

木材ばりの加圧収縮と動的ヤング率

藤原 新二・中山 義雄

(農学部木材理化学研究室)

Compression Shrinkage and Dynamic Young's Modulus of Wooden Beam

Shinji FUJIWARA and Yoshio NAKAYAMA

Laboratory of Wood Science and Technology, Faculty of Agriculture

Abstract : Studies were made on the effect of repeated compression shrinkage on the dynamic properties of wooden beam, especially resonance frequency, modulus of elasticity and specific modulus of elasticity.

The results of the studies are summarized in the following.

1. Resonance frequency decreases slightly in spite of decrease of thickness of samples.
2. Modulus of elasticity tends to be higher than calculated values derived from the variation of thickness and density of samples. Especially, its tendency is remarkably at the first stage of repeated compression shrinkage.
3. Specific modulus of elasticity shows also similar tendency of modulus of elasticity, but the values become constant above certain cycles of repeated compression shrinkage.
4. Above mentioned results are mainly due to the transformation of tissue structure of samples into three layers (face and back sides are high density and core is low), secondary to the effect of heat treating.

はじめに

湿潤状態の木材がある力を受けて乾燥する時、力が圧縮の場合は大きな寸法変化を、引張りの場合には小さい寸法変化を示すが、この現象は木材の乾燥進行とともに木材内部に応力が発生するため、いわゆる *drying set* として知られている。

このうち膨潤を阻害させた木材を吸湿させ、すなわち木材に圧縮応力を発生させたのち、乾燥する場合、その寸法が著しく減少する加圧収縮という現象は日常よく見られる現象である。この加圧収縮は木材と水分との特異な現象と考えられ、荷重が比例限度応力以下の小さな応力であっても *set* を生じ、しかもこの *set* は可塑的である。したがってこの加圧収縮材の材質の究明は利用の面からも重要なことといえる。

そこで、ここでは加圧収縮材の動力学の性質を検討する目的で、木材ばりに交互に乾燥収縮を繰り返して加圧収縮を累積させ、この累積効果がばりの固有振動数、動的ヤング率および動的比ヤング率におよぼす影響について実験し考察を加えた。

実 験

試験体 樹種はシトカスプルー (*Picea sitchensis* CARR) を用い、寸法は厚さ および幅が 15 mm、長さは 400 mm で、節、腐れ、割れ、その他のキズがなく繊維の走向が試験体の長軸方向に平行になるようにし、かつできるだけ正確にまさ目木取りした試験体を作製した。

装置 試験体の圧縮には、二枚の鉄板をボルト締めする圧縮金具を自作し、圧縮するための負荷にはアムスラー型木材万能試験機を用いた。

試験体厚さの測定は最小目盛 0.01 mm のマイクロメーターによった。

動的試験は低周波たわみ振動測定装置¹⁾を用いた。

方法 まず、試験体を100~105°Cで24時間乾燥させ、試験体の吸湿をできるだけさけるため素早くビニール袋に入れ、試験体温度が常温になるまで放置したのち、寸法、重量、固有振動数を測定した。ついで、この試験体を圧縮金具で圧縮し（圧縮圧 1 kg/cm²）、そのまま水中に 24 時間浸漬した。

この24時間浸漬した材を再び 100~105°Cで24時間乾燥させ、上記と同様の方法で寸法、重量および固有振動数を測定し、この操作を繰り返し実験した。

これらの試験の荷重方向は材の半径方向とし、固有振動数の測定は両端自由な低周波たわみ振動法によった。

測定結果の整理にあたっては、それぞれの試験体個々にバラツキがあり、測定値をそのまま比較できないので、加圧収縮を起こさせる前の試験体、つまり最初に全乾状態で測定した時の値を基準とし加圧収縮を起こさせた場合のそれぞれの値を百分率で表わした。

結 果 と 考 察

加圧収縮前の測定値 既述のように、この実験では試験体個々にバラツキがあるため、それぞれの測定値をそのまま比較できないので実験結果は荷重を加えない試験体、つまり最初の全乾状態の試験体の測定値に対する百分率で表わしてある。そこで、Table 1 に加圧収縮を加える前のそれぞれの試験体についての測定値を掲げた。以後の試験結果の値はこれら 5 本の試験体の平均値で表わしてある。

Table 1. Density, resonance frequency, modulus of elasticity, and specific modulus of elasticity of samples before compression shrinkage at oven dry.

