

平成元年度農林水産省補助事業  
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

## 複合梁開発

平成2年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

## 複合はり分科会の委員構成（平成元年度）

	氏 名	所 属
委員長	平嶋 義彦	静岡大学農学部森林資源科学科助教授
委員	上西 秀夫	東京工芸大学工学部建築学科教授
〃	徳田 迪夫	三重大学生物資源学部森林資源学科教授
〃	丸山 則義	静岡大学農学部森林資源科学科
〃	宮沢 健二	工学院大学工学部建築学科講師
〃	佐藤 雅俊	建築研究所第二研究部有機材料研究室主任研究員
〃	井上 明生	森林総合研究所木材化工部接着研究室
〃	川元 紀雄	森林総合研究所木材利用部接合研究室
〃	藤井 良隆	三井ホーム（株）技術開発研究センター次長
〃	宮林 正幸	三井木材工業（株）システム建築室長
協力委員	春川 真一	林野庁林産課住宅木材技術専門官
事務局	倉田 久敬	（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

# 目次

はじめに	-----	1
1. 接着重ね梁のクリープ試験	-----	2
1.1 はじめに	-----	2
1.2 試験体	-----	2
1.3 試験方法	-----	3
1.4 試験結果と考察	-----	4
2. 張弦ばりの曲げ実験	-----	16
2.1 はじめに	-----	16
2.2 試験体の設計	-----	16
2.3 試験に供した張弦梁	-----	18
2.4 実験方法	-----	22
2.5 実験結果と考察	-----	25
2.6 おわりに	-----	60
3. 張弦梁の製作とケーススタディ：登り梁	-----	61
3.1 ケース1：ジベルを用いた重ね梁使用	-----	62
3.2 ケース2：接着重ね梁使用	-----	65
3.3 ケース3：丸太使用（20cmφ）	-----	66
3.4 ケース4：丸太使用（10cmφ）	-----	67
3.5 ケース5：丸太使用の傾斜の影響（10cmφ）	-----	68
3.6 ケース6：丸太使用の等分布荷重（10cmφ）	-----	69
3.7 ケース7：集中荷重が束の上にこない場合（10φ丸太）	---	70
3.8 ケース8：等分布荷重が束の上にこない場合（10φ丸太）	---	71
4. ポリウレタン接着剤の耐久性	-----	72
4.1 はじめに	-----	72
4.2 試験方法	-----	72
4.3 結果及び考察	-----	73
4.4 まとめ	-----	74

## はじめに

わが国の森林資源は、戦後造林された人工林が多いところから、今後数年後には量的に飛躍的な上昇をし、木材需要の過半を賄いうる状況、いわゆる国産材時代を迎えようとしている。

しかし、日本の山林から供給されるであろう国産材が、木材工業や建築等の分野の需要に応えゆくには、いくつかのハードルがあり、何が問題なのか？これは大きなテーマであり、日本の林業を考える場合の1つのキーワードとなろう。特に最近では、日米協議のアメリカ側の要求もあり、集成材やLVL等が海外（北米）でJAS認定工場が出現しており、競争はますます激しさを増してきている。

わが国のこの数年の住宅着工量は、順調な経済成長に支えられて150万戸を越える勢いにあるが、にもかかわらず木造率は年々漸減傾向にある。その理由はいくつかあり、はっきりと指摘できないが、その中の一つとして、現代の情報化社会の要求についていくだけの情報量を持っていなかったといえないだろうか。その情報とは、たとえば木造住宅に使用する建築部材の性能に関する問題も含まれるであろう。

今後、ますますユーザーの要求は、多用化、高度化していき、きめ細かい対応が必要であろう。

このようなユーザーの要求に対応するため本委員会では、木質系の横架材で高性能で且つ、経済性のある梁材の技術的な開発を実施してきたが、大きな住空間に使用できる梁材として接着重ね梁や張弦梁の開発を試みている。

今後、わが国の山から供給される木材は、スギ、カラマツが大きなウェイトを占め、断面の大きなものは今後も望めない。従来、柱材として利用されていた国産材も、最近では供給過剰気味である。また、山の問題として俗に云うスギ並材の問題もある。

一方、梁材に使用するような大きな断面の材は、資源の枯渇により不足気味であり、価格も高価なものとなっている。このような、両者の要求に応えられる技術開発として、柱材を用いた梁材の開発として接着重ね梁を、また接着重ね梁のより有効な利用と10mを越えるような梁材の開発として張弦梁の開発を試みてきた。

本プロジェクトは、このように出来るだけ低コストで、なおかつ所要の性能をもつ梁材を製造する技術を確立することを目的としている。

このように、従来の柱製材品によって大スパンを架け渡す梁を製造できれば、将来の国産材の供給状況や木造住宅に要求される大空間といった問題に対する一つの解答となり得るであろう。

そこで本年度は、この可能性を現実のものとするべく、残された問題を洗いだし、それを具体的に解決して行くこととなった。

検討すべき問題は

- ① 接着重ね梁の含水率変動下での曲げクリープ性能
- ② 張弦梁の曲げ強度試験
- ③ ポリウレタン接着剤の耐久性以上の三点である。

# 1. 接着重ね梁のクリープ試験

## 1. 1 はじめに

昨年度までの、クリープ実験により含水率の高い生材を接着接合した重ね梁はクリープに対して、かなり大きなクリープたわみを生ずることが確認された。そこで、今年度は、重ね梁に用いるスギ材の含水率を製造段階より調整を行い、スギ材の初期設定値が含水率が15%、20%、25%となるよう人工乾燥を行い、含水率によるクリープたわみに対する影響を確認することを目的として実験計画を作成した。実験は、場所と地域の問題を考慮して、東京（(財)日本住宅・木材技術センター）と三重（三重大学）行うこととした。

## 1. 2 試験体

### 1) スギ材の含水率

スギ材（105mm正角）の人工乾燥は、新木場の細田木材にお願いして、高周波型の含水率計であるケット（株）のモコ2により、スギ材の含水率を管理し、含水率が15、20、25%に調整されたスギ材をそれぞれ10本ずつ納入した。納入されたスギ材の含水率測定結果を表1-1、1-2に示す。含水率は、スギ正角材の1本について12箇所の含水率をケット社の高周波型（モコ2）と針打ち込み型（ターク）により測定した。含水率の測定箇所は、1面3箇所（片側から113cm、185cm、257cm）の4面で、クリープ試験時にも測定可能な位置とした。また、同時にヤング係数と重量を測定した。なお、針打ち込み型は、含水率が35%までしか測定できない。以上より明らかになった点は、次のとおりである。

- ① 高周波型は、針打ち込み型より高い含水率を示す。その比率はおおよそ1.5～1.7倍程度である。
  - ② 赤味（芯）部分は、白太（辺）部分に比べて高い含水率を示した。
  - ③ 重量が重いのも含水率が高い傾向を示す。
- 以上に結果より、ここでは、針打ち込み型および高周波型の両方の含水率をにらみながら初期設定含水率15%では、No.41、42、45、46、48、50を、20%ではNo.6、7、19、26、51、55を、25%ではNo.52、54、56、58、62、64の材を選定した。

### 2) 重ね梁の製造

上記で、選定されたスギ材は接着面にプレーナを掛けた後、ヤング係数を考慮しながら、ポリウレタン系の一液型接着剤を用いて、「接着重ね梁の製作に関する手引書（案）」に準じて、3段の重ね梁を製造した。1週間の養生を行った後、クリープ試験に供した。なお、製造された重ね梁の端部より全乾法及び重量測定に使用する試験体を採取した。

### 3) 重ね梁の含水率

接着重ね梁の端部より採取した材料を用いて、重ね梁の含水率を全乾法により測定した結果が表1-3である。

これらを、高周波式の含水率と比較してみると、平均値でみる限りある程度指標になるような数値を示している。そこで、今後の含水率測定には、高周波式による測定と重量測定により、重ね梁の含水率を測定していくこととした。

表1-3 重ね梁製作時の含水率

重ね梁の 供試体No.	初期設定含 水率(%)	全乾法による含水率(%)			高周波式水分計(%)	
		全体	外表面	内部	水分測定用	重ね梁
151 152	15	18.4 19.0	16.6	18.8	n=6 15.8	n=18 19.3
201 202	20	34.8 22.0	27.3	39.4	27.8	29.5
251 252	25	29.2 38.6	23.8 28.0	32.0 45.1	25.5 27.4	29.4 31.9

注1) 全乾法の全体は2個の平均値、外表面は重ね梁の外側1.5~2cm程度。内部はその残り部。

注2) 高周波式の含水率は、水分測定用は長さ30cmで全乾法のすぐ隣で、n=6の平均値、重ね梁は、スギ正角材の測定位置と同じでn=18の平均値。

#### 1.3 試験方法

試験方法を図1-1に示す。曲げクリープ試験はスパンを360cmとし、載荷は、5等分点4点荷重方式とし、積載荷重は合計で1260kgfである。積載に用いたのは、32φ(6.3kg/m)の鋼棒で、荷重は釣り下げ式とし、2支点到同時載荷とした。

想定した載荷荷重条件は、床梁であり、荷重は以下のとおりである。

固定荷重 65 kg/m<sup>2</sup>

積載荷重 130 kg/m<sup>2</sup>

合計 195 kg/m<sup>2</sup>

195 kg/m<sup>2</sup> × 1.8 m (負担幅) × 3.6 m (スパン) = 1264 kgである。

変位の測定は、スパン中央1点としダイヤルゲージを用いた。なお、試験体は、倉庫に設置しているため温湿度はコントロールされていない。

## 1. 4 試験結果と考察

### 1) クリープたわみ

試験は、継続中であるが載荷後、100～120日程度の全クリープたわみ曲線を図1-2～1-4に示す。図中の点線は重量測定より算出した含水率である。表1-4に初期（瞬間）たわみに対する100日目のクリープたわみの比率を示す。傾向として、比率が0.8～0.9のものが含水率が高く、0.7台のものが含水率が比較的低い。No.151は含水率が低いのに0.89であり、No.201は、含水率が高いのに比率は0.742である。

また、建築学会の木構造設計基準では、梁の所要剛性として1/300または2cm以内と定められているが、これらより本実験の梁のたわみを検討するとNo.251、252は既に100日目で1/300を越えており、建築用の梁としては問題となろう。また、最も変位の少ないNo.202でも1/383であり、工業化住宅などで想定している梁の所要剛性1/500～1/700を既に超過している。（注：この実験では載荷荷重として195 kg/m<sup>2</sup>を裁可しているが、この荷重は、載荷荷重として多少多いようにも考えられる。）

表1-4 初期たわみに対する100日目のクリープたわみの比率

供試体No.	全乾法の初期含水率	初期たわみ $\delta_0$ (mm)	100日たわみ $\delta_{100}$ (mm)	比率 $\delta_{100} / \delta_0$
151	18.4	5.10	4.54	0.890
152	19.0	6.00	4.66	0.777
201	34.8	5.97	4.43	0.742
202	22.0	5.42	3.98	0.734
251	29.2	7.06	5.88	0.833
252	38.6	6.80	6.12	0.901

注)  $\delta_0$ : 初期（瞬間）たわみ  $\delta_{100}$ : 100日目のクリープたわみ

### 2) クリープ曲線の実験式への適合

木質材料のクリープ曲線の実験式は、 $t^N$ 則や $\log t$ 則で近似されるが、長時間に対しては、 $t^N$ 則の適合性が一般に良いといわれている。

すなわち、クリープたわみ $\delta_c(t)$ は、 $t^N$ 則により

$$\delta_c(t) = A \cdot t^N \dots\dots\dots (1)$$

A、Nは常数

のように表せる。

また、時間tに対する変位を $\delta(t)$ とすれば、

$$\delta(t) = \delta_0 + \delta_c(t) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$\delta_0$ : 瞬間たわみ

$\delta_c(t)$ : クリープたわみ

と表せる。

(1)(2)式より、

$$\delta(t) = \delta_0 + A \cdot t^N \quad \dots\dots\dots(3)$$

となる。

これらを相対クリープで表示すれば

$$\delta(t) / \delta_0 = 1 + A / \delta_0 \cdot t^N \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。これらより算定した実験常数を表 1 - 5 に示す。

表 1 - 5 クリープ特性

供試体 No.	初期含水率 (%)	A	N	$\delta_0$ (mm)	$\delta_{10}$ (mm)	$\delta_{10} / \delta_0$
151	18.4	0.1207	0.4707	5.10	25.59	5.02
152	19.0	0.0598	0.5376	6.00	27.15	4.52
201	34.8	0.0740	0.4974	5.97	21.26	3.56
202	22.0	0.2636	0.3387	5.42	12.44	2.30
251	29.2	0.0246	0.6981	7.06	69.39	9.83
252	38.6	0.0252	0.6865	6.80	62.29	9.16

注)  $\delta_0$ : 瞬間たわみ  $\delta_{10}$ : 10年後の全たわみ

クリープ実験は、まだ継続中であるが、100~120日の載荷結果より10年後のクリープたわみを推定したのが、表 1 - 5 であり、瞬間たわみに対する比率は、初期含水率が比較的低いものは 2.3 ~ 5 倍程度であるのに対して、含水率の高いものは 9 倍を越え、実用上も問題があると思われる。これまでの、乾燥した材料を用いたボックスビームなどのデータと比較すると、10年度では 2 ~ 2.5 倍程度であり、その程度に納まるのが望ましく、4、5 倍というのも問題となろう。

また、No. 151 は含水率が低い割にはクリープたわみが大きい、3 段重ねの最下段のスギ材は、心材部の赤身が多く高周波型水分計での測定でも 20% 前後の含水率を表示し、これらが影響している可能性もある。

また、梁の所要剛性から検討すると、1/300=12mm であり、これらを満足できるのは、No. 202 だけであり、このことから 10 年後のクリープたわみの増加比率は、大きくても 2.5 倍程度に納める必要があろう。



### 3) Mechano-sorptive 変形

木材や木質材料が、外力を受けているときに生じる変形を時間の面から区分すると次の3つ要素に分けられる。

- ① 弾性変形 - 外力の除去により変形が回復する。
- ② 粘弾性変形 - いわゆるクリープ変形 - 外力の除去により時間にともない変形が回復するが、1部は永久変形として残る。
- ③ Mechano-sorptive 変形または水分の非定常状態の変形 - 応力が作用しているときに水分変動があると発生する変形であり、この変形は、応力を除去しても、外周温度が一定に保たれていると回復がきわめて少ない。  
すなわち、今回の実験に供した中でも含水率の高い重ね梁は、上記の③に示す水分変動に伴う変形、すなわち、Mechano-sorptive 変形を生じていると考えられ、時間の経過と共に徐々にではあるがたわみは減少傾向を見せている。

### 4) まとめ

上記の2)において、 $t^N$ 則による実験式への適合を試みた結果、含水率の高い重ね梁は、10年後のたわみ増加が初期たわみの9倍にも増加することが確認できたが、実験式の適合に用いたクリープたわみの中には、水分変動に伴うMechano-sorptive 変形を含んでおり、これらを含んだクリープたわみより10年後のクリープ変形を推定することは問題であり、Mechano-sorptive 変形を含まないクリープ変形より実験式の適合を行うべきであろう。また、現実の問題として、含水率の高い材料を用いた場合には、Mechano-sorptive 変形を生じて、大変形となるわけで、これらは実用上どの程度であれば、問題にならないか確認する必要がある。  
すなわち、木材の含水率とMechano-sorptive 変形の関係、Mechano-sorptive 変形は、木材の含水率がどの程度になれば停止するのか等を確認する必要がある。

表1-1 人工乾燥したスギ正角材の含水率

供試体番号 スギ正角材 (105mm)	針打ち込み式水分計による含水率(ターク)(%)				高周波式水分計による含水率(ε12)(%)				曲げヤ ング係 数(kgf /cm <sup>2</sup> )	重量 (kg/本 )		
	平均値	S. D.	C. V.	最大値	最小値	平均値	S. D.	C. V.			最大値	最小値
初期含水率	13.4	1.38	10.3	16.5	11.5	23.6	2.38	10.1	27.5	20.0	83200	22.6
1	14.6	1.25	8.6	17.8	13.0	21.8	4.39	20.1	29.0	17.0	63700	18.0
2	18.3	0.94	5.1	19.6	13.0	26.8	6.37	23.8	38.0	16.0	69800	20.3
3	15.6	1.74	11.1	18.9	13.5	26.8	2.88	10.7	30.5	23.0	67700	20.7
4	15.6	0.91	5.8	17.2	14.7	21.7	3.58	16.5	28.5	17.5	49500	17.0
5	17.1	2.14	12.5	20.8	14.3	20.0	2.78	13.9	25.5	16.0	62300	18.7
6	17.6	3.65	20.7	28.8	15.2	28.3	7.47	26.4	49.0	21.5	65900	21.3
7	15.0	1.39	9.3	16.9	12.2	19.8	1.21	6.1	21.0	17.5	76700	17.0
8	14.2	0.76	5.4	15.6	12.9	24.2	2.46	10.2	29.5	21.0	87200	21.8
9	13.7	1.05	7.7	15.3	11.8	20.4	2.85	14.0	26.0	17.0	62000	20.0
10	21.8	3.37	15.5	26.0	15.2	37.8	4.33	11.5	46.0	29.0	71800	26.3
11	15.9	3.06	19.2	20.2	12.2	26.9	3.91	14.5	30.5	20.5	78300	22.6
12	20.3	2.43	12.0	25.1	17.8	37.0	6.09	16.5	50.0	30.5	67700	24.0
13	18.0	2.00	11.1	22.6	15.5	31.4	5.43	17.3	45.0	24.5	68500	20.0
14	21.3	2.09	9.8	25.8	18.2	34.6	4.94	14.3	43.5	28.0	70900	27.0
15	22.7	3.60	15.9	29.1	17.7	36.0	4.46	12.4	44.5	30.0	67900	24.7
16	19.7	2.50	12.7	25.5	16.8	30.7	4.38	14.3	40.0	24.0	59400	22.0
17	24.3	5.14	21.2	32.6	17.1	36.6	5.71	15.6	42.0	29.0	86600	23.2
18	22.2	3.26	14.7	26.0	17.3	38.8	5.60	14.4	50.5	29.5	65600	26.2
19	18.7	2.74	14.7	21.7	14.0	35.4	9.62	27.2	52.0	24.0	76500	27.1

注1: 打ち込み式で、35%を越えたものは個数に加えていない。

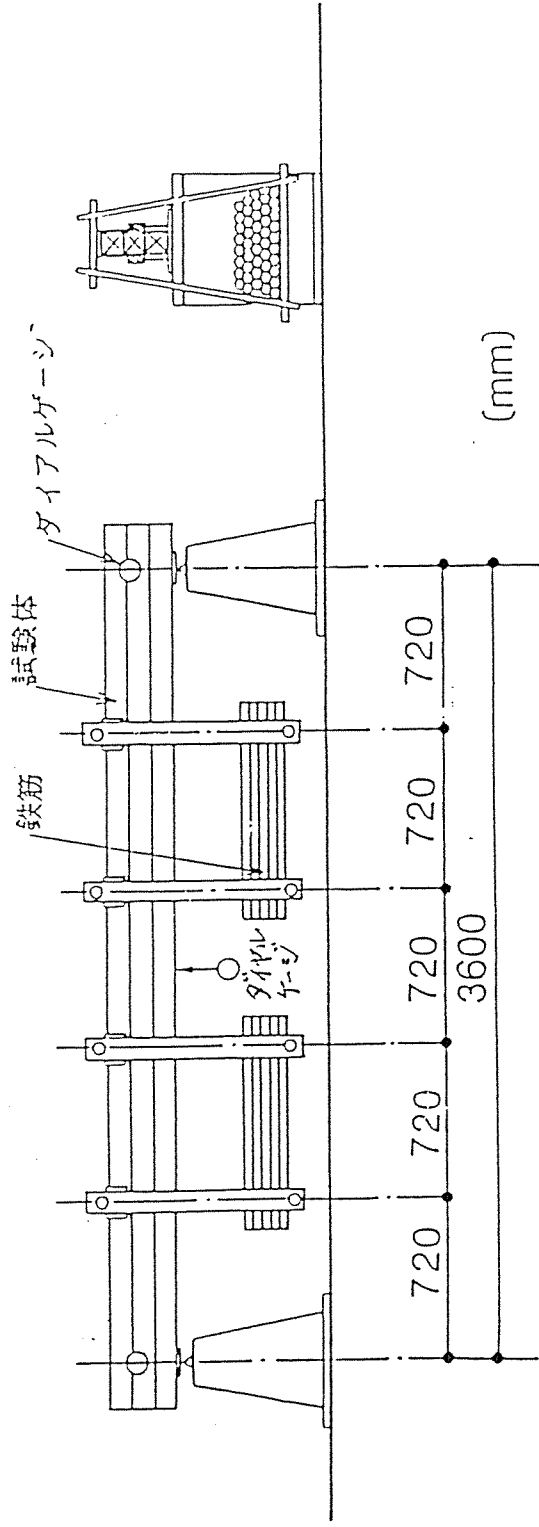
注2: 網掛けは、重ね梁に用いた正角材。

表 1-2 人工乾燥したスギ正角材の含水率（続き）

供試体番号 スギ正角材 (105mm)	針打ち込み式水分計による含水率(ターク)(%)					高周波式水分計による含水率(ET2)(%)					曲げヤ ング係 数(kgf /cm <sup>2</sup> )	重量 (kg/本 )
	平均値	S. D.	C. V.	最大値	最小値	平均値	S. D.	C. V.	最大値	最小値		
初期含水率						29.7	4.68	15.8	40.0	22.5	66100	23.2
25%						41.8	4.94	11.8	50.5	33.0	53500	25.0
を想定						38.4	9.62	25.1	54.5	25.5	62900	25.8
						42.1	10.8	25.7	57.5	23.0	60900	23.5
						31.9	4.12	12.9	39.0	25.0	67300	24.6
						41.2	9.76	23.7	54.0	27.5	61200	23.1
						47.1	19.3	41.0	85.0	29.0	75900	27.7
						50.8	9.51	18.7	63.0	34.5	61300	25.6
						44.0	15.1	34.4	79.5	25.5	61900	27.9
						37.5	7.09	18.9	49.5	31.0	63400	
生材						54.2	13.7	25.3	82.5	40.5	71200	32.1
						40.2	6.49	16.1	51.5	32.0	67700	24.2
						37.8	6.39	16.9	49.0	29.5	74200	25.3
						44.0	9.16	20.8	58.0	34.0	73600	25.5
						56.0	8.08	14.4	73.5	45.0	85000	31.5

