

# 技術開発推進事業報告書

## 集成材構造開発

平成4年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

# 目 次

1.	平成3年度集成材構造委員会の目的と委員会構成	1
1.1	目 的	1
1.2	集成材構造委員会名簿	1
2.	湿度変動下での集成材およびその接合部のクリープ特性	2
2.1	目的と背景	2
2.2	実 験	3
2.3	実験結果	3
2.4	まとめ	14
3.	ベイマツ集成梁のクリープ実験	15
3.1	はじめに	15
3.2	試験体概要	16
3.3	実験装置概要	17
3.4	実験方法	21
3.5	実験結果	30
3.6	まとめ	42
4.	スギ梁材のクリープ特性	43
4.1	はじめに	43
4.2	実験方法	43
4.3	結果と考察	46
5.	ラグスクリュール接合部とボルト接合部のクリープ性能の比較	50
5.1	目的	50
5.2	実験	50
5.3	結果および考察	54
6.	2プライ積層材の引張強度特性	63
6.1	はじめに	63
6.2	材料と実験方法	63
6.3	結果と考察	67
6.4	引張強度の分布予測シミュレーション	75
6.5	まとめ	82

# 1. 平成3年度集成材構造委員会の目的と委員会構成

## 1. 1 目 的

集成材及び集成材構造の性能および技術的な資料を整備し、その需要拡大に資する。木造建築物では長期荷重に対する木質材料のクリープ性能が設計上重要であるが、現状ではデータが非常に不足している。そこで本委員会では、集成梁及び集成材を用いた接合部及びファスナー単体についてのクリープ性能を実験的ならびに解析的に明らかにし、資料の蓄積、整備を行う。

委員会の委員構成は、下記に示すように学識経験者、使用者側、生産者側の3者とし、3年程度を目度に事業を進める。

## 1. 2 集成材構造委員会名簿

委員長	有馬 孝禮	東京大学農学部林産学科助教授
委 員	徳田 迪夫	三重大学生物資源学科森林資源学コース教授
〃	佐藤 雅俊	建設省建築研究所第二研究部有機材料研究室主任研究員
〃	林 知行	農林水産省森林総合研究所木材利用部加工技術科集成材研究室主任研究官
〃	楠 寿博	(株)竹中工務店技術研究所研究員
〃	丸山 則義	鹿島建設(株)技術研究所第二研究部主任研究員
〃	伊東 洋路	セブン工業(株)課長
〃	高木 和芳	トリスミ集成材(株)
協力委員	春川 真一	林野庁林政部林産課課長補佐
事務局	牧 勉	(財)日本住宅・木材技術センター試験研究部長
〃	鴛海 四郎	(財)日本住宅・木材技術センター主任研究員

### 【謝辞】

第4章のスギ梁材のクリープ特性は、宮崎工業試験場工芸支場の荒武志朗氏の御協力を賜った。ここに厚く御礼申し上げます。

## 2. 湿度変動下での集成材およびその接合部のクリープ特性

### 2. 1 目的と背景

木材および木質材料のクリープ変形は外周条件とくに湿度の変動があるときには湿度が一定のいわゆる定常とは異なった挙動であるmechano-sorptive変形を示すことが認められている。また、木材の釘接合部でも湿度変動のクリープ変形への影響が大きく、挙動は複雑であることが認められている。従来の比較的小規模の木構造ではこれらの変形もさほど目立つことが少なかった。むしろ、未乾燥による反り（単純な反りだけではなく、mechano-sorptive変形もかなり影響を及ぼしていると思われるが、現象的に確認がなされていないことが多いと思われる）が大きな要素となっていたと思われる。しかしながら、近年の大規模な木構造の場合にはクリープやmechano-sorptive変形がかなり大きく観測されるが故に、構造的な不安を感じさせたり、あるいは変形性能をどのように評価すべきか問題視されることもしばしば生じている。もちろん、実際の大規模な構造にしても、許容応力度設計内ではクリープ変形が直接破壊につながることはまずない（もし、あったとしたならば製造管理上の問題であり、物性上の問題とは考えにくい）。しかしながら変形の評価をしておきたいということは当然生じる。いずれにしても従来のクリープやMechano-sorptive変形の実験は現象が複雑であるが故に比較的小さな試験体によったものが多い。しかもクリープは温湿度の定常状態によるもので、Mechano-sorptive変形の実験は乾燥に伴うものが変形が多かった。したがって、集成材などを取り上げることはあまりなく、乾燥材としてむしろ実際の温湿度変動程度ではMechano-sorptive変形は問題視していなかった。ましてや大断面集成材などではクリープやMechano-sorptive変形を実験的に調べることもなかった。このように実際の大規模構造の出現によって、可能な限り実大に近い材によってクリープ変形の評価をしておこうということが生じた。また、同時に接合部がかなり変形をかなり支配することも考えられる構造やその個数が多くなっている場合には木部そのものの変形と接合部の変形を定性あるいは定量的に押さえておくこと必要であろう。とくに金属を介する接合部は局所的な塑性を有していることからクリープやMechano-sorptive変形はデータの整備が重要と思われる。ここでは乾燥材で、比較的材質の揃っていると思われる集成材、LVL（単板積層材）を対象にして湿度変動下でクリープ、すなわちMechano-sorptive変形を実験的に調べることにした。

## 2. 2 実 験

供試材料はTable1 ようにベイマツの集成材（断面5×9cm）、LVL( 枠組壁工法呼称204、206)とそれらを中央部で切断してFig.1 で示した釘接合金物で接合したものとした。

負荷方法はFig.2 の4点荷重で中央の撓みを計測した。湿度変動は窓の開閉などで行ったが、温度の日変動は極めて緩やかで少なかった。試験時期は接合部と接合部のない場合を同一環境下で比較するようにし、集成材が6月～10月、LVLが1～3月である。

## 2. 3 実験結果

変形挙動はきわめて複雑であり試験体の個々の挙動を単純化して示すことは困難であるので、その実態の代表例を示し、そこから看取される傾向を定性的にみることにする。接合の形式や応力比（SL）などの細部の検討は今後の課題としたい。

(1) Fig.3は集成材の接合部なし（GN）と接合部あり（GJ）の全体のクリープ変形の経過を、Fig.4にはLVLの場合（Nが接合なし、Jが接合あり）を示す。

それぞれ、瞬間変形に対するクリープ変形をRELATIVE CREEP（RELATIVE CREEPは一般には瞬間変形に対する全変形で表示されるが、ここでは増減分を見易くするためこの表示とした）として示した。

集成材のシリーズでは全体の傾向は接合なしと接合ありで挙動が異なる。接合部は全般的に増加の傾向があり、短時間内における変動は接合なしにくらべ、やや少ない。接合なしは瞬間変形時よりも変形が減少しており、後に述べる湿度変動が関連している。これらは接合の場合が応力レベル（SL）の高いことや湿度変動が複雑に絡んでいるので、応力レベルなどのより細部の検討が望まれる。なお、ここで示したものは各々比較的類似の挙動を示したものを示しているが、集成材の接合なしでは逆の挙動を示すものもあり、ラミナの収縮差と配列によって差異が出ていることが推測される。それに対し接合ありは同じ変動になるので、変形機構が単純なことも考えられる。

これに比較して、LVLの場合は全般的に同じような傾向を示す。応力レベルが10%程度の低いときにはクリープの増加はほとんどみられず湿度による変動が支配的である。接合ありのK143J18にみられるように応力レベルが大きくなってくると、変形の進行が大きくなり、相対的に湿度変動による変動がやや小さくなる傾向すらみえる。

以上のような点をより明確にするため湿度変動との関係を以下にみてみたい。

Table 1. Physical property and test plan

Specimen	S.G	MC (%)	MOE (10 <sup>3</sup> Kg/cm <sup>2</sup> )	Test plan	S.L (%)	Condition	Period (Months)
<b>GLULAM</b>							
GJ1	0.52	14.3	140.8	Cycle load	14	Joint	91/6-91/10
GJ2	0.51	14.2	143.1	Constant load	14	Joint	91/6-91/10
GJ3	0.53	13.9	129.5	Constant load	14	Joint	91/6-91/10
GN1	0.49	14.2	133.8	Constant load	5	No joint	91/6-91/10
GN2	0.49	14.6	121.4	Constant load	5	No joint	91/6-91/10
GN3	0.51	15.3	118.4	Constant load	5	No joint	91/6-91/10
GN4	0.47	14.5	125.5	Cycle load	5	No joint	91/6-91/10
<b>LVL</b>							
O93J25	0.58	8.5	97	Constant load	10	Joint	92/1-92/3
O96J25	0.54	8.7	98	Constant load	10	Joint	92/1-92/3
O142J18	0.52	8.3	94.5	Constant load	5	Joint	92/1-92/3
O143J28	0.55	7.9	94.3	Constant load	10	Joint	92/1-92/3
K143J18	0.63	8.7	110.8	Constant load	10	Joint	92/1-92/3
K144J28	0.64	8.2	110.7	Constant load	20	Joint	92/1-92/3
O91N50	0.53	8.7	94.7	Constant load	10	No joint	92/1-92/3
O95N50	0.55	8.8	98	Constant load	10	No joint	92/1-92/3
O141N50	0.57	7.5	92.3	Constant load	10	No joint	92/1-92/3
O146N25	0.53	7.9	92	Constant load	5	No joint	92/1-92/3
K142N50	0.65	8.8	110.8	Constant load	10	No joint	92/1-92/3
K146N25	0.62	8.6	110.7	Constant load	5	No joint	92/1-92/3

\* S.G:Test volume airdry weight basis

\*\* SL=APPLIED LOAD / MOR

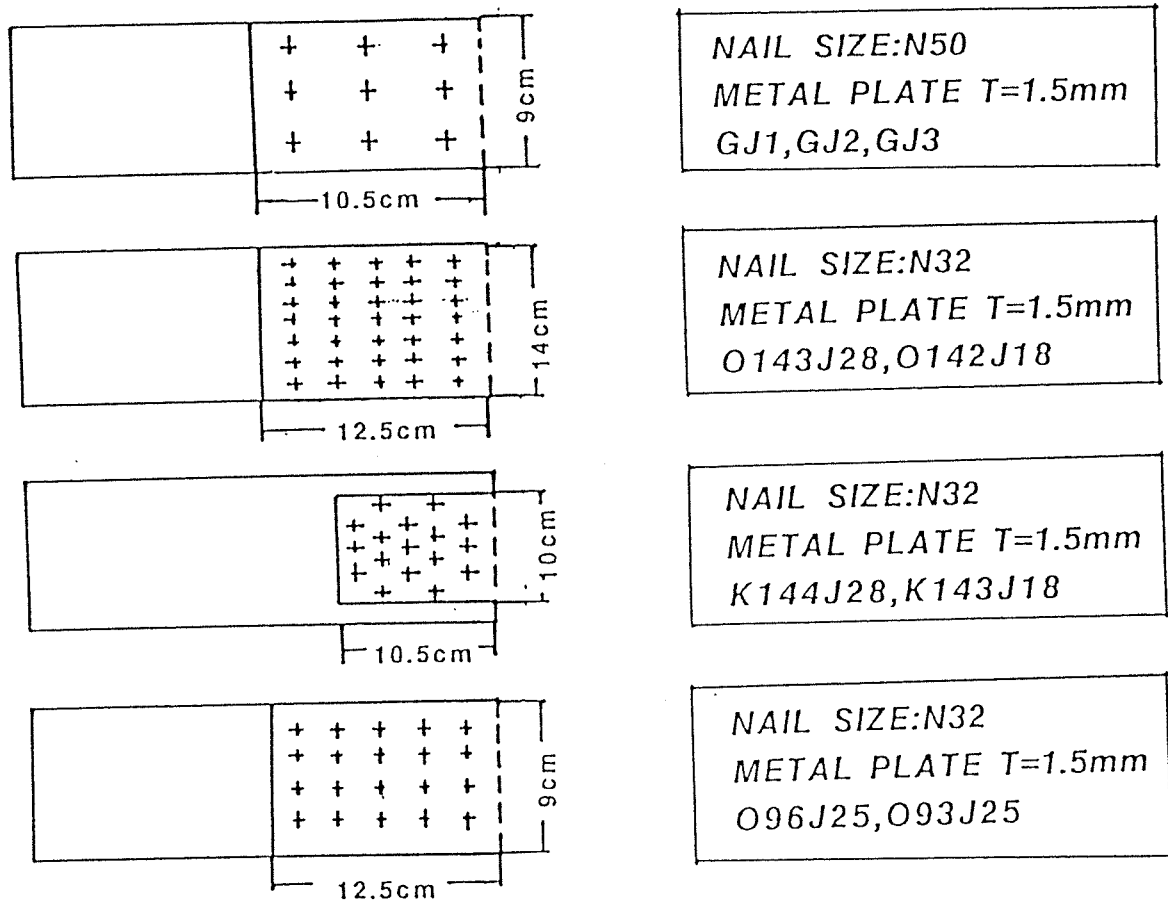


Fig.1. Shape of joint

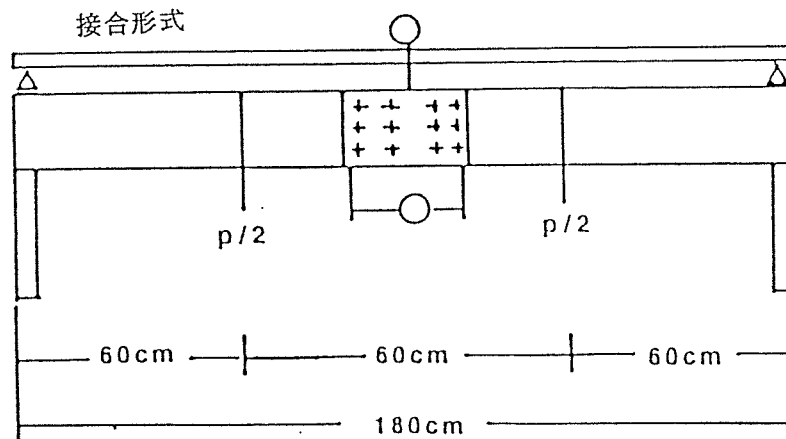


Fig.2. Method of experiment

負荷方法

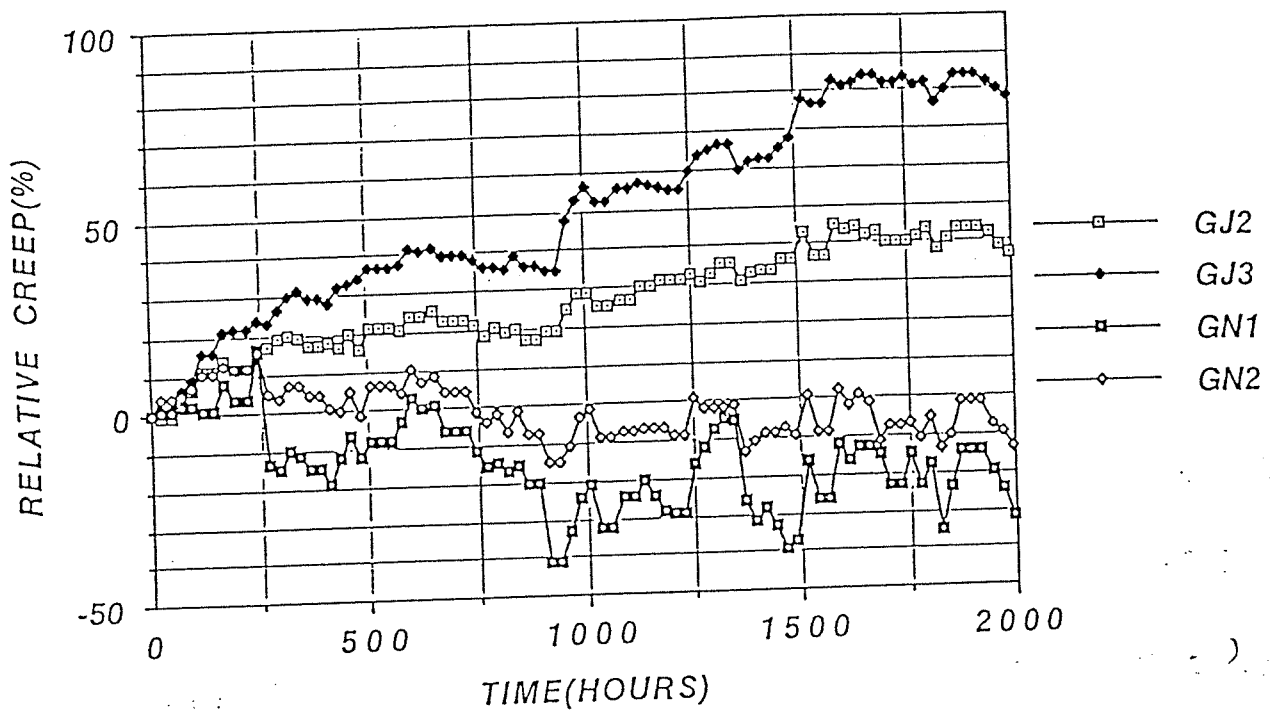
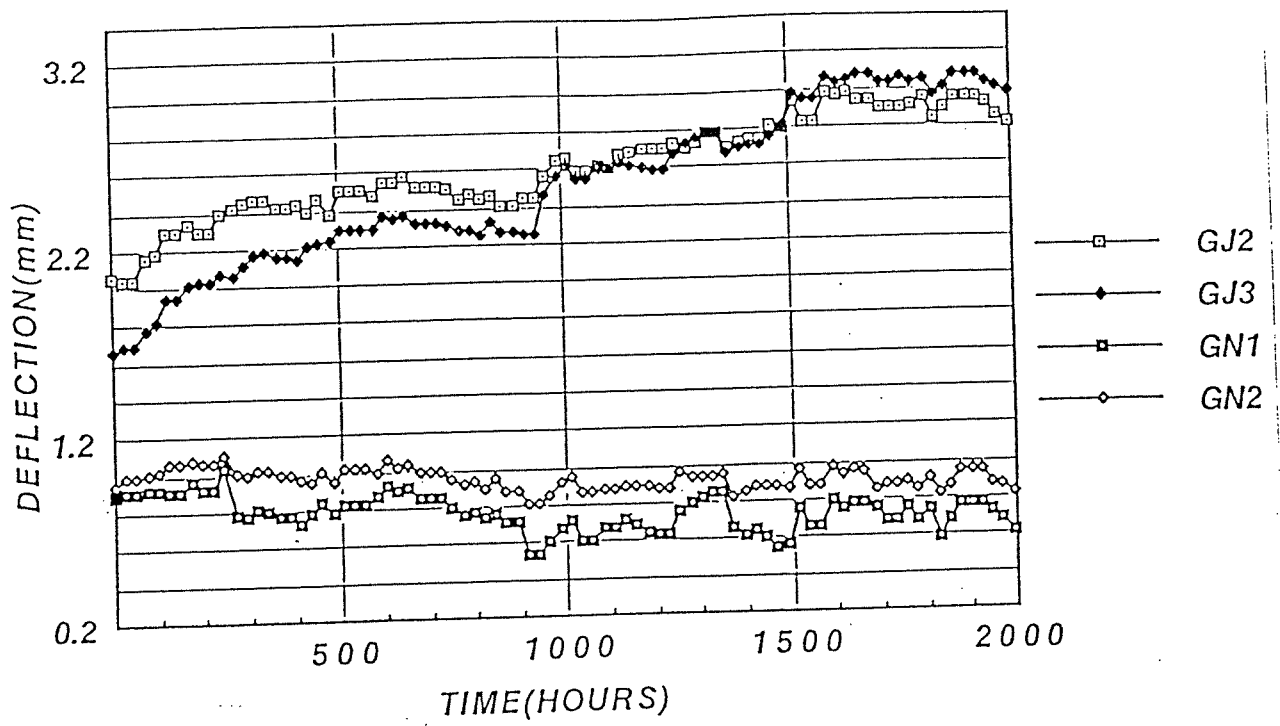


Fig.3 集成材の接合部なし (GN) と接合部あり (GJ) の全体のクリープ変形  
とRELATIVE CREEP



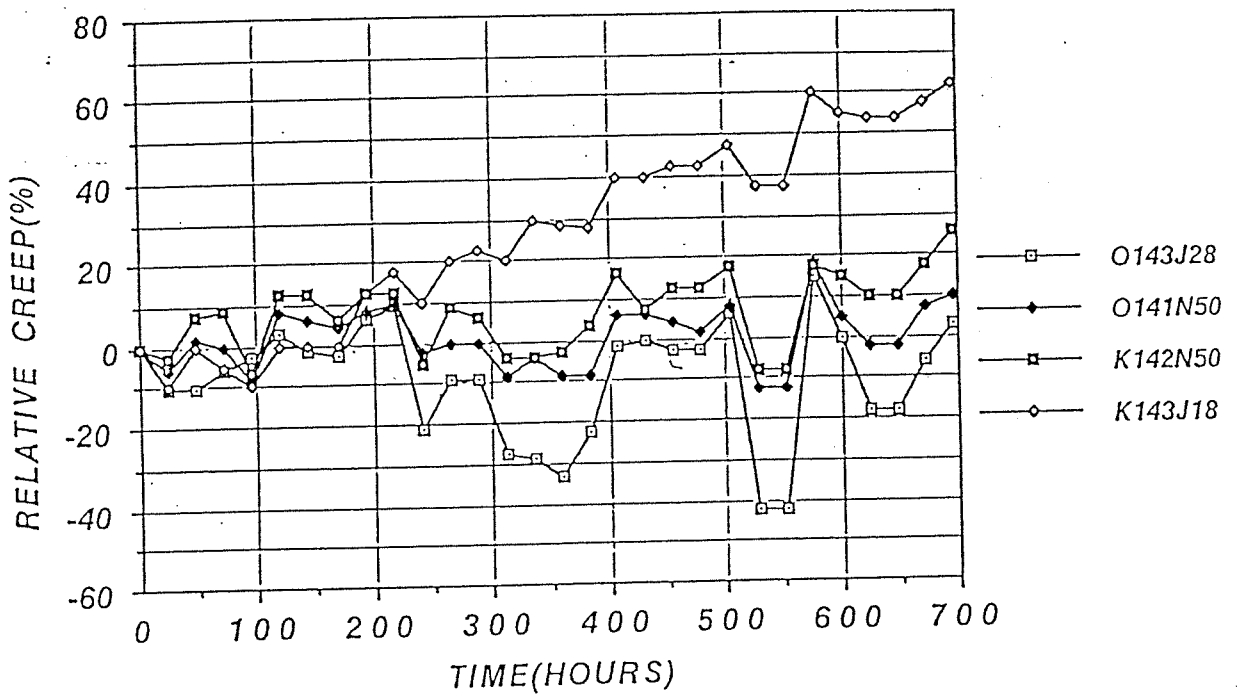
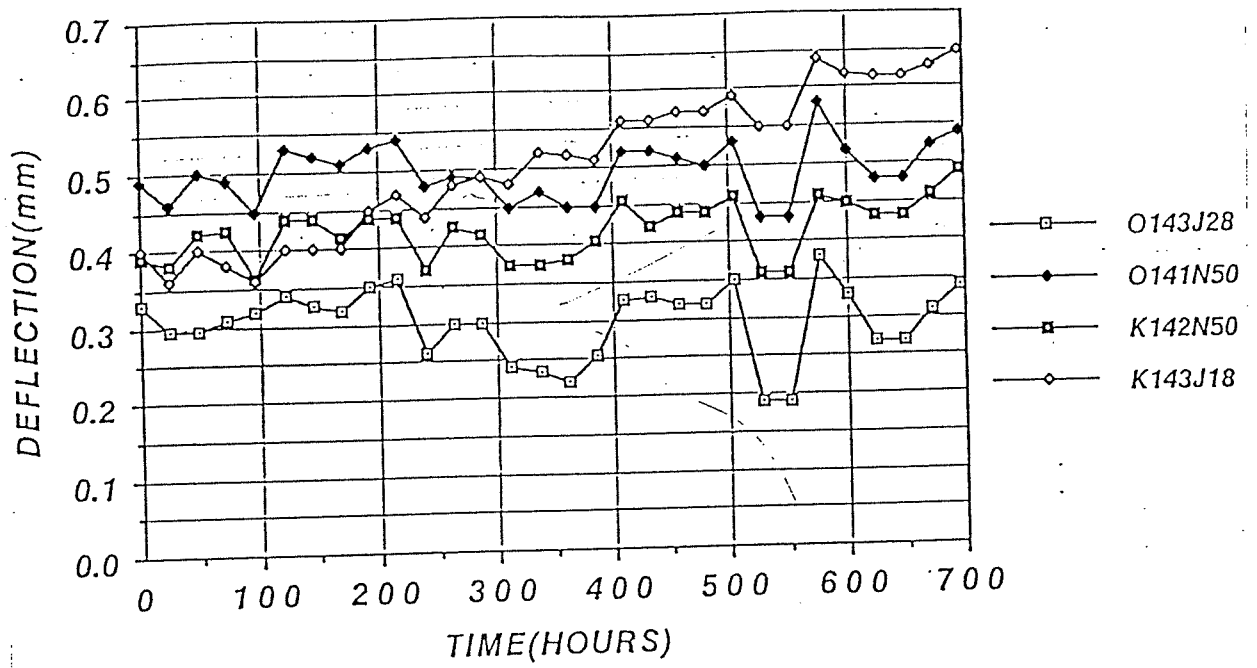


Fig.4 LVLの接合なし (N) と接合あり (J) の全体のクリープ変形とRELATIVE CREEP

(2) Fig.5に示すように湿度変化はその変形に大きな影響を与える。集成材は初期変形より変形が減少しており、湿度低下による回復が生じていると推測できる。しかしながら、試験体によっては逆の傾向を示すこともあり、ラミナの配置による収縮率の違いなどの効果が考えられる。一方接合部は変形の進行が逆転する傾向はみられない。

(3) Fig. 6のようにLVLおよびその接合部の湿度変動に対する挙動は集成材に比較すると個体差による傾向の差異は少ない。しかしながら、接合部の剛性、作用する応力比によって変動幅や変形の回復に違いが認められる。

(4) 瞬間変形に対するクリープ変形の比率（相対クリープ）で湿度変動による変形を比較すると、応力比が高いほど、湿度変動による変動幅は少なくなる傾向が認められる。

(5) 全般的にみると短期間の変動はその湿度変化幅に依存しているので、計測範囲内の全体について湿度の日変動と変形の日変動幅の関係を示すとFig. 7、8のようにやや正の関係があるのと全く関係が見られないものが存在する。しかしながら、計測の後半部分では正の関係がより明確になる傾向がある。したがって集成材、LVLとも負荷初期においては湿度変動に対する対応は明確でなく、荷重に対する安定化への変動が主体であると推測される。

