

## 内装・家具に最適な県産材乾燥技術の開発

－「栈木痕」の無い板材の生産－

平成 29 年度～平成 30 年度

木材チーム 古曳 博也

### 1. 目 的

平成 22 年に施行された「公共建築物等の木材利用促進に関する法律」が追い風となり、全国的に国産材（地域材）の利用が進んできた。木材自給率は上昇傾向で推移し、平成 29 年 9 月に林野庁から発表されたデータによると、平成 28 年は 34.8%（用材部門では 31.1%）となった。

乾燥製材品の需要拡大が求められるなか、大分県では人々の目にふれる場所で使われることの多い板類（以下、板材と記す）のニーズが増加してきている。平成 28 年 3 月に経済産業省から発表されたデータによると、平成 26 年の板材の出荷額は 46.8 億円で、平成 20 年の 1.7 倍増である。

板材生産の際に問題点として挙げられるのが、乾燥過程で生じる「栈木痕（さんぎこん）」である。板材同士が密着しないように挟んだ栈木の痕が表面に残る現象で、木材の価値を著しく低下させしばしばクレームの原因となる。また、表面を 5mm 以上削っても消えないこともあり、歩留まり低下の要因にもなる。

本研究は、「栈木痕」の発生原因を解明し、「栈木痕」が発生しない乾燥方法を見いだすことを目的に実施する。今年度は、乾燥による材色の変化および「栈木痕」の発生状況を調査した。

### 2. 試験方法

#### 1) 供試材

試験には、当林業研究部の敷地内から伐採したスギを用いた。品種はヤブクグリおよびアヤスギで、長さ 2m ごとに玉切りした丸太の 1 番玉を用いた。末口径、元口径、心材率および樹齢を測定した（表-1）のち、厚さ 53mm でガラ挽き製材しさらに幅 120mm に加工した。

表-1 供試丸太の状況

試験体番号	スギ品種	末口径 (cm)	元口径 (cm)	心材率 (%)	樹齢 (年)
1	ヤブクグリ	39	50	79	44
2	アヤスギ	35	38	77	40

#### 2) 乾燥条件

乾燥条件は、室内乾燥、中温乾燥、高温乾燥、蒸煮処理の 4 種とした。中温乾燥および蒸煮処理は恒温恒湿機 PL-2KP 型（エスペック株式会社製）を、高温乾燥には恒温乾燥機 MOV-212 型（三洋電機株式会社製）を用いた。

##### (1) 乾燥による変色試験

幅 120mm に加工した供試材のうちヤブクグリを用い、図-1 に示す長さ 50mm の木片ブロックを切り出した。いずれも心材である。それぞれ 1 個ずつ室内乾燥、中温乾燥、高温乾燥、蒸煮処理の条件で変色試験に供した。室内乾燥は、12 月 7 日から 3 月 23 日までの約 3.5 カ月間、空調設備の無い暗室

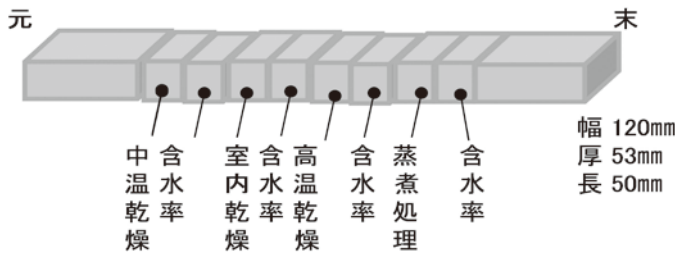


図-1 変色試験の供試材

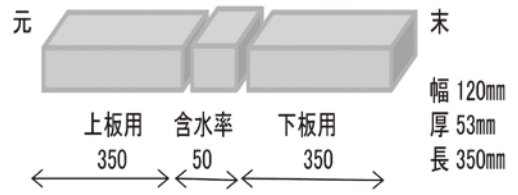


図-2 栈木痕発生試験の供試材

にて行った。中温乾燥は、温度 65℃、湿度 23%の環境下で 7 日間行った。高温乾燥は、温度 120℃、湿度未設定の環境下で 24 時間行った。蒸煮処理は、温度 95℃、湿度 95%の環境下で 6 時間行った。試験体の右隣の木片ブロックからは乾燥前の含水率を測定し、その値から乾燥試験用木片ブロックの全乾重量を算出し、乾燥終了時の含水率を推定した。

**(2)乾燥による栈木痕発生試験**

幅 120 mmに加工した供試材のうちヤブクグリおよびアヤスギを用い、図-2 に示す長さ 350 mmの木片ブロックをそれぞれ 2 枚切り出した。いずれも心材である。一枚は上板用、もう一枚は下板用である。両者の間に幅 25 mm、厚さ 25 mm、長さ 140 mmの栈木を挟んだ。栈木はスギ栈木、タウン栈木（ムクロジ科の広葉樹）およびアルミニウム栈木の 3 種で、載荷荷重の目安とされる約 10N/cm<sup>2</sup>の圧縮力でクランプ固定した。栈木痕発生試験は、蒸煮処理後に中温乾燥をする条件で行った。蒸煮処理は、温度 95℃、湿度 95%の環境下で 1 時間、中温乾燥は、温度 65℃、湿度 23%の環境下で 7 日間である。栈木は、表-2 および図-3 に示す位置に設置した。記号ウ、カ、ケの位置では、中温乾燥から栈木を追加した。

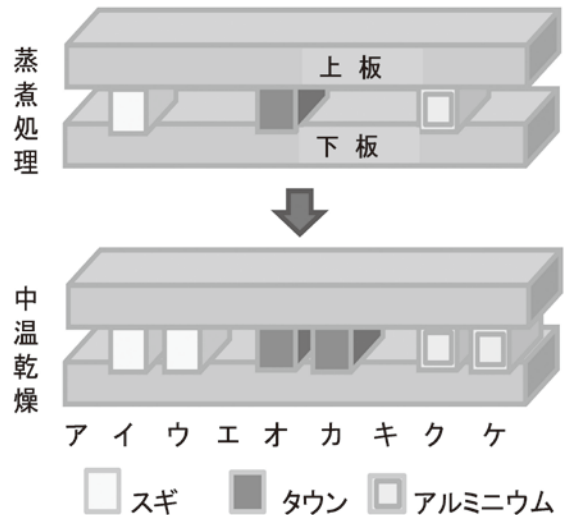


図-3 栈木痕発生試験の概要

なお、上板用および下板用の木片ブロックの間から幅 120 mm、厚さ 53 mm、長さ 50 mmの木片ブロックを切り出し乾燥前の含水率を測定した。その値から乾燥試験用木片ブロックの全乾重量を算出し、乾燥終了時の含水率を推定した。

表-2 乾燥条件および栈木の設置箇所 (×は栈木未設置)

記号	ア	イ	ウ	エ	オ	カ	キ	ク	ケ
蒸煮処理	×	スギ	×	×	タウン	×	×	アルミニウム	×
中温乾燥	×	スギ	スギ	×	タウン	タウン	×	アルミニウム	アルミニウム

**3)表面測色**

木材表面の測色は、色彩色差計 CR-400 型（コニカミノルタセンシング株式会社製）を用いた。試

験体の定位3箇所のL\*値（明度）、a\*値（正：赤方向、負：緑方向）、b\*値（正：黄方向、負：青方向）を測定し、各パラメーターの変化量から以下の式により色差を算出した。

$$\text{乾燥前と比較した色差} = \{ (L^* - L^*_0)^2 + (a^* - a^*_0)^2 + (b^* - b^*_0)^2 \}^{1/2} \dots\dots (1)$$

$$\text{栈木未設置と比較した色差} = \{ (L^* - L^*_n)^2 + (a^* - a^*_n)^2 + (b^* - b^*_n)^2 \}^{1/2} \dots (2)$$

ここで、L\*<sub>0</sub>、a\*<sub>0</sub>、b\*<sub>0</sub>は乾燥前の測色値、L\*、a\*、b\*は乾燥後の測色値、L\*<sub>n</sub>、a\*<sub>n</sub>、b\*<sub>n</sub>は栈木を設置していない箇所における乾燥後の測色値である。測色条件は、光源をD65、視野角を10度、測色部の直径を8mmとし、定位3箇所の平均値で表した。

#### 4) 赤外分光分析による観察

木材表面付近の化学変化は、FT赤外分光光度計 Nicolet iS5型（サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社製）を用いて、全反射吸収スペクトル法（ATR）により測定した。測定条件は、波数範囲4000～400 cm<sup>-1</sup>、積算回数4回、分解能4 cm<sup>-1</sup>である。試験体を幅7mmに切断した後、手かんなどで厚さ約0.15 mmにスライスした。

### 3. 結果および考察

#### 1) 乾燥による変色試験（表面測色）

ヤブクグリについて、乾燥前と比較した色差および含水率の推移を図-4に、色調の変化を図-5に示す。図-4から外部加熱の有無に関わらず乾燥が進むにつれて、変色することがわかった。室内乾燥では、外部加熱や太陽光の直接照射が無い状況下で色差が増し、乾燥107日後には4.3を示した。この値はNBS（米国標準局）が定める色の差の感覚の評価（以下、評価と記す）における「めだって感じられる」に相当する。図-5に示した色調の変化をみると、a\*値およびb\*値は日数が経過してもほとんど一定であったが、L\*値は高くなる傾向（明度が増す方向）を示した。室内乾燥では水分の蒸発に伴い表面の濡れ色が解消され明るくなったために、色差が増したものと考えられた。

