

- 研究 -

## トドマツ人工林材の乾燥試験 (第6報)

- 高温乾燥後の正角材の室内放置中の含水率と収縮率 -

信田 聡 千葉 宗昭  
奈良 直哉

Drying Tests of Plantation-Grown Todomatsu  
(*Abies Sachalinesis* Mast . ) Wood ( )

- Changes in the moisture content and shrinkage of kiln-dried  
sawed-squares exposed to an environment maintained at  
20 and 63% RH -

Satoshi SHIDA  
Naoya NARA

Muneaki CHIBA

sawed squares, 10.5×10.5×365cm, were dried in the kiln in the high-temperature drying schedule from a green state to a 20%-moisture content, and then were exposed to an environment maintained at 20 and 63% RH for three months. Through the period, changes in the moisture content and shrinkage of the squares were measured so as to examine the actual dimensional changes and moisture degradations of full-scale sawed squares used in houses.

The experiments clarified several facts needed to solve the problems caused by shrinkage and check the final moisture content of squares used as construction members. Here is a summary of those facts:

(1) An experimental equation, Eq. 2, was obtained concerning the relationship between the moisture content and the exposure time of the squares under the above-mentioned environment. By use of this equation, a diagram of moisture content decrease was worked out as a function of the exposure time for different initial moisture contents, as shown in Fig. 2.

(2) Concerning the moisture distribution in the squares at a 20%-moisture content level, it was recognized that the moisture content was higher in the center of the squares than near their surface, and that the ratio of the area showing an over-30% moisture content to the entire area of the cross-section of the squares was 15% on the average. In particular, in the squares containing wetwood, the ratio was larger than in the normal squares, and it was 32% at a maximum.

(3) When squares having a 20%-moisture content were exposed to the indoor environment mentioned above, their moisture content came to equilibrate with that of the environment in three months, and the moisture distribution then was even, with a small moisture gradient.

(4) The shrinkage of the squares under exposure was larger at a side cut than at a boxed heart, and the shrinkage values were not very different from those of other general data on Todomatsu.

(5) Eqs. 3 and 4 show the shrinkage of the boxed heart and the side cut squares as a function of the exposure time respectively.

(6) When squares dried in the kiln are used in houses under a condition where a moisture content decreases from a 20% to a 10% level, the increase in shrinkage and the decrease in size are estimated to be 1.3 to 2.0% and 1.4 to 2.1mm respectively.

高温乾燥により含水率20%まで乾燥したトドマツ正角材を住宅居室内を想定した温湿度環境下(20, 63%RH)に放置して、その後の収縮経過、含水率減少経過、材内の含水率分布を測定して、実大材の使用中の含水率、収縮率の、より現実的な経時変化を把握することを試みた。そして収縮による諸問題の解決のため、ひいては使用環境条件にふさわしい材の仕上がり含水率の見直しのための基礎的知見を得た。

- (1) 室内放置中のトドマツ正角材の乾燥経過を表す実験式(2)式を得た。これにより、初期含水率別の含水率減少経過図(第2図)を作成した。
- (2) 含水率20%時の材内含水率は、中心部で高く、含水率30%以上の部分を正角材の横断面内における面積比率で表すと、平均で15%を占め、また水食いを含む材ではさらに高く最大32%を占めた。
- (3) 含水率20%まで乾燥したトドマツ正角材を室内放置したところ約3カ月で含水率はほぼ平衡に達し、また材内含水率は均一化され水分傾斜も小さくなった。
- (4) 室内放置中の正角材の収縮率は心去り材>心持ち材であった。また収縮率の大きさは一般的なトドマツに関する値と大差はなかった。
- (5) 室内放置中の収縮経過を表す実験式として、心持ち正角材、心去り正角材について各々(3)、(4)式を求めた。
- (6) 人工乾燥後、住宅居室内の温湿度環境下で使用される正角材は、含水率が20%から10%までその間に乾燥すると想定した場合、1.3~2.0%の収縮率増加が予想され、それに伴う歩減りは、1.4~2.1mmに達することが推定される。

## 1. はじめに

トドマツ正角材を含水率20%まで高温乾燥した後、室内(20, 63%RH)に放置して、その後の材内の含水率及び収縮経過を測定した。すなわち、建築用構造材として使用される正角材については含水率20%以下に乾燥することが目安とされているが、乾燥終了後の材内の水分傾斜を調べると<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>材中心部での含水率は30%以上の部分が認められた。したがって、使用中に、さらに乾燥して収縮してくることが考えられる。使用環境条件にふさわしい材の仕上がり含水率を見直し、収縮による諸問題を解決するには、実大材の収縮程度を把握することが必要である。本試験は、そのための基礎的検討を目的として行った。