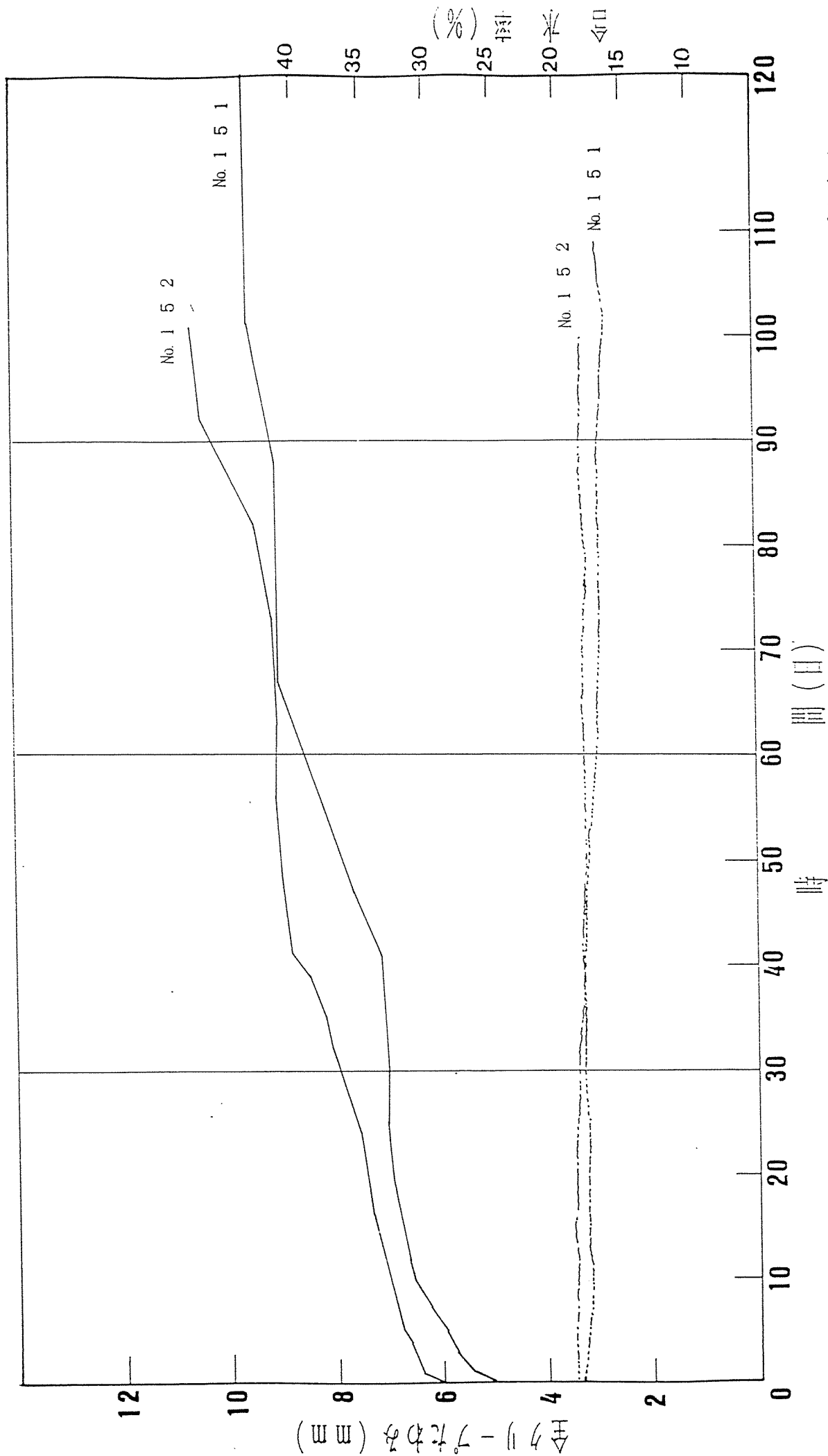
注1：打ち込み式では、35%を越えるものが多いので、数値は示していない。

注2：網掛けは、重ね梁に用いた正角材。



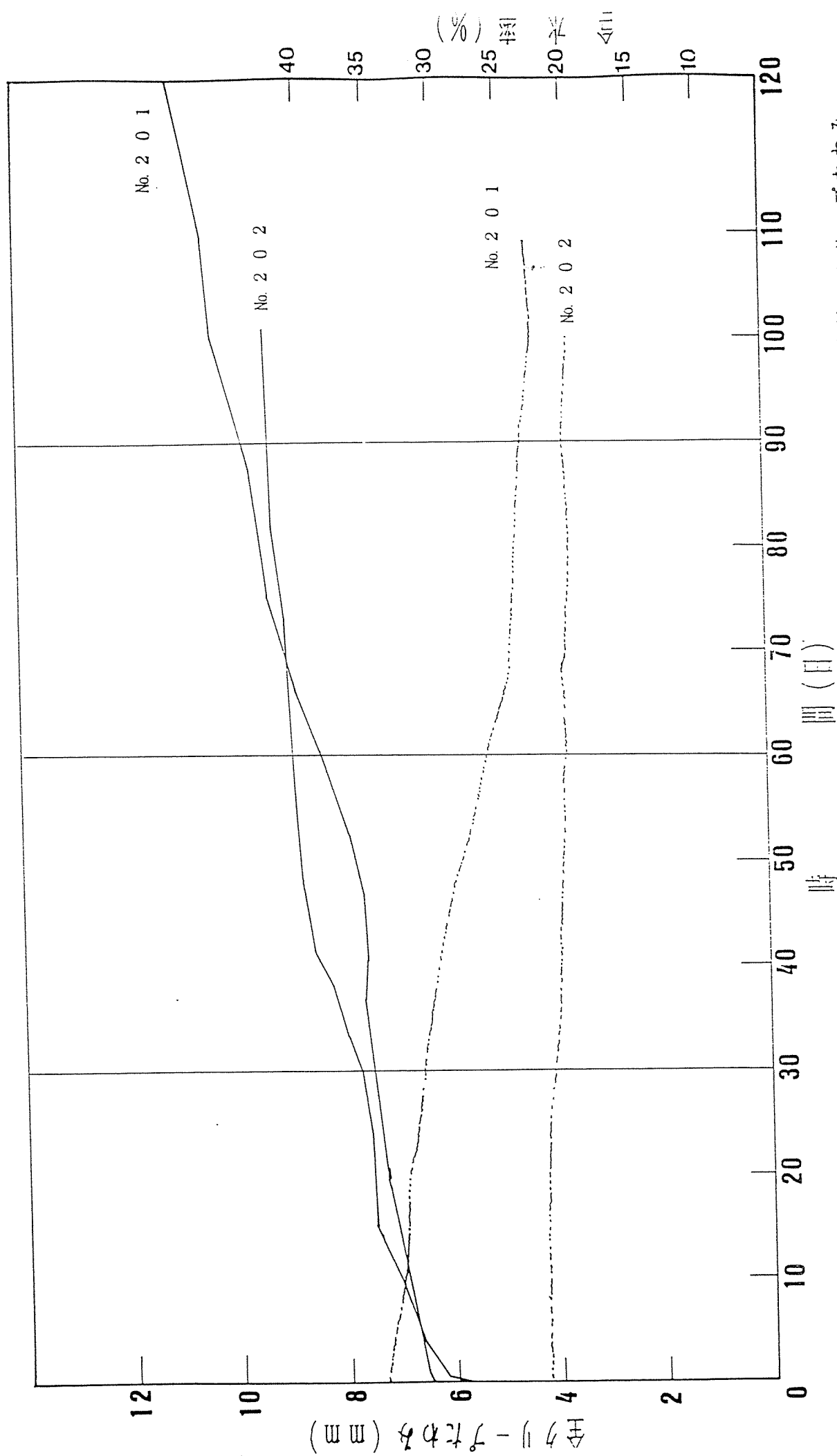
曲げクリーブ試験

図 1-1



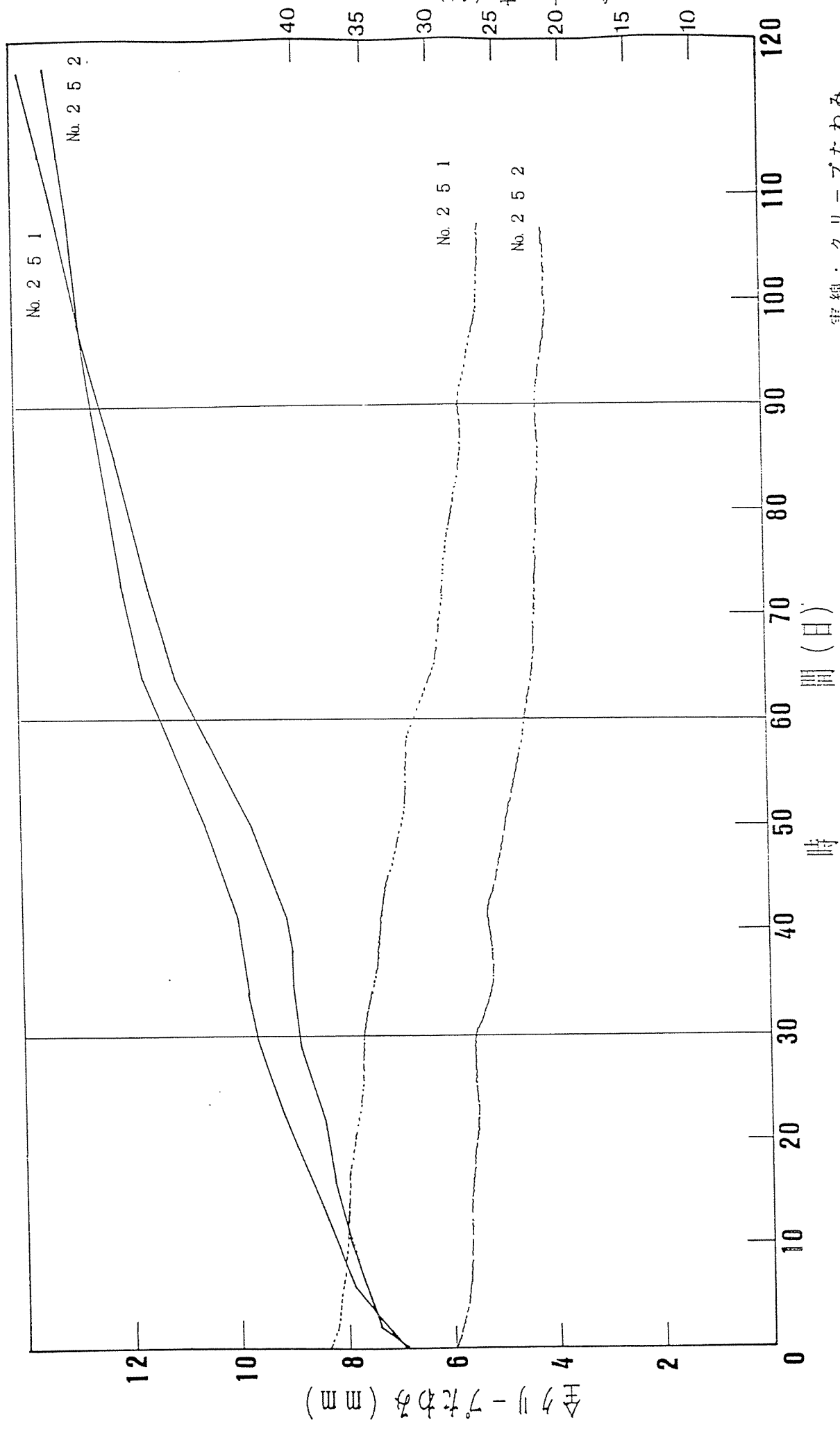
実線：クリープたわみ  
 点線：含水率（重量測定）

図1-2 クリープ試験結果（含水率15%設定）



実線：クリープたわみ  
 点線：含水率（重量測定）

図1-3 クリープ試験結果（含水率20%設定）

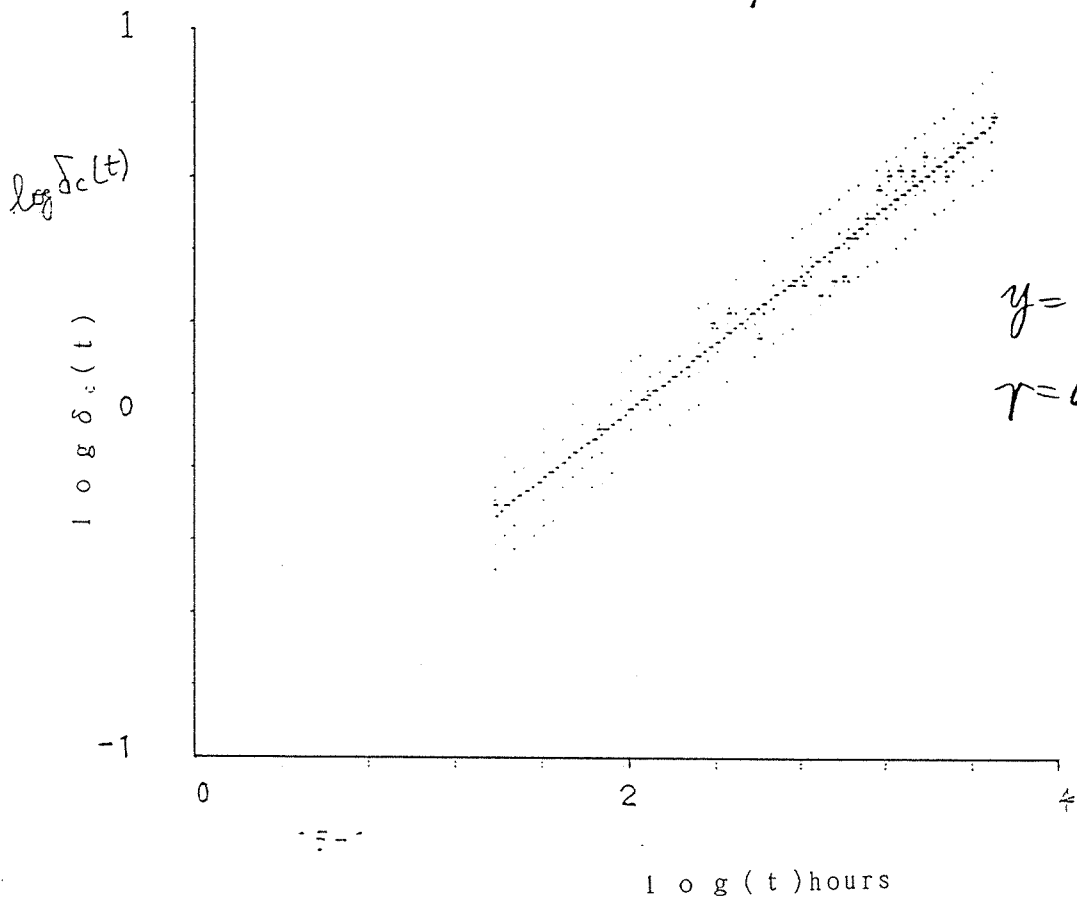


実線：クリープたわみ  
 点線：含水率（重量測定）

図1-4 クリープ試験結果（含水率25%設定）

N = 21

15-1



15-2

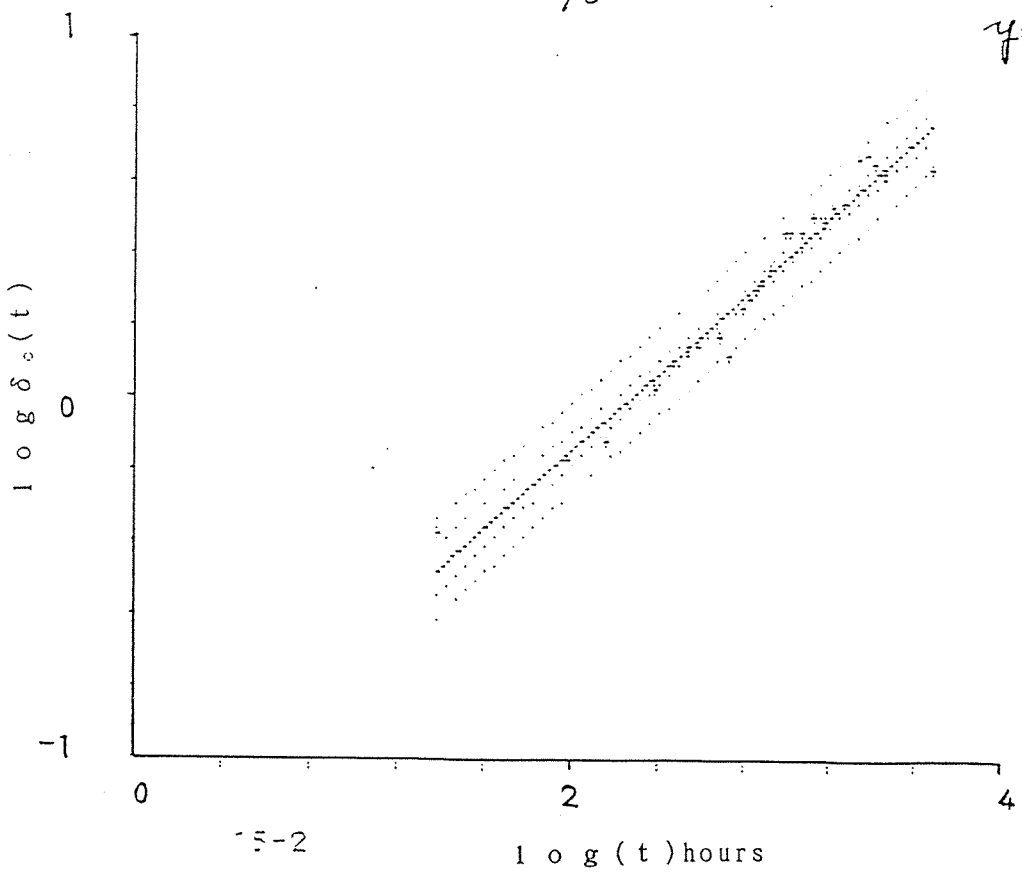
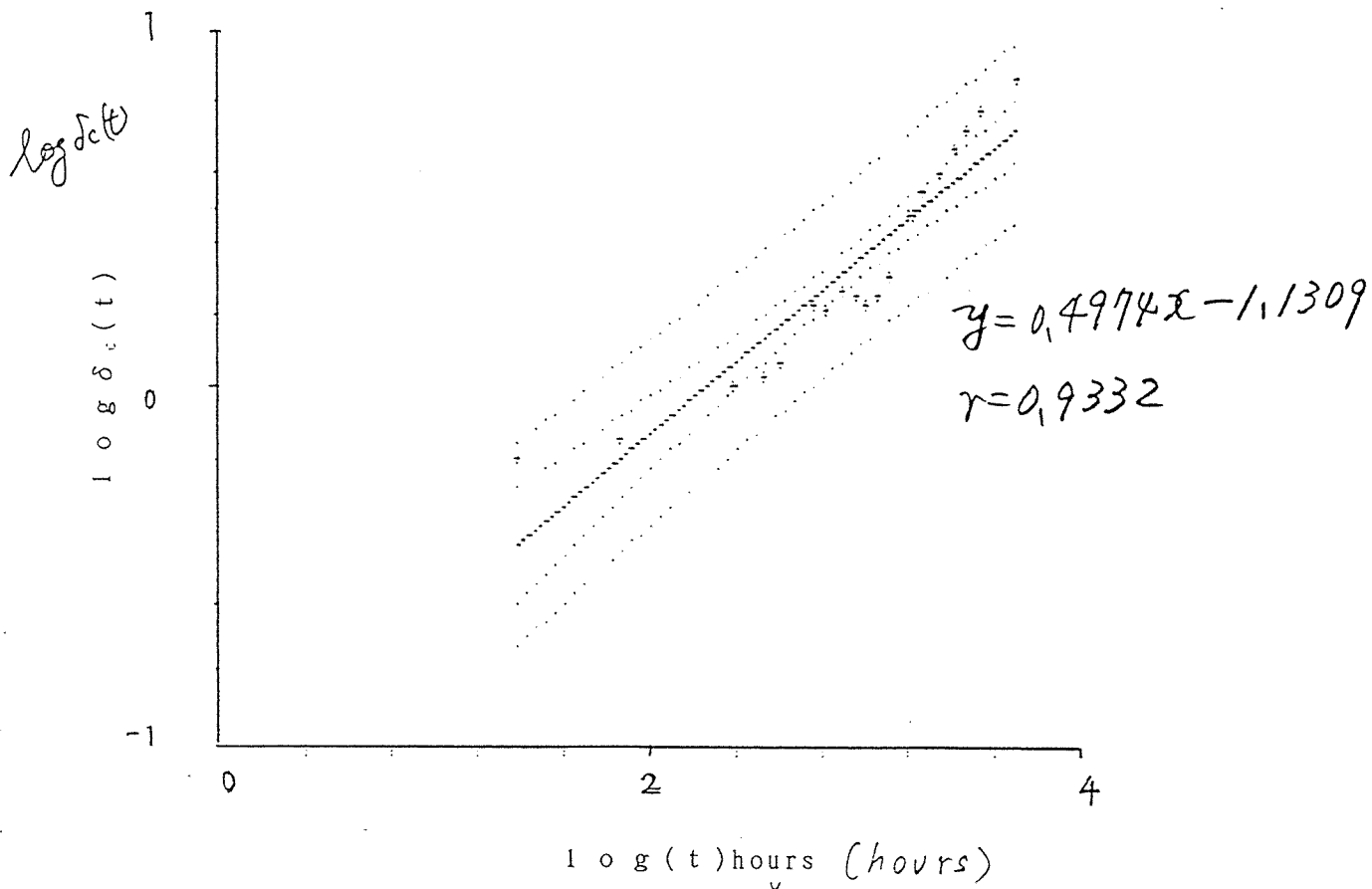


図1-5 クリープたわみと時間の直線回帰



N = 20



N = 26

20-2

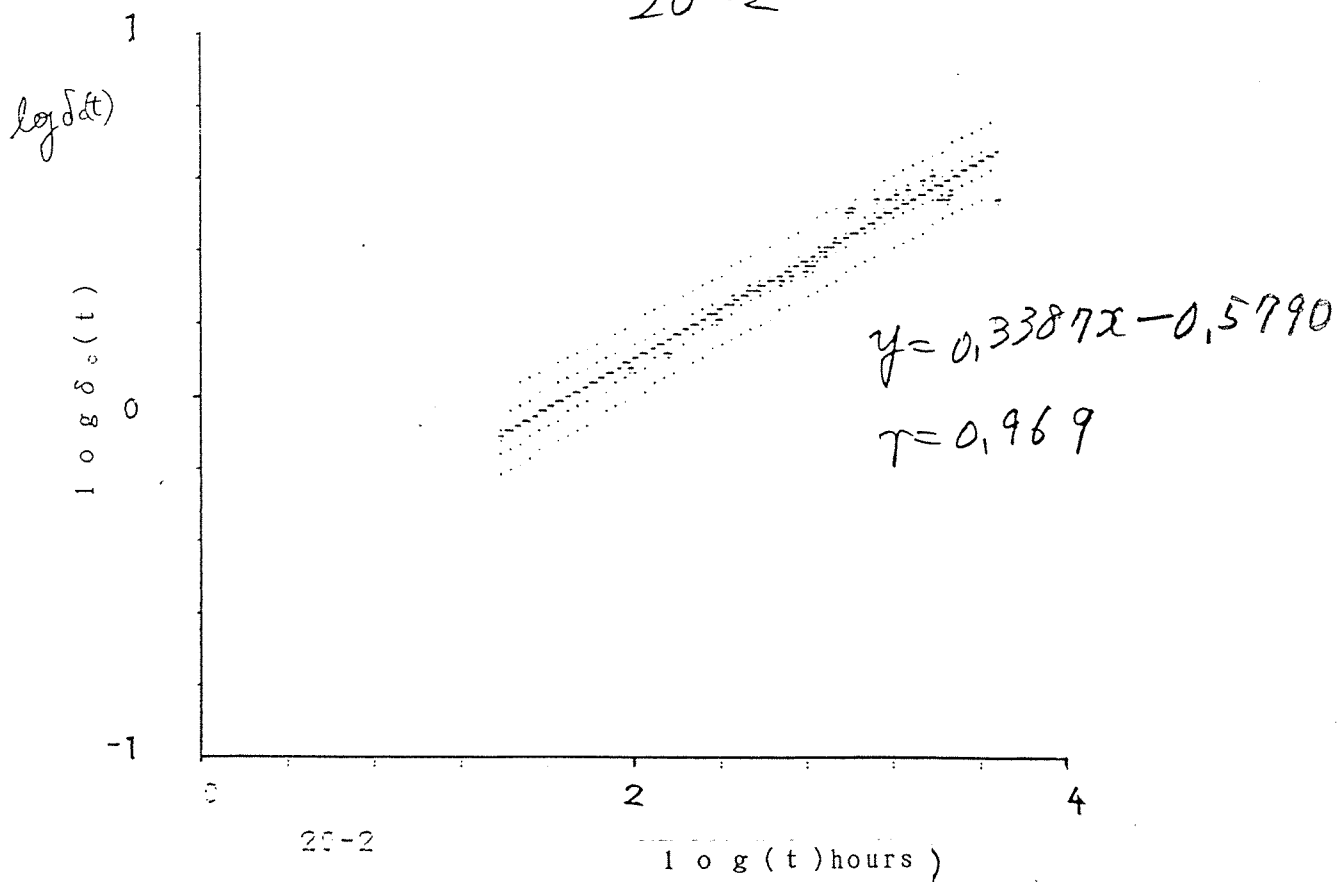
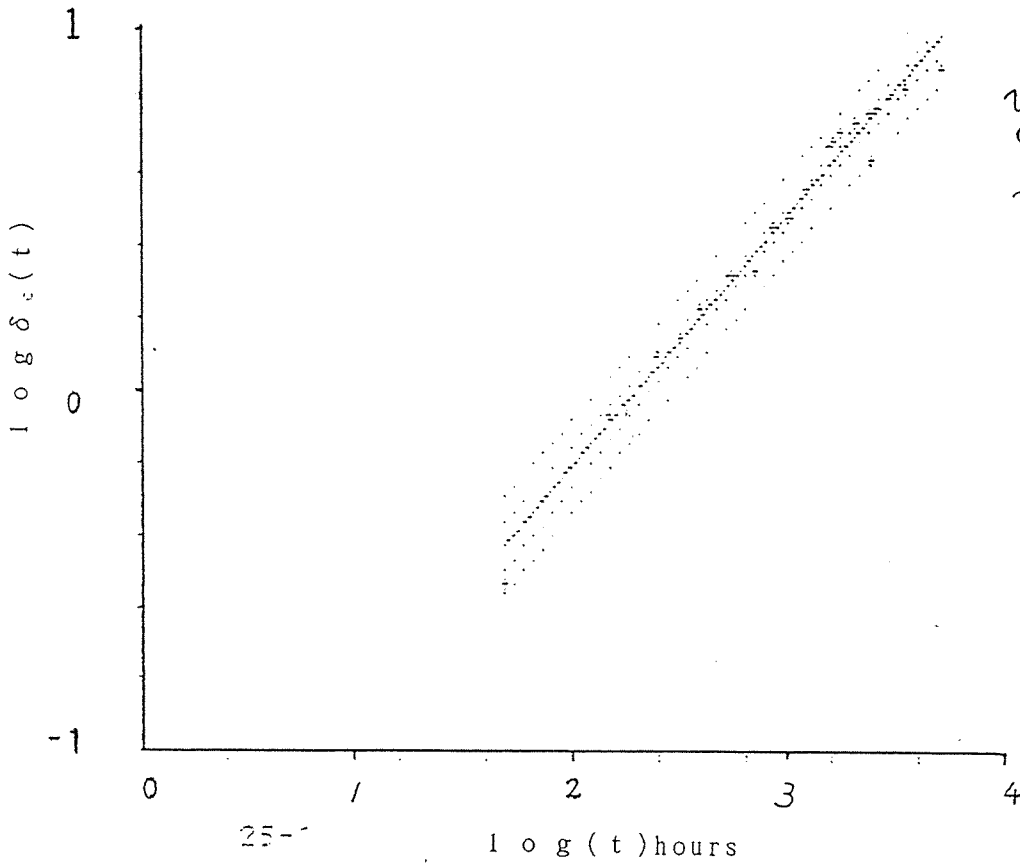


図 1-6 クリープたわみと時間の直線回帰

lg  $\delta_c(t)$

25-1

$n = 20$



$$y = 0.6981x - 1.6093$$

$$r = 0.990$$

log  $\delta_c(t)$

25-2

$$y = 0.6865x - 1.5983$$

$$r = 0.975$$

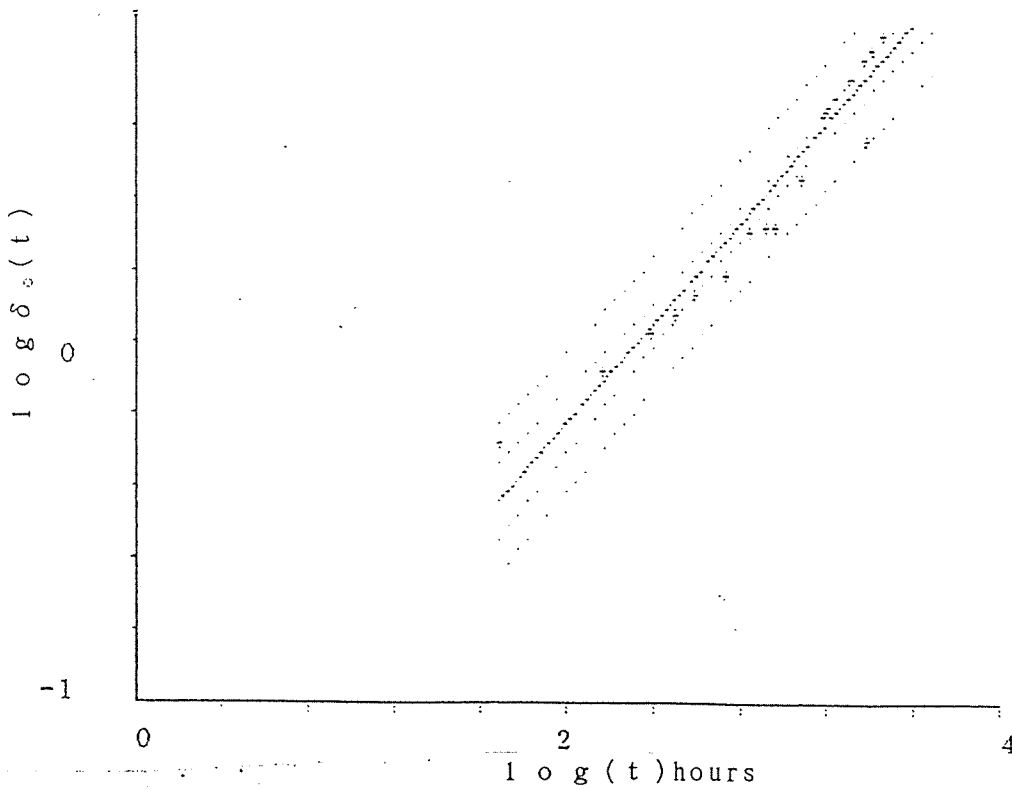


図 1-7 クリープたわみと時間の直線回帰

## 2. 張弦梁の曲げ実験

### 2.1 はじめに

本委員会では、予備的な検討も含めて過去2年間張弦梁について、その構造的特性などを検討してきた。

本年度もその一環として、正角材を用いた張弦梁を取り上げ検討することとした。正角材については、張弦梁の検討を始めたその年に、簡易な接着法による重ね梁と鋼材弦材（鉄筋）で構成した張弦梁の検討のところで既に用いているが、今回は、組立の手法を更に簡便化したものを採用した。

今回製作した張弦梁は、具体的な用途を特に想定したものではなく、製作の手間や難易度、力学的な特性を把握などに主目的を置いている。

### 2.2 試験体の設計

張弦梁の試験材は、圧縮弦材として長さ3.6mのスギ正角材（10.5×10.5cm）、引張弦材として鉄筋（9mmφ）を用いた。

試験体は、スパン7.28mとし、圧縮弦材の継手をバットジョイントとした。中央の束の高さは、前回の形を踏襲して70cmとした。束3本タイプ（C3）のその他の束は、等分布荷重のモーメント図に近似させて決定した。

引張弦材の鉄筋は、束1本タイプ（C1）では1本、束3本タイプでは2本とした。このような部材配置による各張弦梁の応力図を図1に示す。

圧縮弦材の木材が許容応力度（長期）に達する荷重は、

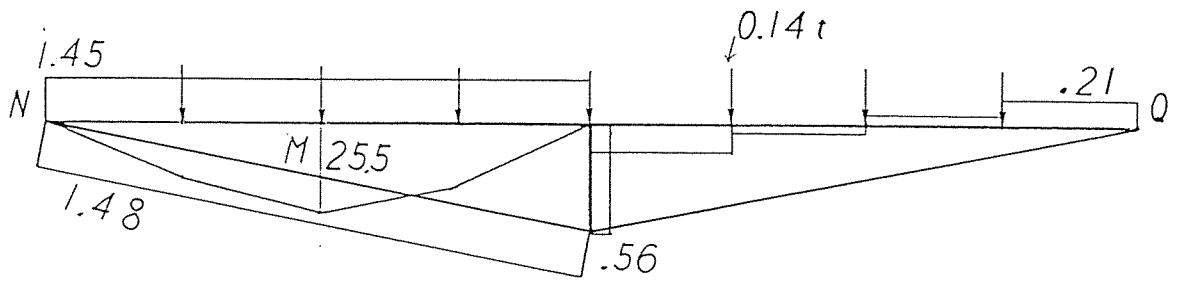
$$60 \times 10.5^2 / 1450 = 4.56 (\text{tonf})$$

で、このときの張弦の引張力は、

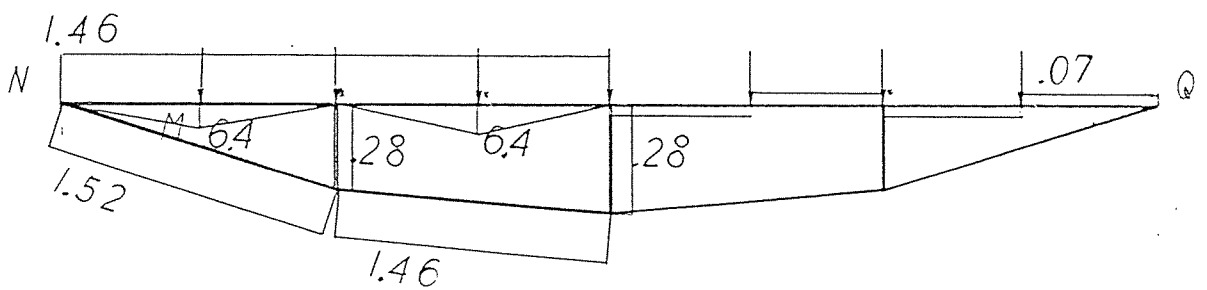
$$1.5 \times 4.56 = 6.8 (\text{ton})$$

となる。この張力に坑する接合は、実用的には非常に困難である。

今回の実験で用いた接合は、図2、3に示すように、C1タイプでは、鋼板（ $t=5\text{mm}$ ）を正角材の中央に挿入するセンターウェブ型としM16ボルトを用いた。一方、C3タイプは、正角材と羽子板鋼板の間にブルドックジベル（シングル62φ型）を圧入した添板鋼板型とし、M12ボルトを用いた。



C-1



(t, cm)

C-3

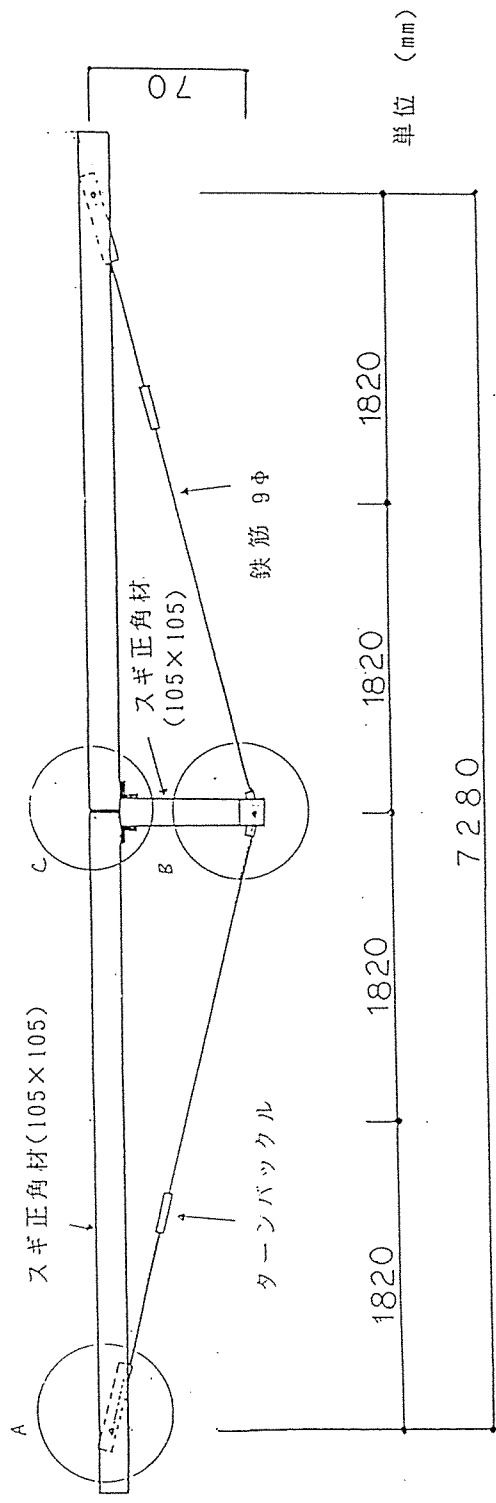
図-1 部材応力図

### 2.3 試験に供した張弦梁

圧縮弦材に用いた木材は、スギ正角材（10.5×10.5cm）で人工乾燥で含水率を20%以下に調整したものである。木材と木材の接合は、バットジョイントとし、その間に鋼板を挿入し、木材が互いに直接接触しないようにした。

試験体数は、C1タイプが3体、C3タイプが4体である。試験体の詳細は、図2、3に示すとうりである。

試験体を製作する前に予め正角材の曲げヤング係数を測定した。また、試験終了後、圧縮弦材の正角材より長さ30cmのサンプルを切り出し、ひずみゲージにより圧縮ヤング係数を測定した。（表1）



Aの拡大図

Bの拡大図

Cの拡大図

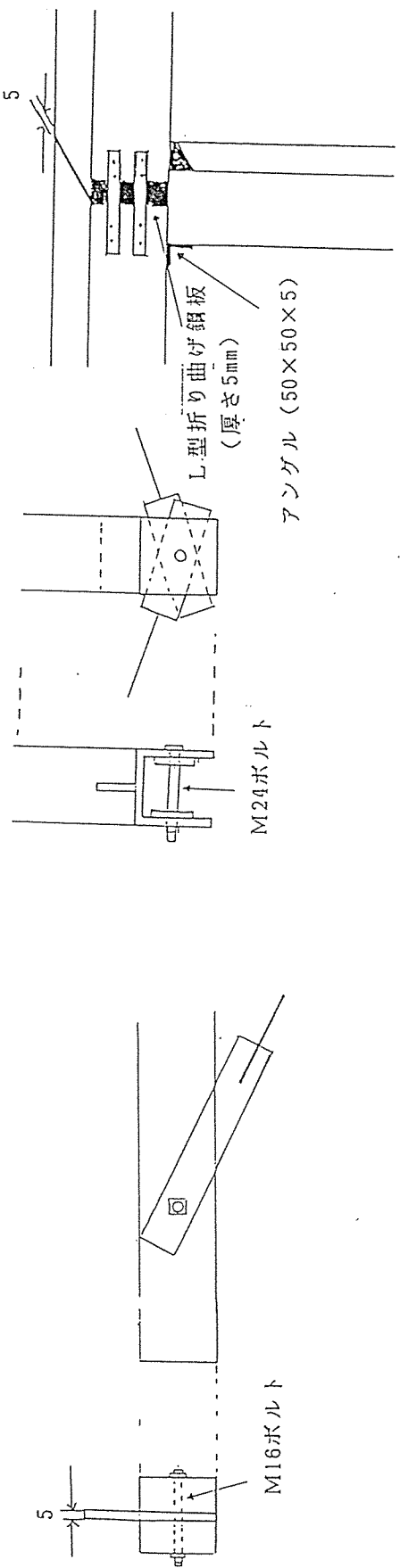


図-2 試験体1-1(17) = 3長弦梁 (C-171°)