中温乾燥および高温乾燥では、外部加熱によって水分の蒸発が促され色差が増す状況を示した。中温乾燥7日後の色差3.9、高温乾燥24時間後の色差3.4は、いずれも「めだって感じられる」の評価に相当する。図-5に示した色調の変化をみると、中温乾燥のb\*値はほとんど一定であるもののa\*値は微減傾向（緑色が増す方向）を、高温乾燥はa\*値およびb\*値はともに微減傾向（緑色および青色が増す方向）を示した。またL\*値は中温乾燥および高温乾燥ともに高くなる傾向を示した。このことより、外部加熱の影響で何らかの着色物質が生成<sup>1)</sup>されたことおよび水分の蒸発によって表面の濡れ色が解消されたことに伴い色差が増したものと考えられた。

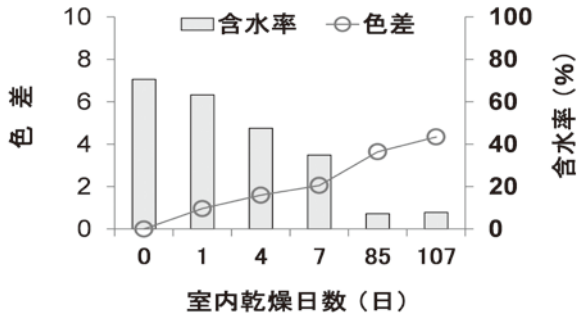
蒸煮処理では、含水率の低下はそれほどないものの色差が増す状況を示した。蒸煮処理6時間後の色差3.3は、「めだって感じられる」の評価に相当する。図-5に示した色調の変化をみると、L\*値はほとんど一定であるもののa\*値およびb\*値はともに微減傾向を示した。このことより、外部加熱の影響で何らかの着色物質が生成<sup>1)</sup>されたことに伴い色差が増したものと考えられた。

#### 2) 乾燥による栈木痕発生試験

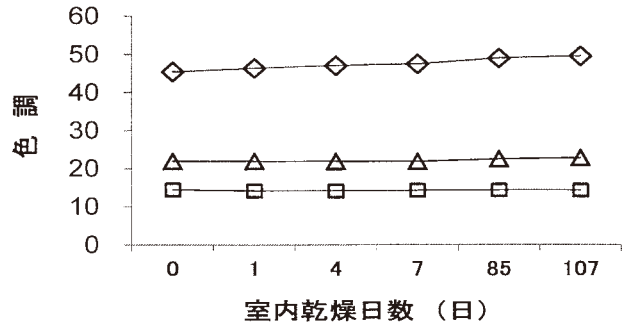
##### (1) 表面測色

ヤブクグリおよびアヤスギについて、蒸煮処理後に中温乾燥をする条件における「栈木痕」の様子を写真-1および写真-2に、色差の状況を図-6に示す。「栈木痕」の発生は、写真-1および写真-2のとおり、ヤブクグリおよびアヤスギともに認められた。特に、乾燥の全工程においてアルミニウ

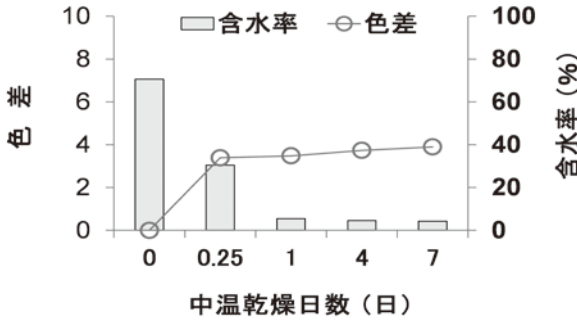
(室内乾燥)



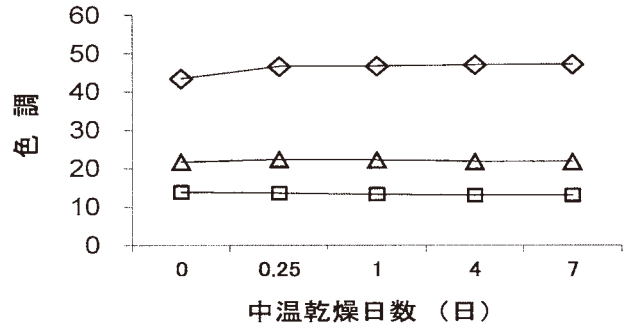
(室内乾燥)



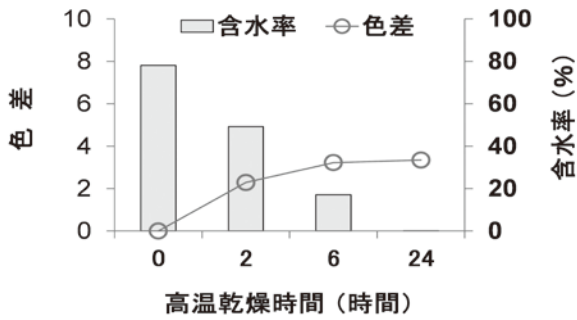
(中温乾燥)



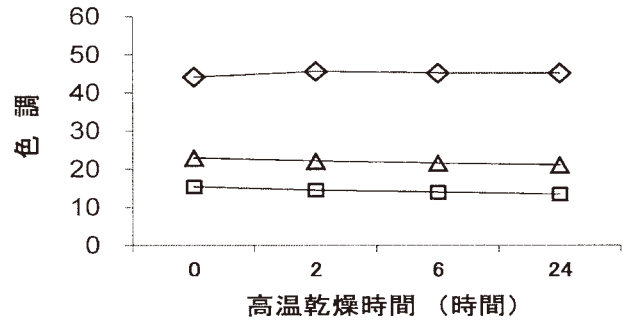
(中温乾燥)



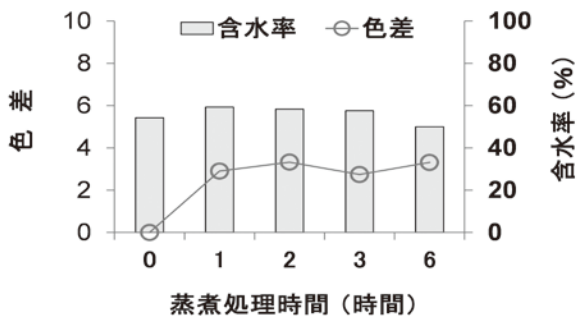
(高温乾燥)



(高温乾燥)



(蒸煮処理)



(蒸煮処理)

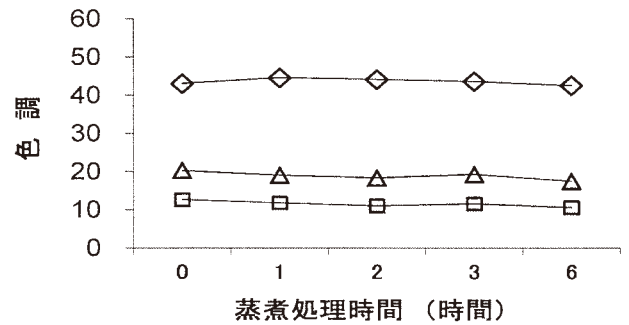


図-4 乾燥前と比較した色差および含水率の推移

図-5 色調の変化

(◇ : L\*値 □ : a\*値 △ : b\*値)



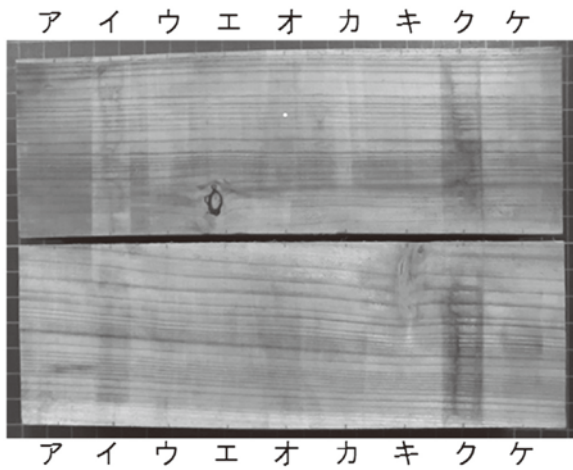


写真-1 ヤブクグリの「栈木痕」発生状況

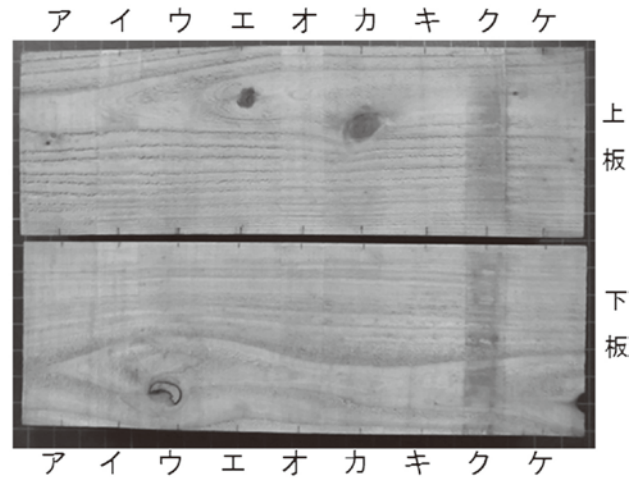


写真-2 アヤスギの「栈木痕」発生状況

を写真-1 および写真-2 に、色差の状況を図-6 に示す。「栈木痕」の発生は、写真-1 および写真-2 のとおり、ヤブクグリおよびアヤスギともに認められた。特に、乾燥の全工程においてアルミニウム栈木を設置した箇所（記号ク）は、はっきりと黒色の「栈木痕」が見受けられた。また、乾燥の全工程においてスギ栈木を設置した箇所（記号イ）および全工程でタウン栈木を設置した箇所（記号オ）でも、アルミニウム栈木ほどではないが「栈木痕」が見受けられた。一方、蒸煮処理では栈木を設置せず、中温乾燥からそれぞれの栈木を追加した箇所（記号ウ、カ、ケ）では、いずれも「栈木痕」が薄くなる傾向を示した。

