

ブナ枝材の粘弾性と生長応力

大迫靖雄*・山田 正**

Yasuo OHSAKO* and Tadashi YAMADA** : Studies on Viscoelastic Properties and Growth Stresses in Branch of BUNA-wood (*Fagus crenata* BLUME)

本研究は材質の形成過程からみて特異な傾向を示すと思われる枝材について、試片の採取位置による差に着目してその粘弾性的挙動ならびに生長ひずみについて観察をおこなった。また比較のために幹について樹心から外皮にわたるそれらの変動を測定し、さらに未成熟材として8年生の材についても測定をおこなった。

この実験にあたり試験用材料採集等に種々の便宜をはかっていただいた本学農学部杉原彦一教授、和田茂彦助教授、藤井禧雄助手、振動リード法測定に便宜をはかって下さった木材工学研究室に謹んで感謝の意を表する。

実 験

試験材は、本学農学部附属芦生演習林産の通直なブナ材 (*Fagus crenata* BLUME) の幹と枝から採集した。すなわち、胸高直径 39 cm, 年輪数 115 の材の胸高部位から 25 cm 高の円盤 2 個 (記号 S), 力枝の幹に接する部分 (年輪数 61), および幹から離れた部分 (年輪数 54) とから 15 cm 高の円盤を採集した (それぞれ T, U)。ほかに未成熟材として 8 年生のブナ材からも試片を採集した (V)。

粘弾性測定用試片は上記の生材状態の円盤から幅 10 mm (半径方向), 厚さ 1 mm (接線方向), 長さ 55 mm (繊維方向) の寸法に作成した。枝材試片の円盤中における位置を, Fig. 1 に示す。作成場所により幹 S 1~6 (外層 1→樹心 6), 幹に接する枝 T 1~5, 幹から離れた枝 U 1~4, 未成熟材 V の記号を記す。20°C で生材状態の測定を行なった後さらに温度 20°C, 湿度 50% の恒温恒湿室で約 1 カ月間調整して気乾試片とし, 同様な測定をおこなった。なお試片状態は Table 1 に示される。

振動リード法による動的弾性率の測定はマグネチック・スピーカーの振動部を改造して励振器とし振幅を電子管式振動変位測定装置で, また周波数をカウンターによって 0.1 c/s まで測定し, 共振曲線を求めて算出した。静的弾性率は気乾試片について片持梁の実験から求めた。なおこれらの実験は, 同一条件下でおのおの 5 個の試験片についておこなった。

生長応力, 乾燥収縮測定用試片は円盤 S および T から採取した。S においては直交する 2 本

* 京都大学農学部 (Faculty of Agriculture, Kyoto University)

** 木材物理部門 (Division of Wood Physics)

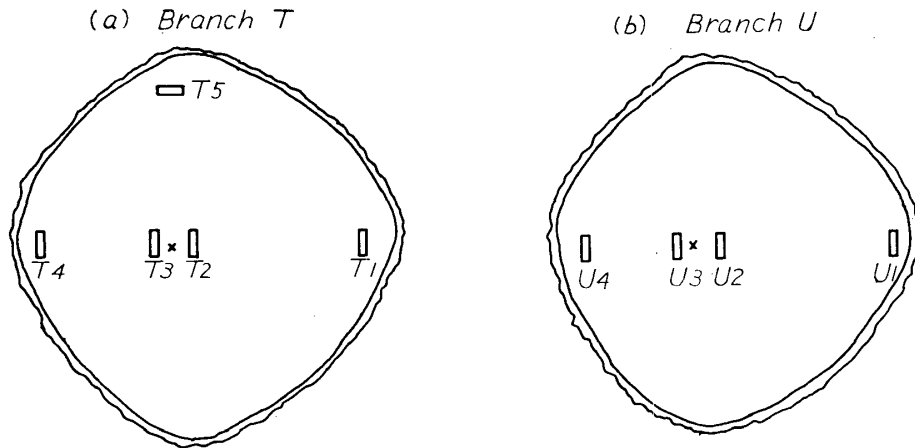


Fig. 1. Position of samples (E' , E_s , $\tan \delta$) in the log.

