

県産スギ大径材の有効利用技術の開発

- 9本採材した正角材の強度と乾燥試験 -

令和元年度～令和3年度
木材チーム 古曳 博也

1. 目的

大分県における10齢級以上のスギ人工林は、面積及び蓄積量ともに約7割を占めることから、今後大径材の供給量が増すものと予想される。大径材から複数本の正角材や平角材が採材される場合、材質や性能に不明な点も多く、明らかにすることが求められる。

昨年度は、大径材から9本採材した正角材について、採材位置ごとに性状を調査¹⁾した。今年度は、強度に関する試験及び人工乾燥に関する試験を行った。

2. 試験方法

1) 強度試験(曲げ強度試験及びめり込み強度試験)

(1) 供試材

昨年度に性状調査¹⁾した正角材を使用した。県西部地域の製材所において末口径42cm以上、材長約4mの通直な丸太を5本選定した後、送材車付き帯鋸盤を用いて一辺103mmの正角材を9本採材した。丸太から採材した位置を表-1及び図-1に示す。人工乾燥は98℃の蒸煮を8時間、120℃の高温乾燥を24時間、降温が24時間のスケジュールで行った¹⁾。人工乾燥後は室内で養生し、24週後にモルダー加工機を用いて一辺90mmの正角材に仕上げた。丸太及び正角材の性状について、寸法、重量、含水率、曲がり及び縦振動ヤング係数(以下、 E_{F} と記す)を調べた。なお、正角材の含水率の測定は、元口から500、2,000、3,500mmの位置の4面について、高周波木材水分計HM-520型((株)ケツト科学研究所製)を用いて、また、縦振動周波数の測定は、ポータブルFFTアナライザーAD-3527型((株)エー・アンド・デイ製)を用いて行った。

表-1 正角材の採材位置

正角材の形状	採材位置 (図-1 に対応)
心去り材(四方まさ)	1, 3, 7, 9
心去り材(二方まさ)	2, 4, 6, 8
心持ち材	5

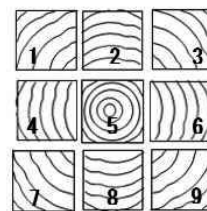


図-1 正角材の採材位置

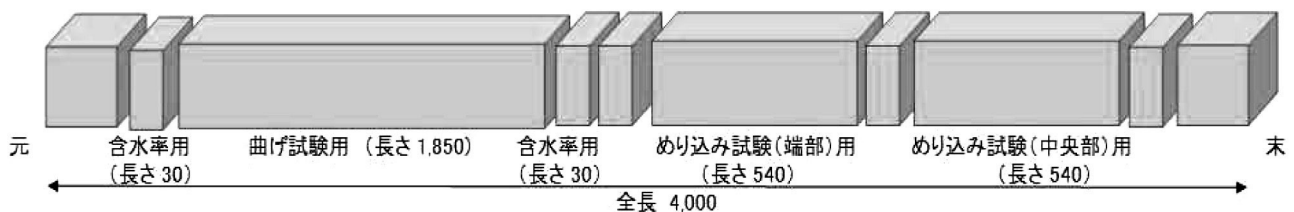


図-2 強度試験体の採取方法模式図 (単位: mm)

曲げ強度試験体及びめり込み強度試験体は、図-2に示すように切り出した。特に、めり込み強度試験体は、加圧面の周辺に節が存在しないように配慮した。含水率は、試験体の両端から長さ約30mmの小片を採取し、全乾法により測定した。

(2)強度試験の方法

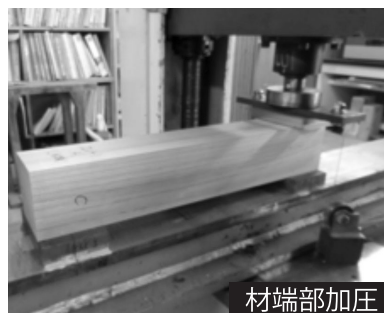
曲げ強度試験及びめり込み強度試験は、「構造用木材の強度試験マニュアル」²⁾等(以下、マニュアルと記す)に従って実施した。測定には、万能試験機AG-100kNAR(株式会社島津製作所製)を用いた。

曲げ強度試験は、90mm角、材長1,860mmの試験体に対し、スパンは材せいの18倍(1,620mm)、荷重点距離は540mm、載荷速度は10mm/minの条件で、3等分点4点荷重方式によって木表側から試験体が破壊するまで加圧した(写真-1)。試験終了後に破壊部近くから長さ約20mmの小片を2枚取り出し、上部1/5と中央部3/5及び下部1/5に分割し、全乾法により含水率を求めた。曲げ強さ(以下、MORと記す)及び曲げヤング係数(以下、MOEと記す)を、マニュアルに従って求めた。

めり込み強度試験は、90mm角、材長540mmの試験体に対し、材端部加圧、材中央部加圧の2パターンについて行った(写真-2)。上下両面に設置した鋼板(90×150mm、厚さ20mm)を用いて、載荷速度5mm/minの条件で、木表側からめり込み変形量が20mmになるまで加圧した。試験終了後に破壊部近くから長さ約20mmの小片を2枚取り出し、全乾法により含水率を求めた。めり込み強度を、マニュアルに従って求めた。



写真-1 曲げ強度試験



材端部加圧



材中央部加圧

写真-2 めり込み強度試験

2)人工乾燥試験

(1)供試材

心去り材は、末口径42cm以上の丸太から、材長約4m、一辺103mmの正角材に採材したものをを用いた。それを図-3に示すように、中央部から材長約3mに切り出し試験体とした。試験体の両端からは長さ約30mmの小片を採取し、全乾法により含水率を測定した。心持ち材は、末口径25cm程度の丸太(中径材)から、材長約3m、一辺103mmの正角材に採材したものをを用いた。



図-3 乾燥試験体(心去り材)の採取方法模式図(単位:mm)

(2) 乾燥試験の方法

試験体の寸法、重量、含水率（元口から 500、1,500、2500 mmの位置の4面）、曲がり及び E_{fr} を調べた後、表-2 に示す5条件のスケジュールで乾燥した。乾燥機は、大分県立日田林工高等学校の高周波・蒸気複合乾燥機 MDW-2SD 型（山本ビニター株式会社製）を用い、曲がりの向きが下向きになるように設置した。乾燥時の载荷は、高温乾燥試験の4条件及び中温乾燥試験の一部の試験体（下3段）には行わなかったが、中温乾燥試験の上3段の試験体には、ラチェット荷載機により材長方向5カ所を圧縮した。（以下、ベルト圧縮と記す。写真-3）



写真-3 中温乾燥試験の様子

乾燥終了後に再び、寸法、重量、含水率、曲がり及び E_{fr} を測定し乾燥前後の変化を調べた。さらに、内部割れの状況を調べるために、試験材の中からランダムに1本選び、元口から 500、1,000、1,500、2,000 及び 2,500 mmの位置で切断し観察した。

ステップ 項目	①蒸煮			②乾燥			③降温		
	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	処理時間 (h)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	処理時間 (h)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	処理時間 (h)
高温乾燥	1					18			
	2	98	98	8	120	90	20	30	20
	3						22		
	4						24		
中温乾燥	90	90	8	90	60	60	30	20	24

表-2 乾燥スケジュール

3. 結果及び考察

1) 強度試験(曲げ強度試験及びめり込み強度試験)

(1) 供試材

供試した大径材5本の測定結果を表-3に示す。密度は 655~841kg/m³、 E_{fr} は 4.17~7.84 kN/mm²、曲がり（矢高）は 0~1.6cmであった。

表-3 強度試験に供試した大径材の測定結果及び供試した正角材数

大径材記号	末口径 (cm)	元口径 (cm)	材長 (m)	元口年輪数	密度 (kg/m ³)	縦振動周波数 (Hz)	E_{fr} (kN/mm ²)	曲がり矢高 (cm)	供試した正角材数 (本)
ア	44	47	4.09	55	780	387.5	7.84	0.0	8
イ	45	51	4.15	43	655	345.0	5.37	0.0	8
ウ	46	61	4.18	40	676	297.5	4.17	0.0	9
エ	43	48	4.19	53	841	332.5	6.53	1.6	8
オ	48	63	4.15	39	674	305.0	4.32	1.0	9
平均	45	54	4.15	46	725	333.5	5.65	0.5	

(2) 曲げ強度試験

曲げ強度試験の結果を表-4に、採材位置ごとの MOR、MOE 及び E_{fr} の平均値を図-4に示す。含水率の平均値は、心去り材（四方まさ、二方まさ）及び心持ち材ともに 15%以下であった。MOR の平均値

