

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

VII カラマツ建築材の乾燥に伴う寸法変化について

吉 田 孝 久
橋 爪 丈 夫
武 井 富 喜 雄

要 旨

カラマツ建築材について、乾燥に伴う収縮率を調査したところ、全材種について収縮は含水率 30%付近から始まり、その後収縮率は指数関数的に増大した。含水率 20%までで収縮率はおよそ 1%、含水率 15%までで収縮率はおよそ 3%であった。

1. はじめに

高度化する社会の中で、住宅需要者は、高品質・高性能な住宅を求め、従来の軸組構法による木造住宅は、寸法安定性の確保が課題となり今や「保証する住宅」が常識化しつつある。そんな中で、建築材を供給する側は、益々木材の品質を標準化し、より工業化製品に近づける努力をしなければならぬ状況下にある。

安定した寸法の製材品を供給するためには、まず乾燥材の提供が前提となるが、製材品の乾燥前の寸法（挽立寸法）を収縮量や狂い等を考え、いくらに決定するかということは、今日寸法標準化が叫ばれる製材業界では重要な問題である。今回の試験は、この挽立寸法決定の一資料を得るため、カラマツ建築材製材品について、天然乾燥および人工乾燥を行いこれに伴う収縮率および狂いを調査しその特性を検討した。おもな検討項目は次のとおりである。

- (1) カラマツ建築材の乾燥経過
- (2) カラマツ建築材の収縮率
- (3) 含水率計による含水率と全乾法による含水率の関係

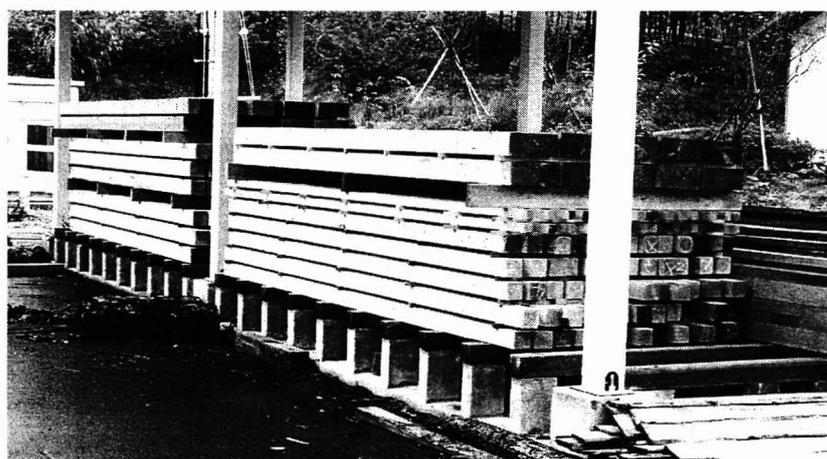


写真-1 カラマツ建築材の天然乾燥

2. 調査方法

(1) 供試材

供試材の概要を表-1に示した。本調査に供した樹種は本県代表樹種のカラマツであり、これらは諏訪郡富士見町に存するH製材工場より製材直後の製材品を入手した。材種は①たる木、根太等を想定した45mm×45mm心去り材、②母屋、大引き、束等を想定した90mm×90mm心持ち材、③同じく心去り材、④柱、土台等を想定した120mm×120mm心持ち材、⑤同じく心去り材、⑥梁、桁を想定した120mm×270mm心持ち材の6種類であり、材長はすべて4mである。なお、心持ち材には背割りは付してない。

供試材本数は各材種ごと30本、⑥についてのみ10本を用意した。

表-1 供試材の概要 長さ：4m

材種	断面寸法(mm)	本数	想定される用途
① 正割 心去り	45×45	30	たるき、根太
② 正角 心持ち	90×90	30	母屋、大引き、束
③ 正角 心去り	90×90	30	同上
④ 正角 心持ち	120×120	30	柱、土台
⑤ 正角 心去り	120×120	30	同上
⑥ 平角 心持ち	120×270	10	梁、桁

