

令和3年度林野庁補正予算事業

令和3年度 木材製品の消費拡大対策のうち
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

保存処理条件を考慮した直交集成板 (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5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を良好な状態に維持するとともに、これにより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、建築各部位の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、用途的には事務所、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が図られつつある。また、建築物への利用形態としては、純木造として CLT のみで構成する構法のほかに軸材や枠組壁に CLT の耐震壁、間仕切り壁を接合して構造体を構成する方法や、RC 造や S 造と組み合わせる複合構法とする方法も出現するなど、多岐にわたっている。規模的には CLT が試験的に使われはじめた当初こそ低層、小規模構造物が主流だったものの、現在は床面積が 500 m² を超え、また階数も 4 を超えるような中高層・中大規模建築物も建てられるようになってきた。

翻って CLT を用いた建築物の性能的な検証状況について見てみると、構造・防耐火・遮音に関する性能検証は既にかなり進んでいるものの、耐久性に関する技術的な手法が確立されているとは、いまだ十分には言えないのが実情である。

現状における CLT 建築物の耐久性確保策は、多くの場合、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、パラペット回り、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、国の報告書¹⁾にもあるとおり、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、表面処理による木材保存薬剤の有効耐用年数は 5 年前後であり、数十年にわたって劣化防止効果をもつものではなく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、より信頼性の高い保存処理法としての加圧注入処理が求められており、設計者がそのような処理をした CLT を構造用材料として採用しやすいように、その日本農林規格化が求められている。

そこで当事業委員会では、加圧注入処理をした CLT の日本農林規格化に必要な資料を収集・整備することを主目的として調査、研究を実施した。本書はその結果の報告である。また本事業委員会では、一昨年度から様々な劣化環境下における各種保存処理 CLT の耐久性及び構法的劣化対策が破綻した場合の 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してきた。これらの結果についても合わせて記載している。これにより CLT の

より信頼性の高い保存処理の必要性を理解していただければ幸甚である。

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。

1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究、2017.7

令和5年2月

保存処理条件を考慮した直交集成板（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および場所	4
1.5 本事業の成果報告書執筆者	4

第2章 保存処理条件の異なるCLTの製造技術の開発と性能評価

2.1 目的および試験計画の概要	5
2.1.1 目的	5
2.1.2 試験概要	5
2.2 製品処理試験の概要および試験方法	8
2.2.1 ラミナ試験	8
2.2.2 小ブロック試験	42
2.2.3 実大パネル試験	72
2.2.4 製品処理試験のまとめ	106
2.3 ラミナ処理試験	107
2.3.1 試験体製造の概要	107
2.3.2 ラミナ注入	109
2.3.3 強度性能	114
2.3.4 保存処理CLTの接合性能	165
2.3.5 ラミナ処理CLTの分析	180
2.3.6 ラミナ処理CLTのまとめ	184
2.4 まとめ	185

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	187
3.1.1 曲げ試験	187
3.1.2 曲げB試験	187
3.1.3 曲げC試験 もしくは 引張試験	188

3.1.4	せん断試験	188
3.1.5	接着試験	188
3.1.6	寸法	188
3.1.7	含水率	188
3.1.8	浸潤度	189
3.1.9	吸収量	189
3.1.10	まとめ	189

第4章 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐候性要求性能把握

4.1	気象条件、質量、色差、外観について	191
4.1.1	目的	191
4.1.2	方法	191
4.1.3	結果と考察	196
4.2	ひび割れについて	253
4.2.1	目的および経過報告	253
4.2.2	試験体および試験方法	253
4.2.3	結果と考察	255

第5章 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐久性要求性能把握

5.1	目的	277
5.2	方針	277
5.3	方法	278
5.3.1	幅はぎ無処理TLユニット直立曝露試験（継続）	278
5.3.2	幅はぎ・積層接着した無処理TLユニット直立曝露試験	280
5.3.3	保存処理TLユニット直立曝露試験（継続）	281
5.4	結果	283
5.4.1	無処理幅はぎTLユニット直立曝露試験結果（継続）	283
5.4.2	幅はぎ・積層接着した無処理TLユニット直立曝露試験の結果	287
5.4.3	保存処理TLユニット直立曝露試験の結果	288
5.5	まとめ	291
6	引用文献	291

第6章 CLT等を用いた実使用建物の調査

6.1	はじめに	293
6.2	建物A：九州地区独法関係 実験棟	293

6.2.1	概要と特徴	293
6.2.2	建物の仕様	293
6.2.3	設計・施工・部材調達上のポイント	294
6.2.4	2017年10月～2018年3月における施工中の建物の状況	295
6.2.5	2018年5月竣工時と最近2022年11月の建物状況	297
6.3	建物B：九州地区学校関係 管理棟	299
6.3.1	概要と特徴	299
6.3.2	建物の仕様	299
6.3.3	設計・施工・部材調達上のポイント	300
6.3.4	2013年12月時点における建物使用者へのヒアリング	301
6.3.5	2022年11月における建物の状況	303
6.4	まとめ	306
	【投稿原稿】強度試験用保存処理CLTの製造条件	
	引用 木材学会202203 建築学会202209	308

第7章 結論と今後の課題

7.1	保存処理条件の異なるCLTの製造技術の開発と性能評価（第2章）	311
7.2	保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質基準案の作成（第3章）	311
7.3	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）	312
7.4	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）	313
7.5	CLT等を用いた実使用建物の調査（第6章）	313

第1章 本事業の概要

1.1 事業目的

我が国の林業、木材業界においては、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の促進法が施行、令和3年10月にはこれを広く民間施設へ適用拡大した「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する材料であることから、建築物の各部の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耐防火・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。

日本木材防腐工業組合では、現在のCLT建物に耐久性を付与する手法の検証や維持管理のためのシステム作りが遅れていることを指摘し、これ等を解決するためにはCLTの耐空性向上が必要であると提案した。そして、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事及び壁体の層間浸水による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・整備に取り組んできた。その結果、CLTがこれまでにない寸法の木質材料である事、また要求される保存性能が多様であると考えられることから、それらに対応した保存処理技術を確立するとともに、その性能を保証するために必要となる品質検査項目に対して、その評価方法と評価基準を検討する必要があるとの結論に至った。

そこで、本事業では1)保存処理条件の異なるCLTの製造技術の開発と性能評価、2)保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質基準案の作成、3)使用環境に対応したCLTの保存処理への耐候性要求性能把握、4)使用環境に対応したCLT保存処理耐久性要求性能把握を行って、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している。

1.2 事業の実施内容

本事業は事業内容として下記の①～⑤につき検討を行う。

- (1) 保存処理条件の異なるCLTの製造技術の開発と性能評価
- (2) 保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質基準案の作成
- (3) 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐候性要求把握
- (4) 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐久性要求把握
- (5) CLT建物の調査報告について

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「保存処理条件を考慮した直交集成板（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の下、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 名誉教授
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 木材製品課 専門研究員
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 研究専門員
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 森林研究・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 山内 一浩	独立行政法人 農林水産消費安全技術センター 規格調査部 規格調査課 専門調査官
委員 中川 美幸	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材改質領域 積層接着研究室 研究員

委員 山口 秋生	越井木材工業株式会社 技術開発室 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 統轄（組合技術副委員長）
委員 角谷 俊和	兼松サステック株式会社 木材・住建事業部 開発部 開発研究課 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（組合技術副委員長）
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（組合員）
オブザーバー 高木 望	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品調査班 課長補佐
オブザーバー 福島 純	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 課長補佐
オブザーバー 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・協力者】

（敬称略・順不同）

企業社（者）名他	協力内容
株式会社サイプレス・スナダヤ	CLT（マザーボード）の製造及び切り出し作業一式
森林総合研究所	CLT の材料強度及び接合性能試験 CLT ブロック材の暴露試験による劣化評価
株式会社 ハセベ	CLT の接合部製造及び加工
大日本木材防腐株式会社	CUAZ による防腐処理 お試シラミナー（CUAZ）関係の注入処理及びデータ収集
越井木材工業株式会社	お試シラミナー（ACQ）関係の注入処理及びデータ収集
株式会社 ザイエンス	お試シラミナー（AAC）関係の注入処理及びデータ収集

兼松サステック株式会社	お試シラミナー（AZN）関係の注入処理及びデータ収集
ものづくり大学	CLTブロック材の暴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（トリプルレイヤー試験）

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4年6月

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5年2月1日（火）13：30～15：30

開催場所：会議するならビル会議室6階及びウェブ会議

- ・現地検討委員会

株式会社サイプレス・スナダヤ本社訪問（令和4年10月24日-25日）

大日本木材防腐株式会社・本社訪問（令和5年10月15日）

- ・CLT建築物調査（令和4年10月24日-25日）

森林総合研究所熊本支所, 熊本県立球磨工業高校管理棟, 熊本県林業研究・研修センター

- ・その他分科会を4回対面式及びウェブ会議にて実施した。

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	宮武 敦 角谷 俊和（兼松サステック株式会社） 森田 珠生（越井木材工業株式会社） 茂山 知己（株式会社ザイエンス） 赤堀 裕一（大日本木材防腐株式会社）
第3章	宮武 敦
第4章	石川 敦子、小野 泰
第5章	栗崎 宏
第6章	新藤 健太
第7章	中島 正夫

第2章 保存処理条件の異なるCLTの製造技術の開発と性能評価

2.1 目的および試験計画の概要

2.1.1 目的

直交集成板の日本農林規格でCLTに求められる各種品質データ及びJAS製品に与えられるCLT各種基準強度について、保存処理CLTを対象にデータ収集を行った。

昨年度は、保存薬剤の浸潤度が「製品の中央において断面積の80%以上になること」を目標として、AZNによる乾式での「製品処理（CLTパネルに保存薬剤を注入する方法）」とAAC-1およびACQによる「ラミナ処理（保存薬剤を注入したラミナを用いる方法）」による方法で保存処理CLTを試作し、その製造条件と品質、強度性能及び接合性能との関連について検討した。その結果、いずれの方法で製造してもCLTの基準強度は告示式で推定できること、また、接合強度（スプライン接合、引きボルト接合）は低下しないことが明らかになった。しかしながら、製品処理に関しては、一部に寸法精度やJASに定める全乾法で測定した含水率が基準を満たさない事例が観察された。また、ラミナ処理に関してはCUAZのデータが収集できなかったこと、ラミナへのインサイジング処理の影響については明らかにできなかったことが課題として残った。

ここで、改めて昨年度事業で目標とした「製品の中央にまで一定レベルの薬剤注入を実現する」ことについて、果たしてそこまでの耐久性上の品質が必要になるかどうかを考察する。中高層建築にCLTを用いた場合、一定の防水や結露に対する対策を行うと想定されることから、少なくとも常時湿潤になるような環境下で使用されることを想定する必要はないと考えられる。一方、中高層建築物向けの防水対策や結露対策について十分な知見があるわけではないことから、これらが十分に機能しなかった場合に対応できるようにCLTの耐久性を一般的な木質材料より高めておく必要があるとも考えられる。その場合、まずは最初に水分と接触するCLTの表面、特に4面に現れる木口面、そしてそこに存在する辺材部の耐久性を薬剤注入で向上させる必要があると考えられる。

そこで、今年度は「製品処理」については油溶性に加えて水溶性薬剤も対象として、薬剤の加圧注入条件と浸潤度並びに寸法精度、含水率等の品質との関係を明らかにすることを目的とした。また、「ラミナ処理」については、CUAZの加圧注入処理ラミナの使用及びインサイジング処理の有無がCLTの強度及び接合性能に与える影響を明らかにすることを目的とした。

2.1.2 試験概要

今年度事業で実施した試験および試験体製造の概要を図2.1-1に示す。

昨年度と同様に試験に用いる原料には寸法34mm×118mm×4mのスギラミナを用いた。必要となる約2900枚のラミナを連続式グレーディングマシンで測定した曲げヤング係数に基づいて、内層用は2.5以上8kN/mm²未満、外層用は8kN/mm²以上で区分して用いた。昨年度用いたラミナの曲げヤング係数の分布との違いを図2.1.2-2に、また、外層用、内層用に区分されたラミナの曲げヤング係数の統計値を表2.1.2-1に示す。

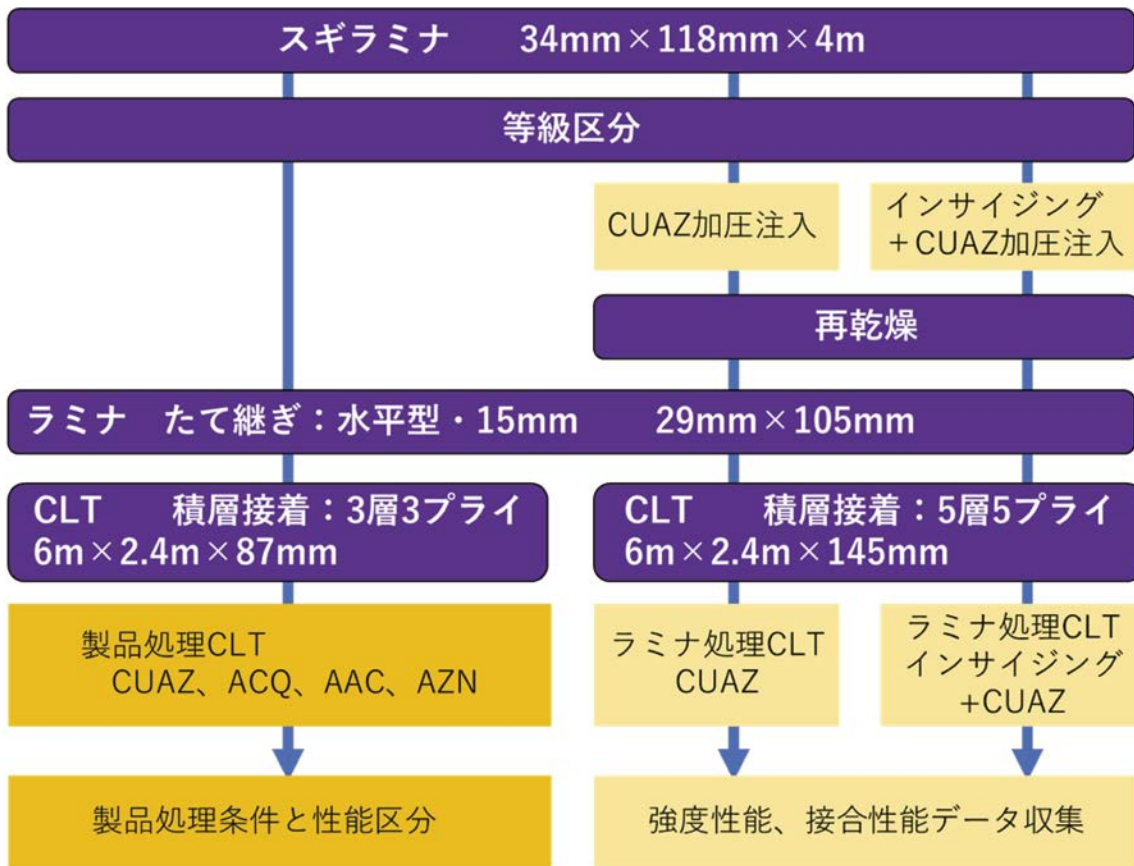


図 2. 1. 2-1 試験の概要

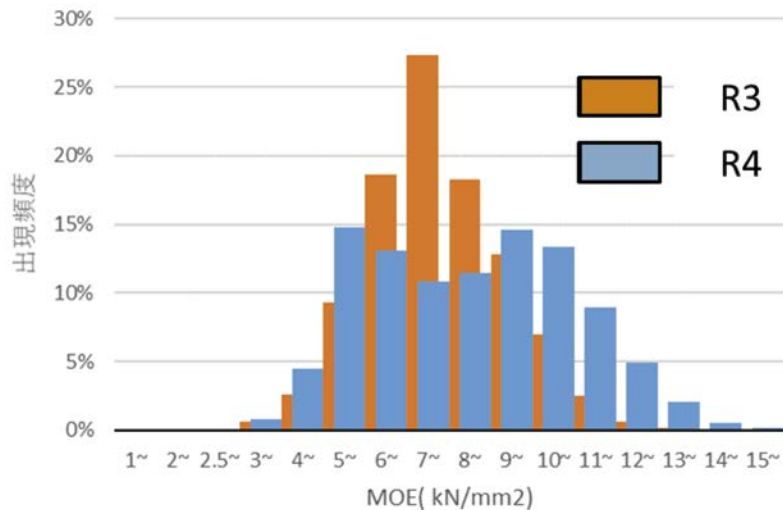


図 2. 1. 2-2 スギラミナの曲げヤング係数分布

表 2.1.2-1 外層用、内層用ラミナの曲げヤング係数の統計値

	全体	内層用	外層用
平均値	8.50	6.18	10.31
最小値	2.77	2.77	8.00
最大値	15.87	7.99	15.87
標準偏差	2.42	1.00	1.45
変動係数	28.4%	16.2%	14.1%
枚数	2863	1257	1606

「製品処理」関連の試験に用いるCLTは3層3プライ、「ラミナ処理」関連の試験に用いるCLTは5層5プライとした。CLT製造に用いるラミナは2mに裁断後フィンガージョイントにより所定の長さにてたて継ぎし、断面29mm×105mmに仕上げた後、積層接着した。用いた接着剤はたて継ぎ用はメラミン樹脂、積層用はレゾルシノール・フェノール樹脂で、いずれも使用環境Aに対応したものである。

試験体製造時のフローと実施場所について図 2.1.2-3 に示す。

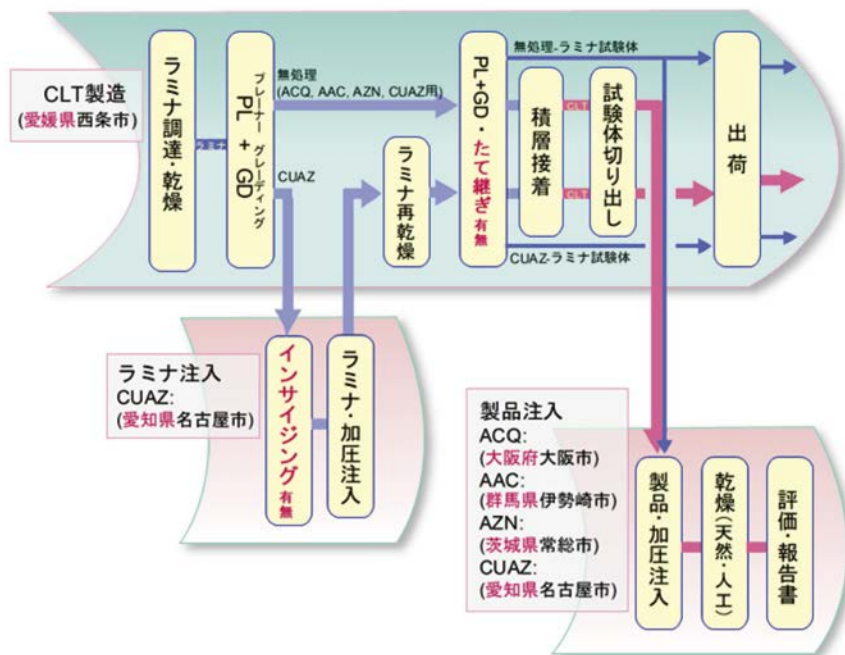


図 2.1.2-3 試験体製造時のフロー図

2.2 製品処理試験の概要および試験方法

製品処理 CLT の仕上がり含水率と寸法精度に着目した保存薬剤の適正な注入条件の導出を目的とした。まずスギラミナ (29mm×105mm×500mm) を用いて各種注入条件と浸潤度、乾燥過程、寸法精度の関係を明らかにした (2.2.1 参照)。その結果を受けて CLT の小ブロック (3層3プライ、87mm×203mm×300mm) を用いた注入試験を行った (2.2.2 参照)。これらの結果に基づいて注入条件を決定し、実大パネル (3層3プライ、87mm×0.9m×3m) を用いて保存処理 CLT を試作した (2.2.3 節参照)。保存薬剤には油溶性の AZN と水溶性の ACQ、AAC、CUAZ を用いた。

