

令和2年度林野庁補助事業

令和2年度 合板・製材・集成材国際競争力強化・輸出促進対策のうち
CLT建築実証支援事業のうち
CLT等木質建築部材技術開発・普及事業

保存処理直交集成板(CLT)の日本農林規格化に資する
データ収集・調査事業報告書

令和4年3月

日本木材防腐工業組合

まえがき

わが国の林業、木材産業界においては、国産材の有効活用を図って森林の良好な維持のみならず、脱炭素社会の実現に貢献することが重要な方針となっている。そのため平成 22 年にはいわゆる公共木造建築物等への木材利用促進法が施行され、令和 3 年 10 月にはこれを広く民間施設へ適用拡大をした「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行された。そのような中であって、CLT は木材を大量かつ有効に使用する材料であることから、建築用の各部構造材料として利用すれば、上記の課題に効果的に対応しうるものとして近年、大きな注目を集めている。

現在、CLT は民間、公共を問わず、事務所、介護施設、学校校舎、宿泊施設のほか、集合住宅、ホテル・旅館、保育・養護施設などへの利用拡大も図られつつあり、その構造的な検証や防耐火・遮音性能の検証は既にかなり進んでいるが、耐久性確保策に関する技術的な検討はいまだ十分には整備されていない。

現状における CLT 建築物の耐久性確保策は、多くの場合、まずは雨水や結露水が作用しないように構法的・材料的に屋根、外壁、開口部、基礎回りの雨仕舞、防水を確実に施工すること、そしてその上に劣化リスクの高い地盤面状 1m 以内の外壁 CLT 表面を塗布などによって薬剤処理するという方策によって構成されている。しかし、既に指摘されているように材料・構法による防水ラインは設計・施工の問題だけでなく、経年的な劣化による浸水のリスクを考慮しておかなければならない。また、承知のように表面処理の有効耐用年数は 5 年前後であり初期故障対策として位置づけるべきものである。

以上のような背景から、CLT 建築の耐久性向上のためには、より信頼性の高い CLT の保存処理法として加圧注入処理が求められており、そのような処理をした CLT の日本農林規格化が求められている。

本報告書は、昨年度から継続している様々な劣化環境下における各種保存処理 CLT の耐久性を明らかにすること及び CLT 壁体の層間浸水による劣化リスクと保存処理の有効性を検討することに加えて、加圧注入処理 CLT の日本農林規格化に資する資料を収集・整備することを目的として実施した調査、研究結果の報告である。

本報告が国産材を活用した保存処理 CLT の普及に貢献できるのであれば幸いである。

なお、本事業の実施にあたっては、多くの学識経験者の方々及び日本木材防腐工業組合員の方々に多大なるご尽力をいただいた。厚く御礼申し上げます。

令和 4 年 2 月

保存処理直交集成板（CLT）の日本農林規格化に資するデータ収集・調査事業委員会

委員長 中島 正夫

【 目 次 】

まえがき

第1章 本事業の概要

1.1 事業目的	1
1.2 事業の実施内容	1
1.3 事業の実施体制	2
1.4 本事業の委員会等の開催日及び場所	4
1.5 本事業の成果報告書執筆者	4

第2章 保存処理CLTの品質及び材料強度に関するデータ収集

2.1 目的および試験計画の概要	5
2.2 保存処理CLTの製造	6
2.2.1 試験用CLTパネルの製造	6
2.2.2 ACQによるラミナ処理の概要	14
2.2.3 AAC-1によるラミナ処理の概要	17
2.2.4 AZNによる製品処理の概要	22
2.3 保存処理CLTの強度性能	28
2.3.1 非破壊性能	28
2.3.2 曲げ・積層方向（面外曲げ）	35
2.3.3 曲げ・幅方向（面内曲げ）	38
2.3.4 圧縮	43
2.3.5 引張	48
2.3.6 せん断・積層方向（面外せん断）	53
2.3.7 せん断・幅方向（面内せん断）	57
2.3.8 ラミナ性能	62
2.4 保存処理CLTの接合性能	100
2.4.1 スプライン接合	100
2.4.2 引きボルト接合	109
2.5 まとめ	119

第3章 保存処理CLTの規格に求められる品質基準案の作成

3.1 品質項目	121
3.1.1 曲げ試験	121

3.1.2	曲げB試験	121
3.1.3	曲げC試験 もしくは 引張試験	121
3.1.4	せん断試験	121
3.1.5	接着試験	122
3.1.6	寸法	122
3.1.7	含水率	122
3.1.8	浸潤度	122
3.1.9	吸収量	123
3.1.10	まとめ	123

第4章 使用環境に対応した保存処理CLTへの耐候性要求性能把握

4.1	目的	125
4.2	方法	125
4.2.1	試験体	125
4.2.2	耐候性試験	128
4.3	結果と考察	131

第5章 使用環境に対応した保存処理CLTへの耐久性要求性能把握

5.1	目的	167
5.2	方針	167
5.3	方法	167
5.3.1	条件の異なる無処理TLユニット曝露試験（継続調査）	167
5.3.2	幅はぎ無処理TLユニット直立曝露試験	170
5.3.3	保存処理TLユニット直立曝露試験（継続調査）	170
5.4	結果	173
5.4.1	条件の異なる無処理TLユニット曝露試験の結果	173
5.4.2	幅はぎTLユニット直立曝露試験の結果	191
5.4.3	保存処理TLユニット直立曝露試験の結果	192
5.5	まとめ	194

第6章 結論と今後の課題

6.1	保存処理CLTの品質及び材料強度に関するデータ収集（第2章）	195
6.2	保存処理CLTの規格に求められる品質基準案の作成（第3章）	195
6.3	使用環境に対応した保存処理CLTへの耐候性要求性能把握（第4章）	196
6.4	使用環境に対応した保存処理CLTへの耐久性要求性能把握（第5章）	196

第1章

本事業の概要

第1章 本事業の概要

1.1 事業目的

CLT を用いた建築物は CLT パネル工法や一部利用されたものを含めると 160 棟(日本 CLT 協会調べ：令和 3 年 3 月 18 日)となった。これ等の建物には CLT の外観・木質感を活用して軒下ながら屋外環境下で使用される例が少なからずある。しかしながら、これらの部材への耐久性付与は主に保護塗装などに頼っているが保護塗装の性能は恒久的なものではなく再塗装などの維持管理が必要である。

日本木材防腐工業組合では令和元年度林野庁事業、合板・製材・集成材国際競争力強化・輸出促進対策において CLT 建築実証支援事業のうち CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業に取り組み、その中で、現在 CLT 建物に耐久性を付与する手法として提案されている通気層を有する構造的な雨水浸入防止策は住宅建築の耐久設計の延長であり中大規模木造建築においては限界がある可能性を示唆した。加えて木造建築の長寿命化、塗装による部材の長寿命化に欠かせない維持管理についても、その重要性への意識が一般的な建物管理者には低く、これに相まってシステム作りも遅れていることを明らかにした。そして、これ等を解決する上で材料である CLT そのものの耐久性向上が必要であると提案した。

しかしながら、保存処理 CLT の必要性に関して議論が進まない大きな理由の一つに、CLT パネル工法において利用できる第三者認証された保存処理 CLT が供給されていないことが挙げられる。保存処理 CLT を第三者認証するためには、製造メーカーが指定建築材料の評価を受け国交省大臣認定を取得するか、直交集成板の日本農林規格（以下 JAS 規格）が保存処理された直交集成板を認定の対象と出来るように改正する必要がある。集成材や単板積層材の JAS 規格を保存処理製品が対象と出来るよう改正にあたり、日本住宅・木材技術センターが運営する優良木質建材認証制度（AQ 認定）により認証された製品の使用実績や科学的知見が活用された。

平成 30 年に AQ 認証制度に防腐・防蟻処理直交集成板の規定が追加され令和 3 年度 10 月現在 1 社に認証されたところである。

そこで、本事業では 1) 保存処理 CLT の品質及び材料強度に関するデータ収集を行って 2) 使用環境に対応した CLT 保存処理への要求性能を把握するとともに直交集成板 JAS 規格の次回見直し作業において保存処理 CLT を認証対象とする改正とその JAS 製品に与えられる基準強度へのスムーズな反映に資することを目的とする。

1.2 事業の実施内容

本事業は事業内容として下記の(1)から(4)につき検討を行う。

- (1) 保存処理 CLT の品質及び材料強度に関するデータ収集
- (2) 保存処理 CLT の規格に求められる品質基準案の作成
- (3) 使用環境に対応した保存処理 CLT への耐候性要求性能把握
- (4) 使用環境に対応した保存処理 CLT への耐久性要求性能把握

1.3 事業の実施体制

日本木材防腐工業組合内に、学識経験者、製造業者、関係機関等で構成する「保存処理直交集成板（CLT）の日本農林規格化に資するデータ収集・調査事業」の委員会を設置し、本事業について下記の実施体制下、総合的な検討を行った。

【委員名簿】

(敬称略・順不同)

氏名	所属
委員長 中島 正夫	関東学院大学 建築・環境学部 教授
委員 石川 敦子	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材改質研究領域 領域長
委員 新藤 健太	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 積層接着研究室 室長
委員 小野 泰	ものづくり大学 建築学科 教授
委員 栗崎 宏	富山県農林水産総合技術センター 木材研究所 木質製品課 主任研究員
委員 宮武 敦	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 チーム長
委員 井道 裕史	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 材料接合研究室 室長
委員 鈴木 賢人	国立研究開発法人 森林総合・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 主任研究員
委員 槌本 敬大	国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ 上席研究員
委員 秋山 信彦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 評価システム研究室 主任研究官
委員 河合 誠	一般社団法人 日本 CLT 協会 顧問
委員 平松 靖	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 領域長
委員 松永 浩史	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材改質研究領域 木材保存研究室 室長
委員 板垣 悟	公益財団法人 日本合板検査会 認証部長
委員 佐野 敦子	公益財団法人 日本住宅・木材技術センター 認証部 研究主幹

委員 山口 秋生	越井木材工業株式会社 技術開発部室 室長（組合技術委員長）
委員 森田 珠生	越井木材工業株式会社 技術開発室 主任（組合技術委員）
委員 須貝 与志明	株式会社 ザイエンス 取締役 技術開発部長（組合技術副委員長）
委員 茂山 知己	株式会社 ザイエンス 技術開発部 チームリーダー（組合技術委員）
委員 手塚 大介	兼松サステック株式会社 取締役 木材住建事業部 部長（組合技術委員）
委員 角谷 俊和	兼松サステック株式会社 木材住建事業部 営業推進課 課長（組合技術委員）
委員 赤堀 裕一	大日本木材防腐株式会社 研究開発グループ チームリーダー（組合技術委員）
委員 原田 矩行	九州木材工業株式会社 製造グループ製造管理チーム兼新製品・新技術開発係長（組員）
オブザーバ 高木 望	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 課長補佐
オブザーバ 増田 莉奈	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 住宅資材班 木材技術 係長
オブザーバ 平原 章雄	木構造振興株式会社 常務取締役
事業主体 関澤 外喜夫	日本木材防腐工業組合 専務理事

【本事業における協力機関・協力企業・協力社】

（敬称略・順不同）

企業社(者)名他	協力内容
(株)サイプレス・ス ナダヤ	CLT（マザーボード）の製造及び切り出し
森林総合研究所	CLT の材料強度及び接合性能の試験 CLT ブロック材の曝露試験による劣化評価
(株)ハセベ	CLT の接合部製造及び加工
越井木材工業(株)	ACQ による防腐処理
(株)ザイエンス	AAC による防腐処理

兼松サステック(株)	AZNによる防腐処理
ものづくり大学	CLTブロック材の曝露試験体設置及び劣化指標の経時的測定
富山県農林水産総合技術センター	CLTの劣化リスク評価

1.4 本事業の委員会等の開催日及び場所

- ・第1回本委員会

開催日時 : 令和3年7月7日(水) 14:00~16:00

開催場所 : 三会堂ビル9階会議室及びウェブ会議

- ・第2回本委員会

開催日時 : 令和4年2月8日(火) 14:00~16:00

開催場所 : 三会堂ビル9階会議室及びウェブ会議

- ・現地検討会議

開催日時 : 令和3年10月27日(水) 13:00~18:00

開催場所 : サイプレス・スナダヤ(愛媛県西条市)

1.5 本事業の成果報告書執筆者

(敬称略・順不同)

章	氏名
まえがき	中島 正夫
第1章	関澤 外喜夫
第2章 (2.1)	宮武 敦
(2.2.1)	新藤 健太
(2.2.2)	森田 珠生
(2.2.3)	茂山 知己
(2.2.4)	角谷 俊和
(2.3)	井道 裕史
(2.4)	鈴木 賢人
(2.5)	宮武 敦
第3章	宮武 敦
第4章	石川 敦子(資料提供 小野 泰)
第5章	栗崎 宏
第6章	中島 正夫

第2章

保存処理CLTの品質及び材料強度に 関するデータ収集

第2章 保存処理 CLT の品質及び材料強度に関するデータ収集

2.1 目的および試験計画の概要

日本木材防腐工業組合が実施した「中高層木造への CLT を利用する場合の保存処理の必要性とその耐久性評価に関する調査研究（令和元年度林野庁事業）」では、中大規模木造建築における適切な構法的な雨水侵入防止策、結露対策や維持管理の仕組み作りが未整備であることなどから、これら建築物の構造材としての利用が見込まれる直交集成板（以下 CLT）にあってはその耐久性向上が必要になると提言した。現在、保存処理を施した CLT は優良木質建材等認証制度（以下 AQ 認証）の防腐・防蟻処理直交集成板として第三社認証が可能であるが、より一般的な構造材料として普及を図るためには、保存処理製品を認証対象としない直交集成板の日本農林規格（以下 CLT/JAS）の改正を行うことも必要となる。そこで本事業では、CLT/JAS に保存処理製品の品質基準等を加えるにあたって製品の適正な製造条件や規格の検査方法や検査基準に関するデータを収集することを目的とした。また、規格が制定された後、認証製品に与えられる基準強度に関する検討がスムーズに行えるよう CLT/JAS に規定される強度性能以外の項目に関しても幅広くデータ収集することを目的とした。

本事業で実施するデータ収集に用いる試験体に施す保存処理の程度は、AQ 認証の防腐・防蟻処理直交集成板に定められた防腐・防蟻処理試験を参考として決定した。具体的には、試験片の採取位置は「直交集成板の中央部」、浸潤度の基準は「断面積の 80%以上で、かつ、材面から深さ 10mm までの部分の 80%以上であること」を満足できることをその目標とした。

CLT への保存処理方法としては、製品への加圧注入方式（以下、製品処理）に加えて、平成 25 年度林野庁補正事業「CLT 等製品・新技術利用促進事業のうち耐久性等品質向上事業」で検討した保存処理ラミナを用いる方式（以下、ラミナ処理）も対象とした。保存薬剤の種類は、製品処理にはアゾール・ネオニコチノイド化合物系（以下 AZN）、ラミナ処理には銅・第四級アンモニウム化合物系（以下、ACQ）と第四級アンモニウム化合物系（以下、AAC）を用いた。ラミナ処理にあたっては CLT の各種強度性能への影響を検討することも考慮してインサイジング処理を行った。

品質については、寸法、含水率、接着の程度、保存性能としては浸潤度、吸収量、強度性能については、曲げ・積層方向、曲げ・幅方向、圧縮、引張、せん断・積層方向、せん断・幅方向を評価した。また、接合性能としては、床-床、壁-壁の接合でよく使用されるスプライン接合及び壁と基礎、壁-壁の接合部として使用され地震力等への抵抗要素として重要な役割を果たす引きボルト接合を対象として、それらの剛性及び耐力を評価した。

2.2 保存処理CLTの製造

2.2.1 試験用CLTパネルの製造

建築基準法施行令第49条では構造上主要な部分について、GLから1m以内に有効な防腐措置を講ずるよう定められている。防腐措置には塗布等も含まれるが、ここではより信頼性が高いとされる加圧注入による保存処理を施したCLTについて、その製造条件や適用性などの比較検討を行った。

加圧注入を伴うCLTの製造に関する変動要因を表2.2.1-1～2.2.1-2にそれぞれ示す。使用環境はA、保存処理条件は今回、集成材等K3相当のうちの3種類とし、比較のため無処理を含め計4種類とした。このうちACQ、AACはインサイジングを施したラミナに加圧注入後積層接着してCLTを製造した（ラミナ注入）。またAZNはインサイジング無しで製造したCLT板に加圧注入したが（製品注入）、注薬缶の径の都合上、およそ2.0mと0.4mにあらかじめ切断した上で製品注入を行った。CLTの材料性状は、いずれもスギ・Mx60-5-5、積層接着にはレゾルシノール・フェノール樹脂接着剤（PRF）を用い、幅はぎ接着はしていない。またたて継ぎは水平型フィンガージョイント（フィンガーの加工形状がラミナの厚さ方向に生じるタイプ）、接着にはメラミン樹脂接着剤を用いた。

表2.2.1-1 試験体一覧

マザーボード番号	樹種・強度等級	ラミナ寸法	接着剤	保存薬剤 ^{*1}	注入	インサイジング	強度試験項目	特記
No.1-3	スギ Mx60-5-5	幅105- 厚29mm	PRF	無処理	-	なし	曲げ・せん断 圧縮・引張り 接合部・ラミナFJ	比較用・防腐処理なし
No.4-6				ACQ	ラミナ	あり		ラミナ切削屑分別廃棄に課題
No.7-9				AAC	ラミナ	あり		ラミナ切削屑分別廃棄に課題
No.10-12				AZN	製品	なし		仕上プレーナー加工に課題

*1 ACQ : 銅・アルキルアンモニウム化合物系 (水性)
AAC : アルキルアンモニウム化合物系 (水性)
AZN : アゾール・ネオニコチノイド化合物系 (油性)

表2.2.1-2 各保存薬剤とインサイジング処理等

マザーボード番号	保存薬剤	注入メーカー	注入材	インサイジング		ラミナ強度等	特記
				刃寸法(mm)	密度(個/m ²)		
No.1-3	無処理	-	-	-	-	スギ M60(外層) M30(内層)	比較用
No.4-6	ACQ	越井木材工業	ラミナ	W不明-t2-D10 (ヤスジマ)	4,200 (ヤスジマ)		ヤスジマにてインサイジング後、越井木材にてラミナ注入
No.7-9	AAC	ザイエンス	ラミナ	W10-t2.5-D8	3,373		ラミナ注入
No.10-12	AZN	兼松サステック	製品	-	-		RFにて積層接着後、製品注入

CLT試験体の製造に際しては実用化を前提として工場での生産が可能な仕様とし、サイプレス・スナダヤのCLT工場にて積層接着した（写真2.2.1-1）。ラミナ幅は105mm、厚さは30mmを目指したが、結果として厚さ29mmとなったため5層5プライの仕上がり厚さは145mmになった。ラミナ注入試験体であるACQ、AACの製造・処理方法については、本報告書の2.2.2および2.2.3を、AZNは本報告書の2.2.4の各節を参照されたい。ラミナ処理のインサイジングについては、各社によって幅や形状、密度に若干の違いがあった。試験体製造工程のイメージを図2.2.1-1に、工程表の例を図2.2.1-2にそれぞれ示す。

それぞれ6.0×2.4mのマザーボードを1種類につき3枚、計12枚製造して、曲げ、せん断、引張り、圧縮、接合部の各試験体を切り出した（前述の通りAZNは2枚に分割して注入後切り出し）。

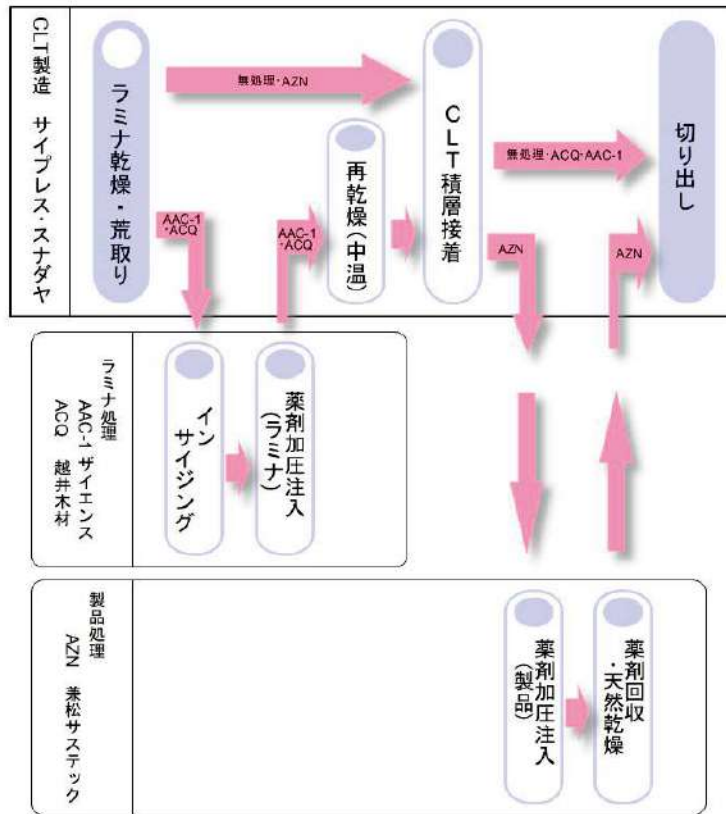


図2.2.1-1 試験体製造工程のイメージ

物件	保存処理CLTの製造および加工																					工程表		構造	-	脂防	-	担当機関確認																																	
																						建築座積	-	番工	-	森林経理	新築	既設																																	
																						延床面積	-	竣工	-																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14																
工事項目	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日									
AAC注入/サイエンス/伊勢崎市							■	■	■																																																				
運送/伊勢崎市→西条市													■	■																																															
ACQインサイジング/ヤスジマ						■	■																																																						
運送/日山→大阪市							■	■																																																					
ACQ注入/越井木材/大阪市																		■	■																																										
運送/大阪市→西条市																		■	■																																										
人工乾燥/スナダヤ/西条市																												■	■	■	■	■																													
ラミナ乾燥CLT製造/スナダヤ																																																													
切断・試験体加工・番号																																																													
運送/西条市→つくば市																																																													
製品処理CLT製造/スナダヤ																																																													
切断																																																													
運送/西条市→常陸市																																																													
AZN注入/兼松サステック																																																													
回収・乾燥																																																													
運送/常陸市→西条市																																																													

図2.2.1-2 試験体製造の工程表の例 (2021/10/01~11/14)



写真2. 2. 1-1 試験体製造の状況（無処理試験体／2021. 10. 27）
（以下、特記以外は全て撮影者：新藤）

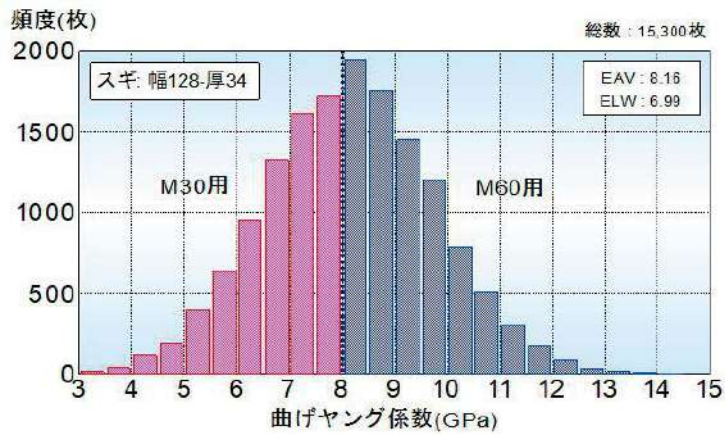


図2. 2. 1-3 原料ラミナの曲げヤング係数分布 (約15, 300枚／2021. 09. 18)

