

平成26年度林野庁委託事業
CLT等新製品・新技術利用促進事業

住宅等における新たな製品・技術の開発 ラミネートログ性能調査報告書

平成 27 年 3 月

一般社団法人日本ログハウス協会

目 次

はじめに

ラミネートログ検討委員会委員名簿

I 部 ラミネートログ強度性能試験の実施

調査・研究概要

1 評価方法

- 1.1 曲げ試験 9
- 1.2 せん断試験 10

2 試験結果

- 2.1 曲げ実験(3プライ木表接着 E70-E70-E70 継手なし矩形断面) 22
- 2.2 曲げ実験(3プライ木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面) 25
- 2.3 曲げ実験(3プライ木表接着 E70-E70-E70 継手 400mm 矩形断面) 28
- 2.4 曲げ実験(3プライ木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね) 31
- 2.5 曲げ実験(3プライ木表接着 E70-E50-E70 継手なし矩形断面) 34
- 2.6 曲げ実験(3プライ木表接着 E70-E50-E70 継手 300mm 矩形断面) 37
- 2.7 曲げ実験(3プライ木表接着 E70-E50-E70 継手 400mm 矩形断面) 40
- 2.8 曲げ実験(3プライ木表接着横使い E70-E50-E70 継手なし矩形断面) ... 43
- 2.9 せん断実験(3プライ木表接着 E70-E70-E70 継手なし矩形断面) 46
- 2.10 せん断実験(3プライ木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面) ... 49
- 2.11 せん断実験(3プライ木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね) ... 53
- 2.12 曲げ実験(3プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手なし矩形断面) 56
- 2.13 曲げ実験(3プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面) 60
- 2.14 曲げ実験(3プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね) 64
- 3 ラミネートログの DOL 及びクリープ試験概要 68
- 4 総括 71
- 5 今後の展望 72

II 部 ラミネートログ温熱性能試験の実施

- 1 調査・研究目的 73
- 2 ラミネートログ材について 73
- 3 試験概要 73
- 4 試験①：熱伝導率の測定 75
- 5 試験②：透湿率の測定 76
- 6 試験③：ラミネートログ壁体熱貫流率測定試験 83
- 7 試験④：ラミネートログ壁体結露試験 83
- 8 総括 99

はじめに

我が国で建設されるログハウスはフィンランド国等からの輸入ログハウスが主体を占め、品質性能安定し普及の図られている欧州アカマツラミネートログが大きく利用されている。

一方、スギ、ヒノキ等国産材ラミネートログの生産・供給は、これまで加工設備が未整備で、かつ品質性能を担う AQ、JAS 規格化も遅れていることからほとんど行われてこなかった。

このような中で、平成 25 年度林野庁補助事業として「乾燥材等品質性能に優れたラミネートログ部材の開発」(実施者：(協)いわき材加工センター)が実施され、

- ・フィンランド国のラミネートログの基準
- ・スギ材によるラミネートログ試作

- ・ログ材を使用した曲げ試験、せん断試験等 貴重なデータを明らかにした。

次いで、当該林野庁委託事業は大学、研究所等と連携し、スギラミネートログ材の技術開発 ・性能評価取得に資する曲げ性能試験、せん断性能試験 などを実施し、部材の規格化及び建築基準法 37 条大臣認定取得のための条件整備を図ることを目標とした。

併せて、平成 32 年度新築住宅の省エネ義務化に向けた課題の一つとしてログ外壁大径化(220mm 程度)が想定され、地域区分の北海道、東北等においては 200mm ～300mm ログ材の提供も必要と見込まれている。

このログ大径材は、3～5 層のラミネートログ材を必要とするため、ラミネート製作課題を整理するとともに、必要とする断熱性能、吸湿等性能等有効なデータ収集、分析を重点とし、省エネ対応の道筋を示すこととした。

このため、既往の研究成果により一定の強度性能は確保できるものの、継手部分が弱点となり、そこでの破壊性状が顕著との知見があるので、重点的に 3 層継手を含んだ曲げ試験、せん断試験を行った。並びに木表接着のみでの経過であったが、木裏接着も比較検証した。

また、温熱関連測定では、大径材壁としての熱貫流率測定等による性能把握を行い多くの成果を得た。

本性能試験等進めるに当たっては、「ラミネートログ検討委員会」(委員長：東京都市大学教授 大橋好光)を開催し、委員の方々に指導助言をいただき、さらに林野庁はじめ、福島県林業研究センター、栃木県林業センター、建材試験センター、(株)えびす建築研究所等には多大なご理解、ご協力を賜ったことについて感謝申し上げるところである。

ラミネートログ検討委員会 委員名簿

委員長	大橋	好光	東京都市大学工学部教授
委員	小野	泰	ものづくり大学教授
委員	杉本	健一	(独)森林総合研究所 チーム長
委員	中島	史郎	(独)建築研究所上席研究員
委員	西村	義一	藤寿産業株式会社専務取締役
委員	齋藤	宏昭	足利工業大学工学部准教授
委員	佐伯	智寛	一般財団法人建材試験センター主幹
委員	五十嵐	賢博	(株)綜建築研究所代表取締役
委員	水藤	聡	(株)サードアイ代表取締役

I 部 ラミネートログ強度性能試験の実施

調査・研究概要

1 はじめに

ログハウスでは木材がそのまま露出するため、木材の表面に欠点がないことが望ましいが、国産の製材から、欠点がなく、また、長尺の材を安定的に供給することは困難である。この問題を回避すべく、ヨーロッパでは、木材から芯を除いて接着されたラミネートログが広く流通している。そして、日本では、このラミネートログをヨーロッパから輸入して使用しているのが現状である。しかし、輸入材ということから、スケジュールや数量の調整の点で利便性に欠けるのが難点である。

そこで、国産材でなおかつ国内生産によるラミネートログを作成し、法37条材料認定の取得を目標とするに至り、2枚ラミナで継手がない場合の実験等の蓄積により、基礎的な知見を得ることができたので以下に示す。

- ラミネートログの加力実験より、ラミナを接着することにより、耐力及び破壊性状について、元一枚製材と同等以上の性能を発揮することが予想される。
- ラミネートログの破壊性状は、継手がない場合、死節の影響が看過できない。したがって、目視等級並みの管理が必要である。
- 芯の有無により構造性能が左右されるため、心去りは正確に行う必要がある。
- 2枚ラミナで継手ありの場合、破壊性状は継手で決まり脆性的である。また、継手間隔が300mmを下回ると耐力が著しく低下する。

既往の実験を受けて、新たに生じた問題点を示す。

芯を除くことにより材割れを避けることができるが、一方で歩留りが低くなってしまふこと、また、継手なしの材では供給できる部材断面に限界があること、2枚ラミナの継手ありでは、材の構造性能のうち継手の占める割合が大きいことが挙げられる。

したがって、本計画では、心持ち材の有効活用、継手の支配率を緩和すべく、3枚ラミナの継手ありのラミネートログの基本構造性能(曲げ、せん断、クリープ性能、破壊性状)を把握し、各種実験データを取得することを目的とする。

本計画の成果により、今後、3枚ラミナの継手ありの法37条材料認定を取得し、広く普及されることにより、さらには、公共事業等大規模の木造建築物での使用の可能性も見込まれることから、国産材の流通の拡大に貢献することが考えられる。

2 適用範囲と使用材料の規格、品質管理

2.1 適用範囲

ラミネートログは、告示第1446号別表第2(イ)第1第十一号に掲げる建築材料では木質複合軸材料に該当し、適用範囲は横架材とする。

2.2 使用材料の規格

使用木材の規格を表2.1に示す。また、使用する接着剤はフィンガージョイント用及び積層用ともに、名称：レゾルシノール・フェノール樹脂接着剤(メーカー：(株)オーシカ)である。

表2.1：使用木材の規格

使用箇所	材料		強度等級	曲げヤング係数 [GPa]	樹種
中央ラミナ	JAS [†] 構造用製材	機械等級区分	E50	3.9~5.8	すぎ
外側ラミナ			E70	5.9~7.8	

[†]平成19年農林水産省告示第1083号に規定する構造用製材

2.3 品質管理

ラミネートログは、JAS製材の認定工場にて製作されるJAS構造用製材と、集成材の製作で一般的な接着剤を使用し、JAS構造用集成材の認定工場にて製作される。したがって、出荷されるラミネートログの品質管理は、JAS構造用集成材と同等である。

3 ラミネートログの概要

ラミネートログの製作過程を図3.1に示す。まず、原木から心持ち材と心去り材の挽板を製作し、各々縦継ぎをする。積層では、心持ち材を中央に配置し、心去り材を外側に配置する。

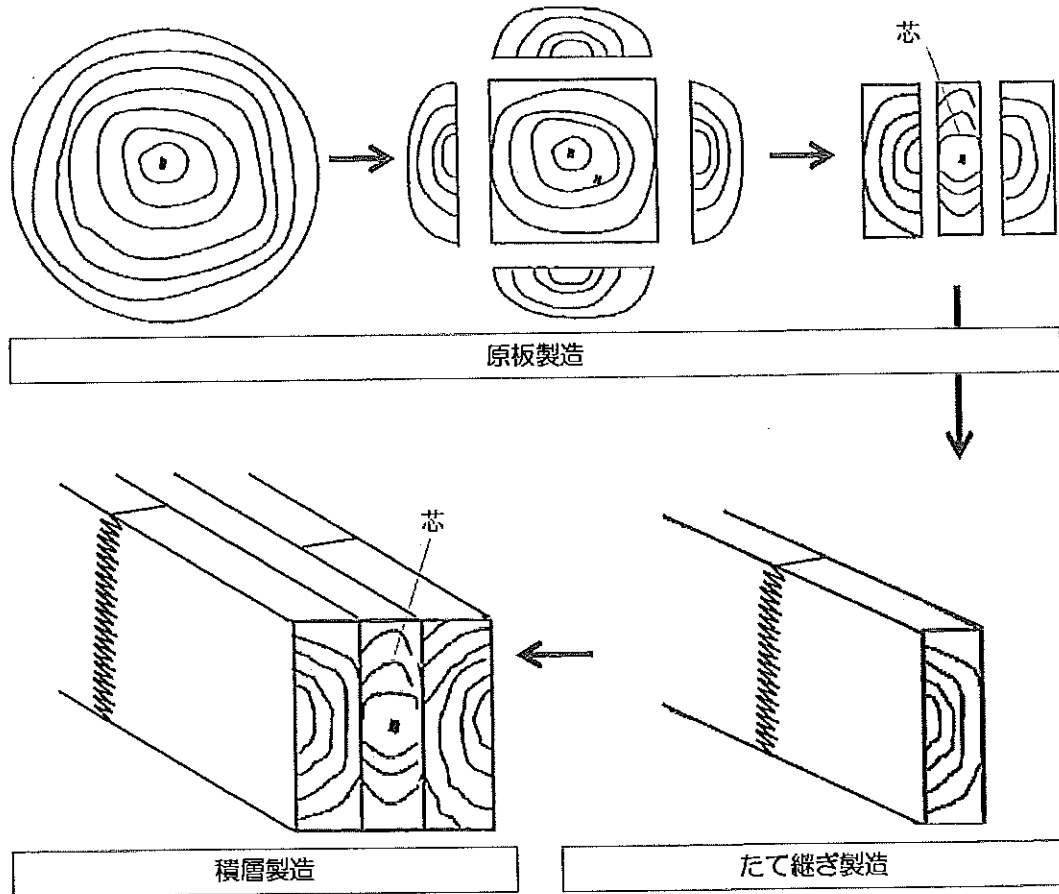


図3.1: ラミネートログの製作過程

4 パラメータ

4.1 ラミナの構成

ラミナの構成を図4.1に示す。すぎの心持ち材は、強度等級E70未満であることが多いため、中央の心持ち材をE50とE70の2パターンとする。

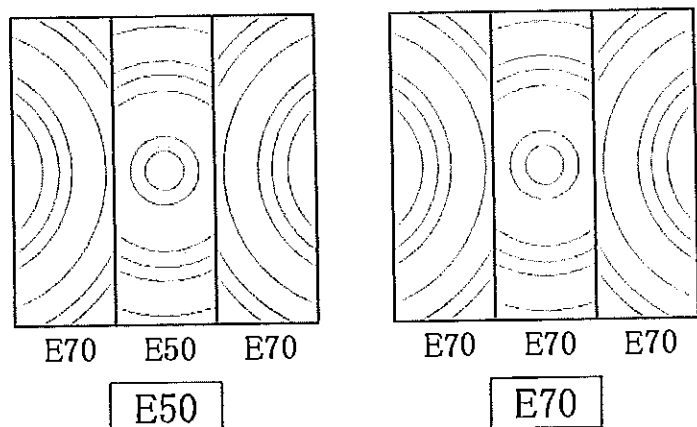


図4.1: ラミナの構成

4.2 継手の配置

継手の配置を図4.2に示す。継手間隔は既往の実験結果と、実際に工場生産が可能な範囲を考慮して300mm以上と決定した。ただし、図中、ⓐ及びⓐは禁止とする。継手間隔のパラメータは300mm、400mmの2パターンとする。

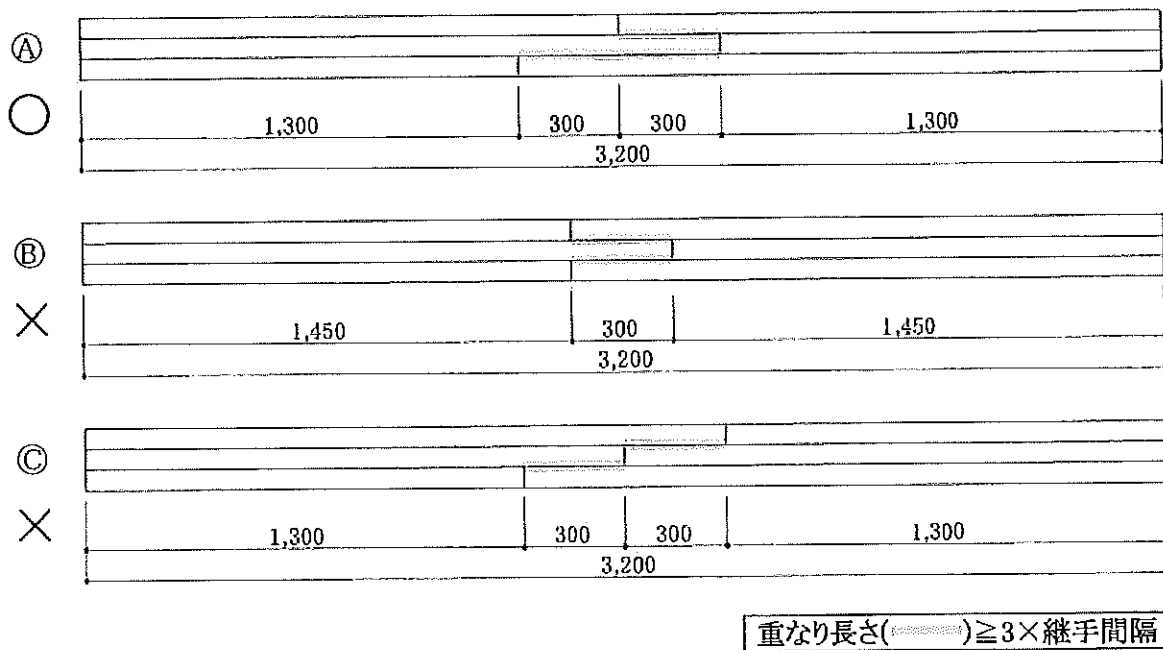


図4.2：継手の配置(継手間隔300mmの場合)

6 曲げ強さおよび曲げヤング係数の評価実験

本試験では、ラミネートログ材の曲げ強さおよび曲げヤング係数を取得すること、破壊性状を確認することを目的とする。

6.1 試験体

試験体の一覧を表5.1に示す。また、告示の規定と本試験の対応を表6.1に示す。試験体の長さは、支持スパンを告示に規定の梁せい h の17~21倍を満たした20倍の3,000mm、試験体の張り出し部分を100mmとし、3,200mmとする。試験体は、ラミネートログで形状が矩形とさね加工付きの2種類、構成ラミナの種類の2種類、継手間隔でなし、300mm、400mmの3種類とする。試験体数は、各6体とする。

6.2 載荷方法

載荷方法を図6.1に示す。試験体は単純支持とし、スパンを梁せい h の20倍とした3等分点4点荷重法とする。試験体の張り出し部分は100mmとする。また、さね加工付きでは、局部に応力が集中するのを防ぐために、試験体上下に加力治具扱い部材を設置する。

表6.1：告示対応

	告示	本実験
試験体数	梁せいごとに10体以上	矩形断面 6体 さね加工付き 6体
支持スパン ℓ	$17h \leq \ell \leq 21h$ $2,550 \leq \ell \leq 3,150\text{mm}$ ($h=150\text{mm}$)	$\ell=20h$ $\ell=3,000\text{mm}$

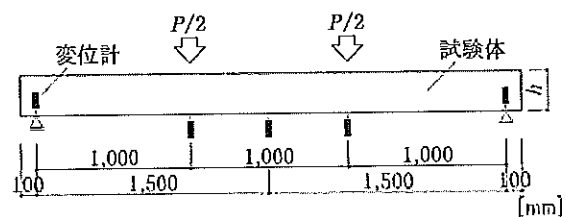


図6.1：曲げ試験概要図

表6.2：予想耐力

断面 $b * h$ [mm*mm]	断面係数 Z [mm ³]	基準材料強度*1 F_b [N/mm ²]	寸法調整係数 K_z	設計用材料強度 dF_b [N/mm ²]	予想耐力*2 P_{max} [kN]
170 * 152	654,613	22.5	0.95	21.3	27.8
170 * 152	654,613	30.0	0.95	28.5	37.3

*1 JAS同一等級構成集成材 2枚ラミナ E65-F225, 平成13年国土交通省告示第1024号

*2 $P_{max} = \frac{6_d F_b Z}{\ell}$ より算出

7 せん断強さの評価実験

本試験では、ラミネートログ材のせん断強さを取得すること、破壊性状を確認することを目的とする。

7.1 試験体

試験体の一覧を表5.1に示す。試験体の長さは、支持スパンを600mm、試験体の張り出し部分を100mmとし、800mmとする。

7.2 載荷方法

載荷方法を図7.1に示す。試験体は単純支持とし、載荷は中央集中荷重法とする。試験体の張り出し部分は100mmとする。加力部の局部的なめり込みを防止するために、加圧版として150mm*500mmの鋼製版を設置する。

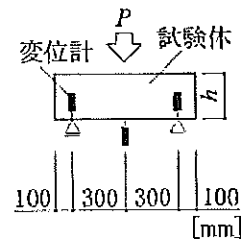


図 7.1: せん断試験概要図

表 7.1: 予想耐力

断面 $b \times h$ [mm*mm]	断面積 A [mm ²]	断面係数 Z [mm ³]	基準せん断 材料強度*1 F_{sy} [N/mm ²]	基準曲げ 材料強度*2 F_b [N/mm ²]	寸法調整 係数 K_z	設計用曲げ 材料強度 dF_b [N/mm ²]	予想せん断 耐力*3 $P_{s \max}$ [kN]	予想曲げ 耐力*4 $P_{b \max}$ [kN]
170*152	25,840	6.55E+05	2.1	22.5	0.96	21.6	72.3	94.2
170*152	25,840	6.55E+05	4.5	22.5	0.96	21.6	155.0	94.2

*1 集成材 樹種すぎ, 平成13年国土交通省告示第1024号

*2 JAS同一等級構成集成材 2枚ラミナ E65-F225, 平成13年国土交通省告示第1024号

*3 $P_{\max} = \frac{4F_s A}{3}$ より算出

*4 $P_{\max} = \frac{4_d F_b Z}{\rho}$ より算出

8 クリープ性能の評価実験

本試験では、ラミネートログ材のクリープ性能及びクリープ調整係数を取得することを目的とする。

8.1 試験体

試験体の一覧を表5.1に示す。試験体の長さは、支持スパンを3,000mm、試験体の張り出し部分を100mmとし、3,200mmとする。試験体数は荷重レベル1が10体、荷重レベル2を4体とする。

8.2 載荷方法

載荷方法を図8.1に示す。試験体は単純支持とし、載荷は中央集中荷重法とする。試験体の張り出し部分は100mmとする。荷重レベル1は、曲げ試験によって決定した基準強度に $\frac{1.1}{3}$ を乗じた値(長期常時相当)とし、荷重レベル2は、曲げ試験によって決定した基準強度に $\frac{1.1}{3} * 2$ を乗じた値(短期荷重相当)とする。

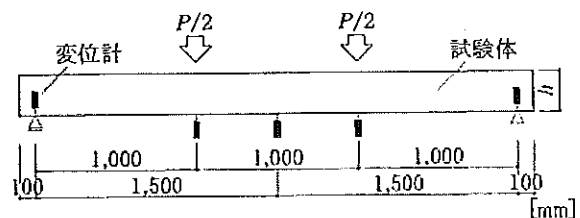


図 8.1: クリープ試験概要図

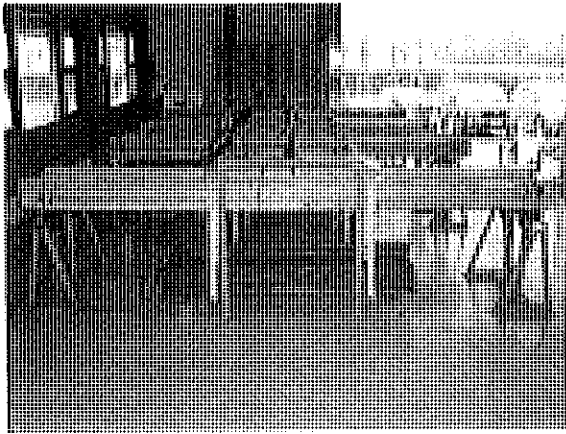


図 8.2 : クリープ実験の様子 1¹⁾

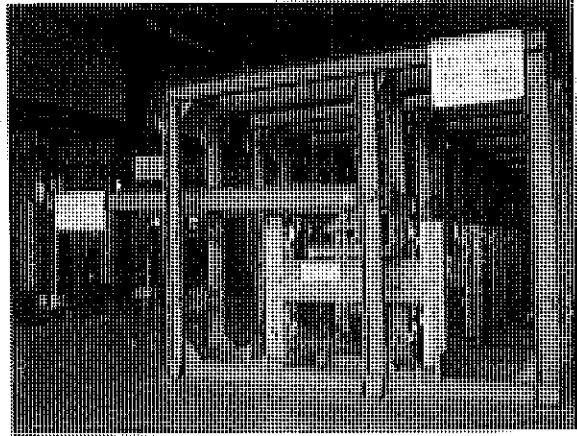


図 8.3 : クリープ実験の様子 2¹⁾

※試験場の広さは、8m×4mほど必要である。

8.3 測定方法

測定方法は、たわみと気温、湿度も計測するものとする。測定時間は、おもりを積載前、積載後1分、5分、10分、100分及び500分後に、さらに、その後24時間ごとに5週間以上（夏期を含む半年から1年ほどが望ましい）とする。

8.4 試験結果の出力

試験データから、図8.4のような曲線を描いて、クリープ調整係数を算出する。

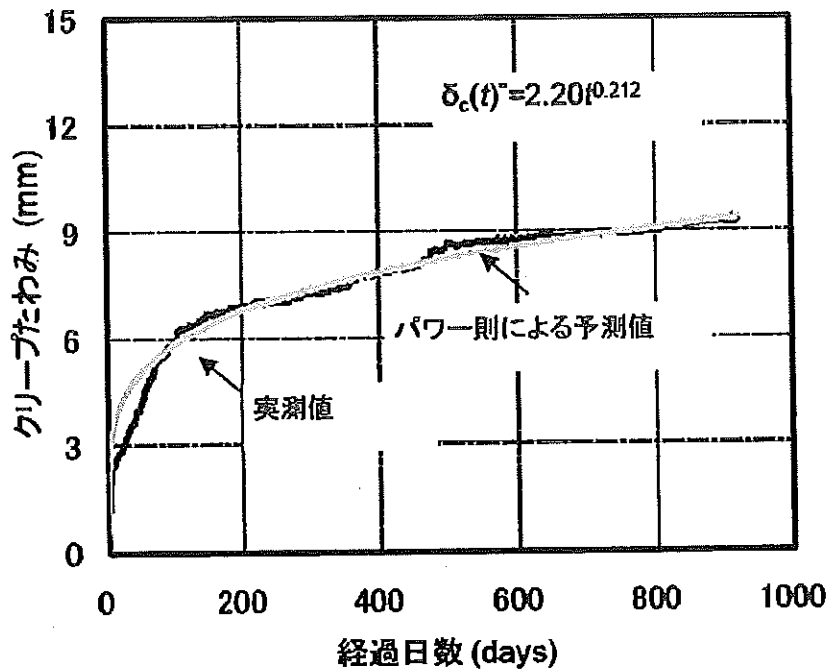


図 8.4 : 予想曲線の例¹⁾

¹⁾(公財) 日本住宅・木造技術センター「構造用木材の強度試験マニュアル」

試験体

3プライ ラミネートログ

製品名

1,600 - a	a	a	1,600 - a
3,200			

継手配置図

a:継手間隔

接着

木表接着

木裏接着

形状

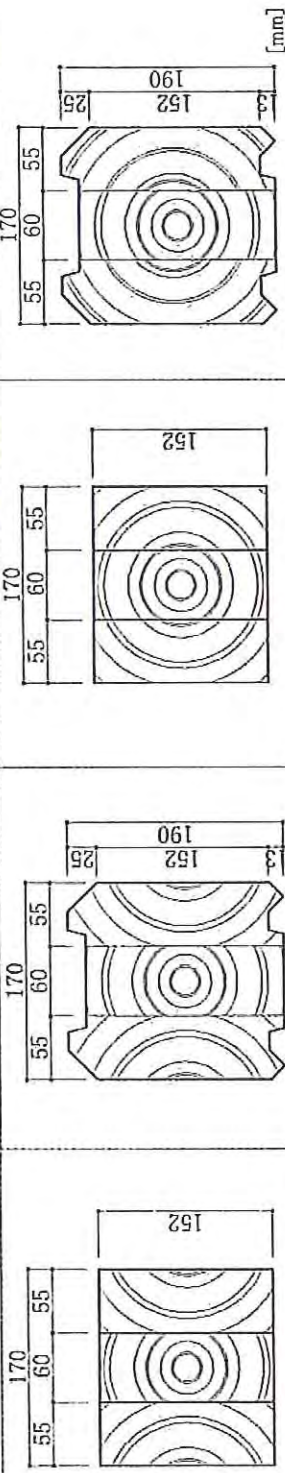
矩形

二枚ざね

矩形

二枚ざね

断面図



強曲げ	強度等級		E70-E70-E70	
	継手間隔 [mm]	試験体数 [体]	継手間隔 [mm]	試験体数 [体]
弱曲げ	なし	300	なし	300
	6	6	10	10
せん断	なし	300	なし	300
	6	6	-	-
クリップ	なし	300	なし	300
	6	10	-	-
		E70-E50-E70		
強曲げ	強度等級		E70-E50-E70	
	継手間隔 [mm]	試験体数 [体]	継手間隔 [mm]	試験体数 [体]
弱曲げ	なし	300	なし	300
	6	6	-	-
せん断	なし	300	なし	300
	6	6	-	-
クリップ	なし	300	なし	300
	6	10	-	-
		E70-E70-E70		
		E70-E70-E70		
強曲げ	強度等級		E70-E70-E70	
	継手間隔 [mm]	試験体数 [体]	継手間隔 [mm]	試験体数 [体]
弱曲げ	なし	300	なし	300
	6	14	-	-
せん断	なし	300	なし	300
	6	14	-	-
クリップ	なし	300	なし	300
	6	14	-	-

※接着剤はフィンガー及び積層ともレゾルシノール・フェノール系接着剤。

曲げ実験・せん断実験

1 評価方法

1.1 曲げ実験

1.1.1 最大曲げモーメントの算出

$$M_{max} = \frac{P_{max}L}{6}$$

ただし、

M_{max} : 最大曲げモーメント [N・mm]

P_{max} : 最大荷重 [N]

L : 支持スパン [mm]

1.1.2 最大曲げ強度の算出

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{Z}$$

ただし、

σ_{max} : 曲げ強度 [N/mm²]

Z : 断面係数 [mm³]

矩形断面 ; $\frac{bh^2}{6}$, b ; 幅 [mm], h ; 高さ [mm]

二枚ざね ; 7.578×10^5

なお、最大曲げモーメントの基準値は、各試験体の最大曲げモーメントによる信頼水準75%の95%下側許容限界値とし、最大曲げ強度は、各試験体の最大曲げ強度による平均値に、最大曲げモーメントによるばらつき係数を乗じた値とした。

1.1.3 曲げ剛性及び曲げヤング係数の算出

$$\delta = \frac{PL'^3}{16EI}$$

$$\Leftrightarrow EI = \frac{P_{0.4} - P_{0.1}}{\delta_{0.4} - \delta_{0.1}} \cdot \frac{L'^3}{16}$$

$$\Leftrightarrow E = \frac{P_{0.4} - P_{0.1}}{\delta_{0.4} - \delta_{0.1}} \cdot \frac{L'^3}{16I}$$

ただし、

δ : 曲げモーメント一定区間のたわみ [mm]

EI : 曲げ剛性 [N・mm²]

E : 曲げヤング係数 [N/mm²]

I : 断面2次モーメント [mm⁴]

矩形断面 ; $\frac{bh^3}{12}$

二枚ざね ; 7.366×10^7

$P_{0.1}, P_{0.4}$: $0.1P_{max}, 0.4P_{max}$ [N]

$\delta_{0.1}, \delta_{0.4}$: $0.1P_{max}, 0.4P_{max}$ 時のたわみ [mm]

L' : 支持点-加力点間スパン $\left(\frac{L}{3}\right)$ [mm]

[The page contains extremely faint and illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the document. The text is too light to transcribe accurately.]

1.2 せん断実験

1.2.1 せん断力の算定

$$Q_{max} = \frac{P_{max}}{2}$$

ただし、

Q_{max} : 最大せん断力 [N]

1.2.2 せん断強度の算定

・ 矩形断面の場合

$$\begin{aligned}\tau_{max} &= \frac{Q_{max}S'}{Ib} = \frac{\frac{bh}{2} \cdot \frac{h}{4}}{\frac{bh^3}{12}} \cdot \frac{Q_{max}}{b} \\ &= \frac{2}{3} \cdot \frac{Q_{max}}{A}\end{aligned}$$

・ 二枚ざねの場合

$$\begin{aligned}\tau_{max} &= \frac{Q_{max}S'}{Ib} = \frac{S'}{I} \cdot \frac{A}{b} \cdot \frac{Q_{max}}{A} = \frac{6.345 \times 10^5}{7.366 \times 10^7} \cdot \frac{2.930 \times 10^4}{170} \cdot \frac{Q_{max}}{A} \\ &\approx 1.48 \cdot \frac{Q_{max}}{A}\end{aligned}$$

ただし、

τ_{max} : 最大せん断強度 [N/mm²]

S' : 中立軸で分けられた断面における中立軸に対する断面1次モーメント [mm³]

I : 断面2次モーメント [mm⁴]

A : 断面積 [mm²]

なお、最大せん断力の基準値は、各試験体の値による信頼水準75%の95%下側許容限界値とし、最大せん断強度は、各試験体の最大せん断強度による平均値に、最大せん断力によるばらつき係数を乗じた値とした。

1.2.3 セン断剛性及びせん断弾性係数の算定

$$\delta'_s = \delta' - \frac{PL^3}{48EI} = \frac{PL}{4G\kappa A}$$

$$\Leftrightarrow GA = \frac{P_{0.4} - P_{0.1}}{\delta'_{S0.4} - \delta'_{S0.1}} \cdot \frac{L}{4\kappa}$$

$$\Leftrightarrow G = \frac{P_{0.4} - P_{0.1}}{\delta'_{S0.4} - \delta'_{S0.1}} \cdot \frac{L}{4\kappa A}$$

ただし,

δ'_s : セン断たわみ [mm]

GA : セン断剛性 [N]

G : セン断弾性係数 [N/mm²]

δ' : スパン中央のたわみ [mm]

なお, EI [N・mm²] は曲げ実験より, 以下の値とした。

ラミネートログ二枚ぎね (継手 300mm); 7.29×10^{11}

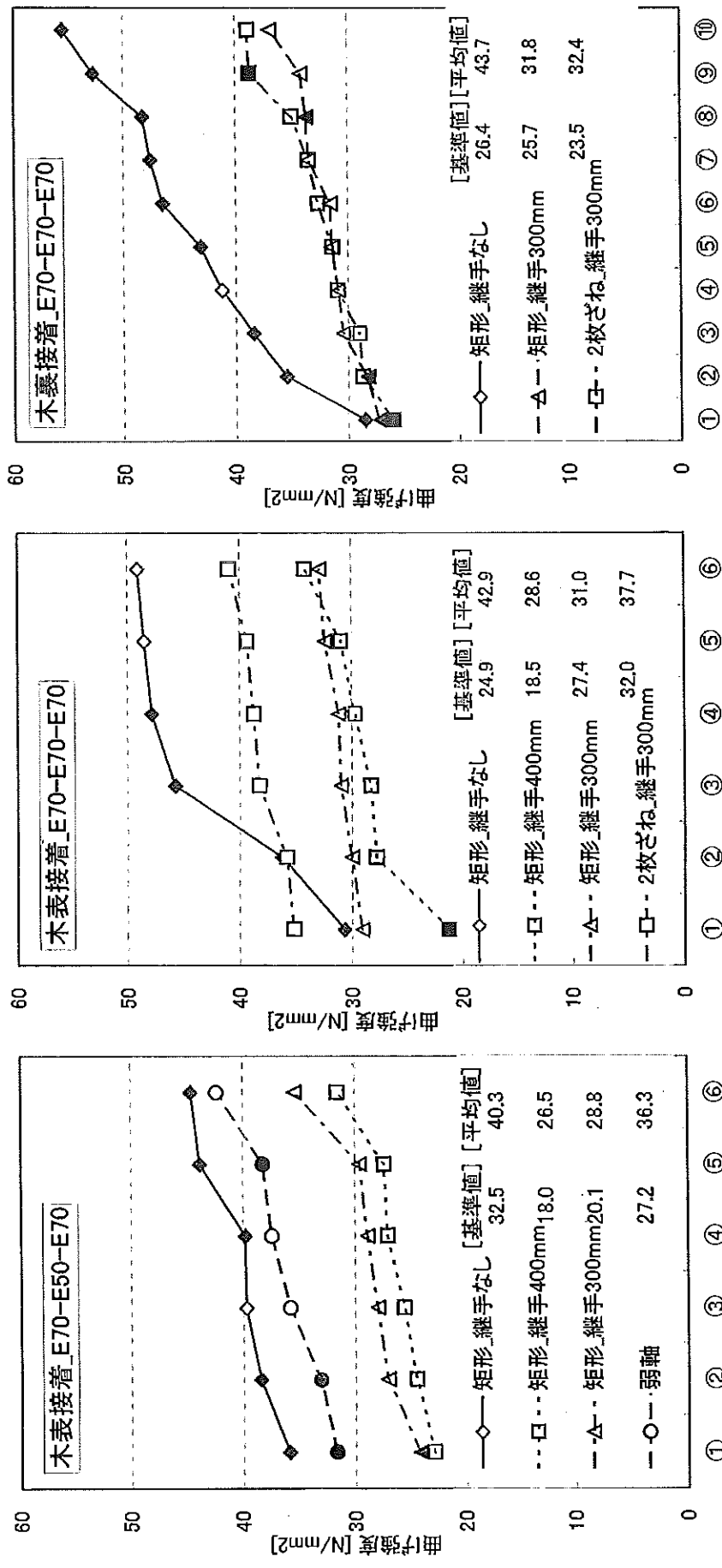
ラミネートログ矩形断面 (継手 なし); 4.86×10^{11}

ラミネートログ矩形断面 (継手 300mm); 4.65×10^{11}

κ : 断面形状による定数; $\frac{5}{6}$

$\delta'_{S0.1}, \delta'_{S0.4}$: $0.1P_{max}, 0.4P_{max}$ 時のせん断たわみ [mm]

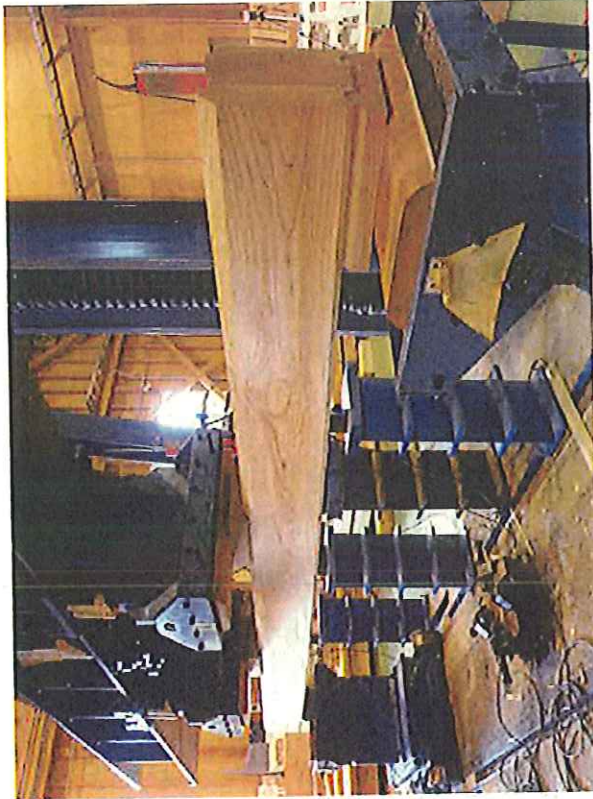
2 試験結果



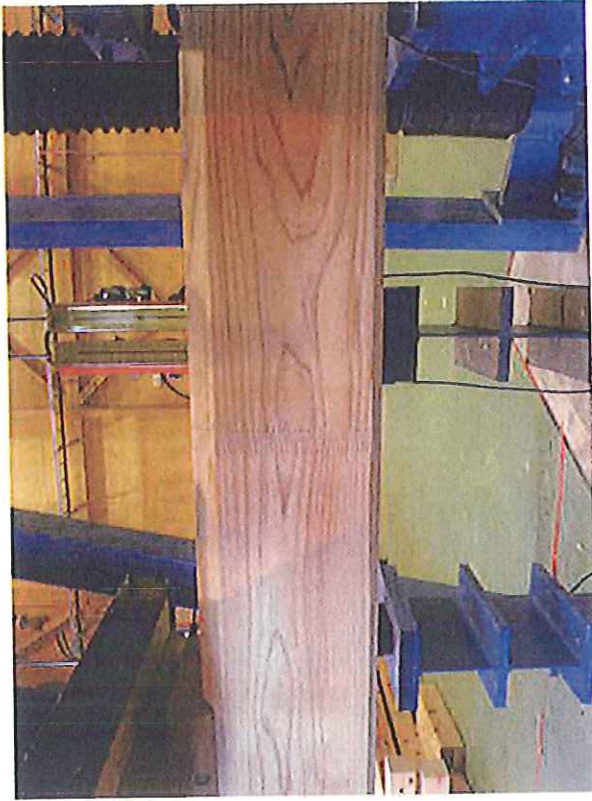
※継手なしの場合、9割は節で破壊。
 ※継手ありの場合、継手で破壊。ただし、塗り潰しの試験体は節の曲げ破壊も含む。

	木表	木表	平均値	標準偏差	変動係数		ばらつき係数		n=20
					n=16	n=20	n=16	n=20	
矩形継手なし	42.9	43.7	43.30	7.74	0.179	0.64	0.65	27.9	28.3
矩形継手300mm	31.0	31.8	31.40	2.39	0.076	0.85	0.85	26.6	26.8
さねつき300mm	37.7	32.4	35.05	4.45	0.127	0.75	0.75	26.2	26.5

