

カラマツ材の乾燥

三村典彦 橋爪丈夫
吉田孝久 奥村俊介
小林大徳 向山繁人

要 旨

昭和52年～59年にかけて、カラマツ材の加工利用の原点である乾燥手法について、実用規模で検討を加えた。得られた主な結果は次のとおりである。

- 1) 小径丸太の天然乾燥では、剥皮丸太は、ほぼ2カ月で含水率20%に達し、6カ月経過時点では、ほぼ木材の平衡含水率となった。材の割れは含水率が20～30%になるまで激増した。また、皮付き丸太の乾燥は遅く、12カ月経過でも50%以上の水分状態であった。
- 2) 割れ易い心持正角材及び正割材は、含水率30%までの天然乾燥でも多くの割れが発生した。
- 3) 人工乾燥温度と割れの関係は明瞭であって、生材からの高温乾燥は著しく抑制できた。このことはすべての乾燥試験で確かめられ、特に平割類の生材からの高温乾燥では、割れは全く発生しなかった。
- 4) 乾燥による曲り、ねじれ等のくわい抑制に圧縮(栈木加圧1kg/cm²)の効果が認められた。
- 5) 収縮率は、高温乾燥ほどやや高くなる傾向が一部の試験で認められた。
- 6) 蒸煮—高温乾燥を行なった材において、著しいヤニ滲出防止効果が認められた。また、柱角の試験において、5時間程度の蒸煮だけで、実用上支障のない程度にヤニ滲出防止ができることが明らかとなった。
- 7) 昼間ボイラーを炊いて夜間ボイラーを止めるという1日12時間の間欠運転において、ボイラー休止期間にも乾燥は進み、さらにイコーライジング効果も期待できる。
- 8) 人工乾燥の仕上がり含水率を求める資料として、解体住宅の部材含水率調査を行ない、住環境下における部材含水率の知見を得た。
- 9) 本報告の成果は、その都度普及に移され、カラマツの人工乾燥法として県内に定着している。

はじめに

カラマツは、本県を郷土とし、造林の歴史は百年を経、森林面積の23.5%、人工植栽針葉樹の58.2%を占め、素材の56年度の生産内訳(推定値を含む)は、主伐材が約64%の99千m³、間伐材が36%の56千m³とされている。間伐材の利用は大きな今日的課題ではあるが、それよりも多く生産されている主伐材の位置付けも極めて不安定な現状にある。したがってこれ等の有効利用は、本県林業の発展のためには大きな課題といえる。

かつては、特性ともいえる「強度性能」と「耐水性」から、主な用途は土木用材であったが、成長量の増進に伴う生産量の増加、さらには需要構造の変化から用途指向を変える必要が生じた。そこで最も有利な用途は、木造建築・住宅とし、これに伴う各種部材の開発を指向した。

なかでも木造住宅については、単なる建築構造体ではなく人の住まいをトータルで演出するといった思潮が台頭してきた。

この様な考え方からすれば、木造住宅部材とは、構造材から造作・内装材を含むインテリア材、さらにこれにマッチした家具・建具が包含される。

しかしながら、カラマツ材はこの様な建築・家具用材としては全く新しい素材であって、一般になじみがなく、さらに「ねじれ狂いが起き易い」「割れ易い」あるいは「ヤニが出る」等の欠点を指摘され、また住環境の変革から、インテリア材及び家具・建具材については、含水率調整が最も重要な課題となって来た。

指摘された三つの欠点は、カラマツ材の乾燥過程で派生する問題であり、ともにカラマツ乾燥技術の確立がその前提となるものである。

したがって、カラマツ材の加工利用の原点である乾燥手法について検討を加えた。

ここでは、カラマツ材の乾燥技術を網羅したわけではなく、損傷抑制の人工乾燥方法の組立て及び仕上含水率の調査等の結果についてとりまとめたので、これについて述べる。

1. 試験方法

(1) 小径丸太の天然乾燥

(1)-1 供試材及び乾燥方法

18年生・25年生・35年生の3樹齢のものを選定し、それぞれ材長3m、末口径10~14cmの丸太を供試材とした。

また各樹齢毎に、次のような天然乾燥の条件を付した。

- 1) 皮付き丸太
- 2) 剥皮丸太
- 3) 剥皮背割丸太

供試本数は各条件毎に5本を一組とした。

天然乾燥は通風を考慮した天乾場において、図-1のように各条件毎の5本一組を積み、さらに直射日光、雨等を避けるためタキロン波板で覆った。

(1)-2 測定項目・方法

供試材の含水率の減少経過とこれに伴う割れ(材面割れ、木口割れ)の把握は、次の方法によった。

a) 含水率減少経過

所定の時期に供試材の重量を測定し、これが木材の平衡含水率に達した時点で、それぞれの供試材の重量を測定し、JIS絶乾法による試験片を採取し、

これに基づいて、その時点の含水率を推計、さらにこれを基準に各時点の重量値から含水率を推計する方法を採った。

JIS絶乾法による試験片は、供試材の中央部及び、両木口より50cmの位置から、厚さ1cmの円盤状のものをあてた。

重量測定は、天然乾燥開始後1か月間は週1回、その後は2週毎に実施した。

b) 割れ

重量測定のとど、材面割れ及び木口割れの長さを測定した。但し材面割れについては、隣接した割れの間隔が5mm以下の場合、同一割れとみなし、その延長を測定値とした。

(2) 損傷抑制人工乾燥法の検討

(2)-1 心持正角材及び正割材による損傷抑制乾燥法の検討

(2)-1-1) 供試材

樹齢22年生、末口径10~14cm、材長3mのカラマツ小径材から、心持ちの7cm正割材、9cm正角

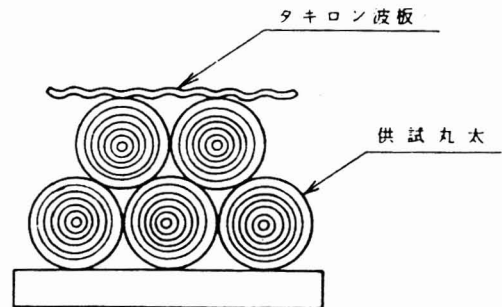


図-1 小径丸太の天然乾燥

材を採材し供試材とした。なお丸身についてはできるだけ少ないもののみを当てた。

(2)-1-2) 乾燥方法

乾燥の方法は、天然乾燥のみによるものと、従来から行われている天然乾燥と人工乾燥との組合わせ、及び新たな試みである生材から直接人工乾燥を施す三手法とし、三者間の比較を行なうこととした。

天然乾燥については、栈木間隔50cmとし、一般的な方法で含水率が15%に達した時点で終了とした。天然乾燥と人工乾燥の組合わせ条件の場合は、含水率が30%に達した時点で天然乾燥は終了とし、人工乾燥に付した。

人工乾燥に使用した乾燥装置は、1F型上部送風式、材間風速：毎秒2m、乾燥容量：材長3mで1.4m³(ともに材厚30mm時の換算値)、ボイラーは、120kg/h_rの蒸発量を持つ貫流式ボイラーを使用した。

表-1 天然乾燥-人工乾燥併用スケジュール

| 含水率 (%) | 低温乾燥 | | 中温乾燥 | | 高温乾燥 | |
|---------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | 乾球温度 (°C) | 温度差 (°C) | 乾球温度 (°C) | 温度差 (°C) | 乾球温度 (°C) | 温度差 (°C) |
| 生 ~ 30 | 天然乾燥 | | 天然乾燥 | | 天然乾燥 | |
| 30 ~ 25 | 60 | 5 | 85 | 10 | 100 | 10 |
| 25 ~ 20 | 65 | 10 | 〃 | 20 | 〃 | 20 |
| 20 以下 | 70 | 25 | 90 | 30 | 〃 | 30 |

表-2 生材-人工乾燥のスケジュール表

| 含水率 (%) | 低温乾燥 | | 中温乾燥 | | 高温乾燥 | |
|---------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| | 乾球温度 (°C) | 温度差 (°C) | 乾球温度 (°C) | 温度差 (°C) | 乾球温度 (°C) | 温度差 (°C) |
| 生 ~ 40 | 55 | 5 | 75 | 5 | 100 | 5 |
| 40 ~ 30 | 60 | 10 | 80 | 10 | 〃 | 10 |
| 30 ~ 20 | 65 | 15 | 85 | 15 | 〃 | 20 |
| 20 以下 | 70 | 25 | 90 | 28 | 〃 | 30 |

人工乾燥のスケジュールは、表-1、表-2で示すとおり低温・中温・高温の3スケジュールによった。運転時間は、24時間運転とした。

また、人工乾燥時に圧縮圧を与えたものと、全く与えない非圧縮のものとを同時進行させ、乾燥終了後、両者について比較した。

圧縮の方法は、台車上に栈木間隔50cmで供試材を栈積し、最上部にはチャンネルとコンクリートの廃テストピースを荷量として置いた。この場合の栈木荷重は、1kg/cm²に設定した。栈木の厚さは25mmとした。

乾燥仕上り含水率は、15%以下とした。

乾燥終了後、乾燥過程に於ける損傷、収縮率、重量等を測定し、それぞれの条件間のものについて比較検討した。

(2)-2 平割材による損傷抑制人工乾燥法の検討

(2)-2-1) 供試材

a) ラミナ材

樹齢18~21年生、末口径8~12cmで材長2~3mの間伐小径材から、図-2に示した木取図により厚さ2.5cm幅7cmに製材し、樹心が付着しているものを心付材、そうでないものを心去材として供試材とした。

b) 建築向け平割材

樹齢48年生の3~4番玉で末口径20~28cm、材長2mの素材から、図-3のとおり木取った。採材寸法は、厚さ4.5cm、幅10.5cmとし供試材と

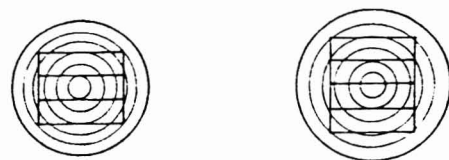


図-2 平割材(ラミナ)の木取法

した。心付・心去りについては、a)と同様に分類した。

c) 家具向け平割材

樹齢46年生、末口26~36cmの3m材から図-4に示した木取で、幅12cm、厚さ3.6cm、長さ3mに採材し供試材とした。

(2)-2-2) 人工乾燥の方法

処理方法は、(2)-1-2)で述べた装置及び人工乾燥の方法によったほか、次の方法を採用した。

スケジュールは、ラミナでは表-3により、高・中温の2種とし、建築向け平割は、表-4の通り低・高温の2種とした。家具向け平割材は、表-5の高温乾燥で実施した。

運転時間については、ラミナ、建築用平割は、実用化を目標に、企業の実態に合わせ、間欠運転とした。運転時間は、朝8時30分から夜8時30分までの12時間とし、その後翌朝までの12時間は、運転休止とした。但し、この場合であってもファンは回した。家具向け平割材は、24時間運転とした。

仕上り含水率は、ラミナが10%、建築向け平割材は13%、家具向け平割材は8%をそれぞれ目標値とした。

(3) ヤニ滲出防止法の検討

(3)-1 供試材

(3)-1-1) 平割材

樹齢46年生カラマツの末口径26~36cmで材長3m素材から、図-5の木取で製材した。さらに隣接する3枚については、中央部を無処理用、両側をそれぞれの処理用として一組の供試材とした。製材寸法は、幅12cm、厚さ3.6cm、長さ3mとした。

(3)-1-2) 柱 角

樹齢48年生で、末口28~34cm、材長3mの素材から、隣接する心割の10.5cm正角材を図-6のとおり採材し、一方を処理用、他方を未処理用として供試材とした。

(3)-2 処理及び効果判定の方法

ヤニ滲出防止法の検討に当たって、平割材については、すでに開発され企業化しているアルカリ

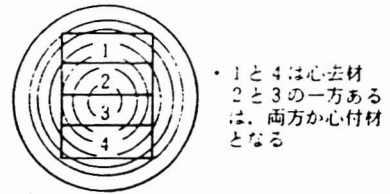


図-3 建築材向け平割材の木取法

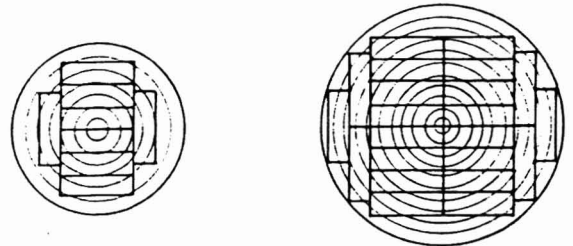


図-4 家具向け平割材の木取法

表-3 平割(ラミナ)の人工乾燥スケジュール

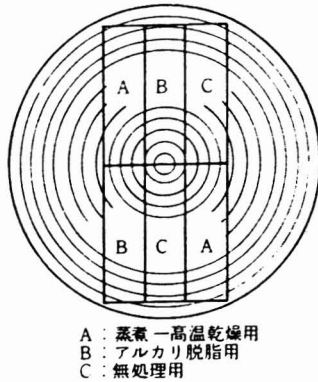
| 含水率 (%) | 中温 スケジュール | | 高温 スケジュール | |
|---------|-----------|----------|-----------|----------|
| | 乾球温度 (°C) | 温度差 (°C) | 乾球温度 (°C) | 温度差 (°C) |
| 生 ~ 40 | 65 | 5 | 100 | 5 |
| 40 ~ 30 | 〃 | 10 | 〃 | 10 |
| 30 ~ 20 | 75 | 15 | 〃 | 20 |
| 20 以下 | 85 | 25 | 〃 | 30 |

