

国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化

目 的

現在、木材需要の大半は、住宅分野に関するものであるが、木造住宅率の低下などにより、近年の木材需要は停滞している。一方、わが国の造林地から産出されるカラマツをはじめとするスギやヒノキなどの針葉樹は、今後その供給量を増大する見通しにある。また近年の急激な円高傾向などにより、国産材は輸入材に比べ著しく競争力を低下させている。

そこで、これらの資源を有効利用するとともに、国産材を取り扱う木材産業の収益向上を図るため、木材についての高付加化技術の改良や開発を図ることが緊急に必要となっている。このような背景をふまえて、今後の針葉樹材の生産見通し及び木造住宅の品質向上の点から重要な問題である柱材の乾燥技術の開発、及びこれに付随する各種の調査・試験を実施し、国産針葉樹材の高付加価値化技術の高度化を図る。

本研究は国の補助事業「大型プロジェクト研究」として実施したものである。またここでの報告は「建築用針葉樹材の乾燥技術の開発」という課題について以下各章に分けて記した。

- I. 流通段階における実態調査
- II. 建築現場における実態調査
- III. 木造住宅部材の含水率調査
- IV. 仕上げ含水率状態とその後の形質変化の分析
- V. 心持ち柱材の乾燥スケジュールの確立
- VI. 乾燥前処理方法の検討 葉枯らし材の材質試験
- VII. カラマツ建築材の乾燥に伴う寸法変化について
- VIII. スギ板材の人工乾燥（低温、中温、高温）
- IX. カラマツ材の乾燥温度別による強度特性

VI 乾燥前処理方法の検討 葉枯らし材の材質試験

— 材色調査、乾燥試験、非破壊曲げ剛性試験 —

吉田孝久
橋爪丈夫
武井富喜雄

要 旨

カラマツ及びヒノキの葉枯らし材の材質について、材色、乾燥性、曲げ剛性を一般材との比較で検討した。その結果、両樹種ともに、材色については数値的な違いは若干あるものの、人間の眼で識別できる差は出てこなかった。また、乾燥性については、製材後の両者の含水率はほとんど変わらず、また乾燥速度や形質変化においても違いは現われなかった。なお、曲がりについては一般材に比べ葉枯らし材の方がその発生量が少なかったが、これは葉枯らしの影響であるとは断定できなかった。

強度的な性質を調べる非破壊曲げ剛性試験の結果においても、一般材と葉枯らし材の差は認められなかった。

なお、この試験は長野営林局との共同研究で、当センターでは材質試験を請け負った。また、ここで実施された葉枯らしは、梢端より3mまでの枝葉を残した部分葉枯らしで、全枝葉を残したものと異なる。

1. 試験の目的

葉枯らし材の材質を究明することにより、葉枯らしの効果的な生産方法及び利用方法を検討し、国産針葉樹材の需要拡大を図る。

2. 試験の方法

カラマツ及びヒノキについて実施し、カラマツについては南佐久郡臼田町で実施した葉枯らし材（平均胸高直径30cm）20本と比較材として同一林分から得た一般材20本を供試木とした。樹齢は64年生である。また、ヒノキについては、木曽郡大桑村で実施した葉枯らし材（平均胸高直径22cm）20本と同一林分から得た一般材20本を供試木とした。樹齢は76年である。（表-1）。

カラマツ葉枯らし材は1990年7月4日に伐倒し約2ヶ月間葉枯らしを実施したものであり、またヒノキ葉枯らし材は1990年8月27日に伐倒し約3ヶ月間葉枯らしを実施したものである。得られた供試木は、両者共に12.5cm正角に製材し背割りを付した。

(1) 材色調査

葉枯らし材と一般材との色の違いを調べるため、背割りの反対面をプレーナー仕上げし、この面のL*（明度）、a*（赤味）、b*（黄味）、R（光沢）、MC（含水率）を5ヶ所ずつ測定しその平均値により両者を比較検討した。さらに、下記の式によりL*、a*、b*の平均値により視覚的な色の違いである色差（ ΔE ）及び彩度を求めた。なお、材色の測定箇所は心材部の年輪幅約1mm程度の柁目部分で行った。また、この測定は、製材後と人工乾燥後の

