

**内装木質化等住宅部材試験開発等支援事業
「木造中高層建築物等の高耐久化を可能とする
保存処理大断面集成材の性能担保に向けたデータ整備」
成果報告集**

平成 26 年 3 月

公益社団法人日本木材保存協会

はじめに

公益社団法人日本木材保存協会は、平成 25 年度林野庁補助事業「内装木質化等住宅部材試験開発等支援事業」に関して、“木造中高層建築物等の高耐久化を可能とする保存処理大断面集成材の性能担保に向けたデータ整備”を受託し、実施してまいりました。

この背景には、保存処理集成材の一般への普及促進と、建築物の高耐久性の確保が社会的に喫緊の課題となっている中で、集成材の日本農林規格（JAS）には保存処理の規程が整備されていないという状況があります。特に公共建築物等木材利用促進法の施行以降、木造建築物の大規模化に伴って大断面集成材への要求が増大し、さらに品質については公共建築物等に使用することから JAS 集成材が強く求められています。そのような状況の下、保存処理関係の規定化に向けたデータの収集と整理統合が必要となっています。

従来、当協会では特に保存処理した中小断面の集成材については保存性能や接着性能等の各種の品質についてのデータ収集を行ってきましたが、大断面集成材についてはこれらのデータが不足し、実大試験による強度性能や接着性能および耐火性能に関するデータも未整備でした。本事業では、これら不足するデータの整備とともに、保存処理剤の分析方法の簡素化と高精度化にも取り組みました。

本事業の実施にあたっては、委員各位をはじめ、日本木材防腐工業組合、日本集成材工業協同組合等の関連団体から多大のご協力を頂きました。御礼を申し上げます。

この成果を踏まえて、集成材はもちろん、広く木材、木質材料の需要拡大と性能や品質に対する信頼性の向上に繋がることを期待しています。

平成 26 年 3 月末日

公益社団法人 日本木材保存協会
会長 今村祐嗣

目 次

はじめに

第1章	本事業の目的	1
第2章	保存処理大断面集成材の製造	2
2.1	処理ラミナの選別	2
2.2	ラミナの加圧注入処理	5
2.2.1	はじめに	5
2.2.2	使用した木材保存剤と処理方法	6
2.2.3	注入処理結果	9
2.2.4	保存処理されたラミナ等の品質	10
2.2.5	まとめと考察	13
2.2.6	引用文献	13
2.3	処理ラミナの集成加工	14
2.3.1	処理ラミナの乾燥工程	14
2.3.2	AZN 処理ラミナの含水率の測定方法	15
2.3.3	インサイジング加工によるラミナのヤング係数の確認	15
2.3.4	フィンガージョイントラミナ(FJ)の製造	17
2.3.5	AAC 処理製品を製造する場合の原板入手の留意点	19
2.3.6	集成加工	20
2.3.7	保存処理ラミナを使用した場合に要する工程	21
第3章	保存処理大断面集成材の強度及び接着性能	22
3.1	保存処理集成材の曲げ試験	22
3.2	接着性能試験	30
3.2.1	せん断強度	30
3.2.2	木部破断率	31
3.3	減圧加圧はく離試験	32
3.3.1	試験の方法	32
3.3.2	試験の結果	33
第4章	保存処理大断面集成材の耐火性能	36
4.1	目的	36
4.2	実験	36

4.2.1	試験体の作製	36
4.2.2	実大載荷加熱試験	37
4.3	結果と考察	40
4.3.1	たわみ	40
4.3.2	炭化深さ	41
4.3.3	集成材内部の温度上昇	43
4.4	まとめ	44
4.5	引用文献	45
第5章	木材保存剤の分析方法の迅速化と高精度化	46
5.1	目的	46
5.2	実験方法	46
5.2.1	対象とした有効成分および樹種	46
5.2.2	CYP の定量分析の効率化	46
5.2.3	IMD の定量分析の効率化	48
5.2.4	DDAC の定量分析の効率化	49
5.3	結果と考察	50
5.3.1	CYP の定量分析の効率化	50
5.3.2	IMD の定量分析の効率化	52
5.3.3	DDAC の定量分析の効率化	54
5.4	まとめ	56
5.5	引用文献	56
第6章	まとめ	57

第1章 本事業の目的

平成22年の「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の施行以降、大規模木造建築物の着工数が増加している。また、木造建築物の大規模化に伴い、大断面集成材への要求がこれまで以上に高まっている。さらにこれらの建築物に使用する木材・木質材料の品質については、公共建築物等に使用することから国家規格に基づく JAS 集成材であることが強く求められている。

JAS 集成材はこれまでも広く公共建築物等に使用されてきているが、品質に保存処理の基準がないため使用箇所が制限される状況にある。例えば平成23年に国土交通省施設営繕部が制定した「木造計画・設計基準及び同資料」では、60年よりさらに長期に施設を使用することを目標とする場合は、土台や外壁の軸組等に K3 以上の規格に適合する処理を求めている。しかし、JAS 集成材にはそのような規格がなく、これらの部分に集成材を使用することができない。また、屋外に位置する構造耐力上主要な部分には K4 以上の規格に適合する処理を求めているが、このような部分にも当然集成材は使用できない。

保存処理された集成材についてはこれまで、公益財団法人 日本住宅・木材技術センターが浸潤度や吸収量、強度性能などについて品質性能評価基準を定め、その基準を満たす保存処理集成材を優良木質建材等認証（AQ 認証）として認証してきた。これらの保存処理 AQ 認証集成材は住宅等に使用される小断面集成材（一部、中断面集成材）を対象としているため、小断面集成材の品質等については認証前の審査や認証後の検査などを通して既に多くのデータが蓄積されている。

一方、大断面集成材についてはその様なデータが不足しているため、JAS 集成材に保存処理の基準を加えていくためには、小断面・中断面集成材に関して蓄積されたデータに加え、大断面集成材の強度性能や接着性能を確認しておく必要があった。さらに、保存処理が必要とされる集成材は高含水率となる環境（使用環境 A）で使用されることから、必然的に火災時に高度の接着性能が要求されることになる。このため、集成材の耐火性能についても確認しておく必要があった。

そこで、公益社団法人 日本木材保存協会が中心となり日本木材防腐工業組合、日本集成材工業協同組合、学識経験者らと、保存処理集成材の JAS 化に向け、これまでデータ収集が不足していた大断面集成材の強度性能、接着性能、耐火性能を確認することを目的に本事業を実施した。

さらに、保存処理集成材が JAS 化されれば必然的に保存処理の品質検査件数が上昇することになるため、品質検査件数の上昇に対応できるよう、製材の JAS に記載された木材保存剤の分析方法を高度化し、正確さを維持しながら迅速に定量できる分析手法の開発についても併せて実施した。

第2章 保存処理大断面集成材の製造

2.1 処理ラミナの選別

ヒノキとスギの特定対称構成構造用集成材（大断面：試験体寸法：幅 150mm，梁成 300mm，長さ 6000mm），強度性能 E95-F270 を 22 体（5.94m³）製造するため，奈良県吉野郡川上村から乾燥ひき板を購入した。試験体の種類を表 2.1-1 に示す。吉野ヒノキのラミナ寸法は，幅 165mm，厚さ 35mm，長さ 3m～4m で 9.3m³（430 枚）を購入した。吉野スギはヒノキと同じ断面で長さ 4m材を 5.9m³（240 枚）購入した。防耐火試験用の材は，12 層構成のため幅 165mm，厚さ 30mmのラミナとした。

乾燥ひき板に，幅 161mm，厚さ 33.5mmの粗プレーナー加工を行った。次に，ラミナの木口に番号を打ち，強度区分を行った。写真 2.1-1 に示すように，グレーディングマシーンを用いて強度と、マイクロ波で含水率を測定した。得られた強度区分を表 2.1-2，表 2.1-3，図 2.1-3，図 2.1-4 に示す。この結果を基に，図 2.1-2 に示す計画通りの強度性能 ME95-F270 の構成の集成材が必要な本数製造できるか検証を行った。

表 2.1-1 試験体の種類

試験内容	処理薬剤名	インサイジング加工の有無	層数	数量
強度試験用	AAC(湿式)	有	10 ply	5 体
		無	10 ply	5 体
	AZN(乾式)	有	10 ply	5 体
		無	10 ply	5 体
防耐火試験用	AAC(湿式)	有	12 ply	1 体
	AZN(乾式)	有	12 ply	1 体
合計			5.94m ³ (製品)	22 体 (6種)

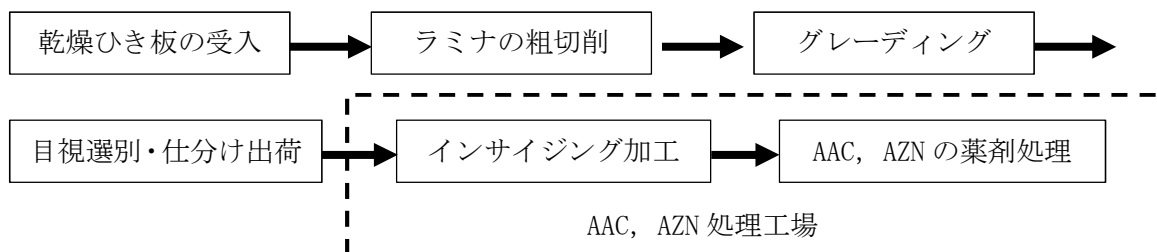


図 2.1-1 〔製造工程〕 処理ラミナの選別・仕分け(集成材工場から防腐処理工場へ)

製造工程2 (グレーディングマシーンによる強度区分)		ME85-F255	ME95-F270	ME105-F300
 ▲ヤング係数の測定	 ▲マイクロ波による含水率の測定	最外層 桧 L-110	最外層 桧 L-125	最外層 桧 L-140
		外層 桧 L-110	外層 桧 L-125	外層 桧 L-140
		中間層 杉 L-80	中間層 杉 L-90	中間層 杉 L-100
		内層 杉 L-30	内層 杉 L-30	内層 杉 L-30
 ▲赤・青・黒のマーキング	 ▲ラミナにナンバリングを打ち投入	内層 杉 L-30	内層 杉 L-30	内層 杉 L-30
		内層 杉 L-30	内層 杉 L-30	内層 杉 L-30
		中間層 杉 L-80	中間層 杉 L-90	中間層 杉 L-100
		外層 桧 L-110	外層 桧 L-125	外層 桧 L-140
		最外層 桧 L-110	最外層 桧 L-125	最外層 桧 L-140

写真 2.1-1 グレーディングマシーン

図 2.1-2 特定対称構成構造用集成材の構成例

その結果、グレーディングマシンの平均値で、ヒノキは 430 枚中、最外層・外層用(L125)が 21%しか出現しなかった(表 2.1-2)。一方、スギは 240 枚中、内層用(L30)が全く出現せず、L80 から L140 が 68%も出現した。吉野スギのヤング係数が高いことが分かった(表 2.1-3)。

表 2.1-2 ヒノキの強度区分のデータ

ロット番号	樹種名	材幅(mm)	材厚(mm)	たわみ	日付	
	ヒノキ	161	33	4.5	2013/9/26	GPa
区分(GPa)	ELOW	EAV	出現率	含水率		
L50未満	0	0	0%	10%未満	78%	
L60未満	11	0	0%	15%未満	22%	
L60	8	2	0.47%	15%超え	0%	
L70	29	7	1.47%			
L80	52	23	5.35%			
L90	79	40	9.30%			
L100	103	88	20.46%			
L110	96	152	35.35%	56.28%	←外層使用	
L125	46	90	20.93%		←最外層使用	
L140	6	28	6.51%			
L160	0	0	0%			
L180	0	0	0%			
合計	430枚	430枚	100.00%			

表 2.1-3 スギの強度区分のデータ

ロット番号	樹種名	材幅(mm)	材厚(mm)	たわみ	日付	
	スギ	161	33	2.5	2013/9/27	GPa
区分(GPa)	ELOW	EAV	出現率	含水率		
L50未満	0	0	0%			
L60未満	32	9	3.75%			
L60	32	22	9.17%	55.01%	←内層使用	
L70	63	46	19.17%			
L80	50	55	22.92%			
L90	36	52	21.67%	36.25%	←中間層使用	
L100	21	35	14.58%			
L110	4	17	7.08%			
L125	1	2	0.83%			
L140	1	2	0.83%	10%未満	84%	
L160	0	0	0%	15%未満	15%	
L180	0	0	0%	15%超え	1%	
合計	240枚	240枚	100.00%			

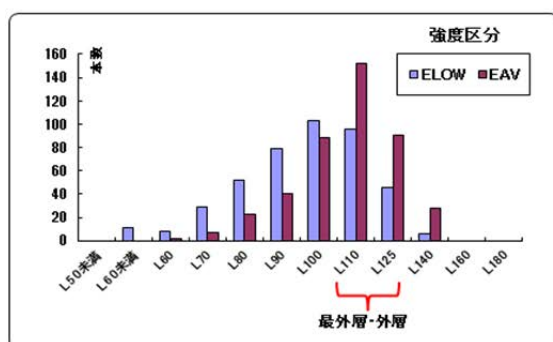


図 2.1-3 ヒノキの強度分布図

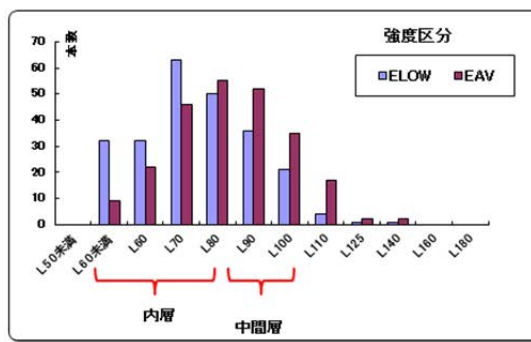


図 2.1-4 スギの強度分布図

表 2.1-4 ラミナの必要総長さに対する出現総長さ

強度等級	必要総長さ	出現総長さ (割合)	変更等級	出現総長さ (割合)
ヒノキ L125	520m	324m (62.3%)	ヒノキ L110	547m (105.2%)
スギ L90	260m	208m (80.0%)	スギ L90~L100	348m (133.8%)

この結果から強度試験体 20 体を製造するのに必要なラミナ(厚さ 33.5mm)の総長さを計算したところ、表 2.1-4 に示す通り、ヒノキの最外層・外層(L125)が 62%と不足し、スギの中間層(L90)が 80%でやや不足し、スギの内層(L30)が全く出なかった。このため、レイアップを初期の ME95-F270 から ME85-F255 に修正し集成材を製造するよう計画を変更した。変更後の構成を図 2.1-5 に示す。ヒノキの外層は L110 以上とし、スギの中間層は L90 以上とし、内層は L50 から L80 未満とした。計画の強度試験体(ME95-F270)20 体に必要な最外層・外層ラミナ(L125)は、表 2.1-5 の通りフィンガーラミナとして 2.85m³であることから、吉野産ヒノキの入手条件は、必要量の 4.8 倍(約 15m³)も入手しないと製造できないことが分かった。また、計画の一ランク上の L140 の

外層ラミナは、出現率 6.5%しか出現しなかったことから、15.4 倍（約 48m³）も入手しないと必要量に満たないことが分かる（表 2.1-5）。試験体の数の少ない防耐火用のラミナ（厚さ 28.5mm）も同様な結果であった（図表等の報告は省略）。

乾燥ラミナの 必要量 (165x35mm)	最外層 外層 強度等級	グレーディング 出現率	製品強度性能	フィンガー ナ161x33必要 量: 2.848m ³ (20体) (A)
(A) × 2.85倍 8.1m ³ ÷ 0.91 = 8.9m ³	L-110以上	35.4%	ME85-255	最外層 外層
(A) × 4.80倍 13.6m ³ ÷ 0.91 = 14.9m ³	L-125以上	20.9%	ME95-270	
(A) × 15.40倍 43.8m ³ ÷ 0.91 = 48.1m ³	L-140以上	6.5%	ME105-300	外層 最外層

表 2.1-5 吉野産ヒノキの入手条件



図 2.1-5 レイアップの変更

梁幅は梁成の 3 乗に比例するという理論から 10 層の梁の場合、最外層の曲げ応力が負担する割合が上下で 42%もある。それで、ヒノキ L125 の必要総長さが 62%あることからヤング係数の高いラミナを有効に使用するため、L125 を最外層に使い、L110 を外層に構成することにした。曲げ性能試験で試験体のヤング係数が 10.5GPa 以上が出る目標でレイアップして製造することにした（図 2.1-5）。強度区分後、材面の等級や欠点を目視選別し、写真 2.1-2 の通り、ラミナの木口にタグを打ち、薬剤処理しても判別できるように外層以上は赤、中間層は青、内層は無印として仕分けした。次に、トリスミ集成材（株）五条工場から AAC 処理ラミナと AZN 処理ラミナを大日本木材防腐（株）名古屋工場に搬入し、インサイジング加工をして、AAC と AZN のインサイジング加工の有無に分け、AZN 処理ラミナは兼松日産農林（株）東北工場に送った（図 2.1-6）。

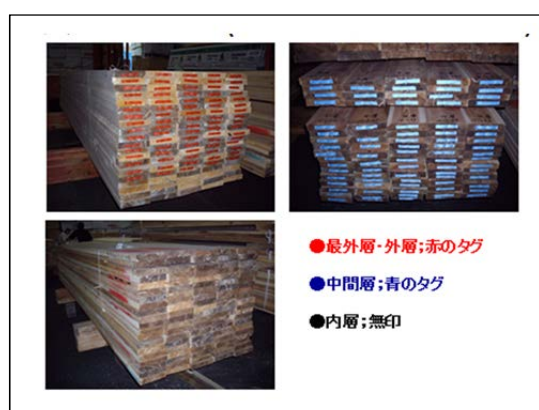


写真 2.1-2 ラミナの仕分け（タグ表示）

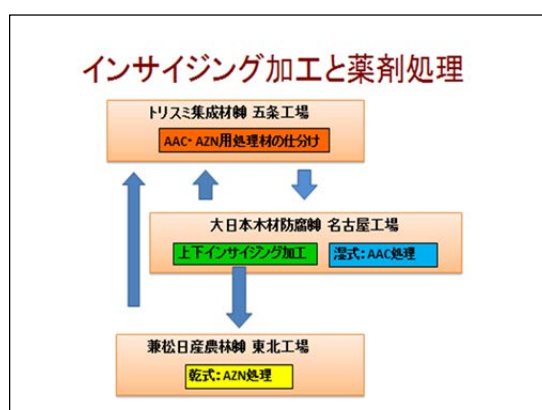


図 2.1-6 ラミナの輸送の流れ

2.2 ラミナの加圧注入処理

2.2.1 はじめに

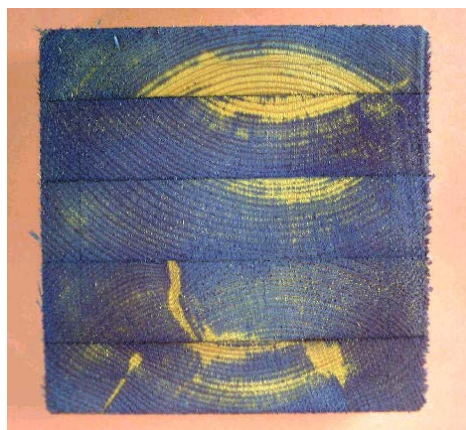
(1) 現行の保存処理集成材

小断面・中断面の保存処理集成材としては、既に流通しているものがある。それらは公益財団法人 日本住宅・木材技術センターによる、優良木質建材等認証（AQ 認証）の認証を得た工場で製造するもので、防腐・防蟻処理構造用集成材として5種類に分類されている（表 2.2-1）。

表 2.2-1 防腐・防蟻処理構造用集成材のAQ認証

番 号	内 容	薬 剤
C-1	加圧注入処理を実施したラミナを積層した集成材	AAC, ACQ, CUAZ, AZN など
C-2	集成材製品に加圧注入処理を施したもの	AZN, AZBI, NZN-0
C-3	集成材製品に加圧注入処理を施したもの	AAC, ACQ, CUAZ, AZN など
C-4	集成材製品に加圧注入以外の処理を施したもの。	AZE, IAAC
C-5	中断面集成材に加圧注入処理を施したもの	AAC, BAAC, AZN など

防腐・防蟻性能の点からは、ラミナ段階で加圧注入により保存処理を行ったものと、集成材製品に対して保存処理を行ったものに差があると考えられる。両者の違いがよく分かる例を参考として以下に示す（写真 2.2-1）。



ラミナ段階での保存処理



集成材製品への保存処理

写真 2.2-1 処理方法による保存処理集成材の薬剤浸潤の違い

これらの写真は AAC を JAS 規格により呈色させた図で、青色に変色している箇所が薬剤の浸潤部になる。集成材製品への保存処理は、製材の保存処理と同様に、主に外周部に保存処理層を築くのに対し、ラミナ段階での保存処理は、材全体を保存処理することが可能である。

(2) 本試験における保存処理集成材

本試験における保存処理を，ラミナ処理と製品処理のどちらで実施すべきか議論したところ，以下の意見が出された。

1) 大断面集成材の断面積に対して，外周 10 mm 範囲の保存処理層が適切なかが不明。

2) 薬剤が接着性能に与える影響を試験する目的としては，ラミナ段階での処理が適切。

以上のことから，本試験ではラミナ段階での処理を行った大断面集成材を製造することとした。

2.2.2 使用した木材保存剤と処理方法

(1) 使用薬剤

加圧注入処理用の木材保存剤は，JIS K 1570「木材保存剤」(2010)に規定されている。(表 2.2-2)

表 2.2-2 木材保存剤の種類¹⁾

区 分	種 類		種類の記号
水溶性木材保存剤	第四級アンモニウム化合物系	1 号	AAC-1
		2 号	AAC-2
	銅・第四級アンモニウム化合物系	1 号	ACQ-1
		2 号	ACQ-2
	銅・アゾール化合物		CUAZ
	ほう素・第四級アンモニウム化合物系		BAAC
	第四級アンモニウム化合物・非エステルビレスロイド化合物系		SAAC
	アゾール・第四級アンモニウム・非エステルビレスロイド化合物系		AZAAC
	アゾール・第四級アンモニウム・ネオニコチノイド化合物系		AZNA
乳化性木材保存剤	脂肪族金属塩系	1 号	NCU-E
		2 号	NZN-E
		3 号	VZN-E
油性木材保存剤	ナフテン酸金属塩系	1 号	NCU-O
		2 号	NZN-O
	アゾール・ネオニコチノイド化合物系		AZN
油性木材保存剤	クレオソート油		A

本試験では，保存処理集成材への実績から，水溶性木材保存剤として AAC-1（以下 AAC），油性木材保存剤として AZN の 2 種類を用いて試験することとした。

(2) 材料・前処理

2.1 項で示されているように，本試験では外層としてヒノキ，中間層・内層としてスギ材を使用することとなっている。トリスミ集成材株式会社にて加工・選別されたラミナ寸法を表 2.2-3 に，また，各樹種の心材の浸透性を表 2.2-4 に示す。また，辺材の浸透性はスギ，ヒノキとも良好とされている。

表 2.2-3 ラミナ寸法

項目	樹種	寸法 (mm)
強度試験用	スギ	w 161 × t 33 × L 3,000 ~ 4,000
耐火試験用	ヒノキ	w 161 × t 28.5 × L 3,000 ~ 4,000

表 2.2-4 心材の浸透性による分類（一部のみ）²⁾

産地	良好	やや良好	困難	極めて困難
日本材		スギ	ヒノキ	

心材の浸透性によっては、より安定した薬剤の浸透を確保するために、インサイジングという前処理を行うことが一般的になっている。インサイジングとは、「木材保存剤の均質な浸潤層を得る目的で、注入処理前に木質材料表面を刺傷又は穿孔して加工する（JIS A 9002）」手法である。

本試験では薬剤の浸透を確保することの他に、インサイジングを実施した場合の接着性能や耐火性能への影響を測定するために、強度試験材料については半数に、耐火試験材料については全数にインサイジング処理を行った。