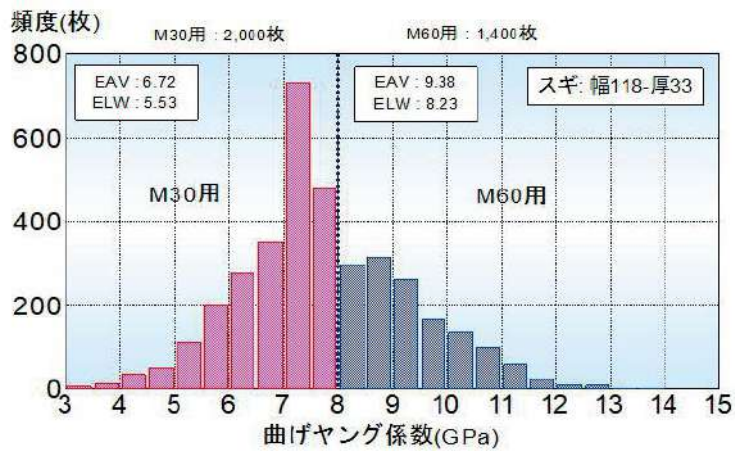


図2. 2. 1-4 製造用ラミナの曲げヤング係数分布 (約2, 000+1, 400枚／2021. 09. 25)

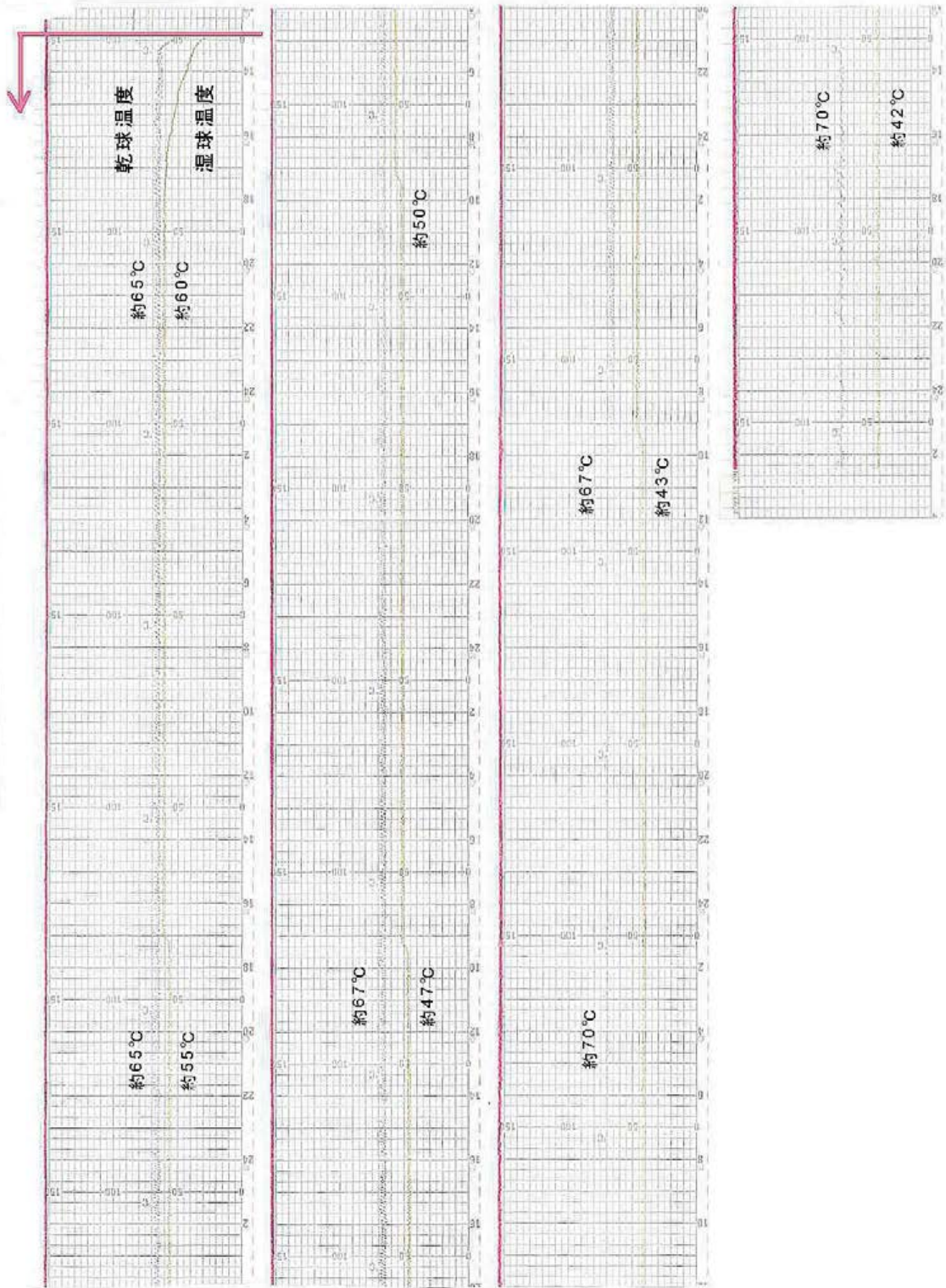


図2.2.2-5 再乾燥スケジュール（資料提供：サイプレス・スナダヤ）

原料ラミナ（厚34×幅128mm）約15,300枚の曲げヤング係数分布を図2.2.1-3に示す。またここから抜き出した製造用ラミナ（厚33×幅118mm）の曲げヤング係数分布を図2.2.1-4に示す。原料ラミナ（図2.2.1-3）の曲げヤング係数8.0(GPa)を境界に設定して、内層M30用と外層M60用とにそれぞれ振り分けた。製造用ラミナ（図2.2.1-4）を見ると、M30用ラミナのピークは7.0-7.5(GPa)となっており、総じて高めの設定となった。よって、M30内層用ラミナの平均値は6.72(GPa)、M60外層用ラミナの平均値は9.38(GPa)となった。

ラミナ注入タイプの試験体、ACQおよびAAC（いずれも水溶性薬剤）については、いずれもCLT工場にて乾燥+荒取り+等級区分したラミナを各保存処理工場等に搬入し、インサイジングを行ってから加圧注入した。ラミナへの保存処理薬剤加圧注入後は、時期を置かずCLT製造工場へ再搬入し、CLT工場にて中温再乾燥を行った。再乾燥前の注入済みラミナを写真2.2.1-2～2.2.1-3に示す。

再乾燥時のスケジュールを図2.2.2-5に示す。この図によると、再乾燥に要した時間はおよそ4.5日で、乾燥終了前の4日目では、乾球温度が約70℃、湿球温度が約42℃ほどであった。乾燥終了時にラミナ10枚を抜き取って高周波式含水率計で測定したところ、含水率は、ACQが3.0～12.0%(平均4.16%)、AACが3.0～5.6%(平均3.54%)であった。なお、製品処理であるAZNおよび無処理の試験体の、ラミナ段階における含水率は測定データがなく不明である。ちなみに強度試験後、すなわちマザーボード製造後約2ヶ月後の試験体から切り出して全乾法にて測定した含水率については、2.3.1～2.3.7にて詳しく述べる。

また断面寸法が厚33×幅118mmのラミナに薬剤注入したが、写真2.2.1-2～2.2.1-3からもわかるように注入時に相応の変形（厚さ方向の反りや膨らみなど）が発生し、再乾燥後も完全に戻ることはなかった。そのため厚さを上下面各2mmずつ削る必要が生じたことから、最終的にラミナ断面は厚29×幅105mmにて製造した。そのため5層5プライの製品厚さも145mmとなったほか、製品処理AZN試験体ならびに無処理試験体についても、ラミナ注入試験体に合わせて、ラミナ厚29×105mm、製品厚さ145mmで統一した。よって今回の製造条件においては、保存薬剤をラミナに加圧注入する（ラミナ注入試験体）際には、仕上がり厚に対して+4mm以上確保しなければならないことがわかった。

製品処理のAZN試験体については、前述のように注薬缶最大径の関係から、マザーボードのサイズである幅2.4×長さ6.0mを入れることができなかった。このため2.0mと0.4mにあらかじめ切断した上で、2.0m×3段+0.4m横3枚の計4段積みにして、製品注入を行った。

加圧注入後の試験体状況を写真2.2.1-4～2.2.1-6にそれぞれ示す。マザーボード3枚分の試験体を観察したところ、幅2.0mの大板3枚のうちの1枚（No.12）に比較的大きな離状の外層ラミナ浮き上がりが観察された。大きな浮き上がりはラミナ3列で確認され、浮き高さの最大値は約15mmほどであった。それ以外の大板2枚（No.10, No.11）も、ラミナ幅方向の反りによる浮きが、わずかながら全体的に認められた。

積層用の接着剤については、使用環境Aおよび防腐処理薬剤との相性を考慮して、ここではレゾルシノール・フェノール樹脂接着剤(PRF)を選択した。積層接着時における接着剤塗布量は260g/m²を目標とした。試験体の製造時期が11月頃となり、秋冬期の加温も考慮して養生時間を6時間程度確保したこと、工場の製造サイクルとの関係の両面から、マザーボードの製造は1日1枚にとどまった。

前述のように、各保存処理の仕様ごとに、それぞれ6.0×2.4mのマザーボードを1種類につき3枚、計12枚製造して、曲げ、せん断、引張り、圧縮、接合部の各試験体を切り出した（前述の通りAZNは2枚に分割して注入後切り出し）。強度試験体の切り出し図（割り付け図）を図2.2.1-6～2.2.1-7に、切り出し加工後の試験体状況を写真2.2.1-7にそれぞれ示す。

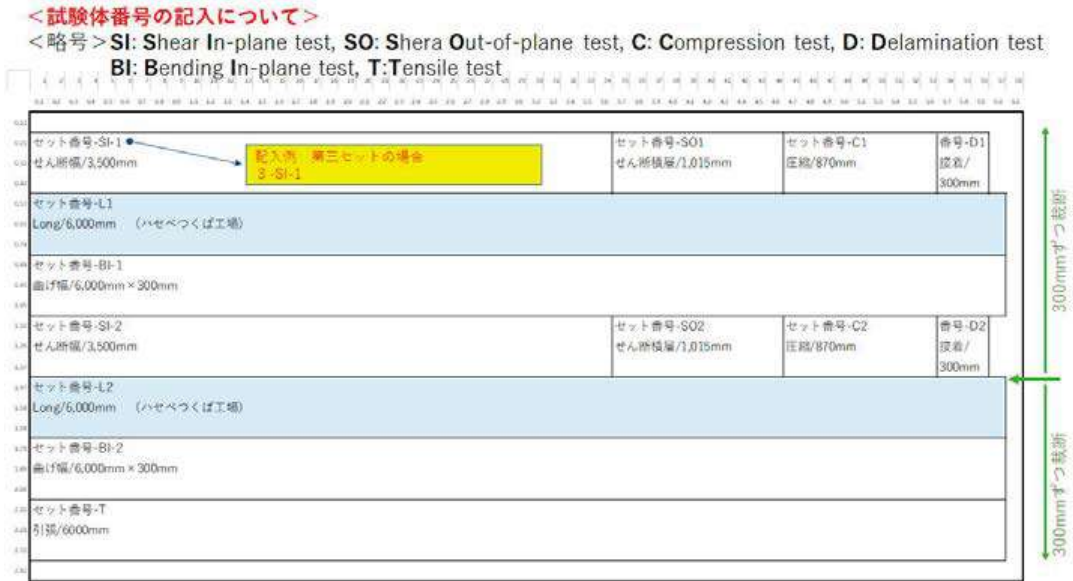


図2. 2. 1-6 試験体切出し図 (No. 1-3無処理, No. 4-6ACQ, No. 7-9AAC, No. 10, 11AZN) (宮武)



図2. 2. 1-7 試験体切出し図 (No. 12AZN) (作成: 宮武)



写真2. 2. 1-2 加圧注入後再乾燥前のラミナ (AAC)



写真2. 2. 1-3 加圧注入後再乾燥前のラミナ (ACQ)



写真2. 2. 1-4 製品注入後のCLT-外層の浮きが認められる (AZN-No. 12)



写真2. 2. 1-5 製品注入後のCLT-最大約15mmの浮き (AZN-No. 12)



写真2.2.1-6 製品注入後のCLT-外層の浮き (AZN-No.12)



写真2.2.1-7 試験体切り出し加工後のCLT (左:曲げ・引張り等, 右:余り) (写真提供:スナダヤ)

ラミナ処理試験体における、加圧注入後の再乾燥後ラミナの含水率を高周波式含水率計で測定した結果、ACQで3.0～12.0%(平均4.16%)、AACで3.0～5.6%(平均3.54%)であったことは既に述べた。水溶性薬剤であるACQ、AACおよび油性薬剤であるAZNを加圧注入したのちの含水率については、高周波式含水率計と全乾法によって測定した含水率に、違いが生じることが考えられる上、この時の含水率が単に水なのか、溶剤なのか、という定義付けについては議論する必要があり、また製造管理上の含水率の取り扱いについても、整理が必要であるものと考えられる。

また保存処理薬剤加圧注入を施したCLTの製造に際しては、ラミナ処理試験体製造時に発生する防腐剤を含んだ削りくずの分別・廃棄方法の問題や、製品処理試験体加圧注入後に発生する寸法変化に伴う仕上げプレーナー加工の必要性の問題など、それぞれに特徴的な課題が認められた。その強度的影響などについては、2.3節など該当部分を参照されたい。

(2.2.1 担当:新藤)

2.2.2 ACQによるラミナ処理の概要

2.2.2.1 インサイジング加工

インサイジングは、株式会社ヤスジマのインサイジング試験機にて実施した。インサイジング刃の厚さは2 mm、刃先はテーパー加工、インサイジング密度は約 4200 個/m²、インサイジング深さは約 10 mm とした。

2.2.2.2 ACQ 注入条件

ACQ 注入は、越井木材工業株式会社本社工場注薬缶において実施した。処理は JAS K3 相当を目標とした。注入するラミナを5バンドルに分け、フォークリフトの重量計で前量を測定後、ACQ 作業液を前排気 10 分、圧力 1.4MPa で加圧 1.5 時間、後排気 30 分の条件で加圧注入した。加圧注入後、フォークリフトの重量計で各バンドルの後重を測定し、バンドルごとの注入量を算出した。



写真 2.2.2-1 注入前後の様子（左：注入前、右：注入後）

2.2.2.3 注入量データ

バンドルごとの注入量を表 2.2.2-1 に示す。また、等級ごとに5本ずつ抜き取りし、注入前含水率、注入前寸法、前重、後重、浸潤度を測定した。その結果を表 2.2.2-2 に示す。

表 2.2.2-1 注入量

バンドル 番号	ラミナ等級	本数 (本)	材積 (m ³)	前重 (kg)	後重 (kg)	注入量 (kg/m ³)
①	M30	208	3.3	1320	3370	622
②	M30	123	2.0	690	2010	677
③	M30	208	3.3	1260	3340	631
①	M60	208	3.3	1250	3370	643
②	M60	27	0.4	170	420	584

表 2.2.2-2 含水率、寸法、前後重、注入量

等級	番号	注入前含水率 (%)			幅 (mm)	厚さ (mm)	長さ (mm)	前重 (kg)	後重 (kg)	注入量 (kg/m ³)
M30	31	9	8.5	9.5	119.02	33.11	4037	5.84	16.5	670
	32	9	9	9	119.38	32.72	4038	5.9	16.3	659
	33	9.5	9.5	9.5	119.1	32.83	4040	5.68	16.28	671
	34	9.5	9.5	9.5	119.02	33.04	4037	5.88	15.26	591
	35	9.5	10	10	118.9	33.1	4036	6.42	15.88	596
M60	61	10.5	9	10	119.02	33.01	4039	6.38	16.52	639
	62	9	9.5	14	119.02	33.24	4038	6.94	16.64	607
	63	9	9	9	119.26	33.05	4038	6.32	16.8	658
	64	8.5	9	8.5	119.2	33.14	4039	6.36	16.68	647
	65	9.5	9.5	9	118.89	33.01	4038	6.94	17.42	661

2.2.2.4 浸潤度

注入後抜き取った10本の材について、木口から1mの部分から厚さ10mmの試験体を切り取り、薬剤の浸潤部位を呈色した。呈色の一例を写真2.2.2-2に示す。結果、いずれの材も薬剤は断面全体に浸潤していた。



写真 2.2.2-2 呈色の状態

2.2.2.5 CLTの浸潤度、吸収量

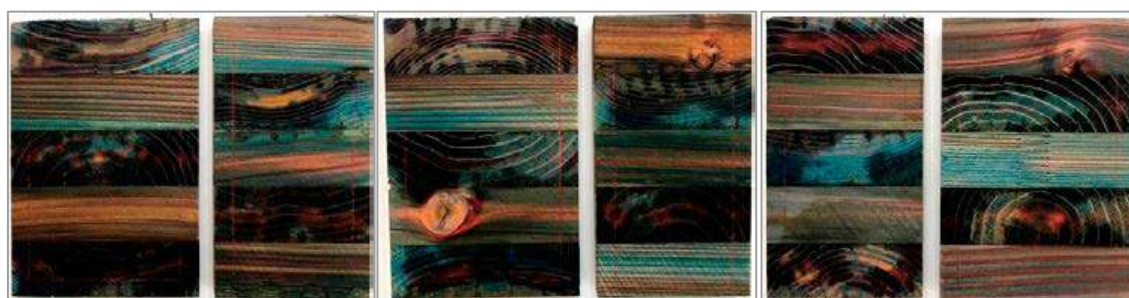
ACQ処理したラミナを接着した6体のCLTから切り出した切片について、浸潤度と吸収量を測定した。吸収量は切片の表裏面から1cmを木粉にして測定試料とした。呈色、分析はJASに基づいて実施した。浸潤度の評価はAQ防腐防蟻処理直交集成板2種（断面の80%以上かつ表層10mmの80%以上）、集成材のJAS K3（辺材部分の80%以上かつ表層10mm心材部分の80%以上）、単板積層材のJAS K3（断面積の60%以上かつ表層10mmの80%以上）の3基準に基づき評価した。

結果を表2.2.2-3に示す。浸潤度はいずれの評価基準でも合格であり、吸収量はJAS K3の基準を満たした。また、試験体の呈色の状態を写真2.2.2-3に示す。

表 2.2.2-3 CLT の ACQ 浸潤度、吸収量

材料	浸潤度			吸収量※ (kg/m ³)
	AQ 防腐防蟻処理 直交集成板	JAS 集成材 K3	JAS 単板積層材 K3	
4D1c	合格	合格	合格	4.0
4D2c	合格	合格	合格	5.0
5D1d	合格	合格	合格	4.3
5D2c	合格	合格	合格	4.9
6D1c	合格	合格	合格	4.4
6D2d	合格	合格	合格	5.3

※ACQ の K3 吸収量は 2.6kg/m³ 以上



4D1c-2a、4D1c-2b

4D2c-2a、4D2c-2b

5D1d-1a、5D1d-1b



5D2c-2a、5D2c-2b

6D1c-2a、6D1c-2b

6D2d-2a、6D2c-2b

写真 2.2.2-3 呈色の状態

2.2.3 AAC-1によるラミナ処理の概要（株式会社ザイエンス）

2.2.3.1 ラミナ

スギラミナ 33×118×4000 mm 783本（M30区分：452本、M60区分：331本）

株式会社ザイエンス関東工場にて、全てのラミナの板面（2面）のみにインサイジング（全木検認定 JLIRA-IS-23：2.5×10×8 mm 3373個/m²）を行った。

2.2.3.2 加圧注入処理

2.2.3.1のラミナについて、M30区分、M60区分に分けて結束毎に重量を測定した。またM30区分から50本、M60区分から50本を抜き取り、各本毎に重量と含水率を測定した。含水率の測定は高周波式木材水分計メルリン HM9-25WS（レンジ設定：スギ）を用いて行った。含水率の測定結果は表 2.2.3.1 に示す。これらについて加圧注入処理終了（注薬缶から取り出し）直後の重量を測定し、薬剤注入量(kg/m³)を算出した。処理日、使用薬剤、処理条件（圧力、時間）は表 2.2.3.2 の通り。

表 2.2.3.1 各本測定ラミナの加圧注入前含水率

グループ	本数	含水率平均（最大-最小）	含水率計
M30	50	7.9（12-6）	メルリン HM9-25WS （レンジ：スギ）
M60	50	9.4（22-6）	

表 2.2.3.2

処理日	2021/10/07
薬剤	AAC（ペンタキュアニューBM）K3相当濃度
処理条件	前排気 20分（-0.08MPa）-加圧 6時間（最大圧力 1.5MPa）-後排気 60分（-0.08MPa）

2.2.3.3 注入量結果

2.2.3.4 結束毎の注入量

注入量の測定結果は表 2.3.3.1 の通り。なお、M60区分、M30区分からの各50本については各本測定を行ったため、結束毎には含まれない。

表 2.3.3.3 結束毎の注入量データ

グループ	本数	前重kg	前容積重	後重kg	注入量kg/m ³
M30-1	210	1265	387	3390	650
M30-2	192	1175	393	3090	640
M60-1	89	620	447	1500	635
M60-2	192	1290	431	3110	609

2.2.3.5 各本の注入量

各区分ごとに抜き取った 50 本（計 100 本）の注入量を表 2.2.3.4 に、注入量のヒストグラムを図 2.2.3.1、図 2.2.3.2 に示す。

表 2.2.3.4 抜き取り 50 本（各区分）の注入量

グループ	本数	前重平均 kg	前容積重	後重平均 kg	注入量平均（最大-最小）
M30	50	5.930	381	15.802	634（740-528）
M60	50	6.267	402	15.497	593（707-479）

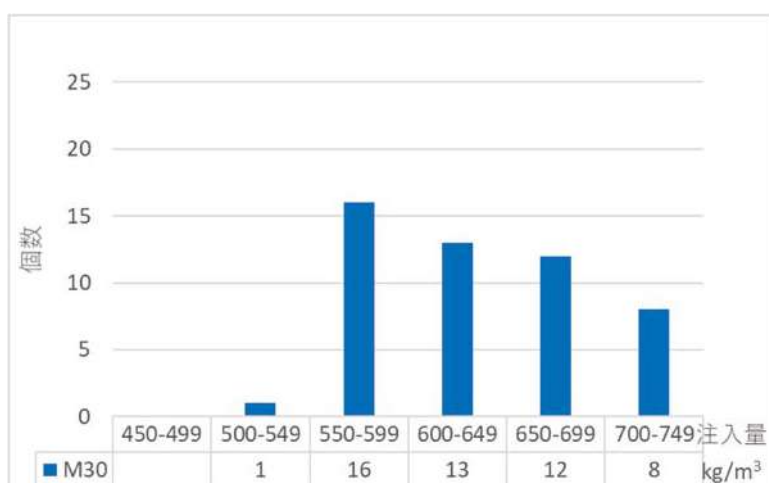


図 2.2.3.1 M30 区分ラミナ 50 本の注入量ヒストグラム

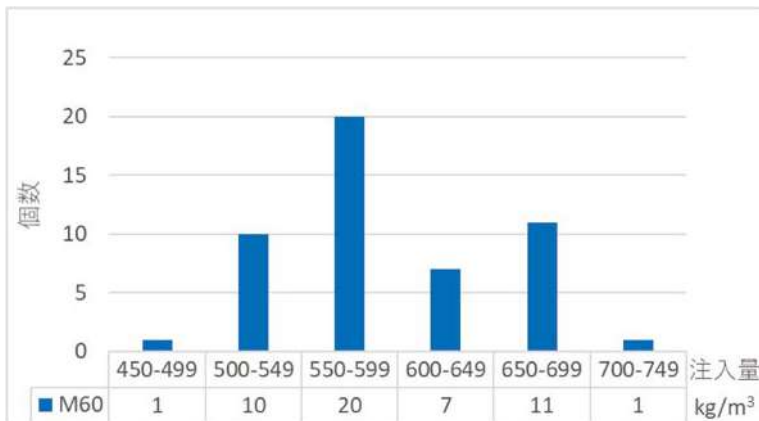


図 2. 2. 3. 2 M60 区分ラミナ 50 本の注入量ヒストグラム

2. 2. 3. 6 CLT の浸潤度

成型された CLT から切り出された試験片について浸潤度を測定した。浸潤度の数値を表 2. 3. 3. 5 に、浸潤写真を表 2. 2. 3. 6 に示す。

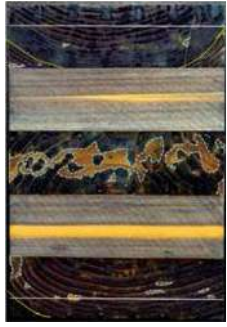

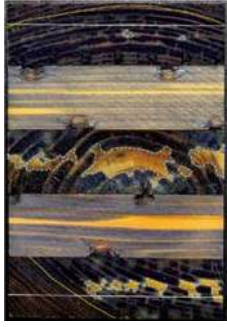








測定基準は、「防腐・防蟻処理直交集成板の AQ」、「集成材の JAS」、「LVL の JAS」の 3 つの方法でそれぞれ行った。その結果、すべての測定基準において浸潤度を満足していた。