2.2.1 ラミナ試験

2.2.1.1 試験法

1) 目的 含水率や寸法精度に関する要求水準を満足するための適正な注入条件を把握するために、ラミナを用いて注入条件と注入量・浸潤度の関係を把握する。

2) 試験体 外層用、内層用に区分した 4m 長のスギラミナを各 120 枚抽出し、断面を 29mm×105mm に調整した。これらを 2m 長に裁断し 4 種類の薬剤毎に外層用、内層用各 60 枚を配分した。材質の偏りの影響を排除するために、2m ラミナの密度および 4 つの心材パターンによる心材率 (図 2.2.1.1-1) を測定した。そして、密度 (低、中、高) と 4 つの心材率を組み合わせることで 10 の品質に区分した。各品質から 1 本、計 10 本抽出した 2m ラミナを 500mm 長さに裁断し、注入試験に用いた。試験にあたっては木口の 1 面をシールした。注入後は、70℃、風量一定の乾燥機中で乾燥し、定期的に重量を測定し注入前重量になるまで乾燥した。

3) 注入条件 通常の減圧+加圧のほか、減圧のみ、加圧のみも対象として、圧力、処理時間等を任意に組み合わせた 3 種類程度を設定した。

4) 試験に関わる測定・評価項目

- ・注入前：ラミナの寸法、重量 (密度)、図 2.2.1.1-1 に基づく心材率
- ・注入後：重量 (注入量)
- ・乾燥中：乾燥期間中の重量変化
- ・乾燥後：木口面から 10mm、50mm、490mm における絶乾法による含水率、寸法、浸潤度の記録写真

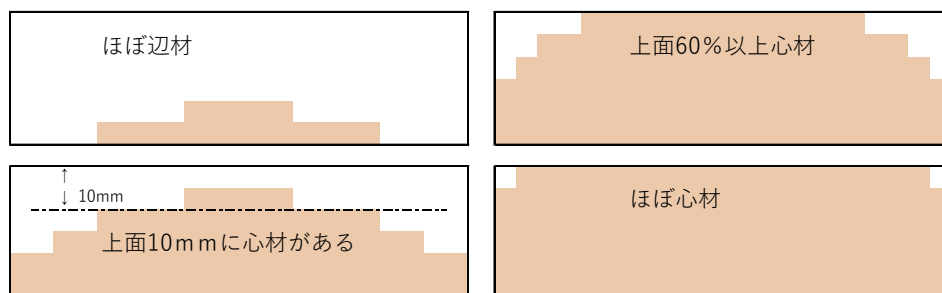


図 2.2.1.1-1 心材パターンによる心材率の評価
(左上：a、左下：b、右上：c、右下：d)

2.2.1.2 結果 乾式：AZN

兼松サステック株式会社において、AZNを用いて、試験注薬缶で実施したラミナ試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

各注入処理条件で使用した試験体概要を表 2.2.1.2-1 に示す。密度及び心材パターン（図 2.2.1.1-1 参照）は、試験材入荷時の 2m のラミナの状態で測定した。分類した試験材を切り分け、試験に供試した。

表 2.2.1.2-1 試験体概要

番号	用途	密度 (kg/m ³)	心材パターン
38	内層	335.1	d, d
17	内層	368.5	d, d
25	内層	392.9	d, d
22	内層	396.8	d, d
1	内層	421.2	d, d
66	外層	425.0	d, d
75	外層	482.8	d, d
62	外層	437.9	c, d
71	外層	493.1	c, d
64	外層	427.6	b, d
101	外層	495.6	b, d

2) 注入条件と注入量

AZN の注入は表 2.2.1.2-2 の条件で行った。なお、減圧時間、加圧時間は設定圧力に到達してからの時間、薬剤浸漬時間は注薬缶内への薬剤充填が完了してからの時間とした。

- ・条件 1 減圧 (0.008MPa-30 分) → 薬液導入 → 加圧 (0.5MPa-60 分)
- ・条件 2 減圧 (0.008MPa-30 分) → 薬液導入 → 薬剤浸漬 (30 分)
- ・条件 3 減圧 (0.056MPa-0 分) → 薬液導入 → 加圧 (1.0MPa-2 分)

AZN の注入量は表 2.2.1.2-3 となった。同条件での注入において外層用と内層用とで注入量に差が生じていた。

表 2.2.1.2-2 注入条件

条件	減圧 (MPa)	時間 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)
1	0.008	30	0.5	60
2	0.008	30	-	30
3	0.056	-	1.0	2

表 2.2.1.2-3 注入量

条件	用途	注入量 (ℓ/m ³)			
		平均	最大	最小	標準偏差
1	全体	569	659	451	79
	内層	643	659	631	12
	外層	520	627	451	63
2	全体	124	359	23	99
	内層	201	359	142	106
	外層	73	180	23	56
3	全体	269	388	161	77
	内層	345	388	287	46
	外層	218	271	161	41

3) 乾燥条件

通常、AZN 乾式注入においては高周波を用いた溶媒回収工程があるため、注入後の乾燥は不要である。しかし、サイズの小さい試験材用の注薬装置では溶媒回収が行えないことから、風通しの良い場所に試験材を静置し、溶媒を揮発させることとした。

試験材の溶媒残存率が 10%未満となったものから、含水率及び寸法の測定を実施した。

4) 含水率

ラミナ試験材の未シーリング側の木口から 10mm、50mm、490mm 部分の全乾含水率を表 2.2.1.2-4 に示す。ただし、AZN の注入には水と比重の異なる溶媒を用いているため、正確な含水率を計測できているわけではない。

表 2.2.1.2-4 養生後の全乾含水率

条件	用途	測定場所	全乾含水率 (%)			
			平均	最大	最小	標準偏差
1	全体	10 mm	14.9	18.1	12.6	2.0
		50 mm	14.2	17.3	12.5	1.6
		490 mm	13.7	18.8	11.6	2.1
	内層	10 mm	13.5	13.8	13.0	0.3
		50 mm	12.9	13.1	12.5	0.3
		490 mm	12.6	13.6	11.6	0.8
	外層	10 mm	15.8	18.1	12.6	2.2
		50 mm	15.0	17.3	13.7	1.6
		490 mm	14.5	18.8	12.0	2.4
2	全体	10 mm	10.7	12.1	9.7	0.7
		50 mm	10.9	12.4	9.8	0.8
		490 mm	10.8	13.1	9.6	1.2
	内層	10 mm	10.7	11.2	10.5	0.3
		50 mm	10.9	11.2	10.7	0.2
		490 mm	10.4	10.9	9.9	0.4
	外層	10 mm	10.6	12.1	9.7	0.9
		50 mm	10.9	12.4	9.8	1.0
		490 mm	11.1	13.1	9.6	1.5
3	全体	10 mm	13.3	18.0	11.1	2.0
		50 mm	12.2	15.2	11.1	1.3
		490 mm	12.6	16.4	11.1	1.5
	内層	10 mm	12.5	13.5	11.6	0.8
		50 mm	11.6	11.9	11.3	0.3
		490 mm	11.9	12.3	11.2	0.5
	外層	10 mm	13.7	18.0	11.1	2.5
		50 mm	12.7	15.2	11.1	1.6
		490 mm	13.2	16.4	11.1	1.8

5) 寸法変化

寸法変化量のうち幅を表 2.2.1.2-5 に、厚さを表 2.2.1.2-6 に示す。

表 2.2.1.2-5 注入前と養生後の寸法変化量 (幅)

条件	用途	測定場所	幅 (mm)			
			平均	最大	最小	標準偏差
1	全体	木口	0.8	1.4	0.4	0.3
		中央	0.9	1.5	0.5	0.3
		シール側	0.8	1.1	0.4	0.2
	内層	木口	0.8	0.9	0.7	0.1
		中央	0.7	1.1	0.5	0.3
		シール側	0.8	1.1	0.4	0.3
	外層	木口	0.8	1.4	0.4	0.3
		中央	1.0	1.5	0.5	0.3
		シール側	0.8	1.1	0.4	0.2
2	全体	木口	0.1	0.4	-0.2	0.2
		中央	0.1	0.6	-0.2	0.2
		シール側	0.0	0.3	-0.2	0.1
	内層	木口	0.1	0.3	0.0	0.1
		中央	0.2	0.6	0.1	0.2
		シール側	0.1	0.3	-0.1	0.2
	外層	木口	0.1	0.4	-0.2	0.2
		中央	0.0	0.2	-0.2	0.1
		シール側	0.0	0.2	-0.2	0.1
3	全体	木口	0.2	0.5	-0.3	0.3
		中央	0.3	0.8	0.0	0.3
		シール側	0.1	0.5	-0.1	0.2
	内層	木口	0.0	0.1	-0.3	0.2
		中央	0.2	0.2	0.1	0.0
		シール側	0.1	0.2	-0.1	0.1
	外層	木口	0.3	0.5	0.1	0.2
		中央	0.4	0.8	0.0	0.3
		シール側	0.2	0.5	0.0	0.2

表 2.2.1.2-6 注入前と養生後の寸法変化量（厚さ）

条件	用途	測定場所	厚さ (mm)			
			平均	最大	最小	標準偏差
1	全体	木口	0.2	0.3	0.1	0.1
		中央	0.3	0.4	0.1	0.1
		シール側	0.2	0.4	0.1	0.1
	内層	木口	0.2	0.3	0.1	0.1
		中央	0.2	0.4	0.1	0.1
		シール側	0.3	0.4	0.2	0.1
	外層	木口	0.2	0.3	0.1	0.0
		中央	0.3	0.4	0.1	0.1
		シール側	0.2	0.4	0.1	0.1
2	全体	木口	0.0	0.1	-0.2	0.1
		中央	0.1	0.2	-0.1	0.1
		シール側	0.0	0.2	-0.2	0.1
	内層	木口	0.0	0.1	0.0	0.1
		中央	0.0	0.1	-0.1	0.1
		シール側	0.0	0.2	-0.2	0.2
	外層	木口	0.0	0.1	-0.2	0.1
		中央	0.1	0.2	0.0	0.1
		シール側	0.0	0.2	-0.1	0.1
3	全体	木口	0.2	0.8	0.0	0.2
		中央	0.1	0.2	0.1	0.0
		シール側	0.1	0.2	-0.1	0.1
	内層	木口	0.1	0.2	0.1	0.0
		中央	0.1	0.2	0.1	0.0
		シール側	0.1	0.2	0.0	0.0
	外層	木口	0.2	0.5	0.0	0.3
		中央	0.1	0.2	0.1	0.0
		シール側	0.1	0.2	-0.1	0.1

6) 浸潤度

条件 1～3 の各ラミナの未シーリングの木口から 10mm、50mm、490 mm 部分で切り出し、切断面に呈色剤を噴霧し浸潤度を確認した（薬剤の浸潤部位は赤色に呈色されている）。

浸潤度写真を図 2. 2. 1. 2-1～図 2. 2. 1. 2-3 に示す。

番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 490 mm
38-1			
17-1			
25-1			
1-1			
66-1			
75-1			
62-1			
71-1			
64-1			
101-1			

図 2. 2. 1. 2-1 条件 1 浸潤度写真



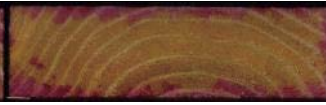



























番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 490 mm
38-2			
17-2			
25-2			
1-2			
66-2			
75-2			
62-2			
71-2			
64-2			
101-2			

図 2.2.1.2-2 条件 2 浸潤度写真



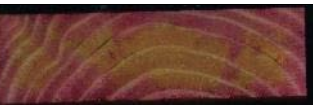



























番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 490 mm
38-3			
17-3			
22-3			
1-3			
66-3			
75-3			
62-3			
71-3			
64-3			
101-3			

図 2.2.1.2-3 条件 3 浸潤度写真

2.2.1.3 結果 湿式：ACQ

越井木材工業株式会社において、ACQを用いて、試験注薬缶で実施したラミナ試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

各注入処理条件で使用した試験体概要を表 2.2.1.3-1～2.2.1.3-3 に示す。密度は、試験材入荷時の 2 mのラミナの状態で測定した重量から算出したものとした。また、心材パターンは図 2.2.1.1-1 による評価である。

表 2.2.1.3-1 条件1 試験体概要

番号	用途	密度 (kg/m ³)	心材パターン
49-1	内層	326	d
29-1	内層	367	d
47-1	内層	401	d
37-1	内層	449	d
80-1	外層	439	d
98-1	外層	501	d
100-1	外層	460	c
96-1	外層	460	b
76-1	外層	503	b
110-1	外層	437	a

表 2.2.1.3-2 条件2 試験体概要

番号	用途	密度 (kg/m ³)	心材パターン
49-2	内層	326	d
29-2	内層	367	d
47-2	内層	401	d
37-2	内層	449	d
80-2	外層	439	d
98-2	外層	501	d
77-1	外層	460	c
96-2	外層	460	b
76-2	外層	503	b
110-2	外層	437	b

表 2.2.1.3-3 条件 3 試験体概要

番号	用途	密度 (kg/m ³)	心材パターン
3-1	内層	329	d
51-2	内層	367	d
50-1	内層	401	d
27-3	内層	429	d
87-1	外層	434	d
95-2	外層	514	d
101-1	外層	480	c
84-2	外層	508	c
63-1	外層	460	b
88-2	外層	490	a

2) 注入条件と注入量

注入条件を表 2.2.1.3-4 に、各条件での注入量を表 2.2.1.3-5 に示す。なお、減圧時間、加圧時間は設定圧力に達してからの時間とした。

減圧のみの条件 1、2 の注入量は、減圧加圧条件の条件 3 より大幅に減少した。また、減圧時間の延長による注入量の増加はなかった。

表 2.2.1.3-4 注入条件

条件	減圧 (MPa)	時間 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)
1	0.08	30	-	-
2	0.08	180	-	-
3	0.08	15	1.2	5

表 2.2.1.3-5 注入量

条件	注入量 (kg/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	141	220	23	72
2	102	157	31	40
3	484	685	281	128

3) 乾燥条件と乾燥時間 (グラフ: 時間-重量)

乾燥条件は、送風乾燥器にて 70 °C一定とし、注入前重量を下回った時点で乾燥終了とした。条件 1、2 については 1 晩養生後、条件 3 については 2 日間養生後乾燥器に投入した。

各試験体の乾燥による重量変化を図 2.2.1.3-1~2.2.1.3-3 に示す。注入前重量を下回るまでに、条件 1 では 1.0~2.1 日、条件 2 では 1.2~2.3 日、条件 3 では 2.9~6.9 日となり注入量が多いほど乾燥に時間がかかった。いずれの条件においても、材によって乾燥にかかる時間が大きく異なった。

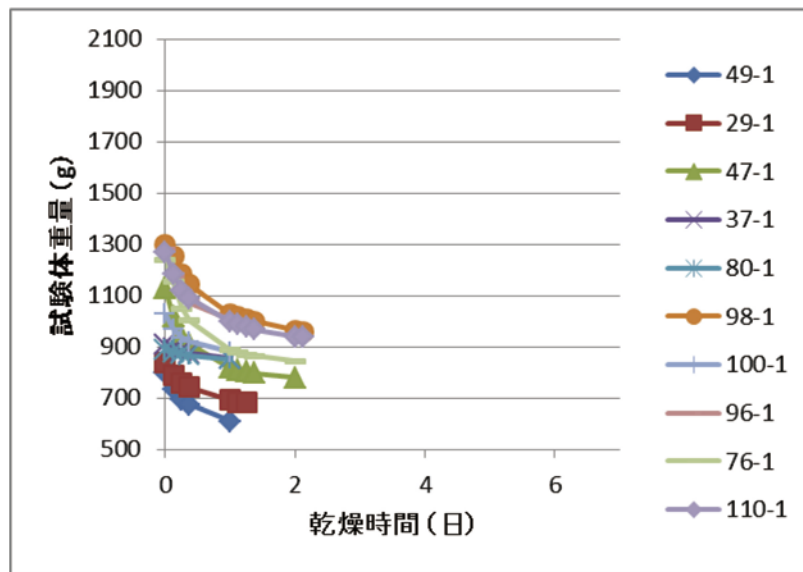


図 2.2.1.3-1 条件 1 試験体重量変化

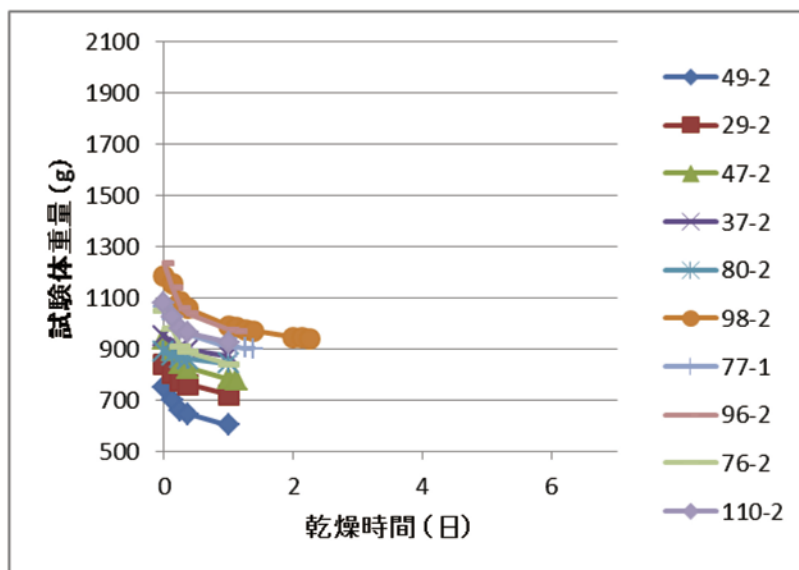


図 2.2.1.3-2 条件 2 試験体重量変化

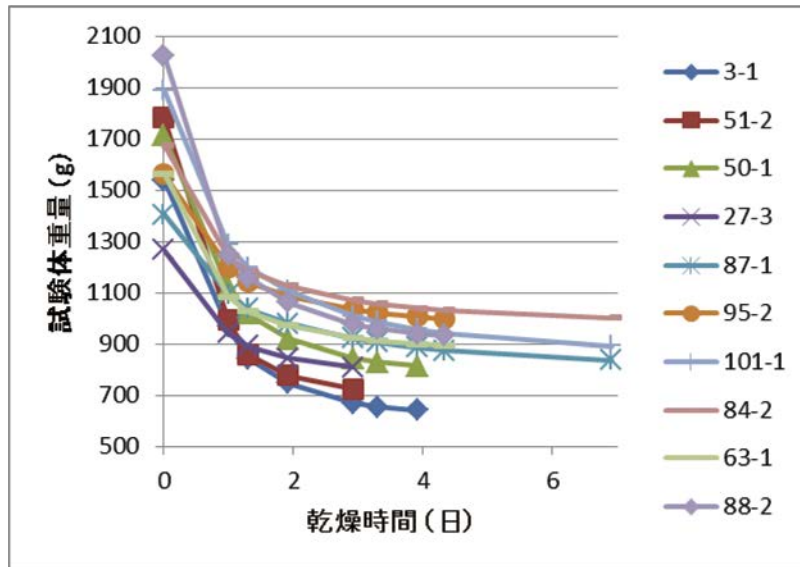


图 2. 2. 1. 3-3 条件 3 試験体重量変化

4) 含水率

条件1~3の木口から10、50、490 mm部分の全乾含水率を表2.2.1.3-6に示す。含水率は減圧のみの条件1、2では木口から50 mm部分が高く、減圧加圧の条件3では木口から10 mm部分が高く50 mm部分が低かった。

表 2.2.1.3-6 乾燥後の全乾含水率

条件	測定場所	全乾含水率 (%)			
		平均	最大	最小	標準偏差
1	10 mm	8.2	9.0	7.3	0.6
	50 mm	9.2	10.7	7.5	1.1
	490 mm	8.3	9.1	6.9	0.6
2	10 mm	8.5	9.9	7.4	0.7
	50 mm	9.8	11.7	8.3	1.0
	490 mm	8.7	9.5	7.9	0.5
3	10 mm	9.2	10.3	7.8	0.8
	50 mm	7.3	7.8	6.3	0.4
	490 mm	8.5	9.7	7.4	0.8

5) 寸法変化

注入、乾燥後の注入前寸法からの寸法変化量を表 2.2.1.3-7 に示す。

幅では条件 2 の中央部の変化量が同条件の木口、シール側より大きく、厚さにおいては、条件 1、2 では中央部の変化量が同条件の木口、シール側よりわずかに大きく、条件 3 では木口の変化量が同条件の中央、シール側よりわずかに小さかった。

