

## Changes of Residual Stresses in Sugi Log Treated by Direct Heating Method

藤本, 登留  
九州大学農学部林産学科

河辺, 純一  
九州大学農学部林産学科

又木, 義博  
九州大学農学部林産学科

<https://doi.org/10.15017/10930>

---

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 76, pp.39-48, 1997-03-28. Kyushu University Forests  
バージョン :  
権利関係 :



## 燻煙熱処理によるスギ丸太の材内応力挙動\*

藤本 登 留\*\*・河 辺 純 一\*\*・又 木 義 博\*\*

### 抄 録

成長応力の緩和を主な目的とした燻煙熱処理の効果が、スギ丸太で調査された。

材内含水率は、辺材部および心材部の高含水率域において燻煙熱処理により大きな低下が見られたが、移行部の比較的低含水率域においてはほとんど変化は見られなかった。その結果、丸太横断面内における放射方向含水率分布の均一化の効果が示唆された。しかし、心材部において高い含水率の低減がほとんど見られないものもあり、従来からスギの乾燥で問題となっている黒心材を持った乾燥性が悪い丸太は、辺材部のみ含水率が減少することも考えられ、内外にわたる含水率傾斜が大きくなることも懸念された。なお熱処理後は、2カ月程度の室内放置において含水率分布の変化はほとんど見られなかった。

3軸方向応力の半径方向分布が、土井らの手法により測定された。製材時の挽き曲がりの原因となる軸方向応力の傾斜が、熱処理により小さくなる傾向が見られた。しかし、2カ月放置することによって中心部および外周部が引張方向へ大きく変化して、その傾斜が大きくなることから、熱処理後一定期間放置されると、再び挽き曲がりの危険性が增大するものと考えられた。半径方向および接線方向応力分布の変化に一定の傾向は見られなかったが、丸太面の割れに影響すると考えられる外周部の接線方向応力は、いずれも圧縮応力が測定され、各測定時期での割れの危険性は小さいものと考えられた。

キーワード：スギ、熱処理、含水率、残留応力

### 1. 目 的

製材時の変形を抑制して歩留まりおよび加工精度の向上、さらには修正挽きの工程を省くことを目的として、燻煙熱処理による丸太の内部応力（成長応力）除去技術に関する開発的研究が近年行われている。奥山ら（1988）は、スギ間伐材の燻煙熱処理条件を残留応力（成長応力）の除去効果と損傷を目安に検討した。すなわち、製材品の曲がりや丸太表面の割れを測定し、これらの変曲点から材温 80℃ 以上で 40 時間内外の処理が適当であることを報告している。しかし、処理材のその後の放置により外周部が乾燥して、新たに乾燥応力が発生することも考えられる。

今回は、燻煙熱処理の効果を検討する基礎的資料を得るために、上記の温度条件を基本に処理されたスギ丸太の含水率分布および内部応力分布の変化を実験的に求めた。さらに比較的長期間放置された場合の処理材についても同様に対応させながら調査することにより、処理材の取り扱いに関する若干の知見を得た。

---

\* FUJIMOTO, N., KAWABE, J. and MATAKI Y. : Changes of Residual Stresses in Sugi Log Treated by Direct Heating Method.

\*\* 九州大学農学部林産学科

Department of Forest Products, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-81

## 2. 調査方法

### 2.1. 供試丸太および燻煙熱処理

生材、燻煙熱処理後1週間および2カ月放置後の丸太の内部応力をそれぞれ測定するため、図1のように3本の4mスギ生丸太を各3本ずつ1.3mに玉切りして供試した。ここで、供試丸太の末口径は15cm～19cmの範囲であった。

燻煙熱処理は、材内温度が図2に示すように80℃以上の温度を30～45時間保ち、その後加熱を止め自然冷却した。炉から取り出した後、ひきつづき天日、雨水にあたらない場所に1週間および2カ月放置して応力測定を実施した。

### 2.2. 含水率分布および内部応力測定

各々の供試丸太中央部から材長44cmの応力測定用丸太を得るとともに、隣接する横断面材(円盤)を含水率分布測定用として採取した。含水率分布はこの円盤から糸のこで同心円状に円環を順次切り出し、全乾法で放射方向含水率分布を得た。応力測定用丸太には、長さ方向中央部の剥皮した外周面上の接線および軸方向に2枚ずつひずみゲージを貼付した。その丸太について旋盤で中心から同心円状に順次薄層を中ぐりし、その都度変化する各ひずみ、およびその丸太の隣接部からの試料で実測した3軸方向の圧縮弾性係数などを応力理論計算式(奥山ら, 1975)に入れて、3方向内部応力の半径方向分布を求めた(河辺ら, 1993)。

