

## 非住宅分野の木造化に対応する大断面製材品の強度性能評価

－ 乾燥方法別、寸法別の平角材縦圧縮強度性能 －

平成 30 年度～令和 2 年度

木材チーム 前原 礼明

### 1. 目 的

平成 22 年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が制定され、公共建築物などの非住宅分野における中・大規模の建築物の木造化が進んでいる。これらの建物の構造部材には、梁桁材等に大きな断面の製材(以下、大断面製材と記す)が多く用いられている一方、大断面製材の乾燥方法や寸法の違いが強度性能に与える影響についてのデータは少ないことから、建築関係者が大断面製材の利用を不安視する要因の 1 つになっている。

今年度は、過去 2 年間に実施した曲げ供試材の非破壊部分から切り出した供試材を用いて縦圧縮試験を行い、乾燥方法の違いや、寸法の違いが強度性能に与える影響について評価したので報告する。

### 2. 試験方法

#### 1) 供試材

供試材は、平成 30 年度及び令和元年度に実施した乾燥方法及び寸法毎の曲げ供試材の非破壊部分から切り出した。構造用木材の強度試験マニュアル<sup>1)</sup>(以下、マニュアルと記す)に準じて、長さを材端面の短辺の 6 倍とした。また、材端面が互いに平行かつ供試材の軸に垂直となるように作製した。なお、試験に必要な長さを満たさないものや曲げ試験の影響を受け、割れや欠けが生じたものは除外した。

#### (1) 乾燥方法別試験

平成 30 年度に実施した乾燥方法毎<sup>2)</sup>の曲げ試験に使用した大分県佐伯市産のスギ心持ち平角材を用いて、供試材を作製した。寸法は、いずれも 120×240×720mm である。乾燥方法は 3 種類で、高温乾燥が 22 本、高周波蒸気複合乾燥が 16 本及び中温乾燥が 21 本(以下、それぞれ高温、高周波、中温と記す)の計 59 本を試験した。

#### (2) 寸法別試験

令和元年度に実施した寸法毎の曲げ試験に使用した大分県佐伯市産のスギ心持ち材を用いて、供試材を作製した。乾燥方法は、いずれも高温乾燥<sup>3)</sup>である。寸法は 3 種類で、120×120×720mm が 38 本、120×180×720mm が 38 本及び 120×300×720mm が 28 本(以下、それぞれ 120mm 材、180mm 材、300mm 材と記す)の計 104 本を試験した。

### 2) 縦圧縮試験

#### (1) 供試材の材質調査

材質調査は、製材の日本農林規格<sup>4)</sup>(以下、製材 JAS と記す)の乙種構造材の基準に準じて、4 材面の節と集中節及び平均年輪幅から等級区分を行った。次に、材長、材の長さ方向の中央部の 4 辺の寸法と含水率(以下、MC<sub>HM</sub> と記す)、重量、及び縦振動法による動的ヤング係数(以下、E<sub>tr</sub> と記す。)を測定した。含水率の測定は、高周波木材水分計 HM-520(株式会社ケツト科学研究所製)を用いた。

## (2) 乾燥方法別試験

縦圧縮試験は、実大強度試験機 UH-1000kNAR(株式会社島津製作所製)を用い、載荷速度 0.75mm/min で実施した(写真-1)。歪みの測定は、クリップ型変位計 RA-5(株式会社東京測器研究所製)を用い、供試材の相対する2材面のうち広い材面で計測し、その平均値を変位量とした。クリップ型変位計は、固定治具(写真-2)を用いて取り付けられた。標点間距離は約 200mm とし、デジタルノギス CD-30C(株式会社ミットヨ製)で 1/100mm まで測定した。試験後、マニュアルの 9. 縦圧縮強さおよび縦圧縮ヤング係数に準じて、縦圧縮ヤング係数(以下、 $E_c$ と記す)及び 縦圧縮強度(以下、 $f_{c,0}$ と記す)を求めた。