は、四方まさが 36.8N/mm²、二方まさが 32.5N/mm²、心持ち材が 31.8N/mm²を示した。二方まさが及び心持ち材の間に有意差はないものの、四方まさととの間に危険率5%で有意差が認められることから、心持ち材≧二方まさが<四方まさの関係があるものとする。MOE の平均値は、四方まさが 5.90kN/mm²、二方まさが 5.76kN/mm²、心持ち材が 4.34kN/mm²を、 E_{fr} の平均値は、四方まさが 6.23kN/mm²、二方まさが 6.17kN/mm²、心持ち材が 4.39kN/mm²を示した。 E_{fr} 及び MOE は、四方まさが及び二方まさの間に有意差はないものの、心持ち材との間に危険率5%で有意差が認められることから、心持ち材<二方まさが≧四方まさの関係があるものとする。

表-4 曲げ強度試験の結果

試験体		幅	厚さ	材長	含水率	密度	MOR	MOE	E_{fr}
(本)		(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(kg/m ³)	(N/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)
心去り材 (四方まさ)	平均値	90.00	90.09	1859	11.8	342.9	36.8	5.90	6.23
	最大	90.73	90.76	1860	13.0	393.7	47.5	7.87	8.44
	最小	88.82	88.89	1857	9.9	304.2	28.8	3.79	4.21
	標準偏差	0.40	0.35	0.7	0.8	26.6	5.9	1.35	1.37
心去り材 (二方まさ)	平均値	89.94	90.03	1859	11.4	349.4	32.5	5.76	6.17
	最大	90.52	90.57	1859	13.0	408.5	42.3	7.50	8.16
	最小	88.36	88.76	1858	9.8	322.8	22.3	3.82	3.97
	標準偏差	0.38	0.33	0.5	0.9	23.1	6.0	1.16	1.27
心持ち材	平均値	90.05	90.10	1859	10.8	365.0	31.8	4.34	4.39
	最大	90.53	90.64	1859	12.2	378.7	34.2	5.36	5.18
	最小	89.57	89.65	1858	9.2	322.8	29.4	3.66	3.68
	標準偏差	0.23	0.21	0.5	1.1	10.8	2.1	0.76	0.62

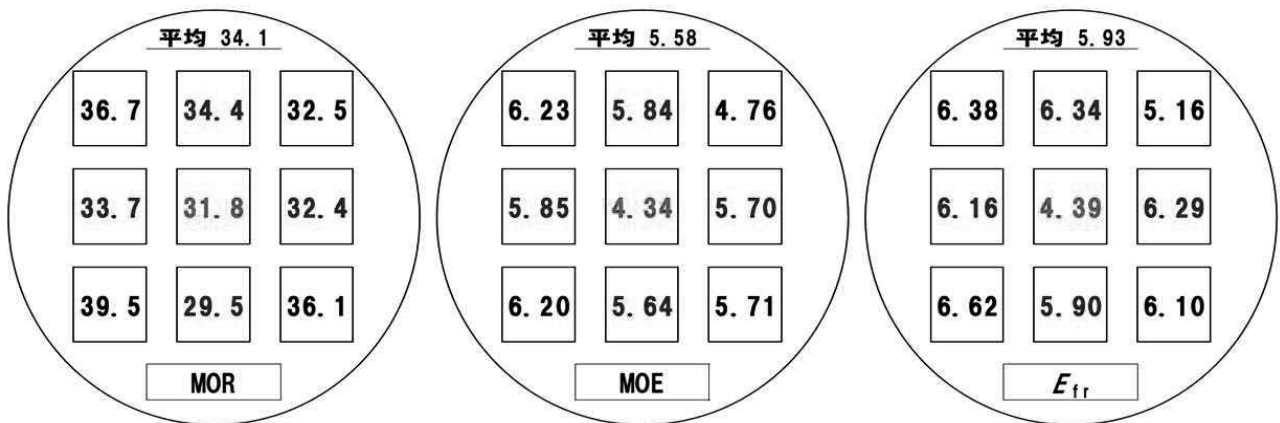


図-4 採材位置ごとの曲げ性能

めり込み強度試験の結果を表-5に、採材位置ごとのめり込み強度の平均値を図-5に示す。含水率の平均値は、心去り材（四方まさ、二方まさ）及び心持ち材ともに15%以下であった。めり込み強度の平均値は、材端部加圧の場合に四方まさが 3.97N/mm²、二方まさが 4.91N/mm²、心持ち材が 6.22N/mm²を、また、材中央部加圧の場合に四方まさが 5.24N/mm²、二方まさが 6.31N/mm²、心持ち材が 7.71N/mm²を示した。めり込み強度は、材端部加圧<材中央部加圧の関係にあり、また、両者ともに、四方まさが<二方まさが<心持ち材の順に値が高かった。心持ち材は、密度が高く、横圧縮強度が増したものと思われる。

表-5 めり込み強度試験の結果

材端部	試験体 (本)	幅 (mm)	厚さ (mm)	材長 (mm)	含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	端部 めり込み強度 (N/mm ²)
心去り材 (四方まさ)	平均値	90.07	90.19	540	11.3	344	3.97
	最大	90.41	90.47	540	12.5	395	4.63
	最小	89.09	89.49	540	10.5	308	3.33
	標準偏差	0.36	0.23	0.0	0.7	26	0.41
心去り材 (二方まさ)	平均値	89.94	90.29	540	11.2	359	4.91
	最大	90.47	90.54	540	12.8	416	6.00
	最小	89.00	89.76	540	10.0	316	3.93
	標準偏差	0.38	0.21	0.0	0.9	22	0.54
心持ち材	平均値	90.33	90.08	540	10.7	367	6.22
	最大	90.53	90.25	540	12.1	387	6.96
	最小	90.15	89.82	540	9.1	355	5.48
	標準偏差	0.18	0.18	0.0	1.1	13	0.57

材中央部	試験体 (本)	幅 (mm)	厚さ (mm)	材長 (mm)	含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	中央部 めり込み強度 (N/mm ²)
心去り材 (四方まさ)	平均値	90.07	90.19	540	10.9	353	5.24
	最大	90.55	90.53	540	11.9	406	6.30
	最小	89.51	89.52	540	10.0	320	4.34
	標準偏差	0.29	0.25	0.0	0.6	25	0.52
心去り材 (二方まさ)	平均値	90.04	90.30	540	10.6	363	6.31
	最大	90.58	90.58	540	12.2	427	8.07
	最小	89.40	89.97	540	9.6	331	5.28
	標準偏差	0.30	0.16	0.0	0.8	23	0.75
心持ち材	平均値	90.32	90.18	540	10.2	373	7.71
	最大	90.57	90.35	540	11.2	396	8.46
	最小	89.95	90.04	540	9.0	354	7.08
	標準偏差	0.24	0.13	0.0	0.9	16	0.54

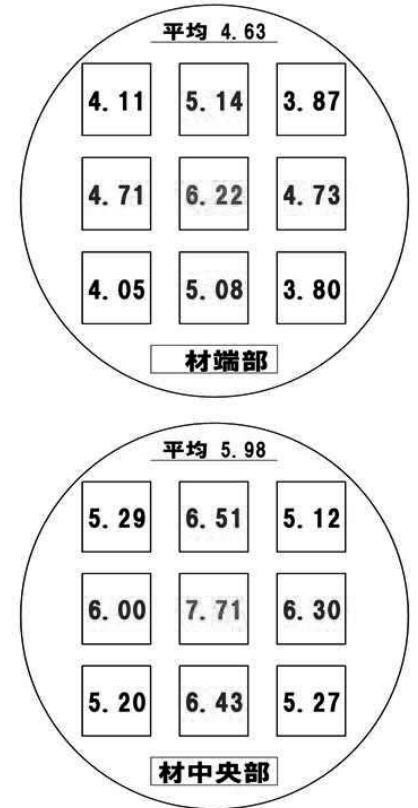


図-5 採材位置ごとのめり込み強度

表-6 乾燥試験に供試した試験体

項目	試験体 (本)	幅 (mm)	厚さ (mm)	材長 (mm)	重量 (kg)	含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	曲がり 最大矢高 (mm)	E_{fr} (kN/mm ²)	
高温 1	四方まさ	6	103.68	105.06	2999	18.34	86.1	560	8	5.69
	二方まさ	4	103.85	105.61	3000	19.85	108.1	638	10	5.47
	心持ち材	10	105.36	105.79	2999	23.94	81.3	708	8	7.69
高温 2	四方まさ	6	104.37	105.08	3002	17.06	70.5	523	4	5.38
	二方まさ	4	103.77	104.87	3001	16.30	74.4	524	10	5.00
	心持ち材	10	105.43	105.50	3000	22.20	113.0	645	8	7.02
高温 3	四方まさ	6	104.23	103.95	3001	16.75	54.5	492	8	5.86
	二方まさ	4	102.07	104.26	3001	12.57	31.6	376	10	5.64
	心持ち材	10	105.77	105.25	3002	20.17	38.0	540	10	7.53
高温 4	四方まさ	11	103.33	104.82	3092	16.66	66.3	492	7	6.30
	二方まさ	9	102.59	103.94	3091	18.69	88.8	546	5	6.50
	心持ち材	29	106.22	105.93	3092	28.79	85.7	828	7	8.70
中温	四方まさ	13	103.87	104.40	3004	17.28	70.0	531	10	5.04
	二方まさ	13	102.97	104.29	3004	16.36	67.1	507	9	5.02
	心持ち材	7	103.59	103.17	3005	21.39	68.9	666	5	8.37