Table 1. Specimens for measurement of E' , E_s and $\tan \delta$.

sample number	specific gravity in air dry	moisture content (%)	annual ring breadth (mm)	ring number from pith
S1	0.65	9.1	3.1	90
S2	0.68	9.2	2.7	65
S3	0.71	9.0	3.0	50~
S4	0.69	8.9	1.8	30~
S5	0.58	9.7	1.0	15
S6	0.67	9.2	1.3	pith
T1	0.82	9.5	1.3	50~
T2	0.75	8.6	1.4	10
T3	0.73	8.6	1.4	10
T4	0.77	8.8	1.2	50~
T5	0.78	8.5	2.2	50~
U1	0.78	8.8	1.8	50
U2	0.73	8.7	1.7	10
U3	0.71	8.7	1.3	10
U4	0.75	8.5	0.9	50
V	0.71	8.4	—	—

の直径 AC, BD (Fig. 3 参照) 上で外皮から樹心方向へ 1~7 の記号を記し, T においては偏心直径 AB とそれに直交する CD 上で外皮樹心間 3 点ずつで, 半径方向, 接線方向での生長応力を歪変化によって測定した。測定は標点間距離 2 cm を読取顕微鏡で 1/100 mm まで読み取り, ただちに円盤を切断し内部応力を除去した後, 再び標点間距離の測定をおこない, その差をひずみ量として求めた。

上記の測定をおこなった後, 標点を含む各試片を室温 20°C 湿度 50% の恒温恒湿室で約 1 カ月調湿した後, おおのこの試験片について標点間距離を測定し, 接線方向ならびに半径方向での収縮率を算出した。

Table 2. Specimens for measurement on growth stress.

sample number	moisture content (%)		ring number from pith	relative distance from pith
	in green	in air dry		
SA1	120	10.7	110	1
SA2	86.7	10.8	95	0.83
SA3	78.4	10.9	80	0.56
SA4	72.6	10.8	70	0.44
SA5	67.6	10.6	60	0.34
SA6	59.4	10.5	40	0.20
SA7	68.9	10.5	20	0.11
SB1	72.8	11.9	110	1
SB2	75.8	12.1	95	0.81
SB3	72.5	12.0	80	0.55
SB4	65.9	12.0	70	0.42
SB5	64.2	12.0	60	0.34
SB6	66.0	12.1	40	0.18
SB7	54.4	11.5	20	0.10
SC1	83.5	11.8	110	1
SC2	83.9	11.9	95	0.82
SC3	77.5	11.9	80	0.56
SC4	70.6	12.1	70	0.41
SC5	63.2	11.8	60	0.31
SC6	60.4	11.8	40	0.19
SC7	57.3	12.0	20	0.12
SD1	80.1	11.7	110	1
SD2	83.4	11.7	95	0.82
SD3	78.0	11.8	80	0.58
SD4	70.4	11.9	70	0.44
SD5	64.4	11.9	60	0.36
SD6	63.0	11.9	40	0.21
SD7	63.0	12.0	20	0.12

幹材試片の測定時における含水率状態および試片の採集点を Table 2 に示す。

実験結果および考察

本実験に使用したブナ材は、樹心よりはなれた部分が大きな年輪幅を有していることから (Table 1), 最初密であった林分が成長過程において粗になったものと思われる。この材について上記実験から求められた各年輪層での動的弾性率, 静的曲げ弾性率および内部摩擦を Fig. 2 (a)~(c) に示す。

Fig. 2 (a) は幹の生材および気乾状態での動的弾性率, 気乾状態での静的曲げ弾性率ならびに内部摩擦の樹心から外部への変動を示す。まず動的弾性率に注目すると, 気乾状態では樹心

付近S 6, S 5において動的弾性率はやや減少を示しているといえよう。しかし生材状態での動的弾性率の値は、気乾状態のものと同様樹心近辺で減少を示すが、最外層S 1では値の減少はなく、むしろ増加する傾向を示す。以上のことから生材状態、気乾状態とも樹心側での動的