表-4 建築材向け平割材の人工乾燥スケジュール

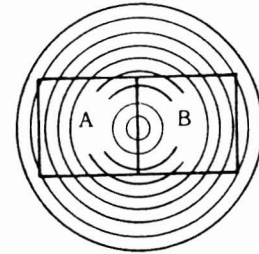
| 含水率 (%) | 低温 乾燥 | | 高温 乾燥 | |
|---------|-------|-----|-------|-----|
| | 乾球温度 | 温度差 | 乾球温度 | 温度差 |
| 生 ~ 30 | 55 | 5 | 100 | 5 |
| 30 ~ 25 | 60 | 10 | 〃 | 10 |
| 25 ~ 20 | 65 | 15 | 〃 | 20 |
| 20 ~ 13 | 70 | 25 | 〃 | 30 |

表-5 家具向け平割材の人工乾燥スケジュール

| 含水率 (%) | 乾球温度 (°C) | 温度差 (°C) |
|-----------|-----------|----------|
| 蒸 煮 8 時 間 | 96 | 0 |
| 生 ~ 20 | 100 | 10 |
| 20 ~ 15 | 〃 | 20 |
| 15 ~ 8 | 〃 | 30 |
| イコーライジング | 〃 | 10 |
| コンディショニング | 〃 | 5 |



A : 蒸煮—高温乾燥用
B : アルカリ脱脂用
C : 無処理用



A : 蒸煮処理
B : 無処理

図-5 ヤニ滲出防止法の供試材木取法(平割) 図-6 ヤニ滲出防止法の供試材木取法(柱角)

脱脂法による処理材との効果比較, さらに未処理材とのヤニ分の材内残留量比較を行なった。

柱角については, 柱材としての実用的効果を処理・未処理の間で比較した。

(3)-2-1) 平割材の処理・効果判定の方法

平割材のヤニ滲出防止処理は, (2)-1-2) に述べた人工乾燥装置により, 次の方法でおこなった。この場合の使用蒸気圧は, 3 kg/cm^2 とし, 表-5 に示したスケジュールにより, 初期蒸煮(乾・湿球温度 96°C) を10時間実施した後, 高温乾燥を行なった。

アルカリ脱脂については, 長野県の所有する特許と, その処方にに基づき委託して実施した。

処理効果の判定は, 高温乾燥, アルカリ脱脂, 無処理の各供試材について, 電気恒温乾燥器による恒温暴露試験, 屋外の日光暴露箱による日光暴露試験, 及びヤニ分の残留量を求める水蒸気蒸溜・エーテル抽出物の定量試験を行ない, その結果から効果判定を行なった。

効果判定の供試材は, それぞれの処理の後, 互いの隣接位置を合致させたうえ, 繊維方向に長さ 24 cm と 1 cm の試験片に採材した。 1 cm の試験片は, 恒温暴露試験用とし, 24 cm の試験片は, 両木口から3番目と中央部のものは水蒸気蒸溜及びエーテル抽出用試験片とし, 残りは全て日光暴露試験用とした。

a) 日光暴露試験

幅 90 cm , 長さ 1.8 m , 深さ 12 cm で, 透明フェイロン板を張った蓋をもつ暴露箱を, 日光が遮蔽されない場所に設置し, この中に, 高温乾燥, アルカリ脱脂, 無処理の各試験片の材面を 1 mm 鉋削した後, 一組毎に 2 cm 厚の枕木の上に 5 cm 間隔で展開した。暴露期間は, 2月初旬から8月末まで, この間の箱内の温度も測定した。

暴露終了後, 日本林業技術協会製のS II型点格子板により, 各試験片の四材面及び両木口に滲出したヤニ汚染部の面積を測定した。ヤニ滲出度は, 材面の全面積に対するヤニ汚染面積の割合とした。

b) 恒温暴露試験

電気式恒温乾燥器で 1 cm 厚の木口試験片を, 60°C の一定温度のもとに, 144時間暴露し, 両木口に滲出したヤニの汚染面積を点格子板で測定し, 両木口の総面積と, ヤニ汚染面積との割合をヤニ滲出度とした。

c) エーテル抽出物, 精油成分の定量

水蒸気蒸溜及びエーテル抽出試験片の材表面 1 mm を削除した後, 深さ 3 mm 毎に削片を採り, これをウィレー氏ミルで粉碎し木粉とした。したがって, 一試験片は6試料区分とした。

エーテル抽出物の定量は, J I S, P 8009 にしたがった。

精油成分の定量は、通常の水蒸気蒸溜の手法にしたがった。

効果の判定は、両定量試験ともに処理区分毎の総平均値で、高温乾燥、アルカリ脱脂、未処理の比較をおこなった。

(3)-2-2) 柱角の処理・効果判定の方法

柱角については、15・10・5時間の3区分で高温蒸煮した後、乾燥は天然乾燥とした。

高温蒸煮は、(2)-1-2)の乾燥装置を使い、圧力4 kg/cm²の蒸気で乾燥室内の棧積試験材を蒸煮した。この場合の乾燥室内温度は、乾・湿球温度で96℃(塩尻地区の沸騰温度)とした。

また、材温が常温に降下した時点で室外に出し、天然乾燥に付した。

処理を終了した試験材は、暴露箱によるものと、一般の建築方法に準じた素建(写真参照)の状態の2種類の日光暴露試験をおこなった。

暴露箱には、(3)-2-1)のa)の箱を使用した。供試材は、それぞれの蒸煮処理後、未処理材との隣接部を合致させ、木口から50cm内側と中央部より、長さ40cmの試片を採材しあてた。この場合も処理・未処理を一組として比較した。

建築準拠の日光暴露では、各処理時間毎の供試材と隣接する未処理材を、一組として、共に土台・桁の枿穴を切り、三組宛て用意し、南に面して各処理の組毎に50cm間隔で展開し、2、3列も同様に組立てた。屋根はトタンとし、軒の出は45cmとした。

暴露試験は、6カ月経過した後、20名の観察者によりヤニ滲出状況の判定を行なった。この場合のランク付けは、未処理材のヤニ滲出状況を10とし、0~10段階とした。

(4) 住環境下における各種建築部材の含水率

松本市内における、築後45年経過の住宅解体にあたり、構造・内装材等の各種部材を採取し、これ等の含水率を測定した。

調査に当たっては、解体住宅の置かれている周囲の地況等の環境調査も行なった。

調査の方法は、解体前にMT-8S型木材水分計(KETT製)で測定の上、持ち帰り部材をチェックした。

解体後、持ち帰り部材は、使用状況に応じて、なるべく長いままで、サンプル採りを心がけたが、重機械による解体のため意に添わない場合も多くあった。柱については、通柱をのぞき、上下の枿を切り落とした程度で採取した。

持ち帰った部材の含水率は、各部材の部位毎に絶乾法により測定した。しかし持ち帰れなかった部材については、現地における水分計の計測値を補正修正し、これを測定値とした。

2. 結果と考察

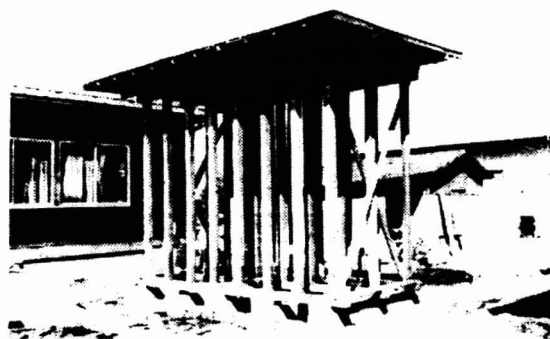
(1) 天然乾燥

(1)-1 小径丸太の天然乾燥

(1)-1-1) 乾燥経過

カラマツ小径丸太の天然乾燥における含水率経過を図-7と表-6に示した。天然乾燥開始は、昭和55年9月中旬である。

初期含水率97%の剥皮丸太及び109%の剥皮丸太は、ほぼ2カ月経過で20%に達し、その後の減



少は少なく、6カ月経過時には、18%前後となった。

一方、初期含水率112%の皮付き丸太は、含水率減少が遅く、1年経過時点においても56%であった。

したがって、丸太の乾燥は、剥皮することにより、急激に進むことは明らかとなったが、背割の乾燥速度への影響は判然としなかった。

(1)-1-2) 乾燥による形質変化

乾燥過程における材面割れ、木口割れの発生状況は図-8、図-9のとおりである。

剥皮丸太の材面割れ・木口割れは、含水率30~20%付近までは急激な増加を示し、2カ月経過時点からは、漸増傾向にあるものの安定していた。

剥皮背割り丸太も剥皮丸太と同様に、材面割れ・木口割れは、含水率30~20%付近まで急激な増加を示し、その後はほとんど増加しない。しかし、発生量は、剥皮丸太に比べはるかに少なかった。

したがって、背割り加工によって材面割れは10%以下に、木口割れは20%以下に抑制された。

皮付き丸太は、1年後に試験を終了した時点(含水率56%)に皮をむいて測定したが、ヘヤクラックのみが計測されただけで、割れ幅1mm以上のものは存在しなかった。

本試験の結果、小径丸太天然乾燥においては、剥皮した状態で乾燥する事が効率よく、生材から含水率20%に達するのにおよそ2カ月、さらに気乾状態までに4~6カ月を要することが明らかとなった。しかし、この時点では、割れが材全体に入り、外観的な価値は低下する。したがって、割れの抑制には、背割り加工の有効性が示された。

(2) 心持小角材及び正割材の乾燥

(2)-1 乾燥経過

(2)-1-1) 天然乾燥経過

9cm正角材および7cm正割材の天然乾燥の含水率経過を図-10に示した。天然乾燥1カ月経過までに急激に減少し、含水率20%を切る状態となった。150日経過で両者の含水率は表-7に示すとおり、7cm正割材17.3%、9cm正角材18.0%となった。

表-6 小径丸太の天然乾燥所要日数

| 区分 | 初期含水率 | 終了時(仕上り) | | 含水率100%からの乾燥所要日数 | | |
|-------|-------|----------|-------|------------------|-------|-------|
| | | 含水率 | 日数 | 40%まで | 30%まで | 25%まで |
| 皮付き | 116.3 | (50.2) | (360) | - | - | - |
| はく皮 | 114.6 | 19.4 | 176 | 39 | 50 | 56 |
| はく皮背割 | 95.1 | 18.9 | 176 | 23 | 36 | 46 |

※()内は、360日で試験を打切ったときの数値

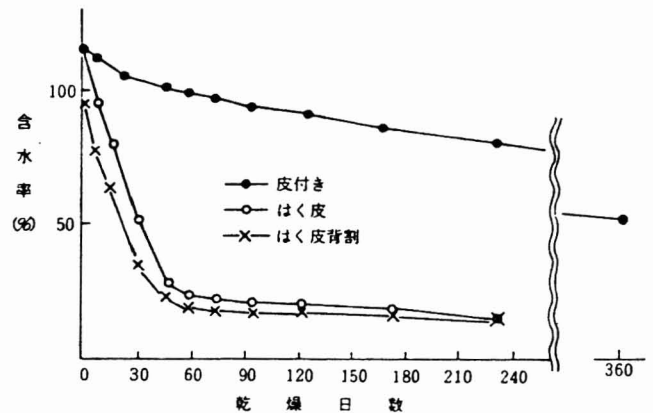


図-7 小径丸太の天然乾燥における含水率経過

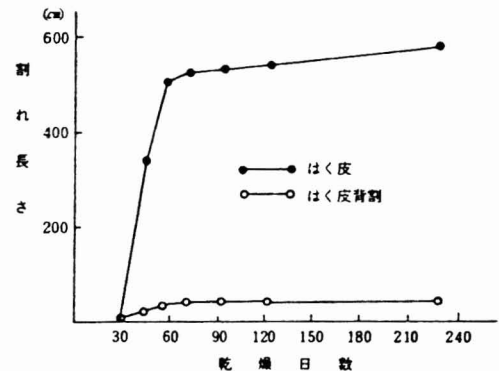


図-8 天乾による丸太1本当りの材面割発生経過

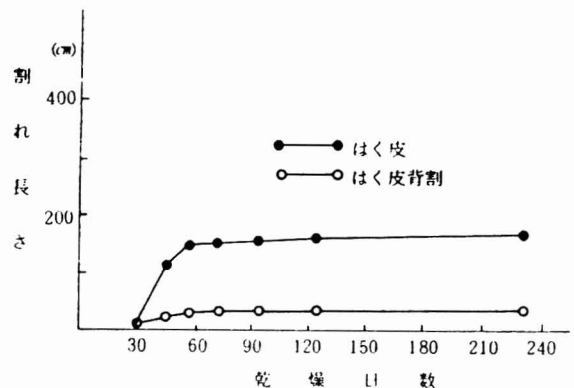


図-9 天乾による丸太1本当りの木口割発生経過

(2)-1-2) 人工乾燥経過

天然乾燥材の人工乾燥及び生材からの人工乾燥における、乾燥スケジュールと含水率経過を図-11、図-12に示した。

両者共に低温、中温、高温の3スケジュール区分に分けてある。乾燥時間は温度が高い程短縮される事が明らかである。

生材からの乾燥で、各含水率域における乾燥速度を乾燥スケジュール別に算出したのが表-8である。9cm正角材と7cm正割材の乾燥速度の比は1:1.2~1.4となった。また、スケジュール別にみた乾燥速度は、低温乾燥を1としてみた場合中温乾燥はおおよそ2.0、高温乾燥はおおよそ2.2であった。

