

林 技 情 報

1992. 12 No. 20

| | |
|---|----|
| 松くい虫被害木からのマツノザイセンチュウの検出 被害材片の採取方法 | 1 |
| 木材炭化成分の高度利用に関する研究(1) 木酢液の培地添加濃度が病原性微生物の増殖におよぼす影響 | 3 |
| 木酢液及びホウ酸、パラフィン処理木材の耐久性 | 7 |
| ヒノキ柱材の太陽熱乾燥 | 16 |
| クラックを持つカラマツ材の曲げ特性 | 29 |

松くい虫被害木からのマツノザイセンチュウの検出

被害材片の採取方法

大沢 正 嗣

1 はじめに

山梨県では依然松くい虫によるマツの被害が激しく、森林のマツのみならず、神社や庭のマツにまで被害が及んでいる。当センターにも松くい虫による被害かどうかの判定依頼が月2～6件程寄せられるが、枯損状況は松くい虫によくにているにもかかわらず、持ちこまれた試料から松くい虫の原因であるマツノザイセンチュウが検出されない場合がしばしばである。持ちこまれた試料の多くは枝先または、地上1.2 m程の高さの樹幹からドリルで集めた材片であるが、試料の取り方に問題があるのではないだろうか。今回、松くい虫によって枯損したと思われるアカマツ4本を伐倒し、各部よりマツノザイセンチュウを検出し、その生息状況を調査したので報告する。

2 材料と方法

1990年12月19日、愛宕山子供の国(県有林甲府事業区107林班)から、松くい虫により枯死したと思われるアカマツ4本を伐倒した。このときのマツの状態は表-1に示した。これらのマツの樹幹、地上1.2 m、7 m、13 m、16 mの各部位より材片を、携帯用ドリルにより幹に穴を開けたときにでるきりくずとして採取した。この試料からベルマン法によりマツノザイセンチュウの検出を行った。また、それぞれの供試木から枝先(小枝)を採取し、それを細断後同様の方法でマツノザイセンチュウの検出をおこなった。マイノザイセンチュウ検出後、検出に用いた材片は105℃で絶乾にしその重量を求め、乾燥材片1 g当たりのセンチュウ数を求めた。

表-1 供試アカマツの状況

| アカマツ NO. | 胸高直径 (cm) | 樹高 (m) | 枯 損 状 況 |
|-------------|--------------|-----------|------------------------|
| 1 | 22 | 23 | 多くの針葉は落ち、赤変した針葉がまばらに残る |
| 2 | 30 | 23 | 黄変した針葉が全体につく |
| 3 | 32 | 23 | 樹冠下部の針葉が黄変、中、上部は緑色 |
| 4 | 28 | 23 | 針葉は全体的に赤変、一部上部が、黄緑色 |

3 結果及び考察

マツノザイセンチュウの検出結果は表-2に示した。どの供試木からもマツノザイセンチュウが検出され、これらの枯損が松くい虫によるものと考えられた。センチュウを検出した部位別にみると、その部位毎にかなりセンチュウの生息密度が異なっていた。特に供試木NO3では10 m以上からはセンチュウが検出できなかった。この木は下部のみが部分的に枯れていたもの(表-1)で、樹冠上方へはまだセンチュウが移動していないか、もしくは上方での増殖がまだ十分でなかったため検出されなかったことが考えられる。供試木NO3を除くと地上1.2 mの地点より樹幹上方でザイセンチュウの検出が多かった。枝先からは比較的多くのザイセンチュウが検出された。これらのことから、一部例外を除き樹幹下部よりも樹幹のより上部で材を採取したほうが多くのセンチュウを検出できるので、可能であれば上部からの材片採取が好ましいと思われる。また、枝先が採取できる場合はこれを利用することも考えられるが、いずれにしても山梨県では、部分枯れや年越し枯れが多いので、1本の木でも枯損の状態が部位によって一定でない場合が多く、このため松くい虫の判定には、被害木数カ所から試料を採取することが望ましいと言えるであろう。検出に用いる材片量についても場所によりザイセンチュウの生息数が少ないので最低生重量で10 g程は必要と考える。

表-2 供試木からのマツノザイセンチュウ検出状況(部位別)

| 試料採取 | マツノザイセンチュウ検出数(匹、乾燥木片1 g当り) | | | |
|-------|----------------------------|-------|------|-------|
| 部位(m) | NO1* | NO2* | NO3* | NO4* |
| 1.2 | 7.0 | 2.1 | 8.9 | 3.0 |
| 7 | 12.5 | 21.0 | 1.5 | 1.4 |
| 13 | 11.4 | 9.6 | 0 | 54.8 |
| 16 | 57.9 | 171.0 | 0 | 367.3 |
| (枝先) | 30.5 | 5.0 | 0 | 445.6 |

* アカマツ供試木の番号

木材炭化成分の高度利用に関する研究(1)

木酢液の培地添加濃度が病原性微生物の増殖におよぼす影響

山梨県林業技術センター

名 取 潤

1 はじめに

木酢液はその濃度により微生物の増殖に大きく影響し、5～10倍の濃い濃度では殺菌剤として作用し、200倍以上の低い濃度では微生物の増殖を促進するとされている¹⁾。今回の試験ではアカマツ炭かま木酢液の野菜の病原菌に対する影響について検討したので報告する。

2 実験方法

1) 病原菌接種源の調製

ブドウ糖 50 g、ペプトン 5 g、 K_2HPO_4 0.3 g、 KH_2PO_4 0.3 g、 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 g、麦芽エキス 5 g を水 1 リットルに溶かし、寒天 30 g を添加してオートクレーブ中で 20 分間 120℃ で加熱殺菌したものを、滅菌シャーレに分注して接種源用培地とした。これにあらかじめ乾熱滅菌した径 6 mm の円盤状のろ紙を必要量同心円状に培地上に配置して、中央部に病原菌を接種した。一定期間 25℃ のインキュベーター中で培養し、伸長した菌糸が充分ろ紙をおった時点で、菌糸が付着したろ紙を接種源として使用した。使用した病原菌は次の 2 種類である。

(1) ホウレンソウ苗立枯病菌 (*Rhizoktonia solani*)

(2) ダイコン萎黄病菌 (*Fusarium oxysporum f.sp.raphani*)

2) 伸長量測定用培地の調製

病原菌接種源と同じ培地組成で、水のかわりに木酢液の希釈倍率が 2 倍、10 倍、50 倍、100 倍、200 倍、1,000 倍になるように調製した培地と、コントロールとして、木酢液を含まない培地を調製した。即ちブドウ糖 50 g、ペプトン 5 g、 K_2HPO_4 0.3 g、 KH_2PO_4 0.3 g、 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.2 g、寒天 30 g、麦芽エキス 5 g をとって、水 500 g にとかし、試験管に 20 cc ずつ分注した。一方木酢液の 2 倍液の場合、木酢液 200 g、10 倍液の場合 40 g、50 倍液の場合 8 g、100 倍液の場合 4 g、200 倍液の場合 2 g、1,000 倍液の場合 0.4 g とって、蒸留水で 200 cc になるようにそれぞれ希釈し、各 20 cc ずつ試験管に分注した。これらをオートクレーブ中で、120℃、20 分間加熱殺菌した。次にクリーンベンチ内で、滅菌シャーレに栄養培地と、希釈木酢液をそれぞれ混合して、寒天が固化するまで放冷して、2 倍、10 倍、50 倍、100 倍、1,000 倍の伸長量測定用培地とした。このような操作をとった理由は、PH の低い木酢液を寒天

と混合して加熱殺菌すると、寒天が凝固しないことによる。また各希釈倍率の木酢液のPH、並びに混合した加熱殺菌前の木酢液添加培地のPHの測定をPHメーターで行った。

3) 病原菌の接種、培養、伸長量の測定

径6mmの円盤状のろ紙に付着した病原菌を接種源として、前記した各濃度に調製した寒天培地の中央に接種して、25℃のインキュベーター中で5日間培養し、菌糸の伸長量をスケールで毎日測定した。

3 実験結果及び考察

1) 木酢液希釈培地のPH

表-1に木酢液を蒸留水で希釈していった場合のPHの値の変化と、培養液に添加して行った場合のPHの値の変化を示した。培養液に添加して行った場合の方がPH値が高くなる傾向が見られた。

表-1 希釈木酢液及び木酢液添加培地のPH

| | 2倍液 | 10倍液 | 50倍液 | 100倍液 | 200倍液 | 1000倍液 |
|-------------------|------|------|------|-------|-------|--------|
| 木酢液 (原液PH2.33) | 2.49 | 2.86 | 3.19 | 3.34 | 3.55 | 3.92 |
| 培地 (培地PH6.76) | 3.32 | 4.00 | 4.85 | 5.48 | 6.08 | 6.60 |

2) 木酢液の各濃度での菌糸の伸長状況

図-1にホウレンソウ苗立枯病菌の培養日数と、菌糸の伸長量の経時変化を、また図-2にダイコン萎黄病菌の同様な関係を示した。また写真-1、2にそれぞれの菌糸の伸長状況の写真を示した。両菌ともほぼ同じ傾向が認められ、木酢液の2倍及び10倍液では菌糸の伸長がまったく見られない。50倍以上の低濃度では菌糸の伸長が認められ、50倍、100倍ではコントロールに比べて、濃度に応じた低い伸長量を示すが、200倍以上の低濃度になると、コントロールと大差ない伸長量を示すようになる。また2倍、

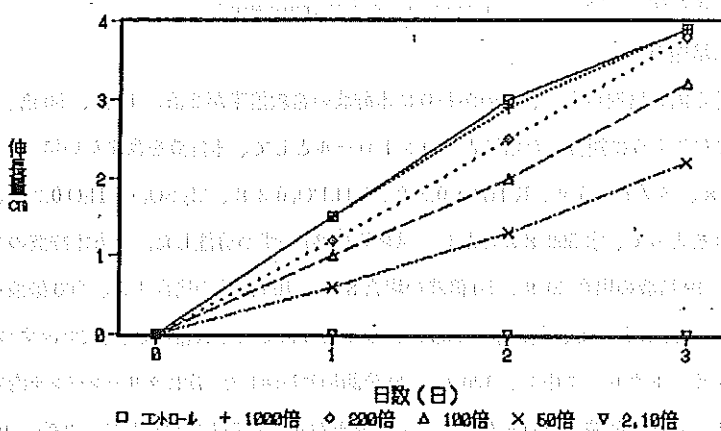


図-1 菌糸の伸長量の経時変化 (ホウレンソウ R.)

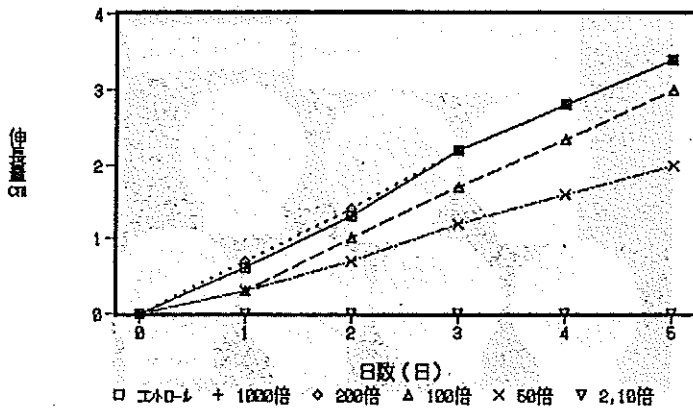


図-2 菌糸の伸長量の経時変化 (ダイコン F.)

