

# スギ心持ち柱材の過熱水蒸気による熱処理及び乾燥方法

—割れない乾燥を目指して—

独立行政法人 森林総合研究所 小林功

## 1. 心持ち柱材の乾燥の問題点

木材は乾燥すると収縮しますが均一に収縮するわけではなく、収縮異方性という性質を持っており、年輪に沿った方向は直径方向より大きく縮んでしまいます。このため、日本の伝統的な住宅工法で多く用いられる心持ち柱材は、写真1のように表面割れが発生しやすいという性質を持っています。また、もう一つの問題点として乾燥に時間がかかることが挙げられます。70～80℃前後の乾燥温度で2～3週間かかると言われていています<sup>1)</sup>。一般的に、割れは日本の市場では嫌われますから、製材工場ではスギが割れないように乾燥しようとしませんが、時間がかかるために納期とコストの問題に悩まされています。スギを使ってもらい、スギの良さをユーザーに知ってもらうためには、割れなく、かつ高速で乾燥できる技術の確立が重要なポイントです。

これまでに、心持ち柱材の乾燥における過熱水蒸気処理を用いた表面割れの低減と乾燥速度の向上について、いくつかの研究



写真1. 心持ち柱材の典型的な表面割れ

結果を発表させていただきました。本稿ではこれらの一部についてご紹介します。

## 2. 過熱水蒸気を用いた理由

以前、スギ大断面製材の高周波による乾燥試験を行った際<sup>2)</sup>、表面割れを避けるために「蒸気によって軟らかくしておけば割れないかも知れない」といった発想で「蒸煮しながら高周波乾燥を行う」という方法を試みました。この結果が非常に良かったので、「熱によって木材を軟らかくしながら乾燥すれば、心持ち材を割れずに乾燥できる可能性がある」と考えました。この時点ではどの程度の温度が必要かも解らなかったのですが、通常よりも高い温度で高湿条件を扱うことのできる過熱水蒸気であれば、高い温度で高速に乾燥しても割れないのではないかと考え、過熱水蒸気による乾燥実験を始めることになりました。

## 2. 過熱水蒸気とは

まず、完全に乾いた空気を想像してみてください。これを「乾き空気」と呼びます。一方、通常私たちが呼吸している空気は水分を含んでいます。これを「湿り空気」と呼びます。この湿り空気を含んでいる水分は液体ではなく「水蒸気」です。つまり、湿り空気は乾いた空気と水蒸気との混合気体です。この空気と水蒸気の混合比は温度によって決まります。その時点の温度で大気を含みうる最大の水蒸気を含んでいると

き「相対湿度は 100%である」といいます。たとえば、大気圧下では温度 30℃の大気を含むことのできる水蒸気は、体積比で約 4.2%です。この気体は「飽和空気」と呼ばれます。そして、温度が 100℃になると大気を含むことのできる水蒸気の体積比が 100%となり、乾いた空気を含まない水蒸気だけの状態を作ることができます。これを「飽和水蒸気」と呼びます。飽和水蒸気の温度と圧力は一対一の関係になっており、飽和水蒸気表として各種の書籍<sup>2)</sup>に載っています。この飽和水蒸気をさらに加熱して、より高い温度になった水蒸気が「過熱水蒸気」です。

今回用いる過熱水蒸気は、圧力容器の中で温度と圧力を制御することによって温度・湿度を調節します。ですから、装置内の温度、湿度を均質に保つことが容易で、また高温・高湿条件で熱処理しながら乾燥を進めることができるため、木材の軟化処理と乾燥を同時に進めることができるという利点があります。

### 3. 過熱水蒸気を用いた乾燥装置の概要

図 1 に装置の概要を示します。この装置は円筒形の本体に外缶（ジャケット）をつけた二重缶構造の圧力容器で、内缶内に満たした飽和水蒸気をジャケットによって加熱し、過熱水蒸気を作ります。木材から蒸発する水分と配管内での結露によって缶内圧力が変動するので、ごく少量の蒸気を常時投入しながらリーク弁をモーターバルブで制御して圧力を調節します。装置内の雰囲気均一を保つため内部にファンを設置し、ファンモーターは缶の外荷に設置しました。モーターとファンをつなぐシャフト

からの蒸気漏れを防ぐため、軸受け部に耐熱性のパッキンを巻いています。圧力は±0.003MPa、温度は±1.5℃の精度で制御が可能です。

実際の処理工程では、いったん缶内を飽和水蒸気で満たして空気を追い出し、その後、ジャケットへ缶内よりも高い温度の蒸気を投入し、ファンを回しながら装置内の水蒸気を加熱することによって所定の温度・圧力を持った過熱水蒸気を缶内に実現します。

