

スギの平衡含水率に及ぼす縦圧縮応力の影響

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

液体や固体は水蒸気中または大気中に置くと水分が物質中に入り、表面エネルギーが平衡状態になるように水分が移動する。このとき木材の様な高分子物質では水分子が構成成分と化学結合に近い結合をする吸着、水分子が表面にくっつく吸着、比較的大きな空隙に水が凝縮する吸着をする。塊状の高分子物質では、水分子が物質内部へ移動して拡散する。これらの吸着や拡散の状態がそれぞれ含水率に影響すると同時に物理的性質にも影響する。

高分子の水分吸着は、低い含水率領域では、単層の水分子吸着（化学結合を含む）と多層の水分子吸着が起こる。高い含水率領域では、毛細管吸着が起こる。木材の場合、それぞれの吸着が生じる含水率は、単層吸着が約0~6%、多層吸着は約8~25%、毛細管吸着は約25%以上に主として起こる。これらの吸着は同時に起こり得る。平衡含水率と水蒸気圧の関係は吸着等温線として表され、Langmuirの吸着式、BET理論やSlab理論などが提案されている¹⁾。しかし、全水蒸気圧領域を表す単一の理論式は提案されてない。

高分子は水を吸着（吸湿）すると体積が膨張するが、このときに膨張を制限すると膨張圧を生じる。同時に平衡含水率が無応力時とは異なる。木材に外部から力を加えたときに平衡含水率が変化することを暗示している。木材の平衡含水率と温度、水蒸気圧の関係はゲルを対象にした浸透圧と水蒸気圧の関係を熱力学的に導いたPorterの式²⁾に基づいて、水蒸気圧、含水率、静水圧、比容積のBarkasが誘導した関係式³⁾に基づいて論じられている。この式は、水蒸気は理想気体であると仮定し、更に固体は完全弾性体であること、等方性体であること、固体の剛性を無視したことなどが木材の性質と異なっている。Bello⁴⁾は、ポアソン比を考慮した式を提案した。水蒸気圧を変化させたとき、実測値との間の一致性は余りよくないが、横圧縮を受ける木材

の平衡含水率は横圧縮を受けていない木材より低いことを実験的に確かめ、Barkasの式は定性的に木材に適用できることを示した。その後、Simpson⁵⁾は木材に一軸方向の圧縮応力を負荷する装置を使用して、式の適用性を検討したが、実測値のよい一致性は得られていない。Barkasの式によると、圧縮応力は平衡含水率を低下し、引張応力は増大するという特性は認められたが、このときの負荷応力の大きさは検討されていない。Bello⁴⁾が式の適用性を検討した時の圧縮応力は破壊応力以上の値であった。Barkasの応力値は実測されていないので、Simpsonの膨潤圧実測値から推定すると破壊応力の約10~20%以下の応力である。このように破壊応力の約20%以下と100%以上の応力は検討されたが、中間の応力の検討は行われていない。ここでは含水率変化が水分子の多分子層吸着に支配される含水率領域を選択し、平衡含水率の決定に関与する因子、例えば水蒸気圧、温度、材の履歴、吸着過程、脱着過程などの影響を均一にした条件下で、外力による平衡含水率の変化を検討した。

II. 実験試料と実験方法

供試材は針葉樹材スギ (*Cryptomeria japonica*) と広葉樹材イジュ (*Shima wallichii* ssp. *tiukuensis*) 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、目切れない材を切り出し、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0.66、2.0mmであった。試験片は摂氏25度のNaCl飽和水溶液（調湿相対湿度薬78%）を入れたデシケータの中で約1ヶ月調湿した。調湿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。負荷荷重

は、エンドマッチ試験片で求め、スギ材は破壊荷重 (P_{max}) の $0.40P_{max}$, $0.85P_{max}$, イジュ材は $0.40P_{max}$, $0.50P_{max}$, $0.85P_{max}$ とした。

負荷試験は規定荷重を負荷した70~90時間の応力緩和試験を行った。試験は島津製作所製オートグラフDSC-R-5000型で、それぞれ3回の繰り返して試験した。

試験室内の水蒸気圧は調湿した空気を強制循環させ、ダミー試験片を設置して湿度の変動をチェックした。含水率は試験後に試験片の全乾重量を求めて算出し、試験直前と直後の含水率の差を求めた。