10倍に接種した接種源を別の木酢液を含まない寒天培地に植え変えても菌糸の伸長が認められないことから、菌糸の状態では両病原菌とも、2倍とか10倍の高濃度の木酢液に接すると枯死することが確認された。

野原らの報告²⁾によると、木酢液はその採取された樹種により菌糸の伸長量に差が見られ、培地 10 cc に対して木酢液 0.3 cc 添加した培地 (約 33 倍に相当) では、ブナ、雑、シラカシの木酢液ではまったく *Rezoctonia* sp. の伸長が見られず、次にクヌギ、アカマツ、ネマガリダケの順に発育を阻止したと言う。本試験で行ったアカマツ木酢液とほぼ同様な結果と考えられる。木酢液の生育阻害成分としては、木酢液中の酢酸、メタノール、フェノール成分などであると言われ、木嶋は木酢液が希釈されると、木酢液中の酢酸がアセチル補酵素となって微生物の生育を促進するとする³⁾。本実験では、低濃度の木酢液が特に病原菌の伸長を促進しているような傾向は認められないが、栄養源の豊富な寒天培地上で実験を行ったので、もう少し栄養状態の悪い培地で検討して見る必要もあろう。

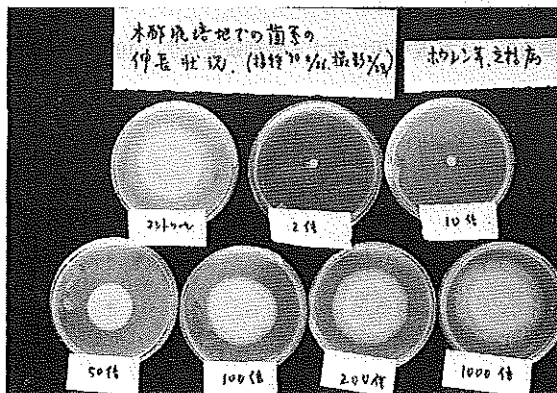


写真-1 ホウレンソウ苗立枯病菌の伸長状況

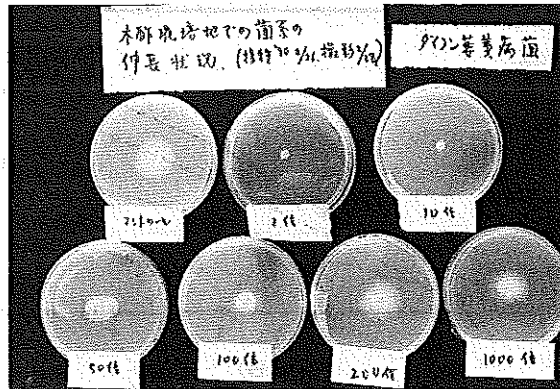


写真-2 ダイコンの萎黄病菌の伸長状況

4 おわりに

本試験でも従来から言われていた木酢液の微生物に対する殺菌効果を確認することができた。木酢液の殺菌作用には選択性がないと言われているので³⁾、このような作用は幅広い微生物に適用できるものと考えられる。しかし野菜等の作物への影響、適正な使用濃度とその使い方については、篤農家など木酢液を実際に使っている農家の事例を参考にし、その施用効果を確認して行くことが、木酢液の使用を促進して行くために重要であると考えられる。

文 献

- 1) 岸本定吉監修：木酢・炭で減農薬、使い方とつくり方、農文協（1991）P 30～31
- 2) 野原勇太、陳野好之：針葉樹稚苗の立枯病防除に関する研究（第1報）、特に木酢液の効力について、林試研報 96（1957）P 120～121
- 3) 科学技術庁研究調査局：木酢液利用に関する特別研究報告（1966）P 98

木酢液及びホウ酸、パラフィン処理木材の耐久性

山梨県林業技術センター

名 取 潤

1 はじめに

木材保存分野では、安全性が高く廃棄処理の容易な防腐剤のスクリーニングが求められている。本研究では杭木の防腐処理に使われたこともある木酢液の含浸処理並びに、ホウ酸、パラフィンを含浸した木材の耐久性について、埋設2年目の劣化状況を調査したので報告する。この種の処理方法がCCAやクレオソート油に匹敵するような高い耐久性を付与するものとは考えられないが、耐久性を評価したデータは見あたらない。しかし外国ではこのような処理方法をしている企業もあり、その輸入品が国内でも使われている。

2 実験方法

1) 供 試 材

耐久性の試験に用いた供試材は、樹心部をのぞいて大部分が辺材で占められたスギ心持正割材(5 cm × 5 cm × 15 cm)を気乾状態まで天然乾燥したものを使用した。また1条件につき6個ずつ用意し、ステンレスプレートのラベルを取り付けた。

2) 防腐処理条件

防腐処理条件は、10条件設定して暴露試験を行っているが、今回データを取りまとめて報告するのは表-1に示した5条件である。木酢液はアカマツ炭かま木酢液の原液(PH 2.5、比重 1.015、酢酸換算した有機酸含有量3%)を使用した。またホウ砂、ホウ酸水溶液はホウ砂と、ホウ酸を6:4の割合で秤

表-1 防腐処理条件

| 処 理 | 処理薬品 | 処 理 条 件 |
|------------------------|-----------------------|---|
| 1 無 処 理 | | |
| 2 木酢液加圧注入 | 原 液 | 前排気(常圧→4 トール) 60分 加圧: 5 kg/cm ² 、120分 |
| 3 パラフィン温冷浴 | 固 体 (融点60°C) | 加温: 60°C→130°C (約30分) 放冷: 130°C→60°C (約100分) |
| 4 ホウ酸水加圧注入 パラフィン温冷浴 | ホウ酸2%水溶液 パラフィン: 固体 | 加圧注入: 木酢液と同じ、熱風乾燥40°C で6日間、パラフィン処理: 上に同じ |
| 5 クレオソート油塗布 | 原 液 (JIS規格品) | ハケ塗り、2回塗布 |

量して2.5%水溶液になるように調製した。こうするとホウ酸換算で約2%のものとなる。パラフィン融点60℃のものを、温冷浴法で注入した。即ち60℃で溶融したパラフィン中に、供試材を入れ、約30分かけて130℃まで加温した。この間に木材中の空気が気泡となって盛んに脱気する。次にこれを放置して融点近くの60℃まで放冷する。この間に減圧状態になった木材中にパラフィンの注入が行われる。また木酢液及びホウ酸水の加圧注入処理は、減加圧可能なステンレス製の耐圧タンク中で行った。減圧は約4トールまで60分かけて減圧し、次に含浸用の溶液をタンク中に液送り常圧にもどす。次にコンプレッサーで5kgf/cm²まで加圧して120分間保ち、解圧して注入を終了させた。またホウ酸水の加圧注入を行ったから、40℃の熱風乾燥器中で6日間乾燥させたのち、パラフィンの温冷浴処理を行った。クレオソート油の塗布は、JIS規格品のクレオソート油を2回塗布した。また加圧注入する材は注入性を改善するために予め、予め2,600個/m²のインサイジングを行った。

3) 劣化条件

劣化条件は、地中に供試材の半分を埋設する杭試験、供試材を地中に埋設してしまう埋設試験、コンクリートで溝を作り、上蓋をして暗部に接地して放置する土台などに近い劣化条件、これを土台を想定した劣化試験とする。以上の3条件で暴露を開始した。劣化試験を開始する前の状況を写真-1に示した。写真の左側が杭試験、中央部が土台を想定した試験、右側が埋設試験になる。

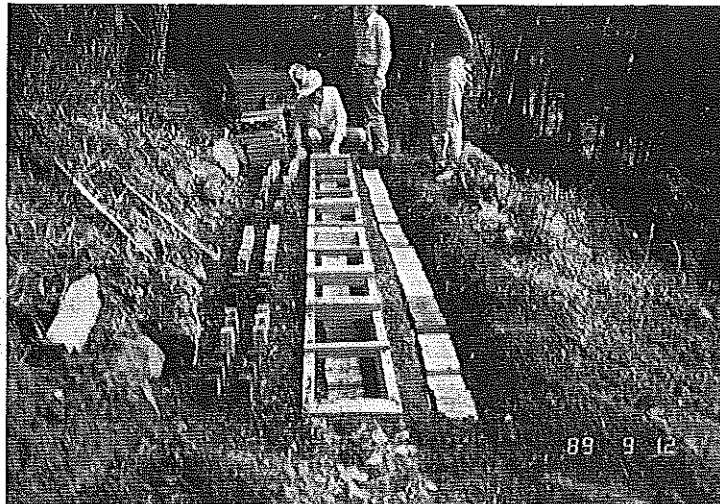


写真-1 劣化試験の埋設状況

4) 被害度の調査方法

被害度の調査方法は、目視で6段階に評価する森林総研方式に準じて行った。その被害度の表し方を表-2に示した。評価は感覚的なものなので、千枚通しで刺してみても、中間的な評価も行った。杭試験については、地上部の頂端近辺(T)、地際部(G)、地中の他端の木口近辺(B)の3カ所について評価し、埋設試験については、一様に劣化しているので、全体を見て評価した。また土台を想定した試験は、地上部

表-2 被害度の表し方

| 被害度 | 観 察 状 態 |
|-----|-------------------|
| 0 | 健 全 |
| 1 | 部分的な軽度の虫害または腐朽 |
| 2 | 全面的な軽度の虫害または腐朽 |
| 3 | 2の状態のうえに部分的に激しい腐朽 |
| 4 | 全面的に激しい虫害または腐朽 |
| 5 | 虫害または腐朽により形がくずれる |

の表面（T）と、接地している地際部及び接地面（G）の2カ所について評価した。また供試材全体の重量、各測定部位の含水率を高周波水分計（デルタ5）で測定した。これは正確な水分状態を示すものではないが、おおよその水分状態はつかめるものとする。

3 結果及び考察

1) 薬剤注入量並びに塗布量

薬剤の注入量を表-3に整理して示した。上記の加圧注入処理で、水溶性の薬液は600～750 kg/m²注入することができた。ホウ酸水溶液を加圧注入してから40℃で6日間熱風乾燥することにより、抵抗式水分計の計測値で15%程度に乾燥した。これをパラフィンの温冷浴処理することにより、約300 kg/m²のパラフィンを含浸させることができた。クレオソート油は1回目の塗布で200～300 g/m²付着し、2回目の塗布で約100 g/m²付着した。

表-3 薬 剤 注 入 量

| 処 理 | 水溶液注入量 (kg/m ²) | パラフィン注入量 (kg/m ²) | クレオソート油塗布量 (g/m ²) |
|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 木酢液加圧注入 | 676 (584～754) | | |
| 2 パラフィン温冷浴 | | 292 (215～445) | |
| 3 ホウ酸水加圧注入 パラフィン温冷浴 | 698 (636～745) | 312 (140～391) | |
| 4 クレオソート油塗布 | | | 1回目：200～300 2回目：約100 |

2) 杭試験の被害状況

表-4に埋設2年目の杭試験の被害度と高周波水分計の指示値を示した。含水率計の指示値は地上部が20～30%、地中部が80～100%で、木酢液加圧注入処理したものは、測定日前日が雨のため地上部も高い値を示した。無処理材辺材部は、地中、地際部とも、千枚通しで容易に突き刺すことができる2.8程

表-4 杭試験の被害度

| 処 理 | 測定位置 | 含水率計指示値 (%) | 被害度平均 (範囲) | 被害の状況 |
|------------------------|------|-------------|---------------|------------------------|
| 1 無 処 理 | T | 26 | 0 (0) | ○ シロアリ 腐 朽 |
| | G | | 2.8 (2.5~3.5) | |
| | B | 81 | 2.7 (2.5~3.5) | |
| 2 木酢液加圧注入 | T | 81 | 0.8 (0~1.0) | シロアリ ○ 腐 朽 |
| | G | | 3.5 (3.0~4.0) | |
| | B | 100以上 | 3.4 (3.0~4.0) | |
| 3 パラフィン温冷浴 | T | 28 | 0.8 (0~2.0) | パラフィンの流出 頂端部劣化 (一部) |
| | G | | 0.4 (0~1.0) | |
| | B | 83 | 0.4 (0~1.0) | |
| 4 ホウ酸水加圧注入 パラフィン温冷浴 | T | 32 | 0 (0) | 腐 朽 |
| | G | | 0.1 (0~0.5) | |
| | B | 88 | 0.1 (0~0.5) | |
| 5 クレオソート油塗布 | T | 24 | 0 (0) | シロアリ |
| | G | | 0.1 (0~0.5) | |
| | B | 99 | 0 (0) | |

注1：含水率計の指示値は高周波式含水率計による

注2：○印は主な被害

注3：T：地上部 G：地際部 B：地中部

度の被害度を示し、その主たる被害はシロアリであった。写真-2は無処理材の劣化状況、写真-3は木酢液の加圧注入したものの劣化状況である。木酢液を加圧注入したものは、無処理よりも被害度が高く、一部形が崩れる3.5程度の被害度を示し、その主たるものは腐朽であった。木酢液は比較的低い濃度で微

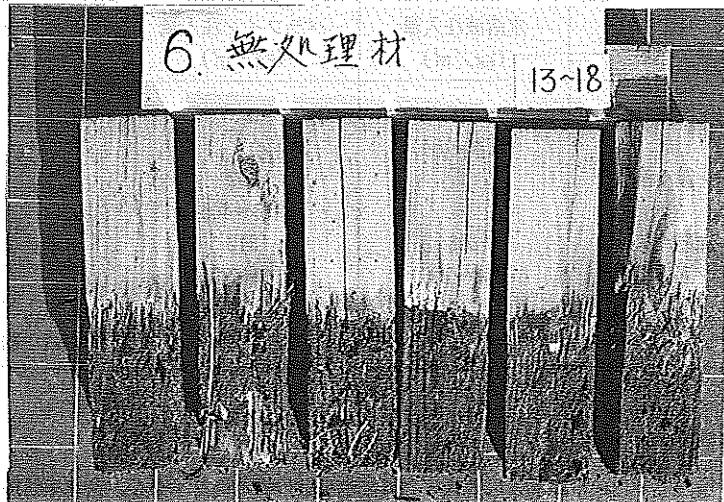


写真-2 無処理材の劣化状況 (杭試験)



