

(資 料)

アカマツCLT製造における接着剤の塗布量と圧縮圧力が接着性能に与える影響

後藤 幸広・谷内 博規

Effects of amount of adhesive, pressure conditions on bonding properties of
Akamatsu CLT manufacturing

Yukihiro GOTO・Hironori TANIUCHI

要 旨

本県の主要樹種であるアカマツの用途拡大を図るため、CLT（直交集成板）の製造条件を明らかにすることを目的として、接着剤の塗布量と圧縮圧力の異なる小試験体を試作し、その接着条件が接着性能に与える影響について検討を行った。また、得られた結果から、現在、国内で製造されている実用サイズのCLTパネルを製造し、直交集成板の日本農林規格に定める接着性能基準への適合性を検証した。その結果、3層3プライ、5層5プライのアカマツCLTの接着条件は、圧縮圧力を1.0MPa、接着剤塗布量を200g/m²とすることで、JAS規格に適合することが明らかになった。

キーワード：アカマツ材，CLT，技術開発，積層接着条件，接着性能評価

目 次

1 はじめに	139	3 結果と考察	
2 実験方法		3.1 小試験体による接着性能評価	
2.1 小試験体による接着性能試験		3.1.1 接着剤塗布量と圧縮圧力が剥離率に与える影響	141
2.1.1 供試材料	139	3.1.2 JAS規格への適合性	142
2.1.2 等級区分およびラミナの調製	139	3.2 実大試験体の接着性能評価	
2.1.3 積層接着	139	3.2.1 積層条件が接着性能へ及ぼす影響	142
2.1.4 接着性能試験	140	3.2.2 JAS規格への適合性	143
2.2 実大試験体の接着性能試験		4 まとめ	144
2.2.1 供試材料	140	謝 辞	144
2.2.2 等級区分およびラミナの調製	140	引用文献	144
2.2.3 CLTの製造	141		
2.2.4 接着性能試験	141		

1 はじめに

直交集成板 (Cross Laminated Timber, 以下「CLT」という。) は、挽き板であるラミナの繊維方向を層ごとに直交させながら積層接着した厚みのある大判パネルで、一般住宅から中高層住宅等の大規模建築物の壁材や床材等へ利用可能な構造用面材料である。

CLTに関する国内動向として、平成26年1月に直交集成板の日本農林規格 (以下「JAS規格」という。) が施行された。⁷⁾ また、国内の研究機関等において、主にスギを用いたCLTの強度性能、耐震性能、防耐火性能の評価が行われ、平成28年3月31日及び4月1日には、CLTを用いた建築物の一般設計法、CLT材料の品質及び強度、CLT部材等の燃えしる設計に関して、建築基準法に基づく告示が公布・施行されている。²⁾

岩手県に豊富にあるアカマツは、輪生枝に起因する節の集中のため、構造用集成材へ利用する場合、節の除去に伴う歩留りの低下が課題となっている。

大橋ら⁴⁾ は、構造用集成材用のアカマツラミナの集中節の出現と節除去による歩留りの状況を調査し、構造用集成材のJAS規格の節除去基準の緩和は、ラミナの縦継数の減少に直結し、製造コストの圧縮に繋がることを報告している。

一方、構造用面材料であるCLTのJAS規格は、構造用集成材のJAS規格に比べ、ラミナの強度等級区分のためのヤング係数の範囲拡大によりその区分が簡素化され、さらに、節の除去基準及び接着性能基準が大幅に緩和されている。

このため、アカマツ材を用いたCLTは、構造用集成材に比べ低コストで製造できることが期待される。

しかし、CLTはラミナを層ごとに直交させ積層接着するため、集成材のように平行に積層接着するの に比べ、接着強さは半分以下に減少することが知られている。⁶⁾ また、アカマツCLTの製造技術や強度性能等に関する知見、事例は国内にはない。

そこで、本研究では、アカマツ材を用いたCLT製造の基本となる積層接着について、接着剤塗布量と圧縮圧力が異なるCLTを試作し、接着剥離試験による接着性能の評価を実施し、JAS規格の接着性能基準を満たす接着条件の検討を行った。