2)人工乾燥試験

(1)供試材

供試した正角材の測定結果を表-6に示す。密度の平均値は、四方まさ³が492~560kg/m³、二方まさ³が376~638kg/m³、心持ち材が540~828kg/m³、 E_{fr} の平均値は、四方まさ²が5.04~6.30kN/mm²、二方ま

さが 5.00~6.50kN/mm²、心持ち材が 7.02~8.70kN/mm²であった。末口径 25 cm程度の丸太（中径材）から採材した心持ち材の試験体は、心去り材の試験体と比べていずれも高い値を示した。

(2)含水率

高周波木材水分計で測定した乾燥前後の含水率変化を表-7及び図-6に示す。図中の横太線は、乾燥後の含水率目標値 20%を示す。その結果、図-6において白抜きで図示した心持ち材は、含水率 20%以上の未乾燥材が多かったのに対し、網掛けで図示した心去り材は、含水率 20%以下になるものが多く、乾燥しやすい傾向を示すことが分かった。また、心去り材では、乾燥前含水率が約 70%程度であれば、いずれの条件でも乾燥後には概ね 20%以下に乾燥できることが分かった。特に、中温乾燥の条件では、乾燥前含水率が約 90%程度の試験材が、乾燥後には全て 20%以下の値を示していた。

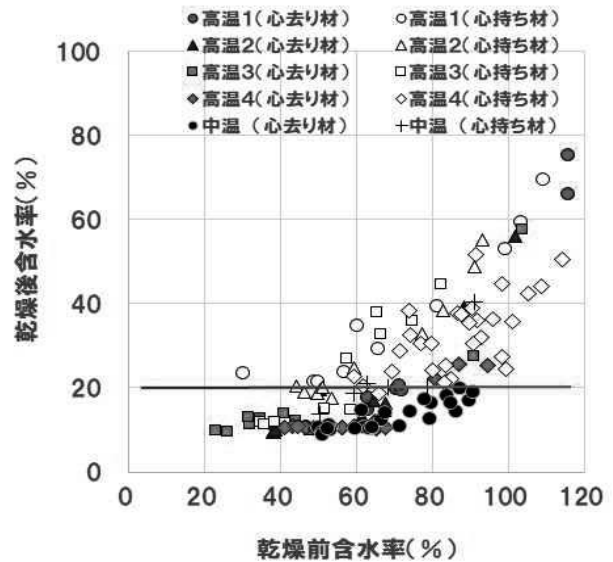


図-6 乾燥前後の含水率変化

表-7 乾燥前後の含水率変化

	心去り材		心去り材 (四方まさ)		心去り材 (二方まさ)		心持ち材	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
高温 1	68.8	26.8	66.8	24.5	71.9	30.2	70.3	37.7
高温 2	59.7	20.1	59.8	19.9	59.6	20.3	64.8	29.6
高温 3	47.6	17.6	55.4	22.0	36.0	11.2	56.7	24.2
高温 4	61.2	13.3	55.0	12.0	68.7	14.9	86.4	32.6
中温	68.4	13.1	69.8	13.8	66.9	12.4	68.2	21.1

(3)曲がり

乾燥前後の正角材の曲がりの変化を表-8及び図-7に示す。表-8は、製材の日本農林規格³⁾（以下、規格と記す）の甲種Ⅱの1級の曲がり（中央部矢高が6mm以下）又は2級の曲がり（同15mm以下）に相当する試験体の本数を、また、図-7に記載の数字は、4面における矢高の平均値を示し、丸数字は規格の2級に相当する値であることを意味する。

表-8において、規格1級に相当する試験体は、心去り材が76本中68本（約89%）、心持ち材が66本中65本（約98%）であった。乾燥後は、規格1級に相当する試験体は、心去り材が76本中74本（約97%）と増えたのに対し、心持ち材は66本中60本（約91%）と僅かに減少した。

図-7において、採材直後は四方まさ及び二方まさともに、木表面が材長方向に凹型に曲がる傾向を示した。高温乾燥及び中温乾燥時に载荷をしなかった条件では、上面の曲がりの少ない状態は変わらないまま、下面（木表面）の曲がりは減少する傾向を示した。側面の曲がりには変化がなかった。载荷をしなかった条件では、今回の試験では、4面ともに曲がりを完全に無くすことはできなかった。一方、中温乾燥において試験体の一部（上3段）にベルト圧縮を施したが、今回の試験では、4面ともに曲がりを完全に無くすことはできなかった。原因としては、乾燥初期には圧縮力が働いているも

の、乾燥が進むにつれて試験体に反りや収縮等が発生してベルトが緩み、圧縮の体をなさなくなったためだと考えられる。乾燥が進んでも圧縮力が低下しないような载荷方法等を検討し、曲がり無くすようにする必要があると思われる。

表-8 規格を参考に評価した曲がり (本数)

		高温 1		高温 2		高温 3		高温 4		中温		中温 (ベルト圧縮)	
		乾燥前→乾燥後	乾燥前→乾燥後	乾燥前→乾燥後	乾燥前→乾燥後	乾燥前→乾燥後	乾燥前→乾燥後	乾燥前→乾燥後	乾燥前→乾燥後	乾燥前→乾燥後	乾燥前→乾燥後		
心去り材	試験体数	10		10		10		20		14		12	
	1級	9	10	9	10	8	10	20	20	12	13	10	11
	2級	1	0	1	0	2	0	0	0	2	1	2	1
心持ち材	試験体数	10		10		10		29		4		3	
	1級	10	8	10	10	9	10	29	27	4	4	3	1
	2級	0	2	0	0	1	0	0	2	0	0	0	2

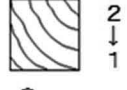
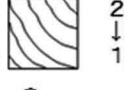
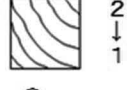















項目	高温 1	高温 2	高温 3	高温 4	中温	中温 (ベルト圧縮)
設置方法	木表が下面	木表が下面	木表が下面	木表が下面	木表が下面	木表が下面
心去り材 (四方まさ)	0→2 	1→0 	0→1 	1→1 	0→1 	1→2 
	0↓0 0↑0	0↓0 0↑0	0↓1 1↑1	2↓2 2↑2	1↓1 1↑1	1↓1 1↑3
	⑦→5	⑦→3	⑧→2	4→5	4→2	4→3
心去り材 (二方まさ)	0→0 	1→1 	1→1 	0→1 	0→1 	1→1 
	3↓2 0↑1	1↓1 1↑1	2↓1 0↑0	2↓2 2↑1	3↓2 0↑1	2↓1 1↑2
	6→5	3→2	4→1	5→4	5→1	5→4
心持ち材	0→0 	0→0 	0→0 	0→0 	0→0 	0→0 
	0↓0 0↑0	3↓2 2↑2	0↓0 5↑1	1↓0 1↑2	1↓3 1↑1	2↓4 1↑0
	5→3	4→3	3→3	3→3	3→4	3→4

図-7 乾燥前後の曲がり矢高 (単位: mm、乾燥前→乾燥後)

(4) 内部割れ

表-9 及び写真-4 に内部割れの状況及び様子を示す。高温乾燥の条件では、内部割れの発生が確認されたのに対し、中温乾燥の条件では内部割れの発生が確認されなかった。乾燥温度が高い場合は、表層部と内部との含水率傾斜が大きくなる。乾燥後期において、水分が多く残っている内部は収縮しようとするが、乾燥が進んでいて収縮しない表層部に邪魔をされる。細胞と細胞の間に大きな引張り応力が働き、内部割れが発生しやすくなったものと考えられる⁴⁾。中温乾燥の条件では、表層部と内部との含水率傾斜が緩和され、高温乾燥に比べて内部割れが生じにくくなったものと思われる。

今後は、データ数を増やし、内部の状況をより詳細に調査する予定である。

表-9 乾燥後の内部割れの状況

項目	試験体数	内部割れの有無 (有○、無×)				
		乾燥方法				
		高温 1	高温 2	高温 3	高温 4	中温
四方まさ	1本	○	○	○	○	×
二方まさ	1本	○	○	○	○	×
心持ち材	1本	○	○	○	○	○