写真-3 木酢液加圧注入処理材の劣化状況（杭試験）

生物の働きを活性化し、堆肥の発酵促進などにも使われることから、防腐防蟻剤というよりは、腐朽を促進しているように見える。パラフィンの温冷浴処理したものは被害度が低く、地際、地中とも0.4程度である。シロアリによる食害は今のところ認められない。頂端部に一部年輪界のうきで劣化が認められるが、腐朽菌によるものかどうか明確にできなかった。またパラフィン処理したものは、太陽熱により南側のパラフィンの流出が認められた。ホウ酸水の加圧注入、パラフィン温冷浴処理の劣化は写真-4に示したようにさらに少なく、地際、地中とも0.1程度で、シロアリによる食害は認められない。前記のパラフ



写真-4 ホウ酸水加圧注入パラフィン温冷浴処理材の劣化状況（杭試験）



写真-5 クレオソート油塗布材の劣化状況（抗試験）

イン処理と同様南側のパラフィンの流出が認められた。クレオソート油塗布の劣化は少なく、写真-5、表-4に示すように被害度も0.1程度でほとんど劣化していない。

3.) 埋設試験の被害状況

表-5 埋設試験の被害度

| 処 理 | 測定位置 | 含水率計指示値 (%) | 被害度平均 (範囲) | 被害の状況 |
|------------------------|------|-------------|---------------|--------------|
| 1 無 処 理 | | 100以上 | 1.9 (1.0~3.0) | ○シロアリ 腐 朽 |
| 2 木酢液加圧注入 | | 100以上 | 2.2 (2.0~2.5) | ○シロアリ 腐 朽 |
| 3 パラフィン温冷浴 | | 100以上 | 0.4 (0~0.5) | 腐 朽 |
| 4 ホウ酸水加圧注入 パラフィン温冷浴 | | 100以上 | 0.1 (0~0.5) | 腐 朽 |
| 5 クレオソート油塗布 | | 100以上 | 0 (0) | |

注1：含水率計の指示値は高周波式含水率計による 注2：○印は主な被害

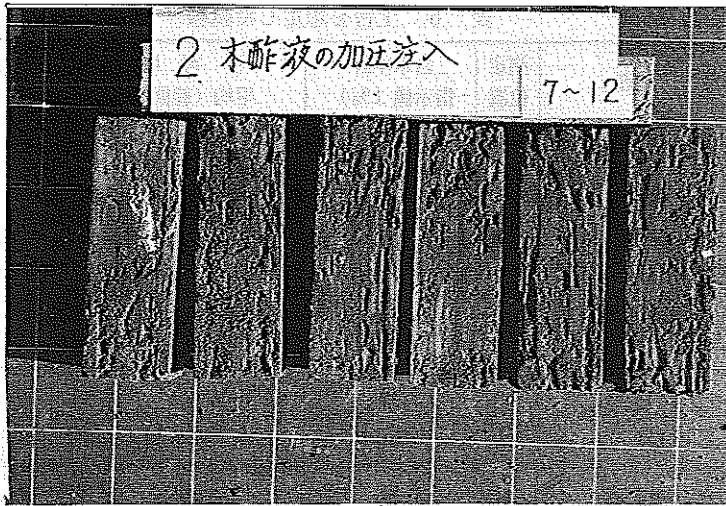


写真-6 木酢液加圧注入処理材の劣化状況（埋設試験）

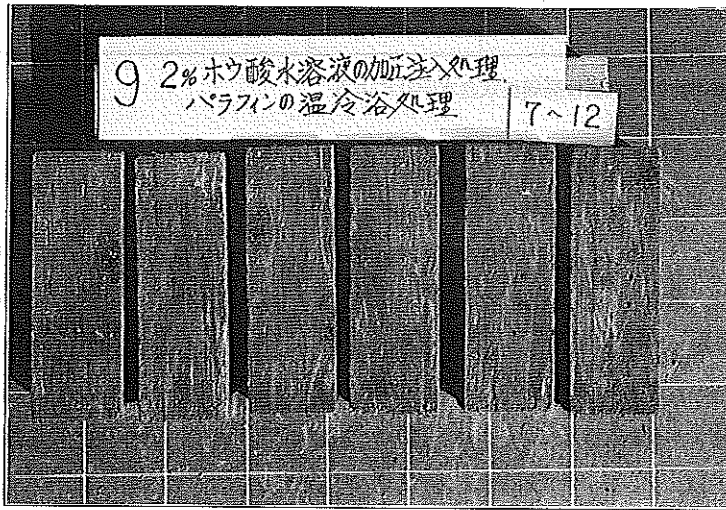


写真-7 ホウ酸水加圧注入パラフィン温冷浴処理材の劣化状況（埋設試験）

埋設試験の被害度を表-5に示した。また劣化状況の一部を写真-6、7に示した。埋設試験の被害度は、杭試験に比べて全般的に低いものであった。無処理材の平均被害度は1.9、木酢液の加圧注入は2.2程度で、無処理材と同程度かやや高い被害度であった。パラフィンの温冷浴、ホウ酸水加圧注入パラフィン処理の被害度は低く0.4、0.1で、わずかに腐朽しているものが一部見られる程度で、シロアリの食害は見られなかった。クレオソート油塗布はまったく被害が見られなかった。また、含水率計の指示値は、いずれも100%以上であった。

4) 土台を想定した試験の被害状況

表-6 土台を想定した試験

| 処 理 | 測定位置 | 含水率計指示値 (%) | 被害度平均 (範囲) | 被害の状況 |
|------------------------|------|-------------|---------------|--------------|
| 1 無 処 理 | T | 61 | 0 (0) | シロアリ ○腐 朽 |
| | G | 100以上 | 1.6 (1.0~2.0) | |
| 2 木酢液加圧注入 | T | 49 | 0 (0) | ○シロアリ 腐 朽 |
| | G | 100以上 | 2.9 (2.5~3.0) | |
| 3 パラフィン温冷浴 | T | 47 | 0 (0) | 腐 朽 |
| | G | 100以上 | 0 (0~0.1) | |
| 4 ホウ酸水加圧注入 パラフィン温冷浴 | T | 73 | 0 (0) | カ ビ |
| | G | 93 | 0 (0) | |
| 5 クレオソート油塗布 | T | 33 | 0 (0) | |
| | G | 43 | 0 (0) | |

注1：含水率計の指示値は高周波式含水率計による

注2：○印は主な被害

注3：T：地上部 G：地際部

表-6 に土台を想定した試験の被害度を示す。いずれの処理も上面の被害度は0で、被害は認められない。下面について見ると、無処理材の平均被害度は1.6で腐朽及び、シロアリの被害が認められた。木酢液の加圧注入処理材の平均被害度は2.9で、無処理材より著しいシロアリの被害が認められた。パラフィン温冷浴処理は、ほとんど被害が認められなかった。ホウ酸水加圧注入パラフィン温冷浴処理は、材表面にカビと思われる菌糸の繁殖は認められたが、材内部への被害は見られない。またクレオソート油塗布はまったく被害が認められなかった。含水率計の指示値は、地上部は50%前後、接地部分は100%前後の値を示したが、クレオソート油は割と低く40%前後であった。

4 お わ り に

以上、木酢液及びホウ酸、パラフィン処理木材の耐久性について、暴露2年目の観察結果を述べたわけであるが、ここで木材防腐処理の現状を整理してみると次のようになる。現在木材防腐処理の中心になっているのはCCA処理で、その安価な処理コストと高い耐久性は他の薬剤の追随を許さない。またこのほかの耐久性の高い処理方法としては、クレオソート油が知られている。しかしCCAは多量の廃材処理方法が確立されていないことや、銅、クロム、ヒ素といった人体に有害な薬物を使用していることから、流脱の恐れはほとんどないが、公園用遊具などとしては敬遠される傾向にある。またクレオソート油も、油性で遊具などにはなじまないこと、またアメリカでは人間の直接接触するような所へは使用しないようになって来ている。

また今までもPCP、有機スズ化合物などがその毒性と環境汚染の問題で日本でも使用禁止になっている。このようなことから、木材防腐業界では、より安全で安価な処理方法を模索しており、A Q認定制（JASではないが製品に対して、一定の品質保証をするもの）の中で、銅アンモニア系薬剤、銅、亜鉛化合物を、CCAにかわるものとして認定しており、これらのJAS化の動きもある。しかしCCAと比べると耐久性は低い。また防蟻防虫剤についても有機塩素系から、より残効性の低い有機リン化合物へと変遷して来ている。

本研究では以上の背景をふまえ、公園用資材、遊具などとしても使えるより安全性が高く廃材処理の容易な防腐処理のスクリーニングとして、木酢液及び、ホウ酸、パラフィン処理について検討して見た。まだ暴露2年目であるので、その耐久性についての判断はできないが、少なくとも木酢液については、今回の試験では一般に言われているような耐久性はないことが明らかになった。耐久性試験については、今後もさらに劣化状況の観察を続けて行きたい。

（以下は、このページの右側の欄に印刷された、縦書きの文字列の転写です。内容は非常に小さく、読み取りが困難です。また、途中で「図1」の表が挿入されています。）

| | |
|-------|---------|
| 表1 | 試験結果の概要 |
| 項目 | 結果 |
| 木酢液 | 劣化が著しい |
| ホウ酸 | 劣化が軽微 |
| パラフィン | 劣化が軽微 |

（以下は、このページの右側の欄に印刷された、縦書きの文字列の転写です。内容は非常に小さく、読み取りが困難です。）

（この欄には、縦書きの文字列が印刷されています。）

林技情報 No.20, Ⅱ(1992. 12) 国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化に関する研究(Ⅱ) 宇野 浩一, 宇野 浩一, 宇野 浩一

国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化に関する研究(Ⅱ) 宇野 浩一, 宇野 浩一, 宇野 浩一

ヒノキ柱材の太陽熱乾燥

国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化に関する研究(Ⅱ) 宇野 浩一, 宇野 浩一, 宇野 浩一

国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化に関する研究(Ⅱ) 宇野 浩一, 宇野 浩一, 宇野 浩一

国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化に関する研究(Ⅱ) 宇野 浩一, 宇野 浩一, 宇野 浩一

1 はじめに

建築工期の短縮化や住宅の高品質化、プレカットシステムの普及などを背景に、乾燥材に対するニーズが高まってきている。従来から建築用材の乾燥は、天然乾燥を主体に行われてきているが、天然乾燥は気象条件に左右され長期間を要するため、最近では除湿乾燥と蒸気乾燥を主体にした人工乾燥が普及しつつある。しかし、人工乾燥では、乾燥期間が短縮されるが、設備費が高価なうえ断面の大きい角材の乾燥には多くの熱エネルギーを必要とし、コスト高になることから、今のところ建築用材需要の主流にはなっていない。

一方、石油危機を経験することにより省エネルギー乾燥方法としての太陽熱乾燥が再認識され、それ以後、各地で取組みが活発化した。現在のところ太陽熱乾燥は、太陽熱利用システムによりパッシブソーラーシステムとアクティブソーラーシステムの2種に大別される。前者は集熱板等に直接太陽熱を吸収させる天然乾燥促進タイプで、後者は水、空気を熱媒体として用いる人工乾燥装置の省エネタイプである。

ところで、本県の甲府盆地は平均全日照量が 12.5～13.4 (MJ/m²・日)と九州南端、瀬戸内海沿岸及び紀伊半島に次いで多く¹⁾、しかも冬期日照時間が長い²⁾など太陽熱乾燥を行ううえでの地理的、気象的有利性を備えている。そこで平成元年度に当センター(白根町)構内にパッシブタイプの人工乾燥装置を試作し、県内の主要製品であるヒノキ心持ち柱材の太陽熱利用乾燥に取り組んできた³⁾。

本装置は県産の小中径材を使った軸組工法による木造の乾燥装置で、ファンによる送・排気量の調整をパソコンで自動制御できるようになっている。

平成2年度に予備試験として夏期にヒノキ 12 cm角の心持ち柱材を用いて本装置の乾燥性能を調べた。その結果、本装置による乾燥は天然乾燥に比べて乾燥期間が著しく短縮されるが、割れが多く発生し、化粧用途の使用には困難であることが分かった。このため、当初から予定していた、乾燥工程での損傷程度を最小限に抑えるため加湿器の設置、加湿量のコントロール、及びパソコン制御運転などを検討し、同年冬期に電熱式加湿器を、さらに翌3年度の夏期にスプレー式加湿器を装備してパソコンの自動制御により、本装置でのヒノキ心持ち柱材の割れない乾燥方法の検討を行った。