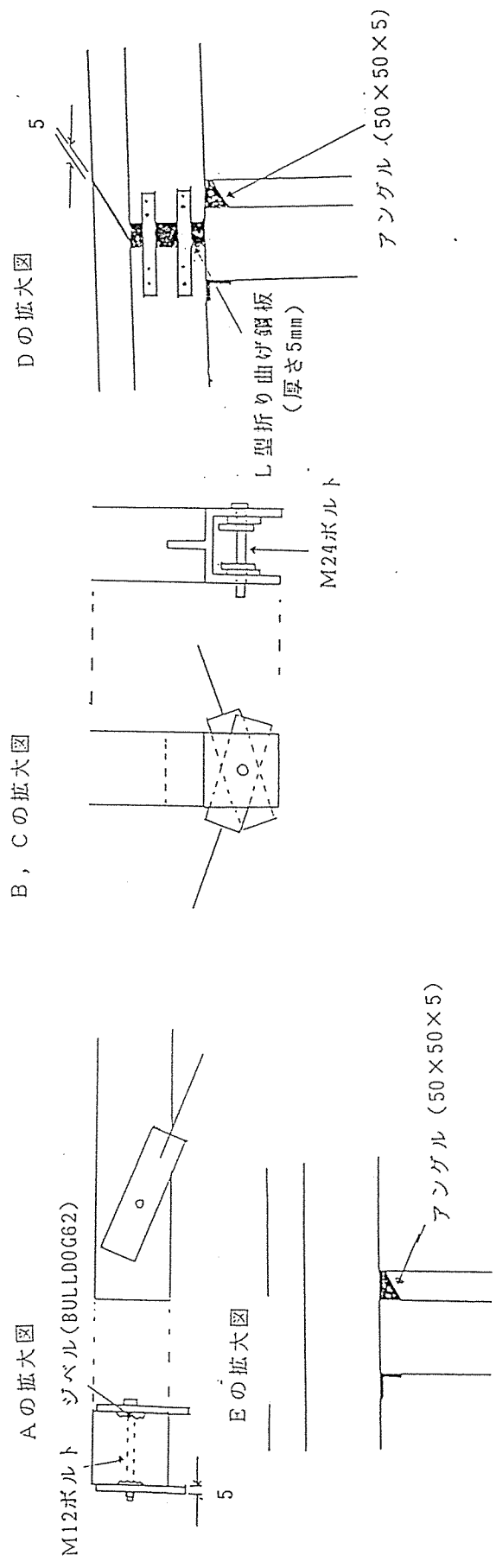
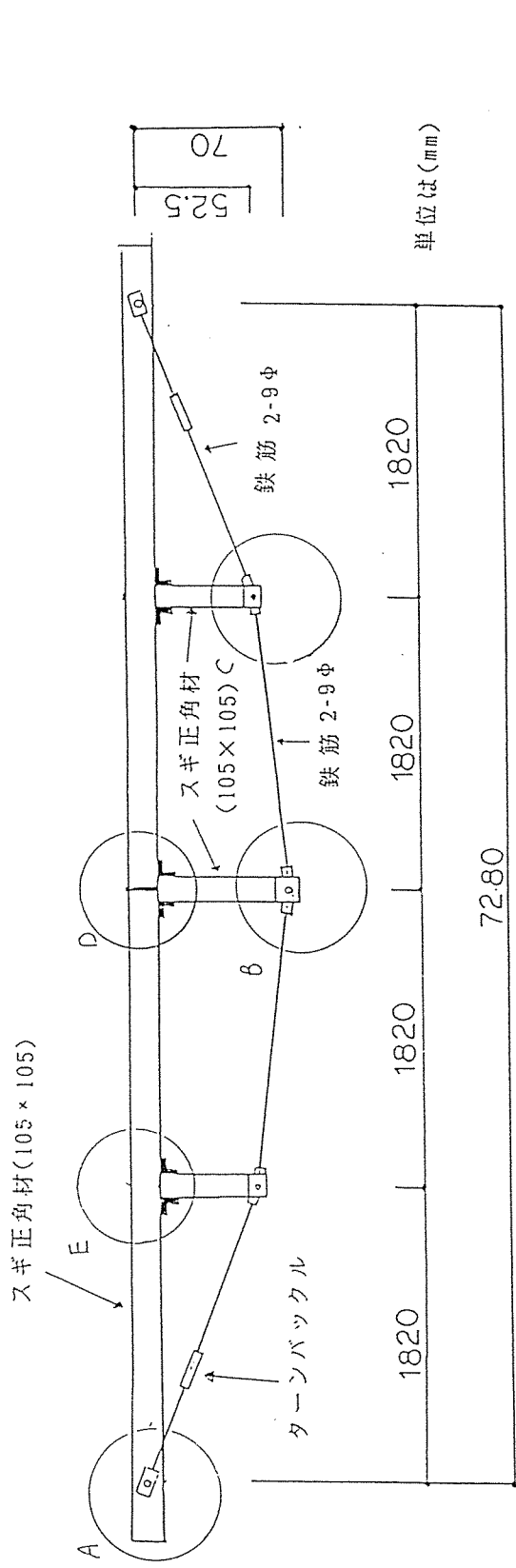


図-3 試験に供した張弦梁(C-3タイプ)

表 1 スギ正角材のヤング係数及び比重

張弦梁の寸法	曲げヤング係数 ×10 <sup>3</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	圧縮ヤング係数 ×10 <sup>3</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	比重
C1-1	72.9	80.3	0.46
	72.9	85.8	0.44
C1-2	61.4	48.5	0.49
	63.1	67.3	0.37
C1-3	70.4	66.0	0.44
	72.9	80.2	0.52
C3-1	64.4	72.7	0.39
	61.2	60.4	0.35
C3-2	84.0	79.7	0.42
	65.1	70.0	0.43
C3-3	76.5	74.6	0.56
	76.6	69.0	0.43
C3-4	79.3	86.9	0.44
	86.9	102.6	0.46



## 2.4 実験方法

実験は、張弦梁のスパンを7.28mとして4等分点の3点に油圧ジャッキにより加力した。荷重は、単調増大加力とし、最大値を記録するまで加力した。荷重は、中央ジャッキに取り付けたロードセルにより測定した。荷重点および支点ではひずみゲージ式変位計により変位を測定した。

なお、今回の張弦梁は引張材の鉄筋の溶接部で全て破断を生じたために束3本タイプのC3-4については、溶接部を補強して実験を行った。このタイプでは、ジャッキの盛り替えを行うため、一旦荷重をを零に戻してから再度加力を行った。

曲げ試験終了後、前述した正角材の圧縮試験など接合部の解析のための試験を実施した。実施した項目は、以下のとおりで、正角材より切り出した木材と予備の未使用の接合具により試験を行った。

1. 中央継手部の束めり込み試験（図4）
2. 束の圧縮弦材へのめり込み試験（図5）
3. ジベル接合試験（図6）
4. ボルト接合試験（図7）

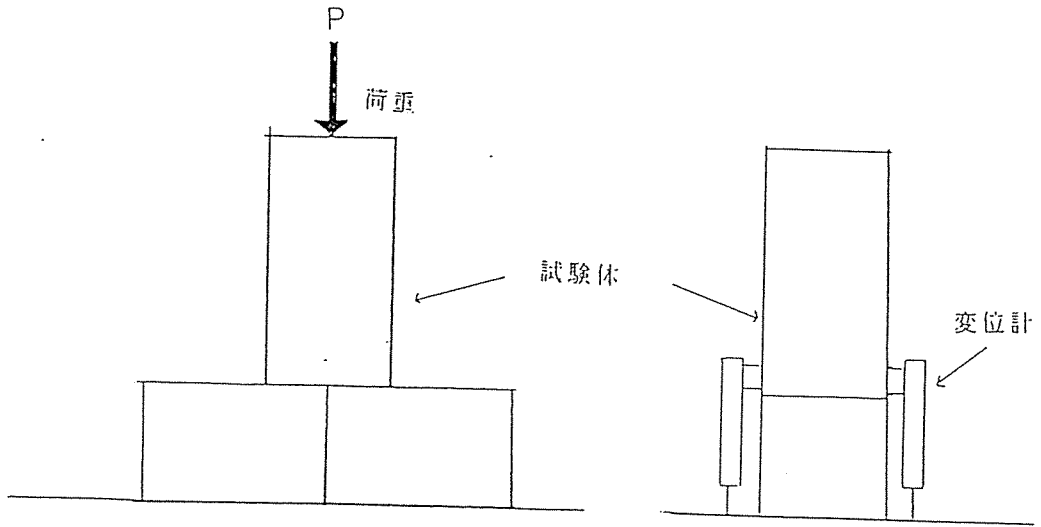


図-4 中央接合部めり込み試験

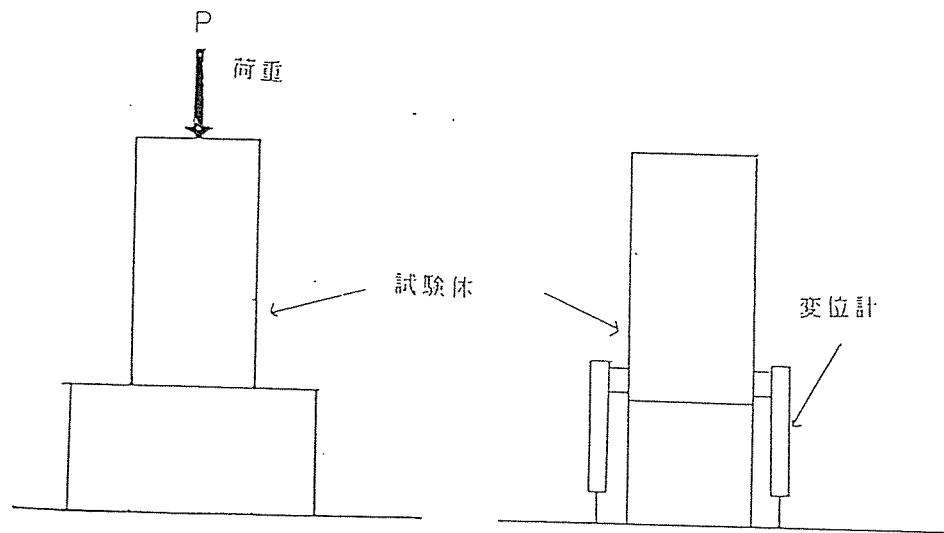


図-5 束めり込み試験

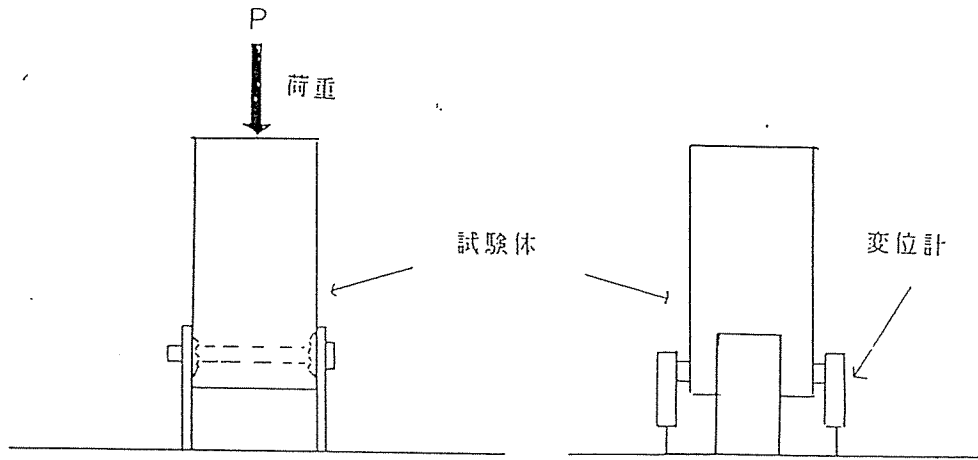


図-6 ジバル接合試験

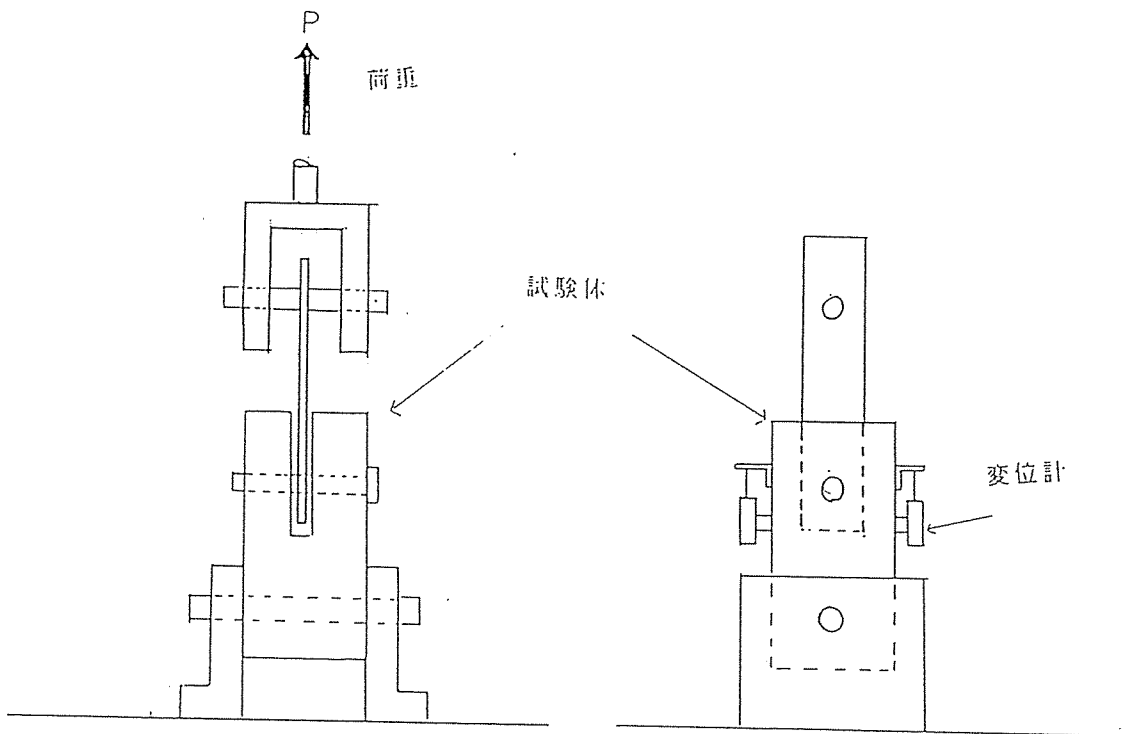


図-7 M16ボルト接合試験

## 2.5 実験結果と考察

束1本タイプの張弦梁の荷重-たわみ曲線を図8～図16に示す。図中1ch、2ch、3chは、それぞれスパン中央、加力側からみて左の荷重点、右の荷重点を意味する。

また、束3本タイプの荷重-たわみ曲線を図17～図31に示す。

試験体の破壊状況は、C3-4を除いて、他の全てはターンバックルと鉄筋の溶接部で破断した。

荷重-たわみ曲線からも分かるように破壊は、直線域で破断している。従って、各部材は、まだ、耐力的には余裕をもっている状態と考えられる。

これらの図中Y軸に示される点は、木材、接合部、鉄筋が許容耐力に達する時の荷重であり、それぞれW、J、Sで示す。

また、図中C、Rで示される線は、Cが各接合部をピンとしたときの荷重-たわみ曲線を、Rは接合部試験より得た接合部のズレをバネに置き換えた時の荷重-たわみ曲線である。接合部の試験よりえた荷重-変位曲線は図32-図41に示した。

接合部試験より得た荷重-変位(ズレ)曲線は、荷重初期では、剛性が低く、荷重がある程度大きくなった段階で、剛性の高い曲線となっている。これは木材どうしあるいは、木材と接合具の間のガタに依存するものと考えられる。

そこで、このような場合には、曲線を二つの折れ線とし、それぞれバネ定数を使ってバネ置換している。Rの線が折れていないのはこの理由による。荷重-たわみ曲線で気をつく点は、スパン中央部のたわみが計算値よりかなり大きいことである。これに対してその両側の荷重点下のたわみは、計算値と実測値が良く一致していた。この理由については、次のように考察した。すなわち、接合部については、バネ置換を行っているが、圧縮材中央継手部については現実を反映したモデル化及び実験が難しいこともあって、これを行っていない。継手部は、当然加工上に依存する不整形があり、断面全体が鋼板に接触しているとは考えられない。また、荷重の増加によりたわみも増大するが、これは断面均等圧縮から離れるものである。これらの現象は、張弦梁のたわみの予想以上の増加影響を与えているものと考えられる。

鉄筋溶接部を補強したC3-4の荷重-たわみ曲線は図26～図31に示す。荷重2.5ton辺りで曲線は横に流れ出して、荷重のわずかな増大と共にたわみが増大している。ジャッキ盛り替え後、更に加力を継続すると約3ton辺りでギザギザ状の曲線を示している。この辺りでは、鉄筋と木材の接合部でジベルとボルトの大きいメリコミが観察されていることから、この曲線の形状は、接合部のメリコミに起由していると考えられる。

荷重3tonは、接合部の許容耐力の約2倍に相当する応力を接合部に引き起こす。この現象は、従前のジベル接合部試験から得られたものとよく合致している。

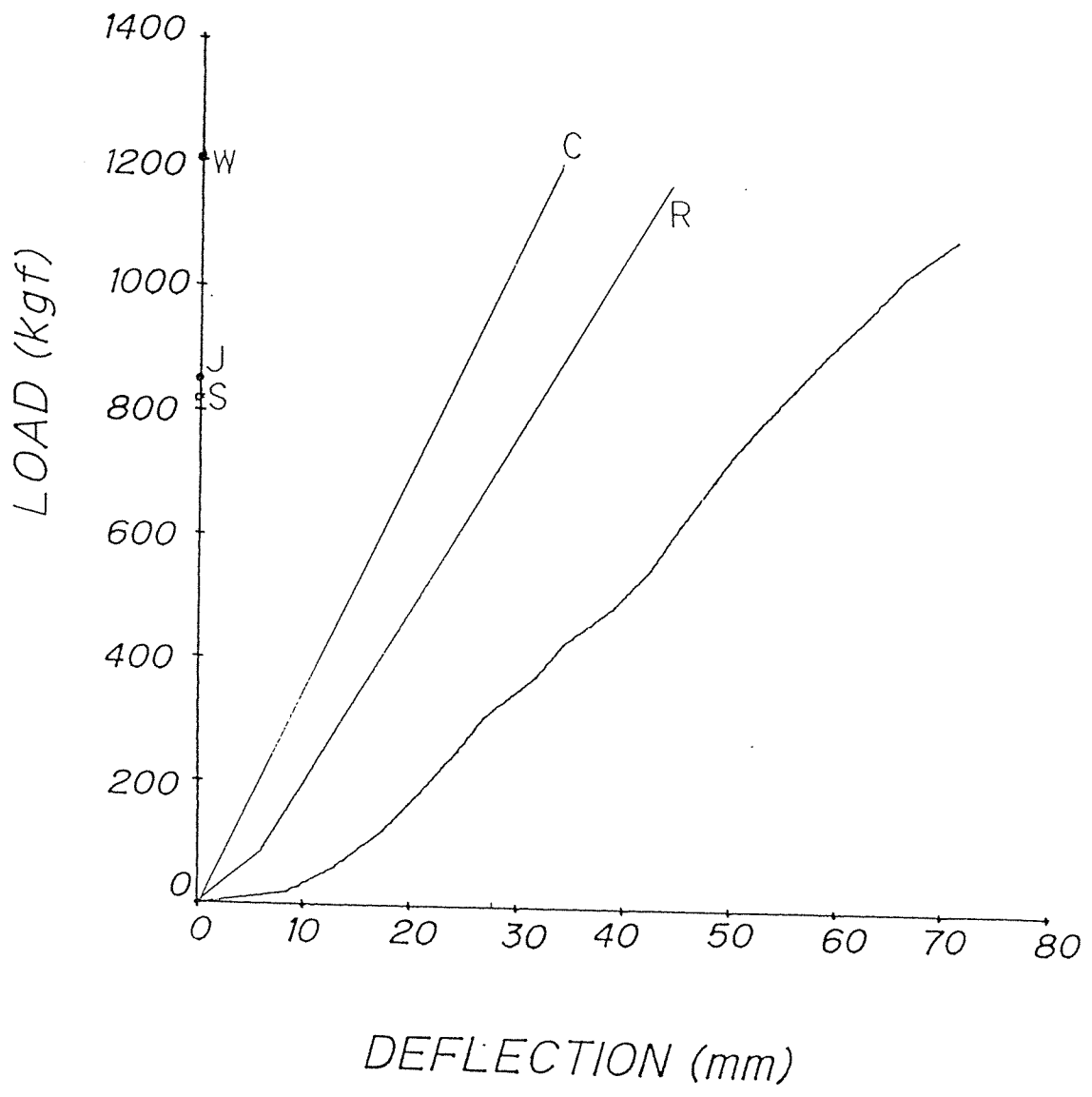


図-8. 張弦梁 束1本タイプ 荷重-変位曲線 (C1-1 .1ch)

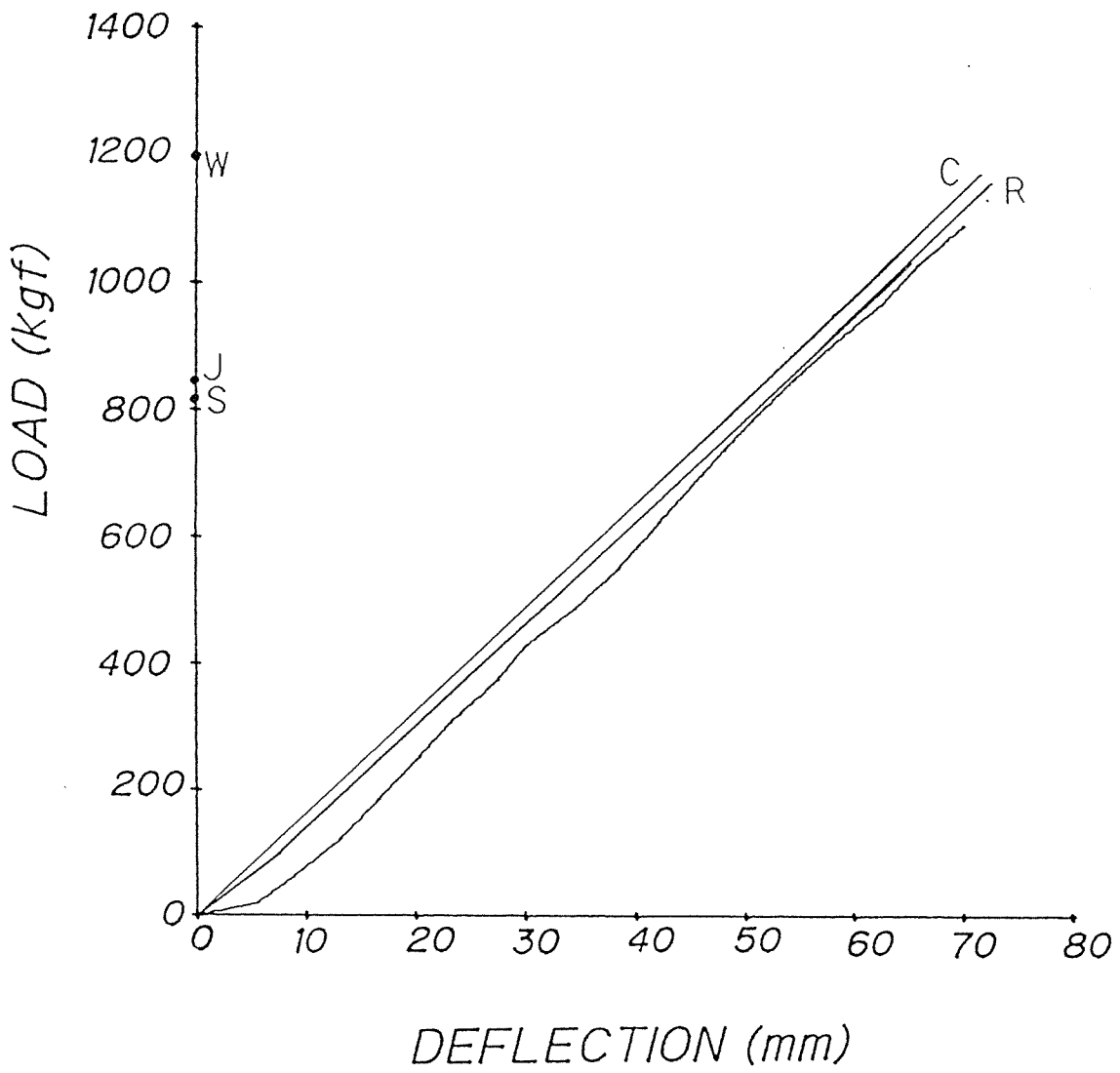


図-9 張弦梁 束1本タイプ 荷重-変位曲線 (C1-1 .2ch)

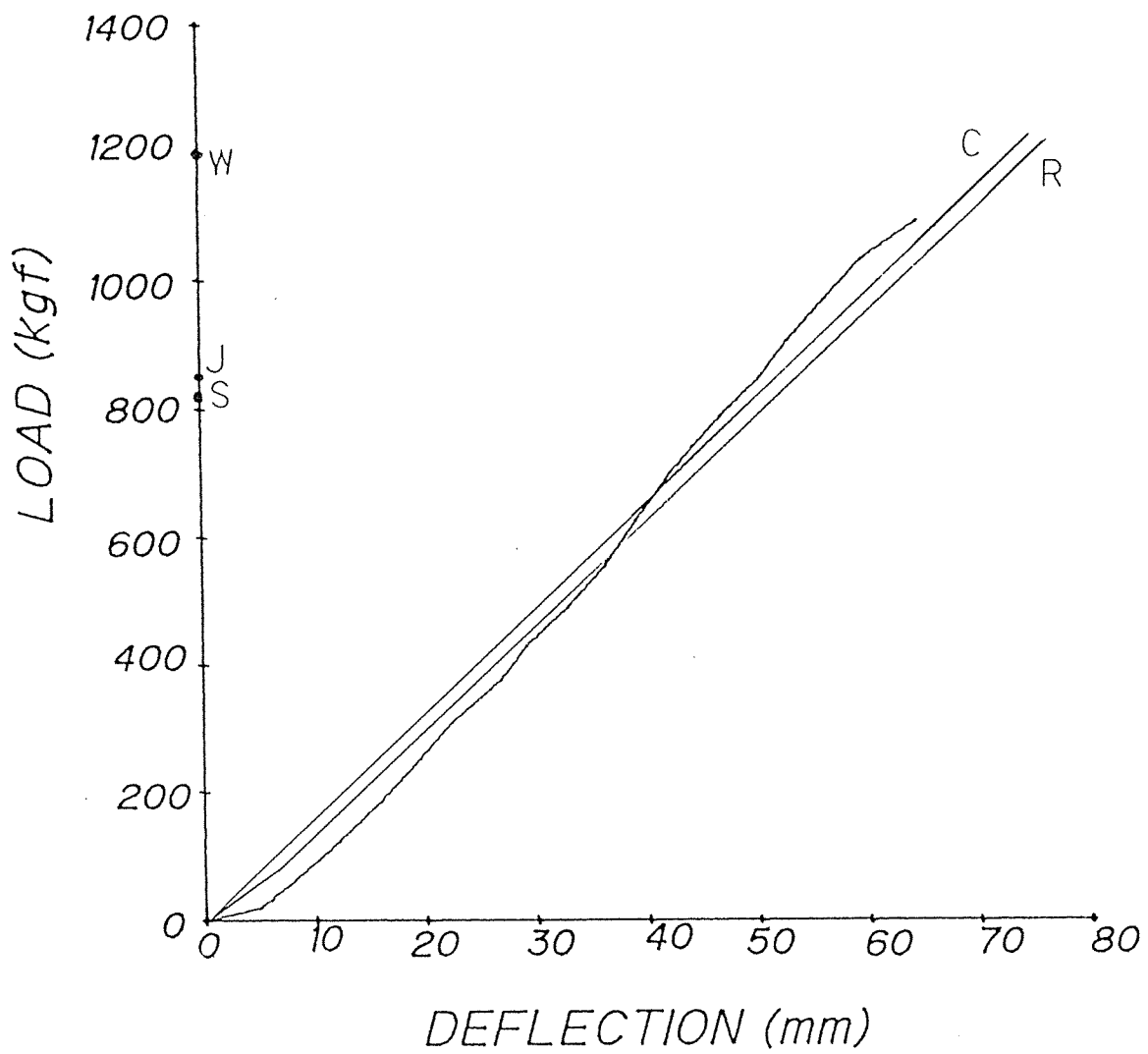
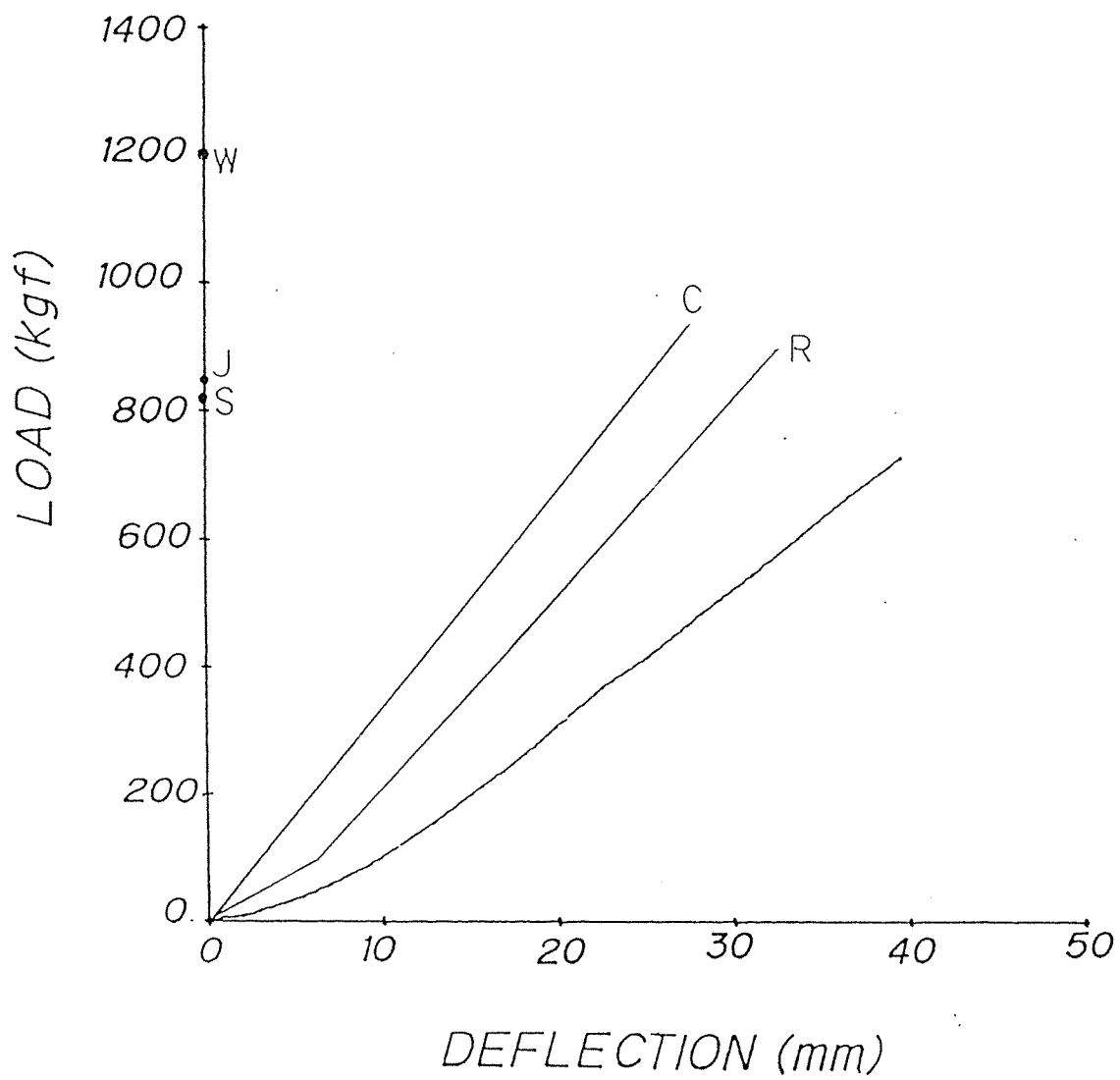


図-10 張弦梁 束1本タイプ 荷重-変位曲線 (CI-1 .3ch )



図一// 張弦梁 束1本タイプ 荷重-変位曲線 (C1-2 .1ch)



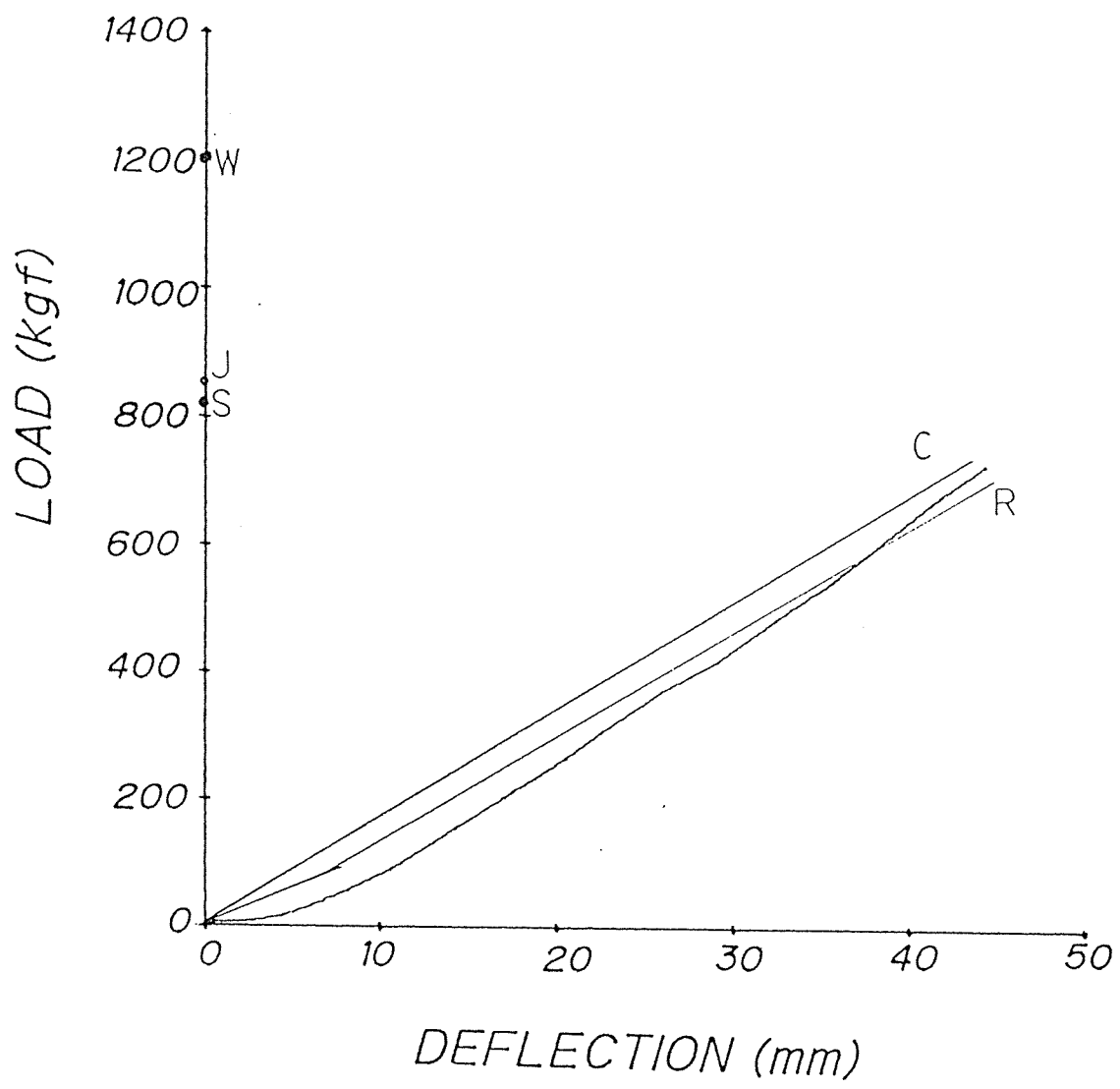


図-12 張弦梁 束1本タイプ 荷重-変位曲線 (C1-2 .2ch )