	1	2	3	4	5
D	0.49	0.52	0.54	0.53	0.53
f	562.5	567.6	573.8	569.7	582.4
Ed	185.80	193.32	209.52	203.82	207.18
Eds	379.19	371.77	385.31	384.57	390.91

D: density (g/cm³)

f: resonance frequency (Hz)

Ed: modulus of elasticity (×10⁹dyne/cm²)

Eds: Specific modulus of elasticity (×10⁹dyne/cm²)

厚さと密度 加圧収縮の繰り返し回数と試験体の厚さおよび密度との関係を Fig. 1 に示した。

厚さは3回目までは大きく減少し、それ以後はほぼ同程度の割合（平均0.7%）で減少する。12回の繰り返しで厚さは元の86.6%まで減少している。

密度は厚さの減少と関連し、3回目までは大きく増大し、以後は繰り返し数に応じてほぼ同じ割合で増大している。

なお、Fig. 1 に試験体の幅、長さ、重量の変化はなく厚さのみがこのような割合で減少したと仮定した場合の密度の計算値を白丸で示した。密度の実験値が計算値と多少異なるのは、加圧にともなう幅方向のわずかな張り出しの影響に加えて、100~105°C（合計288時間におよぶ）での熱分

解による重量減少が含まれていると考えられる。

密度と動的ヤング率 正常材においては密度とヤング率の間には正の直線関係があることが認められている。ここでは、全乾状態の密度と動的ヤング率との関係を求め Fig. 2 に示した。ここでも既往の研究でみられるように高い 1 次の相関関係が認められ Fig. 2 に掲げた回帰式が得られた。

そこで、この回帰式は後述の計算値の算出に一部利用することとした。

固有振動数、動的ヤング率および動的比ヤング率 加圧収縮の繰り返し回数にともなう固有振動数の変化を Fig. 3 に示した。

また、Fig. 3 の計算値（白丸）は Fig. 1 に示した厚さと密度から、ヤング率は Fig. 2 の回帰式から求めて算出したものである。

固有振動数は初期に多少変動があるがほぼ直線的に減少している。固有振動数はその振動方程式からわかるように厚さの減少に対してはそれに正比例して減少し、ヤング率の増大に対しては、その平方根に比例してゆるや

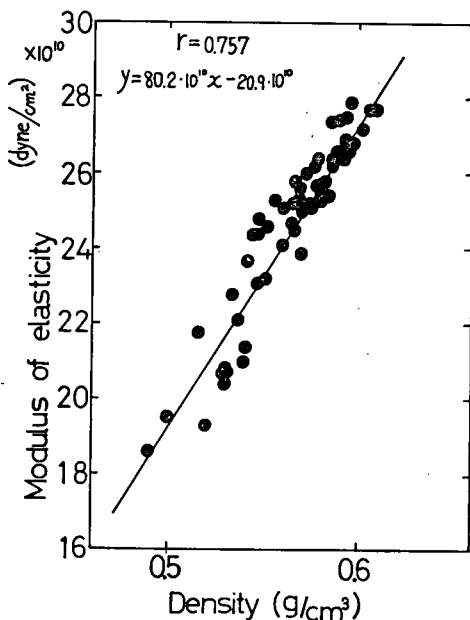


Fig. 2. Relationship density and modulus of elasticity.

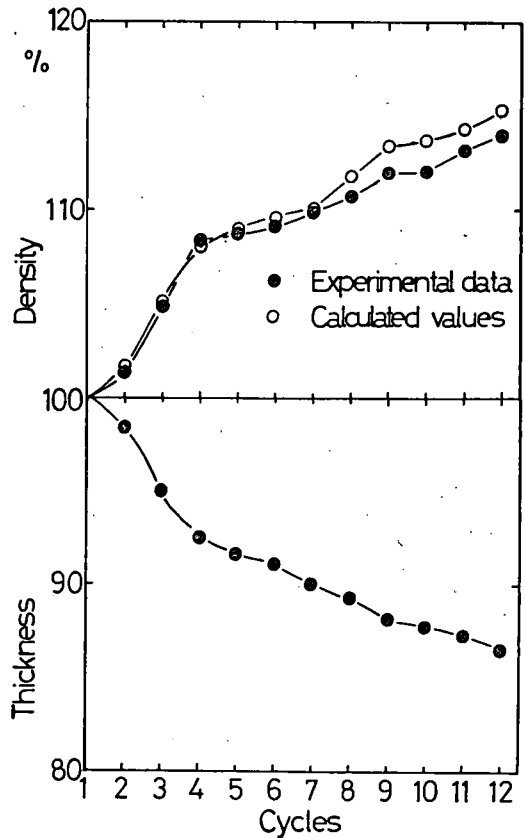


Fig. 1. Change of density and thickness of clamped samples in the course of repeated wetting and re-drying.

