

蒸煮・減圧による木材の乾燥について

- 中小径広葉樹厚物材の乾燥試験 -

大山 幸夫 奈良 直哉
野呂田 隆史 米田 昌世
千葉 宗昭

1. まえがき

広葉樹中小径木からの心持ち材、木口円盤、厚物材（大径材を含む）などは通常の熱気乾燥によって割れを生じ易いので、これまでの当該における研究ではPEG処理を行って割れの発生を防止してきた。しかしながら、このPEG処理乾燥を行っても、特に厚物材では比較的長時間を要するうえ木口からの内部割れが深く発生し易い¹⁾。

最近では厚物材の急速乾燥が可能であると言われていた減圧乾燥法が見直されてきたため、再び研究が進められ、各種の性能をもつ減圧乾燥機が市販されるようになってきた。この減圧乾燥による加熱方法には蒸煮^{2),3)}空気加熱（調湿を含む）^{4),5),6)}、熱板⁷⁾、高周波^{8),9)}などが知られているが、このうちの蒸煮による

減圧乾燥では製品の用途に応じた低含水率まで乾燥するのは難しいと言われている^{2),3)}。したがって、繊維飽和点（FSP）付近までの予備乾燥として利用したのち、天然乾燥および熱気乾燥によって仕上げているに過ぎない。

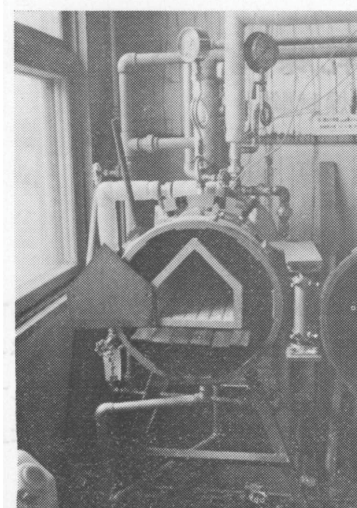
しかしながら、大気圧下における蒸煮時の蒸気、蒸気中に含まれる飽和水、材面の凝結水などは材の表層部に停滞しているのに対し、蒸気の熱エネルギーは時間の経過に伴って材中深く伝導して水分が加熱され、その熱水は減圧度に対応する沸点まで蒸発することが考えられるので、通気性の良好な材であれば、低含水率まで乾燥することが可能なはずである。

このような蒸煮減圧乾燥によるメカニズムを立証するため、本試験では比較的通気性が良く、割れの生じ

第1表 乾燥条件と供試材の概要

樹種	乾燥条件				木杵	供試材 ^{a)} 本数			平均年輪幅 (mm)	全乾比重
	蒸煮		減圧			平割 ^{b)}		正角 ^{c)}		
	(°C)	(min)	(mm Hg)	(min)		心去り	心持ち	心持ち		
シラカンバ	100	20	20	20	有	1 (-)	1 (-)	1 (1)	3.8~6.1	0.49~0.58
	100	60	20	60	有	1 (-)	1 (-)	1 (1)	3.8~4.6	0.51~0.56
	100	60	20	60	無	1 (-)	1 (-)	1 (-)	3.3~5.1	0.52~0.56
	100	180	20	180	有	1 (-)	1 (-)	1 (1)	3.9~5.1	0.57~0.59
	100→90	20	20	20	有	1 (-)	1 (-)	1 (1)	3.2~4.3	0.53~0.54
	100→70	60	20	60	有	1 (-)	1 (-)	1 (1)	3.7~4.7	0.51~0.54
	100→70	60	20	60	無	1 (-)	1 (-)	1 (-)	3.5~4.7	0.52
ハルニレ	100	60	20	60	有	1 (1)	2 (1)	1 (1)	2.2~5.5	0.56~0.64
	100→70	60	20	60	有	1 (-)	1 (-)	— (1)	4.0~5.1	0.58~0.59
	100→95									
ヤチダモ	100	60	20	60	有	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1.9~4.2	0.58~0.74
	100→70	60	20	60	有	1 (-)	1 (-)	— (1)	2.9~3.2	0.67~0.70
	100→95									
カラマツ	100	60	20	60	有	3 (-)	2 (-)	1 (-)	4.3~5.9	0.34~0.42

注) a) 供試材の材長: 50cm, ()内は100cm。 b) 平割: 厚さ3cm, 幅9~10.5cm。 c) 正角: 9×9cm (カラマツは10.5×10.5cm)



第1図 蒸煮減圧乾燥装置（缶内木料）

易い広葉樹心持ち材を主体として、乾燥特性、損傷の抑制効果などについて検討した。

なお、本報告の概要は第31回日本木材学会大会（昭和56年4月、府中市）において発表した。

2. 試験方法

供試材は径級12～16cm、材長1.8mのシラカンバ、ハルニレ、ヤチダモ中小径木より、第1表に示す材長50cm、100cmの平割（心去り、心持ち、厚さ3cm、幅9～10.5cm）と9cm角の心持ち正角を採材した。

蒸煮減圧乾燥に使用した装置を第1図に示したが、その缶体の直径は35cm、長さ120cmであり、減圧するための真空ポンプの出力は3HP、排気量1,500 l/minである。

乾燥操作の手順は、まず常圧で蒸煮（S）を開始し缶内温度が100℃に達したのち所定時間蒸煮を継続する。また条件によっては100℃に達したのち放冷した所定の温度（70～95℃）で蒸煮を継続する。蒸煮終了後、減圧度約20mmHgで所定時間減圧（ ）する。減圧終了後は常圧にもどし、Sと の操作をくり返し1日4～12時間の間けつ運転で所定時間乾燥した。

乾燥条件の組み合わせは第1表に示すとおりである。なお、本試験の乾燥条件には、減圧中において加熱された缶体からのふく射熱によって材面割れが発生する

のを防ぐため、缶体内に蒸気が流通する鍔（ヨロイ）状の木枠（第1図参照）を設置したが、シラカンバでは木枠を設置しない条件についても比較した。また、通気性が不良であると言われる10）カラマツ中小径材についても一部の条件で比較した。

含水率経過の測定はSと がそれぞれ終了した時点で缶体の蓋を開いて供試材の重量を測定し（1～2分間）、乾燥終了後に全乾にして、それぞれの含水率経過におけるSと の含水率を計算した。なお、間欠運転による放置中の供試材はビニールシートで包んで保管した（含水率の減少は1%以下）。

乾燥終了後の供試材について、缶体の入口側の木口は5cmまで1cm間隔、その他の部分は材長50cmの場合5cm間隔とし材長100cmは10cm間隔（缶体の奥側は5cm）にそれぞれ切断して全乾法により含水率を求めた。

