

枠組壁工法建築物への県産材利用に向けた研究

平成 26 年度～平成 28 年度

木材チーム 山本 幸雄

1. 目 的

枠組壁工法は、通称 2×4（ツーバイフォー）工法と呼ばれ、断面寸法が規格化された 204 材等の枠組材で作られた枠組に合板などの面材を釘打ちしたパネルで、床や壁を構成する構造である。そのため、この工法は耐震性や耐火性に優れるなどのメリットがある。平成 23 年度に建築された木造建築物の約 20%がこの工法で建てられており、高耐震性へのニーズが高まるなか、枠組壁工法建築物の割合はますます増加すると予想されている。

しかし、枠組壁工法は、材料の規格も含めほぼ北米の木造建築工法がそのまま導入されたものであるため、これまで材料のほとんどは外国産材であった。今後、県産材を枠組壁工法建築物に利用するための強度性能を明らかにすることを目的に、スギ枠組壁工法構造用製材の曲げ試験、引張試験、2面せん断試験及びストレススキンパネル曲げ試験を行ったので報告する。

2. 試験方法

1) 供試材

試験には、県南部地域及び西部地域の、長さ 4 m、径級 $\phi 26\text{cm}$ 、 $\phi 32\text{cm}$ 、 $\phi 42\text{cm}$ のスギ丸太各 15 本、計 90 本から得た長さ 4 m の板を用いた。その後、人工乾燥、寸法調整し、縦振動ヤング係数（以下、 E_{tr} と記す）及び長さ方向の平均曲げヤング係数（以下、平均曲げヤング係数又は E_{MGFE} と記す）を求め、枠組壁工法構造用製材及び枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格（以下、枠組 JAS と記す）に準じ目視により品質を区分した。寸法型式は 204 が 93 本、206 が 57 本、208 が 83 本、210 が 61 本、212 が 25 本であった（以下、それぞれ 204、206、208、210、212 と記す）。 E_{tr} は FFT シグナルアナライザー（リオン株式会社製 SA-77）で固有周波数を測定し算出、 E_{MGFE} はグレーディングマシン（飯田工業株式会社製 MGFE-251、写真-1）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その平均値とした。

204 について、はじめに E_{tr} で昇順に並べ E_{tr} が低いほうから 8、21、34、47、60、73、86 番目の 7 本を選び 2 面せん断試験に用いた。残りの 86 本について E_{tr} の分布が等しくなるよう曲げ試験用と引張試験用に分け試験した。206、208 については、 E_{tr} の分布が等しくなるよう曲げ試験用と引張試験用に分け試験した。210 について、はじめに目視で甲種 2 級以上に区分された材を E_{tr} で昇順に並べ、1 から 13 本目、23 から 35 本目、47 から 59 本目の 39 本を選びストレススキンパネル（以下、SSP と記す）曲げ試験を、残りの 21 本を曲げ試験した。212 については全て曲げ試験した。

また比較対照用に、2 面せん断試験で 2 級又はスタンダード以上に格付された SPF の 204 を 7 本、及び SSP 試験で SPF の 210 を



写真-1 グレーディングマシン

は釘又はビスを中心に主材の長さ方向に±28mmの2, 128mm²のみに塗布した。接着剤は株式会社オーシカ製セレクトィ UR-70 を用い、1箇所あたり4～5 g 塗布した。試験体数は、各条件6体の計96体とした。図-1に24 mm合板を使用した試験体の形状を、写真-4に試験の様子を、表-1に試験体リストを示す。

5) ストレスキープパネル曲げ試験

スギ枠組用製材で床を構成したときのたわみ抑制を目的に SSP の曲げ試験を行った。SSP は、210 で作製した枠組の上面にカラマツ 24mm 構造用合板を、下面に2枚重ねし千鳥配置したスギ9 mm 構造用合板を、太め鉄丸釘 CN65 を150 mm 間隔で釘打し接合した。また一部の試験体では、下面の合板を接合する際に接着剤を併用した。接着には株式会社オーシカ製セレクトィ UR-70 を用い、1メートルあたり60 g を目標に塗布した。また比較試験として、スギ及びSPF の210 で作製した枠組の下面に合板を接合しない試験体も作製し試験した。

試験は、株式会社島津製作所製実大強度試験機 UH-1000kNAR を用いスパンは3,600mm、荷重方式は3等分点4点荷重で試験した。荷重速度は5mm/分又は10mm/分とした。試験体数は各条件3体の計12体とした。図-2に試験体の形状を、写真-5に試験体製造の様子を、写真-6に試験の様子を、表-2に試験体リストを示す。

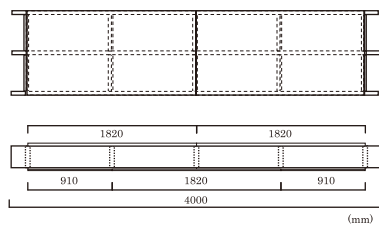


図-2 SSP 試験体の形状



写真-5 製造の様子



表-2 SSP 試験体リスト

条件	主材	上面材	下面材	接着剤
A	スギ	カラマツ構造用合板 24 mm	スギ構造用合板 9 mm	有
B	スギ	カラマツ構造用合板 24 mm	スギ構造用合板 9 mm	無
C	スギ	カラマツ構造用合板 24 mm	無	無
D	SPF	カラマツ構造用合板 24 mm	無	無

3. 結果および考察

1) 供試材

スギの E_{fr} と E_{MGFE} との関係を図-3に示す。 E_{fr} と E_{MGFE} の回帰直線の決定係数は0.77で、 E_{fr} と E_{MGFE} の間には正の高い相関が認められた。各寸法型式の目視による区分を表-3に示す。

「国産スギ、ヒノキ、カラマツの2×4住宅部材開発のための強度測定、データ収集」事業成果報告書³⁾によると204の甲種区分では特級の出現率が56.3%、1級が14.8%、2級が21.9%、3級が11.6%、206では、それぞれ64.0%、10.2%、16.9%

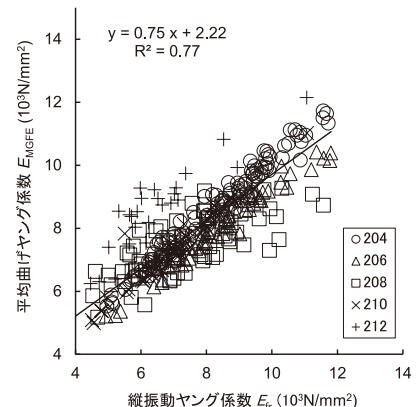


図-3 E_{fr} と E_{MGFE} との関係

表-3 目視による区分結果 ()内の数字は割合を示す

寸法 型式	甲種					乙種			
	特級	1級	2級	3級	等外	コンスト ラクシオン	スタン ダード	ユーティ リティ	等外
204	79 (84.9)	11 (11.8)	1 (1.1)	1 (1.1)	1 (1.1)	91 (97.8)	2 (2.2)	0 (0.0)	0 (0.0)
206	53 (93.0)	2 (3.5)	2 (3.5)	0 (0.0)	0 (0.0)	55 (96.5)	1 (1.8)	1 (1.8)	0 (0.0)
208	73 (88.0)	5 (6.0)	4 (4.8)	1 (1.2)	0 (0.0)	—	—	—	—
210	51 (83.6)	5 (8.2)	3 (4.9)	1 (1.6)	1 (1.6)	—	—	—	—
212	15 (60.0)	4 (16.0)	4 (16.0)	2 (8.0)	0 (0.0)	—	—	—	—

