



Title	木材の平衡含水率におよぼす圧縮応力の影響
Author(s)	福田, 英昭; 林, 弘也; 松元, 健一
Citation	琉球大学教育学部紀要 第一部・第二部(44): 307-312
Issue Date	1994-03-31
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/955">http://hdl.handle.net/20.500.12000/955</a>
Rights	

# 木材の平衡含水率におよぼす圧縮応力の影響

福田 英 昭<sup>\*1</sup>, 林 弘 也<sup>\*2</sup>, 松 元 健 一<sup>\*3</sup>

## Effect of Compressive Stress on Equilibrium Moisture Content of Wood

Hideaki FUKUDA, Hiroya HAYASHI, Kenichi MATSUMOTO

(Received October 29, 1993)

It is common knowledge that equilibrium moisture content doesn't only depend upon wood structure and physical properties, but also upon external factors such as the temperature and relative humidity of the surrounding medium. It is not so well known, however, that stresses due to imposed or natural restraints also cause some changes in wood-moisture equilibria.

It is said that the hygroscopic properties of wood decrease under the influence of compressive stress. But the results of our experiment are contrary to that. A study was conducted to determine the magnitude of the changes in the equilibrium moisture content of wood under compressive stress parallel to grain conditions. The result of the experiment was that equilibrium moisture content of wood increase with the compressive stress by both strain and load control. In strain control, the wood in plastic region have much humidity than in elastic deformation region. But load control causes to the contrary, elastic region make much humidity.

### 1. 緒 言

全乾状態から繊維飽和点までの含水率範囲では、水分が木材の細胞壁の非晶領域に出入りすることによって、非晶領域が収縮あるいは膨張して細胞壁の寸法が変化し、木材全体が寸法変化する。含水率が増減すると細胞壁の膨張収縮が生じ、木材実質の凝集力が変化するため、繊維飽和点以下では含水率の力学的性質におよぼす影響は非常に大きい。木材には含水率が高くなると強度が下がる性質があり、縦圧縮強度においては、含水率が1%増加することにより強度が6%低下するといわれている<sup>1-2)</sup>。このように、木材の含水率は物理的性質に重要な意義をもっている。実用時の木材は外部から加圧された状態で利用されることが多

く、圧縮荷重は木材では最も基本的な荷重方法のひとつである<sup>3)</sup>。含水率の変化による木材の寸法変化が、木構造物では接合部の緩みとなって現れ、家具等では部材間の隙間を生じさせ、これらは重要な問題となっている。こうした応力下での膨張や収縮は水分非平衡下での木材の粘弾性挙動とも関連し、その機構は複雑である。平衡含水率は、おもに周囲の空気の温度と相対湿度に依存するが、加圧下の木材が平衡含水率をどのように変化させ、寸法変化を生じさせるかの解明は十分なされていない。既往の検討例として、木材に応力を加えると平衡含水率を低下させるとの報告<sup>4)</sup>があるが、縦圧縮応力を加えると木材の平衡含水率が高くなるとの実験結果<sup>5)</sup>が得られている。そこで、木材の寸法変化の原因をなす平衡含水率が圧縮荷重とどのような関係にあるかという点を明らかにする

