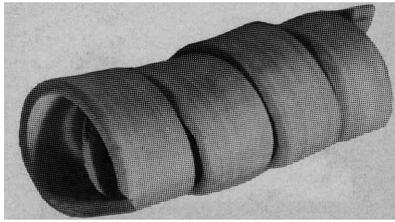
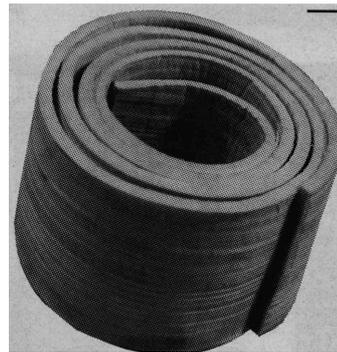


木材を自在に曲げる

- アルカリ処理による木材の可塑性化 -



中野隆人



1. はじめに

木材は私たちに身近な材料のひとつであり、大は住宅から小は工芸品に至るまでいろいろな使われ方をしている材料です。このように用途の広い木材ですが、曲げ加工した形で用いられるのは一部の分野であり、家具、クラフトの類に見られるにすぎず、多くは直線あるいは平面状で用いられているのが現状です。

これは、木材が曲げ加工しにくい材料であるため、もし、意のままに容易に曲げることができれば、木材は、もっと多様な形で用いられることになるでしょうし、今までとは異なった新たな用途が期待されます。こうしたことから、林産試験場では木材の付加価値を高め、新たな用途をめざす目的で木材の可塑性処理に着目し、試験研究を行ってきました。

本稿では、林産試験場で開発中のアルカリ処理による木材の可塑性処理の概略を述べるとともに、あわせて、既存の可塑性処理技術についても紹介いたします。なお、本処理の詳細については改めて報告する予定であります。

2. 既存の可塑性処理

木材を意のままに曲げたいという願望は昔からあったわけで、煮たり蒸したりする方法はよく知られています。既存の方法を大別しますと、物理的方法と化学的方法に分けることができますでしょう。

(イ) 物理的方法

物理的方法としてよく知られているものに、蒸

煮あるいは煮沸による処理があります。これは、木材を蒸煮槽や煮沸槽に入れ、蒸気を吹き付けたり、煮たりする方法です。処理条件は樹種、材の厚さで異なるようですが、蒸煮法では80～100で20～80分間程度の処理が行われ、煮沸でも80以上で60～100分間の処理が行われているようです。加熱処理したのち、引張りが生ずる面の伸びを帯金で抑えながら曲げ加工します（トーネット法と呼ばれています）。

類似の方法として、マイクロ波を用いた方法があります。この方法は最近開発されたもので、電子レンジで料理をするように、水分を含んだ材に交番電場を与えることで木材が加熱され、曲げ加工が容易になるものです。この方法の特徴は、内部加熱のため木材自体を短時間で直接加熱できる、含水率分布が材表面で高くなり割れが生じにくくなるなどの利点をもつことです。また、この方法は家庭の電子レンジを使って簡単に実験することができます。読者の家庭にレンジがありましたら、まず水を十分しみ込ませた割りばしをラップで包み、レンジで加熱したのち取り出して曲げてみてください。割りばしは容易に曲がります。加熱時間をいろいろ変えて試されると面白いでしょう。

木材が曲がる、つまり軟らかくなるということは、木材中の分子鎖が容易に動くことができる状態になっていることを意味します。上記の物理的方法は、木材を構成している三成分、すなわちセルロース、ヘミセルロース、リグニンの分子鎖の動きが、乾燥状態に比べ湿潤状態で、しかも高温時に容易になることを利用したものです。この湿

潤加熱により分子鎖間の凝集力が低下するため、木材は軟らかくなり曲げ加工が容易になると考えられています。

木材は、含有水分が変化するとき（これを水分非平衡状態といいます）に外力を加えますと、大きな可塑性を示す性質があります。この性質は水に限らず有機溶媒でもみとめられます。上に述べた方法にこの水分非平衡状態での性質を利用しますとより大きな変形が可能となります。例えば、マイクロ波加熱時に同時に外力を加えますと、非平衡状態での曲げを行うことになり、大きく変形することができます。これをくり返しますと、さらに大きな変形を与えることができます。

