

板材の収縮および割れからみた乾燥スケジュール(1)

中 川 宏 前 田 市 雄
河原田 洋 三 千 葉 宗 明

北海道および南方産の広葉樹のそれぞれの数種の板材の基準的なスケジュールを作成するために、まず、熱気乾燥のさいに発生する割れ、ドラインゲットに対する乾燥温度、湿度および初期含水率の影響程度を各樹種について実験的に明らかにし、これらを発生しやすい乾燥欠点の評価区分に級づけし、スケジュール表の作成を試みた。

はじめに

乾燥スケジュールを決めるための研究は、基礎的なものが多く、それらは乾燥時間^{8),11)}、内部の熱および水分移動^{4),5)}、乾燥応力の推移^{6),9)}などについて明らかにされている。実用的なものとして、乾燥欠点の発生状態¹³⁾、数種の料桂の落込み機構¹⁾などについて、また、基礎的なものと実用的なものを組合した結果から、多くの樹種について、乾燥温度および乾湿球温度差の組合せにより、スケジュールがきめられている^{3),11),14)}。

乾燥中に発生する欠点は、外見上組織的に繊維走向状態が整っている板材に対して、割れと異常な収縮があげられる。これらの欠点の主な原因は、乾燥過程にさけることのできない乾燥応力によるものと考えられる。ここで乾燥応力は水分傾斜による表面層と内部層で異なる巨視的なもの、さらに単一細胞膜内の収縮の差異によるもの、収縮量の異なる繊維間の相互関係によるものと区分して考えられている。いずれにしても、乾燥欠点の発生は、熱気乾燥における木材の弾性的性質と発生応力との相互関係から現われる。この関係は板材の樹種、水分状態および乾燥条件などによって異なると考えられる。

板材の乾燥収縮におよぼす乾燥温度および初期含水率の影響

1. 低湿度乾燥での乾燥温度と低含水率材の収縮

(i) 実験方法

供試材は第1表に示す北海道および熱帯産の16樹種

第1表 試験に用いた樹種

種 名	産 地	原木 径級 (cm)	全乾 比重	図表 の 符号
カ ツ ラ	北 海 道	45	0.37	●
シ ナ ノ キ	ク	45	0.37	▲
ハ ル ニ レ	ク	45	0.52	□
ヤ チ ダ モ	ク	42	0.59	○
ノ タ ヤ カ エ デ	ク	40	0.65	△
マ カ バ	ク	43	0.67	◎
ミ ズ ナ ラ	ク	44	0.70	×
メ ラ ン テ イ	ボルネオ サラワク	46	0.39	△
マンガシノロ	フィリッピン ミンダナオ	82	0.39	◇
タンギール	ク	98	0.54	◎
ラ ミ ン	ボルネオ サラワク	38	0.54	○
バクチカン	フィリッピン ネグロス	80	0.57	□
カ ポ ー ル	ボルネオ サラワク	88	0.62	●
ア ビ ト ン	フィリッピン ミンダナオ	80	0.70	×
ク ル ウ イ ン	北ボルネオ	80	0.75	▲
マ ト ア	ニューギニア	70	0.72	■

で、原木木口面に木取りを墨付けし、板厚さ約30mm、板幅約12cmに製材し、これらの板から、ランダムに一実験条件4~5枚宛、約25cm長さの柁目、板目板をとった。これを20 で、まず80%R、H、ついで65% R、Hで約25%まで乾燥したのち、25(厚さ)×100(幅)×200(長さ)mmに鉋削仕上げして試料とした。

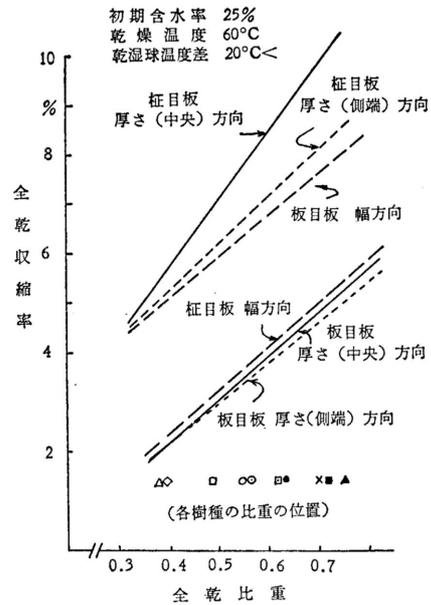
乾燥条件は乾燥温度を60, 80, 100 , 乾湿球温度差はとくに制御しなかったが、20~25 (以下20<とする)である。乾燥に使用した装置はI・F型乾

