

トドマツ人工林材の乾燥試験 (第2報)

- 正角材の中温スケジュールによる人工乾燥 -

信 田 聡 中 嵩 厚
千 葉 宗 昭 奈 良 直 哉

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

-Kiln-drying of sawn squares in an elevated-high
temperature schedule -

Satoshi SHIDA Atsushi NAKAJIMA
Muneaki CHIBA NaoYa NARA

Sawn squares, 10.5×10.5×365cm, of plantation-grown todomatsu, were kiln-dried in an elevated-high temperature schedule, and examination was made of the effects of wetwood/non-wetwood, and of squares with/without piths, upon the drying characteristics and the drying-caused defects of those squares. The results of the experiments are summarized as follows :

(1) The wetwood did not have such undesirable effects as would increase drying-caused defects. The difference in wood-assortment, however, exerted more influence upon the defects. In other words, the squares with piths suffered from more defects than those without piths.

(2) The wetwood needed a lot of time to get dry, because it had a high initial moisture content, and the final moisture content was different from square to square, because there was wide difference in initial moisture content. Those were serious problems to be solved as far as wetwood drying was concerned.

トドマツ人工林材 (正角材) の中温スケジュールによる人工乾燥試験を行い, その乾燥特性, 損傷を調べた。特に水食いの有無, 髓心の有無による違いについて検討した。その結果, (1) 水食いは損傷に対して, それほど悪い影響を及ぼさず, それよりも, 髓心の有無による差が大きく, 心持ち材は心去り材に比較して大きな損傷を示した。(2) 水食い材の乾燥において問題となる点は, 材の初期含水率が高いこと, ならびに水食い部の材内における占有割合の多少に伴う初期含水率の変動幅が大きくなるため, 乾燥時間の延長や仕上がりが含水率むらが起こり易いことである。

今後, 水食い材群の乾燥速度について検討を行い, 迅速な乾燥方法, 条件について検討する。

1. はじめに

前報¹⁾ではトドマツ正角材の天然乾燥試験を行い,

主に, 水食い材の乾燥特性, 損傷について報告した。

今回は, 生材から直接, 人工乾燥を行い, 乾燥特性,

損傷を観察測定して、水食い材の特徴を把握することに目標をおいた。

2. 実験方法

2.1. 供試材

供試材は、前報¹⁾にて使用したと同じトドマツ正角材（10.5×10.5×365cm）を用いた。種類は心持ち水食い材、心去り水食い材、心去り非水食い材の3種類で、各々15本ずつ、合計45本を供試した。また水食い材の選別法は、前報¹⁾と同じく、製材直後に材面観察により、本来、低含水率を示す心材部でヌレ色を呈する部分がある材を水食い材として選別した。なお、コントロール材として、各種類より、初期含水率が最大のものと最少のもの2本を抽出し、合計6本を用意した。

2.2 乾燥スケジュール

針葉樹材用の中温スケジュール²⁾により、目標仕上がり含水率を18%として昼夜連続運転によって乾燥を行った。第1表に、そのスケジュールを示す。

2.3 乾燥装置

乾燥装置はヒルデブラント社のHD74 / 型（蒸気式改良型）を使用した。これは強制水平循環インターナルファン型で木材収容量2.2m³のものである。

2.4 損傷の測定方法

(1) 木口割れ

正角材の元口、末口の各4材面、合計8材面について、木口割れの長さ、幅、本数を測定した。長さ・幅については、割れ1本あたりの平均値として求めた。割れ本数は正角材1本あたりの総本数の平均値として

