

(資 料)

アカマツCLTの強度性能*

後藤 幸広**, 谷内 博規

Strength properties of Akamatsu CLT

Yukihiro GOTO, Hironori TANIUCHI

要 旨

岩手県に豊富にあるアカマツ資源の利用促進の一方策として、アカマツCLTを試作し、曲げ、圧縮、せん断、めり込み試験を実施し、平成30年国土交通省告示第1324号に示される基準強度への適合性について評価を行った。その結果、アカマツCLTの強度性能は、曲げ、圧縮、めり込みでは基準強度を上回ることが検証された。しかし、せん断強度については、ほとんどの構成のCLTで基準を上回ったが、3層3プライ弱軸パネルの積層方向のせん断強度では基準を下回る傾向があり、CLT製造時、2層目に高強度ラミナを配置する必要があると示唆された。

キーワード：アカマツ、CLT、基準強度、強度性能、ヤング係数

目 次

はじめに	36
1 実験方法	36
1.1 供試ラミナ	36
1.2 CLT 試作	36
1.3 強度試験	36
1.3.1 曲げ試験	37
1.3.2 圧縮試験	37
1.3.3 せん断試験	37
1.3.4 めり込み試験	37
1.4 基準強度の算出	38
2 結果と考察	38
2.1 曲げ試験	38
2.2 圧縮試験	39
2.3 せん断試験	39
2.4 めり込み試験	39
まとめ	40
引用文献	40

* 本研究の一部は、農林水産業・食品産業科学技術推進事業「薬剤使用の制約に対応する松くい虫対策技術の刷新」（平成27～29年度，課題番号27020C）により実施した。

** 現岩手県農林水産部森林整備課

はじめに

Cross Laminated Timber (以下、CLT) は、ラミナを層ごとに直交するよう積層接着してパネル化された材料である。CLT は、1970 年代にドイツ・オーストリアを中心に研究が始められ、その後、欧州、北米を中心に CLT パネルを用いた中高層建築物の建設が進められている³⁾。

国内では、木材の利用促進、需要拡大による戦後植林され蓄積量が増加する森林資源の活用、地域の林業・木材産業の振興のため、2011 年から CLT の本格的な研究開発が進められ、2013 年には直交集成板の日本農林規格 (以下、JAS) が制定、2019 年に改正されている。また、2016 年には平成 28 年国土交通省告示第 562 号が公布され、CLT の強度等の技術基準が新設され、さらに 2018 年の改正 (平成 30 年国土交通省告示第 1324 号) により、機械等級区分で M90 及び M120 のラミナ強度、目視等級区分で樹種群に応じたラミナ強度が追加されている。

一般に、建築を行う際、その建築物の構造部分の安全性を確保するため、構造計算が行われる。構造計算には、想定される荷重や構造部材の許容応力度等が必要となり、CLT についても前述した国土交通省告示の技術基準により、圧縮、引張、曲げ、せん断の長期、短期に生ずる許容応力度が定められている。また、許容応力度は材料強度から算出され、さらに材料強度は、JAS におけるラミナの強度性能の基準等により規定される基準強度の数値とされている。したがって、CLT を建築物へ利用するためには、CLT の様々な強度性能を評価し、基準強度への適合性を検証する必要がある。

前報⁹⁾では、県内に賦存量が多いアカマツ資源の利用促進の一方策として、アカマツ材の CLT への利用適性について、製材歩留まり、ラミナの強度性能について報告したが、これまで、アカマツ CLT を試作し、強度性能を評価した報告はない。そこで、今回はアカマツ CLT を試作し、曲げ、圧縮、せん断、めり込み試験を実施し、基準強度への適合性について評価を行った。

1 実験方法

1.1 供試ラミナ

2015～2017年に、久慈市、奥州市、洋野町のアカマツ丸太からラミナを製材し、人工乾燥 (中温乾燥 80℃) を行った。その後、アカマツラミナは、飯田工業製グレーディングマシーン (MGN-101 型) を

