

木材のメカノソープティブクリープに及ぼす 脱リグニン処理の影響 (第3報)† 繊維方向のMSクリープ*1

張 文博*2, 徳本守彦*2, 武田孝志*2, 安江 恒*2

Effects of Delignifying Treatments on Mechano-sorptive Creep of Wood III. † MS creep of longitudinal specimens*1

Wenbo ZHANG*2, Morihiko TOKUMOTO*2,
Takashi TAKEDA*2 and Koh YASUE*2

In the previous papers, it became clear that the effect of delignifying on mechano-sorptive (MS) creep of radial specimens was quantitatively remarkable, but was qualitatively slight. In this paper, we investigated the effects of delignifying treatments on MS creep of the longitudinal specimens and the obtained results were compared with the case of radial specimens.

The obtained results were summarized as follows :

1. During repeating Ad (loading only during adsorption) or Da (loading only during desorption) processes, total compliance (J_T) and set increased. Delignifying increased the amounts of J_T and set, while the differences in J_T and set between Ad and Da processes were small.
2. Delignifying increased J_T for AD (continuous loading) process : J_T of strongly delignified specimens was 1.7 times as greater than J_T of controls after five moisture cycles. While the deflections increased during each desorption, the deflections decreased remarkably during each adsorption except for the first one.
3. The effects of delignifying were more pronounced for radial specimens, where J_T of strongly delignified specimens was 5.4 times greater than J_T of controls (1.7 times greater for longitudinal specimen). The internal force presumably acts directly on the matrix of cell wall of radial specimens, while the combination of microfibril and matrix might reduce MS creep for longitudinal specimens.

Keywords : bending creep, adsorption and desorption, anisotropy, set recovery, superposition.

前報によると、R方向のMSクリープに及ぼす脱リグニン処理の影響は、定量的に顕著であったが、定性的には大きな変化を示さなかった。本報告では、ヒノキ材についてL方向のMSクリープに及ぼす脱リグニン処理の影響を明らかにし、R方向と比較した。

得られた結果を以下に要約する。

1. ハーフサイクル負荷のAd (吸湿時負荷) 及びDa (脱湿時負荷) 過程を繰り返すとき、脱リグニン処理が進むほど、両過程でトータルコンプライアンス (J_T) がほぼ同程度に増加し、またセットが増加した。
2. 含水率サイクル下の連続負荷条件ADでは、強度に脱リグニン処理した試験片の J_T は無処

† Report II : This journal 52(1), 29-36 (2006).

*1 Recieved July 27, 2005 ; accepted November 28, 2005. 本研究の一部は日本木材学会中部支部大会 (2004年11月, 三重) において発表した。

*2 信州大学農学部 Faculty of Agriculture, Shinshu University, Nagano 399-4598

理の約1.7倍となった。また、脱リグニン処理を行っても従来のMSクリープと同様の挙動が観察された。

3. MSクリープに及ぼす脱リグニン処理の影響は、R方向では、強度処理試験片で5サイクル後の J_T が無処理の5.4倍に達したのに対して、L方向では1.7倍と小さい。このような相違は、R方向ではマトリックスのMSクリープが強く作用したのに対し、L方向ではマトリックスとマイクロフィブリルの相互作用として、 J_T の増加が抑制されたものと考えられる。

1. 緒 言

木材の細胞壁の主体である二次壁中層のマイクロフィブリルは、繊維方向にほぼ平行ともいえる小さい角度で配列し、膨潤・収縮の異方性、弾性異方性などに大きく寄与している¹⁾。当然のことながら、応力と含水率変化の相互作用として現れるメカノソープティブ (MS) クリープも異方性を示す。

前報^{2,3)}において、放射 (R) 方向のMSクリープに及ぼす脱リグニン処理の影響を検討したところ、定量的には顕著な影響が認められたが、定性的には大きな変化をもたらさないことがわかった。おそらく、処理によって吸湿膨潤性を増し、また、剛性が小さくなったマトリックスがR方向のMSクリープに大きく寄与したのと考えられる。

このように横方向では、脱リグニン処理によってMSクリープが顕著に増加するが、繊維 (L) 方向では大分状況が異なる。L方向のMSクリープについては、Boydのモデル⁴⁾において、マイクロフィブリルとマトリックスの相互作用が重要な役割を果たし、L方向のMSクリープは常にマイクロフィブリルの変形を伴うことが示唆されている。

本報告は、L方向試験片を用いて、MSクリープに及ぼす脱リグニン処理の影響を明らかにし、得られた結果をR方向と比較することを目的とした。含水率サイクルにおける負荷条件は、前報^{2,3)}と同様に、吸湿過程のみ負荷するAdと脱湿過程のみ負荷するDaの2条件 (ハーフサイクル負荷) と連続負荷のADを併せて3条件とした。得られた結果を放射方向と比較し、マトリックスからリグニンが段階的に除去される時、MSクリープの異方性がどのように現れるかを考察した。