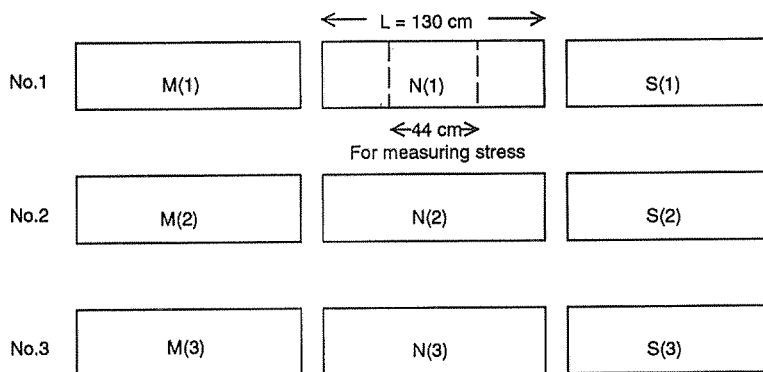


Fig. 1 Preparation of test specimens.

Notes; M : For testing under green condition.

N : For testing after seasoning for one week subsequent to heat treatment.

S : For testing after seasoning for two months subsequent to heat treatment.

図1 試験片の概要

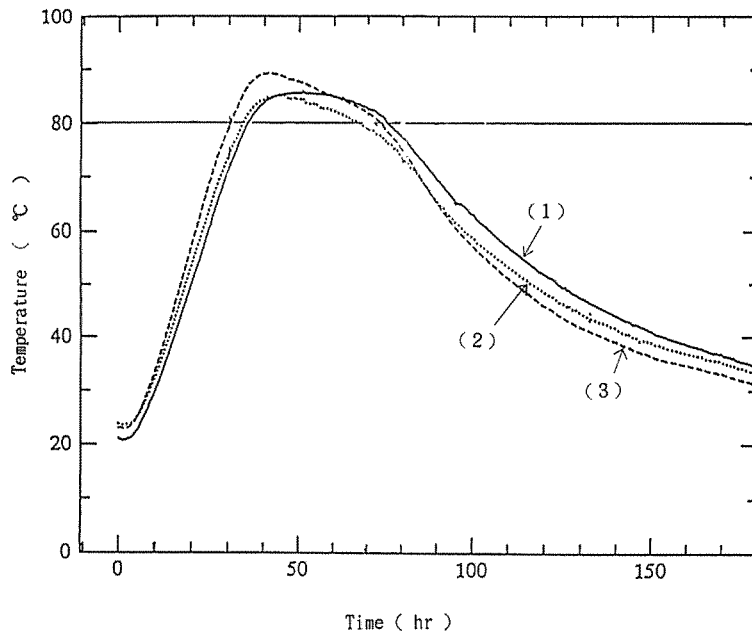


Fig. 2 Temperature curves in the log during heat treatment.

Note : (1), (2), (3) : See Fig. 1

図2 熱処理中におけるスギ丸太の温度経過

### 3. 結果および考察

#### 3.1. 含水率分布

図3, 5, 7に丸太横断面内の半径方向含水率分布を示す。生材状態においては、中心部で70~100%以上の含水率を示し、中間部（白線帯）の40~50%まで次第に減少し、その外周部の辺材部で再び心材部以上の高い含水率になる分布を示す。

燻煙熱処理後には、外周部の高い含水率が選択的に大きく低下している。No.2, 3では中心部の高い含水率も減少しているものの、No.1では減少は見られない。いずれにしても横断面内の面積割合が大きな辺材部の含水率が減少することで丸太全体の平均含水率は著しく低減し、その後の乾燥時間の短縮、ひいては乾燥エネルギーの減少が見込まれる。

また、No.2について、処理後2カ月経過した丸太の含水率分布を測定したところ、図5に示されるように処理直後の場合と同じ程度のレベルで比較的類似した含水率分布をとる。一般に乾燥が進行し易い外周部の辺材部の含水率もほとんど減少していない。処理後数カ