求めた。

(2) 表面割れ

正角材の4材面に生じたものについて、長さ、幅については割れ1本あたりの平均値、本数は正角材1本あたりの総本数の平均値として求めた。

(3) ねじれ

ねじれは乾燥終了後に正角材（3.65m）の元口、末口に引いた基準線が水平面とのなす角度を角度計によって測定し、元口と末口の差をもってねじれとした。

(4) 曲がり

曲がりは乾燥終了後に、正角材の材長3.65mあたりの長さ方向の中央矢高を測定し、この値を曲がりとした。

3. 結果と考察

3.1. 初期含水率・仕上がり含水率

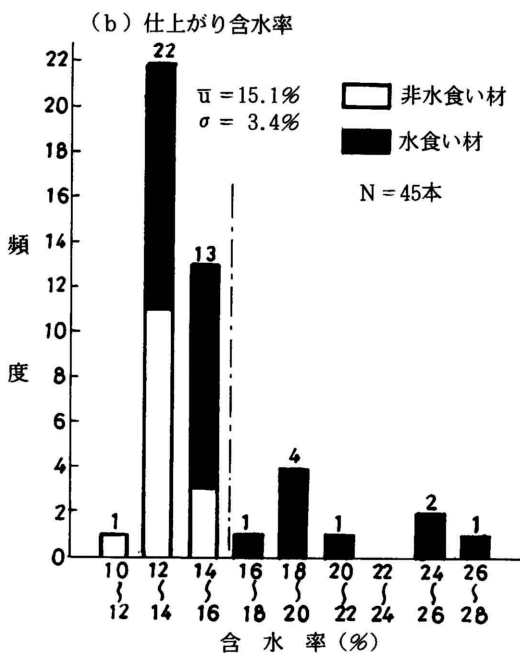
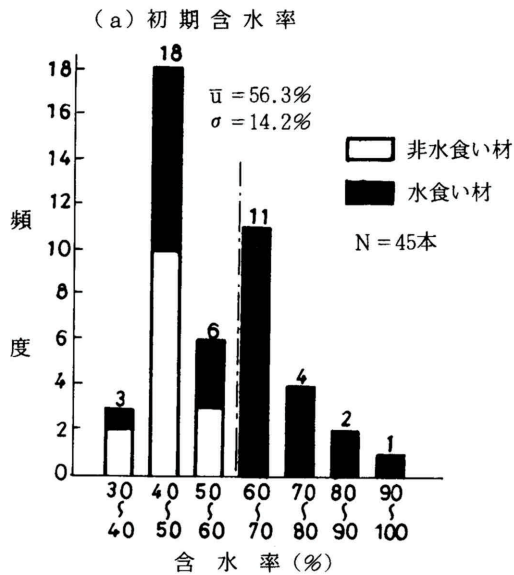
第1図に、供試材45本の初期含水率、仕上がり含水率のヒストグラムを示した。図中の黒いグラフは水食い材を示している。初期含水率(a)の全平均値は56.3%であった。さらに水食い材と非水食い材とに分けて比較すると、明らかに水食い材の初期含水率が高く、平均値で61.7%、非水食い材は、同じく45.4%であった。

また仕上がり含水率(b)は、全平均値で15.1%となった。水食い材のみでは16.1%、非水食い材のみでは13.3%となり、水食い材が高い仕上がりである。今回は、調湿処理を含め、乾燥スケジュールを変える含水率の基準をコントロール材6本の含水率の平均値を用いたため、初期含水率が高いものは仕上がり含水率も高く、初期含水率が低いものは仕上がり含水率も低くなった。乾燥終了時における仕上がり含水率の範囲は含水率11.9~26.2%であった。したがって水食い材が混入している材の乾燥は乾燥むらが大きく、均一な乾燥を行うためには、イコーライジングを長くとる必要があり、乾燥時間の延長は避けがたい。

仕上がり含水率と初期含水率の関係を調べてみると、第2図のようであった。すなわち、前述のように初期含水率が高いほど、仕上がり含水率も高くなっている。前報¹⁾の天然乾燥の結果と同じ傾向である。また

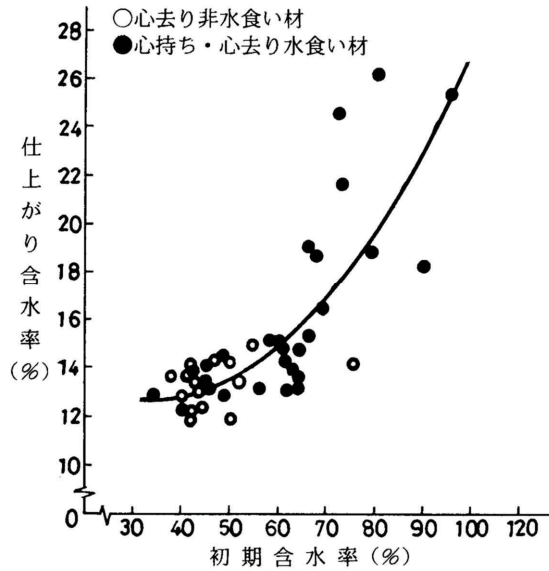
第1表 トドマツ正角材の中温スケジュール²⁾

含水率 (%)	乾球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)	備考
生~30	80	2	
30~25	80	3	
25~20	90	5	
20~終末	90	7	
調湿処理	90	1	8時間処理