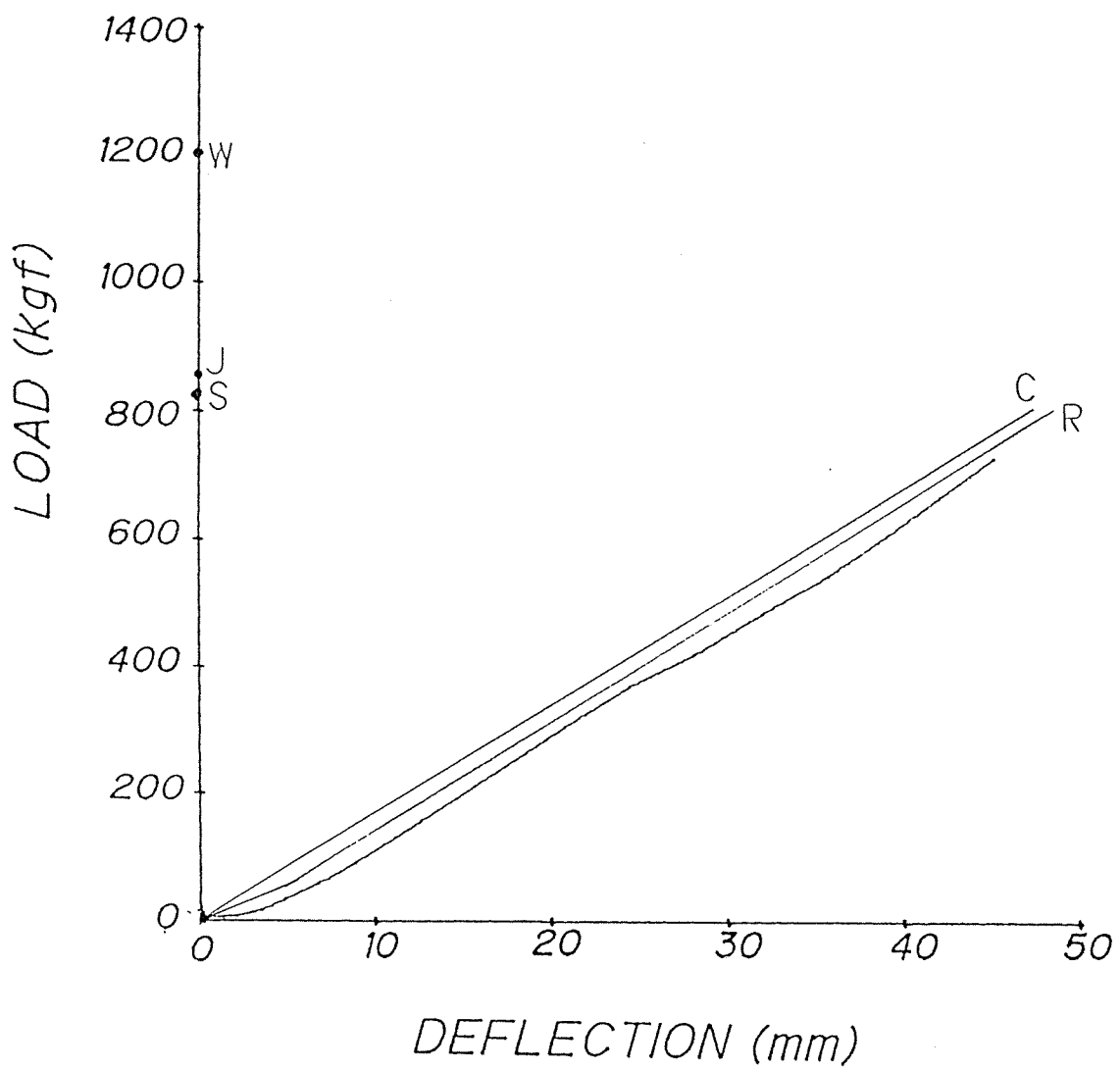


図-13 張弦梁 束1本タイプ 荷重-変位曲線 (C1-2 .3ch)

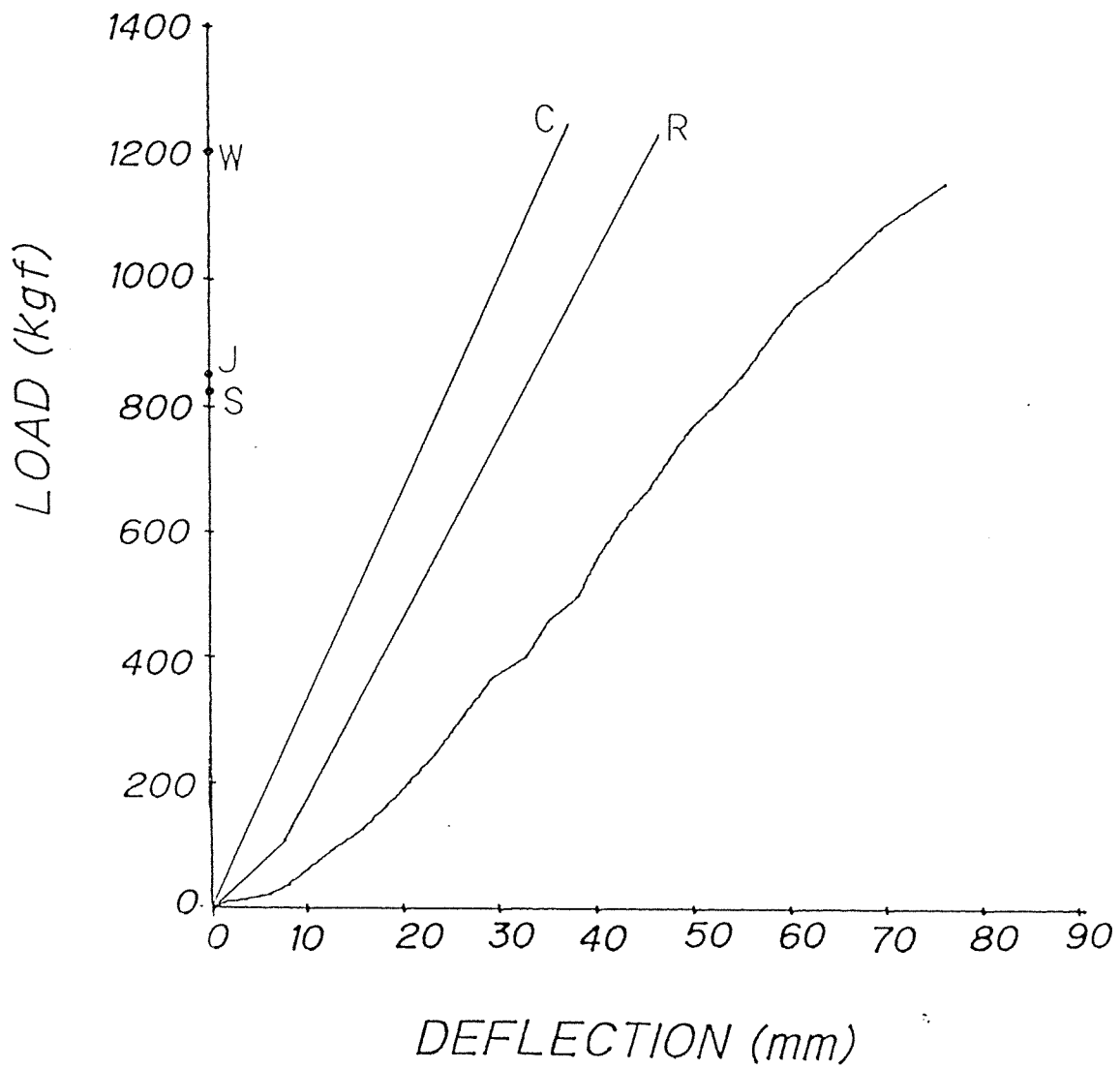


図-14 張弦梁 束1本タイプ 荷重-変位曲線 (C1-3 .1ch)

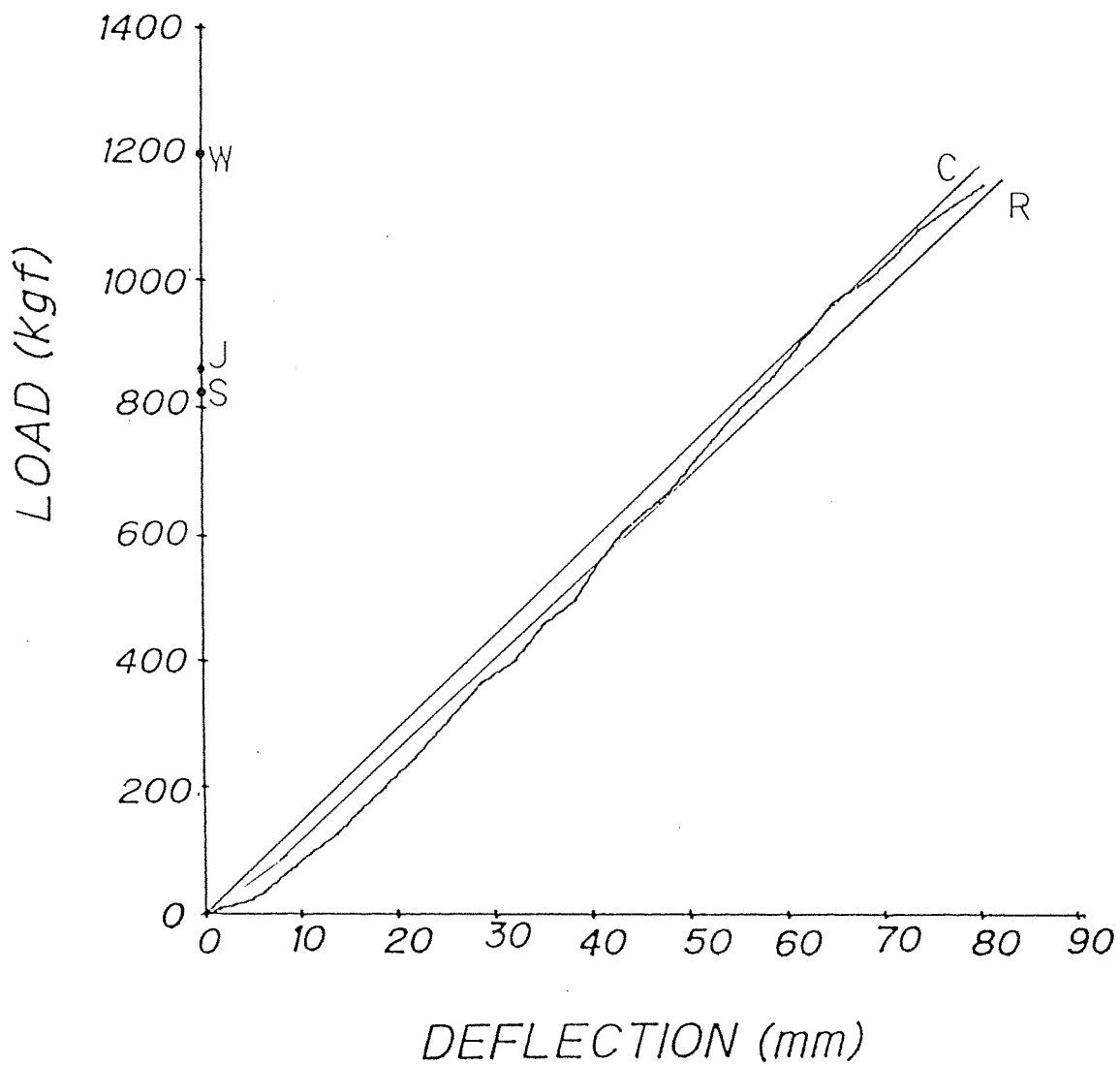


図-15 張弦梁 束1本タイプ 荷重-変位曲線 (C1-3 .2ch)

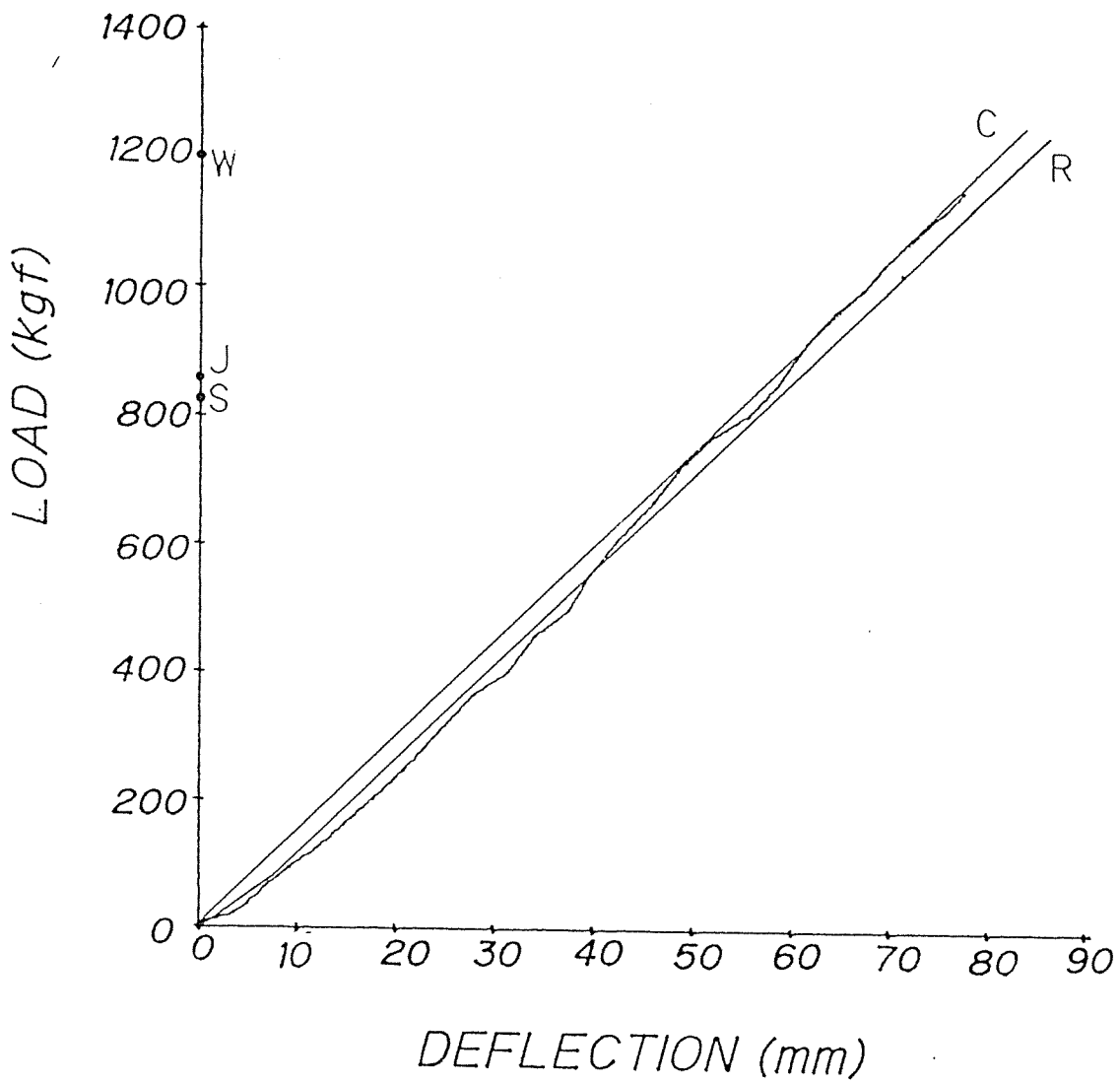


図-16 張弦梁 束1本タイプ 荷重-変位曲線 (C1-3 .3ch)

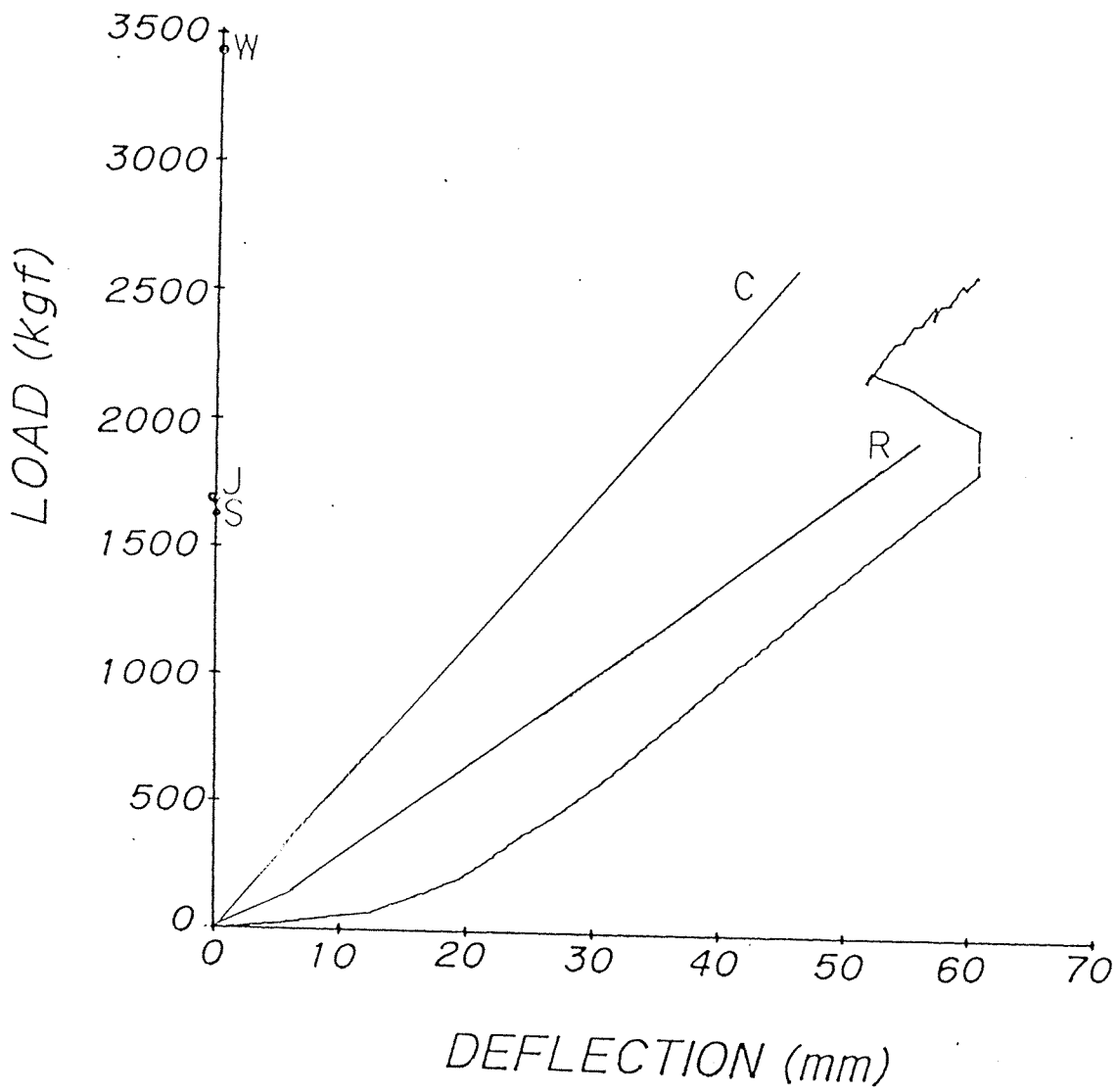


図-17 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-1 .Jch)

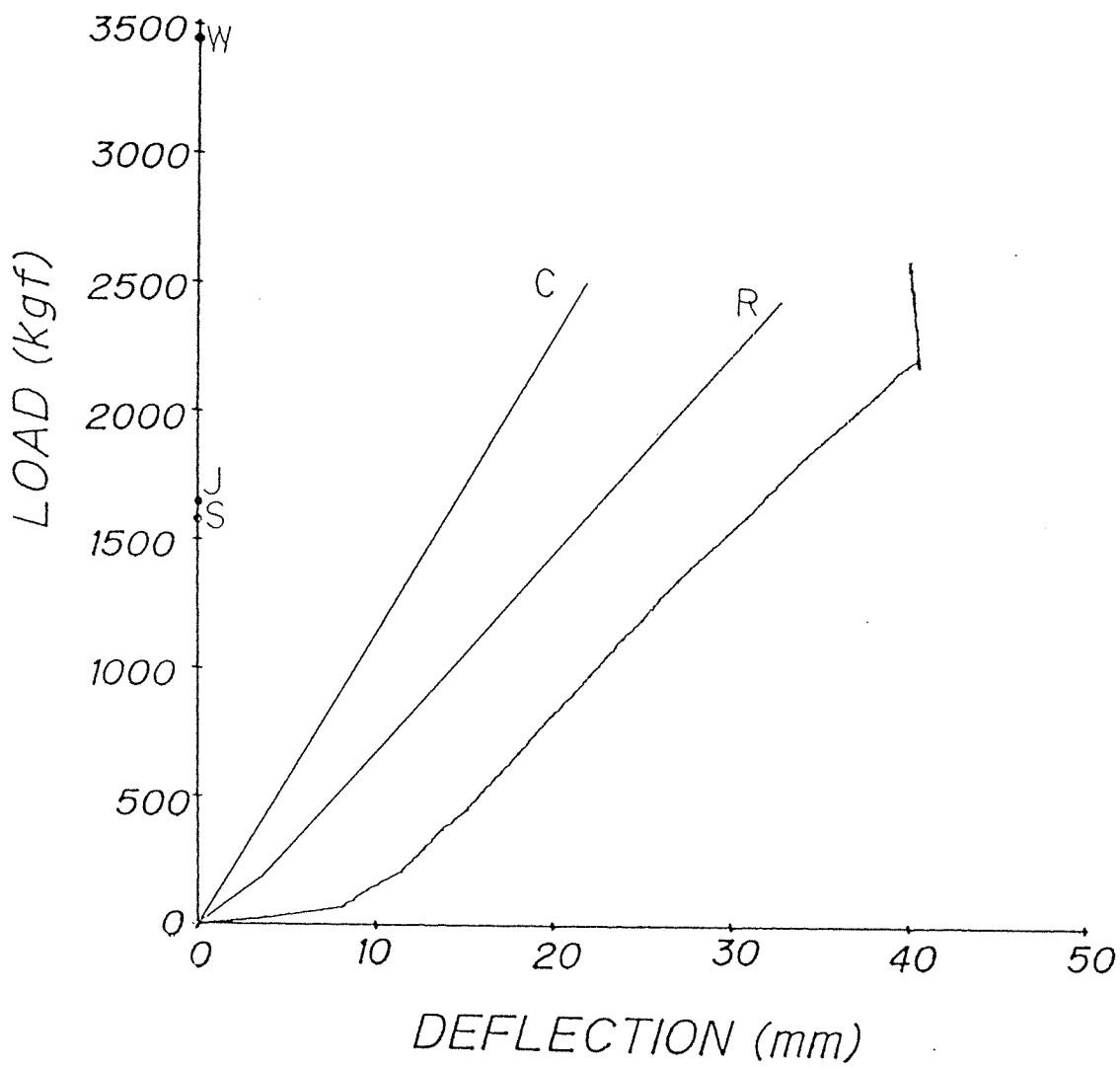


図-18 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-1 .2ch )

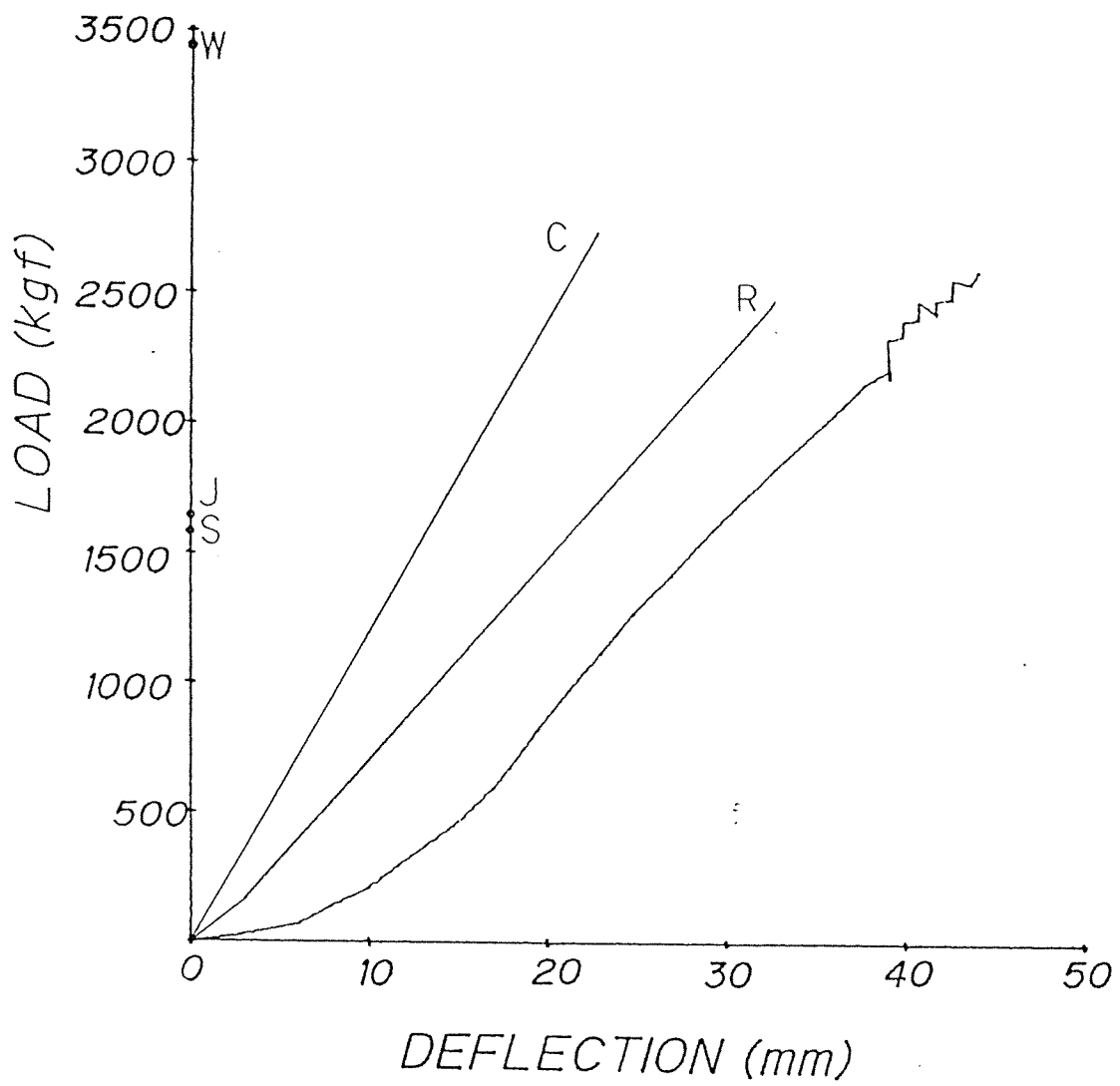


図-19 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-1 .3ch)



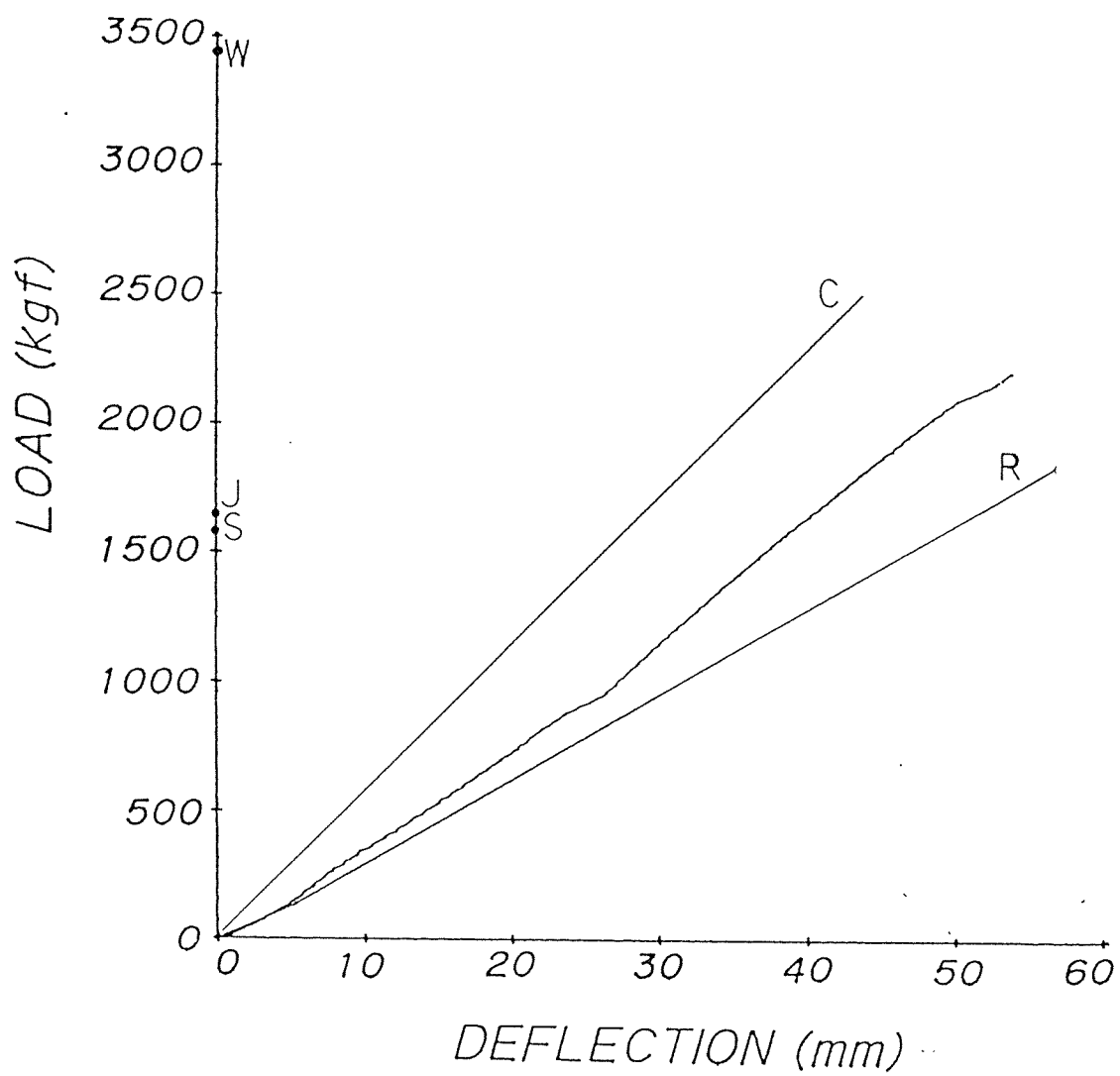


図 -20 張弦梁 東3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-2 .1ch )

