

# トドマツ人工林材の乾燥試験 (第1報)

- 正角材の天然乾燥 -

信田 聡 中 篤 厚  
千葉 宗昭 奈良 直哉

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

- The air - drying of sawed squares -

Satoshi SHIDA Atsushi NAKAJIMA  
Muneaki CHIBA NaoYa NARA

Sawed Squares 10.5 cm×10.5 cm×365 cm of Plantation-grown todomatsu were dried in the air for three months from summer till autumn. The experiments aimed to clarify the effects of the difference between wetwood and normal-wood (non-wetwood) and the difference between boxed heart and side cut upon the defects caused by drying and the drying characteristics of the lumber. The results are summarized as follows:

- (1) Whether wet or normal, those squares which had an initial moisture content of less than 80% were of being dried till their moisture content became 20% which is desirable for construction usage.
- (2) The drying rate of the wetwood at a moisture content of 20% was found a little smaller than that of the normal-wood and the estimated number of days needed for drying the wetwood from a moisture content of 50% to 20% was slightly greater than in the case of the normal-wood.
- (3) There was no recognizable difference in end-check occurrence between the wetwood and the normal-wood, but the boxed heart suffered from end-check occurrence much more than the side cut.
- (4) The surface checks of the wetwood were recognized to be larger in number than those of the normal-wood, but the difference in surface-check occurrence between the boxed heart and the side cut was by far greater.
- (5) There was no difference in twist between the wetwood and the normal-wood, but the boxed heart suffered from twist much more than the side cut.
- (6) No difference in warp was recognized either between the wetwood and the normal-wood or between the boxed heart and the side cut.

トドマツ人工林材(正角材)の天然乾燥試験を行い、主に水食いの有無、髓心の有無が材の乾燥特性、損傷に及ぼす影響について検討した。この試験から得られる知見は以下のとおりである。

- (1) 3カ月(夏~秋)の天然乾燥により適正含水率(20%以下)まで乾燥できる材は、水食い、非水食いを問わず初期含水率が約80%以下の材であった。
- (2) 含水率20%時の乾燥速度は、水食い材の方が多少小さく、含水率50%から20%までの推定

乾燥日数は水食い材の方が幾分長くなる傾向が認められた。

(3) 木口割れは水食いの有無によっては差がないが、髓心の有無によって顕著な差があり、心持ち材で大きな値を示した。

(4) 表面割れは水食い材が非水食い材よりも多少多くなる傾向が認められたが、それ以上に髓心の有無による影響が大きく、心持ち材で大きな値を示した。

(5) ねじれは、髓心の有無による差が顕著であったが、水食いの有無による差は認められなかった。

(6) 曲がりりは、水食いの有無、髓心の有無による差は認められなかった。

## 1. はじめに

トドマツ人工林材にはいくつかの利用上の欠点があるといわれている。近年、トドマツ材の供給が増大しているが建築用構造材としては、生材使用から乾燥材使用への気運が高まりつつある。こうした背景の中でトドマツ材の乾燥についても考えてゆかなければならない。特に、水食い材は高含水率であるがゆえに乾燥時間が長くなり、また乾燥に伴う割れが多くなるといわれている<sup>1), 2)</sup>。したがって、トドマツ材を有効に利用するためには適正な乾燥条件を確立することが望まれる。こうした観点に立ち、今回はトドマツ正角材の天然乾燥を通して、水食いの有無、並行して髓心の有無が乾燥特性や乾燥中に生じる損傷に及ぼす影響を観察測定して、主に、水食い材の特徴をは握することを試みた。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試木

試験に使用したトドマツは、道有林旭川林務署管内の昭和5年植栽のもので昭和58年に5回目の間伐を行った際に出た53年生トドマツである。

### 2.2 供試材

2.1のトドマツより製材して得た正角材（10.5×10.5×365cm）を供試した。その内訳は心持ち水食い材、心去り水食い材、心持ち非水食い材、心去り非水食い材の4種類とし、合計56本を供試した。

なお、水食い材の選別基準は、供試木を製材した際に正角材の4材面を観察し、本来低含水率であるべき心材部でぬれ色を呈する部分を水食いと判断し、その部分をマーキングして選別した。写真1には、正角材



