

平成4年度 農林水産省補助事業

(財)日本住宅・木材技術センター事業

# 技術開発推進事業報告書

## 集成材構造

平成5年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター



# 目 次

1. 平成4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 委員会の構成	1
2. カラマツ集成梁のクリープ実験	2
2. 1 はじめに	2
2. 2 実験概要	2
2. 3 実験結果と考察	1 3
2. 4 むすび	3 1
3. ベイマツ集成梁のクリープ実験	3 2
3. 1 はじめに	3 2
3. 2 実験の概要	3 3
3. 3 実験結果	3 4
3. 4 クリープ曲線の設定とクリープたわみの推定	4 9
3. 5 曲げ破壊実験結果と推定相対クリープとの関係	5 4
3. 6 まとめ	5 6
4. 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 7
4. 1 目的	5 7
4. 2 実験	5 7
4. 3 結果および考察	6 1
4. 4 まとめ	6 1
5. スギ梁材のクリープ特性(その2)	7 1
5. 1 はじめに	7 1
5. 2 実験方法	7 1
5. 3 結果と考察	7 4
6. 湿度変動化での集成材およびその接合部のクリープ特性	8 1
6. 1 目的と背景	8 1
6. 2 実験	8 2
6. 3 実験結果	8 2
6. 4 まとめ	8 3
7. 2 プライ積層材の曲げ強度特性	8 8
7. 1 はじめに	8 8
7. 2 材料と実験方法	8 8
7. 3 結果と考察	9 2
7. 4 まとめ	9 8



# 1. 平成4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、現状ではそのデータが非常に不十分である。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接合具単体についてのクリープ実験を行い、その性能を実験的ならびに解析的に明らかにし、データ資料の蓄積、整備に努める。

委員会は、下記に示すように学識経験者、使用者側、生産者側の三者で構成し、事業を進める。

## 1.2 委員会の構成

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)
〃	高木 和芳	トリスミ集成材(株)
協力委員	塚田 市朗	林野庁林政部林産課課長補佐
〃	宮澤 俊輔	林野庁林政部林産課係長
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2章カラマツ集成材のクリープ試験は、齊藤木材工業(株)および信州大学の協同研究で原稿の執筆は信州大学工学部の五十田博氏が行った。また、第5章のスギ梁材のクリープ特性実験は、宮崎工業試験場工芸支場で実施されたもので荒武志朗氏の執筆による。御協力を賜った方々および執筆いただいた両氏に厚く御礼申し上げます。

## 2. カラマツ集成梁のクリープ試験

### 2. 1 はじめに

#### 2. 1. 1 研究の目的

木材の長期荷重に対する設計を合理的に行うためには、実大強度実験のほか、木材のクリープに関する研究が別途必要である。また、木材は、樹種、断面形状、生育条件等により強度特性が異なり、様々なケースに対しデータを蓄積することが大切である。そこで、本研究では、樹種として信州産カラマツ集成材をとりあげ、2つの応力下での長期曲げ載荷実験を行い、そのクリープ特性を把握することを目的とする。

### 2. 2 実験概要

#### 2. 2. 1 試験体形状

本実験では、断面 $300 \times 120$ mm、全長 $6400$ mm(支点間距離  $6000$ mm)の試験体を2体使用した。図2.1に試験体外形図を示す。試験体の樹種は前述したように信州産カラマツで、ラミナ厚 $20$ mm、積層数は $15$ である。積層接着剤は、レゾルシノール樹脂系接着剤を用いた。また、本試験体は構造用集成材針葉樹A2類、1級同等とみなし、各許容値は、そのレベルの値を用いた。

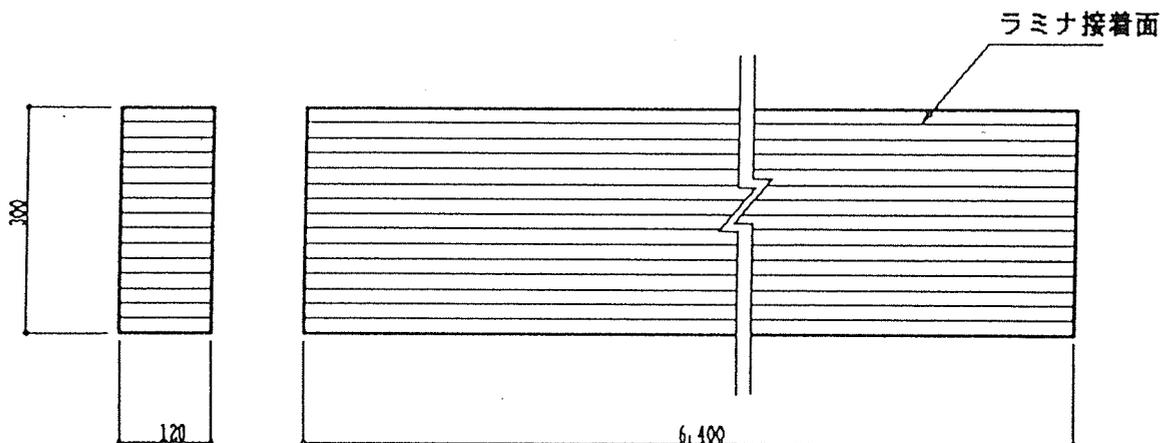


図2.1 試験体外形図

## 2. 2. 2 MOEの算出

集成材の製作に先立ち、小荷重法によりラミナの曲げヤング係数（MOE）を測定した。ラミナの仕様は以下に示すとおりである。

表2.1 ラミナの仕様

材幅(mm)	材厚(mm)	材長(mm)	樹種
約140	約24	約6500	信州産カラマツ

※ フィンガージョイント2～3箇所

ラミナは、構造用大断面集成材の日本農林規格（JAS）<sup>1)</sup>の規準に基づいて、直接目視による等級区分した挽き板に、フィンガージョイントによる縦継ぎを行ったものである。小荷重法は図2.2に示すように、スパン2700mmの支点間の中央に9kgの分銅を載荷し、この直下に設置した電気式変位計によりたわみを測定する方法である。断面サイズの測定は、供試体の4等分点3箇所幅、厚さを測定した。

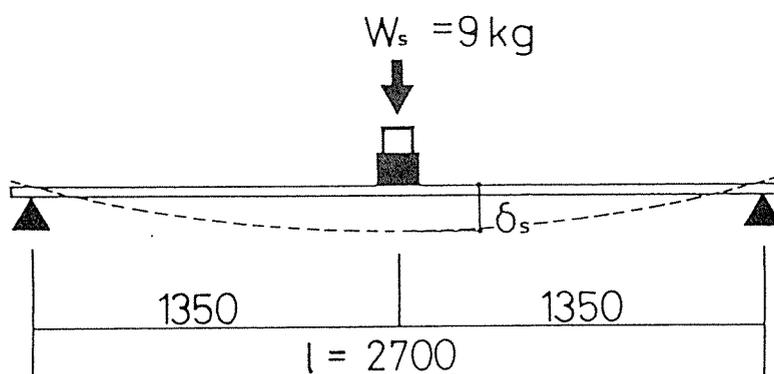


図2.2 小荷重法による測定

表2.2に測定結果、並びに測定値より計算されたラミナのヤング係数を示す。

表2.2 ラミナのヤング係数の測定結果

ラミナ No	幅 (mm)	厚さ (mm)	断面2 次モーメン ト ( $\text{cm}^4$ )	たわみ 平均値 (mm)	ヤング係数 E s ( $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$ )
	平均値				
1	136.8	24.0	15.8	13.6	172.2
2	139.9	24.5	17.0	18.9	114.6
3	141.5	23.7	15.6	20.2	117.2
4	140.2	24.0	16.1	20.3	112.6
5	141.0	23.7	15.6	24.5	96.9
6	138.5	24.7	17.3	18.5	115.5
7	139.0	24.5	17.0	19.1	113.4
8	137.8	24.0	15.9	16.7	139.2
9	140.5	24.0	16.1	20.8	110.3
10	140.0	24.5	17.2	18.1	118.8
11	139.3	24.3	16.7	22.2	99.6
12	140.7	24.3	16.9	20.4	107.1
13	139.5	23.8	15.7	22.1	106.3
14	140.0	24.0	16.1	20.8	110.3
15	140.2	24.0	16.1	20.0	114.6
16	140.7	24.2	16.5	20.6	108.3
17	140.2	24.3	16.8	18.2	120.5
18	140.2	24.0	16.1	18.9	120.9
19	140.2	24.3	16.8	22.8	96.4
20	140.7	24.5	17.2	23.3	91.9
21	141.2	24.3	16.9	25.7	84.9
22	140.5	24.3	16.9	20.8	105.4
23	138.0	24.3	16.6	16.1	138.8
24	139.7	24.2	16.4	16.7	134.9
25	140.7	24.2	16.5	20.3	110.2
26	140.5	24.2	16.5	21.5	103.9
27	139.8	24.2	16.4	20.2	111.1
28	139.2	24.3	16.7	17.7	125.1
29	138.5	24.0	16.0	17.3	133.7
30	139.3	24.0	16.1	20.3	113.3

集成材はこの結果をもとに、ラミナを外層用、中間層用、内層用とに仕分けし製作した。ラミナとフィンガー・ジョイントの位置を図2.3に示す。15層のラミナは、外層4層、中間層4層、内層7層で構成されている。

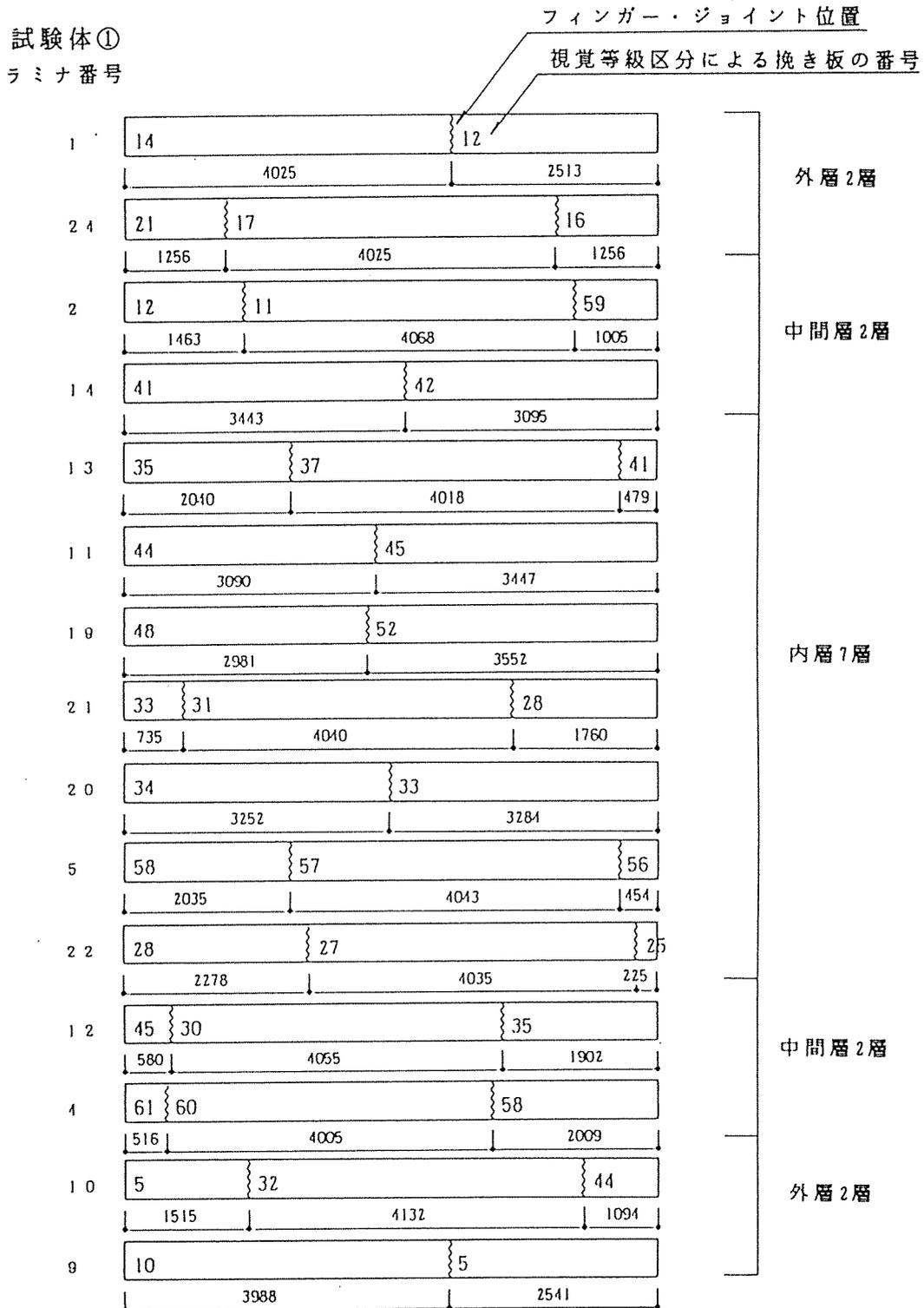


図2.3.a ラミナ、フィンガー・ジョイントの配置 試験体①

試験体②  
ラミナ番号

フィンガー・ジョイント位置

視覚等級区分による挽き板の番号

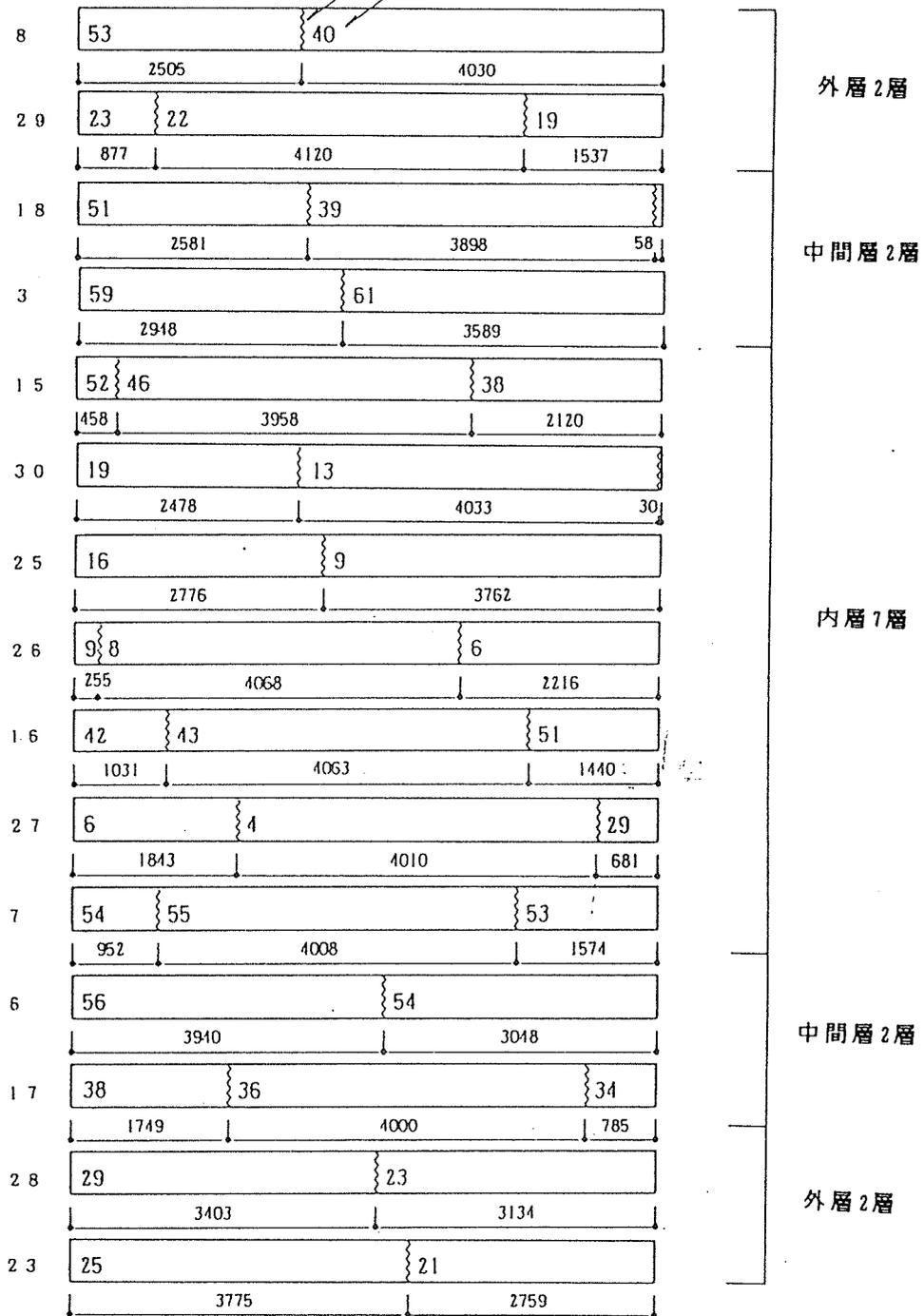


図2.3.b ラミナ、フィンガー・ジョイントの配置 試験体②

「木構造計算規準・同解説」<sup>2)</sup>の算出法に基づき、試験体2体のMOEの計算を行った。その結果を表2.3に示す。

表2.3 MOEの計算結果

	試験体①	試験体②
MOE	116.08	117.10

(単位:  $10^3 \text{ kg f/cm}^2$ )

なお、参考までに、試験体に使用した構造用集成材A2類1級のヤング係数は、 $110(\times 10^3 \text{ kg f/cm}^2)$ である。

### 2.2.3 実験装置概要

実験装置の概要を図2.4に示す。地上から約1.5mの所に試験体を置き、実荷重による載荷を行った。支点はピン、ローラーによる単純梁支持で、加力は3等分点による4点曲げとした。

支台フレームは、床とアンカーボルトで接合されており、支点のぐらつきを抑えた。また、支点の側部には試験体倒れ止め用の面外拘束治具を取り付けている。

載荷荷重は鋼矢板(FSP-3型、長さ5m:単位重量300kg/枚)を使用した。

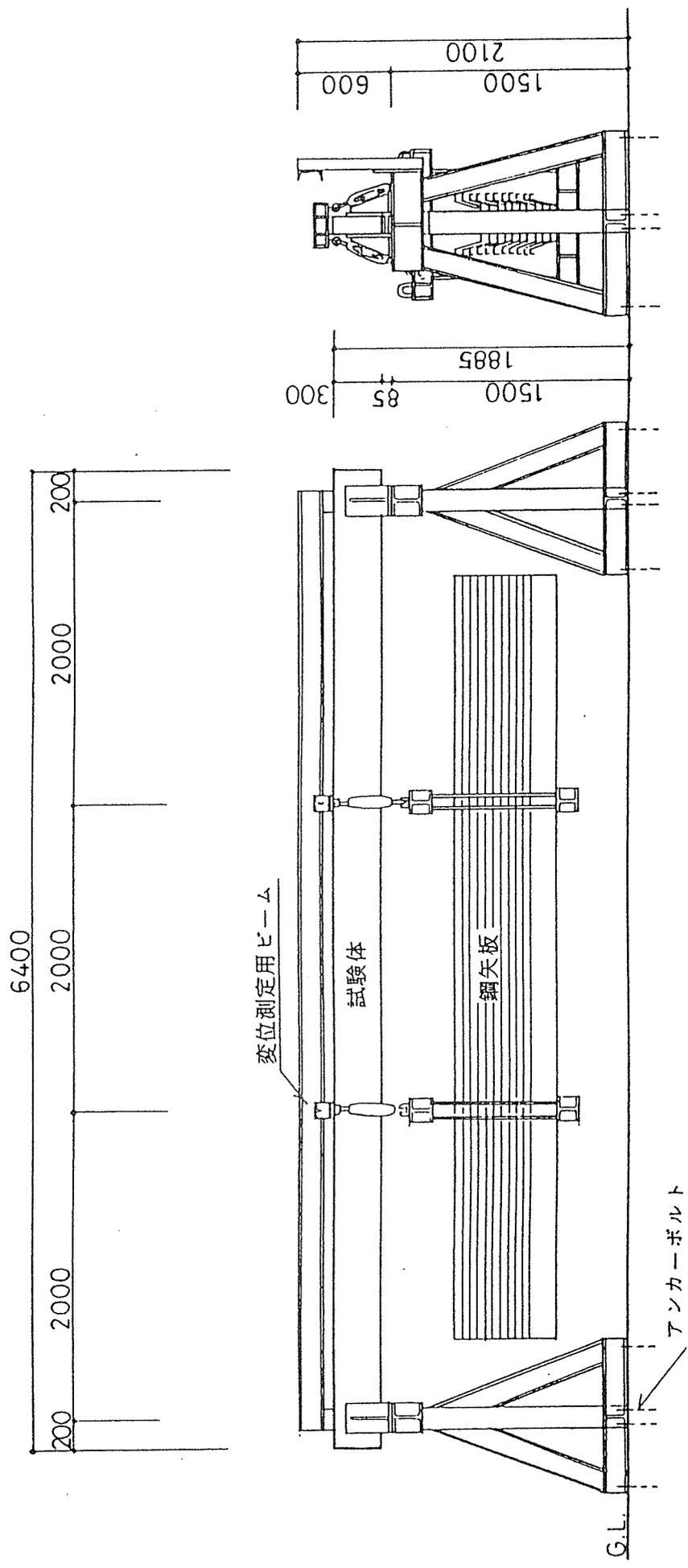


図2.4 加力装置図 S = 1 / 40

## 2. 2. 4 試験荷重の計算

試験体の比較因子である荷重は、長期許容荷重および長期と短期許容荷重の間荷重の2種類とした。試験体の強度を長期許容応力度の3倍と考えた場合、前者は応力比0.33、後者は応力比0.50となり、試験体名を応力比に応じて、C-33、C-50とつけた。長期許容応力度を $135\text{kgf/cm}^2$ とした場合のC-33は、 $P = 2430\text{kgf}$ 、C-50は $P = 3654\text{kgf}$ となる。

また、せん断破壊を起こさないためには、下式の条件を満足する必要がある

$$M_u / L_u < Q_u$$

$M_u$  : 2点間における曲げモーメント差の最大値  
 $L_u$  : せん断スパン  
 $Q_u$  : 長期許容せん断耐力

$L_u$ は92.05cm以上必要であるが、本試験体は、 $L_u = 200\text{cm}$ であり、条件を満たしている。

## 2. 2. 5 載荷方法

載荷の手順を以下に示す。載荷開始時刻を揃えるため、作業は2体を並行して行った。

- 支台フレームを設置する。
- レベル合わせを行う。
- 枕を敷き、その上にH鋼、錘を載せる。
- 吊り金物（下部のみ）を組み立てる。
- 支点ローラー（ピン）を載せ、面外拘束を付ける。
- 試験体を載せる。（加力点H鋼とターンバックルを取り付ける）
- 測定用フレームを組み立てる。
- 変位計を取り付ける。
- だるまジャッキで吊り金物（下部）、錘を吊り上げる。
- ターンバックルと吊り金物（下部）をつなげる。
- 変位のイニシャルをとる。
- だるまジャッキを静かに下げ、荷重をかける。
- 1回目変位測定。
- 測定開始

## 2. 2. 6 各値の測定方法

たわみの測定方法を図2.5に、測定ヶ所を図2.6に、変位計設置状況を写真2.1に示す。このように、両支台フレームの間にのばしたビームで、中央、両加力点、両支点の計5ヶ所の鉛直方向変位を測定した。計測時間間隔は以下の通りとした。

- (1) 載荷開始 ~ 載荷1時間後 : 1分間隔
- (2) 載荷1時間後 ~ 載荷6時間後 : 15分間隔
- (3) 載荷6時間後 ~ 載荷5日後 : 1時間間隔
- (4) 載荷5日後 ~ : 1日間隔 (測定時刻 12時)
- (5) 6~7月 (期間2週間) : 1時間間隔
- (6) 12月 (期間2週間) : 1時間間隔

(5)(6)は、1時間間隔測定を行い夏期及び冬期における温湿度の影響を調べるために行った。

なお、測定器は、ひずみゲージ式変位変換器 (ストローク10cm) で、共和電業製DT-100Aを使用した。

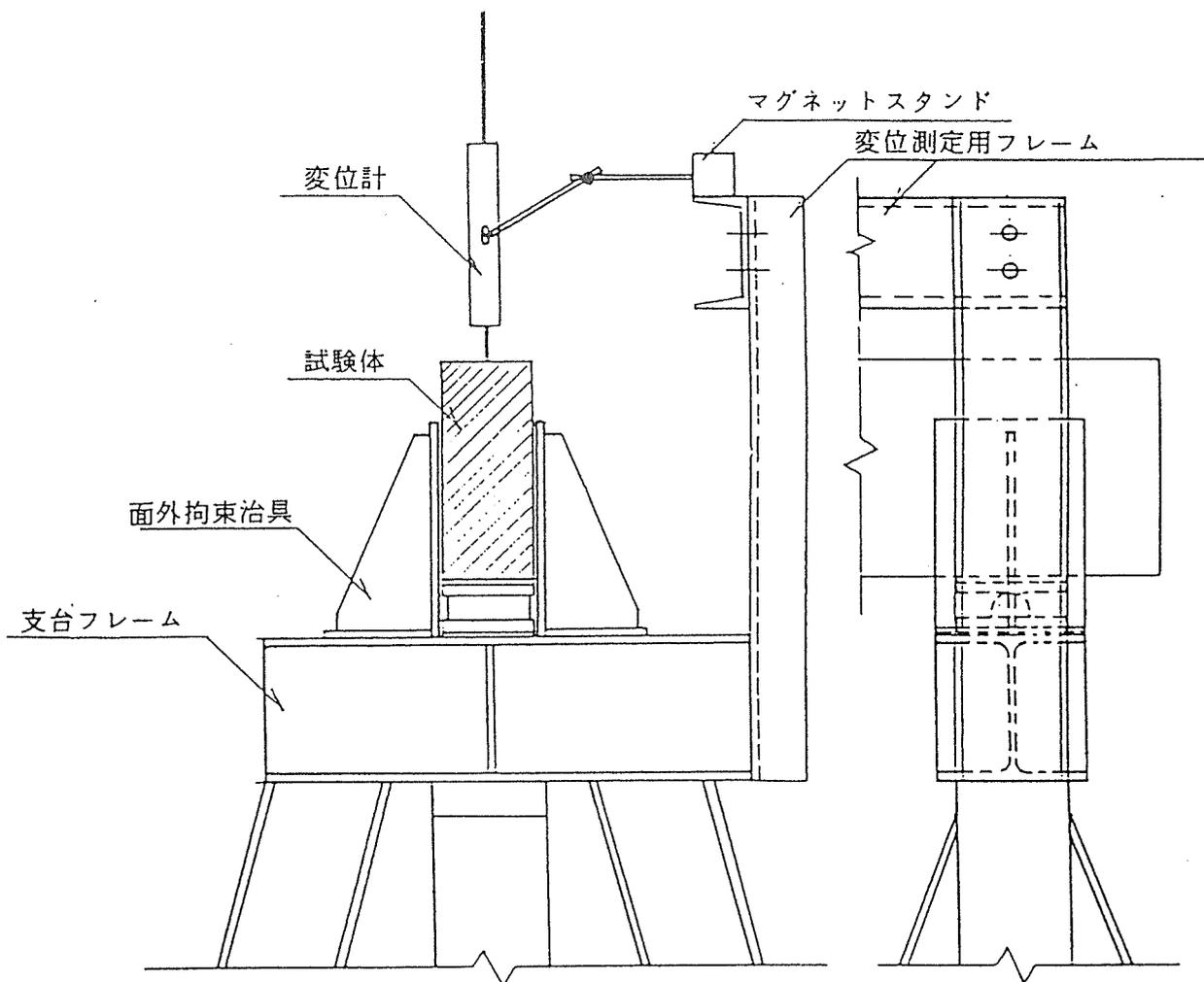


図2.5 変位測定方法

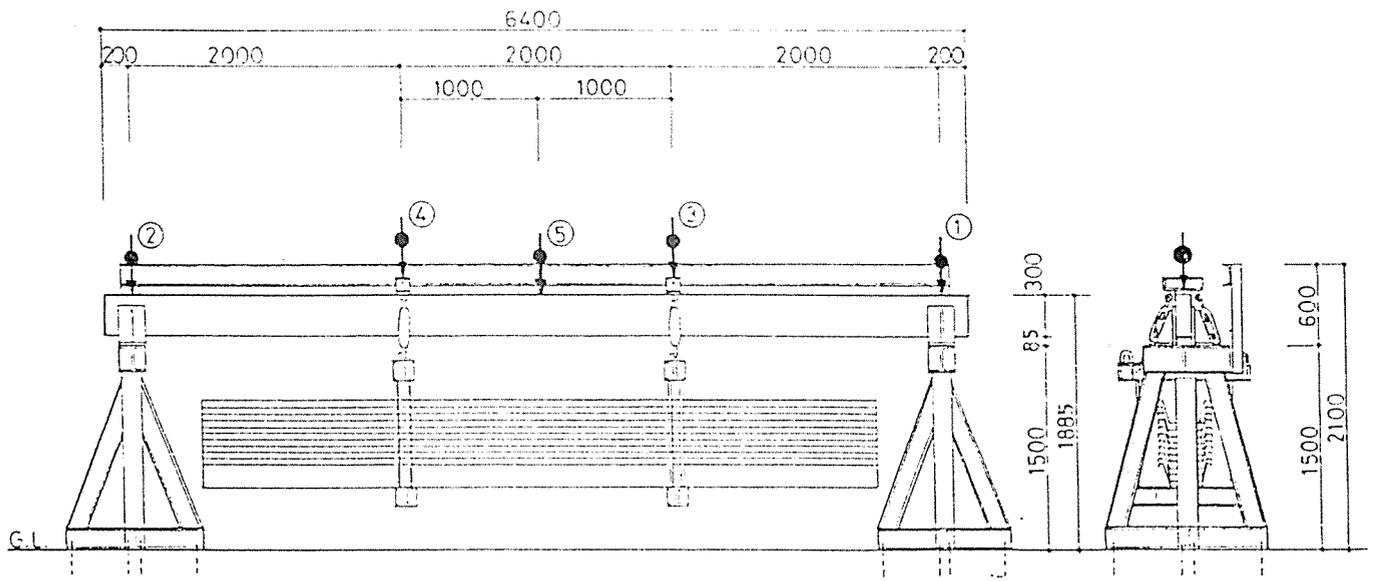


図2.6 変位測定個所

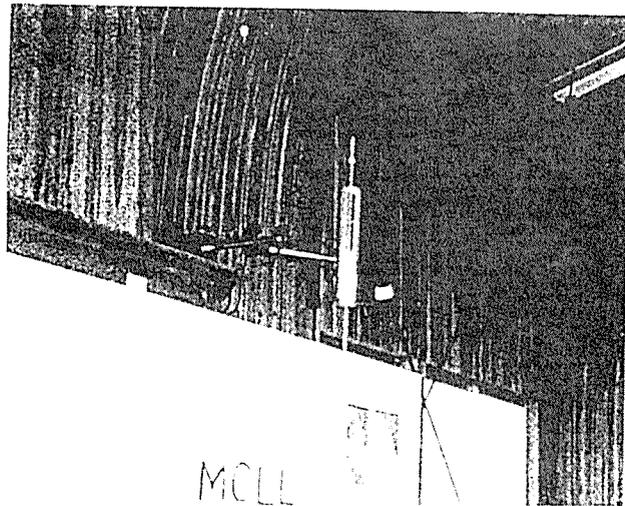


写真2.1 変位計設置状況

実験室内の温湿度は自記温度湿度計を用いて常時連続測定を行った。写真2.2に測定状況を示す。測定器は中浅測器製E-14自記温度湿度計を使用した。

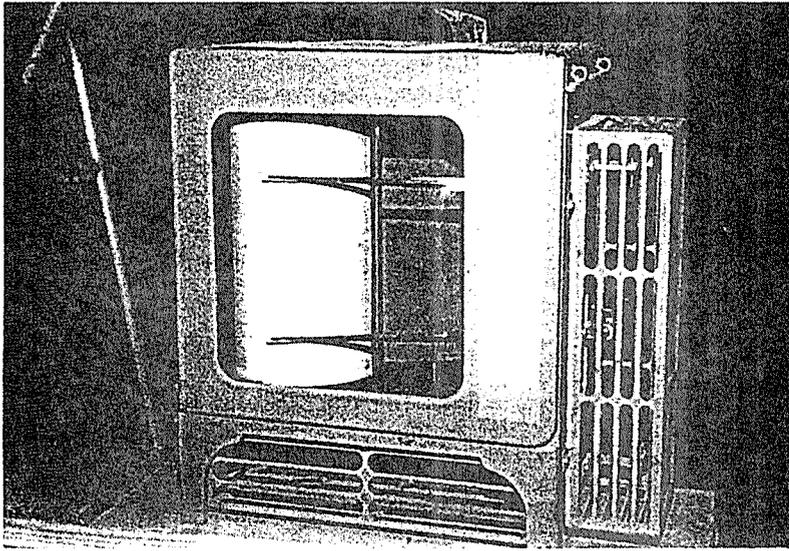


写真2.2 温湿度測定装置

表面含水率は、各試験体に定めた側面上の点（1ヶ所）で、CSA高周波式精密木材水分計（西独製DELTA-5型）を用いて1日1回測定した。測定器を写真2.3に示す。



写真2.3 含水率計

## 2.3 実験結果と考察

### 2.3.1 用語の定義

本報告で用いる実験結果の値を以下のように定義する。

①中央たわみ： $\delta_c$

中央点と両端の支持点におけるたわみの差。次式のように表される。

$$\delta_c = \text{変位計⑤} - \frac{\text{変位計①} + \text{変位計②}}{2} \quad \dots\dots (3.1)$$

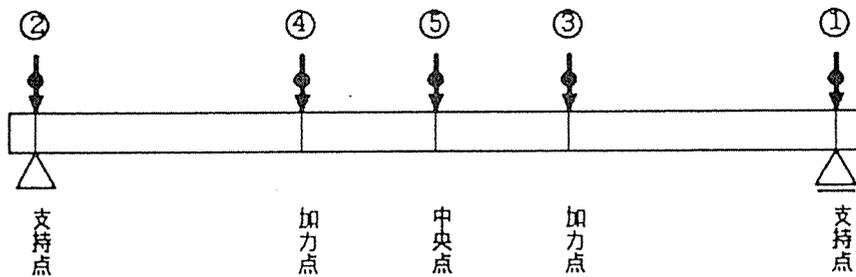


図 3.1

②初期たわみ： $\delta_0$

載荷直後に生じた中央たわみ。

③クリープたわみ： $\delta_c(t)$

載荷直後を0としたときの中央たわみ。

④全たわみ： $\delta(t)$

クリープたわみに初期たわみを加えたたわみ。

$$\delta(t) = \delta_0 + \delta_c(t) \quad \dots\dots (3.2)$$

## 2. 3. 2 実験結果

載荷開始日は1992年3月10日である。載荷後385日までの全たわみ、クリープたわみと時間経過の関係を図3.2、図3.3に、温湿度を図3.4に示す。

一般に、継続荷重がクリープ限度（破壊に至らない最大の荷重）以下のときのクリープは、載荷直後急速にたわみが増加するが、やがて増加速度が緩慢になり、ついにはたわみの進行がとまる傾向がある<sup>3)</sup>。図からも同じような経過が読み取れ、C-33は160日目くらいから、C-50は180日目くらいからクリープの進行は徐々に緩やかになり、その後僅かに減少している。