表 2.2.1.3-7 注入前と注入、乾燥後の寸法変化量

条件	測定場所	幅 (mm)				厚さ (mm)			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
1	木口	0.0	1.5	-0.9	0.8	-0.1	0.2	-1.1	0.4
	中央	0.1	0.7	-0.3	0.3	0.3	0.6	-0.1	0.3
	シール側	-0.2	0.4	-0.8	0.4	0.0	0.4	-0.3	0.2
2	木口	0.8	2.0	-1.3	1.0	0.2	0.6	-0.3	0.3
	中央	1.2	2.2	-0.2	0.8	0.4	0.8	-0.2	0.3
	シール側	0.8	2.0	-0.6	0.8	0.2	0.6	-0.2	0.3
3	木口	0.3	0.8	-0.1	0.3	0.1	0.4	-0.2	0.2
	中央	0.0	0.9	-0.7	0.5	0.2	0.4	0.0	0.2
	シール側	0.2	0.9	-0.5	0.4	0.2	0.5	-0.1	0.2

6) 浸潤度 (写真)

条件1~3の各ラミナの木口から10、50、490 mm部分の浸潤度写真を図2.2.2.1-4~2.2.2.1-6に示す。

条件1,2において、木口から50 mm部分の辺材はほぼ100%の浸潤が確認されたが、490 mm部分の浸潤は、辺材では表層5 mm程度と一部に留まり、心材ではほとんど浸潤していなかった。

条件3では、木口から50 mm部分はほぼ全体に浸潤しており、490 mm部分でも辺材はほぼ100%、心材においてもほとんどの材料で表層10 mmからそれ以上の浸潤が確認された。

番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 490 mm
49-1			
29-1			
47-1			
37-1			
80-1			
98-1			
100-1			
96-1			
76-1			
110-1			

図 2.2.1.3-4 条件1 浸潤度写真 (点線の外側が辺材)































番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 490 mm
49-2			
29-2			
47-2			
37-2			
80-2			
98-2			
77-1			
96-2			
76-2			
110-2			

図 2.2.1.3-5 条件 2 浸潤度写真 (点線の外側が辺材)

番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 490 mm
3-1			
51-2			
50-1			
27-3			
87-1			
95-2			
101-1			
84-2			
63-1			
88-2			

図 2.2.1.3-6 条件 3 浸潤度写真 (点線の外側が辺材)

2.2.1.4 結果 湿式：AAC

株式会社ガイエンスにおいて、AACを用いて、試験注薬缶で実施したラミナ試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

各注入処理条件で使用した試験体概要を表 2.2.1.4-1～3 に示す。密度は、片側木口シールをする直前に測定した重量から算出した。また、心材パターンは図 2.2.1.1-1 による評価である。

表 2.2.1.4-1 条件 1 試験体概要

番号	密度 (kg/m ³)	心材パターン
3-2A	323	dd
3-8A	397	dd
3-14A	366	dd
3-19A	368	dd
3-30A	419	dd
6-6A	480	dd
6-7A	414	dd
6-40A	448	dd
6-50A	454	cd
6-58A	420	dd

表 2.2.1.4-2 条件 2 試験体概要

番号	密度 (kg/m ³)	心材パターン
3-2B	320	dd
3-8B	396	dd
3-14B	395	dd
3-19B	392	dd
3-30B	416	dd
6-6B	484	dd
6-7B	414	dd
6-40B	438	dd
6-50B	447	cd
6-58B	435	cd

表 2.2.1.4-3 条件3 試験体概要

番号	密度 (kg/m ³)	心材パターン
3-2C	322	dd
3-8C	394	dd
3-14C	374	dd
3-19C	371	dd
3-30C	405	dd
6-6C	482	dd
6-7C	445	dd
6-40C	457	dd
6-50C	444	dc
6-58C	436	dd

2) 注入条件と注入量

注入条件を表 2.2.1.4-4 に、各条件での注入量を表 2.2.1.4-5 に示す。なお、減圧時間、加圧時間は設定圧力に達してからの時間とした。

減圧注入のみの条件 1 では注入量の極端に少ないもの (44kg/m³) があることや、ばらつきが大きいと判断し、ローリー法による条件 2 を実施した。条件 2 では全体的に注入量が大きく、ばらつきも大きくなったため、注入量の抑制とばらつきが少なくなることを期待して条件 3 を実施した。

表 2.2.1.4-4 注入条件

条件	減圧 (MPa)	時間 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)
1	0.08	30	-	-
2	-	-	1.4MPa	5
3	-	-	0.5MPa	10

表 2.2.1.4-5 注入量

条件	注入量 (kg/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	175	317	44	77
2	418	574	251	100
3	204	286	121	49

3) 乾燥条件と乾燥時間（グラフ：時間-重量）

乾燥条件は、送風乾燥機にて 60 ℃一定とし、注入前重量を下回った時点で乾燥終了とした。条件 1、2 については 2 日間養生後、条件 3 については 4 時間養生後乾燥機に入れた。

各試験体の乾燥による重量変化を図 2.2.1.4-1~3 に示す。注入前重量を下回るまでに、条件 1 では 2~4 日、条件 2 では 3~6 日、条件 3 では 1~3 日となり注入量が多いほど乾燥に時間がかかった。いずれの条件においても、材によって乾燥にかかる時間が異なった。

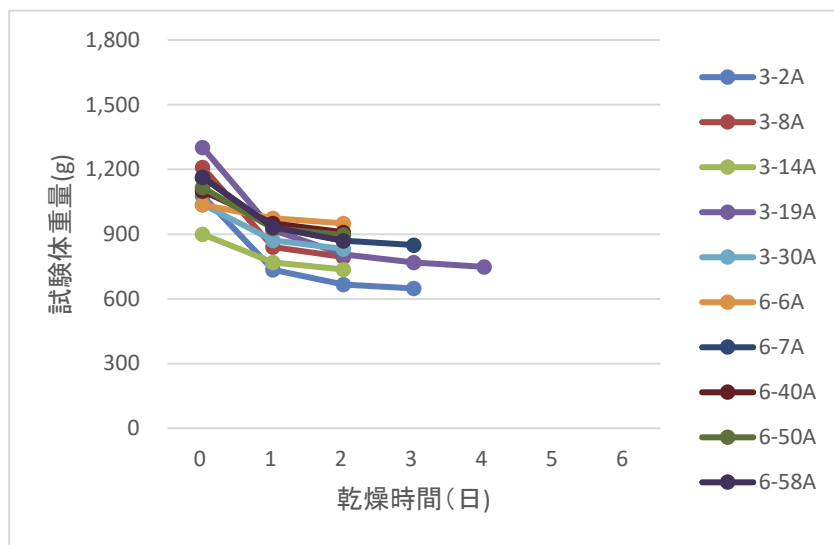


図 2.2.1.4-1 条件 1 試験体重量変化

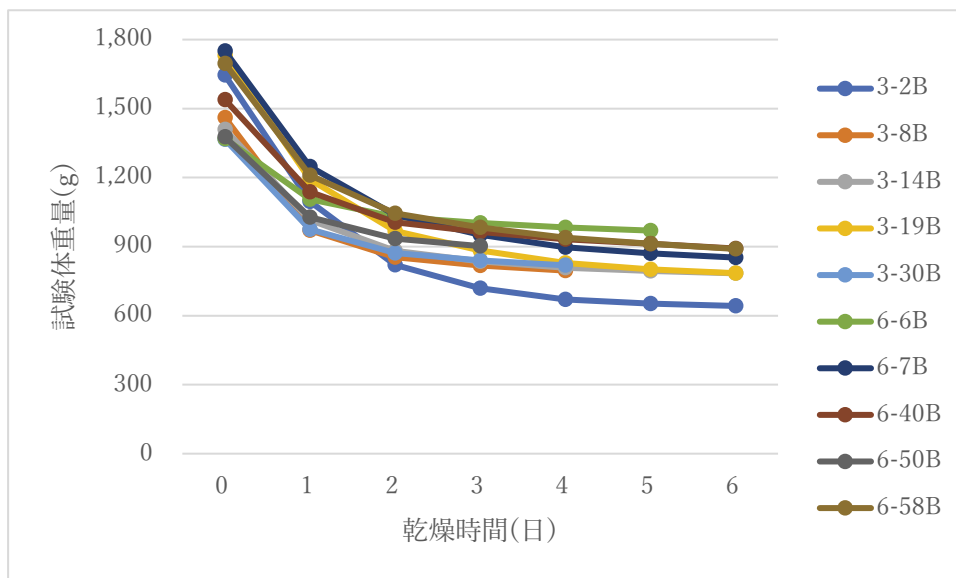


図 2.2.1.4-2 条件 2 試験体重量変化

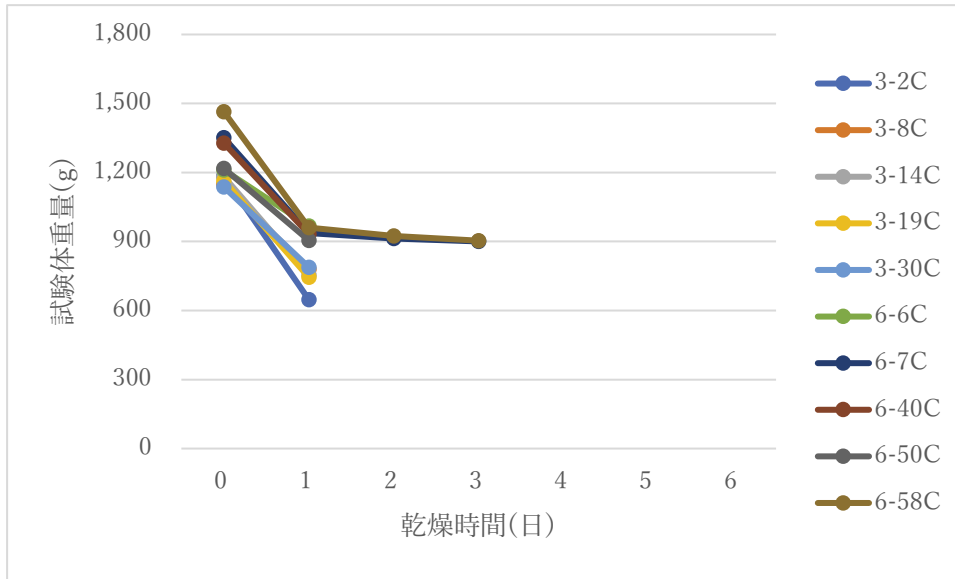


図 2.2.1.4-3 条件3 試験体重量変化

4) 含水率

条件1~3のシールなし木口から0、50、490 mm部分の全乾含水率を表2.2.1.4-6に示す。

表 2.2.1.4-6 注入・人乾後の全乾重量

条件	測定場所	全乾含水率 (%)			
		平均	最大	最小	標準偏差
1	0 mm	9.4	10.5	8.7	0.6
	50 mm	10.5	12.1	9.6	0.7
	490 mm	9.6	11.5	8.2	1.1
2	0 mm	8.9	10.2	7.8	0.8
	50 mm	9.5	12.1	7.5	1.4
	490 mm	9.8	12.2	7.8	1.3
3	0 mm	8.6	10.3	7.5	0.9
	50 mm	11.4	15.3	9.0	1.7
	490 mm	9.6	11.6	7.9	1.1

5) 寸法変化

乾燥後の注入前寸法からの寸法変化量を表 2.2.1.4-7 に示す。

表 2.2.1.4-7 注入前と乾燥後の寸法変化量

条件	測定場所	幅 (mm)				厚さ (mm)			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
1	木口	-0.43	-1.23	-0.06	0.39	-0.03	0.57	-0.11	0.35
	中央	-0.47	-1.29	-0.06	0.39	0.12	0.70	0.02	0.43
	シール側	-0.44	-0.93	-0.01	0.32	0.03	0.58	0.02	0.24
2	木口	0.01	-0.99	-0.15	0.54	-0.14	-0.69	-0.02	0.39
	中央	-0.09	-0.54	-0.05	0.33	0.28	0.64	-0.08	0.30
	シール側	0.15	-1.11	0.00	0.56	0.11	2.17	-0.02	0.83
3	木口	0.92	2.09	-0.06	0.70	0.29	0.71	0.02	0.20
	中央	0.25	1.68	0.02	0.56	0.25	0.72	-0.06	0.25
	シール側	-0.14	0.87	0.04	0.44	0.07	0.33	0.00	0.15

6) 浸潤度 (写真)

条件 1~3 の各ラミナの木口から 10、50、490 mm 部分の浸潤写真を図 2.2.1.4-4~6 に示す。

条件 1 (減圧のみ) では注入量のばらつきが大きく、木口から 10mm でも辺材に未浸潤の部分があった。条件 2 (ローリー法) では注入量のばらつきが大きかったが全体に注入量が多く、木口から 50mm の部分でもほぼ全断面の浸潤が得られた。条件 3 (ローリー法) では注入量が平均で条件 2 の約半分ながらばらつきが 3 条件の中で最も少なく、木口から 50mm では芯近くに未浸潤部分が目立ち、辺材でも一部未浸潤部分が見られた。

すべての条件において木口から 490mm の部分では未浸潤部分が大半を占めた。

No.	木口から 10mm	木口から 50mm	木口から 490mm
3-2			
3-8			
3-14			
3-19			
3-30			
6-6			
6-7			
6-40			
6-50			
6-58			

図 2.2.1.4-4 条件1の薬剤浸潤写真



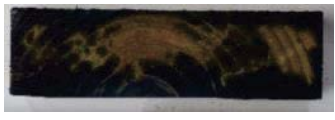



























No.	木口付近	木口から 50mm	シール付近
3-2			
3-8			
3-14			
3-19			
3-30			
6-6			
6-7			
6-40			
6-50			
6-58			

図 2.2.1.4-5 条件 2 の薬剤浸潤写真































	木口付近	木口から 50mm	シール付近
3-2			
3-8			
3-14			
3-19			
3-30			
6-6			
6-7			
6-40			
6-50			
6-58			

図 2.2.1.4-6 条件 3 の薬剤浸潤写真

2.2.1.5 結果 湿式：CUAZ

大日本木材防腐株式会社において、CUAZ を用いて実施したラミナ試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

各注入処理条件で使用した試験体概要を表 2.2.1.5-1～2.2.1.5-3 に示す。密度は、試験材入荷時の 2m のラミナの状態で測定した重量から算出したものとした。また、心材パターンは図 2.2.1.1-1 による評価である。

表 2.2.1.5-1 条件 1 試験体概要

番号	密度 (kg/m ³)	心材パターン
21-1	316	d
22-1	398	d
34-1	358	d
40-1	435	d
68-1	431	b
71-1	489	c
76-1	439	c
79-1	497	c
89-1	497	c
100-1	443	d

表 2.2.1.5-2 条件 2 試験体概要

番号	密度 (kg/m ³)	心材パターン
21-2	316	d
22-2	398	d
34-2	358	d
40-2	435	d
68-2	431	b
71-2	489	c
76-2	439	c
79-2	497	c
89-2	497	c
100-2	443	d

表 2.2.1.5-3 条件3 試験体概要

番号	密度 (kg/m ³)	心材パターン
21-3	316	d
22-3	398	d
34-3	358	d
40-3	435	d
68-3	431	b
71-3	489	c
76-3	439	b
79-3	497	b-c
89-3	497	b-c
100-3	443	d

2) 注入条件と注入量

注入条件を表 2.2.1.5-4 に示す。また、各条件での注入量を表 2.2.1.5-5 に示す。
なお、減圧時間、加圧時間は設定圧力に達してからの時間とした。

表 2.2.1.5-4 注入条件

条件	前排気		加圧		後排気	
	減圧 (MPa)	時間 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)	減圧 (MPa)	時間 (分)
1	0.08	30	-	-	0.08	30
2	-	-	1.20	60	0.08	30
3	-	-	0.75	60	0.08	30

表 2.2.1.5-5 注入量

条件	注入量 (kg/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	259	387	88	102
2	424	479	344	41
3	347	418	256	52

3) 乾燥条件と乾燥時間（グラフ：時間-重量）

乾燥条件は、送風乾燥器にて 70 °C一定とし、注入前重量を下回った時点で乾燥終了とした。条件 1 についてはストレッチフィルムで梱包して 5 日間養生後、条件 2、3 については注入後直ちに乾燥器に投入した。

各試験体の乾燥による重量変化を図 2. 2. 1. 5-1~3 に示す。

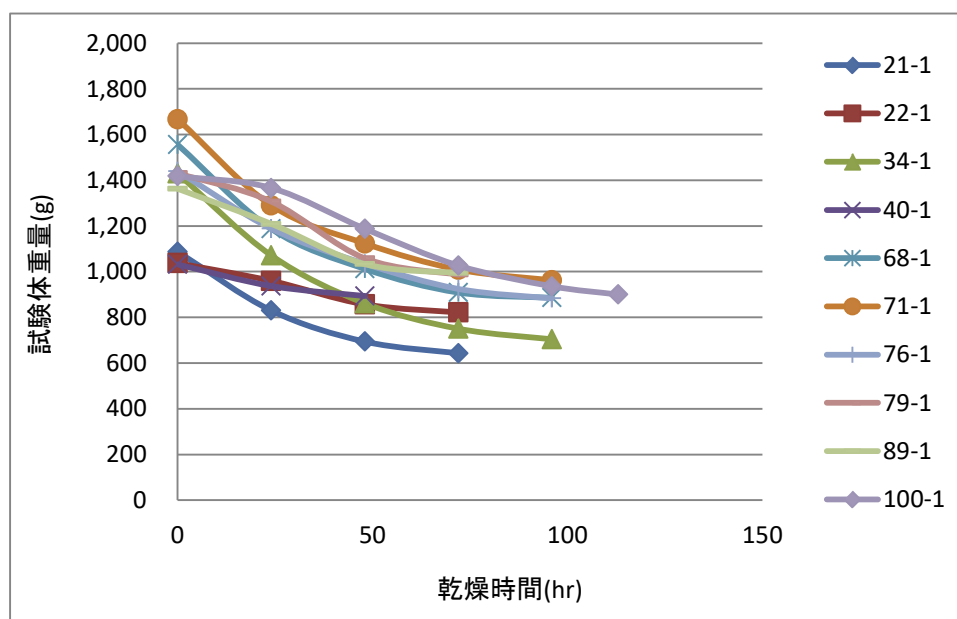


図 2. 2. 1. 5-1 条件 1 試験体重量変化

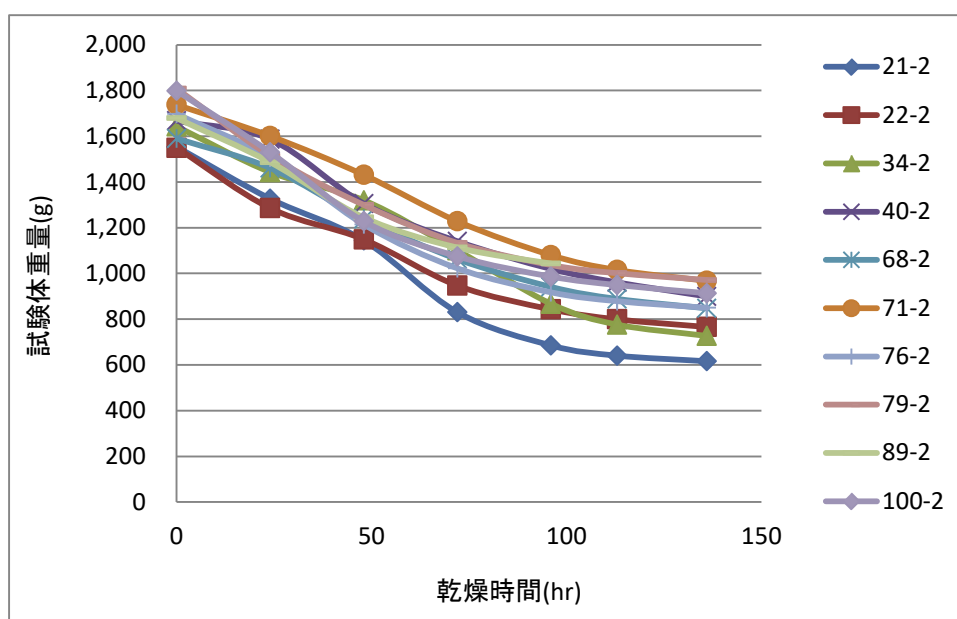


図 2. 2. 1. 5-2 条件 2 試験体重量変化

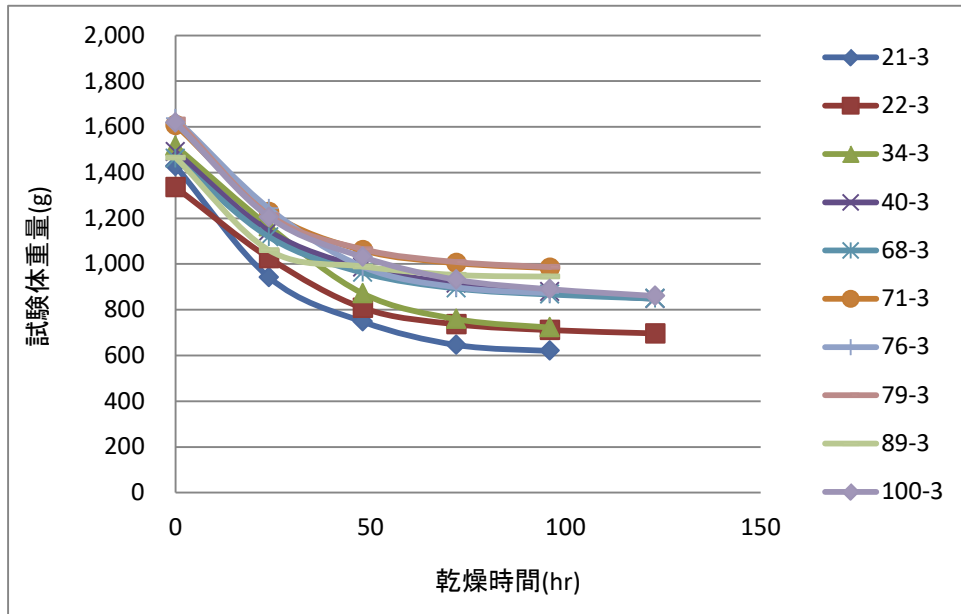


図 2. 2. 1. 5-3 条件 3 試験体重量変化

4) 寸法変化

注入、乾燥後の注入前寸法からの寸法変化量を表 2. 2. 1. 5-6 に示す。

表 2. 2. 1. 5-6 注入前と注入、乾燥後の寸法変化量

条件	測定場所	幅 (mm)				厚さ (mm)			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
1	木口	0.6	1.7	0.1	0.5	0.3	0.8	-0.1	0.2
	中央	0.5	1.2	-0.1	0.4	0.2	0.4	0.0	0.1
	シール側	0.4	1.3	-0.0	0.4	0.2	0.4	-0.2	0.2
2	木口	0.3	1.7	-1.0	0.8	-0.1	0.2	-0.4	0.2
	中央	0.8	1.7	-0.1	0.6	0.1	0.5	-0.2	0.2
	シール側	0.6	1.6	-0.1	0.5	-0.0	0.4	-0.3	0.2
3	木口	0.5	3.4	-1.0	1.3	0.0	1.3	-0.9	0.6
	中央	0.1	2.3	-0.9	0.9	0.0	0.9	-0.6	0.5
	シール側	0.1	2.7	-1.1	1.1	-0.1	0.6	-0.9	0.4