(2) 調査方法

入手した製材品は直ちに天然乾燥(写真-1)を開始したが、下記に示す調査項目について天然乾燥開始日(1989.10.3)、1週間後、2週間後、1カ月後、2カ月後、3カ月後(天然乾燥終了後)、人工乾燥終了後の計7回の測定を行った。

(3) 調査項目

幅・厚さ、含水率(含水率計による)重量は各測定時に測定し、曲がり、ねじれ及び割れについては天然乾燥終了後及び人工乾燥終了後に測定した。

(a) 幅・厚さ：製材品の木口から60cm入った位置をノギスにより幅及び厚さ(4材面)を測定した。

この寸法により天然乾燥開始時の長さを基準に各測定時の収縮率を算出した。乾燥中、測定部に割れが発生したものは収縮率算出の対象から除いた。

(b) 含水率：製材品の両木口から60cm入った位置2ヶ所及び材中央1ヶ所を4材面について計12ヶ所を含水率計により測定した。含水率計はCSA高周波式木材含水率計DELTA-5(認定機種)を使用した。1本の製材品の含水率は測定値12ヶ所の平均とした。

(c) 重量：電子天秤により測定した。各測定時での重量は、測定終了後全乾重量法による含水率の算定に用いた。

(d) 曲がり・そり：4材面のうち最大に発生している材面において、その最大矢高を測定した。

(e) ねじれ：同一平面上に3点を固定し、残り1点の平面からの持ち上がり測定した。

(f) 割れ：材面割れは、各材面で最大なものについてその長さを測定した。木口割れは、両木口から発生している割れの最大の長さを測定しこの合計を木口割れとした。

(4) 人工乾燥スケジュール

3カ月間の天然乾燥後に各材種の含水率を15%程度に均一にするため、表-2に示すスケジュールにより人工乾燥を実施した。

表-2 人工乾燥スケジュール

含水率 (%)	時間 (hr)	乾球温度 (°C)	温度差 (°C)
天乾終了	5	90	0
	3	90	5
	3	90	10
	3	90	15
~ 15		90	20

(5) 最終含水率の全乾法による決定

人工乾燥を終了した製材品は各測定項目を調査した後、木口より60cm入った部分（幅・厚さを測定した部分）を材長方向に約2cm切取り全乾法で含水率を求めた。この値から製材品全長に対する全乾重量を算定し、各測定時での含水率を算出した。

3. 調査結果及び考察

(1) カラマツ建築材の乾燥経過

1) 初期含水率について

含水率計での測定において、カラマツ製材品の平均でみた初期含水率（生材含水率）は、40%~50%の範囲内にあった。これを材種別にみた場合、心去り材である①③⑤は辺材の存在する割合が少ないため、ほとんどがカラマツの一般的心材含水率程度の40%前後であった。これに対し、心持ち材である②④⑥は、材表面に出る辺材の割合が心去り材に比べやや多かったため、含水率もバラツキがあり測定部に辺材部が存在する場合は含水率60%を越えるものもあった。

以上を全乾重量法による含水率でみた場合も、ほとんど同程度の値であった。

2) 乾燥経過と割れ

天然乾燥における各材種ごとの含水率（含水率計）の変化を図-1に、全乾法による含水率の変化を図-2に示した。

どの材種においても含水率は天然乾燥開始から急激に低下し、2週間後には約25%の含水率になった。この間の含水率低下速度は1日に約1%であり、材表層部での乾燥は急激に進んでいることが想像される。このことは、心持ち材である②④⑥すべての材種の数本に割れの発生が見られたことからもうかがえる。

含水率低下速度は2週間目を過ぎるあたりから徐々に減少し、また材種による乾燥速度の違いが現れた。断面積の小さい①は乾燥が速く断面積の大きい⑥は乾燥の速度が徐々に低下した。この時点での割れ発生状況は、⑥においてはすべての材に割れが入り、また④は半数以上に割れが入った。

断面積が大きく心持ち材である⑥④は、材内部の含水率低下の遅れにより材表層部に大きな引張応力が働いたはずである。心去り材である⑤は断面積は大きいものの材面がほとんど追