## 2. 試験方法

### 2.1 供試材

第3報<sup>2)</sup>における2回の高温乾燥試験に使用した正角材(10.5×10.5×365cm)のうち、両試験より8本ずつ16本を取り、長さを200cmに調整して供試材とした(写真1)。内訳は、心持ち材(水食い、非水食い)、心去り材(水食い、非水食い)各々8本ずつで



写真1 収縮率測定用トドマツ正角材 (高温乾燥後)

ある。

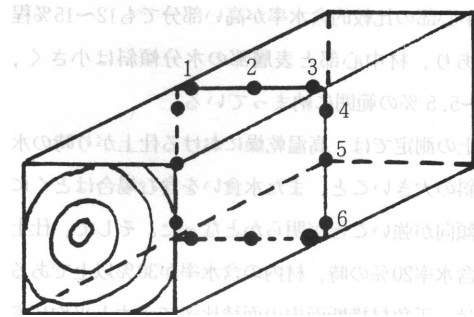
2.2 室内放置条件

設定温湿度がそれぞれ20℃, 65% (実測の結果63%であった)の恒温室内に放置した。この環境条件における木材の平衡含水率は11.7%である。

2.3 含水率・収縮率測定

室内放置中、1週間ごとに正角材の重量と寸法を測定し、重量変化がなくなるまで行った。本試験にはいる直前の含水率は(高温乾燥直後の仕上がり含水率)平均値で20.8% (範囲13.3~41.6%)であった。なお、試験終了後全乾燥法により含水率を求めた。また重量測定は最小目盛10gの台秤を用いた。

収縮率は、第1図に示すように試験材の長さ方向の中央部における6点(測定点1, 3, 4, 6は表層部, 2, 5は中心部)についてノギス(1/50mm精度)を



第1図 収縮率測定点

用いて寸法測定を行い、製材直後の生材時(高温乾燥前)の寸法を基準にして常法により算出した。

2.4 材内の含水率分布測定

材内の残留水分の状態を調べるために試験開始前、終了時に、正角材より写真2に示すような試験片(10.5×10.5×5.0cm)を取り、木口面において縦、横各々5等分、合計25の小片に分割し、全乾法によりそれぞれの含水率を求めた。

3. 結果・考察

3.1 室内放置中の含水率減少経過

高温乾燥終了後の平均含水率20.8% (範囲: 13.3~41.6%)の正角材16本を温度20℃, 湿度63%の室内に放置したところ、いずれの材も含水率は曲線的に減少した。この経過について第1報<sup>1)</sup>において用いた方法により含水率減少曲線を求めた。すなわち(1)式に示す式の係数  $k$  を経過時間(t)とその時の含水率(U), 初期含水率(Ua)から最少二乗法を用いて近似的に決定して曲線を求めた。

$$U - U_e = (U_a - U_e) \exp^{-kt} \dots \dots \dots (1)$$

ここでU: t日経過後の含水率(%), Ua: 初期含水率(%), Ue: 平衡含水率(ここでは11.7%), t: 経過日数(日)

第1表にこうして求めた  $k$  の値と初期含水率、最終

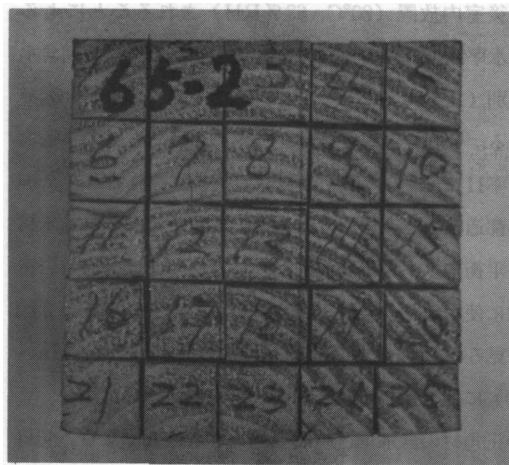
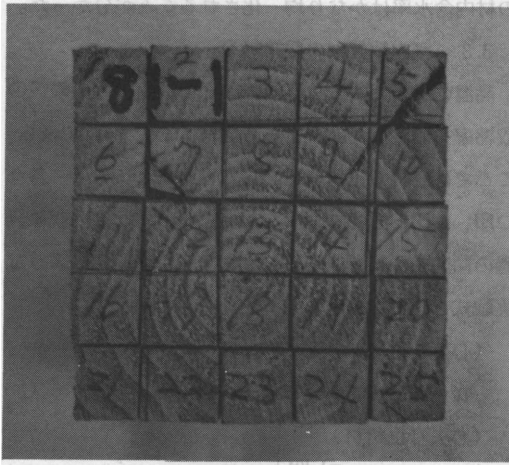


