建設省委託事業

ロングライフ住宅(LL住宅)開発・供給推進関連資料収集業務報告書

防腐・防蟻処理構造用集成材(ラミナ処理)インサイジング加工強度試験研究報告書

平成9年2月

(財)日本住宅・木材技術センター

目　　次

1　試験研究要綱及び概要 …… 1

［防腐・防蟻処理試験研究の部］ …… 1

2　試験研究計画 …… 4

3　インサイジングラミナ防腐・防蟻処理集成材の製造条件 …… 10

4　試験結果の概要 …… 30

5　まとめ …… 47

6　今後の検討課題 …… 50

［強度試験研究の部］ …… 51

7　インサイジング加工集成材の水平せん断力試験研究 …… 51

［防腐・防蟻処理試験研究の部］

1　試験研究要綱及び概要

1．1　試験研究要綱

1．1．1　趣旨

最近、エンジニアリングウッドの品質性能が安定していることに着目して、集成材が木造住宅等に活用されつつある。

集成材を土台や湿気のある水がかりとなる恐れのある部位に使用する場合には、防腐・防蟻処理が必要となる。

集成材を製造する場合、ラミナの段階で薬剤を加圧注入して製造するという合理的な方法について、接着剤への影響等について試験研究を行った結果、その実用化が図られてたことに伴い、平成７年度からこれらの製品がＡＱ認証されている。

この場合の対象樹種は、比較的薬剤の浸潤しやすいスギ、ベイツガ等に限定されていることから、今後、対象樹種を広げるためには、ラミナのインサイジング加工が必要となる。

このため、ラミナのインサイジングを可能とするためには、インサイジング加工により製造された集成材の接着性能、強度性能等への影響及び防腐・防蟻薬剤の浸潤状況等について試験研究を行い、問題点を明らかにし、所定の性能の確保された防腐・防蟻処理構造用集成材（ラミナ処理）の開発を行う。

1．1．2　事業の内容

（1）　強度試験等の実施

インサイジングを施したラミナで集成材を製造し、防腐・防蟻処理を施すとともに、これを用いて強度性能試験（曲げ強度、圧縮強度等）、接着性能試験及び防腐・防蟻処理試験を行う。

（2）　問題点の解明等

試験の結果を分析及び解明することにより、必要に応じ、インサイジング加工の在り方（強度性能に対応したインサイジングの刃形・密度・方法等を含む。）等について試験研究を行い、インサイジングを施したラミナ処理による防腐・防蟻処理構造用集成材の提案を行う。

1．1．3　委員会委員

委員会（部会）委員は、以下のとおり

ロングライフ住宅（ＬＬ住宅）開発・供給推進関連資料収集事業

防腐・防蟻処理集成材部会委員

（敬称略・五十音順）

部会長	倉田久敬	高岡短期大学　教授
委員	石田英生	日本木材防腐工業組合　技術委員長
〃	金子吉汪	日本集成材工業協同組合　専務理事
〃	徳田迪夫	三重大学生物資源学部　教授
〃	田中利明	（財）日本合板検査会　研究室長
〃	長尾博文	森林総合研究所木材利用部材料性能研究室
〃	中村嘉明	奈良県林業試験場　木材化学課長
〃	宮武敦	森林総合研究所木材利用部集成材加工研究室

ロングライフ住宅（ＬＬ住宅）開発・供給推進関連資料収集事業

防腐・防蟻処理集成材部会小委員会委員

（敬称略・五十音順）

委員長	中　村　嘉　明	奈良県林業試験場　木材化学課長
委　員	石　田　英　生	日本木材防腐工業組合　技術委員長
〃	小　林　智　紀	東洋木材防腐（株）　研究開発部長
〃	田　中　康　則	越井木材工業（株）　企画開発部　リーダー
〃	蒔　田　　章	大日本木材防腐（株）　研究開発部長

2　試験研究計画

2．1　試験研究の目的

住宅の耐久性を高めるためには、主要な構造部材に優れた耐久・耐朽性を付与することが不可欠である。ここに言う耐久・耐朽性とは、木造住宅であれば主要構造部材となる木材が生物ないし微生物によって、短時日に引き起こされる致命的な劣化現象に対する抵抗性を第一義と考えて差し支えない。すなわち腐朽や虫害とりわけシロアリによる蟻害に備える防腐・防蟻性能の向上が要求される。

集成材が木造住宅等の主要構造部材として需要が伸びる中で、住宅の耐久性を高めるためには、集成材の耐久・耐朽性能の向上は重要な課題であろうと考えられる。また、そういった状況の中で、ラミナをエレメントとする集成材は、防腐・防蟻処理がより容易な材料であるという利点がある。

平成８年度の本事業報告書に示された今後の研究課題とした項目の中から、「インサイジング加工を含む防腐処理条件の把握」言い換えれば、「インサイジング加工木材（ラミナ）の防腐・防蟻処理条件」を検討するために、当、防腐・防蟻処理集成材部会小委員会が発足した。この小委員会は主に防腐・防蟻処理に携わる技術者で組織され、専門的な見地からラミナの防腐・防蟻性能を高める薬液処理の可能性について研究することとした。

ラミナの薬液処理を考える上で、原料素材（樹種）の薬液の浸透性や注入性が重要なファクターであることから、難注入・難浸透性樹種を対象として、その代表格であるカラマツ、ベイマツ、ベイツガ（ファー）それぞれのラミナにインサイジング加工と、薬液の加圧式注入処理を施し、薬液の注入量及び浸潤度を測定して、対応する諸規格、基準等への適合性あるいは対応策の検討を目的として研究を行った。

２．２　試験研究の概要

構造用集成材の日本農林規格が改正され、２または３層集成材が規格化されるに伴い、それらが在来木造軸組住宅の主要な構造用部材へと用途が拡大されると推測される。同時に住宅の耐久性を向上させたいとの要望の高まりと共に、集成材の防腐・防蟻処理の必要性が強く認識されるまでに至った。

集成材はその構成上、ラミナの段階で処理すれば、素材を使用する土台や柱と比較して、防腐・防蟻処理がし易い構造材料であるといえる。ただし、それらの原料樹種は、スギやヒノキあるいはマツやツガ等の素材に比較して、薬液の含浸や注入が困難な樹種、すなわち難浸透性のベイマツ、ファー、スプルース、ベイヒバ、カラマツ等のラミナが専ら使用される。この薬液処理が困難なラミナが多いといった問題が、集成材の防腐・防蟻処理が容易に進展普及しない原因であろうと考えられる。

すでに平成７年度において、インサイジング加工に伴って生じる機械的な強度性能あるいは接着性能の低下については検討を進め、所期の成果を収めている。

平成８年度は、それらの成果を受けて、難注入性の樹種を対象として、インサイジング加工による機械的な浸透促進策を講じて、薬液の注入量及び浸潤度の増大を図り、優れた防腐・防蟻処理集成材の製造技術の確立を目的として研究を推進した。

本報告は、それらの目的達成の可否を工場規模の試験を実施して確認したものであり、以下の試験を経由して結論に至った。

(1)　ラミナの製造と調製及び薬剤処理
(2)　薬剤の加圧注入処理ラミナによる集成材の製造
(3)　集成材の防腐・防蟻処理試験
(4)　防腐・防蟻処理集成材製造技術上の問題点の把握、指針の提案

２．３　試験研究の内容

３樹種の原木の調達に始まり、次の各行程を経て、防腐・防蟻処理集成材の製造の可能性を樹種やインサイジング条件別に検討する。

(1)　ラミナの製造と調製及び薬剤処理

①　試験用樹種の選定とラミナの製造および乾燥

②　ラミナの曲げヤング係数の測定

③　ラミナのインサイジング加工

④　ラミナの防腐・防蟻薬剤の加圧注入処理

⑤　ラミナの注入量の測定

(2)　薬剤の加圧注入処理ラミナによる集成材の製造

①　加圧注入処理後のラミナの乾燥

②　ラミナの曲げヤング係数の測定

③　ラミナの浸潤度の測定

④　ヤング係数に基づくラミナの編成

⑤　３層集成材の製造

(3)　集成材の防腐・防蟻処理試験

①　集成材としての浸潤度の測定

②　集成材としての浸潤度の画像解析

(4)　防腐・防蟻処理集成材製造技術上の問題点の把握、指針の提案

①　試験遂行中の各段階における製造技術上の問題点の分析及び解明

②　インサイジング加工方法や適合する樹種の分析

③　ラミナの薬剤浸潤度の画像処理による適合判定へ試み

④　防腐・防蟻処理集成材の実用化への課題と提案

２．４　試験研究実施計画

２．４．１　試験材料

仕上がる集成材の原料樹種と数量を決めた上で、ラミナの寸法、数量、インサイジング加工を施す材面と密度、等を下表のとおり決定した。

表２－１　ラミナのインサイジング加工実施計画表

集成材の原料樹種とラミナの構成(層)	ラミナの寸法			インサイジング密度(数)				ラミナと仕上がり集成材			
	厚さ(mm)	幅(mm)	長さ(m)	標準密度		倍密度		ラミナ数		集成材数	
				両面	片面	両面	片面	標準	倍	標準	倍
ファーKD材３層	38	120	3	○	－	○	－	30枚	30枚	10本	10本
ベイマツKD材３層	38	120	3	－	－	○	－	－	30枚	－	10本
カラマツKD材３層	38	120	3	－	－	○	－	－	30枚	－	10本
合　計				30		90		30	90	10	30

＊　ラミナの構成が５層の集成材については、３層の集成材からシミュレーションによって推定する。

２．４．２　試験材料と試験実施分担

（１）試験材料の調達

①　ファーとベイマツの丸太　・・・・越井木材工業㈱

②　カラマツのラミナ　・・・・・斉藤木材工業㈱及び越井木材工業㈱

③　製材とラミナ調製　・・・・・・越井木材工業㈱

（２）ラミナの乾燥とヤング係数の測定

①　ラミナの人工乾燥　・・・・越井木材工業㈱

②　ラミナのインサイジング加工・・・越井木材工業㈱

③　インサイジング加工前後のヤング係数の測定

・・・越井木材工業㈱において徳田迪夫 委員、他委員協力

④　ヤング係数に基づくラミナの構成（組合せ）計画・・・宮武　敦 委員

（３）ラミナの防腐・防蟻処理と人工乾燥

①　加圧式注入処理・・・・・・・・越井木材工業㈱

②　ラミナの容積重と注入量の測定・・越井木材工業㈱

③　注入後のラミナの人工乾燥・・・・越井木材工業㈱

（４）ラミナの防腐・防蟻処理試験

①　ラミナへの薬剤の浸潤度測定・・・㈱ザイエンス

②　集成化後の薬剤の浸潤度測定・・・㈱ザイエンス

③　浸潤度のシミュレーション・・・・㈱ザイエンス

（５）防腐・防蟻処理ラミナからの集成材の製造

①　ヤング係数に基づくラミナの構成・・銘建工業㈱

②　集成材の製造・・・・・・・・・・銘建工業㈱、小委員会立会い

（６）防腐・防蟻処理集成材の強度および耐候性試験

①　防腐・防蟻処理集成材の水平せん断試験・・・宮武　敦 委員

②　防腐・防蟻処理集成材の屋外ばく露試験・・・奈良県林業試験場

２．４．３　試験実施日程

試験を円滑かつ確実に行なうために、日程と連携計画を定め、次のように実施した。

① 防腐・防蟻処理集成材部会－試験推進全体計画－　・・・・・・７月31日

② 防腐・防蟻処理集成材部会小委員会－試験実施計画－　・・・・・・８月22日

③ 試験材料の調達と製材　・・・・９月下旬　越井木材工業㈱に結集

④ ラミナの乾燥とインサイジング前のヤング係数の測定
インサイジング加工
インサイジング後のヤング係数の測定　・・・・・10月上旬

⑤ ラミナの防腐・防蟻処理及び注入量の測定　・・・・・10月中旬

⑥ 防腐・防蟻処理後の乾燥　・・・・・11月中旬
乾燥後のラミナを長さ方向１ｍと２ｍに分けて切断

⑦ 越井木材工業㈱より
全ラミナの１ｍ側切断片を、㈱ザイエンス宛　送付　・・・・・・11月中旬

⑧ 集成材の製造（於：銘建工業㈱　小委員会立合い）　・・・・・・11月28日

⑨ 銘建工業㈱より
製造後の集成材の1.5m側切断片を、森林総合研究所宛　送付
製造後の集成材の0.5m側切断片を、㈱ザイエンス宛　送付　・・12月上旬

⑩ ラミナと集成材の防腐・防蟻処理試験　・・・・・・１月下旬

⑪ ㈱ザイエンスより
浸潤度測定済みの集成材を奈良県林業試験場宛　送付　・・・・・・１月下旬

⑫ 防腐・防蟻処理集成材部会小委員会－原稿執筆者決定－　・・・・・・１月22日

⑬ 防腐・防蟻処理集成材部会小委員会－原稿執筆者最終打合せ－　・・・４月11日

3　インサイジングラミナ防腐・防蟻処理集成材の製造条件

3．1　ラミナの製造

3．1．1　供試材料

（1）樹種

カラマツ、ベイマツ、ファーの３種類の樹種を用いた。

1）カラマツ

斎藤木材工業（株）にて入手した。乾燥材を使用した。

2）ベイマツ

北米産の直径約 30cm、心材の直径約 23cm の丸太から製材した。丸太を 123mm の幅に製材し、その後厚さ 40mm の板を製材した。節の多い板材は除外した。

3）ファー

北米産のファーの丸太を選び、直径約 80cm、心材直径約 60cm の丸太を、ベイマツと同様の方法で製材した。

ベイマツ、ファーの丸太の選別及び製材は、和歌山県の牟呂木材にて行った。

（2）寸法・数量

38 x 120 x 3,000mm の乾燥ラミナを得るために、40 x 123 x 3,000mm の寸法を持つ、未乾燥の板材を製材した。数量はカラマツ３０枚、ベイマツ３０枚、ファー６０枚である。

3．1．2　インサイジング処理前のラミナの乾燥

木材は、入荷後人工乾燥をした。含水率は約 20%に調整した。含水率の測定は、高周波式含水率計（ケット社製 MOCO2、（財）住宅木材技術センター認定品）を使用し、中央部の一点を測定した。

乾燥後の含水率と寸法は表３－１～３－４に示すとおりである。

表3-1　カラマツの含水率と寸法

試験体 No.	寸法(mm) h	w	l	含水率 (%)
L-1	39.97	120.43	3005	16.5
L-2	38.71	120.32	3006	14.5
L-3	38.73	120.61	3007	12.5
L-4	38.50	120.78	3008	13.5
L-5	38.66	120.90	3012	12.5
L-6	38.28	120.21	3010	14.0
L-7	38.32	120.51	3013	13.5
L-8	38.04	121.14	3011	20.5
L-9	38.48	120.20	3005	11.0
L-10	38.78	120.77	3010	12.5
L-11	38.66	120.81	3009	24.5
L-12	38.05	119.50	3055	18.5
L-13	37.83	119.78	3035	19.0
L-14	37.88	119.55	3050	21.0
L-15	37.93	119.72	3055	18.5
L-16	37.91	119.15	3064	20.0
L-17	37.87	119.61	3032	15.5
L-18	37.88	119.62	3072	16.0
L-19	37.88	119.62	3062	13.5
L-20	37.96	120.57	3032	14.5
L-21	37.64	120.05	3070	14.0
L-22	37.85	119.84	3060	17.0
L-23	37.71	119.46	3069	18.5
L-24	37.74	119.75	3063	12.0
L-25	38.14	118.66	3061	17.5
L-26	38.05	119.64	3038	13.0
L-27	38.04	119.27	3047	15.5
L-28	38.01	119.87	3058	18.0
L-29	38.13	120.19	3047	13.5
L-30	37.76	119.69	3030	17.0
平均	38.18	120.01	3037	15.9
標準偏差	0.48	0.59	24	3.2

表3-2　ベイマツの含水率と寸法

試験体 No.	寸法(mm) h	w	l	含水率 (%)
D-1	39.67	121.83	3010	11.0
D-2	40.92	123.34	3010	10.5
D-3	39.61	118.79	3010	12.5
D-4	40.20	118.60	3010	12.0
D-5	39.93	119.78	3010	14.0
D-6	40.52	121.24	3010	9.0
D-7	39.56	122.36	3010	9.5
D-8	40.62	120.12	3009	12.0
D-9	39.79	119.63	3010	13.0
D-10	40.96	121.89	3010	11.0
D-11	40.50	121.53	3011	13.0
D-12	39.22	121.03	3010	8.0
D-13	40.94	121.53	3010	10.5
D-14	40.31	121.02	3006	6.5
D-15	39.94	120.49	3010	14.0
D-16	39.74	120.63	3010	12.5
D-17	39.27	122.29	3014	6.5
D-18	39.70	122.02	3014	15.5
D-19	39.97	121.09	3009	11.5
D-20	40.89	123.64	3010	11.0
D-21	40.41	122.70	3010	14.0
D-22	39.75	121.15	3013	13.5
D-23	40.92	122.28	3010	8.5
D-24	40.52	120.90	3013	13.0
D-25	40.11	120.59	3010	10.5
D-26	40.63	119.72	3010	9.5
D-27	39.70	120.26	3013	16.0
D-28	40.83	121.33	3010	10.0
D-29	40.81	121.46	3010	11.0
D-30	40.17	119.96	3010	11.5
平均	40.20	121.11	3010	11.4
標準偏差	0.53	1.21	2	2.3

表3-3　ファーの含水率と寸法

試験体 No.	寸法(mm) h	w	l	含水率 (%)
H-1	41.35	122.26	3010	8.0
H-2	41.36	121.41	3010	11.5
H-3	41.09	122.81	3015	11.0
H-4	41.06	120.07	3008	7.5
H-5	40.60	120.85	3007	7.0
H-6	39.76	121.29	3010	11.0
H-7	40.71	119.03	3010	7.5
H-8	40.41	121.18	3008	9.0
H-9	40.25	121.85	3010	11.0
H-10	41.03	121.67	3012	9.5
H-11	40.22	120.59	3009	9.0
H-12	40.81	121.34	3010	8.0
H-13	40.36	120.80	3010	8.0
H-14	40.26	120.43	3010	8.0
H-15	40.53	124.66	3068	10.5
H-16	40.89	122.79	3010	12.0
H-17	41.07	122.74	3010	15.5
H-18	40.74	122.35	3008	12.0
H-19	40.82	122.34	3013	13.0
H-20	40.70	122.51	3009	11.5
H-21	39.44	121.78	3008	16.0
H-22	41.21	120.72	3010	11.0
H-23	41.06	121.18	3014	9.5
H-24B	40.30	121.61	3010	8.5
H-25	40.72	119.82	3010	9.5
H-26	40.89	122.15	3010	8.0
H-27	40.76	121.61	3010	9.0
H-28	40.56	120.66	3010	12.5
H-29	40.86	122.58	3013	12.5
H-30	41.16	121.80	3007	13.0
平均	40.70	121.56	3012	10.3
標準偏差	0.44	1.10	11	2.3

表3-4　ファーの含水率と寸法

試験体 No.	寸法(mm) h	w	l	含水率 (%)
H-31	41.75	121.42	3007	10.5
H-32	40.94	121.66	3012	12.0
H-33	41.09	123.19	3012	13.0
H-34	41.73	122.00	3012	13.0
H-35	41.30	120.82	3008	8.5
H-36	40.19	122.23	3012	12.5
H-37	40.84	120.76	3007	14.5
H-38	40.38	120.22	3010	8.5
H-39	40.64	122.33	3009	7.0
H-40	40.65	121.56	3010	10.0
H-41	41.15	122.90	3010	13.0
H-42	41.26	122.06	3010	21.0
H-43	40.56	122.05	3010	14.5
H-44	40.02	122.70	3010	13.0
H-45	41.09	121.62	3010	13.5
H-46	41.11	122.00	3004	11.5
H-47	40.33	122.78	3010	17.5
H-48	41.31	122.25	3010	13.5
H-49	40.00	120.03	3008	10.5
H-50	40.79	121.35	3012	15.5
H-51	41.04	122.79	3010	11.0
H-52	40.76	121.54	3008	8.0
H-53	40.92	121.68	3010	9.5
H-54	41.03	122.46	3010	17.5
H-55	40.51	122.50	3010	13.0
H-56	40.96	120.35	3010	13.0
H-57	41.24	122.32	3010	21.0
H-58	40.63	121.88	3010	16.0
H-59	40.64	121.65	3014	13.5
H-60	40.34	121.92	3014	12.5
平均	40.84	121.83	3010	12.9
標準偏差	0.44	0.79	2	3.4