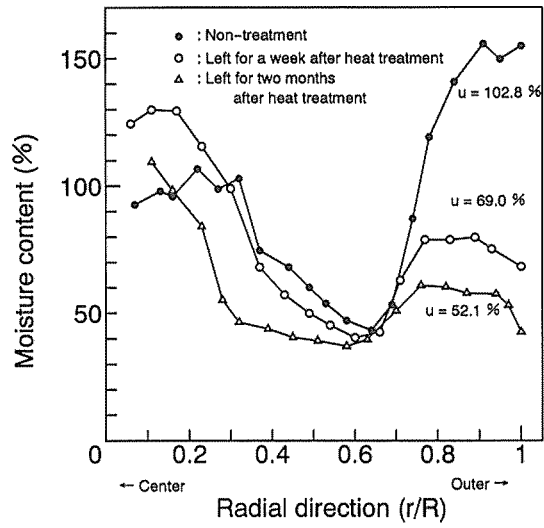


Fig. 3 Moisture distributions across the diameter (No. 1).

Note : u : Average moisture content.

r : Distance from center.

R : Radius

図3 半径方向含水率分布 (No. 1)

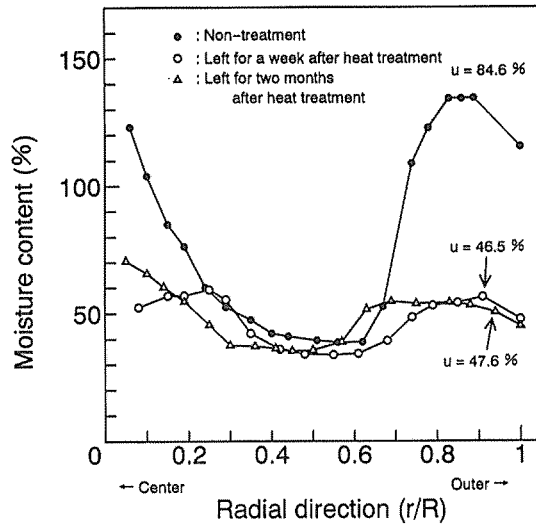


Fig. 5 Moisture distributions across the diameter (No. 2).

Note : See Fig. 3

図5 半径方向含水率分布 (No. 2)

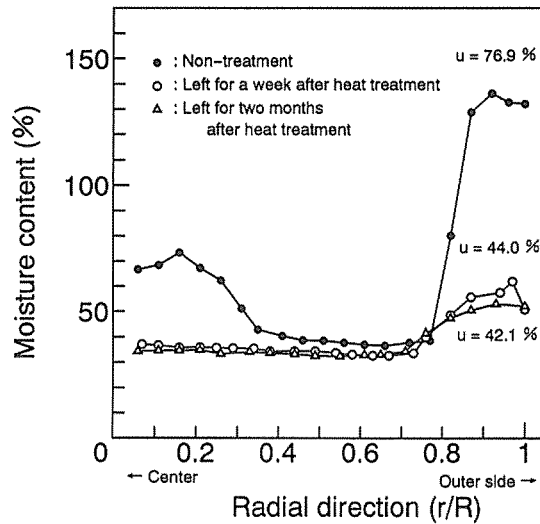


Fig. 7 Moisture distributions across the diameter (No. 3).

Note : See Fig. 3

図7 半径方向含水率分布 (No. 3)

月経過しても丸太の重量はそれほど変わらないという現場の意見も聞かれることから、燻煙熱処理した皮付き丸太の状態のままでは、その後の放置に伴う自然乾燥が抑えられることが推察される。外周面の黒色化が激しいことから、その一因として、燻煙によるタール成分等の付着により水分蒸散が抑制されているものと考えられる。

### 3.2. 内部応力分布

図4, 6, 8に生材状態および処理直後の3方向応力の半径方向分布を示す。

軸(L)方向の応力分布は、製材時に発生する曲がりの原因となる。しかし、供試丸太の元口側からとった生材状態の短尺丸太は比較的直径が大きいために、測定装置の限界である穴ぐり深さ約40cmでは径に対し長さが比較的短く、外周部のひずみが玉切り時に解放されやすいと考えられる。したがって、この実験では生材状態の半径方向応力分布(成長応力分布)がこれまで実施してきた一般的な傾向を示し得なかった。そこで、今年度当研究室で測定したスギ生材の場合の応力分布を図9に示し比較検討する。