用いて、曲げヤング係数 (以下 MOE) を測定し、JAS に基づく機械等級区分を行った。ラミナは等級区別に、節切除、フィンガージョイント加工を実施し、表 1 の通りラミナを調製して、アカマツ CLT の試作に供した。

表1 供試アカマツラミナ

年	ラミナ等級	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	枚数	MOE(kN/mm ²)			
						平均値	最大	最小	C.V.(%)
2015	M90A	6,040	110	30	48	11.5	17.2	9.2	13.1
		2,700	110	30	108				
	M60A	6,040	110	30	72	7.5	9.1	5.0	12.5
		2,700	110	30	162				
2016	M120A	6,000	110	30	94	12.2	18.5	10.5	11.5
		5,270	110	30	68				
	M90A	6,000	110	30	95	9.0	10.4	7.5	9.5
		5,270	110	30	69				
2017	M120A	4,000	110	30	146	13.4	17.4	10.6	8.2
		4,000	110	30	205				
	M90A	4,000	110	30	94	10.4	13.3	8.2	9.2
		4,000	110	30	206				

1.2 CLT 試作

表 2 に示す条件で、アカマツ CLT を試作した。CLT の試作は、岡山県真庭市、岩手県奥州市、宮城県石巻市の木材加工事業体および当センター (岩手県矢巾町) の施設で行った。なお、積層接着には水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤を用い、塗布量 200g/m²、圧縮圧 1.0MPa、圧縮時間は 60 分間とした。その後、試作した CLT から試験体を切り出し、曲げ、圧縮、せん断、めり込み試験に供した。なお、強軸とは、最外層ラミナが CLT の長さ方向と平行に配置されているものを示し、弱軸とは最外層ラミナが CLT の長さ方向と直交して配置されているものを示す。

表2 試作したCLT

年	強軸 弱軸	強度 等級	製造場所	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)	試験 体数
2015	強軸	Mx90-5-5	岡山県 真庭市	6,000	2,700	90	1
		Mx90-3-3	岩手県 奥州市	1,887	945	75	3
2016	強軸	S120-5-5	岡山県 真庭市	6,000	2,700	150	1
		S120-5-5	自作	3,850	440	150	3
		S90-5-5	岡山県 真庭市	6,000	2,700	150	1
		S90-5-5	自作	3,850	440	150	1
2017	弱軸	S120-5-5	宮城県 石巻市	4,000	1,000	150	3
		S120-3-3	宮城県 石巻市	4,000	1,000	90	3
		S90-5-5	宮城県 石巻市	4,000	1,000	150	3
		S90-3-3	宮城県 石巻市	4,000	1,000	90	3

1.3 強度試験

強度試験には、前川試験機製作所製の実大木材強度試験機を用いた。圧縮、曲げ、せん断、めり込み

試験に供した試験体，試験方法を以下に示す。

1.3.1 曲げ試験

1.3.1.1 供試材料

試験体として，強度等級 Mx90-3-3, S90-3-3, S120-3-3, Mx90-5-5, S90-5-5, S120-5-5 を調製し，表3のとおり強軸，弱軸，積層方向（以下，FW），幅方向（以下，EW）別に試験に供した。

1.3.1.2 試験方法

CLT 試験体は曲げ試験の前に，縦振動法⁸⁾により動的ヤング係数（以下，Efr）を，T.G.H. 法⁹⁾により動的弾性係数を測定した。曲げ試験は，JAS に準拠して行い，MOE，曲げ強度を測定した。また，構造用木材の強度試験マニュアル⁷⁾に準拠して，はかま型治具を荷重点間に置き，真の曲げヤング係数も測定した。

1.3.2 圧縮試験

1.3.2.1 供試材料

試験体として，強度等級 Mx90-3-3 のアカマツ CLT を6体調製した。CLT の幅は300mm，厚さ90mm，長さ513～520mm， $\lambda = 20$ とし，加力は強軸方向とした。