写真2 水分分布測定のための正角材分割方法

第1表 含水率減少曲線における 値<sup>a)</sup>

材種	No.	初期含水率 (%)	最終含水率 (%)	放置日数 (日)	k
心持ち	1	23.6	12.3	112	0.030
	2	16.2	12.4	112	0.016
	3	22.4	12.8	91	0.026
	4	23.8	12.2	91	0.038
ち材	5	17.3	11.8	112	0.034
	6	13.3	11.8	112	0.021
	7	18.6	12.6	91	0.023
	8	15.4	13.3	91	0.011
心去り	9	41.6	13.9	112	0.024
	10	23.3	12.8	112	0.022
	11	16.8	12.0	91	0.032
	12	24.7	13.3	91	0.023
り材	13	19.4	12.4	112	0.023
	14	19.0	12.4	112	0.023
	15	16.4	11.9	91	0.032
	16	20.2	12.8	91	0.022
平均値		20.8	12.5	-	0.025

a) : (1) 式中の 値を最少二乗法で求めたもの。

含水率, 放置日数を示す。 の値は個々にバラツキはあるが, 初期含水率の違い, 心持ち, 心去りの違い, 水食い, 非水食いの違いによる明らかな差はなかった。そこで 値について全平均値を求めて, トドマツ正角材の本試験条件下における代表値として, 含水率減少経過を求める (2) 式を決定した。

$$U = 11.7 + (U_a - 11.7) \exp^{-0.025 \cdot t \dots} \quad (2)$$

この式を用いて, ある程度乾燥された正角材が, その後室内放置 (20, 63% RH) されることによる含水率減少経過の予測を行った。すなわち, 初期含水率別 (12~30%まで2%ごと) に求めたのが第2図である。今回の温湿度条件から求められる木材の平衡含水率11.7%は, 寺沢・鷲見らの報告<sup>4)</sup>を見ると, 全国15都道県の住宅居室内の温湿度環境下に置かれた木材の平衡含水率の平均値に近いことから, ほぼ住宅居室内に使用される条件と想定することができる。第2図を見ると, たとえば人工乾燥により含水率20% (U<sub>a</sub> = 20) に仕上げ, これを住宅居室内に使用した場合, この正角材の含水率は時間経過とともに低くなり, 40日後には約15%, 120日後には約12%まで乾燥することが予想される。したがって, 含水率低下に伴い収縮も

生じてくることになる。

### 3.2 室内放置前後の材内含水率分布

正角材内部の残留水分の状態を調べるために, 供試した正角のうち8本について, 放置前後の材内部の含水率分布を測定した。すなわち, 2.4項で述べた方法により横断面内の含水率分布を調べた。その結果を第3図に示す。室内放置前 (高温乾燥終了直後) では, これらの8本の正角の平均含水率は19.8%であったが, 材内部については含水率が30%以上である部分が存在し, 横断面内の面積比率にすると, 4~32%を占めていた。とくに水食い材 (No. 3, 12) の中には室内放置前の材内部の含水率が高い所で100%を超えるものもあった。こうした材を使用すれば, 使用中の乾燥に伴い, 収縮がさらに進むことになる。91日間室内放置をした後のこれらの材内含水率分布を見ると (第3図右側) 8本の平均含水率は12.6%になった。またこの時の材中心部の比較的含水率が高い部分でも12~15%程度であり, 材中心部と表層部の水分傾斜は小さく, 3.1~5.5%の範囲に納まっている。

以上の測定では, 高温乾燥における仕上げ時の水分傾斜の大きいこと, また水食いを含む場合はとくにその傾向が強いことが明らかとなった。そして, 仕上げ含水率20%の時, 材内の含水率が30%以上である部分は, 正角材横断面内の面積比率で示すと平均15%を占めることが分かった。また室内放置 (3カ月) 後の材内含水率はかなり均一化されることが分かった。

