

蒸気・圧力併用型乾燥機を用いた県産材乾燥スケジュールの確立 (1)

山口健太、吉田孝久、奥原祐司、今井信、田畑衛^{※1}

断面の大きな梁桁材を、より短時間で乾燥させるために、蒸気圧力併用型乾燥に着目し、乾燥試験と強度試験を実施した。本研究報告では、心持ち平角材について、アカマツは、1年間の天然乾燥と5日間の蒸気圧力併用型乾燥との比較試験を行い、また、スギについては、15日間の蒸気式乾燥と7日間の蒸気圧力併用型乾燥との比較試験について報告する。

試験の結果、(1)アカマツ心持ち平角材では、5日間の蒸気圧力併用型乾燥で、目標含水率15%をほぼクリアしたが、含水率のバラつきが大きく、材面割れや内部割れ、狂いも多く発生し、強度の低下がみられた。(2)スギ心持ち平角材では、7日間の蒸気圧力併用型乾燥で、含水率を17.0%まで低下させることができ、また材面割れ、反り曲りの発生量及び強度についても蒸気式乾燥と同程度の少ない結果となった。

キーワード：アカマツ心持ち平角材，天然乾燥，蒸気圧力併用型乾燥，スギ心持ち平角材，曲げ強度

- 1 はじめに
- 2 試験の方法
- 3 試験 A「アカマツ心持ち平角材の天然乾燥と蒸気圧力併用型乾燥」
 - 3.1 試験の方法
 - 3.1.2 乾燥試験
 - 3.1.3 曲げ強度試験
 - 3.2 結果
 - 3.2.1 乾燥試験
 - 3.2.1.1 全乾法含水率及び水分傾斜
 - 3.2.1.2 ねじれ、曲がり、反り
 - 3.2.1.3 割れ
 - 3.2.2 曲げ強度試験
- 4 試験 B「スギ心持ち平角材の蒸気式乾燥と蒸気圧力併用型乾燥」
 - 4.1 試験の方法
 - 4.1.2 乾燥試験
 - 4.1.3 曲げ強度試験
 - 4.2 結果
 - 4.2.1 乾燥試験
 - 4.2.1.1 全乾法含水率及び水分傾斜
 - 4.2.1.2 曲がり、反り
 - 4.2.1.3 割れ
 - 4.2.2 曲げ強度試験
- 5 まとめ
- 6 謝辞

用材は、間伐材から製材された心持ち柱材が主体であり、今後はこの心持ち柱材に加え、大径材から製材される心持ち梁桁材の生産が多くなることが予想される。しかし、乾燥に関して、梁桁材は柱材に比べ断面が大きいいため、現在では2週間以上の期間を要しており、この長期間に対応できない業者も多い。大径材の生産が増加するに伴い、今後、木材乾燥においては梁桁材といった断面の大きな乾燥を、損傷を少なくより短時間で乾燥する技術が要求されてくる。

本課題では、短時間の乾燥に主眼を置き、これまでの主流にある温度と湿度を制御する蒸気式乾燥に圧力の調整を加えた乾燥機により、今まで2週間以上を要していた乾燥を、1週間以内で乾燥するための検討を行った。

本研究報告においては、県産4樹種のうちアカマツとスギ心持ち平角材について、梁桁材として利用するための乾燥試験と、強度性能試験を実施した内容を報告する。

2 試験の方法

試験の概要を表-1に示した。

試験 A：アカマツ心持ち平角材の天然乾燥と蒸気圧力併用型乾燥

試験 B：スギ心持ち平角材の蒸気式乾燥と蒸気圧力併用型乾燥

表-1 試験の概要

樹種	アカマツ		スギ	
平角寸法	120×240×4000 mm			
試験	試験 A		試験 B	
乾燥方法	天然	蒸気圧力	蒸気式	蒸気圧力
平角本数	10	10	9	9

1 はじめに

長野県内の針葉樹人工林は成熟期を迎え、高齢化・大径化が進んでいる。現在、利用が多い国産材の建築構造

^{※1}現上小地域振興局林務課

3. 試験 A : 「アカマツ心持ち平角材の天然乾燥と蒸気圧力併用型乾燥」

3.1 試験の方法

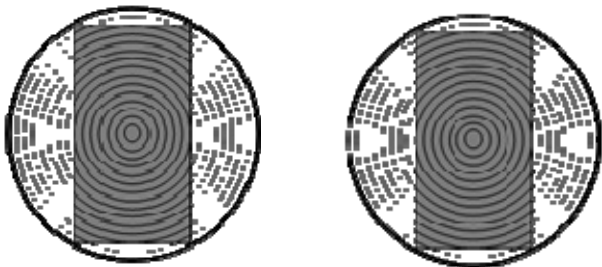
3.1.1 供試材

長野県産アカマツを供試材とし、仕上がり寸法 120×240×4000 mm、製材寸法 158×265×4000 mmの平角材を各丸太から心持ち一丁取りで 20 体制材した (図-1)。供試丸太の概要は表-2 のとおりである。

表-2 供試丸太の概要

アカマツ (20 本)	丸太短径 (cm)
	末口
平均値	39.0
最大値	42.0
最小値	36.0

製材直後 (乾燥前) に長さ、幅、厚さ、重量、動的ヤング係数、含水率計による含水率及び材面割れ、反り、曲がり、ねじれを測定し、動的ヤング係数の平均値と変動係数がほぼ等しくなるように各 10 本に分けた (写真-1)。一方を天然乾燥とし、残りの一方は蒸気圧力併用型乾燥に供した。



天然乾燥 12 か月間
10 本

蒸気圧力併用型乾燥 5 日間
10 本

図-1 心持ちアカマツ平角材木取り



写真-1 計測状況

3.1.2 乾燥試験

天然乾燥は、屋根付きの屋外天然乾燥場にて平成 26 年 2 月から 12 か月間実施した。(写真-2)。

乾燥後寸法 (巾、せい高、長さ)、重量、ねじれ、曲がり、反り、材面割れ長さを計測した後、モルダーにより 120 mm×240 mm に修正挽きし、再び材面割れ長さを計測した。

蒸気圧力併用型乾燥は、当センターが新たに導入したヒルデブランド(樹製 HD03/SHD)により、目標含水率を 15%以下として、表-3 の乾燥スケジュールに従って約 5 日間の乾燥を行った。乾燥初期に前処理として加減圧を 3 回繰り返した後、乾燥初期にヤニ滲出防止のための蒸煮を 100kp (大気圧基準、以下同様) 下で 8 時間、材面割れ防止と乾燥時間の短縮を兼ねた 0~30kp 下で乾球温度 125℃の高温セット乾燥を 25.5 時間実施した。-80kp 下で乾球温度 90℃の中温乾燥を 80 時間実施した。

表-3 蒸気圧力併用型乾燥スケジュール

圧力 KPa	乾球温度 (°C)	時間 (h)	備考
-88~100		3.0	前処理 (3 回繰返し)
100	90	8.0	蒸煮
0~30	125	24.5	高温セット
-80	90	80.0	中温乾燥