2. 実験方法

2.1 試験片

ヒノキ (*Chamaecypris obtusa* Endl.) 気乾材から、長さ(L)×厚さ(T)×幅(R) : 120 mm×2.5 mm×10 mmの短冊型試験片を連続的に作製した (Fig. 1参照)。あらかじめ試験片の曲げヤング係数を求めて、一定範囲内のものを揃えて実験に供試した。

2.2 脱リグニン処理

前報²⁾と同じく、亜塩素酸ソーダ法⁵⁾によって試験片の脱リグニン処理を行った。処理液はNaClO₂ 20 g + CH₃COOH 13 ml + 蒸留水967 mlとした。処理液に試験片を浸漬し、5時間の減圧処理を行った後に、温度40℃で3段階の処理、すなわち、10時間処理、30時間処理、30時間処理の2回繰り返して、それぞれ軽度処理 (W)、中度処理 (M)、強度処理 (S) とした。比較のために無処理材 (C) を用いた。

脱リグニン処理後、試片を流水中で5日間洗浄し、その後1週間以上にわたって風乾した。さらに、恒温恒湿器内で次第に温度、湿度を高めて、温度80℃、相対湿度 (RH) 98%条件で2時間のコンディショニング処理を行った。コンディショニング後、ゆるやかに冷却し、温度20℃、RH 40%で48時間以上の調湿を行って実験に供試した。

なお、脱リグニン処理前後の全乾重量の差から重量減少率を求め、実験終了後の試験片を用いて、硫酸法⁶⁾によってリグニン含有率を求めた。

2.3 曲げクリープおよび回復の測定

20℃一定の恒温恒湿器内に設置したスパン10 cmの曲げ試験台を用いて、内扉の挿入孔をとおして負荷、除荷の操作を行った。曲げクリープ実験では、中央集中荷重を加え、デジタル式読み取り顕微鏡 (精度 1/100 mm) を用いて、固定基準点と試験片にマークした標点との差からたわみを求めた。なお、各曲げクリープ試験片のすぐ近くにそれぞれ含水率測定用の試験片をおいて、たわみ測定後に天秤を用いて重量変化を測定した。

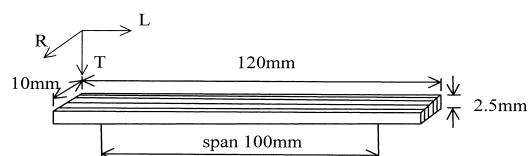


Fig. 1. Specimen for bending creep test (longitudinal specimen).

Notes: L: longitudinal, R: radial, T: tangential.

2.4 含水率サイクルにおける負荷条件

ハーフサイクル毎に負荷と除荷を繰り返す Ad(吸湿過程に負荷し, 脱湿過程は無負荷とする)と Da(脱湿過程に負荷し, 吸湿過程は無負荷とする)の2つの含水率サイクルにおいて, クリーブとクリーブ回復を繰り返す過程のたわみ変化を測定した。さらに, 3番目の条件として, 連続負荷(AD)下の曲げクリーブの測定を行った。なお, 前報²⁾と同じく, 吸湿過程と脱湿過程における負荷の有無を区別するために, それぞれの負荷過程をAとDで表し, 無負荷の場合はaとdで表すものとした。

これら3つの負荷条件を模式的に表すと Fig. 2のとおりである。吸湿に24時間, 脱湿に24時間を設定し, 1サイクルを48時間とし, AdとADについては5サイクル, Daについては1/2サイクル遅れて開始したので, 4.5サイクルの実験を行った。

曲げ負荷は, Table 1に示すとおりで, 無処理試験片(C), 脱リグニン処理試験片(W, M, S)のそれぞれのRH 40%条件における比例限荷重の約1/3に設定した。これらの3条件の含水率サイクルにおける曲げクリーブ実験終了後に, 吸湿過程におけるクリーブ回復を測定した。結果は, すべて3試験片の平均値で表した。

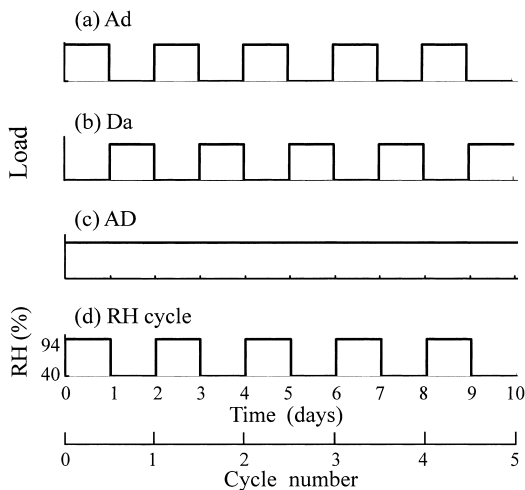


Fig. 2. Schematic diagram of loading conditions during humidity cycles.