\*1 琉球大学教育学部技術教育科

\*2 琉球大学農学部生物資源科学科

\*3 鹿児島県串木野市立串木野西中学校

ことを目的に、本研究では、湿度を一定に維持できる恒温恒湿の条件下で圧縮応力を木材に加え、弾性域および塑性域の応力が木材の平衡含水率に与える影響を検討した。

## 2. 材料と方法

### 2. 1 試験片と試験機

供試樹種として、針葉樹のスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) と広葉樹のイジュ (*Schima wallichii* Korthals ssp. *liukuensis* Bloemb.) の2材種を用いた。スギ材は、気乾比重 0.40、平均成長輪幅 2.1mm であり、イジュ材は、気乾比重 0.66、平均成長輪幅 2.0mm であった。試験体は圧縮断面が正方形の直六面体であり、木口断面は 17.0mm×17.0mm、繊維方向は 45.0mm の大きさであった。この試験体の高さは加圧面の辺長の約 2.6 倍であり、その値が 4 倍以上になると生じ易くなる曲げによる座屈の影響と、2 倍以下になると大きく生じる加工面の摩擦抵抗の影響のいずれも受けない大きさであった<sup>7)</sup>。同一丸太の成熟材部分から、無欠点材で、目切れ材でないものを選び出し、材の性質・強度が似ている同一成長輪帯のエンドマッチの木材を 1 つのグループとして分類した。強度試験や対照実験として用いる試験片は同一グループ内の試験片であることを原則とした。また、実験開始時の含水率を一定にするため、相対湿度 (R. H.) 78% の NaCl 飽和水溶液の入ったデシケータ内に試験片を入れ、室温で 1 カ月以上調湿を行った。なお、R. H. 78% は、木材の平衡含水率を約 15% にする湿度である。

縦圧縮は、荷重を木材の繊維方向に作用させる加圧方法で、圧縮試験は、島津製作所製 AUTO GRAPH DCS-R-5000 と自動荷重-ひずみ制御装置を併用し、試験中の荷重とひずみを一定値に保った。また、荷重速度は、0.5mm/min で試験を行った。圧縮試験方法の詳細は、JIS Z 2111 の規定に則って行った。

### 2. 2 実験装置および実験方法

実験装置は図 1 に示すように、強度試験機にアクリル製の恒温空気循環装置をつけ装置内の湿度は調湿液によって常に 78% になるようにし、実験室内の温度は 25℃ 一定にした。恒温循環装置内の

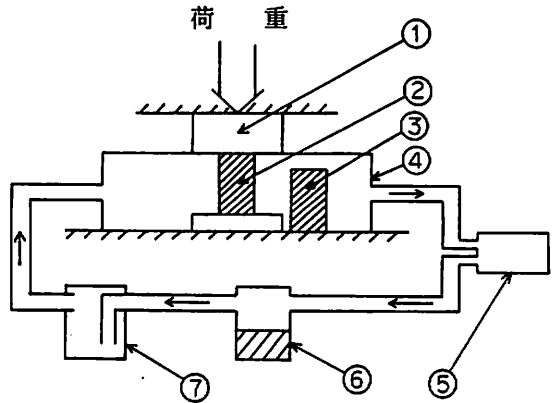


図 1 実験装置

- ①試験機クロスヘッド、②試験片、③対照試験片(無加圧)、④恒温空気循環室(アクリル製)、⑤エアポンプ、⑥調湿液(NaCl飽和水溶液)、⑦ダンパー、→は空気の流れ

実験中の湿度変化を調べるため、対照として同じグループの試験片を、無加圧で装置内に置いた。実験前後の試験片の重量差で水分の変化量を調べるが、実験装置外では大気中の水分の影響があるため、試験片の重量はあらかじめ重量を測定しておいた秤量瓶の中に入れて測定を行った。その後、装置内に試験片をセットし、3~4日間連続加圧した。また、この間の応力緩和によるひずみ変化量もあわせて測定記録した。加圧後、加圧の試験片と対照の無加圧試験片の重量および秤量瓶の重量を測定し、その重量差からそれぞれの試験片の重量を求めた。その後、スギ試験片は36日間、イジュ試験片は45日間、105℃で加熱、熱風乾燥させ全乾重量を求め、加圧前後の含水率を求め比較した。なお、加熱乾燥日数は、それぞれの樹種の重量変化がなくなり全乾に至るまでの所要日数である。また、重量の測定に際しては、化学天秤を用い 0.01mg (有効数字 6 桁) まで測定した。

### 2. 3 圧縮荷重および加圧制御

圧縮荷重については、木材の繊維方向と平行方向に試験体の加圧面全面に荷重を作用させて実験を行った。含水率変化の実験は、比例限度応力以下の弾性域の応力と、比例限度応力以上で最大応力未達の塑性域の応力の 2 種類の荷重をかけ実験