写真-2 天然乾燥の様子



写真-3 蒸気圧力併用型乾燥の様子

3.1.3 曲げ強度試験

曲げ試験は、実大材曲げ強度試験機：(株)島津製作所製 UH-1000 k NA を用い、下部支点間距離 3,900 mm、上部荷重点間距離 1,300 mm の 3 等分点 4 点荷重条件、載荷速度 15 mm/min で実施した (図-2、写真-4)。

試験終了後、材端から 1.2m の位置で厚さ約 3 cm の試験片を 1 枚切り出し、全乾法含水率と内部割れ長さ (放射方向) を計測した。また、全乾法含水率試験片採取位置の隣接部から約 3 cm の試験片を 1 枚切り出し、断面の中方向 (短辺) の水分傾斜を計測した (図-3)。

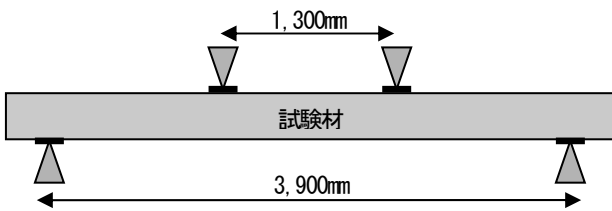


図-2 曲げ強度試験の条件と曲げ試験の様子



写真-4 強度試験の状況

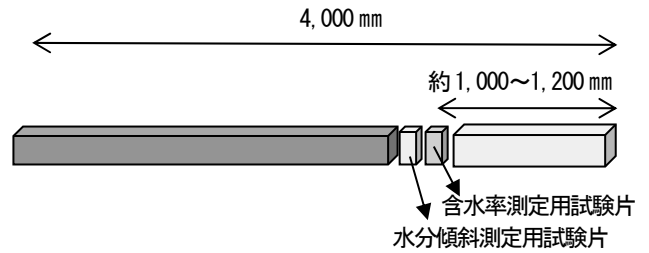


図-3 含水率試験片の切り出し

荷重と全スパンのたわみから見かけの曲げヤング係数 (MOE) を、最大 (破壊) 荷重から曲げ強さ (MOR) を算出した。

3.2 結果と考察

3.2.1 乾燥試験

天然乾燥及び蒸気圧力併用型乾燥について、全乾法含水率、ねじれ、曲がり、反り及び割れの計測結果を表-4 に示した。乾燥特性について、両者を比較し、まとめた結果を以下に示す。

3.2.1.1 全乾法含水率及び水分傾斜

乾燥後の全乾法含水率の平均値は 1 年間の天然乾燥で 18.9% (最大 19.8%~最小 18.2%)、5 日間の蒸気圧力併用型乾燥で、11.7% (最大 19.1%~最少 6.2%) であり、10%を下回ったものが 4 本ある一方、最大は 19.1%とバラツキが大きい結果となった (図-4、図-5)。

表-4 乾燥試験の結果

		乾燥後					修正挽き後		
		密度 (t/m ³)	ねじれ (mm/3.8m)	曲がり (mm)	反り (mm)	材面割れ 長さ (cm)	乾燥後含 水率 (%)	材面割れ 長さ (cm)	内部割れ 長さ (mm)
蒸気圧力 併用型乾燥	平均	0.492	21	6	5	385	11.7	530	215
	最大	0.603	52	10	13	712	19.1	920	375
	最少	0.437	10	2	3	128	6.2	300	80
	標準偏差	0.048	13	3	4	226	3.9	206	99
天然乾燥	平均	0.504	8	3	3	1,334	18.9	1,058	0
	最大	0.550	19	7	6	1,520	19.8	1,480	0
	最少	0.456	0	1	2	730	18.2	520	0
	標準偏差	0.034	6	2	1	289	0.52	354	0

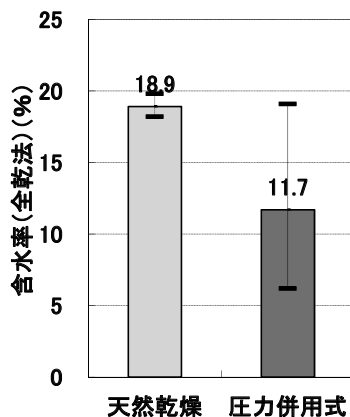


図-4 全乾法含水率の比較

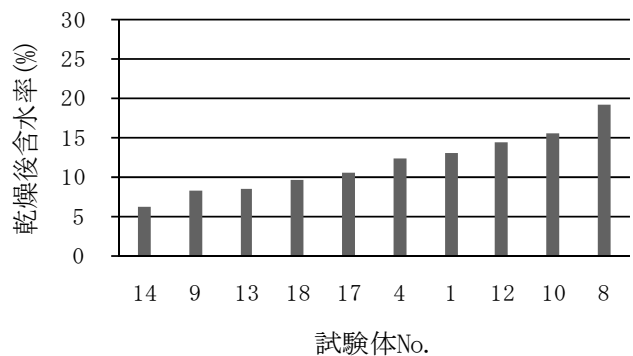


図-5 蒸気圧力併用型乾燥における各試験体の仕上り含水率 (小→大)

水分傾斜については、表層部と中心部の差が天然乾燥材では約 2~3%と、蒸気・圧力併用型乾燥材の約 2~10%となった。蒸気圧力併用型乾燥では、10%を下回った試験体で表層と中心部とで差がほとんどなかった(図-6)。また、乾燥後含水率は乾燥前密度と正の相関関係にあるが、バラつきが大きかった(図-7)。

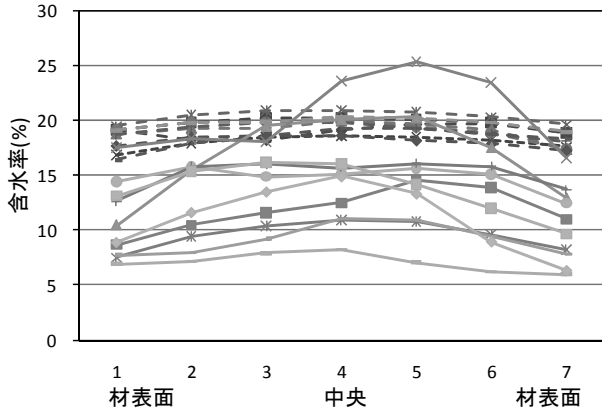


図-6 水分傾斜の比較 (点線は天然、実線は蒸気圧力併用)

