

板材の収縮および割れからみた乾燥スケジュール(2)

中川 宏* 吉田直隆**
 遠藤 諒***

短い乾燥時間に、欠点の少ない乾燥材を生産するために被乾燥材の含水率または時間経過にともなって変化させる温度および湿度の組合せを乾燥スケジュールとよんでいるが、それは樹種、材種、含水率状態によって多く考えられる。一般には初期に低温・高湿、終期に高温・低湿である。本試験の章では多くの組合せのうち、温度条件を異にし、変化するいくつかのスケジュール群について乾燥時間と板材の収縮率について明かにした。

スケジュール乾燥における板材の収縮

1. 相異なる温度条件のスケジュール

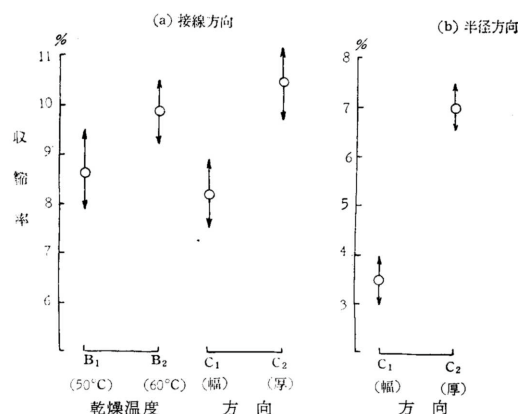
(1) 温度が終始一定の場合

北海道産ミズナラの22mm厚さの床板原板(初期含水率約70%,全乾比重0.63~0.66)の板目および柃目板を供試材として、第2表に示す温度が終始一定で、湿度を時間的に変化させる条件で乾燥し、平均含水率10%までの収縮率におよぼす影響因子を乾燥温度、幅および厚さ方向、conditioning として、それらの影響程度をL₉(2⁷)型の直交配列表により解析した。

第2表 -1-1のスケジュール

時間 hr	乾燥温度 °C		乾湿球温度差 °C
0~34	50	60	6
34~50	50	60	8
50~82	50	60	10
82~150	50	60	12

その結果の効果グラフを第8図に示した。すなわち、接線(板目)方向では乾燥温度が高い方が(寄率 $p=22.5\%$)幅よりも厚さ方向が($p=65.4\%$)大きい収縮率を示し、半径方向では幅よりも厚さ方向の収縮率の大きいことが目立っている。このことは湿度を変化させるスケジュールにおいても接線、半径方向



第8図 収縮率に対する効果

ともに板の厚さ方向の圧縮のsetが幅方向よりも大きく、一方大きい収縮を示す接線方向のみに圧縮のsetに対する乾燥温度の影響が若干みられる。

(2) 温度、湿度をともに変化する場合

北海道産ミズナラ ($ro=0.58\sim0.65$)の厚さ10, 16, 22, 25mmの板目および柃目板およびバニレ ($ro=0.58\sim0.65$)の厚さ10, 16, 22mmの柃目板でそれぞれ初期含水率 $ua=60\sim70\%$ の生材,約40および20%に調整した。ここで乾燥板材の収縮率を検討するために、各試料を調整するさいに両木口より長さ約25mmの小片をとり、これを室温で気乾状態まで乾燥した後、50 70 80 でそれぞれ24時間予備乾燥し、

第3表 -1-2のスケジュール

乾燥スケジュール	含水率 % 温度 °C	含水率 %					
		>50	>40	>30	>20	>15	<15
2- No. 1	乾燥温度	45	50	55	60	65	70
	乾湿球温度差	3	5	6	9	17	20
2- No. 2	乾燥温度	50	55	60	65	75	80
	乾湿球温度差	3	5	5	10	14	20
2- No. 3	乾燥温度	55	60	65	70	80	90
	乾湿球温度差	3	4	6	8	14	20

さらに、 105 ± 5 で全乾状態とし、これの収縮率を収縮比の基準値とした。ここで乾燥スケジュールは第3表によった。

実験結果の一部(ミズナラの板目板)すなわち、全乾状態の収縮比と板厚さの関係を初期含水率別に第9図に示した。uaが生材の場合、一二を例外にすれば、板厚さが大きくなると、幅および厚さ方向とともに収縮比は小さくなる。この傾向は柾目板についても同様の傾向を示すが、ハルニレの柾目板では一定の傾向はみられない。uaが40%の場合、板厚10mmの厚さ方向の収縮比は大きいとそのほかの厚さの板では 1.0 ± 0.1 の範囲で小さく、板厚さと収縮比の関係は一定していない。uaが20%の場合、板厚さ10mmの板の厚さ方向の収縮比は大きく、幅方向では逆に小さいのものが多く、板厚さが大きくなるとわずかに大きくなる傾向がある。ハルニレの柾目板の10mm厚さの厚さ方向では1.0より大きいことが目立ち、ミズナラ柾目板とともに実験条件の間に一定の傾向はみられず、uaが40%または20%の場合、板厚10mmの厚さ方向を除いた多くのものは1.0より小さい。また、いずれの実験条件においても乾燥温度を異にするスケジュール間の差異は明らか