Notes: (a) Ad: adsorption under load and desorption under zero-load, (b) Da: desorption under load and adsorption under zero-load, (c) AD: continuous load during adsorption and desorption, (d) Relative humidity (RH) cycle.

3. 結果と考察

3.1 平衡含水率と瞬間コンプライアンス

硫酸法⁶⁾で求めたリグニン含有率は, Fig. 3に示すように, 重量減少にほぼ比例して減少し, 無処理(C): 30.1%, 軽度(W)処理: 26.1%, 中度(M)処理: 20.2%, 強度(S)処理: 15.4%であった。前報²⁾のR方向試験片とS処理の場合を比較すると, L方向では約3%リグニン含有率が高くなった。

平衡含水率(EMC)と瞬間コンプライアンス(J_0)に及ぼす脱リグニン処理の影響を Fig. 4に示した。平衡含水率は, RH 40%においてほとんど変化しなかったが, RH 94%ではリグニンの減少とともに増加し, RH 40%~94%の範囲で含水率サイクルを繰り返すときの含水率変化は, 無処理(C)の11.6%からS処理の17.6%へと広がった。一方, 瞬間コンプライアンスに及ぼす脱リグニン処理の影響はほとんど認められなかった。

Table 1. Applied loads for bending tests.

Specimens	Applied Load (N)		
	Ad	Da	AD
C	4.9	4.9	4.9
W	2.65	2.65	2.65
M	2.65	2.65	2.65
S	1.67	1.67	1.67

Notes: C: control, W: delignifying treatment for 10 hours, M: delignifying treatment for 30 hours, S: delignifying treatment for 30 hours two times.

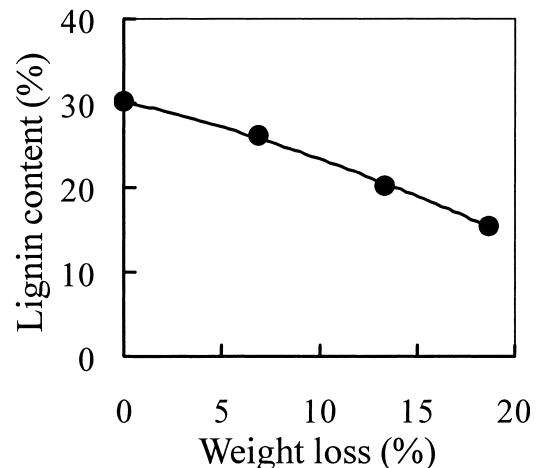


Fig. 3. Relationship between lignin content and weight loss.

3.2 ハーフサイクル負荷の Ad 及び Da 過程のコンプライアンス

含水率サイクルにおいて負荷と除荷をハーフサイクルごとに繰り返す過程, すなわち, 吸湿時負荷の Ad, 脱湿時負荷の Da の両過程におけるトータルコンプライアンス及びクリープ曲線の傾きの変化, サイクルに伴って残留変形が累積する様子を検討した。

Fig. 5 は Ad と Da の両過程におけるコンプライアンスの変化を含水率用試験片から求めた含水率に対して示している。図に示すように, 各サイクルにおいて負荷直後, 除荷直前, 除荷後に放置した後, そして1サイクル後の点を, それぞれ 1, 2, 3, 4 と

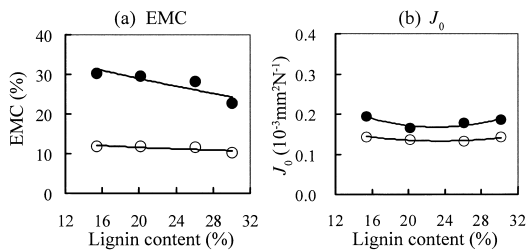


Fig. 4. Effects of delignification on EMC and J_0 .
Legends: ○ : RH 40%, ● : RH 94%.
Notes: EMC : Equilibrium moisture content, J_0 : instantaneous compliance.

する時, 1サイクルのコンプライアンス変化は, 平行四辺形1234を形作り, サイクルを経る毎にこの平行四辺形が少しずつ上にシフトする傾向を示す。このシフトの程度は Da で小さく, Ad で比較的大きい。ただし, Ad の第1サイクルでは, 吸湿過程のクリープ曲線 1-2 の傾きが 2 サイクル以降と比べて大きいため, 1 サイクルの軌跡は平行四辺形というよりも台形に近く, この傾向は脱リグニン処理が進むほど顕著であった。

サイクルに伴う吸湿及び脱湿過程のクリープ曲線の傾き, すなわち MS クリープ係数 (含水率 1% 当たりのコンプライアンス増加) の変化を処理レベル毎に Fig. 6 に示す。第1サイクルでは, 脱リグニン処理が進むとともに, クリープ係数が増加する傾向を示し, この傾向は吸湿と脱湿ではほぼ等しい。しかし, 第2サイクル以降のクリープ係数は, 吸湿過程で減少するのに対して, 脱湿過程での変化は小さかった。従って, 第2サイクル以降では吸湿過程よりも脱湿過程のクリープ係数が大きい。ただし, 脱湿過程でも S 処理の場合は, 2 サイクル以降でやや減少する傾向があった。

