

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第3031号

18

土 木 研 究 所 資 料

プレートガーダー耐荷力実験報告(その2)

平成3年11月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室

Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

プレートガーダー耐荷力実験報告(その2)

構造橋梁部	部	長	藤	原	稔
橋梁研究室	室	長	西	川	和 廣
同	研	究	村	越	潤
同			鹿	嶋	久 義
同	部	外	齊	藤	浩
	研	究			
	員				

要 旨

現在、土木研究所では、道路橋示方書の限界状態設計法への移行をふまえ、荷重及び部材の耐荷力に関して種々の研究を行っている。このうち、鋼部材の耐荷力に関しては、プレートガーダーを対象に主として終局限界状態の照査に用いるべき耐荷力を検討するため、昭和60年度から62年度にかけて水平補剛材を2本有するプレートガーダー大型供試体18体の耐荷力実験（純曲げ実験4体（B-21～B-24）、曲げとせん断の組合せ実験8体（C-21～C-28）、せん断実験6体（S-21～S-26）、を行い、その結果を土木研究所資料第2533号にまとめた。

本報告書は、上記の検討を継続し、昭和63年度から平成元年度までに実施した、水平補剛材2本を有する大型供試体を用いた耐荷力実験結果についてとりまとめたものである。

キーワード：プレートガーダー、終局耐荷力、幅厚比、補剛材配置、補剛材剛度

ま え が き

プレートガーダーの極限耐荷力に関しては、1961年のBaslerの研究に始まり、現在まで枚挙に暇がないほどの研究成果が発表されている。文献1)～3)には、現在までの、実験的及び理論的研究の概要が要領よくまとめられている。さらに、文献4)、5)は、プレートガーダーの耐荷力に関する実験結果をデータベース化し、数種の設計式との比較を行っている。海外の設計示方書には、BS5400, AASHTO道路橋標準示方書などのように、プレートガーダーの極限耐荷力の最近の成果を既に取り入れたものもある⁶⁾が、我が国の道路橋示方書(以下、道示と呼ぶ)⁷⁾では、昭和48年の改訂時に座屈関連規定が整備され現在に至っている。最近ではプレートガーダーの極限耐荷力を数値計算により求めようとする試みもなされ、また同時により広い適用範囲を指向した新しい設計式の提案も盛んに行われている⁸⁾。これらの研究の基礎となるものはもとより信頼できる実験結果であるが、文献1)～3)のレビューにおいて指摘されているように、2段以上の水平補剛材を有し、しかも大型の供試体によるプレートガーダーの耐荷力実験は現在のところ非常に少ない。

土木研究所では昭和60年度から62年度にかけて水平補剛材を2本有するプレートガーダー大型供試体18体の耐荷力実験(純曲げ実験4体(B-21～B-24)、曲げとせん断の組合せ実験8体(C-21～C-28)、せん断実験6体(S-21～S-26))を行い、その結果を土木研究所資料第2533号にまとめた。

その後、継続して検討を行い、昭和63年度には無補剛プレートガーダー大型供試体2体(B-01, S-01)、平成元年度には水平補剛材を2本有するプレートガーダー大型供試体6体(B-25～26, C-29～30, S-27～28)について耐荷力実験を行った。本報告は昭和63年度から平成元年度に実施した計8体の耐荷力実験結果について報告するものである。

目 次

まえがき	1
1. 耐荷力実験の概要	1
1.1 検討内容	1
(1) 昭和63年度の検討内容	1
(2) 平成元年度の検討内容	1
1.2 検討事項	1
(1) 作用外力	1
(2) 鋼 種	2
(3) 水平補剛材の本数	2
(4) ウェブの幅厚比	2
(5) 水平補剛材の剛度	2
(6) 水平補剛材の配置	2
(7) 垂直補剛材の剛度	2
(8) 垂直補剛材の間隔	2
1.3 供 試 体	2
(1) 形状・寸法・諸元	2
(2) 材料試験結果	3
1.4 実験方法	3
(1) 荷重載荷方法	3
(2) 支点条件	3
(3) 横倒れ防止方法	3
(4) ひずみの測定方法	3
2. 実験結果	4
2.1 終局耐荷力	4
(1) 曲げ耐荷力およびせん断耐荷力	4
(2) 最高荷重時における供試体の状況	5
2.2 荷重と変位の関係	5
(1) 荷重と鉛直たわみの関係	5
(2) ウェブの面外変位	5
(3) 荷重とウェブ面外変位の関係	6
2.3 荷重とひずみの関係	6
(1) ウェブとフランジのひずみ分布	6
(2) 水平補剛材のひずみ分布	6
(3) 垂直補剛材のひずみ分布	6

(4) 荷重と水平補剛材のひずみの関係	6
(5) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係	6
2.4 荷重除荷後の供試体の状況	6
3. 考 察	7
3.1 終局耐荷力	7
(1) 曲げ耐荷力	7
(2) せん断耐荷力	8
(3) 曲げ耐荷力とせん断耐荷力の相関関係	10
3.2 水平補剛材の配置が耐荷力に及ぼす影響	10
3.3 水平補剛材剛度が耐荷力に及ぼす影響	11
参考文献	12
参考資料	
水平補剛材取付け位置の算定方法	139

1. 耐荷力実験の概要

以下に、昭和63年度から平成元年度までに実施した供試体8体の耐荷力実験の概要を示す。

1.1 検討内容

(1) 昭和63年度の検討内容

昭和60～62年度には、水平補剛材の剛度が耐荷力およびウェブの変形挙動に及ぼす影響を検討するために、水平補剛材の剛度のみを道示の水平補剛材の必要剛比（以下 $\gamma_{h,req}$ で表す）の0.5, 1.0, 5.0倍と変えた供試体（各シリーズ；（B-21, B-22, B-23）, （C-21, C-24, C-23）, （S-21, S-24, S-25））の耐荷力実験を行った⁹⁾。昭和63年度には、水平補剛材の剛度の影響の検討を継続し、B-21およびS-21と同一諸元で水平補剛材がない、無補剛供試体2体（B-01, S-01）の耐荷力実験を行った。

(2) 平成元年度の検討内容

昭和60～62年度に実施した耐荷力実験では、供試体の水平補剛材の配置間隔および幅厚比を、周辺単純支持された板が曲げと圧縮を受ける場合の宇佐美による極限強度式¹²⁾（ただし $\sigma_w=2,400$ kg/cm²として計算）に基づき定めている。具体的にはテストパネルが純曲げを受ける場合を想定し、ウェブの上端が降伏応力に達したときに、中段および下段の2つのパネルの上縁の応力度が各パネルの極限強度以上となり、かつ最も幅厚比を大きくすることができる配置間隔比10:15:75を基本に配置した。一方、道示に規定される水平補剛材の配置間隔比は、周辺単純支持された板の弾性座屈強度に基づき2段配置する場合に対し14:22:64、またS S41鋼で2段配置の場合のウェブの最大幅厚比は、310と規定されている。これらの道示の規定を満たす諸元を有する供試体の耐荷力については実験により確かめられていない¹³⁾。そこで、平成元年度は水平補剛材を2段配置した場合について道示に規定される補剛材配置、ウェブの幅厚比を有する供試体3体（B-25, C-29, S-27）と、それと同一諸元で水平補剛材の配置間隔比のみを10:15:75に変えた供試体3体（B-26, C-30, S-28）を製作し、両者の供試体の耐荷力および変形挙動を比較検討した。なお、B-26, C-30, S-28については、ウェブの幅厚比を除いて昭和60年度から昭和62年度までに試験を行った供試体（各シリーズ；（B-22, B-24）, （C-24, C-25）, （S-24, S-26））と同一の無次元パラメータを有するように製作しており、ウェブの幅厚比が耐荷力および変形挙動に及ぼす影響についても比較検討した。

1.2 検討事項

以下に各検討項目について述べる。表-1.1(1)に各供試体の検討項目一覧を示す。また、表-1.1(2)に参考として、昭和60～62年度に実施した耐荷力実験における各供試体の検討項目を示す。

(1) 作用外力

テストパネル部の作用外力は次のとおりとした。

- 1) 純曲げ (Bシリーズ: 3体)
- 2) 曲げとせん断の組合せ (Cシリーズ: 2体)

3) せん断が卓越 (Sシリーズ: 3体)

(2) 鋼 種

SS41鋼を用いた。

(3) 水平補剛材の本数

供試体B-01, S-01はテストパネル部に水平補剛材を設けていない。供試体B-25, B-26, C-29, C-30, S-27, S-28はテストパネル部に水平補剛材を2段配置している。

(4) ウェブの幅厚比

供試体B-01, S-01は道示の規定値 310の20%増を目標にウェブの幅厚比を設定した。供試体B-25, B-26, C-29, C-30, S-27, S-28は道示に従い, SS41鋼に対する最大幅厚比310とした。

(5) 水平補剛材の剛度

道示に規定される水平補剛材の必要剛比 (以下, γ_{req} で表わす) とした。

(6) 水平補剛材の配置

B-26, C-30, S-28は道示に従い配置間隔比を14:22:64とし, B-25, C-29, S-27は, 周辺単純支持された板要素が曲げと圧縮を受ける場合の宇佐美による極限強度式¹²⁾ (1.1) (ただし $\sigma_{yw} = 2,400\text{kg}/\text{cm}^2$ として計算) に基づき10:15:75とした。この配置はテストパネルが純曲げを受ける場合を想定し, ウェブの上端が降伏応力に達したときに, 中段および下段の2つのパネルの上縁の応力度が各単一パネルの極限強度以上となり, かつ最も幅厚比を大きくすることができる配置間隔である (巻末の参考資料参照)。

$$\sigma_{ult}/\sigma_{yw} = \frac{1}{\lambda} \left\{ (1.1 - 0.1\phi) - (0.27 - 0.05\phi) \frac{1}{\lambda} \right\} \dots\dots\dots(1.1)$$

$$\text{ここに, } \lambda = \sqrt{\sigma_{yw}/\sigma_{cr}}$$

σ_{ult} : 極限曲げ強度

σ_{cr} : 弾性座屈応力度

σ_{yw} : ウェブの降伏応力度

ϕ : 単一パネルの上下縁の応力比

(7) 垂直補剛材の剛度

道示に規定される垂直補剛材の必要剛比 (以下, γ_{req} という) とした。

(8) 垂直補剛材の間隔

ウェブ高 b_w に対する垂直補剛材の間隔 a の比 a/b_w は実橋での実績を参考にして0.606とした。文献8)の調査結果によれば a/b_w は0.21~1.44の範囲であり, 0.5~0.77程度の範囲で多く採用されている。

1.3 供試体

(1) 形状・寸法・諸元

表－1.2に供試体テストパネル部の諸元を、図－1.1(1)～(6)に各供試体の形状・寸法を示す。供試体は両端を単純支持し、テストパネル以外の部分は、終局荷重時にも安定が保てるように十分に剛な構造としている。また、上下のフランジは対称としており、垂直補剛材と水平補剛材は密着させず30mm離している。なお、テストパネル部については熱処理等によるひずみ取りは行っていない。

(2) 材料試験結果

表－1.3に供試体テストパネル部の各部材の材料試験の結果を示す。

1.4 実験方法

(1) 荷重載荷方法

載荷試験は建設省土木研究所構造物実験施設の3000 t 万能試験機を使用して行った。写真－1.1～1.3に供試体の設置状況を示す。

Bシリーズでは2点載荷とし、Cシリーズ、Sシリーズでは1点載荷としている。

図－1.2(1)と写真－1.4に2点載荷の状況を、図－1.2(2)と写真－1.5に1点載荷の状況を示す。2点載荷の場合は、2ヵ所の載荷点上にローラーを取り付け、桁の軸方向にはころがり自由とした上に載荷用の桁を置き、その中央部を載荷ポンチにより加力した。載荷ポンチは剛構造であり、ポンチと載荷用桁の間には、ポンチと同心円のRを持つ溝を切った厚肉プレート（載荷板）をはめ込んでいる。1点載荷の場合は、載荷ポンチと供試体の間に載荷板をはめ込み加力した。なお、載荷板と載荷用桁間、供試体間にすき間が生じた場合は石膏で填隙した後加力した。

(2) 支点条件

支点部分はグリースを塗布したテフロン板を支承台に重ね、その上に支承を取り付け、軸方向に可動とし直角方向は拘束した。

(3) 横倒れ防止方法

供試体の横倒れによる座屈を防止するため、両支点及びスパン内2点の計4ヵ所に横倒れ防止治具を取り付けて実験を行った。図－1.3に横倒れ防止治具の概略図を示す。

(4) ひずみの測定方法

ひずみの測定は、テストパネル部及びその周辺に、電気抵抗式ひずみゲージを貼付し、各荷重段階毎に行った。各荷重段階毎に桁鉛直変位、供試体端部と支承の軸方向変位、横倒れ変位、上フランジの鉛直変位を測定した。たわみ量は、両支点の変位から補正して算出した。図－1.4(1)、(2)にひずみゲージ貼付位置を、図－1.5(1)～(5)に変位計取付位置を示す。

また、ウェブの面外変位はテストパネル部にメッシュを入れ、各交点で載荷前と除荷までの数回の荷重段階において、変位計を用いて測定した。図－1.6(1)～(3)にテストパネル面外変位測定位置を示す。写真－1.6に面外変位の測定状況を示す。

2. 実験結果

2.1 終局耐荷力

(1) 曲げ耐荷力およびせん断耐荷力

表-2.1に各供試体の降伏荷重 P_y 、降伏モーメント M_y 、降伏せん断力 V_y の計算値及び最高荷重 P_{udy} 、静的最高荷重 P_{ust} 、曲げ耐荷力 M_u 、せん断耐荷力 V_u の実験値を示す。

ここで、 M_y 、 V_y は材料試験の結果を用いて式(2.1)(2.2)により求めた。

$$M_y = bw \left(A_f \sigma_{yf} + \frac{1}{6} A_w \sigma_{yw} \right) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$V_y = \frac{\sigma_{yw}}{\sqrt{3}} \times A_w \dots\dots\dots(2.2)$$

ここで A_f : 圧縮フランジの断面積 σ_{yf} : フランジの下降伏点

A_w : ウェブの断面積 σ_{yw} : ウェブの下降伏点

b_w : ウェブの高さ

P_y はテストパネル中央の曲げモーメントとせん断力が、各々 M_y 、 V_y に達する時の荷重のうち小さい方の値である。

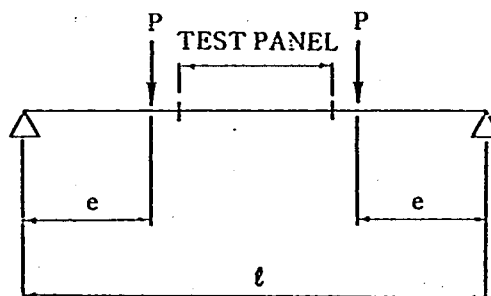
また、 P_{udy} は変位制御により一定の変位速度での加力により示された最高荷重であり、 P_{ust} は P_{udy} に達した後に、変位速度を0としてから約2分後の変形が安定した時の静的な最高荷重である。耐荷力の整理には P_{ust} を用いることとし、 M_u 、 V_u は各シリーズについて次に示す方法で求めた。

なお、 M_u はテストパネル中央に生じる曲げモーメントの値とした。

Bシリーズ

$$M_u = P_{ust} \times e$$

$$V_u = 0$$

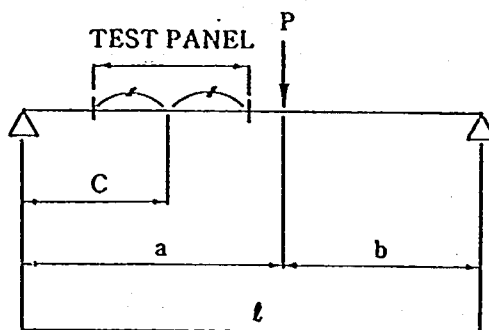


Bシリーズ実験

Cシリーズ

$$Mu = \frac{b}{\ell} \times P_{ust} \times c$$

$$Vu = \frac{b}{\ell} \times P_{ust}$$

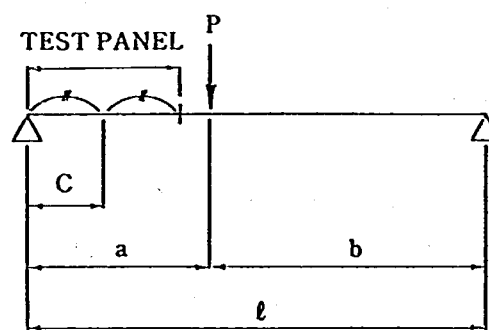


Cシリーズ実験

Sシリーズ

$$Mu = \frac{b}{\ell} \times P_{ust} \times c$$

$$Vu = \frac{b}{\ell} \times P_{ust}$$



Sシリーズ実験

(2) 最高荷重時における供試体の状況

図-2.1(1)~(8)に各供試体の荷重載荷前と最高荷重におけるテストパネル部上下フランジ縁端距離の差を示す。また、図-2.2(1)~(8)および写真-2.1(1)~(8)に最高荷重における各供試体のテストパネル部の状況を示す。

2.2 荷重と変位の関係

(1) 荷重と鉛直たわみの関係

図-2.3(1)~(8)に各供試体の載荷荷重と最高荷重時に最大の変位を示した測定位置における鉛直たわみ量との関係および破壊に至るまでの供試体の挙動を示す。測定位置は図中に示すとおりである。図中のUF, LF, W, HS, VSはそれぞれ上フランジ, 下フランジ, ウェブ, 水平補剛材, 垂直補剛材の一部が降伏し始めたときの荷重（ひずみの測定値から計算される応力が降伏応力に達したときの荷重）を示している。

(2) ウェブの面外変位

図-2.4.1(1)~2.4.8(5)に各供試体の荷重載荷時と最高荷重時までの4~5回の荷重段階におけるテストパネル部ウェブの面外変位を等高線により示す。図中の破線は補剛材位置を示す。

(3) 荷重とウェブ面外変位の関係

図-2.5.1(1)~2.5.8(2)に各供試体の主要な位置におけるウェブの面外変位の2乗と荷重の関係を示す。

2.3 荷重とひずみの関係

(1) ウェブとフランジのひずみ分布

図-2.6.1(1)~2.6.8(6)に各供試体(B-01, S-01を除く)のウェブとフランジのひずみ分布を最高荷重までの6回の荷重段階(最高荷重の40%, 60%, 80%, 90%, 95%付近, 及び最高荷重)について示す。

(2) 水平補剛材のひずみ分布

図-2.7(1)~(6)に各供試体の水平補剛材のひずみ分布を前述と同じ荷重段階について示す。ここでひずみの値は, 水平補剛材の上面と下面で大きな差異がないことからその平均値とした。

(3) 垂直補剛材のひずみ分布

図-2.8(1)~(8)に各供試体の垂直補剛材のひずみ分布を前述と同じ荷重段階について示す。ここでひずみの値は, 垂直補剛材の右面と左面で大きな差異がないことからその平均値とした。

(4) 荷重と水平補剛材のひずみの関係

図-2.9(1)~(6)に荷重と水平補剛材のひずみの関係を示す。

(5) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係

図-2.10.1(1)~2.10.8(2)に荷重と垂直補剛材のひずみの関係を示す。

2.4 荷重除荷後の供試体の状況

写真-2.2(1)~(4)に荷重除荷後の供試体の状況を示す。

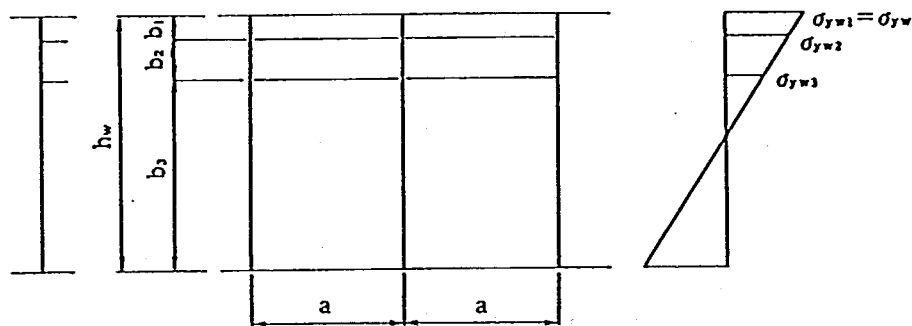
3. 考 察

3.1 終局耐荷力

(1) 曲げ耐荷力

図-3.1に今回の実験結果と既存の実験結果について、曲げ耐荷力と幅厚比パラメータの関係を示す。既存の実験結果^{1) 5) 13)}については、桁高 500mm以上(極端に桁高の低い実験値を取り除くため下限値を設定した)の上下フランジ対称桁で、横座屈やねじれ座屈の影響を受けていないと考えられるデータをプロットしている。

ここで縦軸は曲げ耐荷力 M_u を降伏モーメント M_y で無次元化した値をとり、横軸は曲げに対する幅厚比パラメータ λ_i をとっている。幅厚比パラメータ λ_i は垂直および水平補剛材で区切られた各単一パネルについて、式(3.1)により λ_{oi} を計算し、その最大値としている。



$$\lambda_{oi} = \sqrt{\frac{\sigma_{ywi}}{\sigma_{cri}}} = \frac{b_i}{t_w} \sqrt{\frac{\sigma_{ywi} \times 12 \times (1 - \mu^2)}{E \pi^2 k_{oi}}} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

i : パネルの番号

σ_{ywi} : ウェブの上端が下降伏点に達したときのパネル i の上縁の応力

σ_{cri} : パネル i の弾性座屈応力

b_i : パネル i の高さ

a : パネル i の幅

t_w : ウェブの厚さ

E : ヤング率($= 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$)

μ : ポアソン比($= 0.3$)

k_{oi} : パネル i の座屈係数¹⁾

$$= \begin{cases} 23.9 \left(\frac{1-\phi_i}{2} \right)^2 & (-7 \leq \phi_i \leq -1) \\ 10\phi_i^2 - 6.264\phi_i + 7.636 & (-1 < \phi_i < 0) \\ \frac{8.4}{1.1+\phi_i} & (0 \leq \phi_i \leq 1) \end{cases}$$

ϕ_i : パネルiの上縁に対する下縁の応力の比(ϕ_i = 下縁の応力/上縁の応力)

$$\lambda_o = \max(\lambda_{oi})$$

各供試体の幅厚比パラメータ λ_o の値を表-3.1に示す。ここで示した幅厚比パラメータは、ウェブパネルを区切る補剛材が十分に剛であることを前提としており、補剛材の剛度が小さくウェブの座屈に対して有効に働かないような場合には必ずしも適切な値とはいえない。

図中には既存の実験結果に基づく実験式¹³⁾を示している。この実験式は、水平及び垂直補剛材がない供試体を対象に行った既存の曲げ耐荷力実験データの中から、上下フランジが対称で、横座屈やねじれ座屈の影響を受けていないと考えられるデータ36個を選んで最小2乗法により得られた式である。また図中にはウェブの幅厚比以外はB-25と同一の諸元に対する、三上の算定式⁸⁾による計算結果(ただし $\sigma_{yw}=3000\text{kgf/cm}^2$, γ_{hreq} , γ_{vreq} ともに1.0として計算)とBaslerの曲げ耐荷力の算定式¹⁴⁾(式(3.2), (3.3))による計算結果を示した。

$$\frac{M_{uth}}{My} = 1 - 0.0005 \times \frac{A_w}{A_{cf}} \times \left(\frac{b_w}{t_w} - 5.7 \times \sqrt{\frac{E}{\sigma_{yw}}} \right) \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\text{ただし, } \frac{b_w}{t_w} \leq \frac{E}{\sigma_{yw}} \sqrt{\frac{\pi^2}{24(1-\mu^2)}} \cdot \frac{A_w}{A_{cf}}$$

$$\frac{M_{uth}}{My} = 1.034 - 0.372\lambda_o \dots\dots\dots(3.3)$$

(ただし, $A_w/A_{cf} = 2.55$, $\sigma_{yw} = 3000\text{kgf/cm}^2$, $k_{o3} = 53.8$)

土木研究所におけるBシリーズの供試体の耐荷力は、実験式に対し若干低めの値となっている。

単一パネルの極限強度に基づき10:15:75に配置したB-25の曲げ耐荷力($M_u/My = 0.932$)と道示に規定される14:22:64に配置したB-26の曲げ耐荷力($M_u/My = 0.945$)との差は1.3%程度である。曲げに対する幅厚比パラメータは、B-25では0.836、B-26では0.908であり、宇佐美式によれば単一パネルの極限強度はB-26の方が若干小さくなる。なお、表-3.1に示すとおり幅厚比パラメータが最小となる単一パネルは、B-25では3段目のパネルであるのに対し、B-26では2段目のパネルとなっている。

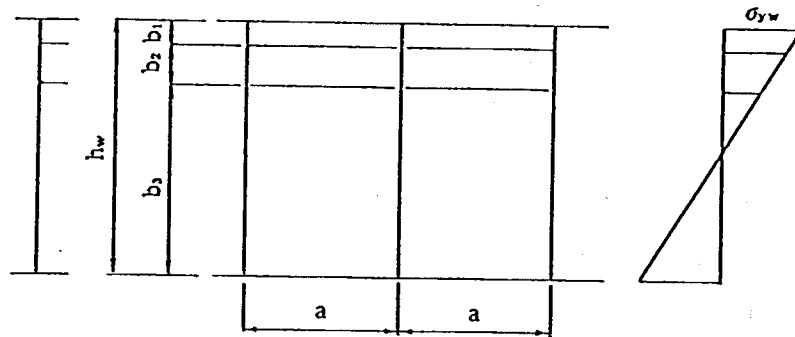
(2) せん断耐荷力

図-3.2に今回の実験結果と既存の実験結果について、せん断耐荷力と幅厚比パラメータの関係を示す。既存の実験結果については、桁高500mm以上(極端に桁高の低い実験値を取り除くために下限値を設定した)の上下フランジ対称桁のデータをプロットしている。

ここで縦軸はせん断耐荷力 V_u を降伏せん断力 V_y で無次元化した値をとり、横軸はせん断に対

する幅厚比パラメータ λ_r をとっている。幅厚比パラメータ λ_r は、垂直および水平補剛材で区切られた各パネルについて式(3.4)により λ_{ri} を計算し、その最大値としている。

$$\lambda_{ri} = \sqrt{\frac{\tau_{yw}}{\tau_{cri}}} = \frac{b_i}{t_w} \sqrt{\frac{\tau_{yw} \times 12 \times (1 - \mu^2)}{E \pi^2 k_{ri}}} \dots\dots\dots(3.4)$$



i : パネルの番号

τ_{yw} : せん断降伏応力 $(= \sigma_{yw} / \sqrt{3})$

τ_{cri} : パネル i の弾性座屈応力

b_i : パネル i の高さ

a : パネル i の幅

t_w : ウェブの厚さ

E : ヤング率 $(= 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2)$

μ : ポアソン比 $(= 0.3)$

k_{ri} : パネル i の座屈係数¹⁾

$$= \begin{cases} 5.34 + \frac{4.00}{\alpha^2} & (\alpha \geq 1) \\ 4.00 + \frac{5.34}{\alpha^2} & (\alpha < 1) \end{cases}$$

$(\alpha = a/b_i)$

$$\lambda_r = \max(\lambda_{ri})$$

図中にはCシリーズ(C-21~30)の結果も参考として示しているが、曲げの影響を受けており他のデータと比較して低くなっている。図中には、実験値とともに既存の実験結果に基づく実験式¹³⁾を示した。この実験式¹³⁾は、水平及び垂直補剛材がない供試体を対象に行ったせん断耐荷力実験データの中から、テストパネル部中央で曲げが0となるデータ22個を選んで最小2乗法による回帰分析を行った結果得られた式である。また図中にはウェブの幅厚比以外はS-21と同一の諸元

に対する、三上による算定式⁸⁾による計算結果(ただし $\sigma_{yw}=3000\text{kgf/cm}^2$, γ_{hreq} , γ_{vreq} ともに1.0として計算)を示した。土木研究所で実施したSシリーズの実験結果は計算値および既存の実験結果の平均値よりも若干低い値を示している。

単一パネルの極限強度に基づき10:15:75に配置したS-27のせん断耐荷力($V_u/V_y=0.776$)と道示に規定される間隔比14:22:64に配置したS-28の曲げ耐荷力($V_u/V_y=0.782$)との差は0.8%程度である。両者の幅厚比パラメータは、ともに3段目のパネルにて最小となり、S-27では1.925, S-26では1.817である。

(3) 曲げ耐荷力とせん断耐荷力の相関関係

図-3.3に曲げ耐荷力とせん断耐荷力の相関関係を示す。横軸、縦軸ともに実験値 M_u , V_u を東海鋼構造研究グループによる実験式¹⁷⁾によって計算される曲げおよびせん断耐荷力 M_u^* , V_u^* で無次元化している。間隔比10:15:75で配置したC-29と間隔比14:22:64で配置したC-30の耐荷力の差は1%程度である。

3.2 水平補剛材の配置が耐荷力に及ぼす影響

(1) Bシリーズ

最高荷重時における面外変位(図-2.4.3~5参照)の最大値は、B-25ではウェブ高の中央付近(圧縮フランジから3番目の単一パネル), B-26では圧縮フランジから2番目の単一パネル付近に生じている。面外変位を初期変形の状態から追っていくと、B-25では部分あるいは全体パネル内で変形が生じているのに対し、B-26では補剛材位置で変形がある程度拘束され、部分あるいは単一パネル内で変形が生じているように見受けられる。なお、初期面外変位の最大値はB, C, S各シリーズともに、10:15:75の配置の値は14:22:64の配置の場合の1~2倍程度となっている。

水平補剛材のひずみ分布を比較すると、B-25では88.6~93.4tonにかけて下段の水平補剛材のひずみが急激に大きくなり、最高荷重時98.0tonには降伏ひずみに達している。一方、B-26では91.1~96.7ton(=最高荷重)にかけて上段の水平補剛材のひずみが急激に大きくなり、降伏ひずみに達している。また、垂直補剛材のひずみ分布を比較すると、B-25はB-26と比較して、荷重の低い段階から、最高荷重時98.0tonに達するまで2倍程度のひずみを生じている。

B-01については初期の変形状態のままで変形が進行しており、圧縮フランジから0.3bw付近で面外変位の凹凸面が逆転している。

(2) Cシリーズ

最高荷重時における面外変位の最大値は、C-29, C-30ともに引張フランジ側の単一パネルに生じている。面外変位の最大値は、C-29では12.9mm, C-30では12.1mmであり、両者の差は特に見られない。

(3) Sシリーズ

Sシリーズのうち水平補剛材の配置のみが異なる供試体(S-27, S-28)については、3.1節に示したように耐荷力の差はほとんど見られない。

最高荷重時における面外変位の最大値は、S-27、S-28ともに引張フランジ側の単一パネルに生じており、S-27 ($\delta_{\max}=35.8\text{mm}$)の方がS-28 ($\delta_{\max}=14.9\text{mm}$)よりも大きい。垂直補剛材のひずみ分布を比較すると、S-27の方が低い荷重時からひずみが大きい傾向にある。

以上の3シリーズの実験結果より、今回の供試体に関しては、水平補剛材の配置間隔比を多少変えても耐荷力の差はほとんど見られなかった。一方、ウェブの変形状況、補剛材のひずみ分布に関しては、特にBシリーズについて水平補剛材の配置間隔が14:22:64の場合の方が変形およびひずみが抑えられる傾向にあることが確認され、多少なりとも水平補剛材の配置による差が影響していることも考えられる。ただし、その差については初期の面外変位（初期面外変位の最大値はB、C、S各シリーズともに10:15:75の配置の方が14:22:64の配置よりも1~2倍程度大きい傾向にあった）や材料特性、残留応力等の影響も考えられ、今後詳細な検討が必要である。

3.3 水平補剛材剛度が耐荷力に及ぼす影響

図-3.4にBシリーズについて水平補剛材の剛度のみを変えた供試体B-01、B-21、B-22、B-23の曲げ耐荷力と水平補剛材の剛度の関係を示す。なお、図中の記号は最高荷重時におけるテストパネルの面外変位の状況をおおよそ2つのパターンに分類した。図中には三上による算定式⁸⁾を用いて水平補剛材剛度および幅厚比 b_w/t_w をパラメーターとして求めた曲げ耐荷力の計算値を示してある。図中の横軸に矢印で示す値は、計算上、単一パネルの極限強度の最小値と部分パネルの極限強度が等しくなるときの水平補剛材の剛度を示している。各幅厚比について、ウェブの極限強度は矢印の値以下では部分パネルの強度で決まり、それ以上では単一パネルの強度で決まる。すなわち単一パネルで強度が決まる場合には、それ以上剛度を上げて計算上耐荷力は大きくならない。

B-01の曲げ耐荷力は、 $0.5\gamma_{b,req}$ の供試体B-21 ($M_u/M_y=0.868$)と比較して15%程度低くなっている。また、計算結果と実験結果における補剛材剛度と耐荷力の関係は、比較的良く一致している。両者の結果より今回の供試体に関しては、道示の必要剛度以上の剛度を与えても耐荷力はそれほど大きくならない傾向にある。

図-3.5にSおよびCシリーズについて水平補剛材の剛度のみを変えた供試体(S-01、S-21、S-24、S-25、S-22)と(C-21、C-24、C-23、C-22)のせん断耐荷力と水平補剛材の剛度の関係を示す。補剛材の剛度の組合せを図中の表に示す。図中の記号は最高荷重時におけるテストパネルの変形状況をおおよそ4つのパターンに分類している。図中には試験体の寸法諸元を用いて、補剛材剛度をパラメーターとして求めた三上による算定式⁸⁾による計算結果を示してある。

S-01のせん断耐荷力は、 $0.5\gamma_{b,req}$ のS-21 ($V_u/V_y=0.566$)と比較して、24%程度低くなっている。水平および垂直補剛材の剛度 ($\gamma_b/\gamma_{b,req}$ 、 $\gamma_v/\gamma_{v,req}$) がともに道示の必要剛度の1程度以上の場合には、5倍程度に補剛材の剛度を上げて耐荷力はほとんど増加しない。逆に水平補剛材の剛度が1程度以下の場合には、S-21とS-22の結果より、垂直補剛材の剛度を2倍程度にしても耐荷力はほとんど変わらず、面外変形が補剛材で拘束されずにウェブ全体に広がる傾向が見られる。以上の図-3.4、3.5に示した耐荷力と補剛材剛度の関係より、水平および垂直補剛材の剛度は相互に関連しあいながら、ウェブの変形の拘束および耐荷力のアップに寄与しているものと考えられる。

また、せん断耐荷力 V_u/V_y の計算結果と実験結果は、水平および垂直補剛材の剛度が、ともに1.0程度以上の場合に比較的良く一致する傾向にある。

参考文献

- 1) 福本嘯士編：座屈設計ガイドライン，土木学会，1987.
- 2) Dubas, P. and Gehri, E. ed. : Behaviour and Design of Steel Plated Structures, ECCS-Technical Committee 8, 1986.
- 3) Galambos, T. V. ed. : Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, Fourth ed. : John Wiley & Sons, 1987.
- 4) 塩見弘幸・伊藤義人・福本嘯士：プレートガーダーの耐荷力実験データの調査，構造工学論文集，Vol. 33A, 1987年3月.
- 5) 塩見弘幸・福本嘯士：実験データによるプレートガーダーの終局限界強度式の検討，構造工学論文集，Vol. 34A, 1988年3月.
- 6) Structural Strability Research Council : Stability of Metal Structures, A World View, 2nd. ed., Lehigh University, 1989.
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編，1990.
- 8) 薄板構造の強度と設計に関する調査研究グループ：薄板構造の強度と設計に関する調査研究，土木学会関西支部共同研究グループ報告書，1988 & 1989.
- 9) 藤原・村越・鹿嶋・館 他：プレートガーダー耐荷力実験報告，土木研究所資料 第2533号，1987年12月.
- 10) 藤原 稔・村越 潤・鹿嶋久義：水平補剛材2本を有するプレートガーダーの耐荷力実験，土木学会第43回年次学術講演会概要集，1988年10月.
- 11) 藤原 稔・村越 潤・鹿嶋久義：水平補剛材2本を有するプレートガーダーの耐荷力の検討，第18回日本道路会議，1989年10月.
- 12) Usami, T. : Post-Buckling of Plates in Compression and Bending, Jour. of Structural Division, ASCE, Vol. 108, No. ST3, Mar., 1982, pp. 591-609.
- 13) 藤原・村越・鹿嶋・斉藤：既存のプレートガーダー耐荷力実験データに関する検討，土木研究所資料 第2940号，1991年3月.
- 14) Basler, K., and Thurlimann, B. : Strength of Plate Girders in Bending, Jour. of Structural Division, ASCE, Vol. 87, No. ST6, Aug., 1961, pp. 153-181.
- 15) Basler, K. : Strength of Plate Girders in Shear, Proc. of ASCE, Vol. 87, No. ST7, p. 151, 1961.
- 16) Cooper, C. : The Ultimate Bending Moment for Plate Girders, Reports of the Working Commissions, IABSE, Vol. 11, 1972 (Proc. of Colloquium on Design of Plate and Box Girders for Ultimate Strength, London, 1971), pp. 291-297.
- 17) 東海鋼構造研究グループ：鋼構造部材の抵抗強度の評価と信頼性への適用（下），橋梁と基礎，19

80年12月.

- 18) 長谷川彰夫・西野文雄・奥村敏恵：水平補剛材を有するプレートガーダーのせん断耐荷力, 土木学会論文報告集 第235号, 1975年3月.
- 19) 長谷川彰夫・西野文雄・奥村敏恵：水平補剛材を有するプレートガーダーの曲げ耐荷力実験, 土木学会論文報告集 第234号, 1975年2月.