(6) 長期間にわたる湿度変動を受けるときの撓み量の推定は比較的応力比の大きいときには初期の湿度変動後のPOWER則を基本にして、湿度変動に伴う撓み増加を湿度変動量に比例する量とした次式で表示すれば、実用的には大きな問題はないと思われる。

$$\delta(t, \Delta RH) = A \cdot t^n + h \cdot \Delta RH$$

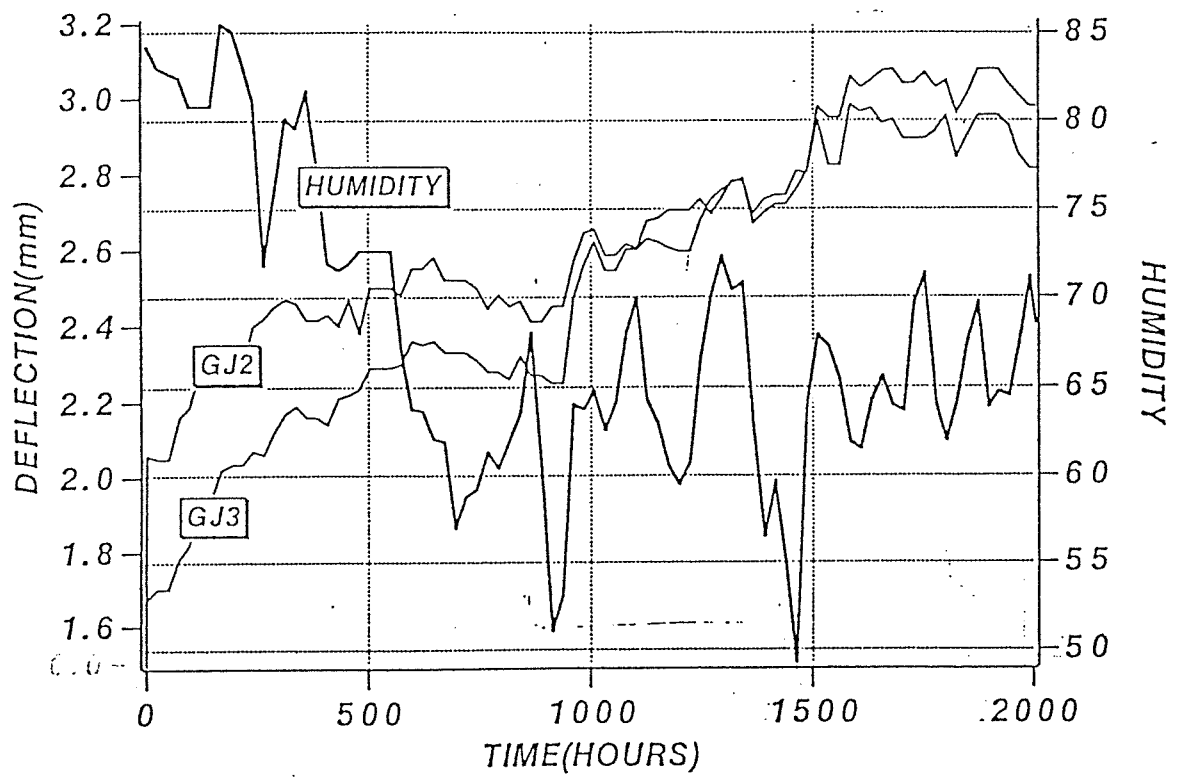
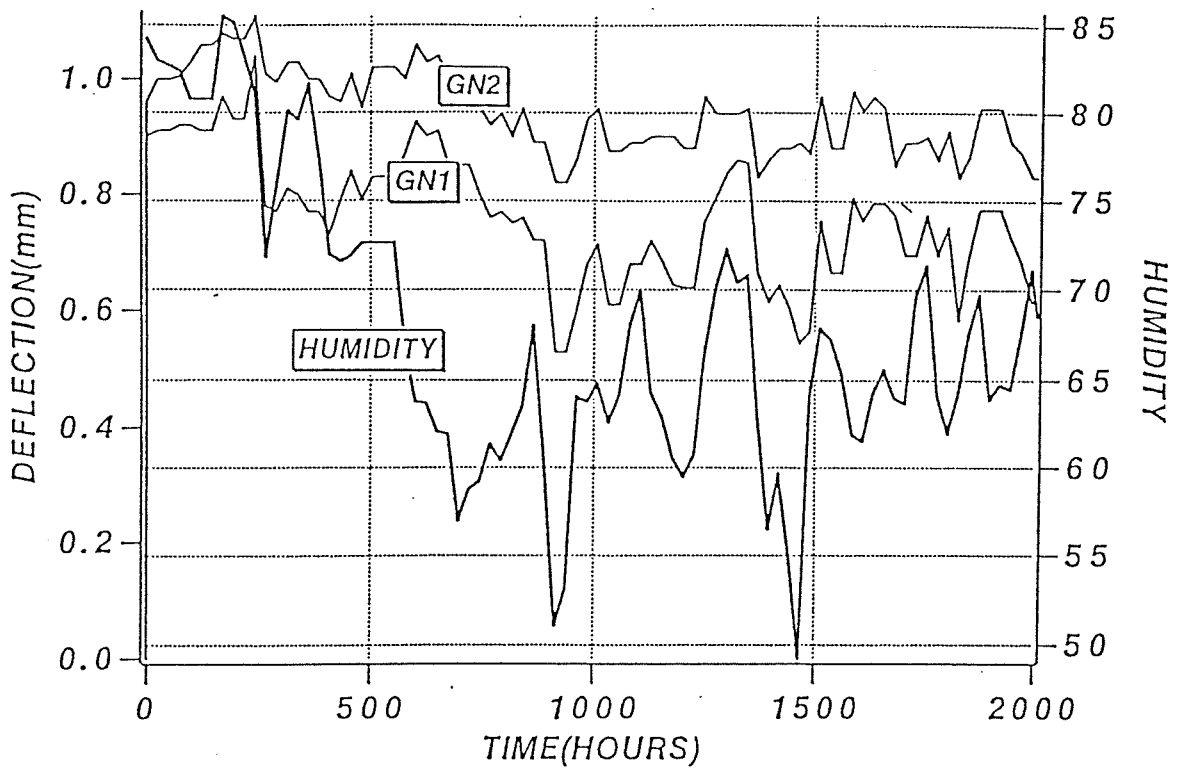
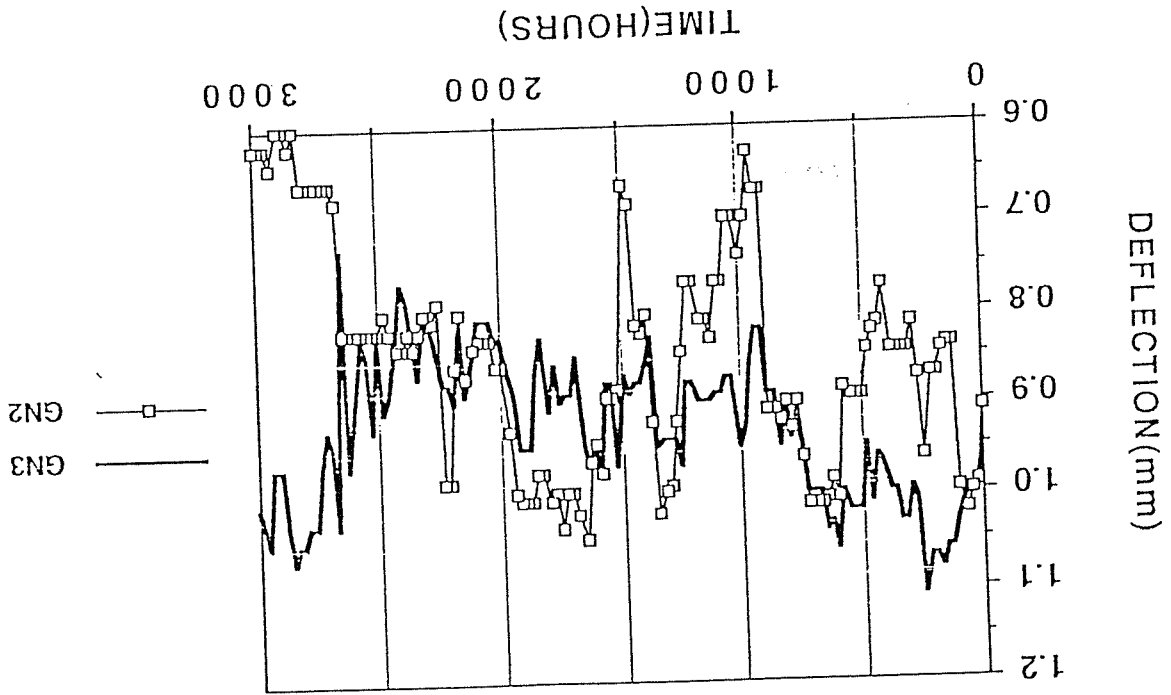
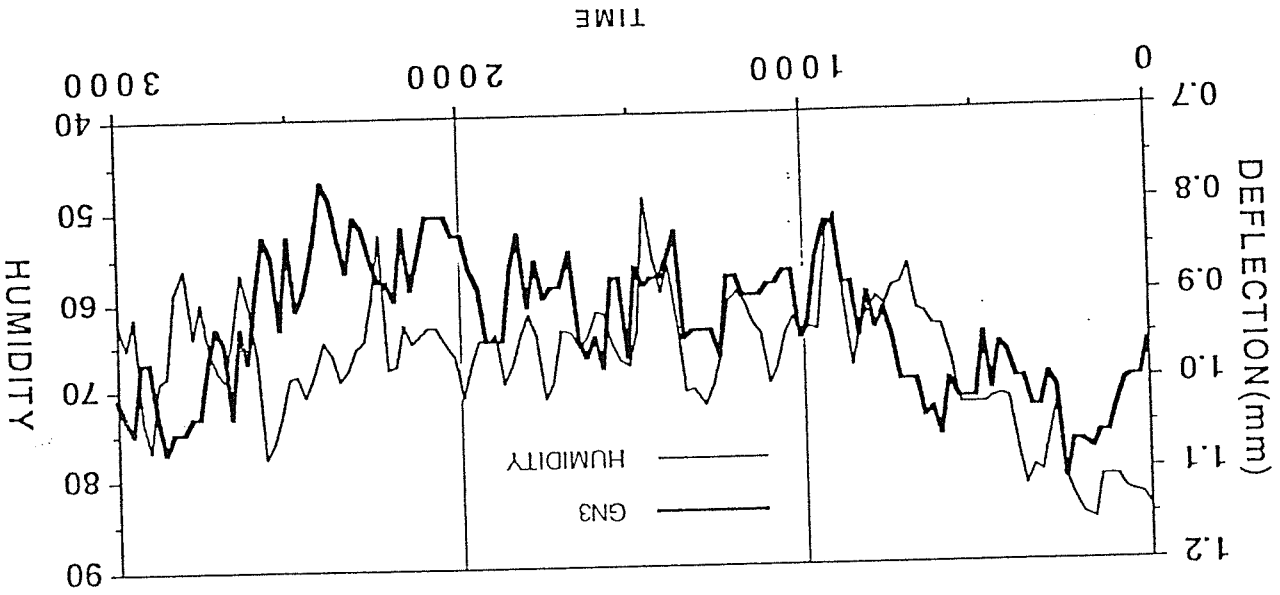


Fig.5 集成材とその接合の全体変形と湿度変化



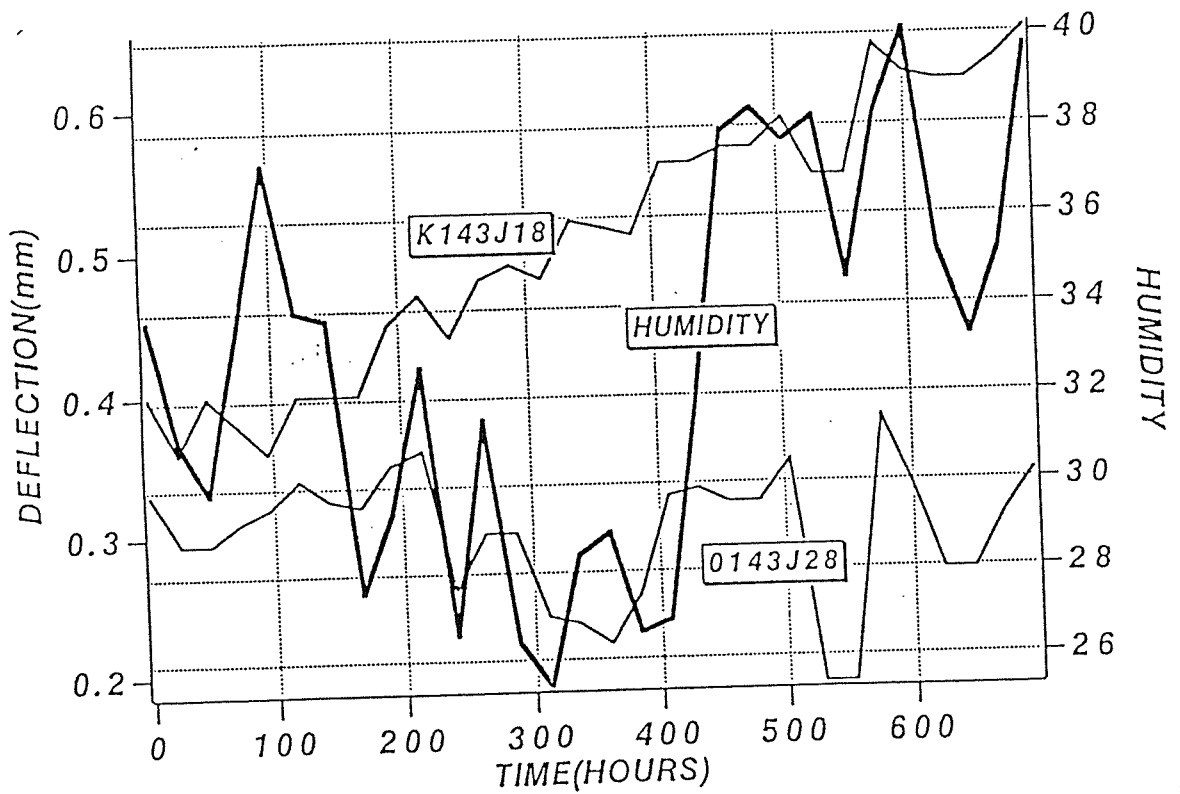
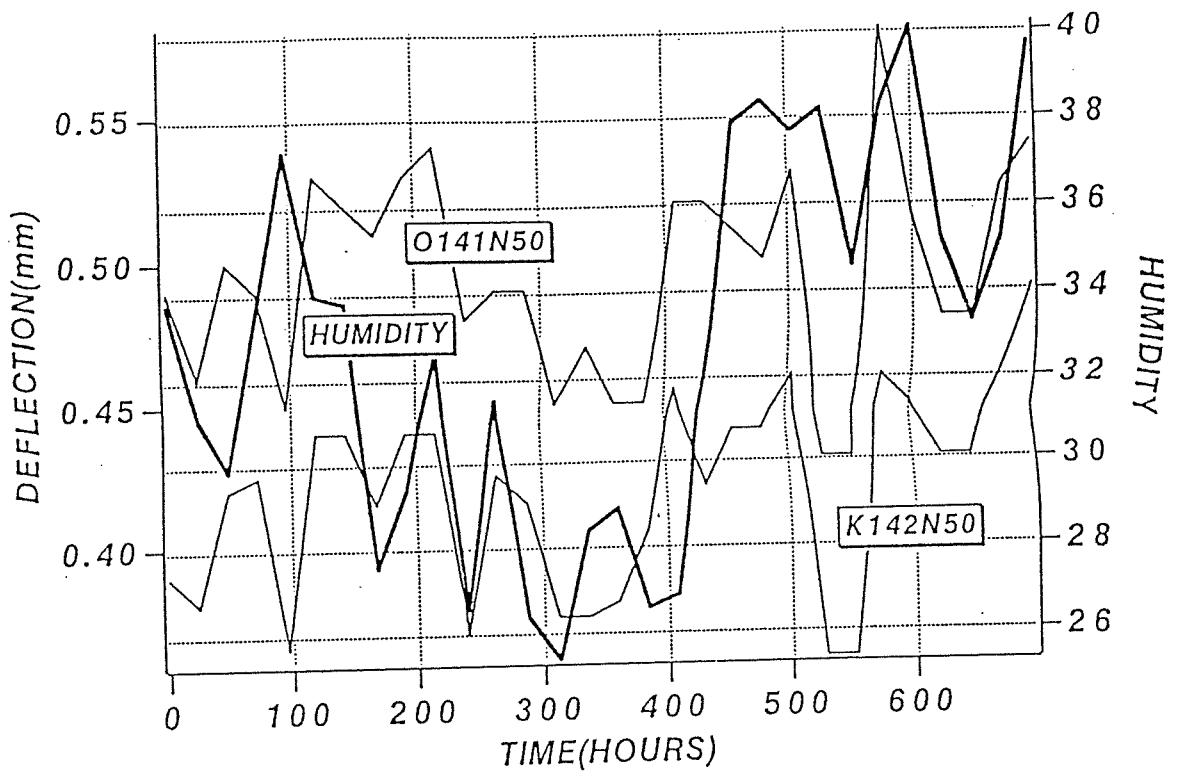


Fig. 6 LVLとその接合の全体変形と湿度変化

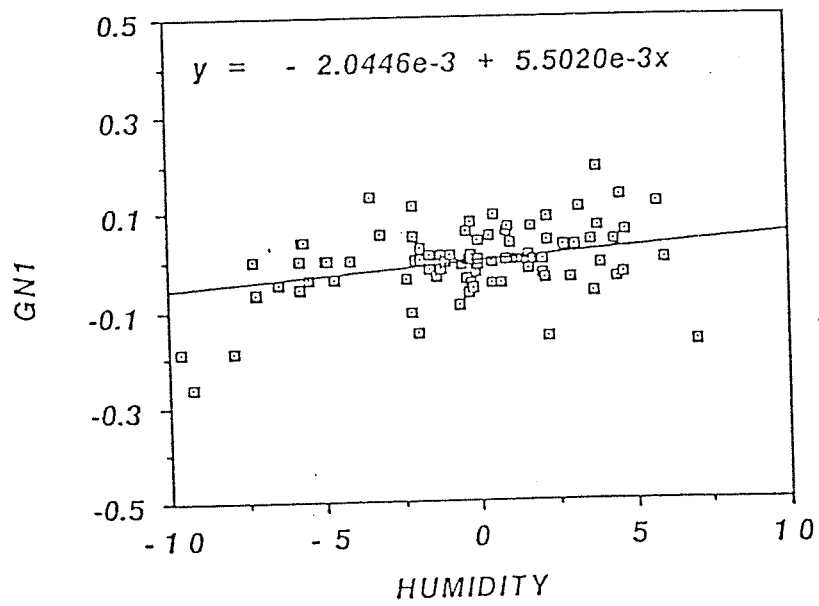
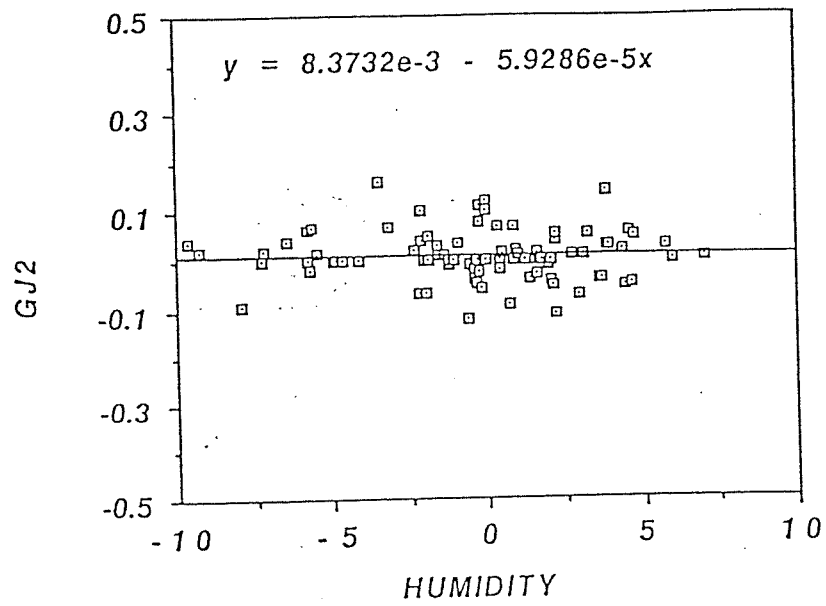


Fig. 7 湿度の日変動と集成材とその接合部の変形の日変動幅の関係

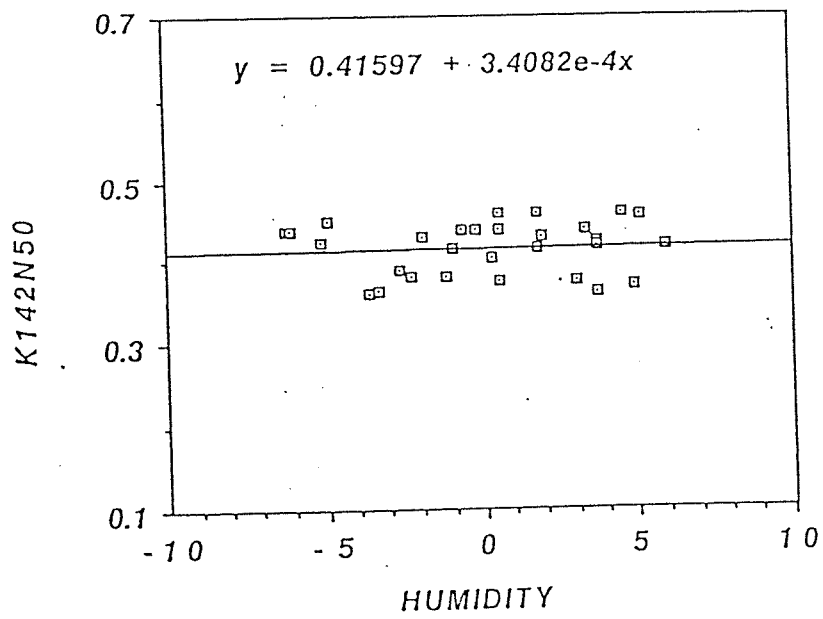
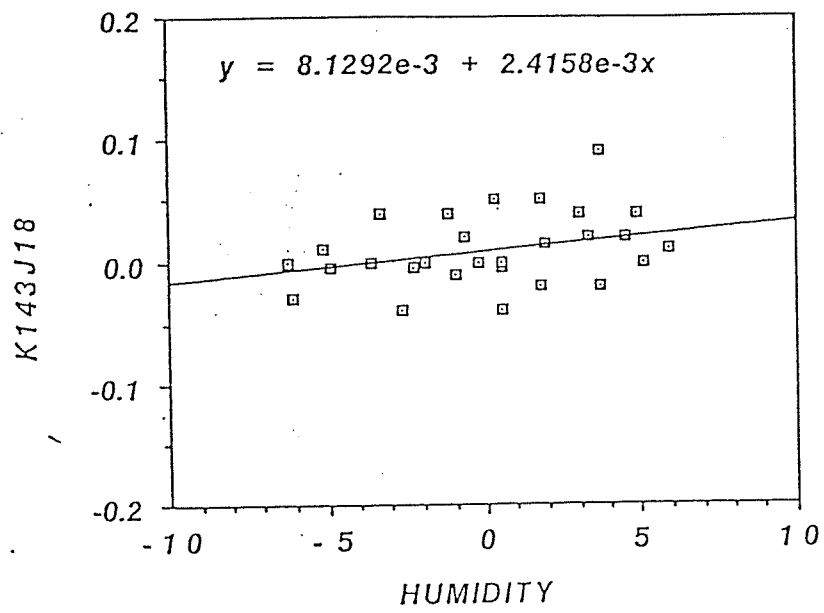


Fig. 8 湿度の日変動とLVLとその接合部の変形の日変動幅の関係

## 2. 4 まとめ

集成材、LVL（単板積層材）およびその釘接合部を対象にして湿度変動下でクリープ、すなわちMechano-sorptive変形を実験的に調べた。湿度変化はその変形に大きな影響を与え、集成材はラミナの配置による収縮率の違いなどの効果が考えられる。一方接合部は変形の進行が逆転する傾向はみられない。LVLおよびその接合部の湿度変動に対する挙動は集成材に比較すると個体差による傾向の差異は少ない。応力比が高いほど、湿度変動による変動幅は少なくなる傾向が認められる。集成材、LVLとも負荷初期においては湿度変動に対する対応は明確でなく、荷重に対する安定化への変動が主体であるが、後半では湿度の変動に対応する傾向が認められる。

長期間にわたる湿度変動を受けるときの撓み量の推定は比較的応力比の大きいときには初期の湿度変動後のPOWER則を基本にして、湿度変動に伴う撓み増加を湿度変動量に比例する量とした式で表示すれば、実用的には大きな問題はないと思われる。

なお、本研究は東京大学大学有馬孝礼氏および同院生洪淳一氏との共同研究によるものである。

### 文献

- 1) 有馬、丸山：木材および木質材料のクリープ変形と破壊、日本建築学会関東支部研究報告集、日本建築学会大会学術講演梗概集（1986）
- 2) 有馬、丸山：木質材料のクリープ性能に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集（1988）
- 3) 杉本、有馬：使用環境下での柵板のクリープ試験、静岡大学農学部研究報告 No.33, p63~70(1981)
- 4) 洪、有馬：木質材料および接合部のクリープ変形とMechano-sorptive変形、日本木材学会大会研究発表要旨集（1992）
- 5) 有馬、鴛海四郎：湿度変動下での集成材、LVLおよび接合部のクリープ特性、日本建築学会大会学術講演梗概集（1992）

Table1 供試材料



## 3. バイマツ集成梁のクリープ実験

### 3. 1 はじめに

木材を対象とした従来の曲げクリープ実験は、小断面の無欠点材を試験体としたものが多く、集成材に対して実施したものは世界的にも極めて少ない状況にある。今日、集成材はその優れた特性から大規模建築の主要構造材として用いられることが多くなっており、そのクリープ特性データを求めておくことは、力学的な安全性評価の上で重要と考えられる。この観点から本研究では集成材の曲げクリープ特性を明らかにすることを目的として、実大集成材を用いた長期（1年間）曲げ載荷実験を実施した。試験体は2体用い、パラメーターとしては応力比を選んだ。

杉材などを用いた既往の研究<sup>1)</sup>によれば、木材の曲げクリープ限度は曲げ強度の40～50%程度であるとされている。本研究では、長期許容応力度レベル（応力比0.3）と、集成材の曲げクリープ破壊の可能性を調べるため、上記50%のレベル（応力比0.5）の2ケースを対象とした。

本実験の実施場所は（財）日本住宅・木材技術センター試験研究所（東京都江東区）の銘木標本館内である。

注1) 例えば、久田「木材の長期荷重に対する強度並に断面欠損の影響」  
日本建築学会 研究報告9号 1950年11月

### 3. 2 試験体概要

本実験で使用する試験体は、断面 396×120mm、全長6mの集成材である。(2体使用)

図5-1に試験体外形図を示す。

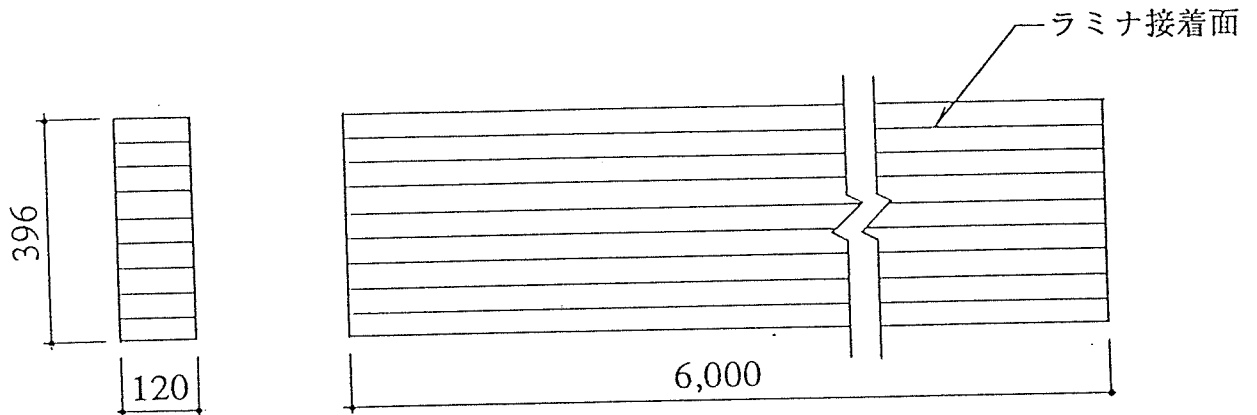


図 5 - 1 試験体外形

素材はベイマツで、ラミナ厚33mm、積層数12である。

集成材の強度等級は1級とする。

日本建築学会「木構造計算規準・同解説」によるヤング係数及び長期許容応力度は次の通り。

ヤング係数	$E = 110 \times 10^3^*$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
長期圧縮許容応力度	$f_c = 105$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) : 繊維方向
長期曲げ許容応力度	$f_b = 145^*$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
長期せん断許容応力度	$f_s = 12^*$ (kgf/cm <sup>2</sup> )

(注) \*印の値は、荷重方向又はたわみ方向と積層面が直交する場合のものである。

なお、載荷直前の試験体の平均表面含水率は、応力比0.3のものが11.3%、0.5のものが12.0%であった。

### 3. 3 実験装置概要

#### 3. 3. 1 支持架台

支持架台は鉄筋コンクリート製とし、試験体両端に1台ずつ2台で1組とする。

図5-2に架台外形図を示す。

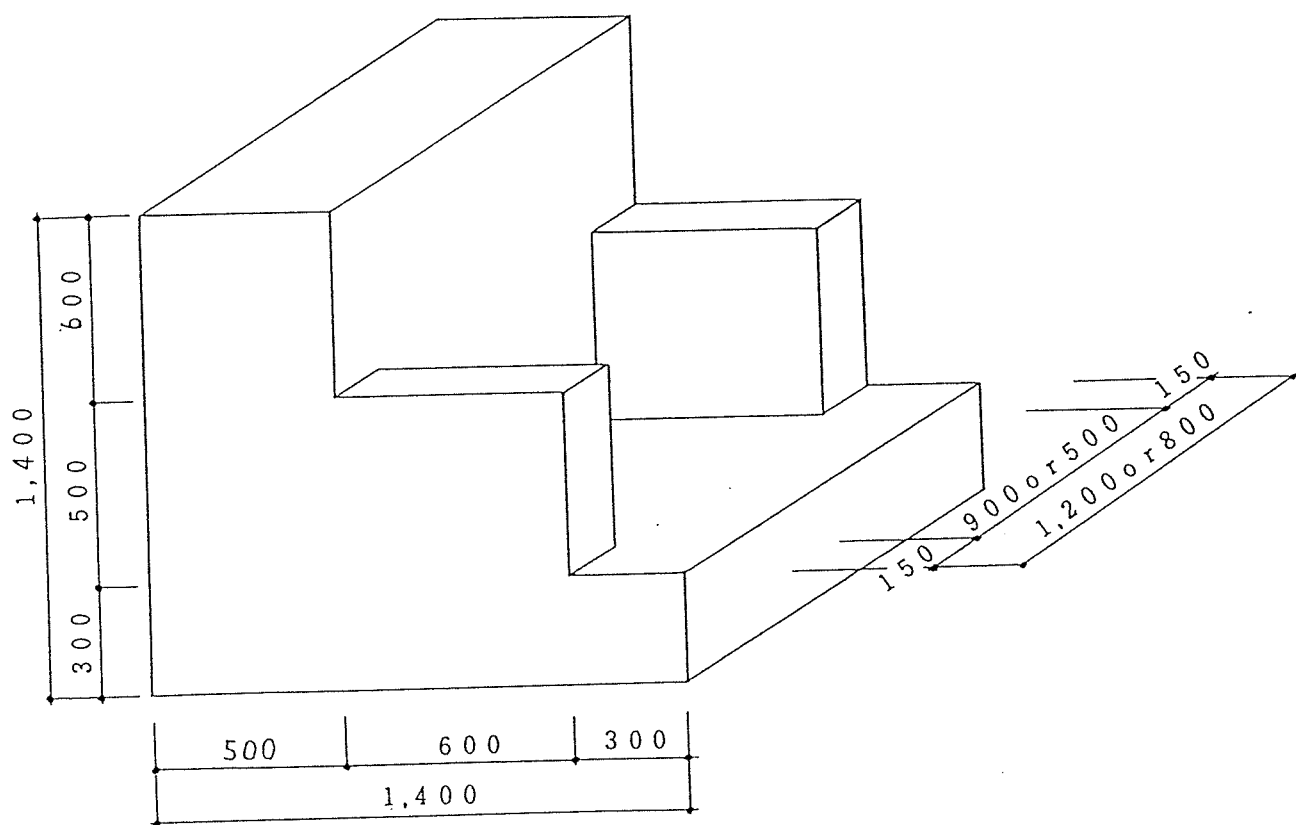


図 5-2 RC架台外形

試験体は2体であり、4. 実験方法で述べるように、応力比を変えた実験即ち荷重を変えた実験を行うため、荷重（錘）として使用する鋼矢板の枚数が2体の試験体で異なる。この枚数差により架台幅が相違する。

袖壁部分は鋼矢板の振れ止めである。

### 3. 3. 2 錘及び油圧ジャッキ

荷重としての錘には鋼矢板（FSP-3型，5m長）を使用する。

本鋼矢板は幅40cm、重さ300kg/枚であり、重ね厚は1枚当たり5cmである。

鋼矢板の載荷及び除荷の際には写真5-1に示す油圧ジャッキ（揚重10ton,揚程10cm）を使用する。本油圧ジャッキを鋼矢板の下に4ヶ所配し、手動にて操作する。

油圧ジャッキそのものの高さは27cmである。

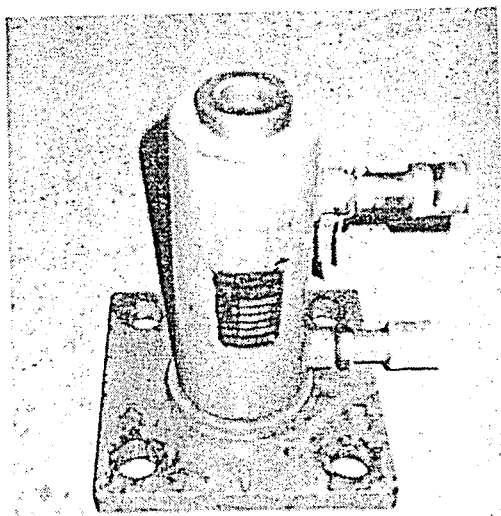


写真 5-1 油圧ジャッキ

### 3. 3. 3 計測機器

試験体の変形は、変位計（ストローク10cm）により、次の各点の鉛直変位を計測する。

- a) 試験体中央 ..... 1個
- b) 試験体支持点 ..... 2個
- c) 荷重点 ..... 2個

(計) 5個

これらの変位計は、次頁図に示すような鉄骨製支持架構に取り付けるものとする。

ひずみ測定器には、東京測器研究所製 TDS-301を使用する。

また、試験体設置室内の温度及び湿度を計測するため、連続記録方式の温湿度計を使用する。(写真5-2参照)