燥装置で(研究報告No.21)⁷⁾, その中に枠組みした棚をいれ, それに荷重がかからない状態において乾燥した。材間風速は200~250 cm/sである。

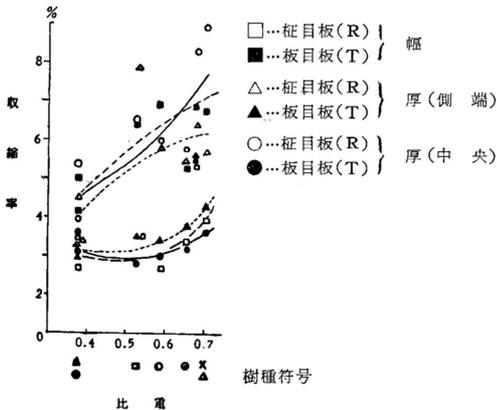
実験は乾燥開始後, 乾燥初期において, 30分から3時間おきに試料の重量変化と初期の木口および表面割れの状態を観察し, 各乾燥温度で重量変化が小さくなるまで乾燥したのち, 60 乾燥はさらに80 で約24時間乾燥し, また, 80, 100 での乾燥材は直ちに100~105 で恒量に達するまで乾燥し, 全乾状態とし, 測定部分の寸法と, 木口割れの深さおよび内部割れをみるために横切りをした。

(ii) 実験結果

乾燥温度60 で乾燥した板の全乾状態の収縮率と全乾比重(樹種)の関係を第1, 2図に示した。多少のバラツキをともなっているが, 比重の大きい樹種ほど収縮率が大きい。その増加の程度は接線方向(柎目板



第2図 熱帯産の低含水率材の比重(樹種)と全乾収縮率

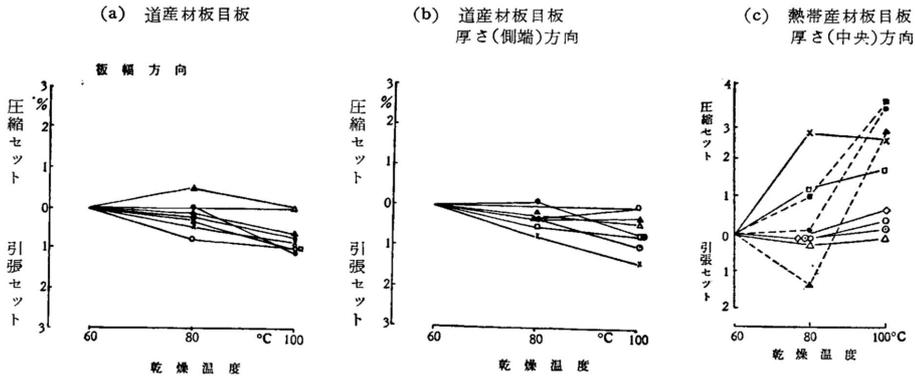


第1図 北海道産材の比重と全乾収縮率
乾燥温度: 60°C
乾湿球温度差(Δt): 20°C<

の厚さ, 板目板の幅)は半径方向(柎目板の幅, 板目板の厚さ)よりも著しく大きく, 北海道産材の半径方向よりも熱帯産材が明らかな傾向を, また同一比重でも収縮量が大きいことを示している。なお, ここで厚さ方向において, 比重の大きい樹種では, 中央部分は側端部分よりも大きい収縮を示している。これは実験条件のような比較的緩やかな乾燥においても高比重の材では中央部分と側端部分で軽い drying set (ドライン

グ・セット)を示したことによるものと考えられる。ここに低い含水率まで緩やかに乾燥された場合の材の収縮と, いろいろの実験条件で乾燥した場合の収縮はその値が異なる。本実験では両者の差を drying set の大きさとし, 正常な収縮よりも大きい場合(正)を compressive set (圧縮のセット), 小さい場合(負)を tensile set (引張のセット)とする。ついで, 正常な収縮を示すものとして, 上記の実験条件によるものを基準材とみなして drying set の大きさを求め, 以下これについて検討する。ここで, 高い比重の樹種では厚さ方向になんらかの set をうけているので, set の大きさは多少ちがってくると思われる。