なお、この研究は林野庁の大型プロジェクト研究「国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化」の一環として実施したものである。

2 装置の概要

第1図に、太陽熱乾燥装置の概略構造と空気循環系を(写真1に装置の全体像を)示す。

装置の製作に当たっては、①住宅一軒分の柱材が一度に乾燥可能な規模②設備費が安価で組立設備が容易なことなどを考慮した。

1 構造と送風装置

基本構造は、北海道林産試験場^りのソーラードライヤーを参考とし、装置の規模は収容材積量約 3.6 m³で、東西に 4.6 m、南北に 2.95 m、高さ 1.8 m の軸組工法とした。

屋根及び南側集熱面は枠材両面を耐久性・光透過性の優れたポリカーボネイトフィルム張りとし断熱中空層を作り出し、塩ビ波板を張って温室効果を期待した。屋根の傾斜角度は 37° である。その他の壁体は、9 mm 厚の構造用合板を内外壁とした 2 重構造とし、間にグラスファイバー断熱材を詰めた。

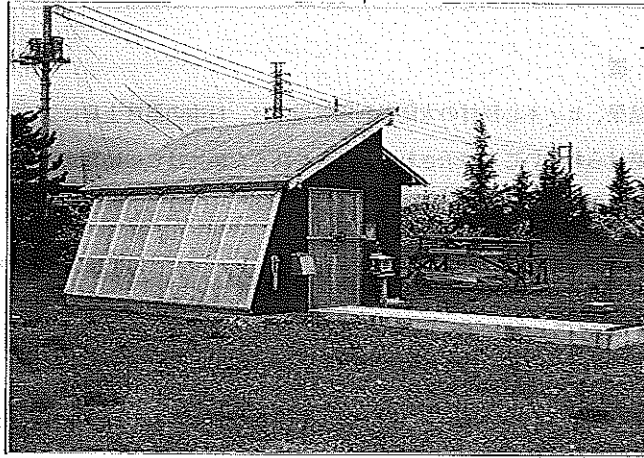
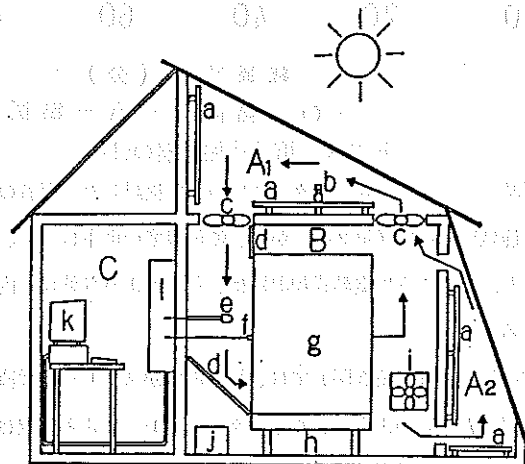


写真-1 太陽熱乾燥装置の外観



A₁: 集熱室 A₂: 集熱室 B: 乾燥室 C: 制御室
 a: 集熱鉄板 b: スプレーノズル c: 送風ファン d: 断熱板
 e: 湿度センサー f: 含水率センサー g: 乾燥材 h: 台車
 i: 排気ファン j: パン型加熱器 k: 制御用コンピューター
 l: 配電盤

第1図 太陽熱乾燥装置の概略構造と空気循環

乾燥室内の空気循環を行うため乾燥室天井の吸込側（南）と吹出側（北）にそれぞれ2、3台の送風ファン（53 m³/min）を設置した。

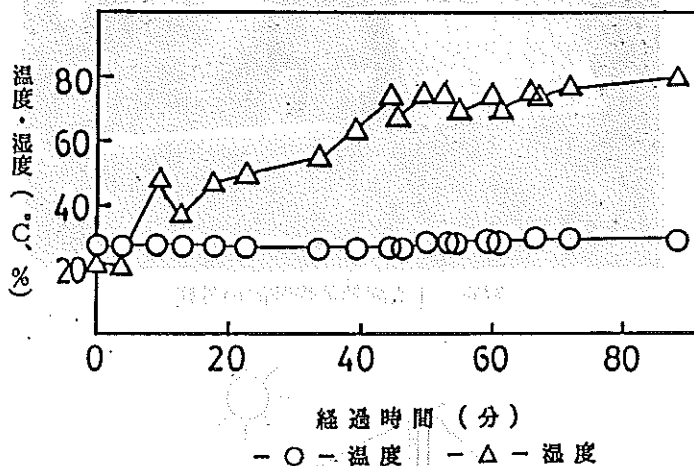
また、夜間あるいは雨天時などの室内湿度が高くなった場合の強制排気のため東西面下部に排気用換気扇（同時吸排気式熱交換型）を設置した。

第1表 加湿器の仕様

| 種類 | 加湿能力 | 消費電力 | 型式 | 価格 |
|----------|---------------|------|------------------|-------|
| 電熱式加湿器 | 4 KW | 4 KW | ㈱日本電化工機 (NSH1-3) | 60 千円 |
| スプレー式加湿器 | 噴霧器 10 ℓ / Hr | 50W | ㈱山武計装 (DMS-10BH) | 69 千円 |

2 加湿装置

予備試験の結果、ヒノキ心持材の太陽熱利用乾燥では、日中の温度上昇によって極端な低湿条件になり割れの発生が避けられないことが示された。これを防ぐためにはこの時期増湿する必要がありそのための



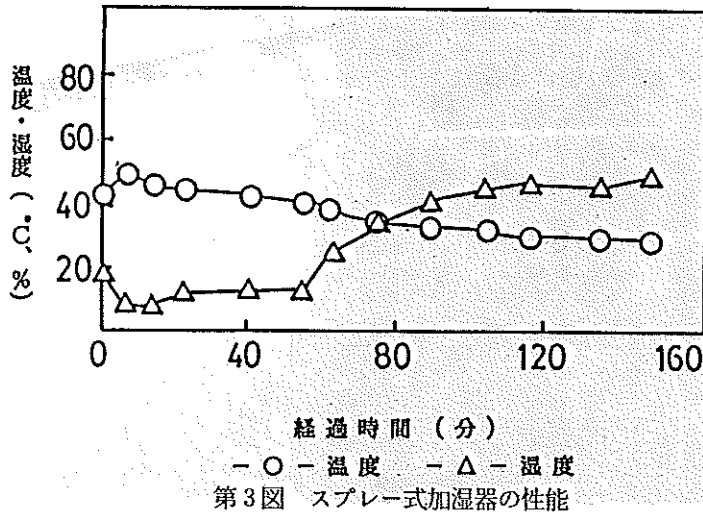
第2図 電熱式加湿器の性能

加湿装置として、電熱式、スプレー式の2タイプについて検討した。両者の仕様は第1表の通りである。

電熱式加湿器の性能試験の結果（第2図）から、乾球温度の低下はなく、関係湿度は急激に上昇し十分な性能が確かめられた。このように電熱式加湿器は、冬期のような乾燥室内に高温が得にくい時期の使用に適していると言える。

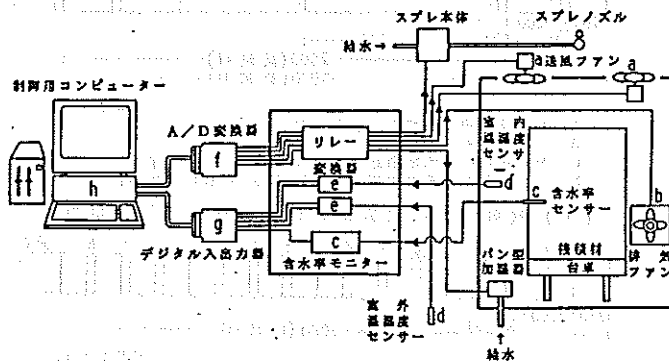
スプレー式加湿器の性能試験（第3図）では、乾球温度がスプレー稼働直後に急激な降下を始め、一方、関係湿度は大幅に上昇した。このように、ウォーターズプレーによる加湿は室内の湿度上昇とともに乾球温度を下げることになり、夏期など的高温条件下での使用に適していると言える。ただ連続稼働の場合、天井部や屋根面で水滴になり飛散するような状態がみられた。

なお、両加湿器とも計算上よりも大容量であるのに湿度上昇がおそく、乾燥室の気密性に問題があるように思われた。



3 制御システム

この装置の大きな特徴は、パソコン制御による自動運転を可能にしたことである。自動運転システムの概略は、供試材の含水率（抵抗式含水率センサーを試験材に装着—写真2）、乾燥室内の温湿度（温湿度センサーを北壁に設置）情報を自動的に読み込み、予め設定・記憶させた乾燥スケジュールに従って加湿器、送風ファン、排気ファンをON・OFF制御することにより目標含水率まで乾燥を無人で進行する方法とした。使用した計測・制御機器の仕様・構成を第4図に示す。



| 記号 | 機器名 | メーカー | 型番 | 価格 |
|----|----------|-----------|----------------|-------|
| a | 送風ファン | 東芝電材株式会社 | VP-414TK | 39千円 |
| b | 排気ファン | 東芝電材株式会社 | VFE-25K, | 30千円 |
| c | 含水率センサー | 西社CSA | | |
| e | 含水率センサー | エレクトリック社 | MC-3型 | 275千円 |
| d | 温湿度センサー | 神栄株式会社 | THP-B4T | 24千円 |
| e | 変換器 | 神栄株式会社 | THT-B120 | 59千円 |
| f | A/D変換機 | 株式会社コンテック | AD12-16L (98) | 72千円 |
| g | デジタル入出力器 | 株式会社コンテック | PIO-16/19 (98) | 45千円 |
| h | コンピューター式 | 日本電機株式会社 | PC-98シリーズ | 458千円 |

第4図 計測・制御機器の仕様・構成

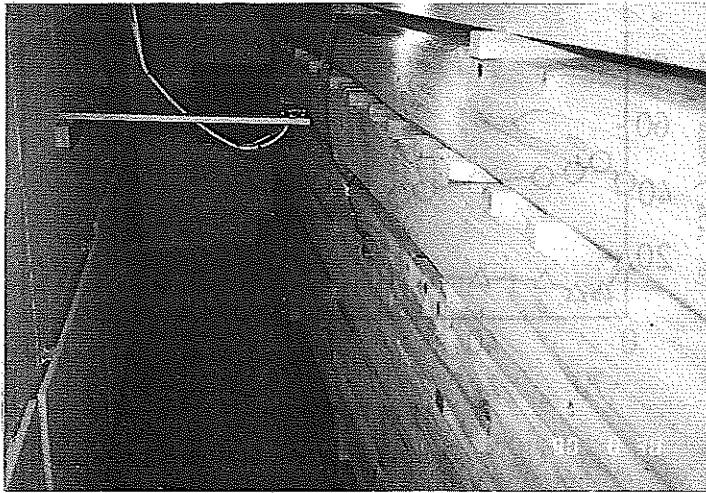
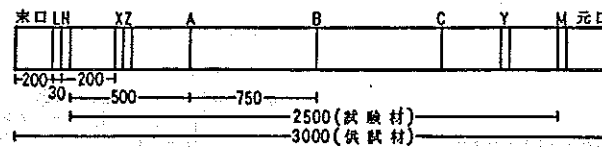


写真2 試験材に装着した含水率センサー

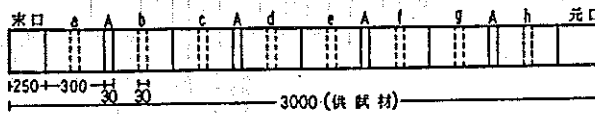
3 供試材及び測定方法

12 cm角ヒノキ柱材（材長3 m、1等、背割り材）49本を太陽熱乾燥に、比較用として天然乾燥に5本供試した。この中から標準的な7本の試験材を選んだ。試験材5本は第5図-(1)に示す採材基準により生材の

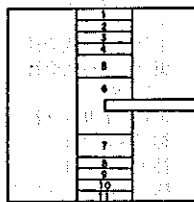


- 単位：mm
 A、C：含水率、収縮率、背割り幅
 B：曲がり
 L、M：生材時含水率測定用試片（X、Y：乾燥終了時）
 N、Z：生材時水分分布測定用試片（Z：乾燥終了時）