また、破壊部近くから繊維方向と直角に厚さ約 25mm の試験片を1枚切り出し、平均年輪幅を測定した。その後、切り出した試験片を長辺の両外側 1/5 と中央部 3/5 に分割し、全乾法により含水率(以下、それぞれを  $MC_{1/5}$  と  $MC_{3/5}$  と、全体の含水率を  $MC_{ALL}$  と記す)を測定した。 $E_c$  と  $f_{c,0}$  は、 $MC_{ALL}$  の値を用いて、マニュアルの V. 構造用木材の強度評価表及び基準値算出法の付録 3. 2 含水率によるデータの調整の解説(3)に準じ、含水率 15%値に補正した。(以下、 $E_{c15}$  及び  $f_{c,0.15}$  と記す)。なお、当研究部で試験ができない 1,000kN を超える供試材は、大分大学において UH-2000kNX(株式会社島津製作所製)を用いて実施した。



写真-1 縦圧縮試験



写真-2 歪み測定用固定治具

## (3) 寸法別試験

(2) 乾燥方法別試験と同じ試験方法で実施した。

## 3. 結果及び考察

### 1) 乾燥方法別試験

#### (1) 供試材の材質

材質調査の結果を表-1 に示す。 $MC_{HM}$  の平均値は、高温、高周波、中温ともに 15%以下であった。標準偏差も、各供試材で 1.4~1.5 であり、バラツキは小さかった。 $E_{Ft}$  の平均値及び標準偏差(以下、平均値(標準偏差)と記す)は、高温が 6.6(0.7) kN/mm<sup>2</sup>、高周波が 6.9(1.0) kN/mm<sup>2</sup>、中温が 6.2(1.0) kN/mm<sup>2</sup> であった。

目視等級区分の結果を表-2 に示す。1 級 3 級の割合は、各供試材によってバラツキが見られたが、各供試材ともに 2 級が最も多かった。高温では、級外の供試材が 1 本あった。

表-1 材質調査の結果

区分	寸法(mm)			重量 (kg)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	MC <sub>HM</sub> (%)	E <sub>tr</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	
	短辺	長辺	材長					
高温	平均値	119.5	238.2	720.2	7.8	381.3	11.9	6.6
	最大値	120.3	240.2	721.0	8.6	413.4	14.9	7.6
	最小値	116.6	235.2	720.0	7.0	350.8	10.0	4.5
	標準偏差	1.0	1.5	0.4	0.4	19.2	1.5	0.7
高周波	平均値	119.3	238.4	720.1	7.8	382.8	12.0	6.9
	最大値	120.6	240.9	721.0	8.7	419.2	15.3	8.8
	最小値	116.9	235.7	720.0	6.9	339.6	10.1	4.7
	標準偏差	0.9	2.0	0.3	0.4	20.5	1.4	1.0
中温	平均値	121.4	240.8	720.0	7.8	368.3	12.9	6.2
	最大値	122.7	242.4	721.0	8.7	409.3	16.1	7.7
	最小値	118.8	237.6	720.0	7.1	345.2	10.8	4.0
	標準偏差	1.1	1.2	0.2	0.4	17.1	1.4	1.0

表-2 目視等級区分(単位:本)

区 分	目視等級区分(乙種)				計
	1級	2級	3級	級外	
高温	4	13	4	1	22
高周波	5	9	2	0	16
中温	5	10	6	0	21

## (2) 縦圧縮試験

縦圧縮試験の結果を表-3に示す。MC<sub>ALL</sub>の平均値(標準偏差)について、高温は、11.3(0.9)％、高周波は、11.2(1.2)％、中温は、13.0(1.0)％であった。さらに、MC<sub>1/5</sub>とMC<sub>3/5</sub>を比較すると、各供試材において、表層と中央部ともに乾燥しており、含水率のバラツキが小さいことが分かった。