第1図 供試材の初期含水率と仕上がり含水率のヒストグラム

図中の曲線は、この関係を二次回帰曲線として示したものであるが、今回のスケジュールで乾燥した場合に、供試材のうち含水率が20%以下にまで乾燥できた材の初期含水率の上限値は、この曲線から推測して約80%である。これ以上の高含水率材は、さらに乾燥時間が延びる。

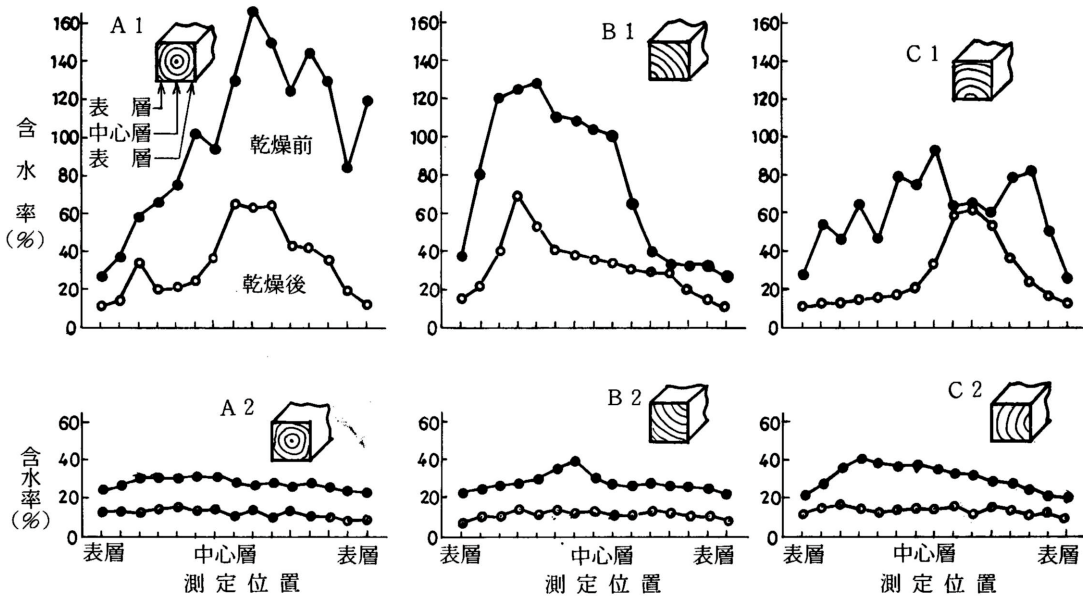


第2図 トドマツ正角材の初期含水率と仕上がり含水率の関係

3.2. 水分傾斜

乾燥前・後の正角材の横断面内の含水率状態を調べる目的で木口切片(10.5×10.5×2~3cm)を用いて、これを短冊型に15等分して、各々の小片の含水率を測定した。第3図にその結果を示す。測定した材は6本のコントロール材であり、図中の記号Aは心持ち水食い材、Bは心去り水食い材、Cは心去り非水食い材の結果である。各種類とも初期含水率が高いもの(1)と、低いもの(2)についての結果である。

乾燥終了時(印)の水分傾斜を見ると、初期含水率の高いA1, B1, C1では材中心部で、まだ含水率50%を越える部分があり、水分傾斜がきつく残っている。一方、初期含水率の低かったA2, B2, C2を見ると、材内部での含水率は低く、水分傾斜も小さかった。この結果から、水食い材と非水食い材の違いにかかわらず、今回の乾燥時間内では、初期含水率の高かった材は十分な乾燥ができていない。逆に、水食い材でも初期含水率が低い場合には十分な乾燥が行われていると結論されるが、水食い材と一口にいても、正角材の一部に水食いがあったもの、あるいは、非水食い材の中にも、材面観察では発見できなかった水食い部もある可能性があって、実際の材を見て何が



注) A, Bは水食い材, Cは非水食い材。
 A-1, B-1, C-1は高初期含水率材。
 A-2, B-2, C-2は低初期含水率材。

第3図 トドマツ正角材の水分傾斜

水食い材であり、そうではないのかという基準（特に乾燥性から考えて）の問題もあり、今回の結果だけから結論を急ぐことはできない。さらに、材全体として水食い材を考えてゆくと同時に、水食い部分に関する乾燥特性を詳しく検討しておく必要がある。