温度は、載荷開始時の3月から夏を経て、再び下がっていく季節変動がわかるが、湿度（相対湿度）は、季節と関係なく30～80%の間で上下している。

載荷後300日の状況を写真3.1、写真3.2に示す。

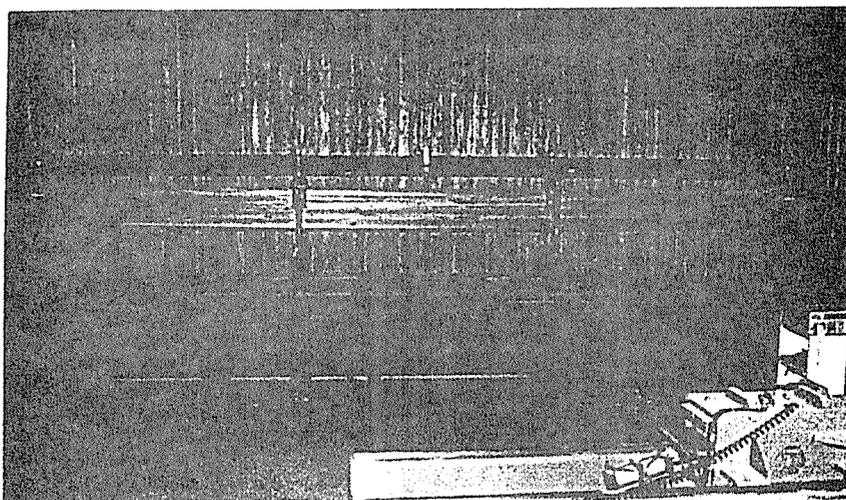


写真3.1 300日経過後 (C-50)

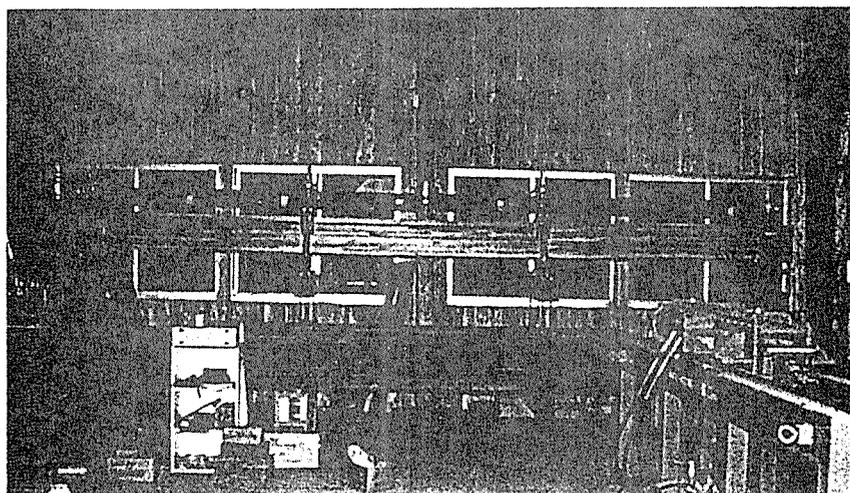


写真3.2 300日経過後 (C-33)

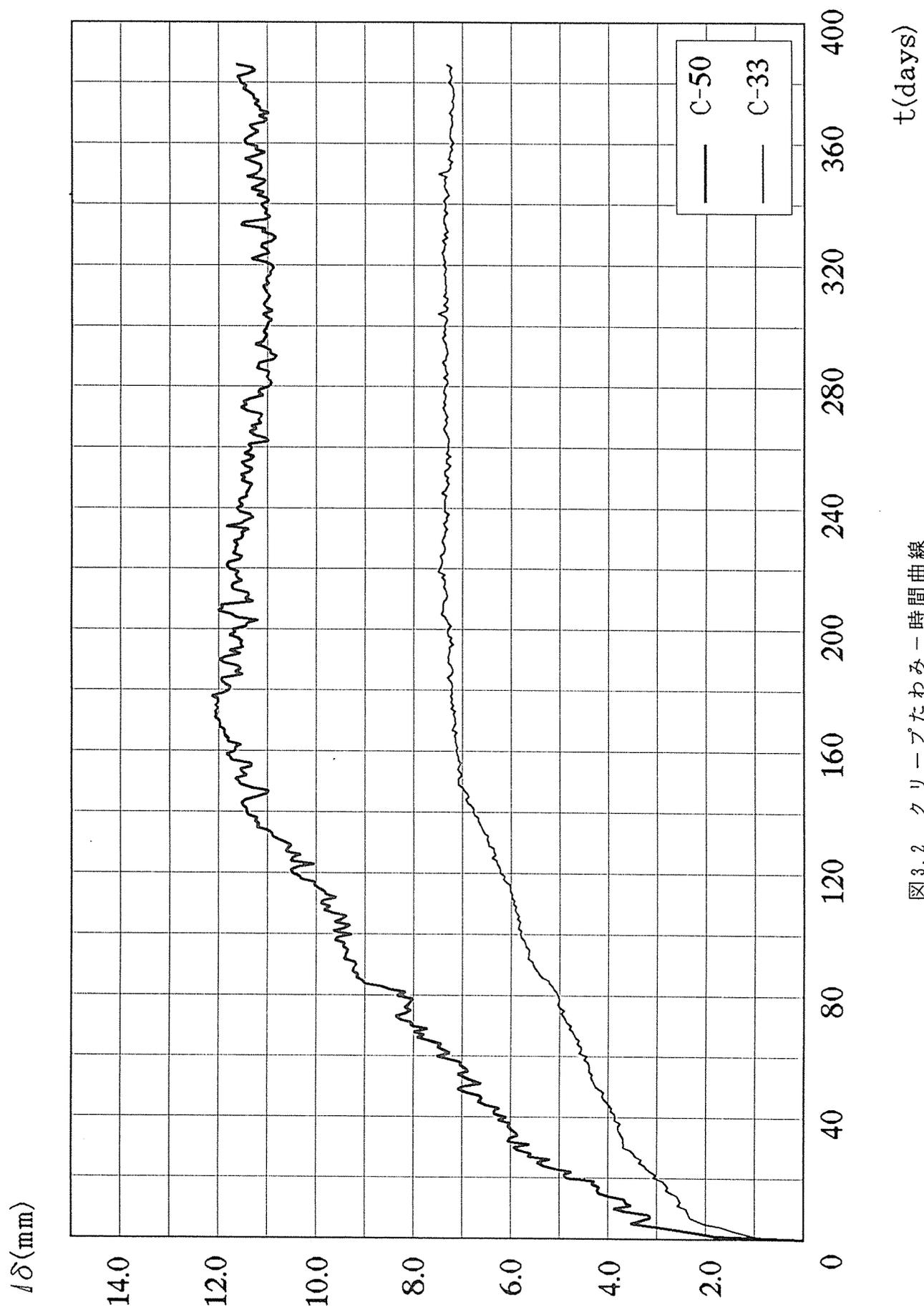


図3.2 クリープたわみ-時間曲線

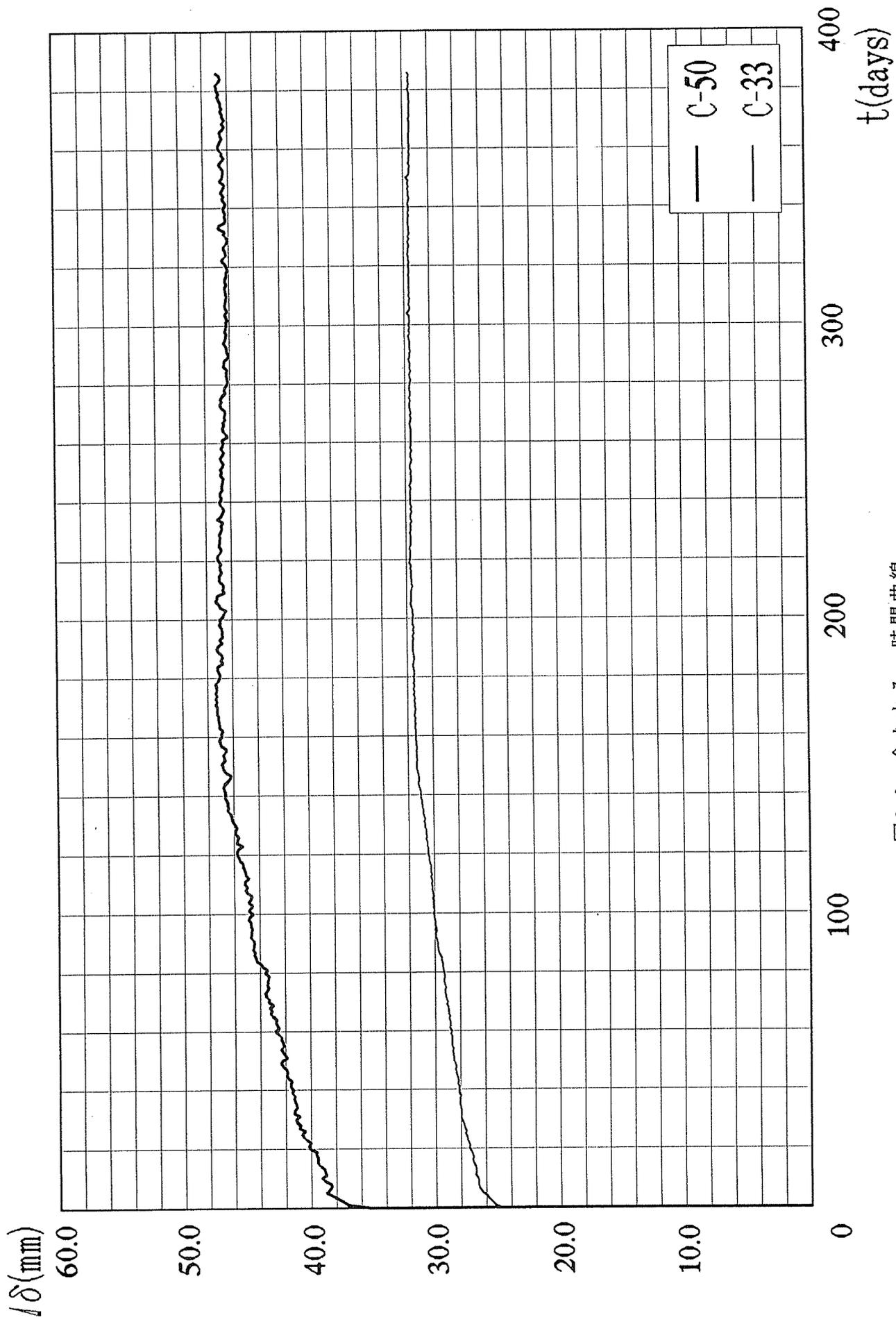


図3.3 全たわみ-時間曲線

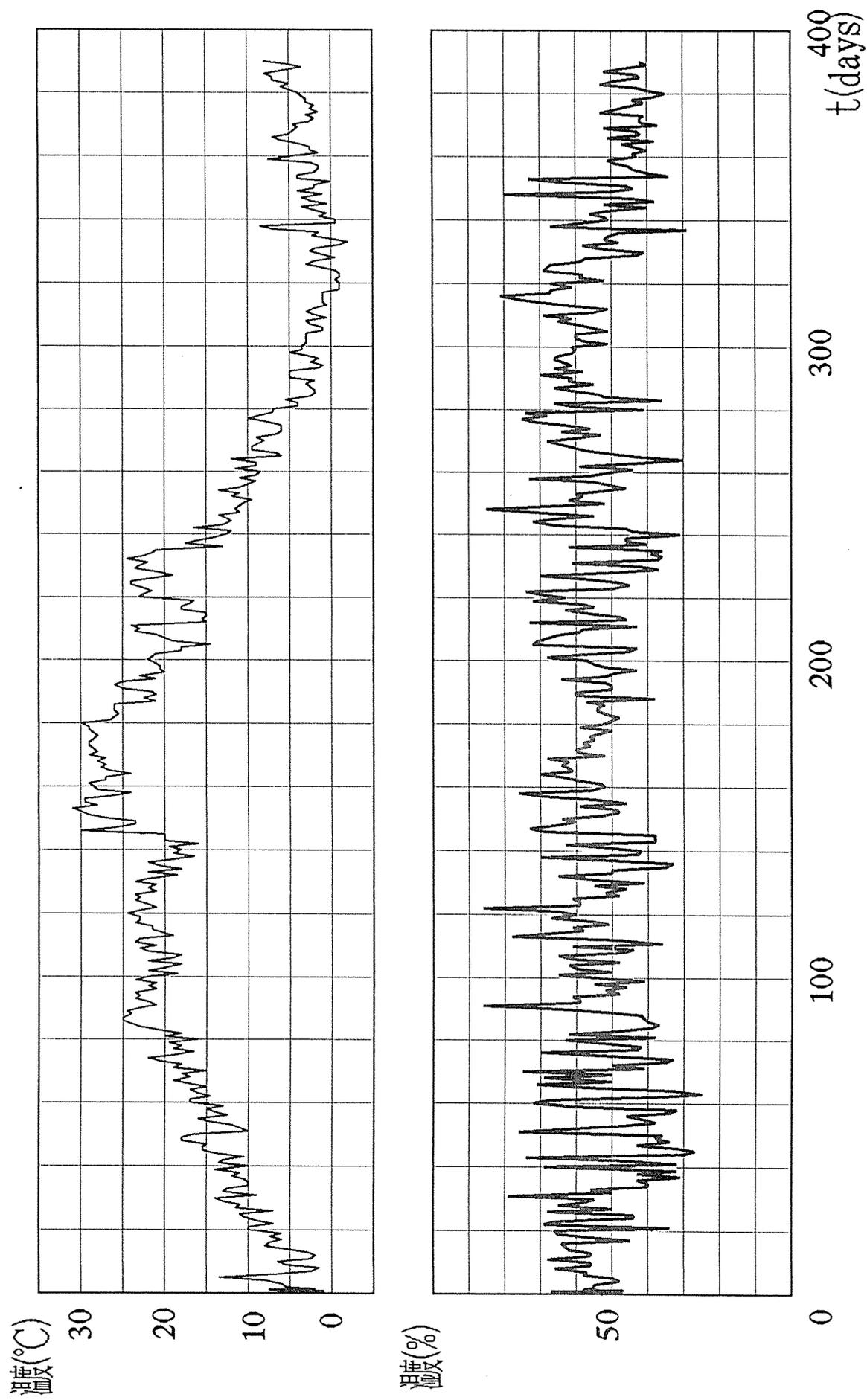


图 3.4 温湿度

### 2.3.3 考察

(1) 実測値のヤング係数とMOEの比較

実験で生じた初期たわみは、

$$C-33 : \delta_0 = 2.426(\text{cm})$$

$$C-50 : \delta_0 = 3.526(\text{cm})$$

であった。

この値より、実際の集成材のヤング係数を計算すると、

$$C-33 : E = 142.2(\times 10^3 \text{kg/cm}^2)$$

$$C-50 : E = 146.8(\times 10^3 \text{kg/cm}^2)$$

となり、これはラミナの実測値から集成材のヤング係数を計算して求めた値(MOE)よりかなり高い値となった。

(2) 載荷直後のクリープたわみについて

載荷開始時の初期たわみは、C-50で3.526cm、C-33で2.426cmであった。その直後より1分間、15分間隔計測を行ったときのクリープたわみを考察する。

1) 載荷1時間後まで(図3.5)

載荷から1時間後までに、C-50は0.75mm、C-33は0.5mm程たわみが進行した。両試験体ともに、傾きは徐々に小さくなっているが、全体としては、直線的である。

2) 載荷6時間後まで(図3.6)

載荷から6時間後までに、C-50は1.1mm、C-33は0.85mm程たわみが進行した。クリープ曲線の勾配は、2時間後くらいから徐々に緩やかになる。

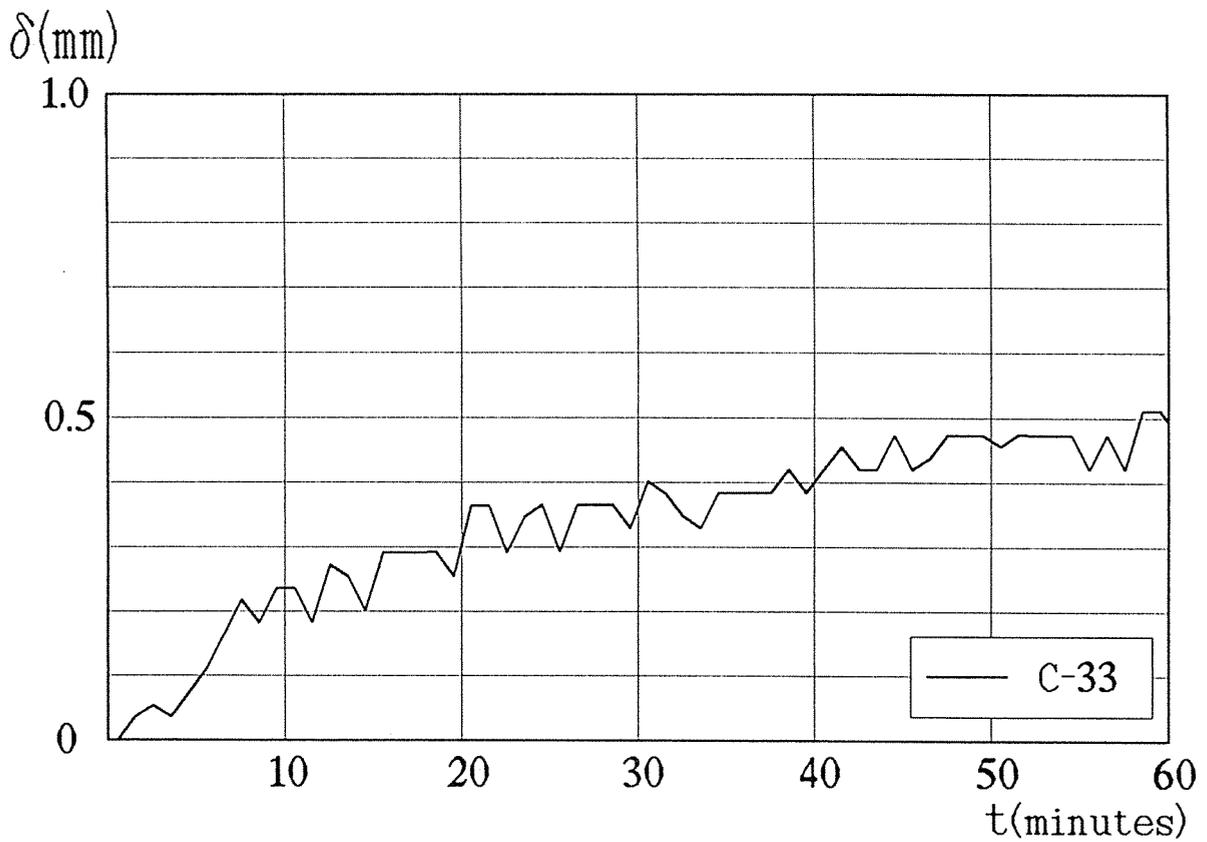
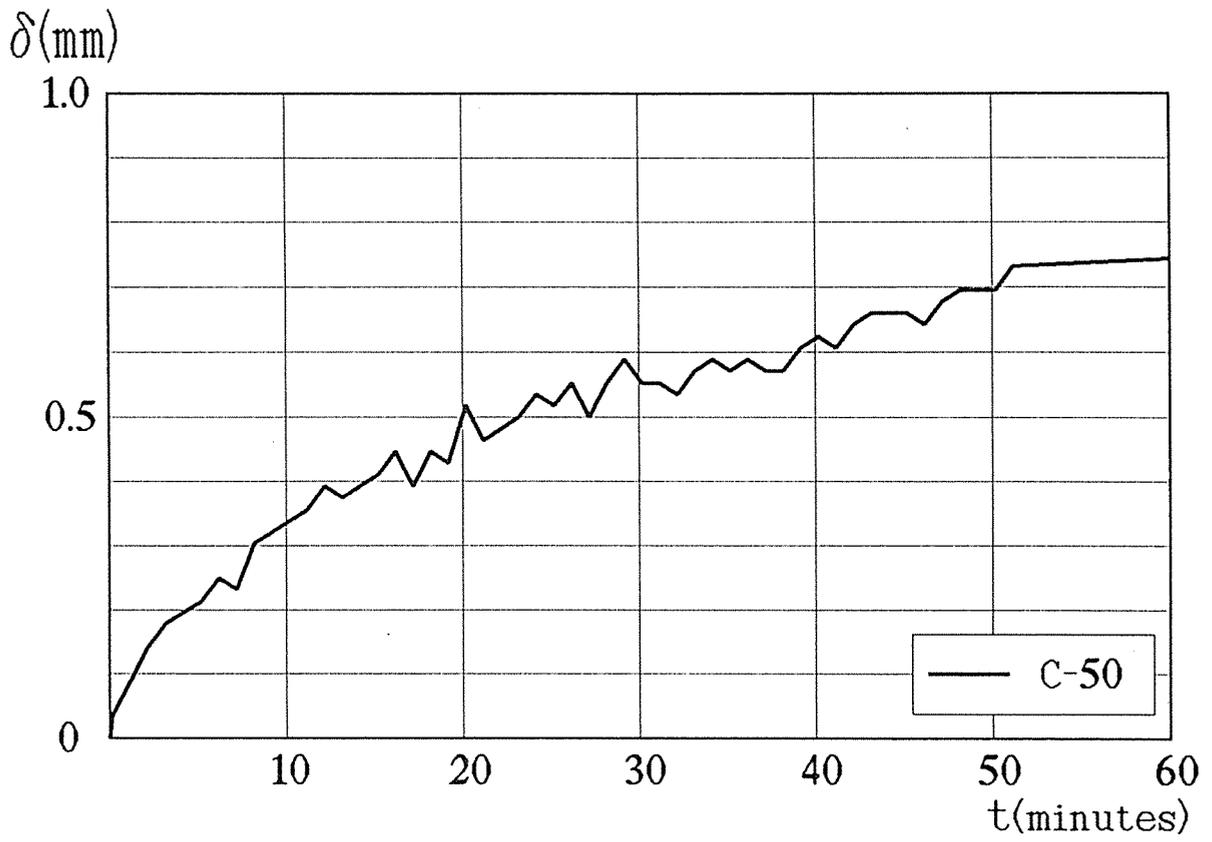


図3.5 載荷1時間後までのクリープたわみ（1分間計測）

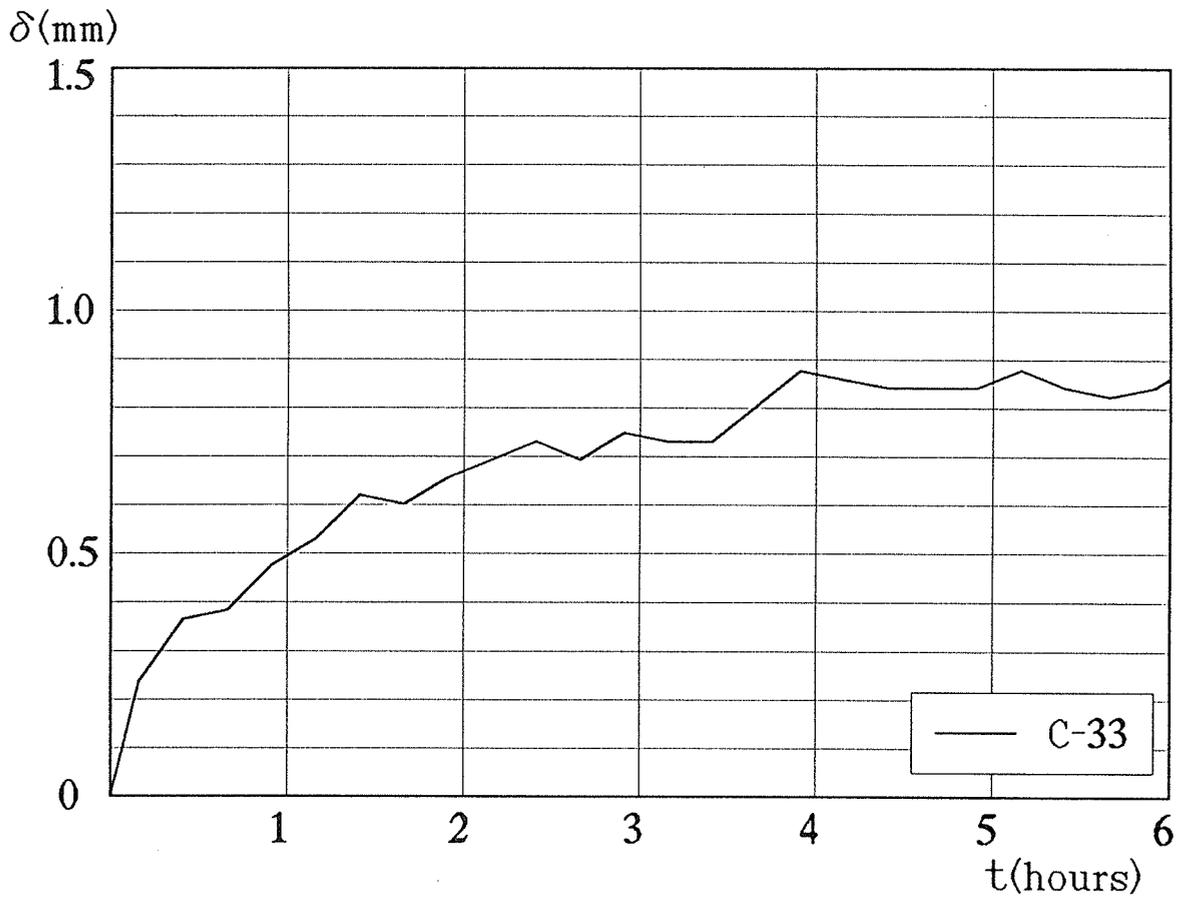
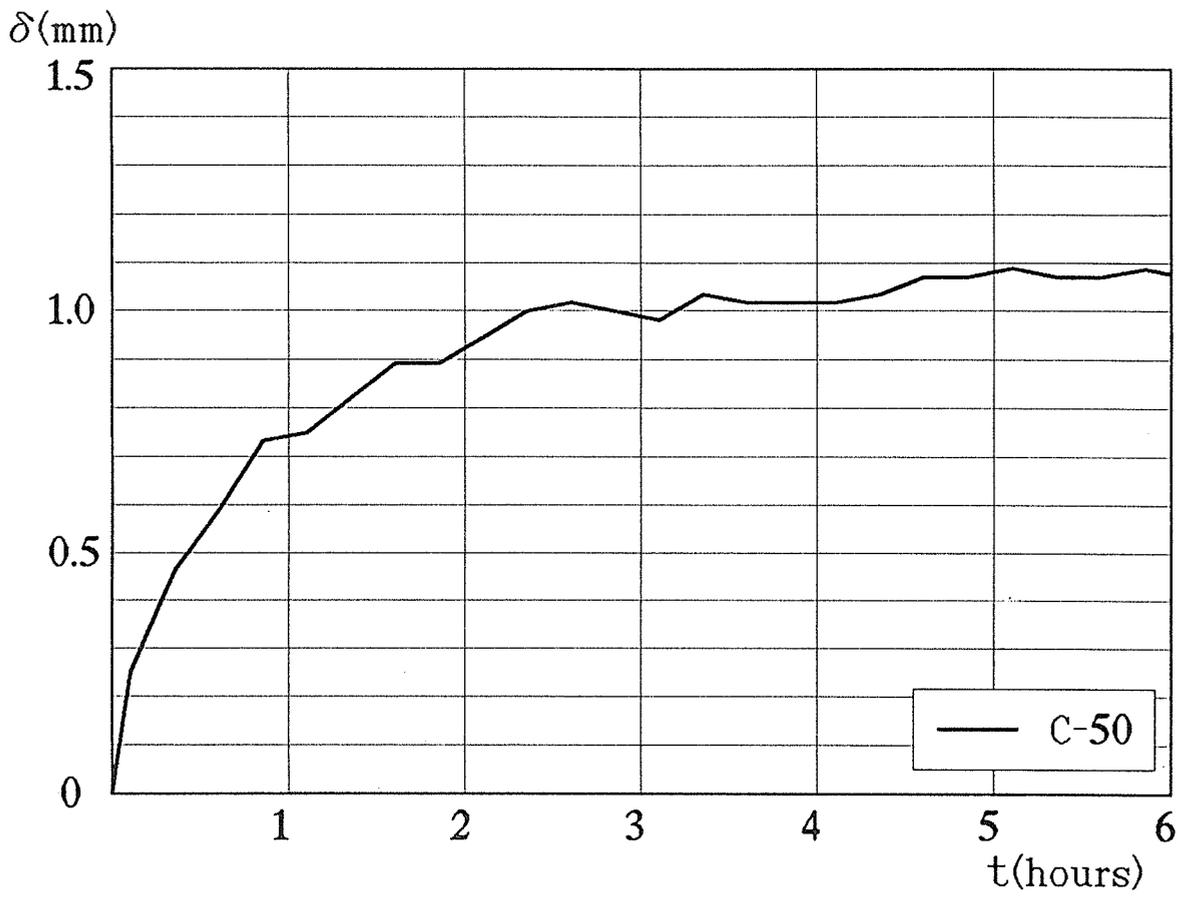


図3.6 載荷6時間後までのクリープたわみ (15分間計測)

### (3) 温湿度の影響

木質材料は、湿度の影響を極めて大きく受ける。一定荷重を与えてクリープを計測すると、湿度の変化にたわみに対応していることが認められる。一般的な傾向として、1日の中では、湿度が下降するときたわみが増加し、上昇時に回復する<sup>4)</sup>。

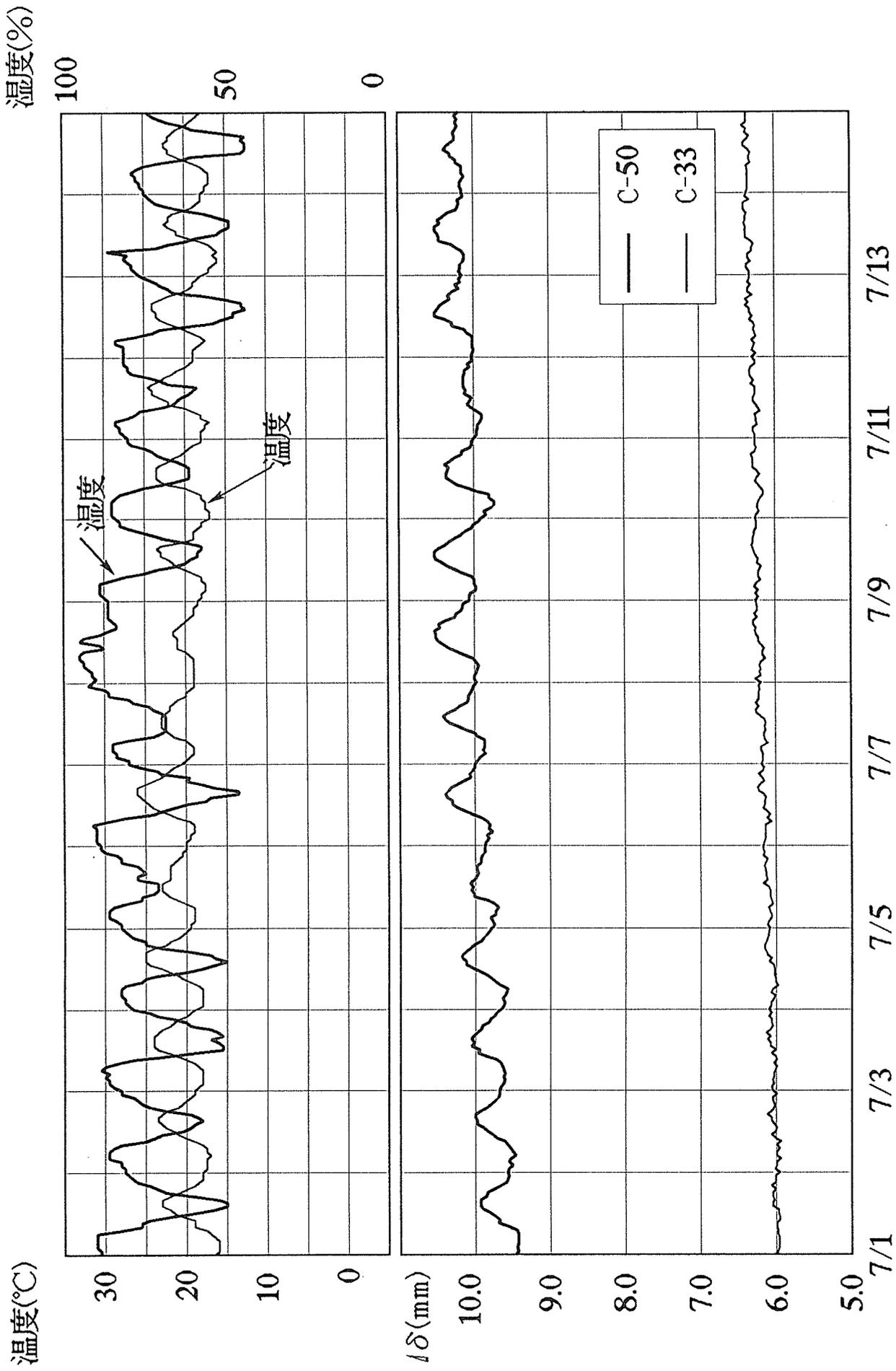
本実験では、高温多湿の時期にあたる夏期(7月)と、比較的湿度の低い冬期(12月)に1時間間隔計測を実施した(期間は2週間)。また、載荷直後5日間についても同様に1時間間隔計測を行った。この3期間におけるクリープたわみと温湿度の対応について考察する。

#### 1) 夏期(7/1~7/14)について(図3.7)

クリープたわみは期間中の2週間で、C-33は6.0~6.4mm、C-50は9.4~10.3mm進行している。

まず、C-33についてみると、微小な上下動はみられるものの、ほとんど温湿度の変化には対応していない。一方、C-50のクリープ曲線は、温度の上昇にともないたわみが進行し、正午過ぎにピークに達し、温度が下降する夕方から明け方にかけて徐々にたわみが戻ることがわかる。また、湿度との関係を見ると、湿度の低下に伴い、たわみが急激に増加している様子を読み取ることができる。このように、C-50はクリープたわみが温湿度両方の影響を受けていることは明らかである。

これについては、応力比の大きいもの程、敏感に反応するという一般論に準じている<sup>5)</sup>。



時刻(日付)

図3.7 夏期における温湿度の影響(7/1~7/14)

2)冬期（12/1～12/14）について（図3.8）

両試験体ともに、クリープたわみの進行はみられず、C-50で11.2mm、C-33で7.4mm前後に落ちついている。夏期と比較すると、たわみの上下動の幅が少ない。この原因は、一般に以下の2つが考えられている<sup>6)</sup>。

- ①温度とクリープとの関係は、高温になるにしたがい増大する
- ②時間の経過とともに、温湿度の影響は漸次減少する

C-33に関しては、温湿度の影響をほとんど受けていないという点で、夏期と同じことがいえる。

3) 載荷5日後までについて（図3.9, 図3.10）

載荷5日後までのたわみは、C-50で3.6mm、C-33で2.15mmとなっている。C-50は、温湿度の影響を受けているが、1)、2)と比較すると、時間効果の因子が支配的である。昼間進行したたわみが夜間にあまり回復せず、ほぼ階段状にたわみが増加する傾向が看取できる。

C-33は1)、2)の期間と同様、ほとんど温湿度の影響を受けていない。しかし、温度上昇時（湿度下降時）に、僅かではあるが勾配が急になっている様子を読み取ることができる。