%, 5.8%となっており、本試験の供試材は、より高い等級が多い結果となった。これは、枠組 JAS が平成 27 年 3 月に改正され、スギに関して平均年輪幅による区分がなくなったことが原因のひとつと考えられる。

2) 曲げ試験

結果を表-4 に、 E_b と f_b の関係を図-4 に、特級に区分された試験体の E_b と f_b の関係を図-5 に、コンストラクションに区分された試験体の E_b と f_b の関係を図-6 に示す。目視による区分について、甲種区分では特級が 134 枚、1 級が 14 枚、2 級が 8 枚、3 級が 4 枚、乙種区分では、コンストラクションが 70 枚、スタンダードが 1 枚であった。特級及びコンストラクションに区分された材について、信頼水準 75%における 95%下側許容限界⁴⁾ (以下、5%下限値と記す、5%下限値を求めるための係数は、木材強度データの確立・統計手法⁵⁾の値を用いた) を求めたところ、全ての寸法型式で基準強度⁶⁾を上回った(表-5)。それ以外の区分については試験体数が少ないため 5%下限値について検討しなかった。

208、210、212 の E_b が 204、206 のそれよりも低いことについて、写真-2 の曲げ試験の様子に示すようにねじれを防止するためのサポートを使用したものの完全にねじれを止めることができなかつ

表-4 曲げ試験結果 (N/mm²)

	204	206	208	210	212
平均値	50.9	49.2	37.9	34.3	31.9
標準偏差	9.7	8.2	9.5	6.6	5.1
最大値	68.1	62.1	55.5	48.6	41.4
最小値	29.6	32.2	13.3	21.3	21.2
試験体数	43	28	43	21	25

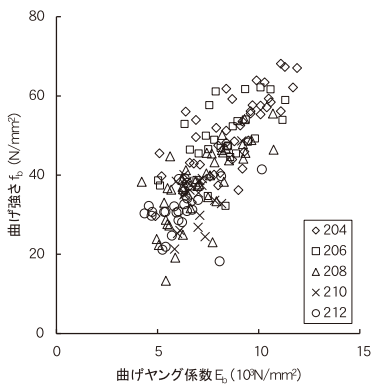


図-4 E_b と f_b の関係

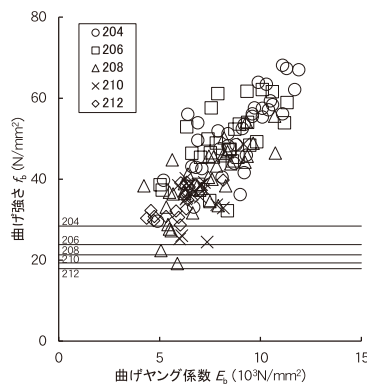


図-5 特級に区分された試験体の E_b と f_b の関係

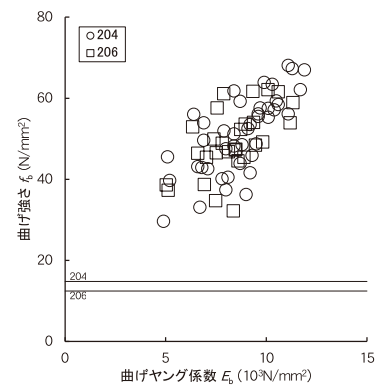


図-6 コンストラクションに区分された試験体の E_b と f_b の関係

たこと、208、210、212 を得るための丸太が 204、206 のそれより大きく元玉の割合が多かったこと等が原因と考えられる。

3) 引張試験

結果を表-6 に、 E_{MGFE} と f_t の関係を図-7 に、特級に区分された試験体の E_{MGFE} と f_t の関係を図-8 に、コン

ストラクションに区分された試験体の E_{MGFE} と f_t の関係を図-9 に示す。目視による区分について、甲種区分では特級が 98 枚、1 級が 10 枚、2 級が 3 枚、等外が 1 枚、乙種区分では、コンストラクションが 69 枚、スタンダードが 2 枚、ユーティリティが 1 枚であった。特級及びコンストラクションに区分された材について、5%下限値を求めたところ全ての寸法型式で基準強度を上回った(表-7)。それ以外の区分については試験体数が少ないため5%下限値について検討しなかった。

4) 2面せん断試験

2面せん断試験の結果を表-8 に示す。接着の有無について、いずれの試験条件でも接着を併用すると剛性、耐力、許容応力とも大きく増加した。接着無では、初期剛性はビスよりも釘接合が良いが、降伏耐力、最大耐力では釘よりもビスが良い結果となった。これは、ビスに半ネジタイプのビスを使用したため初期の変形が釘よりも大きくなったためと考えられる。また、スギと SPF の比較ではほとんど差はみられなかった。この結果から、SSP 曲げ試験の試験体について、接合具は釘を、下面には 9mm のスギ合板を使用することとした。

表-5 曲げ試験の5%下限値

区分	特級					コンストラクション	
	204	206	208	210	212	204	206
寸法型式							
平均値	51.6	49.3	39.4	35.6	33.6	51.2	49.2
標準偏差	9.6	8.3	8.0	5.9	3.8	9.6	8.2
最大値	68.1	62.1	55.5	48.6	39.7	68.1	62.1
最小値	29.6	32.2	19.1	24.4	28.6	29.6	27.6
試験体数	36	27	38	18	15	42	28
5%下限値	33.8	33.6	24.6	24.2	26.0	33.6	33.7
基準強度	28.4	23.9	21.3	19.3	17.9	14.8	12.4

表-6 引張試験結果(N/mm²)

	204	206	208
平均値	34.1	40.5	31.8
標準偏差	9.3	10.5	8.5
最大値	55.3	67.4	52.8
最小値	15.7	21.7	14.5
試験体数	43	29	40

表-7 引張試験の5%下限値

区分	特級			コンストラクション	
	204	206	208	204	206
寸法型式					
平均値	35.0	40.9	32.2	34.5	40.8
標準偏差	9.2	10.9	8.4	9.0	10.7
最大値	55.3	67.4	52.8	55.3	67.4
最小値	18.9	21.7	14.5	18.9	21.7
試験体数	37	26	35	42	27
5%下限値	18.1	20.1	16.6	18.1	20.7
基準強度	16.0	13.4	12.0	16.0	13.4