3.3. 乾燥時間と乾燥速度

前報1)と同様な方法で正角材の乾燥経過から、乾燥時間と乾燥速度を求めて、水食い材と非水食い材の比較を行った。すなわち、初期含水率を起点として、乾燥末期の温湿度条件によって定まる平衡含水率（今回は10.5%）に漸近する(1)式で示した指数関数を用いて、測定値より最小二乗法によって近似し、含水率減少曲線を決定した。さらに(1)式を(2)式のように変形し、(2)式から含水率50%から20%までの乾燥所要時間を推定した。乾燥速度を求めるために(1)式を時間tについて微分し、その微分係数を乾燥速度とした。すなわち、(3)式であるが、これに含水率20%まで乾燥するのに要した時間(t)を代入して、含水率20%の乾燥速度を求めた。

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

ここで、u：求める含水率（%）、 U_a ：初期含水率（%）、 U_e ：乾燥末期の温湿度条件により決まる平衡含水率（%）、k：最小二乗近似により決まる定数、t：乾燥時間（hr）である。

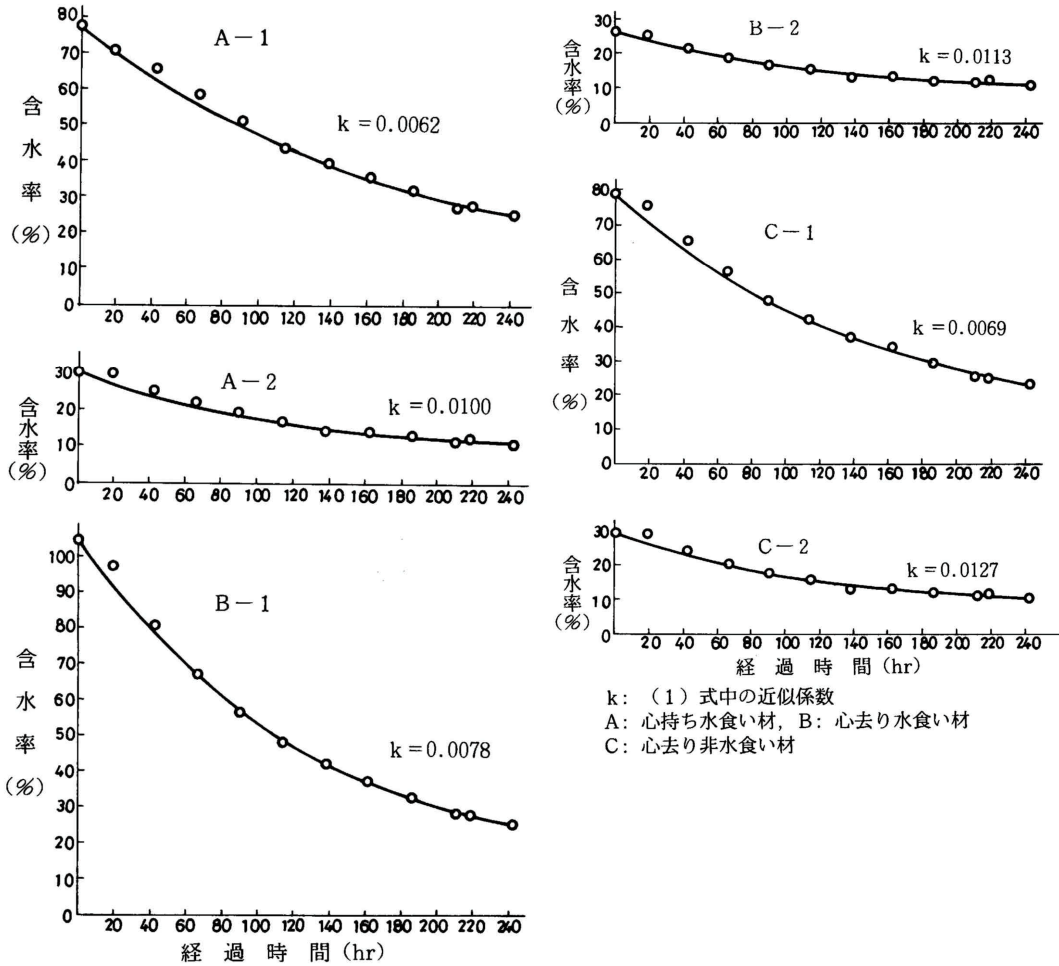
$$t = \frac{1}{k} \log \frac{U_a - U_e}{U - U_e} \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -k (U_a - U_e) \text{EXP}^{-kt} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 $\frac{\partial u}{\partial t}$ ：乾燥速度（%/hr）。

