射方向または接線方向の値の 7~8 倍にもなつてゐるが、広葉樹群ではそのような差異はみられずほぼ同等である。また、センイ方向と、これに直角な方向とにおける差異については、弾性と強度を通じて南洋材（アピトン類）と針葉樹とはともに同等な比率関係をしめし、広葉樹群よりも相当にいちじるしい異方性をしめしている。なお、アピトンの例では、ヤング係数とセン断弾性係数の比 (E/G) の値が 30 をこえる実験例もあり、梁などに使用するさい、そのハリタケースパン比によつてはかなり剛性の低くなることに注意すべきであろう。

つぎに、各種独立強度間の特性的関係値を実験的にもとめその平均的指標値と分散域とを検討した。これらは、 $r = \sigma_t / \sigma_c$; $q = \sigma_c / \tau$; $\gamma_c = \sigma_{cp}$; $\alpha = \sigma_c / H_I$; ϵ_0 ; K_0 などである。これらの諸特性値を用いて木材梁の曲げ剛性および強度を理論的に計算推定することができるが、その実側値と計算値とはよく一致することをたしかめた。

さらに、接着集成梁や実大寸法の素材梁についても同様にその梁性能を理論的に計算しうるかどうかをたしかめるために梁の寸法効果について検討を加えた。その結果、無欠点材で、そのハリタケースパン比が同等で、かつ十分に小さいかぎりほとんど断面寸法による影響のみとめられないことを知つた。したがつて、一般に考えられている梁の寸法効果は全く材の欠点によるものと考えてよいようである。これらのことがらによつて、木材梁の基準的性能は木材の強度特性値を知ることによつて一般的に評価されうものと考えられる。

なお、最近問題となりつつある木材の強度等級についてその基準となるべき無欠点材の強度値の評価方法についても筆者の考え方をのべたが、これは木材の基準強度を強度特性値の樹種と材質とに応ずる平均的指標と下限材質指標とによつて系統的に評価しようとする一つのこころみである。

要するに、木材の強度性能をその特性値導入によつて統一的で単純なものとして認識することができるという見とおしをえた。

木材を直交異方性の材料としてとり扱うばあい、その独立強度常数をことごとく単独に評価することはその手続もはなはだ複雑となつて実用性もあまり期待できないうえ、強度値相互間の関係の把握にも統一

性を欠くきらいがある。したがつて、これらをいくつかの系統に分類整理し、その相互関係によつて単純化することは、たとえ多少の誤差はまぬかれないにしても實際上十分有効であり、とり扱い上の妥当性をあたえうるものと考えられる。

文 献

- 1) HEARMON, R. F. S.: The Elasticity of Wood and Plywood F. P. R. Spec. Rep. No. 7, (1948)
- 2) JENKIN, C. F.: Report on Materials of Construction used in Aircraft and Aircraft Engines. (1920) p. 95~141
- 3) 樋口正一: 異方弾性体としての強化積層材 付 非弾性的な性質について, 九大応用力学研究所報, 2号, (1952) p. 3~22
- 4) 今 俊三: 圧縮及び振り実験による木材の剪断弾性係数の比較について, 北大工学部彙報, 第1報, (1948) p. 144~156
- 5) ———: 木桁の曲げ弾性係数の変化法則に就て, 北大工学部彙報, 第1号, (1948) p. 157~166
- 6) 山井良三郎: 木材の圧縮異方性について (英文), 日林誌 39, 9, (1957) p. 328~338
- 7) 沢田 稔: 木材ポアソン比の一測定法 (英文) 日本木材学会誌 2, 6, (1956) p. 233~236
- 8) 樋口正一: 丸太材の圧裂応力について—円型異方弾性材料としての応力計算—九大応用力学研究所報, 6, (1955) p. 1~10
- 9) YLINNER, A: Über die Beziehungen zwischen Spätholzanteil, Rohwichte, Jahrringsbreite, Feuchtigkeitsgehalt und den Elastizitätsmoduln beim finnischen Kiefernholz. Holz Roh-und Werkstoff, 7, 12, (1954) p. 253~258
- 10) 吉識雅夫・竹鼻三雄: 木船構造接手の研究 (第2報) (木材のヤング係数と面圧特性), 造船協会論文集, (1957) p. 117~125
- 11) NORRIS, C. B.: Strength of Orthotropic Materials subjected to Combined Stresses. F. P. L. of U. S. A. No. R. 1816 (1950)
- 12) KOLLMANN, F.: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Auf. 2, Bd. I, (1951)
- 13) NÁDÁI, A.: Plasticity. (1931)
- 14) BROWN, H. P., PANSHIN, A. J. & FORSAITH, C. C.: Text-book of Wood Technology McGrawHill. (1952)
- 15) 関谷文彦: 木材強弱論, (1939)
- 16) 平井信二: 積層木材に関する研究, 東大農学部演習林報告, 41, (1951) p. 85~181
- 17) SEKIYA, F.: Experimental Study on the Static Ball Indentation Test of Wood. Bull. Miyé. Coll. Agr. For., (1936)
- 18) ———: On the Lüder's Line of Wood due to Ball Indentation. Bull. Miyé. Coll. Agr. For. 3 (1943) p. 39~44
- 19) ———: On the Slip Bands of Fiber Wall of Wood due to Ball Indentation. Jour. Jap. For. Soc. 17 (1936)

- 20) JACQUES, L. BIENFAIT: Relation of the Manner of Failure to the Structure of Wood under Compression Parallel to the Grain. Jour. Agr. Res. 33, (1926) p. 183~194
- 21) 沢田 稔: エゾマツ材の圧縮変形に関する研究, 北海道林業試験集報, 66, (1949) p. 10~32
- 22) 沢田稔・辻完司・近藤孝一: 木材のカタサと圧縮強度との関係(第1報), 林業試験場研究報告, 78, (1955) p. 149~174
- 23) 北原寛一・蕪木自輔・村木正男: 木材の圧縮に関する研究, 東大農学部演習林報告, 47, (1954) p. 1~64
- 24) 山井良三郎: 木材の横圧縮変形性能について(第1報), 第63回日本林学会大会講演集, (1954) p. 281~282
- 25) —————: 木材の横圧縮変形性能について(第2報), 第64回日本林学会大会講演集, (1955) p. 330~333
- 26) —————: 木材の応力—歪曲線(第1報), 横圧縮応力—歪曲線(1), 林業試験場研究報告, 77, (1955) p. 103~152
- 27) —————: 木材の応力—歪曲線(第2報), 部分圧縮応力—歪曲線(1), 林業試験場研究報告, 78, (1955) p. 101~147
- 28) 沢田 稔: エゾマツ材の引張, 圧縮比較試験, 北海道林業試験集報, 68, (1949) p. 37~53
- 29) —————: 木材の横引試験方法について, 日本林学会誌, 35, 8, (1953) p. 254~257
- 30) 緒方清八: 木材の横引張強さについて, 三重大学農学部学術報告, 5, (1952)
- 31) 後藤輝男: シラカバ材の剪断強度及び割裂抵抗に及ぼす射出線走向の影響, 木材研究, 17, (1957) p. 58~59
- 32) KEYLWERTH, R.: Spalten, Spaltbeanspruchung und Querfestigkeit des Holzes. Holz als Roh- und Werkstoff. Bd. 9, (1951) p. 4~7
- 33) 継田視明: 振り式装置による木材の硬さ試験について, 東大農学部演習林報告, 419, (1955) p. 205~216
- 34) 宮島 寛: 木材, 特にナラの生材, 気乾材および全乾材の硬さ試験, 北大農学部演習林研究報告, 17, 2, (1955) p. 749~768
- 35) OHSAWA, M.: Vergleichende Untersuchungen über Die Qualitäten, Insbesondere Die Elastizität und Festigkeit Der Tannen- und Fichtenhölzer Hokkaidos. The Journal of the College of Agriculture, Hokkaido Imperial University, Vol. XXVII. Pt. 1. (1930)
- 36) WILSON, T. R. C.: Strength-moisture relations for Wood. Dept. Agr. Tech. Bull. 282, (1932)
- 37) KOLLMANN, F.: Über die Abhängigkeit einiger mechanischer Eigenschaften der Hölzer von der Zeit, von Kerben und der Temperatur. Erste Mitteilung; Der Einfluss der Zeit auf die mechanischen Eigenschaften der Hölzer. Holz als Roh- und Werkstoff. Bd. 10, (1952) p. 187~279
- 38) KÜHNE, H.: Über den Einfluss von Wassergehalt, Raumgewicht, Faserstellung und

- Jahringstellung auf die Festigkeit und Verformbarkeit schweizerischen Fichten-, Tannen-, Lärchen-, Rotbuchen- und Eichenholzes. Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe, Zürich. Bericht Nr. 183 (1955)
- 39) SULZBERGER, P. H.: The Effect of Temperature on the Strength of Wood, Plywood and Glued Joints. Aeronautical Research Consultative Committee. Report ACA—46, (1953)
- 40) 石田茂雄: 木材の機械的性質に及ぼす温度の影響 (第1報), 北大農学部演習林研究報告, 17, 1, (1954) p. 1~14
- 41) 大沢正之・宮島寛・東山一男: 北海道産ナラ材の材質に関する研究, 1. 産地別ナラ材の材質の比較, 北大農学部演習林研究報告, 17, 2, (1955) p. 793~869
- 42) 矢沢亀吉・深沢和三: 中部地方における人工植栽ヒノキ材の生長状況と理学的性質との関係 (第4報), 日本林学会中部支部講演集, (1956) p. 41~43
- 43) —————: ————— (第5報, 飽湿, 気乾及び絶乾状態の縦圧縮強さについて, 岐阜大学農学部研究報告, 7, (1956) p. 70~77
- 44) 大沢正之: 木材の強度と解剖学的構造との関係, 日本林学会誌, 9, 6, (1927)
- 45) PILLOW, M. Y. & Luxford, R. F.: Structure, Occurrence, and Properties of Compression Wood. Dept. Agr. Tech. Bull. 546 (1937)
- 46) 沢田 稔: トドマツあて材の剪断及び硬度試験, 日本林学会誌, 33, 11, (1951) p. 379~383
- 47) 山井良三郎: 針葉樹アテ細胞膜の力学的構造模型, 九大農学部学芸雑誌, 13, (1951)p. 234~237
- 48) 山井良三郎・白石明: ヒバ材の年輪巾と圧縮強度に就いて, 青森林友, 72, (1954) p. 1~10
- 49) 渡辺治人・山井良三郎: モミ材の圧縮強度に影響する 2, 3 の因子に就いて, 九大生産科学研究所報告, 1, (1953) p. 1~21
- 50) 小原二郎: 木材の老化に関する研究 (第1報) 法隆寺建築古材の機械的性質, 西京大学学術報告, 農学, 2, (1952) p. 116~131
- 51) —————: ————— (第III報) 樺古材の強度, 西京大学学術報告, 農学, 4, (1953) p. 98~109
- 52) —————: ————— (第VI報) ヒノキ材の強度の変化, 西京大学学術報告, 農学, 6, (1954) p. 164~174
- 53) 矢沢亀吉: ヒノキにおける繊維の走向と衝撃吸収エネルギーとの関係, 岐阜大学農学部研究報告 3号, (1954) p. 40~45
- 54) MARKWARDT, L. J. & WILSON, T. R. C.: Strength and related Properties of Woods grown in the United State. U. S. Dept. Agr. Tech. Bull. No. 479 (1935)
- 55) 田中勝吉: 樺太産有用針葉樹材の機械的性質に関する研究, 元樺太中央試験所報告, 7号2類4 (1933)
- 56) 矢沢亀吉: 樺太産有用針葉樹材の機械的性質に関する研究, 元樺太中央試験所報告, 15号2類10

- (1936)
- 57) 矢沢亀吉：樺太産有用針葉樹材の機械的性質に関する研究，Ⅳ，保呂産トドマツ，エゾマツ（補遺），元樺太中央試験所報告，Ⅱ（1936）
- 58) 三好東一：ヒノキに関する材質の生態的研究，総論，（1952）
- 59) ————：—————，理化学的性質に関する調査試験（1954）
- 60) 大沢正之・宮島寛：北海道産広葉樹材八種の硬度試験，北大演習林研究報告，15，2，（1952）
- 61) 渡辺治人：九州産構造用木材の強度試験成績（第3報）若杉山産杉及び檜，九大農学部演習林報告，20，（1952）p. 91～96
- 62) ————：—————（第4報）内大臣地方産樅及び榊，九大農学部演習林報告，20（1952）p. 97～102
- 63) 沢田稔・山井良三郎・辻完司・石川知子・児玉芳郎・近藤孝一：秋田産ニセアカシアの材質試験，林業試験場研究報告，90，（1956）p. 145～244
- 64) 林業試験場木材部：カンボヂヤ産材の材質（1957）
- 65) 木材強度研究室：アピトン材の材質試験，林業試験場研究報告，97，（1957）p. 109～150
- 66) ————：コア（クルイン）材の材質試験，林業試験場研究報告，97，（1957）p. 151～162
- 67) ————：赤沼産日本キリと九重キリの材質比較試験，林業試験場研究報告，97，（1957）p. 83～107
- 68) ————：スギ雪害木およびカラマツ雨氷害木の材質試験，林野庁気象災害調査報告，（1957）p. 147～178
- 69) 北原覚一：トーン材の強度試験，東大農学部演習林報告，35（1947）p. 37～65
- 70) 小原二郎・江見理一：大枝産スギの材質試験，西京大学学術報告，農学，4，（1953）p. 110～115
- 71) 酒田金治・佐伯浩：智頭スギの材質についての予備試験，鳥取農学会報，11，1，（1956）p. 26～29
- 72) IMATA, J.: Studies on the "KIRI" Wood Report. 4. On the Hardness of Paulownia Tomentosa Steud. in NIIGATA Prefecture. 新潟大学農学部学術報告，7（1955）p. 130～138
- 73) BETCHEL, S. C. & NORRIS, C. B.: Strength of Wood Beams of Rectangular Cross Section as affected by Span-depth Ratio. F. P. L. of U. S. A. R. 1910.（1952）
- 74) 今 俊三：木材の曲げ破損法則について，日本土木学会論文集，5（1950）
- 75) 久田俊彦：木造単一梁の強度並に剛性に関する研究，建築研究所要報，124（1950）
- 76) DIETZ, A. G. H.: Stress-strain Relations in Timber Beams of Douglas-fir. ASTM. Bull. No. 118（1942）
- 77) JOHN, C. MEADOWS, TR.: Longitudinal Shear in Wooden Beams. F. P. Journal, Vol. 6, 337（1956）
- 78) 松浦誠：木構造に於ける塑性理論（第2報）日本建築学会研究報告（1952）
- 79) ————：—————（第3報）単純梁の破壊，日本建築学会講演集（1952）
- 80) ————：—————（第4報）再び曲げ材について，日本建築学会講演集（1952）

- 81) 松浦 誠：木構造に於ける塑性理論（第5報）再剪断応力に就て，日本建築学会（中国），(1952) p. 1~4
- 82) ————：—————（第6報）単純梁の撓と之迄の結論，日本建築学会大会論文集，(1953) p. 135~136
- 83) ————：木材の塑性に就いて（第1報）短期荷重に対する材料力学的考察，広島大学工学部研究報告，2巻2冊（1953）p. 299~309
- 84) ————：—————（第2報）曲げ剛性，最大撓，実験との比較，広島大学工学部研究報告，6，2（1957）p. 131~138
- 85) 沢田 稔：木材の繊維方向における変形，木材工業，6，12（1951）p. 1~3
- 86) ————：木材梁に関する研究（第1報）矩形断面梁の破壊条件と曲げ破壊係数，林業試験場研究報告，71（1954）p. 40~79
- 87) ————：木材の曲げ破損に関する研究，第63回日本林学会大会講演集，(1954) p. 278~280
- 88) ————：木材梁に関する研究（第3報）矩形断面梁の荷重—撓曲線，林業試験場研究報告，77（1955）p. 69~102
- 89) 井口常雄・南義夫：木材曲げ強さに及ぼす荷重速度の影響に就て，東大航研彙報，137（1936）p. 23~57
- 90) MINAMI, Y.: Bending Creep Tests on Wood. Jour. Aero. Inst. Tokyo Imp. Univ. 136, (1935) p. 1090~1102
- 91) KINGSTON, R. S. T. & ARMSTRONG, L. D.: Creep in initially green Wooden Beams. Australian Jour. of Applied Science. 2, (1951) p. 306~325
- 92) 杉山英男：木材の曲げ強度と剛性に及ぼす荷重時間の影響，日本建築学会論文集，(1956) p. 85~94
- 93) SUGIYAMA, H.: The Creep Deflection of Wood Subjected to Bending under Constant Loading. Transactions of Architectural Inst. of Japan. No. 55 (1957) p. 60~70
- 94) 沢田 稔：木材梁の撓（英文）日本林学会誌，36，10（1954）p. 275~279
- 95) ————：木材梁に関する研究（第4報）曲げクリープ試験，林業試験場研究報告，98（1957）p. 85~116
- 96) KITAZAWA, G.: Relaxation of Wood under Constant Strain. (A study of the visco-elastic property of wood). The New York State College of For. Tech. Pub. No. 67 (1947)
- 97) 北原覚一：ホットプレス中のチップボードの応力弛緩について（英文），東大農学部演集林報告，53（1957）p. 161~177
- 98) KINGSTON, R. S. T.: A Reconnaissance of the Bending Qualities of Some Australian Timbers. The Jour. of Industrial Res. Vol. 12, No. 3, (1939) p. 264~274
- 99) HISADA, T.: Study on Wood Members subjected to Combined Compressive and Bending Stresses. Report of the Build. Res. Inst. No. 1, (1953) p. 1~29
- 100) PEARSON, R. G.: The Strength of Solid Timber Columns. Australian Jour. of App.