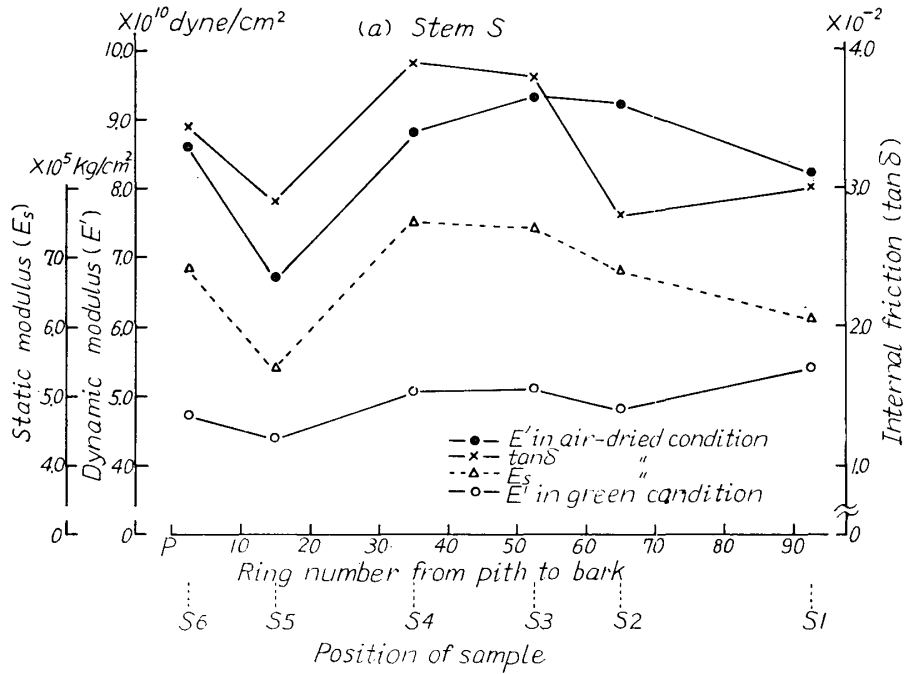


Fig. 2. (a) E' , E_s and $\tan \delta$ vs. ring number from pith to bark.

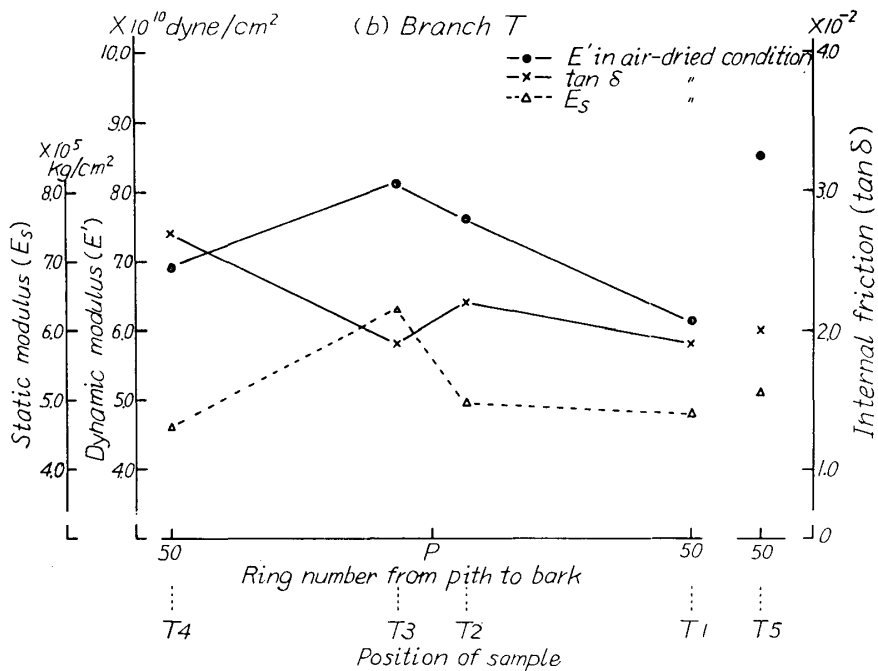


Fig. 2. (b)

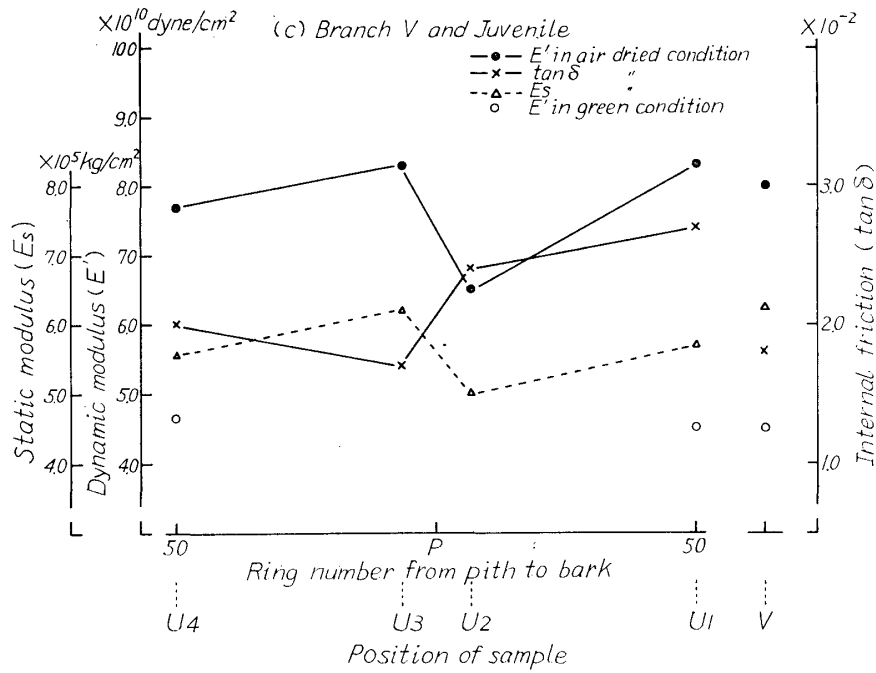


Fig. 2. (c)