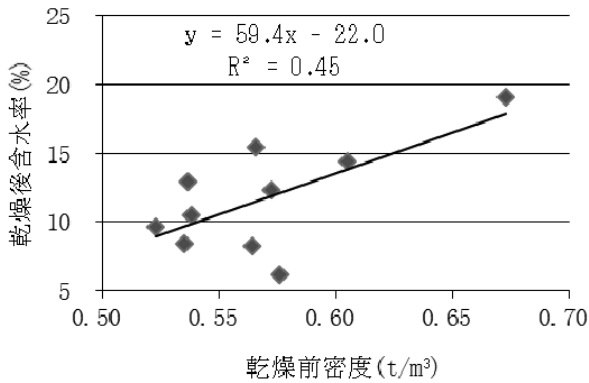


図-7 乾燥前密度と乾燥後含水率との関係

3.2.1.2 ねじれ、曲がり、反り

ねじれ、曲がり、反りはそれぞれ、天然乾燥は 8 mm/3.8m、3 mm/4m、3 mm/4m となったが、蒸気・圧力併用型乾燥では 21 mm/3.8m、6 mm/4m、5 mm/4m となり、蒸気・圧力併用型乾燥の方が大きい結果となった(図-8、9、10、写真-5)。



写真-5 No14 ねじれ 52 mm の状況

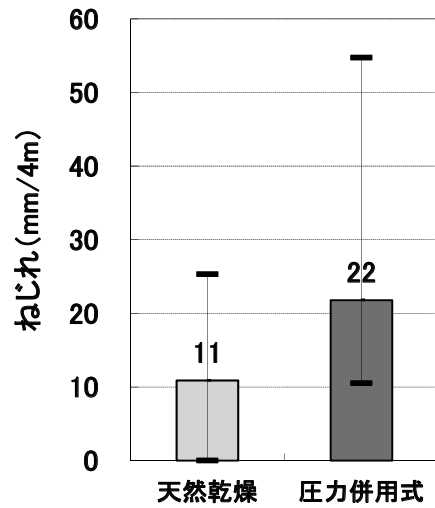


図-8 ねじれの比較

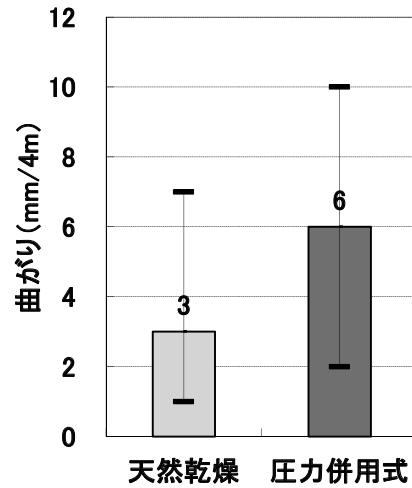


図-9 曲がりの比較

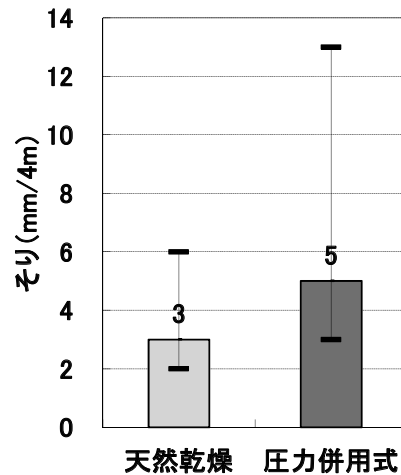


図-10 反りの比較

各試験体における、ねじれ、曲がり、反りのいずれも、乾燥後含水率と負の相関関係にあり、乾燥が進んだものほど変形が大きい傾向にあった (図-11、12、13)。

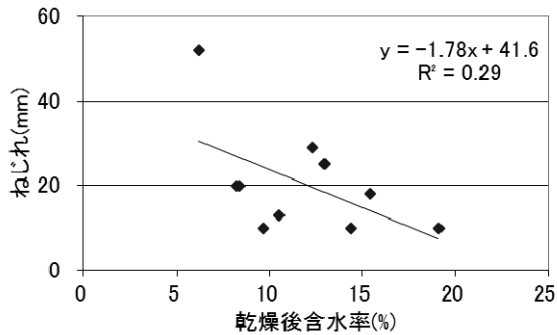


図-11 乾燥後含水率とねじれとの関係

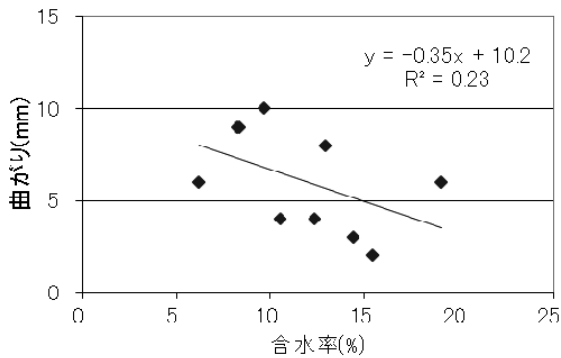


図-12 乾燥後含水率と曲がりとの関係

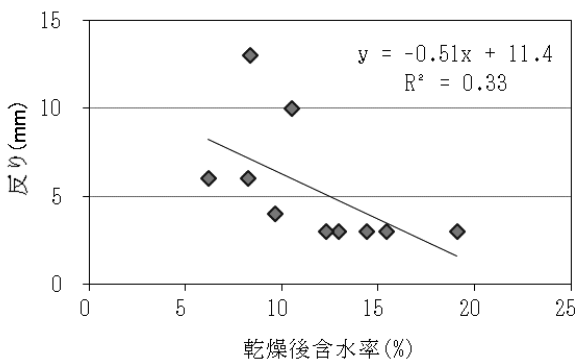


図-13 乾燥後含水率と反りとの関係

3.2.1.3 割れ

乾燥後の材面割れ長さは、天然乾燥は 1,334cm/4 面・4m (最大 1,520cm/4 面・4m～最少 730cm/4 面・4m)、モルダー仕上げ後は 1,058cm/4 面・4m (最大 1,480cm/4 面・4m～最少 520cm/4 面・4m) となった

が、蒸気・圧力併用型乾燥材では 530 cm/4 面・4m (最大 920 cm/4 面・4m～最少 300 cm/4 面・4m) となり、天然乾燥の方が著しく多かった (図-14)。一方で、内部割れについては、蒸気・圧力併用型乾燥材で全ての試験体で発生し、その平均値は 215 mmであったが、天然乾燥材では全ての試験体で確認されなかった (図-15、写真-6)。

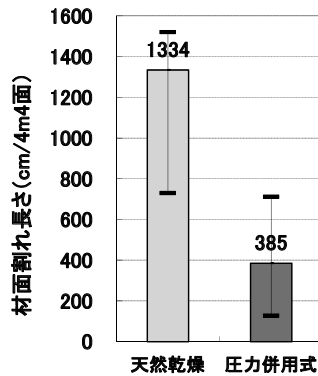


図-14 材面割れの比較

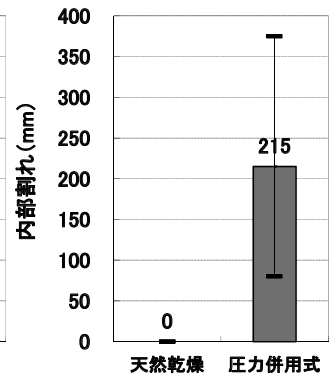


図-15 内部割れの比較

蒸気圧力併用型乾燥における各試験体の材面割れ長さと内部割れ長さには相関関係は認められず、両者は別の要因で発生したものと考えられた (図-16)。また、内部割れ長さは乾燥後含水率と負の相関関係にあり、乾燥が進んだもの (過乾燥材) 程内部割れが多く発生する傾向にあった (図-17)。