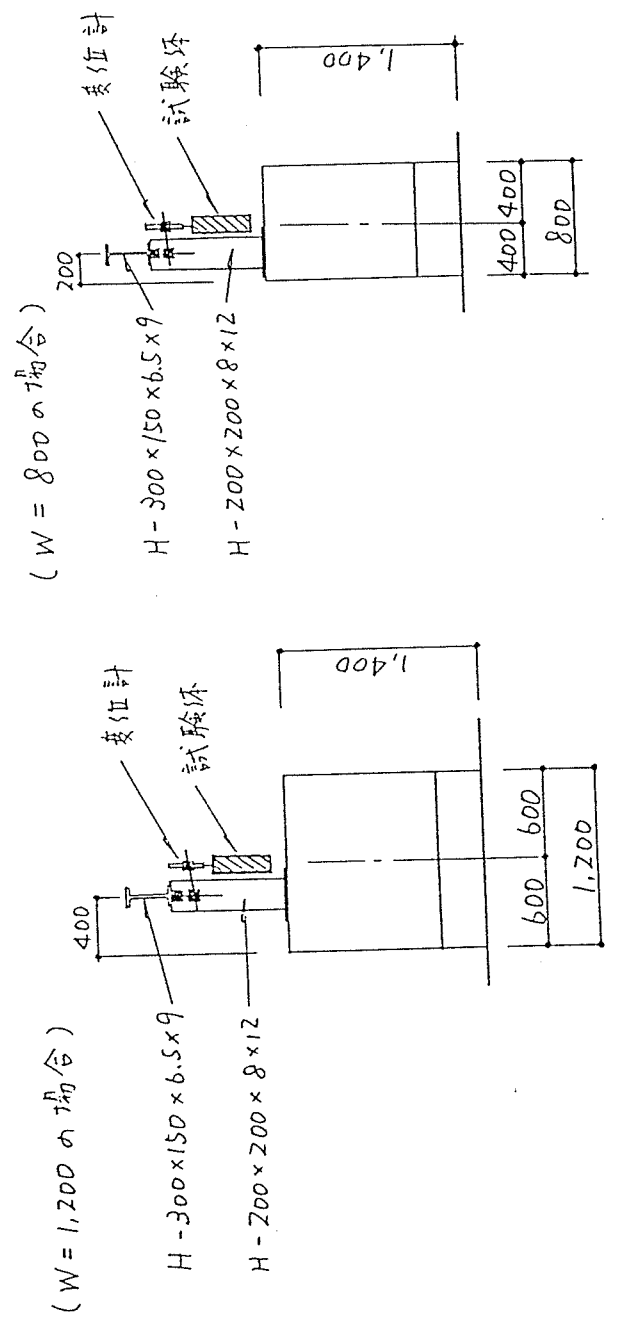
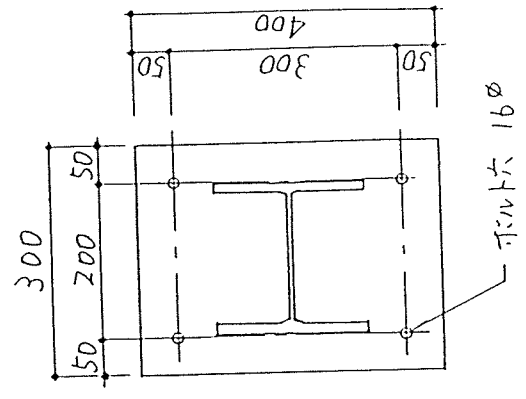
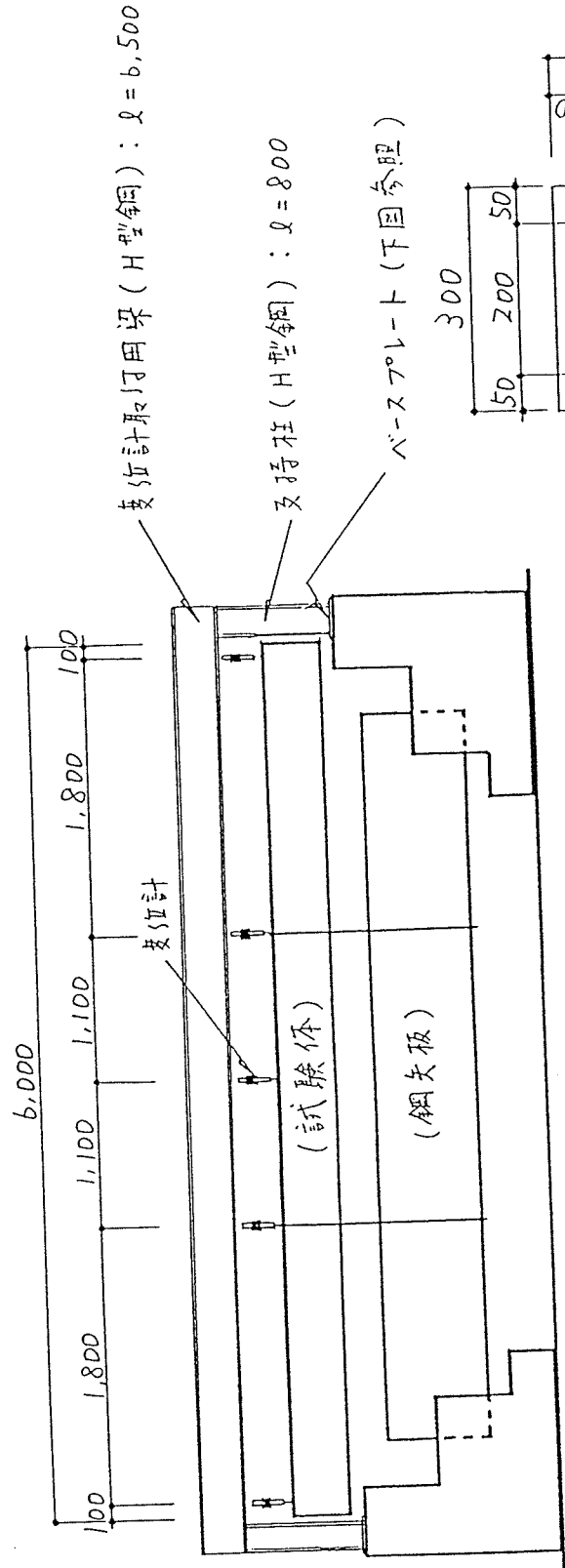


図 5-3 変位計取付鉄骨

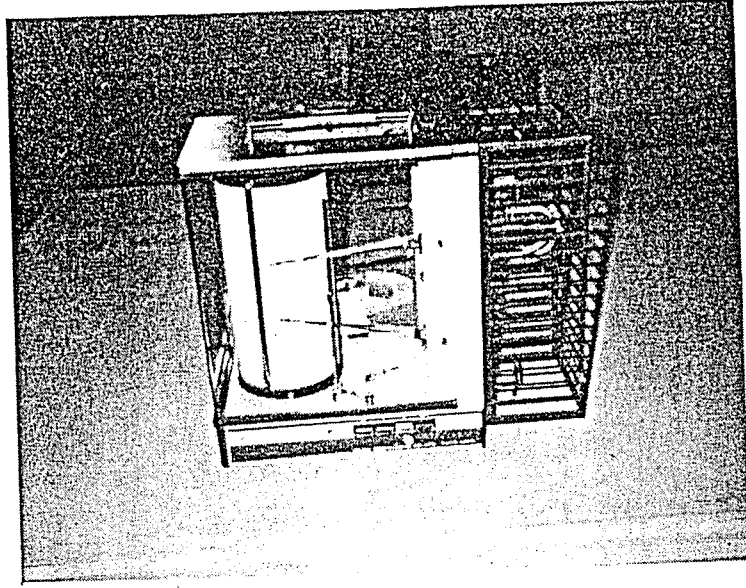


写真 5 - 2 連続温湿度記録計

### 3.4 実験方法

#### 3.4.1 載荷方法

2体の試験体は、それぞれ異なる応力比で載荷し、載荷期間は1年とする。1体は長期許容応力度に対応させ、応力比を0.3とし、もう1体は0.5とする。

いま、試験体の強度を長期許容応力度の3倍とすると、

$$\text{曲げ強度} \quad f_{bu} = 145 \times 3 = 435 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{せん断強度} \quad f_{su} = 12 \times 3 = 36 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{曲げ耐力} \quad M_u &= f_{bu} \times Z \\ &= 435.0 \times 3136.3 \\ &= 13.64 \times 10^5 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{せん断耐力} \quad Q_u &= f_{su} \times A \div 1.5 \\ &= 36.0 \times 12.0 \times 39.6 \div 1.5 \\ &= 11.40 \times 10^3 \text{ kgf} \end{aligned}$$

せん断スパンをLQとすると（荷重は2点載荷とする）、

$$M_u / LQ < Q_u \quad \text{より} \quad LQ > 119.6 \text{ cm}$$

曲げ破壊実験との対応を考慮し、LQ = 180 cmとする。

荷重の大きさWは、応力比 $\alpha$ が0.3のとき、

$$\frac{M}{Z} = \frac{180.0 \times 0.5 \times W}{3136.3} = 0.3 \times f_{bu}$$

より、W = 4548 kg（鋼矢板15枚：4500kg）

応力比 $\alpha$ が0.5のときは、同様にして

$$W = 7579 \text{ kg} \text{（鋼矢板24枚：7200kg）} : \text{不足分は他の釘により補う}$$

$\alpha = 0.3$ のとき、鋼矢板は1段積みで済むが、 $\alpha = 0.5$ のときは12枚積みを2段並べる構成となる。

図5-4は、 $\alpha$ が0.5の場合の試験体、架台、錘（鋼矢板）の構成を示したものである。鋼矢板は図中に示すようなH型鋼と長ボルトからなる吊り金物により固定し、二段に並べた鋼矢板が崩れるのを防止する。（図5-5参照）

$\alpha$ が0.3の場合は、図5-6、図5-7に示すような構成とする。

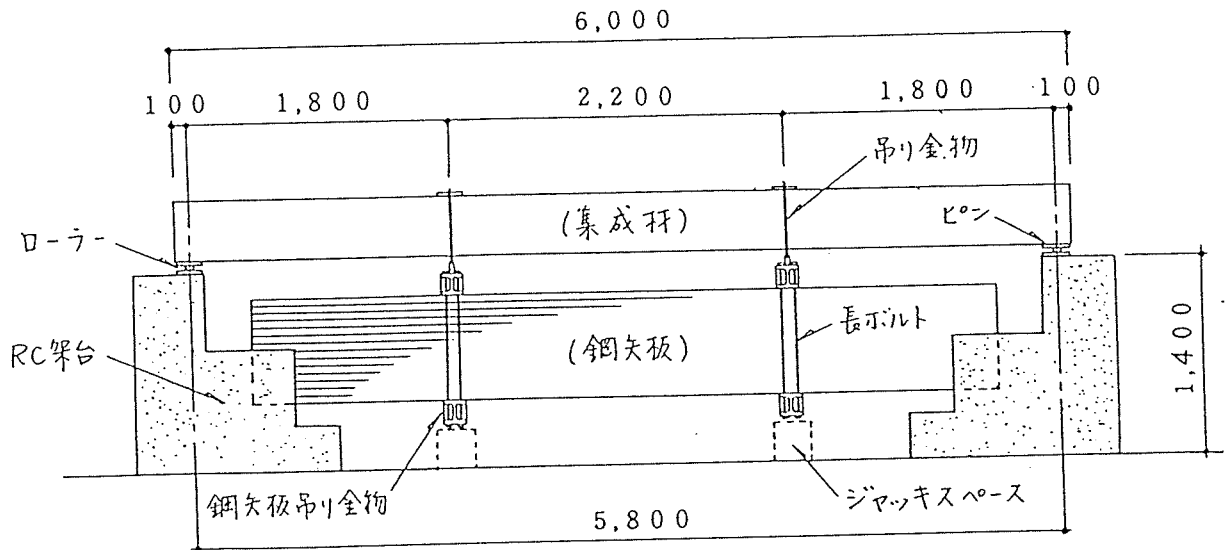


図5-4 実験装置構成 ( $\alpha = 0.5$ の場合)

(荷重のかけ方)

予め配した4個のジャッキ及び、コンクリートブロックの上に吊り金物（下側のH型鋼又は溝型鋼）を置き、その上に鋼矢板を天井クレーンにて吊り降ろす。このときジャッキの揚程（ストローク）は9cmにしておく。コンクリートブロックは鋼矢板積み上げの際の安定のために設けるものである。鋼矢板が積み上がり、ターンバックルにて吊りワイヤーのたるみをなくしたら、ジャッキのストロークを一杯の10cmに上げ、両脇のコンクリートブロックを取り除く。4個のジャッキは手動で操作し（1個につき一人がつく）、合図でジャッキを下げる。



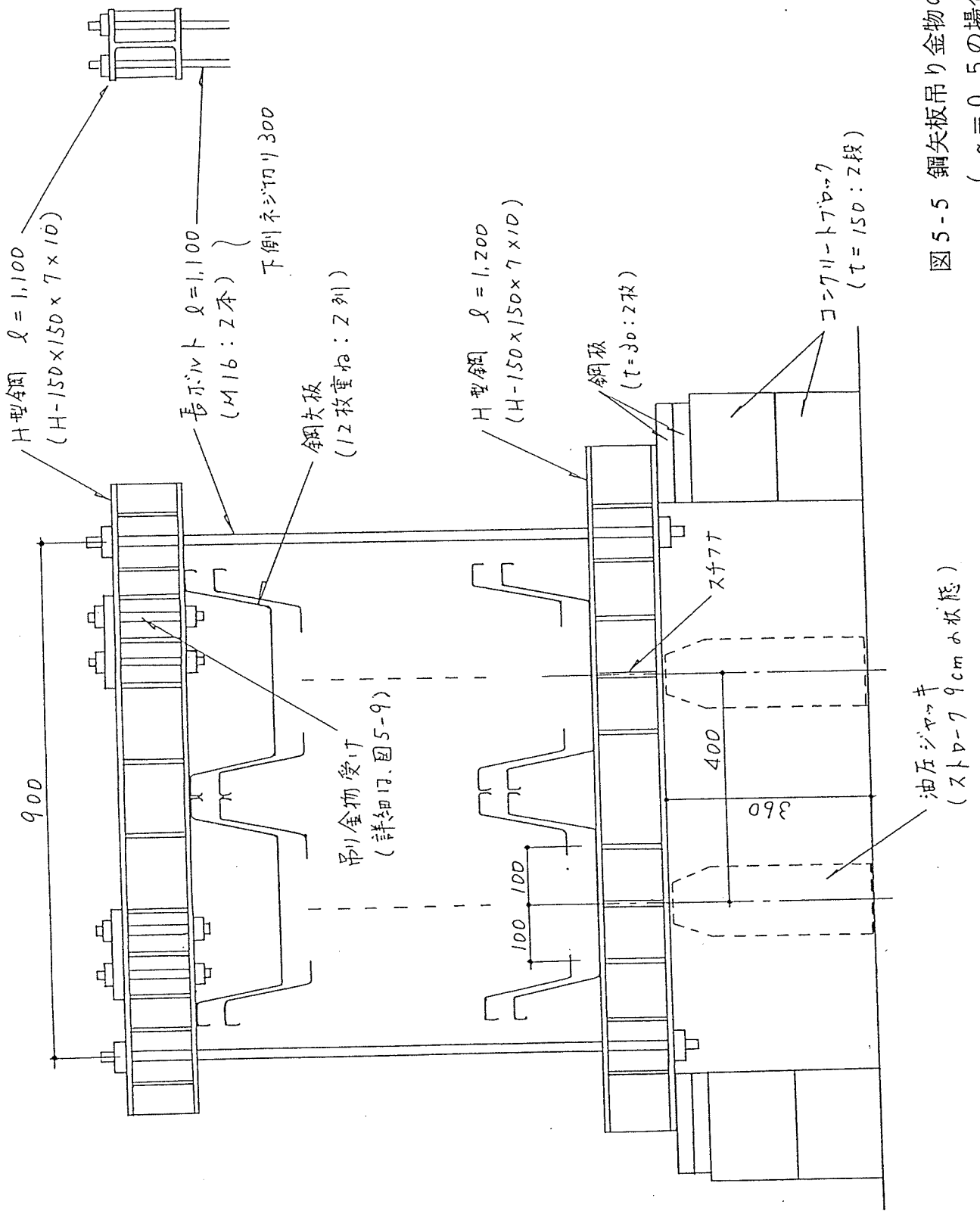
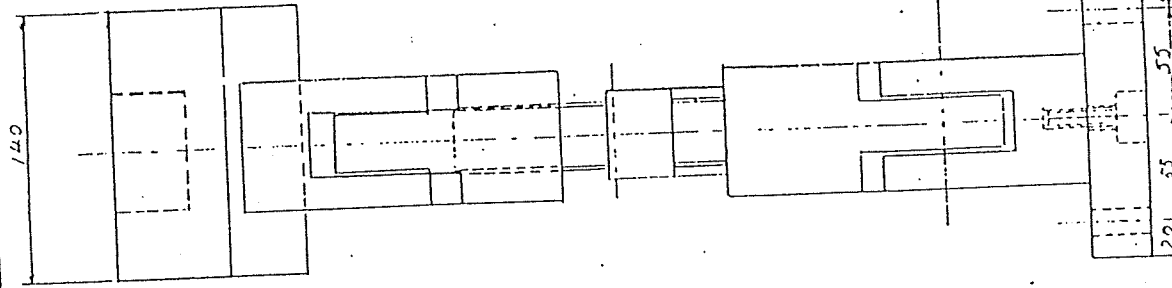


図5-5 鋼大板吊り金物の構成 (部分)  
( $\alpha = 0.5$ の場合)

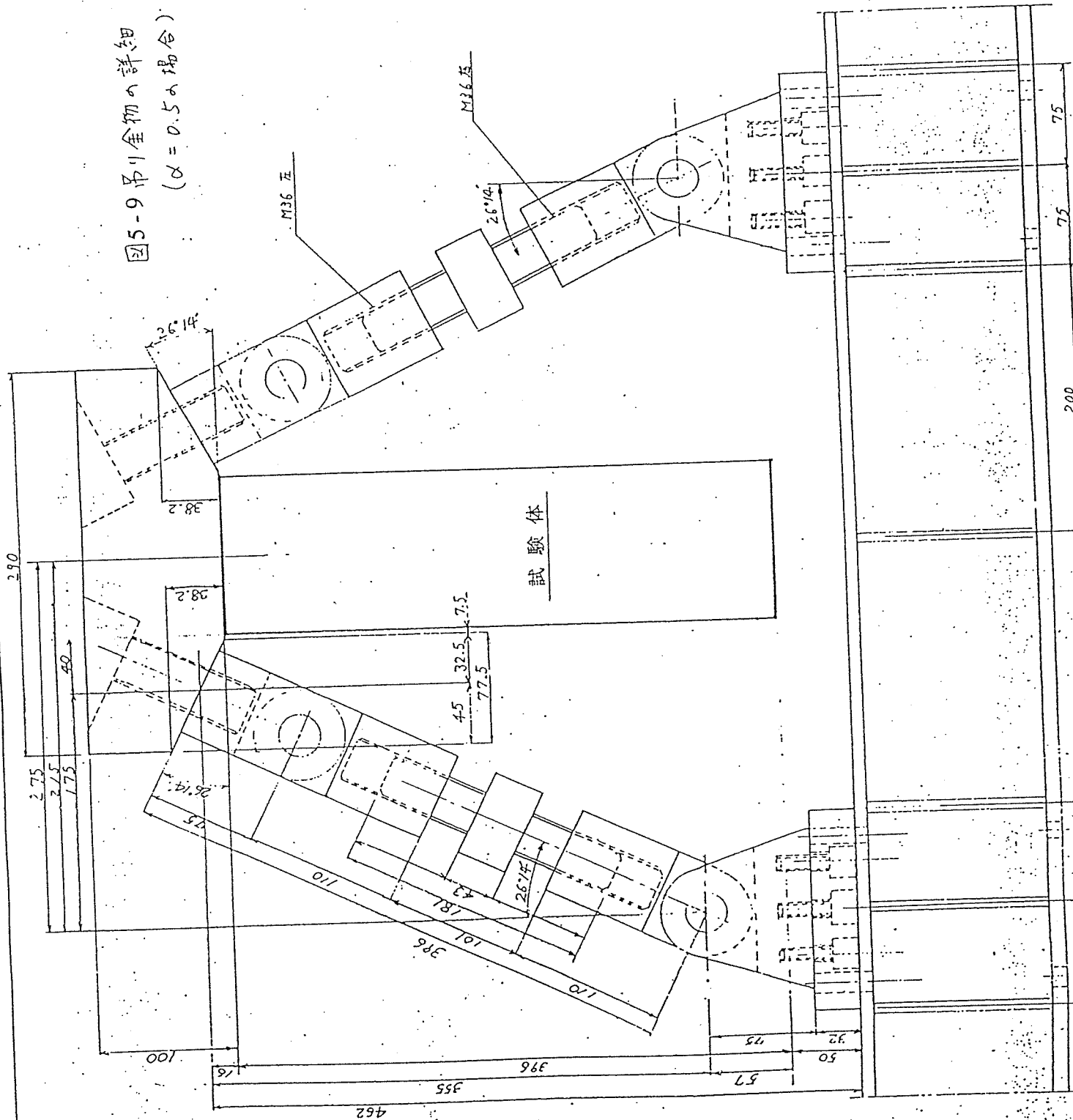




図5-9 吊り金物の詳細  
( $\alpha = 0.5$ の場合)



6					
5					
4					
3					
2					
1					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					
50					
51					
52					
53					
54					
55					
56					
57					
58					
59					
60					
61					
62					
63					
64					
65					
66					
67					
68					
69					
70					
71					
72					
73					
74					
75					
76					
77					
78					
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88					
89					
90					
91					
92					
93					
94					
95					
96					
97					
98					
99					
100					



### 3. 4. 2 計測方法

計測は、試験体の鉛直変位、中央の曲げひずみ、実施場所の温湿度について行なう。

鉛直変位については、3-3. で述べたように5ヶ所に変位計をセットし、一定時間おきに計測する。計測時間間隔を次に示す。

- |           |          |           |
|-----------|----------|-----------|
| a) 荷重直後   | ～ 荷重後1時  | : 30秒     |
| b) 荷重後1時間 | ～ 荷重後6時間 | : 15分     |
| c) 荷重後6時間 | ～ 荷重後7日  | : 1時間     |
| d) 荷重後7日  | ～        | : 1週間～3週間 |

温湿度計は試験体近傍に設置し、荷重期間計測を続ける。

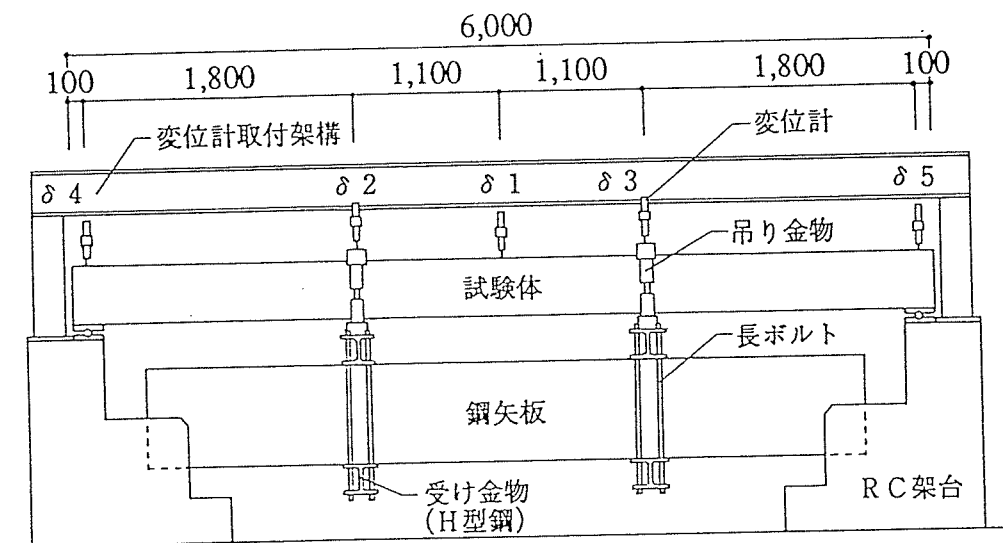
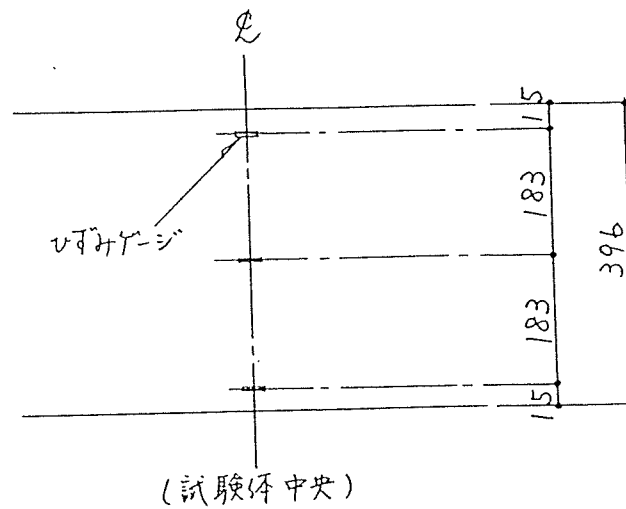


図 5 - 10 変位計測の概要

$\delta 1 \sim \delta 5$  は、各変位計に於ける変位量を示す。

試験体の曲げ変形性状を調べるため、試験体中央に3ヶ所ひずみゲージを貼付する。(下図参照) 但し、試験体片面のみに貼付する。



計測は変位計と同時に行なう。但し、接着剤の信頼性(有効期間)を考慮して、計測期間は3週間程度とする。

実験状況を写真5-3(応力比0.3の場合)及び写真5-4(応力比0.5の場合)に示す。

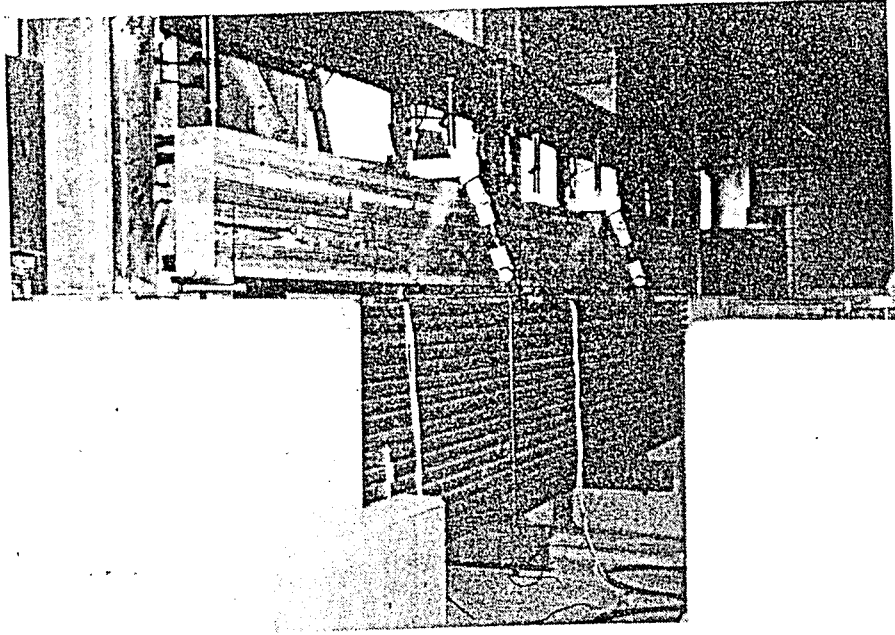


写真 5-3 実験状況 (応力比 0.3)

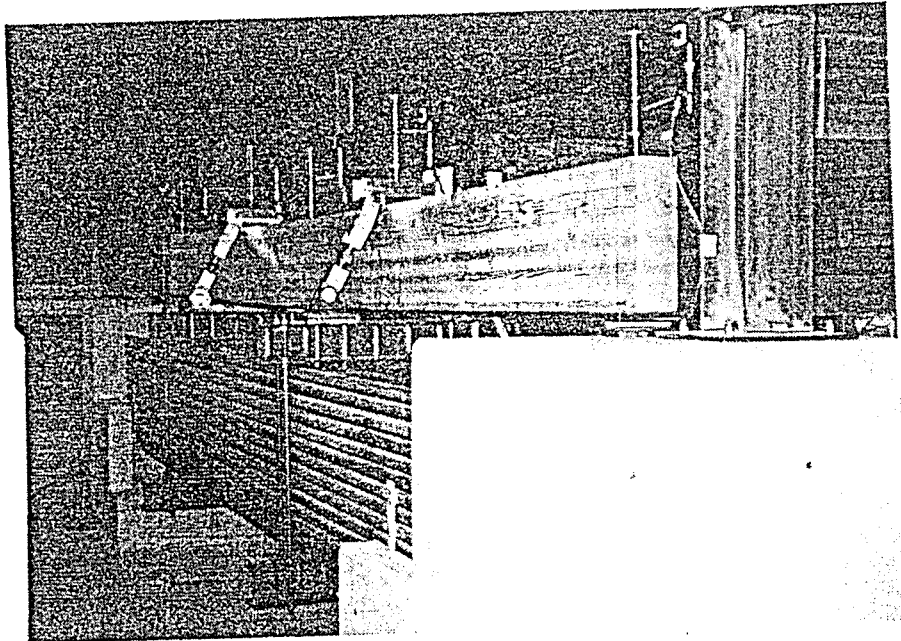


写真 5-4 実験状況 (応力比 0.5)

