

## スギ材の強度特性

猪瀬 理\*・渋谷昌資\*

On the strength properties of Sugi-wood (*Cryptomeria japonica* D. Don)

Osamu INOSE and Masasuke SHIBUYA

**Summary:** The modulus of rupture of wood is closely related to its tensile and compressive strength. The theoretical equations in bending of wooden beams were introduced by Dr. Kon and Dr. Sawada. If the ratio of depth of a rectangular beam to its span length is enough small to avoid the failure by shear along the grain, a beam should be expected to fail in the first place on the compression side due to the crushing action, followed by failure on the tension side.

One of the purposes of our experiments is to find the pure tensile strength of a wood specimen by comparing the data on the tensile strength with those of the bending strength and the compressive strength in the pair samples.

A small clear wood beam is cut from the bolt, and the two specimens for tension tests are prepared near the stick for a beam. The density, the portion in the bolt, moisture content are all nearly equal in the pair samples.

It is well known that the mechanical properties of wood are extremely variable, not only between different species and different trees of the same species, but also between specimens cut from different portions of the same tree. We observed how the mechanical properties vary with the distance from the pith to periphery.

As the samples three kinds of Sugi was used in the air-dry condition (Yabukuguri, Urusebaru, Obi-Sugi in Kyushu).

(1) The modulus of rupture, Yonug's modulus and tensile strength increase with the increase of distance from the pith, especially the rate of the increase in tensile strength is very large near periphery.

(2) The shape of load-deflection curve in center loading is very different between these Sugi-woods, and the work in bending to maximum load will represent the feature of the each strength properties.

(3) The ratio of bending strength ( $\sigma_{be}$ ) to crushing strength ( $\sigma_c$ ) amounts to 1.75 for common European pine-wood in the air-dry condition. In our experiments using Sugi-woods in Ehime and Kyushu, the relation can be expressed by the following equation:

$$\sigma_{be} = 1.531 \sigma_c + 126 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

\* 木材理学講座

(4) When loaded in direct tension, the stress-strain curve will be straight up to the proportional limit, in general. But, in some cases there are two linear regions with different gradients up to the proportional limit.

**要旨** 我国産針葉樹材のなかで、スギは木理の通直性を特長の一としている。樹令 40～50 年生の林木を供試木として、曲げ破壊係数と独立強度との間の関係を、気乾状態で、かつ無欠点小試験片で求めてみると、沢田氏等の理論式がよく適合する。

これを基にして、幹材内各部位からの梁の曲げ破壊係数を基準にして、繊維平行方向の圧縮強度および引張り強度がその梁の破壊係数にふさわしい値かどうかの検討を試みた。とりわけ、引張り強度は実験上の難しさのため真に近い値が得にくく、とくに注意を払った。

(1) 樹心から外縁に向い、曲げ破壊係数、曲げヤング率および引張り強度は著しく増大する。とりわけ引張り強度は外縁部近くで急増している。

(2) 曲げ荷重—たわみ曲線は供試木の属する品種によって著しく形状を異にする。これを数量化した曲げ仕事量を見ると、ヤブククリの仕事量はウラセバルの倍の値を示す。

(3) 圧縮強度と曲げ破壊係数との間には、本県産材も含めたスギ材で次の式がなりたつ。

$$\sigma_{b_0} = 1.531 \sigma_0 + 126 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

但し式中

$\sigma_{b_0}$  : 曲げ破壊係数

$\sigma_0$  : 圧縮強度 (繊維平行方向)

(4) 引張りの応力—ひずみ曲線は、一般に比例限度が高く、僅かの塑性域をへて破損にいたると言われている。然し、本実験では試験片のなかには、比例限度までに原点を通る第 1 直線と、ひき続いたの第 2 直線とを有するもののあることを知った。

(5) 前項に述べた第 1 直線の勾配は、くり返し引張りによっても値は不変で、試験片固有のヤング率と見られる。

## 1 緒 言

スギは我国の主要林木の一つであり、これの強度に関する調査、研究は数多くなされている。だが、個々の幹材の強度を問われると、その遺伝的要素、生育環境、撫育条件などが複雑にからみあい、簡単に推定できず、結局は所与の材料の強度試験をしなければならない。品種が多い九州産スギから、まず、品種を異にする 3 本の供試木を選び、それらの試験をするなかで、利用者側から評価されている品種毎の定性的な材質特性を、強度的性質として具体的にとりだしえないものかどうかを見んとするものである。

さて、木材の強度は、同一供試木でも幹材内の部位によって、その値を異にする。木材の諸々の性質にとって、かかるバラツキは一般のことである。

この強度の樹幹内の変動についても種々の研究報告があるが、試験片より得た強度の値そのものが、幹内のその部位固有の値を示しているかどうかの検討を必要とする。なかでも、繊維平行方向の引張り強度は、実験上の難しさも関係し、試験結果も比較的少ない。また、幹材内の近接部位から注意深く採取準備した試験片間の強度でさえ、かなりのバラツキを示すことがある。

我々は、圧縮強度、引張り強度、およびせん断強度と曲げ強度との理論的關係を用い、曲げ強度を独立諸強度検討の目安として実験を進めるものである。すなわち、このような立場から幹材内の各部位の強度の変動のようす、あるいは引張り強度および、その応力—ひずみ曲線の実験考察を目的とするものである。

## 2 曲 げ 破 壊 係 数

木材の矩形断面梁の破損理論は、金 俊三氏、沢田 稔氏等により求められている。<sup>1)</sup> さきに、金氏は木材の単純引張り、圧縮およびせん断の試験で得た数値をつかって矩形断面梁を曲げた場合の破壊条件および曲げ破壊係数を

理論的に求めた。ついで沢田氏は、さらに梁の横断面に分布する応力曲線の仮定をより一般化した理論計算を行った。

我々は、矩形断面梁の高さをスパン長に比十分小さくとり、単一集中荷重で、梁の引張り側での引張り破損により曲げ破壊が生ずる場合だけを対象にして、両氏の誘導による次の両式を用いた。