３．２　ラミナのインサイジング処理

日本木材防腐工業組合が中小企業事業団より貸与されている、木材防腐処理用インサイジング装置（製造者：（株）コシイプレザービング）を用いた。

板材料の広い面（上下面）のみを処理した。刃物の厚さは3mm、深さは8mmである。

インサイジング処理の密度は２種類とした。標準密度4000／m^2、倍密度8000／m^2で、表３－５に示す枚数を処理した。

インサイジングの状態を模式的に図３－１、２、３に示す。

表３－５　樹種別のインサイジング処理密度

樹　種	倍密度8000／m^2による処理数量	標準密度4000／m^2による処理数量
カラマツ	３０（枚）	－
ベイマツ	３０	－
ファー	３０	３０

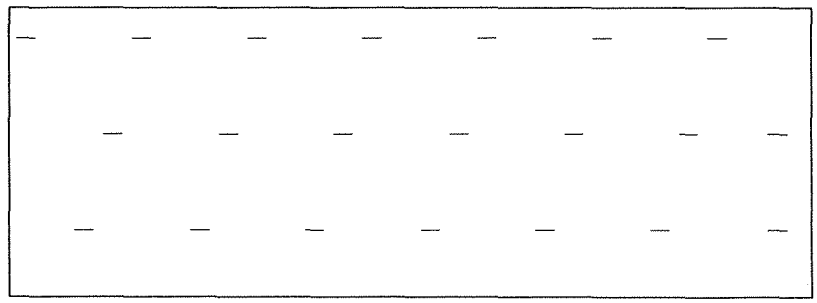


図３－１　インサイジングの状態（標準密度）

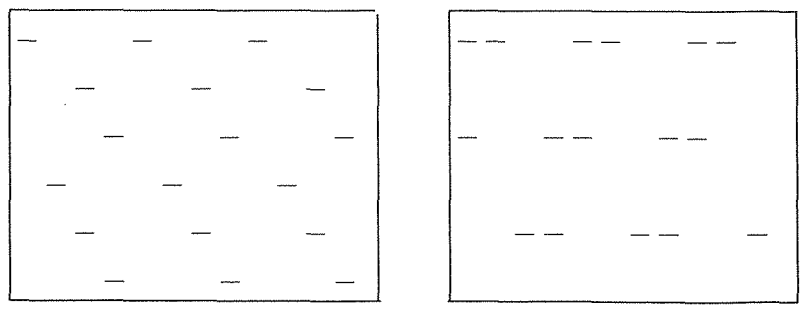


図３－２　インサイジングの状態（倍密度）

３．３　ラミナのヤング係数の測定

３．３．１　縦方向のヤング係数の測定

ラミナの 38mm を幅、120mm を高さとして、立てて測定した。

両端から 150mm の位置の２点を金属製架台でささえ、スパン長さ 2,700mm とし、このスパン長さを３等分した２点（架台支持箇所から中央側に 900mm の位置）に各 40kgf のひもつきの砂袋のおもりをのせた。

総荷重量を 80kgf とし、中央部のたわみ量を測定した。中央部には、Ｌ字型の鉄製アングルをクギどめし、最小目盛り 0.01mm のマイクロメーターのプローブ部をアングルに接触させてたわみ量を測定した。

測定条件を図３－３に示した。測定はインサイジング処理の前後に行った。

ヤング係数の測定結果は表３－５～３－８に示すとおりである。

ヤング係数は次式によって算出した。

$$ヤング係数 = 23/108 \cdot PL^3/(bh^3y)$$

ここで　Ｐ：荷重量　80kgf

Ｌ：スパン長　2,700mm

ｂ：ラミナの幅　38mm

ｈ：ラミナの高さ　120mm

ｙ：たわみ量　である。

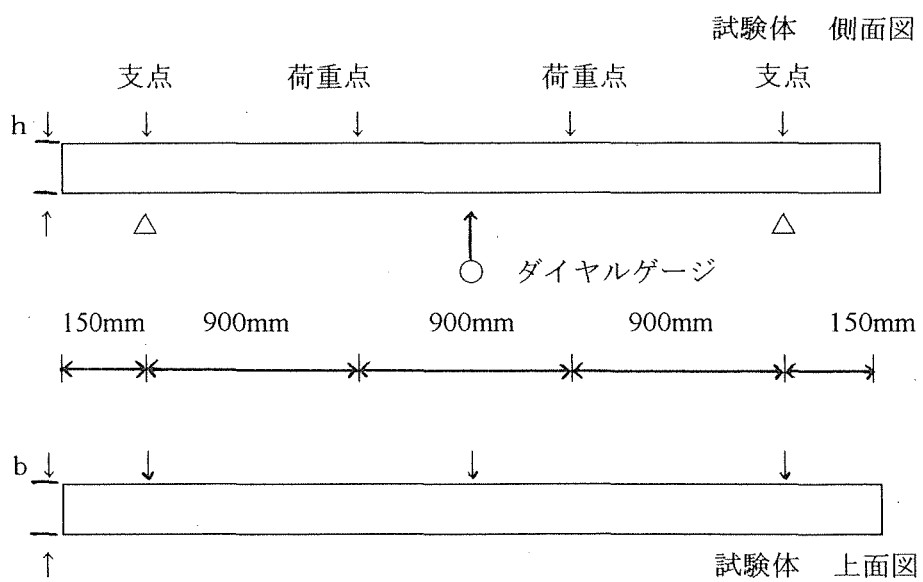


図３－３　縦方向測定時の支持方法、荷重のかけかた及び測定方法

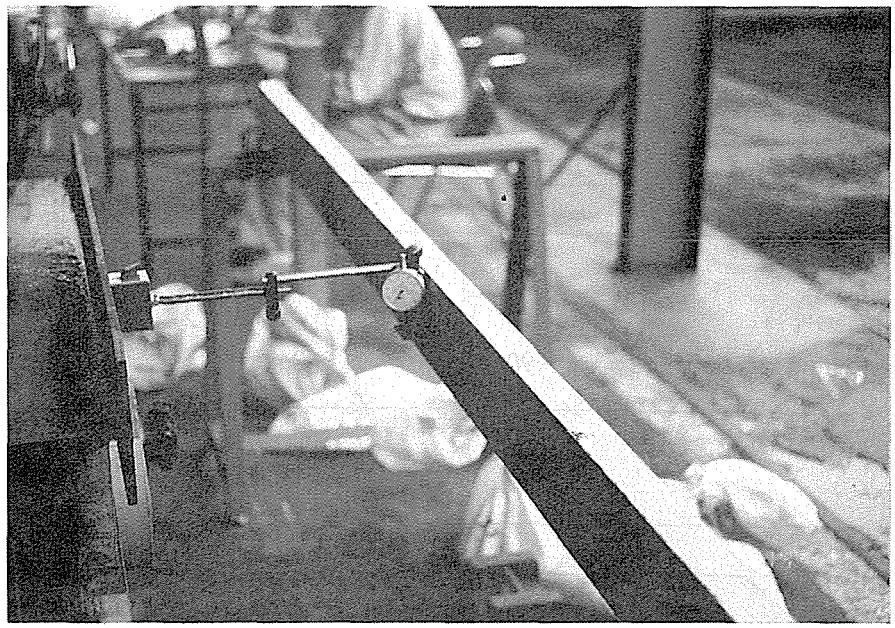


写真３－１　　縦方向のヤング係数の測定

３．３．２　横方向のヤング係数の測定

120mm を幅方向とした。支持及び裁荷方法は縦方向のヤング係数の測定と同じであるが、横方向では 20kgf のおもりを裁荷し、総荷重量 40kgf として、中央部のたわみ量を測定した。

試験体の中央部下面に、直接マイクロメーターをあて、アングルは用いない。

測定条件を図３－４に示した。測定はインサイジング処理の前後に行った。

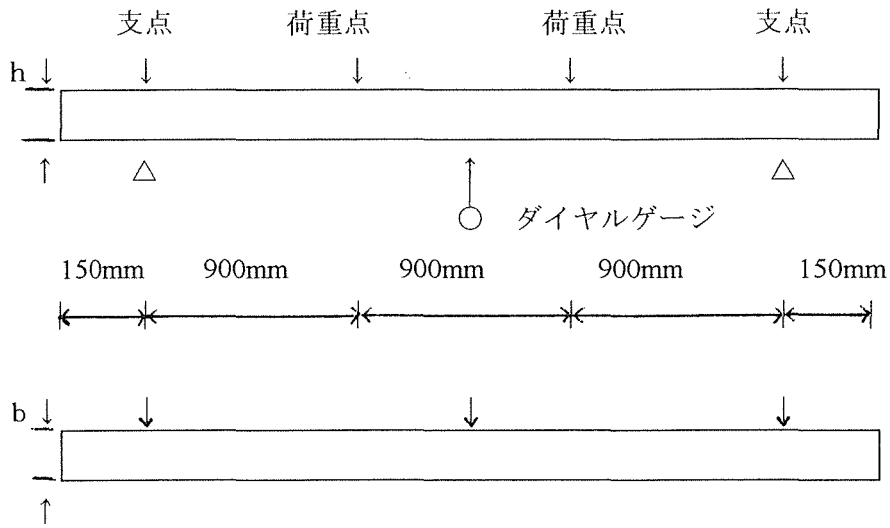
ヤング係数の測定結果は表３－５～３－８に示すとおりである。

ヤング係数は次式によって算出した。

$$ヤング係数 = 23/108 \cdot PL^3/(bh^3y)$$

ここで　P：荷重量　　40kgf
　　L：スパン長　　2,700mm
　　b：ラミナの幅　　120mm
　　h：ラミナの高さ　38mm
　　y：たわみ量　　である。

試験体　側面図



試験体　上面図

図３－４　横方向測定時の支持方法、荷重のかけかた及び測定方法

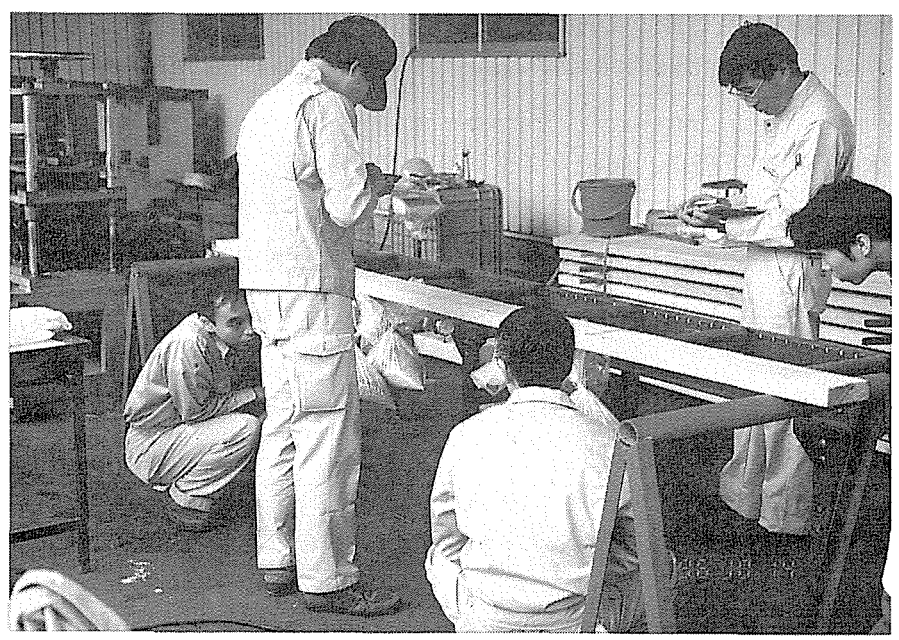


写真３－２　　幅方向のヤング係数の測定

表3-5　カラマツの幅・厚さ、及びヤング率

試験体 No.	寸法(mm)		インサイジング前 MOE(kgf/cm²)		インサイジング後 MOE(kgf/cm²)	
	h	w	縦	横	縦	横
L-1	39.97	120.43	114913	115238	102636	99831
L-2	38.71	120.32	83166	93552	89772	78562
L-3	38.73	120.61	93113	89825	54112	73674
L-4	38.50	120.78	71646	88460	80777	80658
L-5	38.66	120.90	84338	96161	74146	62213
L-6	38.28	120.21	100861	102835	81339	86882
L-7	38.32	120.51	81703	87371	73317	74701
L-8	38.04	121.14	74457	76989	71868	62988
L-9	38.48	120.20	86221	96310	85341	82431
L-10	38.78	120.77	93329	93648	66339	78204
L-11	38.66	120.81	79602	75108	71712	62454
L-12	38.05	119.50	94935	91355	87534	82373
L-13	37.83	119.78	72243	71268	65961	61367
L-14	37.88	119.55	122776	129146	117754	114681
L-15	37.93	119.72	118717	120833	117633	105357
L-16	37.91	119.15	97200	95946	81454	83804
L-17	37.87	119.61	96185	100353	59207	85523
L-18	37.88	119.62	90738	79988	68053	68953
L-19	37.88	119.62	93697	96585	81578	86248
L-20	37.96	120.57	60001	54792	58606	48273
L-21	37.64	120.05	96429	95586	90023	82102
L-22	37.85	119.84	115107	120122	116993	113766
L-23	37.71	119.46	107406	106138	92161	99142
L-24	37.74	119.75	101069	93162	103903	77941
L-25	38.14	118.66	107014	109028	106961	97284
L-26	38.05	119.64	83186	82223	80412	70432
L-27	38.04	119.27	124642	159618	113445	128465
L-28	38.01	119.87	109193	147233	88314	90581
L-29	38.13	120.19	95933	93271	90132	79634
L-30	37.76	119.69	147950	114422	143872	99312
平均	38.18	120.01	96592	99219	87179	83928
標準偏差	0.48	0.59	18515	21559	20829	17736

インサイジング後の MOEの低減 (平均)	縦		横	
	差(kgf/cm²)	低減率(%)	差(kgf/cm²)	低減率(%)
	9413	10.8	15291	18.2

表3-6　ベイマツの幅・厚さ、及びヤング率

試験体 No.	寸法(mm) h	寸法(mm) w	インサイジング前 MOE(kgf/cm²) 縦	インサイジング前 MOE(kgf/cm²) 横	インサイジング後 MOE(kgf/cm²) 縦	インサイジング後 MOE(kgf/cm²) 横
D-1	39.67	121.83	123020	114939	92753	103596
D-2	40.92	123.34	87702	109012	78553	92452
D-3	39.61	118.79	126264	150812	120252	133602
D-4	40.20	118.60	137374	144308	142869	127560
D-5	39.93	119.78	114716	133906	99327	113454
D-6	40.52	121.24	130445	136401	94772	115230
D-7	39.56	122.36	112309	113156	103747	98986
D-8	40.62	120.12	135318	142844	109248	120525
D-9	39.79	119.63	111876	137674	107951	124291
D-10	40.96	121.89	121529	120152	104167	103182
D-11	40.50	121.53	106289	122168	87699	110825
D-12	39.22	121.03	107652	123726	96456	106018
D-13	40.94	121.53	120724	125663	93897	105268
D-14	40.31	121.02	84721	79282	63426	64765
D-15	39.94	120.49	154833	153596	121823	132372
D-16	39.74	120.63	152126	157295	111795	132617
D-17	39.27	122.29	76047	87482	72731	73175
D-18	39.70	122.02	102411	119613	89070	101484
D-19	39.97	121.09	138978	139718	113045	118753
D-20	40.89	123.64	80651	105621	73793	76644
D-21	40.41	122.70	112870	135172	95175	115046
D-22	39.75	121.15	126855	145544	115154	125916
D-23	40.92	122.28	95364	112428	93377	92907
D-24	40.52	120.90	153044	156501	128658	132946
D-25	40.11	120.59	101438	115719	105478	99940
D-26	40.63	119.72	91792	116263	91443	99433
D-27	39.70	120.26	125170	153672	114004	132476
D-28	40.83	121.33	87090	113422	69884	93302
D-29	40.81	121.46	103285	121766	83379	98691
D-30	40.17	119.96	104672	119398	92997	100669
平均	40.20	121.11	114219	126908	98897	108204
標準偏差	0.53	1.21	21521	19445	18057	18255

インサイジング後の MOEの低減 (平均)	縦		横	
	差(kgf/cm²)	低減率(%)	差(kgf/cm²)	低減率(%)
	15321	15.5	18704	17.3

表3-7　ファーの幅・厚さ、及びヤング率

試験体	寸法(mm)		インサイジング前 MOE(kgf/cm^2)		インサイジング後 MOE(kgf/cm^2)	
No.	h	w	縦	横	縦	横
H-1	41.35	122.26	96471	108004	91310	91068
H-2	41.36	121.41	96393	106545	85159	90116
H-3	41.09	122.81	83133	83814	82820	74713
H-4	41.06	120.07	81066	84546	79162	71383
H-5	40.60	120.85	67822	84826	62731	69850
H-6	39.76	121.29	113080	111302	91604	95706
H-7	40.71	119.03	77531	90148	72902	76985
H-8	40.41	121.18	62512	81020	58881	75100
H-9	40.25	121.85	75494	79452	71287	71100
H-10	41.03	121.67	92985	107380	101287	92025
H-11	40.22	120.59	74993	99956	71605	85551
H-12	40.81	121.34	102210	120016	87442	100349
H-13	40.36	120.80	83275	105561	57621	86810
H-14	40.26	120.43	104579	116842	91356	122758
H-15	40.53	124.66	86809	96293	72884	80040
H-16	40.89	122.79	98878	112460	100221	100467
H-17	41.07	122.74	96836	107639	62019	97332
H-18	40.74	122.35	90976	98098	90976	82993
H-19	40.82	122.34	70321	80599	57667	69482
H-20	40.70	122.51	66682	85727	65131	238826
H-21	39.44	121.78	82305	91007	73331	92737
H-22	41.21	120.72	104646	115115	68625	98539
H-23	41.06	121.18	100649	109343	68297	90689
H-24B	40.30	121.61	109121	113867	82916	118345
H-25	40.72	119.82	103621	108510	104071	83168
H-26	40.89	122.15	70089	93384	58897	76808
H-27	40.76	121.61	85345	103667	81980	92800
H-28	40.56	120.66	84649	98793	76404	89766
H-29	40.86	122.58	98146	118787	94005	103144
H-30	41.16	121.80	98447	97441	88757	85461
平均	40.70	121.56	88635	100338	78378	93470
標準偏差	0.44	1.10	13811	12460	13840	30405

インサイジング後の MOEの低減 (平均)	縦		横	
	差(kgf/cm^2)	低減率(%)	差(kgf/cm^2)	低減率(%)
	10257	13.1	6868	7.3

表3-8　ファーの幅・厚さ、及びヤング率

試験体	寸法(mm)		インサイジング前 MOE(kgf/cm²)		インサイジング後 MOE(kgf/cm²)	
No.	h	w	縦	横	縦	横
H-31	41.75	121.42	81287	85476	82482	78606
H-32	40.94	121.66	88497	116771	87814	105820
H-33	41.09	123.19	90946	97703	75526	93334
H-34	41.73	122.00	111192	128134	119607	115602
H-35	41.30	120.82	68920	89060	72160	80408
H-36	40.19	122.23	91750	97289	82774	91636
H-37	40.84	120.76	57563	88469	55376	80060
H-38	40.38	120.22	97937	114996	93346	102231
H-39	40.64	122.33	90876	92904	82554	81551
H-40	40.65	121.56	88659	107286	99406	97876
H-41	41.15	122.90	97123	103813	110857	84539
H-42	41.26	122.06	101115	89957	108477	83934
H-43	40.56	122.05	97169	91667	88473	93840
H-44	40.02	122.70	71321	73975	52622	64371
H-45	41.09	121.62	107503	114735	94121	104480
H-46	41.11	122.00	95174	84391	110645	82216
H-47	40.33	122.78	98086	92279	60872	87692
H-48	41.31	122.25	91799	81677	76870	78072
H-49	40.00	120.03	114880	108698	66048	85594
H-50	40.79	121.35	99580	92709	97470	82895
H-51	41.04	122.79	111454	111861	86540	94974
H-52	40.76	121.54	112314	99570	91648	86689
H-53	40.92	121.68	100636	98486	86808	98197
H-54	41.03	122.46	104470	96413	80917	84567
H-55	40.51	122.50	94208	89517	73822	82158
H-56	40.96	120.35	93933	86862	96639	79255
H-57	41.24	122.32	108365	94871	77947	85868
H-58	40.63	121.88	107517	96295	91909	88029
H-59	40.64	121.65	102769	112333	96292	100070
H-60	40.34	121.92	109736	95660	91374	90066
平均	40.84	121.83	96226	97795	86380	88821
標準偏差	0.44	0.79	13298	12075	15922	10404

インサイジング後の MOEの低減 (平均)	縦		横	
	差(kgf/cm²)	低減率(%)	差(kgf/cm²)	低減率(%)
	9846	11.4	8974	10.1

３．４　ラミナの防腐・防蟻処理

３．４．１　使用薬剤

ＪＩＳ Ｋ １５７０「木材防腐剤」に規定されているアルキルアンモニウム化合物系木材防腐剤（レザックＲ）を用いた。使用薬剤濃度は、ＤＤＡＣとして１.６％である。

３．４．２　加圧注入条件

ＪＩＳ Ａ ９００２「木材の加圧式防腐処理方法」により加圧注入を行った。加圧注入条件は下表の通りである。

表３－９　加圧注入条件

工　程	条　　件	時　　間
前排気	減圧 0.08MPa｛600mmHg｝以上	６０分
加圧	1.18Mpa｛12kgf/cm2｝以上	１２０分
後排気	減圧 0.08MPa｛600mmHg｝以上	３０分

薬剤の注入量は、注入前後の質量をデジタル式重量計（AND 社製ＨＶ 150K 重量計　最大 150kgf、最小秤量限度 50gf）によって測定し、材積で除して算出した。