表 2. 3. 3. 5 CLT の浸潤度結果

No.	CLT浸潤度 ^{※1} %		集成材浸潤度 ^{※1} %		LVL浸潤度 ^{※1} %		
	全断面	表層10mm部分	辺材	表層10mm部分の心材	全断面	表層10mm部分	
7D1C	2a	91	100	97	100	91	100
	2b						
7D2C	2a	90	100	100	99	90	100
	2b						
8D1A	1a	95	98	98	97	95	98
	1b						
8D2C	2a	89	95	92	100	89	95
	2b						
9D1D	1a	93	98	98	97	93	98
	1b						
9D2D	1a	98	100	100	100	98	100

※¹CLT 浸潤度は「防腐・防蟻処理直交集成板の AQ」、集成材浸潤度は「集成材の JAS」、LVL 浸潤度は「単板積層材の JAS」の基準で算定した値を示す。

表 2.3.3.6 浸潤写真

			
7D1c-2a	7D1c-2b	7D2c-2a	7D2c-2b
			
8D1a-1a	8D1a-1b	8D2c-2a	8D2c-2b
			
9D1d-1a	9D1d-1b	9D2d-1a	

2.2.3.7 CLTの吸収量

成型されたCLTから切り出された試験片について吸収量(DDAC)を測定した。吸収量の数値を表2.3.3.6に示す。

分析方法は、「防腐・防蟻処理直交集成板のAQ」の方法に従い、元のCLTの表層にあたる部分の表面から深さ10mmまでの範囲から試料を採取して行った。その結果、すべての測定個所においてAQ2種の吸収量基準(DDACとして 4.5kg/m^3 以上)を満足していた。

表 2.3.3.7 吸収量

No.	CLT吸収量 kg/m^3
7D1D-1a	7.4
7D2D-1a	8.1
8D1-b	8.4
8D2D-1a	8.3
9D1-c	7.3
9D2-c	8.0

2.2.4 AZNによる製品処理の概要

2.2.4.1 注入条件

AZN注入は、兼松サステック株式会社茨城工場乾式処理装置において実施した。処理は優良木質建材等認証（AQ認証）P-1 防腐・防蟻処理直交集成板 2種を目標とした。木材を装置内に搬入した後、前排気10分、圧力1.47MPaで加圧2.4時間、後排気100時間（溶媒回収工程を含む）の条件で乾式加圧注入処理を実施した。受領した試験材のみでは高周波回収工程が可能な寸法、材積に満たなかったため、カラマツ材と混載注入にて処理を行った。回収工程前の注入材を装置内から取り出すことが出来ないため、試験材それぞれの注入量は算出出来ないが、流量計にて注入量管理を行った。



写真 2.2.4-1 注入時の様子

2.2.4.2 注入データ

注入前後の試験材の含水率、寸法を表 2.2.4-1 及び表 2.2.4-2 に示す。また、CLT への注入量はおよそ 5000/m³程度であったと推測される。なお、含水率は高周波含水率計（HM9-WS25：merlin 製）を用いた測定値である。

表 2.2.4-1 含水率、寸法（注入前）

番号	規格寸法	含水率 (%)	長さ (mm)	厚み (mm)	幅 (mm)
1-1	6070×145×1980	11.8	6070	145.72	1980
2-1		9.3	6070	145.65	1980
3-1		8.6	6070	145.29	1980
1-2	6070×145×410	12.3	6070	145.91	410
2-2		10.5	6070	145.67	410
3-2		11.2	6070	145.67	410

表 2.2.4-2 含水率、寸法（注入後）

番号	規格寸法	含水率 (%)	長さ (mm)	厚み (mm)	幅 (mm)
1-1	6070×145×1980	7.4	6073	147.45	1983
2-1		7.4	6072	147.17	1982
3-1		6.5	6072	146.83	1980
1-2	6070×145×410	9.6	6070	147.41	411
2-2		6.9	6070	146.46	410
3-2		8.4	6073	146.66	412

2.2.4.3 薬剤浸潤度

注入した試験材より切り出された試験片の薬剤浸潤度及び有効成分の吸収量分析を実施した。浸潤度の測定は、測定対象面に呈色剤を吹きかけ薬剤浸潤部分を呈色させ、浸潤割合を算出した。

評価対象面は断面（a、b）のうち木口面の断面（a:奇数層、b:偶数層）を対象とした。また、浸潤度の測定項目は対象の「切断面（全断面）」、「表層から10mm層」、「切断面の辺材部」、「表層から10mm層内の心材」とした。

参考として、規格ごとの基準値を表中の括弧内に記載する。

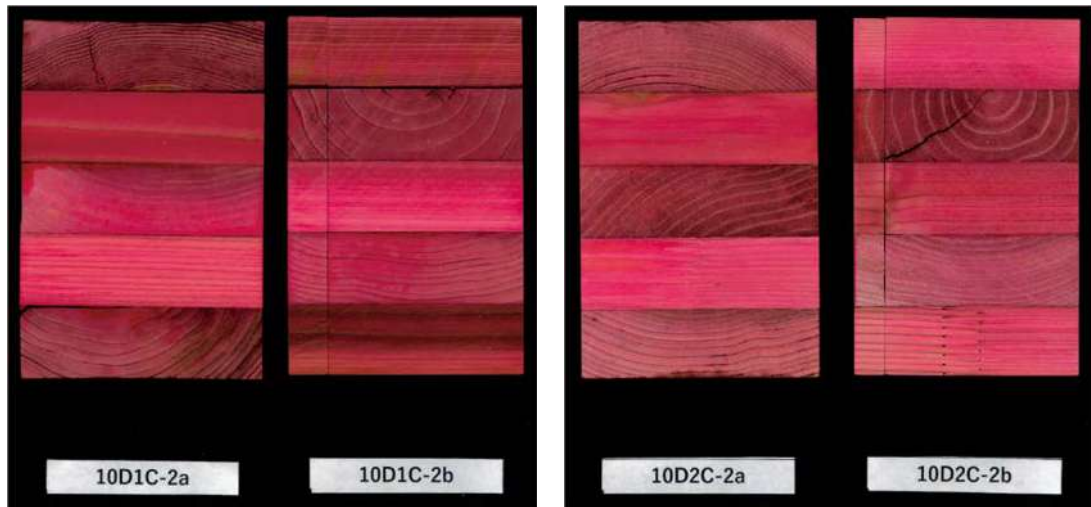


写真 2. 2. 4-2 浸潤度呈色写真 (10D1C 及び 10D2C)

表 2. 2. 4-3 AZN を注入した試験材の浸潤度 (10D1C)

試験体番号	浸潤度 (%)			
	全断面	10mm	辺材	10mm 心材
10D1C				
CLT の AQ 認証 2 種	99.7% (80%以上)	100% (80%以上)	-	-
集成材の JAS K3	-	-	100% (80%以上)	100% (80%以上)
単板積層材の JAS K3	99.7% (60%以上)	100% (80%以上)	-	-

表 2. 2. 4-4 AZN を注入した試験材の浸潤度 (10D2C)

試験体番号	浸潤度 (%)			
	全断面	10mm	辺材	10mm 心材
10D2C				
CLT の AQ 認証 2 種	100% (80%以上)	100% (80%以上)	-	-
集成材の JAS K3	-	-	100% (80%以上)	100% (80%以上)
単板積層材の JAS K3	100% (60%以上)	100% (80%以上)	-	-



写真 2. 2. 4-3 浸潤度呈色写真 (11D1C 及び 11D2C)

表 2. 2. 4-5 AZN を注入した試験材の浸潤度 (11D1C)

試験体番号	浸潤度 (%)			
	全断面	10mm	辺材	10mm 心材
11D1C				
CLT の AQ 認証 2 種	100% (80%以上)	100% (80%以上)	-	-
集成材の JAS K3	-	-	100% (80%以上)	100% (80%以上)
単板積層材の JAS K3	100% (60%以上)	100% (80%以上)	-	-

表 2. 2. 4-6 AZN を注入した試験材の浸潤度 (11D2C)

試験体番号	浸潤度 (%)			
	全断面	10mm	辺材	10mm 心材
11D2C				
CLT の AQ 認証 2 種	99.7% (80%以上)	100% (80%以上)	-	-
集成材の JAS K3	-	-	98.3% (80%以上)	100% (80%以上)
単板積層材の JAS K3	100% (60%以上)	100% (80%以上)	-	-

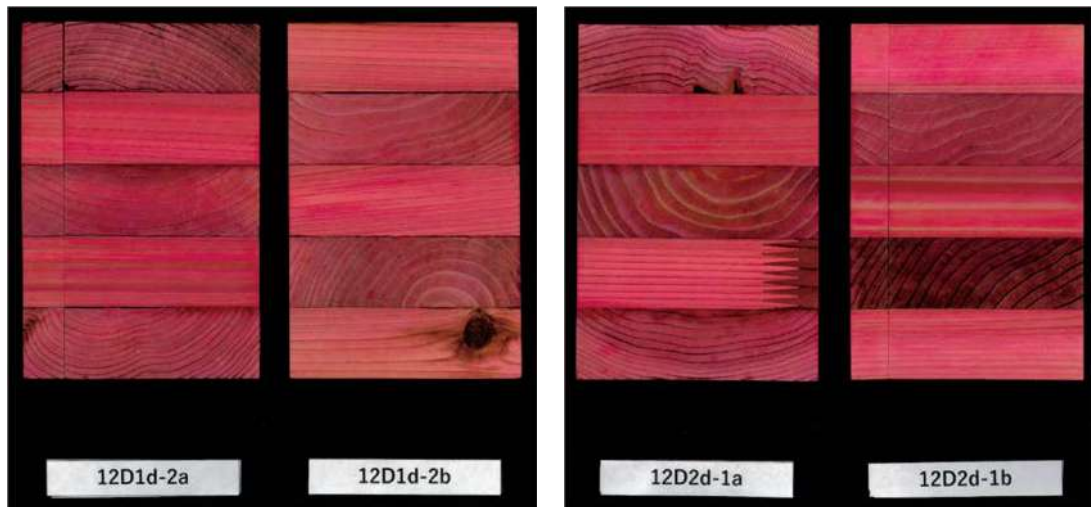


写真 2. 2. 4-4 浸潤度呈色写真 (12D1d 及び 12D2d)

表 2. 2. 4-7 AZN を注入した試験材の浸潤度 (12D1d)

試験体番号 12D1d	浸潤度 (%)			
	全断面	10mm	辺材	10mm 心材
CLT の AQ 認証 2 種	100% (80%以上)	100% (80%以上)	-	-
集成材の JAS K3	-	-	100% (80%以上)	100% (80%以上)
単板積層材の JAS K3	100% (60%以上)	100% (80%以上)	-	-

表 2. 2. 4-8 AZN を注入した試験材の浸潤度 (12D2d)

試験体番号 12D2d	浸潤度 (%)			
	全断面	10mm	辺材	10mm 心材
CLT の AQ 認証 2 種	100% (80%以上)	100% (80%以上)	-	-
集成材の JAS K3	-	-	100% (80%以上)	100% (80%以上)
単板積層材の JAS K3	100% (60%以上)	100% (80%以上)	-	-

2.2.4.4 有効成分吸収量

浸潤度測定用の木片より上下の外層の深さ 10mm までの部分を切断した後、細かく砕いたものを混合し分析用の試料とした。分析試料は各試験材の切り出し位置ごとに採取した。

表 2.2.4-9 AZN を注入した試験材の有効成分吸収量

試験体番号	有効成分吸収量 (kg/m ³)
10D1C	0.82
10D2C	0.93
11D1C	1.08
11D2C	1.86
12D1d	0.68
12D2d	0.90

2.3 保存処理 CLT の強度性能

2.3.1 非破壊性能

(1) 試験方法

森林総研に搬入された試験体を写真 2.3.1-1~4 に示す。AZN により製品処理された 2 本の試験体（12-T、12-BI-1）で接着層のはがれによる面外方向への浮き上がりが認められた（写真 2.3.1-5~8）。



写真 2.3.1-1 原板 1、10、11 の試験体



写真 2.3.1-2 原板 7~9 の試験体



写真 2.3.1-3 原板 4~6 の試験体



写真 2.3.1-4 原板 2、3、12 の試験体



写真 2.3.1-5 接着層のはがれ (12-T) 写真 2.3.1-6 はがれによる浮き上がり 5mm (12-T)



写真 2.3.1-7 接着層のはがれ (12-BI-1) 写真 2.3.1-8 はがれによる浮き上がり 7mm (12-BI-1)

各強度試験に先立ち、すべての試験体に対して密度、縦振動法によるヤング係数を測定した。また、曲げ・積層方向、曲げ・幅方向、引張、せん断・幅方向のすべての試験体に対して曲げたわみ振動法 (TGH 法) による面外方向および面内方向のヤング係数・せん断弾性係数を測定した。圧縮、せん断・積層方向の試験体は、断面に対する材長が不足しているため、TGH 法の測定は行わなかった。TGH 法の支点は両材端から 0.224 倍の位置とし、ヤング係数・せん断弾性係数の算出には一部を除き 1~7 次の共振周波数を使用した。非破壊試験の様子を写真 2.3.1-9~14 に示す。



写真 2.3.1-9 寸法測定の様子



写真 2.3.1-10 縦振動法による共振周波数測定の様子

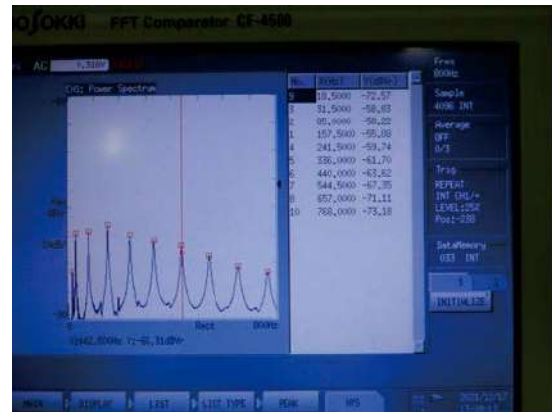


写真 2.3.1-11~12 TGH 法による面内方向の共振周波数測定の様子(左)と得られたピーク(右)

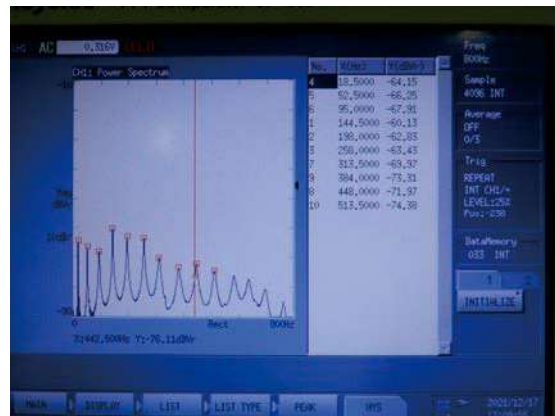


写真 2.3.1-13~14 TGH 法による面外方向の共振周波数測定の様子(左)と得られたピーク(右)

(2) 結果

無処理 (原板番号 1~3)、ラミナ処理 ACQ (原板番号 4~6)、ラミナ処理 AAC (原板番号 7~9)、製品処理 AZN (原板番号 10~12) の各グループによる非破壊試験の結果を表 2.3.1-1 に示す。なお、含水率は強度試験後に破壊部近傍から長さが約 30mm の含水率測定用試験体を採取して、全乾法により測定したものである。ただし、含水率として測定される値が水分であるのか薬剤であるのかはここでは検討していない。

また、t 検定により各物性値を無処理と保存処理とで比較したものを表 2.3.1-2 に示す。

有意水準5%で有意差があったもののみ p 値を示した。幅、TGH法ヤング係数（面外）以外は、いずれかのグループで無処理との有意差が認められた。特に製品処理AZNとの間では p 値が小さいものが多い傾向にあった。図 2.3.1-1~5には、厚さ、密度、含水率、TGH法せん断弾性係数（面内）、TGH法せん断弾性係数（面外）における無処理と保存処理との比較をグラフ形式で示した。

表 2.3.1-1 各グループによる非破壊試験の結果

試験体概要		厚さ	幅	密度	含水率	縦振動法 ヤング係数	TGH法 ヤング係数 (面内)	TGH法 せん断弾性係数 (面内)	TGH法 ヤング係数 (面外)	TGH法 せん断弾性係数 (面外)
		(mm)	(mm)	(kg/m ³)	(%)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)
無処理 保存処理なし インサイジングなし 原板番号1~3	試験体数	33	33	33	33	33	21	21	21	21
	平均値	145	300	391	10.2	5.64	5.80	0.771	8.33	0.213
	最小値	145	299	374	9.06	5.01	5.28	0.674	7.01	0.183
	最大値	146	301	399	11.4	6.40	6.49	0.845	10.0	0.252
	標準偏差	0.133	0.318	5.75	0.473	0.343	0.284	0.0460	0.792	0.0205
	変動係数(%)	0.0916	0.106	1.47	4.64	6.08	4.90	5.97	9.51	9.62
ラミナ処理 ACQ インサイジングあり 原板番号4~6	試験体数	33	33	33	33	33	21	21	21	21
	平均値	146	300	398	9.50	5.41	5.58	0.709	7.96	0.197
	最小値	145	299	386	8.91	4.38	4.98	0.598	6.97	0.166
	最大値	146	300	411	10.0	6.09	6.11	0.773	9.55	0.224
	標準偏差	0.189	0.261	5.48	0.314	0.400	0.330	0.0531	0.735	0.0185
	変動係数(%)	0.130	0.0871	1.38	3.30	7.39	5.92	7.49	9.24	9.36
ラミナ処理 AAC インサイジングあり 原板番号7~9	試験体数	33	33	33	33	33	21	21	21	21
	平均値	146	300	401	9.53	5.60	5.67	0.731	8.43	0.193
	最小値	146	300	391	8.97	4.88	5.15	0.648	7.30	0.166
	最大値	146	301	413	10.2	6.41	6.40	0.971	9.43	0.229
	標準偏差	0.103	0.311	5.95	0.334	0.344	0.276	0.0797	0.597	0.0189
	変動係数(%)	0.0710	0.104	1.48	3.51	6.13	4.86	10.9	7.08	9.81
製品処理(乾式) AZN インサイジングなし 原板番号10~12	試験体数	33	33	33	33	33	21	21	21	21
	平均値	147	300	425	19.2	5.63	5.72	0.627	8.69	0.182
	最小値	146	299	378	9.61	5.05	5.10	0.532	7.39	0.160
	最大値	149	301	495	35.7	6.22	6.22	0.709	10.7	0.214
	標準偏差	0.844	0.279	29.2	6.87	0.306	0.326	0.0437	0.850	0.0158
	変動係数(%)	0.573	0.0929	6.87	35.7	5.44	5.70	6.97	9.79	8.69

表 2.3.1-2 t 検定による無処理と保存処理との比較
(有意水準5%で有意差があったもののみ p 値を示す)

	厚さ	幅	密度	含水率	縦振動法 ヤング係数	TGH法 ヤング係数 (面内)	TGH法 せん断弾性係数 (面内)	TGH法 ヤング係数 (面外)	TGH法 せん断弾性係数 (面外)
	(mm)	(mm)	(kg/m ³)	(%)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)
ラミナ処理ACQ	0.0014				0.009	0.0176	0.001		0.0077
ラミナ処理AAC	0.0016		0.0104				0.0352		0.001
製品処理AZN	<0.0001		<0.0001		<0.0001		<0.0001		<0.0001

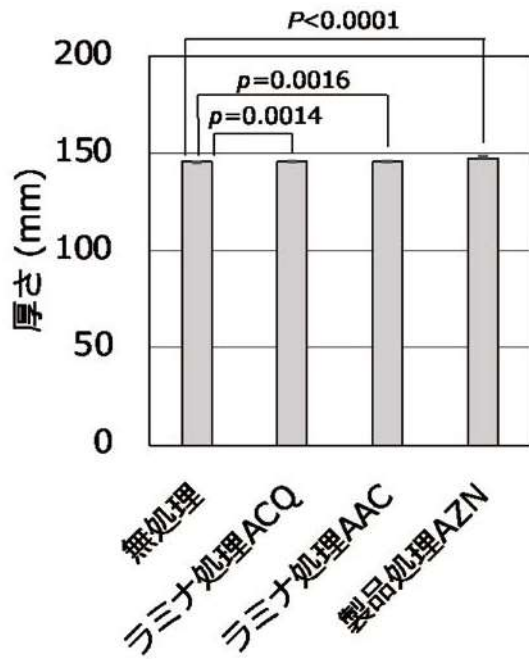


図 2. 3. 1-1 無処理との比較 (厚さ)

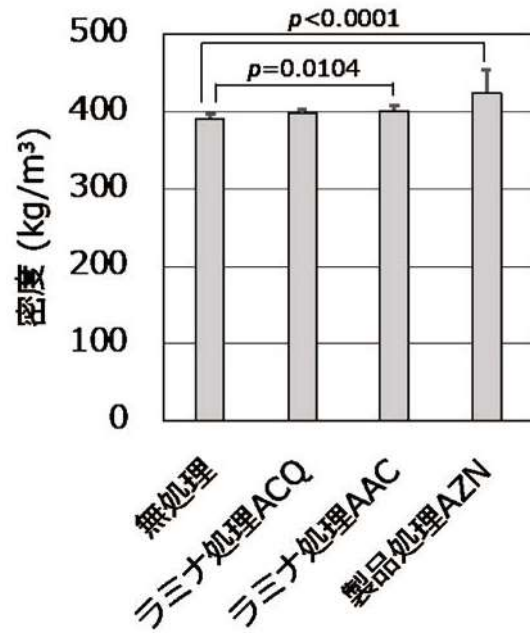


図 2. 3. 1-2 無処理との比較 (密度)

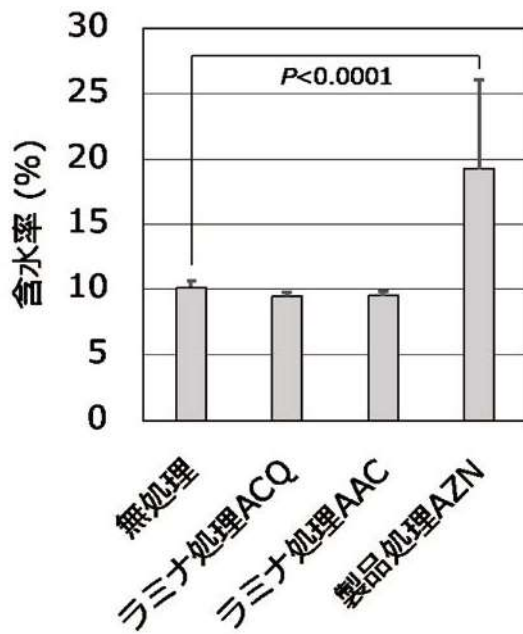


図 2. 3. 1-3 無処理との比較 (含水率)

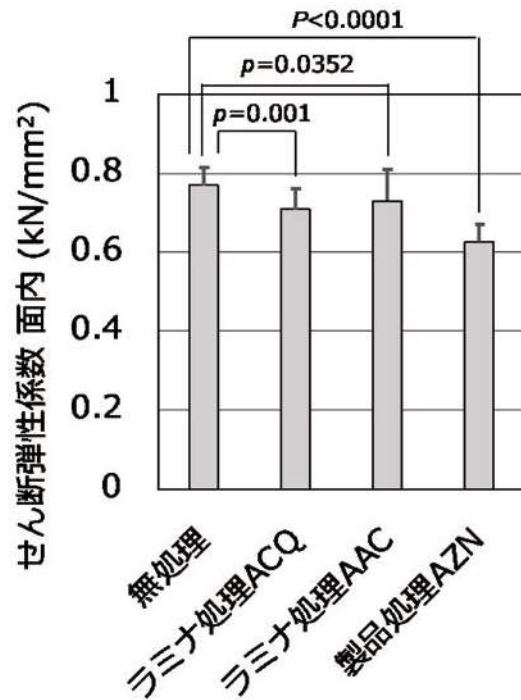


図 2. 3. 1-4 無処理との比較 (せん断弾性係数 面内)