### 3.3 室内放置中の収縮経過

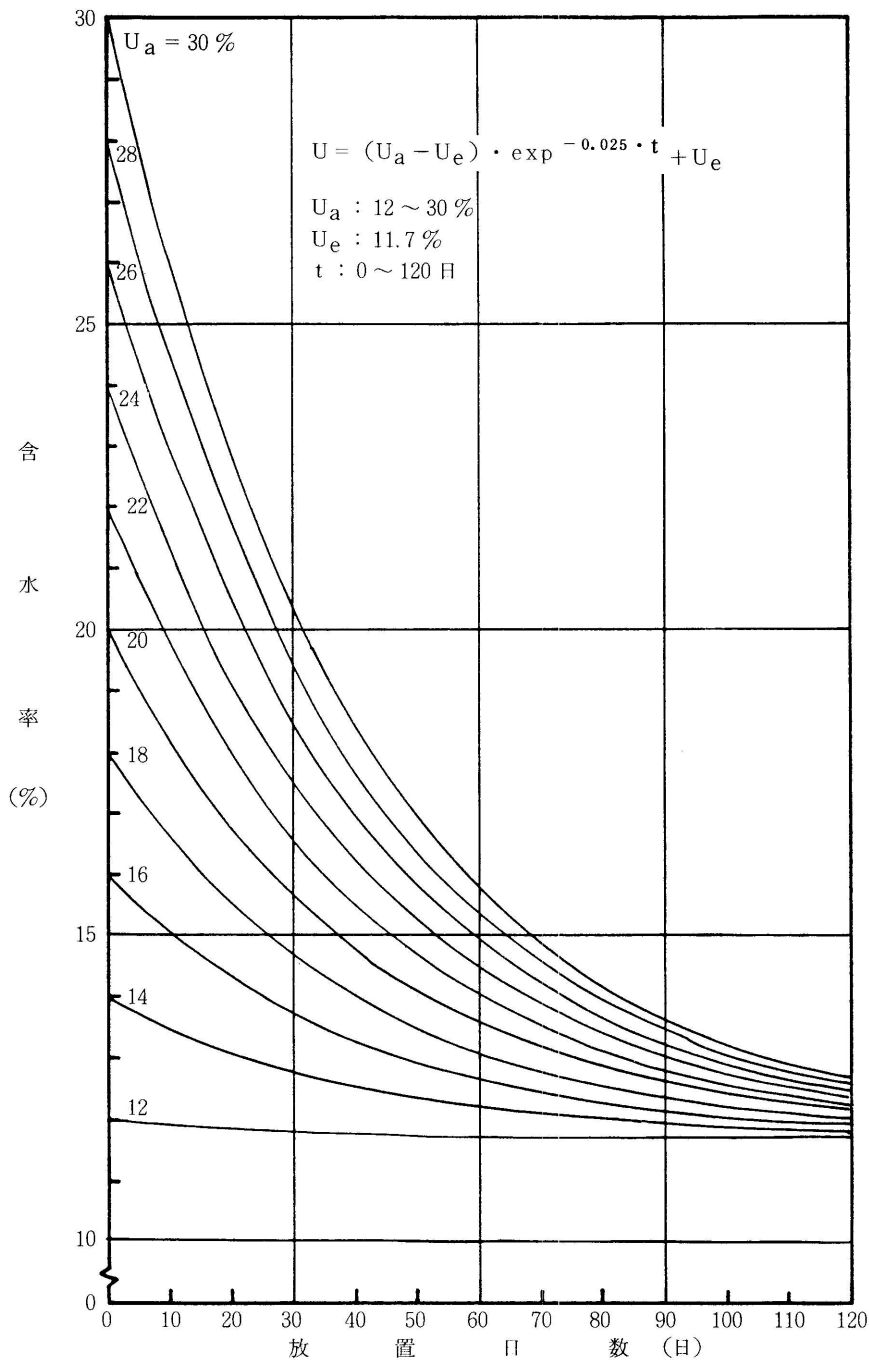
高温乾燥後, 室内放置した16本の正角材のその後の収縮率を測定した結果を第4図に示した。すなわち, ここでは心持ち正角材と心去り正角材とに分け, 各々印, 印としてプロットしてある。またこの収縮経過の傾向を心持ち, 心去り別に (3), (4) 式のような実験式として求めた。

$$\begin{aligned} & \text{(心持ち正角材)} \\ & = 24.2 \cdot U^{-0.962} \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{(心去り正角材)} \\ & = 46.9 \cdot U^{-1.104} \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