インサイジング処理は、大日本木材防腐株式会社のインサイジング機を使用して実施した。（写真 2.2-2、表 2.2-5）



インサイジング機 外観



インサイジング機 刃物箇所

写真 2.2-2 インサイジング機

表 2.2-5 インサイジング機データ

インサイジング機	富士鋼業（株）製 フジシンサイジングマシン E-4 型
インサイジング刃	大日本木材防腐（株）製
認定番号	全国木材検査研究協会 JLIRA-IS-21
刃数密度	4,700/m ²

インサイジングは、木口断面の長辺のみに実施することとし、両端の 5 mm 部分は余白として刃がかからないように設定した。また、ラミナが通常の加工では対応していない厚さであるため、片側を刃物がない状態にし、片面ずつインサイジングを行った。（写真 2.2-3）



インサイジング実施の様子



インサイジング処理材の表面

写真 2.2-3 インサイジングの状況

(3) 注入処理方法

注入処理方法は、AAC・AZN 両薬剤ともに JIS A 9002「木質材料の加圧式保存処理方法」(2012)により実施した。各薬剤の工程を図 2.2-1 および図 2.2-2 に示す。

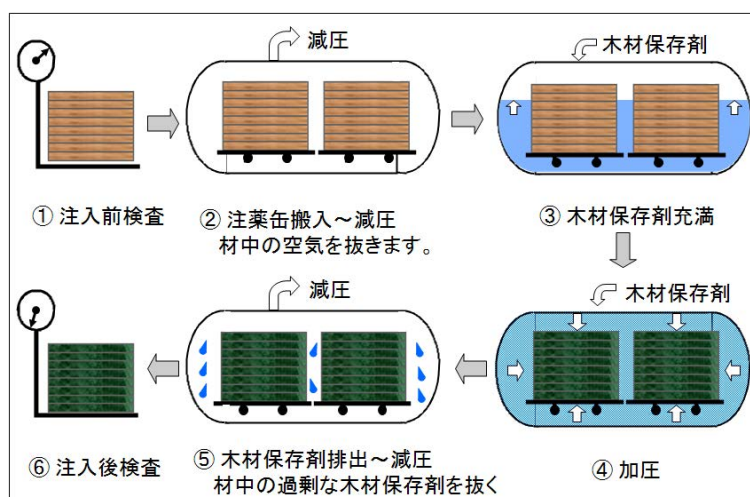


図 2.2-1 AAC 注入工程図³⁾

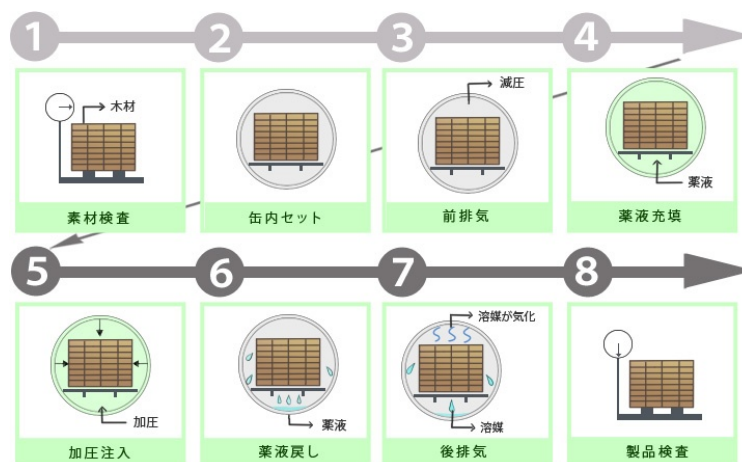


図 2.2-2 AZN 注入工程図⁴⁾

AAC・AZN 両工程共に、注薬缶（写真 2.2-4）に材料を格納後、前排气→加圧→後排气という工程を経ることに違いはないが、AZN 処理の場合は油溶性薬剤として低沸点の溶媒を使用し、水を使わないところに大きな違いがある。

AZN 処理の場合は、後排气の工程中に溶媒を気化させるため、全工程が終了した時点で、乾燥したラミナとして仕上がる。

水溶性の AAC 処理の場合は、人工乾燥の工程が必要となる。



写真 2.2-4 注薬缶

2.2.3 注入処理結果

(1) AAC

AAC 処理における注入条件および注入処理結果を表 2.2-6 に示す。注入量は、注入処理終了後、木質材料中に残っている薬液量を示す値で、注入工程管理上の指針値となる。注入前後の差重を材積で除して求めた。

表 2.2-6 AAC 注入処理結果

区分	樹種	層	インサイジング	注入量(kg/m ³)
強度試験材料	ヒノキ	外層	あり	730
			なし	707
	スギ	中間層	あり	607
		内層	あり	507
	スギ	中間・内層	なし	656
耐火試験材料	ヒノキ・スギ		あり	683

※ 注入条件：前排气 0.08MPa 60min → 加圧 1.5MPa 210min → 後排气 0.08MPa 60min

※ 薬剤：AAC 主成分濃度 1.89%

(2) AZN

AZN 処理における注入条件および注入処理結果を表 2.2-7 に示す。ANZ の場合は、注入工程の後排气の際に溶媒を気化させるため注入前後の差重から注入量を求めることができない。そこで、注入時の薬液消費量を材積で除した値を注入量とした。

表 2.2-7 AZN 注入処理結果

処理材積(m ³)	4.75
薬液消費量(ℓ)	3,201
注入量(ℓ/m ³)	674

※ 注入条件：前排气 0.08MPa 10min→ 加圧 1.5MPa 60min

2.2.4 保存処理されたラミナ等の品質

(1) 工程内検査

製材の JAS 等における保存処理の品質は、浸潤度と吸収量とで規定されている。浸潤度は断面積に対しての薬剤浸潤面積の割合、吸収量は材面から 10mm の深さまでの単位体積当たりの薬剤の量になる。

工程内検査として、ラミナ段階でサンプリングした保存処理ラミナ試験体の浸潤度および吸収量を測定した結果を表 2.2-8、AAC 処理材の浸潤状況の例を写真 2.2-5 に示す。

表 2.2-8 工程内検査結果

AAC	インサイジング	浸潤度(%)		吸収量 (kg/m ³)
		全断面	10mm 範囲	
スギ中層	なし	90	97	11.8
スギ内層	なし	91	97	11.7
	あり	99	100	11.9
ヒノキ外層	なし	99	100	12.5
	あり	96	100	11.5

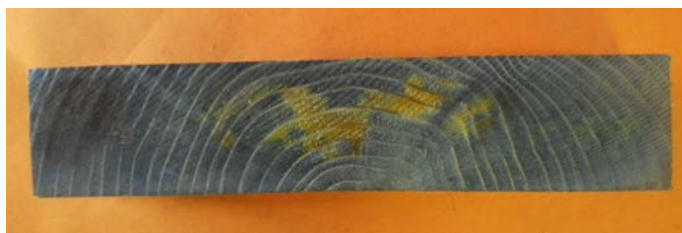
※ 各検体 n=3 の平均値

AZN	インサイジング	浸潤度(%)	吸収量 (kg/m ³)
		全断面	
スギ	なし	100	0.304
		100	0.445
	あり	100	0.323

参考までに、AQ 認証基準における保存処理集成材（小断面）（C-1（ラミナ処理））の基準（表 2.2-1 参照）を表 2.2-9 に示す。

表 2.2-9 保存処理集成材（C-1）の AQ 認証基準（AQ 2 種として）

	浸潤度(%)		吸収量 (kg/m ³)
	全断面	10mm 範囲	
AAC	80 以上	80 以上	4.5 以上
AZN			0.15 以上



薬剤浸潤部：青色

未浸潤部：黄色

写真 2.2-5 AAC ラミナの浸潤状況（スギ：インサイジングなし）

(2) 製品検査

強度試験に供した試験体から一部サンプルを抜き取り、保存処理の品質を評価した。評価結果を表 2. 2-10、浸潤状況を示す写真を写真 2. 2-6 に示す。

浸潤写真において、AAC の薬剤浸潤部は青色に、AZN の薬剤浸潤部は赤紫色に呈色する。

写真からも分かるように、インサイジングを実施しなかったラミナで認められた注入不良部が、インサイジングしたラミナではほとんど認められなかった。

表 2. 2-10 製品検査結果

薬剤	インサイジング	浸潤度 (%)		吸収量 (kg/m ³)
		全断面	10mm 範囲	
AAC	なし	86	96	8.9
		93	100	10.9
		91	97	8.9
		88	99	9.9
		93	99	11.4
	平均	90	98	10.0
	あり	98	98	11.6
		99	100	8.5
		96	100	11.5
		98	99	11.7
		97	100	11.7
	平均	98	99	11.0

薬剤	インサイジング	浸潤度 (%)		吸収量 (kg/m ³)
		全断面	10mm 範囲	
AZN	なし	100	100	0.20
		99	99	0.18
		100	100	0.17
		98	99	0.16
		96	94	0.18
	平均	99	98	0.18
	あり	100	100	0.24
		100	100	0.21
		100	100	0.23
		99	100	0.19
		100	100	0.18
	平均	100	100	0.21

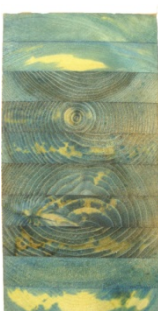
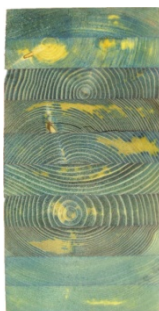
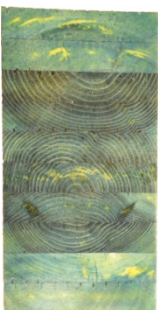
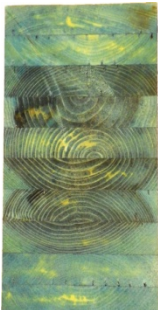
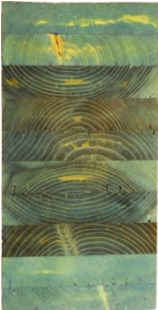
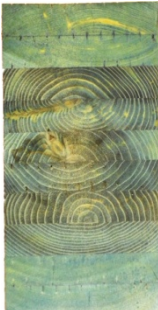
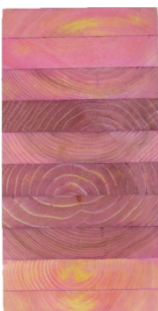
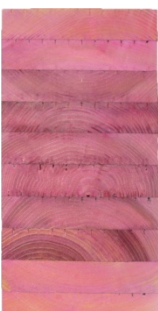
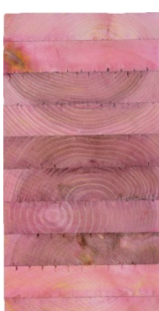
AAC	インサイジング なし				
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
					
	インサイジング あり				
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
					
	インサイジング なし				
AZN	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
					
	インサイジング あり				
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
					

写真 2.2-6 集成材製品の保存処理浸潤写真

2.2.5 まとめと考察

ラミナ注入処理における大断面保存処理集成材の製造の中で、本試験として、以下の結果を得た。

- 1) JIS K 1570 を代表して選択した薬剤である AAC, AZN とともに、ラミナ段階での処理により十分な注入量を確保することが可能で、小断面集成材の現行の基準と照らし合わせても、適合する結果を得ることができる。
- 2) 心材の浸透性が困難とされるヒノキにおいても、インサイジングなしでも十分に薬剤の浸透が確保できる材料があった。しかしながら安定した品質を確保するためには、インサイジングを実施することが好ましい。
- 3) 吸収量については、全体に高い結果となり、日本農林規格の性能区分において K4 レベルに達している。これは、予想以上の注入量が確保されたためであり、これについては製品の品質管理と共に見直していく必要がある。

2.2.6 引用文献

- 1) JIS K 1570 「木材保存剤」(2010)
- 2) 木材工業ハンドブック (改訂 4 版) : 丸善株式会社 より一部抜粋
- 3) 加圧式保存処理木材の手引き (日本木材防腐工業組合)
- 4) 兼松日産農林 (株) ホームページ (http://www.knn.co.jp/whm/work_b/b01.html)

2.3 処理ラミナの集成加工

2.3.1 処理ラミナの乾燥工程

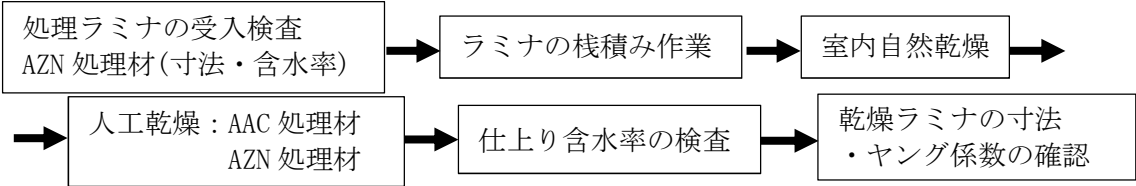


図 2.3-1 保存処理（加圧注入）後の製造工程

AAC 処理ラミナは、集成材工場に入荷後直ちに
積みをして自然乾燥を一週間行い、再乾燥も含め
18 日間人工乾燥を行った。積み時は幅広ラミナ材
の反りやカップを少しでも軽減させるため、10kg
のコンクリートブロックを載せた（写真 2.3-1）。
人工乾燥するラミナは、厚さ 2 種（33.5mm と
28.5mm）、2 樹種（ヒノキ、スギ）、インサイ
ジング加工（有・無）2 種の合計 6 種であったが、
全てを同時に実施した。乾燥スケジュールは、
スギの厚さ 33mm、幅 161mm で 14 日間乾燥した。
含水率は、Kett 社の木材水分計 HM-520（高周波水分計）を使用し、一枚につき 4 点で測定した。含
水率の測定結果を、図 2.3-2、図 2.3-3、表 2.3-1 に示す。

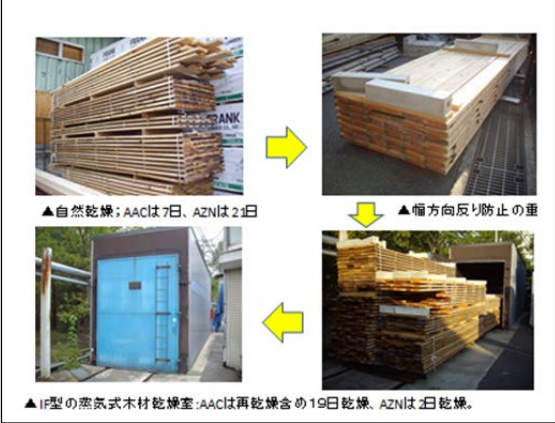


写真 2.3-1 乾燥工程

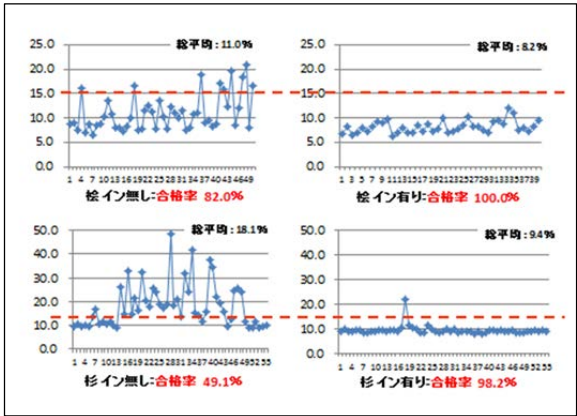


図 2.3-2 AAC 処理材の乾燥仕上り含水率(%)

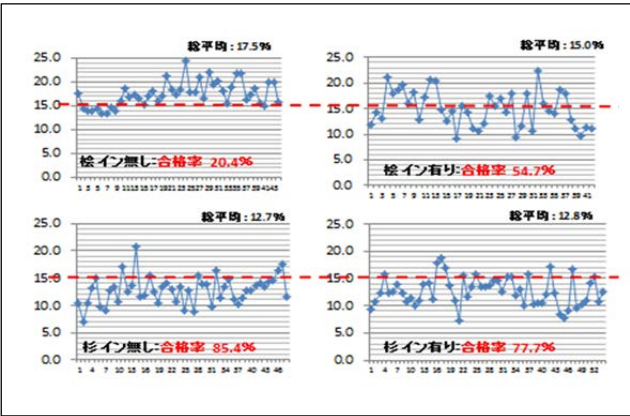


図 2.3-3 AZN 処理材の受入検査の含水率(%)

表 2.3-1 インサイジングの有無による含水率の変化

保存処理名	樹種	インサイジ ング(有・無)	測定枚数	平均含水率	15%超えるも の(枚)	合格率 (%)
AAC 処理 ラミナ	ヒノキ	有	40	8.2%	0	100%
		無	50	11.0%	9	82%
	スギ	有	55	9.4%	1	98%
		無	55	18.1%	28	49%
AZN 処理 ラミナ	ヒノキ	有	42	15.0%	19	55%
		無	44	17.5%	35	20%
	スギ	有	54	12.8%	12	78%
		無	48	12.7%	7	85%

AAC 処理ラミナは、インサイジング加工することによって、人工乾燥時に注入した薬剤に含まれていた水分が速やかに抜けるようになった（表 2.3-1）。また、乾燥による幅広ラミナのカップや反りが発生し難いことからインサイジング加工ラミナは乾燥による内部応力の緩和にもなったと思われる。

また、当然の結果であるがスギとヒノキを一緒に乾燥したためヒノキのラミナが過乾燥になる傾向が見られた。AAC 処理ラミナの含水率 15%を超えるものは、再乾燥を 3 日行った。

一方、乾式の AZN 処理材は、工場に入荷後、受入検査として含水率測定を行った。表 2.3-1 に示す通り、含水率 15%以下を合格とした場合、ヒノキのインサイジング加工有の合格率は 55%、インサイジング無は合格率が 20%であったことからインサイジング加工することによって、AAC ほど顕著でないが、油溶性の溶媒も抜けやすいのではないかと考えられた。スギは、ヒノキに比べ、インサイジングの有無による差が無く、平均含水率は同じ値となった。しかし、インサイジング加工の有無にかかわらず、含水率のバラツキが大きかったため、棧積して自然乾燥し、溶媒を飛ばすため 2 日間の 50℃で人工乾燥を行ったが、AAC 処理材に比べ、インサイジングの有無にかかわらずラミナの形状変化が見られなかった。

2.3.2 AZN 処理ラミナの含水率の測定方法

今回の含水率測定は、AAC 処理材並びに AZN 処理材も通常製造現場で使用されている高周波式木材水分計を使用した（写真 2.3-2）。乾式の AZN 処理材は、薬剤の成分が木材の比重を変化させるため含水率のバラツキも大きく、測定値が高くなる傾向が見られた。実際は全乾重量法で求めるのが適切であったが時間がかかるため、今後運用上では、比重に影響されない電気抵抗式水分計で測定することが望ましいと考えられる。



写真 2.3-2 ラミナ及び集成材の含水率測定に使用した含水率計

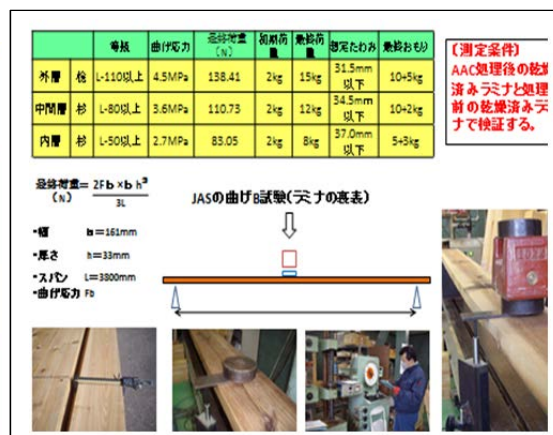
2.3.3 インサイジング加工によるラミナのヤング係数の確認

ヒノキとスギのインサイジング加工前のグレーディングマシン（以下 GM とする）で測定したヤング係数(EAv.)を JAS 曲げ B 試験(スパン:3800mm)で測定したインサイジング加工後のヤング係数と比較した。B 試験の測定方法はラミナの裏表の両方測定し、その平均値を求めた(図 2.3-4)。GM 測定前にラミナの木口に番号を付てあったラミナを、強度等級毎に、ヒノキ外層用 15 枚、スギ中間層用 15 枚、スギ内層用 15 枚を抜き取り合計 45 枚測定した。GM で分別したラミナがインサイジング加工後も定められたヤング係数を示すか JAS 曲げ B 試験で確認したところ、外層、中間層、内層を含め、ラミナの上下にインサイジング加工を施したラミナは加工前と加工後の差が

平均 1.7GPa あり、インサイジング加工することによってヤング係数が 15.5%低下していたことが分かった（表 2.3-2）。ただし、この値は GM と B 試験の測定方法の誤差を無視しての結果であることに留意する必要がある。今後、インサイジング加工に伴う正確なヤング係数低下率を求めるためには、B 試験で加工前と加工後の曲げヤング係数を測定する必要がある。

表 2.3-2 インサイジングによるヤング係数低下率

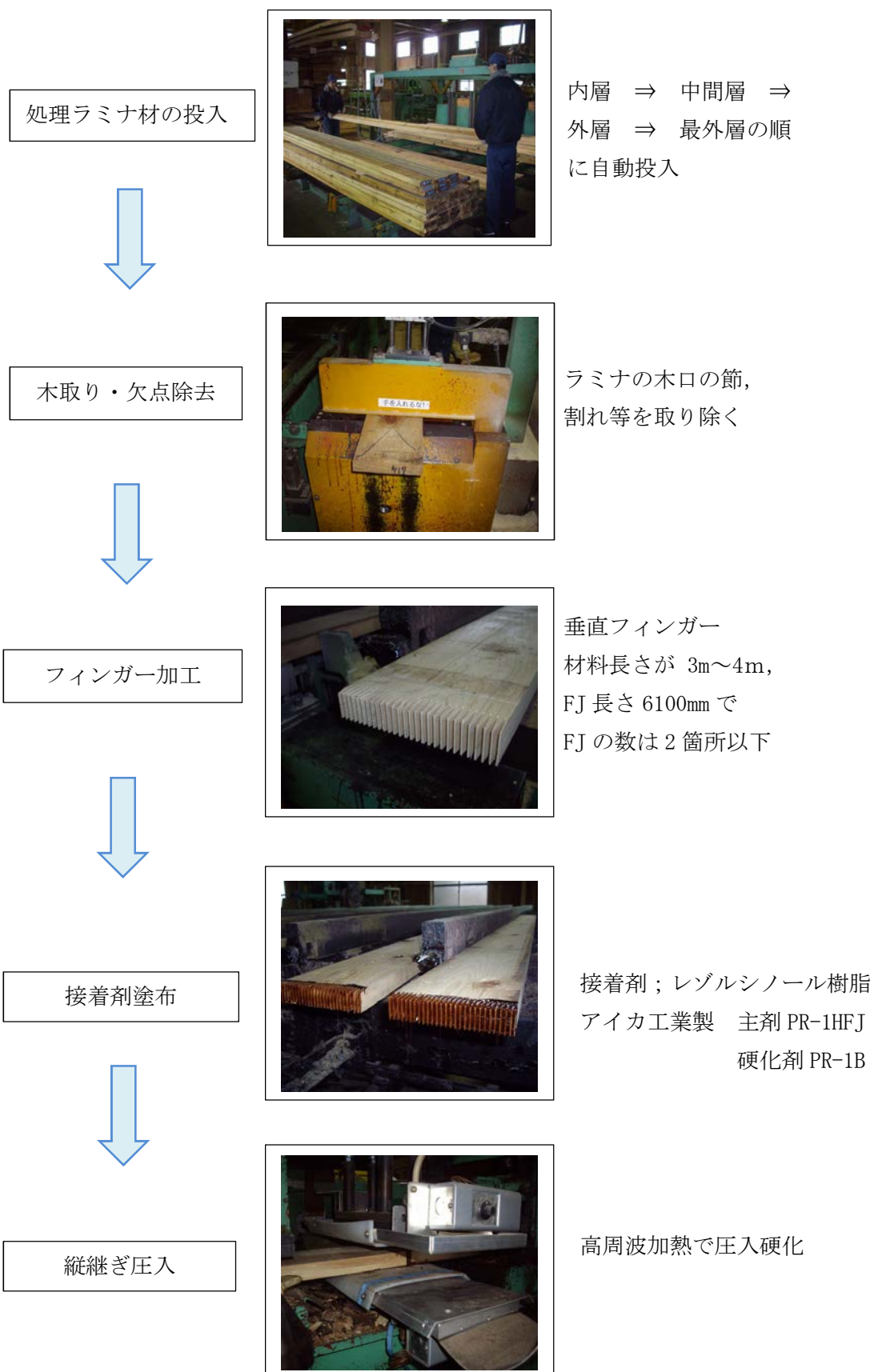
樹種仕様	測定枚数 (裏・表) 抜き取り	JASの曲げB 試験 (Gpa) (静的ヤング) 裏・表の平均	グレーディング マシン (Gpa) (動的ヤング)	低下率 (%)	含水率 (%)
ヒノキ 最外層 外層	30	10.99	12.79	14.07%	9.03
スギ 中間層	30	9.36	10.96	14.60%	9.99
スギ 内層	30	7.82	9.54	18.03%	9.27
平均	30	9.39	11.09	15.56%	9.43