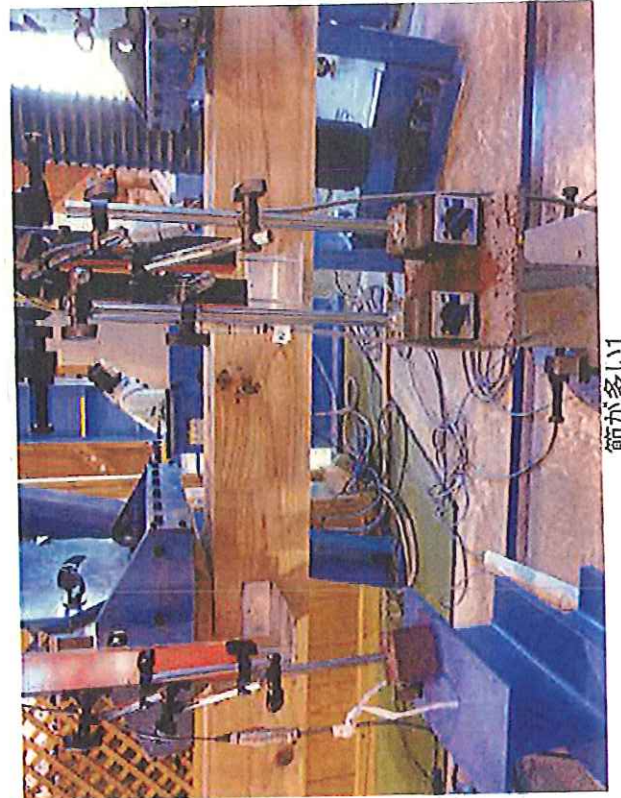
試験体の状態



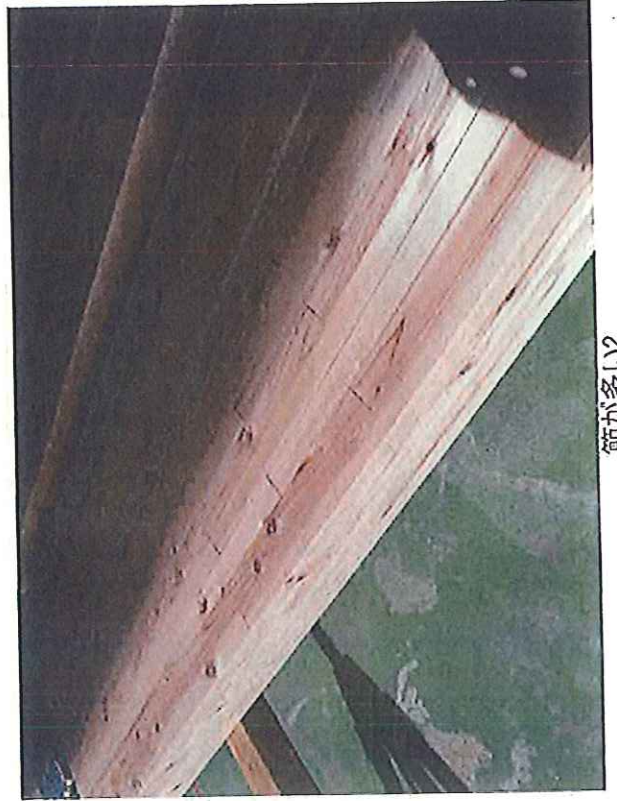
節が少ない1



節が少ない2

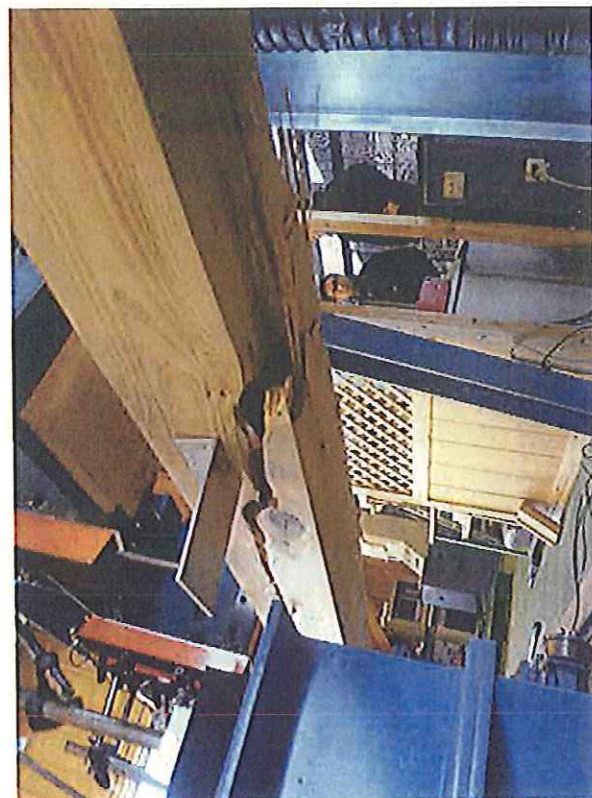


節が多い1



節が多い2

矩形_継手なし_大きな節



矩形_継手なし_05_破壊1



矩形_継手なし_05_破壊2

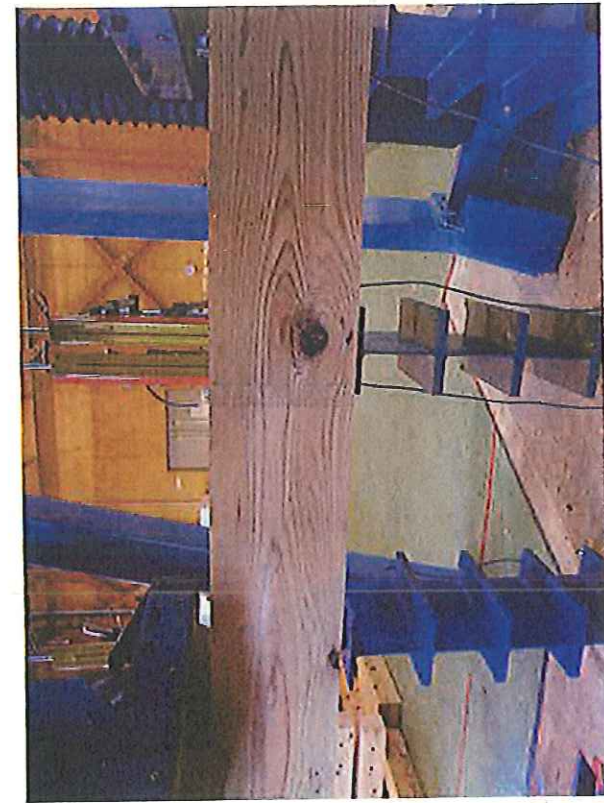


矩形_継手なし_06

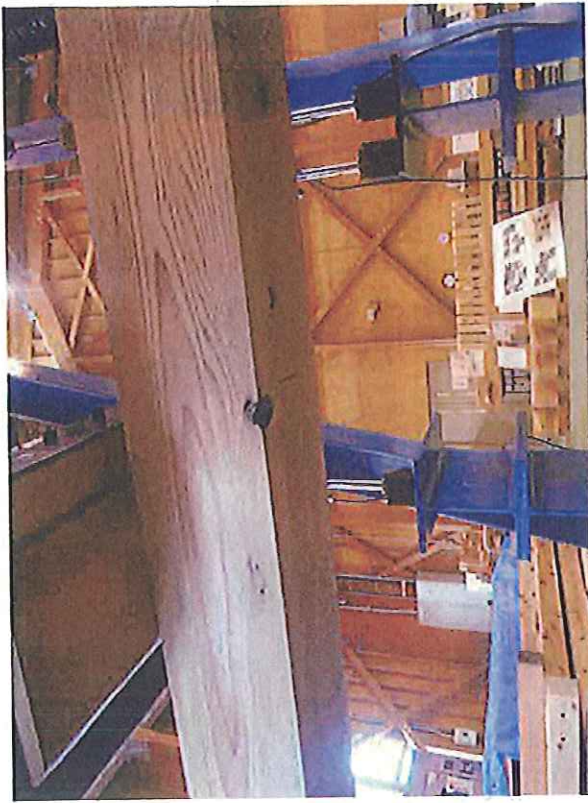


矩形_継手なし_07

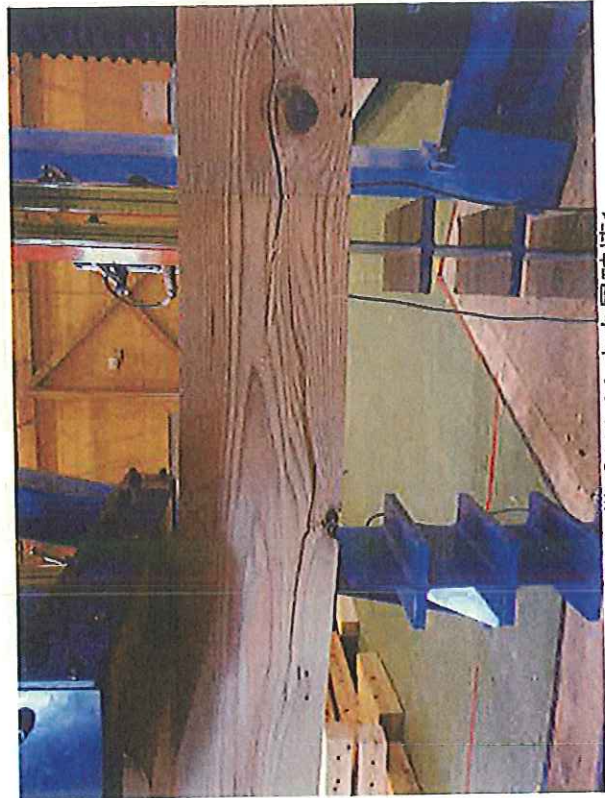
矩形_繼手300_04



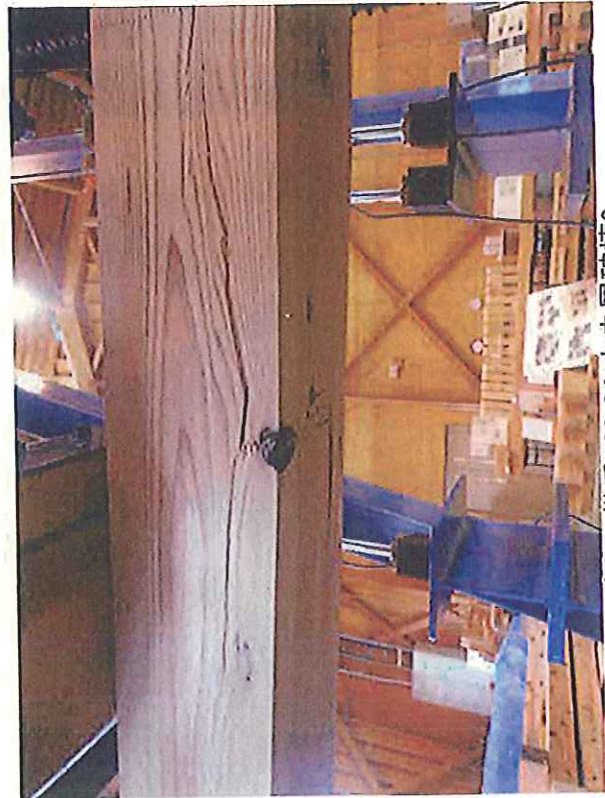
矩形_繼手300_04_節位置1



矩形_繼手300_04_節位置2

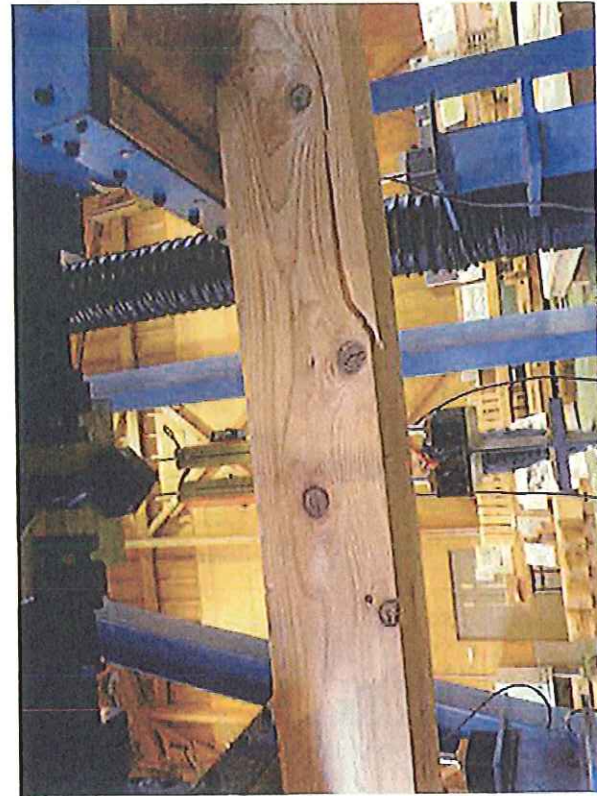


矩形_繼手300_04_中央層破壞1



矩形_繼手300_04_中央層破壞2

矩形_繼手300_01&06



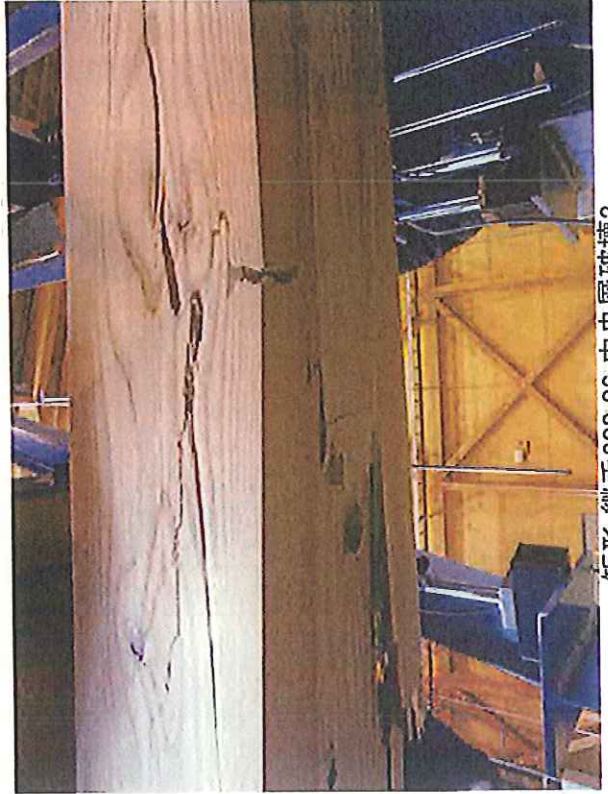
矩形_繼手300_01_破壞1



矩形_繼手300_06_繼手狀態



矩形_繼手300_06_中央層破壞1



矩形_繼手300_06_中央層破壞2

番号	試験体		評価項目	試験体番号										平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	基準値	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
1	製品名	3プライ ラミネートログ (木葉接着)	最大曲げモーメント Mmax	[kN・m]	32.2	31.3	20.1	31.7	23.7	29.9	-	-	-	-	28.1	5.03	0.179	0.581	15.3
	継手	なし	曲げ強度 σ_{max}	[N/mm ²]	49.1	47.8	30.7	48.4	36.2	45.6	-	-	-	-	42.9	7.66	-	-	21.3
	断面形状 断面寸法	矩形 170mm×152mm	曲げ剛性 EI	[×10 ¹¹ N・mm ²]	5.00	4.86	4.47	6.03	4.44	4.38	-	-	-	-	4.65	-	-	-	-
	等級	E70-E70-E70	曲げヤング係数 E	[GPa]	10.05	9.77	8.98	12.12	8.92	8.80	-	-	-	-	9.77	-	-	-	-
2	製品名	3プライ ラミネートログ (木葉接着)	最大曲げモーメント Mmax	[kN・m]	19.0	20.4	20.3	21.6	21.2	19.6	-	-	-	-	20.3	0.96	0.048	0.887	18.0
	継手	300 mm	曲げ強度 σ_{max}	[N/mm ²]	29.0	31.1	31.0	32.9	32.3	29.9	-	-	-	-	31.0	1.45	-	-	27.4
	断面形状 断面寸法	矩形 170mm×152mm	曲げ剛性 EI	[×10 ¹¹ N・mm ²]	4.70	4.30	5.12	4.96	4.53	4.30	-	-	-	-	4.65	-	-	-	-
	等級	E70-E70-E70	曲げヤング係数 E	[GPa]	9.45	8.64	10.29	9.97	9.11	8.64	-	-	-	-	9.35	-	-	-	-
3	製品名	3プライ ラミネートログ (木葉接着)	最大曲げモーメント Mmax	[kN・m]	18.2	13.9	22.4	20.3	18.5	19.5	-	-	-	-	18.8	2.83	0.151	0.647	12.1
	継手	400 mm	曲げ強度 σ_{max}	[N/mm ²]	27.8	21.2	34.2	31.0	28.2	29.7	-	-	-	-	28.6	4.33	-	-	18.8
	断面形状 断面寸法	矩形 170mm×152mm	曲げ剛性 EI	[×10 ¹¹ N・mm ²]	4.46	4.37	4.77	4.65	4.23	4.40	-	-	-	-	4.55	-	-	-	-
	等級	E70-E70-E70	曲げヤング係数 E	[GPa]	8.96	8.78	9.59	9.35	8.50	8.84	-	-	-	-	9.00	-	-	-	-
4	製品名	3プライ ラミネートログ (木葉接着)	最大曲げモーメント Mmax	[kN・m]	29.3	29.6	26.7	31.0	27.1	28.9	-	-	-	-	28.7	1.61	0.056	0.869	23.3
	継手	300 mm	曲げ強度 σ_{max}	[N/mm ²]	38.6	39.0	35.2	40.9	35.7	38.1	-	-	-	-	37.9	2.13	-	-	52.9
	断面形状 断面寸法	二枚さね 170mm×190mm	曲げ剛性 EI	[×10 ¹¹ N・mm ²]	6.58	7.82	7.44	8.03	6.61	7.25	-	-	-	-	7.29	-	-	-	-
	等級	E70-E70-E70	曲げヤング係数 E	[GPa]	8.93	10.62	10.10	10.90	8.97	9.84	-	-	-	-	9.89	-	-	-	-

番号	断面形状	評価項目	試験体番号										平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	基準値		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
5	製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)	[kN・m]	26.1	29.2	26.0	28.7	23.5	25.1	-	-	-	-	-	26.4	2.16	0.082	0.808	21.3
	継手	なし	[N/mm ²]	39.8	44.6	39.7	43.8	35.8	38.3	-	-	-	-	-	40.3	3.33	-	-	32.5
	断面形状 断面寸法	矩形 170mm x 152mm	[×10 ¹¹ N・mm ²]	4.75	4.36	4.67	5.79	3.93	4.88	-	-	-	-	-	4.76	-	-	-	-
	等級	E70-E50-E70	[GPa]	9.55	8.76	9.39	11.64	7.90	9.81	-	-	-	-	-	9.51	-	-	-	-
6	製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)	[kN・m]	23.2	15.9	18.9	19.4	17.7	18.3	-	-	-	-	-	18.9	2.43	0.129	0.698	13.1
	継手	300 mm	[N/mm ²]	35.4	24.2	28.8	29.6	27.0	27.9	-	-	-	-	-	28.8	3.72	-	-	20.1
	断面形状 断面寸法	矩形 170mm x 152mm	[×10 ¹¹ N・mm ²]	4.77	3.79	3.70	4.33	4.78	4.15	-	-	-	-	-	4.25	-	-	-	-
	等級	E70-E50-E70	[GPa]	9.59	7.62	7.44	8.70	9.61	8.34	-	-	-	-	-	8.55	-	-	-	-
7	製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)	[kN・m]	20.7	17.6	16.0	16.8	15.0	18.0	-	-	-	-	-	17.3	1.96	0.114	0.733	12.6
	継手	400 mm	[N/mm ²]	31.6	26.8	24.4	25.6	22.9	27.4	-	-	-	-	-	26.4	3.00	-	-	19.3
	断面形状 断面寸法	矩形 170mm x 152mm	[×10 ¹¹ N・mm ²]	4.10	3.53	4.10	4.04	4.02	4.31	-	-	-	-	-	4.02	-	-	-	-
	等級	E70-E50-E70	[GPa]	8.24	7.10	8.24	8.12	8.08	8.66	-	-	-	-	-	8.07	-	-	-	-
8	製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着, 横使い)	[kN・m]	31.0	27.4	24.2	23.2	28.0	25.2	-	-	-	-	-	26.6	2.80	0.106	0.752	20.0
	継手	なし	[N/mm ²]	42.3	37.4	33.0	31.6	38.2	35.7	-	-	-	-	-	36.3	3.85	-	-	27.2
	断面形状 断面寸法	矩形 152mm x 170mm	[×10 ¹¹ N・mm ²]	5.73	6.40	6.24	5.77	5.49	4.92	-	-	-	-	-	5.76	-	-	-	-
	等級	E70-E50-E70	[GPa]	9.21	10.28	10.03	9.27	8.82	7.91	-	-	-	-	-	9.25	-	-	-	-

番号	断面形状		評価項目		試験体番号										平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	基準値
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
9	製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)	最大せん断力 Q_{max}	[kN・m]	99.1	94.3	87.1	79.7	84.2	95.9	-	-	-	-	90.0	7.53	0.084	0.803	72.2
					継手	なし	5.7	5.4	5.0	4.6	4.8	5.5	-	-	-	-	5.1	0.43	-
	断面形状 断面寸法	170mm × 152mm	せん断剛性 GA	[$\times 10^6$ N]	9.28	9.54	9.50	9.42	9.69	9.18	-	-	-	-	9.44	-	-	-	-
					等級	E70-E70-E70	359	369	368	365	375	355	-	-	-	-	365	-	-
10	製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)	最大せん断力 Q_{max}	[kN・m]	73.2	78.3	79.7	78.6	78.7	80.5	75.0	81.8	84.0	76.5	78.6	3.17	0.041	0.913	71.7
					継手	300 mm	4.2	4.5	4.6	4.5	4.5	4.6	4.3	4.7	4.8	4.4	4.5	0.17	-
	断面形状 断面寸法	170mm × 152mm	せん断剛性 GA	[$\times 10^6$ N]	11.20	11.00	11.97	11.34	11.66	12.11	11.50	11.91	12.14	11.06	11.50	-	-	-	-
					等級	E70-E70-E70	433	427	463	439	451	469	445	461	470	428	439	-	-
11	製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)	最大せん断力 Q_{max}	[kN・m]	84.8	84.3	75.8	94.4	77.3	86.0	-	-	-	-	83.7	6.70	0.080	0.813	68.0
					継手	300 mm	4.2	4.2	3.8	4.7	3.9	4.3	-	-	-	-	4.1	0.91	-
	断面形状 断面寸法	二枚ざね 170mm × 190mm	せん断剛性 GA	[$\times 10^6$ N]	17.41	15.68	17.30	17.93	15.88	17.07	-	-	-	16.88	-	-	-	-	
					等級	E70-E70-E70	594	535	590	612	542	583	-	-	-	-	570	-	-

番号	製品名		評価項目	試験体番号										平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	基準値
	製品名	3プライ (木密接着)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
12	製品名	3プライ ラミネートログ (木密接着)	最大曲げモーメント M _{max} [kN・m]	25.2	34.6	30.5	28.2	18.7	23.2	36.4	31.2	27.0	31.5	28.6	5.35	0.187	0.606	17.3
	継手	なし	曲げ強度 σ _{max} [N/mm ²]	38.4	52.8	46.5	43.0	28.5	35.4	55.6	47.5	41.2	48.2	43.7	8.18	-	-	26.4
	断面形状 断面寸法	矩形 170mm×152mm	曲げ剛性 EI [×10 ¹¹ N・mm ²]	5.05	5.52	5.55	5.16	4.99	4.64	6.05	4.43	6.02	4.96	5.24	-	-	-	-
	等級	E70-E70-E70	曲げヤング係数 E [GPa]	10.15	11.10	11.16	10.37	10.03	9.33	12.16	8.90	12.10	9.97	10.53	-	-	-	-
13	製品名	3プライ ラミネートログ (木密接着)	最大曲げモーメント M _{max} [kN・m]	22.1	21.9	22.4	18.5	24.2	17.9	20.7	20.6	20.0	20.2	20.8	1.87	0.090	0.810	16.8
	継手	300 mm	曲げ強度 σ _{max} [N/mm ²]	33.7	33.4	34.2	28.2	36.9	27.3	31.6	31.4	30.5	30.8	31.8	2.86	-	-	25.7
	断面形状 断面寸法	矩形 170mm×152mm	曲げ剛性 EI [×10 ¹¹ N・mm ²]	5.16	5.90	5.37	5.71	5.32	4.80	5.18	5.06	5.26	4.75	5.25	-	-	-	-
	等級	E70-E70-E70	曲げヤング係数 E [GPa]	10.37	11.86	10.79	11.48	10.69	9.65	10.41	10.17	10.57	9.55	10.56	-	-	-	-
14	製品名	3プライ ラミネートログ (木密接着)	最大曲げモーメント M _{max} [kN・m]	29.3	21.8	25.4	29.5	24.8	19.7	22.0	23.8	23.5	26.5	24.6	3.17	0.129	0.728	17.9
	継手	300 mm	曲げ強度 σ _{max} [N/mm ²]	38.6	28.7	33.5	38.9	32.7	25.9	29.0	31.4	31.0	34.9	32.4	4.19	-	-	23.5
	断面形状 断面寸法	二枚ぎね 170mm×190mm	曲げ剛性 EI [×10 ¹¹ N・mm ²]	8.35	7.64	8.58	9.08	8.34	7.52	6.83	8.77	8.22	7.85	8.12	-	-	-	-
	等級	E70-E70-E70	曲げヤング係数 E [GPa]	11.34	10.37	11.65	12.33	11.32	10.21	9.27	11.91	11.16	10.66	11.02	-	-	-	-

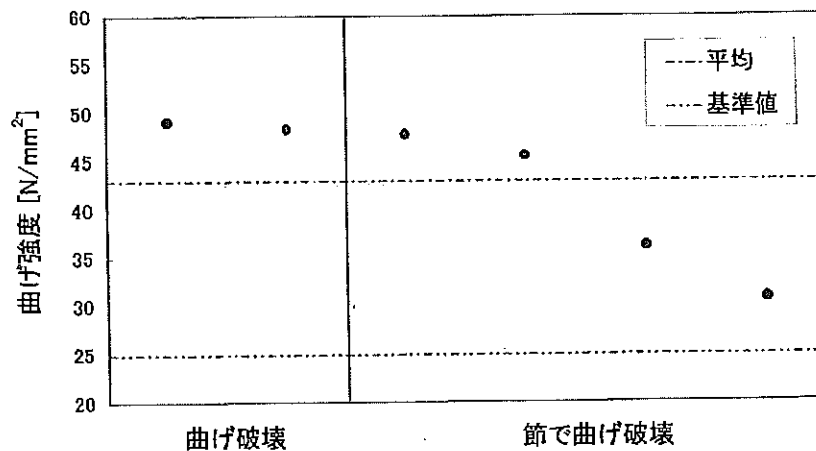
2.1 曲げ実験（3プライ木表接着 E70-E70-E70 継手なし 矩形断面）

製品名	3プライ ラミネートログ（木表接着）						
継手	なし						
形状	矩形 170mm×152mm						
等級	E70-E70-E70						
番号	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N \cdot mm ²]	曲げ ヤング係数 E [GPa]	破壊状況
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN \cdot m]	曲げ強度 σ max [N/mm ²]			
1	64.4	8.2	32.2	49.1	5.00	10.05	①
2	62.7	*	31.3	47.8	4.86	9.77	②
3	40.3	*	20.1	30.7	4.47	8.98	②
4	63.5	7.3	31.7	48.4	6.03	12.12	①
5	47.5	*	23.7	36.2	4.44	8.92	②
6	59.9	8.4	29.9	45.6	4.38	8.80	②
平均	56.3	8.0	28.1	42.9	4.86	9.77	①：曲げ破壊 ②：節で曲げ破壊
標準偏差			5.03	7.66			
変動係数			0.179				
ばらつき係数			0.581				
基準値			16.3	24.9			
基準材料強度 樹種：すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5			
	JAS製材 機械等級区分 E70			29.4			
	無等級材			22.2			

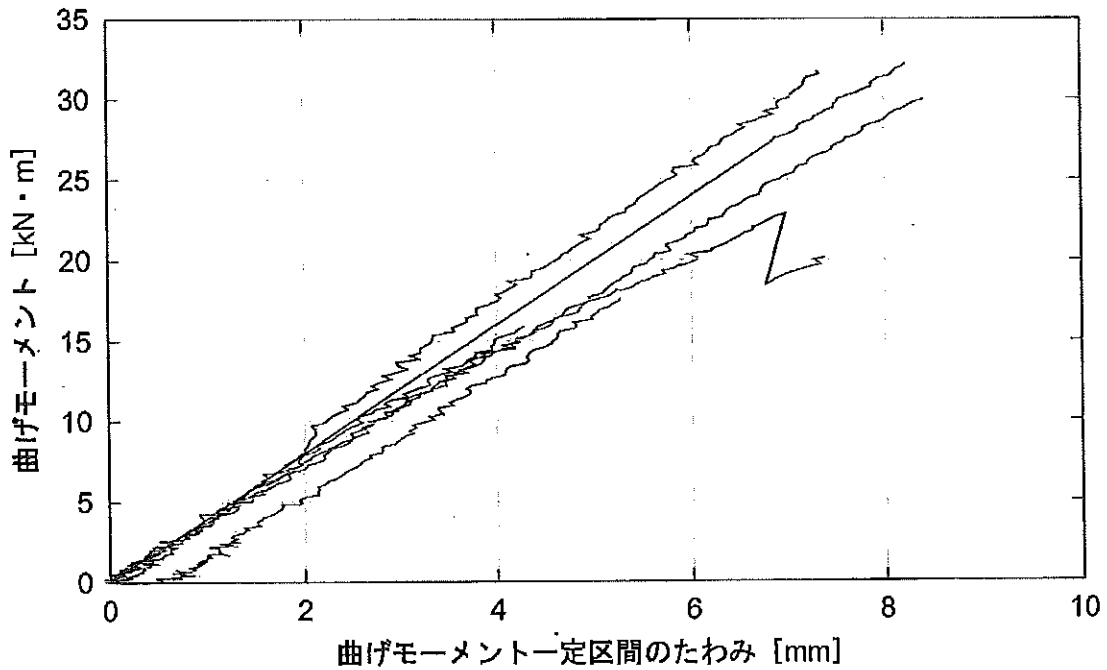
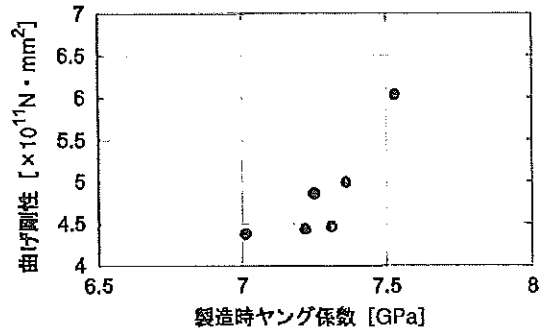
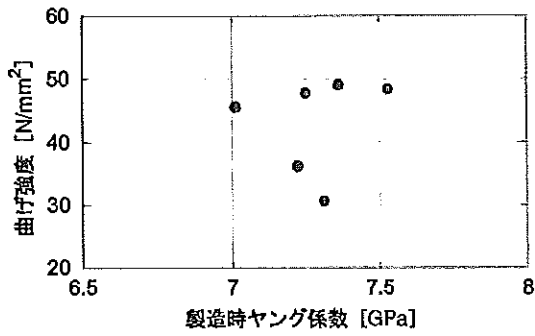
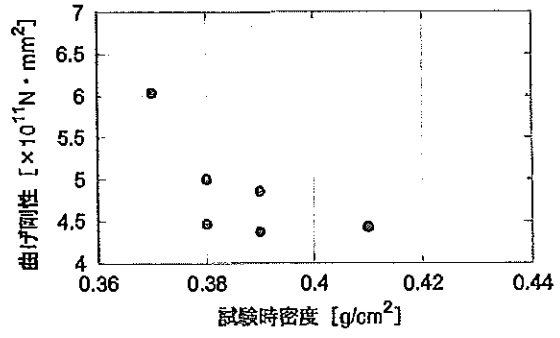
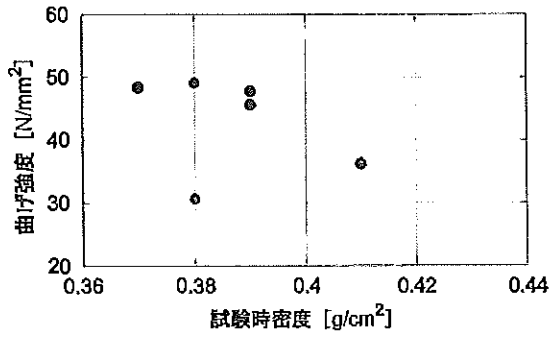
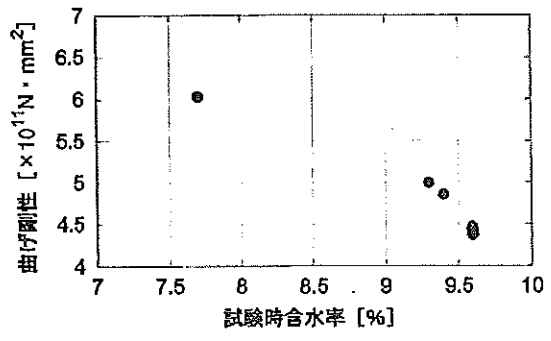
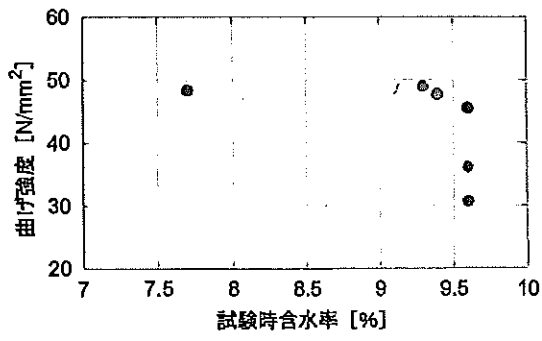
※ 表中の「*」は、ゲージアウトにより測定できなかったことを示し、平均の計算からは除外している。

番号	試験時					製造時							
	密度 [g/cm ³]	含水率[%]				含水率[%]				ヤング係数[GPa]			
		1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
1	0.38	10.0	9.5	8.5	9.3	7.8	7.6	7.7	7.7	7.5	7.3	7.2	7.4
2	0.39	8.5	10.0	9.8	9.4	7.8	7.7	7.6	7.7	7.2	7.0	7.6	7.2
3	0.38	8.9	10.2	9.8	9.6	7.5	9.4	7.6	8.2	7.1	7.6	7.2	7.3
4	0.37	8.2	7.5	7.3	7.7	7.7	8.1	7.6	7.8	7.7	7.2	7.6	7.5
5	0.41	9.0	9.8	10.0	9.6	7.7	7.9	7.6	7.7	7.6	7.3	6.8	7.2
6	0.39	8.7	9.8	10.2	9.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.2	7.8	6.0	7.0
平均	0.39				9.2				7.6				7.3

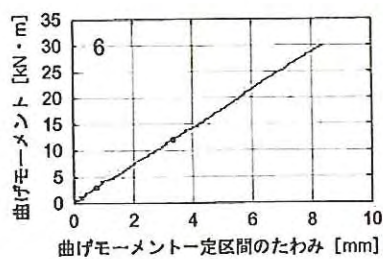
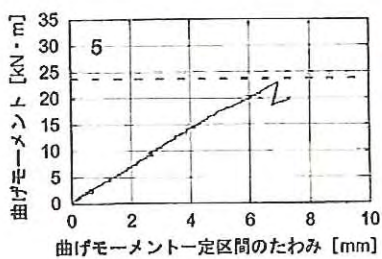
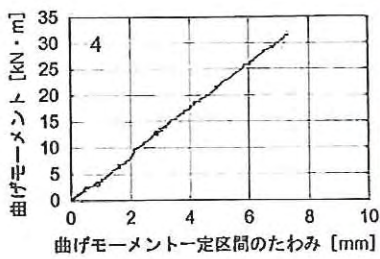
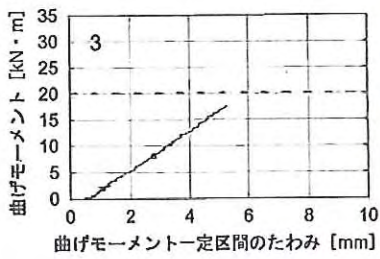
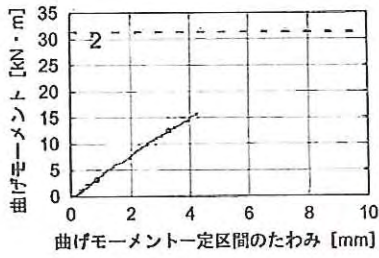
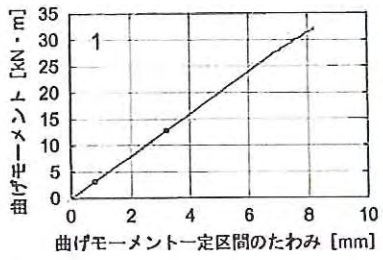
曲げ強度と破壊状況の関係



曲げ実験 (3 プライ木表接着 E70-E70-E70 継手なし 矩形断面)



曲げ実験 (3 プライ木表接着 E70-E70-E70 継手なし 矩形断面)



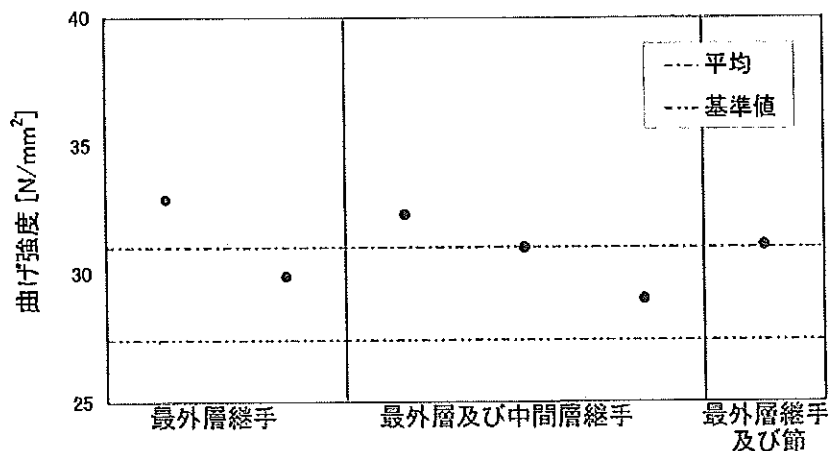
2.2 曲げ実験 (3プライ木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)

製品名		3プライ ラミネートログ (木表接着)					
継手		300mm					
形状		矩形 170mm×152mm					
等級		E70-E70-E70					
番号	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N・mm ²]	曲げ ヤング係数 E [GPa]	破壊状況
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN・m]	曲げ強度 σ max [N/mm ²]			
1	38.1	5.4	19.0	29.0	4.70	9.45	①, ②
2	40.9	6.2	20.4	31.1	4.30	8.64	①, ③
3	40.7	5.0	20.3	31.0	5.12	10.29	①, ②
4	43.2	*	21.6	32.9	4.96	9.97	①
5	42.5	6.5	21.2	32.3	4.53	9.11	①, ②
6	39.3	*	19.6	29.9	4.30	8.64	①
平均	40.7	5.8	20.3	31.0	4.65	9.35	①: 最外層継手で曲げ破壊 ②: 中間層継手で曲げ破壊 ③: 節で曲げ破壊
標準偏差			0.96	1.45			
変動係数			0.048				
ばらつき係数			0.887				
基準値			18.0	27.4			
基準材料強度 樹種: すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5			
	JAS製材 機械等級区分 E70			29.4			
	無等級材			22.2			

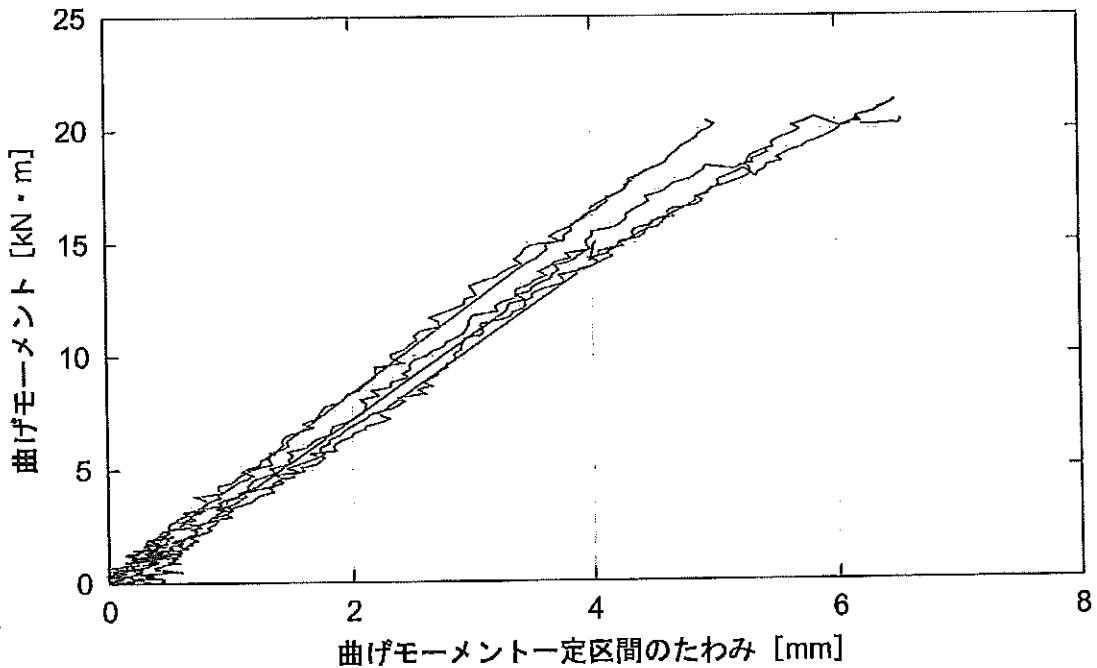
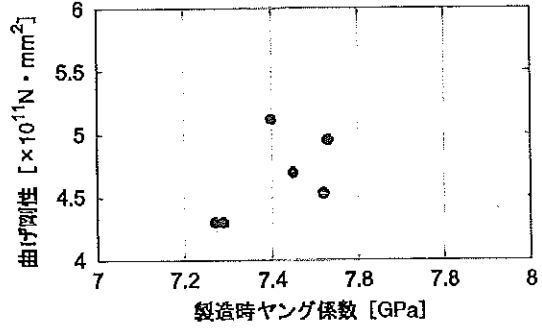
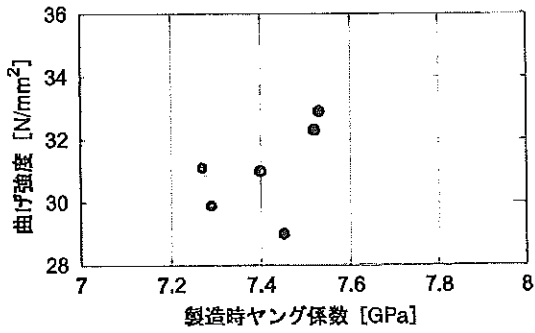
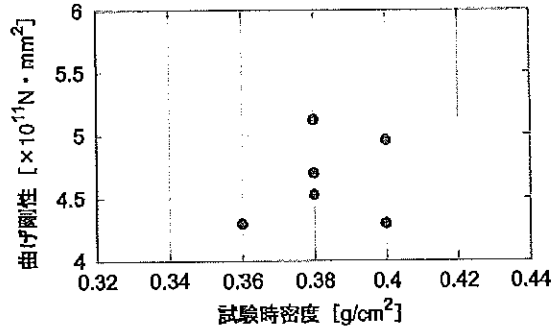
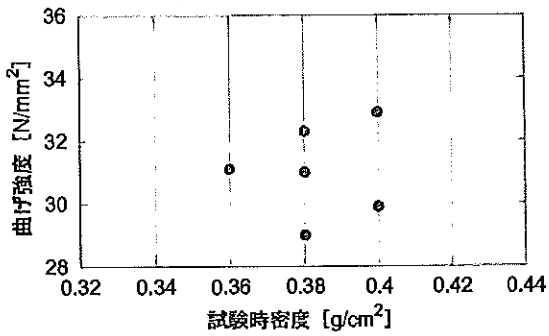
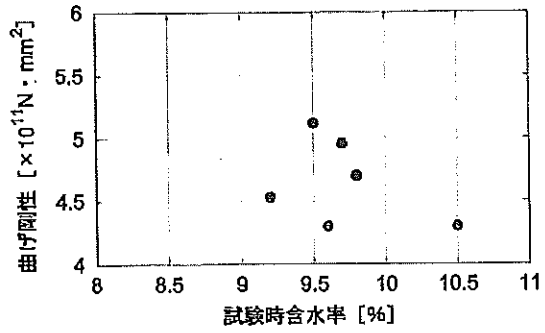
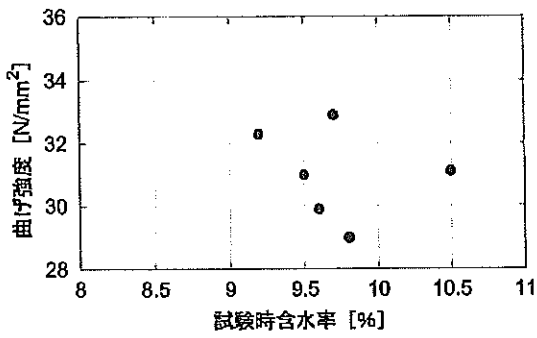
※ 表中の「*」は、ゲージアウトにより測定できなかったことを示し、平均の計算からは除外している。

番号	試験時								製造時															
	密度 [g/cm ³]	含水率[%]							含水率[%]								ヤング係数[GPa]							
		1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均		
1	0.38	10.5	9.0	9.6	9.8	9.8	9.6	9.8	8.7	7.6	7.7	7.7	7.6	7.9	7.9	7.0	7.7	7.7	7.7	7.3	7.3	7.5		
2	0.36	9.3	8.8	10.0	14.8	10.0	10.0	10.5	7.8	8.2	8.3	8.3	7.6	7.5	7.9	7.5	7.2	7.2	7.2	7.3	7.3	7.3		
3	0.38	10.0	8.8	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	7.6	7.5	8.3	8.3	7.6	7.6	7.8	7.0	7.6	7.4	7.4	7.6	7.6	7.4		
4	0.40	9.5	9.0	10.0	9.6	9.6	10.0	9.7	7.7	7.9	7.8	7.6	7.7	7.7	7.8	7.6	7.3	7.4	7.4	7.6	7.8	7.5		
5	0.38	9.6	9.3	9.3	9.3	8.6	8.6	9.2	8.2	7.7	7.7	7.7	8.6	8.6	8.1	7.6	7.6	7.3	7.3	7.6	7.6	7.5		
6	0.40	9.0	9.3	9.6	10.3	10.0	9.5	9.7	7.6	8.2	9.4	9.4	7.7	7.7	8.3	7.8	7.6	7.6	7.6	6.6	6.6	7.3		
平均	0.38							9.7							8.0							7.4		