1.3.2.2 試験方法

試験は，構造用木材の強度試験マニュアル⁶⁾に準拠し，文献⁹⁾を参考として，写真1のとおり行った。なお，圧縮ひずみについては，長さ方向中央部分で標点距離257～260mm間の変形量をCLT 幅面の両側で測定し，平均して求めた。

1.3.3 せん断試験

1.3.3.1 供試材料

試験体として，強度等級 Mx90-3-3, S90-3-3, S120-3-3, Mx90-5-5, S90-5-5, S120-5-5 を調製し，表4のとおり強軸，弱軸別に試験に供した。なお，試験はFWのみで実施した。

1.3.3.2 試験方法

せん断試験は，JAS に準拠し，中央集中荷重方式で行った。また，文献¹⁾を参考とし，試験中にせん断ひび割れを観察し，せん断ひび割れ発生時のピーク荷重をせん断荷重とした。

1.3.4 むり込み試験

1.3.4.1 供試材料

試験体として，強度等級 Mx90-3-3, Mx90-5-5, S90-5-5, S120-5-5 を調製し，表5のとおり試験に供した。

1.3.4.2 試験方法

むり込み試験は構造用木材の強度試験マニュアル⁷⁾に準拠して行った。加圧板は長さ90mm，幅250mm，

厚さ30mmのものをを用いた。

表3 曲げ試験体

強度等級	強軸弱軸	試験方向	n	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)
Mx90-3-3	強軸	FW	9	1,725	300	75	496	11.1
		EW	4	2,070	300	90	498	10.7
S90-3-3	弱軸	FW	4	2,070	300	90	469	11.1
		EW	4	4,000	90	200	462	11.2
S120-3-3	弱軸	FW	4	2,070	300	90	513	11.2
		EW	4	4,000	90	200	518	11.5
Mx90-5-5	強軸	FW	4	3,450	300	150	472	11.4
		EW	4	6,000	150	300	470	13.1
S90-5-5	強軸	FW	1	3,150	300	140	460	10.5
		EW	4	3,500	300	150	457	10.7
	弱軸	FW	4	6,000	150	300	457	10.7
		EW	4	3,450	300	150	466	11.5
S120-5-5	強軸	FW	3	3,150	300	140	515	10.1
		EW	4	3,450	300	150	508	10.9
	弱軸	FW	4	6,000	150	300	516	10.8
		EW	4	3,450	300	150	515	11.5
		EW	4	4,000	150	200	514	11.4



写真1 圧縮試験の様子

表4 せん断試験体

強度等級	強軸弱軸	試験方向	n	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)
Mx90-3-3	強軸	FW	5				478	10.6
S90-3-3	弱軸	FW	4	630	300	90	462	11.0
S120-3-3	弱軸	FW	4				513	11.1
Mx90-5-5	強軸	FW	4				472	11.7
S90-5-5	強軸	FW	4				457	10.0
	弱軸	FW	4	1050	300	150	477	11.2
S120-5-5	強軸	FW	4				527	10.3
	弱軸	FW	4				517	11.2

表5 むり込み試験体

強度等級	試験方向	n	長さ (mm)	幅 (mm)	高さ (mm)	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)
Mx90-3-3	FW	4	535	90	90	500	11.3
	EW	4				510	11.4
Mx90-5-5	FW	4				483	12.2
	EW	4				475	11.9
S90-5-5	FW	4	900	150	150	455	11.2
	EW	4				460	11.2
S120-5-5	FW	4				519	11.1
	EW	4				521	10.8