注入量の測定結果は、表３－10～３－13 に示す。

３．４．３　浸潤度

ラミナの浸潤度測定のため、3m のラミナの全数から 1m を切断し測定に用いた。

測定はザイエンス社にて行った。

容積重と注入量の関係を、樹種別に図３－５～３－８に示した。

表3-10　注入量

カラマツ		ベイマツ		ファー		ファー	
インサイジング（倍密度）						（標準密度）	
試験体No.	注入量 (kg/m³)	試験体No.	注入量 (kg/m³)	試験体No.	注入量 (kg/m³)	試験体No.	注入量 (kg/m³)
L-1	149	D-1	230	H-1	246	H-31	321
L-2	150	D-2	290	H-2	291	H-32	203
L-3	185	D-3	275	H-3	388	H-33	348
L-4	157	D-4	286	H-4	320	H-34	339
L-5	188	D-5	243	H-5	359	H-35	266
L-6	162	D-6	254	H-6	265	H-36	416
L-7	187	D-7	178	H-7	329	H-37	307
L-8	166	D-8	266	H-8	445	H-38	233
L-9	162	D-9	297	H-9	325	H-39	211
L-10	177	D-10	233	H-10	256	H-40	239
L-11	157	D-11	229	H-11	332	H-41	191
L-12	140	D-12	224	H-12	288	H-42	261
L-13	153	D-13	240	H-13	266	H-43	319
L-14	167	D-14	232	H-14	284	H-44	274
L-15	151	D-15	224	H-15	232	H-45	273
L-16	166	D-16	236	H-16	308	H-46	279
L-17	164	D-17	242	H-17	353	H-47	409
L-18	172	D-18	188	H-18	230	H-48	395
L-19	159	D-19	237	H-19	369	H-49	319
L-20	238	D-20	299	H-20	460	H-50	332
L-21	159	D-21	328	H-21	318	H-51	204
L-22	155	D-22	217	H-22	287	H-52	225
L-23	156	D-23	222	H-23	260	H-53	254
L-24	163	D-24	196	H-24B	563	H-54	228
L-25	148	D-25	185	H-25	306	H-55	288
L-26	192	D-26	205	H-26	269	H-56	317
L-27	170	D-27	209	H-27	282	H-57	260
L-28	144	D-28	235	H-28	346	H-58	262
L-29	158	D-29	225	H-29	258	H-59	208
L-30	150	D-30	196	H-30	232	H-60	341
平均	165		237		316		284
標準偏差	19		36		74		62

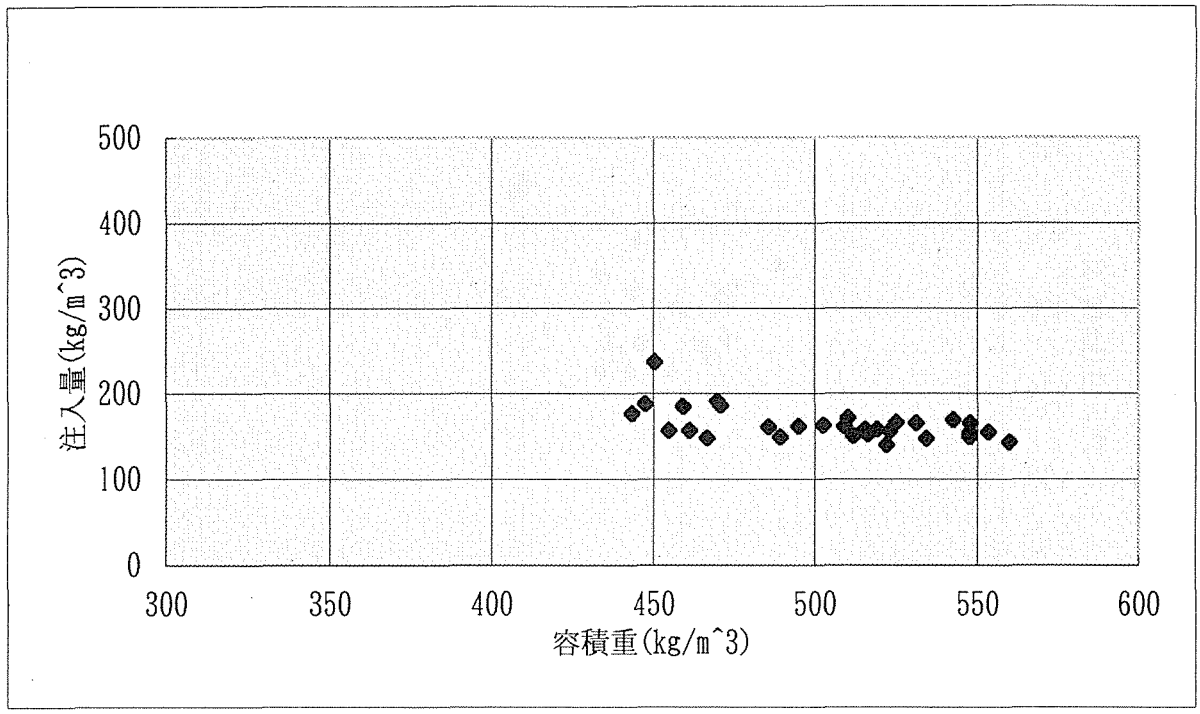


図3-5　カラマツの容積重と注入量の関係（ｲﾝｻｲｼﾞﾝｸﾞ倍密度）

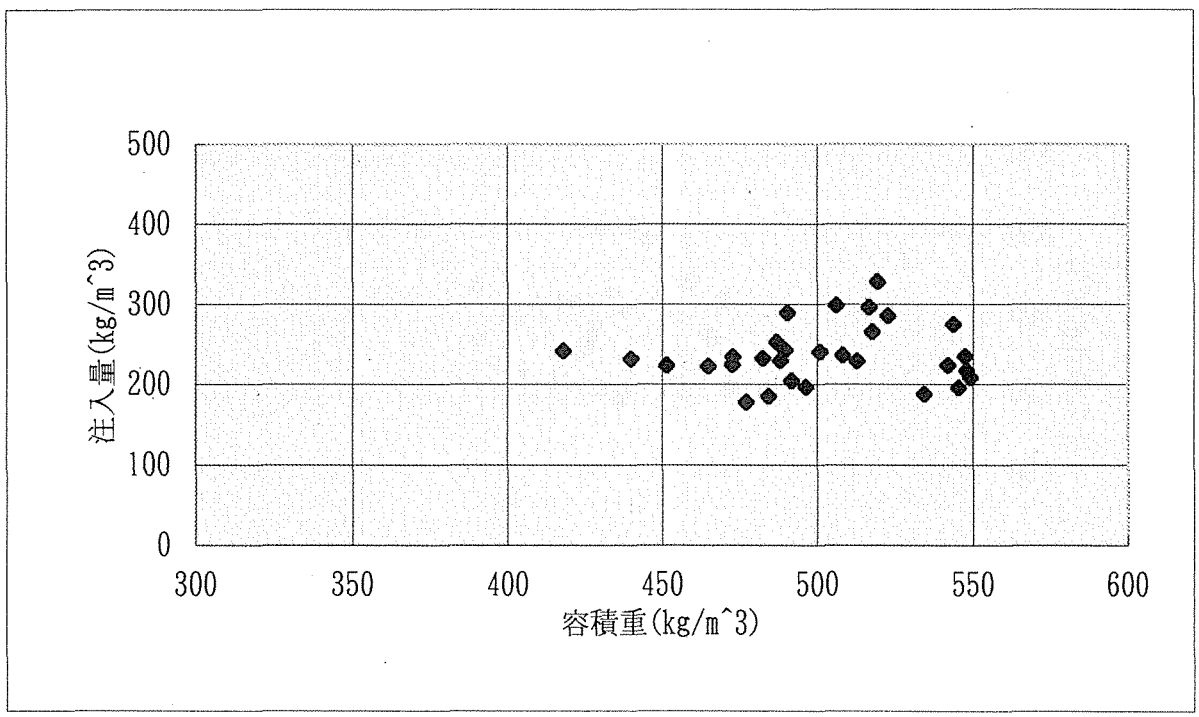


図3-6　ベイマツの容積重と注入量の関係（ｲﾝｻｲｼﾞﾝｸﾞ倍密度）

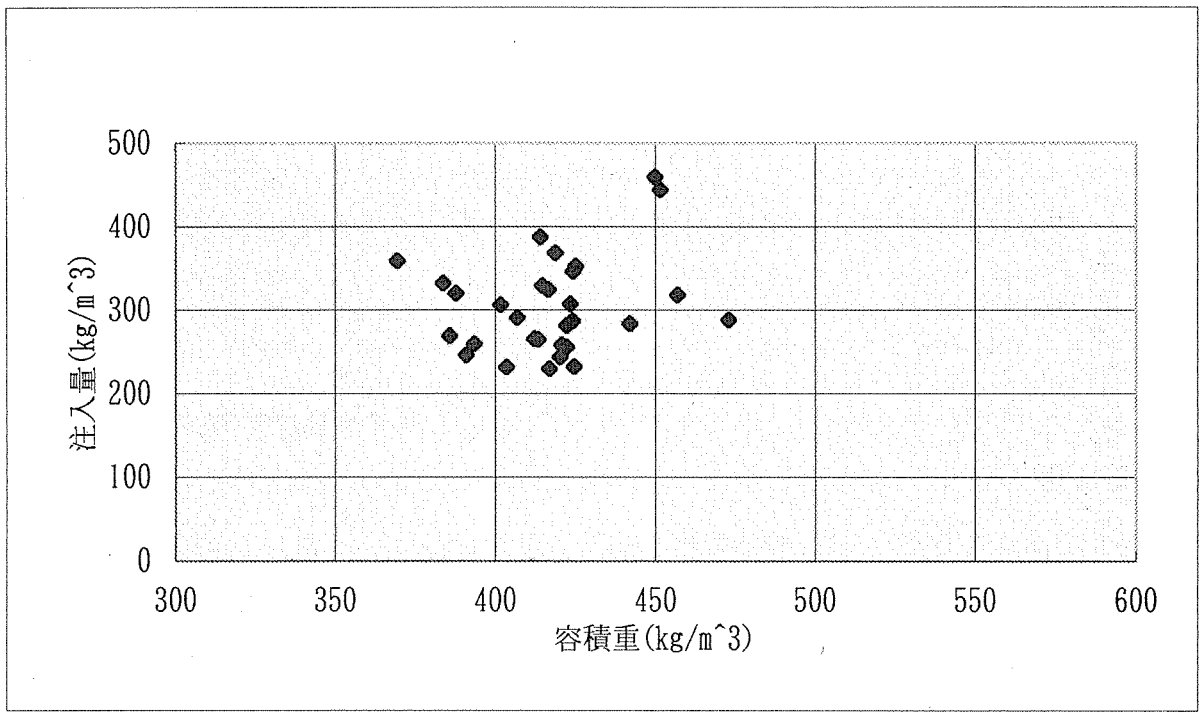


図3-7　ファーの容積重と注入量の関係（ｲﾝｻｲｼﾞﾝｸﾞ倍密度）

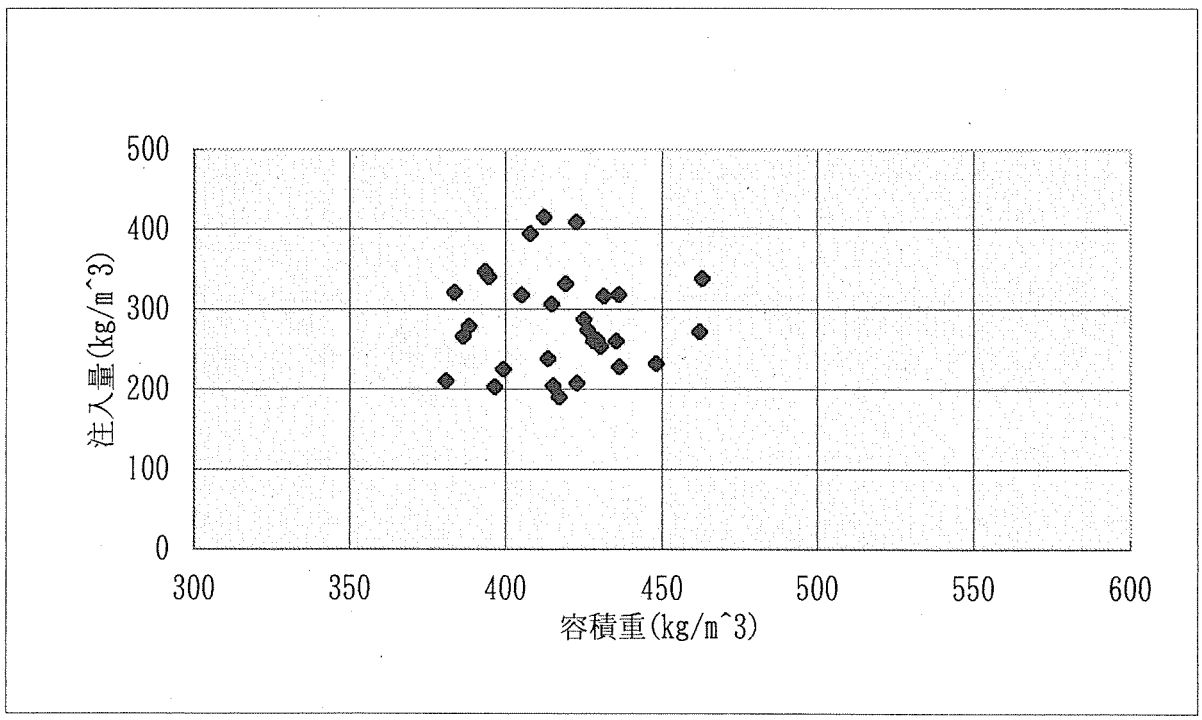


図3-8　ファーの容積重と注入量の関係（ｲﾝｻｲｼﾞﾝｸﾞ標準密度）

３．５　注入後のラミナの乾燥

注入後７日間、通風の良い場所で桟積みして養生し、その後人工乾燥して、含水率を約30%とした。

３．６　集成材の製造

集成加工は、岡山県の銘建工業（株）において、３プライの集成材を製造した。

３．６．１　接着前の準備

ラミナを人工乾燥し、全ての含水率を12%以下にした。測定はkett社製針式の含水率計である。中央一点の測定で、7～12%の範囲であった。

その後、幅を115mmに切削し、ベイマツ、ファーは厚さを35mm（厚さ精度＋－0.2mm）に仕上げた。ただし、カラマツだけは、変形が他の樹種より大きかったため、34mmの厚さに仕上げた。

３．６．２　接着剤

レゾルシノール系接着剤を用い、カーテンコーターで塗布した。

３．６．３　接着条件

接着するラミナの構成（組み合わせ）は、ラミナのヤング率の大小によって決め、３樹種ともインサイジング処理前のヤング係数の小さい順に３枚一組とした。

表３－11に組み合わせを示す。

接着剤の塗布量は310kg/m2とした。圧締圧力は10kg/cm2とし、圧締時間は20時間であった。雰囲気温度は12℃を保つため15時間40℃の加熱を行った。

接着時の状態は、写真３－３、３－４に示す。

３．６．４　製品仕上がり

幅はすべて105mmとした。厚さは、カラマツだけは102mm、その他は厚さ105mmに仕上げた。仕上げられた集成材は、浸潤度測定のため、養生後ザイエンス社に送付した。

表３－11　集成材のラミナの組み合わせ

インサイジング密度		倍密度			標準密度
樹種（記号）		カラマツ(L)	ベイマツ(D)	ファー(H)	ファー(H)
集成材 No.	配置				
－A	外	L－１３	D－１７	H－１９	H－４８
	内	L－２０	D－１４	H－　９	H－４４
	外	L－１１	D－２０	H－　８	H－４６
－B	外	L－１８	D－２３	H－　４	H－５６
	内	L－　８	D－　２	H－　３	H－３１
	外	L－２６	D－　７	H－　５	H－３７
－C	外	L－　４	D－　１	H－　７	H－５５
	内	L－　７	D－２８	H－２０	H－３５
	外	L－　３	D－２５	H－２１	H－４２
－D	外	L－２４	D－３０	H－１５	H－４７
	内	L－１２	D－２６	H－２６	H－４３
	外	L－２９	D－１８	H－３０	H－５０
－E	外	L－１０	D－２９	H－２８	H－５７
	内	L－　２	D－１０	H－１８	H－３９
	外	L－２１	D－１１	H－１１	H－６０
－F	外	L－　５	D－１３	H－１３	H－５４
	内	L－１６	D－１２	H－２７	H－５８
	外	L－　９	D－　５	H－　２	H－３６
－G	外	L－１７	D－　６	H－１７	H－５３
	内	L－１９	D－２１	H－１０	H－３３
	外	L－　６	D－　９	H－　１	H－５２
－H	外	L－２５	D－　８	H－２３	H－４０
	内	L－２３	D－１９	H－２５	H－４１
	外	L－３０	D－　４	H－　６	H－４９
－I	外	L－２２	D－　３	H－２２	H－５９
	内	L－　１	D－２２	H－１６	H－５１
	外	L－１５	D－１５	H－２４Ｂ	H－４５
－J	外	L－２８	D－２４	H－２９	H－３２
	内	L－１４	D－２７	H－１４	H－３８
	外	L－２７	D－１６	H－１２	H－３４

写真３－３　接着前の状態

写真３－４　接着時の状態

４．　試験結果の概要

４．１　ラミナの防腐・防蟻処理試験

４．１．１　試験の方法

３．４（ラミナの防腐・防蟻処理）で防腐・防蟻処理されたラミナの木口から100cmの切断面の薬剤の浸潤度を測定した。指示薬は、酢酸溶液（酢酸18gに水を加えて100mlとしたもの。）を噴霧して約３分間放置後、ブロモフェノールブルーのアセトン溶液（ブロモフェノールブルー0.5ｇを2-プロパノール50mlに溶解し、50mlの水を加えたもの。）を噴霧し、青色に呈色した部分を薬剤の浸潤部分とし、断面全体に対する薬剤の浸潤度を測定した。

測定には、画像解析装置（（株）ピアス製、パーソナル画像解析システムPIAS-Ⅲ）を使用した。

画像解析装置を写真４－１に示す。

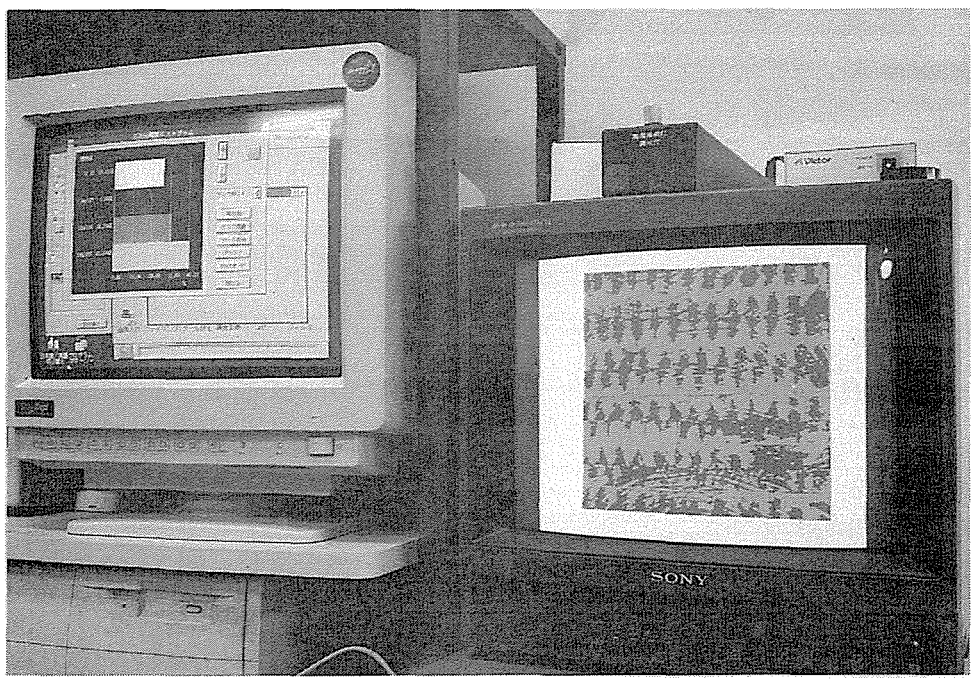


写真４－１　画像解析装置

４．１．２　試験の結果

カラマツについての測定結果を表４－１に、ベイマツについての測定結果を表４－２に、ファーについての測定結果を表４－３に、各樹種についての浸潤状態を示す写真を写真４－２～４－５に示す。

また、注入量と浸潤度の関係を図４－１～４－２に示す。

表４－１　カラマツラミナ（インサイジング倍密度）の浸潤度測定結果

No.	浸潤度（%）	注入量（kg／m³）
L－ 1	30.9	149
L－ 2	31.0	150
L－ 3	33.4	185
L－ 4	32.5	157
L－ 5	29.4	188
L－ 6	27.4	162
L－ 7	32.9	187
L－ 8	25.0	166
L－ 9	26.9	162
L－10	32.1	177
L－11	22.8	157
L－12	33.4	140
L－13	22.6	153
L－14	35.6	167
L－15	31.5	151
L－16	30.5	166
L－17	25.1	164
L－18	25.8	172
L－19	29.0	159
L－20	32.9	238
L－21	27.0	159
L－22	29.0	155
L－23	25.1	156
L－24	28.8	163
L－25	31.1	148
L－26	32.6	192
L－27	34.8	170
L－28	28.0	144
L－29	26.9	158
L－30	25.3	150
平　均	29.3	165