E<sub>c</sub>の平均値(標準偏差)は、高温で6.5(0.9)kN/mm<sup>2</sup>、高周波で7.0(1.1)kN/mm<sup>2</sup>、中温で6.2(1.1)kN/mm<sup>2</sup>であり、高周波が高い値を示したが、有意水準5％で有意差は認められなかった。

f<sub>c,0.15</sub>の平均値(標準偏差)は、高温で22.7(2.1)N/mm<sup>2</sup>、高周波で24.7(1.7)N/mm<sup>2</sup>、中温で26.1(2.7)N/mm<sup>2</sup>であり、高温と高周波、高温と中温の間で、有意水準5％で有意差が認められた。f<sub>c,0.15</sub>の5％下限値を、マニュアルの参考資料2データの統計的解析の解説と方法に準じて求めると、高温で18.9N/mm<sup>2</sup>、高周波で21.5N/mm<sup>2</sup>、中温で21.2N/mm<sup>2</sup>となり、各供試材ともに無等級材の基準強度17.7N/mm<sup>2</sup>を上回った。次に、f<sub>c,0.15</sub>が最小値を示した供試材(写真-3)について考察する。この供試材は高温で確認され、f<sub>c,0.15</sub>は、18.0N/mm<sup>2</sup>であった。試験途中で節から亀裂が生じ、材全体に広がる破壊の形態を示した。また、平均年輪幅が10.1mmで3級の基準10mm以下を上回っており、目視等級区分において級外となった供試材であり、集中節径比も41%と高い値であったため、これらが影響して、f<sub>c,0.15</sub>が低くなったと考えられる。

破壊形態は、多くの供試材において試験後半から終盤にかけて、節付近にシワが寄り、潰れていく過程を確認できた。その一方で、最大荷重後に一気に供試材が破壊し、荷重が急激に低下した供試材が高周波で1本確認された(写真-4)。無欠点小試験体を縦圧縮試験した際に生じる破壊形態で、鉛直面に沿って繊維が割裂される破壊形態を割裂型<sup>5)</sup>というが、今回、実大寸法の供試材でも同様の破壊が確認された。この供試材は、MC<sub>ALL</sub>、MC<sub>1/5</sub>、MC<sub>3/5</sub>が、高周波16本の中で最小値を示した供試材であったため、非常に乾いた供試材に見られる破壊形態と考えられる。

表-3 縦圧縮試験の結果

区分	$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$f_{c,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	全乾含水率(%)			$E_{c15}$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$f_{c,0.15}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
			MC <sub>ALL</sub>	MC <sub>1/5</sub>	MC <sub>3/5</sub>			
高温	個数	22	22	22	22	22	22	
	平均値	6.5	27.3	11.3	10.7	12.5	6.1	22.7
	最大値	8.3	32.7	13.5	13.3	13.8	7.7	28.8
	最小値	4.0	21.6	9.9	9.4	10.0	3.9	18.0
	標準偏差	0.9	2.7	0.9	1.0	0.8	0.8	2.1
高周波	個数	16	16	16	16	16	16	
	平均値	7.0	29.8	11.2	11.2	11.4	6.5	24.7
	最大値	9.0	34.8	12.9	12.8	13.2	8.3	27.8
	最小値	5.1	25.6	9.4	9.6	9.1	4.7	21.6
	標準偏差	1.1	2.5	1.2	1.0	1.6	1.0	1.7
中温	個数	21	21	21	21	21	21	
	平均値	6.2	28.9	13.0	12.8	13.6	6.0	26.1
	最大値	8.0	33.5	14.4	14.4	14.4	7.7	30.6
	最小値	3.7	24.4	9.4	7.3	12.3	3.6	19.8
	標準偏差	1.1	2.5	1.0	1.4	0.5	1.1	2.7



写真-3  $f_{c,0.15}$  が最小値を示した供試材



写真-4 割裂して破壊した供試材

$E_{c15}$  と  $f_{c,0.15}$  の関係を図-1 に示す。各供試材ともに、 $E_{c15}$  が大きい値を示すにつれて、 $f_{c,0.15}$  も高い値を示した。相関係数は、中温 0.75、高周波 0.67 と比較的強い相関を示したのに対して、高温では、0.39 と弱い相関となり、乾燥方法毎に違いが見られた。同じ  $E_{c15}$  で比較すると、中温 > 高周波 > 高温の順に  $f_{c,0.15}$  が強くなった。