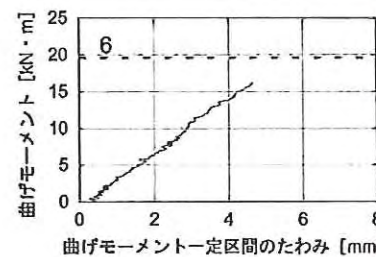
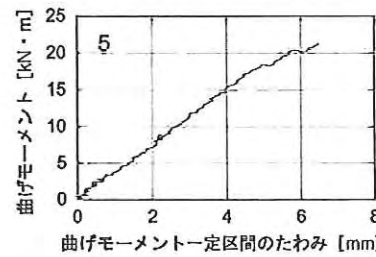
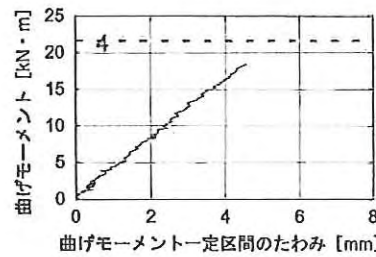
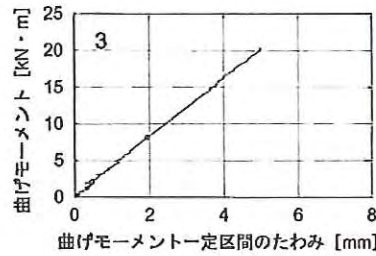
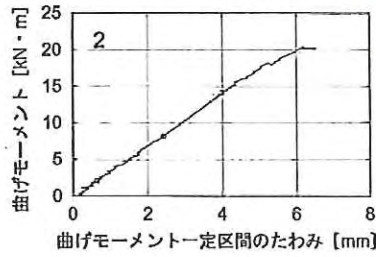
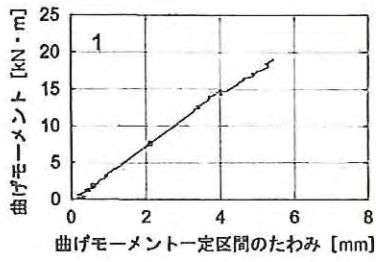
曲げ強度と破壊状況の関係



曲げ実験 (3 プライ木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)



曲げ実験 (3 プライ木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)



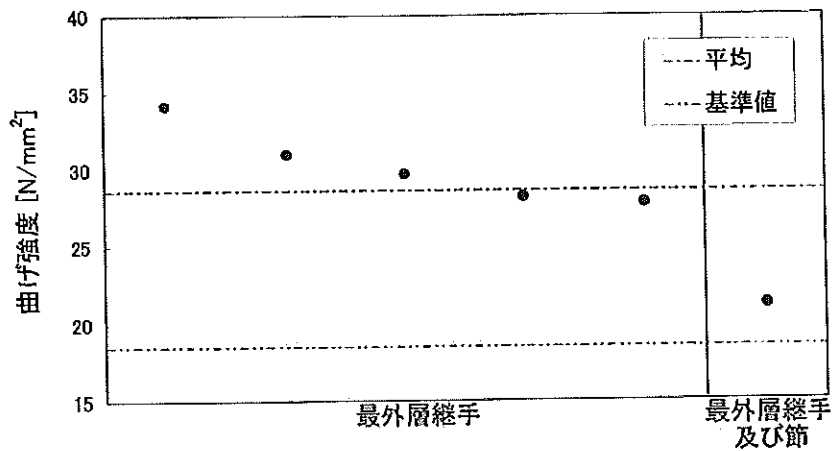
2.3 曲げ実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 400mm 矩形断面)

製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)						
継手	400mm						
形状	矩形 170mm×152mm						
等級	E70-E70-E70						
番号	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N \cdot mm ²]	曲げ ヤング係数 E [GPa]	破壊状況
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN \cdot m]	曲げ強度 σ max [N/mm ²]			
1	36.4	5.4	18.2	27.8	4.46	8.96	①
2	27.9	4.2	13.9	21.2	4.37	8.78	①, ②
3	44.8	5.8	22.4	34.2	4.77	9.59	①
4	40.6	5.5	20.3	31.0	4.65	9.35	①
5	37.1	*	18.5	28.2	4.23	8.50	①
6	39.0	5.8	19.5	29.7	4.40	8.84	①
平均	37.6	5.3	18.8	28.6	4.48	9.00	①: 最外層継手で曲げ破壊 ②: 節で曲げ破壊
標準偏差			2.83	4.33			
変動係数			0.151				
ばらつき係数			0.647				
基準値			12.1	18.5			
基準材料強度 樹種: すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5			
	JAS製材 機械等級区分 E70			29.4			
	無等級材			22.2			

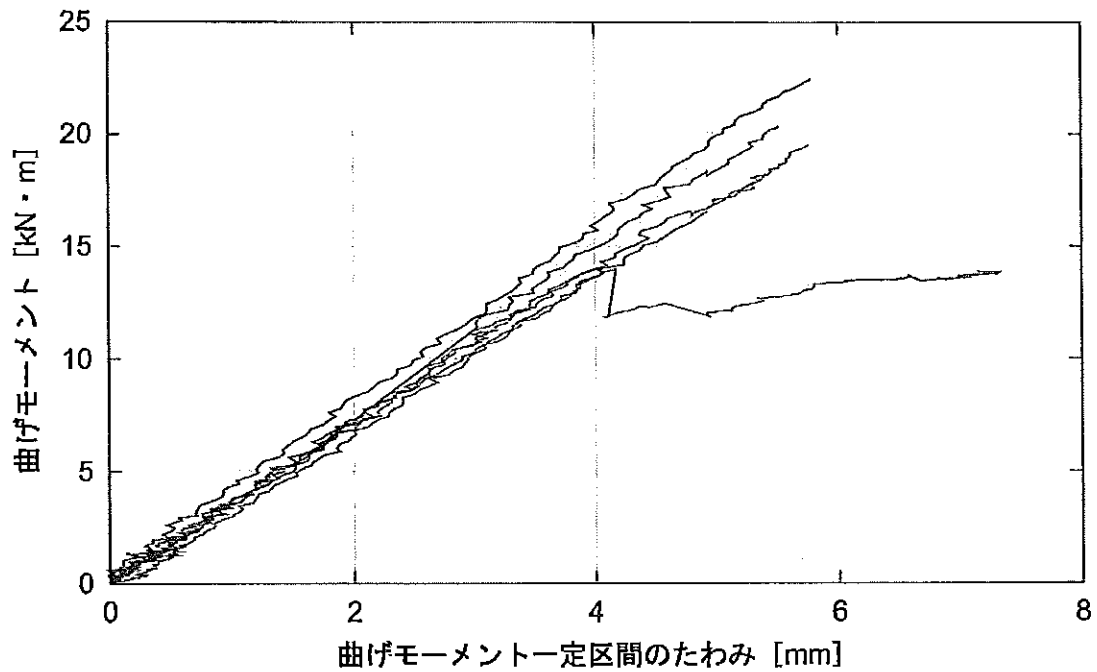
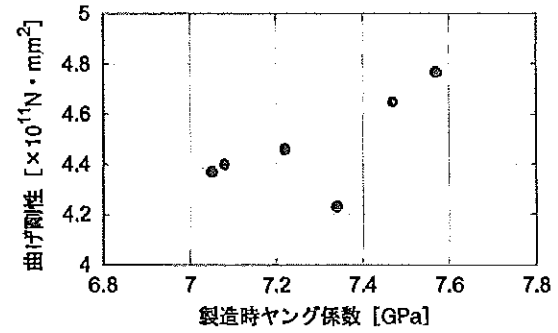
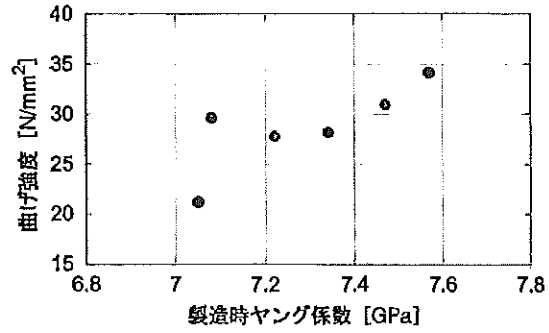
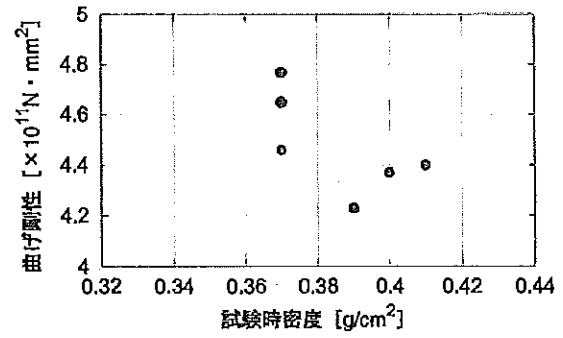
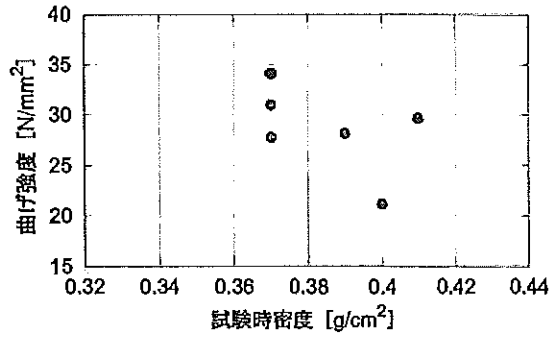
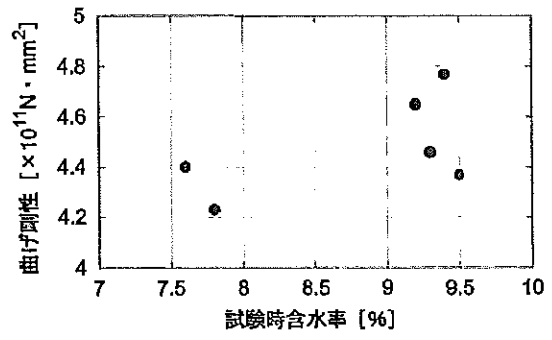
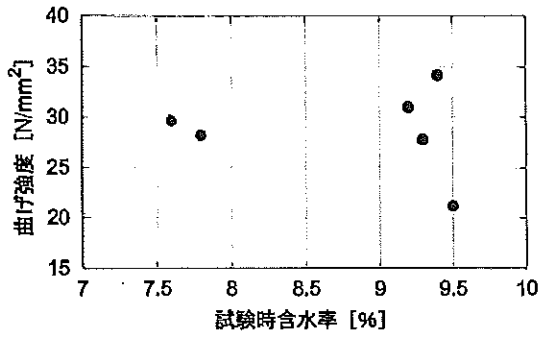
※ 表中の「*」は、ゲージアウトにより測定できなかったことを示し、平均の計算からは除外している。

番号	試験時								製造時																
	密度 [g/cm ³]	含水率[%]							平均	含水率[%]								ヤング係数[GPa]							
		1	2	3	4	5	6	平均		1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均		
1	0.37	8.6	8.5	9.5	9.5	10.0	9.5	9.3	7.6	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.3	7.0	7.7	7.7	6.9	6.9	7.2		
2	0.40	9.0	9.0	9.8	10.3	9.8	9.5	9.6	8.1	7.7	7.8	7.8	7.6	7.6	7.8	7.8	7.8	7.8	6.1	7.8	7.6	6.6	6.6	7.0	
3	0.37	10.3	8.5	9.5	9.3	9.3	9.5	9.4	7.5	7.8	7.6	7.6	7.8	7.8	7.7	7.7	7.6	7.5	7.5	7.5	7.6	7.6	7.6		
4	0.37	9.8	9.3	9.3	9.6	8.5	9.3	9.2	7.6	7.5	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.8	7.1	7.4	7.4	7.6	7.6	7.5		
5	0.39	7.3	8.5	7.7	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	8.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.9	7.7	7.7	7.0	7.2	7.2	7.4	7.4	7.3		
6	0.41	8.8	8.8	8.3	8.3	5.8	5.8	7.6	7.7	8.8	8.1	8.1	7.7	7.7	8.0	7.7	7.7	6.8	7.1	7.1	6.9	6.9	7.1		
平均	0.39							8.8							7.8								7.3		

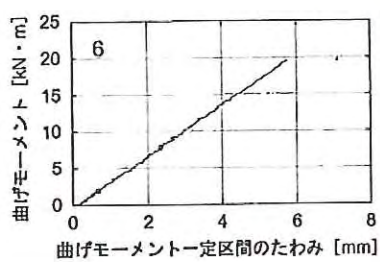
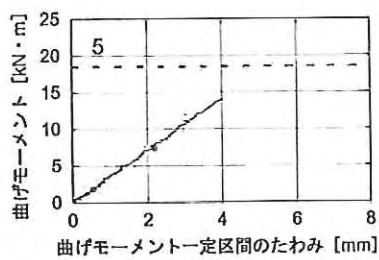
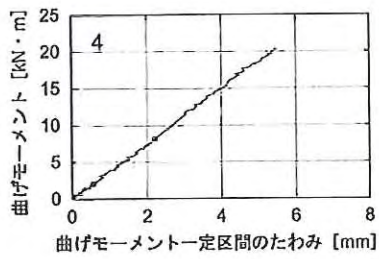
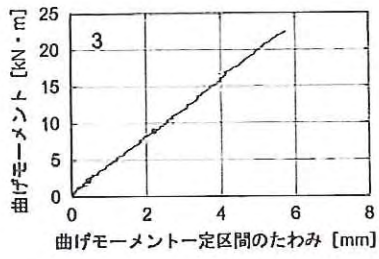
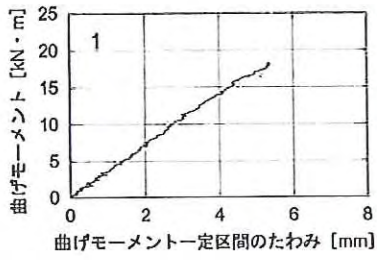
曲げ強度と破壊状況の関係



曲げ実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 400mm 矩形断面)



曲げ実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 400mm 矩形断面)

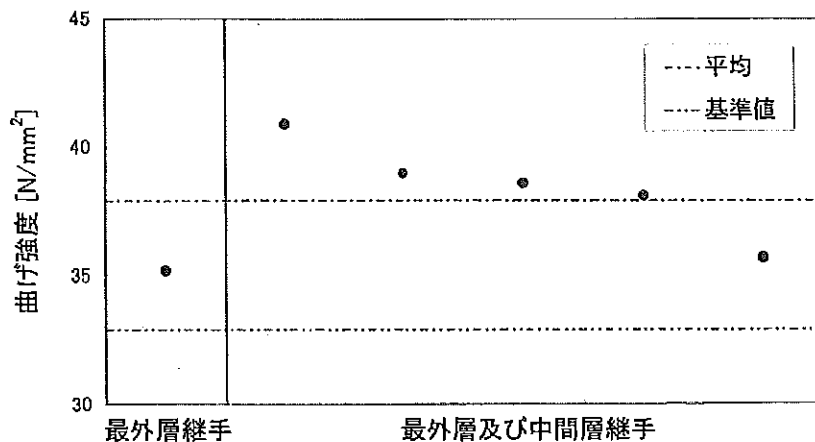


2.4 曲げ実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね)

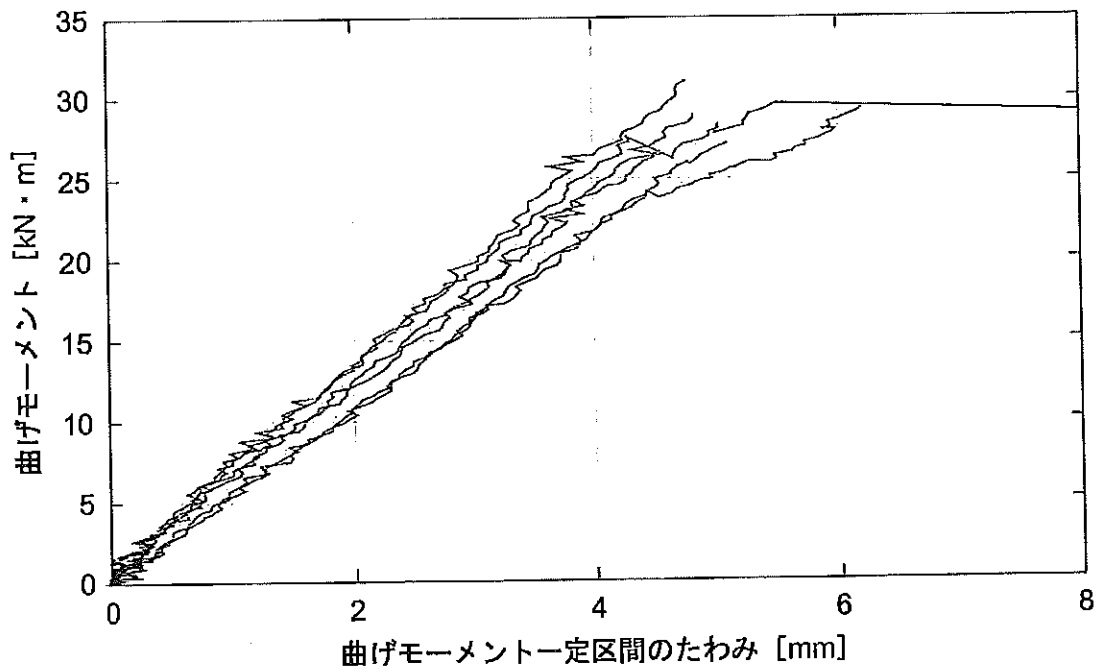
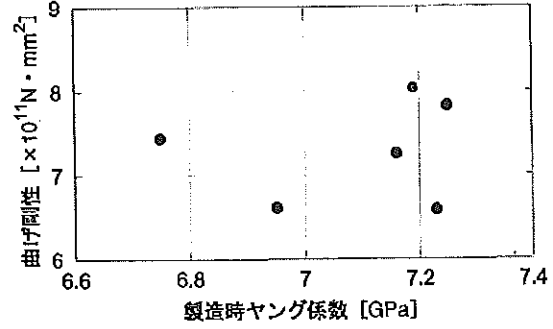
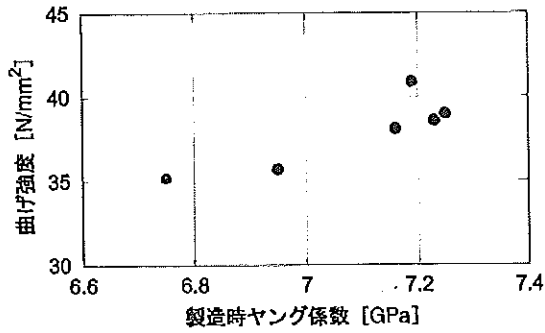
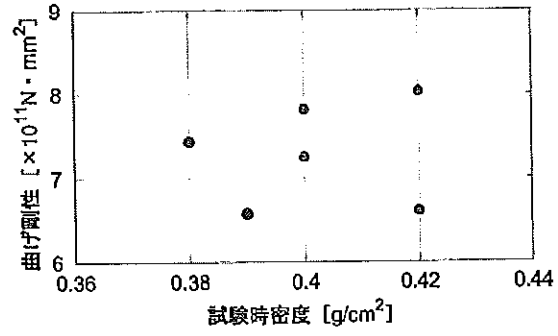
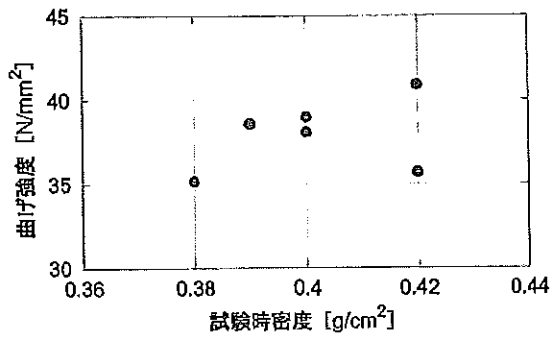
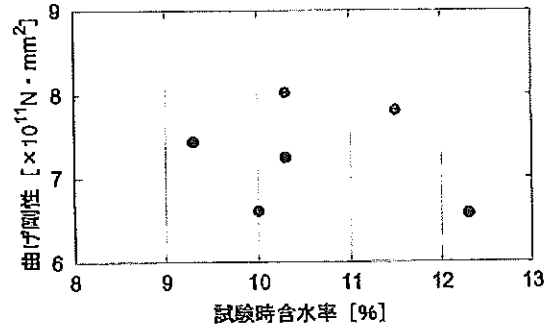
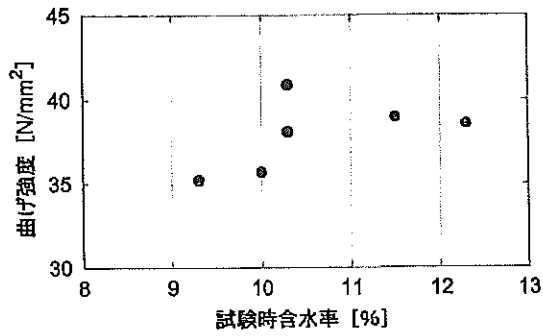
製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)							
継手	300mm							
形状	二枚ざね 170mm×190mm							
等級	E70-E70-E70							
番号	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N \cdot mm ²]	曲げ ヤング係数 E [GPa]	破壊状況	
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN \cdot m]	曲げ強度 σ max [N/mm ²]				
1	58.7	6.2	29.3	38.6	6.58	8.93	①, ②	
2	59.2	5.5	29.6	39.0	7.82	10.62	①, ②	
3	53.4	4.6	26.7	35.2	7.44	10.10	①	
4	62.1	4.8	31.0	40.9	8.03	10.90	①, ②	
5	54.3	5.1	27.1	35.7	6.61	8.97	①, ②	
6	57.9	4.8	28.9	38.1	7.25	9.84	①, ②	
平均	57.6	5.1	28.7	37.9	7.29	9.89	①: 最外层継手で曲げ破壊 ②: 中間層継手で曲げ破壊	
標準偏差			1.61	2.13				
変動係数			0.056					
ばらつき係数			0.869					
基準値			21.9	32.9				
基準材料強度 樹種: すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5				
	JAS製材 機械等級区分 E70			29.4				
	無等級材			22.2				

番号	密度 [g/cm ³]	試験時								製造時												
		含水率[%]								含水率[%]						ヤング係数[GPa]						
		1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均
1	0.39	13.5	20.8	10.5	10.5	9.5	9.0	12.3	10.1	10.1	8.3	8.3	7.8	7.6	8.7	7.5	7.5	7.3	7.3	6.9	6.9	7.2
2	0.40	9.3	8.8	18.3	13.5	9.5	9.8	11.5	7.6	7.6	9.4	9.4	7.6	7.8	8.3	6.8	6.8	7.8	7.6	7.1	7.1	7.2
3	0.38	9.3	9.0	9.8	9.8	9.0	9.3	9.4	7.7	7.7	8.1	8.1	7.7	7.7	7.8	7.0	7.0	6.8	6.8	6.5	6.5	6.8
4	0.42	12.0	10.8	10.0	10.0	9.3	10.0	10.4	8.5	8.5	7.9	7.9	7.9	7.9	8.1	7.5	7.5	7.4	7.4	6.6	6.6	7.2
5	0.42	9.3	11.0	10.0	9.3	9.3	11.0	10.0	7.5	7.5	7.9	7.9	8.2	8.2	8.0	6.9	6.9	7.4	7.4	6.6	6.6	7.0
6	0.40	9.3	9.5	9.8	9.8	11.8	11.8	10.3	7.8	7.8	8.1	8.1	8.4	8.4	8.1	7.0	7.0	7.7	7.7	6.8	6.8	7.2
平均	0.40							10.6							8.2							7.1

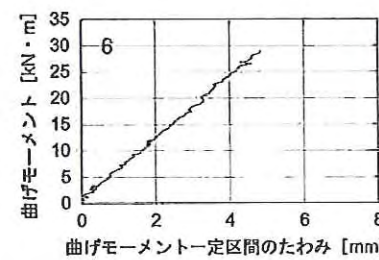
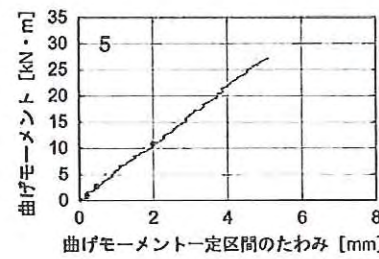
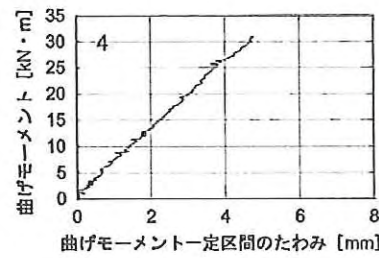
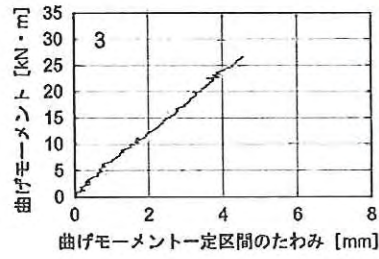
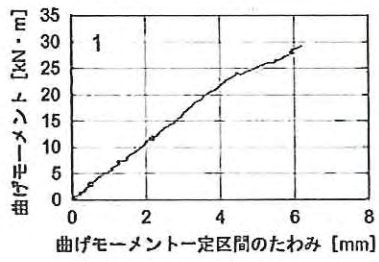
曲げ強度と破壊状況の関係



曲げ実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね)



曲げ実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね)



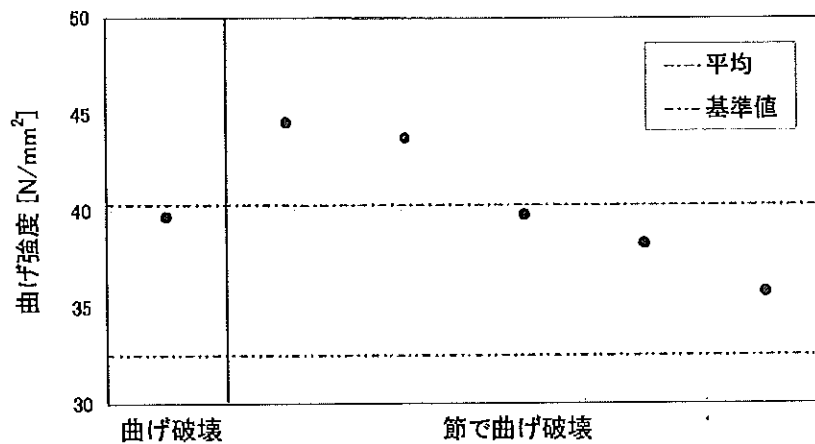
2.5 曲げ実験（3プライ木表接着 E70-E50-E70 継手なし 矩形断面）

製品名	3プライ ラミネートログ（木表接着）						
継手	なし						
形状	矩形 170mm×152mm						
等級	E70-E50-E70						
番号	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N・mm ²]	曲げヤング係数 E [GPa]	破壊状況
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN・m]	曲げ強度 σ max [N/mm ²]			
1	52.2	7.1	26.1	39.8	4.75	9.55	②
2	58.4	8.4	29.2	44.6	4.36	8.76	②
3	52.1	*	26.0	39.7	4.67	9.39	①
4	57.4	*	28.7	43.8	5.79	11.64	②
5	47.1	10.1	23.5	35.8	3.93	7.90	②
6	50.3	6.4	25.1	38.3	4.88	9.81	②
平均	52.9	8.0	26.4	40.3	4.73	9.51	①：曲げ破壊 ②：節で曲げ破壊
標準偏差			2.16	3.33			
変動係数			0.082				
ばらつき係数			0.808				
基準値			21.3	32.5			
基準材料強度 樹種：すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5			
	JAS製材 機械等級区分 E70			29.4			
	無等級材			22.2			

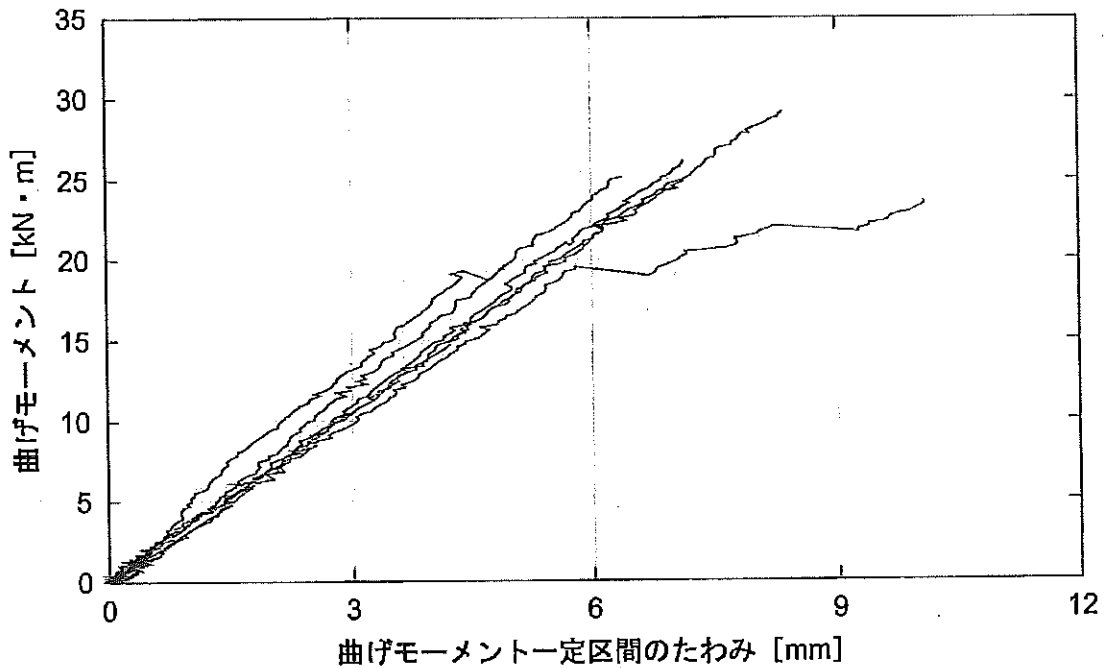
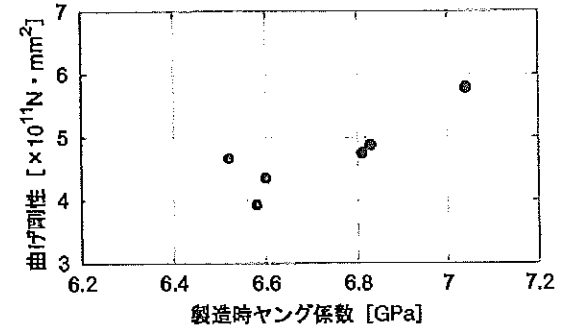
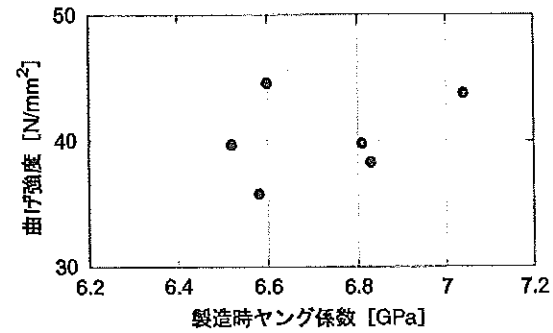
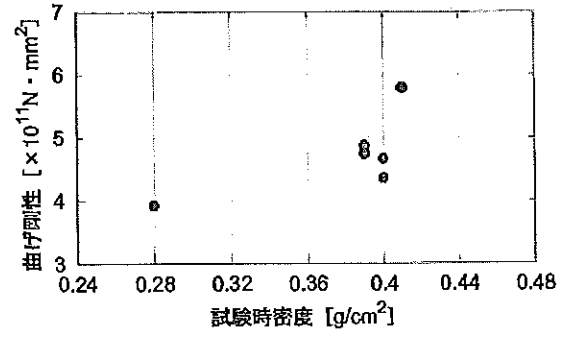
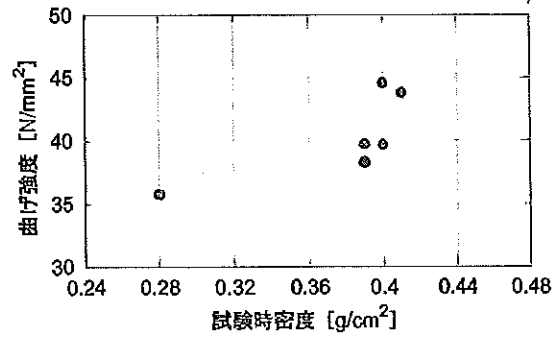
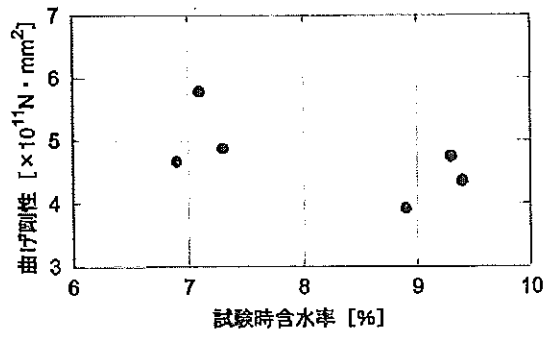
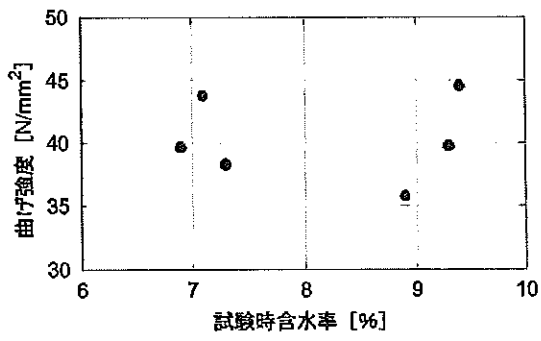
※ 表中の「*」は、ゲージアウトにより測定できなかったことを示し、平均の計算からは除外している。

番号	試験時					製造時							
	密度 [g/cm ³]	含水率[%]				含水率[%]				ヤング係数[GPa]			
		1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
1	0.39	8.8	9.5	9.7	9.3	7.7	7.7	7.9	7.8	7.5	5.5	7.5	6.8
2	0.40	9.8	9.8	8.5	9.4	7.6	8.3	7.8	7.9	6.7	5.8	7.3	6.6
3	0.40	5.3	7.8	7.5	6.9	7.7	7.8	7.9	7.8	7.0	5.8	6.8	6.5
4	0.41	6.0	7.5	7.8	7.1	7.7	7.8	8.2	7.9	7.9	5.6	7.6	7.0
5	0.28	8.2	9.2	9.5	9.0	7.6	7.9	8.1	7.9	7.2	5.9	6.7	6.6
6	0.39	8.0	7.8	6.0	7.3	8.1	7.7	7.7	7.8	7.1	5.9	7.5	6.8
平均	0.38				8.2				7.8				6.7

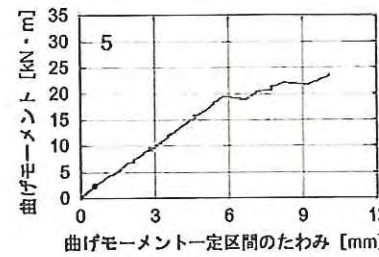
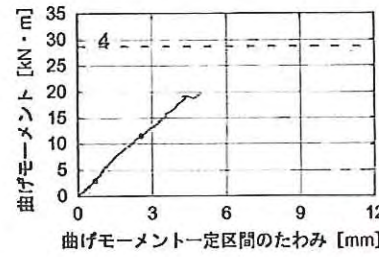
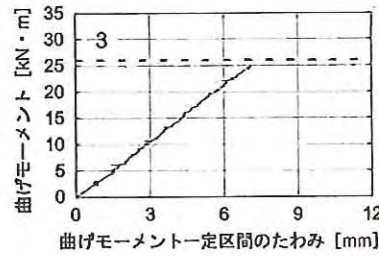
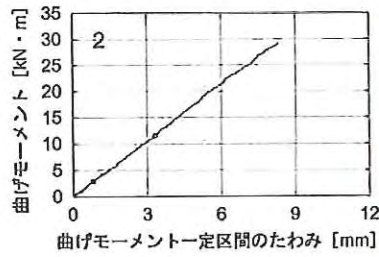
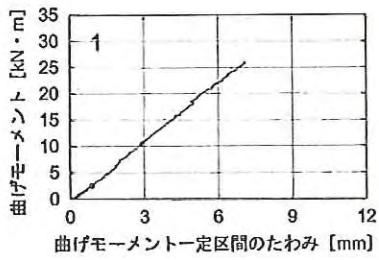
曲げ強度と破壊状況の関係



曲げ実験 (3 プライ木表接着 E70-E50-E70 継手なし 矩形断面)



曲げ実験（3プライ木表接着 E70-E50-E70 継手なし 矩形断面）



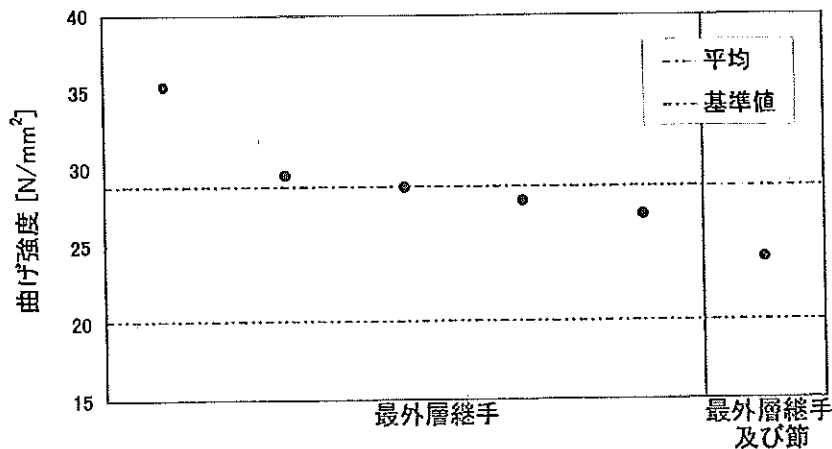
2.6 曲げ実験 (3プライ木表接着 E70-E50-E70 継手 300mm 矩形断面)

3プライ ラミネートログ (木表接着)								
製品名	300mm							
継手	矩形 170mm×152mm							
形状	E70-E50-E70							
等級								
番号	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N \cdot mm ²]	曲げ ヤング係数 E [GPa]	破壊状況	
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN \cdot m]	曲げ強度 σ max [N/mm ²]				
1	46.4	*	23.2	35.4	4.77	9.59	①	
2	31.8	*	15.9	24.2	3.79	7.62	①, ②	
3	37.9	6.3	18.9	28.8	3.70	7.44	①	
4	38.8	6.2	19.4	29.6	4.33	8.70	①	
5	35.5	4.8	17.7	27.0	4.78	9.61	①	
6	36.7	5.8	18.3	27.9	4.15	8.34	①	
平均	37.8	5.8	18.9	28.8	4.25	8.55	①: 最外层継手で曲げ破壊 ②: 節で曲げ破壊	
標準偏差			2.43	3.72				
変動係数			0.129					
ばらつき係数			0.698					
基準値			13.1	20.1				
基準材料強度 樹種: すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5				
	JAS製材 機械等級区分 E70			29.4				
	無等級材			22.2				

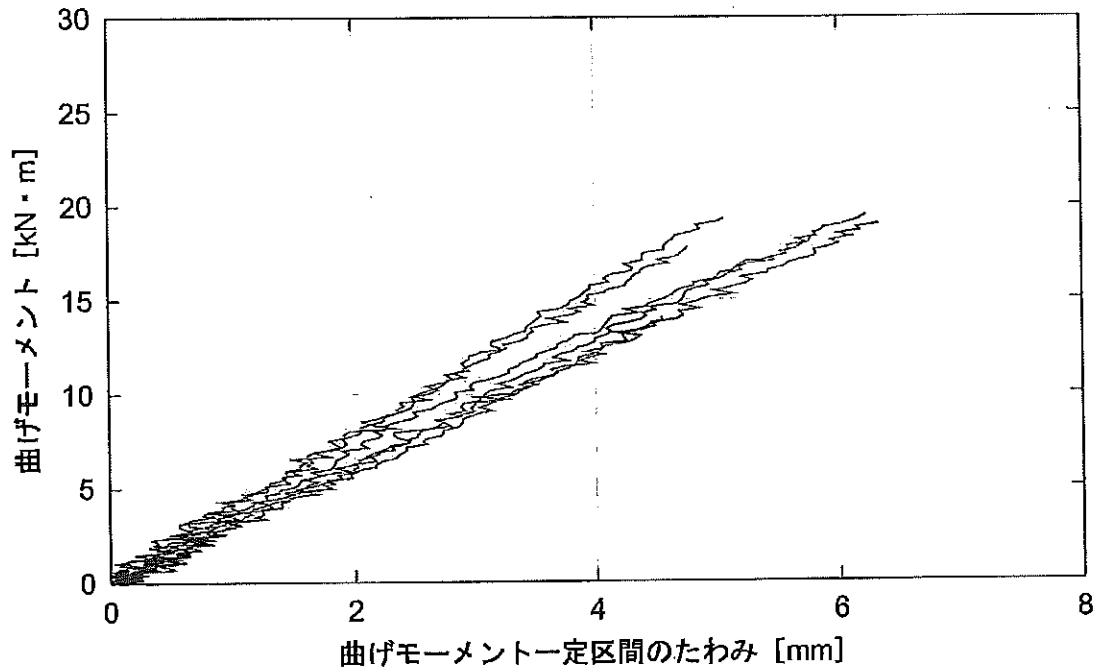
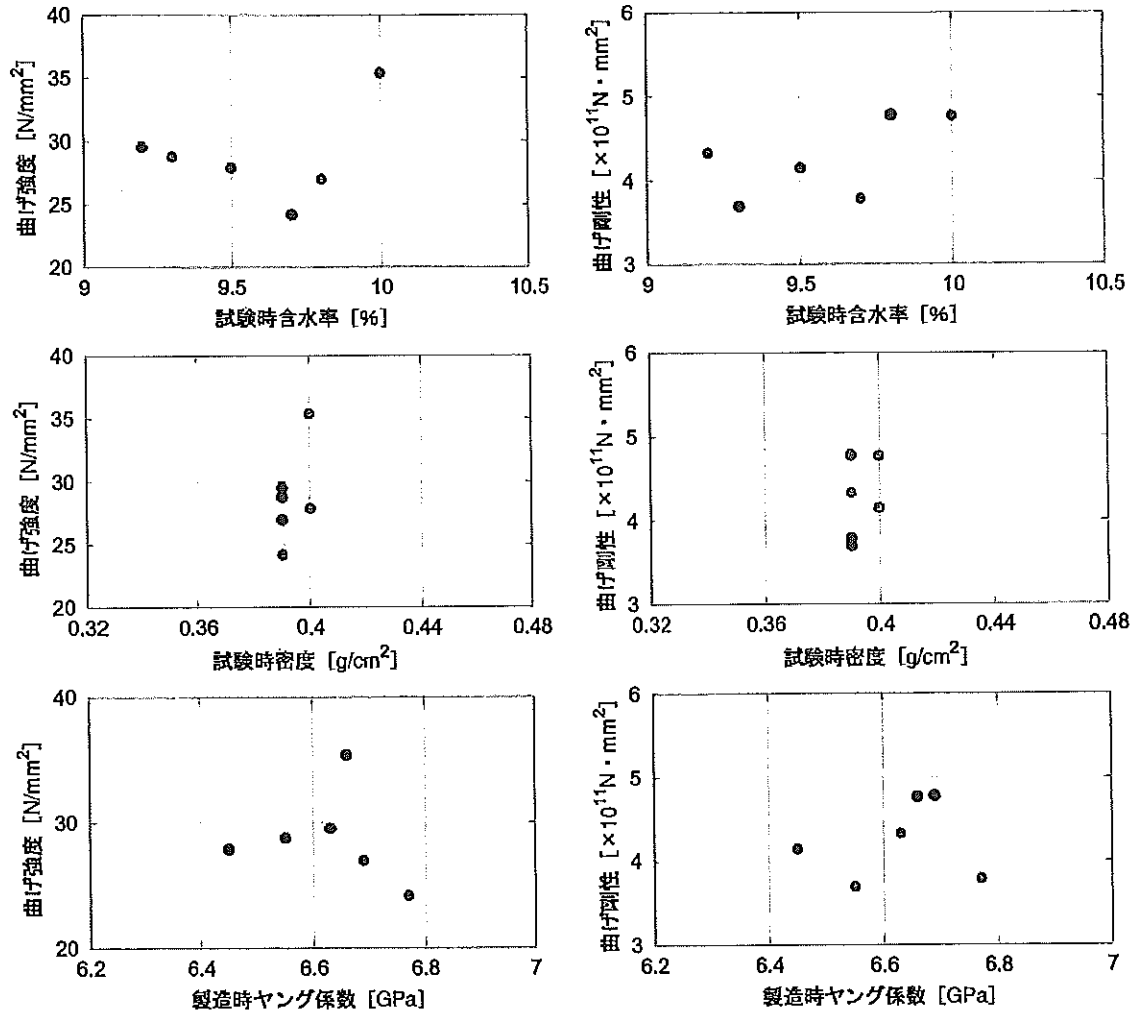
※ 表中の「*」は、ゲージアウトにより測定できなかったことを示し、平均の計算からは除外している。