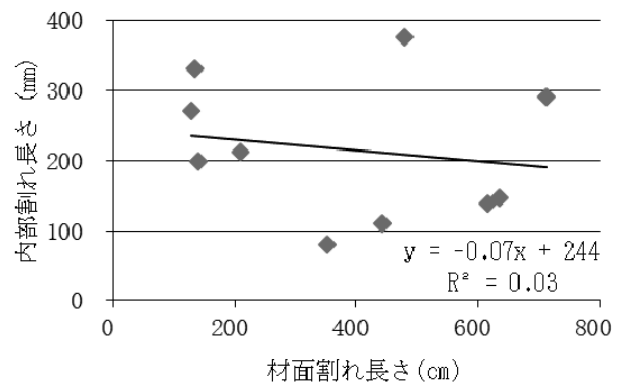


図-16 材面割れ長さと内部割れ長さとの関係

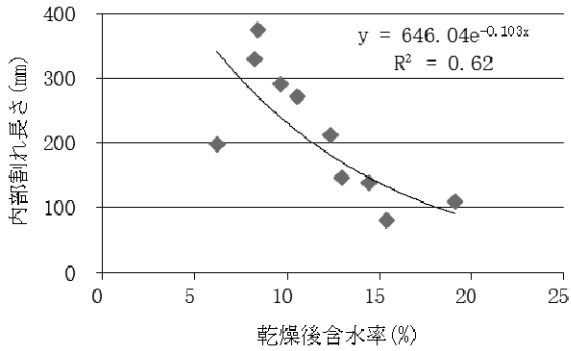


図-17 蒸気圧力併用型乾燥における乾燥後含水率と内部割れ長さとの関係

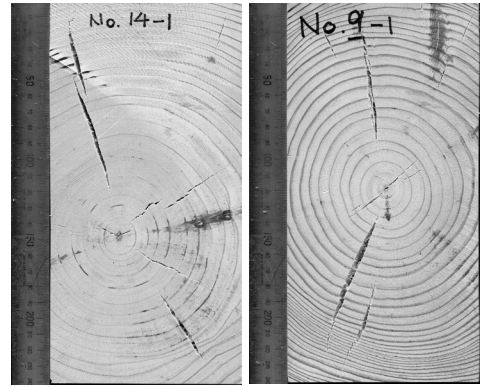


写真-6 No14 (割れ長さ平均 198 mm) 内部割れの状況

3.2.2 曲げ強度試験

曲げ強度試験の結果を表-5 及び図-18、19 に示した。曲げ強度の天然乾燥材平均値は 34.5N/mm^2 で、針葉樹の構造用製材の日本農林規格基準強度無等級材（以下無等級材）の基準強度 28.2N/mm^2 を 2 本が、針葉樹の構造用製材の日本農林規格基準強度機械等級区分材以下（機械等級区分材）の基準強度を 2 本が下回った。一方、蒸気・圧力併用型乾燥材の平均値は 24.3N/mm^2 で、無等級材の基準強度を 8 本が、機械等級区分材の基準強度を 5 本が下回った。

乾燥方法の違いによる見かけの曲げヤング係数について統計的な差をスチューデントの t 検定（両側検定）によって確認したところ、統計的に両者に差がない結果となった。一方で、曲げ強さについて同様に確認したところ、両者に差があるという結果となった。

また、内部割れ長さ（図-20）と曲げ強さの関係（図-20）を見てみると、内部割れが多いほど曲げ強さが低下する傾向があり、蒸気・圧力併用型乾燥材の曲げ強度が低かった原因として、乾燥に伴う内部割れの影響が考えられた。

表-5 曲げ強度試験の結果

区分	動的ヤング係数 (kN/mm^2)			曲げヤング係数 (kN/mm^2)	曲げ強さ (N/mm^2)	
		乾燥前	乾燥後			修正挽き後
蒸気・圧力併用型乾燥*	平均	8.99	10.79	10.03	9.59	24.3
	最大	11.80	13.82	13.28	12.37	35.8
	最小	6.12	7.66	7.24	6.59	14.1
	標準偏差	1.74	1.86	1.71	1.87	7.0
天然乾燥	平均	9.33	10.33	10.01	10.49	34.5
	最大	11.99	13.08	12.36	13.71	52.2
	最小	7.23	8.12	8.16	6.72	18.8
	標準偏差	1.58	1.68	1.56	2.16	10.6