乾燥の全工程で栈木を設置しなかった箇所と比較した色差をみると（図-6）、ヤブクグリは栈木を設置した場合、栈木の設置時期を問わずいずれも色差1.5以上を示し、評価は「かなり感じられる」に相当する結果となった。一方、アヤスギは蒸煮処理では栈木を設置せず、中温乾燥からスギ栈木またはタウン栈木を追加した箇所（記号ウ、カ）において色差0.6 または色差1.1 と低い値を示し、評価が「わずかに感じられる」に相当するところまで改善することができた。アルミニウム栈木については、乾燥の全工程において設置していた箇所（記号ク）では、両品種とも色差が5.5～5.9を示し、評価が「めだって感じられる」に相当していたが、蒸煮処理では栈木を設置せず、中温乾燥から栈木を追加した箇所（記号ケ）では、色差1.6を示し、「かなり感じられる」に相当するところまで改善することができた。

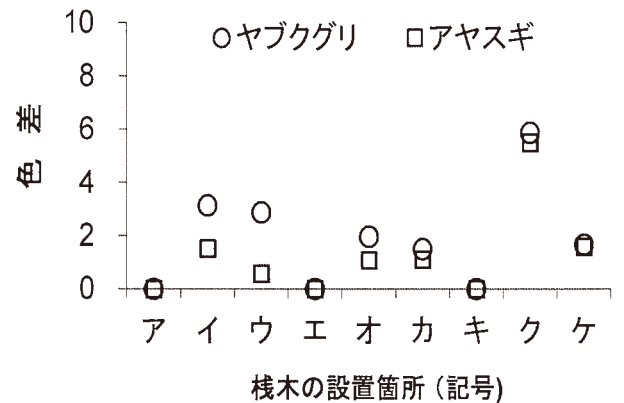


図-6 栈木未設置と比較した色差

## (2)赤外分光分析による観察

ヤブクグリにおいて、比較的「栈木痕」の薄かったタウン栈木設置付近（記号エ、オ、カ）の赤外分光分析結果を図-7に、比較的「栈木痕」が濃く発生したアルミニウム栈木設置付近（記号キ、ク、ケ）の赤外分光分析結果を図-8に示す。試験体が有する化学結合に対して、赤外線が吸収される領域

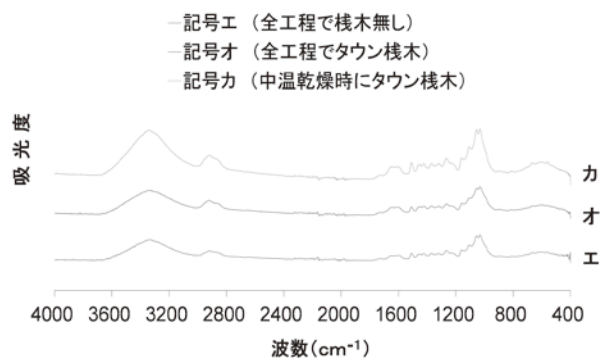


図-7 赤外線吸収の状況(タウン栈木)

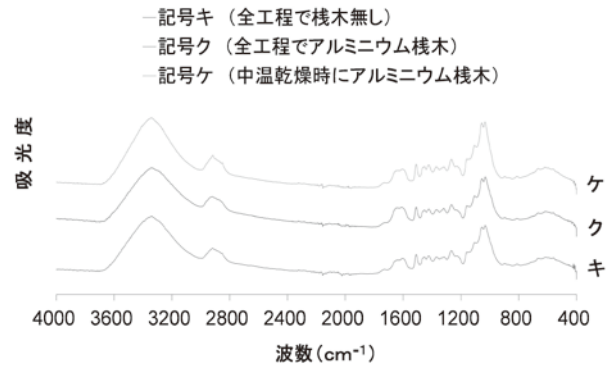


図-8 赤外線吸収の状況(アルミニウム栈木)

の状況をみてみると、タウン栈木設置付近およびアルミニウム栈木設置付近のいずれの試験体もほぼ同様な形状の吸収ピークを示した。C=Oの伸縮に帰属される  $1,730\text{ cm}^{-1}$  付近は、光や熱などの影響によりカルボニル基が形成されたことを示す領域である<sup>2)</sup>が、吸収ピークを見る限りほとんど差異がないように見て取れた。今回の試験からは「栈木痕」の要因を特定できなかったが、特にアルミニウム栈木を設置した箇所では何らかの変化が生じていると考えられるので、引き続き分析を検討したい。

#### 4. まとめ

室内乾燥、中温乾燥、高温乾燥、蒸煮処理の4種の条件下において、スギ表面は外部加熱の有無に関わらず乾燥が進むにつれて変色することがわかった。室内乾燥では、L\*値だけが高くなる傾向(明度が増す方向)を、中温乾燥では、L\*値が高く、a\*値が微減する傾向(緑色が増す方向)を、高温乾燥では、L\*値が高く、a\*値およびb\*値が微減する傾向(緑色および青色が増す方向)を、蒸煮処理では、a\*値およびb\*値だけがともに微減する傾向を示した。

蒸煮処理後に中温乾燥をする試験では、スギ栈木、タウン栈木、アルミニウム栈木を設置した結果、乾燥の全工程で栈木を設置した場合、特にアルミニウム栈木では、はっきりと黒色の「栈木痕」が見受けられた。蒸煮処理では栈木を設置せず、中温乾燥からスギ栈木、タウン栈木またはアルミニウム栈木を追加した場合は、「栈木痕」が薄くなる傾向を示した。「栈木痕」の濃いアルミニウム栈木を設置した箇所を赤外分光分析した結果、いずれの試験体もほぼ同様な形状の吸収ピークを示し「栈木痕」の要因を特定できなかった。

#### 参考文献

- 1) 今村博之、安江保民、岡本 一、横田徳郎、後藤輝男、善本知孝：木材利用の化学，222（昭和58年）
- 2) 片岡 厚：木材の組織構造を区別した赤外分光分析，木材保存，26（6），255-265（平成12年）

県産スギ大径材の有効利用技術に関する研究

- 「高温セット+中温乾燥」した心去り材の乾燥特性と
- 「高温セット+天然乾燥」した心去り材の強度特性-

平成 27 年度～平成 29 年度  
木材チーム 河津 渉

1. 目 的

当県のスギ資源は 11 齢級をピークとした山形をしており、高齢級林の割合が高くなっている。

これに伴い末口径 30cm を超える大径材の生産割合が高くなっている。特に末口径が 40cm を超えると需要が少ない。これは県内の製材所の多くが中目(24～28cm)以下の径の丸太に適した製材方法をとってきたことによるものと考えられる。

そこで、大径材の需要拡大を図るための新たな利用方法の一つとして意匠性の高い心去り構造材生産のための技術開発を行う。

今年度は、心持ち材の乾燥に多く用いられている「高温セット+中温乾燥」に準じた心去り材の乾燥試験と昨年度乾燥試験に供した材料<sup>1)</sup>を用い引張強度試験及びせん断強度試験を行った。

2. 試験方法

1) 乾燥試験

試験材はこれまでの試験同様<sup>1, 2)</sup> 県南部地区及び西部地区の製材所が末口径 42cm～50cm、材長 4 m の丸太を使って図-1 の木取りに準じて側面定規で製材した幅 130mm、厚さ 125mm の心去り材各 20 本計 40 本を用いた。また、測定面を A～D で示す。

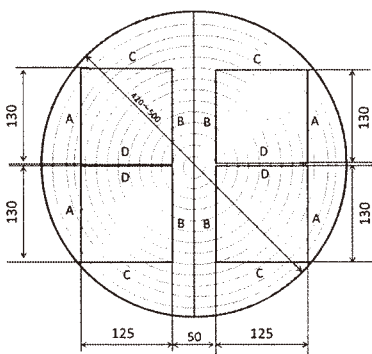


図-1 木取り図 (単位: mm)

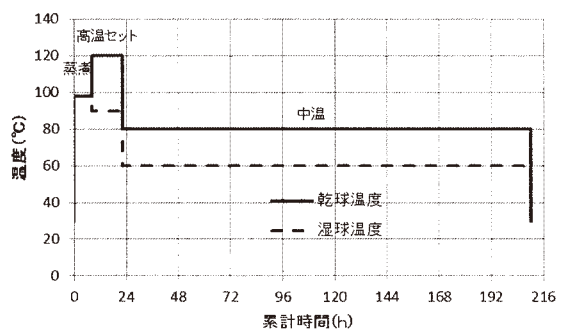


図-2 乾燥スケジュール

人工乾燥は「高温セット+中温乾燥」とし平成 29 年 9 月 21 日から 30 日にかけて図-2 のスケジュールで行い、その後室内で 3 ヶ月間養生し、モルダーで 105mm 正角に仕上げた。