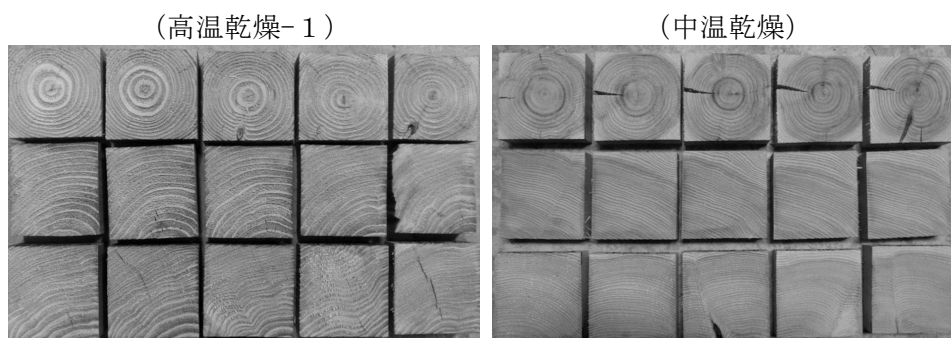


写真-4 材内部の様子の一例
(上：心持ち材、中：四方まさ、下：二方まさ)

4. まとめ

1) 強度試験(曲げ強度試験及びめり込み強度試験)

大径材から9本採材した正角材より、以下のことが明らかになった。

- ・ MOR に、心持ち材 \approx 二方まさ $<$ 四方まさの関係が示された。
- ・ MOE 及び E_{fr} に、心持ち材 $<$ 二方まさ \approx 四方まさの関係が示された。
- ・ むり込み強度に、材端部加圧 $<$ 材中央部加圧の関係が示された。
- ・ むり込み強度に、四方まさ $<$ 二方まさ $<$ 心持ち材の関係が示された。

2) 人工乾燥試験

大径材から採材した心去り材及び中径材から採材した心持ち材より、以下のことが明らかになった。

- ・ 心持ち材に比べて、心去り材は乾燥しやすい傾向を示した。
- ・ 中温乾燥の条件では、乾燥前含水率が約90%程度の試験材は、乾燥後には全て20%以下を示した。
- ・ 採材直後の心去り材の曲がり、木表面が材長方向に凹型に曲がる傾向を示した。
- ・ 曲がりの向きを下向きに設置して乾燥した場合、下面(木表面)の曲がりが減少する傾向を示した。
- ・ 乾燥時に載荷をしない場合、4面ともに曲がりを完全に無くすることはできなかった。
- ・ 中温乾燥の条件では、内部割れは確認されなかった。

謝辞

今回の乾燥試験では、大分県立日田林工高等学校並びに同校の林学科教諭 坂本信教氏、江田雅之氏には、同校所有の高周波・蒸気複合乾燥機を使用させていただく際に多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 古曳博也：令和元年度大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報，24-29p（令和2年）
- 2) (公財) 日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験マニュアル，5-17p（平成23年）
- 3) 製材の日本農林規格：平成19年8月29日農林水産省告示第1083号
- 4) 石川県林業試験場 他：安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル，55p（平成24年）

長大スパンに対応する接着重ね材の開発

令和2年度～4年度
木材チーム 山本 幸雄

1. 目的

平成22年の「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」により、非住宅分野建築物の木造化が促進されている。これら非住宅分野の建築物では大きな空間が必要なため、長大スパンに対応できる大断面集成材が使用されることが多いが、県内にはそれを製造できる工場はない。

このような中、平成31年1月に接着重ね材の日本農林規格¹⁾(以下、JASと記す)が制定された。接着重ね材とは、構造用を使用する断面が105～150mmの製材(以下、製材ラミナと記す)を、その繊維方向を互いにほぼ平行にして厚さ方向に2～5層積層接着した構造用木材である。これにより集成材とほぼ同様な、長辺が最大で750mmの構造材を、一般に流通している寸法の製材で製造できるようになった。また接着重ね材には、集成材に比べ接着剤の使用量が少なく、圧縮するための設備と養生を行うための施設のみの少ない投資で製作が可能といった利点が挙げられる。

そこで本研究では、大分県産スギ製材を使用した接着重ね材の製造における留意点及び性能を検討し、大分県内での接着重ね材の利用促進のため、JASに準拠した接着重ね材を試作し、曲げ試験を行った。

2. 試験方法

1) 供試材

接着重ね材を試作するにあたり、末口径20～26cm、長さ4～8mのスギ丸太51本を、大分県内の製材所で製材・乾燥し、断面寸法が130×150mmで、長さ4mの製材ラミナ(以下、KM4mと記す)を9本、長さ6mの製材ラミナ(同KM6m)を12本、長さ8mの製材ラミナ(同KM8m)を30本準備した。丸太、製材後、乾燥後、モルダー加工後の各段階で寸法、重量、縦振動ヤング係数、矢高、節径比等を測定した。供試丸太の概要を表-1に示す。

また、上記供試材とは別に、大分県内の別の製材所で製材されたスギ製材ラミナ120×120×4,000mm(同KK4m)を19本購入し、寸法、重量、縦振動ヤング係数、矢高、節径比等を測定した。

表-1 供試丸太の概要

種類	末口		元口		縦振動ヤング係数(GPa)				本数
	径(cm)	年輪数	径(cm)	年輪数	平均	最大	最小	標準偏差	
KM4m用	20～24	24～48	26～30	30～56	8.6	10.2	7.1	0.11	9
KM6m用	22・24	21～46	28～32	35～60	8.1	10.0	6.4	0.14	12
KM8m用	22～26	32～41	28～34	44～53	6.7	7.6	6.0	0.06	30

2) 接着重ね材の試作

接着重ね材の種類について、製材ラミナの縦振動ヤング係数をもとに試験体構成の検討を行った。構成はJASに準拠し、対称異等級構成又は同一等級構成を基本とし、一部非対称異等級構成とした。

また比較のため、節径比が JAS 不適合となった KM 4 m を用いた試験体も 1 体試作し試験した。試作した接着重ね材の層数、長辺、強度等級を表-2 に示す。

積層接着には、水性高分子-イソシアネート系木材接着剤（株式会社オーシカ製 鹿印ピーアイボンド TP-111（主剤：TP-111、架橋剤：H-3M））を用いた。重量部で、主剤 100 部に対し架橋剤を 15 部の割合で調合し、調合後ハンドローラーを用いて積層面に対し約 300g/m² の割合で両面塗布した。その後、通直湾曲集成材製造装置（小林機械工業：M-RS）により圧縮し 60 分以上養生した。圧縮圧力は 0.8MPa とし、トルクレンチを用いてボルトの締め付けを管理した。養生後、長さを 4,000mm、6,000mm、8,000mm に裁断し、プレーナーにより試験体表面を平滑に加工した。ただし、積層数が 4 及び 5 の試験体については、長辺が 600mm 及び 750mm と大きく、設備の都合上プレーナー加工しなかった。その後、各試験体の寸法、重量、縦振動ヤング係数を測定した。ハンドローラーによる塗布の様子を写真-1 に、圧縮の様子を写真-2 に、試作した接着重ね材を写真-3 に示す。

表-2 試作した接着重ね材の層数、長辺、強度等級

種類	番号	層数	長辺 (mm)	強度等級
KM-4-2	1	2	300	同一等級構成 E80-F220
	2			同一等級構成 E70-F200
	3			非対称異等級構成 E80-F240
	4*			非対称異等級構成 E80-F240
KK-4-3	1	3	360	対称異等級構成 E95-F250
	2			対称異等級構成 E85-F230
	3			対称異等級構成 E75-F210
KM-6-3	1	3	450	同一等級構成 E60-F190
	2			対称異等級構成 E85-F230
	3			非対称異等級構成 E70-F220
KM-8-4	1	4	600	同一等級構成 E70-F200
	2			同一等級構成 E70-F200
	3			同一等級構成 E60-F190
KM-8-5	1	5	700	対称異等級構成 E65-F190
	2			対称異等級構成 E65-F190
	3			対称異等級構成 E65-F190



写真-1 接着剤塗布の様子



写真-2 圧縮の様子

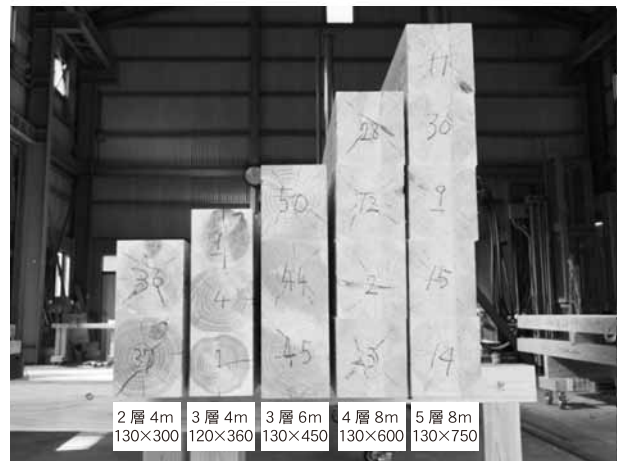


写真-3 試作した接着重ね材

* KM-4-2-4: 節径比が JAS 不適合となった製材ラミナを用いた試験体

3) 曲げ試験

試験には、木材実大強度試験機 UH-1000kNAR (株式会社 島津製作所製) を用いた。スパンは、4,000mm 製材ラミナで作製した試験体は 3,600mm、6,000mm は 5,400mm、8,000mm は 7,200mm とした。加力点間距離はスパンの 4/18 倍である 800mm、1,200mm、1,600mm とした。