(1) 試験材の採取方法と乾燥経過中の測定位置



- 単位：mm
 A：生材時水分分布測定用試片
 a～h：乾燥過程における水分分布測定用試片



(2) 水分分布測定用試片の採取方法及び測定方法

第5図 試験片の採取位置及び測定箇所

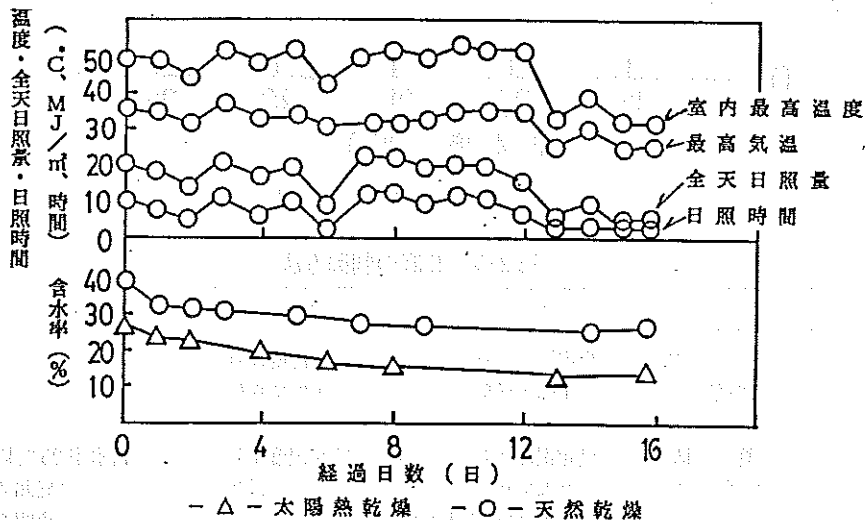
含水率と厚さ方向の含水率分布測定用試片を採取した。残りの長さ2.5 m材については生材時から乾燥終了時まで計器測定による含水率、収縮率、背割り幅の変動を測定した。比較のための天然乾燥材も同様に測定した。

また、2本については生材時から乾燥終了時までの材の厚さ方向の含水率分布を第5図(2)に示したように生材時水分分布測定試片を採取した後の残りの試験材を木口シーリングして乾燥させ、各乾燥過程で試験材を順次取り出し、両材面の表層から厚さ5 mmの試片を各4枚、次に15 mm試片を各1枚と残部、計11分割して厚さ方向の含水率分布を測定した。

試験材については乾燥経過中の含水率減少経過を調べるため、前記測定時に重量を測定し、乾燥終了時に各々の材から含水率調査試片を採取して全乾法で含水率を測定し、これを基に材の推定全乾重量を算出して乾燥過程における含水率変化を求めた。

4 夏期予備試験

本装置の温度、乾燥性能などを予め把握するため送風用ファンのみ稼働させた状態で予備的にヒノキ柱材の乾燥試験を行った。第6図に、乾燥室内と外気の最高温度、全日照量(甲府気象台月報、以下同様)、日照時間及び乾燥経過を示す。全体的な傾向として乾燥室内、外気の最高温度ともに全日照量、日照時間の変化に対してほぼ同様に経過しているが、外気よりも乾燥室内の最高温度にその影響が大きく現れた。また、全日照量の少ない日の乾燥室内最高温度は余り上昇せず、外気温に対して5℃~10℃高いが、全日照量の多い日の乾燥室内最高温度は著しく上昇し、外気温に対して15℃~20℃高くなった。



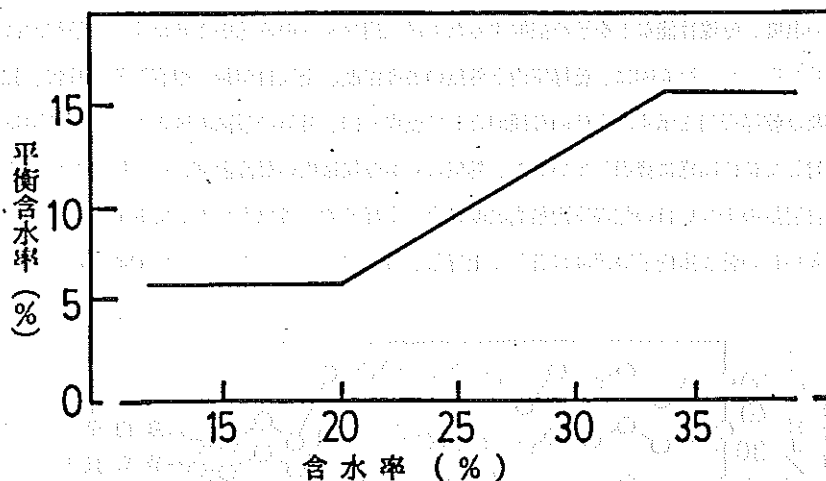
第6図 夏期予備試験の乾燥条件と乾燥経過(平成2年9月3日~18日)

一方、太陽熱利用の乾燥速度は天然乾燥のそれに較べ明らかに速く、含水率 20%までの日数では天然乾燥の 1/4 程度に短縮することができた。太陽熱乾燥では供試材のほぼ全材に多数の割れが発生した。しかし、新JASでの木口割れ、材面割れに該当する貫通割れはなく、構造用材としての利用には問題ないが、市場価格に反映する化粧面での品質低下が著しく、加湿調整を行わない本装置での心持ち柱材の乾燥は、実用的にみて極めて困難と考えられた。ただし、割れの発生が少ない板類などの乾燥には有効と考えられるので、今後実用性について検討していく必要がある。

5 冬 期 試 験

1 乾 燥 条 件

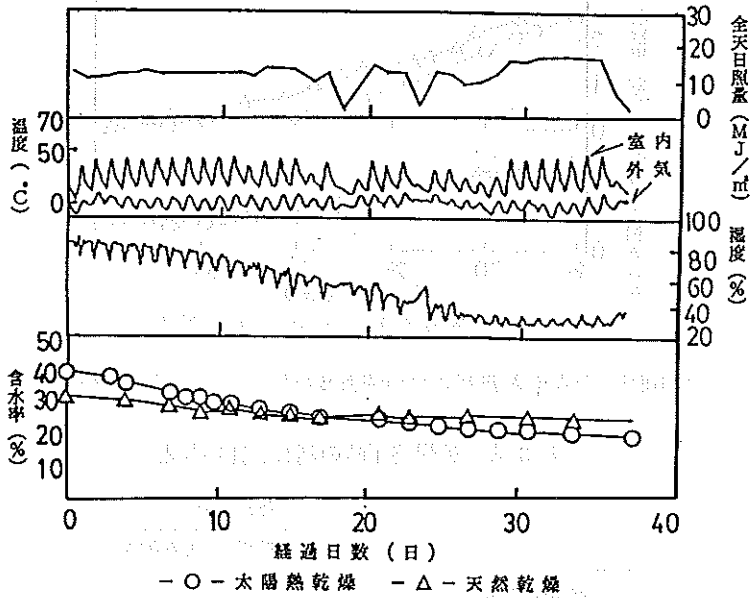
乾燥スケジュールは、第7図のように高含水率時（34%まで）平衡含水率を一定（16%）とし、含水率の低下とともに連続的に平衡含水率を下げ、含水率 20%から一定（6%）にする含水率スケジュールとした。



第7図 乾燥スケジュール

第2表 装置の制御方法

| | 加湿機 | 排気ファン | 循環ファン |
|----------------|--|------------------|---|
| 冬 期 (電熱式) | 設定湿度より -1%で稼働 | 設定湿度より +1%で稼働 | 終始4機 |
| 夏 期 (スプレー式) | 設定湿度より -2%で稼働 含水率 32%以上 2機 32%以下 1機 | 設定湿度より +2%で稼働 | 含水率 25%以上 昼間 4機 夜間 2機 25%以下 終始 2機 |



第8図 冬期試験の乾燥条件と乾燥経過

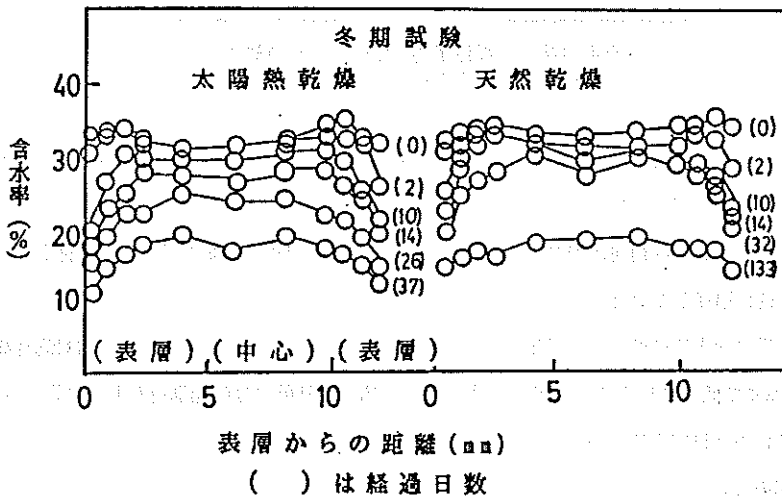
また、制御は室内湿度と設定湿度の差で行う方式(第2表)とし、この差が1%以上になると加湿器または排気ファンのON・OFF制御が行われる。循環ファン4機を終始稼働させた。

2 乾燥経過

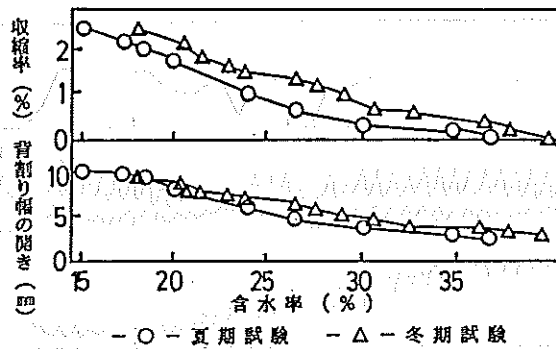
(1) 温湿度、含水率の経過

第8図に、冬期試験の乾燥室内の温湿度、気温、全日照量および乾燥経過を示す。

乾燥中期を除くと乾燥室内の最高温度はほぼ45℃以上を超え、特に全日照量の多い日などは50℃近



第9図 乾燥過程における厚さ方向の含水率分布



第10図 含水率と背割り幅の開き及び反対面の収縮率との関係

第3表 乾燥終了時の割れ、狂いなど

| | 冬期試験 | |
|-------------|-------|------|
| | 太陽熱乾燥 | 天然乾燥 |
| 含水率 (%) | | |
| 乾燥開始時 | 42 | 40 |
| 乾燥終了時 | 18 | 18 |
| 乾燥日数 | 37 | 133 |
| 収縮率 (%) | 2.3 | 2.0 |
| 背割り幅 | 3.2 | 2.1 |
| 曲がり (mm/3m) | 3.6 | 2.7 |
| 割れ発生 | | |
| 木口 (mm) | 895 | 3016 |
| (数) | 26 | 8 |
| 材面 (mm) | 234 | 3443 |
| (数) | 4 | 23 |

* 背割り幅は乾燥終了時/乾燥開始時の割合
割れは供試材1本当りの発生数、総長さ

くまで上昇し、外気に較べて 35℃程度高かった。最低温度は 10℃～20℃の範囲を変動し、乾燥進行とともに高くなる傾向が見られた。

また、湿度条件も乾燥初期は加湿器の稼働により関係湿度が 80%程度に保たれ、全体としてスケジュールにはほぼ正確に追従していた。

太陽熱乾燥の含水率の低下は、天候不順であった中期にやや鈍ったかに見えるが、ほぼ直線的に低下し、含水率 20%まで低下させるのに約 27日を要した。一方、天然乾燥は乾燥進行が非常に遅く同含水率まで低下するのに 100日以上要した。

(2) 含水率の分布

乾燥経過中に厚さ方向の位置によって含水率傾斜が生じ、この分布状態は経過時間とともに変化する。

第9図に、乾燥過程における厚さ方向の含水率分布の変化を示す。乾燥初期の表層とともに背割り部分も低い分布状態から、乾燥進行とともに全体的に平坦となる。含水率20%程度の乾燥終了時でも内層と外層では10%以上の差が見られた。一方、天然乾燥では20%まで乾燥するのに長時間を要し、含水率も徐々に低下するため水分傾斜は殆どなかった。

3 乾燥材の収縮、割れと背割り幅の開き

第10図に、含水率と背割り幅の開き及び反対面の収縮率との関係を示す。収縮率は含水率の低下とともにほぼ直線的に増加した。一方、背割り幅の開きも同様な経過をたどるが含水率20%以下では殆ど増加しなかった。しかし、含水率20%までは直線的に増加しているため、さらにデータを蓄積していけば、背割り幅から乾燥材のおおよその含水状態の推定が可能ではないかと思われる。

第3表に、乾燥終了時の割れ、狂いなどを示す。太陽熱乾燥の割れ発生は、木口割れの多さが目立つ程度であり、いずれも等級に影響するものでない。これに対して、天然乾燥では多数の長い割れが発生し、化粧用途には不向きであった。

