九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

曲げ強度性能と細胞壁変化へのたわみ速さの影響

姜，春遠
九州大学農学部木材理学講座

堤，壽一
九州大学農学部木材理学講座

小田，一幸
九州大学農学部木材理学講座

https://doi.org/10.15017/23542

出版情報：九州大學農學部學藝雜誌. 49 (3/4), pp.139-142, 1995-03. 九州大學農學部
バージョン：
権利関係：

九大農学芸誌（Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.）
第49巻　第3・4号　139-142　(1995)

曲げ強度性能と細胞壁変化へのたわみ速さの影響

姜　春遠・堤　壽一・小田一幸
九州大学農学部木材理学講座
(1994年10月15日受理)

Effect of Deflection Rate on the Microscopic Compression Creases and the Mechanical Properties of Wood

Chunwon KANG, Juichi TSUTSUMI and Kazuyuki ODA
Laboratory of wood science, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-81

緒　論

木材は低い荷重レベル，あるいは速い荷重に対して完全弾性体であるが，比例限応力度を越える高い荷重レベルまたは遅い荷重に対して粘弾性体の挙動を示す．この現象が原因になって，強度的性質は荷重条件によって影響を受ける．

この粘弾性現象をレオロジーの視点で考察した報告は多いが，応力による木材組織への影響に注目した研究は少ない．すなわち，種々の応力条件のもとでの木材細胞壁の挙動については，未だに明らかでないところが多い．

一方，応力条件と破壊様態との関係で応力と変形の関係を解明することは，木材の力学的性質の把握に必須であり，このような理由から荷重条件が強度的性質に及ぼす影響を木材組織の視点で観察した．すなわち，曲げ試片に異なるたわみ速さの荷重を与えたとき，力学的性質がたわみ速さによって受ける影響を細胞壁の破壊を通じて定性的に検討した．

材料と方法

2．1　試験片

長時間にわたって室内に放置され，十分に気乾状態に達したスギ材（*Cryptomeria japonica* D. Don）から，ミクロフィブリル傾角がほぼ揃った成熟材を選び，荷重を受ける面がまさ目面になるような2cm×2cm×32cmの小試験片を木取り，曲げ試験片とした．

ところで，気乾状態と飽水状態の試験片が荷重を受けたとき，細胞壁に認められる破壊の差異を明らかにした．すなわち，一対の試験片のうち，一方を2か月以上水漬させ，他方は気乾状態で曲げ試験に使った．

2．2　静的曲げ荷重の加え方

スパン27cmの両端支持まさ目面4点荷重方式で，各試験片に数段階の平均たわみ速さで，破壊まで静的荷重を与えた．

2．3　木材細胞壁の観察

たわみ速さを変化させたときの細胞壁の観察をするために，荷重を受けている試験片が比例限応力度に達したとき，試験片の圧縮則と引張側の中央部表面からレプリカを取り，破壊した木材からは小木片を切り取り，それぞれ走査電子顕微鏡を使う観察に供した．レプリカの採取には，電子顕微鏡観察試料作成用のアセチルセルロース・フィルムと酢酸メチルを用いた．

結果と考察

曲げ試験片の引張側表面よりも，圧縮側表面の仮道管壁にシワ（microscopic compression creases）が多く認められた．また，晩材部仮道管壁にはシワの発生が少なかったが，この結果は北原ら(1987，九大演報)が得た結果，すなわち年輪方向に与えられた圧縮応力では，早材細胞壁のほうが晩材よりも変形しやすいという報告と一致している．

破壊までの荷重を受けた気乾材では，たわみ速さが変わるとき，細胞壁に認める変化の程度に差が認められた．すなわち，荷重速さが速いとき，試験片表面に認めるシワの発生は遅いたわみ速さにおけるよりも少

なかった．

一方，飽水材では破壊荷重に至るまで，気乾材におけるよりも，細胞壁の破壊が多かった．このことから，たわみ速さが変わることによる弾性率の変化と，この細胞壁破壊がたわみ速さに影響されることとの関係が，さらに検討される必要を認めた．

3．1　強度的性質の変化

3．1．1　曲げ弾性率のたわみ速さ依存性

この試験でたわみ速さは，スパン27cmの中央部で0.02から2mmであったが，たわみ速さの増加に従って曲げ弾性率が高くなった．この結果を図1に示している．

3．1．2　比例限応力度と破壊係数

図2には，たわみ速さが変わるときの比例限応力度のたわみ速さ依存性を示しているが，たわみ速さが速くなるにつれて，応力一たわみ線図の直線部が伸びた．すなわち，破壊係数に対する比例限応力度の割合，すなわちP_p/MORの値が高くなった．