ここで, Fig. 5 において各1サイクルのコンプライアンス変化を示す平行四辺形1234のコーナー 2 と 4 のコンプライアンスを, トータルコンプライアンス (J_T) およびセットコンプライアンス (J_S) と定義する。このように定義したコンプライアンス J_T , J_S と

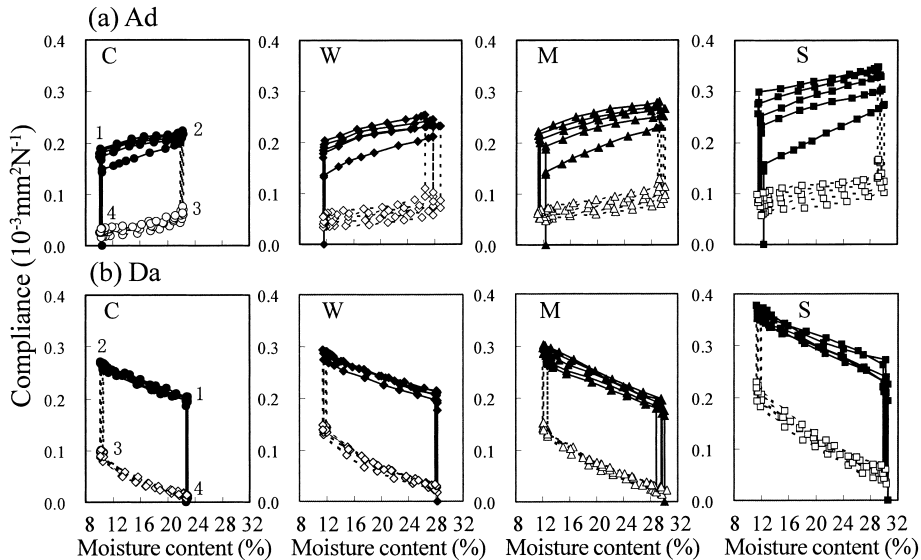


Fig. 5. Compliance as a function of MC during Ad and Da cycles.
Legends: ●, ○ : “C”, ◆, ◇ : “W”, ▲, △ : “M”, ■, □ : “S”.
Notes: Filled symbols: under load, open symbols : under zero-load.
C, W, M, S: See table 1.

サイクル数の関係を Fig. 7 に示した。\$J_T\$ の推移を見ると、第 1 サイクルでは Ad より Da の値が大きいものの、サイクルに伴う Da の増加は小さく、一方 Ad の増加が比較的大きいため、5 サイクル後には両者の \$J_T\$ が接近した。また、サイクル毎にセット (\$J_S\$) が徐々に増加する傾向が認められ、脱リグニン処理

レベルが進むほど、この傾向は顕著であった。

以上のとおり、ハーフサイクル負荷のもとで含水率サイクルを繰り返す時、コンプライアンスが脱リグニン処理によって増加した理由として、MS クリープ係数が増加するとともに、含水率変化量が増加し、加えて発生した変形がセットされ易くなったことが考えられる。

3.3 含水率サイクル下の曲げクリープ

連続負荷 (AD) の含水率サイクル下の曲げクリープと含水率の関係を示すと、Fig. 8 のとおりである。処理レベルに応じて含水率変化幅が大きくなっているが、脱リグニン処理によって、MS クリープはかなり促進され、S 処理では無処理に対して約 1.7 倍のたわみを示した。なお、W 処理と M 処理のクリープ曲線は同程度となった。処理レベルに関わらず、第 1 サイクルの吸湿過程のクリープが顕著であり、5 サイクル後のトータルコンプライアンスの約 1/4 を占める。

含水率サイクルに伴う経過を見ると、脱湿過程では常にクリープが増加し、第 1 回目を除く吸湿過程で明らかなたわみの減少を示し、すでに知られている MS クリープの典型的な特徴^{7,8)} が現れ、この傾向は脱リグニン処理が進むとともに顕著になった。ここで、各サイクルの脱湿過程におけるコンプライアンスの増加を負荷時の瞬間コンプライアンスに対する比 (5 サイクルの平均値、ただし、吸湿過程は第 1 サイクルを除く) で表すと、無処理 (C) では 0.21 であるのに対して S 処理では 0.65 に増加し、吸湿過程におけるコンプライアンスの減少は、無処理 (C) では 0.18 であるのに対して S 処理では 0.52 の値を示した。このように、S 処理試験片では、含水率サイクル下における吸脱湿に伴って、瞬間変形の 50~60 % に相当する MS 変形の増減が認められた。

Fig. 9 は 5 サイクル後のコンプライアンスとリグニン含有率の関係 (図中では○で示す) を示す。リ

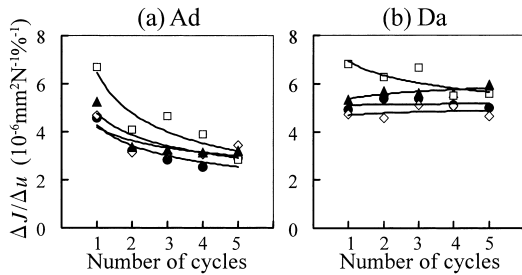


Fig. 6. Increment of creep compliance (ΔJ) per unit moisture content (Δu) change during Ad and Da cycles.