表４－２　ベイマツラミナ（インサイジング倍密度）の浸潤度測定結果

No.	浸潤度（%）	注入量（kg／m³）
D－ 1	33.6	230
D－ 2	54.1	290
D－ 3	49.7	275
D－ 4	47.3	286
D－ 5	30.9	243
D－ 6	33.2	254
D－ 7	36.5	178
D－ 8	48.2	266
D－ 9	48.3	297
D－10	42.4	233
D－11	42.7	229
D－12	36.7	224
D－13	36.6	240
D－14	46.3	232
D－15	38.3	224
D－16	35.3	236
D－17	41.6	242
D－18	36.0	188
D－19	35.4	237
D－20	59.2	299
D－21	45.1	328
D－22	39.0	217
D－23	36.5	222
D－24	33.7	196
D－25	35.9	185
D－26	46.7	205
D－27	37.3	209
D－28	43.7	235
D－29	44.3	225
D－30	35.5	196
平　均	41.0	237

表４－３　ファーラミナの浸潤度測定結果

インサイジング倍密度			インサイジング標準密度		
No.	浸潤度（%）	注入量(kg/m³)	No.	浸潤度（%）	注入量(kg/m³)
H－ 1	44.0	246	H－31	64.9	321
H－ 2	40.3	291	H－32	57.8	203
H－ 3	68.3	388	H－33	71.5	348
H－ 4	57.3	320	H－34	58.6	339
H－ 5	60.0	359	H－35	47.6	266
H－ 6	45.7	265	H－36	88.4	416
H－ 7	54.9	329	H－37	51.1	307
H－ 8	81.9	445	H－38	51.1	233
H－ 9	63.1	325	H－39	59.3	211
H－10	65.8	256	H－40	54.6	239
H－11	60.6	332	H－41	44.6	191
H－12	68.5	288	H－42	59.4	261
H－13	58.0	266	H－43	52.5	319
H－14	59.6	284	H－44	63.3	274
H－15	61.1	232	H－45	88.5	273
H－16	55.0	308	H－46	77.2	279
H－17	64.1	353	H－47	00.0	409
H－18	47.0	230	H－48	96.2	395
H－19	65.2	369	H－49	45.6	319
H－20	87.6	460	H－50	72.0	332
H－21	54.9	318	H－51	42.4	204
H－22	59.1	287	H－52	50.1	225
H－23	60.1	260	H－53	43.4	254
H－24	54.2	244	H－54	58.3	228
H－25	57.1	306	H－55	45.7	288
H－26	66.4	269	H－56	55.9	317
H－27	55.4	282	H－57	63.2	260
H－28	55.0	346	H－58	49.8	262
H－29	59.8	258	H－59	44.1	208
H－30	62.5	232	H－60	58.2	341
平　均	59.8	305	平　均	60.1	284

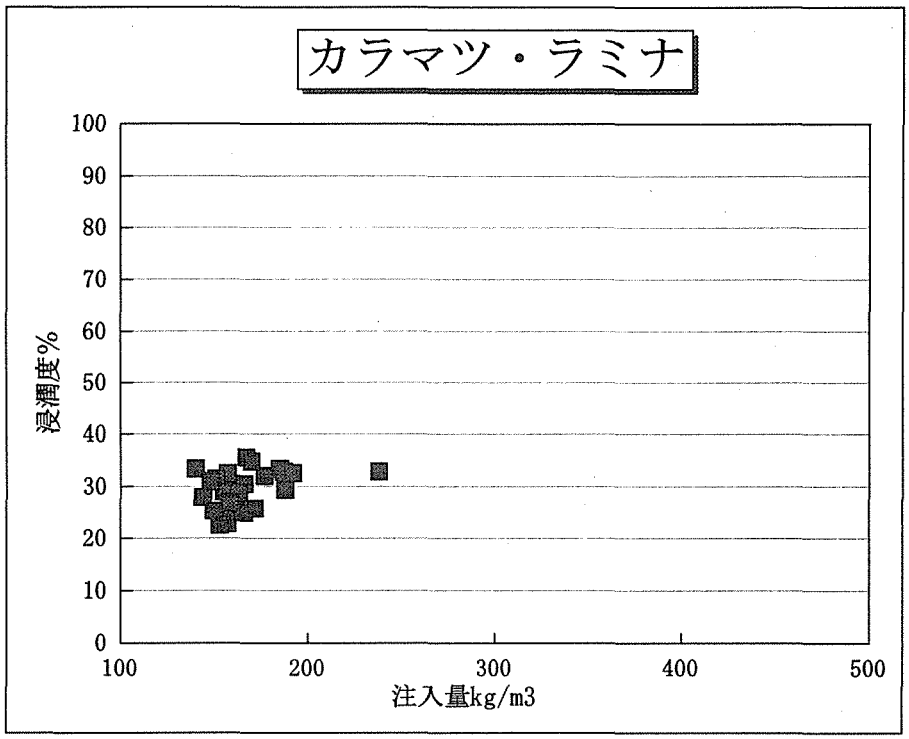


図４－１　カラマツラミナ（インサイジング倍密度）の注入量と浸潤度の関係

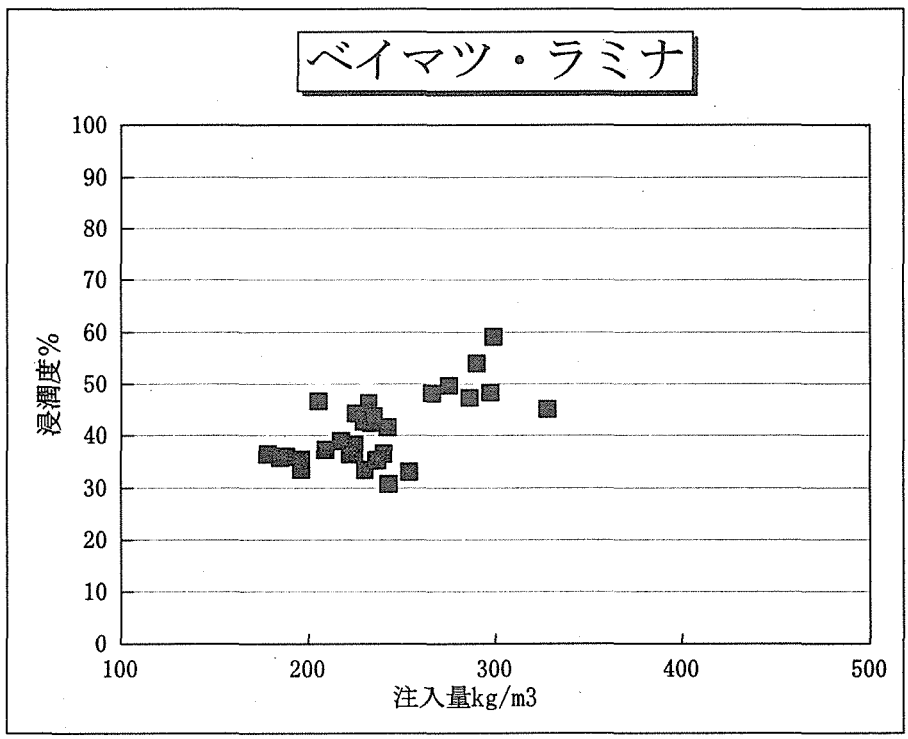


図４－２　ベイマツラミナ（インサイジング倍密度）の注入量と浸潤度の関係

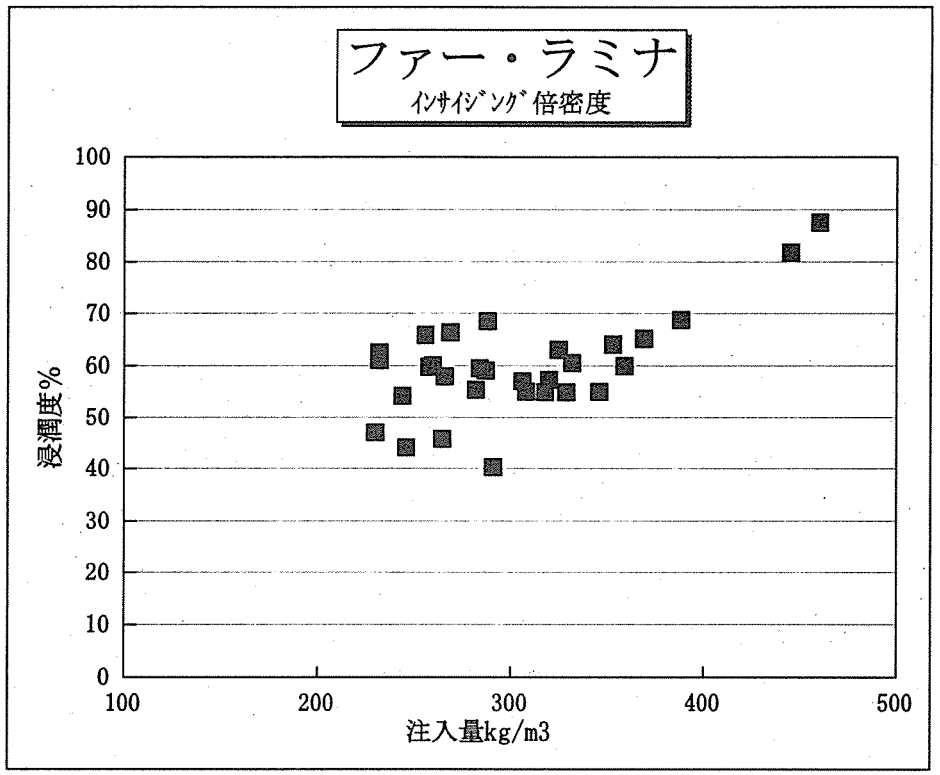


図４－３　ファーラミナ（インサイジング倍密度）の注入量と浸潤度の関係

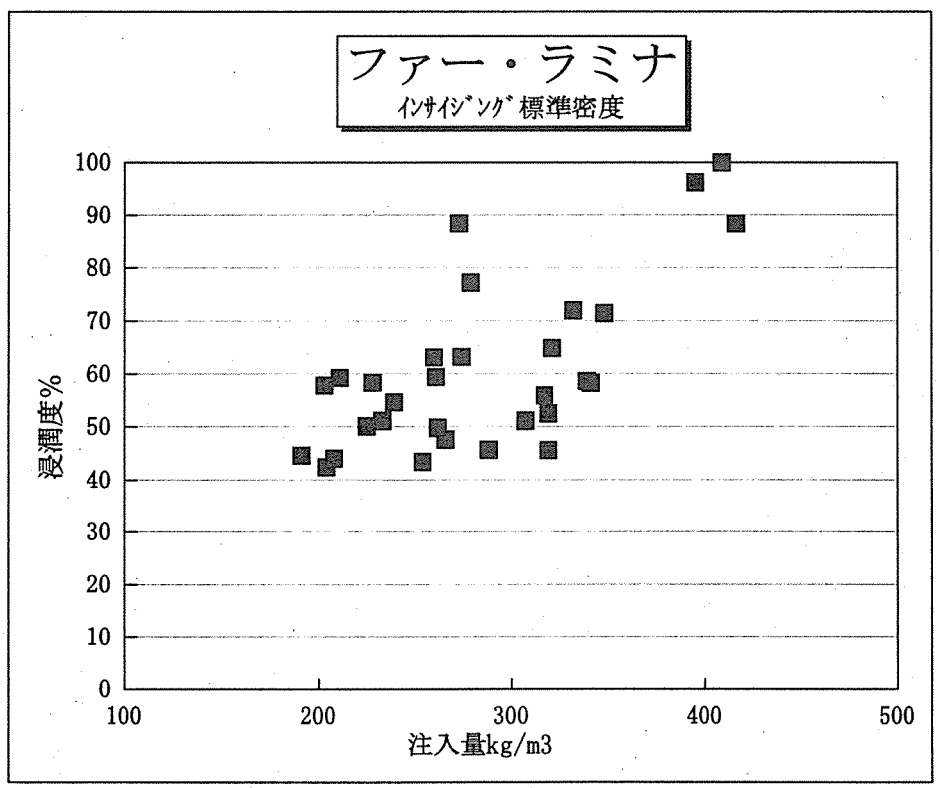


図４－４　ファーラミナ（インサイジング標準密度）の注入量と浸潤度の関係

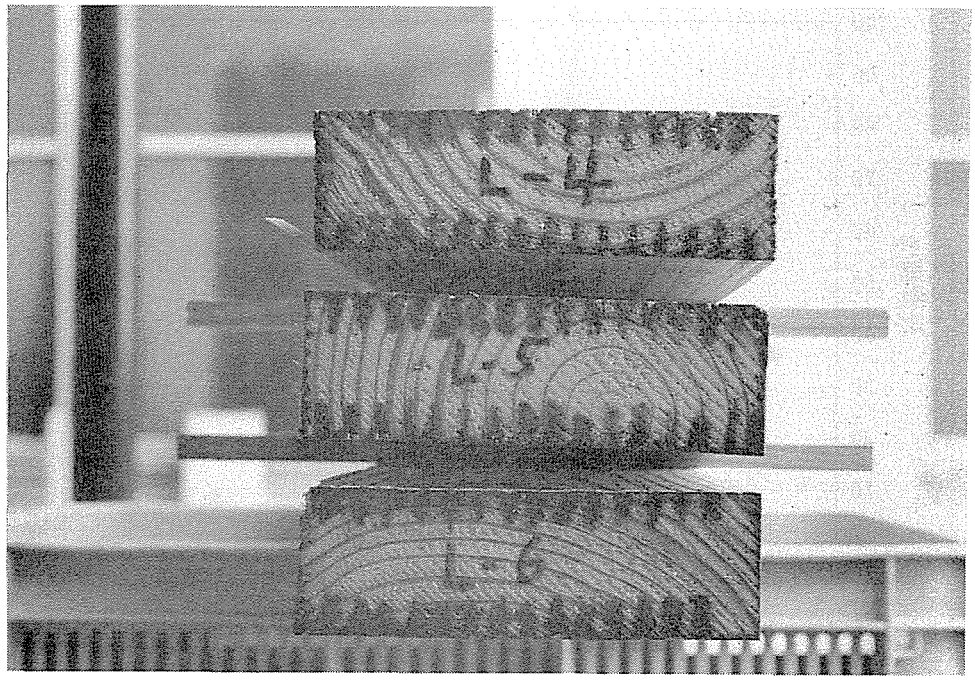


写真４－２　カラマツラミナ（インサイジング倍密度）の浸潤状態

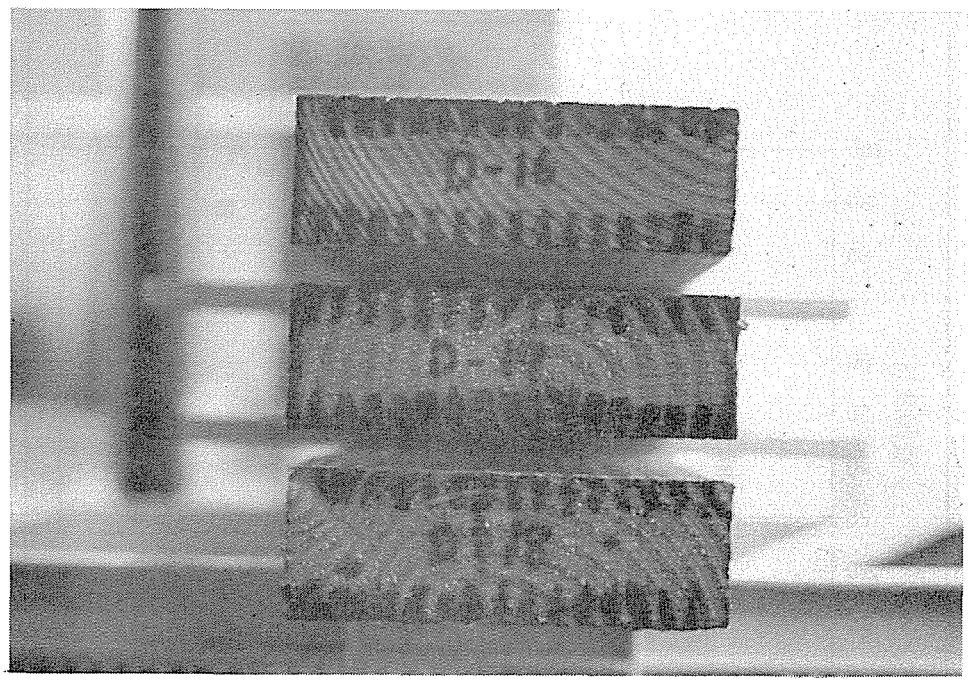


写真４－３　ベイマツラミナ（インサイジング倍密度）の浸潤状態

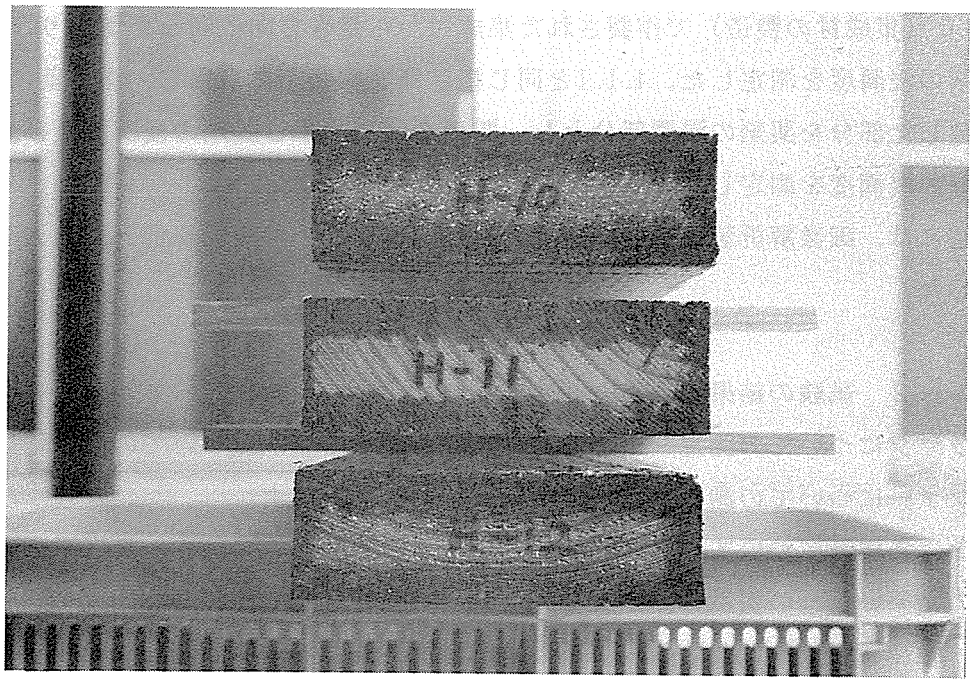


写真４－４　ファーラミナ（インサイジング倍密度）の浸潤状態

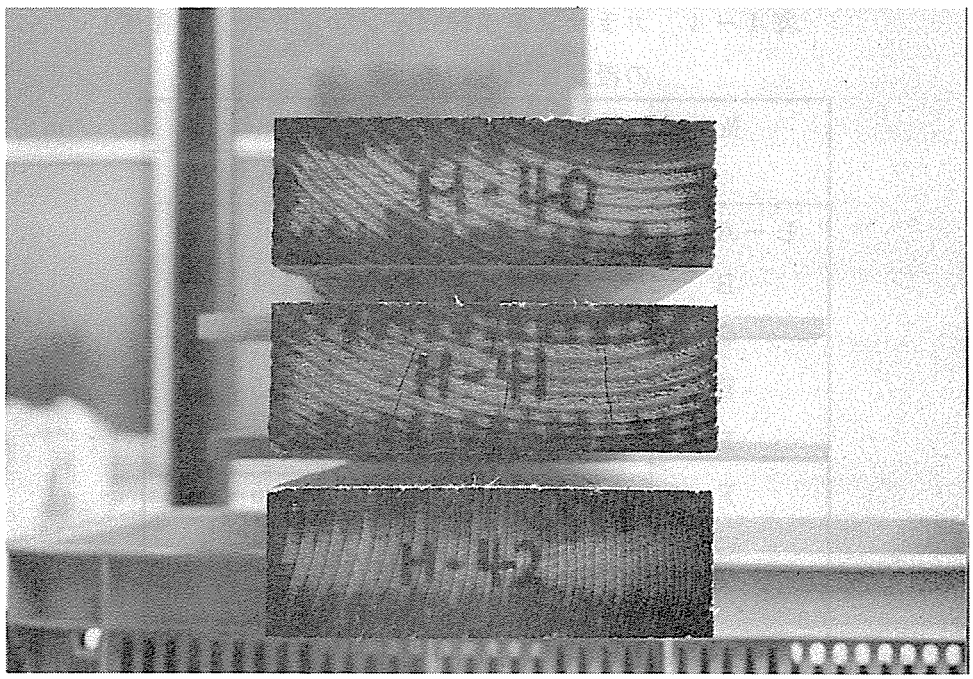


写真４－５　ファーラミナ（インサイジング標準密度）の浸潤状態

４．２　集成材の防腐・防蟻処理試験

４．２．１　試験の方法

３．６（集成材の製造）で作製された集成材から長さ方向に50cmを切取り、その切断面の薬剤の浸潤度を測定した。4.1.1と同じ指示薬を切断面に噴霧し、指示薬によって青色に呈色した部分を薬剤の浸潤部分とし、断面全体に対する薬剤の浸潤度及び表層から10mmの部分の浸潤度を測定した。