生材のL方向応力の半径方向分布は、外周部で引張、中心部で圧縮の大きな応力傾斜が一般に見られる。これは、成長応力と考えられる残留応力である(奥山ら, 1988)。それに対して、処理材では外周部の引張応力が大きく減少すると共に、含水率が減少した中心部で圧縮応力が減少、あるいはわずかに引張応力に移行している。すなわち、外周部から中心部に至る応力傾斜がかなり緩和されていると考えられ、製材に伴う曲がりもかなり小さくなるものと予測される。今回測定した生材丸太の応力分布と比較しても同様な傾向が見られる。ただし、中心部の含水率が処理後も依然として高いNo. 1の中心部応力は比較的高い圧縮応力を維持している。このことから、高温熱処理による中心部の含水率の減少と、

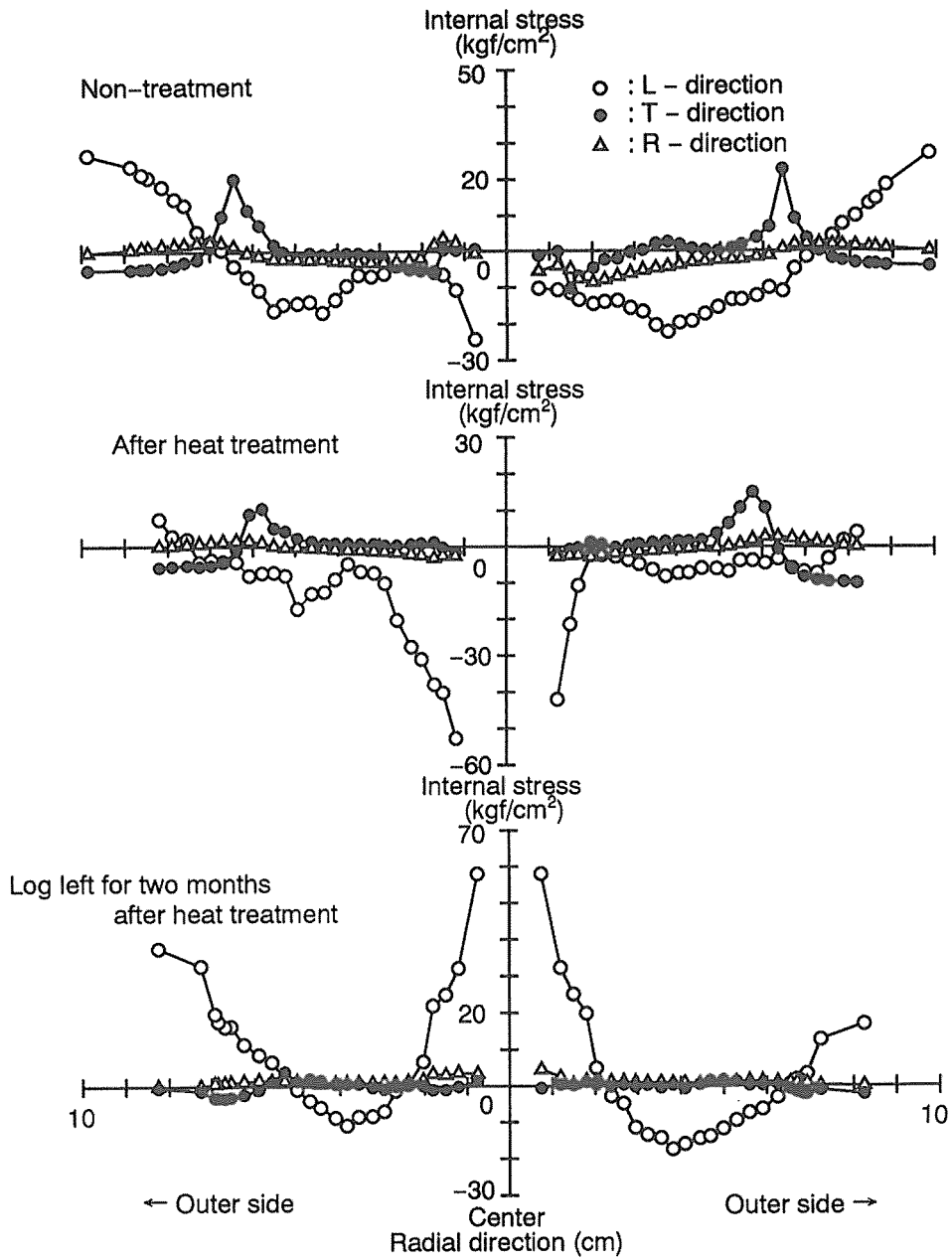


Fig. 4 Residual stress of L, T, R-direction across the diameter (No. 1).