金理論の曲げ破壊係数  $\sigma_{bk}$  は

$$\sigma_{bk} = \frac{3r-1}{r+1} \cdot \sigma_c$$

沢田理論の曲げ破壊係数  $\sigma_{bs}$  は

$$\sigma_{bs} = \left[ \frac{3r}{r+1} - \frac{(r+1)K_0^2}{\{2r - (r-1)K_0\}^2} \right] \cdot \sigma_c$$

但し、式中の各記号は

$\sigma_c$  : 圧縮強さ (繊維平行方向)

$\sigma_t$  : 引張り強さ (繊維平行方向)

$K_0$  : 最大変形比

$$r = \frac{\sigma_t}{\sigma_c}$$

これら  $\sigma_{bk}$ 、 $\sigma_{bs}$  と実測値である曲げ破壊係数  $\sigma_{be}$  との一致の度合いを対比する場合、次のことが問題となる。

単一集中荷重の危険断面に働く  $\sigma_c$ 、 $\sigma_t$  には、その梁の近傍の材から、それらにできるだけ近い値を求めねばならないことである。

次に、その断面における応力-ひずみ曲線で引張り側のそれが、塑性域が無視しうる状態で破損にいたるか否かを確かめねばならない。前の場合にはその理論式に  $\sigma_{bk}$  が、後の場合には  $\sigma_{be}$  があてはまる。

木材試験方法の規定による無欠点の小試験片では、上述の配慮をすれば、両理論式とも曲げ破壊係数の計算に極めて有効であることは既報の如くである。<sup>2)</sup>

## 2.1 実験材料

供試木には、ヤブクグリ、ウラセバルの45年生のもの、および、オビスギの52年生を用いた。前の2供試木は大分県日田地方で採取した胸高直径30cm、通直な樹幹形で、かつ同一林分内の近接したところに生育していたものである。オビスギは宮崎県日南市の土場で選木した通直な樹幹形で径は前2者よりやや大きい、生育時の幹の方位は不明である。供試木は立木のときの方位を明らかにし、伐倒し3mに玉切る。

Fig.1は、この3mに区分した生の幹材の

木取の図

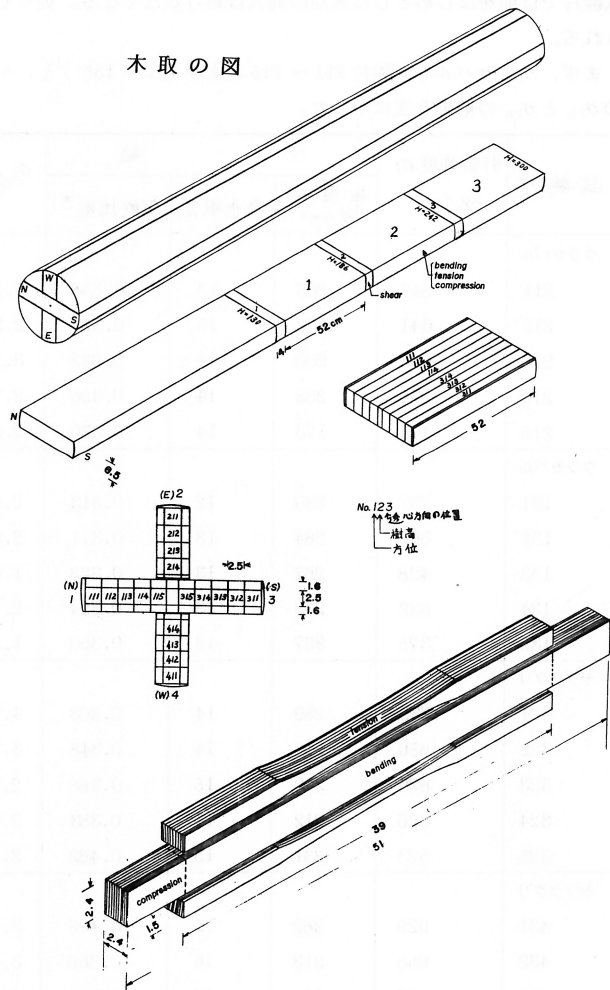


Fig. 1 試験片木取の要領と寸法

一番玉からの製材から、気乾状態まで乾かした後の試験片木取り仕上げまでの一連の順序と寸法の概要を示したものである。

乾材から、生の時にNS方向に樹心を含む6.5cm厚の盤と、これに直交するW、E方向の同じ厚さの盤とを木取る。この盤のままに気乾含水率に達するまで十分に天然乾燥をする。各盤では、胸高130cmより高さの方向に順に、せん断試験用の4cmの部分、曲げその他用の52cmの部分と、交互に盤の横切りをし、高さ順の番号を付しておく。

盤から分割したそれぞれからは、外周部から透心方向に、2.5cm厚に樹心に向かって分割できるまで挽き割る。このように木取った小角材の記号は、図示のように百の位には方位を、十の位には盤の樹高順を、一の位には透心方向の関係位置を付した。

木口断面5.7×2.5cm、長さ52cmの小角材から、曲げ試験片と、それを柾目面で両側からはさむ部位から2ヶの引張り試験片とを木取り鉋仕上げをする。この梁の曲げ試験の後に、両端から圧縮試験片2ヶを採取する。

## 2.2 実験結果

前述のように、各方位毎に外層から樹心近くまで残らず試験片を木取るために、節等の欠点は多少採取位置をずらすことにより軽減できても、用意した試験片が皆、無欠点ということにはならない。特に、幹の内側部位からの試験片では節をはじめとした欠点の混入は避けがたくなる。従って、欠点による強度の低下が当然あることが考えられる。

まず、ウラセバル（試験片211～215および131～135）と、ヤブクグリ（試験片321～325および431～433）の $\sigma_{bk}$ と $\sigma_{be}$ の結果を表に示した。