番号	試験時									製造時													
	密度 [g/cm ³]	含水率[%]							平均	含水率[%]							平均	ヤング係数[GPa]					
		1	2	3	4	5	6	1		2	3	4	5	6	1	2		3	4	5	6	平均	
1	0.40	10.6	8.8	10.5	9.8	10.0	10.0	10.0	9.6	7.5	7.5	8.4	8.4	7.7	7.7	7.9	6.3	7.6	5.6	5.6	7.6	7.6	6.7
2	0.39	9.6	9.0	10.0	9.8	9.8	9.8	9.7	9.7	8.4	7.6	7.9	7.5	7.6	7.6	7.7	7.6	7.5	5.9	5.9	6.8	6.8	6.8
3	0.39	9.0	9.3	9.3	9.8	9.5	9.5	9.4	9.4	7.5	7.7	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.1	7.7	5.4	5.4	6.8	6.8	6.5
4	0.39	9.3	8.5	9.3	9.3	9.6	9.5	9.2	9.2	7.0	7.6	7.7	7.7	8.1	8.1	7.7	7.5	7.8	5.4	5.4	6.8	6.8	6.6
5	0.39	10.6	10.3	10.5	9.8	8.8	8.5	9.8	9.8	8.2	8.4	10.3	10.3	7.6	7.6	8.7	7.2	7.8	5.9	5.9	6.7	6.7	6.7
6	0.40	9.3	8.3	10.0	9.8	9.8	10.0	9.5	9.5	8.8	7.9	10.6	10.8	7.6	7.6	8.9	6.8	6.3	5.3	5.3	7.6	7.6	6.5
平均	0.39							9.6							8.1								6.6

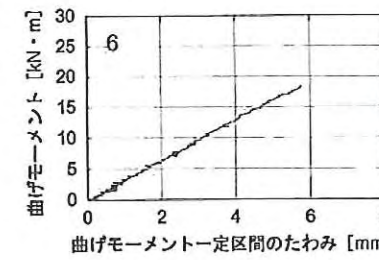
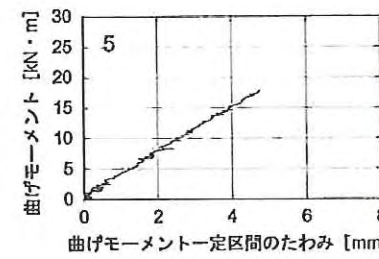
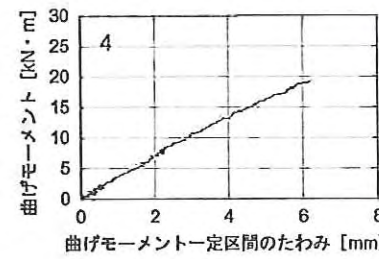
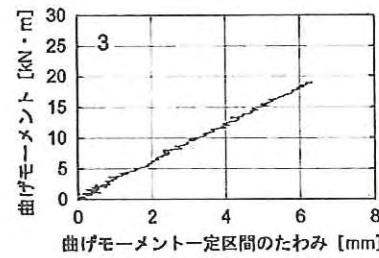
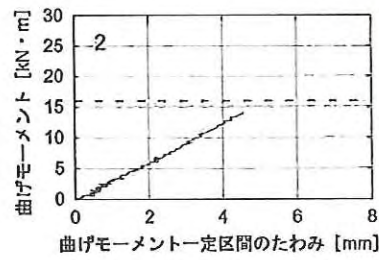
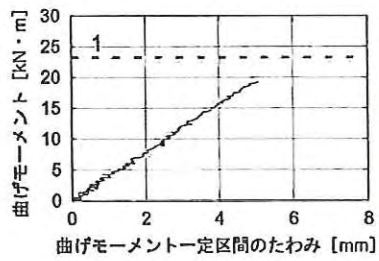
曲げ強度と破壊状況の関係



曲げ実験 (3 プライ木表接着 E70-E50-E70 継手 300mm 矩形断面)



曲げ実験 (3 プライ 木表接着 E70-E50-E70 継手 300mm 矩形断面)

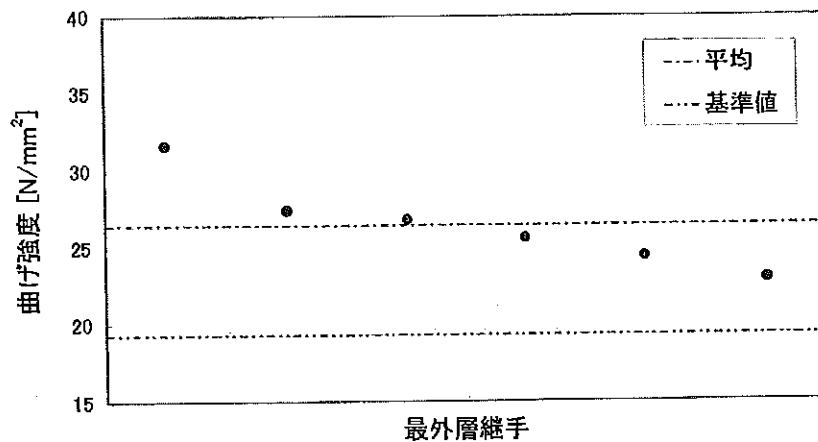


2.7 曲げ実験 (3プライ木表接着 E70-E50-E70 継手 400mm 矩形断面)

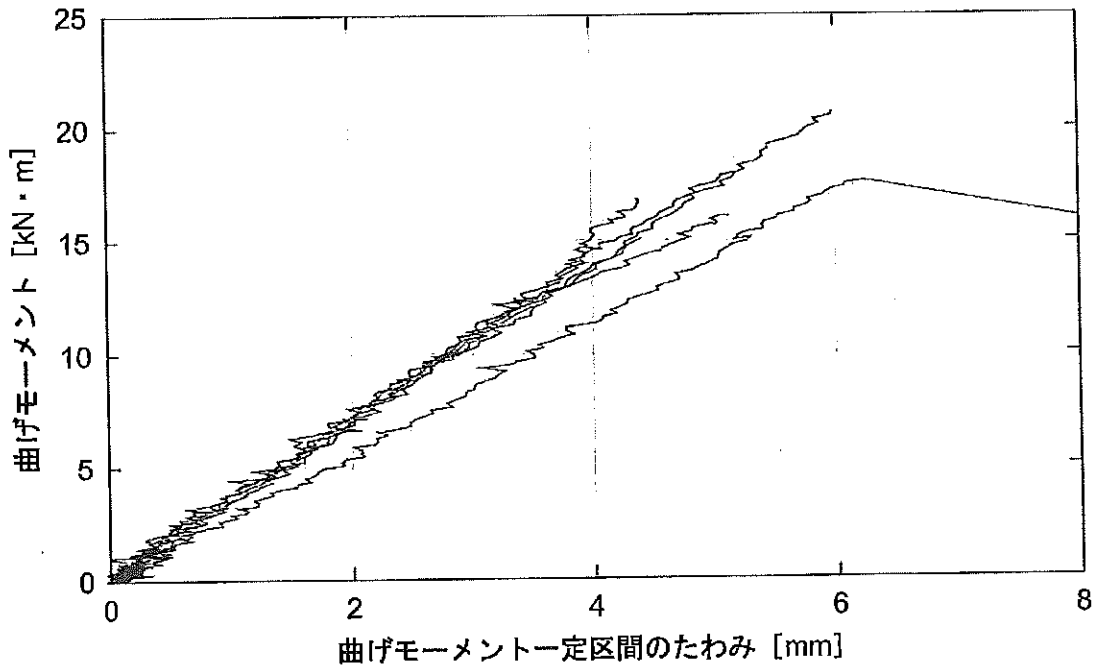
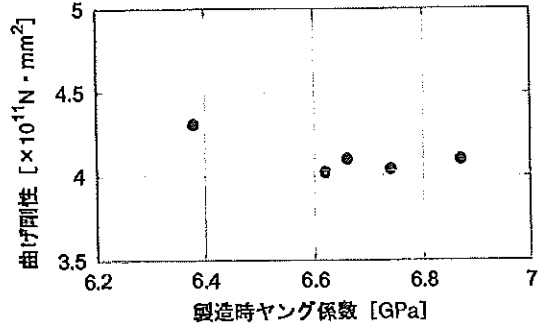
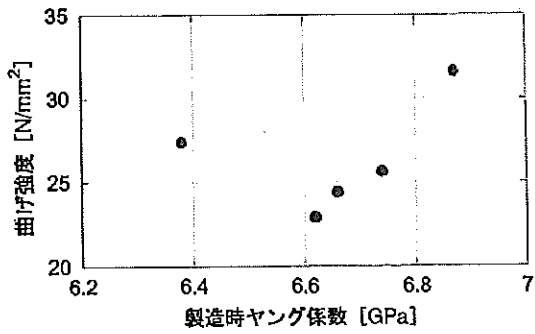
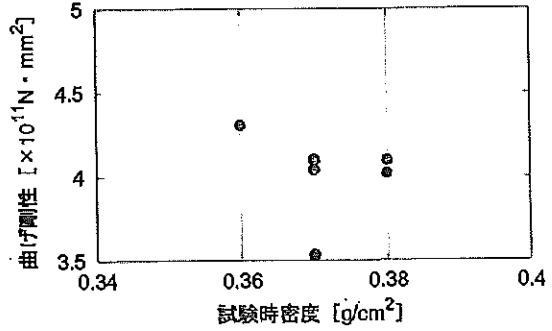
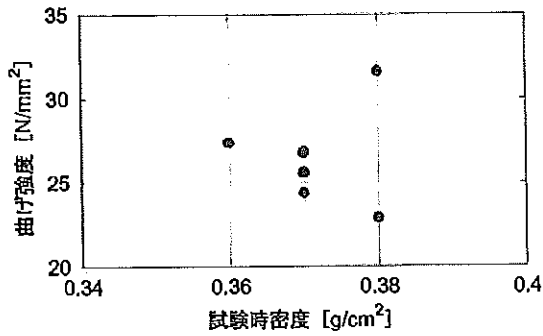
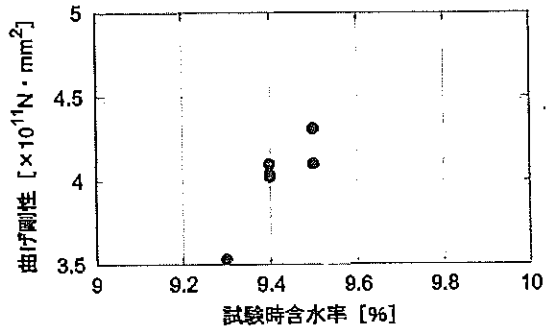
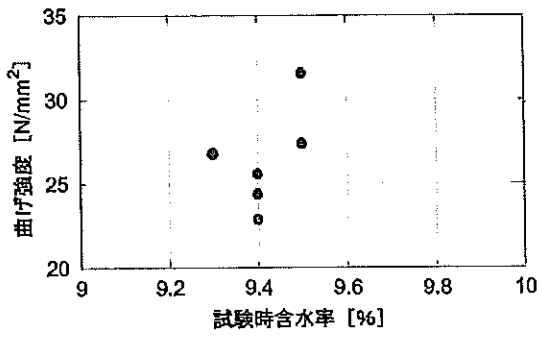
製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)						
継手	400mm						
形状	矩形 170mm×152mm						
等級	E70-E50-E70						
番号	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N・mm ²]	曲げ ヤング係数 E [GPa]	破壊状況
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN・m]	曲げ強度 σ max [N/mm ²]			
1	41.4	6.0	20.7	31.6	4.10	8.24	①
2	35.2	6.2	17.6	26.8	3.53	7.10	①
3	32.1	5.1	16.0	24.4	4.10	8.24	①
4	33.6	4.4	16.8	25.6	4.04	8.12	①
5	30.1	4.4	15.0	22.9	4.02	8.08	①
6	36.0	5.2	18.0	27.4	4.31	8.66	①
平均	34.7	5.2	17.3	26.4	4.02	8.07	①: 最外層継手で曲げ破壊
標準偏差			1.96	3.00			
変動係数			0.114				
ばらつき係数			0.733				
基準値			12.6	19.3			
基準材料強度 樹種:すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5			
	JAS製材 機械等級区分 E70			29.4			
	無等級材			22.2			

番号	試験時								製造時															
	密度 [g/cm ³]	含水率[%]							平均	含水率[%]						平均	ヤング係数[GPa]						平均	
		1	2	3	4	5	6	平均		1	2	3	4	5	6		平均	1	2	3	4	5		6
1	0.38	9.8	9.0	10.0	9.5	9.0	10.0	9.6	7.5	8.1	8.1	8.1	7.6	7.6	7.8	7.5	7.6	5.3	5.3	7.7	7.7	6.9		
2	0.37	9.5	8.5	9.3	9.5	9.8	9.5	9.4	7.7	7.6	8.3	8.3	8.6	8.6	8.2	6.9	9.2	5.7	5.7	7.4	7.4	7.1		
3	0.37	9.0	8.8	9.6	9.3	9.5	10.0	9.4	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7	7.6	6.2	7.3	5.8	5.8	7.4	7.4	6.7		
4	0.37	9.5	8.7	10.0	9.8	9.0	9.5	9.4	7.9	7.5	9.7	9.7	7.5	7.5	8.3	7.3	6.3	5.9	5.9	7.5	7.5	6.7		
5	0.38	9.8	9.5	9.5	9.8	9.3	9.0	9.4	7.5	7.6	7.6	7.6	7.8	7.5	7.7	6.3	7.8	5.3	5.3	7.5	7.5	6.6		
6	0.36	10.0	8.3	9.5	9.8	9.8	9.5	9.5	7.7	7.7	8.1	8.1	7.5	7.5	7.8	6.1	6.9	5.6	5.6	7.0	7.0	6.4		
平均	0.37							9.4							7.9							6.7		

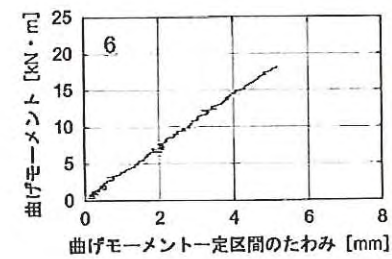
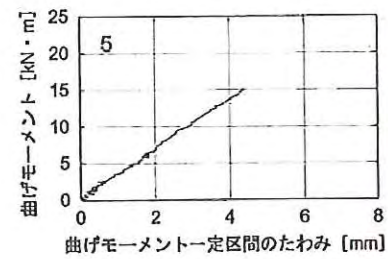
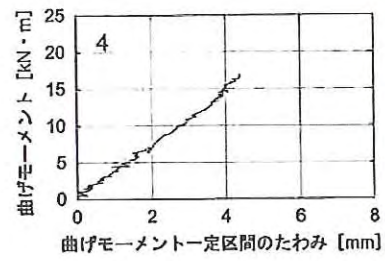
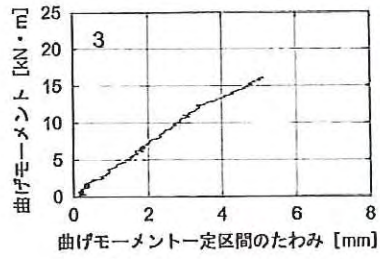
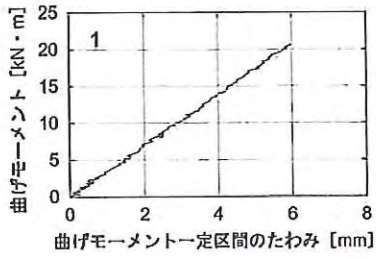
曲げ強度と破壊状況の関係



曲げ実験 (3 プライ木表接着 E70-E50-E70 継手 400mm 矩形断面)



曲げ実験 (3 プライ 木表接着 E70-E50-E70 継手 400mm 矩形断面)

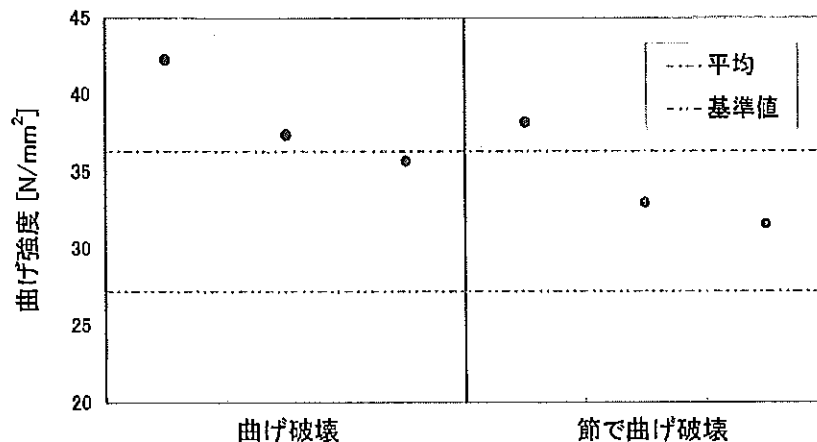


2.8 曲げ実験（3プライ木表接着横使い E70-E50-E70 継手なし 矩形断面）

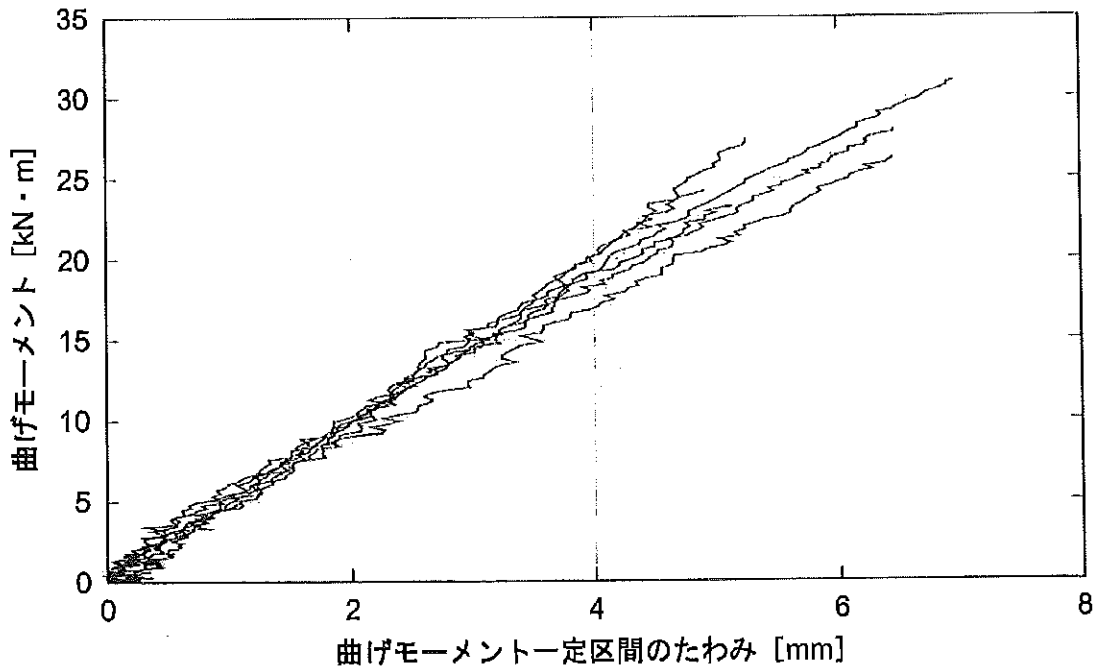
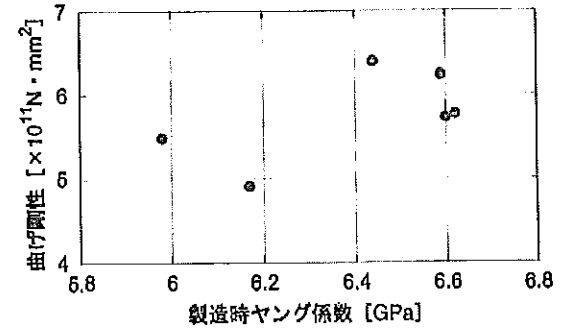
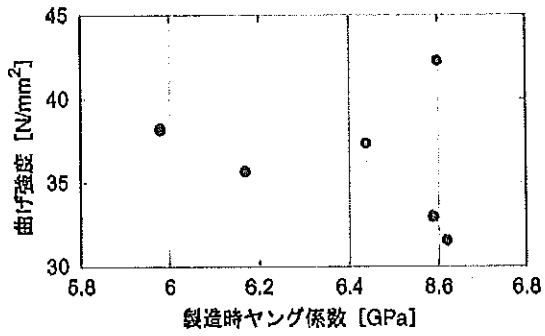
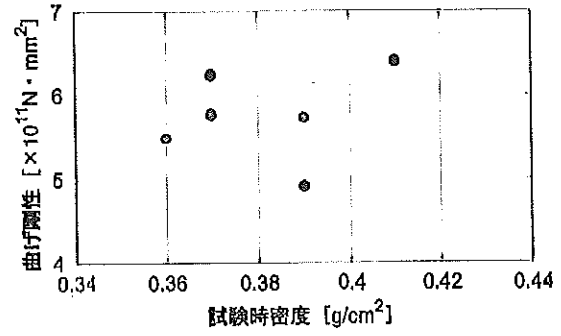
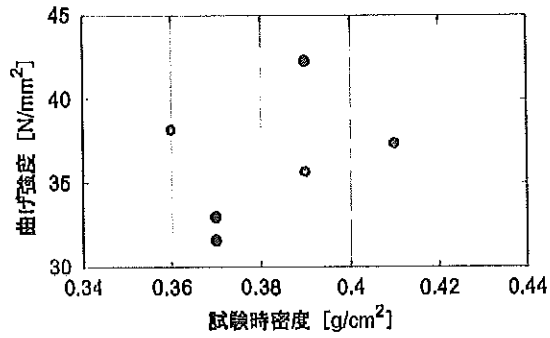
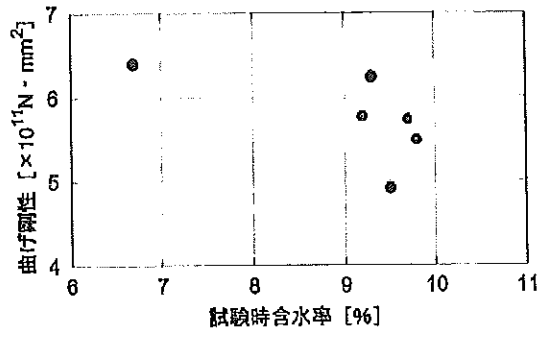
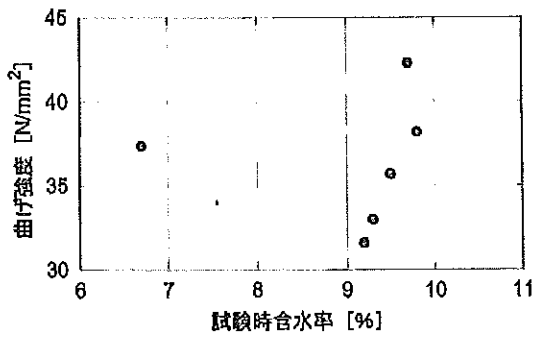
製品名	3プライ ラミネートログ（木表接着, 横使い）						
継手	なし						
形状	矩形 170mm×162mm						
等級	E70-E50-E70						
番号	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N \cdot mm 2]	曲げ ヤング係数 E [GPa]	破壊状況
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN \cdot m]	曲げ強度 σ max [N/mm 2]			
1	62.0	7.0	31.0	42.3	5.73	9.21	①
2	54.8	5.3	27.4	37.4	6.40	10.28	①
3	48.5	4.9	24.2	33.0	6.24	10.03	②
4	46.5	5.2	23.2	31.6	5.77	9.27	②
5	56.0	6.5	28.0	38.2	5.49	8.82	②
6	52.5	6.5	26.2	35.7	4.92	7.91	①
平均	53.3	6.9	26.6	36.3	6.76	9.25	①：曲げ破壊
標準偏差			2.80	3.85			②：節で曲げ破壊
変動係数			0.106				
ばらつき係数			0.752				
基準値			20.0	27.2			
基準材料強度 樹種：すぎ [N/mm 2]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5			
	JAS製材 機軸等級区分 E70			29.4			
	無等級材			22.2			

番号	試験時					製造時							
	密度 [g/cm 3]	含水率[%]				含水率[%]				ヤング係数[GPa]			
		1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
1	0.39	9.2	9.3	10.7	9.7	8.4	7.6	8.9	8.3	6.9	5.5	7.3	6.6
2	0.41	6.8	7.0	6.2	6.7	7.8	7.8	7.7	7.8	7.6	5.5	6.2	6.4
3	0.37	8.8	9.5	9.5	9.3	7.7	7.7	7.7	7.7	7.1	5.3	7.4	6.6
4	0.37	8.5	9.5	9.7	9.2	7.0	7.6	7.8	7.5	7.2	5.8	6.9	6.6
5	0.36	10.0	9.8	9.7	9.8	7.7	7.9	8.6	8.1	6.4	6.4	6.2	6.0
6	0.39	9.3	9.5	9.7	9.5	8.6	7.6	7.8	8.0	6.7	5.2	6.7	6.2
平均	0.38				9.0				7.9				6.4

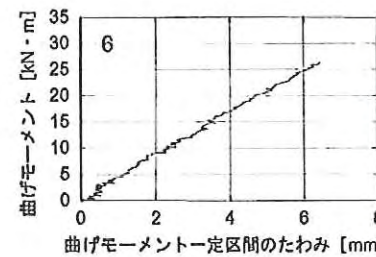
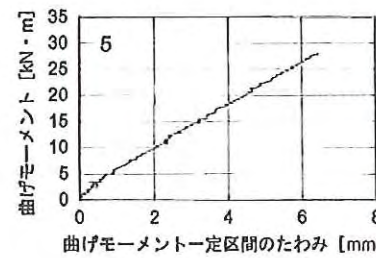
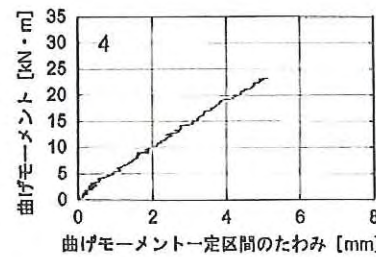
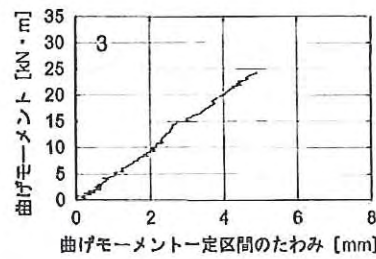
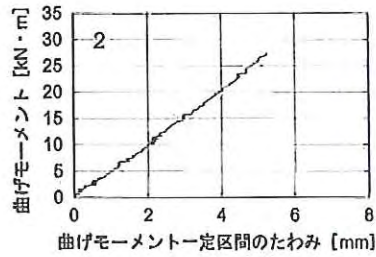
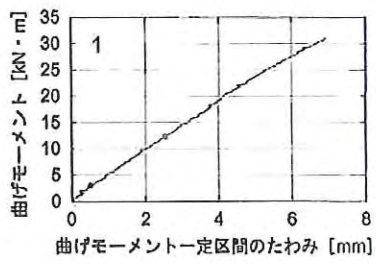
曲げ強度と破壊状況の関係



曲げ実験 (3 プライ 木表接着横使い E70-E50-E70 継手なし 矩形断面)



曲げ実験 (3 プライ 木表接着 横使い E70-E50-E70 継手なし 矩形断面)

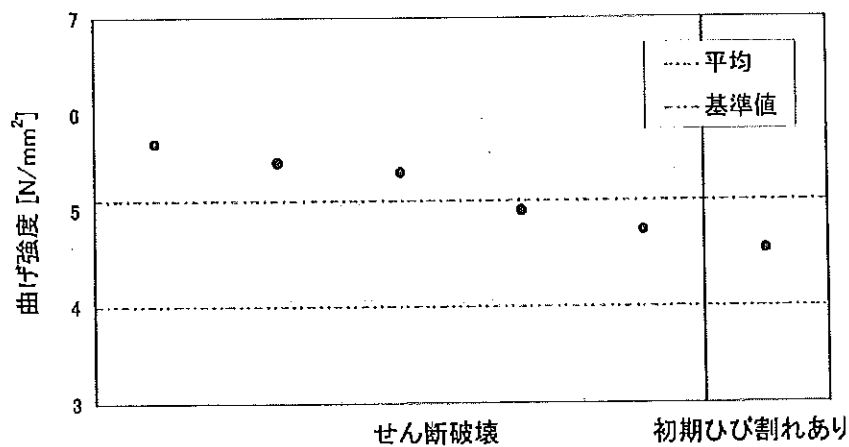


2.9 せん断実験 (3 プライ木表接着 E70-E70-E70 継手なし 矩形断面)

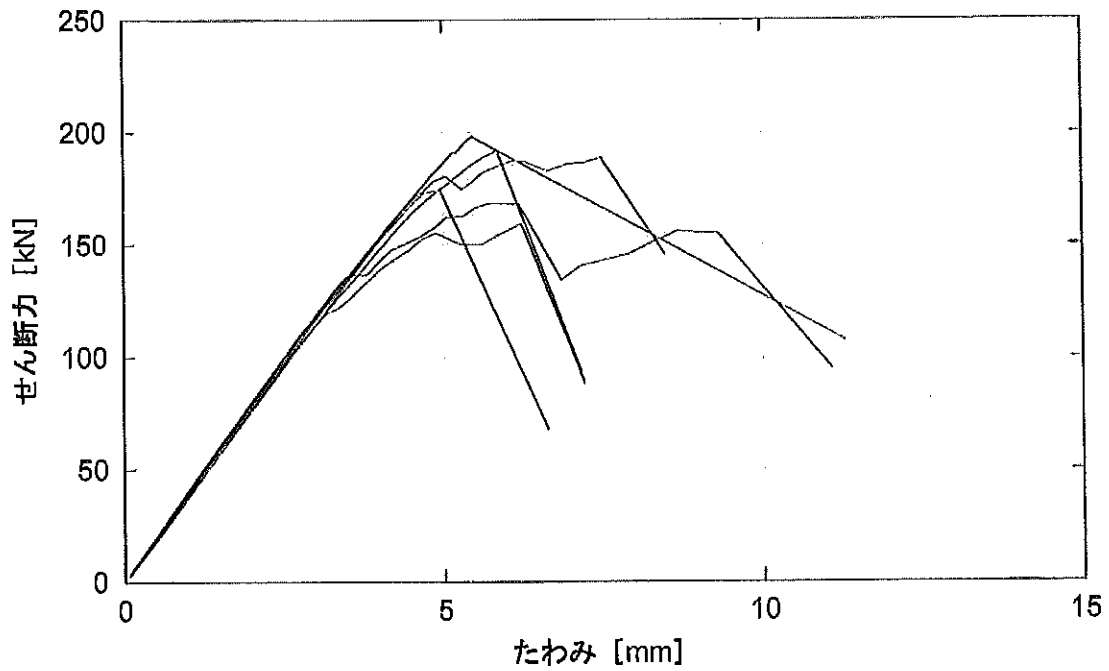
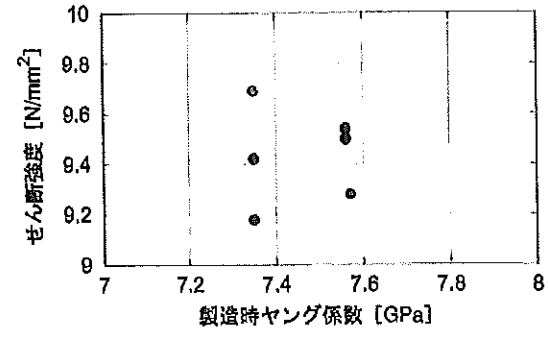
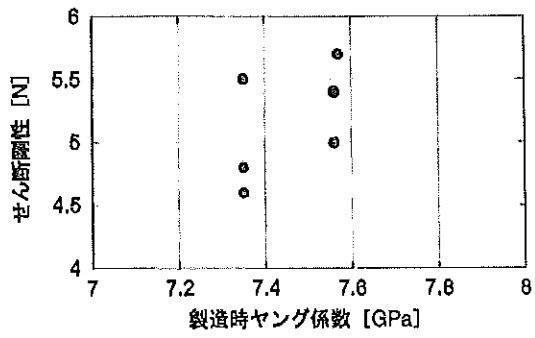
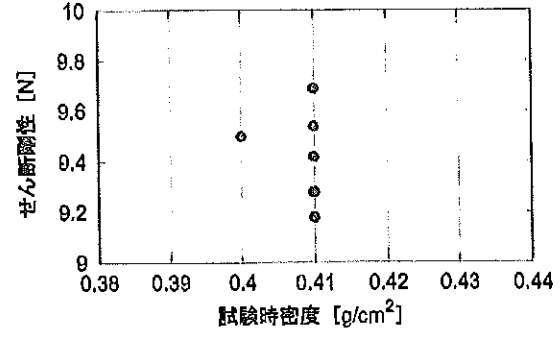
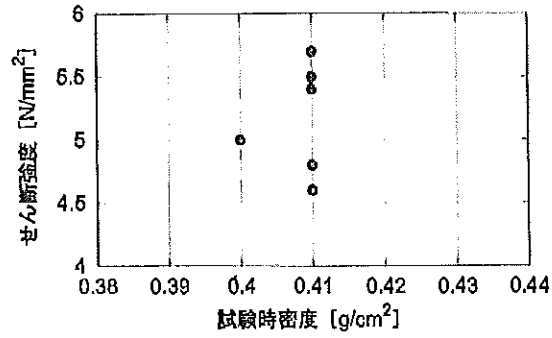
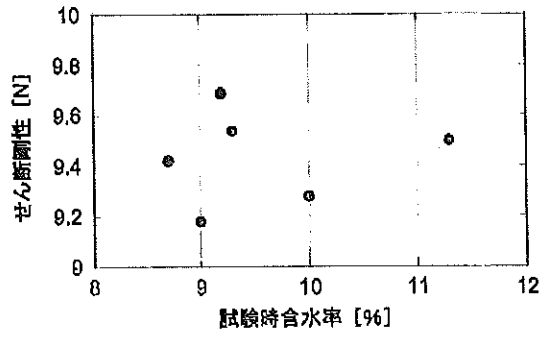
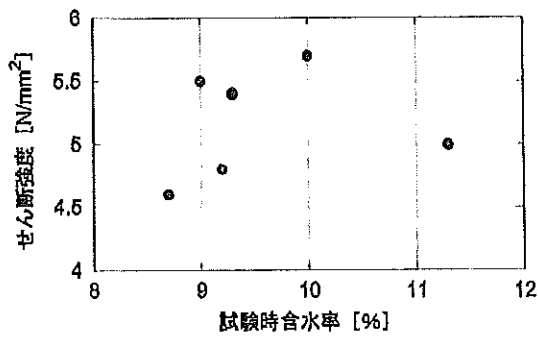
製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)						
	継手形状	なし					
等級		矩形 170mm×152mm					
	番号	最大荷重時				せん断剛性 GA [×10 ⁶ N]	せん断弾性係数 G [N/mm ²]
荷重 P _{max} [kN]		たわみ δ _{max} [mm]	せん断力 Q _{max} [kN]	せん断強度 τ _{max} [N/mm ²]			
1	198.2	5.5	99.1	5.7	9.28	359	①
2	188.7	7.5	94.3	5.4	9.54	369	①
3	174.3	5.0	87.1	5.0	9.50	368	①
4	159.4	6.2	79.7	4.6	9.42	365	①, ②
5	168.5	5.7	84.2	4.8	9.59	375	①
6	191.9	5.9	95.9	5.5	9.18	355	①
平均	180.1	5.9	90.0	5.1	9.44	365	①: せん断破壊 ②: 初期ひび割れ進展による
標準偏差			7.53	0.43			
変動係数			0.084				
ばらつき係数			0.803				
基準値			72.2	4.0			
基準材料強度 樹種: すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			2.1			
	JAS製材 機械等級区分 E70			1.8			
	無等級材			1.8			

番号	試験時					製造時							
	密度 [g/cm ³]	含水率[%]				含水率[%]				ヤング係数[GPa]			
		1	2	3	平均	1	3	5	平均	1	3	5	平均
1	0.41	10.9	9.9	9.3	10.0	10.9	9.9	9.3	10.0	7.3	7.8	7.6	7.6
2	0.41	9.3	9.5	9.2	9.3	9.3	9.5	9.2	9.3	7.3	7.7	7.6	7.6
3	0.40	11.0	11.8	11.0	11.3	11.0	11.8	11.0	11.3	7.3	7.7	7.6	7.6
4	0.41	8.3	8.6	9.1	8.7	8.3	8.6	9.1	8.7	7.1	7.5	7.4	7.4
5	0.41	9.2	9.3	9.2	9.2	9.2	9.3	9.2	9.2	7.1	7.5	7.4	7.4
6	0.41	9.2	9.0	8.8	9.0	9.2	9.0	8.8	9.0	7.1	7.5	7.4	7.4
平均	0.41				9.6				9.6				7.5

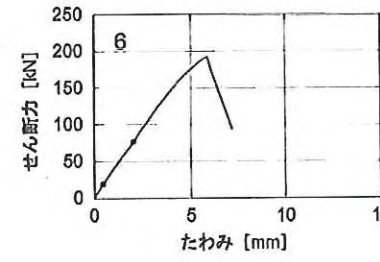
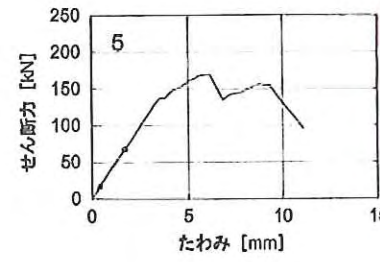
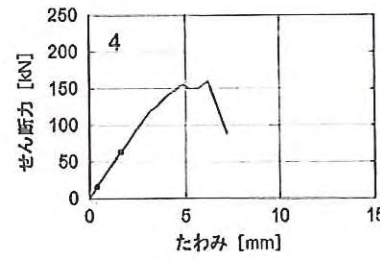
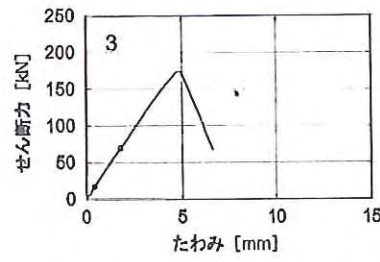
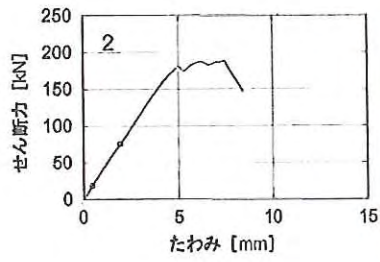
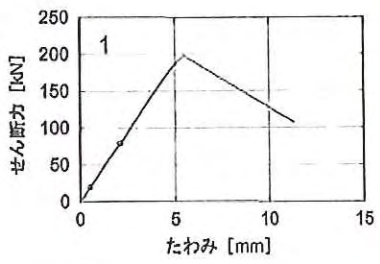
曲げ強度と破壊状況の関係



せん断実験 (3 プライ木表接着 E70-E70-E70 継手なし 矩形断面)



せん断実験 (3 プライ木表接着 E70-E70-E70 継手なし 矩形断面)

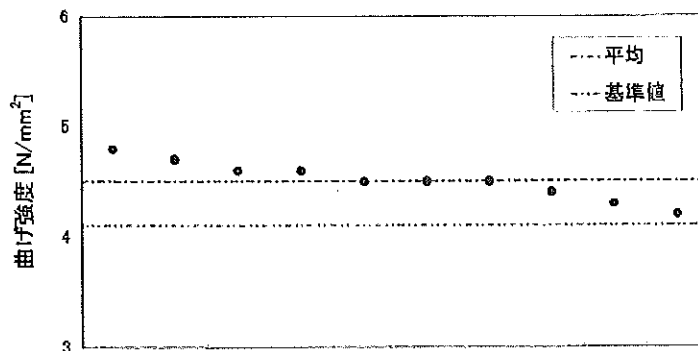


2.10 せん断実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)

3プライ ラミネートログ (木表接着)							
製品名	300mm						
継手	矩形 170mm×152mm						
形状	E70-E70-E70						
等級							
番号	最大荷重時				せん断剛性 GA [×10 ⁴ N]	せん断 弾性係数 G [N/mm ²]	破壊状況
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δmax [mm]	せん断力 Qmax [kN]	せん断強度 τmax [N/mm ²]			
1	146.4	3.4	73.2	4.2	11.20	433	①
2	156.7	4.3	78.3	4.5	11.03	427	①
3	159.4	5.4	79.7	4.6	11.97	463	①
4	157.2	3.6	78.6	4.5	11.34	439	①
5	157.4	3.6	78.7	4.5	11.66	451	①
6	161.1	5.0	80.5	4.6	12.11	469	①
7	150.1	3.3	75.0	4.3	11.50	445	①
8	163.7	4.1	81.8	4.7	11.91	461	①
9	168.0	5.6	84.0	4.8	12.14	470	①
10	153.1	4.9	76.5	4.4	11.06	428	①
平均	157.3	4.3	78.6	4.5	11.59	449	①; 最外層継手で曲げ破壊
標準偏差			3.17	0.17			
変動係数			0.041				
ばらつき係数			0.913				
基準値			71.7	4.1			
基準材料強度 樹種:すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			2.1			
	JAS製材 機械等級区分 E70			1.8			
	無等級材			1.8			