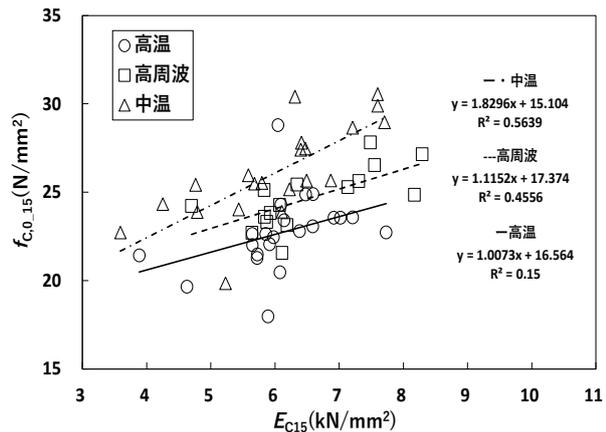


図-1  $E_{c15}$  と  $f_{c,0.15}$  の関係

## 2) 寸法別試験

### (1) 供試材の材質

材質調査の結果を表-4 に示す。MC<sub>HM</sub> の平均値は、120mm 材、180mm 材、300mm 材ともに 15% 以下であり、最も断面寸法の大きな 300mm 材でも 11.1% とよく乾燥していた。 $E_{fr}$  の平均値(標準偏差)は、120mm 材が 6.6(0.9) kN/mm<sup>2</sup>、180mm 材が 6.8(0.8) kN/mm<sup>2</sup>、300mm 材が 6.0(1.0) kN/mm<sup>2</sup> であった。

目視等級区分の結果を表-5 に示す。各供試材ともに、2級、1級、3級の順に多かった。300mm 材は、

2級の供試材の割合が全本数の75%を占め、120mm材、180mm材と比較して2級の割合が高かった。平均年輪幅が2級に該当するものが多かったことが原因と考えられる。

表-4 材質調査の結果

区分	寸法(mm)			重量(kg)	密度(kg/m <sup>3</sup> )	MC <sub>HM</sub> (%)	E <sub>fr</sub> (kN/mm <sup>2</sup> )	
	短辺	長辺	材長					
120mm材	平均値	120.4	120.4	720	4.1	394	10.2	6.6
	最大値	121.0	121.3	720	4.6	443	14.5	8.4
	最小値	119.7	119.7	719	3.7	349	9.3	4.8
	標準偏差	0.3	0.3	0.4	0.3	27.6	0.9	0.9
180mm材	平均値	120.0	179.7	720	5.9	380	10.5	6.8
	最大値	120.8	180.8	720	6.8	434	11.9	8.3
	最小値	119.1	177.5	719	5.3	343	9.3	4.9
	標準偏差	0.3	0.8	0.5	0.4	24.4	0.7	0.8
300mm材	平均値	120.4	299.9	721	9.6	370	11.1	6.0
	最大値	121.4	301.7	722	11.5	436	16.0	7.5
	最小値	119.3	298.5	719	8.8	339	9.1	4.0
	標準偏差	0.5	1.0	0.7	0.6	20.4	1.7	1.0

表-5 目視等級区分(単位:本)

区分	目視等級区分(乙種)				計
	1級	2級	3級	級外	
120mm材	11	25	2	0	38
180mm材	13	19	5	1	38
300mm材	4	21	3	0	28

## (2) 縦圧縮試験

縦圧縮試験の結果を表-6に示す。MC<sub>ALL</sub>の平均値(標準偏差)について、120mm材は、9.0(0.7)%, 180mm材は、10.2(1.1)%, 300mm材は、11.7(1.9)%であった。MC<sub>1/5</sub>とMC<sub>3/5</sub>を比較すると、各供試材において、表層と中央部ともに乾燥しており含水率のバラツキは小さかった。