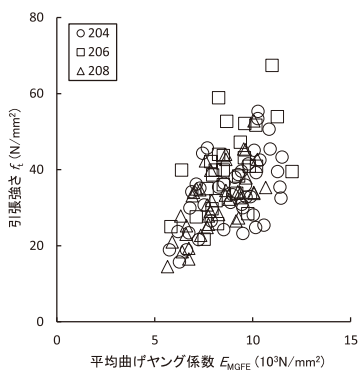


図-7 E_{MGFE} と f_t の関係

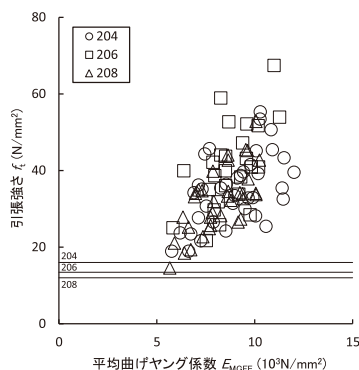


図-8 特級に区分された試験体の E_{MGFE} と f_t の関係

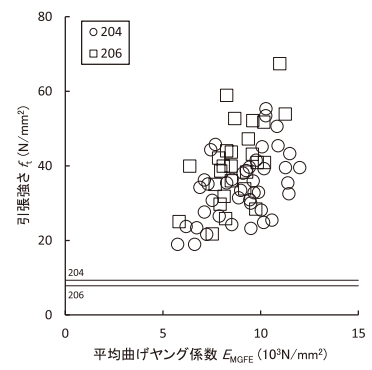


図-9 コンストラクションに区分された試験体の E_{MGFE} と f_t の関係

表-8 2面せん断試験の結果

試験体名	初期剛性	降伏耐力	最大耐力	50%下限値	2/3耐力	基準許容応力	試験体名	初期剛性	降伏耐力	最大耐力	50%下限値	2/3耐力	基準許容応力
ス9CN有	32.2	14.4	26.1	14.2	17.1	9.4	SPF9CN有	29.2	13.6	25.5	13.4	16.8	8.9
ス9CN無	3.9	3.4	6.8	3.3	4.5	2.2	SPF9CN無	4.0	3.3	5.9	3.22	3.8	2.1
ス9ビス有	74.4	15.2	29.4	14.8	19.4	9.9	SPF9ビス有	42.8	13.1	23.4	12.8	15.3	8.5
ス9ビス無	1.9	4.4	9.4	4.4	6.2	2.9	SPF9ビス無	1.3	4.2	9.3	4.2	6.0	2.8
ス24CN有	81.7	15.5	27.9	15.2	18.3	10.1	SPF24CN有	53.3	13.6	24.3	13.2	16.0	8.8
ス24CN無	4.5	3.6	6.6	3.5	4.3	2.3	SPF24CN無	6.0	3.4	5.8	3.3	3.8	2.2
ス24ビス有	86.8	14.6	26.3	14.4	17.3	9.6	SPF24ビス有	100.5	13.5	25.3	13.2	16.6	8.8
ス24ビス無	1.9	5.9	12.0	5.7	7.9	3.8	SPF24ビス無	1.7	5.2	11.2	5.1	7.3	3.4

50%下限値：試験許容応力の50%下限値、2/3耐力：2/3耐力の50%下限値、剛性（kN/mm）、耐力・応力（kN）

5) ストレススキンパネル曲げ試験

試験結果を表-9に示す。接着の有無について、接着を併用した場合、初期剛性、降伏耐力ともに性能向上が見込まれるが、接着剤を使用しない場合、下面の合板の有無では大きな性能向上は見込めないこと、スギとSPFでは初期剛性はSPFが大きいものの降伏耐力ではスギが大きく、2面せん断試験とは異なる結果となっ

表-9 ストレススキンパネル曲げ試験結果

た。これは、2面せん断試験は主材のヤング係数の影響を受けづらいためと考えられる。

条件	樹種	接着剤	初期剛性(kN/mm)		降伏耐力(kN)		最大耐力(kN)	
			平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
A	スギ	有	2.6	0.25	40.1	4.64	80.7	9.60
B	スギ	無	2.0	0.34	35.3	9.59	66.7	7.08
C	スギ	無	1.4	0.29	39.1	6.47	77.5	13.1
D	SPF	無	1.7	0.15	33.8	2.54	56.7	8.40

まとめ

県産材を枠組壁工法建築物に利用するため試験を行った結果、以下のことが分かった。

- 1) 県産スギ丸太から得た、目視により特級及びビコンストラクションに区分された枠組壁工法構造用製材の、曲げ及び引張の5%下限値は基準強度を上回った。
- 2) スギ枠組壁工法構造用製材で床を構成したときのたわみについて、接着剤を併用したSSPで抑制できる。

参考文献

- 1) 枠組壁工法建築物設計の手引き・構造計算指針編集委員会：2007年枠組壁工法建築物 構造計算指針, 236-251p (平成19年)
- 2) 河村進、稲山正弘、李元羽、成田敏基、木材学会誌、p227-234(平成26年)
- 3) 全国木材協同組合連合会、国産材製材協会：「国産スギ、ヒノキ、カラマツの2×4住宅部材開発のための強度測定、データ収集」事業成果報告書 (平成23年)
- 4) 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—, 153p (平成18年)
- 5) 堀江和美：木材強度データの確率・統計手法 (平成9年)
- 6) 建設省告示第1452号、木材の基準強度 F_c 、 F_t 、 F_b 及び F_s を定める件 (平成12年)

県産材を用いた直交集成板 (CLT) の開発に関する研究

平成 27年度～平成 29年度

木材チーム 山本幸雄

1. 目 的

近年、欧州で開発された新しい木質構造用材料 Cross Laminated Timber : 直交集成板 (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。この新しい木質構造用材料については、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) として制定されたことを受け、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。

そこで、本年度は、昨年度に引き続き県産スギを用いた CLT を作製し、昨年度作製した CLT¹⁾ と今年度作製した CLT の性能試験を行ったので報告する。

2. 試験方法

1) 供試ラミナ

昨年度は、スギ心持ち粗ラミナ 500 枚と心去り粗ラミナ 500 枚の寸法、含水率、重量、固有振動周波数を測定し縦振動ヤング係数 (以下、粗ラミナ E_{tr} と記す) を求め、粗ラミナ E_{tr} が低いほうから 300 枚を購入し、A 種構成の S30-3-3 CLT 4 体を製造した。今年度の供試ラミナは、昨年度の残った 179 枚である。

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) で、縦振動ヤング係数は 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算出した。

2) CLT の仕様と節径比の測定

作製する CLT の目標仕様は、縦つぎのないスギラミナを幅はぎ接着した A 種構成 Mx60-3-3、仕上がり厚さ 90mm、幅 1,000mm、長さ 3,000mm を 4 体とした。

この CLT を作製するために、粗ラミナ 179 枚のうち、粗ラミナ E_{tr} が高いほうから外層用ラミナ 64 枚、低いほうから内層用ラミナ 32 枚、計 96 枚を選び、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)、縦振動ヤング係数 (以下、仕上げラミナ E_{tr} と記す) を測定した。その後、機械等級区分機で区分したラミナで CLT を作製するときの節の基準である幅面の材縁部の節径比、目視で等級区分したラミナで CLT を作製するときの節の基準である集中節径比を測定し、CLT-JAS に準じ格付した。ただし、CLT の作製において節の基準に関しては考慮しなかった。

3) 機械等級区分機による仕上げラミナの曲げヤング係数の測定及び CLT の作製

仕上げラミナ 96 枚を、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 と記す) を求めた。ついで、粗ラミナ E_{tr} の分布が等しくなるように 8 枚を一組とし外層用ラミナは 8 組に、内層用ラミナは 4 組にわけた。この 8 枚組のうち 7 枚を幅はぎし、幅はぎプライを作製した。幅はぎは、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) をハンドローラーで塗布した後、圧縮圧 0.75MPa の高周波プレスで 4 分ないし 5 分圧縮し作製した。

この幅はぎプライをワイドベルトサンダーで厚さ 30mm に仕上げた後、弱軸プライ用は長さ

1,005mm で切断した。積層は、幅はぎと同じ接着剤をロールコーターで積層面片側に塗布し、圧縮圧 0.65MPa のコールドプレスで 100 分圧縮した。解圧後、1 週間以上養生し幅 1,000mm、長さ 3,000mm に仕上げた。