測定は人工乾燥前(以下、釜入前と記す)、人工乾燥後(以下、釜出後と記す)、養生後、仕上げ後に行い、測定項目は寸法(材長及び中央部 4 面の幅、厚さ)、重量、4 面の矢高、固有振動数及び高周波水分計(株式会社科学研究所製、HM-520)を用いた中央部 4 面の含水率とした。仕上げ後に材

表面の割れ幅及び長さを測定した。固有振動数と密度から縦振動ヤング係数（以下、 $E_{fr}$ と記す）を求めた。

また、養生後に各木口の 50cm 内側から厚さ 2.5cm の試験片を採取し、内部割れの長さ、平均年輪幅及び全乾法で含水率（以下、全乾含水率と記す）を測定した。

## 2) 材面評価

上記の乾燥試験終了後、各材面の節の数と節径を調査した。

## 3) 強度試験

強度試験は（公財）日本住宅・木材技術センターの「構造用木材の強度試験マニュアル」<sup>3)</sup>に準じて行った。

試験材は平成 28 年度に乾燥試験に用いたスギ心去り材をモルダー等で 105mm 正角に仕上げた材 48 本とし、図-3 の位置から引張試験及びせん断試験に用いる試験体を採取した。



図-3 試験片採取位置

### (1) 引張試験

試験体は引張試験前に 1) - (1) に準じた測定及びスパン 2,520mm で曲げヤング係数（以下、 $E_m$ と記す）の測定をした。引張試験は飯田工業(株)社製 NET-401 を用いて行った（写真-1）。

なお、試験終了後両木口から 30cm 以上内側で厚さ 2.5cm の切片を切り出し、全乾含水率を測定した。

### (2) せん断試験

せん断試験は椅子型せん断試験とした。節など欠点の少ない箇所から図-4 の試験体を作成し、重量及び寸法を測定した。試験は試験体を実大せん断試験専用治具に取り付け、(株)島津製作所製 AG-100kNAR を用いて載荷速度 1mm/min で行った（写真-2）。

なお、試験終了後全乾含水率を測定した。



図-4 せん断試験体

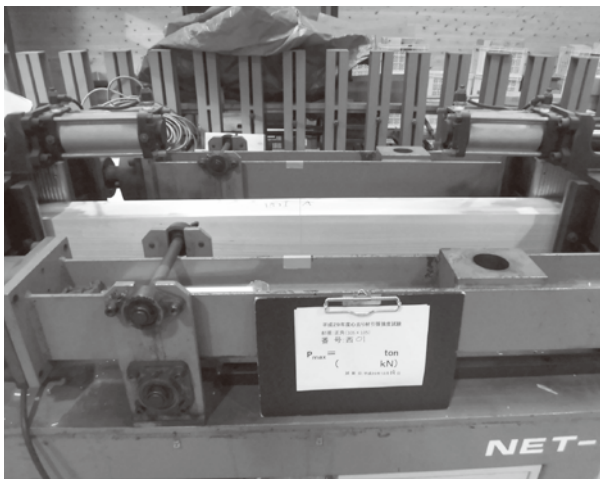


写真-1 引張試験の状況

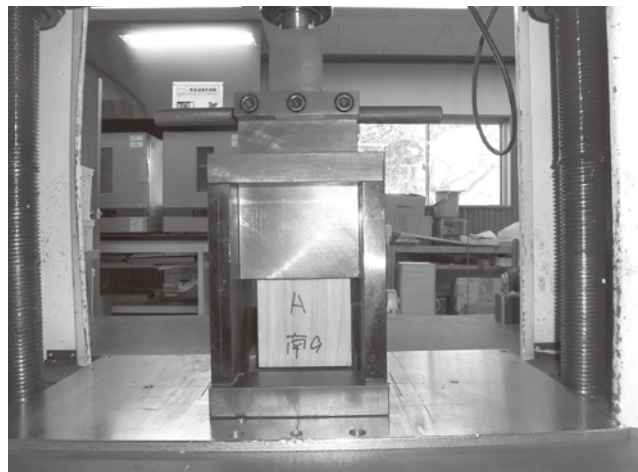


写真-2 せん断試験の状況

### 3. 結果及び考察

#### 1) 乾燥試験

乾燥試験の測定結果を表-1に、最大矢高の割合の推移を図-5に示す。

表-1 乾燥試験結果

測定	地区	本数	寸法 (mm)			重量 (kg)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	$E_{fr}$ (10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )	含水率 (%)
			材長	幅	厚さ				
釜入前	南部	20	3999	132.0	126.7	39.54	591	5.2	71.8
	西部	20	3999	131.1	126.0	36.21	548	6.4	61.0
	全体	40	3999	131.5	126.4	37.88	570	5.8	66.4
釜出後	南部	20	3996	130.0	124.2	23.88	370	5.5	14.4
	西部	20	3996	128.5	123.4	24.56	387	6.9	13.3
	全体	40	3996	129.3	123.8	24.22	378	6.2	13.8
養生後	南部	20	3998	130.0	124.2	23.29	361	5.8	16.2
	西部	20	3997	128.8	123.6	24.43	384	7.2	15.3
	全体	40	3998	129.4	123.9	23.86	372	6.5	15.7
仕上後	南部	20	3000	105.2	105.5	12.17	366	5.6	25.5
	西部	20	3000	105.4	105.6	13.16	394	7.0	21.0
	全体	40	3000	105.3	105.5	12.67	380	6.3	23.3

含水率は窯出後が最も低く、養生後及び仕上げ後に上昇した。これは、養生中に含水率が低い材表面付近の含水率が上昇したこと、また仕上げ後は材表面を削ったことが原因だと考えられる。

最大矢高は乾燥の各段階で図-5のとおり推移した。0.1%を超える矢高を示す材の割合は過去2年の試験結果と比べて少なかった。これは乾燥時に載荷したためではないかと考えられた。

表面割れは40本中4本でいずれも木裏面(B面)にあった。これは丸太の心割れに起因する割れだと考えられ、乾燥によって発生した表面割れは無いものと考えられた。

内部割れは40本中14本(図-6)に生じており、これまでの過去2年の乾燥試験<sup>1,2)</sup>を含めた結果の中では最も割合が高かった。

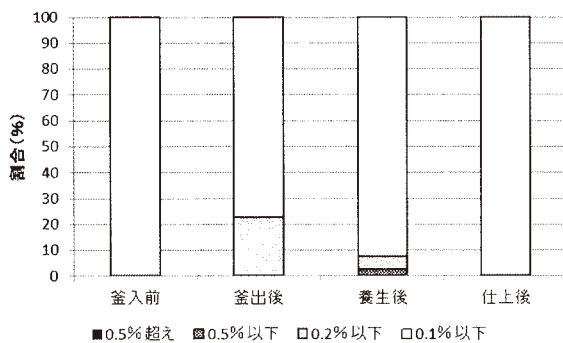


図-5 最大矢高の割合の推移

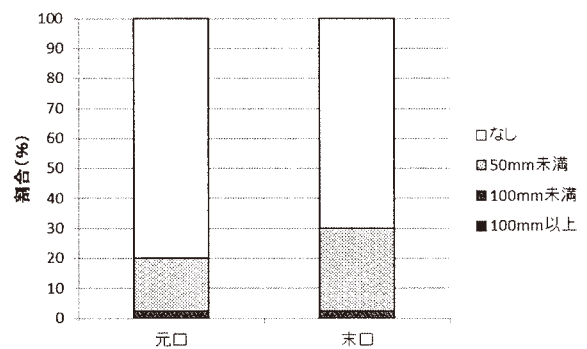


図-6 内部割れの発生割合

#### 2) 材面評価

無節面は40本中18本に現れ、そのうち1本は3面に、8本は2面に、他の9本は1面にあった。節の数の面毎の割合を図-7に示す。木表のA及びC面に無節面や節が5個以内のものが半数以上あり、木裏はそれより多くB面がもっとも多かった。



次に節の径区分毎、面毎の1本当たりの数を図-8に示す。

数は少ないもののどの面にも径が30mmを超える大きい節(写真-3)や流れ節が現れる可能性があると考えられた。

丸太毎に同じような節数及び節径になるため(写真-4)、節の少ない材を生産するには丸太の選択が必要となり、そのための技術の開発や施業履歴を丸太の評価に反映するシステムの開発が今後の課題になると考えられた。

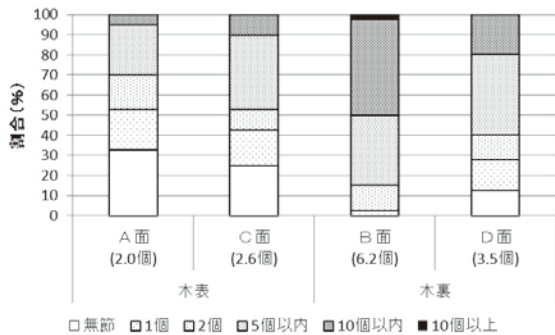


図-7 面毎の節数の分布  
(図中カッコ内の数字は平均個数)