- Science. Vol. 5, No. 4 (1954) p. 363~402
- 101) 湯地輝雄・竹鼻三雄・渡辺梅太郎：木船強度の一考察，造船協会講演集，(1556) p. 113~119
- 102) 山名正夫：木製桁の強度計算図表，日本航空学会誌，2，4 (1951)
- 103) 森 徹・浅野猪久夫：異強度材の組合せによる膠着合成梁の研究 (第1報)，建築研究所要報，100，(1950)
- 104) _____：_____ (第2報)，_____，144，(1951)
- 105) 森 徹・今泉勝吉：薄板積層木材とその工法に関する研究 (第3報)，一節と曲げ強さとの関係 (2)，(集成木材とその応用に関する研究 第5報)，日本建築学会研究報告，(1957) p. 129~132
- 106) 沢田 稔：木材梁に関する研究 (第2報)，矩形断面集成材梁の曲げ破壊係数，林業試験場研究報告，71 (1954) p. 82~119
- 107) 集成材研究班：集成材に関する研究 (第1報)，通直集成材の製造およびその材質試験について，林業試験場研究報告，101 (1957) p. 102~176
- 108) 沢田 稔：二樹種構成集成材梁の曲げ剛性と強度 (未発表)
- 109) FREAS, A. D.: Studies of the Strength of Glued Laminated Wood Construction, F. P. L. ASTM. Bull. No. 170, (1950) p. 48~59
- 110) CURRY, W. T.: Laminated Versus Solid Timber Beams. Wood. Vol. 20, (1955) p. 386~388
- 111) _____: A note on Two-species Laminated Timber Construction Wood. Vol. 20, (1955) p. 122~123
- 112) 飯塚五郎蔵：木造接着 I 型梁の強度と経済性，日本建築学会研究報告，24，(1953) p. 161~162
- 113) _____：_____ (第2報)，(圧縮側フランジ厚を増加した場合)，日本建築学会研究報告，(1954) p. 205~206
- 114) 越智正六・丹羽恒夫・高見勇：集成材に関する研究 (第1報)，集成材による曲梁の製造並びにその曲げ剛性強度について，北海道立林業指導所研究報告，5，(1954) p. 37~79
- 115) 中川宏・高見勇・小林教秀：集成材の構成についての一考察，北海道立林業指導所研究報告，2，(1952) p. 1~11
- 116) 丹羽恒夫・高見勇：集成材に関する研究 (第3報)，北海道立林業指導所研究報告，11，(1956) p. 139~154
- 117) MAKU, T. & HAMADA, R.: Studies on the Chipboard. Part 1. Mechanical Properties. 木材研究，15，(1955) p. 38~52
- 118) 吉識雅夫・竹鼻三雄：木船構造接手の研究 (第1報)，(二材合せ肋骨) 造船協会講演集，(1955) p. 103~111
- 119) National Lumber Manufacturers Association: National Design Specification for Stress-Grade Lumber and Its Fastenings. (1954)
- 120) THUNELL, B.: Gütebestimmung und zerstörungs freie Prüfung von Bauholz. Holz

- als Roh- und Werkstoff. Bd. 13, (1955) p. 101~111
- 121) 久田俊彦・寺本俊彦：建築用木材の欠点とその強度に及ぼす影響，建築研究所（1952）
- 122) 布施忠司：試験法が木材の強度値に及ぼす影響に就て，元満鉄技術研究所報告，236，（1943）
p. 1~129
- 123) 井口常雄：木材試験法（1935）
- 124) 北原覚一：木材硬度試験法について，木材工業，2，No. 8，11（1947）
- 125) ———：簡易曲げヤング係数測定装置に就て，東大農学部演習林報告，44，（1953）p. 153~
158
- 126) ———：木材の衝撃曲げ吸収エネルギーの計算法に就て，東大農学部演習林報告，38，（1950）
p. 155~163
- 127) MARCH, H. W., KUENZI, E. W., and KOMMERS, W. J. : Method of Measuring the
Shearing Moduli in Wood. U. S. Dept. Agr., For. Prod. Lab., Mimeo. 1301, (1942)
- 128) 日本建築学会：木構造計算規準・同解説

図 版 説 明

(Explanation of plates)

第 47 図 縦圧縮破壊形態

Fig. 47 Type of failure for compressive tests || to G.

1. Models of wood-structures (by Mr. TAKEHANA)
 - (a) Consisting of paper
 - (b) Consisting of soldered copper wire
2. Mizunara (Japanese oak)
3. Mizunara (small width of annual rings)
4. Locust, black
5. Ichiigashi
6. Mizunara
7. Failure lines at the compression side of beams
 - (a) Sugi
 - (b) Yezomatsu
 - (c) Akamatsu

第 48 図 エゾマツの縦圧縮によるセンイの破損形態の発達 (偏光による)

Fig. 48 Development of failure of fiber cell-walls for compressive tests (|| to G.) of

Yezomatsu (by the polarizing microscopy)

1. Sound
 - 2~9. Slip lines
 - 10~13. Lüder's lines
 - 14~18. Failure bands
- Radial section: 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, and 14~18
- Tangential section: the others

第 49 図 引張破壊形態

Fig. 49 Type of failure in tensile tests

- 1-(a) Yezomatsu (clear) || G.
- 1-(b) do. (Compression wood) || G.
- 2-(a) At creep test in the RT 45° direction (Yezomatsu)
- 2-(b) At static test in the RT 45° direction (Yezomatsu)
3. Tension || to G. (L-direction)
4. R-direction
5. T-direction
6. RT45°-direction
7. LR 45°-direction
8. TL 45°-direction

Sugi
 Yezomatsu
 Akamatsu
 Buna
 Mizunara
 Keyaki
 Ichiigashi
 Apitong

第 50 図 エゾマツあて材のせん断破壊形態

Fig. 50 Manner of failure in the shearing tests of compression wood of Yezomatsu

- 1: End surface
- 2: Side surface

第 51 図 実大梁の破壊形態 (スプルース梁の干ワレと目切れによる) と中央集中荷重方法

Fig. 51 Manner of failure in the large beam of Spruce (with checks and slope of grain) and method of center loading of a simple beam

1. Checks (Test beam No. 1)
2. Slope of grain (do.)
3. Failure (horizontal shear)
4. Method of loading

第 52 図 試験装置

Fig. 52 Test apparatus

1. Tensile test \perp to G.
2. do. (lever machine)
3. Compressive test \parallel to G.
4. Tensile test \parallel to G.
5. Strain meter (electric)
6. For Poisson's ratio
7. Two-point loading
8. Electric strain gage for a bending test
9. Measurement of deflection at the center of span (two-point loading)

Studies on the Mechanical Characteristics of Woods
Mainly, as affecting factors of wood beams

Minoru SAWADA

(Résumé)

The purpose of this report is to consider and validate wood characteristics under normal stresses (compression or tension), and thereby to obtain the determination of affecting factors of wood beams.

This research was, from this point of view, undertaken experimentally to determine the stress-strain curves, elastic constants, stresses at proportional limit, compressive strength, shearing strength, tensile strength in the six directions (L, R, T, LR 45°, RT 45° and TL 45°) and the various types of failure under normal and shearing stresses.

We identify the longitudinal direction (parallel to the axis of the tree) with the L axis (see Fig. 1), the tangential direction (tangential to the growth rings) with the T axis, and the radial direction (parallel to the rays) with the R axis.

The TL 45° is the diagonal direction obtained by rotating L and T through the angle 45°, and similarly the other two directions.

Materials for the tests were obtained from planks selected from 37 species (10 softwoods, 27 hardwoods), and the test groups numbered 104.

The range of specific gravity (at test; air dry) was from 0.25 to 0.95.

The axial compression or elongation was measured with mirror-extensometers (knife edge type) over a central gage length (Fig. 52).

We obtained from the tests the two characteristics by means of stress-strain curves for tensile or compressive tests, which would be available to determine the stress-strain relations.

One of the characteristics is the fictitious strain ϵ_0 ($\epsilon_0 = \sigma_m / E =$ 'maximum specific strain'; $\sigma_m =$ strength; $E =$ Young's modulus), and the other is K_0 ($K_0 = \epsilon_0 / \epsilon_m =$ 'maximum strain ratio'; $\epsilon_m =$ strain at maximum stress) as shown in Fig. 2, equation (1.1) and equation (1.2).

The other results in this study are as follows:

1. It was considered that 'the compressive or tensile failure occurs when the stress reaches the maximum specific strain'.
2. Most varieties of wood have, generally, a linear range in the stress-strain curves, and the Young's modulus is the same in compression as in tension as shown in Fig. 4~19.
3. From the tensile test results obtained in the six directions, we observed very considerable differences between the softwoods and the hardwoods on the elastic and strength properties. It was particularly so in the difference of ϵ_0 in the direction RT 45°. In the softwoods the value of ϵ_0 in this direction was about 7~8 times the value in the direction T, but in the hardwoods it was almost the same in each direction, as shown in Table 2 & Fig. 23.
4. The softwoods were in general more anisotropic than the hardwoods except Api-

tong, and especially was Apitong the most anisotropic of the test materials as shown in Table 8, 9 & 11.

5. The values of E/G_{LT} or E/G_{LR} are 10~25 as shown in Table 5.

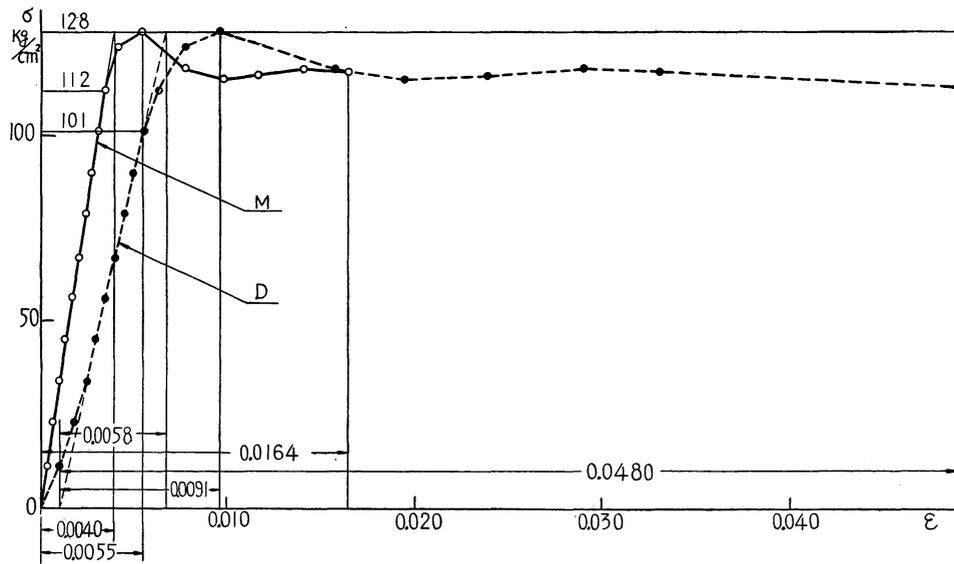
6. We obtained the relations between the several strengths: tensile-compressive strength ratio ($r = \sigma_t / \sigma_c$), compressive-shearing strength ratio ($q = \sigma_c / \tau$), compressive stress at proportional limit by compressive strength ratio ($\gamma_c = \sigma_{cp} / \sigma_c$) and compressive strength-end hardness ratio ($\alpha = \sigma_c / H_v$) etc., as shown in Table 12, Figs. 28, 30, 31, 33, 34, 35, 36, & 38.

7. Using the characteristics r , q , γ_c , ε_0 and K_0 , may facilitate computing from the theoretical equations⁸⁶⁾¹⁰⁶⁾ the bending rigidity and strength of a beam, and we shall find that the computed strength properties of beams agree well with the observed one.

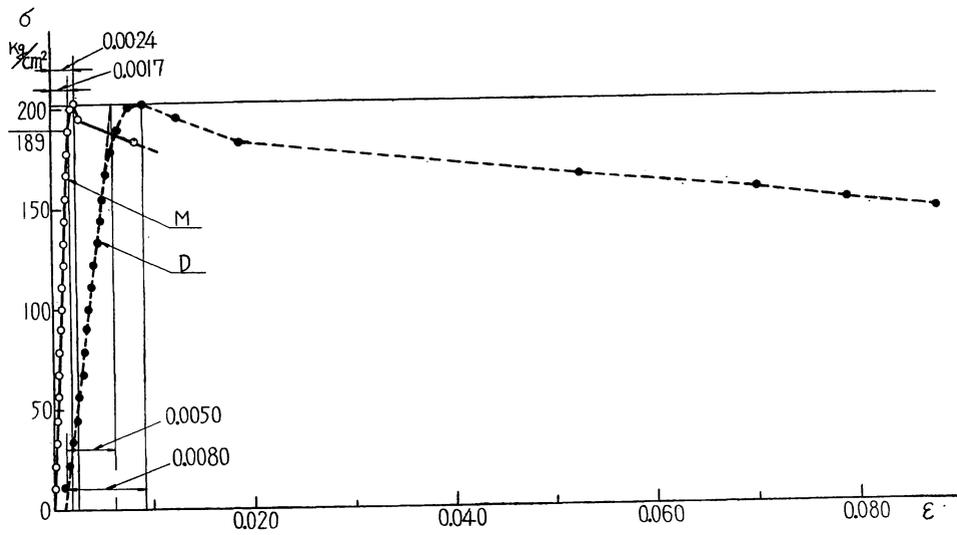
8. When a beam without defects has large dimensions (*structural beam*) and its depth by span ratio is smaller than 1/15, the scale effects of the beam will be negligible as shown in Table 18~20.

9. We investigated also the nailed beams, the glued laminated beams and the glued laminated beams consisting of two-species, and the results are given in Fig. 44, 45, Table 13~17.

10. A method of strength-grading of wood without defects by the strength-characteristics is given in Table 21, and an example of standard strength-grading assumed, using these values, is given in Table 22.



第 4 図— 1

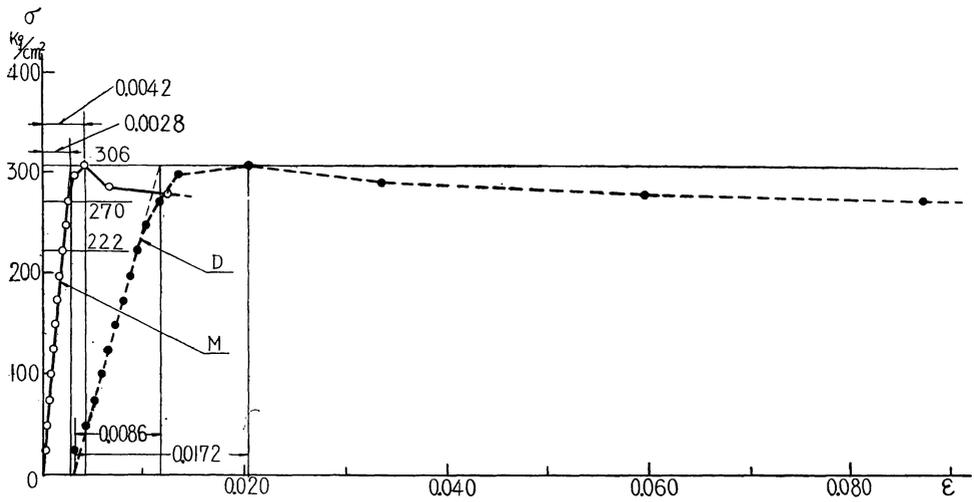


第 4 図— 2

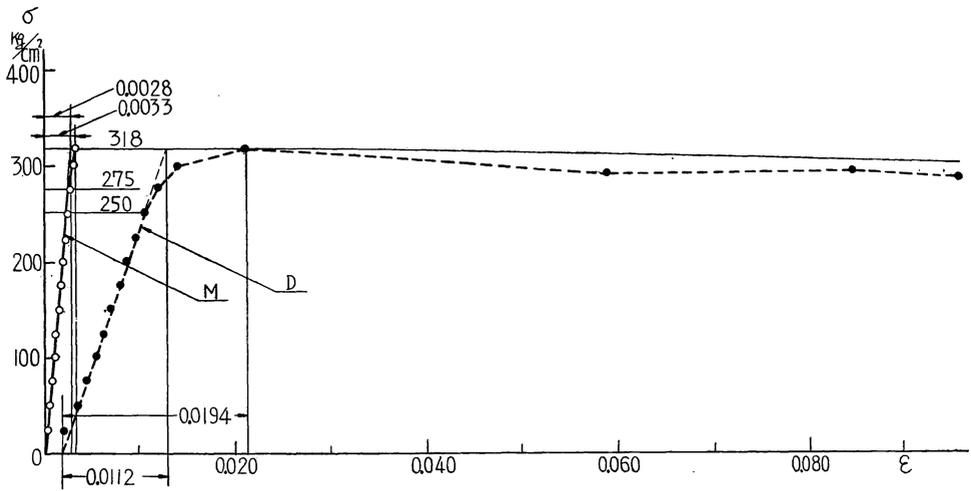
第 4 図 縦 圧 縮

Fig. 4 Stress-strain curves for

No.	Species	b	u	R_u	R_0	E_M	E_{1-M}
		mm	%	g/cm^3	g/cm^2	$\cdot 10^3 kg/cm^2$	$\cdot 10^3 kg/cm^2$
1	Obi-sugi	9.0	41.4	0.34	0.24	32.0	23.3
2	Todomatsu	4.7	26.4	0.41	0.32	120.0	84.0
3	Yezomatsu	2.2	14.3	0.40	0.35	109.5	73.0
4	Hinoki	1.0	13.7	0.38	0.33	113.5	96.5



