

負荷を受けている木材の平衡含水率

琉球大学農学部 林 弘也
琉球大学教育学部 福田 英昭

1. はじめに

木材細胞壁中の水分は多様な細胞壁物質と結合して細胞壁の物理的な特性を変化させるので、材中の水分量は木材の物理性に影響する重要な因子である。木材の含水率は、揮発性成分を含んだ溶液の水蒸気圧と浸透圧とを関係づけた Porter の式¹⁾ に基づいて決まるとされている。この式から導いた含水率と温度、相対蒸気圧との関係は、木材の平衡含水率図表として木材の乾燥などに利用されている。Porter の式は蒸気圧と浸透圧との関係を表した式であり、周囲の水蒸気圧が変化したときあるいは外力を受けている状態の両者の関係を示したものではない。Barkas は、蒸気圧の影響下にある吸湿性と弾性の関係を、固体が完全弾性体である仮定として (p, V, m, h) 図として示した²⁾。

Bello は (p, V, m, h) 図を更に発展させた。蒸気圧が変化したとき、横圧縮を受ける木材の平衡含水率は圧縮を受けない木材よりも低いことを示して、定性的に Barkas の式が木材に適用できることを示した³⁾。しかし、Bello は横圧縮荷重の大きさの検討はしておらず、木材の構造や異方性等との関係は今後の検討を要する。本報は平衡含水率と木材構造との関係の検討を目的にしているが、先ず一定温度、一定蒸気圧の下で軸方向に負荷した荷重と平衡含水率変化の関係を検討した。

2. 実験試料と実験方法

供試材は針葉樹スギ (*Cryptomeria japonica*)、広葉樹散孔材イジュ (*Shima wallichii* ssp. *liukiuensis*) の 2 樹種である。

試験片は一本の丸太の成熟材部分から無欠点、目切れの無い材を切り出し、エンドマッチの試験片 6 本を 1 グループとして、14~16 グループを採取した。試験片は横断面が 17.0 × 17.0mm、長さ 45.0mm の二方まきの直方体である。試験体の長さ方向を材の繊維軸方向

とした。試験片の平均気乾比重と平均成長輪幅はスギ材が 0.40, 2.1mm, イジュ材が 0.86, 2.0mm であった。試験片は摂氏 25℃ の NaCl 飽和水溶液 (相対湿度約 75%) のデシケータのなかで、約 1 ヶ月間調湿した。調湿の後に試験片の横断面を加圧面として圧縮荷重を負荷し、平衡含水率の変化を測定した。負荷した荷重は、エンドマッチ試験片の強度試験により求め、破壊荷重 (P_{max}) に対し、スギ材では $0.40P_{max}$, $0.85P_{max}$, イジュ材では $0.40P_{max}$, $0.50P_{max}$, $0.85P_{max}$ とした。負荷試験は、所定荷重を負荷し、引き続き 70~90 時間の間、そのひずみ値を維持する定ひずみ試験とその荷重値を維持する定荷重試験の 2 種の試験を行った。試験は各条件について 3 回繰り返した。強度試験および負荷試験は島津製作所製オートグラフ DSC-R-5000 型を使用した。負荷試験中の試験室内の水蒸気圧調整は調湿した空気を強制循環させ、ダミー試験片を試験室内に設置してチェックした。試験片は、負荷試験後に 105℃ の熱風乾燥器で全乾にし、含水率はこの全乾重量を基準に計算して求めた。試験片を全乾にした乾燥時間はスギ材が 36 日、イジュ材が 45 日である。含水率は負荷試験直前と直後に試験片重量を求めた。

3. 実験結果及び考察

(1) 負荷荷重 試験片に負荷した荷重は、エンドマッチの試験片グループごとに応力-ひずみ曲線から決定された。各グループの P_{max} に対する比例限度荷重 (P_f) の比はスギ材では $0.57\sim 0.85P_{max}$, イジュ材は $0.40P_{max}\sim 0.58P_{max}$ であった。従ってスギ材は、イジュ材とも $0.40P_{max}$ の荷重は弾性域にあり、 $0.50P_{max}$ と $0.85P_{max}$ の荷重は塑性域にある。

木材の縦圧縮では、永久ひずみであるスリッププレーンを細胞壁に生じて試験片の変形を吸収するが、スリッププレーンの発生頻度は負荷する荷重によって異なる。破壊荷重の約 50%~80% の荷重範囲はスリッププレーンの増加割合が比較的小さく、その前後の荷重領

域では急激な増減を示す⁹⁾。本実験で負荷した荷重は、弾性領域、塑性領域の荷重ともスリッププレーンが急速に増大する領域であり、荷重による細胞壁の構造変化が顕著に出現する領域であった。