測定には、画像解析装置（（株）ピアス製、パーソナル画像解析システムPIAS-Ⅲ）を使用した。

４．１．２　試験の結果

カラマツについての測定結果を表４－４に　、ベイマツについての測定結果を表４－５に、ファーについての測定結果を表４－６～４－７に示す。

また、各樹種についての浸潤状態を示す写真を写真４－６～４－９に示す。

その結果いずれの樹種においても、全面に対する浸潤度及び表層10mmの部分の浸潤度ともに、ＡＱ認証における防腐・防蟻処理構造用集成材の基準に満たなかった。

なお、ＡＱ認証の防腐・防蟻処理構造用集成材の薬剤の浸潤度の基準は、全面の60％以上及び表層から10mmの部分の80％以上である。

表４－４　カラマツ集成材（インサイジング倍密度）の浸潤度測定結果

No.	浸潤度（％）	
	全　面	表層10mm
Ｌ－Ａ	23.1	26.2
Ｂ	25.3	34.4
Ｃ	21.3	31.4
Ｄ	20.5	29.5
Ｅ	17.8	23.2
Ｆ	18.0	25.5
Ｇ	22.5	29.9
Ｈ	26.5	32.4
Ｉ	18.5	24.4
Ｊ	21.8	32.4
平　均	21.5	28.9

表４－５　ベイマツ集成材（インサイジング倍密度）の浸潤度測定結果

No.	浸潤度（%）	
	全　面	表層10mm
D－A	31.0	49.8
B	26.5	31.8
C	22.5	29.1
D	23.8	33.9
E	26.2	38.9
F	27.2	35.4
G	41.9	50.9
H	28.2	40.8
I	24.8	35.5
J	23.3	29.0
平　均	27.5	37.5

表４－６　ファー集成材（インサイジング倍密度）の浸潤度測定結果

No.	浸潤度（%）	
	全　面	表層10mm
HC　A	58.2	73.4
B	52.8	73.0
C	49.6	61.9
D	37.7	53.0
E	38.7	58.2
F	34.4	48.3
G	35.7	51.4
H	34.8	46.4
I	38.3	51.8
J	32.5	48.2
平　均	41.3	56.6

表４－７　ファー集成材（インサイジング標準密度）の浸潤度測定結果

No.	浸潤度（%）	
	全　面	表層10㎜
H－A	53.0	58.6
B	42.6	55.9
C	39.8	54.5
D	53.5	62.4
E	34.0	47.7
F	37.4	48.6
G	26.6	39.9
H	37.1	56.9
I	28.2	41.8
J	31.8	46.2
平　均	38.4	51.3

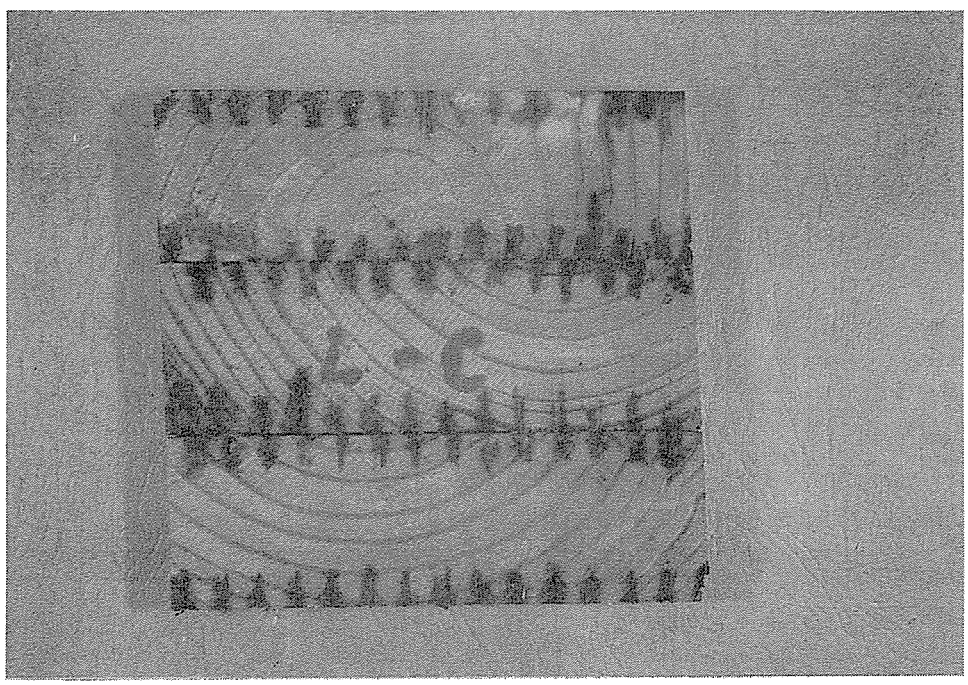


写真４－６　カラマツ集成材（インサイジング倍密度）の浸潤状態

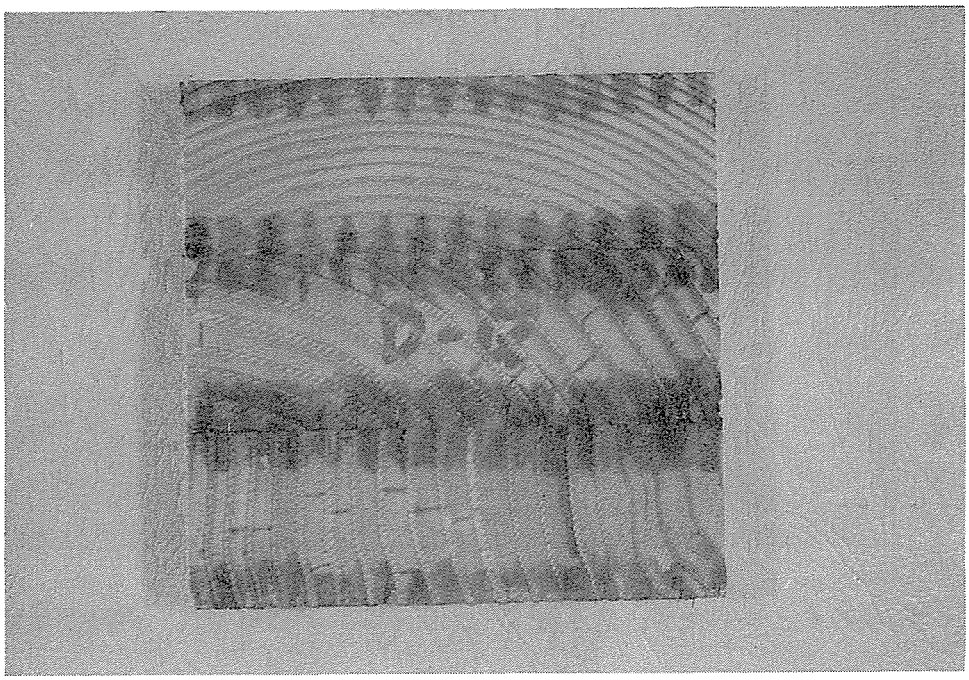


写真４－７　ベイマツ集成材（インサイジング倍密度）の浸潤状態

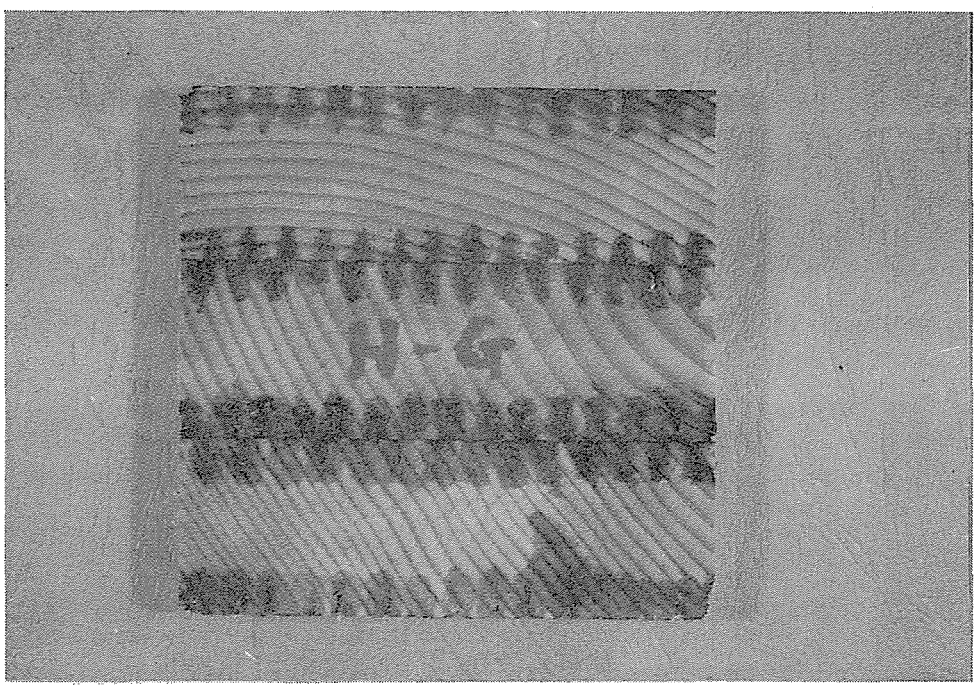


写真４－８　ファー集成材（インサイジング倍密度）の浸潤状態

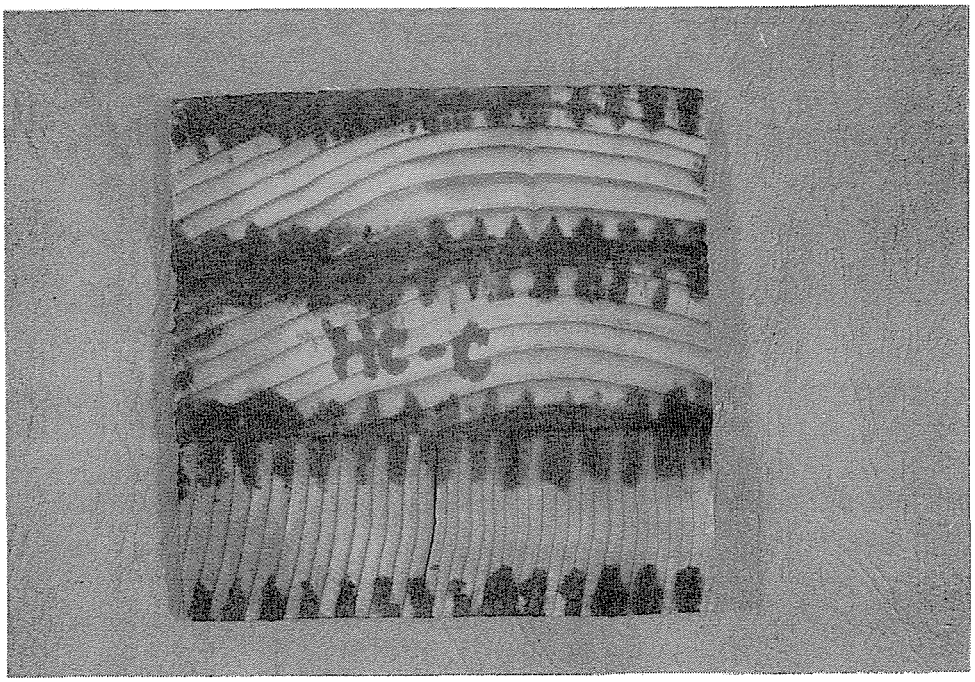


写真４－９　ファー集成材（インサイジング標準密度）の浸潤状態

４．３　集成材の防腐・防蟻処理試験（シミュレーション）

４．３．１　試験の方法

4.1.1で測定に使用した薬剤の浸潤状態を示す写真を、画像解析装置を用いてシミュレーションの手法で浸潤度を測定した。シミュレーションの条件は、次のとおり。

①断面40㎜×120㎜の写真から、厚さ方向の両面から2㎜、幅方向の両面から7.5㎜及び厚さ方向の中央部15㎜を除いて浸潤度を測定した。（図４－５）

②これによって想定されるラミナの寸法は21×105㎜でこれを5枚組み合わせることによって105㎜角の5プライの場合の想定となる。

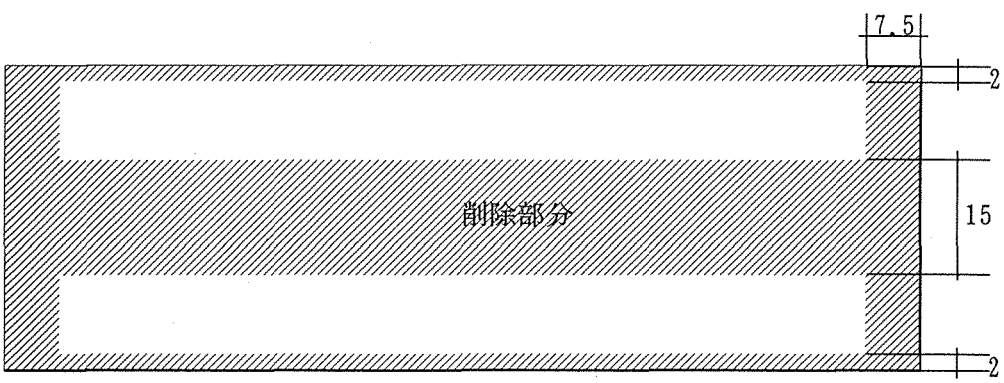


図４－５　シミュレーションのための浸潤度測定部位

４．３．２　試験の結果

シミュレーションによる各ラミナの浸潤度の測定結果を表４－８に示す。

表４－８　シミュレーションの結果

No.	浸潤度（%）			
	カラマツ（ｲﾝｻｲｼﾞﾝｸﾞ倍密度）	ベイマツ（ｲﾝｻｲｼﾞﾝｸﾞ倍密度）	ファー（ｲﾝｻｲｼﾞﾝｸﾞ標準密度）	ファー（ｲﾝｻｲｼﾞﾝｸﾞ倍密度）
1	41.1	44.2	86.1	46.2
2	44.8	89.2	87.6	55.5
3	45.6	78.9	92.7	91.2
4	61.4	76.2	85.4	89.1
5	51.0	50.8	72.1	81.5
6	52.9	68.3	98.5	72.8
7	38.6	52.4	75.3	92.4
8	38.9	80.7	83.7	94.3
9	37.2	81.3	92.3	81.8
10	45.6	77.1	75.1	97.2
11	36.3	75.9	59.6	86.4
12	40.3	56.9	90.5	88.0
13	24.2	79.0	76.9	88.3
14	55.8	83.9	80.3	89.6
15	46.5	68.4	97.5	91.9
16	33.5	57.0	89.3	84.3
17	35.3	63.5	100.0	97.4
18	29.5	57.3	99.2	74.6
19	37.7	64.3	60.5	92.7
20	43.7	67.1	98.6	99.7
21	37.3	82.3	73.2	74.1
22	52.7	71.2	69.7	84.1
23	38.9	58.6	62.2	96.5
24	35.5	49.9	84.2	83.0
25	38.0	58.0	56.7	88.7
26	46.0	64.8	81.5	89.8
27	35.5	59.3	91.1	81.4
28	33.4	87.8	78.8	85.6
29	43.7	75.6	73.3	97.0
30	31.0	62.7	92.2	91.0
平均	41.1	68.1	82.1	85.5

この各ラミナをランダムに５枚抽出した場合の平均値が、集成材の断面の平均浸潤度と想定される。このようにして推定した結果、各樹種ごとのＡＱ認証基準の全断面の浸潤度（60％）以上となる確率は、次のとおりである。

①カラマツは、いずれの組み合わせにおいても、浸潤度60％以上になることはなく、基準に適合するのは困難である、。
②ベイマツについては、浸潤度60％以上になる確率は、99％であり、十分に基準に適合する。
③ファーについては、インサイジング倍密度、標準ともに、浸潤度60％以上になる確率は100％であり、十分に基準に適合する。
④なお、これらのシミュレーションは、全断面の浸潤度について行ったもので、表層10部部の浸潤度については対象にしていないので、注意を要する。

写真４－１０～４－１３には各樹種ごとのシミュレーション写真の例を示す。

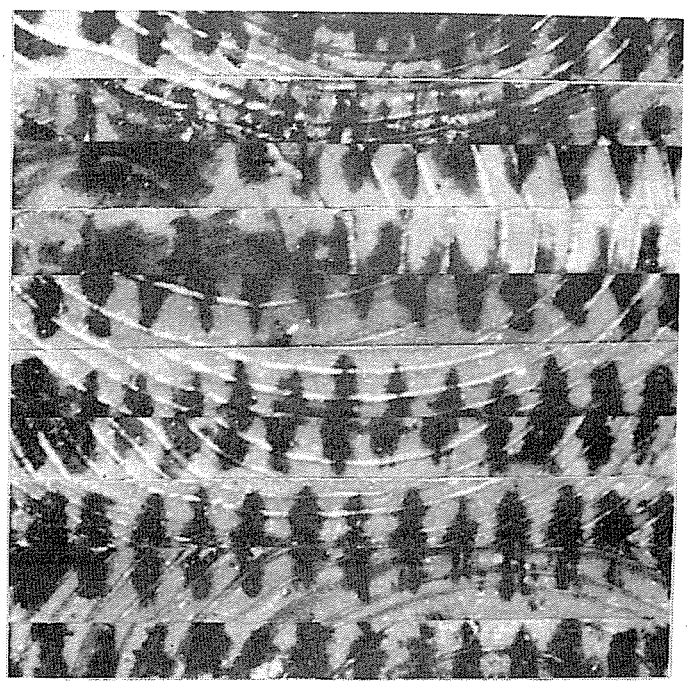


写真４－１０　カラマツのシミュレーション

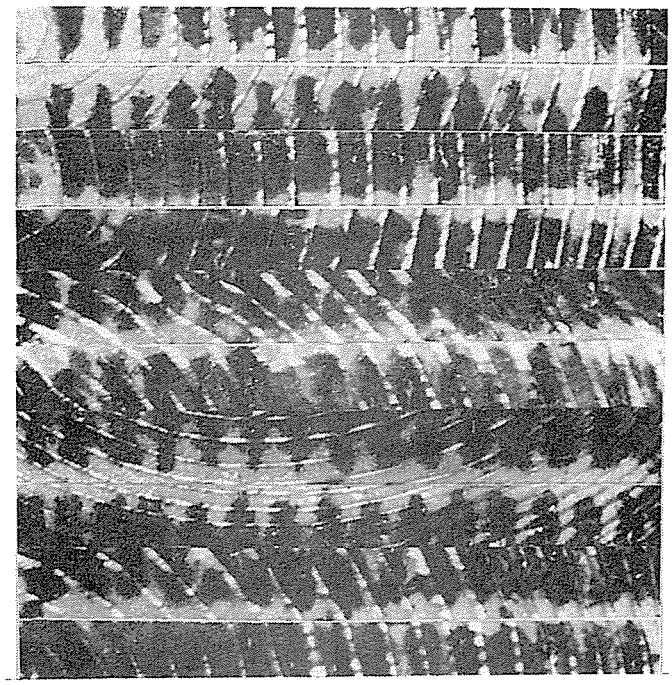


写真４－１１　ベイマツのシミュレーション

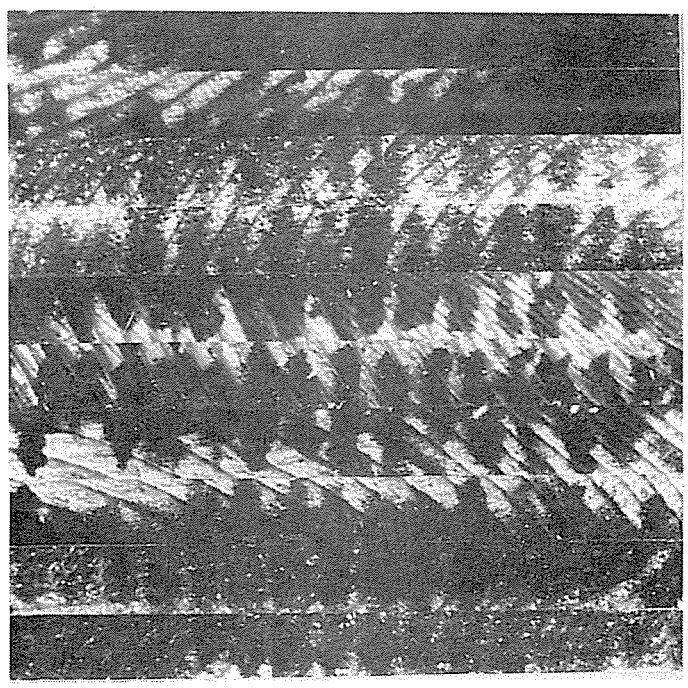


写真４－１２　ファー（インサイジング倍密度）のシミュレーション

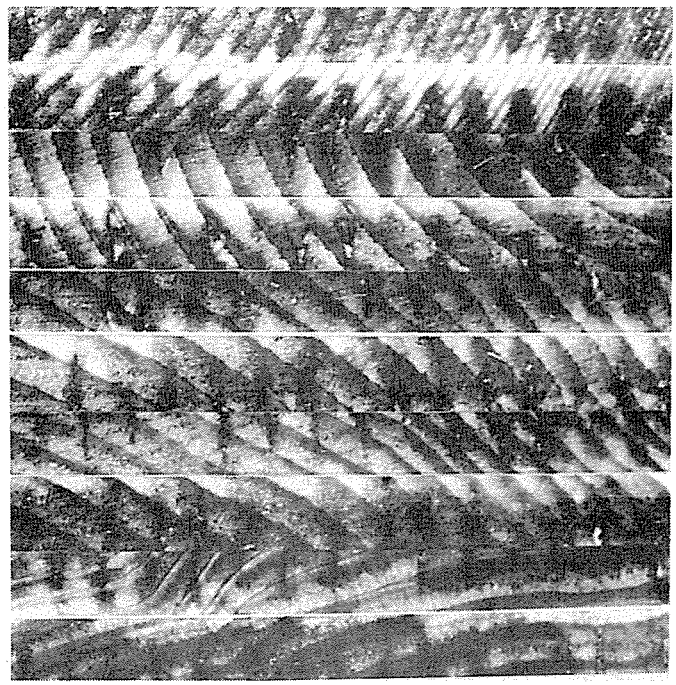


写真４－１３　ファー（インサイジング標準密度）のシミュレーション

５　まとめ

カラマツ、ベイマツ、ファー３樹種のラミナにインサイジング加工を施し、薬剤の加圧式注入処理を行い、ラミナ及び製造した集成材の防腐・防蟻薬剤の浸透状況を検討した。同時に前年度からの課題でもあるインサイジング加工に伴う強度性能への影響も、改めて検討した。これにより、ＡＱ認証等に示された所定の性能が確保されたラミナ処理の防腐・防蟻処理構造用集成材の開発における問題点と展望を明らかにした。