Legends: ●: "C", ◇: "W", ▲: "M", □: "S".
Notes: ΔJ : Change of creep compliance, Δu : change of moisture content.

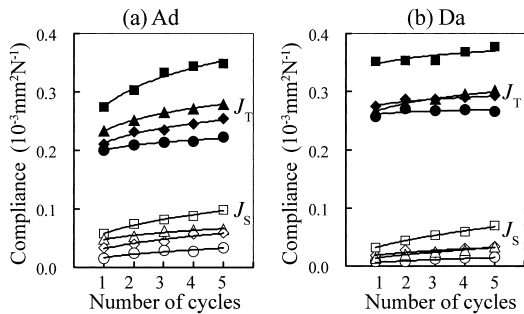


Fig. 7. Increase of J_T and J_S for each cycle.
Legends: ●, ○: "C", ◆, ◇: "W", ▲, △: "M", ■, □: "S".
Notes: J_T : Total compliance, J_S : set compliance.

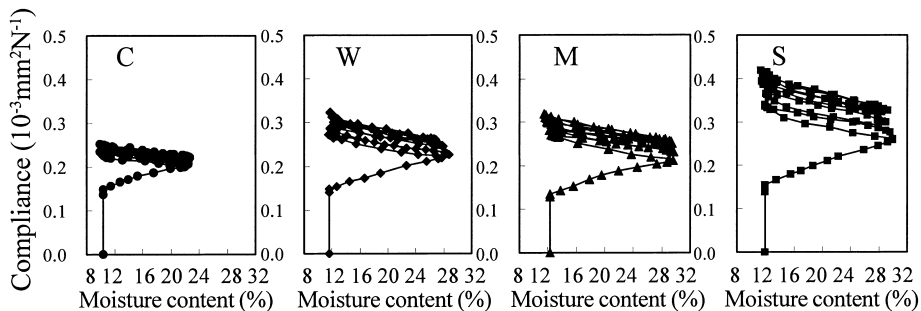


Fig. 8. Creep compliance for AD cycles as a function of MC.
Legends: ●: "C", ◆: "W", ▲: "M", ■: "S".

ゲニン含有率の減少とともにトータルコンプライアンス (J_T) は増加し、無処理に対する比率で表すと、処理の順に1.3, 1.3, 1.7と増加した。同図には、Ad過程の5サイクル後のセットコンプライアンス (J_S) 及び Da 過程の4.5サイクル後のトータルコンプライアンス (J_T) の結果も併せ示しているが、両者ともにリグニン含有率の減少とともに増加している。

ここで、Fig. 9において、AdとDaのコンプライアンスを足し合わせて、ADのMSクリープと比較したところ良い一致を示した。脱リグニン処理した場合でも、吸湿過程と脱湿過程のコンプライアンスの重ね合わせが成り立つことが確認された。したがって、連続負荷下の曲げクリープ挙動は、負荷を半分ずつ吸湿過程と脱湿過程に振り分けて得られたコンプライアンスを重ね合わせたものと見なせる。

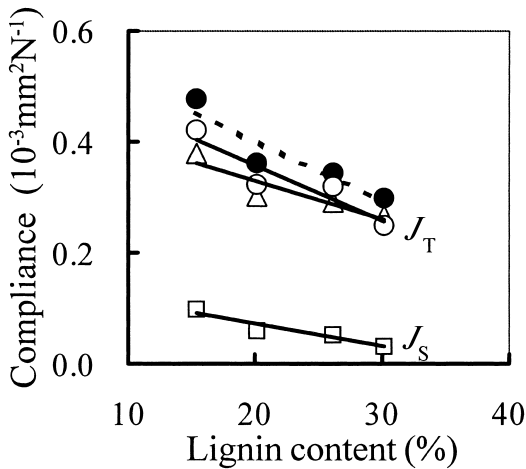


Fig. 9. Relationship between compliance and lignin content.

Legends: \square : Ad (J_S), \triangle : Da (J_T), \circ : AD (J_T) (measured), \bullet : Ad (J_S) + Da (J_T) (calculated).

Notes: J_T : Total compliance after 4.5 cycles, J_S : set compliance for 5 cycles.