収縮率の測定は毎日4～12時間のSV乾燥終了後行った。なお、材長50cmの材は缶体入口側の木口と材長中央部、材長100cmの材は両木口と材長中央の部分について、正角と平割の厚さは幅の両側端と中間の厚さ、平割の幅はその厚さの中間をそれぞれノギスにより測定した。

水分傾斜と歪量は乾燥終了後、1～3日間ビニールシートで包んで室内に放置し、缶体入口側の木口より5cmの断面と材長中央部の断面について、平割は6等分、正角は15等分してスライス法により測定した。また、心持ち正角の水分傾斜と歪量の経過をみるため、同一缶体内にシラカンバ、ハルニレ、ヤチダモ心持ち正角（材長50cm）を入れ、乾燥前、FSP以上、FSR付近、10%前後の各含水率段階において、それぞれ1昼夜放置後、木口より順次10cmずつ切断して行き、それぞれの部分より厚さ（材長）1cmの供試片を採取してスライス法により測定した。

乾燥材について、調湿処理による乾燥応力の除去効果をみるため、蒸煮減圧乾燥によって含水率10%以下に乾燥したシラカンバ、ハルニレ、ヤチダモ心持ち正角（材長50cm）を通常の蒸気式乾燥室に入れ、90

・5 差にて6時間の調湿処理を行い、ビニールシ

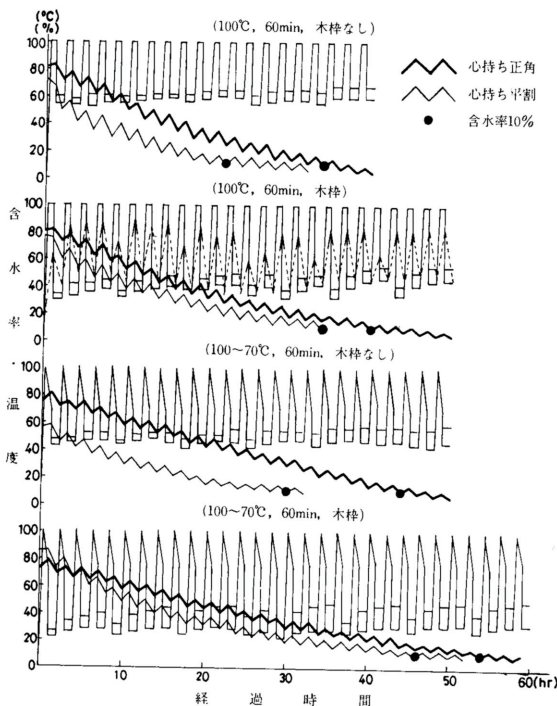
ートに包んで室内に1昼夜放冷後、木口より10cmの部分より厚さ(材長)1cmの供試片を採取し、水分傾斜と歪量をスライス法により測定した。さらに残りの試験材について18時間(計24時間)の調湿処理を行い、6時間の場合と同様に測定した。

蒸煮減圧装置の缶内温度(入口, 中間, 奥)と材中温度(100 蒸煮, 60分間隔, 木枠設置, 材長中央部の中心層)の測定にはクロメルアルメル熱電対を用いて自動平衡型記録計で記録した。なお, 熱電対を差し込んだ部分の材面は合成ゴム系の接着剤で密封した。

3. 試験結果

シラカンバ, ハルニレ, ヤチダモ, カラマツの平割, 正角について, その個々の測定項目の詳細を説明する。なお, 蒸煮減圧乾燥条件別の含水率, 水分傾斜, 収縮率, 歪量などの乾燥特性ならびに狂い, 割れなどの損傷等をまとめて末尾の付表に示した。

3.1 缶内の木枠の有無による温度と含水率経過



第2図 木枠の有無による温度と含水率経過(シラカンバ, 材長50cm)

[林産試月報 1981年6月]

缶体からのふく射熱を遮断するための木枠を設置したときと, 設置しないでそのまま使用したときの缶内温度及び含水率経過(シラカンバ, 材長50cm)を第2図に示した。また, 木枠を設置した条件のうち, 100 蒸煮, 60分間隔における心持ち正角の中心層の温度変化(山形の細い点線)についても示した。

これによると, 先ず減圧時における缶内温度(角形の細い線)は, 100 蒸煮と100~70 蒸煮の両者とも, 木枠を設置しない方が20 前後も高くなるため早く乾燥しているが, 後述するように減圧中における温度が高いと割れを発生し易くなる。したがって, できるだけ高い温度で蒸煮して材中の水分を加熱し, 割れないように速やかに乾燥するためには, 減圧中において缶体からのふく射熱が材面に達しないように, 缶内に木枠を入れるか又は缶体を冷却する必要がある。また, 減圧時における缶内温度が2段になっているのは, 低い方が入口側, 高い方が奥側の温度であるが, いずれの条件も入口側の方が10 前後も低くなっている。これは入口側の蓋には断熱材などで保温をしていないことと, 減圧中において蓋と缶体との密着面から空気漏れがあったのではないかと考えられる。

一方, 材長中央部における中心層の温度変化についてみると, 100・60分の蒸煮によって初回は約60 まで上昇し, 2回目からは約80 まで上昇したのち, 減圧によって缶内温度付近まで低下することが分かった。蒸煮時間20分では前者の温度より低くなり, また, 蒸煮時間180分ではその時の蒸煮温度に達したのち, 一定時間継続し, その後の減圧によってそれぞれ缶内温度付近まで低下するものと思われる。

3.2 乾燥条件, 樹種別の含水率経過

シラカンバについて, 蒸煮温度100 , 減圧度10~30mmHgにより20分, 60分, 180分間隔で繰り返して乾燥したときの含水率経過を第3図, このうち60分間隔でSV乾燥したときの樹種別の含水率経過を第4図に示した。

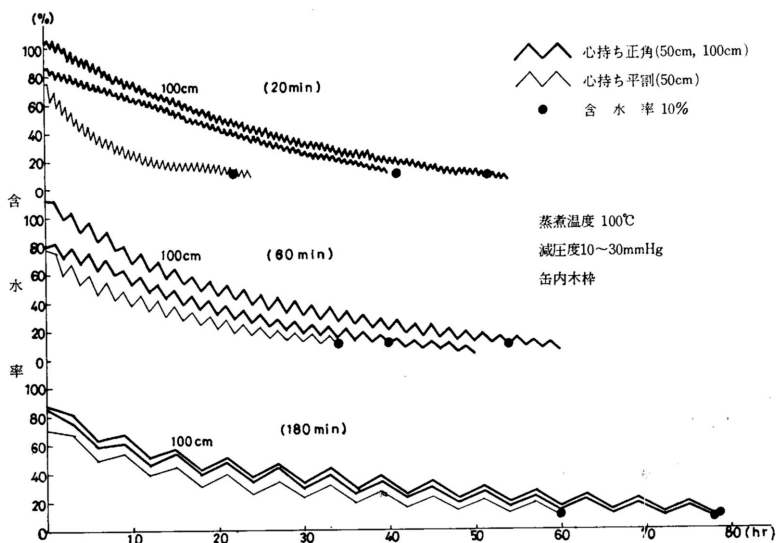
先ず, 第3図に示した乾燥条件別の含水率経過

についてみると、SVの20分と60分間隔では含水率10%まで仕上げるのに心持ち正角による差は少ないが、それよりも薄い平割では時間を短くした方が早く乾燥する。しかし、この20分間隔による乾燥装置の能力と

