

住宅部材安全性能向上事業報告書

現場接着による木材の梁継手の開発

平成3年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

平成2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

住宅部材安全性能向上事業報告書

現場接着による木材の梁継手の開発

平成3年3月

(財) 日本住宅・木材技術センター

平成2年度住宅部材安全性能向上事業

現場接着接合開発委員会の委員構成

	氏名	所属
委員長	室田 達郎	建設省建築研究所第三研究部長
委員	佐々木 光	京都大学木材研究所教授
〃	青木 博文	横浜国立大学工学部建築学科教授
〃	有馬 孝禮	東京大学農学部林産学科助教授
〃	小松 幸平	農林水産省森林総合研究所木材利用部接合研究室長
〃	本橋 健司	建設省建築研究所第二研究部主任研究員
〃	安村 基	建設省建築研究所第三研究部主任研究員
〃	池田 則正	日立造船(株)防衛事業本部神奈川艦船工場設計課
〃	小西 信	小西技術士事務所長
〃	木村 衛	(株)竹中工務店技術研究所主任研究員
〃	杉田 恵資	大成建設(株)設計本部設計第三部設計室長
協力委員	春川 真一	林野庁林産課住宅技術専門官
〃	楠 寿博	(株)竹中工務店技術研究所研究員
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

【ビッグフィンガージョイント (BFJ) の力学性状の把握実験】

目 次

I. ビッグフィンガージョイント (BFJ) で接合された梁の曲げ試験	1
1. 目 的	1
2. 試験体の概要	1
2-1. 試験体形状	1
2-2. 継手形状	2
2-3. 圧締方法	7
3. 加力、測定方法	10
4. 試験結果	13
II. BFJ ストリップ試験体の引張試験	49
1. 目 的	49
2. 試験体の概要	49
2-1. 試験体	49
2-2. BFJ ラミナ引張試験体の採取ブロック	51
2-3. 試験体に出現するバットジョイントのパターン	52
3. 引張試験方法	53
4. 試験結果及び考察	54
4-1. 試験結果	54
4-2. 有効接着面積 A_{eg} による単位面積当りの引張強度 σ_g の評価	68
4-3. 線形破壊力学 (LEFM) によるバットジョイント部の破壊靱性 K_{IC} の評価	69
4-4. 試験結果のまとめ	71

【ビッグフィンガージョイント (BFJ) の力学性状の把握実験】

I. ビッグフィンガージョイント (BFJ) で接合された梁の曲げ試験

1. 目的

ビッグフィンガージョイント (以下BFJと記す) の基本的な強度性能を把握し、BFJによって現場接着された大断面集成材梁 ($h \geq 30\text{cm}$) の曲げ終局耐力がBFJ各部の強度に基づいて推定できるかを検討する。

最終的には、BFJ現場接着集成材梁の曲げ許容耐力の誘導を目指す。

2. 試験体の概要

2-1. 試験体形状

試験体形状を下図に示す。

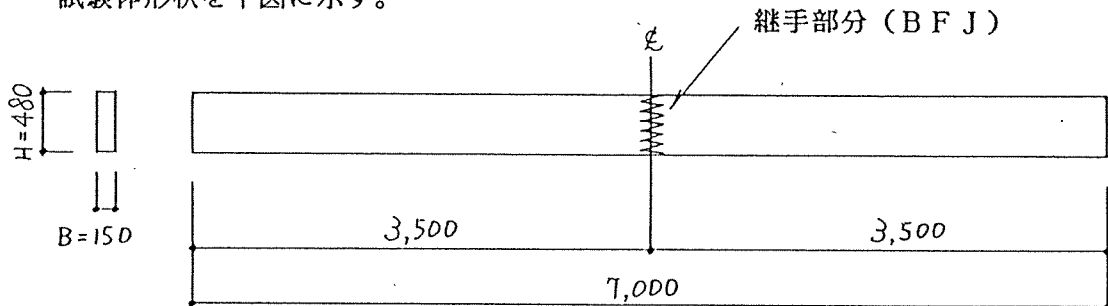


図-1 試験体形状

集成材は、ベイマツJAS1級構造用集成材とする。

ラミナ厚は20mmをめどとし、積層数24とする (梁せい=480mm)。

ラミナのMDEは、全数測定する。なお、ラミナの等級構成は、下図に示す通りである。

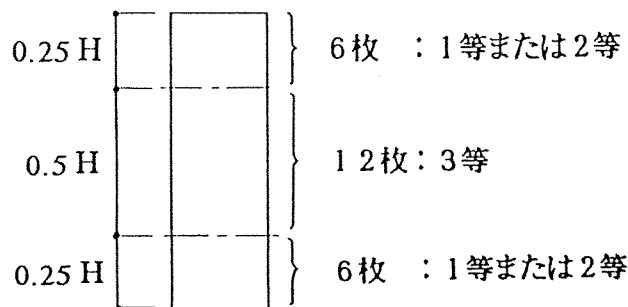


図-2 ラミナ等級構成

BFJの接着にはレゾルシノール樹脂接着剤を用いる。

2-2. 継手形状

B F J の形状及び各試験体数を表-1に示す。

表-1 試験体一覧

タイプ	間隔 t mm	F J 長さ l mm	先端幅 b mm	傾斜比	圧縮力 kg/cm ²	圧縮方法	加工法	試験体数
A	ジョイント無しの通直梁							3
B 1	25	60	5	1:8	10	ジャッキ	丸鋸	3
B 2	25	60	5	1:8	10	ボルト	丸鋸	2
C 1	40	120	5	1:8	10	ジャッキ	丸鋸	3
C 2	40	120	5	1:8	10	ボルト	丸鋸	2
D 1	60	200	5	1:8	10	ジャッキ	丸鋸	3
D 2	60	200	5	1:8	10	ボルト	丸鋸	2
E	130	480	5	1:8	10	ジャッキ	帯鋸	3

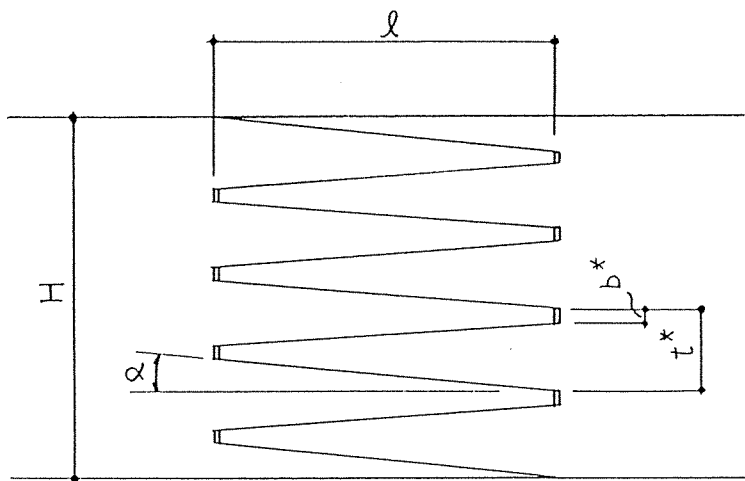


図-3 ビッグフィンガー
ジョイント部詳細

*: 歯の先端側の寸法

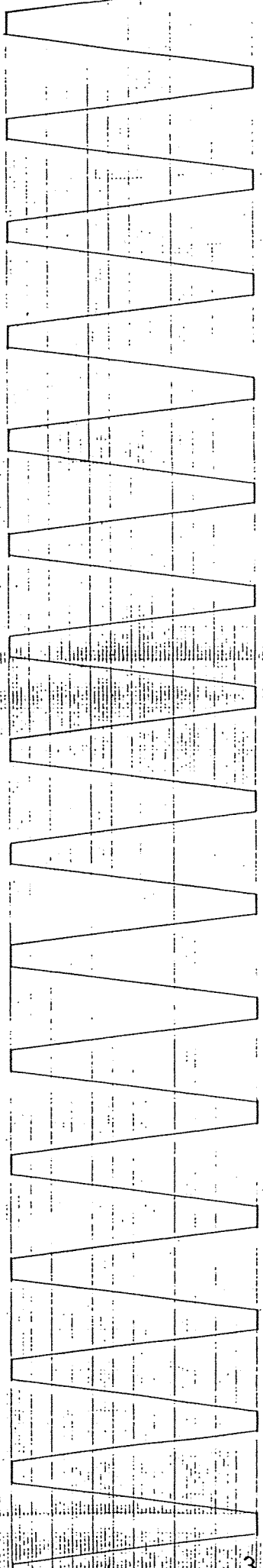
P. 5 ~ P. 6にC~Eタイプ試験体B F J部詳細を示す。

B F Jはこの詳細図通りに製作するものとする。

9170 B 試験体

3 43 246 x 400 mm

H=480

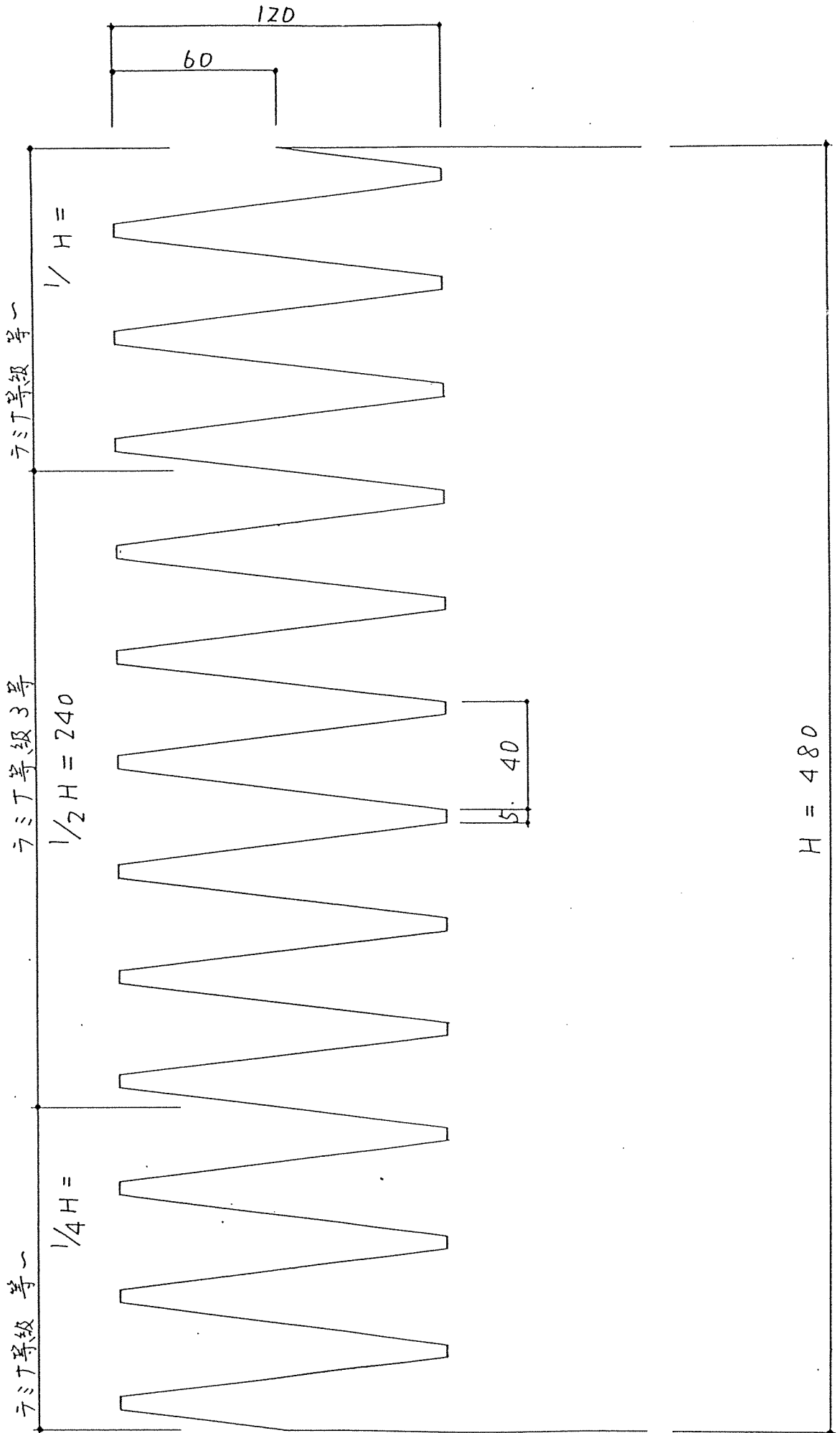


09

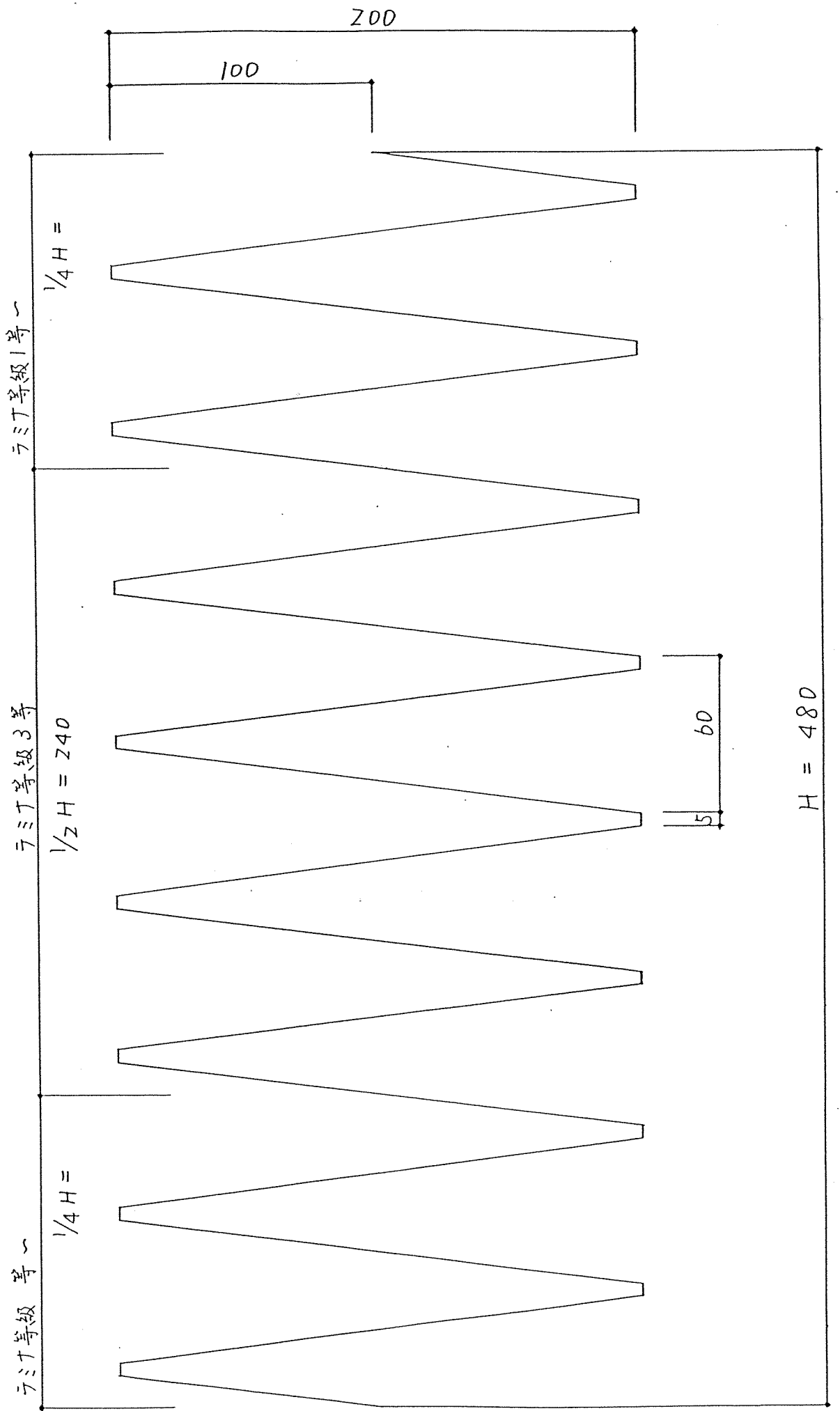
5 25

3

タイプC試験体



タイプD試験体



ラミテ等級 等一

ラミテ等級 3等

ラミテ等級 1等一

$\frac{1}{4}H =$

$\frac{1}{2}H = 240$

$\frac{1}{4}H =$

140

480

6

5

130

タイナエ試験体

H = 480

2-3. 圧 縮

B F J の圧縮は、工場生産を想定した油圧ジャッキによる圧縮と現場施工を想定したボルト締込みによる圧縮の2通りの方法で行うこととする。

〔油圧ジャッキによる圧縮〕

下の写真に示す装置構成で圧縮を行う。

加圧力については、P. 9に示す必要圧縮力が得られるようにする。

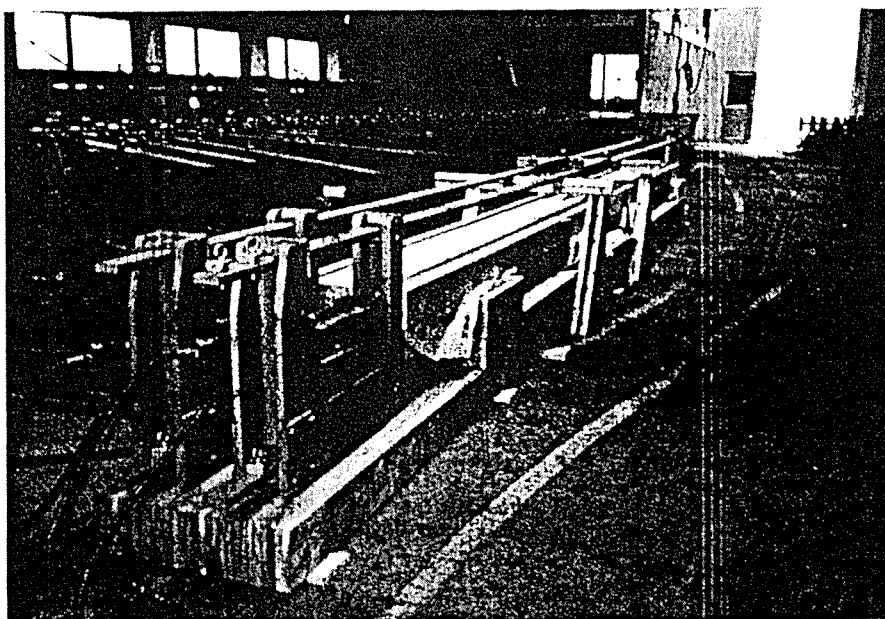


写真-1 油圧ジャッキによる圧縮 (1)

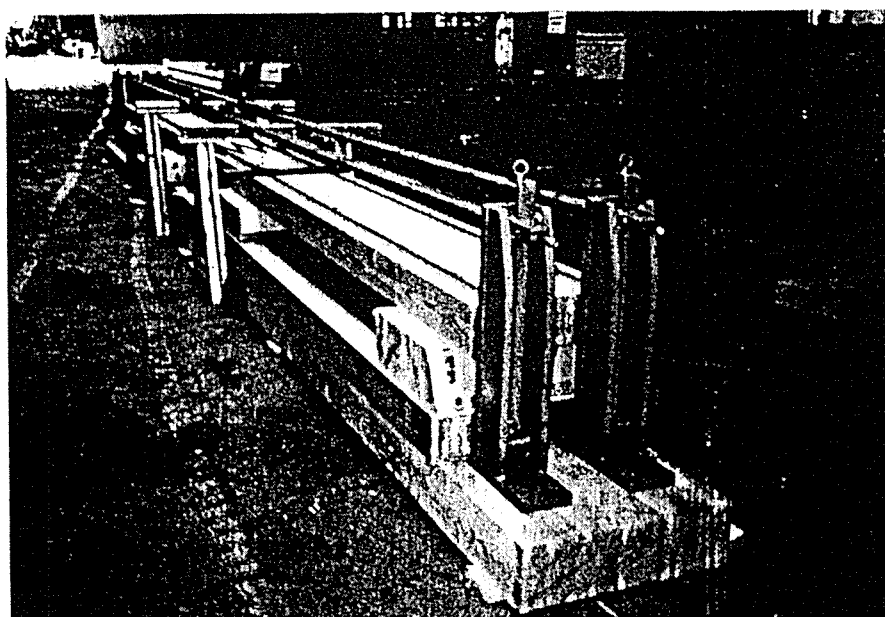


写真-2 油圧ジャッキによる圧縮 (2)

〔ボルトによる圧縮〕

圧縮は、下図に示すように歯型に切った後の試験体のフィンガー中央より40cmの位置の上、下面にブロック（集成材）を接着し、この後でBFJの接着接合を行う。この際、ブロックに引きボルト（M20）を通し、所定の圧縮力を加えるものとする。

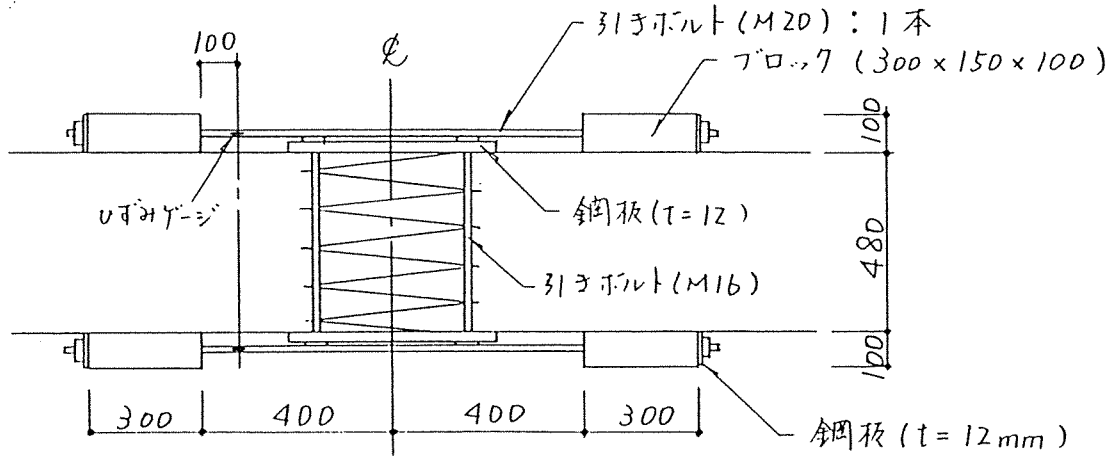


図-4 ボルト締めによる圧縮

引きボルト端部には2枚のゲージを対にして貼り、圧縮力のチェックを行う。圧縮を行う際、ゲージは下図に示すように各々のゲージを水平にしてひずみを計測する。

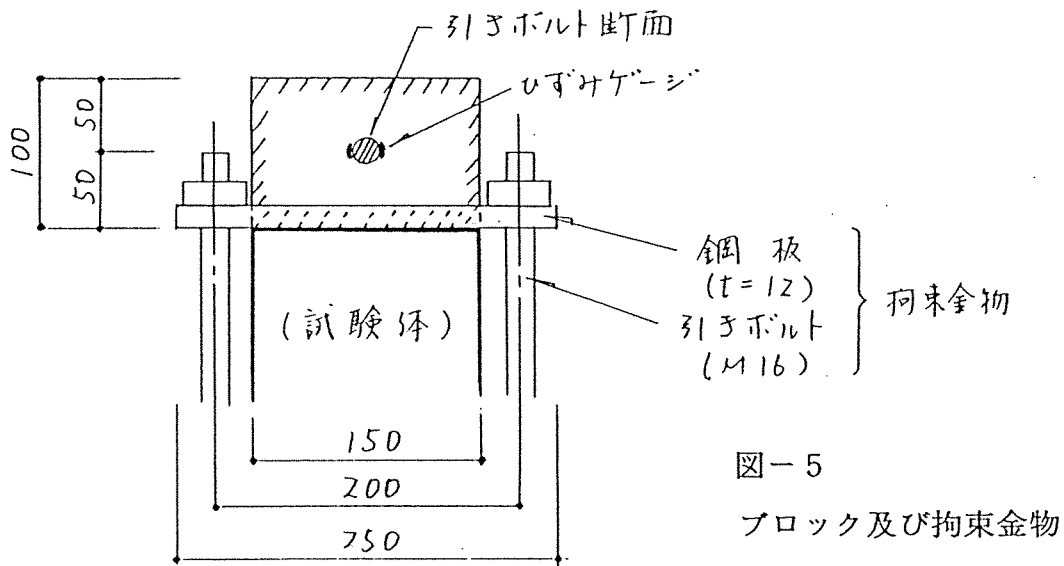
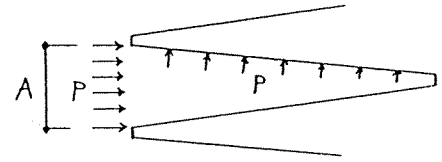


図-5
ブロック及び拘束金物

拘束金物は、圧縮時に最外縁切片が破断するのを防止するために取り付けるもので、圧縮直前に軽く手締めする。

(必要圧縮力の計算)

力の釣り合いよりA部にP(kg/cm²)の圧力が作用していれば、フィンガー面にも同じP(kg/cm²)の圧力が作用する。



必要圧縮圧を10kg/cm²とした場合、各試験体の必要圧縮力Fは次のようになる。

$$F \approx 10.0 \times 48.0 \times 15.0 \\ = 7200 \text{ kg (7.2ton)}$$

上下2本の引きボルトで圧縮を行うため、1本当たり3.6tonとなる。M20のボルトを使用すると、 $P_y = 7.5 \text{ ton}$ より、

$$\frac{3.6}{7.5} = 0.48 < \frac{2}{3} = 0.67 \quad \text{O.K.}$$

このときの引きボルトのひずみ ε は、

$$\sigma = \frac{P}{E} = \frac{3600}{3.14} \\ = 1146.5 \text{ kg/cm}^2$$

より、

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{1146.5}{2.1 \times 10^6} \\ = 546 \mu$$

(ボルト圧縮におけるブロックのせん断耐力のチェック)

ブロックの長期せん断許容応力度は12kg/cm²、ブロックに作用するせん断力は3.6tonであるから、

$$\frac{3600}{15 \times 30} = 8.0 \text{ kg/cm}^2 < 12 \quad \text{O.K.}$$

3. 加力・測定方法

加力は1000TON 万能試験機を使用し、下図のような装置構成とする。

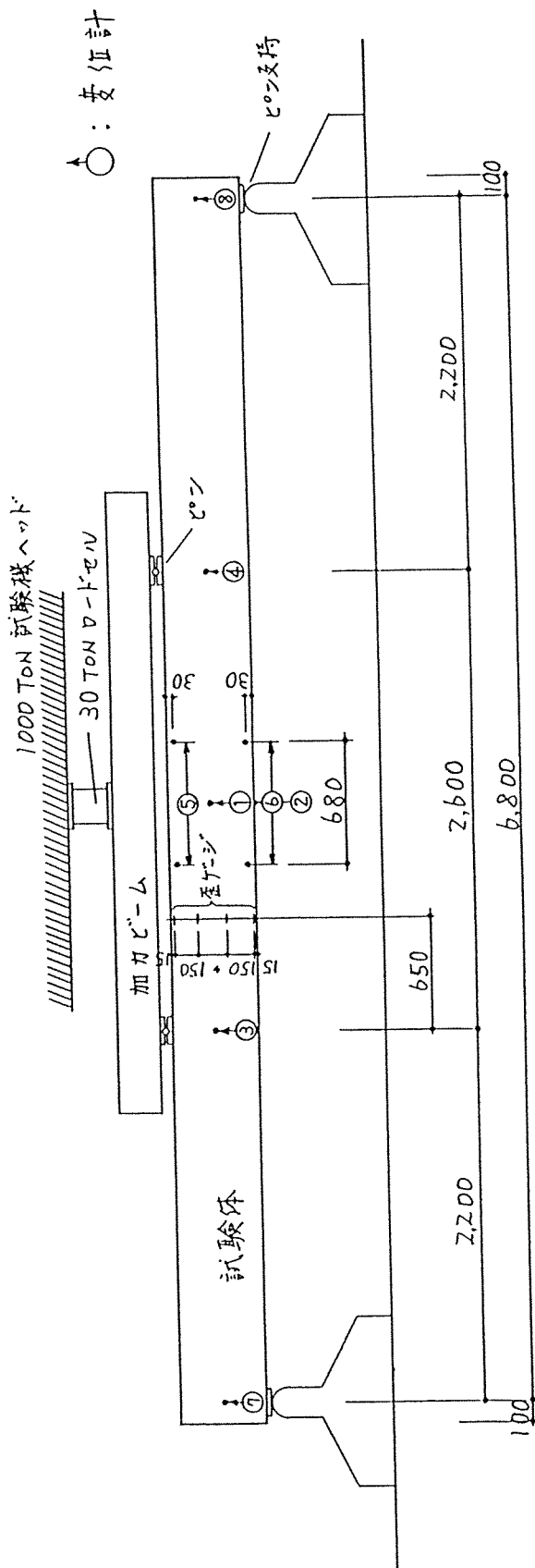


図-6 装置構成

測定は、荷重については試験機のヘッドと加力ビームの間にセットしたロードセルにより検出する。変形は試験体中央部（梁せい中央①と下面②）及び加力点のたわみ③④と継手部分の局部変形⑤⑥について行う。変位計⑦⑧は反力位置の支圧に伴う変形に対する補正として用いる。変位計②以外は試験体片側のみ取付ける。

加力点と継手部間中央に、縦に4ヶ所（試験体片側のみ）ゲージを貼付し、梁の曲げ性状を調べる（図-6参照）。

継手無しの試験体では、下図のような荷重-変位関係となる。

（ヤング係数 $E = 110 \text{ ton/cm}^2$: ベイマツ1級）

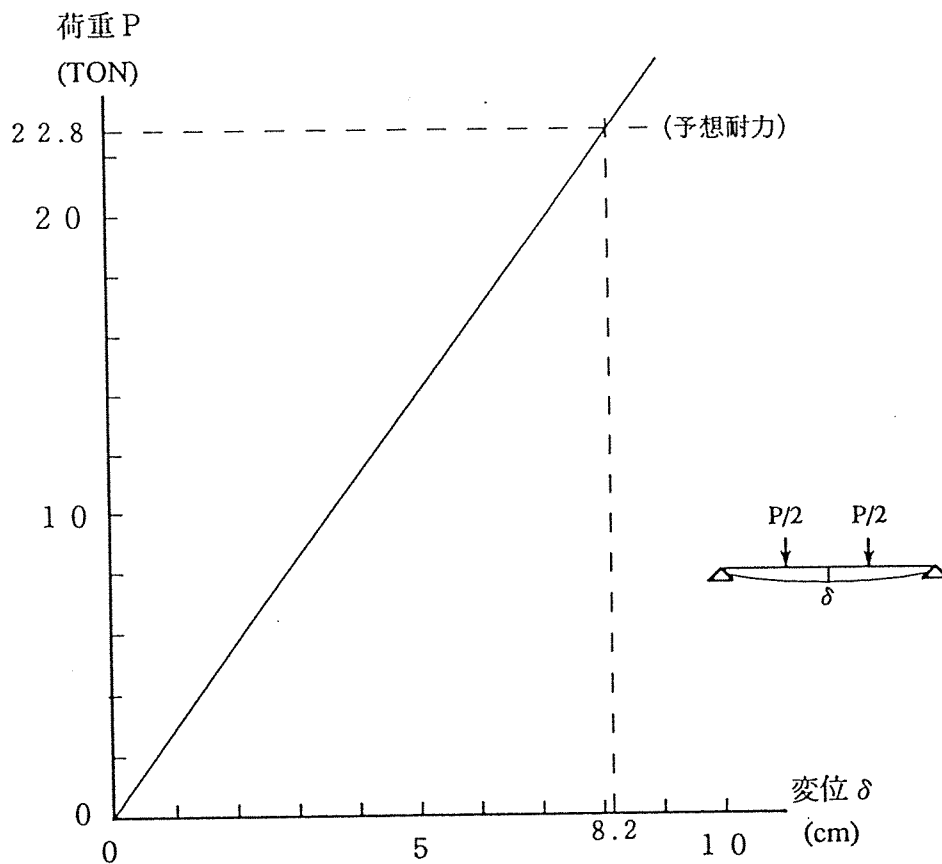


図-7 荷重-変位関係（継手なしの試験体）

いま、長期許容応力度の3倍の値を強度とすると、曲げ耐力 P_{\max} は次式より求まる。

$$f_b \times 3 = \frac{M_{\max}}{Z} = \frac{220 \times P_{\max}}{Z \times 2}$$

ここで $f_b = 145 \text{ kg/cm}^2$ （ベイマツ1級）， $Z = 5760.0 \text{ cm}^3$ であるから、

$$P_{\max} = 22.8 \text{ ton}$$

となる（図-7中に点線で示した）。

このとき、最大せん断応力度 τ は 23.8 kg/cm^2 となるが、せん断強度 $\tau_u = 36.0 \text{ kg/cm}^2$ 以下である。

接着継手部分の曲げ強度 σ_u は、断面最外縁近傍の接着角度を θ 、単位接着面積当たりの強度を 50kg/cm^2 として次式で与えられる。

$$\sigma_u = \frac{50}{\sin\theta} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