第4図に、こうして求めた含水率減少曲線と測定値を合わせて示した。A1, A2・・・C1, C2までの6つの図は、コントロール材6本についての結果である。また第2表には、これらの曲線から求めた含水率50%から20%までの乾燥時間と、含水率20%時の乾燥速度を示した。

水食い材と非水食い材の乾燥速度を心去り材について比較すると、第2表のBおよびCより、ほとんど差がない。一方、心持ち水食い材（A1, A2）は、それらに比べて幾分小さい値のように思えるが断定できない。もし差があるとすれば、これは、心去り材より



第4図 正角材の乾燥経過と含水率減少曲線

第2表 トドマツ正角材の人工乾燥時の乾燥時間と乾燥速度の推定

材種	No.	初期含水率 (%)	k ($\times 10^{-2}$)	含水率50%→20%までの推定乾燥時間 (hr)	含水率20%時の乾燥速度 (%/hr)
心持ち水食い材	A 1	77.4	0.62	186.5	0.077
	A 2	31.0	1.00		
心去り水食い材	B 1	103.8	0.78	154.5	0.091
	B 2	25.9	1.13		
心去り非水食い材	C 1	79.5	0.69	159.5	0.094
	C 2	29.4	1.27		

注) No. A 1 ~ C 2 までは第 4 図の符号と一致する。k 値は (1) 式中の係数。

も心材部 (一般に乾燥性が悪い³⁾) の材内に占める割合が大きいことによる影響ではないかと思われる。また初期含水率の高い A1・B1・C1 は初1期含水率の

低い A2, B2, C2 よりも、いずれも乾燥速度が小さい結果を示している。この違いの原因は、初期含水率の差が大きいため、含水率が同じ20%時点と比較し

ても、その時点における温湿度条件が、人工乾燥の場合異なるため同一条件下にないこと、材の平均含水率は20%であっても材内の水分傾斜の度合いが異なっていること、さらに、高含水率材は多少なりとも水食い部を含み、水食い部の材質的特性から乾燥性が悪いのではないかと推測されるが不明確な点が多く検討の余地がある。したがって今回の場合、同様な初期含水率を示す材（A1, B1, C1またはA2, B2, C2）の乾燥速度の比較は可能であるが、初期含水率が極端に異なる場合（A1とA2, B1とB2, C1とC2）の比較は難しいと思われる。

乾燥日数（含水率50%から20%まで）は心持ち水食い材が長くなり、他の2種類は同程度であった。その

第3表 トドマツ正角材の人工乾燥結果

材 種	水 食 い 材		非水食い材
	心 持 ち	心 去 り	心 去 り
供試材数（本）	15	15	15
初 期 含 水 率 （%）	66.3 (12.8)	57.2 (14.5)	45.4 (4.1)
仕 上 が り 含 水 率 （%）	17.4 (4.5)	14.2 (2.3)	13.3 (0.9)
木 口 割 れ	長さ（cm）	16.6 (9.5)	8.9 (16.7)
	幅（mm）	1.3 (0.7)	0.1 (0.1)
	本数（本）	7.4 (3.0)	2.3 (2.0)
表 面 割 れ	長さ（cm）	27.8 (19.1)	14.9 (16.8)
	幅（mm）	0.8 (0.6)	0.4 (0.3)
	本数（本）	7.9 (6.5)	1.2 (1.6)
ね じ れ（度）	4.1 (1.7)	3.3 (2.9)	1.8 (1.4)
曲 が り（mm）	3.0 (1.5)	3.0 (1.5)	4.4 (2.2)

- 注) 1) ねじれ、曲がりは材長3.65m当たりの値。
 2) 木口割れ、表面割れの長さ、幅については、割れ1本当たりの平均値。本数については正角材1本当たり（木口割れは末口、元口の8材面。表面割れは4材面）の発生数の平均値。
 3) () 内は標準偏差。

考察は前述の乾燥速度で述べたことと同じである。

3.4. 収縮率

収縮率はコントロール材のうち、初期含水率が高い材3本について測定した。すなわち、使用した材の種類は、心持ち水食い材、心去り水食い材、心去り非水食い材の3種類である。これら3種類の間では収縮率の差は認められなかった。そこで3本の収縮率の平均値によって言及すると、初期含水率86.9%、仕上がり含水率24.8%であったが、仕上がり時までの収縮率は1.3%であった。全乾までの収縮率は3.9%であった。収縮率測定は材面はおおむね追証材面であった。