写真1 乾燥前の木口断面  
上段：低含水率材、下段：水食いを含む高含水率材

の乾燥前木口断面における水分状態を示した。

### 2.3 棧積み方法

棧積み台車上に、材間隔を4cmとし、一列10本ずつ正角材を並べ、棧木は2.2cm角のものを使用し、供試材以外のものを含め12段積みとした。

### 2.4 乾燥期間

1983年7月4日に乾燥を開始し、目標仕上がり含水率を18%として、10月3日までの91日間の天然乾燥を行った。

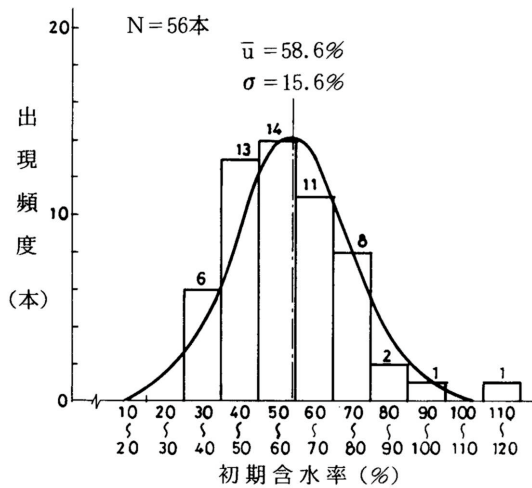
## 3. 結果・考察

### 3.1 初期含水率・仕上がり含水率

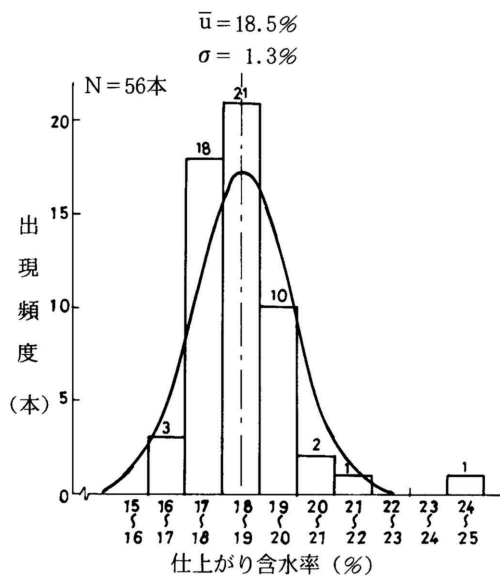
供試した正角材56本の初期含水率の頻度分布を第1図に示したが、全平均では58.6%であった。また水食い材の平均値は68.7%（範囲45.9～112.5%）であり、非水食い材では平均値45.3%（範囲35.1～64.2%）で、水食い材の含水率は非水食い材に比べて明らかに高い。

仕上がり含水率は、第2図に、その頻度分布を示した供試材の全平均では18.5%となった。また水食い材のみでは平均値19.2%（範囲17.8~24.2%）、非水食い材では平均値17.5%（範囲16.4~18.5%）となり、初期含水率と同様に水食い材の方が若干高めに仕上がっている。