4) CLT の曲げヤング係数測定、曲げ試験、縦圧縮試験、せん断試験、座屈試験

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 または SDP-100CT を用いた。試験は温湿度制御の無い室内で行った。

(1) CLT の曲げヤング係数測定

昨年度作製した幅 1,000 mm、長さ 3,000 mm の S30-3-3 CLT3 体及び今年度作製した Mx60-3-3 CLT4 体について、CLT の曲げヤング係数（以下、CLT- E と記す）を測定した。スパンは 2,700 mm の 3 等分点 4 点荷重で、載荷速度は 5 mm/分とした。変位はスパン中央、荷重点下の材の両側で測定した。CLT- E は基準強度から計算して得た予想破壊荷重の 0.1 倍と 1/3 倍の区間から求めた。測定の様子を写真-1 に示す。

次いで、作製した CLT から、強軸方向の曲げ試験用に幅 300 mm、長さ 2,060 mm 2 体、縦圧縮試験用に幅 300 mm、長さ 540 mm 1 体、せん断試験用に幅 300 mm、長さ 630 mm 1 体、座屈試験用に幅 300 mm、長さ 3,000 mm 1 体、弱軸方向のせん断試験用に幅 300 mm、長さ 630 mm 1 体を作製した。試験体の木取を図-1 に示す。

(2) 曲げ試験

曲げ試験は、CLT-JAS の別記 3 試験の方法（6）曲げ試験に準じて行った。スパンは 1,890 mm の 3 等分点 4 点荷重で、載荷速度は 10 mm/分とした。変位はスパン中央、荷重点下の材の両側で測定した。初めに上面から加力し曲げヤング係数を測定し、次いで試験体を裏返し曲げ試験した。試験の様子を写真-2 に示す。

(3) 縦圧縮試験

縦圧縮試験は、構造用木材の強度試験マニュアル²⁾（以下、強度試験マニュアルと記す）の I. 構造用木材の強度試験方法 9. 縦圧縮強さ及び縦圧縮ヤング係数に準じて行った。載荷速度は 1 mm/分とした。試験の様子を写真-3 に示す。

(4) せん断試験

せん断試験は CLT-JAS の別記 3 試験の方法（8）せん断試験に準じて行った。ただしスパンは 520 mm とした。載荷速度は 5 mm/分とした。試験の様子を写真-4 に示す。

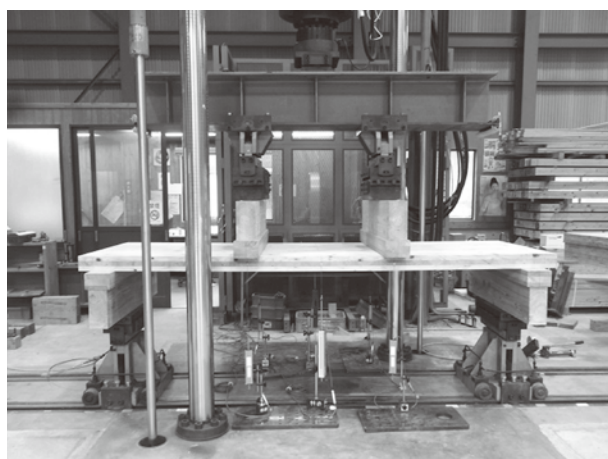


写真-1 CLT の曲げヤング係数測定の様子

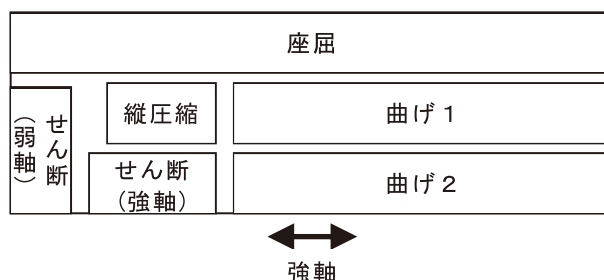


図-1 試験体の木取

(5) 座屈試験

座屈試験に先立ち、試験体の曲げヤング係数を求めた。曲げヤング係数は、スパンを 2,700 mm の 3 等分点 4 点荷重で荷重速度は 5 mm/分、変位はスパン中央、荷重点下の両側で測定し、基準強度から計算して得た予想破壊荷重の 0.1 倍と 1/3 倍の区間から求めた。座屈試験は、強度試験マニュアルの II. 座屈試験法に準じて行った。ナイフエッジ間隔 3,200mm、荷重速度 1 mm/分とした。変位はナイフエッジ間中央の材の左右 2 カ所で測定した。試験の様子を写真-5 に示す。

3. 結果および考察

1) 供試ラミナ

粗ラミナ 179 枚の性状を表-1 に、粗ラミナ E_{fr} の分布を図-1 に、心持ち粗ラミナ 500 枚と心去り粗ラミナ 500 枚の粗ラミナ E_{fr} の分布を図-2 に示す。心持ち粗ラミナ 500 枚と心去り粗ラミナ 500 枚の粗ラミナ E_{fr} (10^3N/mm^2) の平均値は 7.5、最大値が 13.9、最小値が 3.3、標準偏差が 1.73 で、昨年度購入した 300 枚のそれが、それぞれ 5.6、6.8、3.3、0.68 であった。これらから、今年度の供試ラミナの粗ラミナ E_{fr} は、平均値が平均的な県産スギラミナのそれよりも低く、かつそのばらつきは小さいことがわかる。