表 - 1 供試材の概要

樹種	生産地	試験区分	本数	樹齢	試験材
カラマツ	臼田町	葉枯し材	20本	64年	12.5 cm正角背割材
		一般材	20本	64年	12.5 cm正角背割材
ヒノキ	大桑村	葉枯し材	20本	76年	12.5 cm正角背割材
		一般材	20本	76年	12.5 cm正角背割材

2回実施した。使用した色差計は東京電色のカラーエースMODEL TC-P3である。

$$\text{色差} \Delta E = \sqrt{\Delta L *^2 + \Delta a *^2 + \Delta b *^2} \quad (\text{2点の色の距離})$$

$$\text{彩度} = \sqrt{a *^2 + b *^2}$$

(2) 乾燥試験

葉枯らし材と一般材の人工乾燥による含水率低下の状況や狂いの発生状況の違いをみるため、カラマツについては90℃高温高湿乾燥(蒸気式)を、ヒノキについては60~70℃中温乾燥を実施し、含水率の経過状況と乾燥終了後の形質変化を調査した。人工乾燥スケジュールは表-2のとおりである。含水率の測定は含水率計(DELTA-5)を原則とし、乾燥経過を追跡するためのテストピースは含水率計と全乾法との両方で含水率の測定を行った。

表 - 2 人工乾燥スケジュール

含水率 (%)	カラマツ		ヒノキ	
	乾球温度 (℃)	温度差 (℃)	乾球温度 (℃)	温度差 (℃)
5hours	90	0	—	—
生~30	90	5	60	4
30~25	90	5	65	5
25~20	90	10	65	10
20以下	90	15	70	15

(3) 非破壊曲げ剛性試験

1) 荷重積載法による非破壊曲げ剛性試験

試験材をスパン310 cmの条件で、中央部に30kgの死荷重をかけ、そのときのたわみから次式により曲げヤング率(EL)を算出した。測定は乾燥前(EL1)及び人工乾燥後(EL2)の2回とした。

$$EL = (\Delta P \ell^3) / (4 b h^3 \Delta Y) \quad EL = \text{曲げヤング率 (ton/cm}^2\text{)}$$

ℓ = スパン (cm)

b = 幅 (cm)

h = 高さ (cm)

ΔP = 初期荷重と最終荷重との差 (kg)

ΔY = ΔP に対応するたわみ (cm)

2) 基本振動周波数測定によるヤング率の測定

FFTサウンドアナライザーを用い、図-1に示すように打撃による基本振動数を測定し、ヤング率(E_d)を算出した。測定は乾燥前(E_d1)及び人工乾燥後(E_d2)の2回とした。

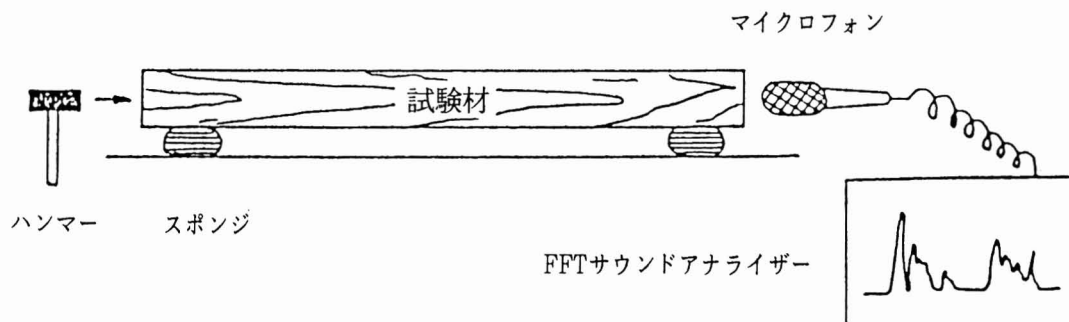


図-1 ハンマー打撃法

$$f = (E_d g / \rho)^{1/2} / 2L \quad \text{ただし } f : \text{基本振動周波数 (Hz)}$$

L : スパン (cm)