すなわち、初期含水率と仕上がり含水率との間には第3図に示すように正の相関が認められ、初期含水率が高ければ仕上がり含水率も高いことがわかる。今回、



第1図 供試材の初期含水率ヒストグラム



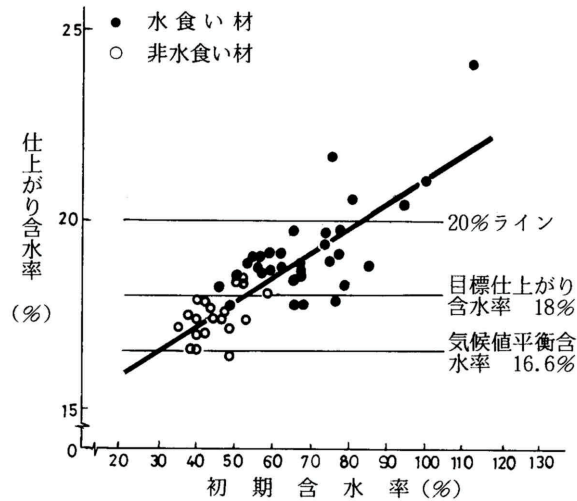
第2図 供試材の仕上がり含水率ヒストグラム

〔林産誌月報No.392 1984年9月号〕

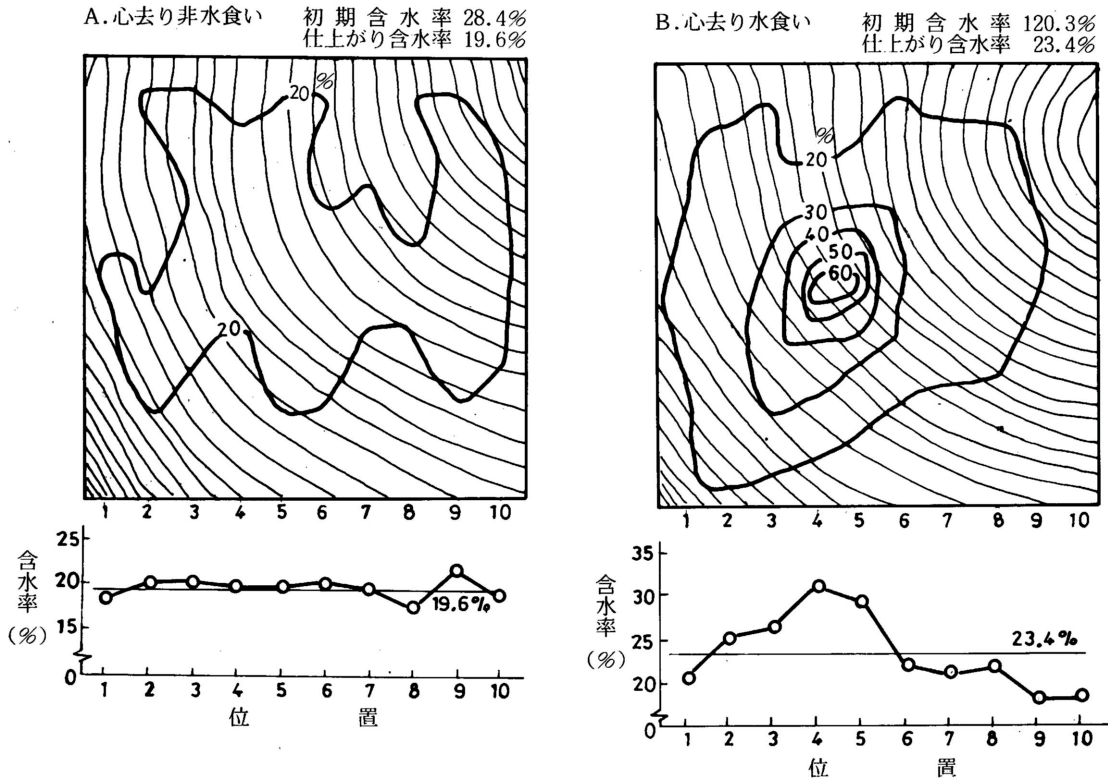
天然乾燥を行った季節は夏期から秋期にかけての約3カ月間であったが、この期間内に含水率が20%以下まで乾燥できた材は、供試材全体の89%に当たり、第3図の回帰直線から判断すると、初期含水率が約80%以下である場合には、ほぼ適正な仕上がり含水率が得られる結果となった。したがって、この季節において、水食い材でも初期含水率が80%以下であれば仕上がり含水率が20%以下まで乾燥できるため、建築用構造材の乾燥材として、ほぼ満足できる材料を提供できると思われる。水食い材(32本)について、仕上がり含水率が20%以下になる割合をデータから求めると84%となった。

### 3.2 仕上がり時の材内含水率分布と水分傾斜

乾燥終了後、コントロール材より、 $10.5 \times 10.5 \times 2 \sim 3\text{cm}$ の木口小片を採取し、木口面を格子状に $50(5 \times 10)$ 分割し、個々の小片の含水率を測定し、正角材の横断面上の含水率分布を調べた。また分割した小片の各列(10列)ごとに平均含水率を求め従来の方法に準じた水分傾斜を同時に求めた。第4図には、こうして求めた含水率のうち、心去り非水食い材(A)、心去り水食い材(B)の例を示す。Aの場合は初期含水率が低かったため3カ月間の天然乾燥を通して仕上がり平均含水率は19.6%まで乾燥している。その時の横断面内の含水率分布は、材の内部では20~25%の部分が残存している。この分布状態の、図中1~10の位置に