2) CLT の仕様と節径比の測定

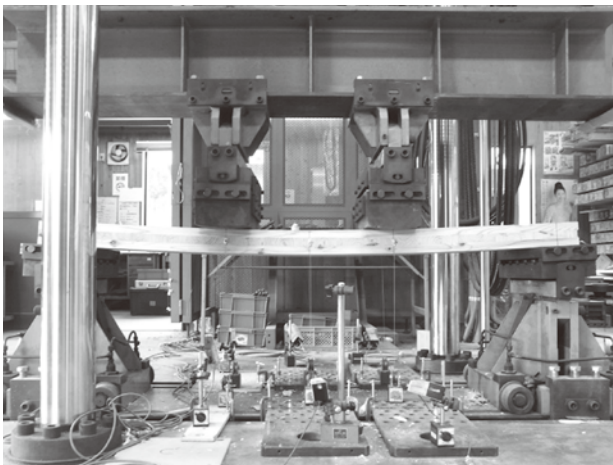


写真-2 曲げ試験の様子

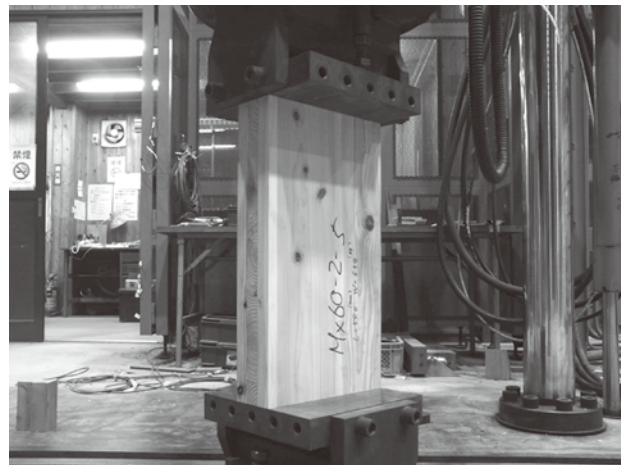


写真-3 縦圧縮試験の様子

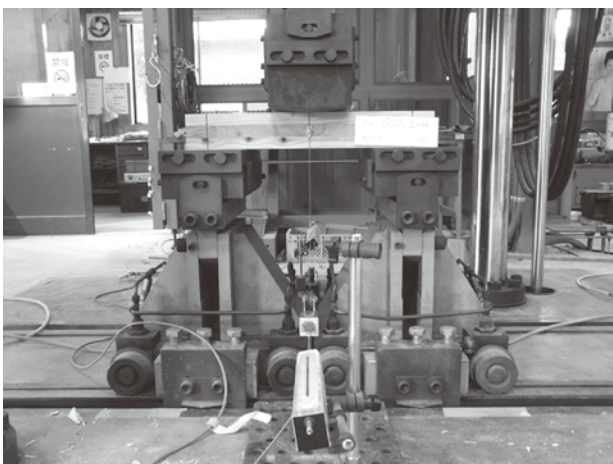


写真-4 せん断試験の様子



写真-5 座屈試験の様子

外層用ラミナ及び内層用ラミナの粗ラミナ E_{fr} (10^3N/mm^2) の平均値は 6.1、最低値が 5.3 だった。外層、内層用粗ラミナ E_{fr} の分布を図-3 に、粗ラミナ E_{fr} と仕上げラミナ E_{fr} の関係を図-4 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。

CLT-JAS の幅面の材縁部の節径比基準を満たさなかったラミナは、外層用が 10.7%、内層用が

表-1 供試粗ラミナの性状

	寸法(mm)			重量 (kg)	平均含 水率(%)	密度 (kg/m^3)	E_{fr} (10^3N/mm^2)
	幅	厚	長				
平均値	161.6	36.0	4047	9.87	14.0	420	6.0
最大値	165.2	37.9	4058	11.98	24.0	503	6.8
最小値	158.5	34.2	3993	7.91	8.5	322	5.3
標準偏差	1.25	0.55	9.09	1.00	3.68	42.8	0.38

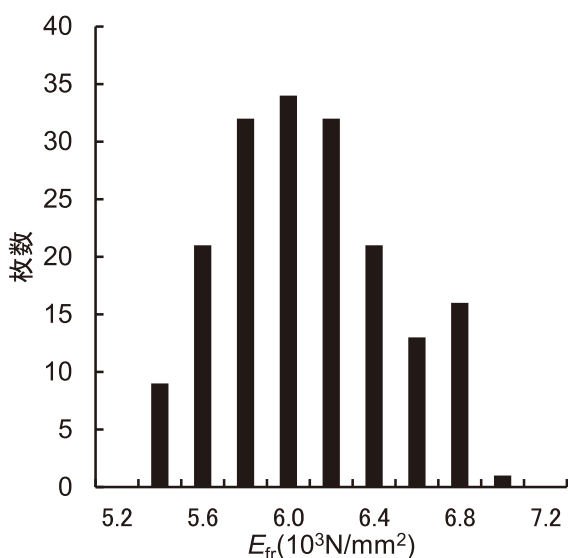


図-1 粗ラミナ E_{fr} の分布

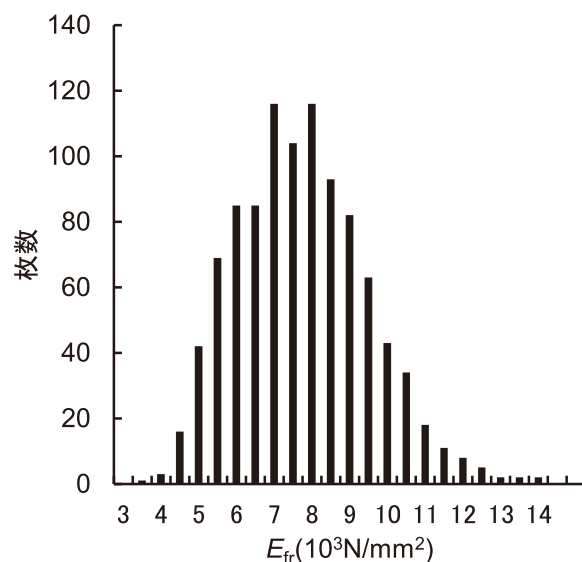


図-2 粗ラミナ 1000 枚の E_{fr} の分布

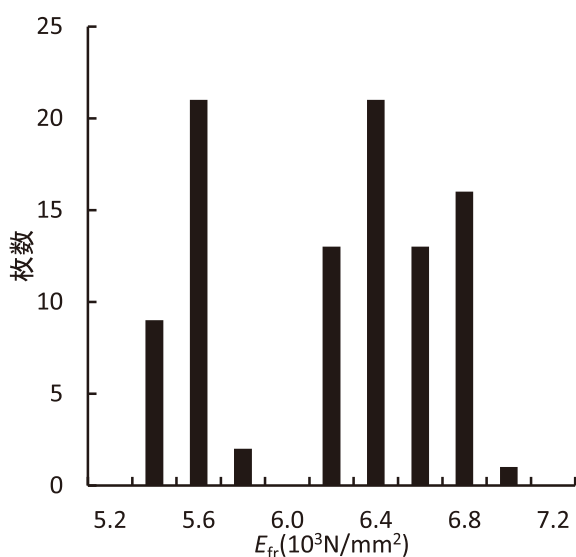


図-3 外層、内層用粗ラミナ E_{fr} の分布

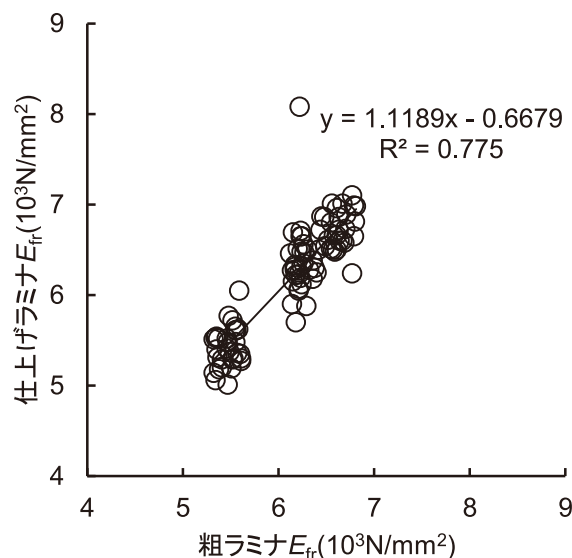


図-4 粗ラミナと仕上げラミナ E_{fr} の関係

14.3%、集中節径比の節径比基準を満たさなかったラミナは、外層用が 17.9%、内層用が 21.4%であった。幅面の材縁部の節径比基準は等級区分機で等級区分したラミナに適応する基準で、集中節径比の節径比基準は目視で等級区分したラミナに適応する基準である。このことから節の基準に関しては機械等級区分による品質区分は、CLT 製造時のラミナの歩留まり向上において有効であると考えられる。