### 3.5 実験結果

#### 3.5.1 載荷後4ヶ月目までの変位計測結果

載荷を行なった3月26日から4ヶ月目（正確には119日目）の7月24日までの変位状況をグラフ化し、中間検討を行なった。

図5-11は、応力比0.3の場合の試験体中央（ $\delta 1$ ）及び載荷点（ $\delta 2$ 及び $\delta 3$ ）の計測結果である。載荷直後の試験体中央の初期たわみは17.69mmであった。119日目の試験体中央の変位量は22.93mmであり、これより4ヶ月目の対初期たわみ比は1.30となる。文献1（P.1参照）によれば、4ヶ月にわたる杉材曲げクリープ実験の結果、クリープ限度付近（応力比0.3～0.4）の継続荷重を受ける木材の変位は、4ヶ月でほぼ安定し、対初期たわみ比は約1.6～2.0になるとしている。本実験の結果では同じ4ヶ月でも1.6を下回っている。しかし、変位の増加はわずかではあるが続いている。

同様に図5-12は、応力比0.5の場合の試験体中央（ $\delta 1$ ）及び載荷点（ $\delta 2$ 及び $\delta 3$ ）の計測結果である。載荷直後の試験体中央の初期たわみは31.92mmであった。119日目の試験体中央の変位量は42.68mmであり、これより4ヶ月目の対初期たわみ比は1.34となる。文献1によれば、応力比が0.6のものは載荷時間が3000時間以内に破壊するが、応力比が0.5のものは載荷時間が3000時間になっても変位の増加が停止しないとしている。本実験の場合も同様に3000時間に近づいても変位の増加は続いている。



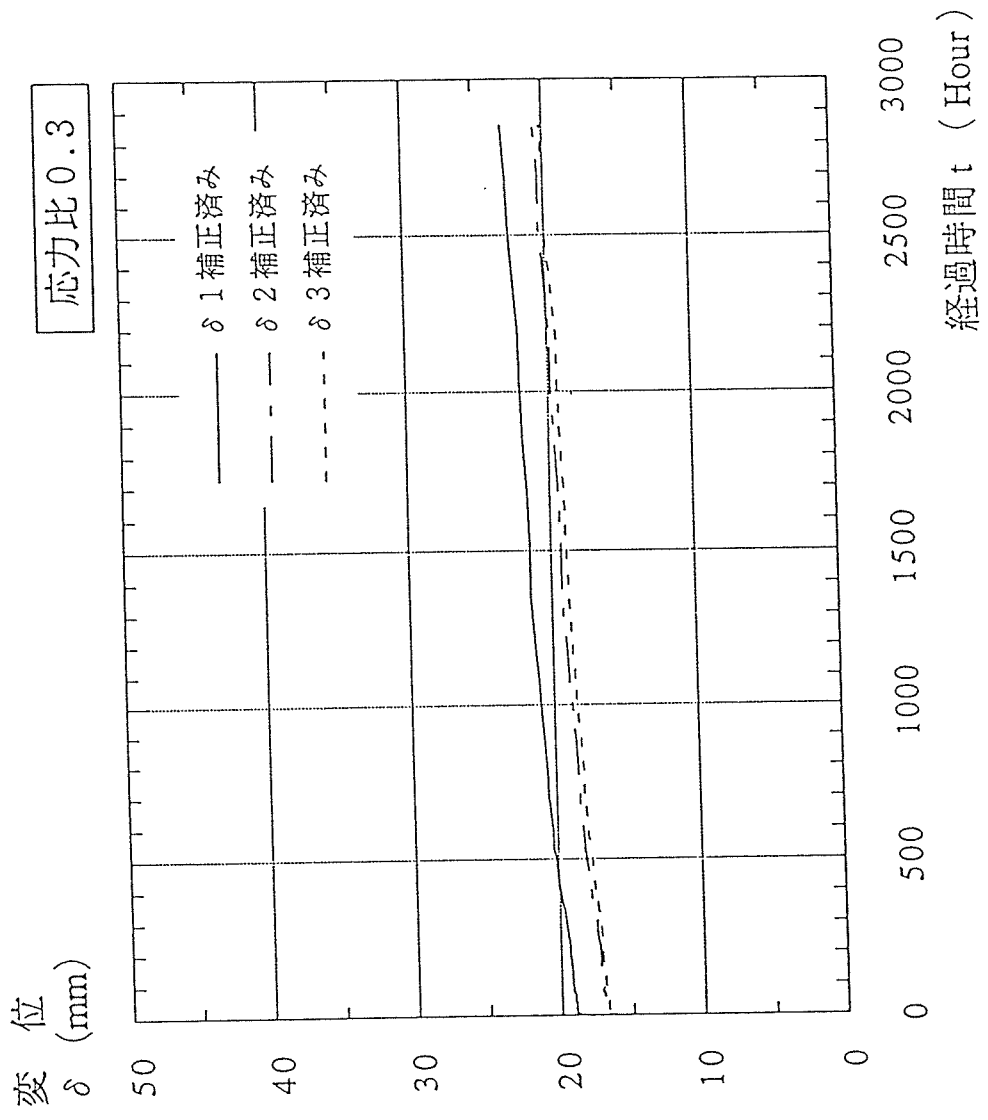


図 5-11 載荷後 4 ヶ月目までの変位状況 (応力比 0.3)

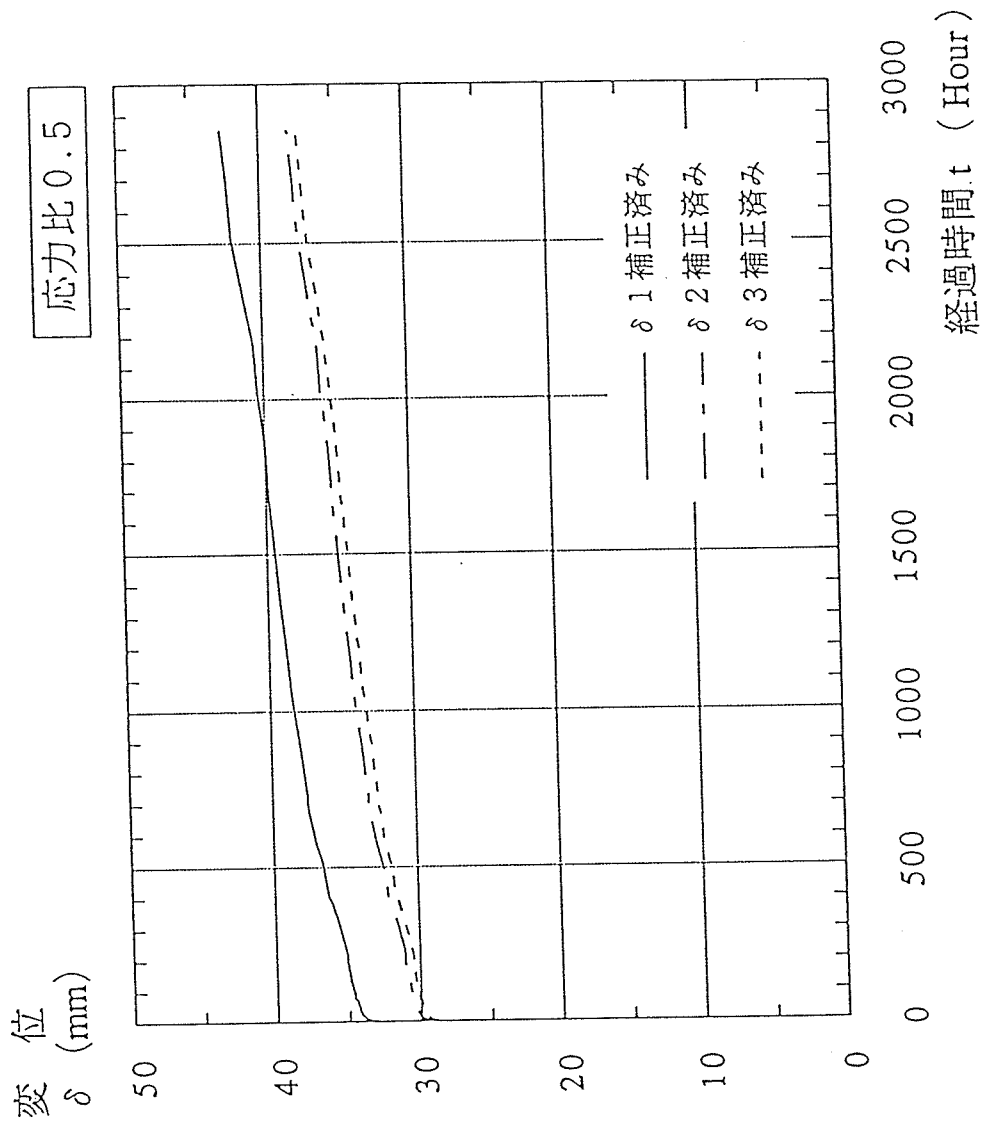


図 5 - 12 載荷後 4 ヶ月目までの変位状況 (応力比 0.5)

### 3. 5. 2 短期間（2週間）連続変位計測結果

本実験は、比較的温湿度の高い時期（夏期）の試験体の動きを調べることを目的として、8月9日16時30分より同23日11時30分まで約2週間、1時間おきに計331時間、変位を連続計測した。これは載荷後、136日目（約3260時間）から150日目（約3600時間）に相当する。

図5-13は応力比が0.3の場合、図5-14は応力比が0.5の場合の計測結果である。図5-15は比較のため両者を1つのグラフに描いたもので、温度と湿度（いずれも試験体脇にセットした温湿度計による記録値）のデータを併せて示した。実験実施場所は広い屋内で、比較的通気性が良く、直接日光を受ける部分が少ないため温度の変化は少ないが、湿度は比較的高い領域で変動している。

本実験の結果により、試験体の変位は、ほぼ周期的に小さな増減を繰り返しながら徐々に増加することがわかる。また、応力比0.3と0.5の両試験体は、変位増分量は異なるが、変位の増減はほぼ同時に起こっていることがわかる。両試験体に共通して、夕方から深夜にかけてと早朝から昼にかけての2つの時間帯にわずかながら変位が減少する（戻る）傾向が認められる。この他、240時間を過ぎて湿度がほぼ90%と高湿度になったところで両試験体の変位量が大きく伸びているのが確認できる。

3 3 1 時間經過時

中央變位増分  $\Delta \delta = 0.29 \text{ mm}$

試験体中央変位増分

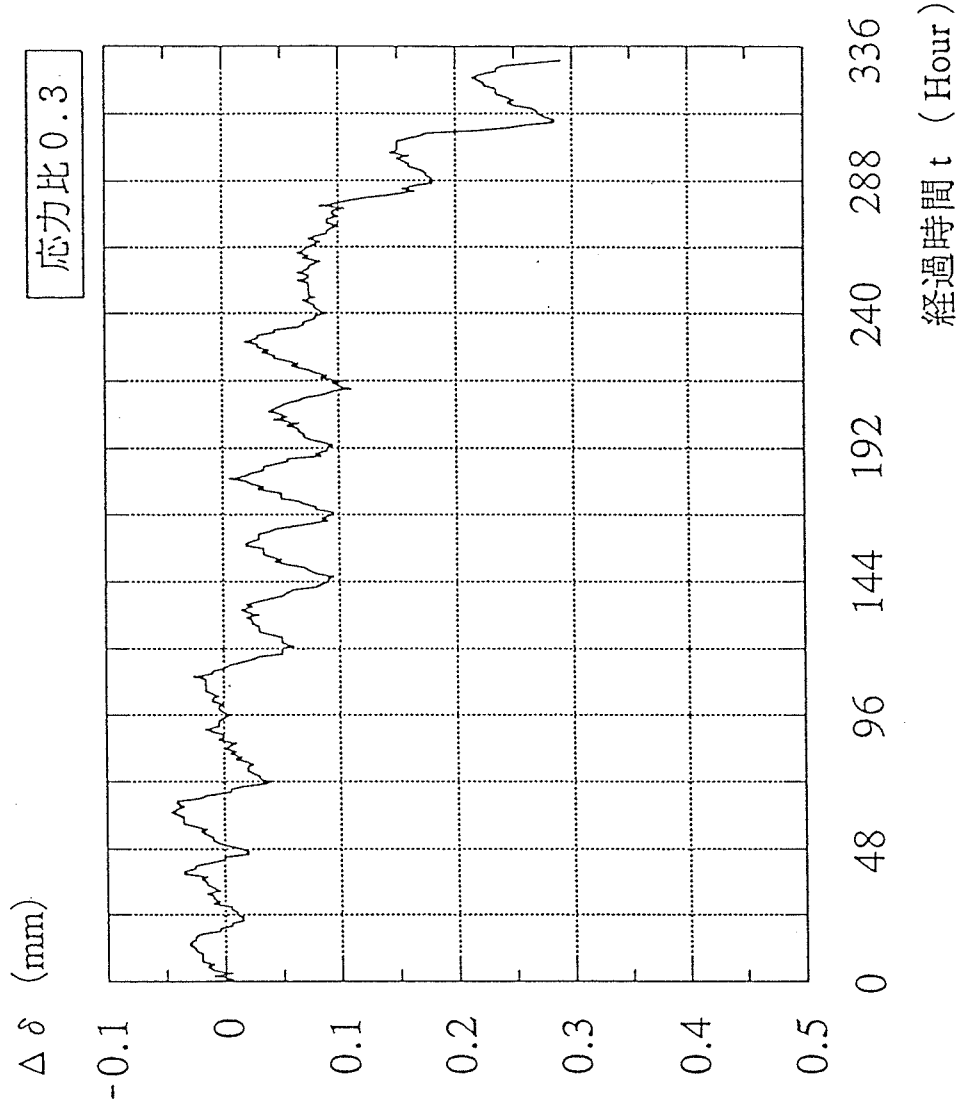


図 5-13 短期間連続変位計測結果 (応力比 0.3)

3 3 1 時間經過時

中央變位増分  $\Delta \delta = 0.46 \text{ mm}$

試験体中央變位増分

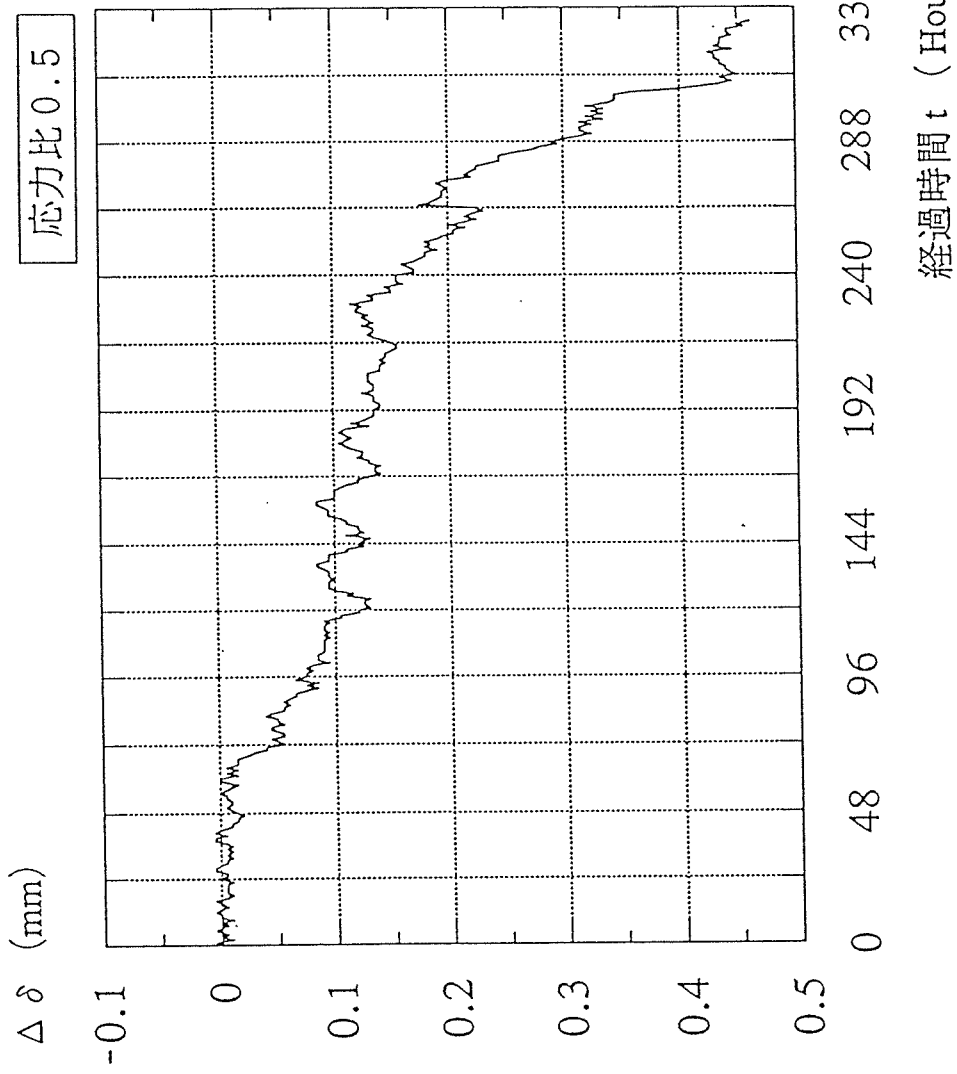


図 5-14 短期間連続變位計測結果 (応力比 0.5)

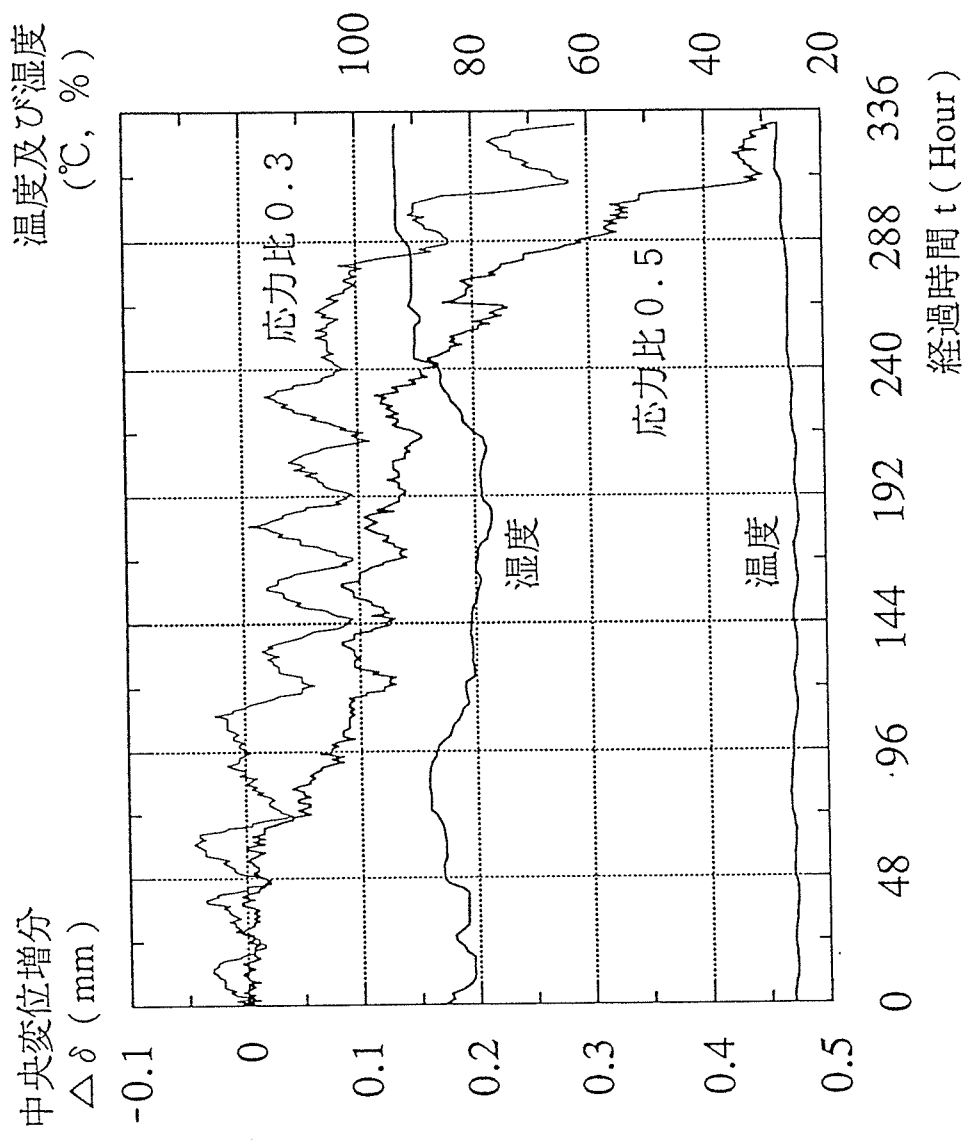


図 5 - 15 短期間連続変位計測結果 (応力比 0.3 及び 0.5)

### 3. 5. 3 載荷後1年目までの変位計測結果

図5-16は、平成3年3月26日から平成4年3月26日までの1年間（正確には366日）の試験体中央（ $\delta 1$ ）の計測結果であり、変位を計測した際に記録した温度と湿度のデータを併せて示した。

応力比が0.3の場合、試験体中央の1年目の変位量は23.95mmであり、これより1年目の対初期たわみ比は1.35となる。応力比が0.5の場合、1年目の変位量は46.61mmであり、同様に対初期たわみ比は1.46となる。図5-16によれば、応力比0.3の試験体では載荷後約6ヶ月目以降、変位の変動は小さくなり、ほぼ一定値に近い値となっていることがわかる。一方、応力比0.5の試験体は1年経過時に於ても変位の増加がわずかに続いているのが確認できる。

図5-17は、図5-16の時間軸を対数目盛としたものである。図5-16では認識が難しいが、図5-17では応力比0.3の試験体の変位が、1年経過時点で非常にわずかではあるが増加傾向を示しているのがわかる。また、応力比0.3と0.5の両試験体とも、温度と湿度が比較的高い時期（2000時間～4000時間）に変位の増加の割合が大きくなっているのが確認できる。

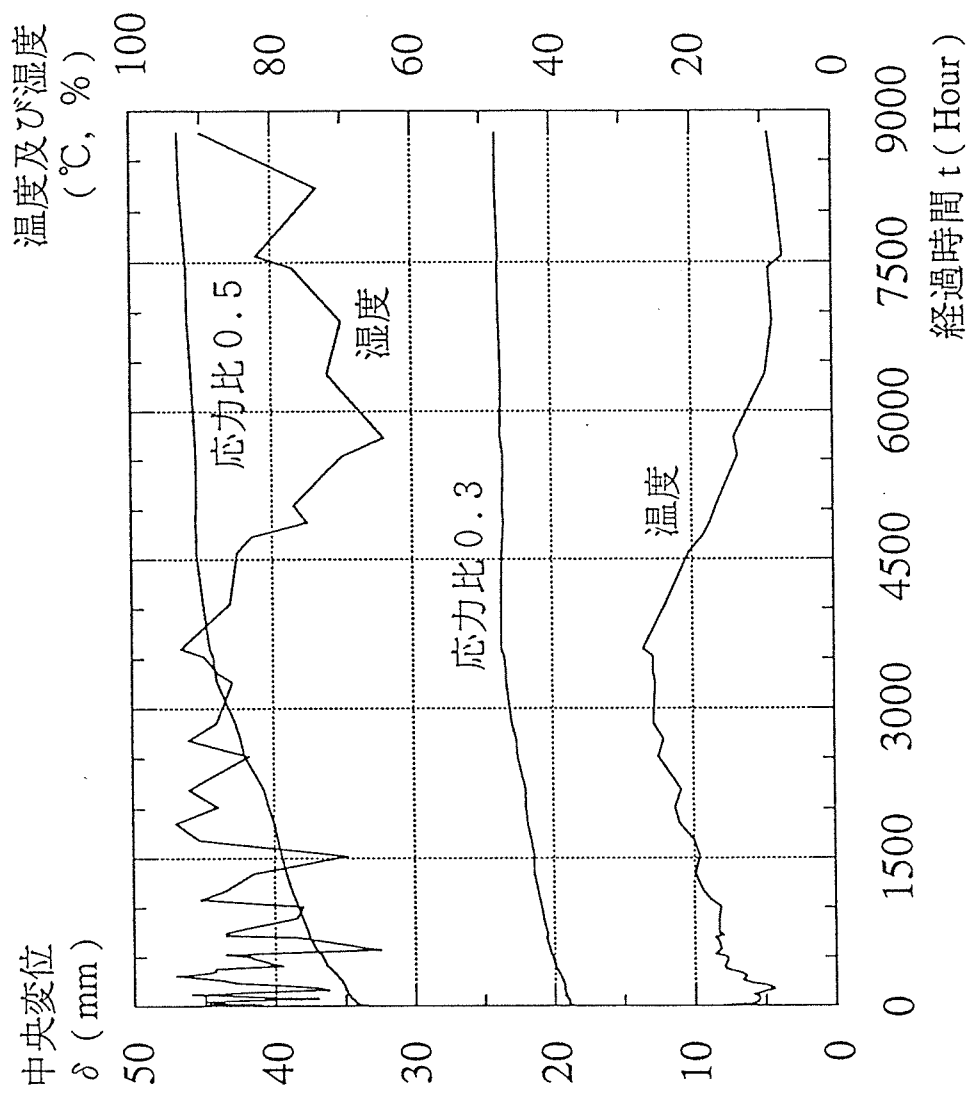


図 5-16 載荷後 1 年目までの変位計測結果

(応力比 0.3 及び 0.5)



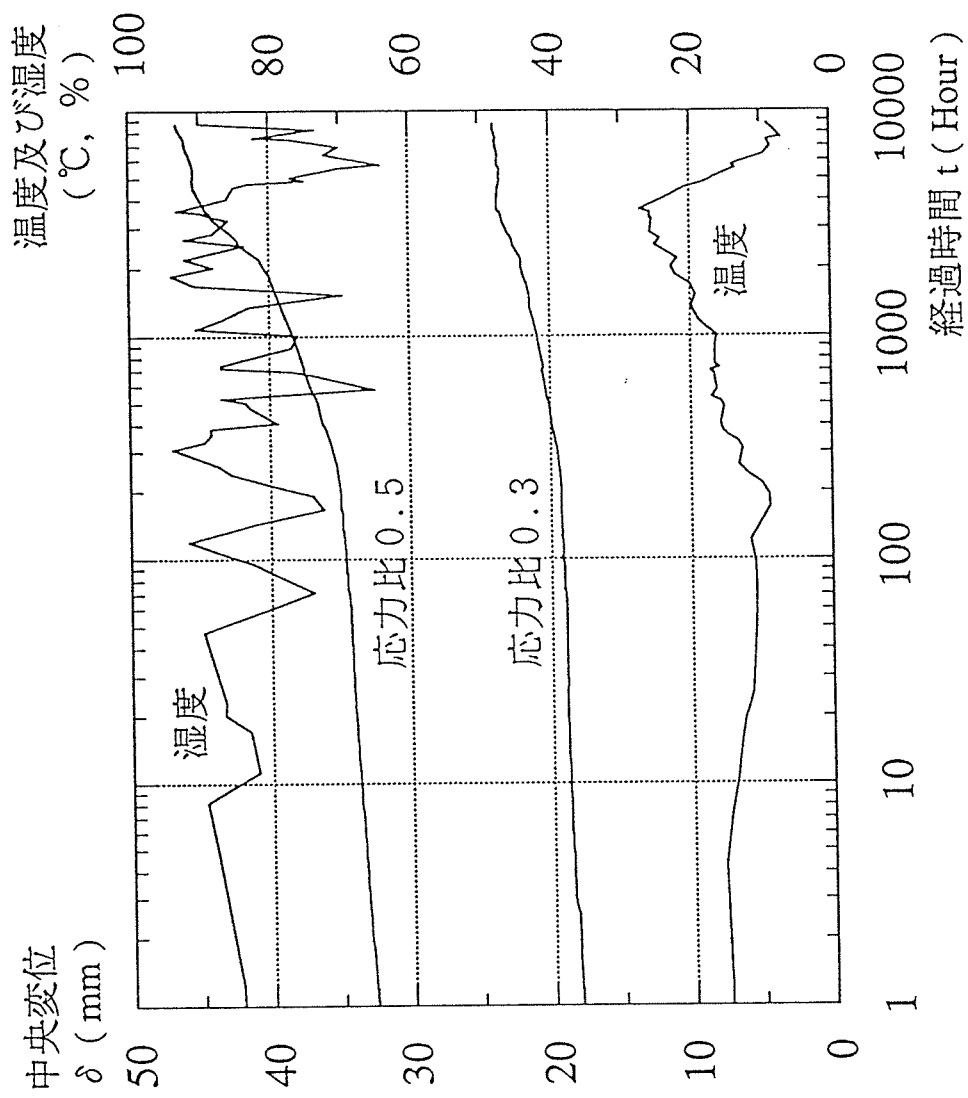


図 5-17 載荷後 1 年目までの変位計測結果

(応力比 0.3 及び 0.5 : 対数時間軸)

### 3. 5. 4 載荷後20日目までのひずみ計測結果

ひずみ計測は、応力比が0.5の試験体のみについて実施した。ひずみゲージの貼付位置は試験体の中央、片側側面3ヶ所であり、計測は載荷後24時間おきに実施した。

計算では、試験体のヤング率を $110 \text{ tonf/cm}^2$ としたとき、ひずみゲージ外側2枚の計測位置に於けるひずみ値は $1815 \mu$ となる。本実験では、載荷直後(初期たわみ時)のひずみ値は、引張側で $1260 \mu$ 、圧縮側で $1536 \mu$ であった。

この20日間の結果からは、引張側、圧縮側共にひずみが僅かずつではあるが増加していることがわかる。特に載荷後1日間の増加が大きく、その後はほぼ一定の増加傾向を示している。なお、中央のひずみ値が時間の経過と共に0に近づいており、このことは中立軸位置が断面の中心へ徐々に移動していることを示している。