(2)-2 乾燥による形質変化

表-9、10、11に乾燥終了直後の仕上がり含水率、収縮率、曲り、ねじれ、割れを一覧表に示した。各スケジュール区分ごとに非圧縮と圧縮の別があり、天然乾燥材の人工乾燥、生材からの低温乾燥には背割りを施したのものも含めてある。

a) 割れ

天然乾燥だけのもの、天然乾燥材の人工乾燥、生材からの低温乾燥による人工乾燥では、ほとんどの供試材に割れが発生した。天然乾燥材の人工乾燥では30%までの天然乾燥期間に相当量の割れが発生していた。

これに対して生材の中温及び、高温乾燥の場合、明らかに割れが少なくなり、乾燥温度と割れの関係が明瞭に示された。

生材の人工乾燥について、材面割れ・木口割れの発生量の比較をそれぞれ、図-13・図-14に示した。

特に、7cm小割材の場合、材面割れ・木口割れともに高温乾燥では、低温乾燥の1/10程度まで抑制されており、ほとんど割れずに乾燥できた。

9cm正角材についても7cm正割材程ではないが、明らかに抑制されていた。

割れの発生が、7cm正割材に比べ9cm正角材のほうが、どの条件でも多いのは、断面が大きくなることにより、材面の収縮量が大きくなるのと、水分傾斜の増大により、材面の引張り応力が増加するためと考えられる。

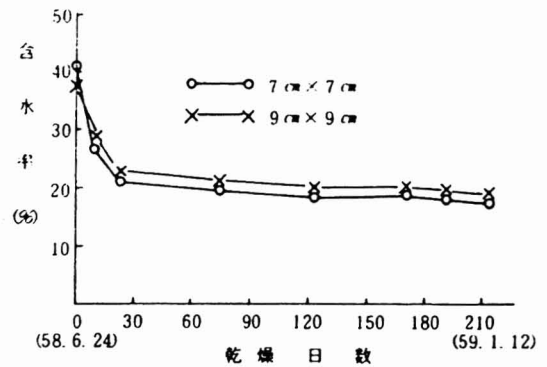


図-10 角材の天然乾燥経過

表-7 角材の天然乾燥所要日数(カラマツ)

| 区分 | 初期含水率 (%) | 終了時(仕上り) | |
|-----------|-----------|----------|-----|
| | | 含水率(%) | 日数 |
| 7cm x 7cm | 40.2 | 17.3 | 150 |
| 9cm x 9cm | 37.8 | 18.0 | 150 |

表-8 乾燥スケジュール別乾燥速度

| 含水率 (%) | 人工乾燥速度(%/hr) | | | | | |
|---------|--------------|------|------|---------|------|-----|
| | 7x7cm正割 | | | 9x9cm正角 | | |
| | 低温 | 中温 | 高温 | 低温 | 中温 | 高温 |
| 生 ~ 30 | 1.18 | 2.23 | 2.49 | 0.84 | 1.10 | 1.9 |
| 30 ~ 20 | 0.51 | 1.05 | 1.20 | 0.37 | 0.73 | 1.1 |
| 20 ~ 15 | 0.32 | 0.63 | 0.67 | 0.27 | 0.56 | 0.5 |

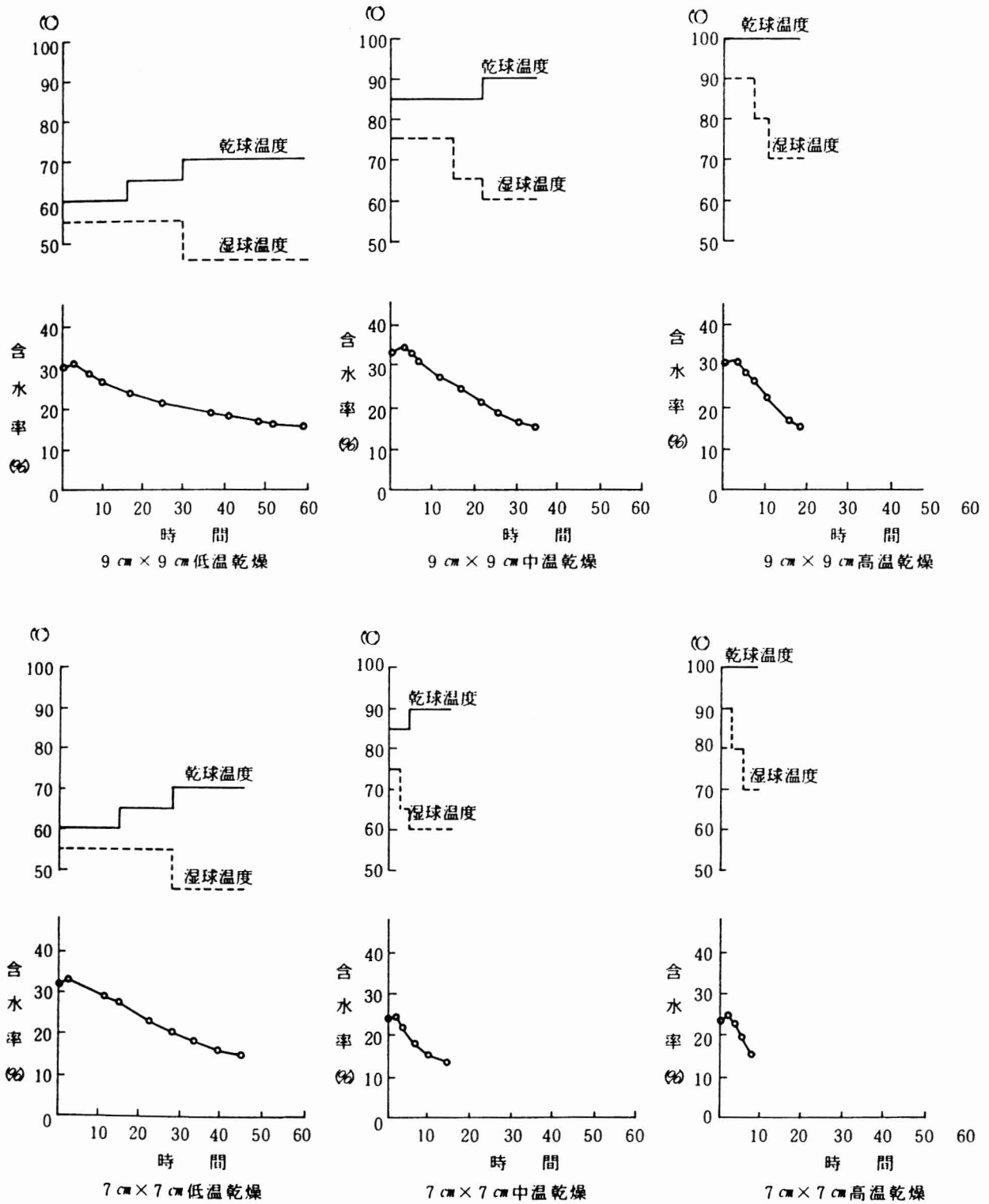


図-11 角材の天然乾燥・人工乾燥併用乾燥経過

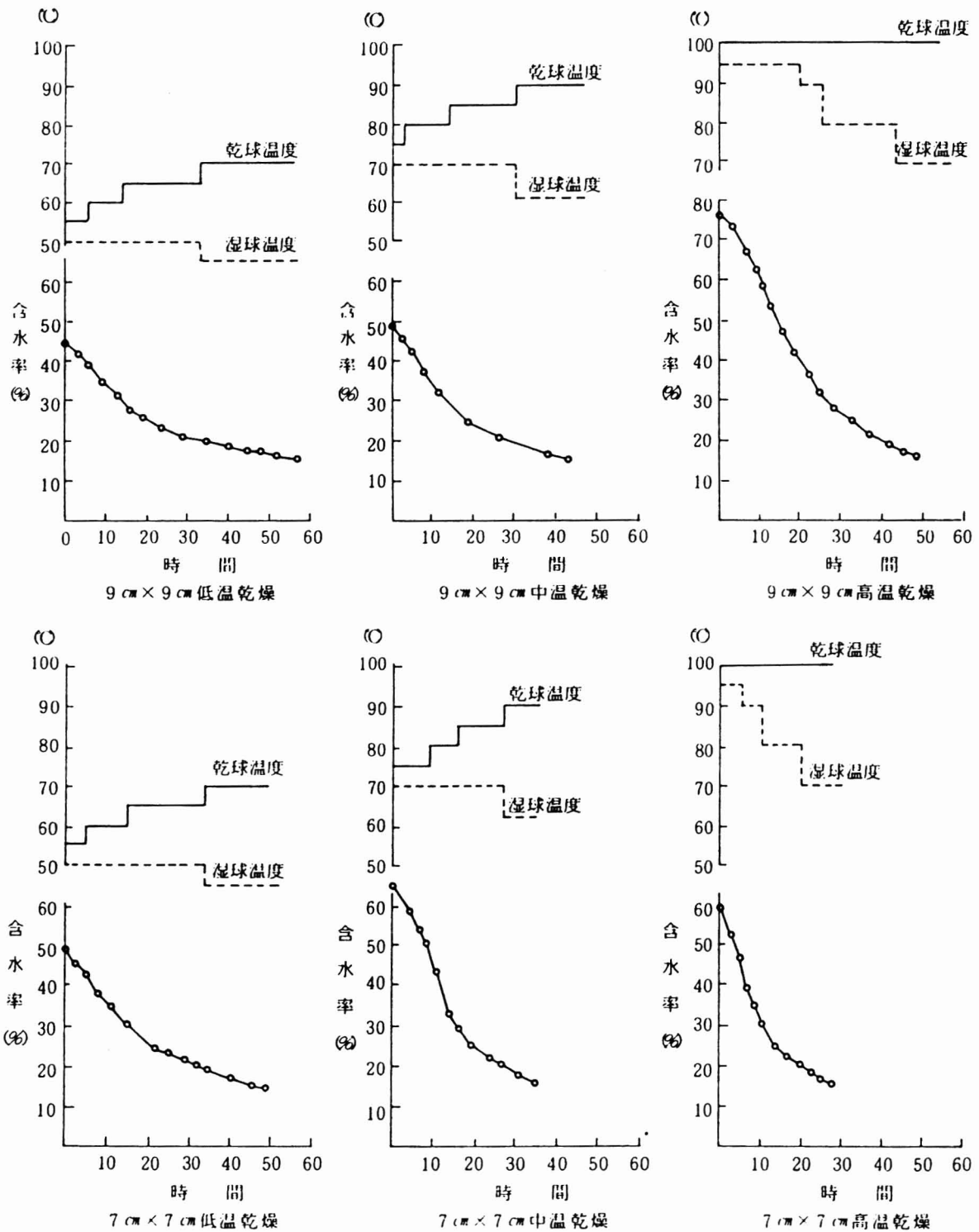


図-12 角材の生材人工乾燥経過

表-9 天然乾燥による形質変化

| 項目 乾燥条件 | | 背割の 有無 | 区分 | 本数 | 含水率 (%) | 収縮率 (%) | 曲り (%) | ねじれ (度) | 割れ (cm) | |
|------------|------------|-----------|----------|----|------------|------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
| | | | | | | | | | 木口 | 材面 |
| 天然 乾燥 | 7×7 非圧縮 | 無 | AV SD | 10 | 17.5 | 2.1 0.7 | 0.17 0.06 | 11.7 8.7 | 46.4 20.5 | 237.6 73.5 |
| | 7×7 圧縮 | 無 | AV SD | 10 | 17.5 | 1.8 0.6 | 0.09 0.06 | 7.7 3.1 | 35.3 18.9 | 163.4 91.6 |
| | 9×9 非圧縮 | 無 | AV SD | 10 | 17.9 | 2.2 0.7 | 0.25 0.17 | 9.9 4.0 | 54.1 19.2 | 230.5 110.0 |
| | 9×9 圧縮 | 無 | AV SD | 10 | 17.9 | 2.1 0.5 | 0.15 0.06 | 5.9 3.3 | 60.9 40.7 | 233.8 87.4 |