图 表

表-1.1(1) 検討項目一覧(昭和63~平成元年度実施)

供試体 番 号	断面力* の 状 態	鋼 種	水平補 剛材の 本 数	ウェブの 幅 厚 比 (b_w/t_w)	水平補剛 材の配置 (%)	水平補剛 材の剛度 ($\times \gamma_{hreq}^{**}$)	垂直補剛 材の配置 (b_w/a)	垂直補剛 材の剛度 ($\times \gamma_{vreq}^{***}$)	実 験 年 度
B-01	B	SS41	0	363	—	—	1.65	1.09	S63
B-25	B	SS41	2	291	10:15:75	0.83	1.65	0.86	H 1
B-26	B	SS41	2	291	14:22:64	0.83	1.65	0.86	H 1
C-29	C	SS41	2	303	10:15:75	0.88	1.65	0.99	H 1
C-30	C	SS41	2	303	14:22:64	0.88	1.65	0.99	H 1
S-01	S	SS41	0	363	—	—	1.65	1.09	S63
S-27	S	SS41	2	303	10:15:75	0.88	1.65	0.99	H 1
S-28	S	SS41	2	303	14:22:64	0.88	1.65	0.99	H 1

*B: 純曲げ

C: 曲げ+せん断

S: せん断が卓越

** γ_{hreq} は、道路橋示方書に規定される水平補剛材の必要最小剛比

$$\gamma_{hreq} = 30 \left(\frac{a}{b_w} \right)$$

*** γ_{vreq} は、道路橋示方書に規定される垂直補剛材の必要最小剛比

$$\gamma_{vreq} = 8.0 \left(\frac{b_w}{a} \right)^2$$

b_w : ウェブの高さ

t_w : ウェブの厚さ

a : 垂直補剛材の間隔

表-1.1(2) 検討項目一覧 (昭和60~62年度実施：土研資料第2533号参照)

供試体 番 号	断面力 [*] の 状 態	鋼 種	水 平 補剛材 の本数	ウエブの 幅 厚 比 (b_w/t_w)	水平補剛 材の配置 (%)	水平補剛 材の剛度 ($\times \gamma_{hreq}^{**}$)	垂直補剛 材の配置 (b_w/a)	垂直補剛 材の剛度 ($\times \gamma_{vreq}^{***}$)	実 年 験 度
B-21	B	SS41	2	353	10 : 15 : 75	0.45	1.65	1.03	60
B-22	B	SS41	2	353	10 : 15 : 75	0.93	1.65	1.03	60
B-23	B	SS41	2	347	10 : 15 : 75	4.16	1.65	0.96	62
B-24	B	SS41	2	449	10 : 15 : 75	0.78	1.65	0.78	62
C-21	C	SS41	2	355	10 : 15 : 75	0.46	1.65	1.04	60
C-22	C	SS41	2	355	10 : 15 : 75	0.46	1.65	1.99	60
C-23	C	SS41	2	347	10 : 15 : 75	4.16	1.65	0.96	61
C-24	C	SS41	2	347	10 : 15 : 75	0.90	1.65	0.96	61
C-25	C	SS41	2	449	10 : 15 : 75	0.78	1.65	0.78	62
C-26	C	SS41	2	349	10 : 15 : 75	0.92	1.65	0.98	61
C-27	C	SS41	2	349	10 : 15 : 75	0.92	1.65	0.98	61
C-28	C	SS41	2	349	10 : 15 : 75	0.92	1.65	0.98	62
S-21	S	SS41	2	355	10 : 15 : 75	0.46	1.65	1.04	60
S-22	S	SS41	2	355	10 : 15 : 75	0.46	1.65	1.99	60
S-23	S	SS41	2	356	20 : 30 : 50	0.46	1.65	1.05	60
S-24	S	SS41	2	349	10 : 15 : 75	0.92	1.65	0.98	62
S-25	S	SS41	2	349	10 : 15 : 75	4.24	1.65	0.98	62
S-26	S	SS41	2	449	10 : 15 : 75	0.78	1.65	0.78	62

*B : 純曲げ

C : 曲げ+せん断

S : せん断が卓越

** γ_{hreq} は、道路橋示方書に規定される水平補剛材の必要最小剛比

$$\gamma_{hreq} = 30 \left(\frac{a}{b_w} \right)$$

*** γ_{vreq} は、道路橋示方書に規定される垂直補剛材の必要最小剛比

$$\gamma_{vreq} = 8.0 \left(\frac{b_w}{a} \right)^2$$

b_w : ウェブの高さ

t_w : ウェブの厚さ

a : 垂直補剛材の間隔

表-1.2 供試体テストパネル部の諸元

供試体番号	B-01	B-25	B-26	C-29	C-30	S-01	S-27	S-28
支間長 l (mm)	6000	5181	5181	6326	6326	6350	5400	5400
テストパネルの長さ (mm)	2000	1691	1691	1690	1690	2000	1690	1690
ウェブの高さ b_w (mm)	1650	1395	1395	1395	1395	1650	1395	1395
ウェブの厚さ t_w (mm)	4.55	4.80	4.80	4.60	4.60	4.55	4.60	4.60
フランジの幅 b_f (mm)	250	230	230	230	230	300	275	275
フランジの厚 t_f (mm)	11.92	10.87	10.87	11.06	11.06	21.07	19.18	19.18
垂直補剛材の幅 b_{st} (mm)	50	46	46	46	46	50	46	46
垂直補剛材の厚さ t_{st} (mm)	8.06	8.07	8.07	8.17	8.17	8.06	8.17	8.17
水平補剛材の幅 b_{ht} (mm)	—	47	47	46	46	—	46	46
水平補剛材の厚さ t_{ht} (mm)	—	6.11	6.11	6.12	6.12	—	6.12	6.12
垂直補剛材の間隔 a (mm)	1000	845.5	845.5	845	845	1000	845	845
水平補剛材の本数	—	2	2	2	2	—	2	2
水平補剛材の間隔 (%)	—	10:15:75	14:22:64	10:15:75	14:22:64	—	10:15:75	14:22:64
垂直補剛材の剛度 ($\times \gamma_{req}$)	1.09	0.86	0.86	0.99	0.99	1.09	0.99	0.99
水平補剛材の剛度 ($\times \gamma_{req}$)	—	0.83	0.83	0.88	0.88	—	0.88	0.88
ウェブ幅厚比 b_w/t_w	363	291	291	303	303	363	303	303
ウェブ縦横比 a/b_w	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
ウェブとフランジの面積比 $\frac{b_w \cdot t_w}{b_f \cdot t_f}$	2.52	2.68	2.68	2.52	2.52	1.19	1.22	1.22
実験年	S63	H1	H1	H1	H1	S63	H1	H11

** γ_{hreq} は、道路橋示方書に規定される水平補剛材の必要最小剛比

$$\gamma_{hreq} = 30 \left(\frac{a}{b_w} \right)$$

*** γ_{vreq} は、道路橋示方書に規定される垂直補剛材の必要最小剛比

$$\gamma_{vreq} = 8.0 \left(\frac{b_w}{a} \right)^2$$

b_w : ウェブの高さ

t_w : ウェブの厚さ

a : 垂直補剛材の間隔

表-1.3 テストパネル部材料試験結果

供試体 番 号	部 材 名	材 料 試 験 結 果				ミ ル シ ー ト	
		板 厚 (mm)	上 降 伏 点 (kg/mm ²)	下 降 伏 点 (kg/mm ²)	引 張 強 さ (kg/mm ²)	上 降 伏 点 (kg/mm ²)	引 張 強 さ (kg/mm ²)
B-01	フ ラ ン ジ	11.92	31.6	31.0	49.2	32	48
	ウ エ ブ	4.55	32.2	32.1	45.6	30	42
	垂直補剛材	8.06	31.1	30.8	45.5	31	44
B-25	フ ラ ン ジ	10.87	28.2	28.1	44.8	31	45
	ウ エ ブ	4.80	30.2	30.0	42.0	28	42
	垂直補剛材	8.07	30.3	30.0	43.2	30	42
	水平補剛材	6.11	29.3	29.3	45.1	30	43
B-26	フ ラ ン ジ	10.87	28.2	28.1	44.8	31	45
	ウ エ ブ	4.80	30.2	30.0	42.0	28	42
	垂直補剛材	8.07	30.3	30.0	43.2	30	42
	水平補剛材	6.11	29.3	29.3	45.1	30	43
C-29	フ ラ ン ジ	11.06	30.4	29.8	44.2	30	43
	ウ エ ブ	4.60	28.7	28.7	45.6	29	43
	垂直補剛材	8.17	32.5	32.3	45.0	31	44
	水平補剛材	6.12	30.1	30.0	43.8	28	42
C-30	フ ラ ン ジ	11.06	30.4	29.8	44.2	30	43
	ウ エ ブ	4.60	28.7	28.7	45.6	29	43
	垂直補剛材	8.17	32.5	32.3	45.0	31	44
	水平補剛材	6.12	30.1	30.0	43.8	28	42
S-01	フ ラ ン ジ	21.07	29.0	28.2	46.9	28	43
	ウ エ ブ	4.55	32.2	32.1	45.6	30	42
	垂直補剛材	8.06	31.1	30.8	45.5	31	44
S-27	フ ラ ン ジ	19.18	29.9	29.3	45.9	31	46
	ウ エ ブ	4.60	28.7	28.7	45.6	29	43
	垂直補剛材	8.17	32.5	32.3	45.0	31	44
	水平補剛材	6.12	30.1	30.0	43.8	28	42
S-28	フ ラ ン ジ	19.18	29.9	29.3	45.9	31	46
	ウ エ ブ	4.60	28.7	28.7	45.6	29	43
	垂直補剛材	8.17	32.5	32.3	45.0	31	44
	水平補剛材	6.12	30.1	30.0	43.8	28	42

表-2.1 耐荷力実験結果

実験項目	供試体 番 号	降伏荷重	降伏モー メント	降伏 せん断力	実 験 結 果				Mu My	Vu Vy
		Py(t)	My(t・m)	Vy(t)	Pudy(t)	Pust(t)	Mu(t・m)	Vu(t)		
Bシリーズ (試験機)	B-01	132.4	218.5	—	101.2	97.5	160.9	—	0.736	—
	B-25	101.5	144.6	—	99.4	98.0	136.7	—	0.945	—
	B-26	101.5	144.6	—	98.9	96.7	134.9	—	0.932	—
Cシリーズ (試験機+せん断)	C-29	154.6	148.4	106.4	116.8	114.2	110.8	53.3	0.747	0.501
	C-30	154.6	148.4	106.4	115.8	113.1	109.7	52.7	0.739	0.495
Sシリーズ (せん断+試験機)	S-01	226.3	360.7	139.0	100.1	97.1	59.6	59.6	0.165	0.429
	S-27	176.2	258.7	106.4	139.7	136.8	69.8	82.6	0.270	0.776
	S-28	176.2	258.7	106.4	142.9	137.9	70.3	83.3	0.272	0.782

注1) P_y, M_y, V_yは、材料試験による降伏点を用いて求めた計算値である。

2) P_{udy}は、一定荷重速度での最高荷重の値であり、P_{ust}は、P_{udy}に達した後一定時間(約2時間)が経過してひずみのなかれがなくなった後の荷重速度0での荷重の値である。

3) M_uおよびV_uは、それぞれP_{ust}を用いて求めた曲げ耐荷力およびせん断荷重力である。

表-3.1 供試体の幅厚比パラメータ

実験項目	供試体 番 号	曲げに対する幅厚比パラメータ				せん断に対する幅厚比パラメータ			
		$\lambda_{\sigma 1}$	$\lambda_{\sigma 2}$	$\lambda_{\sigma 3}$	λ_{σ}	$\lambda_{\tau 1}$	$\lambda_{\tau 2}$	$\lambda_{\tau 3}$	λ_{τ}
Bシリーズ (純曲げ)	B-01	3.051	—	—	3.051	—	—	—	—
	B-25	0.550	0.702	0.836	0.836	—	—	—	—
	B-26	0.753	0.908	0.350	0.908	—	—	—	—
Cシリーズ (曲げ +せん断)	C-29	0.561	0.717	0.853	0.853	0.384	0.569	1.925	1.925
	C-30	0.768	0.927	0.357	0.927	0.532	0.814	1.817	1.817
Sシリーズ (せん断が 卓越)	S-01	3.051	—	—	3.051	2.632	—	—	2.632
	S-27	0.561	0.717	0.853	0.853	0.384	0.569	1.925	1.925
	S-28	0.768	0.927	0.357	0.927	0.532	0.814	1.817	1.817

パネル1	i : パネル番号
パネル2	$\lambda_{\sigma i}$: 式(3.1)
	$\lambda_{\tau i}$: 式(3.4)
パネル3	$\lambda_{\sigma} = \max(\lambda_{\sigma i})$
	$\lambda_{\tau} = \max(\lambda_{\tau i})$

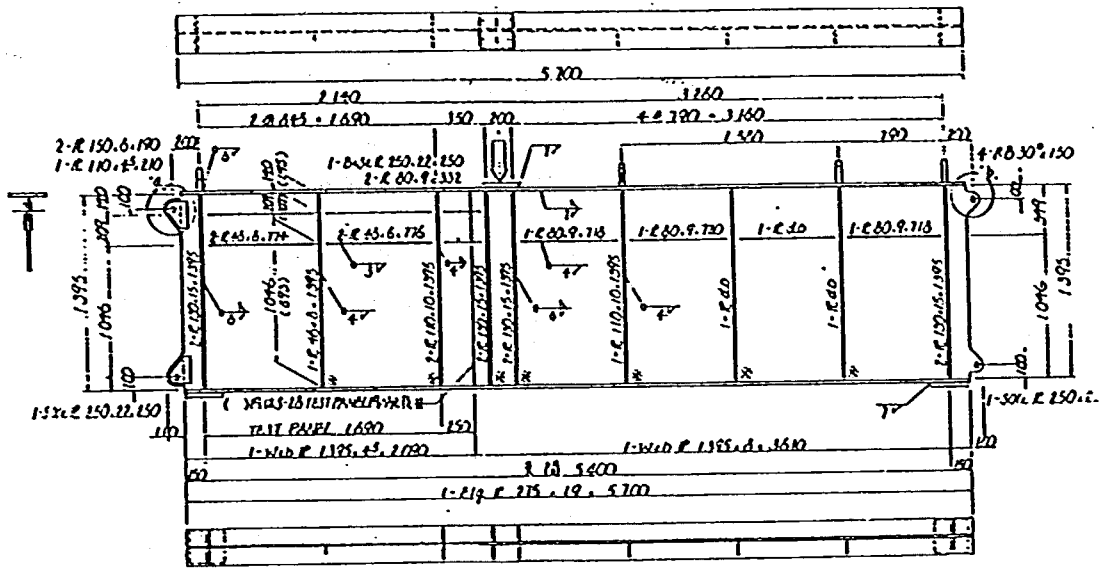
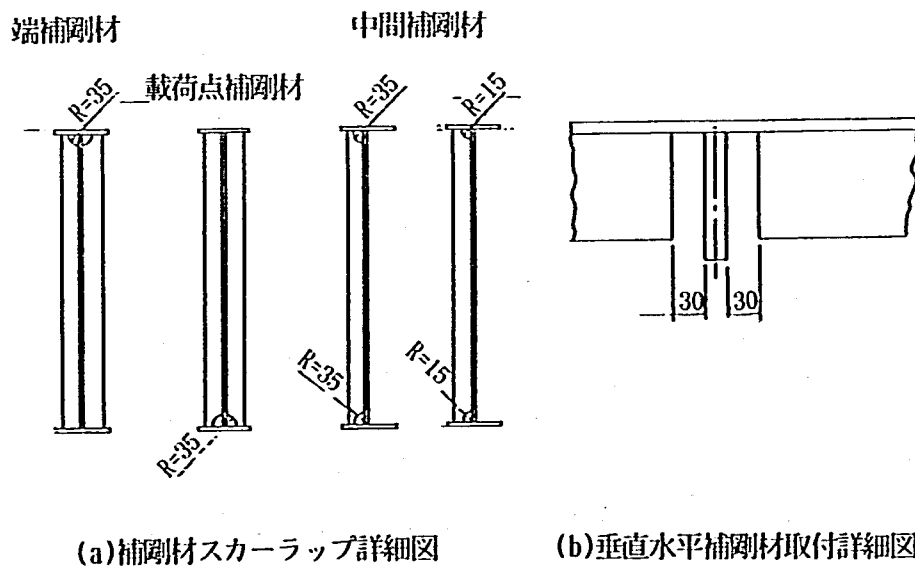


図-1.1(5) 供試体の形状・寸法 (S-27, S-28)



(a) 補剛材スカーラップ詳細図

(b) 垂直水平補剛材取付詳細図

図-1.1(6) 供試体各部詳細



写真-1.1 3,000ton万能試験機

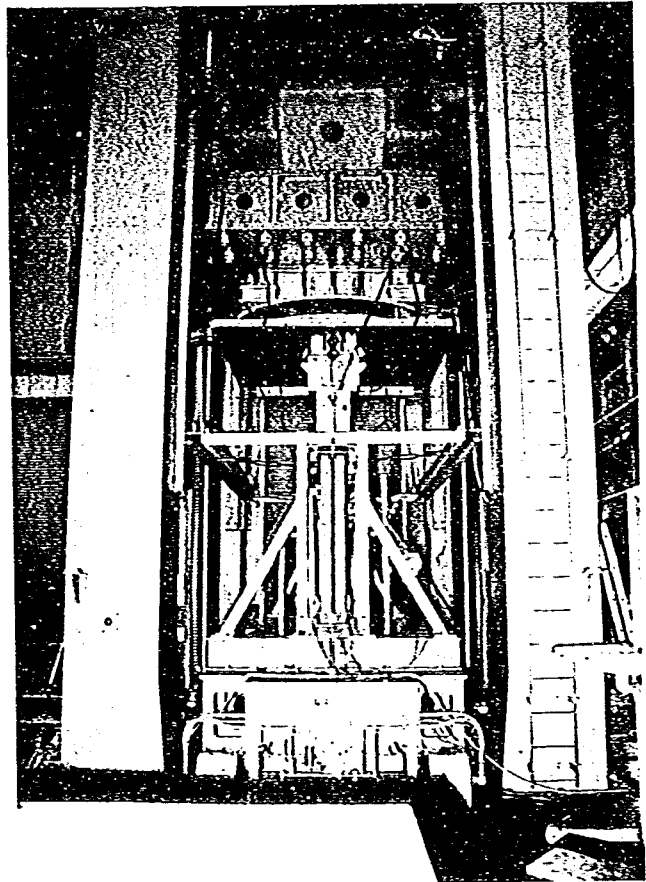


写真-1.2 供試体の設置状況

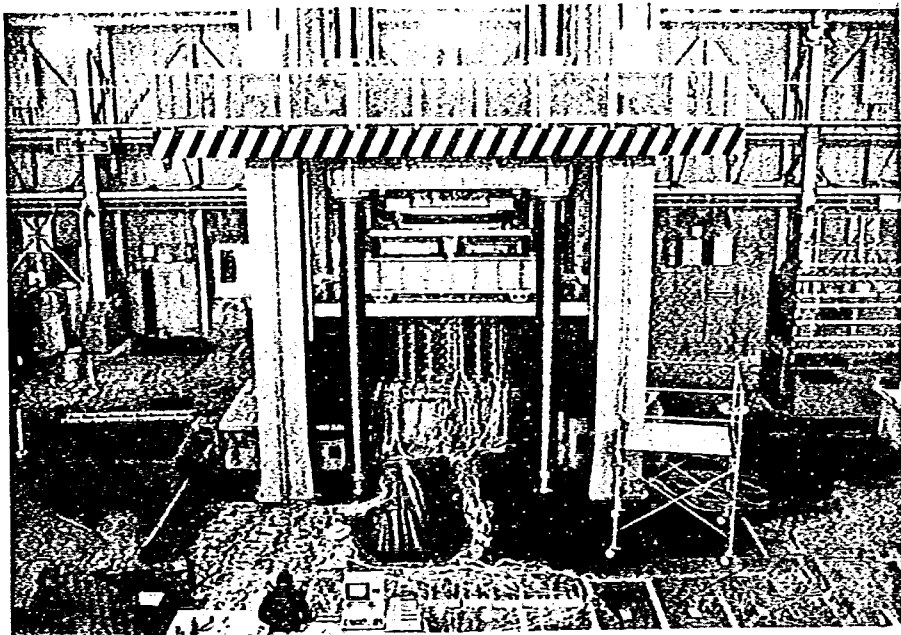


写真-1.3 供試体の設置状況

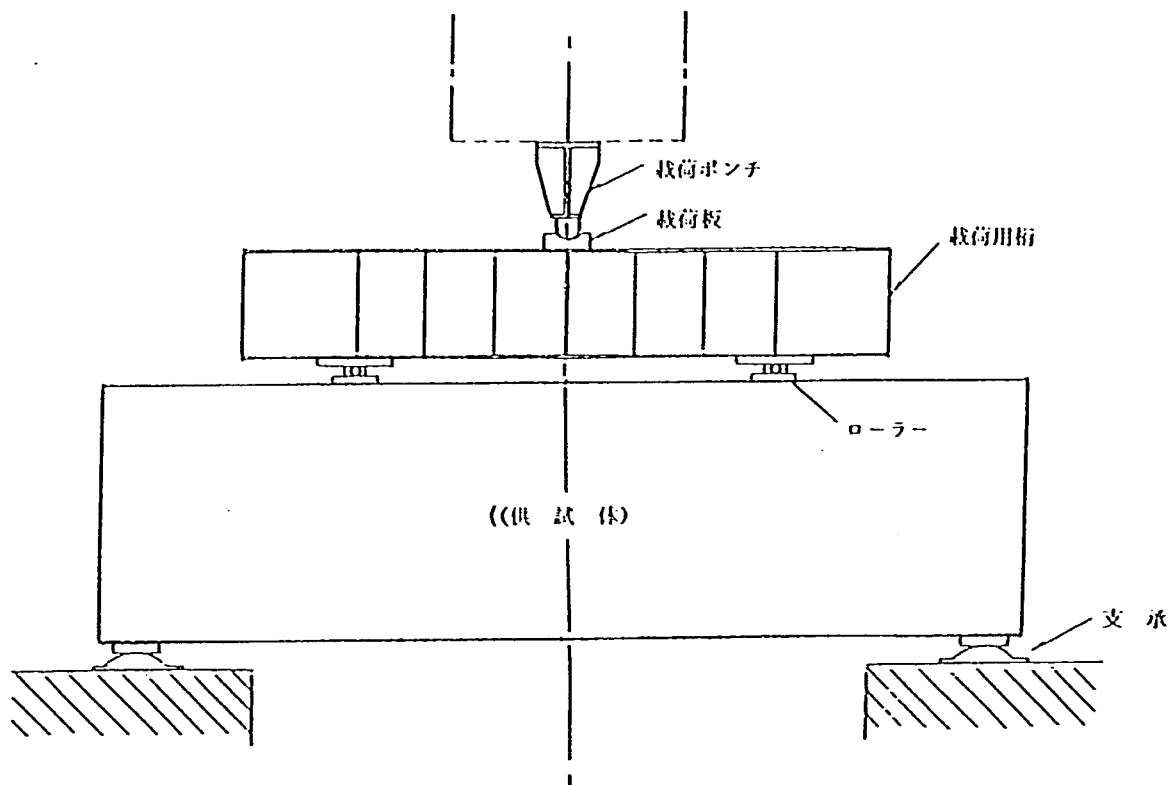


図-1.2(1) 2点載荷の状況

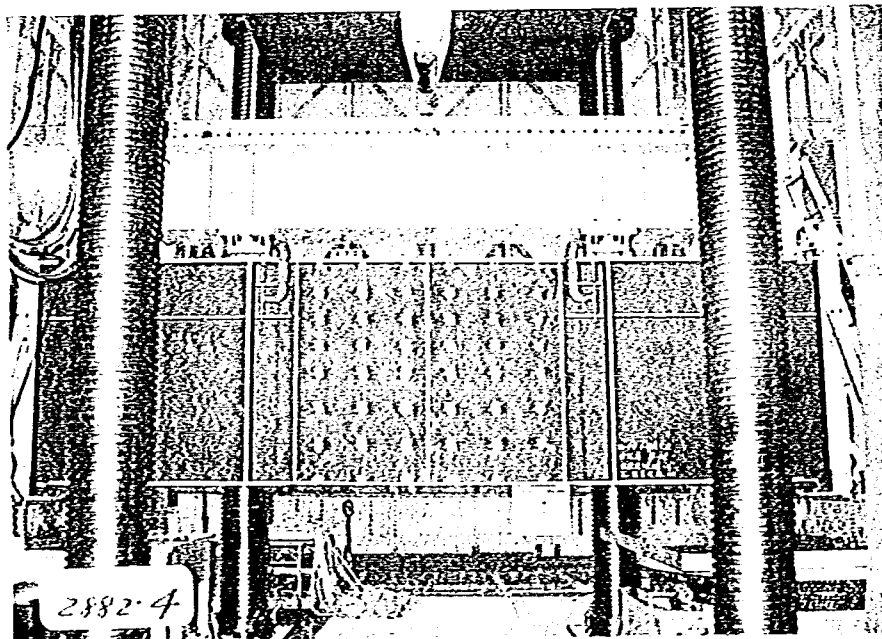


写真-1.4 2点載荷の状況

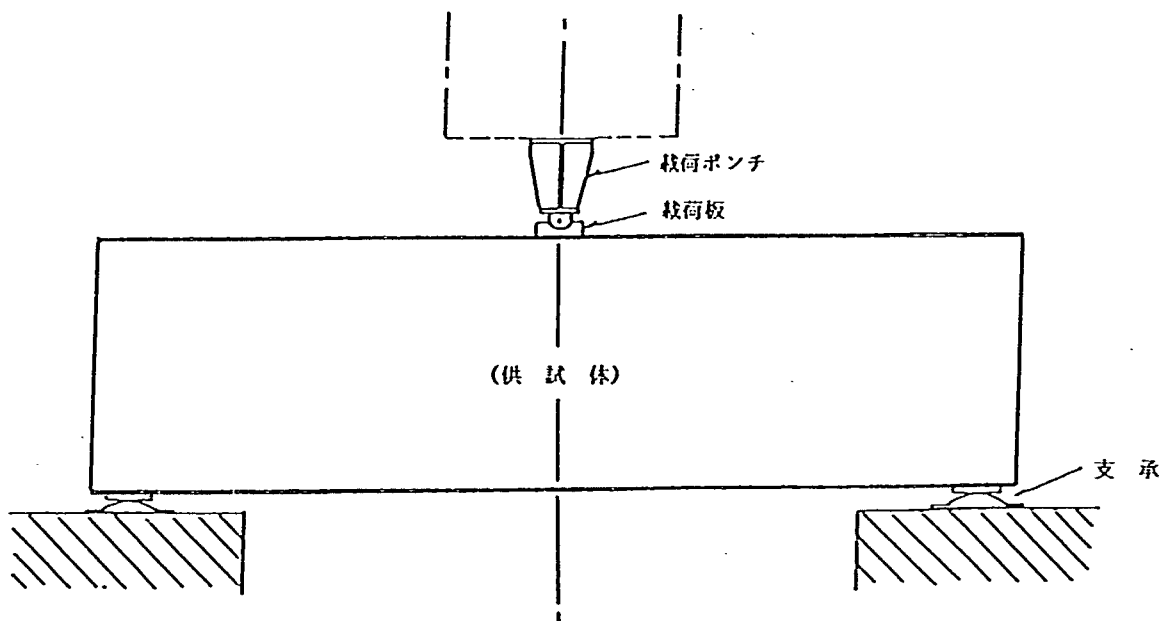


図-1.2(2) 1点载荷の状況

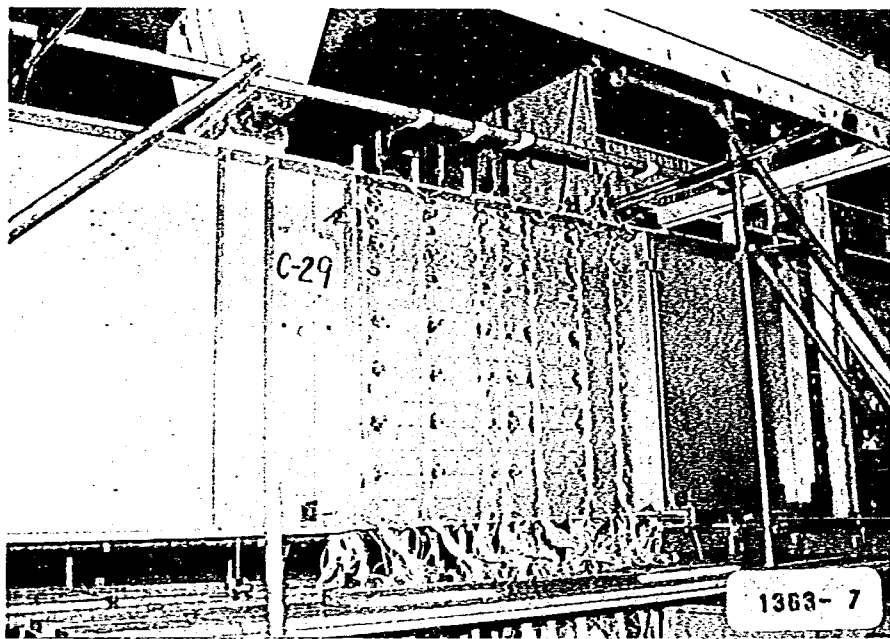


写真-1.5 1点载荷の状況

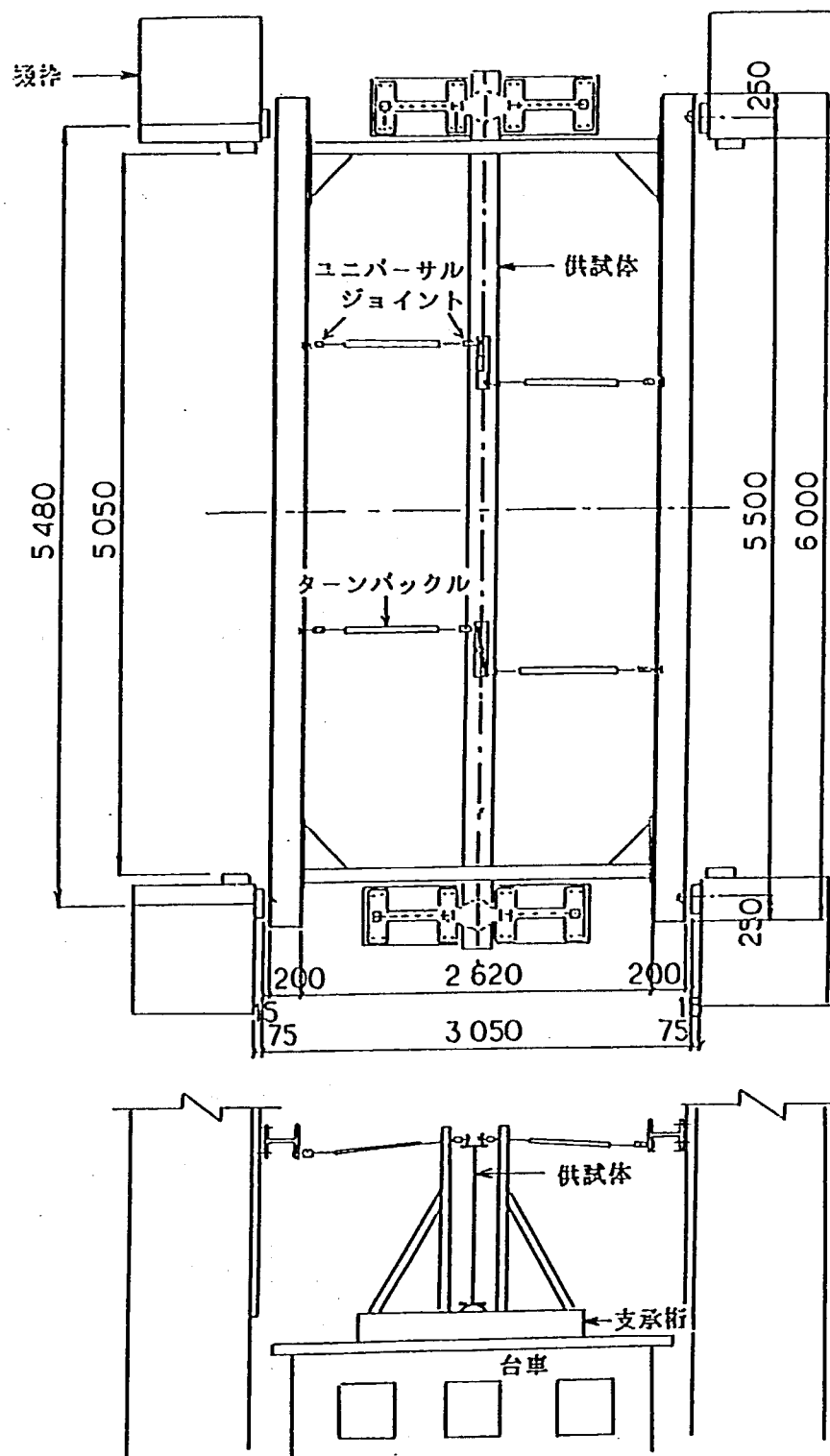


図-1.3 横倒れ防止治具概略図

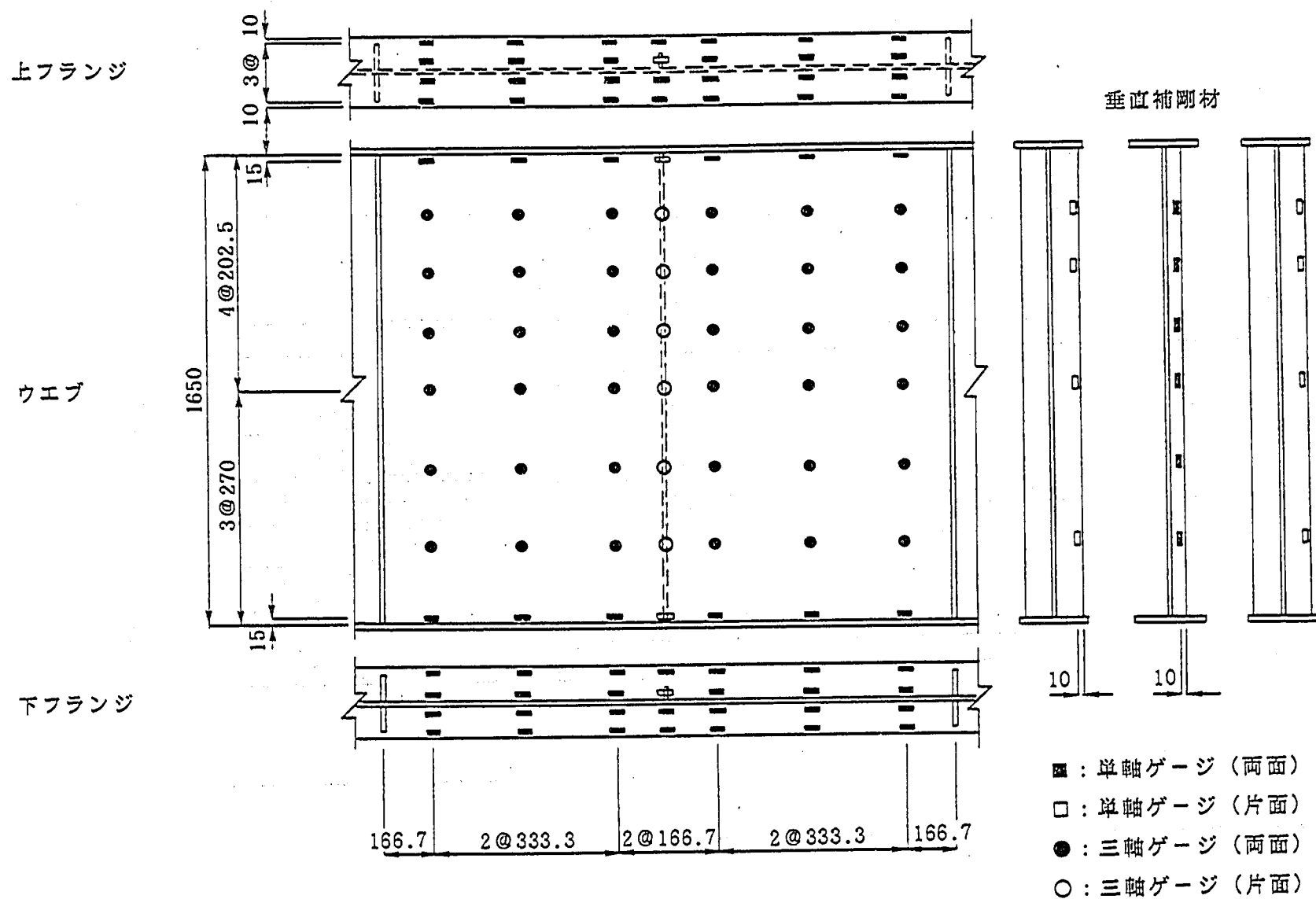
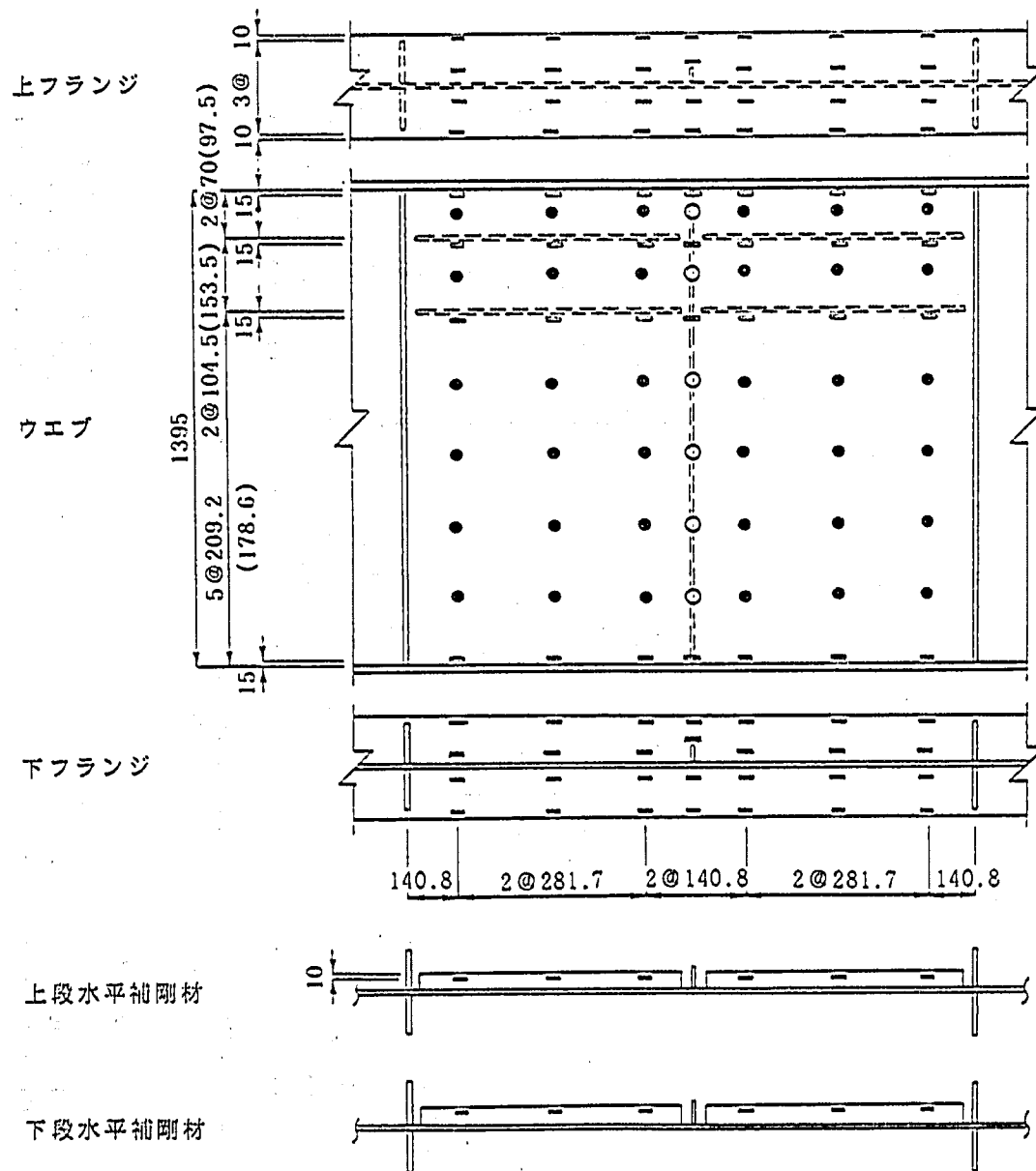
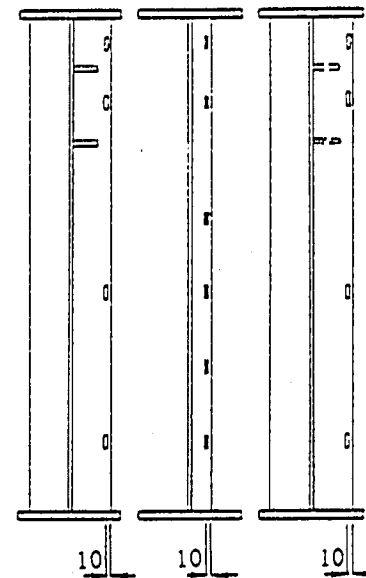


図-1.4(1) ひずみゲージ貼付位置 (B-01, S-01)



垂直補剛材

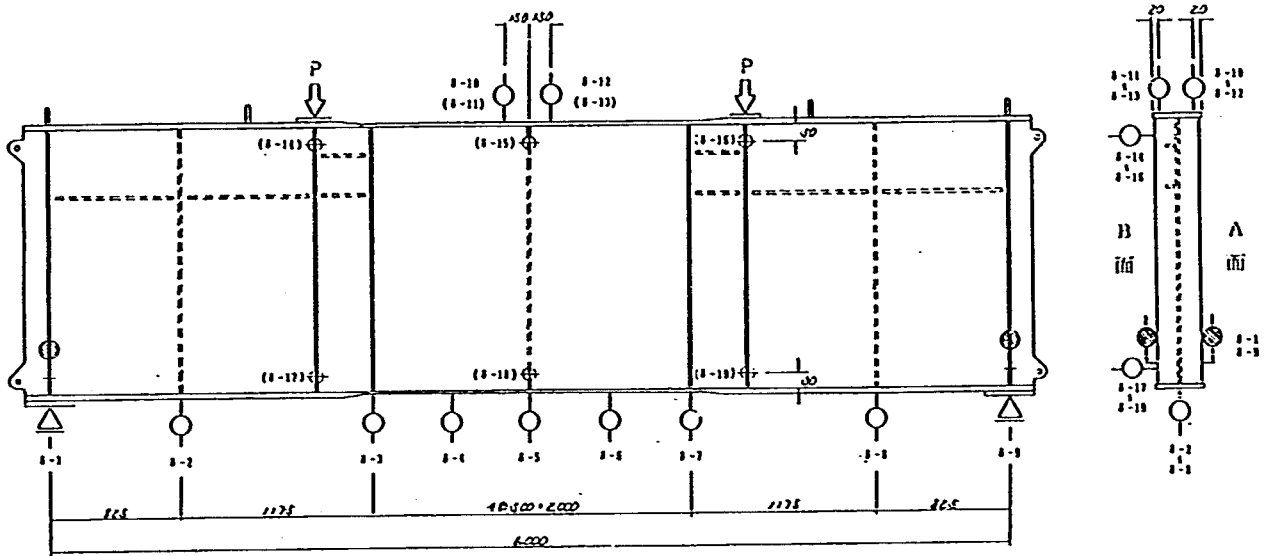


() 内数値はB-26,C-30,S-28供試体の寸法を示す。

- : 単軸ゲージ (両面)
- : 単軸ゲージ (片面)
- : 三軸ゲージ (両面)
- : 三軸ゲージ (片面)

図-1.4(2) ひずみゲージ貼付位置 (B-25, 26, C-29, 30, S-27, 28)

()内は反対側



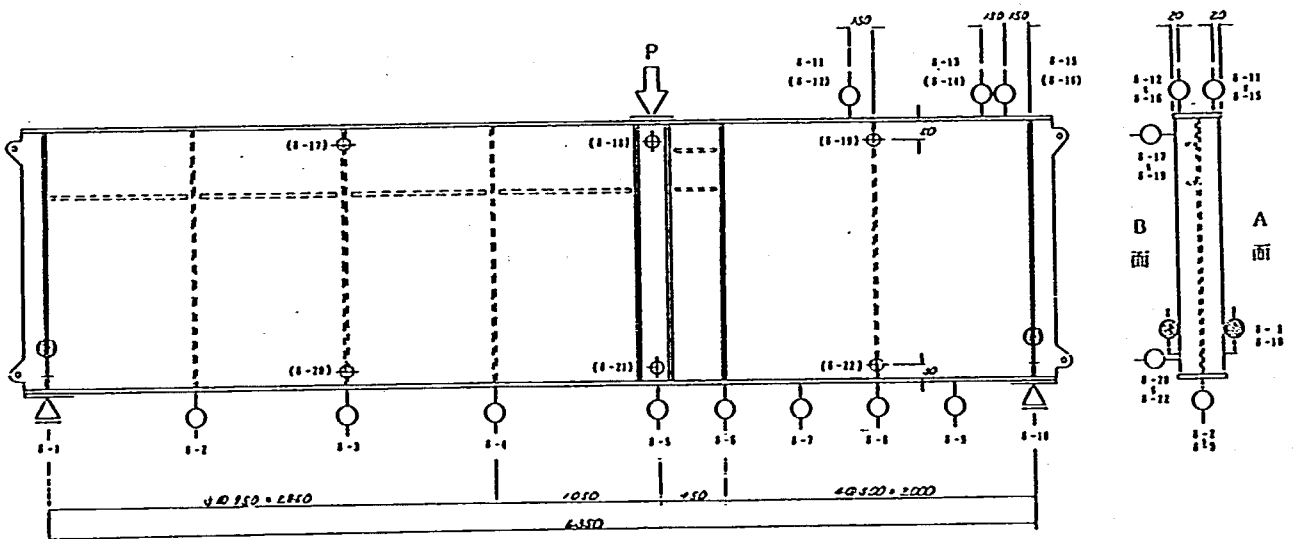
変位方向

delta-1~delta-13 + 下 - 上
delta-14~delta-19 + 西 - 東

delta-1, delta-9(支点変位)については、
両側の変位量の平均を出力として
取り出すようにブリッジを組んだ。

図-1.5(1) 変位計取付位置 (B-01)