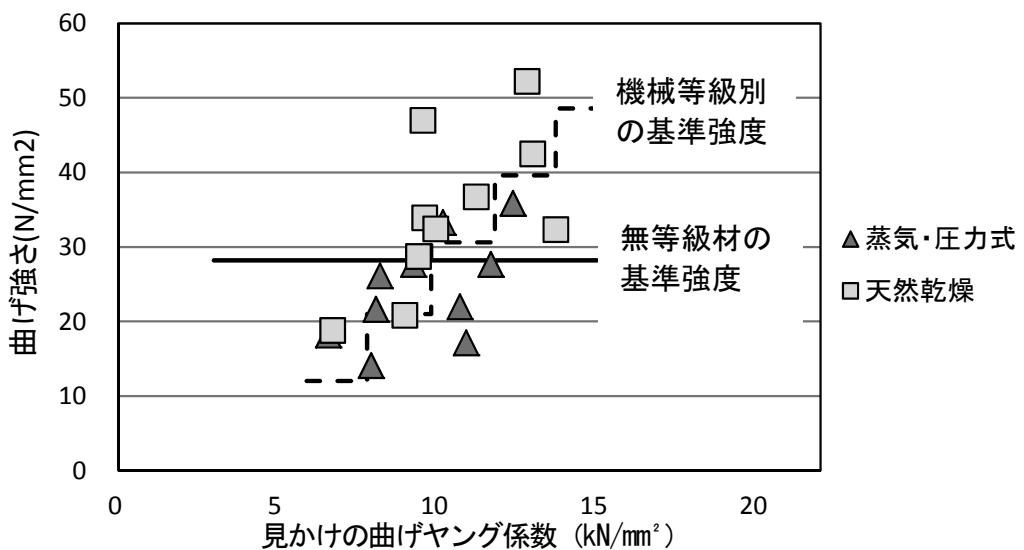


図-18 曲げ強さと見かけの曲げヤング係数の関係

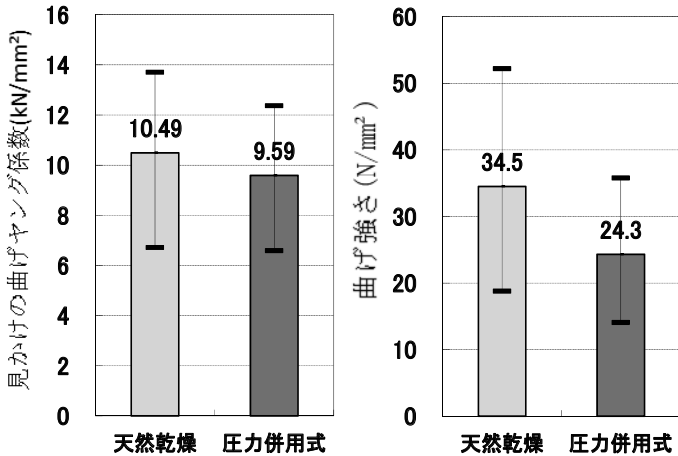


図-19 乾燥方法と見かけの曲げヤング係数、曲げ強さ



写真-7 供試丸太の概要

製材直後（乾燥前）に長さ、幅、厚さ、重量、動的ヤング係数、含水率計による含水率及び材面割れ、反り、曲がり、ねじれを測定し、動的ヤング係数の平均値と変動係数がほぼ等しくなるように各樹種を各9本に分けた。一方を蒸気式乾燥とし、残りの一方は蒸気圧力併用型乾燥に供した。

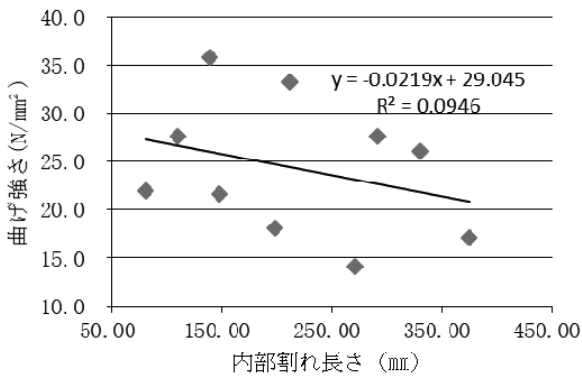


図-20 内部割れ長さと曲げ強さの関係

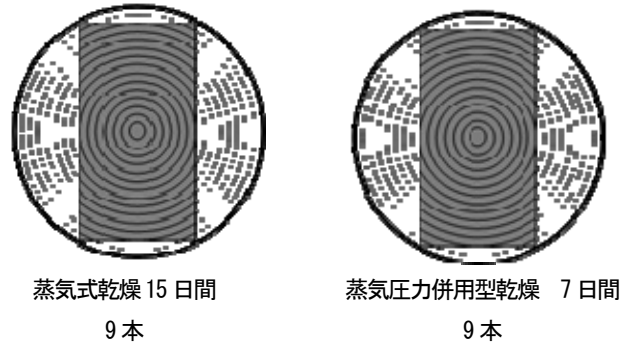


図-21 心持ちスギ平角材木取り

4. 試験 B : 「スギ心持ち平角材の蒸気式乾燥と蒸気圧力併用型乾燥」

4.1 試験の方法

4.1.1 供試材

供試材は、長野県下高井郡山ノ内町で平成 29 年 4 月上旬に伐採されたスギであり、仕上がり寸法 120×240×4,000 mm、製材寸法 135×260×4,000 mmとして各丸太から心持ち一丁取りで 18 体を製材した（表-6、写真 7）。

表-6 供試丸太の概要

スギ (18本)	丸太短径 (cm)	年輪
	末口	末口
平均値	31.4	57
最大値	35.0	39
最小値	29.0	76

4.1.2 乾燥試験

蒸気式乾燥は、当センターにある木材乾燥機（新柴設備製）で目標仕上げ含水率は 15%以下を目標とし、表-8 の乾燥スケジュールに従って、全工程約 15 日間で実施した。（写真-8）。乾燥初期にヤニ滲出防止のための蒸煮を 95℃で 12 時間実施し、その後材面割れ防止と乾燥時間の短縮を兼ねた乾球温度 120℃の高温セット処理を 24 時間実施し、乾球温度 90℃の中温乾燥を 324 時間実施した。乾燥後寸法（巾、せい高、長さ）、重量、ねじれ、曲がり、反り、材面割れ長さを計測した後、モルダーにより 120 mm×240 mmに修正挽きし、再び材面割れ長さを計測した。

蒸気圧力併用型乾燥は、当センターが新たに導入した、ヒルデブランド(株)製 HD03/SHD により、目標含水率を 15%以下に設定して、表-8 の乾燥スケジュールに従って全工程約 7 日間の乾燥を行った（写真-9）。蒸煮及び高温セットについては蒸気式乾燥と同じであるが、仕上げ乾燥工程において-60kPa 下で乾球温度 90℃の中温乾燥を 137 時間実施している。乾燥後は、蒸気式乾燥と同様の内容で形質を測定した。

表-8 乾燥スケジュール

乾燥方法		蒸気式乾燥	蒸気圧力併用型乾燥
乾燥スケジュール	Step1 : 蒸煮	乾球/湿球/温度差/時間 95°C/95°C/0°C/12h 120°C/90°C/30°C/24h 90°C/60°C/30°C/324h	乾球/湿球/温度差/圧力/時間 95°C/95°C/0°C/0kpa/12h 120°C/90°C/30°C/0kpa/24h 90°C/60°C/30°C/-60kpa/137h
	Step2 : 高温セット		
	Step3 : 仕上げ乾燥		
		全工程 15 日間	全工程 7 日間

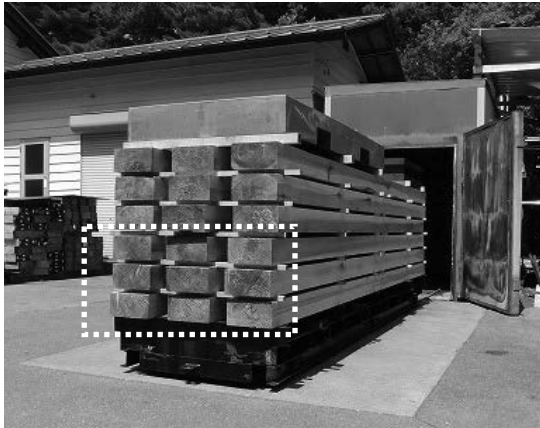


写真-8 蒸気式乾燥の様子 (点線枠内の9本が試験体)



写真-10 強度試験の状況



写真-9 蒸気圧力併用型乾燥の様子 (点線枠内の9本が試験体)

4.2 結果

4.2.1 乾燥試験

蒸気式乾燥及び蒸気圧力併用型乾燥について、全乾法含水率、ねじれ、曲がり、反り及び割れの計測結果を表-9 に示した。乾燥特性について、両者を比較し、まとめた結果を以下に示す。