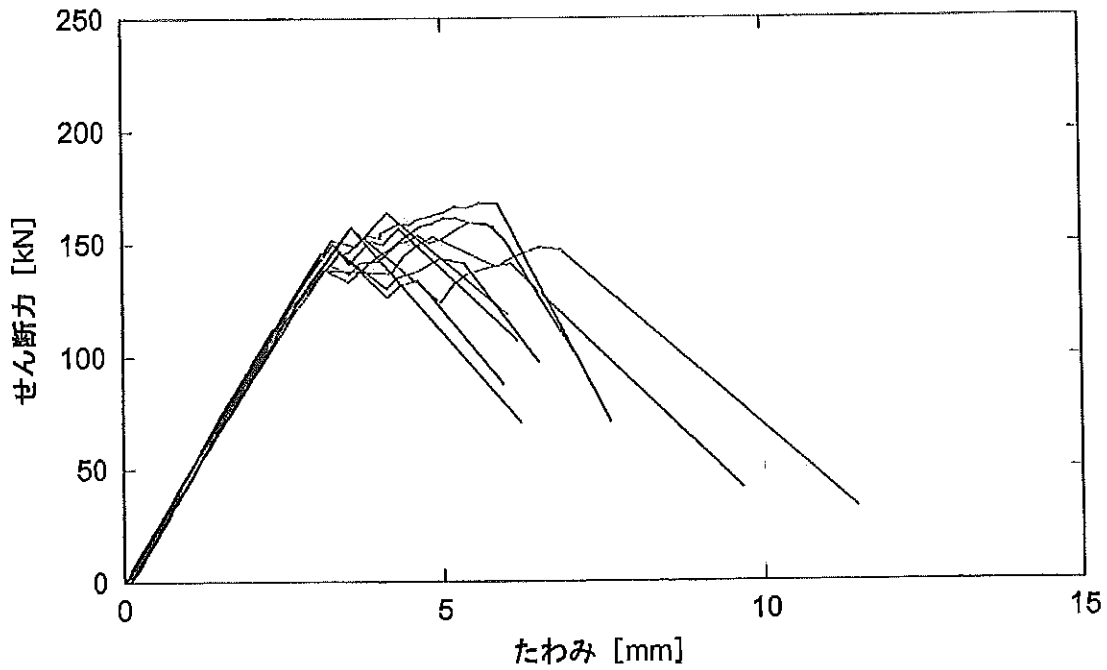
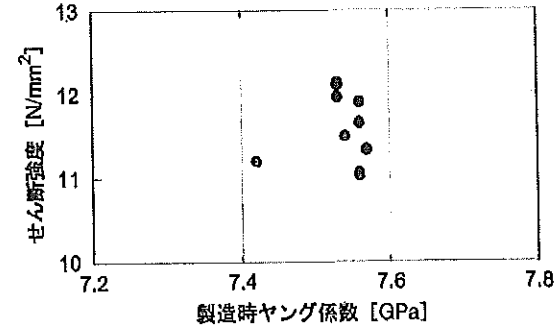
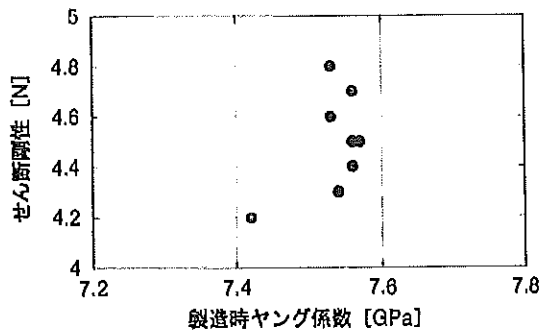
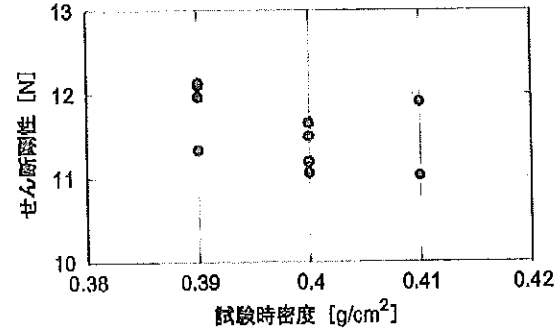
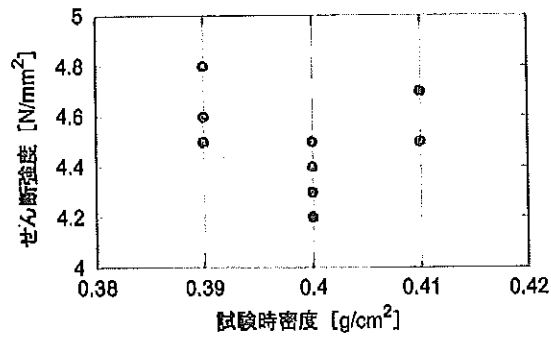
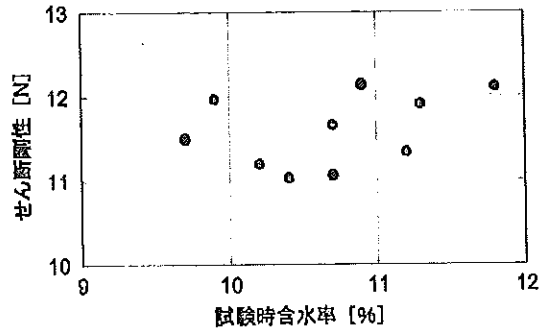
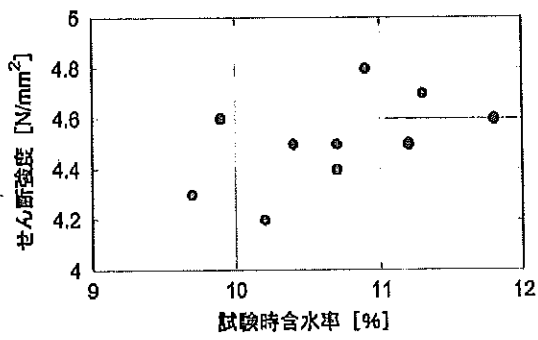
番号	密度 [g/cm ³]	試験時								製造時													
		含水率[%]								含水率[%]							ヤング係数[GPa]						
		1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均	
1	0.40	10.2	9.8	10.5	10.9	10.0	9.8	10.2	10.2	9.8	10.5	10.9	10.0	9.8	10.2	7.3	7.3	7.5	7.5	7.4	7.4	7.4	
2	0.41	10.5	10.8	10.2	10.0	10.7	10.4	10.4	10.5	10.8	10.2	10.0	10.7	10.4	10.4	7.5	7.5	7.6	7.5	7.7	7.7	7.6	
3	0.39	9.8	10.3	9.7	9.5	9.9	10.3	9.9	9.8	10.3	9.7	9.5	9.9	10.3	9.9	7.7	7.7	7.7	7.7	7.2	7.2	7.5	
4	0.39	10.5	11.0	11.7	10.4	11.3	12.1	11.2	10.5	11.0	11.7	10.4	11.3	12.1	11.2	7.6	7.5	7.5	7.5	7.7	7.7	7.6	
5	0.40	11.0	12.1	9.8	10.3	10.4	10.8	10.7	11.0	12.1	9.8	10.3	10.4	10.8	10.7	7.5	7.5	7.5	7.5	7.7	7.7	7.6	
6	0.39	11.5	10.8	11.4	11.2	13.5	12.5	11.8	11.5	10.8	11.4	11.2	13.5	12.5	11.8	7.7	7.7	7.7	7.7	7.2	7.2	7.5	
7	0.40	9.6	9.4	9.1	8.9	9.9	11.0	9.7	9.8	9.4	9.1	8.9	9.9	11.0	9.7	7.6	7.6	7.6	7.6	7.5	7.7	7.5	
8	0.41	12.5	11.6	10.9	11.7	10.7	10.1	11.3	12.5	11.6	10.9	11.7	10.7	10.1	11.3	7.5	7.5	7.5	7.5	7.7	7.7	7.6	
9	0.39	10.7	11.1	10.8	11.5	10.6	10.9	10.9	10.7	11.1	10.8	11.5	10.6	10.9	10.9	7.7	7.7	7.7	7.7	7.2	7.2	7.5	
10	0.40	10.4	10.9	11.1	10.9	10.5	10.2	10.7	10.4	10.9	11.1	10.9	10.5	10.2	10.7	7.5	7.5	7.5	7.5	7.7	7.7	7.6	
平均	0.40							10.7							10.7							7.5	

曲げ強度と破壊状況の関係

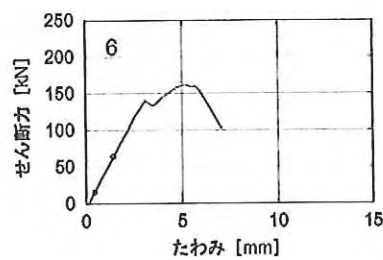
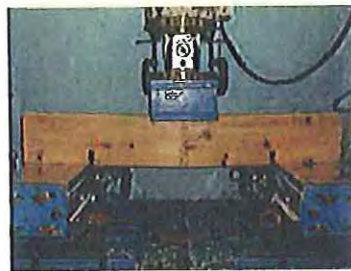
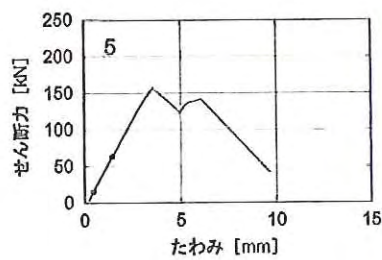
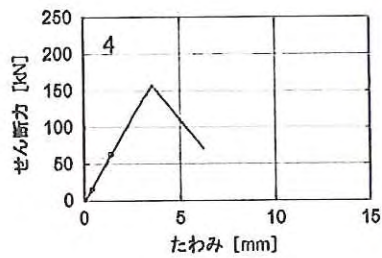
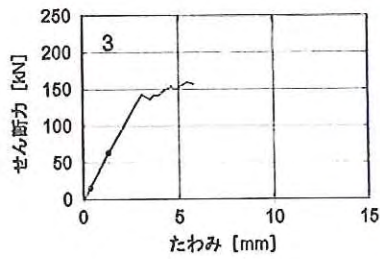
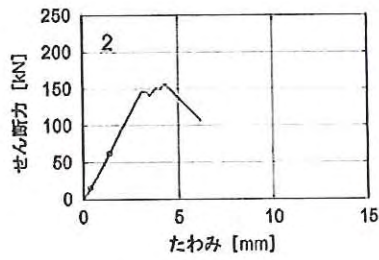
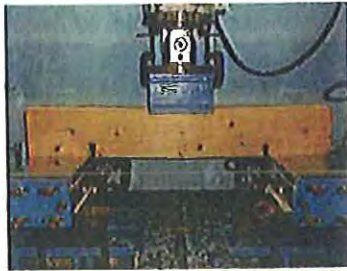
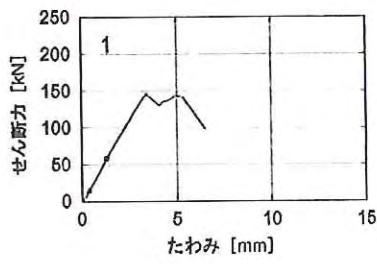


最外層継手で曲げ破壊

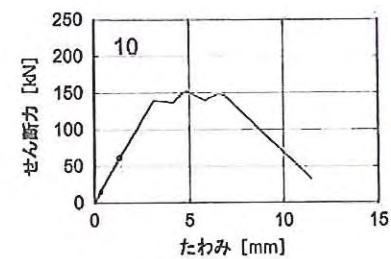
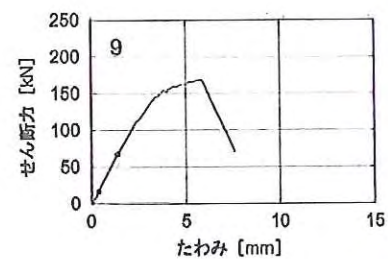
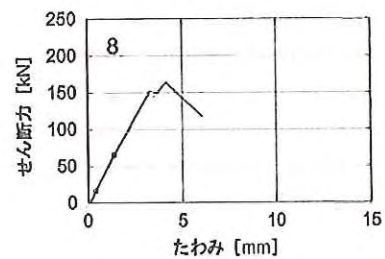
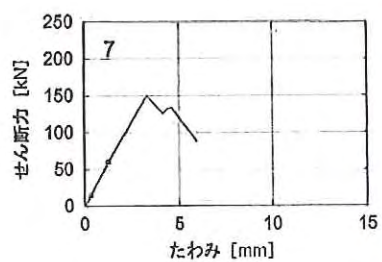
せん断実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)



せん断実験 (3 プライ木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)



せん断実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)

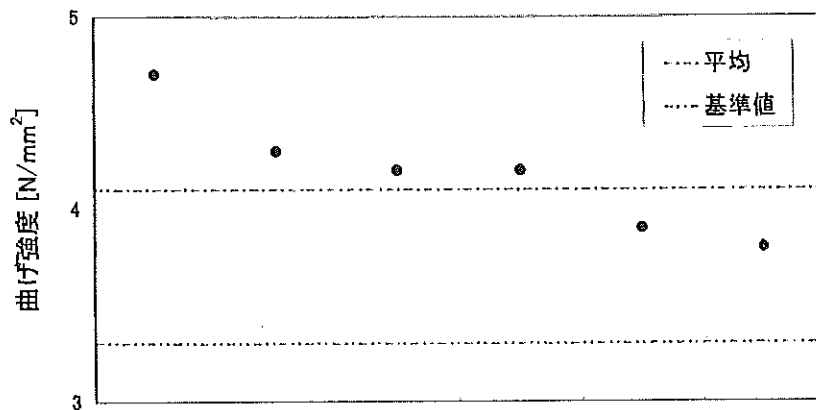


2.11 せん断実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね)

製品名	3プライ ラミネートログ (木表接着)						
継手	300mm						
形状	矩形 170mm×190mm						
等級	E70-E70-E70						
番号	最大荷重時				せん断剛性 GA [×10 ⁶ N]	せん断 弾性係数 G [N/mm ²]	破壊状況
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δmax [mm]	せん断力 Qmax [kN]	せん断強度 τmax [N/mm ²]			
1	169.6	5.2	84.8	4.2	17.41	594	①
2	168.7	4.5	84.3	4.2	15.68	535	①
3	151.6	5.4	75.8	3.8	17.30	590	①
4	188.9	5.4	94.4	4.7	17.93	612	①
5	154.7	3.7	77.3	3.9	15.88	542	①
6	172.1	4.7	86.0	4.3	17.07	583	①
平均	167.6	4.8	83.7	4.1	16.88	576	①: 加力部めり込みによる ひび割れ後、最外層 継手で曲げ破壊
標準偏差			6.70	0.31			
変動係数			0.080				
ばらつき係数 基準値			0.813 68.0				
基準材料強度 樹種:すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			2.1			
	JAS製材 機械等級区分 E70			1.8			
	無等級材			1.8			

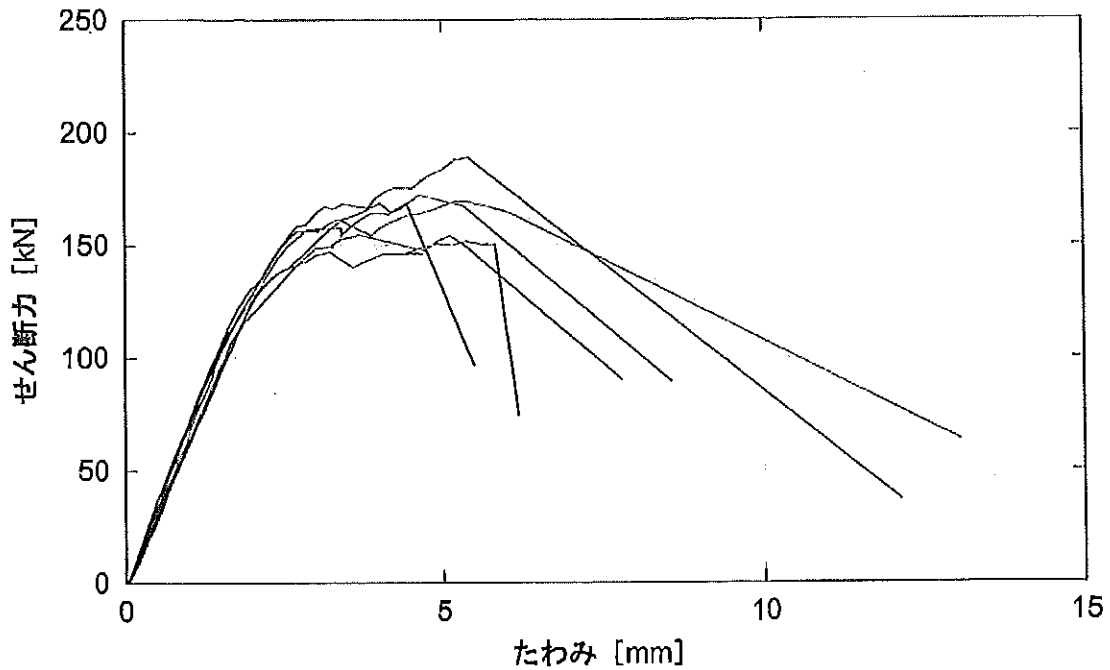
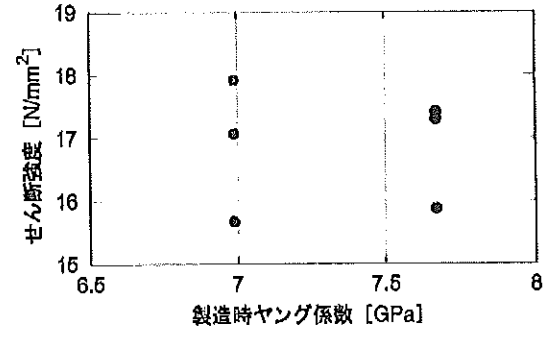
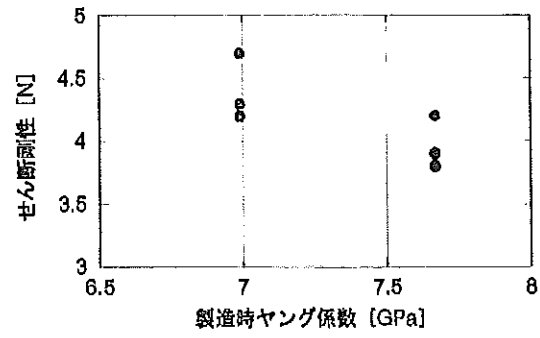
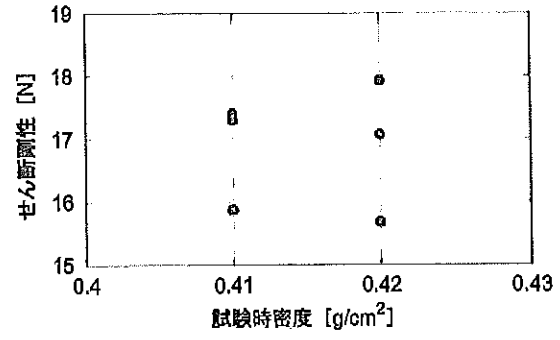
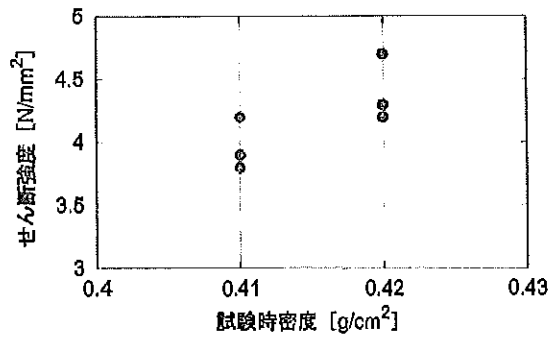
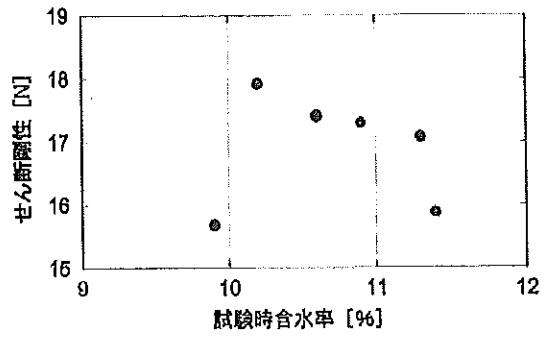
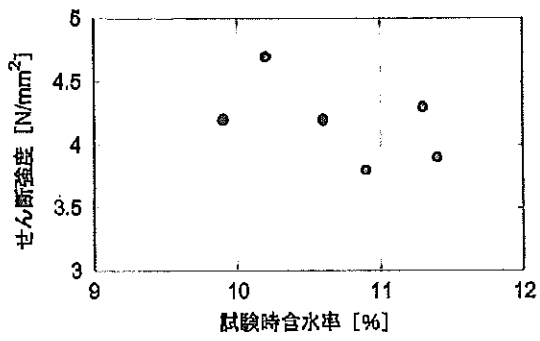
番号	試験時									製造時															
	密度 [g/cm ³]	含水率[%]								含水率[%]								ヤング係数[GPa]							
		1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均			
1	0.41	14.1	12.3	8.0	8.6	9.7	11.1	10.6	14.1	12.3	8.0	8.6	9.7	11.1	10.6	7.8	7.8	7.4	7.4	7.6	7.8	7.7			
2	0.42	11.8	10.8	9.2	8.9	9.4	9.1	9.9	11.8	10.8	9.2	8.9	9.4	9.1	9.9	7.7	7.7	6.0	6.0	7.2	7.2	7.0			
3	0.41	14.8	12.9	9.7	10.5	9.0	8.4	10.9	14.8	12.9	9.7	10.5	9.0	8.4	10.9	7.8	7.8	7.4	7.4	7.8	7.8	7.7			
4	0.42	10.0	10.6	11.3	11.1	9.0	8.9	10.2	10.0	10.6	11.3	11.1	9.0	8.9	10.2	7.7	7.7	6.0	6.0	7.2	7.2	7.0			
5	0.41	14.9	13.2	10.2	9.8	9.8	10.8	11.4	14.9	13.2	10.2	9.8	9.8	10.8	11.4	7.8	7.8	7.4	7.4	7.8	7.8	7.7			
6	0.42	11.0	10.2	10.6	10.4	12.4	13.4	11.3	11.0	10.2	10.6	10.4	12.4	13.4	11.3	7.7	7.7	6.0	6.0	7.2	7.2	7.0			
平均	0.42							10.7							10.7							7.3			

曲げ強度と破壊状況の関係

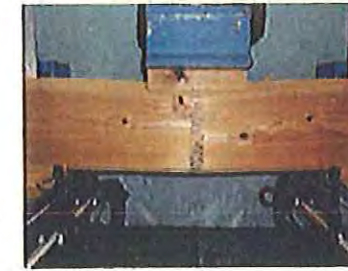
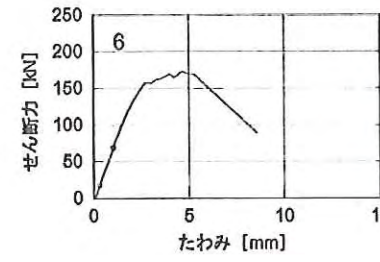
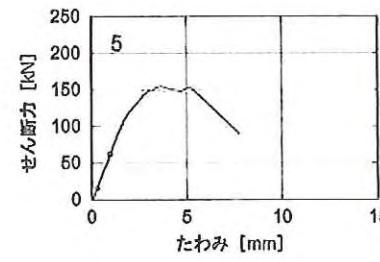
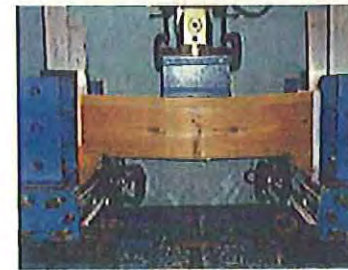
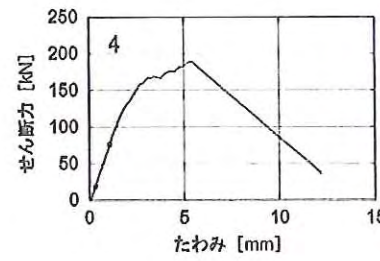
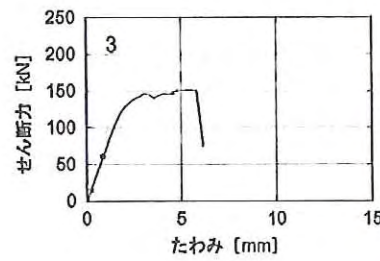
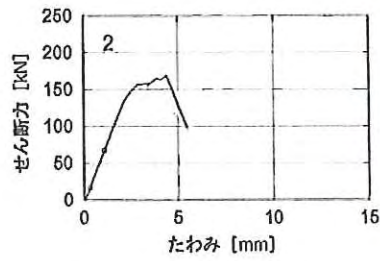
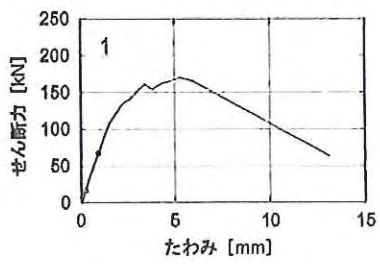


加力部めり込みによるひび割れ後、最外層継手で曲げ破壊

せん断実験 (3 プライ 木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね)



せん断実験 (3プライ木表接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね)

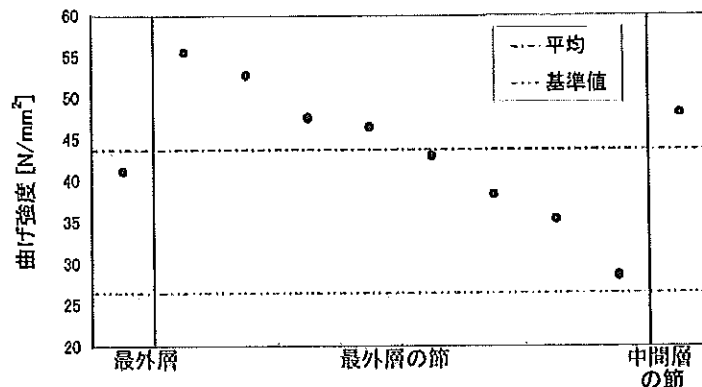


2.12 曲げ実験 (3 プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手なし 矩形断面)

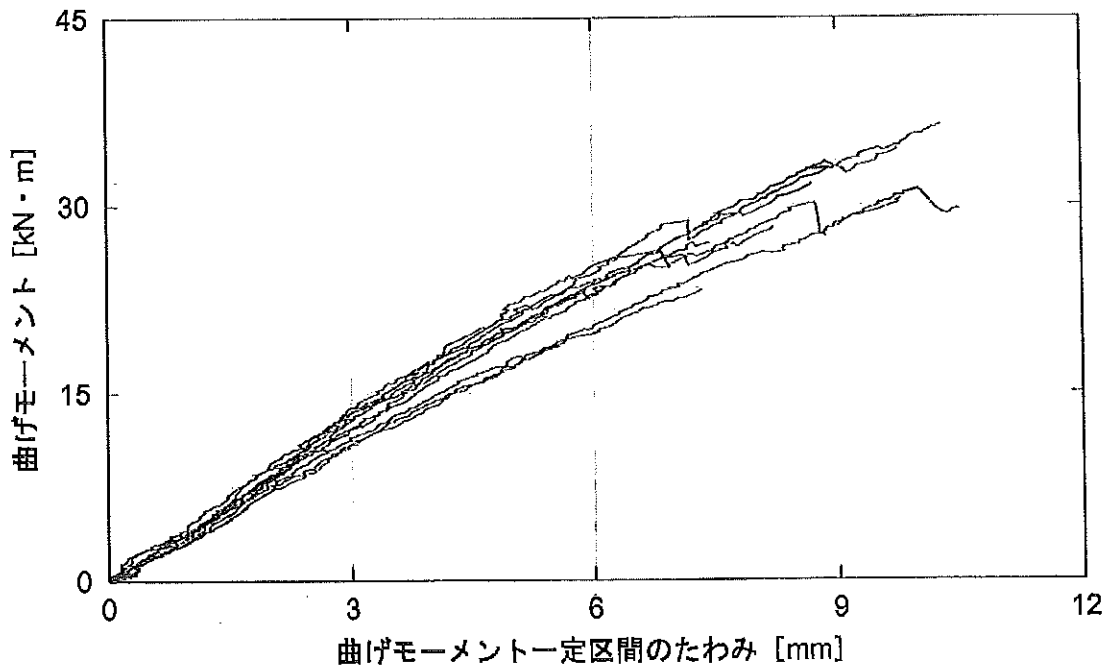
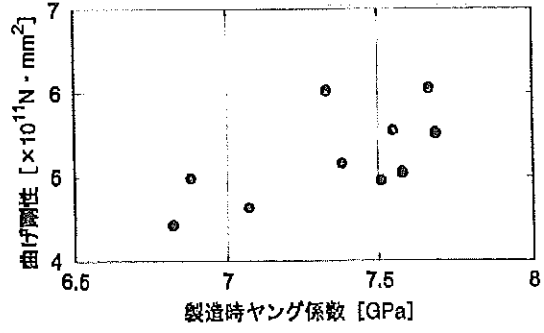
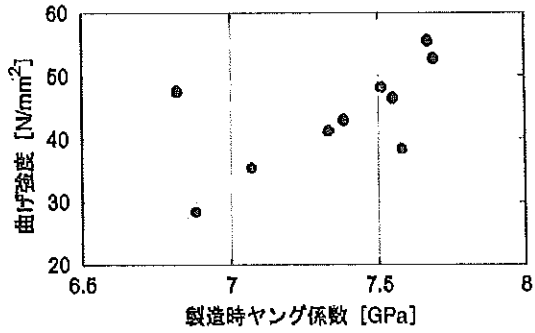
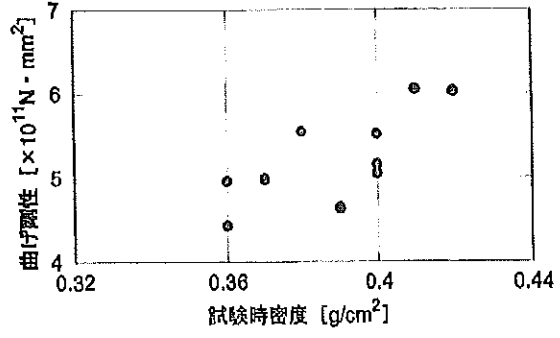
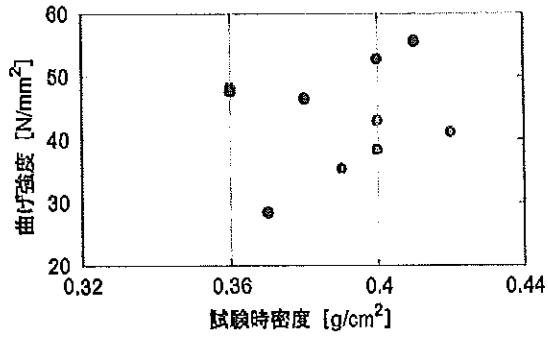
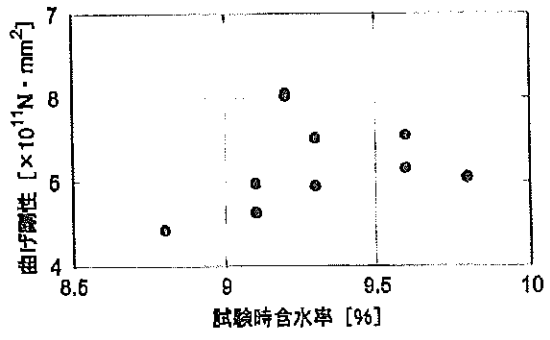
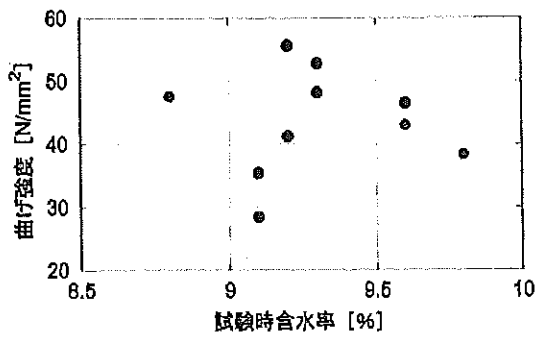
製品名	3プライ ラミネートログ (木裏接着)						
	継手	なし					
		形状	矩形 170mm×152mm				
等級	E70-E70-E70						
番号	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N \cdot mm 2]	曲げ ヤング係数 E [GPa]	破壊状況
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN \cdot m]	曲げ強度 σ max [N/mm 2]			
1	50.4	6.7	25.2	38.4	5.05	10.15	②
2	69.2	9.8	34.6	52.8	5.52	11.10	②
3	61.0	9.8	30.5	46.5	5.55	11.16	②
4	56.5	8.2	28.2	43.0	5.16	10.37	②
5	37.4	5.6	18.7	28.5	4.99	10.03	②
6	46.5	7.3	23.2	35.4	4.64	9.33	②
7	72.8	10.3	36.4	55.6	6.05	12.16	②
8	62.4	10.0	31.2	47.6	4.43	8.90	②
9	54.0	7.4	27.0	41.2	6.02	12.10	①
10	63.3	8.7	31.6	48.2	4.96	9.97	③
平均	57.3	8.3	28.6	43.7	5.24	10.53	①: 最外層で曲げ破壊 ②: 最外層の節で曲げ破壊 ③: 中間層の節で曲げ破壊
標準偏差			5.35	8.18			
変動係数			0.187				
ばらつき係数			0.606				
基準値			17.3	26.4			
基準材料強度 樹種:すぎ [N/mm 2]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5			
	JAS製材 機械等級区分 E70			29.4			
	無等級材			22.2			

番号	試験時					製造時							
	密度 [g/cm 3]	含水率[%]				含水率[%]				ヤング係数[GPa]			
		1	2	3	平均	1	2	3	平均	1	2	3	平均
1	0.40	10.2	9.8	9.3	9.8	8.8	7.7	7.6	8.0	7.2	7.7	7.8	7.6
2	0.40	9.8	9.5	8.7	9.3	7.9	7.6	7.0	7.5	7.7	7.8	7.6	7.7
3	0.38	9.8	9.7	9.2	9.6	7.6	7.7	8.6	8.0	7.5	7.6	7.6	7.6
4	0.40	10.0	9.2	9.5	9.6	7.7	8.6	8.2	8.2	6.7	7.7	7.8	7.4
5	0.37	9.3	9.0	8.8	9.0	7.6	7.7	7.6	7.6	6.7	7.7	6.3	6.9
6	0.39	9.5	9.0	8.7	9.1	7.9	7.7	7.7	7.8	7.6	7.2	6.4	7.1
7	0.41	9.2	9.7	8.7	9.2	7.7	7.9	7.6	7.7	7.5	7.7	7.8	7.7
8	0.36	9.3	9.2	8.0	8.8	7.7	8.1	7.6	7.8	7.7	6.7	6.1	6.8
9	0.42	9.2	9.5	8.8	9.2	7.8	7.8	8.6	8.1	6.7	7.7	7.6	7.3
10	0.36	9.8	9.5	8.7	9.3	8.3	7.7	7.6	7.9	7.3	7.5	7.8	7.5
平均	0.39				9.3				7.9				7.3

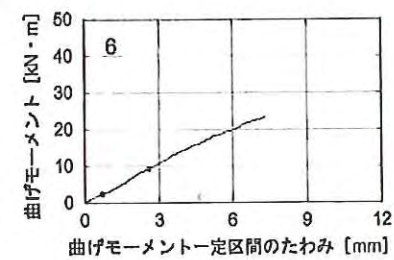
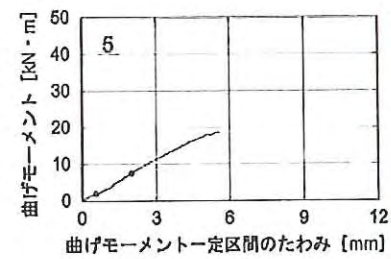
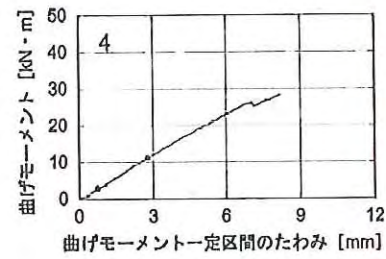
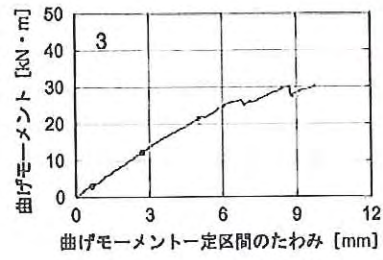
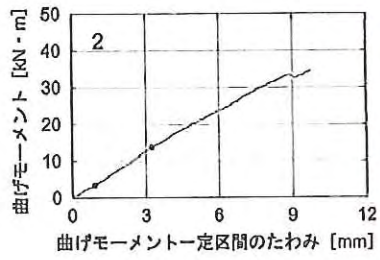
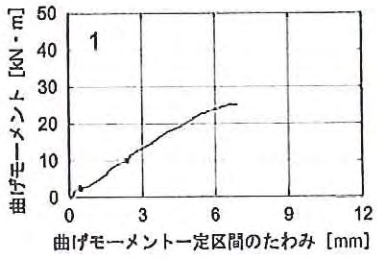
曲げ強度と破壊状況の関係



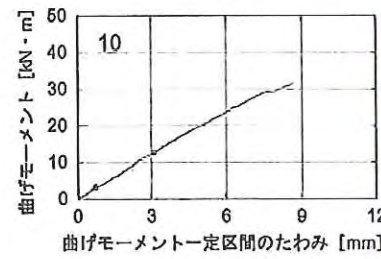
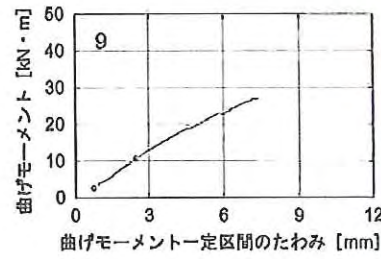
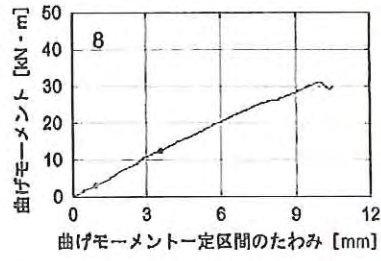
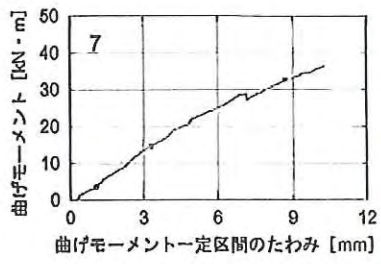
曲げ実験 (3プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手なし 矩形断面)



曲げ実験 (3 プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手なし 矩形断面)



曲げ実験 (3 プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手なし 矩形断面)



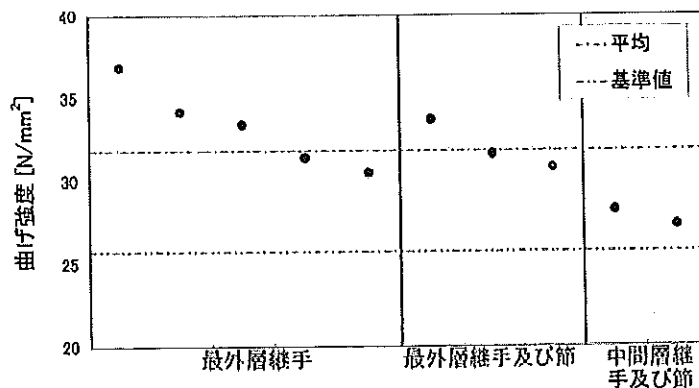
2.13 曲げ実験 (3 プライ 木裏接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)

製品名	3プライ ラミネートログ (木裏接着)								
	300mm								
	矩形 170mm×152mm								
形状	E70-E70-E70								
	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N \cdot mm 2]	曲げ ヤング係数 E [GPa]	破壊状況		
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN \cdot m]	曲げ強度 σ max [N/mm 2]					
1	44.2	7.4	22.1	33.7	5.16	10.37	①, ③		
2	43.9	5.5	21.9	33.4	5.90	11.86	①		
3	44.8	5.9	22.4	34.2	5.37	10.79	①		
4	37.1	5.1	18.5	28.2	5.71	11.48	②, ③		
5	48.4	6.7	24.2	36.9	5.32	10.69	①		
6	35.8	5.7	17.9	27.3	4.80	9.65	②, ③		
7	41.4	5.8	20.7	31.6	5.18	10.41	①, ③		
8	41.3	5.9	20.6	31.4	5.06	10.17	①		
9	40.0	5.6	20.0	30.5	5.26	10.57	①		
10	40.5	5.6	20.2	30.8	4.75	9.55	①, ③		
平均	41.7	5.9	20.8	31.8	5.25	10.55			
標準偏差			1.87	2.86					
変動係数			0.090						
ばらつき係数			0.810						
基準値			16.6	25.7					
基準材料強度 樹種:すき [N/mm 2]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5					
	JAS製材 機械等級区分 E70			29.4					
	無等級材			22.2					