乾燥温度が高い場合の drying set の変化を第3図に示した。乾燥温度と drying set の関係は板の方向によって異なる傾向を示す。すなわち, 板幅方向では乾燥温度が高くなると set は引張側に大きくなるものが多い。この傾向は北海道, 熱帯産材ともに, また, 板目板と柎目板ともに同様であり, 収縮量が小さくなる。ここで, 引張の set の大きさはほとんどの樹種は1.0%以内である。厚さ方向については, 中央部分と側端部分で異なり, 中央部分は乾燥温度80 で二, 三の樹種で引張の set を示すものがあるが, 多くの樹種



第3図 低含水率材の乾燥温度とセット

の乾燥温度100 では、圧縮の set が増大する。これに対して、側端部分は圧縮のsetを示すもの、引張のsetを示すものと一定しておらず、幅方向と中央部分の厚さ方向との中間的傾向を示している。これは板の側面からの蒸発乾燥が板面のそれと類似しているため、側端部分の厚さ方向の応力経過も幅方向と近似し、しかも、中央部分の厚さ方向の応力経過の作用を受けて曖昧な傾向を示すことによる。このような点から、板材の乾燥収縮を論ずる場合、側端部分を測定位置にすることは避けなければならない。また、柁目板と板目板とで drying set の温度による傾向に著しい差が認められないことは drying set の発生機構が接線および半径方向で差異のないことを意味する。

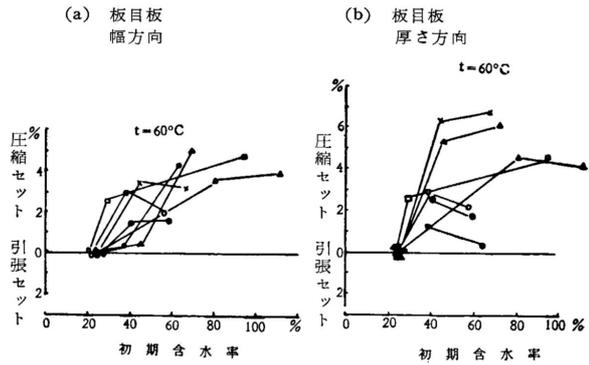
2. 低湿度乾燥のさいの初期含水率と drying set

(i) 実験方法

前と同様に調製した供試板の初期含水率が生材からのものはそのまま、約40%のものは低温度で予備乾燥して調整した。乾燥方法は前と同様である。

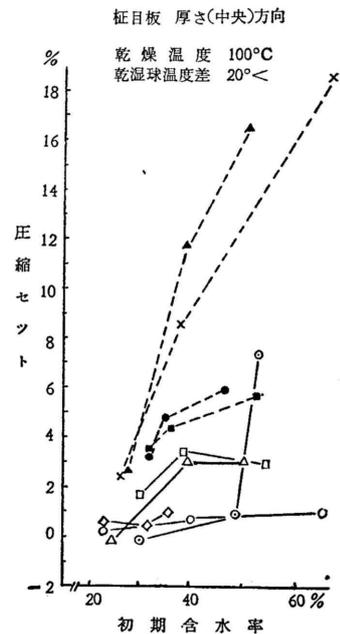
(ii) 実験結果

乾燥温度60 における板幅および板厚方向の drying set におよぼす初期含水率の影響を北海道産材を第4図、熱帯産材を第5図に示した。各樹種の各方向とも初期含水率が40%付近および生材の drying set はすべて圧縮のsetを示し、収縮率が増大している。その大きさは振幅方向において柁目板は大きいもので約2%、板目板では同様に4%程度である。中央



第4図 北海道産材の初期含水率とセット

部の厚さ方向においては、板目板の大きいもので約6%、柁目板では同様に約8%程度である。初期含水率が約25%と40%について、初期含水率が10%大きくなることになる drying set の増加は、柁目板では、板幅方向で0.3~1.0%、中央