4.2.1.1 全乾法含水率及び水分傾斜

乾燥後の全乾法含水率の平均値は 15 日間の蒸気式乾燥で 17.5% (最大 36.2%~最小 12.6%) であり、目標の 15%以下の材は、9 本中 3 本であった。また、7 日間の蒸気圧力併用型乾燥では、17.0% (最大 29.1%~最少 9.9%) であり、目標の 15%以下の材は、9 本中 6 本であった (図-22)。

4.1.3 曲げ強度試験

曲げ試験は、実大材曲げ強度試験機：(株)島津製作所製 UH-1000 k NA を用い、下部支点間距離 3,900 mm、上部荷重点間距離 1,300 mm の 3 等分点 4 点荷重条件、載荷速度 15 mm/min で実施した (写真-10)。荷重と全スパンのたわみの関係から見かけの曲げヤング係数(MOE)を、最大(破壊)荷重から曲げ強さ(MOR)を算出した。

試験終了後、材端から 1.0m の位置で厚さ約 3 cm の試験片を 1 枚切り出し、全乾法含水率と内部割れ長さ (放射方向) を計測した。また、全乾法含水率試験片採取位置の隣接部から約 3 cm の試験片を 1 枚切り出し、断面の中方向 (短辺) の水分傾斜を計測した (図-3)。

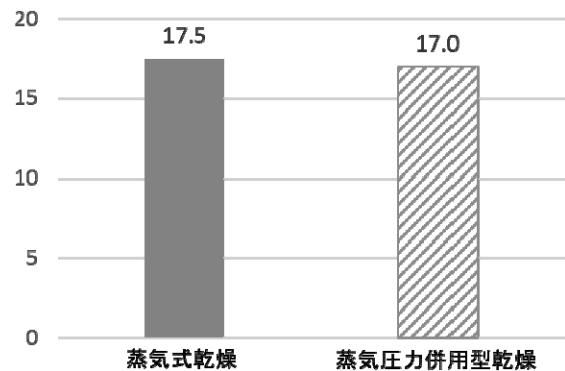


図-22 全乾法含水率の比較

表-9 乾燥試験の結果

乾燥方式	材種		全乾法含水率 (%)		材面割れ (cm)				反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)	
			乾燥前	乾燥後	広い面		狭い面		乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
					乾燥後	モルダー後	乾燥後	モルダー後				
蒸気	心持ち (9体)	平均	71.9	17.5	7.7	3.2	0.0	9.1	3.8	1.0	1.3	1.2
		最大値	116.2	36.2	36	21	0	39	9	6	3	3
		最小値	49.9	12.6	0	0	0	0	2	0	0	0
		標準偏差	0.2	7.4	15.2	7.2	0.0	14.7	2.2	2.1	1.3	2.7
蒸気 圧力 併用	心持ち (9体)	平均	67.4	17.0	20.9	18.0	13.9	12.3	2.7	0.9	1.0	1.7
		最大値	93.1	29.1	123	90	72	63	7	5	7	10
		最小値	38.1	9.9	0	0	0	0	0	0	0	0
		標準偏差	0.2	6.2	42.2	31.5	28.0	24.8	2.1	1.8	2.3	3.2

乾燥前後の含水率の関係 (図-23) を見てみると、乾燥前含水率が高いほど乾きにくい傾向がみられた。

水分傾斜については、蒸気式乾燥では全体の平均含水率が 17.5% と高いこともあって、表層部で 13~19%、中心部で 25% と、部位別に見ても高い値を示した (図-24)。

蒸気圧力併用型乾燥も同様に、全体の平均含水率が 17.0% と高いこともあって、表層部で 14~19%、中心部で 22% と、部位別に見ても高い値を示した (図-25)。

蒸気式乾燥と蒸気圧力併用型乾燥の水分傾斜を重ねてみると、含水率が高かった 3 本を除き、ほぼ同じ傾向がみられた (図-26)。

4.2.1.2 曲がり、反り

乾燥により生じた曲がりの発生量は、蒸気式乾燥で平均値 1.2 mm/3m、最大が 3 mm/4m、蒸気圧力併用型乾燥で、1.7 mm/4m、0.9 mm/4m となり、両者とも発生量が少なかった。また、乾燥後に生じた反りの発生量は、蒸気式乾燥で平均値 1.0 mm/3m、最大が 6 mm/4m、蒸気圧力併用型乾燥で平均値 0.9 mm/3m、最大が 5 mm/4mm の発生であり、両者とも発生量が少なかった。全体として発生量が少なかったため、モルダー仕上げにより曲り反りはなくなった。

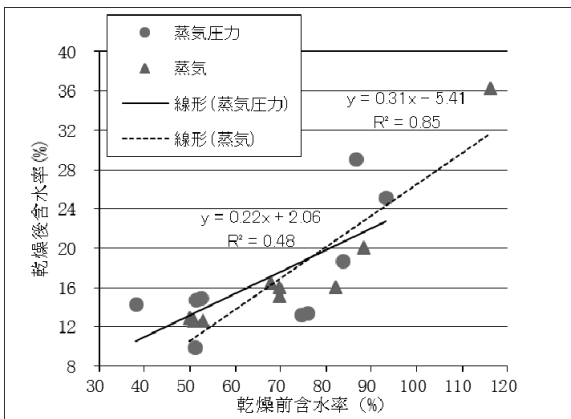


図-23 乾燥前後の含水率の関係

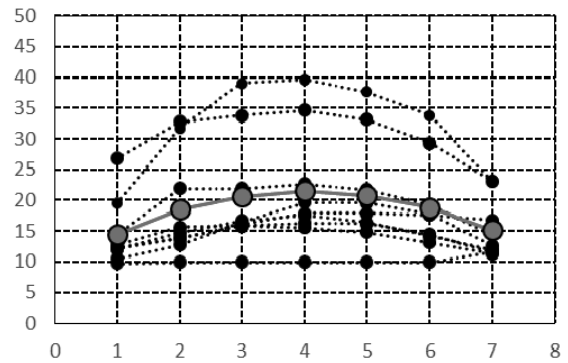


図-25 蒸気圧力併用型乾燥における水分傾斜 (実線は平均値)

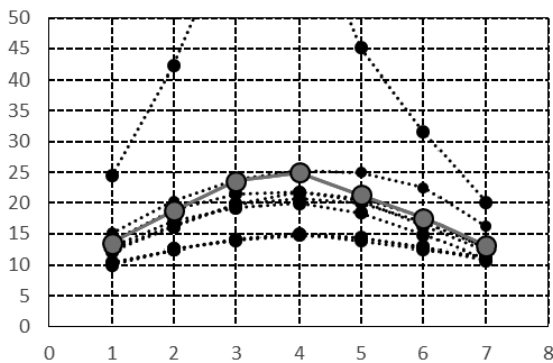


図-24 蒸気式乾燥における水分傾斜 (実線は平均値)

