

大径材の多様な利活用に向けた乾燥技術の開発

- スギ3丁取り平角材の乾燥試験 -

令和3年度～令和5年度

木材チーム 山本 幸雄

1. 目的

近年、人工林資源の充実とともに、素材生産に占める大径材の割合が増えており、主伐・再造林を推進する上で、大径材の需要創出が喫緊の課題となっている。林業研究部では、大径材の価値向上につながる部材開発等の取り組みとして、平角2丁取りや正角4丁、9丁取りの試験を行ってきた。今後は大径材部材の品質向上のため、大断面材や反りや狂いの生じやすい幅150mm以上の大径材板類を含めた、大径材の木取りに合わせた乾燥技術の開発や建築業界からも高品質な大断面材の要望があることから、地域材活用を推進する上で、大径材を活用した大断面材の部材開発は、建築業界をターゲットとした新たな需要先開拓として期待される。

本年度は、大径材から得た心去り平角材と心持ち平角材を含む3丁取り平角材を試験材として、高温蒸気高周波乾燥、高周波減圧乾燥を行い、乾燥後の品質を評価した。

2. 試験方法

1) 試験材

試験原木は、大分県内の原木市場から入手した大径のスギ原木30本を使用した。原木の材長、重量、末口径、元口径、矢高、縦振動ヤング係数（以下、 E_{fr} と記す）を測定し、図-1に示す方法で225mm×120mm×4mの平角材に製材した。その後、寸法、重量、材中央部矢高、含水率、 E_{fr} の測定を行った。

断面寸法及び含水率は、元口から50cm、200cm、350cm位置で測定し平均値を算出した。含水率の測定には、高周波木材水分計（株式会社ケツト科学研究所製 HM-520）を使用した。その後、心去り材と心持ち材それぞれについて、密度の平均と標準偏差が等しくなるよう5つのグループに分け乾燥試験に供した。

2) 乾燥

乾燥には、多機能木材乾燥機（株式会社ヤスジマ製、HTDM-182248-8型、商品名ハイブリッドドライヤー）を使用し、目標含水率を15%とした。また、乾燥中数日おきに乾燥機から材を取り出し全試験体の重量を測定した。乾燥条件は、高温蒸気高周波乾燥（蒸煮及び高温セットの有無により3条件）と高周波減圧乾燥の4条件とした。試験体数は、1乾燥条件につき心去り平角材12本、心持ち平角材6本とした。

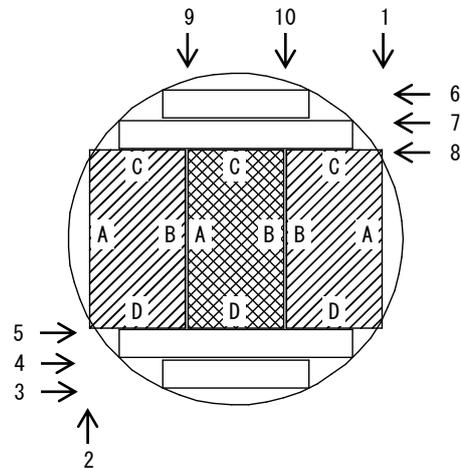


図-1 原木の木取り方法

(図中の数字は鋸を入れた順番を示す)

表-1 乾燥スケジュール

	乾燥条件	蒸煮	高温セット	乾燥	高周波	減圧 (絶対圧力)
1	蒸気 (蒸煮・高温セット) +高周波乾燥	95℃ 7 h	120-90℃ 12h	90-60℃ 339 h		
2	蒸気 (蒸煮) +高周波乾燥	95℃ 7 h		90-60℃ 303 h	1.4A	—
3	蒸気+高周波乾燥	—	—	90-60℃ 311 h	2.5分	
4	蒸気+高周波+減圧乾燥	95℃ 7 h		90-60℃ 224 h		20kPa

乾燥スケジュールを表-1に示す。ただし、この表の時間には材を乾燥機から取出し重量測定した作業時間 (約1~2時間) も含んでいる。高周波について、陽極電流は1.4Aとし、発振時間は2.5分発振7.5分停止を繰り返した。高周波による過熱を防ぐため、最下段の心去り平角材1本に材温度センサーを取付け、材温が103℃以上にならないよう高周波発振を制御した。乾燥条件4では、蒸煮後直ちに乾燥庫内を絶対圧力20kPaまで減圧した。