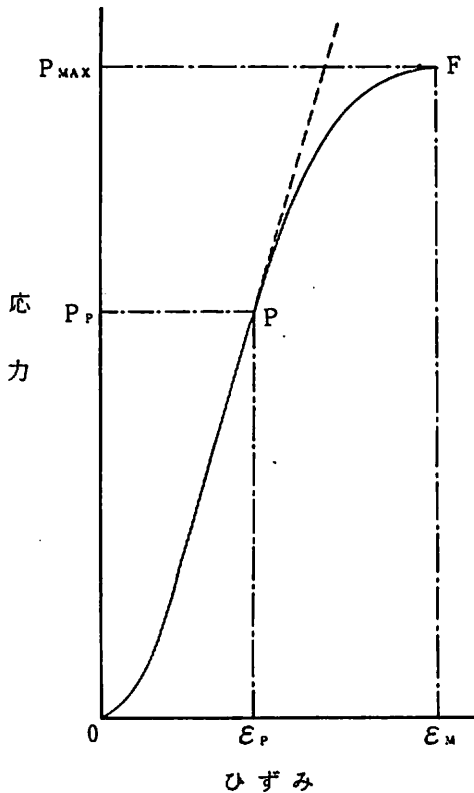


図2 縦圧縮の応力-ひずみ曲線

$P_P$  : 比例限度応力  $P_{MAX}$  : 最大圧縮応力  
 $E_P$  : 最大圧縮応力  $E_M$  : 最大ひずみ  
 $P$  : 比例限度  $F$  : 破壊点

を行った。そのため、まず調湿液による水分調整後の木材を各グループから1~3本ずつ取り出して破壊試験を行い、図2に示すような縦圧縮の「応力-ひずみ曲線」を求めた。この曲線図より、グループごとの最大圧縮応力 ( $P_{MAX}$ ) と比例限度応力 ( $P_P$ ) を求めた。その結果、弾性域では  $0.40 \times P_{MAX}$  の荷重を、塑性域では  $0.85 \times P_{MAX}$  の荷重を決定して試験片を加圧した。

加圧試験は、一定の応力を開始時点で加え、その後は一定ひずみに保ち応力緩和現象が生じるひずみ制御の方法と、一定の応力を常にかけて続ける荷重制御の方法の2種類の方法で実験を行った。なお、 $0.85 \times P_{MAX}$  の荷重を加えて、加圧期間中にクリープ破壊を起こした実験については、塑性

域内で荷重の大きさを変えて再び実験を行った。このように、圧縮荷重で2種類、加圧制御方式で2種類のそれぞれの実験について、スギ材とイジュ材の2材種を3回ずつ実験を繰り返し行った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 破壊試験

すべてのグループの木材について、 $(P_P / P_{MAX})$  を求めると、スギ材試験片14本については  $0.57 \sim 0.80$  の値を示し、その平均は  $0.66$  となった。また、イジュ材試験片17本については  $0.40 \sim 0.58$  の値を示し、その平均は  $0.46$  となった。イジュ材はスギ材に比べて低い値を示しているが、それはイジュ材の比例限度のポイントが「応力-ひずみ曲線」内で2点見られ直線域が2本確認されたため、応力の値の小さい直線域での比例限度荷重を採用したためである。これらの値は、スギ材とイジュ材のいずれにおいても、 $0.40 \times P_{MAX}$  の荷重が弾性域であり、 $0.85 \times P_{MAX}$  の荷重が塑性域であることを裏付けている。また、最大圧縮応力は、スギ材  $285 \text{ kgf/cm}^2$ 、イジュ材  $438 \text{ kgf/cm}^2$  であり、圧縮ヤング率は、スギ材  $27.3 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ 、イジュ材  $63.7 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$  となった。なお、各々の実験で設定する圧縮荷重は、破壊試験を行った同一グループの平均最大応力の値をもとに荷重比をかけ、圧縮荷重を決定し実験を行った。

#### 3.2 ひずみ制御による実験

スギ材のひずみ制御で行った実験結果を図3に示す。全供試試験片の加圧後の平衡含水率は、 $0.40 \times P_{MAX}$  加圧の場合は平均  $0.0267\%$ 、 $0.85 \times P_{MAX}$  加圧の場合は平均  $0.1383\%$  増加している。なお、加圧荷重の比と含水率の変化値との相関係数が  $0.56$  であり、相関が認められた。すなわち、加圧することにより平衡含水率は増加し、 $0.40 \times P_{MAX}$  加圧よりも  $0.85 \times P_{MAX}$  加圧の場合が増加量が大きいといえる。