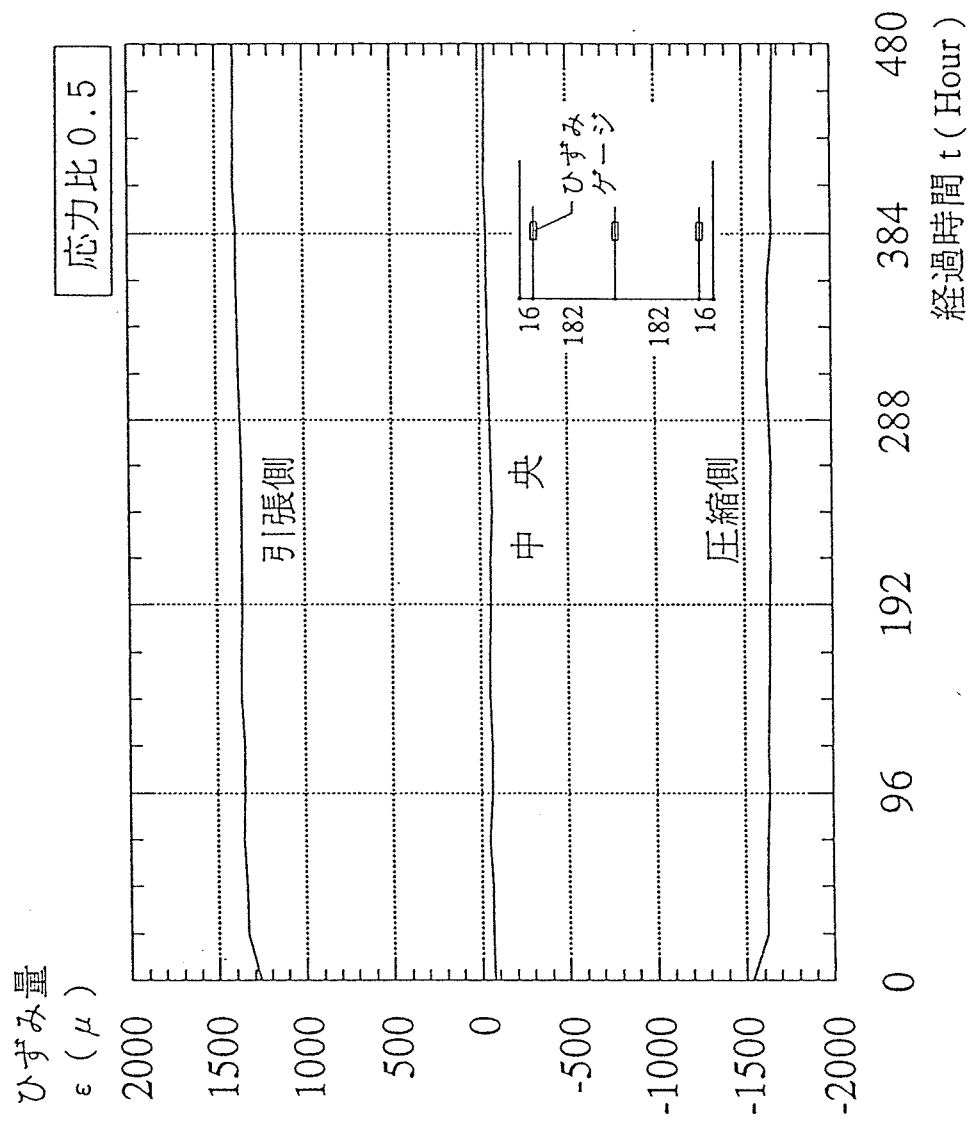


図 5-18 1 載荷後 20 日目までのひずみ計測結果  
(応力比 0.5 のみ)

### 3. 6 まとめ

実大集成材試験体による曲げクリープ実験を1年間実施した。長期許容応力度レベルの応力比0.3の試験体については、載荷後約6ヶ月目以降、変位の変動は小さくなり、ほぼ一定値（対初期たわみ比で1.35程度）に近い値を示すようになった。しかし、非常にわずかではあるが1年経過時に於て変位が増加傾向を示すようになり、今後更に計測を続ける必要がある。一方、応力比0.5の試験体は、1年経過時点に於ても変位の増加は続いており、1年目以降にクリープ破壊の可能性を残している。この試験体についても計測の継続が必要である。

いずれの試験体に於ても、対初期たわみ比は従来の単一木材を用いた研究による値を下回っており、単一木材の場合よりも集成材とした場合の方が、対初期たわみ比が小さくなることが予想される。

温湿度の影響については、温度が1日を通じてほぼ一定という条件に近い実験環境であったため（1年を通じては当然変動するが）、湿度の影響を抽出するには好都合であった。2週間にわたる変位の連続計測により、微視的なレベルでのクリープ変位の変化を調べた結果、湿度が高くなるにつれて変位の増加の割合が大きくなるという傾向が確認できた。また、1日の間でも集成材の変位は、ほぼ周期的に小さな増減を繰り返しながら徐々に増加することが明らかになった。

## 4. スギ梁材のクリープ特性

### 4. 1 はじめに

スギは、かつては在来工法部材としての明確な用途があつたことから、その育成には化粧性に最大価値が生まれる工夫が重要とされてきた。ところが、近年、木材の構造的評価が実大材を対象とした実験・研究に基づくようになり、また外国産材との競合、木造率の低下及び在来工法への危機感が生じたことなどから、全国各地で強度等級区分や構造用大断面集成材を初めとする木質新材の開発など建築構造材としての信頼性確保や需要拡大対策に取り組む例が多くみられるようになった。ところで、建築構造材に要求される主な性能は、使用期間内に予想される外力に耐えることである。この場合、スギ実大材を対象として、通常の強度試験のように短時間に外力が作用する場合について報告された例は多いが、長期間にわたって外力が作用する場合について検討された例は極めて少ない。そのため、建築構造材としての信頼性にやや不安があり、この点（クリープ）についての検討が大変重要になってきている。そこで本研究では、スギの構造的利用に関する資料収集の一環として、温湿度変動条件下におけるスギ実大梁材（生材，人工乾燥材，集成材）のクリープ特性を定性的に把握する。

### 4. 2 実験方法

#### 4. 2. 1 供試体

宮崎県高岡町内山産スギ生材，人工乾燥材及び集成材各1体を供した。

ここで，表-1に各供試体の特徴（クリープ試験開始時）を示す。

表-1

	含水率	b	h	L	比重	縦振動ヤング率
生材	42.0%	10.5cm	21.3cm	405.9cm	0.549	69.4tf/cm <sup>2</sup>
人工乾燥材	17.7%	10.5cm	21.0cm	407.3cm	0.450	73.5tf/cm <sup>2</sup>
集成材	13.3%	10.5cm	20.9cm	402.4cm	0.390	87.7tf/cm <sup>2</sup>

表-1における含水率は，高周波含水率計による値である。また，集成材はラミナ厚21mm，積層数10である。

#### 4. 2. 2 載荷方法

3体とも応力比は0.11とし，載荷期間は1年とする（現時点では4ヶ月経過）。ここで，図-1に実験装置の概略図を示す。載荷に当たっては，それぞれの支点，荷重点におけるめり込みを防ぐために，同位置に厚さ9mmの鉄板を敷いた。また，たわみの測定位置においても，ダイヤルゲージ測定子のめり込みを防ぐために，厚さ2mmの平滑なプレートを当てた。

載荷方法は，同図に示すように3等分点4点荷重方式とし，後述の方法で算出し

た供試体別載荷荷重に応じて、直径32mm、長さ1830mm(11.5kg/本)の鉄筋を必要本数だけ載荷した。

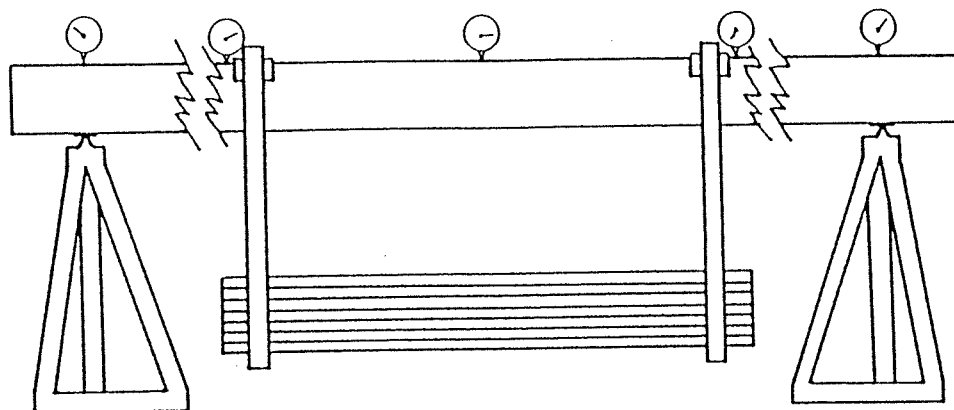


図-1 実験装置

#### 4. 2. 3 負荷荷重

既往の本県及び他県のデータを総合して、MORと縦振動ヤング係数 ( $E_t$ ) との関係をもとに  $MOR=3.15E_t+157$  と仮定し、同式を用いて各供試体の  $E_t$  から MOR を推定した。さらに、応力比を 0.11 としたので、 $0.11MOR=3Pa/bh^2$  より負荷荷重 ( $P$ ) は  $P=(0.11MOR \cdot b \cdot h^2)/3a$  で求められることから、以下に示すように各供試体の  $P$  を定めた。

##### ① 集成材

$b=10.5, h=20.9, E_t=87.7$  であるから

曲げ強度  $MOR=3.15 \times 87.7 + 157 = 433.3 \text{ Kgf/cm}^2$

せん断強度  $\sigma_s = 9 \times 3 = 27 \text{ Kgf/cm}^2$  (長期許容応力度  $\times 3$ )

曲げ耐力  $M = MOR \times Z$   
 $= 433.3 \times 764.4$   
 $= 331214.5 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$

せん断耐力  $Q = \sigma_s \times A \div 1.5$   
 $= 27 \times 219.4 \div 1.5$   
 $= 3949.2 \text{ Kgf}$

・せん断スパンを  $LQ$  とすると

$M/LQ > Q$  より  $LQ > 83.9 \text{ cm}$

$LQ = 121.8 \text{ cm}$  より影響なし。

・載荷荷重 ( $P_1$ ) は、応力比が 0.11 であるから

$P_1 = 0.00030104MOR \cdot b \cdot h^2 = 598.2 \text{ kg}$

##### ② 生材

$b=10.5, h=21.3, E_t=69.4$  であるから

曲げ強度  $MOR=3.15 \times 69.4 + 157 = 375.6 \text{ Kgf/cm}^2$

せん断強度  $\sigma_s = 6 \times 3 = 18 \text{ Kgf/cm}^2$  (長期許容応力度  $\times 3$ )

曲げ耐力  $M = MOR \times Z$   
 $= 375.6 \times 794.0$   
 $= 298226.4 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$

$$\begin{aligned} \text{せん断耐力 } Q &= \sigma_s \times A \div 1.5 \\ &= 18 \times 223.6 \div 1.5 \\ &= 2683.2 \text{ Kgf} \end{aligned}$$

- ・せん断スパンをLQとすると  
 $M/LQ > Q$  より  $LQ > 111.1 \text{ cm}$   
 $LQ = 121.8 \text{ cm}$ より影響なし。
- ・載荷荷重 (P2) は、応力比が0.11であるから  
 $P2 = 0.00030104MOR \cdot b \cdot h^2 = 538.6 \text{ kg}$

③ 人工乾燥材

$b = 10.5, h = 21.0, Et = 73.5$ であるから

$$\begin{aligned} \text{曲げ強度 } MOR &= 3.15 \times 73.5 + 157 = 388.5 \text{ Kgf/cm}^2 \\ \text{せん断強度 } \sigma_s &= 6 \times 3 = 18 \text{ Kgf/cm}^2 \text{ (長期許容応力度} \times 3) \\ \text{曲げ耐力 } M &= MOR \times Z \\ &= 388.5 \times 771.8 \\ &= 299844.3 \text{ Kgf} \cdot \text{cm} \\ \text{せん断耐力 } Q &= \sigma_s \times A \div 1.5 \\ &= 18 \times 220.5 \div 1.5 \\ &= 2646.0 \text{ Kgf} \end{aligned}$$

- ・せん断スパンをLQとすると  
 $M/LQ > Q$  より  $LQ > 113.3 \text{ cm}$   
 $LQ = 121.8 \text{ cm}$ より影響なし。
- ・載荷荷重 (P3) は、応力比が0.11であるから  
 $P3 = 0.00030104MOR \cdot b \cdot h^2 = 541.5 \text{ kg}$

4. 2. 4 変位等の測定

各供試体とも、図-2に示す供試体中央、荷重点 (2点) 及び支点 (2点) における変位 (計5箇所) を、ストローク30mmのダイヤルゲージにより測定している。また、試験室の温湿度、供試体の高周波含水率計による含水率 (4箇所)、及び供試体付近に置いたスギ試験片 (10.5cm×10.5cm×5cm、木口面をシリコンで被覆したもの) の重量を、たわみ測定と同時に測定している。この場合、測定時間間隔は、原則として載荷直後から10時間までを20分、10時間以降を24時間としている。

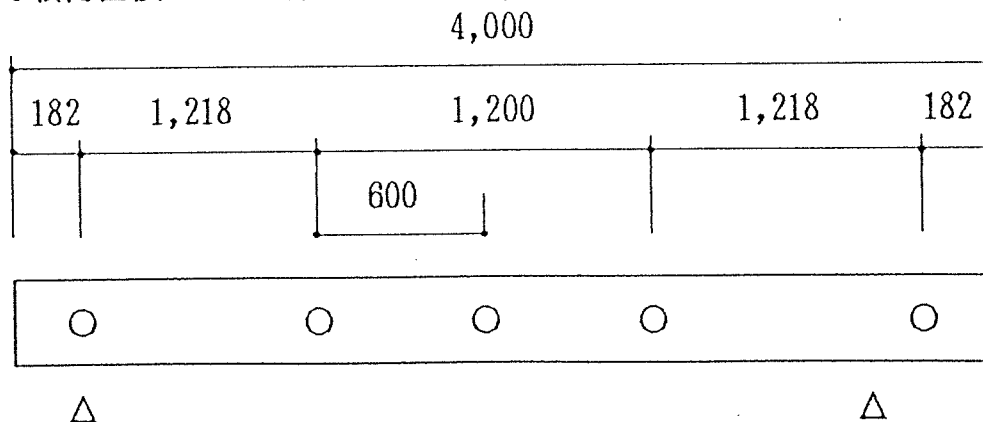


図-2 変位の測定位置 (○印)

#### 4. 3 結果と考察

図-3に、各供試体中央のたわみの変動を示す。なお、同図に示す供試体中央のたわみは、2箇所（図-2参照）において測定したダイヤルゲージの読みの増減の平均値を、供試体中央部の膨張または収縮と見なして換算した値である。

前章で算定した負荷荷重により、各供試体の瞬間たわみ（継続載荷試験開始時の初期弾性たわみ）は、ほぼ同様になるものと予測したが、同図におけるその値はやや異なっており、集成材、人工乾燥材、生材の順に大きい。この場合、本実験における載荷荷重の算定に採用した縦振動ヤング係数の値は、表-1に示したように集成材>人工乾燥材>生材であった（集成材で87.7tf/cm<sup>2</sup>、人工乾燥材で73.5tf/cm<sup>2</sup>、生材で69.4tf/cm<sup>2</sup>）。ところが、載荷荷重と瞬間たわみなどから算出した静的曲げヤング係数（MOE）は、集成材で73.5tf/cm<sup>2</sup>、人工乾燥材で71.0tf/cm<sup>2</sup>、生材では75.9tf/cm<sup>2</sup>で、何れの供試体もほぼ同様の値を示した。つまり、各供試体の瞬間たわみの相違は、縦振動ヤング係数とMOEとの相違から生じた結果である。ところで、本実験におけるMOEと縦振動ヤング係数は、これまでに報告されている両者の関係を考慮すればやや差が認められるが、ばらつきの範囲には入っているように思われる。なお、MOEを基準とした場合、各供試体に対する応力比は、現条件では集成材、人工乾燥材、生材の順に大きい筈である。そこで、既往の本県及び他県のデータを総合して、MORとMOEとの関係をMOR=3.5MOE+157と仮定し、MOEを基準に応力比を逆算してみた結果、集成材では0.115、人工乾燥材では0.105、生材では0.098となった。最終的には何れの供試体も除荷し、クリープ回復後に曲げ試験を行って応力比を求める計画である。

図-3における全体的なたわみの増加は、人工乾燥材と生材で顕著である。一方、集成材では全領域を通じてたわみの増加が非常に少なく、3,200時間経過時点でのクリープ関数は、人工乾燥材では49.6%、生材では49.2%であったのに対し、集成材では23.2%であり、非常に安定した傾向を示している。

ところで、図-3における製材品（人工乾燥材、生材）のたわみは、



増加と回復の繰り返し傾向が認められ、特に人工乾燥材ではそれが顕著である。一般に、木材及び木質材料のクリープ変形は、外周条件、特に湿度の変動があるときは湿度が一定のいわゆる定常とは異なった挙動である mechano-sorptive 変形を示すことが認められている。すなわち、一般的傾向として湿度が下降するときにはたわみが増加し、上昇時には回復する傾向を示す。ここで、図-3におけるたわみの変動と、図-4における試験室内の相対湿度変動及び図-5における各試験体の高周波含水率計による含水率（4点の平均値）の変動との関係を比較すると、人工乾燥材のたわみは、1,300時間付近から1,800時間付近までの相対湿度と含水率の減少に伴って増加しているが、その後2,000時間付近までの同値の急激な増加にともなって回復し、さらに3,000時間以降の同値の急激な減少に伴って再び増加している。この傾向は、生材でも基本的には同様であり、何れも上述した mechano-sorptive 変形の挙動を示しているものと言える。一方、前にも述べたように、集成材では非常に安定した傾向を示しており、同図からは mechano-sorptive 変形の挙動を認めることは出来ない。

現時点では、まだクリープ休止に至る気配はないため、当分の間は現在の条件で実験を継続し、その後クリープ休止に至った時点で、応力比を少なくとも2倍程度に増やし、さらに実験を継続する計画である。

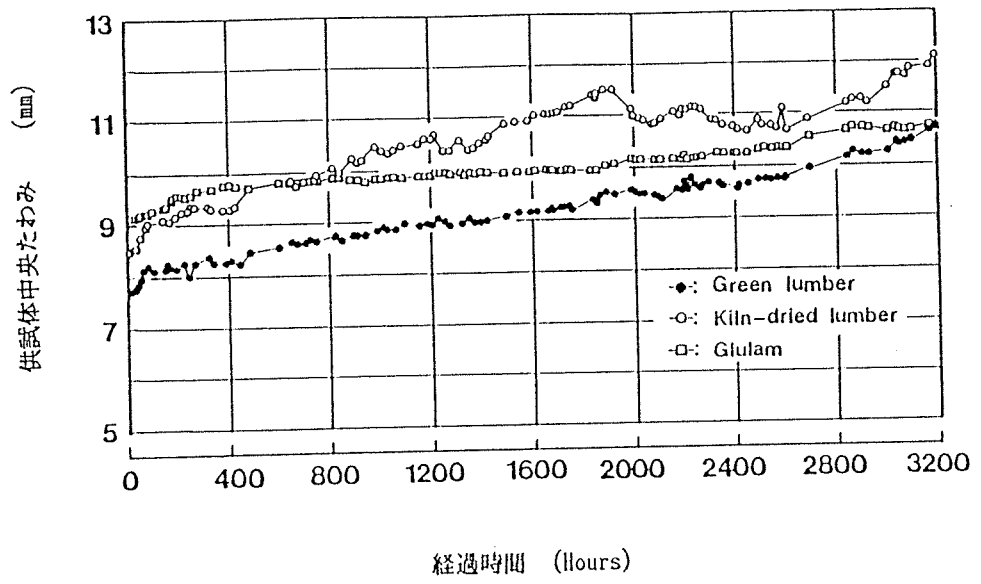


図-3 供試体中央たわみ (膨張・収縮量補正值) の変動

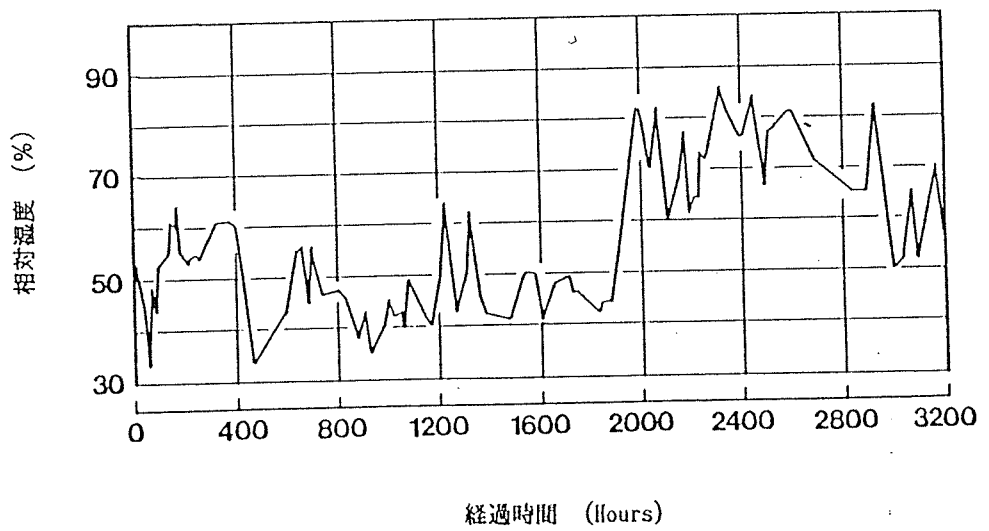


図-4 相対湿度変動

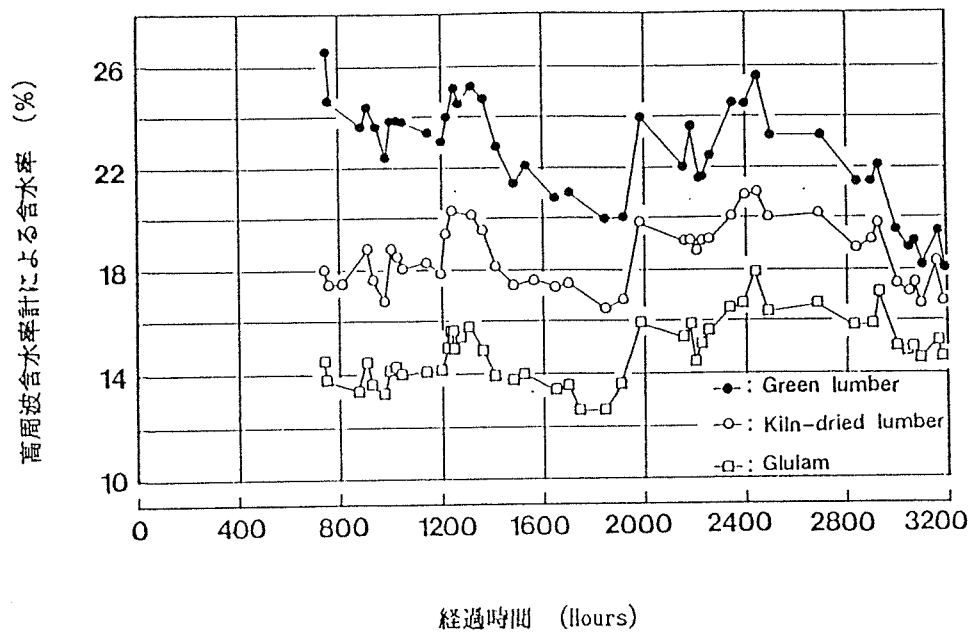


図-5 高周波含水率計による含水率の変動

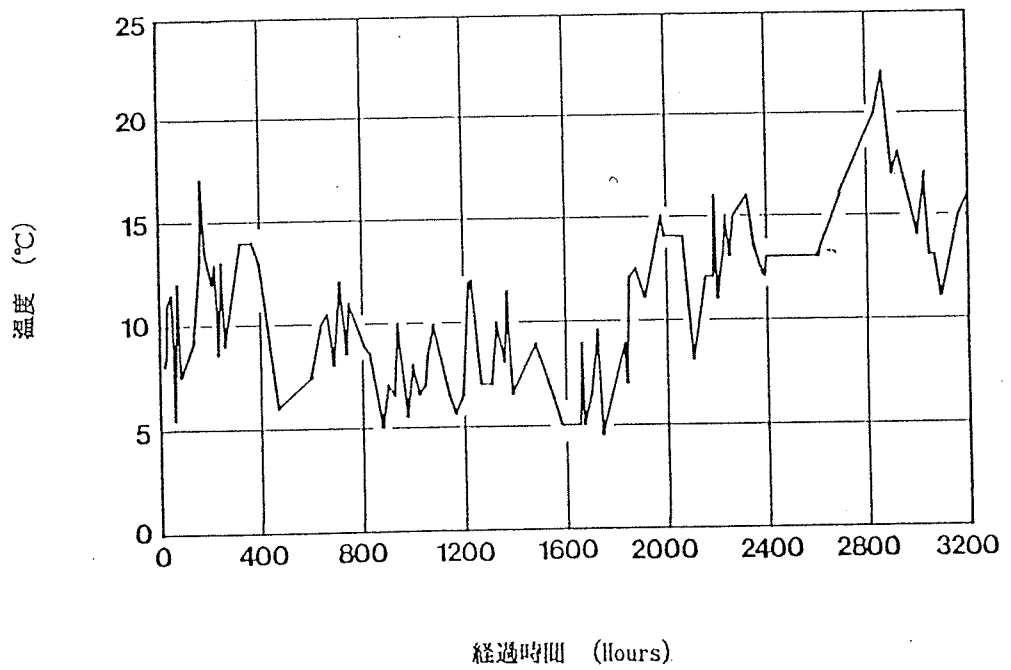


図-6 温度変動

## 5. ラグスクリュー接合部とボルト接合部のクリープ性能の比較

### 5. 1 目的

ラグスクリューはボルトの使用が困難な大断面集成材の接合に適しているが、施工の良否によって耐力が左右される恐れがある。耐力を十分に発揮させるためには、適当な長さのラグスクリュー（一般に10d以上）を適正に開けた先穴に、たたき込まずに、ネジ込むことが肝要と言われている。しかし、ラグスクリュー接合部のせん断クリープ性能についての実験は少なく、ボルト接合部との比較ができていない。そこで本報告では、鋼板側材のラグスクリューとボルト接合部のクリープ試験を同一条件で行い、両者のクリープ変形を実験的に比較した。

一方、未乾燥材のスギを構造材として用いた時の両接合部のクリープ変形を集成材の場合との比較も試みた。なお、クリープ試験は現在進行中であり、ここでは、途中経過を報告する。

### 5. 2 実験

#### 5. 2. 1 試験体

実験に用いた試験体はスギ集成材（比重0.47-0.52、含水率13%）とベイマツ集成材（比重0.52-0.63、含水率12%）および、未乾燥のスギ正角材の接着重ね材の3種類であった。

接合具は同じ材質の直径12mmのラグスクリューとボルトで、いずれも同じ材質の軟鋼から製造した。両者の形状と寸法を図1に示した。

試験体は2.3mmの鋼板を側材として、ボルトは一本、ラグスクリューは2本を用いた。ラグスクリュー2本の長さは、ボルトの約1/2で、ちょうどボルトの中央部が切れた形になっている。このようにすれば、ボルトとラグスクリューの比較が可能となる。ボルトは先穴径14mmで、ラグスクリューは

ネジ部には谷径と同寸、胴部には同寸の先穴をあけた。

図2に、せん断クリープ試験体の形状と寸法を示した。試験体の比重と試験開始時の含水率は、結果の項の表1に示した。

## 5. 2. 2 試験方法

試験は図3に示したようなテコを使って、ボルトおよびラグスクリューにせん断力を加えた。テコの比率は10 : 1である。加力方式は次のようにした。

第1回目：600kgf（1カ月）

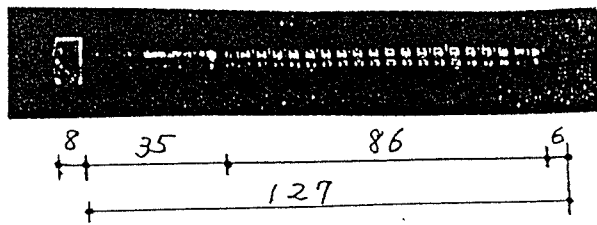
第2回目：300kgfを追加。合計900kgf（1カ月）

第3回目：300kgfを追加。合計1200kgf（1カ月）

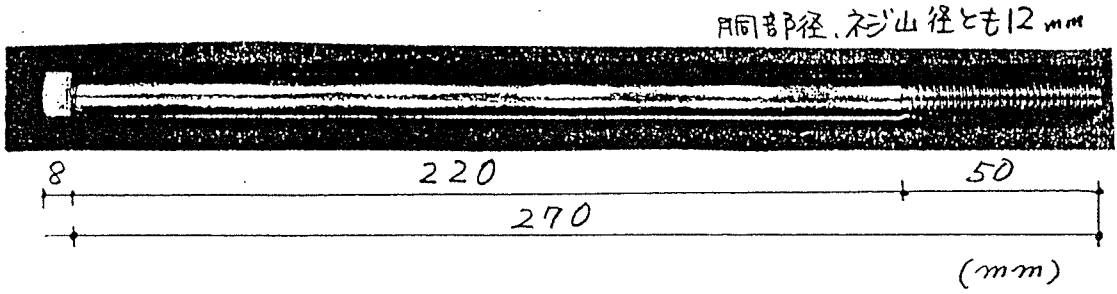
3カ月後：クリープ回復（1週間）

最後に試験体を取り外して、静的加力試験を行い、残存耐力を求めた。

なお、試験は温湿度のコントロールされていない室内でおこなった。第1回目のシリーズは1992年の1月から3月まで、第2回目は4月から6月の間に実施した。

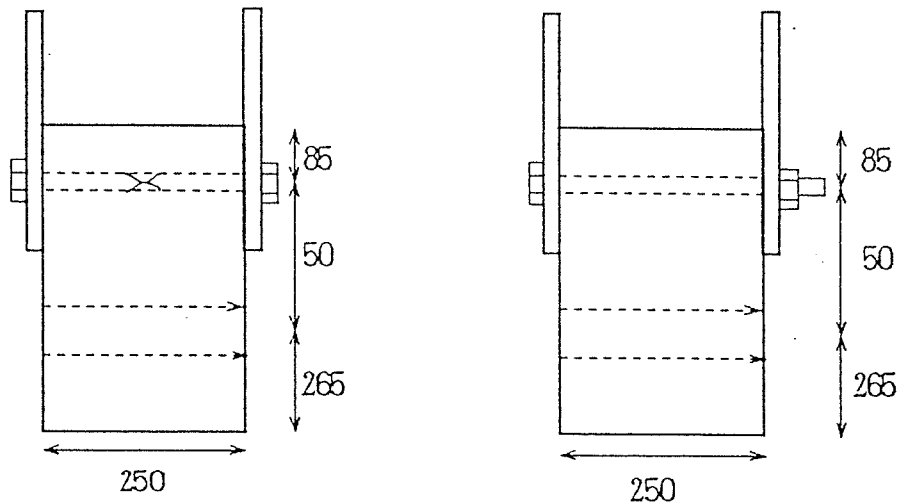


胴部径 12 mm  
 ネジ山径 13 mm  
 ネジ谷径 10 mm  
 ピッチ 4.3 mm



胴部径、ネジ山径とも12 mm

図1. ラグスクリューとボルトの形状・寸法 (縮尺 $\frac{1}{2}$ )