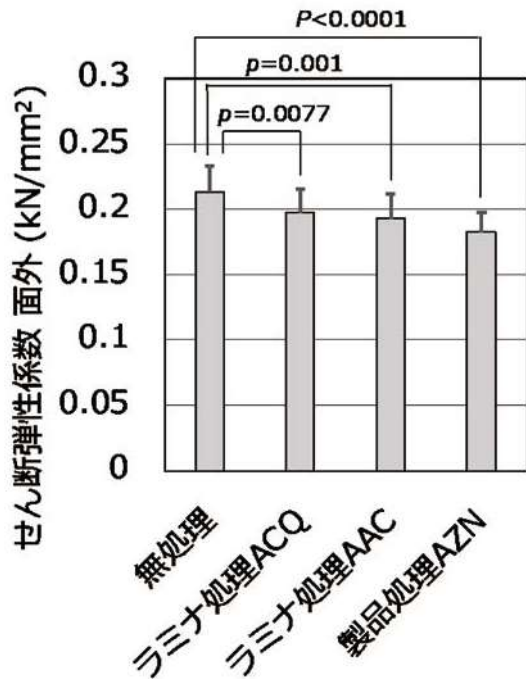


図 2.3.1-5 無処理との比較（せん断弾性係数 面外）

無処理との比較の結果、製品処理 AZN との間では p 値が小さいものが多い傾向にあったことから、原板内の各物性値の分布を検討した。製品処理 AZN の原板である原板番号 10～12 における、各試験体採材位置ごとの厚さ、密度、含水率を図 2.3.1-6～8 に示す。厚さ、密度は試験体搬入後数日以内に測定したものであり、含水率は試験体搬入後数日～3 週間以内に測定したものである。なお、曲げ・幅方向試験体については、反り（面外方向への変形を矢高として測定したもの）も測定した。ある物性値の値が大きい試験体は他の物性値も大きい傾向にあったが、原板ごと、位置ごとで物性値はばらついており、原板間、原板内による物性値の明確な傾向は認められないようであった。

なお、浮き上がりのあった部分からは、積層接着面の強度的な影響が大きいと思われるせん断試験体の採取は避けた。

10-SI-1,せん断幅/3,500mm 厚さ147.0,密度400,含水率14.3	10-SO-1,せん断積層/1,015mm 厚さ147.2,密度412,含水率12.3	10-C-1,圧縮/870mm 厚さ146.9,密度398,含水率11.7	番号-D1接着/300m 厚さ146.6 密度391
10-BO-1,曲げ積層/3,335mm 厚さ147.8,密度477,含水率35.7	接合引きボルト1,000	加工余量210ブライン	線径スプライン400
10-BI-1,曲げ幅/6,000mm 厚さ148.3,密度495,含水率32.3,反り9.5			
10-SI-2,せん断幅/3,500mm 厚さ147.8,密度441,含水率23.4	10-SO-2,せん断積層/1,015mm 厚さ148.8,密度453,含水率22.9	10-C-2,圧縮/870mm 厚さ148.9,密度425,含水率21.7	番号-D2接着/300m 厚さ147.6 密度392
10-BO-2,曲げ積層/3,335mm 厚さ148.6,密度437,含水率20.6	接合引きボルト1,000	加工余量210ブライン	線径スプライン400
10-BI-2,曲げ幅/6,000mm 厚さ147.9,密度484,含水率30.6,反り13.5			
10-T,引張/6000mm 厚さ147.8,密度476,含水率31.5			

図 2. 3. 1-6 製品処理 AZN 原板の採材位置ごとの各物性値 (原板番号 10)

(単位 厚さ : mm、密度 : kg/m³、含水率 : %、反り : mm、以下の図も同様)

11-SI-1,せん断幅/3,500mm 厚さ146.1,密度383,含水率11.4	11-SO-1,せん断積層/1,015mm 厚さ145.5,密度378,含水率9.68	11-C-1,圧縮/870mm 厚さ145.8,密度383,含水率9.61	番号-D1接着/300m 厚さ145.8 密度383
11-BO-1,曲げ積層/3,335mm 厚さ147.4,密度437,含水率26.3	接合引きボルト1,000	加工余量210ブライン	線径スプライン400
11-BI-1,曲げ幅/6,000mm 厚さ148.4,密度440,含水率18.4,反り9.0			
11-SI-2,せん断幅/3,500mm 厚さ148.0,密度437,含水率27.7	11-SO-2,せん断積層/1,015mm 厚さ148.4,密度423,含水率18.2	11-C-2,圧縮/870mm 厚さ148.5,密度442,含水率18.7	番号-D2接着/300m 厚さ147.9 密度413
11-BO-2,曲げ積層/3,335mm 厚さ147.6,密度406,含水率17.6	接合引きボルト1,000	加工余量210ブライン	線径スプライン400
11-BI-2,曲げ幅/6,000mm 厚さ148.5,密度406,含水率13.2,反り6.5 ラミナ曲がり			
11-T,引張/6000mm 厚さ147.2,密度406,含水率22.3			

図 2. 3. 1-7 製品処理 AZN 原板の採材位置ごとの各物性値 (原板番号 11)

12-SI-1,せん断幅/3,500mm 厚さ146.8,密度416,含水率19.7	12-SO-1,せん断積層/1,015mm 厚さ146.4,密度422,含水率16.6	12-C-1,圧縮/870mm 厚さ146.6,密度406,含水率14.8	番号-D1接着/300m 厚さ146.2 密度391
12-BO-1,曲げ積層/3,335mm 厚さ147.7,密度432,含水率17.8	接合引きボルト1,000	加工余量210ブライン	線径スプライン400
12-BI-1,曲げ幅/6,000mm 厚さ147.7,密度457,含水率25.5,反り2.0	剥離あり	剥離あり	
12-T,引張/6000mm 厚さ147.8,密度419,含水率19.3	剥離あり		
12-BO-2,曲げ積層/3,335mm 厚さ147.7,密度406,含水率13.6	接合引きボルト1,000	加工余量210ブライン	線径スプライン400
12-BI-2,曲げ幅/6,000mm 厚さ147.3,密度432,含水率15.3,反り3.5			
12-SI-2,せん断幅/3,500mm 厚さ146.7,密度418,含水率15.4	12-SO-2,せん断積層/1,015mm 厚さ147.3,密度404,含水率12.7	12-C-2,圧縮/870mm 厚さ147.1,密度406,含水率14.4	番号-D2接着/300m 厚さ146.8 密度403

図 2. 3. 1-8 製品処理 AZN 原板の採材位置ごとの各物性値 (原板番号 12)

2.3.2 曲げ・積層方向（面外曲げ）

(1) 試験方法

直交集成板の JAS の曲げ試験に従い、スパンを材せい h の 21 倍とした 3 等分点 4 点曲げ方式により曲げ・積層方向試験を行った。試験の模式図を図 2.3.2-1 に示すとともに試験の様子を写真 2.3.2-1~2 に示す。最大容量が 1000kN の実大木材強度試験機（前川試験機製作所製 SAH-100-SS）により荷重レンジを 100kN として载荷した。クロスヘッド速度は 12mm/min とした。試験体の側面中央部に変位計（東京測器研究所製 CDP-100、7-B0-2 のみ SDP-200D）を設置し試験体の全たわみを測定するとともに、試験体の上部材面圧縮面上に変位計（東京測器研究所製 CDP-10）を取り付けた袴型治具（スパン 800mm）を載せ、荷重点間における曲げたわみを測定した。試験終了後、全たわみから求めた見かけの曲げヤング係数、荷重点間のたわみから求めた真の曲げヤング係数、比例限度応力、曲げ強度を算出した。また、破壊部近傍から長さが約 30mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

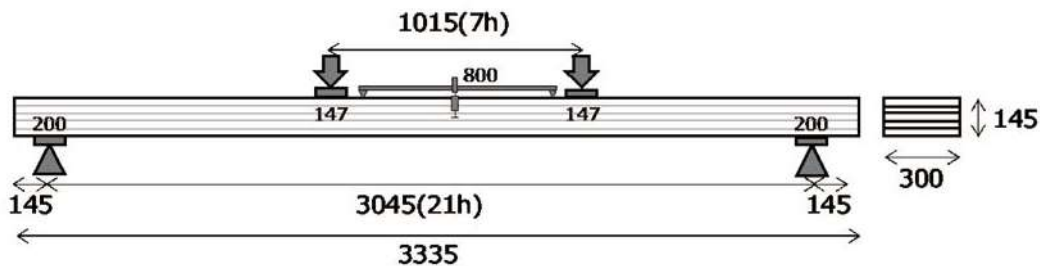


図 2.3.2-1 曲げ・積層方向試験の模式図（単位：mm）



写真 2.3.2-1 曲げ・積層方向試験の様子



写真 2.3.2-2 曲げ・積層方向試験の様子

(2) 結果

曲げ・積層方向試験の結果を表 2.3.2-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.2-3~6 に示す。いずれのグループも引張側フィンガージョイントが起点となり破壊するものが大部分を占めた。無処理では破壊が上部のラミナに進展するものが多かったのに対して、ラミナ処理 ACQ、ラミナ処理 AAC、製品処理 AZN では接着層に長く進展するものも多く見られた。

表2.3.2-1 曲げ・積層方向試験の結果

処理区分	保存 処理材	原板 番号	芯力 記号	試験体 番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法 ヤング係数 (kN/mm ²)	TGH法		TGH法		見かけの 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	真の 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	比例限度 応力 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	破壊箇所
								ヤング係数 (面内) (kN/mm ²)	せん断弾性係数 (面外) (kN/mm ²)	ヤング係数 (面外) (kN/mm ²)	せん断弾性係数 (面外) (kN/mm ²)					
無処理	なし	1	BO	1	398	10.0	5.59	5.48	7.73	0.233	6.92	7.94	18.2	19.1	FJ,脚	
無処理	なし	1	BO	2	399	10.1	5.92	5.75	7.87	0.224	7.57	8.86	20.5	25.5	FJ(荷重点外側側,荷重点内真ん中)	
無処理	なし	2	BO	1	396	9.78	5.40	5.51	7.09	0.252	6.65	7.56	14.5	22.4	FJ,脚	
無処理	なし	2	BO	2	399	9.73	5.48	5.28	7.01	0.244	6.41	7.35	15.5	18.1	FJ	
無処理	なし	3	BO	1	395	10.3	6.28	5.85	8.70	0.197	7.66	8.91	21.6	21.6	FJ	
無処理	なし	3	BO	2	389	9.77	6.06	6.03	8.87	0.218	7.81	8.90	12.6	22.5	FJ	
				平均	396	9.94	5.79	5.65	7.88	0.228	7.17	8.30	17.2	21.5		
				変動係数(%)	0.967	2.22	6.10	4.89	9.93	8.51	8.22	9.34	20.6	12.4		
ラミナ処理	ACQ	4	BO	1	404	9.62	6.09	5.67	8.17	0.220	7.94	9.90	9.7	17.2	脚,FJ	
ラミナ処理	ACQ	4	BO	2	405	9.64	5.93	5.61	7.67	0.224	7.04	8.53	16.4	17.8	真ん中の層のFJ	
ラミナ処理	ACQ	5	BO	1	411	9.66	5.63	5.46	7.43	0.210	6.18	7.57	11.3	15.6	FJ,脚以外層の脚	
ラミナ処理	ACQ	5	BO	2	398	9.93	5.48	5.41	7.53	0.213	7.03	8.41	11.2	19.1	FJ,脚	
ラミナ処理	ACQ	6	BO	1	391	10.0	5.70	5.53	7.56	0.197	6.89	8.10	14.1	16.9	FJ	
ラミナ処理	ACQ	6	BO	2	402	9.49	5.50	5.08	7.19	0.205	6.31	7.70	11.2	13.9	FJ	
				平均	402	9.72	5.72	5.46	7.59	0.212	6.90	8.37	12.3	16.7		
				変動係数(%)	1.73	2.05	4.23	3.84	4.31	4.73	9.15	10.1	20.0	10.8		
ラミナ処理	AAC	7	BO	1	401	9.30	6.17	6.03	8.19	0.195	7.32	8.86	17.0	20.5	FJ	
ラミナ処理	AAC	7	BO	2	408	10.0	5.99	5.70	8.34	0.206	7.00	8.46	13.7	14.0	FJ	
ラミナ処理	AAC	8	BO	1	394	9.32	5.82	5.64	7.77	0.229	6.66	7.78	15.3	18.5	FJ,脚(荷重点外)	
ラミナ処理	AAC	8	BO	2	398	9.09	5.52	5.26	8.04	0.225	6.94	8.20	10.6	17.1	FJ	
ラミナ処理	AAC	9	BO	1	394	9.44	5.63	5.67	7.71	0.187	6.38	7.45	18.4	18.4	FJ	
ラミナ処理	AAC	9	BO	2	394	9.50	5.28	5.15	7.30	0.200	6.36	7.54	14.3	15.2	FJ	
				平均	398	9.44	5.74	5.57	7.89	0.207	6.78	8.05	14.9	17.3		
				変動係数(%)	1.37	3.25	5.62	5.72	4.79	8.02	5.63	6.88	18.2	13.8		
製品処理(乾式)	AZN	10	BO	1	477	35.7	5.95	5.97	8.99	0.214	8.00	9.27	19.5	23.5	FJ	
製品処理(乾式)	AZN	10	BO	2	437	20.6	5.92	5.98	8.38	0.203	7.35	8.94	19.3	24.0	FJ	
製品処理(乾式)	AZN	11	BO	1	437	26.3	5.51	5.54	7.74	0.192	7.03	8.42	13.9	20.2	FJ,脚	
製品処理(乾式)	AZN	11	BO	2	406	17.6	5.51	5.34	7.39	0.200	6.79	8.11	14.4	22.7	FJ	
製品処理(乾式)	AZN	12	BO	1	432	17.8	5.82	5.61	8.42	0.187	7.38	8.86	18.7	18.9	FJ	
製品処理(乾式)	AZN	12	BO	2	406	13.6	5.50	5.10	7.85	0.195	7.20	8.31	12.2	20.7	FJ	
				平均	432	21.9	5.70	5.59	8.13	0.199	7.29	8.65	16.4	21.7		
				変動係数(%)	6.04	36.2	3.85	6.21	7.11	4.64	5.62	5.10	19.6	9.44		



写真 2.3.2-3 無処理の破壊例 (1-B0-1)



写真 2.3.2-4 ラミナ処理 ACQ の破壊例 (6-B0-2)

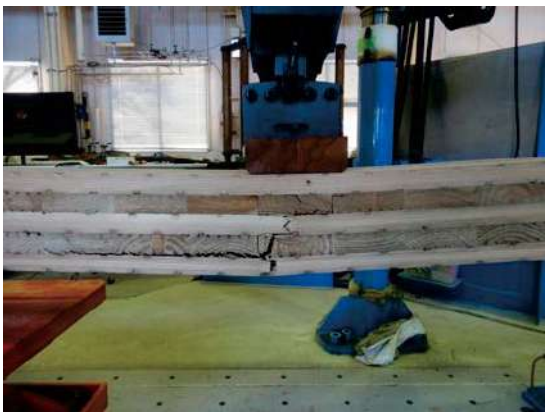


写真 2.3.2-5 ラミナ処理 AAC の破壊例 (7-B0-1)

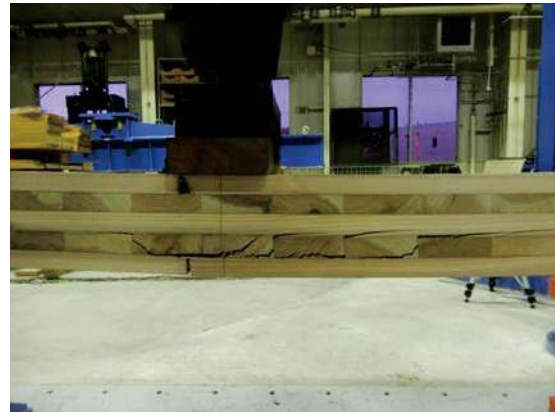


写真 2.3.2-6 製品処理 AZN の破壊例 (12-B0-2)

無処理と各保存処理との比較を図 2.3.2-2～3 に示す。t 検定の結果、見かけの曲げヤング係数は、無処理と比べていずれの保存処理とも平均値に有意差はなかった(図 2.3.2-2)。一方、曲げ強度は、無処理と比べて、ラミナ処理 ACQ、ラミナ処理 AAC に有意差が認められた(図 2.3.2-3)。無処理の曲げ強度の平均値に対して、製品処理 AZN は有意差がなく、ラミナ処理はともに有意差が認められたことから、曲げ・積層方向強度にはインサイジングが影響を及ぼした可能性が考えられた。ただし、基準強度に対しては Mx60 の曲げ・積層方向基準強度 11.08N/mm^2 をすべての試験体で上回った。なお、試験体数は少ないものの正規分布を仮定した信頼水準 75%における 5%下限値を算出したところ、無処理、ラミナ処理 ACQ、ラミナ処理 AAC、製品処理 AZN はそれぞれ 15.3N/mm^2 、 12.5N/mm^2 、 11.7N/mm^2 、 16.9N/mm^2 となり、いずれの 5%下限値も基準強度を上回った。

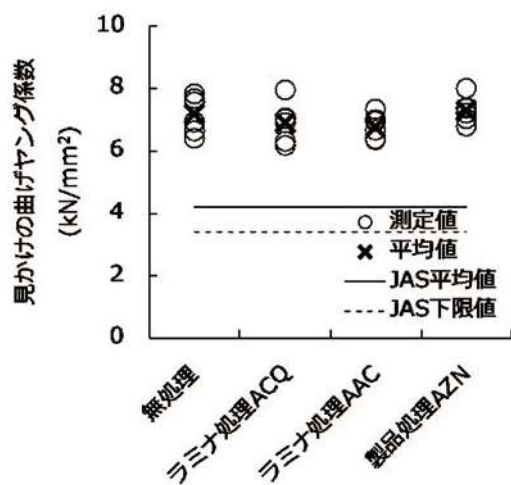


図 2.3.2-2 各グループの曲げヤング係数

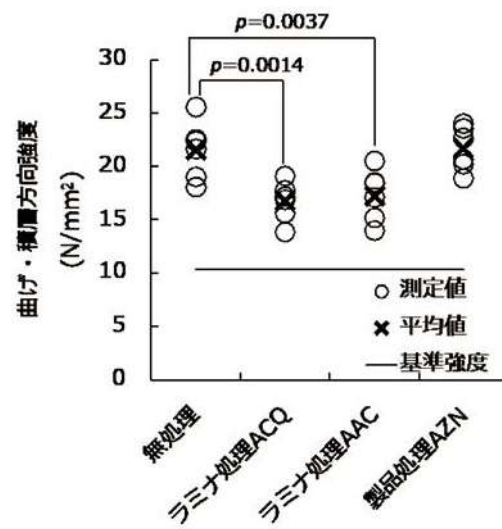


図 2.3.2-3 各グループの曲げ・積層方向強度

2.3.3 曲げ・幅方向 (面内曲げ)

(1) 試験方法

スパンを材せい h の 18 倍とした 3 等分点 4 点曲げ方式により曲げ・幅方向試験を行った。試験の模式図を図 2.3.3-1 に示すとともに試験の様子を写真 2.3.3-1~2 に示す。最大容量が 1000kN の実大木材強度試験機 (前川試験機製作所製 SAH-100-SS) により荷重レンジを 100kN (2-BI-1 のみ 1000kN) として载荷した。クロスヘッド速度は 12mm/min (2-BI-1 のみ 10mm/min) とした。試験体の側面中央部に変位計 (東京測器研究所製 SDP-200D) を設置し試験体の全たわみを測定するとともに、試験体の上部材面圧縮面上に変位計 (東京測器研究所製 CDP-10) を取り付けた袴型治具 (スパン 1000mm) を載せ、荷重点間における曲げたわみを測定した。試験終了後、全たわみから求めた見かけの曲げヤング係数、荷重点間のたわみから求めた真の曲げヤング係数、比例限度応力、曲げ強度を算出した。また、破壊部近傍から長さが約 30mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

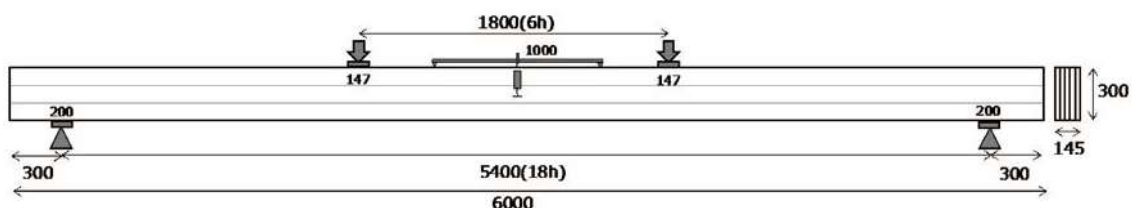


図 2.3.3-1 曲げ・幅方向試験の模式図 (単位: mm)



写真 2.3.3-1 曲げ・幅方向試験の様子



写真 2.3.3-2 曲げ・幅方向試験の様子

(2) 結果

曲げ・幅方向試験の結果を表 2.3.3-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.3-3～12 に示す。いずれのグループも外層フィンガージョイントが起点となり破壊し、その内側の層の幅はぎのない部分に破壊が進展するものが多く見られた。接着層のはがれが存在した製品処理 AZN（12-BI-1）では、はがれの部分から面外方向にラミナが大きく膨らんだものの、他の試験体と比べて大きな強度低下はみられなかった。