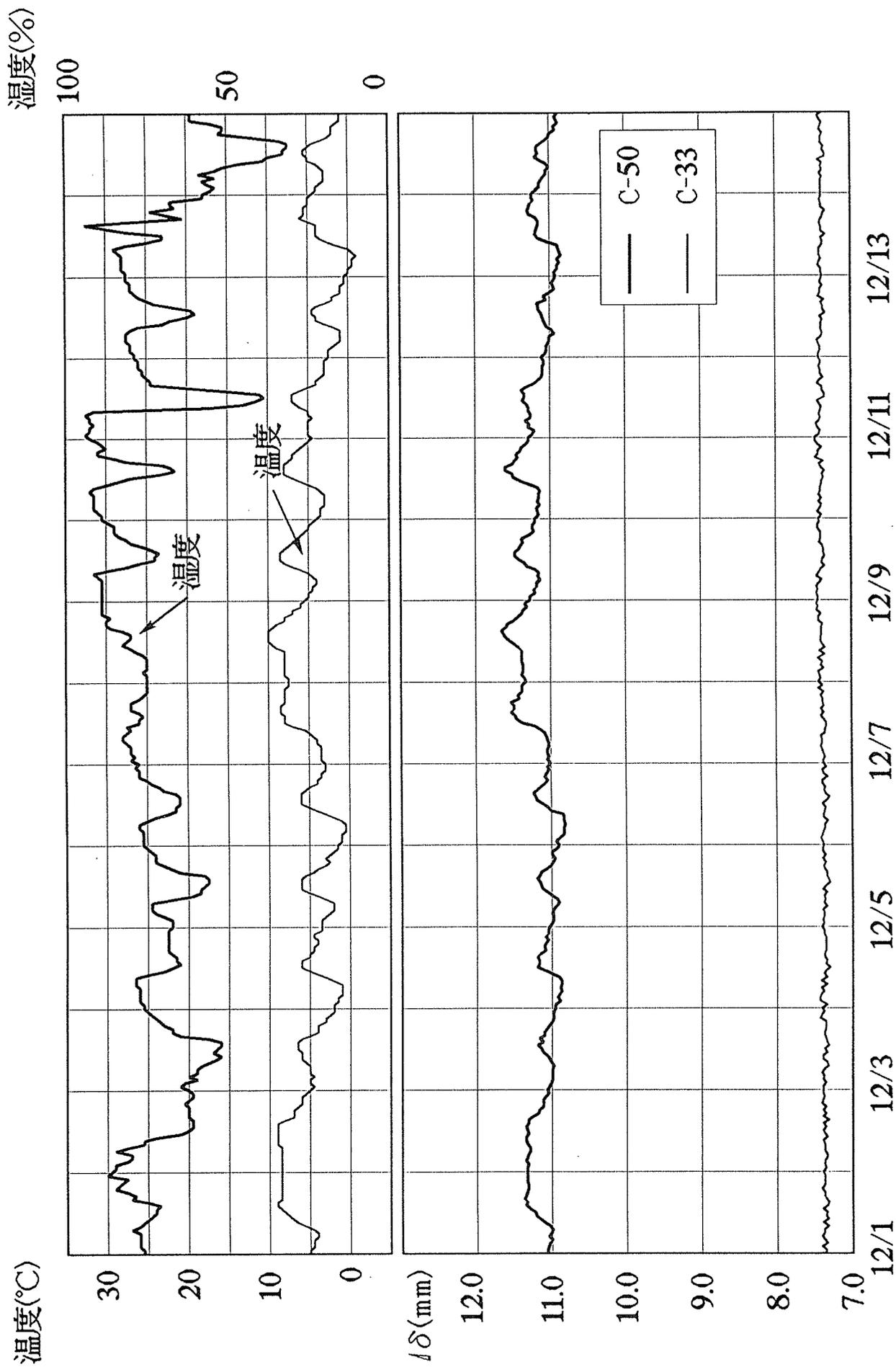


図3.8 冬季における温湿度の影響 (12/1 ~ 12/14)

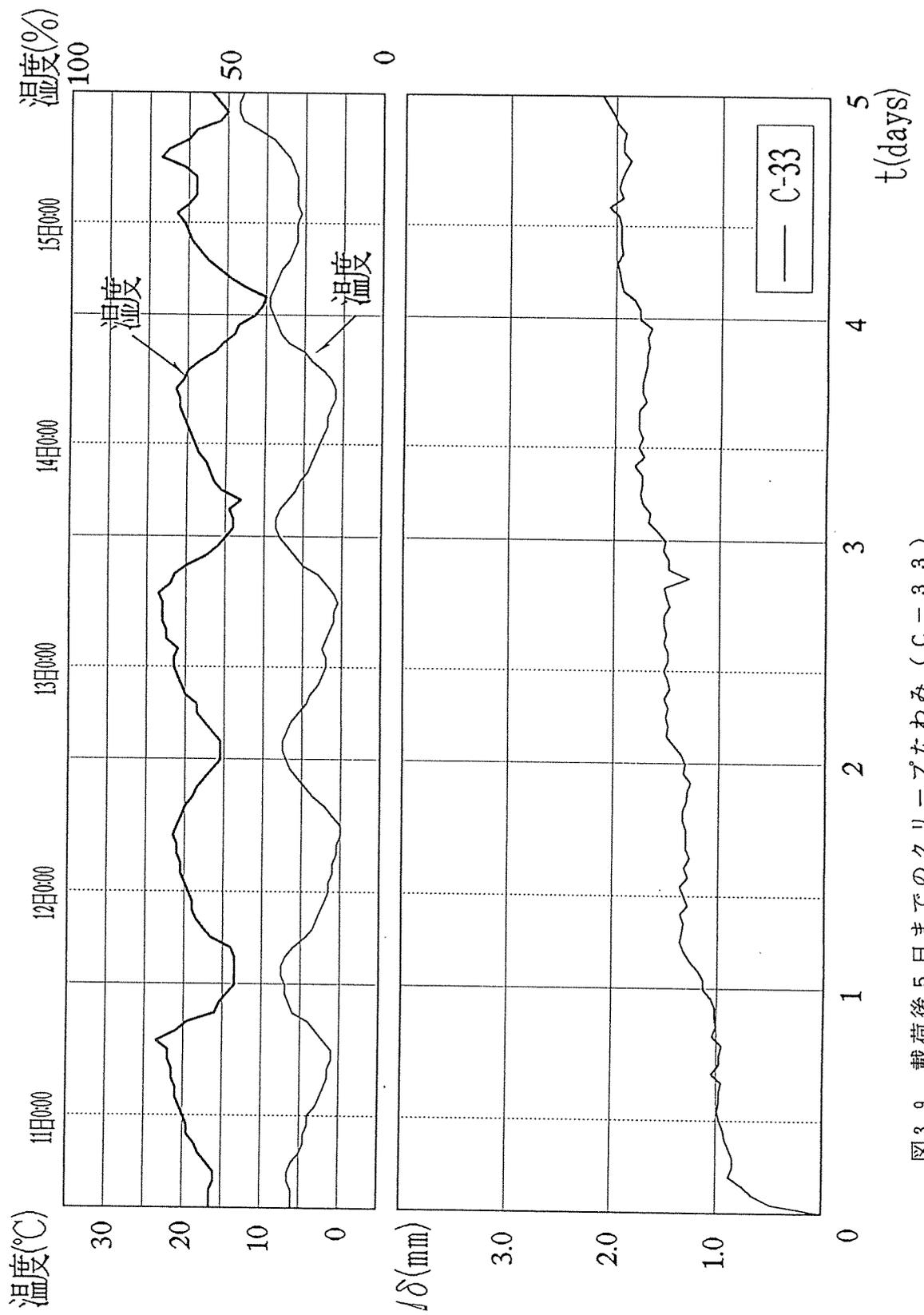


図3.9 載荷後5日までのクリープたわみ (C-33)

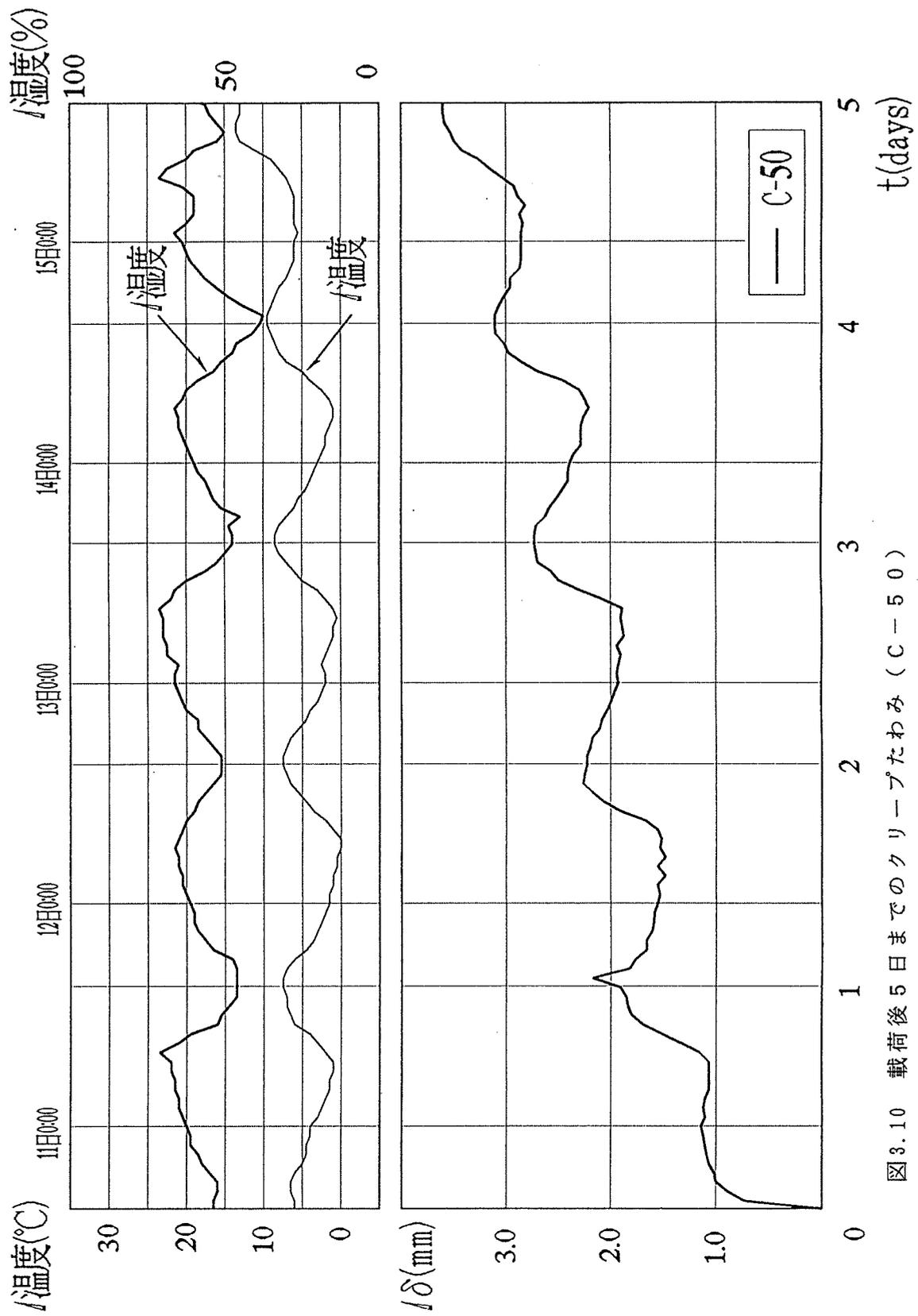


図3.10 載荷後5日までのクリープたわみ (C-50)

#### (4) 含水率の影響

2体の試験体の表面含水率を図3.11に示す。表面含水率は、载荷開始時から2週間くらいまでは2体とも10%前後を示していたが、その後C-50の方だけ上昇し、15~16%に落ち着いている。両試験体ともに同じ実験室内(温湿度無調整)であるが、配置された場所によって表面含水率の違いが生じたのではないかと考えられる。

全体を通して、季節による変動はあまりみられず、含水率は一定しているといえ相関性について検討するに至らなかった。

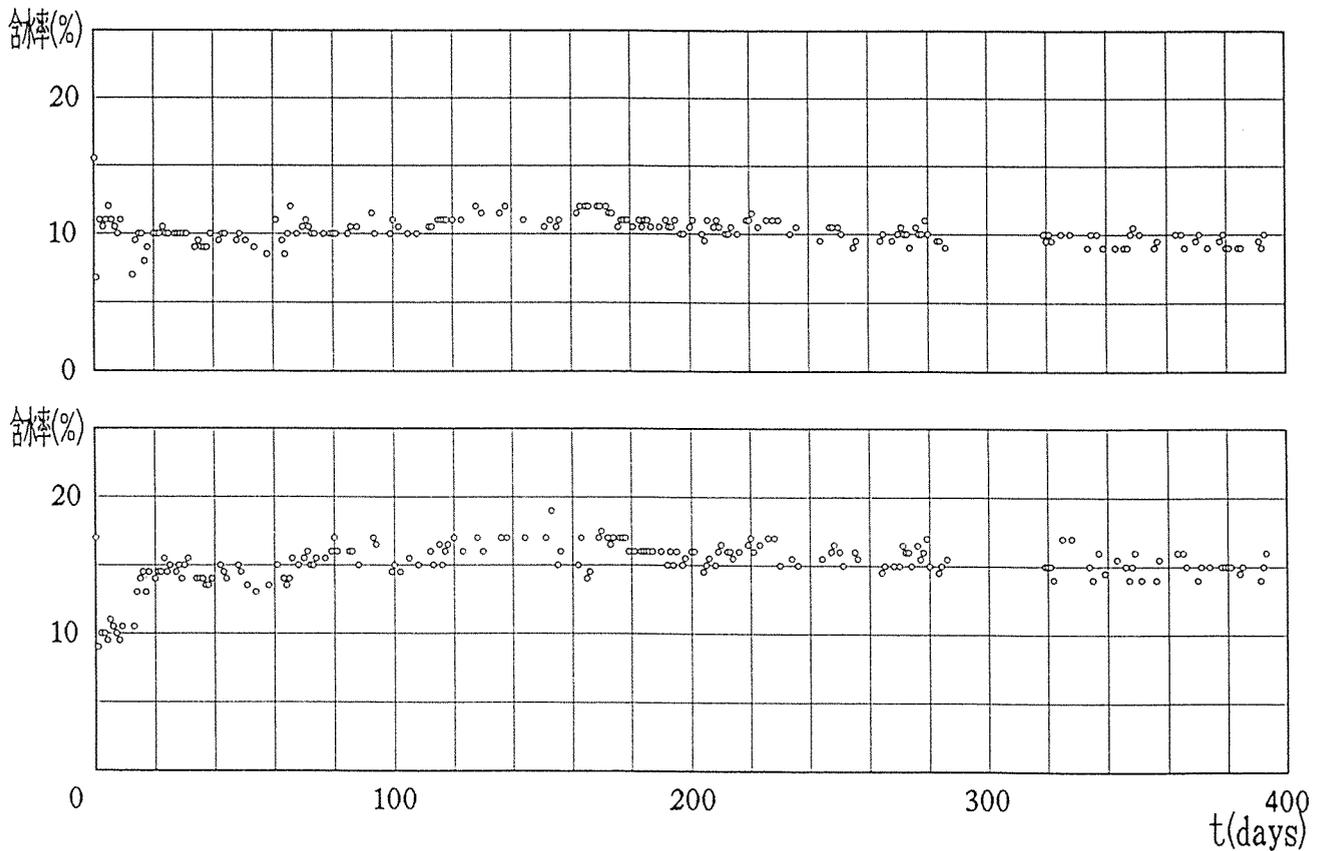


図3.11 表面含水率 (%)

(5) クリープ式 (Power Lawの法則) との対応

クリープたわみ-時間曲線を両対数で表示すると、高い直線性が認められる (図3.12)<sup>7)</sup>。

この両対数表示に対し最小2乗法により回帰関数を求めた。その結果を表3.1に示す。

表3.1

試験体名	C-50	C-33
a	0.7540264	0.2258085
b	0.3047153	0.3183608

$$\log(\delta_c(t)) = b \log(t) + a$$

$$\delta_c(t) = e^a \cdot t^b$$

ここで、 $e^a = A$

$$b = N$$

とおくと、クリープ曲線は次式(3.3)のように表される。(Power-Lowの法則)

$$\delta_c(t) = A t^N \quad \dots\dots (3.3)$$

$$\delta_c(t) = \delta(t) - \delta_0$$

$\delta(t)$  : 全たわみ

$\delta_0$  : 初期たわみ

$\delta_c(t)$  : クリープたわみ

A, N : 定数 (クリープ係数)

この近似式(3.3)を実測のクリープ曲線にあてはめたものを図3.13に示す。これは、初期に比較的良好にあてはまり、図からわかるように最初の80日は、ほぼ一致している。そして、高温多湿期にあたる90~200日で、C-50、C-33ともに実測値のたわみが上回っている。その後、実測値のたわみは落ちつくが、クリープ式はさらに増加するので、2本の曲線は次第に離れていく。全体を通してみると、両試験体は、似たような経過をたどって、クリープ式に対応しているといえる。

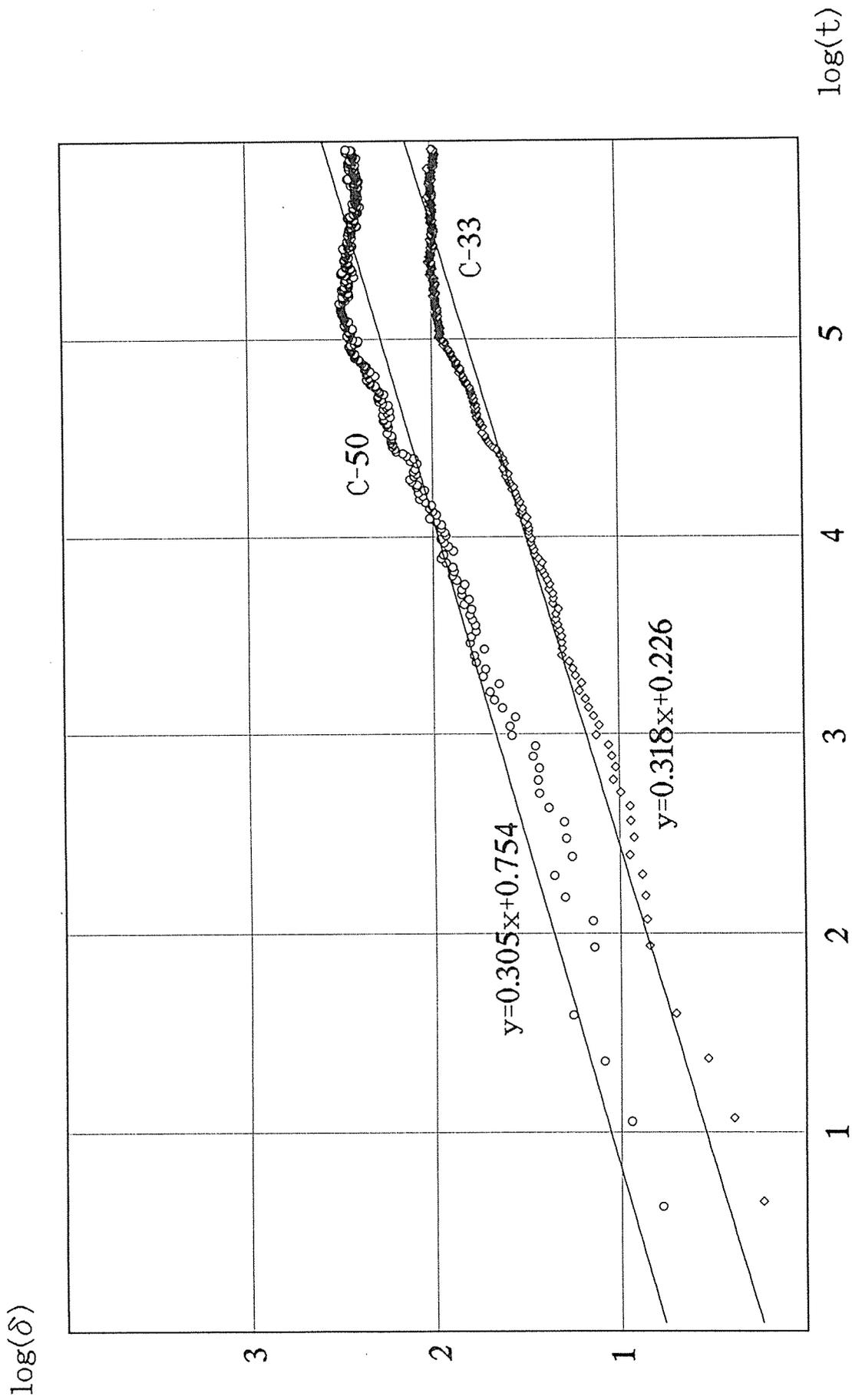


図3.12 クリープたわみ-時間の両対数表示

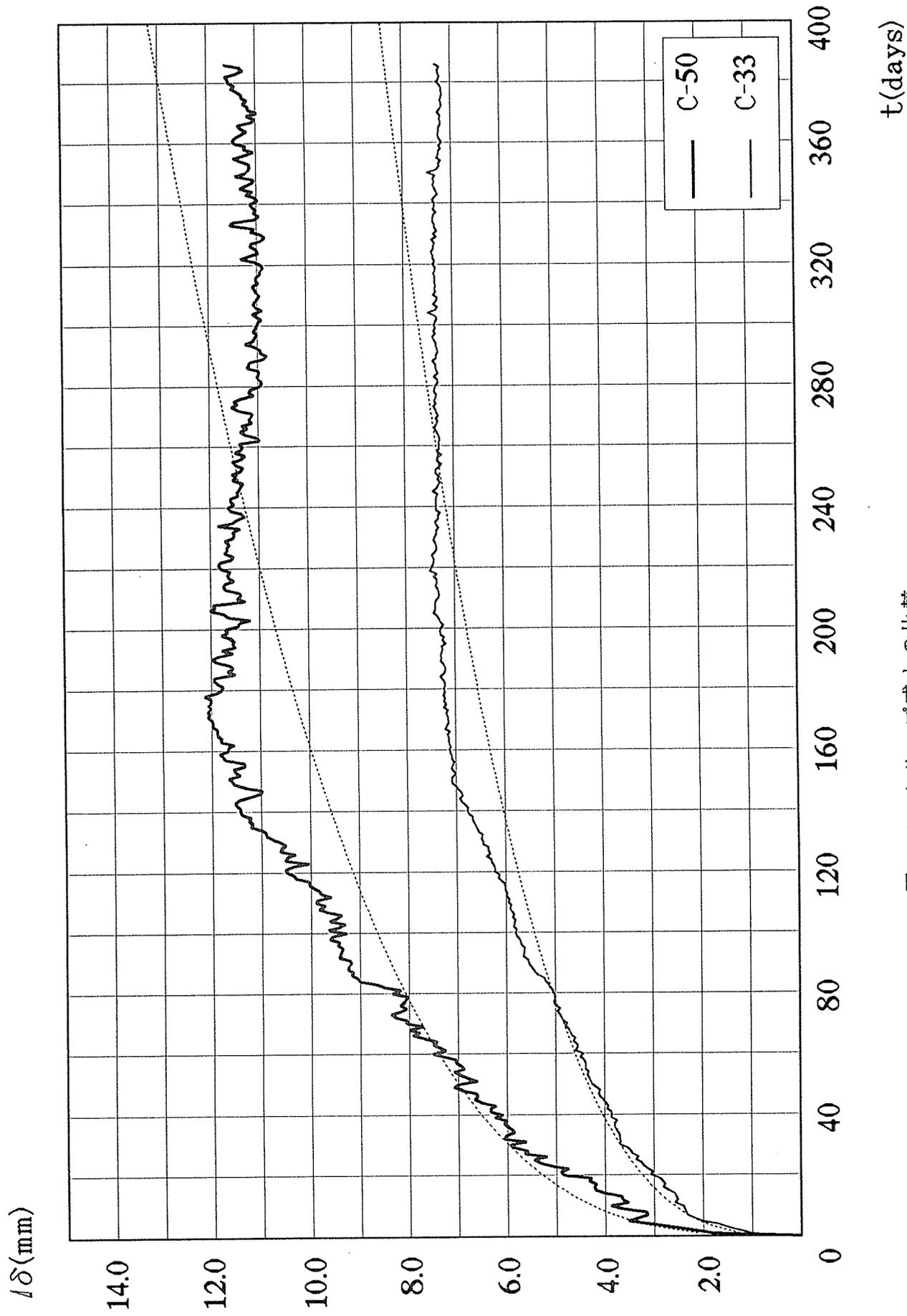


図3.13 クリープ式との比較

## 2. 4 むすび

大断面集成材を用いた曲げクリープ実験を行った結果、以下の所見を得た。

- ①クリープたわみは、C-50は180日目、C-33は160日目くらいでたわみは落ちつき、その後は僅かに減少し、C-50に関しては340日目くらいより増加の傾向が見られる。
- ②クリープの実験式（Power Law の法則）は、実測値と特に初期においてよくあてはまる。本実験では、実測値が落ちついても実験式は上昇し続け、2本の曲線は次第に離れていく傾向がある。
- ③クリープ限度（破壊に至らない最大の荷重）は40～50%とされているが、C-33、C-50ともに破壊に至る様子はなく、安全であるといえる。

### 《参考文献》

- 1) 日本農林規格協会 集成材及び構造用大断面集成材
- 2) 日本建築学会 木構造計算規準・同解説
- 3) 有馬孝礼、丸山則義 木材および木質材料のクリープ変形とクリープ破壊時間 A I J 大会梗概21291 (1986)
- 4) 小松幸平、川元紀雄 任意グレードのラミナで構成された大断面集成材の曲げ破壊係数 (M O R) の推定 A I J 大会梗概2759 (1988)
- 5) 飯塚五郎蔵、森尚治 集成木材の曲げクリープに及ぼす温湿度の影響 A I J 大会梗概 (1968)
- 6) 杉山英男 建築学大系21木構造
- 7) 丸山則義 長柱の座屈クリープ A I J 大会梗概21290 (1986)
- 8) 有馬孝礼、丸山則義 節を含む木材クリープ特性とクリープ破壊 A I J 大会梗概21443 (1987)
- 9) 畑中公樹 集成材の曲げクリープ性状に関する実験的研究 A I J 大会梗概2924 (1992)

### 3. ベイマツ集成材のクリープ実験

#### 3.1 はじめに

前報<sup>1)</sup>では、集成材の曲げクリープ性状を調べることを目的として実施した実大集成材による長期曲げ載荷実験につき、1年経過時までの結果報告を行なった。実験は更に1年間継続し、本報では2年間（731日間）に亘る実験結果と、それに基づいて求めたクリープ曲線式について報告する。

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) 「集成材構造開発」（財）日本住宅・木材技術センター  
技術開発推進事業報告書 平成4年 3月

### 3.2 実験の概要

ここでは概要を述べるに留める。詳細は前報を参照。試験体は断面が396 mm×120 mm、全長6 mのJAS 1級構造用大断面集成材であり、応力比をパラメーターとする2体を使用した。樹種はベイマツで、ラミナ厚は33 mmである。本実験では、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、曲げ強度の50%のレベル（応力比0.5）の2ケースを対象とした。

実験装置の概要を図3-1に示す。試験体はRC架台上に片側ピン、片側ローラーで支持されており、荷重は錘による2点集中荷重とした。錘には長さ5 mに切り揃えた鋼矢板を積み重ねて用いた。試験体の変位は、支持点、載荷点、中央の合計5箇所について、試験体の上部にセットした変位計により計測した。変位計取り付け用の鉄骨架構は、RC架台にアンカーボルトで固定されている。荷重は2体とも1991年3月26日に実施している。応力比0.3及び0.5の試験体ともに1年経過時以降、3～5週間おきに変位計測を行なった。

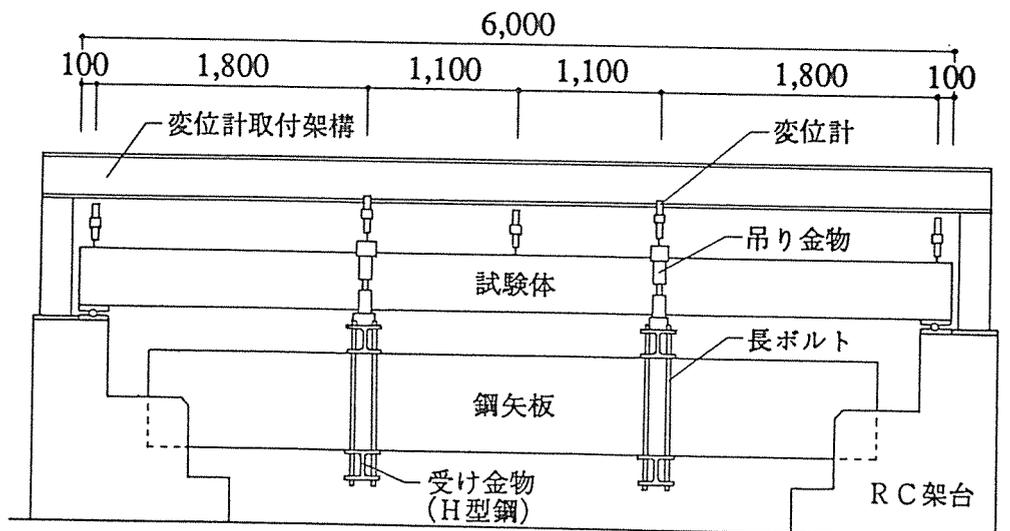


図3-1 実験装置の概要

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 載荷後2年目までの変位計測結果

図3-2は、載荷を行なった1992年3月26日から1994年3月26日までの2年間（正確には731日目）の試験体中央の変位の計測結果であり、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。試験体の変位値は、中央の変位計（ $\delta 1$ ）の計測値から両支持点の変位計（ $\delta 4$ 及び $\delta 5$ ）の計測値の平均値を差し引いて補正したものである。

応力比が0.3の場合、試験体中央の2年目の変位量は24.87mmであり、これより2年目の対初期たわみ比は1.41となる。応力比が0.5の場合、2年目の変位量は50.53mmであり、同様に対初期たわみ比は1.58となる。

載荷後約12000時間を経過した1992年の8月～9月頃、応力比0.5の試験体の変位が約50日間で急増したが（約1.8mm）、その後13000時間を過ぎてから変位の増加は急増する以前のように緩やかになった。載荷後1年目から2年目までの1年間の変位増分は約3.9mmで、変位は2年経過時点でも漸増しており、このまま実験を継続すればクリープ破壊の可能性がある。応力比0.3の試験体については、一時的に増減の波は認められるものの、全体的に見れば変位の増加は非常にわずかであるといえる（載荷後1年目から2年目までの1年間の変位増分は約0.9mm）。また、応力比0.3と0.5の試験体ともに温度及び湿度が比較的高い時期（3000時間～4000時間：92年夏、12000時間～13000時間：93年夏）に変位の増加の割合が大きくなっていることがわかる。特に応力比0.3の試験体では、93年夏の変位増加が凸状にはっきりと現われている。

図3-3は、図3-2の時間軸を対数目盛としたものである。この図を見ると応力比0.3の試験体は、図3-1では認識が難しいが、2年経過時点でわずかではあるが増加傾向を示していることがわかる。

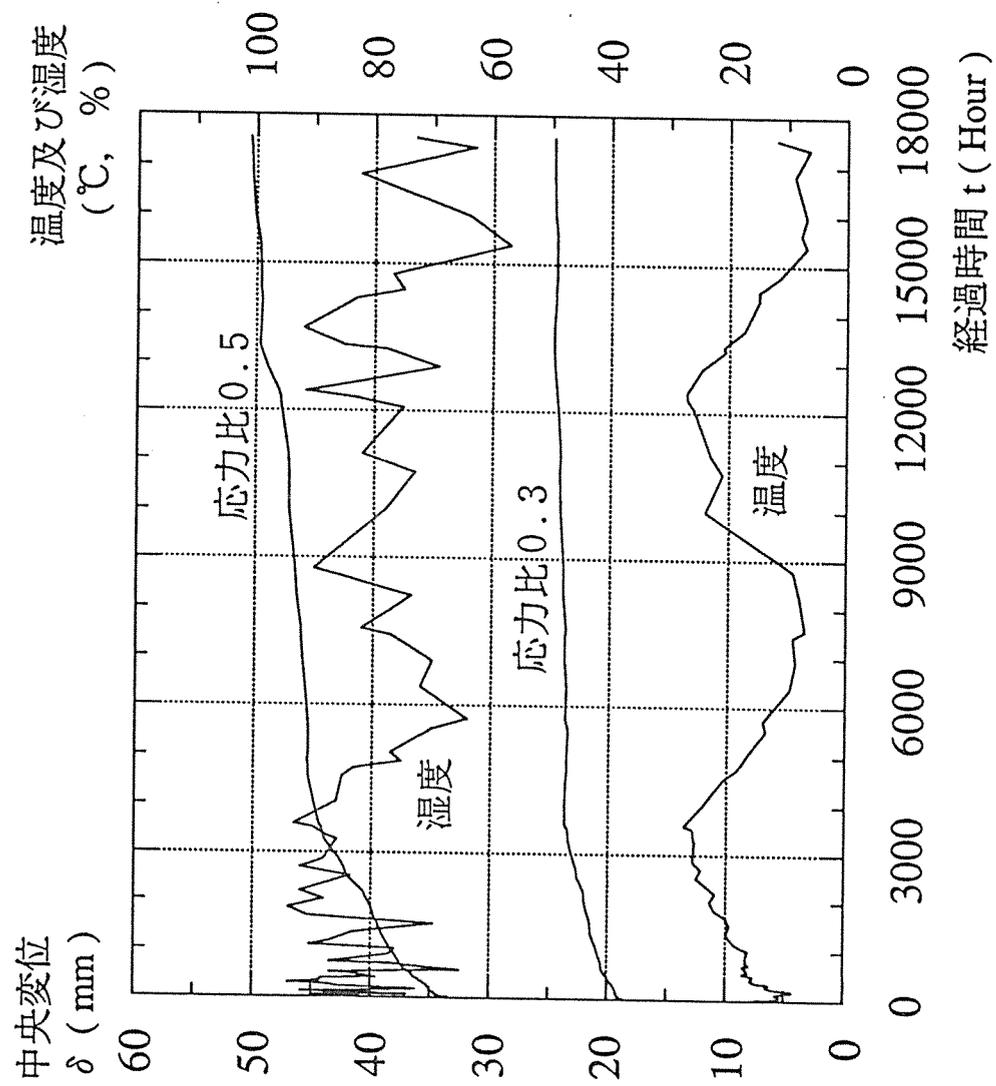


図3-2 載荷後731日目までの変位計測結果  
 ( 応力比0.3及び0.5 )