集成化に向け乾燥処理ラミナ「最外層，外層，中間層，内層」の準備期間として，9 月 18 日の乾燥原板入荷から 12 月 17 日の製造にかかるまで，約 3 ヶ月を要した。

2.3.4 フィンガージョイントラミナ(FJ)の製造

フィンガージョイントラミナの製造工程およびその積層までを写真を交えながら示す。



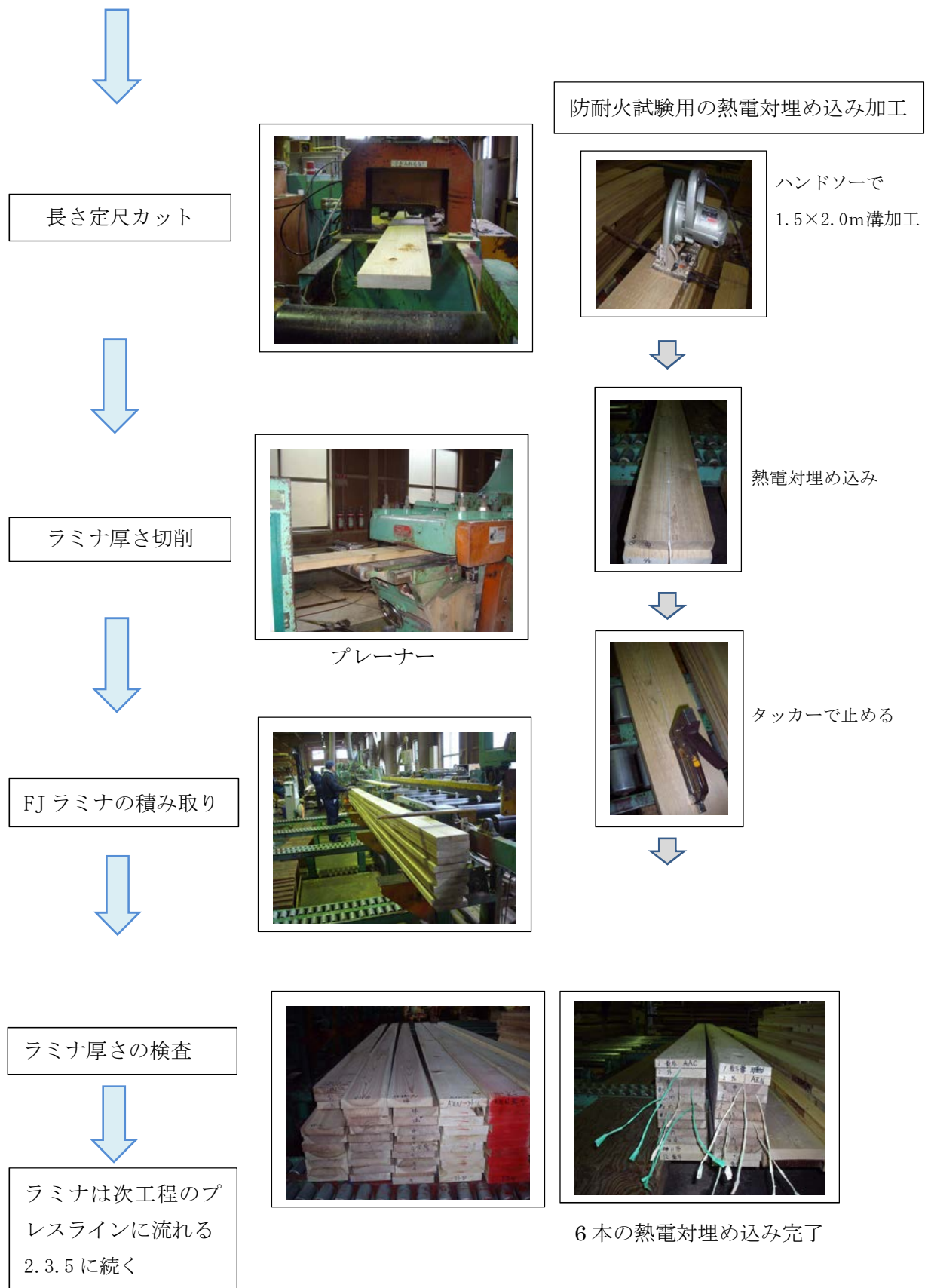


図 2.3-5 保存処理ラミナの FJ 加工およびその積層

2.3.5 AAC 処理製品を製造する場合の原板入手の留意点

大断面集成材の材料は 160mm 以上で幅が広いいため、乾燥過程で AAC インサイジング無しの処理ラミナは反り、カップによる形状変化が大きい。図 2.3-6 に示す。今回、10 層指定であったので、カップによる不具合材を再プレーナーして 29.9mm まで落とした。切削厚さの測定は、試験体 4 種のラミナから各 10 枚抜き取り、4 点測定 of 総平均値を出した。その結果を表 2.3-3 に示す。



図 2.3-6 AAC 処理ラミナのカップと反りによる不具合

表 2.3-3 ラミナの切削仕上り厚さの測定 (n=10 の総平均)

	インサイジング加工の有無	乾燥原板受入れ時の厚さ	粗プレーナーの厚さ (mm)	プレーナー厚さ (mm)
AAC 処理ラミナ	無	35	33.5	29.95
	有			30.58
AZN 処理ラミナ	無			30.61
	有			30.63

試験体の仕上げ時、AAC 処理のインサイジング加工無は、プレス貼り上り寸法が 5 本の平均で 298.3mm になり、一面 3mm の削りしろが無いいため、仕上げ工程で梁成をサンダー仕上げをせざる得ない結果になった (表 2.3-4)。

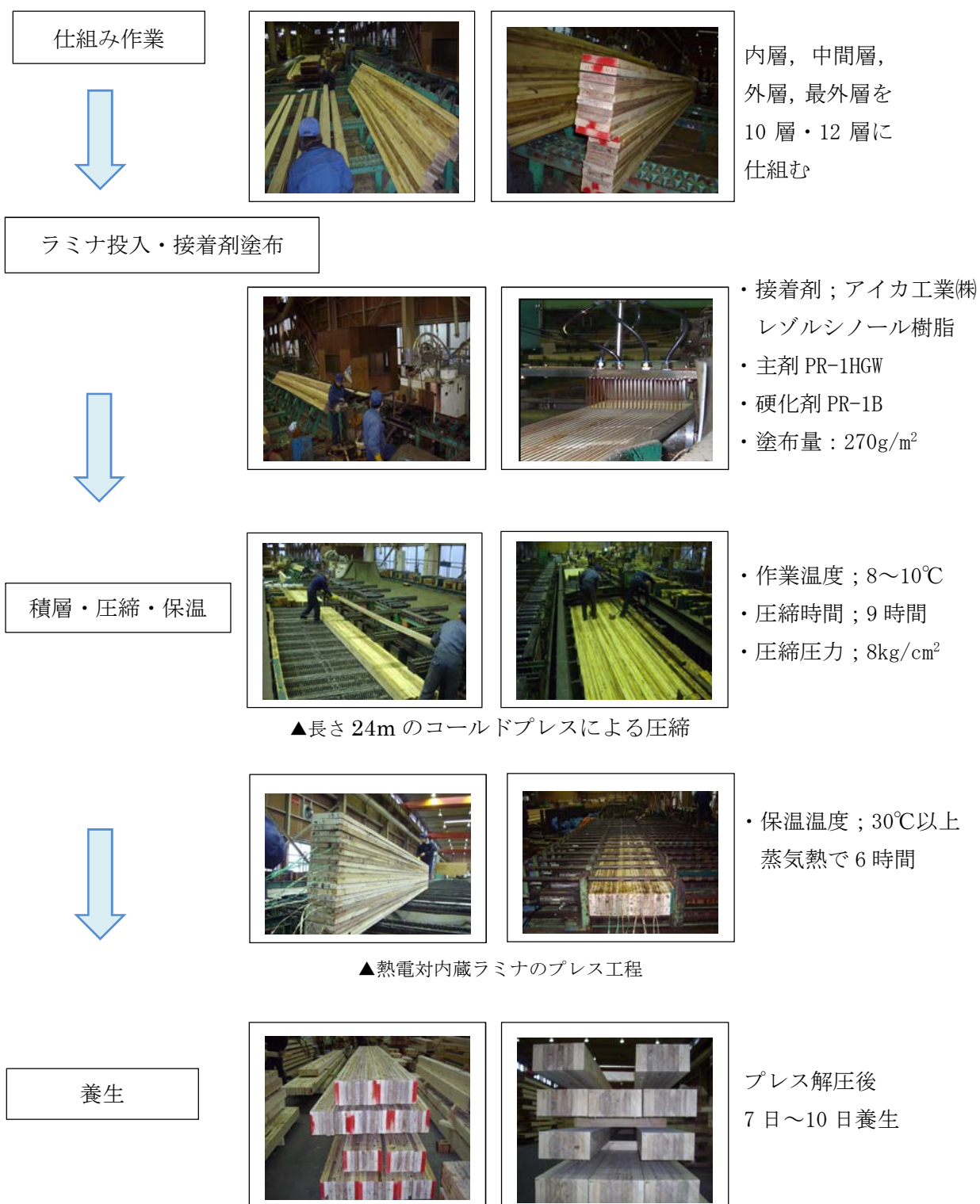
今後材料を入手する際は、ラミナの切削厚さが 30.5mm の場合、乾燥原板の厚さを 35mm から 36.5mm にする必要がある。ただし、製材後乾燥したひき板で入手した場合は、厚さのバラツキも大きいため必ず粗プレーナーが必要である。また、無処理大断面集成材の場合は、一面の削りしろを通常 5mm に設定しているが、保存処理大断面集成材は浸潤度や吸収量を高くする目的において、3mm にする必要がある。しかし、大断面の 6m を超える長尺物は、曲りや変形があるため難しいと考えられる。

表 2.3-4 プレスの貼り上り寸法と仕上り寸法の確認 (n=5 体、両木口 2 点測定の総平均)

	インサイジング加工の有無	プレス貼り上り寸法 (mm)	仕上り梁成寸法 (mm)	梁成の仕上げ仕様
AAC 処理製品	無	299.5	298.28	サンダー仕上
	有	305.8	305.58	プレーナー仕上
AZN 処理製品	無	306.0	299.86	〃
	有	306.1	299.93	〃

2.3.6 集成加工

ここまで調製してきた保存処理乾燥ラミナを以下の手順で集成加工した。



▲長さ 24m のコールドプレスによる圧縮

▲熱電対内蔵ラミナのプレス工程

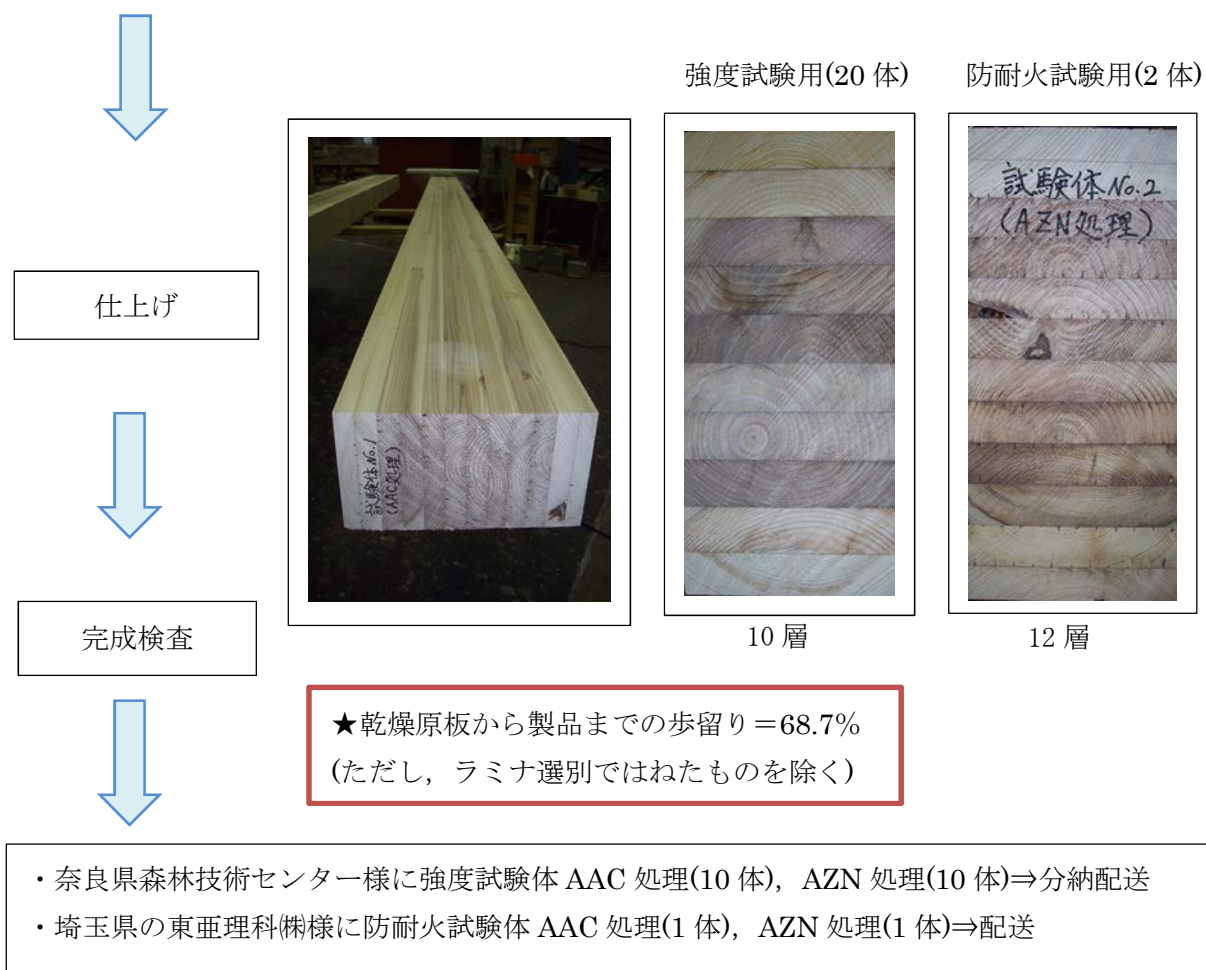


図 2.3-7 保存処理ラミナの集成加工

2.3.7 保存処理ラミナを使用した場合に要する工程

今回の事業を実際に実施した日を表 2.3-5 に示す。保存処理大断面集成材の製造は、集成化するまでの前工程に要する手間と時間がかかるため、無処理大断面集成材と比べて、原板の入荷から乾燥処理ラミナにするまでに最低 2 ヶ月の準備期間が必要であった。

表 2.3-5 保存処理集成材を作製した際の実際のスケジュール

	乾燥原板入荷日	処理ラミナ入荷日	集成材製造日	性能試験日
AAC 処理試験体	H25. 9. 18	H25. 10. 22	H25. 12. 17～	H26. 12. 24～
AZN 処理試験体	同上	H25. 11. 30	H26. 1. 10～	H26. 1. 20～
防耐火試験体	同上	同上	H26. 1. 9～	H26. 1. 22～

第3章 保存処理大断面集成材の強度及び接着性能

3.1 保存処理集成材の曲げ試験

作製した集成材の種類および寸法は表 3. 1-1 のとおりである。

木材保存剤は AAC（第 4 級アンモニウム化合物系）および AZN（シプロコナゾール・イミダクロプリド剤）であり、それぞれラミナのインサイジング加工有り、インサイジング加工無しの計 4 種類の保存処理集成材を製造した。製造の詳細は「第 2 章 保存処理大断面集成材の製造」を参照されたい。保存処理集成材は、寸法、重量および打撃法により動的ヤング係数を測定した後に曲げ試験に供した。曲げ試験には東京衡機製造所製の実大曲げ試験機を使用し、スパン 5400mm、シェアスパン 2100mm の 4 点曲げ荷重により試験を行った。曲げたわみはスパン中央で測定し、曲げ強度、曲げヤング係数、および含水率を測定した。

表 3. 1-1 作製した保存処理集成材

記号	木材保存剤	インサイジング	集成材等級	寸法
AAC-1～5	AAC	無し	特定対称異等級構成 ME85-F255 (大断面集成材)	幅 150mm 梁せい 300mm 長さ 6000mm
AAC-I-1～5		有り		
AZN-1～5	AZN	無し		
AZN-I-1～5		有り		

表 3. 1-2 に曲げ試験の結果を示す。

AAC-1～5 の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態を、図 3. 1-1～図 3. 1-5 に示す。AAC-1～5 の動的ヤング係数および曲げヤング係数はいずれも 10. 6GPa 以上であり、ME85-F255 で要求される数値を満たしていた。曲げ強度は、AAC-3 が 26. 5MPa と相対的に低い値を示したものの全試験体が下限曲げ強度以上であった。最終破壊は、各試験体とも引張側最外層ラミナに存在したフィンガージョイント（以下 FJ）で発生した。

AAC-I-1～5 の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態を、図 3. 1-6～図 3. 1-10 に示す。AAC-I-1～5 の動的ヤング係数および曲げヤング係数は 10. 6GPa 以上であり、ME85-F255 で要求される数値を満たしていた。曲げ強度も、すべての試験体が下限曲げ強度を大きく上回った。最終破壊は、2 体が引張側 2 層目ラミナに存在した FJ で発生し、2 体は引張側最外層ラミナの材縁部節で発生し、残る 1 体は引張側最外層ラミナの FJ で発生した。

AZN-1～5 の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態を、図 3. 1-11～図 3. 1-15 に示す。AZN-1～5 の動的ヤング係数平均値が 10. 7GPa であったのに対し、曲げヤング係数平均値は 12. 0GPa であった。この差の原因は不明である。曲げヤング係数および曲げ強度とも、すべての試験体が要求される下限値を大きく上回っていた。最終破壊は、3 体が引張側最外層ラミナの FJ で発生し、1 体が引張側 2 層目ラミナの FJ、残る 1 体は引張側最外層ラミナの節および引張側 2 層目ラミナの FJ が原因で発生した。

AZN-I-1～5 の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態を、図 3. 1-16～図 3. 1-20 に示す。AZN-I-1～5 の動的ヤング係数平均値は 10. 8GPa であったのに対し、曲げヤング係数平均値は 10. 4GPa と低く、インサイジング加工無しの AZN-1～5 とは反対の結果であった。また、曲げヤング係数および曲げ強度とも、すべての試験体が要求される下限値を上回っていたが、インサイジング加工有りの曲げ強度はインサイジング加工無しよりも低かった。これらの結果は、インサイジング加工によりラミナの曲げヤング係数および強度が低下したことを示唆している。最終破壊は、3 体が引張側最外層ラミナの FJ で発生し、1 体が引張側 2 層目ラミナの FJ で発生し、残る 1 体は引張側最外層ラミナの節および引張側 2 層目ラミナの FJ で発生した。

表3.1-2 保存処理集成材の曲げ試験の結果

試験体番号	密度 (kg/cm ³)	動的ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	最大荷重 (kN)	曲げ強度 (N/mm ²)	含水率 (%)	破壊形態
AAC-1	0.44	10.6	11.0	78.7	37.2	12.1	1
AAC-2	0.45	11.1	11.6	77.3	36.6	12.3	1
AAC-3	0.44	11.2	10.9	56.4	26.5	11.2	1
AAC-4	0.45	10.7	11.2	89.9	42.1	11.9	1
AAC-5	0.45	11.7	11.3	107.3	51.3	11.6	1
平均値	0.45	11.1	11.2	81.9	38.7	11.8	
標準偏差	0.01	0.4	0.3	18.6	9.0	—	
変動係数 (%)	1	4	2	23	23	—	
AAC-I-1	0.45	10.7	10.8	87.3	40.6	9.4	2
AAC-I-2	0.45	10.8	11.2	78.7	37.0	8.9	1
AAC-I-3	0.43	11.4	11.4	107.9	50.2	8.8	2
AAC-I-4	0.44	10.8	11.2	89.3	41.5	9.1	3
AAC-I-5	0.44	10.6	10.6	79.5	36.8	10.2	3
平均値	0.44	10.9	11.0	88.5	41.2	9.3	
標準偏差	0.01	0.3	0.3	11.8	5.5	—	
変動係数 (%)	2	3	3	13	13	—	
AZN-1	0.43	10.7	12.2	116.9	54.7	9.5	4
AZN-2	0.42	10.6	11.6	101	47.1	10.3	1
AZN-3	0.42	10.7	11.8	78.6	36.7	8.8	1
AZN-4	0.43	10.9	12.3	82.3	38.4	9.5	1
AZN-5	0.42	10.8	12.3	107.0	50.1	9.6	2
平均値	0.42	10.7	12.0	97.2	45.4	9.6	
標準偏差	0.00	0.1	0.3	16.3	7.7	—	
変動係数 (%)	1	1	3	17	17	—	
AZN-I-1	0.44	10.5	10.5	78.1	36.5	9.1	2
AZN-I-2	0.44	11.2	10.5	65.2	30.4	10.2	1
AZN-I-3	0.44	10.6	9.9	69.1	32.4	11.4	2
AZN-I-4	0.45	10.6	10.6	85.1	39.7	11.4	5
AZN-I-5	0.44	10.9	10.2	68.3	31.9	9.8	3
平均値	0.44	10.8	10.4	73.2	34.2	10.4	
標準偏差	0.01	0.3	0.3	8.2	3.8	—	
変動係数 (%)	2	3	3	11	11	—	

注：破壊形態：1：引張側最外層ラミナのFJ，2：引張側2層目のFJ，3：引張側最外層ラミナ材縁部の節，4：引張側最外層ラミナの節および引張側2層目のFJ，5：引張側最外層ラミナの目切れ。