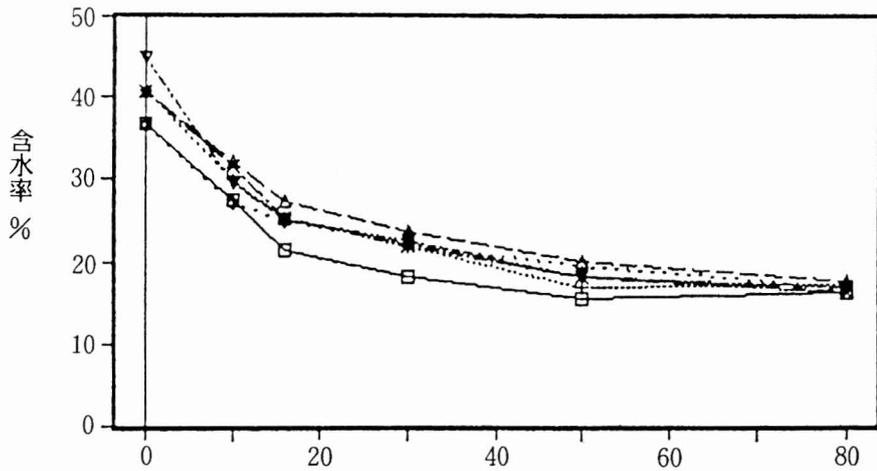
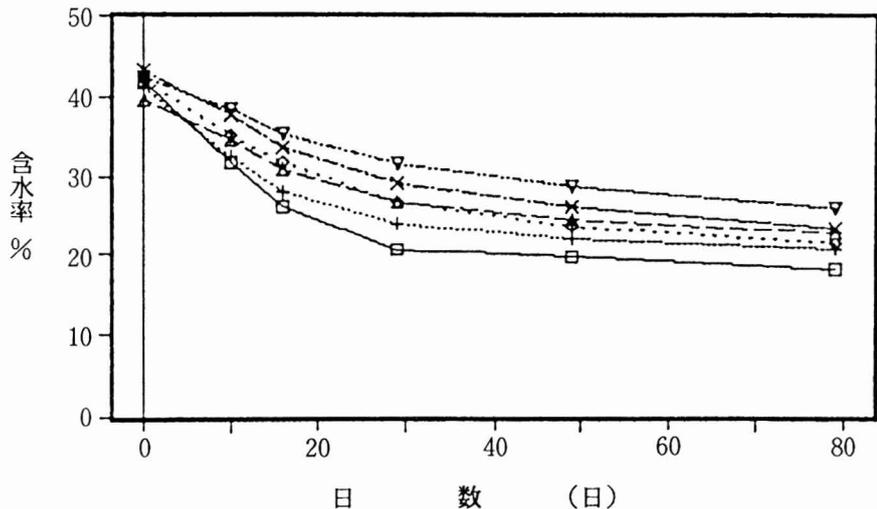


図-1 含水率経過 —含水率計—
(カラマツ天然乾燥 1989. 10. 3~12. 21)



□ 45×45 + 90×90 ◇ 90×90 △ 120×120 × 120×120 ▽ 270×120
① ② ③ ④ ⑤ ⑥

図-2 含水率経過 —全乾法—
(カラマツ天然乾燥 1989. 10. 3~12. 21)

桁であるため、収縮が少なく材表面部の引張応力も小さいため割れの発生には至らなかったものと思われる。

含水率はその後も低下を続け①は1カ月後に、②③④⑤⑥は2カ月後にそれぞれ20% (含水率計)を下回った。参考までに全乾法による含水率は、①は2カ月後に20%を下回ったものの②③④⑤⑥は3カ月後(天然乾燥終了時)においても20%以上であった。特に⑥においてはこの時点でおおよそ26%の含水率であった。