加力速度は、試験体の長辺が 360mm 以下は 10mm/min、450mm 以上は 15mm/min とした。加力点は一端がピン支持、他端をピンローラー支持とし、支持点は両端をピンローラー支持とした。

変位は、ストレインゲージ式変位計 SDP-200D (株式会社 東京測器研究所製) を用いてスパン中央で測定した。また、JAS に準じ、曲げ強さと曲げヤング係数を求めた。曲げヤング係数は最大荷重の 10% と 40% 時の変位差と荷重差を用い求めた。ただし、試験体のめり込み変形は考慮しなかった。また、等価断面法²⁾による曲げ剛性 (以下、等価剛性と記す) も求めた。試験の様子を写真-4 に示す。



写真-4 曲げ試験の様子

3. 結果及び考察

1) 供試材

縦振動ヤング係数で、JAS に準拠し等級区分した製材ラミナの分布を図-1 に示す。KM 4 m、KM 6 m、KM 8 m のヤング係数の推移について、材長にかかわらず、その平均値は製材加工後に低下、乾燥後に上昇、モルダー加工後に低下する傾向がみられた。縦振動ヤング係数の平均値が製材加工後低下したのは断面に対する未成熟材の割合が増加したこと、乾燥後上昇したのは含水率が低下したこと、モルダー加工後低下したのは断面に対する未成熟材の割合が増加したことが要因と考えられる。一例として KM 8 m の縦振動ヤング係数の推移を図-2 に示す。

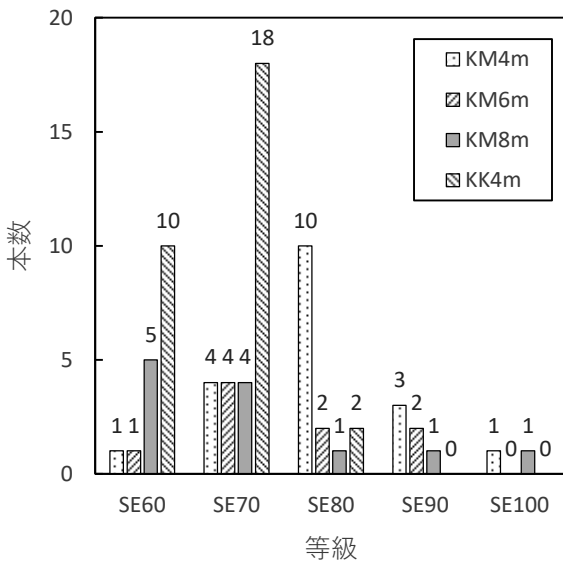


図-1 製材ラミナの等級区分結果

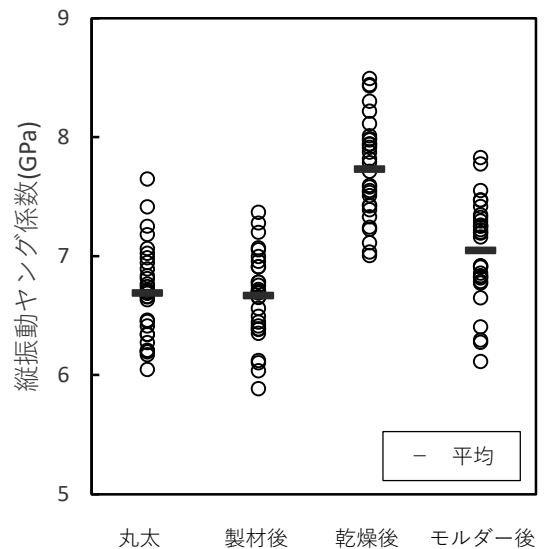


図-2 ヤング係数の推移

曲りについて、JAS では、製材ラミナの材長 1 m 当たりの矢高が 2 mm 以下と決められており、4 m 材では 8 mm、6 m 材では 12 mm、8 m 材では 16 mm までは許容される。KM 4 m、KM 6 m、KK 4 m はこの基準を全て満たしたが、KM 8 m では 30 本中 3 本の最大矢高が 17 mm で、JAS を満たさなかった。

節径比について、KM 4 m で 9 本中 1 本が、KK 4 m で 19 本中 1 本が JAS の基準を満たさなかった。KM 6 m、KM 8 m ではすべての材が JAS を満足した。

2) 接着重ね材の試作及び曲げ試験

試作した接着重ね材の寸法、縦振動ヤング係数、最大荷重、曲げヤング係数、曲げ剛性、等価剛性を表-3 に示す。

破壊性状について、全て曲げ破壊した。また、長辺が 450 mm 以上の KM-6-3 や、600 mm の KM-8-4、750 mm の KM-8-5 では、破壊に至るまでの間に支持点で大きなめり込みが生じた。

曲げ強さについて、すべての試験体で JAS の基準値を上回った。図-3 に、JAS に規定される曲げ強さの基準値と曲げ強さの関係を示す。KM シリーズでは、試験で得た曲げ強さの平均は、JAS 基準値の 1.5 倍であった。これに対し KK シリーズでは JAS 基準値の 2.0 倍であった。KK シリーズ及び KM シリーズの製材ラミナの密度の平均はともに 450 kg/m³、含水率の平均はともに 17% で、密度及び含水率とも同じで、なぜ KM シリーズの曲げ強さと基準値の比が、KK シリーズより大きくなったのか原因は不明である。

JAS の曲げヤング係数の基準値と、曲げヤング係数及び縦振動ヤング係数の関係を図-4 に示す。JAS 基準値と曲げヤング係数及び縦振動ヤング係数の間には強い正の相関がみられた。曲げヤング係数が JAS の基準値を下回ったものがあるが、これは曲げヤング係数をもとめた際、支持点のめり込み変形を考慮しなかったためと考えられる。

等価剛性と曲げ剛性の関係を図-5 に示す。等価剛性と曲げ剛性の間には強い正の相関があることが分かったが、曲げ剛性は等価剛性の 0.86 倍程度という結果になった。これも曲げヤング係数を求め

表-3 試作した接着重ね材の寸法、縦振動ヤング係数

種類	番号	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	縦振動ヤング係数 (GPa)	最大荷重 (kN)	曲げ強さ (MPa)	曲げヤング係数 (GPa)	曲げ剛性 (×10 ⁹ kN・mm ²)	等価剛性 (×10 ⁹ kN・mm ²)
KM-4-2	1	4000	126	300	8.1	78.0	28.8	7.1	2.02	2.32
	2				7.6	90.8	33.6	6.8	1.92	2.17
	3				7.4	86.9	32.3	7.5	2.12	2.37
	4*				8.4	83.0	30.7	7.2	2.05	2.35
KK-4-3	1	4000	115	360	9.7	181.1	50.9	8.9	4.00	4.43
	2				9.1	162.7	45.5	8.4	3.77	4.09
	3				9.4	164.0	46.0	7.4	3.34	3.75
KM-6-3	1	6000	126	450	6.4	113.6	28.0	5.3	5.13	9.26
	2				8.8	153.4	37.7	8.1	7.83	7.08
	3				7.1	151.2	37.4	6.8	6.49	6.33
KM-8-4	1	8000	130	600	6.7	189.8	34.1	6.2	14.46	17.41
	2				7.0	199.0	35.7	6.8	15.94	17.40
	3				7.7	191.8	34.4	6.8	15.86	16.01
KM-8-5	1	8000	130	750	7.4	267.6	30.7	6.5	29.66	35.64
	2				7.2	263.5	30.3	6.4	29.07	34.01
	3				7.4	246.1	28.3	6.3	28.87	33.98