5) 浸潤度 (写真)

図 2.2.1.5-4~2.2.1.5-6 に、条件 1~3 の木口から 10、50、490 mm 部分の浸潤度写真を示す。

番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 490 mm
21-1			
22-1			
34-1			
40-1			
68-1			
71-1			
76-1			
79-1			
89-1			
100-1			

図 2.2.1.5-4 条件 1 浸潤度写真

番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 490 mm
21-2			
22-2			
34-2			
40-2			
68-2			
71-2			
76-2			
79-2			
89-2			
100-2			

図 2.2.1.5-5 条件 2 浸潤度写真




















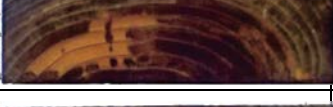










番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 490 mm
21-3			
22-3			
34-3			
40-3			
68-3			
71-3			
76-3			
79-3			
89-3			
100-3			

図 2.2.1.5-6 条件 3 浸潤度写真

2.2.1.6 まとめ

製品処理 CLT の製造において含水率及び寸法精度が基準を満足するための適正な薬剤注入条件の導出を目的として、各種注入条件と保存性能、品質の関係を明らかにするための基礎的なデータ収集を行った。試験には 29mm×105mm×500mm のラミナを用いて検討した。一連の結果を表 2.2.1.6-1 にまとめて示す。

「減圧+加圧」では圧力を低くし処理時間を短くしても一定の注入量となってしまうこと、「減圧のみ」の場合は注入量を減少させることはできるがバラツキが大きいこと、「加圧のみ」の場合は圧力と処理時間を調節することで注入量を減少させるとともにバラツキも抑えられることがわかった。なお、この時の浸潤度は木口からの距離が 50mm の断面ではほぼ全断面と認められるが 490mm の断面では減少した。

表 2.2.1.6-1 ラミナ試験の結果概要

方式・薬剤	乾式 AZN			湿式 ACQ		
注入条件	減圧導入/30分 +0.5MPa/60分	減圧導入+浸漬 /30分	減圧導入 +1.0MPa/2分	0.08MPa/30分	0.08MPa/180分	0.08MPa/15分 +1.2MPa/5分
注入量 kg/m ³	451 ~ 659	23 ~ 359	161 ~ 388	23 ~ 220	31 ~ 157	281 ~ 685
乾燥時間 日	~	~	~	1 ~ 2	1 ~ 2	3 ~ 7
密度 kg/m ³	335 ~ 496	335 ~ 496	335 ~ 496	326 ~ 503	326 ~ 503	326 ~ 503
心材パターン	b ~ d	b ~ d	b ~ d	a ~ d	b ~ d	a ~ d
含水率 %	11.6 ~ 18.8	9.6 ~ 13.1	11.1 ~ 18.0	6.9 ~ 10.7	7.4 ~ 11.7	6.3 ~ 10.3
寸法変化 幅	0.4 ~ 1.5	-0.2 ~ 0.6	-0.3 ~ 0.8	-0.9 ~ 1.5	-1.3 ~ 2.2	-0.7 ~ 0.9
mm 厚さ	0.1 ~ 0.4	-0.2 ~ 0.2	-0.1 ~ 0.8	-1.1 ~ 0.6	-0.3 ~ 0.8	-0.2 ~ 0.5
方式・薬剤	湿式 AAC			湿式 CUAZ		
注入条件	0.08MPa/30分	1.4MPa/5分	0.5MPa/10分	0.08MPa/30分+ 減圧後排気	1.2MPa/60分+ 減圧後排気	0.75MPa/60分+ 減圧後排気
注入量 kg/m ³	44 ~ 317	251 ~ 574	121 ~ 286	88 ~ 387	344 ~ 479	256 ~ 418
乾燥時間 日	2 ~ 4	3 ~ 6	1 ~ 3	2 ~ 5	5 ~ 6	4 ~ 5
密度 kg/m ³	323 ~ 480	320 ~ 484	322 ~ 482	316 ~ 497	316 ~ 497	316 ~ 497
心材パターン	c ~ d	c ~ d	c ~ d	b ~ d	b ~ d	b ~ d
含水率 %	8.2 ~ 12.1	7.5 ~ 12.2	7.5 ~ 15.3			
寸法変化 幅	-1.3 ~ 0.1	-1.1 ~ 0	-0.1 ~ 2.1	0 ~ 1.7	-1.0 ~ 1.7	-1.1 ~ 3.4
mm 厚さ	-0.1 ~ 0.7	-0.1 ~ 2.2	-0.1 ~ 0.7	-0.2 ~ 0.8	-0.4 ~ 0.5	-0.9 ~ 1.3

2.2.2 小ブロック試験

2.2.2.1 試験法

1) 目的 ラミナを用いて得られた結果から注入条件を設定し CLT の小ブロック試験体を用いた注入条件と注入状態、乾燥進行状況を把握する。

2) 試験体 製品注入試験用に製造した 3 層 3 プライの CLT パネルから、幅 203mm×長さ 1550mm の強軸試験体 20 体と幅 2200mm×長さ 203mm の弱軸試験体 12 体を切り出した。1 薬剤毎に図 2.2.2.1-1 の同色で示すように強軸タイプ試験体 5 体、弱軸タイプ試験体 3 体を 1 セットとして用いた。これらの中から強軸試験体、弱軸試験体それぞれ 3 体を抽出し、短辺を 203mm、長辺を 300mm とした小ブロックをエンドマッチさせて各 2 体切り出し、1 処理条件あたり 6 体の試験体として用いた。試験にあたっては小ブロックの 4 端面のうち 2 面をシールした。

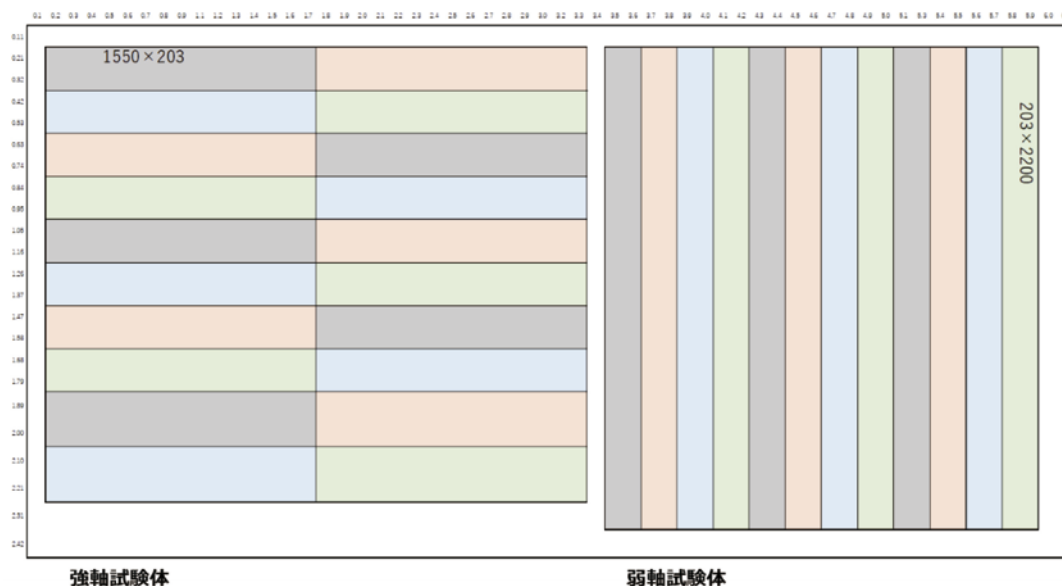


図 2.2.2.1-1 小ブロック切り出し用試験体の採材

3) 注入条件 ラミナ試験結果を参考に、また、実大パネルでの実証試験で実施することを考慮して、減圧+加圧、減圧のみ、加圧のみの処理を対象として、圧力、処理時間を任意に組み合わせた 2 種類を設定した。

4) 試験に関わる測定・評価項目

- ・ 注入前：小ブロック試験体の寸法、重量（密度）、辺材率
- ・ 注入後：重量（注入量）
- ・ 乾燥中：乾燥期間中の重量
- ・ 乾燥後：所定の位置で切断した試験片①～⑤を用いた全乾含水率、厚さの測定、浸潤度の写真記録（位置は図 2.2.2.1-2 参照）。

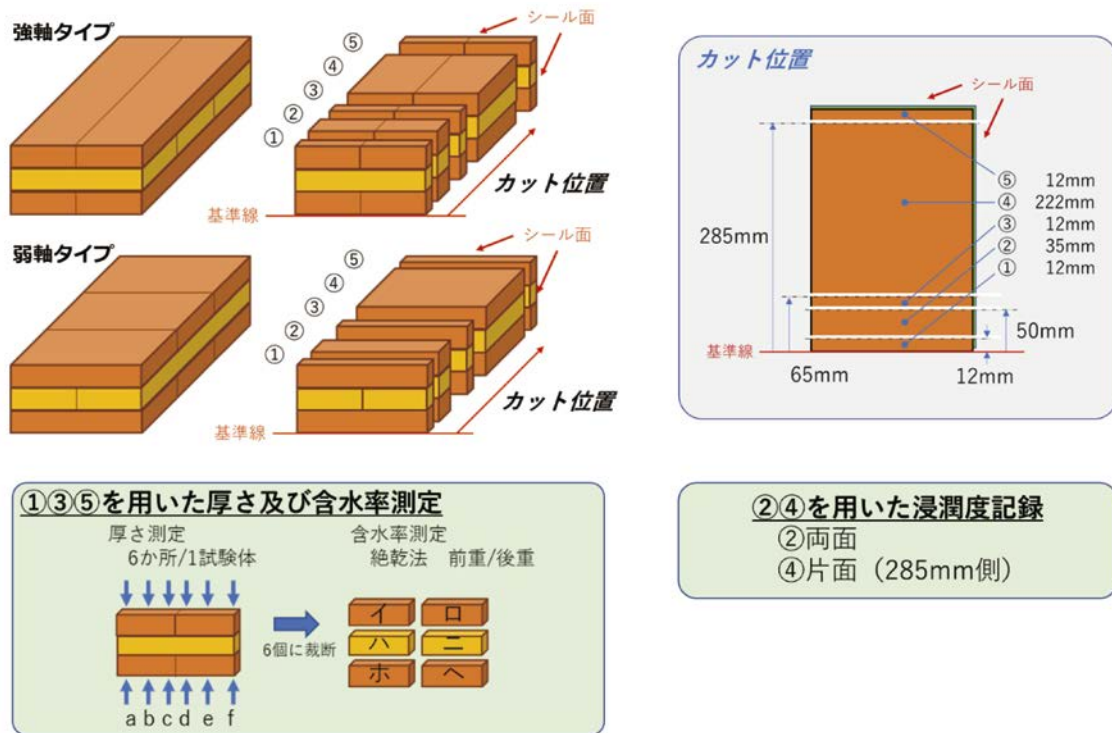


図 2. 2. 2. 1-2 小ブロック試験における測定用試験片の採材

木口シールをしていない面から 15mm、50mm、65mm、285mm のところで切断して①～⑤の試験片を採取する。①、③、⑤の試験片ではCLT小ブロックの厚さを所定の6か所で測定しその精度を評価した。また、6個に分割して全乾含水率を測定しその分布を評価した。②の両面と④の285mm側の面で浸潤度を記録した。

2.2.2.2 結果 乾式：AZN

兼松サステック株式会社において、AZN を用いて、試験注葉缶で実施した小ブロック試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

各注入処理条件で使用した試験体概要を表 2.2.2.2-1 に示す。試験体には、表層ラミナを強軸方向に配列したもの、弱軸方向に配列したものを3体ずつ使用した。積算辺材率は、外層ラミナ、内層ラミナの辺材率の積算とした。

表 2.2.2.2-1 条件 1 試験体概要

	番号	密度 (kg/m ³)	表層積算辺材率 (%)	内層積算辺材率 (%)
強軸方向	1	402	460	0
	2	407	260	0
	3	429	0	0
弱軸方向	4	441	0	180
	5	406	0	260
	6	433	40	0

表 2.2.2.2-2 条件 2 試験体概要

	番号	密度 (kg/m ³)	表層積算辺材率 (%)	内層積算辺材率 (%)
強軸方向	7	417	250	0
	8	436	150	0
	9	446	30	0
弱軸方向	10	407	10	270
	11	444	0	270
	12	423	50	30

2) 注入条件と注入量

AZN の注入は表 2. 2. 2. 2-3 の条件で行った。なお、減圧時間、加圧時間は設定圧力に到達してからの時間、薬剤浸漬時間は注薬缶内への薬剤充填が完了してからの時間とした。

- ・条件1 減圧 (0.065MPa-0分) → 薬液導入 → 薬剤浸漬 (10分)
→加圧 (0.8MPa-1分)
- ・条件2 減圧 (0.065MPa-0分) → 薬液導入 → 薬剤浸漬 (10分)
→加圧 (0.8MPa-3分)

表 2. 2. 2. 2-3 注入条件

条件	減圧 (MPa)	時間 (分)	薬剤浸漬 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)
1	0.065	0	10	0.8	1
2	0.065	0	10	0.8	3

表 2. 2. 2. 2-4 注入量

条件	注入量 (ℓ/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	129	152	88	22
2	288	309	262	18

3) 乾燥条件

ラミナ試験同様、小試験用の注薬装置では溶媒回収が行えないことから、風通しの良い場所にAZNを注入した試験材を静置し、溶媒を揮発させた。

試験材の溶媒残存率が10%未満となったものから、含水率及び寸法の測定を実施した。

4) 含水率分布

表 2.2.2.2-5、表 2.2.2.2-6 に各部位の含水率を示す。

表 2.2.2.2-5 条件1 含水率分布

試験体	部位	含水率 (%)											
		0~10 mm				50~60 mm				290~300 mm			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
強軸方向	イ	12.2	13.5	10.0	1.9	9.7	11.1	8.7	1.3	8.7	10.2	7.8	1.3
	ロ	10.1	10.6	9.6	0.5	9.5	10.4	8.8	0.8	8.6	10.1	7.6	1.3
	ハ	9.4	10.4	8.7	0.9	9.5	10.3	9.0	0.7	8.0	8.8	7.5	0.7
	ニ	8.9	9.5	8.4	0.6	9.0	9.5	8.7	0.4	8.4	8.9	8.1	0.5
	ホ	11.0	11.5	10.1	0.8	10.4	11.2	9.6	0.8	8.4	8.8	8.2	0.3
	ヘ	10.4	10.9	9.6	0.7	9.7	10.0	9.4	0.3	8.8	9.0	8.5	0.2
弱軸方向	イ	9.3	9.6	9.0	0.3	9.5	10.2	9.1	0.7	8.0	8.6	7.4	0.6
	ロ	8.9	9.4	8.5	0.5	9.3	10.2	8.7	0.8	7.7	8.3	7.3	0.5
	ハ	9.3	9.4	9.1	0.1	9.3	10.0	8.6	0.7	7.5	8.2	6.9	0.6
	ニ	9.7	10.3	9.1	0.6	9.1	9.2	9.1	0.1	7.3	8.0	6.6	0.7
	ホ	9.0	9.4	8.8	0.3	9.2	9.6	8.8	0.4	8.0	8.6	7.7	0.5
	ヘ	8.5	8.8	8.2	0.3	9.1	9.4	8.8	0.3	8.0	8.7	7.5	0.6

ロ、ニ、ヘ：シールした面を含む部分

表 2.2.2.2-6 条件2 含水率分布

試験 体	部位	含水率 (%)											
		0~10 mm				50~60 mm				290~300 mm			
		平均	最大	最小	標準 偏差	平均	最大	最小	標準 偏差	平均	最大	最小	標準 偏差
強軸 方向	イ	10.4	10.8	10.2	0.3	9.7	10.7	9.0	0.9	9.4	10.3	8.9	0.8
	ロ	10.5	10.9	9.9	0.5	9.5	9.7	9.4	0.2	9.2	9.9	8.4	0.7
	ハ	9.4	9.9	8.5	0.8	9.5	9.8	9.3	0.3	7.8	8.4	7.4	0.5
	ニ	8.8	9.4	8.1	0.6	9.0	9.4	8.3	0.6	8.1	8.7	7.3	0.7
	ホ	11.7	13.7	10.5	1.7	10.5	11.6	9.9	0.9	9.8	10.5	8.9	0.8
	ヘ	10.3	10.6	10.1	0.2	9.3	9.7	9.1	0.4	9.3	9.7	9.0	0.8
弱軸 方向	イ	9.3	10.0	8.9	0.6	9.6	10.0	9.4	0.3	7.9	8.5	7.6	0.5
	ロ	8.9	9.2	8.5	0.4	9.3	9.5	9.1	0.2	8.2	8.7	7.6	0.6
	ハ	9.7	10.7	8.8	0.9	9.3	10.1	8.6	0.7	7.0	7.2	6.8	0.2
	ニ	9.6	9.7	9.3	0.2	9.1	9.8	8.5	0.7	8.0	8.4	7.4	0.6
	ホ	9.4	10.0	9.0	0.5	10.0	10.2	9.8	0.2	7.3	7.5	6.9	0.4
	ヘ	9.6	10.1	9.2	0.5	9.7	10.1	9.3	0.4	7.8	8.1	7.5	0.3

ロ、ニ、ヘ：シールした面を含む部分

6) 浸潤度

条件 1、2 の木口から 10、50、285 mm 部分の浸潤度写真を図 2.2.2.2-1、図 2.2.2.2-2 に示す。

番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 285 mm
1			
2			
3			
4			
5			
6			

図 2.2.2.2-1 条件 1 浸潤度写真



















番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 285 mm
7			
8			
9			
10			
11			
12			

図 2.2.2.2-2 条件 2 浸潤度写真

2.2.2.3 結果 湿式：ACQ

越井木材工業株式会社において、ACQを用いて、試験注薬缶で実施した小ブロック試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

各注入処理条件で使用した試験体概要を表 2.2.2.3-1、2.2.2.3-2 に示す。試験体には、表層ラミナが強軸方向のもの、弱軸方向のものを3体ずつ使用した。積算辺材率は、シールをしていない2面のうち、外層ラミナ、内層ラミナそれぞれの木口が露出している部分の辺材率の積算とした。