E<sub>c</sub>の平均値(標準偏差)は、120mm材で6.6(0.9)kN/mm<sup>2</sup>、180mm材で6.6(0.8)kN/mm<sup>2</sup>、300mm材で5.5(0.9)kN/mm<sup>2</sup>であり、120mm材と300mm材、180mm材と300mm材の間に有意水準5%で有意差が認められた。

f<sub>c,0.15</sub>の平均値(標準偏差)は、120mm材で24.8(2.2)N/mm<sup>2</sup>、180mm材で23.7(2.2)N/mm<sup>2</sup>、300mm材で18.3(2.0)N/mm<sup>2</sup>であり、120mm材、180mm材、300mm材の間に有意水準5%で有意差が認められた。f<sub>c,0.15</sub>の5%下限値を、マニュアルの参考資料2データの統計的解析の解説と方法に準じて求めると、120mm材で21.1N/mm<sup>2</sup>、180mm材で19.8N/mm<sup>2</sup>、300mm材で14.5N/mm<sup>2</sup>となった。

次に、f<sub>c,0.15</sub>が最小値を示した供試材について考察する。この供試材は300mm材で確認され、f<sub>c,0.15</sub>は、14.3N/mm<sup>2</sup>であった。供試材の狭い材面の上部に存在する節から亀裂及びシワが生じる破壊の形態を示した(写真-5)。密度が342kg/m<sup>3</sup>と300mm材の平均値370kg/m<sup>3</sup>と比べても低い値であったことが、f<sub>c,0.15</sub>が低くなった原因の1つと考えられる。

破壊形態は、乾燥方法別試験と同様に多くの供試材で、節付近からシワが寄り、潰れていく破壊形態を示した一方で、割裂型で破壊した供試材が120mm材で3本、180mm材で1本確認された(写真-6)。MC<sub>ALL</sub>、MC<sub>1/5</sub>、MC<sub>3/5</sub>の平均値が最も低い120mm材で多く確認されたことから、非常に乾いた供試材で見られる破壊形態と考えられる。

表-6 縦圧縮試験の結果

区分		$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$f_{c,0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	全乾含水率(%)			$E_{c15}$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$f_{c,0.15}$ (N/mm <sup>2</sup> )
				MC <sub>ALL</sub>	MC <sub>1/5</sub>	MC <sub>3/5</sub>		
120mm材	個数	38	38	38	38	38	38	38
	平均値	6.6	33.1	9.0	8.9	9.1	5.9	24.8
	最大値	8.6	39.6	11.4	10.6	12.9	7.9	29.6
	最小値	4.8	27.6	8.0	8.0	8.1	4.3	21.3
	標準偏差	0.9	3.1	0.7	0.5	1.1	0.8	2.2
180mm材	個数	38	38	38	38	38	38	38
	平均値	6.6	30.1	10.2	9.7	11.1	6.1	23.7
	最大値	8.3	40.2	12.1	11.5	13.7	7.6	29.5
	最小値	4.2	24.7	8.4	8.4	8.3	3.9	20.0
	標準偏差	0.8	3.2	1.1	0.9	1.6	0.8	2.2
300mm材	個数	28	28	28	28	28	28	28
	平均値	5.5	21.7	11.7	11.0	13.2	5.2	18.3
	最大値	7.1	29.2	15.0	14.4	16.6	7.1	22.1
	最小値	3.6	16.7	8.6	8.4	8.8	3.5	14.3
	標準偏差	0.9	3.3	1.9	1.8	2.3	0.8	2.0

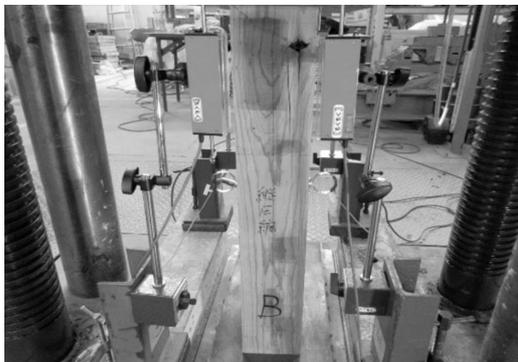


写真-5  $f_{c,0.15}$  が最小値を示した供試材



写真-6 割裂して破壊した供試材

$E_{c15}$  と  $f_{c,0.15}$  の関係を図-2 に示す。各供試材ともに、 $E_{c15}$  が大きい値を示すにつれて、 $f_{c,0.15}$  も高い値を示した。相関係数は、120mm材で0.6、180mm材で0.75、300mm材で0.78であった。同じ  $E_{c15}$  で比較した場合に、 $f_{c,0.15}$  は、120mm材 > 180mm材 > 300mm材となり、寸法が大きいほど低くなる傾向を示した。