表6 基準強度の算出例

層構成	ラミナ種	強軸 弱軸	構成ラミナ	ラミナ 等級	幅厚		E_i	z_i	$E_i * I_i$	$E_i * A_i * z_i^2$	I_A	I_0	I_A / I_0	ラミナ強度	基準強度	基準MOE
					mm	mm										
Mx90-5-5	等級 区分機	強軸	平行層 外層	M90	300	30	9	60	6,075	291,600	66,600	84,375	0.7893	34.5	13.28	7.10
			直交層 内層	M60	300	30	0	30	0	0						
			平行層 内層	M60	300	30	6	0	4,050	0						
			直交層 内層	M60	300	30	0	30	0	0						
			平行層 外層	M90	300	30	9	60	6,075	291,600						
S120-5-5	等級 区分機	強軸	平行層 外層	M120	300	30	12	60	8,100	388,800	66,825	84,375	0.7920	42	16.22	9.50
			直交層 内層	M120	300	30	0	30	0	0						
			平行層 内層	M120	300	30	12	0	8,100	0						
			直交層 内層	M120	300	30	0	30	0	0						
			平行層 外層	M120	300	30	12	60	8,100	388,800						
S120-5-5	等級 区分機	弱軸	直交層 外層	M120	300	30	0	60	0	0	17,550	84,375	0.2080	42	4.26	2.50
			平行層 内層	M120	300	30	12	30	8,100	97,200						
			直交層 内層	M120	300	30	0	0	0	0						
			平行層 内層	M120	300	30	12	30	8,100	97,200						
			直交層 外層	M120	300	30	0	60	0	0						

【表の説明】 E_i : 層のMOE, Z_i : CLT中立軸とラミナ重心との距離, I_i : 各層の断面二次モーメント, A_i : 各層の断面積
 $I_A = \sum (E_i I_i + E_i A_i z_i^2) / E_0$, E_0 : 最外層に近い強軸方向ラミナのヤング係数, I_0 : CLTの断面二次モーメント, ラミナ強度: 平成30年国土
 交通省告示第1324号より引用, 基準強度: ラミナ強度 $\times I_A / I_0 \times 0.4875$, 基準MOE: 最も外層の平行層ラミナのMOE $\times I_A / I_0$

表7 曲げ試験結果

強度 等級	強軸 弱軸	試験 方向	n	基準 強度 (N/mm^2)	基準 MOE (kN/mm^2)	曲げ強度 (N/mm^2)		MOE (kN/mm^2)		真のMOE (kN/mm^2)		Efr (kN/mm^2)		TGH法による 動的弾性係数 (kN/mm^2)		TGH法による せん断弾性係数 (kN/mm^2)	
						平均値	C.V.%	平均値	C.V.%	平均値	C.V.%	平均値	C.V.%	平均値	C.V.%	平均値	C.V.%
Mx90-3-3	強軸	FW	13	16.20	8.67	43.67	(15.8)	9.50	(4.5)	9.69	(3.7)	7.65	(4.5)	10.78	(8.2)	0.31	(5.6)
		EW	4	13.80	6.00	27.94	(14.1)	7.48	(3.9)	8.53	(7.1)	8.22	(4.0)	7.98	(3.2)	0.75	(9.2)
S90-3-3	弱軸	FW	4	0.62	0.33	6.73	(9.2)	0.73	(4.9)	0.70	(5.1)	3.61	(5.5)	0.80	(4.0)	1.00	(15.4)
		EW	4	6.90	3.00	13.25	(17.9)	3.43	(2.0)	3.54	(9.1)	3.70	(3.2)	3.56	(1.0)	0.80	(5.5)
S120-3-3	弱軸	FW	4	0.76	0.44	9.16	(13.5)	0.91	(5.6)	0.84	(9.5)	4.80	(4.0)	1.04	(3.6)	0.56	(12.2)
		EW	4	8.40	4.00	21.71	(12.3)	4.31	(4.3)	4.49	(5.2)	4.65	(3.8)	4.53	(1.5)	0.82	(2.8)
Mx90-5-5	強軸	FW	4	13.28	7.10	29.67	(12.5)	7.42	(2.3)	-	-	6.28	(3.7)	8.27	(4.6)	0.29	(2.7)
		EW	4	11.04	4.80	22.42	(14.3)	6.21	(4.8)	6.28	(8.1)	6.96	(2.0)	6.72	(3.3)	0.91	(5.4)
S90-5-5	強軸	FW	5	13.32	7.13	22.80	(6.1)	7.66	(2.9)	8.22	(7.2)	6.55	(2.8)	8.40	(3.9)	0.34	(4.2)
		EW	4	12.42	5.40	19.66	(15.6)	5.96	(1.2)	6.25	(3.1)	6.67	(0.5)	6.42	(2.2)	0.88	(3.0)
	弱軸	FW	4	3.50	1.87	14.31	(10.2)	2.41	(5.2)	2.52	(6.3)	4.65	(6.0)	2.59	(3.2)	0.22	(6.3)
		EW	4	8.28	3.60	20.19	(15.1)	4.43	(3.0)	4.66	(5.8)	4.87	(1.4)	4.73	(1.2)	0.89	(3.3)
S120-5-5	強軸	FW	7	16.22	9.50	33.22	(11.4)	9.58	(3.8)	10.66	(7.0)	8.33	(2.7)	10.48	(3.0)	0.32	(8.6)
		EW	4	15.12	7.20	27.26	(6.0)	7.63	(5.6)	7.98	(5.3)	8.42	(4.2)	8.23	(3.8)	0.98	(5.5)
	弱軸	FW	4	4.26	2.50	19.03	(3.7)	2.94	(7.3)	3.00	(10.9)	5.71	(6.0)	3.20	(6.5)	0.22	(2.2)
		EW	4	10.08	4.80	23.06	(8.5)	5.30	(3.1)	5.55	(4.2)	5.78	(3.0)	5.63	(4.9)	0.87	(6.8)