第4図-3

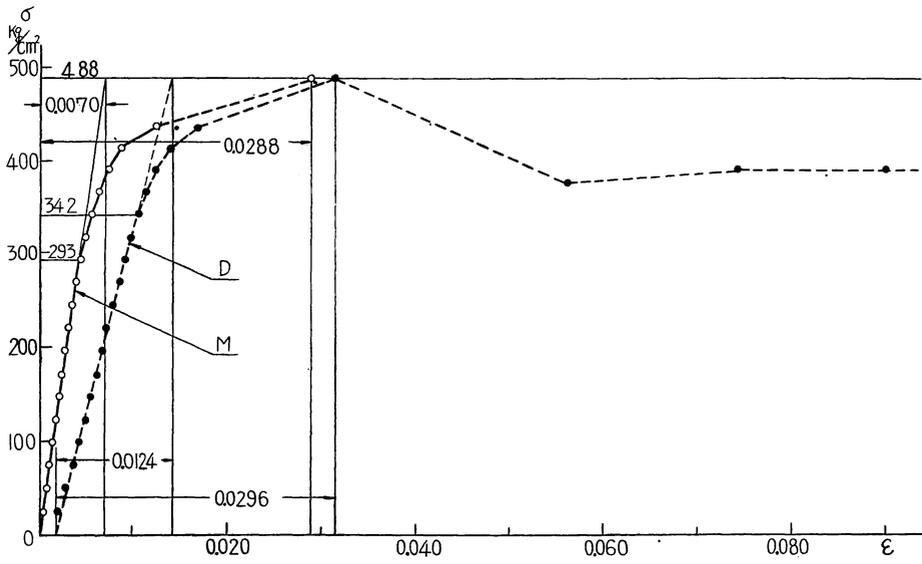


第4図-4

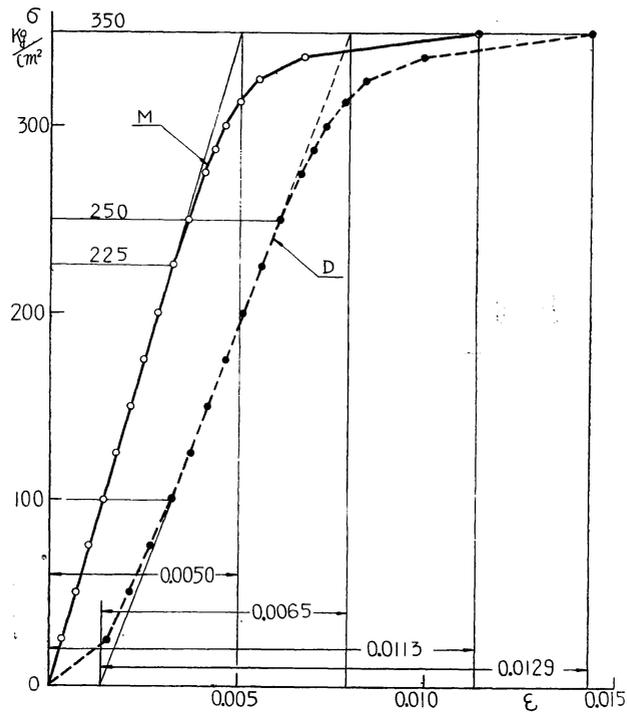
応力-歪曲線 (針葉樹)

compressive tests parallel to the grain (softwoods)

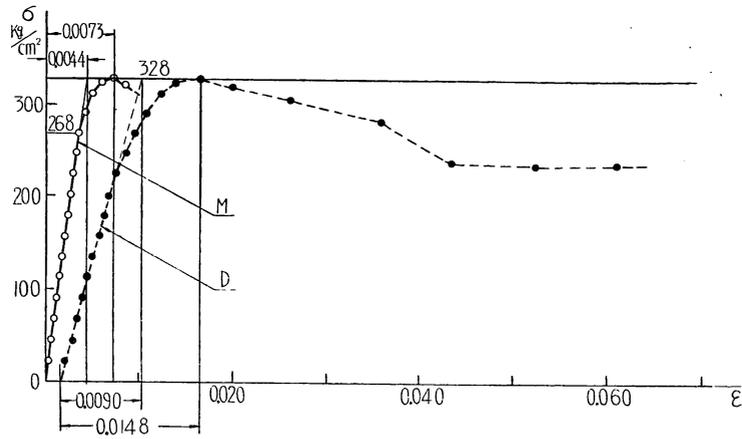
$E-D$	E_{1-D}	σ_{p-M}	σ_{p-D}	σ_c	γ_c	ϵ_{0c}	K_{0c}
$\cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$	$\cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	σ_{p-M}/σ_c	$\sigma_c/E-M$	ϵ_{0c}/ϵ_m
22.1	14.1	112	101	128	0.88	0.0040	0.73
40.5	25.5	189	167	202	0.94	0.0017	0.71
36.0	18.0	270	222	306	0.88	0.0028	0.67
28.5	16.4	275	250	318	0.87	0.0028	0.85



第 5 图—1



第 5 图—2



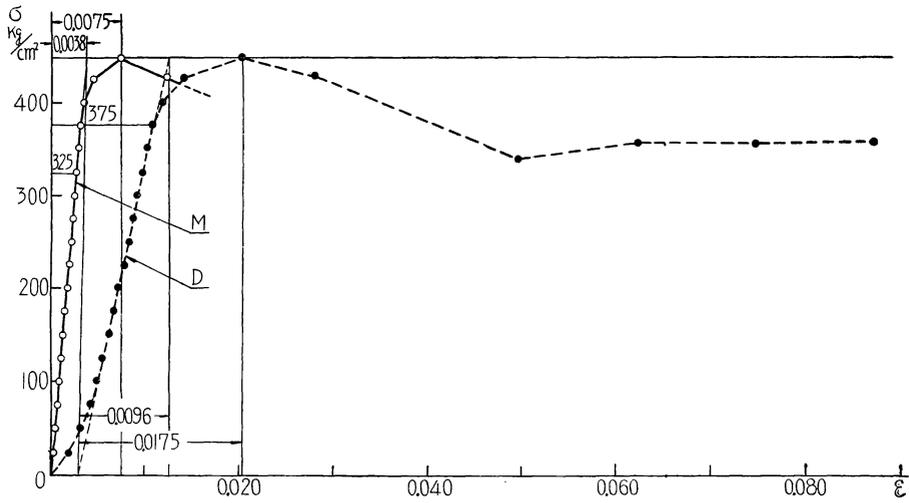
第5図-3

第5図 縦圧縮応力-歪曲線 (針葉樹アテ材)

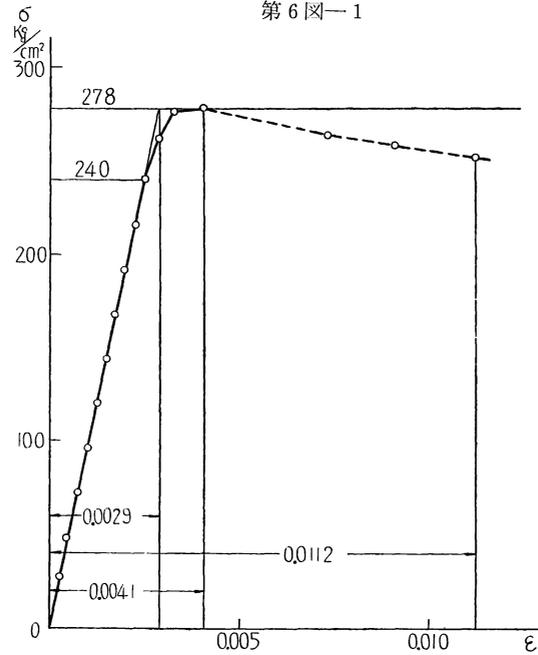
Fig. 5 Stress-strain curves for compressive tests parallel to the grain (Softwood, compression wood)

No.	Species	b	u	R_u	R_0	E_M	E_{1-M}	E_D
		mm	%	g/cm^3	g/cm^3	$\cdot 10^3 kg/cm^2$	$\cdot 10^3 kg/cm^2$	$10^3 kg/cm^2$
1	Yezomatsu (C)	1.5	16.3	0.72	0.62	70.0	17.0	39.5
2	do. (C)	2.4	23.5	0.66	0.53	70.0	31.0	54.0
3	Todomatsu (C)	2.6	25.1	0.68	0.55	74.5	45.0	36.5

No.	Species	E_{1-D}	σ_{p-M}	σ_{p-D}	σ_c	γ_c	ϵ_{0c}	K_{0c}
		$\cdot 10^3 kg/cm^2$	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	σ_{p-M}/σ_c	σ_c/E_M	ϵ_{0c}/ϵ_m
1	Yezomatsu (C)	16.5	293	342	488	0.60	0.0070	0.24
2	do. (C)	27.0	225	250	350	9.64	0.0050	0.44
3	Todomatsu (C)	22.0	268	222	328	0.82	0.0044	0.60



第 6 图— 1

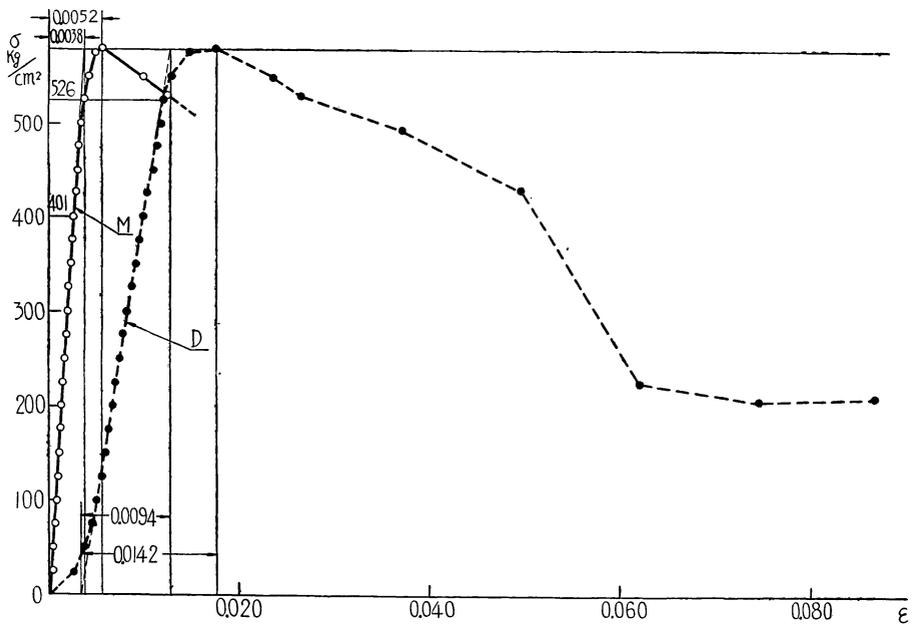


第 6 图— 2

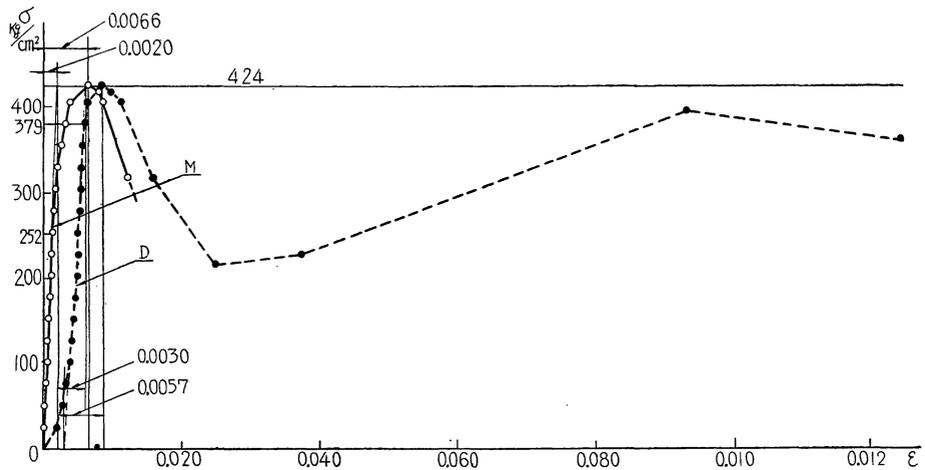
第 6 图 縦圧縮応力—

Fig. 6 Stress-strain curves for compressive tests parallel

No.	Species	b	u	R_u	R_0	$E-M$
		mm	%	g/cm^3	g/cm^3	$\cdot 10^3 kg/cm^2$
1	Buna	1.5	14.5	0.64	0.56	119
2	do.	1.6	47.2	0.74	0.54	96
3	Makaba	1.5	13.6	0.71	0.62	153
4	Apitong	—	16.5	0.67	0.57	187



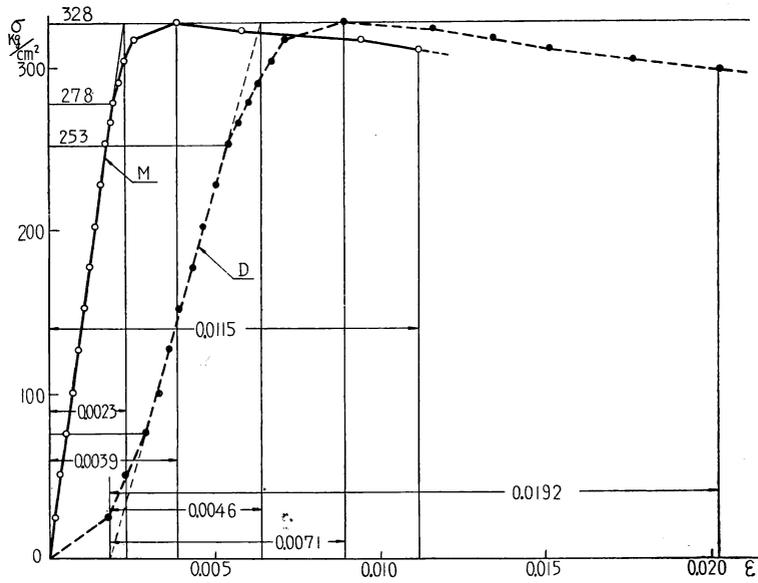
第 6 図— 3



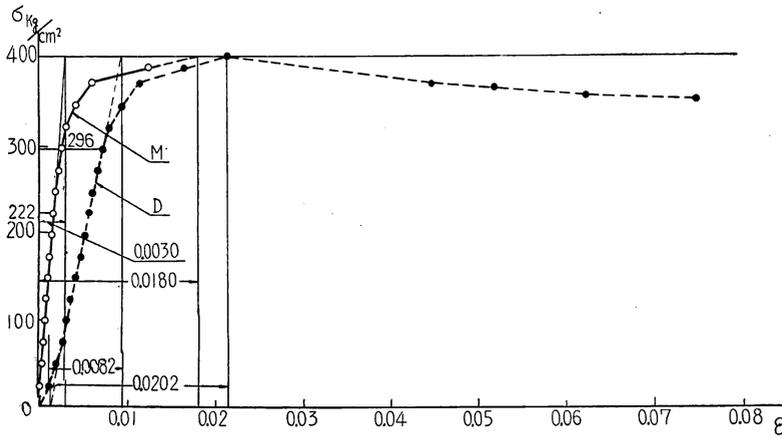
第 6 図— 4

歪曲線 (広葉樹散孔材)
to the grain (Hardwoods; diffuse-porous woods)

E_{1-M}	σ_{p-M}	σ_c	γ_c	ϵ_{0c}	K_{0c}
$\cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$	kg/cm^2	kg/cm^2	σ_p/σ_c	σ_c/E	ϵ_{0c}/ϵ_m
53	325	448	0.73	0.0038	0.51
68	240	278	0.86	0.0029	0.71
103	401	581	0.69	0.0038	0.73
64	253	424	0.60	0.0023	0.35



第 7 图—1

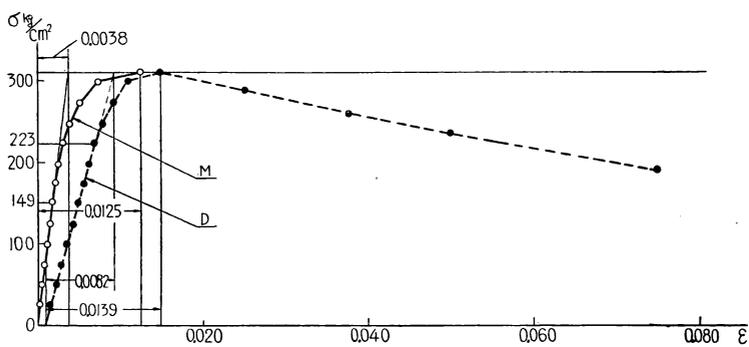


第 7 图—2

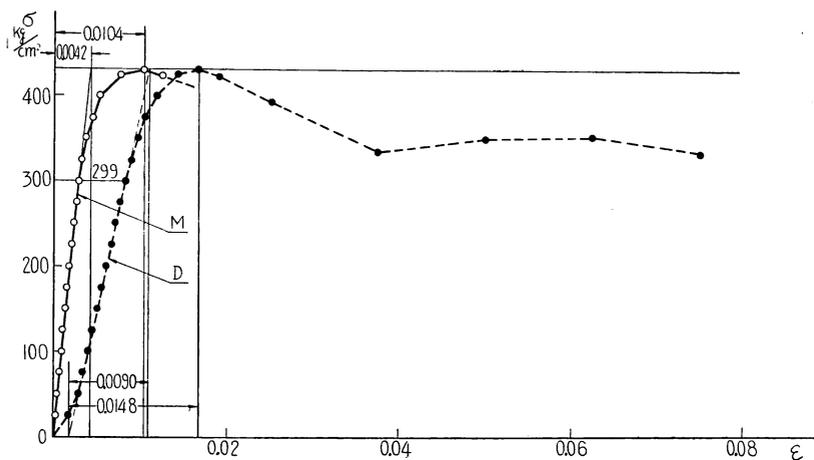
第 7 图 縦圧縮応力—歪曲線 (広葉樹環孔材)

Fig. 7 Stress-strain curves for compressive tests parallel to the grain (Hardwoods; ring-porous woods)

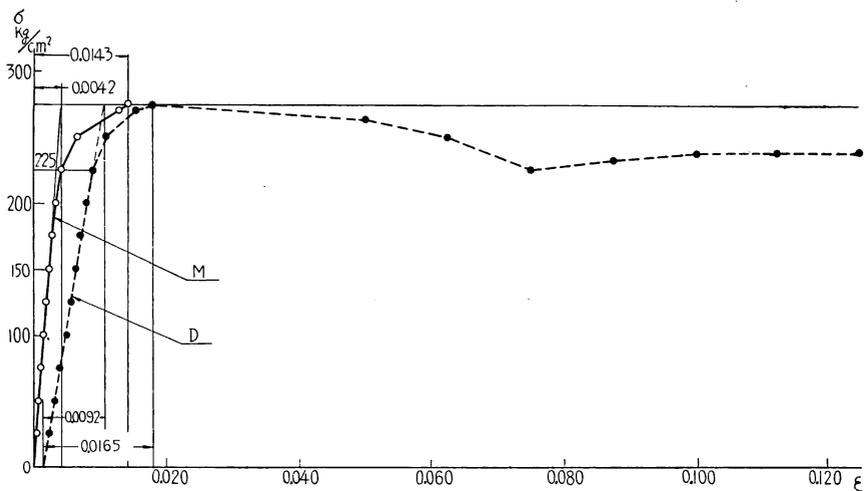
No.	Species	b	u	R_n	E	σ_c	γ_c	ϵ_{0c}	K_{0c}
		mm	%	g/cm^3	$10^3 kg/cm^2$	kg/cm^2	σ_p/σ_c	σ_c/E	ϵ_{0c}/ϵ_m
1	Mizunara	2.5	50.7	0.93	143	328	0.86	0.0023	0.17
2	do.	2.2	16.0	0.77	134	401	0.55	0.0030	0.17
3	do.	0.7	13.5	0.57	80	309	0.48	0.0038	0.30
4	Yachidamo	2.5	17.1	0.61	105	429	0.64	0.0042	0.40
5	Harunire	1.1	14.4	0.47	68	274	0.55	0.0042	0.29
6	Keyaki	3.2	7.5	0.72	173	741	0.53	0.0042	0.51
7	Locust, black	1.4	16.4	0.73	106	370	0.41	0.0030	0.16