表 2.2.2.3-1 条件1 試験体概要

	番号	密度 (kg/m ³)	表層積算辺材率 (%)	内層積算辺材率 (%)
強軸方向	I K1-1	405	150	10
	I K3-1	416	100	0
	I K4-1	425	60	0
弱軸方向	II K4-1	441	110	0
	II K5-1	427	120	0
	II K6-1	421	80	0

表 2.2.2.3-2 条件2 試験体概要

	番号	密度 (kg/m ³)	表層積算辺材率 (%)	内層積算辺材率 (%)
強軸方向	I K1-2	405	120	0
	I K3-2	419	90	0
	I K4-3	421	100	0
弱軸方向	II K4-2	398	80	0
	II K5-3	400	150	0
	II K6-2	426	90	0

2) 注入条件と注入量 平均、最大、最小、標準偏差

注入条件を表 2.2.2.3-3 に、各条件での注入量を表 2.2.2.3-4 に示す。

なお、減圧時間、加圧時間は設定圧力に達してからの時間とした。

減圧加圧条件では、減圧のみの処理条件と比べ注入量は大幅に増え、試験体間のばらつきは少なくなった。

注入後、条件 1、2 とともにラミナの幅方向の膨潤が目立ち、一部積層面の剥離が発生した。(図 2.2.2.3-1)

表 2.2.2.3-3 注入条件

条件	減圧 (MPa)	時間 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)
1	0.08	15	1.2	5
2	0.08	30	-	-

表 2.2.2.3-4 注入量

条件	注入量 (kg/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	553	584	512	26
2	167	280	84	71



図 2.2.2.3-1 注入後の試験材の様子（右：条件1、左：条件2）

3) 乾燥条件と乾燥時間

乾燥条件は、送風乾燥器にて 70 °C一定とし、注入前重量を下回った時点で乾燥終了とした。条件1については注入処理後2日間養生し、条件2については注入処理当日に乾燥器に投入した。各試験体の乾燥による重量変化を図2.2.2.3-2、2.2.2.3-3に示す。注入前重量を下回るまでに、条件1では10~13日、条件2では2~6日となり、注入量が多いほど乾燥に日数が必要だった。

乾燥後は、条件1、2ともに積層部分の剥離が一部発生し（図2.2.2.3-4）、幅はぎ部分（接着なし）はほぼすべてに隙間が発生した（図2.2.2.3-5）。

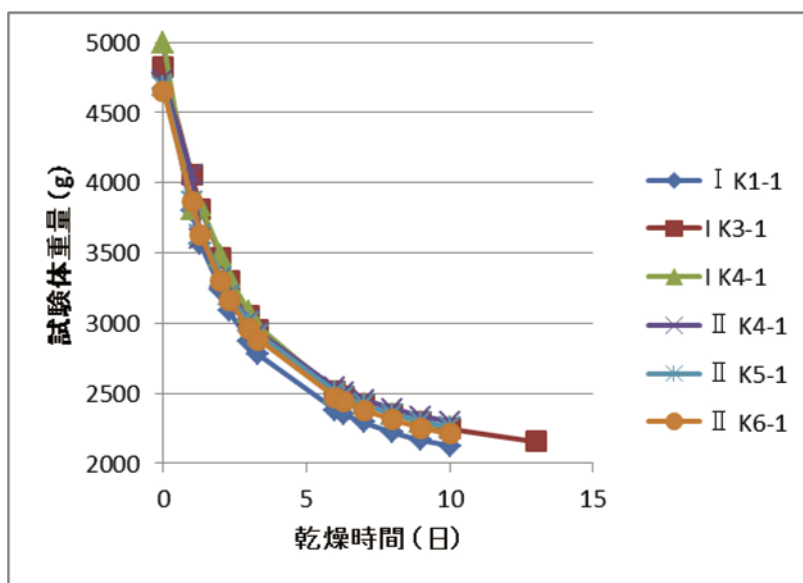


図 2.2.2.3-2 条件 1 試験体重量変化

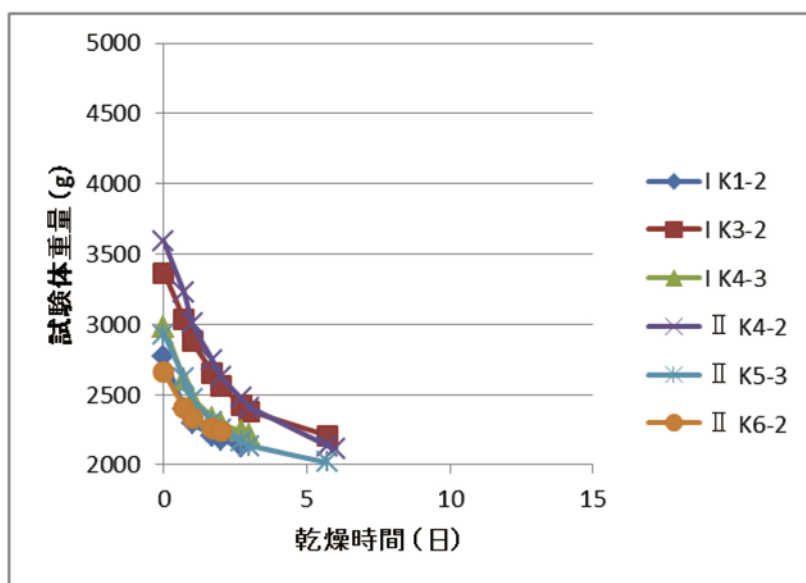


図 2.2.2.3-3 条件 2 試験体重量変化

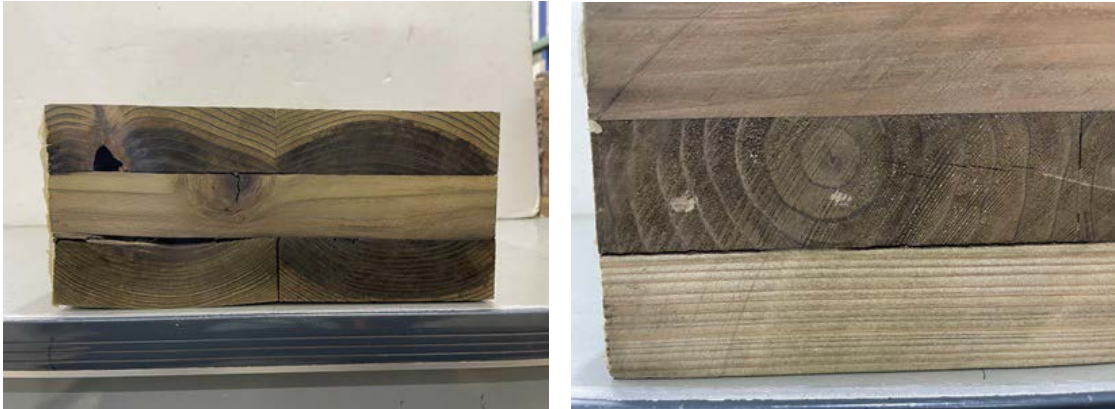


図 2.2.2.3-4 乾燥後の試験材の積層部分の剥離の様子（左：条件1、右：条件2）



図 2.2.2.3-5 乾燥後の試験材の幅はぎ部分の隙間の様子
（左：強軸方向試験体、右：弱軸方向試験体）

4) 含水率分布

表 2.2.2.3-5、2.2.2.3-6 に各部位の含水率を示す。

条件1において、強軸方向試験体では表層ラミナ（強軸方向）のシール面側が、木口からの距離が長くなるにつれて含水率が高くなる傾向があり、弱軸方向試験体では 50～60 mm 部分の含水率が高めだった。

条件2においては、強軸方向、弱軸方向試験体ともに、木口から 50～60 mm 部分の含水率がやや高めだった。

表 2.2.2.3-5 条件1 含水率分布

試験体	部位	含水率 (%)											
		0~10 mm				50~60 mm				290~300 mm			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
強軸方向	イ	4.7	5.4	3.8	0.8	5.8	6.3	5.3	0.5	7.1	7.7	6.2	0.8
	ロ	4.7	5.5	3.5	1.1	4.6	5.2	3.5	0.9	4.3	5.1	3.0	1.1
	ハ	2.6	3.3	1.6	0.9	4.8	6.0	4.0	1.0	5.0	5.6	4.3	0.7
	ニ	3.2	4.2	1.6	1.4	4.0	4.9	2.8	1.1	3.8	4.5	2.8	0.9
	ホ	4.4	4.9	3.6	0.8	5.2	5.4	5.0	0.2	6.3	6.8	5.2	0.9
	ヘ	4.3	4.8	3.4	0.8	4.5	5.2	3.1	1.2	4.8	5.5	3.8	0.9
弱軸方向	イ	3.2	3.7	2.6	0.5	6.1	7.3	4.9	1.2	3.8	4.8	2.1	1.5
	ロ	3.7	4.1	3.2	0.5	5.1	6.0	4.2	0.9	3.8	4.4	2.8	0.9
	ハ	5.9	6.1	5.8	0.1	9.1	10.5	8.4	1.2	7.9	10.5	6.4	2.3
	ニ	5.2	5.6	4.8	0.4	6.0	6.6	5.1	0.8	6.0	6.6	5.2	0.7
	ホ	2.9	3.2	2.4	0.4	5.2	6.0	3.9	1.1	4.8	4.9	4.7	0.1
	ヘ	3.6	4.0	3.3	0.3	6.2	8.7	4.7	2.2	3.9	4.0	3.8	0.1

イ、ハ、ホ：シールした面を含む部分

表 2.2.2.3-6 条件2 含水率分布

試験体	部位	含水率 (%)											
		0~10 mm				50~60 mm				290~300 mm			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
強軸方向	イ	7.4	8.0	6.4	0.9	8.8	9.3	8.1	0.6	6.3	6.6	5.9	0.4
	ロ	6.7	8.0	4.0	2.3	9.4	10.5	8.3	1.1	5.6	6.4	4.2	1.2
	ハ	6.7	7.6	5.0	1.5	10.5	12.4	7.9	2.4	6.2	6.9	5.8	0.6
	ニ	7.1	8.0	5.7	1.2	10.2	11.8	7.1	2.7	5.8	6.1	5.5	0.3
	ホ	7.4	8.2	6.2	1.0	8.3	9.0	7.4	0.8	6.7	7.4	6.4	0.6
	ヘ	7.5	8.0	6.8	0.6	8.6	9.6	7.6	1.0	6.6	7.2	5.9	0.7
弱軸方向	イ	5.5	7.5	4.1	1.8	7.2	8.8	5.1	1.9	5.5	6.7	4.6	1.1
	ロ	5.8	7.6	4.7	1.6	6.6	7.6	4.9	1.5	5.5	6.4	4.9	0.8
	ハ	7.4	8.9	6.2	1.3	8.7	10.4	6.3	2.1	8.0	9.4	6.0	1.7
	ニ	7.0	8.2	6.2	1.1	8.2	9.7	5.9	2.0	6.7	7.4	5.5	1.1
	ホ	5.8	8.0	4.5	1.9	7.4	8.7	5.1	2.0	6.2	8.4	4.3	2.1
	ヘ	6.2	8.1	5.3	1.6	8.8	10.5	7.1	1.7	5.7	7.4	4.4	1.6

イ、ハ、ホ：シールした面を含む部分

6) 浸潤度 (写真)

条件1、2の木口から10、50、285 mm部分の浸潤度写真を図2.2.2.3-6、2.2.2.3-7に示す。

条件1では木口から50 mm部分の辺材は100%浸潤していた。285 mm部分の辺材も概ね100%浸潤しており、心材にも表層10 mmもしくはそれ以上の浸潤が確認された。

条件2では木口から50 mm部分の辺材は概ね100%浸潤していたが、一部、浸潤が表層10 mmに満たないものがあった。285 mm部分では、辺材でも浸潤は表層数ミリメートルに留まっており、心材にはほとんど浸潤していなかった。





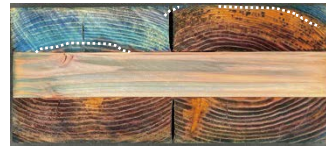
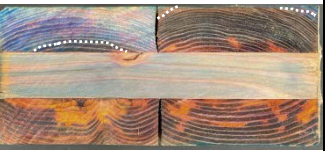


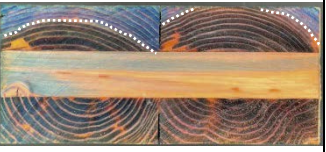
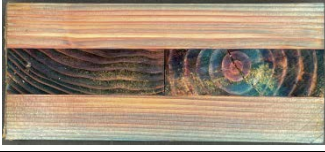


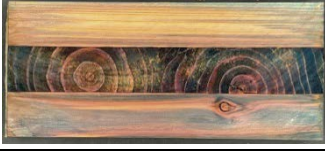
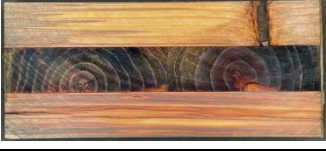
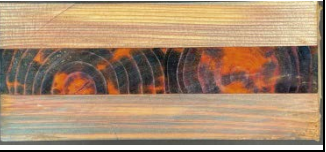

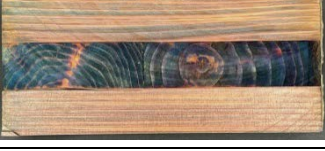

番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 285 mm
IK1-1			
IK3-1			
IK4-1			
IIK4-1			
IIK5-1			
IIK6-1			

図2.2.2.3-6 条件1 浸潤度写真 (点線の外側が辺材)

番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 285 mm
IK1-2			
IK3-2			
IK4-3			
II K4-2			
II K5-3			
II K6-2			

図 2.2.2.3-4 条件 2 浸潤度写真（点線の外側が辺材）

2.2.2.4 結果 湿式：AAC

株式会社ガイエンスにおいて、AACを用いて、試験注薬缶で実施した小ブロック試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

各注入処理条件で使用した試験体概要を表 2.2.2.4-1～2 に示す。試験体には、表層ラミナが強軸方向のもの、弱軸方向のものを3体ずつ使用した。積算辺材率は、シールをしていない2面のうち、外層ラミナ、内層ラミナそれぞれの木口が露出している部分の辺材率の積算とした。

表 2.2.2.4-1 条件1 試験体概要

	番号	密度 (kg/m ³)	表層積算辺材率 (%)	内層積算辺材率 (%)
強軸方向	I Z1-1	407	60	30
	I Z2-1	435	10	10
	I Z4-1	412	50	0
弱軸方向	II Z2-1	408	100	0
	II Z3-1	419	30	0
	II Z6-1	415	100	0

表 2.2.2.4-2 条件2 試験体概要

	番号	密度 (kg/m ³)	表層積算辺材率 (%)	内層積算辺材率 (%)
強軸方向	I Z1-2	416	30	10
	I Z2-2	438	60	0
	I Z4-2	419	50	10
弱軸方向	II Z2-2	439	70	0
	II Z3-2	459	90	0
	II Z6-2	398	80	0

2) 注入条件と注入量

ローリー法で 2 条件を行った。注入条件を表 2.2.2.4-3 に、各条件での注入量を表 2.2.2.4-4 に示す。

加圧時間、返液後減圧時間は、設定圧力に達してからの時間とした。

注入量のばらつきは少ない結果となった。

表 2.2.2.4-3 注入条件

条件	減圧 (MPa)	時間 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)	返液後減圧 (MPa)	時間 (分)
1	—	—	0.5	10	0.08	60
2	—	—	0.3	10	0.08	60

表 2.2.2.4-4 注入量

条件	注入量 (kg/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	241	253	204	19
2	170	196	145	17

3) 乾燥条件と乾燥時間

乾燥条件は、送風乾燥機にて 65 °C一定とし、注入前重量を下回った時点で乾燥終了とした。注入各条件ともに注入処理翌日に乾燥機に投入した。各試験体の乾燥による重量変化を図 2.2.2.4-1~2.2.2.4-2 に示す。注入前重量を下回るまでに、条件 1 では 7 日、条件 2 では 5~6 日となった。

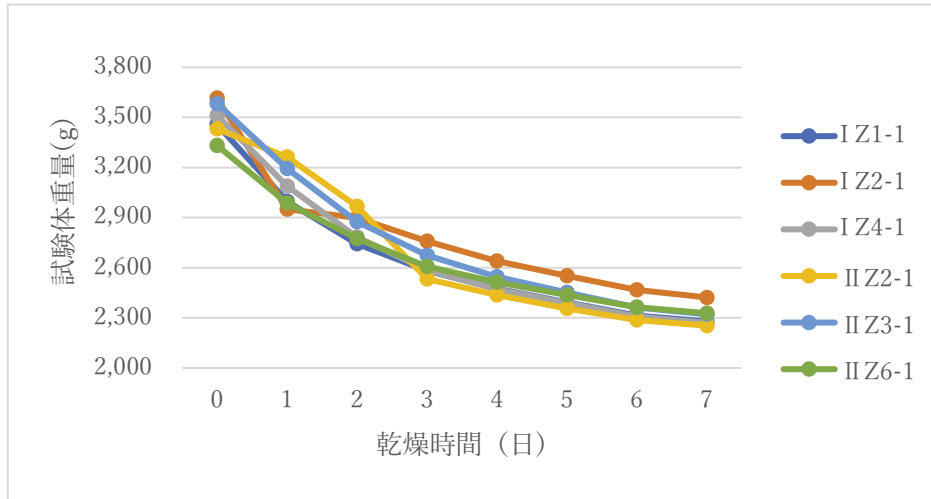


図 2.2.2.4-1 条件 1 試験体重量変化

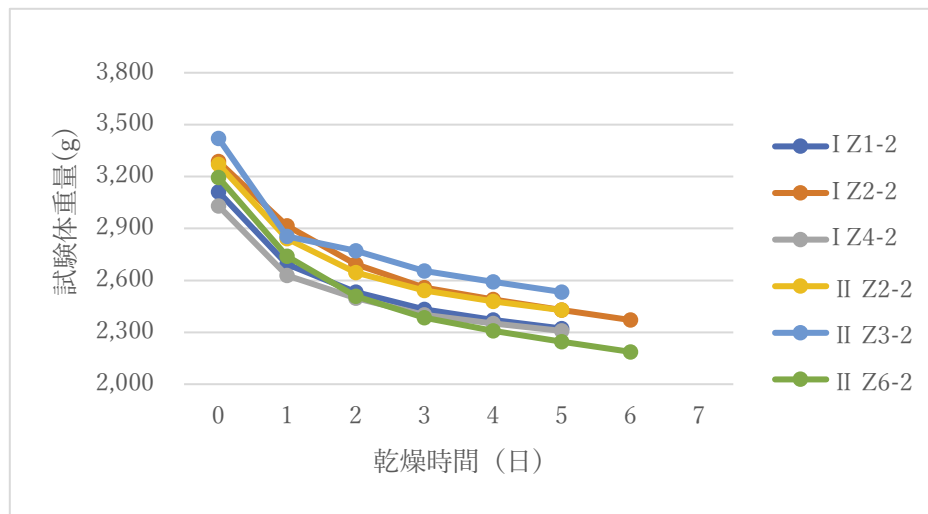


図 2.2.2.4-2 条件 2 試験体重量変化

4) 含水率分布

表 2.2.2.4-5、2.2.2.4-6 に各部位の含水率を示す。

条件 1、条件 2 とともに長さ 300mm 方向のシール面から最も遠い 0~10mm 部分の含水率が、50~60mm、290~300mm 部分に比べて低い傾向にあり、そのばらつきも少なかった。また、50~60mm、290~300mm 部分において、シール面を含みかつ中間層のハ部位の含水率が高い傾向が見られた。

表 2.2.2.4-5 条件1 含水率分布

試験体	部位	含水率 (%)											
		0~10 mm				50~60 mm				290~300 mm			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
強軸方向	イ	8.3	8.7	8.1	0.3	9.9	10.3	9.4	0.4	10.0	10.6	9.2	0.6
	ロ	8.1	8.5	7.6	0.4	9.3	9.6	8.9	0.3	8.8	9.9	7.5	1.0
	ハ	7.3	8.3	6.6	0.7	14.3	18.9	11.7	3.3	10.2	12.4	8.5	1.6
	ニ	7.0	7.4	6.4	0.4	10.0	12.1	8.5	1.6	7.6	8.6	6.3	1.0
	ホ	8.1	8.2	7.9	0.1	9.8	10.7	8.7	0.8	9.9	10.3	9.2	0.5
	ヘ	8.5	9.2	7.9	0.6	9.4	10.6	8.1	1.0	9.1	9.7	8.2	0.7
弱軸方向	イ	6.6	7.1	6.1	0.4	9.2	10.2	8.5	0.8	7.2	7.4	6.9	0.2
	ロ	6.9	7.4	6.4	0.4	7.8	8.6	7.4	0.5	7.0	7.1	7.0	0.1
	ハ	8.4	8.7	8.1	0.2	10.5	12.1	9.1	1.2	9.1	12.5	3.2	4.2
	ニ	8.2	8.6	8.1	0.2	9.4	10.1	8.9	0.5	10.4	11.9	9.4	1.1
	ホ	6.8	7.0	6.6	0.1	8.9	9.1	8.8	0.1	9.2	11.7	7.4	1.8
	ヘ	6.9	7.3	6.4	0.4	7.9	8.2	7.5	0.3	8.3	9.3	7.6	0.7