でない。

これらの結果から、乾燥収縮に係る因子は初期含水率の影響程度が大きく、前の結果と類似している。またuaが40%の場合に大きい収縮比を示さないのは乾燥初期の高湿度によって、発生する応力が小さいことによるものと考えられる。

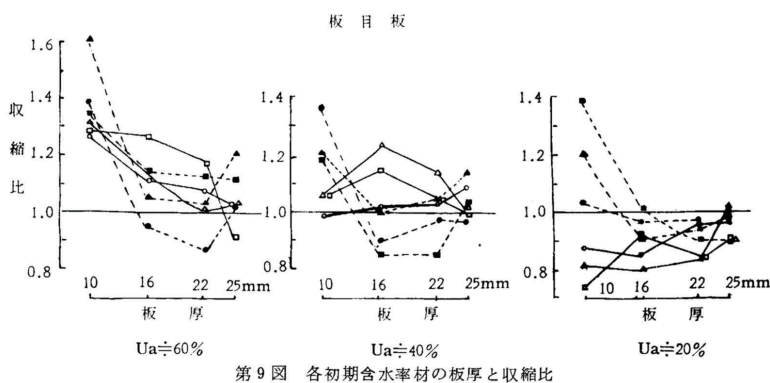
2. 初期温度を等しくし、後期温度を異にするスケジュールの比較

北海道産ミズナラ (ua = 60 ~ 70%, ro = 0.60 ~ 0.66) およびハルニレ (ua = 100%, ro = 0.40 ~ 0.50) の22mm厚さの床板原板を供試材として、幅および側端部分の厚さ方向(ミズナラでは中央部分も)の平均含水率10%および全乾状態にいたるまでの収縮率と乾燥スケジュールとの関係について検討した。また、厚さ方向の収縮について側端部分と中央部分の相対的關係を明かにするため、板幅8.5cmあたりの矢高を乾燥中適時測定した。乾燥スケジュールは初期温度を50で等しく、終期温度を異にして(第4表)、終期温度の上昇程度について検討した。

含水率60%から10%までの平均乾燥速度および含水

第4表 -2のスケジュール

乾燥スケジュール	含水率 % 温度 °C	含水率 %						
		<50	>40	>30	>25	>20	>15	<15
3-No. 1	乾燥温度	50	50	50	50	55	60	70
3-No. 2		50	50	50	55	60	65	75
3-No. 3		50	50	55	60	65	70	80
乾湿球温度差		3	4	6	8	11	15	20



第9図 各初期含水率材の板厚と収縮比

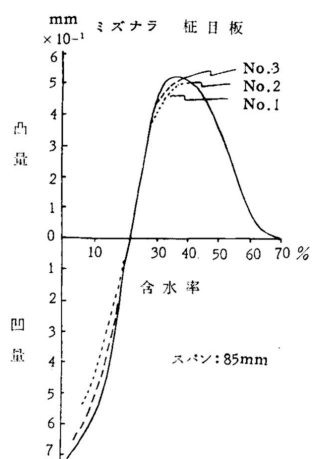
率10%までと全乾状態までの収縮率を第5表に示した。平均乾燥速度は後期温度の高いスケジュールほど大きく、いずれのスケジュールの場合でも柾目板よりも板目板が、ミズナラよりもハルニレの乾燥速度はそれぞれ大きい。生材から含水率10