第3図 トドマツ正角材の初期含水率と3か月天然乾燥後の含水率（仕上がり含水率）との関係



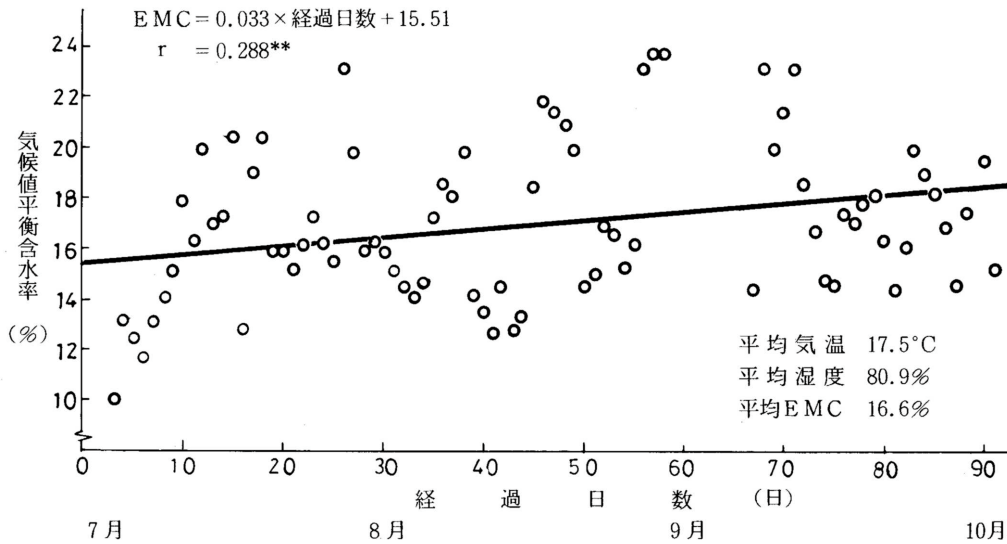
第4図 トマツ正角材の木口面における含水率分布と水分傾斜  
(天然乾燥3か月後)

おける水分傾斜は、各位置ともほぼ同様な値を示しており、水分傾斜は小さい、一方、Bの場合は初期含水率が120.3%と、かなり高く天然乾燥終了時の仕上がり平均含水率は23.4%であった。この時の横断面内の含水率分布は、Aの場合より以上に、材内部へ向かうにつれて高含水率部分が残存し、含水率60%を越す部分が残っている。この結果は3.1でも述べたように初期含水率が高いために3か月間の天然乾燥を行っても適正な含水率まで乾燥できないためである。初期含水率の高いことが水食い材の特徴とするならば、水食い材は約3か月間の天然乾燥をしても利用上支障のない含水率まで乾燥できない危険性があるが、実際には、水食いの材内部における占有割合が問題である。第3図を見ると、水食い材でも初期含水率が80%以下であれば、この季節、期間内の天然乾燥を通して含水率20%以下にまで乾燥できた。ただ、水食い材は相対的に初期含水率が高いため乾燥が遅れることは多くなると

思われる。したがって、限られた期間内で乾燥材を得るためには、天然乾燥だけでは不十分となり、なんらかの人工乾燥を行うことが必要となる。

### 3.3 天然乾燥中の気候値平衡含水率

今回の天然乾燥試験中に、大気温度、湿度を天乾土場に隣接する百葉箱内の毛髪自記温湿度計にて連続測定した。得られた温湿度の値から木材の平衡含水率を求めた<sup>3)</sup>。なお、温湿度の値は1日のうち3、6、9、12、15、18、21、24時の8点の値を平均して1日の温湿度を代表した。こうして求めた平衡含水率の結果を第5図に示す。乾燥開始は7月4日で、終了は10月3日であった。この期間の平衡含水率の推移は、7月、8月、9月と経過するにつれて平均値は漸増する傾向が認められた。例年の気象条件<sup>4)</sup>の月別平均値から求めた気候値平衡含水率も、同様の経過をたどっているが、この期間内の平均値として16.0%が得られ、今回の測定値平均16.6%より幾分低い値であっ