ラグスクリュー試験体

ボルト試験体

図2. せん断クリープ試験体の形状・寸法

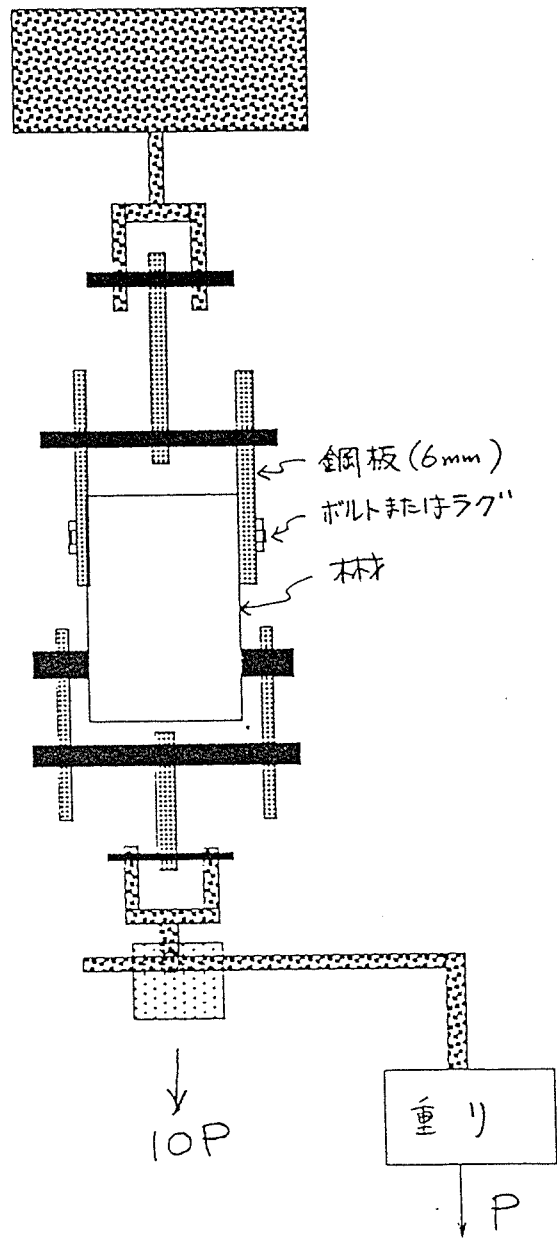


図 3. 試験方法

### 5. 3 結果および考察

図4は鋼板側材と主材とのスリップの時間変化である。これを眺めると、瞬間たわみの変動が大きい。これは主に鋼板側材に開けたボルトとラグスクリュー用の穴と接合具との間のがたで、ボルトの場合には主材の先穴とボルトとのがたも加わっている。この変動は避けられないため、単純にトータルのクリープ変形を比較することは、あまり意味がない。

図5は瞬間変形を取り除いたクリープ変形の時間変化である。

図6は1、2、3回目の加力ごとに、それぞれの载荷がスタートする時点でのスリップを原点にしたクリープ変形である。これを見ると、樹種、接合具の種類、荷重にかかわらず、1カ月後のクリープ変形はほぼ2mm程度である。いずれもクリープ限度内の荷重と考えられる。

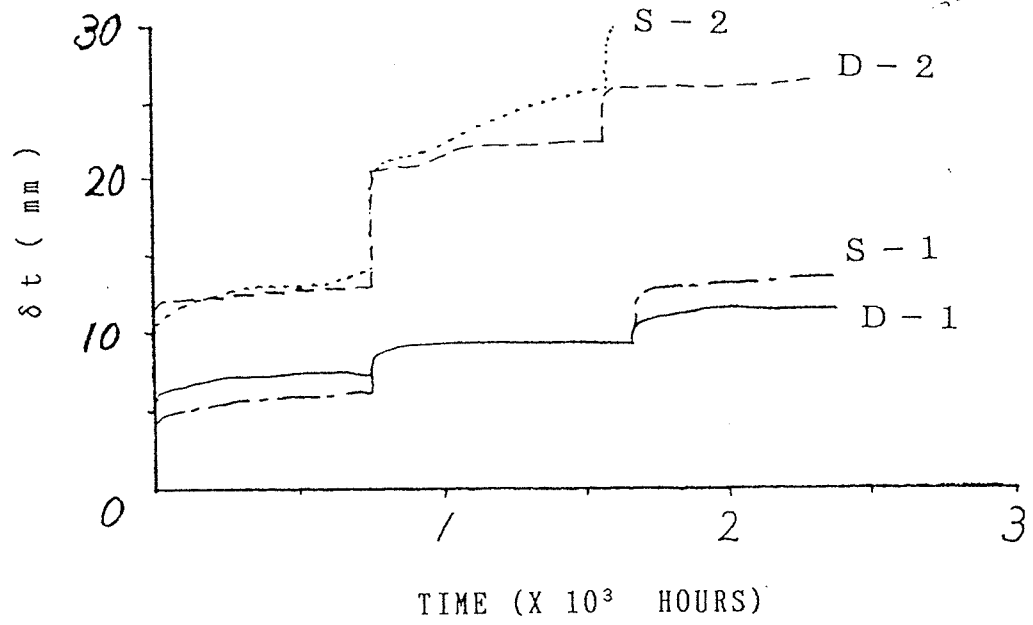
以上のことから、まだ試験体が少なく、推察の域をでないが、クリープ限度内の荷重レベルではボルトとラグスクリュー（ただし適正な打ち込み長さが必要）、比重のほぼ同じスギとベイマツの間には顕著なクリープ変形の差はないと言えよう。

今後さらに試験を追加することと、含水率の高い材に打ち込まれて、加力時に乾燥して行く場合について検討する予定である。

表1に、残存耐力を示した。クリープ回復と残存耐力の検討は実験がさらに進んでから行う。



ボルト



ラグスクリュー

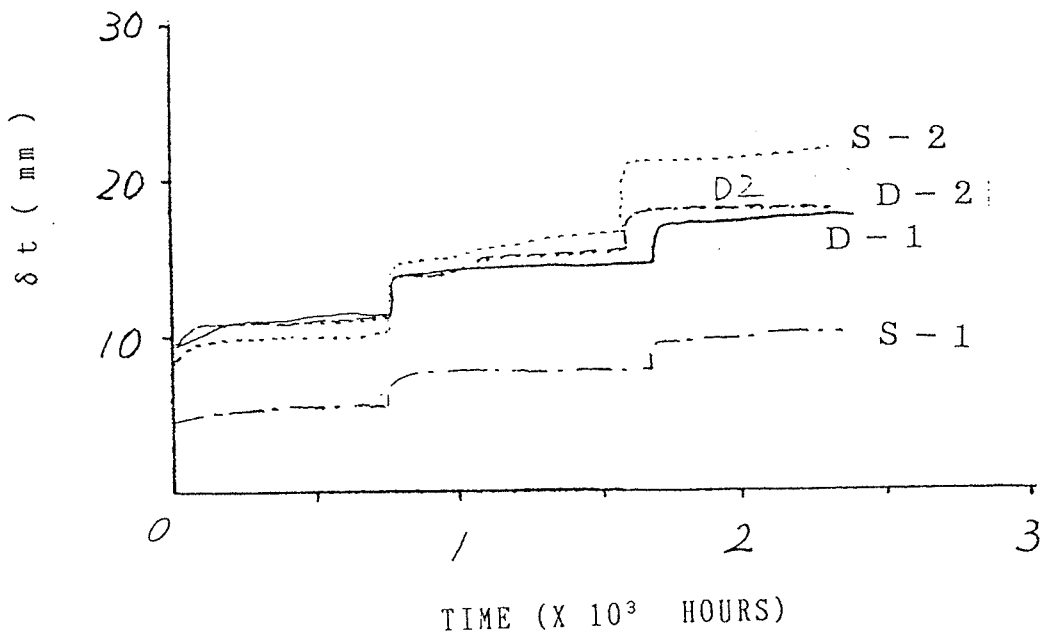


図4. ボルトおよびラグスクリューの全クリープ変形量( $\delta t$ )の比較

S : スギ                      1 : 第1回目のクリープ試験  
 D : バイマツ                2 : 第2回目のクリープ試験

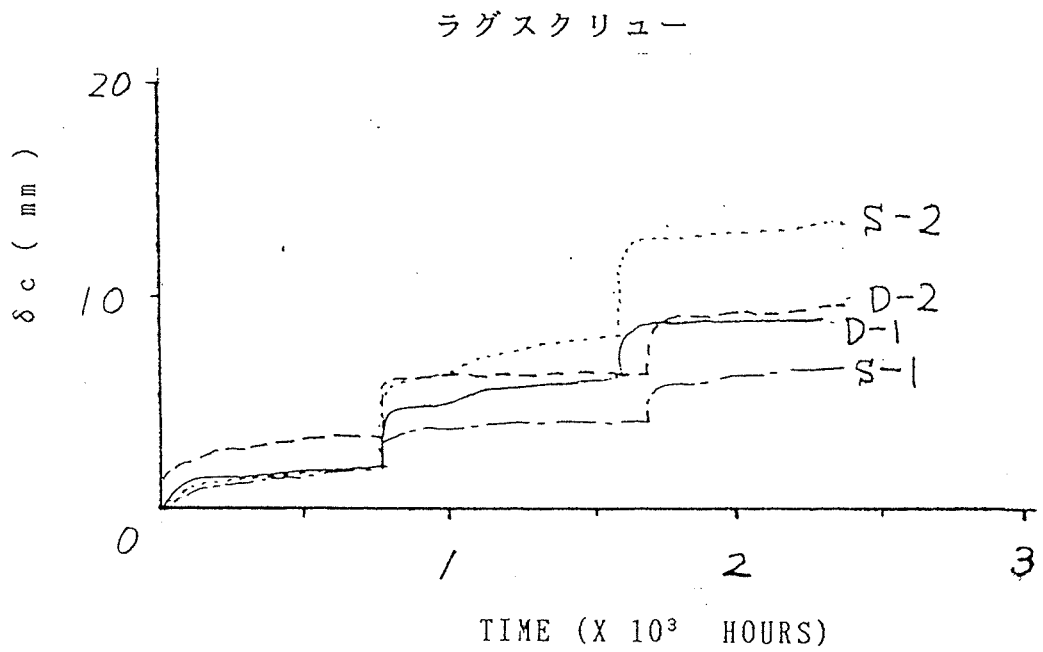
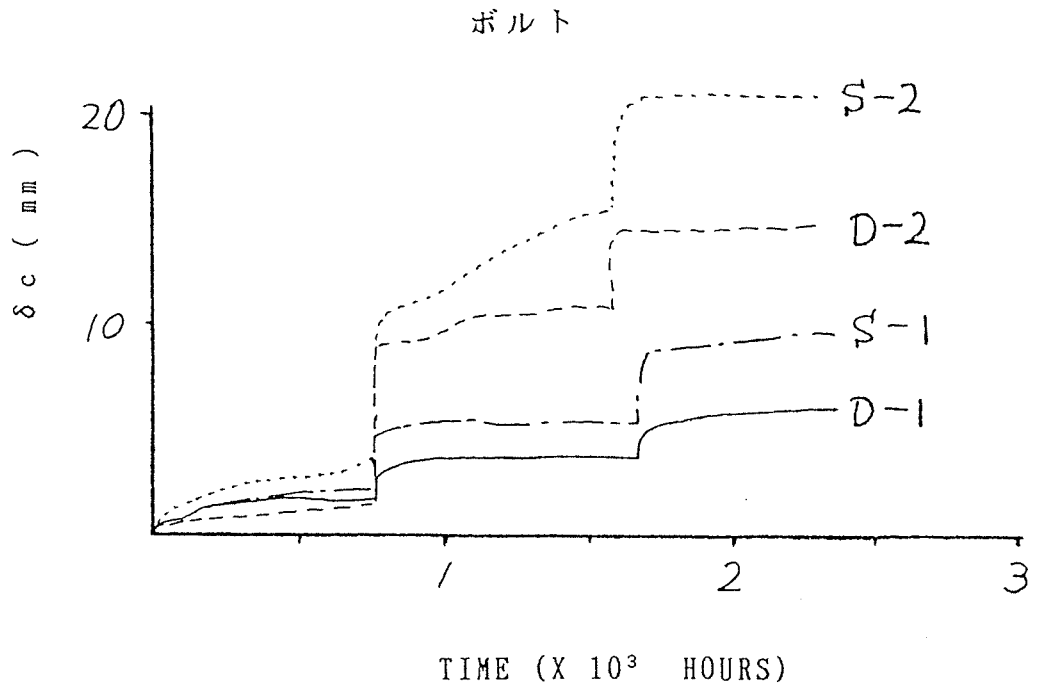


図5. ボルトおよびラグスクリューのクリープ変形( $\delta c$ )の比較

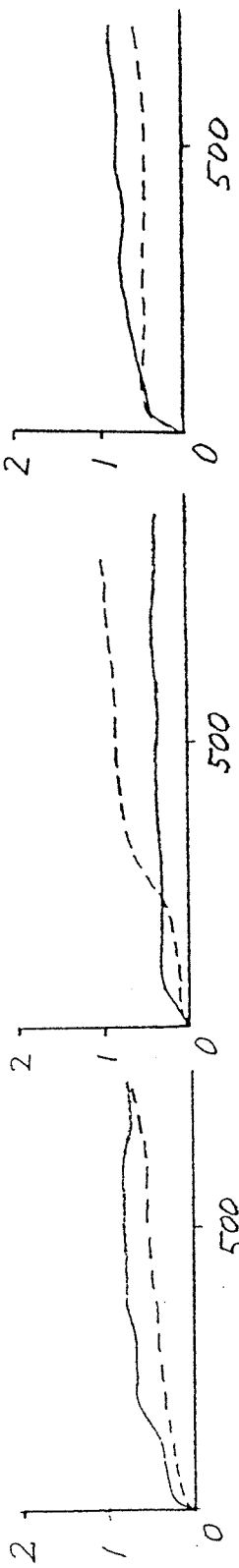
S : スギ

1 : 第1回目のクリープ試験

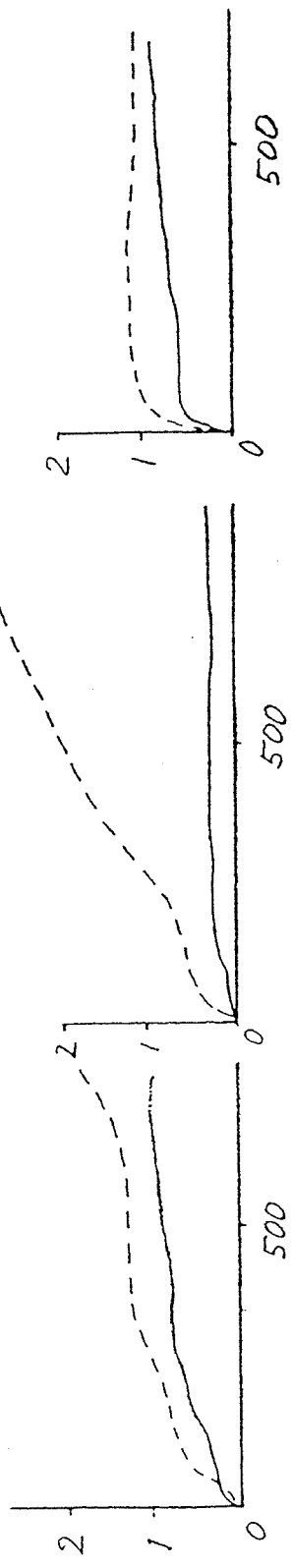
D : バイマツ

2 : 第2回目のクリープ試験

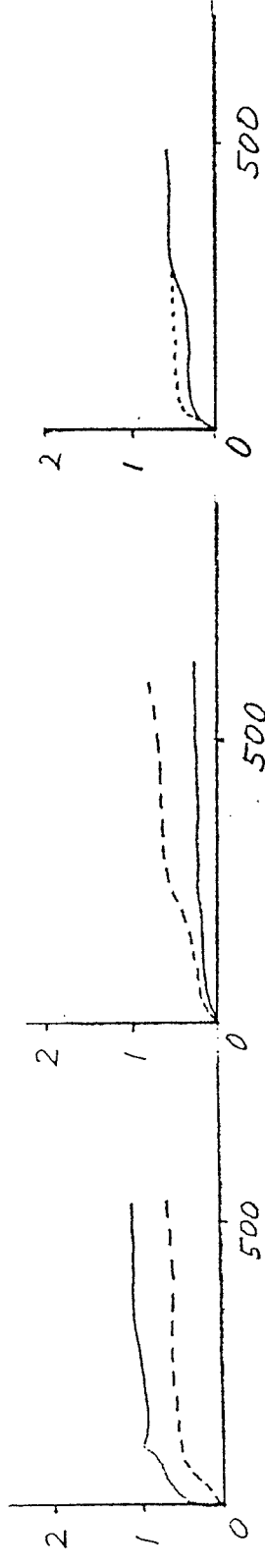
$\delta c'$  (mm)      600 Kg      900 Kg      1200 Kg



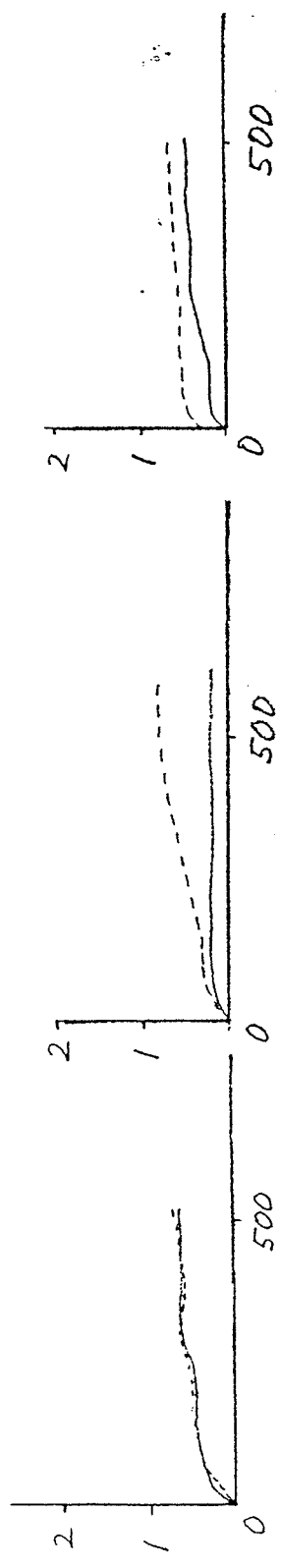
ボルト  
ベイマツ



ボルト  
スギ



ラグスクリユー  
ベイマツ



ラグスクリユー  
スギ

TIME (HOURS)

—— 第1回目試験  
----- 第2回目試験

図6. 各載荷時の瞬間変形を差し引いたクリープ変形( $\delta c'$ )の比較

表 1. クリープ試験後の残存耐力

1) 第 1 回目試験

接合具	主材樹種	比重	残存最大荷重 (kgf)	破壊形態
ラグスクリュー	スギ	0.51	5100	木破
	ベイマツ	0.58	6150	木破
ボルト	スギ	0.46	6000	木破
	ベイマツ	0.58	5650	木破

2) 第 2 回目試験

接合具	主材樹種	比重	残存最大荷重 (kgf)	破壊形態
ラグスクリュー	スギ	0.47	5550	木破
	ベイマツ	0.57	—	—
ボルト	スギ	0.46	5980	木破
	ベイマツ	0.58	5950	ボルト破断

表2-2 206F J材 (特級) の諸性能

No.	試験体 番号	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	Et *1 (x10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	Eb *2 (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊 形態 *3
1	SB1-23	0.446	112.89	120.40	466.92	1
2	SB10-23	0.524	121.05	98.30	395.23	3
3	SB11-23	0.502	124.46	111.10	458.04	1
4	SB12-12	0.479	124.90	114.39	452.96	1
5	SB13-23	0.489	118.32	110.75	408.55	2
6	SB14-34	0.484	120.09	93.44	314.66	1
7	SB15-34	0.532	122.79	110.49	395.23	1
8	SB16-34	0.544	133.03	114.04	372.39	3
9	SB17-23	0.486	116.55	100.02	385.71	3
10	SB18-12	0.508	118.84	108.39	445.98	1
11	SB19-23	0.526	118.53	105.40	326.08	1
12	SB2-34	0.502	135.06	119.79	406.02	1
13	SB20-23	0.473	123.92	103.41	456.13	1
14	SB3-23	0.492	120.63	104.79	416.17	1
15	SB4-12	0.443	110.99	99.46	376.20	2
16	SB5-34	0.456	122.08	106.77	345.11	1
17	SB6-23	0.542	119.19	98.99	353.36	3
18	SB7-34	0.505	117.02	93.71	340.04	1
19	SB8-34	0.462	89.68	85.86	312.12	1
20	SB9-34	0.442	103.26	92.76	306.41	3
平均		0.492	118.66	104.61	386.67	
CV (%)		6.3	8.0	8.7	13.2	

- \*1 Et:縦振動による曲げヤング係数  
 \*2 Eb:曲げ試験による曲げヤング係数  
 \*3 1:フィンガー部から生じた破壊  
 2:フィンガー部のぜい性破壊  
 3:節, 目切れ等の欠点周辺の破壊  
 破壊形態は図を参照

表2-2 206F J材 (1級) の諸性能

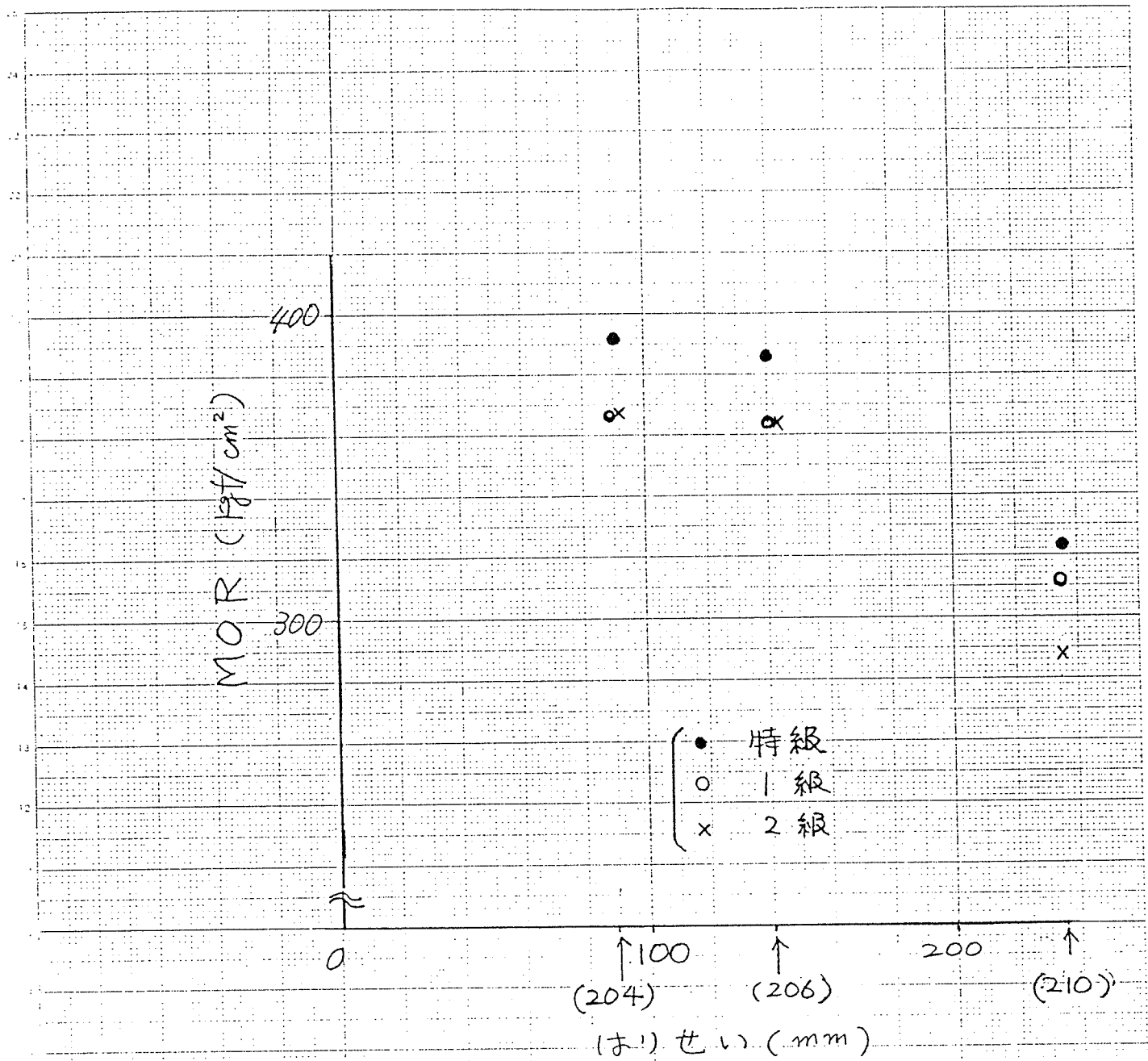
No.	試験体 番号	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	Et *1 ( $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )	Eb *2 (kgf/cm <sup>2</sup> )	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊 形態 *3
1	1B10-12	0.484	125.83	99.68	395.86	1
2	1B11-23	0.487	120.99	107.54	386.98	1
3	1B13-34	0.506	115.27	97.91	366.68	1
4	1B14-23	0.520	113.49	104.73	395.23	3
5	1B15-23	0.585	140.34	116.38	381.91	1
6	1B16-12	0.476	115.12	105.76	340.04	1
7	1B17-23	0.496	102.68	104.76	343.21	1
8	1B18-12	0.474	102.16	76.71	231.56	3
9	1B19-34	0.495	125.48	109.56	391.42	1
10	1B2-12	0.472	109.17	86.73	407.28	3
11	1B20-12	0.521	111.94	94.30	284.84	3
12	1B21-12	0.484	131.73	115.24	334.96	2
13	1B21-23	0.491	132.20	115.42	409.19	1
14	1B22-23	0.478	118.60	112.54	376.20	1
15	1B23-23	0.489	117.11	105.49	436.47	3
16	1B4-23	0.499	115.72	110.98	430.76	2
17	1B6-23	0.530	119.68	107.97	436.47	2
18	1B7-12	0.488	119.71	94.46	336.23	1
19	1B8-12	0.543	101.43	77.76	213.16	3
20	1B9-34	0.527	113.14	106.85	386.35	1
	平均	0.502	117.59	102.54	364.24	
	CV (%)	5.5	8.4	11.0	16.5	

- \*1 Et:縦振動による曲げヤング係数  
 \*2 Eb:曲げ試験による曲げヤング係数  
 \*3 1:フィンガー部から生じた破壊  
 2:フィンガー部のぜい性破壊  
 3:節, 目切れ等の欠点周辺の破壊  
 破壊形態は図を参照

表2-2 206F J材 (2級) の諸性能

No.	試験体 番号	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	Et *1 (x10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	Eb *2	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )	破壊 形態 *3
1	2B1-34	0.534	124.69	103.61	425.05	3
2	2B10-23	0.583	134.78	111.32	403.48	1
3	2B11-23	0.481	112.68	105.49	357.80	1
4	2B12-23	0.515	103.73	95.18	345.11	1
5	2B13-23	0.482	106.39	103.37	426.95	2
6	2B14-23	0.491	83.18	81.46	353.99	1
7	2B15-23	0.469	102.20	89.11	365.41	3
8	2B16-23	0.427	111.09	97.73	396.50	2
9	2B17-23	0.465	97.52	92.86	317.83	3
10	2B2-23	0.528	131.14	107.37	326.08	3
11	2B3-12	0.555	123.69	108.40	387.62	1
12	2B4-12	0.473	115.71	105.15	313.39	1
13	2B5-34	0.509	110.82	98.26	326.08	1
14	2B6-23	0.521	120.49	106.30	397.13	3
15	2B6-34	0.517	136.15	116.19	380.00	1
16	2B7-12	0.545	104.35	101.63	284.84	3
17	2B8-34	0.505	108.59	95.92	355.26	2
18	2B9-34	0.509	116.29	100.02	364.78	3
	平均	0.506	113.53	101.08	362.63	
	CV (%)	7.1	11.6	8.0	10.6	

- \*1 Et:縦振動による曲げヤング係数  
 \*2 Eb:曲げ試験による曲げヤング係数  
 \*3 1:フィンガー部から生じた破壊  
 2:フィンガー部のぜい性破壊  
 3:節, 目切れ等の欠点周辺の破壊  
 破壊形態は図を参照



はりせいと MOR (平均値) の関係



## 6. 2プライ積層材の引張強度特性

### 6. 1 はじめに

フィンガージョイントは効率的なたてつき方法として、我が国の木材工業、特に集成材工業に広く定着している。現在のところ、造作用のフィンガージョイントに関する技術はすでに確立された状態にあるといっても過言ではないが、構造用フィンガージョイントに関しては、研究や技術的蓄積が必ずしも十分であるとは言いがたい状態にある。このため、我が国では一般的構造用材としての「たてつき木材」の利用が未だに認められていない。

構造用のたてつき木材を現実のものとするためには、プルーフローディング、接着の非破壊検査などの総合的な品質保証システムが確立されねばならない。しかしながら、今一つの実用化の方向性として、たてつき材を2枚積層して2プライの積層材とする方法が検討されてもよいのではないかと考えられる。

フィンガージョイントの位置を互いにずらせながら2材を積層すれば、たとえフィンガージョイントの接着に不備があったとしても、少なくとも隣接する木材の強度だけは、積層材の強度として保証できることになる。すなわち単層のたてつき木材では要素が直列に並んだ「直列システム」となり、一つの要素の破壊がシステム全体の破壊につながるのに対し、2プライの積層材では少し冗長度の高い「並列システム」となって、信頼性が向上する<sup>1)</sup>ことになるわけである。

このような考え方をさらに進めたものが集成材であるが、JASの集成材規格<sup>2)</sup>では、4プライ以上を「集成材」と定義しているため、2プライの積層材は「集成材」の範疇に入らない。したがって、単層の「たてつき木材」と同様、2プライの積層材は構造用に用いられない。