2 実験方法

2.1 小試験体による接着性能試験

2.1.1 供試材料

岩手県北地域で伐採されたアカマツ丸太 (長さ4m, 平均末口径26.6cm, 52本) から製材した人工乾燥ラミナ (長さ4m×幅125mm×厚さ35mm, 目標含水率10%, 391枚) を用いた。

2.1.2 等級区分およびラミナの調製

ラミナは、非破壊評価方法である縦振動法¹⁾ により動的ヤング係数を求め、JAS規格に定められる等級区分機による区分ラミナの強度性能基準に準拠し、表1のとおり各等級相当に区分した。

その後、断面寸法110mm×30mm, 長さ330mmとする無欠点ラミナに調製したものを後述する実験材料に供した (写真1)。

表1 ラミナ等級の区分

等級	動的ヤング係数 (GPa)
M120 相当	10.0 以上
M 90 相当	7.5 以上~9.9 以下
M 60 相当	5.0 以上~7.4 以下

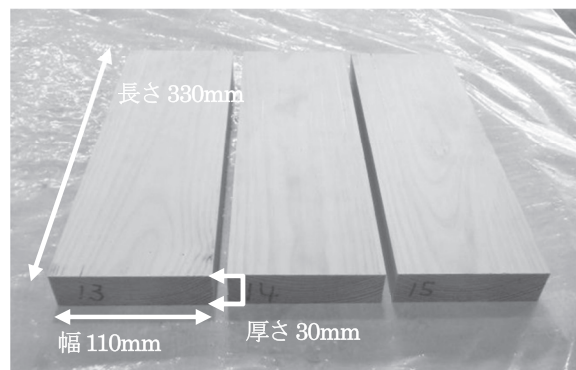


写真1 調製したラミナ

2.1.3 積層接着

2.1.2 で調整したラミナを用い、表2に示す積層接着条件により強度等級の異なる小試験体を試作した。

なお、条件は、国内のCLT研究で製造されたスギCLTの条件である接着剤塗布量200~250 (基準220) g/m², 圧縮圧力0.8MPaを参考として設定した。³⁾

小試験体の試作は、ラミナを3枚幅方向に並べたものを1層として、繊維方向を直交させた同一等級構成のS120及びS90、構成を5層5プライとする小試験体 (長さ・幅330mm×厚さ150mm) を1条件

あたり5体、計60体試作した(写真2)。

ラミナは切削加工後 24 時間以内に接着することとし、接着剤の塗布は、ゴムローラーを用いた片面塗布とした。塗布量の調整は、予めラミナ重量を測定した後、接着剤を塗布したラミナを層ごとに無作為抽出し、重量を確認しながら行った。

また、接着剤の塗布から圧縮開始までの堆積時間は10分以内とし、圧縮時にラミナのずれを抑制するため、小試験体の4側面を板で押さえた。なお、圧縮はJT トーシ(株)製のプレス機 (VC-1000S-HP) を用いた。

異なる条件で試作した小試験体は、室温で7日間以上養生した後、条件ごとに、長さ 75mm×幅 75mm×厚さ 150mmの試験片を1体あたり8~12片切り出し、接着性能試験に供した(写真3)。

表2 積層接着の処理条件

項目	単位	条件
接着剤 (配合比)	—	水性高分子-イソシアネート系樹脂 (主剤 100 : 架橋剤 15)
塗布量	g/m ²	150, 200, 250
圧縮圧力	MPa	0.8, 0.9, 1.0, 1.1
圧縮時間	分	60
幅はぎ接着	—	なし