したがってこの全収縮率の値は、トドマツ材の全収縮率として、接線方向9.5%、半径方向2.8%とした文献値⁴⁾と比較すると、これらの中間的な値を示し、極端にはずれた値ではない。

3.5. 損傷

乾燥終了後の正角材の損傷の測定結果を第3表に示す。ここでは含水率についても合わせて示した。さらに、この結果からトドマツ正角材に関して、水食いの有無、髓心の有無（心持ちか心去りか）による損傷の程度の差があるのかないのかについて分散分析を行い、統計的検討を試みた。その結果を第4表に示す。

(1) 木口割れ

木口割れに関しては髓心の有無による差が大きかった。すなわち、水食い材について、その心持ち、心去り別に比較したが、前報¹⁾の天然乾燥と同様に心持ち材の方が木口割れが多かった。また水食いの有無による差について、心去り材で比較すると、危険率1%で有意差が認められたが、この場合、非水食い材の方が水食い材よりも多かったという結果であり、水食い材の方が少なかった。前報の天然乾燥の結果と合わせて考えると、水食い材の存在によって木口割れが増加することはないといえる。

(2) 表面割れ

表面割れの程度も髓心の有無による差が大きく、心持ち材の方が心去り材よりも大きい。一方、水食いの有無による表面割れの違いは、あまり認められず、水食いの存在によって表面割れが顕著に増加することは

第4表 水食いの有無・髓心の有無が正角材の損傷と含水率に及ぼす影響（分散分析結果）

因 子	含 水 率		木 口 割 れ			表 面 割 れ			ねじれ	曲がり
	初 期	仕上がり時	長 さ	幅	本 数	長 さ	幅	本 数		
髓心の有無 (水食い材)	—	—	※※	※※	※※	※※	※※	※※	—	—
水食いの有無 (心去り材)	※※	※※	—	※※ ^{a)}	※※ ^{a)}	—	※	—	—	—

注) ※: 危険率5%で有意。※※: 危険率1%で有意。a): 非水食い材の方が水食い材よりも値が大きかった。

なかった。

(3) ねじれ・曲がり

ねじれ・曲がりについては、髓心の有無、水食いの有無による差は認められない。

4. まとめ

トドマツ人工林材（正角材）の中温スケジュールによる人工乾燥試験を行い、その乾燥特性と損傷を調べた。特に水食いの有無、髓心の有無（心持ちか心去りか）によって差があるかどうかについて検討した。得られた知見を要約すると以下のようになる。

- (1) 水食いを含むトドマツ材を人工乾燥すると、初期含水率の変動幅が大きく、仕上がり含水率むらが大きくなる傾向がある。仕上がり含水率むらを少なくするためには、イコーライジングを長くする必要があり乾燥時間の延長は避けられない。
- (2) 乾燥速度（含水率20%時）は水食いの有無による差は明らかではなかった。一方、髓心の有無による差が認められ、心持ち材の方が小さかった。
- (3) 収縮率は、水食いの有無、髓心の有無による差はなかった。
- (4) 割れについては、木口割れ、表面割れとも水食いの存在による増加は、ほとんど認められなかった。一方、髓心の有無による差は大きく、心持ち材で顕著に発生した。
- (5) ねじれ、曲がりについては、水食いの有無、髓

心の有無による差は認められなかった。

前報¹⁾および本報告によってトドマツ人工林材（正角材）の天然乾燥、人工乾燥の両方における水食い材の乾燥特性、および損傷への影響を観察測定したが、現段階で総括すると、損傷に及ぼす水食いの影響は小さいといえる。むしろ、乾燥に関して問題となるのは水食いが含まれる材を乾燥する場合、乾燥時間が長びいたり、仕上がり含水率むらが大きくなることである。これに関して、水食い部の乾燥速度について、さらに検討を加え水食い部が本当に乾燥性が悪いのか、あるいは単に高含水率がゆえに乾燥時間のみが長くなるだけなのかに対する評価を行う必要があり、高含水率材を迅速に乾燥する方法、条件を確立する必要がある。

文 献

- 1) 信田ほか3名: 林産試月報, 392, 1 (1984)
- 2) 北海道林産技術普及協会編: 木材乾燥 (実務編) テクニカルノートNo. 4, 37 (1978)
- 3) 農林水産省林業試験場編: 木材工業ハンドブック 251~252, 丸善 (1958)
- 4) 寺沢真・筒本卓造: 木材の人工乾燥, 18, 社団法人日本木材加工技術協会 (1981)

- 木材部 乾燥科 -
(原稿受理 昭59.5.23)