弾性率が減少する傾向は渡辺等¹⁾により報告されるスギ材の未成熟材の傾向と一致するが、S 4より外側の部分での傾向についてはあきらかでない。しかし、Table 1であきらかなごとく、S 2, S 3, S 4において密度が他の部分に比して大きい傾向が見出され、この傾向は、特に気乾状態での動的弾性率の値の増大部と一致する。

次に静的曲げ弾性率と年輪との関係と同じ気乾材の動的弾性率と比較すると、ほぼ同じ傾向を示すが、S 4, S 3層において、その値は動的なものより、より明らかな増加を示し、しかもS 2, S 1層での値の低下が明らかになっている。

以上述べた静的・動的弾性率の傾向はほぼ3つのグループすなわち樹心部(S 5, S 6)、中層部(S 3, S 4)、外層部(S 5, S 6)にわけられる。これらの3グループについては、おのおの特徴がある。すなわちS 1, S 2は辺材であり、他の部分は心材相当部である。またS 6, S 5は偽心材であり、とくにS 5においては密度が著しく低下している。そしてこの3つのグループの差を明らかに示すのが、内部摩擦である。この値は後述する枝の値と比較して大きな値を示し、特に中層部(S 4, S 3)に大きな値が存在する。これらの原因については今後研究する必要がある。

Fig. 2 (b)は、T部すなわち幹に接した枝、また Fig. 2 (c)はU部における枝の動的および静的弾性率ならびに内部摩擦の値をあらわす。なおT部ならびにU部の円盤はともに偏心し、偏心比はほぼ10:7である。しかしこの2つの部分の動的弾性率を比較すると明らかに2者の間に差がある。すなわちT 1においてその値は他の部分(T 2~5)の値より減少するのに対して、U 1は逆に増加する傾向を示している。同様に静的曲げ弾性率および内部摩擦の値もT 1, U 1の間にはほぼ相反する関係がある。これらの原因を追求するため、T 1, U 1部の木口面において塩化亜鉛ヨードによる呈色処理をおこなった結果、T 1部においてはほとん

ど変化を示さなかつたのに対してU 1部においてはあきらかにゼラチン層の存在が示された。この結果から、同一の偏心円盤でも幹に隣接した部分と幹の影響を受けない枝とでは構造的な差異が予想され、それが力学的性質に影響をあたえるものと思われる。

T 1, U 1以外の部分においてはT, Uともほぼ同様な傾向を示すといえるが、T部において、偏心軸と直角な直径上の外層T 5における動的弾性率は、同一年輪上における偏心部(T 1, T 4)の値より大きな値を示し、偏心軸上との差を表わすのに対し、静的曲げ弾性率、内部摩擦はT 1部とほぼ同様な値を示す。また枝材のおのおのの値は、T, Uともに幹材の値と比較してかなり異なった傾向を示す。特に幹においては密度の大きさと動的弾性率の関係が観察されたが枝においては比重との関連はない。また一般に枝材は幹材より比重が高い。しかし年輪数による力学的性質は詳細にプロットしていないため幹材との厳密な比較はできない。

未成熟材である8年生の試料についてはFig. 2 (c)に示したが、この値は非常にバラツキが大きく測定場所によつてかなり差がある。動的弾性率はS, T, U部の値の範囲に入り、また内部摩擦は他の部分に比してやや小さい傾向を示すといえる。

次に生材状態での樹心から外部までの各点で幹(S)および枝(T)の半径方向、接線方向の生長応力を測定するため、円盤上の標点間距離の、拘束を除去した前後の長さから、歪を算出し、Fig. 3 (a), (b), Fig. 4 (a), (b)に図示する。ここでは、生長応力として、圧縮力が存在していたものをC⁺、引張力が存在したと思われるものをT⁻とする。Fig. 3 (a), (b)から幹における内部応力には比較的規則性が見出される。例えばAC軸における接線方向の生長応力の傾向は、AP, PC両側においてほぼ同じで、外部に圧縮応力が存在し、内部に引張応力が存在する。この傾向は、BD軸においてもほぼ同様である。また半径方向においてもAC軸では、接線方向と同様樹心Pを中心として最外層に圧縮、中層に引張、そして樹心付近で圧縮が観察される。この結果はH. KÜBLER²⁾による測定値とほぼ類似したものといえよう。しかし枝での傾向は異なり接線方向での傾向は明らかでないが、半径方向において偏心軸すなわち、ABにおいて樹心Pを中心としてその力の分布は全く反対の傾向を示しており、偏心の影響が見られるといえるが、CD軸においてはむしろ幹と同様に樹心Pを中心としてその生長応力の分布は対称的であり、外層に圧縮がかかり、内層に引張がかかっていることを示す。以上のことは枝においては偏心軸ABとその直角方向すなわちCD方向とでは、その生長応力の分布傾向が異なることを示しているといえよう。