図4 L, T, R 方向応力の半径方向分布 (No. 1)

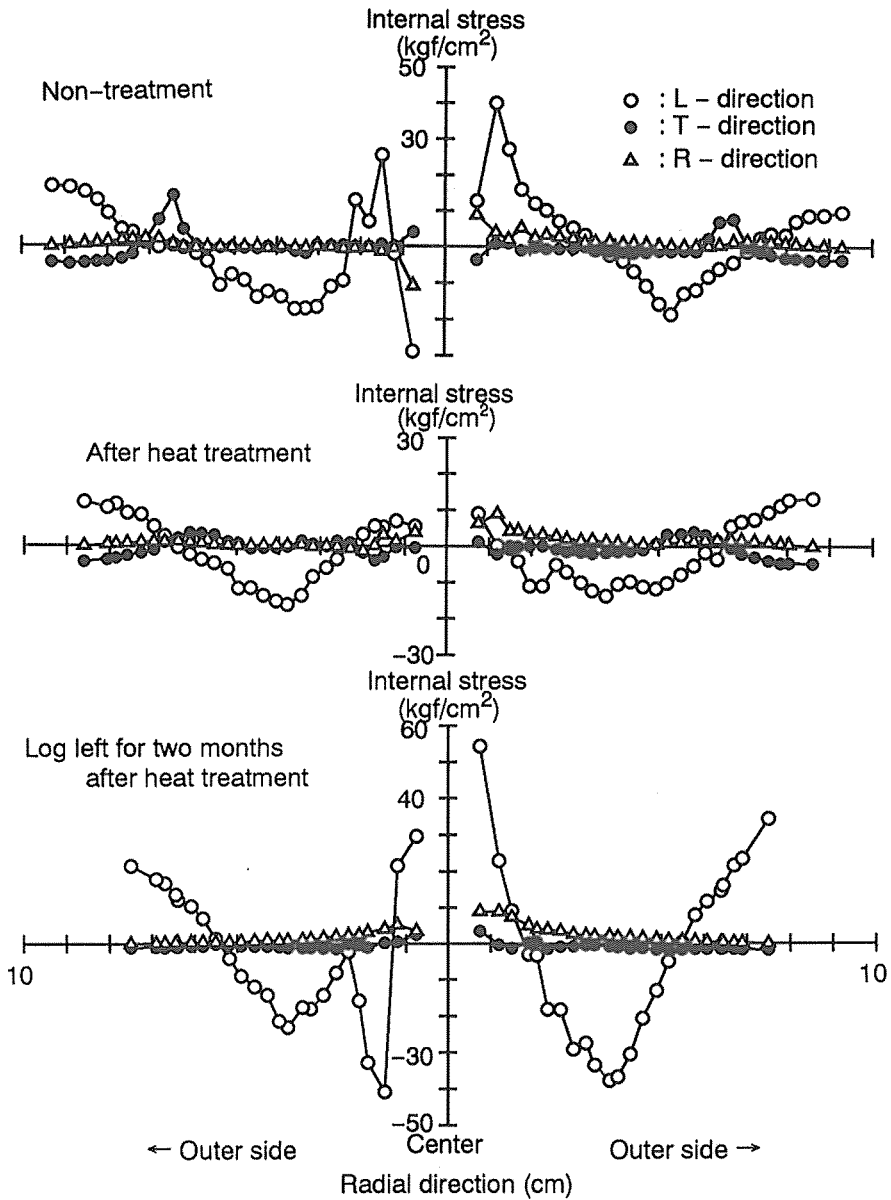


Fig. 6 Residual stress of L, T, R-direction across the diameter (No. 2).