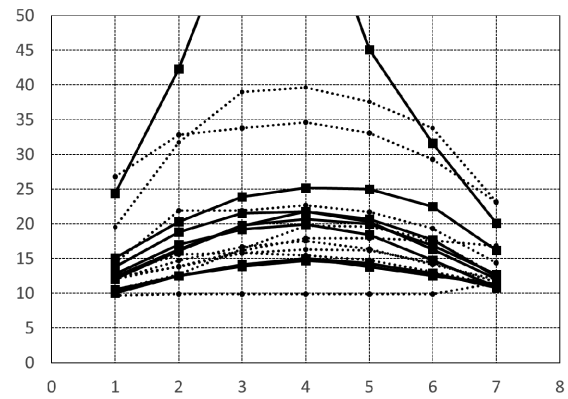


図-26 水分傾斜の比較 (実線は蒸気式、点線は蒸気圧力併用)

4.2.1.3 割れ

モルダー仕上げ後の材面割れは、蒸気式乾燥で3体に見られ、平均で広い面が3.2 cm、狭い面で9.1 cmとなったが、蒸気・圧力併用型乾燥材では4体に発生し平均で広い面が18.0 cm、狭い面で12.3 cmとなり、蒸気・圧力併用型乾燥の方が多かった(図-27)。しかし、割れ幅が1 mm程度と細くその長さも10cm~90cmの範囲であった。

内部割れについては、蒸気式乾燥で、1体のみ発生しその発生量は60 mmであった。蒸気圧力併用型乾燥では、3体に発生し、その発生量はそれぞれ20 mm、60 mm、100 mmとなった(写真-11)。

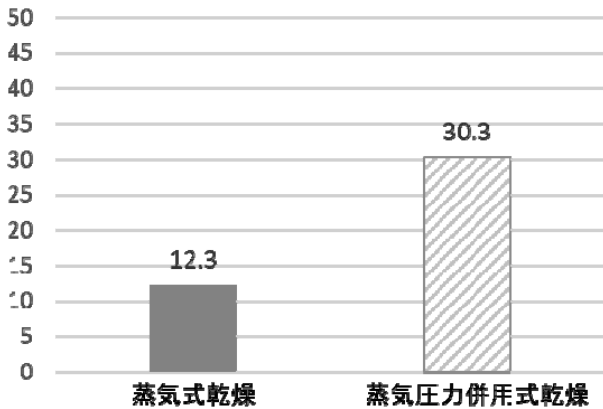


図-27 材面割れの比較 (広い面と狭い面の合計)

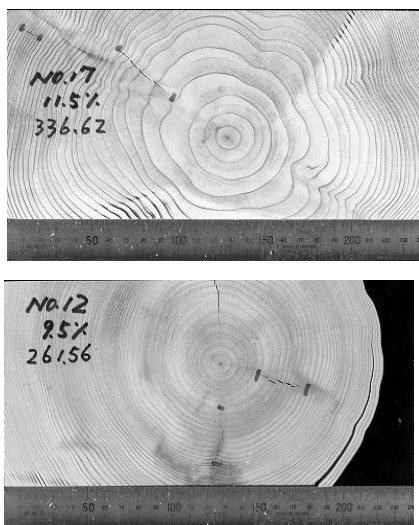


写真-11 No17 (蒸気式乾燥) と No12 (蒸気圧力併用型乾燥) の内部割れの状況

4.2.2 曲げ強度試験

曲げ強度試験の結果を表-10 に示した。蒸気式乾燥における曲げ強度の平均値は40.0N/mm² (最大52.5 N/mm²、最小29.0 N/mm²) となった。一方、蒸気圧力併用型乾燥平均値は42.5N/mm² (最大53.6 N/mm²、最小31.4 N/mm²) となった(図-28)。また、蒸気式乾燥におけるみかけの曲げヤング係数の平均値は8.55kN/mm² (最大10.70 kN/mm²、最小7.17 kN/mm²) となった。一方、蒸気圧力併用型乾燥平均値は8.79kN/mm² (最大11.39 kN/mm²、最小7.49kN/mm²) となった(図-29)。いずれの乾燥方式も、機械等級区分材を下回るものはなかった(図-30)。

乾燥方法の違いによる曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数について、統計的な差をスチューデントのt検定(両側検定)によって確認したところ、どちらも統計的に差はみられなかった。

表 - 10 強度試験の結果

乾燥方式	材種	全乾密度 (g/cm ³)	全乾法含水率 (%)		曲げ強度 (N/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	
			乾燥前	乾燥後			
蒸気式	心持ち (9体)	平均	0.350	71.9	17.5	40.0	8.55
		最大値	0.393	116.2	36.2	52.5	10.70
		最小値	0.306	49.9	12.6	29.0	7.17
		標準偏差		0.2	7.4	7.9	1.0
蒸気圧力併用式	心持ち (9体)	平均	0.365	67.4	17.0	42.5	8.79
		最大値	0.389	93.1	29.1	53.6	11.39
		最小値	0.323	38.1	9.9	31.4	7.49
		標準偏差		0.2	6.2	8.6	1.4