*KM-4-2-4：節径比が JAS 不適合となった製材ラミナを用いた試験体

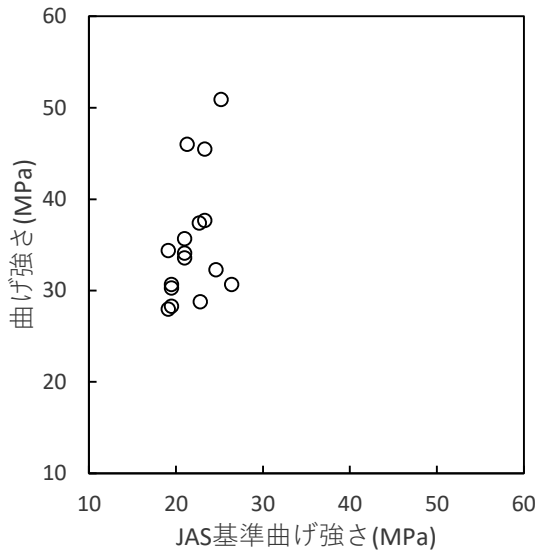


図-3 曲げ強さの関係

る際、支持点のめり込み変形を考慮しなかったためと考えられる。

4. まとめ

大分県内で製材されたスギ製材ラミナを用いた接着重ね材を JAS に準じ試作し、曲げ試験を行った結果、以下のことが分かった。

- ・油圧プレスのような、特別な圧縮装置がなくても製造できた。
- ・試作した接着重ね材は、JAS の基準値を満足した。

謝辞

今回の試験では、大分大学工学部創生工学科/建築学コース 木質構造研究室准教授 田中 圭氏及び同研究室の学生の方々に、多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1)接着重ね材の日本農林規格 (JAS 0006) 平成31年1月
- 2)日本木材学会 木材強度・木質構造研究会編：ティンバーメカニクス 木材の力学理論と応用 P183-192 2015年

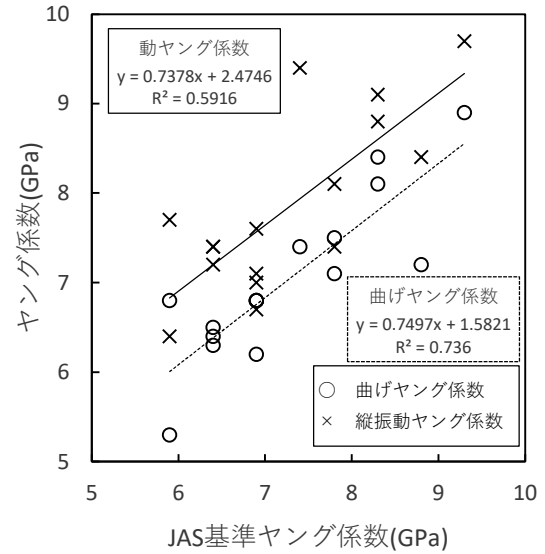


図-4 ヤング係数の関係

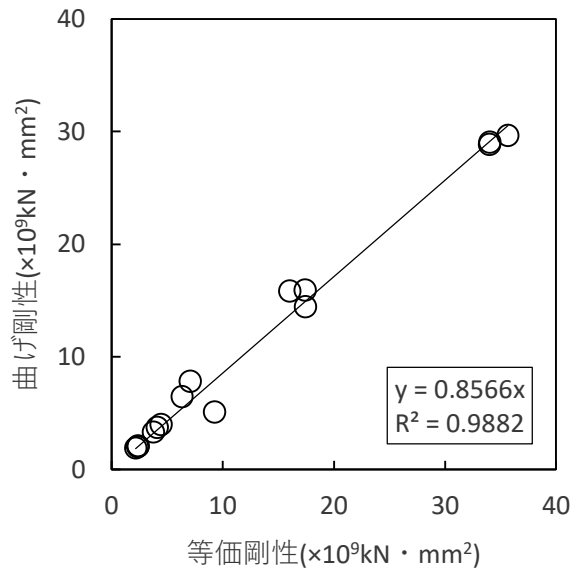


図-5 等価剛性と曲げ剛性の関係

寸法安定性の高い高品質乾燥材生産技術の開発

平成 30 年度～令和 2 年度

木材チーム 豆田 俊治

1. 目 的

近年、公共建築物等の中大規模建築物における構造部材として地域材が利用される機会が増加し、製材の日本農林規格（以下、製材 JAS と記す）で定める一定の含水率基準を満たした人工乾燥材の需要が高まっている。接合部に金物工法が多用される木造住宅においても、構造材に高い寸法安定性が要求されるため、製材 JAS の含水率基準 15%以下を示す SD15 が求められるようになってきた。

一方、増加する大径材の需要創出を図る一つの方策として、梁桁等の構造材への利用が期待されているが、こうした中・大断面材にスギ無垢材を活用していくためには、品質を確保しつつ SD15 に乾燥するための技術的な課題が残されている。

本年度は、中・大断面材の効率的な乾燥技術開発に資する基礎的データを得るため、①減圧環境下で高周波加熱を行う高周波減圧乾燥によるスギ心持ち平角材の乾燥試験を熊本県林業研究・研修センター（熊本県熊本市）と共同で実施した。さらに、心去り平角材の高品質乾燥を目的として、②高温セット処理を行わないスギ心去り材の高周波蒸気複合乾燥試験を実施した。

2. 試験方法

1) スギ心持ち平角材の高周波減圧乾燥試験

(1) 供試材及び乾燥試験

供試材は、大分県佐伯産のスギ心持ち平角材 8 本で、寸法（製材寸法；mm）は、120×240×4,000（135×255×4,000）とした。原木から製材後、中央部で切断して切断部分を含水率測定すると共に、切断した 2 m 平角材 2 本をそれぞれ高周波減圧乾燥グループ（以下、Aグループと記す）と大分方式乾燥グループ（以下、Bグループと記す）に区分した（図-1）。乾燥前の段階で寸法、重量、縦振動ヤング係数（以下、 E_{fr} と記す）、含水率を測定した。含水率は材の両木口から 50cm、材中央部の 3 カ所で長辺面の表裏の合計 6 カ所を高周波木材水分計 HM-520（以下、含水率計と記す）により測定した。

Aグループは、熊本県林業研究・研修センターの多機能木材乾燥機 HTD-1 型（株式会社ヤスジマ製、写真-1）を用いて高周波減圧乾燥した。乾燥時間は約 15 日、乾燥スケジュールを表-1 に示す。Bグループは、大分方式乾燥法（蒸煮 12 時間、120℃高温セット 24 時間処理、天然乾燥約 1 ヶ月、中温乾燥（促進乾燥））で乾燥して、Aグループとの比較に用いた。

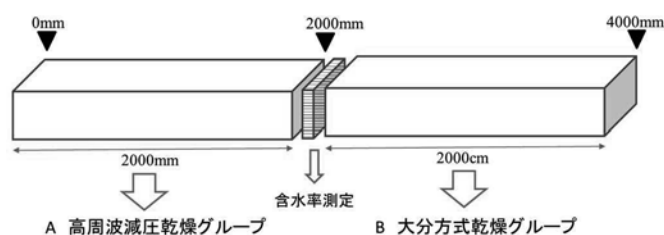


図-1 供試材の木取り（模式図）



写真-1 多機能木材乾燥機 HTD-1 型

表-1 乾燥スケジュール (高周波減圧乾燥)

ステップ	処理時間 (h)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	真空度 (torr)	備考
前処理	1	95	—	300	初期蒸煮
1	20	95	78	300	高温セット
2	48	70	55	300	高周波発振
3	288	65	50	150	
	357	(14.9日間)			

(2) 材質試験

乾燥後の供試材は、寸法（材長及び中央部の4材面）、重量、Efr、表面割れ、中央部矢高、含水率計による含水率の測定を行った。表面割れは、面積（幅×長さ×1/2）を算出して、一本当たりの表面割れ面積として集計した。材の明るさは、供試材をプレーナ仕上げ後にL*a*b*表色系の明度L*を、供試材の長辺表面6カ所、長辺裏面6カ所を色彩色差計CR-400（コニカミノルタセンシング株式会社製）で測定した。含水率は、両木口50cmの場所で切断して全乾法で測定した。また、切断時の断面から内部割れがあるかを確認した。

2) スギ心去り平角材の高周波促進乾燥試験

(1) 供試材及び乾燥試験

試験全体の流れを図-2に示す。供試材は、大分県佐伯産のスギ心去り平角材で、原木は末口径44cm以上のものを7本選別して、図-3の木取りで1本の原木から2本の平角材を製材した。寸法（製材寸法；mm）は、120×240×4,000（135×255×4,000）である。合計14本の心去り平角材を製材した後、高周波促進乾燥グループ（以下、Cグループと記す）、中温促進乾燥グループ（以下、Dグループと記す）に分けた。両端50cmで切断して試験片を切り出した後、全乾法で含水率を測定した。長さ3mとなった後に、寸法、重量、Efr、含水率を測定した。含水率は材の両木口から50cm、材中央部の3カ所を長辺面（a面とc面）の合計6カ所を含水率計で測定した。なお測定にあたって、木表と木裏を区別するため、図-4のようにa面（木表）、b面、c面（木裏）、d面とした。