以上の結果のようにカラマツ建築材の天然乾燥は、断面の大きい桁や柱においても含水率計による含水率であれば2カ月程度で20%を下回ることがわかった。しかし、この時点での実際の含水率(全乾法)はそれよりも高く、材内部には図-3、4で示すとおりかなりの水分傾斜が残されていた。また、天然乾燥は外気や乾燥環境に左右されるものと思われ、今回の試験は写真-1に示す屋根付きの風通しの良い天然乾燥場での秋季の乾燥であったこと

を明記しておく。

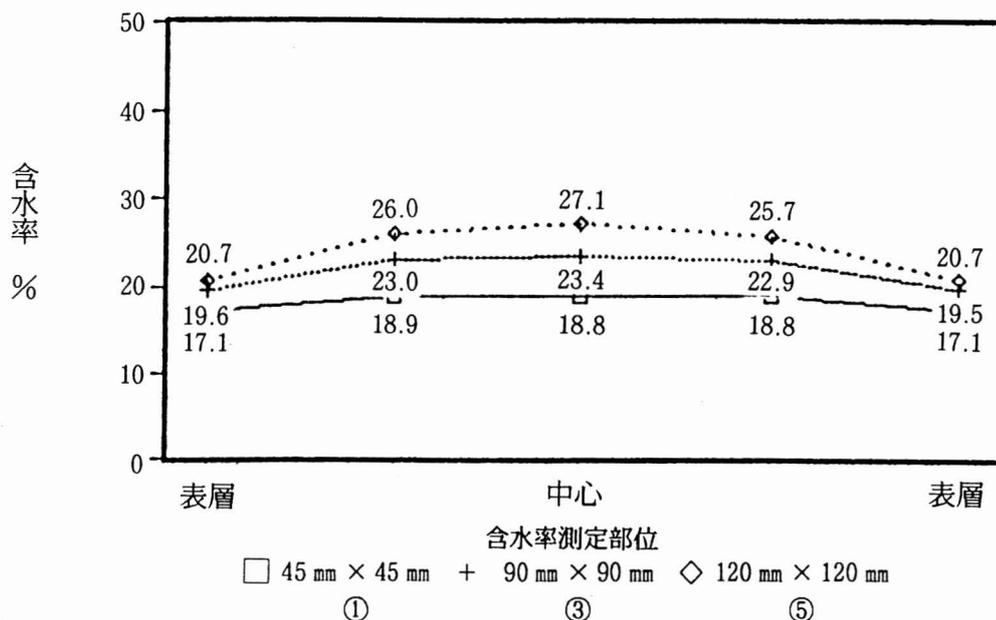


図-3 3カ月天然乾燥の材内含水率分布（カラマツ心去り材）

(2) カラマツ建築材の収縮率

1) 収縮率の変化

カラマツ製材品の天然乾燥後及び人工乾燥後の収縮率を表-3に示した。

収縮は乾燥開始直後から始まっているものと思われるが、1週間後の測定では収縮量が極少であったことと測定誤差とが相まって精度1/100mmのノギスの測定でプラス側に転じる材もあった。この時点で明らかに収縮しているものの収縮率の平均は、どの材種においても0.1%台であった。収縮が数値的に安定しはじめるのは2週間後であり、この時点での収縮率は、含水率低下の速い①で0.47%（含水率26.3%：全乾法）、含水率低下の遅い⑥で0.25%（含水率35.4%：全乾法）であった。

天然乾燥を終了したおよそ3カ月後の収縮率は、含水率の低下状態が材種別に異なるため

表-3 カラマツ建築材の天然乾燥後と人工乾燥後の収縮率

材種	断面寸法 (mm)	収縮率 (%)	
		天然乾燥後	人工乾燥後
① 正割 心去り	45×45	1.81 (18.0)	3.15 (12.4)
② 正角 心持ち	90×90	1.24 (20.8)	3.37 (11.9)
③ 正角 心去り	90×90	1.16 (21.5)	2.77 (12.8)
④ 正角 心持ち	120×120	0.83 (22.9)	2.52 (14.4)
⑤ 正角 心去り	120×120	0.98 (23.6)	2.39 (15.8)
⑥ 平角 心持ち	120×270	0.81 (26.2)	3.31 (15.0)