1.4 基準強度の算出

圧縮, 曲げの基準強度, 基準のヤング係数は平成30年国土交通省告示第1324号に準拠し, CLT 関連告示等解説書⁴⁾を参考として算出した。基準強度は等価断面法に基づき, 等価断面の断面二次モーメントとCLT全断面の断面二次モーメントの比率にラミナ強度, ヤング係数を乗じ, さらにCLTの圧縮, 曲げ強度の変動係数に応じた調整係数を乗じて算出した。表6に算出例を示す。

せん断強さの基準, めり込みの強さの基準は平成30年国土交通省告示第1324号を用いた。

2 結果と考察

2.1 曲げ試験

表7にCLT曲げ試験結果を示す。製造条件, 加力

方向によらず, すべての試験体の曲げ強度, MOEは基準を上回った。特に, 強軸パネルから切り出した試験体の強度性能は基準を大きく上回る傾向が観察された。

このことについて, 基準強度を算出する際, 最外層ラミナのMOEは, 告示に基づきS90-5-5, Mx90-3-3は9.0kN/mm², S120-5-5は12.0 kN/mm²を用いるが, 実際に供したラミナのMOEはそれより高かったことが理由と考える。

CLTの強度性能を非破壊で評価するため, 縦振動法によりEfrを, T.G.H.法により動的弾性係数を測定し, 実測したMOEと比較した。図1にMOEとEfrの関係を, 図2にMOEとT.G.H.法による動的弾性係数の関係を示す。

図1において, MOEとEfrの値が乖離する点があ

り、MOE との相関は、Efr よりも図2 に示す T.G.H. 法による動的弾性係数で高かった。MOE と Efr の乖離は、弱軸試験体の FW 方向の曲げ試験で得られたものであった。この理由として、縦振動法は、断面の弾性が均質であることを前提とした平均的な縦ヤング係数 (1 次振動) の測定⁸⁾とされているが、ラミナを直交し積層された CLT は断面の弾性が均質でないことが挙げられる。したがって、CLT の強度を非破壊で測定する場合、梁せいのスパンを変化させ 1 ~ 6 次振動を測定し、1 次回帰式に収束させ弾性係数を算出する T.G.H. 法の方が直接的に曲げ性能を評価しており適切といえる⁸⁾。