図6 L, T, R 方向応力の半径方向分布 (No. 2)

全体的な応力緩和との関連についても検討の必要性があろう。

丸太外周面の割れに直接関わる接線 (T) 方向応力は、生材状態、処理後も外周部で圧縮応力を示すため、処理による材面割れの危険性は小さいと思われる。これは、含水率



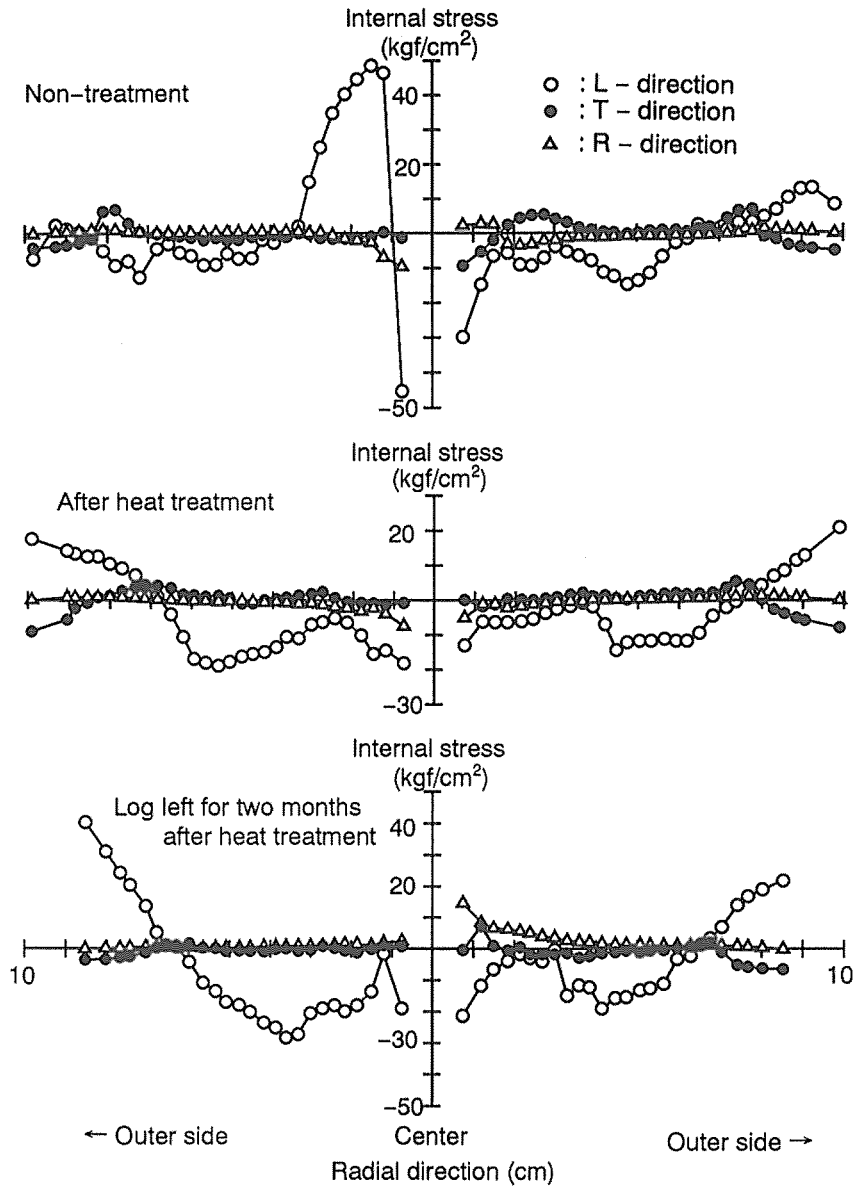


Fig. 8 Residual stress of L, T, R-direction across the diameter (No. 3).

図8 L, T, R方向応力の半径方向分布 (No. 3)

分布のどの部位でも繊維飽和点より高い含水率を示していることから、乾燥収縮による大きなひずみ変化がないことと、高温処理による丸太内層部の細胞の落ち込み（寺沢ら、1988）が原因であると考えられる。しかし、初期含水率が低い丸太の処理や、さらに長い時間の処理を施す場合は、外周部が繊維飽和点以下に乾燥して外周部に引張応力が発生す

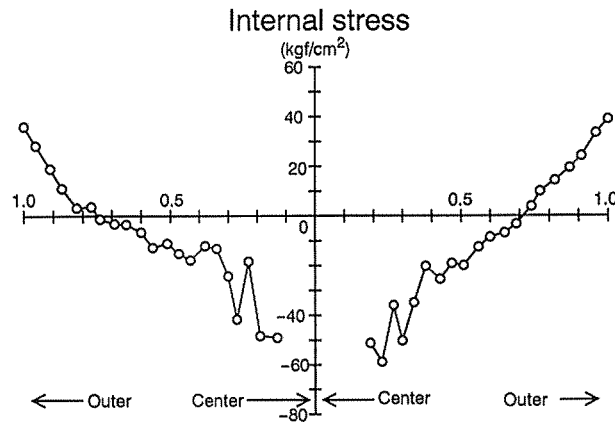


Fig. 9 Longitudinal stress distribution across the diameter of sugi green log.