2.1.4 接着性能試験

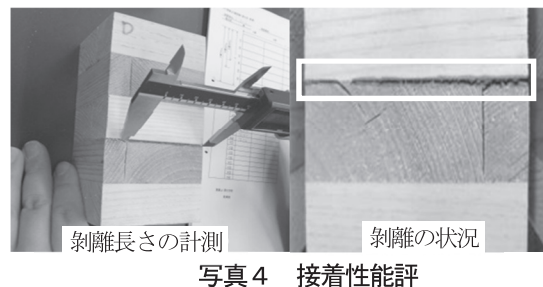
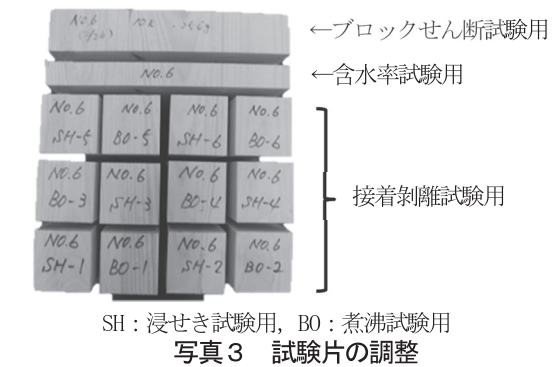
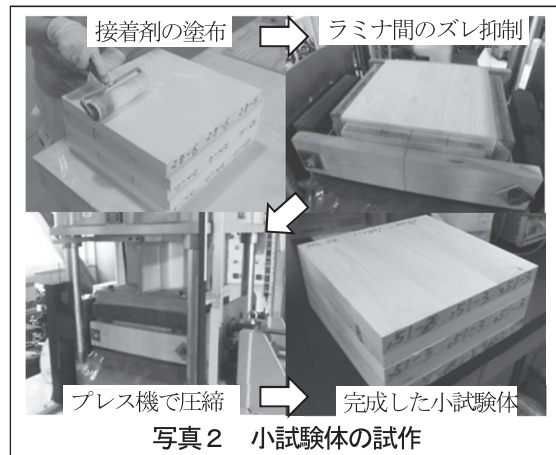
接着性能試験は、JAS規格に準拠し、浸せき剥離試験及び煮沸剥離試験とした。各試験後、試験片の接着層の長さに占める剥離した長さを測定し、剥離率を算出した(写真4)。

各条件で試作した試験片の剥離率をJAS規格に定める接着性能基準へ照合し、その適合性を評価した。

2.2 実大試験体の接着性能試験

2.2.1 供試材料

岩手県県北地域から調達した人工乾燥ラミナ(長さ2~4m×幅130mm×厚さ38mm, 目標含水率10%, 722 枚)を実験に供した。ラミナは、乾燥により生じた両端部の木口割れを除去した後、長さ 2m×幅 125mm×厚さ 36.5mm に予備切削した。



2.2.2 等級区分およびラミナの調製

グレーディングマシン(飯田工業(株)製, MGN-101型, 支持点間 1,800mm, 荷力点間 600mm とする3等分点4点荷重方式)を用い、曲げヤング係数を測定し、JAS規格に定められる等級区分機による区分ラミナの強度性能基準に準拠して、表3のとおり区分した。

また、JAS規格に定める節除去基準に準拠して、等級区分されたラミナの節を除去し、フィンガージョイント加工後、同じ等級のラミナ同士で縦継ぎ加工した。

ラミナの縦継ぎ長さは、6,025mm(長尺用ラミナ)、5,270mm(短尺用ラミナ)の2条件とし、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た。
その後、縦継ぎラミナを断面寸法 117mm×33.5mm
に調製した。

表3 ラミナ等級区分

層別	ラミナ等級
外層	M90A
内層	M60A

2.2.3 CLTの製造

CLTの製造は、国内のCLT工場の設備を用いた。前述した縦継ぎラミナの断面寸法を 110mm×30mm に切削し、表4に示す製造条件によりCLTの製造を行った。

製造した実大CLTは、等級区分されたラミナM90Aを外層に、M60Aを内層に配置する異等級構成とし、3層3プライ(長さ6m×幅2.7m×厚さ90mm:強軸)、5層5プライ(長さ6m×幅2.7m×厚さ150mm:強軸)各1体を製造した(写真5)。

なお、ラミナは切削加工後24時間以内に接着し、接着剤の塗布から圧縮開始までの堆積時間は10分間以内とした。

製造した実大CLTは、それぞれ幅300mmに採材した後、図1に示す位置から、2.1.3と同様の寸法で試験片を切り出し、接着性能試験に供した。

2.2.4 接着性能試験

接着性能試験は、JAS規格に準拠し、浸せき剥離試験、煮沸剥離試験及び減圧加圧剥離試験を行った。JAS規格に定める接着性能基準への適合性の評価は2.1.4と同様とした。