3.4 曲げセットの吸湿による回復

連続負荷のAD、ハーフサイクル負荷のAd過程とDa過程のそれぞれ異なる負荷条件のもとで含水率サイクルをうけた曲げセット試験片の吸湿過程における回復経過をFig. 10に示した。AD試験片の回復曲線は、含水率軸に対して直線的に単調に減少する経過を示した。これに対して、Ad試験片の回復曲線は含水率軸に対して上に凸の傾向を示し、Da試験片の回復曲線は上に凹の経過を示した。このように、ハーフサイクル負荷の場合、回復が2段階で進む傾向を示し、回復曲線に変曲点が現れて、処理に伴う繰り返り含水率範囲の拡大に伴って、これら変曲点が高含水率側にシフトする傾向が認められた。

また、Fig. 10には、Ad試験片とDa試験片の回復曲線を重ね合わせた結果 (図中では●) を示している。重ね合わせによる回復曲線はAD試験片の回復曲線 (図中では○) とほぼ等しい直線的な回復経過を示した。従って、脱リグニン処理試験片の回復経過も重ね合わせによってほぼ説明できると考えられる。

3.5 L方向とR方向における結果の比較

MSクリープに及ぼす脱リグニン処理の影響は、R方向ではきわめて顕著であったが、L方向では比較的小さかった。ここでは、脱リグニン処理の影響の異方性を検討する。

連続負荷 (AD) の曲げクリープ曲線とAd過程とDa過程のコンプライアンス曲線を重ね合わせて求めた合成曲線 (Ad+Da) の比較をFig. 11に示す。この図から、L方向とR方向の脱リグニン処理の影響の相違を見ることができる。また、重ね合わせがやや定性的ながら成り立つことがわかる。従って、MSクリープに及ぼす脱リグニン処理の影響の異方性をAd過程とDa過程に分解して考えることができる。

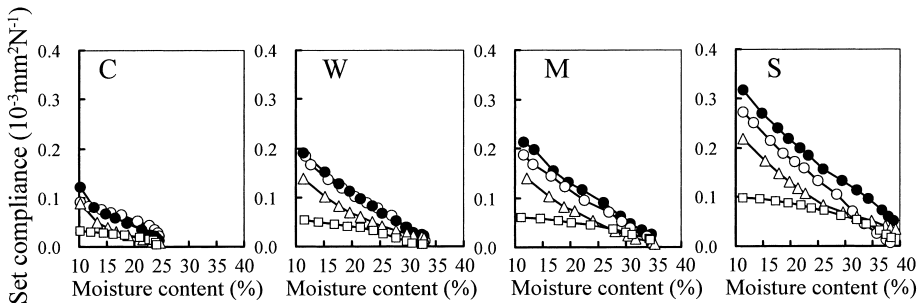


Fig. 10. Recovery of set compliance.

Legends: See Fig. 9.

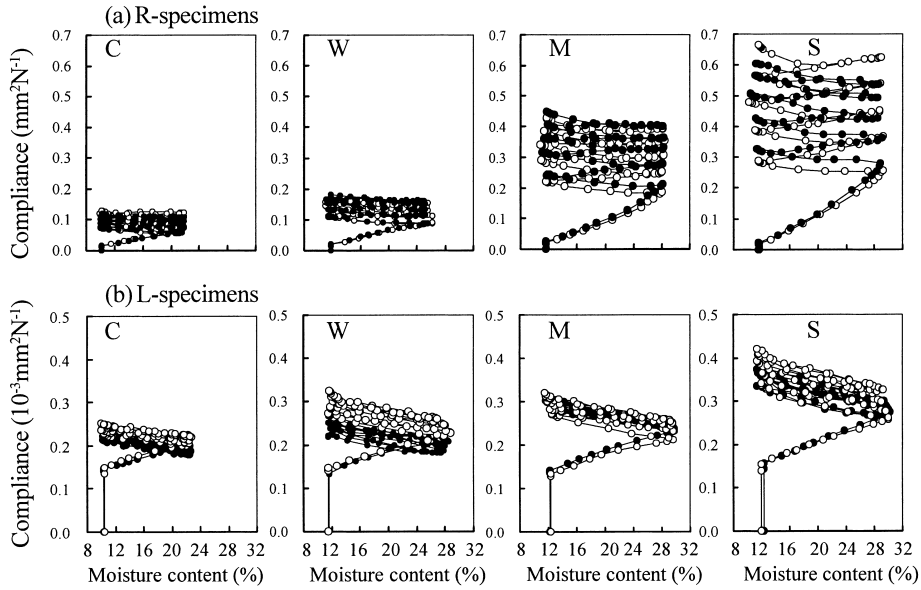


Fig. 11. Comparison of AD and Ad + Da curves between R and L-specimens.
Legends: ○ : AD (measured), ● : Ad + Da (calculated).