2.2 圧縮試験

表8 に CLT の圧縮試験結果 (強軸方向) を示す。圧縮強さ、縦圧縮ヤング係数は全ての試験体で基準の値を上回った。しかし、今回の試験は Mx90-3-3 の強軸パネルのみであり、それ以外の構成の CLT を製造する場合、圧縮強度の検証が必要と考える。

2.3 せん断試験

表9 にせん断試験結果を示す。CLT の各強度等級において、強軸パネル全ての試験体でせん断強さは、基準を満たした。しかし、弱軸パネルでは、ほとんどの試験体で基準を満たしたが、S90-3-3 のせん断強さは平均で 1.12N/mm² を示し、試験体4 体中2 体で基準を下回った。

3 層3 プライの弱軸パネルでは、試験時、FW 方向の応力は断面中央2 層目に集中する。弱軸の S120-3-3 では基準を満たし、同じ構成の S90-3-3 では基準を満たせなかったことから、弱軸パネル S90-3-3 で基準を下回った理由は、単に2 層目のラミナの強度性能が低かったためと考えられる。試験は実施していないが、2 層目のラミナ強度の低い Mx90-3-3 でも弱軸方向のせん断強さで同様のことが危惧される。

したがって、3 層3 プライの弱軸パネルに FW 方向のせん断荷重がかかる使い方は極力避けるべきであり、止むを得ず使う場合には、CLT 製造時、2 層目のラミナに MOE の高いものを配置させるなどの対策が必要であると考ええる。

2.4 むり込み試験

表10 にむり込み試験の結果を示す。むり込み強さは、全ての試験体で基準を上回った。

むり込み強さは、積層数や層構成によらず、FW より EW 方向で大きく、CLT の密度が高い (ラミナ強度が高い) ほど大きくなった。既往の報告¹⁾では、むり込み強度を決定付けるパラメーターは、ラミナ

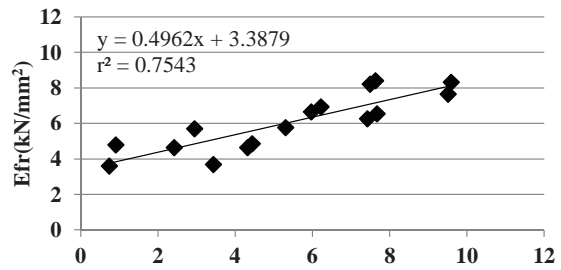


図1 MOEとEfrの関係

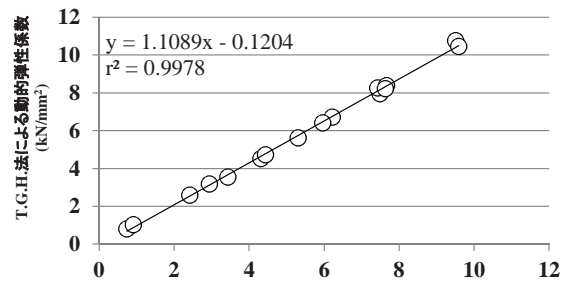


図2 MOEとT. G. H. 法による動的弾性係数の関係

表8 圧縮試験結果

強度等級	n	基準強度 (N/mm ²)	基準縦圧縮ヤング係数 (kN/mm ²)		圧縮強さ (N/mm ²)		縦圧縮ヤング係数 (kN/mm ²)		λ
			平均値	C.V.%	平均値	C.V.%	平均値	C.V.%	
Mx90-3-3	6	13.80	6.00		28.76	2.6	8.38	11.9	19.8

表9 せん断試験結果

強度等級	強軸弱軸	試験方向	n	基準 (N/mm ²)	せん断強さ (N/mm ²)	
					平均値	C.V.%
Mx90-3-3	強軸	FW	5	1.2	4.44	16.6
S90-3-3	弱軸	FW	4		1.12	20.9
S120-3-3	弱軸	FW	4		1.51	16.0
Mx90-5-5	強軸	FW	4		2.90	4.8
S90-5-5	強軸	FW	4		2.94	2.9
	弱軸	FW	4		1.94	12.4
S120-5-5	強軸	FW	4		3.26	4.5
	弱軸	FW	4		2.11	10.7