イジュ材のひずみ制御で行った実験結果を図4に示す。全供試試験片の含水率は、 $0.40 \times P_{MAX}$  加圧では平均  $0.2418\%$  減少しており、 $0.85 \times P_{MAX}$  加圧では平均  $0.1663\%$  増加している。どちらの荷重も1回目の実験で  $1.3\%$  を超える大きな減少を示しており、2、3回目は増加を示している。加

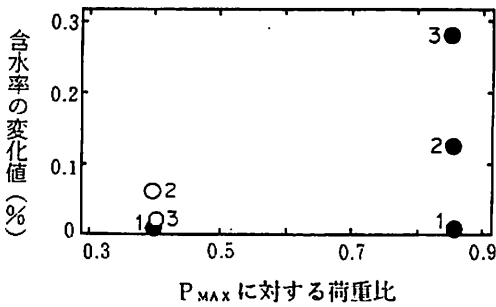


図3 ひずみ制御によるスギの含水率変化  
(数字は実験順を示す。)

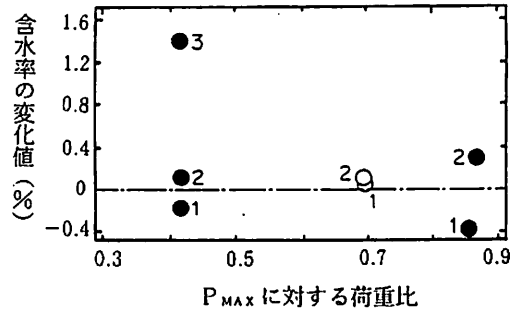


図5 荷重制御によるスギの含水率変化  
(数字は実験順を示す。)

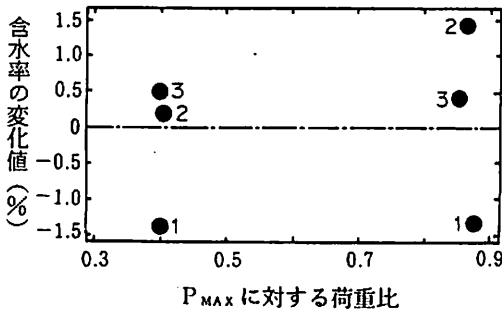


図4 ひずみ制御によるイジュの含水率変化  
(数字は実験順を示す。)

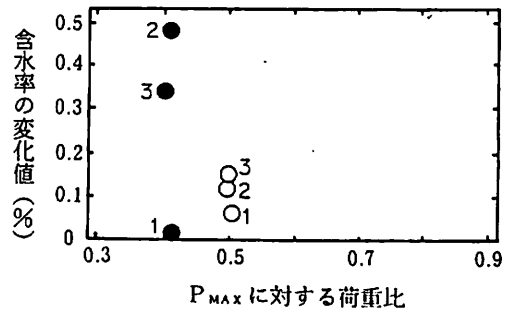


図6 荷重制御によるイジュの含水率変化  
(数字は実験順を示す。)

圧荷重の比と含水率の変化値との相関はなく、荷重比の違いによる含水率の変化は見られなかった。

### 3. 3 荷重制御による実験

スギ材の荷重制御で行った実験結果を図5に示す。塑性域での実験では、 $0.85 \times P_{MAX}$  加圧の3回目でクリーブ破壊が起こったため、追加として  $0.70 \times P_{MAX}$  加圧を2回行った。全供試試験片の加圧後の平衡含水率は、 $0.40 \times P_{MAX}$  加圧では平均  $0.4536\%$  増加しており、 $0.70 \times P_{MAX}$  加圧では平均  $0.0221\%$  増加している。また、 $0.85 \times P_{MAX}$  加圧では平均  $0.0850\%$  減少している。加圧荷重の比と含水率の変化値との相関係数は  $-0.40$  の値を示しており、荷重比が大きいほど含水率の変化値が減少していくことがわかる。

イジュ材の荷重制御で行った実験結果を図6に示す。塑性域での実験では、 $(0.60 \sim 0.85) \times P_{MAX}$  加圧でクリーブ破壊が起こったため、塑性域荷重を  $0.50 \times P_{MAX}$  加圧とした。全供試試験片