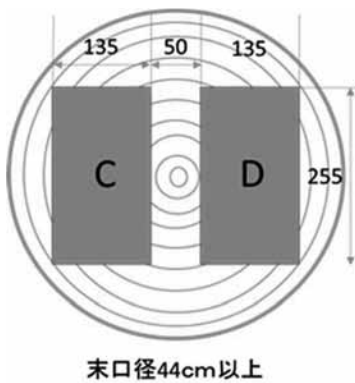
乾燥試験は、最初に1ヵ月間の天然乾燥を行ってから、Cグループは、大分県立日田林工高等学校の高周波複合乾燥装置MDW-2SD型（山本ビニター株式会社製、写真-2）を用いて高周波乾燥による促進乾燥を行った。乾燥スケジュールを表-2に示す。その後、温水式中温乾燥機（東北通商株式会社製、写真-3、以下、中温乾燥機と記す）で仕上げ乾燥を行った。一方、Dグループは、天然乾燥後、中温乾燥機で仕上げまで42日間乾燥した。

(2) 材質試験

測定項目は寸法、重量、表面割れ、中央部矢高、含水率計の含水率、表面割れ、全乾含水率、内部割れ、材色とした。測定方法は、1)の(2)と同様に実施した。



図-2 試験の流れ



末口径44cm以上



写真-2 高周波複合乾燥装置



写真-3 温水式中温乾燥機

図-3 心去り材の木取り

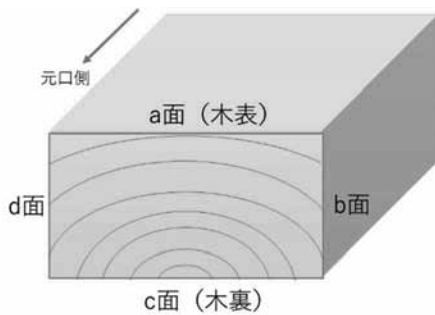


図-4 測定面の位置

表-2 乾燥スケジュール (高周波促進乾燥)

ステップ	処理時間 (h)	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	高周波発振
1	8	40~60	35~55	
2	8	70~73	-	
3	110	77~80	-	発振
4	18	60~35	-	
		144	(6.0日間)	

3. 結果及び考察

1) スギ心持ち平角材の高周波減圧乾燥試験

時期別の供試材の諸元を表-3に示す。さらに全乾法換算による期間中の含水率推移を図-5に示す。乾燥前から乾燥後、養生後の含水率の推移をみると、含水率計ではAグループが53.4±4.2%から14.0±1.6%、18.6±1.4%、Bグループが55.4±5.3%から14.7±2.0%、22.5±2.0%であった。乾燥後から養生後にかけて含水率がやや増加した。一方、全乾法ではAグループが53.1±5.5%から12.0±2.0%、13.3±1.2%、Bグループが55.9±6.7%から20.0±2.0%、21.1±1.7%であった。このことから、大分方式乾燥は今回、約3ヵ月で平均20%前後まで乾燥できたが、高周波減圧乾燥は、さらに短い期間で含水率15%以下まで乾燥できた。

乾燥前後の収縮率の平均は、Aグループの a 面が $2.46 \pm 0.25\%$ 、Bグループの a 面が $1.39 \pm 0.18\%$ で、Aグループの収縮率が大きかった。これは乾燥後の含水率の差が主な原因の1つと考えられた。

表面割れ測定結果を図-6に示す。1本あたりの表面割れ面積の平均値は、Aグループが $5.6 \pm 12.5 \text{ cm}^2$ 、Bグループが $5.6 \pm 10.1 \text{ cm}^2$ となり、大きな差はなかった。このことから、今回の高周波減圧乾燥では高温セット乾燥と同様に表面割れの発生を抑制して乾燥が可能であることが分かった。

乾燥後の心材色の明度 L^* の測定結果を図-7に示す。 L^* の平均値±標準偏差は、Aグループが 71.76 ± 2.98 、Bグループが 69.56 ± 2.60 であった。Aグループは、すべての供試材でBグループの平均値を上回っており、目視では天然乾燥に近い良好な色合いであった。

乾燥後の材内部の含水率分布と断面写真を図-8、9に示す。Aグループは中心付近の最も高いところで 20.9% 、全体では 17.3% であった。一方、Bグループは中心部に含水率が 30% を超えるやや高い部分があり、全体では 22.0% であった。内部割れは、すべての切断箇所を確認されなかった。

表-3 時期別の供試材諸元 (平均±標準偏差、—は未計測)

時期	試験材区分	本数	寸法			重量 (kg)	密度 (kg/m^3)	E_f (kN/mm^2)	含水率1 [※] (%)	含水率2 [※] (%)
			長辺 (mm)	短辺 (mm)	長さ (cm)					
乾燥前	A 高周波減圧	8	254.91±0.50	136.26±0.97	199.6±0.1	37.47±1.29	540.4±21.2	62.8±9.4	53.4±4.2	53.1±5.5
	B 大分方式	8	255.16±1.04	136.58±0.76	199.6±0.1	37.44±1.11	538.1±15.9	62.7±10.9	55.4±5.3	55.9±6.7
乾燥中 (セット後)	A 高周波減圧	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B 大分方式	8	254.58±1.67	132.68±6.67	199.7±0.1	33.06±1.08	-	-	30.0±4.3	37.7±4.2
乾燥中 (天乾後)	A 高周波減圧	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B 大分方式	8	253.52±0.95	135.58±1.00	199.6±0.1	31.93±1.21	465.4±18.6	63.5±11.6	30.2±2.9	33.3±3.5
乾燥後	A 高周波減圧	8	248.87±1.12	131.64±1.43	199.3±0.27	27.42±1.06	420.0±17.5	73.0±10.4	14.0±1.6	12.0±2.0
	B 大分方式	7	-	-	-	28.27±1.34	-	-	14.7±2.0	20.0±2.0
養生後	A 高周波減圧	7	248.73±0.68	132.35±1.31	199.5±0.2	27.81±1.14	432.5±18.7	74.3±10.7	18.6±1.4	13.3±1.2
	B 大分方式	7	251.45±0.88	133.15±1.02	199.6±0.1	29.03±1.37	434.4±20.8	70.9±12.5	22.5±2.0	21.1±1.7

※含水率1：含水率計による含水率、含水率2：全乾法含水率または重量換算で算出した含水率

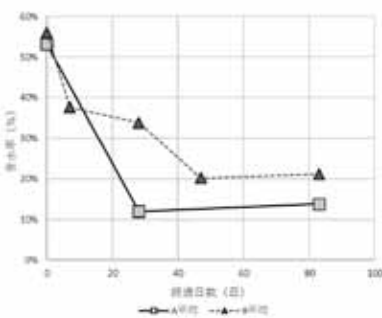


図-5 期間中の含水率推移

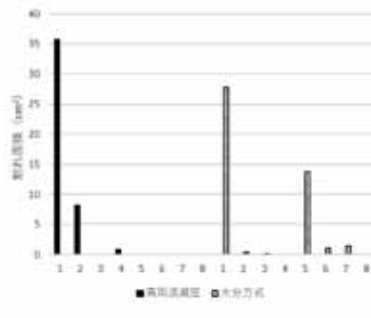


図-6 表面割れの比較

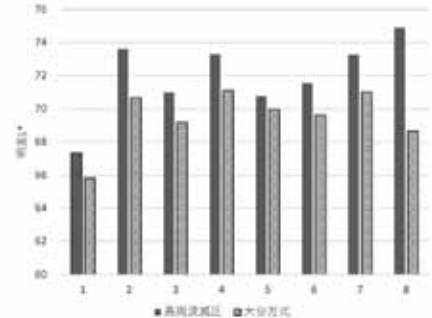


図-7 明度 L^* の比較

14.7	15.2	15.0	15.6	15.2
16.2	18.3	18.3	19.6	17.6
17.0	19.8	19.7	20.9	18.5
16.5	19.0	18.8	19.8	17.8
15.2	16.2	15.9	16.1	15.5
平均値				17.3

15.5	18.7	18.9	18.5	14.6
20.9	28.6	28.5	27.3	19.5
22.0	30.2	31.3	29.6	20.7
20.2	26.7	26.2	27.2	18.9
15.1	17.3	17.3	18.0	14.7
平均値				22.0

図-8 材内部の含水率分布 (A乾燥後)

図-9 材内部の含水率分布 (B乾燥後)