５．１　インサイジング加工によるラミナの強度性能への影響

標準密度（4,000／m^2）と倍密度（8,000／m^2）のインサイジング加工が、ラミナに及ぼす強度的な影響を、樹種別にインサイジング加工前後のヤング係数を測定して比較した。その結果は、表３－５～表３－８に示すとおりで、つぎのように要約された。

倍密度のインサイジング加工による強度の低減率は、ラミナの横（平面）方向において、7.3%（ファー）～17.3%（ベイマツ）～18.2%（カラマツ）であった。
また、ラミナの縦（側面）方向において、10.8%（カラマツ）～13.1%（ファー）～15.5%（ベイマツ）であった。

他方、ファーについてのみ実施した標準密度のインサイジング加工による強度の低減率は、ラミナの横（平面）方向において、10.1%であり、ラミナの縦（側面）方向において、11.4%であった。

そのように、インサイジング加工がラミナに及ぼす強度的な影響は、横・縦方向ともにＪＡＳに示された約10%以下の適合基準を超える傾向であった。しかしながら、低減率を正確に把握できたことは、所期の目的にかなう成果とみなされよう。

５．２　インサイジング加工によるラミナの薬剤注入量への影響

標準密度（4,000／m^2）と倍密度（8,000／m^2）のインサイジング加工材の薬剤注入量は、表３－１０に示すとおりで、結果はつぎのように要約された。

３樹種共に、非常な難注入材であるため、薬剤注入量の増加に及ぼすインサイジング加工の効果は、さほど大きくなかった。しかしながら、インサイジング加工によって注入量のバラツキが少なくなり、均一化が図られる傾向は認められた。

５．３　ラミナおよび集成材の防腐・防蟻処理試験

５．３．１　ラミナの薬剤浸潤度

標準密度（4,000／m²）と倍密度（8,000／m²）のインサイジング加工材の薬剤の浸潤度は、表４－１～表４－３に示すとおりで、結果はつぎのように要約された。

倍密度のインサイジング加工を施しても、カラマツラミナの浸潤度は 29.3%、ベイマツラミナの浸潤度は 41.0%、ファーラミナの浸潤度は 59.8%で、いずれも 60%未満であった。そのように厚さ 約 38～40mm、幅 約120mmの３層集成材用のラミナに、上下の板目面から高密度のインサイジング加工を施しても、本試験のような難注入材のラミナの薬剤の浸潤度の向上は、困難であった。

５．３．２　製造した３層集成材の薬剤浸潤度

標準および倍密度のインサイジング加工を施したラミナを、樹種別に強度性能を基準にして３層に組合せた集成材を製造して、防腐・防蟻処理試験を実施した。

その薬剤浸潤度は、表４－４～表４－７に示すとおりで、結果はつぎのように要約された。

倍密度のラミナのインサイジング加工を施しても、カラマツ集成材の浸潤度は全面で 21.5%、表層 10mmの部分で 28.9%、ベイマツ集成材の浸潤度は全面で 27.5%、表層10mmの部分で 37.5%、ファー集成材の浸潤度は全面で 41.3%、表層 10mmの部分で 56.6%で、いずれも全面で60%未満、表層 10mmの部分で 80%未満であった。

標準密度のラミナのインサイジング加工を施したファー集成材の浸潤度は、全面で38.4%、表層 10mmの部分で 51.3%で、これも全面で 60%未満、表層 10mmの部分で 80%未満であった。

そのように集成化後に、ＡＱ認証の防腐・防蟻処理構造用集成材の薬剤の浸潤度の基準、すなわち全面で 60%以上、表層 10mm の部分の80%以上の浸潤度に適合することは、 困難であった。

５．３．３　シミュレートした５層集成材の薬剤浸潤度

試験では３層・10.5cm角の集成材を製造して浸潤度を測定したが、各ラミナの薬剤浸潤

層がそのまま存在するものとして、厚さ方向の薬剤未浸透の中央部を中抜きするようなシミュレートを行い、５層・10.5cm角の集成材を想定して、全面の浸潤度の推定を行なった。ただし、表層 10mmの部分については、主に側面のシミュレートが不可能であったので 、結果の推定は行わなかった。

それらの薬剤浸潤度は、写真４－10～写真４－13に示すとおりで、結果はつぎのように要約された。

ファーはインサイジング加工が、標準および倍密度いずれであってもＡＱ認証の防腐・防蟻処理構造用集成材の薬剤の浸潤度の基準に適合する。

ベイマツは倍密度のインサイジング加工であれば、上記の浸潤度の基準に適合する見込みがかなり高い。

カラマツは倍密度のインサイジング加工であっても、上記の浸潤度の基準に適合するのは困難である。

５．３．４　ラミナ樹種と浸潤度の関係

５．３．３で、「シミュレートした５層集成材の薬剤浸潤度」において述べたように、試みにラミナの厚さを薄くして、インサイジング加工による浸潤度への効果が高まる方策を講じれば、カラマツを除いて、ベイマツとファーは現行の基準に適合する可能性が見いだされた。しかしながらカラマツ、ベイマツ、ファーいずれの樹種も、３層集成材の製造を目的として検討した結果では、基準値に程遠い浸潤度であり、高密度なインサイジング加工を施しても、基準値への適合は望めなかった。

6　今後の検討課題

カラマツ、ベイマツ、ファーいずれの樹種も、３層、10.5cm角の集成材の製造を目的として検討した結果では、基準値に程遠い浸潤度であり、倍密度（8,000／m²）に設定した高密度なインサイジング加工を施しても、適合は望めなかった。このことは、それらの樹種に施す機械的な刺傷方法によるインサイジング加工の限界を示すものとして、受け止めなければならないと考えられる。

その結果、現実に３層構造の防腐・防蟻処理構造用集成材の製造が可能な樹種を推測するとしたら、極めて心材の薬剤浸透性が優良、良好な樹種に限定されることになる。仮にそれらの樹種が初期強度が低いという理由から、構造用集成材になじまないとして許容されないとしたら、改めて薬剤処理材としてみなして、特に長期にわたる強度性能の比較検討を行い、それによって許容される樹種を確認する努力を講じても、良いように考えられる。

著者らは永年にわたり、樹種特有の心材の浸透性と薬剤処理方法の改善に取り組みながら、未だかつて難浸透性木材を屈服させて、浸透性向上が克服できたといった実感を味わったことがない。ことはさほどに難解である。そういった意味からも、ＡＱ認証の防腐・防蟻処理構造用集成材の薬剤の浸潤度の適合基準は、極めて高いハードルであることを痛感している。同時に、これは討議し尽くされた問題点であろうが、樹種特有の耐久・耐朽性や薬剤の防腐・防蟻効力の差異を考慮した時、果たして高い浸潤度を設定した基準が次善の策であったのだろうか、といった疑問が残る。

最近、難浸透性木材の浸透性向上策として、実用化に向けた開発を行っている研究の一つに、加圧式注入処理の前加工として、木材の圧縮大変形加工を行う方法があり、それがカラマツ、ベイマツの浸透性向上に非常に有効であることが明らかにされている。そのような加工方法もまた、集成材の接着性能や強度性能に及ぼす影響を検討しながら、導入すべきであろうと考えられる。

7　インサイジング加工集成材の水平せん断力試験研究

7．1　目的

当事業では、防腐薬剤の難注入材を対象にラミナにインサイジング処理を施して薬剤注入量を上げこれらを積層接着して製造された集成材に関連して、インサイジングによる強度低下について試験を行って明らかにしてきた。昨年度は、インサイジング処理されたラミナを用いた集成材のフラットワイズ方向の曲げ性能、圧縮性能、めり込み性能およびにインサイジングされたラミナのフィンガージョイント性能について試験を行ったが、今年度は従来木材が弱いとされているせん断性能についてインサイジング処理による影響を明らかにするための試験を行った。

7．2　試験方法

7．2．1　インサイジング処理ラミナの曲げヤング率の測定

インサイジング処理を行う前後で曲げヤング率を測定して、処理による曲げヤング率の変化を明らかにするとともに、これらの曲げヤング率を用いて集成材のラミナの組合せを決定した。曲げヤング率の測定は、スパン２７０ｃｍの３等分点荷重方式の死荷重法で行なった（写真 1）。ラミナのフラットワイズ方向（幅広面に直角方向）のヤング率（Ｅｌｆ）測定には２０ｋｇの錘を、またラミナのエッジワイズ方向（幅広面に平行方向）のヤング率（Ｅｌｅ）測定には４０ｋｇの錘を用いた。たわみの計測はスパン中央でダイヤルゲージを用いて行なった。

試験に供したラミナは、寸法約４０mm（厚さ）×１２０mm（幅）×３０００mm（長さ）のもので、樹種はカラマツ（長野県産）、ベイマツ、ベイツガであった。インサイジング処理の条件に関して、密度については標準密度３４００ｄｏｔ／m^2と倍密度６８００ｄｏｔ／m^2の２条件を設定したが、刃の形状、両面インサイジングの条件は一定とした。インサイジング密度の条件はベイツガについてのみ２条件を設けたが、他の２樹種は倍密度のみとした。ラミナ枚数は、各条件３０枚で計１２０枚であった。

7．2．2　インサイジング処理ラミナを用いた集成材の製造と諸弾性率の測定

インサイジング処理前に測定されたフラットワイズ方向の曲げヤング率（Ｅｌｆ）をもとに集成材のラミナの組合せを決めた。各条件別にＥｌｆでソートし、小さい順に３枚毎に組み合わせた。インサイジング処理されたラミナに防腐薬剤の注入、養生および乾燥後、ラミナの狂いや表面の凸凹等を除去するため片面約２mmほどプレーナーをかけた。

これらのラミナをレゾルシノール系樹脂接着剤で積層接着して３プライの集成材を製造した。接着剤の塗布量は、インサイジング穴への接着剤の吸収を考慮して通常より多めの３００ｇ／m^2とした。製造された集成材は積層方向の寸法はそのままに、積層方向に直角方向の寸法をモルダーにより約１０５mmに仕上げた。

３００ｃｍ長の集成材から強度試験用に１７０ｃｍの試験体を得た。これらの集成材の弾性係数およびせん断弾性係数を打撃法により測定した。たわみ振動によるエッジワイズ、およびフラットワイズ方向の曲げ弾性係数（MOEe およびMOE ｆ）、縦振動法による弾性係数（MOE ｔ）、ねじり振動法によるせん断弾性係数（G）を測定した。それぞれの測定方法を写真 2および写真 3に、また、ねじり振動法によるG測定時に観察された振動波形を写真 4に示す。

たわみ振動法および打撃法による曲げヤング率、ならびにねじり振動法におけるせん断弾性率の算出式を以下に示す。

$$MOEe, MOEf = \left(\frac{2f}{\kappa\pi}\right)^2 \frac{wl^3}{Ig}$$

$$MOEt = \frac{4l^2 f_t{}^2 \rho}{g}$$

$$G = \frac{\left(2lf_g\right)^2 \rho I_p}{\lambda g}$$

f：たわみ振動の一次の振動周波数

κ：定数（2.267）

w：重量

l：試験体長

I：断面二次モーメント

g：重力加速度

f_t：打撃による一次の振動周波数

ρ：容積密度

f_g：ねじり振動の一次の振動周波数

I_p：断面極二次モーメント

λ：定数（1.4）

７．２．３　インサイジング処理ラミナを用いた集成材の水平せん断試験

１７０ｃｍ長の集成材より１１０ｃｍ長の水平せん断試験体を採取した。水平せん断試験はスパン１００ｃｍ、せん断スパン２５ｃｍの２点荷重方式で行なった。試験体の梁せいはほぼ１０５mmだったので、スパン梁せい比はおよそ４．８であった。試験体は、ＪＡＳでいう横使い方向に積層面をセットして行った。試験には２５ｔｏｎの曲げ試験機を用い、全スパンおよび荷重点間中央４０ｃｍのたわみを測定した（写真 5）。

７．２．４　インサイジング処理ラミナを用いた集成材のブロックせん断試験

１７０ｃｍ長集成材の端部よりブロックせん断試験体を採取した。試験対象とするせん

断面は、水平せん断試験と同じ面になるよう積層面に直交する面とした。せん断面の寸法は、約４５mm×４５mmとし、１集成材から８面のブロックせん断試験を行えるよう、階段状の試験体を作成した（写真 6）。荷重速度は１mm／ｍｉｎであった。