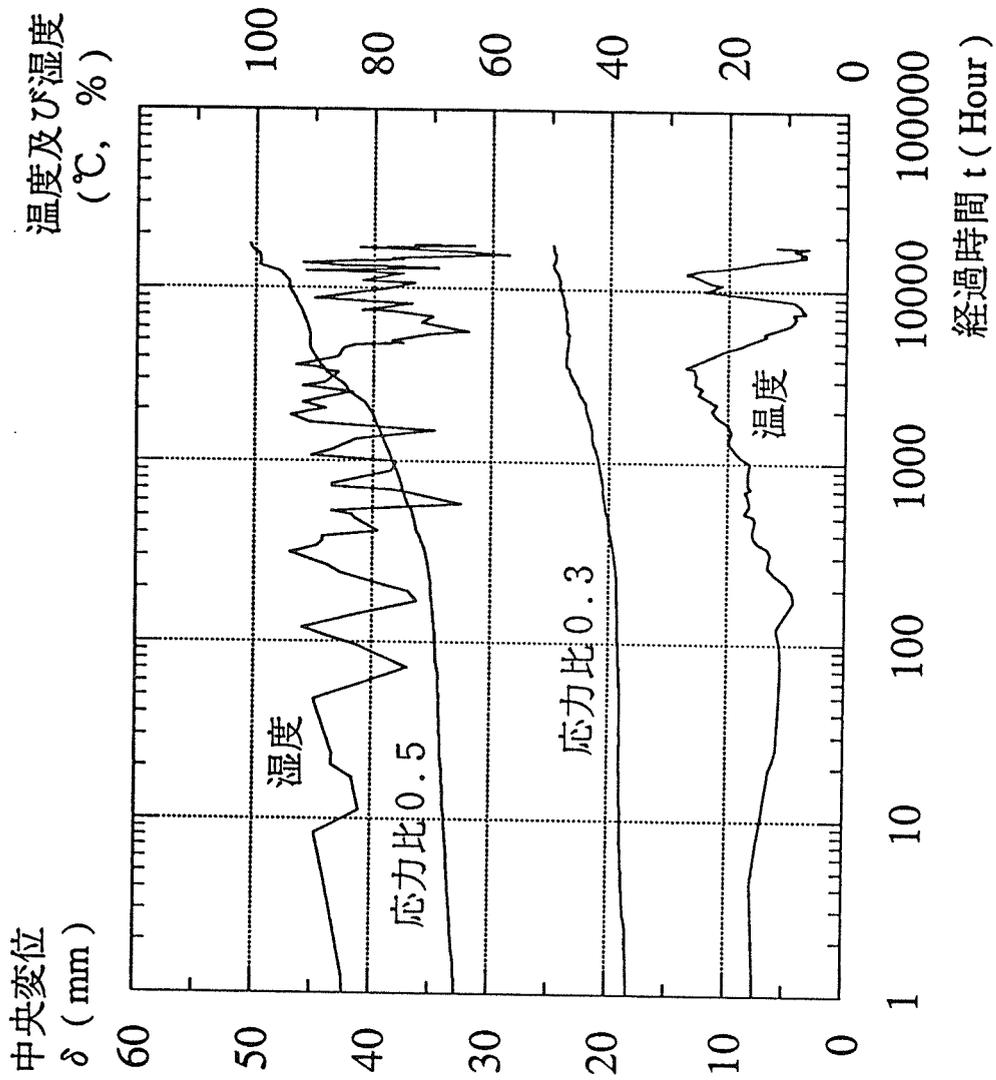


図3-3 载荷後731日目までの変位計測結果

( 応力比0.3及び0.5 : 対数時間軸 )

### 3.3.2 短期間（2週間）連続変位計測結果

本実験は、前報で行なった計測と同様に、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10日11時より同24日11時までの2週間、1時間おきに計336時間、変位の連続計測を行なったものである。

（前報では8月9日16時30分より同23日11時30分までの約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503日目（約12070時間）から517日目（約12400時間）に相当する。

図3-4は応力比が0.3の場合、図3-5は応力比が0.5の場合の計測結果である。図3-6は比較のため両者を1つのグラフに描いたものである。いずれの図にも温度と湿度を併せて示した。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。

昨年度の実験（前報）では、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していく傾向が認められた。また、応力比0.3と0.5の両試験体ともに変位増分量は異なるが（2週間の変位増分は応力比0.3の試験体で0.29mm、0.5の試験体で0.46mmであった。）、変位の増減がほぼ同時に起こっていることもわかった。今回の実験でも昨年同様に応力比0.3と0.5の両試験体ともに小さな増減を繰り返しているが、2週間の変位増分は昨年度よりも小さくなり、応力比0.3の試験体で0.07mm、0.5の試験体で0.18mmであった。特に今回は湿度との対応が比較的明瞭に認められる。70時間目から160時間目あたりまで湿度が高い状態（90%以上）が続き、この間応力比0.3、0.5の両試験体とも若干の変動はあるが、変位はやや継続的に増加しているのがわかる。160時間目以降、湿度が90%以下の状態で動き始めたのに対応して、変位が比較的是っきりと増減を繰り返すようになった。この時、昨年度と同様に両試験体の変位の増減がほぼ同時に起こっている。

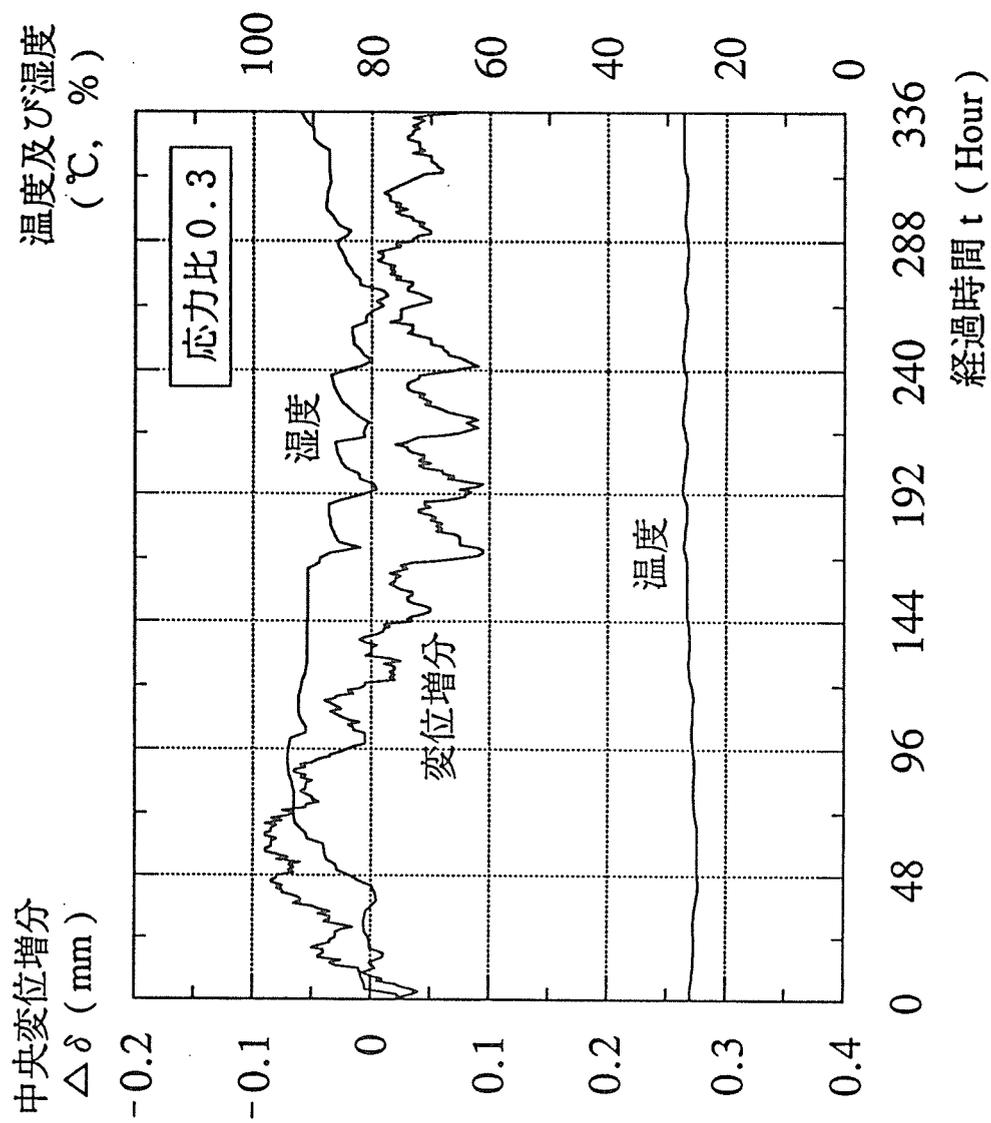


図3-4 夏期短期間連続変位計測結果  
( 応力比 0.3 )

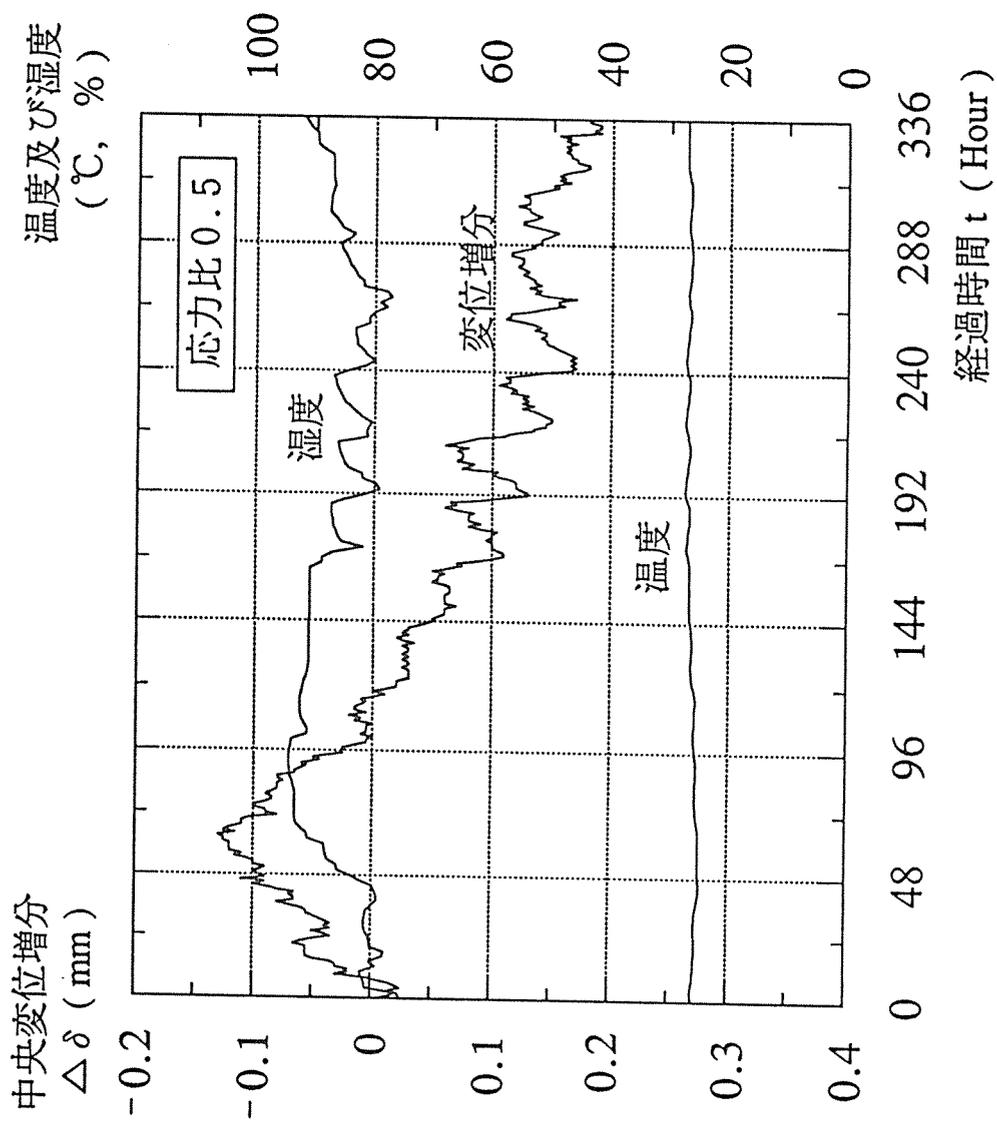


図3-5 夏期短期間連続変位計測結果

( 応力比 0.5 )

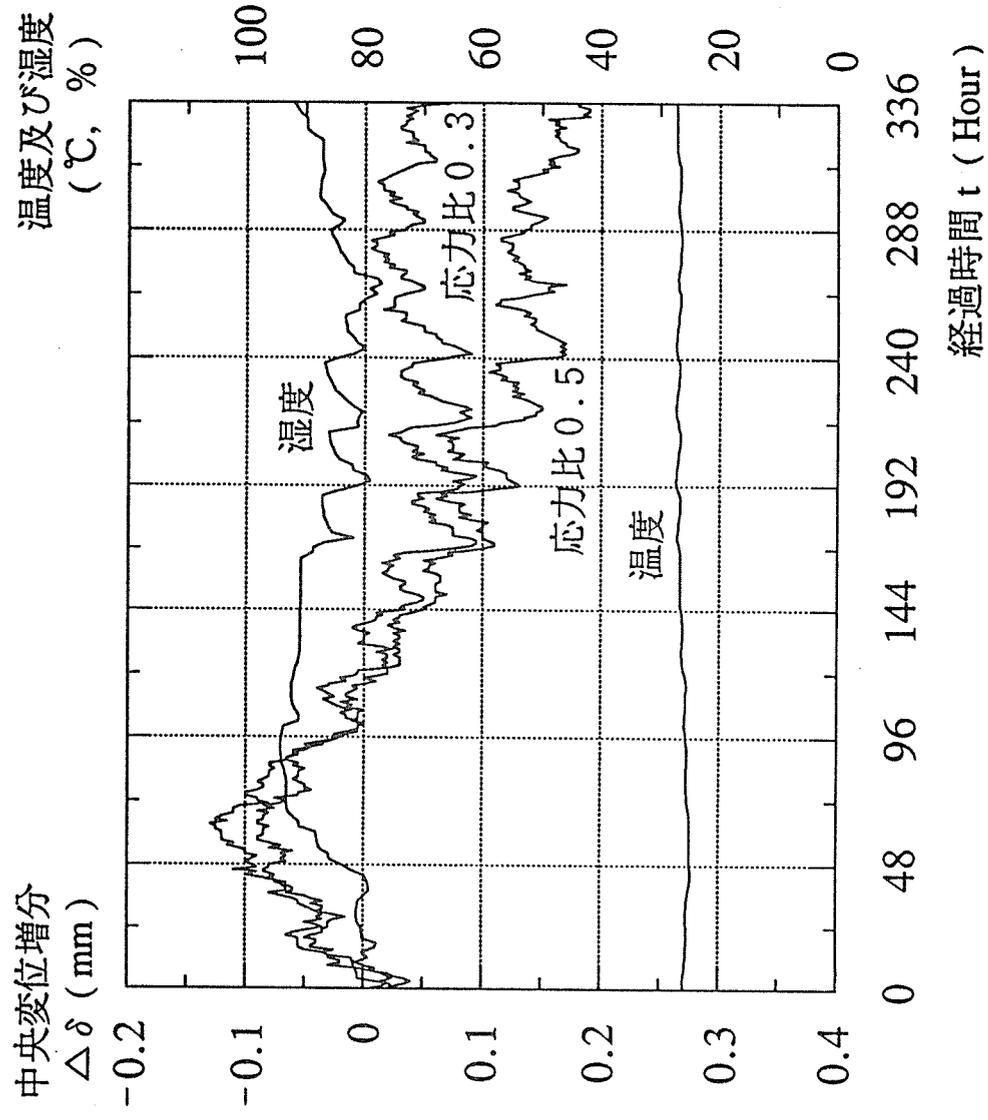


図3-6 夏期短期間連続変位計測結果  
 ( 応力比 0.3 及び 0.5 )

### 3.3.3 応力比0.5試験体の変位が急増した後の連続変位計測結果

載荷後約1年半の時点で応力比0.5の試験体にひび割れを発見した。図3-7に2年経過時点でのひび割れの状況を示す。同図に示すように、最下端から2枚目のラミナに節があり（位置は試験体中央から約26cm）、ひび割れは節の上の3枚目のラミナに発生している。この節はラミナを貫通しており、集成材の反対側の側面にも同様なひび割れが現われている。このひび割れは、計測を行なった8月24日（517日目）から9月14日（538日目）の間に生じたものである。次頁にひび割れ近傍の状況写真（載荷後2年経過時点）を示す。

ひび割れの発生により応力比0.5の試験体に破壊の可能性が出てきたため10月初旬より自動計測器による連続変位計測を行なうこととした。

期 間 : 1992年 10月 1日13時より  
1993年 1月 4日12時まで

計 測 : 1時間毎（合計2280時間）

本計測はクリープ実験開始後、555日目（約13320時間）から650日目（約15600時間）に相当する。また、ひび割れ近傍のラミナのひずみ状況と変位との関係を知るため、最下端から4枚目までのラミナに図3-7に示すようにひずみゲージを貼付し、変位と同時に1時間毎に計測することとした。但し、計測開始は変位の連続計測開始後624時間目の10月27日13時である。

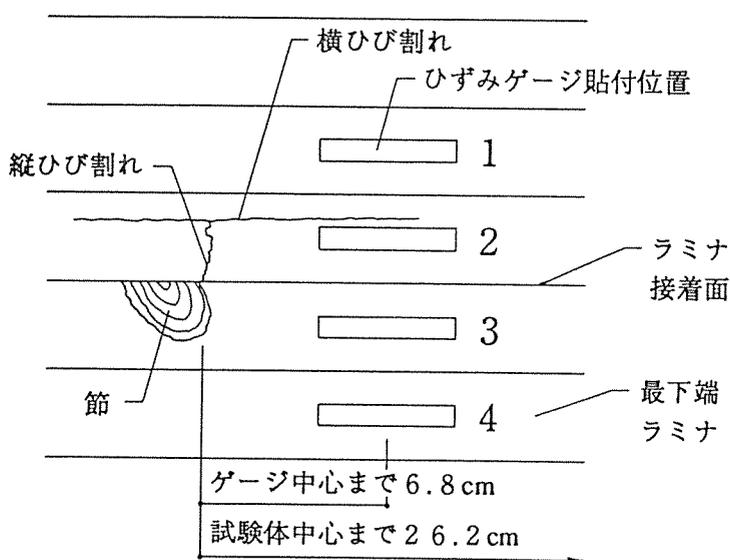


図3-7 ひび割れ状況図  
(応力比0.5)

応力比0.5試験体ひび割れ状況

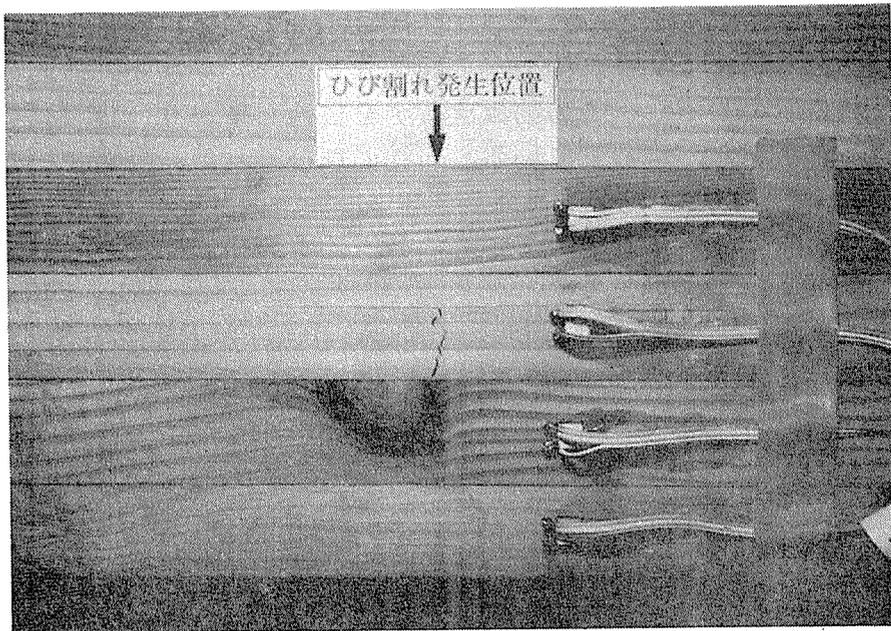


写真3-1 南側ひび割れ状況

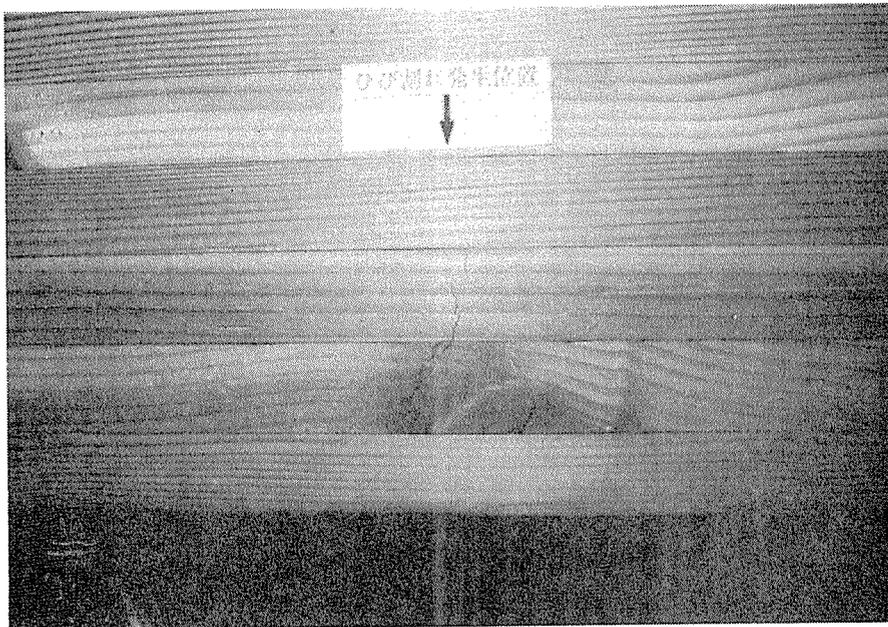


写真3-2 北側ひび割れ状況

図3-8は応力比0.5の試験体につき、計測開始の10月1日13時時点の変位を0として2280時間までの増減を示したものである。横軸の経過時間の0時は10月1日13時である。縦軸の中央変位増分は、負値が変位が戻る方向で、正値が変位が増える方向である。図中に温度と湿度の記録値を併せて示した。なお、連続計測開始後1852時間目（12月17日17時）から2038時間目（12月25日11時）までの間、計測機器の紙詰まりのため、図3-8から図3-12までについて、この期間のデータは得られていない。変位増分と湿度との関係を見ると、部分的に両者の増減が対応していると思われる所があるが、全期間を通しての一般性は認められない。

図3-9は応力比0.5の試験体の側面に貼付した4枚のひずみゲージによる計測値から求めたひずみ増分を示したものである。横軸の経過時間は変位の計測時間を示し、ひずみ計測を開始した624時間目からデータが始まっている。ひずみ増分は624時間目の時点のひずみを0として、それからの増減を表わしている。大きな節のあるラミナに貼付したひずみゲージ（ゲージ3）のひずみ増分が最も増減の波が大きいことが分かる。最大で250 $\mu$ もの動きを示している。逆に最も増減の波が小さいのはひび割れの入ったラミナに貼付したひずみゲージ（ゲージ2）である。

図3-10は図3-8の4つのひずみデータのうち、ゲージ1及びゲージ2のデータにつき、温度及び湿度の記録値とともに示したものである。図3-11も同様にゲージ3及びゲージ4のデータにつき、温度及び湿度の記録値とともに示したものである。ひずみ増分と湿度との関係を見ると、ゲージ3を除き、両者の増減が比較的明瞭に対応していることがわかる。これらの結果から、集成材の表面部分は環境湿度に応じて敏感に伸縮していると考えられる。

図3-12は変位増分とひずみ増分の対応を調べるため両者を併せて示したものである。両者の関係を見ると、部分的に両者の増減が対応していると思われる所があるが、全期間を通しての一般性は認められない。

温度及び湿度  
( $^{\circ}\text{C}$ , %)

中央変位増分  
 $\Delta\delta$  (mm)

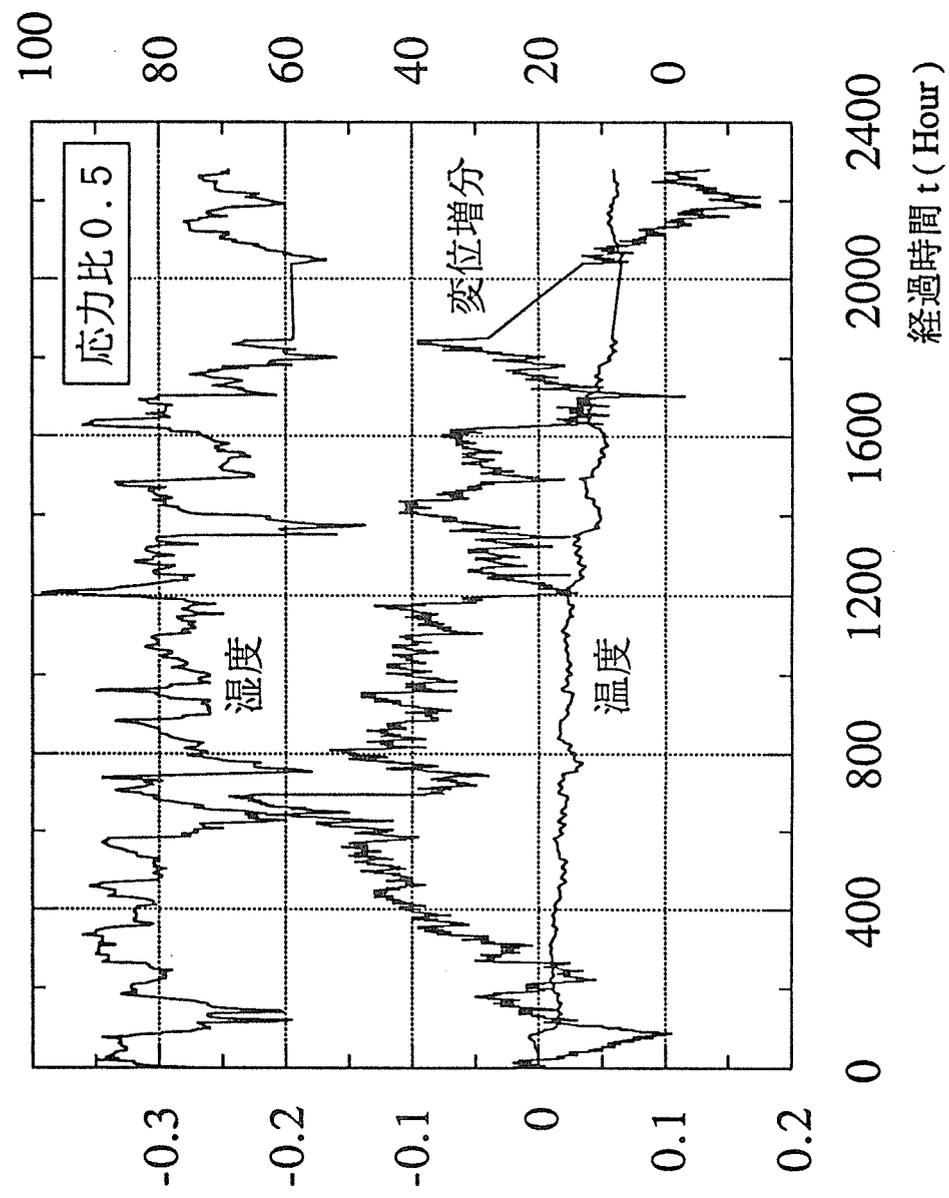


図3-8 応力比0.5連続変位計測結果

( 温度、湿度との関係 )

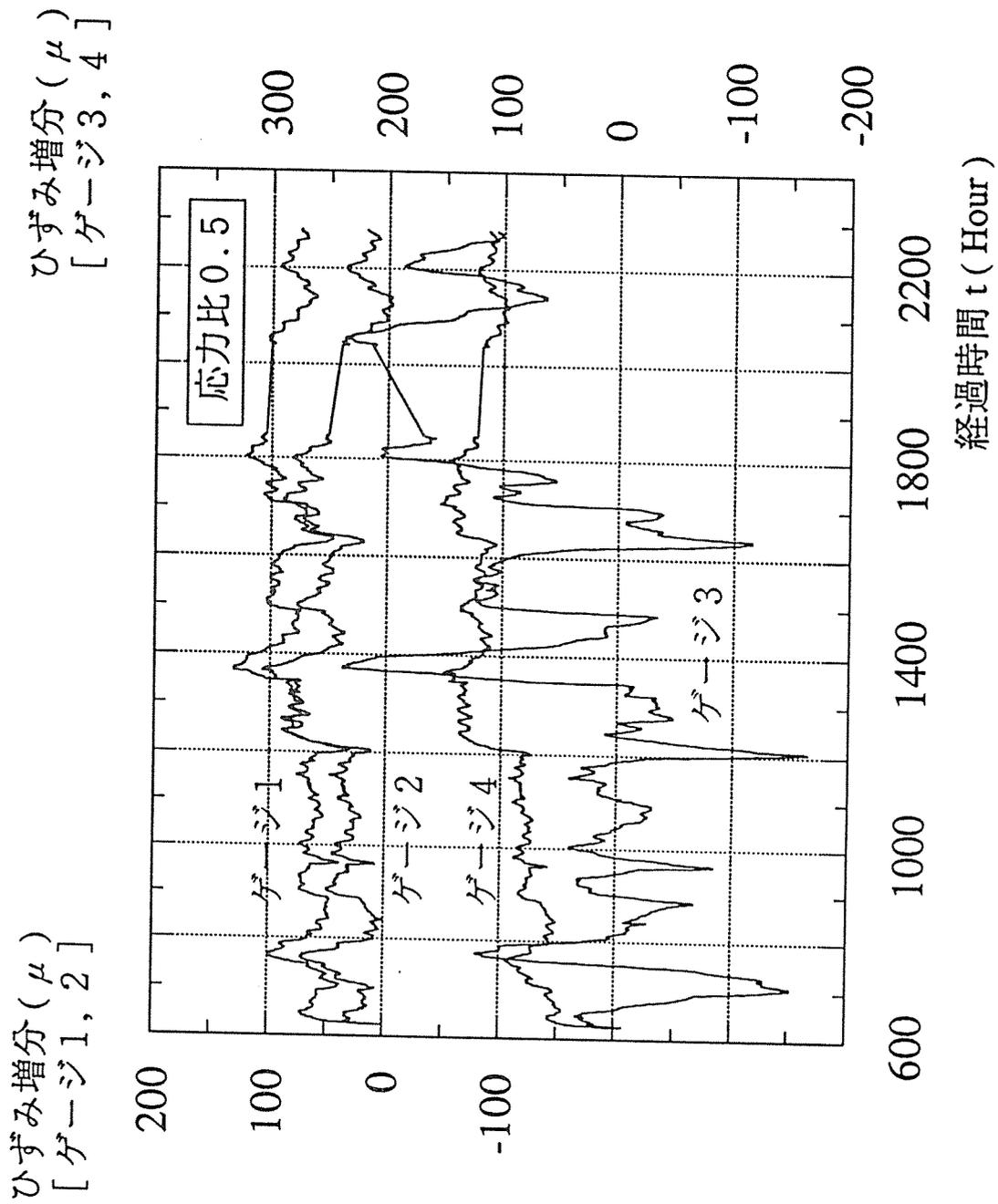


図3-9 応力比0.5連続ひずみ計測結果：その1  
(ゲージ1～4のひずみ増分比較)

ひずみ増分  
 $\Delta \varepsilon (\mu)$

温度及び湿度  
 $(^{\circ}\text{C}, \%)$

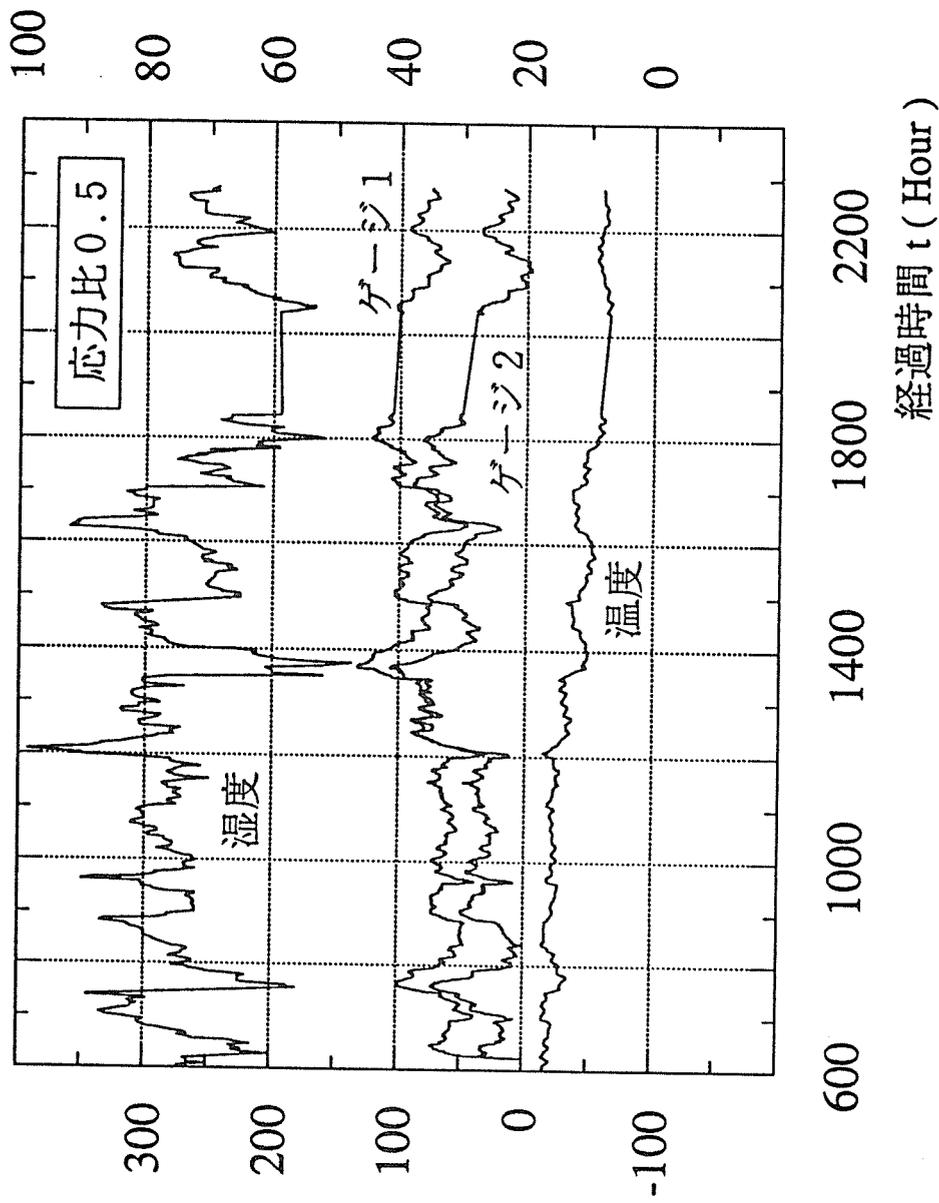


図3-10 応力比0.5連続ひずみ計測結果：その2  
 ( ひずみと温度、湿度との関係：ゲージ1、2 )