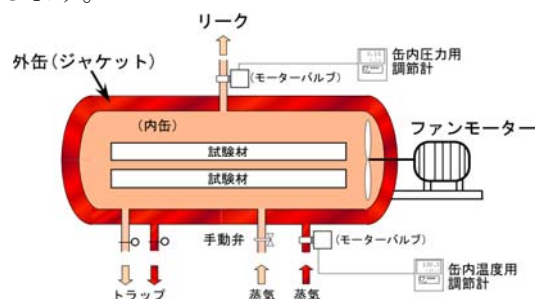


図 1. 装置の概要

## 4. これまでの成果

### 4. 1 表面割れの抑制効果

過熱水蒸気によって熱処理を施した木材（心持ち柱材）は表面割れが発生しにくくなります。図 2 に処理を施した木材と無処理材とを同時に天然乾燥した場合の表面割れの発生の様子を測定した結果を示します。また、表 1 の最上段に、処理材の割れの結果を示します。横軸は経過日数、縦軸は表面割れの長さ合計を木材 1 mあたりの長さに換算した値(cm/m)です。約 230 日で乾燥がほぼ終了していますが、その時点での表面割れは無処理材が約 76cm/m、処理材は約 5cm/m でした。先にも述べましたように、心持ち材は収縮異方性のために元来割れやすいものです。この試験によって過熱水蒸気処理が表面割れの抑制に効果を持つこと

が明らかとなったのです。

水分を多く含む木材（生材）が過熱水蒸気処理されることにより、木材の表面が熱と水で処理されます。これによって、木材は軟らかくなります<sup>4)</sup>。表面は軟らかくなっているためあまり縮まずにしかも割れずに乾燥します。その結果、表面は長い寸法のまま乾燥して「固まって」しまいます。ですから、その後、乾燥が内部にまで及んでも表面に割れが発生しないのです（図3）。この本来の収縮率とは異なる収縮量で固まる現象は「ドラインセット」と呼ばれ、

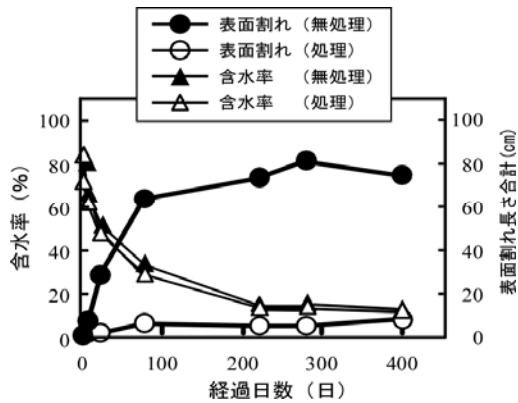


図2. 処理材と無処理材の天然乾燥試験

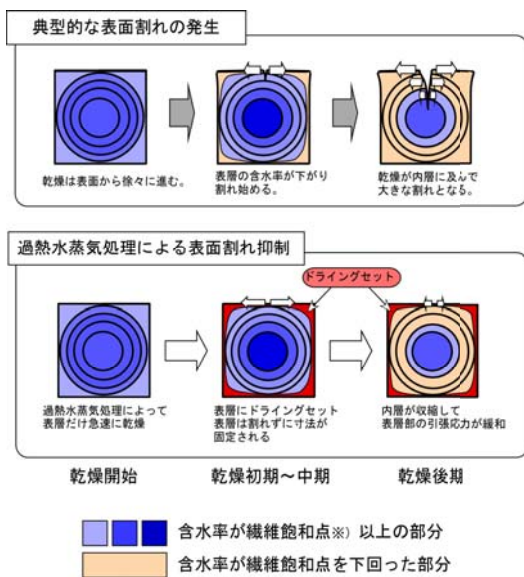


図3. ドラインセットによる表面割れの抑制

収縮による応力下で乾燥が進むことによって発生します。この場合は、軟化させながらセットを作ることで、割れずに乾燥が進行します。

#### 4. 2 表面割れの低減と高速乾燥の両立

天然乾燥では乾燥時間がかかり過ぎるので、過熱水蒸気を用いてどのくらい速く、かつ割れなく乾燥できるものか試してみることになりました。図4と表1に乾燥条件と含水率の経過および仕上がりの結果を示します。このように約3日（72時間）で初期含水率100%の木材を15%まで、表面割れなく乾燥することができました。このときの表面割れと内部割れの様子を表1にまとめてあります。製材工場での乾燥の現状を鑑みるなら、3日で乾燥できれば十分に高速ですから、その点では満足のいく結果でしたが、写真2に示しましたように大きな変色が認められました。これでは、どんなユーザーにでも受け入れてもらえるというわけにはいきません。「木」本来のきれいな色を維持したいと考えて、次の試験を行いました。