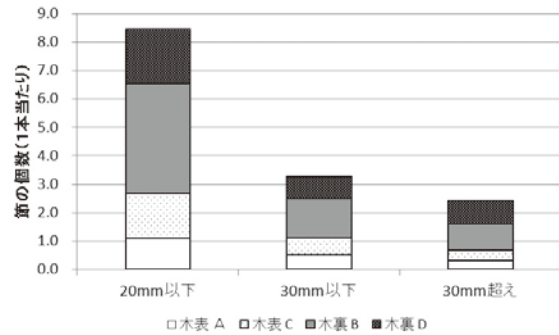


図-8 節径別の個数(1本当たり)

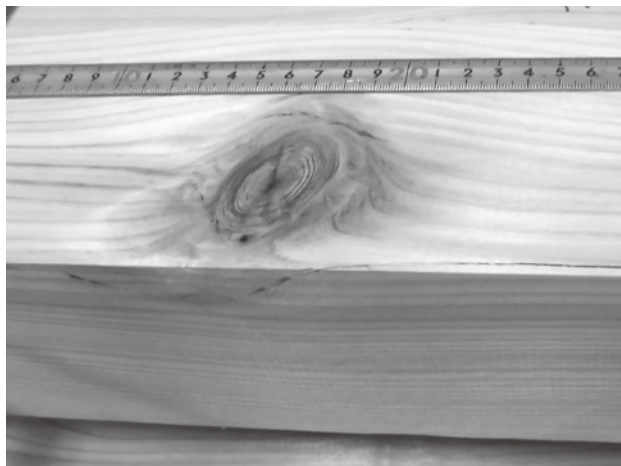


写真-3 径の大きな節



写真-4 同じ丸太からとった材

### 3) 強度試験

#### (1) 引張試験

引張試験の結果を表-2及び図-9に示す。引張強さは平均値 22.2N/mm<sup>2</sup>(最大値 32.8、最小値 15.7、標準偏差値 4.65)となり、国土交通省告示 H19. 11. 27 第 1524 号で示された無等級材の基準強度(以下、基準強度と記す)13.5N/mm<sup>2</sup>を全ての材が上回った。

#### (2) せん断試験

せん断試験の結果を表-3に示す。引張強さ同様平均値 5.4N/mm<sup>2</sup>(最大値 7.8、最小値 3.7、標準偏

差 0.73) となり、基準強度 1.8N/mm<sup>2</sup>を全ての材が上回った。

上記のことから引張及びせん断強さは使用上問題ないと考えられた。

表-2 引張試験結果

区分	本数	寸法(mm)			重量(kg)	密度(kg/m <sup>3</sup> )	引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )	E <sub>m</sub> (10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup> )	全乾含水率(%)
		材長	幅	高さ					
南部	24	3000	104.9	104.9	11.66	353	20.7	6.1	14.3
西部	24	3000	104.8	104.9	12.74	386	23.6	6.7	14.7
全体	48	3000	104.8	104.9	12.20	370	22.2	6.4	14.5

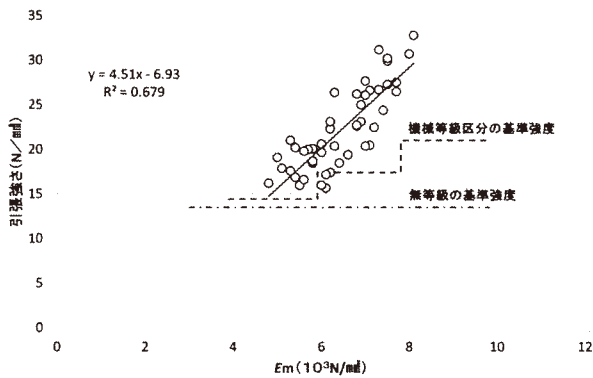


図-9 引張強さと基準強度

表-3 せん断試験結果

区分	元末	本数	密度(kg/m <sup>3</sup> )	せん断強さ(N/mm <sup>2</sup> )	全乾含水率(%)
南部	元	24	337	4.9	13.5
	末	24	354	5.2	13.5
西部	元	24	387	6.2	13.1
	末	24	357	5.4	13.1
全体		96	359	5.4	13.3

#### 4. まとめ

県産スギ大径材から心去り材を作ることによって節や割れの少ない良質な製材品を作れることが確認出来た。

しかし、挽き曲がりや乾燥曲がりが生じるため歩増しを大きくする必要があることから、適寸丸太を用いた場合に比べコスト面で不利になる可能性がある。

生産コストを下げるためには大径材に適した製材機械や製材技術及び乾燥技術などの開発が必要だと考えられた。

#### 参考文献

- 1) 河津渉：県産スギ大径材の有効利用技術に関する研究-「高温セット+天然乾燥」での心去り正角の乾燥特性と中温乾燥した心去り材の強度特性-、林業研究部年報 59、40-45(平成 28 年度)
- 2) 河津渉：県産スギ大径材の有効利用技術に関する研究-中温乾燥した心去り構造材の材質-、林業研究部年報 58、34-37(平成 27 年度)
- 3) (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、162pp(平成 23 年)

## 県産材を用いた直交集成板 (CLT) の開発に関する研究

—ヒノキラミナで構成する CLT の強度性能—

平成 27 年度～平成 29 年度

木材チーム 山田 康裕

### 1. 目 的

近年、欧州で開発された新しい木質構造用材料である直交集成板 Cross Laminated Timber (以下、CLT と記す) が、わが国においても中高層の新たな都市型木造建築を可能にし、低炭素社会の実現に貢献すると注目されている。CLT については、平成 25 年 12 月に「直交集成板の日本農林規格」(以下、CLT-JAS と記す) が制定され、平成 28 年 3 月に CLT 関連の建築基準法告示が公布・施行されたことを受け、本県においても、県産材の需要拡大に寄与することが期待されている。

本年度は、これまでに試験を実施した県産スギ CLT に加えて、県産ヒノキで構成する CLT を作製し、その強度性能を評価したので報告する。

### 2. 試験方法

#### 1) ラミナの等級区分と CLT 作製

##### (1) ラミナの強度性能と節径比の測定

ヒノキの供試ラミナは、県産ヒノキの中目丸太を厚さ 36mm、幅 160mm、長さ 4,000mm の寸法に製材して得られた 203 枚である。製材後、70℃で約 1 週間乾燥させて平均含水率 15%以下とし、屋内で 2 ヶ月以上養生したものをを用いた。ラミナの含水率は、高周波式木材水分計 (株式会社ケツト科学研究所製、HM-520) を用いて測定した。本年度作製する異等級構成 CLT に用いるスギラミナは、前年度の試験<sup>1)</sup> で用いた残りのラミナから、今回作製する CLT の強度区分に該当する 168 枚を用いた。

この CLT を作製するために、粗ラミナ段階における縦振動ヤング係数 (以下、粗ラミナ  $E_R$  と記す) を FFT シグナルアナライザー (リオン株式会社製、SA-77) で固有振動数を測定して算出し、粗ラミナ  $E_R$  によって CLT-JAS のラミナの強度等級に格付けた。このうちプライ構成ラミナは、厚さ 31.5mm、幅 145mm、長さ 3,050mm に仕上げ (以下、仕上げラミナと記す)、仕上げラミナの縦振動ヤング係数 (以下、仕上げラミナ  $E_R$  と記す) とグレーディングマシン (飯田工業株式会社製、MGFE-251) で材を連続して長さ方向に移動させながら曲げヤング係数を測定し、長さ方向の平均曲げヤング係数 (以下、仕上げラミナ  $E_b$  と記す) を求めた。

ラミナの節による等級区分は、CLT-JAS の機械等級区分したラミナの節の基準である幅面材縁部の節径比に準じ、幅面の材縁から 5 mm 以内にある最大節径を幅の長さで除して格付けた。

##### (2) CLT 作製

CLT の仕様は、縦つぎのないラミナを幅はぎした A 種構成 3 層 3 プライで、強度等級はヒノキの同一等級構成 S 90 と外層ヒノキ、内層スギで構成する異等級構成 Mx120 とし、仕上り寸法は、厚さ 90mm、幅 1,000mm、長さ 3,000mm の各 4 体とした。

各プライは、粗ラミナ  $E_R$  の分布が等しくなるようにラミナを区分し、ラミナの側面片側に水性高分子イソシアネート系接着剤 (株式会社オーシカ製、鹿印ピーアイボンド TP-111) を塗布した後、



強度試験には、株式会社島津製作所製実大強度試験機 UH-1000kNAR を、変位の測定には、株式会社東京測器研究所製 SDP-200D を用いた。試験は温湿度制御の無い室内で行った。

### 3. 結果および考察

#### 1) ラミナの等級区分と CLT 作製

##### (1) ラミナの強度性能と節径比の測定

ヒノキ粗ラミナ 203 枚の性状を表-1 に、 $E_{fr}$  の分布を図-2 に示す。粗ラミナの  $E_{fr}$  ( $10^3\text{N/mm}^2$ ) は、平均値 11.4、最大値 17.6、最小値 7.7、標準偏差 1.66 であった。粗ラミナ  $E_{fr}$  と仕上げラミナ  $E_{fr}$  の関係を図-3 に示す。粗ラミナ  $E_{fr}$  と仕上げラミナ  $E_{fr}$  の間には、高い正の相関があることが分かった。