本実験の試験体では、

$$\text{タイプB} : \sigma_u = 405\text{kg/cm}^2 \quad (\theta = 7.1^\circ)$$

$$\text{タイプC} : \sigma_u = 405\text{kg/cm}^2 \quad (\theta = 7.1^\circ)$$

$$\text{タイプD} : \sigma_u = 405\text{kg/cm}^2 \quad (\theta = 7.1^\circ)$$

曲げ耐力 P_{max} は次式より求まる。

$$\sigma_u \times 0.8^* = \frac{220 \times P_{\text{max}}}{Z \times 2}$$

* : 接着に伴う強度低下を一律20%とする。

よって、接着継手部破壊時の耐力 P_{max} は次の如く求まる。

$$\text{タイプB} : P_{\text{max}} = 17.0\text{ton} \quad (21.2\text{ton})$$

$$\text{タイプC} : P_{\text{max}} = 17.0\text{ton} \quad (21.2\text{ton})$$

$$\text{タイプD} : P_{\text{max}} = 17.0\text{ton} \quad (21.2\text{ton})$$

()内は強度低下を無視した場合

加力は単調荷形式とし、短期許容応力度レベルである15ton まで1tonピッチで行い、ここで一度除荷する。

次のステップとして同様に15ton まで1tonピッチで加力し、その後破壊に至るまで0.5tonピッチで加力する。

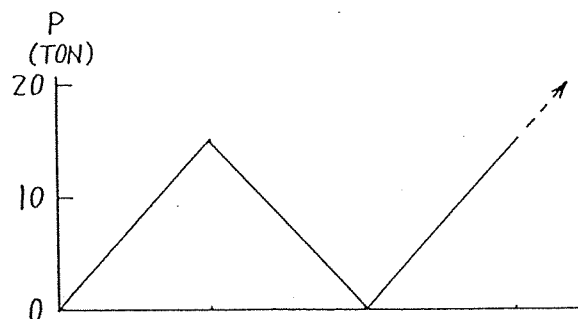


図-8 载荷ステップ

4. 試験結果

- 1) 各試験体の荷重－変位曲線を図に示す。
- 2) 梁中央部におけるひずみの分布を図に示す。
- 3) 試験結果の一覧を表に示す
- 4) 試験結果のまとめ
 - ① B F J の無い A タイプは、3 体ともベイマツの材料強度 ($145 \times 3 \text{ kgf/cm}^2$) を満足しなかった。原因は3 体とも集成材のフィンガージョイント (ラミナ F J) で破壊したが、ラミナ F J の強度が十分でなかったためである。
 - ② B F J 試験体で、ラミナ F J で破壊したのは、B 1 - 2、C 1 - 2、D 1 - 3 の 3 体である。
 - ③ C 1 - 3 は、試験機の故障により破損した。
 - ④ B F J 先端の断面欠損を考慮した計算最大荷重 P_{om} と最大荷重 P_{max} を比較すると、概ね 0.8 ~ 0.9 であり、B F J が大きくなるに従い、その比が小さくなる傾向を示す。E タイプは 0.55 程度であり、これはフィンガージョイントの傾斜面の加工が帯鋸で行ったために、面の加工精度の悪さが原因していると考えられる。
 - ⑤ 接着部の計算荷重 P_{oj} と最大荷重 P_{max} を比較すると、E タイプと破壊形態の悪いものを除くと概ね 0.95 以上を示す。これはスカーフ小試験体による接着部の単位面積当りの引張強度 50 kgf/cm^2 が実験的に十分であることを示している。
 - ⑥ 圧締方法による B F J 梁の強度の差は、この試験結果からは認め難い。

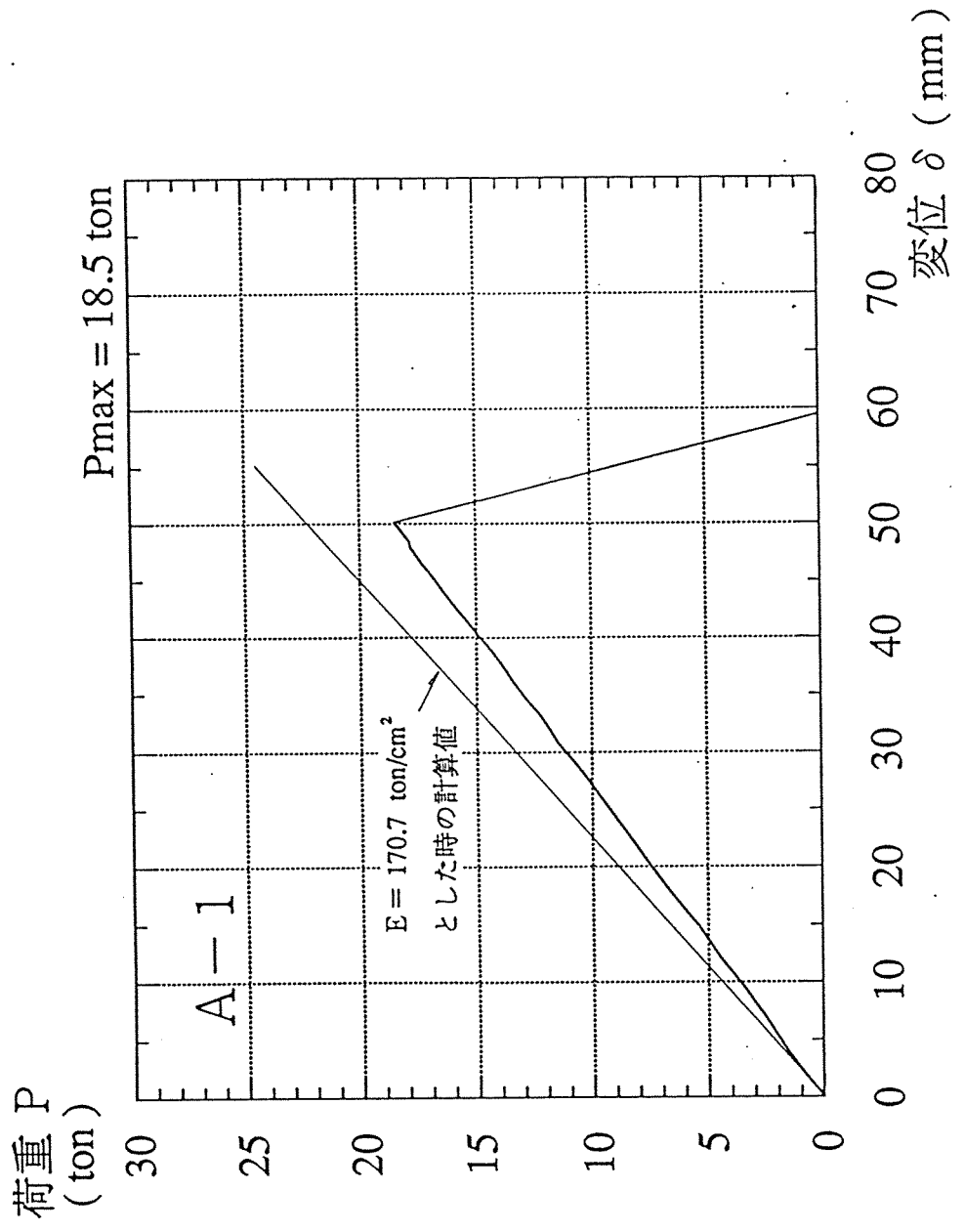
実験結果及び計算値との比較

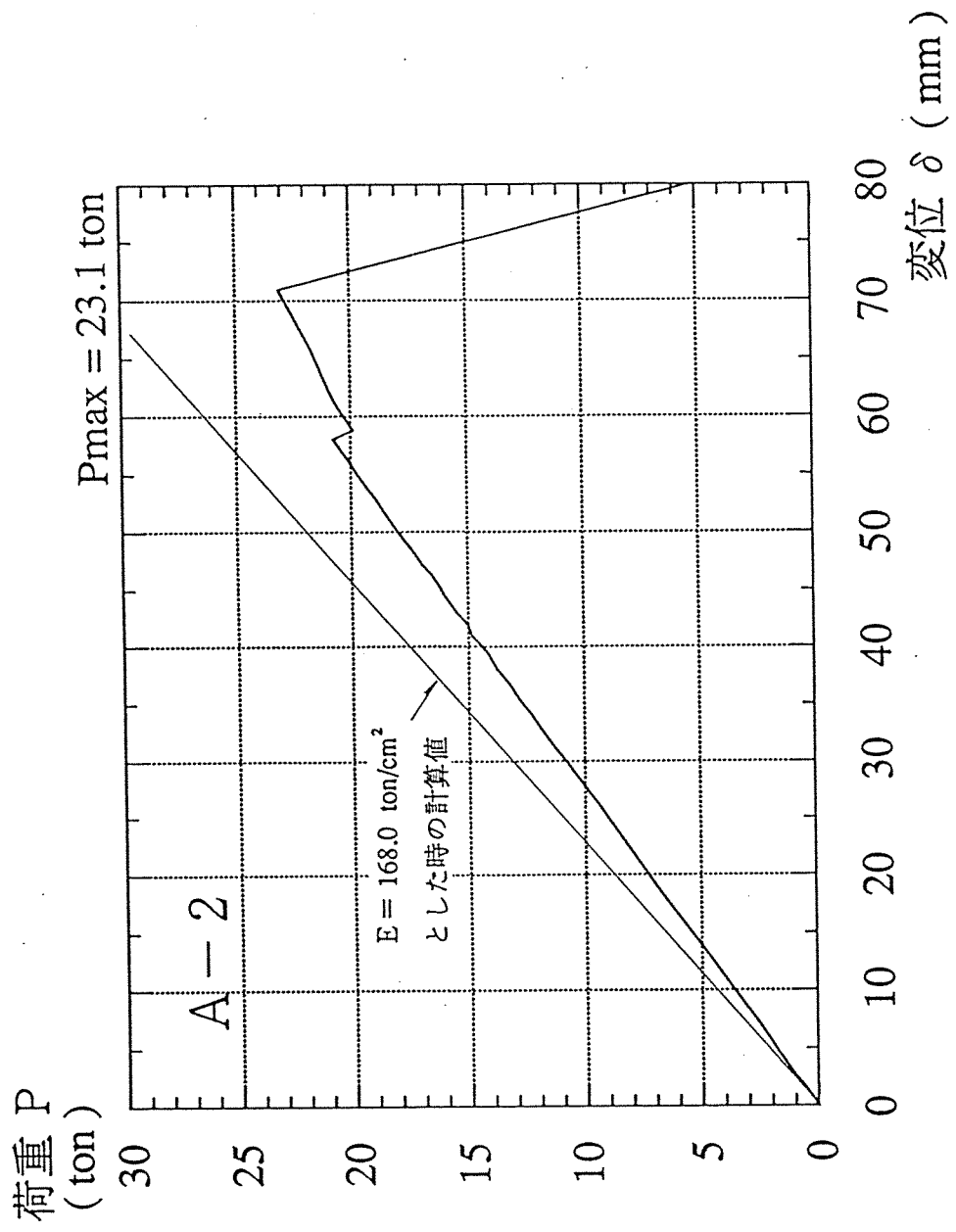
試験体	最大荷重実験値 P max (ton)	最大荷重計算値 (ton)*1		P max P om	P max P oj	備 考
		母材 P om*2	接着部 P oj			
A-1	18.5	23.3 (21.9)	—	0.79 (0.84)	—	ラミナF.J.破断
A-2	23.1	23.3 (21.9)	—	0.99 (1.05)	—	ラミナF.J.破断
A-3	18.8	23.3 (21.9)	—	0.81 (0.86)	—	ラミナF.J.破断 → BFJ破断
平均	20.1			0.86 (0.92)	—	
B1-1	16.5	18.8 (17.6)	14.0	0.88 (0.94)	1.18	BFJ破断
B1-2	15.4	18.8 (17.6)	14.0	0.82 (0.88)	1.10	ラミナF.J.破断 → BFJ破断
B1-3	12.2	18.8 (17.6)	14.0	0.65 (0.69)	0.87	下端より20cm位置に水平ひび割れ発生 → BFJ破断
平均	14.7			0.78 (0.84)	1.05	
B2-1	15.5	18.8 (17.6)	14.0	0.82 (0.88)	1.11	BFJ破断
B2-2	15.9	18.8 (17.6)	14.0	0.85 (0.90)	1.14	BFJ破断
平均	15.7			0.84 (0.89)	1.13	
C1-1	11.1	20.4 (19.2)	15.2	0.54 (0.58)	0.73	BFJ破断 (最外部接着面隙間有り)
C1-2	14.9	20.4 (19.2)	15.2	0.73 (0.78)	0.98	ラミナF.J.破断 → BFJ破断
C1-3						試験機故障により試験体破損
平均	13.0			0.64 (0.68)	0.86	
C2-1	11.3	20.4 (19.2)	15.2	0.55 (0.59)	0.74	下端より15cm位置に水平ひび割れ発生 → BFJ破断
C2-2	17.7	20.4 (19.2)	15.2	0.87 (0.92)	1.16	ラミナF.J.破断 → BFJ破断
平均	14.5			0.71 (0.76)	0.95	
D1-1	22.6	21.4 (20.1)	15.9	1.06 (1.12)	1.42	BFJ破断
D1-2	15.5	21.4 (20.1)	15.9	0.72 (0.77)	0.97	BFJ破断
D1-3	14.4	21.4 (20.1)	15.9	0.67 (0.72)	0.91	ラミナF.J.破断 → BFJ破断
平均	17.5			0.82 (0.87)	1.10	
D2-1	12.9	21.4 (20.1)	15.9	0.60 (0.64)	0.81	BFJ破断
D2-2	17.5	21.4 (20.1)	15.9	0.82 (0.87)	1.10	BFJ破断
平均	15.2			0.71 (0.76)	0.96	
E-1	13.5	22.3 (20.9)	16.6	0.61 (0.65)	0.81	BFJ破断 (最外部接着面隙間有り)
E-2	11.3	22.3 (20.9)	16.6	0.51 (0.54)	0.68	BFJ破断
E-3	11.5	22.3 (20.9)	16.6	0.52 (0.55)	0.69	BFJ破断 (最外部接着面に無塗布部分有り)
平均	12.1			0.55 (0.58)	0.73	

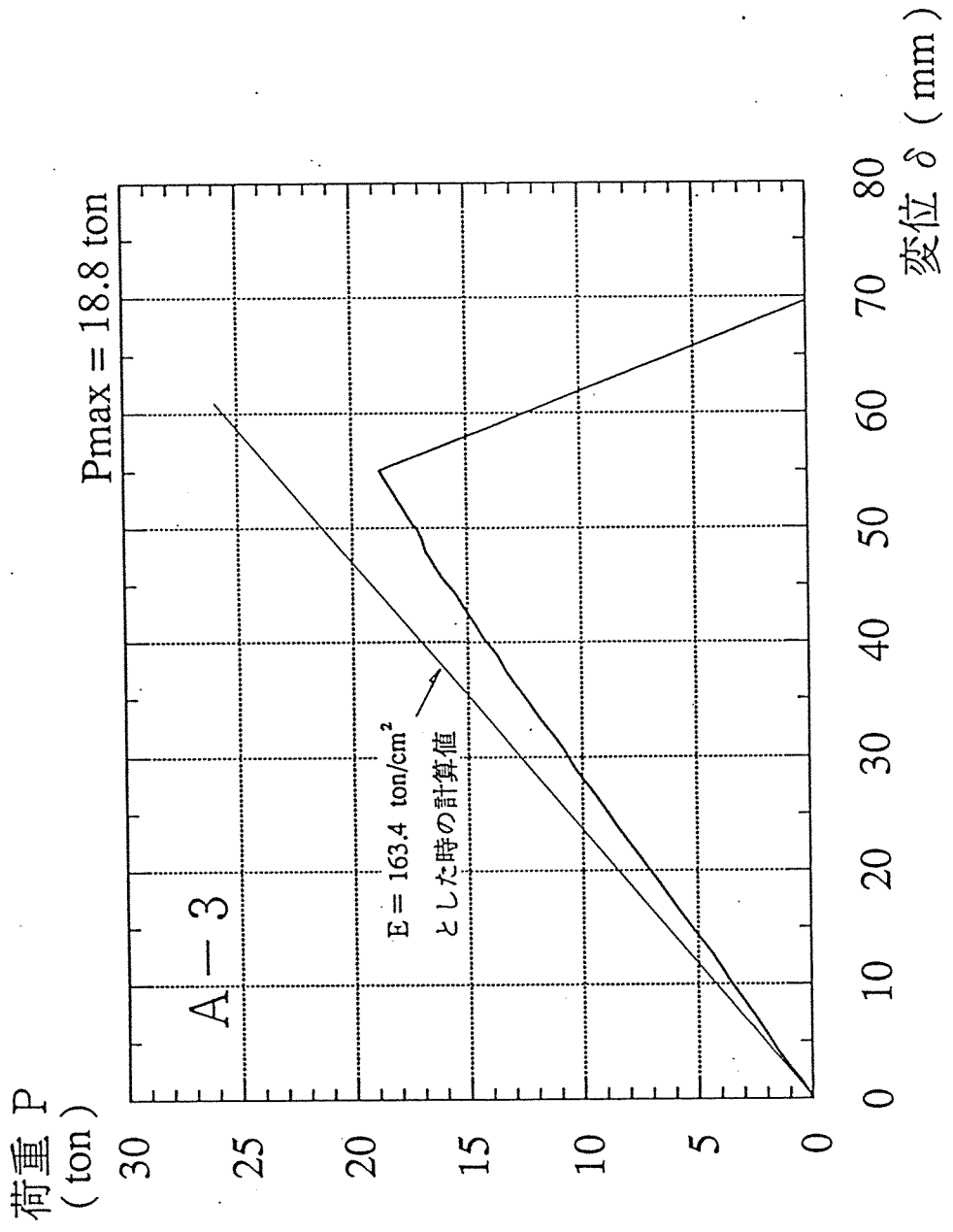
*1: Aタイプの試験体では全断面による断面係数をB~Eタイプの試験体ではBFJ先端の断面欠損を考慮した断面係数を用いた。

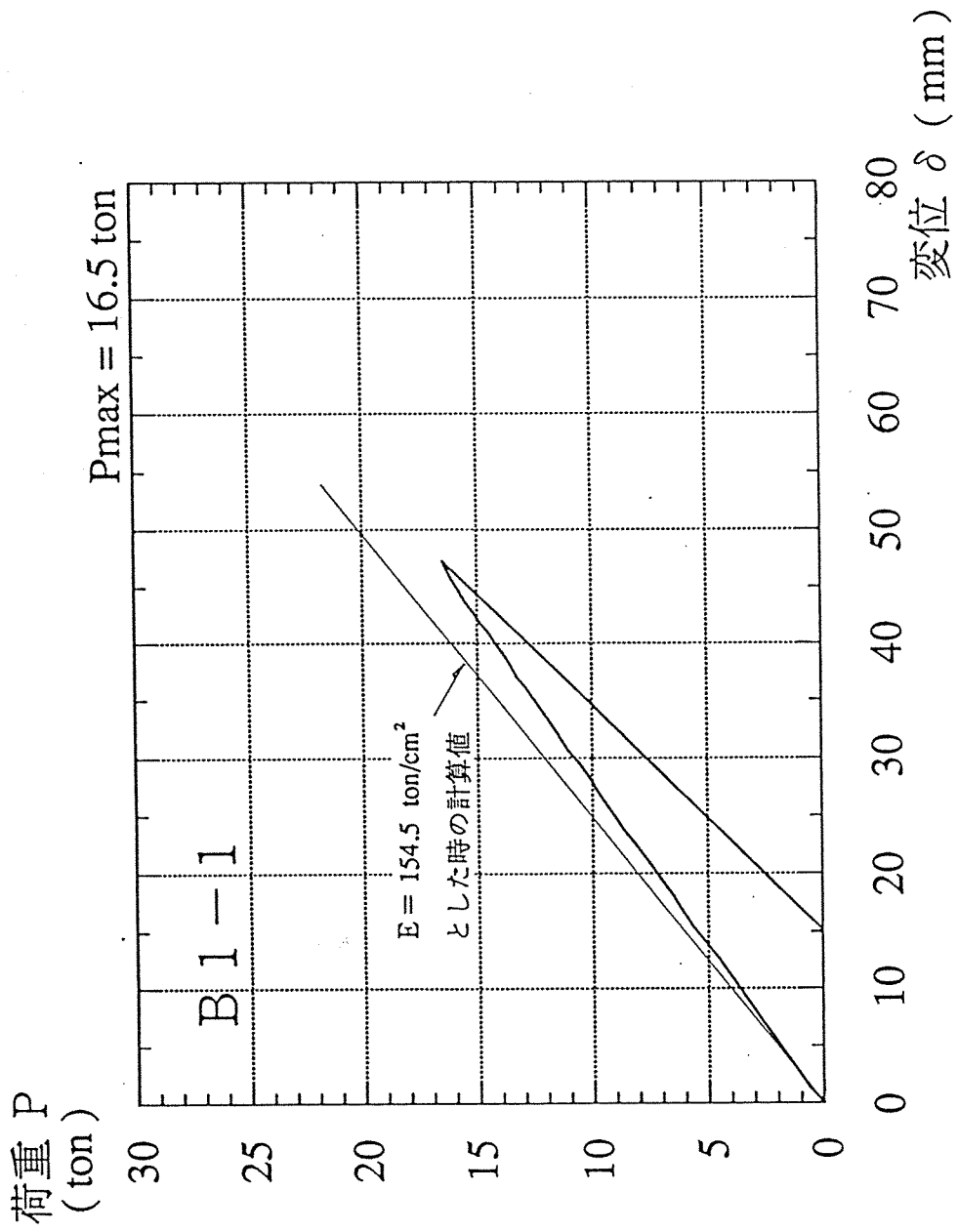
*2: カッコ内は寸法調整係数(本実験の場合0.94)を乗じた値である。

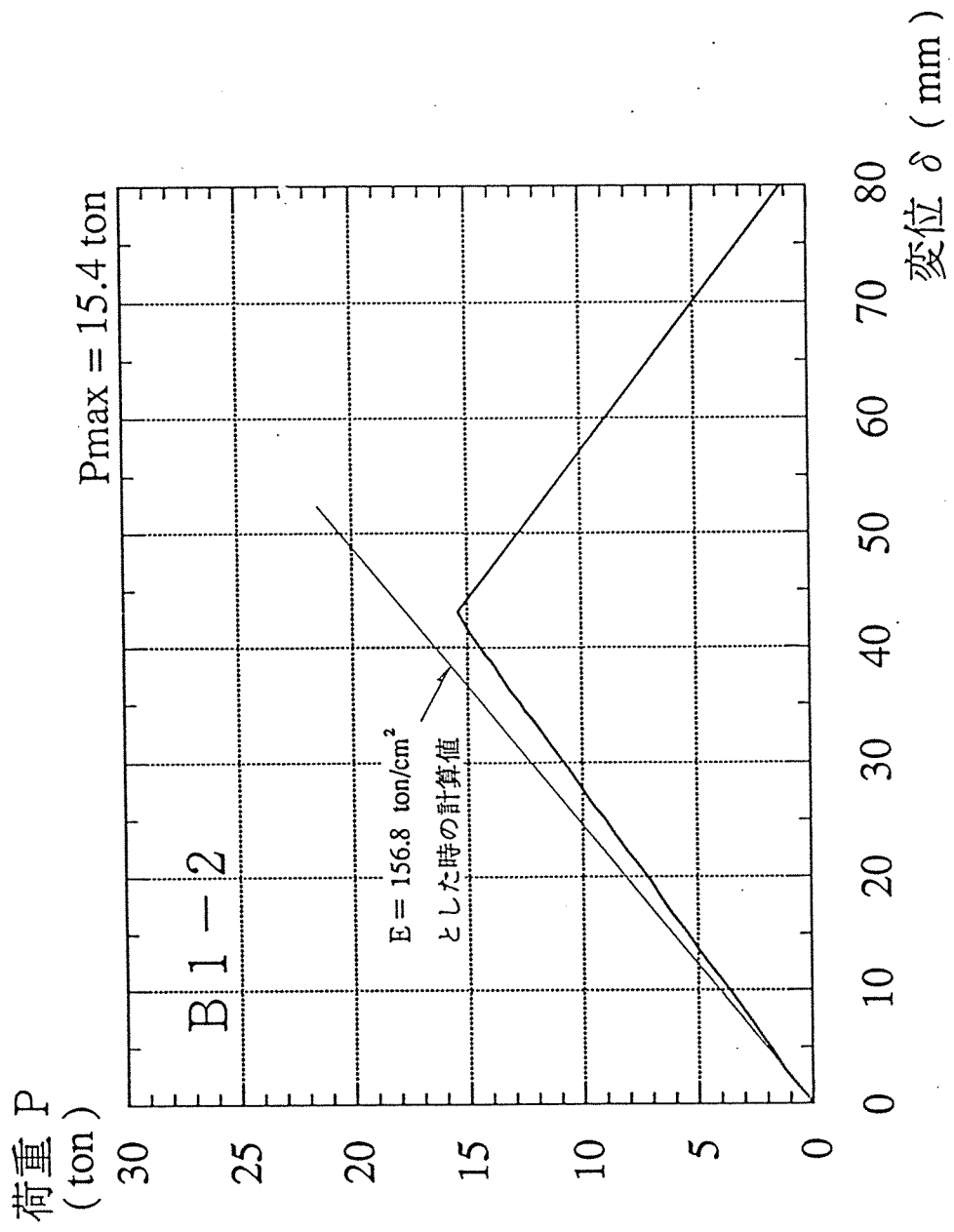
[荷重－変位関係 試験体別実験結果]