表2.3.3-1 曲げ・幅方向試験の結果

処理区分	保存 処理材	原板 番号	応力 記号	試験体 番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法 ヤング係数	TGH法 ヤング係数 (面内)	TGH法 ヤング係数 (面外)	TGH法 ヤング係数 (面外)	真の 曲げヤング係数	比例限度 応力	曲げ強度	破壊箇所	備考
							(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)		
無処理	なし	1	BI	1	385	9.93	5.89	9.03	9.03	0.189	5.44	15.0	16.7	FJ	
無処理	なし	1	BI	2	392	10.4	5.96	9.38	9.38	0.190	5.34	13.5	16.0	FJ,節	
無処理	なし	2	BI	1	384	9.30	5.86	8.11	8.11	0.202	5.05	15.2	17.2	FJ,節	
無処理	なし	2	BI	2	399	9.69	5.67	8.41	8.41	0.183	5.41	7.18	14.2	FJ	
無処理	なし	3	BI	1	397	10.5	6.49	10.0	10.0	0.194	5.88	14.3	17.9	FJ	
無処理	なし	3	BI	2	393	9.87	5.79	9.21	9.21	0.209	5.64	8.17	15.8	FJ,節	
				平均値	392	9.95	5.78	9.23	9.23	0.194	5.46	12.2	16.3		
				変動係数(%)	1.60	4.52	3.34	4.59	4.59	4.92	5.16	29.4	8.06		
ラミナ処理	ACQ	4	BI	1	396	8.91	5.74	9.14	9.14	0.166	5.43	12.4	13.9	FJ	
ラミナ処理	ACQ	4	BI	2	405	9.40	5.83	8.66	8.66	0.179	5.56	10.5	15.1	FJ	
ラミナ処理	ACQ	5	BI	1	398	9.10	5.62	8.26	8.26	0.190	4.93	14.2	14.2	FJ,節	
ラミナ処理	ACQ	5	BI	2	403	10.0	5.25	8.11	8.11	0.202	4.63	10.5	11.6	FJ,節	
ラミナ処理	ACQ	6	BI	1	400	9.17	5.57	8.55	8.55	0.168	5.29	6.20	12.5	FJ	
ラミナ処理	ACQ	6	BI	2	394	9.28	5.56	8.29	8.29	0.174	4.96	5.51	11.3	FJ	
				平均値	400	9.31	5.56	8.50	8.50	0.180	5.13	9.88	13.1		
				変動係数(%)	1.05	4.13	5.07	5.52	4.38	7.76	6.86	34.5	11.6		
ラミナ処理	AAC	7	BI	1	405	9.76	5.78	9.04	9.04	0.166	5.35	17.0	17.1	FJ	
ラミナ処理	AAC	7	BI	2	402	9.64	5.74	8.89	9.10	0.182	4.89	13.1	15.1	FJ	
ラミナ処理	AAC	8	BI	1	409	9.88	5.95	9.11	9.18	0.208	5.85	6.71	14.5	FJ	
ラミナ処理	AAC	8	BI	2	395	9.12	5.58	8.69	8.69	0.195	5.01	11.7	12.0	FJ	
ラミナ処理	AAC	9	BI	1	399	10.0	5.85	8.82	8.82	0.177	5.36	9.60	12.6	FJ	
ラミナ処理	AAC	9	BI	2	393	9.20	5.33	8.43	8.43	0.169	4.22	11.5	11.5	FJ	
				平均値	400	9.61	5.71	8.88	8.88	0.183	5.11	11.6	13.8		
				変動係数(%)	1.49	3.88	3.90	3.43	3.20	8.65	10.8	29.7	15.6		
製品処理(乾式)	AZN	10	BI	1	495	32.3	5.96	9.79	9.79	0.177	5.45	13.0	15.0	FJ	
製品処理(乾式)	AZN	10	BI	2	484	30.6	5.95	10.7	10.7	0.169	5.53	11.0	16.1	FJ	
製品処理(乾式)	AZN	11	BI	1	440	18.4	5.41	8.55	8.55	0.165	5.09	13.9	14.5	FJ,節	
製品処理(乾式)	AZN	11	BI	2	406	13.2	5.27	8.54	8.54	0.167	5.21	7.80	14.2	FJ	
製品処理(乾式)	AZN	12	BI	1	457	25.5	5.46	8.88	8.88	0.169	5.43	8.04	16.1	FJ	ラミナ剥離あり
製品処理(乾式)	AZN	12	BI	2	401	15.3	5.17	8.95	8.95	0.166	5.14	11.2	17.2	FJ	
				平均値	447	22.5	5.53	9.23	9.23	0.169	5.31	10.8	15.5		
				変動係数(%)	8.71	35.7	6.16	5.57	9.11	2.56	3.50	23.2	7.31		



写真 2.3.3-3 無処理の破壊例 (2-BI-1)



写真 2.3.3-4 無処理の破壊例 (3-BI-1)

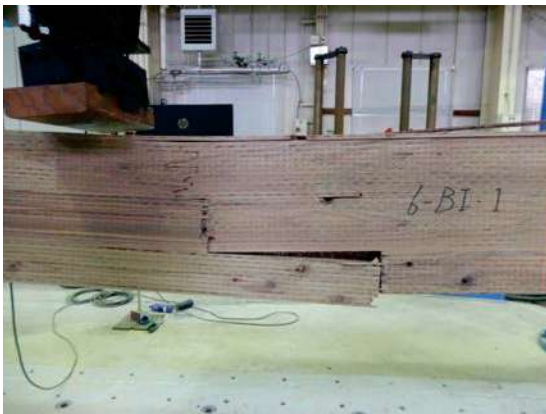


写真 2.3.3-5 ラミナ処理 ACQ の破壊例 (6-BI-1)



写真 2.3.3-6 ラミナ処理 ACQ の破壊例 (6-BI-1)



写真 2.3.3-7 ラミナ処理 AAC の破壊例 (7-BI-1)



写真 2.3.3-8 ラミナ処理 AAC の破壊例 (7-BI-1)



写真 2. 3. 3-9 製品処理 AZN の破壊例 (10-BI-1) 写真 2. 3. 3-10 製品処理 AZN の破壊例 (10-BI-1)



写真 2. 3. 3-11~12 接着層のはがれが存在した製品処理 AZN の破壊 (12-BI-1)

無処理と各保存処理との比較を図 2. 3. 3-2~3 に示す。t 検定の結果、見かけの曲げヤング係数は、無処理と比べていずれの保存処理とも平均値に有意差はなかった (図 2. 3. 3-2)。一方、曲げ強度は、無処理と比べて、ラミナ処理 ACQ、ラミナ処理 AAC に有意差が認められた (図 2. 3. 3-3)。製品処理 AZN とは曲げ・積層方向同様曲げ・幅方向においても有意差は認められなかったため、曲げ・幅方向強度においてもインサイジングが影響を及ぼした可能性が考えられた。ただし、基準強度に対しては Mx60 の曲げ・幅方向基準強度 8.10N/mm^2 をすべての試験体で上回った。なお、試験体数は少ないものの正規分布を仮定した信頼水準 75%における 5%下限値を算出したところ、無処理、ラミナ処理 ACQ、ラミナ処理 AAC、製品処理 AZN はそれぞれ 13.2N/mm^2 、 9.55N/mm^2 、 8.80N/mm^2 、 12.9N/mm^2 となり、いずれの 5% 下限値も基準強度を上回った。

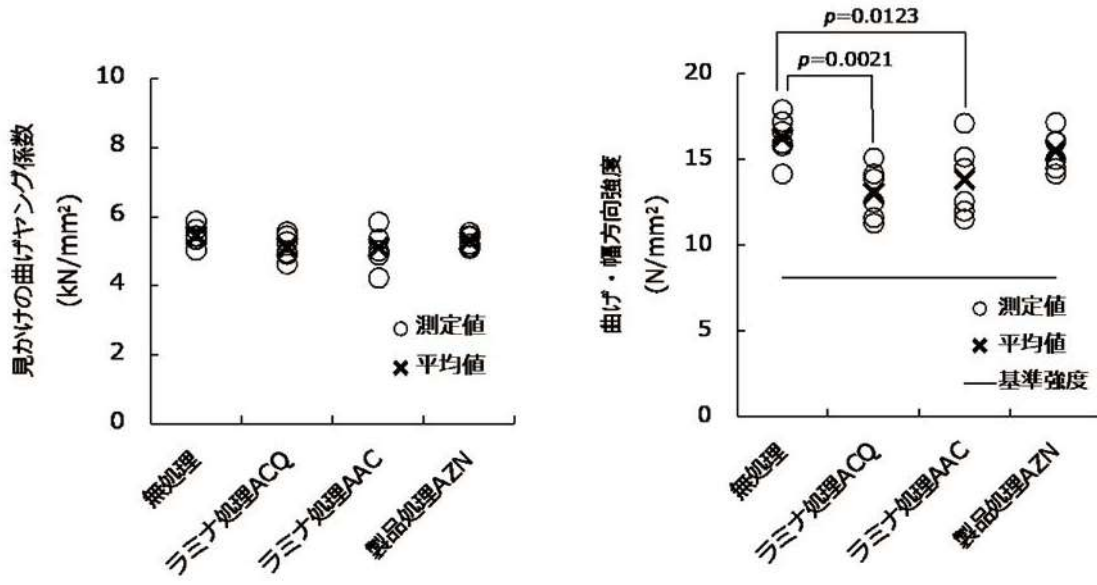


図 2.3.3-2 各グループの曲げヤング係数

図 2.3.3-3 各グループの曲げ・幅方向強度

2.3.4 圧縮

(1) 試験方法

試験体長さを断面短辺の6倍とした短柱圧縮試験を行った。試験の模式図を図2.3.4-1に示すとともに試験の様子を写真2.3.4-1～2に示す。最大容量が3000kNの圧縮試験機（前川試験機製作所製 A-300-B4）により荷重レンジを1500kN（3-C-2のみ3000kN）として、球座を有する加力ヘッドにより载荷した。最大荷重に達するまでの時間が約5分になるように荷重速度を調整した。試験体の長さ方向における相対する2材面の中央部に、標点間距離を長さの1/2（435mm）とした、変位計（東京測器研究所製 CDP-10）を取り付けた治具を設置して縮みを測定した。2材面の縮みの平均値を試験体の縮みとした。試験終了後、圧縮ヤング係数、比例限度応力および圧縮強度を算出した。また、破壊部近傍から長さが約30mmの含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

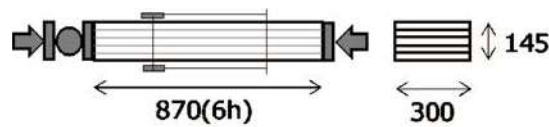


図 2.3.4-1 圧縮試験の模式図（単位：mm）



写真 2.3.4-1 圧縮試験の様子



写真 2.3.4-2 圧縮試験の様子

(2) 結果

圧縮試験の結果を表 2.3.4-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.4-3～12 に示す。破壊はいずれの試験体もフィンガージョイント部が主であり、一部で節部分で破壊していた。製品処理 AZN の一部の試験体で試験前後のラミナの浮き上がりが観察された（写真 2.3.4-11～12）。

表 2.3.4-1 圧縮試験の結果

処理区分	保存処理材	原板 番号	応力 記号	試験体 番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法 ヤング係数 (kN/mm ²)	圧縮 ヤング係数 (kN/mm ²)	比例限度 応力 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)
無処理	なし	1	C	1	386	10.0	5.18	5.65	13.7	24.6
無処理	なし	1	C	2	393	11.4	5.59	5.70	16.5	24.1
無処理	なし	2	C	1	386	9.76	5.23	5.93	14.4	23.8
無処理	なし	2	C	2	390	10.4	5.06	5.42	14.9	23.2
無処理	なし	3	C	1	385	10.9	5.29	5.79	21.5	23.5
無処理	なし	3	C	2	398	10.9	5.59	5.56	22.4	23.4
平均					390	10.6	5.32	5.68	17.2	23.8
変動係数(%)					1.32	5.61	4.13	3.13	21.9	2.23
ラミナ処理	ACQ	4	C	1	396	9.36	5.62	5.57	17.4	25.0
ラミナ処理	ACQ	4	C	2	399	9.21	5.22	5.88	14.4	22.6
ラミナ処理	ACQ	5	C	1	406	9.88	5.27	5.08	15.1	23.0
ラミナ処理	ACQ	5	C	2	399	9.65	5.45	5.62	16.0	23.2
ラミナ処理	ACQ	6	C	1	393	9.88	4.38	4.43	11.6	20.1
ラミナ処理	ACQ	6	C	2	395	10.0	4.95	5.05	14.8	21.0
平均					398	9.67	5.15	5.27	14.9	22.5
変動係数(%)					1.18	3.36	8.52	9.98	13.0	7.72
ラミナ処理	AAC	7	C	1	401	9.18	5.84	6.21	11.4	22.0
ラミナ処理	AAC	7	C	2	394	9.50	5.13	5.00	12.6	21.9
ラミナ処理	AAC	8	C	1	399	9.68	5.29	5.78	12.0	22.7
ラミナ処理	AAC	8	C	2	400	9.17	5.08	5.23	16.4	21.0
ラミナ処理	AAC	9	C	1	391	9.10	5.39	5.61	11.9	21.9
ラミナ処理	AAC	9	C	2	398	9.30	4.88	4.80	13.8	21.6
平均					397	9.32	5.27	5.44	13.0	21.9
変動係数(%)					0.97	2.42	6.32	9.71	14.1	2.52
製品処理(乾式)	AZN	10	C	1	398	11.2	5.68	5.96	17.7	24.8
製品処理(乾式)	AZN	10	C	2	425	21.3	5.54	5.90	15.3	22.7
製品処理(乾式)	AZN	11	C	1	383	9.61	5.57	5.84	12.9	20.2
製品処理(乾式)	AZN	11	C	2	442	18.7	5.05	5.05	13.9	21.3
製品処理(乾式)	AZN	12	C	1	406	14.8	5.44	5.42	13.6	22.6
製品処理(乾式)	AZN	12	C	2	406	14.4	5.35	5.87	11.9	22.4
平均					410	15.0	5.44	5.67	14.2	22.3
変動係数(%)					5.05	29.4	4.10	6.35	14.4	6.92



写真 2.3.4-3~4 無処理の破壊例 (1-C-1)



写真 2. 3. 4-5~6 ラミナ処理 ACQ の破壊例 (4-C-2)



写真 2. 3. 4-7~8 ラミナ処理 AAC の破壊例 (7-C-1)



写真 2. 3. 4-9~10 製品処理 AZN の破壊例 (10-C-2)



写真 2. 3. 4-11 製品処理 AZN (10-C-2) の試験前の浮き上がり 写真 2. 3. 4-12 製品処理 AZN (12-C-1) の破壊後の浮き上がり

無処理と各保存処理との比較を図 2. 3. 4-2~3 に示す。t 検定の結果、圧縮ヤング係数は、無処理と比べていずれの保存処理とも平均値に有意差はなかった (図 2. 3. 4-2)。一方、圧縮強度は、無処理と比べて、ラミナ処理 AAC に有意差が認められたが、ラミナ処理 ACQ、製品処理 AZN では有意差は認められなかった (図 2. 3. 4-3)。ただし、基準強度に対しては Mx60 の圧縮基準強度 8.10N/mm^2 をすべての試験体で大きく上回った。なお、試験体数は少ないものの正規分布を仮定した信頼水準 75%における 5%下限値を算出したところ、無処理、ラミナ処理 ACQ、ラミナ処理 AAC、製品処理 AZN はそれぞれ 22.6N/mm^2 、 18.4N/mm^2 、 20.6N/mm^2 、 18.7N/mm^2 となり、いずれの 5%下限値も基準強度を大きく上回った。

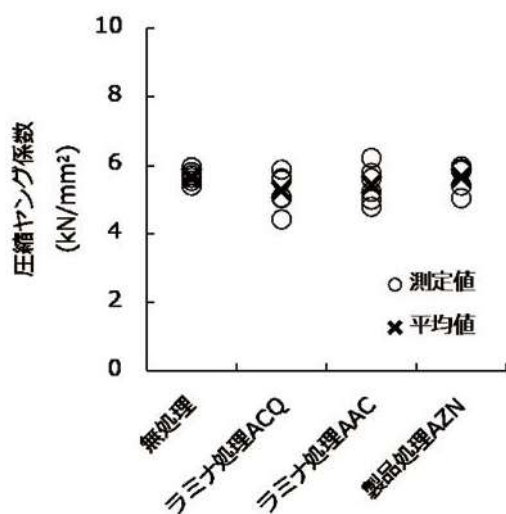


図 2.3.4-2 各グループの圧縮ヤング係数

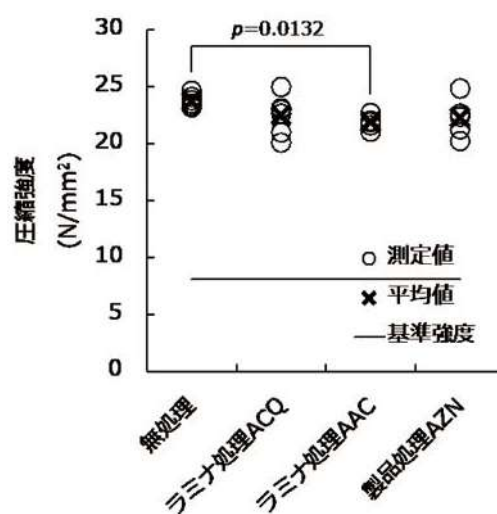


図 2.3.4-3 各グループの圧縮強度

2.3.5 引張

(1) 試験方法

チャック（試験体の掴み部分）間距離を長辺の10倍（3000mm）、片側のチャック部分の長さを1200mmとした引張試験を行った。試験の模式図を図2.3.5-1に示すとともに試験の様子を写真2.3.5-1～2に示す。最大容量が2000kNの横型引張試験機（前川試験機製作所製、HZS-200-LB4）により荷重レンジを1000kN（2-Tのみ2000kN）として載荷した。荷重速度は7mm/minとした。試験体の長さ方向における相対する2材面の中央部に、標点間距離を1000mmとした、変位計（東京測器研究所製、CDP-10）を取り付けた治具を設置して伸びを測定した。2材面の伸びの平均値を試験体の伸びとした。試験終了後、引張ヤング係数、比例限度応力および引張強度を算出した。試験後、破壊部近傍から長さが約30mmの含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

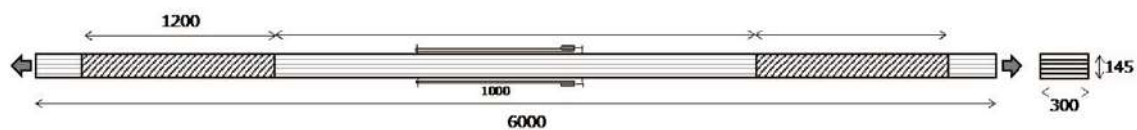


図 2.3.5-1 引張試験の模式図



写真 2.3.5-1 引張試験の様子



写真 2.3.5-2 引張試験の様子

(2) 結果

引張試験の結果を表 2.3.5-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.5-3～12 に示す。平行層外層の破壊は主に各ラミナのフィンガージョイント部で生じていた。幅はぎをしていないこともあり、直交層についてはラミナ同士が離れただけのものも多く見られた。平行層内部の破壊は、フィンガージョイントの有無に関わらず、直交層ラミナが離れた位置の隣接部で生じたものも多く見られた。製品処理 AZN で試験前に浮き上がりが見られた試験体 (12-T) は浮き上がりの部分に近接した外層フィンガージョイント部で破壊した (写真 2.3.5-11～12) もの、他の試験体と比べて大きな強度低下はみられなかった。浮き上がり部では木破が観察されたため、接着はなされていたと思われるが、いつの時点ではがれたのかは明確ではない。

表2.3.5-1 引張試験の結果

処理区分	保存 処理材	原板 番号	応力 記号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法 ヤング係数	TGH法 ヤング係数 (面内)	TGH法 せん断弾性係数 (面内)	TGH法 ヤング係数 (面外)	TGH法 せん断弾性係数 (面外)	引張 ヤング係数	比例限度 応力	引張強度	備考
						(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	
無処理	なし	1	T	391	10.5	5.91	0.720	0.188	8.89	0.188	6.06	6.24	9.67	
無処理	なし	2	T	391	10.2	5.66	0.789	0.206	8.40	0.206	5.19	8.03	9.81	中央割れあり
無処理	なし	3	T	393	10.5	5.48	0.775	0.201	8.55	0.201	5.70	7.53	8.26	
			平均値	392	10.4	5.68	0.762	0.198	8.61	0.198	5.65	7.27	9.25	
			変動係数(%)	0.397	1.99	3.79	4.78	4.51	2.92	4.51	7.72	12.7	9.29	
ラミナ処理	ACQ	4	T	398	8.93	5.80	0.640	0.170	9.55	0.170	5.59	4.10	8.47	
ラミナ処理	ACQ	5	T	406	9.51	5.37	0.719	0.193	9.19	0.193	4.79	5.25	8.05	
ラミナ処理	ACQ	6	T	396	9.33	5.56	0.598	0.179	7.64	0.179	5.29	3.52	8.12	
			平均値	400	9.26	5.58	0.652	0.180	8.79	0.180	5.23	4.29	8.21	
			変動係数(%)	1.29	3.24	3.86	9.42	6.47	11.5	6.47	7.67	20.5	2.72	
ラミナ処理	AAC	7	T	407	9.78	5.93	0.694	0.179	9.29	0.179	5.75	6.06	8.79	
ラミナ処理	AAC	8	T	406	9.97	5.44	0.712	0.190	8.45	0.190	5.06	5.10	8.40	
ラミナ処理	AAC	9	T	396	9.82	5.45	0.662	0.166	8.86	0.166	5.27	5.80	8.07	
			平均値	403	9.86	5.61	0.689	0.178	8.87	0.178	5.36	5.65	8.42	
			変動係数(%)	1.53	0.990	5.03	3.66	6.76	4.74	6.76	6.56	8.82	4.28	
製品処理(乾式)	AZN	10	T	476	31.5	6.22	0.644	0.168	10.7	0.168	5.51	6.04	10.3	
製品処理(乾式)	AZN	11	T	406	22.3	5.13	0.605	0.176	8.35	0.176	4.96	8.19	8.94	
製品処理(乾式)	AZN	12	T	419	19.3	5.80	0.532	0.160	8.98	0.160	5.17	9.55	9.55	ラミナ浮き上がり
			平均値	434	24.4	5.71	0.594	0.168	9.34	0.168	5.21	7.92	9.59	
			変動係数(%)	8.60	26.1	9.61	9.57	4.99	12.9	4.99	5.39	22.3	7.10	



写真 2.3.5-3~4 無処理の破壊例 (1-T)



写真 2.3.5-5~6 ラミナ処理 ACQ の破壊例 (4-T)



写真 2. 3. 5-7~8 ラミナ処理 AAC の破壊例 (8-T)



写真 2. 3. 5-9~10 製品処理 AZN の破壊例 (11-T)



写真 2.3.4-11~12 製品処理 AZN の破壊例 (12-T)

無処理と各保存処理との比較を図 2.3.5-2~3 に示す。t 検定の結果、引張ヤング係数、引張強度とも、無処理と比べて、いずれの処理においても有意差は認められなかった。基準強度に対しては Mx60 の引張基準強度 6.00N/mm^2 をすべての試験体で上回った。なお、試験体数は少ないものの正規分布を仮定した信頼水準 75%における 5%下限値を算出したところ、無処理、ラミナ処理 ACQ、ラミナ処理 AAC、製品処理 AZN はそれぞれ 6.51N/mm^2 、 7.50N/mm^2 、 7.27N/mm^2 、 7.42N/mm^2 となり、いずれの 5%下限値も基準強度を上回った。

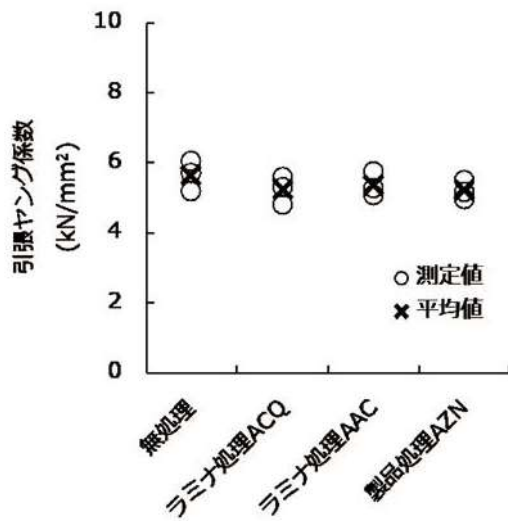


図 2.3.5-2 各グループの引張ヤング係数

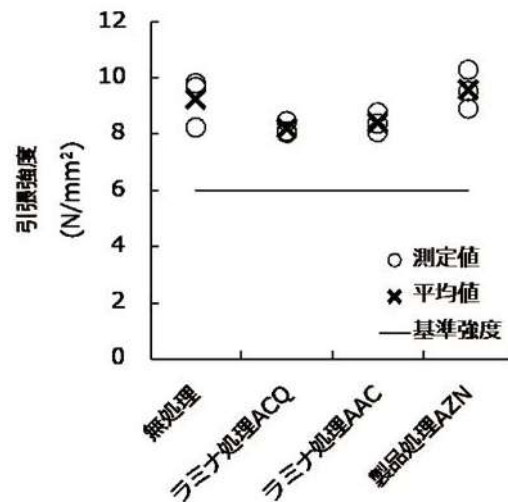


図 2.3.5-3 各グループの引張強度

2.3.6 せん断・積層方向 (面外せん断)

(1) 試験方法

直交集成板の JAS のせん断試験に従い、スパンを材せい h の 5 倍とした中央集中荷重方式によりせん断・積層方向試験を行った。試験の模式図を図 2.3.6-1 に示すとともに試験の様子を写真 2.3.6-1~2 に示す。最大容量が 1000kN の実大木材強度試験機 (前川試験機製作所製 SAH-100-SS) により载荷した (6-S0-1 のみ荷重レンジが 100kN)。クロスヘッド速度は

4mm/min (6-S0-1 のみ 5mm/min) とした。試験終了後、最大荷重からせん断強度を算出した。最終破壊形態が曲げであった試験体についても最大荷重からせん断強度を求めた。また、破壊部近傍から長さが約 30mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