乾燥機への材の積み込みは、写真-1に示すように心去り材と心持ち材を混載し、3試験体/段×3段×2ブロックとした。このとき上段と下段の試験体重量の合計がほぼ同じになるようにした。乾燥後は約1週間以上の養生を行い、モルダー加工し測定に供した。なお、心去り材は、乾燥、養生時は木裏面(B)を上にした。また乾燥時、上から20kNで加力した。

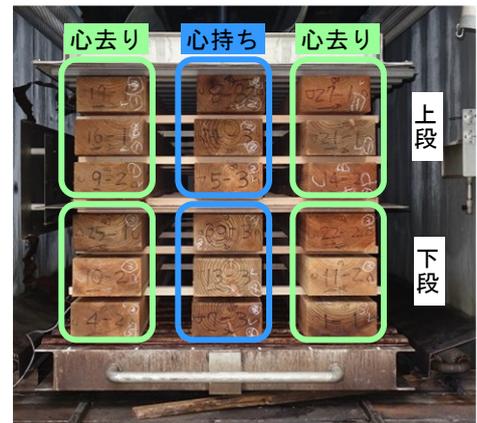


写真-1 積み込みの様子

3)含水率及び割れ等の測定

乾燥後及びモルダー加工後の段階で、寸法、重量、材中央部矢高、含水率、 E_{tr} の測定を行った。断面寸法及び含水率は、試験材と同様、元口から50cm、200cm、350cm位置で測定し平均値を算出した。矢高は、長さ方向の材中央部で測定した。

また、モルダー加工後には、上記に合わせ表面割れと、元口から25cm、50cm、100cm、200cm、300cm、350cm、375cmの位置で試験片を採取し、内部割れ及び全乾含水率を測定した。表面割れは、その形状をひし形と仮定し、最大幅と長さの積の1/2の面積を算出し集計した。全乾含水率は断面内部の含水率分布を調べるため、各位置で採取試験片をおよそ20×40mmの小片に25分割し求めた。

3. 結果及び考察

1)試験材

表-2に今回試験に使用した原木の測定結果を示す。末口径の平均は44.5cm、年輪数の平均は50、密度の平均は811kg/m³であった。

表-3に心去り平角材と心持ち平角材の測定結果を示す。含水率について、心去りの平均が91.0%で心持ちが92.6%とほぼ同じであった。心去り材の木裏(B)の矢高について最大値が48mmとなっているが、これは元口付近にアテがあったためである。

図-2に5つのグループに分けたグループごとの重量分布を示す。各グループの重量の平均値は最

表-2 原木の測定結果

項目	末口		元口		材長 (cm)	重量 (kg)	密度 (kg/m ³)	矢高 (mm)	E _{fr} (GPa)
	径 (cm)	年輪数	径 (cm)	年輪数					
平均	44.5	50	54.4	56	419	657.4	811	24	6.1
最小	42.5	38	47.0	41	405	525.5	655	5	4.6
最大	48.5	69	60.5	80	446	900.4	983	44	8.3
標準偏差	1.18	8.4	2.89	9.9	10.2	91.11	86.9	11	0.94

表-3 平角材の測定結果

項目	心去り (n=60)						心持ち (n=30)				
	重量 (kg)	密度 (kg/m ³)	矢高(mm)		含水率 (%)	E _{fr} (GPa)	重量 (kg)	密度 (kg/m ³)	矢高 (mm)	含水率 (%)	E _{fr} (GPa)
			木表(A)	木裏(B)							
平均	77.3	712	7.2	1.7	91.0	6.5	72.6	666	3.3	92.6	5.6
最小	50.5	476	0.0	0.0	54.2	4.5	54.5	507	0.0	61.8	3.3
最大	110.1	1010	15.5	48.0	118.8	9.4	107.7	990	11.0	122.0	8.6
標準偏差	16.4	149	3.7	6.3	15.8	1.3	13.8	126	3.0	15.9	1.6