また、乾燥終了時の曲がり、収縮率、背割り幅の開きは天然乾燥と較べていずれも大きかった。

電熱式加湿機を利用した太陽熱乾燥の冬期試験の結果、ヒノキ柱材を殆ど割れなくしかも天然乾燥の1/4程度の日数で乾燥できた。しかし消費電力量が著しく多かったため夏期ではなんらかの節電対策が必要である。

6 夏期試験

1 乾燥条件

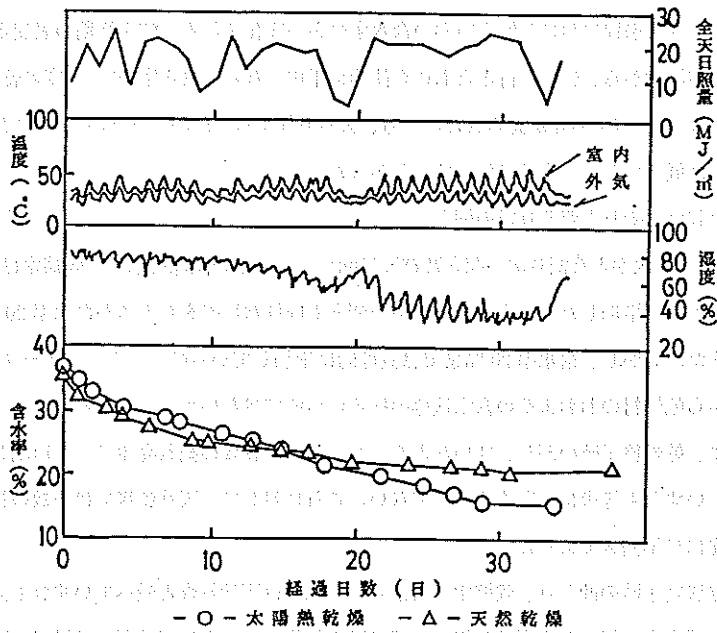
乾燥スケジュールは冬期のスプレー式に準じた。また、冬期試験の結果から、節電目的に制御方法を次のように修正した。終始4機稼働させていた循環ファンを、含水率25%以上の午前6時から午後8時まで4機稼働とし、それ以外は材の含水率、時間により2機とした。さらに、設定湿度と室内湿度の差1%以上で加湿機または排気ファンのON・OFF制御を行っていたが、夏期では2%差とした(第3表)。

2 乾燥経過

(1) 温湿度、含水率の経過

第11図に、乾燥室内の温湿度、気温、全日照量および乾燥経過を示す。乾燥中の室内最高温度は前半45~50℃前後まで上昇し、特に晴天で全日照量の多い日の続いた後半では55℃前後まで上昇した。一方、最低温度は前半25℃、後半35℃前後に保たれており、夜間でも良好な温度状態であった。また、最高温度が気温よりも10℃程度しか上昇しない日が前半に多かったが、この原因は、やや過剰のスプレー量のため湿度が下がらずに結果として空気熱を奪ったためであると思われる。

太陽熱乾燥と天然乾燥の乾燥経過を比較してみると、乾燥半ばまでは同様に含水率が低下していたが、以降は前者がほぼ直線的に低下するのに対して後者はゆるやかに低下した。含水率20%まで要した乾燥日数は太陽熱利用乾燥の22日程度に対して天然乾燥が38日程度であり約1.7倍要した。



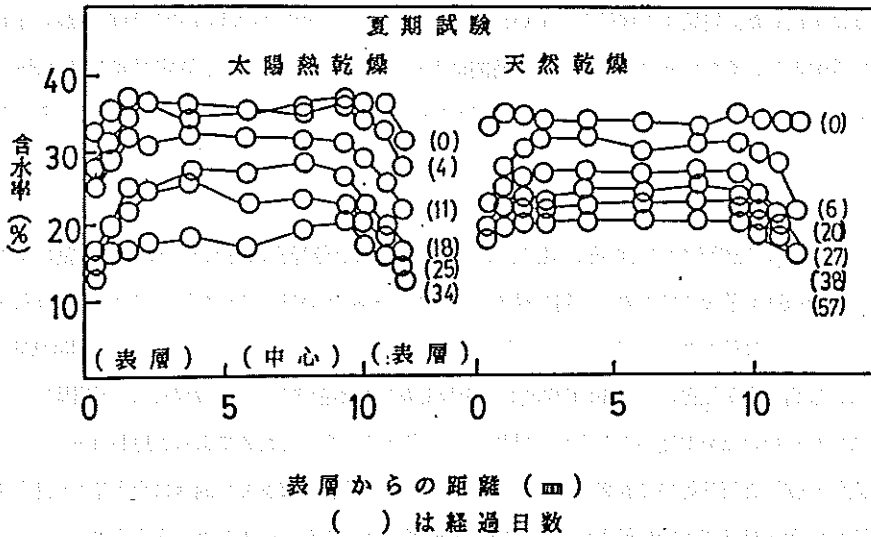
第11図 夏期試験の乾燥条件と乾燥経過 (平成3年7月18日~8月21日)

(2) 含水率の分布

第12図に、含水率分布の経時変化を示す。冬期試験の結果とほぼ同様な傾向を示したが、終了時の内・外層の差は冬期ほどなく数%であった。

3 乾燥材の収縮、割れと背割り幅の開き

第10図に、含水率と背割り幅の開き及び反対面の収縮率との関係を示す。背割り幅の開きと収縮率の



第12図 乾燥過程における厚さ方向の含水率分布

どちらも冬期試験の結果とほぼ同様な傾向を示したが、含水率 20 % 以下での背割り幅の開きの横ばい傾向がより顕著であった。

第 4 表に、乾燥終了時の割れ、狂いなどを示す。太陽熱乾燥は乾燥初期に極僅かの割れが発生した程度

第 4 表 乾燥終了時の割れ、狂いなど

| | 夏期試験 | |
|----------------|-------|------|
| | 太陽熱乾燥 | 天然乾燥 |
| 含水率 (%) | | |
| 乾燥開始時 | 40 | 36 |
| 乾燥終了時 | 15 | 19 |
| 乾燥日数 | 34 | 57 |
| 収縮率 (%) | 2.4 | 1.4 |
| 背割り幅 | 2.4 | 1.5 |
| 曲がり (mm / 3 m) | 2.7 | 1.2 |
| 割れ発生 | | |
| 木口 (mm) | 55 | 235 |
| (数) | 3 | 8 |
| 材面 (mm) | 18 | 83 |
| (数) | 1 | 5 |

* 背割れ幅は乾燥終了時 / 乾燥開始時の割合
割れは供試材 1 本当りの発生数、総長さ

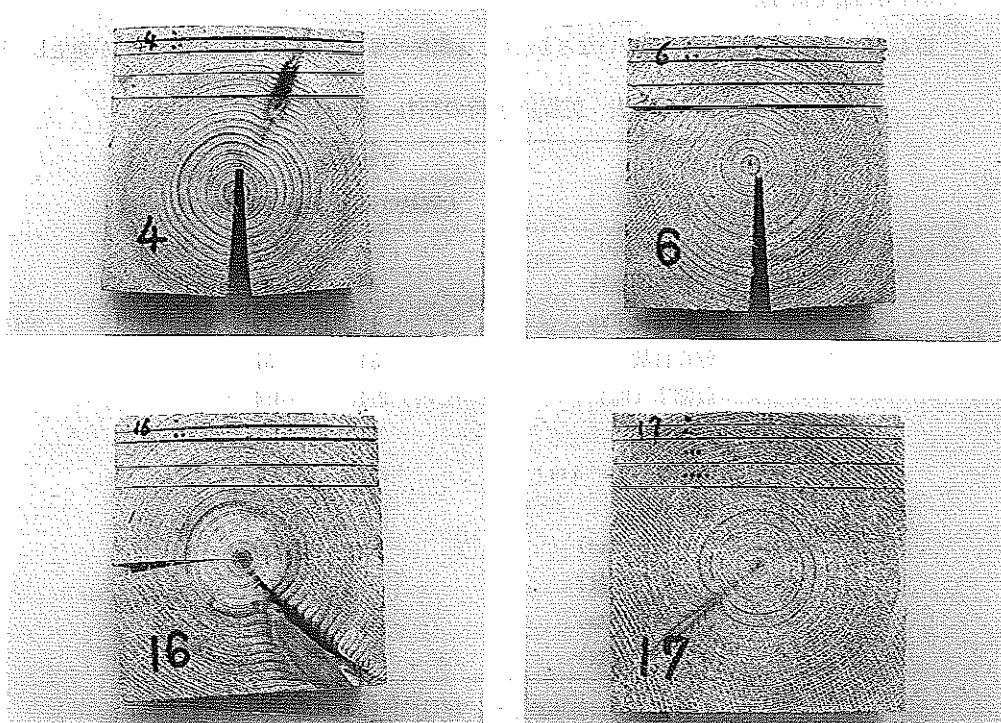
であり、冬期に較べ格段に割れ発生が少なかった。また、曲がり、収縮率、背割り幅の開きが天然乾燥に較べていずれも大きい、含水率の違いを考慮すると同程度であり、冬期より更に変形等が抑制された。

また、冬期、夏期試験とも乾燥材の含水率のパラッキが大きかったが、特に棧積み位置との関係は明確ではない。

スプレー式加湿機を利用した太陽熱乾燥の夏期試験の結果、ヒノキ柱材をほぼ割れなく天然乾燥の 1 / 2 程度の日数で乾燥できた。含水率 20 % 程度まで仕上げるのに要した電力費は約 2,800 円 / m³ であった。

4 乾燥材の内部応力

写真 3 に、夏期試験終了直後にスライスした試片の 1 例を示す。乾燥終了時の表層に圧縮セットが認められた。これは乾燥初期に生じた表層の引張セットが乾燥経過のどこかの時点で圧縮へ反転したためと思われる。夏期に準じた温湿度条件でヒノキ柱材の蒸気式乾燥試験を行ったところ、比較的早い時期に応力反転が認められた⁹⁾。このため、反転時期を境とし新たな割れの発生等が比較的少なくなると思われ、それ以降の加湿量を減らせる可能性が見いだされた。



7 乾燥経費

太陽熱乾燥装置の運転に要する直接費の主体は、加湿器、送風ファン、排気ファンの電力費である。冬期が夏期に較べて著しく経費が高いが、これは送風ファン、排気ファンの使用量が同程度であることから、電熱式加湿器の電力消費量が多かったことが原因である。電熱加湿器は効率的に蒸気を発生するなどの利点があるもののコスト面で不向きである。

久田らの報告⁹⁾によると普及型乾燥装置を用いてヒノキ柱材乾燥した場合その直接費は1,800～2,400円/m²程度としている。スプレー式加湿機を用いた夏期試験の2,800円/m²をこれと較べてみると、太陽エネルギーを利用しているにも関わらずコスト的には人工乾燥程度であり、更に低コスト化が必要なのが見られる。しかし、従来の人工乾燥材との差別化を図るに当たっては、コスト、乾燥期間のみでなく自然エネルギーの利用という点からも評価がなされるべきと考える。

8 おわりに

2種類の加湿器を利用した太陽熱乾燥でヒノキ柱材のパソコン制御による冬期、夏期試験を行った。その結果、冬期、夏期ともに割れの発生が極めて少なく、しかも天然乾燥と較べて乾燥日数を大幅に短縮できる

性能が明らかとなった。

しかし、消費電力が多く自然エネルギー利用という最大のメリットを乾燥経費に充分活かせなかった。

そこで、今後より低コスト乾燥を実現するに当たっての問題点等を以下に述べる。

- (1) 加湿方法としてはスプレー式が適しているが、小容量でより細かな粒子が噴霧できるタイプを使用する。
- (2) 装置全体の気密性を高めて収容材積を増やし、さらに排気ファンの制御を+5%差とすることで加湿量を低減する。また、夏期の日中など高温になりすぎるため、乾燥初期ではこの間の送風量を減らして温度上昇を抑える。

- (3) 雨天時あるいは冬期の夜間の乾燥を促進するため蓄熱材を使用する。

本研究の遂行にあたり終始御指導を賜った筒本卓造客員研究員に深謝致します。なお、本実験の前半部分は主として、藤本登留研究員（現在九州大学農学部）が当センターに在所中に行ったものである。

文 献

- 1) 気象ハンドブック編集委員会編：気象ハンドブック、朝倉書店、1980、P.417
- 2) 日本気象協会甲府支部編：山梨気象月表（1989）
- 3) 本多琢己、三枝茂ら：木材工業、47（9）、417-421（1992）
- 4) 野呂田隆史、千葉宗昭ら：林産試験場研究報告、72、97-124（1983）
- 5) 林業技術センター事業報告：山梨県林業技術センター、1992、P.56-57
- 6) 久田卓興、斉藤周逸：日本木材加工技術協会第5回年次大会講演要旨集（1987）、P.57-58