（ロ）化学的方法

化学薬剤による可塑性処理の代表的なものとして、液体アンモニア、アンモニア水、アンモニアガス、アミン類を用いた方法があります。その外にも塩化アンモニア、ケロジン、ケロジングリセリン、タンニン酸などを用いた方法も知られています。

薬剤を用いる方法は、木材を薬液に浸し材中に十分浸透させたのち、これを曲げ加工するものです。上記薬剤の中では、液体アンモニアによる方法の可塑性が著しく、材は軟らかいプラスチック状になり自在に曲げることができます。

液体アンモニアとアミン類による可塑性は、木材中のセルロースの結晶領域への薬剤の浸透と、それに伴うミセル内膨潤によって、分子鎖間の相互作用が少なくなるために生ずるものと考えられています。

こうした薬剤による処理では、処理液が木材中に存在する場合にのみ可塑性を示すことから、薬剤を含んだ状態で曲げ加工する必要があります。また、薬剤の除去、除去に伴う材の変形、さらには材色の变化などから後処理が必要となります。

化学的方法には、この外に化学修飾による方法があります。これは、化学反応によって種々の分子を木材成分に結合させ木材を構成している分子鎖の性質自体を変えてしまうという方法です。前述の、薬剤を材内に浸透させて、分子鎖のまわりの環境を変える方法とは大きく異なるものです。

この方法は、可塑性というよりは、木材自体をプラスチック化する方向で展開されており、ここでは触れないことにします。

3. アルカリ処理による木材の可塑性

（イ）アルカリ処理の特徴と問題点

アルカリ処理は先の分け方に従いますと化学的方法に入ります。この処理に用いる主なものはアルカリ（カ性ソーダなど）と水であり、その外には後処理に用いる 2, 3の薬剤で足りません。これら薬剤はすべて水溶液として用い、不快なものもありません。処理工程は、常温、常圧で行うため、特別の装置を必要とせず熱源も不要です。ただし、アルカリ性の溶液で処理する工程があるため、耐アルカリ性の容器が必要です。しかし、この点も処理が常温、常圧で行われることから、ポリの容器を用いることで解決されます。このように、本処理は、特殊な機器、用具を必要とせず、極めて簡単に行える処理と言えます。これが本処理の第 1の特徴と言えるでしょう。

第 2の特徴は、一度アルカリ処理を経た材は水がある限り軟らかさを保つということです。処理材は、乾燥しても再び水分を与えると、可逆的に元のようにならなくなる性質をもっています。この性質を利用しますと、曲げ加工する場合、やり直しが簡単にできることとなります。さらに、材中に保水剤を入れておきますと、空気中の水分を取り込みますので、常時軟らかい木材を造ることも可能です。

このように本処理法は処理が簡単であり、特徴的な性質を付与することができるのですが、全く問題がないわけではありません。一つは材の変色の問題であり、もう一つは乾燥に伴う収縮の問題です。こうした問題点は、本処理に限らず化学的方法として述べた液体アンモニア、アミン類による方法にも同様に生じるものでもあります。以下、この問題点について述べます。木材をアルカリで処理するとアルカリによって材が著しく変色し赤みを帯び、ナラ等では黒に近い色まで変わります。この変色は後述のように漂白処理で除去す

ることが可能ですが、白くなりすぎたり、漂白不足であったりして完全に元の材色を得ることは難しく、実用的には漂白後調色して用いるのが望ましいと思われます。他方、乾燥での収縮は、樹種、処理液濃度で異なりますが、十分な可塑性を付与する濃度で見ますと、収縮の著しいものでは収縮率が40%近くに達することがあります。このため、急激な乾燥をしたり、材が厚い場合には、割れを生じることもあります。また、一定の曲率で曲げたとしても、乾燥過程で、収縮のため曲率が変化する場合があります。したがって、収縮抑制のための処理が必要となります。