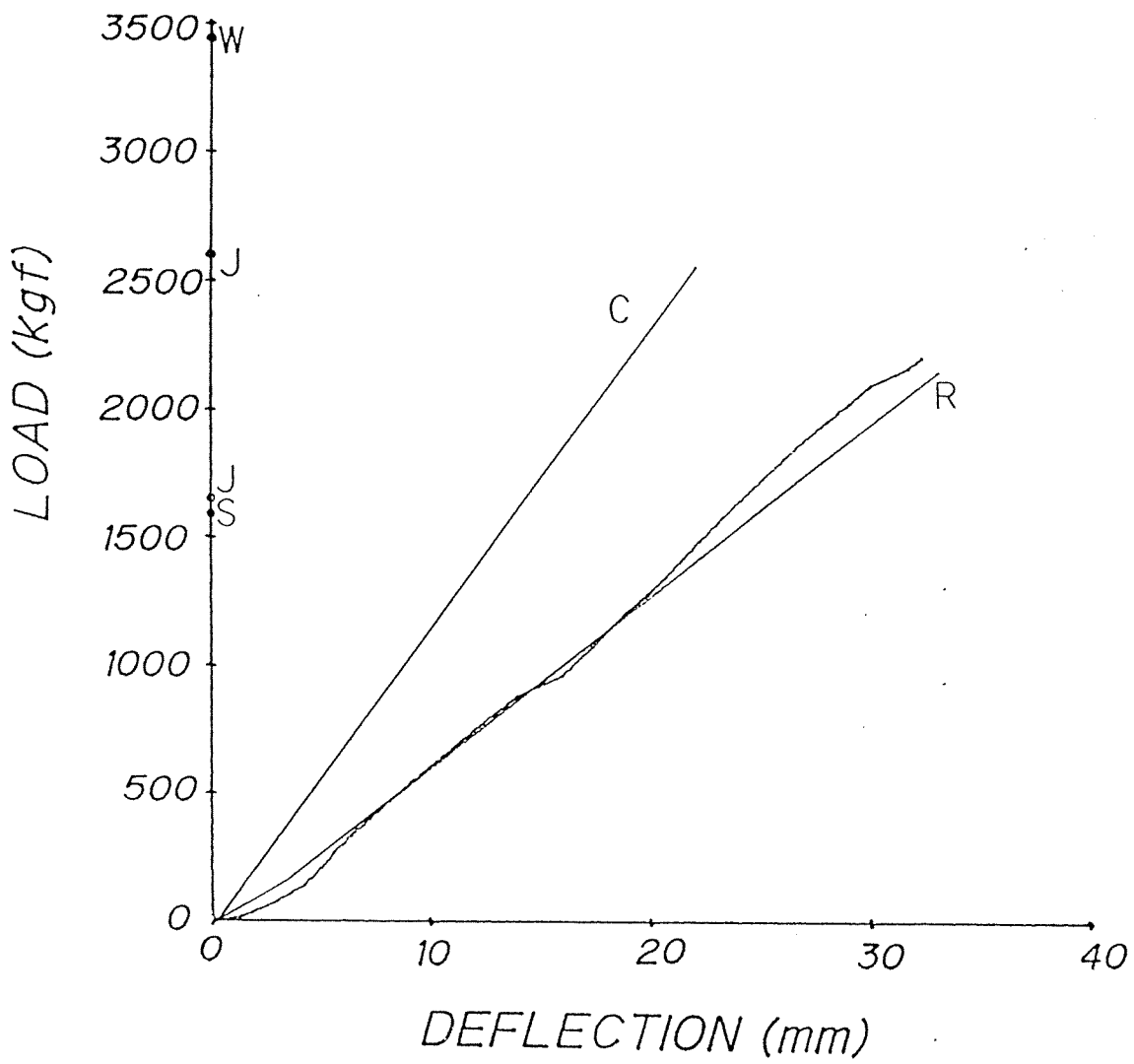


図-2/ 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-2 .2ch)

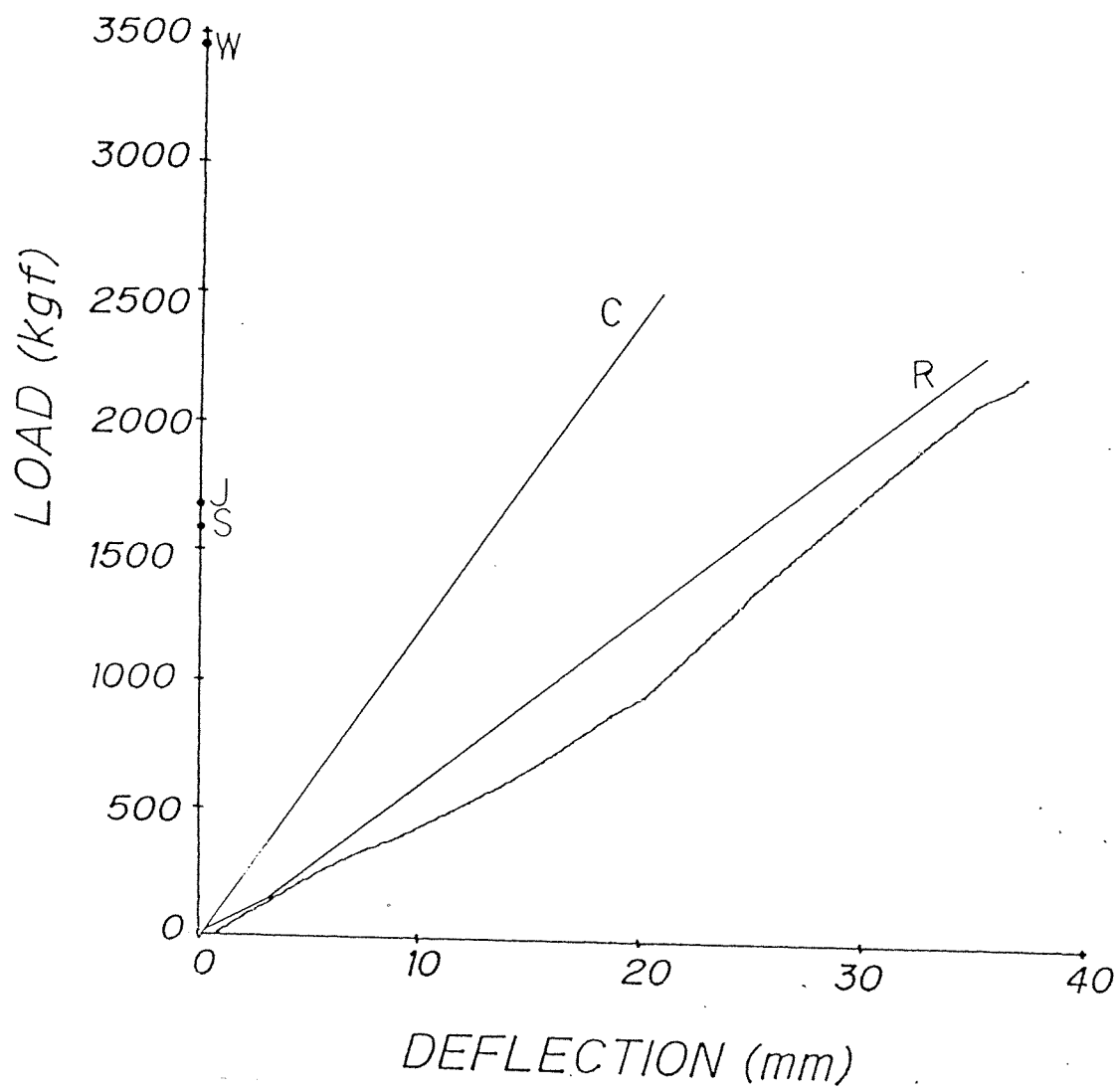


図-22 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-2 .3ch )

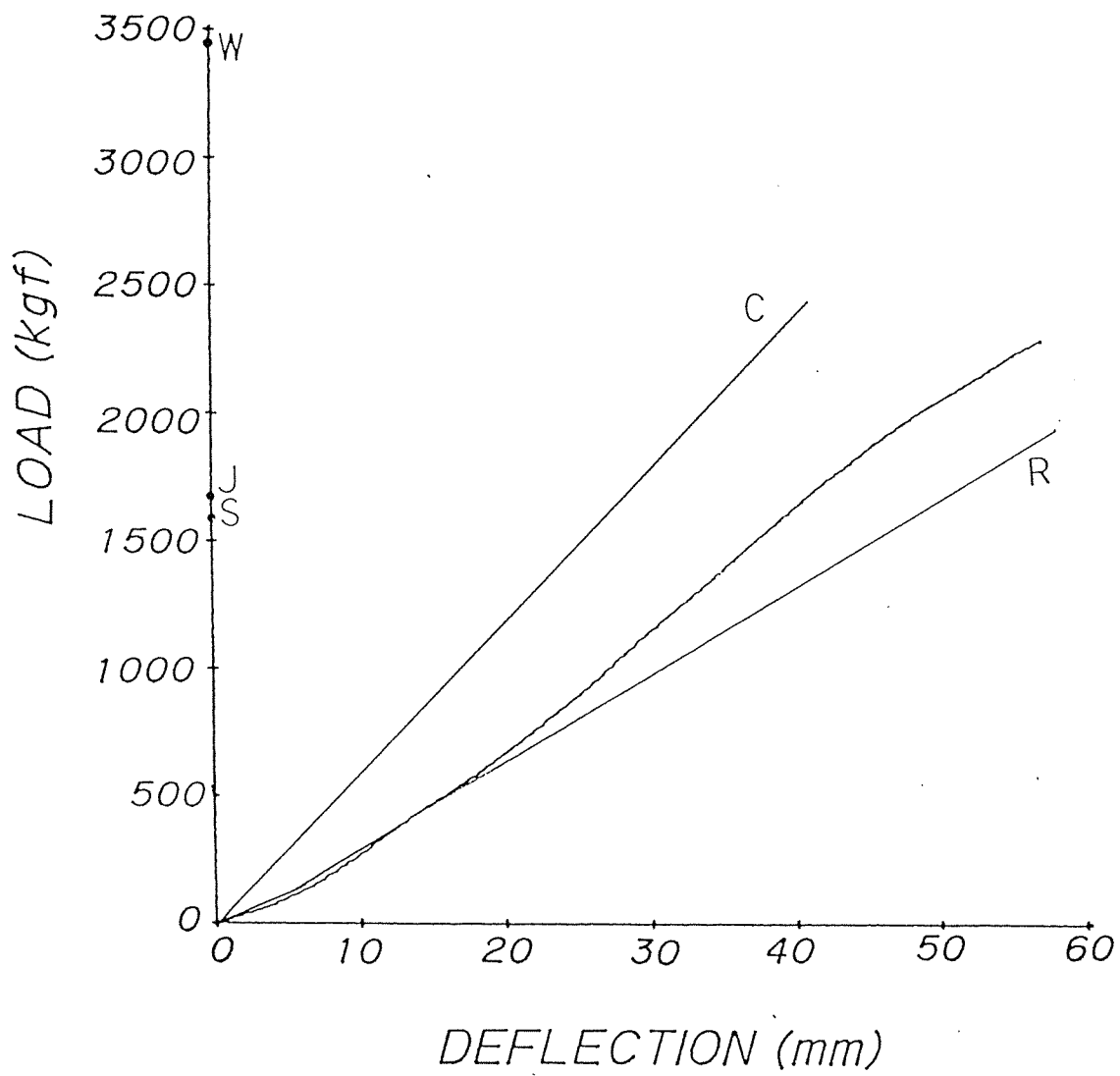


図-23 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-3 .1ch)

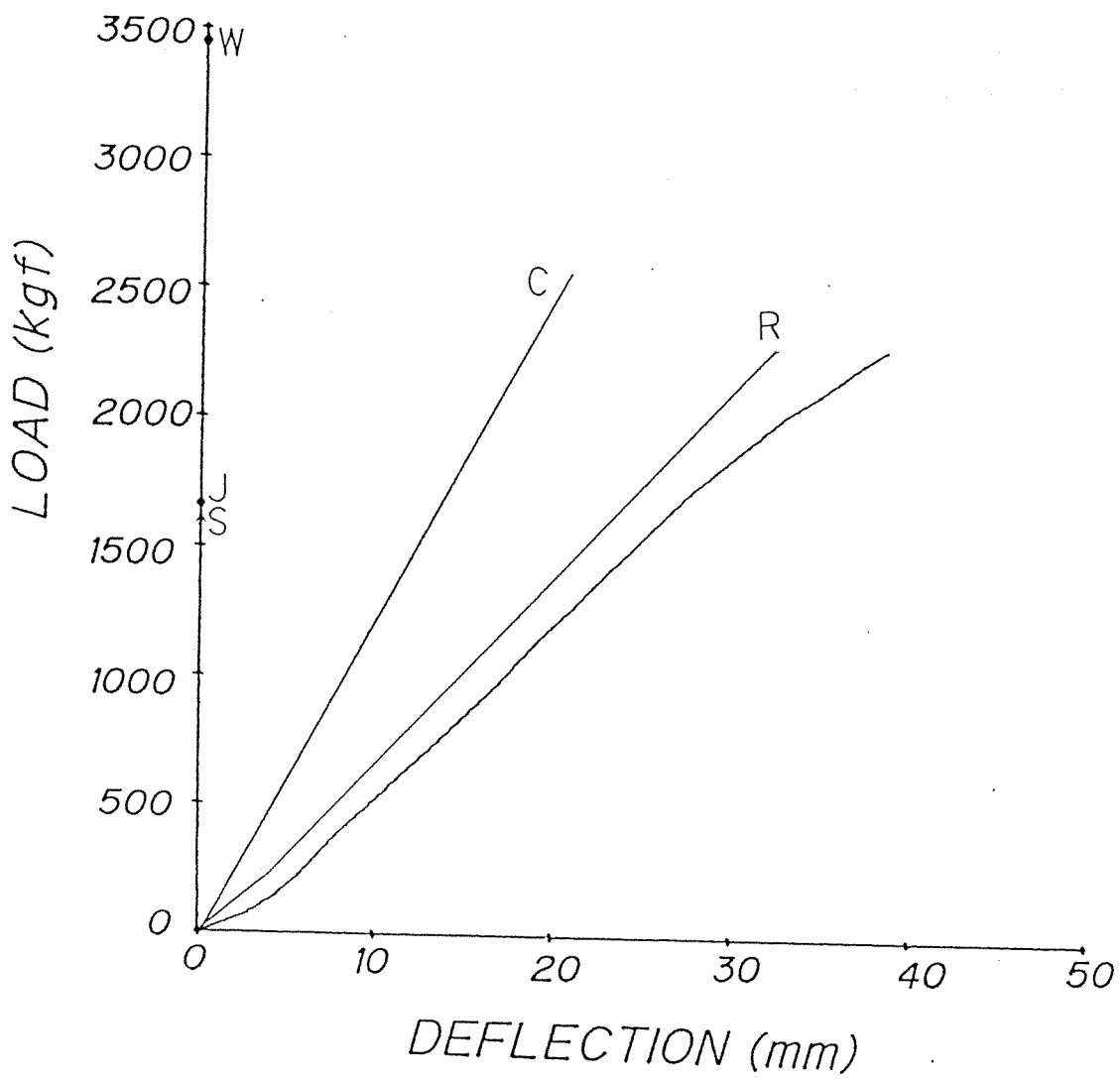


図-24 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-3 .2ch)

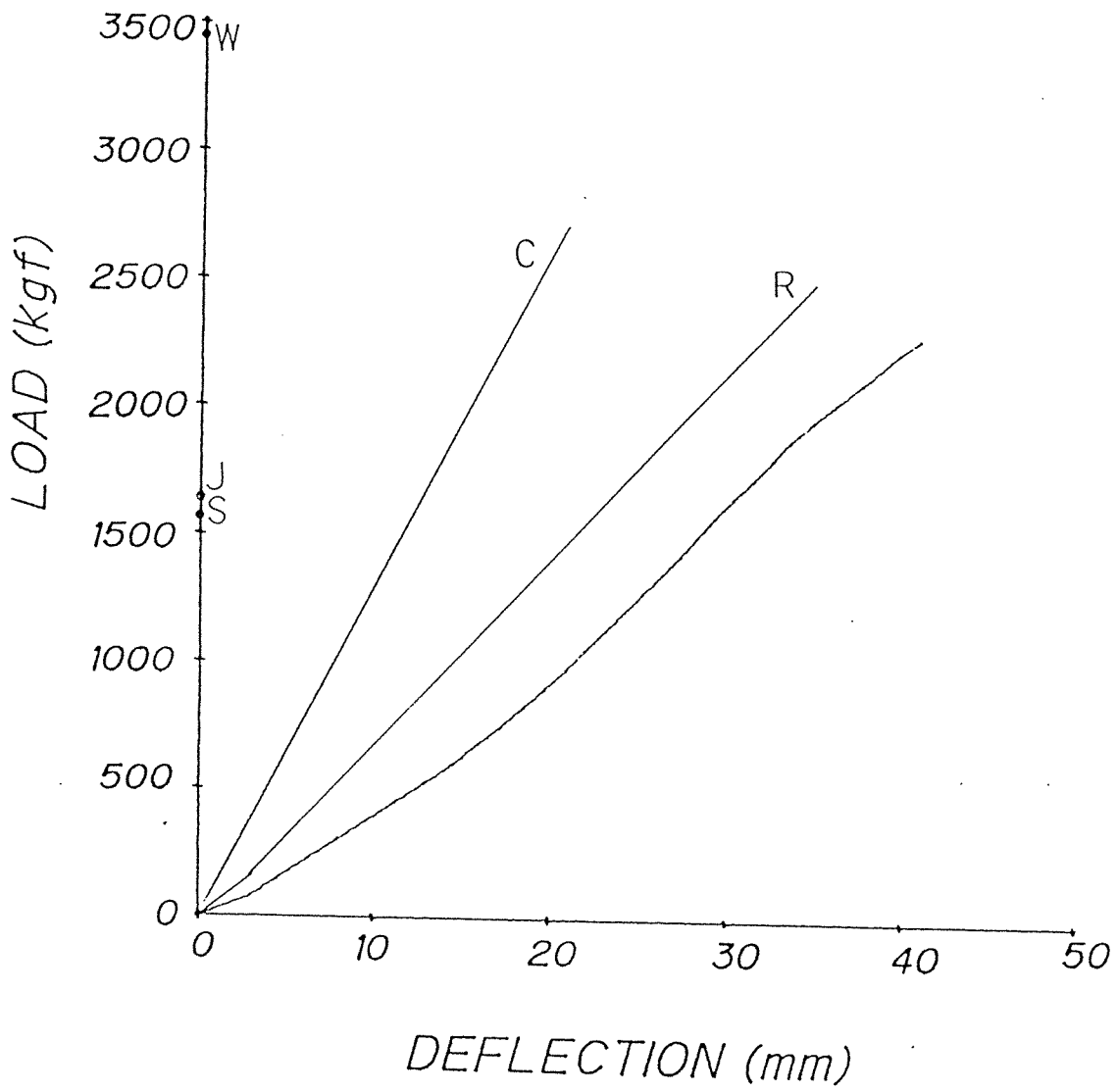


図-25 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-3 .3ch)

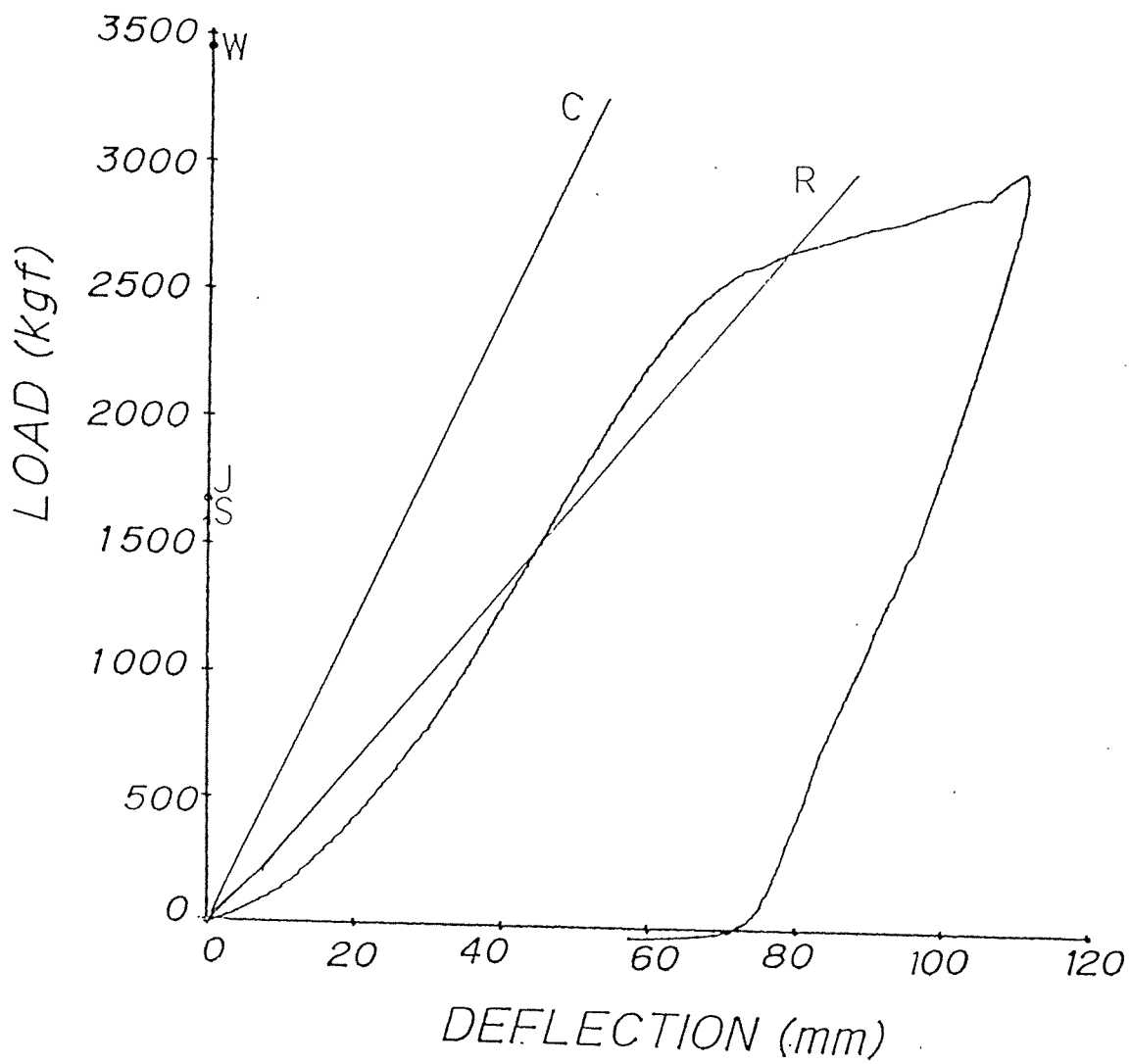


図-26 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-4 .1ch)

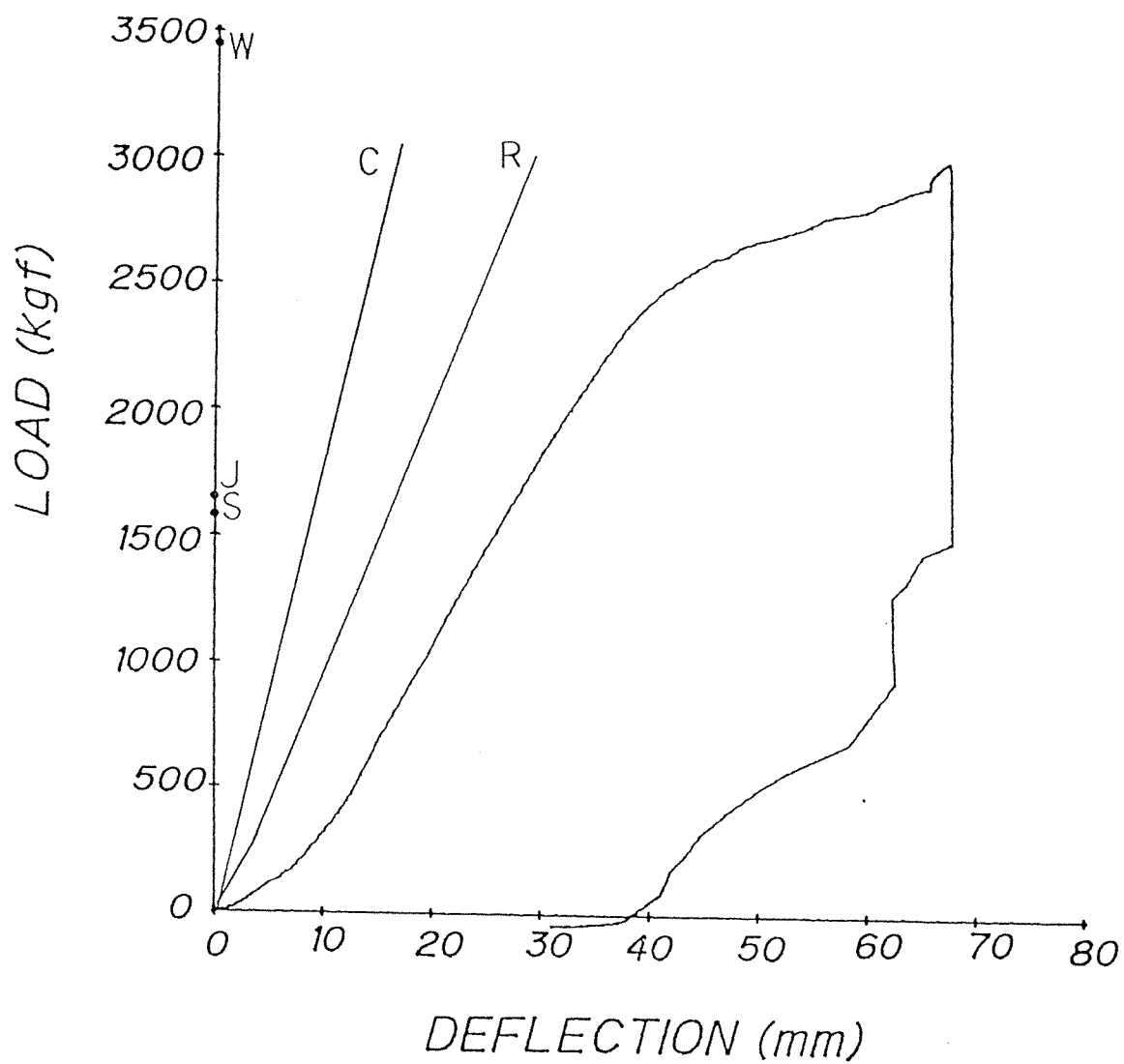


図-27 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-4 .2ch)



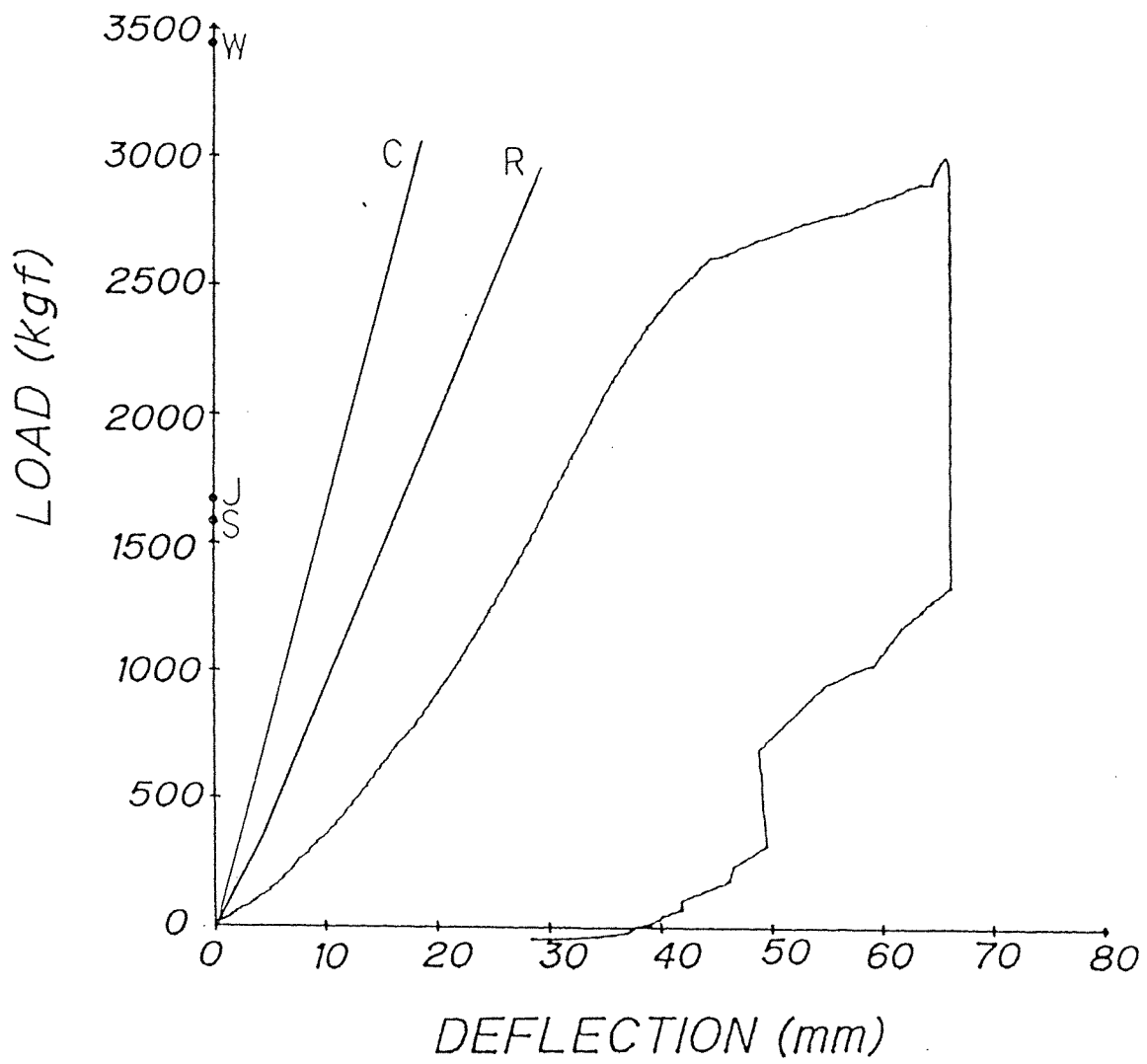
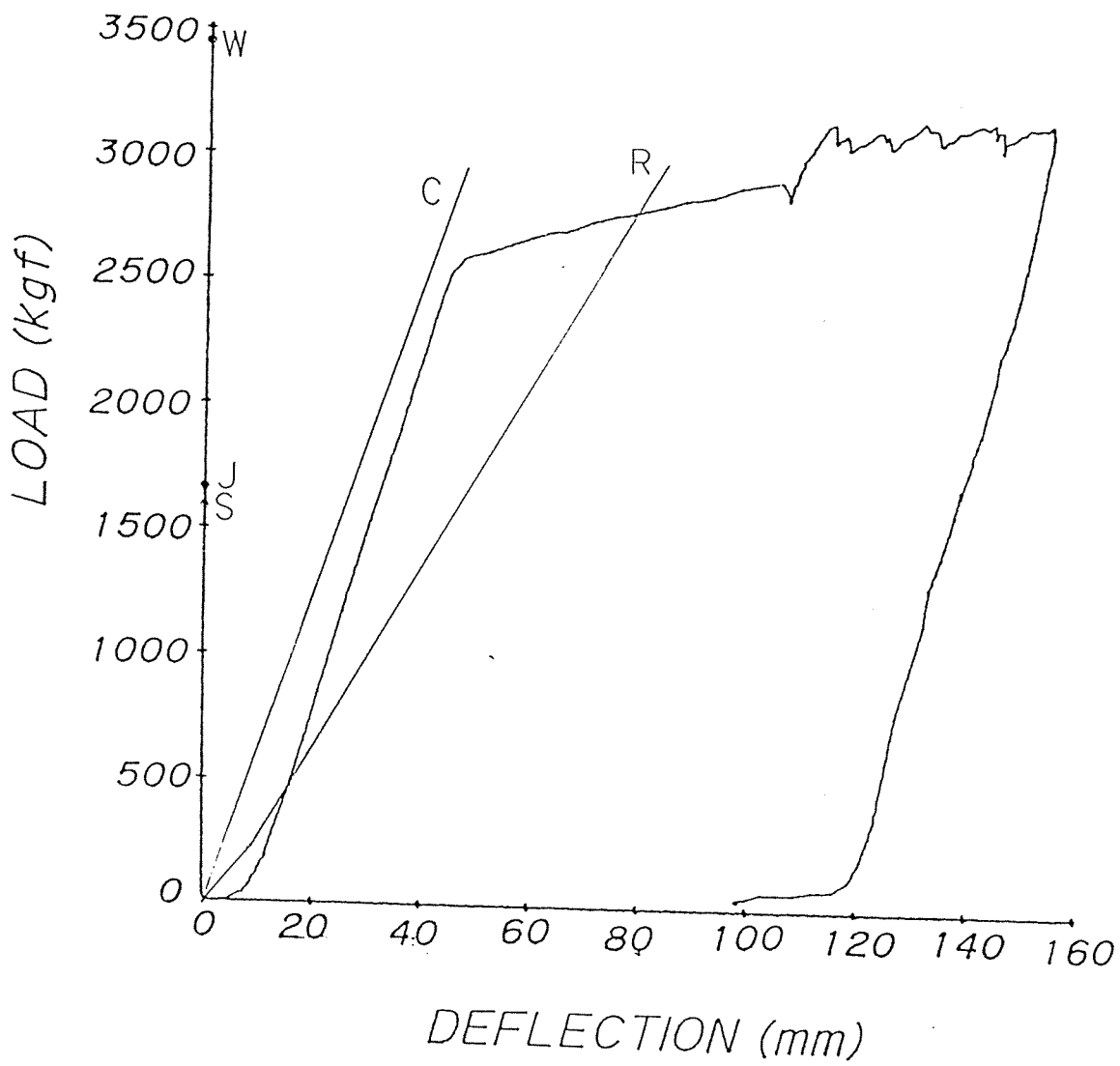
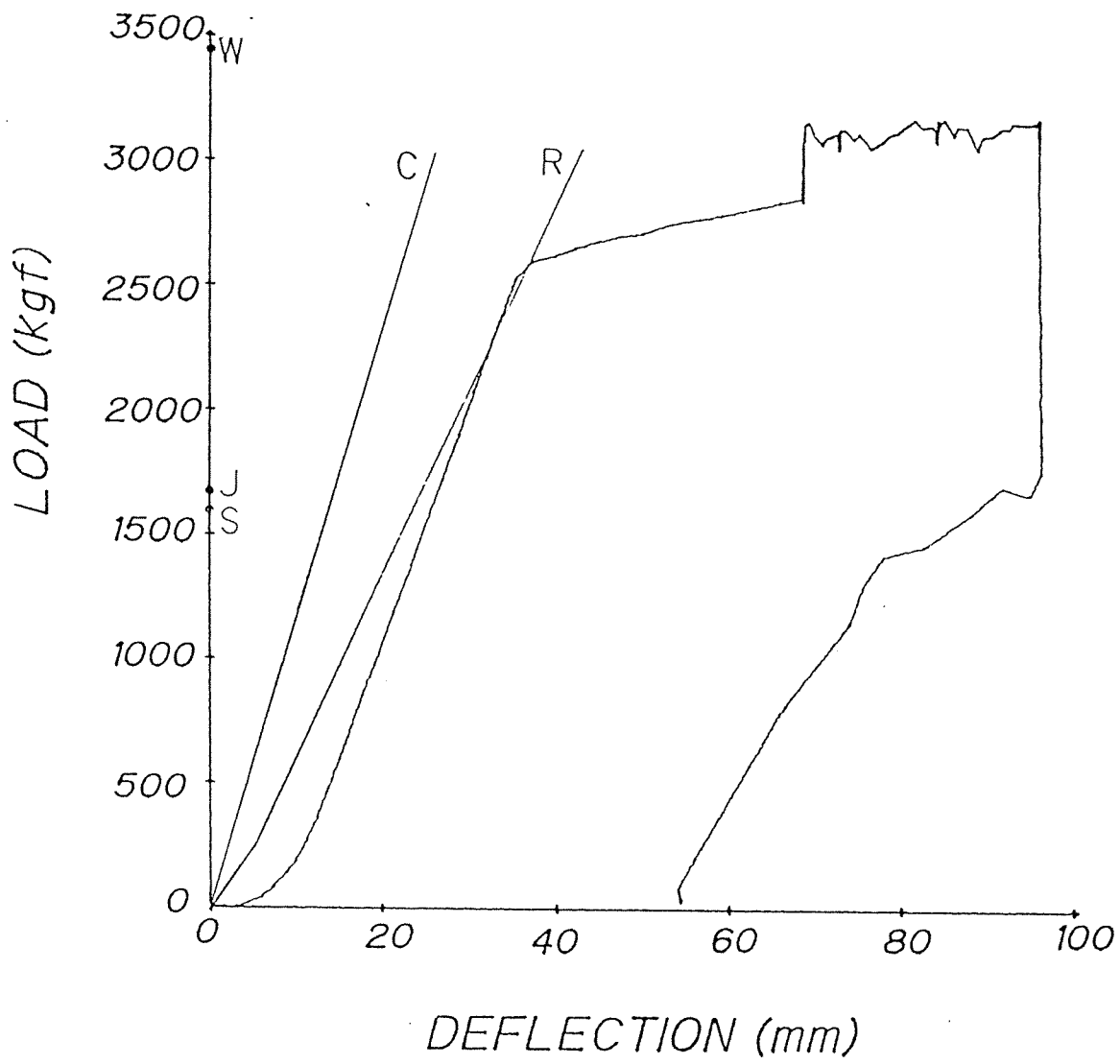