ここで, : 収縮率 (%), U : 含水率 (%)

収縮率の値は第1図に示した6点の測定値を平均して1本の正角材の収縮率とした。測定点の位置によって接線方向に近いものから半径方向に近いものまでであるが、ここでは無視した。

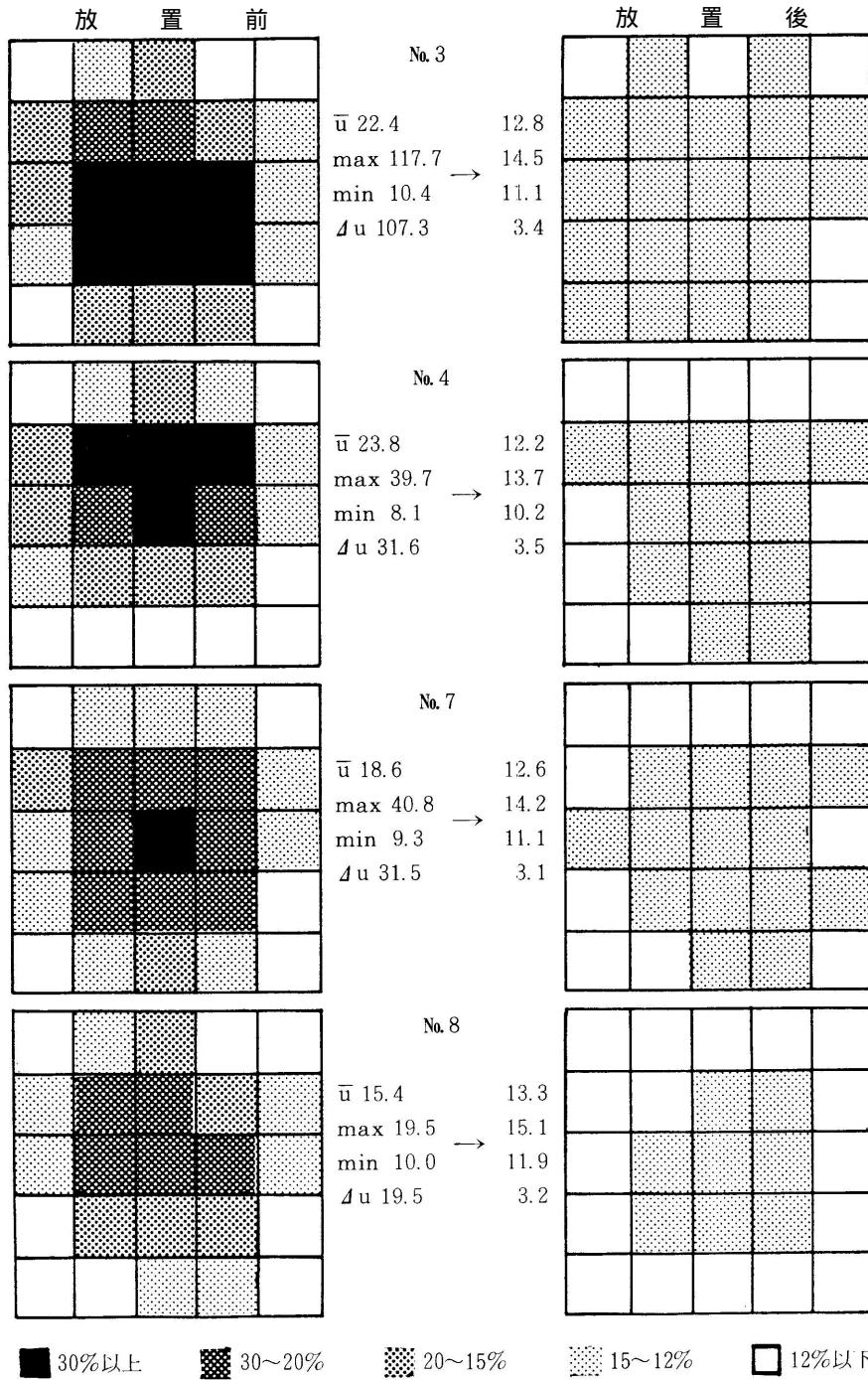


第2図 初期含水率別トドマツ正角材の室内放置中の含水率減少経過

{ 放置条件 (20°C, 63%RH), U<sub>a</sub> : 初期含水率 (%) }  
{ U<sub>e</sub> : 平衡含水率, t : 放置日数 }