また、仕上げラミナ  $E_{fr}$  と仕上げラミナ  $E_b$  の関係を図-4 に示す。仕上げラミナ  $E_{fr}$  と仕上げラミナ  $E_b$  の間には、高い正の相関があることが分かった。両者の回帰式から仕上げラミナ  $E_{fr}$  値を曲げヤング係数に補正し、CLT-JAS の等級区分機による区分ラミナの強度性能の基準により区分した結果を、図-5 に示す。供試ヒノキラミナは、強度等級区分の M90 が 27.6 %、M120 が 72.4 % と、すべて M90 以上の等級に区分され、CLT ラミナとして十分強度を持つことが示された。

表-1 ヒノキ粗ラミナの性状

	寸法 (mm)			重量 (kg)	含水率 (%)	密度 ( $\text{kg/m}^3$ )	$E_{fr}$ ( $10^3\text{N/mm}^2$ )
	幅	厚さ	長さ				
平均値	161.3	37.0	4060	11.1	9.6	458	11.4
最大値	165.0	43.7	4064	13.5	14.5	544	17.6
最小値	149.4	34.2	4014	8.8	4.0	368	7.7
標準偏差	1.78	1.08	16.9	0.96	1.58	40.0	1.66

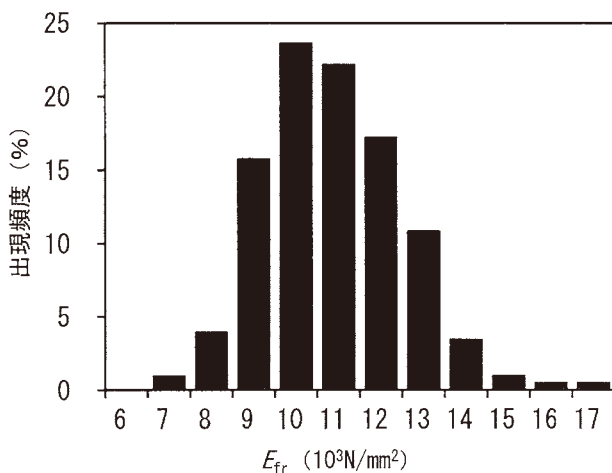


図-2 粗ラミナの  $E_{fr}$  の分布

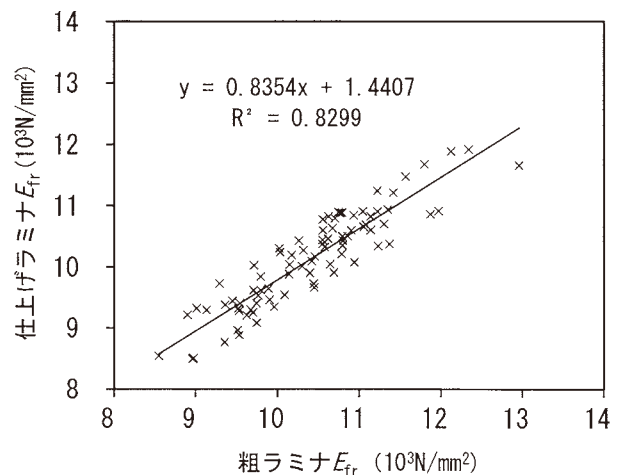


図-3 粗ラミナと仕上げラミナの  $E_{fr}$  の関係



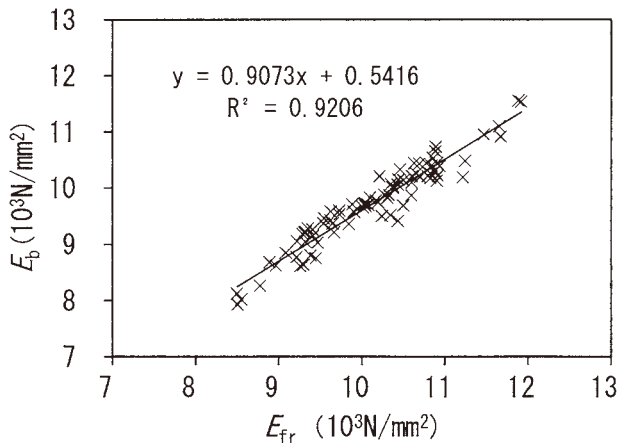


図-4 仕上げラミナの  $E_{fr}$  と  $E_b$  の関係

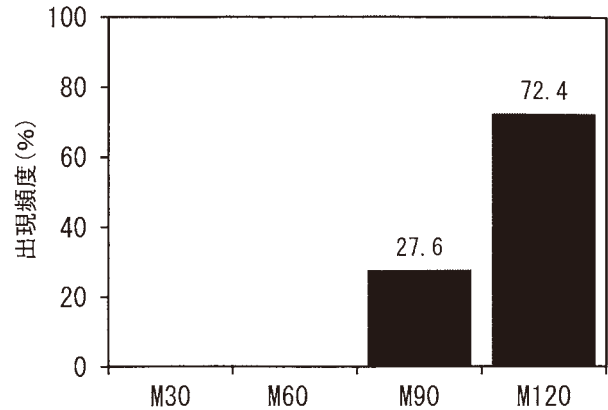


図-5 ラミナの等級区分別の出現頻度

幅面材縁部の節径比によるラミナの区分結果、異等級構成の外層用または同一等級構成に利用できる節径比 33 %以下のラミナが 79.9 %、異等級構成の内層用に利用できる節径比 50 %以下のラミナは 18.0 %、等外規格の節径比 50 %を超えるラミナは 2.1 %であった。今回、ヒノキの中目丸太からラミナを製材したが、そのほとんどがラミナの縦つぎをすることなく CLT 材料として利用できることが分かった。

(2) CLT 作製

粗ラミナ  $E_{fr}$  と幅面材縁部の節径比の結果からラミナの等級区分を行い、作製した CLT 構成ラミナの性状を、表-2 に示す。

表-2 CLT 構成ラミナの性状

試験体	層	ラミナ 等級	樹種	$E_{fr}$ ( $10^3\text{N/mm}^2$ )		$E_b$ ( $10^3\text{N/mm}^2$ )		平均含水率 (%)
				平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	
S90-3-3	外層	M90	ヒノキ	10.4	0.73	9.8	0.58	11.2
	内層			10.5	1.08	9.6	0.99	12.3
Mx120-3-3	外層	M120	ヒノキ	12.1	0.67	11.3	0.59	11.3
	内層	M30	スギ	5.9	0.12	-	-	12.7

2) CLT の強度試験(面外曲げ、面外せん断、縦圧縮)

強度試験の結果について、曲げヤング係数、面外曲げ強さ、面外せん断強さ、縦圧縮強さを表-3 に示す。S90、Mx120 とも、CLT-JAS に示された曲げヤング係数、曲げ強さの基準値を超えており、その性能を満たした。

また、面外曲げ強さ、面外せん断強さ、縦圧縮強さは、平 13 国交告示 1024 号<sup>3)</sup> に示された基準強度を上回っており、基準を満足することが分かった。

以上の結果から、県産ヒノキ、スギで構成した今回の仕様の CLT については、十分な強度性能を持つことが示された。

表-3 CLTの強度試験の結果

		曲げヤング係数 ( $10^3\text{N/mm}^2$ )	曲げ強さ ( $\text{N/mm}^2$ )	縦圧縮強さ ( $\text{N/mm}^2$ )	せん断強さ ( $\text{N/mm}^2$ )	
					強軸	弱軸
S90-3-3	平均	9.4	51.4	27.3	3.8	2.0
	最大	9.7	60.9	30.2	4.4	2.2
	最小	9.1	38.8	25.5	3.1	1.2
	標準偏差	0.22	8.13	2.40	0.50	0.36
Mx120-3-3	平均	10.6	50.9	28.0	4.2	1.6
	最大	11.0	57.7	29.7	4.7	2.1
	最小	10.2	43.4	26.0	3.6	1.1
	標準偏差	0.27	4.91	1.22	0.45	0.35

#### 4. まとめ

県産ヒノキラミナについて、粗ラミナと仕上げラミナの縦振動ヤング係数、仕上げラミナの縦振動ヤング係数と曲げヤング係数は、それぞれ高い正の相関があることが分かった。ラミナの強度等級は、強度等級区分のM90が27.6%、M120が72.4%と、すべてM90以上の等級に区分され、CLTラミナとして十分強度を持つことが示された。

県産ラミナで製造したA種構成のS90-3-3とMx120-3-3について、CLT-JASに定められたヤング係数及び曲げ強さ、および平13国交告示1024号に示された面外曲げ強さ、面外せん断強さ、縦圧縮強さの基準強度を満足した。

#### 参考文献

- 1) 山本幸雄：大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報（第59号），34-39，（平成28年度）
- 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，162pp（平成23年）
- 3) 平成13年 国土交通省告示第1024号 特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件

## 一般流通製材を用いた大断面柱材の開発

平成 29 年度～平成 31 年度

木材チーム 山本 幸雄

### 1. 目 的

平成 22 年に施行された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」は、公共建築物にターゲットを絞って木材利用に取り組み、木材の需要拡大をねらいとしている。また、平成 27 年には、学校、美術館、図書館等の中規模木造公共建築が準耐火構造で建築可能になり、公共建築物への木材利用はますます進むと考えられる。中規模木造公共建築物では、柱の座屈を防ぐため 150 mm 角程度の柱が要求され、かつ 1 時間準耐火構造のため、柱を耐火被覆する又は燃えしろ設計すること等が必要になる。耐火被覆すると木材を現しで使用できず、150mm 角の柱で 60mm の燃えしろを考慮すると 270 (150+60×2) mm 角の柱が必要になる。これを製材品でまかなうには、乾燥が難しく単価も上昇する等の問題が指摘されている。