★ 数値は材種ごとの全ての測定値から算出した収縮率の平均であるが割れの入った部分の測定値は除く。
★ () 内の数値は含水率計による含水率の平均値

最も乾燥した①で1.81%（含水率18.0%：全乾法）、最も乾燥の遅れた⑥で0.81%（含水率26.2%：全乾法）であった。

天然乾燥後引続き実施した人工乾燥後には、材種別にバラツキのあった含水率が12~15%（全乾法）に集束したため、収縮率は全材種とも3%前後の値となった。

収縮率の変化は以上のような結果となったが、収縮率の値は測定開始の寸法を基準とするため、材種別に収縮率を比較するには、初期の含水率が同値でないと基準値に違いが生じるため単純には比較ができない。しかし、本試験での供試材は連続的に製材し、初期の含水率もほぼ同程度であったため、ここでの収縮率は単純比較とした。また収縮率に影響するもう一つの材的要因として木取りの状態（板目・柾目）があげられるが、これについては次項で検討する。

2) 木取りと収縮率

本試験に供試した材についてその材面を板目と柾目（追柾を含む）とに分け、それぞれに

表-4 木取り別による収縮率（人工乾燥終了時）

材種	断面寸法 (mm)	木取り	収縮率 (%)	測定材面 (面)	木取りパターン	含水率 (%)
① 正割 心去り	45×45	板目	4.52	29		12.4
		柾目	2.73	91		
② 正角 心持ち	90×90	板目	3.37	51		11.9
		柾目	-	-		
③ 正角 心去り	90×90	板目	3.98	13		12.8
		柾目	2.54	100		
④ 正角 心持ち	120×120	板目	2.52	26		14.4
		柾目	-	-		
⑤ 正角 心去り	120×120	板目	2.59	8		15.8
		柾目	2.10	95		
⑥ 平角 心持ち	120×270	板目	3.31	4		15.0
		柾目	-	-		

★ 板目面については、乾燥が進むにつれてそのほとんどに材面割れが生じ寸法測定が不可能になった。

ついて人工乾燥終了後の収縮率の平均値を示したのが表-4である。

一般的に含水率15%までのカラマツの収縮率は接線方向（板目）で4.1%、半径方向（柾目）で1.7% (1)と示されているが、実大材のように材厚の厚い材になると、これとは異なった収縮率を示す。つまり、板目について

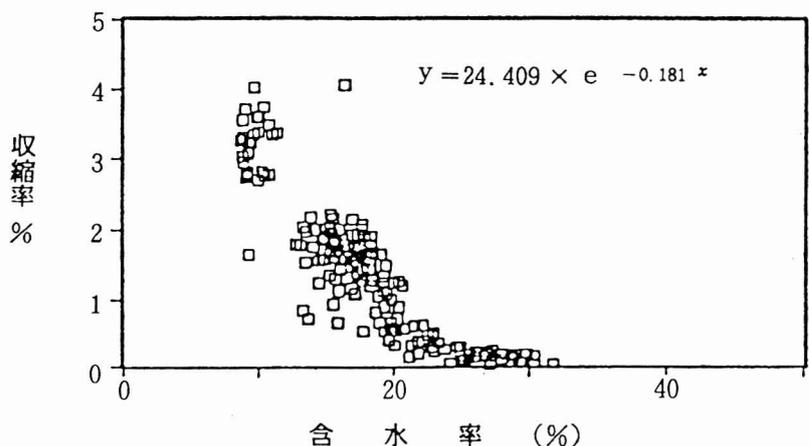


図-4 含水率（含水率計）と収縮率との関係
45 mm × 45 mm（心去り材）

みた場合、含水率 15% (全乾法) 付近の 12 cm 正角④⑤の収縮率はおよそ 2.5% となり上記で示した J I S 木口試験片によった収縮率よりも小さい値となった。これは、収縮率測定時の含水率の違いは多少あるものの、それ以上に材厚が厚くなったことにより材表層部と内層部とに水分傾斜が生じ、これにより材表層部に引張応力が発生し、材面の収縮が拘束されたためと思われる。