イ、ハ、ホ：シールした面を含む部分

表 2.2.2.4-6 条件2 含水率分布

試験体	部位	含水率 (%)											
		0~10 mm				50~60 mm				290~300 mm			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
強軸方向	イ	8.4	8.8	7.7	0.5	10.1	11.2	8.0	1.5	10.4	11.5	9.1	1.0
	ロ	8.3	8.4	8.2	0.1	8.8	9.4	8.4	0.4	9.1	9.3	8.8	0.2
	ハ	7.5	8.3	6.5	0.7	11.5	12.9	10.0	1.2	9.7	10.1	9.3	0.3
	ニ	7.5	8.1	6.9	0.5	9.1	10.0	8.0	0.8	7.9	8.3	7.6	0.3
	ホ	8.6	9.1	7.9	0.5	9.5	9.9	8.9	0.5	9.8	10.1	9.6	0.2
	ヘ	8.4	8.7	8.1	0.3	9.3	10.2	8.5	0.7	9.7	9.9	9.4	0.2
弱軸方向	イ	6.8	7.2	6.1	0.5	9.2	9.9	8.5	0.6	7.9	8.8	7.1	0.7
	ロ	6.7	6.9	6.5	0.2	7.9	8.1	7.7	0.2	7.5	8.2	7.0	0.5
	ハ	8.2	8.5	8.0	0.2	10.4	10.6	10.1	0.2	10.6	11.2	9.6	0.7
	ニ	8.1	8.4	7.7	0.3	9.3	9.8	8.6	0.5	9.7	9.8	9.6	0.1
	ホ	6.9	7.3	6.4	0.4	10.0	11.1	9.2	0.8	7.8	8.5	6.6	0.8
	ヘ	6.8	7.9	5.8	0.8	8.0	8.8	7.5	0.6	7.0	7.4	6.6	0.3

イ、ハ、ホ：シールした面を含む部分

6) 浸潤度 (写真)

条件 1、2 の木口から 10、50、285 mm 部分の浸潤度写真を図 2. 2. 2. 4-3~4 に示す。

2 条件とも木口から 50mm 部分の辺材は概ね浸潤していたが、285mm 部分の辺材及び表層にある心材にはほとんど浸潤が確認されなかった。

また条件 2 では、木口から 50mm 部分の心材でも未浸潤部分が観察された。

番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 285 mm
I Z1-1			
I Z2-1			
I Z4-1			
II Z2-1			
II Z3-1			
II Z6-1			

図 2. 2. 2. 4-3 条件 1 浸潤度写真


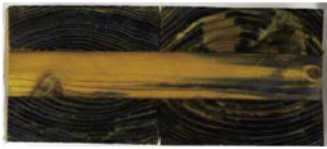

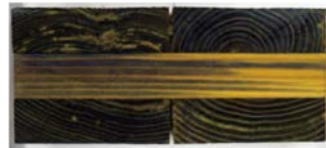
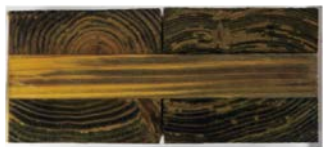













番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 285 mm
I Z1-2			
I Z2-2			
I Z4-2			
II Z2-2			
II Z3-2			
II Z6-2			

図 2.2.2.4-4 条件 2 浸潤度写真

今回の小ブロックの処理実験では、注入直後に材料の膨潤が顕著に表れ、また乾燥後には材の割れや接着層の剥がれがすべての試験体に見られた。(図 2.2.2.4-5)

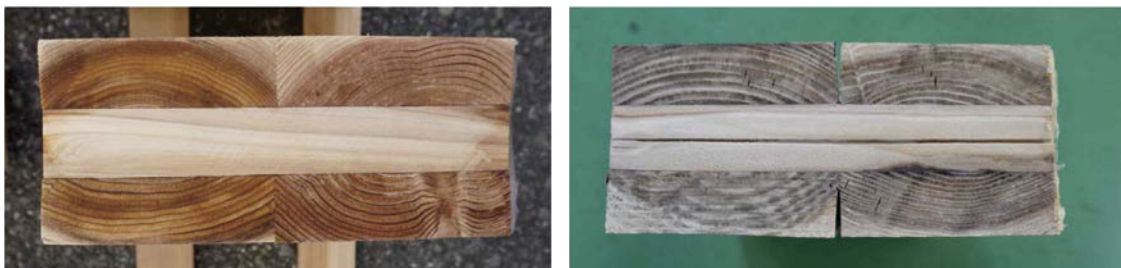


図 2.2.2.4-5 注入直後（左）、乾燥後（右）の小ブロック試験体の例

2.2.2.5 結果 湿式：CUAZ

大日本木材防腐株式会社において、CUAZ を用いて実施した小ブロック試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

各注入処理条件で使用した試験体概要を表 2.2.5.1～2.2.2.5-2 に示す。試験体には、表層ラミナが強軸方向のもの、弱軸方向のものを3体ずつ使用した。積算辺材率は、シールをしていない2面のうち、外層ラミナ、内層ラミナそれぞれの木口が露出している部分の辺材率の積算とした。

表 2.2.2.5-1 条件1 試験体概要

	番号	密度 (kg/m ³)	表層積算辺材率 (%)	内層積算辺材率 (%)
強軸方向	I D2-1	422	20	0
	I D3-1	454	50	0
	I D8-1	415	90	0
弱軸方向	II D2-1	395	120	10
	II D4-1	415	80	0
	II D6-1	443	10	0

表 2.2.2.5-2 条件2 試験体概要

	番号	密度 (kg/m ³)	表層積算辺材率 (%)	内層積算辺材率 (%)
強軸方向	I D2-2	439	10	0
	I D3-2	433	110	0
	I D8-2	424	30	0
弱軸方向	II D2-2	416	20	0
	II D4-2	417	30	0
	II D6-2	422	120	0

2) 注入条件と注入量

注入条件を表 2.2.2.5-3 に、各条件での注入量を表 2.2.2.5-4 に示す。

2.2.1.5 の試験結果から、減圧注入よりも加圧のみの注入（ローリー法）で処理した場合の方が、注入量のバラツキが小さいと考えられたため、2.2.1.5 の条件 3 をベースに注入条件を設定した。

表 2.2.2.5-3 注入条件

条件	前排気		加圧		後排気	
	減圧 (MPa)	時間 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)	減圧 (MPa)	時間 (分)
1	-	-	0.75	60	0.08	30
2	-	-	0.50	30	0.08	30

表 2.2.2.5-4 注入量

条件	注入量 (kg/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	438	465	412	20
2	347	367	323	18

3) 乾燥条件と乾燥時間

乾燥条件は、送風乾燥器にて 70 °C一定とし、注入前重量を下回った時点で乾燥終了とした。条件 1、条件 2 共に注入処理当日に乾燥器に投入した。各試験体の乾燥による重量変化を図 2.2.2.5-1~2.2.2.5-2 に示す。注入前重量を下回るまでに、条件 1 では 10~12 日、条件 2 では 10~11 日となり、注入量が多いほど乾燥に日数が必要だった。

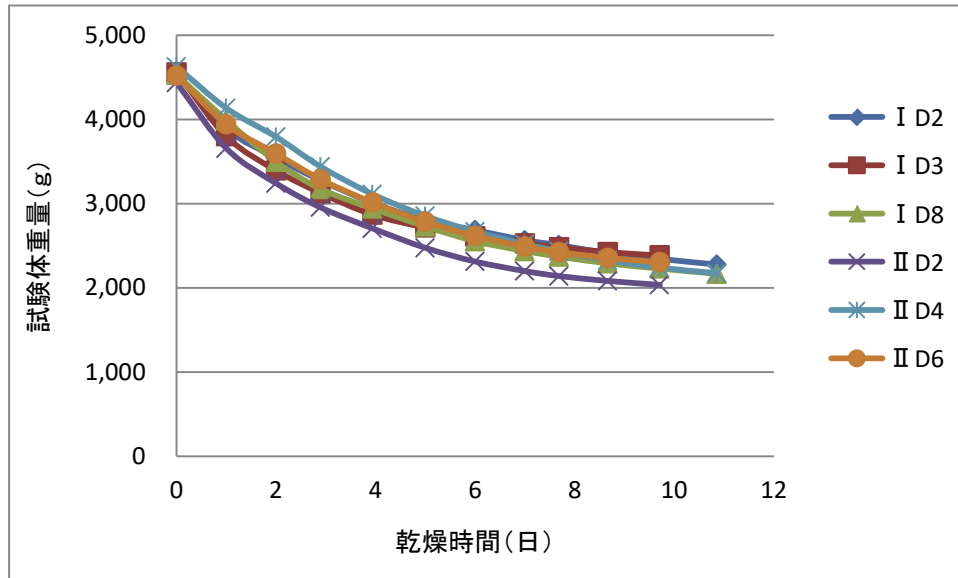


図 2.2.2.5-1 条件 1 試験体重量変化

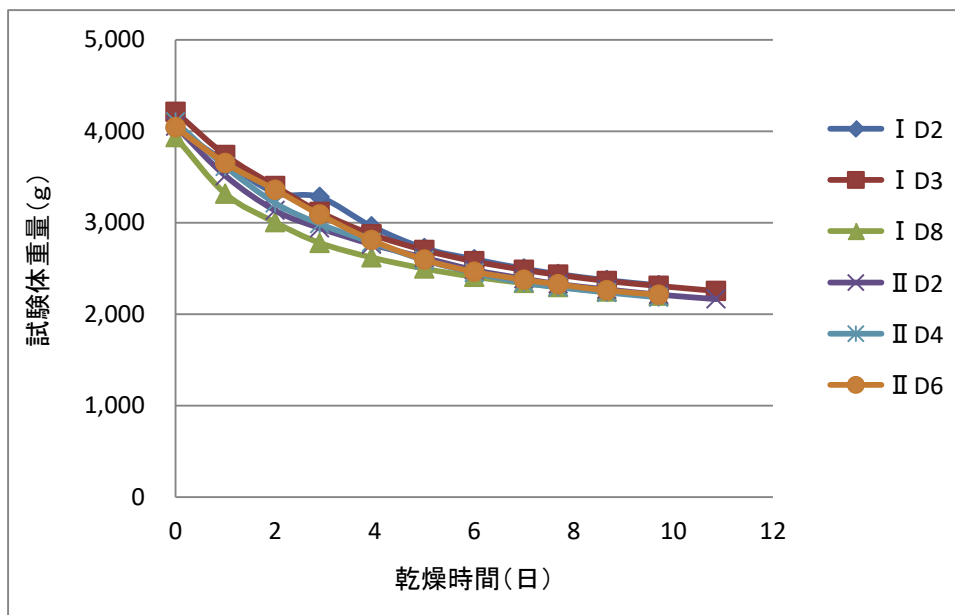


図 2.2.2.5-2 条件 2 試験体重量変化

4) 含水率分布

表 2.2.2.5-5、2.2.2.5-6 に各部位の乾燥終了後含水率を示す。

強軸方向試験体ではイ、ロ、ホ、へが、弱軸方向試験体ではハ、ニが材長 300mm の長手ラミナを使用している。わずかな差ではあるが、長手のラミナを使用している部位の方が、含水率が高めの状態にあった。

条件 1 と条件 2 では仕上がり含水率分布については、大きな差はなかった。

表 2.2.2.5-5 条件 1 含水率分布

試験体	部位	含水率 (%)											
		0~10 mm				50~60 mm				290~300 mm			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
強軸方向	イ	8.5	10.5	7.3	1.7	8.7	11.1	7.2	2.1	10.4	15.4	7.5	4.4
	ロ	7.9	8.4	7.2	0.6	8.2	8.6	7.4	0.7	8.9	10.5	7.5	1.5
	ハ	6.2	6.9	5.1	1.0	7.8	8.9	5.6	1.9	8.4	10.1	7.0	1.6
	ニ	6.4	6.9	5.9	0.5	7.0	7.6	6.3	0.7	7.1	7.9	6.5	0.7
	ホ	7.6	8.2	6.8	0.7	7.8	8.8	6.5	1.2	8.4	8.7	8.1	0.3
	へ	7.7	8.0	7.4	0.3	8.2	8.8	7.3	0.8	8.1	8.8	7.4	0.7
弱軸方向	イ	6.7	7.1	6.4	0.4	7.9	9.5	6.6	1.5	7.8	10.7	6.1	2.6
	ロ	6.7	7.1	6.0	0.6	7.4	8.3	6.5	0.9	7.4	9.2	6.3	1.6
	ハ	8.3	9.0	7.8	0.6	8.9	9.6	7.9	0.9	10.1	11.8	8.4	1.7
	ニ	7.6	7.7	7.4	0.2	8.2	9.0	7.5	0.8	8.8	9.5	7.9	0.8
	ホ	6.4	7.4	5.4	1.0	7.6	8.6	5.8	1.6	8.2	11.8	6.0	3.2
	へ	6.5	7.1	6.1	0.5	7.3	8.1	6.3	0.9	7.3	9.0	6.2	1.5

イ、ハ、ホ：シールした面を含む部分

表 2.2.2.5-6 条件 2 含水率分布

試験 体	部位	含水率 (%)											
		0~10 mm				50~60 mm				290~300 mm			
		平均	最大	最小	標準 偏差	平均	最大	最小	標準 偏差	平均	最大	最小	標準 偏差
強軸 方向	イ	8.5	8.9	7.8	0.6	9.0	9.8	8.0	0.9	9.2	9.9	8.5	0.7
	ロ	7.8	8.5	7.4	0.6	7.6	8.5	6.8	0.8	7.6	8.4	7.0	0.7
	ハ	6.7	7.3	5.9	0.7	10.2	12.1	7.7	2.3	6.9	7.2	6.5	0.4
	ニ	6.9	7.6	6.1	0.7	7.9	8.7	7.0	0.8	6.5	6.7	6.4	0.2
	ホ	8.6	9.8	7.9	1.1	9.5	11.3	8.1	1.6	9.8	12.0	8.0	2.0
	ヘ	7.5	8.6	6.9	0.9	7.5	8.7	6.8	1.1	7.0	8.0	5.8	1.1
弱軸 方向	イ	7.7	8.0	7.2	0.4	8.5	10.7	6.5	2.1	7.3	8.1	6.1	1.1
	ロ	7.3	7.5	7.1	0.2	7.7	8.7	6.9	0.9	8.0	10.2	6.2	2.0
	ハ	9.8	11.8	8.6	1.7	10.0	10.5	9.3	0.6	10.9	11.4	10.2	0.6
	ニ	7.7	7.9	7.7	0.1	8.1	8.2	7.9	0.2	8.7	9.2	8.2	0.5
	ホ	7.3	8.8	6.5	1.3	7.8	8.9	6.7	1.1	8.5	9.8	6.9	1.5
	ヘ	7.0	7.7	6.5	0.6	7.2	7.8	6.7	0.5	6.7	7.1	5.8	0.8

イ、ハ、ホ：シールした面を含む部分

6) 浸潤度

条件 1、2 の木口から 10、50、285 mm 部分の浸潤度写真を図 2.2.2.5-3、2.2.2.5-4 に示す。

2.2.1.5 項のラミナでの注入条件を基に、加圧圧力及び時間を低く設定したが、結果的にはラミナでの注入量と同程度の注入量を確保した。

その結果、注入条件 1、2 共に木口から 50 mm 部分の辺材は 100 % 浸潤していた。285 mm 部分の辺材も概ね 100 % 浸潤しており、心材にも表層 10 mm もしくはそれ以上の浸潤が確認された。

番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 285 mm
I D-2			
I D-3			
I D-8			
II D-2			
II D-4			
II D-6			

図 2.2.2.5-3 条件 1 浸潤度写真

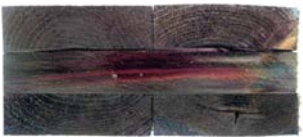

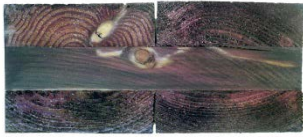
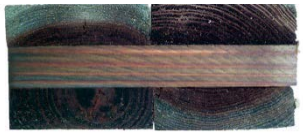













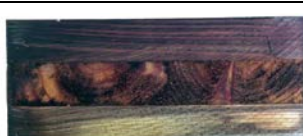
番号	木口から 10 mm	木口から 50 mm	木口から 285 mm
I D-2			
I D-3			
I D-8			
II D-2			
II D-4			
II D-6			

図 2. 2. 2. 5-4 条件 2 浸潤度写真

2.2.2.6 まとめ

製品処理 CLT の製造において含水率及び寸法精度が基準を満足するための適正な薬剤注入条件の導出を目的として、各種注入条件と保存性能、品質の関係を明らかにするための基礎的なデータ収集を行った。試験には 87mm×203mm×300mm の 3 層 3 プライ CLT 小ブロックを用いた。一連の結果を表 2.2.2.6-1 にまとめて示す。

小ブロック試験でもラミナ試験と同様に「減圧+加圧」では圧力を低くし処理時間を短くしても一定の注入量となってしまうこと、「減圧のみ」の場合は注入量を減少させることはできるがバラツキが大きいことが確認できた。「加圧のみ」の場合は、圧力 0.3～0.5MPa では時間を 10 分程度、圧力 0.8MPa では時間を 1～3 分程度に調節することで注入量をコントロールして減少させるとともにバラツキも抑えられることが明らかになった。

湿式の場合であれば、注入量を 150kg/m³ 程度以上にすることで、浸潤度は木口からの距離が 50mm の断面では辺材のほぼ 100%が期待できる。また、その場合、乾燥時間は 300 kg/m³ 以上注入した場合より半分程度になることが明らかになった。この結果、適正な注入量としては小ブロックのサイズの場合 150～250kg/m³ 程度であると考えられた。

表 2.2.2.6-1 CLT 小ブロック試験の結果概要

方式・薬剤	乾式 AZN		湿式 ACQ		湿式 AAC		湿式 CUAZ		
注入条件	減圧導入/10分 +0.8MPa/1分	減圧導入/10分 +0.8MPa/3分	0.08MPa/15分 +1.2MPa/5分	0.08MPa/30分	0.5MPa/10分+ 後減圧/60分	0.3MPa/10分+0 後減圧/60分	0.75MPa/60分+ 後排気/30分	0.50MPa/30分+ 後排気/30分	
注入量 kg/m ³	88 ~ 152	262 ~ 309	512 ~ 584	84 ~ 280	204 ~ 253	145 ~ 196	412 ~ 465	323 ~ 367	
乾燥時間 日	~	~	10 ~ 13	2 ~ 6	7 ~ 7	5 ~ 6	10 ~ 12	10 ~ 11	
密度 kg/m ³	402 ~ 441	407 ~ 446	405 ~ 441	398 ~ 426	407 ~ 435	398 ~ 459	395 ~ 454	416 ~ 439	
測定対象	外層								
辺材率 %	0 ~ 460	0 ~ 250	60 ~ 150	80 ~ 150	10 ~ 100	30 ~ 90	10 ~ 120	10 ~ 120	
含水率	10mm	8.5 ~ 13.5	8.5 ~ 13.7	2.4 ~ 5.5	4.0 ~ 8.2	6.1 ~ 9.2	5.8 ~ 9.1	5.4 ~ 10.5	6.5 ~ 9.8
	50mm	8.7 ~ 11.2	9.0 ~ 11.6	3.1 ~ 8.7	5.1 ~ 10.5	7.4 ~ 10.7	7.5 ~ 11.2	5.8 ~ 11.1	6.5 ~ 11.3
	290mm	7.3 ~ 10.2	6.9 ~ 10.5	2.1 ~ 7.7	4.2 ~ 8.4	6.9 ~ 11.7	6.6 ~ 11.5	6.0 ~ 15.4	5.8 ~ 12.0
測定対象	内層								
辺材率 %	0 ~ 260	0 ~ 270	0 ~ 10	0 ~ 0	0 ~ 30	0 ~ 10	0 ~ 10	0 ~ 0	
含水率	10mm	8.5 ~ 9.6	8.1 ~ 10.7	1.6 ~ 6.1	5.0 ~ 8.9	6.4 ~ 8.7	6.5 ~ 8.5	5.1 ~ 9.0	5.9 ~ 11.8
	50mm	8.7 ~ 10.2	8.3 ~ 10.1	2.8 ~ 10.5	5.9 ~ 12.4	8.5 ~ 18.9	8.0 ~ 12.9	5.6 ~ 9.6	7.0 ~ 12.1
	290mm	7.3 ~ 8.7	6.8 ~ 8.7	2.8 ~ 10.5	5.5 ~ 9.4	3.2 ~ 12.5	7.6 ~ 11.2	7.9 ~ 11.8	6.4 ~ 11.4