小が 75.0kg で最大が 76.4kg、各グループの平均値の平均が 75.8kg、標準偏差が 0.45 で、ほぼ均等に分けられたことが分かる。

2) 乾燥

乾燥条件 1 から 4 の乾燥時間と乾燥庫内温度、材温の関係を図-3 に、乾燥曲線を図-4 に示す。乾燥曲線の縦軸の含水率は、モルダー加工後 25cm、50cm、100cm、200cm、300cm、350cm、375cm の位置で採取した試験片の全乾含水率の平均値とした。

表-1 及び図-3、図-4 の乾燥時間について、これらには材を乾燥機から取出し重量測定した作業時間も含んでいる。乾燥機扉を開け重量測定後再び乾燥運転を開始した後材温が乾燥機扉を開ける直前の材温よりも 10℃低い材温まで上昇した時間を作業時間とすると、乾燥条件 1 の作業時間がおよそ 65 時間 15 分、乾燥条件 2 が 20 時間、乾燥条件 3 が 13 時間 30 分であった。この作業時間を表-1 の乾燥時間から差し引くと、乾燥条件 1 の乾燥時間がおよ

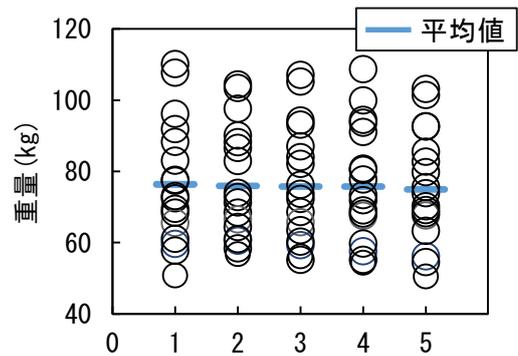


図-2 グループごとの重量分布

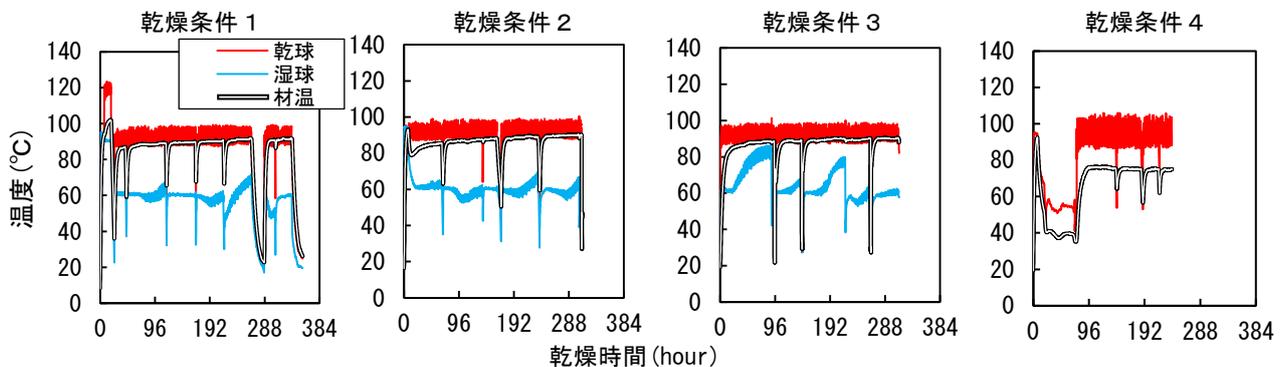


図-3 乾燥時間と乾燥庫内温度、材温の関係

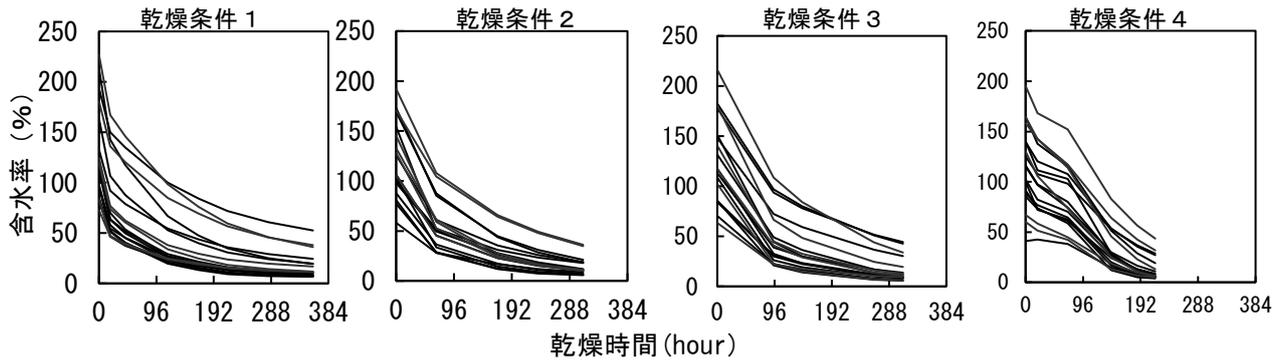


図-4 乾燥曲線

そ 290 時間、乾燥条件 2 が 292 時間、乾燥条件 3 が 299 時間とほぼ同じになる。またモルダー後の含水率の平均が乾燥条件 1、乾燥条件 2、乾燥条件 3 で、それぞれ 16.8%、14.3%、16.4% とほぼ同じであり、これらから、今回のスケジュールでは、蒸煮や高温セットの有無で実質の乾燥時間はあまり変わらなかった。

乾燥条件 4 は、7 時間蒸煮後直ちに乾燥庫内圧力を 20kPa まで下げ、同時に乾球を 90℃ で制御するスケジュールである。このとき乾燥庫内の空気循環ファンを自動制御にしていたため、およそ 76 時間乾燥庫内の空気循環ファンが回転しておらず材温が十分高くならなかった。この時間及び重量測定のための作業時間を差し引いた乾燥時間はおよそ 155 時間で、他の乾燥条件のおよそ半分になった。これは 20kPa における水の沸点がおよそ 60℃ のため、より短時間で乾燥が進んだものと考えられる。

3) 含水率及び割れ等の測定

表-4 に乾燥前後の密度とモルダー後の含水率、表面割れ長さ と面積を、図-5 に心去り材の乾燥前後の矢高の平均値を、表-5 に心去り材のモルダー後の木口を除く 4 材面の表面割れ長さを示す。