III. 実験結果及び考察

スギ材とイジュ材の応力緩和試験では、平衡含水率が無負荷試験片よりも高くなり、その値は応力値に対し指数関数的に増加した。測定結果はFig. 1に示した。この結果は、Barkas, Belloらの理論式、すなわち圧縮応力では平衡含水率が低くなり、引張応力では高くなることは明らかに異なる。Belloの暗示したその他の影響因子があることを示している⁹⁾。

Barkas⁹⁾, Bello⁴⁾らは、ゲルの性質は静水圧を加えても変化しないと仮定している。しかし木材の様な細胞構造を持っている材料では、Fig. 2に示すように破壊応力の約20%以上の応力が増えられると、細胞壁にはスリッププレーンを生じ、その数は応力と共に指数関数的に増加する。スリッププレーンが発生すると細胞壁の形状が変化し、無負荷状態とは細胞構造が異なることが認められており⁹⁾、この点が仮定条件と明白に異なる。スリッププレーン数は水分による膨潤量と正の相関関係にあり⁷⁾、スリッププレーンは新しい吸着点を細胞壁に発生すると考えられる。この応力領域の含水率増加は構造的変化すなわちスリッププレーンの発生

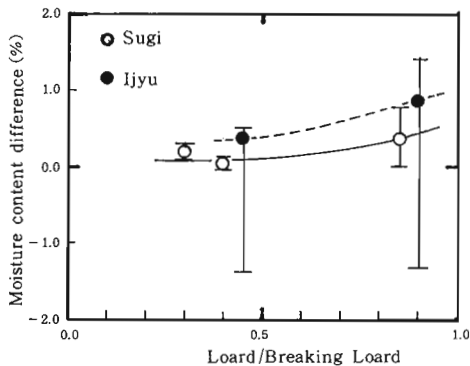


Fig. 1 Moisture content difference between unrestrained and restrained samples in stress relaxation test.

に起因すると推定される。本実験の含水率約18%では、木材の水分吸着は多分子層吸着であると推定されるので、細胞壁中の数十ないし数Åのオーダの空隙表面に水分子が吸着される。周囲の水蒸気圧は変化しないので、同一水蒸気圧下の含水率の増加は応力による水分子吸着点の発生により増加することになる。従って本実験の応力領域はスリッププレーン数の増加に伴って平衡含水率が増加すると考えられる応力領域であった。

IV. 結論

- 1) 木材は圧縮力を受けたとき、平衡含水率は破壊応力の20%以下と100%以上の応力範囲⁹⁾では減少するが、20~100%の応力範囲では増加する。
- 2) 木材の細胞壁のスリッププレーンの様な構造的変化は木材中の水分吸着点を増加させ、同一水蒸気圧下において平衡含水率を増加させる。

引用文献

- 1) Skaar, C. 1988 Wood - Water relations, Springer-Verlag, Berlin
- 2) 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)
- 3) Barkas, W. W., R. F. S. Hearmann, H. F. Rance 1953 Mechanical properties of wood and paper, Interscience Publisher, Inc., New York
- 4) Bello, E. D. 1968 F. P. J. 18(2) 69~76
- 5) Simpson, W. T. 1971 Wood and Fiber, 3, 13~21
- 6) Hayashi, H., M. Ooura, 1988 Sci. Bull. Coll. Agri. Univ. Ryukyuu, 35, 75~81
- 7) Hoffmeyer, P. 1993 Wood Sci. Technol., 27, 321~335

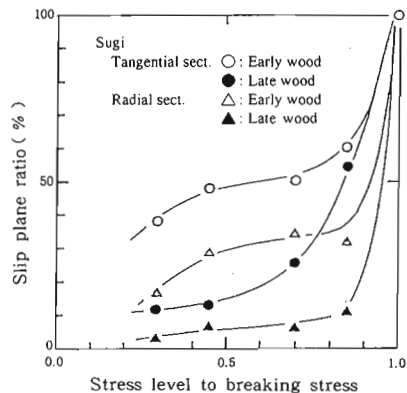


Fig. 2 Percentage of slip planes at various stress level to the slip planes at breaking stress in tangential and radial section⁹⁾ (Sugi-wood)