注) AV: 平均値, SD: 標準偏差

表-10 天然乾燥・人工乾燥併用による形質変化

| 項目 乾燥条件 | | 背割の 有無 | 区分 | 本数 | 含水率 (%) | 収縮率 (%) | 曲り (%) | ねじれ (度) | 割れ (cm) | |
|------------------|------------|-----------|----------|----|------------|------------|------------|-------------|------------|--------------|
| | | | | | | | | | 木口 | 材面 |
| 低 温 乾 燥 | 7×7 | 無 | AV SD | 16 | 13.1 — | 2.7 1.3 | 0.5 0.3 | 8.6 4.9 | 37 33 | 183 87 |
| | 非圧縮 | 有 | AV SD | 5 | 12.8 — | 4.2 0.9 | 0.2 0.2 | 19.2 9.2 | 3 6 | 0 0 |
| | 7×7 | 無 | AV SD | 9 | 14.0 — | 2.0 0.9 | 0.1 0.1 | 4.9 3.4 | 42 23 | 232 91 |
| | 圧縮 | 有 | AV SD | 5 | 11.0 — | 3.8 1.4 | 0.2 0.1 | 5.0 4.1 | 4 4 | 4 9 |
| | 9×9 | 無 | AV SD | 14 | 15.0 — | 2.7 0.6 | 0.2 0.1 | 5.1 2.7 | 79 23 | 262 109 |
| | 非圧縮 | 有 | AV SD | 5 | 12.2 — | 3.4 1.0 | 0.1 0.1 | 2.8 1.6 | 6 6 | 0 0 |
| | 9×9 | 無 | AV SD | 11 | 16.8 — | 2.5 0.9 | 0.1 0.1 | 2.7 1.6 | 61 71 | 290 108 |
| | 圧縮 | 有 | AV SD | 5 | 14.2 — | 3.0 1.1 | 0.1 0.1 | 2.8 1.6 | 1 2 | 0 0 |
| 中 温 乾 燥 | 7×7 非圧縮 | 無 | AV SD | 20 | 13.6 — | 2.6 0.2 | 0.3 0.2 | 11.2 6.8 | 51 34.7 | 324 126.2 |
| | 7×7 圧縮 | " | AV SD | 20 | 13.6 — | 2.7 0.7 | 0.2 0.1 | 7.8 3.5 | 46 30.8 | 296 136.2 |
| | 9×9 非圧縮 | " | AV SD | 20 | 16.3 — | 2.6 4.5 | 0.1 0.1 | 6.8 4.2 | 84 35.8 | 268 182.9 |
| | 9×9 圧縮 | " | AV SD | 20 | 16.3 — | 2.4 0.6 | 0.1 0.1 | 4.9 3.2 | 78 47.8 | 272 162 |
| 高 温 乾 燥 | 7×7 非圧縮 | " | AV SD | 20 | 14.7 — | 2.6 0.7 | 0.3 0.2 | 8.5 4.8 | 28 22.6 | 329 152.9 |
| | 7×7 圧縮 | " | AV SD | 20 | 14.7 — | 2.7 0.8 | 0.2 0.1 | 6.2 4.2 | 42 40 | 333 155.5 |
| | 9×9 非圧縮 | " | AV SD | 20 | 15.7 — | 2.6 0.6 | 0.1 0.1 | 5.7 3.4 | 63 33 | 189 132.9 |
| | 9×9 圧縮 | " | AV SD | 20 | 15.7 — | 2.4 0.5 | 0.1 0.1 | 4.8 3.7 | 39 26.8 | 182 168.2 |

注) AV: 平均値, SD: 標準偏差

表-11 生材人工乾燥の形質変化

| 乾燥条件 | 項目 | 背割の有無 | 区分 | 本数 | 含水率(%) | 収縮率(%) | 曲り(%) | ねじれ(度) | 割れ(cm) | |
|------|------------|-------|----------|----|--------|------------|--------------|-------------|--------------|----------------|
| | | | | | | | | | 木口 | 材面 |
| 低温乾燥 | 7×7 非圧縮 | 無 | AV SD | 10 | 15.0 | 1.3 0.9 | 0.19 0.14 | 7.8 2.3 | 25.3 17.5 | 197.2 104.2 |
| | | 有 | AV SD | 10 | 15.0 | 2.9 0.7 | 0.11 0.04 | 10.8 2.6 | 2.2 4.9 | 3.0 6.7 |
| | 7×7 圧縮 | 無 | AV SD | 10 | 15.0 | 1.7 0.9 | 0.13 0.10 | 5.2 3.6 | 25.0 27.6 | 197.0 143.1 |
| | | 有 | AV SD | 10 | 14.8 | 2.7 0.9 | 0.21 0.10 | 5.4 2.9 | 8.6 3.6 | 0 0 |
| | 9×9 非圧縮 | 無 | AV SD | 10 | 23.0 | 2.3 1.2 | 0.13 0.11 | 3.3 2.8 | 84.2 54.0 | 297.1 92.7 |
| | | 有 | AV SD | 10 | 22.4 | 2.4 0.5 | 0.27 0.12 | 4.8 3.1 | 0 0 | 0 0 |
| | 9×9 圧縮 | 無 | AV SD | 10 | 22.7 | 1.6 0.7 | 0.09 0.07 | 2.6 1.2 | 57.7 45.7 | 261.6 107.0 |
| | | 有 | AV SD | 10 | 23.0 | 1.8 0.7 | 0.15 0.09 | 3.2 1.8 | 0 0 | 0 0 |
| 中温乾燥 | 7×7 非圧縮 | 無 | AV SD | 20 | 14.1 | 2.5 0.7 | 0.14 0.09 | 10.4 6.1 | 17.0 21.8 | 84.0 79.1 |
| | 7×7 圧縮 | 無 | AV SD | 20 | 14.1 | 2.8 0.7 | 0.04 0.06 | 9.7 4.5 | 17.0 17.6 | 84.1 81.5 |
| | 9×9 非圧縮 | 無 | AV SD | 20 | 18.8 | 2.2 0.6 | 0.11 0.07 | 5.3 3.5 | 34.3 31.3 | 208.2 87.4 |
| | 9×9 圧縮 | 無 | AV SD | 20 | 18.8 | 2.0 0.5 | 0.04 0.07 | 2.8 2.3 | 40.1 25.1 | 186.3 130.8 |
| 高温乾燥 | 7×7 非圧縮 | 無 | AV SD | 41 | 14.7 | 3.0 0.6 | 0.21 0.18 | 13.5 7.2 | 9.0 13.6 | 23.0 37.1 |
| | 7×7 圧縮 | 無 | AV SD | 43 | 14.7 | 2.9 1.0 | 0.16 0.10 | 10.0 4.4 | 3.9 6.1 | 29.3 62.2 |
| | 9×9 非圧縮 | 無 | AV SD | 22 | 16.8 | 3.0 0.6 | 0.12 0.11 | 10.5 3.3 | 35.8 31.3 | 152.0 111.0 |
| | 9×9 圧縮 | 無 | AV SD | 19 | 16.8 | 2.7 0.6 | 0.10 0.08 | 4.9 3.0 | 39.0 58.4 | 105.0 91.0 |

注) AV: 平均値 SD: 標準偏差

b) ねじれ及び曲り

乾燥の温度条件別にみたねじれ及び曲りの関係は明確ではなかった。

ねじれはラセン木理、曲りはアテあるいは樹心のずれ等、材質的な要因に大きく左右されることが考えられる。したがって、表-9, 10, 11のねじれ及び曲りは、個々の供試材の材質的変動が現われたものと考えられる。また、特にねじれについては、木口割れ等による材断面の変形によって正確な値は計測が困難なことから、測定による誤差も多分に含んでいるものと考えられる。

全体的にみて7cm正割材の方が、9cm正角材よりも、ねじれ・曲り共に大きい傾向であった。

また、圧縮によるねじれおよび曲りの抑制効果は明確であり、表-9, 10, 11において、すべての処理区分で圧縮したものは、非圧縮のものの数値を下回っている。

曲りに対する圧縮効果は区分ごとのバラツキが大きい、非圧縮の場合を1とすれば、圧縮したものは平均で7cm正割材0.4、9cm正角材0.5となり7cm正割材のほうが効果が大きく現われた。

ねじれについては、非圧縮の場合を1とすれば、平均で9cm正角材0.55、7cm正割材0.7と9cm正角材のほうが効果が大きく現われた。

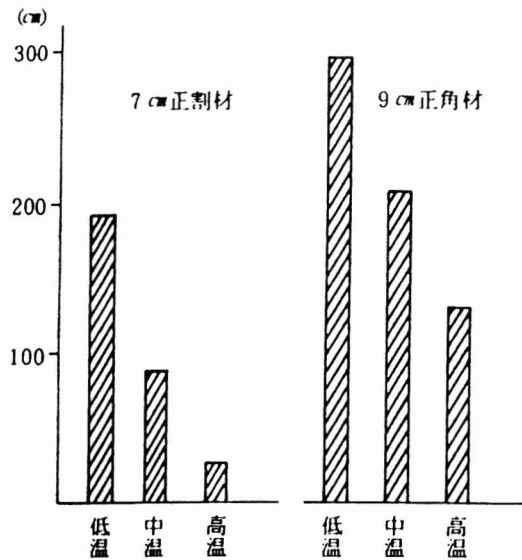


図-13 生材人工乾燥における1本当り材面割発生量(非圧縮材)

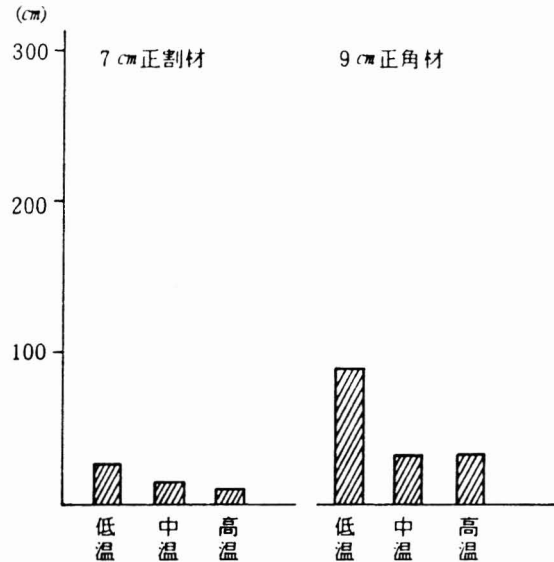


図-14 生材人工乾燥における1本当り木口割発生量(非圧縮材)

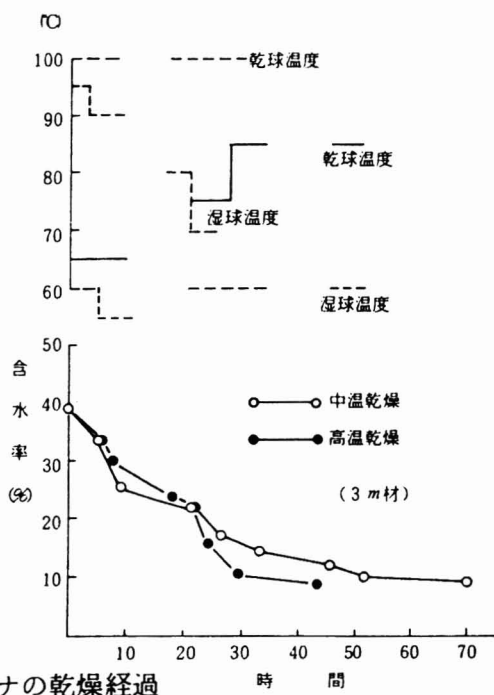
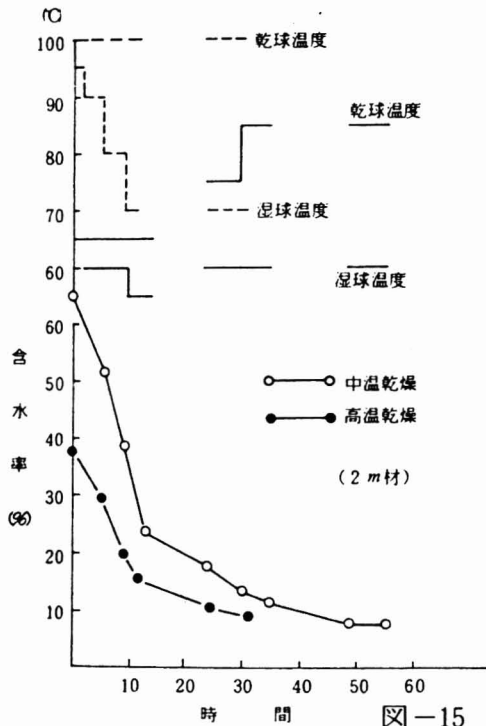


図-15 ラミナの乾燥経過

c) 収縮率

収縮率は、処理区分別の差はそれほど明瞭ではなかったが、生材から直接人工乾燥をした低温、中温、高温の各スケジュールでみる限り、若干、高温乾燥材のほうが大きい傾向が認められた。

d) 背割り材について

天然乾燥材の人工乾燥と生材の低温乾燥については背割りをした物を加えた。

表-10、表-11に示すように、割れについては皆無に近いが、これは背割りの部分が大きく口を開いたため、木口からみた断面は台形に変形していた。

(3) カラマツ平割材の人工乾燥法の検討

(3)-1 カラマツ小径材から木取ったラミナの人工乾燥

(3)-1-1) 乾燥経過

人工乾燥は1日12時間の間欠運転とし、カラマツラミナの中温乾燥及び高温乾燥のそれぞれの乾燥経過を図-15に示した。

含水率10%までの乾燥時間は、中温乾燥の場合、50~60時間で、そのうちボイラー稼動時間は30時間程度であった。これに対し、高温乾燥は30~40時間で、ボイラー稼動時間は15~20時間であり、中温乾燥の約1/2の短縮であった。