乾燥後の含水率について、すべての乾燥条件で心去り > 心持ちとなった。これは、全ての乾燥条件で高周波をかけているため材内部の温度が上がりやすかったこと、心持ち材には髄があり髄のない心

表-4 乾燥前後の密度とモルダー後の含水率、表面割れ長さ と面積

項目	心去り					心持ち					
	乾燥前		モルダー後			乾燥前		モルダー後			
	密度 (kg/m ³)	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	表面割れ		密度 (kg/m ³)	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	表面割れ		
			総長さ (cm)	面積 (cm ²)				総長さ (cm)	面積 (cm ²)		
1	平均	710	390	19.6	203.2	11.1	664	388	11.1	135.7	10.9
	最小	513	311	6.8	72.3	1.6	510	329	6.4	2.8	0.0
	最大	983	544	52.5	458.4	42.8	867	429	19.6	276.9	31.1
	標準偏差	154	63	14.3	138.2	14.0	121	36	4.2	96.3	11.3
2	平均	706	387	16.3	164.9	9.4	653	367	10.4	112.3	3.5
	最小	478	268	6.1	0.0	0.0	507	328	5.9	24.0	57.0
	最大	972	530	36.1	683.2	54.0	803	409	18.9	197.3	714.8
	標準偏差	153	72	9.6	228.4	17.2	97	29	4.3	75.2	236.6
3	平均	714	397	19.0	114.5	8.1	662	372	11.3	77.0	3.0
	最小	515	329	6.9	0.0	0.0	515	328	5.9	8.2	0.1
	最大	990	534	44.2	401.6	31.1	873	441	19.6	159.9	9.0
	標準偏差	158	55	13.8	125.2	11.6	124	40	4.8	64.9	3.2
4	平均	717	389	16.7	142.9	7.8	668	391	6.5	285.7	17.6
	最小	521	310	5.3	1.8	0.0	523	363	4.0	36.7	0.9
	最大	994	511	43.4	509.5	35.6	889	434	13.2	513.2	45.5
	標準偏差	157	63	12.4	146.6	11.3	127	24	3.1	191.2	15.0