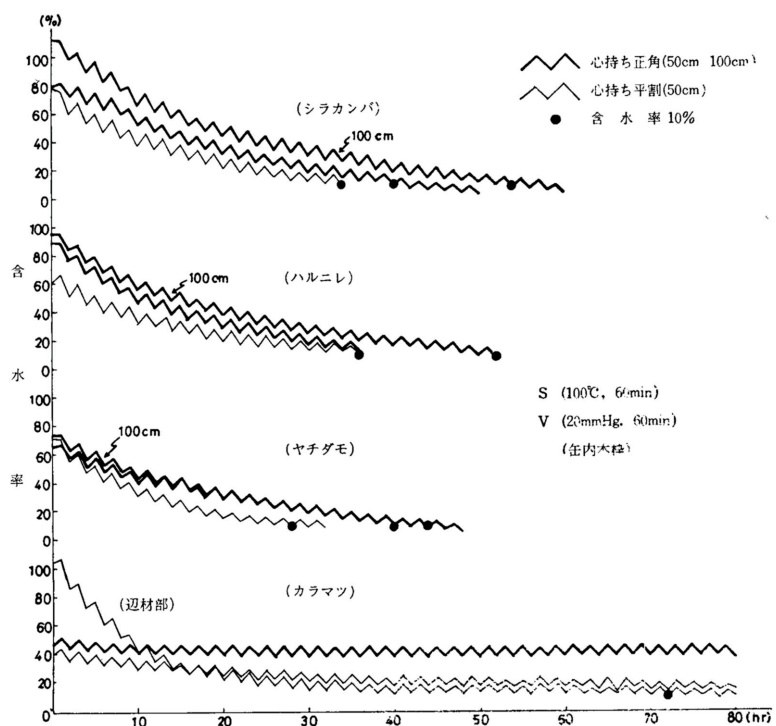
しては、蒸煮時には10分前後の短時間において100%まで上昇させ、しかも減圧によって20~30mmHgまで低下し得る蒸煮能力と真空ポンプの容量が必要となり、工業的な大型の耐圧缶に対しては経済性が問題となろう。

一方、180分間隔のように長くなると、各材種とも大幅に乾燥が遅れるので、総合的にみて60分程度の間隔によってSV乾燥するのが適当と考えられる。

次に、第4図の樹種、材種別の含水率経過についてみると、広葉樹材では、樹種が異なり、また、平割と正角のように厚さが3倍となり、材長が2倍になっても乾燥時間には余り差のないことが分かる。一方、通気性が不良であるといわれるカラマツ材でも、辺材部の平割ではFSPまで急速に乾燥し、その後は心材部の平割よりも少し下回って平行して進み、含水率10%まで乾燥したが、心材部の平割では約12~15%以下に低下しなかった。さらに、心持ち正角(10.5cm角)の100, 60分間隔では、いくら繰り返しても含水率を約38%以下にすることは困難であることが分かった。



第3図 蒸煮と減圧時間による含水率経過 (シラカンパ)



第4図 樹種別の含水率経過

3.3 蒸煮と減圧による含水率の増減と乾燥速度 蒸煮による減圧乾燥で

第2表 蒸煮と減圧による含水率の増減と乾燥速度

樹種	乾燥条件				木枠	心持ち平割 (材長 50cm)			心持ち正角 (材長 50cm)			心持ち正角 (材長 100cm)		
	蒸煮 (S)		減圧 (V)			S (%)	V (%)	速度 (%/H)	S (%)	V (%)	速度 (%/H)	S (%)	V (%)	速度 (%/H)
	(°C)	(min)	(mmHg)	(min)										
シラカンバ	100	20	20	20	有	+ 5.7	- 7.4	2.5	+ 4.0	- 5.2	1.8	+ 4.5	- 5.6	1.6
	100	60	20	60	有	+ 6.7	- 10.4	1.8	+ 5.4	- 8.3	1.5	+ 6.5	- 9.1	1.3
	100	60	20	60	無	+ 7.4	- 11.6	2.1	+ 6.6	- 10.5	2.0	-	-	-
	100	180	20	180	有	+ 7.7	- 11.8	0.7	+ 7.8	- 11.4	0.6	+ 8.1	- 11.6	0.6
	100→90	20	20	20	有	+ 5.4	- 6.6	1.7	+ 3.6	- 4.4	1.3	+ 3.4	- 4.0	1.0
	100→70	60	20	60	有	+ 5.5	- 8.2	1.4	+ 5.1	- 7.3	1.1	+ 4.5	- 6.2	0.8
	100→70	60	20	60	無	+ 4.6	- 7.2	1.3	+ 5.3	- 8.2	1.5	-	-	-
ハルニレ	100	60	20	60	有	+ 6.6	- 9.3	1.4	+ 5.6	- 8.7	1.6	+ 5.5	- 8.1	1.3
	100→70	60	20	60	有	+ 6.7	- 7.6	0.5	-	-	-	+ 3.7	- 4.8	0.5
	100→95													
ヤチダモ	100	60	20	60	有	+ 4.8	- 8.1	1.7	+ 5.9	- 8.3	1.2	+ 5.0	- 7.5	1.2
	100→70	60	20	60	有	+ 3.8	- 5.1	0.7	-	-	-	+ 3.0	- 4.5	0.8
	100→95													
カラマツ	100	60	20	60	有	+ 5.5	- 6.0	0.3	-	-	-	-	-	-
						+ 5.5	- 8.5	1.5	-	-	-	-	-	-

注) 含水率の増減と乾燥速度は含水率70%~10%の平均値 (カラマツは初期より10~15%, 下段は辺材部), 心持ち平割は心持ち平割と同程度の値。

は、蒸煮によって蒸気、蒸気中の飽和水、材面の凝結水などが材表部に浸潤するので、蒸煮によって含水率は増加（初回のみ減少することもある）するが、後述のように、その後の減圧によって浸潤した熱水と加熱された材中水分が主として繊維方向に木口より蒸発する過程において、FSPまでの自由水は表層より順次蒸発し、FSP以下の結合水は、表層と内層との差が少ない状態で蒸発して行く。この蒸煮による増加よりも減圧による減少の方が大きい状態でSV操作を繰り返すことによって乾燥して行くわけである。そこで、本試験の乾燥条件について、含水率70~10%（カラマツは40~15%）までの含水率が増減したときの平均値及びその差から単位時間当りの含水率の減少を計算して第2表に示した。