また、夜間にボイラーを休止とする間欠運転では、ボイラー休止期間中であっても、かなりの含水率低下が認められ、人件費、省エネルギーの点でかなり有利な乾燥法と言える。

(3)-1-2) 乾燥による形質変化

中温乾燥、高温乾燥におけるそれぞれの形質変化を表-12に示した。

表-12 板材の乾燥後および4週間放置後の形質変化

| 区 | 分 | 供試枚数 | 気乾比重 | 年輪均幅 (mm) | 収縮率 (%) | | 曲 (mm) | | | そ (mm) | | | 巾そり (mm) | | | ねじれ (度) | | | | | |
|---|----------|------|------|--------------|---------|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|---------|------------|------------|--------|--------------|-------------|
| | | | | | 人乾後 | 放置後 | 製材後 | 人乾後 | 放置後 | 製材後 | 人乾後 | 放置後 | 製材後 | 人乾後 | 放置後 | 製材後 | 人乾後 | 放置後 | | | |
| | | | | | 後 | 後 | 後 | 後 | 後 | 後 | 後 | 後 | 後 | 後 | 後 | 後 | 後 | 後 | | | |
| 2 | 中温スケジュール | 非圧縮 | 心去 | A V S D | 20 | 0.41 | 4.4 1.1 | 4.8 0.9 | 3.1 0.7 | 0.9 1.3 | 5.1 5.3 | 4.5 4.7 | 3.1 2.6 | 4.2 3.4 | 4.1 2.5 | 0 0 | 0.7 0.3 | 0.6 0.3 | 0 0 | 6.1 5.2 | 5.0 3.5 |
| | | | 心付 | A V S D | 16 | 0.41 | 6.0 1.0 | 4.4 0.7 | 2.6 0.5 | 0.9 1.2 | 3.8 3.9 | 4.6 4.6 | 4.3 4.7 | 4.3 2.9 | 3.8 2.2 | 0 0 | 0.7 0.3 | 0.7 0.4 | 0 0 | 15.6 9.4 | 12.5 6.6 |
| | | 圧縮 | 心去 | A V S D | 20 | 0.41 | 4.8 1.0 | 4.8 1.0 | 3.2 0.8 | 1.6 1.9 | 6.2 6.3 | 5.1 5.1 | 3.2 3.3 | 7.9 4.0 | 5.4 2.4 | 0 0 | 0.7 0.3 | 0.6 0.2 | 0 0 | 2.5 2.2 | 2.1 1.7 |
| | | | 心付 | A V S D | 15 | 0.41 | 6.4 1.1 | 4.4 1.0 | 2.9 0.7 | 1.6 1.6 | 6.8 6.3 | 6.1 6.5 | 2.5 1.5 | 6.9 5.3 | 4.8 2.9 | 0 0 | 0.6 0.3 | 0.5 0.2 | 0 0 | 7.2 4.7 | 5.9 3.8 |
| | 高温スケジュール | 非圧縮 | 心去 | A V S D | 21 | 0.50 | 5.5 1.6 | 3.7 0.8 | 2.8 0.7 | 2.0 2.0 | 8.8 8.3 | 8.8 7.7 | 2.8 3.8 | 4.0 3.0 | 3.1 2.6 | 0 0 | 0.5 0.2 | 0.4 0.2 | 0 0 | 2.5 2.4 | 2.5 2.5 |
| | | | 心付 | A V S D | 12 | 0.50 | 6.5 1.0 | 3.4 0.6 | 2.6 0.5 | 0.6 1.0 | 4.5 3.9 | 4.7 3.9 | 2.6 2.1 | 4.9 3.3 | 3.9 2.3 | 0 0 | 0.5 0.2 | 0.5 0.2 | 0 0 | 5.6 3.0 | 5.2 2.9 |
| | | 圧縮 | 心去 | A V S D | 18 | 0.50 | 4.1 1.2 | 4.2 1.1 | 3.6 1.0 | 1.3 1.7 | 3.4 7.0 | 4.2 6.1 | 5.3 4.9 | 4.7 5.9 | 4.9 4.2 | 0 0 | 0.4 0.2 | 0.4 0.2 | 0 0 | 1.0 1.5 | 0.8 1.3 |
| | | | 心付 | A V S D | 15 | 0.50 | 4.9 1.1 | 4.4 1.3 | 3.6 1.0 | 0.9 1.4 | 1.1 1.9 | 2.1 1.9 | 5.5 8.4 | 3.3 2.3 | 3.2 2.9 | 0 0 | 0.5 0.3 | 0.5 0.2 | 0 0 | 5.6 2.6 | 5.7 2.8 |
| 3 | 中温スケジュール | 非圧縮 | 心去 | A V S D | 24 | 0.42 | 3.1 0.8 | 3.5 0.7 | 4.1 2.1 | 2.8 1.8 | 6.0 4.6 | 5.4 4.9 | 7.0 4.3 | 8.5 6.2 | 6.5 4.2 | 0 0 | 0.6 0.5 | 0.5 0.5 | 0 0 | 7.5 6.2 | 5.0 3.5 |
| | | | 心付 | A V S D | 13 | 0.42 | 3.8 0.8 | 3.6 1.2 | 3.5 0.6 | 2.4 1.7 | 4.1 3.7 | 4.6 2.5 | 5.8 4.0 | 9.2 6.4 | 7.6 4.7 | 0 0 | 0.6 0.5 | 0.5 0.5 | 0 0 | 18.6 11.0 | 12.5 6.6 |
| | | 圧縮 | 心去 | A V S D | 25 | 0.42 | 3.6 0.9 | 3.5 0.7 | 3.4 0.6 | 2.5 1.9 | 4.3 3.0 | 3.4 2.4 | 6.8 4.5 | 7.6 5.5 | 7.4 5.0 | 0 0 | 0.3 0.6 | 0.1 0.3 | 0 0 | 3.0 2.6 | 2.1 1.7 |
| | | | 心付 | A V S D | 14 | 0.42 | 3.6 0.7 | 3.1 0.4 | 3.1 0.4 | 2.4 1.8 | 4.8 3.2 | 4.7 3.3 | 3.4 2.3 | 6.8 3.6 | 7.7 3.3 | 0 0 | 0.3 0.5 | 0.0 0.0 | 0 0 | 8.7 5.6 | 5.9 3.8 |
| | 高温スケジュール | 非圧縮 | 心去 | A V S D | 29 | 0.41 | 3.9 1.2 | 3.6 1.0 | 3.2 0.8 | 1.6 2.0 | 5.1 4.1 | 5.3 3.3 | 5.8 4.1 | 8.7 5.9 | 7.1 5.0 | 0 0 | 1.0 0.2 | 0.7 0.9 | 0 0 | 3.0 3.0 | 2.5 2.5 |
| | | | 心付 | A V S D | 12 | 0.41 | 4.0 0.7 | 3.0 0.8 | 2.9 0.8 | 1.7 1.3 | 6.3 5.0 | 5.3 3.8 | 3.6 3.0 | 10.2 5.9 | 8.5 5.7 | 0 0 | 0.7 0.5 | 0.6 0.5 | 0 0 | 6.8 3.6 | 5.2 2.9 |
| | | 圧縮 | 心去 | A V S D | 10 | 0.41 | 3.6 0.8 | 3.2 0.5 | 3.1 0.4 | 2.4 1.3 | 5.1 2.7 | 4.5 2.2 | 6.2 5.4 | 7.2 4.1 | 7.9 4.9 | 0 0 | 1.0 0.0 | 0.6 0.9 | 0 0 | 1.2 1.8 | 0.8 1.3 |
| | | | 心付 | A V S D | 11 | 0.41 | 4.4 1.1 | 2.8 0.8 | 2.5 0.7 | 2.7 2.2 | 4.8 2.0 | 4.7 2.5 | 4.5 3.5 | 8.5 3.7 | 8.2 3.7 | 0 0 | 0.5 0.5 | 0.2 0.4 | 0 0 | 6.8 3.1 | 5.7 2.8 |

注) AV: 平均値 SD: 標準偏差

a) 割れ

割れの発生については、中温乾燥、高温乾燥に関係なく皆無であった。

b) 曲り、そり

曲り、そりに関しては供試木が小径材であり、あて、生長応力等、材質が不安定なこともあって、製材直後に、すでにかんりの変形を示した。

乾燥直後の曲り、そりについて、処理温度別、心去、心付別に見た発生量は、固体のバラツキが多く、両者の関連性は明確ではなかった。

また、心持ち正角材・正割材で認められた圧縮効果は明らかではなかった。

c) 幅ぞり(カップ)

幅ぞりについては、処理温度別、心去、心付別に関係なく、多いもので1mm、平均ではおよそ0.6mm程度で圧縮の効果も認められなかった。

d) ねじれ

心持正角材・正割材の試験では、処理温度とねじれの関係は明らかではなかったが、(表-9~11)、ラミナの場合、非圧縮材でみられるように、高温乾燥によるものは、中温乾燥したものの1/2以下のねじれであった。

また、心付材と心去材との間にも明らかな差が認められ、心去材は心付材の1/2以下であった。

圧縮とねじれとの関係は、心持正角材・正割材の場合と同様の関係が認められ、非圧縮材の1/2以下のねじれ量であった。

以上の傾向は、2m材、3m材について同様であった。

e) 収縮率

収縮率は全体的に3.5~4.5%の範囲であり、心去材が心付材に比較して若干大きくなる傾向が認められた程度で、その他の傾向は認められなかった。

(3)-2 カラマツ中径材から木取った建築用平割材(45mm厚)の乾燥

(3)-2-1) 乾燥経過

高温乾燥及び低温乾燥における、含水率経過を図-16に示した。

乾燥は、ラミナと同様に12時間の間欠運転とし、生材から乾燥した。

含水率30%から13%までの乾燥時間を比較すると、低温乾燥の場合、約102時間、内ボイラー稼動時間53時間、これに対し、高温乾燥の場合、約52時間、内ボイラー稼動時間は25時間であり、およそ50%の時間短縮となった。

また、図中での乾湿球温度が空白になっている部分は、夜間のボイラー停止期間を示し、この期間においてもかなりの含水率の低下がみられ、特に高含水率時でのこの傾向は大きい。さらに、この期間中はダンパーを全閉し、ファンのみを回しておくため、乾湿球温度が狭まり、イコライジング効果が期待できる。

(3)-2-2) 乾燥による形質変化

乾燥による形質変化を低温乾燥、高温乾燥について表-13に示した。

a) 割れ

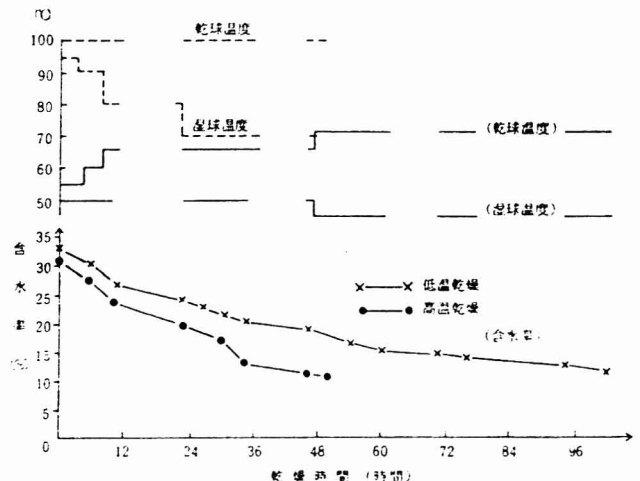


図-16 平割材(45mm)の乾燥経過

表-13 平割材(45mm)の人工乾燥による形質変化

| 乾燥条件 | | | | 曲り率 (%) | | ねじれ (mm) | | 割れ (cm) | |
|------|-----|----|----------|--------------|--------------|----------|-------------|--------------|--------------|
| | | | | 製材後 | 人乾後 | 製材後 | 人乾後 | 材面 | 木口 |
| 低温乾燥 | 非圧縮 | 心去 | AV SD | 1.46 1.94 | 3.23 5.82 | 0 0 | 4.6 3.4 | 41.4 33.7 | 14.9 12.2 |
| | | 心付 | AV SD | 0.75 1.09 | 3.75 3.42 | 0 0 | 13.4 6.5 | 15.8 25.3 | 5.8 7.2 |
| | 圧縮 | 心去 | AV SD | 1.31 1.59 | 2.38 2.90 | 0 0 | 2.6 1.8 | 37.0 33.8 | 3.3 4.5 |
| | | 心付 | AV SD | 0.75 1.09 | 2.63 3.64 | 0 0 | 6.9 4.3 | 24.3 38.4 | 11.5 16.4 |
| 高温乾燥 | 非圧縮 | 心去 | AV SD | 0.56 0.83 | 1.00 1.50 | 0 0 | 3.5 2.5 | 0 0 | 0 0 |
| | | 心付 | AV SD | 0.88 0.93 | 1.00 1.32 | 0 0 | 10.5 3.8 | 0 0 | 0 0 |
| | 圧縮 | 心去 | AV SD | 0.25 0.66 | 1.19 1.98 | 0 0 | 2.9 2.3 | 0 0 | 0 0 |
| | | 心付 | AV SD | 0.75 1.30 | 0.80 1.80 | 0 0 | 4.5 2.6 | 0 0 | 0 0 |

注) AV: 平均値 SD: 標準偏差

材面割れの発生量を各条件別に示したものが図-17である。

材面割れは、低温乾燥のみに発生し、高温乾燥では皆無であった。この結果は、生材からの正割材、正角材、ラミナの高温乾燥と並んで、明らかに高温乾燥が割れ防止に有利であることを示している。

心付、心去材の別では、心去材の方に多く割れが発生する傾向が認められた。これは、心付材が柾目にちかく、心去材がより板目にちかくなったためと考えられる。

割れと圧縮との関係は、他の試験と同様認められなかった。

b) 曲り

曲りについては、乾燥スケジュール別、心去、心付別では関係は認められなかった。また、非圧縮、圧縮別には低温乾燥の場合、圧縮材のほうが少ない傾向にあるが、高温乾燥の場合は、明確ではなかった。

c) ねじれ

乾燥温度別にねじれ発生量を図-18に示した。

ねじれ発生量自体は、そのほとんどが未成熟部材で占められている心付材に多く、心去材のおよそ2~3倍の値であった。

(材面割れ)