次にこの内部応力が木材の乾燥による収縮にどのような影響をおよぼすかをしらべるため、生材状態の試片を温度20°C、湿度50%の恒温恒湿室で調整後、気乾状態で測定した結果を、幹についてはFig. 5 (a), (b)、枝についてはFig. 6 (a), (b)に示す。

まず幹に注目する。Fig. 5 (a), (b)に示す実線は収縮量の樹心からの年輪数に対する依存性を表わす。またこの場合の含水率変化はTable 2に示されている。幹の接線方向に注目すると樹心部および外層部で収縮量が若干低下する。これはFig. 3 (b)においては生長応力がまったく異なり、外層では圧縮応力、樹心付近では引張応力が存在しているのに対比すれば、興味ある結果である。また年輪数40の個所でやや大きな収縮を表わすが、これは心材色素沈澱の境界、Fig. 2 (a)のS 3, S 4にあたり、力学的性質も特異な傾向を示している。また各測定点での分布状態をしらべると、年輪数70の個所におけるSC, 80の個所におけるSBとも

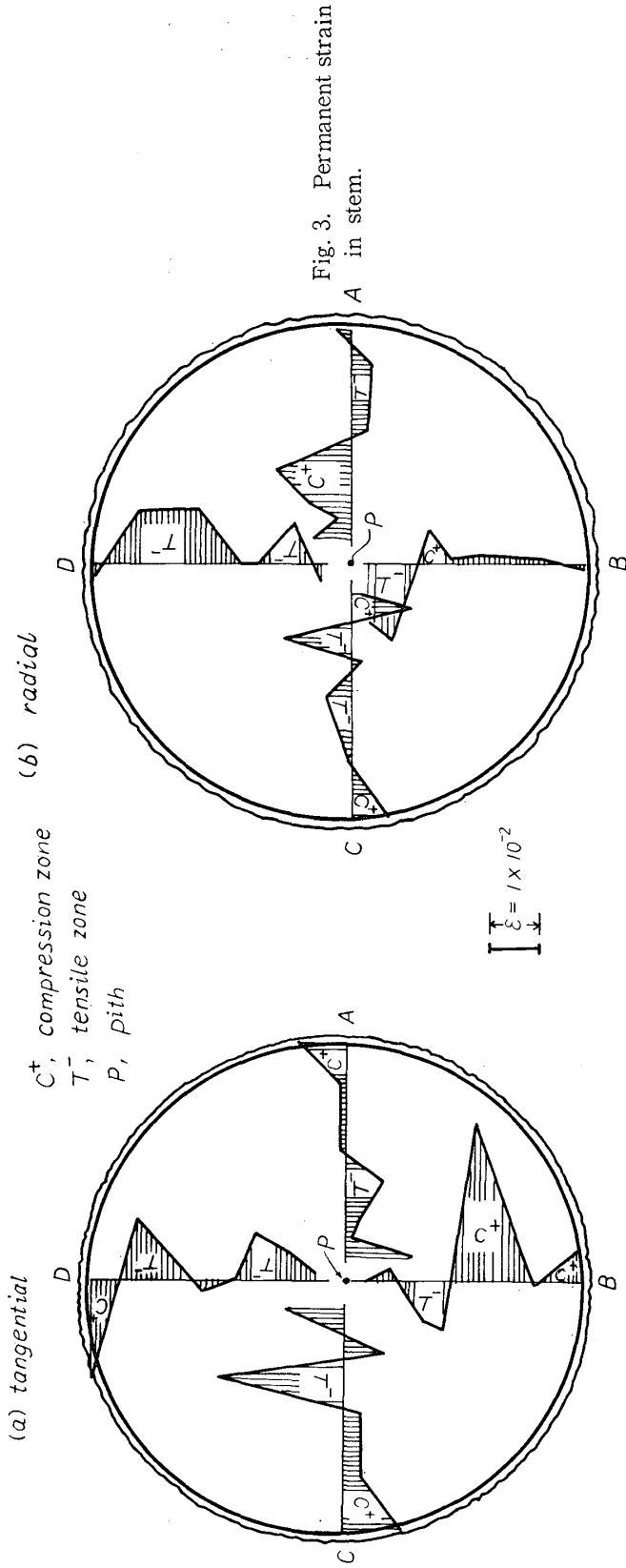


Fig. 3. Permanent strain in stem.