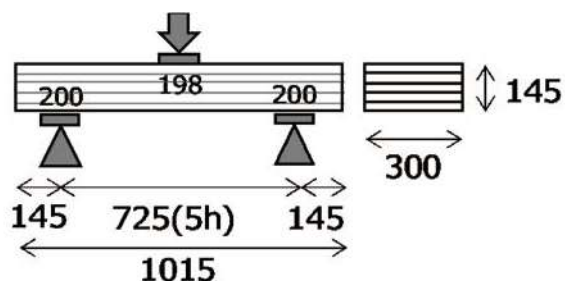


図 2.3.6-1 せん断・積層方向試験の模式図（単位：mm）



写真 2.3.6-1～2 せん断・積層方向試験の様子

(2) 結果

せん断・積層方向試験の結果を表 2.3.6-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.6-3～7 に示す。無処理、ラミナ処理 ACQ、製品処理 AZN では、一部を除くほぼすべての試験体が最終的にせん断で破壊した。ラミナ処理 AAC は半数の試験体が最終的に曲げで破壊した。ただし、最終的に曲げで破壊した試験体であっても、曲げ破壊に至るまでには、荷重は増加するもののせん断破壊が観察された。

表 2.3.6-1 セン断・積層方向試験の結果

処理区分	保存 処理材	セット 番号	応力 記号	試験体 番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法 ヤング係数 (kN/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	最終破壊形態
無処理	なし	1	SO	1	374	9.56	5.01	2.15	せん断
無処理	なし	1	SO	2	385	10.6	5.55	2.35	せん断
無処理	なし	2	SO	1	387	9.06	5.55	2.35	せん断
無処理	なし	2	SO	2	397	10.3	5.12	2.20	せん断
無処理	なし	3	SO	1	382	10.2	5.56	2.17	せん断
無処理	なし	3	SO	2	387	10.2	5.85	2.38	せん断
平均値					386	10.0	5.44	2.27	
変動係数(%)					1.96	5.62	5.78	4.5	
ラミナ処理	ACQ	4	SO	1	394	9.30	5.56	1.78	せん断
ラミナ処理	ACQ	4	SO	2	389	9.32	5.51	1.84	せん断
ラミナ処理	ACQ	5	SO	1	394	9.61	5.59	2.20	せん断
ラミナ処理	ACQ	5	SO	2	404	9.63	5.41	1.85	せん断
ラミナ処理	ACQ	6	SO	1	386	9.59	4.54	1.61	曲げ
ラミナ処理	ACQ	6	SO	2	396	9.45	4.46	1.92	せん断
平均値					394	9.48	5.18	1.87	
変動係数(%)					1.60	1.58	10.2	10.4	
ラミナ処理	AAC	7	SO	1	413	9.39	5.58	1.90	せん断
ラミナ処理	AAC	7	SO	2	412	9.84	5.40	1.95	曲げ
ラミナ処理	AAC	8	SO	1	404	9.61	5.12	1.84	曲げ
ラミナ処理	AAC	8	SO	2	410	9.32	5.56	2.13	せん断
ラミナ処理	AAC	9	SO	1	397	8.97	5.62	2.12	せん断
ラミナ処理	AAC	9	SO	2	394	9.40	5.11	1.93	曲げ
平均値					405	9.42	5.40	1.98	
変動係数(%)					2.00	3.10	4.28	5.99	
製品処理(乾式)	AZN	10	SO	1	412	12.3	5.90	2.05	せん断
製品処理(乾式)	AZN	10	SO	2	453	22.9	5.65	1.88	せん断
製品処理(乾式)	AZN	11	SO	1	378	9.68	5.51	1.73	せん断
製品処理(乾式)	AZN	11	SO	2	423	18.2	5.20	1.66	曲げ(最大荷重はせん断)
製品処理(乾式)	AZN	12	SO	1	422	16.6	5.54	2.09	せん断
製品処理(乾式)	AZN	12	SO	2	404	12.7	5.37	1.87	せん断
平均値					415	15.4	5.53	1.88	
変動係数(%)					5.91	31.2	4.34	9.03	



写真 2.3.6-3 無処理のせん断破壊例 (3-S0-1)



写真 2.3.6-4 ラミナ処理 ACQ のせん断破壊例 (5-S0-1)



写真 2.3.6-5 ラミナ処理 AAC のせん断破壊例 (7-S0-1)



写真 2.3.6-6 ラミナ処理 AAC の曲げ破壊例 (9-S0-2)



写真 2.3.6-7 製品処理 AZN のせん断破壊例 (10-S0-1)

無処理と各保存処理との比較を図 2.3.6-2～3 に示す。せん断弾性係数（面外）は、本試験体では測定していないため、2.3.7 のせん断・幅方向の結果を用いた。t 検定の結果、せん断弾性係数（面外）は、無処理と比べて、ラミナ処理 AAC、製品処理 AZN との間に有意差が認められた（図 2.3.6-2）。一方、せん断強度は、無処理と比べて、ラミナ処理 ACQ も含めすべての処理との間に有意差が認められた（無処理に対するラミナ処理 AAC、製品処理 AZN の p 値はせん断弾性係数（面外）、せん断強度とも同値であった）。曲げ・積層方向強度では無処理と製品処理 AZN との有意差は認められず、せん断・積層方向強度では有意差が認められたことから、せん断・積層方向に対しては、インサイジングだけでなく、保存処理そのものがせん断強度に影響を及ぼした可能性が考えられた。試験方法が本試験と同様である直交集成板の JAS に示されたせん断試験における Mx60 のせん断・積層方向 JAS 基準値と比較したところ、すべての試験体で JAS 基準値 1.5N/mm^2 を上回った。なお、試験体数は少ないものの正規分布を仮定した信頼水準 75%における 5%下限値を算出したところ、無処理、ラミナ処理 ACQ、ラミナ処理 AAC、製品処理 AZN はそれぞれ 2.03N/mm^2 、 1.41N/mm^2 、 1.70N/mm^2 、 1.48N/mm^2 となり、すべての種類でせん断・積層方向の基準強度 0.9N/mm^2 は上回ったものの、ラミナ処理 ACQ と製品処理 AZN で JAS 基準値 1.5N/mm^2 を下回った。

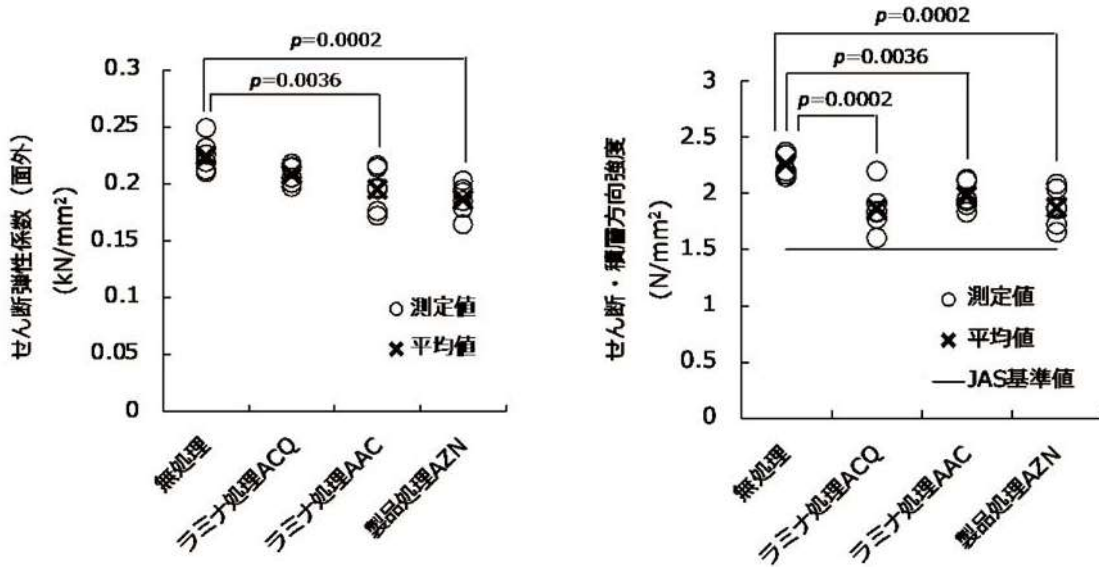


図 2.3.6-2 各グループのせん断弾性係数 (面外) 図 2.3.6-3 各グループのせん断・積層方向強度
 注：せん断弾性係数 (面外) は 2.3.7 のせん断・幅方向の結果を用いた。

2.3.7 せん断・幅方向 (面内せん断)

(1) 試験方法

日本住宅木材・技術センター発行の「構造用木材の強度試験マニュアル」に示されたせん断試験のC法、すなわち逆対称4点荷重法によりせん断・幅方向試験を行った。支点と隣接する荷重点との距離はいずれも材せい h の2倍とした。試験の模式図を図 2.3.7-1 に示すとともに試験の様子を写真 2.3.7-1~2 に示す。最大容量が 1000kN の実大木材強度試験機 (前川試験機製作所製 SAH-100-SS) により载荷した。クロスヘッド速度は 5mm/min (ただし 12-SI-2 は 8mm/min、12-SI-1 は 7mm/min、2-SI-1、2-SI-2、3-SI-1、3-SI-2 は 6mm/min) とした。試験終了後、最大荷重からせん断強度を算出した。また、破壊部近傍から長さが約 30mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

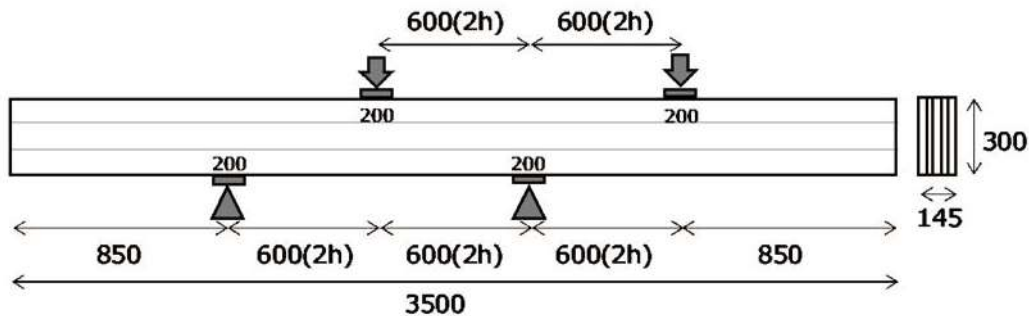


図 2.3.7-1 せん断・幅方向試験の模式図 (単位 : mm)



写真 2.3.7-1～2 せん断・幅方向試験の様子

(2) 結果

せん断・幅方向試験の結果を表 2.3.7-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.7-3～14 に示す。無処理の 1 体 (1-SI-1) を除き、すべての試験体が最終的にせん断に関わる破壊形態を示した。ラミナ処理 ACQ の 2 体 (4-SI-2、5-SI-1) はせん断と曲げの複合破壊を生じた。インサイジングを施したラミナ処理 ACQ、ラミナ処理 AAC の試験体では、ラミナの幅同士だけでなく、中央部においてもインサイジングがつながるようにせん断破壊をしたものが複数見られた (写真 2.3.7-7～8、2.3.7-11～12)。

表2.3.7-1 セン断・幅方向試験の結果

処理区分	保存 処理材	原板 番号	応力 記号	試験体 番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法 ヤング係数 (kN/mm ²)	TGH法 ヤング係数 (面内) (kN/mm ²)	TGH法 ヤング係数 (面外) (kN/mm ²)	TGH法 せん断弾性係数 (面外) (kN/mm ²)	TGH法 せん断強度 (N/mm ²)	破壊形態	備考
無処理	なし	1	SI	1	392	10.3	5.36	0.795	7.74	0.220	4.26	曲げ	110kNで一旦低下(上部のF)
無処理	なし	1	SI	2	391	10.6	5.85	0.778	8.18	0.210	4.46	せん断	最大荷重後240kNまで下がり曲げ破壊
無処理	なし	2	SI	1	389	9.87	5.51	0.797	7.03	0.249	4.19	せん断	
無処理	なし	2	SI	2	394	10.5	5.78	0.801	7.67	0.231	4.51	せん断	
無処理	なし	3	SI	1	396	10.6	6.40	0.747	8.63	0.212	4.47	せん断	
無処理	なし	3	SI	2	389	10.5	6.18	0.793	8.43	0.226	4.86	せん断	256kNで一旦低下(上部の節)
				平均値	392	10.4	5.85	0.785	7.95	0.225	4.46		
				変動係数(%)	0.68	2.64	6.74	2.58	7.40	6.38	5.32		
ラミナ処理	ACQ	4	SI	1	399	9.20	5.75	0.734	7.87	0.215	3.52	せん断	
ラミナ処理	ACQ	4	SI	2	395	9.06	5.58	0.733	7.78	0.218	3.30	せん断+曲げ	
ラミナ処理	ACQ	5	SI	1	398	9.55	5.50	0.722	7.02	0.206	3.64	せん断+曲げ	
ラミナ処理	ACQ	5	SI	2	399	9.74	5.11	0.750	7.25	0.215	3.44	せん断	
ラミナ処理	ACQ	6	SI	1	398	9.77	5.29	0.756	7.26	0.197	3.37	せん断	
ラミナ処理	ACQ	6	SI	2	392	9.16	4.98	0.773	6.97	0.201	3.41	せん断	
				平均値	397	9.42	5.37	0.745	7.36	0.209	3.45		
				変動係数(%)	0.74	3.31	5.48	2.50	5.16	4.10	3.48		
ラミナ処理	AAc	7	SI	1	405	9.33	5.83	0.705	8.19	0.195	3.37	せん断	
ラミナ処理	AAc	7	SI	2	406	10.2	5.52	0.736	7.60	0.197	3.74	せん断	
ラミナ処理	AAc	8	SI	1	399	9.18	5.92	0.971	7.80	0.215	3.60	せん断	
ラミナ処理	AAc	8	SI	2	404	9.69	6.41	0.816	9.43	0.217	3.91	せん断	
ラミナ処理	AAc	9	SI	1	400	9.49	5.90	0.687	8.34	0.172	3.58	せん断	
ラミナ処理	AAc	9	SI	2	403	10.1	5.82	0.690	8.46	0.176	3.79	せん断	
				平均値	403	9.67	5.90	0.767	8.30	0.195	3.67		
				変動係数(%)	0.71	4.29	4.87	14.4	7.71	9.52	5.16		
製品処理(乾式)	AZN	10	SI	1	400	14.3	6.20	0.615	8.89	0.203	3.34	せん断	
製品処理(乾式)	AZN	10	SI	2	441	23.4	6.09	0.644	8.80	0.193	3.37	せん断	
製品処理(乾式)	AZN	11	SI	1	383	11.4	5.80	0.617	7.78	0.185	3.48	せん断	
製品処理(乾式)	AZN	11	SI	2	437	27.7	5.77	0.620	8.36	0.165	3.69	せん断	
製品処理(乾式)	AZN	12	SI	1	416	19.7	5.88	0.605	8.18	0.179	3.68	せん断	
製品処理(乾式)	AZN	12	SI	2	418	15.4	5.57	0.639	8.24	0.195	3.66	せん断	
				平均値	416	18.6	5.88	0.623	8.38	0.187	3.54		
				変動係数(%)	5.29	32.8	3.86	2.40	4.94	7.33	4.60		

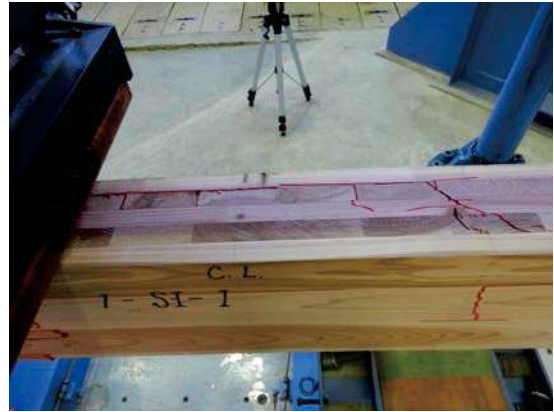
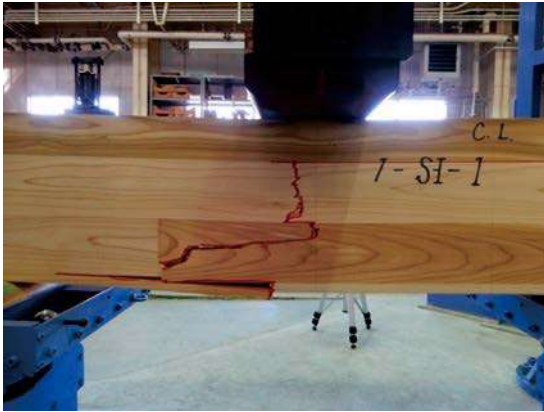


写真 2. 3. 7-3~4 無処理の破壊例 (1-SI-1) 曲げ破壊の例

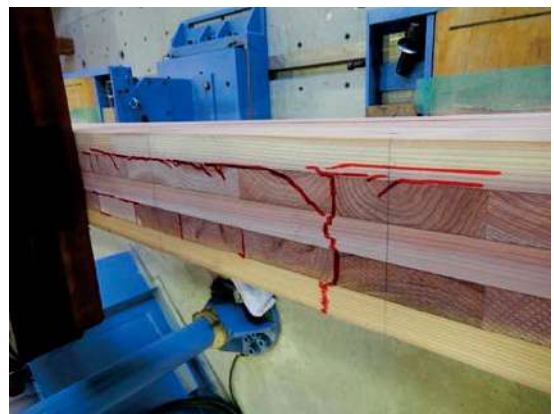


写真 2. 3. 7-5~6 無処理のせん断破壊の例 (1-SI-2)



写真 2. 3. 7-7~8 ラミナ処理 ACQ のせん断破壊の例 (4-SI-1)



写真 2.3.7-9~10 ラミナ処理 ACQ (5-SI-1) のせん断+曲げ破壊の例

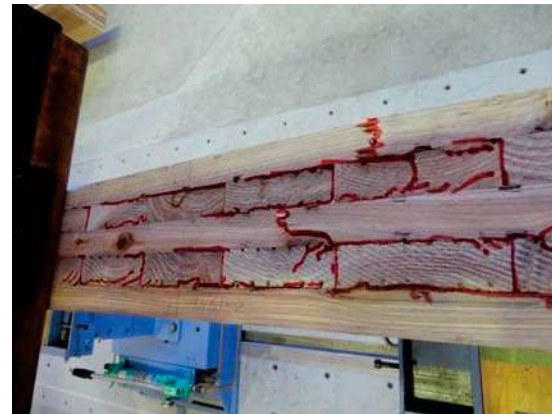


写真 2.3.7-11~12 ラミナ処理 AAC のせん断破壊の例 (9-SI-2)



写真 2.3.7-13~14 製品処理 AZN のせん断破壊の例 (11-SI-1)

無処理と各保存処理との比較を図 2.3.7-2~3 に示す。t 検定の結果、せん断弾性係数（面内）は、無処理と比べて、製品処理 AZN との間に有意差が認められた（図 2.3.7-2）。一方、せん断強度は、無処理と比べて、すべての処理との間に有意差が認められた。曲げ・幅方向強度では無処理と製品処理 AZN との有意差は認められず、せん断・幅方向強度では有意差が

認められたことから、せん断・幅方向に対しては、インサイジングだけでなく、保存処理そのものがせん断強度に影響を及ぼした可能性が考えられた。この傾向は、曲げ・積層方向とせん断・積層方向との関係と同様であった。基準強度に対しては、Mx60 のせん断・幅方向基準強度 2.28N/mm^2 をすべての試験体で上回った。なお、試験体数は少ないものの、正規分布を仮定した信頼水準75%における5%下限値を算出したところ、無処理、ラミナ処理ACQ、ラミナ処理AAC、製品処理AZN はそれぞれ 3.91N/mm^2 、 3.17N/mm^2 、 3.23N/mm^2 、 3.16N/mm^2 となり、いずれの5%下限値も基準強度を上回った。

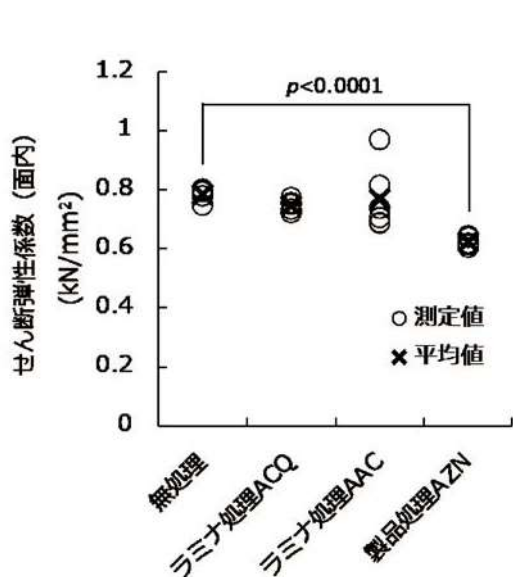


図 2.3.7-2 各グループのせん断弾性係数 (面内)

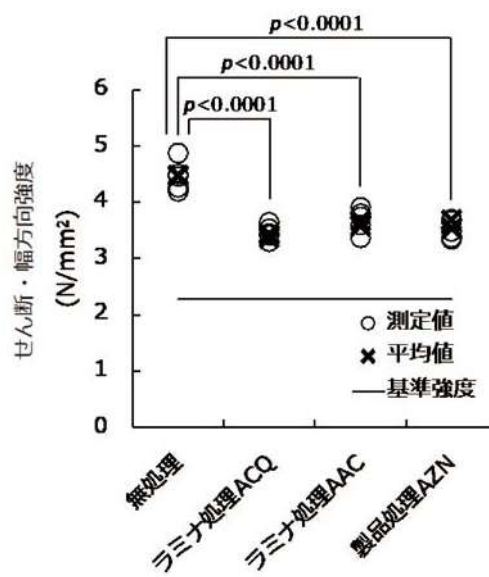


図 2.3.7-3 各グループのせん断・幅方向強度

2.3.8 ラミナ性能

2.3.8.1 供試体

無処理、ACQ 処理、AAC 処理の処理別、M60、M30 の等級別のラミナについて、フィンガージョイント (FJ) 部の異なる 2 パターンのラミナ各約 30 体を供試体とした。寸法はいずれも厚さ 29mm×幅 105mm×長さ 3800mm である。供試体の概要を表 2.3.8.1-1 に示す。ACQ 処理 M30 のフィンガージョイント押込圧力が他グループよりも小さいのは、通常押込圧力でフィンガージョイントを行ったところ、ラミナが潰れるトラブルが多発したため、押込圧力を普段より弱めたとのことであった。2 種類の FJ パターンから図 2.3.8.1-1 のように、FJ パターン①からは FJ ありフラットワイズ曲げ試験体 (B-FJ)、FJ なしフラットワイズ曲げ試験体 (B-NJ)、FJ あり引張試験体 (T-FJ)、FJ パターン②からは FJ あり縦圧縮試験体 (C-FJ)、FJ なし縦圧縮試験体 (C-NJ)、FJ なし引張試験体 (T-NJ) を採材した。

このうち、強度試験を行った FJ ラミナのフラットワイズ曲げ試験、FJ ラミナの縦圧縮試験、FJ ラミナの縦引張試験の結果を以下に報告する。

表 2.3.8.1-1 ラミナ供試体の概要

処理	ラミナ等級	パターン	本数	フィンガージョイント 押込圧力
無処理	M60	①	34	5.7 MPa
		②	33	5.7 MPa
	M30	①	34	5.7 MPa
		②	34	5.7 MPa
ACQ 処理	M60	①	34	5.7 MPa
		②	33	5.7 MPa
	M30	①	34	5.2 MPa
		②	34	5.2 MPa
AAC 処理	M60	①	31	5.7 MPa
		②	30	5.7 MPa
	M30	①	28	5.7 MPa
		②	28	5.7 MPa