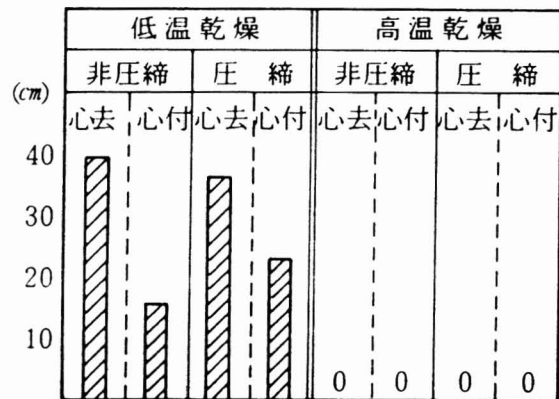


図-17 平割材(45mm)の1本当り材面割れ発生量 (ねじれ) スパン2m

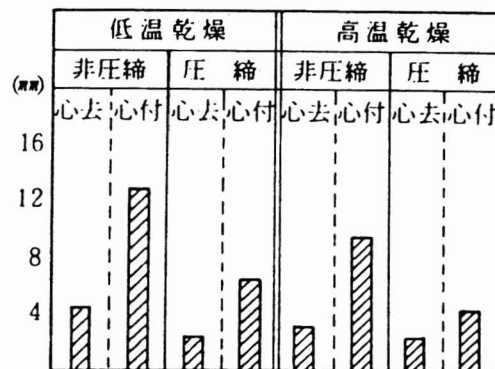


図-18 平割材(45mm)のねじれ量

また、ねじれ抑制の諸条件について検討してみると、圧縮の効果が大きく、非圧縮材に比べその発生量は、 $\frac{2}{3} \sim \frac{1}{2}$ 程度に抑制された。さらに、乾燥温度別に見ると、高温乾燥材では低温乾燥材に比べ、その発生量は、 $\frac{4}{5}$ 程度に減っており、ラミナの試験と同様に温度との関係が認められた。

(3)-3 カラマツ中径材から木取った家具向け平割材(36mm厚)の人工乾燥

(3)-3-1) 乾燥による含水率経過

平割材の乾燥経過を図-19に示した。本試験の平割材については、ヤニ滲出防止効果をねらって10時間の初期蒸煮を行なったが、この期間中にも7%の含水率低下が認められ、乾燥が進行していることがわかる。

初期含水率34%の被乾燥材は、この蒸煮期間を含め、含水率7%に達するまでに、およそ38時間を要した。

その後、イコーライジング5時間およびコンディショニング5時間を行ない含水率9%に仕上がった。

(3)-3-2) 形質変化

乾燥後における形質変化を表-14に示した。

a) 割れ

割れについては、板目、柾目、心持材に限らず発生はみられなかった。

高温乾燥の効果は、乾燥時間の短縮のみならず割れに対する確かな抑制条件と言える。

b) 曲り

曲りの発生は未成熟部材である心持材や追柾材に多く、これに対し成熟部材がほとんどである板目は、 $\frac{1}{3}$ mm程度の発生量であった。

c) ねじれ

ねじれの発生量は、心持材に多く、板目、柾目材などの心去材は、およそ $\frac{1}{2}$ 以下のものであった。

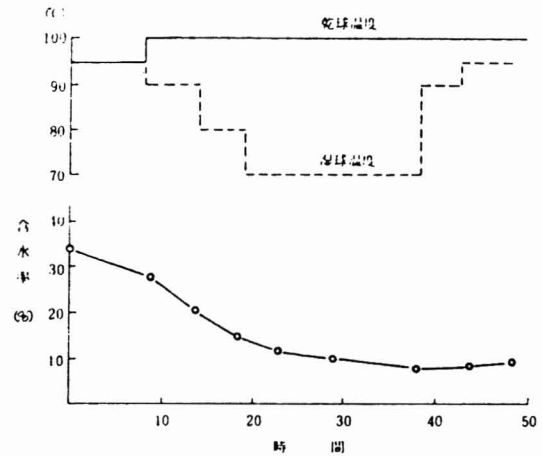


図-19 平割材(36mm)の人工乾燥経過

表-14 平割材(36mm)の人工乾燥による形質変化

| | 試料数 | 割れ | 曲り 1) mm | ねじれ 2) mm | 幅ぞり 3) % | 収縮率(幅方向) % | 収縮率(厚さ方向) % |
|------|-----|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 板目 | 60 | 0 (0) | 2.18 (2.64) | 1.92 (2.23) | 0.67 (0.50) | 3.81 (1.38) | 2.73 (0.73) |
| 柾目 | 12 | 0 (0) | 4.17 (4.32) | 1.42 (2.06) | 0.18 (0.35) | 2.14 (0.67) | 3.50 (1.58) |
| 追い柾目 | 14 | 0 (0) | 5.71 (5.91) | 2.00 (1.41) | 0.23 (0.33) | 2.59 (0.92) | 3.22 (1.21) |
| しん持板 | 16 | 0 (0) | 6.13 (4.54) | 5.38 (4.18) | 0.86 (0.56) | 2.90 (1.67) | 3.60 (1.58) |
| 計 | 102 | 0 (0) | 3.55 (4.08) | 2.41 (2.84) | 0.58 (0.52) | 3.30 (1.45) | 3.00 (1.13) |

注 1) 長さ3mにおける曲りの最大失高
 2) 水平面で一端を固定した他端のフレ量
 3) 幅に対する百分率
 () は標準偏差

d) 収縮率

板目材と柾目材については、接線方向および半径方向の区分がはっきりと材面に現われるため、それが収縮率の結果に現われた。

追柾目材及び心持材の収縮率は、それらの中間的な数値であった。

(4) ヤニ滲出防止法の検討

(4)-1 平割材のヤニ滲出防止法の検討

(4)-1-1) 平割材のヤニ滲出防止処理

平割材を乾燥台車に棧積し、非圧縮で乾燥室内へ入れた後、湿度コントロールの調湿バルブ及び蒸煮バルブを開放した。この場合、ヒーターバルブは閉とし、生蒸気のみで材温、および室温の上昇をはかった。

処理時間は、乾燥室内温度が、96℃に達した時点から10時間、生蒸気のみで蒸煮し、終了後、ただちに(2)-2-2)の表-5による家具向け高温乾燥スケジュールにより人工乾燥に付した。

乾燥に要した時間は、初期含水率33.8%から7%まで48時間、その内蒸煮の10時間を除き実乾燥時間は38時間であった。(但しイコーライジング5時間〔 Δt , 10℃〕、コンデショニング5時間〔 Δt , 5℃〕を含む)

供試材1.3mを棧積した乾燥室内温度が96℃まで上昇する時間は約2時間を要した。この場合の戸外温度は約14℃であった。

(4)-1-2) 平割材のヤニ滲出防止効果の判定

a) 日光暴露試験結果

処理区分毎のヤニ滲出度の累加頻度分布を図-20で、木口、材面に分けて示した。

未処理材と比較すれば、高温乾燥、アルカリ脱脂の両処理材ともにヤニ滲出度は極めて低く、さらに両処理の間に差は認められなかった。

また、それぞれの処理区分別に、板目、柾目、追柾目、木口の各材面に於けるヤニ滲出度の平均値比較を図-21に示した。ここでも、両処理間に差はなかったが、未処理材と処理材との間に差は認められた。さらに、柾目、追柾目、板目、木口の順にヤニ滲出度が増加しているが、カラマツの正常なヤニが、垂直樹脂道、水平樹脂道に存在することから妥当であると考えられる。

ここで示したヤニ滲出度は、材面積に対するヤニ汚染面積の割合であり、実際のヤニ滲出量で考えた場合、汚染面積の小さいものには過大に、多いものには過少に評価する傾向にあるが、この場合であっても未処理材と比較して、両者の処理効果は高く、 $1/20$ 程度に抑制することができた。

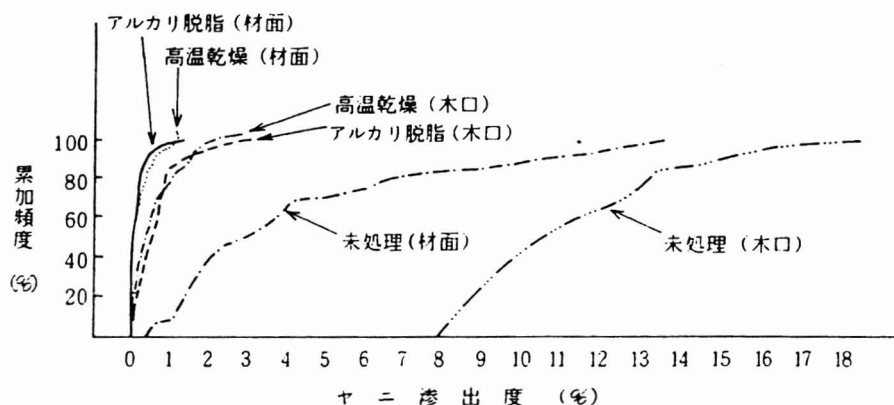


図-20 ヤニ滲出度の累加頻度分布(日光暴露)

(ヤニ滲出度: ヤニ汚染面積/材面積 × 100 (%))

とくに、日光暴露箱の内部温度は、冬期(2・3月)は、マイナス10℃から、快晴の日では60℃まで昇り、夏期(7, 8月)は、日中の100℃(ここで使用した温度記録計は最高100℃までで、これを越えた日が3日あった)から、夜間の13℃と、極めて苛酷な温度条件のなかでの記録であって、日常生活に於ける常識的な使用状況の下では、ほとんどヤニは滲出しないものと判断される。

b) 恒温暴露試験結果

電気恒温乾燥器による恒温暴露試験結果は、木口試験片のヤニ滲出度の累加頻度分布を、図-22に、平均値の比較を図-23に示した。

ここで行った60℃の144時間暴露は、短時間で効果を測定できる処理方法であるが、この場合でも、未処理材との比較では、両処理材のヤニ滲出度は $\frac{1}{10}$ 程度であった。

c) エーテル抽出物、精油成分の定量試験

エーテル抽出物、精油成分の含有率の比較を、図-24に示した。

精油成分の抽出では、それ自体が、微量成分であるうえ、揮発性が高く、分析中でも空气中に揮散し、正確な定量は困難であるが、結果からは未処理材との差は認められる。

高温乾燥とアルカリ脱脂の間には、僅かながら差が認められた。

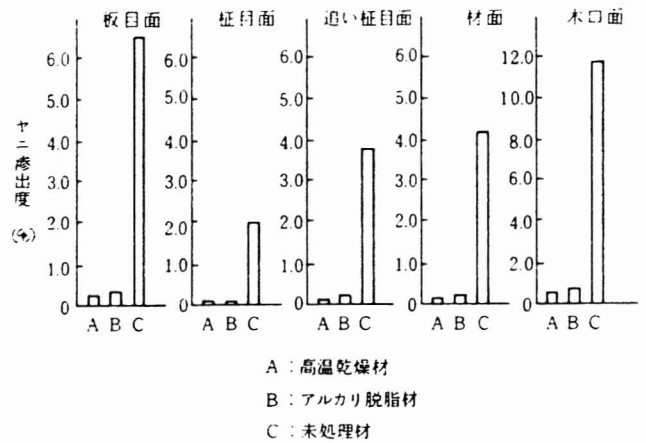


図-21 日光暴露試験におけるヤニ滲出度の比較(%)

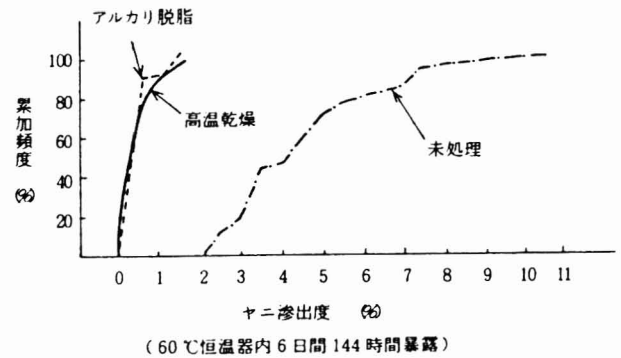


図-22 木口試験片の恒温暴露試験におけるヤニ滲出度の累加頻度分布

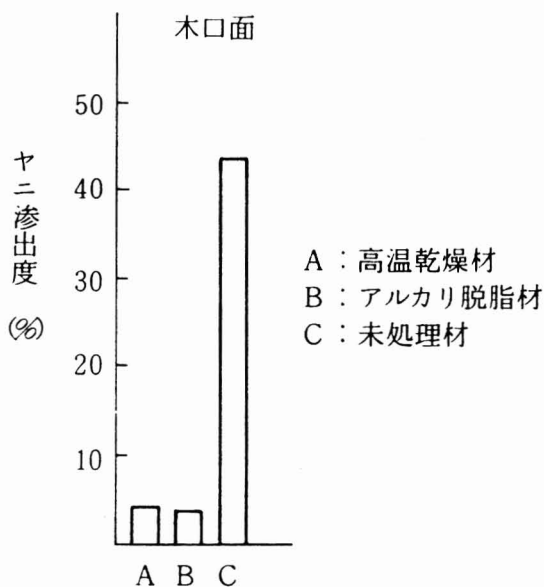


図-23 恒温暴露試験におけるヤニ滲出度の比較(平均値)