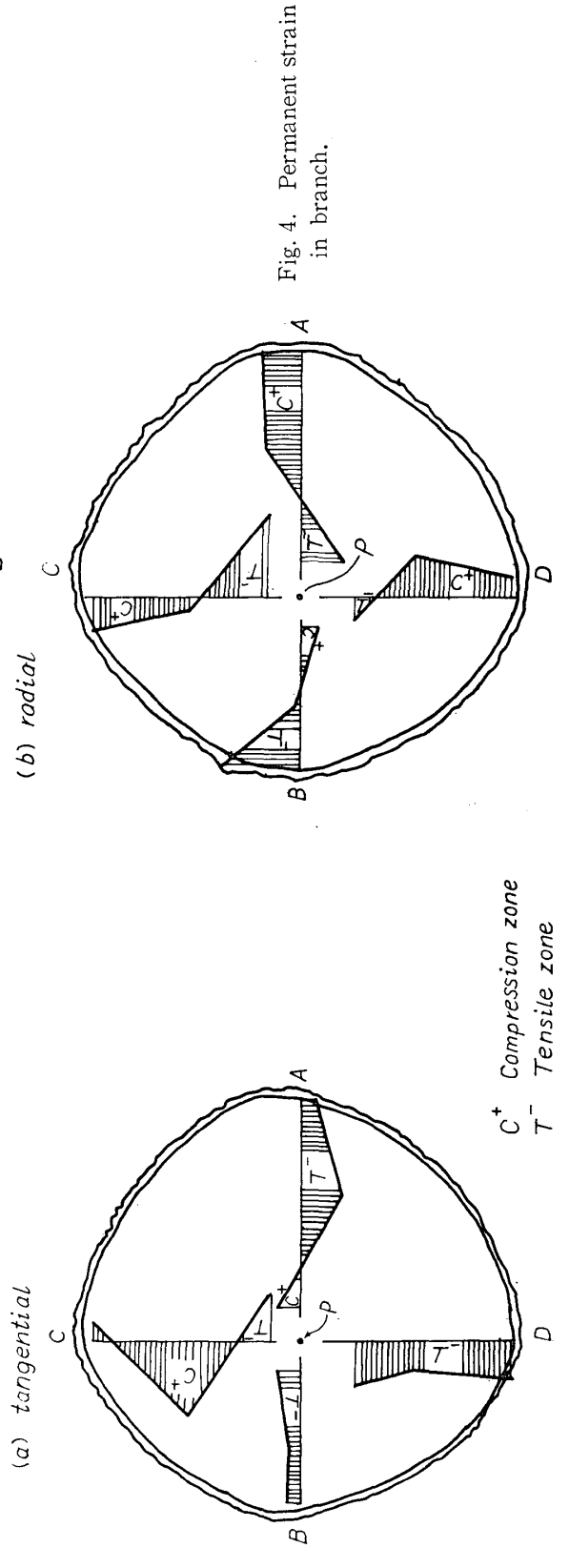


Fig. 4. Permanent strain in branch.