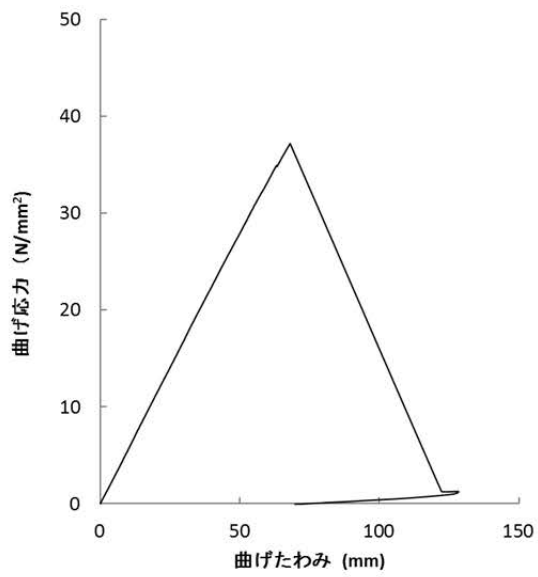


図3.1-1 AAC-1の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態

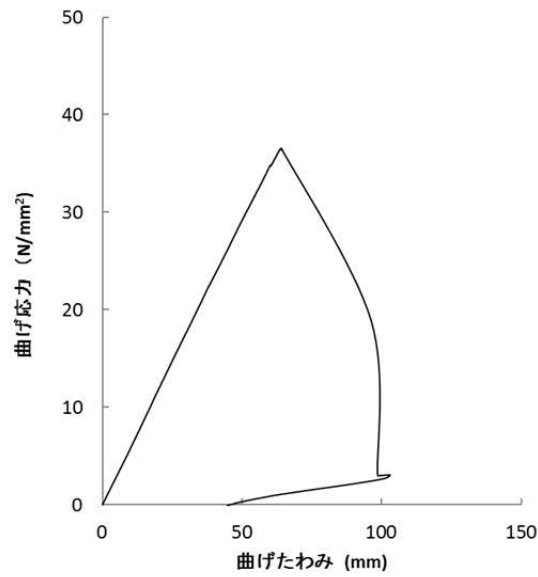


図3.1-2 AAC-2の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態

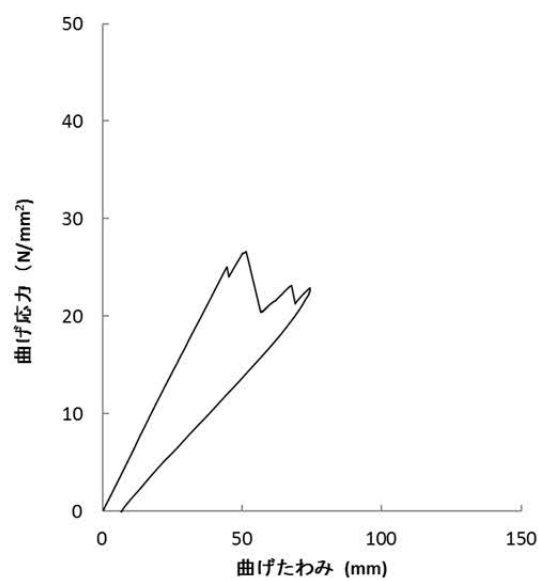


図3.1-3 AAC-3の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態

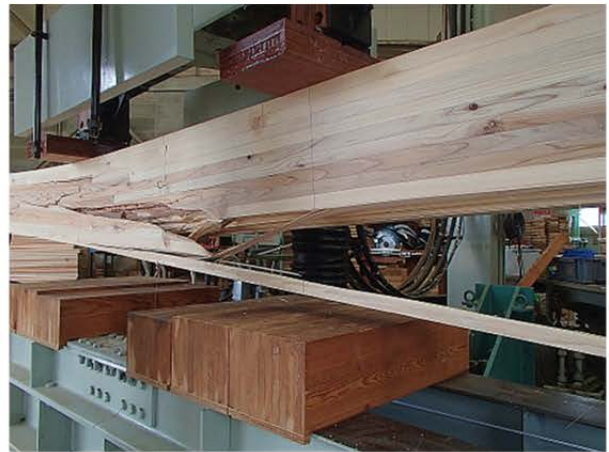
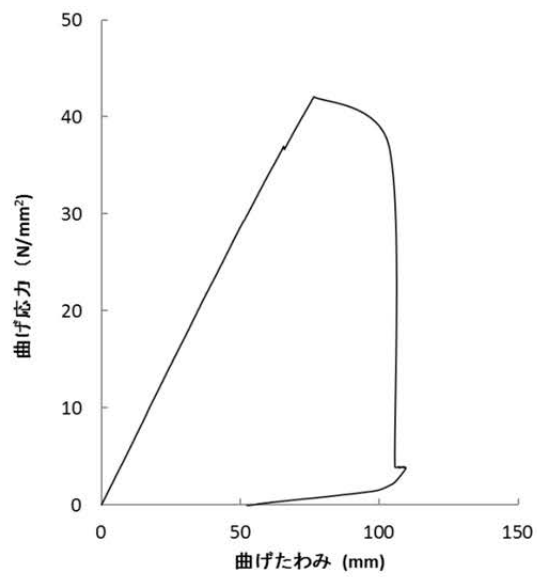


図3.1-4 AAC-4の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態

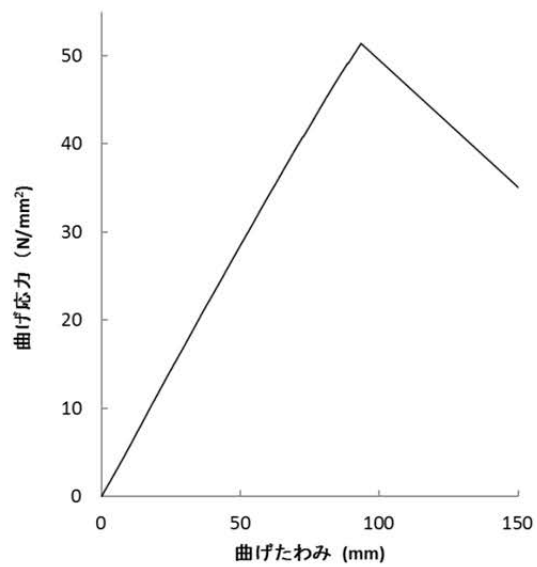


図3.1-5 AAC-5の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態

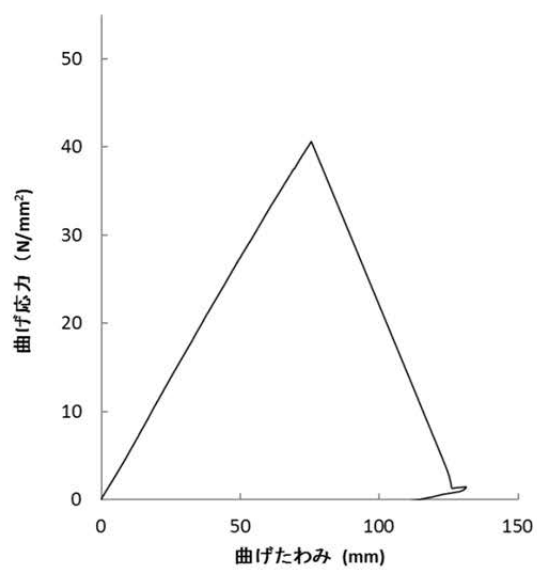


図3.1-6 AAC-I-1の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態

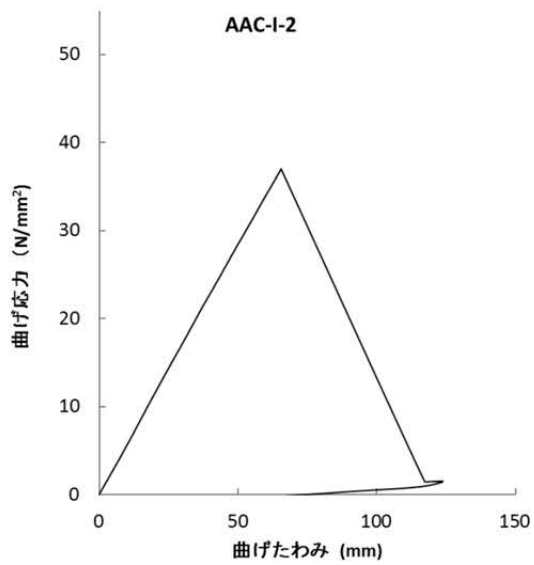


図3.1-7 AAC-I-2の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

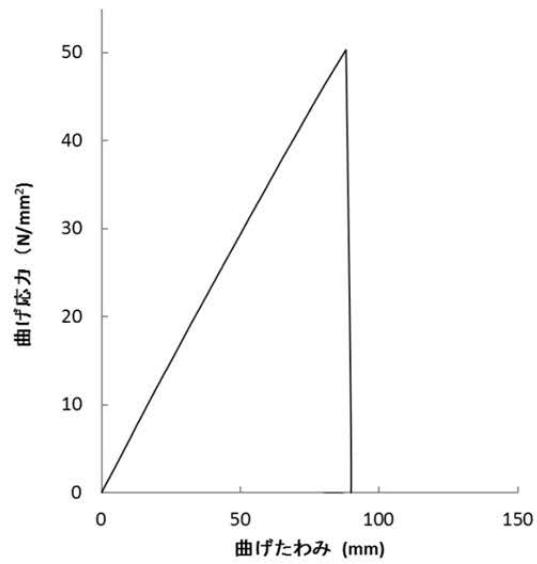


図3.1-8 AAC-I-3の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

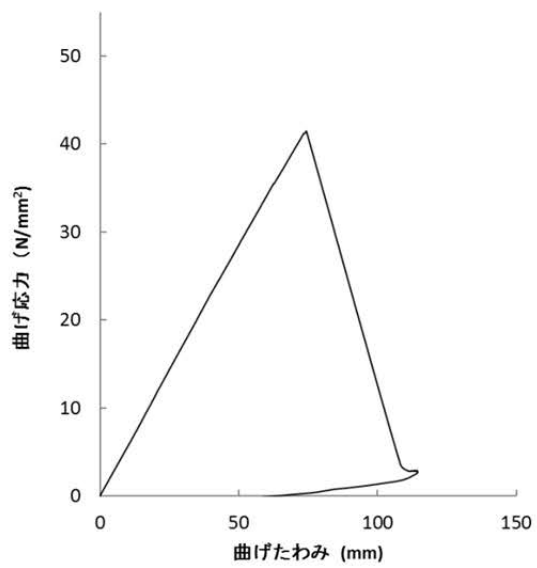


図3.1-9 AAC-I-4の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

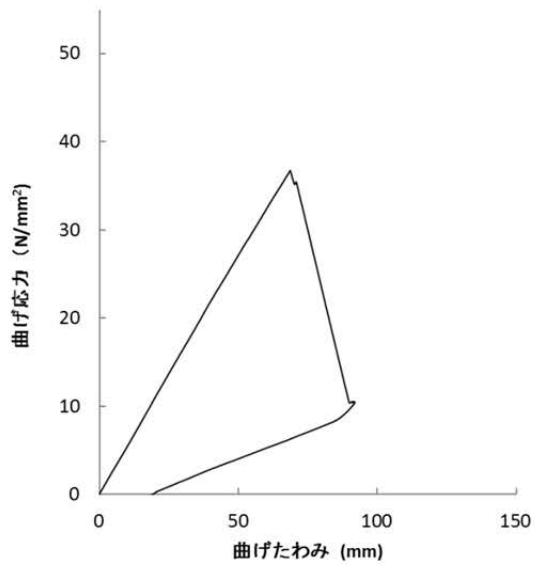


図3.1-10 AAC-I-5の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

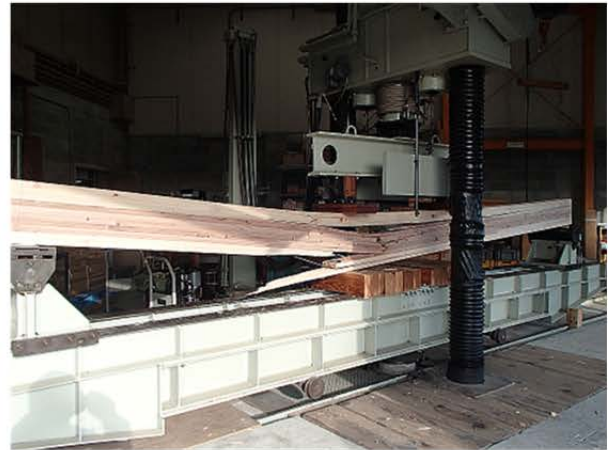
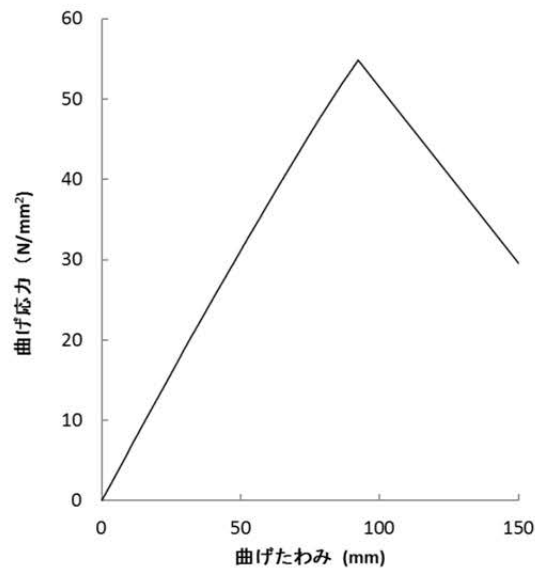


図3.1-11 AZN-1の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

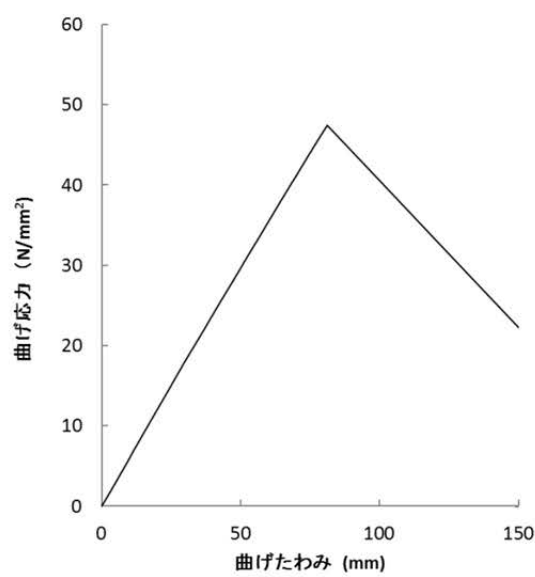


図3.1-12 AZN-2の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

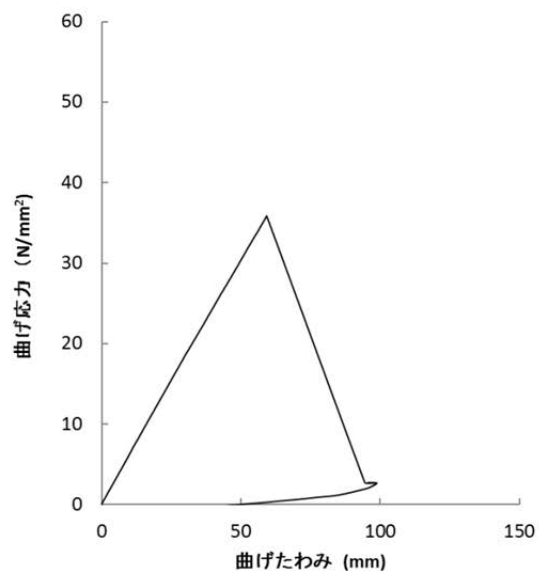


図3.1-13 AZN-3の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態

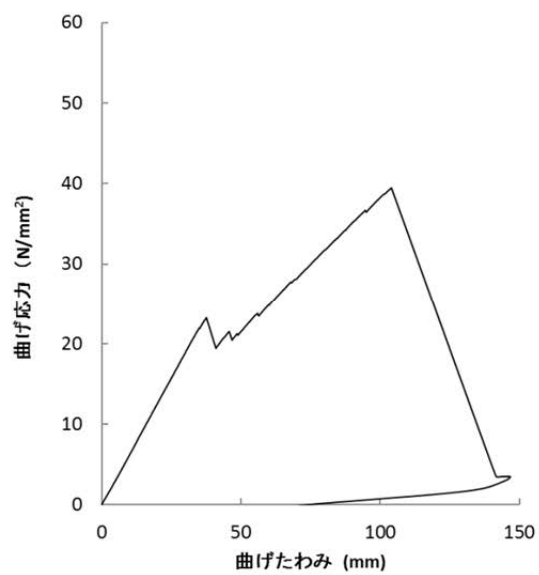


図3.1-14 AZN-4の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態

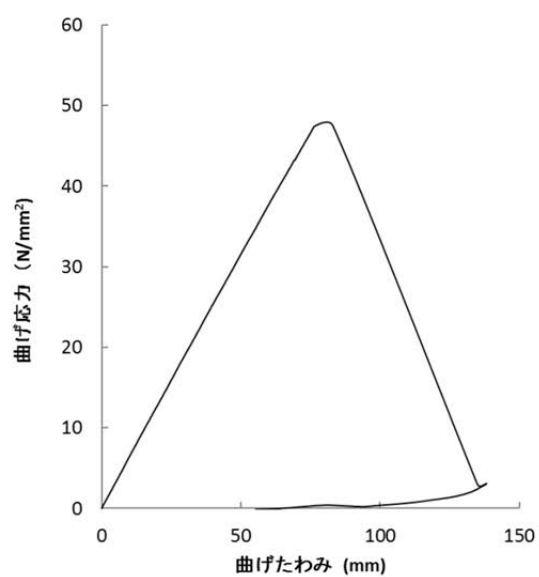


図3.1-15 AZN-5の曲げたわみー曲げ応力曲線および破壊形態

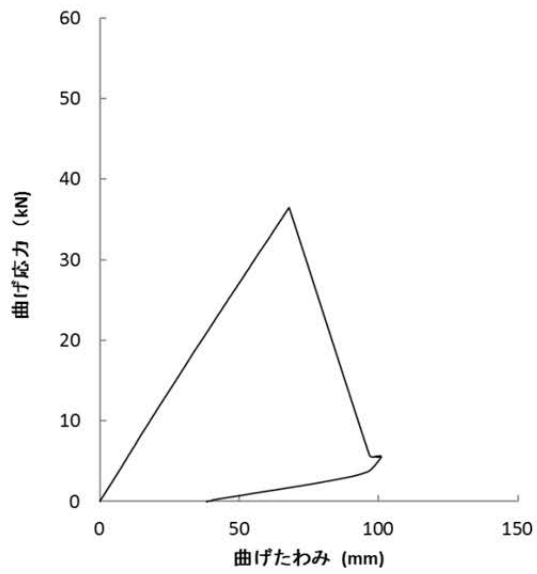


図3.1-16 AZN-I-1の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

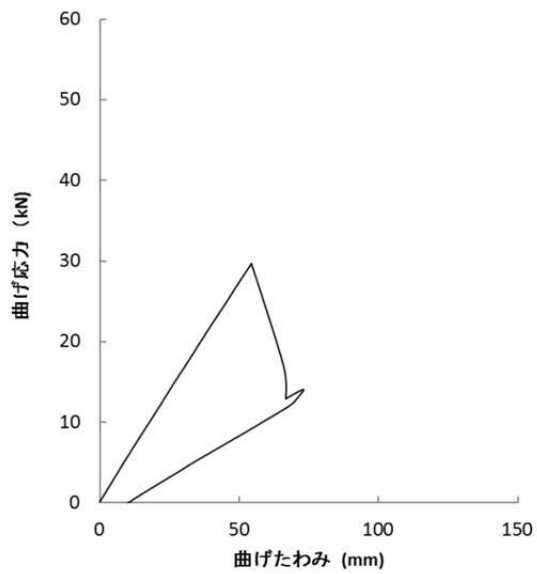


図3.1-17 AZN-I-2の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

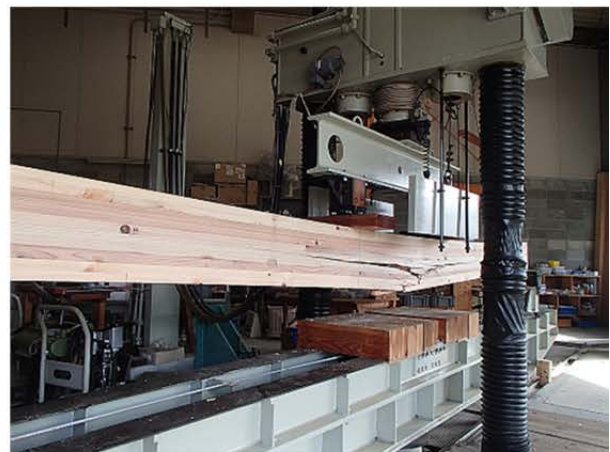
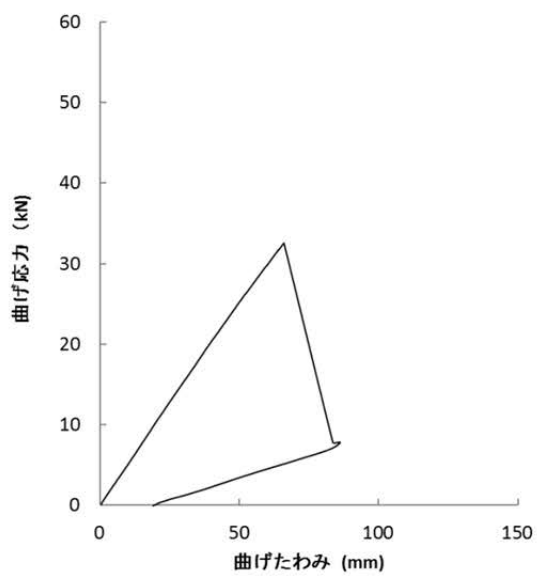


図3.1-18 AZN-I-3の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

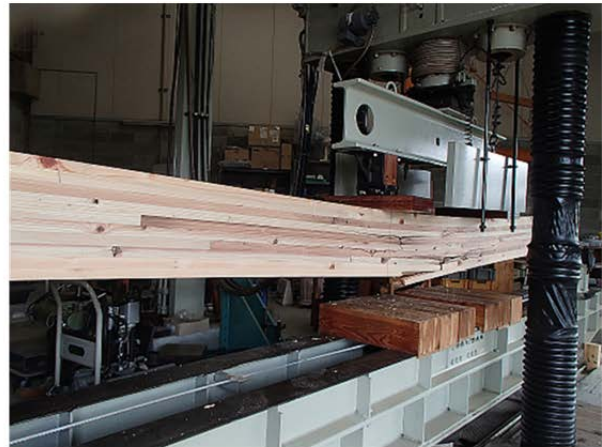
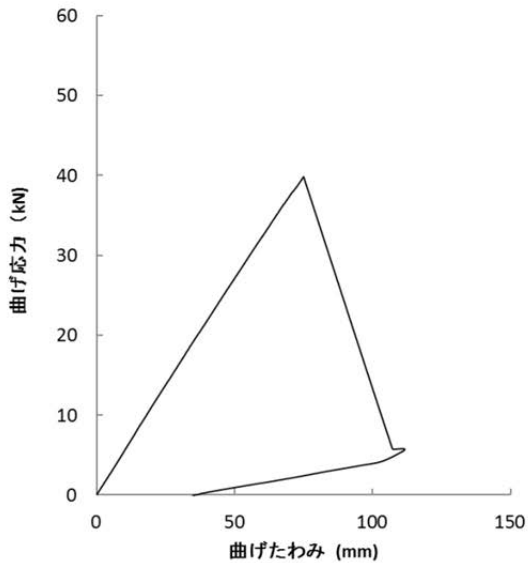


図3.1-19 AZN-I-4の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

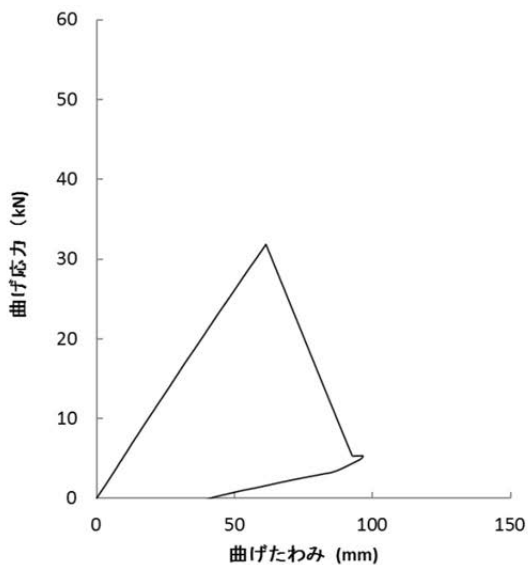


図3.1-20 AZN-I-5の曲げたわみー曲げ応力曲線
および破壊形態

3.2 接着性能試験

3.2.1 セン断強度

曲げ試験の終了後、各試験体より図3.2-1のとおりブロックせん断試験片を採取した。試験片は、試験体の長さ方向両端の非破壊部分よりそれぞれ1個ずつ採取した。ブロックせん断試験には東京衡機製造所製のアムスラー型材料試験機を使用し、荷重速度を 9.8N/mm^2 以下として試験を行った。せん断強度、木部破断率、および含水率を測定した。