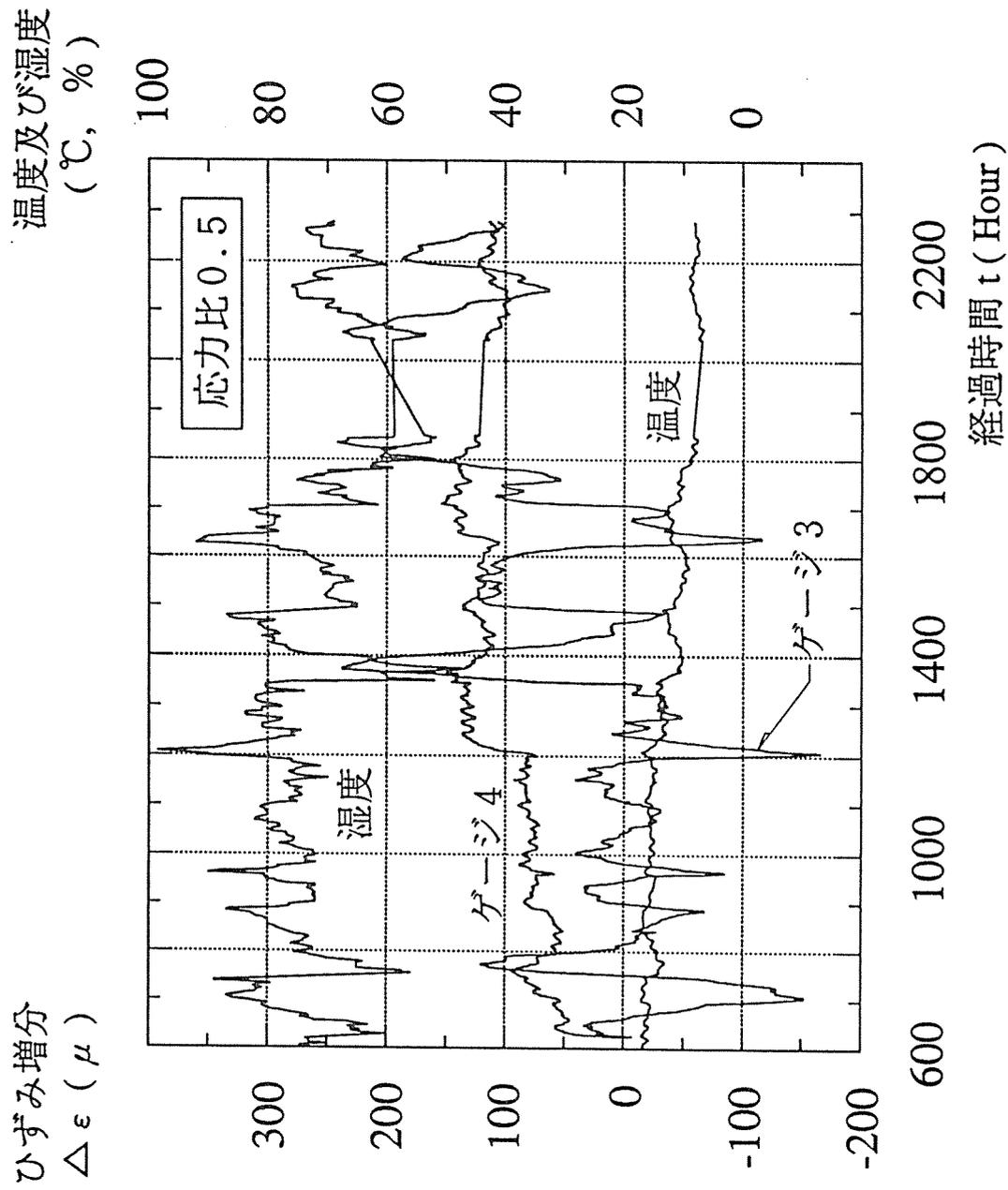
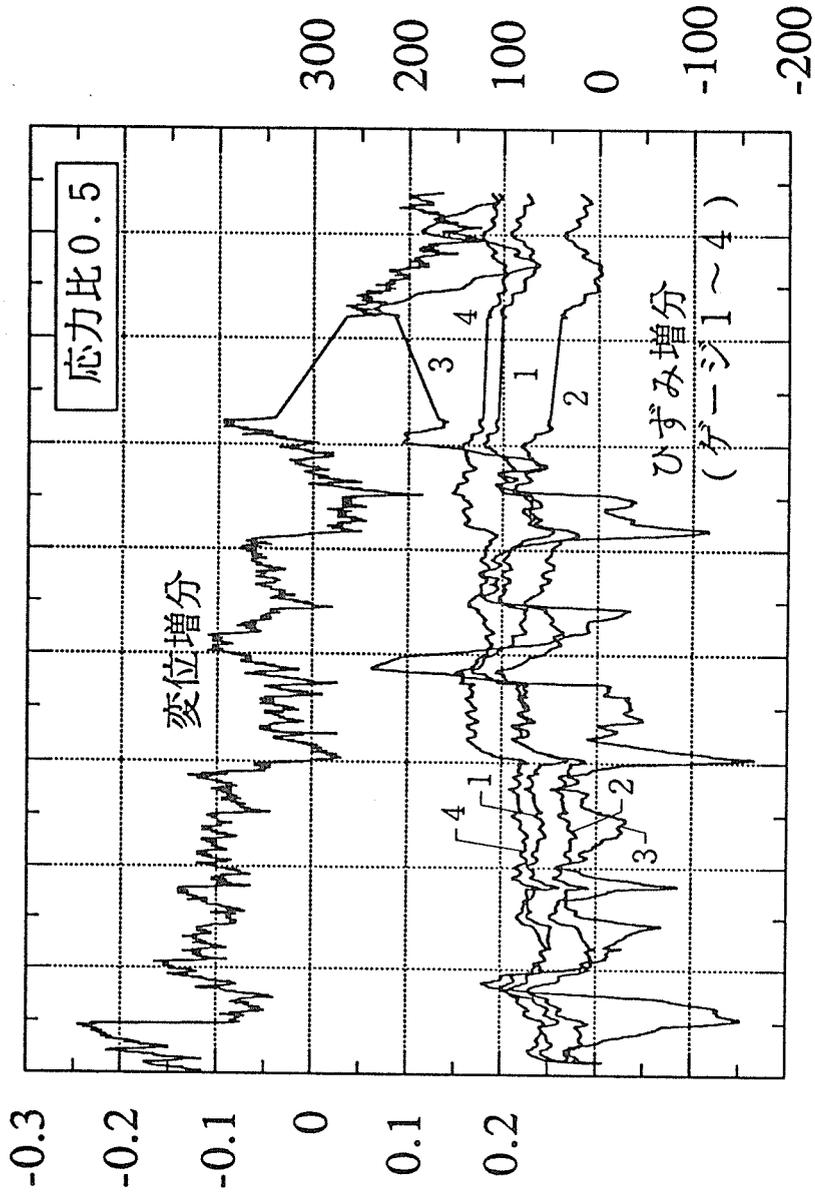


図3-1-1 応力比0.5連続ひずみ計測結果：その3

( ひずみと温度、湿度との関係：ゲージ3、4 )

中央変位増分  
 $\Delta \delta$  (mm)

ひずみ増分  
 $\Delta \epsilon$  ( $\mu$ )



600 1000 1400 1800 2200  
 経過時間 t (Hour)

図3-12 応力比0.5連続変位-ひずみ計測結果  
 (変位とひずみの関係)

### 3.4 クリープ曲線の設定とクリープたわみの推定

#### 3.4.1 変位計測結果とクリープ曲線式

木材のクリープ曲線の近似式としてよく知られている次式<sup>3)</sup>に本実験結果のあてはめを行なってみる。

$$\delta(t) / \delta_0 = 1 + A / \delta_0 \cdot t^N$$

$\delta_0$  は荷重直後の初期たわみ、 $t$  は経過時間を表わす。ここでは  $A / \delta_0$  を  $a$  とおき、時間  $t$  の単位は日 (Day) とする。応力比 0.3 及び 0.5 の各々の試験体につき、2 年間の実験結果によく適合する  $a$  と  $N$  の値を次のように設定した。

( 応力比 0.3 の試験体 )

$$\cdot a = 0.13 \quad N = 0.17$$

( 応力比 0.5 の試験体 )

$$\cdot a = 0.15 \quad N = 0.19$$

図 3-13、図 3-14 にそれぞれ応力比 0.3、0.5 の実験結果と、設定した  $a$  と  $N$  によるクリープ曲線を示した。一般的に荷重後しばらくは、上式による曲線に実験値が一致しないとされているが、本実験結果に於いても 120 日～130 日目位までは計算値を下回っており、この間の実験値は  $a$  と  $N$  の値の設定の際に考慮しなかった。特に応力比 0.5 の試験体については、荷重後 150 日までの部分と、変位が急増した時期の部分を見捨て、緩やかに変位が増加している部分についてクリープ曲線式のあてはめを行なった。図 3-15、図 3-16 は応力比 0.3、0.5 のそれぞれの試験体について、設定したクリープ曲線と実験結果との対応を示すもので、いずれも横軸を対数による経過時間 (日) とし、100 日目以降のデータを示した。縦軸については初期たわみに対する変位増分とし、これも対数目盛とした。これらの図より、設定したクリープ曲線と実験結果が非常に良く一致していることがわかる。

注 3) 「木質材料及び部材の長期耐力評価に関する研究」 有馬、佐藤、益田  
建築研究報告 NO.95 1981年3月

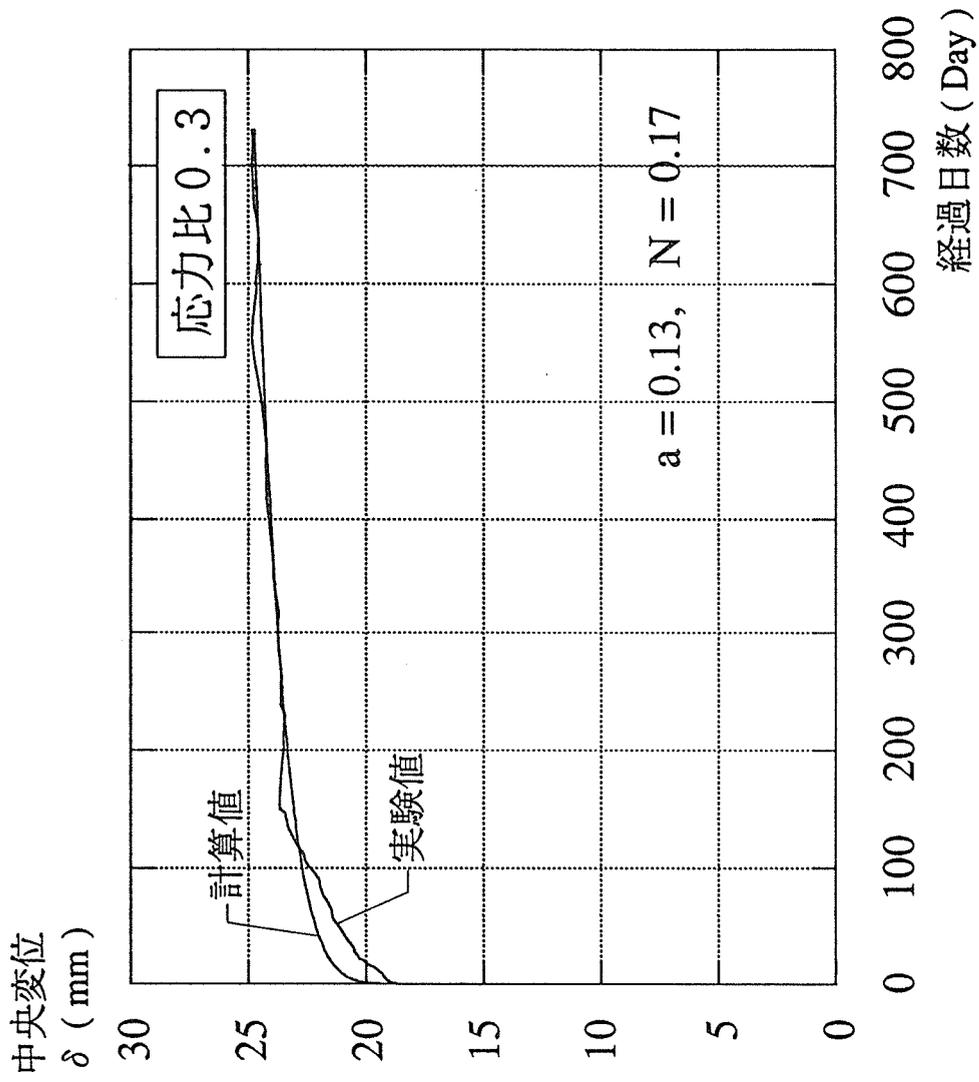


図3-13 実験結果とクリープ曲線

(応力比0.3)

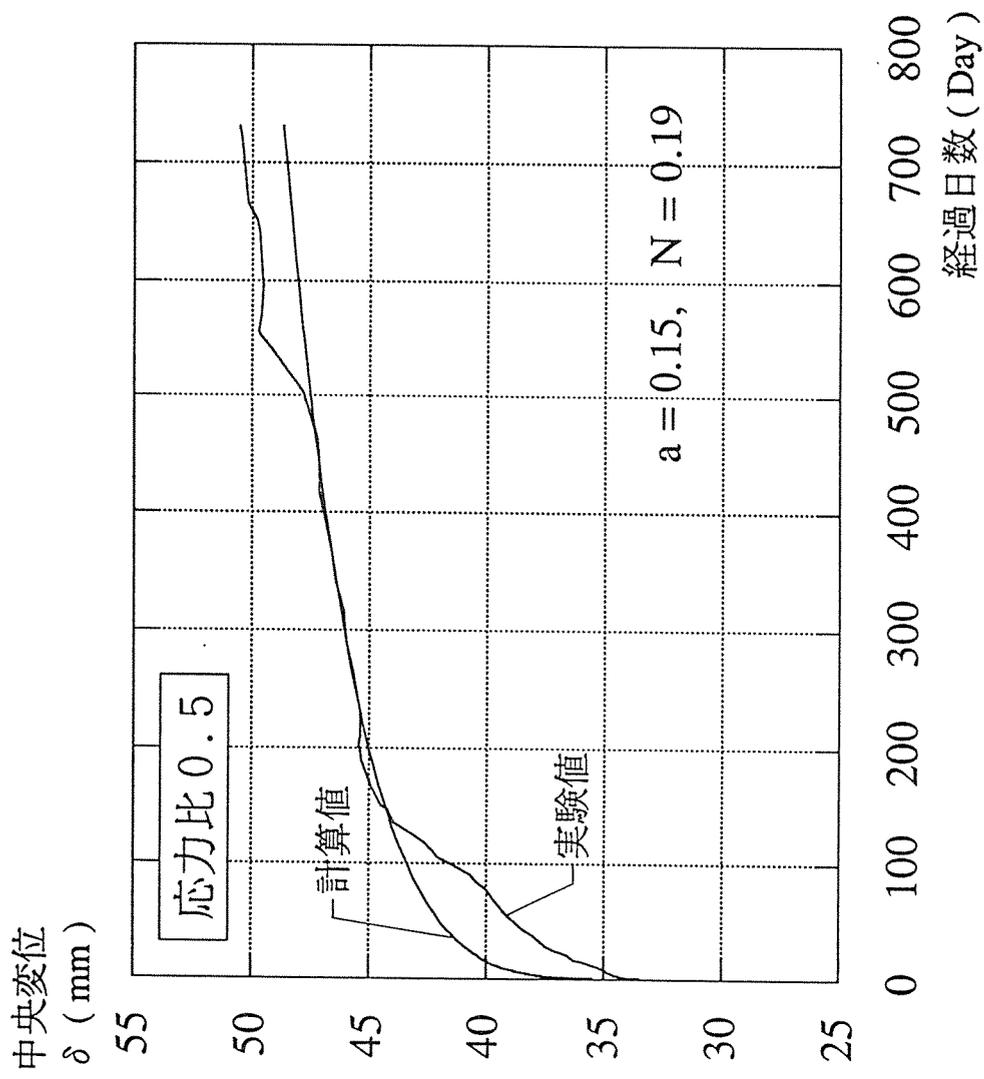


図3-14 実験結果とクリープ曲線  
(応力比0.5)

初期たわみに対する  
変位増分  $\Delta\delta$  (mm)

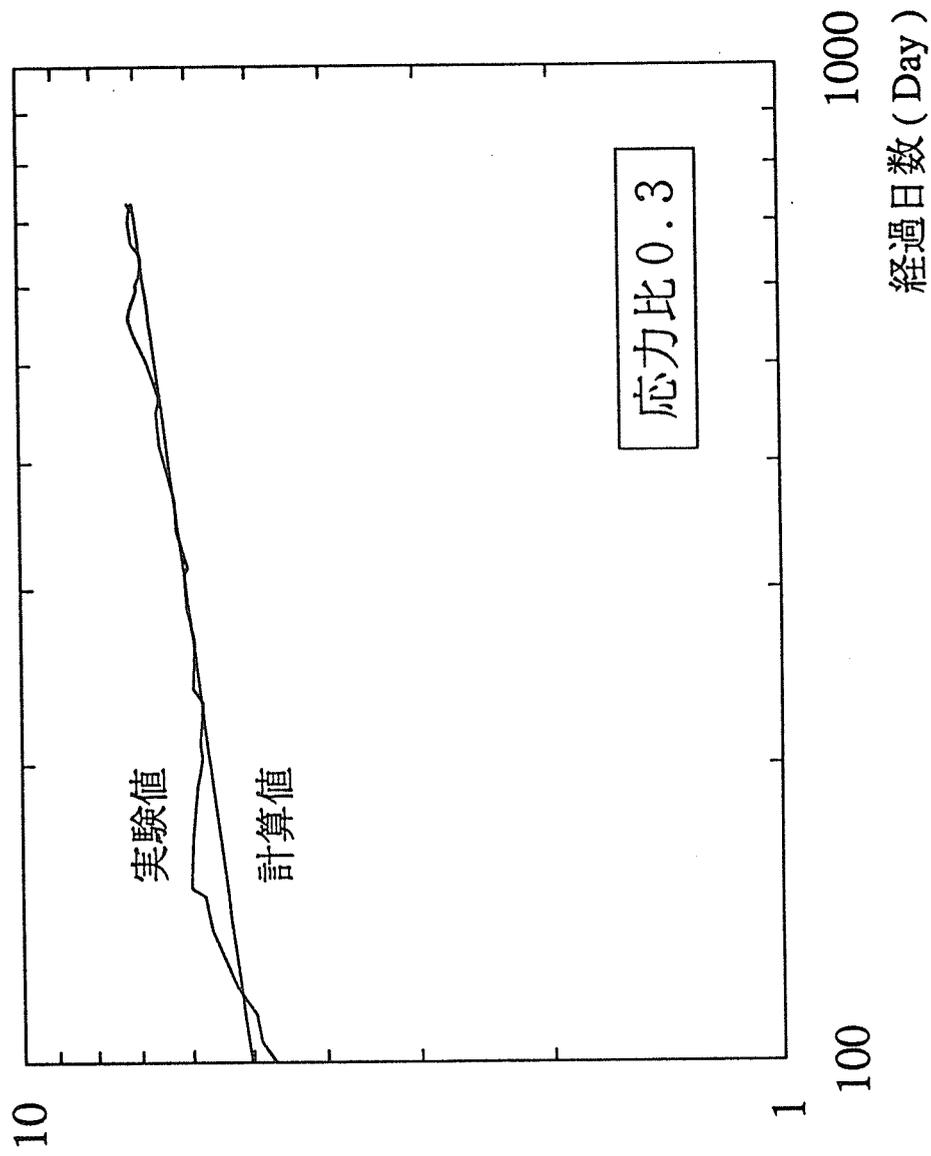


図3-15 実験結果と設定クリープ曲線との対応  
(応力比0.3)

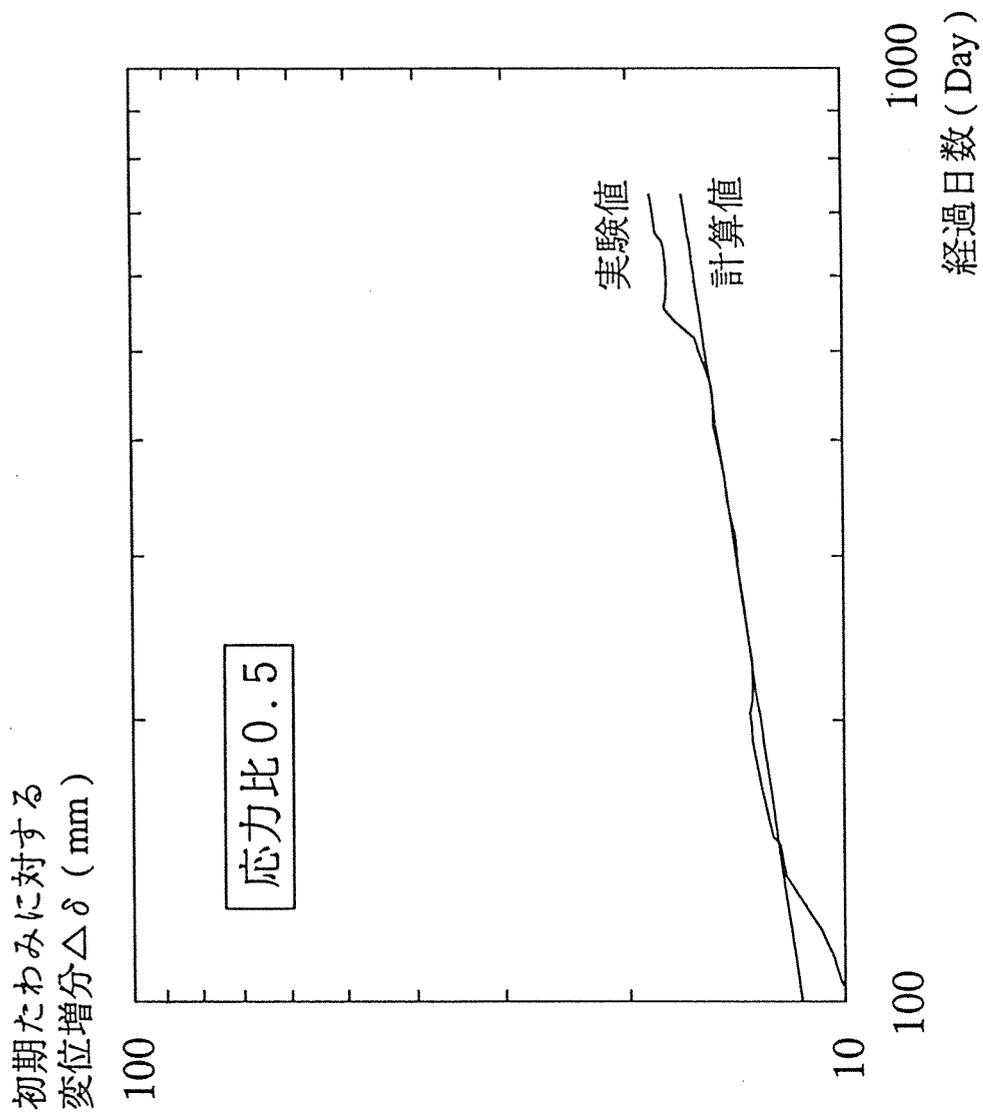


図3-16 実験結果と設定クリーブ曲線との対応  
(応力比0.5)

### 3.4.2 推定相対クリープの算出

実験結果をもとに設定したクリープ曲線式から、50年後及び100年後の相対クリープ ( $\delta(t) / \delta_0$ ) を計算する。

( 応力比0.3の試験体の場合 )

- ・ 50年後 :  $\delta(t) / \delta_0 = 1.69$
- ・ 100年後 :  $\delta(t) / \delta_0 = 1.78$

( 応力比0.5の試験体の場合 )

- ・ 50年後 :  $\delta(t) / \delta_0 = 1.97$
- ・ 100年後 :  $\delta(t) / \delta_0 = 2.10$

一般的な木構造建築の耐用年数を50年と考えれば、長期許容応力度レベルの荷重の場合、集成材のクリープたわみは初期たわみの約70%程度になると予想される。

### 3.5 曲げ破壊実験結果と推定相対クリープとの関係

図3-17は、本実験で使用している試験体と全く同じ条件（寸法、樹種、ラミナ構成等）で製作した集成材により、2点集中載荷による曲げ破壊実験を行なった結果である。 載荷点は本実験に於ける錘の載荷点と同じである。

曲げ破壊実験によれば、試験体中央の変位が78.3mmの時に試験体が破壊している。 応力比0.5の試験体について設定したクリープ曲線によれば、50年後の相対クリープは1.97、変位にすれば62.9mmとなる。 同様に100年後については67.0mmとなり、昨年8月～9月に急増した分1.8mmを加えると68.8mmとなる。 クリープ実験と曲げ破壊実験との別なく、曲げ破壊実験による破壊時の変位点で集成材は破壊するものと仮定すると、応力比0.5の試験体については、載荷後100年経過時点でもまだクリープ破壊には至らないことになる。

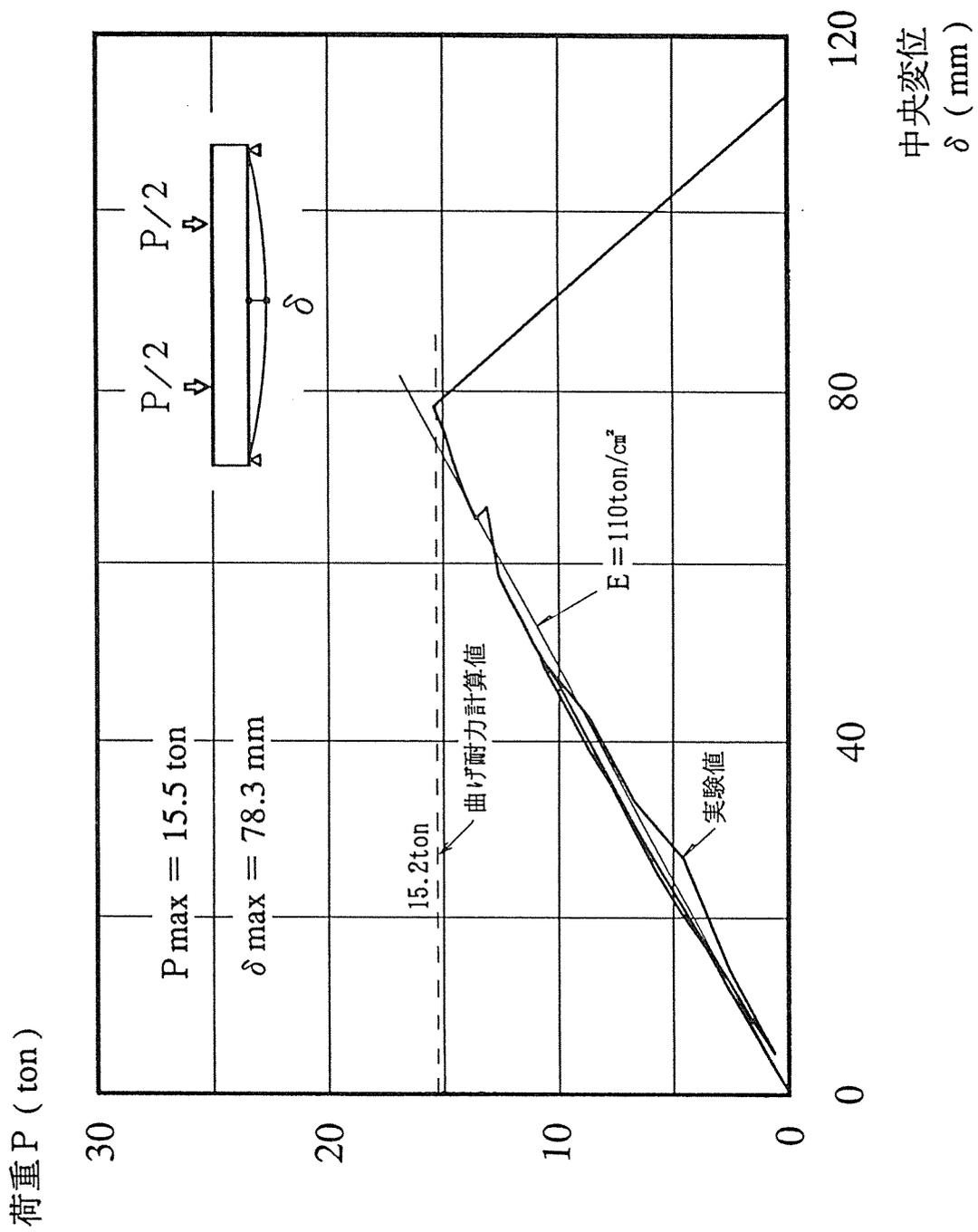


図3-17 曲げ破壊実験結果

### 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2年間実施した。長期許容曲げ応力度レベルの応力比0.3の試験体については、載荷後1年を経過した時点ですでに変位の変動は小さくなっていたが、僅かに増加傾向を示していた。結果として1年経過時点で1.35であった対初期たわみ比が2年経過時点では1.41になっている。しかしこの1年間の変位の増加は僅か(約0.9mm)である。今後も一時的な増減の波は認められるものの、全体的に見れば変位が僅かずつ増加する傾向が続くと予想される。一方、応力比0.5の試験体は、1年経過時点で1.46であった対初期たわみ比が2年経過時点では1.58になっている。この1年間の変位の増加は約3.9mmで、2年経過時点でも応力比0.3の試験体に比べてはっきりとした増加傾向を示しており、今後クリープ破壊の可能性を残している。

応力比0.3及び0.5の両試験体に共通して夏期の温湿度の高い時期に一時的に変位の増加率が大きくなり、変形曲線が凸状になることが分かった。応力比0.5の試験体では、2年目の温湿度の高い時期(8月~9月)に変位が急増した(50日間で約1.8mm)が、ちょうどこの時期に大きな節のある部分にひび割れが発生した。しかしその後、ひび割れの目立った進展はなく、変位の急増は見られない。

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るため(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、応力比0.3と0.5の両試験体ともに1年目の同時期に行なった実験同様、小さな増減を繰り返していることがわかった。しかし2週間の変位増分量は1年目に比べて小さくなっている。また、1年目同様、両試験体ともに変位の増減がほぼ同時に起こっていることもわかった。特に今回は湿度との対応が比較的明瞭に認められた。即ち、一定期間湿度が高い状態(90%以上)が続いた時に両試験体ともに変位がやや継続的に増え、湿度が90%以下の状態で変動し始めると、これに対応して変位が増減を繰り返すようになることがわかった。

2年間に亘る変位計測結果をもとに、応力比0.3と0.5のそれぞれの試験体のクリープ曲線の係数を設定した。このクリープ曲線を用いて50年後について相対クリープを求めると、応力比0.3の場合で1.69、応力比0.5の場合で1.97となった。現行の木構造計算規準では、長期荷重による集成材の気乾状態に於けるたわみは初期たわみの2倍とするとしているが、集成材については長期許容応力度レベルの荷重でも実際には初期たわみの1.7倍程度であると予想され、2倍という比率は集成材については妥当なものと考えられる。

## 4. 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

### 4. 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という欠点を持っている。ラグスクリューの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。

ラグスクリューに関する実験データは、近年かなり整備され、建築学会の計算規準として取り上げられたが、長期耐力に係るせん断クリープ性能については、まだ明かにされていない。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、ラグスクリュー接合部のクリープ性能を検討した。

一方、ラグとボルトとの比較と同時に、未乾燥材のスギを用いた時と集成材の場合との比較も試みた。

### 4. 2 実験

#### 4. 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 $9-12\%$ ）とベイマツ集成材（比重 $0.52-0.63$ 、含水率 $10-13\%$ ）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 $12\text{mm}$ のラグスクリューとボルトで、両者の形状と寸法を図4-1に示した。

試験体は $6\text{mm}$ 厚さ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クリープ性能の直接比較が可能となる。ボルトの先穴径は $14\text{mm}$ 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てねじ込んだ。

図4-2に、せん断クリープ試験体の形状と寸法を示した。全試験体の種類と比重ならびに試験開始時の含水率を、表4-1に示した。

クリープ試験は3つのシリーズに分かれており、それぞれ3カ月間で、1シリーズにつき4体ずつ試験を行った。

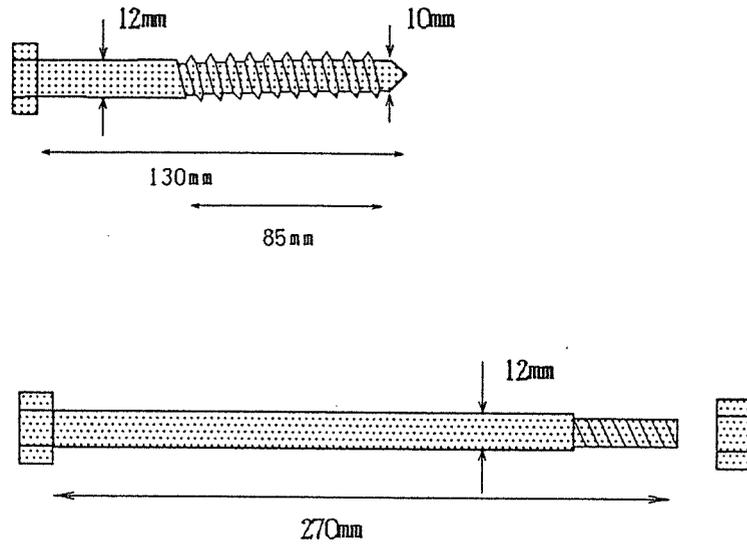


図4-1 ラグスクリューおよびボルトの形状

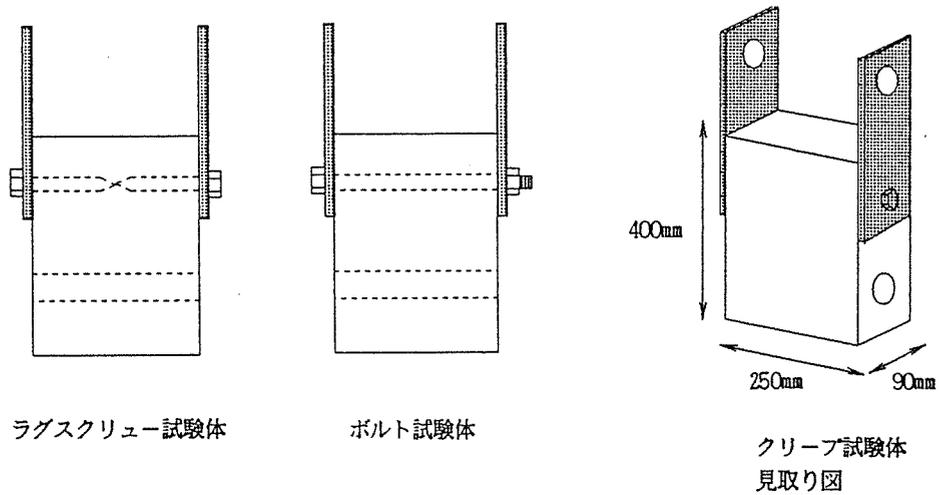


図4-2 ラグスクリューおよびボルト試験体

表4-1 クリープ試験体と試験期間

試験シリーズ	試験体 (比重、含水率)	試験期間
1	L-S(D)-1 (0.51,12%)	1991,11,15
	L-D(D)-1 (0.58,11%)	-
	B-S(D)-1 (0.51,12%)	1992,2,23
	B-D(D)-1 (0.58,11%)	
2	L-S(D)-2 (0.47,10%)	1992,3,15
	L-D(D)-2 (0.57,13%)	-
	B-S(D)-2 (0.46,12%)	1992,6,20
	B-D(D)-2 (0.58,10%)	
3	L-S(D)-3 (0.47,13%)	1992,7,2
	B-S(D)-3 (0.70,12%)	-
	L-S(W) (0.50,75%)	1992,10,15
	B-D(W) (0.70,82%)	

試験体記号 L: ラグスクリュー  
 B: ボルト  
 S: スギ  
 D: ベイマツ  
 (D): 乾燥材  
 (W): 未乾燥材  
 末尾番号: 試験体NO.