クランクを持つカラマツ材の曲げ特性

1 はじめに

LVLは小径丸太の有効利用を目的に開発された製品である。しかし、単板が間伐材等の小径で曲がりの多い丸太から切削されるため、得られる単板は繊維方向に短い短尺単板であり、これを製品に構成していくには単板の縦継ぎが必ず存在する。従来から製品性能に与える単板縦継ぎの影響に関する報告¹⁾は多数あり、曲げ性能についてMOEには影響は少ないが、MORには大きな影響を与え、特にLVL厚さが小さくなるとその影響は大きくなることなどが認められている。

季・大熊らは、LVLの強度に及ぼす単板縦継ぎ部の影響を調べるため、縦継ぎ部に素材に存在するクラックで代用し、断面減少と応力集中係数による評価及び応力拡大係数による評価を行い、その適用性を認めている²⁾。しかし、データの蓄積は十分とは言えず、今後の充実が望まれる。

本研究では、季らと同様の立場から、カラマツLVLの曲げ性能に及ぼす単板縦継ぎ部の影響の程度を評価するための基礎資料を得ることを目的に、初期クラック方向とクラック進行方向が直角をなすカラマツ素材について曲げ性能の検討を行ったのでここに報告する。

2 材料および実験

1 供試材料

供試材料には、山梨県産の人工林カラマツ(直径：約 30 cm)を 12 cm×12 cm×300 cmに製材後、天然乾燥したものをを用いた。この心材部分から製材によって第 1 表に示す試験片を採取した。節などを含まな

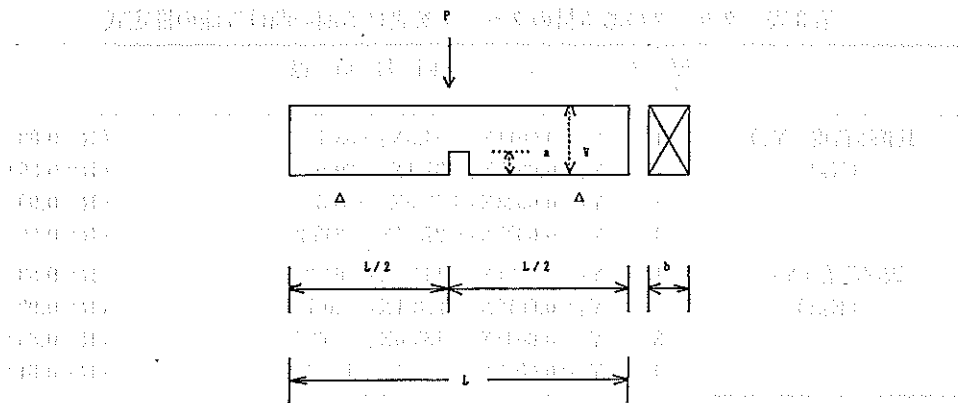
第 1 表 試験片の大きさとクラック深さの比

| 厚 さ W (cm) | 幅 b (cm) | 長 さ L (cm) | クラック深さの比 a/W |
|---------------|-------------|----------------|-------------------|
| 1, 2, 3, 4 | 4 | 16, 32, 48, 64 | 0.2, 0.3, 0.4 0.5 |

い無欠点の柾目試片とした。試片の平均含水率は約 15%、平均年輪幅は 3.3 mmであった。

2 試験方法

曲げ試験片の形状、寸法を第 1 図及び第 1 表に示す。装置はオートグラフ (IS-5000、(株)島津製作所)を用いた。スパンを厚さの 15 倍、クロスヘッドスピード 5 mm/minとし、中央集中荷重で負荷した。まず、曲げヤング係数 (MOE) を測定した後、図 1 に示したように片側の中央部に挽幅 2 mm の丸ノコ



第1図 試験片の形状

で所定の深さに溝を付け、さらにその低部に厚さ方向に垂直にカッターで深さ1mmのき裂を入れた。本研究では、丸ノコによる溝の深さとカッターによるき裂の深さ1mmを合わせてクラックとする。クラックの深さは表1に示すように、試験片厚さの0.2～0.5倍とした。試験片の数は一条件につき10個ずつである。なお、測定時の温湿度は成行きまかせとした。

また、クラックの無い材の基礎材質を調べるために、試片の寸法効果の影響を考慮にいれて、厚さごとに40個の曲げ試験を行った。なお、試験の条件は上記に同じである。

3 結果及び考察

1) クラックのある材のクラックを設ける前の曲げ比例限荷重 (Pop)、曲げ破壊荷重 (Pob) の推定。

第2表 比重および曲げ試験結果のバラツキ

| | 厚さ(cm) | 最小値 | 平均値 | 最大値 | 標準偏差 |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|
| 比重 | 1 | 0.422 | 0.611 | 0.688 | 0.079 |
| | 2 | 0.438 | 0.575 | 0.753 | 0.086 |
| | 3 | 0.422 | 0.604 | 0.719 | 0.084 |
| | 4 | 0.423 | 0.612 | 0.732 | 0.083 |
| MOE (10 ³ kgf/cm ²) | 1 | 5.20 | 9.36 | 12.74 | 2.02 |
| | 2 | 5.04 | 10.18 | 13.66 | 2.49 |
| | 3 | 5.28 | 9.51 | 14.22 | 2.66 |
| | 4 | 5.95 | 9.74 | 13.05 | 2.05 |
| 比例限荷重 (kgf) | 1 | 84 | 122 | 173 | 22 |
| | 2 | 100 | 175 | 270 | 42 |
| | 3 | 214 | 273 | 412 | 70 |
| | 4 | 208 | 336 | 496 | 71 |
| 破壊荷重 (kgf) | 1 | 87 | 170 | 268 | 42 |
| | 2 | 154 | 331 | 467 | 67 |
| | 3 | 214 | 452 | 641 | 103 |
| | 4 | 412 | 601 | 754 | 101 |

第3表 クラックのある材のクラックを設ける前の曲げ性能の推定式

| | 厚さ (cm) | 回 帰 直 線 | |
|----------------------------------|------------|--------------------------------------|----------|
| 比例限荷重 (Y ₁) (Kgf) | 1 | $Y_1 = 0.0011X_1 - 54.5X_2 + 53.7$ | (R=0.88) |
| | 2 | $Y_1 = 0.0015X_1 - 37.1X_2 + 39.0$ | (R=0.86) |
| | 3 | $Y_1 = 0.0023X_1 + 43.0X_2 + 28.5$ | (R=0.90) |
| | 4 | $Y_1 = 0.0027X_1 - 275.4X_2 + 243.2$ | (R=0.66) |
| 破壊荷重 (Y ₂) (Kgf) | 1 | $Y_2 = 0.0021X_1 - 144.9X_2 + 64.2$ | (R=0.83) |
| | 2 | $Y_2 = 0.0018X_1 + 228.1X_2 + 20.7$ | (R=0.90) |
| | 3 | $Y_2 = 0.0035X_1 - 135.0X_2 + 202.7$ | (R=0.85) |
| | 4 | $Y_2 = 0.0038X_1 + 74.9X_2 + 185.4$ | (R=0.81) |

X₁: MOE (×10⁶ Kgf/cm²)

X₂: 比重

クラックの無い材の比重、MOE、曲げ比例限荷重、曲げ破壊荷重のパラッキを第2表に示す。

クラックの無い材の曲げ試験の結果をもってクラックのある材のクラックを設ける前の曲げ性能とすることもできようが、ここでは、クラックの無い材のMOE、比重を説明変数とする重回帰を行い回帰式を求めた。この結果を第3表に示す。以後、クラックのある材の曲げ試験に用いる試片のクラックを設ける前の曲げ比例限荷重及び曲げ破壊荷重の推定値を、当該試片の比重とMOEを回帰式に代入することにより得た。

2 応力集中係数

クラックを持つ木材の強度を評価する場合、これまでの報告によれば、クラックによる強度の低下率が

第4表 Mnp/Mnbと応力集中係数

| 厚さ W (cm) | クラック深さの比 a/w | Mnp/Mnb | a/bp | a/bb |
|--------------|-----------------|---------|------|------|
| 1 | 0.2 | 0.80 | 0.97 | 0.83 |
| | 0.3 | 0.78 | 0.72 | 0.62 |
| | 0.4 | 0.74 | 0.50 | 0.46 |
| | 0.5 | 0.74 | 0.36 | 0.32 |
| | 0.5 | 0.71 | 0.37 | 0.29 |
| 2 | 0.2 | 0.61 | 1.03 | 0.91 |
| | 0.3 | 0.67 | 0.73 | 0.60 |
| | 0.4 | 0.72 | 0.57 | 0.43 |
| | 0.5 | 0.71 | 0.37 | 0.29 |
| | 0.5 | 0.71 | 0.37 | 0.29 |
| 3 | 0.2 | 0.70 | 0.73 | 0.66 |
| | 0.3 | 0.70 | 0.59 | 0.53 |
| | 0.4 | 0.70 | 0.44 | 0.39 |
| | 0.5 | 0.75 | 0.31 | 0.25 |
| | 0.5 | 0.75 | 0.31 | 0.25 |
| 4 | 0.2 | 0.61 | 0.59 | 0.61 |
| | 0.3 | 0.71 | 0.52 | 0.45 |
| | 0.4 | 0.60 | 0.39 | 0.40 |
| | 0.5 | 0.66 | 0.25 | 0.23 |
| | 0.5 | 0.66 | 0.25 | 0.23 |

断面係数の低下率に比例するとして次式のように表せる。

$$M_n/M_o = \alpha b \cdot Z_n/Z_o$$

ここで、 M_o 、 M_n ：クラックのない材およびクラックのある材の曲げモーメント

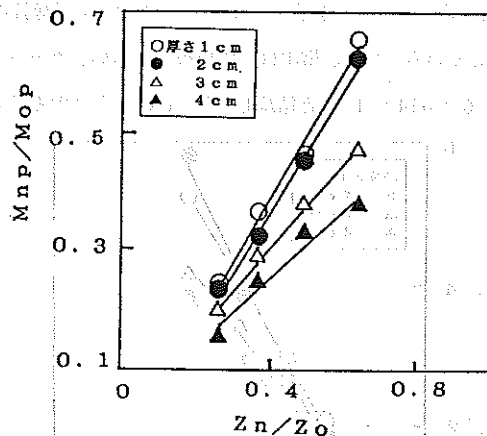
Z_o 、 Z_n ：クラックのない部分およびクラックのある部分の断面係数

αb ：応力集中係数

一方、クラックのない試験片においては最大応力に対する比例応力の比はほぼ一定であることが認められているが、クラックを持つ試験片の場合は第4表に見られるようにクラック深さによってその比も変わるので、ここでは最大応力時と比例応力時の応力集中係数を別々に求めることにした。

まず、比例応力時の応力集中係数 α_{bp} とクラック深さの試験片厚さに対する比および試験片厚さとの関係を調べるため、第2図にクラックのある試験片のクラックのない試験片に対する比例限曲げモーメントの比 (M_{np}/M_{op}) とその断面係数の比 (Z_n/Z_o) との関係を示した。この図によると厚さの等しい試験片の間では両者は直線関係にある。すなわち、 α_{bp} は試験片の厚さが一定であればクラック比によらず一定になる。一方、試験片の厚さが厚くなると直線の傾きが小さくなる傾向を示している。これは比例応力時の応力集中係数 α_{bp} は試験片の厚さに関係することを示している。そこで、これらの傾きと試験片の厚さとの関係を図示すると第3図のようになり、この図から両者の関係を求めると次のような式が得られる。

$$\alpha_{bp} = 1.15T^{-0.45} \quad (RY=0.81)$$

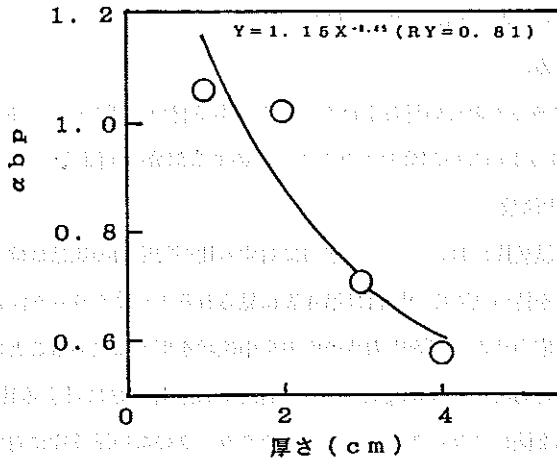


第2図 M_{np}/M_{op} と Z_n/Z_o の関係

M_{np} 、 M_{op} ：クラックのある材およびクラックのない材の比例限における曲げモーメント

Z_n 、 Z_o ：クラックのある部分およびクラックのない部分の断面係数

次に、最大応力時の応力集中係数 α_{bb} について、クラックを持つ試験片のクラックのない試験片に対する最大曲げモーメントの比 (M_{nb}/M_{ob}) とその断面係数の比 (Z_n/Z_o) との関係を調べた。これを第4図に示す。この図によると厚さの等しい試験片の間では両者は直線関係にある。すなわち、 α_{bb} は