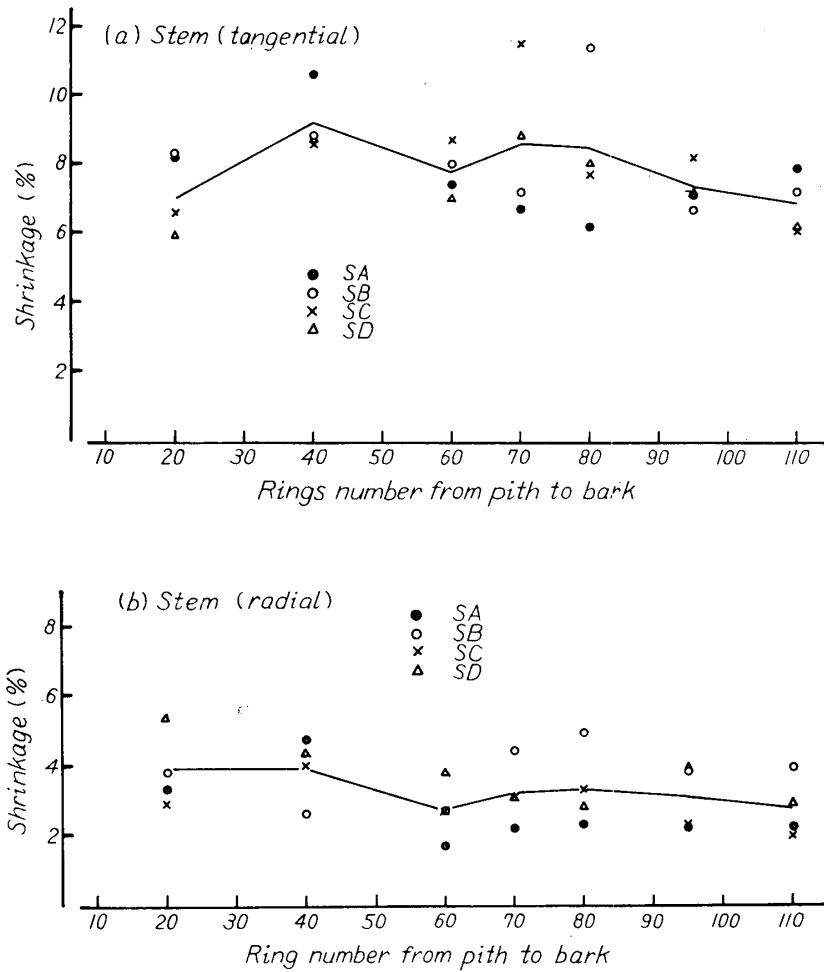


Fig. 5. Shrinkage vs. ring number.

Fig. 3 (a) の生長応力の分布状態からかなり大きな生長応力が観察され、収縮におよぼすその影響はかなり大きいものと思われる。Fig. 5 (b) の半径方向における収縮の年輪数による変動は接線方向のものと異なり、樹心近くで逆にやや大きな収縮を示す。これは各測定点とも樹心近くでより大きな生長応力が観察されるのに関係していると思われる。また60年輪以上の個所では、80年輪あたりにゆるやかなピークが存在し、これは生長応力が引張であるものと一致している。各試片の傾向としては、SA, SB, SC がほぼ同様な傾向（60年輪以上で80年輪附近にピークをもつた曲線）を示すのに対して、SD のみが異なった傾向を示す。これは Fig. 3 (b) における生長応力分布の特異な傾向（他の部分に対して異常に大きい引張）と一致している。

Fig. 6 (a), (b) における偏心した枝の収縮はまず Fig. 6 (a) すなわち偏心軸上では、接線方向において、年輪幅のせまい部分 (PB) がやや高い値を示す。しかし生長応力との関係は見出せない。半径方向での収縮は、年輪幅の大きい場合 (PA) の方が大きな収縮を示す。これは Fig. 4 (b) において生長応力による圧縮力を受けた部分に大きな収縮がおり、引張力を受け