第5図 天然乾燥期間中の気候値平衡含水率 (EMC) の推移

た。

3.4 天然乾燥中の乾燥速度・乾燥日数

天然乾燥中の材の含水率減少経過は、棧積み内に挿入した、コントロール材によってチェックしたが、これらのコントロール材の含水率減少経過を基に、天然乾燥中の乾燥速度を求め、水食い材と非水食い材の比較を行った。すなわち、乾燥中のコントロール材の含水率を経過日数ごとにプロットして乾燥経過図が得られるが、この全乾燥経過を便宜的に1本の指数関数曲線として求める。この場合、データから最小二乗近似を行い含水率減少曲線を決める。次に、含水率20%時の乾燥速度を、求めた曲線の含水率20%時の微係数として求める。この値を比較して水食い材と非水食い材の乾燥速度の違いを検討した。さらに乾燥日数についても比較した。

(1) 指数関数による乾燥経過の最小二乗近似

(1) 式に示す形の指数関数<sup>6)</sup>に含水率と時間のデータをあてはめて最小二乗近似を行い、kの値を決定することによって含水率減少曲線を求めた。すなわち(1)式は、初期含水率を出発点として、気候値平衡含水率に漸近する曲線である。

$$U - U_e = (U_a - U_e) \cdot \text{EXP}^{-k \cdot t} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、U：求める含水率(%)，U<sub>e</sub>：気候値平衡含水率 (= 16.6%) ( % )，U<sub>a</sub>：初期含水率(%)，k：定数，t：経過日数(日)，である。

また、定数kは、(1)式の左辺と右辺の偏差平方和が最小になるようにして決定される( (2) )，(3)式が

$$Y = \sum \{ (U - U_e) - (U_a - U_e) \cdot \text{EXP}^{-k \cdot t} \}^2 \dots (2)$$