去り材よりも材中心部の乾燥が進みやすいためと思われた。

心去り材の矢高の平均値について、木表 (A) については乾燥前>乾燥後、木裏 (B) については乾燥条件 2 を除き乾燥前<乾燥後となった。乾燥条件 2 は、一部の材の元口付近にアテがあったため平均値では乾燥前>乾燥後となっているが、12 本中 10 本が乾燥前<乾燥後であった。乾燥後の矢高が木表 (A) 側で小さくなり木裏 (B) 側が大きくなったことについて、乾燥により成長応力が緩和されたことと、乾燥時木裏面 (B) を上にし、上から 20kN で加力したためと考えられる。

心持ち材の表面割れ総長さ及び面積について、乾燥条件 1 (蒸煮、高温セット処理有り) >乾燥条件 2 (蒸煮のみ有り) >乾燥条件 3 (蒸煮、高温セット処理とも無し) となった。一般に心持ち材では、蒸煮及び高温セット処理を行うと表面割れは少ないと言われているが、本試験ではそうはならなかった。なぜならなかったのか理由は不明であり、来年度以降の大径材研究において更なる考察を加えたいと考えている。また乾燥条件 1、2、3 では、表面割れ総長さ及び面積とも心去り>心持ちであるが、乾燥条件 4 では心去り<心持ちとなった。これは乾燥の項でも述べたが、蒸煮後 76 時間ほど材温が十分高くならなかったため、試験材にセットが十分にかからなかったためと考えられる。

心去り材の木口を除く面ごとの表面割れは、いずれの乾燥条件でも木表 (A) >木裏 (B) であった。これは、特に末口側は心材と辺材が混在しており、かつ辺材の乾燥速度が心材のそれよりも速いため、辺材の収縮に心材がついていけず、木表側に多く割れが生じたものと思われる。

4) 断面内の含水率分布

乾燥後の含水率が高い材の断面内含水率分布は、短辺方向及び長辺方向ともに表層側で含水率が低いものの、断面の中央部に向かって高くなる傾向を示した。表層が含水率 20%程度まで乾燥していても、中央部は 50%を超える状態の材もあった (図-6)。このような材は乾燥時間を延長しても所定の含水率まで乾燥することは難しいと推察され、従来から言われているように乾燥前に重量選別することが望ましい¹⁾と考えられた。

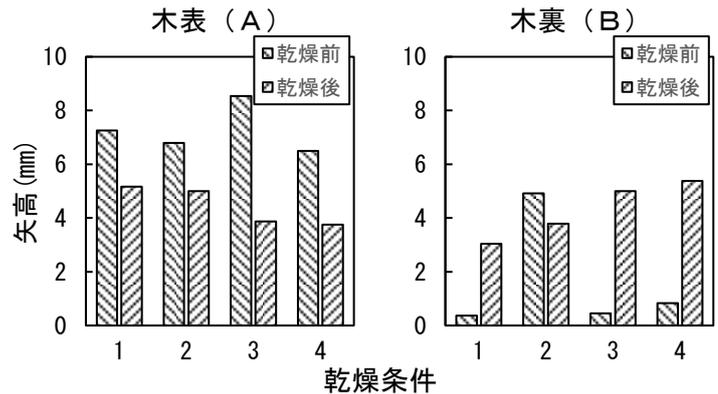


図-5 心去り材の乾燥前後の矢高の平均値

表-5 心去りの面ごとの表面割れ長さ (cm)

乾燥条件	1	2	3	4
A (木表)	1,542	1,286	1,001	1,531
B (木裏)	616	285	362	120
C	111	275	10	3
D	170	109	0	0