試験の結果を表3.2-1に示す。

AAC-1～5では、各試験体の全接着層せん断強度平均値は $9.8\sim 10.5\text{N/mm}^2$ であった。全試験体をラミナの組み合わせ別に区分した場合のせん断強度平均値は、ヒノキラミナ間が 11.8N/mm^2 、ヒノキラミナとスギラミナとの間が 10.3N/mm^2 、スギラミナ間が 9.2N/mm^2 であった。集成材の日本農林規格（JAS）では、ヒノキ集成材の接着層せん断強度下限値を 7.2N/mm^2 と規定し、同じくスギ集成材を 5.4N/mm^2 としている。AAC-2、AAC-3、およびAAC-5では、JAS 下限値未満のせん断強度が出現した。ラミナの組み合わせ別では、ヒノキラミナ間、ヒノキラミナとスギラミナ間、スギラミナ間、の順にせん断強度平均値は低下した。また、各組み合わせでJAS 下限値未満のせん断強度が出現した。

AAC-I-1～5 の各試験体のせん断強度平均値は $7.9 \sim 9.7 \text{ N/mm}^2$ であり、AAC-1～5 の各試験体より低かった。全試験体をラミナの組み合わせ別に区分したせん断強度平均値も同様に、各組み合わせで AAC-1～5 より低い値であった。これらの結果は、ラミナへのインサイジング加工により接着層せん断強度が低下したことを示唆している。最小値に関しては、AAC-I-5 を除き JAS 下限値未満の数値が出現した。ラミナの組み合わせ別の平均値および最小値については、AAC-1～5 と同様の結果であった。

AZN-1～5 では、各試験体の全接着層せん断強度平均値は $8.2 \sim 9.8 \text{ N/mm}^2$ であった。全試験体についての、ラミナの組み合わせ別せん断強度平均値は、AAC-1～5 および AAC-I-1～5 と同様にヒノキラミナ間、ヒノキラミナとスギラミナ間、スギラミナ間、の順に低下した。最小値に関しては、AZN-5 で JAS 下限未満の数値が出現し、これはスギラミナ間の接着層であった。

AZN-I-1～5 の各試験体のせん断強度平均値は $7.9 \sim 9.7 \text{ N/mm}^2$ であり、AZN-1～5 の各試験体より低かった。全試験体をラミナの組み合わせ別に区分したせん断強度平均値も同様に、各組み合わせで AZN より低い値であった。これらの結果は AAC と同じであり、ラミナへのインサイジング加工によりせん断強度が低下したものと推測される。最小値は、AZN-I-5 を除き JAS 基準値未満の数値が出現した。ラミナの組み合わせ別の平均値および最小値については、ヒノキラミナ間が 5.3 N/mm^2 、ヒノキラミナとスギラミナ間が 5.7 N/mm^2 、スギラミナ間が 4.7 N/mm^2 であった。これらは、いずれも AZN-I-5 で出現した。

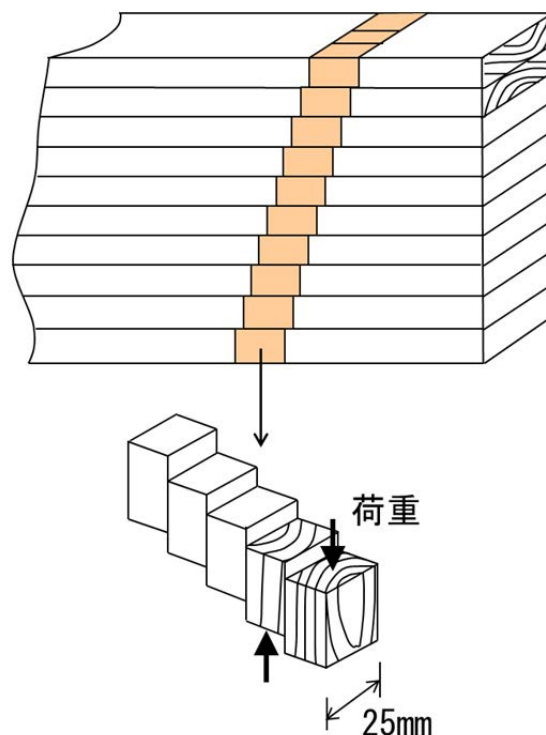


図3.2-1 ブロックせん断試験片の採取および試験方法

3.2.2 木部破断率

表 3.2-1 に示すように AAC-1～5 および AAC-I-1～5 の各試験体の木部破断率平均値は、いずれも 90%以上であった。JAS での木部破断率下限値は、ヒノキ集成材で 65%、スギ集成材で 70%とされている。AAC-1～5 での最小値は 40～90%であり、JAS 下限値未満の値を含む試験体が 3 体出現した。AAC-I-1～5 での最小値は 50～80%であり、1 試験体で JAS 下限値未満の値が出現した。以上のとおり、AAC で処理した集成材の木部破断率については、インサイジング加工の影響は明確でなかった。

AZN-1～5 の木部破断率平均値は 82～96%であり、AAC-1～5 より低かった。最小値は 20～60%であり、同様に AAC-1～5 より低かった。ラミナにインサイジング加工を行った AZN-I-1～5 の平均値は 62～86%であり、AZN-1～5 よりも低かった。最小値も 20～40%と低い値であった。このように、AZN で処理した集成材の木部破断率の結果は、ラミナへのインサイジング加工の影響を示唆するものであった。

また、AZN-1～5 および AZN-I-1～5 とともに、AAC-1～5 および AAC-I-1～5 よりも木部破断率が小さかった。

表3.2-1 ブロックせん断試験の結果

試験体	データ区分	各試験体の全接着層 ¹⁾					全試験体の接着層種類別 ²⁾		
	番号	1	2	3	4	5	ヒノキ-ヒノキ間	ヒノキ-スギ間	スギ-スギ間
せん断強度 (N/mm ²)									
AAC	平均値	10.5	9.9	10.0	9.8	10.0	11.8	10.3	9.2
	標準偏差	1.8	3.7	3.1	2.3	2.3	2.8	2.7	2.2
	変動係数(%)	17	38	31	23	23	24	27	24
	最大値	14.9	15.8	14.1	14.5	12.8	15.8	12.7	14.9
	最小値	8.0	0.5	1.9	6.0	3.5	2.7	0.5	1.9
AAC-I	平均値	8.4	9.3	9.5	7.9	9.7	10.7	8.6	8.4
	標準偏差	3.1	2.9	3.2	2.4	2.1	3.6	2.1	2.5
	変動係数(%)	38	31	33	31	21	33	24	29
	最大値	12.9	14.3	16.4	11.8	13.9	16.4	12.0	12.9
	最小値	1.9	3.5	3.4	3.4	6.6	3.4	3.7	1.9
AZN	平均値	11.2	10.8	9.6	10.9	9.9	13.7	11.0	9.0
	標準偏差	1.9	2.6	2.0	2.1	4.2	2.2	1.4	2.1
	変動係数(%)	17	24	21	20	43	16	13	23
	最大値	15.4	15.6	13.1	14.8	18.1	18.1	13.3	12.0
	最小値	8.4	7.7	5.9	7.4	1.6	9.0	8.9	1.6
AZN-I	平均値	9.8	8.9	9.2	9.6	8.2	11.0	9.3	8.4
	標準偏差	2.0	2.0	1.9	2.3	2.0	2.5	1.8	1.5
	変動係数(%)	20	22	21	24	25	23	19	18
	最大値	13.3	14.4	12.7	13.8	12.1	14.4	12.7	11.5
	最小値	6.5	5.9	5.8	6.4	4.7	5.3	5.7	4.7
木部破断率 (%)									
AAC	平均値	94	98	93	95	96	94	92	97
	最大値	100	100	100	100	100	100	100	100
	最小値	60	90	50	40	70	50	40	60
AAC-I	平均値	97	97	95	93	95	89	98	97
	最大値	100	100	100	100	100	100	100	100
	最小値	80	80	50	70	80	50	90	80
AZN	平均値	89	88	96	87	82	77	88	93
	最大値	100	100	100	100	100	100	100	100
	最小値	30	20	60	20	20	20	30	20
AZN-I	平均値	82	86	86	83	62	59	75	90
	最大値	100	100	100	100	100	100	100	100
	最小値	40	30	30	20	20	20	20	20

注：¹⁾：1試験体の全接着層(n=9)，²⁾：ヒノキ-ヒノキ間：ヒノキ材間のせん断強度(n=20)，ヒノキ-スギ間：ヒノキ材とスギ材間のせん断強度(n=20)，スギ-スギ間：スギ材間のせん断強度(n=50)。

3.3 減圧加圧はく離試験

3.3.1 試験の方法

3.1 での曲げ試験終了後、試験体の長さ方向両端部における非破壊部分より、断面寸法はそのまま長さ75mmの試験体をそれぞれ1体ずつ採取した。以下、AAC-1①およびAAC-1②等と表記する。各試験体の重量を測定後、JASに準拠して減圧加圧はく離試験を行った。試験での処理工程を以下に示す。

①試験体を室温の水中にせきし0.085MPaの減圧を5分間、②0.51MPaの加圧を1時間、③①および②の処理をもう1回繰り返す、④70℃の恒温乾燥器中で質量が試験前質量の100～110%の範囲となるように乾燥する。

以上①～④の処理を1サイクルとして、これを5サイクル繰り返し、2, 3, 4, 5サイクル終了後にそれぞれ両木口面ではく離長さを測定し、はく離率および最大はく離率を以下のとおり算出した。

$$\text{はく離率 (\%)} = \frac{\text{両木口面のはく離の長さの合計}}{\text{両木口面の接着層の長さの合計}} \times 100$$

$$\text{最大はく離率 (\%)} = \frac{\text{木口面の同一接着層での最大はく離長さの合計}}{\text{当該接着層の長さ}} \times 100$$

3.3.2 試験の結果

試験の結果を表 3.3-1～表 3.3-8 に示す。JAS では、屋外環境等で使用する集成材のはく離率の基準として、2 サイクル処理後のはく離率が 5%以下かつ最大はく離率が 25%以下であることと規定している。表中では、各サイクルで JAS の基準に適合した試験体を色付けし、その数を記載した。

表 3.3-1 および表 3.3-2 に示した、AAC でラミナを処理した試験体の 2 サイクル終了後では、全試験体のはく離率および最大はく離率とも JAS 基準に適合した。以下その試験体数は、3 サイクルでは 8 体、4 サイクルでは 7 体と漸減し、5 サイクルで顕著に減少して 2 体のみが JAS 基準値を満足していた。

インサイジング加工したラミナを AAC で処理した試験体の中、はく離率および最大はく離率が JAS の基準に適合したのは、表 3.3-3 および表 3.3-4 に示すとおり 2 サイクルで 8 体、3 サイクルで 7 体、4 サイクルで 6 体、5 サイクルで 1 体であった。このように、4 サイクル迄は漸減し 5 サイクルで顕著に減少した。ラミナへのインサイジング加工がはく離率に及ぼす影響について、表 3.3-1 の AAC-1①～5②と表 3.3-3 の AAC-I-1①～5②とを比較すると、JAS 基準値以下であった試験体数は、AAC-I-1①～5②の方が AAC-1①～5②よりも各サイクルで少なかった。しかし、その差は各サイクルで 1～2 体であり、3.2 で記したとおり、AAC で処理した試験体ではラミナへのインサイジング加工の影響は顕著ではなかった。

AZN でラミナを処理した試験体で、はく離率および最大はく離率とも JAS 基準値以下であった試験体数は、表 3.3-5 および表 3.3-6 に示すとおり 2 サイクルでは 8 体、3 サイクルでは 7 体、4 サイクルでは 4 体と減少し、5 サイクルでは全試験体が JAS 基準値を上回った。

インサイジング加工を行ったラミナを AZN で処理した試験体は、表 3.3-7 および表 3.3-8 に示すとおり、2 サイクルでは 6 体、3 サイクルでは 4 体、4 サイクルでは 3 体が、はく離率および最大はく離率とも JAS の基準に適合していた。5 サイクルでは、全試験体が JAS 基準を満たさなかった。インサイジング加工がはく離率に及ぼす影響について、表 3.3-5 の AZN-1①～5②と表 3.3-7 の AZN-I-1①～5②とを比較すると、JAS 基準値を満たした試験体数は、AZN-I-1①～5②の方が各サイクルで少なかった。その差は、2 サイクルでは 2 体、3 サイクルでは 3 体、4 サイクルでは 1 体であり、AAC で処理した試験体よりも差は大きかった。3.2 で記したせん断強度と同様に、ラミナへのインサイジング加工がはく離の発生に何らかの影響を及ぼしたことが示唆される。

表3.3-1 減圧加圧はく離試験の結果(1)
AACのはく離率

試験体	サイクル数			
	2	3	4	5
AAC-1①	0	0	7	14
AAC-1②	3	3	4	11
AAC-2①	1	6	7	14
AAC-2②	2	3	5	13
AAC-3①	0	0	0	0
AAC-3②	0	0	0	8
AAC-4①	0	1	1	5
AAC-4②	1	1	1	8
AAC-5①	0	0	0	7
AAC-5②	3	6	7	20
平均値	0.9	2.0	3.2	10.1
JAS基準値以下の試験体数	10	8	7	2

注：色つけた数値はJAS基準値以下。

表3.3-2 減圧加圧はく離試験の結果(2)
AACの最大はく離率

試験体	サイクル数			
	2	3	4	5
AAC-1①	0	0	20	30
AAC-1②	16	16	16	19
AAC-2①	9	20	20	37
AAC-2②	7	7	21	31
AAC-3①	0	0	0	4
AAC-3②	0	0	0	37
AAC-4①	3	9	8	23
AAC-4②	8	8	7	15
AAC-5①	0	0	0	10
AAC-5②	25	34	38	43
平均値	6.8	9.4	13.1	25.0
JAS基準値以下の試験体数	10	8	7	2

表3.3-3 減圧加圧はく離試験の結果(3)
AAC-Iのはく離率

試験体	サイクル数			
	2	3	4	5
AAC-I-1①	2	2	2	7
AAC-I-1②	2	3	6	21
AAC-I-2①	8	9	9	19
AAC-I-2②	16	19	19	27
AAC-I-3①	0	1	1	4
AAC-I-3②	1	1	3	18
AAC-I-4①	3	6	8	15
AAC-I-4②	0	2	4	11
AAC-I-5①	0	1	2	6
AAC-I-5②	0	2	4	11
平均値	3.2	4.5	5.9	13.8
JAS基準値以下の試験体数	8	7	6	1

表3.3-4 減圧加圧はく離試験の結果(4)
AAC-Iの最大はく離率

試験体	サイクル数			
	2	3	4	5
AAC-I-1①	7	7	7	28
AAC-I-1②	20	20	19	43
AAC-I-2①	27	27	29	30
AAC-I-2②	36	36	36	36
AAC-I-3①	0	5	5	10
AAC-I-3②	3	5	8	22
AAC-I-4①	24	24	40	51
AAC-I-4②	0	9	11	15
AAC-I-5①	0	13	15	17
AAC-I-5②	3	13	13	14
平均値	12.0	15.9	18.3	26.6
JAS基準値以下の試験体数	8	7	6	1

表3.3-5 減圧加圧はく離試験の結果(5)
AZNのはく離率

試験体	サイクル数			
	2	3	4	5
AZN-1①	4	5	6	10
AZN-1②	0	3	4	7
AZN-2①	0	2	3	9
AZN-2②	5	6	9	17
AZN-3①	5	5	7	14
AZN-3②	3	4	15	18
AZN-4①	3	3	3	10
AZN-4②	3	3	3	16
AZN-5①	8	11	13	22
AZN-5②	12	18	21	31
平均値	4.2	6.1	8.6	15.4
JAS基準値以下の試験体数	8	7	4	0

注：色つけた数値はJAS基準値以下。

表3.3-6 減圧加圧はく離試験の結果(6)
AZNの最大はく離率

試験体	サイクル数			
	2	3	4	5
AZN-1①	17	23	23	23
AZN-1②	0	15	17	19
AZN-2①	0	9	9	31
AZN-2②	5	23	23	33
AZN-3①	25	25	25	33
AZN-3②	18	23	65	79
AZN-4①	23	23	24	25
AZN-4②	3	3	4	40
AZN-5①	29	41	42	42
AZN-5②	32	33	33	48
平均値	15.2	21.9	26.4	37.3
JAS基準値以下の試験体数	8	7	4	0

表3.3-7 減圧加圧はく離試験の結果(7)
AZN-Iのはく離率

試験体	サイクル数			
	2	3	4	5
AZN-I-1①	5	7	9	9
AZN-I-1②	2	3	3	15
AZN-I-2①	0	1	2	30
AZN-I-2②	7	21	23	34
AZN-I-3①	3	7	7	25
AZN-I-3②	2	4	4	14
AZN-I-4①	7	9	13	33
AZN-I-4②	0	5	6	13
AZN-I-5①	11	12	12	33
AZN-I-5②	10	10	20	21
平均値	4.8	7.9	10.0	22.7
JAS基準値以下の試験体数	6	4	3	0

表3.3-8 減圧加圧はく離試験の結果(8)
AZN-Iの最大はく離率

試験体	サイクル数			
	2	3	4	5
AZN-I-1①	15	17	21	21
AZN-I-1②	12	12	13	19
AZN-I-2①	0	7	11	47
AZN-I-2②	25	36	40	49
AZN-I-3①	14	23	23	37
AZN-I-3②	17	17	17	26
AZN-I-4①	39	39	39	52
AZN-I-4②	0	23	23	26
AZN-I-5①	34	34	34	78
AZN-I-5②	59	59	69	69
平均値	21.3	26.6	28.8	42.5
JAS基準値以下の試験体数	6	4	3	0

第4章 保存処理大断面集成材の耐火性能

4.1 目的

公共建築物等木材利用促進法の施行を受け、大断面集成材の活用事例が急増しているが、高耐久性確保の観点から、大断面集成材への保存処理の必要性が喫緊の課題となっている。しかし、集成材の日本農林規格（JAS）には保存処理の規程が存在せず、また、一定規模以上の木造中高層建築物への利用に当たっては、構造性能のみならず、防耐火性能への配慮も求められる。

無処理のラミナをレゾルシノール樹脂（RF）及びレゾルシノール・フェノール樹脂（PRF）またはこれらと同等以上の性能を有する接着剤を用いて積層接着した一般的な構造用集成材では、45分準耐火では35mm、1時間準耐火では45mmの燃えしろ設計を行うことで、準耐火構造の性能を付与することができる。

しかし、保存薬剤を注入した集成材はJAS製品でないこともあり、これまで耐火性能の検証が行われていない。このため、保存処理集成材は、大断面であっても構造用集成材の柱や梁で認められる燃えしろ設計は行えず、準耐火構造の柱・梁として使用できない。

防耐火上、保存処理された大断面集成材を通常の構造用集成材と同等として扱うためには、

- ・薬剤を注入する際に行われるインサイジング加工
- ・耐久性向上のために注入される薬剤

が、保存処理大断面集成材の火災時における構造性能に影響しないことを明らかにする必要がある。本課題では、これらの影響の有無を確認するため、保存処理されたラミナを積層した集成材梁を作製して載荷加熱試験を行い、保存処理集成材が一般的な構造用集成材と同等の耐火性能を有することを確認する。

4.2 実験

4.2.1 試験体の作製

大断面の保存処理集成材の耐火性能を検証するため、以下の仕様の集成材梁を作製した。試験体は各仕様1体である。製造方法については、第2章を参照のこと。

- ・注入薬剤：第四級アンモニウム化合物系（AAC）、アゾール・ネオニコチノイド化合物系（AZN）の2種類（以下、試験体名をAAC、AZNとする）
- ・ラミナ：厚さ25.5mm（両面に刃物インサイジング加工）
最下層のラミナ厚さ：AAC 25mm、AZN 21mm、積層数：12
- ・樹種：最外層、外層はヒノキ、中間層、内層はスギ
- ・接着剤：レゾルシノール樹脂系接着剤
- ・試験体寸法：
AAC 幅149mm×梁成300mm×長さ5600mmの梁
AZN 幅150mm×梁成300mm×長さ5600mmの梁
- ・試験体の強度等級：ME85-F255
- ・試験体内部の温度測定位置：集成材端部より1700mmの位置にガラス被覆のK熱電対を挿入
なお、AZN試験体の一部についてはΦ2.3mmのシース熱電対を使用。挿入位置は図4.2-1の通り。

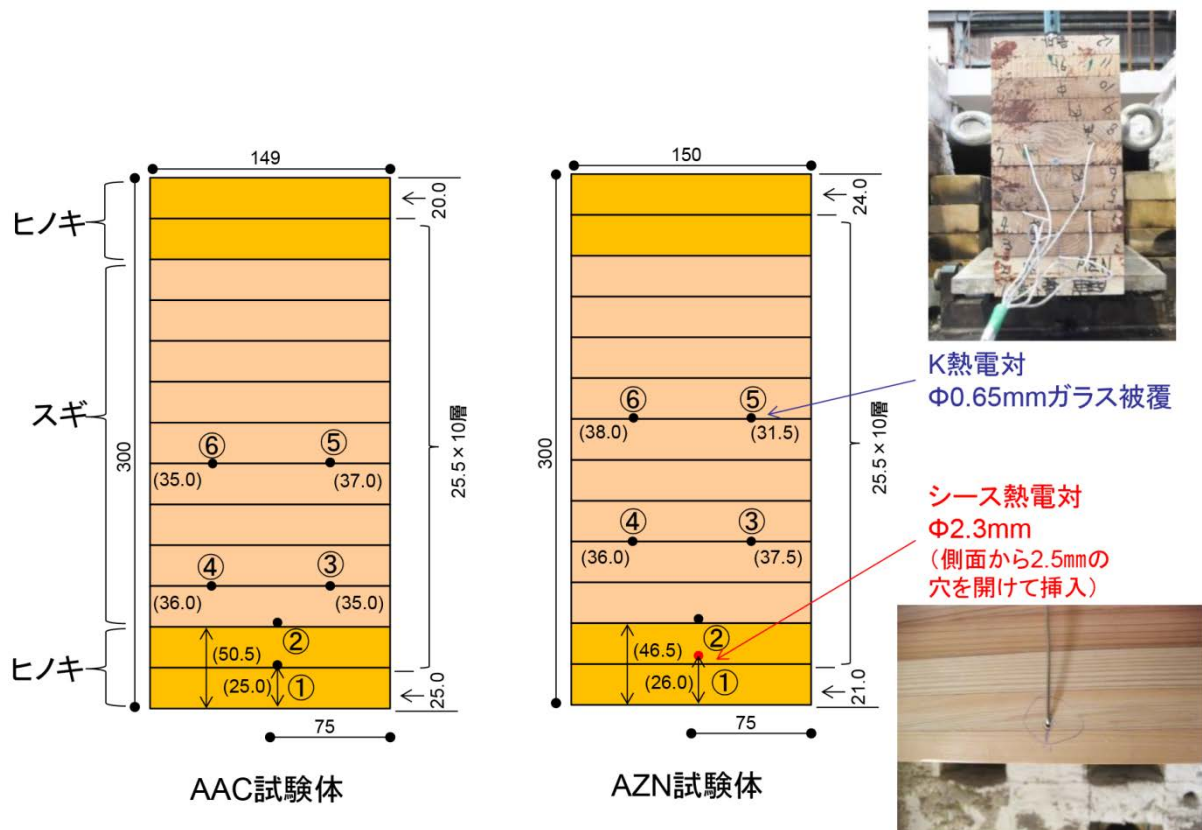


図 4.2-1 試験体への熱電対の挿入位置 (単位 : mm)

4.2.2 実大載荷加熱試験

実大載荷加熱試験は、(財) 建材試験センターの水平炉を用い、IS0834-1¹⁾に準拠して、梁の底面、両側面の三面から 45 分間加熱した。集成材梁には 3 等分点 4 点荷重方式により、集成材断面の底面及び側面から 35 mm (45 分の燃えしろ) を差し引いた断面に対して短期許容応力度相当の荷重 (18.7 kN) を載荷した。加熱試験における載荷荷重量の計算は表 4.2-1 の通りである。