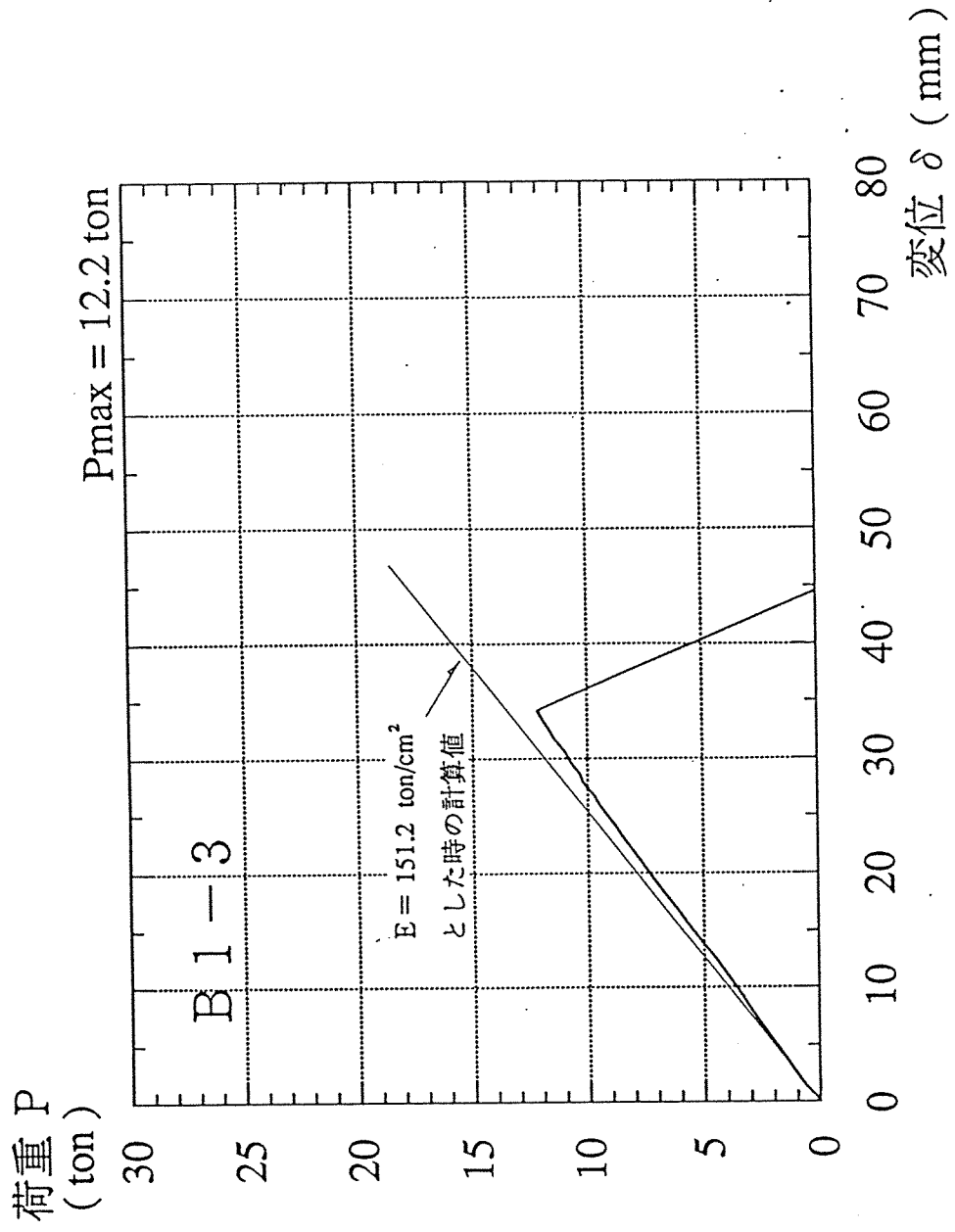


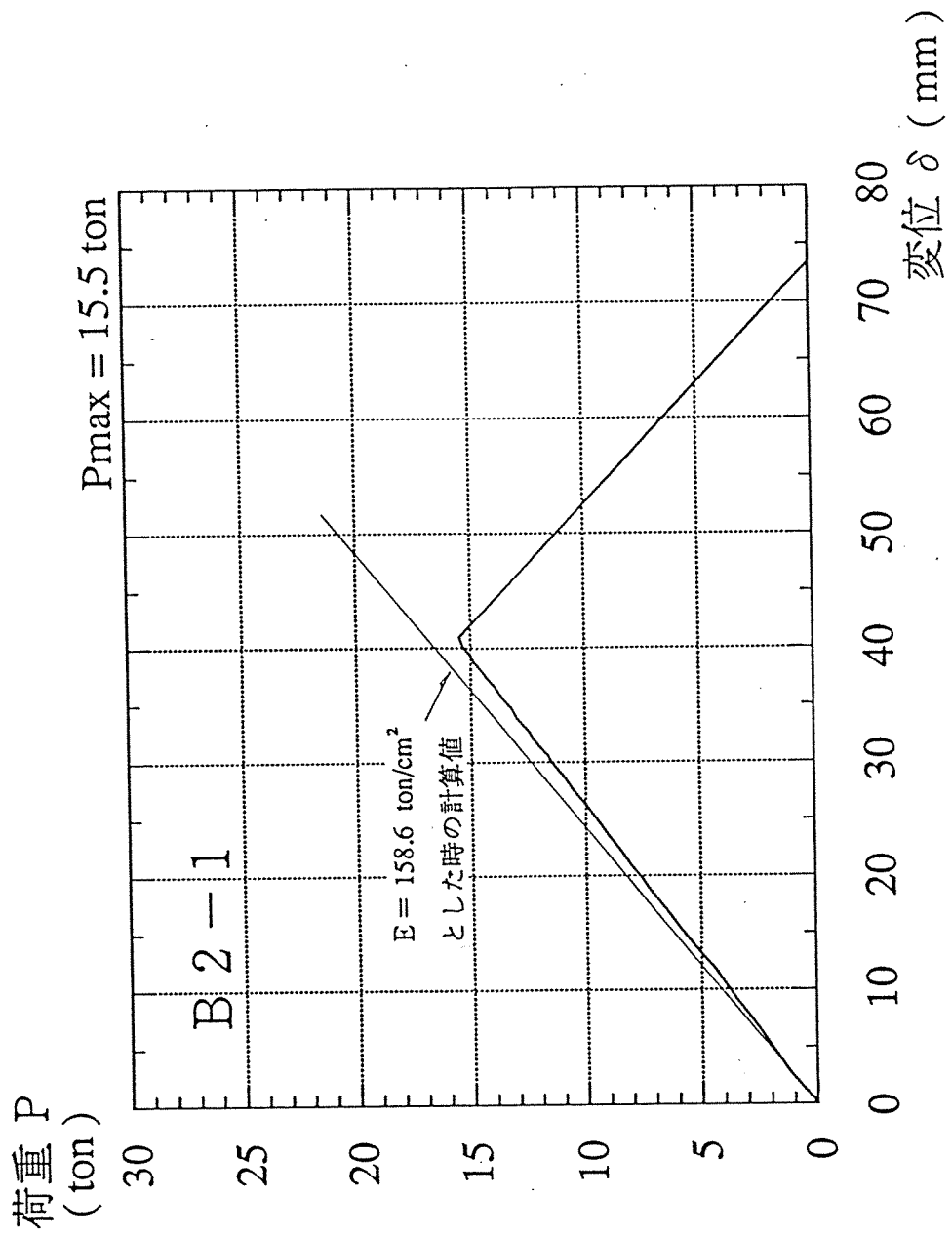


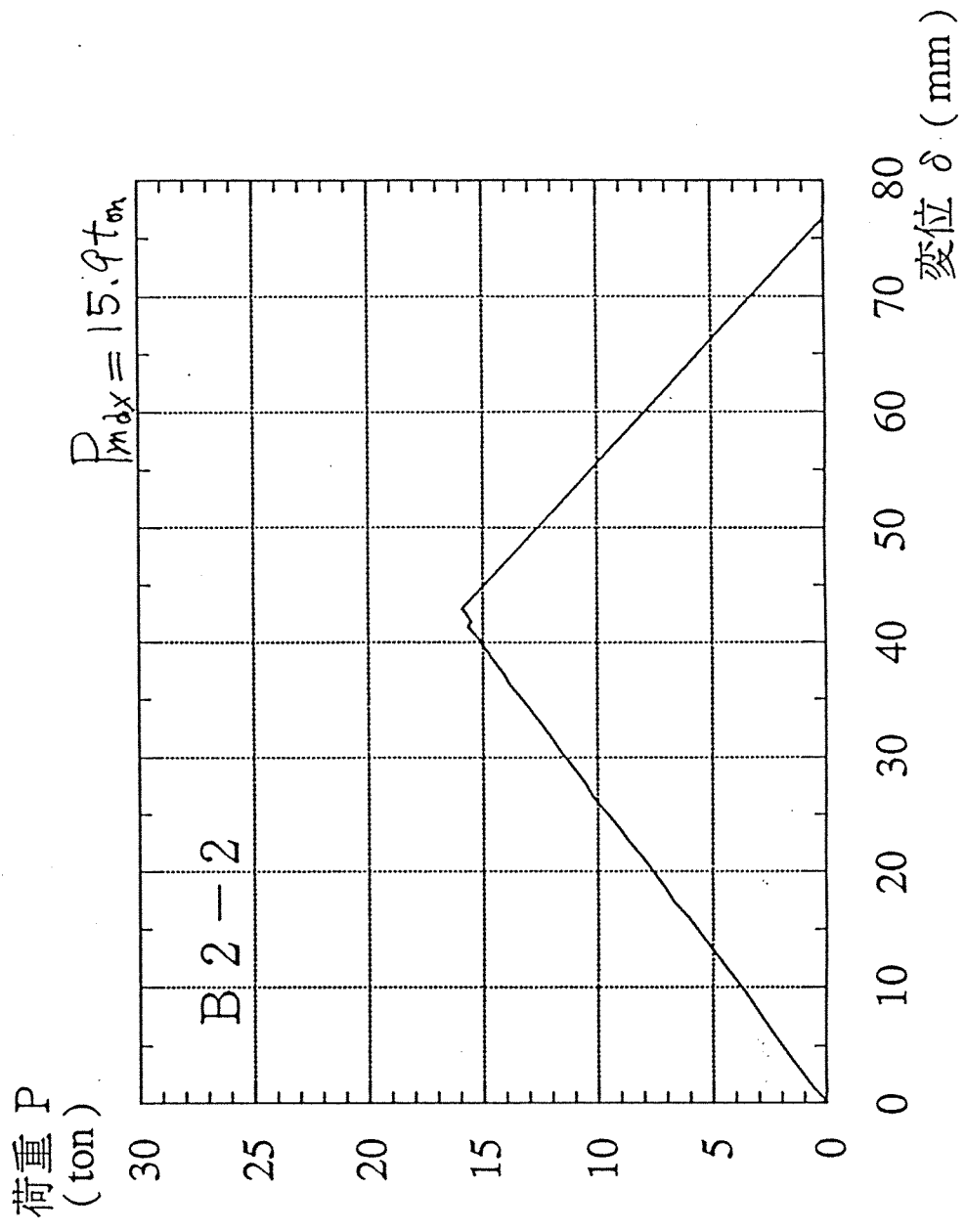


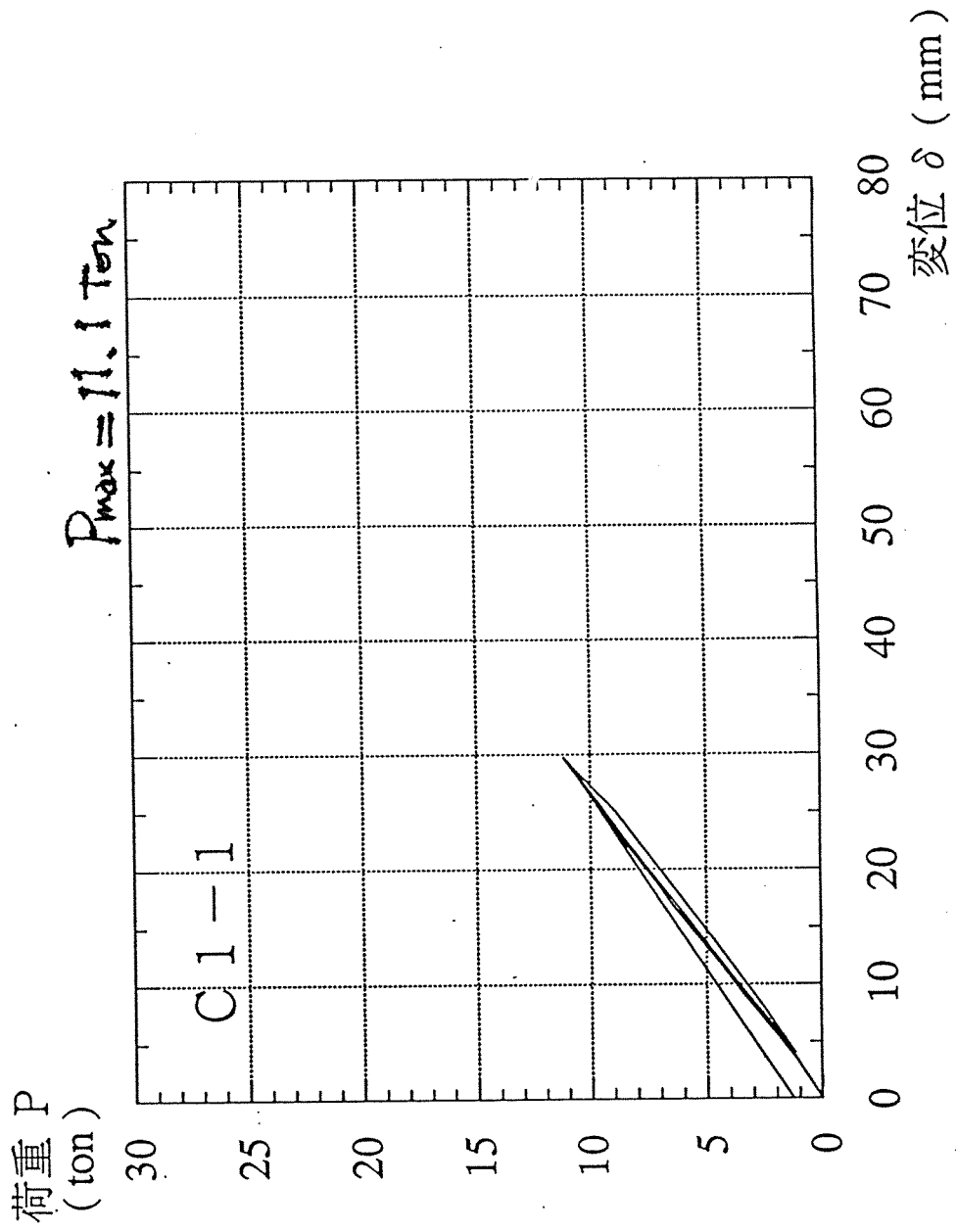


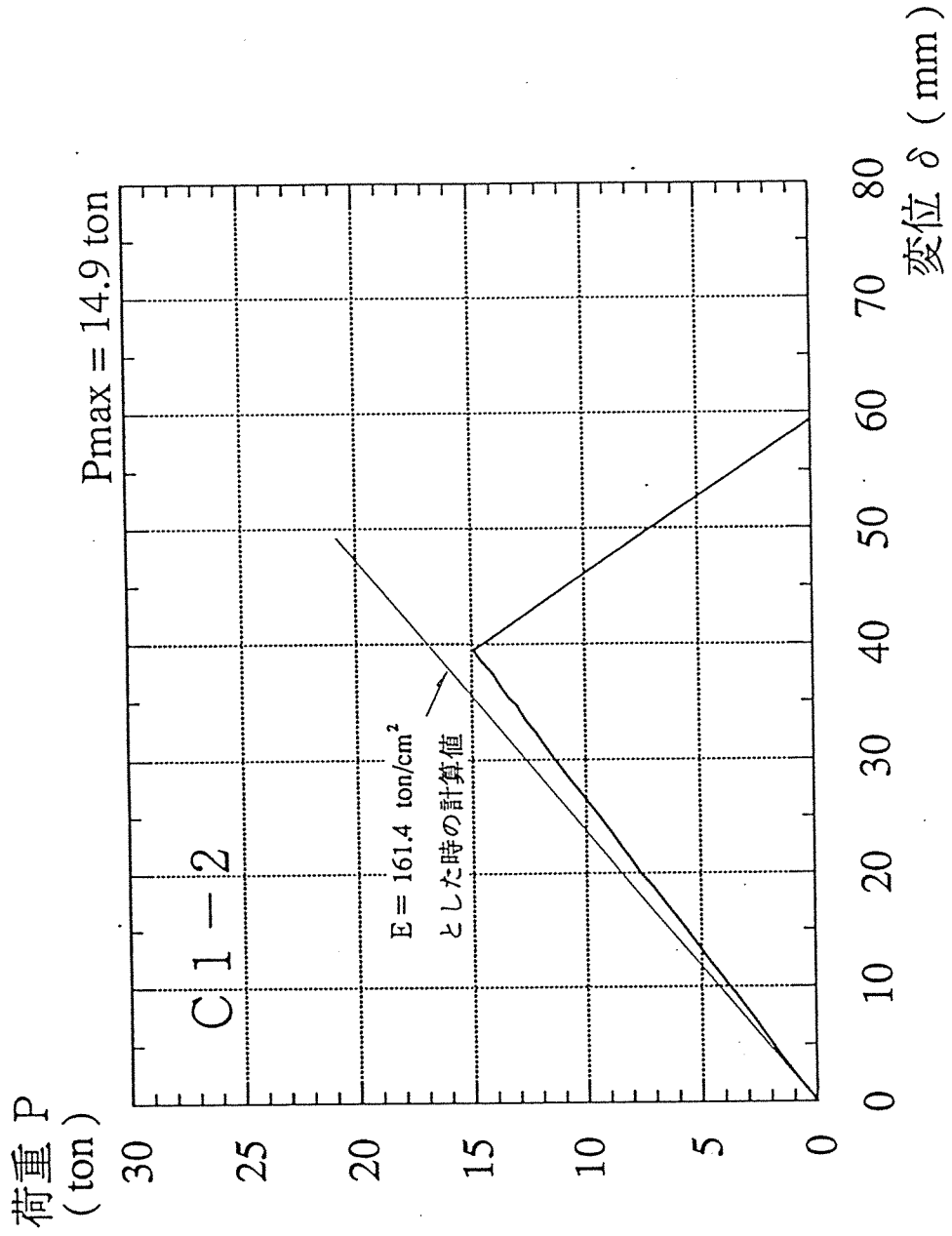


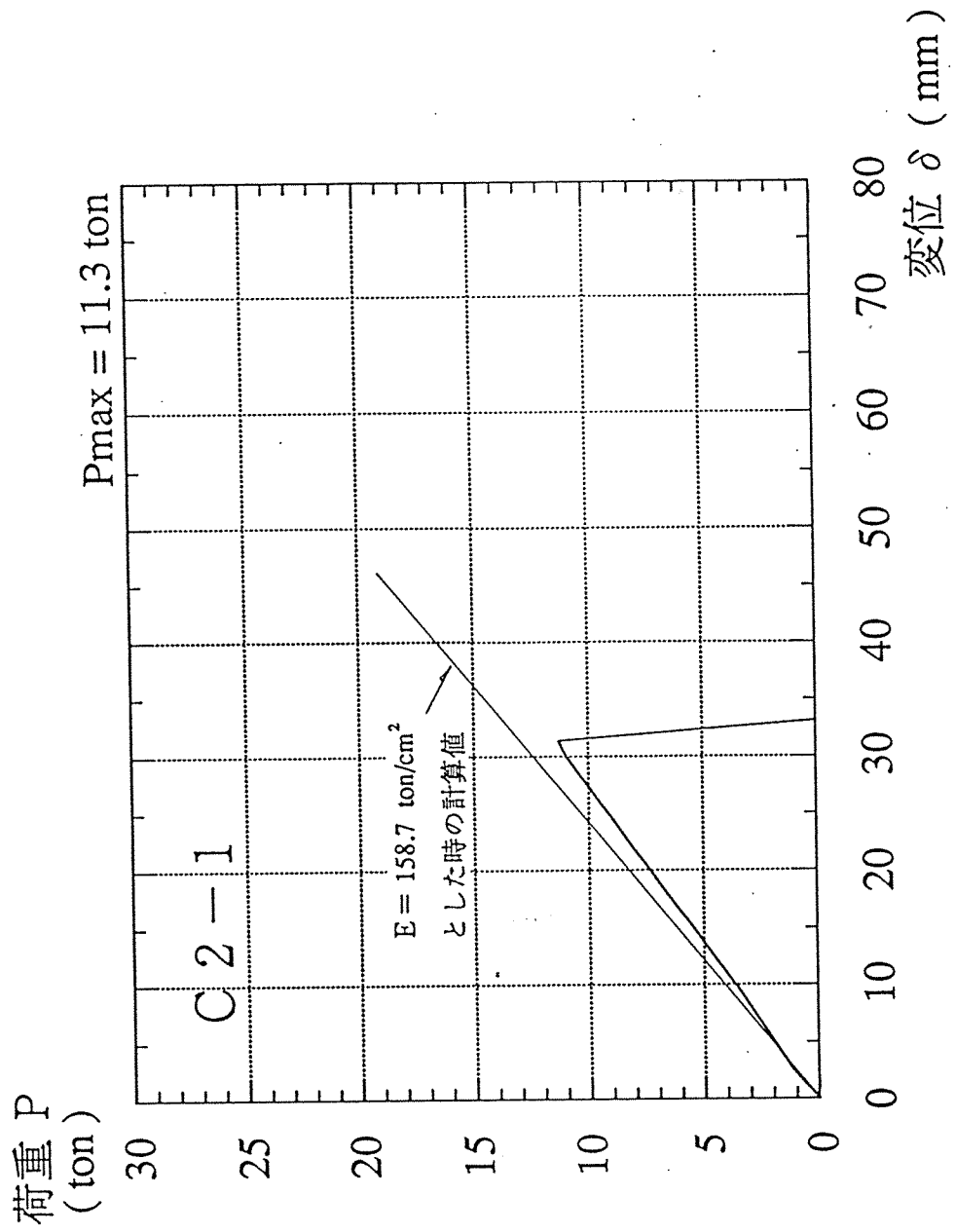


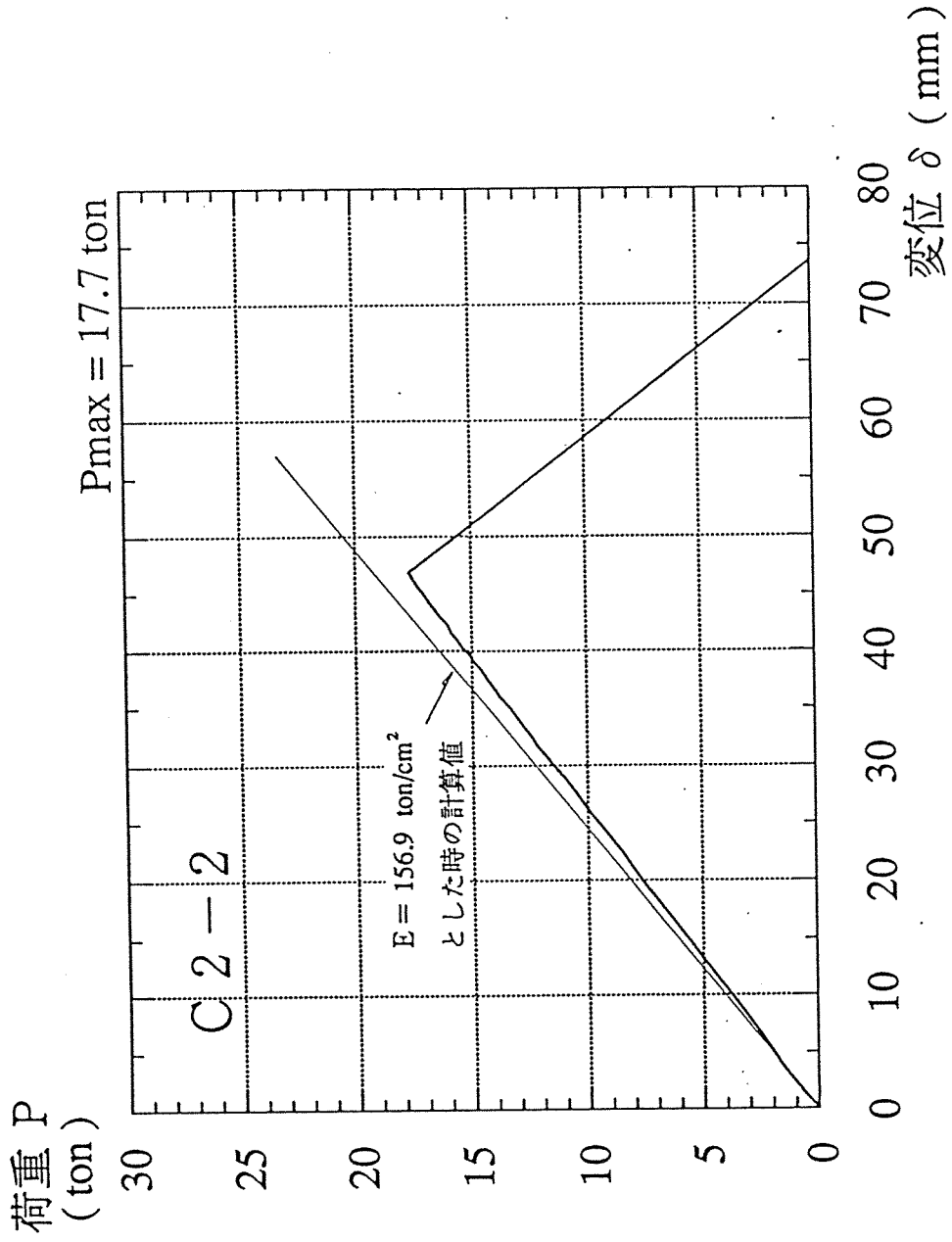


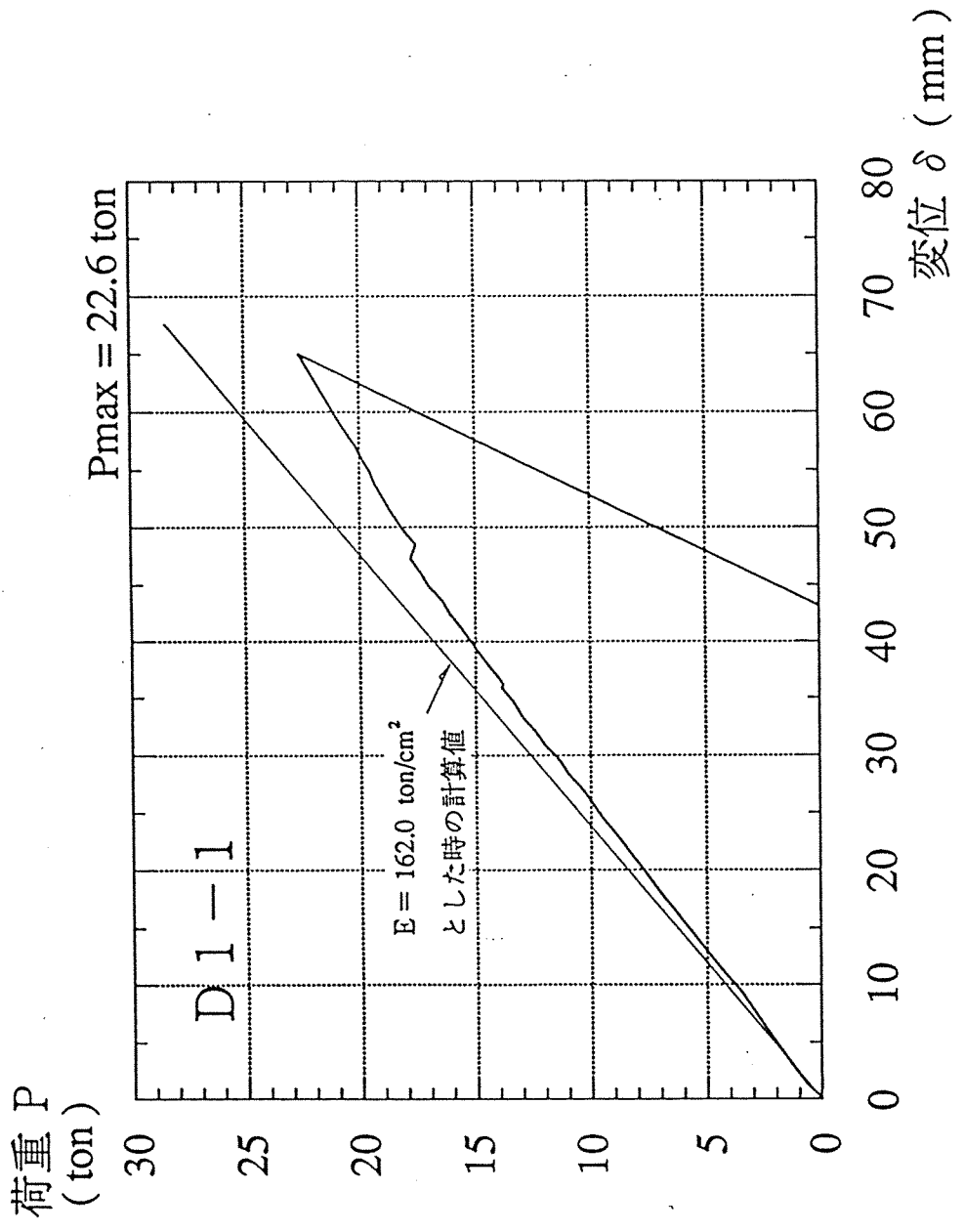


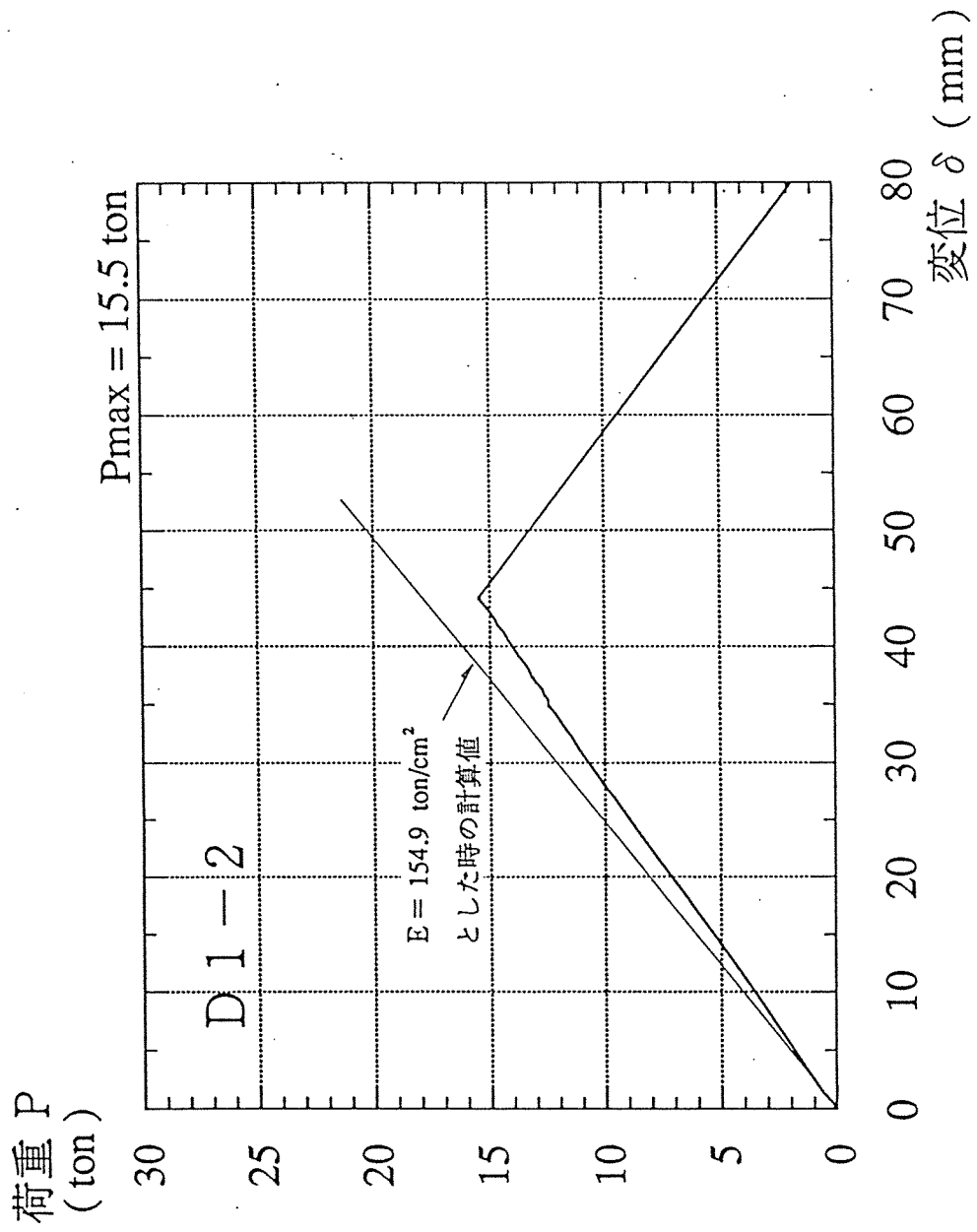


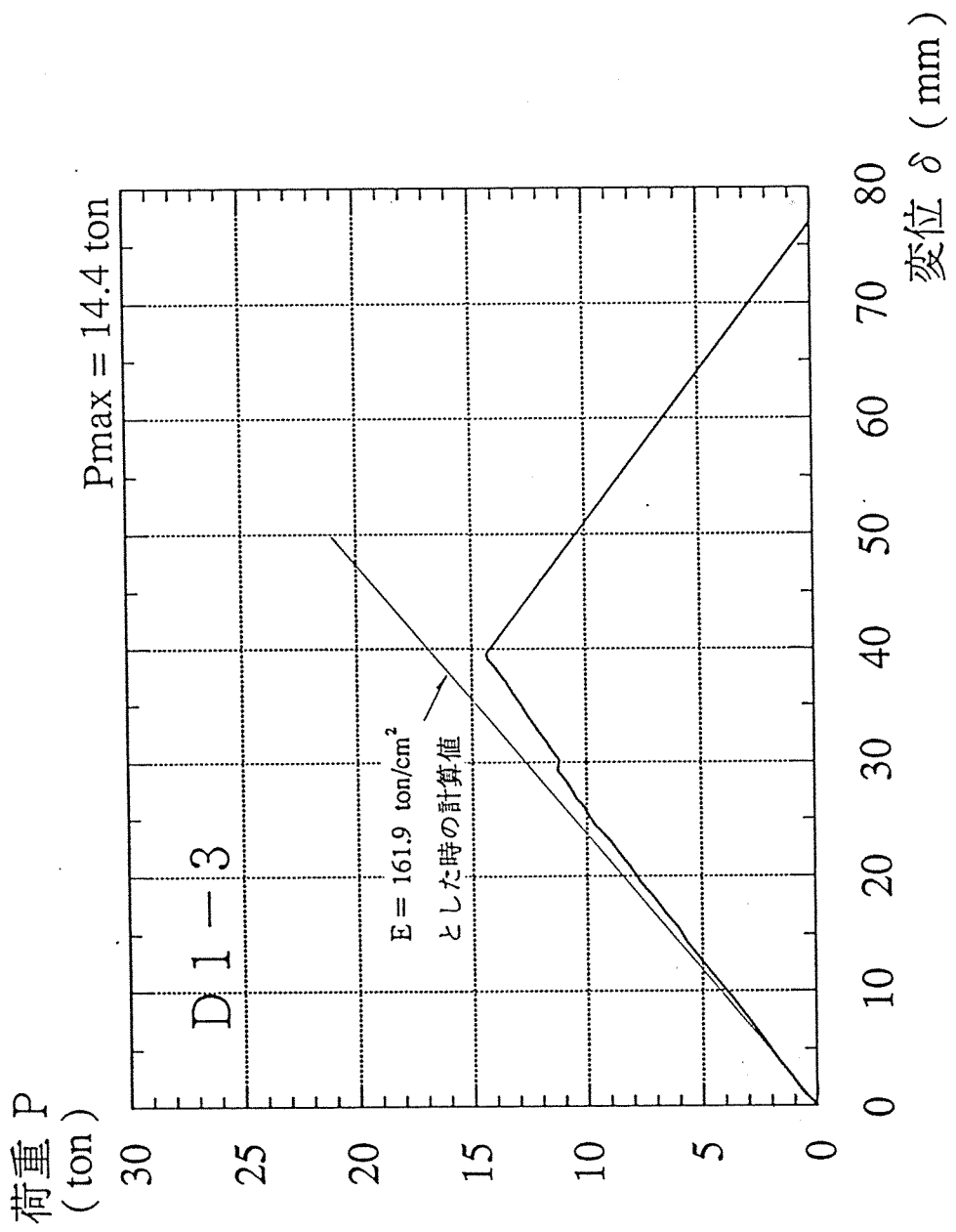


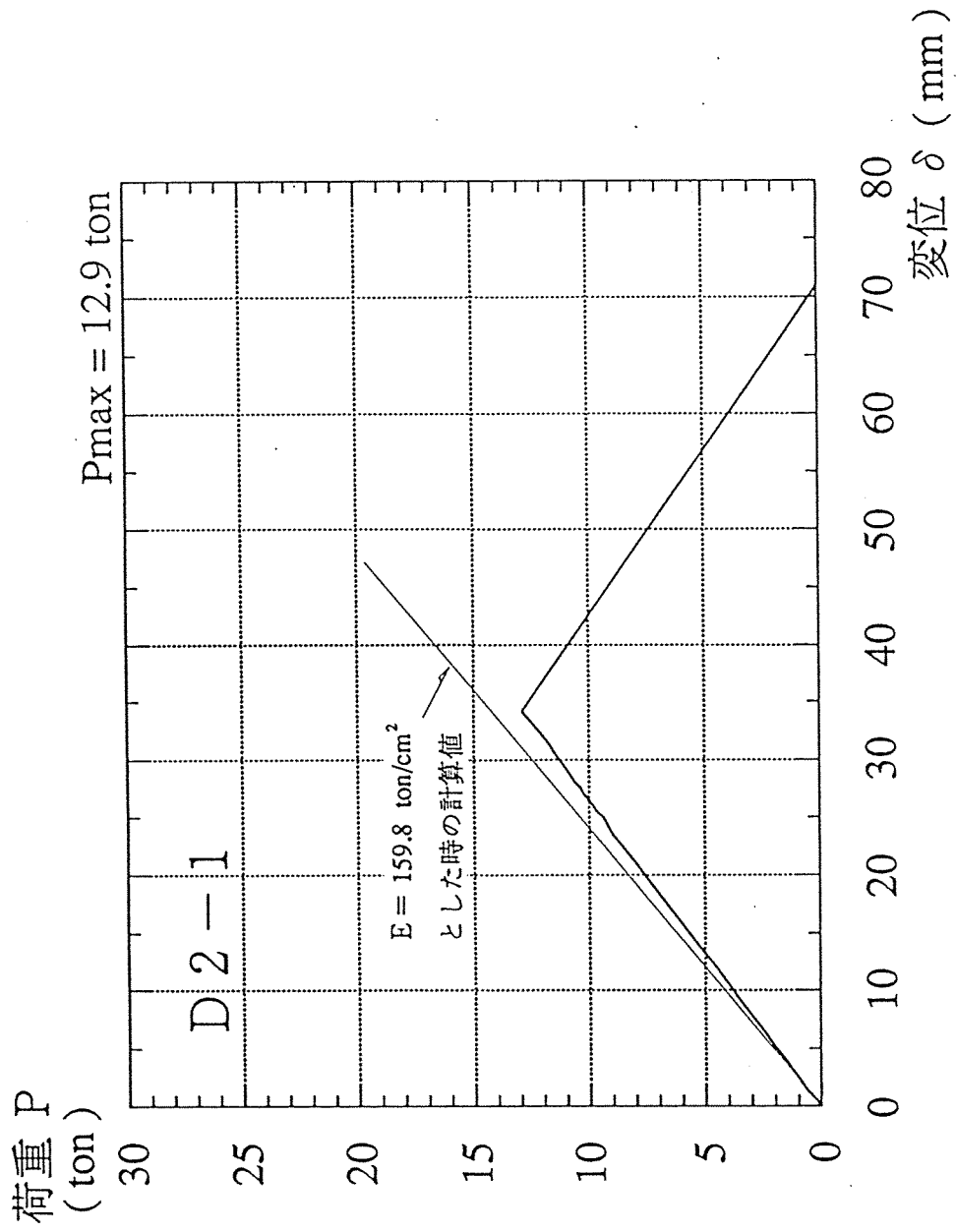


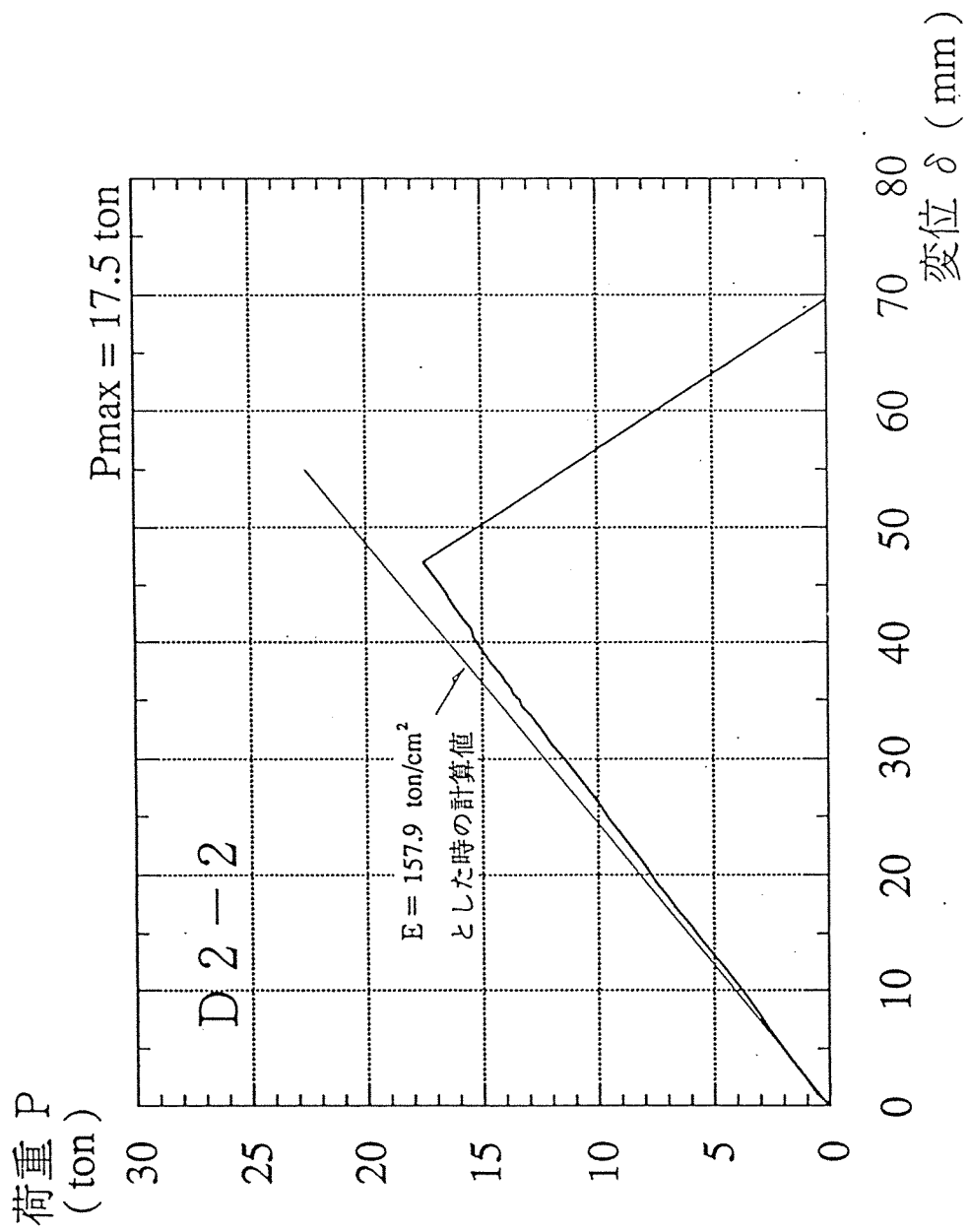


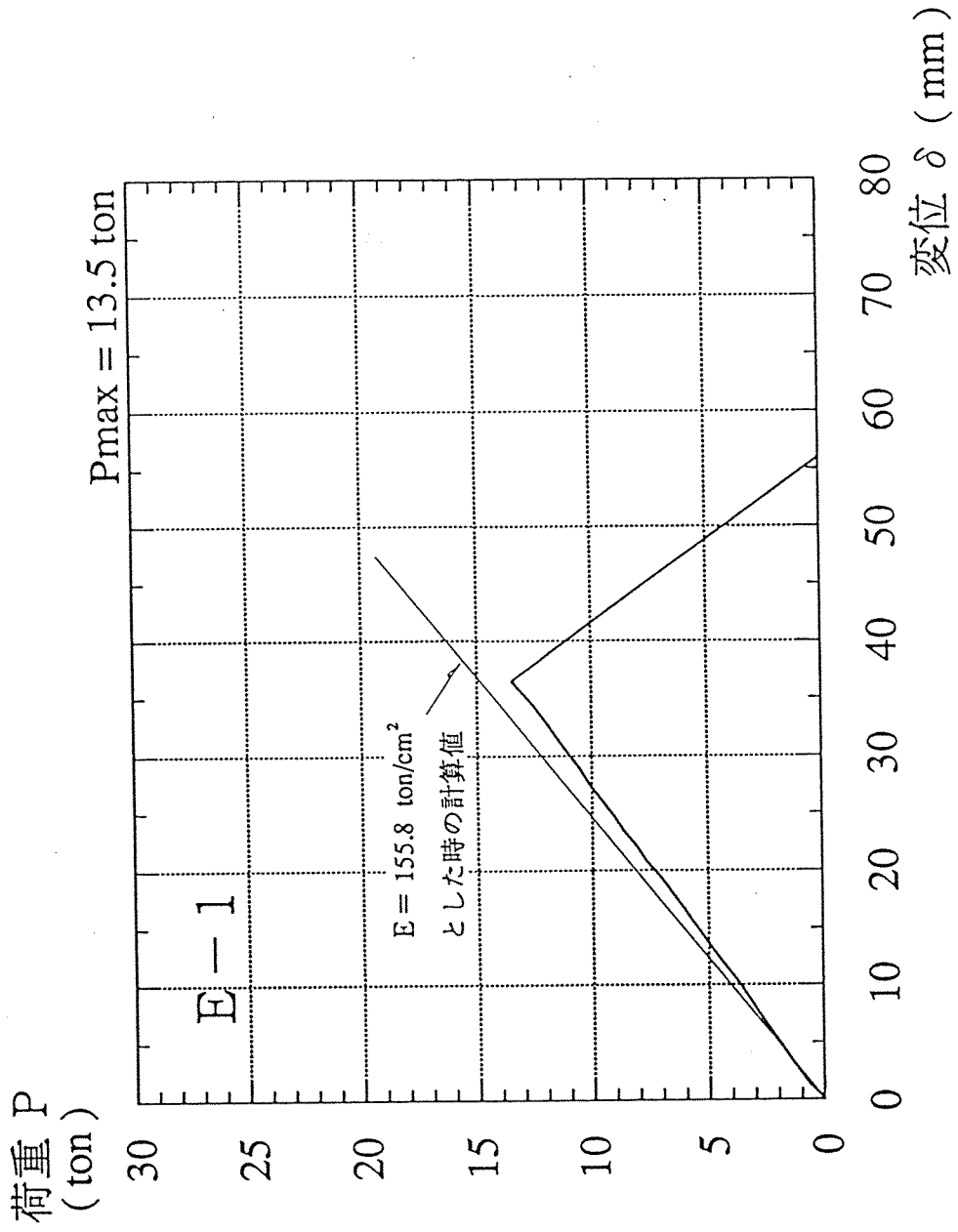