試験片	引張強度 $\sigma_t$ kg/cm <sup>2</sup>	圧縮			$\sigma_t/\sigma_c$	曲げヤング率 $E_{be} \times 10^3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{bk}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{be}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{bk}/\sigma_{be}$
		強度 $\sigma_c$ kg/cm <sup>2</sup>	含水率 %	気乾比重 *					
ウラセバル									
211	847	266	13	0.338	3.184	86	544	537	1.01
212	641	270	15	0.327	2.374	77	490	484	1.01
213	645	200	14	0.282	3.225	54	411	401	1.02
214	574	208	14	0.326	2.760	52	403	430	0.94
215	443	173	14	0.320	2.561	38	325	383	0.85
ウラセバル									
131	737	289	12	0.313	2.550	84	541	561	0.96
132	669	284	13	0.311	2.356	78	513	549	0.93
133	428	267	13	0.323	1.603	60	391	437	0.90
134	532	232	13	0.324	2.293	48	414	433	0.96
135	375	227	13	0.350	1.652	38	339	420	0.81
ヤブクグリ									
321	1339	289	14	0.403	4.633	83	662	714	0.93
322	686	218	14	0.348	3.147	50	444	510	0.87
323	626	210	15	0.368	2.981	49	419	509	0.82
324	626	212	14	0.383	2.953	39	421	482	0.87
325	523	231	15	0.462	2.264	33	410	468	0.88
ヤブクグリ									
431	929	262	15	0.408	3.546	76	555	599	0.93
432	658	213	16	0.369	3.089	49	431	517	0.83
433	580	218	16	0.376	2.661	33	416	485	0.86

\* 圧縮試験片2ヶの比重の平均

ウラセバルのこれらの試験片では、 $\sigma_{bk}$ でよく $\sigma_{be}$ を推定でき、なかでも幹外周部の試験片の $\sigma_{bk}/\sigma_{be}$ は1に近い値である。

ヤブクグリでは、この結果でみる限りでは、 $\sigma_{bk}$ より $\sigma_{be}$ が $\sigma_{be}$ の推定値として適当と考えられる結果が多いが、最大変形比 $K_0$ の求め方の問題と関連するので、後の項にゆずる。

さて、正常に生育した幹材の、幹内部位による各種強度の変動に関しては、3 供試木とも次の傾向があると言える。

曲げ破壊係数、曲げヤング係数および引張り強度は、いずれも樹心から外周部へかけて増大している。これにくらべ、圧縮強度、比重の両者の変化は、それほど著しくない。

次に、表に示したウラセバル試験片 311～315 とヤブクグリ試験片 311～315 の曲げの荷重—たわみ曲線図を Fig. 2 に示した。これらは、試験機付属の廻転ドラムに自記させた梁中央部のたわみと荷重を描いたものである。

図に明らかなように、ウラセバルのそれは普通みる曲げ—たわみ図であるのに対し、ヤブクグリでは破壊に達するまでの著しく大きいたわみに、この材の特性の一面をみることができる。かかる性質は樹心に近いところからの試験片ほど顕著にあらわれる。これは、単に曲げヤング率が小さいことに由来するほか、引張り側の伸びが相当大きいことにもよると考えられる。また、両供試木のこれらの性質の相違は、曲げ仕事量の差で明確に表わしうることが予想される。

各供試木の結果のなかから、最外層部で樹高 130～300 cm の間の縦方向 3 試験片の平均値を次表に示した。最外層部に限ってかかげたのは、節を含む度合いが小であること、平均年輪巾、曲げヤング率ともに供試木間で余り差がなく、概括的にお互いの性状を対比できることによる。

試験片	気乾比重	平均年輪巾 mm	含水率 %	曲げヤング率 $E_{be}$ $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$
ウラセバル				
311	0.33	3	12	70
312	0.33	3	13	66
313	0.31	6	13	50
314	0.30	8	13	47
315	0.33	12	13	35
ヤブクグリ				
311	0.39	1	13	61
312	0.35	4	14	46
313	0.36	7	14	39
314	0.38	7	14	36
315	0.42	9	14	34

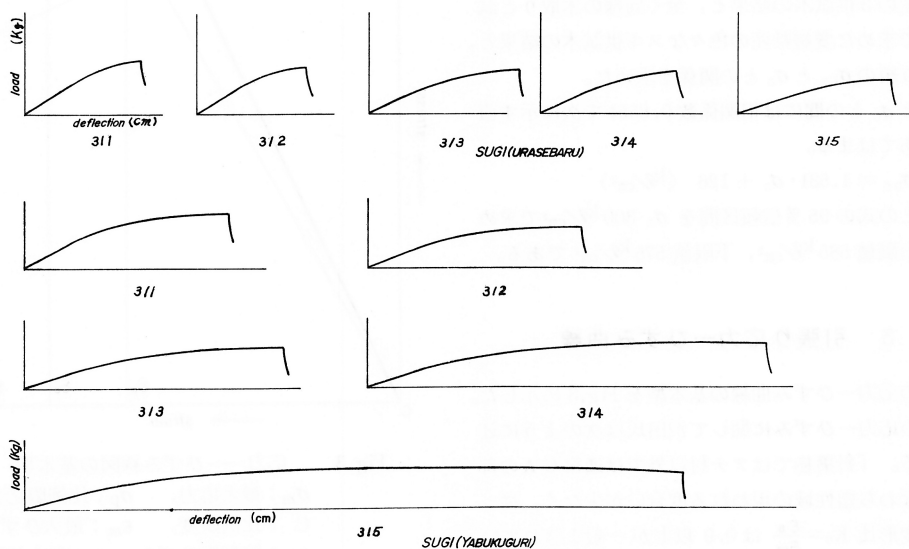


Fig. 2 曲げ荷重—たわみ曲線 ( 柁目面中央集中荷重 )