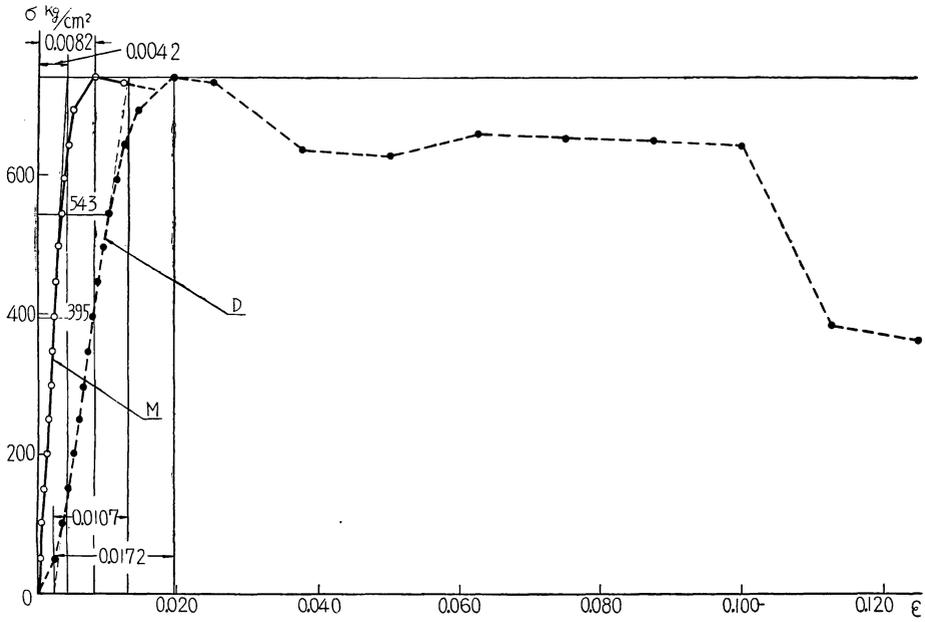
第7図—3



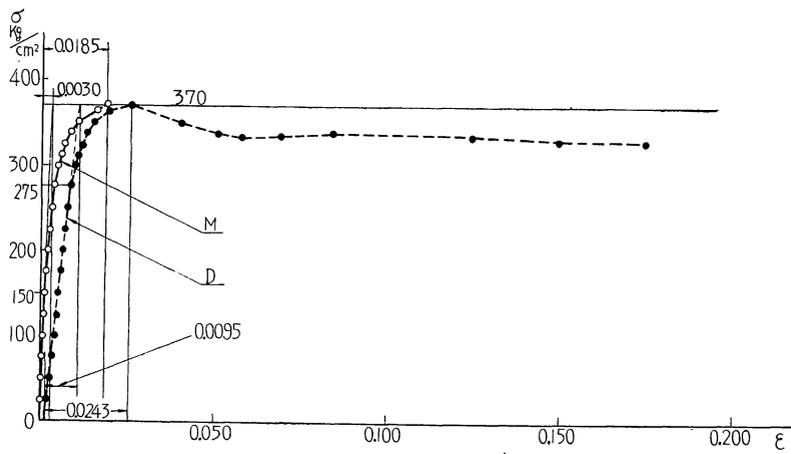
第7図—4



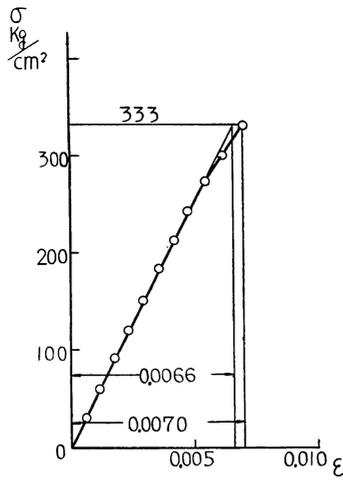
第7図—5



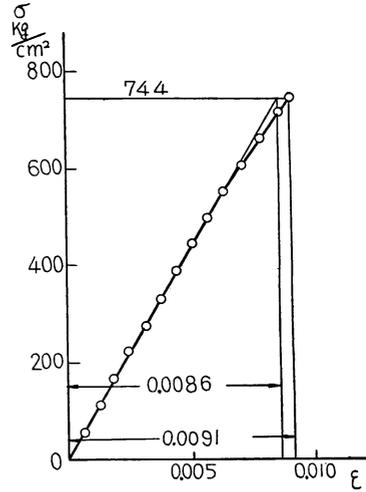
第 7 图—6



第 7 图—7



第 11 図—1



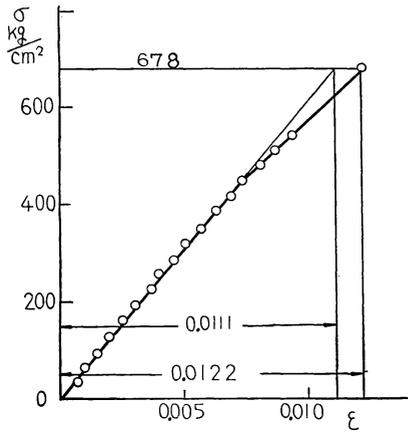
第 11 図—2

第 11 図 縦引張応力-歪曲線

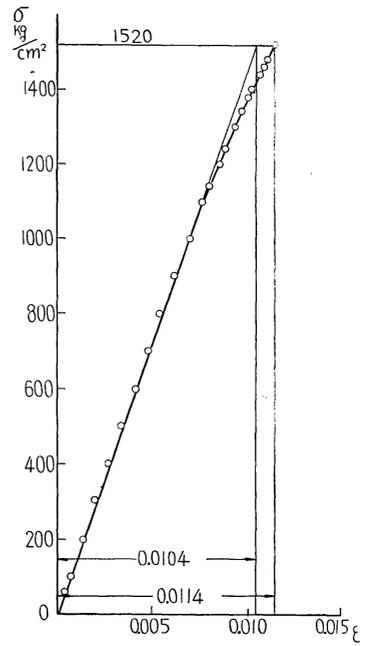
Fig. 11 Stress-strain curves for tensile tests parallel to the grain ($0.75 \leq K_{0t} \leq 1.00$)

A = Air dry; M = Moist

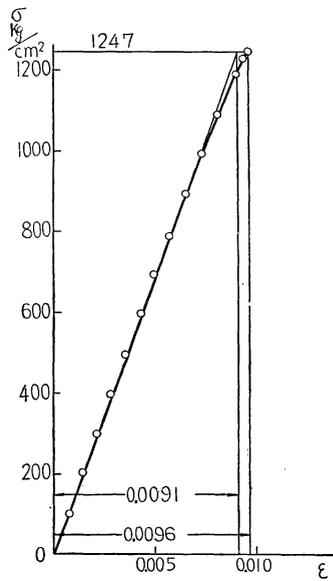
No.	Species	b	u	R_u	R_0	E	σ_t	ϵ_{0t}	K_{0t}	Moisture condition
		mm	%	g/cm^3	g/cm^3	$10^3 kg/cm^2$	kg/cm^2	σ_t/E	ϵ_{0t}/ϵ_m	
1	Sugi	8.1	15.5	0.23	0.20	50.5	333	0.0066	0.94	A
2	do.	2.3	22.7	0.92	0.28	86.5	744	0.0086	0.95	M
3	Obi-sugi	5.3	16.3	0.38	0.33	61.0	678	0.0111	0.91	A
4	Todomatsu	2.8	15.5	0.43	0.37	146	1,520	0.0104	0.91	"
5	do.	2.5	24.6	0.46	0.37	137	1,247	0.0091	0.95	M
6	Yezomatsu	1.9	17.1	0.42	0.37	141	1,520	0.0108	0.95	A
7	do.	2.3	27.7	0.42	0.33	116	1,370	0.0118	0.90	M
8	Spruce	2.4	19.7	0.44	0.37	125.5	1,470	0.0117	0.83	A
9	Hiba	2.8	19.2	0.46	0.40	104	1,143	0.0110	0.87	"
10	Hinoki	5.5	20.5	0.51	0.42	106.5	1,365	0.0128	0.75	"
11	Taiwan-hinoki	2.6	13.5	0.53	0.47	129	1,525	0.0118	0.82	"
12	Akamatsu	1.6	15.5	0.43	0.37	106	987	0.0093	1.00	"
13	Douglas fir	2.2	16.4	0.48	0.41	116	972	0.0084	0.93	"
14	Hemlock	0.6	19.3	0.59	0.50	160	2,092	0.0131	0.92	"
15	Karamatsu	1.1	54.8	0.68	0.44	117.5	1,340	0.0114	0.87	M
16	Kiri	7.2	11.5	0.28	0.25	68.5	595	0.0087	0.97	A
17	Yachidamo	2.2	13.0	0.52	0.46	124	1,690	0.0136	0.87	"
18	Keyaki	4.0	15.3	0.68	0.59	85	1,224	0.0144	0.82	"
19	Apitong	—	13.5	0.65	0.57	241	2,020	0.0084	0.96	"
20	do.	—	51.0	0.79	0.53	142	1,225	0.0086	0.93	M
21	Makaba	2.2	12.5	0.64	0.57	117.5	1,642	0.0140	0.93	A
22	Ichiigashi	3.1	15.1	0.72	0.63	156	1,620	0.0104	0.92	"