この収縮経過を見ると、心去り材の方が心持ち材よりも大きな収縮率を示している。この原因については

次のように考えられる。すなわち、心持ち材には表面割れのはいつている材(字形の割れ)があって、放

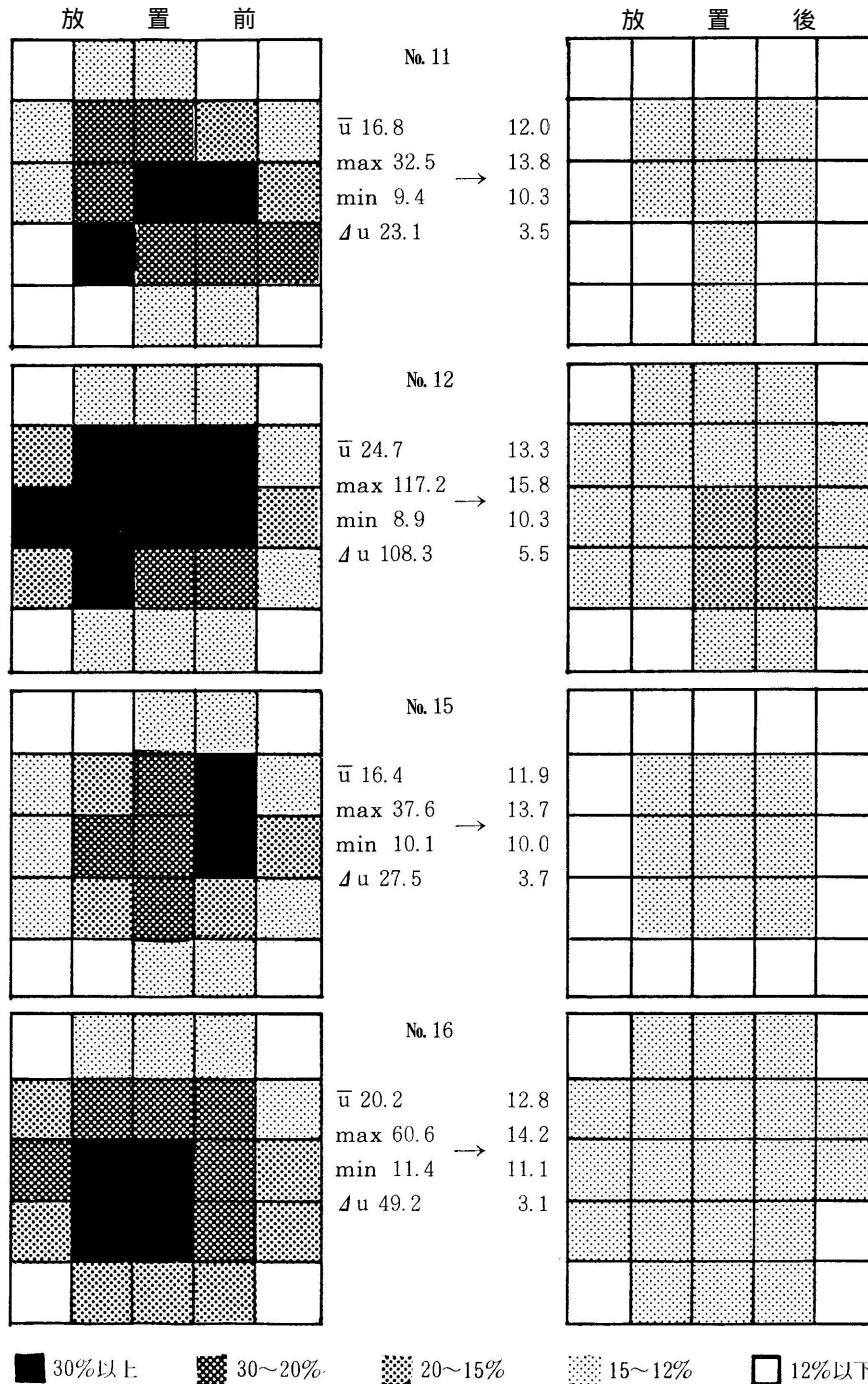


第3 - 1図 室内放置前後の材内含水率分布(心持ち正角材)