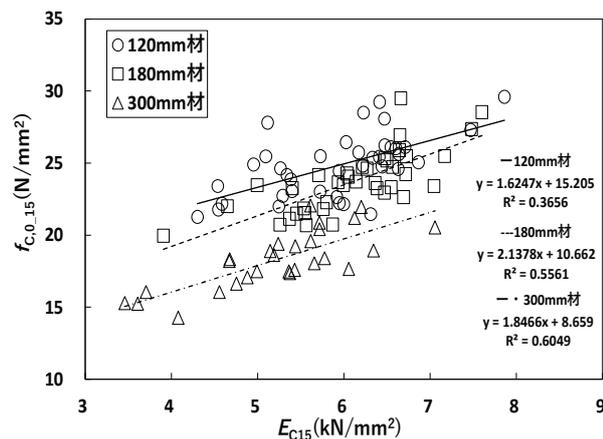


図-2  $E_{c15}$  と  $f_{c,0.15}$  の関係

### (3) 最弱リンク理論に基づく寸法効果

木材の強度を考える際に、強度は供試材の寸法の影響を受け、一般的に寸法が大きなものほど強度が低くなる傾向がある。これを寸法効果<sup>6)</sup>というが、この傾向は、強度が確率的に最も弱い要素によって決まる最弱リンク理論<sup>6)</sup>によって説明される。寸法効果は、材料の強度と体積の式  $\sigma_1/\sigma_2 = (V_2/V_1)^k$ <sup>6)</sup> をもとに求められる。ここで  $\sigma_1$  及び  $\sigma_2$  は、それぞれ体積  $V_1$  及び  $V_2$  のときの強度であり、 $k$  は寸法効果の大きさを示す係数である。縦軸に  $f_{c,0.15}$  の対数を、横軸に各供試材と基準体積の容積比 ( $V_2/V_1$ ) の対数をと

り、直線( $y = Ax + B$ )回帰させた時の傾きAが寸法効果係数 $k$ となる。今回の試験では、基準体積 $V_1$ に120mm材の体積を、 $V_2$ に各供試材の体積を用いて、直線回帰させた。

寸法効果を表した結果を図-3に示す。直線回帰の結果、 $k$ は0.3335となった。また、 $A = 0$ の検定を行うと有意水準5%で有意差があり、今回の試験では寸法効果が認められた。しかし、縦圧縮強度の寸法効果は認められないとする報告<sup>7)</sup>もある。また、縦圧縮強度試験の結果には、寸法効果以外にも、使用した供試材の生産地域、乾燥方法、樹種特性、未成熟材の割合、樹心の位置、木取り等様々な要因によって差が生じると考えられることから、これらの項目を考慮に入れたデータの収集が今後必要となってくると思われる。