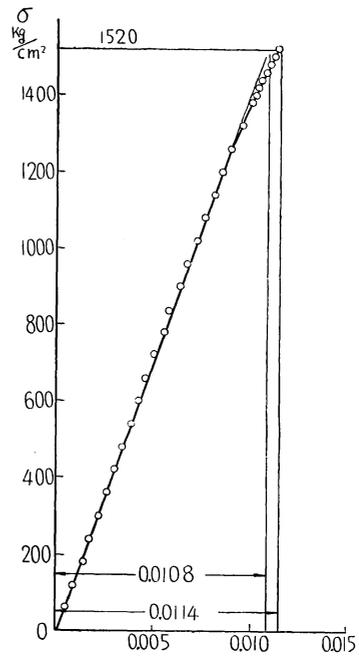
第 11 图—3



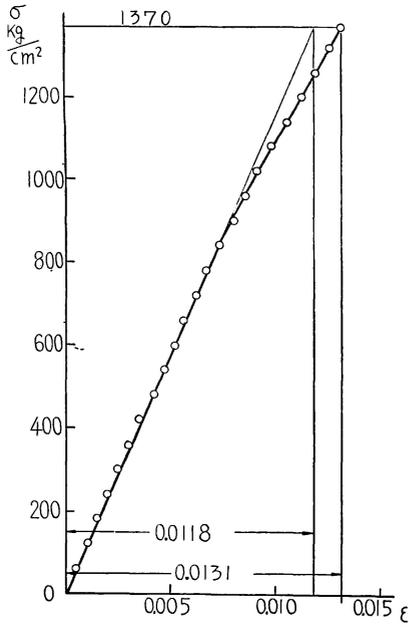
第 11 图—4



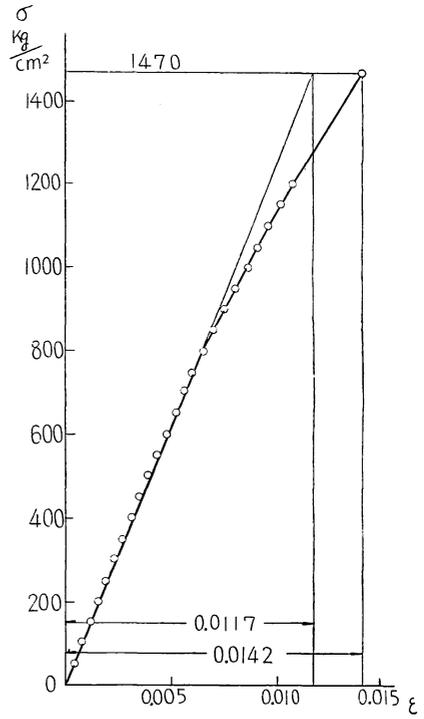
第 11 图—5



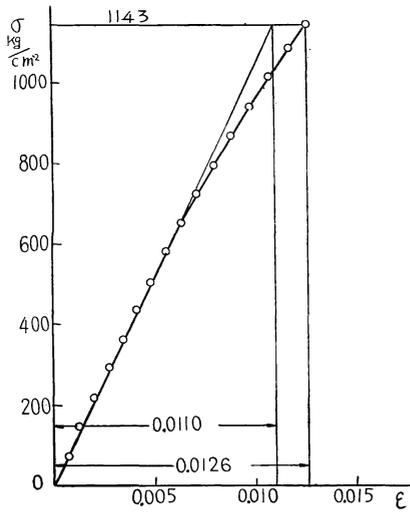
第 11 图—6



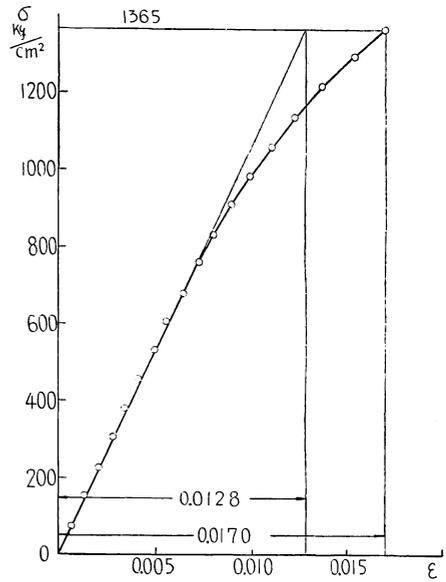
第 11 図—7



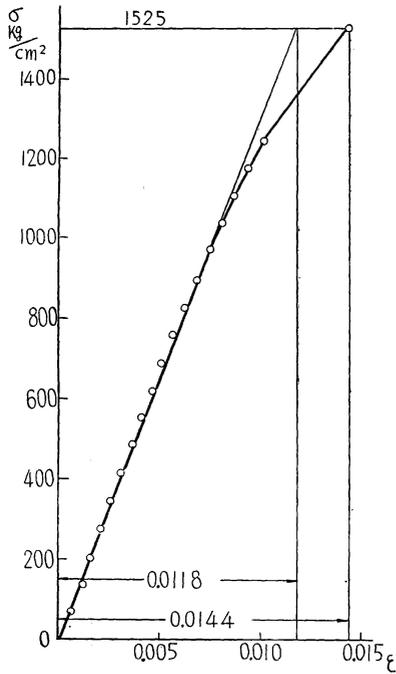
第 11 図—8



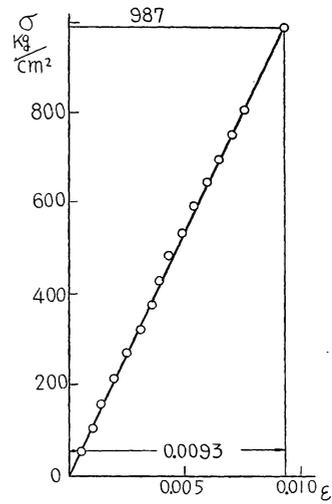
第 11 図—9



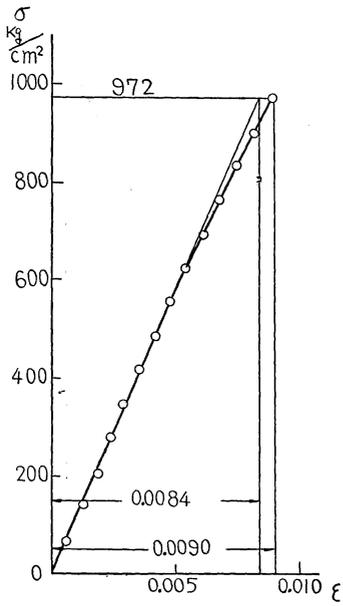
第 11 図—10



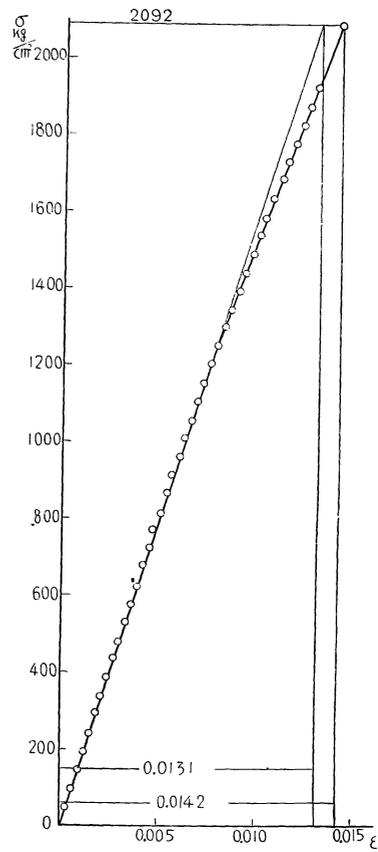
第 11 图—11



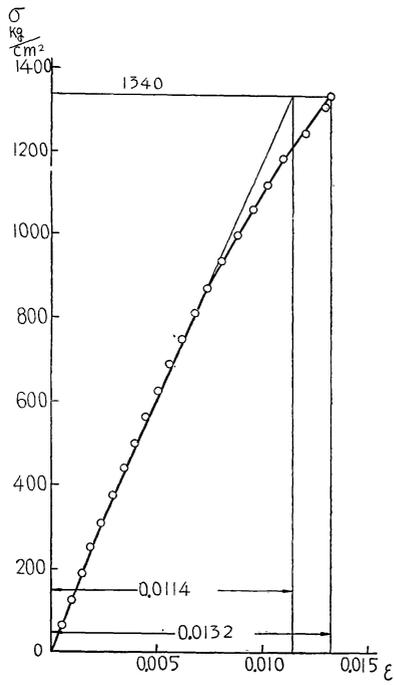
第 11 图—12



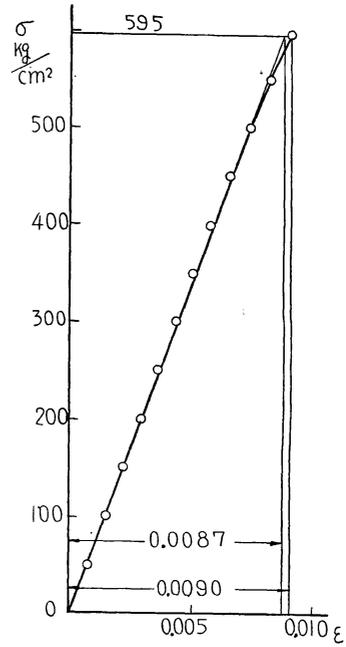
第 11 图—13



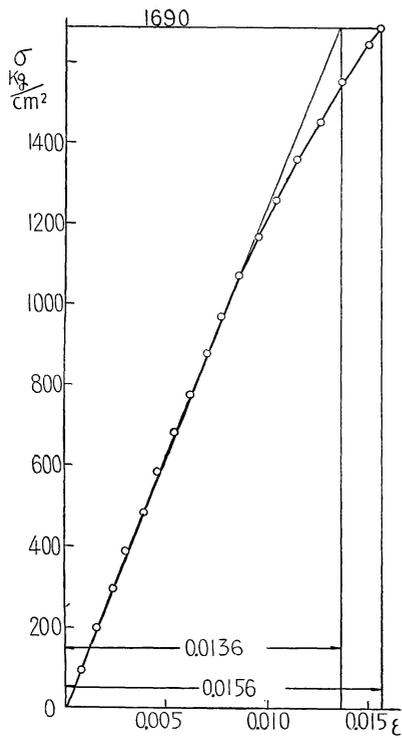
第 11 图—14



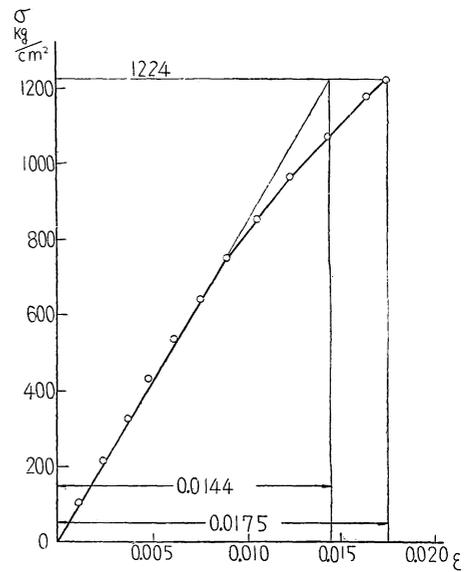
第 11 図—15



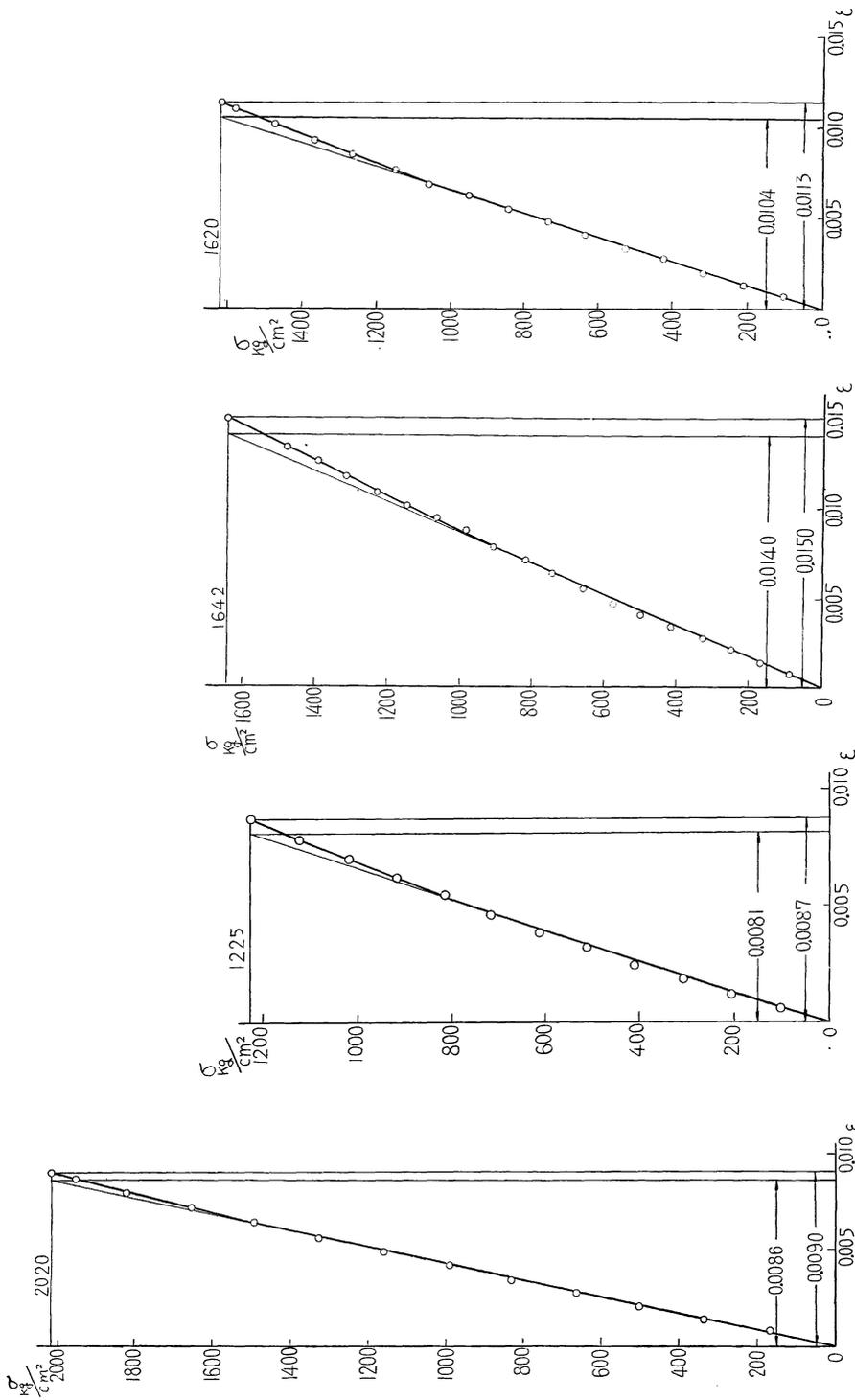
第 11 図—17



第 11 図—16



第 11 図—18

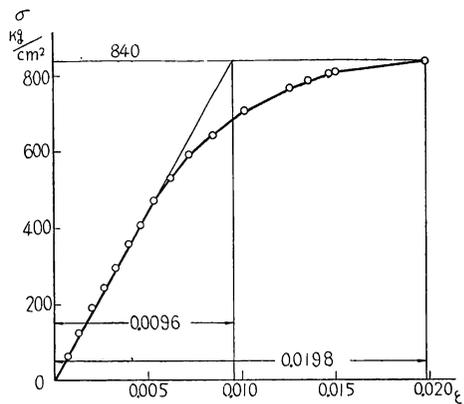


第 11 图—19

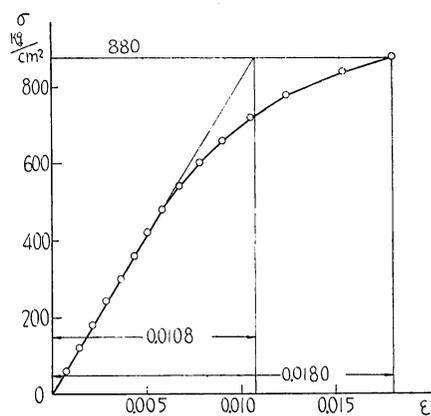
第 11 图—20

第 11 图—21

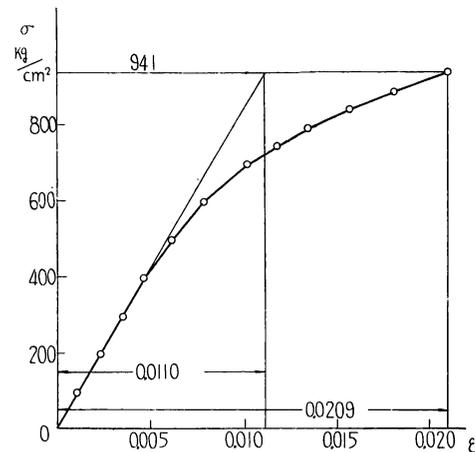
第 11 图—22



第 12 図—1



第 12 図—2

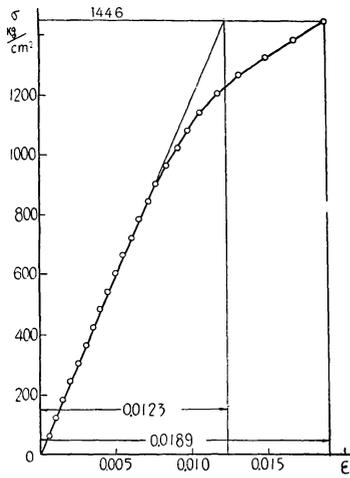


第 12 図—3

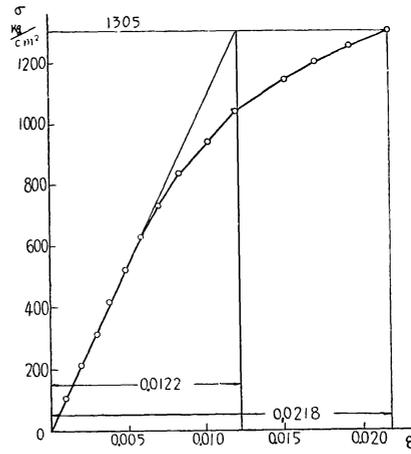
第 12 図 縦引張応力—歪曲線

Fig. 12 Stress-strain curves for tensile tests parallel to the grain ($0.5 \leq K_{0t} \leq 0.75$)

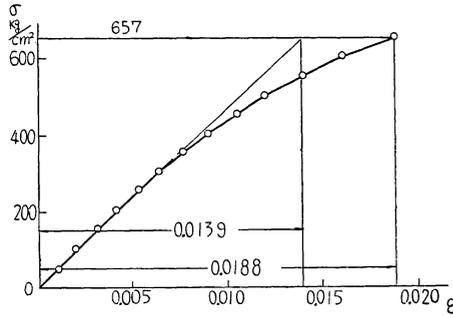
No.	Species	b	u	R_u	R_0	E	σ_t	ϵ_{0t}	K_{0t}	Moisture condition	Remarks
		mm	%	g/cm^3	g/cm^3	$10^3 kg/cm^2$	kg/cm^2	σ_t/E	ϵ_{0t}/ϵ_m		
1	Yezomatsu	1.5	15.0	0.72	0.62	85.5	941	0.0110	0.52	A	compression wood
2	do.	1.8	24.6	0.59	0.42	81.5	880	0.0108	0.60	M	"
3	Todomatsu	3.8	23.8	0.70	0.56	87.5	840	0.0096	0.49	"	"
4	Karamatsu	2.2	30.8	0.58	0.44	117.5	1,446	0.0123	0.65	"	clear
5	Mizunara	0.7	29.0	0.58	0.45	47.5	657	0.0139	0.74	"	"
6	do.	3.1	52.0	0.95	0.62	107.0	1,305	0.0122	0.56	"	"
7	Buna	1.7	49.0	0.73	0.49	77.0	960	0.0125	0.71	"	"
8	Locust, black	5.6	14.7	0.71	0.62	155.0	1,588	0.0102	0.71	A	"
9	do.	—	37.2	0.81	0.59	118.0	1,103	0.0094	0.57	M	"



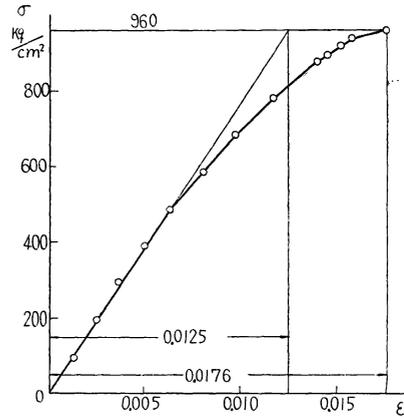
第 12 图—4



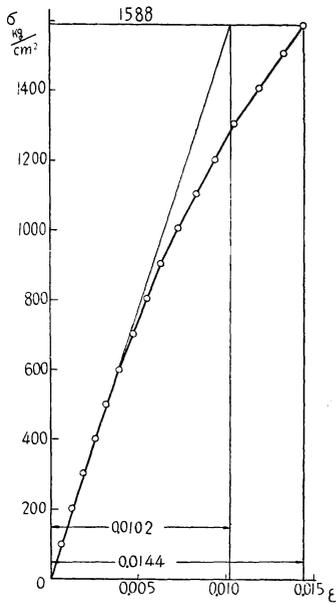
第 12 图—6



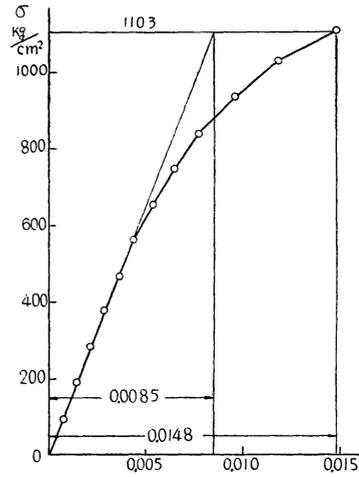
第 12 图—5



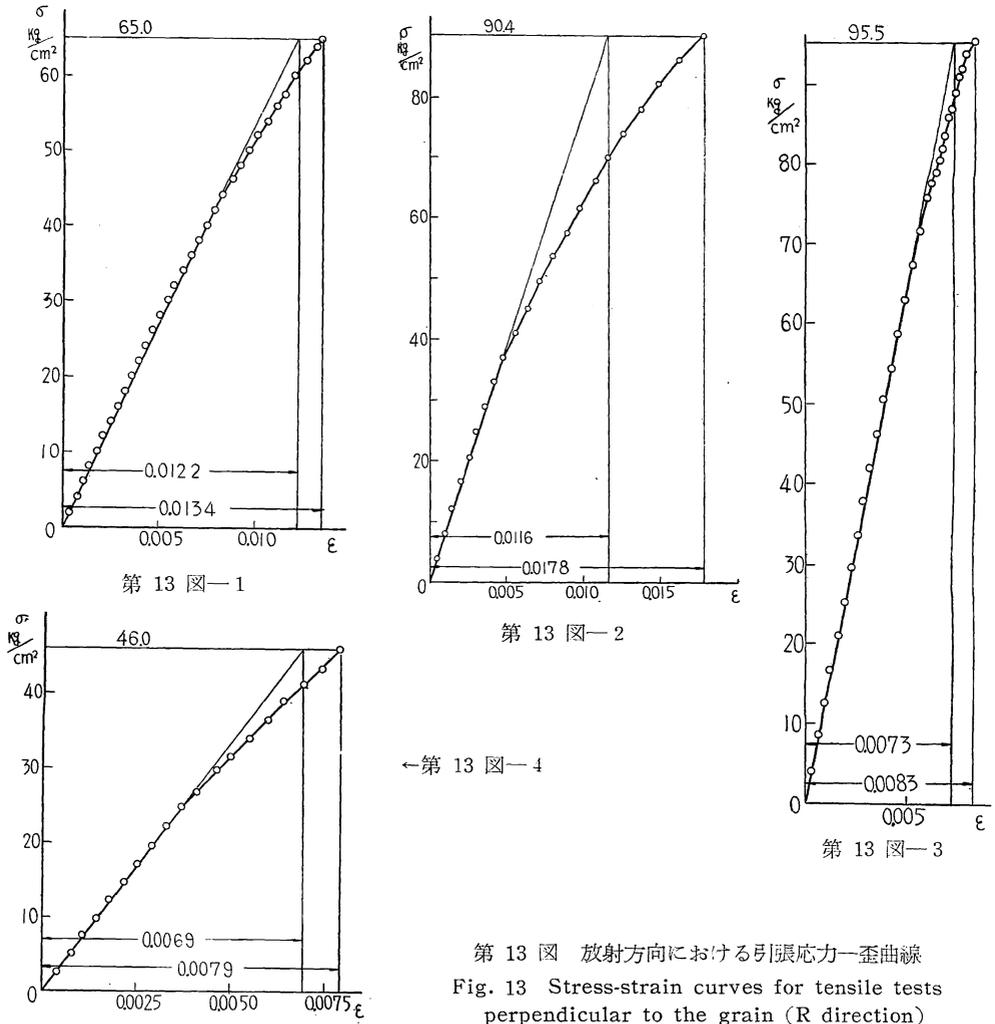
第 12 图—7



第 12 图—8

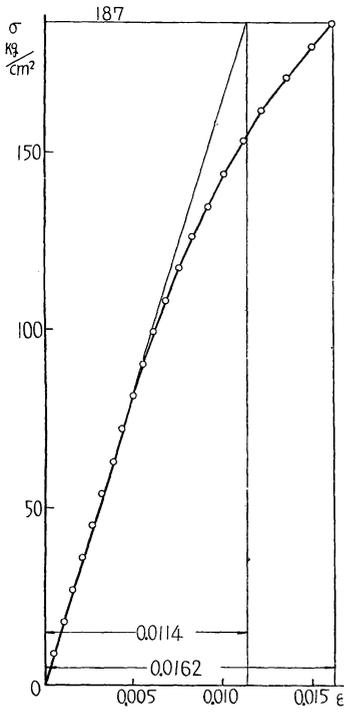


第 12 图—9

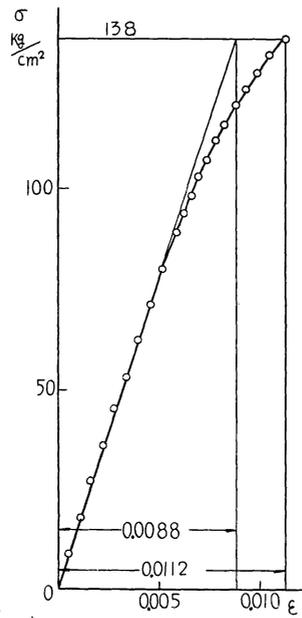


第 13 図 放射方向における引張応力—歪曲線
 Fig. 13 Stress-strain curves for tensile tests perpendicular to the grain (R direction)