写真　1　ラミナの曲げヤング率の測定

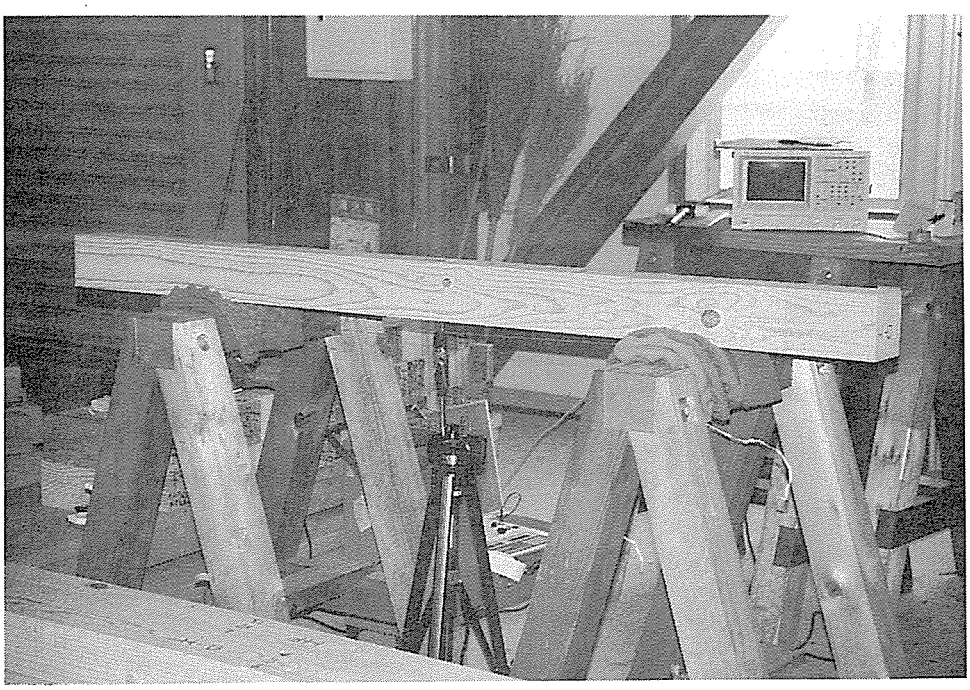


写真　2　集成材のたわみ振動法による曲げヤング率の測定

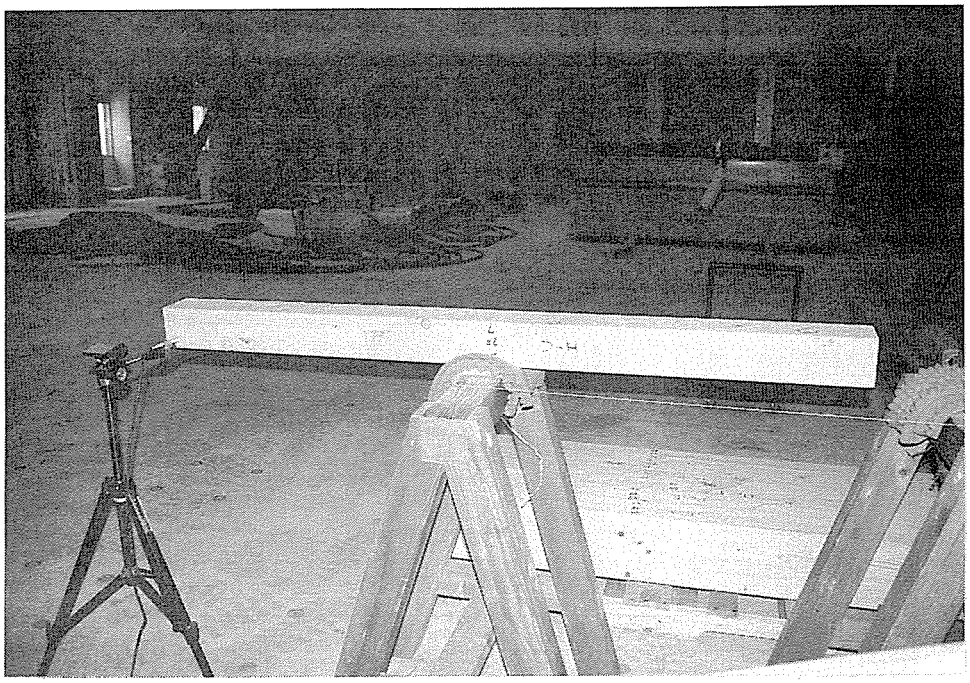


写真　3　ねじり振動法による集成材のせん断弾性係数の測定

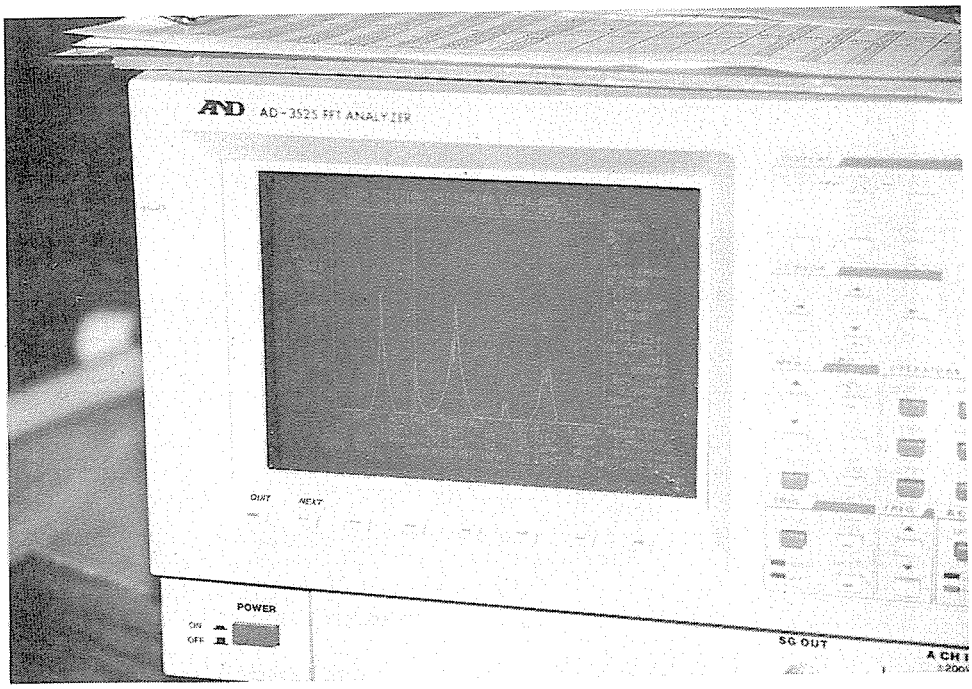


写真　4　ねじり振動法において測定された振動波形

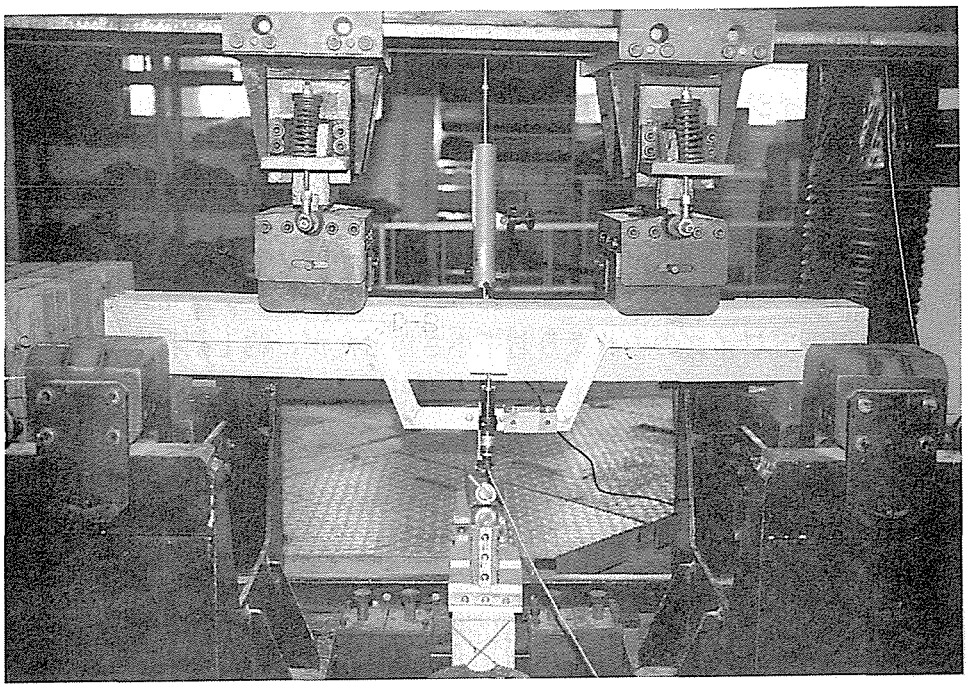


写真５　水平せん断試験

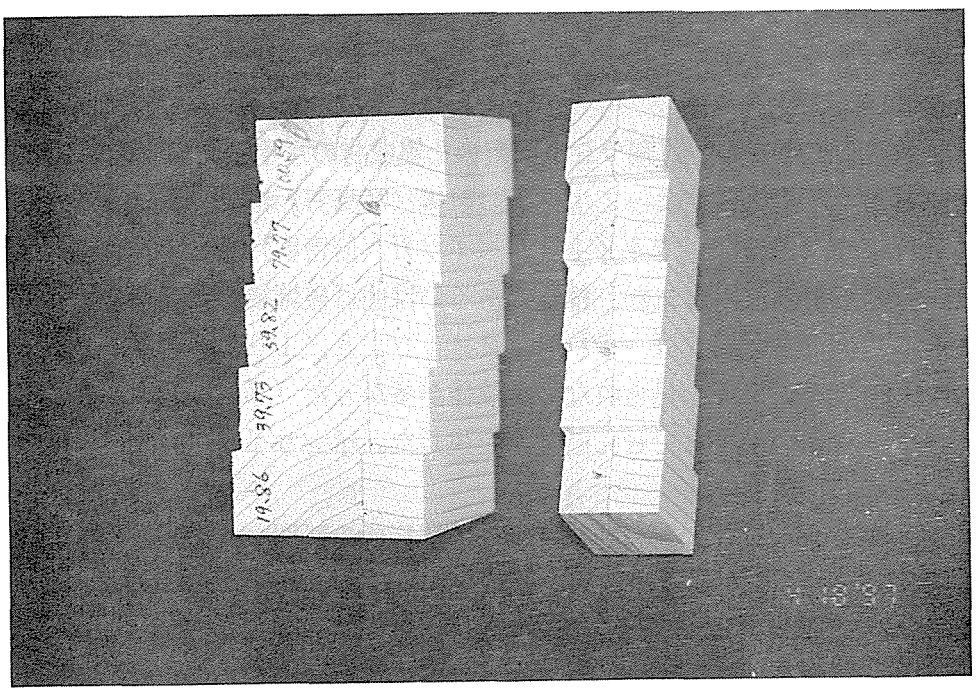


写真　６　ブロックせん断試験体（左：今回の試験体、右：ＪＡＳの標準試験体）

７．３　試験結果

表 1にインサイジング処理前後のラミナの曲げヤング係数の測定結果をに示す。また、表 2にインサイジング処理ラミナを用いた集成材の諸物性値、水平せん断試験結果、ブロックせん断試験結果をまとめて示し、以下、試験結果を各項目別に説明する。

７．３．１　インサイジング処理ラミナの曲げヤング率

倍密度のインサイジング処理により、ラミナの曲げヤング係数は、エッジワイズ方向で処理前の０．８７～０．９０に、またフラットワイズ方向で０．８５～０．８７に低下した。昨年度の同条件の試験結果、フラットワイズ方向の曲げヤング係数の低下約０．７７と比較すると、今回の試験結果はこれよりは小さかった。エッジワイズ方向の曲げヤング率の低下は、フラットワイズのそれより若干小さかったが、約１割程度であった。インサイジング処理前後における平均値のｔ検定をそれぞれ方向別に行った結果、いずれも１％の危険率で有意差が認められた。

標準密度における曲げヤング係数の低下は、フラットワイズ方向では約１割ほどであり、処理前後における平均値のｔ検定で１％の危険率で有意差が確認された。しかし、エッジワイズ方向に関しては、低下は３％ほどで検定の結果有意差も認められなかった。なお、インサイジング密度の影響を測定するために分けたベイツガの二つのロットにおいては、比重、エッジワイズおよびフラットワイズ方向の曲げヤング率の差異は認められなかった。

７．３．２　インサイジング処理ラミナを用いた集成材の諸物性値

比重やヤング率などは各樹種において標準的な値を示していると考えられる。

インサイジング密度の影響については、MOEe、MOE ｆ、MOE ｔ、Ｇいずれも倍密度の方の平均値が若干小さく計測されているが、分散分析の結果では有意差は認められなかった。

７．３．３　インサイジング処理ラミナを用いた集成材の水平せん断試験

主たる破壊が水平せん断によって生じた試験体（写真 7）は、カラマツ（倍密度）で２／１０、ベイマツ（倍密度）で４／１０、ベイツガ（倍密度）で３／９、ベイツガ（標準密度）で３／１０であった。また、部分的あるいは曲げ破壊後など何らかのかたちでせん断破壊が生じたものを含めれば、それぞれ２／１０、５／１０、５／９、５／１０となった。カラマツでせん断破壊の見られない試験体が多かった（写真 8）が、その他の樹種ではほぼ半数が何らかのかたちでせん断破壊を生じた。インサイジング密度による破壊形態への影響はみられなかった。

表７－２に示した水平せん断試験結果は、破壊形態の区別なくＭＯＲ等を統計処理したものである。ＭＯＲおよびτを樹種間で比較すると、比重,曲げヤング率などが大きい順に、ベイマツ＞カラマツ＞ベイツガの順となった。

倍密度と標準密度との比率は０．７９であり、一元配置の分散分析結果でも有意な差と

表７－１　インサイジング処理前後のラミナの曲げヤング係数

樹種　及び インサイジング密度		エッジワイズ方向		フラットワイズ方向		比重
		処理前	処理後	処理前	処理後	
カラマツ倍密度	平均	96.8	87.2	99.2	83.9	0.50
	標準偏差	18.8	20.8	21.6	17.7	0.035
	変動係数	19.5	23.9	21.7	21.1	7.0
	前後比	0.90**		0.85**		－
ベイマツ倍密度	平均	114.2	98.9	126.9	108.2	0.50
	標準偏差	21.5	18.1	19.4	18.3	0.034
	変動係数	18.8	18.3	15.3	16.9	6.8
	前後比	0.87**		0.85**		－
ベイツガ倍密度	平均	88.1	78.7	100.4	87.6	0.42
	標準偏差	13.3	14.0	12.6	12.4	0.023
	変動係数	15.1	17.8	12.5	14.2	5.5
	前後比	0.89**		0.87**		－
ベイツガ標準	平均	88.7	86.4	97.8	88.8	0.42
	標準偏差	11.7	15.9	12.1	10.4	0.021
	変動係数	13.2	18.4	12.3	11.7	5.0
	前後比	0.97		0.91**		－

注１．単位（ヤング率：×１０^{3}ｋｇｆ／ｃｍ^2、変動係数：％）

注２．前後比：インサイジング後ＭＯＥ／インサイジング前ＭＯＥ

注３．＊＊：平均値の差に関するｔ検定において１％の危険率で有意差あり

表7－2　インサイジング集成材の試験結果

測定項目	樹種	カラマツ	ベイマツ	ベイツガ	ベイツガ
	密度	倍	倍	倍	標準
比重		0.495	0.503	0.421	0.414
MOE e (ton／cm^2)		110.4	125.7	99.5	105.2
MOE f (ton／cm^2)		103.5	130.6	96.2	105.3
MOE t (ton／cm^2)		112.8	142.9	110.2	115.8
G (ton／cm^2)		10.6	11.0	7.8	8.5
MOE l (ton／cm^2)	平均値	87.5	102.9	76.3	82.6
	標準偏差	11.2	11.9	6.9	5.7
	変動係数(%)	12.8	11.6	9.1	6.9
		倍密度／標準密度の比率		0.92*	
MOR (kgf／cm^2)	平均値	482	520	391	496
	標準偏差	124	109	76.4	77.4
	変動係数(%)	25.7	21	19.5	15.6
		倍密度／標準密度の比率		0.79**	
τ (kgf／cm^2)	平均値	55.6	60.0	45.3	57.5
	標準偏差	14.4	12.9	8.9	9.0
	変動係数(%)	25.9	21.5	19.5	15.6
		倍密度／標準密度の比率		0.79**	
破壊形態 主たる破壊がせん断		2／10	4／10	3／9	3／10
せん断破壊を含むもの		2／10	5／10	5／9	5／10
BS (kgf／cm^2)	平均値	97.4	93.8	75.7	92.8
	標準偏差	13.4	18.0	10.6	11.7
	変動係数(%)	13.7	19.2	10.4	12.6
	5%下限値	75.4	64.1	58.3	73.5
		倍密度／標準密度の比率		0.82**	

MOEe　：たわみ振動法で測定したエッジワイズ方向の曲げヤング率

MOE f　：たわみ振動法で測定したフラットワイズ方向の曲げヤング率

MOE t　：縦振動法で測定した弾性率、G　：ねじり振動法で測定したせん断弾性率

MOE l　：せん断試験時全スパンたわみから算出した曲げヤング率

MOR　：曲げ破壊係数、τ：水平せん断強さ、ＢＳ：ブロックせん断強さ

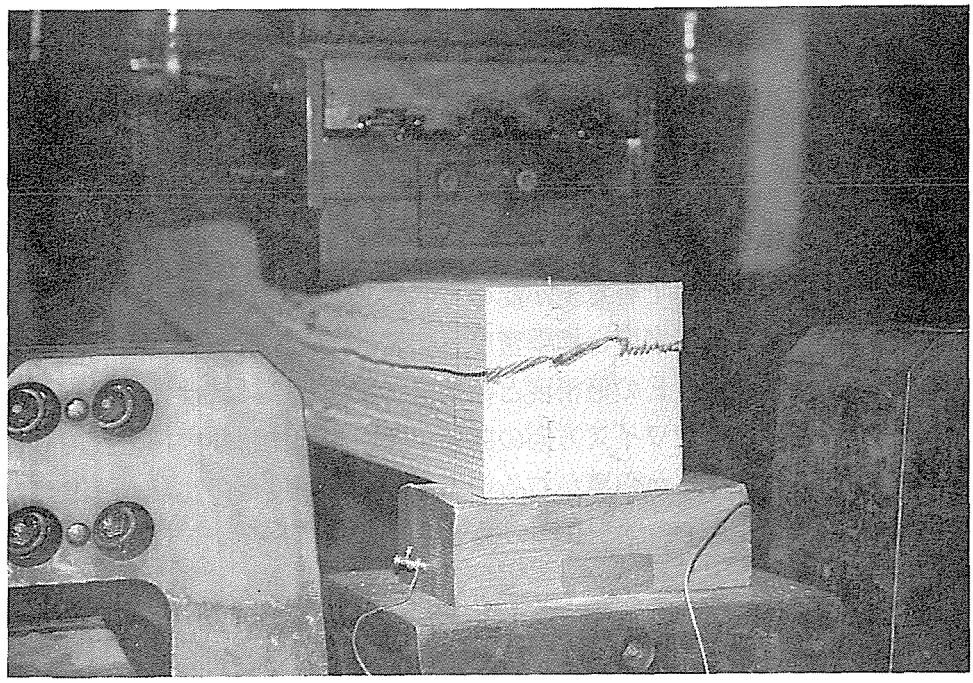


写真　7　水平せん断破壊した例

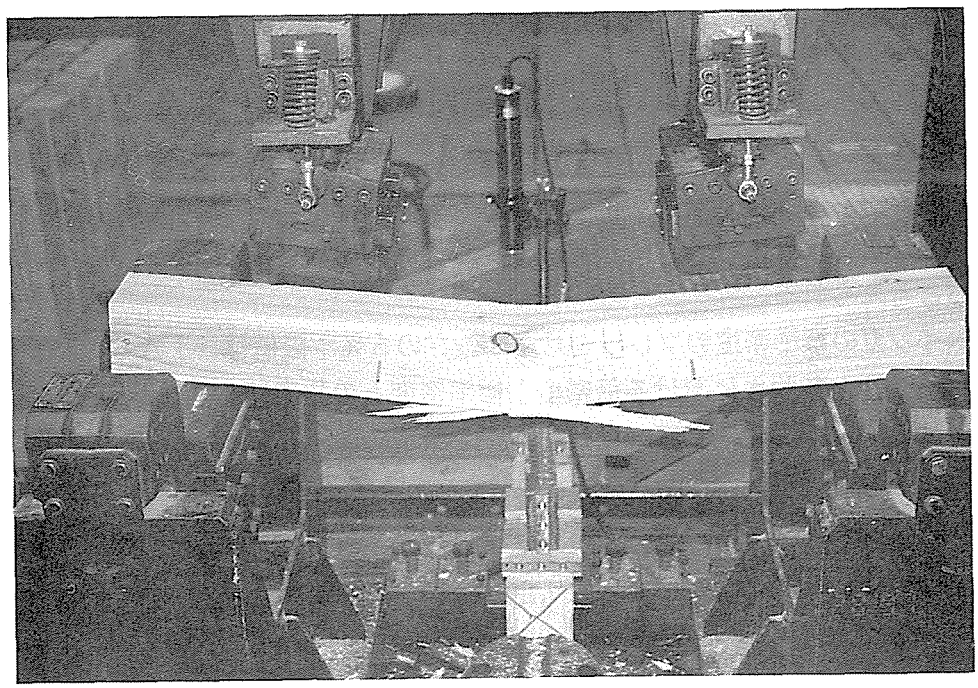


写真　8　曲げ破壊した例

認められたことから、τあるいはＭＯＲはインサイジング密度の影響を大きく受けたと考えられる。昨年度のフラットワイズ方向の曲げ試験結果におけるＭＯＲのインサイジング無し、標準密度、倍密度の比率は、１：０．８９：０．８３で、標準密度と倍密度との比率は０．８３／０．８９＝０．９３であった。ラミナの等級や試験スパン等の条件が昨年度の試験とは異なることを前提で両者の比較を行うと、倍密度と標準密度との強度比率はフラットワイズ方向では０．９３、エッジワイズ方向では０．７９となり、インサイジングの密度がτあるいはＭＯＲに与える影響はエッジワイズ方向でより大きかったと推定できる。

また、エッジワイズ方向のＭＯＥに関しては、倍密度と標準密度との比率が０．９２、分散分析でも５％の危険率で有意差が認められた。これは、フラットワイズ方向に関する昨年度の結果において、倍密度と標準密度との差はほとんど認められなかったことと対照的である。なお、このＭＯＥの倍密度と標準密度間の比率は、ラミナ段階で測定されたインサイジング前後のエッジワイズ方向の曲げヤング率の比率が標準密度で０．９７、倍密度で０．８９であったことから導かれる倍密度と標準密度との比０．８９／０．９７＝０．９２と一致し、ラミナでのヤング率の低下が集成材でもそのまま表れたと考えられる。

７．３．４　インサイジング処理ラミナを用いた集成材のブロックせん断試験

倍密度における各樹種の結果は、平均値，５％下限値ともにカラマツ＞ベイマツ＞ベイツガの順であった。ＪＡＳにおける接着面のブロックせん断強度の適合基準値は、カラマツとベイマツが同じクラスで７２ｋｇｆ／ｃｍ^2、またベイツガが６６ｋｇｆ／ｃｍ^{2}である。日本建築学会の木構造設計規準・同解説においては、接着層に直交する面のせん断の許容応力度は、積層面のそれに０．８５を乗じた値としている。したがって、今回行った方向のせん断力の基準値は、この定数（０．８５）をＪＡＳの基準値に乗じて得られると考えられ、その仮定に基づいて基準値を算出するならば、カラマツ，ベイマツは６１ｋｇｆ／ｃｍ^2、ベイツガは５６ｋｇｆ／ｃｍ^{2}となる。さらに、今回の試験体のようにせん断面の寸法が４５ｍｍ×４５ｍｍとＪＡＳ試験体の２５ｍｍ×２５ｍｍより大きい場合、せん断力は小さく評価されることを考慮すると、今回の試験結果はＪＡＳの基準を満たしていると考えられる。

ベイツガの標準密度のブロックせん断強さの５％下限値は、ＪＡＳの基準値を満たした。ブロックせん断強さにおける倍密度と標準密度との比率は０．８２で、分散分析において１％の危険率で有意差が認められた。

７．４　考察

７．４．１　インサイジングされた集成材のせん断性能について

水平せん断試験においてもブロックせん断試験においても、インサイジング密度の増加にともなうせん断強度の低下が認められた。ただし、水平せん断試験における強度低下については、せん断破壊した試験体数が３割程度であること、またインサイジング密度の増加にともなってせん断破壊した試験体の増加がみられないことなどから、この強度低下がインサイジングによるせん断強度の低下に由来するものかどうかは明らかでない。ちなみに、各試験体の平均ブロックせん断強度と水平せん断強度との相関係数は、樹種やインサイジング密度や破壊形態を考慮しなければ０．２９８（ｎ＝３７）、また水平せん断破壊したものに限っても０．４６３（ｎ＝１２）と低く（図１）、このことからもインサイジング密度の増加にともなう水平せん断強度の低下がブロックせん断試験で測定されるせん断強度の低下と直接関係があるとは言えそうにない。いずれにせよ、今回の試験結果は、インサイジング密度の増加にともなって水平せん断強度あるいは曲げ強度の低下が生じる可能性を示唆しており、今後この原因を明らかにするとともに、使用に際しては注意が必要であろう。

なお、水平せん断試験における強度を曲げ破壊係数で代表させ、諸物性値との回帰分析を行った結果、曲げヤング率との相関が最も高かった（図２）が、せん断弾性係数との相関は低かった（図３）。

７．４．２　インサイジング処理による曲げヤング率の低下

ラミナの曲げヤング率の低下は、インサイジング密度の増加にともなってエッジワイズ方向、フラットワイズ方向ともに大きくなった。これらのラミナを用いた集成材の曲げヤング率は、フラットワイズ方向についてはラミナのヤング率ほどの低下は示さなかったが（昨年の試験結果から）、エッジワイズ方向に関してはラミナにおけるヤング率の低下がそのまま集成材にも反映される結果となった。これは、フラットワイズ方向ではインサイジングによりヤング率が低下した部分の断面内での位置、言い換えれば曲げの中立軸からの距離、によりにヤング率の低下する程度は変化し、ラミナよりは集成材の方がインサイジングの影響がでにくくなったが、エッジワイズ方向ではこのような効果はないのでラミナにおけるヤング率の低下は直接集成材にも影響すると考えられる。この点について、特にインサイジング密度が高い場合には注意が必要となろう。なお、集成材のエッジワイズ方向のＭＯＥは、インサイジング後に測定されたエッジワイズ方向のラミナのＭＯＥの平均値であると考えて集成材のＭＯＥの推定を試みたが、図４に示すように両者間で比較的高い相関係数は得られたものの、回帰式の切片が原点から大きくはずれており、その真偽のほどは不明であった。