3)機械等級区分機による仕上げラミナの曲げヤング係数の測定及び CLT の製造

仕上げラミナ E (10^3N/mm^2) の平均値は 6.0、最小値は 5.0、標準偏差は 0.60 で、CLT-JAS の A 種構成に用いる等級区分機による M60A 区分ラミナの強度性能の基準を満たした。仕上げラミナ E_{fr} と仕上げラミナ E の関係を図-5 に示す。仕上げラミナ E 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。

4)CLT の曲げヤング係数測定、曲げ試験、縦圧縮試験、せん断試験、座屈試験

CLT の曲げヤング係数測定、曲げ試験、せん断試験、座屈試験の結果を、表-2 に示す。

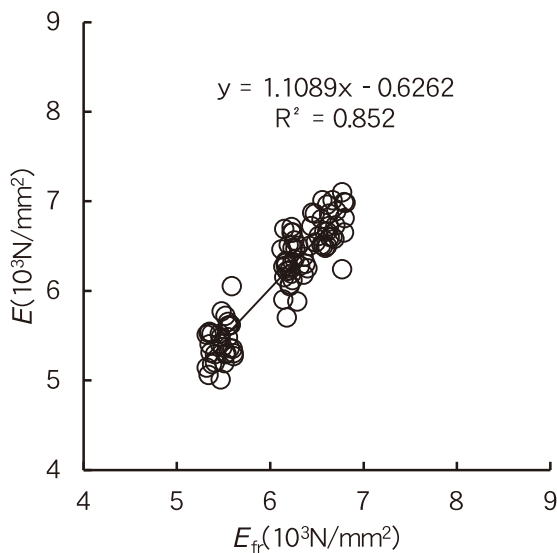


図-5 仕上げラミナの E_{fr} と E の関係

Mx60、S30 とも、曲げ試験の E の平均値と最小値、曲げ強さが、CLT-JAS に規定する曲げヤング係数、曲げ強さの値を超えておりその性能を満たした。

また、いずれの強度も平 13 国交告示 1024 号³⁾ に示されている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。

4. まとめ

県産スギラミナについて、粗ラミナの縦振動ヤング係数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。

県産スギラミナで製造した A 種構成の S30-3-3 CLT と Mx60-3-3 CLT について、CLT-JAS に定

表-2 CLT の曲げヤング係数、曲げ試験、せん断試験、座屈試験の結果

種類	項目	$E(10^3\text{N/mm}^2)$ 、強さ (N/mm^2)										
		CLT- E		曲げ			縦圧縮	せん断強さ		座屈		
		表	裏	E		強さ		強さ	強軸	弱軸	E	
				表	裏					表	裏	
Mx60	平均値	6.6	6.6	7.2	7.2	39.2	22.2	5.1	1.4	6.9	6.7	5.0
	最大値	6.8	6.7	7.7	7.5	46.9	22.7	5.3	1.7	7.2	7.1	6.4
	最小値	6.3	6.3	6.8	6.5	34.3	21.6	5.0	1.1	6.5	6.2	3.8
	標準偏差	0.27	0.18	0.37	0.35	4.79	0.476	0.14	0.27	0.31	0.37	1.13
S30	平均値	4.7	4.7	4.7	4.7	31.8	18.9	4.5	1.4	4.8	4.8	2.8
	最大値	5.0	4.9	5.2	5.2	36.3	19.9	5.1	1.5	4.9	5.0	2.9
	最小値	4.5	4.5	4.3	4.3	29.0	18.0	3.7	1.3	4.6	4.4	2.7
	標準偏差	0.24	0.20	0.34	0.32	2.76	0.976	0.71	0.08	0.19	0.30	0.13

められたヤング係数及び曲げ強さ、平 13 国交告示 1024 号に示されている、曲げ、縦圧縮、せん断、座屈の基準強度を満足した。

参考文献

- 1) 小谷公人：大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報（第 58 号），28-33，平成 27 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 月）
- 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

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－

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。

これに伴い径 30cm を超える大径材の生産割合が高くなっているが、特に径が 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。

2. 試験方法

1) 乾燥試験

(1) 高温セット+天然乾燥試験

試験材は、県南部地区及び西部地区の製材所が末口径 42cm～50cm、材長 4m の丸太から図-1 の木取りで製材した幅 130mm、厚さ 125mm の正角材各 24 本計 48 本を用いた。

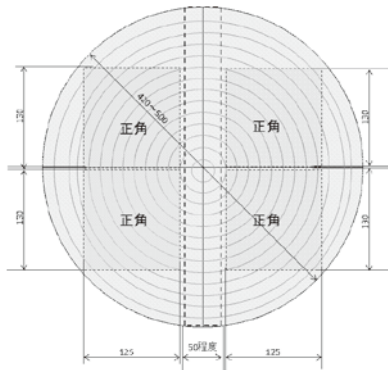


図-1 木取り図



写真-1 散水養生の状況

試験材は表面の乾燥を防ぐためシートを掛け散水養生(写真-1)し、図-2 のスケジュールで高温セットを行った。その後室内に 6 ヶ月間置き乾燥を行った。

測定は高温セット前 (以下釜入前と記す)、高温セット後 (以下窯出後と記す)、高温セット終了から 3 ヶ月後 (以下 3 月後と記す) 及び同 6 ヶ月後 (以下 6 月後と記す) 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 (楸ケツト

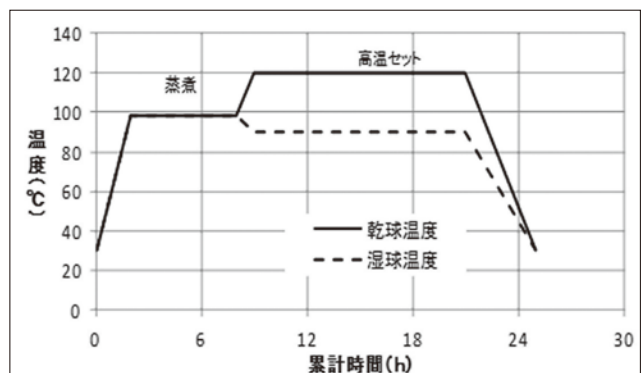


図-2 高温セットのスケジュール

科学研究所製、HM-520) を用いた中央部 4 面の含水率とした。ただし、重量は毎月測定した。

また、固有振動数と密度から縦振動ヤング係数（以下 E_{tr} と記す）を求めた。なお、高温セットは平成 28 年 7 月 28 日から 29 日にかけて行った。

6 月後に各木口の 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を測定した。

(2) 乾燥材の経過観察試験

昨年度乾燥試験を行った 105mm 正角材 60 本及び 105mm×240mm の平角材 30 本を 10 ヶ月間室内に置き、上記試験 1) の (1) と同様の項目の測定を行った。

2) 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」（以下マニュアルと記す）に準じて行い、試験材は昨年度乾燥試験に用いた 1) の (2) の材料とした。

曲げ、圧縮試験には（株）島津製作所製 UH-1000kNAR を使用した。

(1) 曲げ試験

正角材は E_{tr} の平均が等しくなるように 4 等分し、それぞれ荷重面を a～d の 4 方向で曲げ試験（写真-2）を行い曲げ強さ（以下 MOR と記す）を求めた。また、荷重面と相対する面の曲げヤング係数（以下 MOE と記す）も測定した。なお、荷重面 a、b、c、d の位置は図-3 による。