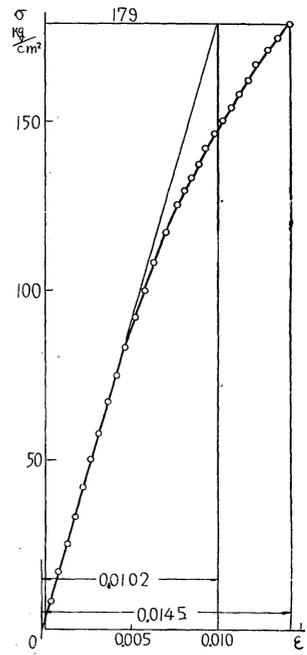
No.	Species	b	u	R _v	R ₀	E	σ _t	ε ₀	K ₀
		mm	%	g/cm ³	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	σ _t /E	ε ₀ /ε _{0.2}
1	Sugi	6.0	17.2	0.31	0.26	5.33	65.0	0.0122	0.91
2	Yezomatsu	2.6	14.1	0.38	0.34	7.80	90.4	0.0116	0.65
3	Akamatsu	1.9	14.5	0.43	0.38	13.10	95.5	0.0073	0.88
4	Kiri	10.8	11.0	0.28	0.25	6.67	46.0	0.0069	0.87
5	Buna	2.9	13.8	0.66	0.58	16.40	187.0	0.0114	0.70
6	Mizunara	2.3	14.0	0.74	0.65	15.70	138.0	0.0088	0.79
7	Locust, black	13.8	14.4	0.73	0.69	17.55	179.0	0.0102	0.71
8	Keyaki	8.3	13.9	0.69	0.61	15.25	192.0	0.0126	0.76
9	Apitong	—	15.8	0.67	0.58	9.43	75.4	0.0080	0.90
10	Ichiigashi	3.4	14.4	0.82	0.72	18.20	206.0	0.0113	0.49



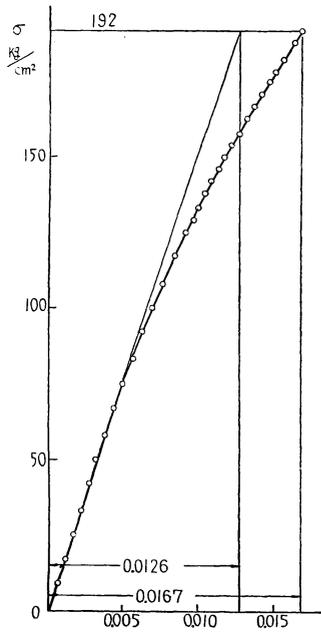
第 13 图—5



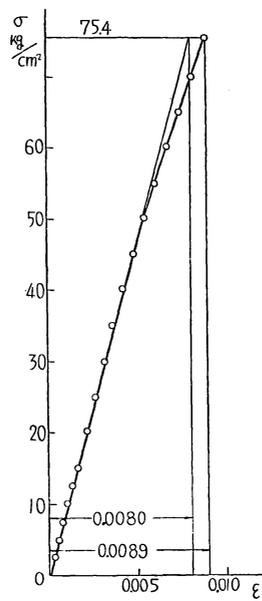
第 13 图—6



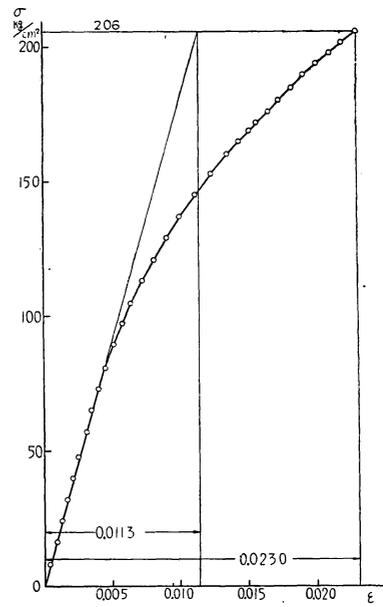
第 13 图—7



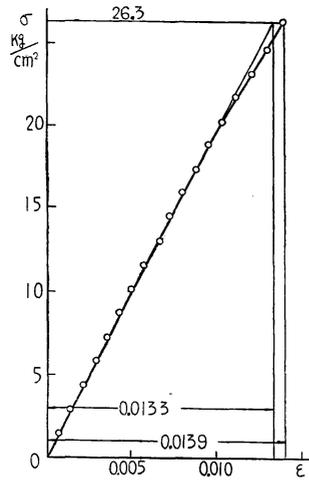
第 13 图—8



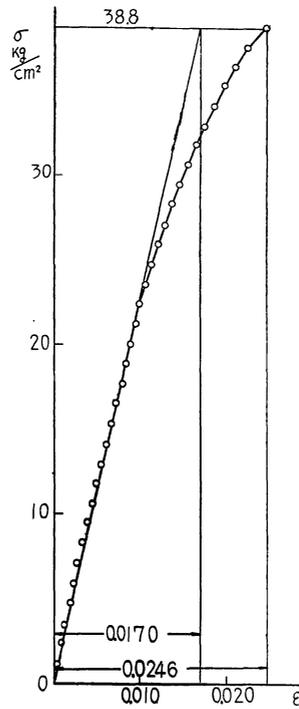
第 13 图—9



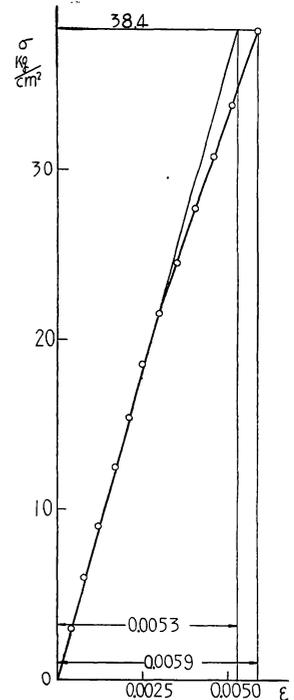
第 13 图—10



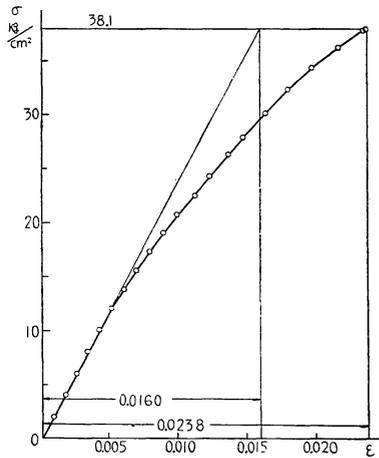
第 14 図—1



第 14 図—2



第 14 図—3

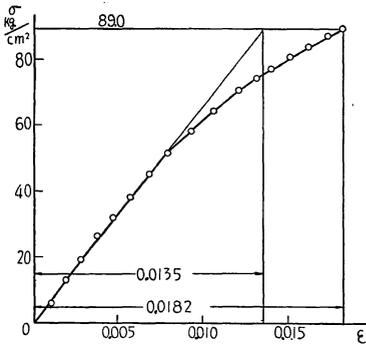


第 14 図—4

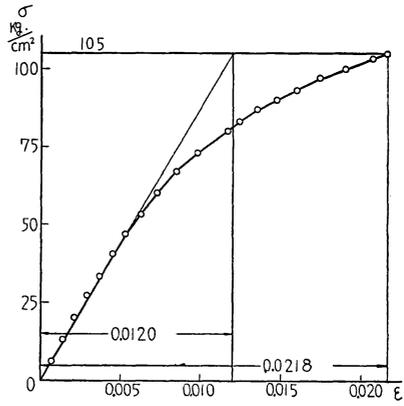
第 14 図 接線方向における引張応力—歪曲線

Fig. 14 Stress-strain curves for tensile tests perpendicular to the grain (T direction)

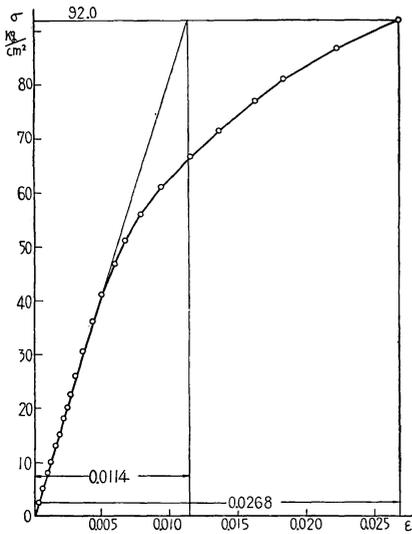
No.	Species	b	u	R _n	R ₀	E	σ _t	ε ₀	K ₀
		mm	%	g/cm ³	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	σ _t /E	ε ₀ /ε _m
1	Sugi	8.7	14.7	0.27	0.23	1.98	26.3	0.0133	0.96
2	Yezomatsu	3.1	14.7	0.41	0.36	2.28	38.8	0.0170	0.69
3	Akamatsu	2.5	14.7	0.44	0.38	7.25	38.4	0.0053	0.90
4	Kiri	12.0	12.0	0.27	0.24	2.38	38.1	0.0160	0.67
5	Buna	1.9	13.9	0.60	0.53	6.60	89.0	0.0135	0.74
6	Mizunara	2.0	14.0	0.72	0.63	8.75	105.0	0.0120	0.55
7	Locust, black	4.0	18.6	0.74	0.63	8.08	92.0	0.0114	0.43
8	Keyaki	7.1	15.0	0.69	0.60	11.15	125.0	0.0112	0.77
9	Apitong	—	15.3	0.72	0.62	5.66	53.2	0.0094	0.55
10	Ichiigashi	2.3	14.3	0.81	0.71	9.30	87.5	0.0094	0.60



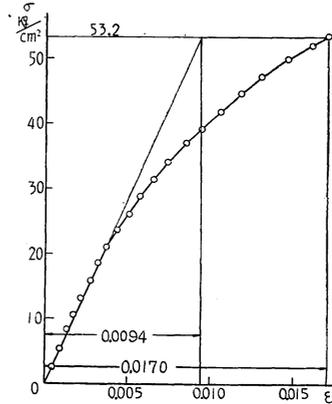
第 14 图—5



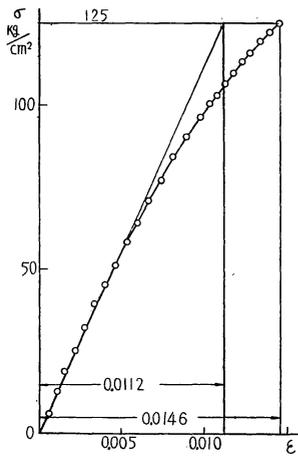
第 14 图—6



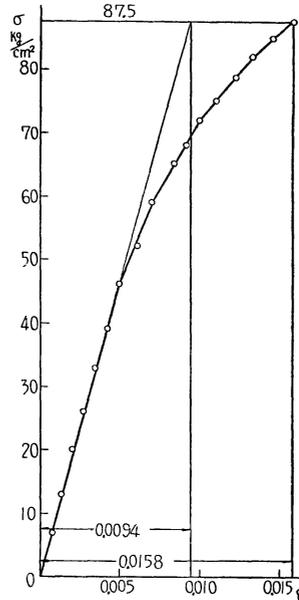
第 14 图—7



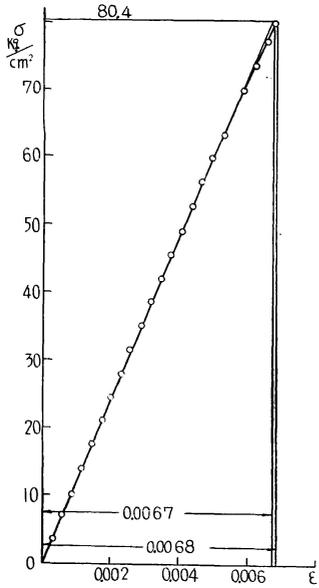
第 14 图—9



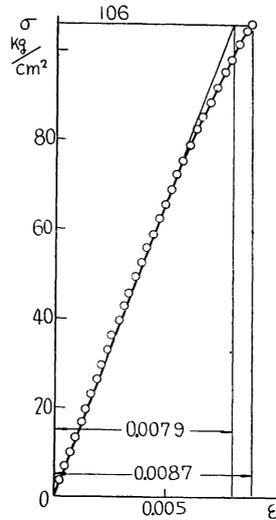
第 14 图—8



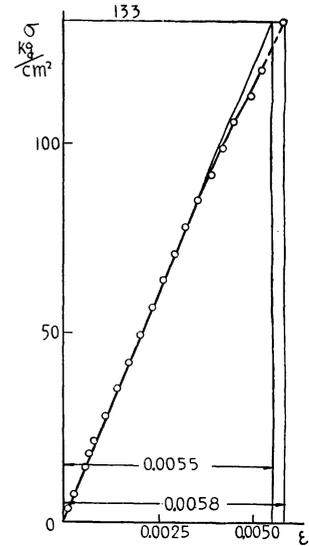
第 14 图—10



第 15 図—1



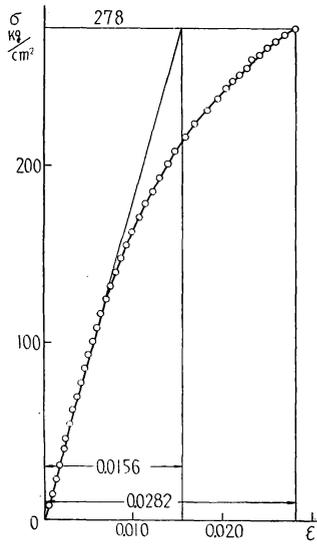
第 15 図—2



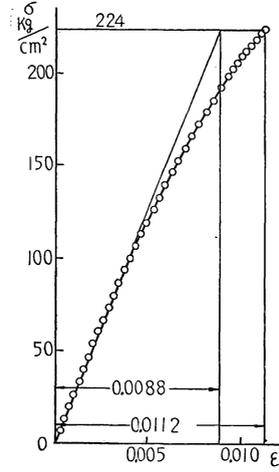
第 15 図—3

第 15 図 センイ方向と放射方向とにそれぞれ 45° をなす方向の引張応力—歪曲線
 Fig. 15 Stress-strain curves for tensile tests diagonal to the grain (LR₄₅)

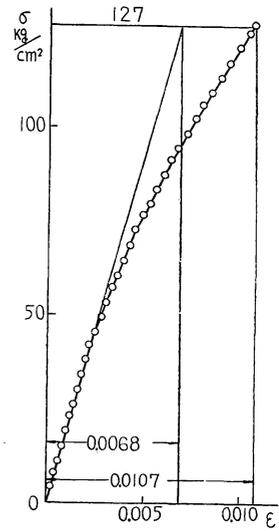
No.	Species	b	u	R _u	R ₀	E	σ _t	ε ₀	K ₀
		mm	%	g/cm ³	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	σ _t /E	ε ₀ /ε _m
1	Sugi	11.9	15.4	0.24	0.21	12.0	80.4	0.0067	0.99
2	Yezomatsu	2.0	15.0	0.41	0.36	13.4	106.0	0.0079	0.91
3	Akamatsu	2.8	14.7	0.49	0.43	24.2	133.0	0.0055	0.95
4	Buna	2.1	14.6	0.69	0.61	17.8	278.0	0.0156	0.55
5	Mizunara	3.2	15.0	0.77	0.67	22.1	194.0	0.0088	0.73
6	Keyaki	11.3	14.7	0.72	0.63	25.5	224.0	0.0088	0.79
7	Apitong	—	14.0	0.64	0.56	18.7	127.0	0.0068	0.64
8	Ichiigashi	4.6	15.2	0.92	0.80	34.6	346.0	0.0100	0.45