E_d : 曲げヤング率 (ton/cm²)

g : 重量加速度

ρ : 密度

(構造材料としての製材品の強度と規格: 全木連)

3. 試験の結果

(1) 材色調査

材色調査について、L*、a*、b*表色系による表示によりその概要を表-3、表-4及び図-2、図-3に示した。

1) カラマツ (表-3、図-2)

① 人工乾燥前 (葉枯らし終了後)

L* (明度)、a* (赤味)、b* (黄味)、R (光沢)、含水率のそれぞれについて、平均値の差の検定 (t-検定: 5%水準) を行ったところ、乾燥前 (含水率 40%) の材色については、葉枯らし材と一般材との間に有意な差があるのはL* (明度) であり、他のものについては有意な差は認められなかった。つまり、葉枯らし材は一般材に比べ明度のみが若干低下している。

一般に材色は、表面の粗さや年輪、水分等のいくつかの物理的因子により影響を受けるが、今回の試験では、L* (明度) の低下についての原因は不明である。考えられるのは材内成分の酸化による変質変色かあるいは成分量の低下等であるがこれも定かではない。

② 人工乾燥後

乾燥後 (含水率 14%) の材色においては、乾燥処理温度が90℃とかなり高温処理であったことと含水率の低下が原因して、乾燥前のものに比べ全ての要素の数値が低下し、白さとあざやかさ (彩度: $\sqrt{a^*^2 + b^*^2}$) を失った。この中で、葉枯らし材と一般材との測定値に有意な差が認められたのはa* (赤味) である。しかし、この差異の原因について

は不明である。

葉枯らし材と一般材について、個々の測色結果は以上であるが、両者のトータル的な色の違いである色差 ΔE ($(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$: 2点の色の距離)は、乾燥前で2.2357、乾燥後で1.6907であった。資料によればいずれも「感知し得る色差」という結果となった。しかし、実際には、各20本ずつ並べられた両者を識別するのは非常に困難であり、色別に2分することは不可能といってもよい。また、どちらの色のほうがよいかということは別問題である。なおここで言う「感知し得る色差」とは、同一色に塗られたプレートと比較する場合に有効であって、木材のように年輪あるいは節といった様々な要素の混在した物を比較する場合には、このとおりにはないようである。いずれにしても、葉枯らし材と一般材との間に人間の眼で識別できる色の差はないといえよう。

葉枯らし材と一般材の色差からは離れるが、人工乾燥前と人工乾燥後の色差についてはカラマツの場合、乾燥温度の影響と思われるが図-2の楕円で示したように明かな色差が現われた。

表-3 材色調査結果(カラマツ)

カラマツ			L*(明度)	a*(赤味)	b*(黄味)	(彩度)	R(光沢)	含水率(%)
乾燥前	葉枯し材	平均	73.29	12.00	30.90	33.31	5.08	38.43
	一般材	平均	74.60	11.48	31.84	33.96	5.85	40.56
乾燥後	葉枯し材	平均	70.41	10.74	28.53	30.57	4.18	13.93
	一般材	平均	70.10	8.53	28.72	30.05	4.06	14.92

★ 色差 乾燥前: $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} = 2.2357$
 乾燥後: $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} = 1.6907$

★ t-検定(5%水準): significant(有意)