()内は反対側



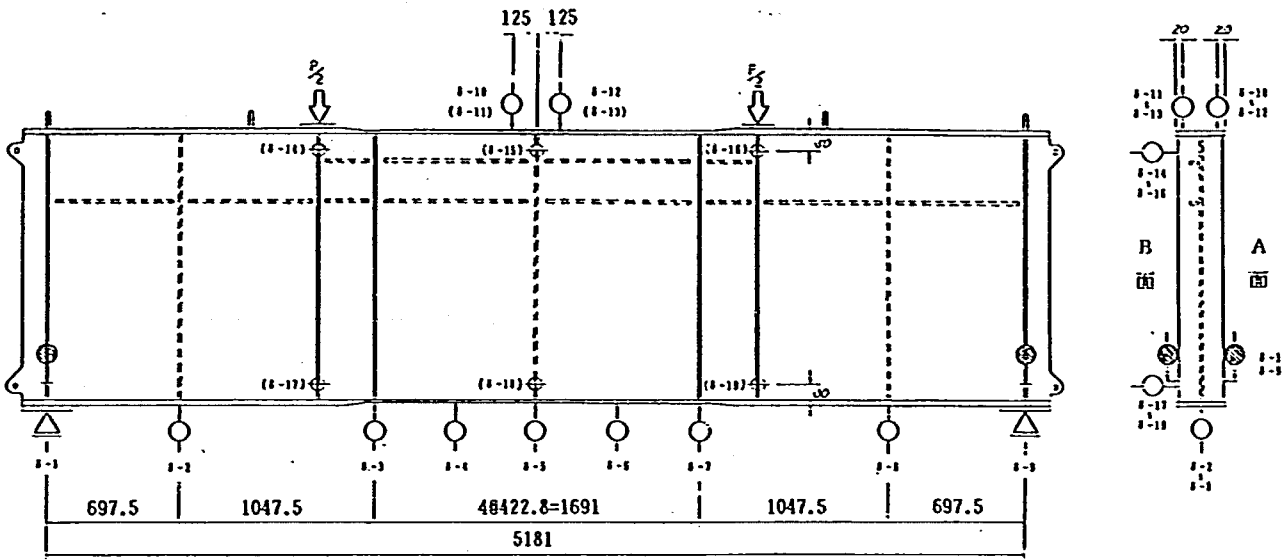
変位方向

delta-1~delta-16 + 下 - 上
delta-17~delta-22 + 西 - 東

delta-1, delta-10(支点変位)については、
両側の変位量の平均を出力として
取り出すようにブリッジを組んだ。

図-1.5(2) 変位計取付位置 (S-01)

()内は反対側



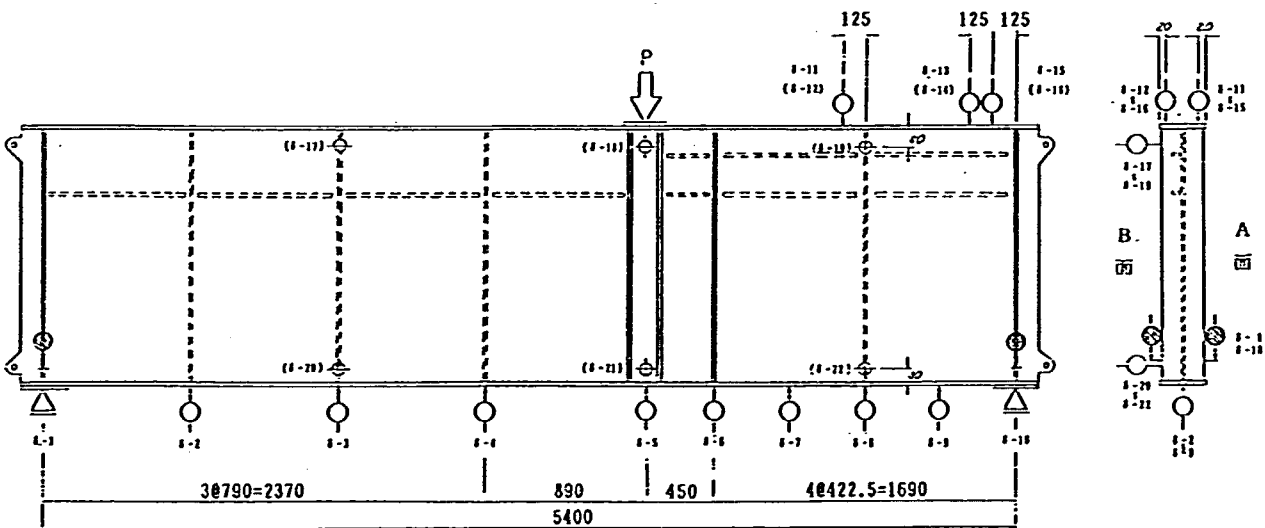
変位方向

δ-1~δ-13 + 下 - 上
δ-14~δ-19 + 西 - 東

δ-1, δ-9(支点変位)については、
両側の変位量の平均を出力として
取り出すようにブリッジを組んだ。

図-1.5(3) 変位計取付位置 (B-25, B-26)

()内は反対側



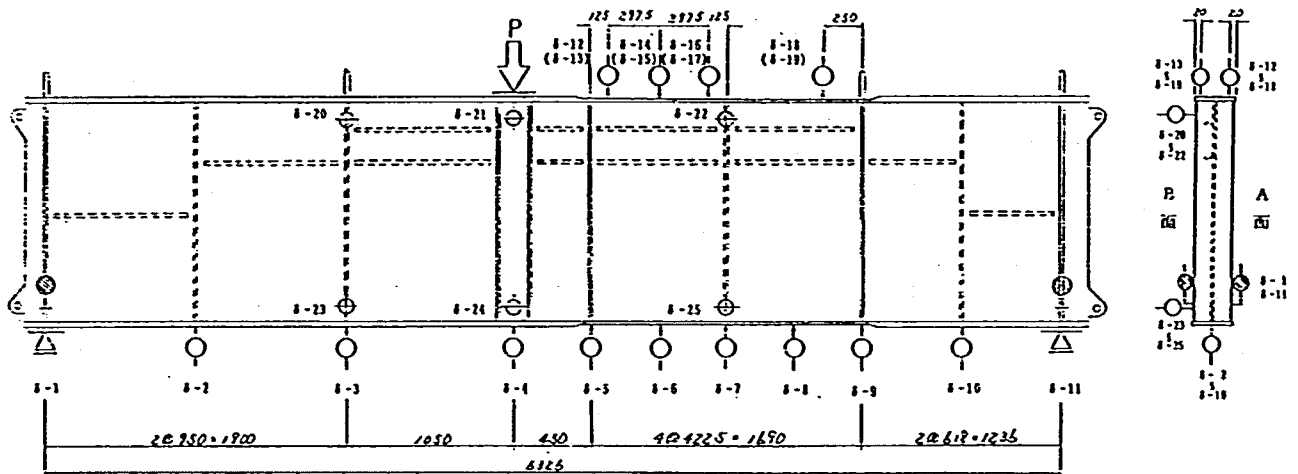
変位方向

δ-1~δ-16 + 下 - 上
δ-17~δ-22 + 西 - 東

δ-1, δ-10(支点変位)については、
両側の変位量の平均を出力として
取り出すようにブリッジを組んだ。

図-1.5(4) 変位計取付位置図 (S-27, S-28)

()内は反対側



変位方向

δ-1~δ-19 + 下 - 上
δ-20~δ-25 + 西 - 東

δ-1, δ-11(支点変位)については、
両側の変位量の平均を出力として
取り出すようにブリッジを組んだ。

図-1.5(5) 変位計取付位置 (C-29, C-30)

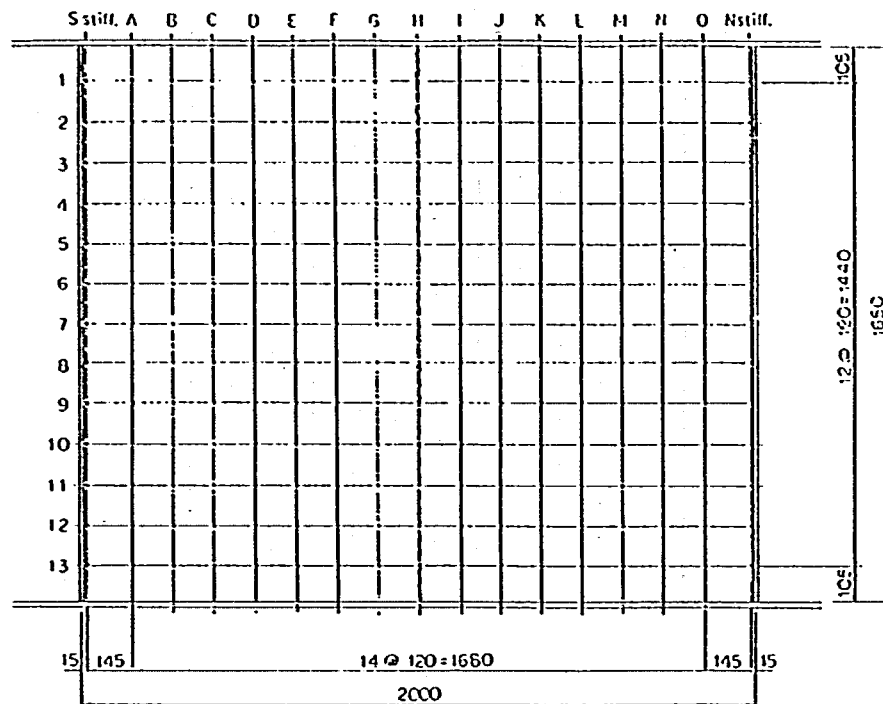


図-1.6(1) ウェブ面外変位測定位置 (B-01, S-01)

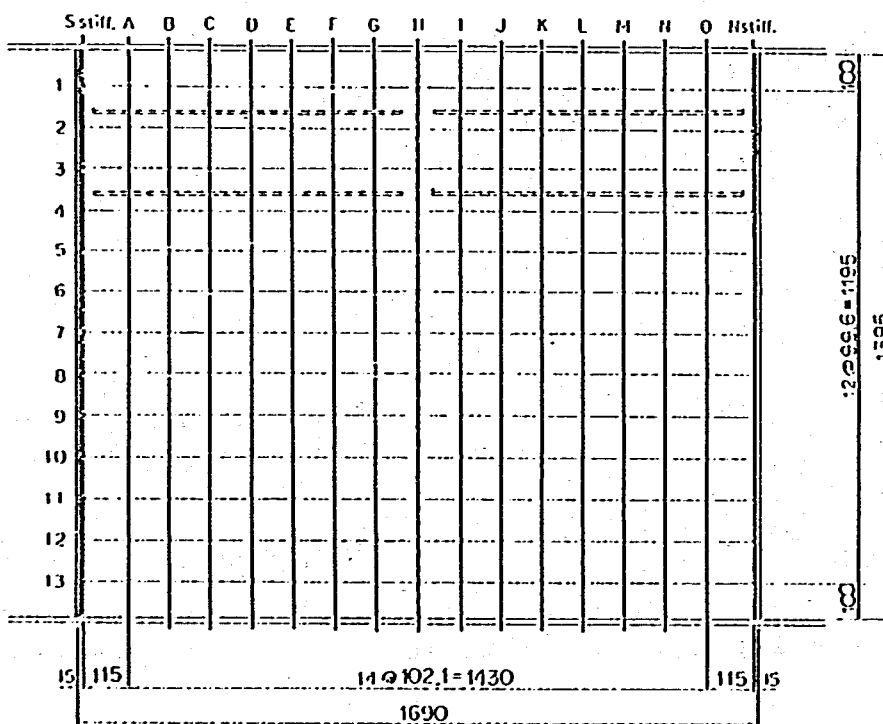


図-1.6(2) ウェブ面外変位測定位置 (B-25, S-27, C-29)

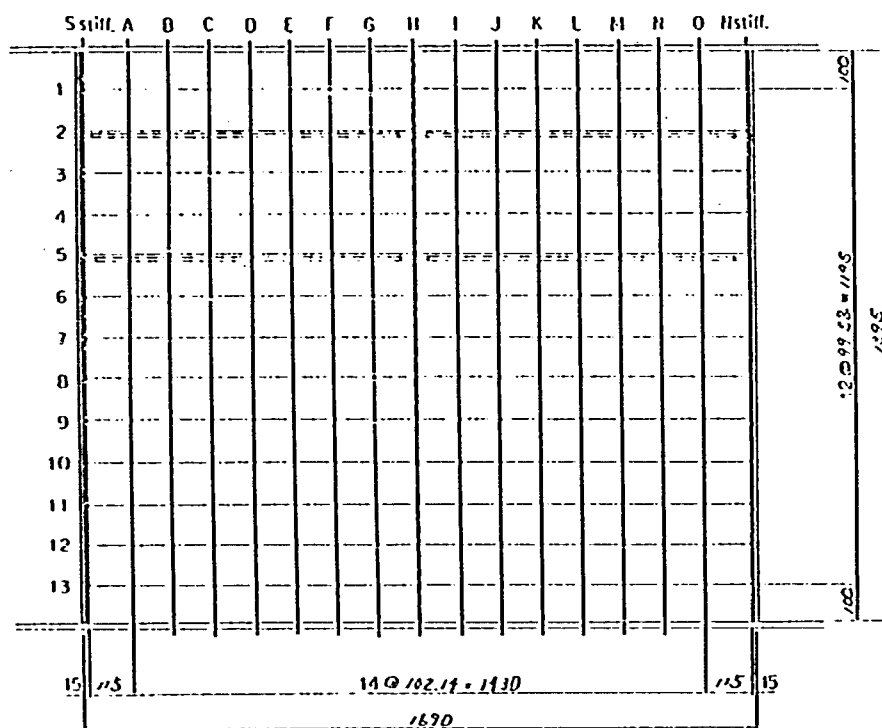


図-1.6(3) ウェブ面外変位測定位置 (B-26, S-28, C-30)

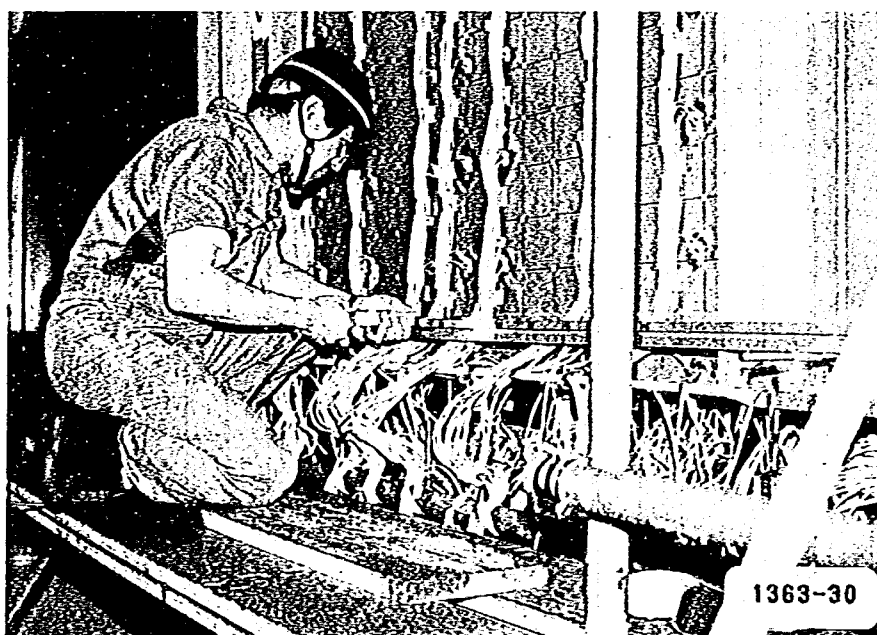


写真-1.6 ウェブ面外変位測定状況

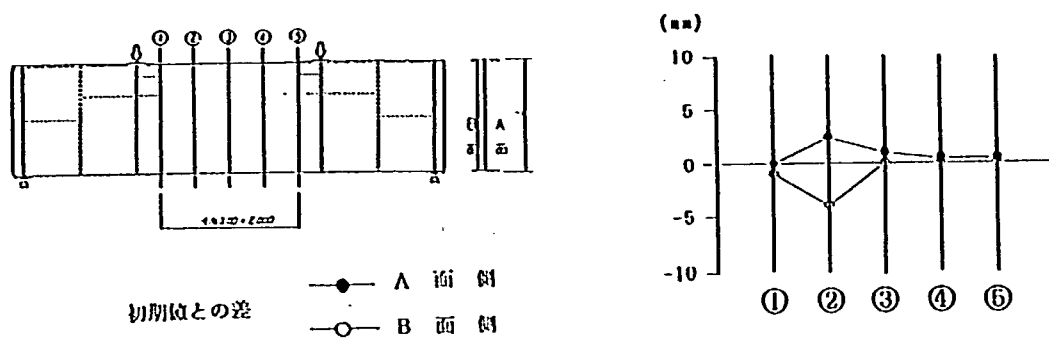


図-2.1(1) 最高荷重における上下フランジ縁端距離

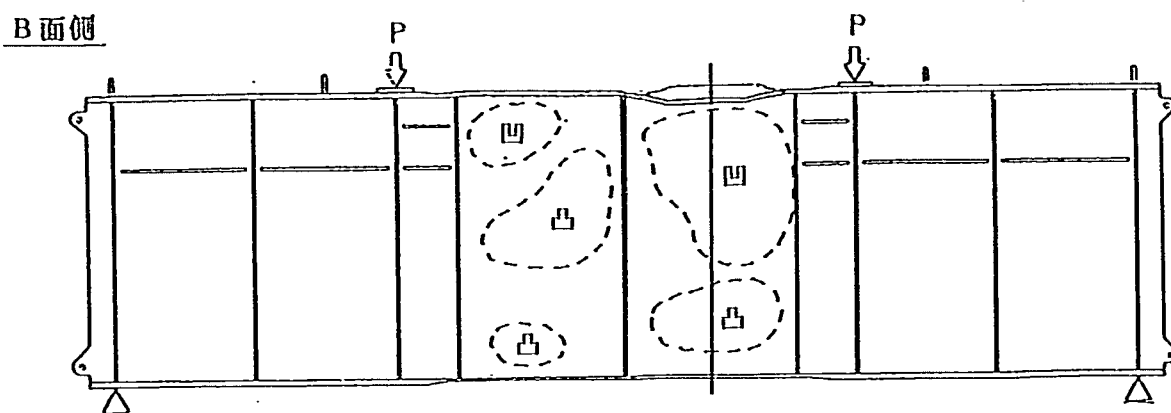
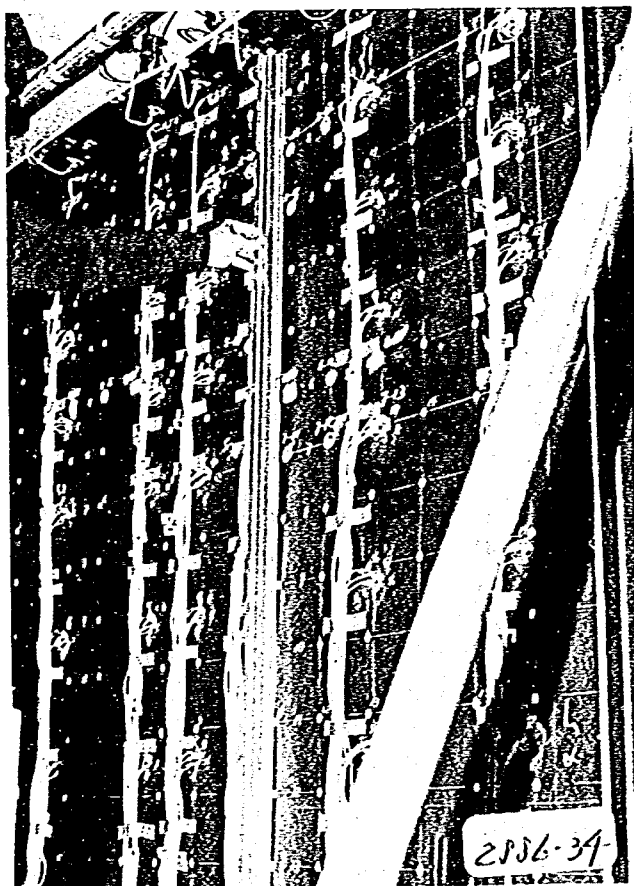


図-2.2(1) 最高荷重における供試体の状況 (B-01)



B 面

上フランジがA面側は上へ
B面側が下へ傾くような変
形をした。

写真-2.1(1) 最高荷重における供試体の状況 (B-01)

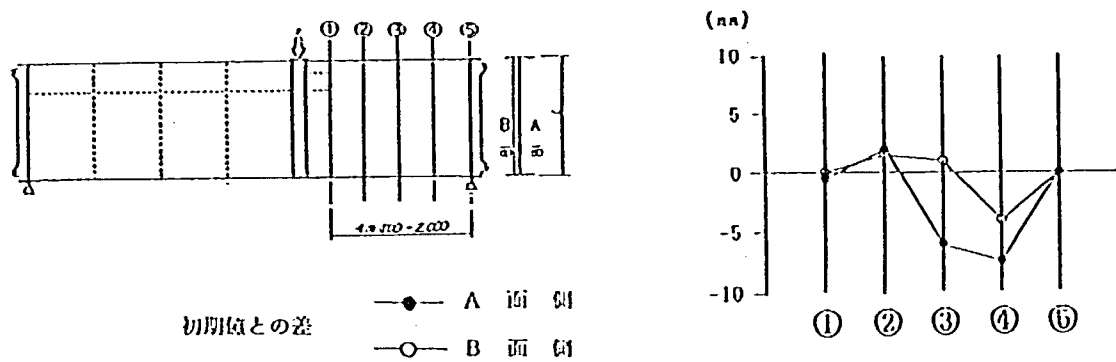


図-2.1(1) 最高荷重における上下フランジ縁端距離

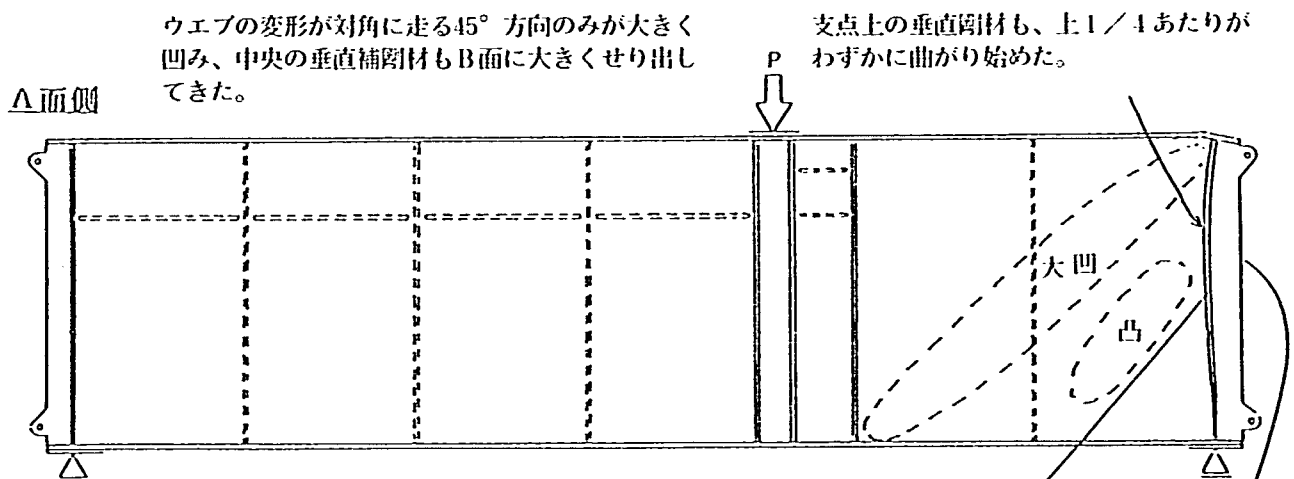
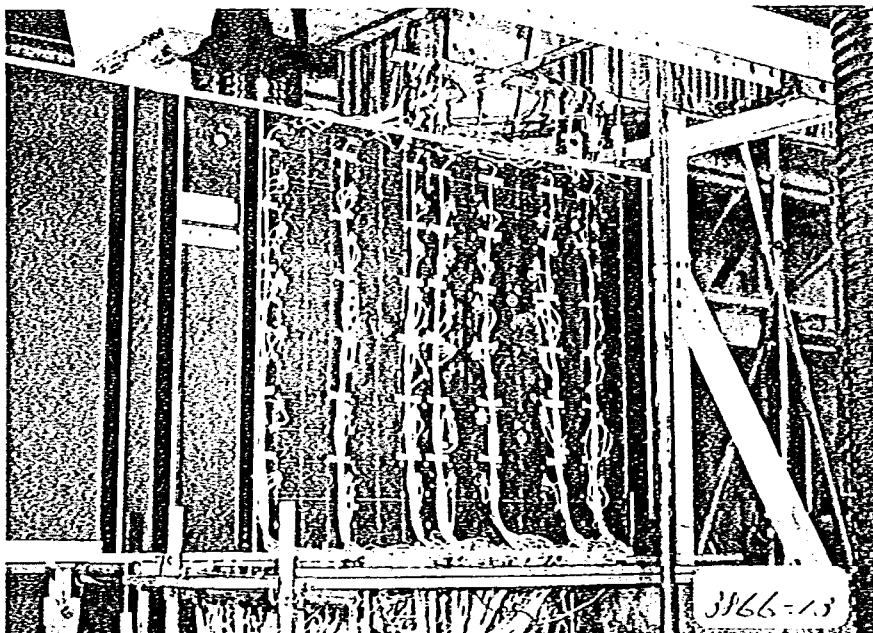


図-2.2(2) 最高荷重における供試体の状況 (S-01)



ウェブの端面が垂直補剛材を境にパネルと反対方向に凹凸が生じ、波打っている。

写真-2.1(2) 最高荷重における供試体の状況 (S-01)

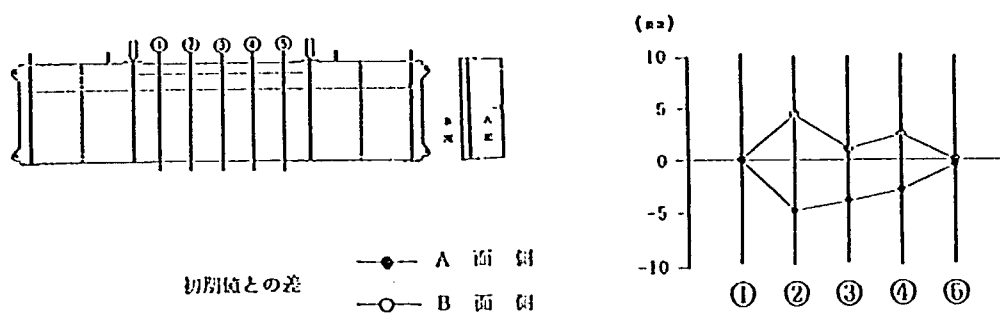


図-2.1(3) 最高荷重における上下フランジ縁端距離

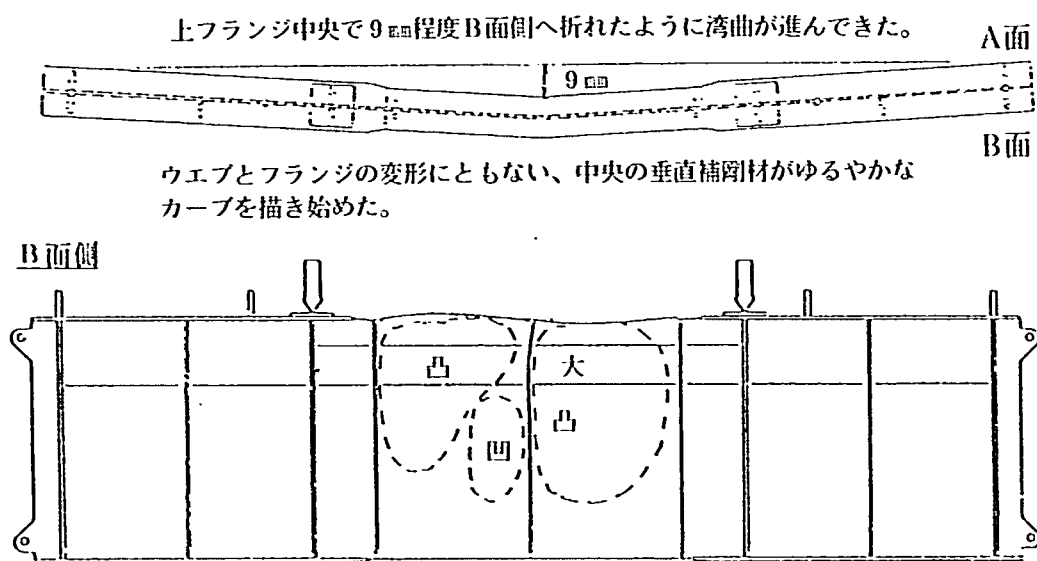


図-2.2(3) 最高荷重における供試体の状況 (B-25)

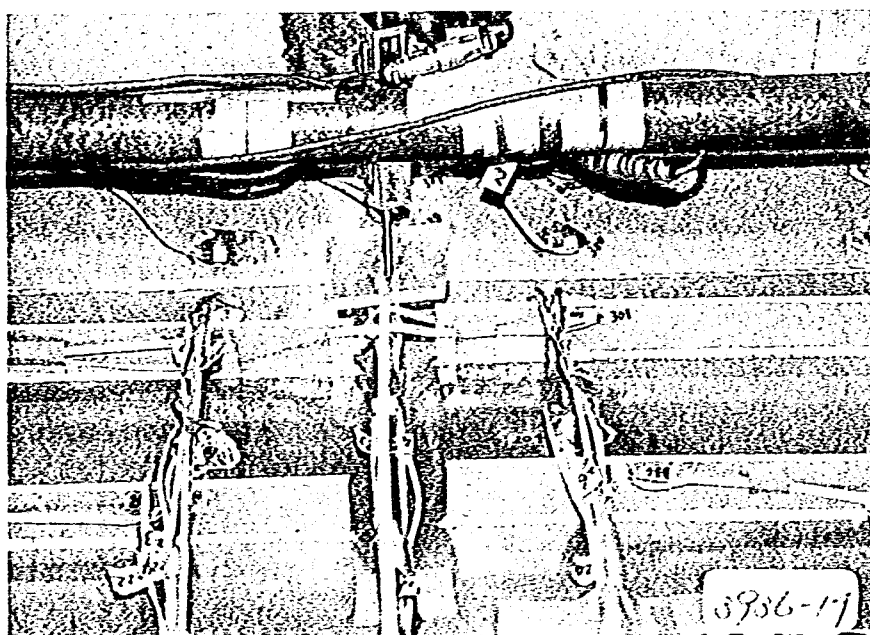


写真-2.1(3) 最高荷重時における供試体の状況 (B-25)

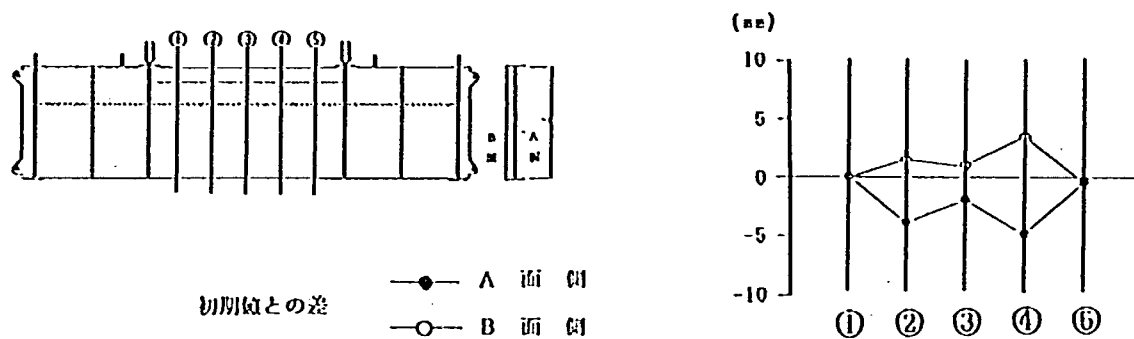


図-2.1(4) 最高荷重における上下フランジ縁端距離

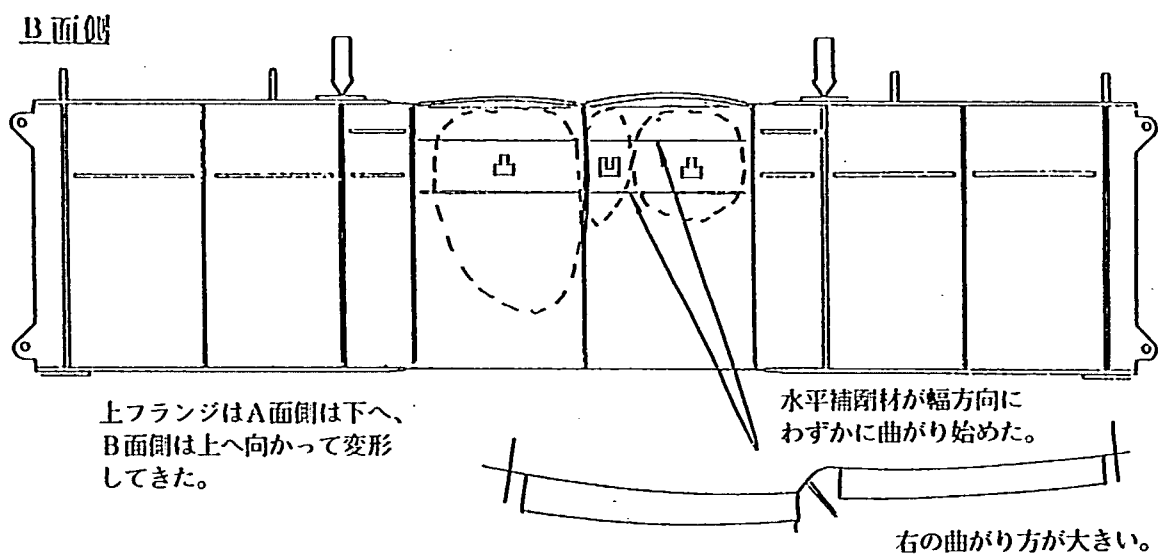


図-2.2(4) 最高荷重における供試体の状況 (B-26)

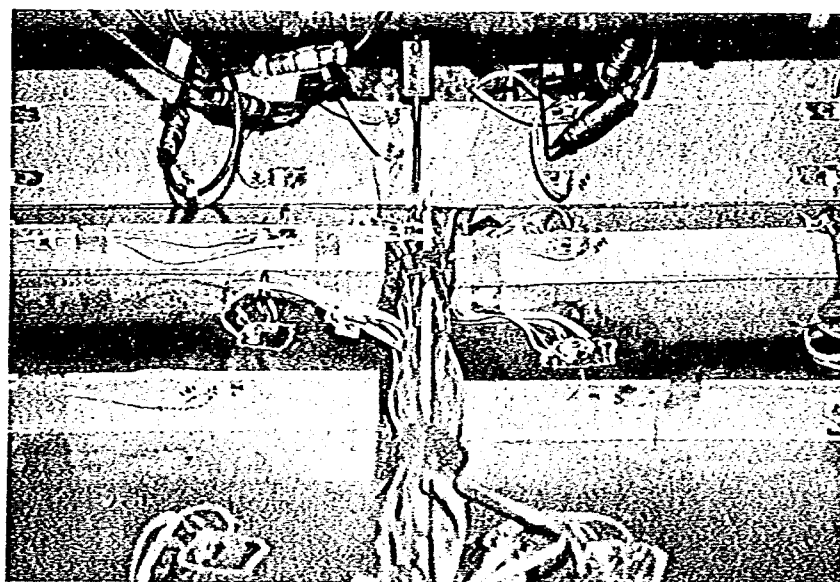


写真-2.1(4) 最高荷重時における供試体の状況 (B-26)

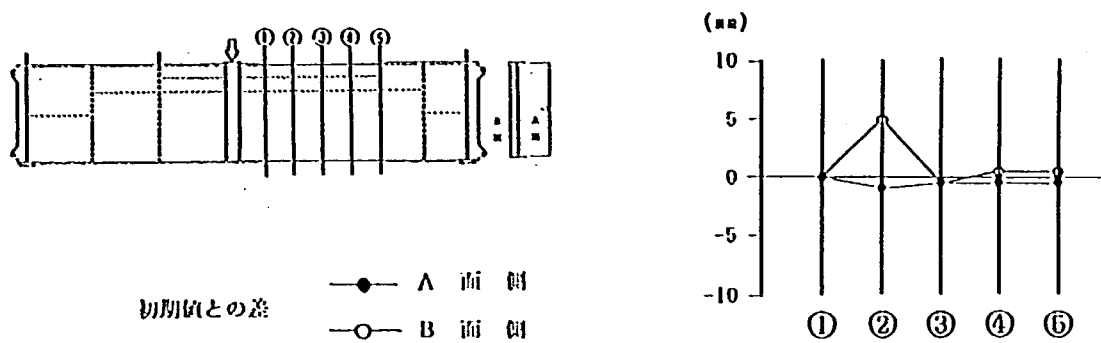


図-2.1(5) 最高荷重における上下フランジ縁端距離

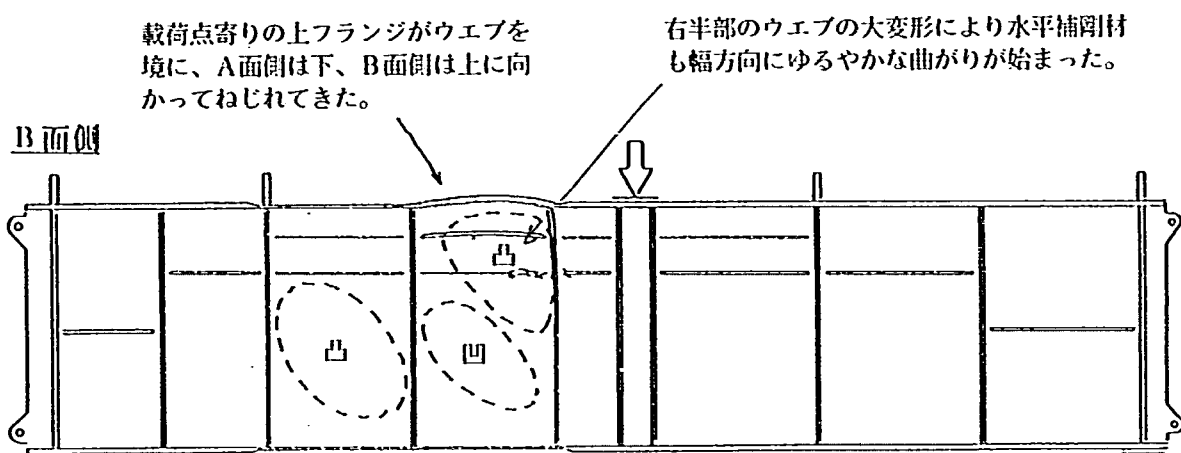


図-2.2(5) 最高荷重における供試体の状況 (C-29)

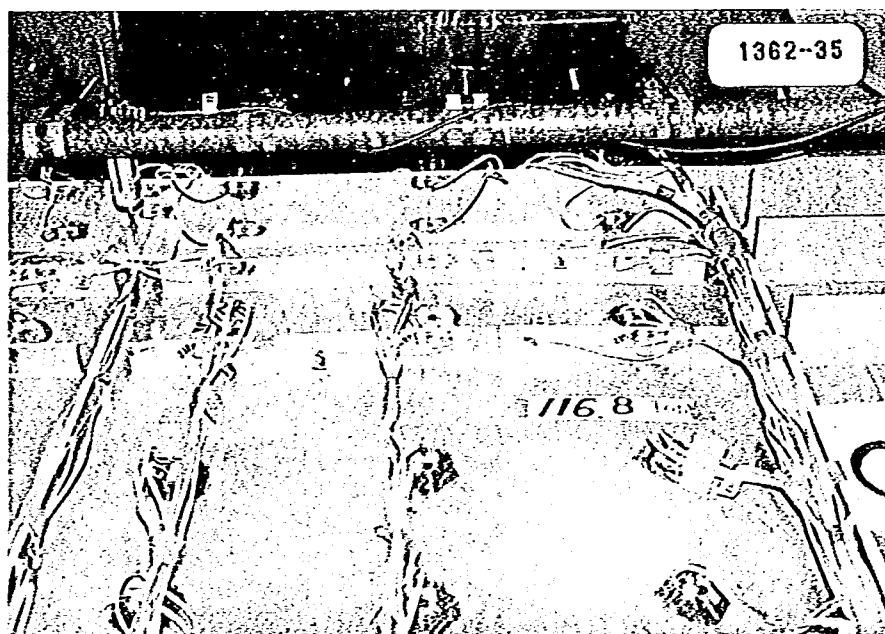


写真-2.1(5) 最高荷重時における供試体の状況 (C-29)