そこで、本研究は一般流通製材を組み合わせて 270mm 角の柱を作製しその性能を検討することを目的に、本年度は一般流通製材の組み合わせに使う留め具の種類、留め具の間隔について検討し、90×90×4,000mm の柱 9 本を使った合わせ柱を試作した。

### 2. 試験方法

#### 1) 弾性座屈の確認試験

初めに、一般流通製材の組み合わせに使う留め具の種類、間隔について検討するための前段として、細長比を 100 に調整したスギについて座屈試験を行い弾性座屈することを確認するための試験を行った。試験には、幅 89×厚さ 38×長さ 902 mm のスギ 3 体を用いた。ナイフエッジの支点間距離は、(公財) 日本住宅・木材技術センターの構造用木材の強度試験マニュアル(以下、強度試験マニュアルと記す)のⅡ.座屈試験法<sup>1)</sup>に準じ、試験体厚さの 29 倍の 1,102mm (ナイフエッジ支点から治具加力面までは 100mm なので、試験体長さは 38mm×29-100×2=902mm) とした。

試験は、はじめに各試験体の縦振動ヤング係数(以下、 $E_{\text{H}}$ と記す)を求め、次に座屈試験を行った。座屈試験は、荷重は最大荷重記録後荷重の低下がみられた時点で除荷し、荷重治具を試験開始時の位置まで戻し、再び荷重する行程を 5 回繰り返した。荷重速度は 1 mm/分とし、座屈たわみは材中央で測定した。試験には、島津製作所製実大強度試験機 UH-1000kNAR を使い、座屈たわみは東京測器研究所製変位計 SDP-200D を用いて測定した。試験の様子を写真-1 に示す。

#### 2) 留め具の種類の検討試験

幅 89×厚さ 38×長さ 2,004 mm のスギ 2 体を留め具で留め、幅 89×厚さ 76×長さ 2,004mm の試験体を

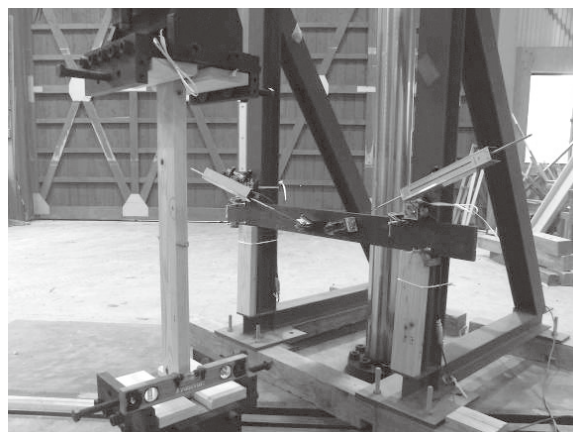


写真-1 弾性座屈の確認試験の様子

3体作製した。ナイフエッジの支点間距離は、強度試験マニュアルに準じ 2,204mm とした。

試験は、はじめに留め具で留める前の各部材の  $E_{fr}$  を求め、次に部材を留め具で留めた材の座屈試験を行った。留め具は、半ねじコーススレッドと全ねじコーススレッドの2種類とした（写真-2）。

はじめに、直径 4.2×長さ 75mm の半ねじコーススレッドを幅方向の中心から 10mm ずらした位置で、材端から 102mm の位置を起点に 300mm 間隔で 7本打ち、座屈試験を行った。その他の試験条件は弾性座屈の確認試験同様とした。ただし繰り返し回数は3とした。次に半ねじコーススレッドを抜き、直径 4.2×長さ 75mm の全ねじコーススレッドを幅方向の中心から半ねじコーススレッドを打ったのとは反対の方向に幅方向の中心から 10mm ずらした位置に打ち、半ねじコーススレッドと同様の試験を行った。図-1 に留め具の種類の検討試験における留め具の配置イメージを示す。

### 3) 留め具の間隔の検討試験

留め具の種類の検討試験と同様に行った。ただし、留め具は直径 4.2×長さ 75mm の半ねじコーススレッドとし、留め具の間隔を 900mm、600mm、450mm、300mm とした。図-2 に留め具の間隔の検討試験における留め具の配置イメージを示す。

### 4) 合わせ柱の試作

105×105×4,000mm の生材スギ 50 本を購入し、8 時間蒸煮、ついで乾球 120℃、湿球 90℃で 12 時間セット処理、乾球 80℃湿球 50℃で 168 時間乾燥させ、風通しの良い室内で約 2 カ月養生した材を 90×90mm の断面に仕上げた。含水率をケツト科学研究所製 HM-520 で測定し含水率 20%以下とそれ以上に分けた。含水率が 20%以下の材で、直径 4.2×長さ 120mm の半ねじコーススレッド（写真-3）を材端

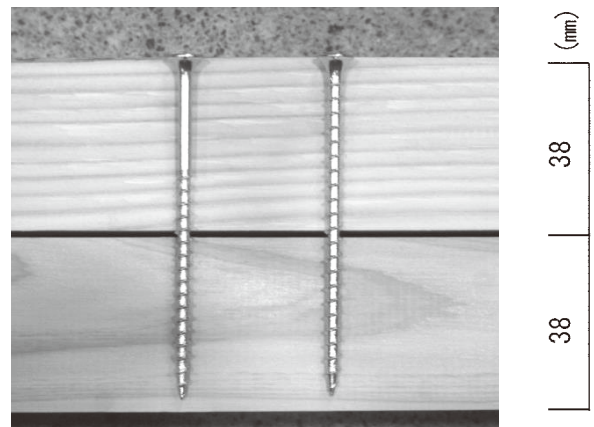
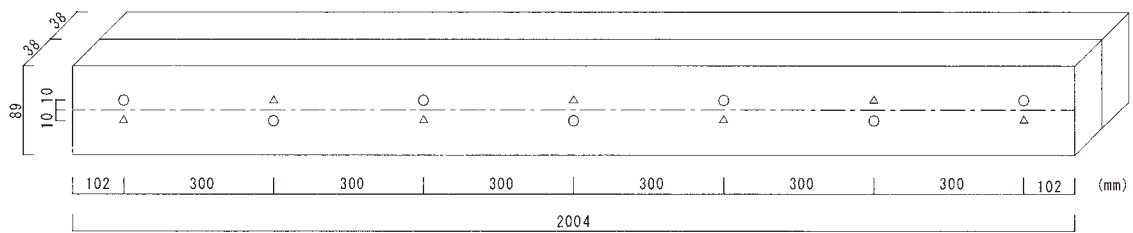
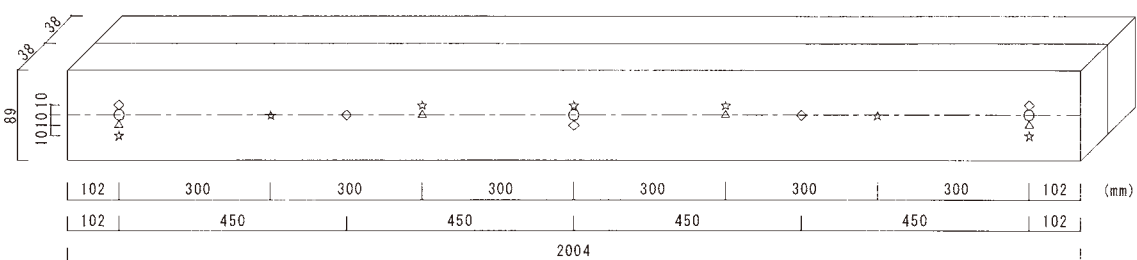


写真-2 半ねじコーススレッド（左）と全ねじコーススレッド（右）



○：半ねじ    △：全ねじ

図-1 留め具の種類の検討試験における留め具の配置イメージ



○：900mm    △：600mm    ◇：450mm    ☆：300mm

図-2 留め具の間隔の検討試験における留め具の配置イメージ

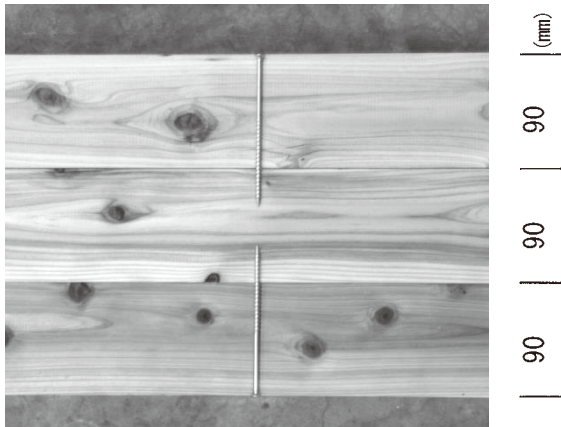


写真-3 合わせ柱試作に使用したコーススレッド



写真-4 試作した合わせ柱

から 200mm の位置を起点に 900mm の間隔で 5 本打ったタイプと、間隔を 450mm にして 9 本打ったタイプの 2 種類を各 1 体試作した。含水率が 20%以上の材は、含水率が 20%以下の材同様に間隔が 900mm と 450mm のタイプに加え 300mm のタイプも 1 体試作した (写真-4)。

### 3. 結果および考察

#### 1) 弾性座屈の確認試験

座屈たわみと荷重曲線の一例を図-3に、各試験体の  $E_{fr}$ 、オイラー式から求めた許容座屈応力度<sup>2)</sup> (以下、 $f_k$ と記す)、座屈強さ、全乾含水率を表-1に示す。座屈強さは、強度試験マニュアルに準じ、最大荷重の 80%から 100%の線形域から求めた。