試験片	気乾比重	平均年輪巾 mm	$\sigma_{be}$ kg/cm <sup>2</sup>	$Ebe \times 10^3$ kg/cm <sup>2</sup>	曲げ仕事量 kg·cm	完満度
ウラセバル						
N	0.32	2	520	82	101	0.67
S	0.34	3	568	73	112	0.63
E	0.34	3	542	85	113	0.69
W	0.33	2	575	87	120	0.68
ヤブクグリ						
N	0.44	1	772	101	204	0.70
S	0.40	1	682	75	263	0.73
E	0.38	2	627	75	216	0.73
W	0.39	2	582	69	202	0.73
オビスギ						
N	0.38	2	634	74	170	0.68
S	0.38	2	622	68	188	0.68
E	0.40	2	700	78	200	0.67
W	0.38	2	648	72	198	0.69

表にみる如く、曲げ仕事量がヤブクグリではウラセバルの約2倍で、オビスギは両者の中間の値である。完満度はヤブクグリがやや大である。

### 2.3 圧縮強度と曲げ破壊係数

前出の金氏の理論式で  $r = \frac{\sigma_t}{\sigma_c}$  が所与の材料で定まっていれば、式から明らかに  $\sigma_{bk} = k \cdot \sigma_c$  となる。 $\sigma_{bk} \doteq \sigma_{be}$  であるときは、 $\sigma_{be}$  は  $\sigma_c$  と直線関係になる。竹山氏は、その著書で  $\sigma_{be}/\sigma_c$ 、すなわち  $k$  の値が、1.6~2.2 であることに言及している。<sup>3)</sup>

九州産の3供試木の結果と、全く同様の木取りと試験方法で求めた愛媛県産の色々なスギ供試木の結果と、合計560組の  $\sigma_{be}$  と  $\sigma_c$  との関係性を求めた。

$\sigma_{be}$  と  $\sigma_c$  との間には相関係数 0.8554 で次に示す直線式が当てはまる。

$$\sigma_{be} = 1.531 \cdot \sigma_c + 126 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

なお、この式の95%信頼区間を  $\sigma_c$  300 kg/cm<sup>2</sup> で求めると、上限値 585 kg/cm<sup>2</sup>、下限値 575 kg/cm<sup>2</sup> である。

### 3 引張り応力—ひずみ曲線

木材の応力—ひずみ曲線の基本型を Fig.3 に示した。引張りの応力—ひずみに関して沢田氏は次のように述べている。「針葉樹ではアテ材以外では通常 CA の部分、すなわち塑性域の現われる度合いが少なく、従って最大変形比  $K_0 = \frac{\epsilon_0}{\epsilon_m}$  は 0.9 以上が一般とされている。<sup>1)</sup>

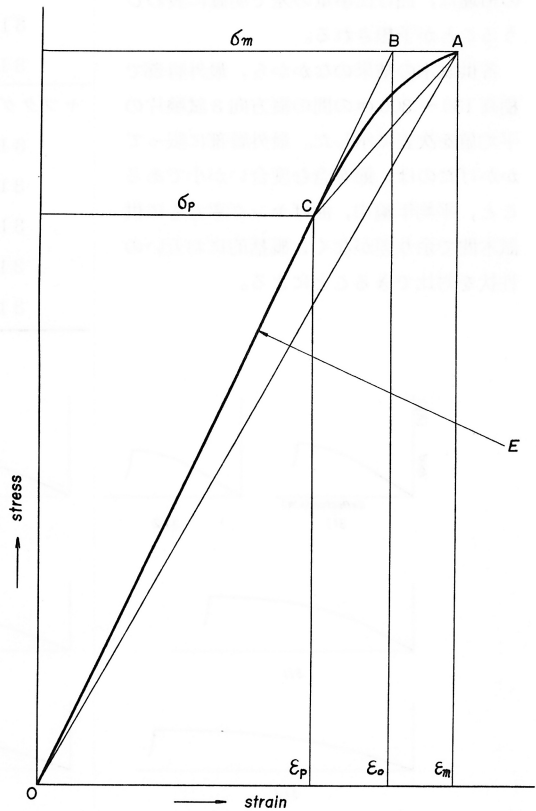


Fig.3 応力—ひずみ曲線の基本型

$\sigma_m$ : 最大応力,  $\sigma_p$ : 比例限応力度

C: 比例限度,  $\epsilon_m$ : 最大ひずみ

$\epsilon_p$ : 比例限ひずみ,  $\epsilon_0$ : 最大比例変形度

E: ヤング率,  $E = \sigma_p / \epsilon_p = \sigma_m / \epsilon_0$

従って、曲げを受けた梁内の応力分布曲線を考えるとき、金氏は圧縮側には塑性域を考えるが、引張り側にはそれを考えず、中立軸より外縁まで弾性的取扱いをして理論式を誘導している。

沢田氏は針葉樹のアテ材とか、湿った状態の広葉樹材の場合では、引張り応力-ひずみ曲線で塑性域を無視できず、梁内の応力分布にこれを導入して得た理論式の一つが $\sigma_{bs}$ である。

ヤブクグリおよびオビスギの試験結果のなかに、 $\sigma_{bs}$ で計算するのが $\sigma_0$ の推定値として好ましい場合が多くみられ、それらの梁のくみの引張り試験片で $K_0$ を求めた。

### 3.1 引張りひずみ測定

静試験でのひずみ測定であり、加力速度は木材試験法の規定に従った。荷重を順次増加しながら、定荷重間隔ごとに、少時荷重を一定に保ち、その間にひずみを測定し、応力-ひずみ図を求めた。

ひずみ測定は Fig.4 に示すように、抵抗線ひずみ計を使い、試験片中央部のそれを測定した。使用計器は新興の P S 9-R T型および共和の S M-60 C を用いたが、これらの精度は $5 \times 10^{-6}$  ひずみである。strain-gage は共和の大ひずみゲージ(ゲージ長 20 mm) K L-10-A 4 で、試験片の平行部分の中央部両面にはり、また図に示すように温度補償用ゲージとして同一規格のものを、対の試験片に同様にはって用いた。