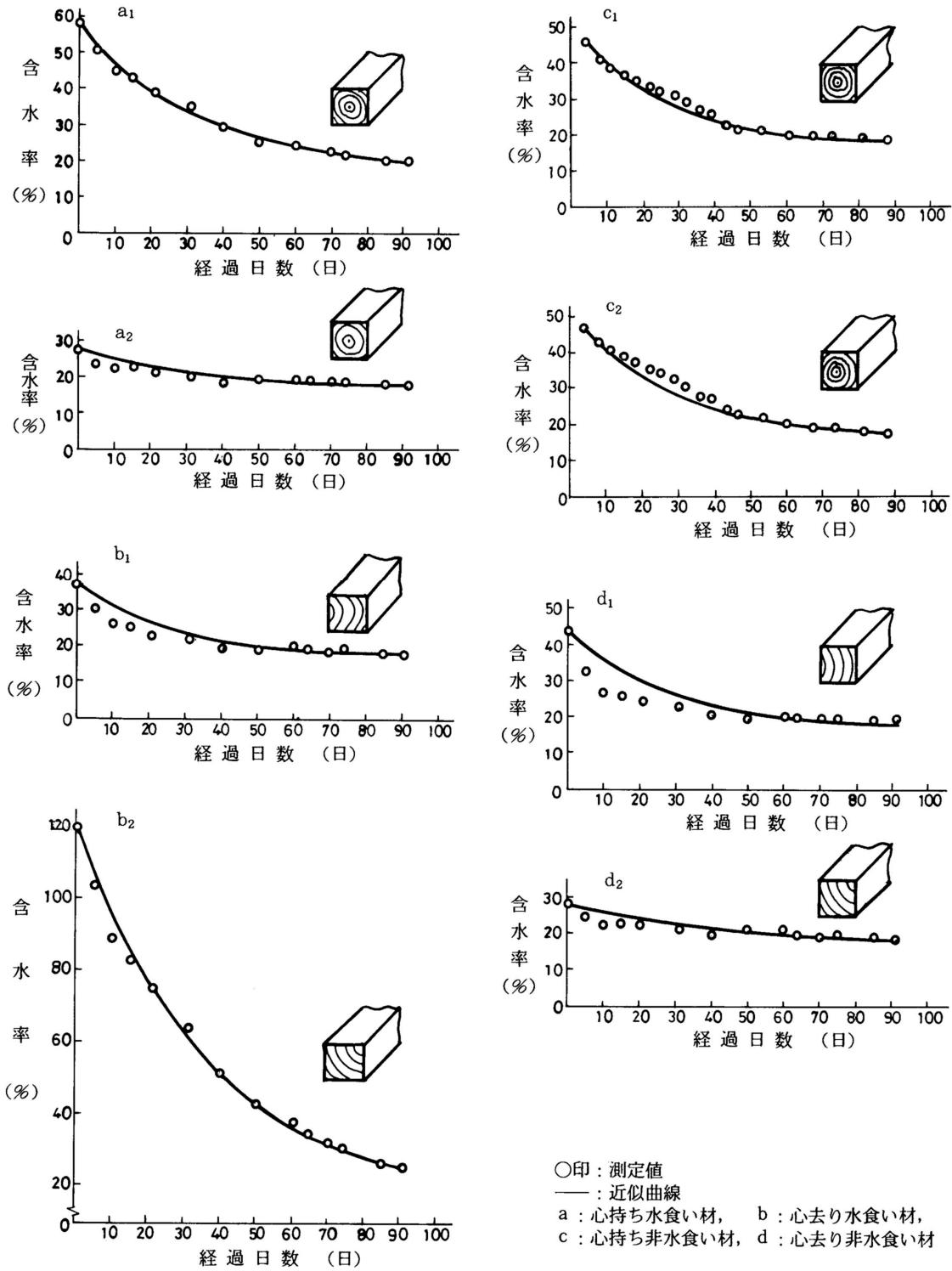
$$dY/dk = 0 \dots \dots \dots (3)$$

最終的に、kは(4)式によって求められる。

$$k = \{ \log(U_a - U_e) \cdot \sum t - \sum t \cdot \log(U - U_e) \} / \sum t^2 \dots \dots \dots (4)$$

こうして求めた含水率減少曲線を第6図に示す。プロットした印は測定値である。第6図のa, bは水食い材, c, dは非水食い材の例である。第6図の各グラフでは測定点と近似曲線はかなり良く一致している。近似曲線と測定値との誤差は、(1)式による近似の限界、気候変動に伴う平衡含水率の変動による乾燥度の変化、また材の割れ等に伴う表面積の増加による乾燥の促進などが考えられる。

(2) 乾燥速度と乾燥日数の推定



第6図 正角材の天然乾燥経過と含水率減少曲線

(1)式のkの値が定まることにより、(1)式は決定する。これを变形すると(5)式が得られるが、この(5)式から乾燥日数が推定できる<sup>5)</sup>。

$$t = (1/k) \cdot \log\{(U_a - U_e)/(U - U_e)\} \dots \dots \dots (5)$$

また、(1)式を時間tで微分して得られる(6)式より、ある含水率(u%)における乾燥速度(%/日)が推定できる。

$$dU/dt = -k \cdot (U_a - U_e) \cdot \text{EXP}^{-k \cdot t} \dots \dots \dots (6)$$

ここでは、含水率20%時の乾燥速度を求めた。すなわち、(5)式により含水率U=20%になるまでの乾燥日数(t)を求め、このtを(6)式に代入することによって乾燥速度が求まる。第1表に、(5)式から求めた含水率50%から20%までの推定乾燥日数、及び、(6)式から求めた含水率20%時の乾燥速度を示す。

乾燥日数について、水食い材と非水食い材を比較すると、含水率50%から20%までの推定乾燥日数は、水食い材では4サンプルの平均値で79.0日、一方、非水食い材の平均値は72.1日となり、幾分、水食い材の方が乾燥性が悪いようである。しかしながら、今回のデータ数が少ないこと、また、近似曲線の外挿により求め

たことによる誤差などを考えると、さらに検討する必要がある。

また乾燥速度について、水食い材と非水食い材の違いについて検討するために心持ち材の場合を見ると水食い材(a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>)の方が非水食い材(c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>)より小さい値を示している。一方、心去り材の場合には、両者とも同様な値を示している。したがって、水食い材の乾燥速度は一概には非水食い材よりも小さいとは言いつけられないものの、多少小さくなる傾向があるものと思われる。

3.5 損傷

(1) 測定法

(イ) 木口割れ

木口割れの測定は、正角材の両木口の全材面(8材面)について、発生した割れの幅と長さ、本数を測定した。本数については、合計値を求め平均して正角材1本当たりに発生する本数として示した。長さ、幅については割れ1本当たりの平均値として示した。