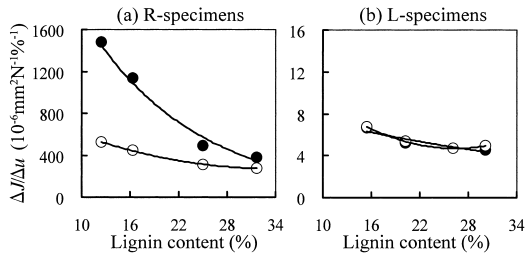


Fig. 12. Comparison of $\Delta J/\Delta u$ of 1st cycle between R and L-specimens.
Legends: ● : Ad cycle, ○ : Da cycle.
Notes: See Fig. 6.

第一に、MSクリープに及ぼす脱リグニン処理の影響は、L方向で比較的小さく、R方向でより顕著である。無処理に対する強度処理(S)の比をとると、5サイクル後のMSクリープはL方向1.7に対してR方向5.4であった (Fig. 11参照)。次に、MSクリープをAdとDaの2つの過程に分解し、両過程におけるMSクリープ係数に及ぼす脱リグニン処理の影響を比較すると Fig. 12のとおりである。ここで、無処理に対するS処理のクリープ係数の比をみると、L方向では吸湿と脱湿ともに1.4と比較的小さいのに対して、R方向では脱湿過程の1.9に比較し、吸湿過程の増加はきわめて顕著で3.9を示した。

さらに、AdとDa過程におけるセットの累積の様子を、Fig. 13に比較した。R方向では、脱リグニ

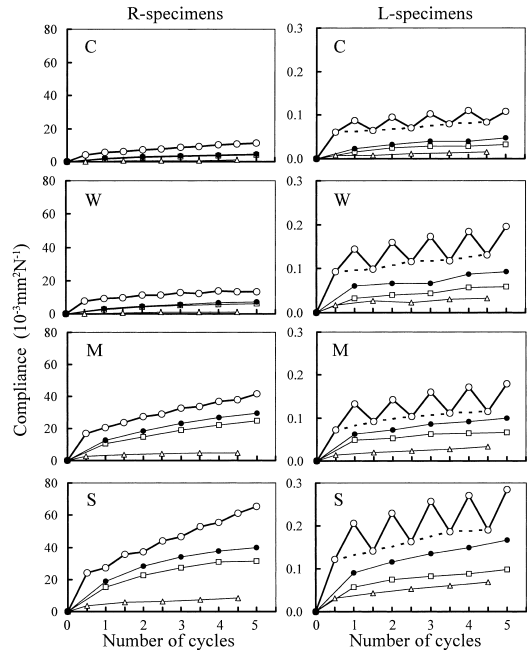


Fig. 13. Changes of total compliance (J_T) and set compliance (J_S) with each moisture cycle.
Legends: □ : Ad (J_S), △ : Da (J_S), ○ : AD (J_T) (measured), ● : Ad (J_S) + Da (J_S) (calculated).

ン処理によって、Ad過程で発生したセットの寄与が明らかに大きくなるのに対して、L方向では脱リグニン処理レベルにかかわらず、AdとDa両過程の寄与がほぼ等しい。

以上のとおり、脱リグニン処理の影響はL方向では比較的小さく、また、吸湿過程と脱湿過程が同程度にトータルのMSクリープに寄与するのに対して、R方向では脱湿過程に比較し吸湿過程のMSクリープの増加が顕著で、これが大きくトータルのMSクリープに寄与していることがわかる。

第二に、吸湿過程における両過程の挙動の相違が、脱リグニン処理によって、より明瞭になることである。Fig. 11からわかるように、無処理材でも吸湿過程においてL方向では明らかな回復を示すのに対して、R方向の回復傾向が弱い。この相違は、脱リグニン処理によっていっそう対照的に現れ、L方向では回復がより顕著になるのに対して、R方向では横ばいから明らかなたわみの増加を示すようになった。

とくにS処理にみられる対照的な吸湿過程の挙動を比較するために、Fig. 11に示す重ね合わせ曲線を求めたプロセスを示すとFig. 14のとおりである。すでに、吸脱湿サイクル下のMSクリープは、新たなMSクリープとすでに発生しているセットの回復の重ね合わせとして説明できることが示されている⁸⁾。図示の上向きの曲線が新たなMSクリープを、下向きの曲線はすでに発生したセットの回復曲線を示し、これらを重ね合わせた結果が一点鎖線で示さ

れている。この図から、吸湿過程のMSクリープ曲線がR方向で横ばいしないしやや増加傾向を示すのは、クリープ成分と回復成分が拮抗しないしやや前者の傾向が強く現れたためと説明できる。一方、L方向で明らかな減少を示すのは正のクリープ成分より負の回復成分が強く現れたためであり、このような傾向が脱リグニン処理によっていっそう強くなったと説明できる。