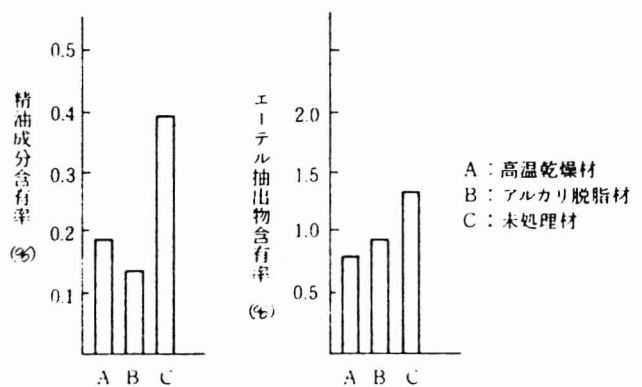


図-24 精油成分エーテル抽出物含有率の比較(平均値)

エーテル抽出物も未処理材に比較し減少している。両処理の間には精油成分の定量の場合と逆の傾向がみられた。

これら抽出物の減少は、処理中に材外に移動したものと考えられる。

d) 処理効果の判定

カラマツ材のヤニの滲出は、ヤニの成分中、常温で固形分のロジン質のものが、常温で液体の精油成分に溶解して流動性を帯びているためといえる。この精油成分は、水蒸気蒸溜による共沸現象によって、ロジン質等の固形分と分離可能なことから、材内のヤニ分から精油成分を分離抽出し、ヤニの流動性を失わせて滲出を抑止することを考えた。そこで、高含水率材を、人工乾燥初期に高温蒸煮して材内から精油成分を揮散させ、ヤニの流動性を減ずることを、この処理のねらいとしたのであるが、一連の効果判定試験の結果から、その目的は達成されたものといえよう。

表-15 蒸煮処理後(6カ月)の形質変化

| 処 理 条 件 | | 収 縮 率 (%) | 曲 り (%) | ね じ れ (°) |
|---------|---------|-----------|---------|-----------|
| 15 hr | 処 理 材 | 2.0 | 0.4 | 1.9 |
| | 無 処 理 材 | 1.6 | 0.3 | 2.1 |
| 10 hr | 処 理 材 | 2.6 | 0.2 | 1.7 |
| | 無 処 理 材 | 2.9 | 0.1 | 2.3 |
| 5 hr | 処 理 材 | 1.9 | 0.4 | 2.2 |
| | 無 処 理 材 | 2.1 | 0.3 | 2.2 |
| 3 hr | 処 理 材 | 1.7 | 0.1 | 1.7 |
| | 無 処 理 材 | 1.7 | 0.1 | 1.4 |
| 2 hr | 処 理 材 | 2.4 | 0.1 | 2.0 |
| | 無 処 理 材 | 2.3 | 0.2 | 1.9 |

(4)-2 柱材のヤニ滲出防止

(4)-2-1) 柱材のヤニ滲出防止処理

処理にあたっては、平割材と同様に棧積後、乾燥室内で生蒸気だけで材温、室温の上昇をはかった。室内温度が所定の96℃に安定した時点から、それぞれの処理時間が経過した後、材温が常温+10℃程度で室外に出し、次後の処置に付した。材温の上昇時間は平割材と変わりなく、約2時間程度であった。

(4)-2-2) 柱材のヤニ滲出防止効果の判定

建築方法に準じた素建による暴露試験では、5月から10月までの6カ月間の暴露の結果、5、10、15時間処理材共に、ヤニの滲出は認められなかった。

暴露箱による試験では、20名の調査者によるヤニ滲出状況ランク付結果を図-25に示した。無処理材の滲出ランクを10とし、これに対して5時間処理は1.6、10時間処理で0.1、15時間では0となり、高温蒸煮処理によるヤニ滲出防止効果は明瞭に示された。なお、暴露箱内の温度条件は、平割材の夏期の場合と全く同様であった。さらに追加試験で、2、3時間蒸煮処理材(処理後、天然乾燥に付した)からは、わずかながらヤニの滲出が認められた。

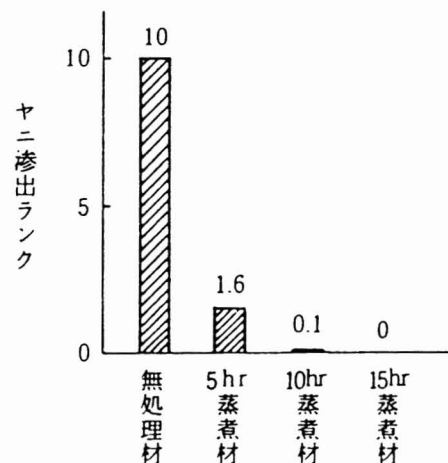


図-25 ヤニ滲出状況ランク付け

(5) 住環境下における各種建築部材の含水率

(5)-1 環境調査の概要

調査家屋は、松本市の東南、すすき川に近接する比較的空地の多い住宅街に位置する。

調査家屋の立地環境を図-26に示した。

敷地の東、南、及び西側の $\frac{1}{3}$ は、高さ1.6mのブロック塀で、北と西の一部は、高さ1.7mのイチイ、マサキの生垣で囲われている。

隣家との関係は、南側は3.7mの位置に2階建が、南東には総二階の家、北西側は4.6m隔てて総二階建の家がある。また道路を隔てて南西には大きな二階建があるが、東は当家の物置きが、さらに隣家の小屋があり、ともに軒高は3m以下の低いものである。したがって、東西および東北方向は通風の良い開けた環境をもっている。この土地の季節の風は、夏期は南西から、冬期は北西の風という。

気候は、標高が約600m、冬期は寒冷で雪は少なく、夏期も比較的湿度は低い。建物撤去後の床下の土は、水屋の下以外は、乾燥度の高い状態であった。

調査建物の規模は、1Fが109.3㎡、2Fは37.3㎡、計146.6㎡であった。

(5)-2 各部材含水率の調査結果

調査家屋における試料部材の採材位置を図-27の見取図に示した。図中、アルファベットの□記号は柱をさし、○に数字記号はその他の部材の採取位置を示す。

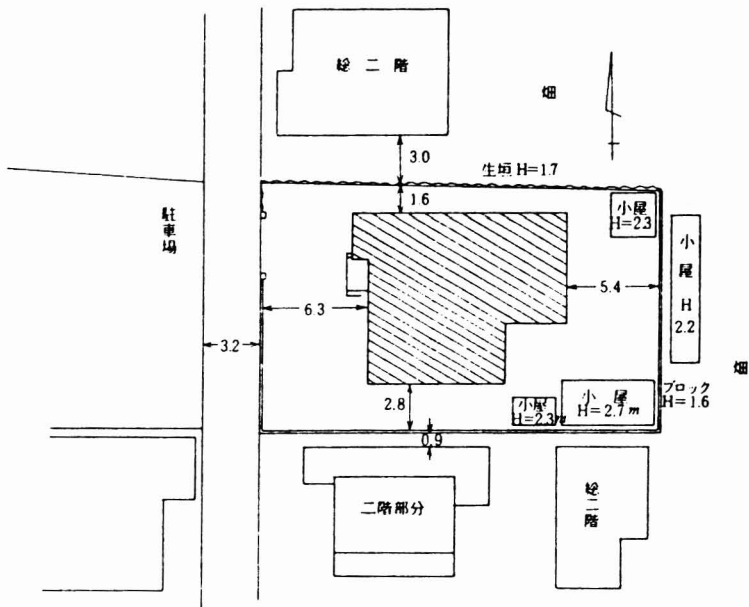
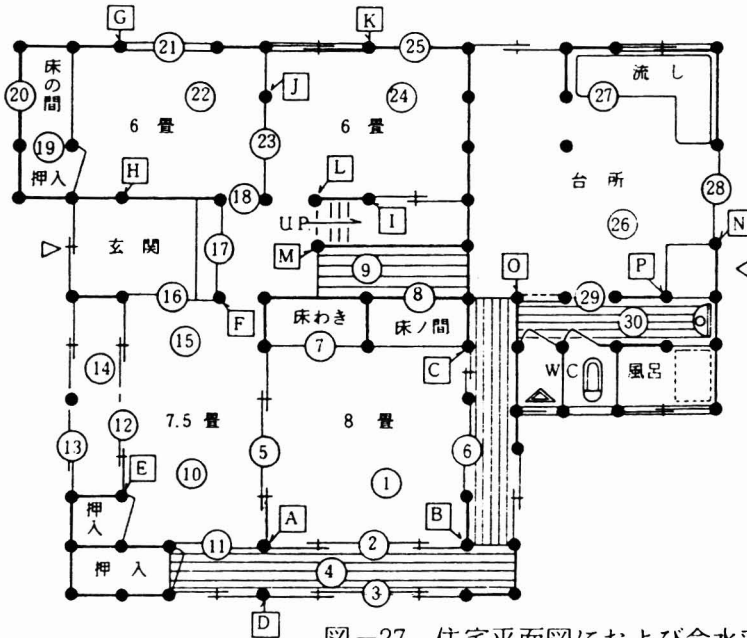


図-26 調査住宅位置図

(1 階)



(2 階)

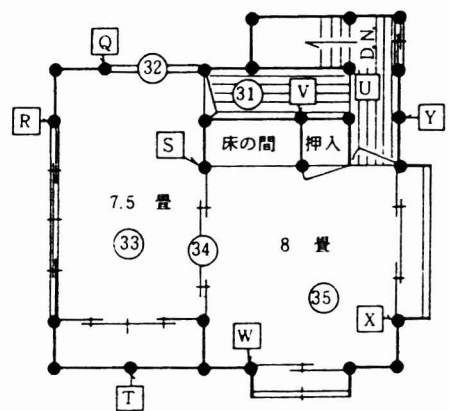


図-27 住宅平面図におよび含水率測定位置

表-16-1 1F床下部分の部材含水率

| 南側 | | | | 北側 | | | |
|---------------|------|------|---------------|-------------|------|---------|--------|
| 部屋 | 位置No | 部材名 | 含水率(%) | 部屋 | 位置No | 部材名 | 含水率(%) |
| 8 畳 (南東) | 1 | 床 束 | 20.5☆ | 6 畳 (北西) | 22 | 畳 下 | 18.0 |
| | 1 | 大 引 | 19.2☆ | | 22 | 根 太 | 19.4 |
| | 2 | 土 台 | 18.5 | | 22 | 床 束 | 21.2 |
| | 6 | " " | 18.0 | | 22 | 大 引 | 19.2 |
| | 8 | " " | 19.8 | | 21 | 土 台 | 16.7 |
| 7.5 畳 (南西) | 10 | 根 太 | 20.4 | 18 | " " | 19.6 | |
| | 15 | " " | 21.5 | 6 畳 (北) | 24 | 畳 下 | 17.7 |
| | 15 | 床 束 | 20.8 | | 24 | 根 太 | 21.4 |
| | 15 | 大 引 | 20.7 | | 24 | 床 束 | 19.6 |
| | 5 | 土 台 | 19.1 | | 25 | 土 台 | 17.4 |
| | 16 | " " | 20.0☆ | | 23 | " " | 18.8 |
| 12 | " " | 18.9 | 南 廊 下 (北東) | | 26 | 床 下 板 | 17.0 |
| 南 廊 下 | 4 | 根 太 | | 13.2 | 27 | 流 台 下 板 | 19.0 |
| | | | | | 26 | 根 太 | 18.7 |
| | | | | | 30 | " " | 18.8 |
| | | | | | 26 | 床 束 | 17.8 |
| | | | | | 26 | 大 引 | 22.1 |
| | | | | | 26 | 土 台 | 19.7 |
| | | | | 29 | " " | 19.8 | |

注) ☆印は、水分計のみで測定した値を、補正した数値。以下同
() 内の方位は部屋の向きを示す

表-16-2 1F畳から上部の部材含水率

| 南側 | | | | 北側 | | | |
|---------------|------|-------|--------|-------------|-------|-------|--------|
| 部屋 | 位置No | 部材名 | 含水率(%) | 部屋 | 位置No | 部材名 | 含水率(%) |
| 8 畳 (南東) | 7 | 桁 井 | 11.1 | 6 畳 (北西) | 22 | 樺 母 木 | 10.9 |
| | 1 | 天 井 | 11.8 | | 22 | 母 屋 板 | 11.3 |
| | 2 | 長 押 | 12.7 | | 22 | 天 井 | 11.2 |
| | 5 | 鴨 居 | 11.8 | | 22 | 天 井 | 10.6 |
| | A | 柱 | 12.5 | | 20 | 長 押 | 12.6 |
| | B | " " | 12.4 | | G | 柱 | 12.9☆ |
| | C | " " | 12.9 | | H | " " | 12.0☆ |
| 7.5 畳 (南西) | 5 | 敷 居 | 14.7 | 19 | 敷 居 | 13.9 | |
| | 10 | 天 井 | 10.6 | 廊 下 (中) | M | 柱 甲 板 | 12.2☆ |
| | 11 | 鴨 居 | 12.9 | 9 | 縁 母 屋 | 16.9☆ | |
| | E | 柱 | 11.6☆ | 6 畳 (北) | 23 | 樺 母 | 11.7 |
| | F | " " | 11.6☆ | | 23 | 梁 井 | 12.5 |
| | 11 | 敷 居 | 13.7 | | 24 | 天 井 | 12.5 |
| 10 | 畳 下 | 17.2 | 23 | | 天 鴨 | 12.3 | |
| 15 | " " | 18.3 | I | | 柱 | 12.9☆ | |
| 17 | 梁 | 11.8 | J | | " " | 12.2☆ | |
| 廊 下 (西) | 13 | 鴨 居 | 11.1 | K | " " | 13.2 | |
| | 14 | 縁 甲 板 | 14.8☆ | L | " " | 12.5☆ | |
| 廊 下 (南) | 4 | 天 井 | 11.1 | 23 | 敷 居 | 16.4 | |
| | 3 | 鴨 居 | 13.6 | 台 所 | 28 | 樺 母 木 | 11.9 |
| | D | 柱 | 12.3☆ | | 26 | 母 屋 | 11.7 |
| | 4 | 縁 甲 板 | 12.9 | | 29 | 桁 柱 | 11.2 |
| | | | N | | " " | 12.9☆ | |
| | | | O | | " " | 13.7☆ | |
| | | | P | | " " | 16.0☆ | |