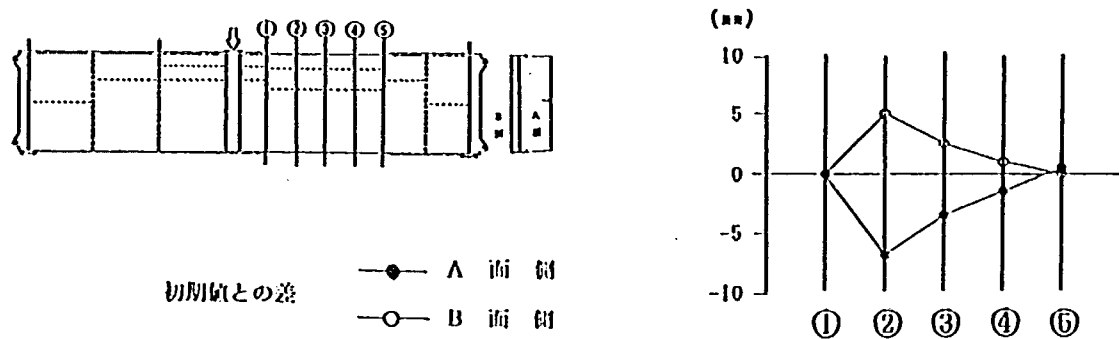


図-2.1(6) 最高荷重における上下フランジ縁端距離

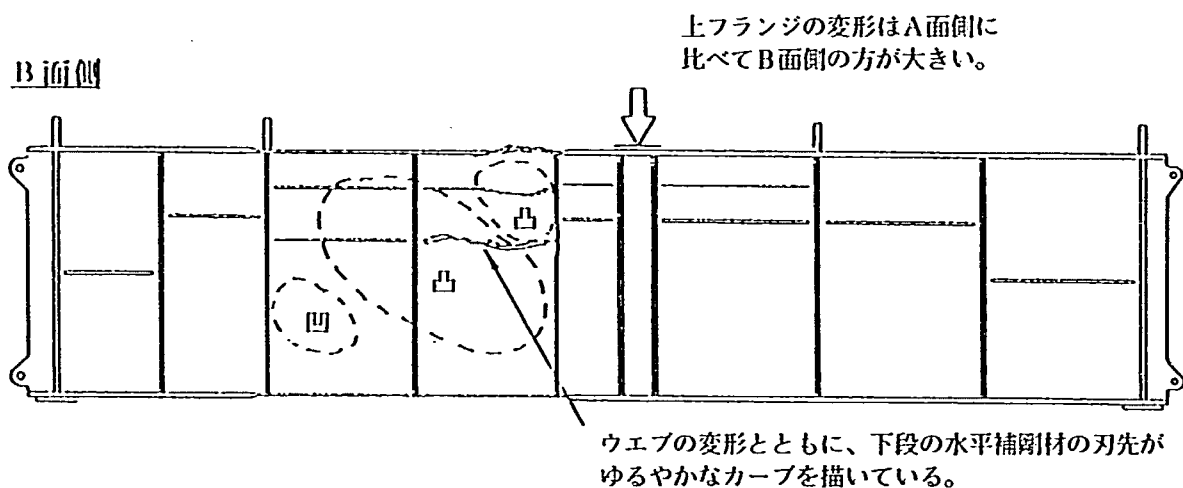


図-2.2(6) 最高荷重における供試体の状況 (C-30)

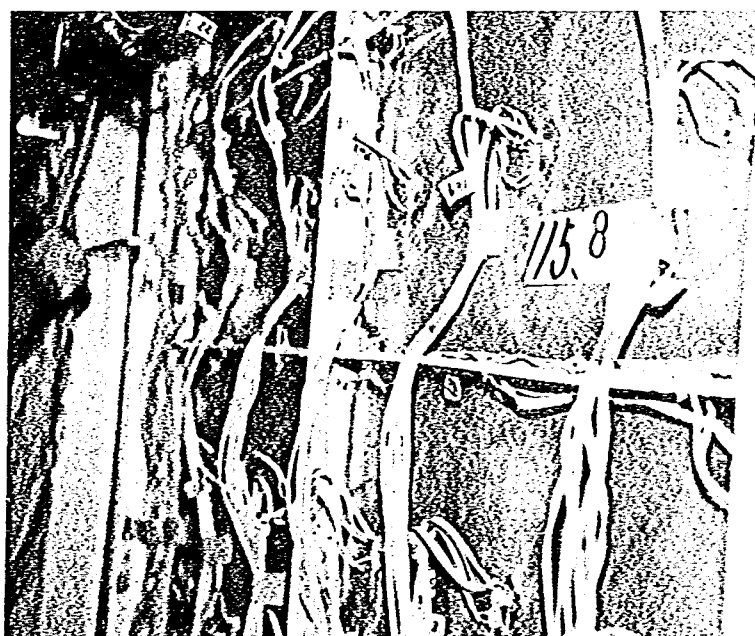


写真-2.1(6) 最高荷重時における供試体の状況 (C-30)

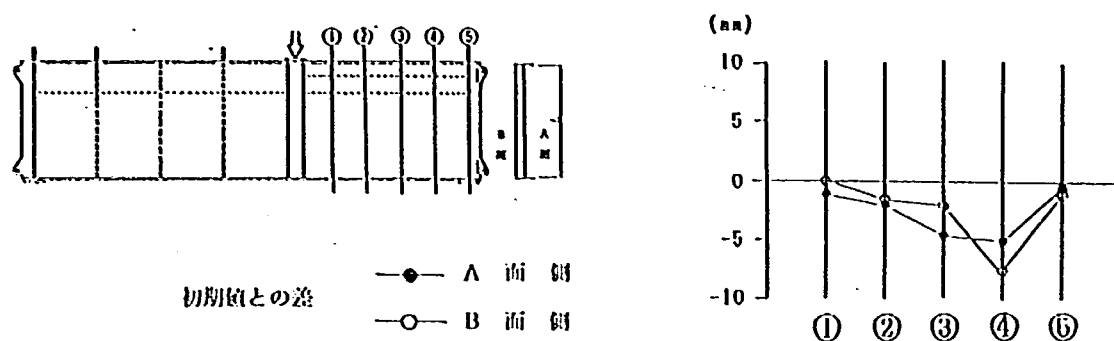


図-2.1(7) 最高荷重における上下フランジ縁端距離

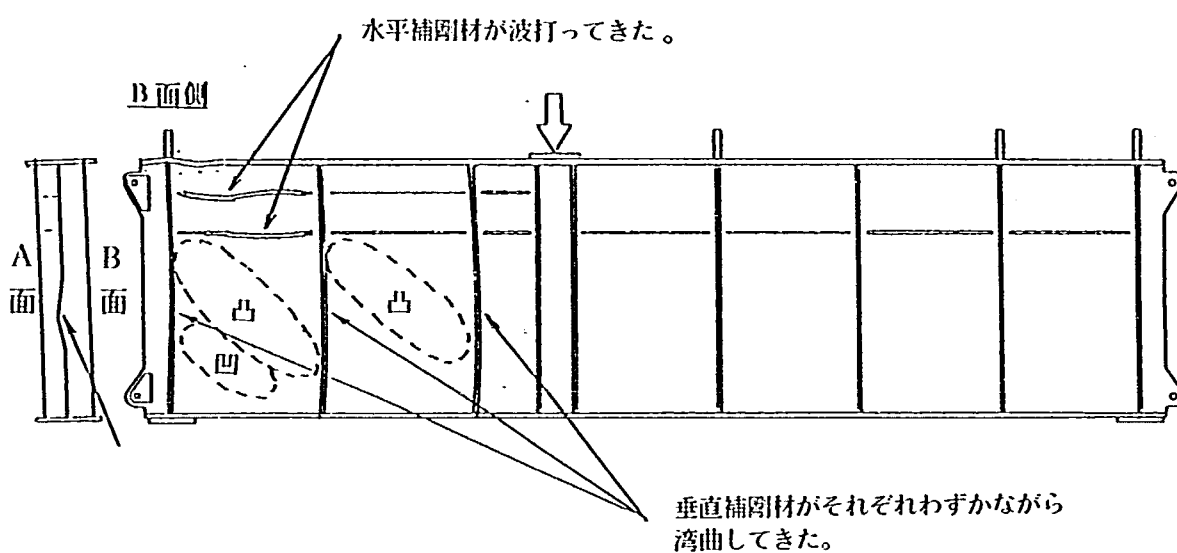


図-2.2(7) 最高荷重における供試体の状況 (S-27)

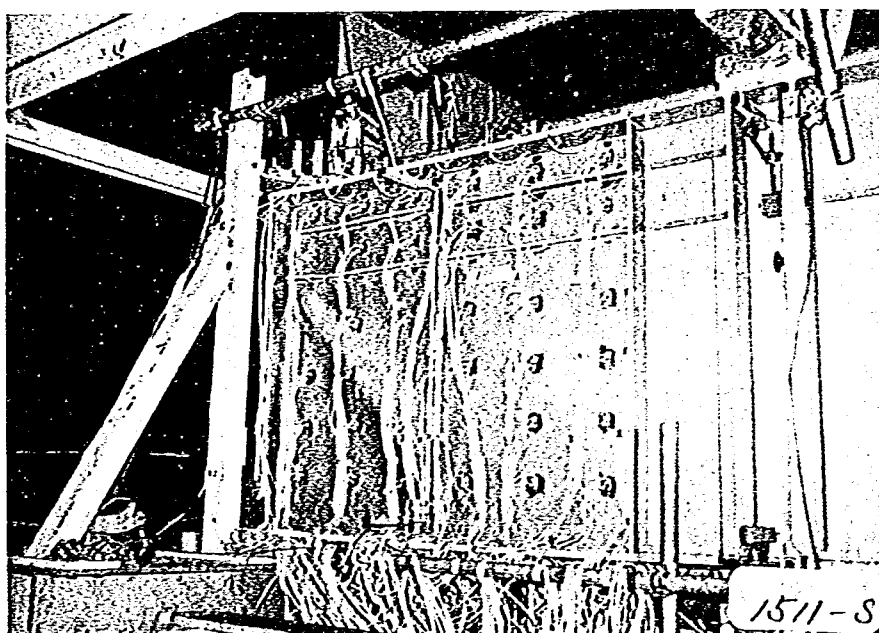


写真-2.1(7) 最高荷重における供試体の状況 (S-27)

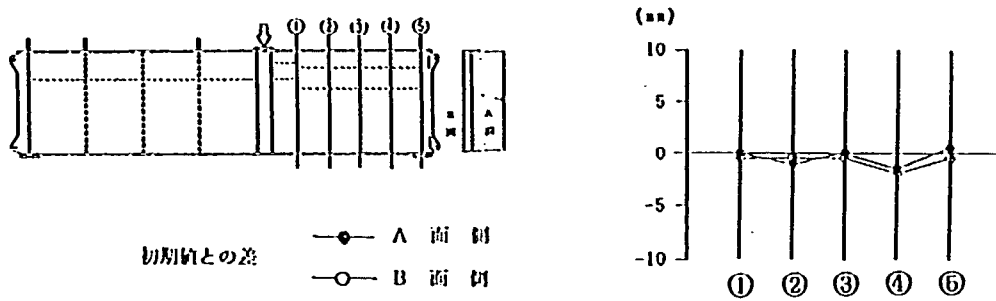


図-2.1(8) 最高荷重における上下フランジ縁端距離

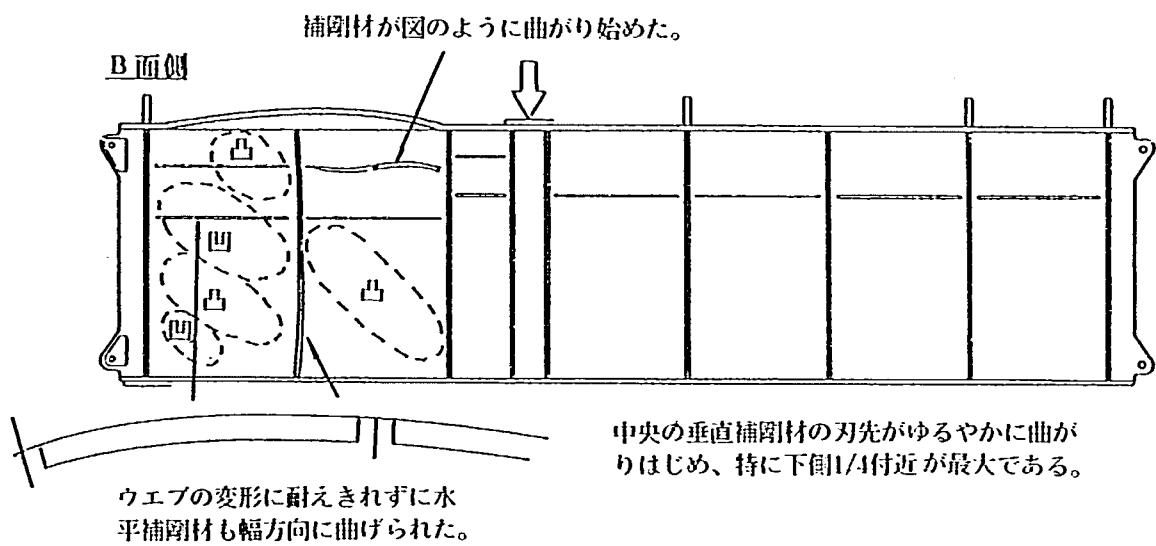


図-2.2(8) 最高荷重における供試体の状況 (S-28)

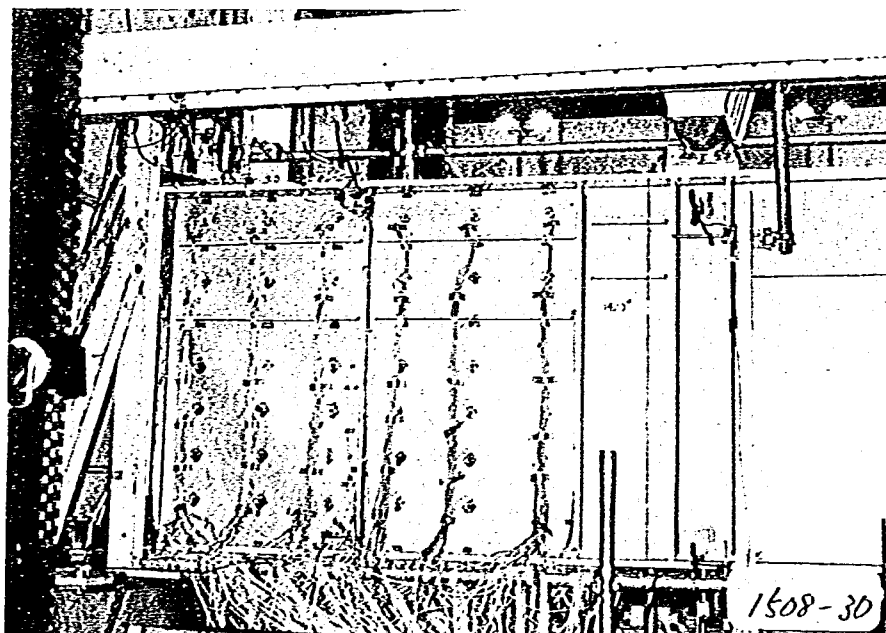


写真-2.1(8) 最高荷重における供試体の状況 (S-28)

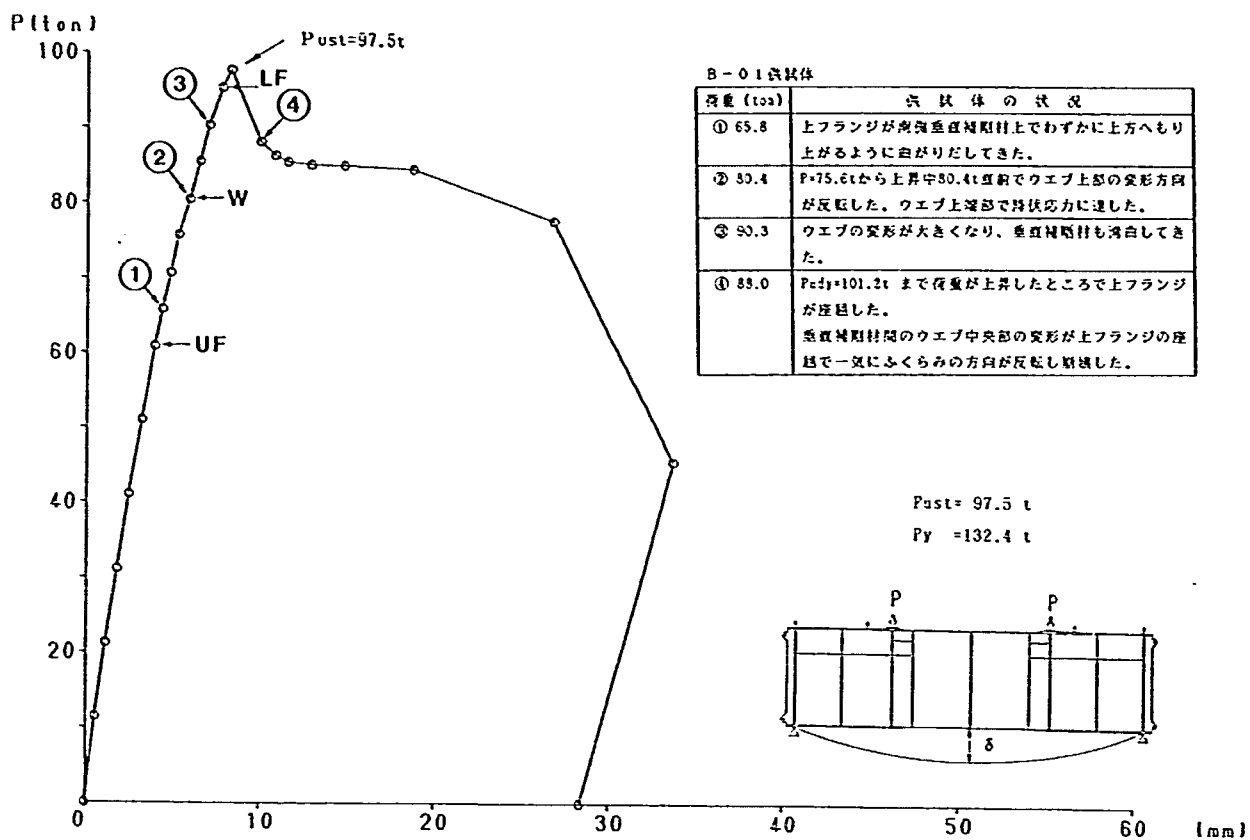


図-2.3(1) 荷重-たわみ曲線 (B-01)

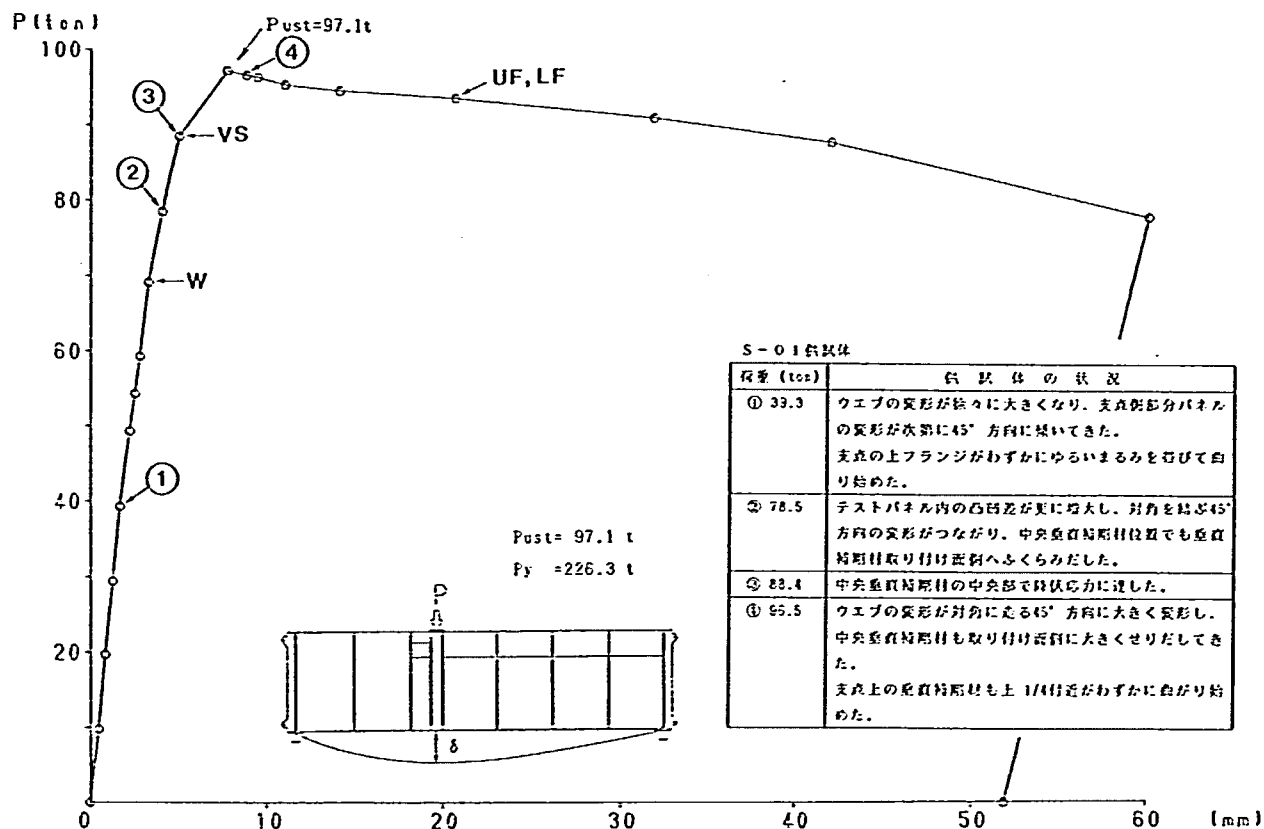


図-2.3(2) 荷重-たわみ曲線 (S-01)

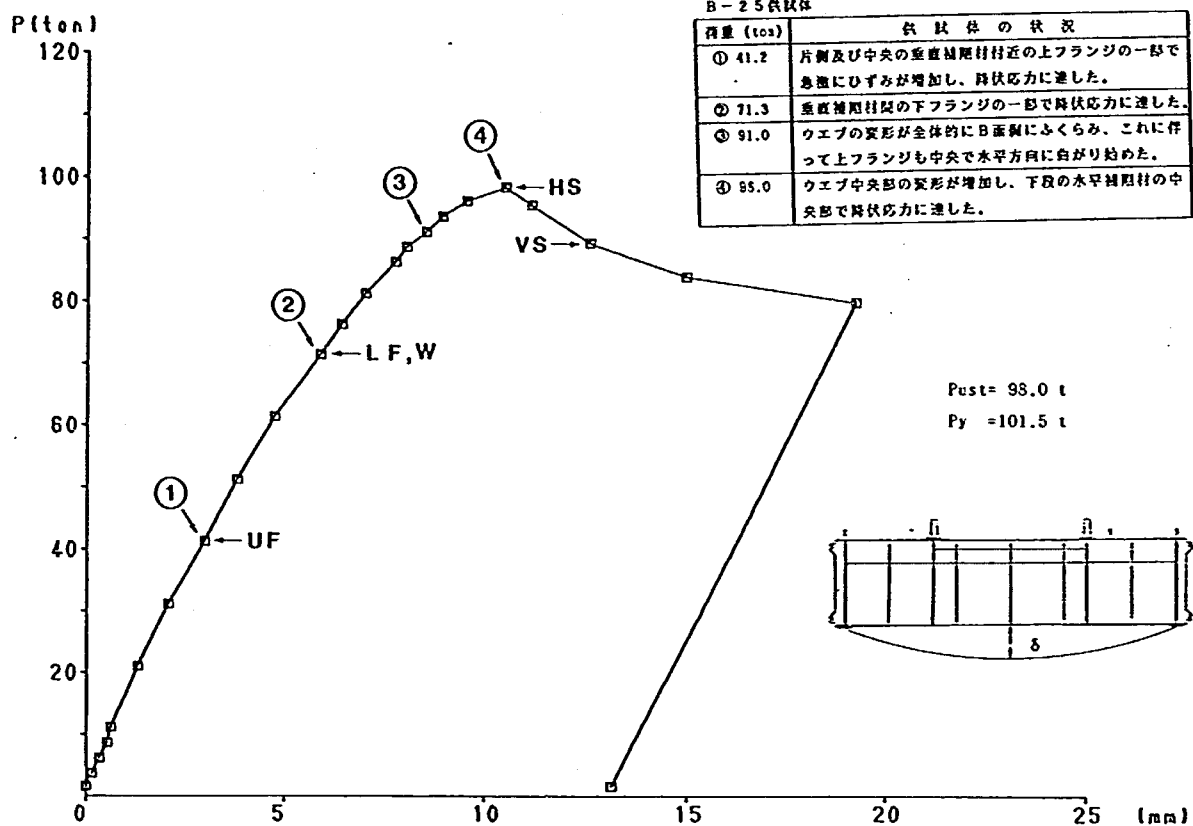


図-2.3(3) 荷重-たわみ曲線 (B-25)

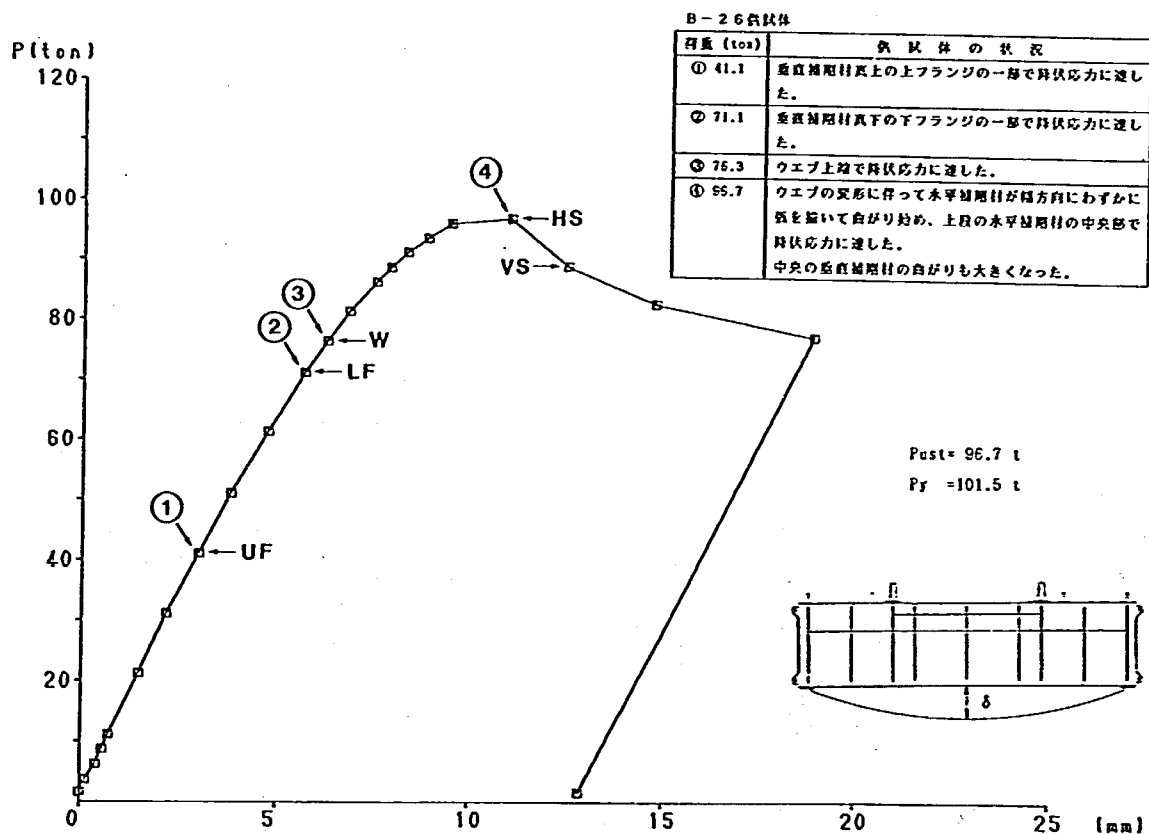


図-2.3(4) 荷重-たわみ曲線 (B-26)

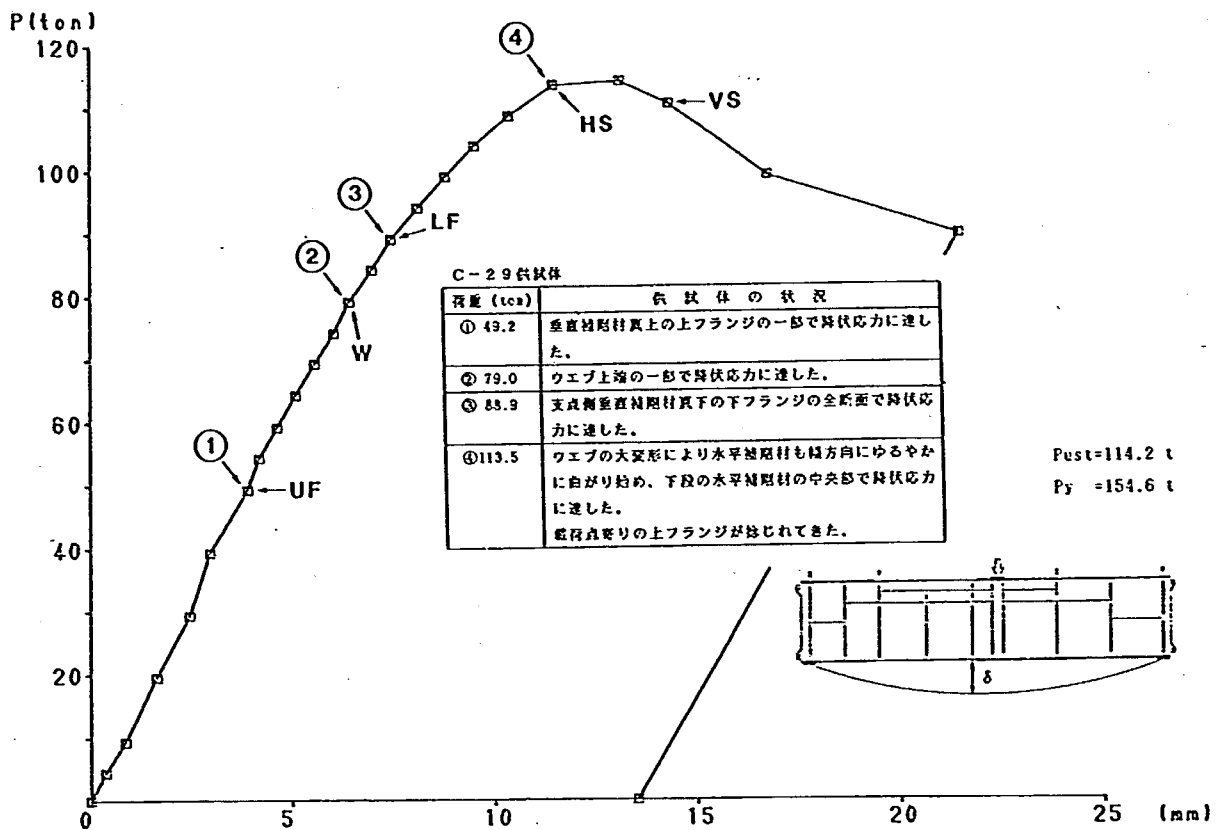


図-2.3(5) 荷重-たわみ曲線 (C-29)

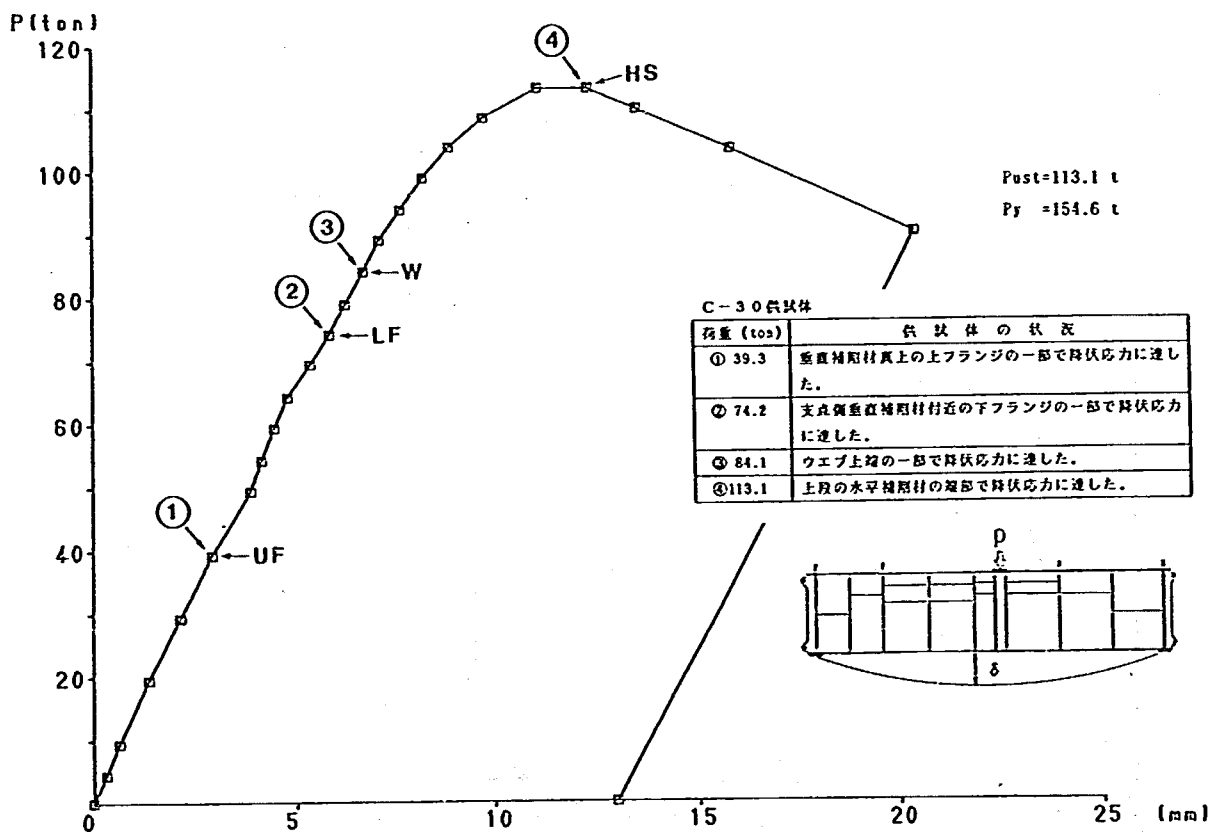


図-2.3(6) 荷重-たわみ曲線 (C-30)

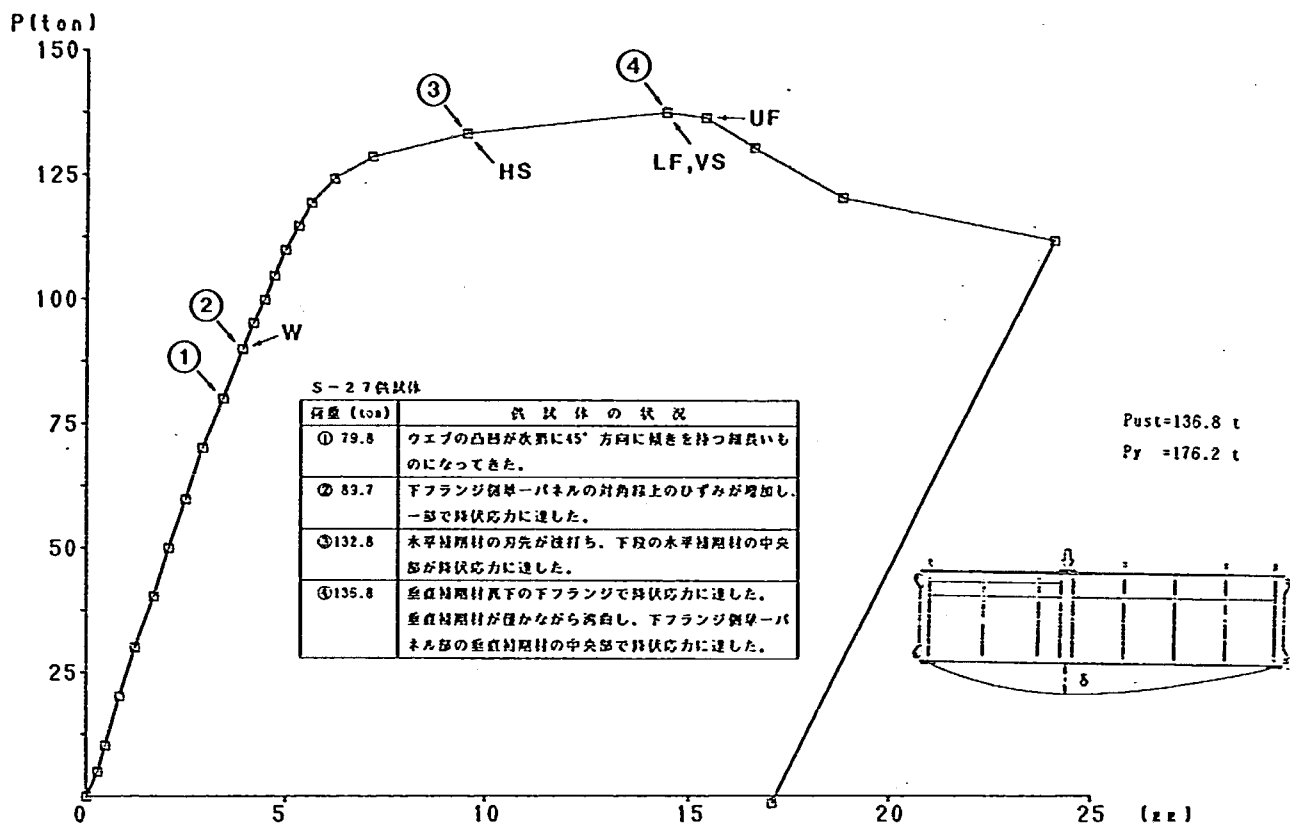


図-2.3(7) 荷重-たわみ曲線 (S-27)

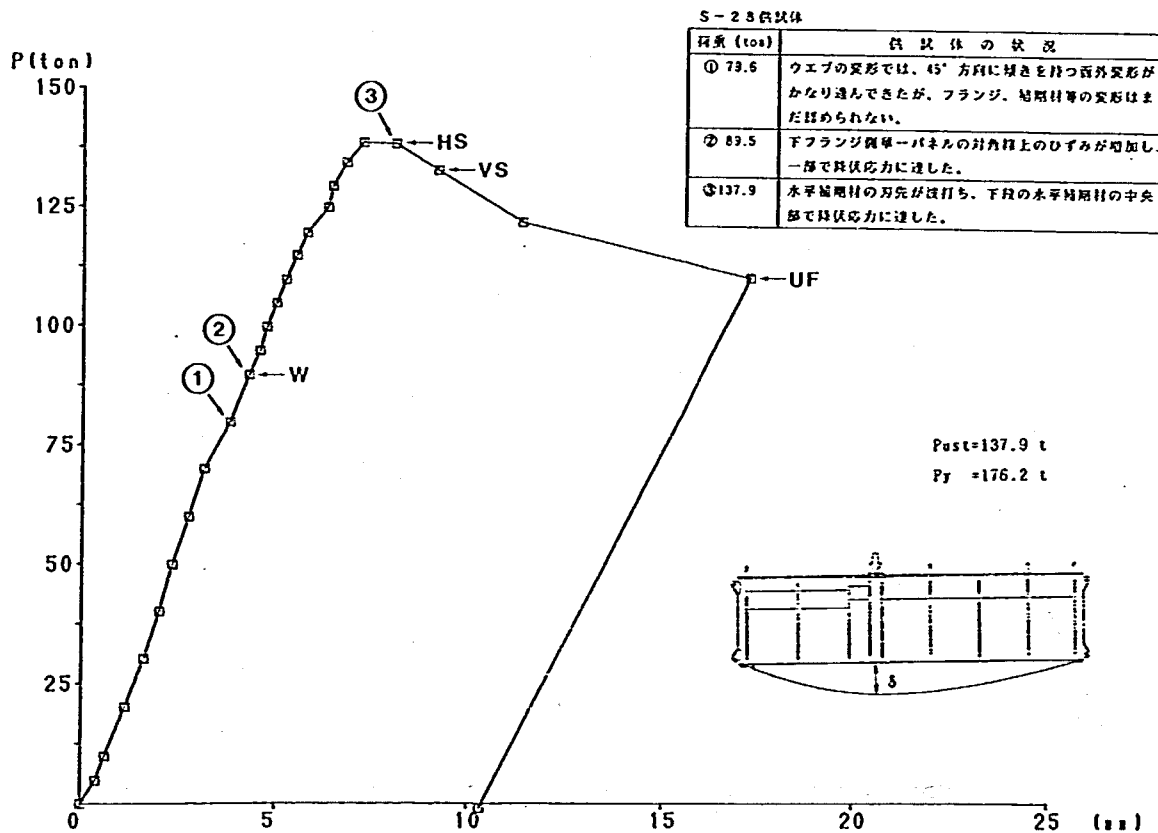


図-2.3(8) 荷重-たわみ曲線 (S-28)