先ず、含水率の増減は乾燥初期には大きく、乾燥末期には小さくなるが、全条件とも蒸煮による増加よりも減圧による減少の方が大きくなり、低含水率まで乾燥することができた。ただし、減圧時間よりも蒸煮時間を大幅に長くしたり、また、ヤチダモ、ハルニレのように通気性の良好な材¹⁰⁾は、後述の蒸煮による木口からの熱水の浸潤長も大きいので、蒸煮温度を100

まで上昇後に放冷して80~70 にすると、FSP付近までは乾燥するが、それ以下の含水率域ではSによる増加とによる減少がつり合い、いずれも乾燥が進まないの、減圧度が20mmHg前後の時にはの時間をSと同等以上とし、ハルニレ、ヤチダモのFSP以下では95 前後の蒸煮温度で減圧する必要がある。

次に、乾燥速度について比較すると、木枠の有無による差については第2図で説明したが、シラカンバ心持ち材の100 蒸煮では、平割、正角とも木枠設置の1.8と1.5 (%/hr, 以下省略) に対し木枠の無い方は2.1と2.0と速く、また、100~70 の低温蒸煮では平割には差はないが、正角は1.1に対し1.5になり、缶体からのふく射熱を受けて早く乾燥する傾向が認められるが、後述するように割れが発生し易い。また、平割のような薄い材になると、100 蒸煮では60分間隔の1.8に対し20分間隔は2.5になり、SV時間の短い方が1.4倍ほど早く乾燥するが、大型の耐圧缶を使用する場合には、かなり排気量の大きい真空ポンプが必要であろう。

樹種別の乾燥速度を100 , 60分間隔によって比較してみると、広葉樹心持ち材のシラカンバ、ハルニ

し、ヤチダモの平割がそれぞれ毎時1.8, 1.4, 1.7であり(心去り平割も同程度の値)また、平割と同じ材長50cmの正角では1.5, 1.6, 1.2であることからみて、供試材の個体差を考慮すると、樹種による差はもとより材の厚さが3倍になっても乾燥速度はあまり低下せず、通常の熱気乾燥のように、厚さが2倍になれば3倍前後の乾燥時間(厚さが3倍になると5倍前後)を要するのからみれば、厚さによる影響は極めて小さいと言える。さらに、正角によって材長の影響をみると、材長が50cmから100cmの2倍になっても、各樹種とも1.5と1.3, 1.6と1.3, 1.2と1.2となり、それぞれ乾燥速度の差は小さい。したがって、このことから60分間隔のSV乾燥によれば、少なくともこの3樹種では、乱尺材を混材して乾燥しても、仕上がり含水率のバラツキは小さいと考えられる。

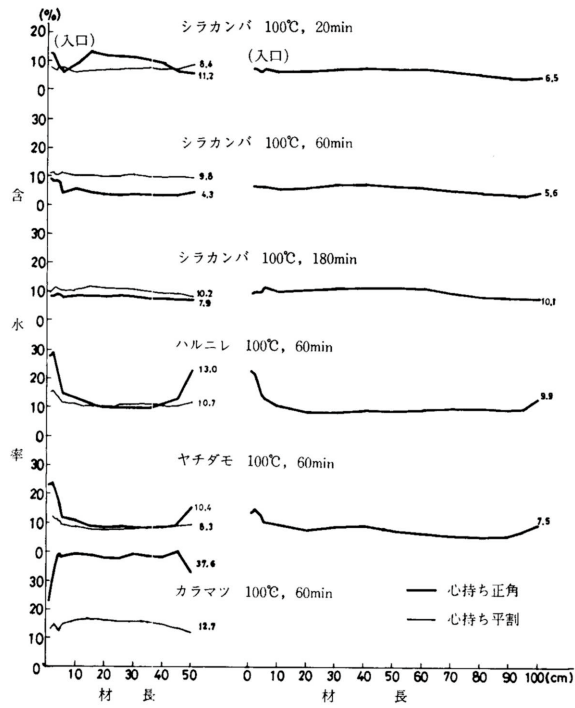
参考までにカラマツ平割の乾燥速度を比較したが、通気性が悪いといわれる¹⁰⁾カラマツでも、辺材部では1.5%/hr(含水率40~10%)の乾燥速度を示すが、心材部になると乾燥が遅いうえ最終含水率は12~15%であり、さらに、第4図で述べた正角のような厚物材では約38%以下に乾燥しない。ただし、減圧度を高めて長時間にわたって減圧すれば、これよりも低含水率まで乾燥できると考えられる。

以上のように、樹種、材種による乾燥速度に差が小さいので、付表の一覧表に示したようにシラカンバ、ハルニレ、ヤチダモの各材種とも100℃蒸煮のSV乾燥では約2日間、70~95℃蒸煮では約3日間で仕上がることが分かる。

3.4 材長方向の水分傾斜

各樹種とも100℃蒸煮により、シラカンバは20分、60分、180分間隔、その他の樹種は60分間隔によりSV乾燥した材について、材長方向の含水率を第5図に示した。

まず、シラカンバでは、各条件とも材長方向の水分傾斜は極めて小さい。これに対しハルニレ、ヤチダモはシラカンバよりも通気性が良好であるため⁹⁾、特に

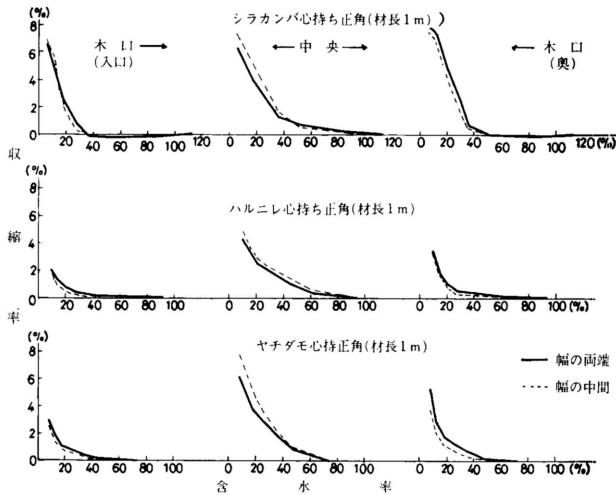


第5図 材長方向の水分傾斜(缶内木枠)

木口近辺において蒸煮による飽和水、凝結水の浸潤長が長くなり、含水率が高くなる。その他の部分は均一な低含水率を示している。この両木口の高含水率部分は、調湿処理(90℃, 5℃差)によって低下することを確認しているが、木口面に深さ約1cmの割れが多数発生するので、調湿処理をする際には、低温高湿から始まって、ゆっくりと所定の温湿度に切り替えて行く必要がある。