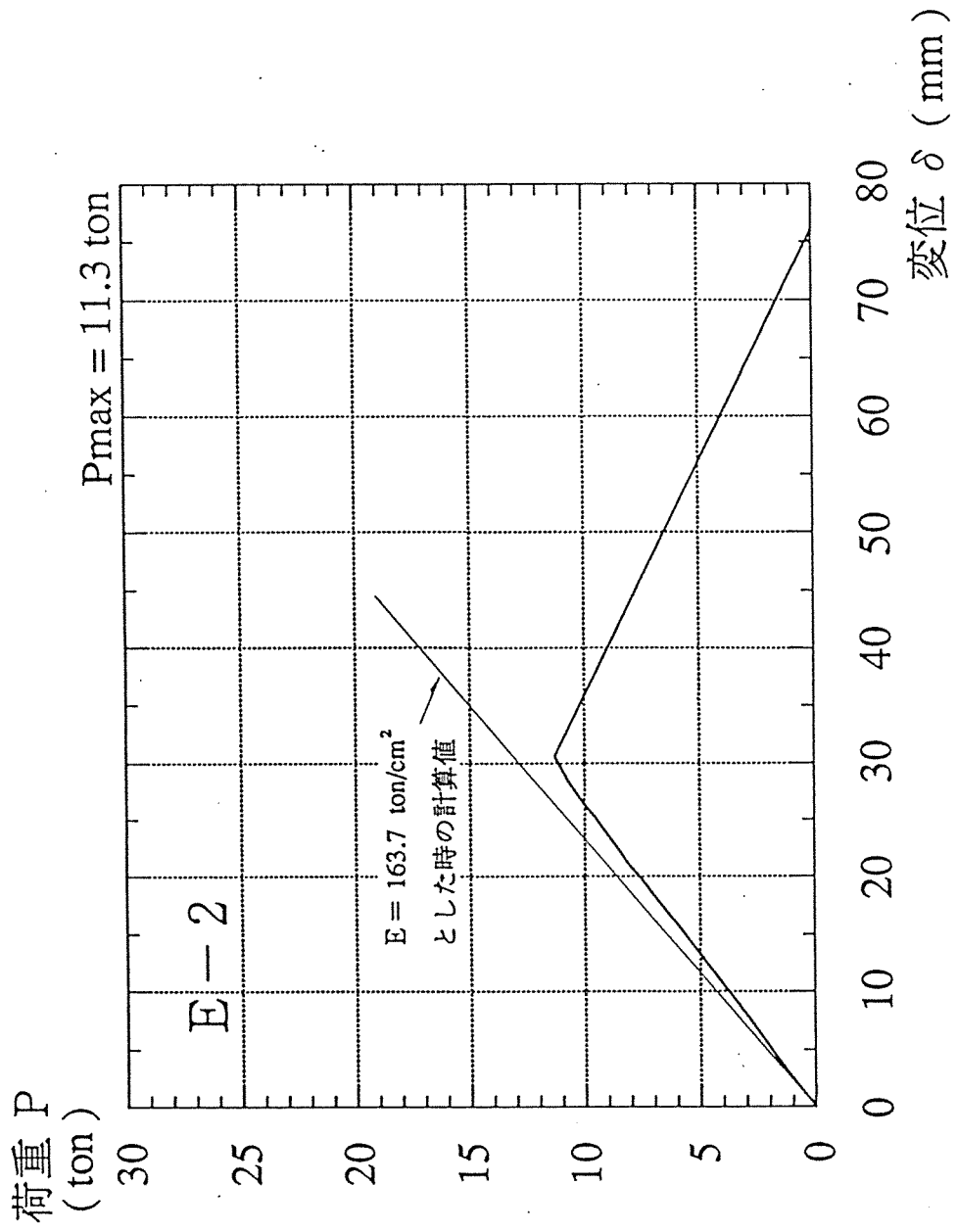


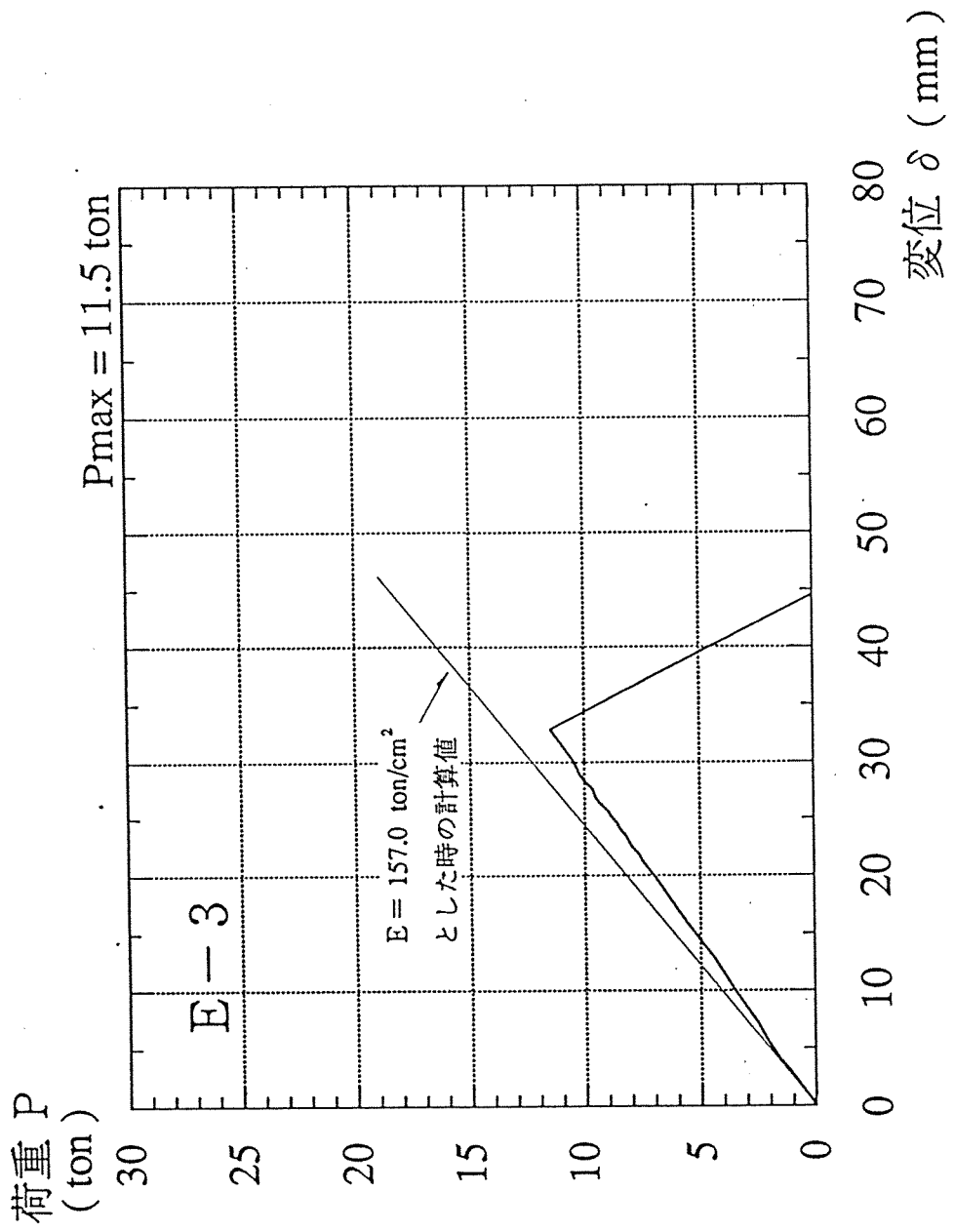




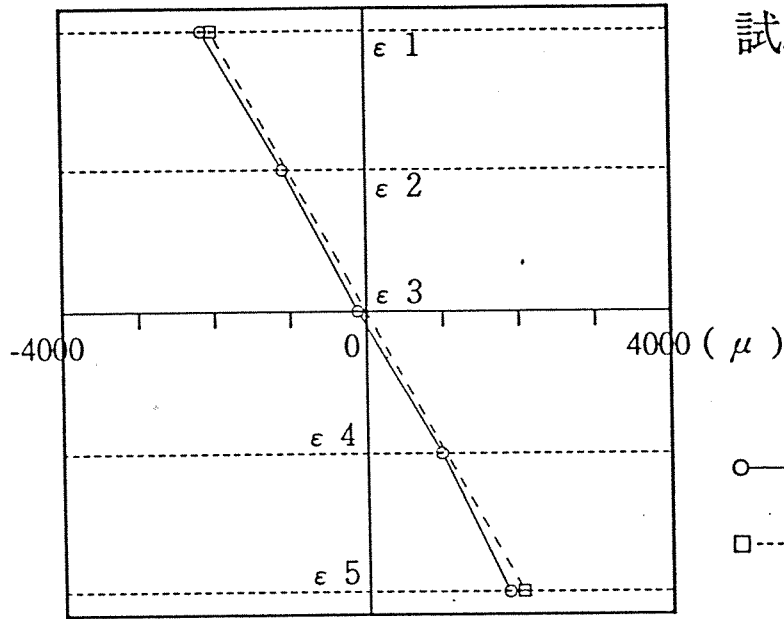




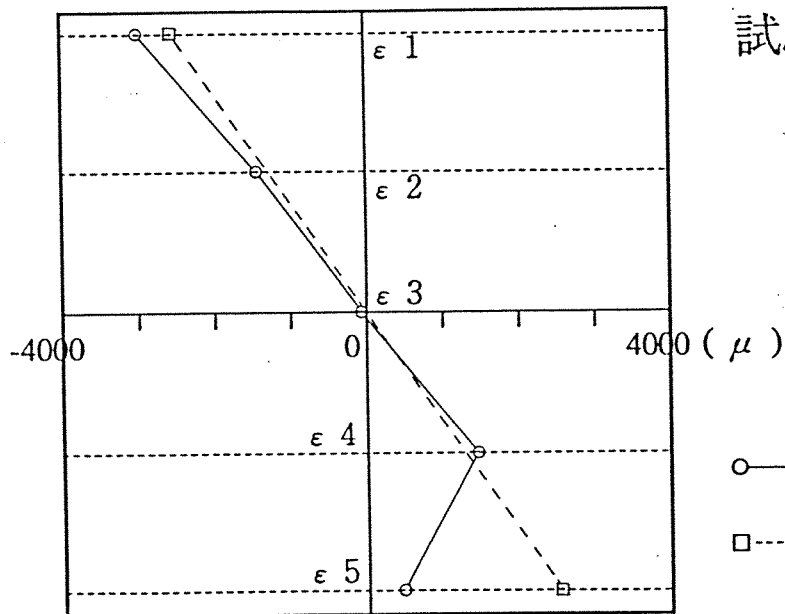




[曲げひずみ分布 試験体別実験結果]



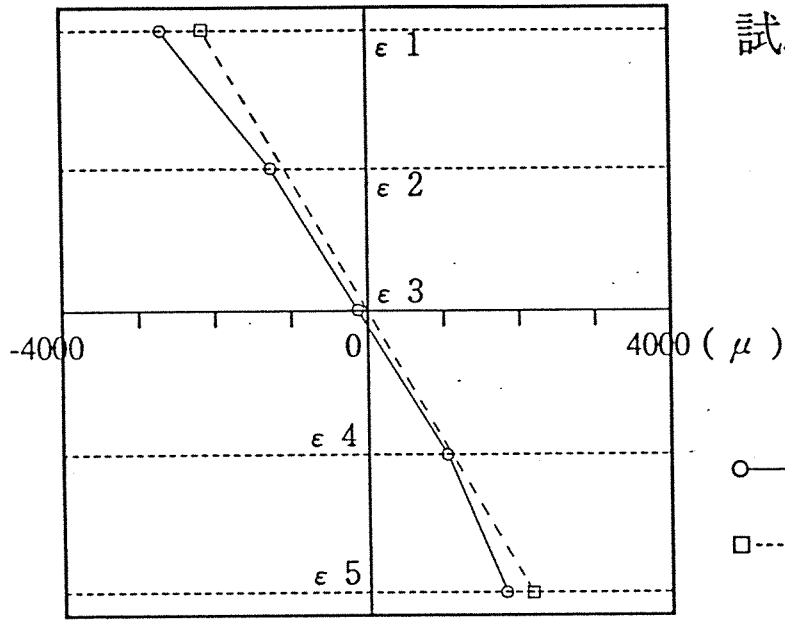
ひずみ分布



ひずみ分布

試験体：A-3

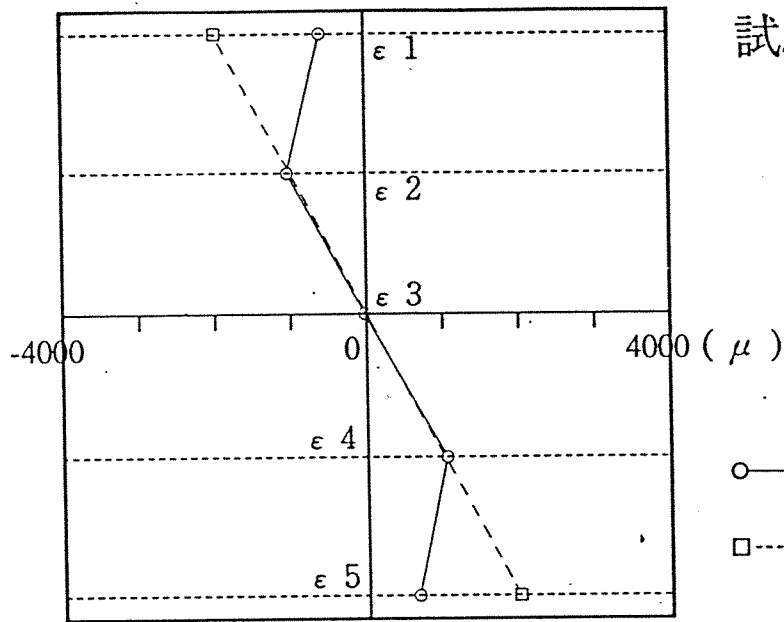
(P = 18.8 ton 時)



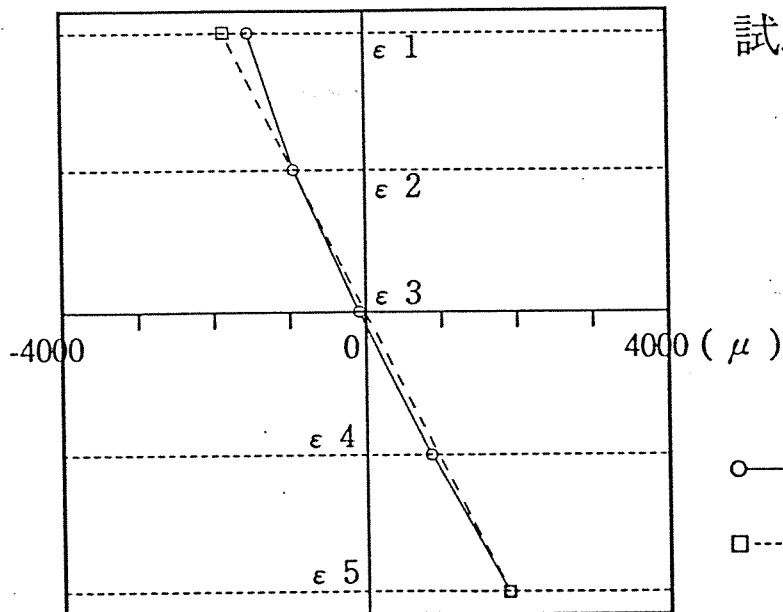
○—○ : 実験結果

□-----□ : E = 163.4 ton/cm² とした
時の計算値

ひずみ分布



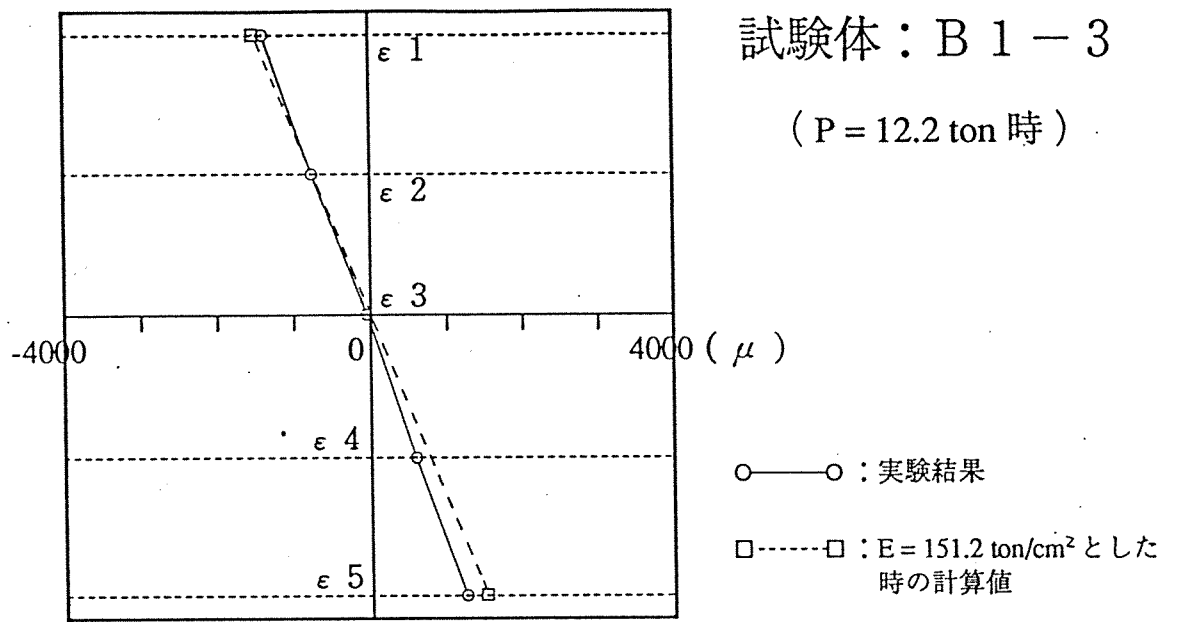
ひずみ分布



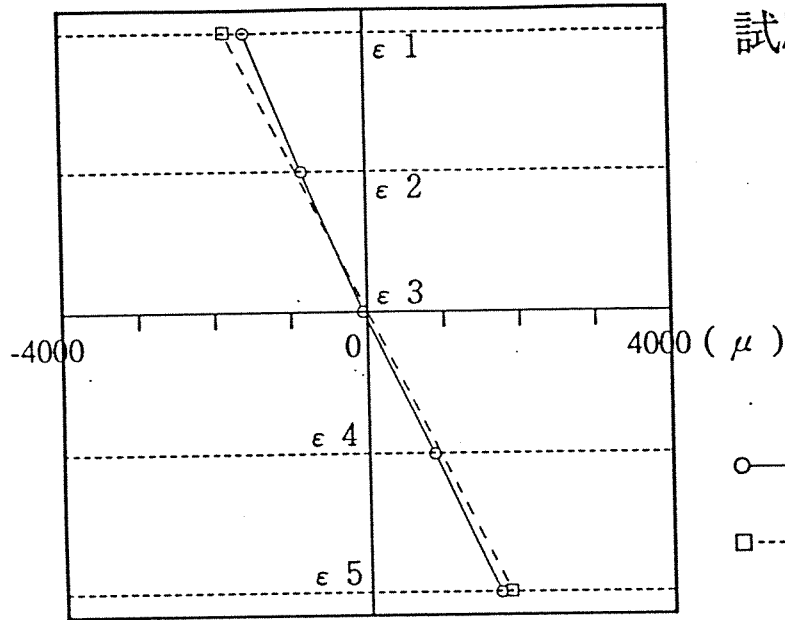
ひずみ分布

試験体：B 1 - 3

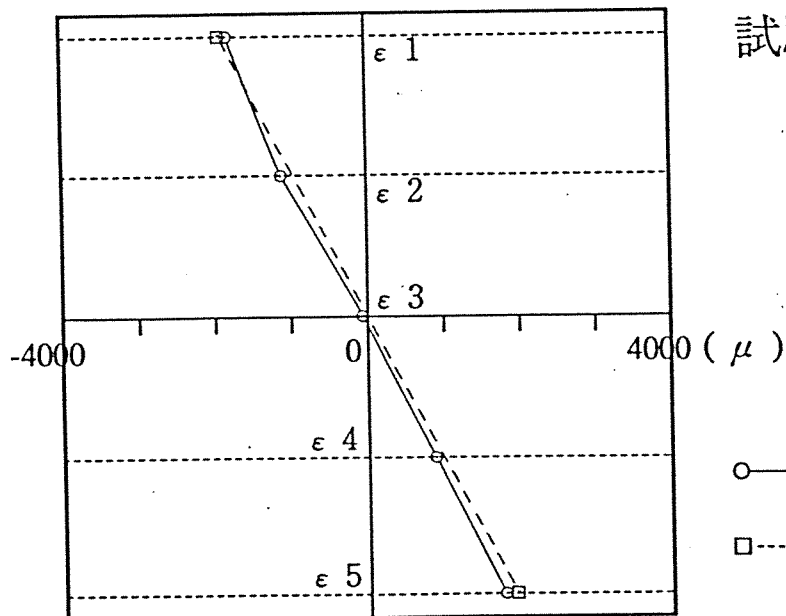
(P = 12.2 ton 時)