なお、試験片は各試験あたり16片とし、3層3プライ、5層5プライのCLTからそれぞれ48片を試験に供した。

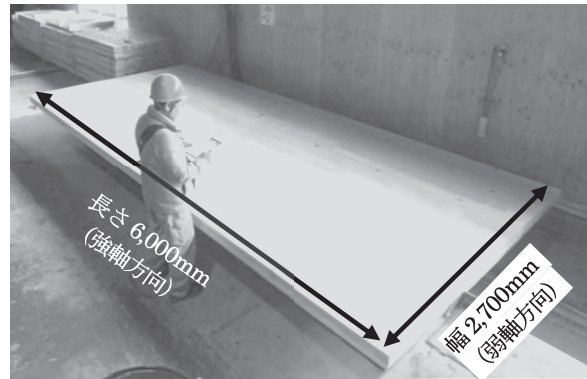


写真5 製造した実大CLT

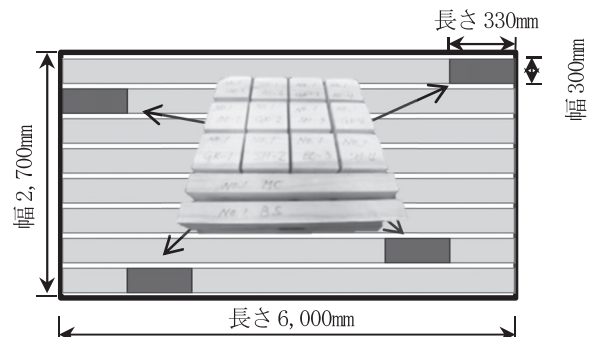


図1 実大CLTの採材と試験片の調整位置

3 結果と考察

3.1 小試験体による接着性能評価

3.1.1 接着剤塗布量と圧縮圧力が剥離率に与える影響

JAS規格では、接着性能基準を剥離率10%以内(以下「基準値」という。)としている。⁸⁾ 図2に接着剤塗布量と圧縮圧力が剥離率へ与える影響を示す。

全ての条件において、浸せき剥離試験に比べ、煮沸剥離試験の剥離率が大きくなる傾向を示した。

塗布量 150g/m² の条件では、圧縮圧力と剥離率の間に統計的優位性がなく、基準値を満たさない試験

表4 実大試験体の製造条件

CLT			ラミナ		積層接着			
種類 (層-プライ)	強度等級	寸法(mm) 長さ×幅×厚さ	構成 外層	寸法(mm) 内層 幅×厚さ	圧縮圧力 (MPa)	塗布量 (g/m ²)	幅はぎ 接着	
3-3	Mx90-3-3	6,000×2,700×	M90A	M60A	110×30mm	1.0	200	なし
5-5	Mx90-5-5	150						