第5表 スケジュール - 2の実験における平均乾燥速度と収縮率

樹種	乾燥スケジュール	柱目板				板目板				幅に対する厚さの収縮比率			
		平均乾燥速度 60-10 (m.c.%) 乾燥時間 (hr)	収縮率 上段 生材より 10% (%) 下段 生材より 全乾			平均乾燥速度 60-10 (m.c.%) 乾燥時間 (hr)	収縮率 上段 生材より 10% (%) 下段 生材より 全乾			厚(側端部)/幅, {厚(中央部)/幅}			
			幅方向	厚さ方向			幅方向	厚さ方向		半径方向	接線方向		
				板幅の側端	板幅の中央			板幅の側端	板幅の中央				
ミズナラ	3-No. 1	0.27	3.3	9.5	10.5	0.31	7.3	4.0	4.4	1.21	{1.33}	1.30	{1.42}
			3.8	10.3	13.0		9.1	4.4	5.6	1.16	{1.47}	1.13	{1.43}
	3-No. 2	0.30	3.3	9.6	10.8	0.36	7.4	4.1	4.8	1.24	{1.45}	1.30	{1.46}
			4.0	11.6	14.0		9.4	4.8	6.0	1.20	{1.50}	1.23	{1.49}
	3-No. 3	0.35	3.3	9.4	10.8	0.42	7.4	3.9	5.3	1.18	{1.60}	1.34	{1.46}
			4.6	11.0	14.6		9.1	4.2	6.0	0.91	{1.30}	1.21	{1.27}
ハルニレ	3-No. 1	0.50	5.5	10.6	—	0.89	13.5	3.8	—	0.69	—	0.79	—
	3-No. 2	0.59	5.4	10.3	—	0.95	13.8	4.0	—	0.74	—	0.75	—
	3-No. 3	0.83	5.2	12.0	—	1.06	14.5	4.6	—	0.89	—	0.83	—

%までの収縮率はミズナラ柱目板、板目板ともに幅方向および側端部の厚さ方向では乾燥スケジュールによる差異はないが、中央部の厚さ方向では後期温度の高いスケジュールの場合に大きい。したがって、厚さ方向の収縮率について側端部に対する中央部の比は後期温度のスケジュールほど大きい。この傾向は全乾状態までの収縮率についても類似している。ハルニレの含水率10%までの収縮率は、側端部の厚さ、板目板の幅方向ではスケジュールNo.3はNo.1, No.2よりも大きい。同一繊維方向の収縮について板の幅と厚さ方向で比較すると、第5表の右欄に示すように、半径方向では幅の収縮率に対する厚さのその割合は側端部で0.7~1.2であり、中央部ではミズナラについて1.3~1.6である。また接線方向では側端部で0.8~1.3、中央部ではミズナラについて1.3~1.5であり、ミズナラとハルニレで著しく異なり、ハルニレでは厚さ方向の収縮に比較して幅方向のそれが大きい。

また、本項のスケジュールによって乾燥した板の横



第10図 板面凹凸の乾燥による変移

断面の矢高の含水率による変移は第10図のとおりであり、ミズナラにおいて乾燥が始まると板面が凸になり、その矢高は乾燥の進行とともに増大し、平均含水率30~40%で最大となり、それ以降は急激に小さくなり、板面が平坦になったのち凹み、その矢高が増大する。柱目板は板目板よりも凹凸ともにその矢高が大きくなる。また、これらの矢高は乾燥温度が高いスケジュールほど大きいこのことは第5表の厚さ方向の収縮において側端部に対する中央部の比についてみられた傾向と一致する。ハルニレについては乾燥の進行とともに凸の矢高は増大し、ミズナラよりも大きい。乾燥後期には板面は平坦になった後凹面になるがその矢高はミズナラよりも著しく小さい。乾燥スケジュールによる差異は柱目板ではほとんどなく、板目板では後期温度の高いスケジュールほどわずかに大きい矢高を示した。

3, 初期温度を異にし、最終温度が等しいスケジュールの比較

北海道産のミズナラ $u_a = 60 \sim 70\%$, $r_o = 0.60 \sim 0.66$

第6表 - 3の乾燥条件

スケジュール	乾燥温度	含水率							
		>50	>40	>35	>30	>25	>20	>15	<15
4-No. 1	45	48	51	54	57	63	67	75	
4-No. 2	50	52	55	58	61	65	70	75	
4-No. 3	55	57	60	63	65	70	73	75	
乾湿球温度差		3	4	5	6	8	11	15	20

第7表 スケジュール - 3の実験における平均乾燥速度と収縮率

乾燥スケジュール	板 目 板				板 目 板				幅に対する厚さの収縮比率	
	平均乾燥速度 60-10 (m.c.%) 乾燥時間 (hr)	収縮率 上段 生材より 10% (%) 下段 生材より 全乾		平均乾燥速度 60-10 (m.c.%) 乾燥時間 (hr)	収縮率 上段 生材より 10% (%) 下段 生材より 全乾		厚(側端部)/幅, {厚(中央部)/幅}			
		幅 方 向	厚 さ 方 向		幅 方 向	厚 さ 方 向	半径方向	接線方向		
		板幅の側端	板幅の中央		板幅の側端	板幅の中央				
4 - No. 1	0.22	3.2 4.4	9.4 12.0	10.7 —	0.33	8.4 9.9	4.8 6.0	5.5 —	1.50 {1.72} 1.36 —	1.12 {1.27} 1.21 —
4 - No. 2	0.28	3.1 4.4	9.6 11.5	10.8 —	0.37	8.2 10.7	4.4 5.8	5.6 —	1.32 {1.81} 1.32 —	1.17 {1.31} 1.07 —
4 - No. 3	0.33	3.5 4.2	8.9 10.0	10.9 —	0.39	8.4 10.0	4.5 5.2	5.7 —	1.28 {1.63} 1.24 —	1.06 {1.30} 1.00 —