#### 4. 2. 2 試験方法

試験は図4-3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。設計荷重は木構造計算規準に基づいた。

ラグスクリュー： スギ288kg、ベイマツ378kg

ボルト： スギ575kg、ベイマツ630kg

ラグスクリュー2本分がほぼボルト1本分に相当する。そこで、本実験での基準となるクリープ荷重を600kgとした。

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、一部の試験体はクリープ荷重を1700kgfまで上げた。試験はすべて温湿度のコントロールされていない室内でおこなった。

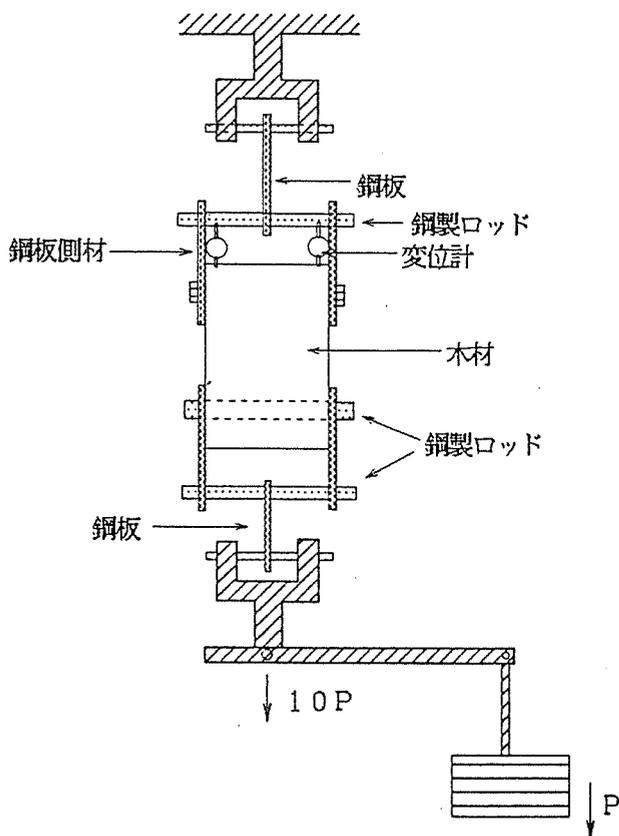


図4-3 クリープ試験装置

#### 4. 3 結果および考察

図4-4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。

そこで、瞬間変位を差し引いたクリープ変位での比較を試みた。図4-5はクリープ荷重を上げることにより、それぞれの載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。L-S(D)-3とB-S(D)-3については、1500kgと1700kgのデータも示した。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ほとんどないと言えよう。

ただし、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は（L-S(W)-1, B-S(W)-1）、クリープ変位量が大きい。今後さらに試験体を増やして検討する予定である。

表4-2に、シリーズ1とシリーズ2の残存耐力を示した。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。

#### 4. 4 まとめ

- 1) 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）間には顕著なクリープ変形の差はない。
- 2) ベイマツとスギを比較すると、ベイマツのほうが、クリープ変形が、ボルトラグスクリュー共に小さい。これは、樹種の差よりも、比重の差であろう。
- 3) 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は、ボルトラグともに、集成材の場合よりも変形が大きくなる。
- 4) クリープ荷重が1700kg（荷重比にして約30%）に増大しても、クリープ曲線はそれ以下の荷重の場合とほとんど変わりが無い。2-3mm変形が進んだところで、平衡に達する。このことから、ボルト、ラグともクリープ限度は荷重比30%以上と考えられる。
- 5) クリープ限度内ではクリープ変形は荷重変化時に大きく進み、一定荷重では、変形はすぐに平衡に達する。この点が木材の曲げクリープ等と異なる。

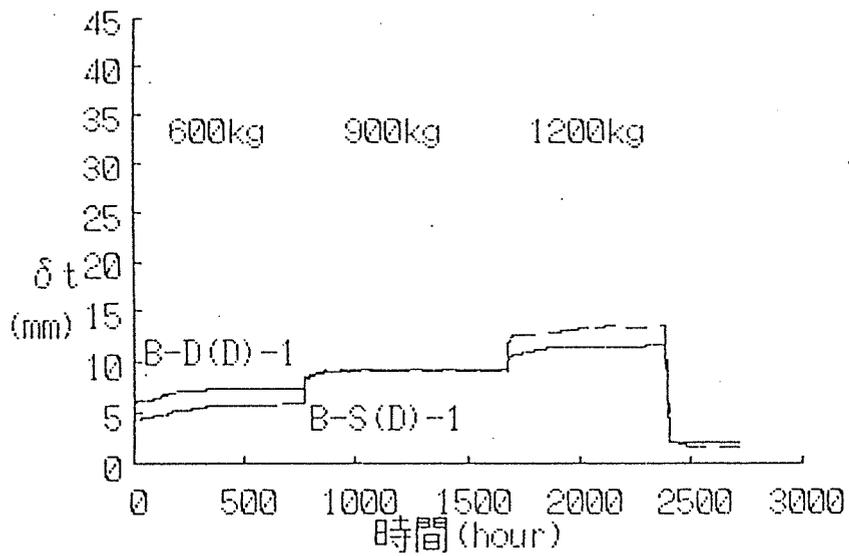
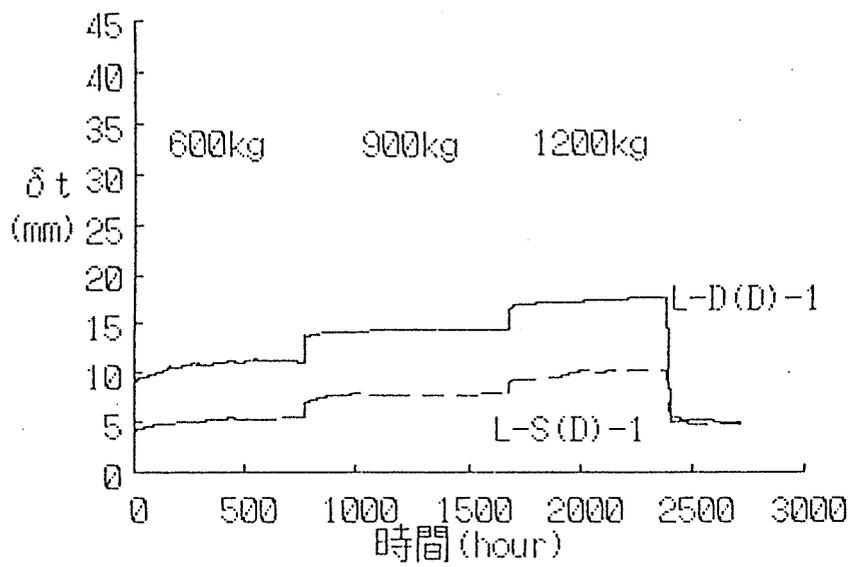


図4-4 全スリップ量 ( $\delta_t$ ) 時間変化 (シリーズ1)

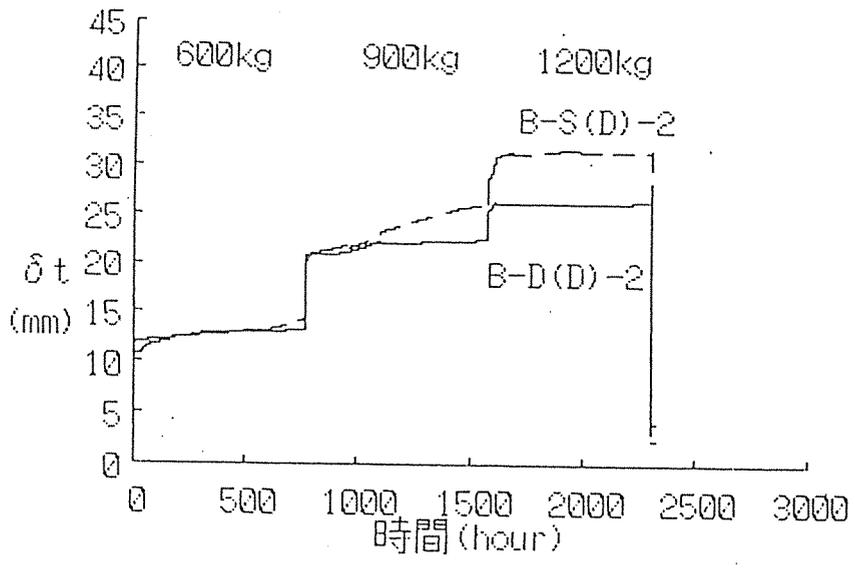
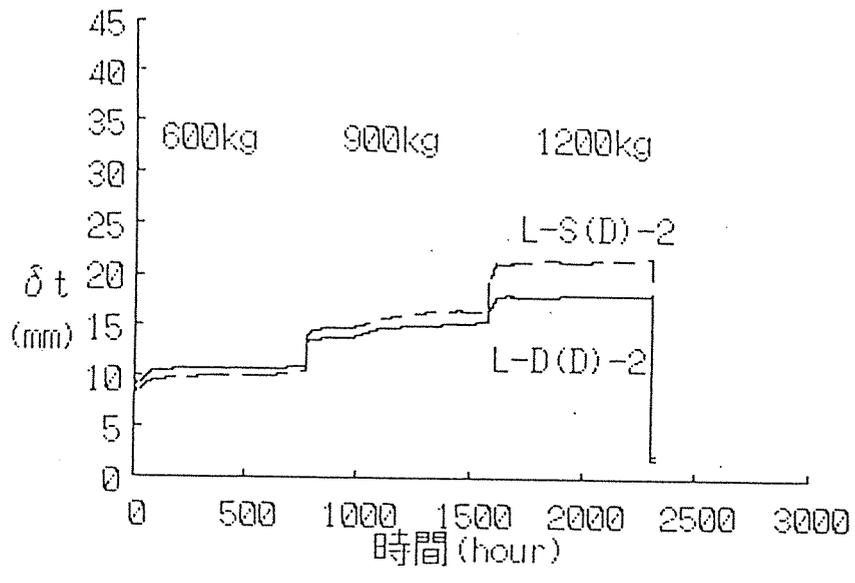


図4-4 全スリップ量 ( $\delta_t$ ) 時間変化 (シリーズ2)

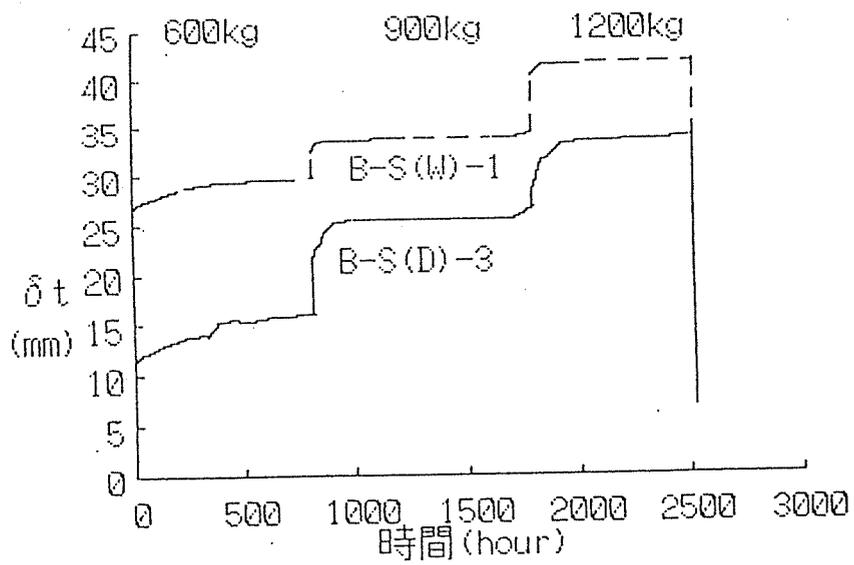
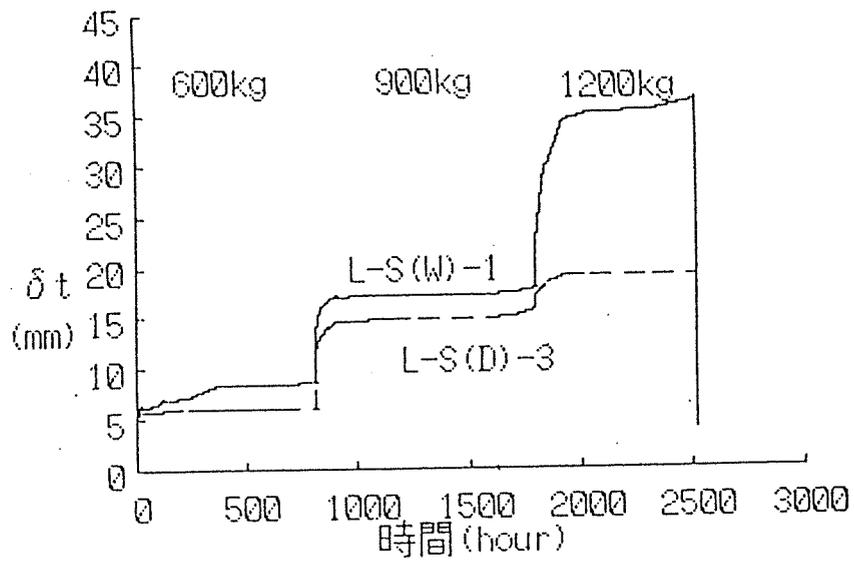


図4-4 全スリップ量 ( $\delta t$ ) 時間変化 (シリーズ3)

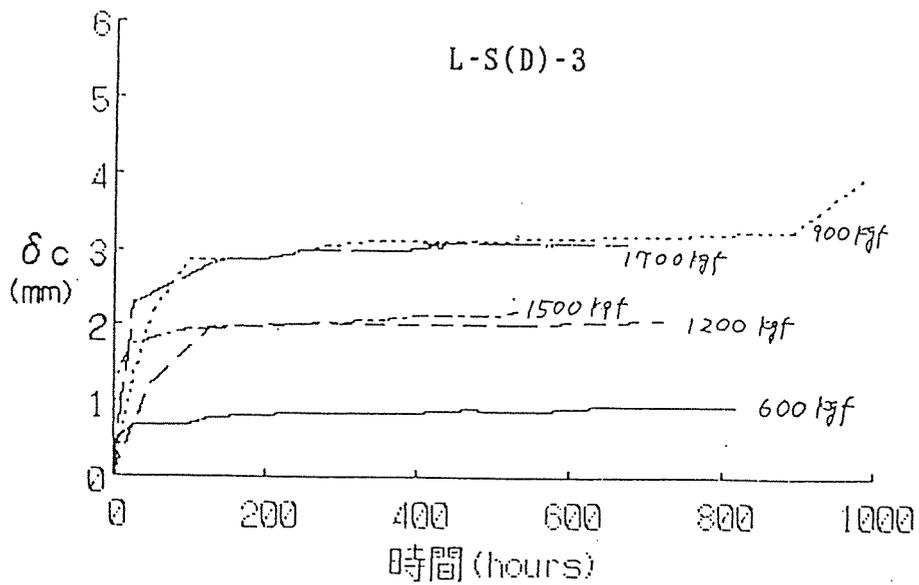
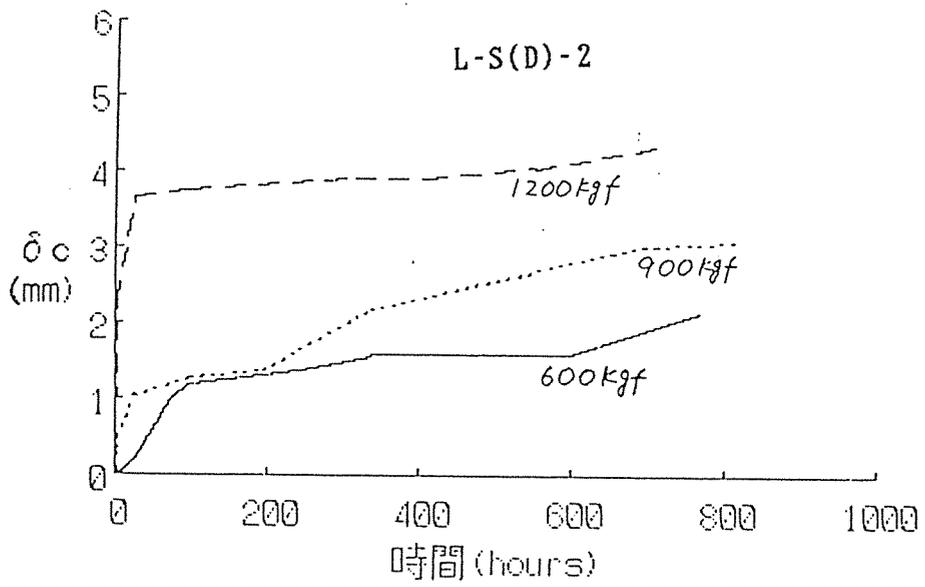
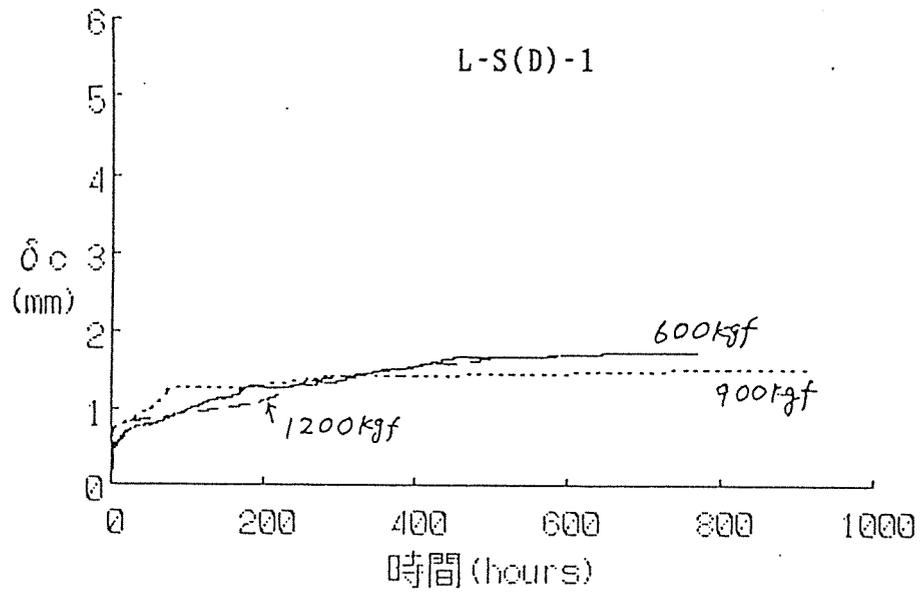


図4-5 クリープ変形の時間変化  
各荷重レベルにおける瞬間変形をひいた値

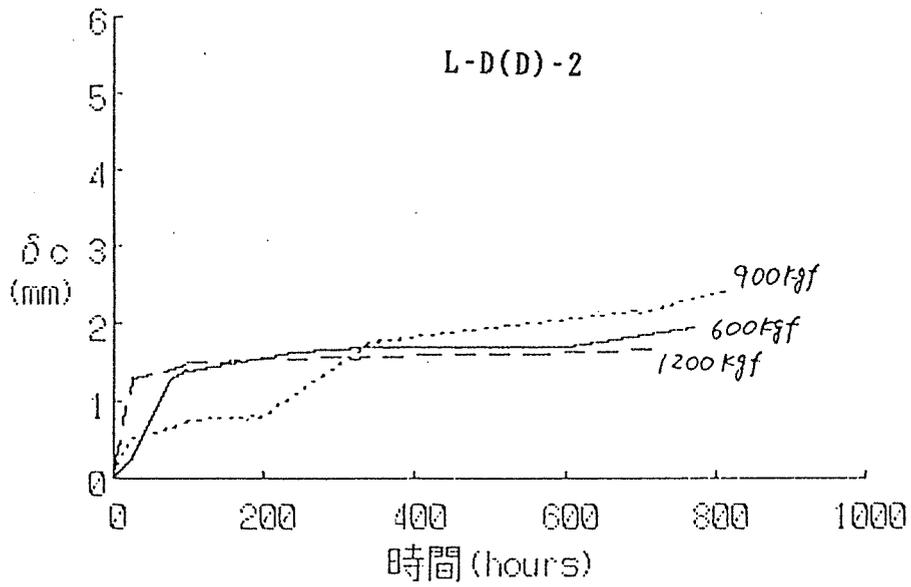
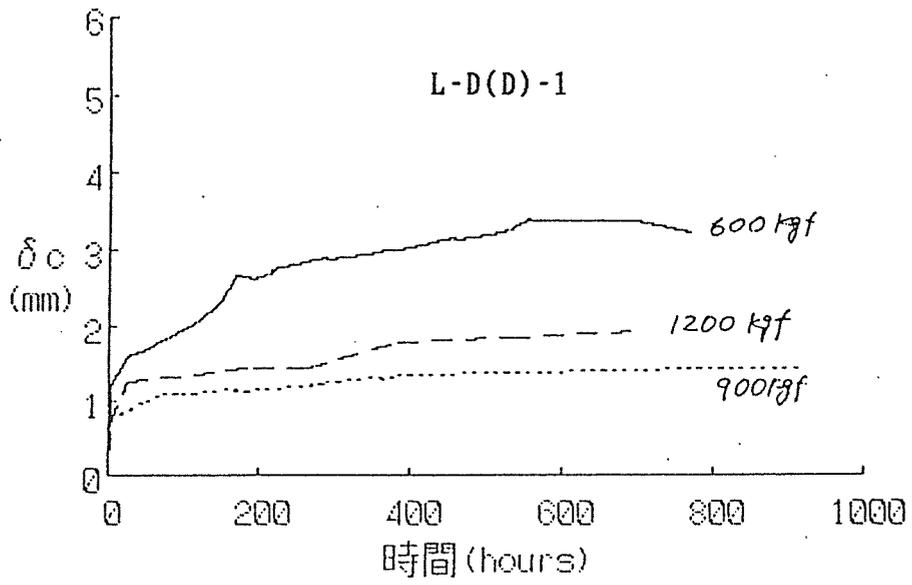


図4-5 クリープ変形の時間変化  
各荷重レベルにおける瞬間変形をひいた値

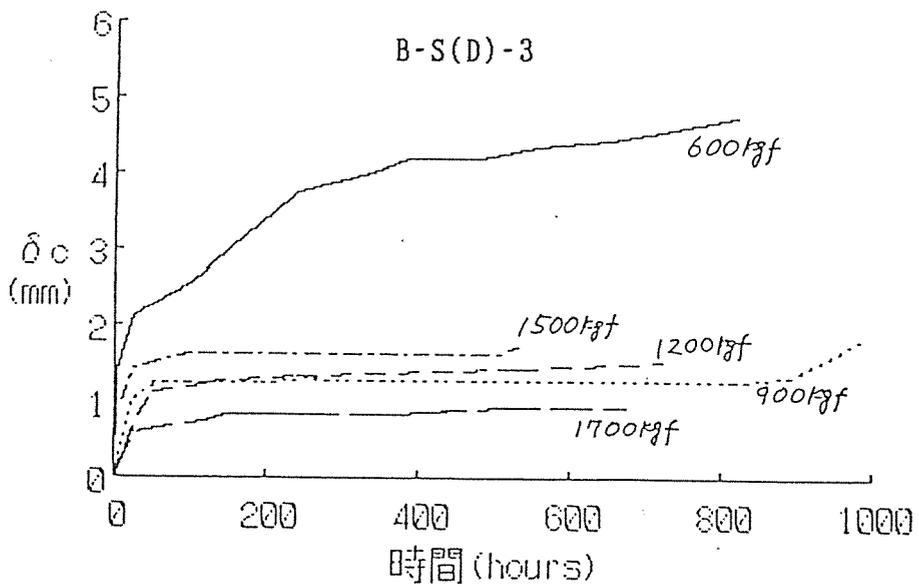
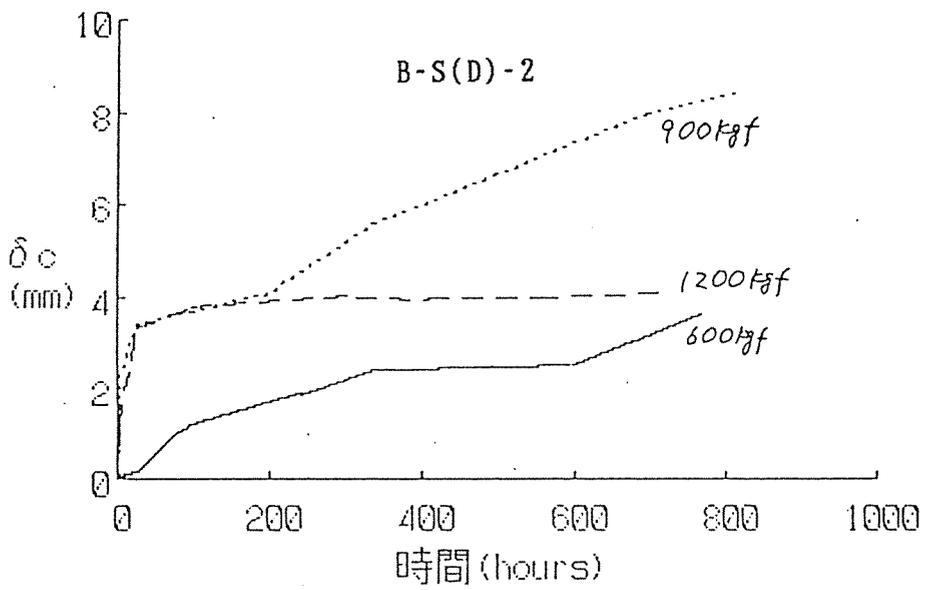
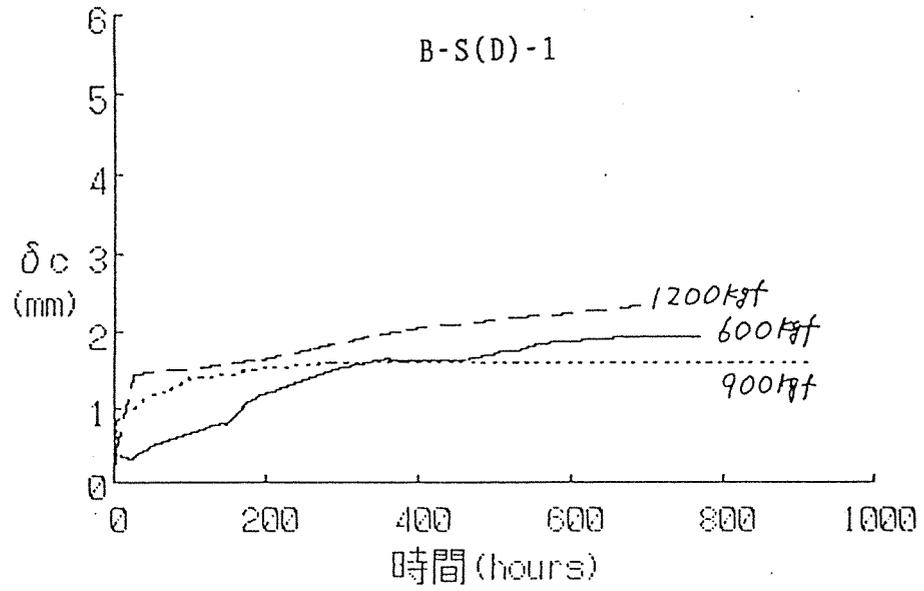


図4-5 クリープ変形の時間変化  
各荷重レベルにおける瞬間変形をひいた値

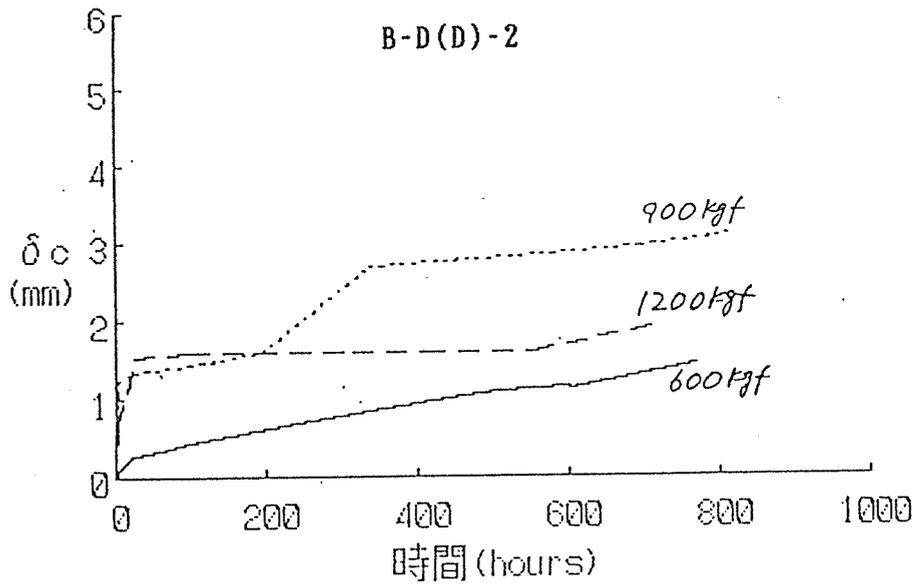
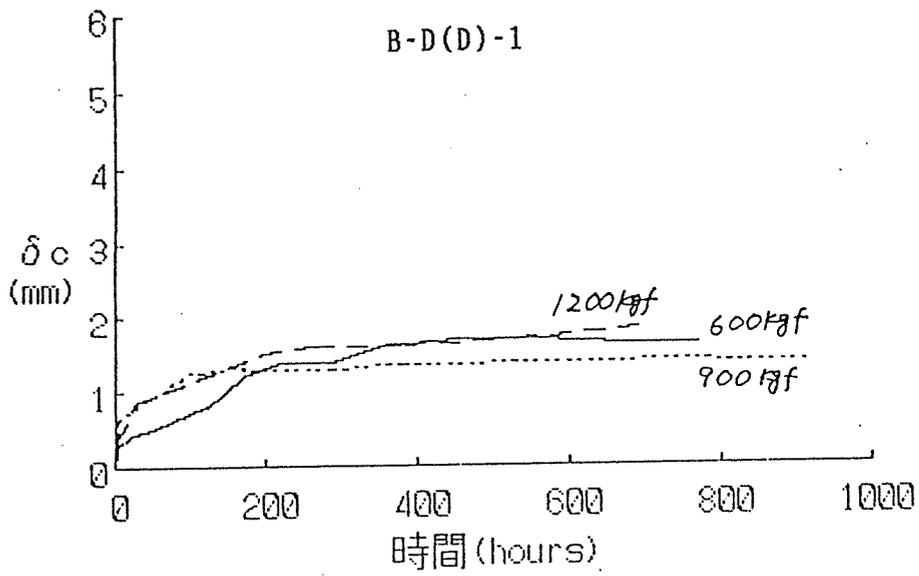


図4-5 クリープ変形の時間変化  
各荷重レベルにおける瞬間変形をひいた値

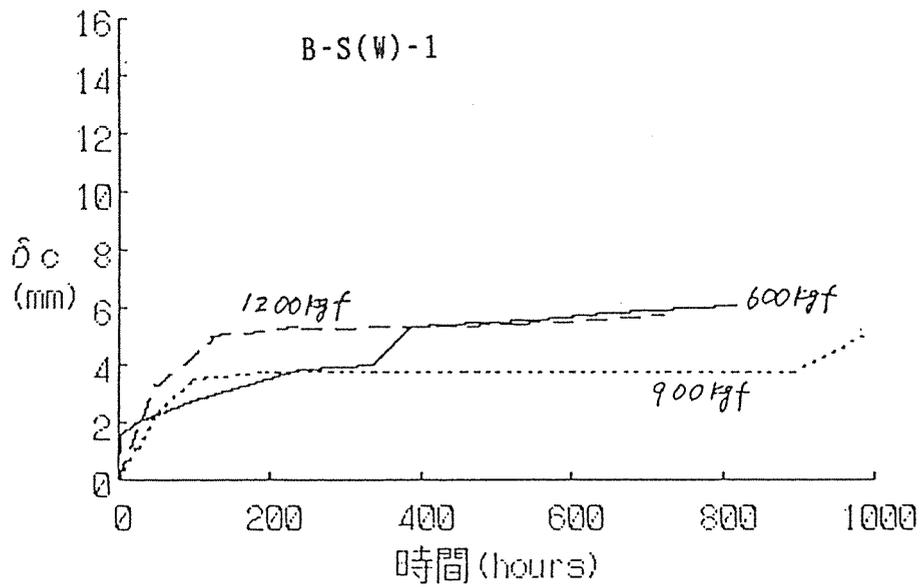
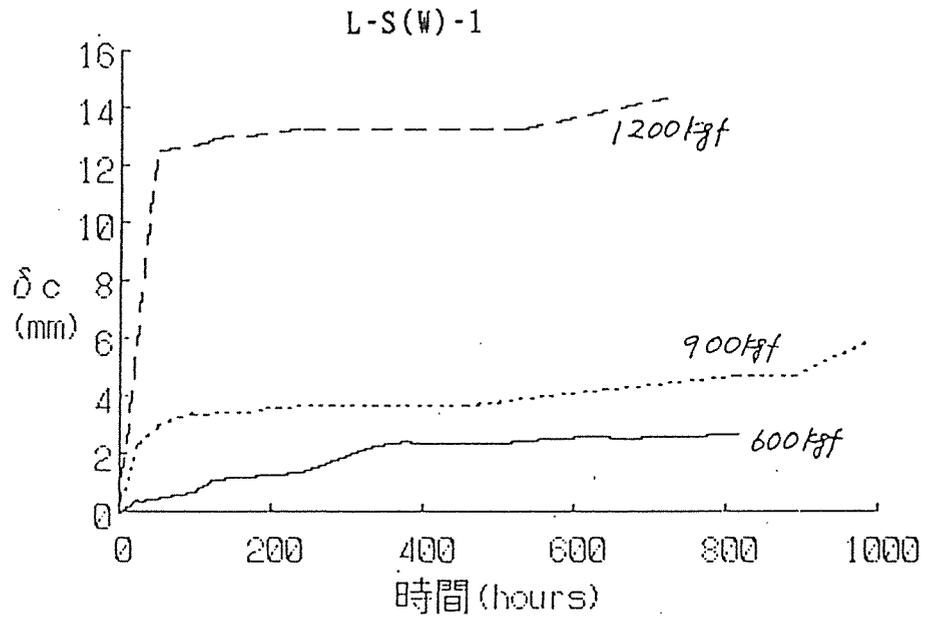


図4-5 クリープ変形の時間変化  
各荷重レベルにおける瞬間変形をひいた値

表4-2. クリープ試験後の残存耐力

1) シリーズ1

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) シリーズ2

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

## 5. スギ梁材のクリープ特性 (その2)

〈研究経過報告—その2〉

### 5. 1 はじめに

建築構造材に要求される主な性能は、使用期間内において予想される外力に耐えることである。したがって、クリープ特性に関するデータを得ることは力学的な安全性評価を得る上で非常に重要と考えられるが、国産材の代表とも言えるスギ実大材を対象として、クリープ特性について検討された例は極めて少ない。

本実験は、スギの構造的利用に関する資料収集の一環として、スギ実大梁材（載荷時点で生材，人工乾燥材，集成材）の外周条件変動下でのクリープ挙動を実験的に明らかにすることを目的として行っている。

### 5. 2 実験方法

#### 5. 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体を供している。

ここで，表-1に各供試体の特徴（載荷時点）を示す。

表-1 供試体の特徴（載荷時点）

	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（Kett,moco2）による値（4点平均）である。また，集成材はラミナ厚21mm，積層数10である。

#### 5. 2. 2 載荷方法

実験開始から1年間は，何れも応力比を0.11とし，2年目は0.22としている（現時点—平成5年4月—では1年4か月経過）。ここで，図-1に実験装置の概略図とたわみ量（両支点では膨張，収缩量）の測定位置を示す。この場合，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。

### 5. 2. 3 負荷荷重

既往の本県及び他県のデータを総合して、曲げ強さ(MOR)と縦振動ヤング係数( $E_t$ )との関係を $MOR=3.15E_t+157$ 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SLとすると、 $SL \cdot MOR=3Pa/bh^2$ より負荷荷重(P)は $P=SL \cdot MOR \cdot b \cdot h^2 / 3a$ 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。