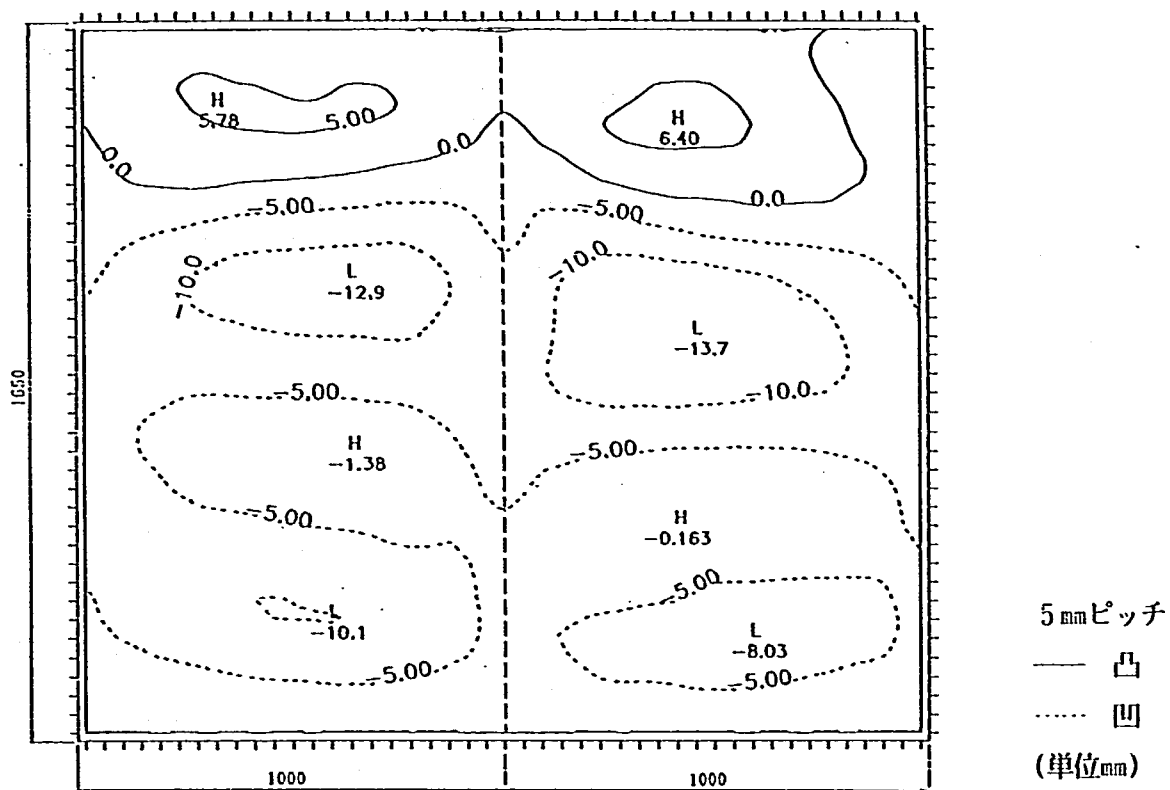


図-2.4.1(1) B-01テストパネル部ウェブの面外変位
 (P=0ton, 初期変位)

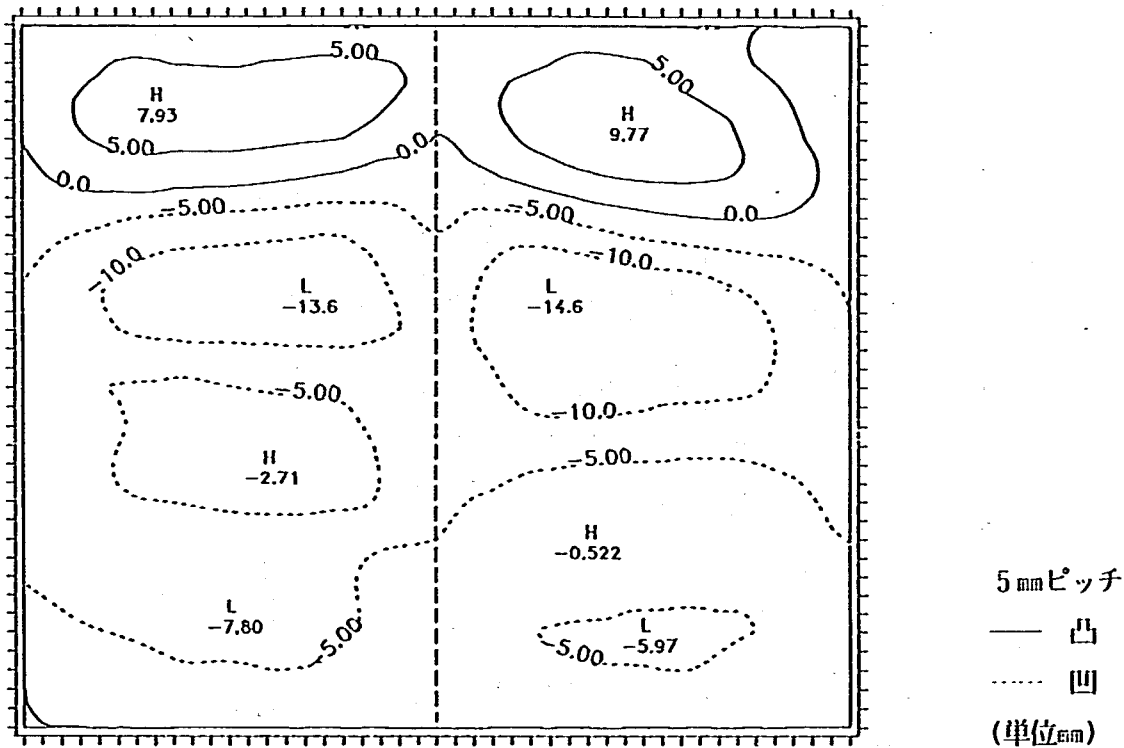


図-2.4.1(2) B-01テストパネル部ウェブの面外変位
 (P=41.1ton, 0.42Pust)

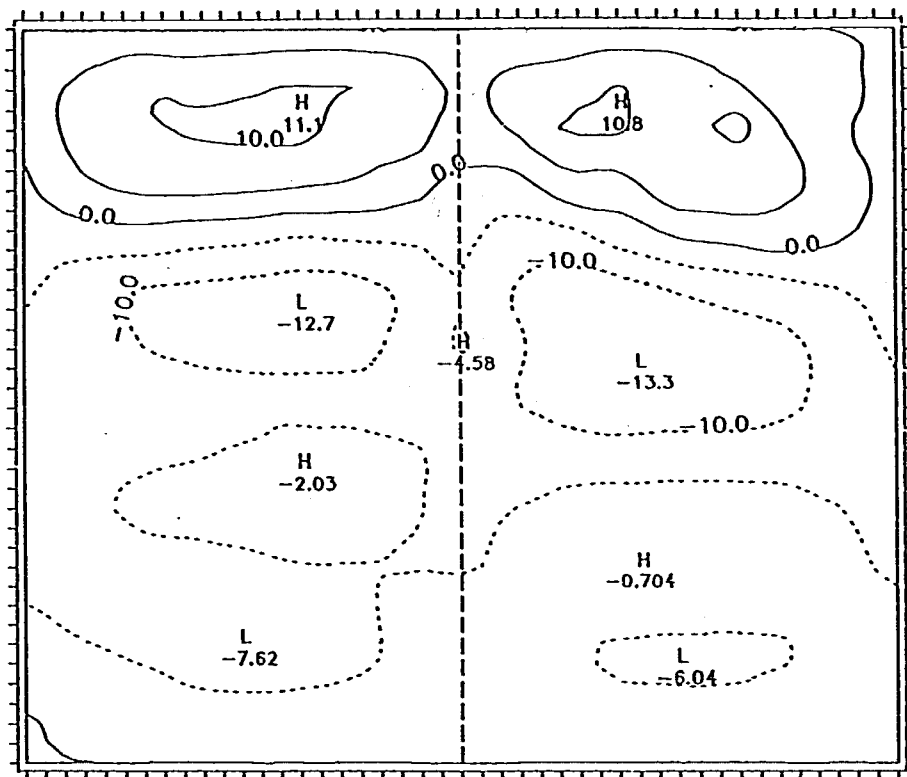


図-2.4.1(3) B-01テストパネル部ウェブの面外変位
 (P=65.8ton, 0.67Pust)

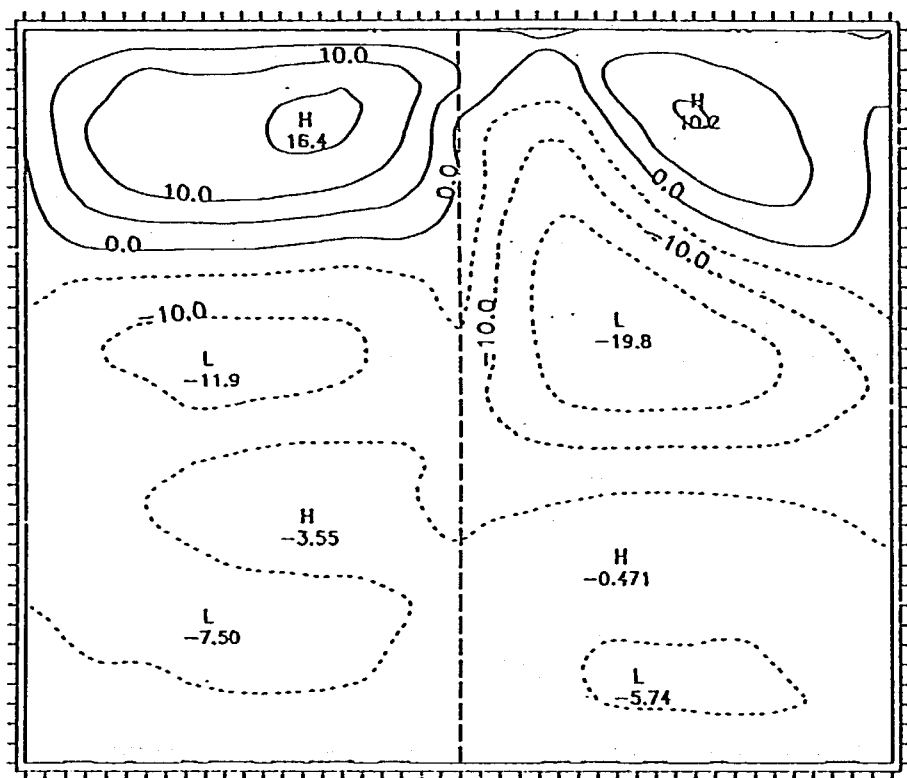


図-2.4.1(4) B-01テストパネル部ウェブの面外変位
 (P=90.3ton, 0.93Pust)

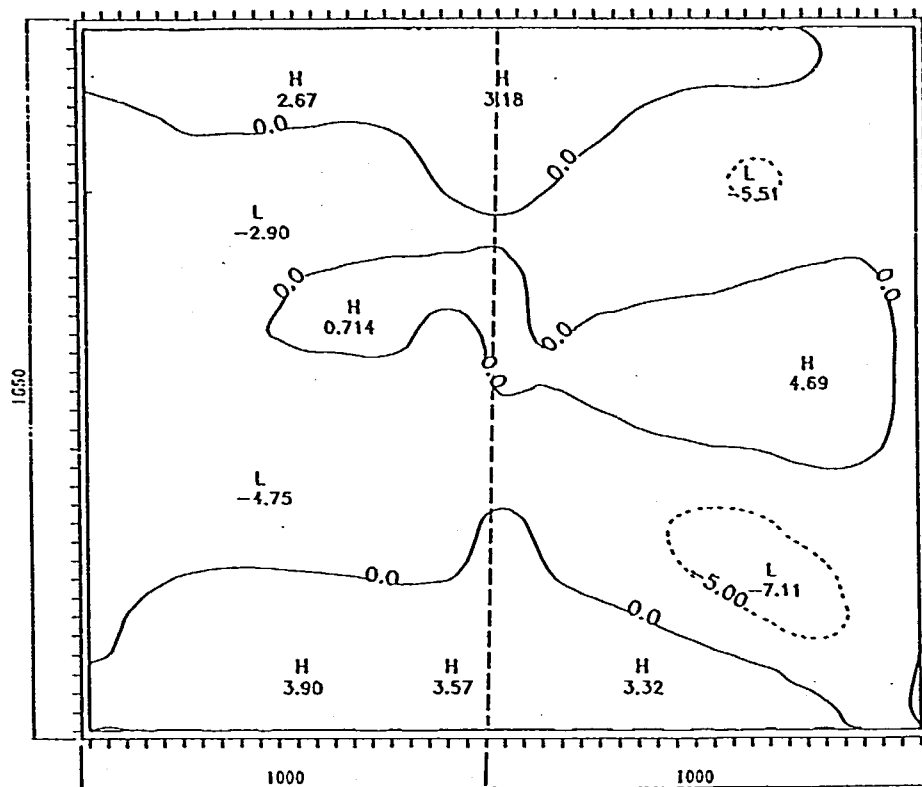


図-2.4.2(1) S-01テストパネル部ウェブの面外変位
(P=0ton, 初期変位)

5mmピッチ

— 凸

--- 凹

(単位mm)

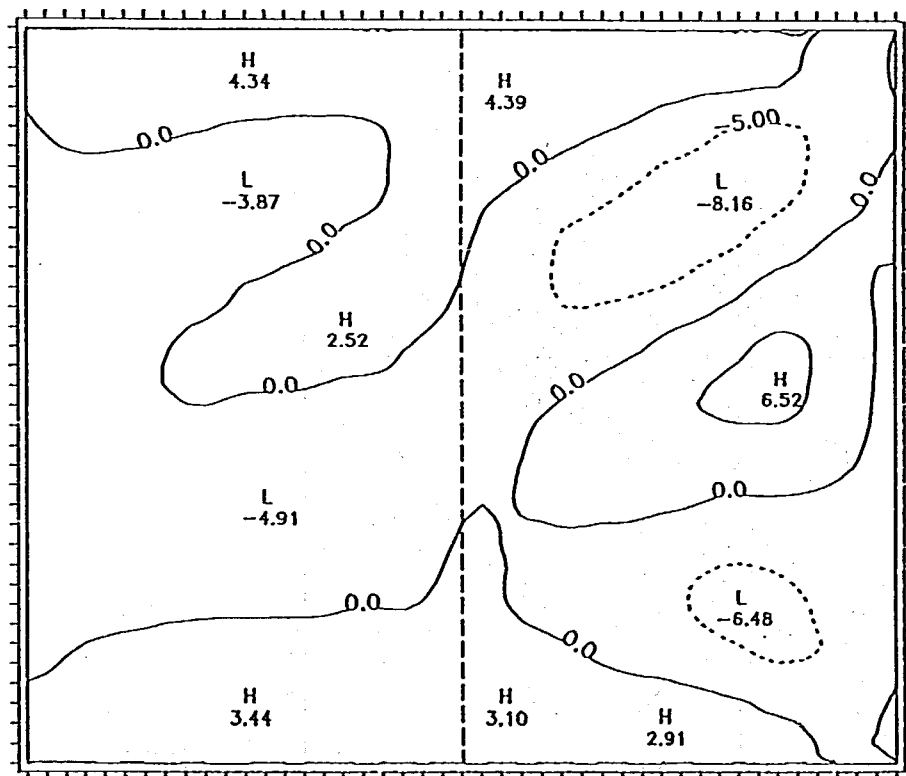


図-2.4.2(2) S-01テストパネル部ウェブの面外変位
(P=39.3ton, 0.40Pust)

5mmピッチ

— 凸

--- 凹

(単位mm)

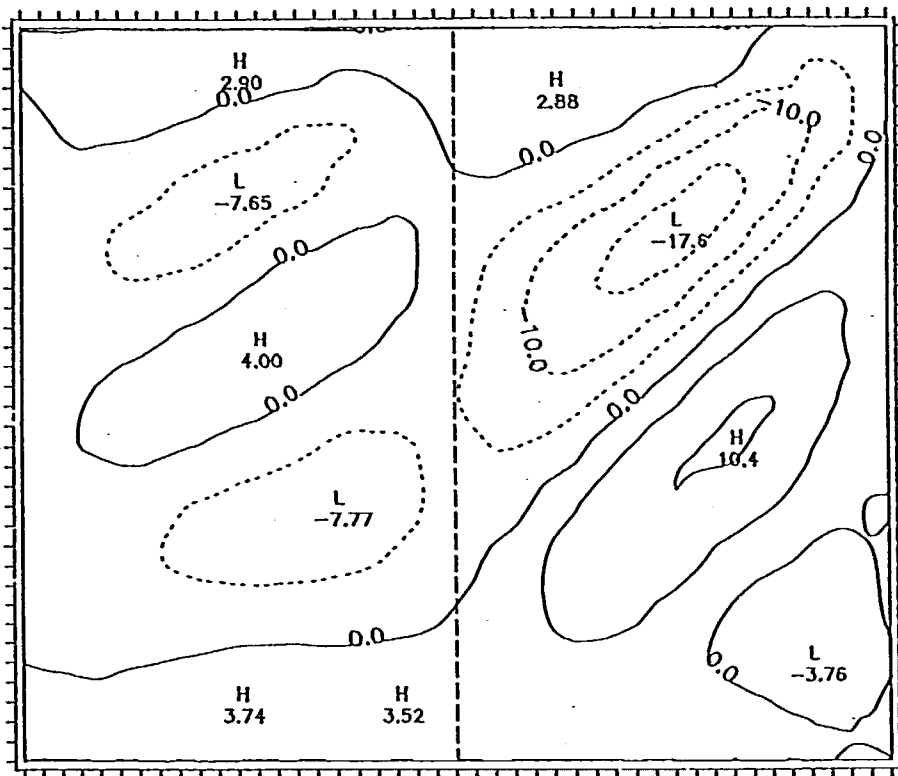


図-2.4.2(3) S-01テストパネル部ウェブの面外変位
 (P=78.5ton, 0.81Pust)

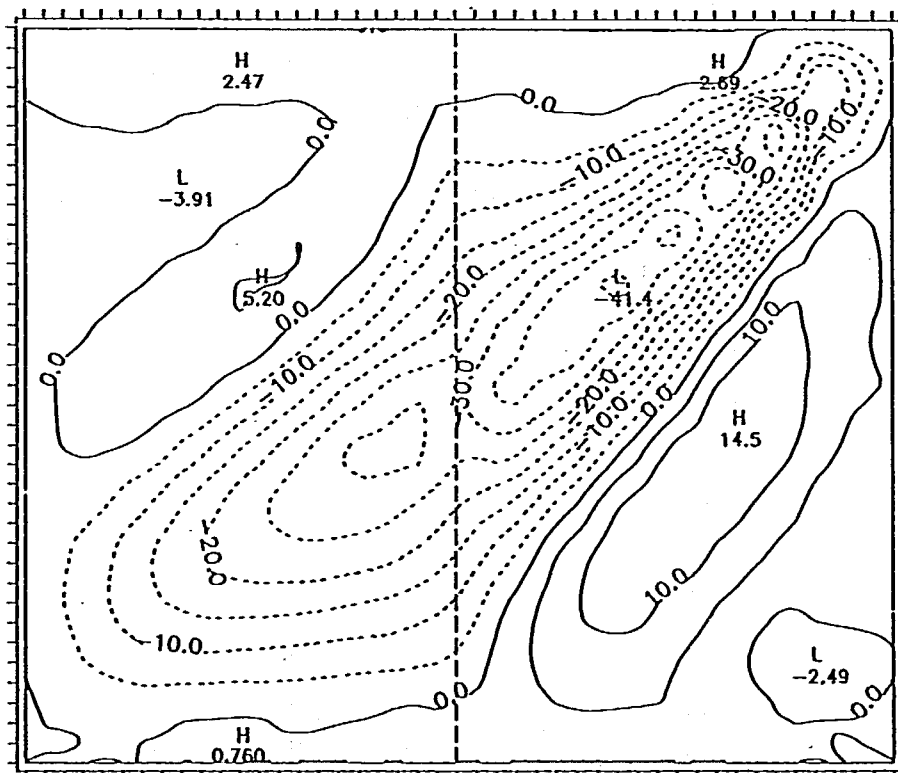


図-2.4.2(4) S-01テストパネル部ウェブの面外変位
 (P=96.5ton, 0.99Pust)

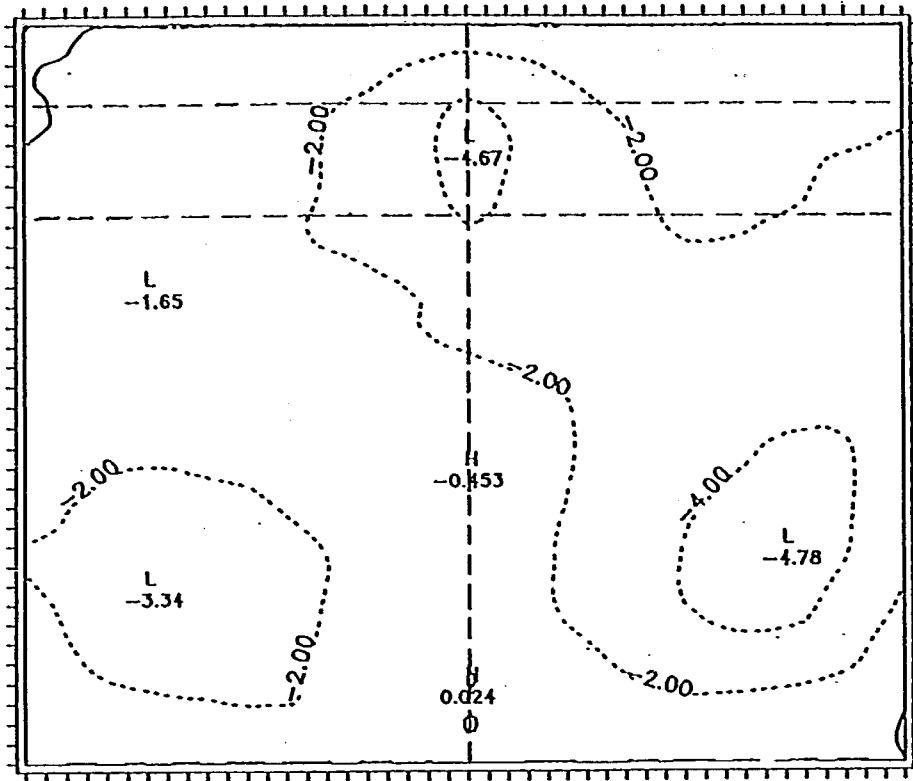


図-2.4.3(1) B-25テストパネル部ウェブの面外変位
($P=1.6\text{ton}$, 初期変位)

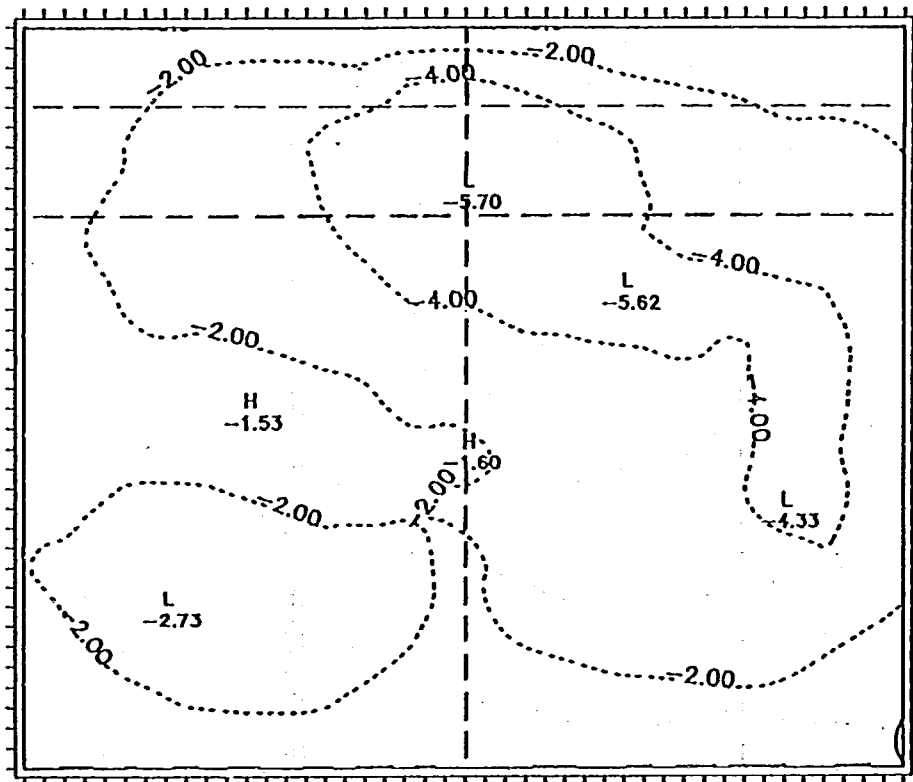


図-2.4.3(2) B-25テストパネル部ウェブの面外変位
($P=61.3\text{ton}$, $0.63P_{\text{ust}}$)

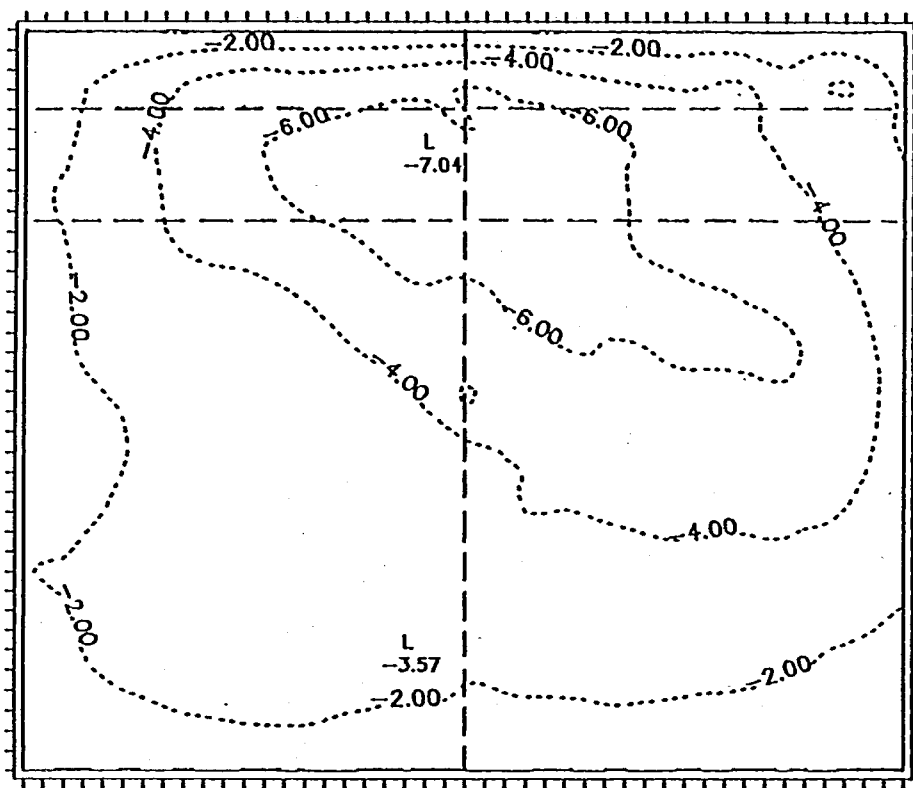


図-2.4.3(3) B-25テストパネル部ウェブの面外変位
($P=81.1\text{ton}$, $0.83P_{\text{ust}}$)

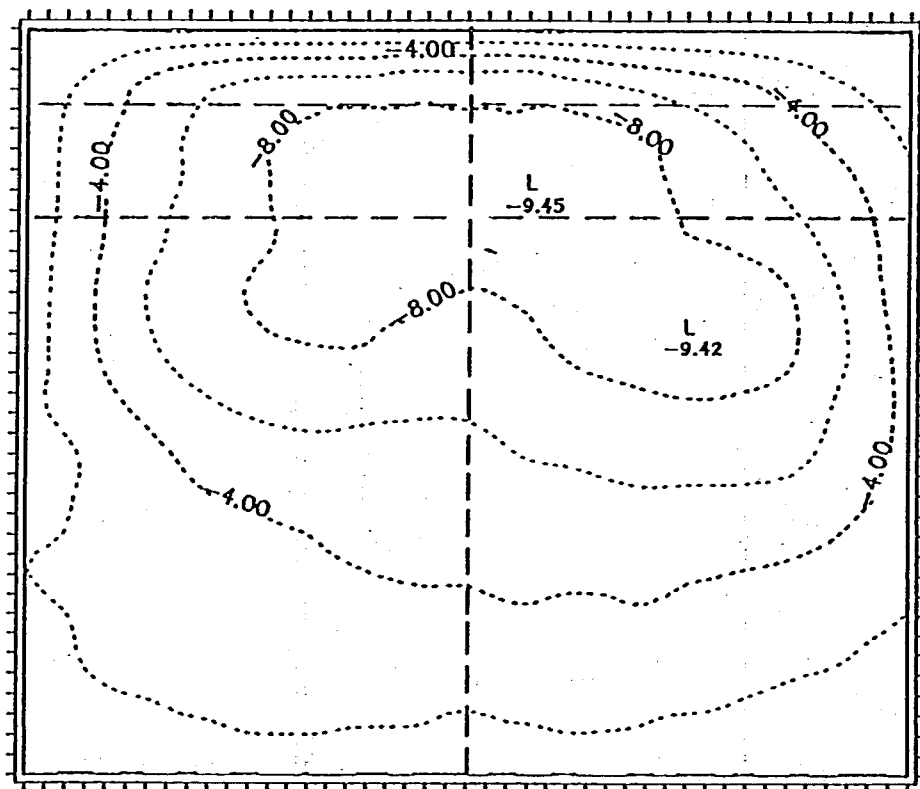


図-2.4.3(4) B-25テストパネル部ウェブの面外変位
($P=91.0\text{ton}$, $0.93P_{\text{ust}}$)

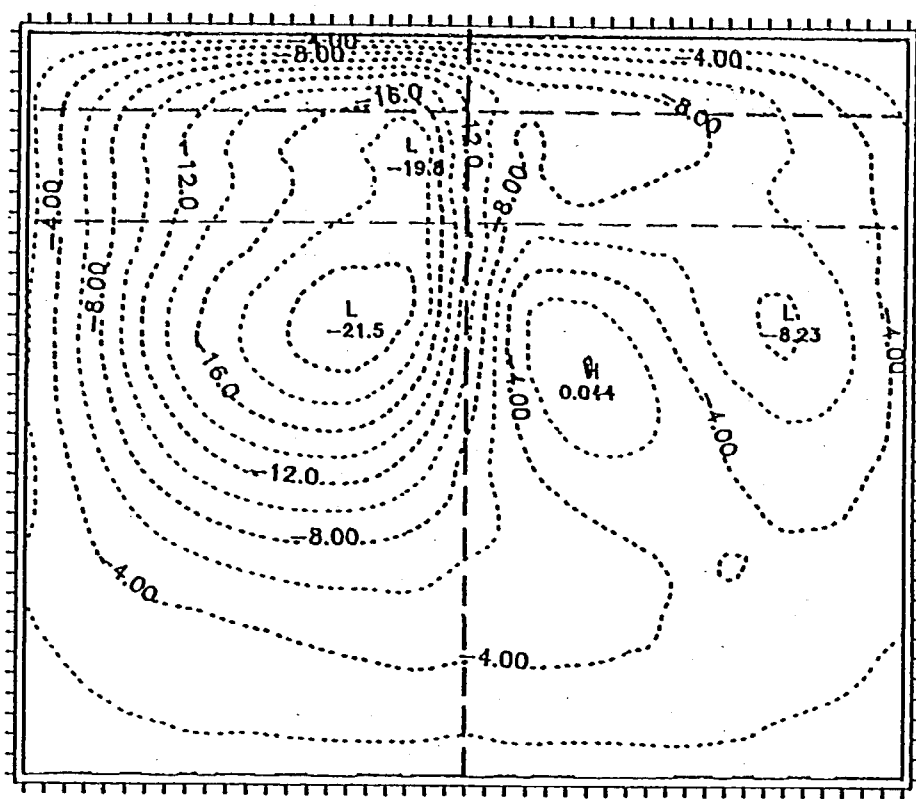
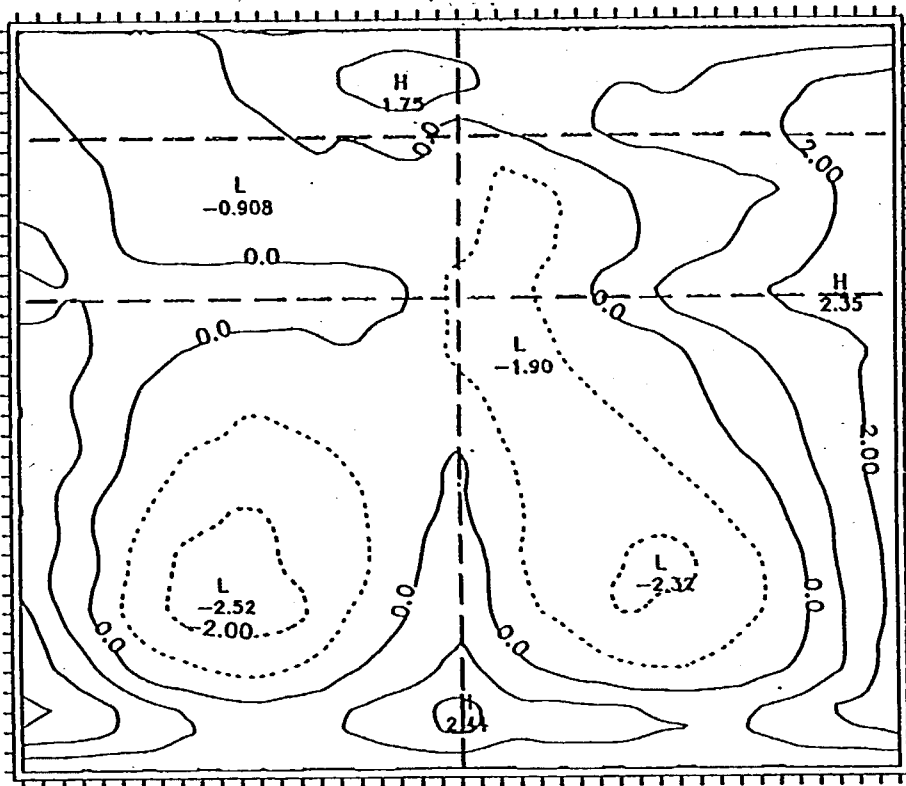


図-2.4.3(5) B-25テストパネル部ウェブの面外変位
($P=95.2\text{ton}$, 最大荷重後 $0.97P_{\text{ust}}$)

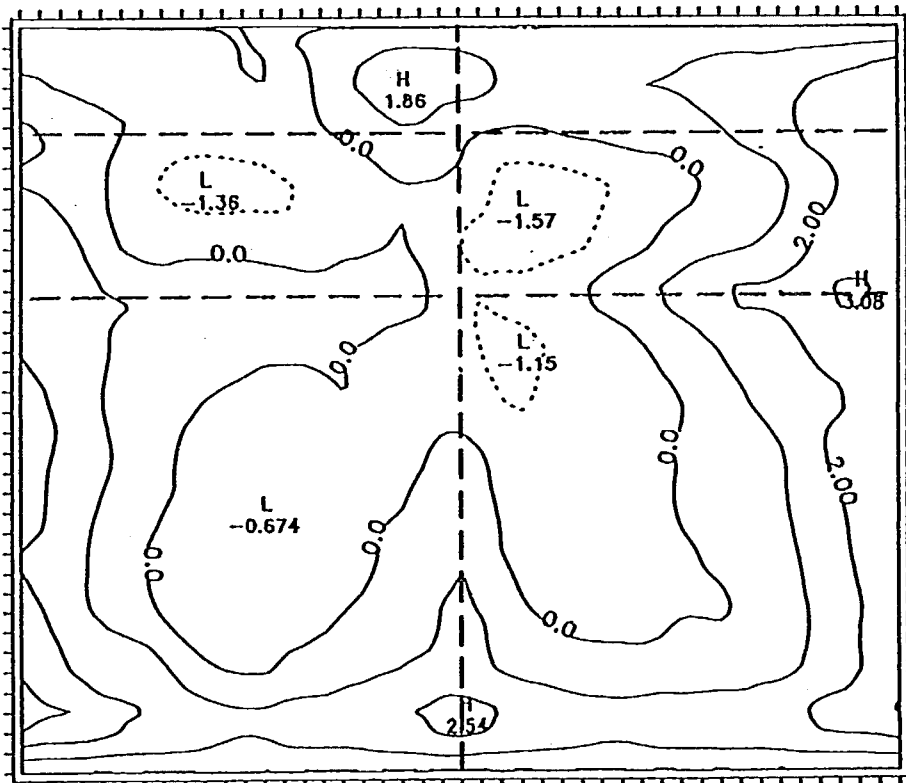


2 mmピッチ

— 凸

----- 凹

図-2.4.4(1) B-26テストパネル部ウェブの面外変位
(P=1.6ton, 初期変形)



2 mmピッチ

— 凸

----- 凹

図-2.4.4(2) B-26テストパネル部ウェブの面外変位
(P=4.1ton, 0.43Pust)

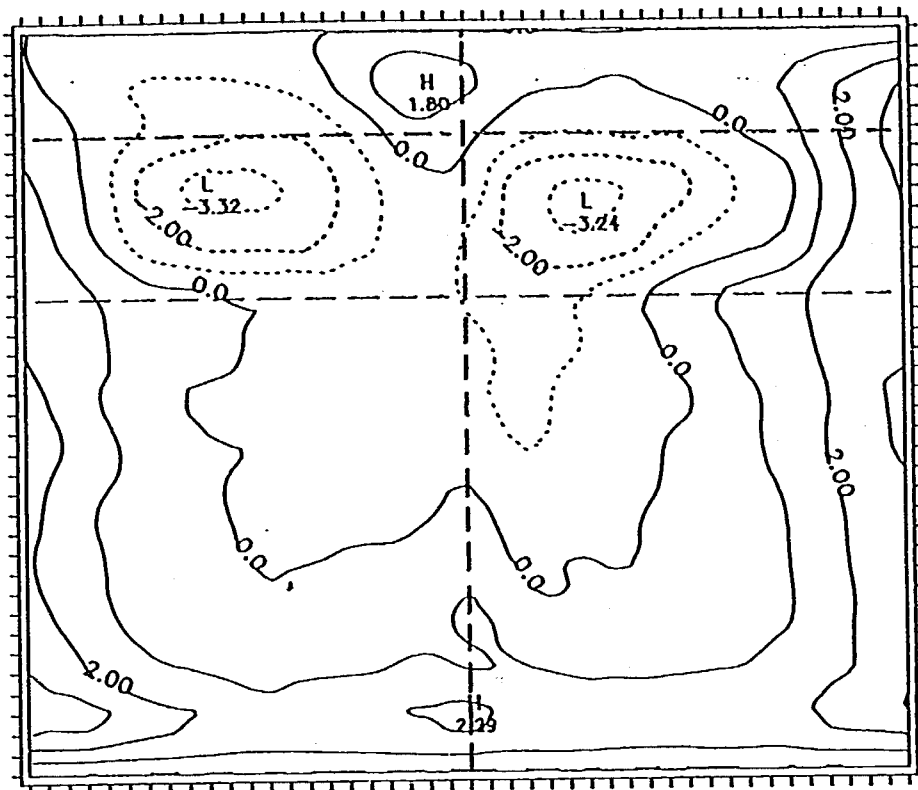


図-2.4.4(3) B-26テストパネル部ウェブの面外変位
(P=71.1ton, 0.74Pust)

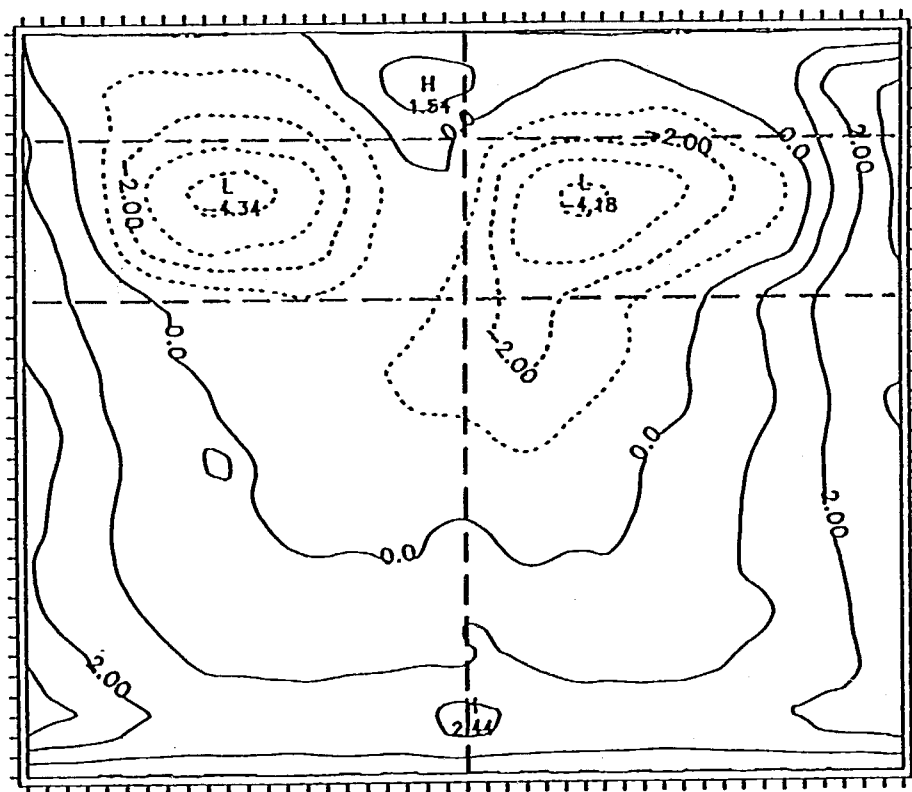


図-2.4.4(4) B-26テストパネル部ウェブの面外変位
(P=81.2ton, 0.84Pust)