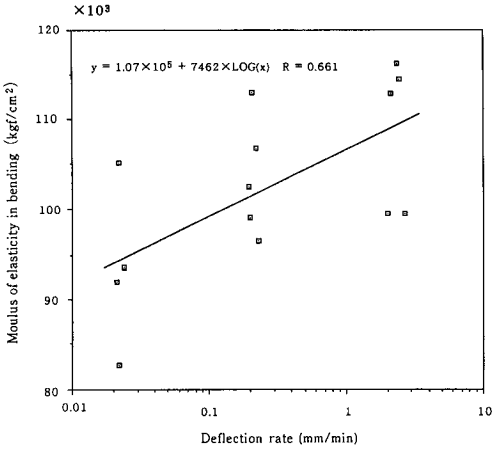

図1　曲げ弾性率とたわみ速さの関係

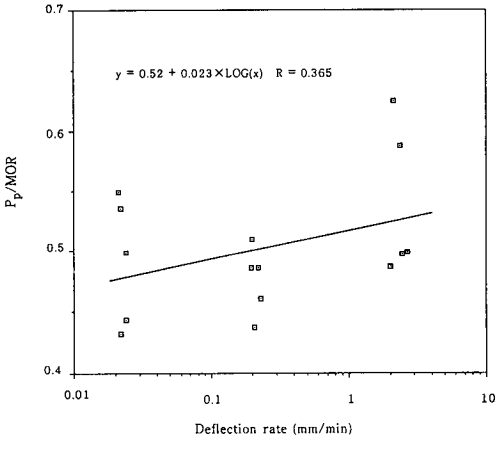

図2　P_p/MORとたわみ速さの関係

3．2　細胞壁に受けた影響

3．2．1　飽水材と気乾材の細胞壁変化

飽水材では，曲げ試験中の材面からレプリカを取り難いために，破壊までの応力を与えた後の組織変化を観察したが，その結果を図3と図4に示している．すなわち圧縮面の1本の仮道管に複数のシワが発生し，隣の仮道管に広がる傾向を示している．

3．2．2　シワの発生に及ぼすたわみ速さの影響

たわみ速さの変化によるシワのパターンを，図5から図6に示している．図5に示すように，遅い荷重に発生した材面の変化は，一本の仮道管にいくつかのシワが発生し，隣接する仮道管に次々と連続している．しかし，たわみ速さが速くなると，図6のように，仮道管一本当たりのシワの数と，シワが発生する仮道管

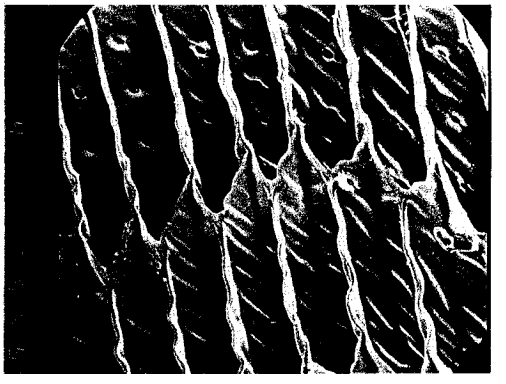

図3　たわみ速さ0.02mm/minで破壊応力を受けた飽水材表面で認められた細胞壁の変化

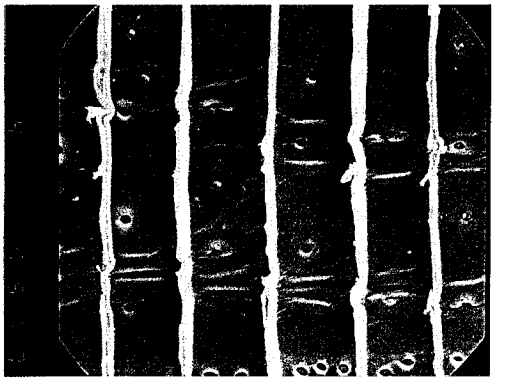

図4　たわみ速さ2.00mm/minで破壊応力を受けた飽水材表面で認められた細胞壁の変化

の数が減少する傾向を示している．一方，Keith ら（1968）はこの細胞壁上の変化を slip plane と称し，遅い荷重の方で slip plane の発生が多かったと報告しているが，本研究の結果と一致している．

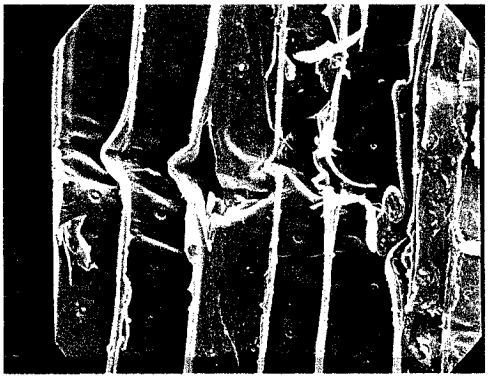

図5　たわみ速さ0.02mm/minで破壊応力を受けた気乾材表面で認められた細胞壁の変化

図6　たわみ速さ2.00mm/minで破壊応力を受けた気乾材表面で認められた細胞壁の変化

図7　たわみ速さ0.02mm/minで比例限応力を受けた気乾材表面で認められた細胞壁の変化

他方，比例限応力度でのレプリカ観察で認められた結果では，平均たわみ速さ 0.02mm/min で，図 7 に示すようにわずかながらシワの発生が認められた．しかし，それ以外の速さでは，ほとんどシワが認められなかった．