(2) 含水率の変化 スギ材とイジュ材の定ひずみ試験の負荷前後の含水率変化量をFig.1に、定荷重試験の変化量をFig.2に示した。両樹種とも負荷試験片の含水率は無負荷試験片よりも高かった。定ひずみ試験は両樹種とも塑性域荷重よりも弾性域荷重がより含水率変化量が大きく、荷重は水分を吸着する領域を拡大していることが推定できた。定荷重試験でも、荷重によって水分の吸着量を拡大することが認められたが、塑性域よりも弾性領域で変化量が大きかった。

引張りを受けているクラフト紙、ホースヘアは無負荷よりも含水率を増大するが、これは結晶の配向性の変化によるとされている^{4,9)}。また負荷時間が増大すると、含水率が減少することも配向性の変化によるとされている。木材では、周囲を金属リングで固定した円形試験片は膨潤による圧縮力により含水率が減少することをBelloは示した⁹⁾。いくつかの仮定の下で、この圧縮力から計算された理論ヤング率は実測ヤング率と大きく異なっており、木材は圧縮力以外の影響因子があると推定される。

本実験の含水率が約18%であり、主として毛細管凝縮水の含水率領域であるので⁹⁾、含水率の増減は毛細管量の変化によると考えられる。スリッププレーンは、細胞壁中のマイクロフィブリル配列を攪乱し、細胞壁中に空隙を発生する。スリッププレーンは水分吸着の場所を増加させるので、含水率増加原因の一つであると考えられる。定ひずみ試験では、細胞壁のスリッププレーンは、長時間負荷を続けても新たに発生しない。毛細管管量は、構成成分の再配列による応力緩和のため当初の量から減少することはあるが、増大することはないと考えられる。一方、定荷重試験は、試験片がクリープを起し、新たなスリッププレーンを発生する⁹⁾。弾性領域では、荷重が同じであっても定ひずみ試験よりも

多くの水分を吸着し、含水率は高くなる。しかし塑性領域では、弾性領域より多くの毛細管を発生しているが、スリッププレーンの集中化が進行し、木材細胞はより大きな変形を吸収する。一方でスリッププレーンの領域の再配列が進行し、結果として、水分吸着量が減少し、含水率が弾性域よりも減少したと考えられるが、この点については、今後より多くの研究が必要である。

4. 結論

繊維軸方向の圧縮荷重を受けている木材について、一定温度、一定蒸気圧下の平衡含水率の変化を検討し、以下の結果を得た。

1. 針葉樹材、広葉樹材ともに、圧縮荷重を受けている材は受けていない材よりも平衡含水率が高くなる。
2. クリープが平衡含水率に影響を与えるが、弾性領域と塑性領域とでは、その影響は異なっている。
3. 荷重を受ける木材の平衡含水率は、周囲の水蒸気圧が変化する場合と一定である場合では異なった挙動を示すと考えられた。

引用文献

- (1) PORTER, A. W. 1907 Proc. Royal Soc. A79, 519 (HEATLE, J. W. S., R. H. PETERS 1960 Moisture in Textiles Textile Book Publishers. Inc., New York)
- (2) BARKAS, W. W., R. F. S. HEAMANN, H. F. RANCE 1953 Mechanical Properties of Wood and Paper, Interscience Publisher, Inc., New York)
- (3) BELLO, E. D. 1968 F. P. J., 18 (2), 69~76
- (4) KUBAT, J., L. NYBORG, 1960 Svensk Papperstidning, 65 (18), 698~702
- (5) SKAAR, C. 1988 Wood-Water relations Springer Verlag, Berlin
- (6) HAYASHI H., M. OOURA, 1988 琉大農研報, 35, 75~81

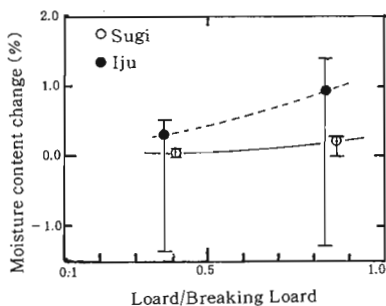


Fig. 1 Equilibrium moisture content difference of free and restrained samples under fixed strain

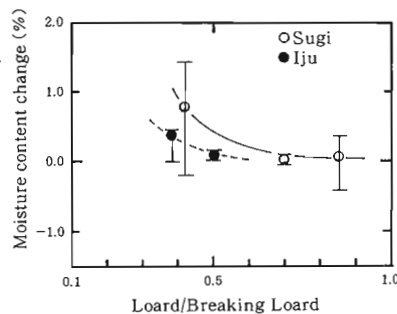


Fig. 2 Equilibrium moisture content difference of free and restrained samples under fixed stress