(ロ) 表面割れ

表面割れは正角材の4材面に発生した木口に到達していない割れについて、その長さ、幅、本数を測定し木口割れと同様にまとめて示した。

(ハ) ねじれ

乾燥後、両木口面(元口、末口)に引いた基準線が

第1表 トドマツ正角材の天然乾燥時の乾燥日数と乾燥速度

| 材 種      | No.              | 含 水 率 (%) |      | k     | 含水率50%から20%までの推定乾燥日数(日) | 含水率20%時の乾燥速度(%/日) |       |       |
|----------|------------------|-----------|------|-------|-------------------------|-------------------|-------|-------|
|          |                  | 初 期       | 仕上がり |       |                         |                   |       |       |
| 心持ち水食い材  | a <sub>1</sub>   | 57.7      | 20.3 | 0.028 | 81.6                    | 79.0              | 0.095 | 0.100 |
|          | a <sub>2</sub>   | 28.1      | 17.7 | 0.027 | 84.6                    |                   | 0.092 |       |
| 心去り水食い材  | b <sub>1</sub> * | 36.7      | 17.8 | 0.035 | 65.3                    |                   | 0.119 |       |
|          | b <sub>2</sub>   | 120.3     | 24.7 | 0.027 | 84.6                    |                   | 0.092 |       |
| 心持ち非水食い材 | c <sub>1</sub>   | 46.2      | 17.3 | 0.039 | 58.6                    | 72.1              | 0.133 | 0.116 |
|          | c <sub>2</sub>   | 46.8      | 17.2 | 0.041 | 55.7                    |                   | 0.139 |       |
| 心去り非水食い材 | d <sub>1</sub> * | 43.1      | 18.7 | 0.035 | 65.3                    |                   | 0.119 |       |
|          | d <sub>2</sub> * | 28.4      | 18.7 | 0.021 | 108.8                   |                   | 0.071 |       |

注) a<sub>1</sub>~d<sub>2</sub>までのNoは第6図の符号と同じ。  
\*印は近似曲線とデータのズレが大きいもの。

水平面とのなす角度を測定し、元口、末口の値の差をねじれとした。その際、正角材の直交する2面についてこれらを測定し、2面の平均値としてねじれを示した。

(二) 曲がり

曲がりは、乾燥終了後、正角材長さ3.65mの中央矢

高を測定し、この値を曲がりとして、正角材の直交2平面について測定し、平均値を示した。

(2) 水食いの有無・髓心の有無が損傷に及ぼす影響

第2表には、割れ、狂い、などの測定結果を、各供試材別に示した。これらの各損傷結果と水食いの有無および髓心の有無との関係の評価のために水食いの有無、髓心の有無を2因子とする2元配置法（データの繰り返しのある場合）による分散分析を行い検討した。すなわち、水食いが存在することによって損傷の増加が認められるのかどうか、また、心持ち材、心去り材の違いによって損傷の程度に差があるのかどうかを調べた。第3表にその結果を示す。この表中の印は危険率を5%とした場合に有意差が認められたもの、また、印は危険率1%とした場合に有意差が認められたことを示す。この表から分かることは、初期含水率は水食いの有無によって著しく差があり、また仕上り含水率についても水食いの有無により差が認められた。一方髓心の有無による含水率の差は認められない。木口割れは、水食いの有無による差はないが、髓心の有無による差が著しい。すなわち心持ち材で多く、心去り材では少ない。表面割れは水食いの有無によって差が認められ、また髓心の有無によっても顕著に差が認められた。すなわち、水食い材の方が非水食い材よりも表面割れは多かったが、それ以上に、心持ち材と心去り材の違いによる影響が大きい。ねじれの大小と水食いの有無とは関係が認められない。しかし、髓心の有無によって著しい差が認められ、心持ち材が大きい。曲がりについては、水食