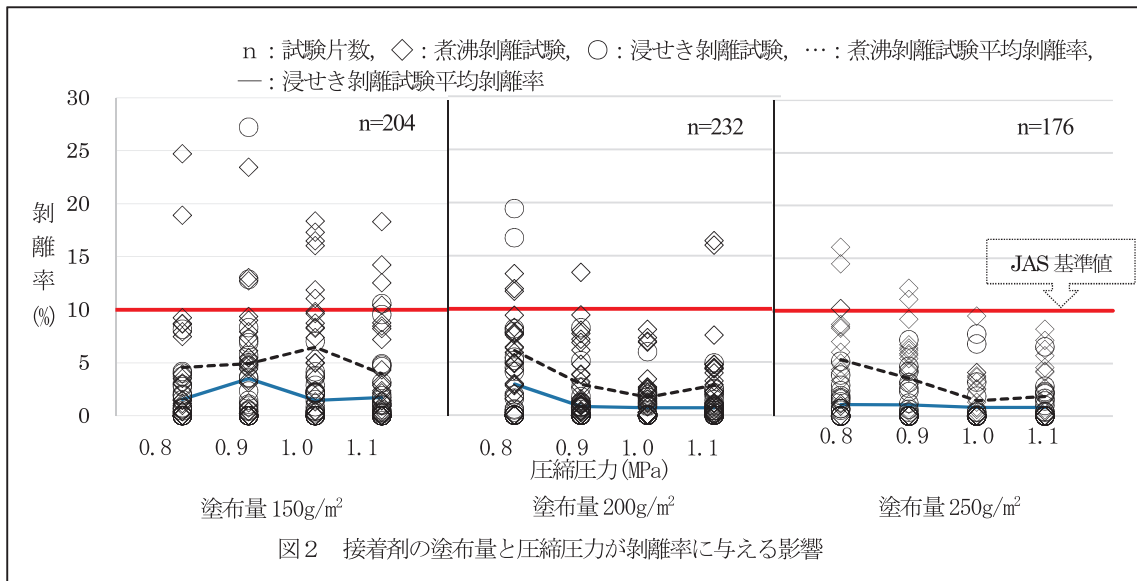


図2 接着剤の塗布量と圧縮圧力が剥離率に与える影響

片が多く観察されるが、塗布量 200, 250g/m² の条件では、圧縮圧力の増加に伴い、剥離率は減少する傾向を示した。

塗布量 200g/m² で圧縮圧力 1.0MPa, 塗布量 250g/m² で圧縮圧力 1.0, 1.1MPa の条件の時、全ての試験片が基準値を満たした。

このことから、塗布量 150g/m² の条件では、接着剤量不足が明らかであり、JAS規格の基準値を満たす条件は、塗布量 200, 250g/m², かつ圧縮圧力 1.0, 1.1MPa の範囲内であると考えられる。

3.1.2 JAS規格への適合性

JAS規格では、基準値を満たす試験体の割合を適合率とし、適合率90%以上となることを基準（以下「判定基準」という。）としている。⁹⁾表5に塗布量、圧縮圧力別の適合率を強度等級別に示す。

なお、適合率は煮沸剥離試験と浸せき剥離試験の試験片の総和に占める基準値を満たす試験片の割合とした。

塗布量、圧縮圧力の増加に伴い、適合率は増加傾向を示し、塗布量 200, 250g/m², 圧縮圧力 0.9, 1.0, 1.1MPa で、適合率90%以上となった。また、強度等級S90に比べ、S120では適合率が低い傾向を示すが、このことについては、強度等級の高い材は密度が高く、高密度材は膨潤収縮の変形量大きいことが要因と推測される。⁵⁾

3.1.1と3.1.2の結果を併せて考えると、基準値及び判定基準を満たす接着剤塗布量と圧縮圧力は、塗布量 200, 250g/m², 圧縮圧力 0.9, 1.0, 1.1MPa の範囲となる。

しかし、実大のアカマツCLTの製造に当たっては、接着性能を確実に確保する観点から、接着条件は、基準値に100%適合した、塗布量 200g/m² で圧縮圧力 1.0MPa, 塗布量 250g/m² で圧縮圧力 1.0, 1.1MPa とすることが望ましいと考える。

表5 強度等級別の適合率

(単位: %)

圧縮圧力 (MPa)	塗布量150g/m ²		塗布量200g/m ²		塗布量250g/m ²	
	強度等級		強度等級		強度等級	
	S90	S120	S90	S120	S90	S120
0.8	100.0	94.4	86.1	93.8	100.0	83.3
0.9	100.0	84.4	100.0	96.9	100.0	92.9
1.0	91.7	85.7	100.0	100.0	100.0	100.0
1.1	88.2	95.0	100.0	92.9	100.0	100.0

3.2 実大試験体の接着性能評価

3.1で得られた接着条件のうち、接着剤量が最も少ない塗布量 200g/m² で圧縮圧力 1.0MPa の条件で、3層3プライ、5層5プライの実大CLT試験体を製造し、接着剥離試験を行った。

3.2.1 積層条件が接着性能へ及ぼす影響

図3に浸せき、煮沸及び減圧加圧剥離試験の剥離率を積層条件別に示す。煮沸と減圧加圧剥離試験における剥離率は、浸せき剥離試験に比べ高くなる傾向を示し、また、5層5プライの剥離率は、3層3プライに比べ高くなる傾向を示した。