しかし、こうした問題点については、完全とは言えないまでもかなりの程度改善できる後処理が分かっています。

(ロ) 処理方法

まずこの処理に適している材ですが、各工程の処理はすべて水溶液を用いて行うので、浸透性の良い材が適しており、材厚も薄いほど浸透は容易になります。したがって、本処理には広葉樹が適しており、浸透性の良くない針葉樹はつき板等の薄物を除いてあまり適当ではありません。

処理工程は以下のとおりです。なお、処理は室温で行います。

アルカリ処理液の調整

用いることのできるアルカリはいろいろありますが、実用的には最も安価な水酸化ナトリウム（力性ソーダ）が最適でしょう。まず水酸化ナトリウムの10～15%（重量%）の水溶液を調製します。水90～85に対し水酸化ナトリウム10～15の重さの割合で溶かします。溶解するとき発熱しますので、常温まで冷やしたものを処理に用います。アルカリの種類を変えるときは濃度も変化させることが必要です。たとえば力性カリですと、溶液濃度は20%以上に調製します。

含 浸

で説明した溶液を木材に含浸させます。このとき、処理液が材に十分浸透するようにします。減圧脱気を行いますと、速やかに材内に浸透させることができます（写真1）。

浸せき

材中に処理液を十分浸透させるため、所定の時間浸せき静置します。

漂 白

アルカリ溶液から取り出し、3～5%の過酸化水素水中に入れ漂白します。

水 洗

流水で洗い、残余の薬剤を十分除去します。

後処理

グリセリン（G C）、若しくはポリエチレングリコール（P E G）の所定濃度の水溶液中に浸し、所定時間浸せき静置します。この処理で、材中にG CあるいはP E Gを含浸させます。

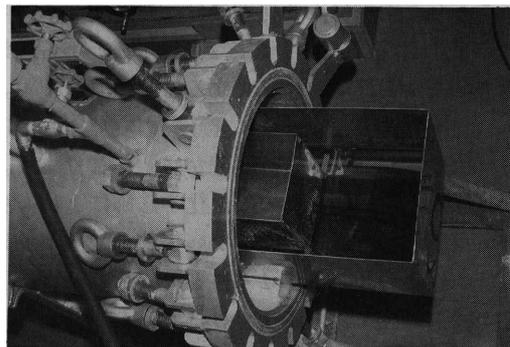
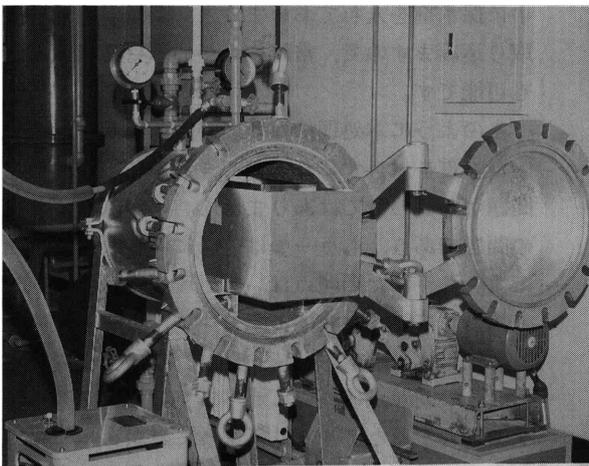


写真1 減圧含浸装置の例
（材を薬液に浸したのち、密閉して減圧にする）

加工, 乾燥

までの処理が終わった材の表面部分の水分を所定の含水率まで下げた後、曲げ加工します。次いで、治具で固定し徐々に乾燥します。

以上の処理工程で、変色が問題にならない場合はこの工程を除くことができます。漂白処理には、他の漂白剤を用いることも可能ですが、過酸化水素の漂白作用がアルカリ側で高いことを考えますと、過酸化水素による漂白が本処理には向いていると考えられます。

の後処理は、材の収縮抑制の目的で行うものです。収縮抑制の方法としては幾つかの方法がありますが、原理的には“かさ”の大きな物質を材中に含浸し収縮をおさえてやればよいことになります。このとき、先にも述べましたように保水性

