

Change of compression and tensile characteristics according to compressed effect in wood cell

Tadashi OHTANI and Takayuki FUJIWARA

1 緒 言

木材に変形を加えた場合、その内部にはたらく応力と歪みの曲線は、弾性的な段階を経た後、塑性的な挙動が現れる。このような塑性挙動は、本質的には金属における結晶のすべりから引き起こされる挙動とは異なる。木材は細胞壁がマイクロフィブリルの構造から形成されており、壁内の構造を見ただけでも、金属の結晶がすべりを起こす塑性変形の構造とは異なる。ところが、木材はマイクロフィブリルの集合体で囲まれたセル壁が、内部の空孔を取り囲む構造を有する。このようなセル構造は、木材の変形挙動にも影響を与えるため、これまで木材のセル構造に視点を当てた力学解析がなされてきた¹⁾。したがって、木材の変形をセル構造の視点から捉えた場合、応力-歪み曲線に現れる塑性挙動にセルの構造が何らかの影響を与えている可能性がある。

一方、木材に外部から変形を加えて、ある形状に切削加工したり、成形加工したりする場合には、弾性変形の後に塑性変形を経て、切り屑を生成したり、ある形状に変形固定される。このような加工のプロセスで生じる塑性変形の特徴を把握するためには、木材の応力-歪み曲線に現れる塑性挙動を明らかにすることは重要な手がかりとなる。そこで、本研究では木材のセル圧密効果を利用した圧縮木材を用いて、その圧縮および引張特性について調べた。さらに、セル圧密効果が応力-歪み曲線における塑性挙動に及ぼす影響について検討した。

2 実験方法

2.1 材料

供試材には平均密度が 0.35g/mm³、含水率が 11.0%のスギ心材を用いた。これらを半径方向の寸法が、21.4mm、30mm および 50mm の角材に加工した。得られた角材をホットプレス機を用いて半径方向に圧縮し、最終寸法が 15mm になるように圧密した。半径方向の寸法変化から求めた値を圧縮率と定義し、圧縮率が CR=30, 50 および 70%の圧縮木材を作製した。圧密のプロセスは、最初試料に予熱を加えた後、プレス速度が 0.16mm/s で圧縮し、5 時間圧縮して寸法を固定した。

2.2 圧縮および引張試験

得られた圧縮木材におけるセル圧密効果を調べるため、軸方向に垂直な断面に対する縦圧縮および縦引張試験を行った。縦圧縮試験は断面が 15mm×15mm、長さが

30mm の試験片を用いて、縦引張試験は平行部の断面が 2.5mm (幅)×15mm (高さ)、長さが 30mm の試験片を用いた。圧縮試験はクロスヘッドが 1mm/min の速度で試験片を縦圧縮し、クロスヘッドの移動量から歪み量を求めた。引張試験は 5mm/min の速度で引張り、平行部のまさ目面中央に歪みゲージを貼り、歪み量を求めた。

2.3 曲げにはたらく圧縮応力の予測

圧縮試験における圧縮応力のセル圧密効果について詳細に調べるため、曲げ試験から得られる圧縮応力と比較した。曲げ試験は、断面が 15mm×15mm、長さが 240mm の試験片を用いて 4 点曲げ試験を行った。4 点曲げ試験では、試験片中央部の圧縮および引張が働く両面に歪みゲージを貼り付け、歪み量を測定した。4 点曲げのはり間の距離は 60mm とし、スパンを 210mm とした。曲げにはたらく圧縮側の応力 σ_c について予測するため、Nadai による式²⁾を変形し、以下のように σ_c を予測した。

$$\sigma_c = \frac{\sigma_t \frac{d}{d\theta} (M\theta^2)}{bh^2 \sigma_t \theta - \frac{d}{d\theta} (M\theta^2)} \quad \dots \textcircled{1}$$

①式における引張側の応力 σ_t は、木材の引張挙動における塑性領域が少ないことを考慮し³⁾、フックの法則が適用できると仮定して、 σ_c を予測した。

3 結果および考察

3.1 圧縮および引張特性の比較

圧縮率の異なるスギを縦圧縮および縦引張試験を行った時の弾性係数 E と圧縮率 CR との関係を図 1 に示す。両試験における弾性係数 E は、同様の傾向にあり、圧縮率が高いほど指数関数的に大きくなる。図 2 は圧縮木材の強度（最大応力）と圧縮率 CR との関係を示す。図 2 の引張強度の結果においては、圧縮率が高いほど大きくなり、 $CR=50\%$ 以上では同程度になる。これに対して、圧縮強度は、図 1 の弾性係数の結果と同様、 CR が増すに伴い指数関数的に増加する。したがって、セルを圧密することにより、弾性係数および強度ともに高くなるものの、引張強度は圧縮率が高い条件では低下することがわかる。

以上の図 1 および図 2 の結果は、プレス機の熱処理温度が $T=180^\circ\text{C}$ の結果であり、熱処理温度が低い $T=80$ および 130°C の結果に比べて、強度の低下は少なかった。そこで、以下では熱処理温度が $T=180^\circ\text{C}$ の条件で圧密し

た材料を用いて、圧縮率の変化に対して強度の低下が少なかった圧縮試験の結果について詳細に検討した。

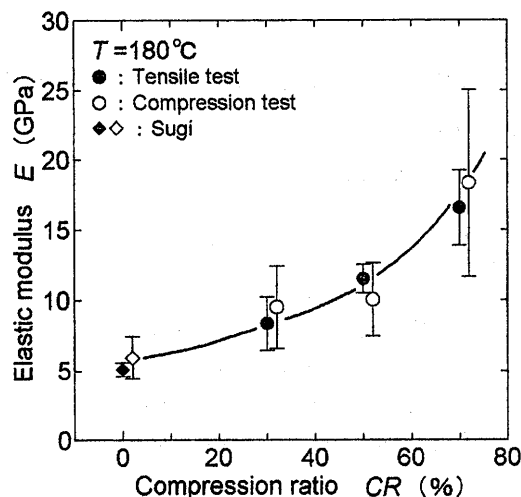


Fig.1 Relationship between the elastic modulus and the compression ratio CR.