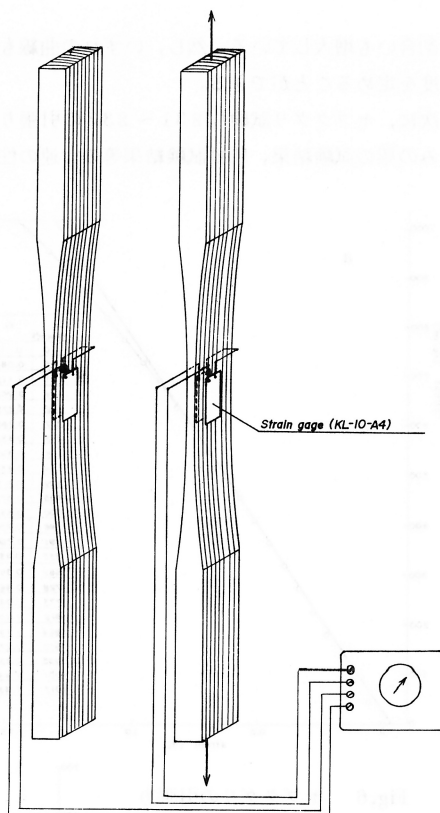


Fig.4 引張りひずみ測定  
(温度補償用およびひずみ測定用)

### 3.2 引張りの比例限度

前述のように、引張りでは比例限度が強度に対して比較的高く、比例限度をすぎると、まもなく破損するのが普通である。

ウラセバルの試験片 211~233 と 124~125 の引張り荷重-ひずみ曲線を Fig.5 に示した。横軸はひずみ軸だが、それぞれの曲線の形状を見やすくするため、原点をずらして描いた。図にみる如く、樹心部に近い試験片ほど、ヤング率が小になるとともに、塑性変形

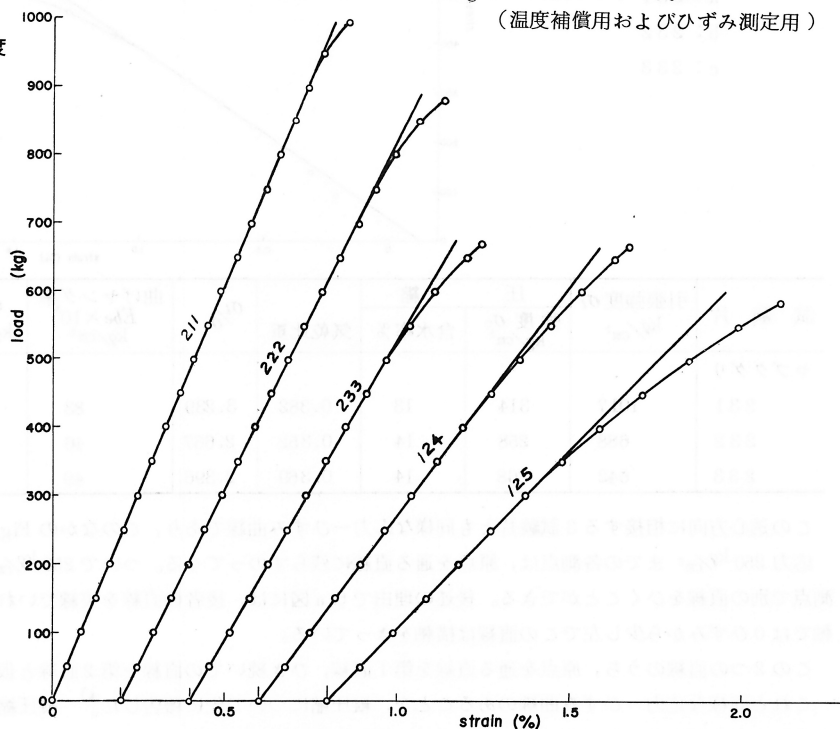


Fig.5 ウラセバルの透心方向連続試験片における引張り荷重-ひずみ曲線

の割合も増大している。然し、いずれの曲線も、測点は原点を通る直線に整然とのり、その上限としての比例限度を定めることができる。

次に、ヤブクグリ試験片 231～233 の引張り応力-ひずみ曲線を Fig.6 の a. b. c. に示した。各試験片とも、くみの梁の試験結果、圧縮試験結果等の一連の性質を下表にあげた。