の高いものを入れるのか、そうでないものを入れるのかによって、最終製品の材の性質を変えることが可能になります。に示したGCは保水性があり、これで処理した材は常時軟らかい性質を有しています。これに対し保水性の低い種類のPEGを用いた場合には曲げ加工の後乾燥しますと形状は固定されます。後処理剤としてはGC、PEG以外にも幾つかありますが、水溶液であること、安全性、価格の点からGC、PEGが今のところ適しているものと思われます。

の処理を行い種々の形状に加工した例を写真2に示しました。写真から分かるように、処理した材は容易に種々の形状に加工することができます。処理可能な材厚は、薬液の材への浸透性と処理後の薬剤の除去との関係から、今のところ

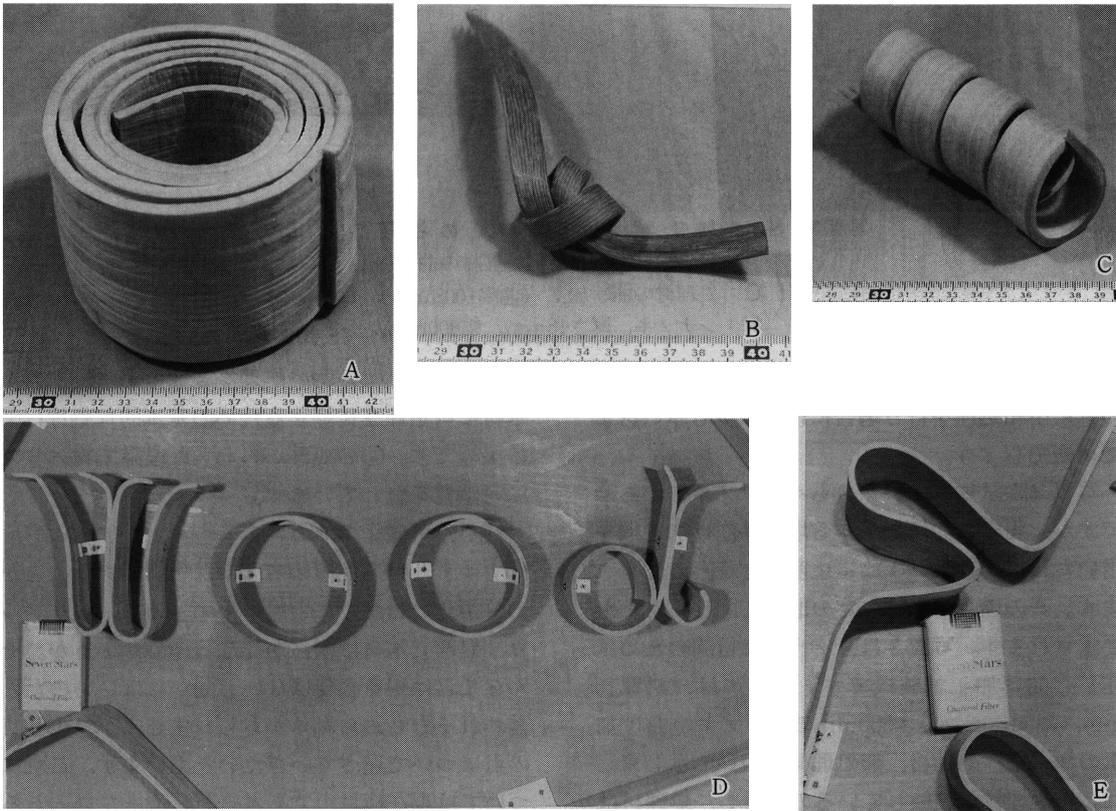


写真2 アルカリ処理材の曲げ加工例

〔樹種：シナノキ，処理液：カ性ソーダ，材厚は以下のとおり〕
A：8mm，B：5mm，C：8mm，D：8mm，E：8mm

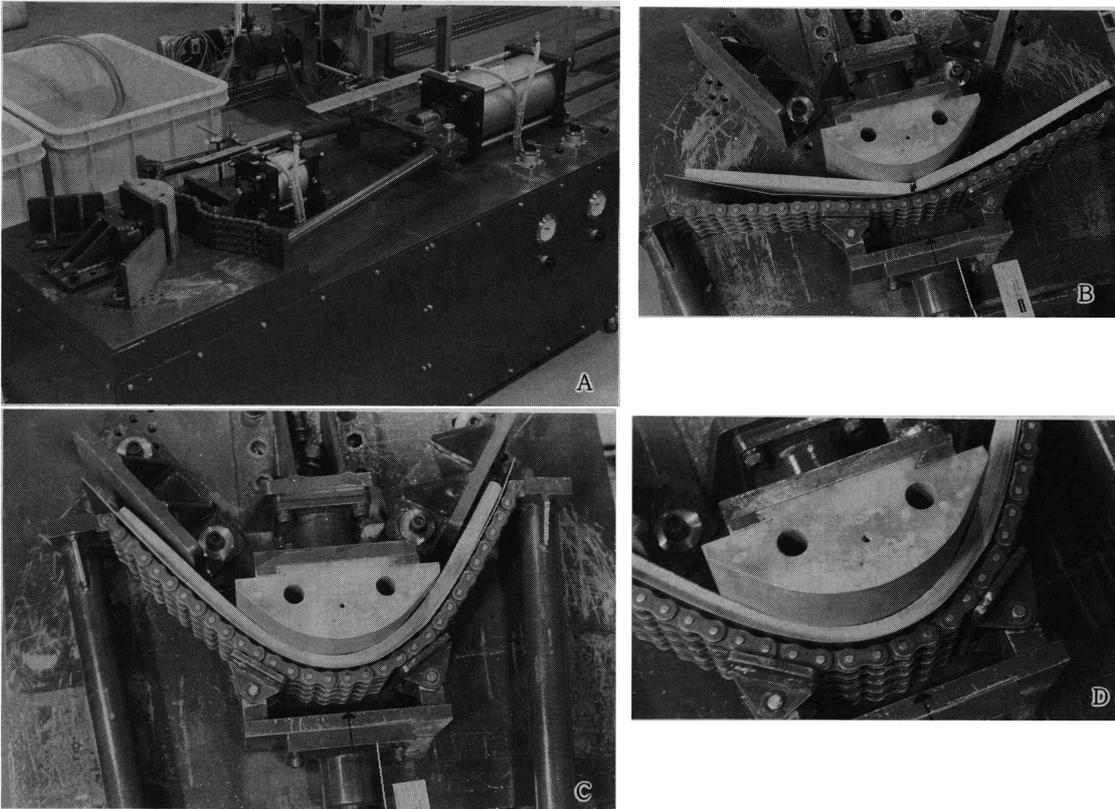


写真3 曲げ加工試験機と加工の様子

(A : 試験機全景, B : 無処理材の曲げ加工 (曲率 100mm)
C : 処理材の曲げ加工 (曲率 100mm), D : C の拡大
材 : シナノキ, 厚さ 16mm, 幅 80mm, 長さ : 600mm)