材のNo.は第1表のNo.と一致する。u:平均含水率(%),  $u = \max - \min$ (%), 水分傾斜

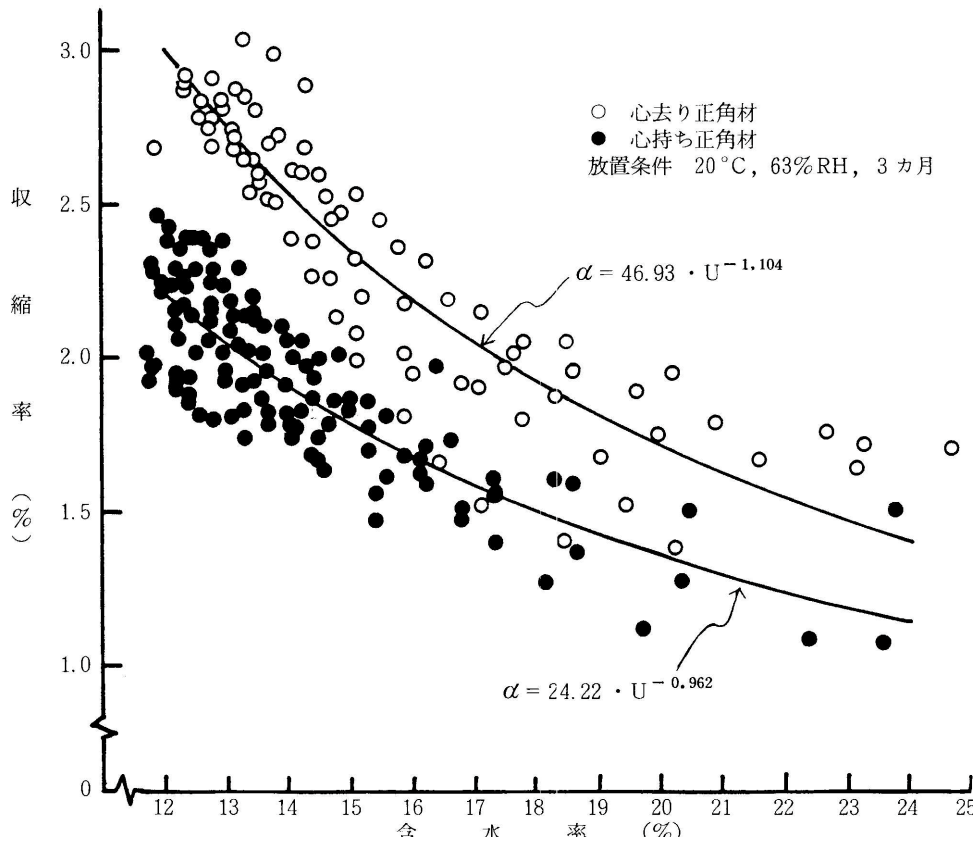
置中にそれが広がり、実際より大きく寸法が測定された (測定点の影響を受けた) ため収縮率が小さく算出

された。また心持ち材は未成熟材部が多く含まれている。カラマツでは未成熟材は成熟材に比べて  $t$  ,



第3 - 2図 室内放置前後の材内含水率分布 (心去り正角材)

材のNo.は第1表のNo.と一致する。u: 平均含水率(%),  $u = \max - \min$  (%), 水分傾斜



第4図トドマツ正角材の人工乾燥後の室内放置中の収縮経過

rとも小さい<sup>6)</sup>ので心持ち材は心去り材より収縮率が小さくなる。この傾向がトドマツにもあると推測される。

水食い材と非水食い材の収縮率の違いは、本測定法によっては誤差が大きいため比較はできない。すなわち、水食い材内における分布のバラツキ、測定点の位置と水食いの位置の不一致などから条件に不十分な点があるためである。

第2表には、正角材の室内放置中の収縮率について、前述の実験式(3)、(4)式から、各含水率段階ごとに収縮率、材寸法、生材時の寸法からの一辺の長さの歩減りを算出した結果を示す。これを見ると、含水率20%時点、すなわち、高温乾燥終了時まで、すでに心持ち材で1.36%、心去り材で1.72%の収縮率を示している。この時の材寸法は年材時の長さを105mmとした