2.2.3 実大パネル試験

2.2.3.1 試験法

1) 目的

ラミナおよび小ブロック CLT を用いた試験を通じて導出した注入条件で実大の保存処理 CLT の製造を行って基礎的なデータを収集した。

2) 試験体

2.1.2 で説明した幅 2.5m×長さ 6.1m の 3 層 3 プライ CLT から図 2.2.3.1.-1 に示すように幅 0.9m×長さ 3.0m の試験体を 4 枚、計 16 枚採材し、実大パネル試験に供した。

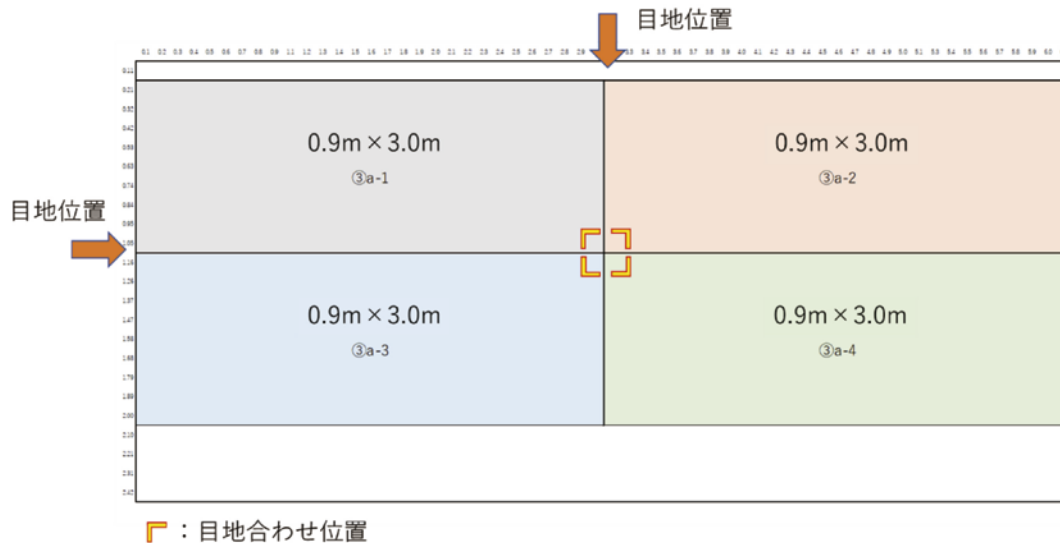


図 2.2.3.1-1 CLT パネルからの実大試験用 CLT の採材

3) 注入条件および乾燥条件

注入条件は小ブロック試験の結果から設定した。湿式薬剤の注入後の乾燥は、土台等の保存処理製品の製造に用いている乾燥機と乾燥スケジュールを用いて実施した。

4) 試験に関わる測定項目・評価項目

- ・注入前：実大パネルの注入前重量、注入後重量（湿式のみ）
- ・注入前および乾燥後：図 2.2.3.1-2 に示す箇所において実大パネルの厚さ、含水率計を用いた含水率を測定
- ・詳細測定試験体（図 2.2.3.1-2）：図 2.2.3.1-3 に示す箇所における厚さ、全乾含水率、浸潤度、吸収量

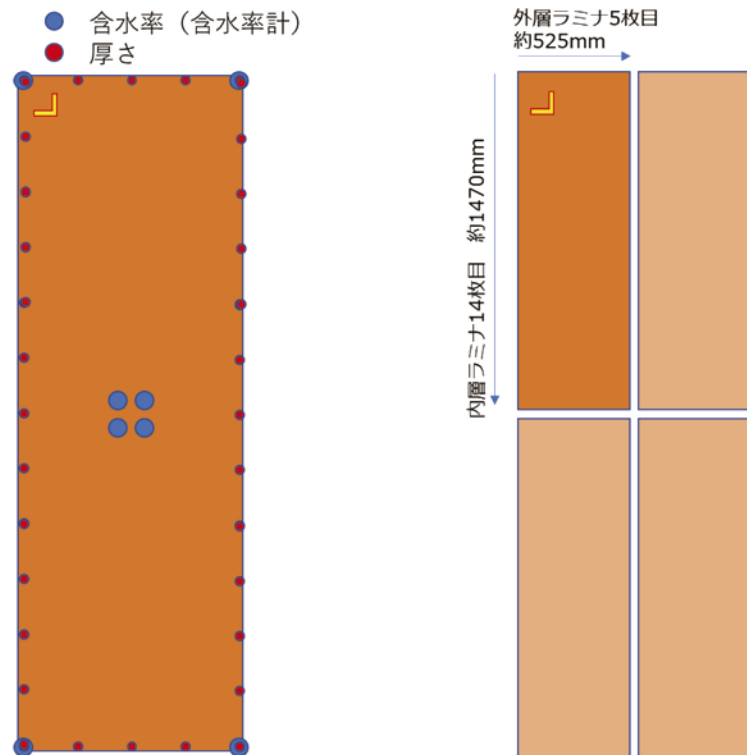


図 2. 2. 3. 1-2 実大パネルの計測点及び詳細測定用試験体の採材

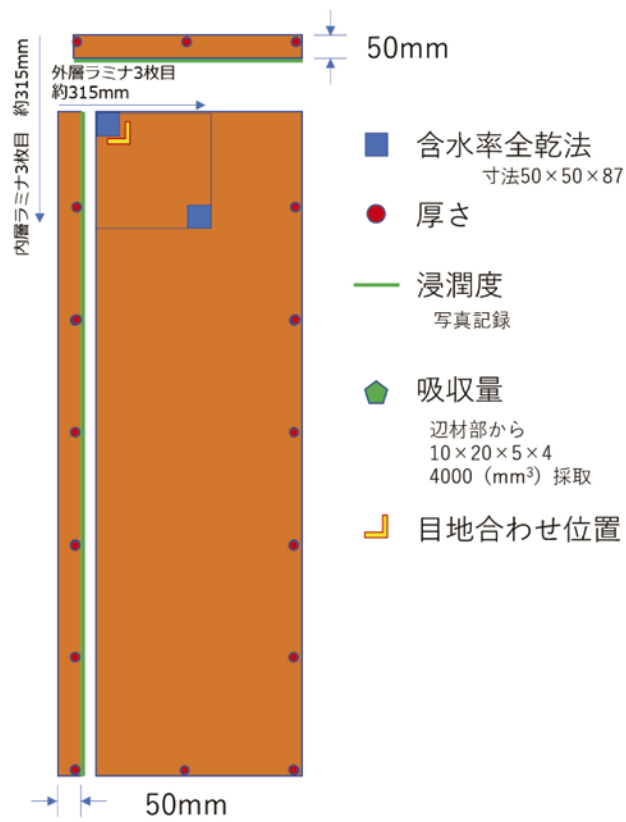


図 2. 2. 3. 1-3 浸潤度測定等の対象位置

2.2.3.2 結果 乾式：AZN

兼松サステック株式会社関西工場において、生産用注薬缶を用いた CLT 実大パネルへの AZN の注入試験を実施した。試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

表 2.2.3.2-1 に試験体密度を示す。

表 2.2.3.2-1 試験体密度

番号	密度 (kg/m ³)
ⅢS-1	413
ⅢS-2	423
ⅢS-3	419
ⅢS-4	437

2) 注入条件と注入量

AZN の注入は表 2.2.3.2-2 の条件で行った。なお、減圧時間、加圧時間は設定圧力に到達してからの時間である。薬液導入は約 20 分、加圧時の設定圧力到達までが約 30 分であった。

- ・条件 1 減圧 (0.067MPa-0 分) → 薬液導入 → 加圧 (0.8MPa-3 分)

表 2.2.3.2-2 注入条件

条件	減圧 (MPa)	時間 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)
1	0.067	0	0.8	3

CLT 実大パネルだけでは、生産用注薬缶における AZN 乾式注入処理の可能容積に満たないため、他樹種の木材と混載ロットで AZN 処理を実施した。工程上各パネルの注入量を測定できないが、今回の混載ロットでの薬剤注入量は、240.90/m³であった。

3) 乾燥条件（溶媒回収条件）

AZN 乾式処理した CLT 実大パネル材は注薬装置内での溶媒回収を行うことができるため、装置外での乾燥期間は設けなかった。溶媒回収工程は、ロット内の主要な樹種に対する設定とし、18時間実施した。各CLTパネルの注入前重量と注入後（溶媒回収後）の重量を表 2.2.3.2-3 に示す。

表 2.2.3.2-3 試験体重量

番号	注入前重量 (kg)	注入後重量 (kg)
ⅢS-1	97.08	101.15
ⅢS-2	100.02	101.92
ⅢS-3	98.72	99.15
ⅢS-4	102.92	104.14

4) 含水率

注入前及び注入後（溶媒回収後）に含水率計（Kett:HM-540）を用いて含水率を測定した（図 2.2.3.1-2 参照）。その後、実大パネルの目地で切られた面を基準に、50mm 部分と、外層ラミナ 3 枚目と内層ラミナ 3 枚目が直交している箇所より 50mm×50mm×87mm の試料を切り出し、全乾含水率を算出した（図 2.2.3.1-3 参照）。

測定した含水率を表 2.2.3.2-4、表 2.2.3.2-5 に示す。

表 2.2.3.2-4 試験材含水率（含水率計）

含水率 (%)									
番号	測定箇所	注入前				注入後			
		平均	最大	最小	標準偏差	平均	最大	最小	標準偏差
ⅢS-1	木口側	11.6	13.5	10.6	1.3	12.8	14.0	11.0	1.4
	中央側	11.1	11.9	10.7	0.5	9.7	10.1	9.3	0.3
ⅢS-2	木口側	10.6	11.6	9.4	0.9	12.8	14.5	9.3	2.4
	中央側	11.9	12.8	10.8	0.9	8.5	8.6	8.2	0.2
ⅢS-3	木口側	11.5	12.2	10.7	0.8	13.5	14.5	11.3	1.5
	中央側	12.2	14.5	10.4	2.0	8.7	9.3	8.1	0.6
ⅢS-4	木口側	12.4	15.7	10.2	2.5	11.9	13.8	9.9	1.7
	中央側	12.3	13.1	11.5	0.7	9.3	9.8	8.6	0.6

表 2.2.3.2-5 試験材含水率（全乾含水率）

番号	測定箇所	含水率
ⅢS-1	木口側	9.7
	中央側	11.2
ⅢS-2	木口側	10.2
	中央側	8.2
ⅢS-3	木口側	11.8
	中央側	10.9
ⅢS-4	木口側	10.3
	中央側	6.2

5) 寸法変化

注入、注入後（溶媒回収後）の寸法（厚さ）を表 2.2.3.2-6～表 2.2.3.2-11 に示す。寸法測定は、目地で切られた面を基準に、短辺側は外層ラミナ奇数枚目の中央を、長辺側は 250mm 間隔で測定を実施した（図 2.2.3.1-2 参照）。

浸潤度の分析用に試験材を切り分けた際の試験材の寸法（図 2.2.3.1-3 参照）を表 2.2.3.2-8～2.2.3.2-11 に示す。

表 2.2.3.2-6 試験材寸法（短辺側）

目地からの ラミナ枚数	注入前				注入後寸法			
	平均	最大	最小	標準 偏差	平均	最大	最小	標準 偏差
1	87.2	87.6	87.0	0.2	87.7	88.1	87.5	0.2
3	87.5	87.9	87.2	0.3	88.0	88.3	87.6	0.3
5	87.3	87.6	87.1	0.2	87.9	88.7	87.6	0.3
7	87.3	87.6	86.8	0.3	87.8	88.2	87.4	0.3
9	87.1	87.4	86.6	0.3	87.6	87.9	87.1	0.3

表 2.2.3.2-7 試験材寸法（長辺側）

250mm 間隔	注入前				注入後寸法			
	平均	最大	最小	標準 偏差	平均	最大	最小	標準 偏差
250mm	87.4	87.8	87.2	0.2	87.8	88.3	87.4	0.3
500mm	87.4	87.5	87.2	0.1	87.8	88.2	87.2	0.3
750mm	87.5	87.6	87.2	0.2	87.8	88.1	87.7	0.1
1000mm	87.2	87.5	87.1	0.1	87.7	88.0	87.4	0.3
1250mm	87.3	87.6	87.1	0.2	87.6	88.1	87.0	0.4
1500mm	87.4	87.7	87.0	0.2	87.8	88.3	87.0	0.4
1750mm	87.4	87.7	87.0	0.2	87.8	88.1	87.3	0.3
2000mm	87.5	87.7	87.3	0.1	87.9	88.2	87.5	0.2
2250mm	87.3	87.5	87.2	0.1	87.8	87.9	87.7	0.1
2500mm	87.4	87.6	87.2	0.2	88.0	88.4	87.6	0.3
2750mm	87.3	87.7	86.9	0.3	87.7	88.6	87.4	0.4

表 2.2.3.2-8 分割後試験材寸法（短辺木口側）

目地からの ラミナ枚数	注入後寸法			
	平均	最大	最小	標準 偏差
1	87.7	88.0	87.5	0.2
3	88.1	88.3	87.7	0.3
5	87.9	88.7	87.6	0.5

表 2.2.3.2-9 分割後試験材寸法（短辺中央側）

目地からの ラミナ枚数	注入後寸法			
	平均	最大	最小	標準 偏差
1	87.4	87.7	87.0	0.3
3	86.9	87.4	86.6	0.3
5	87.2	87.5	86.7	0.3

表 2.2.3.2-10 試験材寸法（長辺木口側）

250mm 間隔	注入後寸法			
	平均	最大	最小	標準 偏差
250mm	87.5	87.9	86.9	0.4
500mm	87.4	87.9	86.7	0.5
750mm	87.2	88.2	86.7	0.6
1000mm	87.5	88.1	86.9	0.5
1250mm	87.4	87.9	87.1	0.3

表 2.2.3.2-11 試験材寸法（長辺中央側）

250mm 間隔	注入後寸法			
	平均	最大	最小	標準 偏差
250mm	87.9	88.3	87.4	0.3
500mm	87.8	88.2	87.2	0.4
750mm	87.9	88.1	87.8	0.2
1000mm	87.7	88.0	87.4	0.3
1250mm	87.5	87.8	87.0	0.4

6) 浸潤度

目地で切られた側を基準に、木口側から 50mm の位置で浸潤度確認用の試料を切り出した (図 2.2.3.1-3 参照)。なお、浸潤度の評価面は、短辺においては外層ラミナの 5 枚目までの辺材部、長辺は内層ラミナが 14 枚目までにおける表層 10mm 内の心材部分とした。薬剤の浸潤度を図 2.2.3.2-1 に示す。

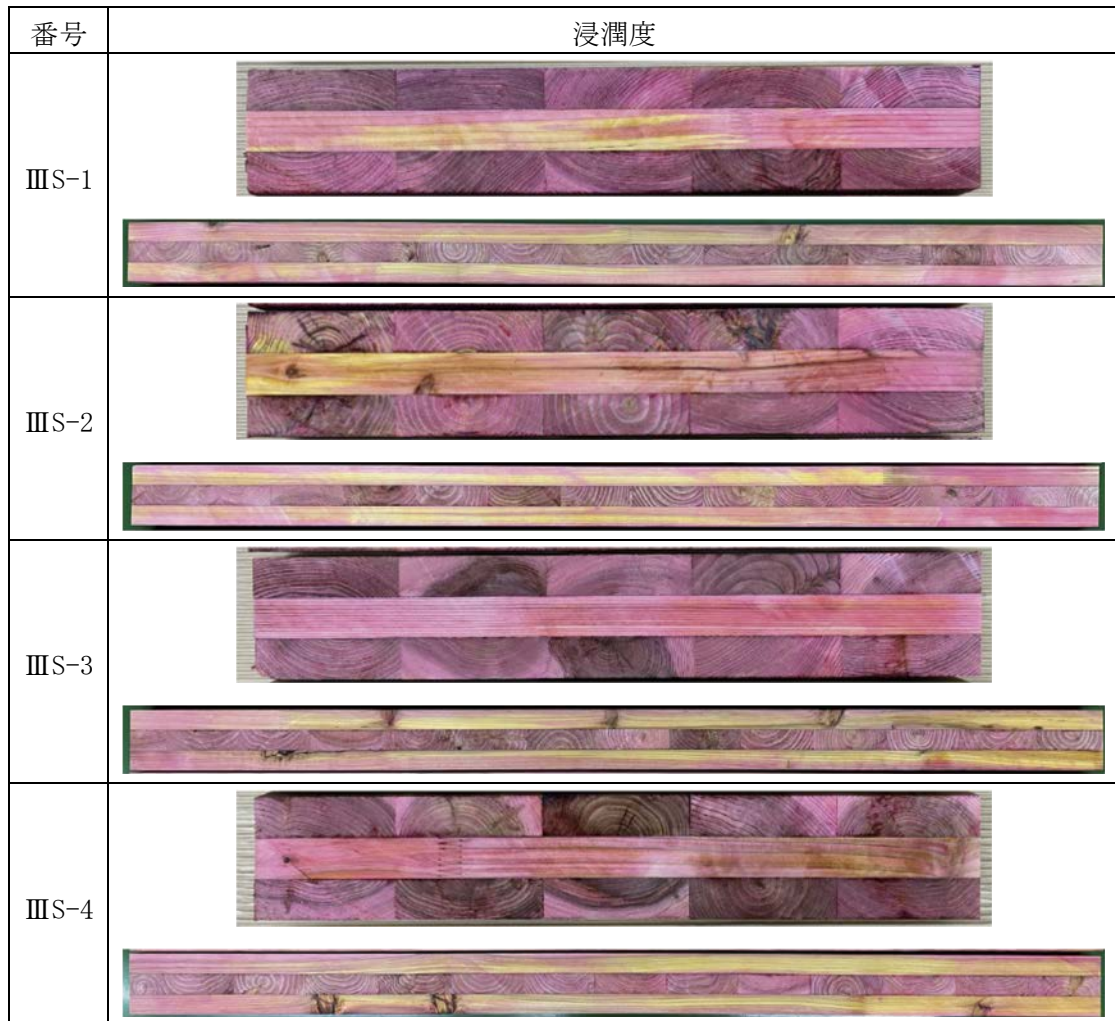


図 2.2.3.2-1 浸潤度写真

表 2.2.3.2-12 薬剤浸潤度

番号	辺材部浸潤度		表層 10mm 内の心材部浸潤度	
	短辺側	長辺側	短辺側	長辺側
III S-1	100%	100%	100%	100%
III S-2	100%	100%	100%	100%
III S-3	100%	100%	100%	87%
III S-4	100%	100%	100%	85%

7) 吸収量

試験材の木口から約 50mm～約 300mm の外層ラミナに存在する辺材部分より、有効成分吸収量分析用の試料を採取し分析に供試した。

表 2. 2. 3. 2-13 有効成分吸収量

番号	有効成分吸収量 (kg/m ³)
ⅢS-1	0.32
ⅢS-2	0.50
ⅢS-3	0.40
ⅢS-4	0.44

2.2.3.3 結果 湿式：ACQ

越井木材工業株式会社において、ACQを用いて、生産用注薬缶で実施した実大パネル試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

表 2.2.3.3-1 に試験体密度を示す。試験体密度は平均 415 kg/m³ だった。

表 2.2.3.3-1 試験体密度

番号	密度 (kg/m ³)
ⅢK1	410
ⅢK2	419
ⅢK3	415
ⅢK4	415

2) 注入条件と注入量

注入条件を表 2.2.3.3-2 に、注入量を表 2.2.3.3-3 に、同時に注入した小ブロックの注入量を表 2.2.3.3-4 に示す。また、注入の様子を図 2.2.3.3-1