平角材は E_{tr} が等しくなるように 2 等分し、それぞれ荷重面を短辺の c 及び d の 2 方向で曲げ試験を行い、MOR を求めた。また、a～d の 4 面を荷重面とした MOE も測定した。

載荷速度は、正角材は 20mm/min、平角材は 10mm/min とした。

試験終了後、両木口の 30cm 以上内側から厚さ 2.5cm の試験片を採取し全乾法で含水率を測定した。

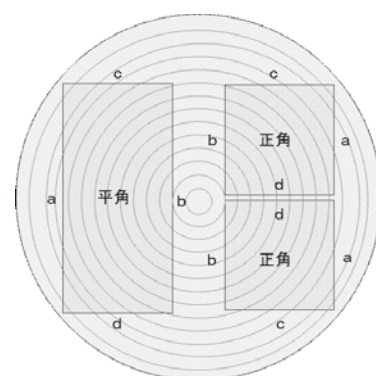


図-3 荷重面

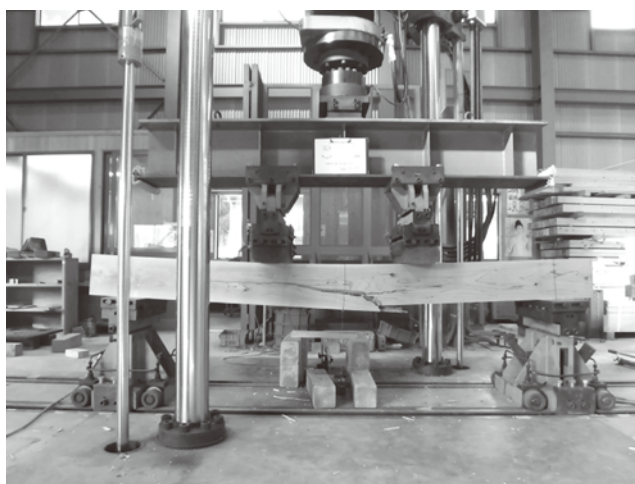


写真-2 曲げ試験状況（平角）

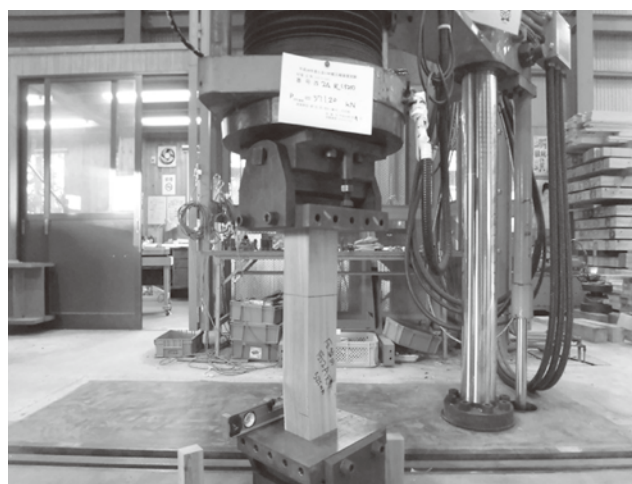


写真-3 縦圧縮試験状況（正角）

(2) 縦圧縮試験

曲げ試験終了後、曲げ試験材の損傷の少ないから部分から、短辺の 4～6 倍の長さの試験体を各 1 体取り出し、縦圧縮試験（写真-3）を行い、縦圧縮強さを求めた。載荷速度は 3mm/min とした。

3. 結果及び考察

1) 乾燥試験

(1) 高温セット+天然乾燥試験

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-4に、6月後に測定した全乾含水率と重量から推定した全乾含水率の推移を図-5に示す。

表-1及び図-5から乾燥処理及び時間の経過に伴って寸法、質量、密度、含水率の値は小さくなり、 E_{fr} の値は大きくなった。

4面の矢高で最も大きいものを最大矢高とし、その基準を材長の1/1000以下(以下基準と記す)とすると、これを超える材の本数割合は窯出し後及び3月後までは2割程度ずつ増加したが、6月後はその1/4程度の増加となった。また、全乾含水率も3月後までは減少割合が大きい6月後は比較的小さかった。これらから、そりの変化は含水率の変化によって生じているものと考えられた。

割れの測定結果から、表面割れは数個の木口割れ以外はほとんど、内部割れは全く観察されなかった。これは表面割れについては散水養生及び高温セットが、内部割れについては水分傾斜が大きくなり乾燥方法を採用したことが影響したものと推察された。

表-1 乾燥試験の測定結果

測定	地区	本数	寸法(mm)			重量(kg)	密度(kg/m ³)	E_{fr} (10 ³ N/mm ²)	含水率(%)
			材長	幅	厚さ				
釜 入 前	南部	24	4158	131.6	126.5	42.58	615	5.5	86.6
	西部	24	4127	130.3	125.7	41.87	618	6.0	90.3
	全体	48	4143	131.0	126.1	42.22	617	5.8	88.5
釜 出 後	南部	24	4159	131.7	126.2	35.03	507	5.3	50.5
	西部	24	4127	130.4	125.5	32.77	485	5.8	46.0
	全体	48	4143	131.0	125.8	33.90	496	5.6	48.3
3 月 後	南部	24	4158	129.9	124.6	25.04	372	5.8	20.3
	西部	24	4123	127.9	123.6	25.40	390	6.6	19.1
	全体	48	4140	128.9	124.1	25.22	381	6.2	19.7
6 月 後	南部	24	4156	129.5	124.2	24.43	365	6.0	16.8
	西部	24	4125	127.8	123.6	25.27	388	6.7	18.0
	全体	48	4140	128.6	123.9	29.87	377	6.3	17.4

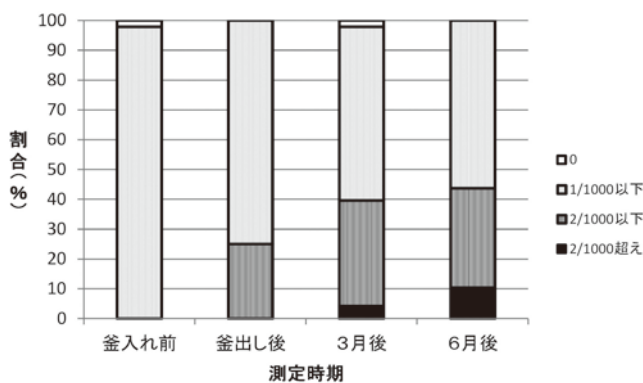


図-4 最大矢高の割合の推移

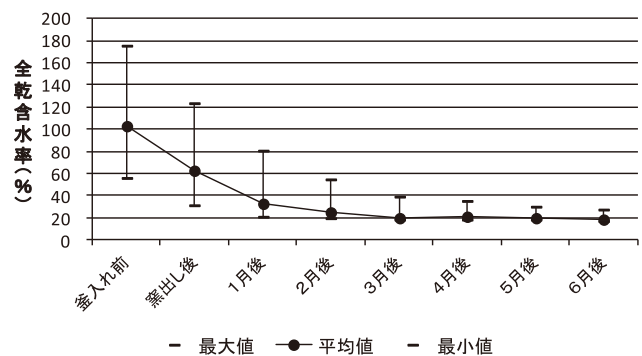


図-5 全乾含水率の推移

(2) 乾燥材の経過観察試験

測定結果を表-2、面毎の矢高の割合を図-6に示す。

昨年度の仕上げ後の結果¹⁾と比較すると重量、含水率、平角の幅等が減少し、 E_{fr} が上昇した。また、最大矢高は基準を超えた材の本数割合が正角では5%から15%に、平角材は3%から20%に増加したが、昨年と同様、面毎のそりに大きな差は無かった。