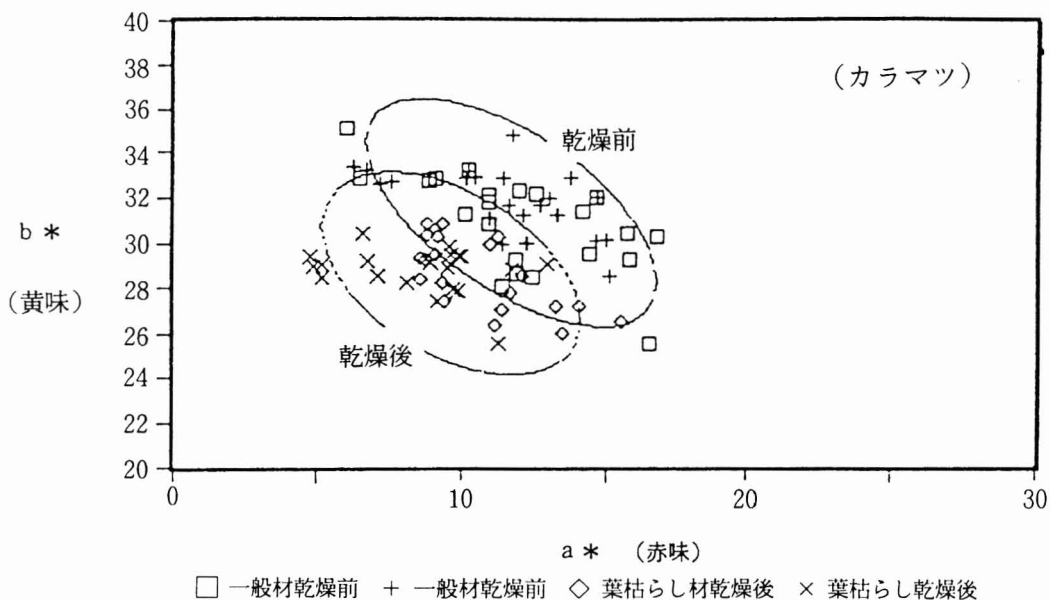


図-2 カラマツの色度図

2) ヒノキ (表-4、図-3)

人工乾燥前と乾燥後において、葉枯らし材と一般材との色の違いを各要素 (L*、a*、b*、R等) でみると、両者間に有意な差があるのは乾燥前のR (光沢) のみであり、乾燥後には差がなかった。木材の光沢は材表面の光の反射度合であり、一般に材表面の凹凸つまり粗さに関係している。今回の測定面はプレーナー仕上げをして、両者の条件は統一したため、両者の違いの原因については、含水率等他の諸条件を考慮しても明確でない。

両者のトータル的な色の違いである色差 (ΔE) は、乾燥前で1.4035「わずかな色差」となり、乾燥後で1.8975「感知し得る色差」となった。しかし、カラマツの項でも述べたとおり葉枯らし材と一般材の区別は難しく、結論的に人間の眼で識別できる色の差はないということになる。

(2) 乾燥試験

12.5 cmに製材された材の人工乾燥前の含水率について、一般材と葉枯らし材とに差があるのかを含水率計 (DELTA-5) によりみてみると、カラマツについては、一般材が35~47%、

表-4 材色調査結果 (ヒノキ)

ヒノキ			L* (明度)	a* (赤味)	b* (黄味)	(彩度)	R (光沢)	含水率 (%)
乾燥前	葉枯し材	平均	83.51	11.51	31.55	33.80	7.79	30.82
	一般材	平均	82.32	11.44	32.29	34.41	6.39	32.26
乾燥後	葉枯し材	平均	82.67	9.96	32.25	33.88	6.54	12.41
	一般材	平均	82.95	11.74	31.68	33.94	6.86	12.32

★ 色差 乾燥前: $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} = 1.4035$

乾燥後: $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} = 1.8975$

★ t-検定 (5%水準) : significant (有意)