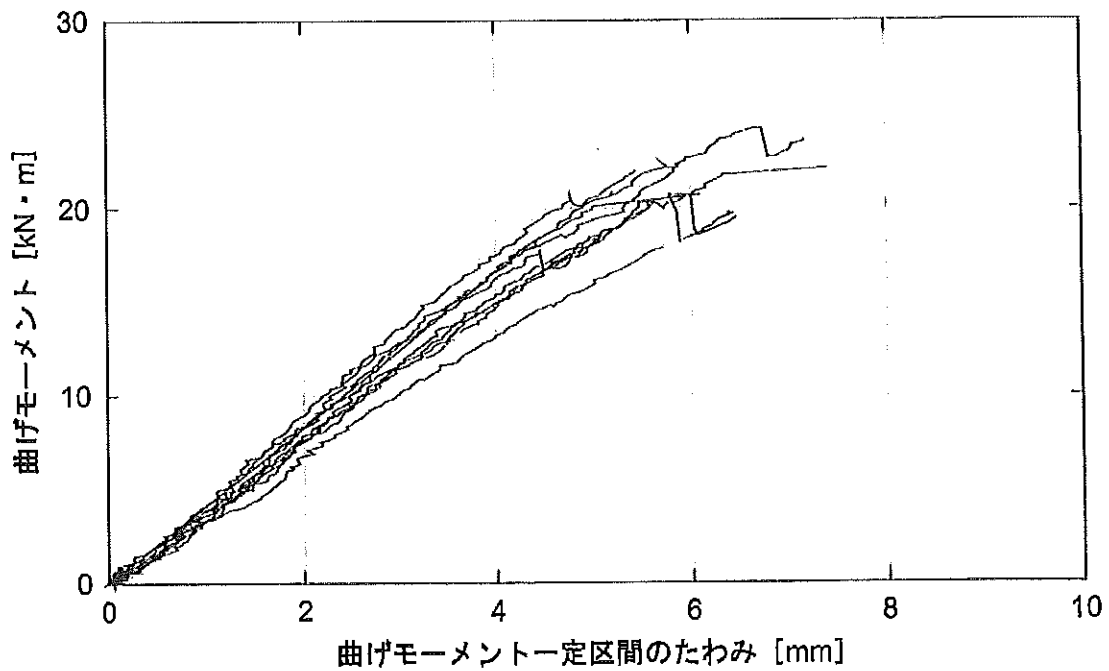
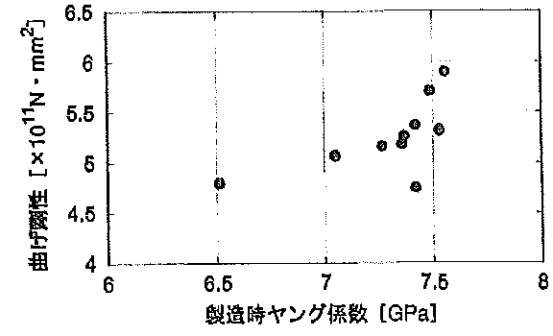
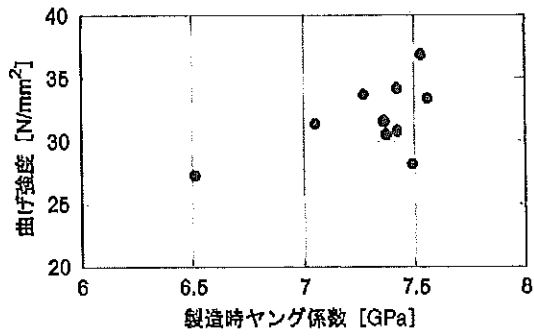
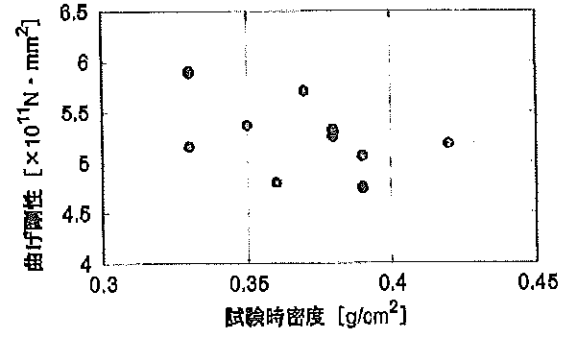
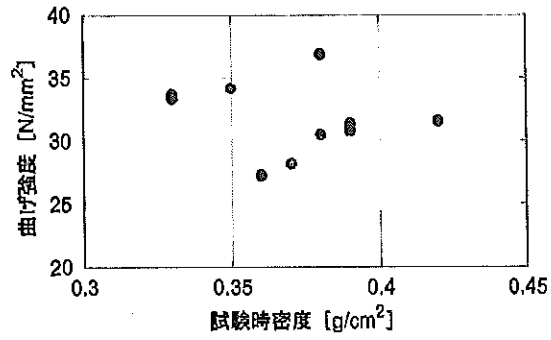
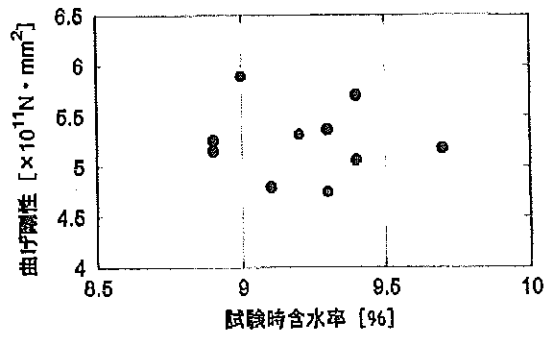
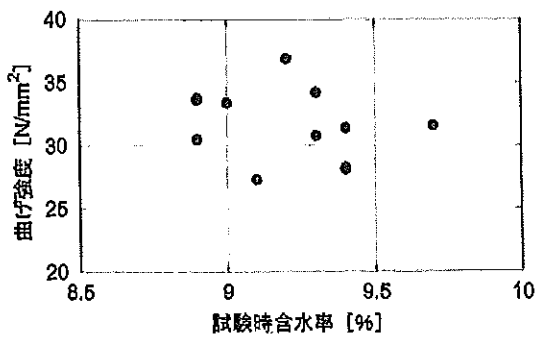
①: 最外層継手で破壊
②: 中間層継手で破壊
③: 節で曲げ破壊

番号	試験時								製造時															
	密度 [g/cm 3]	含水率[%]							含水率[%]								ヤング係数[GPa]							
		1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均		
1	0.33	8.8	9.3	9.0	9.0	8.6	8.7	8.9	7.8	7.8	8.5	8.5	7.6	7.6	8.0	6.7	6.7	7.4	7.4	7.7	7.7	7.3		
2	0.33	9.3	9.8	8.8	8.8	8.6	8.6	9.0	8.4	8.4	8.5	8.5	7.6	7.6	8.2	7.5	7.3	7.7	7.7	7.7	7.7	7.6		
3	0.35	9.3	9.8	9.5	9.8	8.8	9.0	9.4	7.7	7.7	9.0	9.0	8.3	8.3	8.3	7.5	7.5	7.3	7.3	7.5	7.5	7.4		
4	0.37	10.0	10.0	9.5	9.3	8.6	8.8	9.4	7.8	7.8	8.8	8.8	7.8	7.8	8.1	7.7	7.7	7.4	7.4	7.3	7.3	7.5		
5	0.38	9.5	9.5	9.3	9.5	8.8	8.5	9.2	7.7	7.7	9.6	9.6	7.8	7.8	8.4	7.8	7.6	7.6	7.6	7.3	7.3	7.5		
6	0.36	9.0	9.5	9.3	9.5	8.5	8.8	9.1	7.5	7.5	8.6	8.6	7.6	7.6	7.9	5.9	5.9	7.5	7.5	6.1	6.1	6.5		
7	0.42	10.0	11.0	10.3	9.5	9.0	8.5	9.7	8.2	8.2	10.0	10.0	7.8	7.8	8.9	7.7	7.7	7.1	7.1	7.3	7.3	7.4		
8	0.39	9.8	9.8	9.5	9.8	8.8	8.8	9.4	7.8	7.8	9.8	9.8	7.7	7.7	8.4	6.6	6.6	6.6	6.6	7.7	7.7	7.0		
9	0.38	9.3	9.0	9.0	9.6	8.8	8.5	8.9	7.5	7.5	8.8	8.8	7.7	7.7	8.0	7.3	7.3	7.6	7.6	7.3	7.3	7.4		
10	0.39	9.8	9.5	9.5	9.0	9.0	9.0	9.3	7.7	7.7	9.0	9.0	7.9	7.9	8.2	7.6	7.6	7.2	7.2	7.5	7.5	7.4		
平均	0.37							9.2							8.2							7.3		

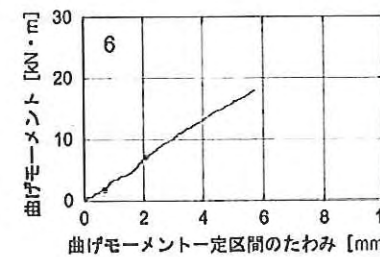
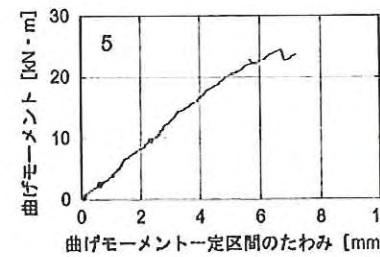
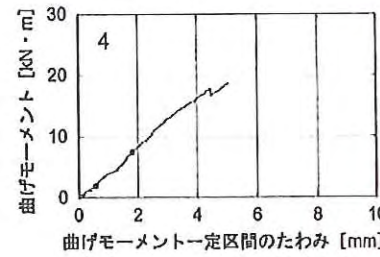
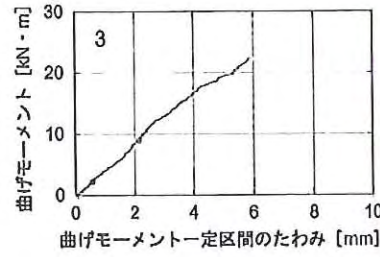
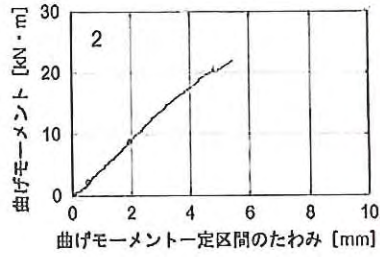
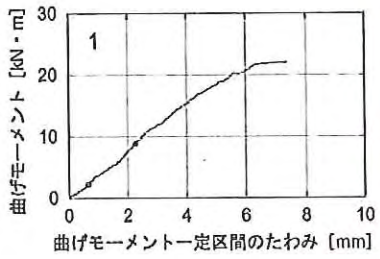
曲げ強度と破壊状況の関係



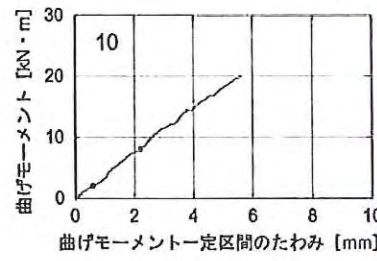
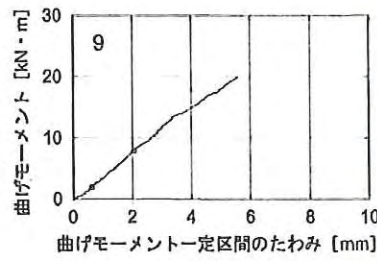
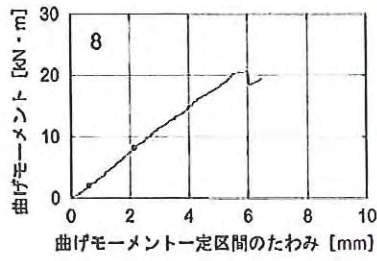
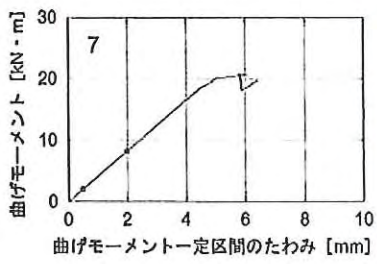
曲げ実験 (3 プライ 木裏接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)



曲げ実験 (3 プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)



曲げ実験 (3 プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手 300mm 矩形断面)



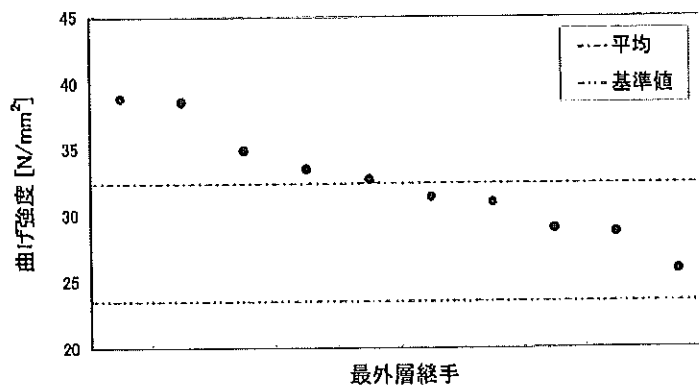
2.14 曲げ実験（3プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね）

製品名	3プライ ラミネートログ（木裏接着）						
	300mm						
継手形状	二枚ざね 170mm×190mm						
等級	E70-E70-E70						
番号	最大荷重時				曲げ剛性 EI [$\times 10^{11}$ N・mm ²]	曲げヤング係数 E [GPa]	破壊状況
	荷重 Pmax [kN]	たわみ δ max [mm]	曲げモーメント Mmax [kN・m]	曲げ強度 σ max [N/mm ²]			
1	58.7	4.7	29.3	38.6	8.35	11.34	①
2	43.6	*	21.8	28.7	7.64	10.37	①
3	50.8	*	25.4	33.5	8.58	11.65	①
4	59.0	5.5	29.5	38.9	9.08	12.33	①
5	49.7	*	24.8	32.7	8.34	11.32	①
6	39.5	3.8	19.7	25.9	7.52	10.21	①
7	44.1	4.3	22.0	29.0	6.83	9.27	①
8	47.6	3.9	23.8	31.4	8.77	11.91	①
9	47.0	*	23.5	31.0	8.22	11.16	①
10	53.1	5.1	26.5	34.9	7.85	10.66	①
平均	49.3	4.6	24.6	32.4	8.12	11.02	①：最外層継手で曲げ破壊
標準偏差			3.17	4.19			
変動係数			0.129				
ばらつき係数			0.728				
基準値			17.9	23.6			
標準材料強度 樹種：すぎ [N/mm ²]	JAS同一等級構成集成材 E65-F225			22.5			
	JAS製材 機械等級区分 E70			29.4			
	無等級材			22.2			

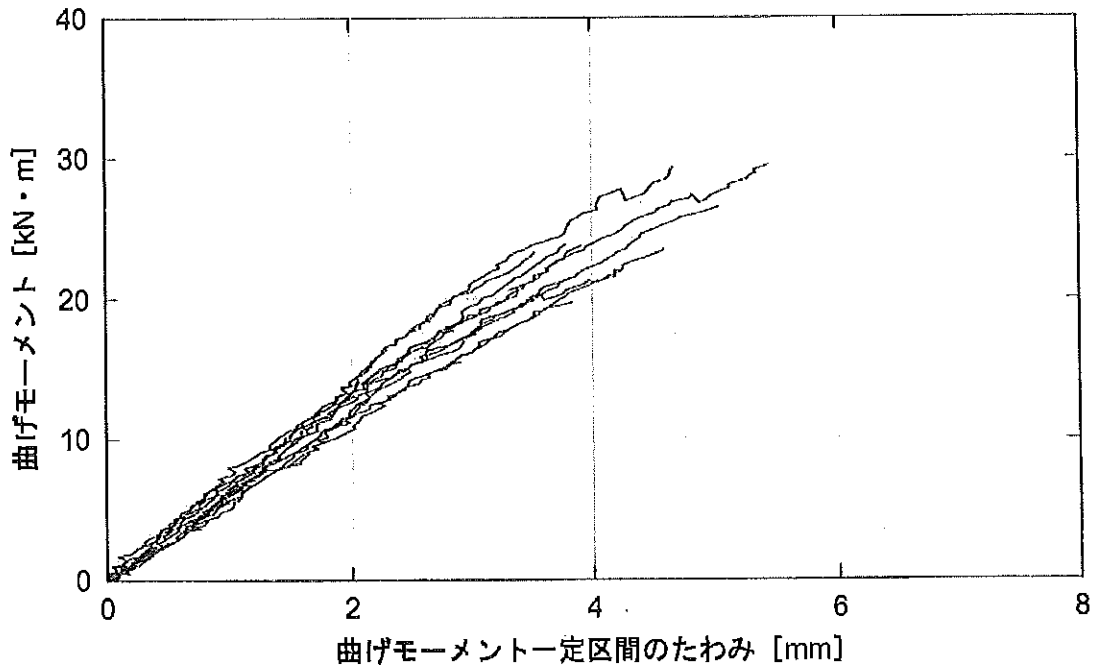
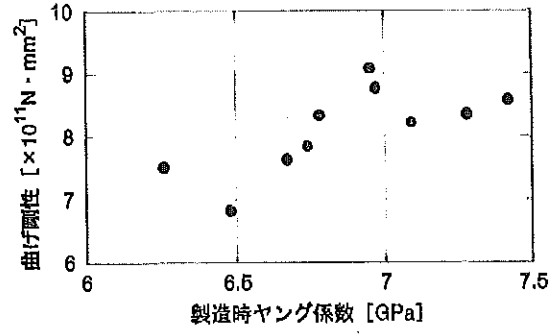
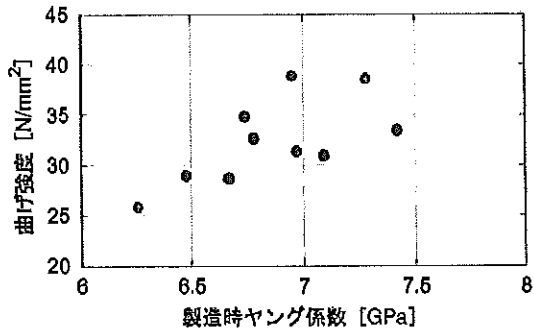
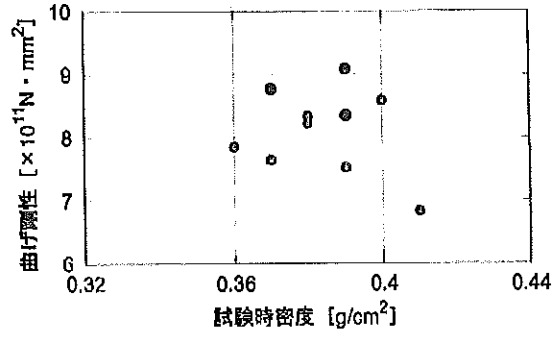
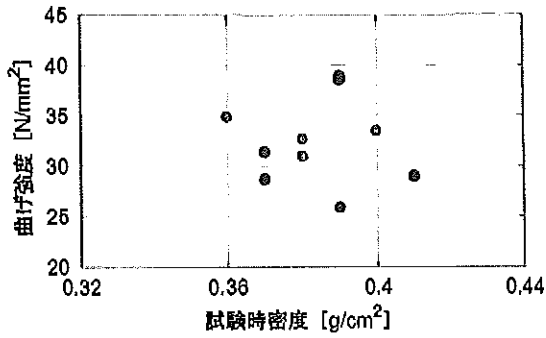
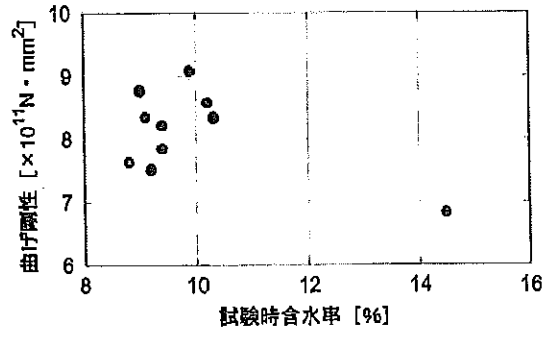
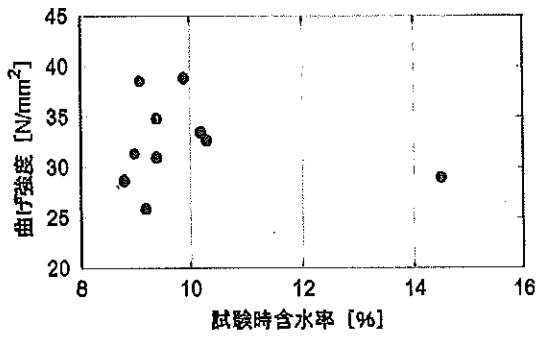
表中の「*」は、ゲージアウトにより測定できなかったことを示し、平均の計算からは除外している。

番号	密度 [g/cm ³]	試験時							製造時													
		含水率[%]							含水率[%]							ヤング係数[GPa]						
		1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均	1	2	3	4	5	6	平均
1	0.39	9.0	9.0	9.5	9.3	9.0	9.0	9.1	7.8	7.8	7.9	7.9	7.7	7.7	7.8	7.5	7.5	6.8	6.8	7.5	7.5	7.3
2	0.37	8.6	8.5	9.3	9.3	8.8	8.8	8.9	7.6	7.6	7.8	7.8	7.7	7.7	7.7	6.3	6.3	7.4	7.4	6.3	6.3	6.7
3	0.40	9.8	9.6	11.0	10.5	10.0	10.5	10.2	7.7	7.7	8.2	8.2	8.1	8.1	8.0	6.9	6.9	7.6	7.6	7.8	7.8	7.4
4	0.39	9.5	9.5	10.0	10.0	10.0	10.5	9.9	7.7	7.7	7.7	7.7	7.8	7.8	7.7	7.4	7.4	6.7	6.7	6.7	6.7	7.0
5	0.38	10.3	10.3	10.5	10.8	10.0	9.8	10.3	7.9	7.9	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7	6.5	6.5	6.6	6.6	7.3	7.3	6.8
6	0.39	9.0	9.0	9.0	9.0	9.3	9.8	9.2	7.7	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	6.0	6.0	6.7	6.7	6.0	6.0	6.3
7	0.41	9.5	9.3	13.5	10.8	17.0	27.0	14.5	7.7	7.7	8.9	8.9	9.8	9.8	8.8	6.9	6.9	6.4	6.4	6.2	6.2	6.5
8	0.37	9.0	9.3	9.3	9.3	8.5	8.5	9.0	7.7	7.7	7.9	7.9	7.7	7.7	7.8	6.7	6.7	7.7	7.7	6.5	6.5	7.0
9	0.38	9.3	10.0	9.8	10.0	8.8	8.5	9.4	8.2	8.2	7.8	7.8	7.6	7.6	7.9	6.9	6.9	7.8	7.8	6.6	6.6	7.1
10	0.36	8.8	8.8	9.8	10.0	9.0	10.0	9.4	7.6	7.6	8.1	8.1	8.1	8.1	7.9	6.4	6.4	6.9	6.9	7.0	7.0	6.7
平均	0.38							10.0							7.9							6.9

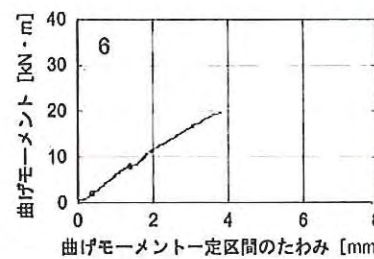
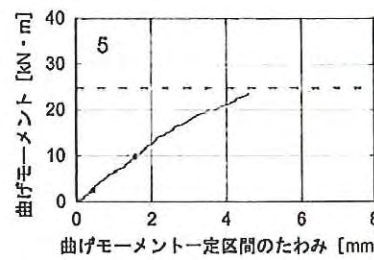
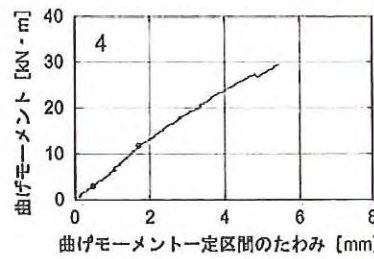
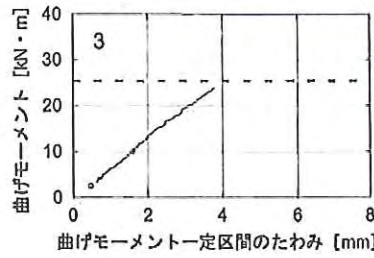
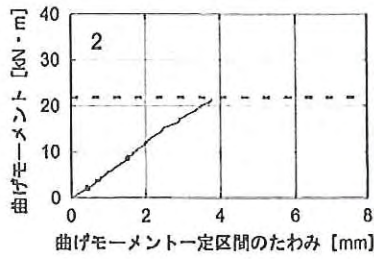
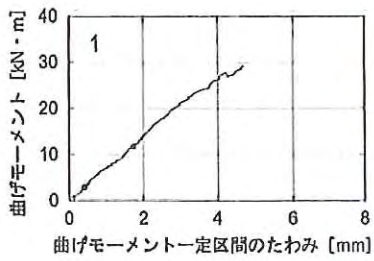
曲げ強度と破壊状況の関係



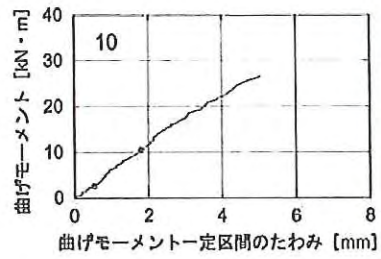
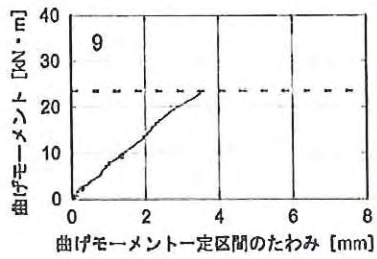
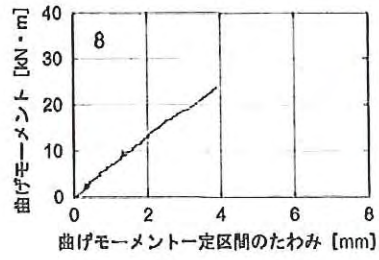
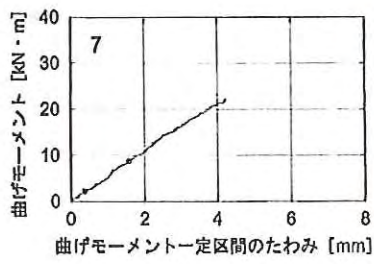
曲げ実験 (3 プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね)



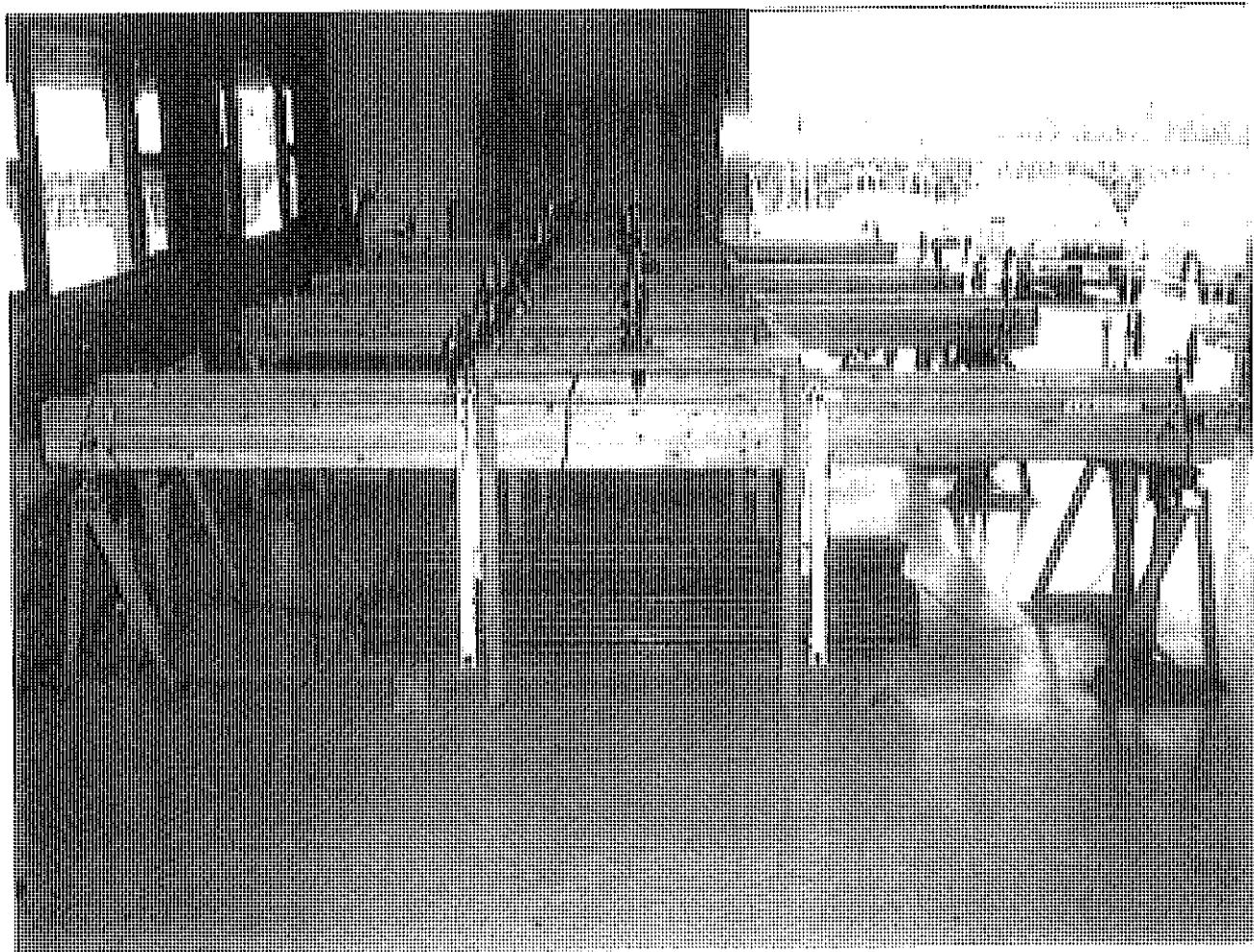
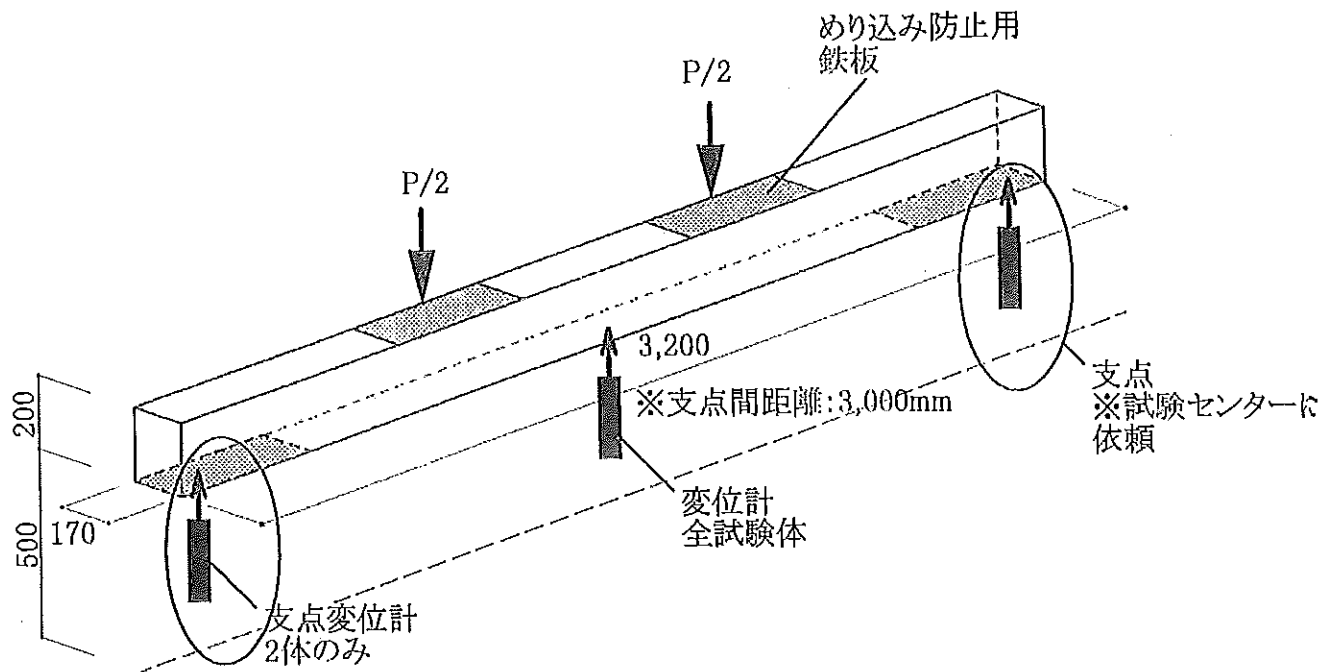
曲げ実験 (3 プライ木裏接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね)



曲げ実験 (3 プライ 木裏接着 E70-E70-E70 継手 300mm 二枚ざね)



3 ラミネートログのDOL及びクリープ試験概要



【積載荷重P】

Fbの平均値=32N/mm²

L=3m、2点加力の場合

Pmax=42kN

短期相当荷重=30.8kN(鉄板(73cm)³)

長期相当荷重=15.4kN(鉄板(58cm)³)

L=4.5m、2点加力の場合

Pmax=28kN

短期相当荷重=20.5kN(鉄板(64cm)³)

長期相当荷重=10.3kN(鉄板(51cm)³)

l=4.5m、1点加力の場合

Pmax=18.6kN

短期相当荷重=13.6kN(鉄板(59cm)³)

長期相当荷重=6.8kN(鉄板(44cm)³)

※試験体は、試験前に指定寸法に切断し、木口面を防水剤を塗布する。切れ端からもテストピースを採取し、同様に処理する。

※試験場のクレーンの最大荷重は2.8t

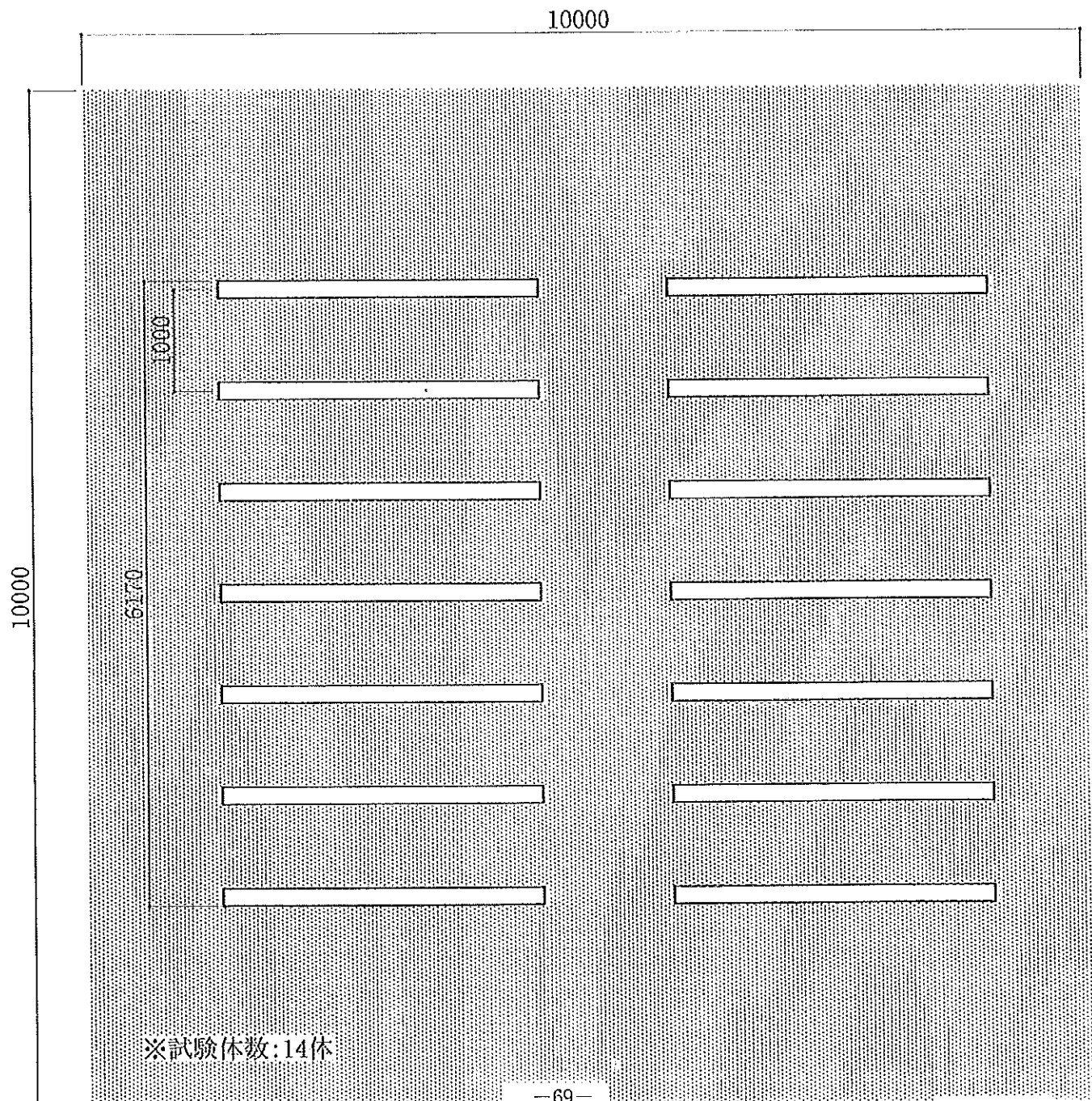
※計測は、積載前から計測し、積載時は荷重ごとに計測し、全て積載後までリアルタイム計測とする。

※積載は、2分割加力を同時に行う。

※1体目から最終の試験体まで、なるべく時間を空けないこと。

※支持点および加力点にはめり込み防止版を設置。

※温度、湿度、可能なら含水率も計測する。



クリープ試験必要なもの

	型番	数
2出力変位計	GDP-100-D	1
高感度変位計	SDP-100CT	17
温度計		1
湿度計		1
含水率計		14
データロガー	TDS-630	1
錘	12kN(1.2ton)	14
クレーン取付重量計		1
支点		28

4 総括

① 曲げ性能について

- ・ 曲げ強度の基準値は、E70-E70-E70 のラミナ構成のタイプは、目標とする無等級材 (22.2N/mm^2) に対して、木表接着は、矩形継手なし 24.9N/mm^2 、矩形継手 300mm 27.4N/mm^2 、矩形継手 400mm 18.59N/mm^2 、2枚ぎね継手 300mm 32.09N/mm^2 となった。木裏接着は、矩形継手なし 26.4N/mm^2 、矩形継手 300mm 25.7N/mm^2 、2枚ぎね継手 300mm 23.5N/mm^2 となった。継手 400mm については、1体の節による破壊が影響し、ばらつきが大きく、基準値が下回る結果となったが、品質管理によって防ぐ可能性があると考えられる。
- ・ 破壊性状と曲げ強度について、継手なしでは 9割は節によって決定するため、曲げ強度も材に品質によるところが大きく、結果、平均値は高くてもばらつきによる低減によって基準値が下がる結果となった。
- ・ 継手ありでは、破壊は継手によって決定するため、ばらつきは継手なしよりは小さいが、中間層の継手の近傍に最外層の節があると、影響を受け耐力が落ちる場合が見られた。品質管理によって防ぐ可能性があり、全て最外層のラミナの継手で破壊が決まるようコントロールすることにより、ばらつきが小さくなると考えられる。
- ・ 木表接着の方が、表に見える節が多いが、木裏接着でも、採取した材によっては枝打ち時期により表に見える節が多く、結果、曲げ強度に大きな差が見られなかった。

② せん断性能について

- ・ せん断強度の基準値は、目標とする無等級材 (1.8n/mm^2) に対して、矩形の継手なしは 4.0N/mm^2 、矩形の継手 300mm は 4.1N/mm^2 、二枚ぎねの継手 300mm は 3.3N/mm^2 となった。
- ・ 破壊性状は、矩形の継手なしの場合せん断破壊、矩形の継手 300mm の場合最外層の継手破壊、二枚ぎねの継手 300mm の場合加力部のめり込み進展後、最外層の継手破壊となった。
- ・ せん断試験では、 $0.803\sim 0.913$ と、曲げ試験 $0.581\sim 0.887$ に比べて高いが、これは曲げ試験の試験体長さが $3,200\text{mm}$ に対し、せん断試験の試験体長さが $1,000\text{mm}$ であるため、例えば 4m の原木から採取できる試験体数が異なることによる、すなわちせん断試験の試験体では同じ原木から採取している試験体があることによると考えられる。

③ クリープ試験について

- ・ 木材の変形性能は含水率によって影響を受けるため、試験期間は梅雨と夏場を経験した約 1年とする。
- ・ 試験場所として提供して頂くのは栃木県林業センターである。
- ・ 試験体は、曲げ試験の結果より、木表と木裏に差異が見られないことから、各々 7体実施する。
- ・ 曲げ試験と同じ指示スパン 3m とすると、積載すべき錘が大きく試験が困難である。また、せん

断やゆり込みの影響を小さくする効果も期待できるため、支持スパンは 4.5m とする。

- ・ 試験の実施は 5 月中旬頃を予定し、その間、試行を実施する。

5 今後の展望

- ・ クリープ試験の結果を取得できれば、今後、継手ありのラミネートログの大臣認定取得へ前進するとともに、元々、クリープ試験の研究報告が少ない中で、試験方法やデータの取得方法など非常に貴重なデータとなることが期待される。
- ・ 今後、3 プライのラミネートログの大臣認定が取得されれば、ログハウスの設計自由度も広がり、3 階建てや公共事業でログハウスの建設が可能になる。ログハウスは木材の材積が大きいことから国産材の有効消費に貢献すると期待される。
- ・ 3 プライのラミネートログの構造性能を向上させるには、材の品質管理が重要であり、今後、大臣認定を取得する(工場認定)ことにより、高品質の材を提供することが可能になる。

II 部 ラミネートログ温熱性能試験の実施

1 調査・研究目的

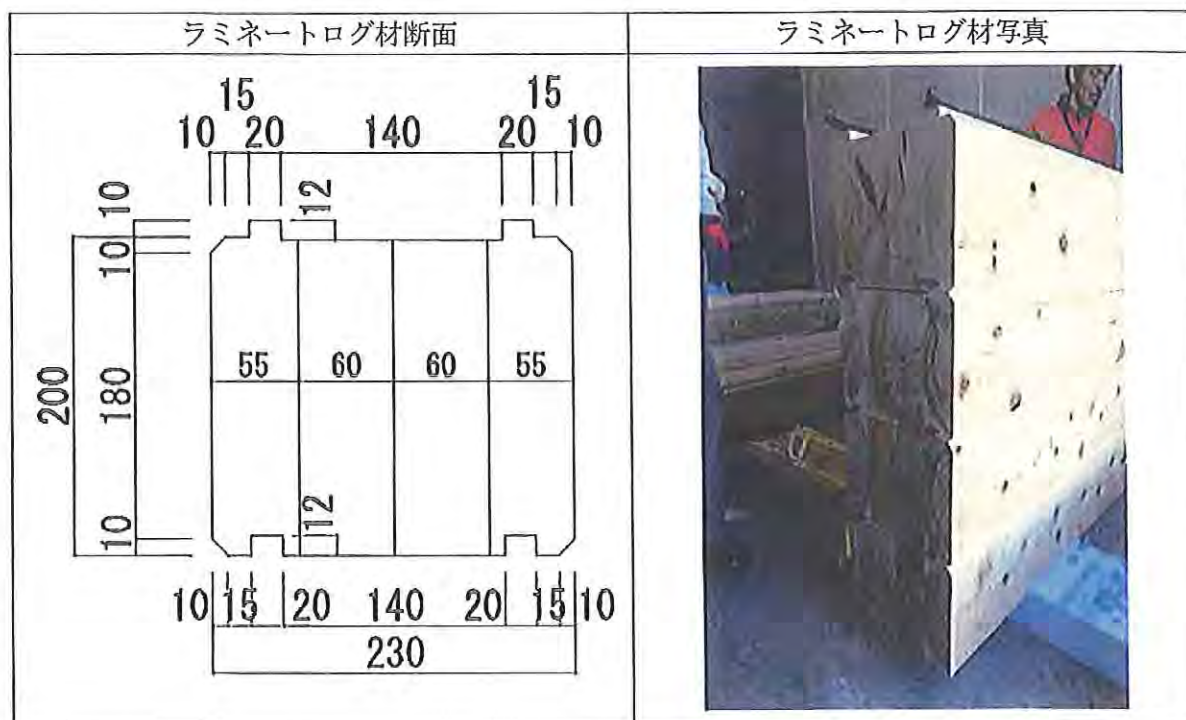
2020年に予定されている省エネ基準義務化への対応に必要なラミネートログの有する断熱性能、調湿性能、結露実体機能等を明らかにして省エネ対応への道筋を示すものとする。