第2表 室内放置中のトドマツ正角の収縮<sup>a)</sup>

材種	項目	含水率段階			
		25%時	20%時	15%時	10%時
心持ち正角	収縮率(%) <sup>b)</sup>	1.09	1.36	1.78	2.64
	材寸法(mm) <sup>c)</sup>	103.9	103.6	103.1	102.2
	歩減り(mm) <sup>d)</sup>	1.1	1.4	1.9	2.8
心去り正角	収縮率(%)	1.34	1.72	2.36	3.69
	材寸法(mm)	103.6	103.2	102.5	101.1
	歩減り(mm)	1.4	1.8	2.5	3.9

- a) : 人工乾燥後20 , 63%RHの条件下に放置中の収縮。
- b) : (3), (4)式より算出した値。
- c) : 生材時の寸法を105mmとして算出した値。
- d) : 生材時の寸法を105mmとして、生材時からの歩減り量を表した。



場合、心持ち材では103.6mm、心去り材では103.2mmに減少している。また歩減りは、それぞれ1.4mm、1.8mm程度である。さらに、室内放置することによって収縮は増してくるが、仮に含水率が10%になった時、収縮率は心持ち材で、2.64%、心去り材で3.69%と推定され、その時の材寸法はそれぞれ102.2mm、101.1mmとなり、歩減りはそれぞれ2.8mm、3.9mmと推定される。

今回の収縮率結果は、実大の柱材としてのトドマツの測定であるが、文献<sup>5)</sup>に表されている気乾収縮率を見ると、例えば接線方向で4.1%、半径方向で1.0%の値が示されている。今回の収縮率の測定法においては接線方向と半径方向とを明確に分けて測定できる性質のものではないが、ほぼ両者の中間的な値として見ることができる。その上で比較すると、例えば含水率15%時では、心持ち材が1.78%、心去り材が2.36%であった。したがって、いわゆる気乾収縮率として実験的に測定された値と今回のように実大の柱材について測定した値との間に大きな違いはないといえる。

含水率20%まで乾燥した正角材を使用して住宅居室内の環境条件下において使用した場合には、その後の乾燥に伴い、さらに1.4~2.1mmの収縮による歩減りが予想されることになる。

#### 4. まとめ

高温乾燥により含水率20%まで乾燥したトドマツ正角材を住宅居室を想定した温湿度環境下(20℃, 63%RH)に放置することにより、その後の収縮経過、材内の含水率分布を調べ、乾燥に伴う収縮の実際を把握することを試みた。その結果得られた知見を以下に示す。

- (1) 室内放置中のトドマツ正角材の乾燥経過について(2)式を得た。これにより、初期含水率別の乾燥経過図(第2図)を作成した。
- (2) 含水率20%まで乾燥したトドマツ正角材を室内放置したところ約3カ月で含水率は、ほぼ平衡

に達した。

- (3) 仕上がり含水率20%時の材内含水率は中心部で高く、含水率30%以上の部分が正角材の横断面内の面積比率で表すと平均で15%を占めている。また水食いを含む場合はさらに高く最大32%であった。
- (4) 3カ月の放置により材内含水率は均一化され、水分傾斜も非常に小さくなった。
- (5) 室内放置中の正角材の収縮率は心去り材>心持ち材であった。また収縮率の大きさは一般的なトドマツに関する値と大差はなかった。
- (6) 室内放置中の収縮経過に関して心持ち正角材、心去り正角材について各々(3)式、(4)式の実験式を得た。
- (7) 人工乾燥後、住宅居室内の温湿度環境下で使用される正角材は、含水率が20%から10%まで、その後乾燥すると想定した場合、さらに1.3~2.0%の収縮増加が予想され、それによる歩減りは、1.4~2.1mmに達することが推定される。

#### 文献

- 1) 信田聡ほか3名：林産試験場月報，394，1~7 (1984)
- 2) 信田聡ほか3名：林産試験場月報，399，1~10 (1985)
- 3) 信田聡ほか3名：林産試験場月報，392，1~9 (1984)
- 4) 寺沢真・鷲見博史：我が国における木材の平衡含水率に関する研究，林業試験場研究報告，第227号(1970)
- 5) 寺沢真・筒本卓造：木材の人工乾燥，118，社団法人日本木材加工技術協会(1981)
- 6) 塩倉高義：東農大農学集報，20，1(1975)

- 木材部 乾燥科 -  
(原稿受理 昭60.2.20)