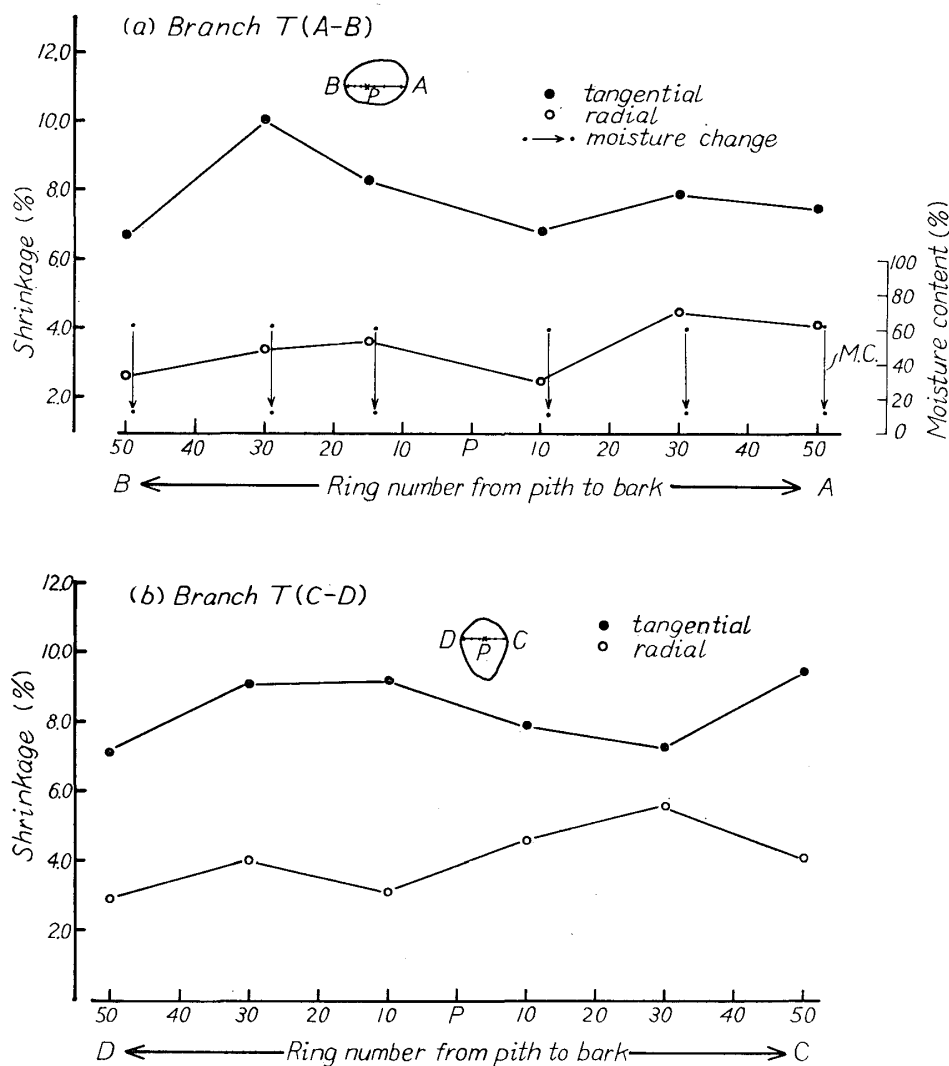


Fig. 6. Shrinkage (green→air dry) vs. ring number.

た部分には小さな収縮しかおこらないという傾向を示している。Fig. 6 (b) においては、接線方向の収縮は圧縮力の存在が認められた年輪数30の個所のC側の試片において若干低い値を示しているが、生長応力との関係はあきらかでない。しかしこの図においても半径方向での収縮は偏心軸上の収縮と似た傾向を示しているといえよう。

以上乾燥収縮におよぼす生長応力の影響を示した。これらの間にならざるも一定した関係は見出せなかったが、収縮と生長応力が関連する傾向が多くみられた。これらの問題に関しては今後さらに詳細に検討する必要がある。

結 論

生材状態のブナ材から得られた試片による力学的資料から次の事実が判明した。

1. 幹において、樹心から外皮までの（年輪数にとまなう）力学的性質の変動は、ほぼ3つ

のグループ、樹心部（偽心材）、中層部（心材相当部）、外層部（辺材）にわけられ、この区別は内部摩擦の変化において最も特徴的であった。

2. 枝については、同じ枝でも幹に隣接した部分と幹から離れた部分では、その性質が異なることが動的弾性率等からあきらかとなり、それは枝には一般にアテがあらわれるが幹に隣接した部分では、それが明確に存在しないことに起因すると思われる。

3. 幹と枝とでは、幹の力学的性質、特に動的および静的弾性率が、測定部の密度に依存する傾向があるのに対して、枝では密度との関係はなく偏心の影響が大きい。また内部摩擦は一般に幹に大きい傾向を示した。

4. 内部応力の分布は、幹においてかなり規則性があるのに対して、枝においては偏心軸とそれに直角な方向とで、全く異なった傾向を示す。

5. 生材から気乾状態まで乾燥した場合の乾燥収縮におよぼす生長応力の影響は、明確でないが高い生長応力を有する部分での収縮がやや高いことがわかった。

Summary

The present paper gives some experimental data on the distribution of viscoelastic quantities and growth stresses in the radial direction of stem and branch of BUNA-wood (*Fagus crenata* BLUME). The results are shown in figures 2~6. From the results, the following may be concluded :

1. The viscoelastic properties of stem specimen depend on growth ring number from pith to bark. It may be shown that three distinct behaviors are observed, viz., (a) sapwood (S1, S2), (b) heartwood (S3, S4) and (c) false heartwood (S5, S6).
2. The viscoelasticity of branch specimens depends largely on eccentricity of disc from which the specimen used were prepared.
3. Internal friction of stem specimen is larger than that of branch.
4. Growth stresses are regularly distributed in stem, but not in branch.
5. When wood is dried from green to air dry condition at temperature 20°C and relative humidity 50 %, the regular relationship between shrinkage and growth stress can not be observed.

文 献

- 1) 太田貞明, 渡辺治人, 松本 勲, 梶 寿一, 九大農, 演習林集報, No. 22, 105 (1968).
渡辺治人, 樹幹丸太の特性, 九大農, 木材理学教室研究資料, No. 67-1, (1967).
- 2) KÜBLER, H., Holz als Roh-und Werkstoff, 17, 1 (1959), 17, 44 (1959).