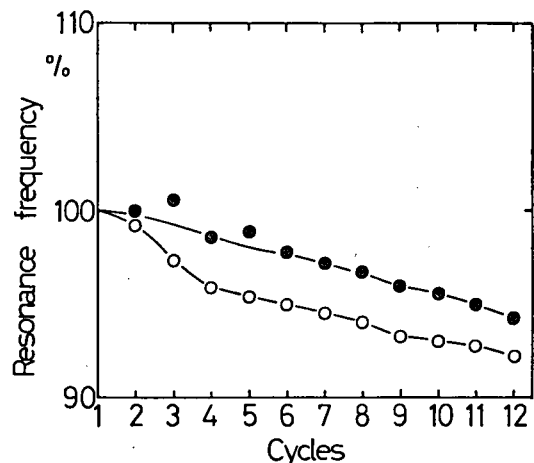


Fig. 3. Change of resonance frequency of clamped samples in the course of repeated wetting and re-drying.

かな増大を示す。したがって、この場合は、この計算値のように厚さの変化とはほぼ同様の傾向を示すものと考えられるが、実際には測定値がほぼ直線的な変化を示している。

このことは、加圧収縮の初期の段階ではりのヤング率が大きく増加したことが考えられる。この原因としては主として組織構造の変化の状態と熱処理の影響とが考えられるが、次の動的ヤング率の結果ともあわせて考察する。

動的ヤング率の変化について Fig. 4 に示す。

Fig. 4 の計算値 (白丸) は Fig. 3 の計算値と同様の仮定にもとづいて算出したものである。

動的ヤング率も3回目ごろまでは大きく増大し、その後は計算値とはほぼ同様の傾向で増大している。この実験値と計算値との差は既往の研究²⁾³⁾に見られるような熱の影響によるヤング率の増加も影響するであろうが、むしろ組織構造の変化によることが大きいと推測される。

そこで、次に動的比ヤング率の実験値と計算値とを Fig. 5 に示した。

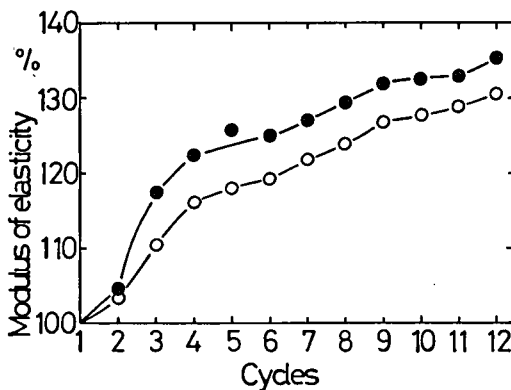


Fig. 4. Change of modulus of elasticity of clamped samples in the course of repeated wetting and re-drying.

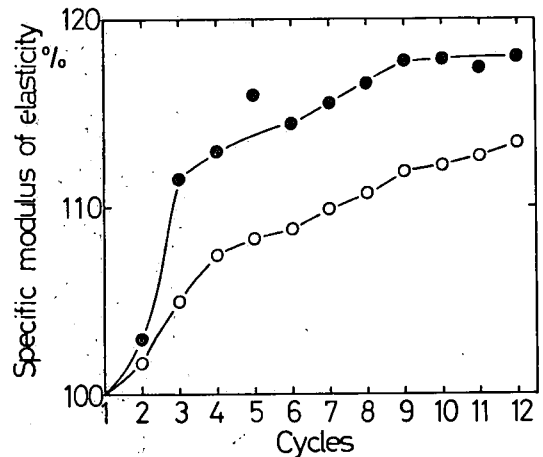


Fig. 5. Change of specific modulus of elasticity of clamped samples in the course of repeated wetting and re-drying.