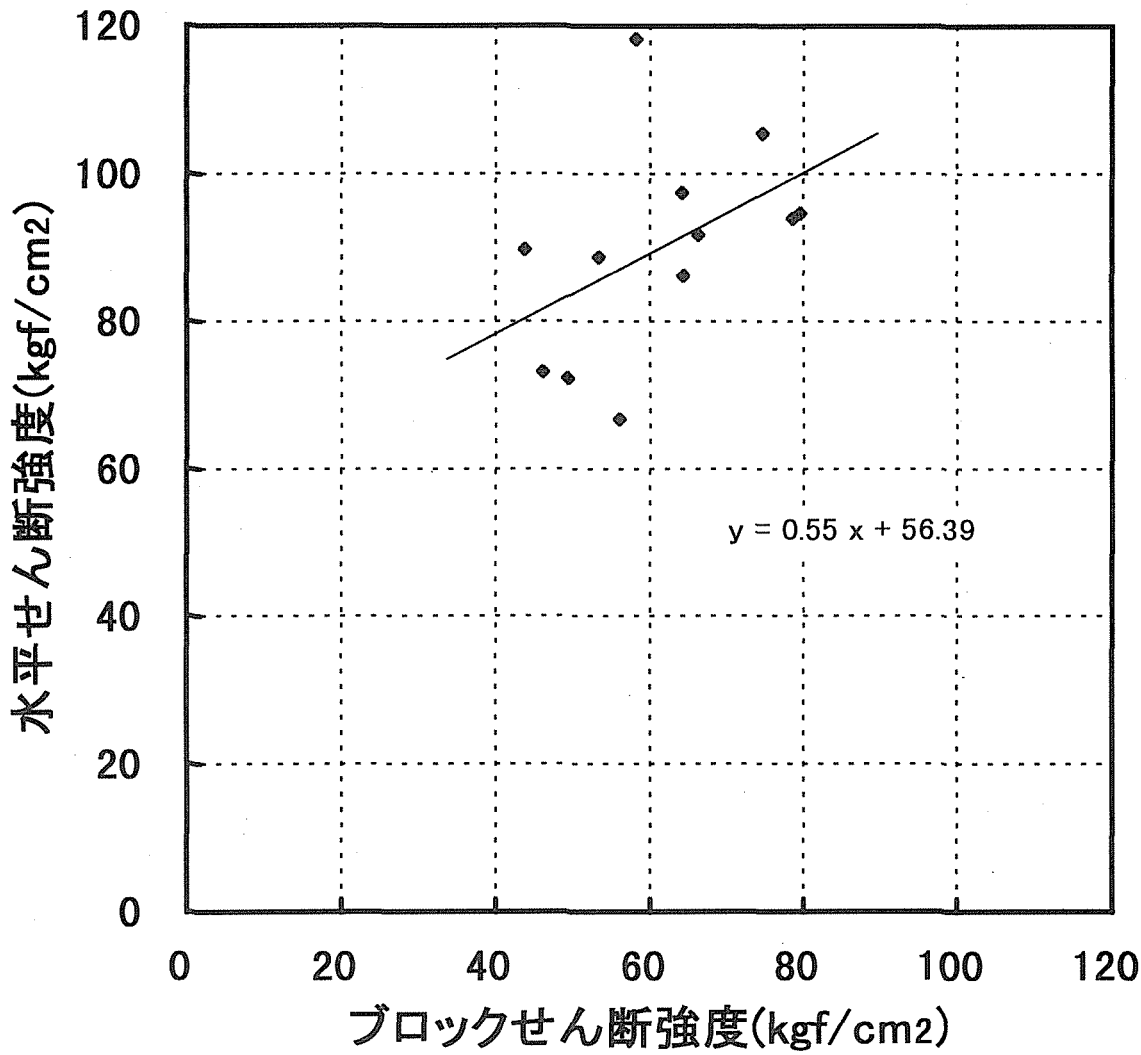


図1　水平せん断破壊した集成材の水平せん断強度とブロックせん断強度との関係

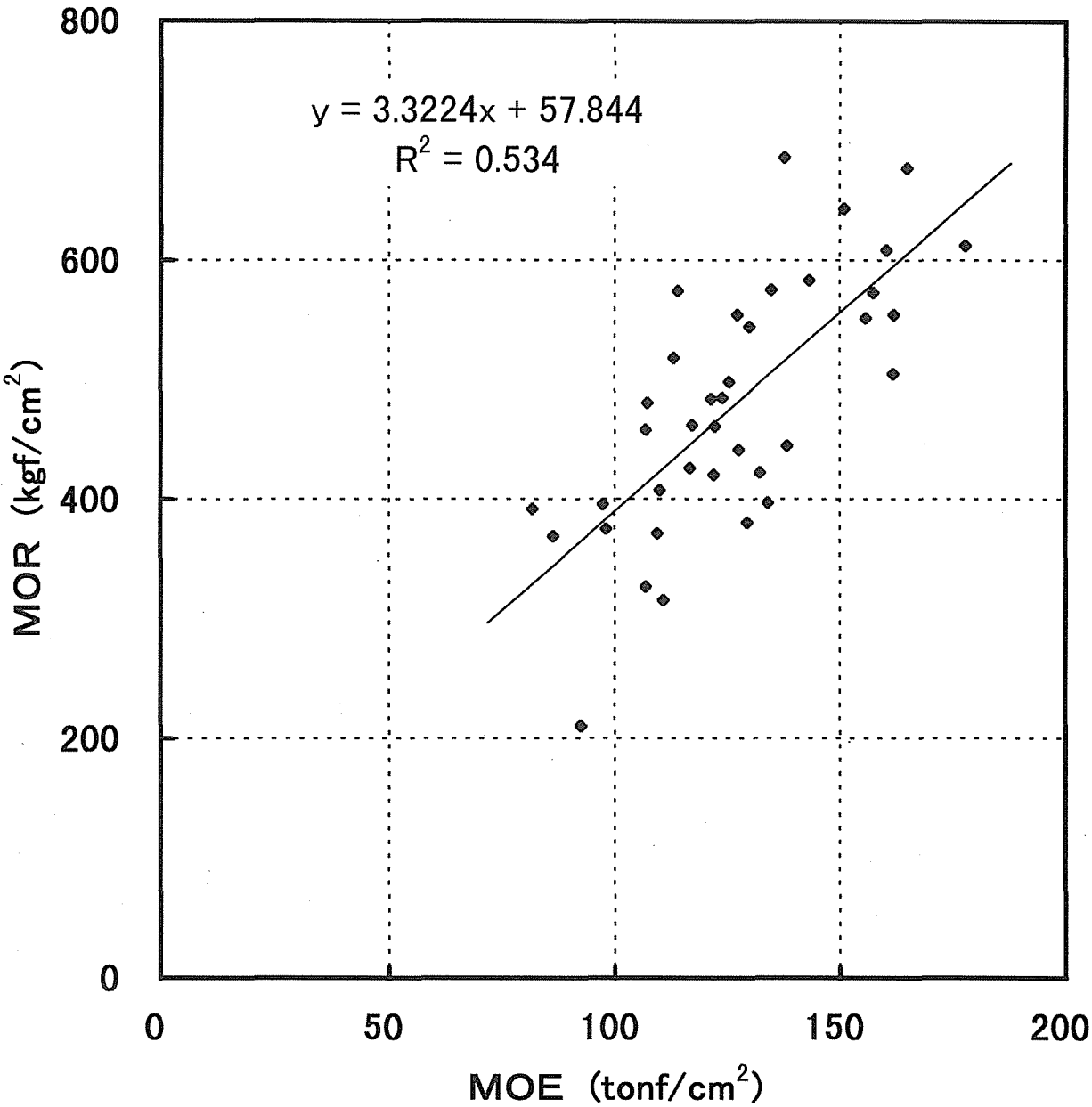


図2 曲げヤング率(MOE)と曲げ破壊係数(MOR)との関係

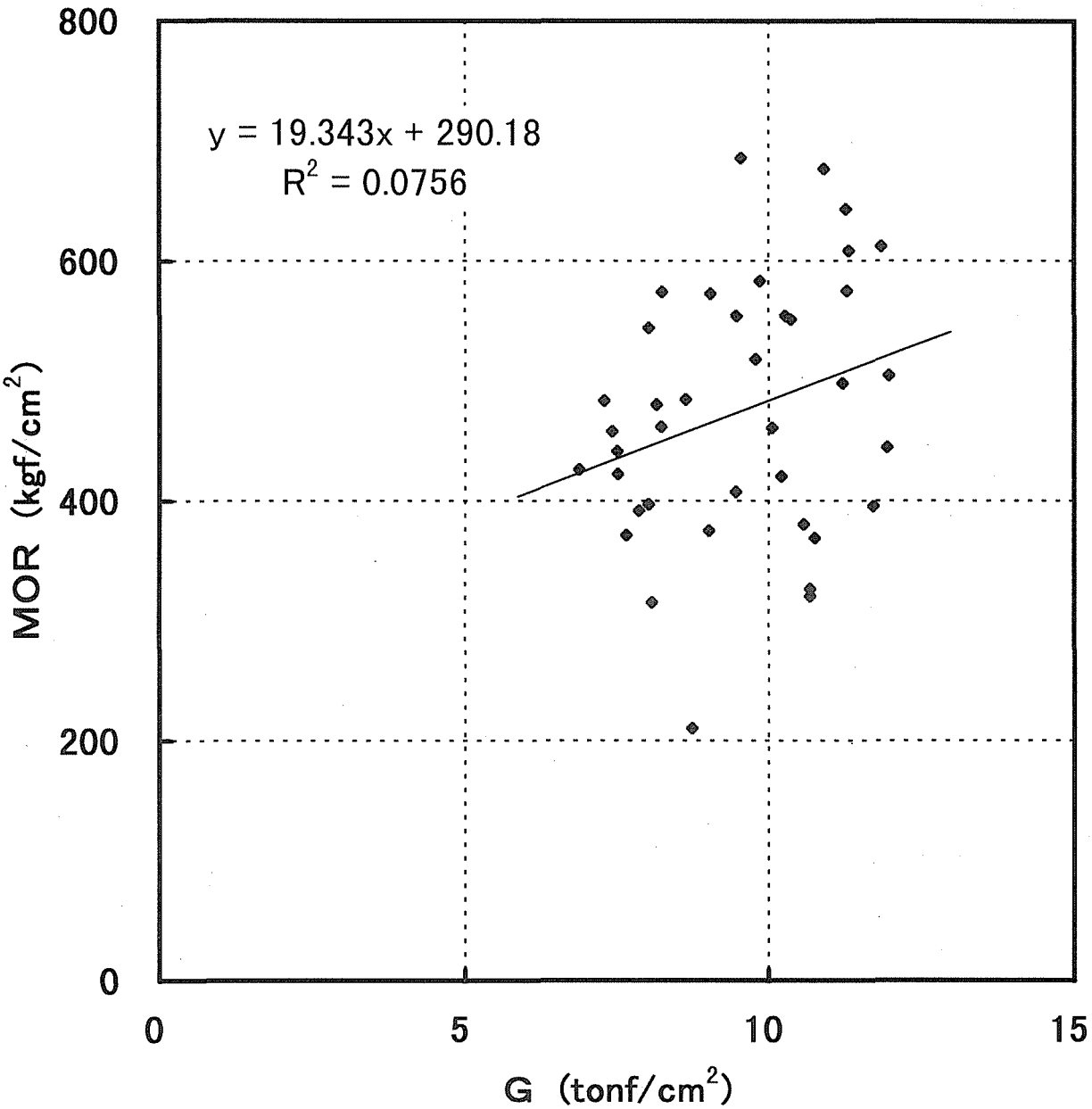


図3　せん断弾性係数(G)と曲げ破壊係数(MOR)との関係

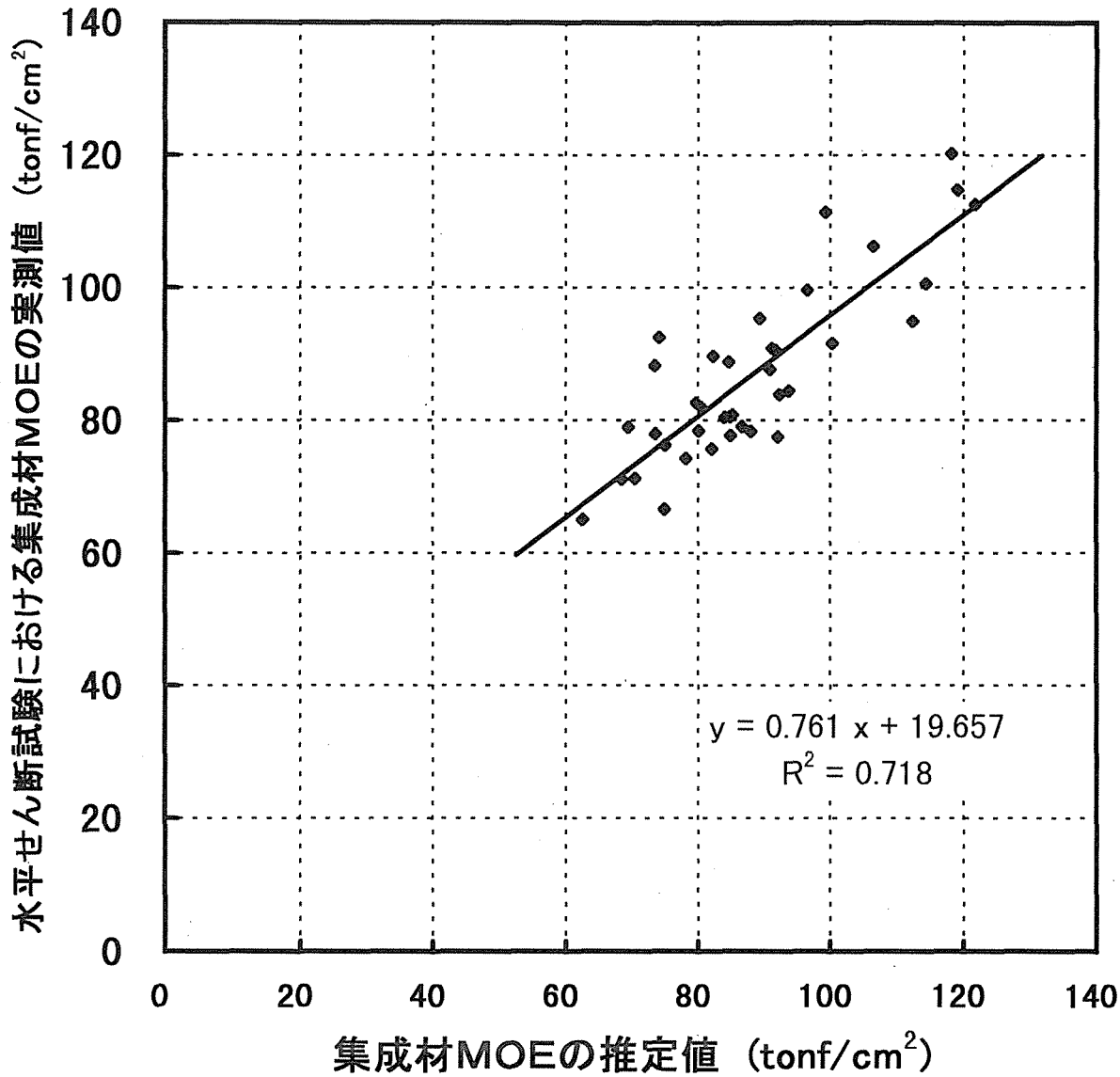


図4 ラミナの曲げヤング率による集成材MOEの推定値と実測値との関係

７．５　まとめ及びに今後の検討課題

防腐薬剤の難注入材を対象にラミナにインサイジング処理を施して薬剤注入量を上げる手法において、インサイジングによる強度低下（特にせん断性能）について、倍密度のインサイジング処理を中心に試験を行い、次の結果を得た。

（１）エッジワイズ方向の曲げヤング率は、倍密度のインサイジング処理により処理前の０．８７～０．９０に低下した。また、これらのラミナを積層接着した集成材のエッジワイズ方向の曲げヤング率もラミナと同程度の低下が認められ、フラットワイズ方向における積層による補強効果は期待できないので、使用時に注意が必要である。なお、標準密度については顕著な低下は認められなかった。

（２）倍密度のインサイジング処理ラミナを用いた集成材について、水平せん断試験により測定された水平せん断強度あるいは曲げ破壊係数は、標準密度のそれの０．７９となった。これは、昨年試験されたフラットワイズ方向の曲げ強度低下、倍密度／標準密度＝０．９３より大きかった。ただし、この低下がインサイジングによるせん断性能の低下によりもたらされたものかどうかは今回の試験では明確でなく、今後その原因を明らかにするとともに、使用に際して注意が必要であろう。また、無処理材と標準密度インサイジング材間でもいくらかの強度低下が生ずるものと考えられるので、無処理材に対する標準密度あるいは倍密度の強度の低下率についても、今回と同様の試験あるいは他の適切な試験方法で求めておく必要があろう。

（３）ブロックせん断試験で得られたせん断強度は、現行のＪＡＳおよび木構造設計規準に照らして基準の強度を保持していると考えられるが、倍密度においてはいずれもぎりぎりの値でありラミナの材質が低くなった場合などは注意が必要であろう。なお、倍密度と標準密度との比率は０．８２であった。

（４）せん断強度は試験方法により測定値が大きく変動するため、その評価は簡単でない。せん断強度の評価は試験方法を含めて今後も検討する必要があろう。

付録：インサイジング集成材のせん断試験結果

No.		SG	MOEe	MOEf	MOEh	G	MOEI	MOEa	MOR	τ	破壊形	BS	MC
L	A	0.480	84.3	83.7	84.2	10.76	71.2	86.2	368.9	42.7	B	–	8.8%
L	B	0.496	90.2	87.8	93.6	11.71	88.3	97.3	395.6	45.6	B	106.4	8.7%
L	C	0.457	103.7	97.4	103.3	9.47	79.0	110.0	407.4	47.2	B	90.0	8.6%
L	D	0.477	109.8	95.8	104.9	10.06	84.4	122.3	460.7	52.3	B	92.7	8.7%
L	E	0.479	101.2	94.8	105.2	10.69	75.7	106.8	326.4	37.8	B	97.9	8.7%
L	F	0.482	106.1	96.9	106.7	10.21	82.1	122.2	420.4	48.7	B	93.4	8.7%
L	G	0.501	108.7	102.9	114.1	11.21	92.5	125.7	498.1	57.4	B	99.6	8.6%
L	H	0.534	130.6	119.3	131.4	11.31	100.6	160.4	608.6	70.0	B	96.3	8.4%
L	I	0.509	132.4	127.6	143.3	9.55	95.0	137.8	686.2	79.6	S	94.7	8.3%
L	J	0.535	137.4	128.6	141.1	11.26	106.2	151.1	643.3	74.7	SB	105.4	8.5%
D	A	0.456	89.5	80.0	94.2	10.68	–	–	320.6	36.0	B	82.3	8.3%
D	B	0.484	123.4	113.3	130.9	10.58	90.3	129.6	380.5	43.7	S	89.7	8.2%
D	C	0.485	112.5	124.8	133.0	11.28	95.4	135.0	575.2	65.9	B;S	82.0	8.4%
D	D	0.507	125.2	115.6	129.3	11.94	90.8	138.4	444.7	51.5	B	–	8.3%
D	E	0.494	117.8	113.0	140.0	10.36	90.6	155.7	551.3	63.5	B	93.6	8.3%
D	F	0.474	121.8	128.8	138.7	9.86	99.6	143.3	583.2	67.6	B	89.8	8.4%
D	G	0.512	134.8	152.0	158.4	10.28	111.4	162.0	554.2	64.4	S	86.3	8.2%
D	H	0.520	140.6	155.8	165.8	10.91	112.6	165.0	677.3	78.6	S	94.0	8.3%
D	I	0.551	146.0	167.2	170.5	11.85	114.8	177.8	612.6	70.5	B	107.8	8.3%
D	J	0.547	145.7	155.3	168.0	11.96	120.3	161.9	504.9	58.1	S	118.3	8.4%
H	A	0.440	90.3	79.2	90.3	8.74	65.1	92.4	210.3	24.3	B	85.0	9.1%
H	B	0.397	90.1	78.5	93.8	7.87	66.7	81.7	391.9	45.4	B	74.4	8.9%
H	C	0.442	82.6	97.1	98.6	9.02	71.2	98.1	375.0	43.6	B	84.8	9.4%
H	D	0.410	93.1	107.6	109.5	7.66	78.0	109.5	371.3	43.0	B	–	8.9%
H	E	0.410	101.4	94.0	110.2	7.50	82.6	127.7	441.2	50.9	B;S	68.6	9.1%
H	F	0.426	103.7	99.0	119.1	7.52	76.3	132.4	422.3	48.9	B;Sp	82.4	9.1%
H	G	0.416	107.0	105.3	121.8	7.29	77.7	121.5	483.6	56.0	SB	66.7	9.2%
H	H	0.405	108.2	102.1	117.6	6.87	78.3	116.8	426.3	49.3	SB	72.3	8.9%
H	I	0.426	102.0	77.2	109.7	7.12	79.1	115.7	–	–	–	73.9	9.0%
H	J	0.442	116.5	122.6	131.6	8.02	87.7	134.1	397.3	46.0	S	73.1	8.8%
Hc	A	0.404	95.5	103.2	105.7	9.79	78.5	113.2	518.1	60.1	B	96.6	9.6%
Hc	B	0.414	85.0	95.1	98.4	8.08	74.3	110.8	315.2	36.5	B	98.4	9.4%
Hc	C	0.398	95.6	106.2	107.8	8.16	80.5	107.3	480.5	55.7	B	84.6	9.4%
Hc	D	0.412	108.7	102.4	119.0	9.47	89.7	127.4	554.1	64.2	S	97.5	9.2%
Hc	E	0.400	112.8	98.3	115.4	8.23	80.5	117.2	461.8	53.3	SB	88.8	9.2%
Hc	F	0.419	106.2	102.8	117.0	8.63	80.8	124.1	484.8	56.1	B	93.1	9.1%
Hc	G	0.408	109.2	97.3	116.3	8.02	88.8	130.1	544.2	63.0	B	93.7	
Hc	H	0.403	103.4	107.2	120.0	7.42	77.6	106.9	457.9	53.1	B;S	93.6	9.1%
Hc	I	0.437	112.5	122.8	125.5	8.25	83.8	114.1	574.5	66.4	BSp	90.1	8.9%
Hc	J	0.448	122.8	117.4	132.5	9.05	91.6	157.4	572.9	66.3	S	91.7	9.2%

樹種

L	カラマツ(倍)
D	ダグラスファー(倍)
H	ヘムファー(倍)
Hc	ヘムファー(標準)

SG	比重
MOE e	たわみ振動法エッジワイズ
MOE f	たわみ振動法フラットワイズ
MOE h	縦振動法
G	ねじり振動法
MOEI	水平せん断試験時 全たわみから求めたMOE
MOEa	水平せん断試験時 荷重点間たわみから求めたMOE
MOR	曲げ破壊係数
τ	水平せん断強度
BS	ブロックせん断強度
MC	集成材の含水率

破壊形態

B	曲げ
S	せん断
Sp	一部せん断
SB	せん断，曲げ同時
B;S	曲げ後せん断