第5図 熱帯産材の初期含水率とセット

部の厚さ方向では樹種によって異なるが1~4%、板目板では1~3%におよぶ。各方向の drying set は初期含水率約40%と生材の間ではほとんど変わらないが、逆に小さくなるものが多く、側端部の厚さ方向では中央部のそれよりも小さく、板目板よりも大きい。柱目板で0.5~1.0%程度であり、むしろ、板幅方向のそれに類似する。このように多くの樹種を通じて、板の収縮は初期含水率および板の方向、柱目板か板目板かによって、類似の傾向を示す。また、drying setは初期含水率が繊維飽和点付近にあるか、40%付近の自由水域にあるかによって著しい差異を示し、40%以上の自由水域では初期含水率の増加による set の増加は比較的小さい。

乾燥温度が80および100 の場合の初期含水率と drying set の関係は、60 の場合と類似しているが、set の増加の割合は高温ほど大きく、とくにこの傾向は厚さ方向において著しい。生材における乾燥温度と set の関係は第6図に示すように、乾燥温度による set の増減は柱目板の板幅および側端部の厚さ方向ではともに樹種によって一定しないが、中央部の厚さ方向では各樹種とも増大するものが多い。これら生材の drying set は60 についてすべて圧縮の set で

あり、板幅方向で柱目板0.3~2.2%、板目板1.6~5.0%、中央部の厚さ方向で柱目板0.4~11.4%、板目板0.3~6.6%であるのに対して、100 について、板幅方向で柱目板は、引張の set 0.4~圧縮の set 1.5%、板目板では、引張の set 1.3%~圧縮の set 3.6%で set の量は小さい。中央部の厚さ方向では柱目板2.4~17.8%、板目板2.7~9.2%で著しく大きい。この傾向は熱帯産材においても類似している。

なお、80, 100 における高含水率材の乾燥において、終了後内部割れのみられる樹種がある。これらの板では、実際の収縮率はさらに大きくなると考えられるが、ここではこれを考慮しないで、外部寸法の変化によって収縮率を決めた。

3. 低湿度乾燥と高湿度乾燥の板材の drying set の比較

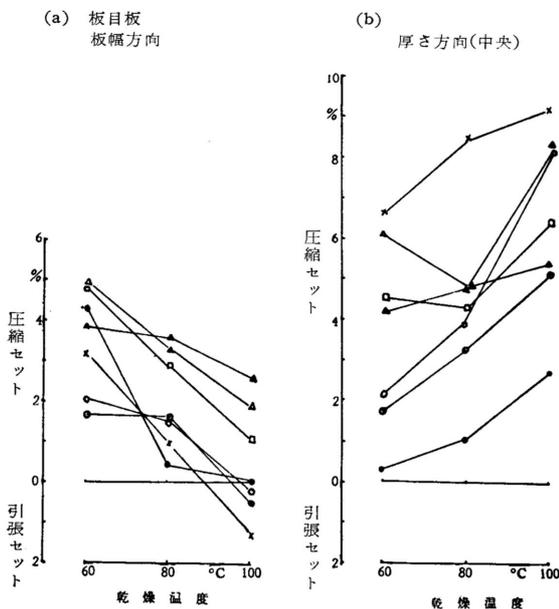
板材を低湿度で乾燥する場合に乾燥初期に木口割れ表面割れがみられ、これらの割れはその後乾燥条件によって助長されたり、内部割れの原因となることが多い。実際の乾燥においては、このような割れの発生を抑制するため、乾湿球温度差の小さい高湿度に調節される。前節のような低湿度乾燥では乾燥割れ、drying setは発生しやすい欠点がかかり強調された結果とみられる。本節では乾湿球温度差を約5 の高湿度とし、全乾燥期間を通じて変化しないで、低湿度乾燥との比較を検討した。