表-2 仕上げから10ヶ月後の測定結果

区分	地区	本数	寸法(mm)			重量(kg)	密度(kg/m ³)	E_{fr} (10 ³ N/mm ²)	含水率(%)
			材長	幅	厚さ				
正角材	南部	30	2995	104.6	104.6	11.73	358	6.7	12.2
	西部	30	2997	105.4	105.4	13.12	394	8.1	13.4
	全体	60	2996	105.0	105.0	12.42	376	7.4	12.8
平角材	南部	15	3000	237.0	104.9	27.29	394	6.7	11.4
	西部	15	3002	238.8	105.4	30.12	399	7.9	13.1
	全体	30	3001	237.9	105.1	28.71	383	7.3	12.2

2) 強度試験

(1) 曲げ試験

曲げ試験結果を表-3に示す。なお、MOR及びMOEはマニュアル V章8節試験結果の標準条件への調整法 2項木材の寸法及び荷重条件による調節に準じて補正した数値の平均値を記載した。

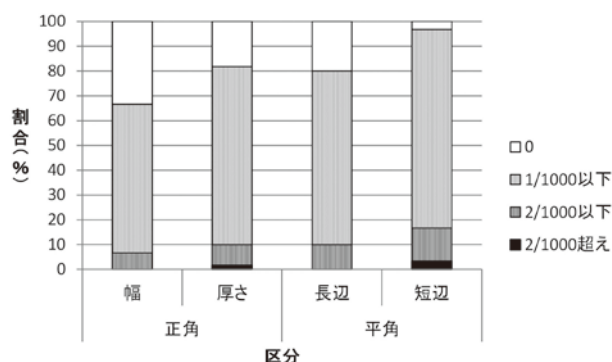


図-6 面毎の矢高の割合

表-3 曲げ強度試験結果一覧表

区分	地区	本数	E_{fr} (10 ³ N/mm ²)	MOE(10 ³ N/mm ²)				MOR(N/mm ²)				全乾含水率(%)
				a	b	c	d	a	b	c	d	
正角材	南部	30	6.7	6.3	6.3	6.3	6.3	31.7	37.8	35.3	37.8	13.1
	西部	30	8.1	7.5	7.5	7.6	7.6	48.8	53.9	49.0	51.1	12.2
	全体	60	7.4	7.0	6.9	6.9	6.9	40.8	46.4	40.8	46.9	12.7
平角材	南部	15	6.7	6.4	6.4	6.1	6.1	—	—	32.9	24.5	13.1
	西部	15	7.9	7.4	7.4	7.3	7.3	—	—	41.1	35.2	12.2
	全体	30	7.3	6.9	6.9	6.7	6.7	—	—	37.3	29.5	12.6

一般的に E_{fr} と MOE の関係は 5%~10%ほど E_{fr} が大きい値を示すと言われているが²⁾、心去り材も同様の傾向を示した。

また、相対する荷重面の MOE は、正角材ではおおむね同じ値を示し、平角材では正角材に比べて多少ばらつきはあるがおおむね近い値を示した。平角材の長辺側と短辺側の MOE は、短辺側の荷重の方がわずかであるが小さい値を示した。

正角材の MOR を相対する a、b 及び c、d の面で比較すると木裏側から荷重をかけた b 及び d 面の方が大きい値を示す傾向³⁾にあった。

正角材の MOR と国交省が定めた「製材の日本農林規格」(以下 JAS と記す)の機械等級区分の基準強度(以下基準強度と記す)との関係を木裏荷重と木表荷重に区分し図-7 に示した。ただし、JAS の機械等級区分の規格(以下規格と記す)に入らないものは除いた。

図-7 からほとんどの材、特に木裏から荷重をかけた材はすべて基準強度より大きい値を示した。これらから、正角材を横使いする場合、木裏側から荷重をかけた方がより安全であると考えられる。

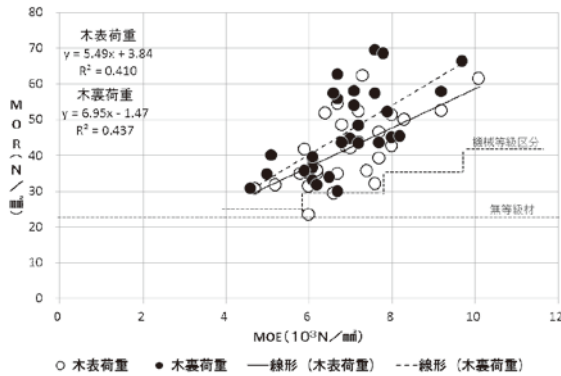


図-7 正角材の MOE と基準強度の関係

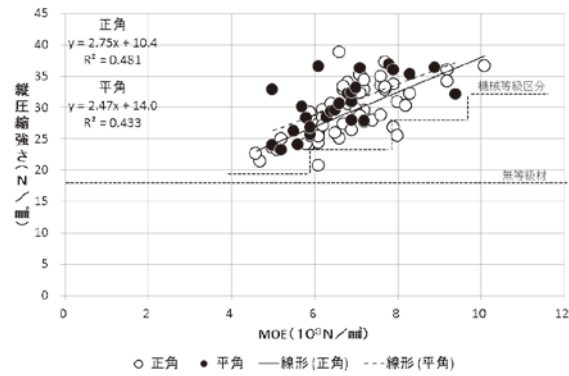


図-8 縦圧縮強さと基準強度の関係

(2) 縦圧縮試験

縦圧縮試験の結果を表-4 に、縦圧縮強さと基準強度の関係を図-8 に示す。ただし、図では上記と同様に規格に入らないものは除いた。

なお、曲げ試験時のせん断破壊等で試験体が確保できないものがあつたので試験体数が曲げ試験より少なくなつた。

図-8 から平角材は全て、正角材はほとんどの材が基準強度より大きい値を示した。

表-4 縦圧縮試験結果

区分	地区	本数	縦圧縮強さ (N/mm ²)
正角材	南部	30	26.3
	西部	25	32.4
	全体	55	29.1
平角材	南部	15	27.6
	西部	12	33.8
	全体	27	30.3

4. まとめ

1 日の高温セットと 6 月の天然乾燥で割れがなく含水率 20%以下の心去り正角材が製造できることが確認出来た。しかし、高温セットによるそりの抑制効果は確認出来なかった。

次に、曲げ及び圧縮強さは基準強度をおおむね満足することから、これらの強度を期待した JAS 製品として建築に使用することに問題はないと考えられた。

しかし、昨年乾燥試験に供された仕上げ材の 10 ヶ月後の測定結果から、最大矢高の基準を超える材の増加が観察された。このことから仕上げ後にそり等の変化を小さくするため、目標含水率の修正やそれに伴う効率的な乾燥方法の開発が今後の課題になると考えられた。

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－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 28 年)

2) 構造用木材の強度試験マニュアル：(公財) 日本住宅・木材技術センター(平成 23 年)

3) 椎葉淳ら：国産スギ大径材から得られた心去り正角材の建築構造物への適用、日本建築学会構造系論文集：78 (688)、1105-1112(平成 25 年)