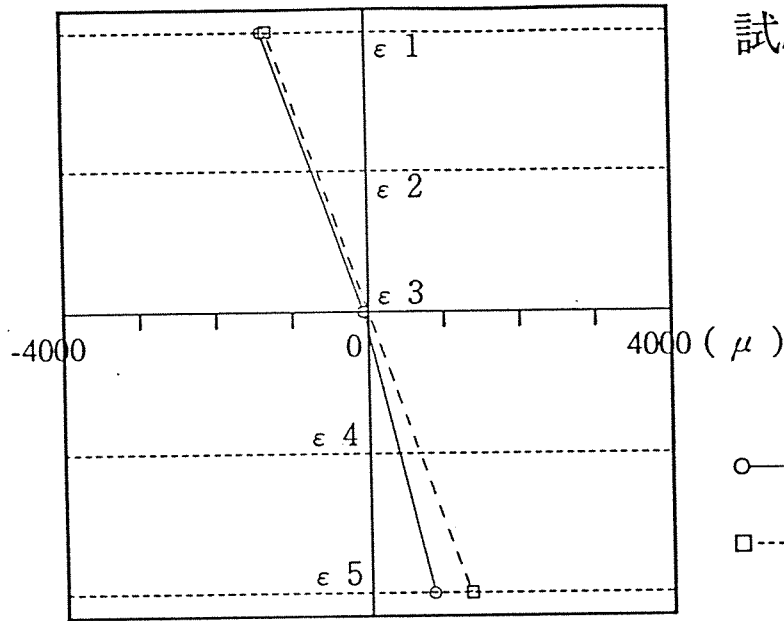
ひずみ分布



ひずみ分布



ひずみ分布



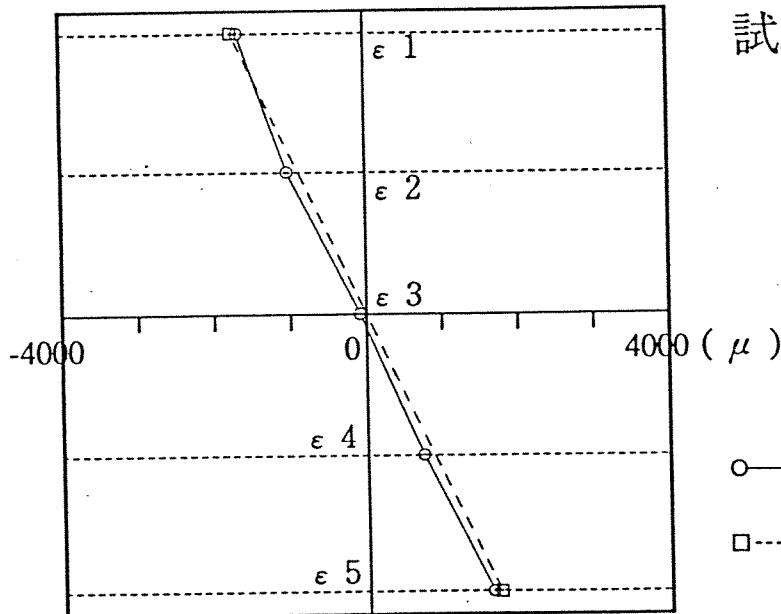
試験体：C 1 - 1

(P = 11.1 ton 時)

○—○ : 実験結果

□-----□ : $E = 158.7 \text{ ton/cm}^2$ とした
時の計算値

ひずみ分布



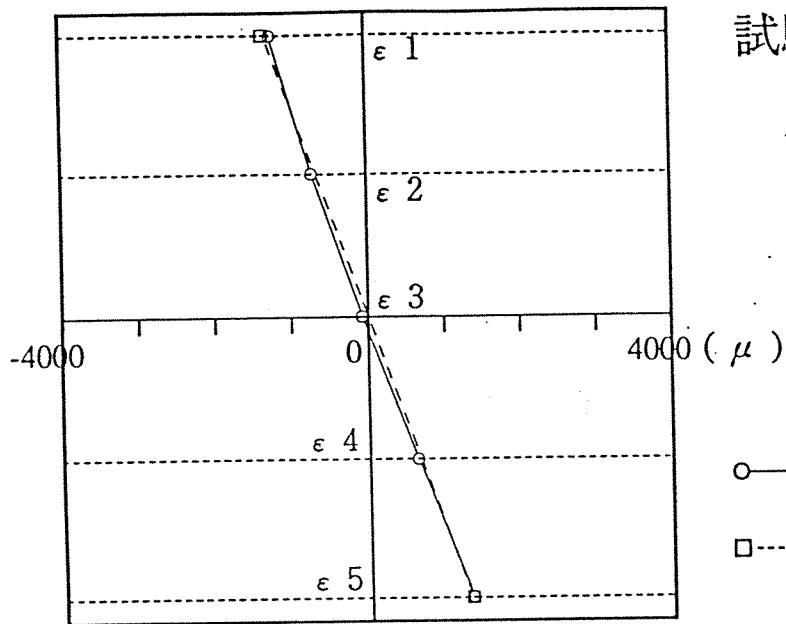
試験体：C 1 - 2

(P = 14.9 ton 時)

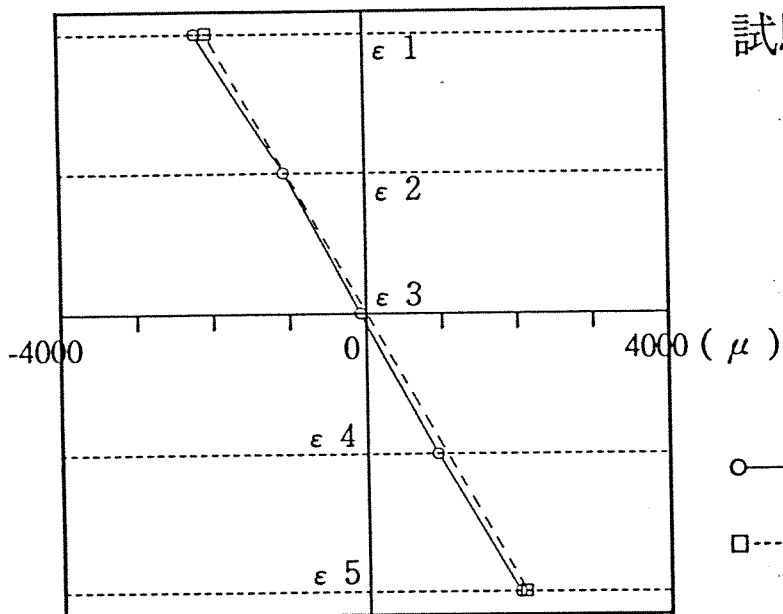
○—○ : 実験結果

□-----□ : $E = 161.4 \text{ ton/cm}^2$ とした
時の計算値

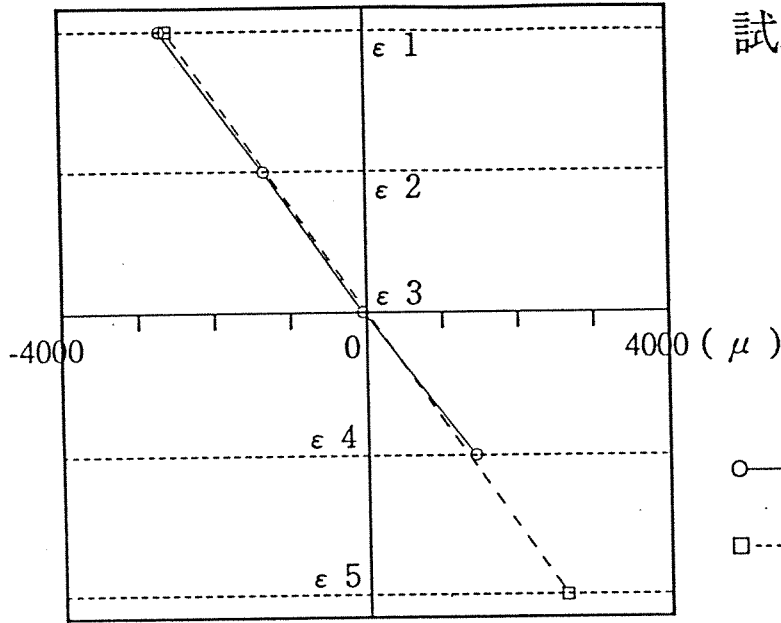
ひずみ分布



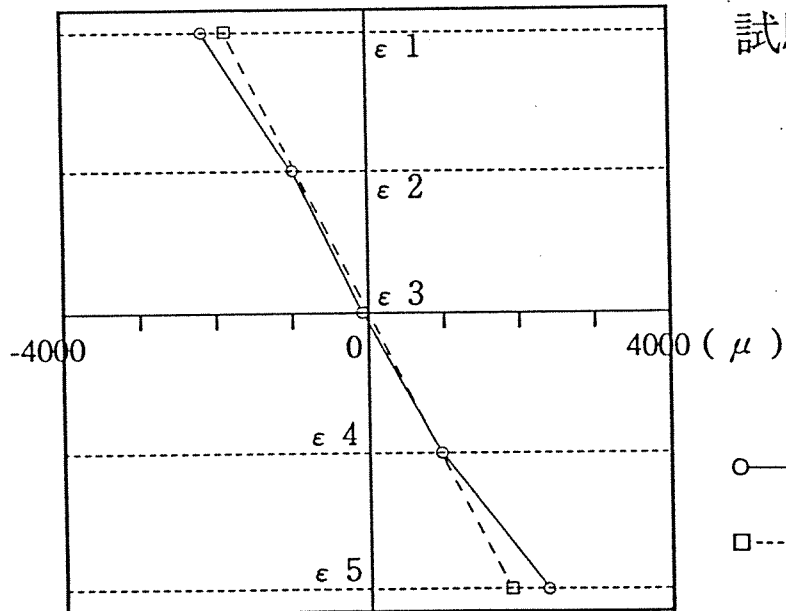
ひずみ分布



ひずみ分布



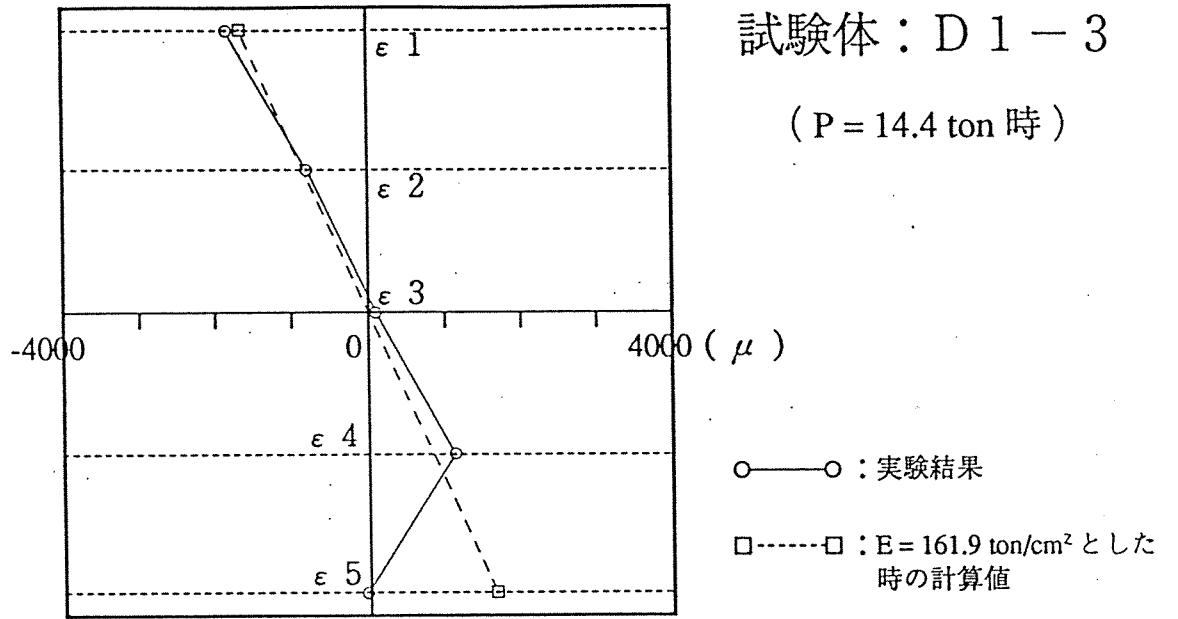
ひずみ分布



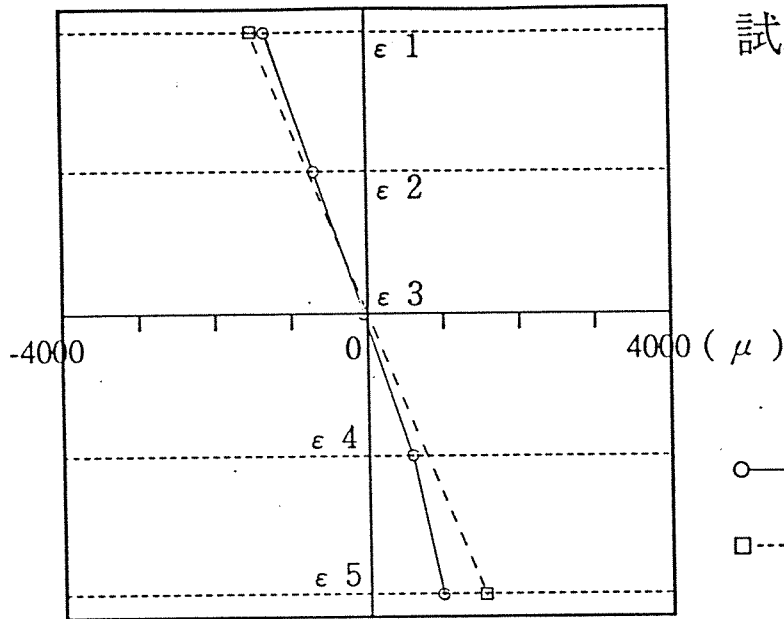
ひずみ分布

試験体：D 1 - 3

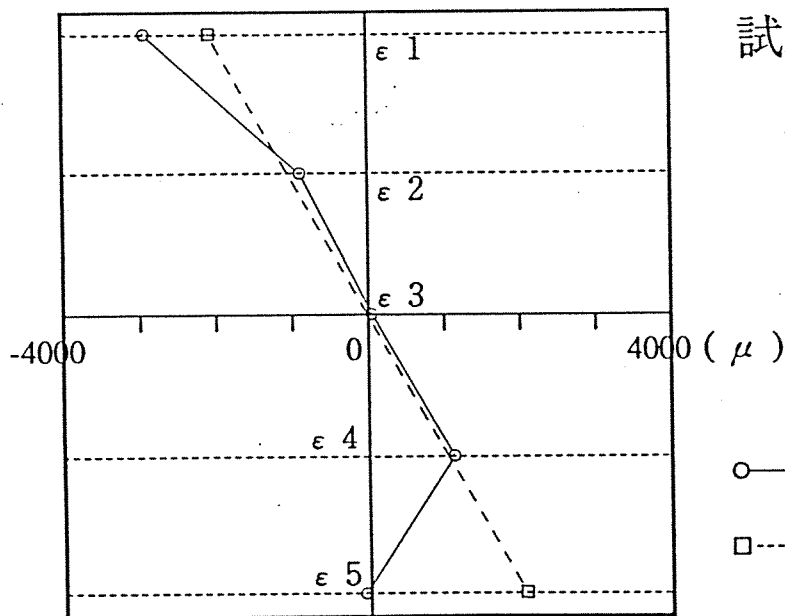
(P = 14.4 ton 時)



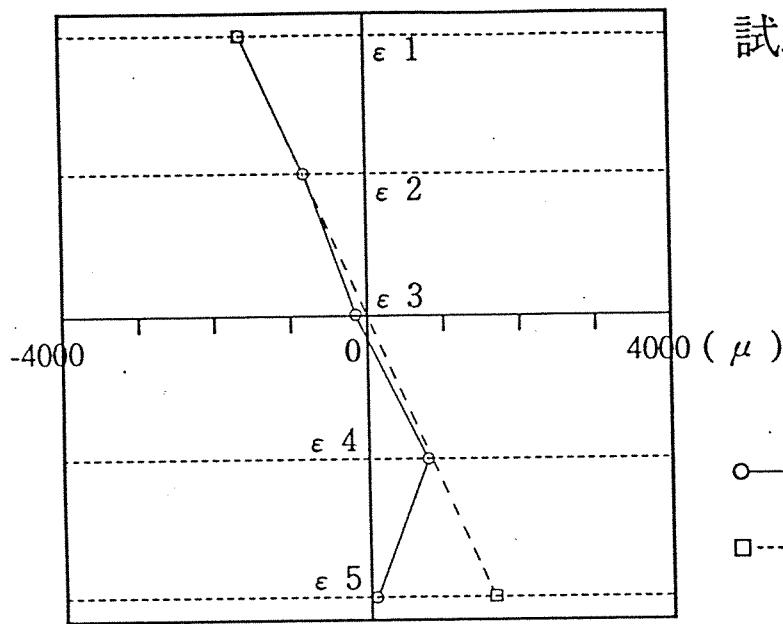
ひずみ分布



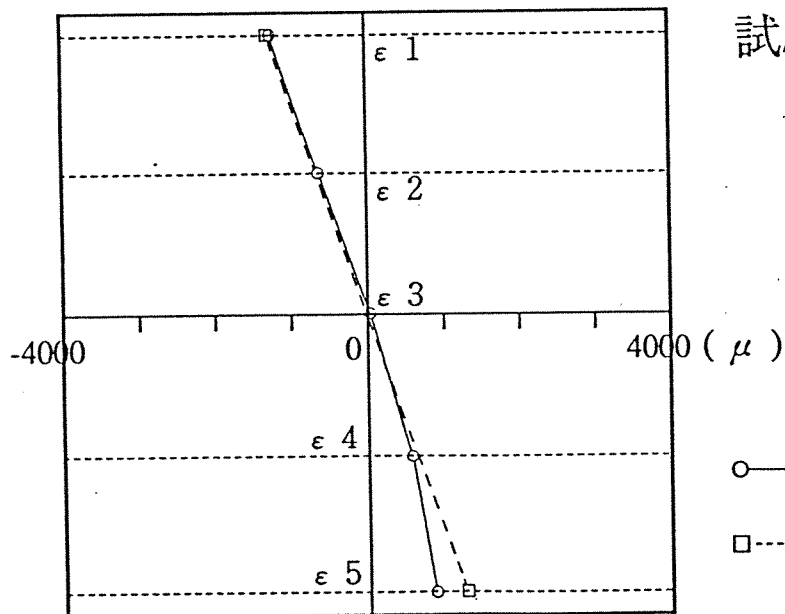
ひずみ分布



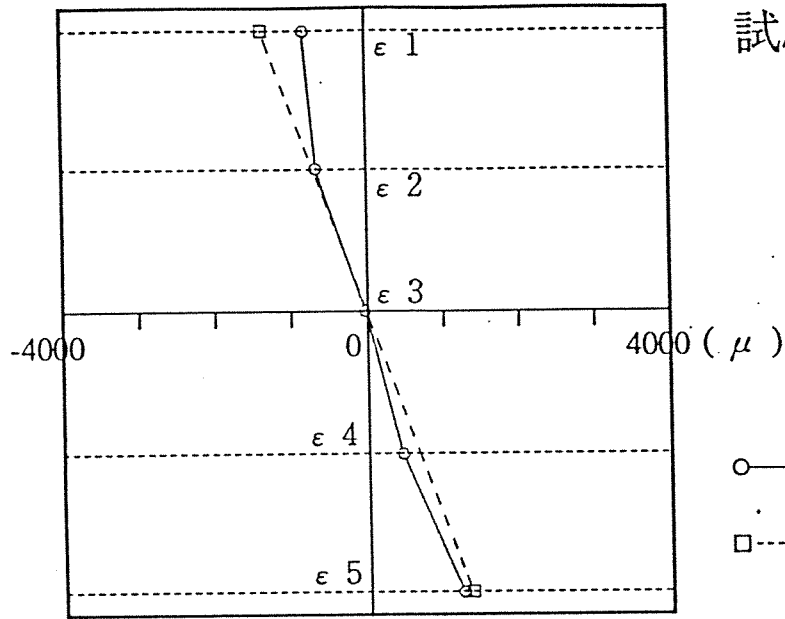
ひずみ分布



ひずみ分布



ひずみ分布



試験体：E - 3

(P = 11.5 ton 時)

○ — ○ : 実験結果

□ - - - □ : E = 157.0 ton/cm² とした
時の計算値

ひずみ分布

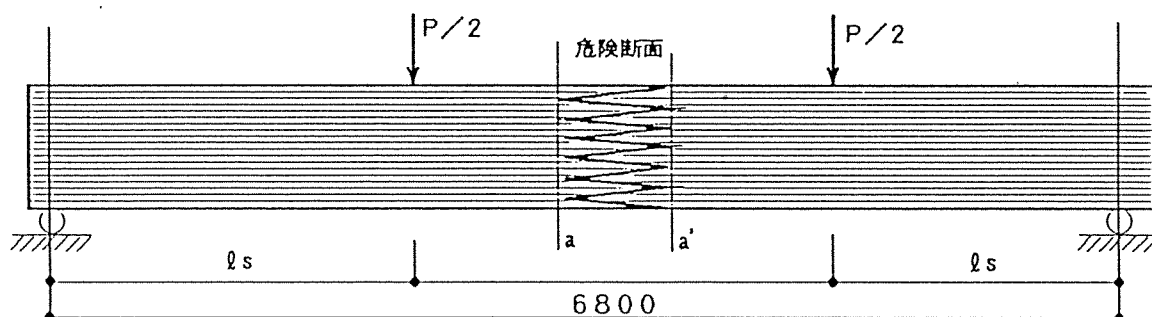
II. B F J ストリップ試験体の引張試験

1. 目的

B F J の先端には、公称寸法で 5mm のバットジョイントが存在する。このバットジョイントは応力集中源となって、ラミナの引張強度あるいは、スカーフジョイントの引張強度を低減させる。本実験の目的は、バットジョイントがスカーフジョイントの引張強度に及ぼす影響の程度を調べることにある。

2. 試験体の概要

2-1. 試験体



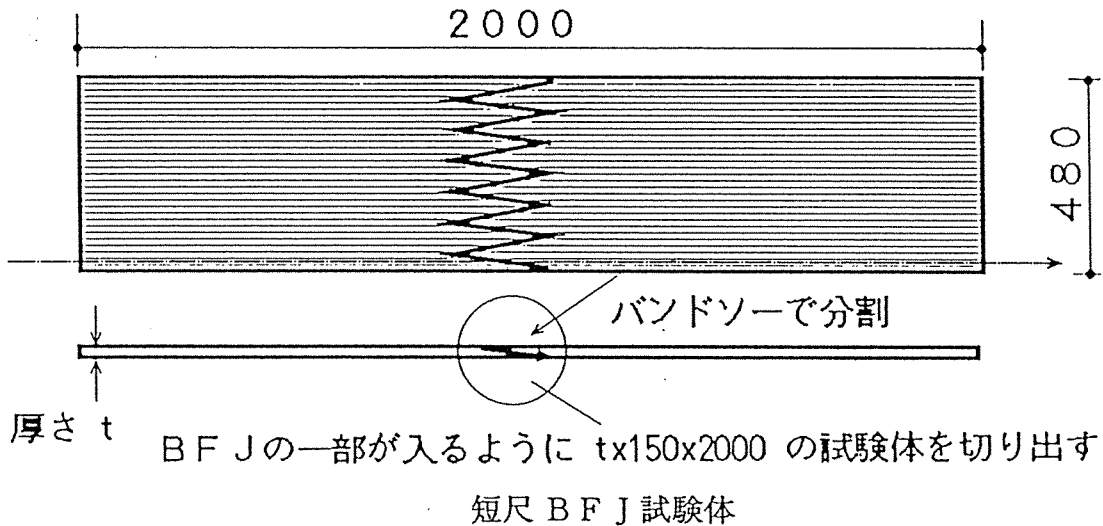
実大梁試験体

上図の $a \sim a'$ の危険断面域において B F J 接合の先端（バットジョイント部）が梁せいどのどの位置に出現するかは、B F J の種類（スカーフ比 = 25/60, 40/120, 60/200, 130/480）と梁せいとの組み合わせによって異なる。例えば、バットジョイントが引張最外層に出現する場合は最も耐力は小さいと想像されるが、隣接するバットジョイントの間隔も耐力に影響を及ぼすと考えられる。また、実際の現場接合を想定すると、バットジョイントが最外層に来ない場合もある。

本試験では、B F J 接着部最外縁において想定される 3 つのケースにつきストリップ試験体を製作し、（B F J 試験体より切り出す）ケース毎に引張強度を求め、どのケースが最も有効であるかを検討する。

なお、大断面集成材の曲げ終局耐力は各ラミナの引張応力度が実験で求めた B F J 接合部の引張強度に達する外力として算定する。

ストリップ試験体用のBFJ試験体は、曲げ破壊実験試験体と全く同じ集成材製作条件で製作された短尺BFJ試験体^{*}(長さ2m：下図参照)から切り出す。切り出しは森林総研製材研究室にて行う。



*：曲げ破壊実験試験体と同様ラミナのMDEは全数測定し、各々のラミナのMDEと等級が照合できるようにしておく。

短尺BFJ試験体は、下表に示すものを製作する。

表-2 短尺BFJ試験体一覧

タイプ	間隔 t mm	FJ長さ l mm	先端幅 b mm	傾斜比	圧縮力 kgf/cm ²	圧縮方法	加工法	試験体数 *1
B1	25	60	5	1:8	10	ジャッキ	丸鋸	2(1)
B2	25	60	5	1:8	10	ボルト	丸鋸	2(1)
C1	40	120	5	1:8	10	ジャッキ	丸鋸	2
C2	40	120	5	1:8	10	ボルト	丸鋸	2
D1	60	200	5	1:8	10	ジャッキ	丸鋸	2
D2	60	200	5	1:8	10	ボルト	丸鋸	2
E	130	480	5	1:8	10	ジャッキ	帯鋸	2

*1：各2体ずつにすると合計14体となり、2体不足するため、可能なら2体を追加する。不可能な場合は、B1、B2を1体とする。

2-2. BFJラミナ引張試験体の採取ブロック

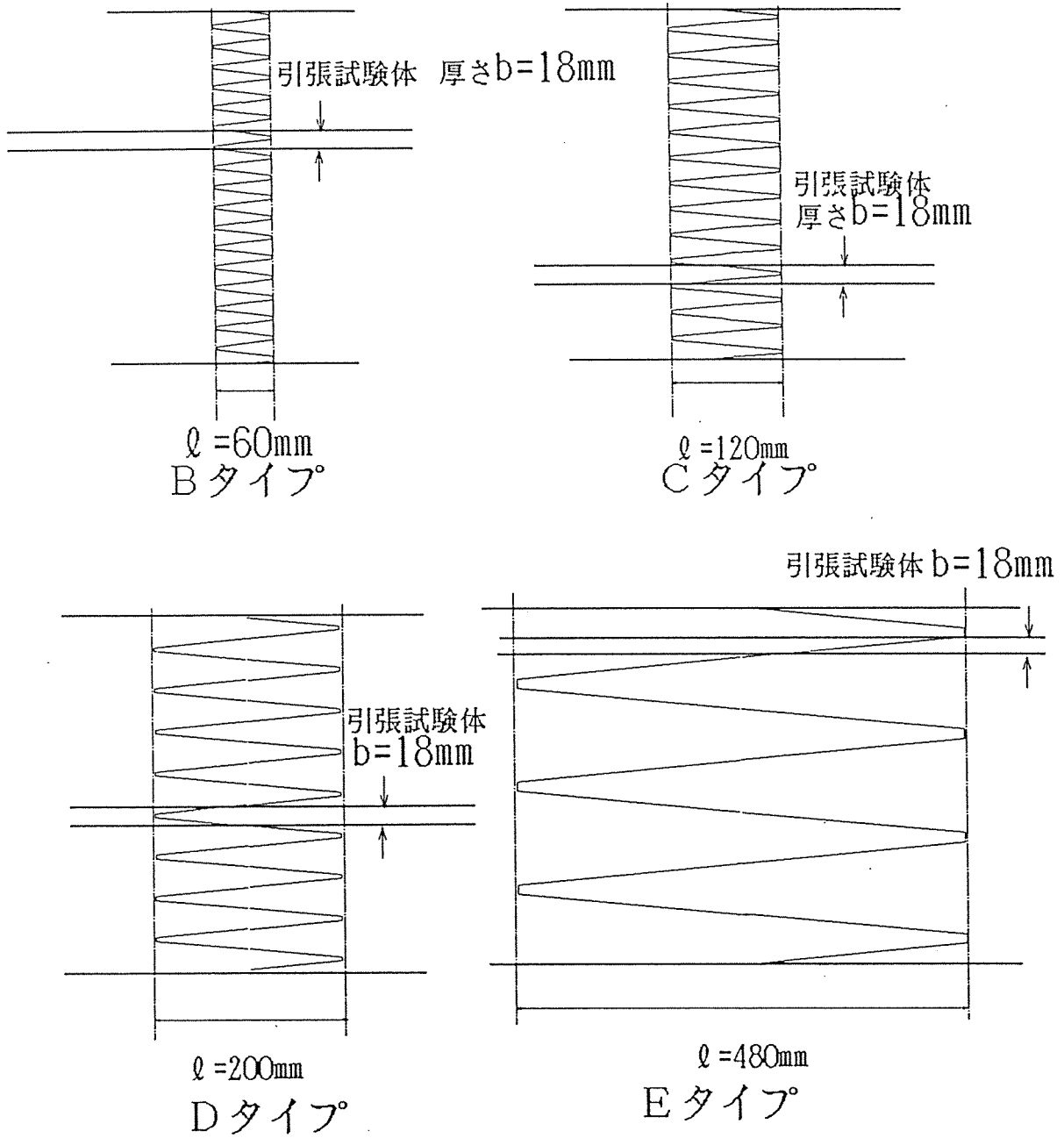
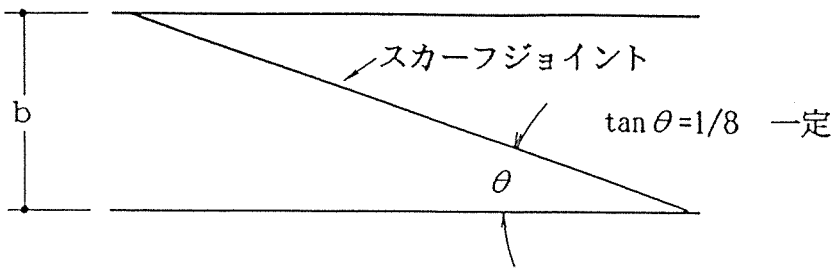