(i) 実験方法

前節と同様にして各樹種、初期含水率、乾燥温度を変えて行なった。

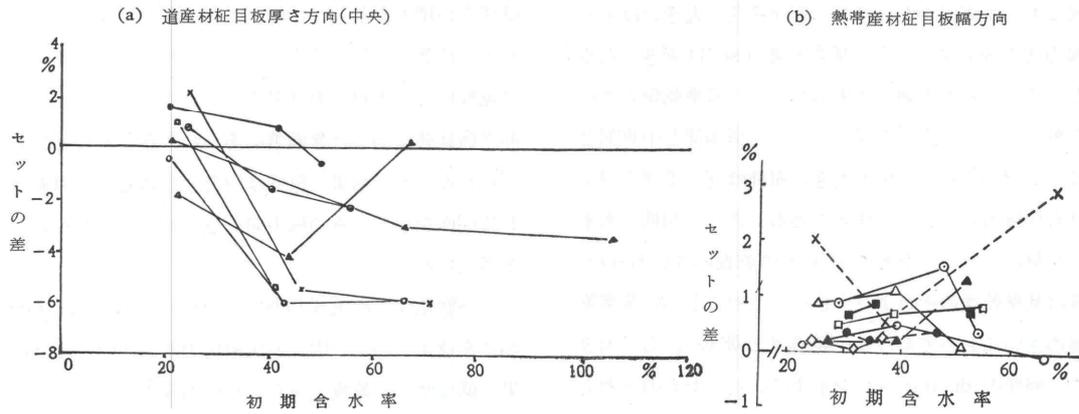
(ii) 実験結果

前と同様に各実験条件の drying set を求め、低湿度乾燥 ($t=20 <$) のさいの set 量に対する高湿度乾燥 ($t=5 \pm 1$) の set 量との差を求めた。第7図は、各乾燥温度の場合の高低両湿度乾燥のさいの set 量の差を初期含水率に関して示した。すなわち初期含水率と set の量の差の関係は板の幅および側端部の厚さ方向と中央部の厚さ方向において異なる傾向を示す。前二者においては低湿度乾燥におけるよりも高湿度乾燥に



第6図 北海道産生材の乾燥温度とセット

板材の収縮および割れからみた乾燥スケジュール



第7図 低湿度に対する高湿度乾燥のセットの比較(乾燥温度:100)

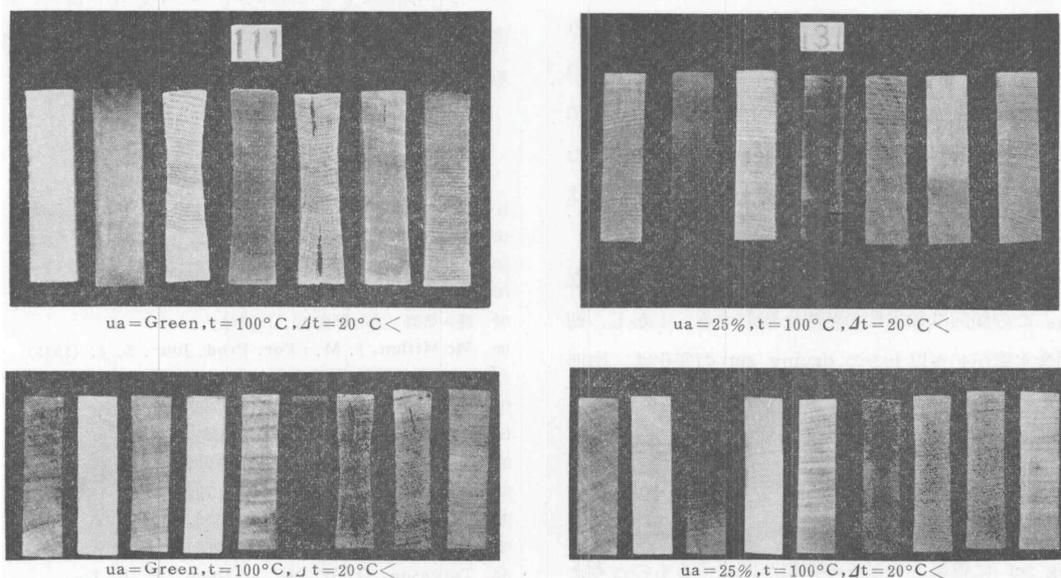


写真1 各乾燥条件での乾燥したさいの横断面
 (上段)北海道産材(左より:シナノキ,カソラ,ハルニレ,マカバ,ミズナラ,イタヤカエデ,ヤチダモ)
 (下段)熱帯産材:(左より:メランティ,マンガシノロ,タンギール.ラミン,マトア,クルウイン,
 アピトン,カポール,パクチカン)