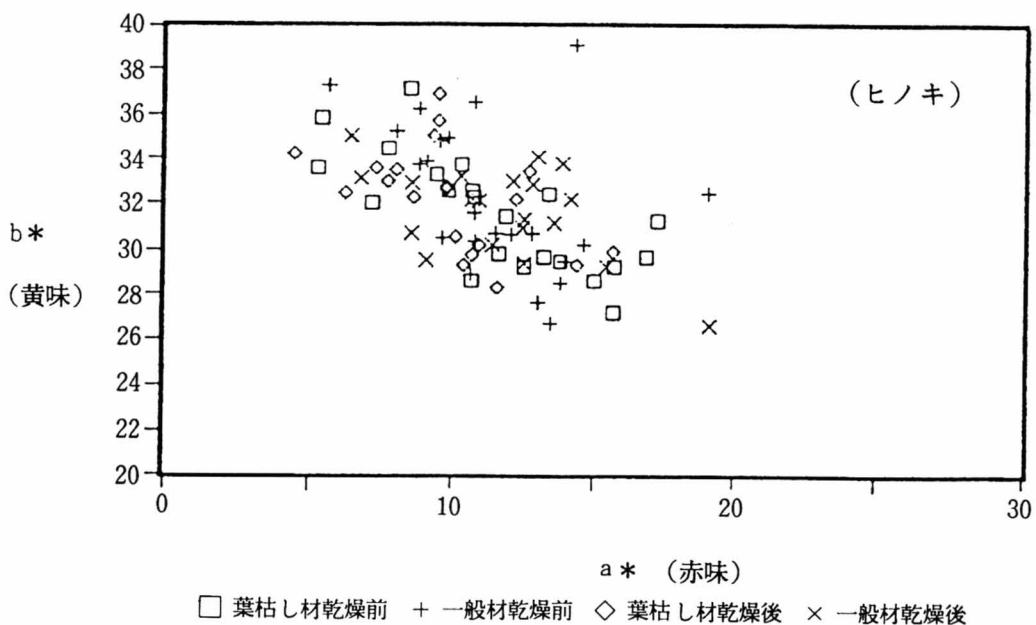


図-3 ヒノキの色度図

平均38%に対して葉枯らし材は33~45%、平均40%とほとんど差がない状態にあった。またヒノキについても、一般材が30~35%、平均32%に対して、葉枯らし材は27~35%、平均31%とカラマツと同様ほとんど差はみられなかった。

乾燥による含水率経過を図-4に示した。カラマツ及びヒノキの両者ともに、葉枯らし材と一般材との間には含水率経過の差はほとんど認められず、カラマツについては96時間(4日間)の乾燥により一般材含水率15%、葉枯らし材含水率14%に、またヒノキについては216時間(9日間)の乾燥で一般材、葉枯らし材ともに含水率約12%に仕上がった。この時点における含水率の材内分布をみても(図-5、図-6)、若干水分傾斜は残るもののほとんど同様な状態に仕上がっている。

通常葉枯らし材は、初期含水率が低くなるため、人工乾燥に係わる経費が節約できると言われているが、今回のように両者の初期含水率にほとんど差がないものについては、時間や経費についても大きな差は現われなかった。これがスギのように生材含水率が非常に高く、一般材と葉枯らし材との間に含水率の差が大きく現われ、また製材後においてもこの差が現われる材であれば、乾燥時間への影響も大きいものと思われる。