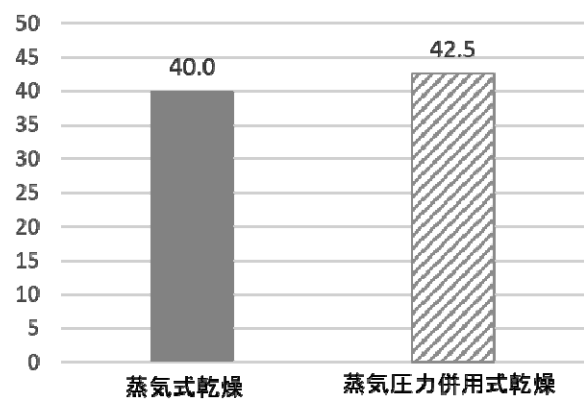


図-28 乾燥方法と曲げ強さ

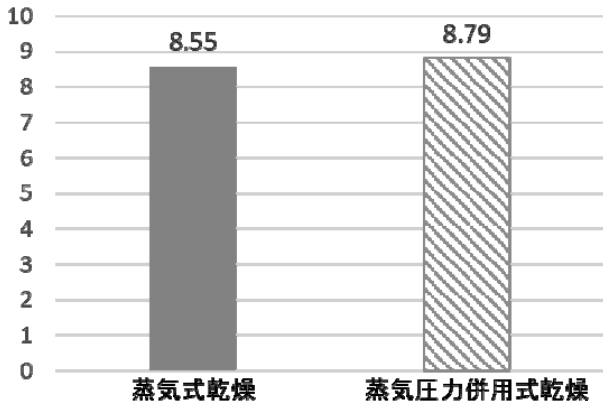


図-29 乾燥方法と見かけの曲げヤング係数

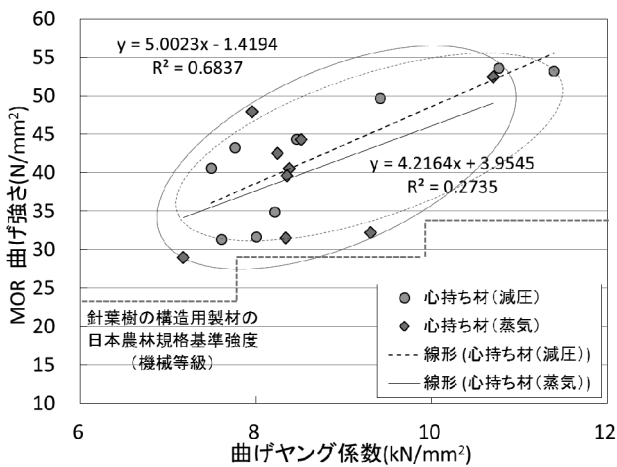


図-30 曲げ強さと見かけの曲げヤング係数の関係

5 まとめ

断面の大きな梁桁材を、より短時間で乾燥させるために、蒸気圧力併用型乾燥に着目し、乾燥試験と強度試験を実施した。本研究報告では、アカマツについては、1年間の天然乾燥と5日間の蒸気圧力併用型乾燥との比較を行い、スギについては、15日間の蒸気式乾燥と7日間の蒸気圧力併用型乾燥との比較を行った。

アカマツ心持ち材では以下の結果を得た。

(1) 全乾法含水率の平均値は、1年間の天然乾燥では18.9%、5日間の蒸気圧力併用型乾燥では11.7%となった。

(2) ねじれ、曲がり、反りは天然乾燥よりも、蒸気圧力併用型乾燥の方が大きい結果となった。これは、仕上がりが含水率が影響しているものと思われた。

(3) 乾燥後の材面割れ長さは、天然乾燥の方が多かった。

(4) 内部割れは、天然乾燥材ではすべての試験体で確認されなかったのに対し、蒸気圧力併用型乾燥材では全ての試験体で発生し、その平均値は215mmであった。

(5) この内部割れは、仕上がりが含水率が低くなるほど

大きくなる傾向があった。

(6) 曲げ強さの平均値は、天然乾燥材 34.5N/mm²に対し、蒸気圧力併用型乾燥材は24.3N/mm²となった。

(7) 曲げヤング係数の平均値は、天然乾燥材 10.49kN/mm²、蒸気圧力併用型乾燥材 9.59 kN/mm²となった。

(8) 乾燥方法の違いによる曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数について、統計的な差をスチューデントのt検定(両側検定)によって確認したところ、見かけの曲げヤング係数については差がみられなかったが、曲げ強さについては差がみられた。

(9) 天然乾燥材で針葉樹の構造用製材の無等級材の基準強度を2本が、機械等級区分材の基準強度を2本が下回った。一方、蒸気・圧力併用型乾燥材は、無等級材の基準強度を8本が、機械等級区分材の基準強度を5本が下回った。

(7) 内部割れが多いほど曲げ強さが低下する傾向があり、蒸気・圧力併用型乾燥材の曲げ強度が低かった原因として、乾燥に伴う内部割れの影響が考えられた。

アカマツ心持ち材では、5日間の蒸気圧力併用型乾燥で、含水率を15%以下にすることができた。しかし、内部割れが全数に発生し、曲げ強度に影響が出る結果となった。過乾燥気味であった乾燥時間を含め、前処理、蒸煮、高温セット時の圧力制御方法について、再度検討し、スケジュールを見直す必要がある。

スギ心持ち材では、以下の結果を得た。

(1) 全乾法含水率の平均値は、15日間の蒸気式乾燥では17.5%、7日間の蒸気圧力併用型乾燥では17.0%と同様に仕上がった。また、水分傾斜についても、表層部と中心部の差が約0~15%で、ほぼ同様の結果となった。

(2) 曲がり、反りは乾燥方法に関わらず、両者とも発生量が少なく、モルダー仕上げにより取り除くことができた。

(3) モルダー後の材面割れ長さは、蒸気・圧力併用型乾燥の方が多かったが、割れ幅が1mm程度と細くその長さも10cm~90cmの範囲であった。

(4) 内部割れは、両乾燥とも少ない発生量であった。

(5) 曲げ強さの平均値は、蒸気式乾燥材 40.0N/mm²、蒸気圧力併用型乾燥材 42.5N/mm²となった。

(6) 曲げヤング係数の平均値は、蒸気式乾燥材 8.55 kN/mm²、蒸気圧力併用型乾燥材 8.79 kN/mm²となった。

(7) 乾燥方法の違いによる曲げ強さ及び見かけの曲げヤング係数について、統計的な差をスチューデントのt

検定（両側検定）によって確認したところ、どちらも統計的に差はみられなかった。

(8) いずれの乾燥も、無等級材の基準強度及び、機械等級区分材の基準強度を下回ることがなかった。

スギ心持ち材については、7日間の蒸気圧力併用型乾燥で、15日間の蒸気式乾燥と比べ、同程度までの含水率に仕上げることができ、また材面割れ、反り曲りの発生量及び強度についても同程度という結果となった。含水率が、約17%であり、目標の15%以下に達しなかったため、スケジュールの延長等は今後検討する必要があるが、乾燥日数の短縮が図れ、かつ含水率低下や割れ等の形質変化も今までの蒸気式乾燥と同程度である蒸気圧力併用型乾燥は、スギ梁桁材を短時間かつ品質を落とさず乾燥する方法として有効であると思われる。

今回の蒸気圧力併用型乾燥の試験では、アカマツは材面割れ及び内部割れが多く、スギは内部割れが少ないという結果になった。両者の乾燥スケジュールの違いに、前処理の有無があり、前処理を行ったアカマツに内部割れが多かったことから、前処理の内部割れへの影響についても、今後検討していく必要がある。

蒸気圧力併用型乾燥機を用いた、乾燥は未だ始まったばかりで課題も多いが、今後も、全ての県産平角材について、短時間かつ、より高品質、見た目にもこだわった乾燥技術の確立、乾燥スケジュールの確立を目指して、引き続き同乾燥機を用いた乾燥方法について検討していきたい。

6 謝辞

本研究を行うに当たり、丸太の計測をお手伝い頂いた、瑞徳木材(株)の宮崎正毅氏、当時長野地方事務所に勤務していた伊藤武氏（現在北アルプス地域振興局）、また、データ整理をお手伝い頂いた当センター非常勤職員の蒲原静子氏、五味妙子氏に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 田畑衛、蒸気・圧力併用型乾燥機を用いた県産材乾燥スケジュールの確立、長野県林業総合センター業務報告、90-91、(2015)
- 2) 田畑衛、蒸気・圧力併用型乾燥機を用いた県産材乾燥スケジュールの確立（1）、長野県林業総合センター業務報告、82-83、(2016)
- 3) 山口健太、北信スギ大径材から製材される平角材乾燥スケジュールの開発、長野県林業総合センター業務報告、106-107、(2018)