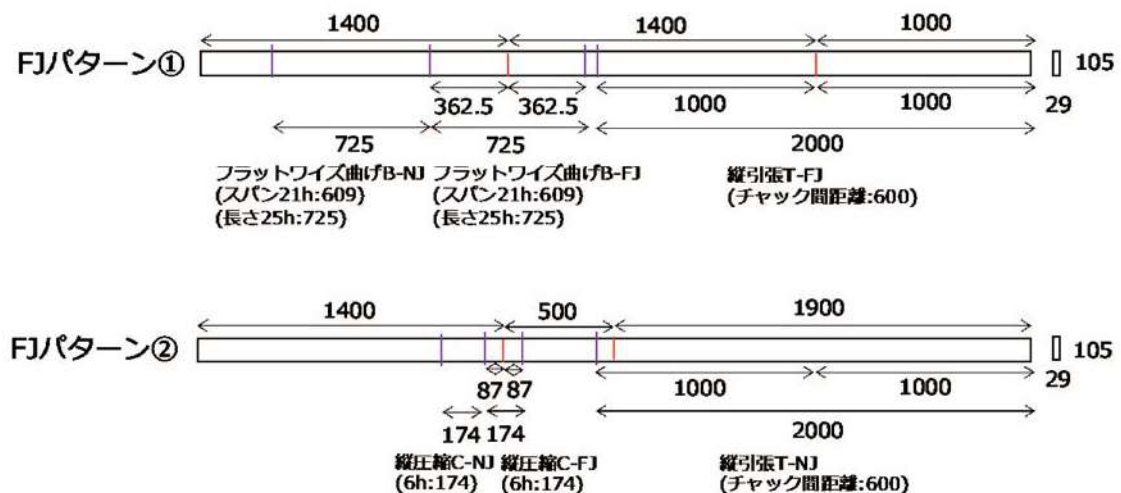


図 2.3.8.1-1 ラミナ試験体の採材パターン

注：赤線はFJ、紫線は切断箇所、hは長辺（105mm）、単位はmm

2.3.8.2 FJラミナのフラットワイズ曲げ試験

(1) 試験方法

曲げ試験に先立ち、密度、縦振動法によるヤング係数を測定した。フラットワイズ曲げ試験は直交集成板のJASのラミナの曲げC試験に従って行った。すなわち、スパン（609mm）を厚さ（29mm）の21倍とした3等分点4点曲げ試験とした。FJは荷重点内に配置した。材料試験機（ミネベア製 TCM10000 または AG-X plus 製 AUTOGRAPH）により载荷した。クロスヘッド速度は10mm/minとした。試験体の側面中央部に変位計（東京測器研究所製 CDP-50）を設置し試験体の全たわみを測定した。試験終了後、全たわみから求めた見かけの曲げヤング係数、比例限度応力、曲げ強度を算出した。また、破壊後の試験体のFJの両側から長さ

が約 20mm の含水率測定用試験体を 1 体ずつ切り出し、全乾法で含水率を測定した。試験体の含水率は両含水率試験体の平均値とした。ただし、FJ 以外の節などで破壊した場合は、破壊した側の部分のみから含水率試験体を採取した。

試験の様子を写真 2.3.8.2-1～2 に示す。

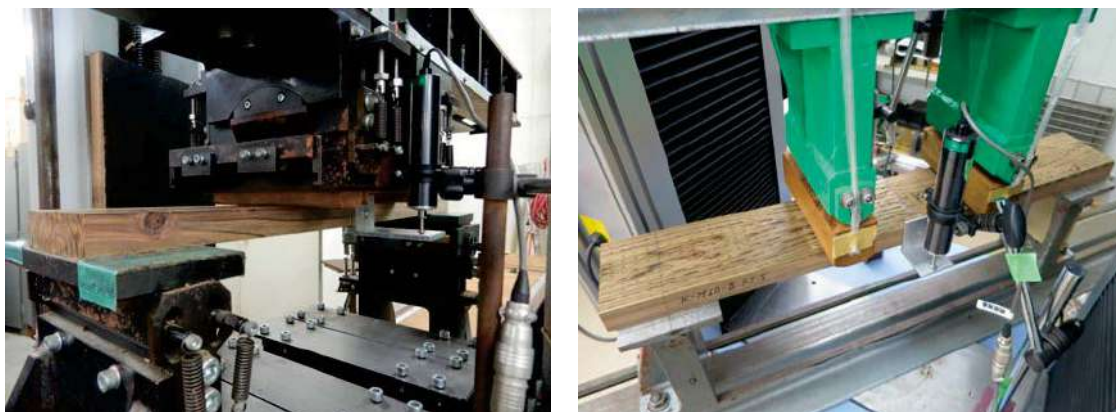


写真 2.3.8.2-1～2 FJ ラミナのフラットワイズ曲げ試験の様子

(2) 結果

FJ ラミナのフラットワイズ曲げ試験の結果の概要を表 2.3.8.2-1 に示すともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.8.2-3～10 に示す。一部で FJ 部から離れた木材部分で破壊した試験体も存在したが、大部分の試験体が FJ 部で破壊した。無処理 M60 の 1 体、ACQ 処理 M60 の 2 体で FJ で抜けた試験体があった（写真 2.3.8.2-9～10）。表 2.3.8.2-2 の最小値（あるいは後に記載した表 2.3.8.2-7 および表 2.3.8.2-9）からわかるように、それらの試験体は他の試験体に比べて曲げ強度が大きく低下していた。ACQ 処理 M60 の比例限度応力の平均値が M30 のそれを下回っていたが、これも FJ 抜けした 2 体の比例限度応力が小さかったことが影響したと考えられる。

表 2.3.8.2-1 FJ ラミナのフラットワイズ曲げ試験の結果の概要

試験体概要		密度	含水率	縦振動法 ヤング係数	見かけの 曲げヤング係数	比例限度 応力	曲げ強度
		(kg/m ³)	(%)	(kN/mm ²)	(kN/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
処理区分：無処理	試験体数	34	34	34	34	34	34
保存処理材：なし	平均値	426	9.55	9.91	9.13	33.1	35.5
インサイジング：なし	最小値	373	8.19	7.94	7.24	4.30	8.49
記号：N	最大値	521	12.5	12.0	10.8	42.5	44.6
等級：M60	標準偏差	32.0	1.05	1.03	0.891	6.50	6.11
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	7.51	11.0	10.4	9.75	19.6	17.2
処理区分：無処理	試験体数	34	34	34	34	34	34
保存処理材：なし	平均値	378	9.46	7.90	7.28	23.3	29.9
インサイジング：なし	最小値	337	8.42	5.67	5.09	15.4	18.8
記号：N	最大値	484	11.5	9.36	9.32	30.5	38.2
等級：M30	標準偏差	28.8	0.733	1.02	0.992	4.07	4.34
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	7.63	7.75	12.9	13.6	17.5	14.5
処理区分：ラミナ処理	試験体数	34	34	34	34	34	34
保存処理材：ACQ	平均値	428	9.28	9.95	8.39	20.8	28.1
インサイジング：あり	最小値	381	8.46	6.46	4.17	3.31	4.22
記号：K	最大値	473	11.3	11.4	9.97	32.1	37.5
等級：M60	標準偏差	24.7	0.55	0.989	1.05	5.58	7.08
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	5.77	5.94	9.94	12.5	26.8	25.2
処理区分：ラミナ処理	試験体数	34	34	34	34	34	34
保存処理材：ACQ	平均値	374	8.18	6.87	5.51	21.1	22.6
インサイジング：あり	最小値	322	6.95	4.36	3.48	9.32	17.1
記号：K	最大値	444	9.23	8.61	6.36	28.0	28.0
等級：M30	標準偏差	23.3	0.484	0.996	0.660	3.53	2.54
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	6.22	5.92	14.5	12.0	16.7	11.2
処理区分：ラミナ処理	試験体数	31	31	31	31	31	31
保存処理材：AAC	平均値	413	8.05	10.3	8.37	28.8	33.5
インサイジング：あり	最小値	375	7.14	8.68	7.16	23.2	23.2
記号：Z	最大値	464	9.86	12.6	9.88	36.1	40.7
等級：M60	標準偏差	23.1	0.676	1.03	0.726	3.36	3.75
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	5.58	8.39	9.97	8.68	11.6	11.2
処理区分：ラミナ処理	試験体数	28	28	28	28	28	28
保存処理材：AAC	平均値	389	8.42	7.66	6.19	21.7	25.4
インサイジング：あり	最小値	332	6.49	6.12	4.97	12.5	13.6
記号：Z	最大値	482	11.0	8.78	7.33	27.5	31.9
等級：M30	標準偏差	34.5	1.13	0.717	0.579	4.63	4.44
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	8.87	13.4	9.36	9.36	21.4	17.5



写真 2. 3. 8. 2-3 無処理 M60 の破壊形態の例



写真 2. 3. 8. 2-4 無処理 M30 の破壊形態の例

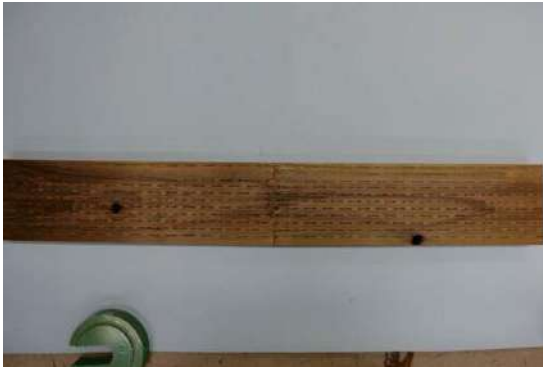


写真 2. 3. 8. 2-5 ACQ 処理 M60 の破壊形態の例



写真 2. 3. 8. 2-6 ACQ 処理 M30 の破壊形態の例



写真 2. 3. 8. 2-7 AAC 処理 M60 の破壊形態の例

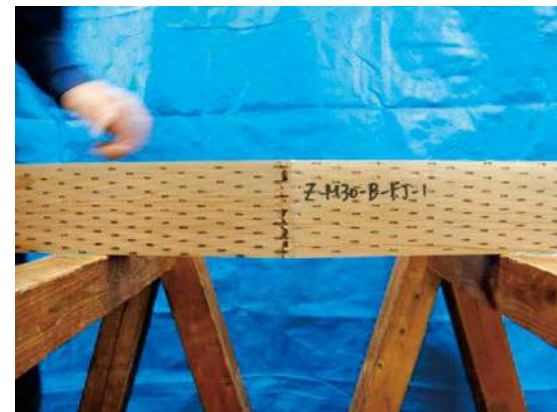


写真 2. 3. 8. 2-8 AAC 処理 M30 の破壊形態の例



写真 2.3.8.2-9 無処理 M60 の FJ 抜けした試験体 写真 2.3.8.2-10 ACQ 処理 M60 の FJ 抜けした試験体

見かけの曲げヤング係数および曲げ強度の平均値および 5%下限値を JAS 基準値と比較したものを表 2.3.8.2-2~3 に示す。見かけの曲げヤング係数については、ほぼすべてのグループで平均値、下限値とも JAS 基準値を上回っていた。ACQ 処理 M60 の順位法下限値のみ JAS 基準値を下回ったが、これは FJ 抜けした試験体の見かけの曲げヤング係数が 4.17kN/mm^2 であったことが影響したと考えられる。無処理の M30 は平均値・下限値とも M60 相当であった。曲げ強度については、平均値ではすべてのグループで JAS 基準値を上回ったが、下限値では無処理 M60 の順位法、ACQ 処理 M60 の順位法と正規分布、AAC 処理 M30 の順位法で JAS 基準値を下回った。無処理 M60 で FJ 抜けした試験体の曲げ強度が 8.49N/mm^2 、ACQ 処理 M60 で FJ 抜けした試験体 2 体の曲げ強度がそれぞれ 6.27N/mm^2 、 4.22N/mm^2 であったことが大きく影響したと考えられる。AAC 処理 M30 については、木部の破壊ではあるが曲げ強度が他と比べてやや低い 13.6N/mm^2 となった試験体があったことが要因であると考えられる。このため、無処理の順位法、ACQ 処理の順位法と正規分布では M60 の方が M30 よりも小さい逆転現象が起きた。

表 2.3.8.2-2 見かけの曲げヤング係数の JAS 基準値との比較 (単位: kN/mm^2)

等級		JAS 基準値	無処理	ACQ 処理	AAC 処理
M60	平均値	6.0	9.13	8.39	8.37
	下限値	5.0	Non:7.29, Nor:7.49	Non:4.91, Nor:6.45	Non:7.16, Nor:7.01
M30	平均値	3.0	7.28	5.51	6.19
	下限値	2.5	Non:5.17, Nor:5.44	Non:3.58, Nor:4.28	Non:4.97, Nor:5.10

注：下限値について、順位法 (Non) は ASTM D2915 に基づいた信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値、正規分布 (Nor) は ASTM D2915 に基づいた信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値である。JAS 基準値を下回ったものはオレンジ色で示した。

表 2.3.8.2-3 曲げ強度の JAS 基準値との比較 (単位 : N/mm²)

等級		JAS 基準値	無処理	ACQ 処理	AAC 処理
M60	平均値	27.0	35.5	28.1	33.5
	下限値	20.0	Non:13.4, Nor:24.2	Non:4.71, Nor:14.9	Non:23.8, Nor:26.5
M30	平均値	19.5	29.9	22.6	25.4
	下限値	14.5	Non:19.9, Nor:21.9	Non:17.1, Nor:17.9	Non:13.6, Nor:17.0

注：下限値について、順位法 (Non) は ASTM D2915 に基づいた信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値、正規分布 (Nor) は ASTM D2915 に基づいた信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値である。JAS 基準値を下回ったものはオレンジ色で示した。

t 検定により各物性値を無処理と保存処理とで比較したものを表 2.3.8.2-4 に示す。有意水準 5% で有意差があったもののみ p 値を示した。また、図 2.3.8.2-1~6 には、等級ごとに縦振動法のヤング係数、見かけの曲げヤング係数、曲げ強度における無処理と各保存処理との平均値の比較をグラフ形式で示した。密度以外はいずれかの処理と有意差が認められた。無処理、ACQ 処理、AAC 処理の M60 あるいは M30 の各ラミナは保存処理前に同一の基準でグレーディングされたと思われる。しかしながら、保存処理前の各物性値を測定していないため、すべてのグループにおいて保存処理あるいはインサイジングがどの程度物性値に影響を及ぼしたのかについては、現段階では明確ではない。

表 2.3.8.2-4 t 検定による無処理と保存処理との比較

(有意水準 5% で有意差があったもののみ p 値を示す)

処理区分	等級	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法 ヤング係数 (kN/mm ²)	見かけの 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	比例限度 応力 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
ACQ 処理	M60				0.0009	<0.0001	<0.0001
	M30		<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0279	<0.0001
AAC 処理	M60		<0.0001		0.0009	0.0018	
	M30		<0.0001		<0.0001		<0.0001

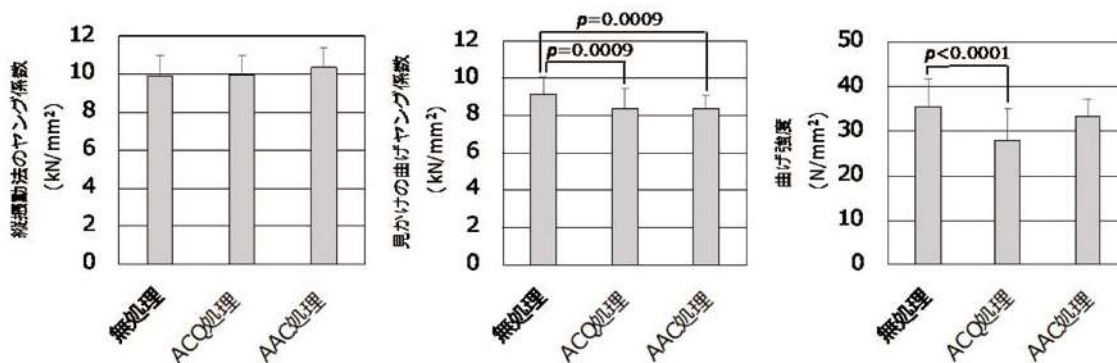


図 2.3.8.2-1~3 無処理と各保存処理との平均値の比較 (M60)

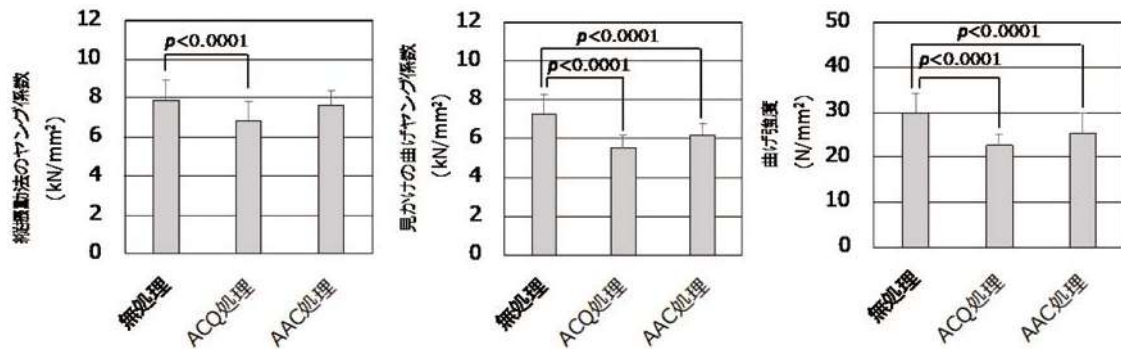


図 2.3.8.2-4～6 無処理と各保存処理との平均値の比較 (M30)

得られたラミナの見かけの曲げヤング係数と曲げ強度を用いて、直交集成板の JAS に応じた基準強度の算出で用いられる等価断面法により、CLT の曲げ・積層方向の見かけの曲げヤング係数と曲げ強度を推定した。推定式への入力には実測した平均値を用いた。また、推定曲げ強度には、基準強度で用いられている下限値係数 0.4875 を平均値にするための係数 4/3 を乗じた 0.65 (=0.4875×4/3) を算出値に乗じている。入力値を表 2.3.8.2-5 に示すとともに、推定値と実測値との比較を表 2.3.8.2-6 に示す。曲げヤング係数の実測値/推定値は 1 前後であり、概ね推定できていた。一方、曲げ強度の実測値/推定値は 1.01～1.18 であり、無処理と ACQ 処理の比率がやや高く、処理 AAC 処理はほぼ同等であった。ACQ 処理と AAC 処理で比率がやや異なることについては、現段階では明確ではない。

表 2.3.8.2-5 等価断面法での実測による入力値 (平均値)

	外層平行層 曲げヤング係数 M60 (kN/mm ²)	内層平行層 曲げヤング係数 M30 (kN/mm ²)	直交層 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	外層 曲げ強度 M60 (N/mm ²)
無処理	9.13	7.28	0	35.5
ACQ 処理	8.39	5.48	0	28.1
AAC 処理	8.37	6.19	0	33.5

表 2.3.8.2-6 等価断面法による CLT の推定値と実測値との比較 (平均値)

	実測 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	推定 曲げヤング係数 (kN/mm ²)	実測/推定 曲げヤング係数	実測 曲げ強度 (N/mm ²)	推定 曲げ強度 (N/mm ²)	実測/推定 曲げ強度
無処理	7.17	7.22	0.99	21.5	18.2	1.18
ACQ 処理	6.90	6.62	1.04	16.7	14.4	1.16
AAC 処理	6.78	6.61	1.03	17.3	17.2	1.01

FJ ラミナのフラットワイズ曲げ試験のすべての結果を表 2.3.8.2-7～12 に示す。

表 2.3.8.2-7 無処理 M60 FJ のフラットワイズ曲げ試験結果

試験体番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法	見かけの	比例限度	曲げ強度 (N/mm ²)	破壊形態
			ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	応力 (N/mm ²)		
N M60 B FJ 1	416	8.24	9.53	8.84	31.3	32.7	
N M60 B FJ 2	488	9.88	10.5	10.2	39.0	43.1	
N M60 B FJ 3	419	8.39	10.3	9.66	33.8	33.8	
N M60 B FJ 4	429	9.08	7.94	7.80	31.0	36.5	
N M60 B FJ 5	474	11.0	9.71	9.52	27.9	31.3	
N M60 B FJ 6	459	10.5	10.2	9.55	40.0	40.0	
N M60 B FJ 7	438	9.57	11.8	10.5	42.5	44.6	
N M60 B FJ 8	463	12.2	11.6	10.3	37.5	40.0	
N M60 B FJ 9	392	8.97	10.2	9.26	35.2	35.5	
N M60 B FJ 10	404	8.41	11.4	10.6	36.6	39.4	
N M60 B FJ 11	521	12.5	9.42	8.98	35.7	36.7	
N M60 B FJ 12	420	9.13	10.5	9.54	29.4	31.7	
N M60 B FJ 13	415	9.83	11.2	10.8	36.2	37.4	
N M60 B FJ 14	441	8.19	8.21	7.24	25.7	32.2	
N M60 B FJ 15	405	9.02	8.84	7.84	29.1	29.1	
N M60 B FJ 16	431	8.93	9.65	9.48	36.5	36.5	
N M60 B FJ 17	437	10.6	10.3	9.59	31.6	36.8	
N M60 B FJ 18	396	8.43	9.66	9.22	36.1	36.1	
N M60 B FJ 19	373	8.42	10.3	9.21	29.2	32.4	
N M60 B FJ 20	387	9.15	9.91	9.02	27.7	29.7	
N M60 B FJ 21	419	9.75	9.96	9.17	35.8	39.3	
N M60 B FJ 22	480	8.77	9.45	8.64	34.3	40.5	
N M60 B FJ 23	391	9.92	11.5	10.2	36.3	39.9	
N M60 B FJ 24	402	10.3	9.60	8.31	27.9	32.2	
N M60 B FJ 25	421	10.1	9.40	8.80	31.0	31.0	
N M60 B FJ 26	428	9.04	9.17	9.04	38.6	41.0	
N M60 B FJ 27	431	9.82	8.08	8.66	38.2	38.7	
N M60 B FJ 28	428	10.0	9.72	8.53	30.2	36.1	
N M60 B FJ 29	408	9.02	9.70	9.02	35.7	39.1	
N M60 B FJ 30	381	9.71	9.30	8.65	33.4	36.0	
N M60 B FJ 31	415	10.9	8.69	7.45	38.1	39.0	
N M60 B FJ 32	404	8.50	10.5	10.3	35.8	35.8	
N M60 B FJ 33	423	8.94	8.72	8.07	34.1	35.5	
N M60 B FJ 34	438	9.40	12.0	8.59	4.30	8.49	FJ抜け

注：破壊形態について、N-M60-B-FJ-34 を除くすべての試験体で FJ 部の材破断（割合は測定していない）である。

表 2.3.8.2-8 無処理 M30 FJ のフラットワイズ曲げ試験結果

試験体番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法	見かけの	比例限度	曲げ強度 (N/mm ²)	破壊形態
			ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	応力 (N/mm ²)		
N M30 B FJ 1	484	11.03	6.37	5.57	20.1	37.9	
N M30 B FJ 2	349	9.15	5.91	5.42	16.0	26.1	
N M30 B FJ 3	362	9.65	6.91	6.02	22.8	28.8	
N M30 B FJ 4	344	9.81	6.57	6.12	16.5	18.8	
N M30 B FJ 5	379	10.21	8.31	7.61	30.5	35.3	
N M30 B FJ 6	402	9.20	7.97	7.28	27.7	31.0	材破断40%
N M30 B FJ 7	371	9.03	7.83	7.52	24.6	28.5	
N M30 B FJ 8	369	8.72	9.07	8.19	30.4	32.6	
N M30 B FJ 9	412	9.70	8.66	8.23	23.5	38.2	
N M30 B FJ 10	356	9.06	9.36	9.32	25.3	34.7	
N M30 B FJ 11	357	9.23	8.26	7.50	21.1	28.5	
N M30 B FJ 12	385	9.20	8.00	7.27	25.5	26.0	
N M30 B FJ 13	374	9.11	8.56	7.95	26.9	29.9	
N M30 B FJ 14	387	9.58	8.51	8.19	27.8	35.3	
N M30 B FJ 15	411	9.47	6.58	5.89	20.8	28.2	
N M30 B FJ 16	375	8.98	8.88	7.73	27.3	32.2	
N M30 B FJ 17	361	10.08	8.18	7.34	27.5	32.2	
N M30 B FJ 18	393	9.84	7.35	6.92	19.5	28.0	
N M30 B FJ 19	398	8.97	6.78	6.40	23.3	31.5	
N M30 B FJ 20	375	10.39	7.83	7.36	21.5	29.9	
N M30 B FJ 21	363	9.09	8.44	7.65	20.3	26.4	
N M30 B FJ 22	396	8.42	5.67	5.09	18.5	25.0	
N M30 B FJ 23	375	8.66	7.77	6.83	23.7	29.1	
N M30 B FJ 24	369	11.35	8.05	7.44	21.5	27.6	
N M30 B FJ 25	411	8.98	6.82	6.52	17.2	23.3	
N M30 B FJ 26	419	11.51	6.28	6.00	20.9	26.3	
N M30 B FJ 27	347	8.88	8.79	8.21	28.0	36.9	材破断20%
N M30 B FJ 28	395	8.93	9.29	8.51	23.0	35.5	
N M30 B FJ 29	363	8.77	8.39	7.69	26.0	26.1	材破断40%
N M30 B FJ 30	349	9.47	8.87	8.39	24.8	25.2	
N M30 B FJ 31	337	9.18	8.72	7.98	27.5	31.8	
N M30 B FJ 32	366	9.74	8.69	8.14	15.4	31.2	材破断20%
N M30 B FJ 33	350	9.17	9.08	7.49	26.6	29.4	節20%
N M30 B FJ 34	355	9.12	7.94	7.77	20.7	29.0	