柾目については測定面のほとんどが追柾の状態にあったため、正確な柾目の収縮率は示すことはできないが、板目での収縮率よりは小さい値であった。

なお、心去り材である 9 cm 正角③と 12 cm 正角⑤における板目での収縮率の測定は、表に示したとおり板目での割れの発生が多く、測定材面が少なかった。さらに心持ち材である 9 cm 正角②、12 cm 正角④、12 cm × 27 cm 平割⑥はその材面すべてが板目であり人工乾燥後にはそのほとんどに割れが発生し、特に⑥では収縮率測定

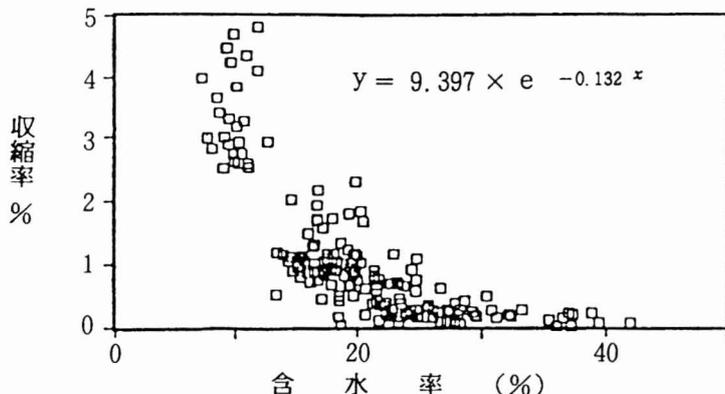


図-5 含水率 (含水率計) と収縮率との関係
90 mm × 90 mm (心持ち材)

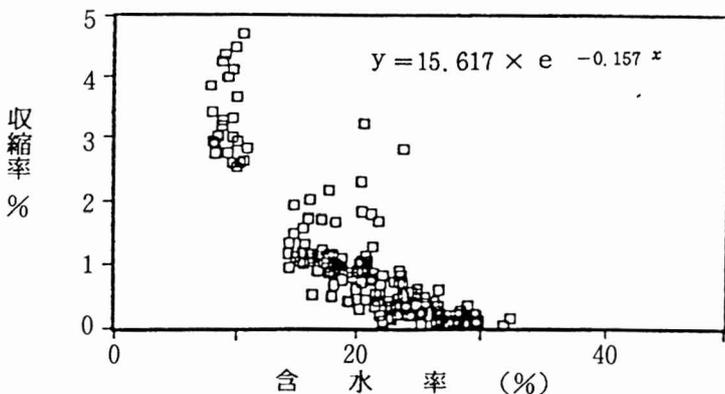


図-6 含水率 (含水率計) と収縮率との関係
90 mm × 90 mm (心去り材)

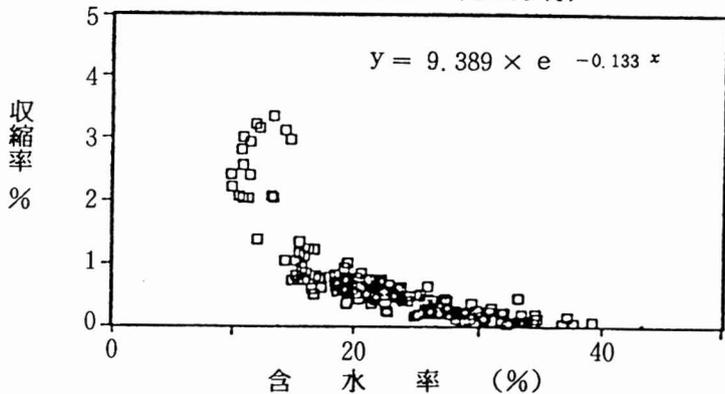


図-7 含水率 (含水率計) と収縮率との関係
120 mm × 120 mm (心持ち材)