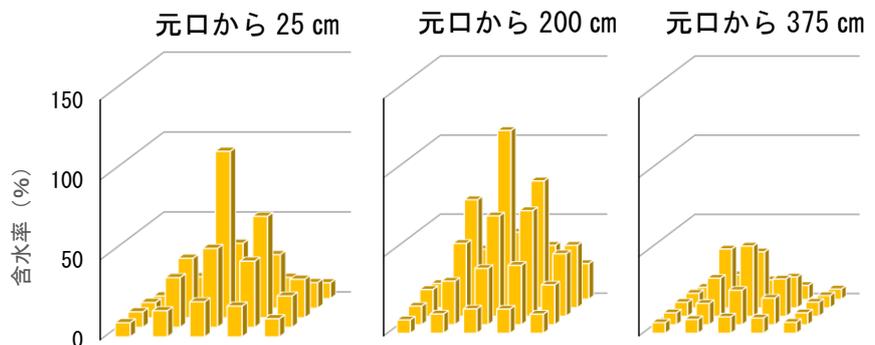


図-6 乾燥条件 4 断面内の含水率分布

5) 含水率の材長方向分布

材長方向の含水率分布は、図-7に示すように材端部から材中央部に向かって増加する傾向を示した。特に乾燥後の含水率が高い試験体では、材端部と材内部の含水率差が大きい傾向を示した。

6) 含水率と内部割れの関係

含水率と内部割れ面積の関係を図-8に示す。含水率が低くなるにつれて、特に含水率が10%以下になると内部割れ面積が大きくなる傾向を示した。

4. まとめ

大径材を製材して得た心去り平角材と心持ち平角材を高温蒸気高周波乾燥及び高周波減圧乾燥を行い、以下の結果を得た。

- ・高周波減圧乾燥は高温蒸気高周波乾燥の半分程度の時間で乾燥できる
- ・表面割れの総長さについて、乾燥方法による違いは少ない
- ・初期含水率により、仕上がり含水率に大きな差が生じるため、乾燥前に重量選別することが望ましい
- ・材長方向の含水率分布は、材端部から材中央部に向かって増加する傾向がある
- ・特に含水率が10%以下になると内部割れ面積が大きくなる傾向がある

参考文献

- 1) 豆田俊治、田口孝男：大分県農林水産研究指導センター 研究報告第2号, 20 (平成24年)

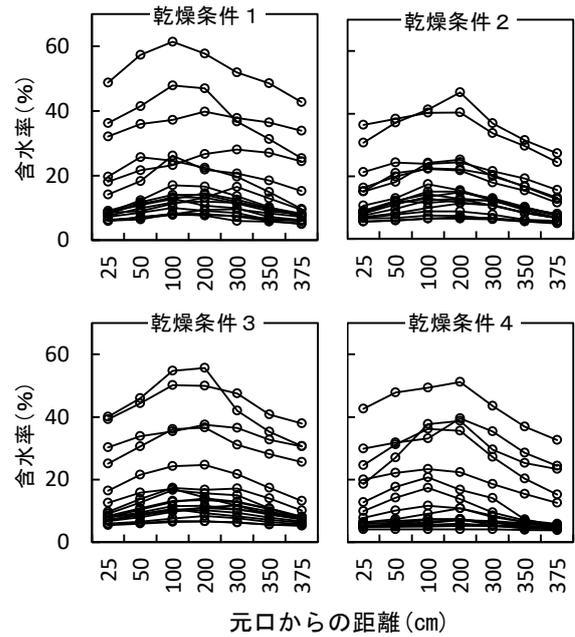


図-7 含水率の材長方向分布

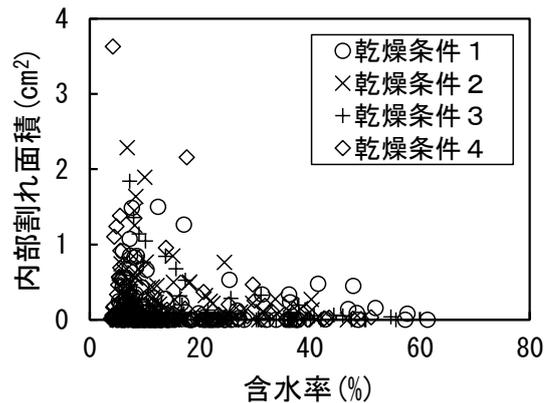


図-8 含水率と内部割れ面積との関係