注：破壊形態について、FJ100%破断は空欄としている。

表 2.3.8.2-9 ACQ 処理 M60 FJ のフラットワイズ曲げ試験結果

試験体番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法	見かけの	比例限度	曲げ強度 (N/mm ²)	破壊形態
			ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	応力 (N/mm ²)		
K M60 B FJ 1	431	9.50	10.0	8.05	23.7	27.7	
K M60 B FJ 2	433	9.24	9.39	7.24	4.98	6.27	FJ抜け
K M60 B FJ 3	388	9.44	10.3	8.49	26.8	28.9	
K M60 B FJ 4	421	9.48	9.14	7.39	18.7	26.4	
K M60 B FJ 5	415	9.54	9.46	8.39	22.6	29.0	荷重点材破断
K M60 B FJ 6	423	9.58	9.26	7.59	21.0	29.8	
K M60 B FJ 7	437	9.52	10.9	9.39	26.0	33.7	
K M60 B FJ 8	426	9.46	10.2	9.21	15.7	25.9	
K M60 B FJ 9	381	8.94	10.4	8.38	24.2	24.7	
K M60 B FJ 10	410	9.02	10.6	8.92	21.0	27.6	材破断40%
K M60 B FJ 11	403	9.63	9.02	7.59	19.1	27.4	目切れ5%
K M60 B FJ 12	450	8.97	10.4	9.44	32.1	33.3	
K M60 B FJ 13	462	11.3	10.5	9.36	19.6	34.0	
K M60 B FJ 14	465	8.77	9.43	8.34	19.8	30.2	
K M60 B FJ 15	418	8.97	11.2	9.55	19.3	26.2	
K M60 B FJ 16	433	8.77	6.46	4.17	3.31	4.22	FJ抜け
K M60 B FJ 17	471	9.34	9.32	8.39	21.6	37.5	
K M60 B FJ 18	408	9.08	11.4	9.97	21.3	32.2	
K M60 B FJ 19	473	8.73	11.1	9.14	25.8	26.2	
K M60 B FJ 20	422	9.19	8.91	7.41	16.2	21.0	
K M60 B FJ 21	420	9.76	9.95	8.17	16.6	27.0	目切れ5%
K M60 B FJ 22	412	8.60	9.24	7.91	20.7	27.7	
K M60 B FJ 23	390	8.46	9.24	8.15	24.9	27.3	
K M60 B FJ 24	417	9.03	10.3	9.04	15.7	22.6	
K M60 B FJ 25	458	10.6	10.3	8.74	21.8	31.2	
K M60 B FJ 26	433	8.71	9.58	7.77	19.3	25.2	
K M60 B FJ 27	451	9.47	10.7	9.37	24.3	37.4	
K M60 B FJ 28	404	9.70	10.8	8.91	21.8	30.4	
K M60 B FJ 29	471	9.19	9.61	8.19	19.1	28.0	
K M60 B FJ 30	442	8.82	10.8	9.08	24.8	35.3	
K M60 B FJ 31	440	9.02	11.2	8.95	27.2	36.4	
K M60 B FJ 32	418	8.99	11.0	9.10	26.7	26.7	
K M60 B FJ 33	438	9.22	8.33	7.30	19.5	31.7	
K M60 B FJ 34	392	9.30	9.85	8.01	21.5	34.7	

注：破壊形態について、FJ100%破断は空欄としている。

表 2.3.8.2-10 ACQ 処理 M30 FJ のフラットワイズ曲げ試験結果

試験体番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法	見かけの	比例限度	曲げ強度 (N/mm ²)	破壊形態
			ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	応力 (N/mm ²)		
K M30 B FJ 1	368	8.83	7.40	5.98	25.2	25.4	
K M30 B FJ 2	381	8.26	6.82	6.17	22.5	26.7	
K M30 B FJ 3	374	8.29	7.43	6.23	19.0	23.6	
K M30 B FJ 4	414	7.88	7.79	5.75	16.3	24.3	
K M30 B FJ 5	397	8.32	6.87	5.53	26.4	26.4	
K M30 B FJ 6	362	7.89	7.18	5.53	24.6	25.1	
K M30 B FJ 7	396	7.89	6.65	5.22	22.1	23.5	
K M30 B FJ 8	369	8.97	7.98	5.87	24.0	24.1	
K M30 B FJ 9	444	8.08	5.59	5.07	28.0	28.0	
K M30 B FJ 10	373	7.03	7.44	6.17	22.8	22.8	
K M30 B FJ 11	383	7.73	6.23	5.04	23.7	24.1	FJ以外,節ではない
K M30 B FJ 12	379	8.27	6.46	5.30	25.0	25.0	
K M30 B FJ 13	355	6.95	6.30	5.07	20.3	20.7	
K M30 B FJ 14	359	7.40	5.17	4.23	18.2	18.2	
K M30 B FJ 15	356	8.02	7.88	5.77	17.0	17.1	
K M30 B FJ 16	345	8.62	8.27	6.23	22.2	23.6	
K M30 B FJ 17	376	8.30	6.15	5.31	22.2	23.0	
K M30 B FJ 18	389	7.98	7.11	5.60	21.5	21.5	
K M30 B FJ 19	344	8.15	6.34	5.42	9.32	23.0	
K M30 B FJ 20	355	8.10	7.56	6.01	21.4	23.1	
K M30 B FJ 21	374	7.97	7.28	5.81	24.7	24.7	
K M30 B FJ 22	375	8.35	4.86	3.89	21.0	21.0	
K M30 B FJ 23	322	8.63	7.26	5.63	21.6	23.4	
K M30 B FJ 24	412	8.30	6.37	5.56	21.4	21.4	
K M30 B FJ 25	342	8.63	5.61	4.56	21.4	21.7	
K M30 B FJ 26	379	8.23	7.70	6.15	21.9	22.8	
K M30 B FJ 27	349	9.23	4.36	3.48	17.1	17.1	
K M30 B FJ 28	377	8.81	6.69	5.55	19.1	20.5	
K M30 B FJ 29	382	8.74	7.68	5.84	23.2	23.5	
K M30 B FJ 30	372	8.23	8.61	6.36	21.0	21.0	
K M30 B FJ 31	366	8.05	8.37	6.01	20.6	20.6	
K M30 B FJ 32	372	7.90	7.18	5.76	17.5	20.8	
K M30 B FJ 33	400	7.99	7.03	5.56	19.3	19.3	
K M30 B FJ 34	376	8.14	6.10	5.54	16.3	23.2	

注：破壊形態について、K-M30-B-FJ-11 を除くすべての試験体で FJ 部の材破断（割合は測定していない）である。

表 2.3.8.2-11 AAC 処理 M60 FJ のフラットワイズ曲げ試験結果

試験体番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法	見かけの	比例限度	曲げ強度 (N/mm ²)	破壊形態
			ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	応力 (N/mm ²)		
Z M60 B FJ 1	403	8.26	10.00	8.19	31.6	36.9	
Z M60 B FJ 2	390	9.31	9.59	7.76	31.8	36.0	
Z M60 B FJ 3	404	8.46	9.51	7.82	28.1	28.7	
Z M60 B FJ 4	446	7.54	12.3	9.22	36.1	40.7	
Z M60 B FJ 5	406	7.23	11.9	9.20	29.3	32.8	
Z M60 B FJ 6	399	7.48	9.77	7.79	28.1	31.1	
Z M60 B FJ 7	425	7.43	12.6	9.62	35.0	36.4	
Z M60 B FJ 8	412	8.31	8.95	7.65	26.1	32.9	
Z M60 B FJ 9	395	7.61	9.28	7.17	27.5	29.6	
Z M60 B FJ 10	378	7.84	9.52	7.76	23.2	23.2	
Z M60 B FJ 11	464	8.98	9.68	8.49	32.4	34.9	
Z M60 B FJ 12	445	9.86	10.8	9.12	27.4	36.3	
Z M60 B FJ 13	422	8.58	10.6	8.02	30.7	37.1	
Z M60 B FJ 14	412	7.79	12.0	9.49	32.0	37.8	
Z M60 B FJ 15	402	9.39	9.92	7.92	25.6	34.8	
Z M60 B FJ 16	448	8.82	11.8	9.88	33.9	39.0	
Z M60 B FJ 17	386	7.27	10.2	8.33	32.2	34.4	
Z M60 B FJ 18	419	7.72	9.75	8.34	27.8	34.7	
Z M60 B FJ 19	382	7.94	9.91	7.83	28.3	32.7	
Z M60 B FJ 20	412	7.98	10.1	8.01	33.2	37.5	
Z M60 B FJ 21	424	7.65	10.4	8.77	28.9	28.9	
Z M60 B FJ 22	418	7.88	9.73	7.56	26.6	33.1	
Z M60 B FJ 23	432	7.60	11.8	8.66	29.6	30.9	
Z M60 B FJ 24	440	8.00	11.1	8.88	25.1	35.7	
Z M60 B FJ 25	398	7.29	11.3	9.27	25.1	33.8	
Z M60 B FJ 26	432	7.14	10.0	8.75	26.8	28.5	
Z M60 B FJ 27	377	7.79	10.4	8.17	26.2	33.4	
Z M60 B FJ 28	423	7.59	8.68	7.16	29.2	34.9	
Z M60 B FJ 29	435	8.09	9.54	8.00	23.8	28.3	
Z M60 B FJ 30	375	8.38	9.21	7.58	28.4	30.1	
Z M60 B FJ 31	397	8.45	10.0	8.91	24.0	31.9	

注：破壊形態について、すべての試験体で FJ 部の材破断（割合は測定していない）である。

表 2.3.8.2-12 AAC 処理 M30 FJ のフラットワイズ曲げ試験結果

試験体番号	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦振動法	見かけの	比例限度	曲げ強度 (N/mm ²)	破壊形態
			ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	応力 (N/mm ²)		
Z M30 B FJ 1	364	7.83	8.71	7.13	12.5	26.6	
Z M30 B FJ 2	341	6.49	7.57	6.10	25.2	26.6	
Z M30 B FJ 3	332	6.96	6.12	4.97	14.7	15.9	
Z M30 B FJ 4	338	6.99	8.46	6.60	19.4	24.4	
Z M30 B FJ 5	395	8.12	7.81	6.17	14.4	17.6	
Z M30 B FJ 6	411	8.44	8.16	6.07	27.5	27.6	
Z M30 B FJ 7	390	8.19	6.83	5.82	27.5	27.6	
Z M30 B FJ 8	349	7.39	6.85	5.63	12.6	13.6	
Z M30 B FJ 9	377	7.03	8.54	6.94	27.0	28.8	
Z M30 B FJ 10	386	7.33	8.02	6.92	22.1	29.3	
Z M30 B FJ 11	440	8.39	7.31	5.31	19.6	28.1	
Z M30 B FJ 12	342	7.82	8.16	6.82	26.9	30.9	
Z M30 B FJ 13	410	7.08	7.37	5.76	27.3	28.8	
Z M30 B FJ 14	418	8.07	8.45	7.33	24.5	31.9	
Z M30 B FJ 15	334	8.16	6.36	6.00	19.3	23.2	
Z M30 B FJ 16	405	9.54	8.19	6.90	24.7	24.7	
Z M30 B FJ 17	373	8.04	7.98	5.97	20.9	24.3	
Z M30 B FJ 18	389	9.84	7.64	6.42	21.4	25.7	
Z M30 B FJ 19	411	10.0	7.25	6.26	21.1	27.3	
Z M30 B FJ 20	404	10.4	6.85	5.49	20.4	20.9	
Z M30 B FJ 21	482	11.0	8.17	6.14	24.8	25.6	
Z M30 B FJ 22	400	8.80	6.63	5.30	17.0	22.4	
Z M30 B FJ 23	393	8.14	7.85	6.37	23.9	28.9	
Z M30 B FJ 24	375	9.03	8.24	6.50	25.7	25.7	
Z M30 B FJ 25	411	9.16	8.78	6.35	23.9	28.3	
Z M30 B FJ 26	416	8.81	7.13	5.84	16.9	23.4	
Z M30 B FJ 27	406	9.52	7.47	5.96	19.2	21.5	
Z M30 B FJ 28	401	9.18	7.57	6.20	26.2	30.9	

注：破壊形態について、すべての試験体でFJ部の材破断（割合は測定していない）である。

2.3.8.3 FJ ラミナの縦圧縮試験

(1) 試験方法

縦圧縮試験に先立ち密度を測定した。試験体長さを断面短辺の 6 倍とした縦圧縮試験を行った。最大容量が 3000kN の圧縮試験機（前川試験機製作所製 A-300-B4）により荷重レンジを 300kN として、球座を有する加力ヘッドにより載荷した。最大荷重に達するまでの時間が約 1～2 分になるように荷重速度を調整した。試験終了後、最大荷重から縦圧縮強度を算出した。また、破壊後の試験体全体を用いて全乾法で含水率を測定した。

試験の様子を写真 2.3.8.3-1～2 に示す。



写真 2.3.8.3-1～2 FJ ラミナの縦圧縮試験の様子

(2) 結果

FJ ラミナの縦圧縮試験の結果の概要を表 2.3.8.3-1 に示すとともに、各グループの破壊形態の例を写真 2.3.8.3-3～8 に示す。無処理の試験体は FJ 部の先端が起点となって破壊したものが多く見られた（写真 2.3.8.3-3～4）。一部で節からの破壊もあった。ACQ 処理の試験体は無処理と同様の破壊もあったが、材縁部のインサイジング部分に沿った割れも見られた（写真 2.3.8.3-5）。上下端部での潰れ（写真 2.3.8.3-6）も他のグループに比べて多い傾向にあった。AAC 処理の破壊は大部分が FJ 部の先端からであったが、一部でインサイジングに沿った破壊も見られた（写真 2.3.8.3-7～8）。

表 2.3.8.3-1 FJ ラミナの縦圧縮試験の結果の概要

試験体概要		密度	含水率	縦圧縮強度
		(kg/m ³)	(%)	(N/mm ²)
処理区分：無処理	試験体数	33	33	33
保存処理材：なし	平均値	418	9.87	42.6
インサイジング：なし	最小値	372	9.18	36.2
記号：N	最大値	485	11.7	48.0
等級：M60	標準偏差	27.4	0.599	2.95
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	6.57	6.07	6.93
処理区分：無処理	試験体数	34	34	34
保存処理材：なし	平均値	389	9.40	36.6
インサイジング：なし	最小値	318	8.78	31.4
記号：N	最大値	450	11.4	40.8
等級：M30	標準偏差	32.0	0.555	2.52
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	8.24	5.91	6.90
処理区分：ラミナ処理	試験体数	33	33	33
保存処理材：ACQ	平均値	432	9.61	40.0
インサイジング：あり	最小値	376	9.00	31.0
記号：K	最大値	487	10.3	44.6
等級：M60	標準偏差	22.7	0.340	2.77
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	5.26	3.54	6.93
処理区分：ラミナ処理	試験体数	34	34	34
保存処理材：ACQ	平均値	397	9.19	32.3
インサイジング：あり	最小値	336	8.59	20.1
記号：K	最大値	441	9.55	38.2
等級：M30	標準偏差	21.7	0.191	3.44
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	5.47	2.08	10.6
処理区分：ラミナ処理	試験体数	30	30	30
保存処理材：AAC	平均値	422	9.29	39.4
インサイジング：あり	最小値	371	8.82	19.8
記号：Z	最大値	470	9.97	49.4
等級：M60	標準偏差	24.6	0.304	5.32
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	5.82	3.27	13.5
処理区分：ラミナ処理	試験体数	28	28	28
保存処理材：AAC	平均値	404	9.81	32.5
インサイジング：あり	最小値	338	9.06	14.2
記号：Z	最大値	512	11.2	38.8
等級：M30	標準偏差	38.3	0.588	5.64
たて継ぎ：FJ	変動係数(%)	9.48	5.99	17.3



写真 2. 3. 8. 3-3 無処理 M60 の破壊形態の例



写真 2. 3. 8. 3-4 無処理 M30 の破壊形態の例



写真 2. 3. 8. 3-5 ACQ 処理 M60 の破壊形態の例



写真 2. 3. 8. 3-6 ACQ 処理 M30 の破壊形態の例

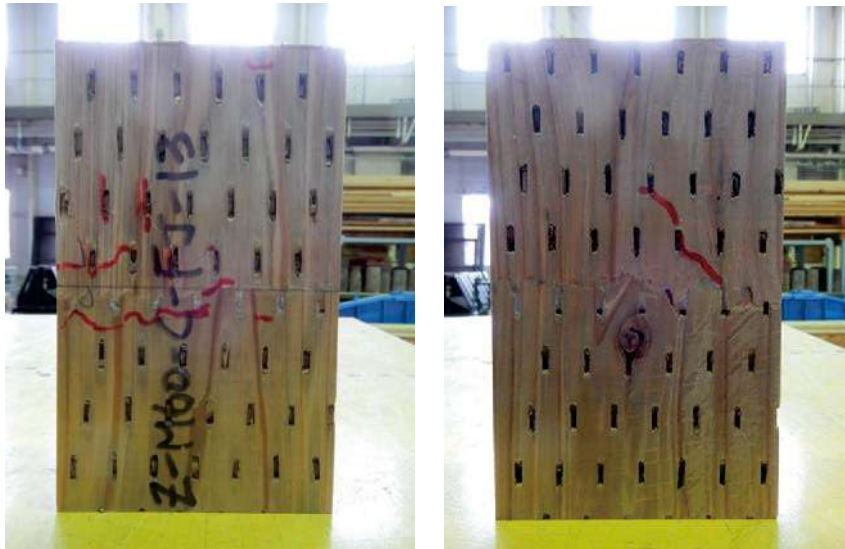


写真 2.3.8.3-7 AAC 処理 M60 の破壊形態の例 写真 2.3.8.3-8 AAC 処理 M30 の破壊形態の例

縦圧縮強度の平均値および5%下限値を表 2.3.8.3-2 に示す。ACQ 処理 M30、AAC 処理 M60、AAC 処理 M30 でやや他の試験体と比べて縦圧縮強度が低いものがあり、順位法による下限値が正規分布によるそれよりも小さくなっている。

表 2.3.8.3-2 縦圧縮強度の平均値および5%下限値 (単位: N/mm²)

等級		無処理	ACQ 処理	AAC 処理
M60	平均値	42.6	40.0	39.4
	下限値	Non:36.3, Nor:37.2	Non:31.9, Nor:34.8	Non:20.6, Nor:29.5
M30	平均値	36.6	32.3	32.5
	下限値	Non:31.5, Nor:31.9	Non:21.9, Nor:25.9	Non:14.2, Nor:21.9

注：下限値について、順位法 (Non) は ASTM D2915 に基づいた信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値、正規分布 (Nor) は ASTM D2915 に基づいた信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値である。

t 検定により各物性値を無処理と保存処理とで比較したものを表 2.3.8.3-3 に示す。有意水準 5% で有意差があったもののみ *p* 値を示した。また、図 2.3.8.3-1~2 には、等級ごとに縦圧縮強度における無処理と各保存処理との平均値の比較をグラフ形式で示した。密度では無処理 M60 と ACQ 処理 M60 との間に有意差が認められた。含水率では無処理 M30 と ACQ 処理 M30 以外で有意差が認められた。縦圧縮強度ではすべてのグループにおいて無処理と両保存処理との間に有意差が認められた。

表 2.3.8.3-3 t 検定による無処理と保存処理との比較
(有意水準 5%で有意差があったもののみ p 値を示す)

処理区分	等級	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	縦圧縮強度 (N/mm ²)
ACQ処理	M60	0.0254	0.0166	0.0049
	M30			<0.0001
AAC処理	M60	0.0010	0.0010	0.0012
	M30			0.0004

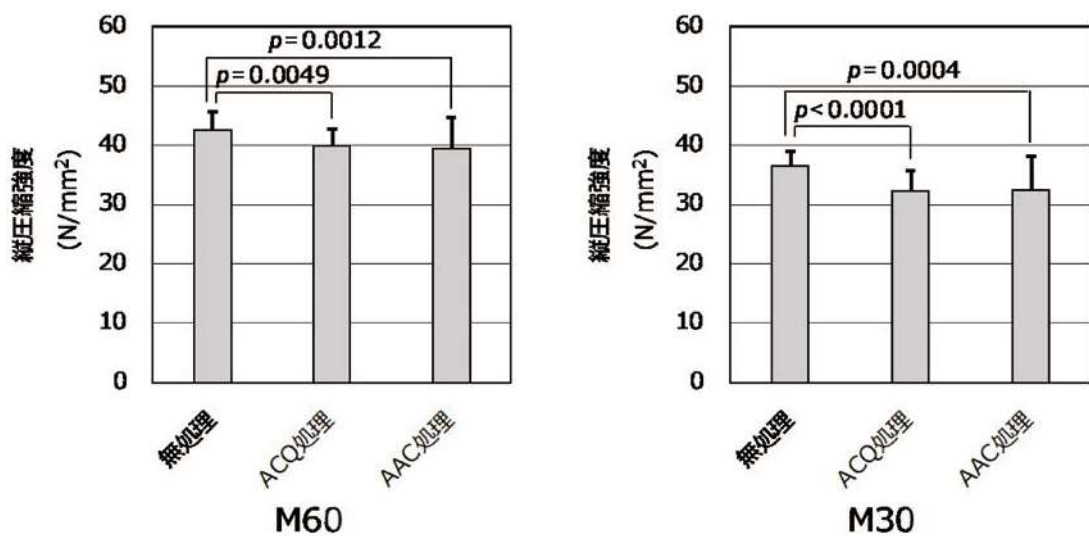


図 2.3.8.3-1~2 無処理と各保存処理との縦圧縮強度の平均値の比較

得られたラミナの縦振動法のヤング係数と縦圧縮強度を用いて、直交集成板の JAS に応じた基準強度の算出で用いられる等価断面法により、CLT の圧縮強度を推定した。推定式への入力には実測した平均値を用いた。ただし、縦圧縮試験体では縦振動法のヤング係数は測定していないため、ヤング係数には縦引張試験での値を用いた。入力値を表 2.3.8.3-4 に示すとともに、推定値と実測値との比較を表 2.3.8.3-5 に示す。圧縮強度の実測値/推定値は 1.021~1.051 であり、推定値と実測値は概ね一致していた。

表 2.3.8.3-4 等価断面法での実測による入力値 (平均値)

	外層平行層 縦振動法ヤング係数 M60 (kN/mm ²)	内層平行層 縦振動法ヤング係数 M30 (kN/mm ²)	直交層 ヤング係数 (kN/mm ²)	外層 縦圧縮強度 M60 (N/mm ²)
無処理	10.3	7.62	0	42.6
ACQ 処理	10.6	7.17	0	40.0
AAC 処理	10.4	7.46	0	39.4