図9 スギ生丸太の軸方向応力分布

るものと予測できる。現場でも処理時間が長い場合は大きな表面割れが発生することが指摘されている。すなわち、被処理丸太の選別、土場での含水率管理および処理スケジュールの検討はその都度要求されるであろう。

処理後2カ月の放置で含水率分布はほとんど変化はないものの、緩和された軸方向の応力は、大きな変化が見られる(図4, 6, 8)。すなわち、外周部と中心部で引張の方向へ、半径中間部で圧縮方向へ変化し、全体的に応力傾斜が大きくなっていることがわかる。含水率は、今回の測定ではどの位置も繊維飽和点を上回るが、やはり丸太のごく表層では繊維飽和点を下回り、その部分の乾燥収縮が原因して、2カ月の間に応力分布が大きく変化したものと予測されるが、今後の検討が必要である。

接線(T)方向応力は、2カ月の放置によっても外周部の応力は圧縮のままで、割れの危険性は小さいようである。高温処理による内層部の細胞の落ち込みの効果によると思われるが、圧縮応力は減少しており、前述のようにごく表層は乾燥収縮していることも考えられ、さらに長期間の調査が今後必要である。

いずれにせよ、今回の調査では燻煙熱処理に関して未だ初歩的な検討にとどまっており、不十分な点が見られることから、伐採から土場置きを経て処理に至る丸太の含水率変化とそれに伴う応力分布の変動などを明らかにし、処理前の含水率・応力状態を確実に把握した上で、処理効果を究明することが必要である。さらに、処理後の含水率・応力分布調査についても未処理材との比較を加え、さらなるデータの積み重ねが必要と考えられる。

## 4. 結 言

以上、スギ丸太の燻煙熱処理を行い、処理前、処理後1週間および処理後2カ月における含水率分布と残留応力分布について調査した。その結果、燻煙熱処理は含水率分布と軸方向応力分布の傾斜を緩和することが確認された。その結果、製材時の挽き曲がり抑制と、高含水率部の含水率低減により予備乾燥の効果も期待される。

2カ月の放置により含水率分布はほとんど変化はないものの、軸方向応力分布の傾斜が大きくなることから、挽き曲がりが再び増大することが考えられる。すなわち、挽き曲がりを抑制するために燻煙熱処理を採用する場合、処理から製材までの放置期間に制限を設ける必要があると考えられる。

## 謝 辞

試験材の提供ならびに燻煙熱処理を行っていただいた(有)ウイズの福原勝己氏、梅木敏幸氏に対し、厚くお礼申し上げます。

## 引 用 文 献

- 河辺純一・坂本和幸・藤本登留・又木義博(1993)：スギ丸太の高周波加熱減圧乾燥－赤心材および黒心材の内部応力変化－。木材学会誌 39：284-292
- 奥山剛・木方洋二(1975)：薄層除去法によって測定した樹幹の残留応力分布について。材料 24：845-848
- 奥山剛・山本浩之・村瀬豊(1988)：直接熱処理による間伐材の材質変化。木材工業 43：359-363
- 寺沢眞・筒本卓造(1988)：木材の人工乾燥。日本木材加工技術協会、東京、pp.50-52

(1996年12月13日受付；1997年1月20日受理)

## Summary

Effects of direct heating method on relaxation of residual stresses in sugi logs were investigated.

High moisture contents at the heart wood and the sap wood remarkably decreased by this heat treatment. Therefore, moisture content distributions on cross section were uniformized. But during two months after this treatment, these did not almost change.

Residual stresses in longitudinal direction, which had large gradients across the diameters of non-treated logs, were relieved by this heat treatment. But these stresses at the center and outer part of the cross section became large tension at two months after treatment.

**Key words** : sugi; heat treatment; moisture content; residual stress.