一方、カラマツについてみると、正角では木口より2~3cmまで乾燥(材面より1cm前後)しているが、それ以上の深さからはほとんど乾燥しないのに対し、平割では材長方向の各部分が約15%まで乾燥することから察して、カラマツの場合、20mmHgの減圧度によって60分減圧すると、繊維方向に2~3cm、半径方向に1cm前後まで減圧が達したものと推定される。

また、付表の水分傾斜では、全条件について木口より5cmまでの部分と材長中央部との含水率の差を示したが、このうち、広葉樹材の大半の条件が中心層よ



第6図 材長部位別の収縮率経過 (缶内木材100 60min)

りも表層部、材長中央部よりも木口近辺の方がそれぞれ高い含水率を示しており、通常の熱気乾燥とは逆の傾向であった。

3.5 収縮率

缶体の長さ1.2mの中に材長 1mの心持ち正角を置いて蒸煮減圧乾燥した場合、缶体の入口付近の木口、中央部、奥の部分について収縮率の経過を測定した結果、第6図のようになった。

これによると、各樹種とも材長中央部は通常の熱気乾燥にみられるように乾燥初期より収縮が始まっているが、両木口は乾燥中期まではほとんど収縮せず、特に缶体入口に近い木口ではFSP付近より収縮が始まり、ハルニレ、ヤチダモなどは平均含水率が10%以下になっても2%前後の小さな収縮率を示している。

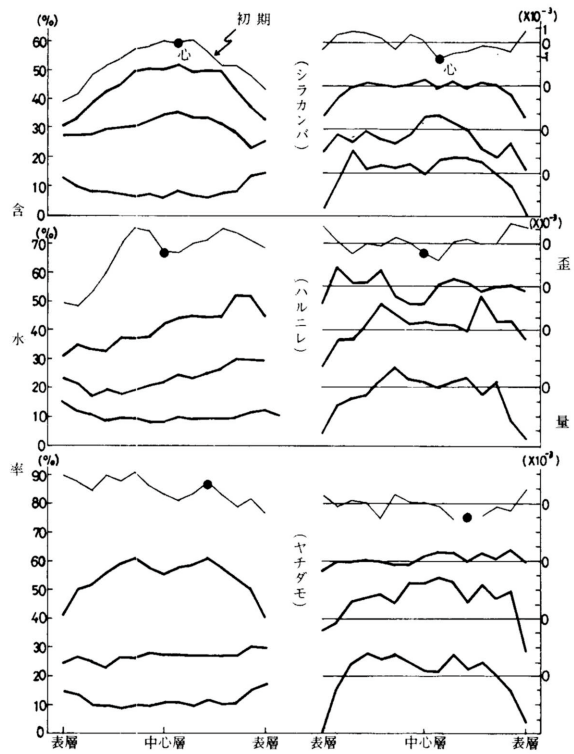
このことは、第5図で説明したように、特にハルニレ、ヤチダモ乾燥材の両木口の含水率が高くなるため、木口近辺の収縮時期が遅れ、これによって低含水率域まで木口割れの発生を抑制していることが分かる。

3.6 半径方向の水分傾斜と乾燥応力

シラカンバ、ハルニレ、ヤチダモ心持ち正

角 (材長50cm, 生材) を同一の缶体内に入れ、100 蒸煮, 60分間隔にてSV乾燥 (38時間後の仕上がり含水率は各樹種とも約10%) して行った場合、その乾燥過程において材の半径方向の含水率とそれぞれの含水率段階の歪量がどのように変化するかを第7図に示した。

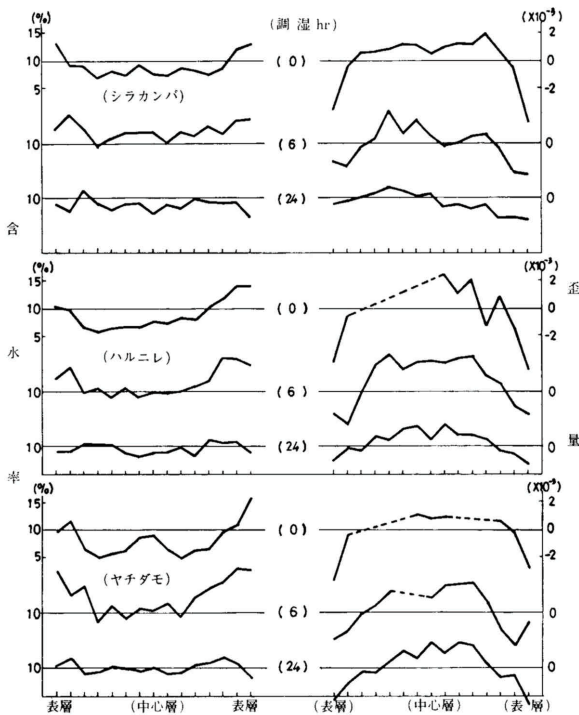
この図で明らかのように、図の左側に示す水分傾斜は、各樹種とも断面の平均含水率が40~50%の高含水率域では、通常の熱気乾燥のように表層と中心層との差は大きいですが、FSP付近に達するとその差は小さくなり (熱気乾燥では最大)、さらに、含水率10%前後の仕上がり時点では中心層の含水率は均一になるが、表層数mmの部分は中心層よりも2~7%高い含水率になる。これは熱気乾燥の場合とは逆の傾向となり、熱気乾燥材を調湿処理した時の形に似ている。



第7図 水分傾斜と歪量の経時変化 (心持ち正角, 100 , 60分)

一方、図の右側に示した歪量の経過についてみると、乾燥初期における表層の引張り応力は乾燥が進むにしたがって増大して行くが、中心層の圧縮応力は各含水率段階とも小さく、乾燥末期までほとんど増大しないことが分かった。このため、材内層部がFSP以下になって収縮を始めても、通常の熱気乾燥のような内層の潰れによる収縮率の増大が少ないこと、それに13回(100, 180分間隔)~102回(90, 20分間隔)の蒸煮と減圧乾燥の繰り返しによって材表層部が可塑性化されており、表層の引張り応力がセットされることなく内層の収縮に順応して表層も収縮して行くため、熱気乾燥に現れる応力転換期を生じなかったものと考えられる。

このことは付表の歪量を見ても明らかのように、カラマツの一部を除いたほかはすべて表層が強い引張り応力、中心層が弱い圧縮応力を示しており、通常の熱気乾燥とは道の傾向を示している。また、シラカンバについて、乾燥条件が歪量に与える影響を見ると、蒸煮温度100 と100~70 との差は明らかではない



第8図 調湿処理による効果 (90, 5 差)