・載荷荷重は、応力比が0.11では  $P11 = 0.00030104MOR \cdot b \cdot h^2 = 598 \text{ kgf}$

応力比が0.22では  $P12 = 2 \times P11 = 1196 \text{ Kgf}$

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

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

・せん断スパンをLQとすると

$M/LQ > Q$  より  $LQ > 111.1 \text{ cm}$

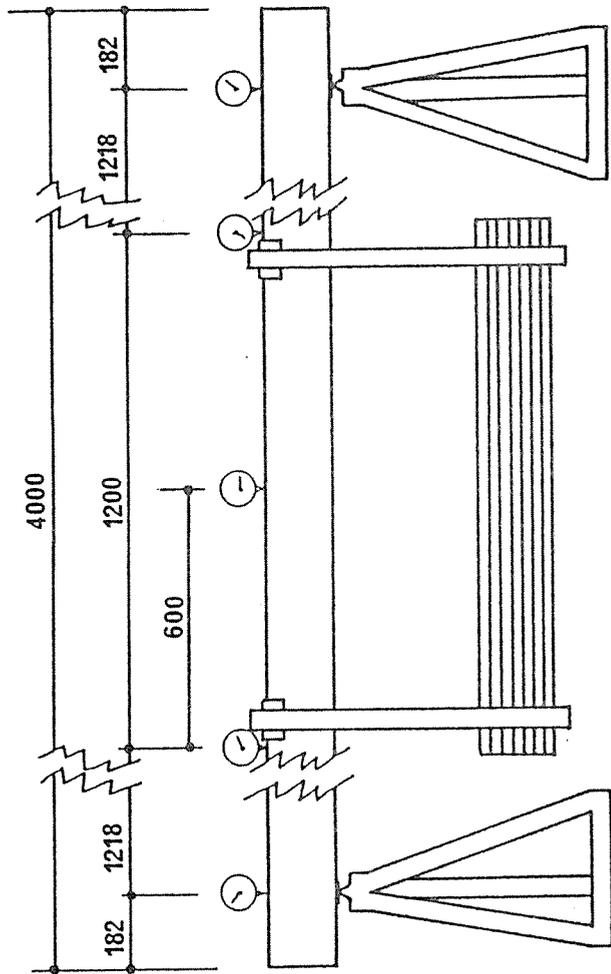


图-1 实验装置

LQ=121.8 cmより影響なし。

- 載荷荷重は、応力比が0.11では  $P21=0.00030104MOR \cdot b \cdot h^2=539\text{kgf}$   
応力比が0.22では  $P22=2 \times P21=1078\text{kgf}$

### ③ 人工乾燥材

b=10.5, h=21.0,  $E_t=73.5$ であるから

曲げ強度  $MOR=3.15 \times 73.5 + 157 = 388.5 \text{ Kgf/cm}^2$

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  $M = MOR \times Z$   
 $= 388.5 \times 771.8$   
 $= 299844.3 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$

せん断耐力  $Q = \sigma_s \times A \div 1.5$   
 $= 18 \times 220.5 \div 1.5$   
 $= 2646.0 \text{ Kgf}$

- せん断スパンをLQとすると

$$M/LQ > Q \quad \text{より} \quad LQ > 113.3\text{cm}$$

LQ=121.8 cmより影響なし。

- 載荷荷重は、応力比が0.11では  $P31=0.00030104MOR \cdot b \cdot h^2=542\text{kgf}$   
応力比が0.22では  $P32=2 \times P31=1084\text{kgf}$

## 5.3 結果と考察

図-2に、生材（ただし載荷開始時点、以下単に生材と記す）における供試体中央たわみと含水率（Kett, moco2による）の変動を示す。また、図-3に人工乾燥材における同変動、図-4に集成材における同変動を示す。なお、図中の供試体中央たわみは、2箇所の支点（図-1参照）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における膨張または収縮と見なして補正した値である。

図-2~4における各供試体の含水率変動は、3000時間付近以後（それまでは生材がやや高い）ほぼ同様の傾向を示しており、また、図-5に示す相対湿度の変動に良く対応している。このことは、同一の外周条件下で木材を一定期間放置すると、当初の含水率条件に係わらず、ある期間経過後には相対湿度の変動による増加と減少を繰り返しながらほぼ同様の傾向で推移するようになることを示している。

以下、主として応力比11%の場合について検討する。前回にも報告したように、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、集成材、人工乾燥材、生材の順に大きい。この理由は、載荷荷重を決めるために用いた $E_t$ と載荷直後の瞬間たわみから算出したMOEとの相違によるものである。したがって、各供試体における実際の応力比はかなり異なっているものと推察される（おそらく集

成材で最も大きい)。

クリープたわみの傾向は、それぞれの供試体で若干異なっている。一般に、木材及び木質材料のクリープ変形は、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。一方、図-2~4における含水率及び図-5の相対湿度の変動に対するmechano-sorptive変形は、生材や集成材ではさほど大きくないものの、人工乾燥材ではかなり目立っている。これについては、人工乾燥処理の影響、あるいは、材質(立木時の履歴も含めて)などが関係していることも考えられるが、これだけのデータで判断することはできない。また、応力比が高いほどmechano-sorptive変形は小さくなるとの報告がある<sup>1)</sup>が、現在のところ応力比を11%から22%としたことによる目立った変化は現れていない。

生材における全般的なクリープたわみの進行は、当初は緩やかであるが3000時間付近からやや急激になり、6000時間付近から再び緩やかになった後8000時間付近でクリープ休止に至っている。この場合、3000時間付近からクリープたわみの進行がやや急激になった要因は、その付近から含水率の急激な減少(繊維飽和点以下の領域)があったことが考えられる。また、人工乾燥材では、全般に比較的大きいmechano-sorptive変形挙動を示しながらクリープたわみが緩やかに進行し、生材と同様に8000時間付近でクリープ休止に至っている。一方、集成材におけるクリープたわみの進行は前2者に比べて少なく、しかも、ほぼ5500時間付近でクリープ休止に至っている。

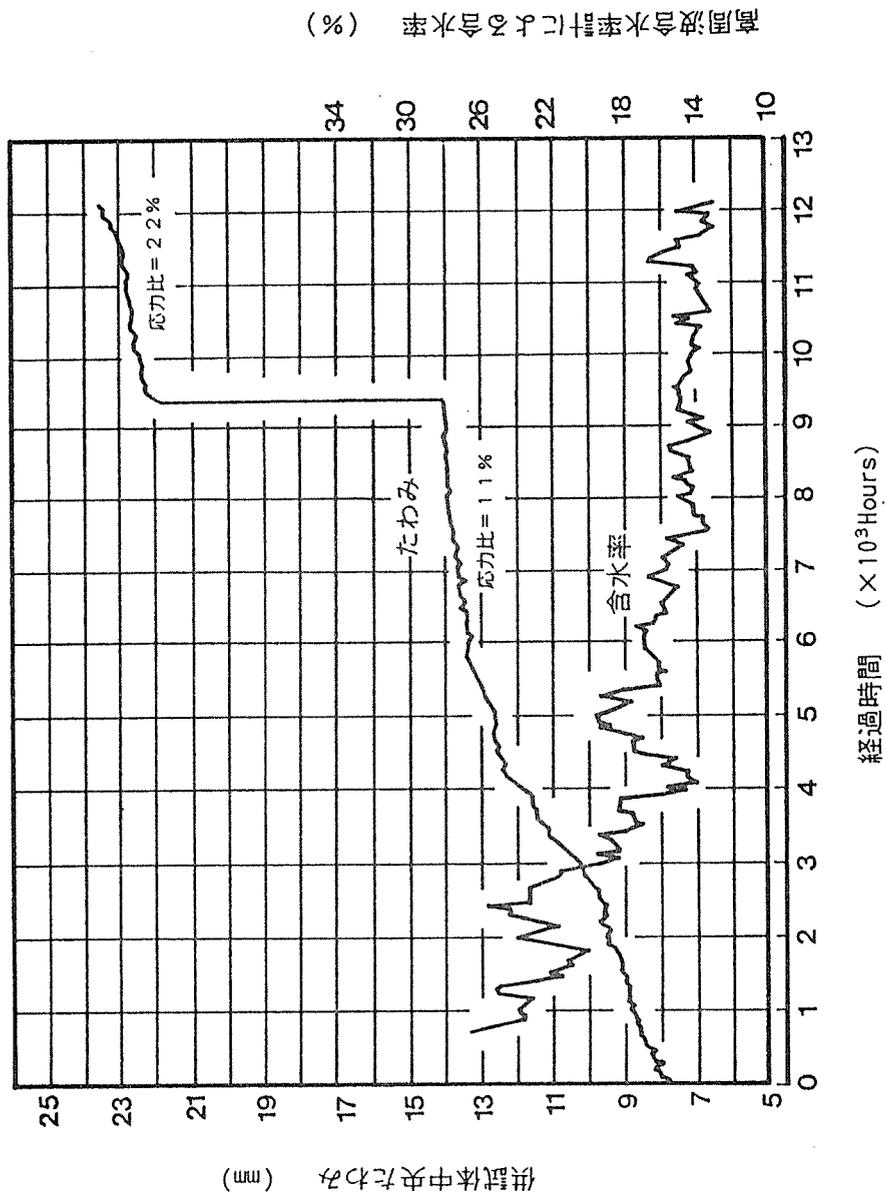
ところで、応力比11%におけるクリープ休止時点での各供試体のクリープ関数を比較すると、生材で85.2%、人工乾燥材で75.6%、集成材で31.7%であり、集成材では前2者に比べて1/2以下のかなり低い値を示した。

以上の結果から、集成材は、製材品と比較して、外周条件変動下における長期荷重に対して極めて安定した性質を有するものと考えられる。

現時点では、応力比を22%として実験を継続している。今後、クリープ休止に至った時点で応力比=22%の場合を中心に最終的な検討を加えたい。

#### 文 献

- 1) 有馬孝礼, 鷺海四郎: 日本建築学会学術講演梗概集, 1992, p. 23-24.



図一2 供試体中央たわみ (膨張, 収縮量補正值) と高周波含水率計による含水率の変動  
 ※ 生材 (載荷開始時点)

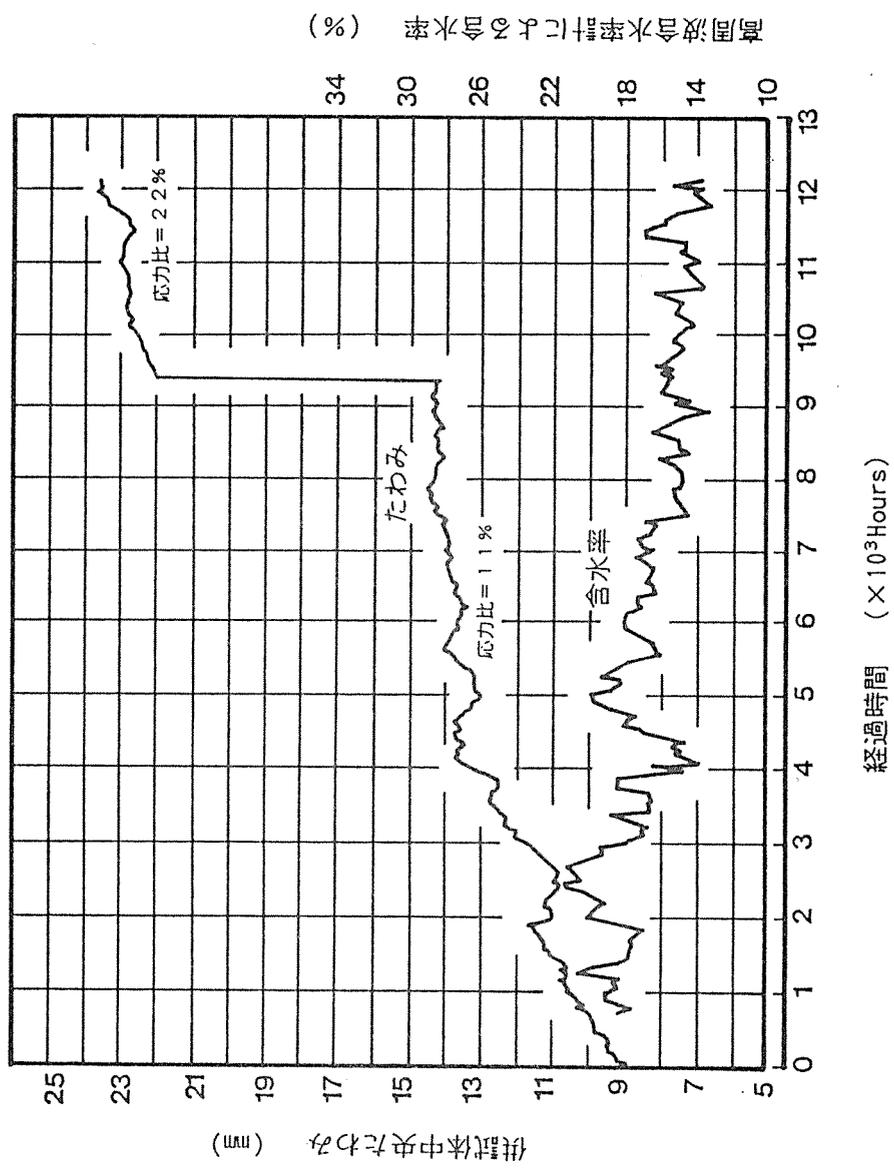


図-3 供試体中央たわみ (膨張, 収縮量補正值) と高周波含水率計による含水率の変動  
 ※ 人工乾燥材

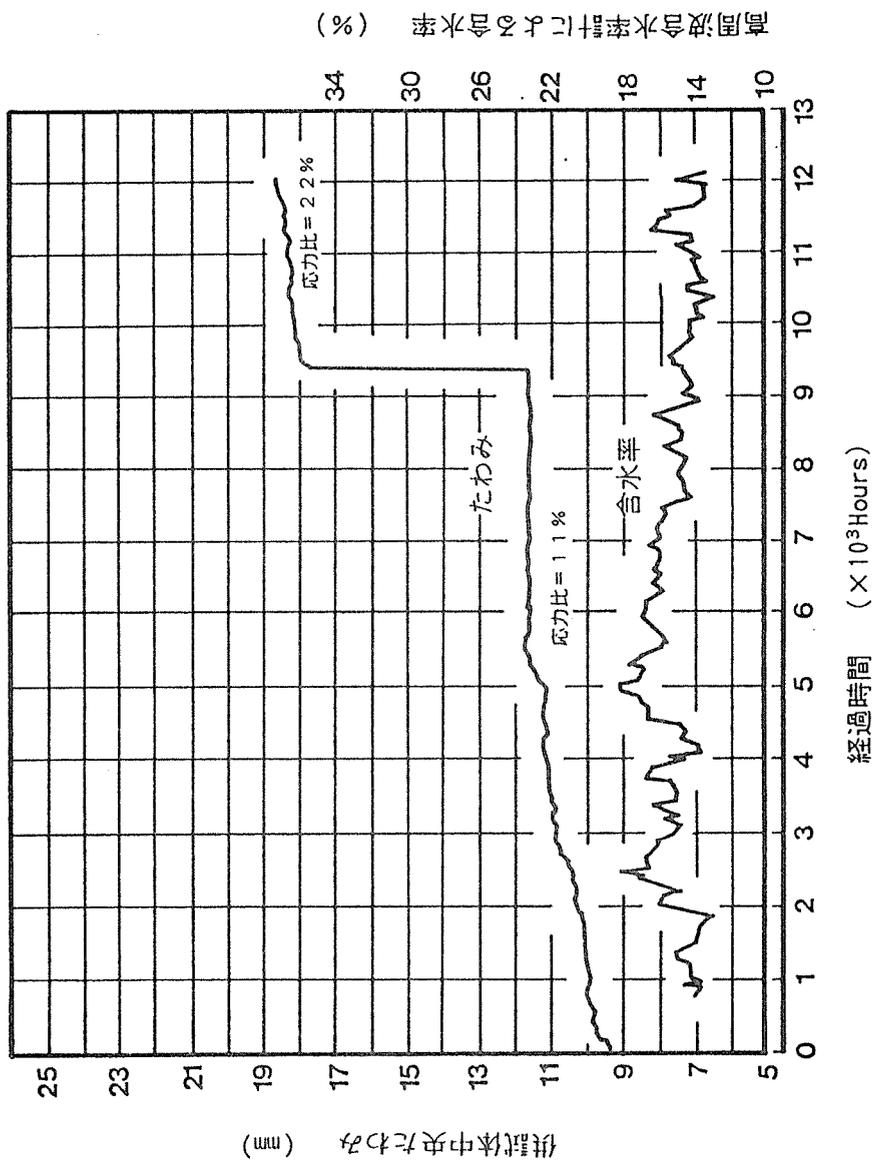


図-4 供試体中央たわみ (膨張, 収縮量補正值) と高周波含水率計による含水率の変動  
※ 集成材

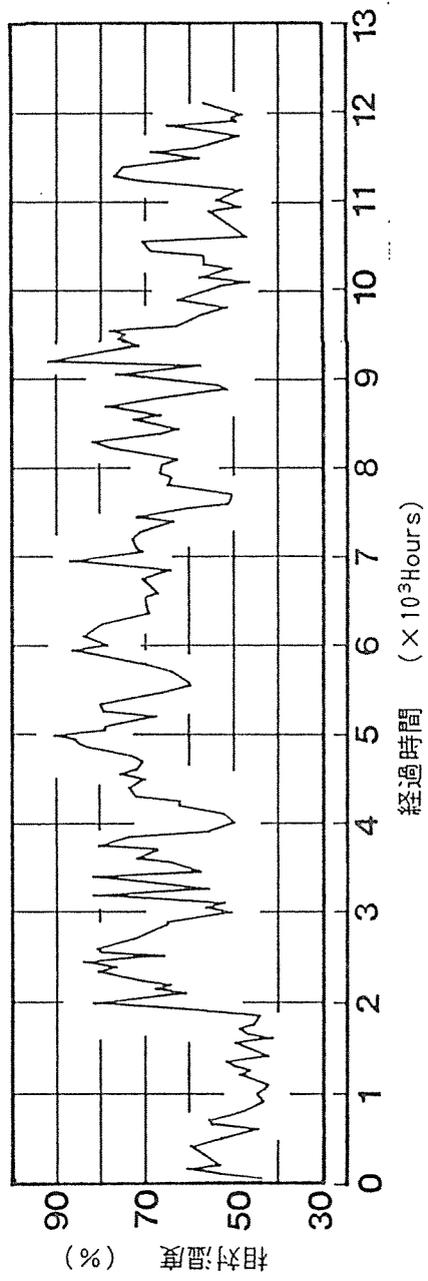


図-5 相対湿度の変動

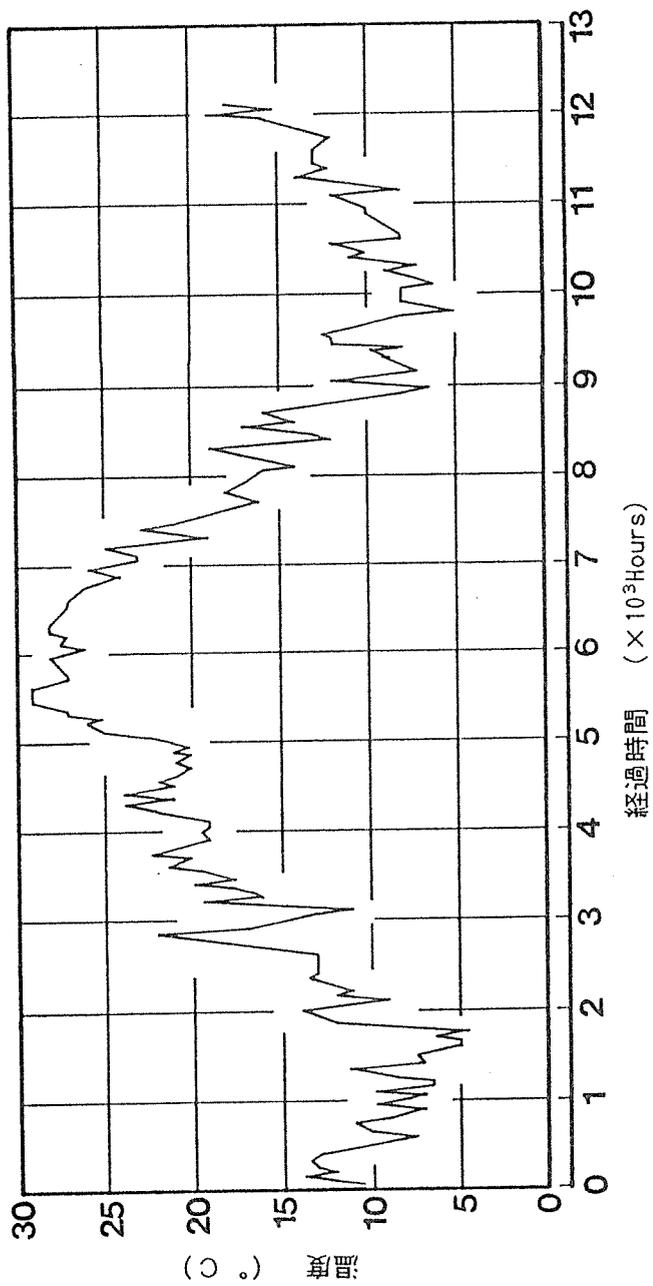


図-6 温度の変動

## 6. 湿度変動化での集成材およびその接合部のクリープ特性

### 6. 1 目的と背景

近年の比較的大規模な木構造の場合には経時変化にともなうクリープや湿度変動による 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構造設計、製造管理上の問題であり、物性上の問題とは考えにくい）。

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。たまたま、施工後に生じた経時変化に対しては未乾燥による反りと割り切っていたと思われるが、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。このように環境変化にともなう経時的な変形の評価をしておきたいということは自由度の増した構造設計だけでなく、管理の上からも当然生じることが予想される。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接合部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的に、かつ可能な限り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応力の集中するめり込みといった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。

前報で、集成材、LVL（単板積層材）とその釘接合部を対象にして湿度変動下でクリープ変形の定性的な傾向を報告した。集成材、LVL およびその接合部の変形は湿度変化によって大きな影響を受け、集成材は湿度低下によって変形の回復が生じることもあり、個々の差異が顕著で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た。一方、接合部も湿度の影響は大きい、個々の差異は少なく変形の進行は一定の傾向であった。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た。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った。負荷後変形が安定してくると湿度との対応が比較的明確になってくる。したがって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上大きな問題はないことを報告した。しかしながら、釘接合部や応力比の小さい場合の負荷初期ではPOWER則を基本にするより指数型の方が変形機構を表示するには適切なこともあるので、本報ではそれを基本にして、前報で述べた湿度変動による変形を重ね合わせること試みた。とくに、湿度変動の寄与の大きい比較的応力比の少ない場合を対象とした。

## 6. 2 実験

供試材料はTable1のようにバイマツの3層集成材(断面5×9cm)とそれらを中央部で切断して釘接合金物で接合したものと、曲げのスパン180cm3等分4点荷重、負荷は30kgで中央の撓みを計測した。Fig.1 に釘接合金物と、曲げクリープの計測の概略を示す。計測開始後、湿度変動は窓の開閉などで行い、6体を同一環境下で比較した。

## 6. 3 実験結果

(1) Fig.2 に示すように湿度変動下での集成材(SG)、釘接合部(JG)のクリープ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ことが伺える。集成材、接合部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、時間を経て変形が安定してくると湿度との対応が比較的明確になってくる。

(2) Fig.3 は負荷後初期の段階に次の指数式を当てはめたものをMSG、MJGとして示したものである。なお、係数を定めた時間範囲はそれぞれ120hr.、250hr.である。

$$MSG, MJG = r_0 + r_1(1 - \exp(-Bt))$$

ここに、 $r_0$ は瞬間変形であり、 $r_1(1 - \exp(-Bt))$ がクリープ変形に相当する。この式を用いた理由は釘接合のように圧密によって変形が安定化する機構を説明しうる<sup>2)</sup>からである。また、集成材などに対しては粘弾性Voigt模型によるクリープ曲線の表示に相当するVoigt模型であるからでもある。

これから明らかなように初期で求めた曲線からいずれもはずれていき、湿度変化はその変形に大きな影響を与える。

(3) 初期の曲線を求めた時点での湿度はほぼ82%であったので、それを基準にして湿度の差を求め、一方変形は上記の曲線の各時間での外挿値からの差をとる。Fig. 4 に示すように、この両者の直線回帰式  $f(\Delta RH)$  を求めた。

Fig. 5 のPSG、PJGは回帰式に湿度変動を代入して変形を求め、全変形を次式で算出し

たものである。

$$PSG、PJG=r_0+r_1(1-\exp(-Bt))+f(\Delta RH)$$

いずれも変化の性状をよく示していると思われる。したがって、今後の湿度変動に伴う挙動の把握にはある程度の推定は十分可能と思われる。

#### 6. 4 まとめ

集成材とその釘接合部を対象にして湿度変動下でクリープ変形の推定を試みた。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った。負荷後変形が安定してくると湿度との対応が比較的明確になってくる。負荷後初期の段階に指数式を当てはめ、その外挿値と湿度差によって生じる撓み量を加算することによって長期にわたる湿度変動による変形を推定することを試みた。それはいずれも変化の性状をよく示し、湿度変動に伴う挙動の把握が十分可能と思われた。

#### 文献

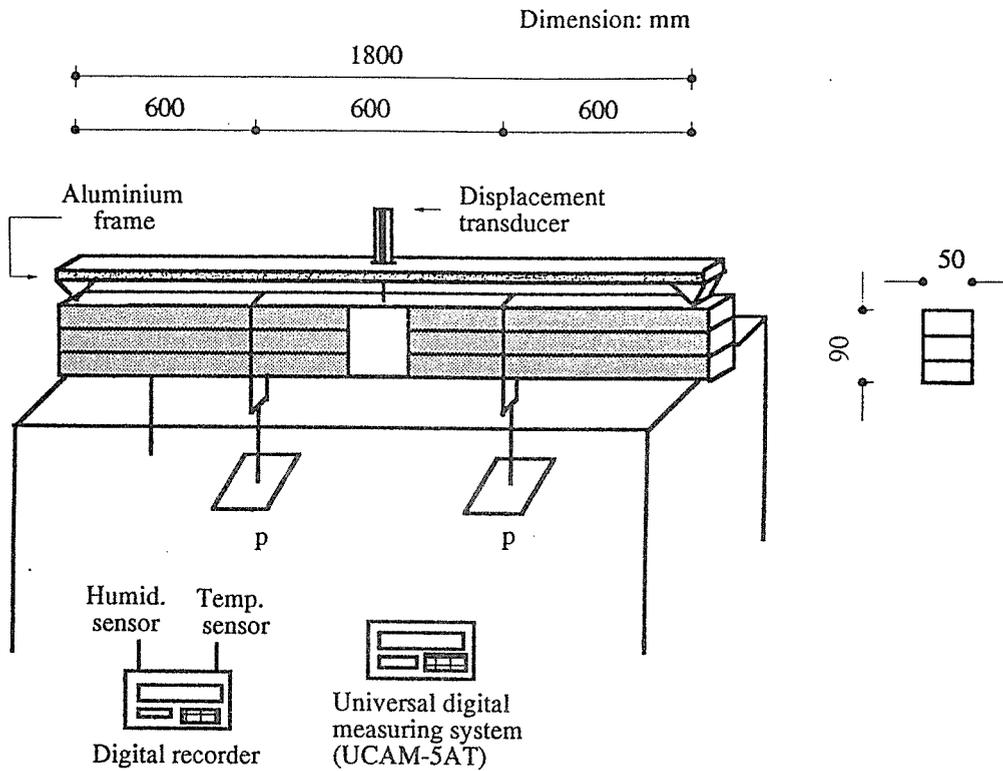
- 1) 有馬、鴛海：湿度変動下での集成材、LVLおよび接合部のクリープ特性、日本建築学会大会学術講演梗概集（1992）
- 2) 有馬、佐藤、益田：木質材料及び部材の長期耐力評価に関する研究、建築研究報告、NO.95(1981)

Table1 供試材料

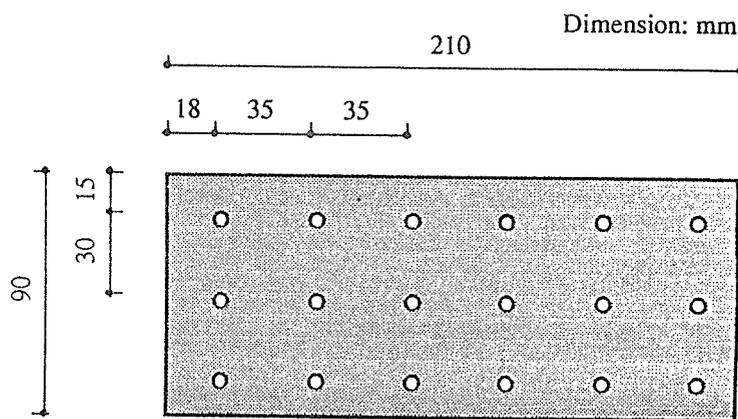
Specimen	S.G	M.C (%)	MOE ( $10^3 \text{kgf/cm}^2$ )	Loading condition	S.L (%)	Joint condition
JG1	0.52	14.3	142.5	Constant load	14	Nail-plate-jointed
JG2	0.51	14.2	143.1	Constant load	14	Nail-plate-jointed
JG3	0.53	13.9	129.5	Constant load	14	Nail-plate-jointed
SG1	0.49	14.2	133.8	Constant load	5	No joint
SG2	0.49	14.6	121.4	Constant load	5	No joint
SG3	0.51	15.3	118.4	Constant load	5	No joint

\* S.G:Test volume airdry weight basis

\*\* SL=Applied constant stress / MOR

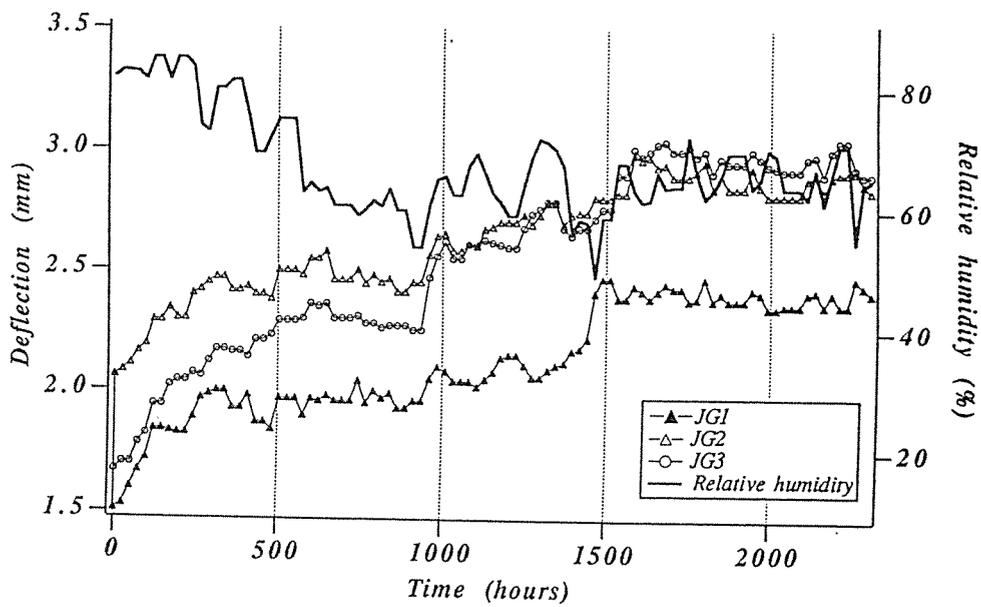


Schematic representation of experiment.