を供試材とし、寸法および収縮率、乾燥速度の決定は前項と同様で、乾燥スケジュールは第6表のとおりである。

含水率60%より10%までの間の平均乾燥速度および生材から含水率10%までと全乾状態までの収縮率を第7表に示した。収縮率は板目板、板目板とも幅方向については前期温度条件の差は明らかではないが、側端部の厚さ方向では含水率10%まで、全乾状態までの収縮率はともに前期温度が高いほど逆に小さい。中央部の厚さ方向では高温度ほど大きい。したがって、側端部に対する中央部の収縮率の比は高温度ほど大きい。同一繊維方向の含水率10%までの収縮について、幅方向に対する厚さ方向の比は側端部で1.0~1.5、中央部で1.3~1.8である。板面の矢高の乾燥による変移は前項で得られた傾向と同様である。また厚さ方向の収縮において、側端部よりも中央部でつねに大きい収縮を示すが、横断面の矢高の変移の結果から、このような drying set は乾燥前期から急激な縮小を示す(16) collapse (落込み)の発生過程と異なったものと考えられる。

4, 考 察

乾燥温度および湿度を乾燥の進行とともに変化させるスケジュール1~4による乾燥実験の結果において、スケジュール1, 3, 4のさいにはともに半径または接線方向について、板の幅よりも厚さ方向の収縮が大きく、またスケジュール3, 4による乾燥のさい、スケジュール3のハルニレを除いて、いずれも

板幅の中央部の厚さ方向の収縮が側端部のそれより大きく、中央部において圧縮のsetを示し、含水率60%から10%の範囲において、平均乾燥速度が大きくなるにともなって、圧縮のsetが漸増するものが多い。ここで実験に供した各スケジュールの間の比較は実施時期、供試材も同時的でないのものでそのまま比較できないので前期と後期温度がともに等しいスケジュール3のNo.2, No.3と4のNo.2について、側端部に対する中央部の厚さ方向の収縮を比較すると、3のNo.2に対する3のNo.1および4のNo.2に対する4のNo.1の収縮の差はわずかであるが大きい。3のNo.2に対する3のNo.3または4のNo.2に対する4のNo.3の収縮の比較はいずれも大きい差を示しており、前者における収縮の差よりも、後者におけるそれは大きい。すなわち、このような温度および湿度を乾燥の進行にともなって変化させるスケジュールにおいて、乾燥の前期に比較的高温度にすることは、後期に高温度にするより大きなdrying setを発生する。初期含水率を異にする板材のスケジュール2による乾燥において、初期含水率の高い場合には板厚さ10mmおよび16mmで乾燥速度の収縮比におよぼす影響はみられるが、初期含水率が低い場合には明らかでない。このことは、第 章の低含水率材の中央部の厚さ方向のdrying setと温度の関係は、高含水率材ほど明らかでないことと類似する。ハルニレの実験はスケジュール3および4の一部について行なったが、幅方向の収縮は比重の割合に著しく大きく、半径または接線方向の収縮について、幅に対する厚さ方向の割合はいずれも

0.7~0.9であった。これはハルニレの初期含水率が高いこと（スケジュール3）、ミズナラでは幅方向に引張のsetまたは軽度の圧縮setを示すに反して、ハルニレは圧縮のsetが著しく大きいことなどによるものであろう。

スケジュール3および4による乾燥実験において、板面の矢高の変移の結果で明らかにしたように、板幅の中央がくぼむことは繊維飽和点付近の低含水率域であらわれ、それ以前は逆に中央が凸面を示し、このことは板目板よりも柾目板で著しい。凸面から凹面に転換する時期は乾燥応力の表面層の引張りと中心層の圧縮応力が転換する時期と前後している。実験3の供試

材のうちハルニレは経験的に collapse を生じやすい樹種とされているが、乾燥の前半の凸面の矢高が著しく大きいにもかかわらず、後半の凹面の矢高はわずかであった。このような結果から、温度および湿度を変化させるスケジュールによる乾燥のさいのdrying setは、板材の初期含水率および乾燥初期の内部応力によることが多い。乾燥温度が高く、したがって、乾燥速度が大きくなると drying set が助長されるものと考えられる。

参考文献

- 16) 浅野猪久夫：木材学会誌 2.3 (1956)
- 17) 中川 宏：林産誌研報 No.48 (1966)

*林産試 乾燥科
**林産試 製材試験科
***林産試 調査科