浸せき、煮沸及び減圧加圧剥離試験別に剥離率が異なることについて、図4に積層条件別の吸水率を示す。

煮沸と減圧加圧剥離試験の吸水率は 203~232%以上を示し、浸せき剥離試験の吸水率 123%と比較して、約2倍の吸水量となっている。

このことから、煮沸と減圧加圧剥離試験片は、浸せき剥離試験片に比べ吸水に伴う膨潤量が大きくなり剥離率が高くなったと考える。

図5に5層5プライと3層3プライについて、積層条件別に各接着層の剥離率を示す。接着層間での剥離率は、3層3プライでは、試験間で有意な差は認められなかったが、5層5プライでは、外層に接する接着層（1層目と4層目）に比べ、内層側の接着層（2層目と3層目）が、各試験ともに剥離率が高くなる傾向が示された。これは、繊維方向を直交させ積層接着するため、木材の膨潤収縮異方性により、1層目と4層目に比べ、2層目と3層目では、より膨潤収縮応力が高くなり、剥離が生じやすかったと推察される。

3.2.2 JAS規格への適合性

実大試験体のJAS規格への適合率を表6に示す。3層3プライは、各試験において全ての試験片が基準値（同一接着層の基準値（剥離率40%以内）を含む）に100%適合する結果が得られた。また、5層5プライでは、浸せき剥離試験が100%適合し、煮沸剥離試験及び減圧加圧剥離試験では、16試験片のうち15試験片が基準値を満たし、適合率はそれぞれ93.8%であり、判定基準に適合する結果が得られた。

このことから、3.2で述べた小試験体の接着条件で接着剤量が最も少ない塗布量 200g/m²、圧縮圧力 1.0MPaにより実大CLTを製造し、JAS規格への適合性を検証した結果、判定基準を満たすことが明

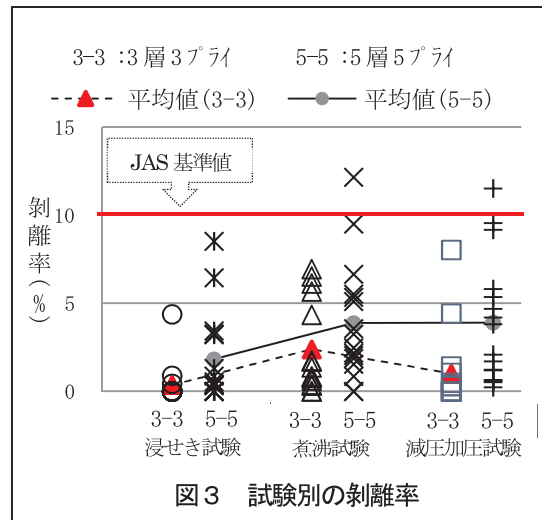


図3 試験別の剥離率

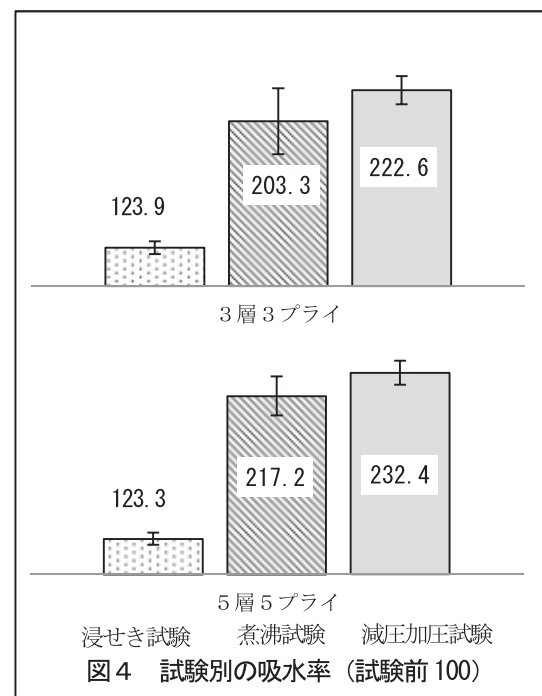


図4 試験別の吸水率 (試験前 100)