このことから，たわみ速さが遅いと，速い荷重におけるよりも低い荷重レベルで木材組織の破壊が始まり，変形量が増加して弾性率が低くなるのであろう．また，飽水材のシワ発生が多かった現象は，含水率が高くなるにつれて木材の強度性能が低下する原因だとも思われた．

結　　論

木材の力学的性質と細胞壁の破壊へのたわみ速さの影響を調べるために，曲げ試験片に速さを変えて荷重を加えたとき，仮道管に生じる変化を定性的に分析し，次の結論を得た．

1）曲げ弾性率と σ_p/MOR は，たわみ速さの増加につれて高くなった．

2）たわみ速さの増加につれて，シワの量が少なくなった．また，飽水材は気乾材よりも，破壊後に認める細胞壁変化が著しかった．

3）たわみ速さ変化と含水率の変化による木材の力学的性質の変化は，細胞壁の変化と密接に関係すると思われた．つまり，シワの発生程度の相違が，木材の力学的性質に影響を及ぼすと考えられた．

要　　約

破壊までの静的応力を受けた木材の組織上の変化，特にたわみ速さ変化に対する組織変化を調べるために，試験片に異なるたわみ速さで荷重を加えて，各たわみ速さ条件で荷重を受けているときと，破壊後に認められる試験片表面の変化を調べた．すなわち，荷重を受けているときには試験片の圧縮面と引張面の表面からのアセチルセルロースフィルムのレプリカを使って，破壊後には実材による木材細胞壁の変化を観察し，たわみ速さの影響を検討した．また，気乾材と飽水材を区別して，たわみ速さ変化で木材細胞壁に生じた microscopic な破壊程度の変異と，木材の力学的挙動の関係について検討を行い，次の結果を得た．

木材の力学的性質は，含水率が低いほど，またたわみ速さが速いほど向上した．

たわみ速さ変化による組織変化の程度に，差が認められた．また，破壊までの荷重に対して，全体的に気乾材より飽水材表面に組織変化が多かった．

気乾材の場合，比例限の曲げ荷重に対して，たわみ速さの変化による細胞壁内のシワの発生が認められた．すなわち，たわみ速さが遅いときにはわずかながらシワの発生が認められたが，速いたわみ速さではシワの発生はほとんど認められなかった．

破壊までの荷重を受けた場合，気乾材と飽水材ともに，たわみ速さ変化による組織変化の程度に差が認められた．すなわち，速い荷重を受けた試験片表面では，遅い荷重を受けた試験片よりもシワの発生が少なかった．

このことから，たわみ速さ変化による弾性率の変化には，木材細胞壁の損傷をも考慮する必要性を認めた．

文　　献

Dinwoodie, J. M. 1974 Timber －a review of the structure－ mechanical property relationship. *J. Microscopy*, **104**(1): 3-32

Keith, C. T. and W. A. Cote, jr. 1968 Microscopic characterization of slip lines and compression failures in wood cell walls. *For. Prod. J.*, **18**(3): 67-74

北原龍士，堤　壽一，松本　昺 1981 静的くり返し曲げ荷重を受けた木材の力学的挙動と細胞壁の観察．木材誌，**27**(1): 1-7

北原龍士，堤　壽一，松本　昺 1984 木材の力学的挙動への曲げ荷重の影響．木材誌，**30**(7): 522-529

北原龍士，堤　壽一 1987 A concept on stress-strain behaviour of wood －Effect of compressive stress parallel to the grain－．九大農演報，**57**: 175-184

山田　正 1971 木材の粘弾性変形と構造．木材誌，**17**(2): 37-43

Summary

This study deals with the mechanical behaviour in bending and the anatomical changes under several deflection rates. Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) wood was used in the test, and the four-point bending method was adopted. The sizes and dimensions of test specimen were 2cm(R)×2cm(T)×32cm(L). Microscopic observations were carried out with the filmy replica method and the SEM (Scanning electron microscopy).

The mechanical properties of wood are affected by variation of the deflection rate. The MOE, modulus of elasticity, and the value of σ_p/MOR, proportional limit by modulus of rupture, increased linearly with logarithm of deflection rate.

With increasing deflection rate, the microscopic failures in tracheids after ultimate decreased. In water-saturated wood, more microscopic compression creases observed than air-dried wood.

It is believed that the variation of mechanical properties due to deflection rates are closely related to the variation of microscopic compression creases of wood.