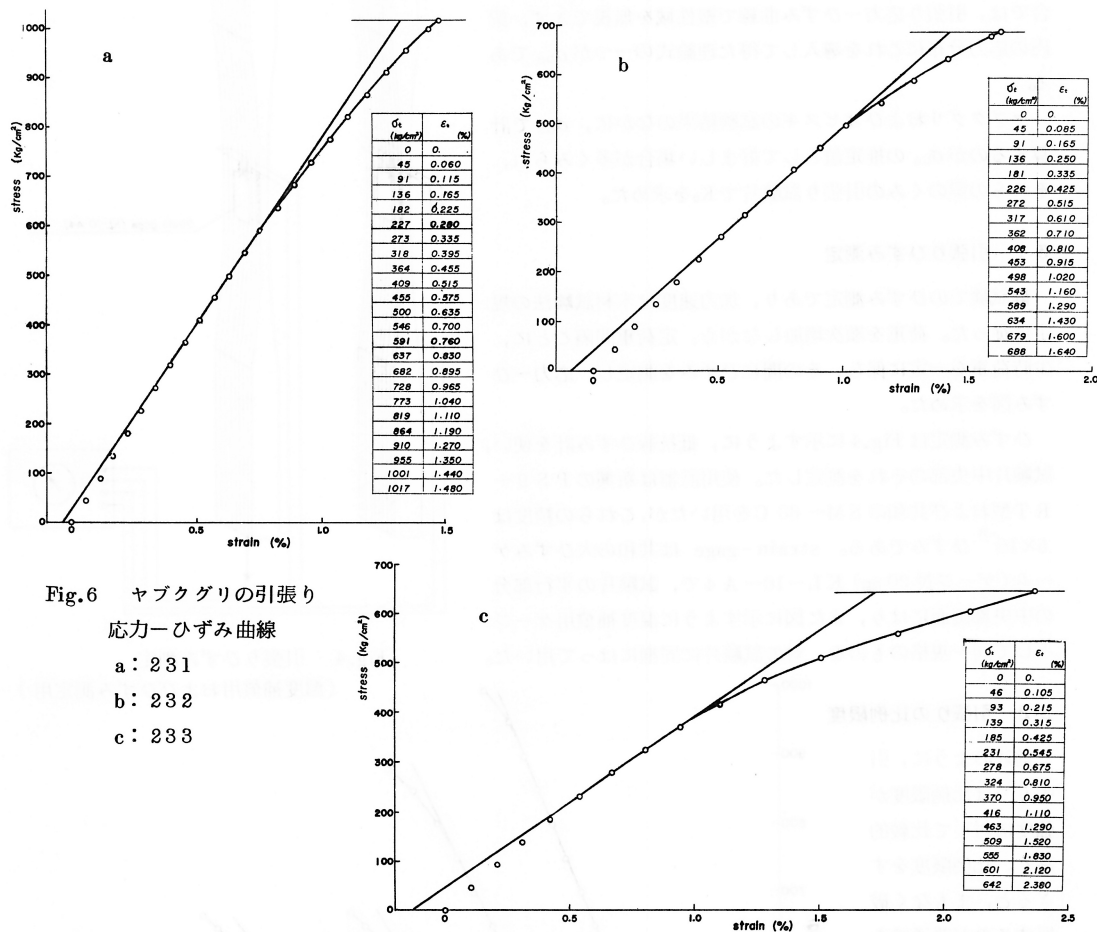


Fig.6 ヤブクグリの引張り  
応力-ひずみ曲線  
a: 231  
b: 232  
c: 233

試験片	引張強度 $\sigma_t$ kg/cm <sup>2</sup>	圧縮		気乾比重	$\sigma_t/\sigma_c$	曲げヤング率 $E_{be} \times 10^8$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{bk}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{be}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{bk}/\sigma_{be}$
		強度 $\sigma_c$ kg/cm <sup>2</sup>	含水率 %						
ヤブクグリ									
231	1017	314	13	0.382	3.239	83	646	678	0.95
232	688	258	14	0.352	2.667	46	492	545	0.90
233	642	268	14	0.369	2.396	49	488	566	0.86

この透心方向に相接する3試験片とも同様な応力-ひずみ曲線であり、このなかの Fig.6 a についてみる。応力 250 kg/cm<sup>2</sup> までの各測点は、原点を通る直線に残らずのってくる。ついで 250 kg/cm<sup>2</sup> から 600 kg/cm<sup>2</sup> までの測点で別の直線をひくことができる。後述の理由で 6. a 図には、後者の直線を実線でいれている。従って、ひずみ軸では 0 ひずみから少し左でこの直線は横軸をきっている。

この2つの直線のうち、原点を通る直線を第1直線、ひき続いての直線を第2直線と仮称することにした。

これと同様な応力-ひずみ曲線のあることを、縦圧縮について先に報告した。<sup>4)</sup> 縦圧縮では、正常な応力-ひずみ曲線を示す試験片、換言すると、原点を通る直線の上限を比例限度とするものに、一たん塑性域まで荷重を加えると、その経歴が試験片に刻みこまれる。ついで、その試験片に荷重を加え応力-ひずみ曲線を見ると、ここで取



りあげている引張りのそれと同様第1直線、第2直線をへて塑性変形の領域に移る。なお、圧縮応力-ひずみ関係と圧縮応力-試験片電気抵抗関係とは、よく対応して変化し、この場合の2つの直線域の存在を、この対応関係から確認した。そして、第1直線の上限応力を縦圧縮の弾性限度であると定義づけた。

引張りの応力-ひずみ曲線において、ここに例示した3つの結果では、第1直線の上限を比例限度とみると、その強度に対する比が余りに小にすぎる。さらに、これに続く第2直線での、荷重に対応しての安定したひずみ計の読み、および第2直線の上限をこえてからのひずみ増加速度との対比などから、第2直線の領域を塑性域と見なし難い。これらの基本的解析は別に試みることにし、本論では、引張りの応力-ひずみ曲線にこの種の2つ折の直線部をもつ試験片の最大変形比  $K_0$  を便宜上次のように求めた。

引張り応力-ひずみ曲線が、第1、第2の直線をもつときは、第2直線を延長し、基本型である Fig.3のOCB直線と同一にとりあつかう。

従って、最大比例変形度  $\epsilon_0$ 、最大ひずみ  $\epsilon_m$  は、上記の第2直線の延長線が横軸をきる点から図上で求め、 $K_0 = \frac{\epsilon_0}{\epsilon_m}$  を計算する。また、比例限度としては、一応第2直線の上限応力をあてる。引用しているヤブクグリ 231 ~ 233の  $K_0$ 、比例限度等を、この方法で求め、 $\sigma_{bs}$  を計算し、あわせて他の関連した性状も次表に示した。

試験片	$PL/\sigma_t$	$K_0$	$\sigma_{bs}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{bs}/\sigma_{be}$	曲げ仕事量 kg·cm	完 満 度	$\epsilon_m^*$ %
ヤブクグリ							
231	0.63	0.90	666	0.98	197	0.71	1.46
232	0.69	0.86	517	0.95	247	0.70	1.64
233	0.61	0.73	533	0.94	225	0.69	2.38