図-28 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-4 .3ch )



29  
 図-30 張弦梁 東3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-4 .1ch)



図→○ 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-4 .2ch )

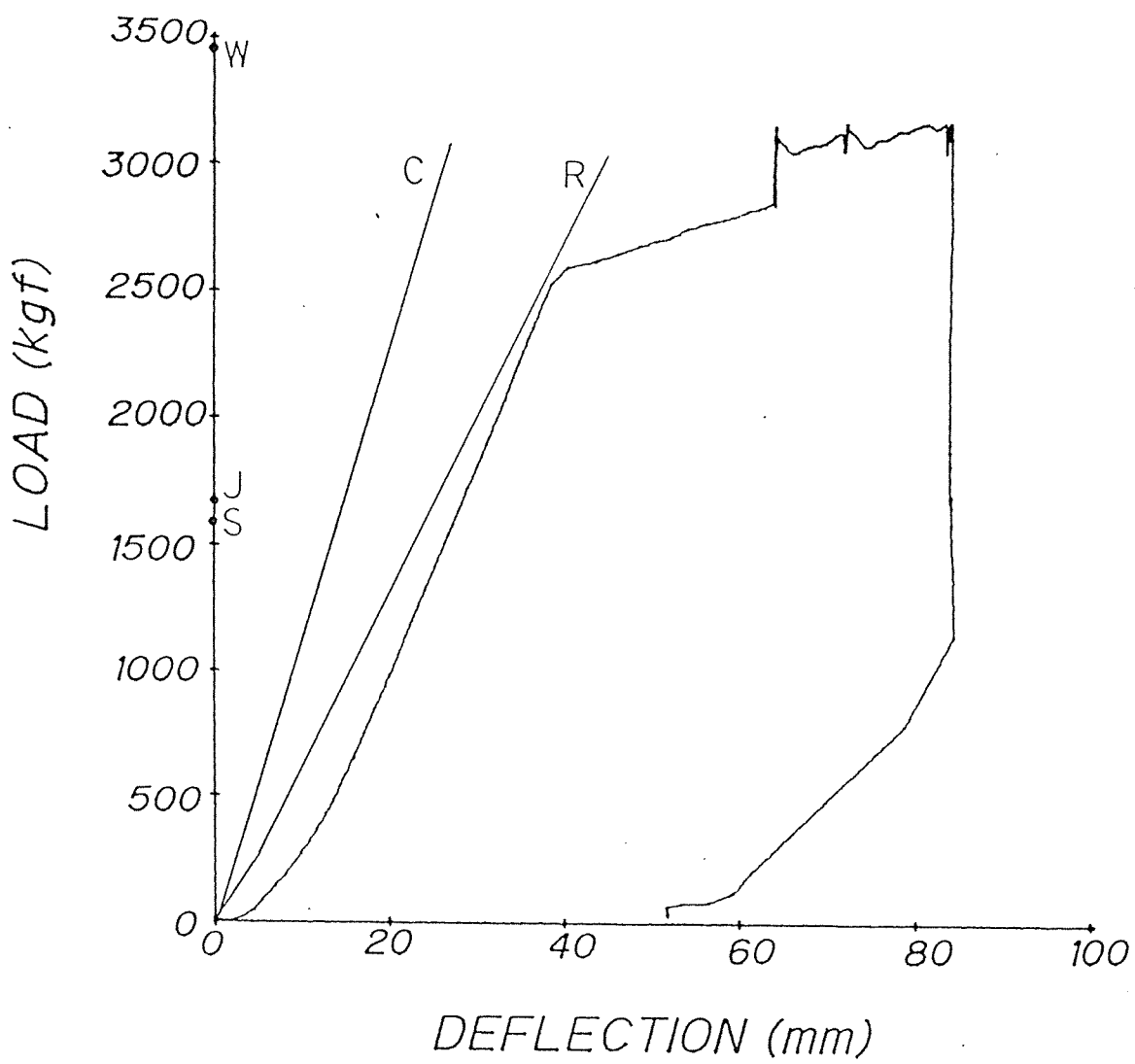


図-3/ 張弦梁 束3本タイプ 荷重-変位曲線 (C3-4 .3ch )

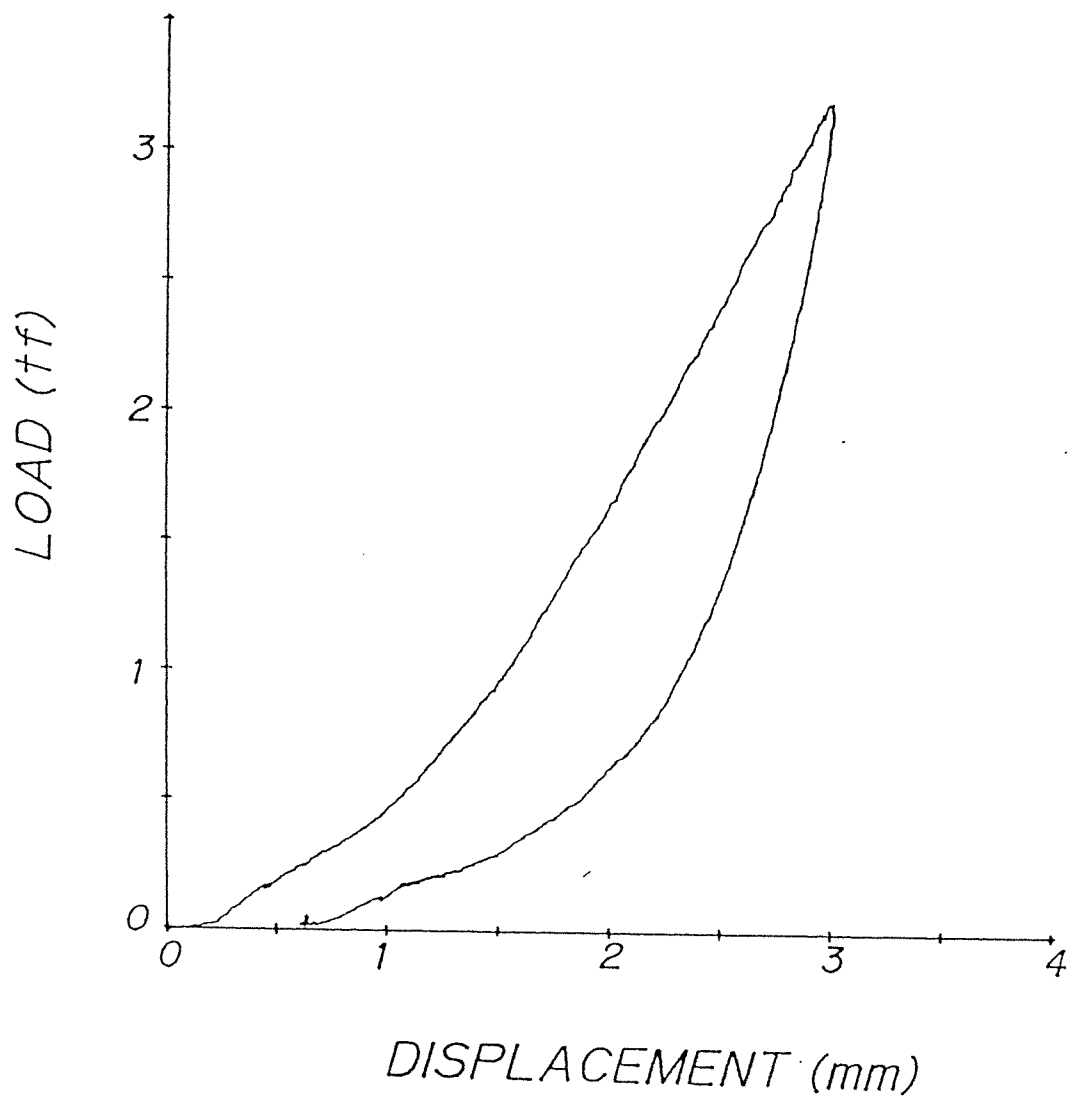


図-32 荷重-変位曲線 (JC1)  
 中央継手部のみ込み試験

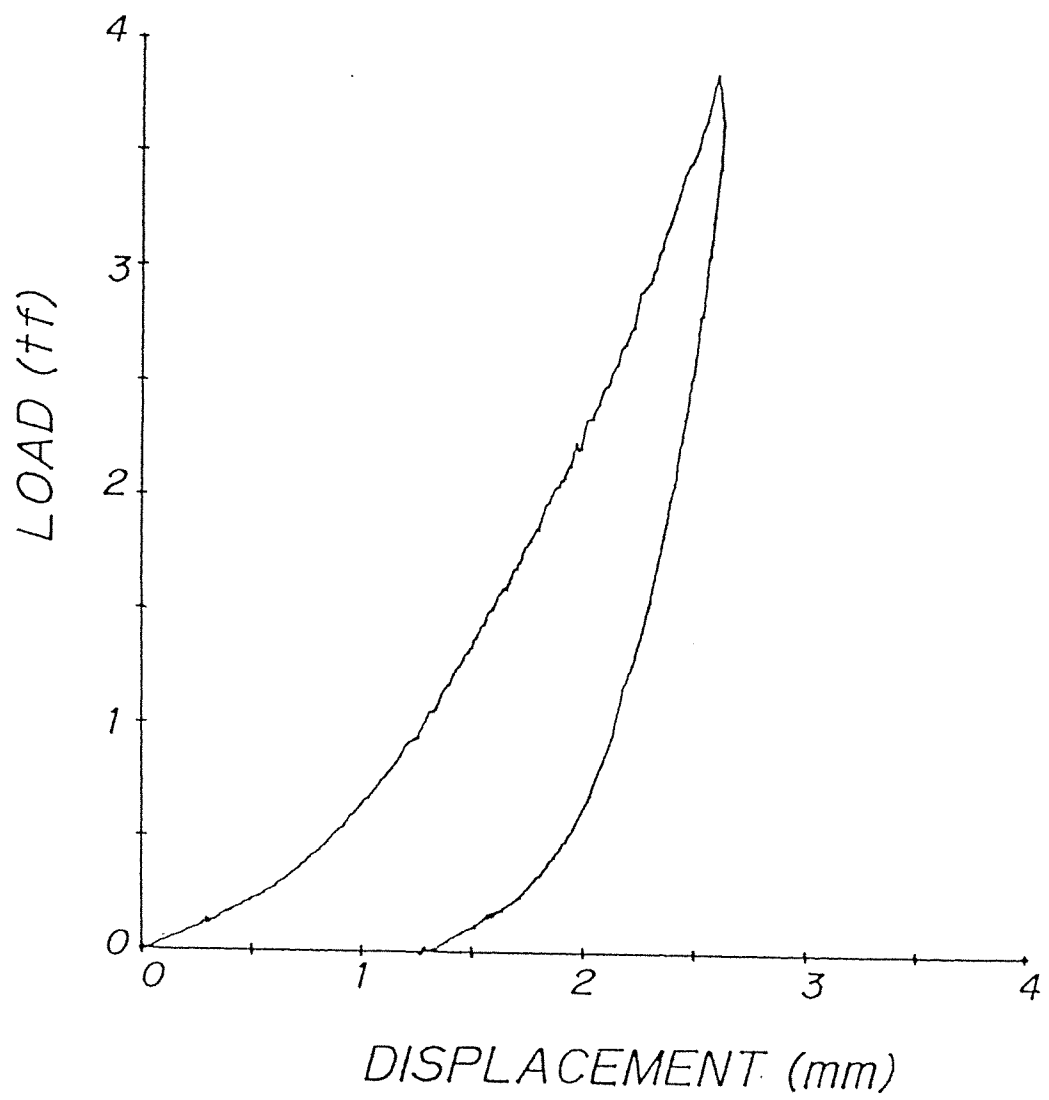


図-33 荷重-変位曲線(JC2)  
(単位)

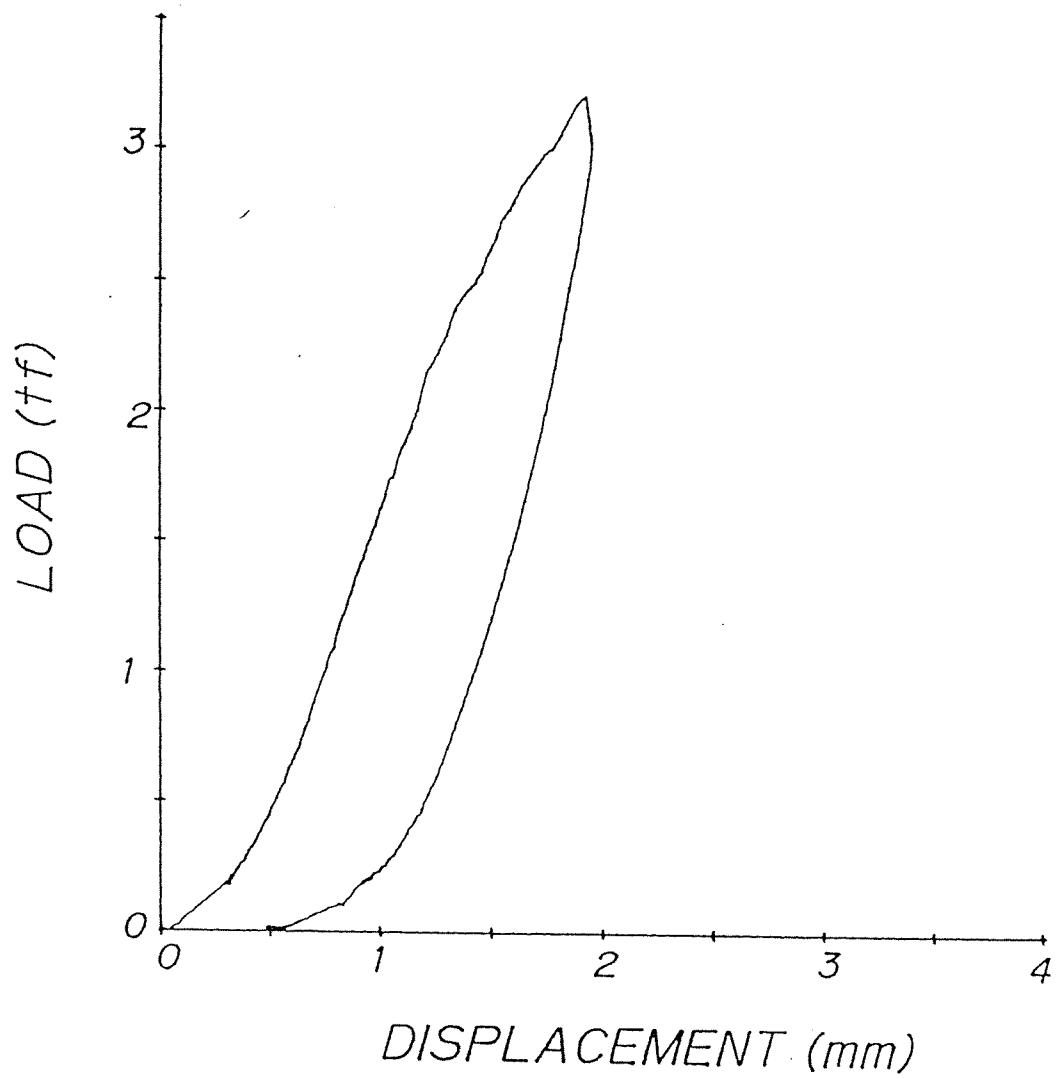


図-34. 荷重-変位曲線(JS3)  
 東-巨輪弦材のり込み試験

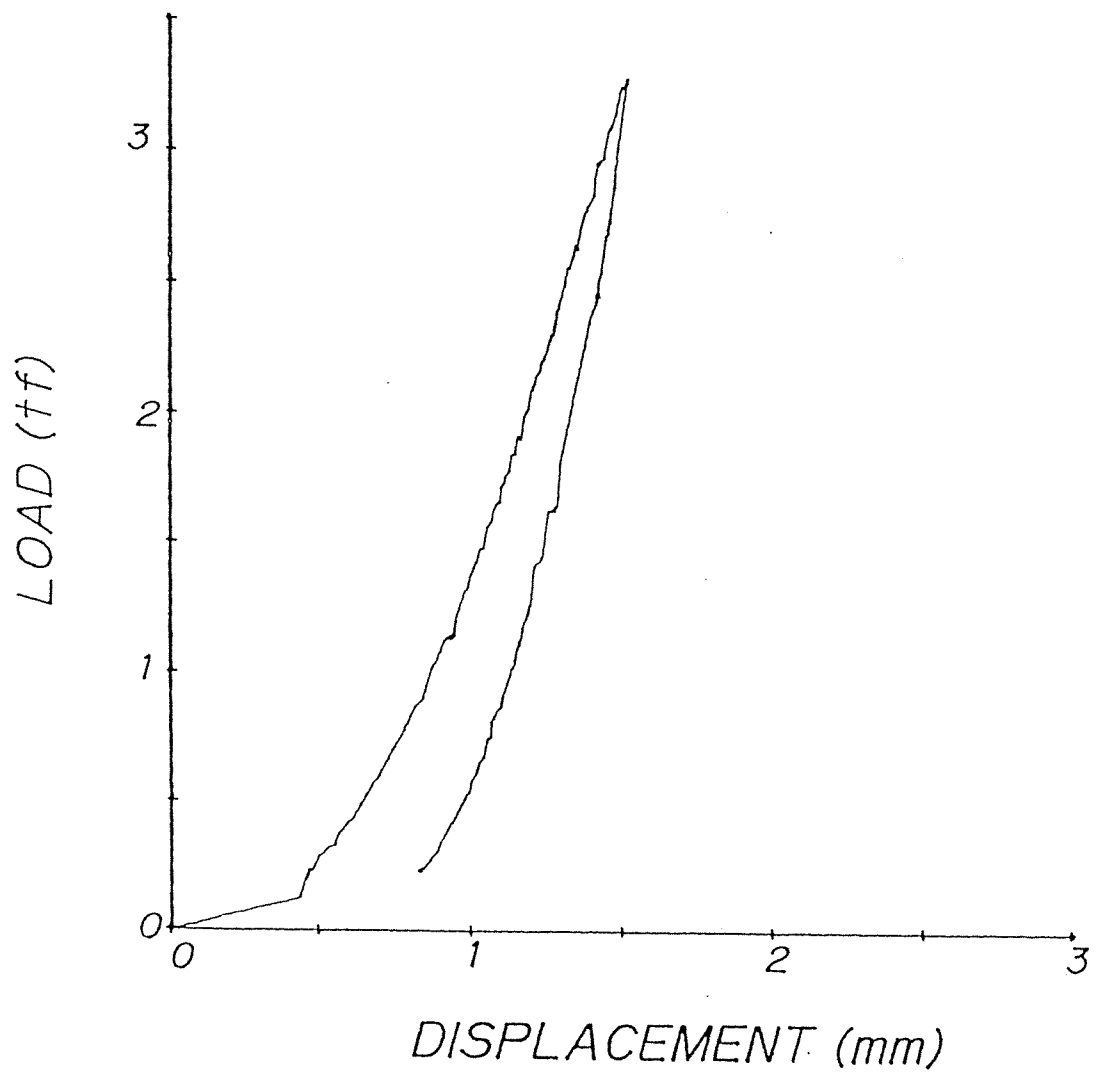


図-35 荷重-変位曲線(JS4)  
 (単位)



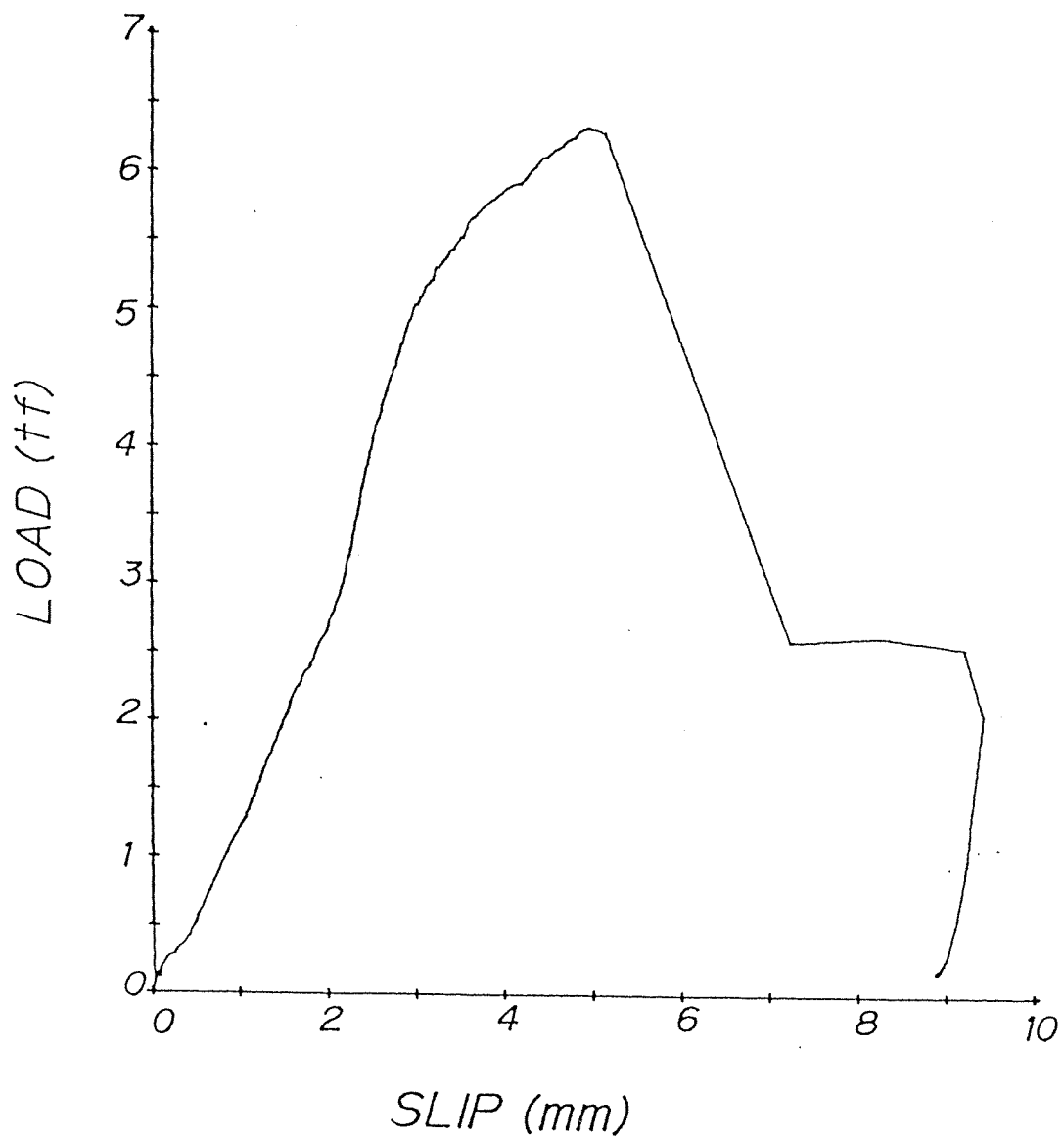


図-36 荷重-すべり曲線(JD5)  
ギヤル接合試験

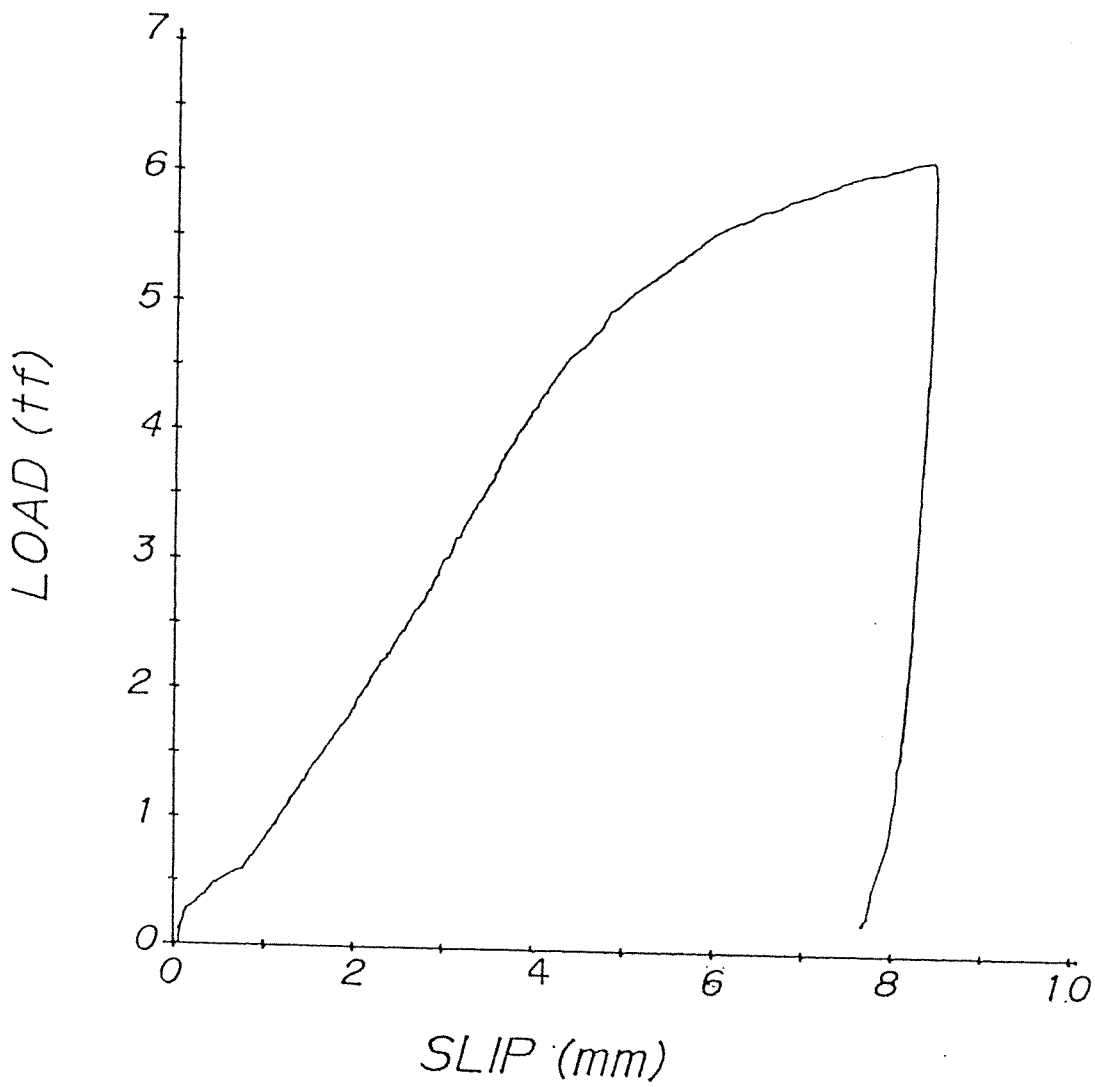


図-37 荷重-すべり曲線(JD6)  
(第3号)