が、SV間隔を20分程度に短くすると表層の引張り応力が $3.0\text{mm} \times 10^{-3}$ 以上の材種が多くなっている。

3.7 乾燥材の調湿処理による効果

シラカンバ、ハルニレ、ヤチダモ心持ち正角(材長50cm, 生材)を同一の缶体内に入れ、100, 60分間隔にてSと の操作を20回(40時間)繰り返し、平均含水率8~9%まで乾燥し、この乾燥心持ち正角を熱気乾燥室に入れて90, 5 差(EMC12%)にて6時間と24時間調湿処理を行い、材の半径方向の水分傾斜と歪量の変化を測定した結果、第8図のようになった。

先ず、図の左側に示す水分傾斜の変化について見ると、乾燥材に6時間の調湿処理を行うことによって、中心層部の含水率が2~3%増加するが、24時間の調湿処理では、中心層の含水率は6時間調湿によって増加した含水率よりも若干低下して8~12%で安定し、表層の含水率も6時間調湿より大幅に減少して7~10%となり、表層と中心層の含水率はほぼ均一になった。一方、図の右側の歪量を見ると、6時間の調湿処理によって表層の引張り応力が小さくなり、さらに、24時間調湿処理すると、シラカンバとハルニレでは各層とも大部分の歪を除くことができるが、ヤチダモは表層の引張り応力が半分ぐらい残留している。したがって、シラカンバとハルニレの調湿時間は24時間で十分であるといえるが、ヤチダモに対しては24時間以上必要ではないかと考えられる。

3.8 狂い

乾燥条件ごとの供試材について、仕上がり時におけるねじれ、曲がり、弓ぞり、幅ぞりなどの狂いを付表に示した。

本試験では、1条件当りの供試材本数が少ないので、乾燥条件ごとの比較はできないが、特に目立った傾向が認められるのはSV間隔を180分と長くすることによって、ねじれ、曲がり、幅ぞりなどが大幅に増大した。これは長時間の100 蒸煮によって材の中心層ま

で蒸煮温度に達し、材全体が可塑化された状態で減圧乾燥したためと考えられる。また、ハルニレの平割には弓ぞりが大きくなる材が多い。

3.9 割れ

乾燥条件ごとの供試材について、木口からの材面割れ、材面割れ、木口からの割れ探さ、内部割れなどを測定し付表に示した。

まず、平割の割れについてみると、心去り材は全条件ともほとんど割れを発生しないが、心持ち材のうち木杵を設置しない条件では、特に高温蒸煮によって著しい割れが発生しており、減圧中に缶体からのふく射熱を受けて割れの発生し易いことが分かる。また、ハルニレとヤチダモの心持ち平割のうち、ハルニレは乾燥する前に樹心付近が割れており、ヤチダモは乾燥末期の幅ぞりが増大する頃から樹心割れが材面に現れる。

シラカンバでは、心持ち正角のような厚物材になると、木杵の無い条件は割れ易いほか、100 蒸煮によってSV間隔を180分と長くしたり、SV間隔が20分と短くした時に蒸煮温度を100～70 に下げると割れ易くなる。さらに、ハルニレとヤチダモ心持ち正角の場合、材長50cmでは100 蒸煮によっても割れないが、材長が100cmになると樹心の割れが材面に達したり、ハルニレでは一部に微細な内部割れを生ずることがあるので、FSPまでは70～80、それ以下の含水率域では90～95 程度で蒸煮することが望ましい。

4. まとめ

シラカンバ、ハルニレ、ヤチダモ、カラマツなどの心去り平割、心持ち平割、心持ち正角について蒸煮と減圧を繰り返して乾燥した結果を要約すると次のようになる。

(1) 通気性の比較的良好な広葉樹材は、蒸煮と減圧を繰り返して(減圧終了後は常圧にもどす)乾燥すれば、1～3日以内で含水率10%以下に乾燥できる。しかし、通気性の悪いカラマツ材では厚さ3cmの材は12～15%まで乾燥するが、正角材では約38%以下に乾

燥できなかった。

(2) 蒸煮によって缶体も加熱され、その後の減圧中において缶体からのふく射熱によって材面割れが発生し易いので、缶体内に蒸気が流通する籠状の木杵を入れることによって高温蒸煮が可能となり、材面割れの発生を防止して速やかに乾燥できた。なお、この木杵の代わりに、減圧中に缶体を冷却しても同様の効果が得られるであろう。

(3) 乾燥速度は広葉樹の場合、樹種、厚さ、材長などによる差が少ないので、混材乾燥が可能と考えられる。

(4) 乾燥材の水分傾斜は通常の熱気乾燥とは逆に内層よりも表層、材長中央部よりも木口近辺の方がそれぞれ高くなり、特にハルニレ、ヤチダモの木口近辺の含水率が高い。この水分傾斜は調湿処理によって均一になった。

(5) 乾燥による収縮率は水分傾斜の影響によって材中央部よりも木口近辺の方が小さく、特にハルニレ、ヤチダモが顕著である。

(6) 生材から乾燥材までの乾燥応力はすべて表層は強い引張り応力、内層は弱い圧縮応力になり、通常の熱気乾燥のような応力転換期は現れない。

(7) 調湿処理(90、5 差)による乾燥材の応力を除去する効果は、6時間処理することによって表層の引張り応力が小さくなると同時に内層の圧縮応力がやや増加し、ついで24時間処理によって表層の引張り応力と共に内層の圧縮応力も小さくなり、乾燥応力はもとより水分傾斜も均一化されるが、ヤチダモは24時間以上の調湿処理を必要とする。

(8) 乾燥による割れでは、心去り平割は全条件ともほとんど割れないが、心持ち正角のような割れ易い材に対しては、まず、(2)項によって缶体からのふく射熱を遮断する必要がある。また、シラカンバの例によると、ふく射熱を遮断した場合でも、SV間隔が短い時に(20分)蒸煮温度を下げたり、高温蒸煮時にSV間隔を長く(180分)すると割れ易い。さらに、ハルニレ、ヤチダモの心持ち正角は材長が長くなると割れ易いので、FSP付近までは70～80、それ以下の含