○柱の含水率は畳上150cm位置の値である。以下同

試料の含水率測定結果を表-16-1~3にそれぞれ示した。1Fについては、住まいの空間である畳から上部に位置する部材と、畳下板より下の床下にあたる部材に分け、さらに居室部分を南北に分けた。

居室床下部分について、南・北の位置によっては、多少とも含水率差が現われるものと想定し試料取りを行なったが、結果は、日照の多少による南・北の位置には関係が無かった。しかし南北に約10mの幅をもつ住宅でありながら、差のでない原因は、床下通風が良好であったことと考えられる。

床下の外部との通気口は、南側廊下の開口部の下部は、独立基礎のみ、東は廊下開口部下に45×25cmの通気口が、そこから室内に通ずる土台⑥の下は独立基礎、西側のやはり廊下の基礎には、同寸の地窓が設けられている。北側には、柱④、⑤の窓下に同寸の地窓が設置されている。さらに、柱④の付近では、GLから畳下板までの高さが約60cm、北側の⑤の柱近くでは、約90cmと高く、したがって南、西の開口部から流入した風は、布基礎が少なく、床下の空間を通過して北側の地窓から

表-16-3 2Fの部材含水率

| 部 屋 | 位置 No. | 部材名 | 含水率 (%) |
|--------------|--------|---------|---------|
| 7.5 畳 (西) | 33 | 檜 木 | 10.3 |
| | 33 | 小 屋 束 | 11.1 |
| | Q | 柱 | 12.5☆ |
| | R | " | 12.4☆ |
| | S | " | 11.3☆ |
| | T | " | 11.0☆ |
| | 33 | 畳 根 下 太 | 11.3 |
| 廊 下 | 33 | 根 太 | 10.7 |
| | 31 | 天 井 竿 | 10.4 |
| | U | 井 柱 | 12.1☆ |
| | V | " | 12.5☆ |
| 8 畳 (東) | 31 | 根 太 | 11.1 |
| | 35 | 檜 木 | 10.3 |
| | 35 | 小 屋 束 | 11.5 |
| | 35 | 天 井 竿 | 10.4 |
| | 35 | 長 押 居 | 12.3 |
| | 34 | 鴨 押 居 | 12.0 |
| | W | 柱 | 11.3☆ |
| | X | " | 11.3☆ |
| | 34 | 敷 居 | 12.2 |
| 廊 下 | 35 | 畳 根 下 太 | 11.2 |
| | 35 | 根 太 | 11.4 |
| | Y | 柱 | 11.7☆ |

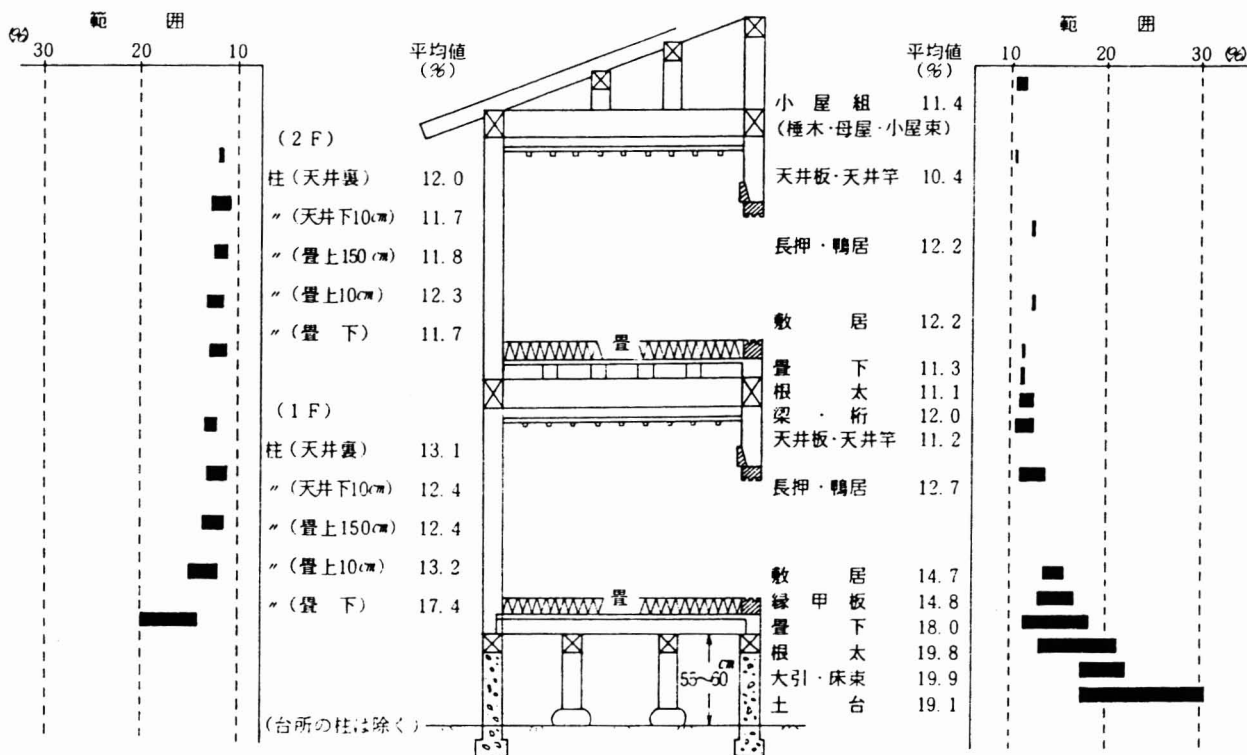


図-28 各部材別含水率の平均値とその範囲および柱の高さ別含水率の平均値とその範囲

吹き抜けと言った通風構造のために、含水率差は現われなかったものと考えられる。

台所の床下も、北側の二室と同様の床高で、東、北に同寸の地窓による通風機能から、水屋の下部でありながら居室部と大差のない含水率値を示したものと思われる。

畳より上部の部材も、南北の差はみられない。さらに、2F上部までの含水率分布をみると、部材位置が高い程、含水率の減少傾向がめだつ。

そこで、垂直方向の高さ位置毎の部材含水率の平均値の垂直方向を求め、図-28に示した。

また、それぞれの部材含水率の範囲も併せ示した。ここでは、当然のことながら高い位置程バラツキは少なく低い程多くなる。とくに、外周部の土台及び台所の流し下の土台に、腐朽の進んでいる部分があったので、土台のバラツキ範囲は大きくなっている。

まとめ

本稿は、昭和52年から昭和59年の8カ年間にかけて実施したものであって、その一部は既に報告した^{6),7)}ものも含めて収録した。

ここでは、実用に供し得ることを主な目標として組立てて搭載したが、なかでも昭和54・55年に報告したヤニ渗出防止乾燥法とか、高温乾燥法等は、既に企業化され、昭和60年の当初ではその数10社を数えるに至っている。

したがって本稿は、カラマツの乾燥について一連の流れをトータルでとらえ、さらに仕上げ含水率の参考値として、長期間使用された住宅の各種部材の含水率の調査結果ものせた。

試験結果から損傷抑制乾燥法及びヤニ渗出防止法を要約すると、

加工損傷のなかで製品化に最も支障をもたらすものは、割れといえる。

試験結果から、心持ち正角材、正割材の天然乾燥と低温乾燥では割れの発生は顕著であり、中温乾燥、高温乾燥の順に割れの抑制効果が認められている。平割材の場合も、低温乾燥では割れの発生をみたが、高温乾燥では全く発生しなかった。

小野寺、大山⁸⁾らは、10.5 cm正角材の天然乾燥と標準乾燥(ここでいう低温乾燥)の比較では、材面割れは $\frac{1}{5}$ 程度に、木口割れは $\frac{1}{3}$ 程度と報告している。

したがってカラマツ材の割れ防止のためには、天然乾燥より人工乾燥に、人工乾燥のなかでも、より高温での乾燥が有効であるといえる。

また、ねじれ等の狂いについては、乾燥過程に荷重を加える圧縮乾燥の方法が効果があり、この場合の圧縮圧は、栈木加圧で1 kg/cm程度と考えられるが、これに加え高い温度による乾燥が、さらに効果を増す方法であることが認められた。

アテあるいはラセン木理等材質に起因する曲り、ねじれ等は乾燥スケジュールの違いによる差は極めて少なかったが、しかし圧縮により減少することは明らかであった。

高温による収縮率の増加は、一般に認められているが、本試験でも傾向的に認められたものの、利用に当たっては問題のない程度と判断された。

したがってカラマツ材の割れ・ねじれ狂い等の乾燥過程に発生する損傷を、抑制しうる乾燥は高温圧縮乾燥が有効な方法であるといえる。⁹⁾

ヤニ渗出防止法については、カラマツ材の脱脂肪法として、アルカリ溶液の中で加圧蒸煮して、ヤニ分を抽出除去する方法が長野県の特許技術として確立されている。

しかし、カラマツ材の利用開発を推進するために、さらにローコストによるヤニ渗出防止方法の技術開発の必要が生じてきた。

そこで、寺沢¹⁰⁾らの報告によると、高温蒸煮が材質にあたえる影響として、多脂材及び高含水率材

の脱脂をあげている。これをもとに、実用乾燥装置による脱脂手法の検討を試みることにした。

方法としては、カラマツ材を高温高湿の環境下におき、水蒸気蒸溜による共沸現象により、ヤニ成分中の精油成分を、ロジン質等の固形分と分離し、材外に抽出する手法を採ったわけである。

しかし、ヤニ渗出防止の効果は、アルカリ脱脂に比肩するものとの前提条件で実施し、アルカリ脱脂の効果と比較のうえで試験を進めた。

試験は損傷防止乾燥法の家具向平割材と併行してすすめた。

結果は、96℃蒸煮(塩尻地方の沸騰温度)を10時間おこない、引続き100℃による高温乾燥に付し、乾燥終了後、日光暴露試験による比較を行なったが、ほとんどその差は認められず、精油成分の含有率測定及びエーテル抽出物試験の結果からも、その差は認められなかった。

また、10.5 cm正角の柱材について試みたところ、96℃の5時間蒸煮で効果のあることがわかった。乾燥は蒸煮後、天然乾燥によったが、暴露試験の結果からも、柱材としては十分であると判断された。

天然乾燥の結果、材面割れが発生しなかった。これについては、心持正割材の試験結果からも、高温乾燥の過程に割れの防止効果があると判断されたが、この時にも蒸煮中に含水率の減少傾向が認められ、柱材の場合でも同様の傾向が認められており、蒸煮後、天然乾燥に付しても割れないのは、温度と含水分の変化による粘弾性的な性質からと考える。

したがって、カラマツ材は栈木圧縮を施したうえ、乾燥初期の高温蒸煮と引続き高温による乾燥法により、製品になってからのヤニ渗出を防止するだけでなく、乾燥過程における割れ、狂いの抑制にも十分期待できるものと考えられる。

さらに、間欠運転により夜間休止時にも乾燥は進むことから省エネルギー問題も含めて、コスト低減に寄与するものと思われされる。

なお、本稿は都道府県農林水産業関係試験研究事業費補助のメニュー課題「国産材によるラミナ及び集成材の品等区分」、一般課題の「カラマツ材のヤニ処理に関する研究」及び大プロ「国産材の多用途利用開発に関する総合研究」の中課題(乾燥技術の確立)等三課題のなかで検討したものを一つの流れにまとめ収録した。

また、冒頭でも述べたが、本稿ではカラマツの乾燥に関する全てを網羅した訳ではない、当然埋めなければならない幾多の問題点もでてくる。

したがって、これ等については、今後の検討、研究の成果に待ちたい。

引用文献

- 1) 橋爪丈夫・三村典彦：カラマツ材のヤニ処理に関する研究，長野林指業報(1978)
- 2) 吉田孝久・三村典彦：材質改良加工技術に関する研究，長野林指業報(1980)
- 3) 橋爪丈夫・三村典彦：カラマツ材の人工乾燥によるヤニ渗出防止について，長野林指業報(1980)
- 4) 吉田孝久・三村典彦：材質改良技術に関する研究(乾燥技術の確立)，長野林指業報(1981)
- 5) 吉田孝久・三村典彦：乾燥技術の確立，長野林指業報(1982)
- 6) 吉田孝久・三村典彦：乾燥技術の確立 カラマツ心持材の燥技試験，長野林指業報(1983)
- 7) 橋爪丈夫：カラマツ材の乾燥，「信州のカラマツ」，リンケイ新聞出版局(1983)
- 8) 北海道林産技術普及協会編：テクニカルノートNo.4，木材乾燥(実務編)(1978)
- 9) 大日方秀夫ら：カラマツ材の脱脂法，特公 昭49-32921(1974)
- 10) 寺沢 真ら：木材乾燥における高温蒸煮の影響(その1,2)木材工業Vol.29-8,29-9(1974)