このような背景から、2プライ積層材の実用化を図ることを目的として、一連の研究を行った。本報告書はその中から、引張強度の分布に及ぼす積層の影響と、引張強度分布予測のための簡易なシミュレーション<sup>3)</sup>の適用性について報告したものである。

### 6. 2 材料と実験方法

#### 6. 2. 1 材料

人工乾燥された栃木県産スギラミナ(幅13、厚さ2.4、長さ300cm)を300本購入し、これを長さ150cmに切断して600本としたものを供試材料とした(写真1)。このとき、ラミナの節の大きさや目切れの程度などは全く無視した。なお材の含水率は9~11%、平均気乾比重は0.375であった。

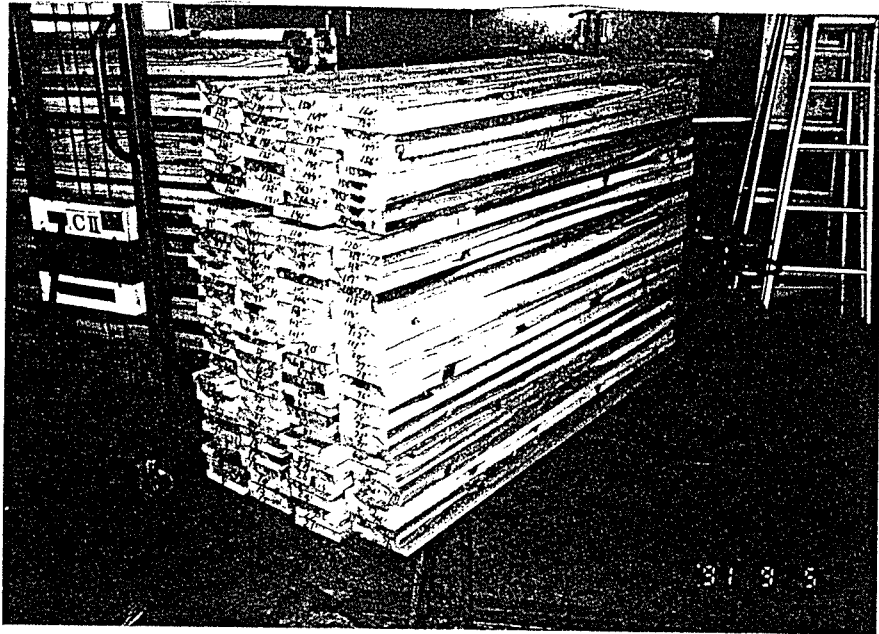


写真1. 原材料のスギ

まず、このラミナのヤング係数（MOE）を打撃音による基本振動周波数測定法<sup>4)</sup>によって測定し、低いものから昇順に並べた。次にこれらのラミナをMOEの低い方から6本ずつ順に抜き出し、S（素材）、F（たてつぎ木材）、SS（素材を2枚積層）、SF（素材とたてつぎ材を積層）用の原材料として分類した。この操作により、4種類に分類された原材料中のMOEの分布はほぼ等しくなったもの<sup>5)</sup>と考えられる。試験体の模式図をFig.1に示す。

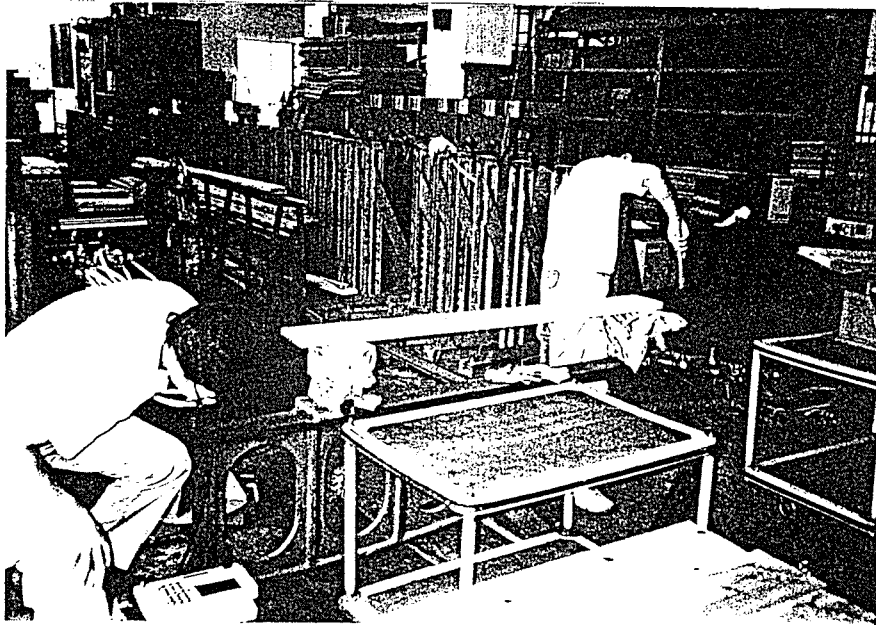


写真2. MOEの測定

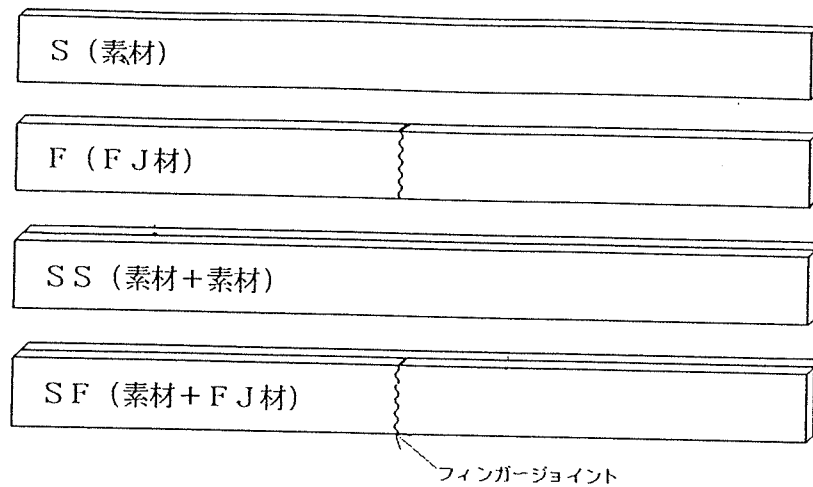


Fig.1 試験体の模式図

Sについては厚さ2.2cmになるように表面をプレーナがけした後、引張試験に供した。Fについては材を長さ方向に2分してフィンガージョイント加工した後、表面をプレーナがけして引張試験に供した。なお材を2分した際、フィンガージョイントの先端から3cm以内に節があるものについてはこれを削除するか、あるいは材の長手方向を逆向きにしてフィンガージョイント加工を施した。

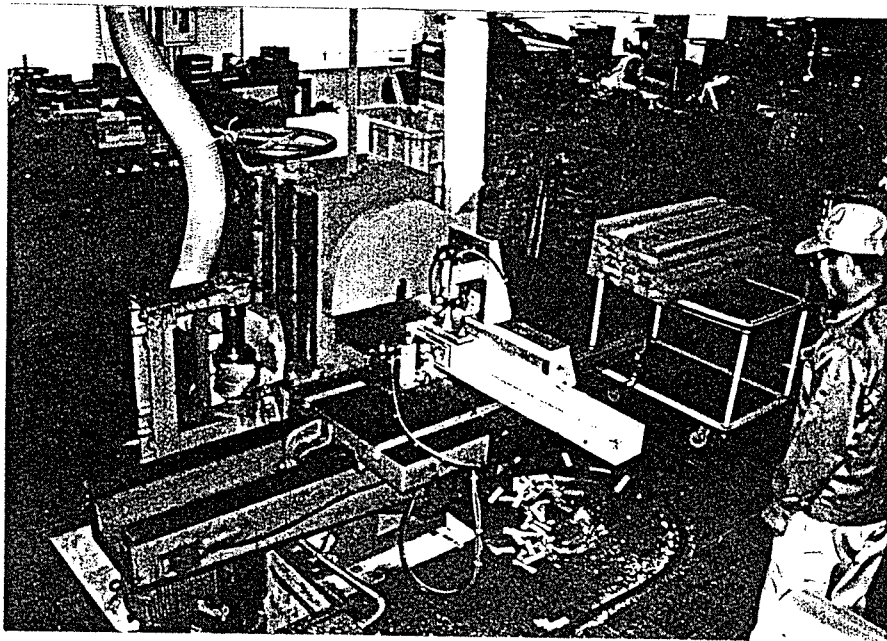


写真3. フィンガー加工

SSについてはラミナを3種類に等級区分(1等:  $MOE > 80$ 、2等:  $60 < MOE \leq 80$ 、3等:  $MOE \leq 60 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{f} / \text{cm}^2$ )し、同等級同士を表面をプレーナがけした状態で積層接着した。SFについても同様の等級区分を行なった後、一方のラミナをたてつぎした後に積層接着した。なお、接着には構造用集成材用のレゾルシノール樹脂接着剤を用いた。

Sを除く3種類の試験体については、養生が終了した後、再度基本振動周波数測定法によってMOEを測定した。

フィンガークッタの形状および寸法をFig.2に示す。フィンガークッタは筆者らが過去の実験<sup>6,7)</sup>に用いたものと全く同一のもので、 $t_1=0.85$ 、 $t_2=0.65$ 、 $p=5.0$ 、 $l=17.5\text{mm}$ 、 $\theta=1/10$ である。フィンガー加工機の条件は、主軸回転数3000 rpm、カッタ超硬付刃4枚刃スパイラルセット、送り速度約10m/min、垂直型加工（V型：材幅の広い面に歯型が見えるもの）である。接合条件は、レゾルシノール樹脂接着剤+硬化剤（15%）+増量剤（5%）、両面塗布、エンドプレッシャー70kgf/cm<sup>2</sup>、養生期間は1週間以上とした。

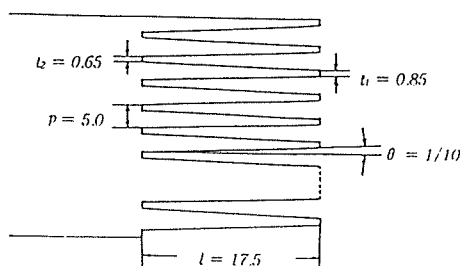


Fig.2 フィンガー形状

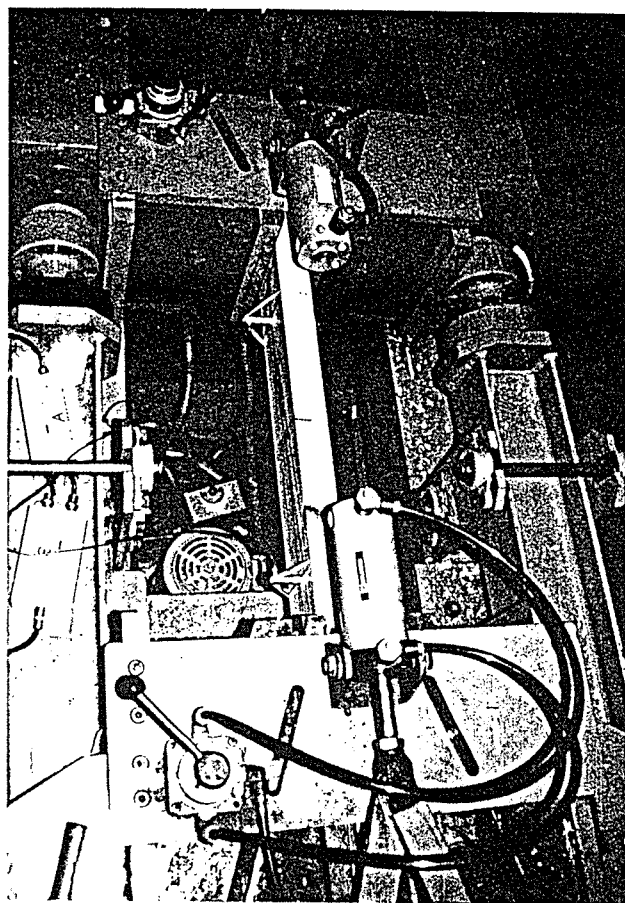


写真4. 引張試験機

### 6.2.2 引張試験

4種類の試験体について、最大容量 $40 \times 10^3 \text{kgf}$ の引張保証荷重試験機（チャック間距離55cm）を用いて引張試験を行ない、引張強度（TS）を求めた。この際、試験体のAE特性も同時に測定した。ただし、この結果については本論文とは別に報告する予定である。

本試験機では機構上、荷重の方式が荷重速度一定あるいは変形速度一定のどちらでもなく、また歪量の正確な測定も困難であるため、引張のヤング係数については測定を行なわなかった。なお破壊までに要した時間は1~2分であった。

## 6. 3 結果と考察

### 6. 3. 1 素材 (S 試験体)

引張試験により得られた S および F 試験体の引張強度データの平均値、標準偏差、ノンパラメトリックにおける 5% 下限値 (5% NPE)<sup>8)</sup>、正規分布を仮定した時の 5% 下限値 (5% NORM)<sup>8)</sup> を Table 1 に示す。表中で S や S F 等の記号に続く数字は、MOE で 3 種類に等級区分 (1等: MOE > 80、2等: 60 < MOE ≤ 80、3等: MOE ≤ 60 × 10<sup>3</sup> kg·f/cm<sup>2</sup>) したときの等級を示している。

Table 1. S および F 試験体の引張試験結果。

試験体	個数	平均 (kg f/cm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)	5%NPEs (kg f/cm <sup>2</sup> )	5%NORMs (kg f/cm <sup>2</sup> )
S	99	296.3	36.10	150.5	120.0
S 1	27	385.4	27.97	214.1	208.1
S 2	43	278.7	31.55	121.3	134.1
S 3	29	239.6	32.90	150.5	109.9
F	100	233.3	31.12	123.0	113.9
F 1	28	306.1	19.63	204.5	207.3
F 2	44	228.2	22.94	132.1	142.1
F 3	28	168.4	22.51	116.9	106.0

記号:

S: 素材

F: 縦つき材

1, 2, 3: 材の等級

5%NPE: 下限 5% 値 (ノンパラメトリック)

5%NORM: 下限 5% 値 (正規分布を仮定)

まず変動係数 (CV) の値に注目すると、S 試験体の TS の CV が非常に大きな値 (36%) になっていることがわかる。S 1、S 2、S 3 それぞれの CV はいずれも 30% 前後であり、たとえ原材料を 3 等級に強度等級区分しても、等級区分による引張強度のばらつきの低下はそれほど期待できないといえよう。

S 1、S 2、S 3 それぞれの平均値では、等級の順位がそのまま平均値の順位となっているが、ノンパラメトリックにおける5%下限値(5% NPE)<sup>8)</sup>ではS 2とS 3の順位が逆転している。これは、S 2の中に目切れ破壊を生じたもの(TSが非常に低い)が含まれていたためである。なお正規分布を仮定した時の5%下限値(5% NORM)<sup>8)</sup>では、等級の順位がそのまま下限値の順位となって表れている。

破壊形態についてみると、節の存在する試験体では何らかの形で節を含んだ形態の破壊が生じた。一方節の存在しない試験体では、3体が目切れから破壊し、その他では一般的な引張破壊が生じた。

S試験体の引張強度(TS)とヤング係数(MOE)の相関図をFig. 3に示す。図中には回帰直線と信頼限界99%の上限および下限の直線を示した。

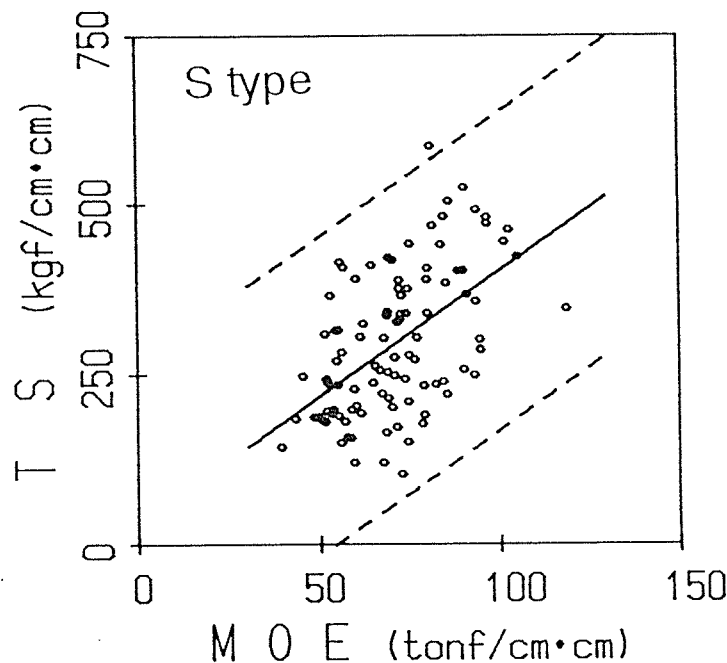


Fig. 3 S試験体の引張強度(TS)とヤング係数(MOE)の相関図

回帰直線式と相関係数(r)は以下に示すとおりである。

$$TS = 3.697 \times MOE + 33.61 \quad : \quad r = 0.5330$$

参考のために、筆者らが過去に行った栃木県産スギラミナの引張試験の回帰直線式と相関係数を以下に示す。

前回の試験結果<sup>9)</sup>

$$TS = 4.711 \times MOE - 94.98 \quad : \quad r = 0.6661$$

前々回の試験結果<sup>7)</sup>

$$TS = 4.611 \times MOE - 29.23 \quad : \quad r = 0.4944$$

これらの値と本試験の結果とを比較してみると、回帰直線の傾きが本試験の結果では少し小さく、切片が少し高くなっていることがわかる。このように、同じ産地から得られた原材料であっても、引張強度とヤング係数の相関関係はいわゆるロットによってかなり異なる<sup>7)</sup>。

Fig. 4 に節径比 (K) と T S の関係を示す。回帰直線式と相関係数 (r) は以下に示すとおりである。

$$TS = -2.211 \times K + 374.7 \quad : \quad r = -0.5522$$

この相関係数からも明らかなように、T S と K の相関は比較的高く、引張強度の予測には、K の値が無視できないことが明かである。

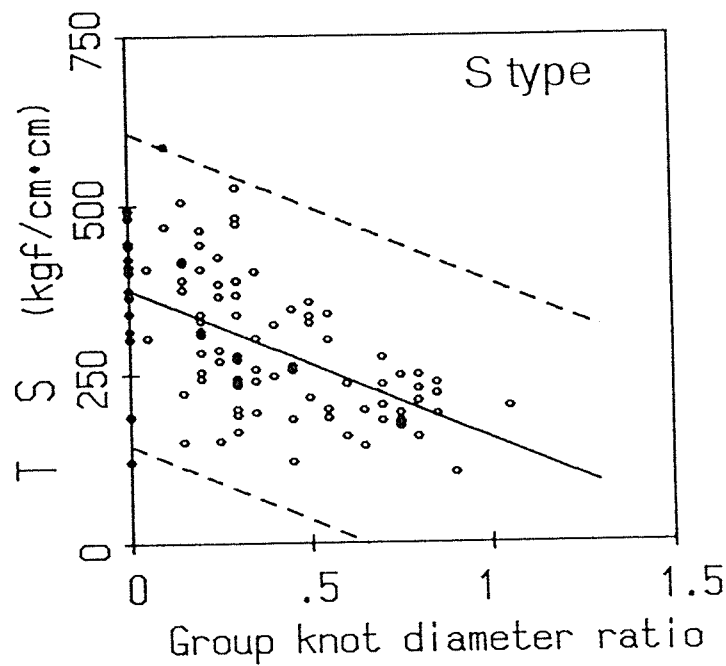


Fig. 4 節径比 (K) と T S の関係

### 6. 3. 2 たてつき木材 (F 試験体)

S および F 試験体の T S のヒストグラムを Fig. 5 と 6 に示す。図中にはワイブルのパラメータを示した。これらの図からもわかるように、F 試験体の T S のばらつきは S 試験体のそれより小さい。

等級区分後の S および F 試験体の T S の累積分布図をそれぞれ Fig. 7 と 8 に示す。等級区分後も F 試験体の方が曲線の傾きが急であり、明らかに S 試験体よりもばらつきが小さいことがわかる。

試験体の破壊形態は、100 体の内、フィンガージョイントを含んだ破壊が生じたものが 75 体、節から破壊したものが 20 体、目切れから破壊したものが 5 体であった。S および F 試験体とも、目切れで破壊したものは T S の値が低く、これらの値をすべて平均すると約 150 kgf/cm<sup>2</sup> となった。

このことは、たてつき木材を引張部材として使用する際には、目切れの大きさが非常に重要な指標となることを示すものである。

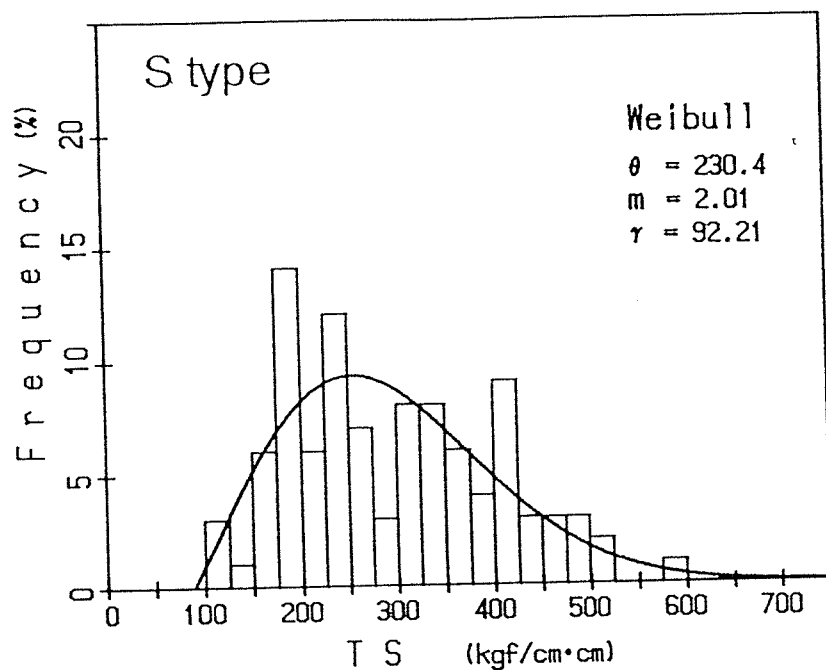


Fig.5 S試験体の引張強度のヒストグラム

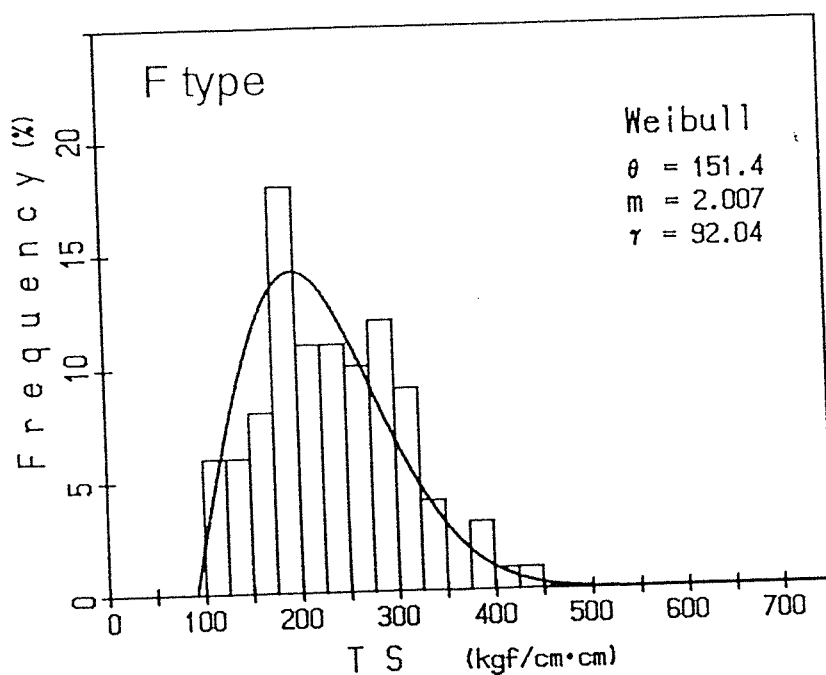


Fig.6 S試験体の引張強度のヒストグラム



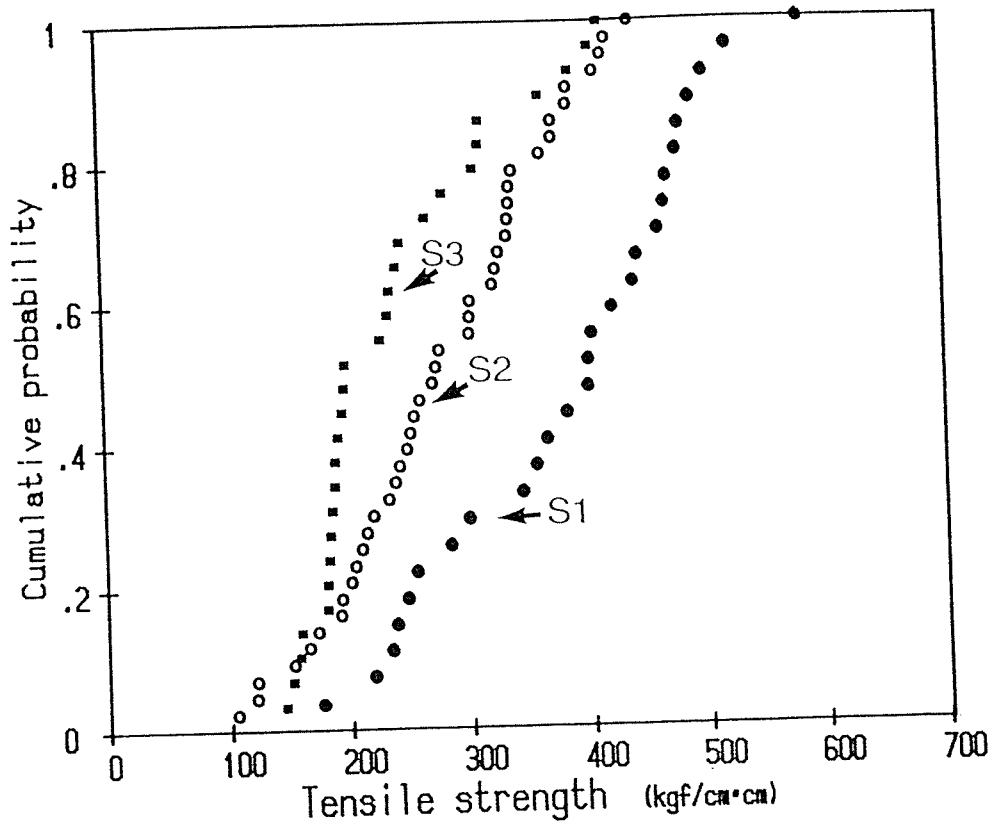


Fig. 7 等級区分後の S 試験体の TS の累積分布図

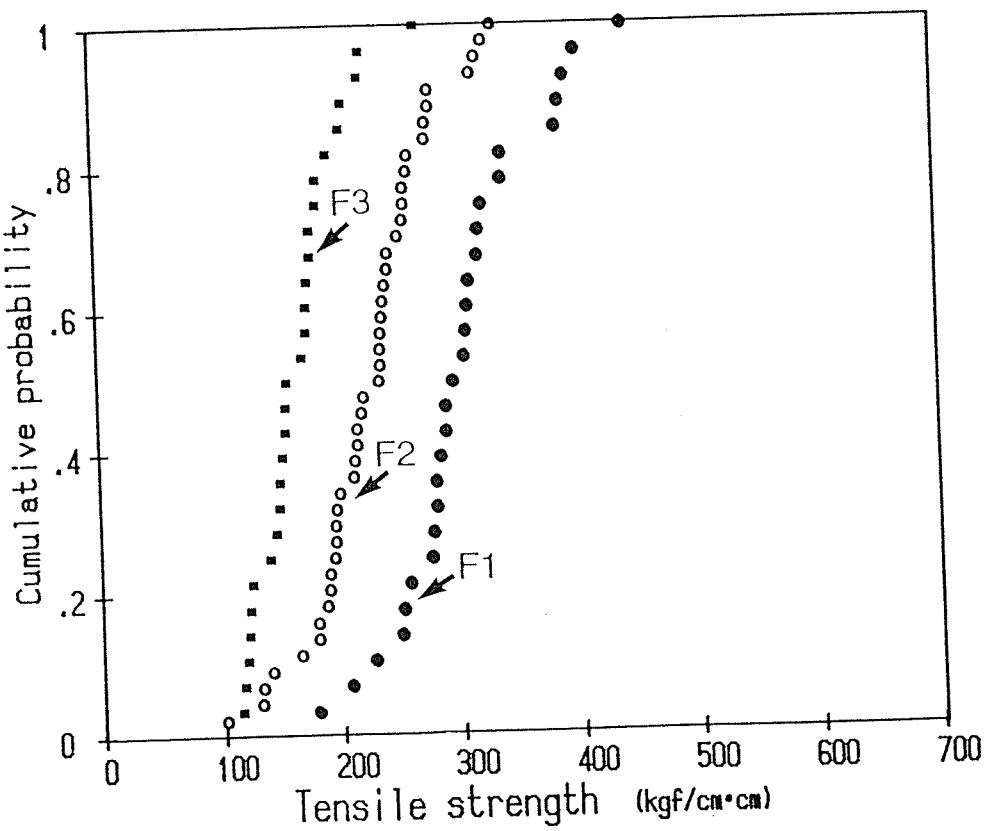


Fig. 8 F 試験体の TS の累積分布図

F 試験体の TS と MOE の相関図を Fig. 9 に示す。図中には回帰直線と信頼限界 99% の上限および下限の直線を示した。

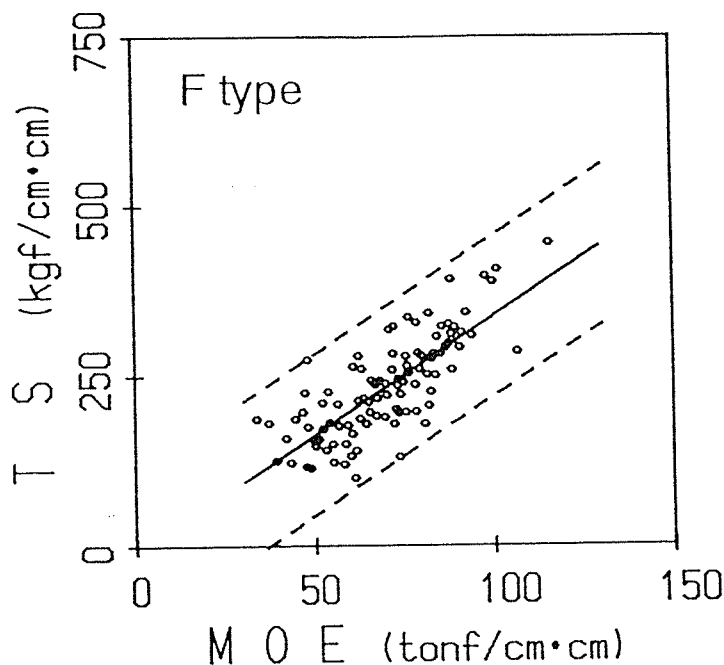


Fig. 9 F 試験体の TS と MOE の相関図

回帰直線式と相関係数は以下に示すとおりである。

$$TS = 3.470 \times MOE - 8.835 \quad : r = 0.7792$$

S 試験体の場合と同様に、筆者らが過去に行った栃木県産たてつきスギラミナの引張試験における回帰直線式と相関係数を以下に示す。なお、フィンガーの加工条件は本試験と全く同じである。