付 表 蒸 煮

水率域では90~95 で蒸煮する必要がある。

文 献

- 1) 奈良直哉, 米田昌世, 千葉宗昭, 菅野新六, 大山幸夫: 小径広葉樹材の乾燥一心持ち材のPEG処理 - , 林産試験場研究報告, 67, 3 (1978)
- 2) 雨宮昭二, 井上衛: ベイツガ防腐処理材のスチーミング・アンド・バキューム法による乾燥について, 林業試験場研究報告, 200, 3 (1967)
- 3) 中西文昭, 栗村幸一: 木材の真空乾燥に関する研究, 広島工試研報 (1976)
- 4) 筒本卓造, 益子義広: 木材の空気加熱・減圧法による乾燥試験, 木材工業, 33, 12 (1978)
- 5) 西尾茂: 木材乾燥中の応力経過について (第7報) 減圧乾燥中のカップ量, 日本木材学会大会研究発表要旨, 7 (1979)
- 6) 佐藤庄一, 筒本卓造: 減圧乾燥における材厚と乾燥時間の関係 (1), 日本木材学会大会研究発表要旨, 4 (1980)
- 7) 金川靖, 寺沢真: 木材の熱板減圧乾燥法について, 木材工業, 33, 3 (1978)
- 8) 金川靖, 寺沢真: 木材の高周波減圧乾燥, 木材工業, 33, 6 (1978)
- 9) 浜野義昭, 西尾茂: 高周波減圧乾燥法について (第1報) 電極板間の含水率分布, 木材工業, 36, 2 (1981)
- 10) 大山幸夫, 奈良直哉, 米田昌世, 千葉宗昭: 木材乾燥 (実務編), テクニカルノート, No.4, 10 (1978)

樹種	乾燥条件				木 材	供 試 材		含 水 率		乾燥時間 (hr)	水分傾斜			収 縮	
	蒸 (°C)	煮 (min)	減 圧 (mm Hg)	木 材 (min)		材 種 (心持)	材 長 (cm)	初 期 (%)	仕 上 り (%)		木 口 (%)	中 央 (%)	材 長 (%)	厚 木口 (端)	(間)
シ	100	20	20	20	有	平割	50	89.6	9.3	24	3.0	3.3	0.7	7.7	4.1
						50	73.8	8.4	24	2.6	4.8	1.0	6.2	5.9	
	100	60	20	60	有	正角	50	85.0	11.2	41	6.0	16.6	3.5	5.5	4.7
						100	101.8	6.1	54	1.8	1.8	1.9	6.5	6.5	
	100	60	20	60	無	平割	50	92.5	9.7	34	3.3	0.3	1.6	5.1	2.3
						50	77.2	9.8	34	1.3	2.4	1.2	5.8	3.9	
100	60	20	60	無	正角	50	80.2	4.3	50	0.8	3.4	3.6	5.8	5.3	
					100	112.4	5.8	60	1.0	2.5	1.6	7.3	7.2		
100	180	20	180	有	平割	50	79.1	10.7	60	1.7	2.2	2.2	4.1	3.3	
					50	70.7	10.2	60	4.0	3.5	1.4	5.3	4.1		
100	90	20	20	有	正角	50	84.4	7.9	78	1.2	1.2	0.6	5.4	5.8	
					100	87.5	10.1	78	1.4	1.2	2.8	4.9	4.9		
100	90	20	20	有	平割	50	81.1	7.8	38	2.6	2.2	1.1	6.2	5.2	
					50	77.2	7.8	38	0.7	3.3	1.0	5.2	3.1		
100	70	60	20	60	有	正角	50	93.1	5.5	66	0.7	0.9	1.0	6.1	5.8
						100	90.1	7.9	68	0.2	3.9	2.5	5.7	5.5	
100	70	60	20	60	有	平割	50	85.2	8.3	52	0.7	1.8	1.0	6.7	5.7
						50	84.2	8.2	52	1.1	0.6	1.6	6.9	4.2	
100	70	60	20	60	無	正角	50	71.5	6.9	60	0.4	2.1	1.7	4.2	3.9
						100	111.4	7.7	96	1.1	2.7	3.5	5.9	5.8	
100	70	60	20	60	無	平割	50	86.7	8.0	32	1.3	0.2	1.1	7.2	5.1
						50	57.1	8.6	32	0.5	2.1	1.4	5.2	3.1	
100	60	20	60	有	正角	50	74.7	6.2	50	0.2	1.4	2.4	5.8	5.5	
					50	99.7	13.7	36	1.0	2.2	2.3	3.0	1.6		
100	60	20	60	有	平割	50	61.3	10.7	36	0.7	1.4	1.9	3.7	1.1	
					50	90.0	13.0	36	2.1	2.8	13.1	1.4	0.5		
100	70	60	20	60	有	正角	50	93.7	9.9	52	2.6	6.6	5.6	2.8	2.5
						100	93.7	9.9	52	2.6	6.6	5.6	2.8	2.5	
100	70	60	20	60	有	平割	50	78.2	10.6	86	1.6	1.1	1.1	1.3	0.7
						50	82.0	13.8	86	3.8	1.5	2.8	2.4	0.3	
100	95	60	20	60	有	正角	50	82.0	11.0	86	4.6	6.5	5.8	1.5	1.4
						100	65.2	11.0	86	4.6	6.5	5.8	1.5	1.4	
100	60	20	60	有	平割	50	64.8	9.0	32	0.8	3.3	2.7	5.2	3.3	
					50	71.1	8.3	32	1.8	3.4	2.5	6.8	2.0		
100	60	20	60	有	正角	50	64.9	10.4	40	4.0	6.9	8.3	3.2	2.2	
					100	73.9	7.5	48	1.8	2.2	3.8	4.2	3.2		
100	70	60	20	60	有	平割	50	82.6	8.8	86	2.4	3.3	4.1	3.1	2.5
						50	66.7	8.8	86	2.0	2.9	1.9	4.6	3.7	
100	95	60	20	60	有	正角	50	82.2	10.3	86	3.7	5.0	4.1	2.8	2.4
						100	82.2	10.3	86	3.7	5.0	4.1	2.8	2.4	
100	60	20	60	有	平割	50	40.5	15.3	72	1.7	2.2	2.6	4.2	1.7	
					50	43.2	12.7	72	3.3	0.4	2.3	4.7	1.4		
100	60	20	60	有	正角	50	47.1	37.6	80	18.9	6.9	4.4	0.3	0.1	
					50	47.1	37.6	80	18.9	6.9	4.4	0.3	0.1		

注) 平割の上段は心去り。水分傾斜の木口は木口より5cmの断面における表層と中心層水率の差であり, いずれも中心層よりも表層, 材長中央部よりも木口より5cmの部分 (-) は引張応力である。収縮率の木口は木口面の幅の両端と中間部における値。

- 木材部 乾燥科 -
(原稿受理 昭56.4.6)