このような構造方向による脱リグニン処理の影響の相違は、細胞壁二次壁のマイクロフィブリルとマトリックスの相互作用に大きく依存する。すなわち、脱リグニン処理によって吸湿膨潤性を増し、剛性が小さくなったマトリックスの影響が、R方向では直接現れるのに対して、L方向ではマイクロフィブリルとの相互作用として現れたものと考えられる。R方向では、マトリックスのMSクリープがとくに吸湿過程で顕著に発生し、また、これに起因して吸湿過程の重ね合わせのバランスからMSクリープが停滞ないし増加するため、トータルのMSクリープは処理とともに、Fig. 13が示すように、単調増加の傾向を強くしながら顕著な増加を示す。一方、L方向ではマイクロフィブリルの存在によって、マトリックスの影響が抑制されて、MSクリープの増加が比較的小さく、また吸湿過程で顕著な回復が生じるため、トータルのMSクリープは、Fig. 13が示すように、処理とともに鋸歯状波形の振幅を増しながら増加するものと考えられる。

4. 結 論

ヒノキの繊維(L)方向試験片を用いて、MSクリープに及ぼす脱リグニン処理の影響を検討し、放射(R)方向の結果と比較した。得られた主な結果は以下のとおりである。

- 1) ハーフサイクル毎に負荷と除荷を繰り返す時、脱湿時負荷のDaと吸湿時負荷のAdの両過程において、脱リグニン処理に伴ってほぼ同程度に、たわみが増加し、またセットが増加した。
- 2) 連続負荷(AD)のもとで含水率サイクルを繰り返すとき、脱リグニン処理によってトータルコンプライアンスが増加し、強度に脱リグニンした試験片では、無処理の約1.7倍となった。また、すべての脱湿過程でたわみが増加し、第一サイクルを除くすべての吸湿過程で顕著なたわみの減少を示した。
- 3) DaとAdの過程で得られたコンプライアンスの和は、連続負荷のADのコンプライアンスとほぼ等しくなった。

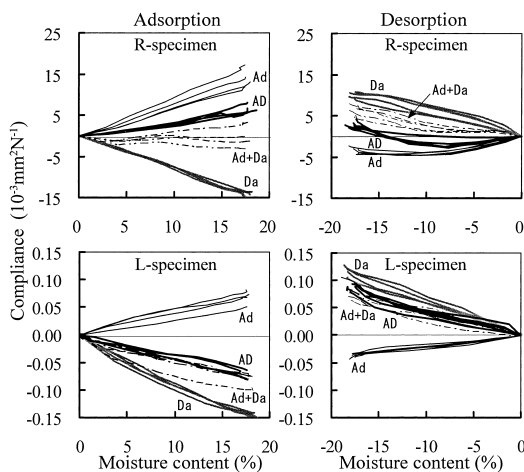


Fig. 14. Comparison of AD and superposed curve of Ad and Da during each adsorption and desorption process for strongly delignified specimens.

Legends: —: Ad, - - -: Da, - · - ·: AD, ···: Ad+Da.

- 4) 吸湿過程におけるセツトの回復を検討した結果, AdとDaの回復曲線を重ねて得られた合成回復曲線は, ADの回復曲線とよく一致した。
- 5) MSクリープに及ぼす脱リグニン処理の影響をL方向とR方向で比較すると, 次のような相違が認められた。(a)MSクリープの増加は, L方向では比較的小さく, R方向ではきわめて顕著であった。(b)MSクリープに及ぼすAdとDaの寄与をみると, L向では, 処理にかかわらず, 両過程がほぼ等しく寄与したのに対し, R方向では, Daに比較しAdの寄与がより顕著になった。(c)L方向では吸湿過程のクリープの回復がより顕著になるのに対し, R方向では増加する傾向が現れて, サイクルに伴うMSクリープ曲線は, 鋸歯状波形を描くL方向に対し, R方向では単調増加の傾向をより強く示した。

以上のような相違は, 脱リグニンされたマトリックスの影響が, L方向ではマイクロフィブリルとの相互作用として現れ, 一方R方向では直接に現れたも

のと考えられる。

文 献

- 1) 伏谷賢美: “木材の物理”, 伏谷賢美, 木方洋二, 岡野 健, 佐道 健, 竹村富男, 則元 京, 有馬孝禮, 堤 壽一, 平井信之共著, 文永堂出版, 東京, 1985, pp. 67-68.
- 2) 張 文博, 徳本守彦, 武田孝志, 安江 恒: 木材学会誌 **52**(1), 19-28 (2006).
- 3) 張 文博, 徳本守彦, 武田孝志, 安江 恒: 木材学会誌 **52**(1), 29-36 (2006).
- 4) BOYD, J. D. : “New Perspectives in Wood Anatomy”, P. Bass ed., Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Hague, 1982. pp. 171-222.
- 5) 伏谷賢美: 木材学会誌 **14**(1), 11-17 (1968).
- 6) 黒田健一: “木質科学実験マニュアル”, 日本木材学会編, 文永堂出版, 東京, 2000, pp. 93-97.
- 7) Grossman, P.U.A. : *Wood Sci. Technol.* **10**(3), 163-168 (1976).
- 8) 徳本守彦: 木材学会誌 **47**(3), 189-197 (2001).