\*  $\epsilon_m$  % は測定値そのままの値である。  
PL: 比例限度

オビスギ試験片のなかで、同様な性状を示した211 ~ 215の結果を、ヤブクグリの前例にならって、2つの表にまとめた。

まず、引張り強度のほか、くみの梁の試験結果、圧縮試験結果、その他一連の値を示すと、

試験片	引張強度 $\sigma_t$ kg/cm <sup>2</sup>	圧 縮			$\sigma_t/\sigma_c$	曲げヤング率 $Ebe \times 10^3$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{bk}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{be}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{bk}/\sigma_{be}$
		強度 $\sigma_c$ kg/cm <sup>2</sup>	含水率 %	気乾比重					
オビスギ									
211	934	287	14	0.387	3.254	65	591	627	0.94
212	733	306	15	0.393	2.395	59	558	605	0.92
213	642	284	15	0.390	2.261	52	504	574	0.88
214	543	236	15	0.344	2.301	40	422	467	0.90
215	578	251	15	0.400	2.303	36	449	500	0.90

これらの試験片の引張り応力-ひずみ曲線はどれも、比例限度まで第1、第2の両直線を有しており、なお両直線の交点は220 ~ 260 kg/cm<sup>2</sup> である。比例限度 PL、 $K_0$ 等を前述のように求め  $\sigma_{bs}$  を計算し、あわせて曲げ仕事量、完満度等を下表に示した。

試験片	$PL/\sigma_t$	$K_0$	$\sigma_{bs}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_{bs}/\sigma_{be}$	曲げ仕事量 kg·cm	完 満 度	$\epsilon_m$ %
オビスギ							
211	0.51	0.86	615	0.98	210	0.70	1.60
212	0.71	0.90	580	0.96	206	0.69	1.41
213	0.71	0.90	525	0.92	277	0.73	1.44
214	0.65	0.76	459	0.98	172	0.69	1.72
215	0.62	0.75	490	0.98	418	0.81	2.24

ヤブクグリ、オビスギの両例にみる限りでは、引張り応力-ひずみ曲線に2つの直線域をもつ場合に、ここに述べた方法で $K_0$ を定め、 $\sigma_{b_0}$ を算定すれば $\sigma_{b_0}/\sigma_{b_0}$ が1に近い値となることを知った。然しながら、かかる性質の材の圧縮の応力-ひずみ曲線がどのような性状であるかが同時に明らかにされねばならない。金、沢田両式とも梁内の圧縮側に、弾性域と塑性域とだけを考えたものである。

さらに、梁の引張り側の応力分布に、この2直線を導入のうえ理論式を誘導して、完結するのであるが、現在のところ、第1、第2の直線域の確認にとどまっている。

なお、梁内の応力分布で、杉山英男氏は圧縮側に3つの直線部を考えた理論式を求めているが、同式も引張り側については1つの直線しか考えていない<sup>5)</sup>。

### 3.3 くり返し引張り

その応力-ひずみ曲線が第1直線、第2直線を示す場合、それぞれの直線域の性質をみるため、くり返し荷重上限を順次増しつつ加力および減力をくり返して破損まで引張りを加えた。ここにオビスギ322の結果をあげる。但し、この試験片の比重0.39、含水率13%。

右表およびFig.7によって説明する。

最初の読みを20kgでとり、50kgから50kg増毎にひずみの測定をし、くり返し荷重に到達し、そのひずみを求めた後は、加力速度と略々同一速度で除荷をして20kgに戻す。20kgでひずみ測定の後、同様に加力、ひずみ測定をする。隣接部位からの試験片の結果から、この試験片の第2直線の上限が500~600kgにあることを予想し、第1回のくり返し荷重を500kgとした。第2回目は、ある程度曲線変化の部分を経過させた後に除荷をする目的で700kgまで加力した。

その結果

(1) 毎回の加力ごと、第1直線の勾配は同じである。表の下覧にあげたヤング率がそれである。

(2) 第1直線、第2直線の交点は、この種のくり返しでは多少の変動を示す。

(3) 2回目の加力で、第2直線の上限550kgより大きい荷重域で求めたひずみは、曲線の変化を示しているが、3回目加力での前のくり返し荷重までの

荷重 kg	応力 kg/cm <sup>2</sup>	引張りひずみ %		
		第1回 500 kgまで	第2回 700 kgまで	破損まで
20	18	0.030	0.075	0.160
50	45	0.070	0.115	0.200
100	90	0.145	0.185	0.270
150	135	0.215	0.255	0.340
200	180	0.285	0.330	0.415
250	225	0.360	0.400	0.485
300	270	0.435	0.475	0.555
350	315	0.510	0.545	0.630
400	360	0.590	0.620	0.705
450	405	0.670	0.695	0.785
500	450	0.755	0.770	0.860
550	495		0.855	0.935
600	540		0.950	1.020
650	586		1.050	1.100
700	631		1.150	1.180
750	676			1.280
794	715			1.370
ヤング率 kg/cm <sup>2</sup>		$63 \times 10^3$	$63 \times 10^3$	$63 \times 10^3$

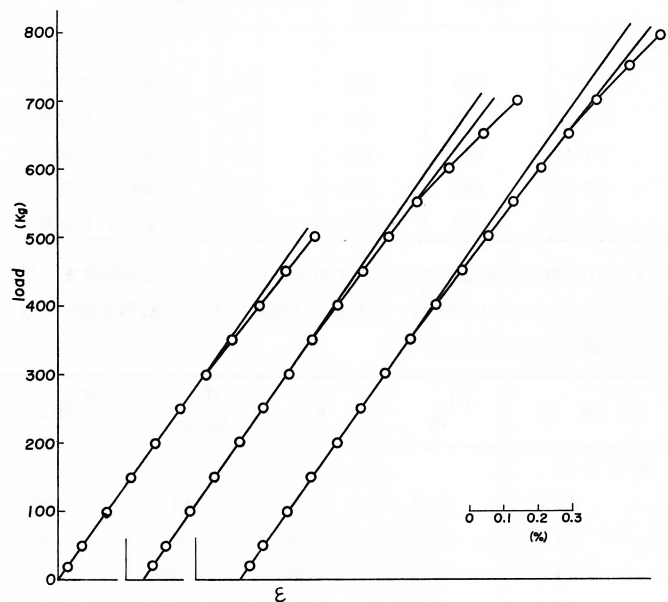


Fig.7 くり返し引張り荷重-ひずみ曲線 (オビスギ №322)