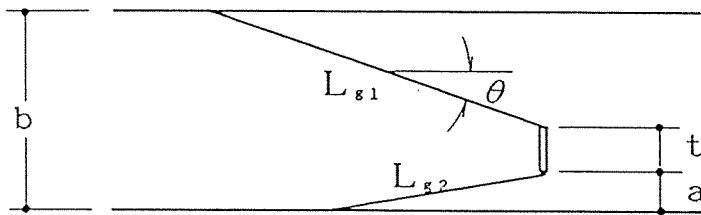
図 1 BFJラミナ引張試験体採取ブロック

2-3. 試験体に出現するバットジョイントのパターン

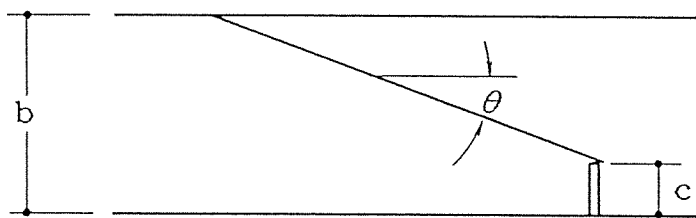
① パターンA：バットジョイントが存在しない場合（コントロール）



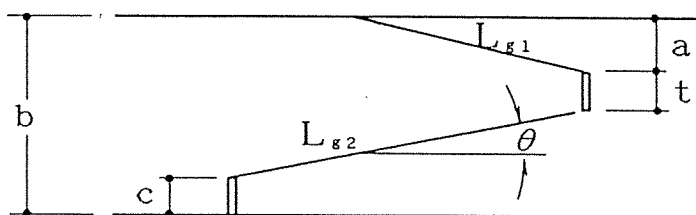
② パターンB：材中に完全なバットジョイントが一個存在するもの



③ パターンC：一材縁にバットジョイントが存在するもの



④ パターンBC：パターンBにパターンCが一部加わったもの



⑤ パターンCC：パターンCが両方の材縁に出現したもの

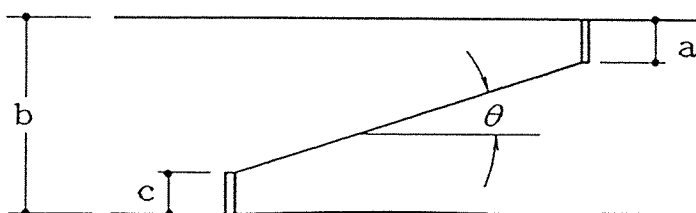


図 2 引張試験体に出現するバットジョイントのパターンと定義

3. 引張試験方法

200ton試験機を使用し、下図のような構成で引張試験を行う。

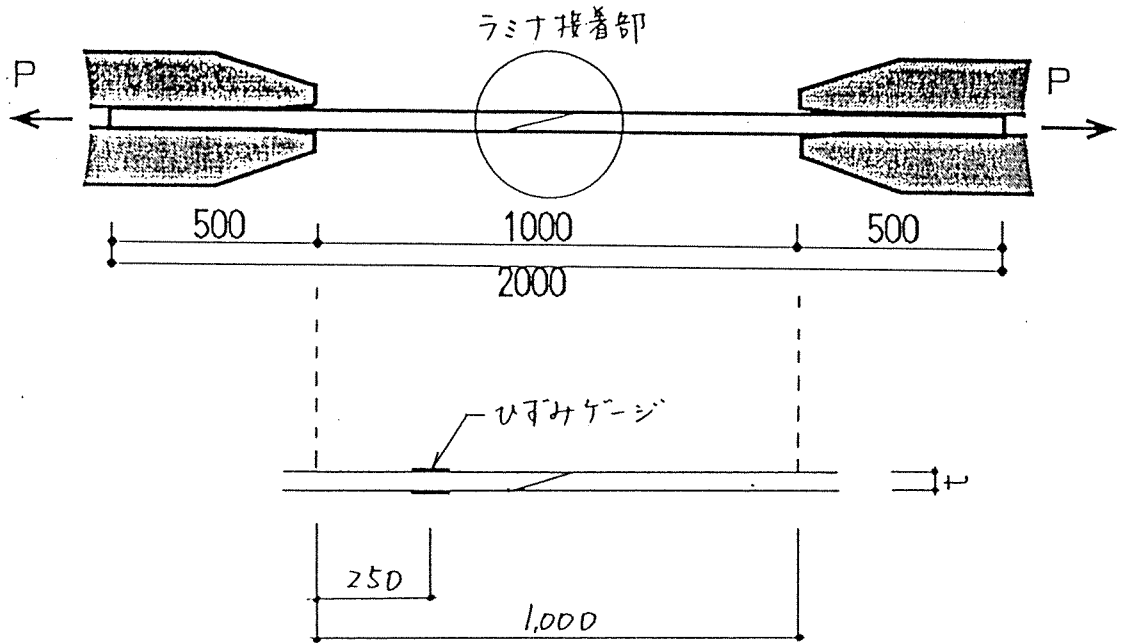


図-12 引張試験

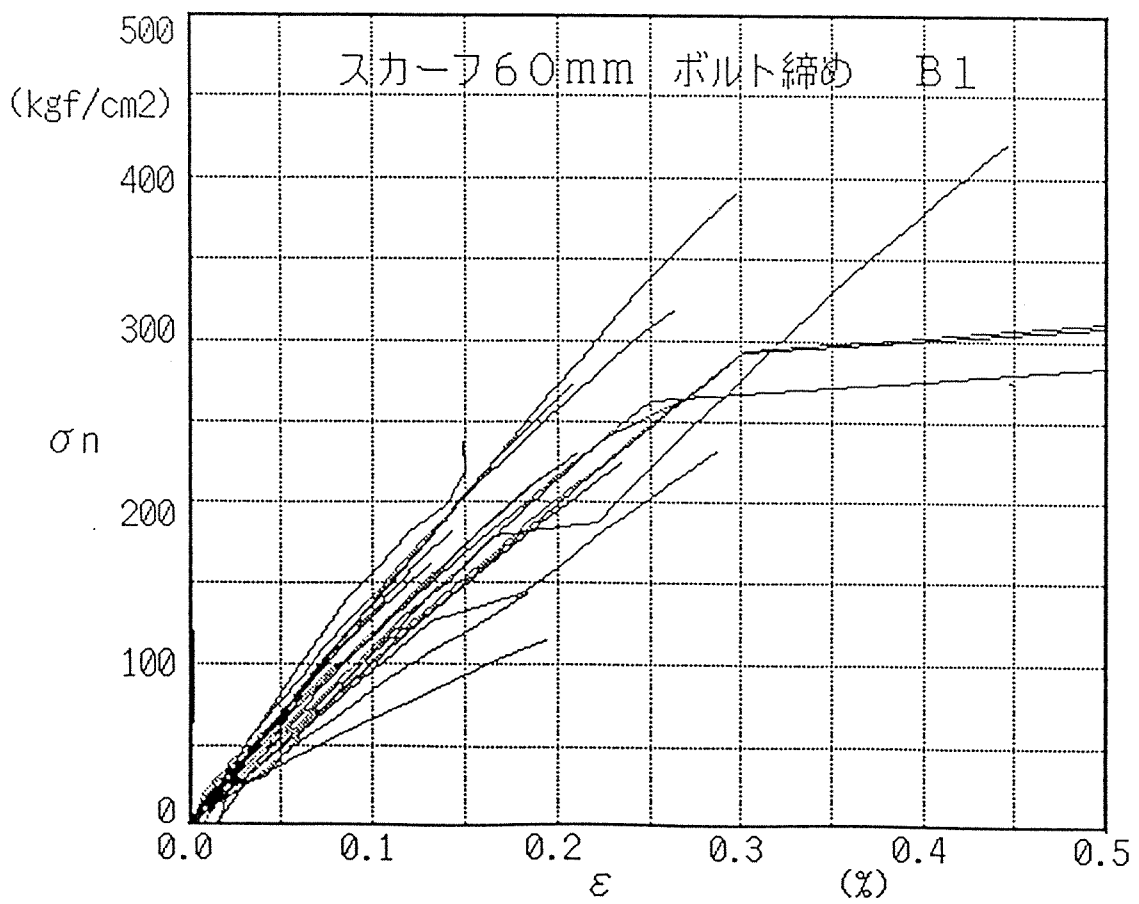
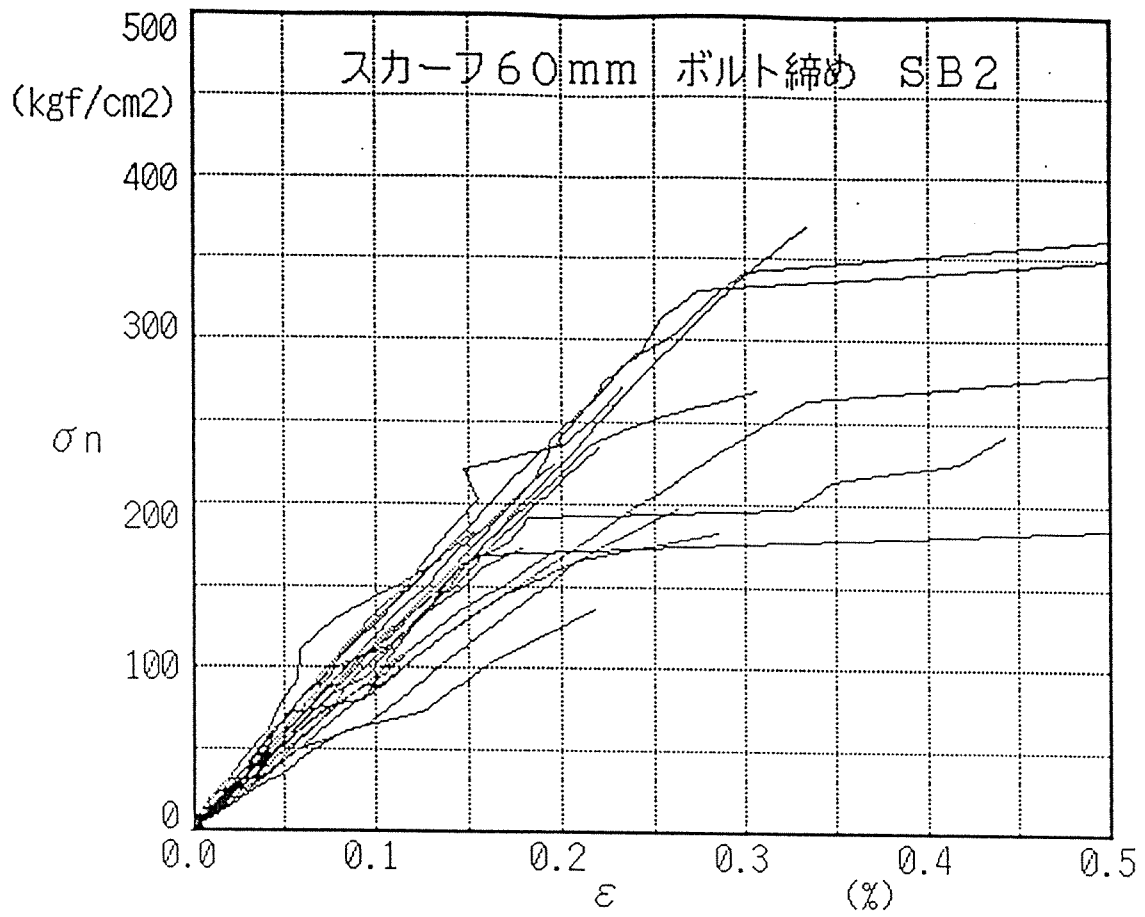
上図に示すようにチャック先端とラミナ接着部の間にひずみゲージを貼付する。

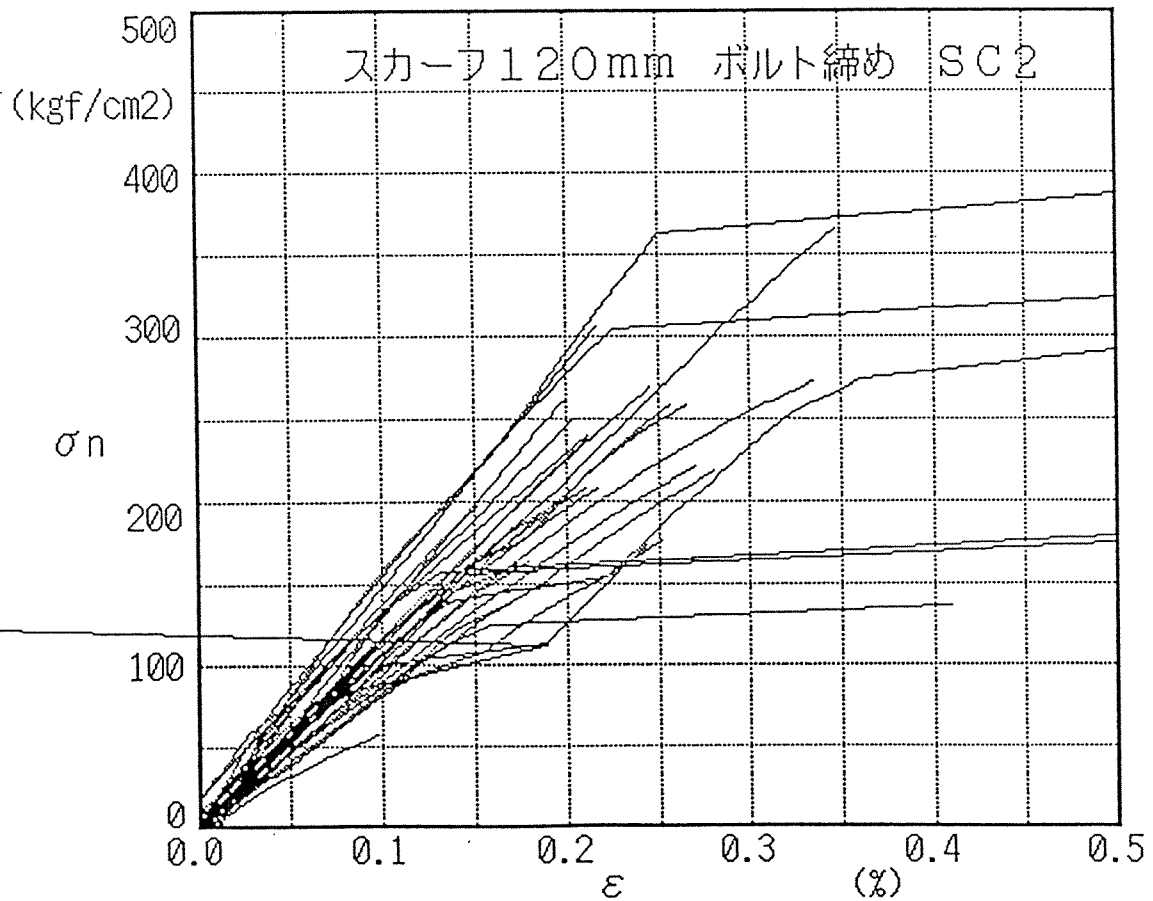
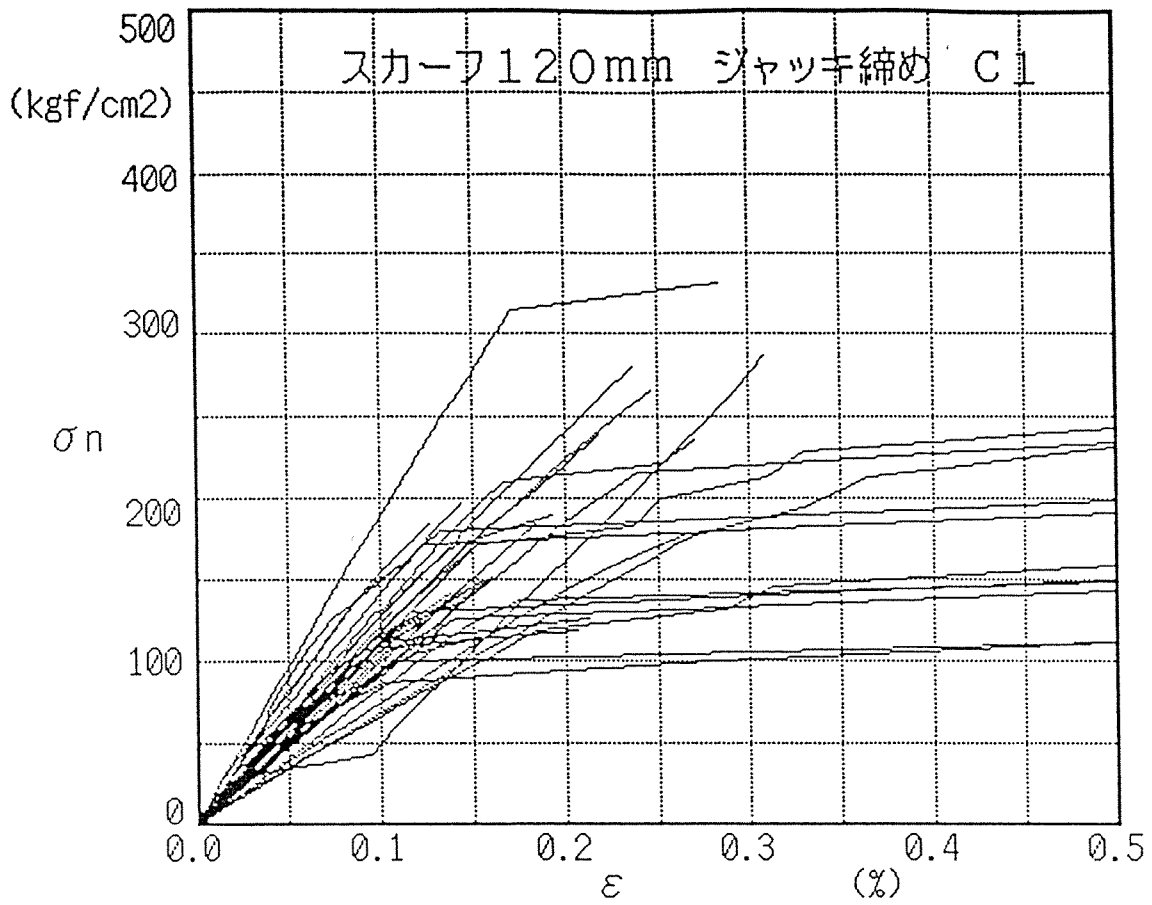
(試験体の表と裏で2枚)

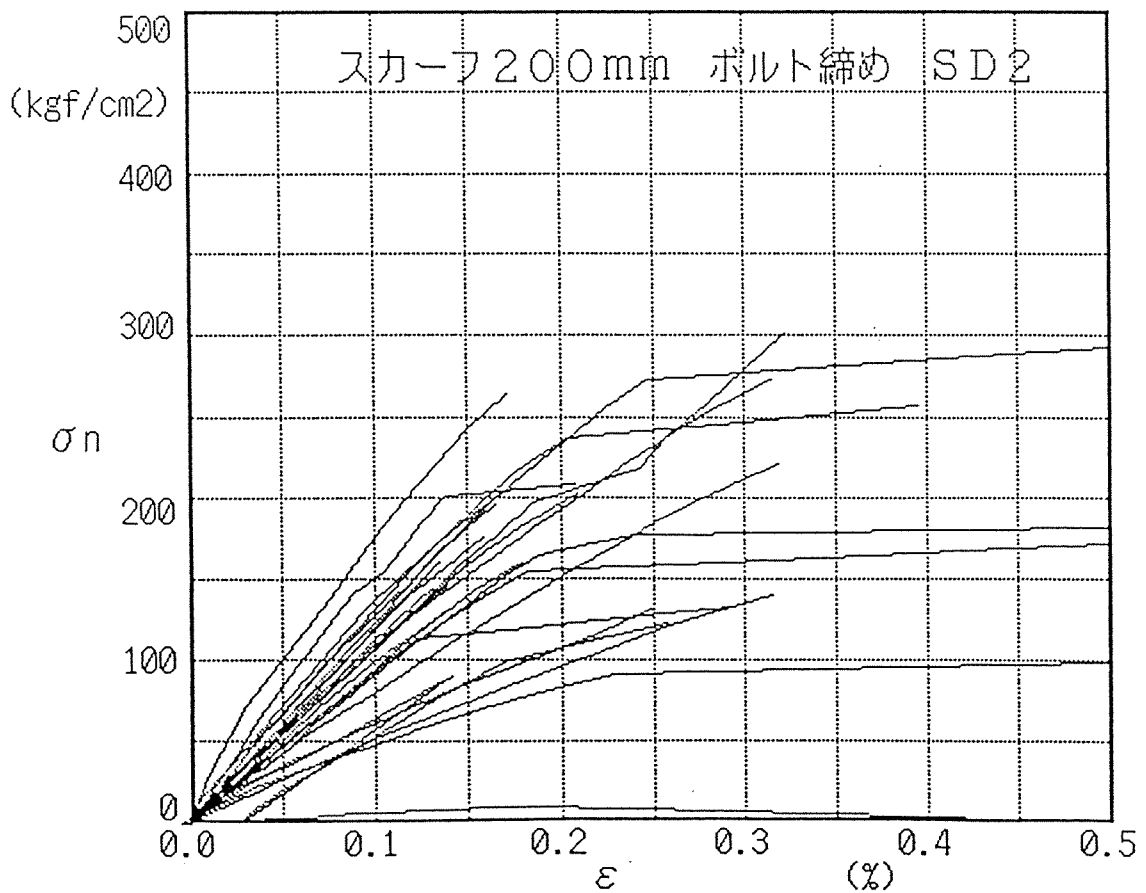
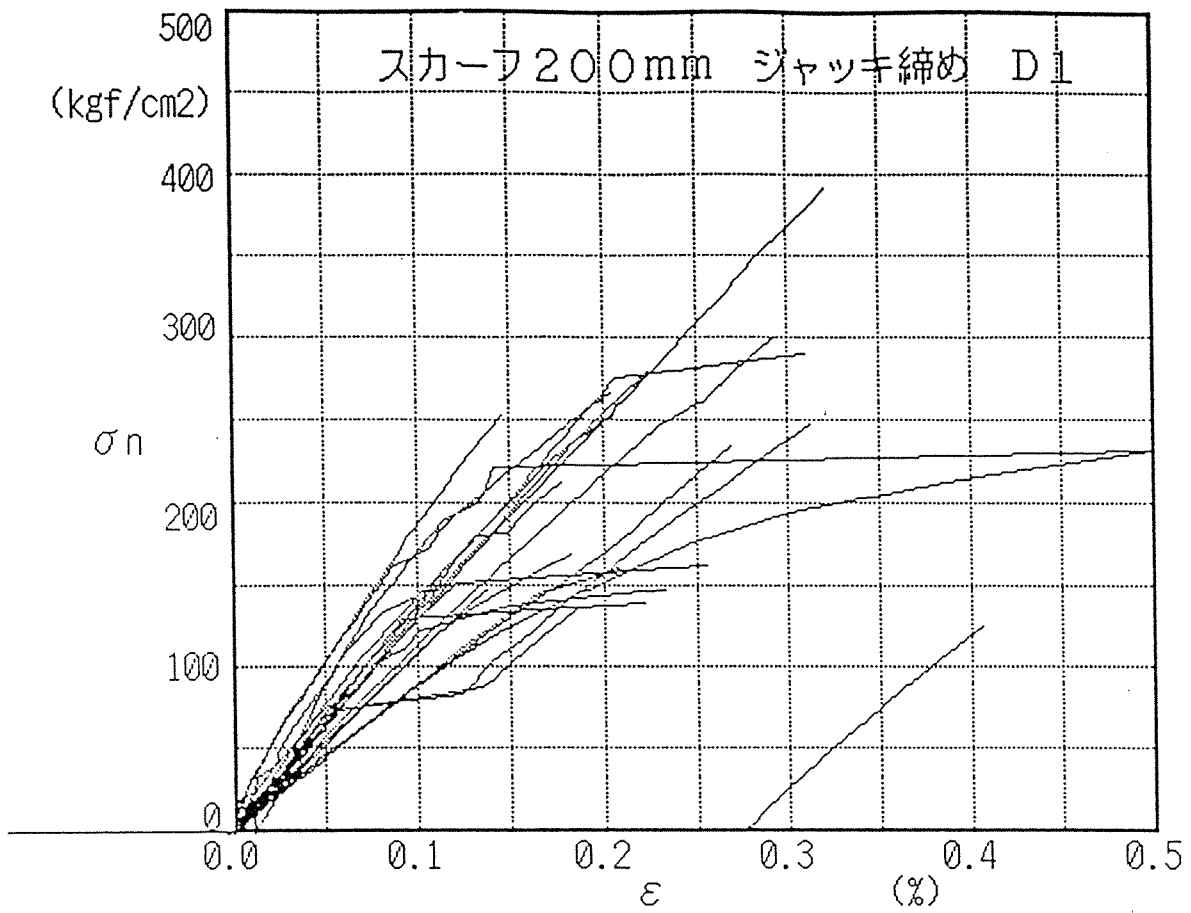
4. 試験結果と考察

4-1. 試験結果

- 1) 引張試験結果を次の $\sigma_n - \varepsilon$ 曲線図に示す。
- 2) ラミナ引張試験体の諸元を表 1、試験結果を表 2 に示す。
- 3) 引張試験体の約 1 / 3 は、集成材のラミナのフィンガージョイントで破壊した。試験体番号が欠番しているのは集成材ラミナの F J 部で破壊したものである。







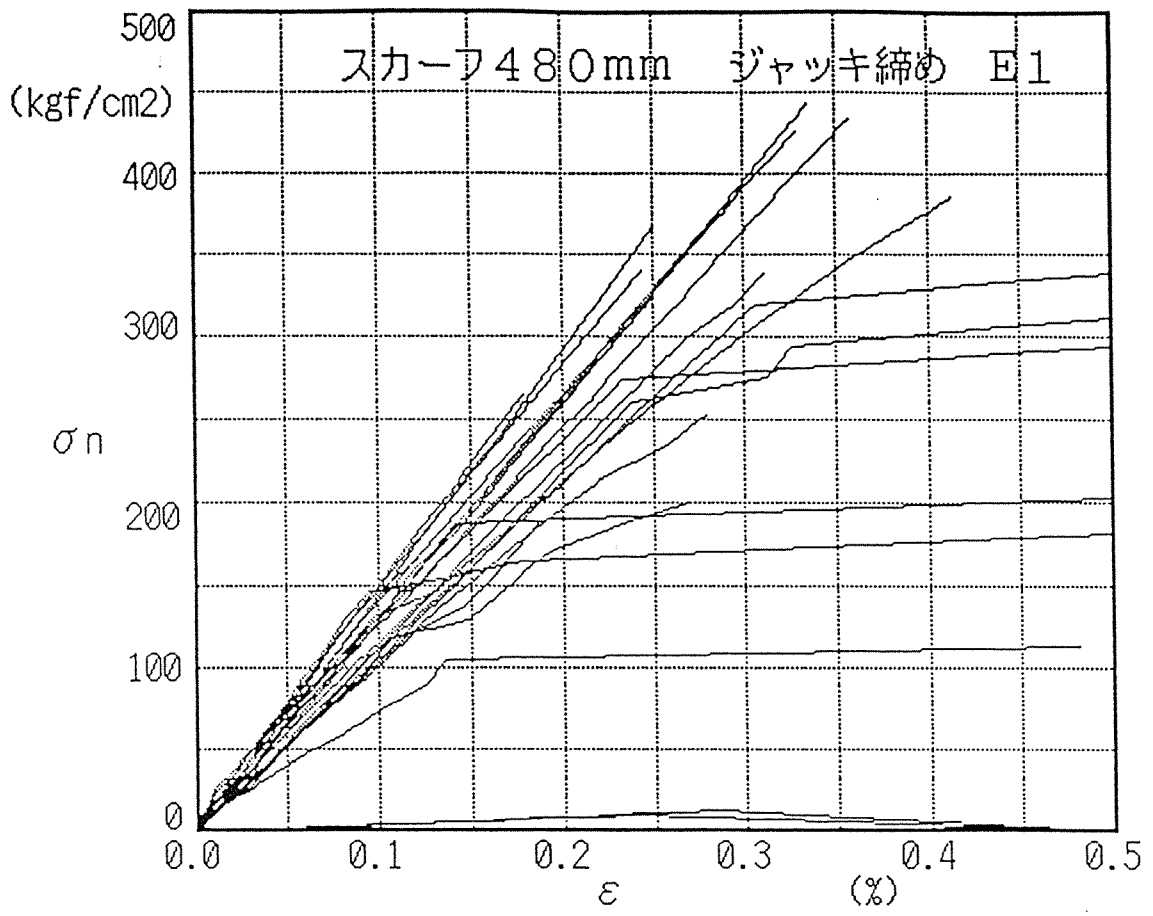
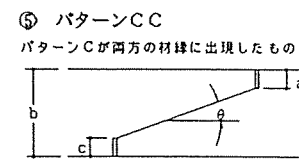
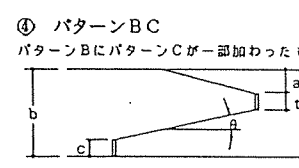
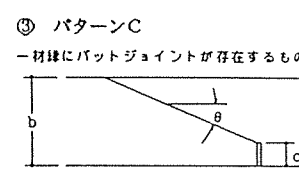
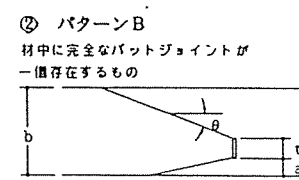
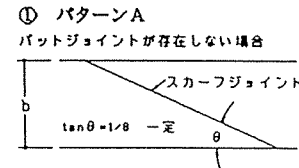


表 1-1 B F J ラミナ引張試験体緒元

試験体 No.	元ブロック Code	スカーフ出現パターン	E_w^a tonf/cm ²	E_t^b tonf/cm ²	$T D^c$ kg/m ³
2-3	E1	C	146	148	340
2-4	E1	A	127	109	448
2-9	E1	C	123	129	465
2-11	E1	A	123	113	467
2-15	E1	C	117	101	488
13-4	E1	A	141	121	521
13-5	E1	A	150	111	542
2-21	E1	C	139	133	611
2-22	E1	A	156	150	569
14-2	E2	A	138	105	508
4-21	E2	A	147	147	811
4-20	E2	A	159	131	518
4-19	E2	A	136	133	506
4-15	E2	C	116	98	473
4-13	E2	A	152	128	586
4-10	E2	A	149	140	553
4-6	E2	C	152	156	565
4-4	E2	A	137	115	530
4-3	E2	C	138	67	544
4-2	E2	A	142	103	529
4-1	E2	A	154	129	577
12-1	B1-1	B	181	117	637
12-2	B1-1	B	135	132	621
12-3	B1-1	A	156	128	568
12-4	B1-1	BC	170	115	626
12-5	B1-1	B	148	134	581
12-6	B1-1	B	144	95	564
12-7	B1-1	BC	120	97	553
12-8	B1-1	BC	130	84	530
12-9	B1-1	BC	132	159	516
12-10	B1-1	B	138	106	546
12-11	B1-1	BC	132	156	545
12-12	B1-1	BC	148	60	381
12-13	B1-1	BC	123	98	517
12-15	B1-1	BC	117	123	514
12-16	B1-1	BC	135	115	528
12-17	B1-1	B	128	98	535
12-19	B1-1	BC	152	133	606
12-20	B1-1	BC	157	129	610
12-21	B1-1	BC	156	123	566
12-22	B1-1	BC	129	105	518
12-23	B1-1	B	174	152	682
11-1	SB-2	BC	139	154	573
11-2	SB2	B	136	113	641
11-3	SB2	BC	124	103	557
11-4	SB2	BC	170	126	593
11-5	SB2	BC	133	109	582
11-7	SB2	BC	150	116	583
11-9	SB2	C	124	101	556
11-11	SB2	BC	141	97	571
11-12	SB2	BC	121	88	570
11-13	SB2	B	143	126	565
11-14	SB2	B	136	132	574
11-15	SB-2	BC	123	72	496



a: 接合前のラミナの
曲げヤング係数
b: 接合後の接合部近傍
の引張ヤング係数
c: 試験体の密度
= 試験時重量 (kg) /
試験時体積 (m³)

表 1-2 B F J ラミナ引張試験体緒元 (続き)

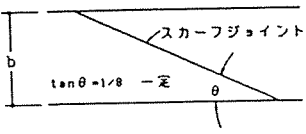
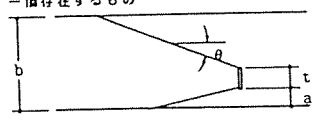
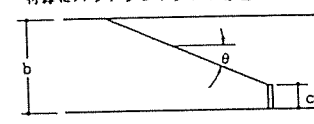
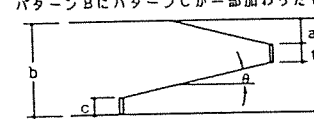
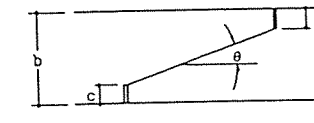
試験体 No.	元コード Code	スカーフ出現パターン	E _w tonf/cm ²	E _t	T D kg/m ³	
11-16	SB2	BC	145	87	564	① パターンA バットジョイントが存在しない場合 
11-17	SB2	B	137	122	541	
11-18	SB2	BC	142	155	611	
11-19	SB2	CC	149	100	566	
11-20	SB2	BC	143	117	561	
11-22	SB2	BC	152	111	568	
1-24	D1-1	C	133	97	474	② パターンB 材中に完全なバットジョイントが 一箇存在するもの 
1-23	D1-1	A	138	123	489	
1-22	D1-1	C	138	102	558	
1-21	D1-1	B	135	137	501	
1-18	D1-1	B	114	109	451	
1-18	D1-1	B	139	180	490	③ パターンC 一材縁にバットジョイントが存在するもの 
1-13	D1-1	B	117	129	520	
1-12	D1-1	C	121	125	554	
1-10	D1-1	C	121	125	554	
13-1	D1-1	B	153	139	475	
1-5	D1-1	B	150	164	547	④ パターンBC パターンBにパターンCが一部加わったもの 
1-4	D1-1	B	143	202	553	
1-2	D1-1	C	150	175	579	
1-1	D1-1	B	136	140	536	
3-1	D1-2	C	174	98	564	
3-3	D1-2	A	125	89	483	⑤ パターンCC パターンCが両方の材縁に出現したものの 
3-4	D1-2	B	141	113	511	
3-5	D1-2	C	128	86	503	
3-7	D1-2	C	120	107	488	
13-6	D1-2	B	123	108	456	
13-7	D1-2	C	140	124	525	a: 接合前のラミナの 曲げヤング係数 b: 接合後の接合部近傍 の引張ヤング係数 c: 試験体の密度 = 試験時重量 (kg) / 試験時体積 (m ³)
13-8	D1-2	B	116	86	478	
13-9	D1-2	A	132	133	490	
3-19	D1-2	C	143	105	527	
3-23	D1-2	B	162	129	641	
5-22	C1-1	B	124	109	527	
5-21	C1-1	B	133	119	509	
5-20	C1-1	C	154	108	515	
5-19	C1-1	C	152	90	498	
5-18	C1-1	C	141	111	502	
5-17	C1-1	C	124	111	536	
5-16	C1-1	C	162	118	582	
5-15	C1-1	B	164	152	598	
5-14	C1-1	B	150	119	516	
5-13	C1-1	B	132	92	509	
5-12	C1-1	B	162	159	565	
5-11	C1-1	B	120	108	492	
5-10	C1-1	B	138	109	498	
5-8	C1-1	C	143	96	545	
5-7	C1-1	CC	173	183	575	
5-6	C1-1	C	161	156	538	
5-5	C1-1	C	135	127	482	
5-4	C1-1	C	137	101	514	
5-3	C1-1	B	173	138	548	
5-2	C1-1	B	124	115	491	
5-1	C1-1	B	145	116	545	
6-23	C1-2	B	151	133	549	
6-22	C1-2	C	151	121	604	
13-10	C1-2	C	165	109	552	