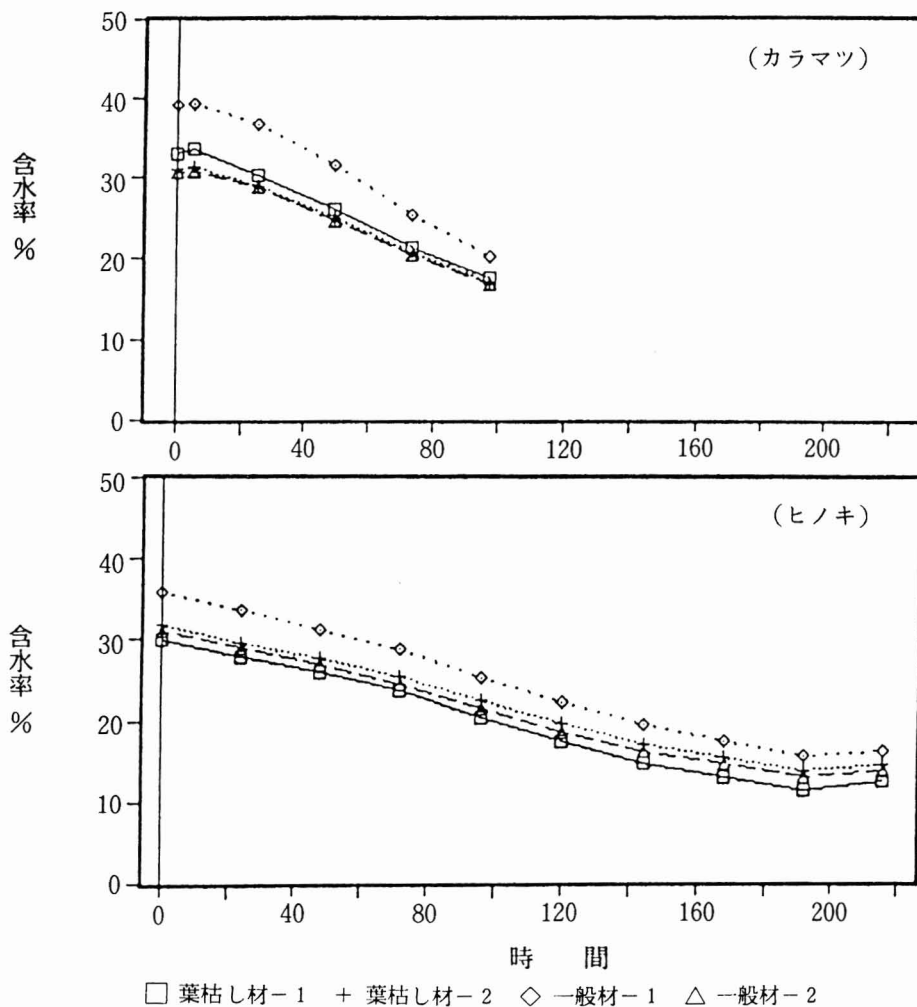


図-4 カラマツ、ヒノキ 12.5 cm 桂材の乾燥経過

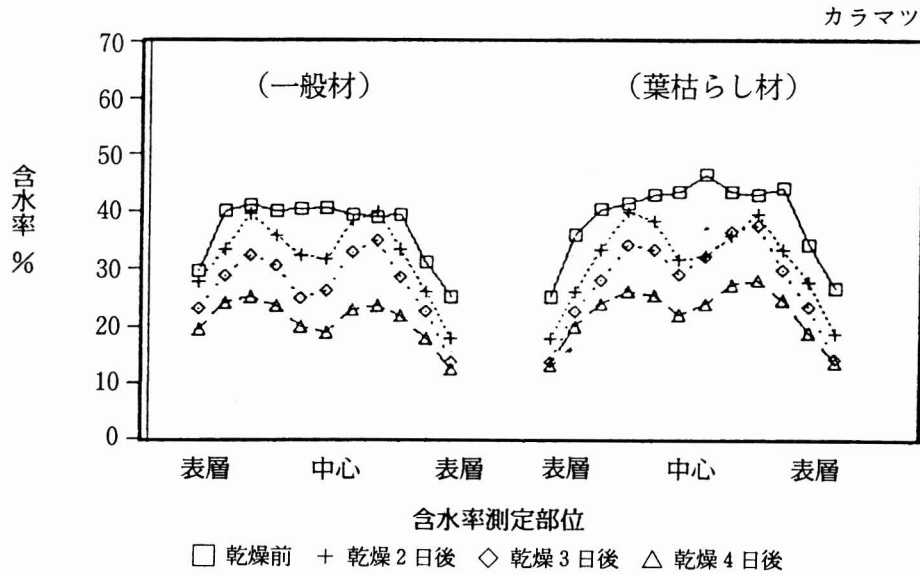


図-5 カラマツ柱材の材内含水率分布（背割り材）

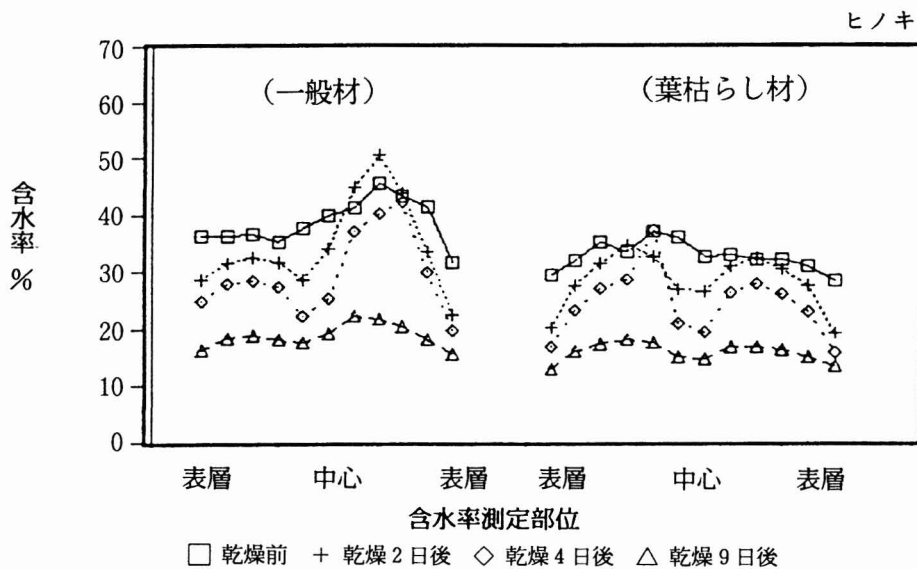


図-6 ヒノキ柱材の材内含水率分布（背割り材）

次に乾燥後の形質変化を表-5及び表-6に示す。カラマツについては、葉枯らし材と一般材を比較した場合、収縮率、ねじれ、背割り幅の開き、比重に大きな差はないが、曲がりのみ後者が前者の3倍に近い $2.0\text{ mm}/3\text{ m}$ の発生量であった。またヒノキについても同様、収縮率等葉枯らし材と一般材に大きな差はなかったものの、曲がりについては一般材の発生量が極端に大きいものとなり、一般材の曲がり発生量は葉枯らし材の曲がりの5倍にもなった。しかし、これは乾燥の前処理としての葉枯らしが原因しているというよりも、写真-1でみるように個体的な材質差が大きいように思われる。一般材の曲がり量は、乾燥前に既に $8.1\text{ mm}/3\text{ m}$ 発生しており、アテ特有の材色がはっきりと確認された。

曲がりの発生量は細胞の縦方向の収縮あるいはアテ等の材固有の材質に起因するところが大

きく、葉枯らし材であるから曲がりが少ないということの断定には再度検討する必要がある。

表-5 人工乾燥後における形質変化(カラマツ)

条件・区分		形質		収縮率(%)	曲がり (mm/3m)	ねじれ (mm/3m)	背割り幅 (mm)	比重 (乾燥材)	含水率(%) (含水率計)
		厚	幅						
葉枯し材	平均	2.55	2.26	0.7	4.1	10.4	0.56	13.9	
	標準偏差	0.52	0.42	1.3	4.5	1.6	0.03	1.6	