これら測点は、第2直線にのるか、あるいは僅かのズレを示すだけである。くり返し引張りで見られる上述の特性は、縦圧縮の場合と極めてよく符号している。また、曲げのくり返しを、くり返し荷重を順次増加する仕方で行くと当然のことではあろうが、矢張り同様な性質を有する荷重-たわみ図を得る。(1)の特性はヤング率を問題にするときは重要な特性であるし、(3)に関して圧縮では、strain-hardening現象として説明したものである<sup>4)</sup>。

#### 4 む す び

梁の断面に働らく圧縮、引張り、およびせん断の諸強度を正しく推定するときは、金氏あるいは沢田氏の曲げ破壊係数の理論値と、実測値とはよく一致する。このことを、所与の幹材内各部位の独立諸強度の測定結果検討の目安にした。特に、引張り強度ではかかる検討が必要であり、従来発表されている文献には、時に著しく低い引張り強度をあげたものもある。この種の結果は、圧縮強度および曲げ破壊係数との関連で再検討せねばなるまい。

梁内の応力分布で、その引張り側の分布曲線に塑性域を考えねばならない試験片について、その最大変形比  $K_0$  を測定するなかで次のことを知った。それは、引張り応力-ひずみ曲線では、比例限度までには、原点を過る第1直線と、それにつづいての第2の直線とがあるものの存在である。

本論文で用いた供試木間の性状が直ちに品種間の差に結びつけることにはいかになくても、品種が明らかに異なる3供試木を試みて、それらの強度的性質の差を最も明確に表わすものとして、曲げ荷重-たわみ曲線と曲げ仕事量をあげることができる。

付表として、人工林のスギ供試木の試験結果で、九州産3供試木と愛媛県内各地産の供試木で得た曲げ破壊係数と気乾比重とを掲げた。これらすべての資料について、圧縮強度  $\sigma_c$  と曲げ破壊係数  $\sigma_{be}$  とは次式で関係づけることができる。

$$\sigma_{be} = 1.531 \cdot \sigma_c + 126 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

	供試木	個数	曲 げ 破 壊 係 数 $\text{kg/cm}^2$					気 乾 比 重				
			平均値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数	平均値	最大値	最小値	標準偏差	変動係数
九州産	ヤブクグリ	44	543	778	375	95	0.174	0.387	0.470	0.341	0.029	0.076
	ウラセバル	56	474	603	346	64	0.135	0.319	0.372	0.280	0.020	0.065
	オビスギ	69	571	738	404	70	0.123	0.370	0.424	0.323	0.020	0.054
愛媛県産	ミシマ 1	130	670	892	471	91	0.136	0.375	0.438	0.283	0.029	0.077
	〃 2	14	637	719	544	51	0.080	0.394	0.469	0.353	0.033	0.084
	ミヨシ 1	15	472	595	392	60	0.127	0.358	0.421	0.312	0.031	0.086
	〃 2	67	537	749	405	103	0.192	0.348	0.392	0.312	0.021	0.060
	シナガワ	18	514	587	377	55	0.185	0.347	0.429	0.308	0.029	0.084
	ミナミヤマ 1	19	443	593	365	68	0.152	0.335	0.393	0.291	0.028	0.084
	〃 3	21	538	655	425	54	0.100	0.347	0.404	0.307	0.020	0.058
	ニブカワ 1	8	413	531	343	108	0.263	0.320	0.345	0.282	0.020	0.062
	〃 2	20	545	674	432	80	0.146	0.389	0.451	0.342	0.033	0.086
	クマ 1	25	678	824	365	107	0.158	0.399	0.444	0.330	0.026	0.065
キクマ(肥培)	9	424	513	385	42	0.099	0.354	0.484	0.304	0.043	0.121	
ベッシ	24	698	817	505	74	0.106	0.452	0.489	0.422	0.021	0.047	
コメノノ	20	684	801	615	47	0.069	0.404	0.504	0.375	0.034	0.058	

ミシマ 1, 2 : 伊予三島市金砂町

ミヨシ 1, 2 : 東予市三芳町

シナガワ, クマ 1 : 愛媛県上浮穴郡

ミナミヤマ 1, 3 : 〃 〃 小田町南山

ニブカワ 1, 2 : 愛媛県越智郡玉川町鈍川

キクマスギ : 〃 〃 菊間町

ベッシスギ : 〃 宇摩郡別子山村

コメノノスギ : 松山市米野々

愛媛大学農学部付属演習林

試験は 13~15% 含水状態で行った。

## 謝

## 辞

供試木採取では、大分県林業水産部泥谷次長はじめ県職員各位および宮崎県林業試験場別当場長に格別御世話になった。実験では大学院学生正村君に協力願ったし、なお試験結果の整理では藤崎助教授に御世話になった。これら各位に厚く御礼申し上げたい。

## 文

## 献

- 1) 金 俊三：木材の曲げ破壊法則に就て，土木学会論文集第5号（昭 25.11）  
    沢田 稔：木材梁に関する研究（第1報），林業試験場研究報告第71号（昭 29.9）
- 2) 猪瀬 理，渋谷昌資：スギ材（人工林）の曲げ破壊係数と独立強度の関係について，日本木材学会大会 研究発表要旨（昭 49.4）  
    ———，———：スギ材の曲げ破壊係数と独立強度について（第II報），日本木材学会大会 研究発表要旨（昭 50.4）
- 3) 竹山謙三郎：木構造 丸善（昭 27.11）
- 4) 猪瀬 理：木材の縦圧縮に関する研究，愛媛大学紀要第9巻第2号（昭 39.2）
- 5) 杉山英男：木材の曲げ耐力を論じ許容応力度のあり方に及ぶ，日本建築学会論文報告集第162号（昭 44.8）

（1975年8月28日受理）