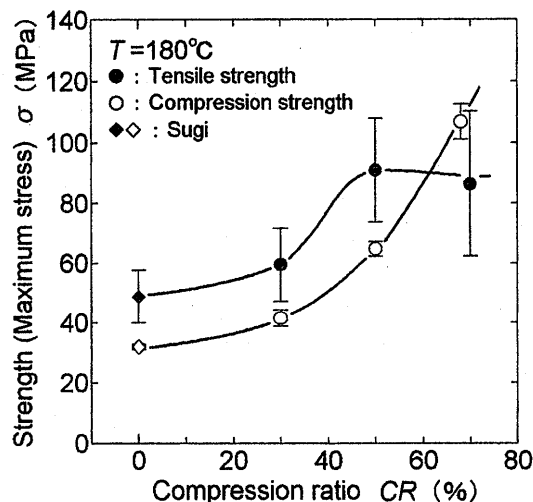


Fig.2 Relationship between the strength σ and the compression ratio CR.

3.2 応力-歪み曲線における塑性挙動

Fig.3は圧縮試験における応力-歪み曲線を示す。これらの応力-歪み曲線においては、スギ材では応力が直線的に増加した後、緩やかに増加し、極大に至った後、応力が緩やかに低下する。これに対して、圧縮木材では圧縮率CRが高いほど、極大に至るまでの直線領域（弾性領域）の割合が大きくなり、極大に至った後、応力が急激に低下する傾向にある。すなわち、木材のセルを圧密することによって、応力-歪み曲線における塑性領域が低下するとともに、極大に至った後にはセルの形状変化により、著しく応力が低下することがわかる。

そこで、以下では圧縮木材に認められた塑性領域の減少に注目して、圧縮および曲げにはたらく圧縮応力の変化について詳細に調べた。

3.3 曲げにはたらく圧縮応力との比較

Fig.4は4点曲げ試験から得られた情報をもとに、①式

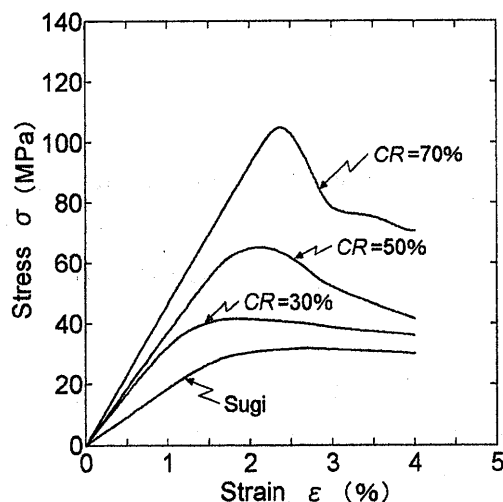


Fig.3 Compression stress σ versus strain ϵ diagram.

を用いて、曲げにはたらく圧縮応力と歪みの関係を求めた結果を示す。曲げ試験から求めた圧縮応力は、スギ材に比べて圧縮率が高いほど、その最大応力も高くなる。さらに、曲げ試験から求めた圧縮応力は、Fig.3の圧縮試験における結果に比べて、塑性領域が少なくなる傾向にある。すなわち、浅野が報告しているように³⁾、本結果においても曲げにはたらく圧縮応力には真の応力と歪みの関係が得られていることがわかる。また、Fig.4の曲げ試験の結果では、セルを圧密した圧縮木材では、スギ材に比べて、さらに塑性領域が減少している。

以上の結果から、スギ材の圧縮特性はセルを圧密することにより、真の応力-歪み挙動が得られるとともに、セルの構造は圧縮特性に現れる塑性挙動に影響していることが示唆された。

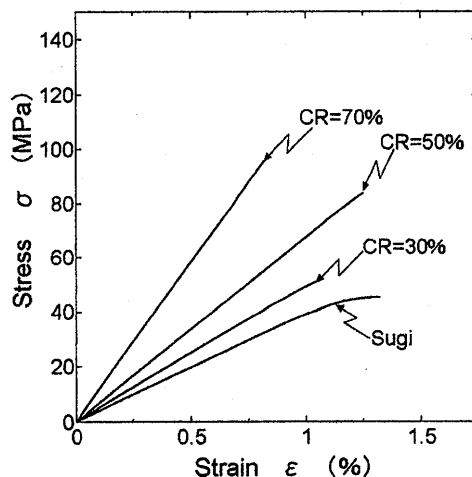


Fig.4 Compression stress σ versus strain ϵ diagram predicted by bending test.

参考文献

- 1) Gibson, L., Ashby, F.: Cellular solids, p.387, Cambridge University Press
- 2) Nadai: Theory of Flow bridge and Fracture of Solids p.358, McGraw-Hill
- 3) 浅野 猪久夫:「木梁の塑性曲げにおける圧縮応力について」, 木材学会誌, 12, 155(1966)