

京府大院農 ○古田裕三 飯田生穂 石丸 優
産総研 小畑良洋 金山公三

1 緒 言

これまでに、我々は、木材の物性が、乾燥履歴、熱履歴、その後の時間経過によって大きく変化することを、様々な実験により示してきた。そして、その原因として、含水率や温度の変化によって、木材を構成する分子にひずみが生じ、そのひずみが時間の経過とともに解放されるためであると推察した。これは、以下の考えに基づいている。木材の真の安定状態は、温度、含水率等によって決定されると考えるのが妥当である。しかしながら、木材は粘弾性的性質を有する物質である上に、室温付近ではガラス状態にある。ガラス状態は、エネルギー的には準安定の非平衡状態にある。従って、温度や含水率等が変化すると、そのもとの真の安定状態に移行する過程（非平衡状態）で、木材の微細構造は“不安定な状態”となり、安定な状態と比較すると、その諸特性は大きく異なるものと考えられる。

このような中、我々は、上述のような木材の“不安定な状態”というのが如何なるものかを明らかにすることを目的として、これまで研究を進めてきた。今回は、乾燥及び熱履歴の変化に伴う木材の粘弾性変化について、様々な観点から測定を行い、興味ある結果を得たので、それについて報告する。

2 実 験

2.1 試料 ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)生材心材部より作製した。形状は、30mm(R)×4mm(T)×0.5mm(L)であった。試料は、様々な条件で乾燥した後、様々な条件下での測定に供した。

2.2 粘弾性測定 測定には、非共振強制振動型粘弾性測定装置(セイコーインスツルメント株式会社製 DMS/6100)を用いた。測定周波数は0.05、0.5、1、5、10、50、100Hz、スパン長は20mm、測定時の振幅歪みは±5 μ mとした。測定温度範囲は、乾燥状態で測定の場合は100~200 $^{\circ}$ C、飽水状態や湿度一定状態で測定の場合は0~100 $^{\circ}$ Cとした。

3 結果及び考察

Fig.1に、乾燥木材の100~200 $^{\circ}$ Cの温度範囲における温度上昇及び下降過程の弾性率(E')、損失弾性率(E'')及び損失正接($\tan\delta$)の温度依存性を示す。 E' 、 E'' 及び $\tan\delta$ のいずれでも、1度目の温度上昇過程における結果は、1度目の温度下降過程、2度目の温度上昇過程、2度目の温度下降過程における結果と大きく異なった。特に、測定温度範囲内では、1度目の温度上昇過程における E' の値は、1度目の温度下降過程、2度目の温度上昇過程、2度目の温度下降過程における値よりも小さく、1度目の温度上昇過程における E'' 及び $\tan\delta$ は、1度目の温度下降過程、2度目の温度上昇過程、2度目の温度下降過程における値よりも大きかった。しかしながら、1度目の温度下降過程、2度目の温度上昇過程、2度目の温度下降過程

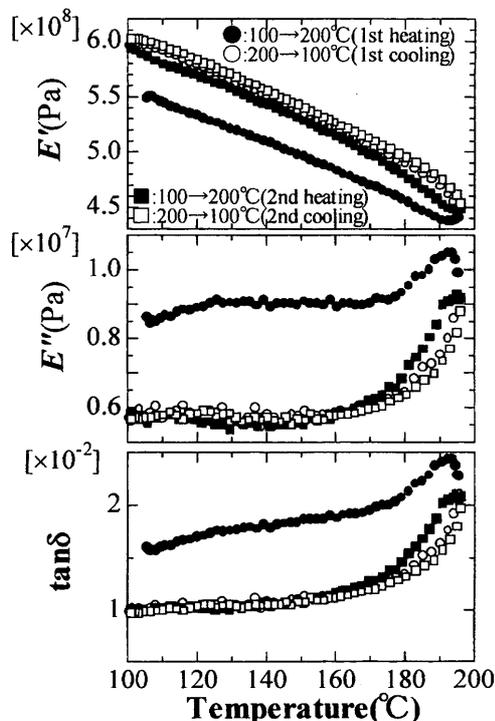


Fig.1 Effects of heating histories on the dynamic viscoelastic properties

の結果に大きな差異は認められなかった。なお、測定温度範囲内では、重量減少はほとんど観測されなかった。従って、1度目の温度上昇過程とその他の過程の間での動的粘弾性に認められる差異のほとんどは、重量減少に起因するものではないことが推察された。そこで、1度目の温度上昇過程とその他の過程の間で動的粘弾性に差異が生じる原因について、以下のように考えた：木材構成成分は、飽水状態で形成される。それ故に、乾燥された木材の構成成分の状態は、非常に不安定で歪んでいると考えられる。乾燥時に生じる収縮やそれに伴う歪みを考慮すると、その構成成分とは、おそらく非結晶性の成分と、結晶と非結晶領域の間に存在する成分であろう。しかしながら、1度目の温度上昇過程で、木材構成成分の分子運動は活発になり、木材構成成分の状態は、その温度でより安定な状態へ移行するものと思われる。そして、1度目の温度下降過程において、木材構成成分の分子運動は、その温度における安定な状態のもので拘束されるであろう。それ故に、木材構成成分の状態が、1度目の温度上昇過程でより安定な状態へ移行したために、1度目の温度下降過程、2度目の温度上昇過程及び2度目の温度下降過程における動的粘弾性の結果がほぼ同じであったものと解釈される。