一般材	平均	2.47	2.11	2.0	4.3	9.8	0.55	14.9	
	標準偏差	0.42	0.48	3.0	4.2	1.3	0.03	2.3	

- ★ 初期背割り幅は、3.4mmである。
- ★ 使用した含水率計は DELTA-5である。

表-6 人工乾燥後における形質変化(ヒノキ)

条件・区分		形質		収縮率(%)	曲がり (mm/3m)	ねじれ (mm/3m)	背割り幅 (mm)	比重 (乾燥材)	含水率(%) (含水率計)
		厚	幅						
葉枯し材	平均	2.73	2.65	2.0	2.2	11.0	0.48	12.4	
	標準偏差	0.39	0.45	2.5	2.9	1.1	0.04	1.3	
一般材	平均	2.72	2.42	11.3	1.5	10.9	0.49	12.3	
	標準偏差	0.45	0.44	8.2	1.4	1.4	0.03	1.0	

- ★ 初期背割り幅は、4.8mmである。
- ★ 使用した含水率計は DELTA-5である。



写真-1 ヒノキ柱材の人工乾燥前の状態 上半分……一般材
一般材のアテによる曲がりがよくわかる。下半分……葉枯らし材

(3) 非破壊曲げ剛性試験

非破壊曲げ剛性試験結果をカラマツについて表-7 に、ヒノキについて表-8 に示した。

1) 葉枯らし材と一般材の比較

表に示すように平均値と標準偏差から判断して、カラマツ、ヒノキともに各測定法、各測定時点において、葉枯らし材と一般材とは全く差が無いと言える。

2) 剛性試験結果の評価

通常木材の曲げ試験は荷重によって木材が破壊するまで行い、その破壊荷重から曲げ強さを求める。また、試験時の荷重とたわみの関係から曲げヤング率を求める。曲げヤング率は曲げの力に対する変形のし難さ、すなわちたわみ難さを表し、値が高いほど荷重に対する変形の少ないことを示している。この値と曲げ強さは正の相関関係にあることが確かめられており、破壊試験は実施していないが曲げヤング率の高いものは、曲げ強さも大きいと判断してよい。

