

|          |  |
|----------|--|
| 氏名       | うえはら たいら<br>植原 平   |
| 学位の種類    | 博士（農学）   |
| 学位記番号    | 甲第364号   |
| 学位授与年月日  | 平成17年 3月15日  |
| 学位授与の要件  | 学位規則第4条第1項該当   |
| 学位論文題目   | スギ心持ち正角材の高温乾燥における内部割れとその抑制に関する研究<br>(A study of internal cracks in sugi ( <i>Cryptomeria japonica</i> D.DON)boxed-heart square timbers caused by high temperature drying and development of the drying method reducing the internal cracks.) |
| 学位論文審査委員 | (主査) 作野友康<br>(副査) 古川郁夫 西野吉彦 奥村武信<br>古野 毅   |

## 学位論文の内容の要旨

### 緒言

住宅構造用材、とりわけ、スギ心持ち正角無背割りの柱材の乾燥方法において、高温乾燥は、乾燥時間が短縮でき、しかも材面割れが少ないなどの特長があり、近年、急速に普及している。一方で、高温乾燥の欠点として、内部割れが生じやすいことは良く知られている。内部割れが多く生じることにより、住宅構造用材としての使用上において懸念されている。したがって、スギ柱材の内部割れを抑制する高温乾燥法の確立が望まれている。高温乾燥による内部割れの抑制が可能となれば、国産材の需要拡大に大きな飛躍が期待されると考える。

そこで、本研究は、高温乾燥過程において発生する内部割れの抑制を検討するために、内部割れと内部ひずみとの関連を検証した。内部割れの発生メカニズムを解明することによって、内部割れを抑制する乾燥方法の開発を目的とした。

### 1. 高温乾燥による内部割れの実態

スギ心持ち正角材の高温乾燥では、乾燥初期から乾球温度 120℃、湿球温度 90℃の条件により乾燥を行うことが材面割れを防止するのに有効であると報告されている。そこで、この乾燥条件によって内部割れの実態を検証することにより、内部割れの抑制における研究方法を検討した。

実験により、120℃の持続乾燥時間が長いほど、内部割れの発生率は高い。120℃の持続時間が

37 時間と 18 時間では、顕著な内部割れの発生率は、二つの乾燥条件による違いはなかった。これは、100℃以上の高温乾燥では 120℃の持続時間以外に内部割れを発生させる因子があるものと推察された。

## 2. 開放ひずみによる内部割れの推定

内部割れが発生する要因は、乾燥中の材内部の収縮過程において引張応力が増大した箇所におこると考えられる。本研究では、高温乾燥中のサンプル材を乾燥機内から取り出して、開放ひずみを測定し、その時点における正角材（柱材）の横断面でのひずみ分布と含水率分布から内部応力を推定した。内部割れは、マイナスのひずみ（引張応力）がピークとプラスのひずみ（圧縮応力）がピークになったときに、内部割れの発生し易い状態であることが明らかになった。マイナスのひずみのピークは材内の乾燥収縮が進行する過程において、引張応力が増大していたことを示しているものと考えられる。そこで、内部割れの抑制方法として、乾燥過程において材内は繊維飽和点である含水率 30%から 35%付近から乾燥収縮を始めるので、この時点の含水率を監視することによって、内部割れが発生する前に乾燥条件を緩和することにより、内部割れの抑制効果が認められた。

## 3. 内部割れと内部ひずみとの関係

さらに、内部割れを効果的に抑制するために、スギ心持ち正角材の高温乾燥過程での材内ひずみをひずみゲージを用いて連続して計測し、内部割れとの関係について検討した。高温乾燥後の横断面に認められた内部割れは、心持ち正角材横断面の表層に近い対角線において、放射状に発生しており、この箇所に大きな引張応力があつたと考えられる。

乾燥収縮が進行する過程において、内部割れが発生する前に、引張応力の増大によるものと考えられる収縮の進行が抑えられたひずみ変化が観測された。つづいて、乾燥中に観測された急激な収縮ひずみの増大は、内部割れの発生に伴う引張応力からの開放によるものと考えられる。内部割れによる収縮ひずみの増大により、隣接の対角線付近が引張されながら、乾燥収縮することにより、引張応力が増大し、内部割れが発生しやすくなることがひずみの時間変化の観測により明らかになった。このように、内部割れは、順次、別の箇所においても割れが発生していくことが、ひずみの変化過程を観測することにより推察された。これらの結果、スギ心持ち正角材の高温乾燥における内部割れの発生メカニズムが明らかになった。

内部割れの発生は、乾燥開始後 30 時間で既に発生している可能性が示されたが、これは、乾燥割れを抑制するための新たな乾燥スケジュールの開発において、きわめて重要な知見であるといえる。

## 4. 内部割れの抑制乾燥方法の開発

内部割れを抑制するためには、乾燥中の材内部における乾燥応力を的確かつ迅速に、しかも

連続的に推定して制御することが必要である。

高温乾燥中のスギ心持ち正角材の内部にひずみゲージを取り付けて、内部割れが発生する前のひずみ変化を監視し、抑制する方法を検討した。その結果乾燥中のひずみ変化を1時間当たりのひずみ変化量（変化速度）として観測したところ、内部割れの発生は1時間当たりのひずみ変化量が急速に大きくなる部分で起こり易いことが明らかになった。