の加圧後の平衡含水率は、 $0.40 \times P_{MAX}$  加圧では平均  $0.2812\%$  増加しており、 $0.50 \times P_{MAX}$  加圧では平均  $0.1113\%$  増加している。加圧荷重の比と含水率の変化値との相関係数は  $-0.54$  の値を示しており、スギ材の場合と同様に、荷重制御の実験では、荷重比が大きいほど含水率の変化値が減少していくことがわかる。

### 3. 4 加圧条件の違いによる含水率の増減

実験前後の平衡含水率を、加圧試験片と対照試験片について調べてみると、いずれも変化していることがわかった。対照試験片は、含水率変化の基準として同一グループ内で何度か連続して使用したが、同じ対照試験片を用いた実験の2回目以降の実験では、実験前後の含水率にほとんど差が認められなかった。このことは、試験片調湿のためのデシケータ内と実験装置内に、設置場所の違いによる温度差から生じた湿度差が起こり、対照試験片の含水率は1回目の実験期間中に実験装置

内の湿度で新たな平衡含水率に達したと考えられる。したがって、デシケータから試験片を移し変えた1回目の実験では、加圧による含水率の増減と、新たな平衡含水率に達した対照試験片の含水率の増減の双方を測定したことになり、信用性の低いデータが現れたといえる。この点を改善するために、1週間以上前から実験に使用する試験片はデシケータ内から実験装置内に移動させ、調湿場所の違いによる湿度差がないようにした。この改善を行った実験結果は、図3, 5, 6で白丸で表している値であり、数値のばらつきが小さくなっていることがわかる。すなわち、黒丸で表した改善前の1回目を示した値は、いずれも多少信用性の低いデータといえ、したがって、以下ではそのデータを除外して考察を進めることにする。

加圧条件の違いによる、含水率の平均変化値をまとめたものが表1である。これより、いずれの加圧条件においても、木材の平衡含水率が荷重を加えることで大きくなることわかる。このことを詳細に検討すると、2材種いずれについても、ひずみ制御では弾性域よりも塑性域の方が、また、荷重制御では塑性域よりも弾性域の方が、加圧による含水率の平均変化値が大であった。また、2材種いずれについても、弾性域ではひずみ制御よりも荷重制御の方が、平均変化値が大であった。ひずみ制御では弾性域・塑性域いずれについてもスギ材に比較してイジュの方が、平均変化値が大であった。

表1 加圧条件の違いによる木材の含水率の平均変化値

	樹種	圧縮荷重	加圧荷重の比	含水率の平均変化値 (%)
ひずみ制御	スギ	弾性域	0.40	+0.0386
		塑性域	0.85	+0.2054
	イジュ	弾性域	0.40	+0.3315
		塑性域	0.85	+0.9186
荷重制御	スギ	弾性域	0.40	+0.7706
		塑性域	0.70	+0.0863
	イジュ	弾性域	0.85	+0.3049
		塑性域	0.40	+0.4145
			0.50	+0.1113

### 3. 5 加圧による含水率増加の検討

得られた実験結果は、応力作用によって平衡含水率が低下するというこれまでの研究結果<sup>4, 6)</sup>と異なっている。縦ヤング率については、適度な吸湿によるセルロース鎖の再配列にともない、力学的に力を受け持ち得る有効鎖が増加すること、先在空隙あるいはセルロース分子間の水素結合の比較的ルーズな部分への水分子の吸着によって、パッキング効果、あるいは一種の架橋効果と呼べる現象が発現されることによって、低含水率域での吸湿にともなうヤング率の増大現象が説明<sup>7-10)</sup>されている。これらの説をもとにすれば、応力が作用することによって、セルロース鎖の再配列が生じ、セルロース分子等に活性点が発生して水酸基やカルボキシル基に水分子が結合するか、または、力学的には弱部であると考えられる先在空隙や非晶領域に水分子が吸着すると考えられる。すなわち、セルロース鎖の間隔が増大すればするほど、鎖が外力に対して形態変化することが容易になるため<sup>11)</sup>、鎖と鎖の間隔が増大することが水分子の吸着を誘導すると考えられる。また、木材が圧縮荷重を受けることで、繊維方向には縮みを生じるが、これと垂直の方向では伸びを生じさせている。このことから、加圧によって木材の膨張メカニズムと同様の現象、すなわち木材細胞壁の非晶領域の分子間の水素結合を切断し、その間に単分子層あるいは多分子層で水などの水素結合能をもつ分子が吸着し平衡含水率を増加させる現象があるとも考えられる。さらに、視点を変えれば、荷重が繊維方向に加えらるることによって、細胞壁のマイクロフィブリルが再配列を行い、空隙率を増加させ、主にマイクロフィブリルの長軸の直角方向に水分子を吸着させたと考えられる。