2) スギ心去り平角材の高周波促進乾燥試験

時期別の供試材の諸元を表-4に示す。また、期間中の含水率推移を図-10に示す。乾燥前から促進乾燥後の全乾法による含水率(平均値±標準偏差)の推移を見ると、Cグループは、124.8±43.5%から17.0±9.6%、Dグループは、127.4±41.0%から20.1±6.3%となった。高周波促進乾燥後のCグループとDグループの含水率は、平均8.4%の差が生じた。その後、Dグループが中温乾燥で同水準の含水率に到達するまで約3週間かかっていることから、高周波促進乾燥によって乾燥時間を3週間程度短縮可能であることが分かった。乾燥前後の収縮率の平均は、Cグループのa面が2.32±0.88%、c面が2.04±0.84%、Dグループのa面が1.52±0.91%、c面が1.62±0.82%であった。同一グループのa面とc面の収縮率を比較すると木表面であるa面、CグループとDグループを比較するとCグループの方が収縮率が大きかった。

表-4 時期別の供試材諸元 (平均±標準偏差、—は未計測)

時期	試験材区分	本数	寸法					重量 (kg)	密度 (kg/m ³)	E ₀ (kN/mm ²)	含水率1 [※] (%)	含水率2 [※] (%)
			長辺a (mm)	長辺c (mm)	短辺b (mm)	短辺d (mm)	長さ (cm)					
乾燥前	C 高周波促進	7	255.90±0.93	255.79±0.88	136.92±0.63	137.02±0.61	299.0±0.11	69.70±14.60	663.4±140.3	59.4±9.3	90.5±15.7	124.8±43.5
	D 中温促進	7	255.56±0.56	255.77±0.38	136.65±0.50	136.81±0.78	300.0±0.11	71.30±15.63	680.3±150.2	56.5±3.9	90.2±23.0	127.4±41.0
乾燥中 (天乾後)	C 高周波促進	7	254.86±1.42	254.89±0.67	135.72±0.75	135.75±0.60	300.0±0.08	45.02±6.72	433.8±64.9	—	30.8±9.8	45.4±19.9
	D 中温促進	7	254.62±1.27	254.58±0.91	135.12±0.73	135.08±0.83	300.0±0.11	45.44±6.79	440.2±64.1	—	34.4±14.2	45.3±16.5
乾燥中 (高周波後)	C 高周波促進	7	252.24±1.24	252.37±0.77	134.63±1.24	134.88±0.58	299.9±0.15	40.12±5.62	393.2±52.9	64.8±9.7	16.8±6.5	29.4±15.4
	D 中温促進	7	254.84±1.94	253.87±1.01	134.98±0.79	134.76±0.90	300.0±0.11	43.09±5.87	418.7±56.3	58.6±4.5	25.6±10.6	37.8±13.8
促進乾燥後	C 高周波促進	7	250.11±1.73	250.68±1.62	133.09±0.66	133.78±0.90	299.7±0.18	36.29±4.28	362.3±41.2	66.4±10.1	12.5±4.9	17.0±9.6
	D 中温促進	7	251.74±2.15	251.70±1.82	133.83±0.79	133.75±1.27	299.8±0.17	37.53±3.76	371.6±34.6	62.2±4.5	14.8±6.3	20.1±6.3

※含水率1：含水率計による含水率、含水率2：全乾法含水率または重量換算で算出した含水率

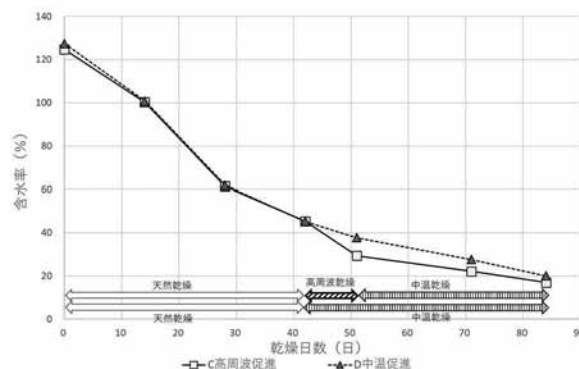


図-10 期間中の含水率推移

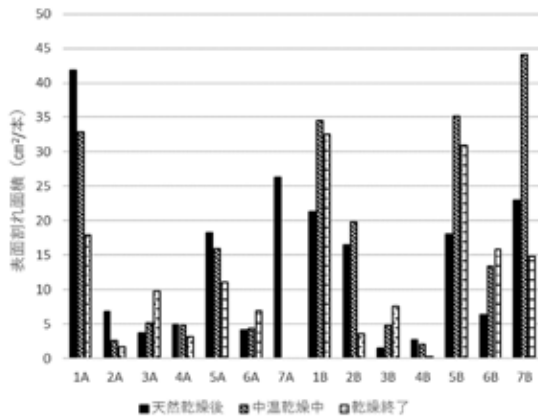


図-11 時期別の表面割れの比較

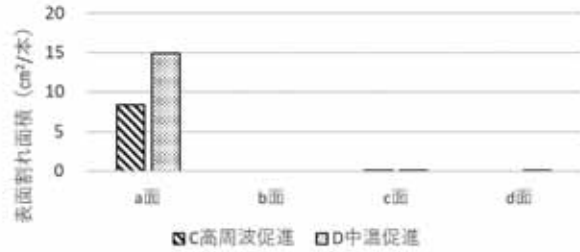


図-12 材面別の表面割れ面積の比較 (促進乾燥後)

9.3	10.3	10.2	10.0	8.7
10.2	11.6	11.9	11.3	9.9
10.4	12.3	12.8	12.4	10.4
9.7	11.7	12.1	11.5	10.0
8.4	9.8	10.0	9.8	9.1
平均値				10.6

図-13 材内部の含水率分布 (C乾燥後)

10.3	12.5	12.9	13.4	10.7
12.4	16.3	18.3	18.1	13.8
13.0	17.8	20.1	19.6	14.5
12.3	16.5	18.0	17.6	14.1
10.5	12.4	13.2	12.8	11.1
平均値				14.5

図-14 材内部の含水率分布 (D乾燥後)

時期別の表面割れの比較を図-11、促進乾燥後の材面別の表面割れ面積を図-12に示す。セット乾燥の場合は、乾燥が進むにつれて表面割れが縮小する傾向があるが、今回は乾燥期間中に割れが拡大する供試材があった。また、割れの発生は、長辺 a (木表) に集中しており、他の面にはほとんどなかった。促進乾燥後に材色測定した結果、心材部の明度 L*の平均値±標準偏差は、Cグループで 63.59 ± 4.09、Dグループで 65.94 ± 3.76 であった。乾燥後の材内部の含水率分布及び断面写真を図-13、14に示す。内部割れは、すべての切断箇所を確認されなかった。

4. まとめ

1) スギ心持ち平角材の高周波減圧乾燥試験

昨年度まで心持ち平角材の高周波蒸気複合乾燥¹⁾、高周波減圧乾燥²⁾を実施したが、今回は高周波印加量を増やして乾燥時間を長くした改良スケジュールで高周波減圧乾燥を実施した。その結果、含水率 15%以下まで乾燥することができた。また、内部割れのない状態で中心付近まで乾燥できたことから、平角材などの断面が大きく、乾燥むらの生じやすい製品を、高い品質で乾燥できることが明らかとなった。今後は、さらに大きな断面の乾燥試験や心去り材の乾燥への活用を検討したい。

2) スギ心去り平角材の高周波促進乾燥試験

心去り材は、中温乾燥においても内部割れの発生が認められ³⁾、高温乾燥においてはさらに多くの内部割れの発生が懸念される。そこで、表面割れ抑制のためのドライグセットを行わないセットレス乾燥を実施したところ、高周波乾燥や中温乾燥による促進乾燥後も内部割れがない状態で乾燥が実現できた。ただし、今回の高周波促進乾燥スケジュールでは、すべての材で含水率 15%以下まで乾燥するには至らなかった。また、長辺木表側に表面割れの発生が認められた。これは乾燥時に引張り応力が木表側に大きく生じていると推測されるため、表面割れ対策として短時間のドライグセットを行うなど、乾燥スケジュールの調整も検討する必要がある。今回、心去り平角材のセットレス乾燥に高周波促進乾燥だけでは、目標の含水率まで下げることができなかったため、含水率 15%以下の高品質乾燥を実現するためには、乾燥スケジュールの改良が必要であり、内部割れも表面割れもない高品質な乾燥のために、今後も引き続き試験が必要である。

謝辞

今回の乾燥試験では、熊本県林業研究・研修センター並びに同センター林産加工部の池田元吉氏をはじめ研究員の方々には同センター所有の高周波減圧乾燥機の使用等において多大なご協力を頂きました。また、大分県立日田林工高等学校並びに同校の林学科教諭 坂本信教氏、江田雅之氏には、同校所有の高周波蒸気複合乾燥機を使用させていただく際に多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 山田康裕：大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報 No. 61, 41-50 (平成 30 年)
- 2) 山田康裕：大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報 No. 62, 38-43 (令和元年)
- 3) 河津 渉：大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報 No. 58, 34-37 (平成 27 年)