そこで、高温乾燥中におけるひずみ変化を1時間あたりの変化量として観測する事により、ひずみが $-3.00 \times 10^{-4}/h$ 以下の大きな変化量にならないように、乾球温度を制御することで、内部割れを抑制する乾燥方法を試みた。その結果、ひずみ変化量が大きくなる前に乾球温度を下げ、ひずみ変化量をコントロールすることが可能であり、その結果内部割れを抑制する効果が認められた。

## 5. まとめ

スギ心持ち正角無背割りの柱材の高温乾燥における内部割れを抑制する研究を行った。ひずみゲージを材内部に埋め込みことによって、乾燥中のひずみを連続して計測し、ひずみ変化と内部割れとの関係を検討した。その結果、高温乾燥中のひずみの時間変化を観測することにより、内部割れの発生メカニズムを把握することが可能であった。つづいて、ひずみ変化速度を監視因子として、乾燥機内の乾球温度を制御することにより、内部割れを効率的に抑制できることを示した。

本研究において、高温乾燥におけるスギ柱材の内部割れの発生メカニズムが明らかになり、内部割れを抑制する手法が示された。これらの成果は、今後の高温乾燥技術の進展に大きく寄与するものと期待される。

## 論文審査の結果の要旨

住宅構造用材、とりわけ、スギ心持ち正角無背割り柱材の乾燥方法において、高温乾燥は、乾燥時間が短縮でき、しかも材面割れが少ないなどの特長があり、近年急速に普及している。一方で、高温乾燥の欠点として、内部割れが生じやすいことが良く知られており、このことが住宅構造用材としての使用上において懸念されている。したがって、スギ柱材の内部割れを抑制する高温乾燥法の確立が望まれている。高温乾燥による内部割れの抑制が可能となれば、国産材需要拡大に大きな飛躍が期待される。

そこで、本研究では、高温乾燥過程において発生する内部割れの抑制を検討するために、内部割れと内部ひずみとの関連を検証している。そして、内部割れの発生メカニズムを解明することによって、内部割れを抑制する乾燥方法の開発を行った。

本論文の要旨は以下の通りである。

### 1. 開放ひずみによる内部割れの推定

高温乾燥中のサンプル材を乾燥機内から取り出して、開放ひずみを測定し、その時点における正角材（柱材）の横断面でのひずみ分布と含水率分布から内部応力を推定した。内部割れは、マイナスのひずみ（引張応力）がピークあるいはプラスのひずみ（圧縮応力）がピークになったときに、内部割れが発生しやすい状態であることが明らかになった。マイナスひずみのピークは材内の乾燥収縮が進行する過程において、引張応力が増大していたことを示しているものと考えられる。そこで、内部割れの抑制方法として、乾燥過程において材内は繊維飽和点である含水率 30% から 35% 付近から乾燥収縮が始まるので、この時点の含水率を監視することによって、内部割れが発生する前に乾燥条件を緩和することにより、内部割れの抑制効果があると考えられる。

### 2. 内部割れと内部ひずみとの関係

内部割れを効果的に抑制するために、スギ心持ち正角材の高温乾燥過程で材内に設置したひずみゲージを用いて連続計測し、ひずみの変化と内部割れとの関係について検討をした。高温乾燥後の横断面に認められた内部割れは、心持ち正角材横断面の表層に近い対角線において、放射状に発生しており、この箇所には大きな引張応力があつたと考えられる。内部割れの発生は、乾燥開始後 30 時間で既に発生している可能性が示されたが、これは、乾燥割れを抑制するための新たな乾燥スケジュールの開発において、きわめて重要な知見であるといえる。

### 3. 内部割れの抑制乾燥方法の開発

乾燥中のひずみ変化を 1 時間当りのひずみ変化量（変化速度）として観測したところ、内部割れの発生は 1 時間当りのひずみ変化量が急速に大きくなる部分で起こり易いことが明らかになった。

そこで、高温乾燥中におけるひずみ変化を 1 時間あたりの変化量として観測することにより、ひずみが  $-3.00 \times 10^{-4} \text{h}$  以下の大きな変化量にならないように、乾球温度を抑制することで内部割れを抑制する方法を試みた。その結果、ひずみ変化量が大きくなる前に乾球温度を下げて、ひずみ変化量をコントロールすることが可能であり、これによって内部割れを抑制する効果のあることが認められた。

以上のように本論文はスギ心持ち正角無背割り柱材の高温乾燥における内部割れを抑制することを目的として、ひずみゲージを材内部に埋め込むことによって、乾燥中のひずみを連続して計測し、ひずみ変化と内部割れとの関係を検討した。これによって高温乾燥中のひずみの時間変化を観測することにより、内部割れの発生メカニズムを把握することが可能となった。そこで、ひずみ変化速度を監視因子として、乾燥機内の乾球温度を調節することにより、内部割れを効果的に抑制できることを明らかにした。これらの成果は、今後の高温乾燥技術の発展に大きく寄与するものと期待される貴重な論文であり、学位論文として十分な価値を有するものと判断した。