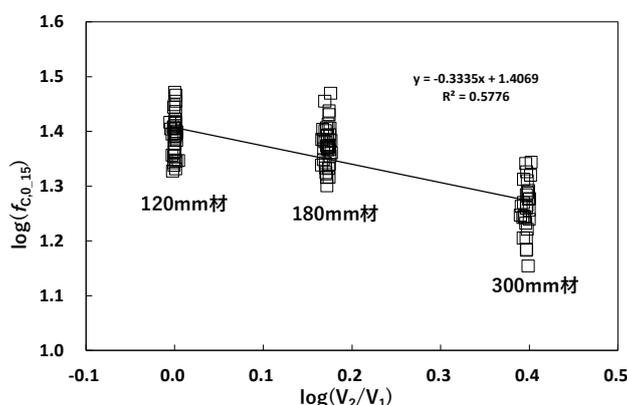


図-3 寸法効果

## 4. まとめ

### 1) 乾燥方法別試験

高温 22 本、高周波 16 本、中温 21 本を用いて、縦圧縮試験を行ったところ、以下のことが分かった。

- ・含水率は、各供試材において表層と中央部ともに乾燥しており、バラツキが小さかった。
- ・ $E_c$ の平均値(標準偏差)は、高温で6.5(0.9)kN/mm<sup>2</sup>、高周波で7.0(1.1)kN/mm<sup>2</sup>、中温で6.2(1.1)kN/mm<sup>2</sup>であり、高周波が高い値を示したが、有意水準5%で有意差は認められなかった。
- ・ $f_{c,0.15}$ の平均値(標準偏差)は、高温で22.7(2.1)N/mm<sup>2</sup>、高周波で24.7(1.7)N/mm<sup>2</sup>、中温で26.1(2.7)N/mm<sup>2</sup>であり、中温、高周波、高温の順に高い値を示した。また、高温と高周波、高温と中温の間で、有意水準5%で有意差が認められた。
- ・ $f_{c,0.15}$ の5%下限値は、高温で18.9N/mm<sup>2</sup>、高周波で21.5N/mm<sup>2</sup>、中温で21.2N/mm<sup>2</sup>となり、各供試材ともに無等級材の基準強度17.7N/mm<sup>2</sup>を上回った。
- ・破壊形態は、多くの供試材において試験後半から終盤にかけて、節付近からシワが寄り、潰れていく過程を確認できた一方で、割裂型で破壊した供試材が1本あった。

### 2) 寸法別試験

120mm材 38 本、180mm材 38 本、300mm材 28 本を用いて、縦圧縮試験を行ったところ、以下のことが分かった。

- ・含水率は、各供試材において表層と中央部ともに乾燥しており、バラツキが小さかった。
- ・ $E_c$ の平均値(標準偏差)は、120mm材で6.6(0.9)kN/mm<sup>2</sup>、180mm材で6.6(0.8)kN/mm<sup>2</sup>、300mm材で

5.5(0.9)kN/mm<sup>2</sup>であり、120mm材と300mm材、180mm材と300mm材の間に有意水準5%で有意差が認められた。

- $f_{c,0.15}$ の平均値(標準偏差)は、120mm材で24.8(2.2)N/mm<sup>2</sup>、180mm材で23.7(2.2)N/mm<sup>2</sup>、300mm材で18.3(2.0)N/mm<sup>2</sup>であり、120mm材、180mm材、300mm材の順に高い値を示した。また120mm材、180mm材、300mm材の間に有意水準5%で有意差が認められた。
- $f_{c,0.15}$ の5%下限値は、120mm材で21.1N/mm<sup>2</sup>、180mm材で19.8N/mm<sup>2</sup>、300mm材で14.5N/mm<sup>2</sup>だった。
- 破壊形態は、多くの供試材において試験後半から終盤にかけて、節付近からシワが寄り、潰れていく過程を確認できた一方で、割裂型で破壊した供試材が4本あった。
- 各供試材の  $f_{c,0.15}$  と体積を用いて、寸法効果を調べたところ、寸法効果係数である  $k$  は 0.3335 となり、 $A = 0$  の検定を行うと有意水準5%で有意差があり、今回の試験では寸法効果が認められた。

## 謝辞

今回の縦圧縮試験では、大分大学理工学部並びに同大学の創生工学科/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、実大強度試験機の使用等において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) (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)
- 2) 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, 35~40(平成30年)
- 3) 前原礼明：大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報, 44~49(令和元年)
- 4) 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
- 5) 戸塚真里奈：木材の縦圧縮特性, 木材工業 Vol. 76 No. 1 2~7(令和2年)
- 6) 日本木材学会 木材強度・木質構造研究会：ティンバーメカニクス 木材の力学理論と応用, 18~21(2015年)
- 7) 鈴木直之：木材強度の寸法効果, 木材工業 Vol. 52 No. 6 278~282(平成9年)