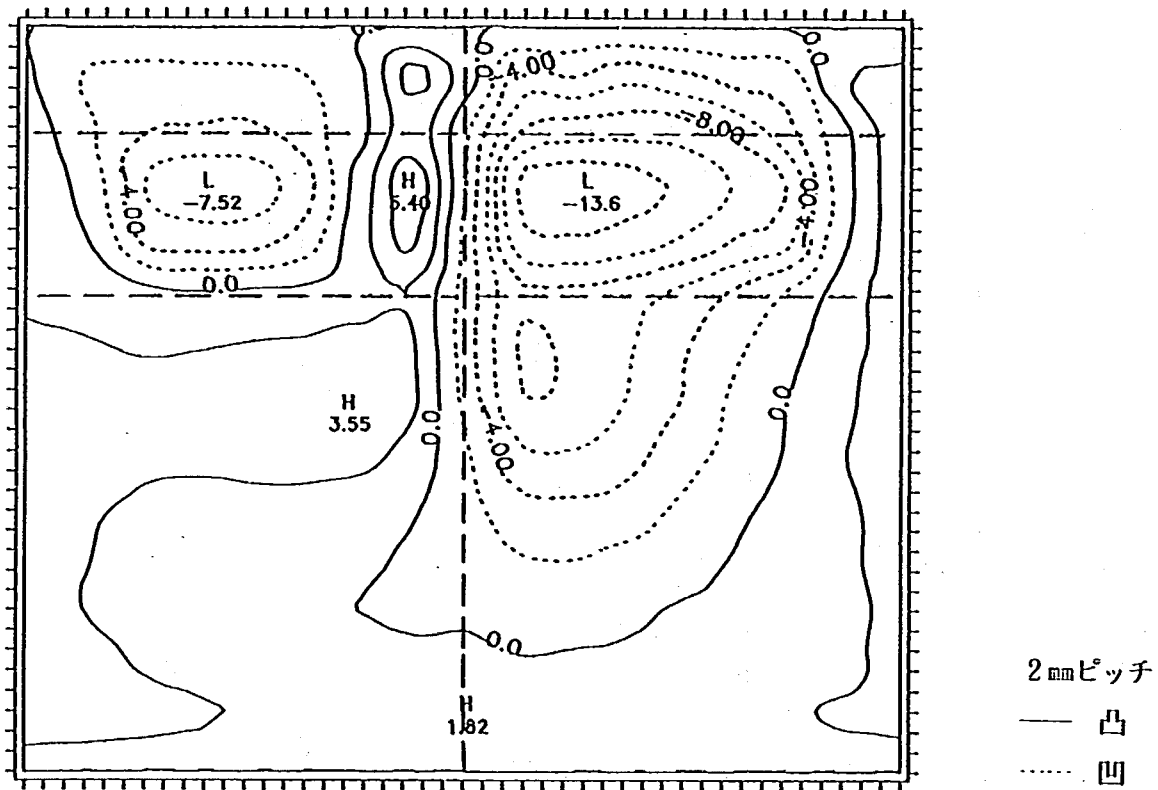


図-2.4.4(5) B-26テストパネル部ウェブの面外変位
(P=96.7ton, Pust)

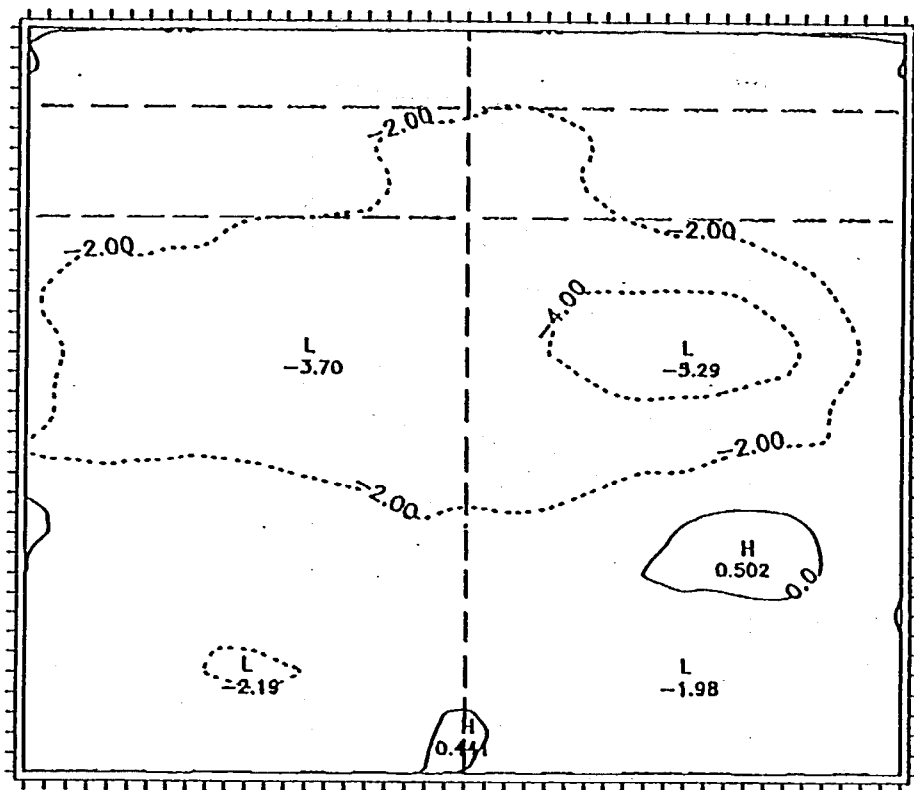


図-2.4.5(1) C-29テストパネル部ウェブの面外変位
($P=0$ ton, 初期変位)

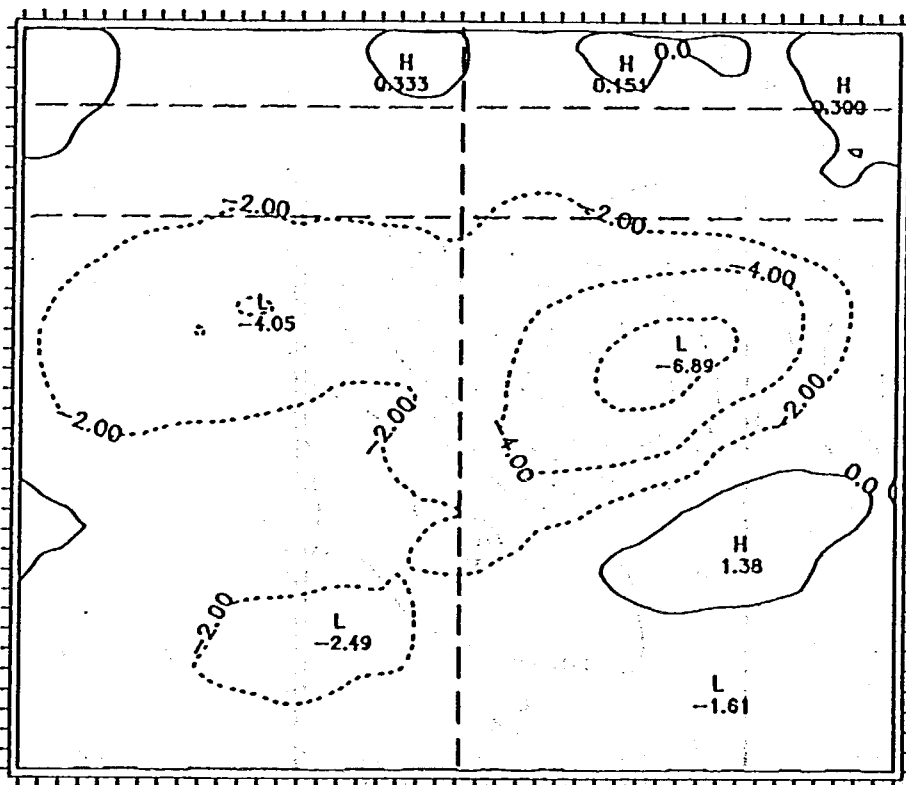


図-2.4.5(2) C-29テストパネル部ウェブの面外変位
($P=69.2$ ton, $0.61P_{ust}$)

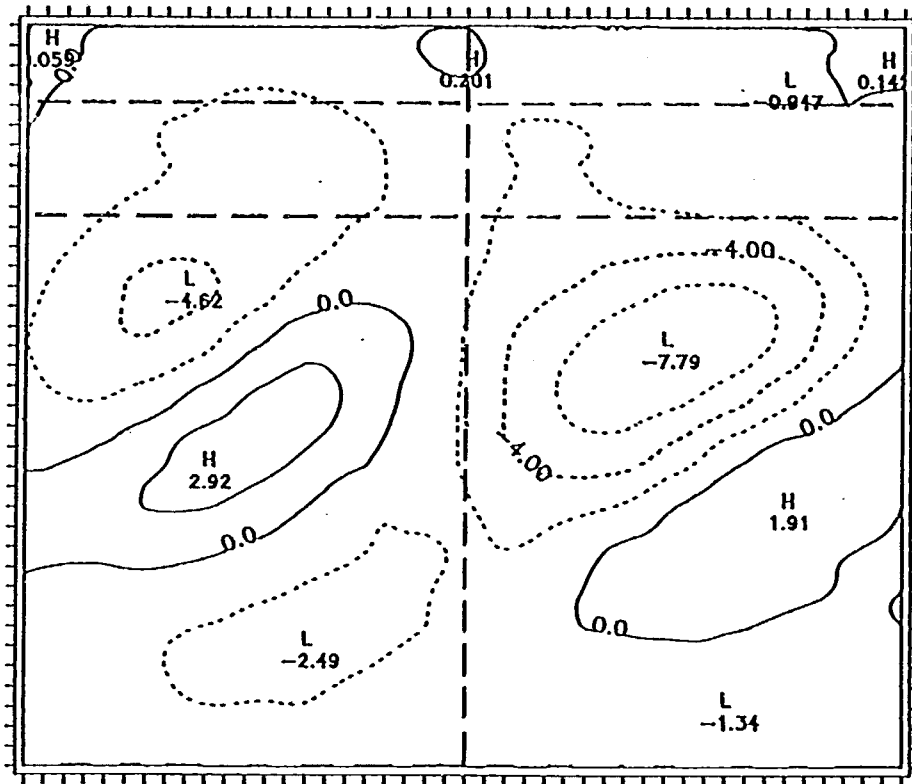


図-2.4.5(3) C-29テストパネル部ウェブの面外変位
(P=88.9ton, 0.78Pust)

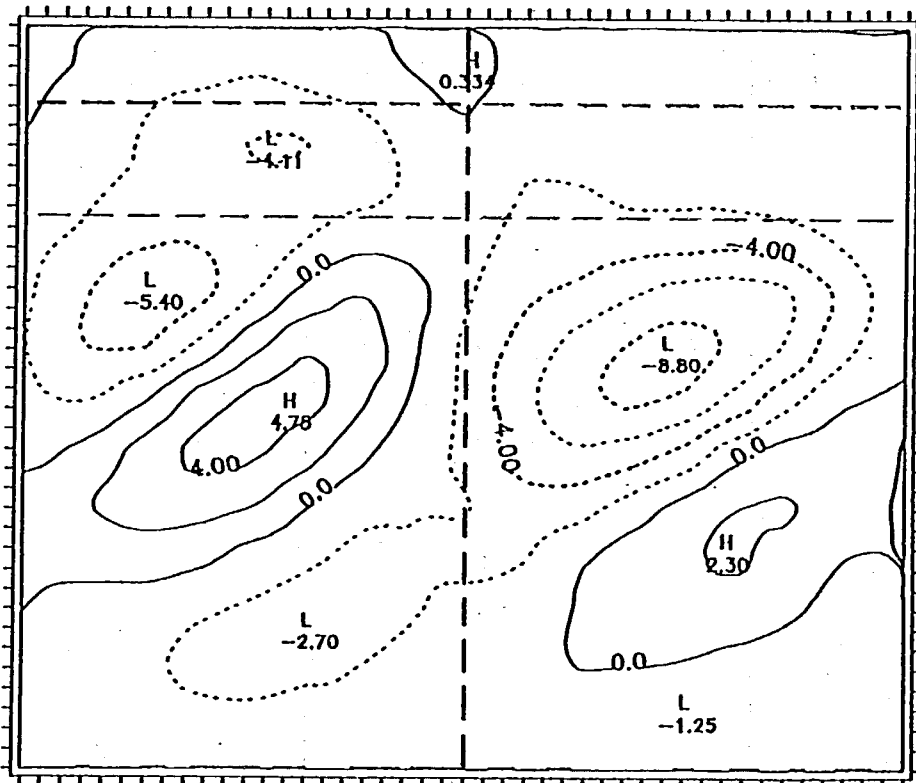


図-2.4.5(4) C-29テストパネル部ウェブの面外変位
(P=98.8ton, 0.87Pust)

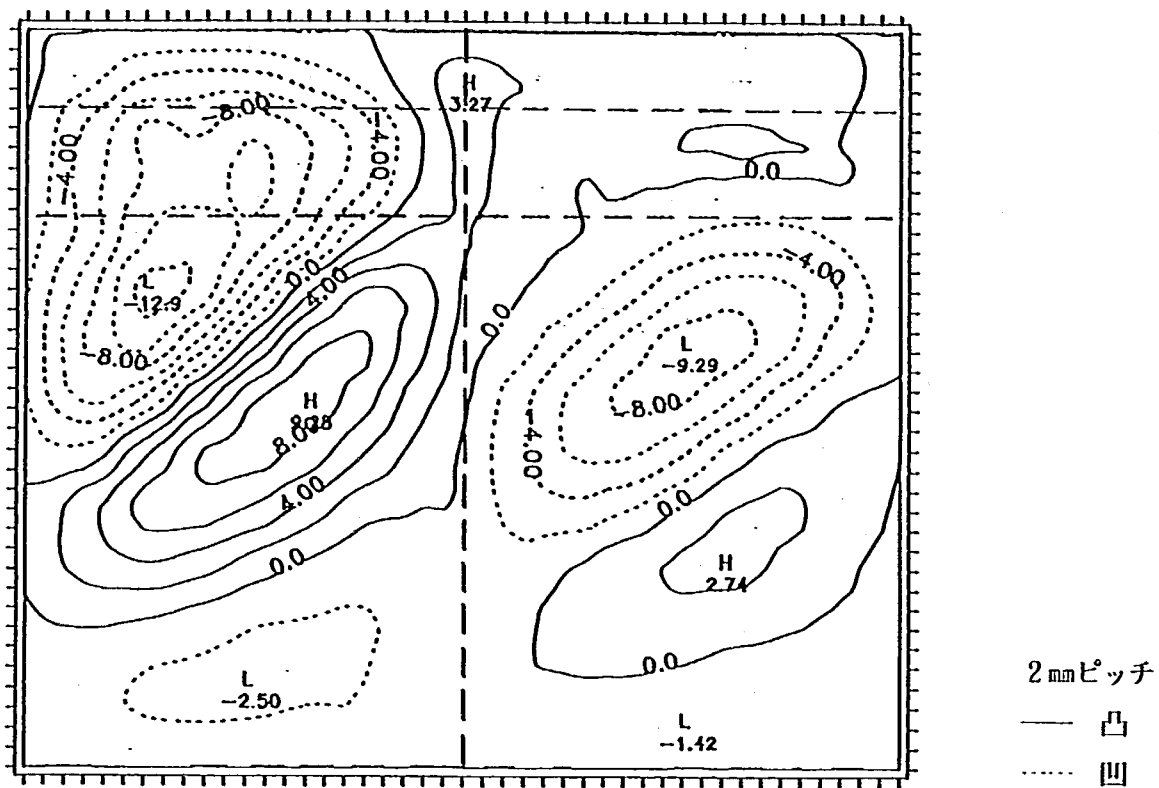


図-2.4.5(5) C-29テストパネル部ウェブの面外変位
($P=114.2\text{ton}$, Pust)

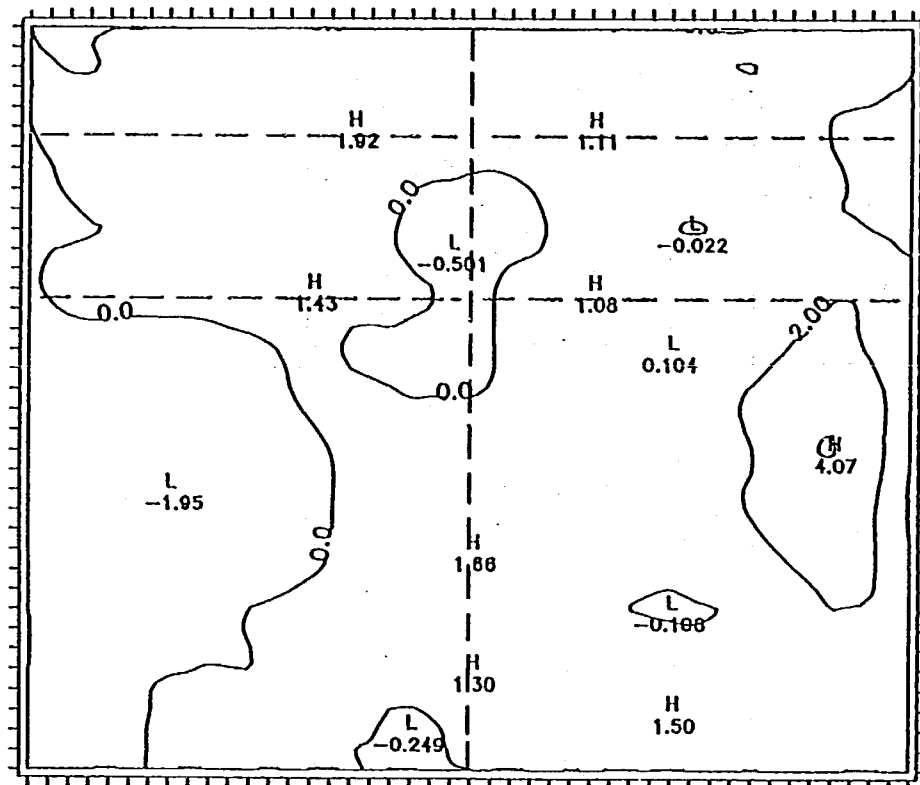


図-2.4.6(1) C-30テストパネル部ウェブの面外変位
(P=0 ton, 初期変位)

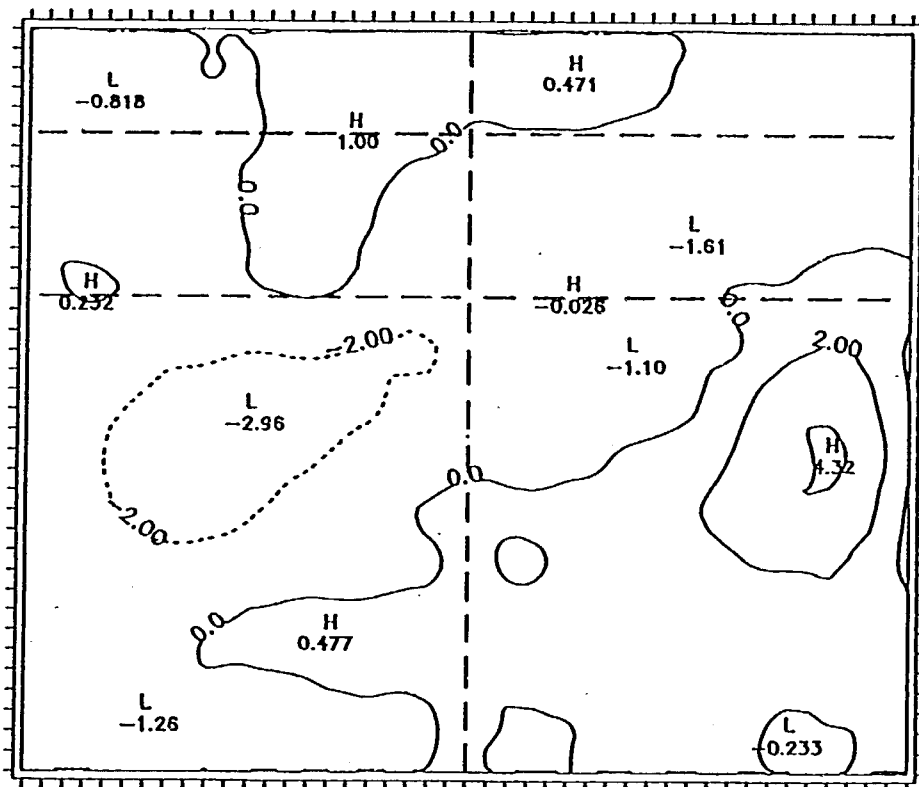


図-2.4.6(2) C-30テストパネル部ウェブの面外変位
(P=69.5ton, 0.61Pust)

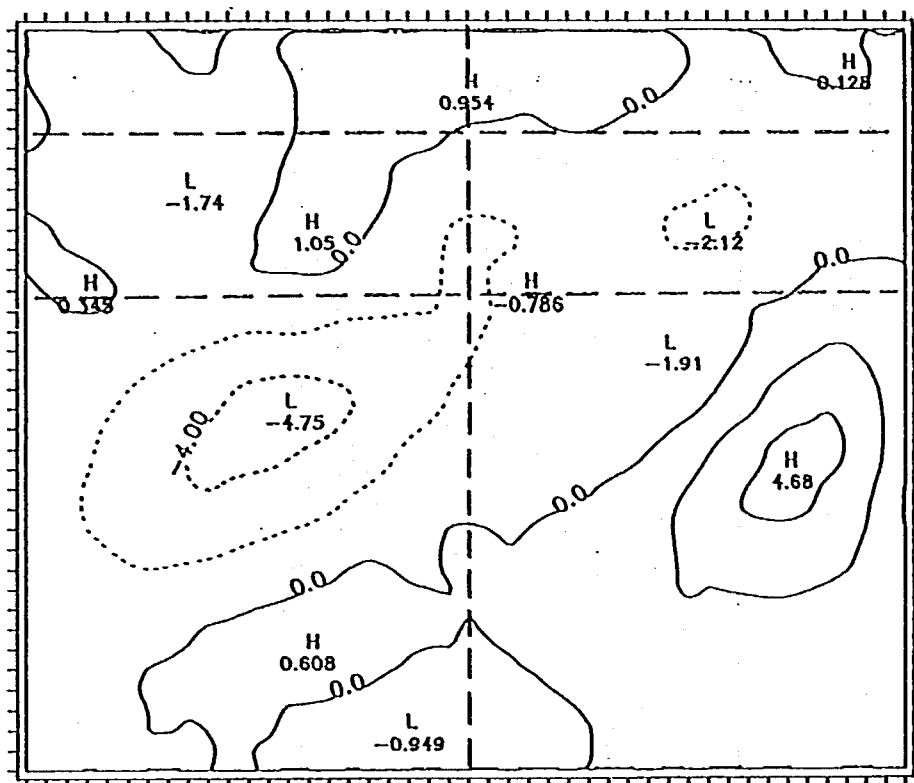


図-2.4.6(3) C-30テストパネル部ウェブの面外位
(P=89.1ton, 0.79Pust)

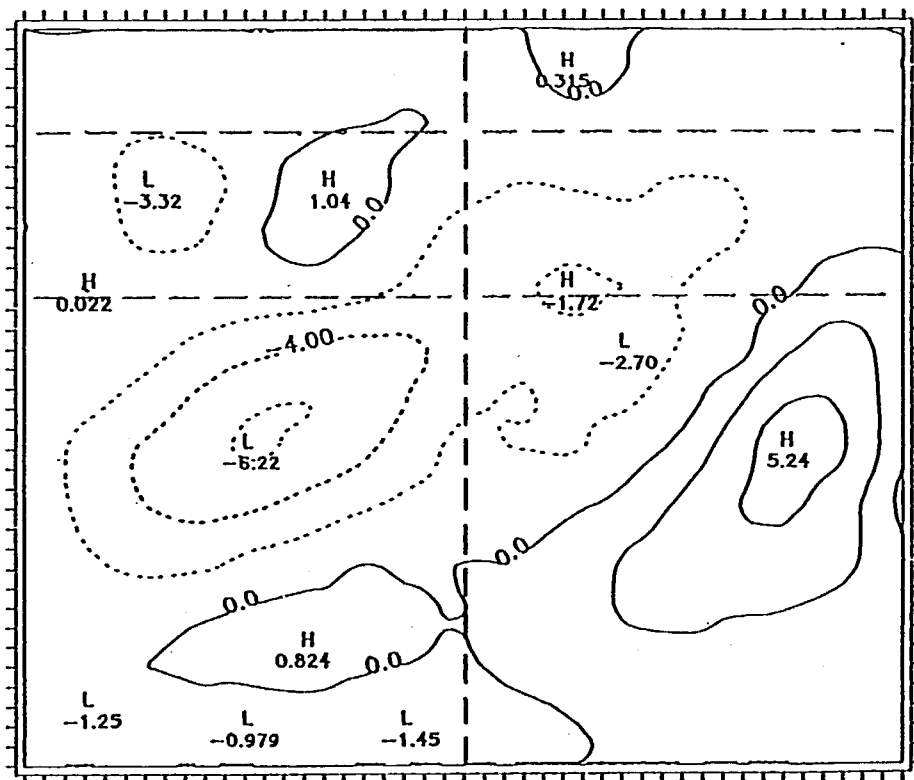


図-2.4.6(4) C-30テストパネル部ウェブの面外変位
(P=98.9ton, 0.87Pust)

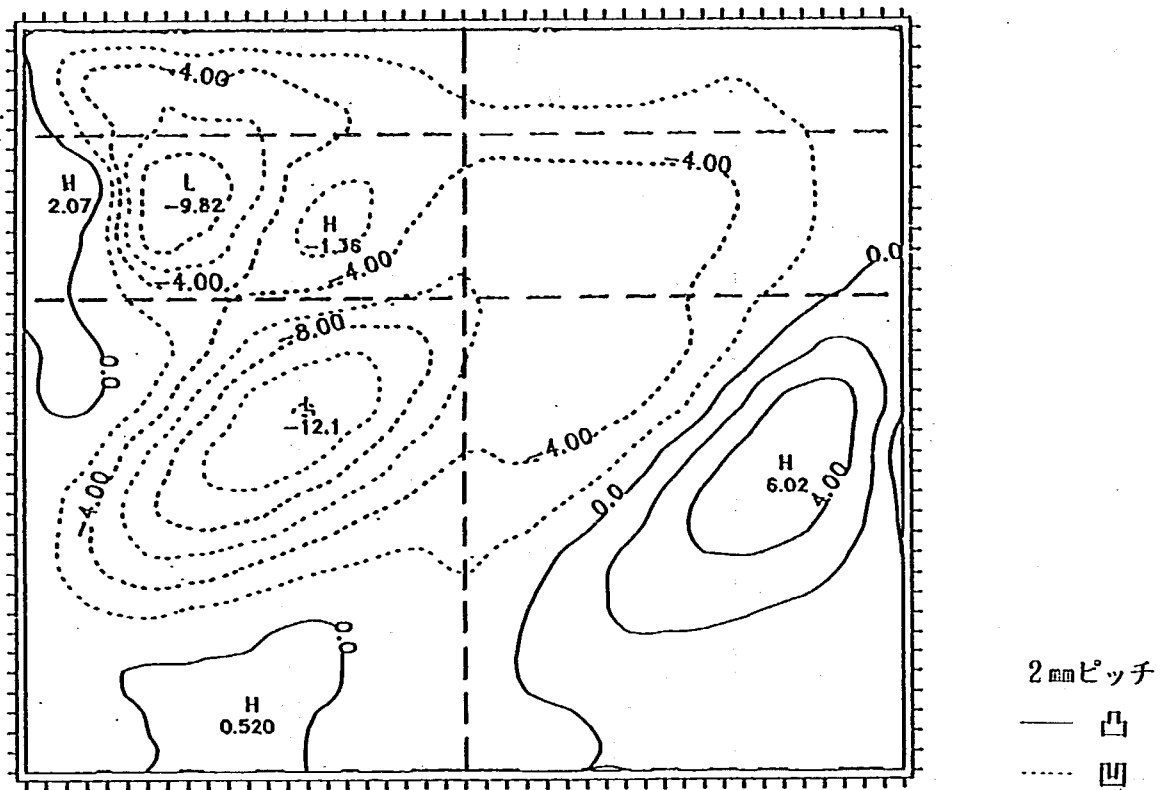


図-2.4.6(5) C-30テストパネル部ウェブの面外変位
(P=113.1ton, Pust)

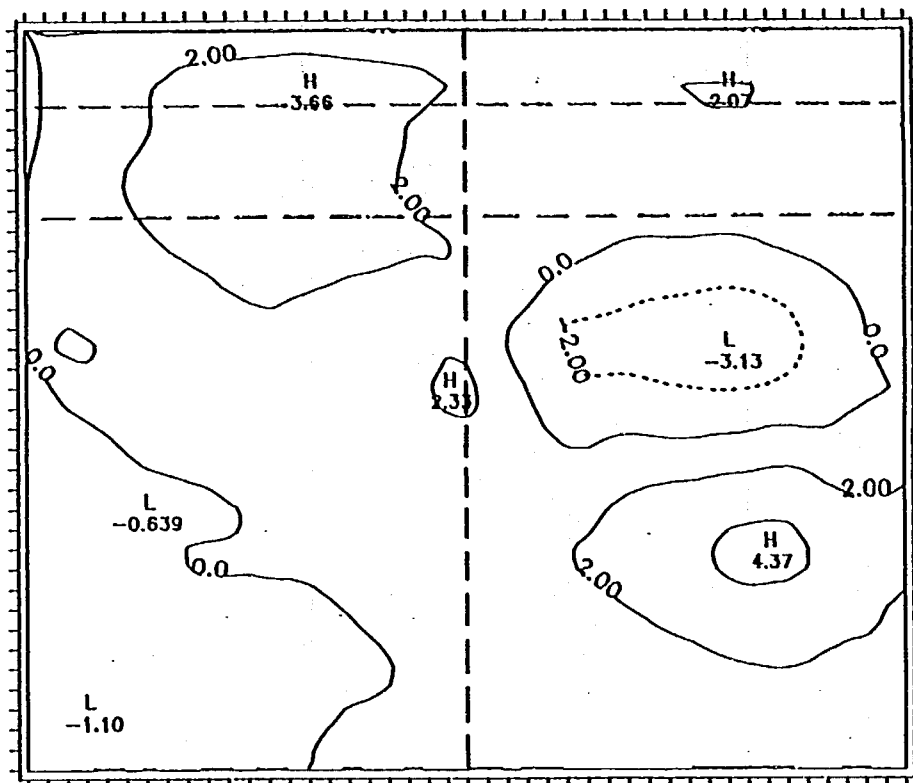


図-2.4.7(1) S-27テストパネル部ウェブの面外変位
 (P=0 ton, 初期変位)

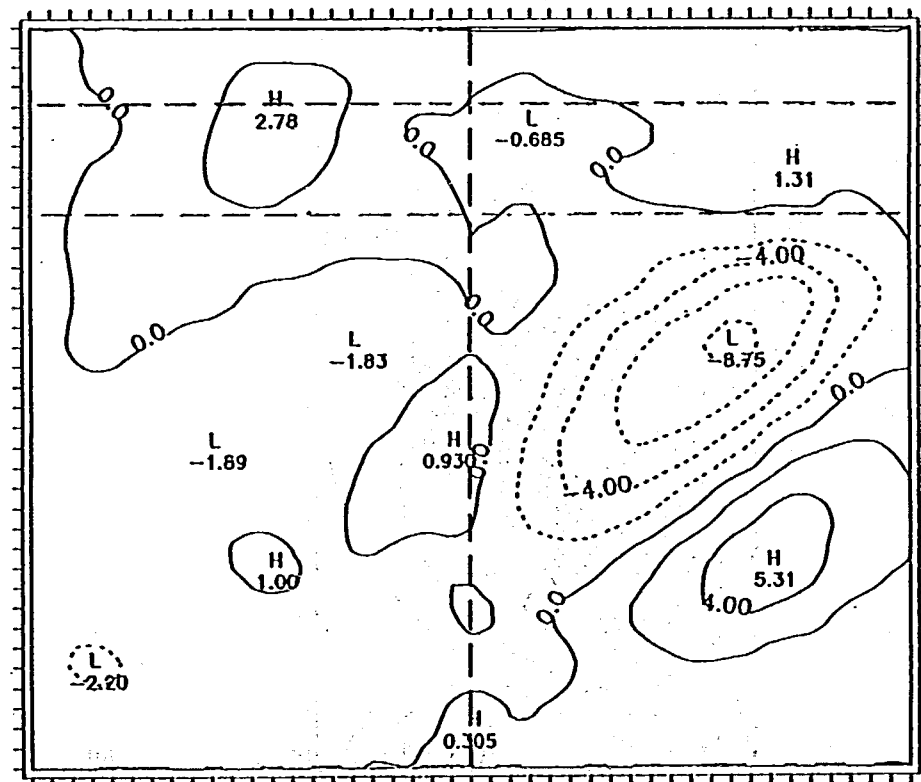


図-2.4.7(2) S-27テストパネル部ウェブの面外変位
 (P=79.8ton, 0.58Pust)

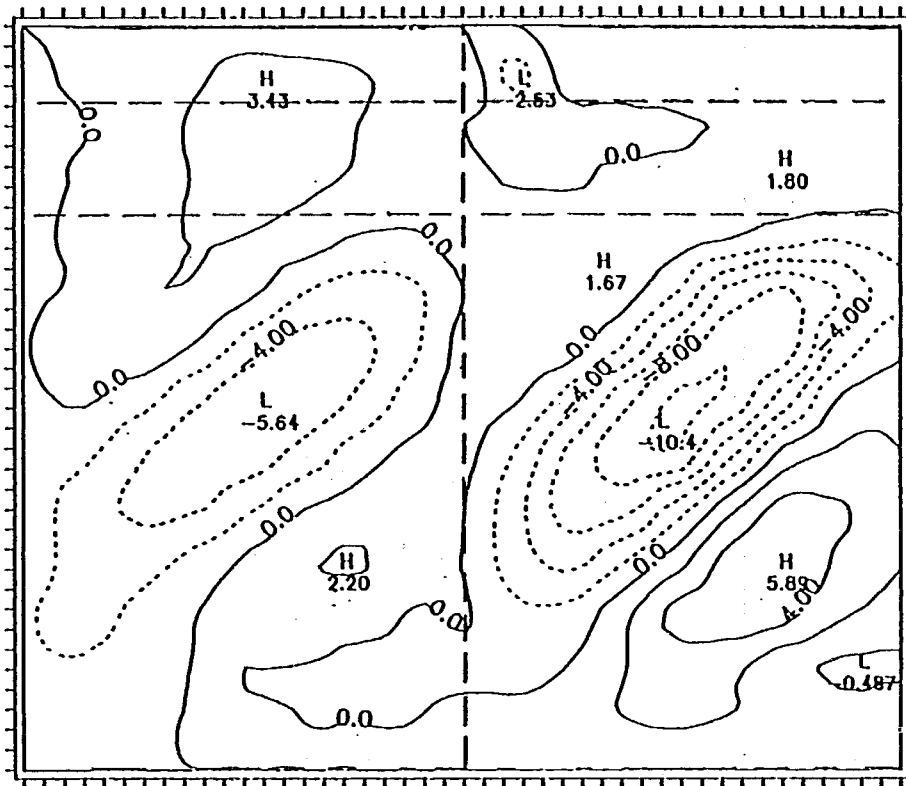


図-2.4.7(3) S-27テストパネル部ウェブの面外変位
($P=109.6\text{ton}$, $0.86P_{\text{ust}}$)

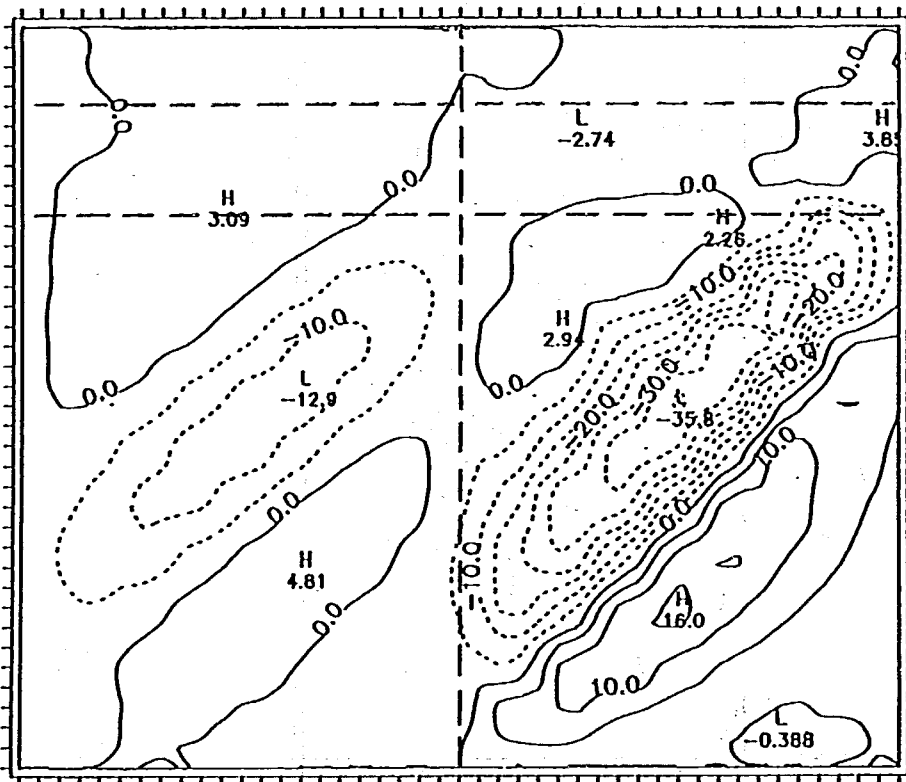


図-2.4.7(4) S-27テストパネル部ウェブの面外変位
($P=135.7\text{ton}$, 最大荷重後 $0.99P_{\text{ust}}$)

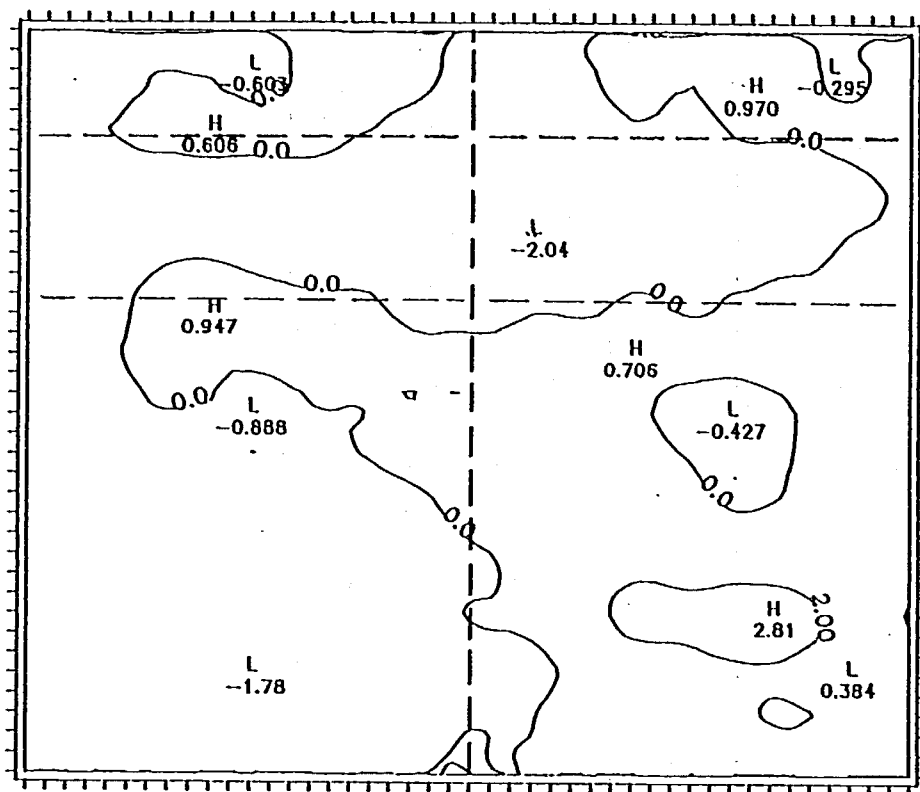


図-2.4.8(1) S-28テストパネル部ウェブの面外変位
(P=0 ton, 初期変位)

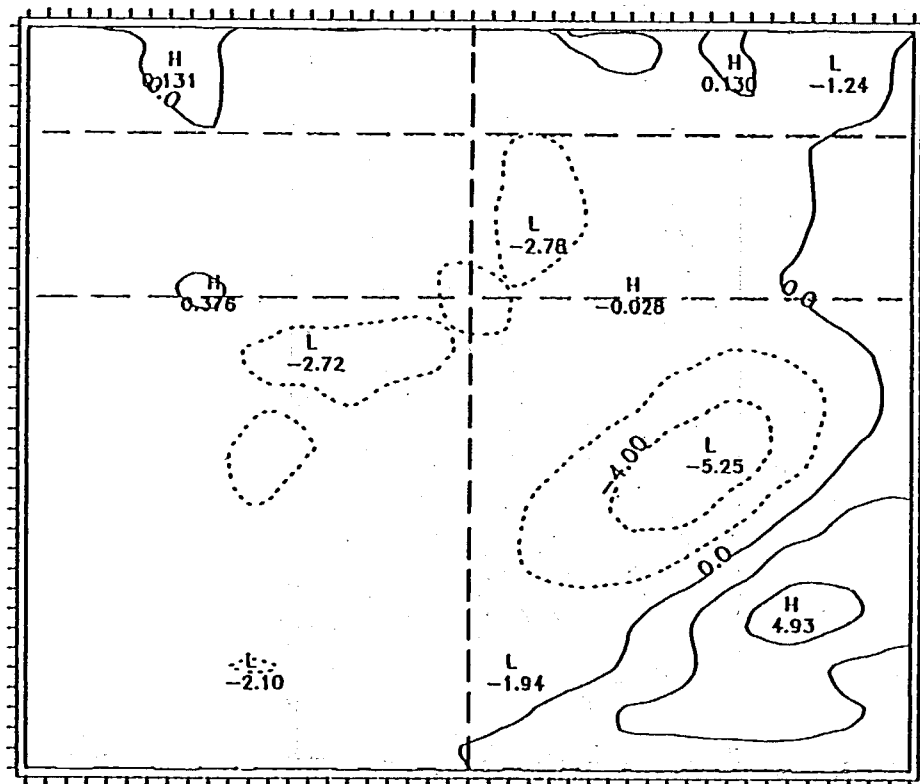


図-2.4.8(2) S-28テストパネル部ウェブの面外変位
(P=79.6ton, 0.58Pust)