第2表 トドマツ正角材の天然乾燥結果

| 供試材      | 水食い材      |             | 非水食い材       |             |             |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|          | 心持ち       | 心去り         | 心持ち         | 心去り         |             |
| 供試本数     | 16        | 16          | 8           | 16          |             |
| 含水率      | 初期 (%)    | 68.9 (16.3) | 67.1 (10.0) | 43.0 (5.4)  | 47.6 (7.1)  |
|          | 仕上り (%)   | 19.3 (1.5)  | 19.0 (0.9)  | 17.1 (0.6)  | 17.9 (0.4)  |
| 木口割れ     | 長さ (cm)   | 27.1 (13.8) | 24.2 (23.3) | 17.7 (10.3) | 26.6 (21.8) |
|          | 幅 (mm)    | 0.9 (0.5)   | 0.5 (0.3)   | 0.8 (0.5)   | 0.4 (0.3)   |
|          | 本数 (本)    | 5.1 (2.3)   | 2.6 (1.6)   | 5.1 (2.1)   | 2.3 (1.5)   |
| 表面割れ     | 長さ (cm)   | 38.3 (22.8) | 32.8 (40.8) | 54.7 (31.1) | 27.5 (35.1) |
|          | 幅 (mm)    | 0.7 (0.4)   | 0.3 (0.3)   | 1.3 (1.2)   | 0.2 (1.2)   |
|          | 本数 (本)    | 9.6 (4.7)   | 3.4 (4.3)   | 3.5 (2.9)   | 2.0 (2.9)   |
| ねじれ (度)  | 4.4 (2.4) | 2.4 (1.3)   | 3.3 (1.6)   | 2.2 (1.8)   |             |
| 曲がり (mm) | 4.1 (2.1) | 2.5 (1.7)   | 3.5 (2.1)   | 3.8 (1.5)   |             |

- 注) 1) 材寸法：10.5×10.5×365cm。  
 2) 乾燥期間：1983年7月4日～10月3日（91日間）。  
 3) 木口、表面割れの長さ、幅は割れ1本当たりの平均値。割れ本数は正角材1本当たりの平均値。  
 4) ねじれは、乾燥中に生じたねじれで、材長3.65m当たりの値。  
 5) 曲がりは、材長3.65mの中央矢高の2方向の平均値。  
 6) ( ) 内は、標準偏差。

第3表 水食いの有無・髓心の有無が材の損傷に及ぼす影響（分散分析による評価）

| 因子     | 水準      | 含水率 |     | 木口割れ |    |    | 表面割れ |    |    | ねじれ | 曲がり |
|--------|---------|-----|-----|------|----|----|------|----|----|-----|-----|
|        |         | 初期  | 仕上り | 長さ   | 幅  | 本数 | 長さ   | 幅  | 本数 |     |     |
| 髓心の有無  | 心持ち・心去り | —   | —   | —    | ※※ | ※※ | —    | ※※ | ※※ | ※※  | —   |
| 水食いの有無 | 有・無     | ※※  | ※※  | —    | —  | —  | —    | —  | ※※ | —   | —   |

注) ※※：危険率1%有意。※：危険率5%有意。



い。

#### 4. まとめ

トドマツ人工林材より得た正角材を7月から約3カ月間の天然乾燥試験を行い、主に水食いの有無、髓心の有無が材の乾燥特性、損傷に及ぼす影響について検討した。得られた知見を要約すると以下のとおりである。

(1) この季節の3カ月間の天然乾燥により適正含水率(20%以下)まで乾燥できたのは水食い材、非水食い材を問わず初期含水率80%以下の材であった。

(2) 含水率20%時の乾燥速度は水食い材の方が非水食い材より多少小さくなる傾向があり、また、含水率50%から20%までの推定乾燥日数も幾分長くなる傾向が認められた。

(3) 表面割れは非水食い材より水食い材が多くなる傾向があったが木口割れについては相方の差が認められない。割れ発生の大小については、水食いの有無による影響よりも、髓心の有無に基づく影響の方が顕著

である。

(4) ねじれは髓心の有無による差が顕著であるが、水食いの有無とは関係が認められない。

(5) 曲がり、水食いの有無、髓心の有無による差は認められない。

#### 文献

- 1) 北村義重：北海道林業試験場時報，第27号（1941）
- 2) 石田茂雄：北大演研報，17巻，2号（1955）
- 3) Simpson W.T.：F.P.J.，21，5，48～49（1971）
- 4) 東京天文台編：理科年表，196，204，丸善（1984）
- 5) 寺沢真・岩下睦：林試研報，81，87（1955）

—木材部 乾燥科—

(原稿受理 昭59. 3. 16)