2 ラミネートログ材について

丸太組み構法は、木材を積み上げて外壁とする構法であり、その壁体に断熱材を用いない。ただし、木材自体がある程度の断熱性能を持つため、壁厚を大きくすると断熱性能を高める事が出来る。したがって、省エネ基準への対応方法として従来よりも壁厚を大きくする事も一つである。

ただし、このような大断面の天然木材は生産性が低くコスト増となる事や、材の性能が安定しない等の問題もある。そのため、大断面ログ材として、ラミナーを接着し大断面材としたラミネートログ材の利用が大いに期待される。

従来も単一の接着層を持つログ材は一般的に使用されているが、新たな試みであるラミネートログ材は、複数の接着層を持ち、その材寸も大きく異なる事から、基本的なデータの検証を行う事が重要である。



3 試験概要

温熱環境上住宅の壁体に求められる主要な性能は、熱貫流性能（熱貫流率）と内部結露防止性能（湿気伝導）であり、熱貫流性能は、省エネルギー性能に、内部結露防止性能は、耐久性に深い係わりを持つ。

ラミネートログ材の接着剤を構成する樹脂はレゾシノール系または、イソシアネート系が主流である。一般的な樹脂素材の熱伝導率は、0.1~0.3 前後（プラスチック素材辞典より）と木材と大差ない事が多く、また接着剤の層がせいぜい 0.5 mm 以下程度であることから、熱貫流率への影響は極めて小さいと確認されており、従来測定等が行われていない。

一方湿気伝導に関しては、木材と接着剤層の性質が大きく異なるのであるが、その接着剤層自体の厚さは先に述べたように非常に薄いことや、木材自体の吸放湿性もあることなどもあるため

か、従来のログ材では実害の報告がなかったため、これまで実測等による確認がされていない。

また、ログ材の積み上げには、サネ、ホゾにより接合されこの接合部にはパッキンを施工し気密性が高められているが、施工不良が発生する可能性もあり、防露上の弱点となりやすい。

これらの性能を把握するために、杉材及び、接着剤層を持つ材の熱伝導率や透湿率を測定し比較することで、接着剤層の影響を確認する事と、ラミネートログ材を積み上げて壁体とした場合の影響を調べる第一歩として、現在一般的なログ壁の場合や、ログ材の積み上げ面のサネ、ホゾ部のパッキンの施工不良の影響を調べるため、以下の試験を実施する。

●実施試験一覧

試験番号	試験名称	試験内容
試験①	熱伝導率測定試験	スギ材自体の熱伝導率と、接着層を持つ材（接着剤二種類）の熱伝導率を測定し、接着層の影響を評価する。
試験②	透湿率測定試験	スギ材自体の透湿率と、接着層を持つ材（接着剤二種類）の透湿率を測定し、接着層の影響を評価し、接着層のみの透湿抵抗を評価する。
試験③	ラミネートログ壁体熱貫流率測定試験	ラミネートログによる壁体を作成し壁体としての熱貫流率を評価する。
試験④	ラミネートログ壁体結露試験	熱貫流率測定と同一試験体によりラミネートログによる壁体の内部結露の発生の有無を調査する。 また施工状態の良し悪しが大きな影響を与えると考えられるため、この影響についても評価する。使用接着剤は、透湿抵抗が大きいと予測されるイソシアネート系による。

○ラミナー接合用接着剤

イソシアネート系（アイカ）

主：AU-8500L：AUH-8

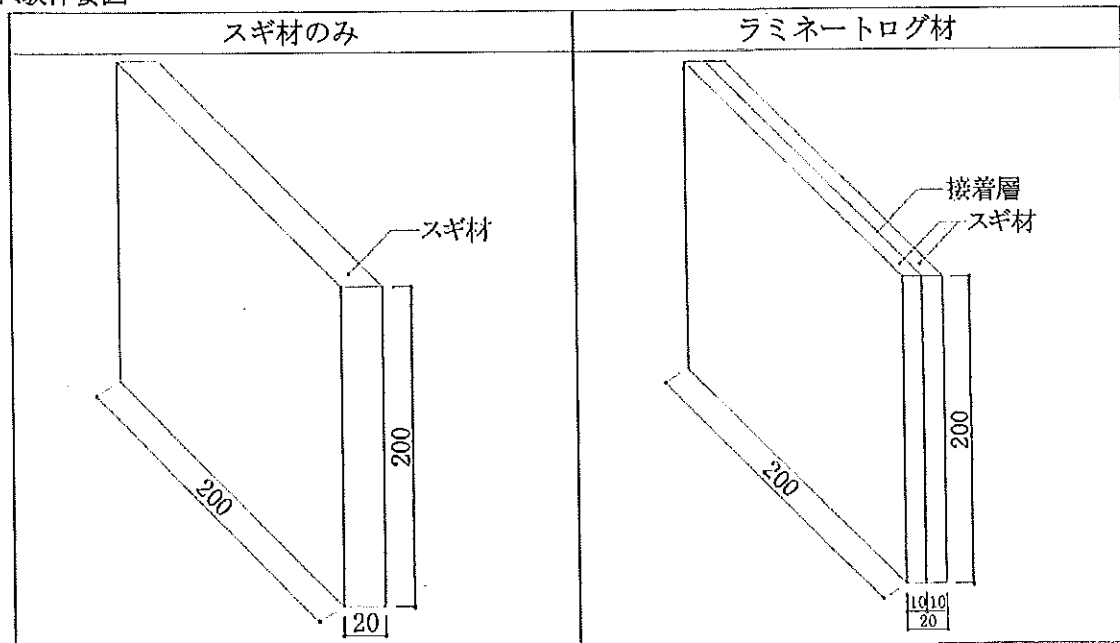
レゾルシノール系（オーシカ）

主：ディアノール D-300：D用硬化剤 30M

4 試験①：熱伝導率の測定

大径ラミネートログ材の素材となる杉材の熱伝導率を JIS A 1412-2 熱流計法 (HFM 法) により測定する。これにより接着層の影響が小さいことを確認した。

試験体姿図



表：熱伝導率の測定結果

番号	材	熱伝導率
No.1	スギ材	0.0847
No.2	ラミネート材(水性高分子・イソシアネート系 接着剤)	0.0910
No.3	ラミネート材(レゾルシノール系接着剤)	0.0857
-	測定結果の最大値(No.2)-最小値(No.1)	0.0063
-	測定結果の平均値	0.0871
参考 1	省エネルギー基準解説書(天然木材 1種ヒノキスギ等)*1	0.1200
参考 2	建築設計資料集成(単位換算値)*2	0.0970
参考 3	日本建築学会東海支部研究報告書*3	0.1050
	文献最大(参考 1)-文献最小(参考 2)	0.0230
	文献平均	0.1073

*表中の熱伝導率[W/(m·K)]の測定以外の値は有効数値を無視し桁を合わせて表示している。

この様に、文献調査によってもその値のばらつきは、0.023 とかなり大きい事が言える。また、参考文献 1 より木材の熱伝導率は木取りによってもかなりの差異を生じることが明らかになっている。それらを踏まえて、今回の測定結果を見ると、そのばらつきは、0.0063 とかなり小さく接着層の影響はほぼ無いと判断してよいと思われる。

出典等

*1:住宅の省エネルギー基準の解説第 3 版第 7 刷 財団法人 建築環境・省エネルギー機構

*2: 田中俊六他(2004/5/10) 最新建築環境工学[改訂 2 版] 第 6 刷 株式会社井上書院

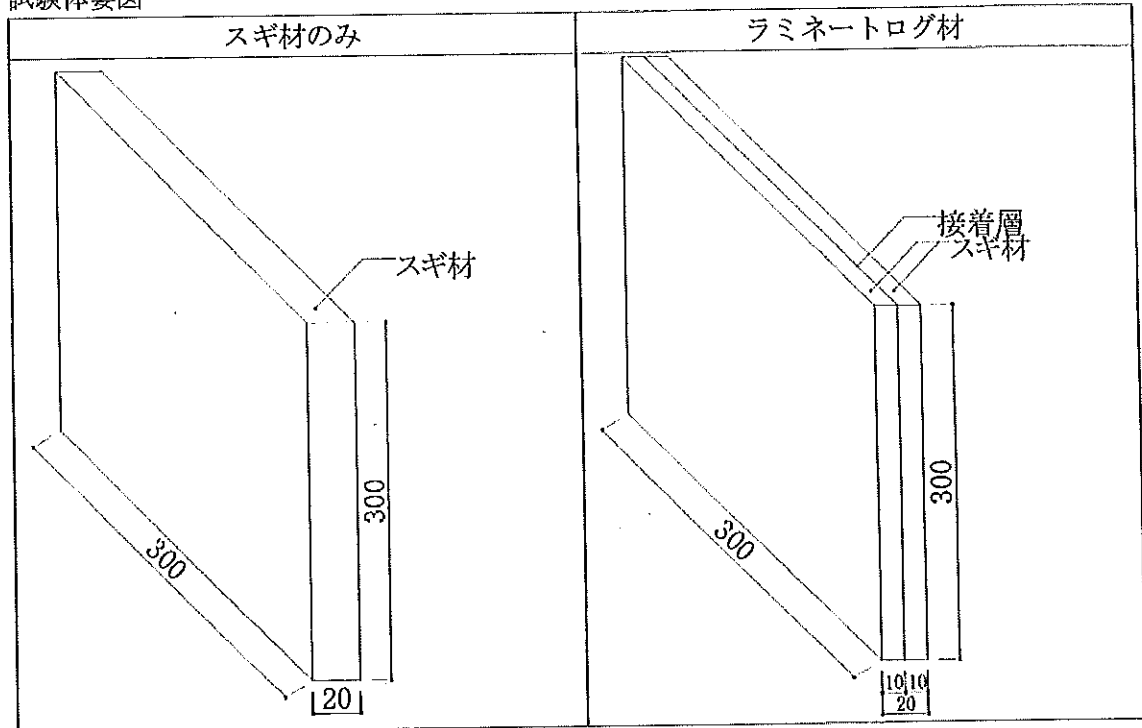
*3:宮野秋彦他(2007/02)日本建築学会東海支部研究報告書第 45 号

参考文献 1: 宮野則彦他「板状木材の木取りと熱伝導特性の関係 第 2 報」第 35 回日本熱物性学会シンポジウム講演論文

5 試験②：透湿率の測定

JIS A 1324 (カップ法) により杉材のみの場合とラミネートされた材の比較により接着材層の影響を測定した。

試験体姿図



●結果

表：透湿係数測定結果

番号	材	透湿係数 W_p [ng/(m ² ·s·Pa)]			
		1	2	3	平均
No. 1	スギ材	81.3	84.7	29.2	65.1
No. 2	ラミネート材 (水性高分子・イソシアネート系接着剤)	30.6	27.8	30.3	29.6
No. 3	ラミネート材 (レゾルシノール系接着剤)	38.3	40.5	42.6	40.5

表：透湿率測定結果

番号	材	透湿率 μ [ng/(m ² ·s·Pa)]			
		1	2	3	平均
No. 1	スギ材	1.62	1.68	0.590	1.30
No. 2	ラミネート材 (水性高分子・イソシアネート系接着剤)	0.624	0.567	0.618	0.603
No. 3	ラミネート材 (レゾルシノール系接着剤)	0.781	0.826	0.869	0.825

表：透湿抵抗測定結果

番号	材	透湿抵抗 Z_p [$\times 10^{-3}$ (m ² ·s·Pa)/ng]			
		1	2	3	平均
No. 1	スギ材	12.3	11.8	34.2	19.4
No. 2	ラミネート材 (水性高分子・イソシアネート系接着剤)	32.7	36.0	33.0	33.9
No. 3	ラミネート材 (レゾルシノール系接着剤)	26.1	24.7	23.5	24.8

表：接着層の透湿抵抗算定結果

番号	材	透湿抵抗 Z_p [$\times 10^{-3}$ (m ² ·s·Pa)/ng]			
		1	2	3	平均
1	水性高分子・イソシアネート系 接着剤	17.0	20.3	17.3	18.2
2	レゾルシノール系接着剤	10.4	9.0	7.8	9.1

この様に、イソシアネート系接着層において 20 mmのスギ材とほぼ同じ透湿抵抗でありレゾシノール系接着材による接着層でも、約 1/2 の透湿抵抗となり、かなり大きな値と言えるが、ラミネートログ材自体が相当な厚さを持つため、全体としての影響は、比較的小さくなる事も考えられる。

そこで、これらの測定した値により定常一次元計算により内部結露の状況を計算した。また、パッキンの施工の良否についても同様に計算した。

●内部結露発生外気温の算定

省エネガイドライン*において、躯体内部の結露の検討条件として以下が示されている。

(繊維系断熱材を用いる場合のみでかつ防湿層または通気層がない場合に判定が必要)

(2) 内部結露に関する計算方法

(a)定常計算の場合 (一次元断面壁体に限る。)

①室内、外気条件

	温度	相対湿度
室内	10℃	70%
外気	建設地の最寒月の平均気温 [℃] *1	70%

*1：拡張メダス気象データを基に作成された表7.3.2.6拡張メダス地点の外気温一覧表による。

なお、地域区分全域を対象とする場合は、表7.3.2-2の温度条件とする。

表7.3.2-2 最寒月の平均気温が最も低い地点と温度

地域区分	I	II	III	IV	V	VI
地点	陸別	好摩	限粘	大野	高知	奥
温度 [℃]	-11.6	-3.6	-1.5	0.9	6.0	14.1

推定した接着層を持つラミネートログ材について上記の室内温湿度条件及び外気湿度条件とした場合の内部結露発生する外気温を算定した。

使用プログラム=株式会社サードアイ製 DewCheckerV5 (飽和水蒸気圧の算定には、SONNTAGの式を採用)

スギ材の熱伝導率は、今回測定結果中の最大値を用いた。

表：内部結露発生外気温算定結果一覧

番号	ケース	外気温
1	イソシアネート系 接着剤	-8.944
2	レゾルシノール系接着剤	-9.828
3	スギ無垢材	-10.967
4	サネ部パッキン施工欠陥無	-6.010
5	サネ部室内側パッキン施工欠陥有	5.860

上記の様に、ラミネートログ材内部においては、いずれの接着剤を用いた場合であっても、II地域の内部結露計算条件により内部結露が発生しない事が示された。無垢材と比較しても、イソシアネート系接着剤の場合であっても2℃程度の差に留まった。また、サネ部分については、パッキンの施工が良好な場合には、外気温-6℃まで内部結露が発生しないものの、パッキン施工に欠陥がある場合には、5.86℃という高い温度で内部結露発生する結果が得られた。

○イソシアネート系 接着剤の場合

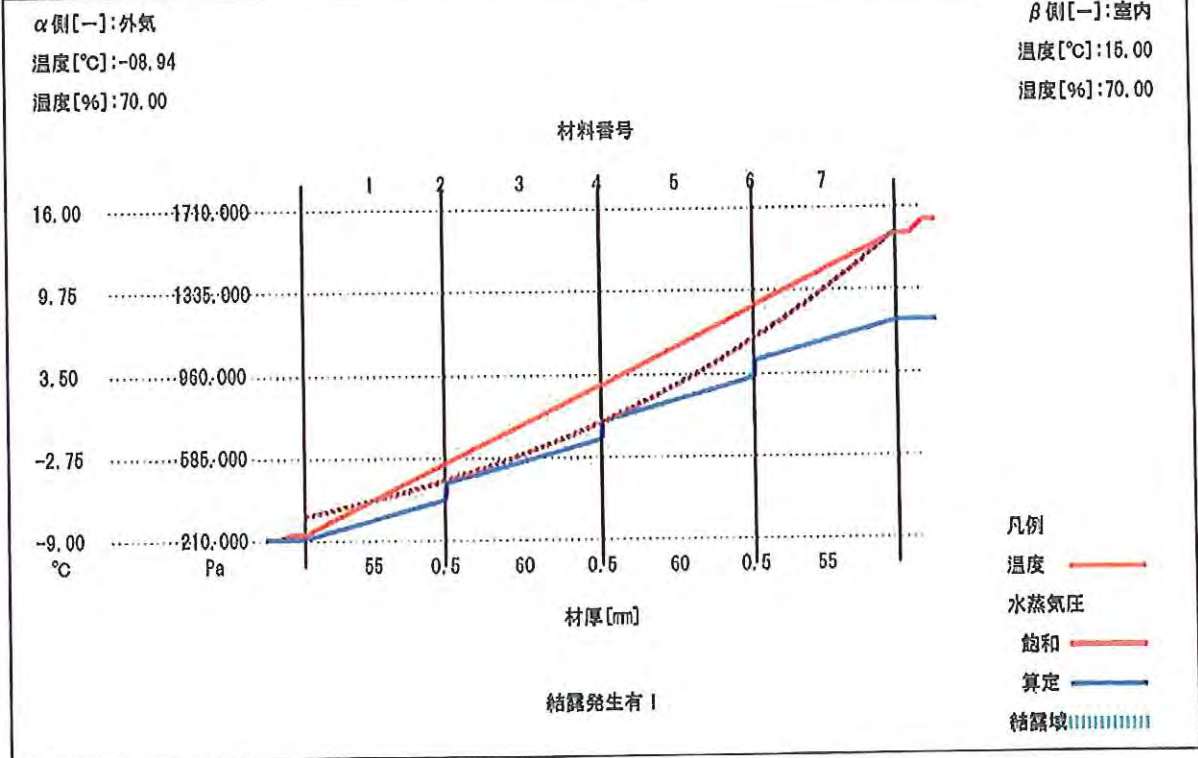
DewCheckerV5.0.0 by 3rdeye,Inc.

表題: イソシアネート系接着剤

U= 0.3712 [W/(㎡K)]

飽和水水蒸気圧の計算式:		Sonntag (water)				材厚 [mm]	温度 [°C]	相対湿度 [%]	水蒸気圧[Pa]	
記号 番号	名称	熱伝導率 [W/(mK)]	熱抵抗 [㎡K/W]	透湿率 [g/(㎡Pa)]	透湿抵抗 [㎡Pa/g]				飽和	算定
α側	外気		0.04		0		-8.944	70.00%	311.57	218.10
1	スギ材	0.091		1.3000		55	-8.59	68.08%	320.35	218.10
2	接着層	0.091			0.0182	0.5	-3.22	82.16%	482.68	396.57
3	スギ材	0.091		1.3000		60	-3.17	97.71%	484.44	473.35
4	接着層	0.091			0.0182	0.5	2.69	90.01%	742.22	668.05
5	スギ材	0.091		1.3000		60	2.74	100.00%	744.80	744.82
6	接着層	0.091			0.0182	0.5	8.60	84.00%	1118.45	939.52
7	スギ材	0.091		1.3000		55	8.65	90.57%	1122.15	1016.30
8							14.02	74.57%	1602.26	1194.77
9							14.02	74.57%	1602.26	1194.77
10							14.02	74.57%	1602.26	1194.77
β側	室内		0.11		0		15.00	70.00%	1706.81	1194.77

結露域図



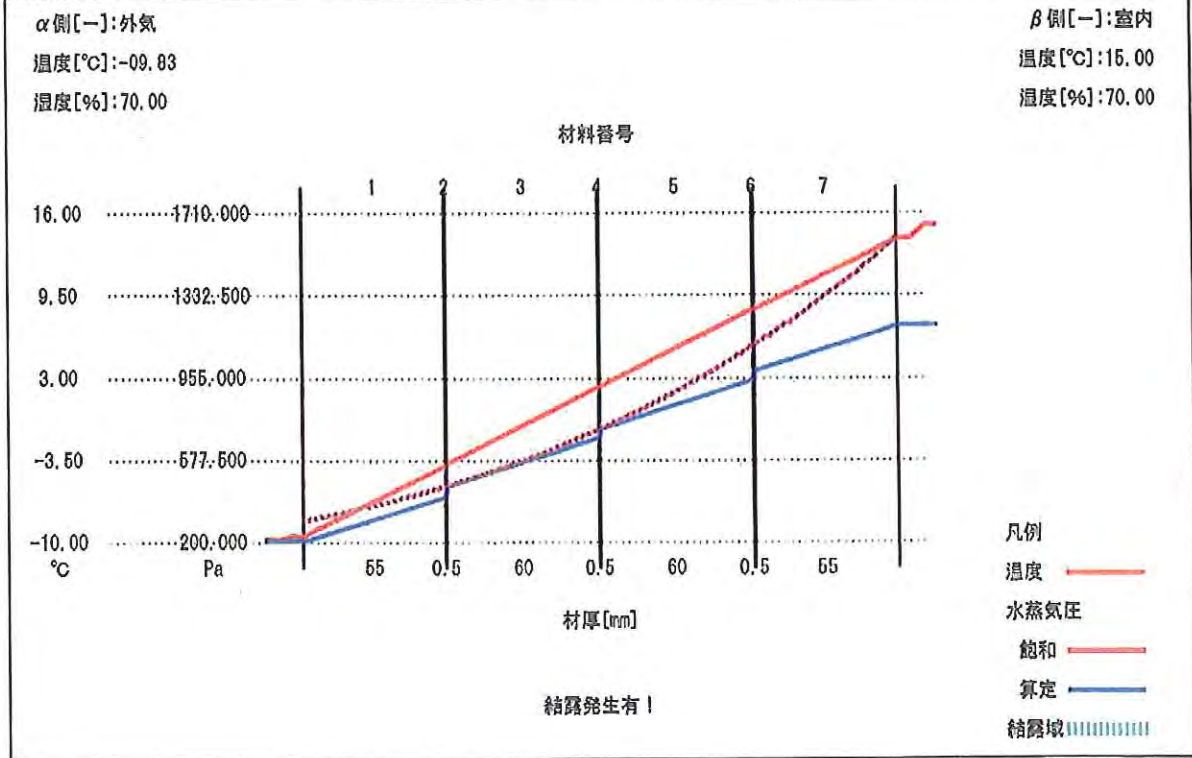
○レゾルシノール系接着剤の場合

DewCheckerV5.0.0 by 3rdeye,Inc.

表題: レゾルシノール系接着剤 U= 0.3712 [W/(mK)]

飽和水水蒸気圧の計算式:		Sonntag (water)					温度 [°C]	相対湿度 [%]	水蒸気圧[Pa]	
記号 番号	名称	熱伝導率 [W/(mK)]	熱抵抗 [mK/W]	透湿率 [eq/(sPa)]	透湿抵抗 [mPa/m]	材厚 [mm]			飽和	算定
α側	外気		0.04		0		-9.828	70.00%	290.67	203.47
1	スギ材	0.091		1.3000		55	-9.46	68.00%	299.23	203.47
2	接着層	0.091			0.0091	0.5	-3.89	89.07%	458.99	408.83
3	スギ材	0.091		1.3000		60	-3.84	98.32%	460.74	453.00
4	接着層	0.091			0.0091	0.5	2.24	94.22%	718.59	677.03
5	スギ材	0.091		1.3000		60	2.29	100.00%	721.19	721.20
6	接着層	0.091			0.0091	0.5	8.37	85.88%	1100.67	945.23
7	スギ材	0.091		1.3000		55	8.42	89.58%	1104.46	989.41
8							13.99	74.74%	1598.51	1194.77
9							13.99	74.74%	1598.51	1194.77
10							13.99	74.74%	1598.51	1194.77
β側	室内		0.11		0		15.00	70.00%	1706.81	1194.77

結露境図

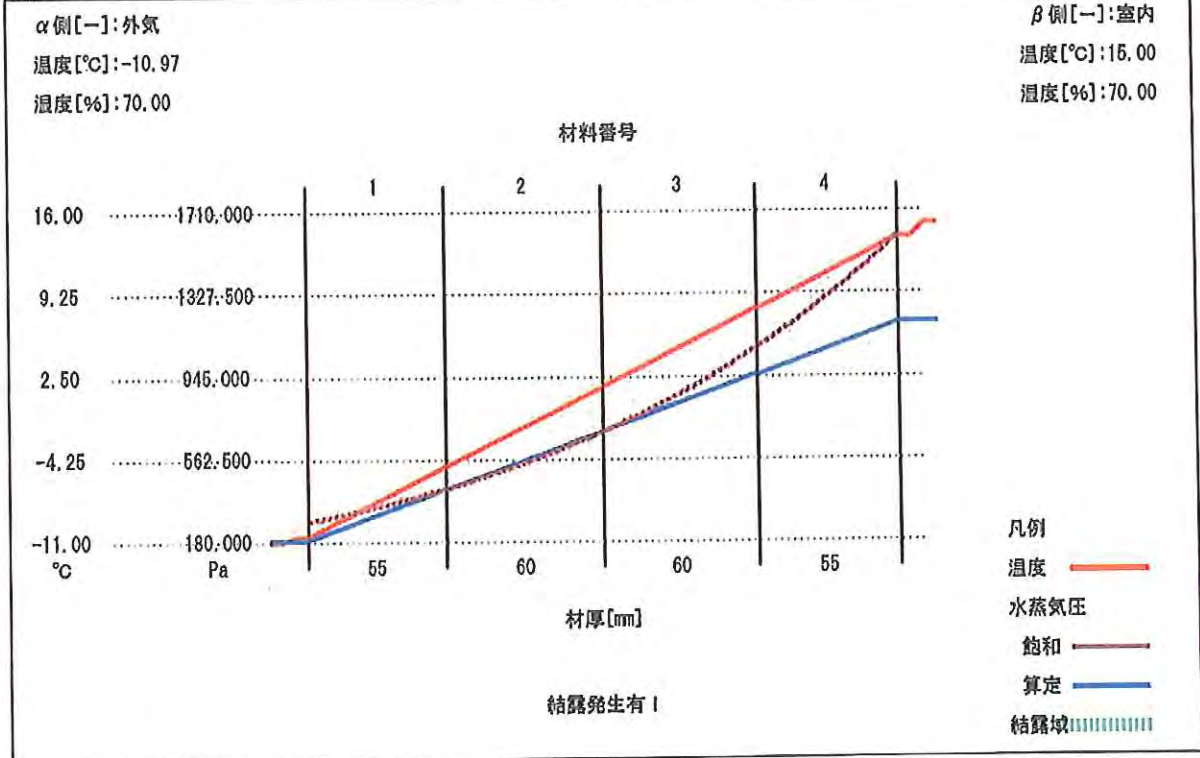


○スギ無垢材の場合

DewCheckerV5.0.0 by 3rdeye,Inc.

飽和水水蒸気圧の計算式:							Sonntag (water)			
記号番号	名称	熱伝導率 [W/(mK)]	熱抵抗 [mK/W]	透湿率 [g/(m²Pa)]	透湿抵抗 [m²Pa/g]	材厚 [mm]	温度 [°C]	相対湿度 [%]	水蒸気圧[Pa]	
							飽和	算定		
α側	外気		0.04		0		-10.967	70.00%	265.58	185.90
1	スギ材	0.091		1.3000		55	-10.58	67.87%	273.90	185.90
2	スギ材	0.091		1.3000		60	-4.72	99.05%	431.24	427.16
3	スギ材	0.091		1.3000		60	1.68	100.00%	690.34	690.34
4	スギ材	0.091		1.3000		55	8.07	88.38%	1078.91	953.52
5							13.93	75.00%	1593.02	1194.77
6							13.93	75.00%	1593.02	1194.77
7							13.93	75.00%	1593.02	1194.77
8							13.93	75.00%	1593.02	1194.77
9							13.93	75.00%	1593.02	1194.77
10							13.93	75.00%	1593.02	1194.77
β側	室内		0.11		0		15.00	70.00%	1708.81	1194.77

結露域図



○サネ部パッキン施工欠陥無

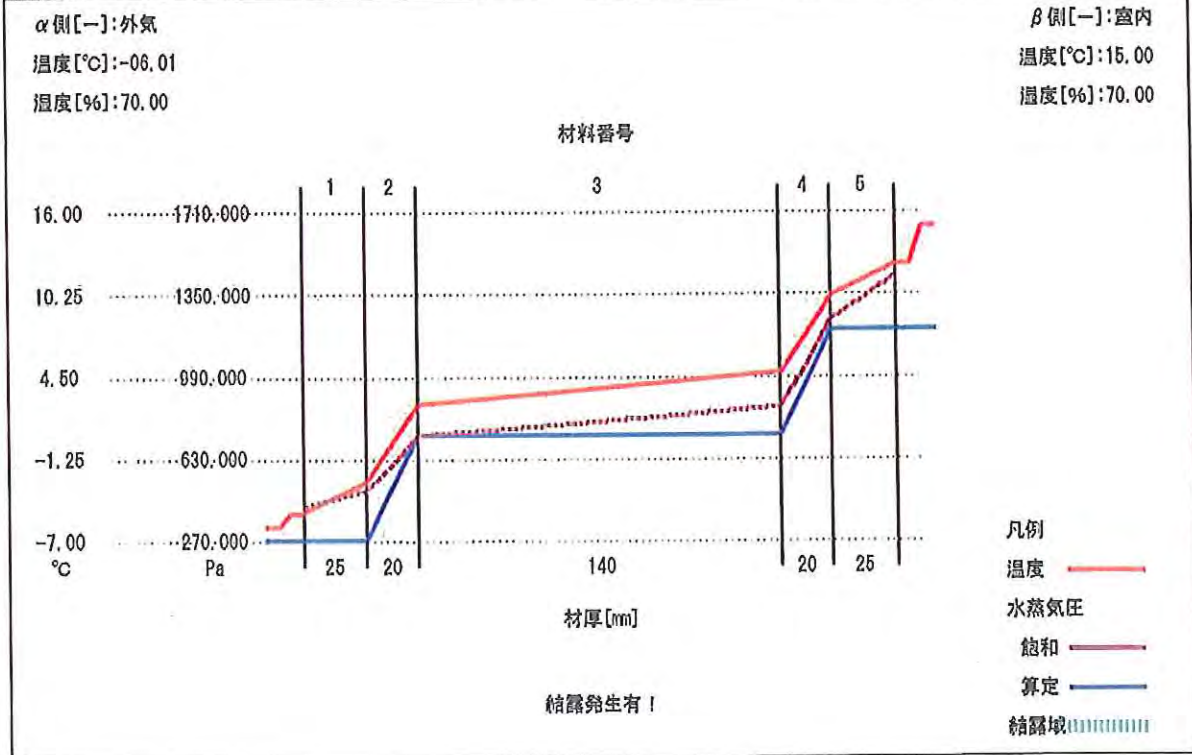
DewCheckerV5.0.0 by 3rdeye,Inc.

表題: サネ部パッキン施工欠陥無

U= 1.1634 [W/(mK)]

飽和水水蒸気圧の計算式:		Sonntag (water)					温度 [°C]	相対湿度 [%]	水蒸気圧[Pa]	
記号 番号	名称	熱伝導率 [W/(mK)]	熱抵抗 [mK/W]	透湿率 [μg/(mPa)]	透湿抵抗 [mPa/mg]	材厚 [mm]			飽和	算定
α側	外気		0.04		0		-6.010	70.00%	390.92	273.64
1	密閉空気層		0.09			25	-5.03	64.98%	421.09	273.64
2	サネ(スギ材)	0.091		1.3000		20	-2.83	55.09%	496.69	273.64
3	密閉空気層		0.09		0	140	2.54	100.00%	734.19	734.20
4	サネ(スギ材)	0.091		1.3000		20	4.74	85.63%	857.41	734.20
5	密閉空気層		0.09		0	25	10.11	96.50%	1238.16	1194.77
6							12.31	83.39%	1432.78	1194.77
7							12.31	83.39%	1432.78	1194.77
8							12.31	83.39%	1432.78	1194.77
9							12.31	83.39%	1432.78	1194.77
10							12.31	83.39%	1432.78	1194.77
β側	室内		0.11		0		15.00	70.00%	1706.81	1194.77

結露域図



○サネ部室内側パッキン施工欠陥有

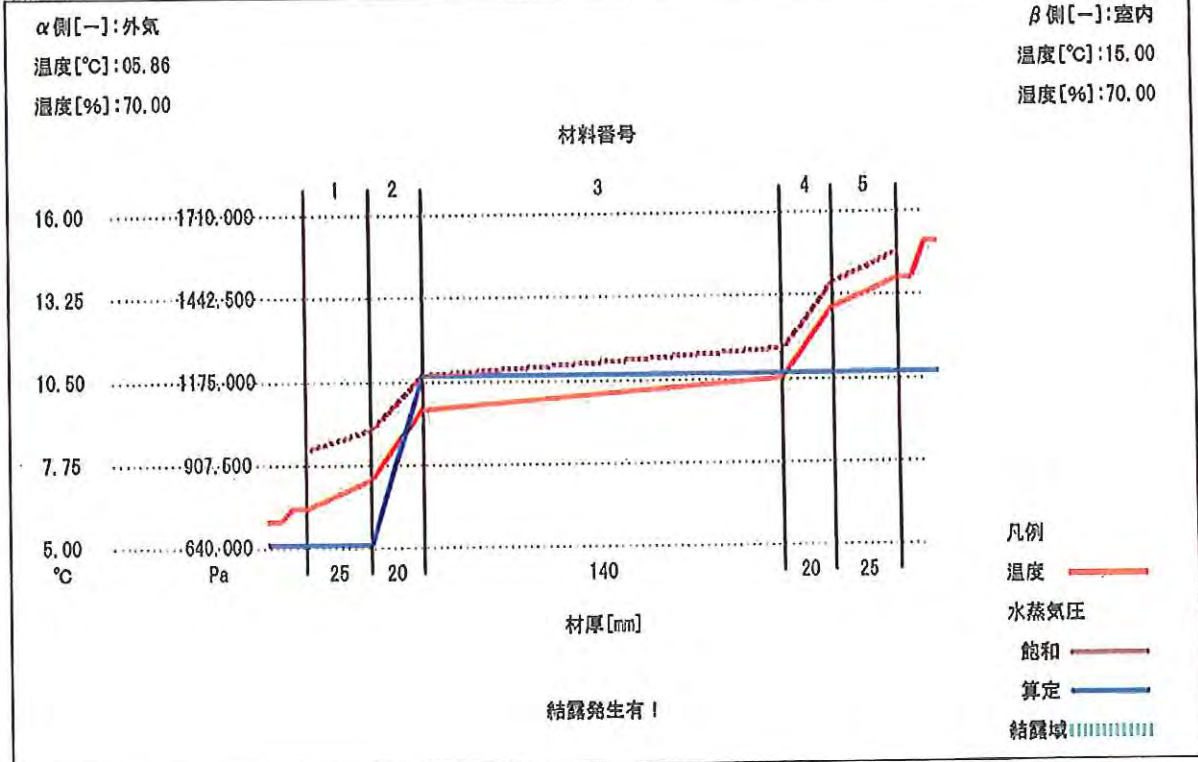
DewCheckerV5.0.0 by 3rdeye,Inc.

表題: サネ部室内側パッキン施工欠陥有

U= 1.1834 [W/(mK)]

飽和水水蒸気圧の計算式:		Sonntag (water)				材厚 [mm]	温度 [°C]	相対湿度 [%]	水蒸気圧 [Pa]	
記号 番号	名称	熱伝導率 [W/(mK)]	熱抵抗 [mK/W]	透湿率 [g/(m²Pa)]	透湿抵抗 [mPa/ng]				飽和	算定
α側	外気		0.04		0		5.860	70.00%	926.93	648.85
1	密閉空気層		0.09			25	6.29	67.97%	954.60	648.85
2	サネ(スギ材)	0.091		1.3000		20	7.24	63.64%	1019.53	648.85
3	密閉空気層		0.09		0	140	9.58	100.00%	1194.74	1194.77
4	サネ(スギ材)	0.091			0	20	10.54	93.79%	1273.83	1194.77
5	密閉空気層		0.09		0	25	12.87	80.37%	1486.62	1194.77
6							13.83	75.50%	1582.41	1194.77
7							13.83	75.50%	1582.41	1194.77
8							13.83	75.50%	1582.41	1194.77
9							13.83	75.50%	1582.41	1194.77
10							13.83	75.50%	1582.41	1194.77
β側	室内		0.11		0		15.00	70.00%	1706.81	1194.77

結露域図



6 試験③：ラミネートログ壁体熱貫流率測定試験

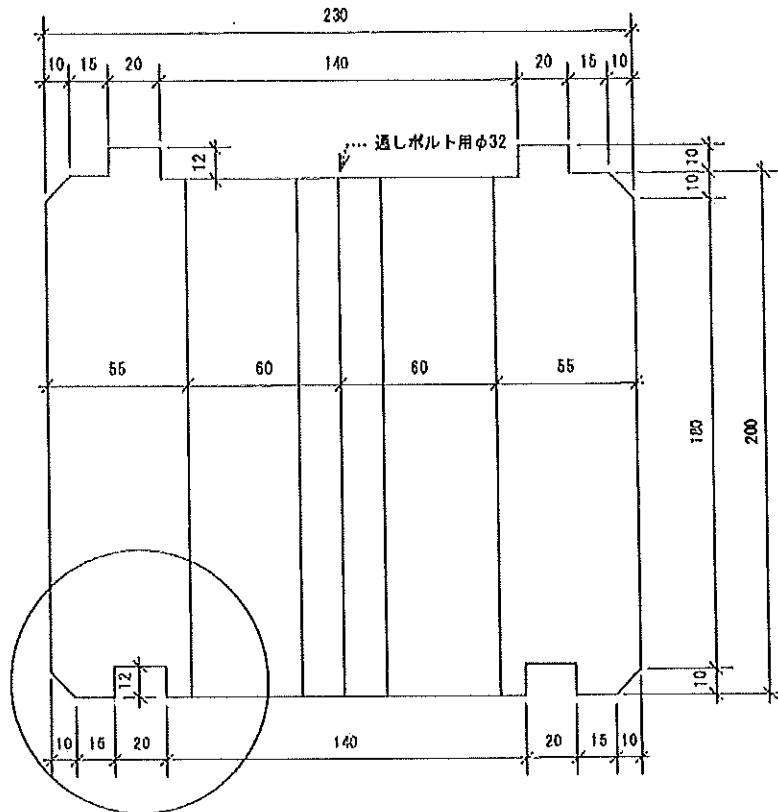
JIS A 1420（建築用構成材の熱貫流率測定方法）によりログ壁の熱貫流率を測定する。

試験体について

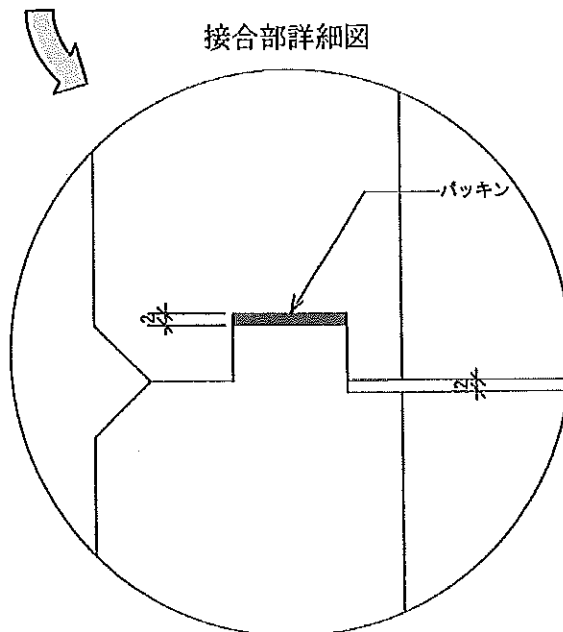
以下の断面をもつ、幅 1600 mm のラミネートログ材を 8 段積み上げて試験体壁体とする。

M16 通しボルト 3 本により緊結する。

ラミネートログ詳細図

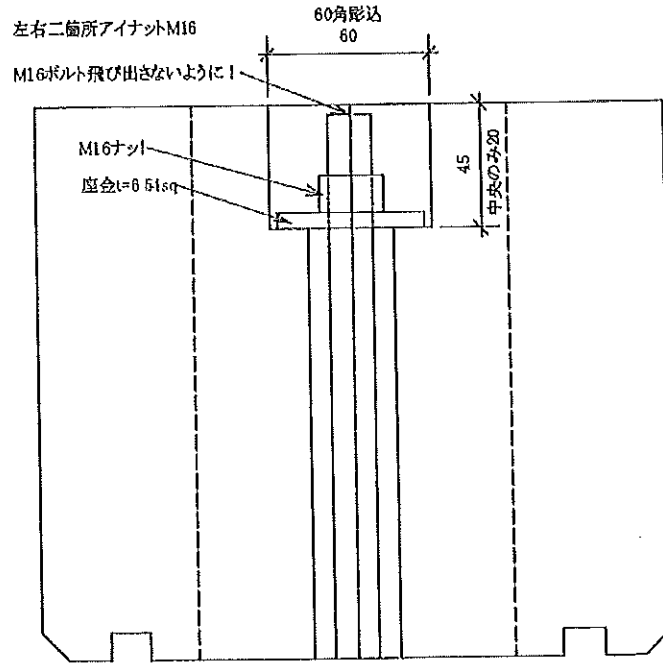


接合部詳細図

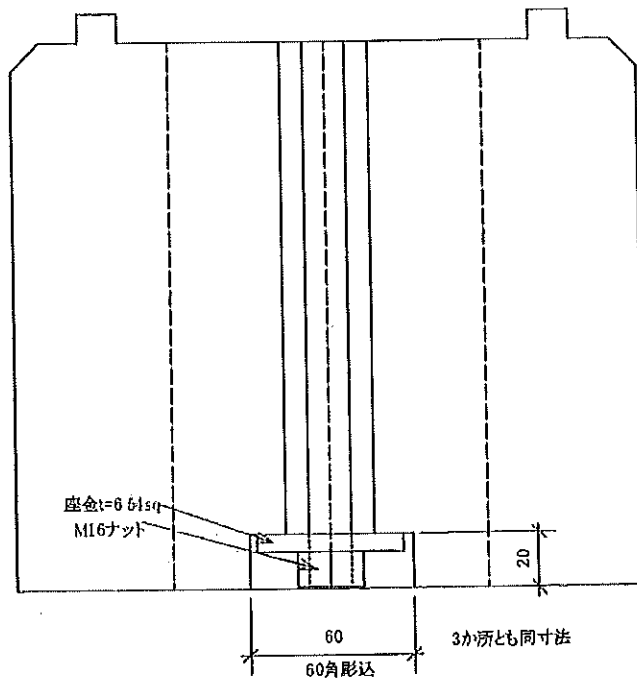


最上段及び最下段ボルト用座堀の詳細

最上段のボルト埋め込み



最下段のボルト埋め込み



最上段、及び最下段はボルト用座堀加工を行っているが、この欠損は下表に示すように僅か0.4%にとどまるためその影響はほぼないと考えられる。

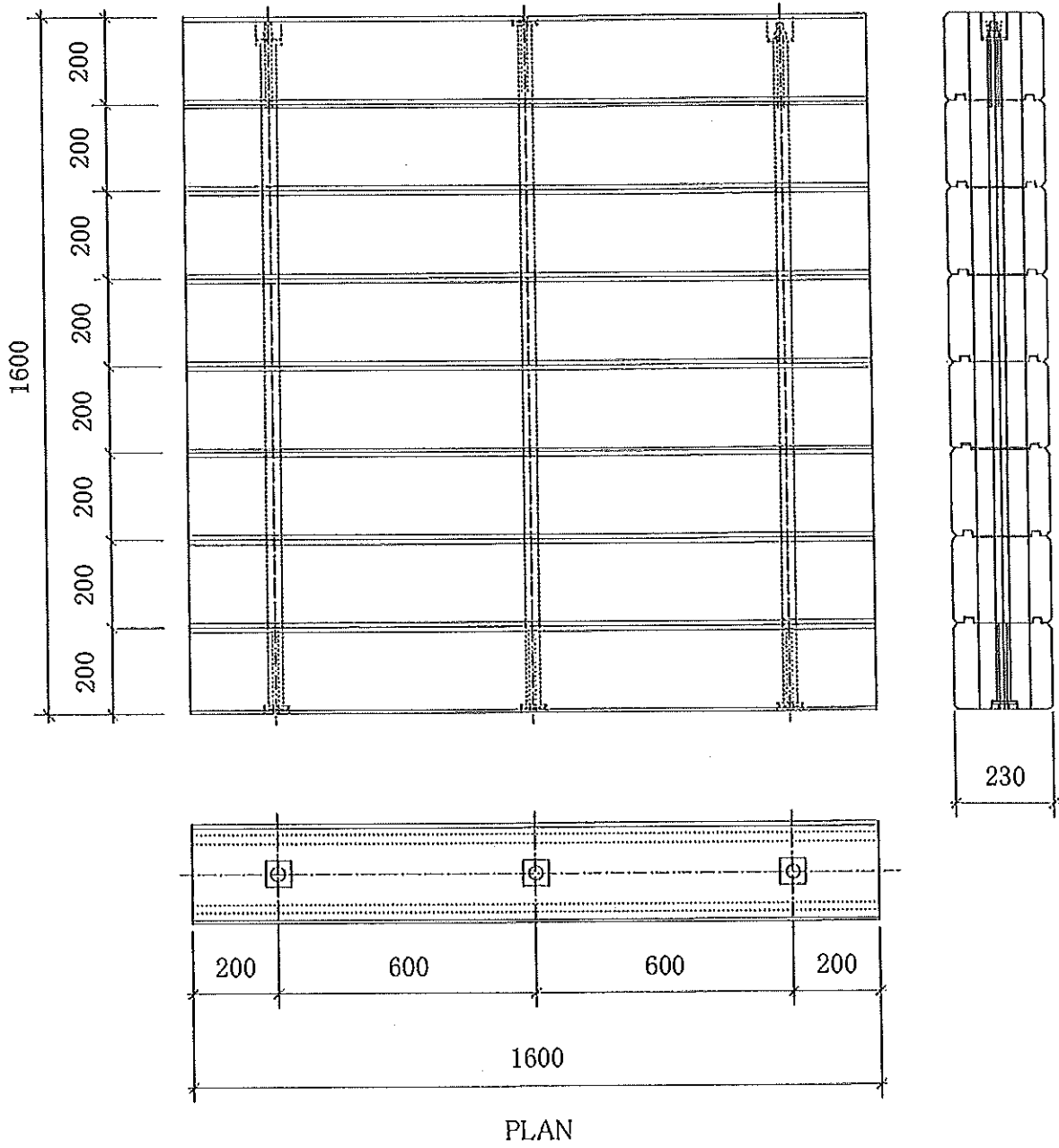
表：座堀による欠損

項目	幅	高さ	箇所	面積	比率
全面積	1.600	1.600	1	2.56000	
座堀部(浅)	0.060	0.020	4	0.00480	
座堀部(深)	0.060	0.045	2	0.00540	
欠損合計				0.01020	0.40%