1 ~ 2cmが限度であろうと考えていますが、水洗の外に中和処理を行う場合にはもう少し厚い材まで可能でしょう。

写真 2 の試片は、いずれもハンドメイドのものですが、実際に曲げ加工する場合は曲げ加工機を用いたほうがより効率的に生産できると考えられます。この場合、ある一定の曲率で曲げることが要求されます。写真3は、そうした目的のため試作した曲げ加工試験機です。写真には、材厚16mm、幅80mm、長さ600mmのシナノキの曲げ加工の様子を、処理材、無処理材について示しました。無処理材が破壊しているのに対し、処理材は破壊せずによく曲がっているのが分かります。なお、用いている治具の曲率は100mmです。

以上、述べてきましたように実用的な製品を得

るためには、 ~ の処理を要するわけですが、木材に可塑性を付与するための基本的な処理はの工程です。 の処理が終わった段階で材はすでに可塑性を有しています。

(八) 可塑化のメカニズム

アルカリ処理が極めて簡単な処理であることがお分かりいただけたと思います。では、なぜアルカリ処理で木材は軟らかくなるのでしょうか。そんなことは知る必要はない、曲がればいいのだと言われる方もおられるかもしれませんが、少しこの点について述べていきたいと思っています。これについては現在検討中でもあり断言できないところもありますが、ほぼそのメカニズムは明らかになってきています。