表10 むり込み試験結果

強度等級	試験方向	n	密度 (kg/m ³)	基準 (N/mm ²)	むり込み強さ (N/mm ²)	
					平均値	C.V.%
Mx90-3-3	FW	4	500	9.0	12.64	4.4
	EW	4	510		19.05	13.2
Mx90-5-5	FW	4	483		10.75	8.0
	EW	4	475		20.61	5.9
S90-5-5	FW	4	455		10.03	5.6
	EW	4	460		21.17	9.1
S120-5-5	FW	4	519		11.60	9.6
	EW	4	521		25.95	3.6

方向と試験体の配置であり、積層数、ラミナ構成にはあまり寄与せず、ラミナの強度性能を測定すれば、めり込み強度は推測できると報告されている。

今回は、強軸方向の試験体のみでありラミナ方向の差異は確認していないが、それ以外では、既往の報告と傾向が一致した。

まとめ

岩手県に豊富にあるアカマツ資源の利用促進の一の方策として、アカマツ CLT を試作し、圧縮、曲げ、せん断、めり込み試験を実施し、建築基準法告示に示される基準強度への適合性について評価を行った。以下に結果を示す。

- (1) 曲げ試験において、製造条件、加力方向によらず、すべての試験体の曲げ強度、曲げヤング係数は基準を上回った。また、非破壊による CLT 強度性能を評価する場合は、縦振動法により T.G.H. 法の方が適切である。
- (2) 圧縮試験において、Mx90-3-3 強軸パネルの圧縮強さ、縦圧縮ヤング係数はすべての試験体で基準を上回った。しかし、その他構成の CLT を製造する場合、圧縮強度の検証が必要である。
- (3) せん断試験において、強軸パネルのせん断強さは全ての試験体で基準を上回った。しかし、弱軸パネルのうち、S90-3-3 では基準を下回った。この理由は、断面 2 層目に応力が集中するためであり、弱軸パネルでは CLT 製造時に 2 層目に強度の高いラミナを配置させるなど対策が必要である。
- (4) めり込み試験において、めり込み強さは全ての試験体で基準を上回った。めり込み強さは、CLT の積層数、層構成には寄与せず、積層方向より幅方向で高くなり、ラミナ強度が高いほど高くなった。

これらのことから、アカマツ CLT の強度性能は、曲げ、圧縮、めり込みについては基準強度を上回ることが検証された。また、せん断強度については、3 層 3 プライ弱軸パネル製造時に 2 層目に高強度ラミナを配置する必要があるが、それ以外では基準を上回ることが検証された。

引用文献

- 1) 一般社団法人日本 CLT 協会 (2013) 平成 24 年度木材利用技術整備等支援事業「CLT の木材利用技術整備」成果報告書：p46-76.

- 2) 一般社団法人日本 CLT 協会 (2014) 平成 25 年度木材利用技術整備等支援事業「CLT の普及のための総合的データの収集・蓄積及び検討」成果報告書：p49-56.
- 3) 一般社団法人日本 CLT 協会 (2016) CLT 関連告示等解説書：p1-2.
- 4) 一般社団法人日本 CLT 協会 (2018) 2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル増補版の追補：p178-214. (2020 年 1 月 7 日 <https://www.howtec.or.jp/files/libs/2746/201905241544129990.pdf>)
- 5) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター (2011) 構造用木材の強度試験マニュアル：p8-10.
- 6) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター (2011) 構造用木材の強度試験マニュアル：p13-15.
- 7) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター (2011) 構造用木材の強度試験マニュアル：p15-17.
- 8) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター (2011) 構造用木材の強度試験マニュアル：p61-72.
- 9) 後藤 幸広, 谷内 博規 (2020) アカマツ材の CLT 利用適性評価, 岩手県林業技術センター研究報告第 28 号：p.28-33.