座屈強さについて、試験体番号3の1回目を除き、各試験体で繰り返し回数に関係なくほぼ同じ座屈強さとなっている。また、座屈たわみと荷重の関係について、繰り返し回数に関係なくほぼ同じ曲線になっていることがわかる。これから、ナイフエッジ支点の支点間距離が試験体厚の 29 倍(細長比 $\lambda=100$ )に調整し行った座屈試験は、弾性座屈していることがわかった。

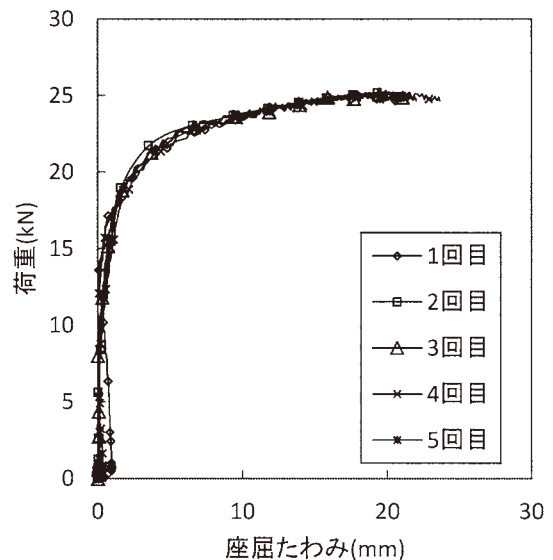


図-3 座屈たわみと荷重の関係

表-1 弾性座屈の確認試験結果

試験体 番号	$E_{fr}$ ( $10^3\text{N}/\text{mm}^2$ )	$f_k$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	座屈強さ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )					平均	標準 偏差	含水率 (%)
			繰り返し回数							
			1	2	3	4	5			
1	5.4	5.3	6.0	6.1	5.7	5.6	5.6	5.8	0.23	12.3
2	7.5	7.4	7.7	7.6	7.6	7.7	7.6	7.6	0.05	12.6
3	9.2	9.1	11.4	9.5	9.4	9.4	9.4	9.8	0.88	12.1



また、座屈強さと  $f_k$  では、座屈強さが高い値となった。これは、一般にラミナの  $E_{fr}$  は曲げヤング係数よりも数%高い値となることが報告されており<sup>3)</sup>、その傾向が本結果に反映されたと考えられた。

### 2) 留め具の種類の見直し試験

座屈たわみと荷重曲線の一例を図-4に、各試験体の留め具で留める前の部材の  $E_{fr}$  の平均、その平均から求めた  $f_k$ 、座屈強さの平均と標準偏差、全乾含水率の平均値を表-2に示す。座屈強さについて、半ねじの座屈強さと全ねじの座屈強さはほぼ同じで、留め具の種類による差は無いことがわかった。また、座屈たわみと荷重の関係について、繰り返し回数に関係なくほぼ同じ曲線になっていることがわかる。これから、留め具の種類、繰り返し回数に関係なく弾性座屈していることがわかった。

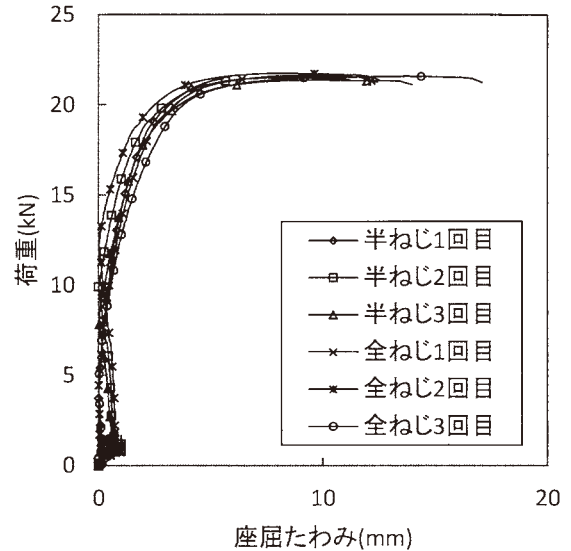


図-4 座屈たわみと荷重の関係

また座屈強さと  $f_k$  では  $f_k$  が高く、弾性座屈の確認試験結果とは逆の結果になった。これは留め具による組み合わせだけでは、合わせ面で滑りが生じ座屈強さが低くなったと考えられた。

表-2 留め具の種類の見直し試験結果

試験 体番号	$E_{fr}$ ( $10^3\text{N}/\text{mm}^2$ )	$f_k$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	座屈強さ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )				平均 含水率 (%)
			半ねじ		全ねじ		
			平均	標準偏差	平均	標準偏差	
1	4.5	4.4	3.4	0.06	3.4	0.06	12.8
2	6.7	6.6	4.4	0.15	4.4	0.06	12.4
3	9.2	9.1	6.2	0.23	6.3	0.06	12.2

### 3) 留め具の間隔の見直し試験

留め具の間隔が 300mm の時の座屈たわみと荷重曲線を図-5に、留め具の間隔が 300mm、450mm、600mm、900mm の時の座屈たわみと荷重曲線の一例を図-6に、各試験体の留め具で留める前の部材の  $E_{fr}$  の平均、その平均から求めた  $f_k$ 、座屈強さの平均と標準偏差、全乾含水率の平均値を表-3に示す。座屈強さについて、留め具の間隔が狭くなるほど座屈強さが高くなる傾向がみられた。これは、留め具の本数が増えるほど合わせ面での滑り量が減少するためと考えられた。

また、留め具の間隔が 300mm の時の座屈たわみと荷重の関係について、繰り返し回数に関係なくほぼ同じ曲線になっていることがわかる。留め具の間隔がその他の場合も同じであった。これから、留め具の間隔、繰り返し回数に関係なく弾性座屈していると考えられる。

また座屈強さと  $f_k$  では  $f_k$  が高く、留め具の種類の見直し試験と同じ傾向になった。これは留め具の種類の見直し試験と同様、留め具による組み合わせだけでは、合わせ面で滑りが生じ座屈強さが低くなったと考えられた。

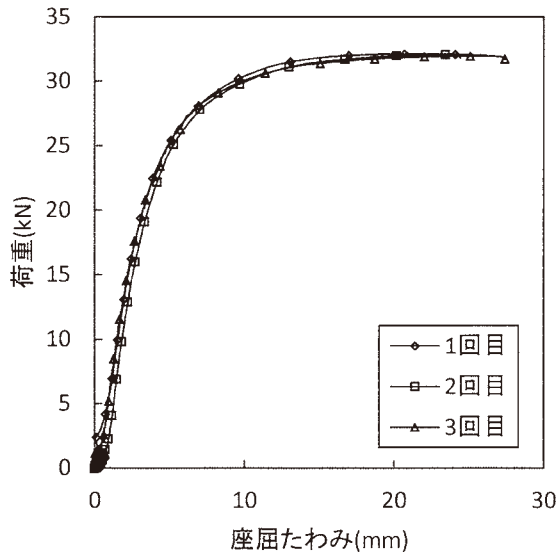


図-5 座屈たわみと荷重の関係

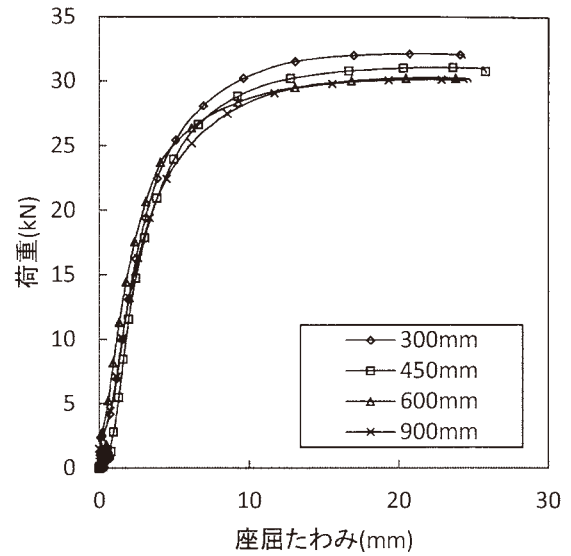


図-6 座屈たわみと荷重の関係

表-3 留め具の間隔の検討試験結果

試験 体番 号	$E_{fr}$ ( $10^3\text{N}/\text{mm}^2$ )	$f_k$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	座屈強さ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )								平均 含水率 (%)
			留め具の間隔(mm)								
			300		450		600		900		
平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差		
1	5.1	5.0	3.6	0.00	3.5	0.00	3.4	0.06	3.3	0.00	12.8
2	7.2	7.1	5.1	0.06	4.8	0.06	4.7	0.06	4.8	0.00	12.6
3	8.8	8.7	6.1	0.00	6.0	0.00	5.9	0.06	5.9	0.00	12.2

#### 4) 合わせ柱の試作

本年度試作した合わせ柱の曲がりや反り、合わせた面の隙間の間隔の経時変化等を測定中であり、次年度以降報告する予定である。

#### 参考文献

- 1) (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, 37-47p(平成 23 年)
- 2) 日本建築学会：木質構造計算基準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－, 171-177p (平成 18 年)
- 3) 北原覺一：木材物理, 117p(昭和 52 年)