前回の試験結果<sup>7)</sup>

$$TS = 3.023 \times MOE - 14.12 \quad : r = 0.7077$$

この値と本試験の結果とを比較してみると、S 試験体の場合と同様に、回帰直線の傾きが前回よりも少し低い値となっている。これは前回に比べて節の量が少なかったためと推察される。

これらの結果における相関係数の値を S 試験体のそれと比較すると、いずれも F 試験体の方が高い値を示している。Fig. 3 と 9 から明らかなように、F 試験体の回帰直線は S 試験体のそれより下に存在するが、信頼限界 99% の下限値の直線を見ると、両者の位置関係は逆転している。すなわち、MOE という強度推定因子を用いて判断する限り、素材をそのまま使用するよりも、節などを除去してたてつきを行なう方が、結果として信頼性が向上することになる。

以上のことから、従来のようにフィンガージョイントの接合効率（たてつき木材の強度の平均値 / 素材の強度の平均値）のみからたてつき木材の

性能を判断することは、節のある実大材については非常に不合理であることがわかる。

### 6. 3. 3 素材+素材 (SS試験体)

Table2にSSおよびSF試験体の試験結果を示す。SSの後に続く数字は、ラミナの等級である。

Table 2. SSおよびSF試験体の引張試験結果

試験体	個数	平均 (kg f/cm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)	5%NPEs (kg f/cm <sup>2</sup> )	5%NORMs (kg f/cm <sup>2</sup> )
SS 1	26	360.8	15.22	241.3	270.4
SS 2	45	280.9	21.09	174.7	183.5
SS 3	19	219.1	23.18	144.8	135.6
SF 1	26	361.3	12.91	294.9	284.6
SF 2	42	257.6	13.22	193.2	201.6
SF 3	23	207.7	22.00	148.2	132.5

記号：

SS：素材+素材

SF：素材+縦つぎ材

1, 2, 3：材の等級

5%NPE：下限5%値(ノンパラメトリック)

5%NORM：下限5%値(正規分布を仮定)

Table2に示されたSSの各変動係数の値を見てみると、15~23%程度の値を示していることがわかる。この値はTable1に示されたS 1、2、3の28~33%という値に比べて相当低い。直列システムを並列システムにすることによって生じるばらつきの減少効果がこの結果に顕著に表れているといえよう。

2プライにすることによって、どの程度強度特性が変化するかを調べるために、平均値と5%NORM値についてSSとSの比をとってTable3に示した。これを見ると、平均値では91~101%の値となっているが、5%NORM値では123~137%の値となっている。積層によって変動係数が減少し、その結果下限値が向上することが、この結果からよくわかる。

Table 3. S 試験体に対する S S 試験体の強度比

比	平均値	5%NORM
SS1/S1	93.62%	129.9%
SS2/S2	100.8%	136.8%
SS3/S3	91.44%	123.4%

記号：

S：素材

S S：素材+素材

1, 2, 3：材の等級

5%NORM：下限5%値（正規分布を仮定）

#### 6. 3. 4 素材+たてつき木材（S F 試験体）

S F 1、2、3の各変動係数をTable2で見ると13~22%となっており、これは同じ2プライ積層材であるS S 1、2、3の15~23%という値よりさらに低い。

単層のF 1、2、3と積層されたS F 1、2、3の値の比をTable4に示す。同じく、SとFとの平均値（例えば、S 1とF 1の平均値を平均した値）とS F 1、2、3の値の比もTable4に示す。

Table 4. F 試験体および（SとF試験体の平均）に対するS F 試験体の強度比

比	平均	5%NORM
SF1/F1	118.0%	137.3%
SF1 / $\mu$ (S1 & F1)	104.5%	137.0%
SF2/F2	112.9%	141.9%
SF2 / $\mu$ (S2 & F2)	101.6%	146.0%
SF3/F3	123.3%	125.0%
SF3 / $\mu$ (S3 & F3)	101.8%	122.7%

記号：

F：縦つき材

S F：素材+縦つき材

1, 2, 3：材の等級

5%NORM：下限5%値（正規分布を仮定）

$\mu$  (S & F)：SおよびF試験体の平均値

単層と2プライとの比較では、2プライの方が平均値で13~23%、5% NORM値で25~42%高い値を示している。またSとFとの平均値と、SF1、2、3とを比較すると、平均値は両者ほぼ同等となるが、5% NORM値ではSFの方が23~46%高くなっている。

以上のことから、たてつぎ木材でも素材の場合と同様に、5%下限値が大幅に上昇することが明らかになった。

#### 6. 4. 引張強度の分布予測シミュレーション

以上、たてつぎ木材を2プライ積層材にすることによって、引張強度の信頼性を向上させ得ることが明らかになったが、そのメカニズムや定量性が明らかにされたわけではない。なぜなら、本試験の結果は一試験例であり、この結果が他の樹種、あるいは他の等級の組み合わせを用いた場合にも適合するかどうかは定かではないからである。

そこで、2プライ積層材の引張強度の確率モデルを考え、そのモデルに今回のラミナのデータをインプットしてシミュレーションを行ない、その予測結果がどの程度実際の引張強度分布を予測しているかを検討することにした。もし、予測結果と実際の強度分布とが良く一致していれば、他の樹種や等級の組み合わせの場合においてもこのモデルが適用できる可能性が高いということになる。

筆者らが過去に検討した5プライ集成材の引張強度分布予測シミュレーション<sup>10)</sup>では、3種類の確率モデル(直列、並列、平均値)を検討した。その結果、3種類の中で並列モデルが最も適合性が高く、平均値モデルがそれに続き、直列モデルは適合性がないことが明らかになった。

本試験では、結果と考察で述べたように、両ラミナの強度の平均値とSF1、2、3の平均値とがほぼ同等であるという結果が得られている。そこで、シミュレーションには平均値モデルを用いることにした。

##### 6. 4. 1 平均値(延性)モデル

平均値(延性)モデル<sup>10)</sup>とは、Fig.10に示すように2枚のラミナの内、弱い方のラミナのひずみが $\epsilon_1$ を越えてもラミナは延性状態にあり、 $\sigma_1$ の応力を分担する能力があると仮定するものである。ただし、 $\epsilon_2$ を越えると材全体が延性状態になり、そこで破壊が生じると仮定する。

この仮定から、破壊時における両ラミナの応力は両ラミナの引張強度そのものとなる。本研究の場合、ラミナの厚さが等しいので、積層材の引張強度は両ラミナの引張強度の平均値となる。

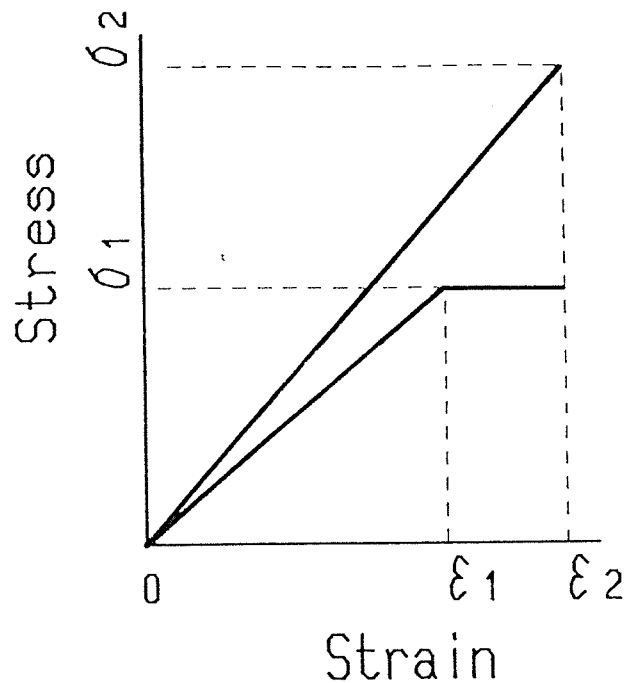


Fig.10 平均値（延性）モデル

#### 6. 4. 2 簡易なシミュレーション

筆者らがこれまでに検討してきたモンテカルロシミュレーション<sup>10-14)</sup>ではいずれも、

①、ラミナのMOEやTS等の統計分布を計算し、それに相等しい統計量をもつ乱数をコンピュータ内に発生させて、仮想のラミナを作成する。②、さらにそれを何回か繰り返して仮想の集成加工材料を作成し、何らかの破壊条件を仮定して、コンピュータ内で破壊させる。

③、さらにそれを何千回も繰り返して、仮想の集成加工材料の強度分布を求める。

という手法を採用してきた。

しかしながら、本研究のようにメカニズムが非常に単純なモデルにおいては、よりプログラムが簡単で実用的な方法を用いても、強度分布予測が行えるのではないかと考えられた。そこで、次に示すような簡易な方法でシミュレーションを行った。

ここでは今、SF2の場合を例として考える。

①、まず、試験により得られたS2のTSのデータをコンピュータ内部の配列に記憶させる。

②、このデータの配列を乱数を用いて、ランダムに並べ変える。

③、上の①②と同様の操作をF2についても行なう。

④、ランダムに並べ変えられた2組の配列からそれぞれ1個ずつのデータ

を取り出し、その平均値を仮想の2プライ積層材の引張強度とする。SF2の場合、計43個の仮想引張強度のデータが得られる。

⑤、仮想引張強度のデータの総数が3000~5000個になるくらいまで、②~④の操作を繰り返す。

⑥、得られたデータのファイルを作成して、終了。

### 6.4.3 シミュレーションの結果

このようにして行ったシミュレーションの結果と積層材の試験結果をFig.11に示す。プロットが試験結果、曲線が予測結果である。

SS3のみが、実験値より少し右にシフトした予測値となっている他は、概して高い予測精度を示していることがわかる。特にSS2とSF3では予測結果と実験結果とが非常に良く一致している。

Table 5 に実験結果と予測結果の一覧表を示す。この表からも、本シミュレーションモデルが高い予測精度を示していることがわかる。

以上、2プライ積層材の引張強度分布予測には平均値モデルが適用できること、またラミナの試験データを仮想ラミナのデータとしてそのまま用いるシミュレーション方法も有効であることが明らかになった。

Table 5. シミュレートされたデータと実大試験結果の比較

試験片	平均 (kgf/cm <sup>2</sup> )	変動係数 (%)	5%NPEs (kgf/cm <sup>2</sup> )	5%NORMs (kgf/cm <sup>2</sup> )
SS1 (試験結果) (予測結果)	360.8 385.4	15.22 19.63	241.3 245.9	270.4 260.9
SS2 (試験結果) (予測結果)	280.9 278.7	21.09 22.38	174.7 178.4	183.5 176.1
SS3 (試験結果) (予測結果)	219.1 239.6	23.18 24.17	144.8 168.9	135.6 144.3
SF1 (試験結果) (予測結果)	361.3 343.2	12.91 17.18	294.9 243.2	284.6 246.2
SF2 (試験結果) (予測結果)	257.6 253.1	13.22 19.82	193.2 167.0	201.6 170.6
SF3 (試験結果) (予測結果)	207.7 201.3	22.00 20.52	148.2 150.1	132.5 133.4

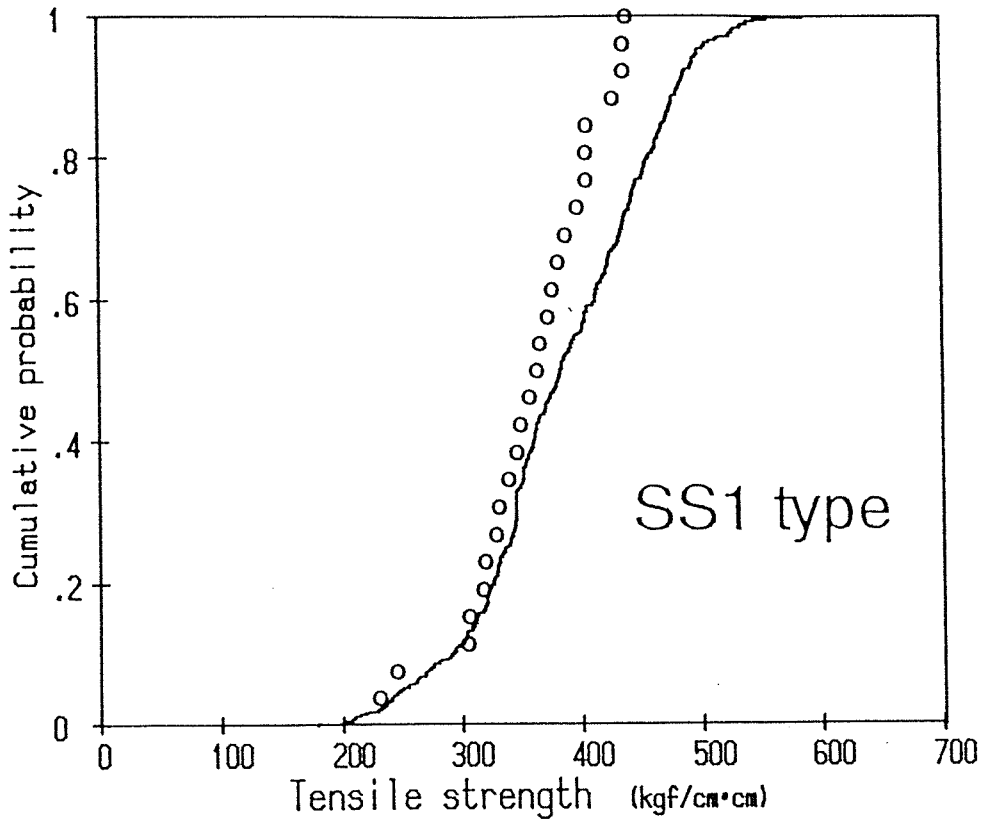


Fig. 11-1 SS1 試験体におけるシミュレーションの結果（曲線）と試験結果（プロット）の比較

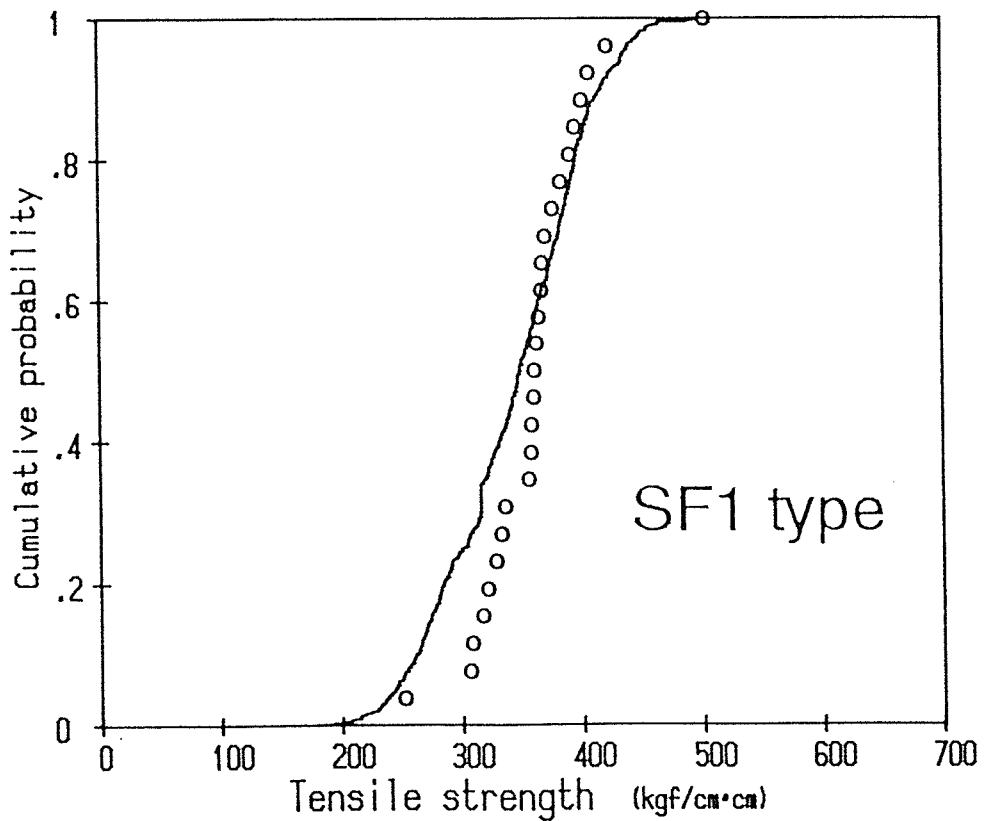


Fig. 11-2 SF1 試験体におけるシミュレーションの結果（曲線）と試験結果（プロット）の比較



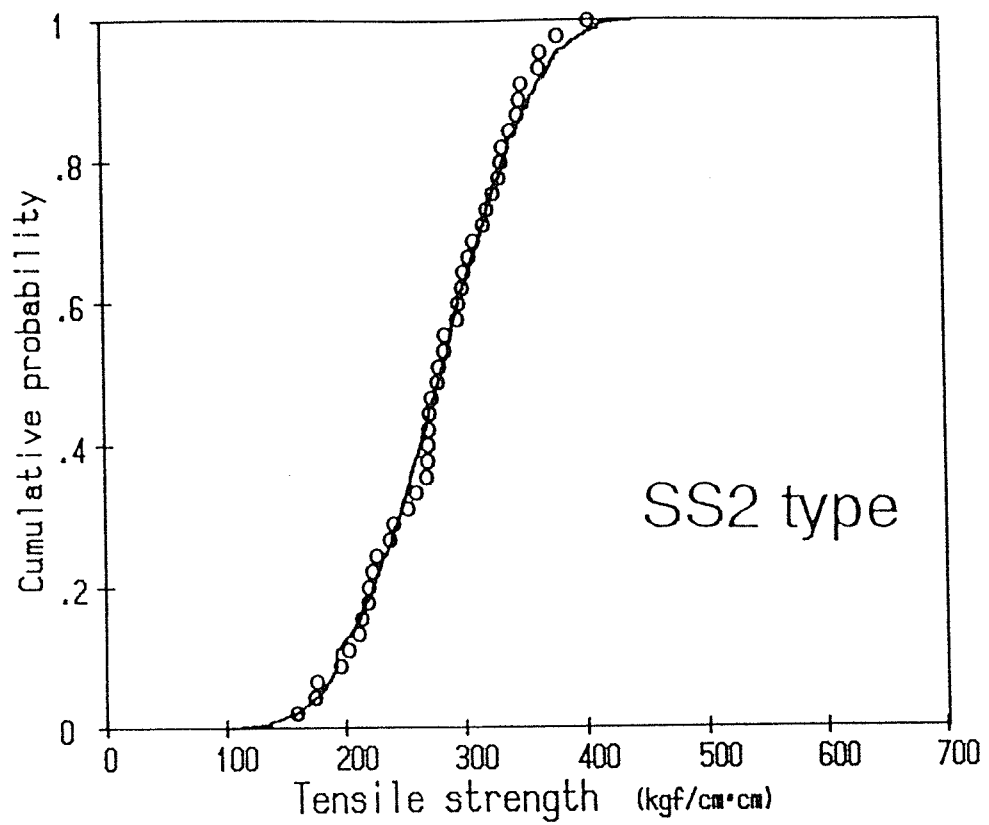


Fig. 11-3 SS2 試験体におけるシミュレーションの結果（曲線）と試験結果（プロット）の比較

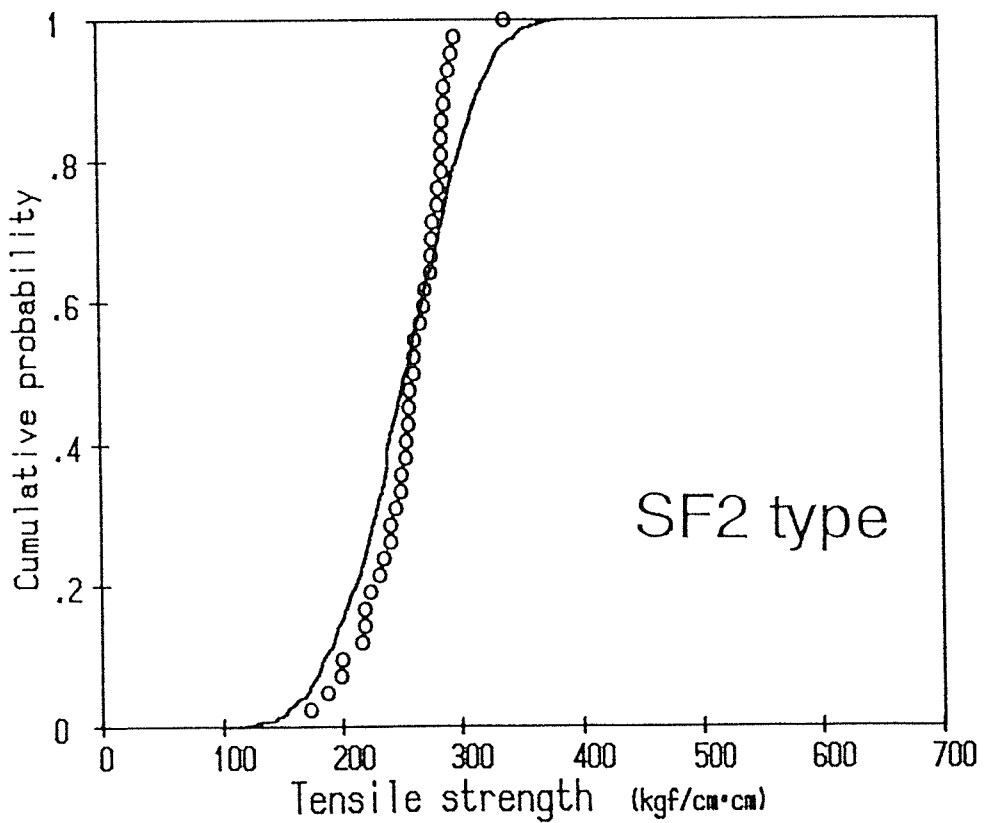


Fig. 11-4 SF2 試験体におけるシミュレーションの結果（曲線）と試験結果（プロット）の比較

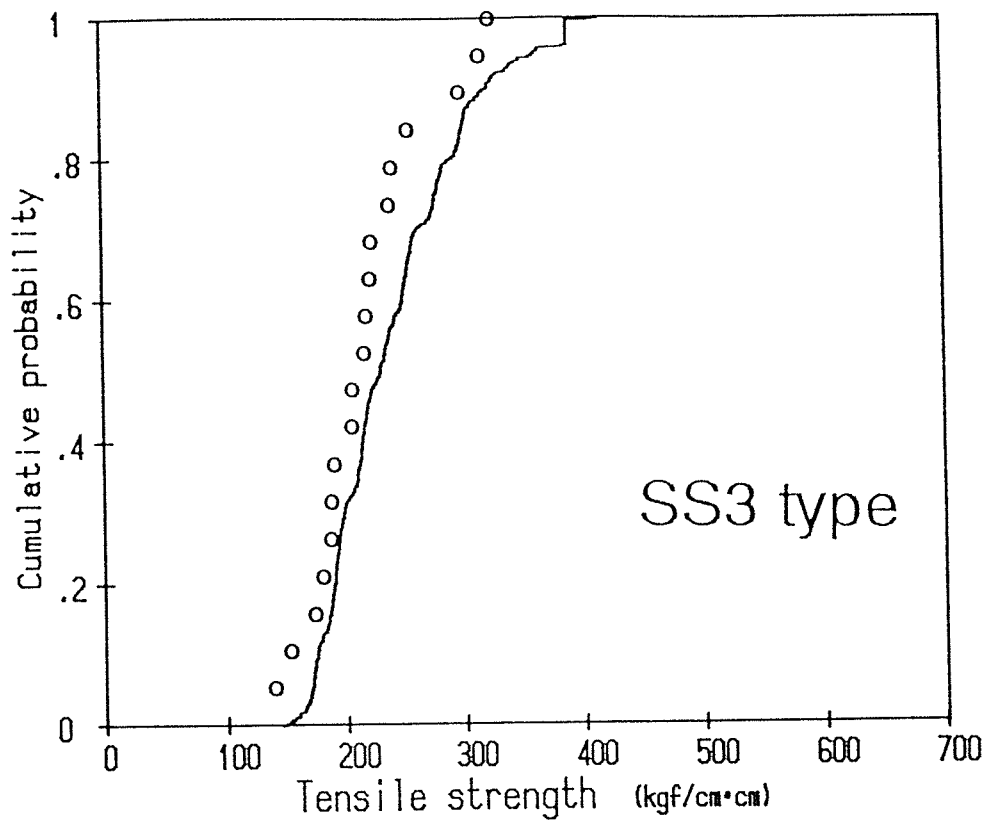


Fig. 11-5 SS3 試験体におけるシミュレーションの結果（曲線）と試験結果（プロット）の比較

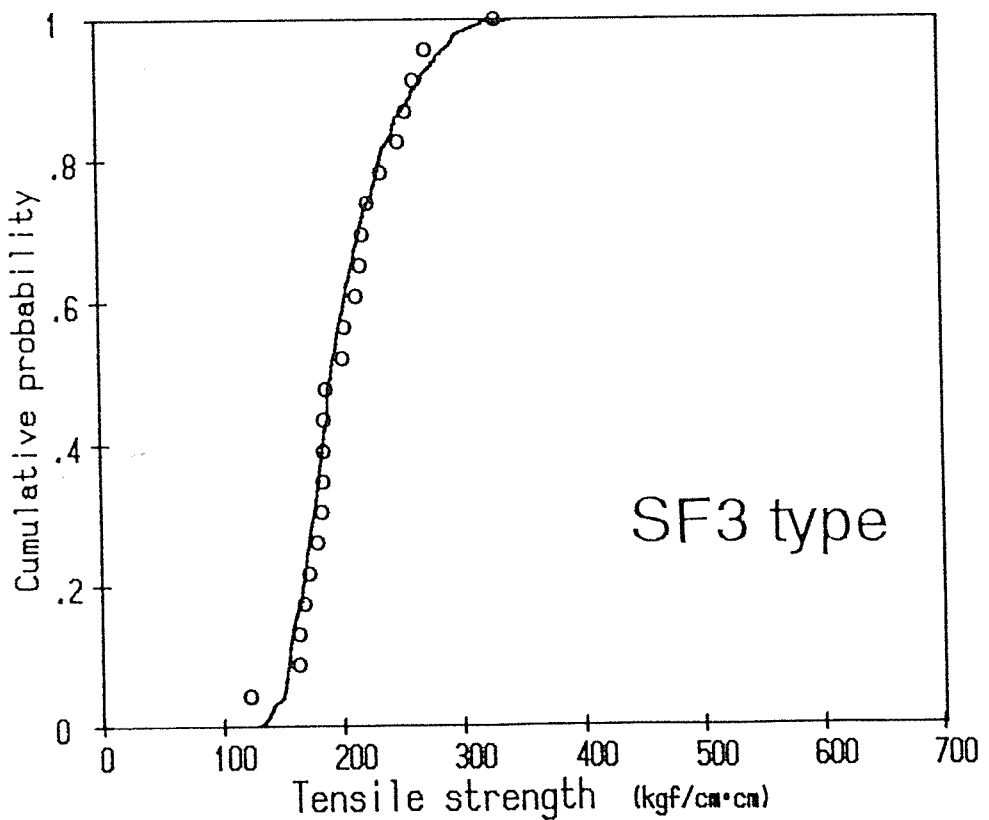


Fig. 11-6 SF2 試験体におけるシミュレーションの結果（曲線）と試験結果（プロット）の比較

## 6. 5 まとめ

2プライ積層材の実用化を図ることを目的として、スギラミナおよびスギフィンガージョイントラミナを用いて製造した2プライ積層材について引張試験を行ない、引張強度の分布に及ぼす積層の影響を実験的に検討した。さらに引張強度の分布予測のための簡易なシミュレーションを行ない、モデルの適合性を検討した。

その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 最大集中節径比や目切れはラミナの引張強度に及ぼす影響が大きいため、等級区分の際の指標として無視することができない。

(2) たてつぎラミナにおける引張強度-MOEの回帰直線は素材ラミナのそれより低い位置にあるが、信頼限界99%の下限の直線では両者の位置が逆転する。

(3) 積層によるばらつきの減少効果は2層であっても顕著に表れる。本試験の場合、たてつぎラミナを2層積層することによって平均値が13~23%、また5%下限値が25~42%上昇した。

(4) 2プライ積層材の引張強度分布予測には平均値モデルが適用できる。またラミナの試験データをそのまま用いる簡易なシミュレーション方法も適用可能である。

## 文 献

- 1) 林 知行：木材工業、47(4)、p.152-156 (1992)
- 2) 日本農林規格：“構造用大断面集成材の日本農林規格”、日本合板検査会、1987、p.22.
- 3) 林 知行：木材工業、45(8)、p.7-8 (1990)
- 4) 祖父江信夫：同上、42(9)、p.21-23 (1987)
- 5) McLain, T.E.; Woeste, F.E.: FPJ, 36(9), p.51-54, (1986).
- 6) 星 通、林 知行：木材学会誌、37(3), p.194-199 (1991)
- 7) 林 知行、宮武 敦、星 通：同上、38(3)、p. (1992).
- 8) 飯島泰男：“構造用木材-強度データの収集と分析” 木材強度・木質材料研究会編、日本木材学会、1988、p.1-41.
- 9) 林 知行、宮武 敦：木材学会誌、37(3)、p.200-205 (1991).
- 10) 林 知行、宮武 敦：同上、37(10)、p.904-911 (1991)
- 11) 林 知行：同上、35(11)、p.1048-1057 (1989)
- 12) 林 知行：同上、35(12)、1144-1153 (1989).
- 13) 林 知行：材料、39(9)、p.1197-1202 (1990).
- 14) 林 知行：木材学会誌、36(10)、p.920-926 (1990).