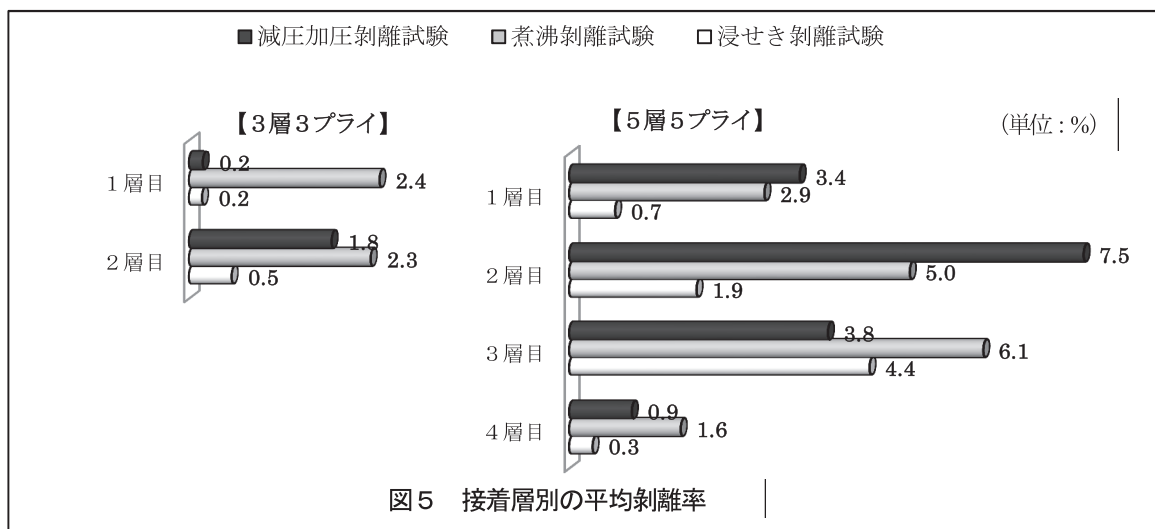


図5 接着層別の平均剥離率

らかとなった。

表6 実大試験体のJAS規格への適合率

種類	試験種	試験片数	全層の適合率(%)	同一接着層の適合率(%)			
				1層目	2層目	3層目	4層目
3層3プライ	浸せき	16	100.0	100.0	100.0	—	—
	煮沸	16	100.0	100.0	100.0	—	—
	減圧加圧	16	100.0	100.0	100.0	—	—
5層5プライ	浸せき	16	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	煮沸	16	93.8	100.0	100.0	93.8	100.0
	減圧加圧	16	93.8	100.0	100.0	100.0	100.0

4 まとめ

アカマツCLTの積層接着工程における製造条件を明らかにするため、接着条件が異なる小試験体を試作し、接着剤の塗布量と圧縮圧力が接着性能に及ぼす影響を検討した。

その結果、3層3プライ、5層5プライのアカマツCLTの積層工程における接着条件は、接着剤塗布量を200g/m²とし、圧縮圧力を1.0MPaとすることで、JAS規格に定める接着性能基準を満たすことが明らかになった。

謝辞

本研究を実施するにあたり、国立研究開発法人森林総合研究所及び北海道立総合研究機構林産試験場のCLT研究に携わる関係各位には、実験方法等に関して多大なるご指導をいただいた。また、実験に供した実大試験体は、縦継ぎ加工を(有)高吟製材所(葛巻町)、CLT製造を銘建工業(株)(岡山県真庭市)に依頼し、各社の多大なる協力のもと製造した。ここに記して敬意を表する。

引用文献

- 1) 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:59-63.
- 2) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター(2016) 2016 公布・施行 CLT関連告示等解説書:1-178.
- 3) 日本CLT協会(2013) 平成24年度 林野庁

補助事業 木材利用技術整備等支援事業 CLT (Cross Laminated Timber) の木材利用技術整備成果報告書:4.

- 4) 大橋一雄・東野正(2007) 節除去基準が機械等級区分されたアカマツラミナの採材長と縦継ぎ数に及ぼす影響. 岩手林技セ研報 No15:27-31.
- 5) 森林総合研究所監修(2004) 改正4版 木材工業ハンドブック:117, 丸善(株), 東京
- 6) 森林総合研究所監修(2004) 改正4版 木材工業ハンドブック:737-739, 丸善(株), 東京
- 7) 農林水産省(2013) 直交集成板の日本農林規格
- 8) 農林水産省(2013) 直交集成板の日本農林規格:3.
- 9) 農林水産省(2013) 直交集成板の日本農林規格:23.