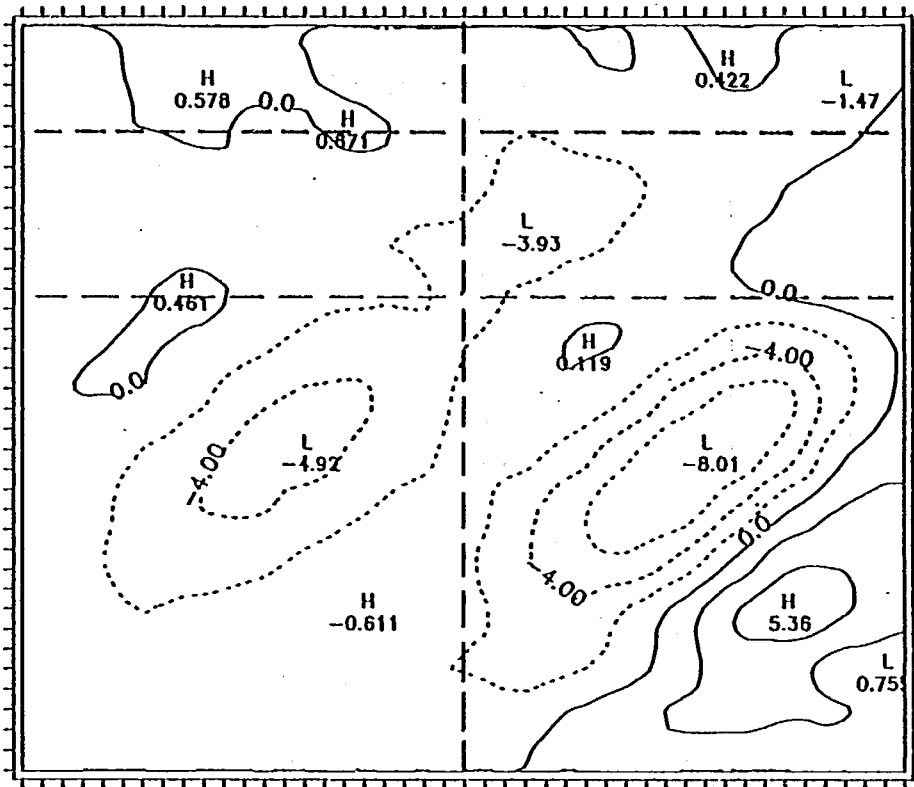


図-2.4.8(3) S-28テストパネル部ウェブの面外変位
($P=109.4\text{ton}$, $0.79P_{\text{ust}}$)

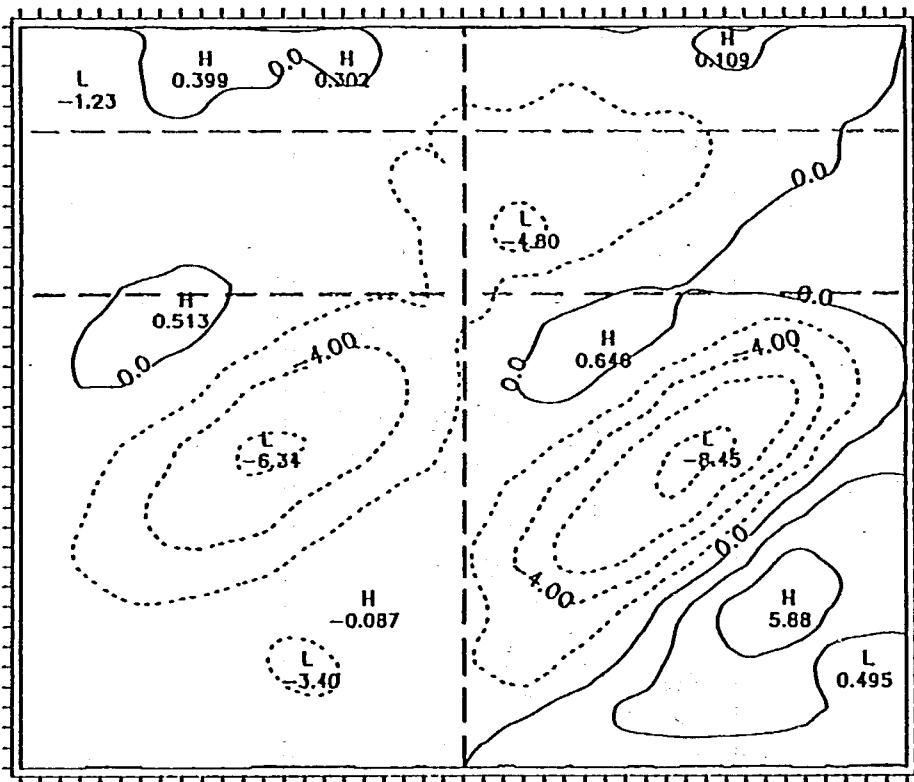
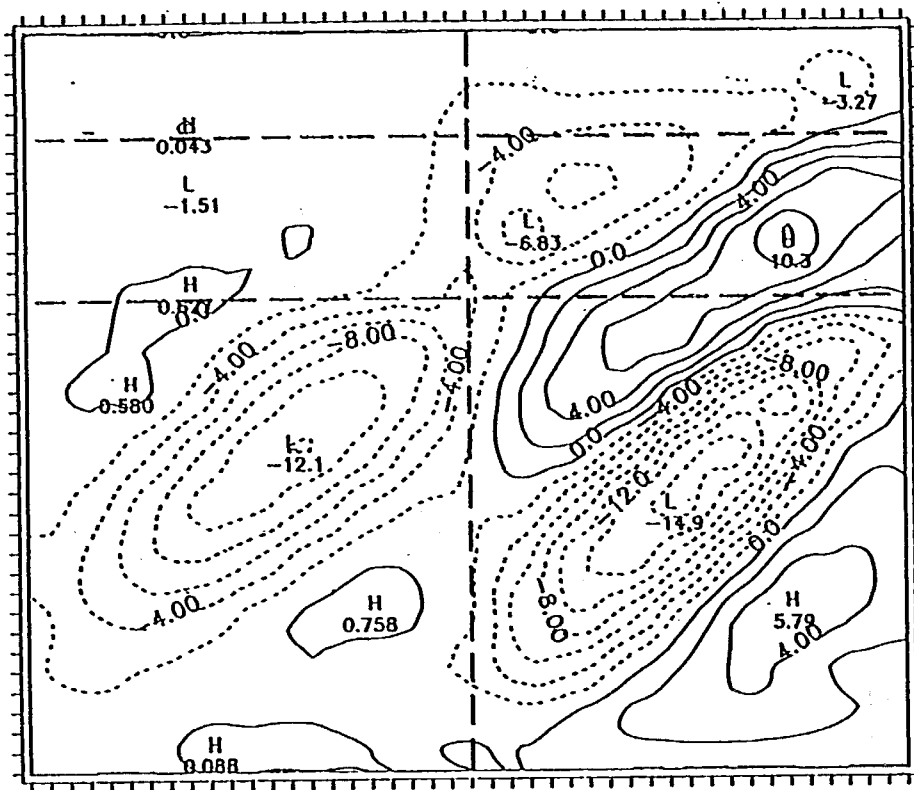


図-2.4.8(4) S-28テストパネル部ウェブの面外変位
($P=119.2\text{ton}$, $0.86P_{\text{ust}}$)



2mmピッチ

— 凸

- - - 凹

図-2.4.8(5) S-28テストパネル部ウェブの面外変位
(P=137.9ton, Pust)

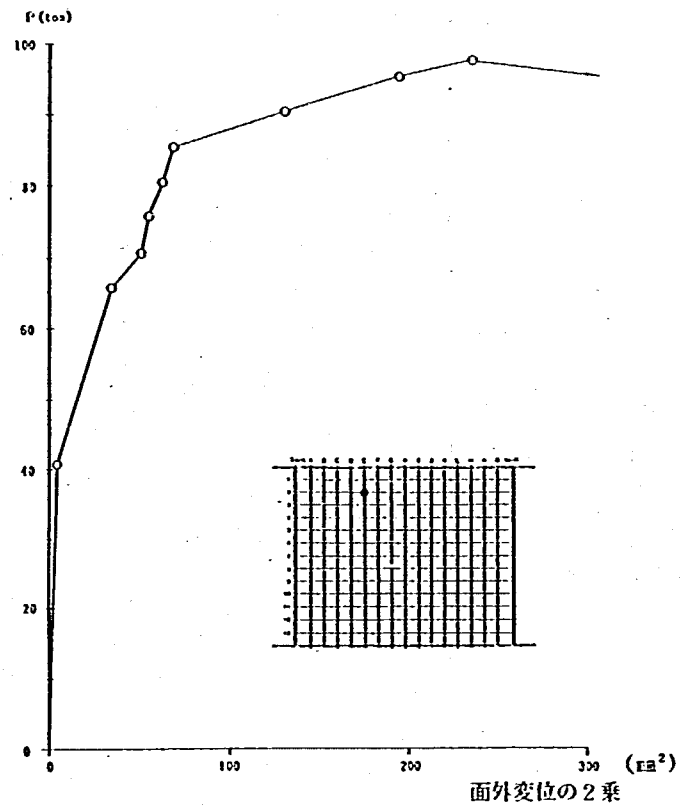


図-2.5.1(1) 荷重-面外変位の 2 乗 (B-01)

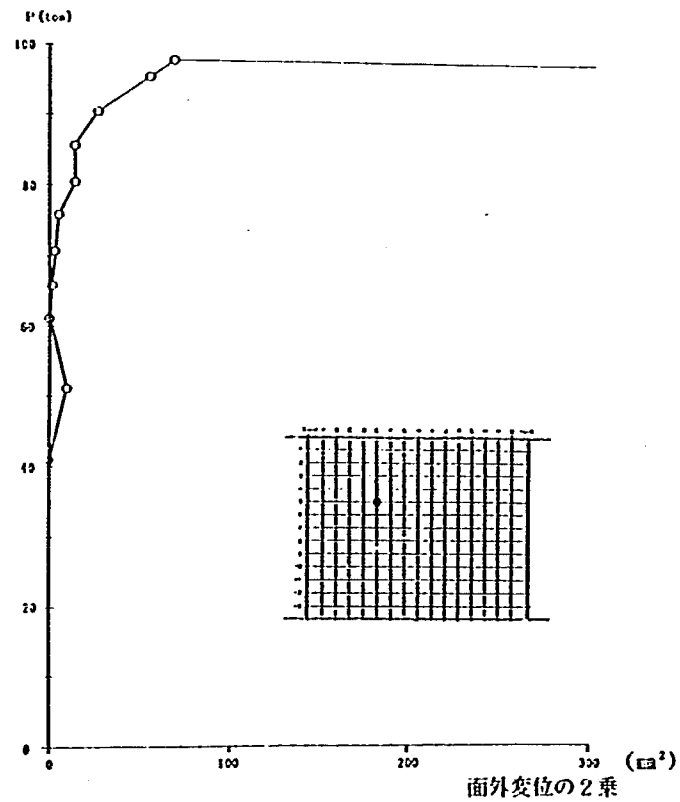


図-2.5.1(2) 荷重-面外変位の 2 乗 (B-01)

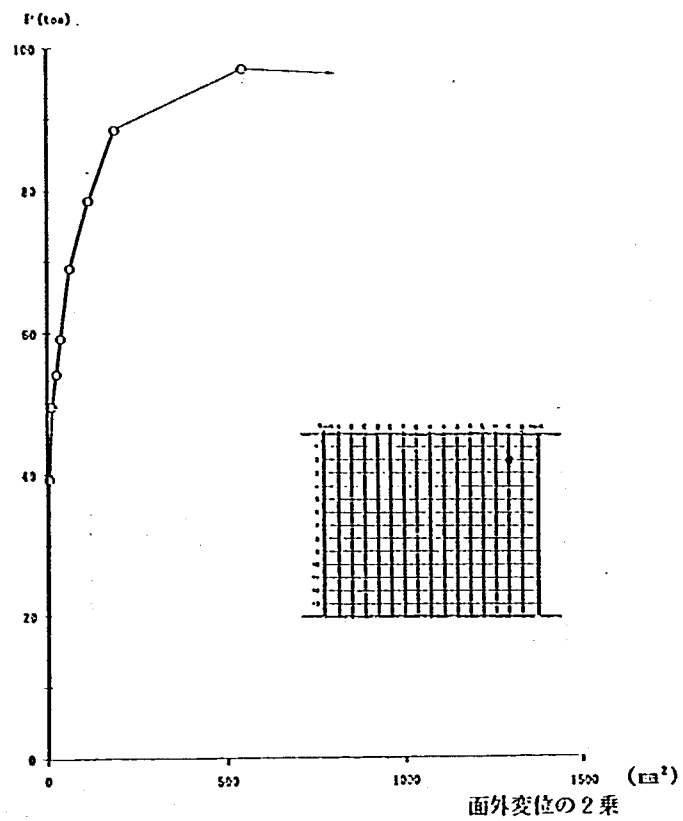


図-2.5.2(1) 荷重-面外変位の 2 乗 (S-01)

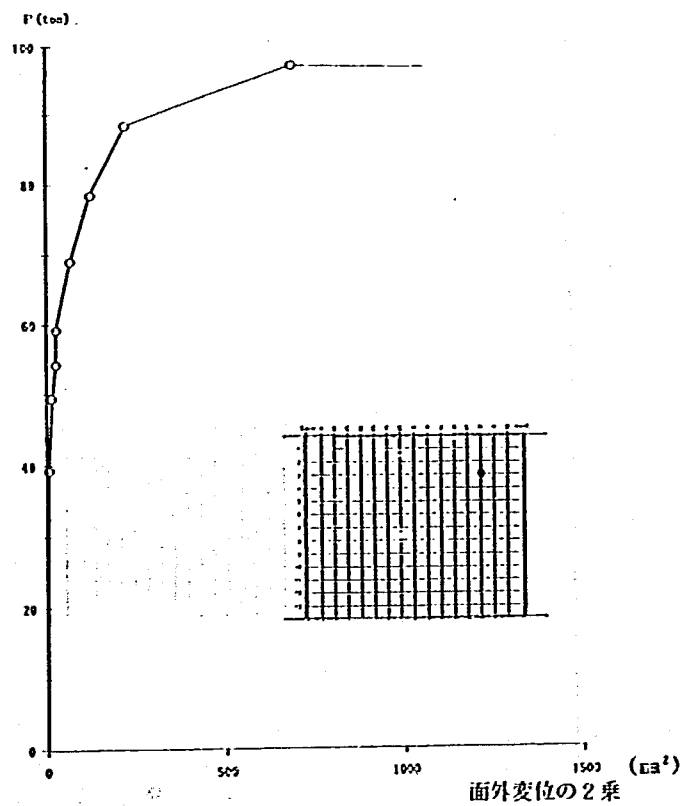


図-2.5.2(2) 荷重-面外変位の 2 乗 (S-01)

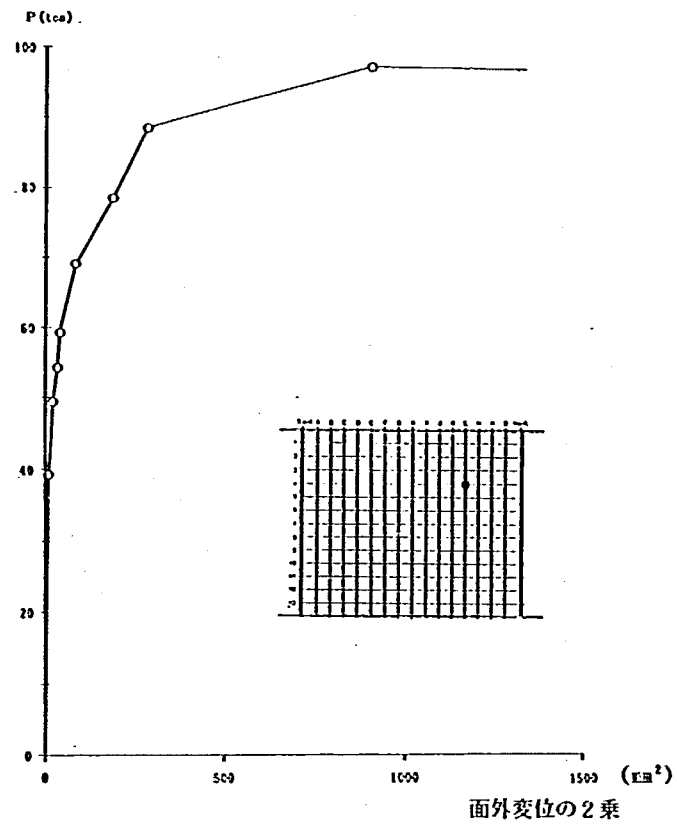


図-2.5.2(3) 荷重-面外変位の2乗 (S-01)

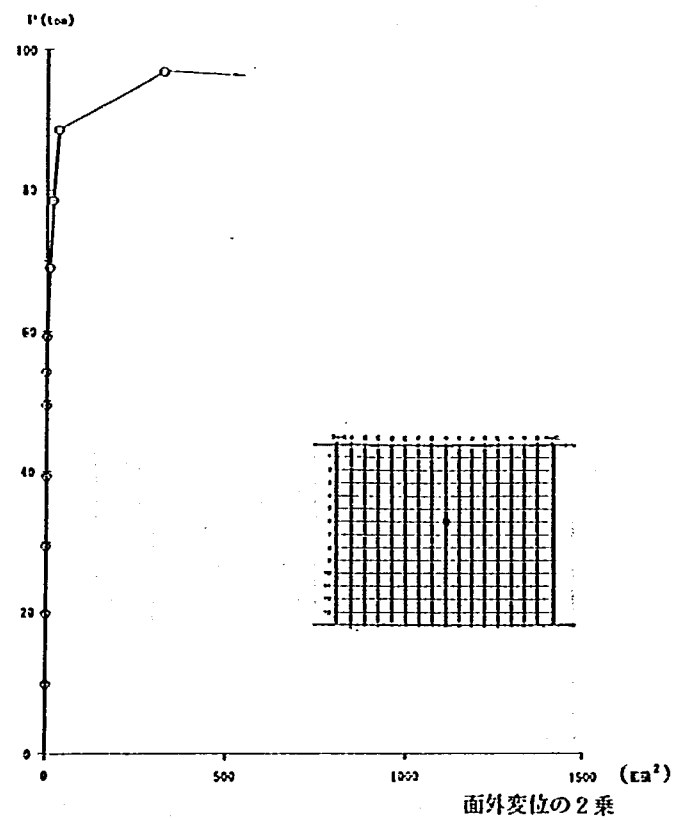


図-2.5.2(4) 荷重-面外変位の2乗 (S-01)

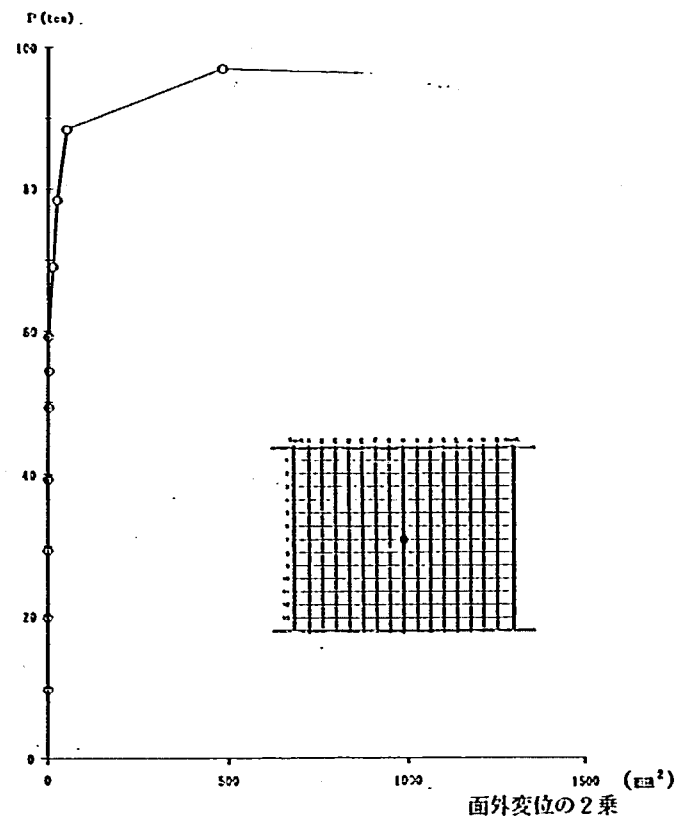


図-2.5.2(5) 荷重-面外変位の2乗 (S-01)

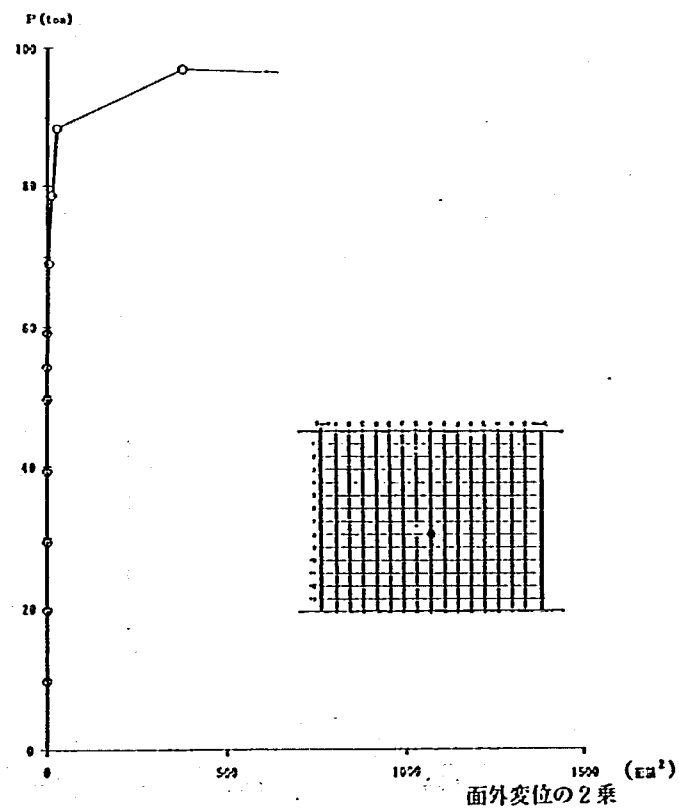


図-2.5.2(6) 荷重-面外変位の2乗 (S-01)

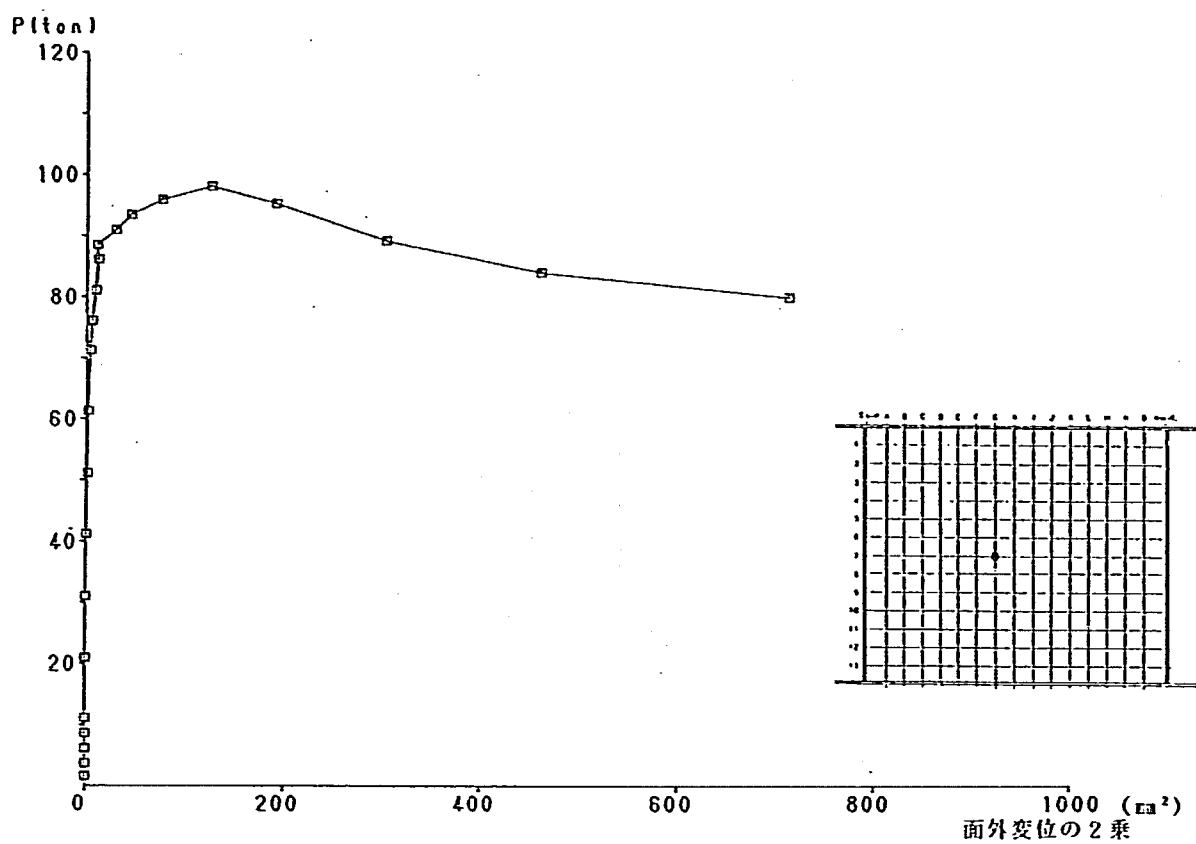


図-2.5.3(1) 荷重-面外変位の 2 乗 (B-25)

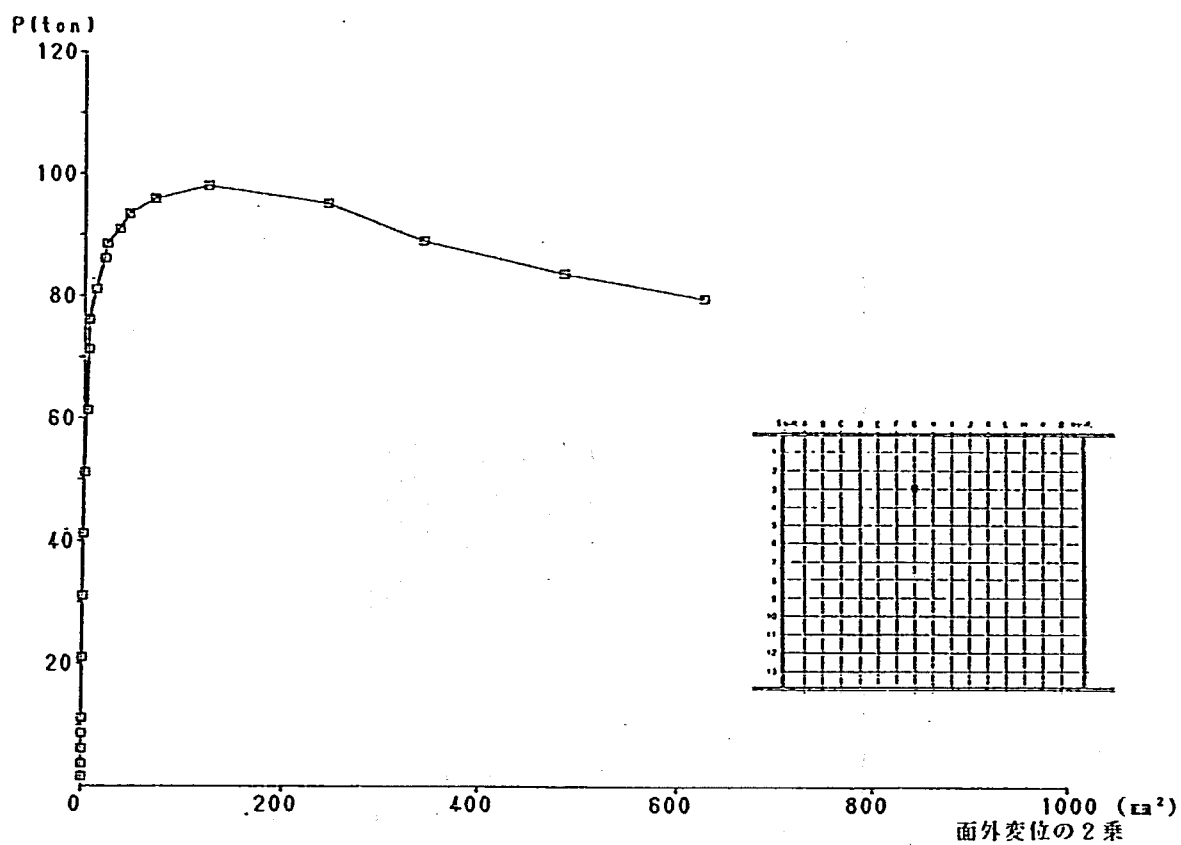


図-2.5.3(2) 荷重-面外変位の 2 乗 (B-25)

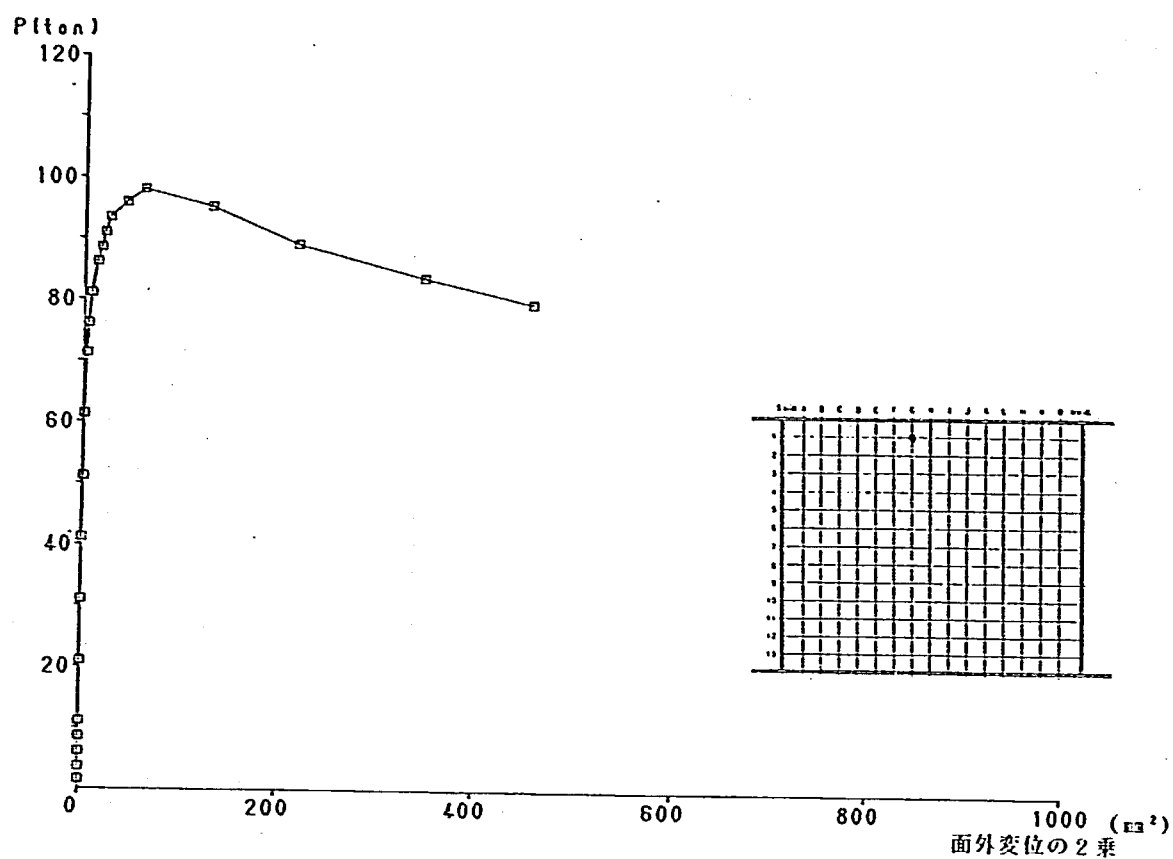


図-2.5.3(3) 荷重-面外変位の2乗 (B-25)

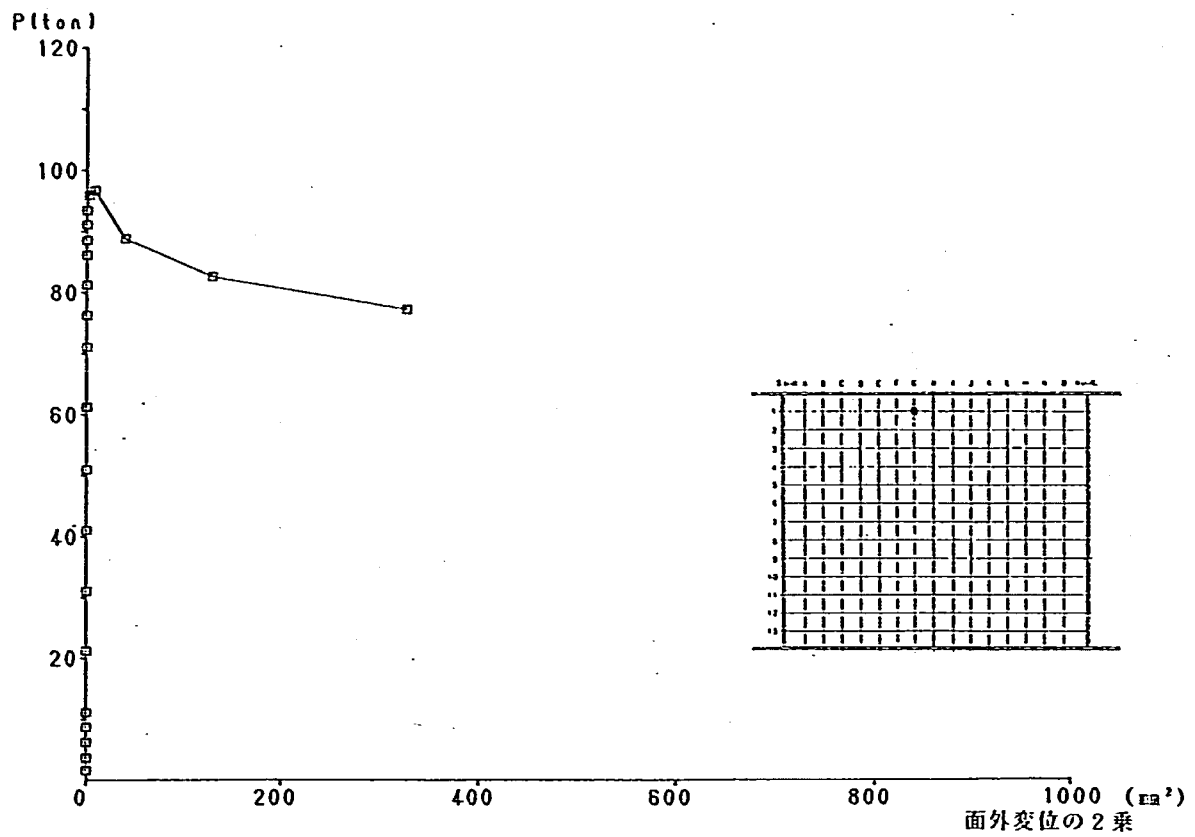


図-2.5.4(1) 荷重-面外変位の 2 乗 (B-26)

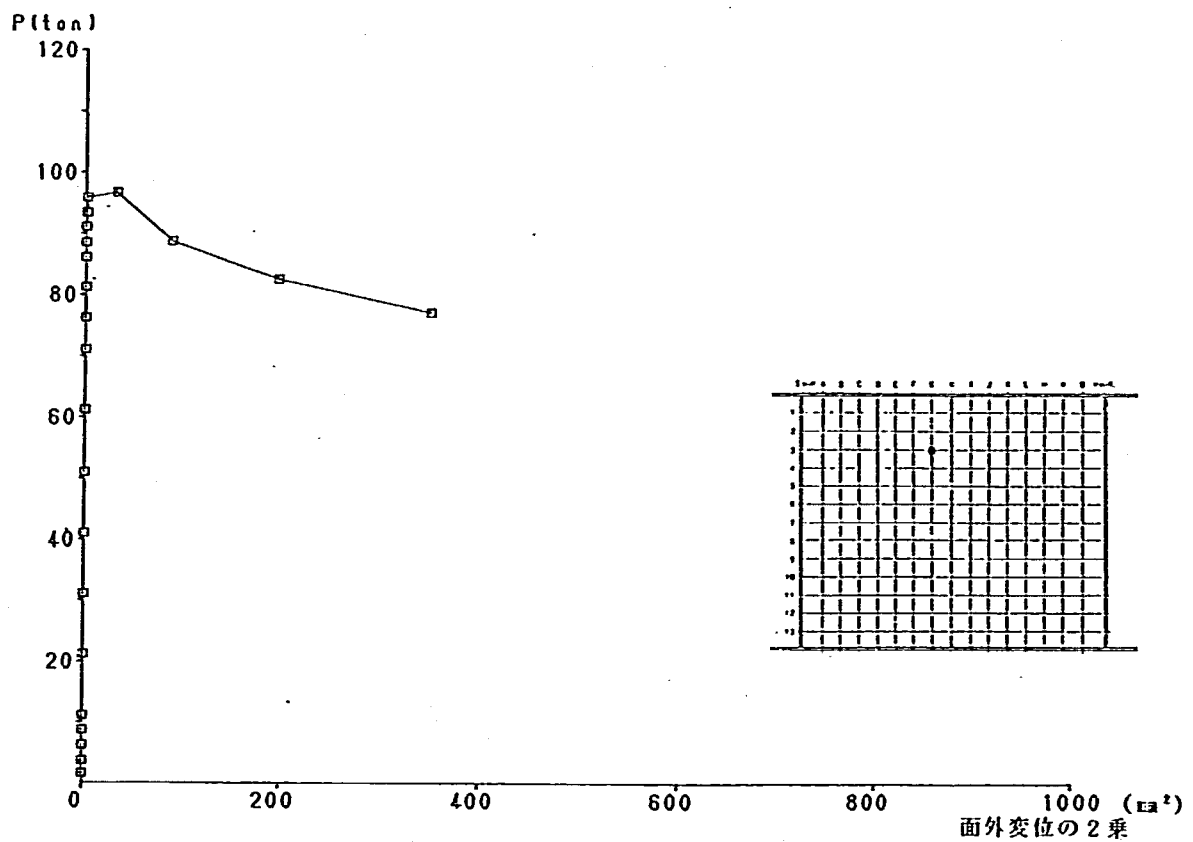


図-2.5.4(2) 荷重-面外変位の 2 乗 (B-26)

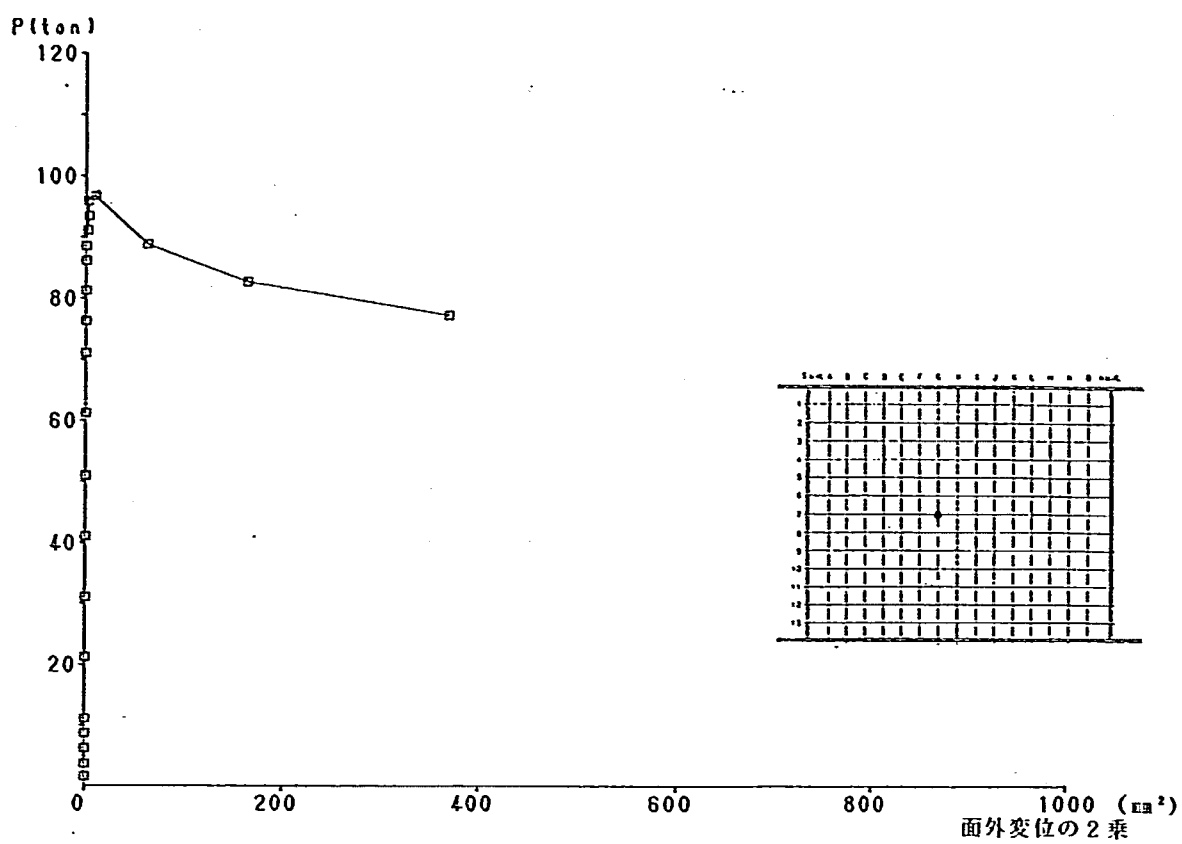


図-2.5.4(3) 荷重-面外変位の2乗 (B-26)