本試験において荷重の積載法で得られた曲げヤング率が正式な曲げヤング率である。基本振動数によるヤング率は非破壊試験の一方法として現在試験的に検討が進められているもので、通常曲げヤング率より高い値が得られており、本試験結果でも同様な結果が得られた。また、乾燥に伴いヤング率が増加することが知られており、本試験の結果でもそれは明らかである。

表-7 カラマツの非破壊曲げ剛性試験結果

条件・区分		乾 燥 前			乾 燥 後		
		ヤング率 (ton/cm ²)		試験時 含水率 (%)	ヤング率 (ton/cm ²)		試験時 含水率 (%)
		E L1	E d1		E L2	E d2	
葉枯し材	平均	114.6	117.5	38.4	118.4	121.4	19.3
	標準偏差	10.9	13.5	5.6	13.2	13.1	2.1
一般材	平均	113.5	119.1	40.6	119.5	123.9	17.8
	標準偏差	11.0	12.8	5.2	10.5	13.5	2.4

E L : スパン 310 cm、荷重 30 kg に対するたわみから求めた曲げヤング率

E d : サウンドアナライザーによる基本振動数から求めたヤング率

表-8 ヒノキの非破壊曲げ剛性試験結果

条件・区分		乾 燥 前			乾 燥 後		
		ヤング率 (ton/cm ²)		試験時 含水率 (%)	ヤング率 (ton/cm ²)		試験時 含水率 (%)
		E L1	E d1		E L2	E d2	
葉枯し材	平均	93.8	101.4	30.7	103.7	111.3	12.4
	標準偏差	7.2	10.3	3.1	8.3	10.0	1.3
一般材	平均	93.5	102.4	32.2	104.2	111.1	12.3
	標準偏差	8.7	9.8	3.2	8.8	9.7	0.6

E L : スパン 310 cm、荷重 30 kg に対するたわみから求めた曲げヤング率

E d : サウンドアナライザーによる基本振動数から求めたヤング率

通常木材が使用されるのは乾燥状態であるので、ここでは荷重試験によって得られた曲げヤング率（E L2）を用いて評価する。

カラマツの曲げヤング率（E L2）は平均値で120 ton/cm²近い値が得られており、これはカラマツの値としては極めて高い値である。当センターで蓄積した人工林カラマツの曲げヤング率の平均は約100 ton/cm²であり、試験に用いた材は相当に強度性能が高い材である。これは試験材が人工造林カラマツとしては年輪幅の希にみる狭い材であったことに起因しよう。

ヒノキの曲げヤング率も一般に100 ton/cm²程度とされており、この試験結果は通常のヒノキの強度性能を表している。

4. おわりに

葉枯らし材の特徴を考えた場合、材の含水率低下はそのほとんどが辺材部での含水率低下であり、心材部での含水率低下はそれほど多くないとされている。カラマツ及びヒノキの葉枯らし材から柱一丁取りをした場合、その柱のほとんどは心材部分で占められ、含水率低下を図った辺材部は製材時に背板としてほとんど除かれてしまう。この点を考慮しながら材色の変化や乾燥経費の節減さらには強度性能を一般材との比較の中で検討したが、その効果はほとんど認められなかった。効率的な葉枯らしには、さらに葉枯らしの時期や期間や枝部切り落としの度合といった施業方法の再検討が必要となろう。特に今回の葉枯らしの場合は、その方法が梢端より3mを残した部分葉枯らしであったため、全枝葉を残した施業方法との比較検討が必要となろう。

なお、製材については当センターでは実施しなかったが、ヒノキについて製材された時期がたまたま厳寒期であったため、一般材は凍結しておりこれに起因すると考えられる挽き曲がりが見られた。これについても再検討が必要である。