において, drying set は圧縮側に大きいものが多く, この傾向はより高い初期含水率ならびに乾燥温度のさいに顕著である。また後者においては逆に高湿度において発生する圧縮の set が低湿度乾燥におけるそれよりも小さいことを示している。写真1は北海道および熱帯産材の柁目板の高湿度(100)で乾燥したときの横断面の圧縮セットの程度が初期含水率によって異なることを示す一例である。

4. 考察

正常な収縮量と実際における乾燥板材の収縮量の差をdrying setの量と定義したのはMc Millen⁶⁾であり, 小倉⁸⁾は Red oak の乾燥経過中の set の推移を求め, 表面層には引張の set, 中心層には圧縮の set があり, これらの set はほとんど永久ひずみであるとしている。また, 鈴木¹⁰⁾はプナ板目板の熱気乾燥による収縮実験により, 乾燥板材の収縮は幅および厚さ方

向ともに圧縮のsetがあり、乾燥速度が大きいほど、幅方向のsetは小さく、厚さ方向のsetは大きくなるとしている。本実験の結果において、基準乾燥のさいの柁目板の厚さ方向の収縮において側端部と中央部とで差が認められ、比重の大きい樹種ほど、半径方向よりも接線方向において顕著である。また、初期含水率25%材について高湿度で60 での乾燥のさいのsetの量は基準乾燥のそれより小さい。このことから基準乾燥のさいにおいてもおお、発生する乾燥応力が大きく、軽度のdrying setを示すにいたったものと考えられる。また、板材の正常な収縮量を規定する乾燥方法についても解決すべき点がある。

側端部の厚さ方向のdrying setに対する初期含水率、および乾燥温度との関係は中央部の厚さ方向よりも板幅方向のそれに類似する傾向を示す。これは板の側面および板面からほぼ同程度に蒸発乾燥することによって、側面に近い厚さ方向と板幅方向とが近似した応力経過をたどることによると考えられる。これはYoungs⁽⁵⁾の実験結果からも推論される。

初期含水率が高い場合にdrying setが大きくなる。この傾向は鈴木⁽¹⁰⁾の結果と類似する。しかし、初期含水率が40%以上でのdrying setの変化は、約25%から40%付近への変化よりも著しく小さい。この点、鈴木の結果と異にしている。高含水率材では板幅および厚さ方向ともに圧縮のsetをし、Slice methodによるsetの結果と矛盾するが、これは板材のdrying set に乾燥応力以外の要素が関係するものと考えられる。また、乾燥前半に引張ひずみを示すのは表層部分のみで、この部分が速やかに引張側にsetされるに対して中心層を主とした内部では圧縮応力をうけ、この圧縮応力が長期間作用、する場合、クリープによる

ひずみの増大を示し、このクリープは高湿度、高含水率下では著しく増大する。さらにこのようなクリープは乾燥応力が木材の弾性限界よりも小さくても、水分非平衡状態にあるとき顕著にあらわれることなどがあげられる。その結果、板面は内部の圧縮変形に引張られて凹面を示し、その幅方向の弦長も小さくなるものと考えられる。

高湿度乾燥では乾燥初期の表面層の引張応力は緩やかに発達するので、内部の圧縮応力も小さい。この結果、低湿度下の乾燥でみられた板の幅方向の引張のset、中央部の厚さ方向の圧縮のsetは高湿度下の乾燥のさいにはともに軽減されるものと考えられる。このことは低湿度下の乾燥に多くみられた木口割れ、表面割れが、高湿度下の乾燥においては著しく軽減されることによって裏付けられる。

参考文献

- (4) 満久崇磨：木材研究 6, (1951)
- (5) 満久崇磨：木材研究 13, (1954)
- (7) 中川宏ほか：指導所研報 21, (1961)
- (8) 小倉武夫：林試研報：77, (1955)
- (9) 小倉武夫：林試研報；117, (1959)
- (10) 鈴木 肇：木材学会誌 2, 3, (1956)
- (11) 寺沢 真, 小玉牧夫：林試研報 79, (1957)
- (12) 寺沢 真, 小玉牧夫：林試研報 135, (1962)
- (13) 寺沢 真：木材工業 20, 5, (1965)