減圧乾燥による乾燥特性と損傷

縮率 (%)		全収縮率 (%)		歪量		狂				割れ								
さ中央 (端)	幅中央 (間)	厚さ中央 (端)	幅中央 (間)	表層 (mm/mm) ×10 ⁻³	中心層 (mm/mm) ×10 ⁻³	ねじれ (度)	曲がり (mm)	冴り (mm)	幅そり (mm/90mm)	木口材面 (本)	材面 (cm)	材面 (cm)	木口深さ (cm)	内部 (本)				
7.2	5.1	5.3	6.5	9.4	7.5	7.7	-3.9	2.8	0.0	0.5	0.5	1.99	0	0	0	0	0	
6.8	7.5	3.9	5.2	8.7	9.7	6.2	-1.9	2.0	5.1	1.5	3.0	2.13	(1)	(2)	0	0	1	0
7.2	7.0	—	—	7.2	7.0	—	-3.4	1.6	1.1	1.0	—	—	0	0	0	0	1	0
5.9	5.7	—	—	7.3	7.5	—	-1.7	0.7	3.0	4.0	—	—	0	0	0	0	1	0
6.5	3.7	4.6	5.5	8.6	6.4	7.5	-2.1	1.8	1.6	1.5	1.0	1.27	0	0	0	0	0	0
7.0	6.5	3.2	4.3	9.3	8.8	5.7	-1.7	1.1	4.6	0.5	1.0	1.22	0	0	0	0	1	0
6.2	7.2	—	—	7.0	8.1	—	-2.8	1.5	2.9	1.0	—	—	0	0	0	0	1	0
6.3	7.2	—	—	7.8	8.7	—	-1.9	1.7	1.9	3.0	—	—	0	0	0	0	(3)	0
8.0	5.1	6.4	7.7	9.0	5.8	8.5	-1.8	2.3	1.1	2.0	2.0	0.56	1	9	0	0	1	0
8.7	7.1	3.7	6.1	9.7	7.1	6.8	-2.0	1.6	2.1	1.5	2.5	1.50	0	0	5	30	2	0
6.5	7.1	—	—	7.2	7.8	—	-2.6	0.8	0.2	1.5	—	—	(1)	(6)	3	8	3	0
4.6	4.9	5.6	5.7	7.1	6.9	8.0	-0.7	1.3	3.6	1.0	1.0	1.30	0	0	0	0	1	0
5.9	6.4	4.6	6.0	8.4	8.6	8.4	-1.4	0.5	0.1	1.0	1.0	2.59	0	0	0	0	1	0
6.2	7.4	—	—	7.7	8.7	—	-2.6	0.9	4.3	2.5	—	—	(1)	(8)	8	8	2	0
5.0	5.8	—	—	6.9	7.8	—	-3.0	1.1	16.0	7.0	—	—	(4)	(6)	1	2	2	0
6.4	5.1	4.0	6.8	8.2	7.7	8.5	-3.6	3.5	2.3	2.0	3.0	1.81	0	0	0	0	1	0
5.9	5.4	5.4	5.4	8.1	6.8	6.9	-2.6	2.6	1.5	0.0	1.0	1.52	(1)	(3)	0	0	1	0
5.8	6.2	—	—	7.0	7.5	—	-1.1	1.1	1.0	0.5	—	—	(1)	(16)	7	27	2	0
5.3	5.5	—	—	7.2	7.6	—	-2.6	0.2	5.5	5.0	—	—	(1)	(8)	21	37	1	0
6.6	4.3	4.9	6.2	9.3	7.2	8.2	-1.9	2.2	1.9	1.0	4.0	1.45	0	0	0	0	0	0
7.3	4.9	3.8	4.4	9.3	8.0	6.0	-1.5	1.1	3.6	0.5	0.5	0.78	(1)	(1)	0	0	(2)	0
4.9	5.9	—	—	6.2	7.2	—	-1.9	0.4	5.3	2.0	—	—	0	0	0	0	1	0
5.0	5.4	—	—	6.5	7.3	—	-1.6	0.9	5.9	3.0	—	—	0	0	0	0	3	0
6.2	4.4	6.1	6.4	8.8	7.2	8.7	-1.3	1.0	1.8	1.5	0.0	1.92	0	0	0	0	1	0
5.9	4.5	3.6	4.0	8.1	6.9	5.8	-1.0	0.2	4.6	0.0	2.0	0.72	0	0	1	3	1	0
5.3	5.4	—	—	6.7	7.1	—	-0.2	-0.5	5.9	3.0	—	—	(1)	(4)	0	0	1	0
3.2	3.2	4.8	5.9	7.0	5.1	9.9	-3.5	2.1	0.3	2.0	2.0	0.85	0	0	0	0	0	0
7.9	4.3	2.4	3.8	10.6	6.7	5.4	-2.5	2.2	0.3	1.5	1.0	1.55	(2)	(2)	(7)	(48)	1	0
4.1	5.2	—	—	6.4	7.1	—	-5.9	2.4	0.3	2.5	—	—	0	0	0	0	1	0
4.3	5.4	—	—	6.2	7.0	—	-2.4	0.7	1.5	5.0	—	—	0	0	(8)	(16)	1	4
4.4	4.3	2.4	5.9	8.2	6.9	9.1	-3.0	2.0	1.1	0.0	3.5	0.58	0	0	0	0	0	0
8.3	4.6	0.9	3.4	9.5	8.8	6.1	-1.6	1.6	0.1	3.0	12.0	1.60	(2)	(8)	(14)	(69)	5	0
3.8	4.9	—	—	6.3	6.9	—	-5.0	2.6	0.8	3.5	—	—	0	0	0	0	1	(4)
5.1	5.1	5.8	7.0	9.1	6.9	9.2	-4.0	3.1	0.2	1.0	1.0	1.53	0	0	0	0	0	0
6.2	9.1	4.3	5.4	10.2	9.1	6.2	-3.3	1.4	0.7	0.0	3.0	1.98	(2)	(11)	(1)	(42)	0	0
5.8	6.9	—	—	8.3	9.1	—	-4.9	1.1	1.9	3.5	—	—	(1)	(4)	0	0	1	0
6.1	8.0	—	—	7.8	9.8	—	-3.4	2.2	3.8	3.5	—	—	(2)	(45)	15	26	3	0
6.1	6.4	4.8	7.9	9.1	7.6	9.6	-4.2	4.0	2.0	2.0	2.0	1.49	0	0	7	14	1	0
7.1	8.5	3.1	5.5	10.7	10.8	7.4	-2.3	2.1	5.4	2.0	3.5	2.74	4	11	(9)	(58)	1	0
4.8	5.9	—	—	6.5	8.0	—	-1.4	2.6	7.6	3.5	—	—	0	0	0	0	2	0
2.4	0.3	2.2	1.6	5.3	2.7	5.1	0.2	-0.9	1.5	2.0	1.0	0.85	0	0	0	0	2	0
3.5	1.0	1.3	0.9	6.6	3.3	2.6	-1.7	-0.7	2.7	1.0	1.0	0.45	1	7	2	19	1	0
0.4	0.1	—	—	5.9	3.1	—	-1.8	-0.7	0.1	1.0	—	—	8	32	19	103	3	0

との含水率の差, 中央は中央部の断面における表層と中心層との含水率の差, *材長は木口より5cmの断面と材長中央部の断面との含水率の高い傾向を示した。割れの()内数は樹心部よりの割れ。歪量は材長中央部の断面における表層と中心層の値を示し