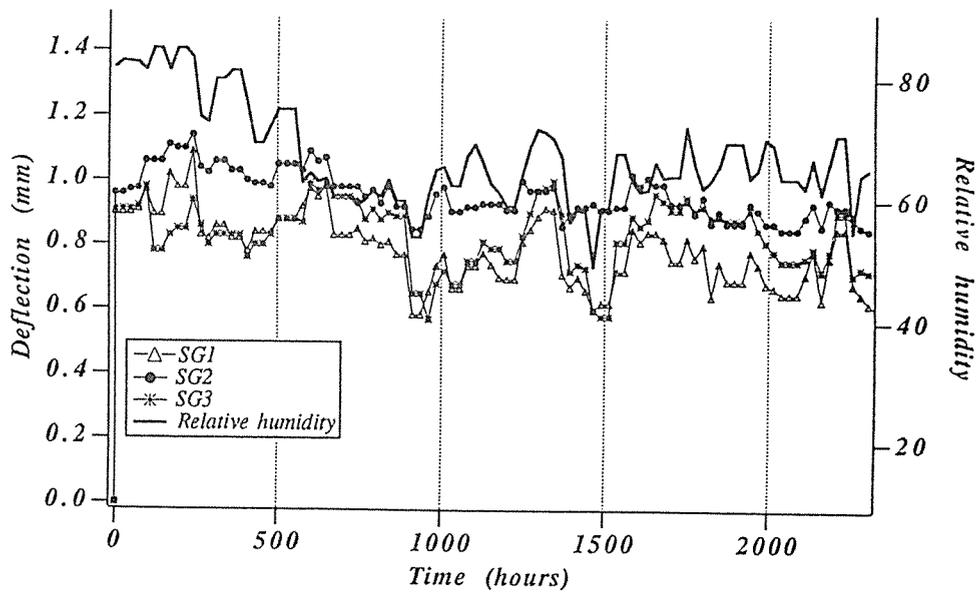


Steel gusset size : 90x 210x1.5 mm  
Nail size: N50 ( 2.75x 50 mm )

Fig.1 釘接合金物と曲げクリープの計測の概略図

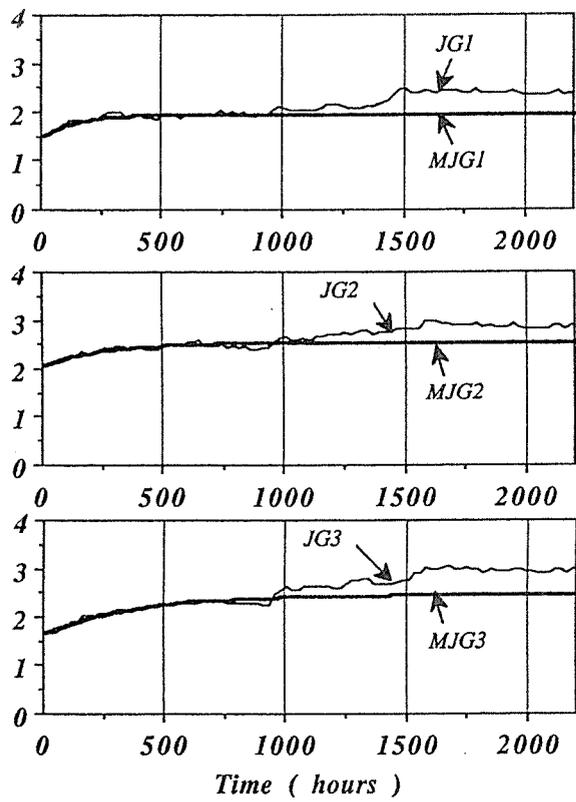


Relationship between mechano-sorptive deflection of nail-plate-jointed glulams (JG) and relative humidity

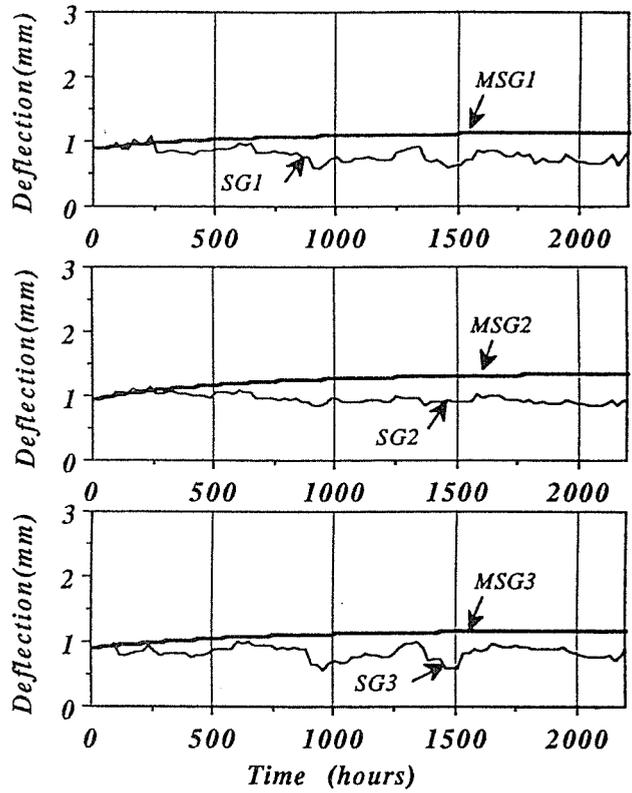


Relationship between mechano-sorptive deflection of solid glulams (SG) and relative humidity

Fig.2 湿度変動下での集成材(SG)、釘接合部 (JG)のクリープ変形

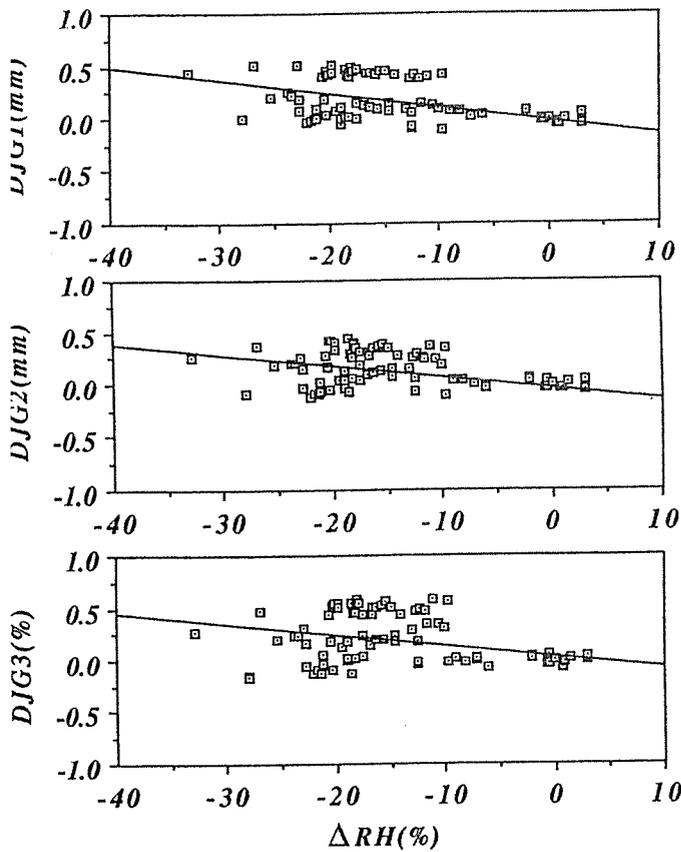


Plots of projected 3-parameter model equation (MJG) and experimental data (nail-plate-joint glulams: JG)

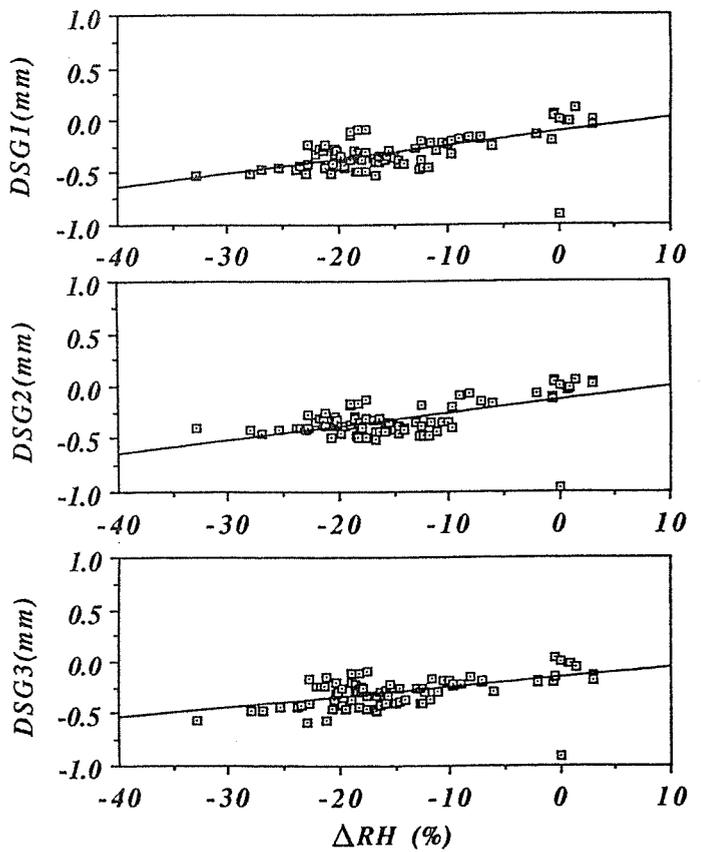


Plots of projected 3-parameter model equation (MSG) and experiment data (solid glulam: SG)

Fig.3 負荷後初期段階の指数式  $MSG, MJG = r_0 + r_1(1 - \exp(-Bt))$

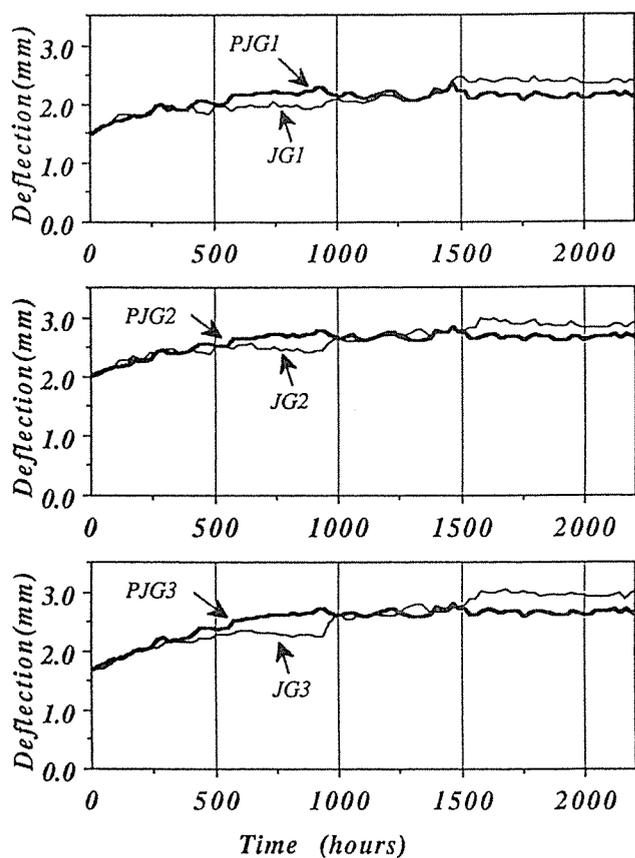


Regression fits of difference deflection (DJG) on difference humidity ( $\Delta RH$ )

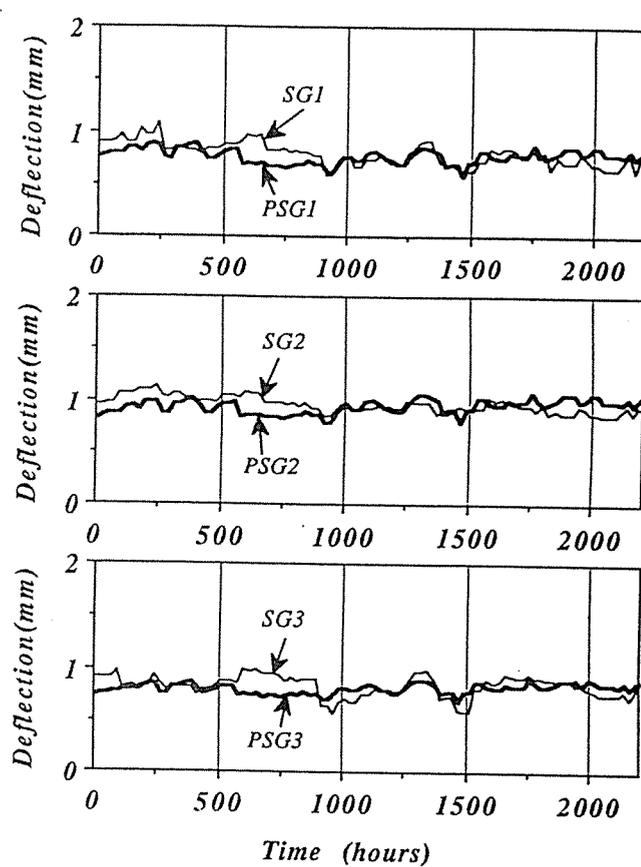


Regression fits of difference deflection (DSG) on difference humidity ( $\Delta RH$ )

Fig. 4 湿度変動と変形の直線回帰式  $f(\Delta RH)$



. Prediction curves of mechano-sorptive deflection using equaton(5) and those of experimental data (nail-plate-glulams: JG)



. Prediction curves of mechano-sorptive deflection using equation(5) and those of experimental data (solid glulams: SG)

Fig. 5 推定した湿度変動下での変形と実測の比較

$$PSG、PJG=r_0+r_1(1-\exp(-Bt))+f(\Delta RH)$$

# 7. 2プライ積層材の曲げ強度特性

## 7. 1 はじめに

現在のところ、我が国では一般的構造用材としての「たてつぎ木材」の利用が認められていない。これ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、たてつぎ材を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。

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「たてつぎ木材」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、筆者は2プライ積層材の実用化を図ることを目的として、一連の研究を行ってきた。前報<sup>1)</sup>では、機械等級区分されたスギラミナを用いて作成した2プライ積層材について引張試験を行ない、引張強度の平均値と5%下限値が単層のフィンガージョイント材のそれより大幅に向上することを明らかにした。またその強度分布は単純なシミュレーションモデルで予測可能であることも明らかにした。

本報では、前報と同様の試験体について曲げ試験を行ない、2プライ積層材の曲げ強度における積層効果を定量化することを試みた。ただし、エッジワイズ方向の曲げ強度に対する積層効果については、すでにMcAlister<sup>2)</sup>が非常に顕著であることを明らかにしているので、ここではフラットワイズ方向についてのみ実験を行った。

なお、本研究ではMORのみについて検討し、MOEについては検討しなかった。これは、水平積層された2プライ積層材のMOEについては顕著な積層効果が見られないことが過去の研究<sup>3)</sup>ですでに明らかにされていたためである。

## 7. 2 材料と実験方法

### 7. 2. 1 材料

人工乾燥された栃木県産スギラミナ(幅120、厚さ2.4、長さ300cm)を400本購入し、これを長さ150cmに切断して800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0.37であった。

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、製材の強度等級区分<sup>5)</sup>に準じて3種類に等級区分(E110:  $100 < MOE \leq 120$ 、E90:  $80 < MOE \leq 100$ 、E70:  $60 < MOE \leq 80 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{f/cm}^2$ )した。なお、この範囲に入らないラミナについては、試験体から除外した。次にこれらのラミナを同一等級内でランダムに6等分し、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)用の原材料とした。試験体の模式図をFig.1に示す。

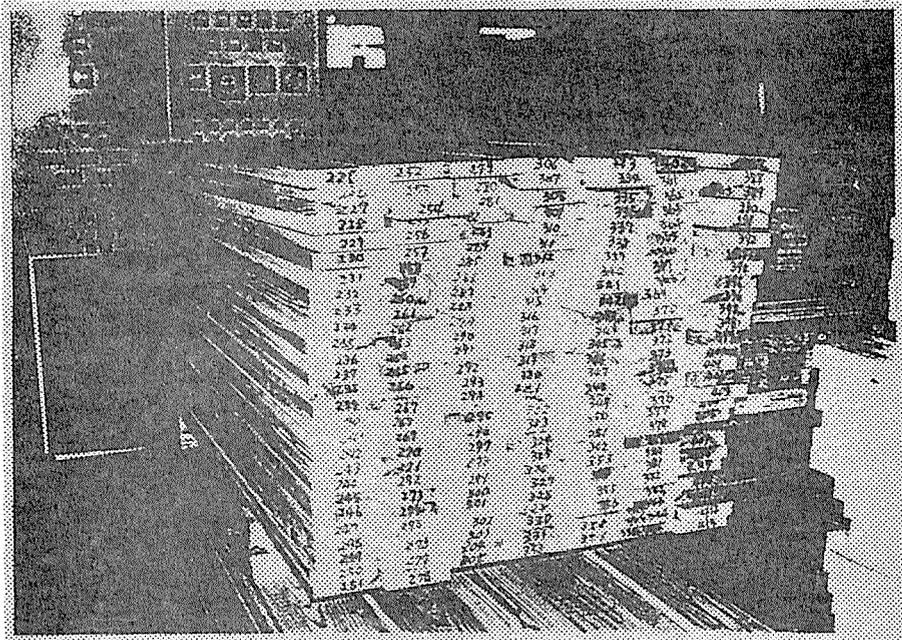


写真1. 原材料のスギ

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(写真2)、製材の強度等級区分<sup>5)</sup>に準じて3種類に等級区分(E110:  $100 < MOE \leq 120$ 、E90:  $80 < MOE \leq 100$ 、E70:  $60 < MOE \leq 80 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{f/cm}^2$ )した。なお、この範囲に入らないラミナについては、試験体から除外した。次にこれらのラミナを同一等級内でランダムに6等分し、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)用の原材料とした。試験体の模式図をFig.1に示す。

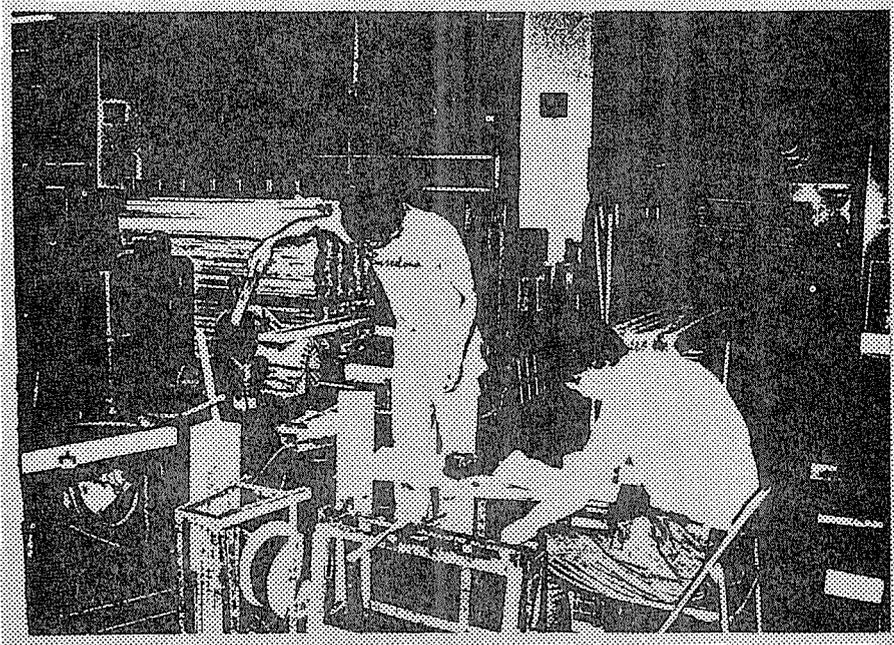


写真 2. MOE の測定

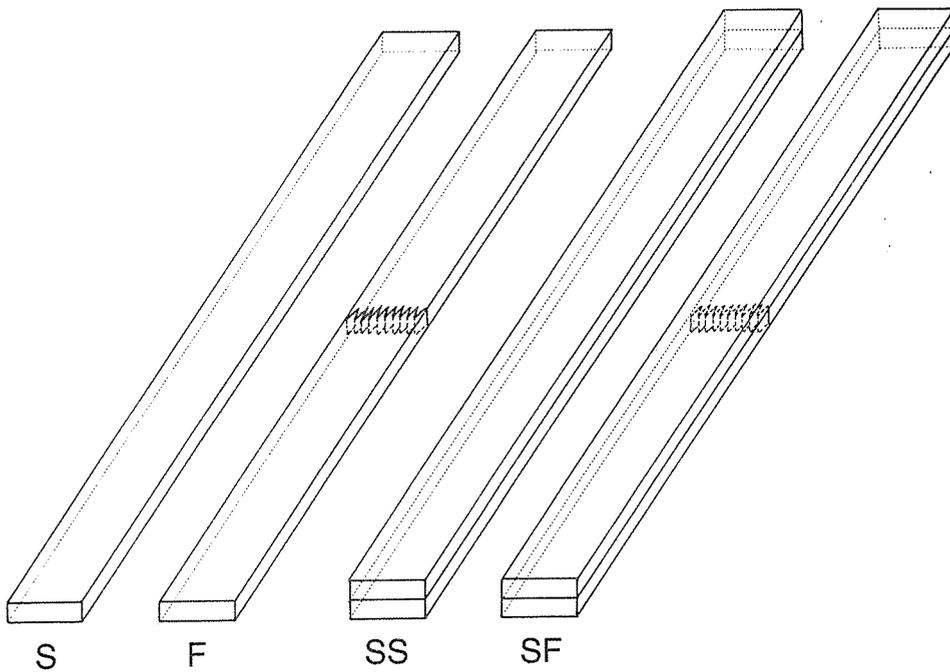


Fig.1 試験体の模式図

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、曲げ試験に供した。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曲げ試験に供した。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。

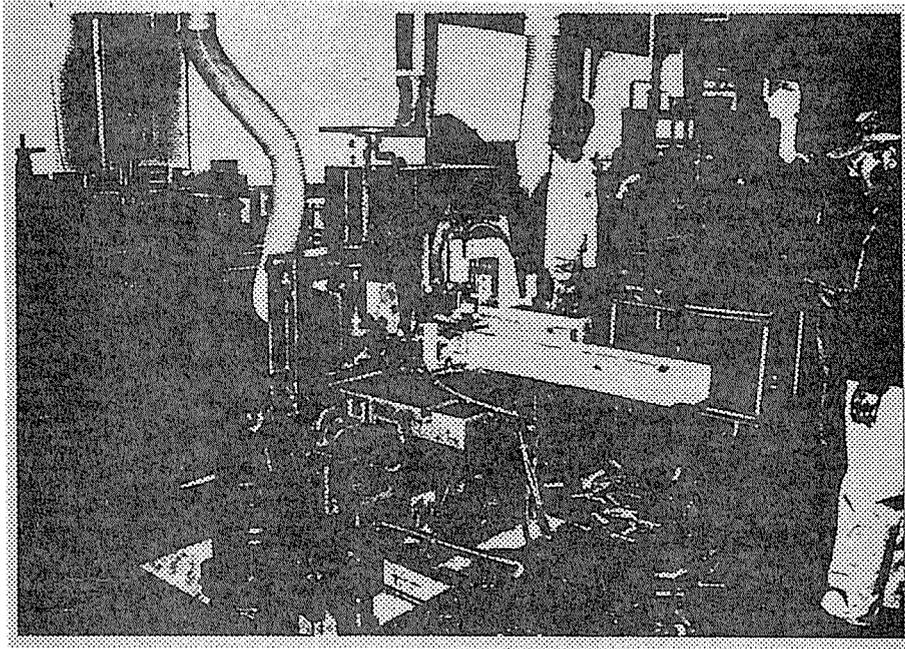


写真3. フィンガー加工

SSについては、同一等級内からランダムに取り出した2枚のラミナの木裏同士を接着し、木表が必ず表面に表れるようにした。SFについても、一方のラミナをたてつぎした後、SSと同様の方法で積層接着した。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。

フィンガーの形状および寸法をFig.2に示す。フィンガーカッタは前報<sup>1)</sup>や過去の実験<sup>6-8)</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。

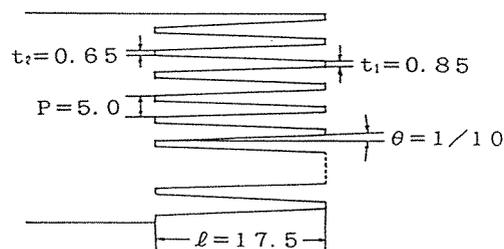


Fig.2 フィンガー形状

## 7. 2. 2 曲げ試験

4種類の試験体について、最大容量 $10 \times 10^3 \text{kgf}$ の万能試験機（3等分点荷重、スパン間隔135cm）を用いてフラットワイズ方向の曲げ試験を行ない、曲げ破壊係数（MOR）と曲げヤング係数（MOE）を求めた。

MOEについては、モーメント一定区間と全スパン間の2種類を求めたが、以下では、前者の値のみを用いることとする。

なお、SおよびF試験体をセットする際には、荷重点側（上側）に木裏が向くように統一した。また、破壊までに要した時間は3～4分であった。

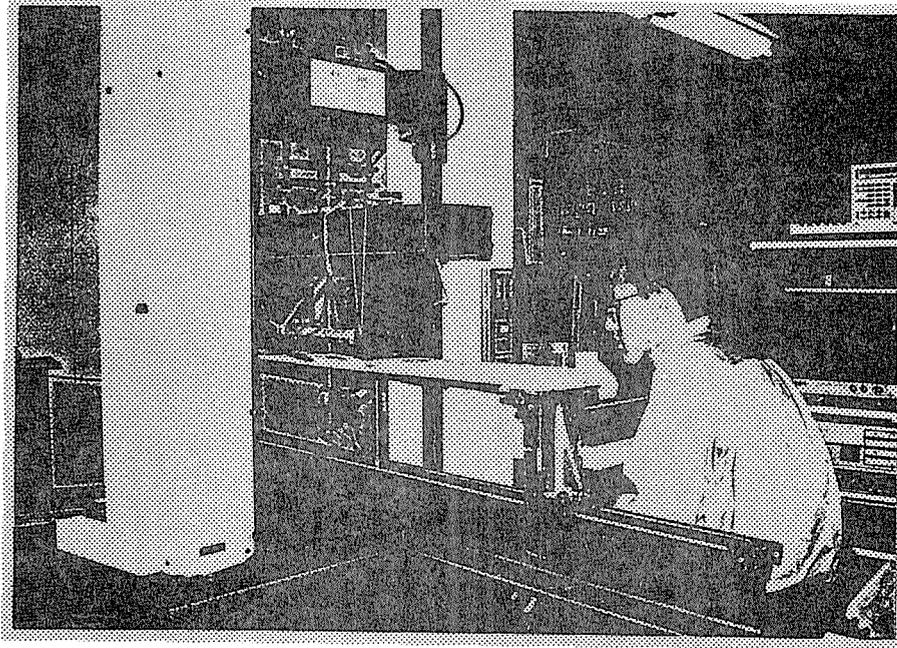


写真4. 曲げ試験機

## 7. 3 結果と考察

### 7. 3. 1 素材（S試験体）とたてつき木材（F試験体）

曲げ試験により得られたSおよびF試験体の曲げ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>9)</sup>、正規分布を仮定した時の5%下限値（5%NORM）<sup>9)</sup>をTable1に示す。表中でSやF等の記号に続く数字は、MOEで3種類に等級区分（E110： $100 < \text{MOE} \leq 120$ 、E90： $80 < \text{MOE} \leq 100$ 、E70： $60 < \text{MOE} \leq 80 \times 10^3 \text{kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ ）したときの等級を示している。なお、各強度データについて、その歪度と尖度から正規性を検定<sup>10)</sup>したところ、6種類中3種類で正規分布と見なせない（有意水準1%）という結果になった。これは、等級区分によって分布の両裾野がトランケイト<sup>3)</sup>されたためと思われる。

Table 1. S および F 試験体の曲げ試験結果

Specimens	Samples	Averages (kg f/cm <sup>2</sup> )	CVs (%)	5%NPEs (kg f/cm <sup>2</sup> )	5%NORMs (kg f/cm <sup>2</sup> )
S 1 1 0	16	627	17.3	448	434
S 9 0	48	534	13.7	414	380
S 7 0	49	451	17.3	323	313
F 1 1 0	18	561	10.8	461	438
F 9 0	46	464	11.1	379	382
F 7 0	37	388	16.3	284	281

Legend:

S: Solid lumber.

F: Finger-jointed lumber.

110,90,70 after S or F: Grade of lumber.

CV: Coefficient of variation.

5%NPE: Nonparametric 5%ile point estimate.

まず平均値の値に注目すると、当然のことではあるが、F 試験体の値が S 試験体のそれより低くなっていることが分かる。いわゆる接合効率（たてつき木材の強度の平均値／素材の強度の平均値）は 86～89% である。しかしながら、5% 下限の値の比較では F 1 1 0 のように F 試験体の方が S 試験体のそれを上回る場合も生じる。これは F 試験体では S 試験体より変動係数が減少しているためである。このことから明らかなように、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もある。したがって、強度分布を考慮せずに、接合効率の値だけでたてつき材の性能を判断するのは非常に不合理である。

破壊形態についてみると、S 試験体ではいずれの等級においても約半数が節を含んだ形で破壊を生じた。残りは目切れ部分からの破壊であった。この結果は、節と関連した破壊を生じるのがほとんどであった前報の引張試験結果と対照的であった。

一方、F 試験体では、フィンガージョイントを含んだ破壊が生じたものが 53%、節から破壊したものが 12%、目切れから破壊したものが 35% であった。

S 試験体の曲げ強度 (MOR) とヤング係数 (MOE) の相関図を Fig. 3 に、同様に F 試験体のそれを Fig. 4 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。

回帰直線式と相関係数 (r) は以下に示すとおりである。

S 試験体 :  $MOR = 4.491 \times MOE + 121.6$  :  $r = 0.8250$

F 試験体 :  $MOR = 3.995 \times MOE + 78.97$  :  $r = 0.7923$

相関係数の値からも明らかのように、両者とも非常に相関が高い。

Fig. 5 に集中節径比 (k) と MOR の相関図を示す。回帰直線式と相関係数は以下に示すとおりである。

$$MOR = -242.6 \times K + 619.6 : r = 0.4509$$

図からも明らかのように、両者の相関は低く、曲げ強度の予測に集中節径比のみを用いる方法は精度が低いことがわかる。

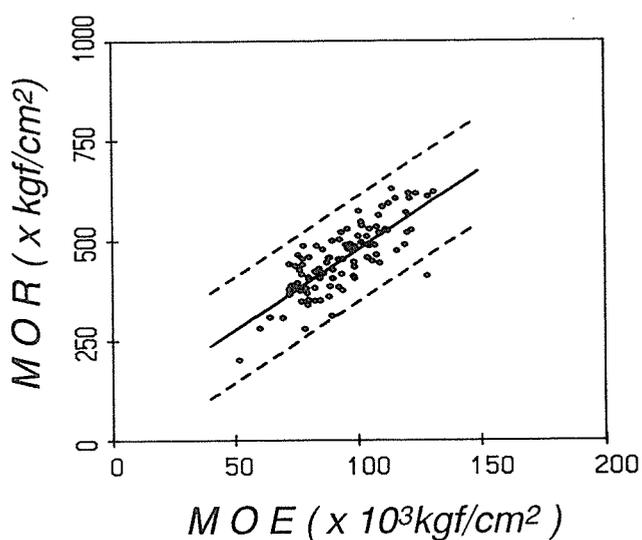
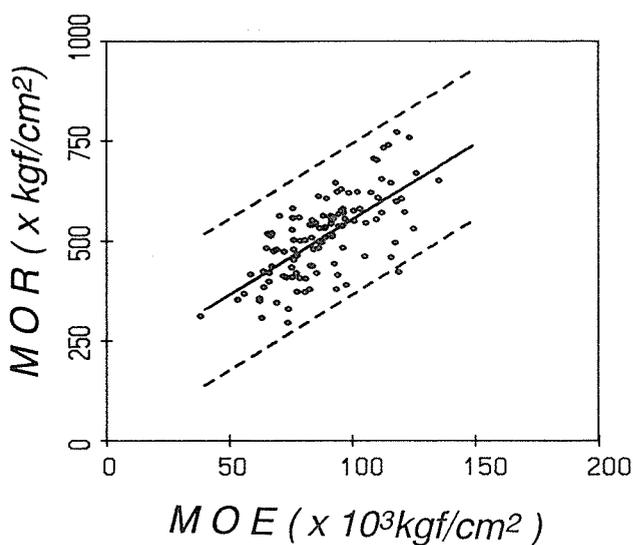


Fig. 3 S 試験体の MOE - MOR

Fig. 3 S 試験体の MOE - MOR

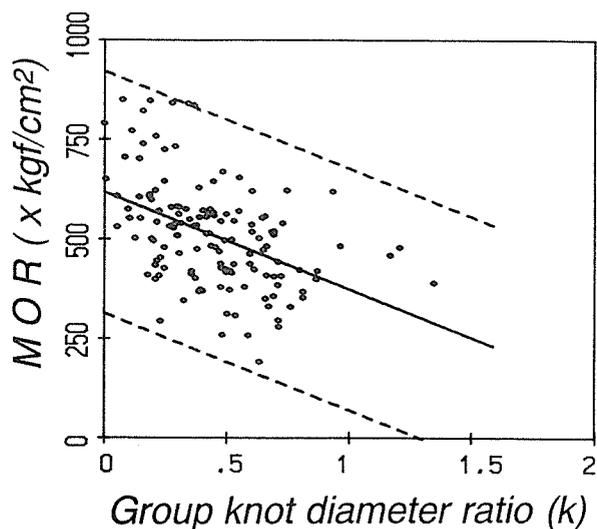


Fig. 5 集中節径比と MOR の相関

### 7. 3. 2 素材+素材 (SS 試験体) と素材+たてつき木材 (SF 試験体)

Table2にSSおよびSF試験体の試験結果を示す。SSやSFの後に続く数字は、ラミナの等級である。なお、SSの破壊形態はSのそれとほぼ等しく、約半数が節を含んだ形で破壊を生じ、残りは目切れ部分から破壊した。SFの破壊形態はFよりも若干フィンガージョイントで破壊する傾向が高くなっていたが、全体の傾向としてはFのそれとほぼ同様であった。

まず、SSとSFの各変動係数の値を見てみると、10.8~16.4%の値を示していることがわかる。この値はTable1に示された10.8~17.3%という値とほぼ同様である。このことは、積層しても強度のばらつきが低下しないことを意味している。このようにばらつきの減少が顕著でないという結果は、積層効果が顕著にあらわれた前報の引張強度の結果と全く対照的である。

Table 2. SSおよびSF試験体の曲げ試験結果

Specimens	Samples	Averages (kg f/cm <sup>2</sup> )	CVs (%)	5%NPEs (kg f/cm <sup>2</sup> )	5%NORMs (kg f/cm <sup>2</sup> )
SS110	20	686	10.8	563	543
SS90	44	566	16.0	417	421
SS70	35	458	16.4	335	337
SF110	18	568	12.3	453	438
SF90	52	471	13.8	364	376
SF70	48	379	15.7	281	294

Legend:

SS: Specimen composed of two solid lumbers.

SF: Specimen composed of solid lumber and finger-jointed lumber.

110,90,70 after S or F: Grade of lumber.

CV: Coefficient of variation.

5%NPE: Nonparametric 5%ile point estimate.

5%NORM: Lower 5% exclusion limit of the distribution assumed to be normal.

Fig. 6に、S、F、SS、SFの平均値、標準偏差および5% NORM値を  
 図示した。この図を用いて、同等級のSとSS、およびFとSFの値を比  
 較してみると、S110とSS110との場合を除いては、いずれの平均  
 値も5%下限値も、大差のないことが分かる。特にSFではFの値との差  
 がほとんど見られない。すなわち、SFの強度分布特性はFのそれとほと  
 んど同一である。念のために、正規分布を仮定した一元分散分析および分  
 布を仮定しないノンパラメトリックな順位和検定<sup>1)</sup>を行ったところ、SS  
 110を除いて、1プライと2プライとで有意な差が生じなかった。

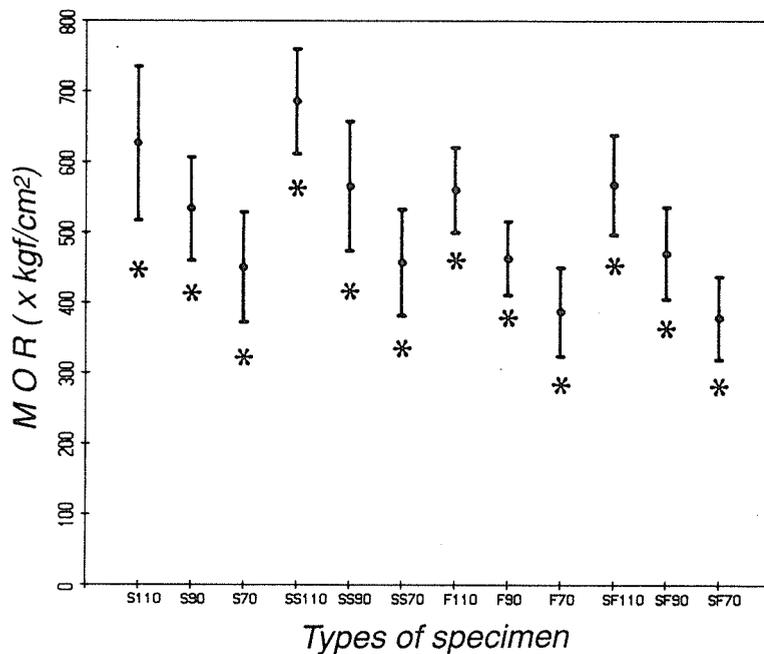


Fig. 6 試験結果の一覧 (平均値±標準偏差、  
 \* : 5% 下限値)

SS110で有意な差が生じたのは、MOEが高い材ほど木裏側に節が  
 偏在しやすく、木裏同士が接着されることによって節等の欠点が材の内部  
 に隠されてしまったためではないかと考えられる。

いずれにしても、2プライ積層材を水平積層タイプとして曲げ部材に用  
 いる場合には、ほとんど信頼性向上の効果がないことが、以上の結果から  
 明らかになった。この結果と McAlister<sup>2)</sup>の試験結果から考えると、2プ  
 ライ積層材は曲げ部材として用いる場合には、垂直積層タイプとするのが  
 合理的であるといえよう。

ただし、垂直積層タイプの方が合理的であるとはいうものの、その積層  
 効果は定量化されているわけではない。したがって、積層効果の定量化と

強度分布予測のためのシミュレーションモデルの開発が、2プライ積層材の実用化における今後の課題となるであろう。

#### 7.4 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フラットワイズ方向の曲げ試験を行ない、曲げ強度の分布に及ぼす積層の影響を実験的に検討した。

その結果、フラットワイズ方向の曲げでは、エッジワイズ方向の曲げや引張で見られるような積層効果が顕著には現れないこと、また、フィンガージョイントを有する2プライ積層材の曲げ強度の平均値と5%下限値は、単一のフィンガージョイント材のそれと同じであることなどが明らかになった。

#### 文 献

- 1) 林 知行：木材学会誌，38(11)，p.1026-1034 (1992).
- 2) McAlister, R.H.:Forest Prod. J., 24(8), p.39-43 (1974).
- 3) 林 知行：木材学会誌，35(11)，p.1048-1057 (1989).
- 4) 祖父江信夫：同上，42(9)，p.21-23 (1987).
- 5) 日本農林規格：“針葉樹の構造用製材の日本農林規格並びに解説”，全国木材協同組合連合会，1991，p.32.
- 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.247-255 (1992).
- 8) 星 通，林 知行：木材工業，投稿中
- 9) 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.
- 10) 東京大学教養学部統計学教室：“自然科学の統計学”，東京大学出版会 1992，p.233.
- 11) 統計数値表編集委員会編：“簡易統計数値表”，日本規格協会、1988，p.76.