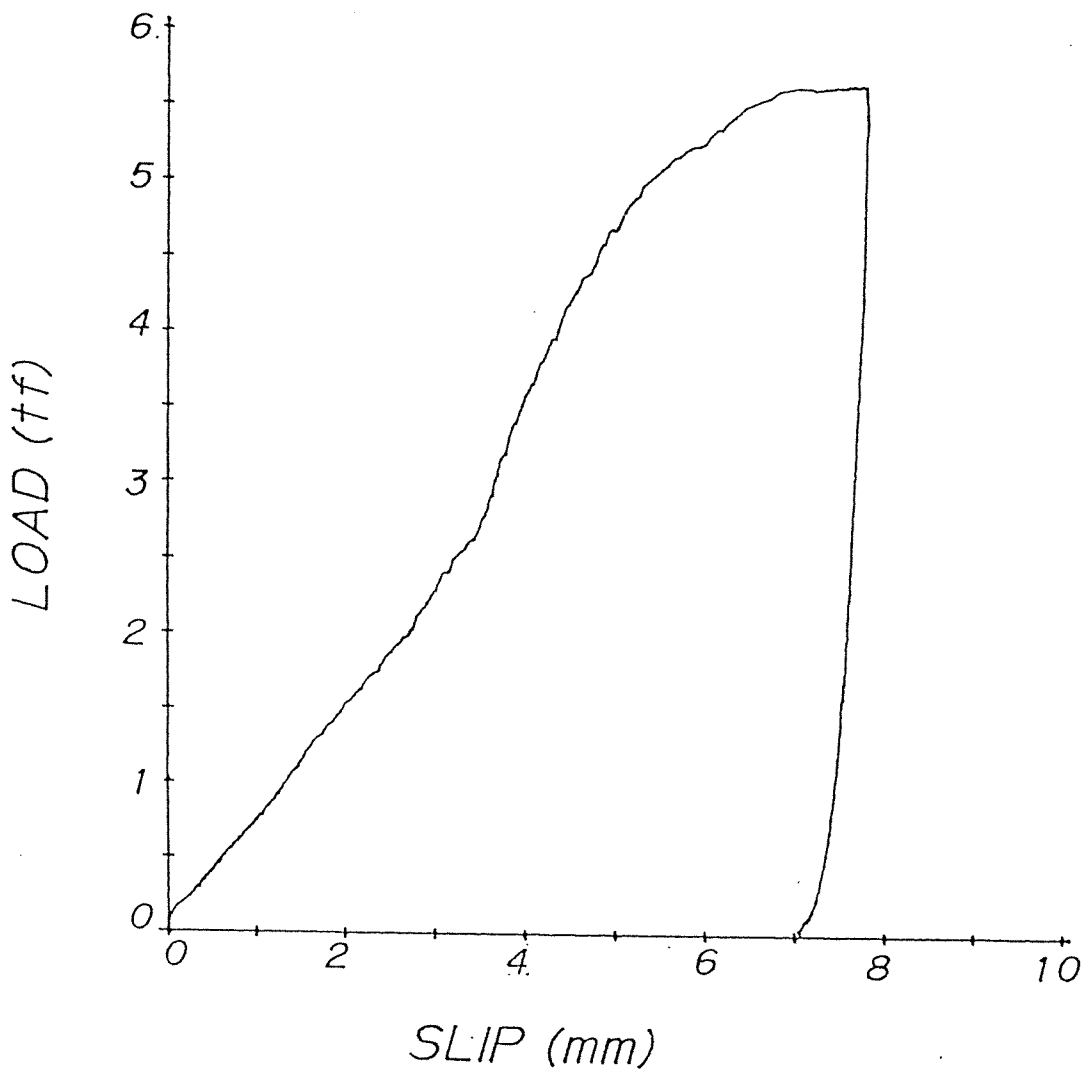


図-38 荷重-すべり曲線(J07)  
(連続)

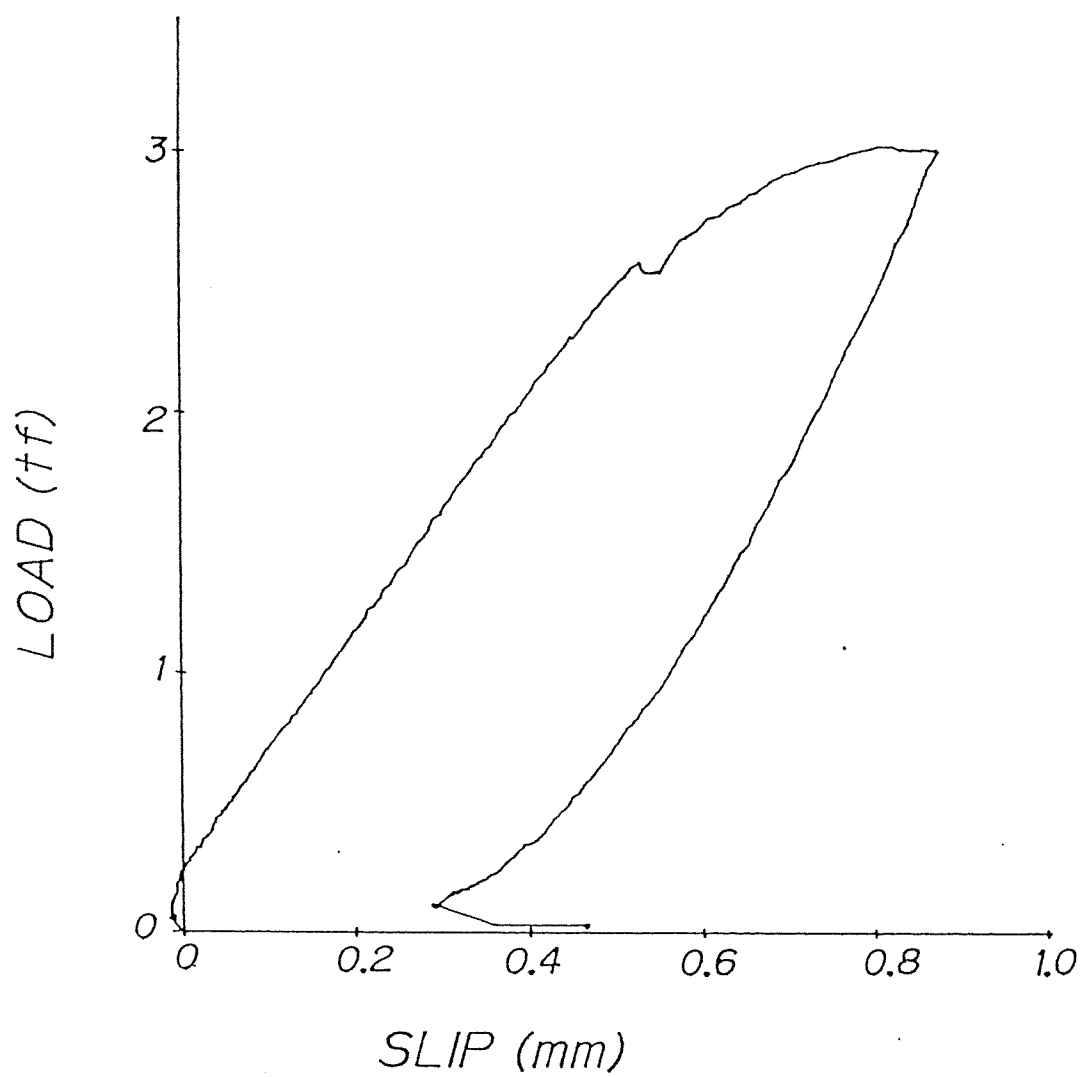


図-39 荷重-すべり曲線(JB8)  
ボルト接合試験

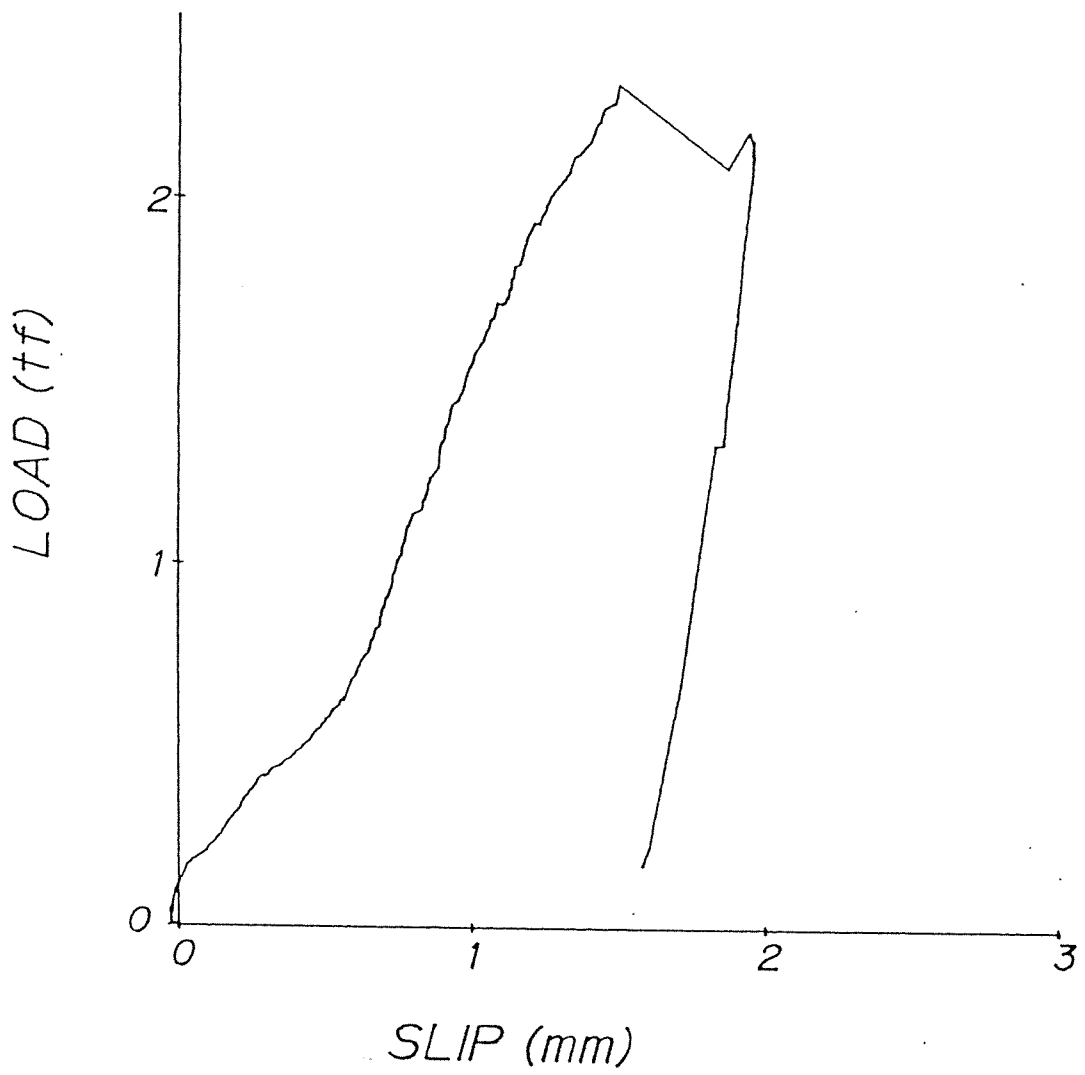


図-40 荷重-すべり曲線(JB9)  
(単位)

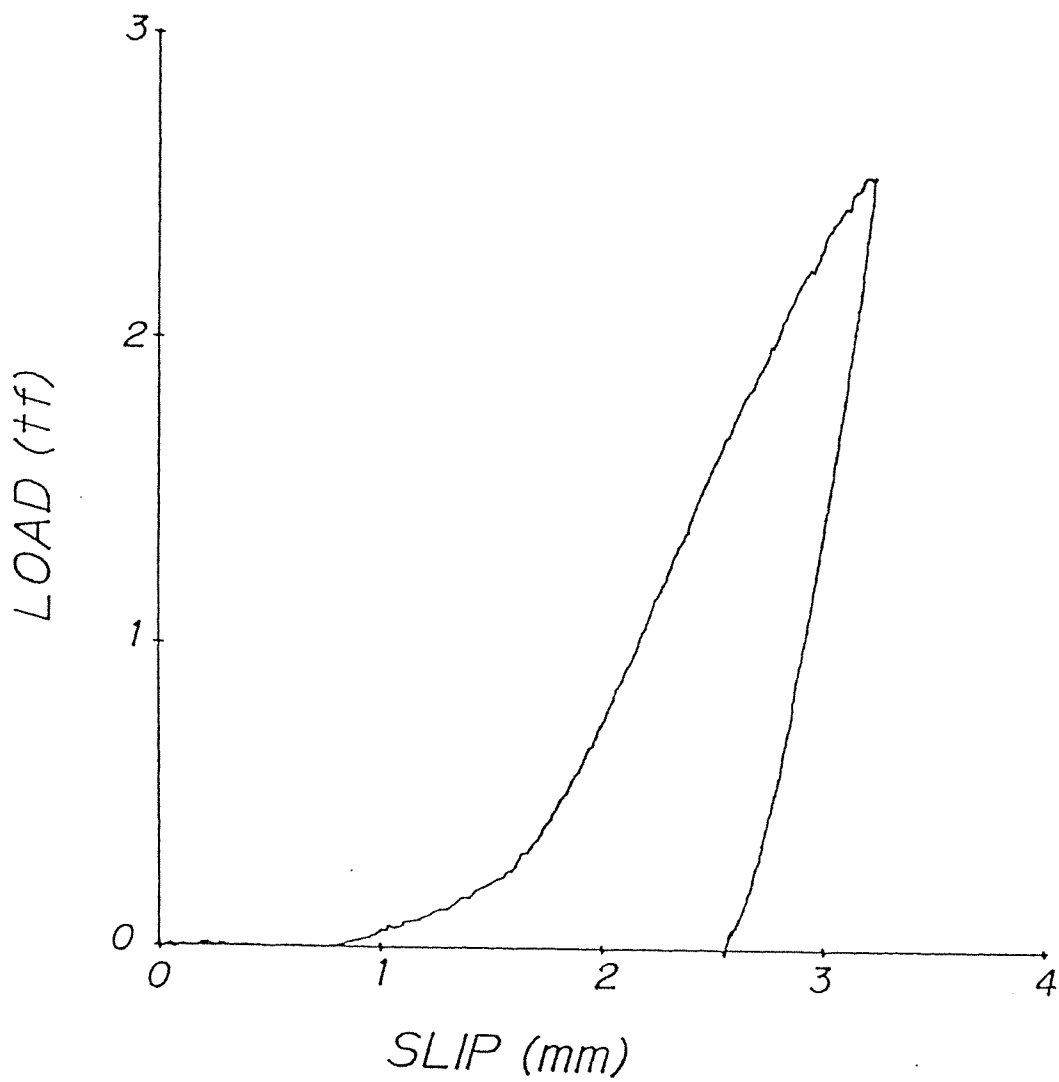


図-4/ 荷重-すべり曲線(JB10)  
(全長)

## 2.6 おわりに

スギ正角材という現在最も一般的な流通品を用いて、加えて継手はバットジョイントという簡易な方法による張弦梁の曲げ性能を実験で確かめた。

その結果、溶接などに欠陥のない鉄筋を用いれば、完全弾塑性と考えることのできる荷重-たわみ曲線を示すことがわかった。

これは、木材や集成材だけからなる木質系梁では得られない粘りのある梁であるといえる。

しかし、今回のような圧縮弦材の継手の方法では、継手のガタが梁たわみに大きな影響を及ぼし、たわみの計算予測は、かなり難しいことが指摘できる。このガタの問題は、鉄筋を締め上げてプレストレスを与えることによりある程度除くことが可能と考えられるが、その際には、鉄筋その他の部材の応力増加があるので、それに対する配慮も必要になってこよう。これらは今後の検討課題である。

### 3. 張弦梁の製作とケーススタディ：登り梁

張弦梁のケーススタディとして最も現実性のあるものとして、ここでは屋根梁の登り梁を取り上げ検討することとした。

地域として、一般地を想定し、木材梁にはスギ正角材（10cm）をジベルまたは接着接合した3段の重ね梁と丸太（直径20cm、10cmとし、張弦材は12φの鉄筋2本張り）とした。

梁長さは、8 mとし、束の本数、荷重条件等を変化させた場合の応力状況を調べることにした。

#### 3. 1 設計条件

##### 荷重条件

積雪荷重	6 0 kgf/m <sup>2</sup> （積雪30cm）
屋根荷重	7 7 kgf/m <sup>2</sup> （石綿スレート葺、母屋、天井、梁自重）
<hr/>	
計	1 3 7 kgf/m <sup>2</sup>

屋根梁間隔 : 1.82 m

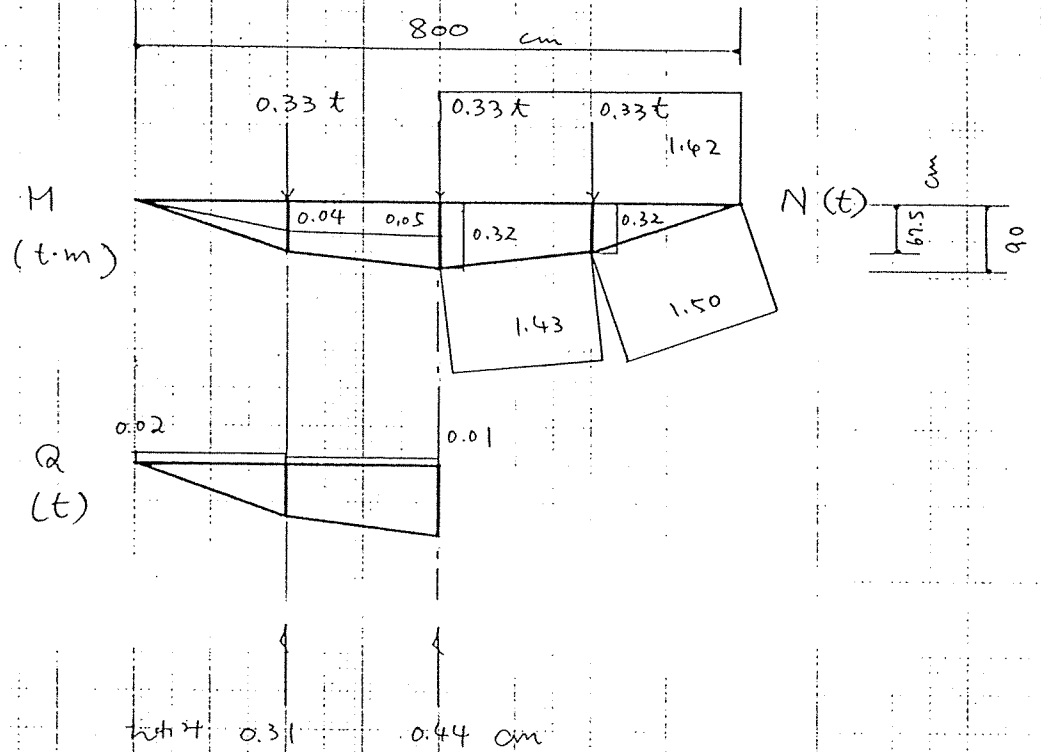
スパン : 8 m

トータル荷重 :  $1 3 7 \text{ kgf/m}^2 \times 8 \text{ m} \times 1.82 \text{ m} = 1 9 9 5 \text{ kgf}$

以上のような、設計条件で以下ケーススタディを行う。



### 3.1 ケース1: ジベルを用いた重ね梁使用



○ 断面寸法

木材梁 30 cm × 10 cm

鉄筋 直径 12 mm 2本

○

	I (cm <sup>4</sup> )	E (t/cm <sup>2</sup> )	A (cm <sup>2</sup> )
木材梁	22500	33.3*	300
鉄筋	0.203	2100	2.26
床	833	70	100

\* 本委員会の実験データより

○ 応力付図の上のようにした。

○ 木材梁応力度

$$\sigma_c = \frac{1.42 \times 10^3 \times 2}{300} = 9.5 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (圧縮)}$$

$$\sigma_b = \frac{6 \times 0.05 \times 2 \times 10^3 \times 10^2}{10 \times 30^2} = 6.7 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (曲り)}$$

$$\tau = \frac{0.02 \times 10^3 \times 2}{300} \times 1.5 = 0.2 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (せん断)}$$

複合応力

$$\text{回転半径 } r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{10 \times 10^3 *}{12} \cdot \frac{1}{10 \times 10}} = 2.89$$

$$\text{細長比 } \lambda = l/r = 200 / 2.89 = 69.2$$

\*: 弱軸の中を  $\frac{1}{3}$  の  $10 \text{ cm}$  とした

\*\* : 荷重点間距離とした。

$$\eta = 1.3 - 0.01\lambda = 0.61$$

$$\frac{N}{A_e} + \frac{\eta f_c}{f_b} \frac{M}{Z_e} \leq \eta f_c \text{ となり}$$

$$9.5 + 0.61 \times \frac{60}{75} \times 6.7$$

$$= 12.7 \leq 0.61 \times 60 = 36.6 \quad \text{OK}$$

○ 束応力度

$$\sigma_c = 0.32 \times 2 \times 10^3 / 100 = 6.4 \leq 60 \quad \text{OK}$$

○ 鉄筋の応力 (SS41)

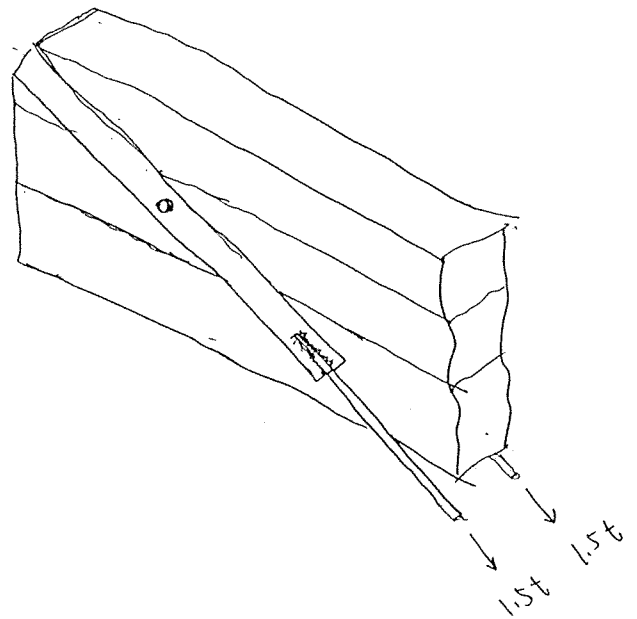
$$\sigma_t = \frac{1.5 \times 10^3 \times 2}{2.26} = 1327 \leq \frac{2400}{1.5} = 1600 \quad \text{OK}$$

○ ねじ  $\frac{0.44}{800} = \frac{1}{1800} \quad \text{OK}$

○ 接合

3t のせん断力に  
耐える接合は  
右図のようになさる  
かたがよくなる。

鉄板を折り曲げて、  
梁に引掛けるのが  
(フンドシ式)として、  
脱落しないように  
ボルトで固定して  
おく。(M12ボルト)

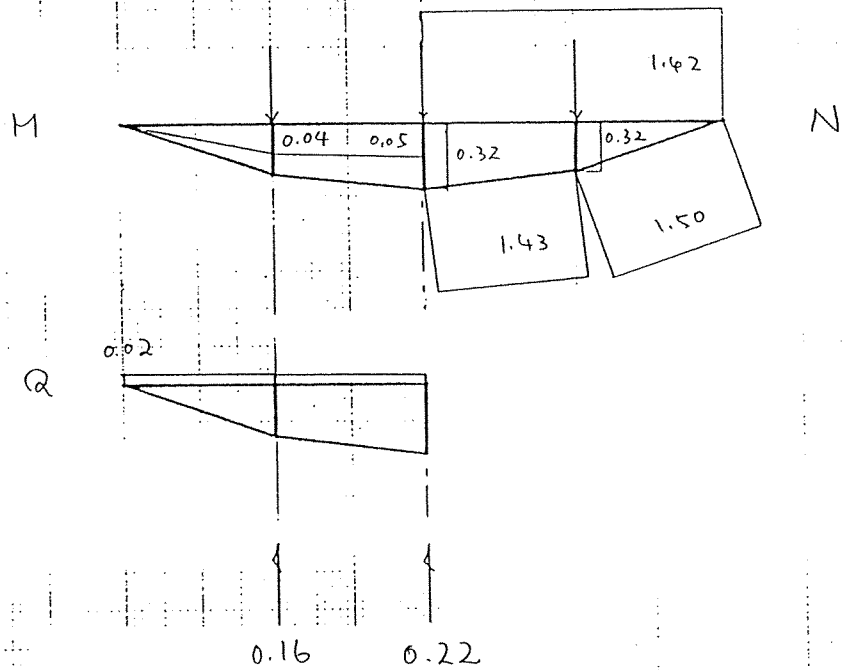


鉄板の所要巾  $b$

$$\frac{3000}{10 \times b} \leq 60$$

$$b = 5 \text{ cm 以上}$$

### 3.2 ケース2：接着重ね梁使用



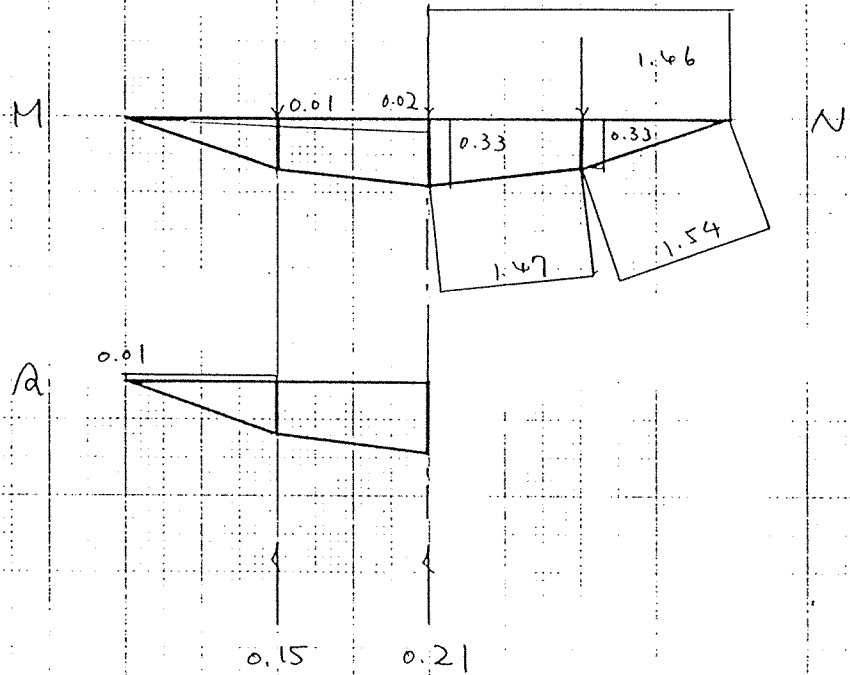
条件は全てケース1と同じ、ただし木材梁にスギ正角材 3段接着重ね梁を使用。

等価ヤング係数も実験結果から  $66.6 \text{ t/cm}^2$  とした (シベル産木梁の丁度2倍)。

各部の応力は全てケース1と同じ結果である。

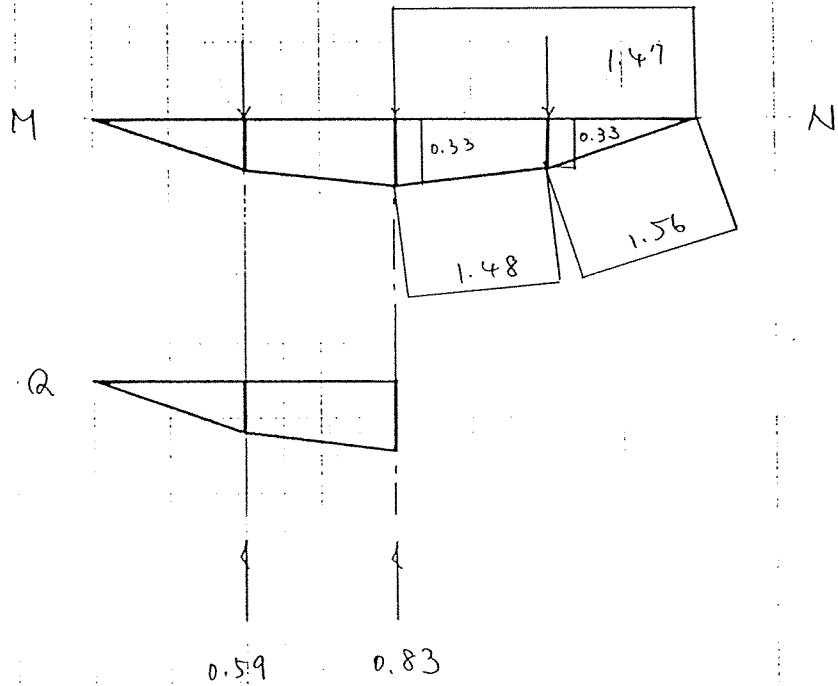
ただしケース1の丁度  $1/2$  となっている。

### 3.3 ケース3：丸太使用 (20cm $\phi$ )



木材梁に直径 20cm の丸太使用。  
 ケース2 と比べて軸力は 30kN 同い。  
 モーメントは 半分以下に減いた。  
 変位は 30kN 同いである。

### 3.4 ケース4：丸太使用 (10 cm $\phi$ )



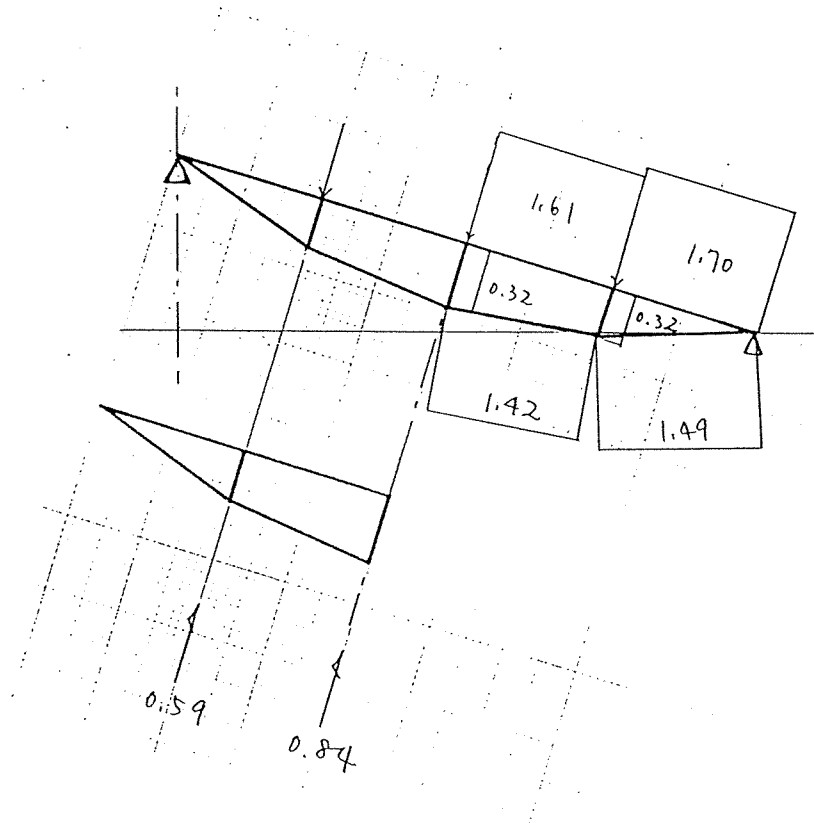
軸力はこれ以前のものと変わりはないから、モーメントと剪断力はゼロである。

これは 20  $\phi$  丸太に比べて約 4 倍増である。

ゆえに

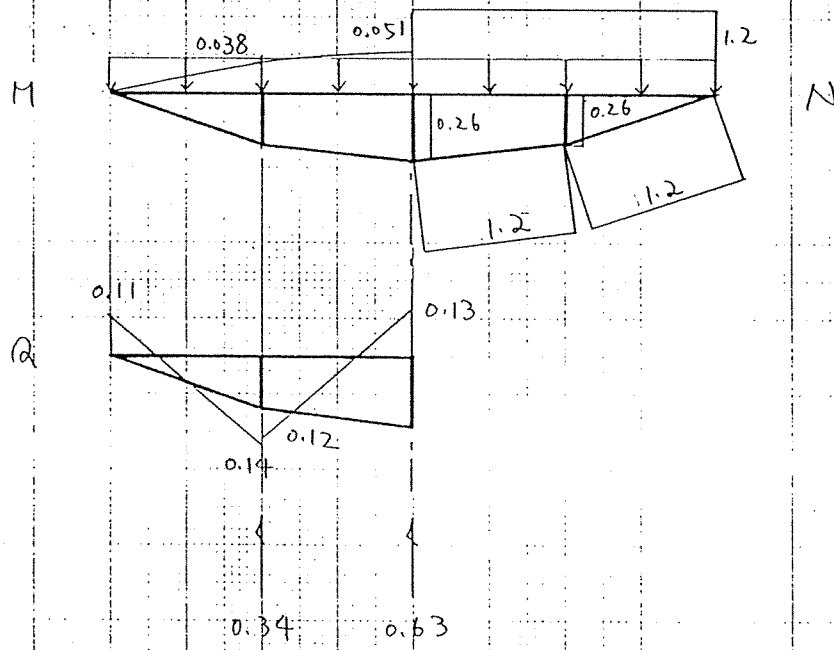
$$\frac{0.83}{800} = \frac{1}{960} \quad \text{OK}$$

3.5 ケース5：丸太使用の傾斜の影響（10cmφ）



ケース4のものを  $\frac{3}{10}$  勾配で傾けた場合  
 鉄筋の軸力が増えるのと反対に、代って  
 圧縮弦材の軸力が増加する。  
 しかし この増加量はほんのわずかである。