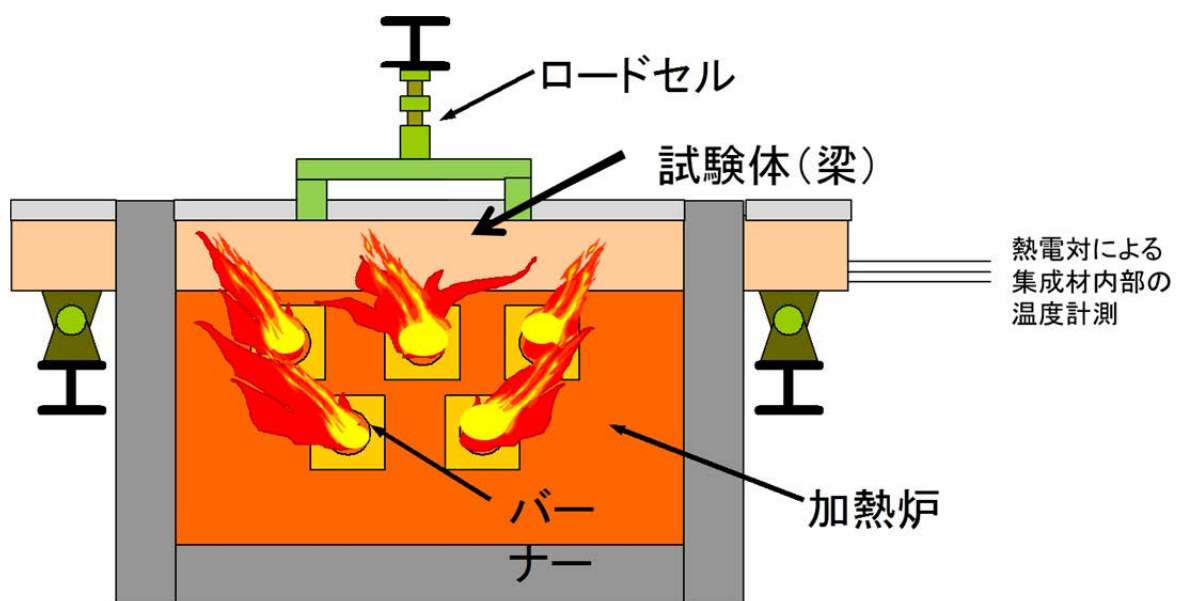


図 4.2-2 集成材梁の載荷加熱試験イメージ図

表 4.2-1 集成材梁加熱試験の載荷荷重量の計算

試験体の強度等級	特定対称異等級構成集成材 ME85-F255 樹種:ヒノキ・スギ		
試験体断面寸法	幅	150	mm
	せい	300	mm
燃えしろ		35	mm
燃えしろ荷重負担部分	幅	80	mm
	せい	265	mm
断面積	$A' =$	21,200	mm ²
断面係数	$Z =$	936,333	mm ³
スパン	$l =$	5.1	m
曲げによる載荷荷重量			
曲げ基準強度	強度等級:ME85-F255	25.5	N/mm ²
JAS低減係数		1.00	
短期許容曲げ応力度	$_s f_b =$	17.0	N/mm ²
短期許容曲げモーメント	$M = _s f_b \cdot Z / 10^6 =$	15.9	kN・m
載荷荷重量(一荷重点当り)	$P = 3 \cdot M / l =$	9.36	kN
全載荷荷重量	$2 \cdot P =$	18.7	kN
		1.91	ton
せん断応力度チェック			
せん断基準強度	樹種:スギ	2.7	N/mm ²
短期許容せん断応力度	$_s f_s =$	1.80	N/mm ²
載荷荷重	$2 \cdot P =$	18.7	kN
せん断応力度	$\sigma = 1.5 \cdot P \cdot 10^3 / A' =$	0.66	N/mm ²
せん断応力度チェック	$\sigma / _s f_s =$	0.37	

試験体中央部のたわみ，炉内温度及び試験体内部温度を 30 秒間隔で計測した。加熱終了後，試験体を炉内より速やかに取出して消火した。



写真 4. 2-1 加熱試験前の集成材梁試験体

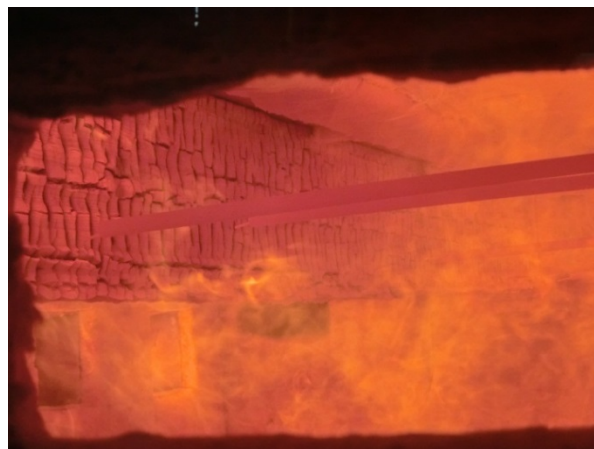


写真 4. 2-2 加熱中の試験体 (AZN)



写真 4. 2-3 脱炉直後の試験体 (AZN)

試験体の脱炉には約 7 分を要した。炭化深さ計測のため，試験体中央部及びその両側 1 m の位置で切断して厚さ 10 cm のブロックを採取した。炭化部分をワイヤブラシで除去した後，残存する断面の梁成方向の長さ (H_t)，加熱前の梁成 (H) を 4 等分した点近傍の積層面 3 箇所の残存幅の平均値 (W_t) を求めた。炭化深さは式 (1)，(2) により計算した (W は加熱前の梁幅)。

$$\text{梁成方向の炭化深さ (mm)} : C_h = H - H_t \quad (1)$$

$$\text{梁幅方向の炭化深さ (mm)} : C_w = \frac{W - W_t}{2} \quad (2)$$

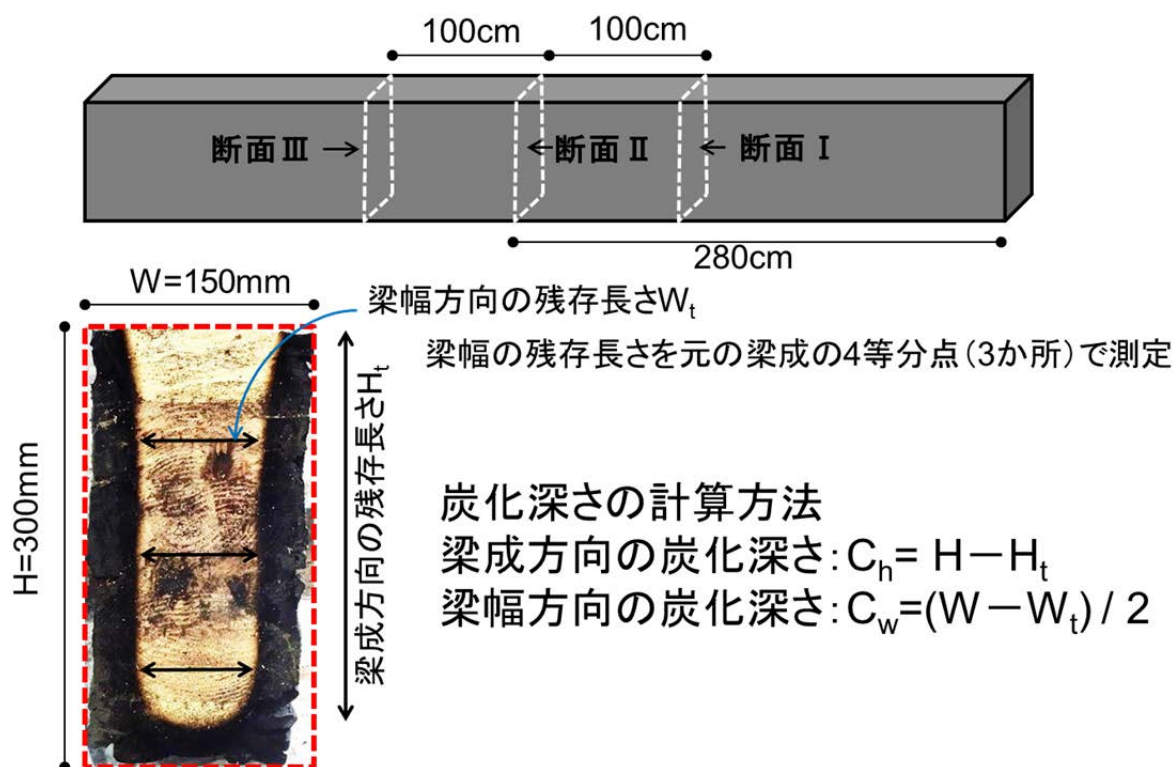


図 4.2-3 炭化深さの計測方法

なお, 上記の実験結果と通常が無処理の構造用集成材の耐火性能の比較は, 原田ら²⁾が厚さ 22mm のトドマツラミナ (最外層ラミナの底面側の厚さは 20mm, 上面側は 16 mm) をレゾルシノール・フェノール樹脂接着剤 (PRF) を用いて 14 枚積層接着し, 150 (W) × 300 (H) × 5500 mm (L) に仕上げた集成材梁 (以下 PRF 試験体という) の 45 分載荷加熱試験結果を引用して行う。

4.3 結果と考察

4.3.1 たわみ

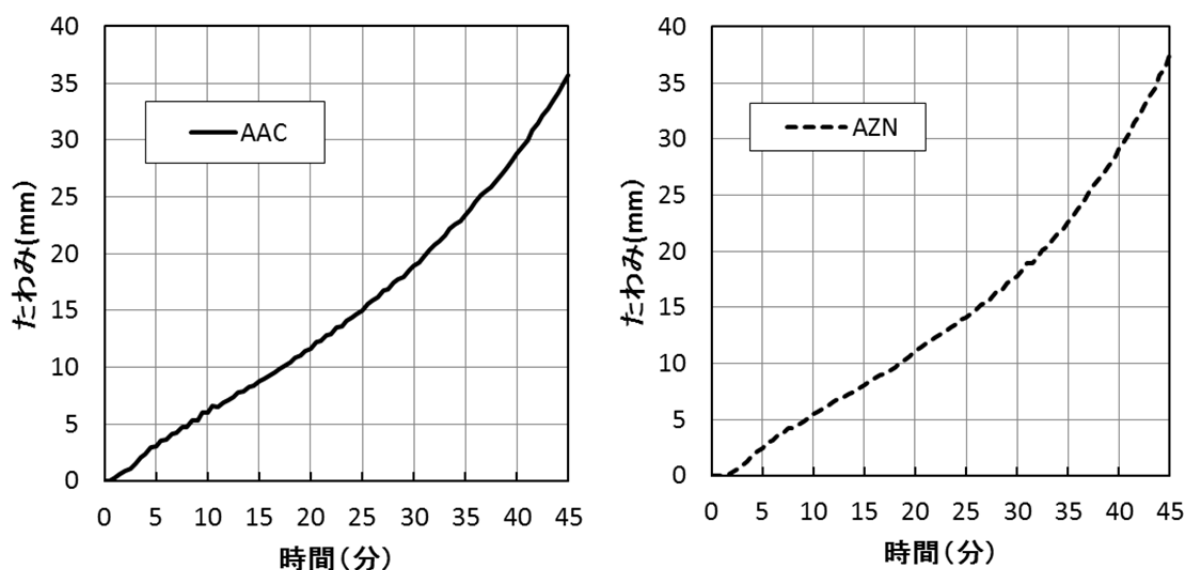


図 4.3-1 載荷加熱試験におけるたわみの推移

載荷加熱試験時の試験体のたわみの推移を図 4.3-1 に示す。加熱終了時（45 分）の最大たわみは AAC 試験体では 35.7mm, AZN 試験体では 37.5mm であった。比較実験における PRF 試験体の最大たわみは 33.3 mm であり²⁾、上記の試験結果は、これとほぼ同等であった。

4.3.2 炭化深さ

載荷加熱試験終了後に切断した集成材断面の残存長さの測定結果は図 4.3-2 の通りであった。

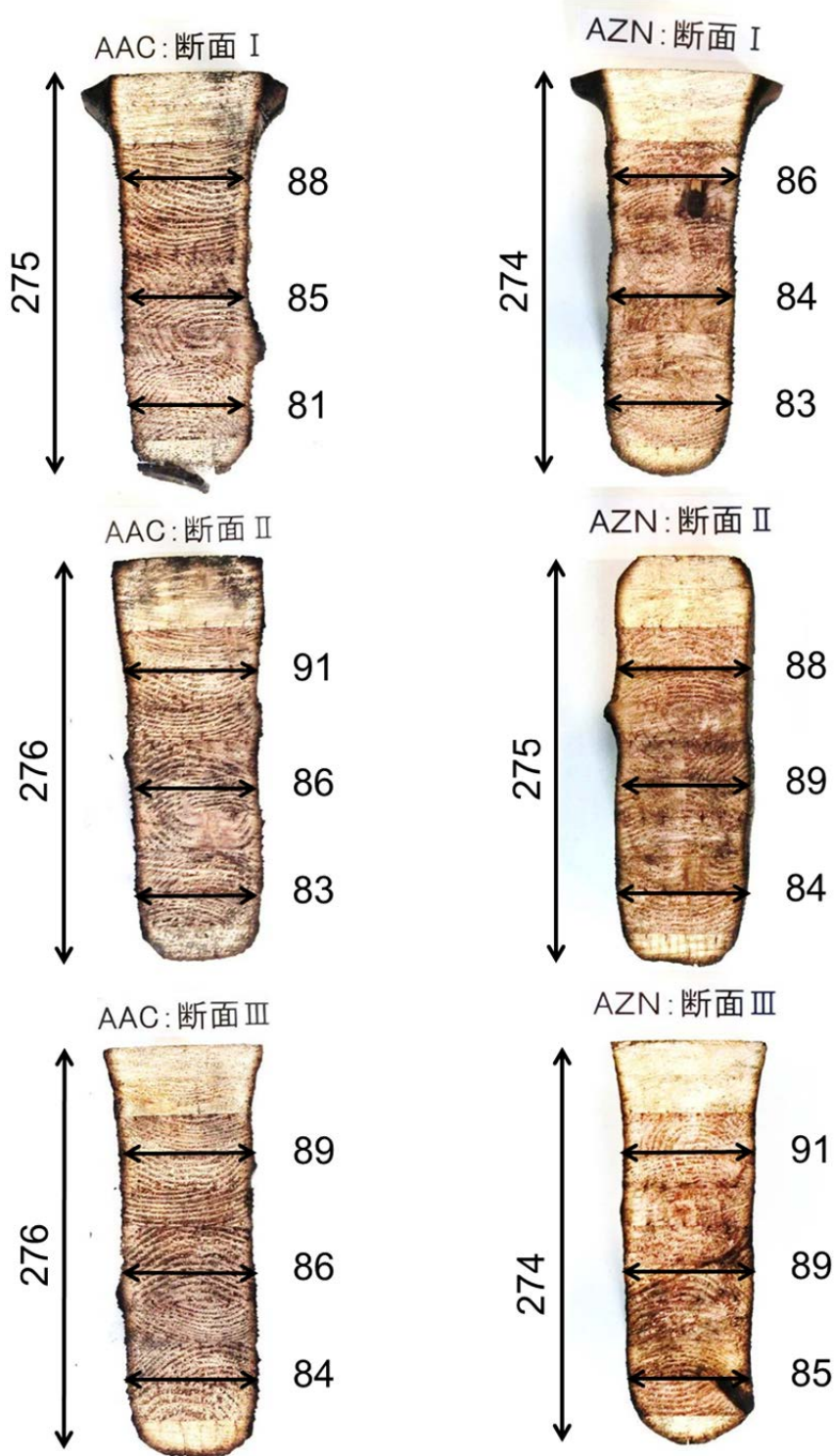


図 4.3-2 45 分加熱試験後の試験体断面の残存長さ（単位：mm）

この残存長さから式（１），（２）より求められる炭化深さは表 4.3-1 の通りである。

表 4.3-1 45 分加熱試験後の試験体の炭化深さ（単位：mm）

試験体	測定方向	断面Ⅰ	断面Ⅱ	断面Ⅲ	平均
AAC	梁幅方向(1)	30.5	29.0	30.0	－
	(2)	32.0	31.5	31.5	－
	(3)	34.0	33.0	32.5	－
	平均	32.2	31.2	31.3	31.6
	梁成方向	25.0	24.0	24.0	24.3
AZN	梁幅方向(1)	32.0	31.0	29.5	－
	(2)	33.0	30.5	30.5	－
	(3)	33.5	33.0	32.5	－
	平均	32.8	31.5	30.8	31.7
	梁成方向	26.0	25.0	26.0	25.7
PRF ²⁾	梁幅方向	－	－	－	27.8
	梁成方向	－	－	－	30.0

AAC 試験体の平均炭化深さは梁幅方向 31.6 mm, 梁成方向 24.3 mm, AZN 試験体は梁幅方向 31.7 mm, 梁成方向 25.7 mm であり, 梁幅方向, 梁成方向とも 45 分準耐火構造における燃えしろ 35 mm よりも小さな値を示した。また, PRF 試験体の平均炭化深さは梁幅方向 27.8 mm, 梁成方向 30.0 mm²⁾ であり (写真 4.3-1 参照), AAC, AZN 試験体とも PRF 試験体の炭化深さと同等であった。

いずれの試験体においても, 加熱によって接着層が開くことはなく, 積層層での異常な燃え込みやラミナの脱落も見られなかった。

なお, AAC, AZN 試験体とも梁成方向の炭化深さが梁幅方向の炭化深さよりも小さな値を示した。これは最外層, 外層のラミナにヒノキが使われている影響が考えられるが, 樹種による差異は, 今後の検討課題である。



写真 4.3-1
45 分加熱後の PRF 試験体断面

4.3.3 集成材内部の温度上昇

載荷加熱試験中の炉内温度及び試験体内部の温度の推移を図 4.3-3、図 4.3-4 に示す。

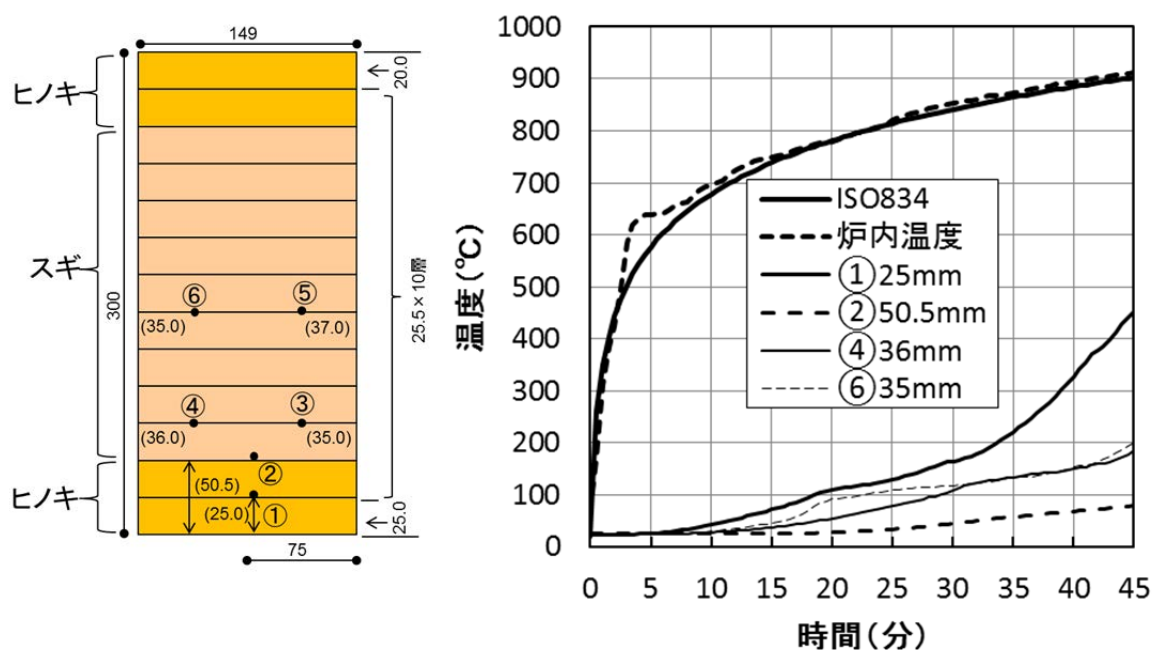


図 4.3-3 AAC 試験体の内部温度の推移

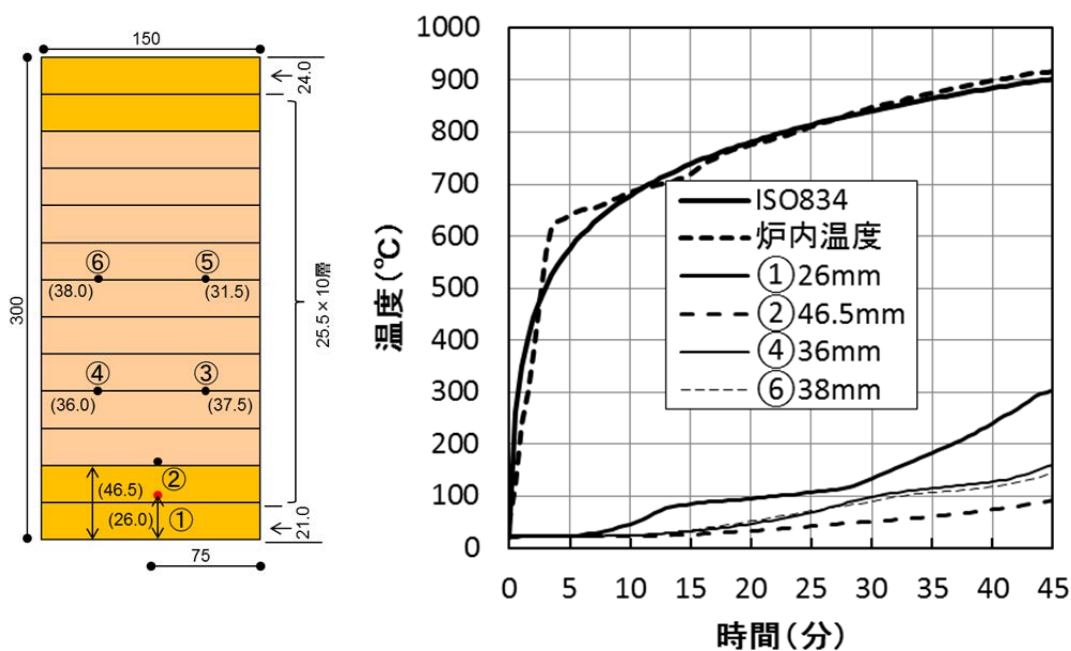


図 4.3-4 AZN 試験体の内部温度の推移

AAC 試験体の加熱終了時 (45 分) の① (底面から 25 mm) での温度は 453°C, ② (底面から 50.5 mm) での温度は 79°C, ④ (側面から 36 mm) での温度は 184°Cであった。また, AZN 試験体の加熱終了時 (45 分) の① (底面から 26 mm) での温度は 303°C, ② (底面から 46.5 mm) での温度は 93°C,

④（側面から 36 mm）での温度は 161℃であった。いずれの試験体においても①でラミナが脱落したと思われる急激な温度上昇は見られなかった。目視並びに試験体内部の温度上昇からいずれの試験体でも最外層ラミナの加熱、燃焼による脱落は見られず、今回使用した薬剤と接着剤の組合せにおいては、インサイジング加工や保存薬剤の注入は火災時における集成材の接着性能に影響を及ぼさないことが確認された。

比較のため、文献 2 のデータをもとに作成した PRF 試験体の 45 分載荷加熱試験時の内部温度変化を図 4.3-5 に示す。

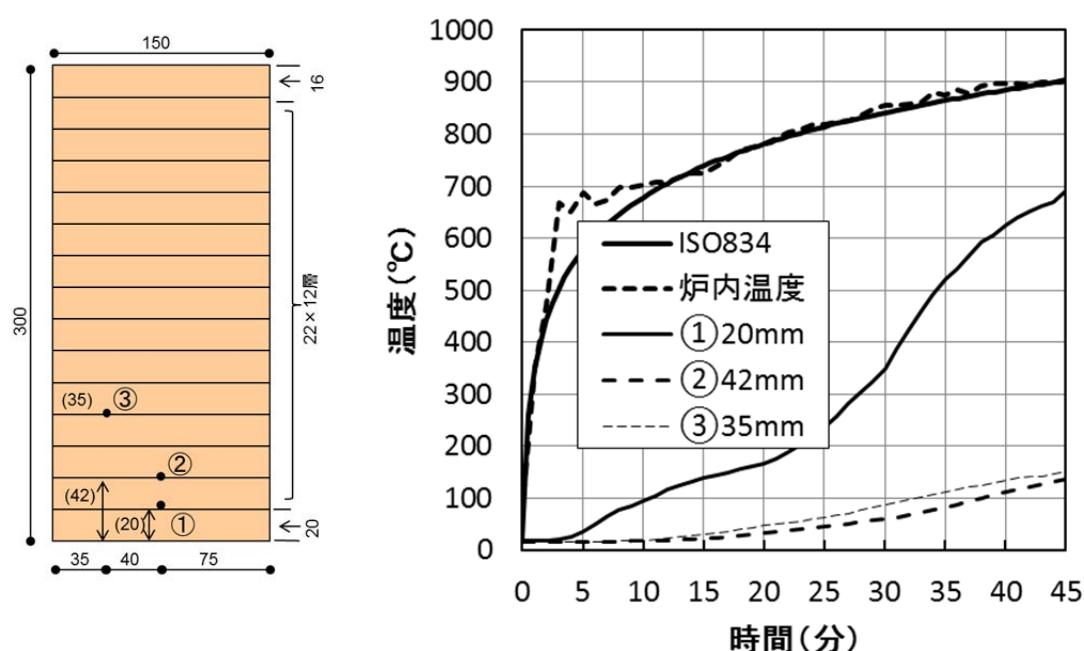


図 4.3-5 PRF 試験体の内部温度の推移²⁾

PRF 試験体の加熱終了時（45 分）の①（底面から 20 mm）での温度は 692℃，②（底面から 42 mm）での温度は 136℃，③（側面から 35 mm）での温度は 151℃であった。樹種や温度測定位置の違いはあるが、AAC 試験体、AZN 試験体の内部温度上昇は、PRF 試験体と同等とみなせる。

4.4 まとめ

両面を刃物でインサイジングし、保存薬剤（AAC または AZN）を注入したラミナをレゾルシノール樹脂系接着剤を用いて積層接着した保存処理大断面集成材梁（断面寸法：幅 150 mm×梁成 300 mm）を作製し、両側面及び底面から 35 mmの燃えしろを除く断面に短期許容応力度相当の荷重を載荷して ISO834-1 の標準温度曲線に従った 45 分間の加熱試験を行った。

試験体は 45 分で破壊することではなく、炭化深さも 45 分準耐火構造の燃えしろ（35 mm）を下回った。また、接着層での異常な燃え込みや、最外層ラミナの脱落も見られず、内部温度上昇も PRF で積層した無処理集成材と同様であった。

このことから、今回使用した薬剤と接着剤の組合せにおいては、インサイジング加工や保存薬剤の注入は火災時における集成材の構造性能に影響を及ぼさないことが確認された。また、上記

の処理をした保存処理大断面集成材は、PRF で積層接着した一般的な構造用集成材と同様に、燃えしろ設計可能な耐火性能を示した。

4.5 引用文献

- 1) ISO 834-1: Fire resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements. International Organization for Standardization (1997).
- 2) 原田寿郎, 宮武敦, 上川大輔, 平松靖, 新藤健太, 井上明生, 宮本康太, 塔村真一郎, 秦野恭典, 宮林正幸:木材の接着強さの温度依存性と構造用集成材はりの耐火性能, 木材学会誌, 59(4), 219-226 (2013).