上述の考察がもし事実であるならば、1度目の温度上昇過程とその他の過程における動的粘弾性の差異は、煮沸処理によって元に戻るはずである。なぜならば、ヘミセルロースやリグニンといった木材の非結晶領域を構成する成分のガラス転移温度は、飽水状態では100°Cより低いためである¹⁾。そこで、次に、この試料を煮沸・乾燥した後、試料に用いて動的粘弾性の測定を行った。その結果、1度目の温度上昇過程と1度目の温度下降過程の間に生じていた動的粘弾性の差異は、煮沸処理によって再度生じた。

これまでの上述の結果から、乾燥木材の熱処理過程における動的粘弾性の変化は、木材構成成分の一時的な状態変化に基づくものであると考えられた。このように、もし、熱処理過程における乾燥木材の動的粘弾性の変化が、何らかの緩和過程に基づくものであるならば、それは、温度のみではなく時間にも依存するはずである。そこで、乾燥木材の熱処理過程における動的粘弾性の温度及び時間依存性の測定を行った。Fig.2に、100~200°Cの温度範囲における昇温過程での温度依存性を、Fig.3に、Fig.2の結果をもとに、それぞれの温度の値で規格化した時間依存性を示す。

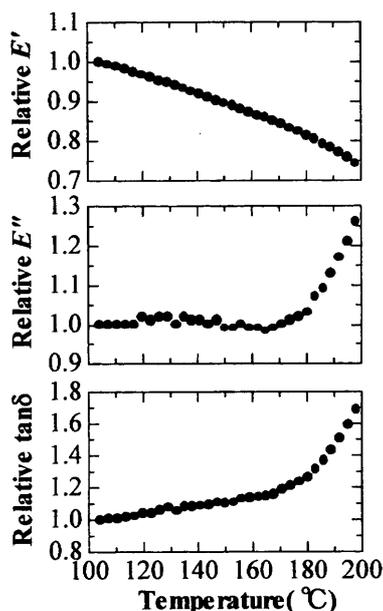


Fig.2 Effects of temperature on the dynamic viscoelastic properties

Note: Values were normalized at 100 °C.

Fig.3において、115、135、155、175°Cにおける E' は時間の経過とともに増加し、115、135、155、175°Cにおける E'' 及び $\tan\delta$ は、時間の経過とともに低下した。そして、温度の上昇とともに、 E' の増加する割合あるいは E'' 及び $\tan\delta$ が減少する割合がわずかながら増加する傾向が認められた。従って、これらの結果から、以下のことが考察された：乾燥木材の微細構造に関して、真の安定状態というものはその温度に対して決まるはずである。しかしながら、乾燥後の木材構成成分の状態は、木材構成成分が飽水状態で形成されるた

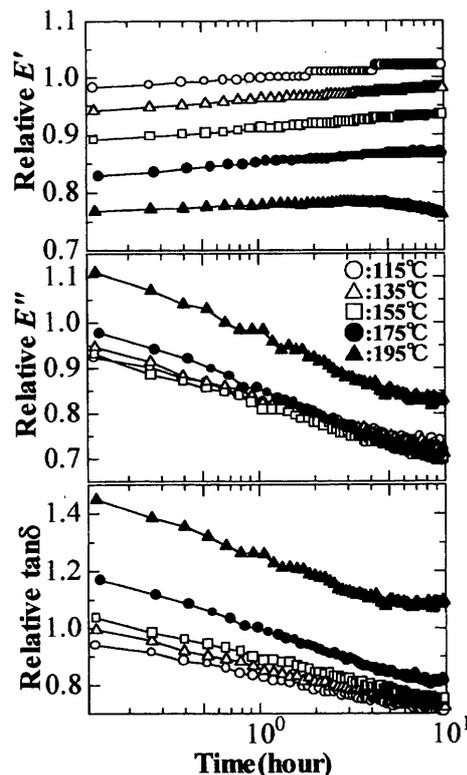


Fig.3 Effects of temperature and time on the dynamic viscoelastic properties

Note: Values were normalized by each value at each temperature in Fig.2.

め、不安定かつ歪んだ状態にある。そして、乾燥木材の微細構造は、時間の経過とともに、ある一定温度における安定状態に向かうはずである。それ故に、温度一定のもとで、時間の増加とともに、 E' が増加、 E'' 及び $\tan\delta$ が減少し、 E' の増加する割合あるいは E'' 及び $\tan\delta$ が減少する割合が増加したものと考えられる。

一方で、195°Cにおける E' は、はじめの4時間は増加し、その後減少した。そして、 E'' 及び $\tan\delta$ は、10時間減少し続けたが、4時間を過ぎた辺りから、その減少率が低下した。195°Cで測定を行っている間における試料の重量減少率は、約10%であった。従って、この温度領域では、木材構成成分の分解と、上述したような木材構成成分の状態変化のいずれもが、動的粘弾性に影響を及ぼしていると考えられる。

上述の結果や考察が示す通り、乾燥後の木材構成成分の状態は、不安定かつ歪んだ状態にあるに違いない。その不安定かつ歪んだ状態にある部位は、おそらく非結晶領域及び非結晶領域の成分と結晶領域の成分の境界付近にある微細構造であろう。しかしながら、熱処理によって木材構成成分の分子運動が活発化するため、不安定かつ歪んだ状態は回復させられる。それ故に、100~200°Cの温度域の動的粘弾性は、温度と時間に大きく依存するのであろう。

参考文献

- 1) 古田裕三、相澤秀雄、矢野浩之、則元 京、木材学会誌、43、725 (1997) .