なお、減圧時間は設定圧力に達してからの時間とした。

実大パネルでは、試験注薬缶で実施した小ブロック試験体の条件 2 (減圧 30 分) と比較すると、ばらつきは少ないものの注入量は 1/4 程度となった。実大パネルと同時に、2.2.2.2 で使用した小ブロックと同じ寸法、シール処理の試験体も 6 体注入したが、平均注入量は試験注薬缶での注入量の半分程度であり、似たような条件でも、注入装置による注入量の差があることが示唆された。また、注入サイズが大きくなると、表面積における木口面積の割合が小さくなるため、実大パネルでは同時に注入した小ブロックより注入量が少なくなったと考えられる。

表 2.2.3.3-2 注入条件

条件	減圧 (MPa)	時間 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)
1	0.08	60	-	-

表 2.2.3.3-3 注入量

条件	注入量 (kg/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	37	39	34	3

表 2. 2. 3. 3-4 同時に注入した小ブロックの注入量

条件	注入量 (kg/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	80	100	61	13



図 2. 2. 3. 3-1 注入風景（最上段が CLT 実大パネル試験体）

3) 乾燥条件

2日養生した後、蒸気式乾燥機にて温度 60℃、最大乾湿球温度差 18℃、乾燥時間 84 時間のスケジュールで実施したが、乾燥終了後も重量は注入前重量まで下がっておらず、高周波含水率計で含水率を測定したところ、木口付近は高いところで 23%程度あったため、再度同じスケジュールで再乾燥させた。2回の乾燥が終了した状態を図 2. 2. 2. 3-2 に示す。なお、1回目の乾燥終了後、一部積層部分の剥離が確認された（図 2. 2. 3. 3-3）。注入から乾燥終了後までの重量変化を表 2. 2. 3. 3-5 に示す。1回目の乾燥終了後～2回目の乾燥終了後の重量減少は、注入後～1回目終了後より小さかった。



図 2. 2. 3. 3-2 乾燥終了後



図 2. 2. 3. 3-3 積層面の剥離

表 2. 2. 3. 3-5 注入～乾燥工程での重量変化

番号	重量(kg)			
	注入前	注入後	1回目 乾燥終了後	2回目 乾燥終了後
ⅢK1	96.90	106.05	100.00	98.90
ⅢK2	99.20	107.20	101.60	100.80
ⅢK3	98.10	107.25	100.75	99.85
ⅢK4	98.20	106.30	100.70	100.00

4) 含水率

高周波水分計での含水率測定位置を図 2. 2. 3. 3-4 に、高周波水分計で測定した注入前、乾燥後の含水率を表 2. 2. 3. 3-6 に示す。乾燥後の試験体重量が注入前重量まで戻っていないこともあり、人工乾燥後含水率は注入前含水率よりやや高めだった。また、測定位置やラミナによる含水率のばらつきが大きかった。

パネル切断後、木口側、中央側から試験体を採取して測定した全乾含水率を表 2. 2. 3. 3-7 に示す。木口側がやや高かったが、いずれも 15%以下だった。

今回は土台用の乾燥スケジュールを用いたところ、1度の乾燥では乾ききらなかったため、CLTの乾燥については別の乾燥スケジュールの検討が必要だと考えられる。

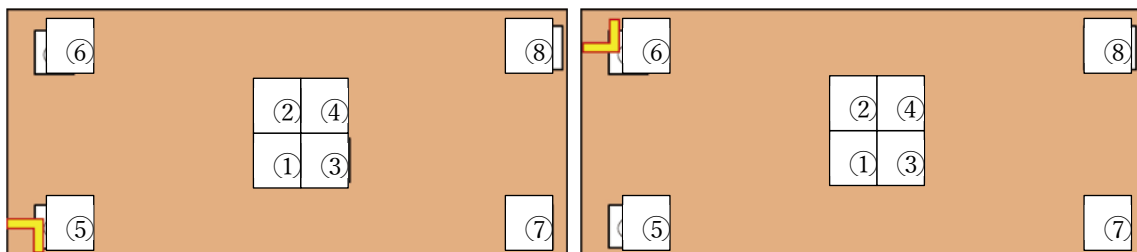


図 2. 2. 3. 3-4 含水率の測定位置（高周波水分計） 左がⅢK2・ⅢK3、右がⅢK1・ⅢK4

表 2.2.3.3-6 注入前、乾燥後の含水率（高周波水分計：HM-520 MOC02）

No.	含水率 (%)									
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	平均
ⅢK1	注入前	19.5	11.5	21.0	12.0	12.5	11.0	12.5	14.5	14
	注入後	20.5	14.0	19.5	13.0	17.0	13.0	16.0	16.6	16
ⅢK2	注入前	14.5	17.5	15.5	16.5	14.5	15.0	14.0	15.5	15
	注入後	18.0	19.0	16.0	18.0	15.0	16.0	14.0	16.0	17
ⅢK3	注入前	11.5	15.5	11.5	12.5	12.0	15.0	16.0	17.0	14
	注入後	12.0	17.0	13.0	13.0	21.0	13.5	16.5	19.5	16
ⅢK4	注入前	11.5	12.5	11.5	12.5	12.0	11.5	14.0	13.0	12
	注入後	8.0	8.5	8.0	8.5	16.0	11.5	18.5	16.5	12

表 2.2.3.3-7 試験材含水率（全乾含水率）

番号	測定箇所	含水率
ⅢK-1	木口側	12.7
	中央側	12.4
ⅢK-2	木口側	13.3
	中央側	12.1
ⅢK-3	木口側	13.3
	中央側	11.8
ⅢK-4	木口側	13.3
	中央側	12.3

5) 寸法変化

寸法は、注入前後で厚さのみを測定した。寸法測定場所を図 2.2.3.3-5 に示す。短辺は角の印から数えて奇数番ラミナの中央部、長辺は 250 mm ごとに測定した。注入前後の寸法変化量を表 2.2.3.3-8、2.2.3.3-9 に示す。平均寸法変化量はいずれの場所も 1 mm 以下であり、最大で 1.56 mm だった。

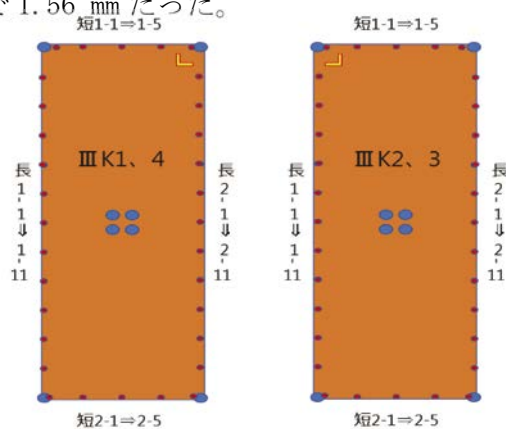


図 2.2.3.3-5 寸法測定場所

表 2.2.3.3-8 試験材寸法変化量（短辺側）

目地からの ラミナ枚数 (番号)	寸法変化量 (mm)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1 (1)	0.8	1.56	0.12	0.49
3 (2)	0.8	1.2	0.24	0.35
5 (3)	0.6	1.16	0.07	0.38
7 (4)	0.6	1.47	0.06	0.46
9 (5)	0.7	0.98	0.24	0.32

表 2.2.3.3-9 試験材寸法変化量（長辺側）

目地からの ラミナ枚数 (番号)	寸法変化量 (mm)			
	平均	最大	最小	標準偏差
250mm (1)	0.6	0.87	0.31	0.16
500mm (2)	0.9	1.2	0.61	0.19
750mm (3)	0.8	1.03	0.62	0.14
1000mm (4)	0.8	1.18	0.41	0.24
1250mm (5)	0.8	1.05	0.36	0.24
1500mm (6)	0.6	1.03	0.2	0.25
1750mm (7)	0.6	1.04	0.11	0.34
2000mm (8)	0.6	0.99	0.18	0.23
2250mm (9)	0.7	1.03	0.31	0.23
2500mm (10)	0.7	0.95	0.42	0.19
2750mm (11)	0.6	0.71	0.37	0.12

6) 浸潤度

実大パネルの目地で切られた側を基準に、木口側から 50mm の位置で浸潤度確認用の試験体を切り出し浸潤度を確認した（図 2.2.3.1-3 参照）。浸潤度は辺材部および露出している材表面から 10mm 範囲に存在している心材を対象として測定した。浸潤度を示す写真を図 2.2.3.3-6 に、浸潤度の測定結果を表 2.2.3.3-10 に示す。

木口から 50mm 部分の辺材においては、浸潤度は 80%以上だったが、表層から 10mm 範囲の心材部分への浸潤度は 25～39%だった。心材への浸潤にはムラがあり、外層であっても必ずしも表層から浸潤しているわけではなかった。

小ブロックの短辺、長辺の木口から 50 mm 部分の浸潤度写真を図 2.2.3.3-7 に、浸潤度の測定結果を表 2.2.3.3-11 に示す。実大パネル同様、辺材では平均 91%の浸潤が認められたが、材表面から 10 mm 範囲の心材部分は浸潤にムラがあり、浸潤度は平均 26%だった。小ブロックの注入量は実大パネルの約 2 倍だったが、浸潤度に大きな差はなかった。









番号		浸潤写真
ⅢK-1	短辺	
	長辺	
ⅢK-2	短辺	
	長辺	
ⅢK-3	短辺	
	長辺	
ⅢK-4	短辺	
	長辺	

図 2.2.3.3-6 実大パネル浸潤度写真

表 2.2.3.3-10 実大パネルの薬剤浸潤度

番号	浸潤度 (%)	
	辺材部	材表面から 10mm 範囲の心材部
ⅢK-1	95	33
ⅢK-2	81	37
ⅢK-3	87	39
ⅢK-4	86	25
平均	87	34
標準偏差	6	6

表 2.2.3.5-11 CLT (小ブロック) の浸潤度

番号	浸潤度 (%)	
	辺材部	材表面から 10mm 範囲の心材部
I K-1	94	25
I K-3	94	59
I K-5	87	30
ⅡK-4	94	5
ⅡK-5	86	11
ⅡK-6	90	26
平均値	91	26
標準偏差	4	19




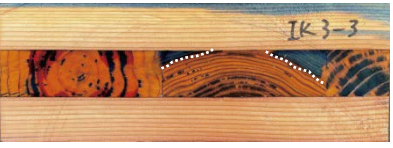



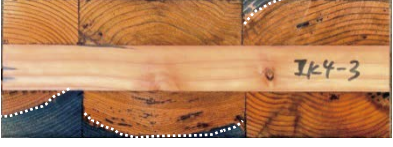


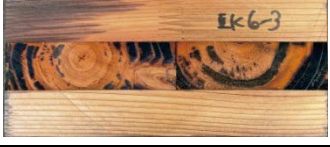

番号	浸潤写真	
	短辺	長辺
I K-1		
I K-3		
I K-5		
II K-4		
II K-5		
II K-6		

図 2.2.3.3-7 小ブロック浸潤度写真

2.2.3.4 結果 湿式：AAC

株式会社ガイエンスにおいて、AACを用いて、生産用注薬缶で実施した実大パネル試験結果を以下に示す。

1) 試験体の概要

表 2.2.3.4-1 に試験体密度を示す。試験体密度は平均 420 kg/m³ だった。

表 2.2.3.4-1 試験体密度

番号	密度 (kg/m ³)
III Z1	427
III Z2	419
III Z3	419
III Z4	414

2) 注入条件と注入量

注入条件を表 2.2.3.4-2 に、注入量を表 2.2.3.4-3 に示す。また同時に注入した小ブロックの注入量を表 2.2.3.4-4 に示す。

小ブロックの結果をうけてローリー法、0.5MPa 10分の条件を目標に行ったが、設備操作の関係で目標通り行えず、結果、加圧条件が最大 1.1MPa ポンプ稼働 4分で終了させた。

実大パネルの注入量は試験注薬缶で行った小ブロックの注入量に比べ 1/3 程度となった。注入条件（スケジュール）が異なったこともあるが、同時に注入した小ブロックに比べても注入量が 1/2 程度であることから、材料の大きさ（ラミナ木口からの距離）が注入量に影響することが示唆された。

表 2.2.3.4-2 注入条件

条件	減圧 (MPa)	時間 (分)	加圧 (MPa)	時間 (分)	注入後減圧 (MPa)	時間 (分)
1	—	—	1.1-	4	0.08	60

表 2.2.3.4-3 注入量

条件	注入量 (kg/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	80	85	76	3

表 2. 2. 3. 4-4 同時に注入した小ブロックの注入量

条件	注入量 (kg/m ³)			
	平均	最大	最小	標準偏差
1	185	234	146	32

3) 乾燥条件と含水率

処理が終了した材料は、厚み 90mm の栈木を敷いて3日間の養生を行った後、人工乾燥を行った。人工乾燥スケジュールを図 2. 2. 3. 4-1 に示す。

また注入前後、養生後(人工乾燥直前)、人工乾燥後の重量を表 2. 2. 3. 4-5 に、含水率の測定位置を図 2. 2. 3. 4-2 に、注入前の含水率を表 2. 2. 3. 4-6、人工乾燥後の含水率を表 2. 2. 3. 4-7 に示す。

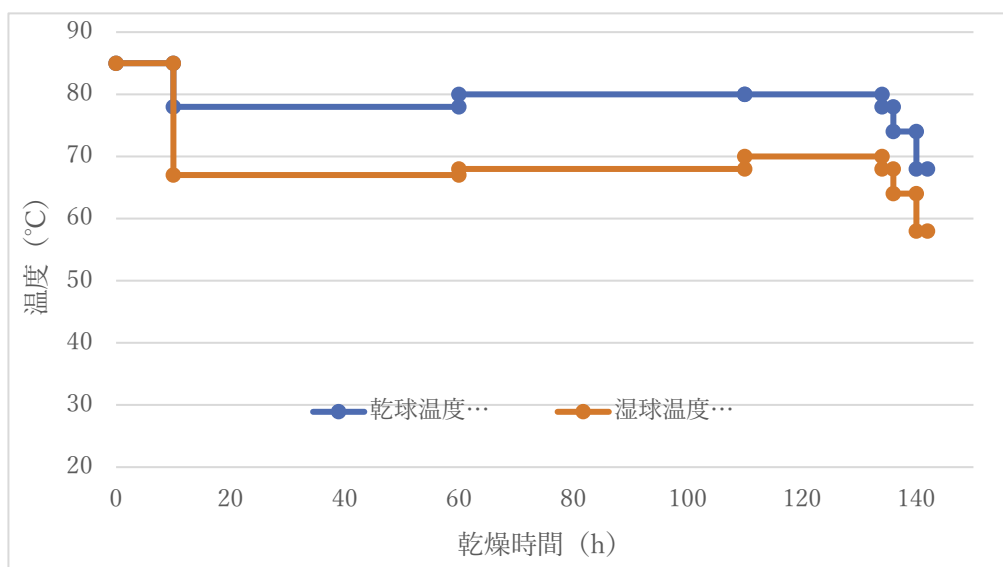


図 2. 2. 3. 4-1 人工乾燥スケジュール

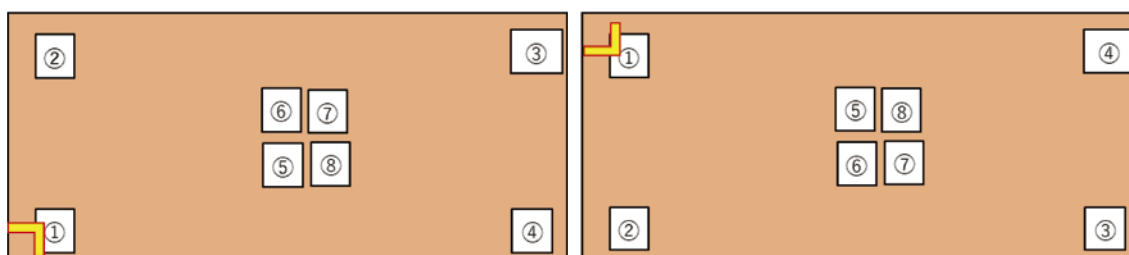


図 2. 2. 3. 4-2 含水率の測定位置 (高周波水分計) 左がⅢZ1・ⅢZ2、右がⅢZ3・ⅢZ4

表 2.2.3.4-5 注入～乾燥工程での重量変化

条件	番号	重量(kg)			
		注入前	注入後	養生後 (人乾前)	人乾後
1	ⅢZ1	100.40	120.30	114.75	99.30
	ⅢZ2	98.50	116.45	111.30	97.15
	ⅢZ3	98.30	116.80	111.75	96.95
	ⅢZ4	97.30	116.30	111.50	96.45

表 2.2.3.4-6 注入前含水率（高周波水分計：メルリン HM9-25WS）

No.	注入前含水率 (%)								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	平均
ⅢZ1	6.5	8.7	11.1	7.5	9.3	7.1	6.9	8.8	8.2
ⅢZ2	6.8	8.8	8.3	9.8	7.3	9.6	10.1	8.5	8.7
ⅢZ3	9.0	8.6	10.0	9.9	10.1	7.8	8.0	7.3	8.8
ⅢZ4	8.9	8.4	9.4	7.9	11.3	8.8	8.4	10.5	9.2

表 2.2.3.4-7 人工乾燥後含水率（高周波水分計：メルリン HM9-25WS）

No.	人工乾燥後含水率 (%)								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	平均
ⅢZ1	4.3	6.0	6.6	6.1	5.7	7.0	6.6	5.2	5.9
ⅢZ2	5.1	5.7	5.3	7.0	7.0	6.6	5.6	5.7	6.0
ⅢZ3	5.2	5.1	6.4	6.5	5.9	5.8	6.2	5.8	5.9
ⅢZ4	5.9	5.7	5.0	5.5	6.3	7.7	7.6	6.9	6.3

今回の人工乾燥では、高周波式含水率計による測定で注入前に6.5%～11.3%だった含水率が、乾燥後に4.3%～7.7%になり、やや過乾燥となった。

4) 寸法変化

寸法の測定は長さ、幅、及び複数個所の厚さを、注入前と人工乾燥後に実施した。長さ、幅の測定個所は、それぞれ短辺、長辺の中央部の1か所、厚さの測定箇所は短辺の各ラミナ中央部、長辺は強軸方向端部から25cmずつの位置で11か所(25cm～275cm)で測定した。なお測定した短辺・長辺は図2.2.3.4-2の印のある角に接する辺で行った。

寸法変化量を表2.2.3.4-8～9に示す。

表 2.2.3.4-8 CLT の保存処理による寸法変化（短辺厚さ）

No.	長さ mm	幅 mm	短辺厚さの差 (mm)					
			1枚目	3枚目	5枚目	7枚目	9枚目	平均
III Z1	-2	0	1.94	1.49	1.15	1.63	0.91	1.42
III Z2	-1	0	0.91	1.83	1.96	1.63	1.03	1.47
III Z3	-1	0	0.80	1.13	0.94	0.56	0.71	0.83
III Z4	-1	-1	0.60	1.07	1.07	1.39	1.50	1.13

表 2.2.3.4-9 CLT の保存処理による寸法変化（長辺厚さ）

No.	長辺厚さの差 (mm)					
	端～25cm	端～50cm	端～75cm	端～100cm	端～125cm	端～150cm
III Z1	0.61	0.65	0.72	0.68	0.65	0.62
III Z2	0.58	0.81	0.60	0.30	0.42	0.25
III Z3	0.23	0.56	0.92	0.20	0.59	0.62
III Z4	0.58	0.68	0.23	0.33	0.06	0.97
No.	長辺厚さの差 (mm)					
	端～175cm	端～200cm	端～225cm	端～250cm	端～275cm	平均
III Z1	0.59	0.79	0.69	0.40	0.87	0.66
III Z2	0.33	0.32	0.44	0.37	0.99	0.49
III Z3	0.33	0.94	0.45	0.99	0.64	0.59
III Z4	0.30	0.22	0.65	1.11	0.20	0.48

人工乾燥後の含水率が、注入前よりも低い結果となったため、全体的に寸法が収縮した。特に短辺の厚さが局所的に大きな収縮を示した。

また加圧注入直後に接着層のはく離が数か所見られ、人工乾燥後にも接着層のはく離が数か所見られた。さらに人工乾燥後には幅はぎ部の多くの個所で隙間が見られた。

(図 2.2.3.4-3)



注入作業の様子



注入後の接着層はく離



人工乾燥後のはく離（接着層・幅はぎ部の隙間）



人工乾燥後の目回り(割れ)

図 2. 2. 3. 4-3 実大 CLT の注入・人工乾燥後の木口面