動的比ヤング率も3回目までは大きく増大し、それからは増大傾向はゆるやかとなり、9回目ごろからはほぼ一定の値をとっている。

このことは、9回目まではヤング率が密度の変化以外のものに影響されていると考えられるので、木材の組織を実体顕微鏡で観察した。その結果の一例として試験体の隣接した木口面について、加圧収縮処理(12回)した木口面と無処理の木口面とを対比した写真を Fig. 6 に示す。この写真から明らかなように加圧処理を受ける面(上下両表面)の近くで、とくに早材部が変形し密度が高くなっており、はりの中立軸近辺には加圧収縮による影響はあまり見られず、結局はりが三層構造のようにになっているのが認められる。また、表層部と中立軸近辺との実体顕微鏡下における観察からは表層部では早材部がかなり変形しているのが認められ、放射組織などは曲がった状態がみられるが、晩材部への影響は少なく放射組織もまっすぐのびて観察される。しかし、ごく表層に近い部分では一年輪全体にわたり細胞の変形が認められる。これに対し中立軸の部分では早材部の一部が変形しているのみである。

結局、加圧収縮材の固有振動数は、加圧処理により圧力を受ける材の表層近くの細胞がかなり強く圧縮変形されるので、密度が高くなる。つまり、はりの横断面をマクロに見た場合、はりの中立軸からはなれた両表層近くで密度の高い層をなす三層構造に近い状態となる。このため、加圧収縮

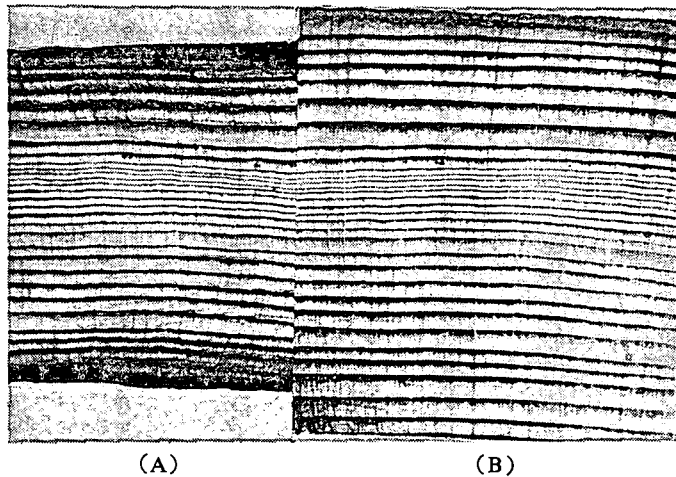


Fig. 6. Cross section of samples.
(A): after compression shrinkage
(B): before compression shrinkage

材の固有振動数は厚さの減少にもかかわらず僅かな減少傾向しか示さないといえる。

したがって、加圧収縮材の動的ヤング率も力学的には有利な三層構造となるために、はりの平均密度が増加する以上に加圧収縮材の動的ヤング率、すなわち動的曲げヤング率を増加させるものと考えられる。

また、表層における加圧収縮効果や熱処理の影響が大きいと考えられる繰返し回数1～3回においてこれらの傾向が顕著にあらわれると言えよう。

ま と め

木材ばりを繰返し加圧収縮させた場合、そのはりの動的性質、とくに固有振動数、動的ヤング率および動的比ヤング率におよぼす影響について実験し、この実験条件の範囲で次の結果を得た。

1. 固有振動数は材の厚さの減少にもかかわらず、わずかな減少しか示さない。
2. 動的ヤング率は材の厚さ、密度の変化に対応させた計算値よりも大きな増加傾向を示し、とともに加圧収縮繰返しの初期においてその傾向が著しい。
3. 動的比ヤング率も動的ヤング率と類似した傾向を示すが加圧収縮の繰返し回数が多くなるとほぼ一定の値となる。
4. 以上のことは、主として材の横断面における組織構造が三層構造状態（高密度の face と back、それより低密度の core）に変形することが主因と考えられ、これに熱処理の影響も加わるものといえる。

文 献

- 1) 中山義雄, 高知大学農学部紀要, No. 26, 1-59 (1974)
- 2) 小原二郎, 千葉大学工学部研究報告, 9, No. 16, 41 (1958)
- 3) 北原寛一, 中元寺昌之, 日本林学会誌, 33, No. 12, 414 (1951)

(昭和51年9月28日受理)

(昭和52年3月10日分冊発行)