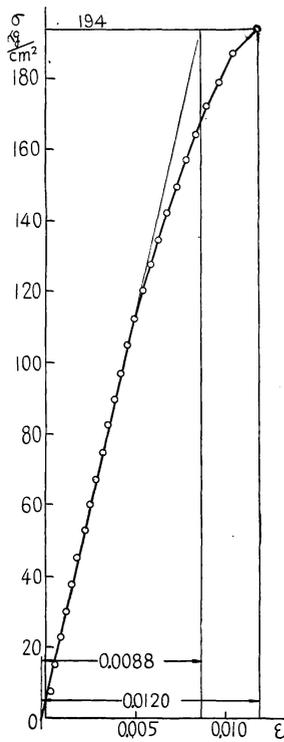
第 15 图—4



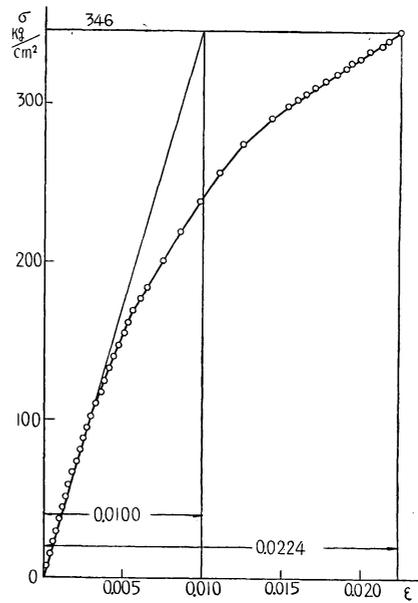
第 15 图—6



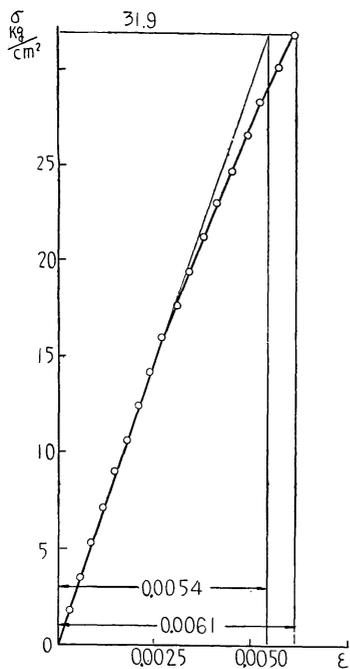
第 15 图—7



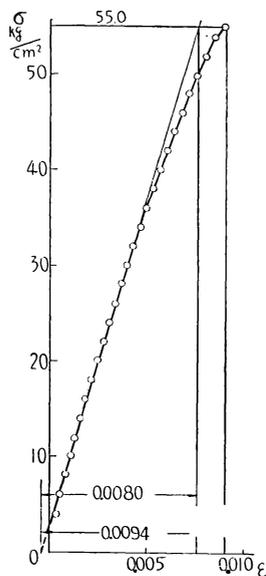
第 15 图—5



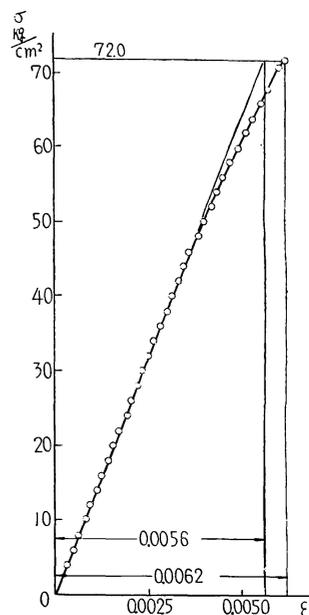
第 15 图—8



第 16 図—1



第 16 図—2

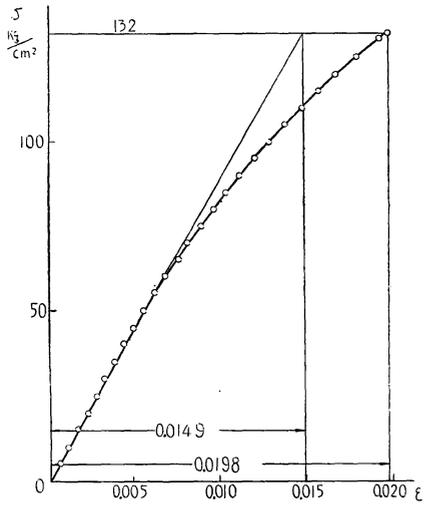


第 16 図—3

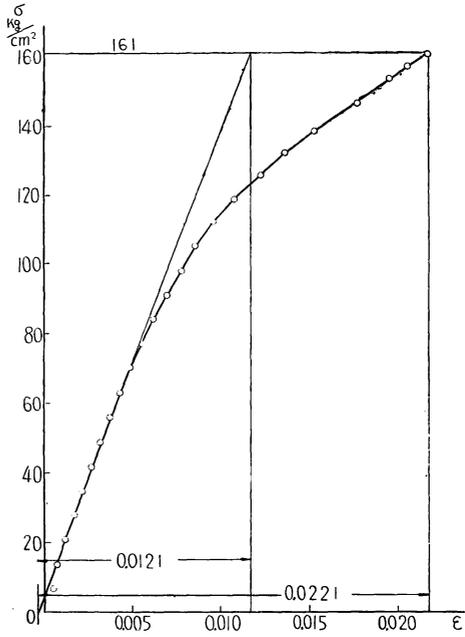
第 16 図 センイ方向と接線方向とにそれぞれ 45° をなす方向の引張応力—歪曲線

Fig. 16 Stress-strain curves for tensile tests diagonal to the grain (LT₄₅).

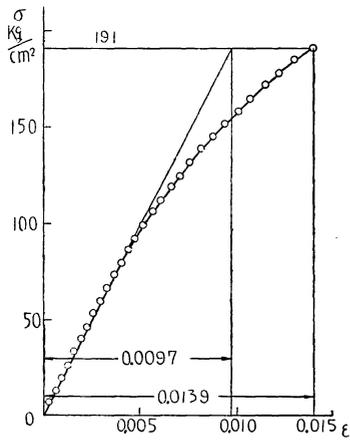
No.	Species	b	u	R _n	R ₀	E	σ _t	ε ₀	K ₀
		mm	%	g/cm ³	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	σ _t /E	ε ₀ /ε _m
1	Sugi	7.2	15.0	0.25	0.22	5.90	31.9	0.0054	0.89
2	Yezomatsu	3.2	15.6	0.39	0.34	6.90	55.0	0.0080	0.85
3	Akamatsu	1.7	14.0	0.42	0.37	12.90	72.0	0.0056	0.90
4	Buna	2.1	14.8	0.63	0.55	8.90	132.0	0.0149	0.75
5	Mizunara	1.7	15.5	0.75	0.65	13.30	161.0	0.0121	0.55
6	Keyaki	6.9	14.0	0.69	0.61	19.70	191.0	0.0097	0.70
7	Apitong	—	14.1	0.72	0.63	12.43	112.0	0.0090	0.59
8	Ichigashi	2.5	14.0	0.80	0.70	15.35	132.0	0.0086	0.57



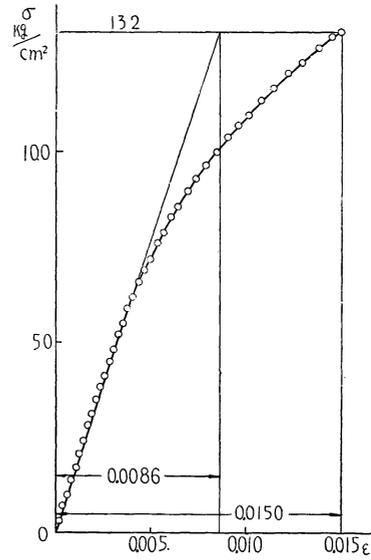
第 16 图—4



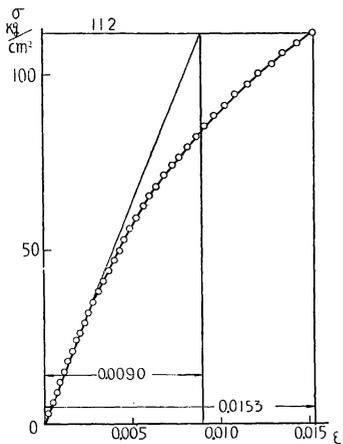
第 16 图—5



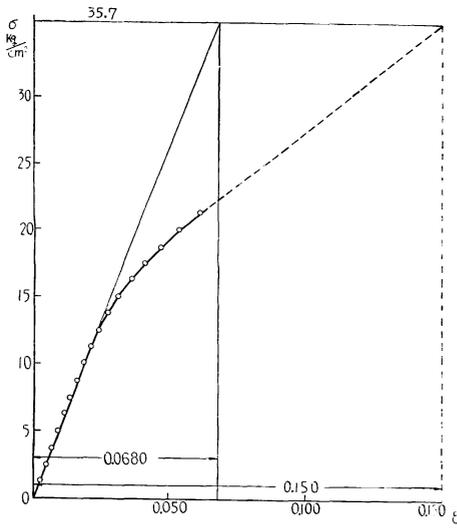
第 16 图—6



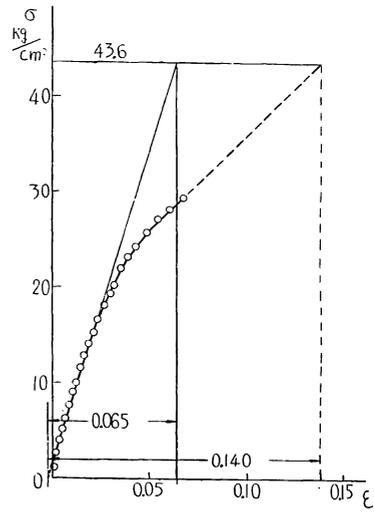
第 16 图—8



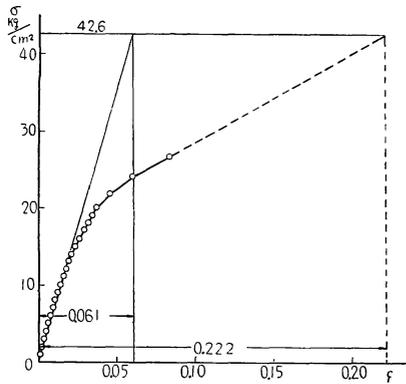
第 16 图—7



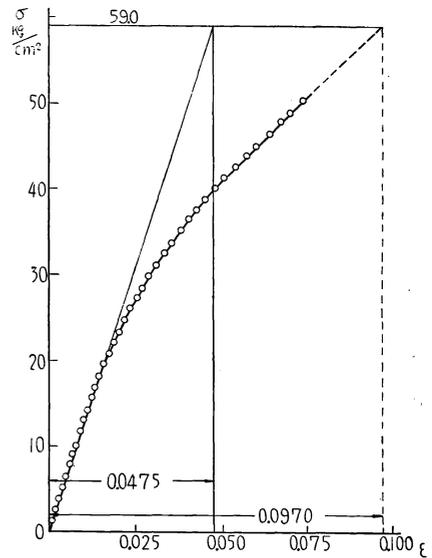
第 17 図—1



第 17 図—2



第 17 図—3

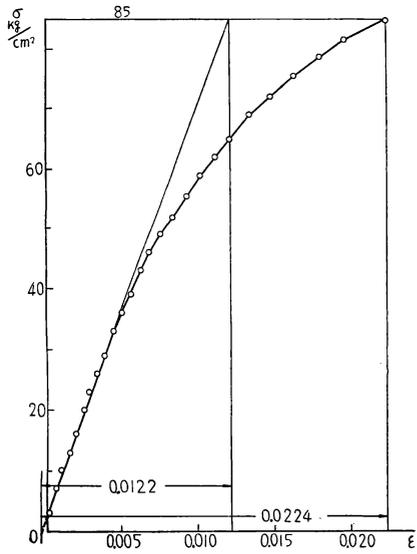


第 17 図—4

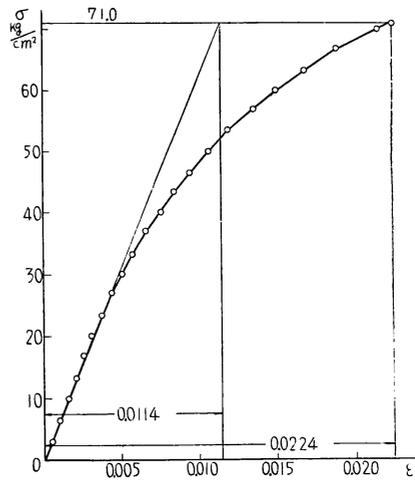
第 17 図 放射方向と接線方向とに、それぞれ 45° をなす方向の引張応力—歪曲線

Fig. 17 Stress-strain curves for tensile tests perpendicular to the grain (RT₄₅)

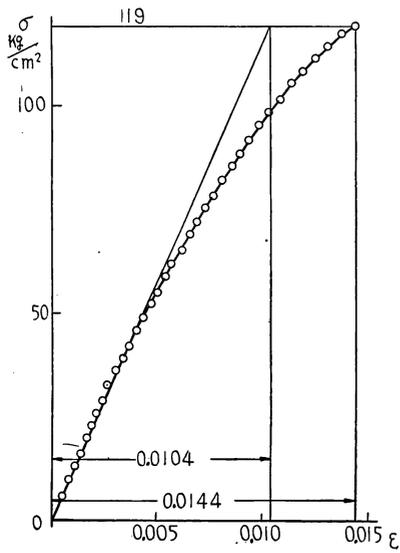
No.	Species	b	u	R _{0.2}	R ₀	E	σ _t	ε ₀	K ₀
		mm	%	g/cm ³	g/cm ³	10 ³ kg/cm ²	kg/cm ²	σ _t /E	ε ₀ /ε _m
1	Sugi	7.5	15.7	0.28	0.24	0.525	35.7	0.0680	(0.45)
2	Yezomatsu	1.8	15.6	0.37	0.33	0.670	43.6	0.0650	(0.46)
3	do.	2.0	15.0	0.37	0.33	0.700	42.6	0.0610	(0.28)
4	Akamatsu	2.0	14.3	0.45	0.39	1.240	59.0	0.0475	(0.49)
5	Buna	2.2	16.1	0.63	0.54	6.970	85.0	0.0122	0.55
6	Mizunara	2.3	16.8	0.69	0.59	6.230	71.0	0.0114	0.51
7	Keyaki	7.5	16.4	0.70	0.60	11.450	119.0	0.0104	0.72
8	Ichigashi	2.9	15.6	0.82	0.71	12.900	156.0	0.0121	0.50



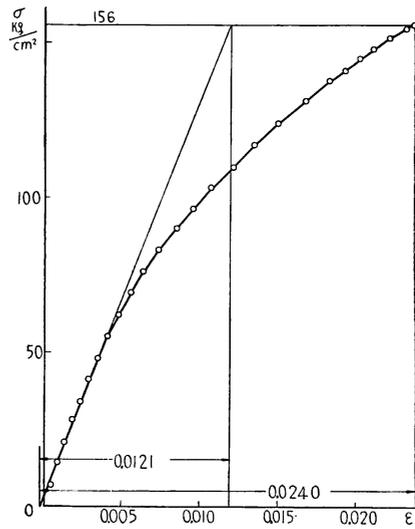
第 17 图—5



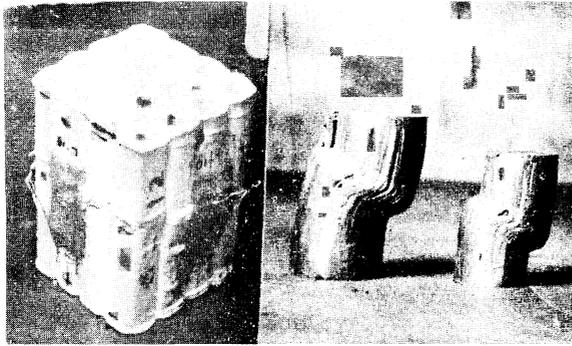
第 17 图—6



第 17 图—7



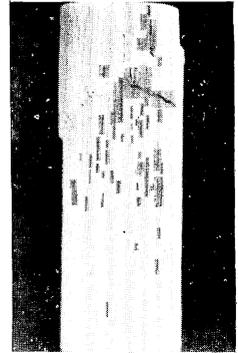
第 17 图—8



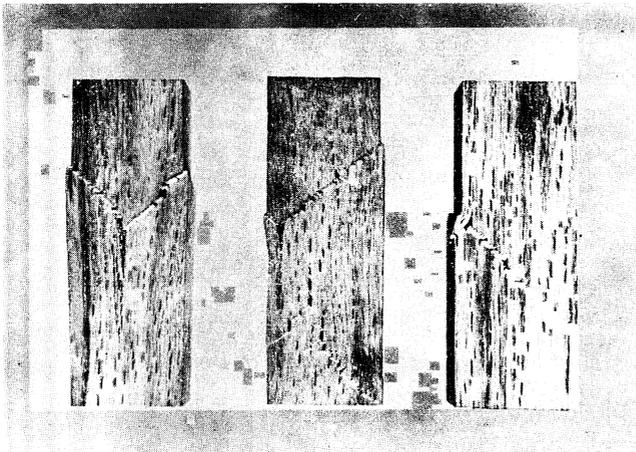
(a)

(b)