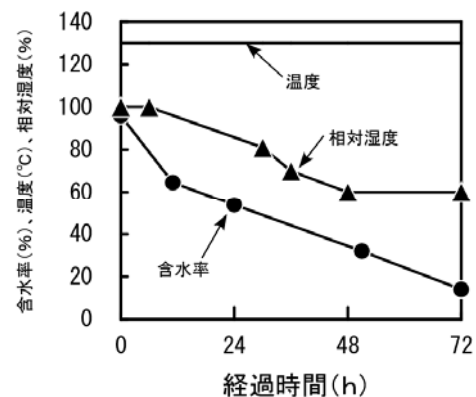


図4. 過熱蒸気による乾燥条件と乾燥経過

#### 4. 3 表面割れの低減・高速乾燥と内部割れおよび変色の抑制（過熱+RF/V）

乾燥時に生じる変色は、木材中に含まれるヘミセルロースの加水分解によると言われています<sup>5)</sup>から水分と熱が同時に長時間かかる過熱水蒸気乾燥は変色に対して不利です。ですから、過熱水蒸気処理はあくまで表面割れを抑制するための前処理として用い、その後の乾燥は低温で高速乾燥できる方法を用いる必要があります。そこで、過熱水蒸気処理後に高周波加熱減圧乾燥（RF/V乾燥）を行う方法を試みてみました。RF/V乾燥は減圧下で乾燥するため沸点が低く、低い温度でしかも高速で乾燥できますからうってつけです。

表1と写真2にこの方法と他の方法とを比較した結果を載せています。RF/Vのみを用いた乾燥試験の結果を参考としてのせてあります。RF/Vによって乾燥すると短時間で乾燥でき、しかも60~70℃と比較的低い温度なので材色も「木」本来の色に近く仕上がります。しかし、過熱水蒸気による熱処理工程がないためドライグセットの効果がなく、大きな表面割れが発生します。これに対して、過熱蒸気処理後にRF/V乾燥へと移行するタイプでは、表面割れは少なく、また、乾燥速度も約4日と十分に速い結果となります。材色もRF/Vによって乾燥した木材の色に近い仕上がりで、これまでのところ最も良い結果となっています。

表1. 過熱水蒸気処理の条件と結果のまとめ

乾燥方法	処理温度	初期含水率	終了時含水率	乾燥時間	表面割れ (cm/m)
過熱→天然乾燥	過熱:140℃、4h 天乾:外気温	90	17	230日	15
過熱水蒸気乾燥	130℃、72h	90	16	72時間	29
過熱→RF/V	過熱:115℃、12h RF/V:60~70℃	82	13	88時間	15
RF/V (参考)	RF/V:60~70℃	97	7	48時間	77



参考:RF/Vによる乾燥  
60~70℃、88h



過熱水蒸気乾燥  
130℃、72h



過熱水蒸気処理→RF/V乾燥  
過熱:115℃、12h  
RF/V:60~70℃

写真2. 乾燥後の断面の様子

## 5. 今後の展望

現在の市場では、スギ心持ち柱材には(1)割れていない、(2)色がきれい、(3)含水率が十分下がっている、(4)強度が十分にある、(5)安く乾燥できる、といったことが求められています。

今回ご紹介した一連の試験では、最初の3つについて追求してきました。今後は強度とコストについて試験および考察を進める必要があります。たとえば4.2で示しましたように、130°Cの過熱水蒸気を用いてスギ心持ち柱材を乾燥すると、わずか72時間で割れなく乾燥できますが、写真2に示しましたように加水分解によると思われる大きな変色が観察されました。この結果は木材の劣化が進んでいることを示していると思われます。この点を確認するため、昨年度、NIR(近赤外分光法)という手法を用いて過熱水蒸気処理によって木材表面の劣化が進行することを確認しました<sup>6)</sup>。しかし、強度を担保するためには、どの程度の処理なら構造用材としての使用に耐える強度を保持できるのか、という「強度的観点から見た処理限界」の確認が必要です。現在、これまで行った処理条件すべてについての強度試験を、強度の専門家のご協力をいただきながら進めているところです。

次に、乾燥コストの問題ですが、技術的には「使用燃料の低減」と「乾燥日数の短縮」が課題となります。しかし、技術的な課題だけではなく、木材製品の買い手に木材乾燥の重要性をよりよく知ってもらうといった経済的あるいは社会的アプローチも重要です。製材・流通も含めて総合的に考慮した技術開発あるいはビジネスモデルの構築が必要ではないかと思えます。これか

らはその道の専門家の方々のご意見、ご協力を仰ぎながら、乾燥技術の高度化およびその普及に努めて参りたいと思います。

## 6. 参考文献

- 1) たとえば「わかりやすい乾燥材生産の技術マニュアル」、(社)全国木材組合連合会(2006)
- 2) 小林功、久田卓興、久保健、片桐幸彦：第46回日本木材学会大会研究発表要旨集、p531(1996)
- 3) たとえば「ボイラー便覧」、丸善、など
- 4) D. A. I. Goring: Pulp and Paper Magazine of Canada, T517-527(1963)
- 5) 今村博之ら：「木材利用の化学」、p222、共立出版(1986)
- 6) 小林功、土川覚、稲垣哲也、林和男、山浦好孝：日本木材加工技術協会年次大会講演要旨集、p49-50(2006)