なぜ軟らかくなるのか、一言で言いますと、木

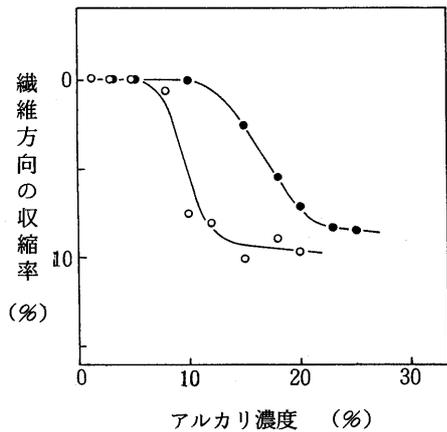


図1 飽水時の繊維方向の収縮率とアルカリ濃度との関係
(○:カ性ソーダ ●:カ性カリ)

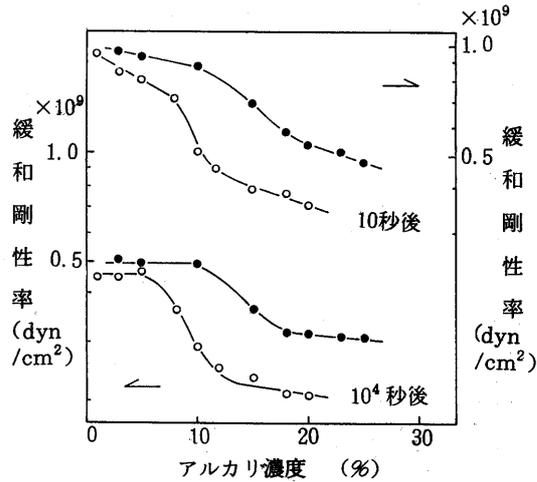


図2 緩和剛性率とアルカリ濃度との関係
(○:カ性ソーダ ●:カ性カリ)

材が縮むからということが出来ます。この縮むというのは、乾燥で縮むのとは異なり、水を含んだ状態（飽水状態）での話です。アルカリで処理しますと、ある濃度範囲で収縮が起こります。しかも、この収縮は飽水状態では木材の繊維方向に顕著に生ずるものです。図1に、繊維方向の収縮率とアルカリ濃度との関係を示しました。図にはカ性ソーダ(NaOH)とカ性カリ(KOH)の2種のアルカリの場合について示してあります。図からNaOHは5~10%、KOHは10~20%の濃度で収縮が生じることが分かります。繊維方向のみでしかも興味深いことに漸減するのではなくある濃度範囲で収縮が生じるのです。もう一つ、図2に緩和剛性率と濃度との関係を示しました。緩和剛性率について詳しく説明しますと長くなりますので、ここでは、単に硬さの目安と考えて下さい。さて、この2つの図を比べてみますと、非常に似ていることが分かります。

このことから、繊維方向の収縮が、木材の軟らかさを生じさせる要因ではないか、少なくともその一つであろうという考えが浮かんできます。事実、他の実験結果もそうした推察と支持するものでした。上記の結果を含めいろいろの実験結果から、アルカリ処理で軟らかくなるのは、次に述べ

るようなメカニズムによるものではないかと私たちは考えています。アルカリ処理しますと木材は繊維方向に収縮するのですが、これは材中の繊維素(フィブリル)が収縮していることを示しています。ということは、フィブリルは収縮した分だけたるみを生じているであろうと考えられます。このたるみは規則的に並んでいるのではなく、ほぐれた糸のような状態になっていると考えてよいでしょう。このような状態のところを外力を与えますと、たるみがほぐれるため容易に伸びることが可能となり、しかも小さな力で足ります。木材が軟らかくなるのは、このたるみの部分が材内に生じたのではないかと考えられるのです。言い換えますと、アルカリ処理は、材中にこのたるみを生じさせる処理であると言えます。

以上の推察が正しいとすれば、木材の可塑性に用いることができる薬剤はアルカリに限らず材中にこのたるみを生じさせることができる薬剤であればよいということになります。その中に、材の変色を伴わず、乾燥によって材収縮を生じない安価な薬剤があれば、より優れた処理法となるでしょう。

(林産試験場 木材化学科)