第 5 章 木材保存剤の分析方法の迅速化と高精度化

5.1 目的

製材の日本農林規格¹⁾（製材の JAS）における保存処理の規定では、保存処理製材の防腐防蟻性能を担保する上で重要な有効成分の浸潤度（製品の中央断面において木材保存剤が浸潤した面積の割合）と吸収量（製品単位体積当たりの有効成分量）が規定されている。現在のところ、集成材等の木質材料の日本農林規格には保存処理の規定が存在しないが、今後これらの材料の保存処理規定が整備された際には製材同様有効成分の浸潤度と吸収量で規定されると考えられる。そのため、保存処理された集成材等の品質管理や JAS 認証における検査において、浸潤度と吸収量の測定（定量）が必要となるが、その方法は製材の JAS を踏襲したものになると予想される。

今後、保存処理品目の増加や保存処理 JAS 製品の普及が進むにつれ、浸潤度と吸収量の検査件数が上昇することが予想されるため、本事業では、現行の製材の JAS で用いられている分析方法を、正確さを確保しつつ迅速に実施できる手法とすることで保存処理メーカーおよび分析機関における定量分析の負担軽減を図ることを目的とした検討を行った。

5.2 実験方法

5.2.1 対象とした有効成分および樹種

JIS K1570²⁾に規定されている加圧注入用木材保存剤のうち、第 2 章 2.2 ラミナの加圧注入処理で用いたアゾール・ネオニコチノイド化合物系木材保存剤（AZN）の有効成分であるシプロコナゾール（CYP）とイミダクロプリド（IMD）、第四級アンモニウム化合物系木材保存剤（AAC）の有効成分であるジデシルジメチルアンモニウムクロリド（DDAC）を対象とした。また、保存処理集成材の製造で用いたスギ、ヒノキの他、カラマツ、ホワイトウッド、オウシュウアカマツ（各辺材、心材）を対象とする樹種とし、一部の検討ではベイツガ心材を用いた。

5.2.2 CYP の定量分析の効率化

（1）処理木粉の調製と抽出

ベイツガ心材をカッターミルで粉碎し、目開き 2 mm のメッシュを通過した木粉を調製した。この木粉を容量 30 mL のガラス製サンプル瓶に加えた後、1 mL で K3 相当の濃度となるようにジクロロメタンで希釈した AZN の薬液を添加した。添加後、サンプル瓶にキャップをした状態で 2 日間養生した。養生後キャップを外し室温下で 2 日間乾燥した後、60℃のオーブンで 2 日間乾燥したものを処理木粉とした。乾燥した処理木粉の入ったサンプル瓶にメタノールを 20 mL 定量的に加え、超音波洗浄器内に入れ超音波を 2 時間照射することで抽出を行った。なお、この際の水温は約 30℃になるよう調整した。また、サンプル瓶に入った処理木粉に 1 mL の DMSO を加えた後、エタノール 20 mL を定量的に加えたもの（DMSO-エタノール）、または、濃アンモニア水とメタノールの混合液（5 : 95, v/v）20 mL を定量的に加えたもの（アンモニア-メタノール）についても同様の抽出を行った。

抽出後、製材の JAS に準じた方法 A では超音波洗浄器からのサンプル瓶を取り出し、吸引濾過により木粉をろ別した。さらに、ろ紙上に残った残渣木粉を 25 mL のメタノールで洗浄し、ろ液と洗液を合わせ 50 mL に定容したものを抽出試料とした。一方、方法 B では、超音波洗浄器から

取り出したサンプル瓶を約 10 分間静置し、カートリッジフィルターを先端に装着したプラスチックシリンジに上澄みを注いだ。引き続き、シリンジバレルの加圧によりろ過し、これを抽出試料とした。なお、DMSO-エタノールにより抽出を行ったものについては方法 A のみを適用した。

(2) 固相抽出

固相抽出は Oasis MCX カートリッジ (Waters) を用い既報に準じて行った^{1,3,4)}。すなわち、2 mL のメタノールと蒸留水を順次通液したカートリッジに各試料溶液を 1 mL ロードした。なお、アンモニア-メタノールで抽出した試料については、試料溶液 1 mL に蒸留水 1 mL 加えたものをロードした。次に、3 mL のメタノール、1N アンモニア水とメタノールを 80 : 20 (v/v) で混合したものを順次通液することで洗浄を行った。濃アンモニア水とメタノールを 5 : 95 (v/v) で混合したものを 5 mL 通液することで CYP を回収した。回収した溶液を減圧濃縮乾固し、高速液体クロマトグラフ (HPLC) に用いる移動相を用いて再溶解した。これを、孔径 0.2 μm のメンブレンフィルターでろ過したものを分析試料とした。

(3) 高速液体クロマトグラフおよび超高速液体クロマトグラフによる定量分析

高速液体クロマトグラフ (HPLC) および超高速液体クロマトグラフ (UHPLC) は ACQUITY UPLC H-Class (Waters) を用いて行った。検出器はフォトダイオードアレイ (PDA) 検出器を用いた。HPLC 用のカラムは Inertsil ODS3 (粒子径 3 μm, 内径 2.1×長さ 150 mm, GL サイエンス) または Xbridge C18 (粒子径 3.5 μm, 内径 2.1×長さ 150 mm, Waters) を用いた。UHPLC 用のカラムは Inertsil ODS3 (粒子径 2 μm, 内径 2.1×長さ 100 mm, GL サイエンス) または BEH C18 (粒子径 1.7 μm, 内径 2.1×長さ 75 mm, Waters) を用いた。Inertsil ODS3 を用いた場合の移動相にはアセトニトリル、超純水、リン酸緩衝液 (pH2.1, 100 mM) を 6 : 3 : 1 (v/v) で混合したものを、Xbridge C18 および BEH C18 を用いた場合の移動相は 5 : 4 : 1 (v/v) で混合したものを、各移動相は 0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過して用いた。移動相流速は HPLC では 0.25 mL/min, UPLC では 0.75 mL/min とした。カラムオーブンの温度は 40℃に設定した。分析試料導入量は 10 μL とし、検出は 221 nm で実施した。定量用の検量線を作製するため 0.02, 0.01, 0.005, 0.001, 0.0005 mg/mL の CYP を含む標準液を用いた。定量は外部標準法としピーク面積を用いて行った。

(4) 回収率の算出

回収率の算出は以下の式に従い行った。なお、回収率は繰返し 3 回の平均値とした。

$$\text{回収率 (\%)} = \frac{\text{定量結果から求めた木粉中の有効成分量}}{\text{添加した木材保存剤中の有効成分量}} \times 100$$

(5) 効率化された分析方法の検証

スギ、カラマツ、ヒノキ、ホホワイトウッドおよびオウシュウアカマツの辺心材を用い、5.2.2(1)と同様の方法で処理木粉を調製した。処理木粉の入った各サンプル瓶にメタノールを 20 mL 定量的に加え、5.2.2(1)と同様の方法で抽出を行い、方法 B を用いた処理を行うことで抽出試料を調製した。この抽出試料について、5.2.2(2)と同様の固相抽出を実施することで分析試料を調製し

た。これらの分析試料について、5.2.2(3)の条件により HPLC および UPLC 分析を実施し、5.2.2(4)と同じ方法で回収率を算出した。なお、HPLC と UPLC 分析に用いたカラムは Xbridge C18 と BEH C18 とした。

5.2.3 IMD の定量分析の効率化

(1) 処理木粉の調製と抽出

5.2.2(1)で調製した抽出試料を用いた。各抽出試料を減圧濃縮乾固し、高速液体クロマトグラフ (HPLC) に用いる移動相を用いて再溶解した。これを、孔径 0.2 μm のメンブレンフィルターでろ過したものを分析試料とした。

(2) HPLC および UPLC による定量分析

5.2.2(3)と同じく ACQUITY UPLC H-Class (Waters) を用い、検出器は PDA 検出器とした。HPLC 用のカラムは Inertsil ODS4 (粒子径 3 μm , 内径 2.1 $\times$ 長さ 150 mm, GL サイエンス), UPLC 用のカラムは Inertsil ODS4 (粒子径 2 μm , 内径 2.1 $\times$ 長さ 100 mm, GL サイエンス) とした。移動相にはアセトニトリル, 超純水, ギ酸アンモニウム緩衝液 (pH3.5, 100 mM) を 2:7:1 (v/v) で混合したものを, 0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過して用いた。移動相流速は, HPLC では 0.25 mL/min, UPLC では 0.5 mL/min とした。カラムオーブンの温度は 40 $^{\circ}\text{C}$ に設定した。分析試料導入量は 5 μL とし, 検出は 270 nm で実施した。定量用の検量線を作製するため 0.02, 0.008, 0.004, 0.0008, 0.0004 mg/mL の IMD を含む標準液を用いた。定量は外部標準法としピーク面積を用いて行った。

(3) 回収率の算出

回収率の算出は 5.2.2(4)と同じ方法を用いて行った。

(4) 効率化された分析方法の検証

5.2.2(5)で調製したスギ心材および辺材を除く各抽出試料のうち 1 mL を減圧濃縮乾固したのち HPLC の移動相に再溶解し, 孔径 0.2 μm のフィルタでろ過したものを分析試料とした。また, 濃縮乾固したものをジクロロメタンに再溶解し, 5.2.3(3)の固相抽出を実施したのもも分析試料とした。分析試料を 5.2.3(3)の条件で HPLC または UPLC 分析し, 5.2.2(4)と同じ方法で回収率を算出した。スギの心材および辺材の抽出試料は, 既報^{5,6)}の手順に従った固相抽出を実施することで分析試料を調製した。固相抽出カートリッジには Inertsep SI (500 mg/5 mL カートリッジ, GL サイエンス) を用いた。アセトンとヘキサンを 4:6 (v/v) または 3:7 (V/V) で混合したもの 5 mL を順次通液したカートリッジに, 試料溶液 1 mL を濃縮乾固し 1 mL のジクロロメタンに再溶解したものをロードした。次に, アセトンとヘキサンを 3:7 (v/v) で混合したもの 5 mL を通液することで洗浄を行った後, アセトンとヘキサンを 4:6 (v/v) で混合したものを 5 mL 通液することで IMD を回収した。回収した溶液を減圧濃縮乾固し, HPLC および UHPLC に用いた移動相に再溶解した。これを, 孔径 0.2 μm のメンブレンフィルターでろ過したものを分析試料とした。

5.2.4 DDAC の定量分析の効率化

(1) 処理木粉の調製と抽出

5.2.2(1)で用いたベイツガ心材の木粉を 30mL 容のガラス製サンプル瓶に加えた後、1 mL で K4 相当の濃度となるように蒸留水で希釈した AAC の薬液を添加した。添加後、サンプル瓶にキャップをした状態で 2 日間養生した。養生後キャップを外し室温下で 2 日間乾燥した後、60℃のオーブンで 2 日間乾燥したものを処理木粉とした。乾燥した処理木粉の入ったサンプル瓶に塩酸とエタノールを 3:100 の割合で混合したもの（塩酸—エタノール）、ギ酸とメタノールを 3:100 で混合したもの（ギ酸—メタノール）、ギ酸とエタノールを 3:100 で混合したもの（ギ酸—エタノール）のいずれか 20mL を定量的に加え、超音波洗浄器内で 3 時間超音波を照射することで抽出を行った。なお、この際の水温は約 30℃になるよう調整した。

抽出後、製材の JAS に準じた方法 A では吸引濾過により木粉をろ別した。さらに、ろ紙上に残った残渣木粉を 25 mL の各抽出溶媒（酸を加えていないもの）で洗浄し、ろ液と洗液を合わせ 50 mL に定容したものを抽出試料とした。一方、方法 B は、5.2.2(1)と同様にフィルタでろ過したものを抽出試料とした。抽出試料のうち 1 mL を減圧濃縮乾固し、5.2.4(2)に示す移動相に再溶解したものを 0.2 μ m のメンブレンフィルターでろ過したものを分析試料とした。

(2) HPLC および UPLC による定量分析

5.2.3(2)と同じく ACQUITY UPLC H-Class (Waters) を用いて行った。検出器は蒸発光散乱 (ELS) 検出器を用いた。HPLC 用カラムは Inertsil ODS3（粒子径 3 μ m, 内径 2.1×長さ 150 mm, GL サイエンス）、UPLC 用は Inertsil ODS3（粒子径 2.0 μ m, 内径 2.1×100 mm, GL サイエンス）を用いた。移動相はメタノール、超純水、トリフルオロ酢酸を 80:20:0.1 (V/V) で混合したものを 0.45 μ m のメンブレンフィルターでろ過して用いた。移動相流速は、HPLC では 0.21mL/min, UPLC では 0.5 mL/min とした。カラムオープンの温度は 40℃に設定した。ELS 検出器のスプレーチャンバーを 30℃、ドリフトチューブの温度を 60℃に設定した。試料導入量は 5 μ L とした。定量用の検量線を作製するため 0.75, 0.5, 0.25, 0.1, 0.05, 0.025 mg/mL の DDAC を含む標準液を用いた。定量は外部標準法としピーク面積を用いて行った。

(3) 回収率の算出

回収率は 5.2.2(4)と同じ方法で算出した。

(4) 効率化された分析方法の検証

スギ、カラマツ、ヒノキ、ホワイトウッドおよびオウシュウアカマツの辺・心材を用い、5.2.4(1)と同様の方法で処理木粉を調製した。無処理木粉および処理木粉の入った各サンプル瓶にギ酸—メタノールを 20 mL 定量的に加え、5.2.4(1)と同様の方法で抽出を行い、方法 B を用いて分析試料を調製した。各分析試料を 5.2.4(2)と同じ条件で HPLC または UPLC 分析し、5.2.2(4)と同じ方法で回収率を算出した。

5.3 結果と考察

5.3.1 CYP の定量分析の効率化

(1) CYP の試料前処理方法の効率化

製材の JAS に記載されている AZN 処理木材中の CYP の定量方法では、メタノール抽出により抽出された CYP は、HPLC で定量される。この方法では超音波照射によるメタノール抽出を行った後、木粉と溶媒をろ別し、さらに残渣の木粉をメタノールで洗浄して得られる洗液とろ液を混合し定容することとされている（図 5.3-1，方法 A）。このろ過の操作について、抽出後の上澄みを採取し、カートリッジフィルターでろ過する方法 B（図 5.3-1，方法 B）を用いることで簡易化できないか検討した。

方法 A または方法 B を用いた回収率を表 5.3-1 に示す。抽出溶媒にメタノールを用いた場合、方法 A と方法 B による差は認められなかったが、IMD の抽出に用いられている DMSO-メタノール（方法 B のみ実施）の回収率より高かった。また、アンモニア-メタノールを用いた場合、方法 B の方がやや高い値を示しが、その値はメタノールを用いた方法 B と同等であると考えられた。以上の結果から、現在の製材の JAS で用いられているメタノールを溶媒とし、方法 B を用いることで効率化できることが確認された。

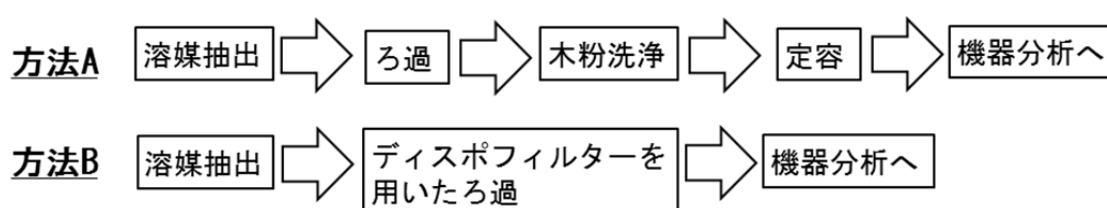


図 5.3-1 製材の JAS に準じた方法 A と簡略化した方法 B

表 5.3-1 AZN を添加したベイツガ心材木粉からの CYP の回収率

抽出溶媒	方法	回収率（%） ^{*2}	
メタノール ^{*1}	A	92	(0.5)
	B	93	(1.7)
DMSO-エタノール	A	90	(1.7)
アンモニア-メタノール	A	91	(1.2)
	B	94	(2.2)

*1 製材の JAS で用いられている溶媒

*2 n=3 の平均値，（）内は相対標準偏差

(2) UHPLC を用いた機器分析の効率化

製材の JAS では、CYP や IMD の定量を行う機器として HPLC が用いられている。最近では、HPLC の耐圧性能を高めた超高速液体クロマトグラフ（UHPLC）が様々な分野で活用されている。UHPLC を用いれば、HPLC で必要とされる分析時間を大幅に短縮することが可能である。そこで本事業では、

UHPLC を用いた分析時間の短縮による迅速化について検討した。

HPLC を用いた場合の分析条件を参考に、CYP の UHPLC による分析を行なった。なお、HPLC と UHPLC の分離状態が同等であることを確認するため、CYP と同じトリアゾール化合物であり、木材保存剤の有効成分として用いられているテブコナゾール、ヘキサコナゾールおよびプロピコナゾールを混合したものについて分析を行なった。図 5.3-2 に示すように CYP の保持時間が 1/5 程度に短縮されることを確認した。また、混合したトリアゾール化合物分離状態は HPLC と UHPLC で同等であり、分離性能を保ったまま分析時間を短縮できることが確認された。

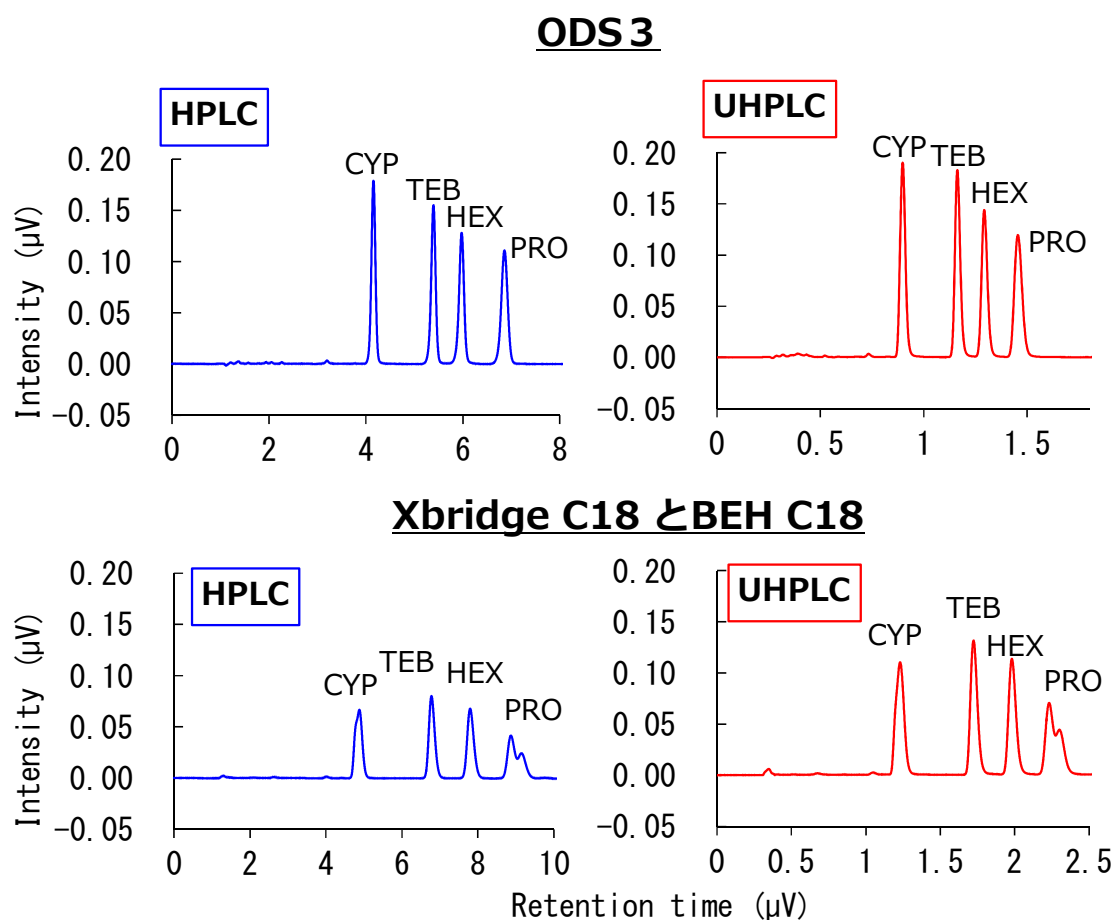


図 5.3-2 トリアゾール化合物の HPLC および UHPLC クロマトグラム

CYP: シプロコナゾール, TEB: テブコナゾール, HEX: ヘキサコナゾール, PRO: プロピコナゾール

(3) 効率化された分析方法の検証

スギ、カラマツ、ヒノキ、ホワイトウッドおよびオウシュウアカマツの辺材・心材の処理木粉から、方法 B を用いて調製した分析試料を HPLC および UHPLC 分析し回収率を求めた。表 5.3-2 に

示すように、CYP について得られた回収率は 91～94%の範囲であった。また、HPLC と UHPLC で各処理木粉について得られる回収率に差がないことが確認された。以上の結果、試料前処理および機器分析の効率化により迅速な分析が可能であることが確認された。