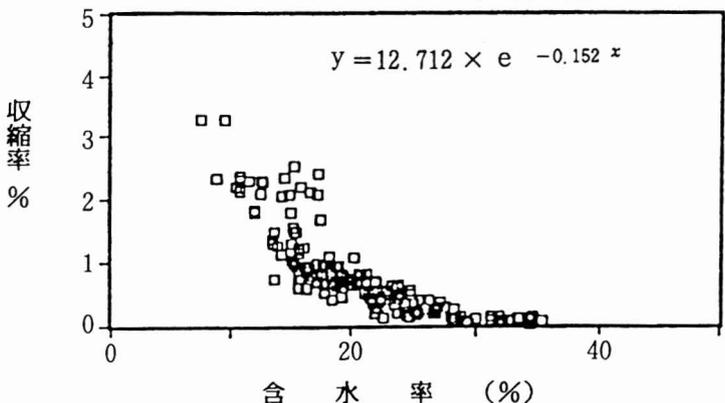


図-8 含水率 (含水率計) と収縮率との関係
120 mm × 120 mm (心去り材)

可能材面は4材面のみであった。したがって、大きい断面の心持ち材では、背割りの必要性が認められた。

3) 含水率と収縮率

3ヵ月間の天然乾燥及び引続き実施した人工乾燥終了後の収縮率と含水率(含水率計)との関係を材種別に図-4~9に示した。

これをみると、収縮率と含水率(含水率計)との関係は指数関数 $y = a \times e^{bx}$ で表わした場合、この数式によく合致した関係で示される。どの材種においても収縮率を対数変換した時の相関係数は、非常に高い数値を示している。

通常、比較的薄い板材等における収縮率は、含水率の減少によりほぼ直線的に増大する(2)が、今回の試験のような材厚の厚い材の乾燥においては、乾燥過程において表層部と内層部とに含水率差が生じ、これによる内部応力の発生や材表層部のドライイングセット等によりこのような指数関数的な収縮率の増大を示したものと思われる。

なお、材種別の収縮率と含水率の関係式は表-5のとおりである。

表-5 材種別の含水率(DELTA-5)と収縮率との関係

材種	断面寸法(mm)	収縮率と含水率の関係式	相関係数 R
① 正割 心去り	45 × 45	$y = 24.409 \times e^{-0.181x}$	0.9054
② 正角 心持ち	90 × 90	$y = 9.397 \times e^{-0.132x}$	0.8303
③ 正角 心去り	90 × 90	$y = 15.617 \times e^{-0.157x}$	0.8734
④ 正角 心持ち	120 × 120	$y = 9.389 \times e^{-0.133x}$	0.9084
⑤ 正角 心去り	120 × 120	$y = 12.712 \times e^{-0.152x}$	0.9214
⑥ 平角 心持ち	120 × 270	$y = 11.670 \times e^{-0.155x}$	0.9126

(3) 含水率計による含水率と全乾法による含水率の関係

全材種について含水率計による含水率と全乾法による含水率との関係を図-10に示した。この関係はほぼ比例関係にあり、これを材種ごとに見てもその直線勾配は多少異なるものいずれも高い相関関係にあった。特に含水率30%以下の実用的な含水率範囲においてはバラツキも少なくかなり信頼度は高い。

ここでの両者の関係式は $y = 0.9323x + 5.7739$ ($R = 0.939$) で表わされ、含水率85%以下の含水率域においては含水率計による含水率のほうが、全乾法による含水率よりもやや低めに表わされる。これによれば、全乾法で20%の含水率を要求されるのであれば、含水率計で15%の値表示でなければならないことになる。