得られた実験結果のひずみ制御と荷重制御を比較すると、荷重制御では応力緩和が生じても一定の応力を常にかけ続けるため、荷重制御の塑性域ではクリーブ破壊が度々発生したことからもわかるように、時間と共にひずみが拡大していくことによって、水分子が吸着できる活性点が時間と共に増大し、ひずみ制御の場合より多くの活性点を発生させると予想される。実験結果では、加圧した荷重比の差の影響で塑性域については明確な差がでていないが、弾性域については2材種いずれ

についても、ひずみ制御よりも荷重制御の方が含水率の平均変化値が大きくなっている。同じ理由で、2材種いずれについても、ひずみ制御では弾性域よりも塑性域の方が、含水率の平均変化値が大きくなると考えられる。スギ材とイジュ材についてみると、ひずみ制御では弾性域・塑性域いずれについてもイジュ材の方が含水率の平均変化値は大であった。イジュ材は、含水率の変化に対する体積膨潤・乾縮率がスギ材の1.7倍の樹種であり<sup>10)</sup>、スギ材と比較して多量の水分を吸着・放出する樹種であるが、これは材の比重の違いによるものと考えられる。イジュ材はその木繊維に小さな内腔と厚い細胞壁をもっており、スギ材と比べて多くの細胞壁実質があり、したがって多くの活性点をもち、それゆえ加圧によって含水率がより多く増加したと考えられる。

#### 4. 結 論

本研究では、スギ材とイジュ材を試験片として用い、平均含水率約15%において縦圧縮を行い、加圧による平衡含水率の変化値を求め比較検討した。圧縮荷重は弾性域と塑性域の2種類の荷重、また、加圧試験はひずみ制御と荷重制御の2種類の方法で実験を行った。その結果、いずれの加圧条件においても、木材の平衡含水率が荷重を加えることで大きくなることがわかった。

2材種いずれについても、ひずみ制御では弾性域よりも塑性域の方が、また、荷重制御では塑性域よりも弾性域の方が、加圧による含水率の平均変化値が大であった。また、2材種とも、弾性域ではひずみ制御よりも荷重制御の方が、平均変化値が大であった。樹種についてみると、ひず

み制御では弾性域・塑性域いずれについてもスギ材よりもイジュ材の方が、平均変化値が大であった。

#### 文 献

- 1) 高橋 徹, 中山義雄編: 木材科学講座3 “物理”, 海青社, 95-97, 122-123 (1992) 滋賀.
- 2) 伏谷賢美, 木方洋二ら: 木材の物理, 文永堂出版, 109-111 (1985) 東京.
- 3) 日本木材学会編: 木材科学実験書 (I. 物理・工学編), 中外産業調査会, 204-206 (1985) 東京
- 4) BELLO, E. D. : *For. Prod. J.* , 18 (2), 69 (1968) .
- 5) 福田英昭, 大内 毅: スギ材およびイジュ材の平衡含水率におよぼす縦圧縮応力の影響, 未公表.
- 6) BARKAS, W. W. : *Trans. For. Soc.* , 38, 194 (1942) .
- 7) 石丸 優, 水無瀬孝男: 木材学会誌, 38 (6), 550-555 (1992) .
- 8) 梶田 茂, 山田 正, 鈴木正治: 木材学会誌, 7, 29-33 (1961) .
- 9) SUZUKI, M. : *Mokuzai Gakkaishi*, 8, 13-18 (1962) .
- 10) GOULET, M. : *Holz Roh-Werkst.* , 18, 325-331 (1960) .
- 11) 伏谷賢美: 木材学会誌, 14 (4), 203-207 (1968) .
- 12) 琉球林業協会: 沖縄産有用木材の性質と利用, 75-77 (1985) .