### 3.6 ケース6: 丸太使用の等分布荷重 (10 cm φ)



ケース4の荷重条件を等分布荷重にした場合  
軸力は減るが、元々1ヶ所及2ヶ所断面応力  
が集中する。

応力の算出

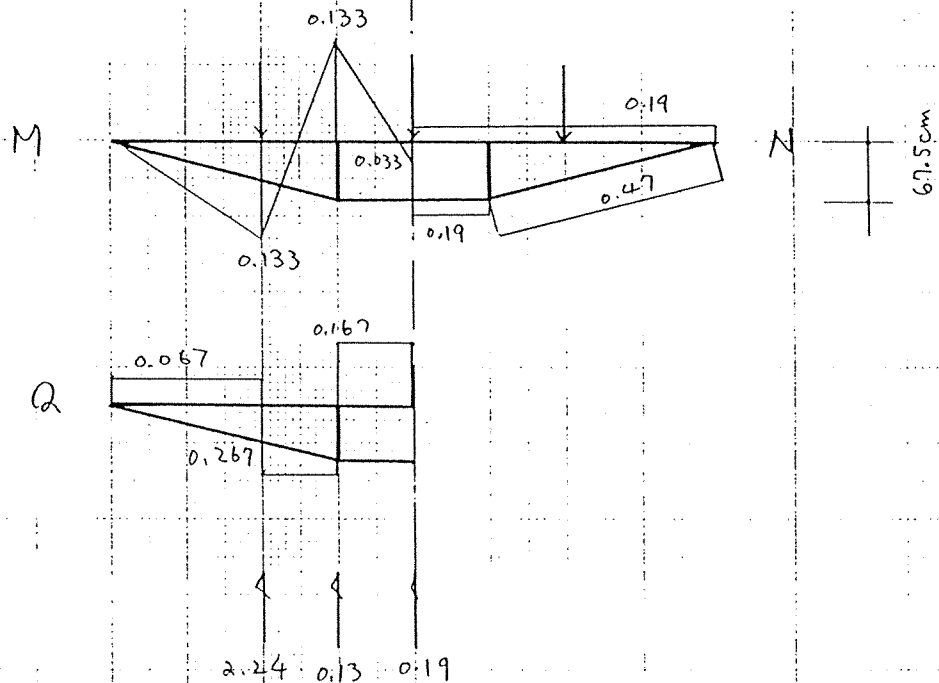
$$\begin{aligned} \sigma_c &= 1.2 \times 10^3 \times 2 / 78.5 = 30.6 \\ \sigma_b &= 0.051 \times 10^3 \times 10^2 \times 2 / (98.1) = 104.0 \\ \sigma_t &= 0.14 \times 10^3 \times 2 \times 1.5 / 78.5 = 5.4 \end{aligned}$$

このケースでは曲げと圧縮の複合応力にて許容応力を超え  
るため不可。

毎分10分で束の土に集中荷重を伝えている丸太を  
用いるのは不可。



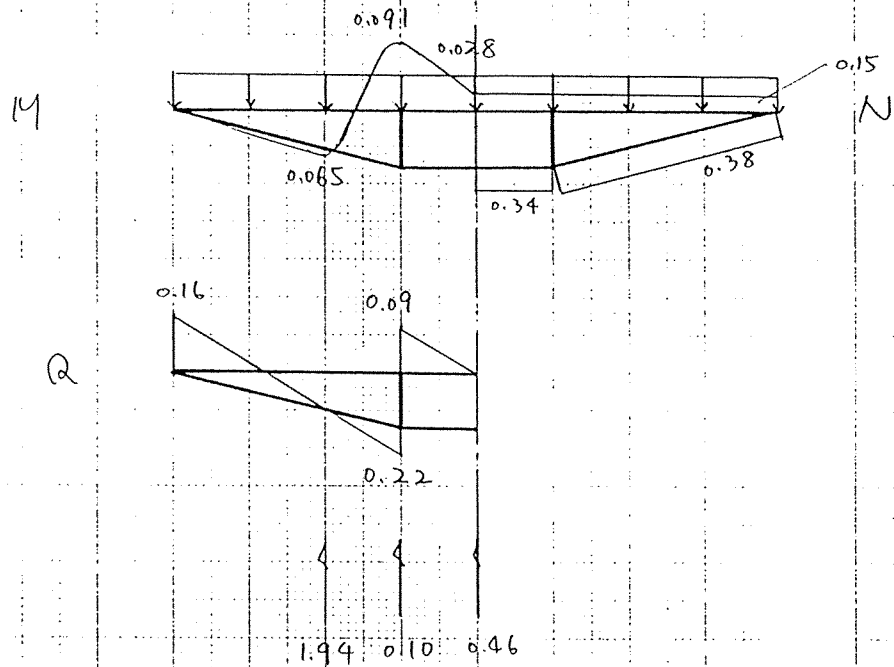
### 3.7 ケース7: 集中荷重が束の上にかない場合 (10φ丸太)



この場合は荷重直下に非常に大きな曲げモーメントが発生する。従ってこれに見合う断面性能を持つ浮かひ要。

しかし左右両端の荷重直下で最大となる。軸力は右端での60に比べ約1/2に減少してゐるので、鉄筋の接合にジグザグの利用も考えられる。

### 3.8 ケース8：等分布荷重が束の上にかかる場合（10φ丸太）



ケース7の集中荷重が束の中心にあり曲げモーメントは減少  
 (この場合依然として束の両端に大きな曲げ  
 モーメントが生じている。

## 4. ポリウレタン接着剤の耐久性

(接着耐久性の新しい評価法の試み)

### 4. 1 はじめに

接着重ね梁のような接着製品を構造用途に使用する場合、その耐久性が明らかにされなければならない。しかし、接着製品の耐久性は、接着剤の種類、被着材の性質、製品寸法および使用環境等により異なるため、“この製品は何年もちますか？”という問いに答えることは不可能に近い。製品の耐久性を調べる最も確実な方法はその製品を実際の使用環境に暴露することであり、それから得られる結果は重要な意味を持つのは確かである。しかし、そのような方法は長い期間を要するため、新しい接着剤を用いた製品を実用化しようとする場合、経済的なことを考慮すれば現実的な方法とは言い難い。そこで、接着製品の耐久性を判定するための方法としては、促進劣化試験により、既に構造用接着剤として実績のあるフェノール系の接着剤等と新しい接着剤との接着耐久性を比較検討する方法が実際にはとられている。この方法が適用できるのは、促進劣化試験での寿命と使用環境における寿命との関係が、新しい接着剤と既に構造用接着剤として認められている接着剤とで同じであるという仮定が成り立つ場合のみに限られるべきである。結局、新しい接着剤についても、促進劣化試験での寿命と使用環境における寿命との関係を把握する必要がある。そのため、新しいタイプの接着剤の耐久性を短期間に、しかも合理的に判定するための方法を開発することが必要である。

本研究の目的はふたつあり、ひとつは接着重ね梁に使用される1液型ポリウレタン接着剤の耐久性を調べることであり、もうひとつは、そのような新しい種類の接着剤の耐久性を比較的短期間で合理的に判定するための方法を開発することである。

### 4. 2 試験方法

供試材は幅150mm、長さ400mm、厚さ2.5mmのカバ桎目材（比重0.67~0.72）とした。供試接着剤は接着重ね梁の製作に使われた接着剤と同タイプの1液型ポリウレタン接着剤（U、ホーネンレジングルーIW-310）、水性高分子・イソシアネート系接着剤（A：硬化剤15部添加、B：硬化剤10部添加、光洋産業製KR-120）およびレゾルシノール樹脂接着剤（R：硬化剤15部添加、大日本インキ製プライオーフェン6000）とした。R接着剤は、構造用集成材の製造にも使われる耐久性の高い接着剤であることが認められているため採用した。AおよびB接着剤は、化学成分的にP接着剤と類似していることと、住宅用の構造用パネルの製造にも使われる接着剤であるため採用した。

供試材2枚を各接着剤を用いて接着した。塗布量はRでは約200g/m<sup>2</sup>、AおよびBでは約250g/m<sup>2</sup>、Uでは約300g/m<sup>2</sup>とした。圧縮条件は各接着剤とも10kgf/cm<sup>2</sup>で24時間とした。接着剤が硬化した後、2枚合わせ引張せん断試験片（幅25mm、長さ80mm、厚さ5mm）を作製した。試験片の鋸目間隔は13mmとし、接着面積は3.25cm<sup>2</sup>と

した。試験片に促進劣化処理（1サイクルは、煮沸4時間－100℃乾燥20時間）および屋外暴露（森林総研屋外暴露試験場使用、南面垂直）を行った後、気乾状態に調湿して接着強さを測定した。気乾状態にして接着強さを測定したのは、促進劣化処理と屋外暴露による接着強さの変化を比較するためである。試験数は各条件とも12個とした。

#### 4. 3 結果および考察

##### （1）促進劣化試験

促進劣化試験の結果を図1.2-1に示す。合板の規格では、1類合板は煮沸繰り返し試験（今回の試験ではほぼ2サイクル相当する）に合格することが規定されている。同時に行った合板の耐久性試験によれば、メラミン・ユリア共縮合樹脂接着剤を用いた合板（1類相当）は煮沸繰り返し処理を5～8サイクル行くと完全に剥離した。合板は各単板の繊維方向が直交しているのに対して今回の試験片は繊維方向が平行であるという差があるが、今回用いた各接着剤による接合部は50サイクルの煮沸繰り返し処理でも完全に剥離することはなく、耐煮沸性は非常に高いといえる。ウレタン系の接着剤（U、AおよびB）は、促進劣化処理を行うと、初期に接着強さが増加した。これは、煮沸処理および加熱処理により接着剤の硬化が促進されるためと推察される。処理回数20サイクルで各接着剤の耐久性を比較すると $A > B > U > R$ であるが、50サイクルで比較すると $A > B > R$ およびUであった。促進劣化試験から各接着剤の耐久性（耐煮沸性）を比較すると、Uの耐久性はRと同等であり、AおよびBはRより耐久性が大きいといえる。

##### （2）屋外暴露試験

屋外暴露2年めまでの試験結果を図1.2-2に示す。Rの接着強さは屋外暴露2年めまではほとんど低下していない。ウレタン系の接着剤の場合、屋外暴露1年での接着強さの低下はわずかであるが、2年めになると接着強さの低下は比較的大きくなる。これは、促進劣化試験で認められたように、ウレタン系の接着剤が促進劣化処理の初期の段階で接着強さが増加するという傾向が屋外暴露1年めまでに生じた可能性を示唆する。屋外暴露2年目の接着強さから、各接着剤の耐久性（耐候性）を比較すると、 $R > A > B$ およびUであった。Rに比べると、ウレタン系の接着剤は、耐煮沸性が高い割に、屋外暴露に弱いといえる。

##### （3）新しい接着耐久性評価法の検討

各接着剤につき、適当ないくつかの水準の促進劣化処理を施した試験片をそれぞれ1年間屋外暴露した。得られた結果を図1.2-3に示す。促進劣化処理した試験片についての（処理回数－接着強さ曲線）と促進劣化処理した後1年間屋外暴露した試験片についての（処理回数－接着強さ曲線）との横軸方向の移動量を求めた。この移動量は、市販の高次解析のプログラムを改良して利用して以下の方法で求めた。すなわち、促進劣化処理した後に屋外暴露1年間行った試験片についての結果に適当な促進劣化処理回数（移動量）を加え、これらと促進劣化処理のみを施した試験片についての結果とを合わせて高次解析を行い、相関係数を求めた。これらを繰り返し行い、相関係数が最大になる移動量を求めた（図1.2-4）。求めた

相関式および相関係数を付録1.2-1に示す。

促進劣化処理と屋外暴露による接着層の劣化機構が同じで、接着層の劣化速度だけが異なり、また、促進劣化処理と屋外暴露の両者は重ね合わせが可能であるという仮定のもとにおいて、この移動量は、屋外暴露1年に相当する促進劣化処理回数を示すと考えられる（付録1.2-2参照）。各接着剤の曲線の移動量はRは11、Uは16、Bは28およびAは29であった。これらの移動量からみても、Rに比べて、ウレタン系の接着剤は煮沸処理よりも、屋外暴露による接着層の劣化速度が速いと考えられる。

促進劣化処理をした試験片についての（処理回数－接着強さ曲線）の横軸をさきに求めた移動量から屋外暴露年数に置き換えると、この曲線は屋外暴露したときの接着強さの予測曲線となる（図1.2-3）。屋外暴露2年目の予測値と実測値は、Rを除いて、比較的よく一致している。これから、ここで提案した評価方法は、比較的短期間で、促進劣化試験よりも合理的に接着耐久性を判定するための方法としての価値がある可能性がある。今回は使用環境のひとつとして屋外暴露を採用したが、接着重ね梁が屋外で長期間暴露されることはないと考えられる。実際の使用環境をより分析して、そのような使用環境において、ここで提案した評価法を適用すれば、製品の使用環境での寿命を、比較的短期間で合理的に予測することができる可能性がある。

#### 4. 4 まとめ

（1）カバ桎目材2枚合わせ引張せん断試験片に、促進劣化試験（煮沸・乾燥繰り返し）を行い、以下の結果を得た。接着重ね梁の製作に使用された接着剤と同タイプの1液型ポリウレタン接着剤は、レゾルシノール樹脂接着剤と同等の耐煮沸性能を有する。水性高分子・イソシアネート系接着剤は、レゾルシノール樹脂接着剤より耐煮沸性能が高い。

（2）屋外暴露試験（2年めまで）により、以下の結果を得た。レゾルシノール樹脂接着剤はポリウレタン接着剤および水性高分子・イソシアネート系接着剤より耐候性が高い。ポリウレタン接着材は、硬化剤を10部添加した水性高分子・イソシアネート系接着剤と同等の耐候性を有する。

（3）促進劣化処理と屋外暴露1年間を組み合わせることにより、長期間屋外暴露したときの接着性能を推定するための方法を提案した。この方法で求めた屋外暴露2年目の接着強さの予測値と実測値は比較的よく一致した。これから、今回提案した接着耐久性の評価方法は、比較的短期間で合理的に接着耐久性を評価するための方法として価値がある可能性が示唆された。

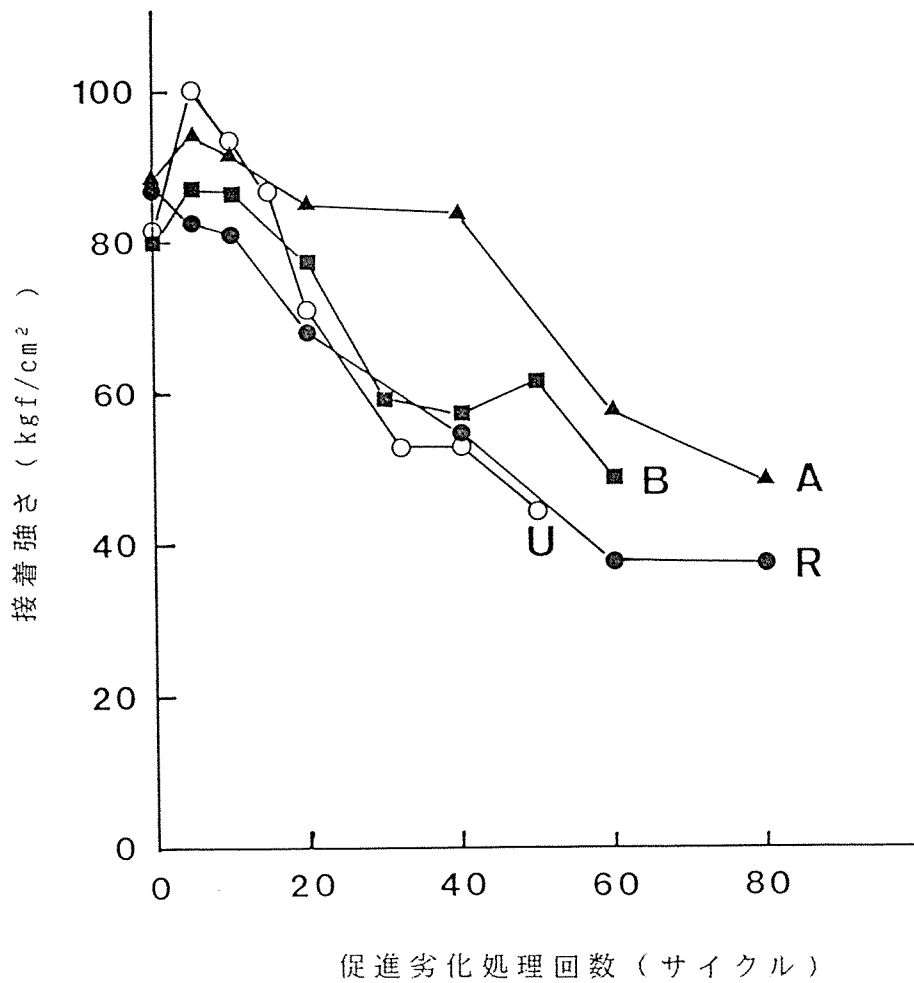


図 1.2 - 1 促進劣化試験結果

U: ポリウレタン接着剤

R: レゾルシノール樹脂接着剤

A: 水性高分子・イソシアネート接着剤 (硬化剤 1.5 部添加)

B: 同上 (硬化剤 1.0 部添加)

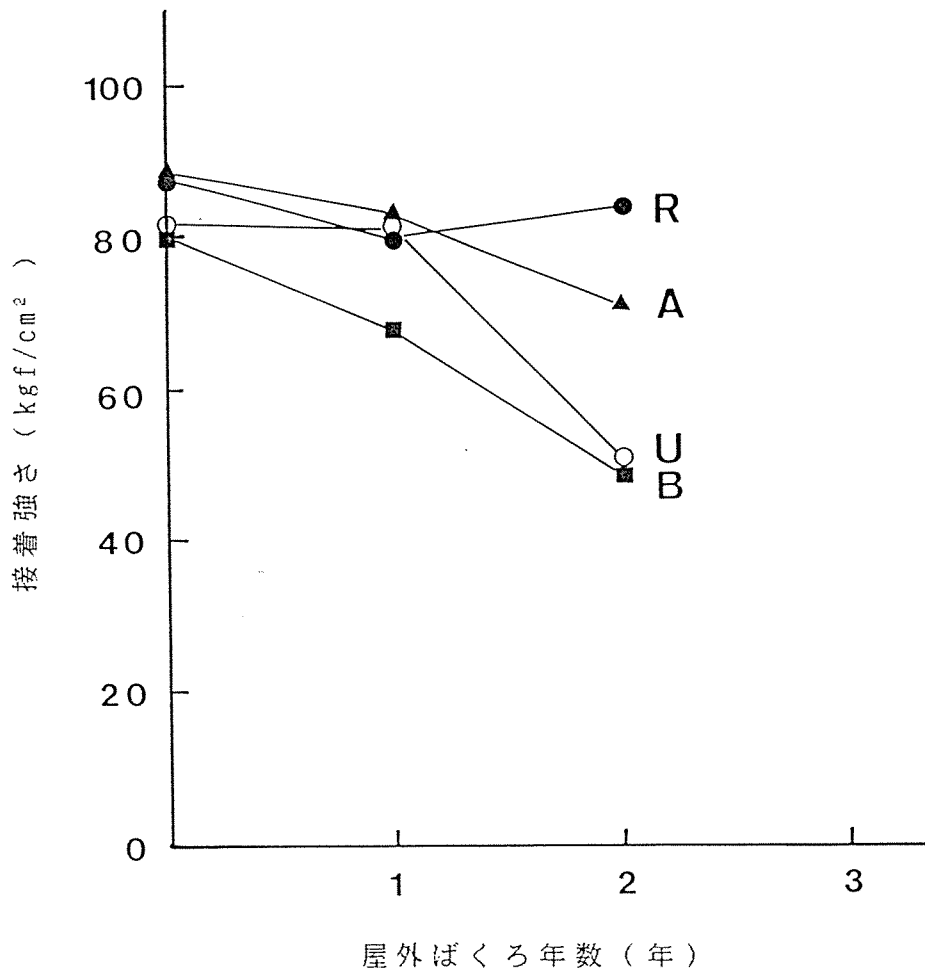


図 1.2 - 2 屋外ばくろ試験結果

U: ポリウレタン接着剤

R: レゾルシノール樹脂接着剤

A: 水性高分子・イソシアネート接着剤 (硬化剤 15 部添加)

B: 同上 (硬化剤 10 部添加)

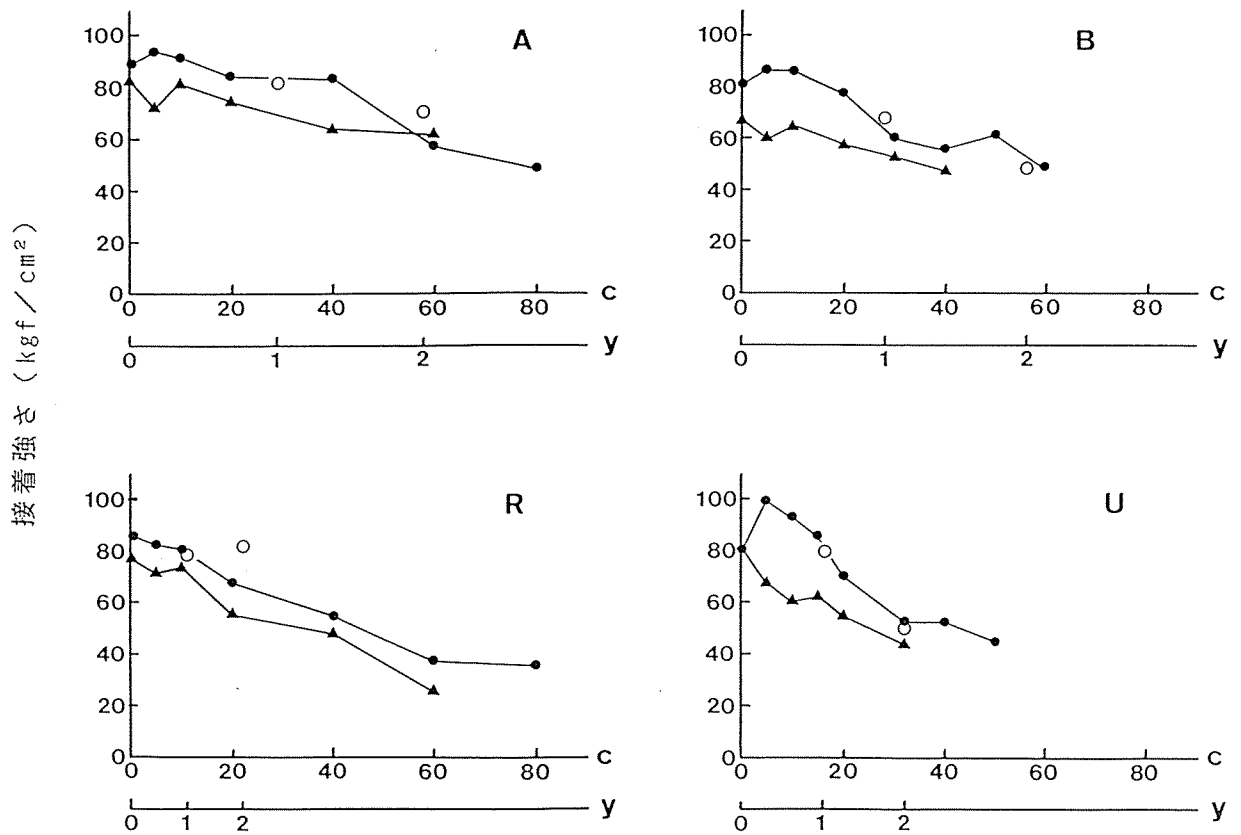


図 1.2-3 接着耐久性試験結果

c : 促進劣化処理回数 (サイクル)

y : 屋外ばくろ年数 (年)

● : 促進劣化処理

▲ : 促進劣化処理 + 屋外ばくろ 1 年

○ : 屋外ばくろ

A, B, R, U : 図 1.2-1 と同じ



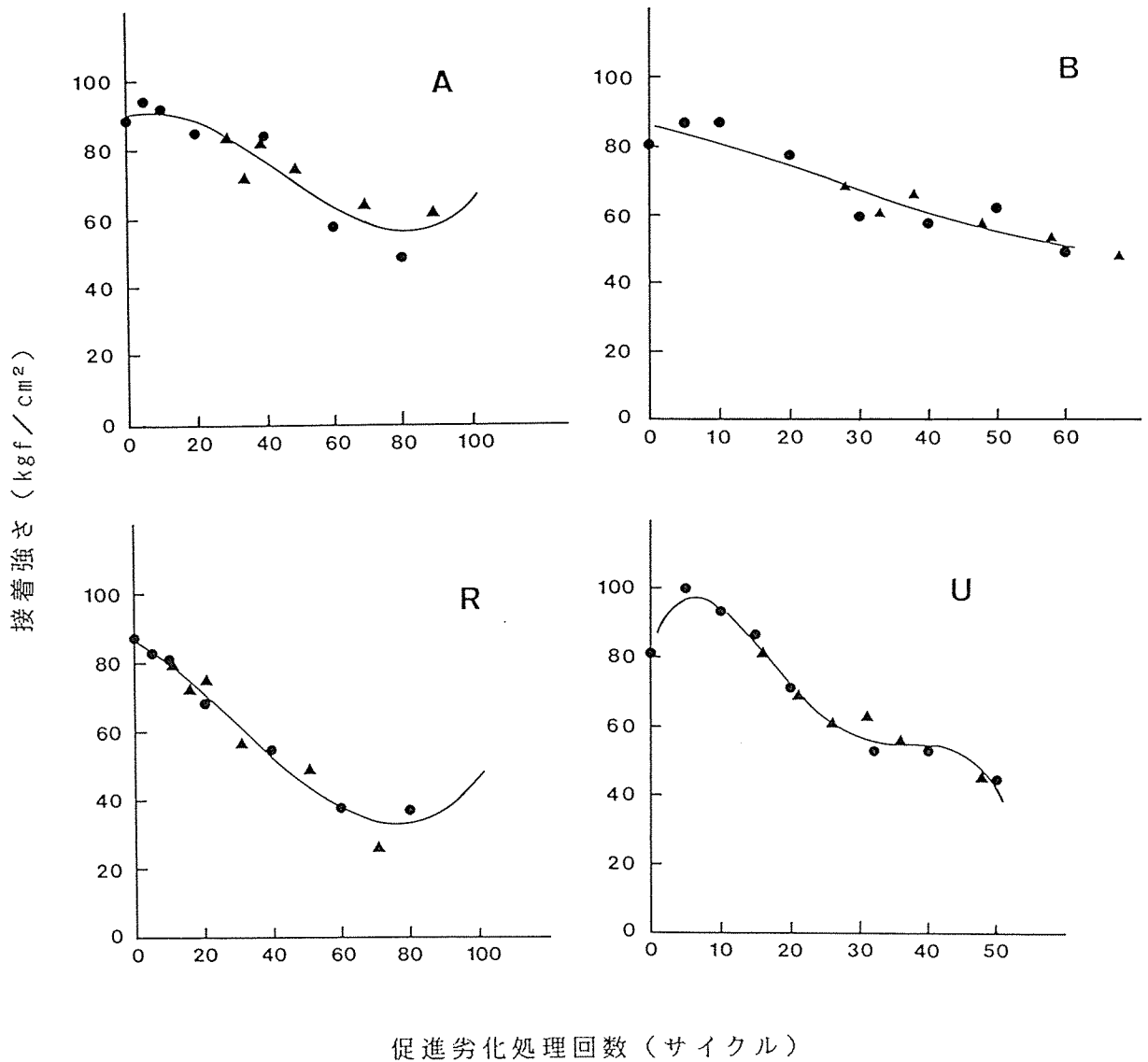


図 1.2-4 移動量の決定法

(促進劣化処理後 1 年間屋外ばくろした試料の結果を右側に移動し、促進劣化処理のみを施した試料の結果と合わせて高次解析を行い、相関係数が最大になった時の合成図)

● : 促進劣化処理

▲ : 促進劣化処理 + 1 年間屋外ばくろ + 右側に移動

A, B, R, U : 図 1.2-1 と同じ

## 付録 1 . 2 - 1 高次解析の結果

促進劣化処理のみを施した場合の高次解析の結果とともに、促進劣化処理後1年間屋外暴露した試料の結果を移動して促進劣化処理のみを施した試料の結果と合わせて高次解析を行い、相関係数が最大になったときの移動量、相関式および相関係数を以下に示す。ただし、 $y$ ：接着強さ(kgf/cm<sup>2</sup>)、 $x$ ：促進劣化処理回数(サイクル)、 $r$ ：相関係数を示す。

水性高分子・イソシアネート系接着剤 (A：硬化剤15部添加)

促進劣化処理のみを施した場合

$$y=89.6496+0.4765x-0.0256x^2+0.0002x^3 \quad (r=0.9783)$$

合成した場合 (移動量29サイクル)

$$y=90.0718+0.3233x-0.0232x^2+0.0002x^3 \quad (r=0.9291)$$

水性高分子・イソシアネート系接着剤 (B：硬化剤10部添加)

促進劣化処理のみを施した場合

$$y=84.7851+0.1010x-0.0348x^2+0.0004x^3 \quad (r=0.9332)$$

合成した場合 (移動量28サイクル)

$$y=86.3932-0.4730x-0.0087x^2+0.0001x^3 \quad (r=0.9395)$$

レゾルシノール樹脂接着剤 (R)

促進劣化処理のみを施した場合

$$y=87.2233-0.6897x-0.0093x^2+0.0001x^3 \quad (r=0.9967)$$

合成した場合 (移動量10.8サイクル)

$$y=86.7602-0.5975x-0.0118x^2+0.0001x^3 \quad (r=0.9822)$$

ポリウレタン接着剤 (U)

促進劣化処理のみを施した場合

$$y=81.5958+5.8234x-0.5872x^2+0.0165x^3-0.0001x^4 \quad (r=0.9977)$$

合成した場合 (移動量16サイクル)

$$y=82.5220+5.0762x-0.5192x^2+0.0147x^3-0.0001x^4 \quad (r=0.9883)$$

## 付録 1. 2 - 2 寿命予測の考え方

試料を使用環境に暴露したときの接着強さの変化を  $s$ 、暴露年数を  $y$  とすれば、両者の関係はなんらかの関数  $f$  で表されるであろう。

$$s = f(y) \quad \dots \textcircled{1}$$

また、試料に促進劣化処理を施したときの接着強さの変化を  $s$ 、処理回数を  $c$  とすれば、両者の関係は別のなんらかの関数  $g$  で表されるであろう。

$$s = g(c) \quad \dots \textcircled{2}$$

また、接着層に同じ強さの劣化を与える使用環境での暴露年数  $y$  と促進劣化処理回数  $c$  との関係もまた別のなんらかの関数  $h$  で表されるであろう。

$$c = h(y) \quad \dots \textcircled{3}$$

①の関数を各接着剤について求めるには長い期間を要するため、これを求めることは重要ではあるが実用的とは言い難い。そこで従来は、ある特定の接着剤について①と②の関数を求めて、使用環境での暴露と促進劣化処理による接着層の劣化速度の比較が行われ、使用環境での暴露1年に相当する促進劣化処理回数が求められてきた。そして、新しい接着剤の使用環境での耐久性は、促進劣化処理により推定されてきた。しかし、この方法の欠点は、使用環境での暴露と促進劣化処理による接着層の劣化速度の関係が接着剤の種類により異なる場合適用できないということである。そのため、各接着剤について①の関数を求める必要が生じるが、それには時間が長くかかる。

いま、③の関数を②の関数に代入すると次に示す複合関数が得られる。

$$s = g\{h(y)\} = g \cdot h(y) \quad \dots \textcircled{4}$$

すなわち、 $f = g \cdot h$  であり、②の関数と③の関数が求まれば、①の関数が得られる。②の関数は、実験的に比較的短期間に求めることができる。次に、③の関数の求め方について述べる。

いま、使用環境での暴露と促進劣化処理による接着層の劣化機構が同じで、劣化速度だけが異なり、使用環境での暴露と促進劣化処理は各々重ね合わせが可能と仮定する。そして、使用環境での1年が促進劣化処理回数  $k$  サイクルに相当すると仮定する。すなわち、③の関数は  $c = k y$  で示されると仮定する。

以上の仮定が成り立てば、促進劣化処理を行った試験片を1年間使用環境に暴露したときの接着強さは次式で示される。

$$s = g(c + k) \quad \dots \textcircled{5}$$

この  $k$  は、②の関数で示される曲線と⑤の関数で示される曲線との移動量である。すなわち、 $k$  は、促進劣化処理した試験片の（処理回数－接着強さ曲線）と促進劣化処理した後、さらに1年間使用環境に暴露した試験片の（処理回数－接着強さ曲線）との移動量である。これから、さきに示した仮定が成り立てば、促進劣化処理を施した試験片を使用環境に1年間暴露することにより、 $k$  および③の関数、さらには①の関数を比較的短期間に求めることができる。