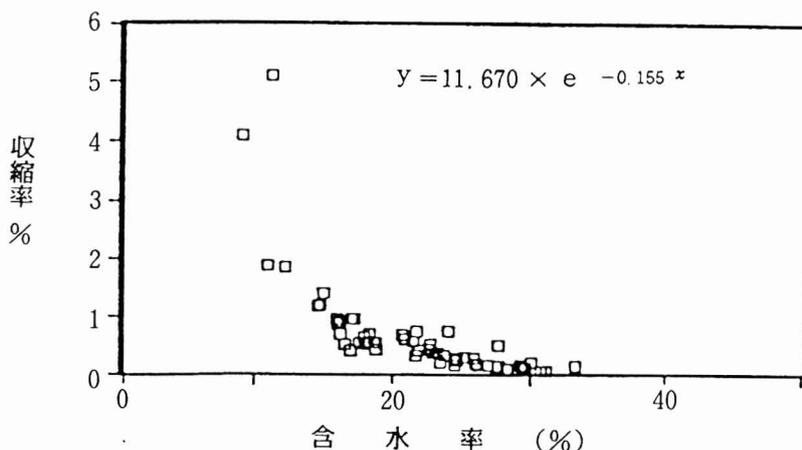


図-9 含水率(含水率計)と収縮率との関係
270mm × 120mm (心持ち材)

なお、この関係式を理解する場合、あくまでも乾燥途中にある木材、つまり材内部に水分傾斜が存在する木材の含水率測定を前提としていることを明記しておく。

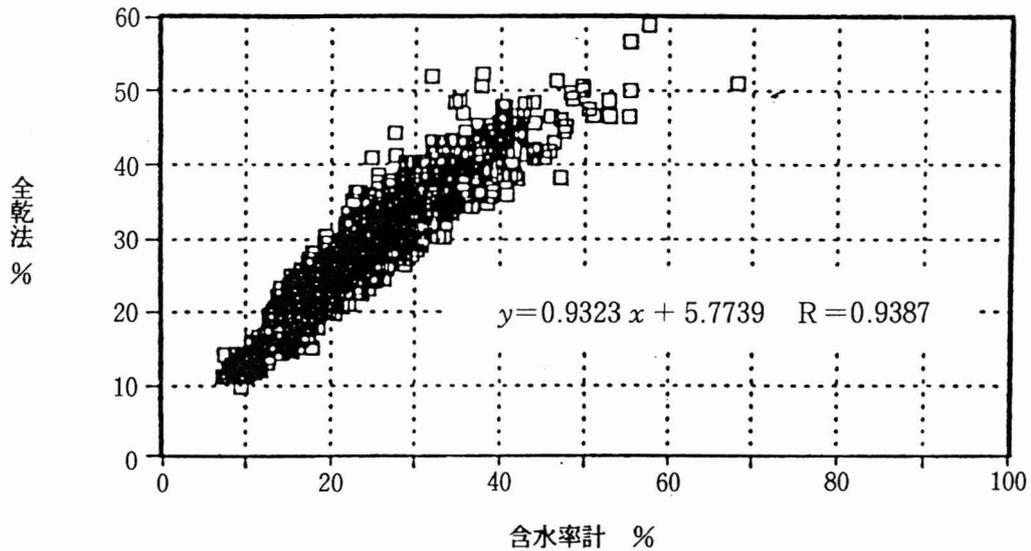


図-10 含水率計と全乾法との関係 (DELTA-5)
(カラマツ建築材：個体数 139本)

4. おわりに

ここでは、カラマツの乾燥に伴う寸法変化を中心に述べたが、この寸法変化の結果のみで材種別に製材寸法を算出した場合、表-6のとおりとなる。しかし、製材寸法決定にはこのほかに狂いや割れについても考慮しなければならない。

表-6 製材寸法の予測

含水率 15 %	含水率 20 %	含水率 25 %	生材時
45.0 mm	45.4 mm	45.9 mm	46.1 mm
90.0 mm	91.7 mm	91.7 mm	92.2 mm
120.0 mm	121.4 mm	122.5 mm	123.1 mm

- ★ 寸法は指数関数により算出した収縮率により算出した。
- ★ 材の狂い及び鉋がけは考慮していない。
- ★ 含水率は含水率計による。

参考文献

- (1) 農林水産省林業試験場：木材工業ハンドブック、273～325、1982
- (2) 寺沢真・筒本卓造 木材の人工乾燥 (社) 日本木材加工技術協会 1988