← 第 47 图—1



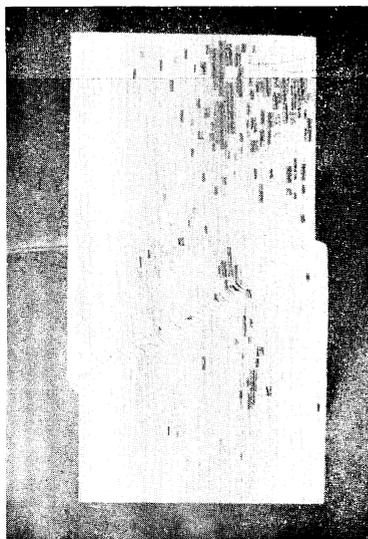
→ 第 47 图—2



第 47 图—5

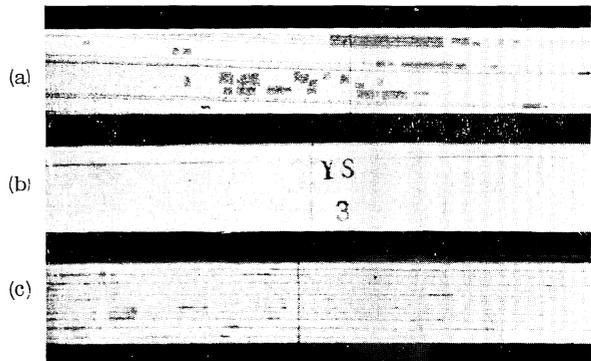


第 47 图—3

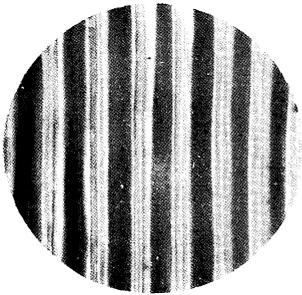


第 47 图—6

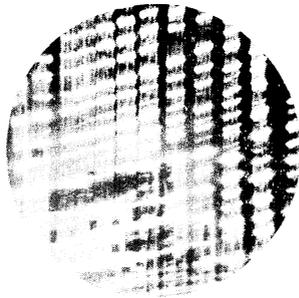
→ 第 47 图—4



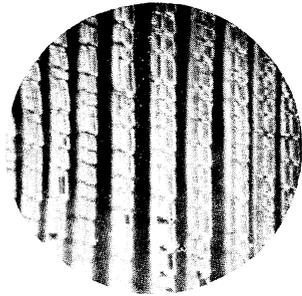
第 47 图—7



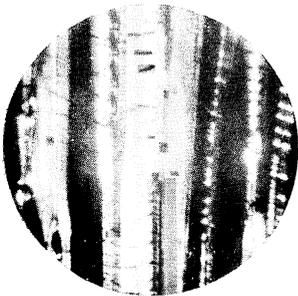
第 48 图—1



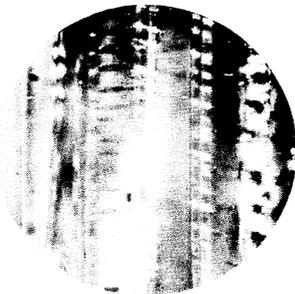
第 48 图—2



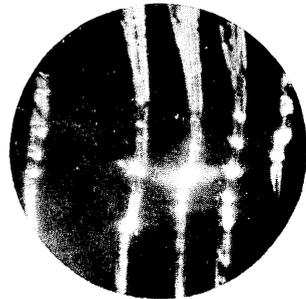
第 48 图—3



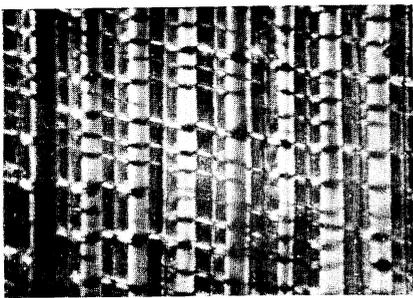
第 48 图—4



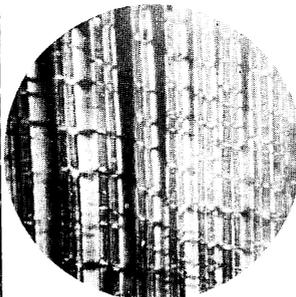
第 48 图—5



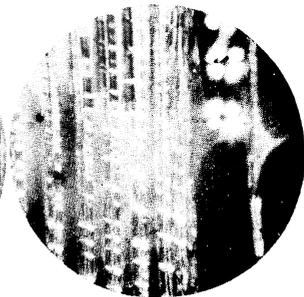
第 48 图—6



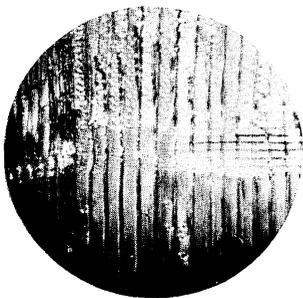
第 48 图—7



第 48 图—8



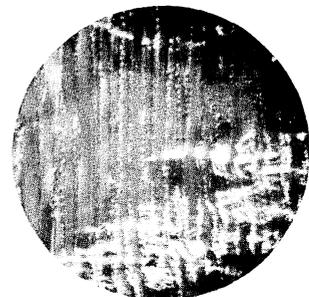
第 48 图—9



第 48 图—10



第 48 图—11



第 48 图—12



第 48 图—13



第 48 图—14



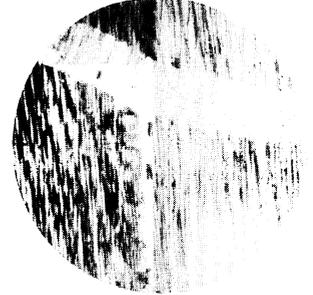
第 48 图—15



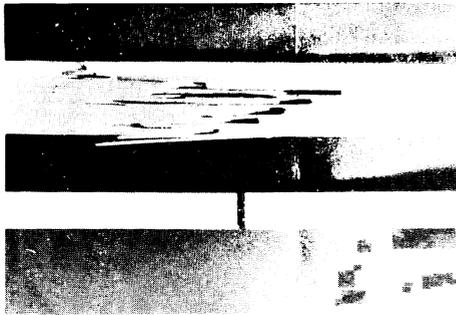
第 48 图—16



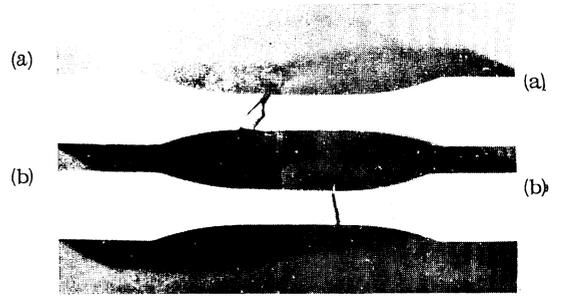
第 48 图—17



第 48 图—18



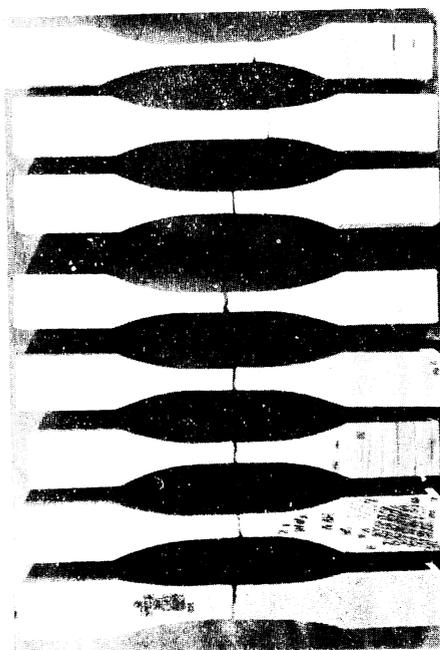
第 49 图—1



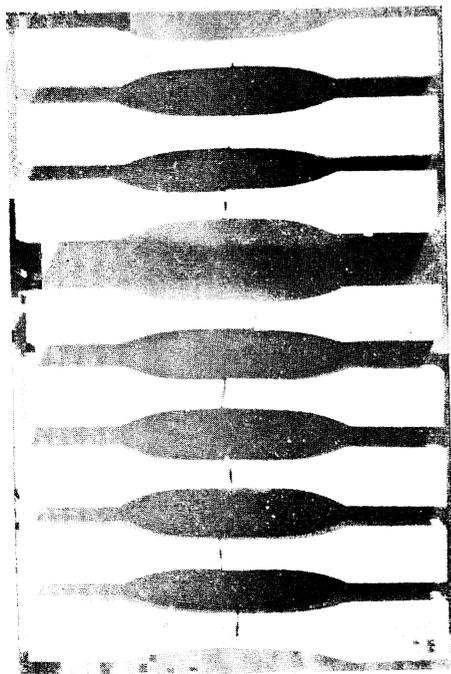
第 49 图—2



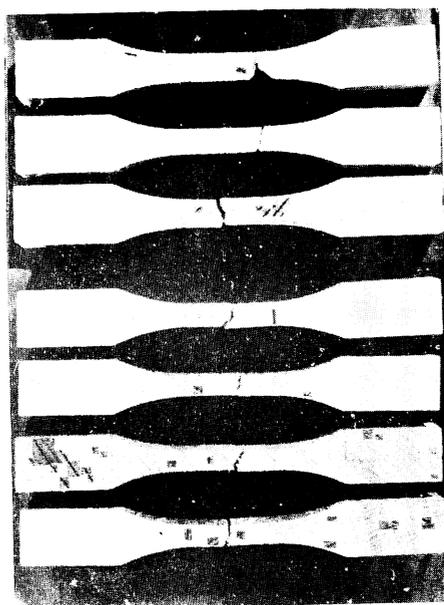
第 49 图—3



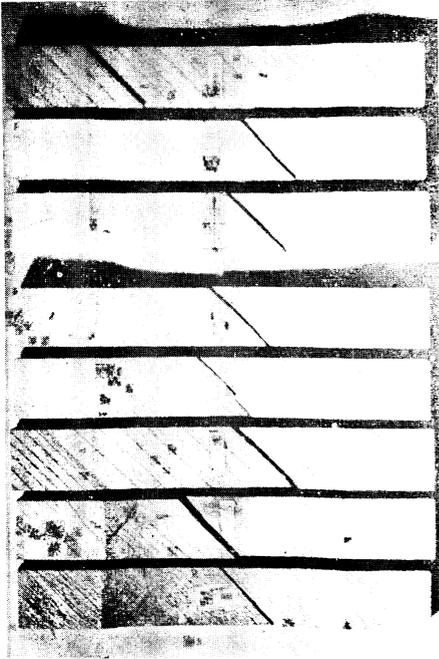
第 49 图—4



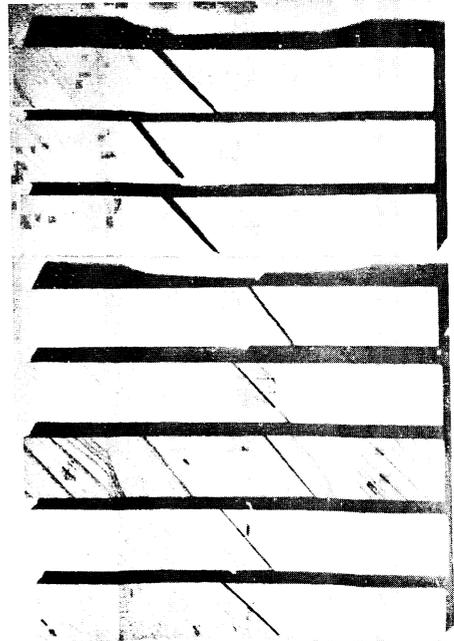
第 49 图—5



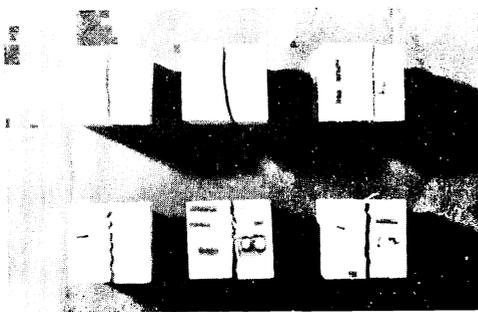
第 49 图—6



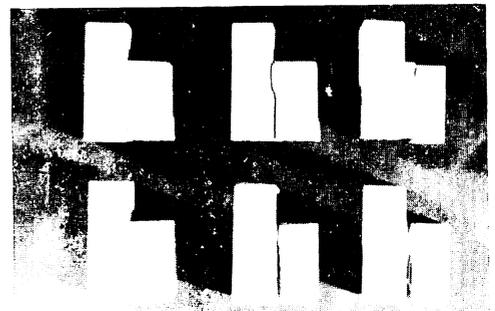
第 49 图—7



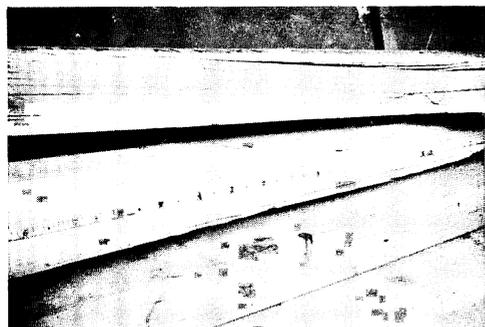
第 49 图—8



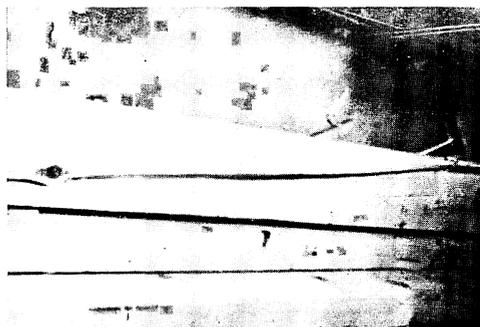
第 50 图—1



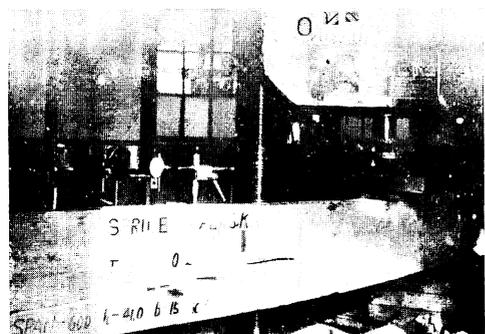
第 50 图—2



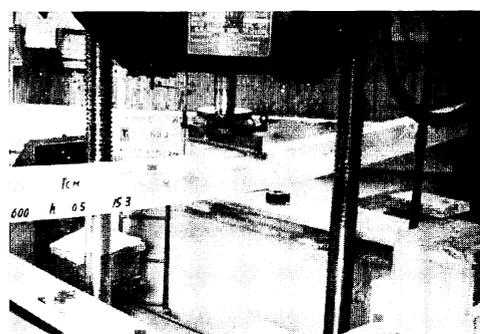
第 51 图—1



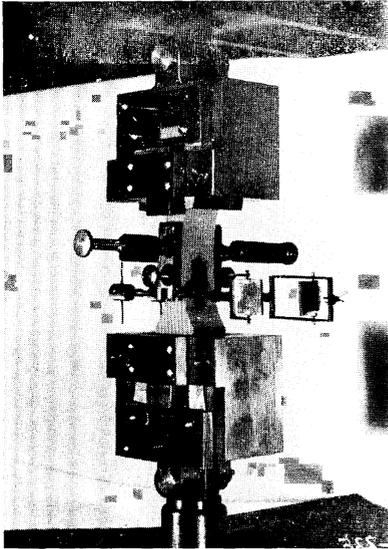
第 51 图—2



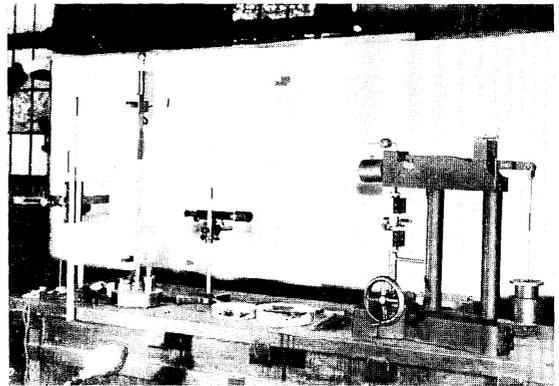
第 51 图—3



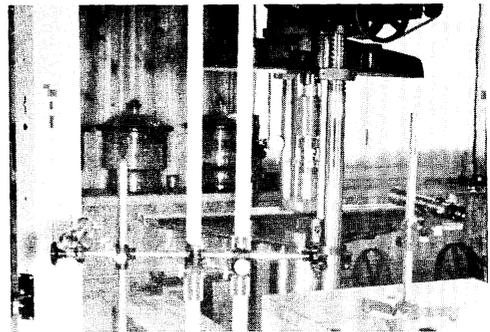
第 51 图—4



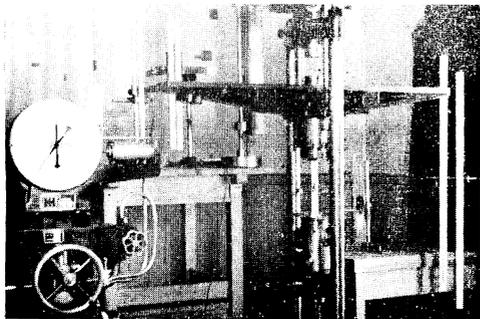
第 52 图—1



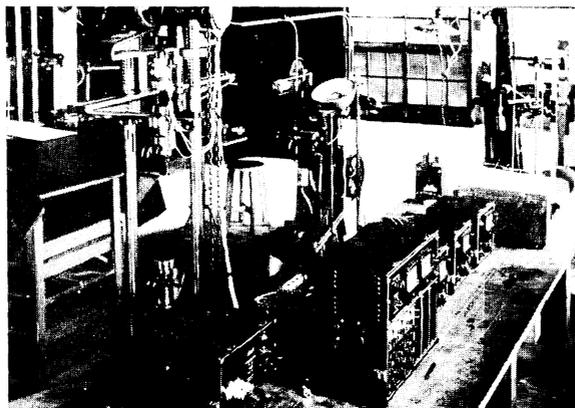
第 52 图—2



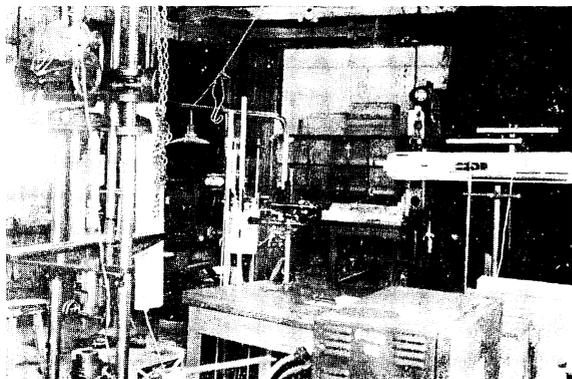
第 52 图—4



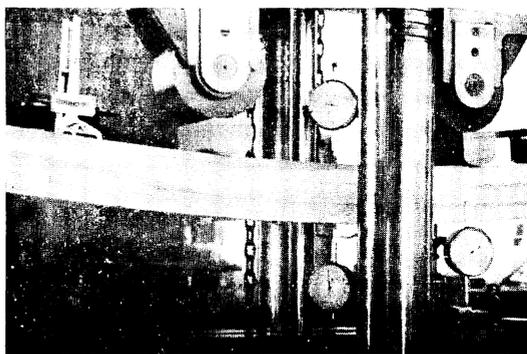
第 52 图—3



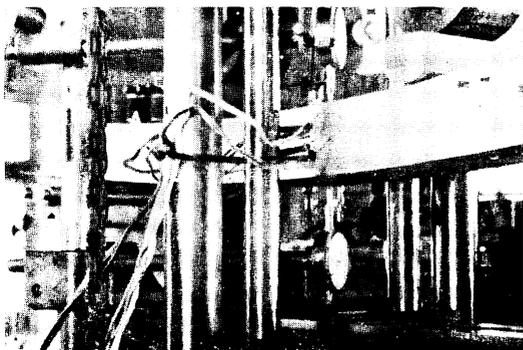
第 52 图—5



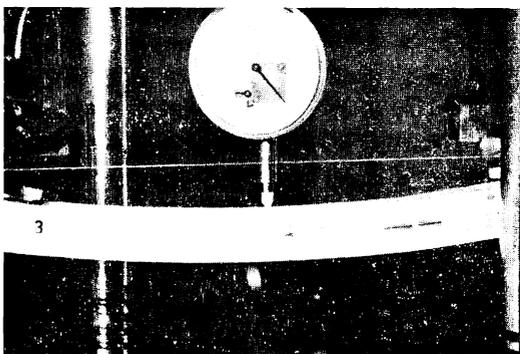
第 52 图—6



第 52 图—7



第 52 图—8



第 52 图—9