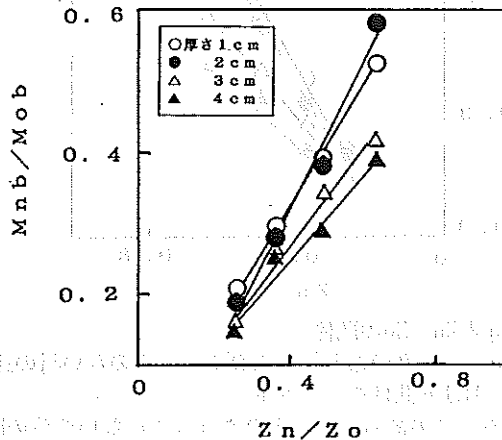


第3図 比例限度力における応力集中係数 (α_{bp}) と試験片厚さの関係

試験片の厚さが一定であればクラック比によらず一定になる。一方、試験片の厚さが厚くなると直線の傾きが小さくなる傾向を示している。これは最大応力時の応力集中係数 α_{bp} は試験片の厚さに関係することを示している。そこで、これらの傾きと試験片の厚さとの関係を図示すると第5図のようになり、この図から両者の関係を求めると次のような式が得られる。

$$\alpha_{bb} = 1.03 T^{-0.39} \quad (RY = 0.98)$$

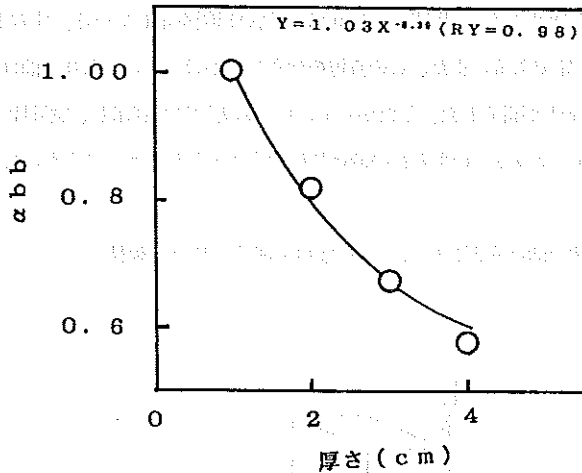
因みにこの α_{bb} の値は、季・大熊らの報告²⁾ ではクラック比にも試験片の厚さにも関係せず常に一定 ($\alpha_{bb} = 1.05$) であるとしている。また、増田は「終局破壊は結局、クラックのない部分のみの断面と考えて求めた予測値で生ずる ($\alpha_{bb} = 1$)」と結論した³⁾。このように本実験ではこれらと異なる傾向が得



第4図 M_{nb}/M_{ob} と Z_n/Z_o の関係

M_{nb}, M_{ob} : クラックのある材およびクラックのない材の最大応力における曲げモーメント

Z_n, Z_o : クラックのある部分およびクラックのない部分の断面係数



第5図 最大応力における応力集中係数 (α_{bb}) と試験片厚さの関係

られた。このことは次のように説明できよう。初期クラックが繊維方向と直角方向に入っている木材においては、荷重によるクラックの進行方向は初期クラック方向と直角方向、すなわち繊維方向になる。この方向にクラックが拡大進行し、最終的には初期クラック部を除いた残りの断面に等しい様断面を持つ試験片と同一の破壊条件になるはずである。ところが、本実験の場合、クラックの進行方向が初期クラックと直角方向であるにも関わらず α_{bb} が 1 より小さい値となった。これは、クラックが必ずしも水平に進展せず、繊維の乱れなどの影響も手伝って有効な断面を減少させ、 α_{bb} が 1 より小さくなったことと、本実験の「最大応力」が増田の言う「終局破壊」と異なることなどが原因と解される。事実、クラックの進行方向を観察してみると、一部材軸に対して斜めに進行するものも見受けられた。なお、クラックがほぼ水平に進展しているにも関わらず α_{bb} が 1 より小さいという報告もある⁴⁾。

3 見かけの応力拡大係数

直交異方性を持つ木材のモード I の応力拡大係数を求める場合、初期クラック面に垂直面の方向と初期クラック方向によって 6 つの基本システムに分けられる。本実験におけるクラックはその中の LT システムに該当する。これを第 6 図に示す。LT システムの場合は初期クラック方向とクラック進行方向が一致しない。そのため、LT システムにおいては応力拡大係数の計算式を適用することは厳密にはできない。ここでは、クラックの進行が起こる寸前までの、いわゆる弾性限度領域での応力集中状態に関するパラメータとしての見かけの応力拡大係数を求めることにした。応力拡大係数 (K_{Ic}) は等方性材料の次式⁵⁾により示せる。

$$K_{Ic} = \sigma n \sqrt{\pi a f(a/w)}$$

ここで、 σ : 公称比例限応力, a : クラック深さ, w : 試験片の厚さ

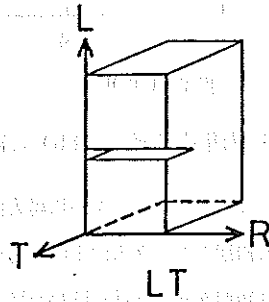
$$f(a/w) : 1.122 - 1.4(a/w) + 7.33(a/w)^2 - 13.08(a/w)^3 + 14(a/w)^4$$

いま、 $1/\sqrt{\pi a f(a/w)}$ に対して σn をプロットしたものを第 7 図に示す。この図によると両者の関

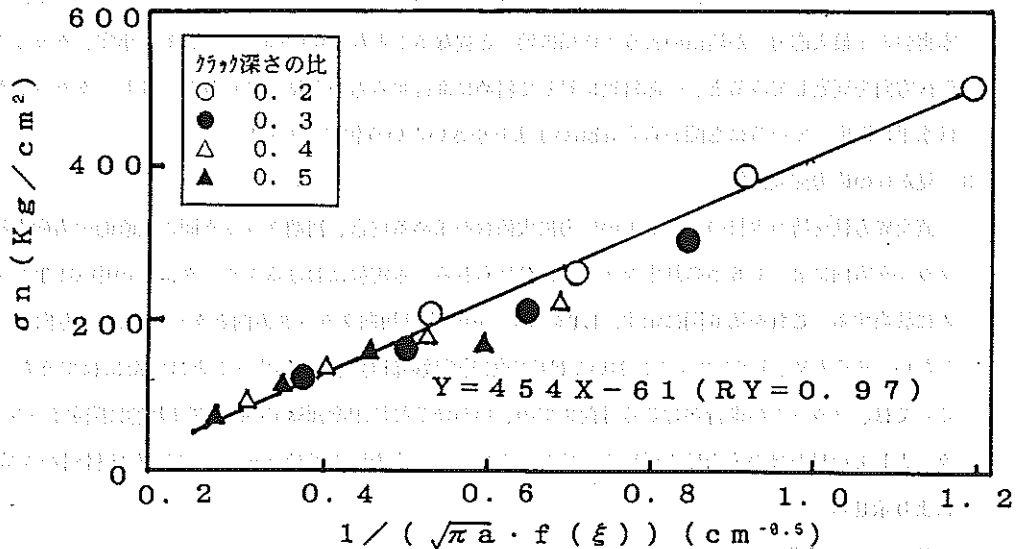
係は直線関係であり、その回帰直線の相関係数は0.97と高い相関を示している。すなわち、 K_{Ic} の値は試験片の形状に関係せず一定である。また、この直線の傾きは見かけの K_{Ic} であり、曲げ試験におけるカラマツ素材の $K_{Ic}=454 \text{ kg/cm}^{1.5}$ が得られた。したがって、 K_{Ic} の実験値を利用し、試験片の厚さに対するクラックの比を知ることにより、クラックのある材の曲げ比例限度力を評価できることが認められた。

4 見かけのヤング係数

クラックのある試験体の曲げ変形は厳密にみれば初等理論に基づく弾性変形をしていないので、通常の



第6図 クラック進展システム

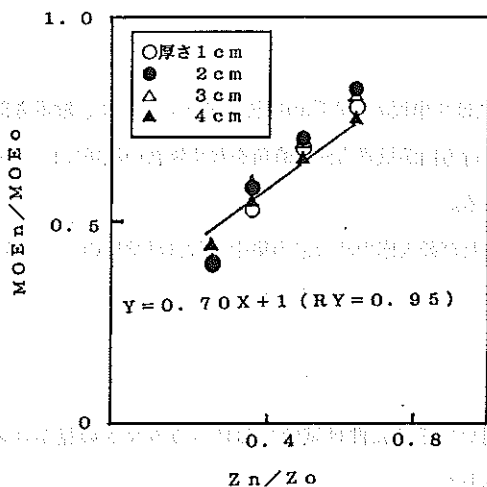


第7図 クラック深さと試片厚さを関数とした場合の比例限度

計算式によるヤング係数の算出には問題があるが、クラックのある材のたわみ特性を知るために見かけのヤング係数を比較した。見かけのヤング係数 MOE_n の値を第5表に、クラックのある材のクラックのな

い材に対するMOEの比 (MOE_n/MOE_o) とその断面係数の比 (Z_n/Z_o) との関係を図8に示す。

この図をみると試験片の厚さによる差は見られず、一つの直線関係にある。この図から両者の関係式を求めると次のようになる。



第8図 MOE_n/MOE_o と Z_n/Z_o の関係

MOE_n/MOE_o :クラックのある材およびクラックのない材の曲げヤング係数

第5表 クラック深さの比と見かけのヤング係数

| 厚さ W (cm) | クラック深さの a/w | 見かけのヤング係数 MOE_n ($\times 10^4 \text{kgf/cm}^2$) |
|--------------|----------------|--|
| 1 | 0.2 | 12.18 |
| | 0.3 | 12.61 |
| | 0.4 | 11.99 |
| | 0.5 | 13.33 |
| 2 | 0.2 | 10.49 |
| | 0.3 | 10.02 |
| | 0.4 | 9.85 |
| | 0.5 | 11.64 |
| 3 | 0.2 | 9.46 |
| | 0.3 | 9.13 |
| | 0.4 | 9.47 |
| | 0.5 | 8.93 |
| 4 | 0.2 | 8.78 |
| | 0.3 | 9.57 |
| | 0.4 | 9.54 |
| | 0.5 | 9.49 |

$$MOE_n/MOE_o = 0.697 Z_n/Z_o + 1.0 \quad (R_Y = 0.95)$$

本実験の結果からクラックのある材の見かけのヤング係数は、クラックのない材のヤング係数と断面係数の比から評価できることが認められた。

4 おわりに

カラマツLVLの曲げ性能に及ぼす単板縦継ぎ部の影響を調べるために、縦継ぎ部に素材に存在するクラックで代用して、初期クラック進行方向が繊維方向と直角をなす場合の試験片について曲げ試験を行った。得られた結果は以下のごとくである。

1) 曲げ試験における比例限時及び最大応力時の応力集中係数は試験片のクラック比とは関係せず、試験片の厚さの影響を受ける。次のような実験式が得られた。

$$\alpha_{bp} = 1.15W^{-0.45}$$

$$\alpha_{bb} = 1.03W^{-0.39}$$

2) 応力拡大係数の計算式を用いて求めた曲げ試験におけるカラマツの見かけの応力拡大係数は一定値 ($K_{rc} = 454 \text{ kg/cm}^{1.5}$) が得られた。

3) 見かけのヤング係数とクラックのない材のヤング係数の比は試験片の厚さに関係せず、試験片のクラック比の影響を受ける。次のような実験式が得られた。

$$MOE_n/MOE_o = 0.697 Z_n/Z_o + 1.0$$

文 献

- 1) 例えば藤井 毅：木材工業、37、367-374 (1982)
- 2) 季 銓済、大熊幹章：木材学会誌、31 (11)、888-895 (1985)
- 3) 増田 稔：京都大学農学部演習林報告、58、241-250 (1980)
- 4) 杉山英男、前田一彦：木材学会誌、36 (6)、491-496 (1990)
- 5) 岡村弘之：“線形破壊力学入門”、培風館、1976、P216-222

林 技 情 報 No.20

平成4年12月31日発行

発行者 西 谷 務

発行所 山梨県林業技術センター
〒400-02 山梨県中巨摩郡
白根町上今諏訪850
TEL (0552) 82-4210

印刷所 (有)平和プリント社