三面図

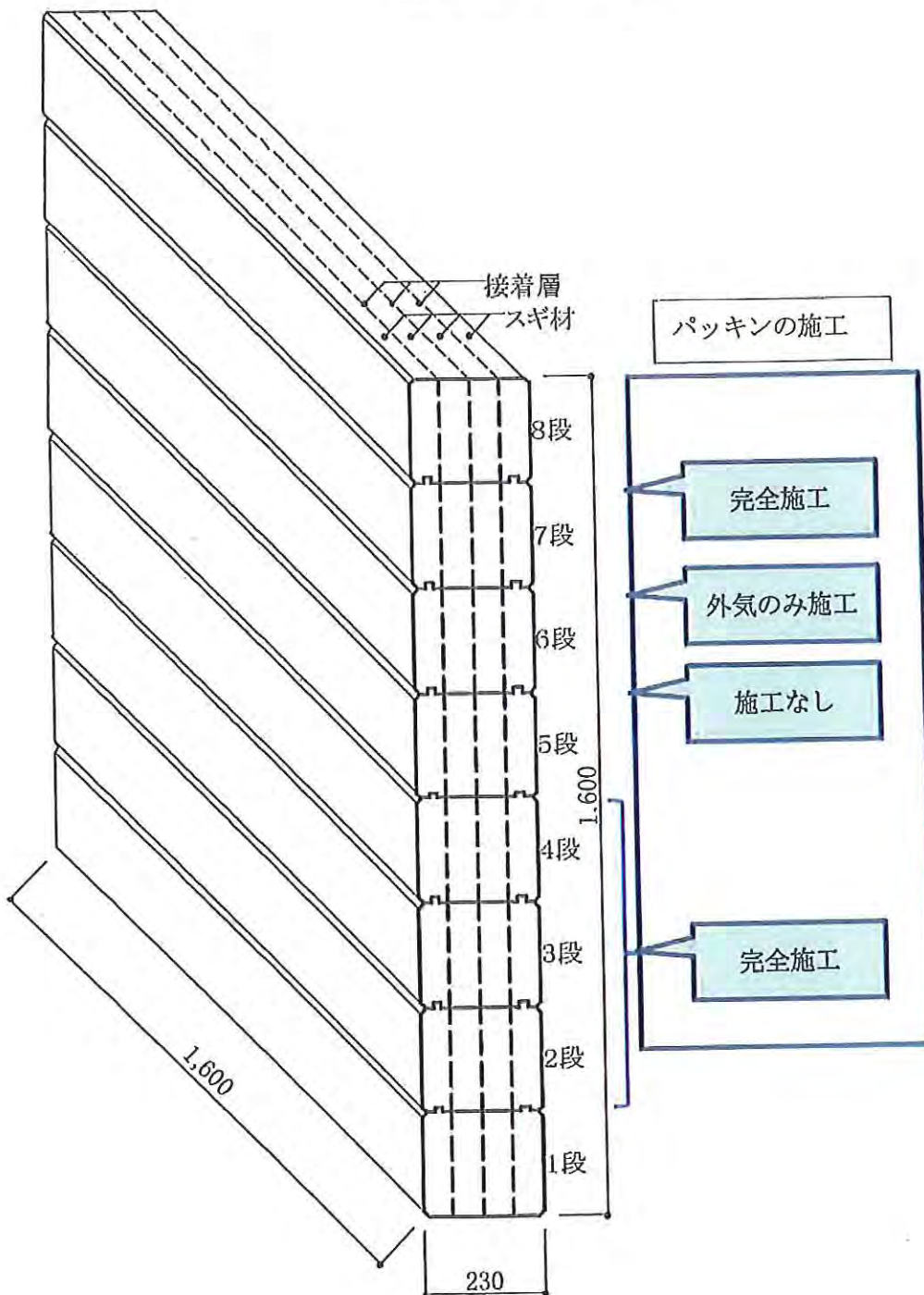
ELV.

SEC.



また、パッキンの施工不良を再現するために一部のパッキンを未施工とする。(熱貫流率測定時は、テープ止めする)

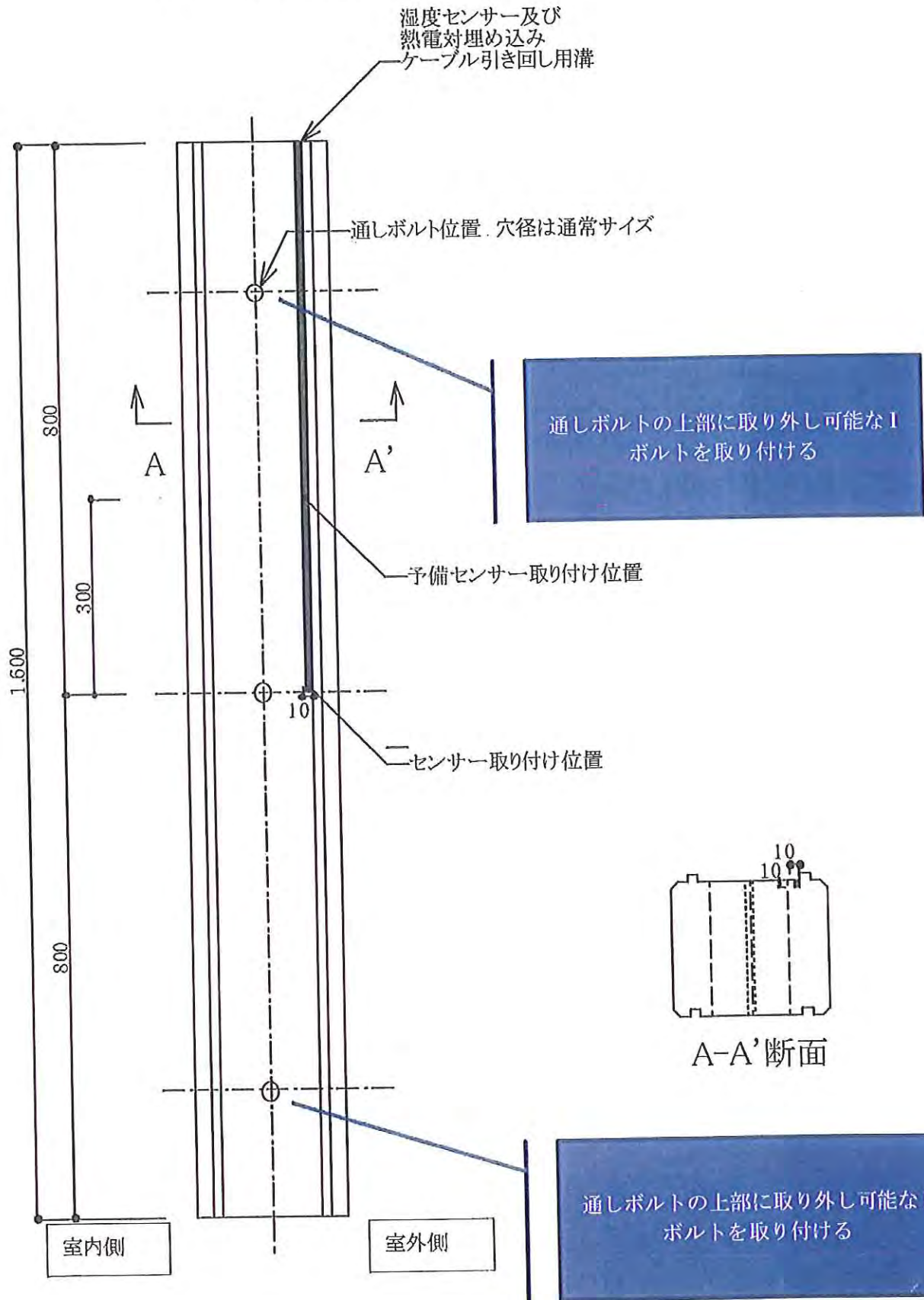
姿図(パッキン施工位置)



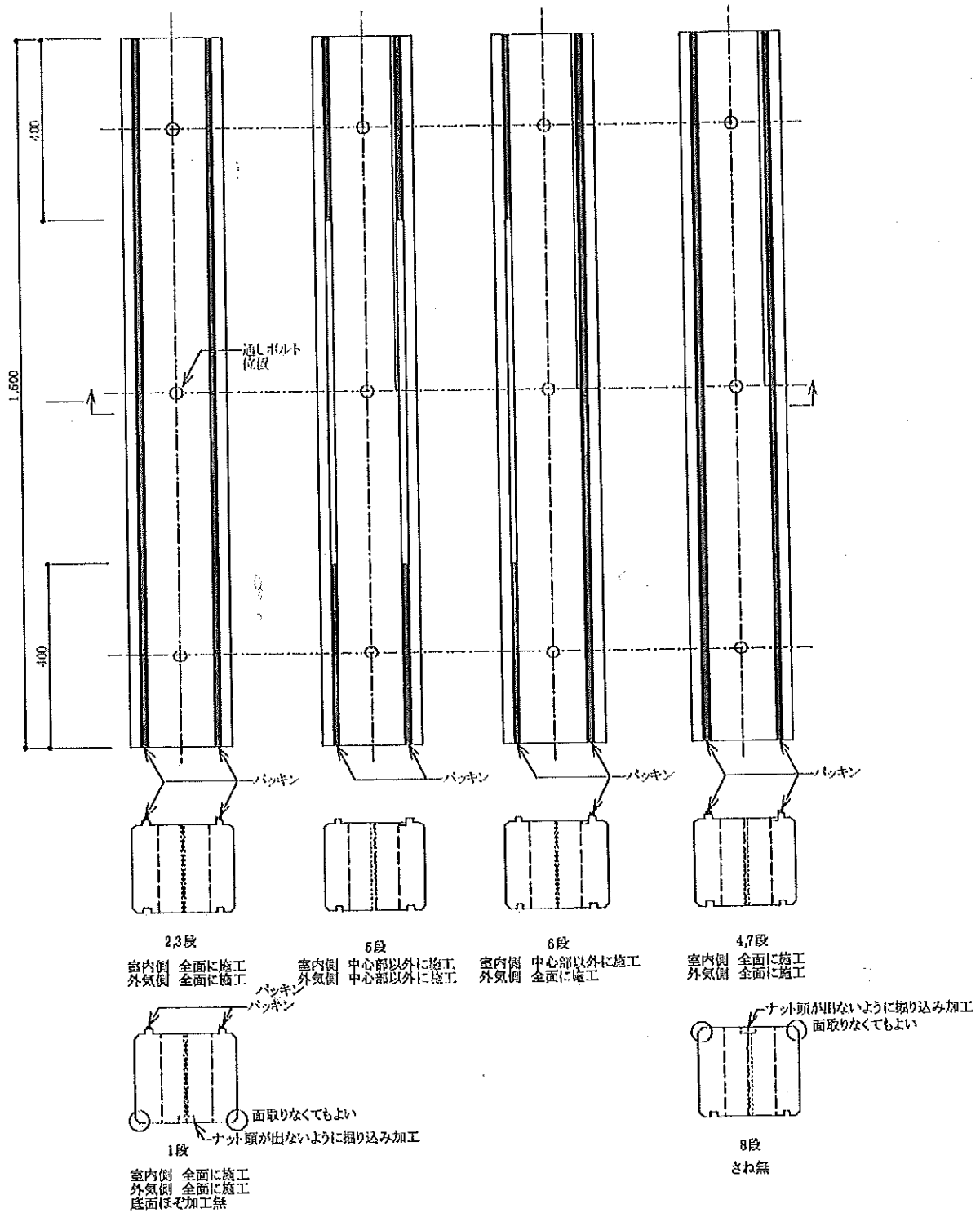
- 4段、6段、7段、8段を次図のようにセンサー設置及び、ワイヤー引出溝を加工する。
- 7・8段間のパッキンは完全施工
 - 6・7段間のパッキンは、室内側 中央部には施工しない
 - 5・6段間のパッキンは、中央部は、室内側、外気側共に施工しない。
 - 4・5段間のパッキンは完全施工

4, 5, 6, 7段目のログ材断面及び使用するセンサー及びケーブル配線用溝の詳細

*センサー取り付け位置に極力節がない材を選択してください。



パッキンの施工詳細



使用パッキンは、日東エプトシーラー No. 686(15x10) 同等品

組み上げ作業予定

- ①合いの良い組合せを見つけて、組み上げる順番を決める。30分
 - ②悪い部分のサネを削る。60分(手分けして行う。)
 - ③パッキン、センサー取り付け(30分)
 - ④組み上げ(60分)
 - ⑥ボルト通し、ログずれ調整、締め付け、アイナット取り付け(30分)
- 合計作業時間3.5時間を想定した

測定点一覧

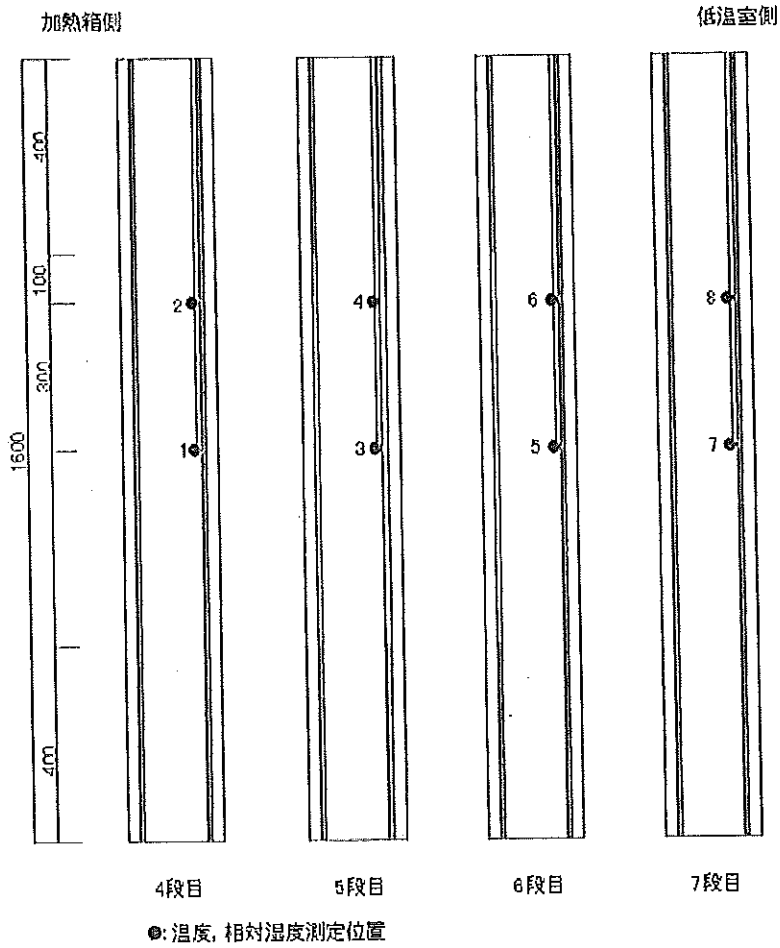


図-7 試験体各部の温度測定位置 (試験体内部)

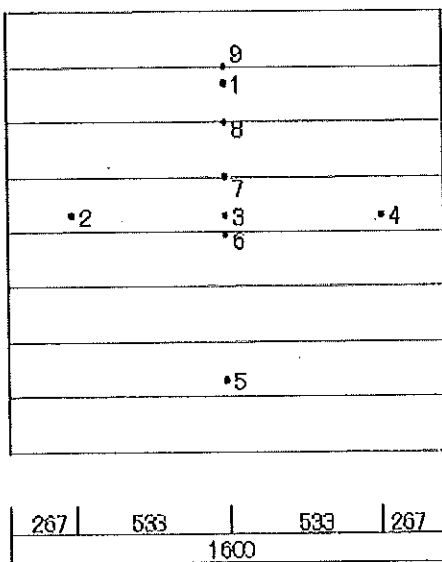


図-11 試験体各部の温度測定位置 (加熱箱側)

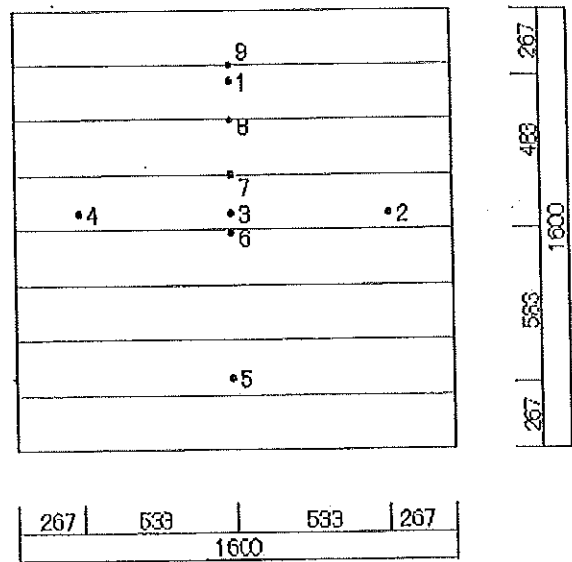


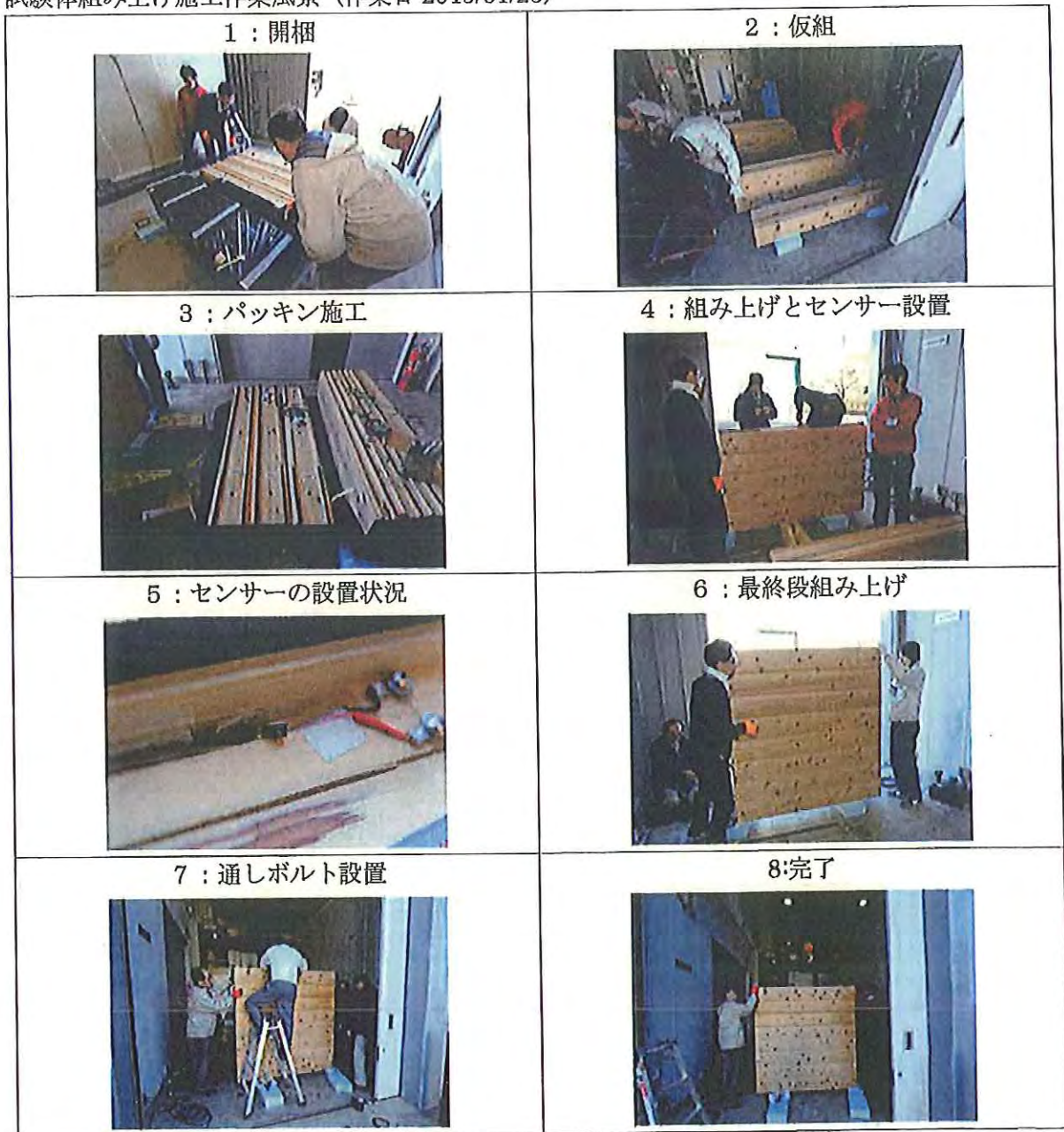
図-12 試験体各部の温度測定位置 (低温室側)

実際の試験体について

実際の試験体の加工精度は非常に高く各部の寸法はないと言ってよい状態であった。そのため、組み上げも良好であったが、若干ひび割れを生じている材も有った。



試験体組み上げ施工作業風景（作業日 2015/01/23）



ログ材の寸法精度が高く、想定よりも余裕をもって早く組み上げる事が出来た。試験装置への設置は、後日実施した。

解体作業風景 1



解体作業風景 2015/2/12



最下段室内側より 3 層目ラミナーのみ吸水したかのような変色が見られた。(後述)

熱貫流率測定試験の結果

表-11 熱貫流率試験結果

伝熱開口面積		A	(m^2)	2.5600
熱量測定	発生熱量	$\phi_p = \phi_j + \phi_r$	(W)	26.5
	校正熱量	$\phi_c = \phi_j + \phi_r$	(W)	6.5
	試験体通過熱量	$\phi_t = \phi_p - \phi_c$	(W)	20.0
温度測定	恒温室空気温度	T_{at}	($^{\circ}C$)	20.2
	加熱箱内空気温度	T_{ni}	($^{\circ}C$)	20.0
	低温室内空気温度	T_{ln}	($^{\circ}C$)	0.0
	空気温度差	$\Delta T = T_{ni} - T_{ln}$	($^{\circ}C$)	20.0
	試験体平均温度	$\bar{T} = \frac{T_{at} + T_{ln}}{2}$	($^{\circ}C$)	10.0
熱貫流抵抗		$R_k = \frac{\Delta T \cdot A}{\phi_t}$	($m^2 \cdot K/W$)	2.56
熱貫流率		$U = \frac{1}{R_k}$	($W/(m^2 \cdot K)$)	0.39
[参考] 見掛けの熱抵抗 Δ^1		$R_c = R_k - R_s$	($m^2 \cdot K/W$)	2.18

(備考)

(1) 熱貫流抵抗及び熱貫流率は小数点以下2桁に丸めた。

(2) 試験体各部の温度測定位置を図-7, 図-11 及び図-12 に示す。

(3) 試験体各部の温度測定結果を表-1 に示す。

注1) 見掛けの熱抵抗 R_c は、熱貫流抵抗 R_k から校正時の表面熱伝達抵抗 $R_s = 0.38 [m^2 \cdot K/W]$ を差し引いた値で、参考値とする。

表：測定した熱貫流率と材厚さ R_s から求めた熱貫流率との比較

番号	区分	熱貫流率 [$W/(m^2 \cdot K)$]	想定熱伝導率
1	測定した熱伝導率1による壁体の熱貫流率	0.33	0.0847
2	測定した熱伝導率2による壁体の熱貫流率	0.35	0.0910
3	測定した熱伝導率3による壁体の熱貫流率	0.33	0.0857
4	測定した熱伝導率の平均値による壁体の熱貫流率	0.33	0.0871
5	熱伝導率 0.12 とした場合の壁体の熱貫流率	0.44	0.1200
6	測定による熱貫流率	0.39	0.1041

○考察

上記の様に別途測定した熱伝導率から算定した熱貫流率とは異なる値となるが、その差はそれほど大きなものではなく、熱伝導率の測定誤差等の範囲内に収まっていると考えられる。そのためラミネートログ材を用いた場合においても省エネルギー基準上の熱貫流率の算定において特別な

配慮は必要ないと言える。

7 試験④：ラミネートログ壁体結露試験

JIS A1514 準拠の結露試験を行う。試験体は熱貫流室試験と同じ

結露試験結果 壁体内部の温度と相対湿度

表-12 試験体表面温度測定結果^{*11}

項 目	温 度 (℃)	
	加熱側	低温室側
測定位置 ^{*12}		
No.1	19.5	1.3
No.2	19.1	1.3
No.3	19.2	1.2
No.4	19.3	1.2
No.5	18.7	1.2
No.6	18.7	1.5
No.7	18.8	1.7
No.8	18.9	1.7
No.9	19.2	1.7

注*11) 測定期間中の平均値

*12) 測定位置は図-11 及び図-12 による。

表-13 試験体内部温湿度測定結果^{*13}

項 目	温 度 (℃)	相対湿度 (%)
No.1	4.6	30
No.2	4.7	32
No.3	4.7	49
No.4	4.6	50
No.5	4.6	78
No.6	4.4	71
No.7	4.6	84
No.8	4.6	84

注*13) 測定期間中の平均値

*14) 測定位置は図-6 による。

表-14 含水率測定結果^{*15}

項 目	含水率 (mass%)	
	加熱箱側 ラミネートログ材表面	低温室側 ラミネートログ材表面
8 段目	<4.0	<4.0
7 段目	<4.0	9.8
6 段目	<4.0	21.6
5 段目	<4.0	<4.0
4 段目	<4.0	<4.0
3 段目	<4.0	<4.0
2 段目	<4.0	<4.0
1 段目	<4.0	<4.0

注*15) 木材水分計「ターク H」(株式会社ケツト科学研究所製)により測定した。

表-15 結露試験結果^{*16}

項 目	結 果	
ログ材内部の結露の有無	7 段目上而	結露の発生は認められなかった。
	6 段目上而	結露の発生は認められなかった。
	5 段目上而	結露の発生は認められなかった。
	4 段目上而	結露の発生は認められなかった。
	3 段目上而	結露の発生は認められなかった。
	2 段目上而	結露の発生は認められなかった。
	1 段目上而	結露の発生は認められなかったが、恒温恒湿室側から3層目の材料について、変色がみられた。

注*16) ラミネートログ材の部位名称を図-14 に示す。

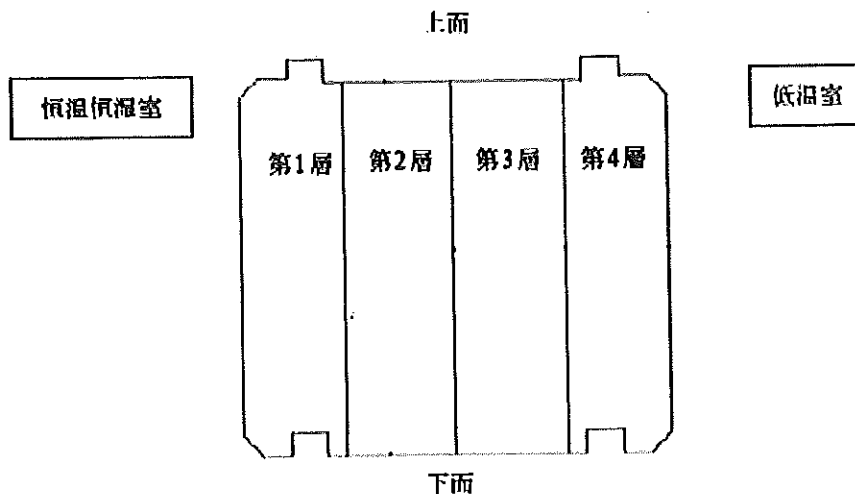


図-14 ラミネートログ材の部位名称

表-17 含水率測定結果^{*19}

項 目	含水率 (mass%)	
	上面	下面
測定位置 ^{*20}		
8 段目	—	7.8 (3 層目)
7 段目	5.5 (3 層目)	5.7 (3 層目)
6 段目	6.1 (3 層目)	4.9 (3 層目)
5 段目	4.7 (3 層目)	4.1 (3 層目)
4 段目	<4.0 (3 層目)	—
3 段目	—	—
2 段目	—	4.8 (2 層目), 46.8 (3 層目)
1 段目	4.4 (2 層目), 10.7 (3 層目)	—

注*19) 木材水分計「ターク H」(株式会社ケツト科学研究所製)により測定した。

*20) 含水率測定位置を図-14 に示す。

表-18 試験体表面温度測定結果^{*1}

項 目	温 度 (°C)	
	恒温恒湿室側	低温室側
測定位置 ^{*2}		
No.1	18.9	-1.7
No.2	19.0	-1.5
No.3	18.9	-1.7
No.4	18.8	-1.8
No.5	18.6	-1.7
No.6	18.4	-1.3
No.7	18.8	-1.6
No.8	18.7	-1.7
No.9	18.4	-1.3

注*1) 測定開始後 13 日目の平均値

*2) 測定位置は図-11 及び図-12 による。

今回の試験では、すべての計測ポイントで結露の発生が見られなかった。これは、パッキンの施工状態を不良とした場合でも、実部分の加工精度が高いため、十分に室内側の気密性が確保されているためと考えられる。また、定常計算では結露が発生してもおかしくない条件による試験を行ったが、試験では結露が発生しなかったが、この原因としては、吸放湿性の影響や、ボルト穴による湿気の拡散等が考えられる。

○参考

解体時に最下段中央部外気側ラミナーのみ吸水したかのような変色が見られ、その触感もしっとりとしたものであったため、この部分の含水率を測定した。

写真 最下層ラミネートログ材



表：変色が見られたラミナーの含水率

位置	室内側から2層目	室内側から3層目
2段目下面	4.80%	46.80%
1段目上面	4.40%	10.70%

スギ材の平行含水率についての文献がないが、パインやスプルスの場合を以下に示す。
 出典：日本建築学会(2001/10/15) 建築材料の熱・空気・湿気物性値 丸善株式会社

表：相対湿度と平行含水率

材	相対湿度	平行含水率(吸水)
パイン	43.5%	0.094
	65.6%	0.120
	98.5%	0.296
スプルス	44.2%	0.085
	65.2%	0.125
	98.7%	0.308

この様に材の含水率から考えると、当該部の相対湿度は、かなり高めであったと推測できる。また、この室内側から3層目のみ変色していることから、通しボルト用の穴により中央部の接着層が欠損し、この層に水分が蓄積したと推測している。外気側の相対湿度を10%と設定した場合の定常一次計算によると、3層目のラミナーは、51.4~57.19%、室内側相対湿度を30%とした場合は、60.85%~61.6%と高い相対湿度を示し、推測と同様の傾向を示す結果が得られた。

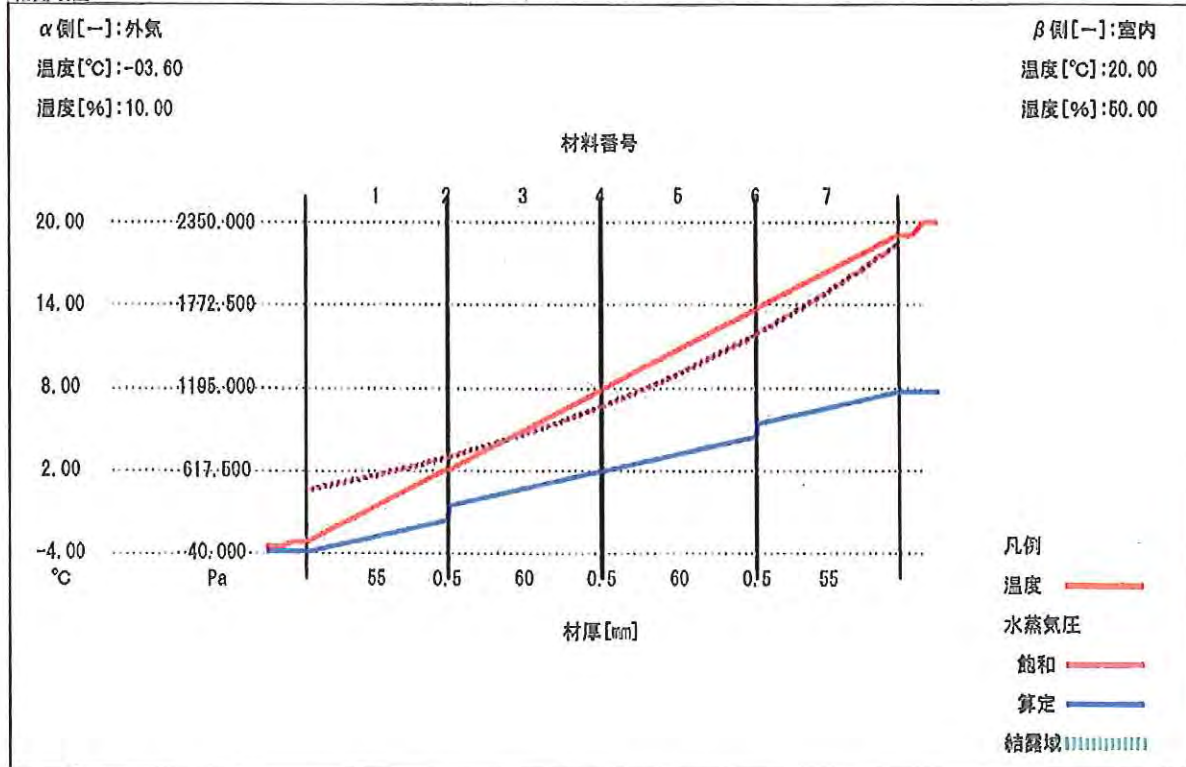
○中央部接着層の透湿抵抗を0とした場合（室内側相対湿度を10%と仮定）

DewCheckerV5.0.0 by 3rdeve,Inc.

表題：結露試験との比較中心部接着層の透湿抵抗を0とした場合(イソシアネート系接着剤) U= 0.3712 [W/(mK)]

飽和水水蒸気圧の計算式:		Sonntag (water)				材厚 [mm]	温度 [°C]	相対湿度 [%]	水蒸気圧[Pa]	
記号 番号	名称	熱伝導率 [W/(mK)]	熱抵抗 [mK/W]	透湿率 [m/sPa]	透湿抵抗 [mPa/mg]				飽和	算定
α側	外気		0.04		0		-3.600	10.00%	469.04	46.90
1	スギ材	0.091		1.3000		55	-3.25	9.74%	481.49	46.90
2	接着層	0.091			0.0182	0.5	2.05	38.05%	708.76	269.71
3	スギ材	0.091		1.3000		60	2.09	51.40%	711.20	365.56
4	接着層	0.091			0	0.5	7.87	57.19%	1064.16	608.63
5	スギ材	0.091		1.3000		60	7.92	57.01%	1067.65	608.63
6	接着層	0.091			0.0182	0.5	13.69	54.30%	1568.39	851.69
7	スギ材	0.091		1.3000		55	13.74	60.23%	1673.31	947.54
8							19.04	53.09%	2204.57	1170.35
9							19.04	53.09%	2204.57	1170.35
10							19.04	53.09%	2204.57	1170.35
β側	室内		0.11		0		19.04	53.09%	2204.57	1170.35
							20.00	50.00%	2340.70	1170.35

結露域図



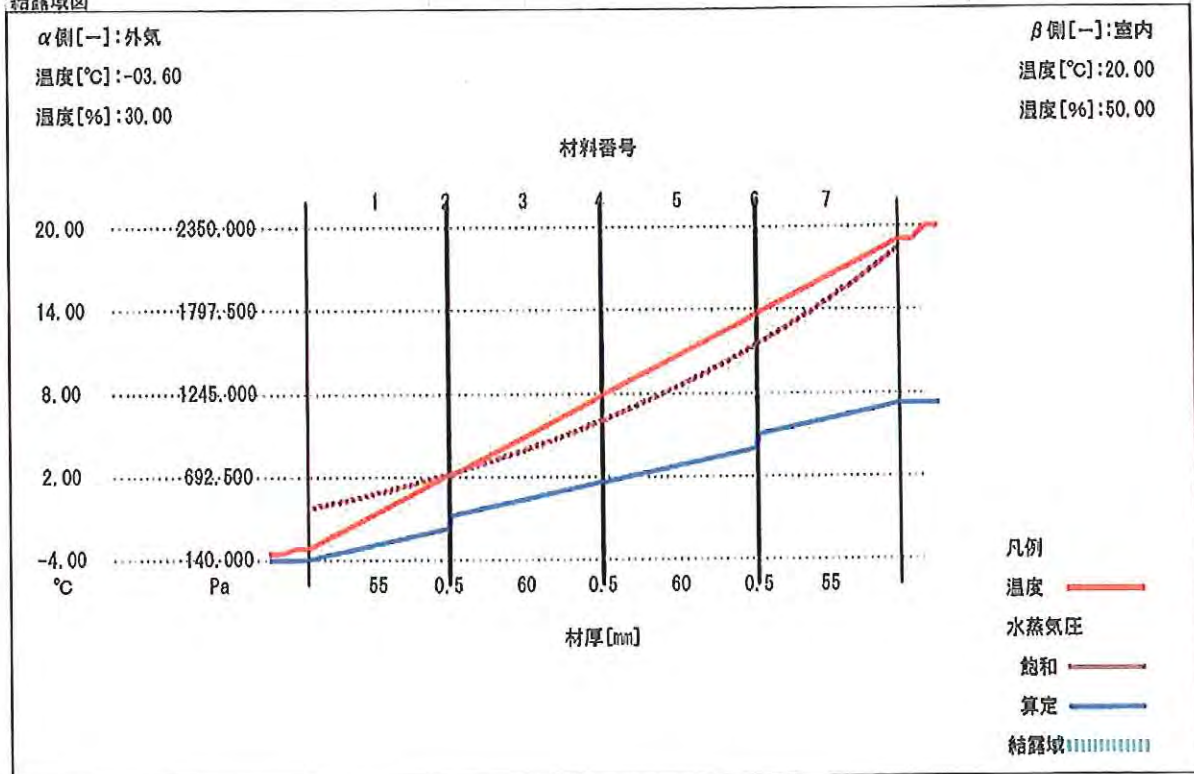
○中央部接着層の透湿抵抗を0とした場合（室内側相対湿度を30%と仮定）

DewCheckerV5.0.0 by 3rdeye, Inc.

表題：結露試験との比較中心部接着層の透湿抵抗を0とした場合(イソシアネート系接着剤) U= 0.3712 [W/(mK)]

飽和水水蒸気圧の計算式:		Sonntag (water)				温度 [°C]	相対湿度 [%]	水蒸気圧[Pa]		
記号 番号	名称	熱伝導率 [W/(mK)]	熱抵抗 [mK/W]	透湿率 [ng/(sPa)]	透湿抵抗 [mPa/ng]			材厚 [mm]	飽和	算定
α側	外気		0.04		0		-3.600	30.00%	469.04	140.71
							-3.25	29.22%	481.49	140.71
1	スギ材	0.091		1.3000		55	2.05	48.67%	708.76	344.92
2	接着層	0.091			0.0182	0.5	2.09	60.85%	711.20	432.76
3	スギ材	0.091		1.3000		60	7.87	61.60%	1064.16	655.53
4	接着層	0.091			0	0.5	7.92	61.40%	1067.65	655.53
5	スギ材	0.091		1.3000		60	13.69	56.00%	1568.39	878.30
6	接着層	0.091			0.0182	0.5	13.74	61.41%	1573.31	966.14
7	スギ材	0.091		1.3000		55	19.04	53.09%	2204.57	1170.35
8							19.04	53.09%	2204.57	1170.35
9							19.04	53.09%	2204.57	1170.35
10							19.04	53.09%	2204.57	1170.35
β側	室内		0.11		0		20.00	50.00%	2340.70	1170.35

結露域図



8 総括

今回の試験において、次のようなラミネートログの基本的な性質を把握することができた。

- 1) 接着層の熱貫流率への影響は、考慮する必要がない事が特定できた。
- 2) 接着層の透湿抵抗をある程度特定できた。
- 3) 計算による熱貫流率と測定による熱貫流率の差も材の熱伝導率の誤差の範囲に含まれる程度の差しか生じず、ボルトや、座金の等の欠損等による影響を考える必要性が低い事が示された。
- 4) 定常計算による内部結露の発生よりも、実際の壁体において防露上の安全性が高い傾向がある事が示された。

また、次のような今後の課題も残されている。

- 1) 節などの欠点がある場合の熱伝導率の特定
- 2) 非定常的な熱移動を考慮した場合の特性
- 3) 非定常的な湿気の移動を考慮した場合の特性
- 4) ボルト穴を通じての湿気の拡散の特性

今後これらの課題について知見を得る事が、ラミネートログ材の活用上の重要な要素となると考える。