表 5.3-2 AZN を添加した木粉からの CYP の回収率

樹種	部位	回収率*			
		HPLC		UPLC	
スギ	心材	94	(0.5)	94	(0.6)
	辺材	94	(1.2)	94	(1.2)
カラマツ	心材	93	(0.4)	92	(0.6)
	辺材	95	(0.2)	94	(0.5)
ヒノキ	心材	93	(0.6)	93	(0.3)
	辺材	95	(0.2)	94	(0.0)
ホワイトウッド	心材	91	(0.4)	91	(0.2)
	辺材	92	(0.4)	91	(0.4)
オウシュウアカマツ	心材	92	(0.6)	92	(0.5)
	辺材	92	(0.6)	92	(0.6)

* n=3 の平均値, () 内は相対標準偏差

5.3.2 IMD の定量分析の効率化

(1) 試料前処理方法の効率化

ベイツガ心材を AZN で処理した木粉を用い方法 A と B による IMD の回収率と比較した。なお、製材の JAS における IMD の定量方法では抽出時に実施する木粉洗浄後に数回の濃縮操作を行うこととされているが、本課題ではその濃縮工程を省いたもの方法 A とした。メタノールおよびアンモニア-メタノールを用いた場合の回収率は方法 A, B とも、製材の JAS で用いられている DMSO-エタノール(方法 A のみ実施)の回収率よりも高かった(表 5.3-3)。また、メタノールを用いた場合の回収率はアンモニア-メタノールを用いた場合よりも高い値を示しており(表 5.3-3)、IMD の抽出には CYP と同じメタノールを用いた方が適切であることが確認された。メタノールを用いた場合の方法 A と方法 B を比較すると方法 A の方が若干高い値を示したが、相対標準偏差を考慮するとほとんど差はないものと考えられた(表 5.3-3)。

表 5.3-3 AZN を添加したベイツガ心材木粉からの IMD 回収率

抽出溶媒	方法	回収率(%) ^{*2}	
DMSO-エタノール ^{*1}	A	89	(0.9)
メタノール	A	96	(0.8)
	B	94	(1.5)
アンモニア-メタノール	A	93	(0.7)
	B	90	(0.6)

*1 製材の JAS で用いられている溶媒

*2 n=3 の平均値, () 内は相対標準偏差

以上の結果，IMD の抽出には，製材の JAS において CYP の抽出溶媒として用いられているメタノールを用いること，すなわち，CYP の抽出で得られる抽出溶液を用いることで正確かつ迅速に定量できることが確認された。また，方法 B を用いることで簡易化できることが確認された。

(2) UHPLC を用いた機器分析の効率化

HPLC を用いた場合の分析条件を参考に，IMD の UHPLC による分析を行なったところ，CYP の場合と同じく分析時間を HPLC の 1/5 程度に短縮できることが確認された。

(3) 効率化された分析方法の検証

スギ，カラマツ，ヒノキ，ホワイトウッドおよびオウシュウアカマツの辺材・心材の処理木粉から，方法 B を用いて調製した分析試料を HPLC および UHPLC 分析し IMD の回収率を求めた。表 5.3-4 に示すように，HPLC で分析した場合の回収率はカラマツ心材を除くと，89～93%の範囲であった。なお，IMD と重なる位置に出現するピークを除去するため，スギの辺心材は抽出後に固相抽出を実施したものの結果である。カラマツ心材の回収率は 83%であったが，これは IMD のピーク付近に比較的大きなピークが存在することが影響していると考えられた。一方，UHPLC で分析した場合，ホワイトウッドの辺材を除くと，回収率は 89～93%の範囲であった（表 5.3-4）。ホワイトウッドの辺材の回収率は，他の樹種よりも高い値を示したが，その値は 103%であり良好に分析されていると考えられた。HPLC と UHPLC により得られる回収率結果には多少の差が認められるためさらなる検討が必要ではあるが，木材成分の影響による過剰値は確認されておらず，UHPLC を用いた定量分析が可能であることが確認された。

表 5.3-4 AZN を添加した木粉からの IMD の回収率

樹種	部位	回収率*			
		HPLC		UPLC	
スギ	心材	89	(4.6)	94	(4.0)
	辺材	92	(0.5)	92	(0.4)
カラマツ	心材	83	(1.9)	92	(1.2)
	辺材	91	(0.8)	92	(0.5)
ヒノキ	心材	90	(0.9)	90	(0.4)
	辺材	92	(0.2)	92	(0.7)
ホワイトウッド	心材	89	(0.4)	93	(2.4)
	辺材	93	(0.6)	102	(0.2)
オウシュウアカマツ	心材	89	(1.7)	89	(1.7)
	辺材	90	(1.6)	91	(0.4)

* n=3 の平均値，（）内は相対標準偏差

5.3.3 DDAC の定量分析の効率化

製材の JAS における DDAC の定量は、オレンジⅡ と DDAC をのイオンペアの紫外線吸収を分光光度計で測定することで実施される。この際、オレンジⅡ と DDAC のイオンペアを生成するための操作が煩雑であり、迅速化の妨げになっている。また、製材の JAS の方法では HPLC を用いた定量分析についても規定されているが、DDAC は CYP や IMD の分析に用いる UV 検出器を備えた HPLC で直接分析することができないため、様々な工夫が必要となる¹⁾。最近、蒸発光散乱検出器 (ELSD) を用いることで、木材中の DDAC を直接分析することができると報告されている⁷⁾。そこで本課題では、ELSD を用いた HPLC を用いて定量分析することとした。

(1) DDAC の試料前処理方法の効率化

AAC を用いて処理したベイツガ心材の処理木粉からの DDAC の回収率は、製材の JAS で用いられている塩酸-エタノールよりも高い値を示した(表 5.3-5)。製材の JAS では、抽出は加熱処理で行うこととされているが、ギ酸-メタノールを用いることで超音波を用いた抽出で 100%近い回収率が得られることが確認された(表 5.3-5)。他方、ギ酸-エタノールを用いた場合の回収率は塩酸-エタノールを用いた場合と同程度であった。また、ギ酸-メタノールを抽出溶媒とした場合、相対標準偏差を考慮すると方法 A と B の回収率はほぼ同程度であると考えられ(表 5.3-5)、方法 B を用いることで試料前処理を効率化できることが確認された。

表 5.3-5 AAC を添加したベイツガ心材木粉からの DDAC の回収率

抽出溶媒	方法	回収率 (%) *2	
塩酸-エタノール*1	A	79	(2.0)
	B	78	(2.1)
ギ酸-エタノール	A	76	(3.2)
	B	74	(2.8)
ギ酸-メタノール	A	100	(5.8)
	B	97	(2.7)

*1 製材の JAS で用いられている溶媒（但し、抽出は煮沸）

*2 n=3 の平均値, ()は相対標準偏差

(2) UHPLC を用いた機器分析の効率化

HPLC を用いた場合の分析条件を参考に、DDAC の UHPLC による分析を行なったところ、CYP などの場合と同じく分析時間を HPLC の 1/5 程度に短縮できることを確認した(図 5.3-3)。

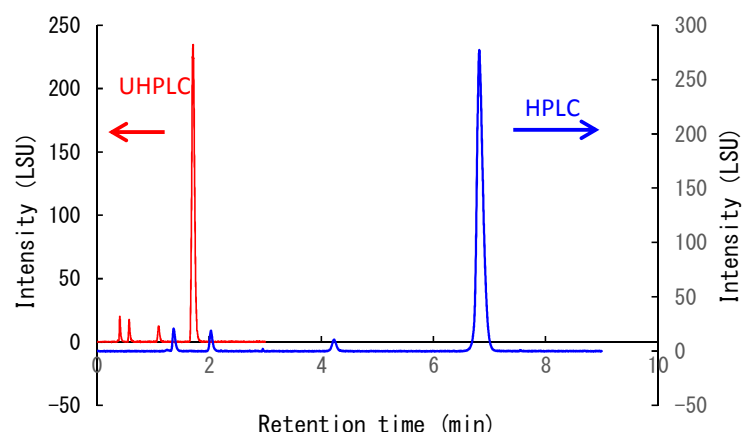


図 5.3-3 DDAC の HPLC および UHPLC クロマトグラム

(3) 迅速化された方法を用いた分析の実施

スギ、カラマツ、ヒノキ、ホワイトウッドおよびオウシュウアカマツの辺材・心材の木粉に AAC を添加した処理木粉および無処理木粉をギ酸-メタノールで抽出し、方法 B により分析試料を調製した。まず、無処理木粉から調製した分析試料と DDAC の標準品を HPLC および UHPLC 分析したところ、DDAC の定量分析に影響する木材成分のピークは確認されなかった。そこで、固相抽出などの前処理を行わず HPLC または UHPLC 分析に供した。その結果、HPLC を用いた場合の回収率は 102～105% の範囲にあり (表 5.3-6)、適切に分析されていると考えられた。一方、UHPLC を用いた場合の回収率は 104～107% の範囲にあり、HPLC と比較してわずかに高いものの、ほぼ同程度であると考えられ (表 5.3-6)、分析時間を短縮できることが確認された。

表 5.3-6 AAC を添加した木粉からの DDAC の回収率

樹種	部位	回収率 (%) *			
		HPLC		UPLC	
スギ	心材	103	(3.3)	105	(0.4)
	辺材	102	(1.5)	105	(1.3)
カラマツ	心材	102	(0.3)	104	(0.3)
	辺材	102	(0.1)	105	(1.1)
ヒノキ	心材	104	(0.3)	105	(1.6)
	辺材	102	(2.6)	104	(2.6)
ホワイトウッド	心材	103	(1.3)	106	(0.4)
	辺材	104	(0.7)	106	(0.9)
オウシュウアカマツ	心材	105	(2.0)	107	(2.5)
	辺材	105	(4.1)	107	(1.2)

* n=3 の平均値, () 内は相対標準偏差

5.4 まとめ

木材保存剤の有効成分である CYP, IMD および DDAC の抽出工程の効率化について検討したところ、ろ過および木粉の洗浄を省くことで試料前処理に要する時間を短縮できることが確認された。また、より効率的な分析機器である UHPLC を用いることで、分析に要する時間を短縮できることが確認された。以上の効率化を取り入れることで、有効成分の定量分析を迅速に実施できると考えられる。

5.5 引用文献

- 1) 製材の日本農林規格：農林水産省告示第 1920 号（平成 25 年 6 月 12 日）
- 2) JIS K 1570²⁰¹⁰，木材保存剤，日本規格協会（2010）
- 3) Miyauchi, T., Mori, M., Ito, K., : Application of solid-phase extraction to quantitatively determine cyproconazole and tebuconazole in treated wood using liquid chromatography with UV detection, Journal of Chromatography A Vol. 1063(1-2) 137-141 (2005)
- 4) 宮内輝久，桃原郁夫，森 満範：固相抽出-HPLC-UV 法によるタナリス CY 処理木材中のシプロコナゾールの定量分析，木材保存 33(5) 218-225 (2007)
- 5) 宮内輝久，森満範，桃原郁夫，大村和香子：合板由来成分と木材保存剤有効成分の固相抽出による分離，日本木材保存協会 第 25 回年次大会 研究発表論文集 52-53 (2009)
- 6) 池田学，神澤賢一郎，安田淳一，茂山和己，須貝与志明：木材中に含まれるイミダクロプリドの分析～固相抽出法を併用した HPLC による分析方法～，日本木材保存協会 第 29 回年次大会 研究発表論文集 78-79 (2013)
- 7) 宮内輝久，森満範，桃原郁夫，大村和香子：蒸発光散乱検出器（ELSD）を用いた液体クロマトグラフィーによる第 4 級アンモニウム化合物の定量分析，第 60 回日本木材学会大会研究発表要旨集 CD-ROM (2010)

第6章 まとめ

公共建築物等木材利用促進法の施行等により公共建築物等の大規模建築物への木造建築の市場拡大の推進が図られており、材料供給サイドでは設計や施工などの建築現場における様々な要求に対処していく必要が出てきている。その一つに、建物の長寿命化を図る観点から求められる生物劣化へ対処するための高耐久性部材がある。しかしながら、大規模建築物の構造部材として実績のある構造用集成材、特にその中でも大断面集成材に対して耐久性性能を公的に表示する制度がないことから、その整備が求められている。

これまで、住宅向けの小中断面材については長年の技術開発の蓄積があり、また、日本住宅・木材技術センターの優良木質建材等認証制度(AQ 制度)の中でも運用され普及してきた。そこで、本事業では、これまで蓄積されてきた構造用集成材に対する保存処理技術の大断面集成材への適用性について検証を行って、その公的な認定制度保存処理大断面集成材の製造及び強度性能、接着性能、耐火性能に関するデータを整備することを目的とした。加えて、規格制定の中で必要となる薬剤定量法について、その迅速でかつ正確な定量手法を確立するための検討を行った。

具体的に試験等を行って取り組んだ項目を以下に示す。

- ① スギおよびヒノキラミナに木材保存剤を加圧注入し、保存処理ラミナを調製
- ② 保存処理ラミナを接着し、保存処理大断面集成材を製造
- ③ 大断面保存処理集成材の保存性能（吸収量・浸潤度）を確認
- ④ 大断面保存処理集成材の曲げ強度性能・接着性能を確認
- ⑤ 大断面保存処理集成材の準耐火性能を確認
- ⑥ 既存の JAS の薬剤分析法を精査し、迅速かつ正確な定量法となるよう改善

曲げ強度試験、接着試験、準耐火試験に関わる試験体の製造条件は以下の通りであった。

- ・断面寸法：幅 150mm×厚さ 300mm
- ・強度等級：特定対称異等級構成の ME85－F255
- 外層用ラミナ ヒノキ L110（曲げヤング係数 11～14kN/mm²）
- 中間層用ラミナ スギ L90（曲げヤング係数 9～11kN/mm²）
- 内層用ラミナ スギ L50（曲げヤング係数 5～9kN/mm²）
- ・保存処理：ラミナ加圧注入処理
- ・インサイジング処理：ラミナ幅広面両面、歯数密度 4700/m²
- ・保存処理薬剤 水溶性木材保存剤として AAC（第四級アンモニウム化合物系）
油溶性木材保存薬剤として AZN（アゾール・ネオニコチノイド化合物系）
- 接着剤：レゾルシノール・フェノール共縮合樹脂

製造および性能に関する検討の結果、以下の2点が確認された。

- ① インサイジング処理し木材保存剤 AAC または AZN を加圧注入したスギおよびヒノキラミナを積層接着にすることにより、ラミナ内部および大断面集成材内部まで確実に保存処理された大断

面保存処理集成材が製造できる。

② この方法により製造された大断面集成材の曲げ強度性能、接着性能、準耐火性能は現行基準を満足する。

なお、今回の検討により得られたラミナ処理による大断面集成材の製造面あるいは性能面の留意点を以下に列記する。

1) 保存処理ラミナの寸法調整

注入処理前の厚さは目標仕上げ厚さ 30mm のものを 35mm、25mm のものを 30mm とした。また、ラミナ幅については目標仕上げ幅 150mm として 165mm とした。AAC 処理ラミナの一部については、積層接着直前の目標仕上げラミナ厚さ 30.0mm に対して、幅ざりが大きいため 29.5mm とせざるを得ないものがあつた。

2) ラミナのインサイジング処理

製材品処理を想定した現存するインサイジング処理機では薄い製品を処理するように設計されていない。今回は上下面のローラーについたインサイジング刃のうち片面だけを利用して 1 面ずつ 2 回に分けてインサイジングをラミナ両面に処理する方法で行ったため労力を要した。実際には省力を測るためラミナも想定した処理機の開発が望まれる。

3) 保存薬剤の加圧注入処理

薬剤注入量は、AAC、AZN とともに規定値を大きく上回った。また、インサイジング処理により浸潤度のバラツキが抑えられ安定性が増すことが確認された。

4) 保存処理ラミナの再乾燥処理

水溶性薬剤である AAC 処理ラミナにおいて、インサイジング処理されたものはラミナ間の仕上がり含水率のバラツキが小さく、また、乾燥処理時間を短縮できることが確認された。

5) 保存処理ラミナの含水率測定

ジクロロメタン等を溶剤とする油溶性薬剤を用いた木材の含水率計測においては、電気抵抗式含水率計を用いる必要がある。集成材の製造管理で一般的に使用されているのはマイクロ波式あるいは高周波式なので注意を要する。

6) 保存処理ラミナを用いた大断面構造用集成材の曲げ強度性能

JAS 規格に定める所定の曲げヤング係数および曲げ強度が得られることを確認した。ラミナへインサイジング処理して製造した試験体の一部で、通常の集成材では考えにくい現象が生じたが、今回のデータでは十分解析できなかった。

7) 保存処理ラミナを用いた大断面構造用集成材の接着性能

JAS 規格に定める所定の接着性能が得られることを確認した。インサイジング処理による性能低下がブロックせん断試験の木破率、促進はく離試験のはく離率で確認された。樹種、保存処理薬剤、接着剤等の組合せが接着性能に与える影響を確認する試験法を検討する必要がある。

薬剤分析については、手順の見直しを図った結果、抽出操作の手順、抽出溶媒の変更、新しい分析機器の導入により、正確さを維持したまま分析時間およびそれに伴う労力を大幅に減らせることを確認した。

ここで、平成 24 年保存性能 JAS 基準化研究会で作成された集成材の日本農林規格（以下 JAS 規格）の改正案について、概要を記して再確認しておく。

まず、改正案においては、「保存処理ラミナ」について「保存処理（インサイジングを施した保存処理を含む）したラミナをいう」と定義することで、ラミナにインサイジング処理することも可能としている。また、「保存処理集成材」について「構造用集成材のうち、製品に保存処理したもの（インサイジング処理をしたものを含む）、あるいは全層に保存処理ラミナを使用したものをいう。」と定義することで、保存処理技術としては“製品に保存処理したもの”と“ラミナに保存処理したものを積層接着したもの”が規定されることになっている。

構造用集成材の JAS 格付品の性能に関連して表示すべきものには、「強度等級」、「材面の品質」、「接着性能」、「樹種名」などがあり、また、必要に応じて表示できるものに「ホルムアルデヒド放散量」などがある。また、満たすべき品質として、「接着の程度」、「含水率」、「ラミナの品質」などがある。

保存処理が加わることで、これらに加えて「薬剤名」、「性能区分」、「保存処理区分」を表示することとしている。木材保存剤として改定案で対象と考えているのは、日本工業規格 JIS K 1570（2010）に規定されているもののうち、第四級アンモニウム化合物系（AAC-1）、ほう素・第四級アンモニウム化合物系（BAAC）、銅・アゾール化合物系（CUAZ）、アゾール・ネオニコチノイド化合物系（AZN）の 4 種類であり、「薬剤名」にはそのどれに該当するかが表示される。「性能区分」としては、保存処理された製材品の JAS 規格で規定されている K1 から K5 のうち、K2、K3、K4 が規定され表示できることになっている。さらに、「保存処理区分」としては、保存処理集成材（保存処理ラミナ使用）か保存処理集成材（製品処理）の別が表示される。

保存性能に関わる試験としては、浸潤度と吸収量の測定が課せられ、4 つの「薬剤名」、3 つの「性能区分」、2 つの「保存処理区分」に応じた基準値が定められている。「材面の品質」においては、インサイジングによる傷は 2 種もしくは 3 種に該当するとされている。

構造用集成材の強度性能保証の核となる「ラミナの品質」に関連する部分について、インサイジングされていない保存処理ラミナは通常のラミナと同様に扱えるが、インサイジングされた保存処理ラミナについては、MSR ラミナか機械等級区分ラミナに限るとされ目視等級区分は適用外としている。いずれも、所定の層に用いるラミナについては曲げヤング係数、曲げもしくは引張り強度が基準値を満たしていることが求められる。このことで、保存処理集成材（保存処理ラミナ使用）については、ラミナの品質を担保することで製品の強度性能も保証できると考えられる。

一方、保存処理集成材（製品処理）のうちインサイジングされていないものは通常の製品と同様に扱えるが、インサイジング処理されたものについては、通常のラミナの品質管理に加えて、製品の曲げ性能試験を行い基準値を満足することが求められる。

なお、「接着の程度」、「含水率」については、保存処理されたものにあっても例外なく試験を実施し、基準値を満足することが求められる。

ここで、本事業で対象とした大断面集成材の JAS 格付けについて、その製品製造や品質管理面を考慮して製造工程を製品処理と保存処理ラミナ使用とに分けて考えてみたい。製品処理による製造工程を採用する場合、専用の処理機が無い製品のインサイジング処理は困難であることから

インサイジング処理をしないでも規定された浸潤度や吸収量を満足できること、水溶性薬剤を製品で加圧注入した大断面材を含水率の基準を満足するように再乾燥することは困難であることなどが制約となり、現実的には油性薬剤の利用が主流となろう。また、この場合、製品の寸法は保存処理薬剤の加圧釜の寸法に制限されることになろう。一方、保存処理ラミナ使用の場合は、製品寸法は大断面集成材工場で製造できる範囲においては制限はなく、また、保存薬剤が水溶性か油性かを問わず利用が可能となるが、樹種や保存薬剤と接着剤との相性を見極め接着性能を担保するための製造技術や評価技術の確立が求められよう。

なお、上述した平成 24 年保存性能 JAS 基準化研究会で作成された JAS 改正案では、対象とした集成材の規格は平成 19 年改正版であり、その後平成 24 年度に改訂された点については検討対象外となっている。また、今年度の事業成果である高精度化・高効率化を実現する薬剤分析手法についても対象外となっている。今後の JAS 規格見直し検討にあたっては、これらの点も考慮されるべきであろう。

構造用集成材は、国土交通省告示により曲げ、圧縮、引張り、めり込み、せん断に対する基準強度が与えられることで、建築における構造材としての実績を積んできた。それを可能にしているのは、JAS 規格で製品の含水率、接着性能、強度性能などに対する品質基準を設けていることにある。今回の事業で得られた成果が、JAS 規格に適正に反映され構造用集成材の更なる活用につながることを期待したい。

最後に、本事業実施に際し多大なご協力をいただいた大日本木材防腐(株)、兼松日産農林(株)、トリスミ集成材(株)の皆様に謝意を表します。

「木造中高層建築物等の高耐久化を可能とする保存処理大断面集成材の
性能担保に向けたデータ整備事業」実施体制

	氏 名	所 属
委員長	今村祐嗣	京都大学名誉教授
委 員	宮武 敦	(独)森林総合研究所
〃	原田寿郎	(独)森林総合研究所
〃	桃原郁夫	(独)森林総合研究所
〃	柳川靖夫	奈良県森林技術センター
〃	宮内輝久	(地独)北海道立総合研究機構 林産試験場
〃	田村 彰	(公財)日本合板検査会
〃	大澤朋子	(公財)日本住宅・木材技術センター
〃	宮林正幸	日本集成材工業協同組合 ((有)ティー・イー・コンサレティング)
〃	奥田一博	日本集成材工業協同組合 (トリスミ集成材(株))
〃	貞広圭一郎	日本集成材工業協同組合 (銘建工業(株))
〃	赤堀裕一	日本木材防腐工業組合 (大日本木材防腐(株))
〃	中井大二郎	日本木材防腐工業組合 (兼松日産農林(株))
オブザーバー	高畑啓一	林野庁 木材産業課
オブザーバー	青井秀樹	(独)森林総合研究所
オブザーバー	池田秀明	農林水産省 消費・安全局
オブザーバー	片岡辰幸	日本集成材工業協同組合
オブザーバー	関澤外喜夫	日本木材防腐工業組合
事務局	竹内孝常	公益社団法人日本木材保存協会

執筆者一覧

はじめに (財)建築研究協会 今村祐嗣

第1章 (独)森林総合研究所 桃原郁夫

第2章 2.1 日本集成材工業協同組合 奥田一博

2.2 日本木材防腐工業組合 赤堀裕一

2.3 日本集成材工業協同組合 奥田一博

第3章 奈良県森林技術センター 柳川靖夫

第4章 (独)森林総合研究所 原田寿郎

第5章 (地独)北海道立総合研究機構 林産試験場 宮内輝久

第6章 (独)森林総合研究所 宮武敦