表1-3 B F J ラミナ引張試験体緒元 (続き)

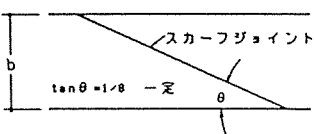
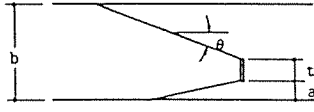
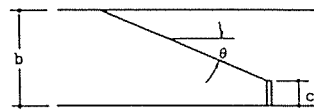
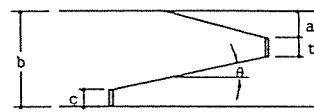
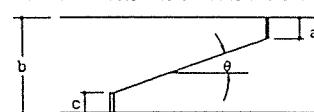
試験体 No.	元フラック Code	スカーフ出現パターン	E _w tonf/cm ²	E _t tonf/cm ²	T D kg/m ³	
6-20	C1-2	CC	147	112	548	① パターンA バットジョイントが存在しない場合 
6-19	C1-2	C	134	83	546	
13-12	C1-2	B	120	72	500	
6-15	C1-2	B	125	113	497	
6-14	C1-2	B	117	92	505	
15-2	C1-2	C	150	64	509	② パターンB 材中に完全なバットジョイントが 一箇所存在するもの 
6-10	C1-2	C	113	122	481	
6-8	C1-2	C	150	103	583	
6-6	C1-2	C	139	91	537	
6-5	C1-2	B	131	101	559	
6-4	C1-2	B	117	66	507	③ パターンC 一材縁にバットジョイントが存在するもの 
15-1	C1-2	B	138	129	626	
6-1	C1-2	B	133	126	495	
8-1	SD2-1	B	154	125	578	
8-5	SD2-1	C	143	49	561	
8-7	SD2-1	C	130	117	551	④ パターンBC パターンBにパターンCが一部加わったもの 
8-8	SD2-1	B	124	89	498	
8-12	SD2-1	B	136	88	536	
8-14	SD2-1	A	150	128	588	
8-15	SD2-1	C	143	121	540	
8-17	SD2-1	C	114	97	535	⑤ パターンCC パターンCが両方の材縁に出現したもの 
8-19	SD2-1	B	135	69	496	
8-20	SD2-1	B	126	107	488	
8-22	SD2-1	C	133	108	516	
8-23	SD2-1	B	172	134	579	
7-1	SD2-2	B	136	50	558	a: 接合前のラミナの 曲げヤング係数 b: 接合後の接合部近傍 の引張ヤング係数 c: 試験体の密度 = 試験時重量(kg) / 試験時体積(m ³)
7-4	SD2-2	B	158	231	558	
7-6	SD2-2	C	147	106	544	
7-8	SD2-2	C	140	94	497	
7-9	SD2-2	B	120	105	500	
7-12	SD2-2	B	131	92	530	
7-16	SD2-2	B	154	75	508	
7-17	SD2-2	B	138	114	512	
7-20	SD2-2	B	127	162	577	
7-21	SD2-2	C	145	40	557	
7-23	SD2-2	C	135	121	592	
9-1	SC2-1	B	142	112	531	
9-2	SC2-1	B	131	104	505	
9-3	SC2-1	B	111	89	527	
9-4	SC2-1	B	134	104	515	
9-5	SC2-1	C	116	104	547	
9-8	SC2-1	C	126	99	484	
9-9	SC2-1	B	155	143	582	
13-13	SC2-1	B	160	156	554	
9-11	SC2-1	B	151	155	521	
9-12	SC2-1	B	152	104	528	
13-14	SC2-1	B	134	79	511	
9-14	SC2-1	B	134	110	532	
13-15	SC2-1	B	125	116	570	
13-16	SC2-1	C	151	109	565	
9-19	SC2-1	C	137	114	518	
9-22	SC2-1	C	158	137	581	
9-23	SC3-1	B	136	113	508	
9-24	SC2-1	B	139	131	490	

表1-4 B F J ラミナ引張試験体緒元 (続き)

試験体 No.	元ブロック Code	スカーフ 出現パターン	E w tonf/cm ²	E t tonf/cm ²	T D kg/m ³
10-1	SC2-2	B	136	106	494
6-3	SC2-2	B	115	106	489
10-3	SC2-2	B	151	139	549
10-4	SC2-2	B	126	116	496
10-5	SC2-2	C	124	83	482
10-8	SC2-2	C	122	80	553
10-9	SC2-2	B	136	105	505
10-11	SC2-2	B	157	138	599
10-12	SC2-2	B	143	107	522
10-13	SC2-2	B	123	102	533
10-14	SC2-2	B	132	96	498
10-16	SC2-2	C	153	61	587
10-18	SC2-2	C	161	129	519
10-19	SC2-2	C	162	136	494
10-20	SC2-2	C	149	101	562
10-22	SC2-2	B	125	98	532

a: 接合前のラミナの
曲げヤング係数

b: 接合後の接合部近傍
の引張ヤング係数

c: 試験体の密度 = 試験時重量(kg) / 試験時体積(m³)

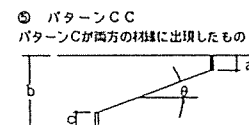
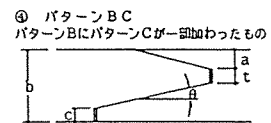
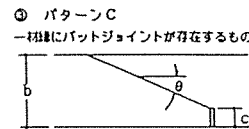
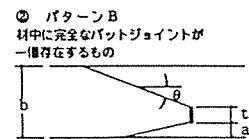
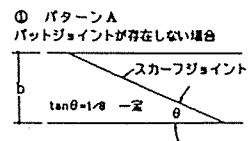


表 2 - B F J ラミナ引張試験の結果 (σ_g , Kic, Gic) h : ラミナ幅

試験体 No.	スカーフ出現パターン	ジョイント寸法(mm)			$P_{m.x}$ kgf	σ_g kgf/cm ²	Kic kgf/cm ^{1.5}	Gic kgf/cm
		b	h	a t c				
2-3	C	18	150	0 0 4	4293	19.8	239	0.39
2-4	A	18	150	0 0 0	8213	37.7	0	0.00
2-9	C	18	150	0 0 4	3787	17.4	201	0.33
2-11	A	18	158	0 0 0	9720	43.5	0	0.00
2-15	C	18	150	0 0 4	4893	22.5	276	0.65
13-4	A	18	150	0 0 0	11960	55.2	0	0.00
13-5	A	18	150	0 0 0	5200	24.0	0	0.00
2-21	C	18	150	0 0 4	5320	24.4	334	0.80
2-22	A	18	150	0 0 0	7040	32.1	0	0.00
14-2	A	18	150	0 0 0	8787	41.0	0	0.00
4-21	A	18	150	0 0 0	6667	44.1	0	0.00
4-20	A	18	151	0 0 0	7480	33.9	0	0.00
4-19	A	18	150	0 0 0	12107	56.1	0	0.00
4-15	C	18	150	0 0 2	7067	32.8	281	0.68
4-13	A	18	150	0 0 0	11227	52.2	0	0.00
4-10	A	18	150	0 0 0	9440	43.4	0	0.00
4-6	C	18	150	0 0 3	4627	21.7	227	0.34
4-4	A	18	150	0 0 0	7653	35.7	0	0.00
4-3	C	18	150	0 0 4	3173	14.7	205	0.30
4-2	A	18	150	0 0 0	10653	48.9	0	0.00
4-1	A	18	150	0 0 0	9120	41.7	0	0.00
12-1	B	18	150	6 5 0	11107	73.8	407	0.92
12-2	B	18	150	5 6 0	8373	57.9	333	0.82
12-3	A	18	150	0 0 0	4613	21.3	0	0.00
12-4	BC	18	150	2 5 4	6067	53.4	230	0.31
12-5	B	18	150	4 5 0	7667	50.1	284	0.55
12-6	B	18	150	6 5 0	6280	40.7	224	0.35
12-7	BC	18	149	3 6 3	5760	52.5	237	0.47
12-8	BC	18	150	2 5 5	4147	40.7	299	0.69
12-9	BC	18	150	4 5 2	6120	46.3	232	0.41
12-10	B	18	150	6 5 0	7333	48.9	269	0.53
12-11	BC	18	150	4 6 3	6307	55.8	251	0.48
12-12	BC	18	150	1 5 5	4587	32.5	140	0.13
12-13	BC	18	150	4 5 2	8027	62.7	302	0.74
12-15	BC	18	150	2 5 4	3133	28.4	118	0.12
12-16	BC	18	150	2 6 4	5773	62.4	281	0.58
12-17	B	18	150	6 5 0	8147	50.8	271	0.58
12-19	BC	18	150	4 5 2	10160	76.4	361	0.85
12-20	BC	18	150	1 5 4	5133	50.1	246	0.38
12-21	BC	18	150	3 5 2	5813	47.4	227	0.33
12-22	BC	18	150	3 5 3	6907	56.9	261	0.53
12-23	B	18	150	5 5 0	8493	57.0	316	0.58
11-1	BC	19	149	6 5 2	5080	34.4	163	0.19
11-2	B	18	149	6 4 0	9333	54.9	289	0.61
11-3	BC	19	150	3 5 4	5040	43.7	173	0.24
11-4	BC	19	150	2 5 4	5027	42.0	178	0.19
11-5	BC	19	150	4 5 3	7560	53.6	250	0.47

注

- $\sigma_g = P_{m.x} \cdot \sin\theta / A_0 \cdot \{1 - \Sigma t / b\}$, $A_0 = b h$ 1)
- パターン B の Kic : $Kic = (P_{m.x} / A_0) \cdot \{\pi t / 2\}^{0.5} \cdot F(\lambda, \varepsilon)$ 2)
 $F(\lambda, \varepsilon) = \{\sec(\pi \lambda / 2) \cdot (\sin 2 \lambda \varepsilon / 2 \lambda \varepsilon)\}^{0.5}$, $\lambda = t / (2a + t)$, $\varepsilon = (b - 2a - t) / b$
- パターン C の Kic : $Kic = (P_{m.x} / A_0) \cdot \{\pi t\}^{0.5} \cdot F(\lambda)$ 3)
 $F(\lambda) = 1.12 - 0.231 \lambda + 10.55 \lambda^2 - 21.72 \lambda^3 + 30.39 \lambda^4$
- パターン BC、CC は Kic が未知なので B または C のどちらか近い方で近似した。
- $Gic = (Kic)^2 / E_w$ ただし E_w は接合前のラミナの曲げヤング係数

表2- B F J ラミナ引張試験の結果 (σ_g , Kic, Gic) h: ラミナ幅

試験体 No.	スカーフ 出現パツ	ジョイント寸法(mm)				P_{max} kgf	σ_g kgf/cm ²	Kic kgf/cm ^{1.5}	Gic kgf/cm	
		b	h	a	t					c
11-7	BC	18	150	3	6	3	4867	44.4	204	0.28
11-9	C	18	149	0	0	5	7413	50.5	504	2.05
11-11	BC	18	149	1	6	4	4413	47.5	234	0.39
11-12	BC	18	150	3	5	5	4747	46.2	175	0.25
11-13	B	18	149	6	5	0	9720	61.1	328	0.75
11-14	B	18	149	6	6	0	7133	47.9	269	0.53
11-15	BC	18	149	2	4	4	3933	35.2	256	0.53
11-16	BC	18	150	2	4	4	5187	44.9	185	0.24
11-17	B	18	149	6	6	0	9533	65.7	373	1.01
11-18	BC	18	149	5	5	1	6267	43.9	216	0.33
11-19	CC	18	149	7	0	7	3093	22.2	312	0.6C
11-20	BC	18	149	3	5	3	6387	57.0	252	0.45
11-22	BC	18	150	4	5	2	6253	47.7	229	0.34
1-24	C	16	150	0	0	3	3507	26.0	188	0.27
1-23	A	18	150	0	0	0	8013	36.8	0	0.00
1-22	C	18	150	0	0	6	3560	16.6	363	0.96
1-21	B	18	150	4	6	0	5613	39.0	231	0.39
1-18	B	18	150	2	6	0	4173	28.7	184	0.30
1-13	B	18	150	4	6	0	7413	51.9	310	0.69
1-12	C	18	150	0	0	6	3773	27.5	349	1.04
1-10	C	18	150	0	0	4	4480	20.7	251	0.52
13-1	B	18	150	5	5	0	3613	23.9	134	0.12
1-5	B	18	150	2	6	0	3987	26.8	177	0.21
1-4	B	18	150	3	5	0	6027	40.6	237	0.39
1-2	C	18	150	0	0	2	6680	44.8	253	0.43
1-1	B	18	150	5	5	0	6680	44.8	252	0.47
3-1	C	18	150	0	0	4	3613	24.4	234	0.31
3-3	A	18	150	0	0	0	8320	39.1	0	0.00
3-4	B	18	149	5	6	0	6853	47.2	268	0.51
3-5	C	18	149	0	0	5	4507	31.7	379	1.13
3-7	C	18	150	0	0	5	4320	20.1	330	0.91
13-6	B	18	150	4	6	0	7733	52.4	303	0.75
13-7	C	18	150	0	0	2	10120	68.9	341	0.83
13-8	B	18	150	2	5	0	6507	42.3	260	0.58
13-9	A	18	150	0	0	0	7627	35.5	0	0.00
3-19	C	18	150	0	0	4	3880	18.0	255	0.46
3-23	B	18	150	3	6	0	7907	53.8	333	0.68
5-22	B	18	150	3	6	0	2853	19.6	123	0.12
5-21	B	16	150	2	6	0	3160	24.1	158	0.19
5-20	C	18	150	0	0	6	3200	21.3	322	0.67
5-19	C	18	150	0	0	5	3533	16.6	287	0.54
5-18	C	17	150	0	0	6	3960	19.1	359	0.91
5-17	C	17	150	0	0	5	3667	17.6	266	0.57
5-16	C	17	150	0	0	4	4733	22.8	294	0.53
5-15	B	18	150	2	5	0	5320	33.3	204	0.25
5-14	B	18	150	4	5	0	7320	47.6	268	0.48
5-13	B	18	150	6	6	0	6040	44.2	246	0.46

注

- $\sigma_g = P_{max} \cdot \sin\theta / A_0 \{1 - \Sigma t / b\}$, $A_0 = b h$ 1)
- パターンBのKic: $Kic = (P_{max} / A_0) \{\pi t / 2\}^{0.5} \cdot F(\lambda, \varepsilon)$ 2)
 $F(\lambda, \varepsilon) = \{\sec(\pi \lambda / 2) \cdot (\sin 2 \lambda \varepsilon / 2 \lambda \varepsilon)\}^{0.5}$, $\lambda = t / (2a + t)$, $\varepsilon = (b - 2a - t) / b$
- パターンCのKic: $Kic = (P_{max} / A_0) \{\pi t\}^{0.5} \cdot F(\lambda)$ 3)
 $F(\lambda) = 1.12 - 0.231\lambda + 10.55\lambda^2 - 21.72\lambda^3 + 30.39\lambda^4$
- パターンBC、CCはKicが未知なのでBまたはCのどちらか近い方で近似した。
- $Gic = (Kic)^2 / E_w$ ただし E_w は接合前のラミナの曲げヤング係数

表 2 - B F J ラミナ引張試験の結果 (σ_g , Kic, Gic) h : ラミナ幅

試験体 No.	スカーフ出現パターン	ジョイント寸法(mm)			P_{max} kgf	σ_g kgf/cm ²	Kic kgf/cm ^{1.5}	Gic kgf/cm
		b	h	a t c				
5-12	B	17	150	5 5 0	4987	34.6	193	0.23
5-11	B	18	150	5 5 0	3893	25.6	143	0.17
5-10	B	18	150	2 5 0	4200	28.7	176	0.22
5-8	C	18	150	0 0 4	5067	33.9	337	0.79
5-7	CC	18	150	2 0 2	9160	49.5	372	0.80
5-6	C	18	150	0 0 3	5107	23.7	218	0.29
5-5	C	18	150	0 0 4	3440	16.1	220	0.36
5-4	C	18	150	0 0 5	4267	19.7	324	0.77
5-3	B	18	150	2 6 0	4987	34.2	233	0.31
5-2	B	18	150	6 6 0	6107	42.0	233	0.43
5-1	B	17	150	5 6 0	4107	29.0	160	0.18
6-23	B	18	150	2 6 0	3400	22.9	156	0.16
6-22	C	18	150	0 0 4	3760	25.3	214	0.30
13-10	C	18	150	0 0 4	6907	32.1	380	0.87
6-20	CC	18	150	2 0 2	7947	41.1	262	0.47
6-19	C	18	150	0 0 4	3933	17.9	220	0.36
13-12	B	18	150	3 6 0	4613	31.1	192	0.31
6-15	B	18	150	6 4 0	6400	39.0	206	0.34
6-14	B	18	150	4 5 0	2947	20.0	116	0.11
15-2	C	17	150	0 0 5	3987	27.9	315	0.66
6-10	C	18	150	0 0 4	4840	22.6	270	0.64
6-8	C	18	150	0 0 4	3467	16.2	202	0.27
6-6	C	18	150	0 0 7	2987	13.8	310	0.69
6-5	B	18	150	1 6 0	4680	33.0	276	0.58
6-4	B	18	150	3 5 0	5973	37.6	215	0.39
15-1	B	17	150	4 6 0	5893	42.0	237	0.41
6-1	B	18	150	6 6 0	3547	25.5	140	0.15
8-1	B	18	150	2 6 0	5547	38.5	265	0.46
8-5	C	18	149	0 0 6	4053	28.3	340	0.81
8-7	C	18	149	0 0 4	4120	19.4	277	0.59
8-8	B	18	150	4 6 0	4787	33.1	194	0.30
8-12	B	18	149	2 6 0	4307	30.4	206	0.31
8-14	A	18	149	0 0 0	6720	31.0	0	0.00
8-15	C	18	150	0 0 3	7653	35.4	330	0.76
8-17	C	18	149	0 0 5	3813	17.6	262	0.60
8-19	B	18	149	1 4 0	2973	18.0	118	0.10
8-20	B	18	149	4 6 0	5667	39.3	230	0.42
8-22	C	18	149	0 0 2	8387	56.7	315	0.75
8-23	B	18	150	4 6 0	4987	35.1	207	0.25
7-1	B	18	150	4 6 0	3360	23.7	140	0.14
7-4	B	18	150	5 6 0	7427	51.0	286	0.52
7-6	C	18	150	0 0 6	4213	28.6	363	0.90
7-8	C	18	150	0 0 5	4640	21.3	336	0.81
7-9	B	18	150	5 6 0	7173	48.7	275	0.63
7-12	B	18	150	1 5 0	3880	24.9	173	0.23
7-16	B	18	150	5 6 0	5813	38.8	222	0.32
7-17	B	18	150	2 5 0	4547	29.2	181	0.24

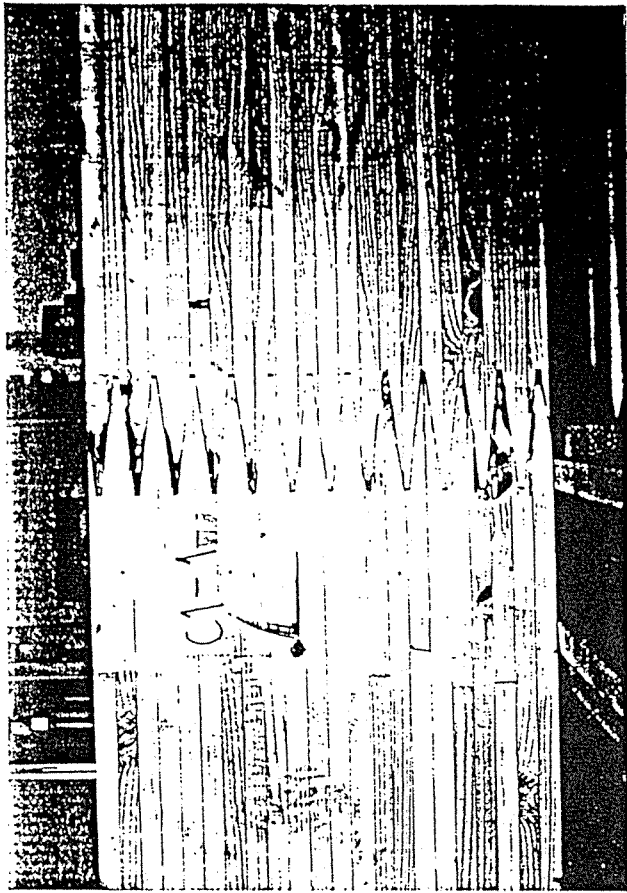
注

- $\sigma_g = P_{max} \cdot \sin\theta / A_0 \{1 - \Sigma t / b\}$, $A_0 = b h$ 1)
- パターン B の Kic: $Kic = (P_{max} / A_0) \{ \pi t / 2 \}^{0.5} \cdot F(\lambda, \varepsilon)$ 2)
 $F(\lambda, \varepsilon) = \{ \sec(\pi \lambda / 2) \cdot (\sin 2\lambda \varepsilon / 2\lambda \varepsilon) \}^{0.5}$, $\lambda = t / (2a+t)$, $\varepsilon = (b-2a-t) / b$
- パターン C の Kic: $Kic = (P_{max} / A_0) \{ \pi t \}^{0.5} \cdot F(\lambda)$ 3)
 $F(\lambda) = 1.12 - 0.231\lambda + 10.55\lambda^2 - 21.72\lambda^3 + 30.39\lambda^4$
- パターン BC、CC は Kic が未知なので B または C のどちらか近い方で近似した。
- $Gic = (Kic)^2 / E_w$ ただし E_w は接合前のラミナの曲げヤング係数

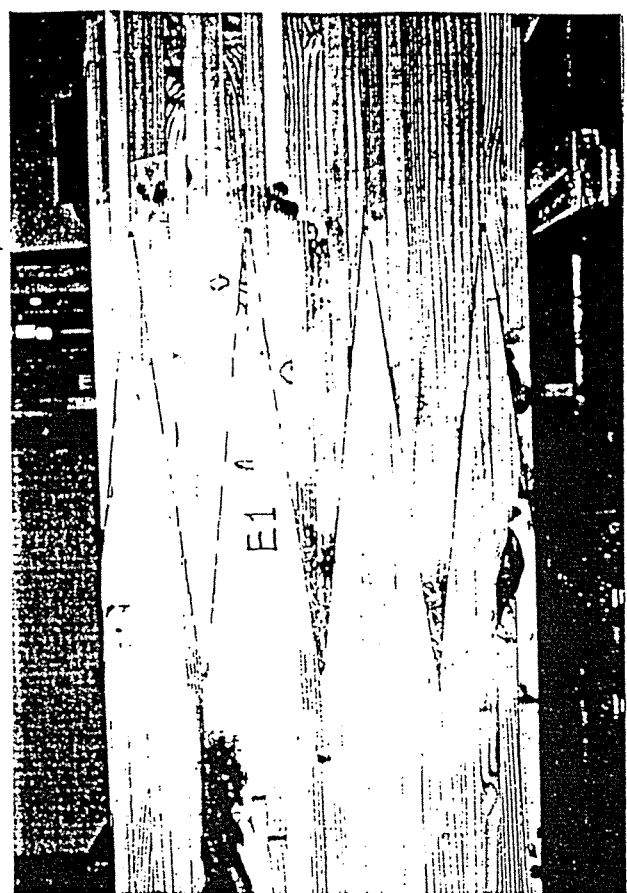
表2- B F J ラミナ引張試験の結果 (σ_g , Kic, Gic) h: ラミナ幅

試験体 No.	スカーフ出現パターン	ジョイント寸法(mm)				P_{max} kgf	σ_g kgf/cm ²	Kic kgf/cm ^{1.5}	Gic kgf/cm	
		b	h	a	t	c				
7-20	B	18	150	5	4	0	5493	33.5	179	0.25
7-21	C	18	150	0	0	5	2627	16.0	180	0.22
7-23	C	18	148	0	0	4	4507	21.2	267	0.53
9-1	B	18	150	6	6	0	7360	50.0	282	0.56
9-2	B	18	150	5	6	0	7320	51.9	297	0.68
9-3	B	18	149	3	5	0	5787	37.2	221	0.44
9-4	B	18	149	1	6	0	3280	22.8	182	0.25
9-5	C	18	149	0	0	5	4133	28.9	326	0.92
9-8	C	18	150	0	0	4	4973	23.0	330	0.86
9-9	B	18	150	1	6	0	3573	24.1	222	0.32
13-13	B	18	150	3	5	0	7400	46.7	268	0.45
9-11	B	18	150	5	6	0	8613	57.6	331	0.72
9-12	B	18	149	6	5	0	8133	53.0	290	0.55
13-14	B	18	150	6	6	0	6253	43.1	245	0.45
9-14	B	18	150	4	7	0	7600	55.4	326	0.80
13-15	B	18	150	2	6	0	5307	37.9	247	0.49
13-16	C	18	150	0	0	6	4493	31.4	409	1.11
9-19	C	18	150	0	0	3	6027	27.5	303	0.67
9-22	C	18	150	0	0	6	4587	21.1	434	1.19
9-23	B	18	150	3	6	0	5120	34.9	208	0.32
9-24	B	18	150	4	6	0	6907	47.2	278	0.55
10-1	B	18	150	6	5	0	4813	31.7	174	0.22
6-3	B	18	150	6	5	0	3933	26.5	145	0.18
10-3	B	18	150	4	6	0	10067	70.3	418	1.16
10-4	B	18	150	2	5	0	5907	38.0	235	0.44
10-5	C	18	149	0	0	5	3627	23.5	285	0.66
10-8	C	18	150	0	0	5	4987	23.0	409	1.37
10-9	B	18	150	3	5	0	3520	21.9	127	0.12
10-11	B	18	150	6	6	0	10080	70.5	390	0.97
10-12	B	18	150	2	5	0	9813	60.1	379	1.00
10-13	B	18	150	4	5	0	5427	34.4	195	0.31
10-14	B	18	150	3	5	0	4200	26.5	157	0.19
10-16	C	18	150	0	0	5	1800	11.2	122	0.10
10-18	C	18	150	0	0	3	7107	32.5	326	0.66
10-19	C	18	150	0	0	4	5107	23.5	332	0.68
10-20	C	18	150	0	0	7	3587	16.5	388	1.01
10-22	B	18	150	4	7	0	7747	56.5	335	0.90

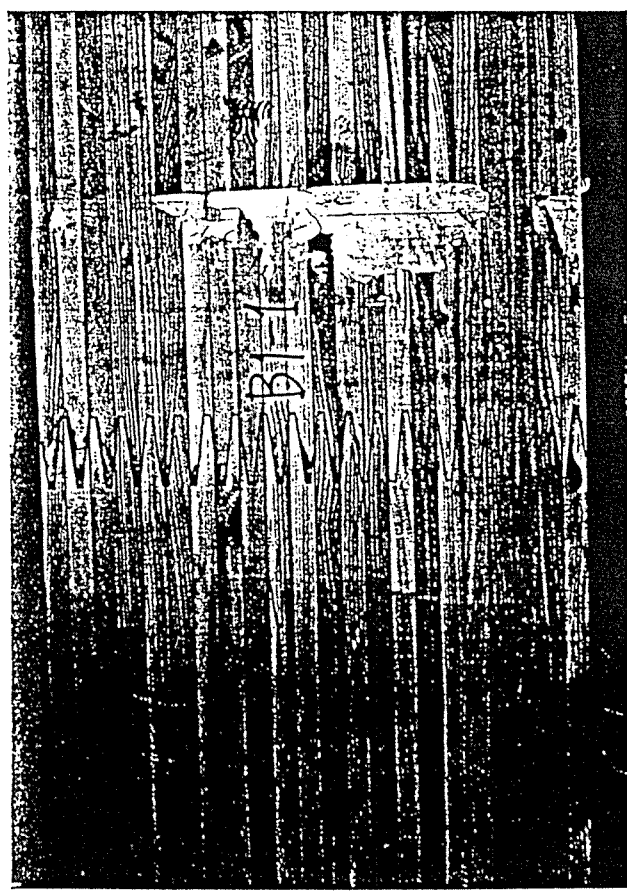
- 注
- $\sigma_g = P_{max} \cdot \sin\theta / A_0 \{1 - \Sigma t / b\}$, $A_0 = b h$ 1)
 - パターンBのKic: $Kic = (P_{max} / A_0) \{ \pi t / 2 \}^{0.5} \cdot F(\lambda, \varepsilon)$ 2)
 $F(\lambda, \varepsilon) = \{ \sec(\pi \lambda / 2) \cdot (\sin 2 \lambda \varepsilon / 2 \lambda \varepsilon) \}^{0.5}$, $\lambda = t / (2a + t)$, $\varepsilon = (b - 2a - t) / b$
 - パターンCのKic: $Kic = (P_{max} / A_0) \{ \pi t \}^{0.5} \cdot F(\lambda)$ 3)
 $F(\lambda) = 1.12 - 0.231 \lambda + 10.55 \lambda^2 - 21.72 \lambda^3 + 30.39 \lambda^4$
 - パターンBC、CCはKicが未知なのでBまたはCのどちらか近い方で近似した。
 - $Gic = (Kic)^2 / E_w$ ただし E_w は接合前のラミナの曲げヤング係数



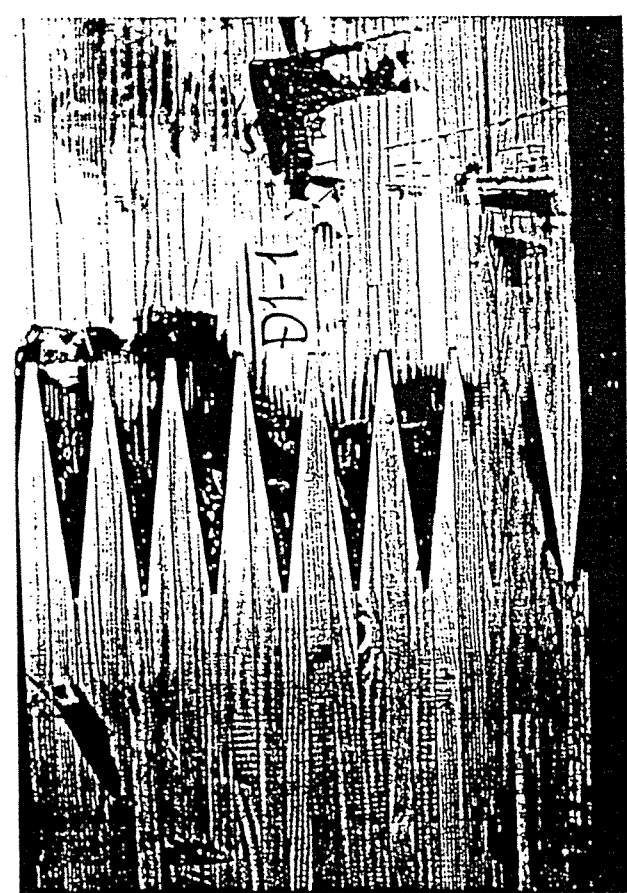
C type $l = 120 \text{ mm}$



E type $l = 410 \text{ mm}$

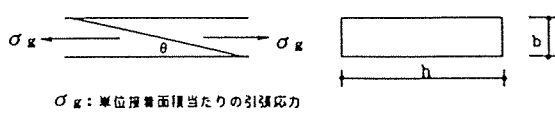


B type $l = 60 \text{ mm}$



D type $l = 200 \text{ mm}$

4-2. 有効接着面積 $A_{e.g}$ による単位接着面積当たりの引張強度 σ_g の評価



ただし材幅は h 一定とする

① パターン A

有効接着層長さを L_g とすると、 $\sin \theta = b/L_g$ $A_{e.g} = L_g h$

$$\therefore A_{e.g} = bh/\sin \theta \quad \dots\dots\dots 1)$$

or. A_0 を公称断面積 ($\equiv bh$) とすると、 $A_{e.g} = A_0/\sin \theta \quad \dots\dots\dots 1)$

② パターン B

$$L_{g1} = \{b-(a+t)\}/\sin \theta, \quad L_{g2} = a/\sin \theta$$

$$\therefore L_g = L_{g1}+L_{g2} = (b-t)/\sin \theta$$

$$\therefore A_{e.g} = h(b-t)/\sin \theta = hb(1-t/b)/\sin \theta = A_0(1-t/b)/\sin \theta \quad \dots\dots\dots 2)$$

③ パターン C

同様に $A_{e.g} = A_0(1-t/b)/\sin \theta \quad \dots\dots\dots 3)$

④ パターン D

$$L_{g1} = a/\sin \theta, \quad L_{g2} = \{b-(a+t+c)\}/\sin \theta \quad L_g = \{b-(t+c)\}/\sin \theta$$

$$\therefore A_{e.g} = hb\{1-(t+c/b)\}/\sin \theta = A_0\{1-(t+c)/b\}/\sin \theta \quad \dots\dots\dots 4)$$

⑤ パターン C C

同様に $A_{e.g} = A_0(a+c/b)/\sin \theta \quad \dots\dots\dots 5)$

以上、有効接着面積 $A_{e.g}$ でスカーフジョイントの強度を評価する場合、ラミナ試験体の厚さ b に含まれるバットジョイントの総長さ Σt と厚さ b との比が問題となる。したがって、有効接着面積 $A_{e.g}$ で、最大引張力 P_c を割った値を、単位接着面積あたりの引張強度 σ_g と定義すると、 σ_g は次式で評価できる。

$$\sigma_g = P_c/A_{e.g} = P_c \sin \theta / A_0 \{1-\Sigma t/b\} \quad \dots\dots\dots 6)$$

- ここで、
 A_0 : 試験体の公称断面積 ($\equiv bh$) (cm^2)
 Σt : 試験体厚さ b の中に含まれるバットジョイントの総長さ (cm)
 b : 試験体の厚さ (材せい: B F J の出現面の材幅)
 θ : スカーフ傾斜角 (今回は $\tan \theta = 1/8$)

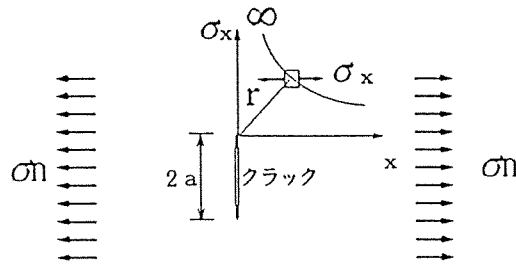
なお、既往の文献*)によると、6)式のような見かけの引張応力度 σ_g は、スカーフ傾斜角 θ が10度以下の非常にスカーフ比の小さい場合には急激に値が小さくなるという報告がある。

* : H.R.Milner et al : "Finger Joint Design and Manufacture", in Proceedings 2nd PTEC, 159-164, (held in Auckland Univ. , NZ).

4-3. 線形破壊力学 (LEFM) によるバットジョイント部の破壊靱性 K_{Ic} の評価

破壊力学 (Fracture Mechanics) は、クラックを有する材料の破壊を扱う力学の一分野である。

$$\sigma_x = K_I / \sqrt{2\pi ar} \quad K_I: \text{応力拡大係数}$$



材料中に長さ $2a$ なるクラックが存在し、無限遠方に均一な引張応力 σ_0 が働く場合、クラック先端部の応力成分は弾性論の範囲内で無限大となる。従ってこのような場合、従来からの最大応力条件式は用をなさない。

従来からの最大応力仮説に基づく破壊のクリテリア

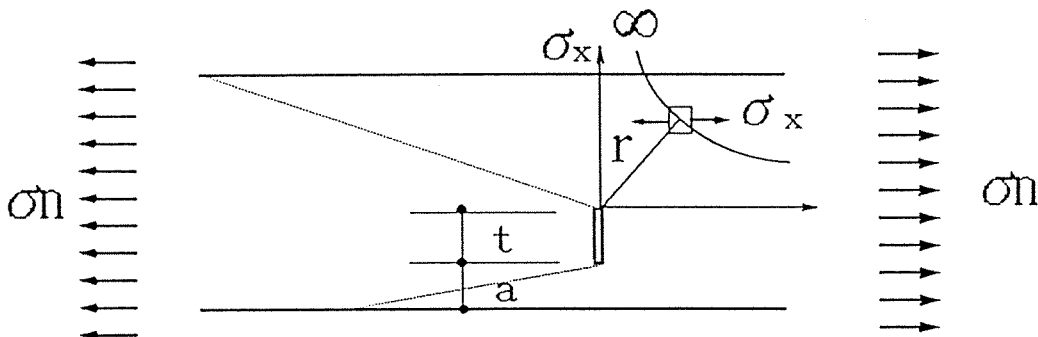
$$\text{破壊: } \sigma_x / F_x = 1$$

FMの破壊のクリテリア

クラック先端の応力分布 i.e. $\sigma_x = K / (2\pi ar)^{1/2}$ を支配する係数 K (この値は、クラック寸法、試験体寸法、クラックの位置、外力等の関数) が、材料特有の値に達した時破壊すると仮定。すなわち

$$K / K_c = 1 \rightarrow \text{破壊}$$

この K_c は臨界応力拡大係数または破壊靱性と呼ばれ、材料に固有の値と考えられている。



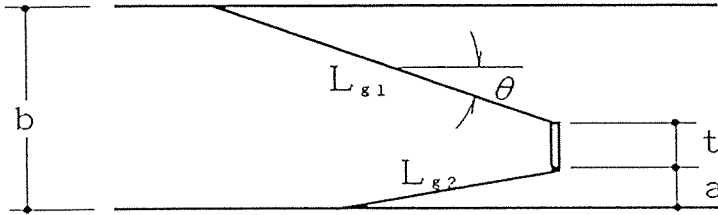
一方、バットジョイントを有するBFJラミナの場合、バットジョイントをクラックと等価と考えれば、破壊力学の破壊条件が適用できるのではないかと考えられる。そのためには、バットジョイントの出現パターン別に応力拡大係数 K_I を求め、バットジョイント部の破壊靱性 K_{Ic} を評価することが必要である。

1) 各パターン別のKIの算定式 ;

(バットジョイントのないパターンAでは K_I は定義できない)

① パターンB 石田 誠*2)の資料を利用すると、

② パターンB : 材中に完全なバットジョイントが一個存在するもの



$$K_I \cong \sigma \{ \pi \cdot (t/2) \}^{0.5} \cdot F_I(\lambda, \varepsilon) \quad \dots\dots\dots 7)$$

$$\lambda = t/(2a+t)$$

$$\varepsilon = (b-2a-t)/b$$

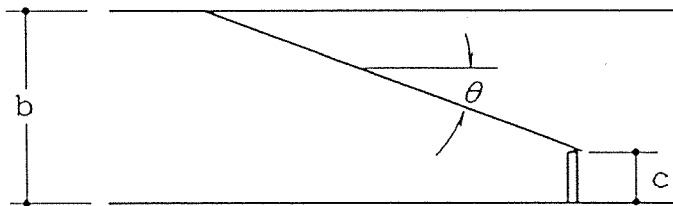
$$F_I = \sqrt{\sec \cdot \frac{\pi \lambda}{2} \cdot \frac{\sin 2 \lambda \varepsilon}{2 \lambda \varepsilon}}$$

$\sigma = P/A_0$: 公称引張応力度 P : 引張力

$$A_0 = bh$$

② パターンC

③ パターンC : 一材縁にバットジョイントが存在するもの



$$K_I = \sigma \{ \pi \cdot t \}^{0.5} \cdot F(t/b)$$

$$F(t/b) \cong 1.12 - 0.231\lambda + 10.55\lambda^2 - 21.72\lambda^3 + 30.39\lambda^4 \quad \dots\dots\dots 10)$$

$$\lambda = t/b$$

③ その他のパターン

応力拡大係数の閉解が示されていないので、バットジョイントの位置、強度に及ぼす影響の度合いを判断して、パターンBまたはCのどちらかで近似した。

* 2) : 石田 誠 : 「き裂の弾性解析と応力拡大係数」、破壊力学と材料強度講座 2、培風館、1976

4-4. 試験結果のまとめ

B F J 集成材のスカート長さ別に試験体を B, C, D, E の 4 グループに分けて、 σ_g 、 K_{Ic} 、 G_{Ic} ($= K_{Ic} / E_w$ 、 E_w : ラミナの曲げヤング) をプロットすると下図のようになり、 K_{Ic} が最もバラツキが小さく、 G_{Ic} のバラツキが大。

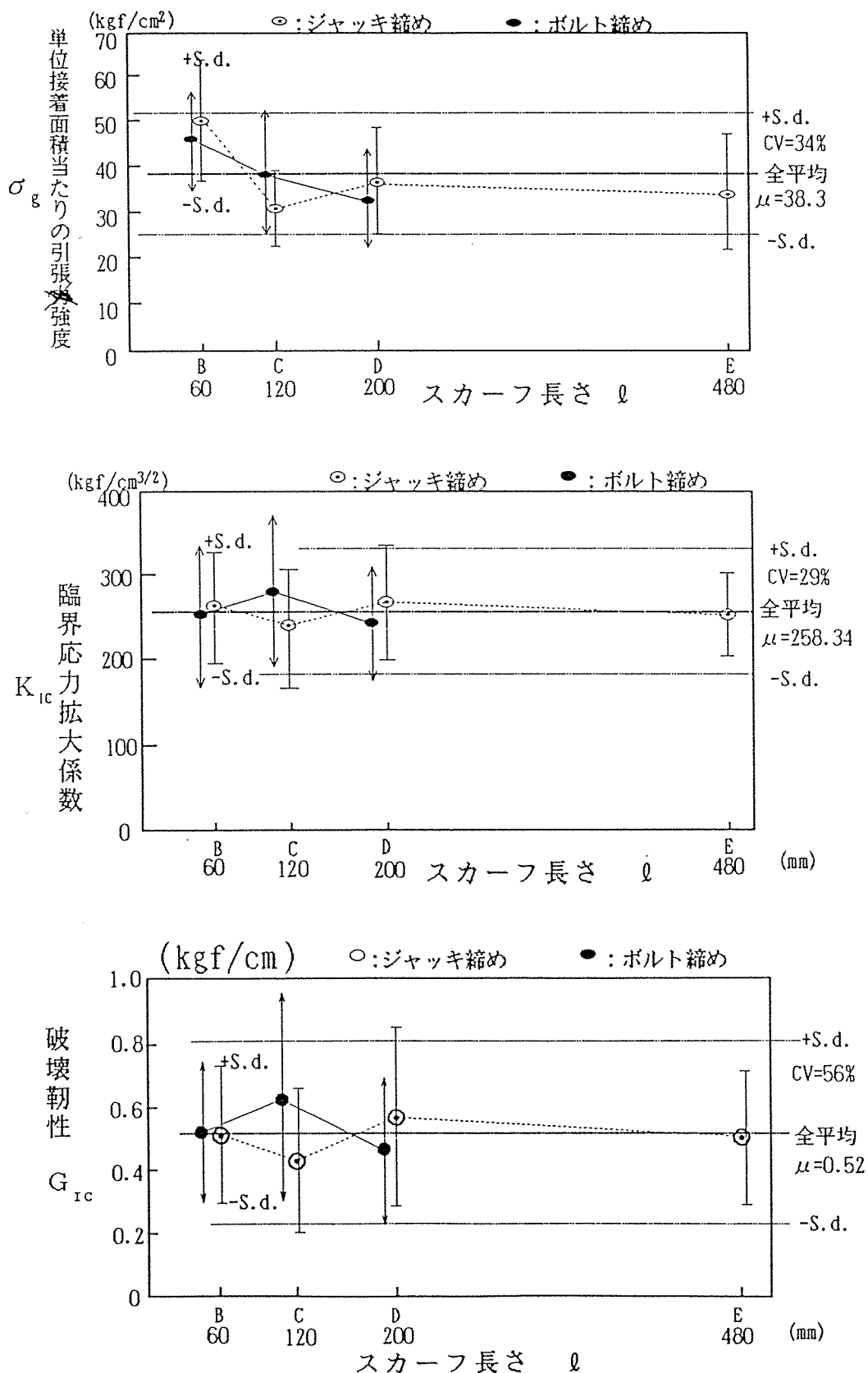
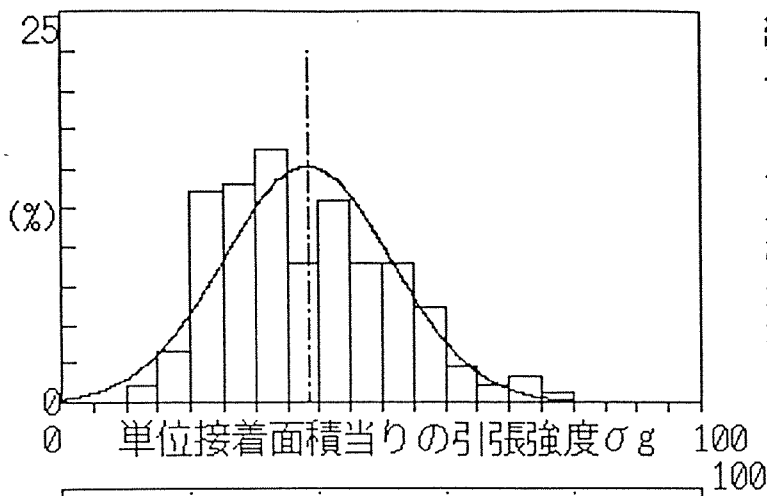


図3 グループ別 σ_g 、 K_{Ic} 、 G_{Ic} ($= K_{Ic} / E_w$) の結果



統計量=単位接着面積当りの引張強度 σg
 単位=(kgf/cm²)

ファイル名=B:BFJresu1.DAT

データ数= 178

平均値 μ = 38.27

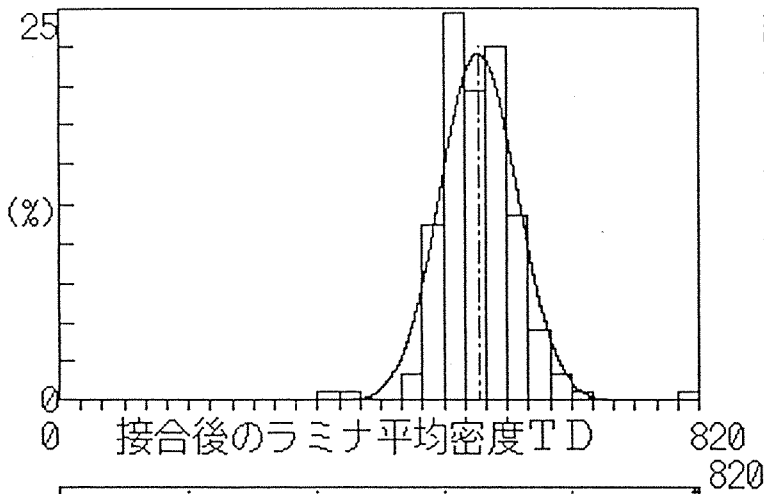
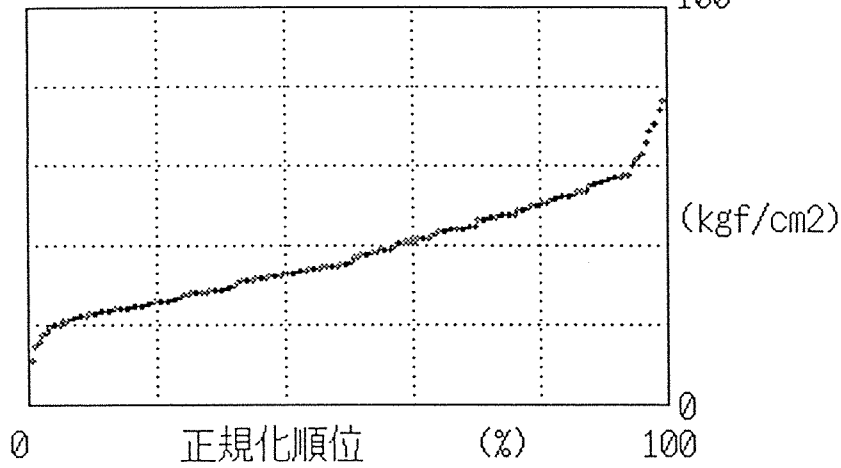
標準偏差 σ = 13.12 CV= 34%

最小値= 11.23

最大値= 76.44

順位法による下限5%値= 20.01

信頼水準75%の下限5%値= 19.85



統計量=接合後のラミナ平均密度TD
 単位=(kg/m³)

ファイル名=B:BFJresu1.DAT

データ数= 178

平均値 μ =537.45

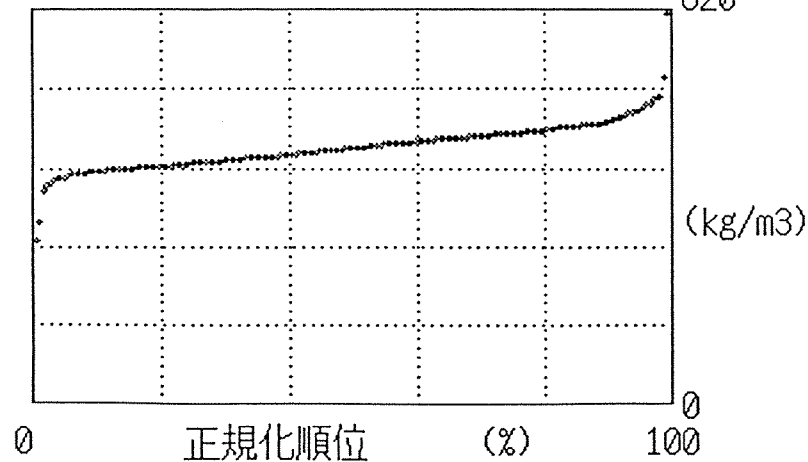
標準偏差 σ = 49.46 CV= 9%

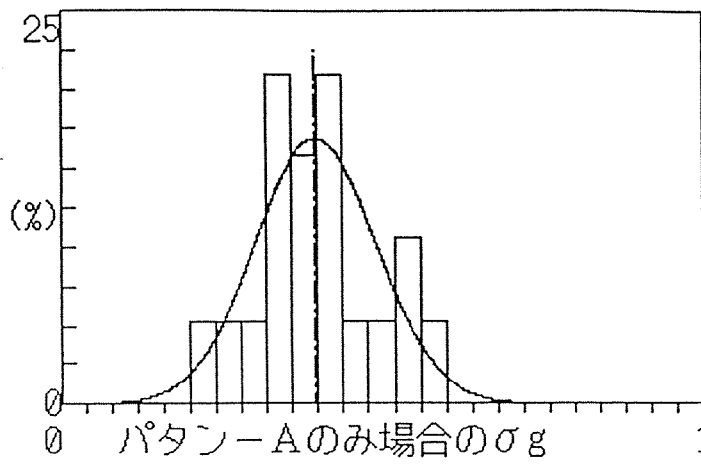
最小値=340.37

最大値=811.15

順位法による下限5%値=474.70

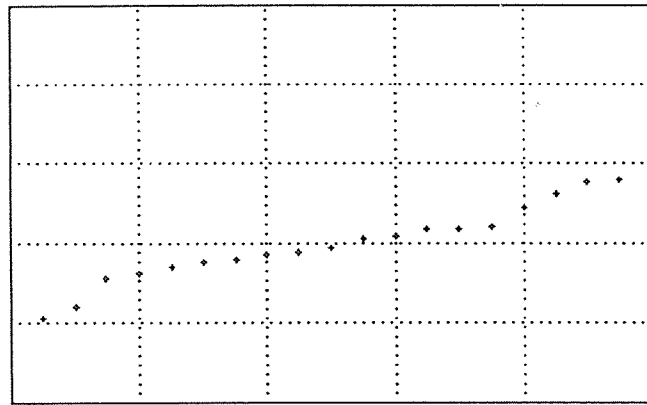
信頼水準75%の下限5%値=473.66





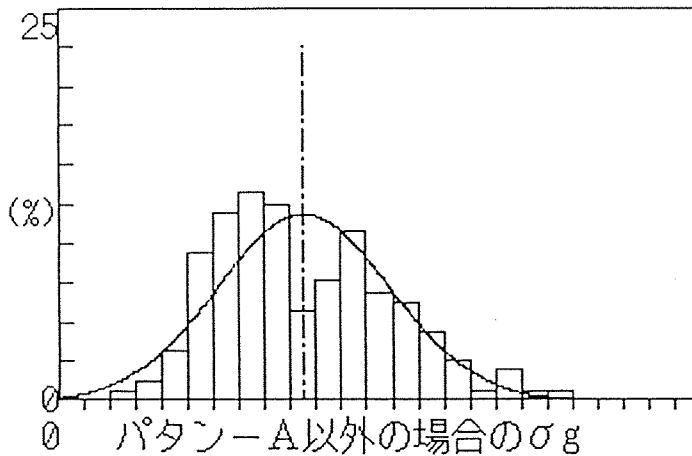
統計量=パターン-Aのみ場合の σ_g
 単位=(kgf/cm²)

ファイル名=B:BFJresu1.DAT
 データ数= 19
 平均値 μ = 39.64
 標準偏差 σ = 9.44 CV= 24%
 最小値= 21.25
 最大値= 56.08
 順位法による下限5%値= 21.25
 信頼水準75%の下限5%値= 13.66



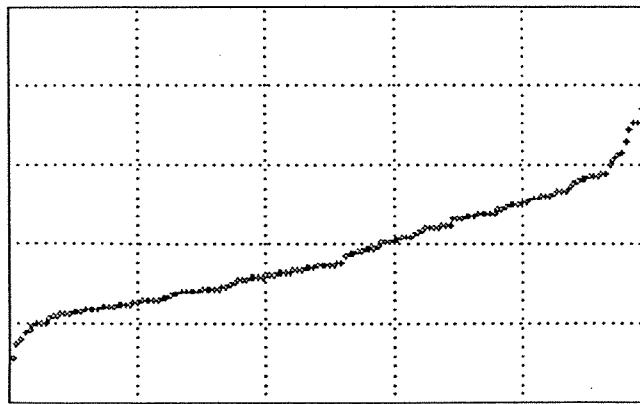
0 正規化順位 (%) 100

(kgf/cm²)



統計量=パターン-A以外の場合の σ_g
 単位=(kgf/cm²)

ファイル名=B:BFJresu1.DAT
 データ数= 159
 平均値 μ = 38.11
 標準偏差 σ = 13.51 CV= 35%
 最小値= 11.23
 最大値= 76.44
 順位法による下限5%値= 19.88
 信頼水準75%の下限5%値= 19.73



0 正規化順位 (%) 100

(kgf/cm²)

統計量=臨界応力拡大係数 K_{ic}
単位=(kgf/cm^{1.5})

ファイル名=B:BFJresu1.DAT

データ数= 159

平均値 μ =258.34

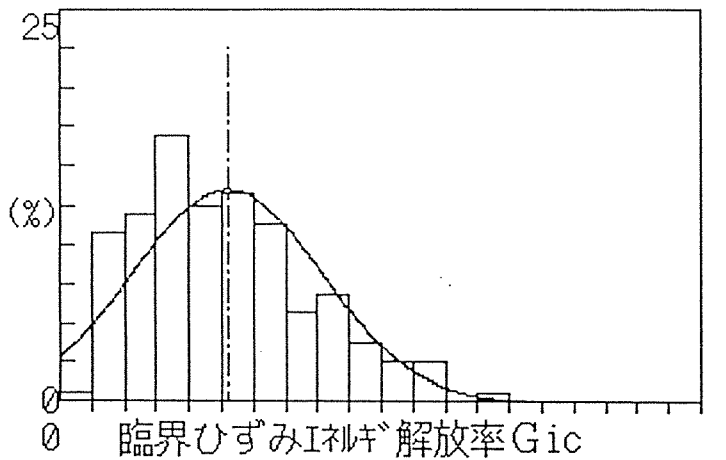
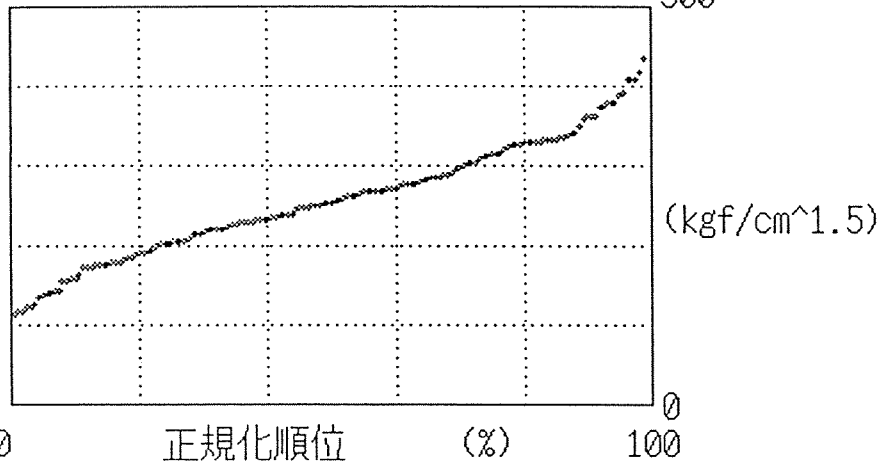
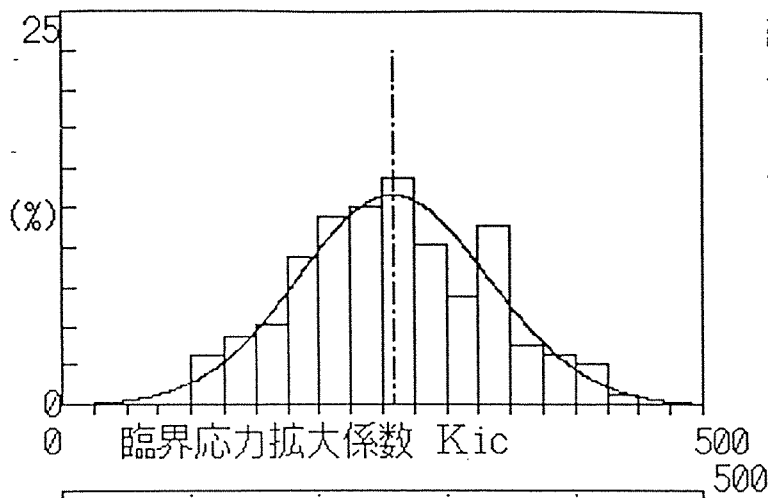
標準偏差 σ = 74.81 CV= 29%

最小値=116.17

最大値=504.27

順位法による下限5%値=139.60

信頼水準75%の下限5%値=130.97



統計量=臨界ひずみIれキ解放率 G_{ic}
単位=(kgf/cm)

ファイル名=B:BFJresu1.DAT

データ数= 159

平均値 μ = 0.52

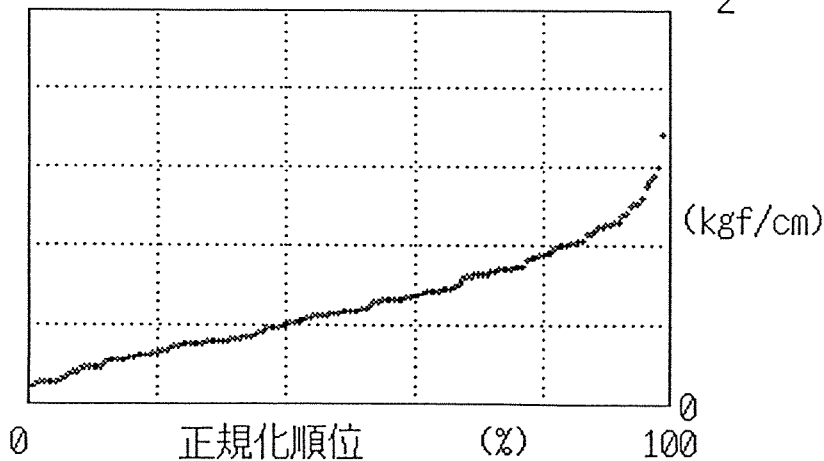
標準偏差 σ = 0.29 CV= 56%

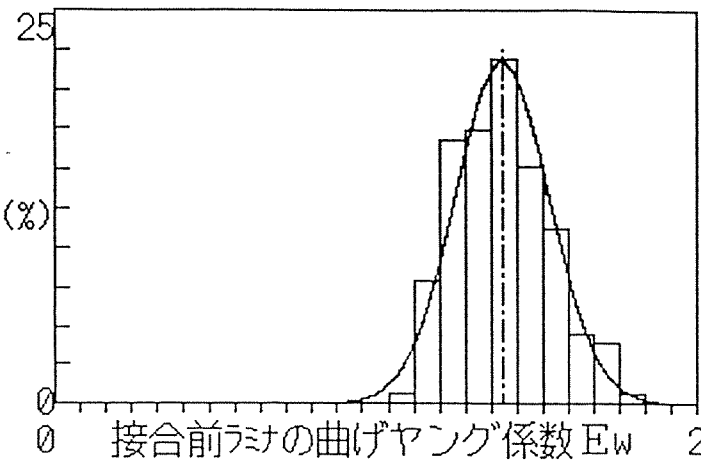
最小値= 0.10

最大値= 2.05

順位法による下限5%値= 0.13

信頼水準75%の下限5%値= 0.12





統計量=接合前ラミナの曲げヤング係数 E_w
 単位=(tonf/cm²)

ファイル名=B:BFJresu1.DAT

データ数= 178

平均値 μ =139.57

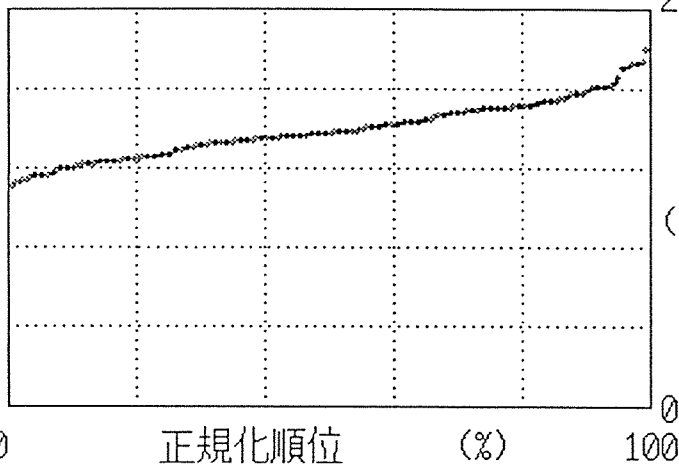
標準偏差 σ = 14.70 CV= 11%

最小値=110.70

最大値=180.50

順位法による下限5%値=116.68

信頼水準75%の下限5%値=116.04



統計量=ジョイント部引張ヤング係数 E_t
 単位=(tonf/cm²)

ファイル名=B:BFJresu1.DAT

データ数= 178

平均値 μ =114.81

標準偏差 σ = 27.03 CV= 24%

最小値= 40.50

最大値=231.08

順位法による下限5%値= 69.35

信頼水準75%の下限5%値= 66.48