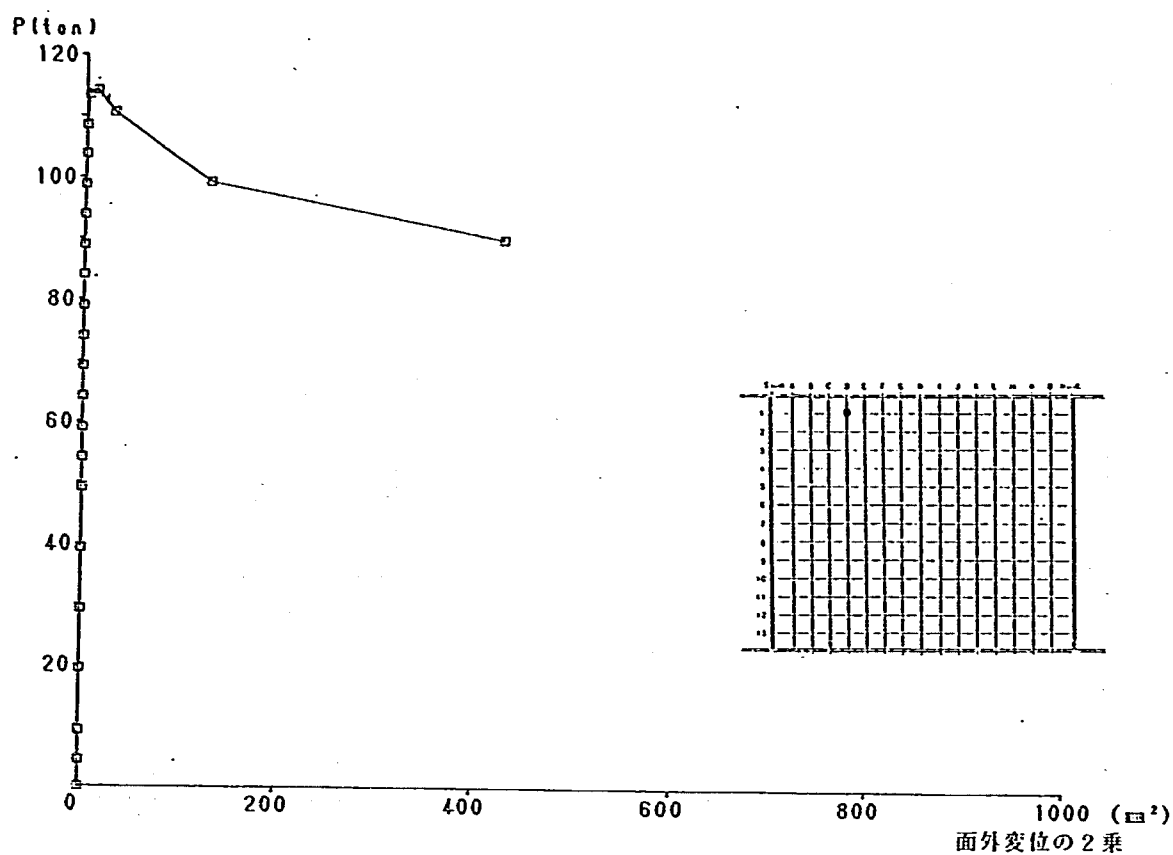


図-2.5.5(1) 荷重-面外変位の2乗 (C-29)

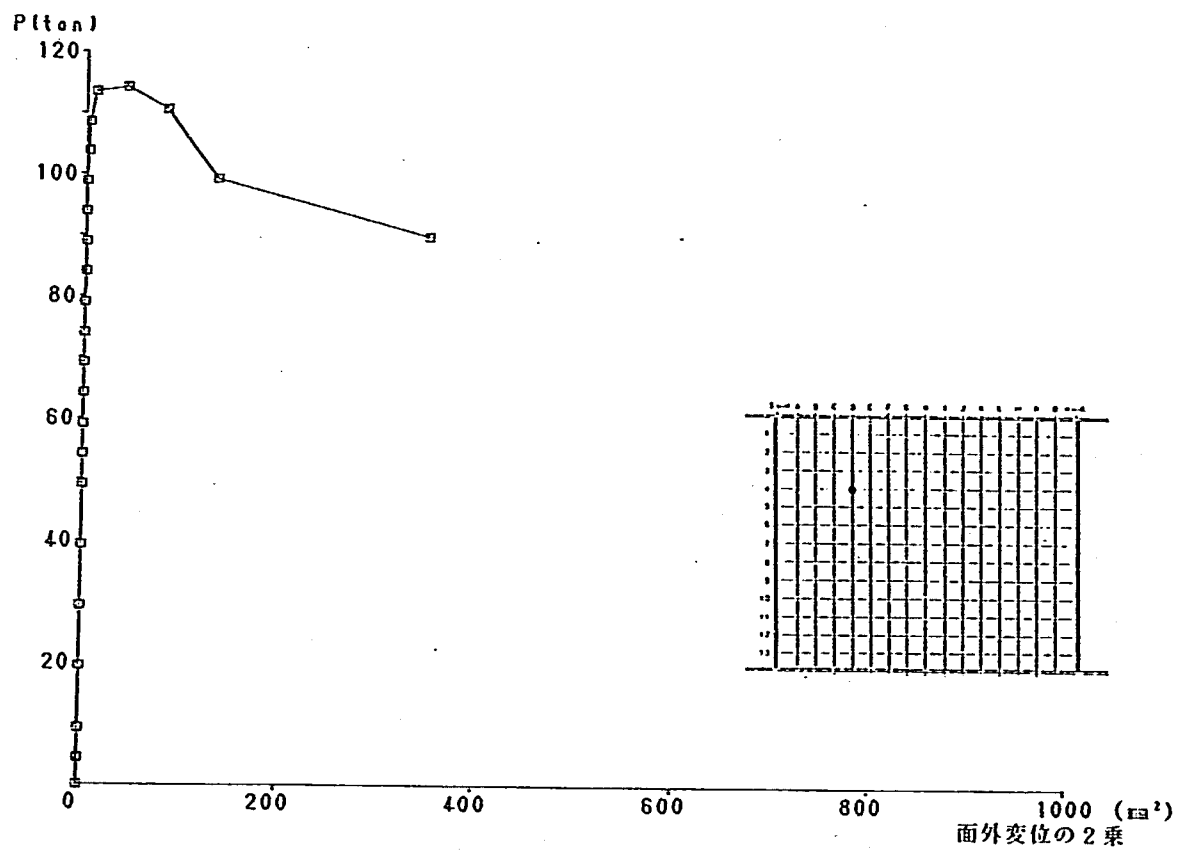


図-2.5.5(2) 荷重-面外変位の2乗 (C-29)

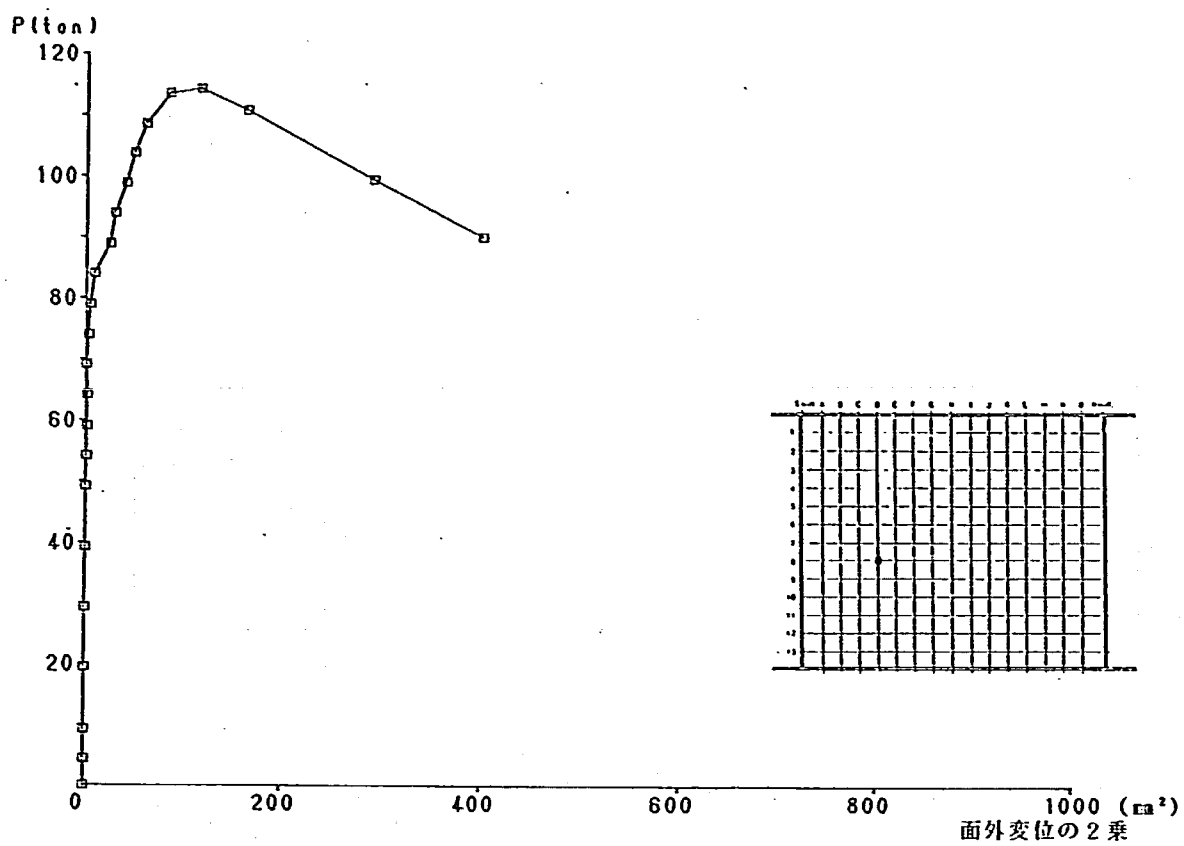


図-2.5.5(3) 荷重-面外変位の2乗 (C-29)

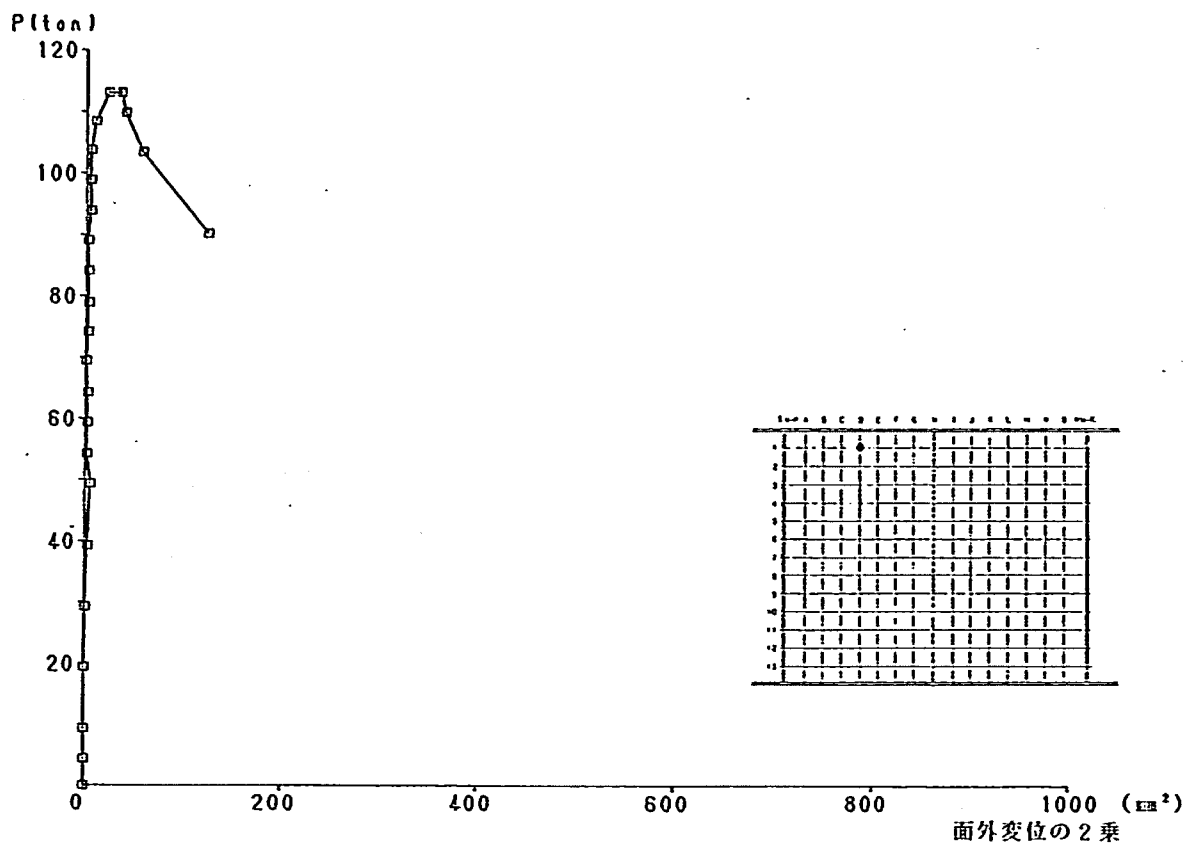


図-2.5.6(1) 荷重-面外変位の 2 乗 (C-30)

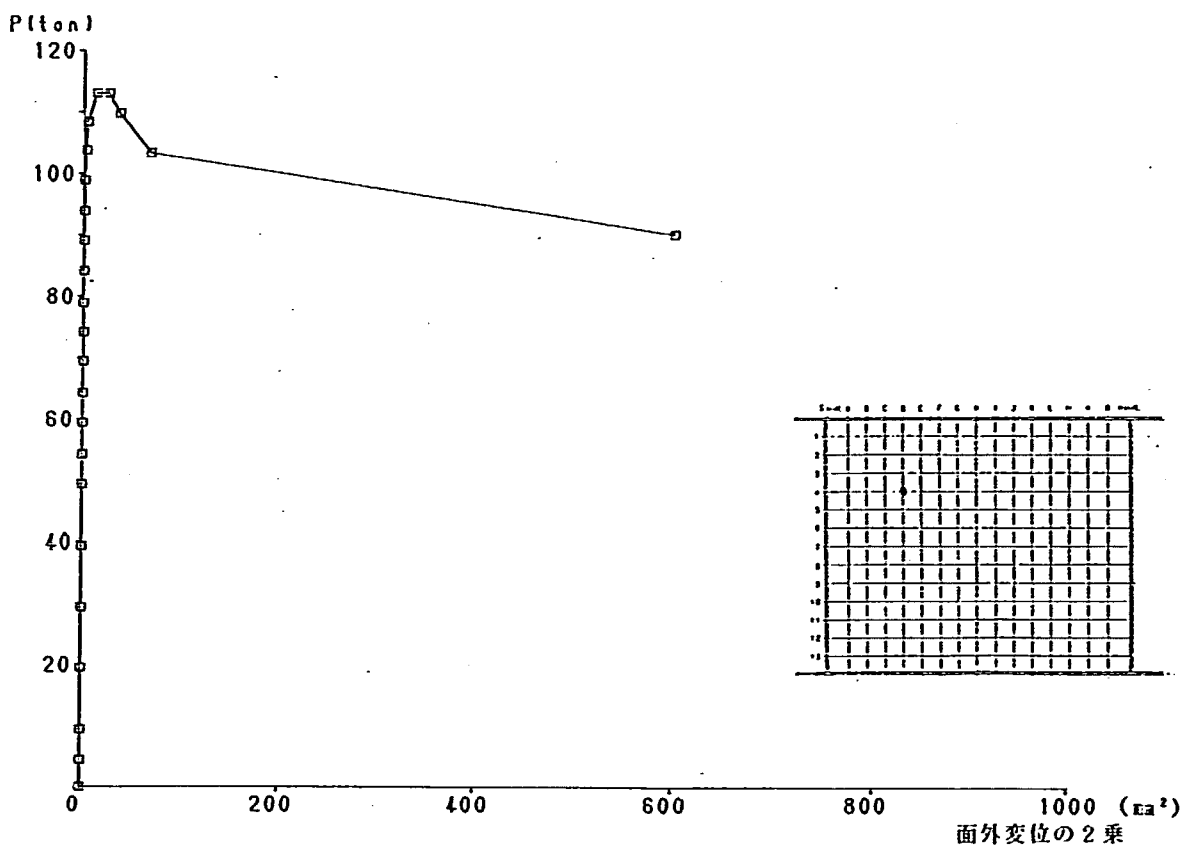


図-2.5.6(2) 荷重-面外変位の 2 乗 (C-30)

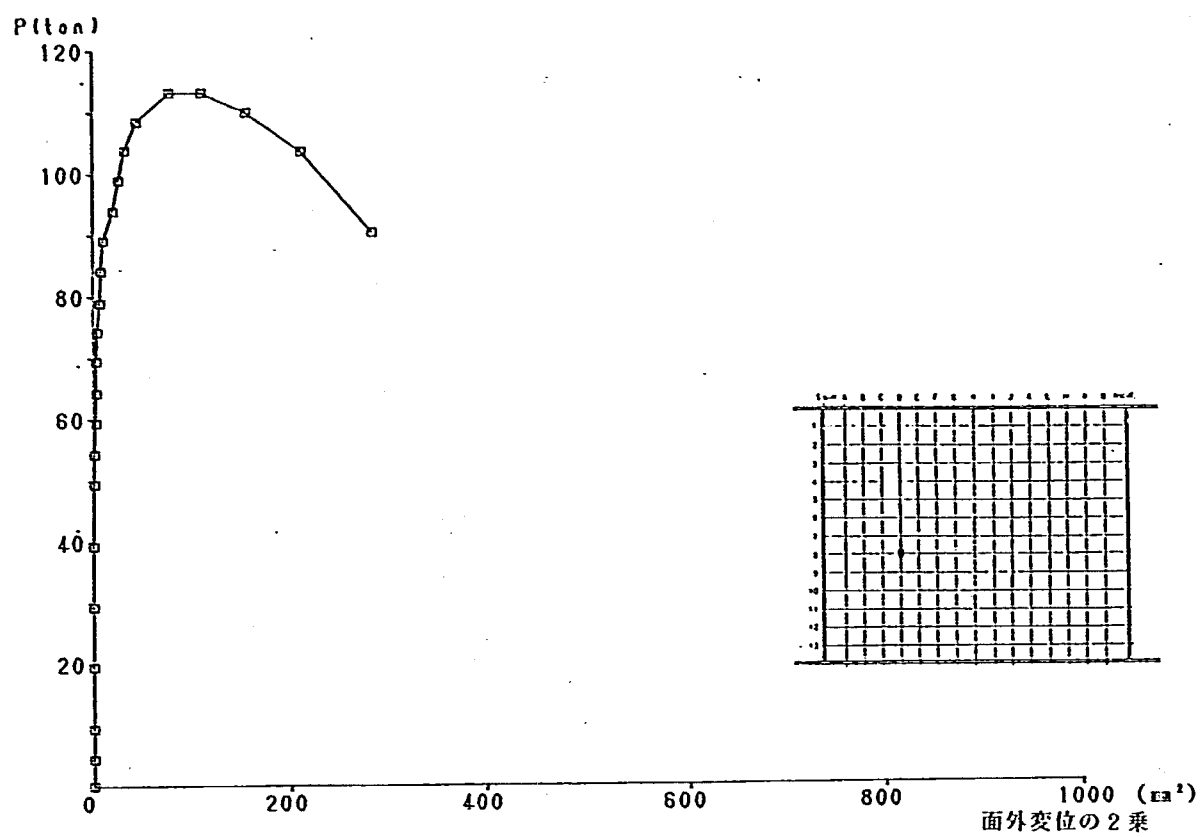


図-2.5.6(3) 荷重-面外変位の 2 乗 (C-30)

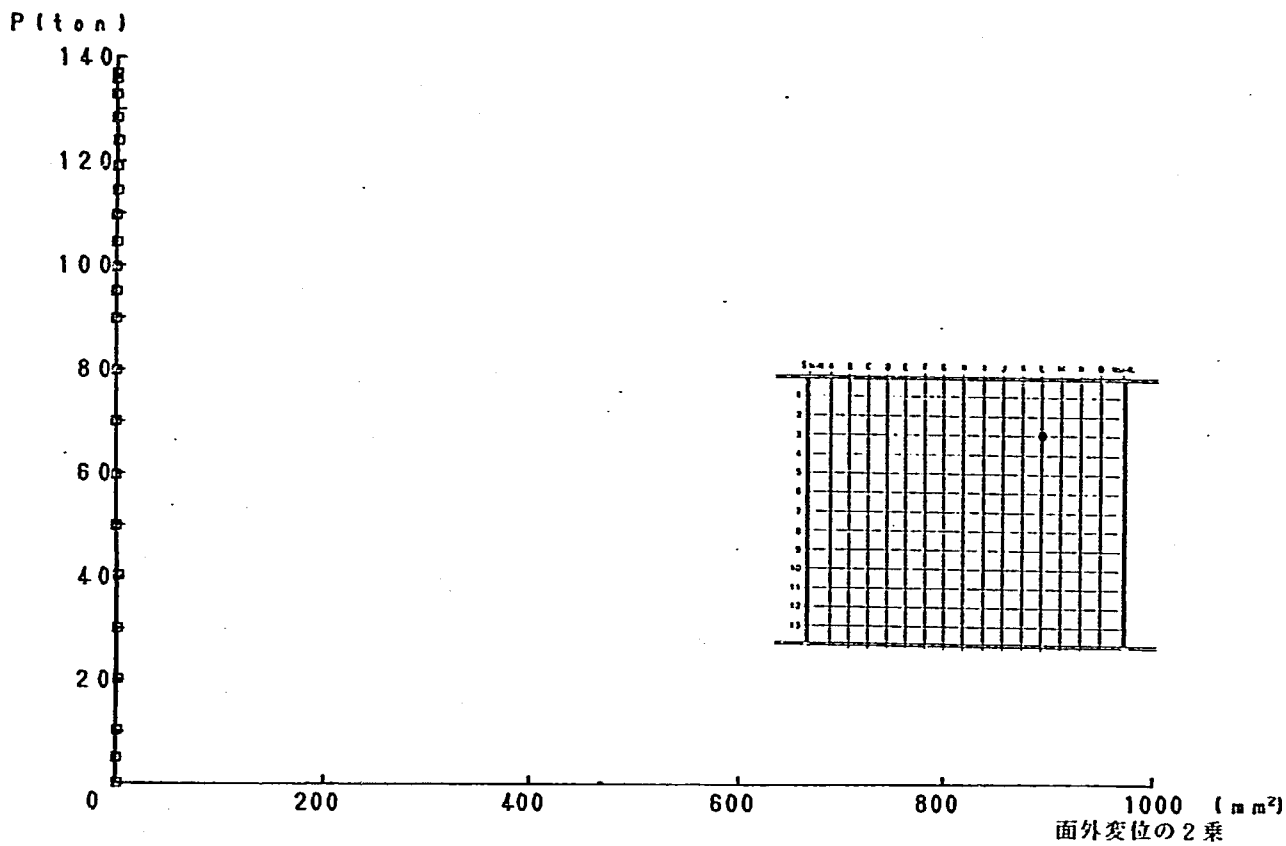


図-2.5.7(1) 荷重-面外変位の2乗 (S-27)

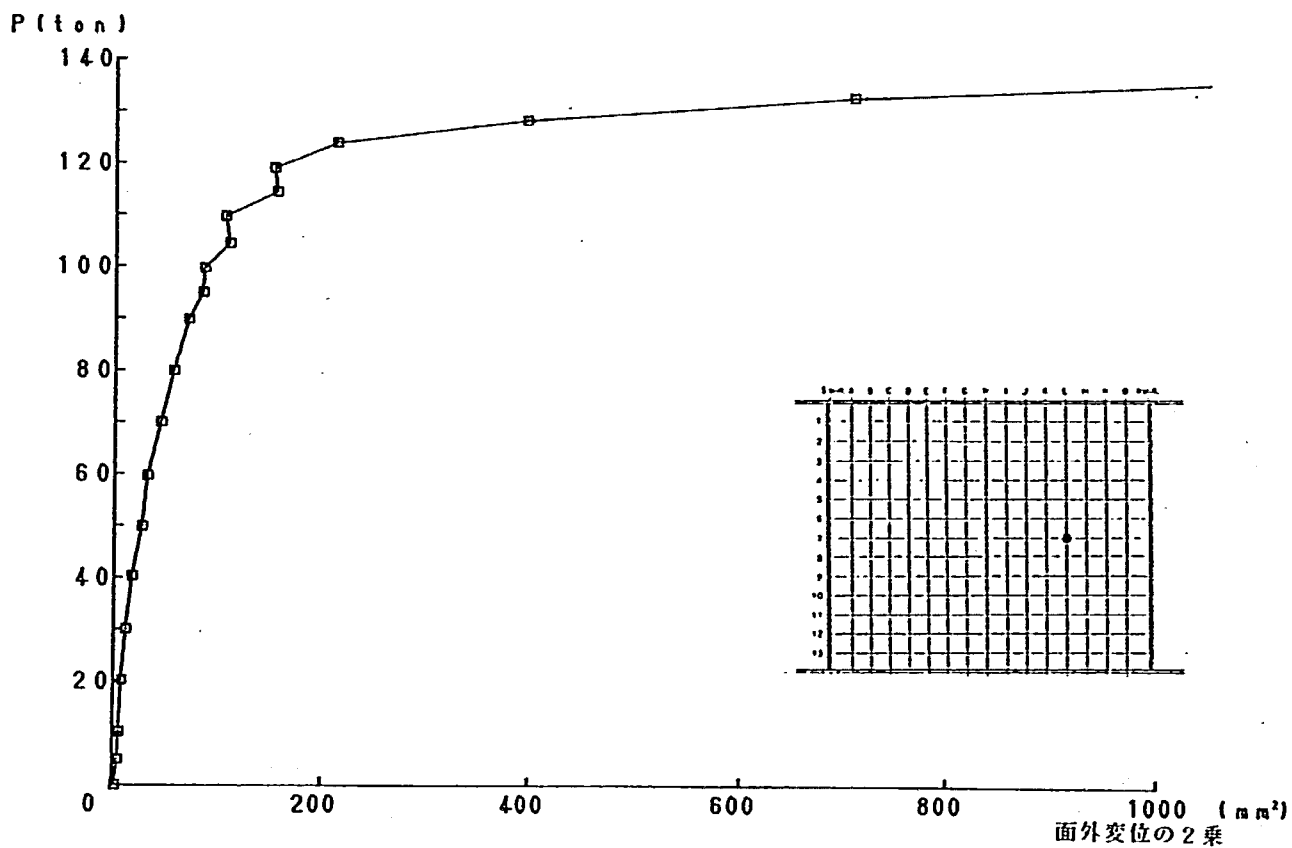


図-2.5.7(2) 荷重-面外変位の2乗 (S-27)

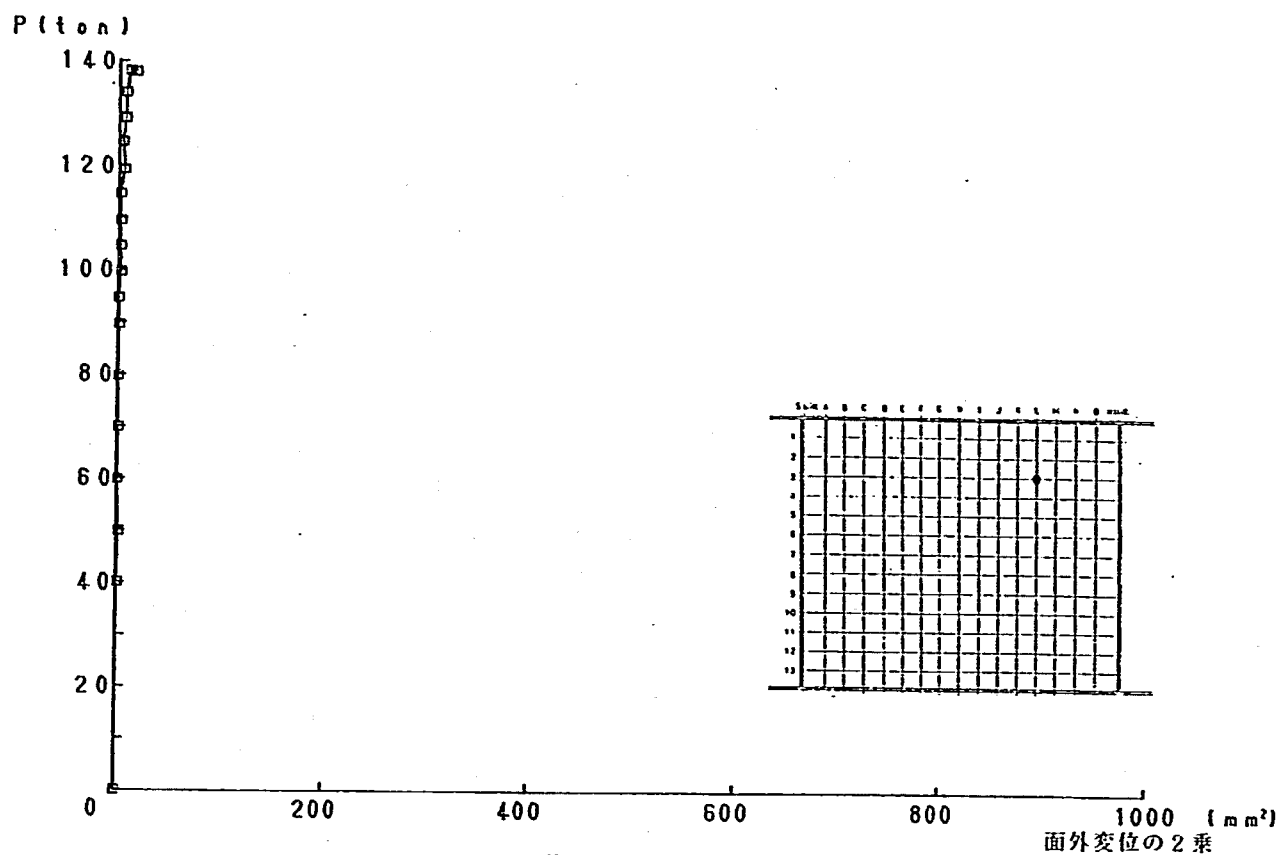


図-2.5.8(1) 荷重-面外変位の2乗 (S-28)

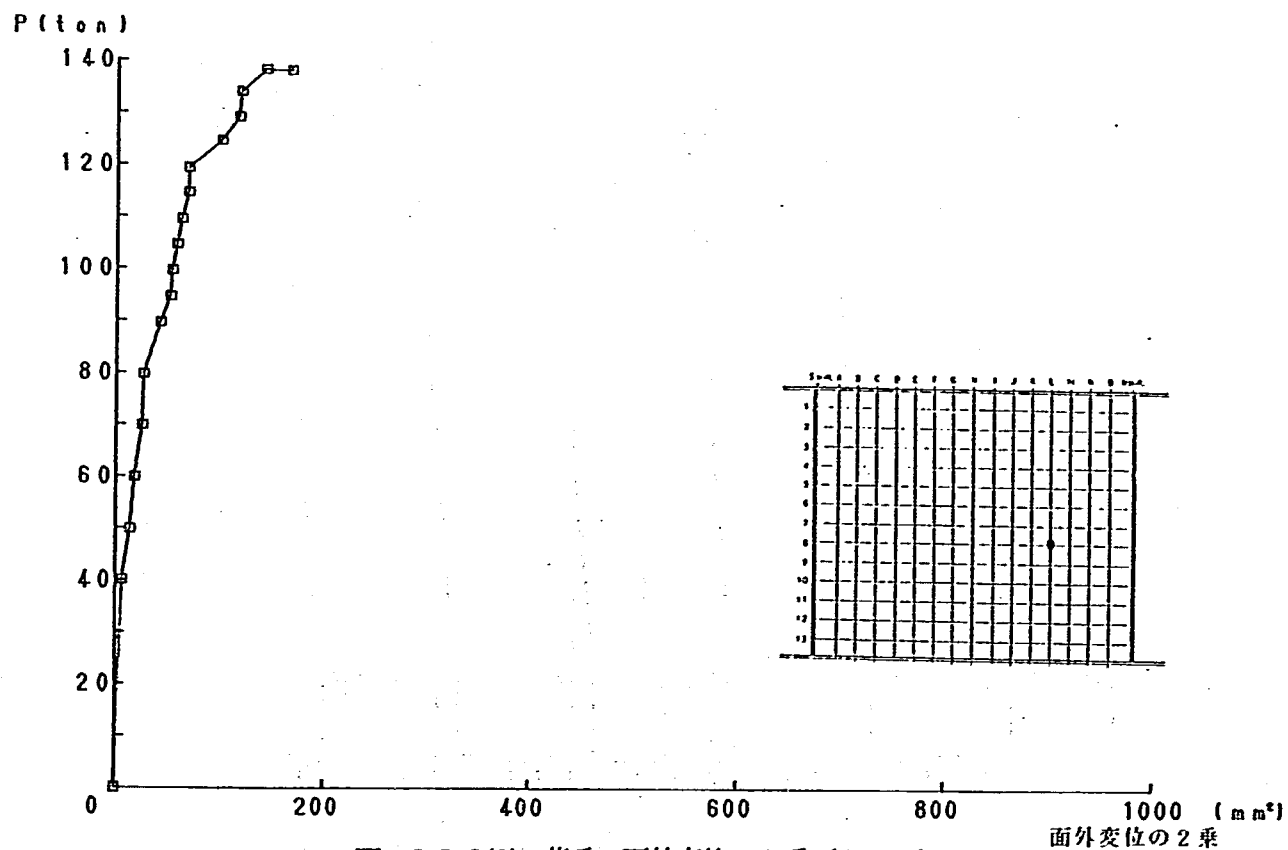


図-2.5.8(2) 荷重-面外変位の2乗 (S-28)

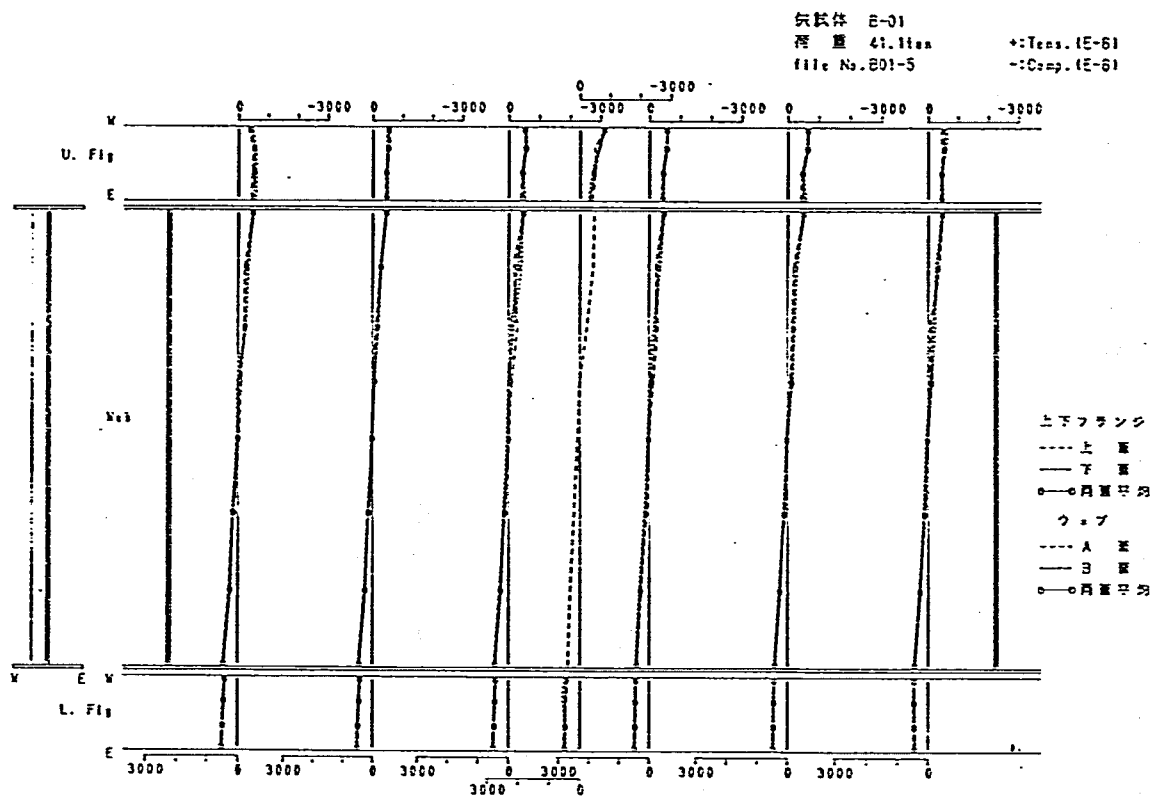


図-2.6.1(1) B-01供試体の曲げひずみ分布 ($P=41.1t$, $0.42P_{ust}$)

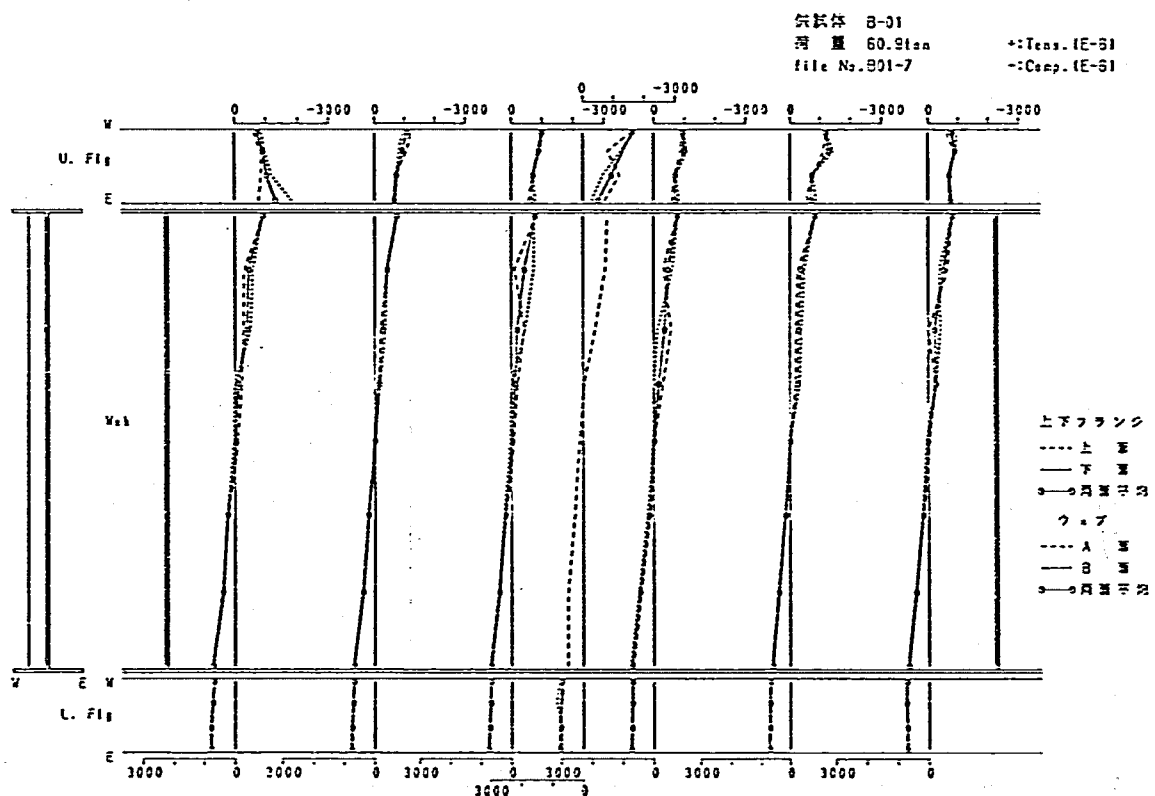


図-2.6.1(2) B-01供試体の曲げひずみ分布 ($P=60.9t$, $0.62P_{ust}$)

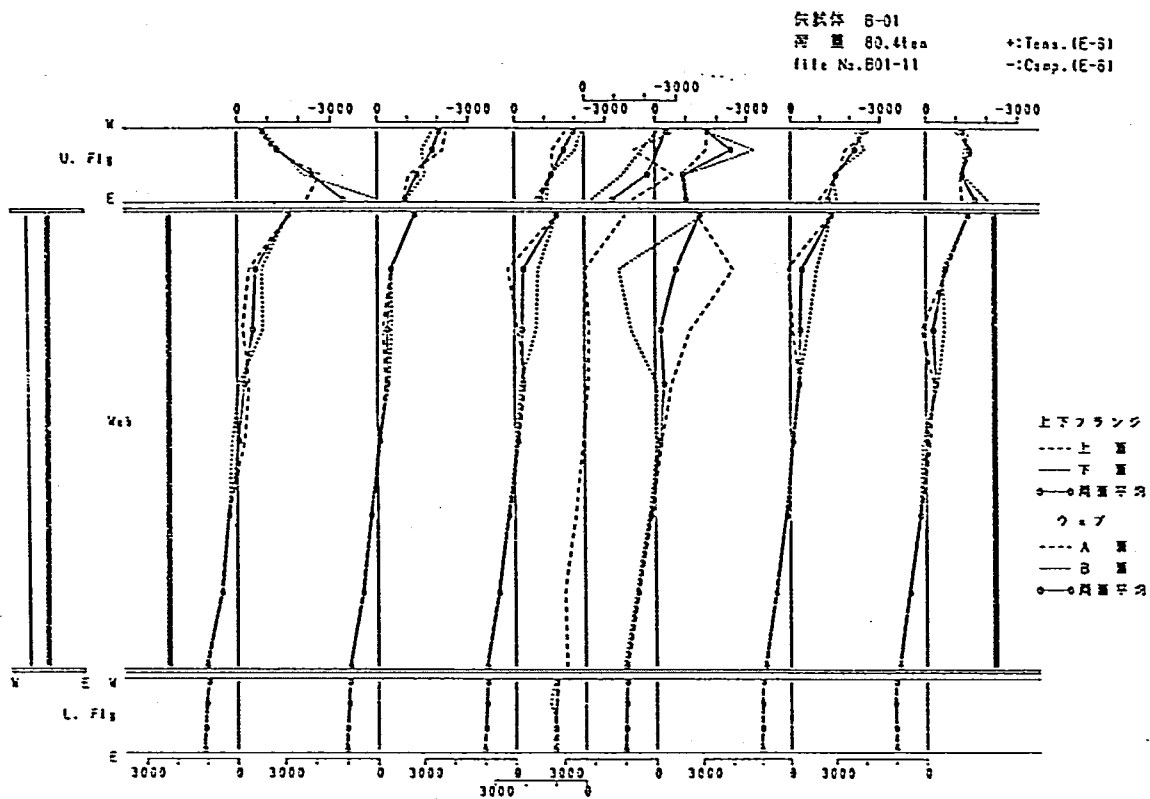


図-2.6.1(3) B-01供試体の曲げひずみ分布 (P=80.4t, 0.82P_{ust})

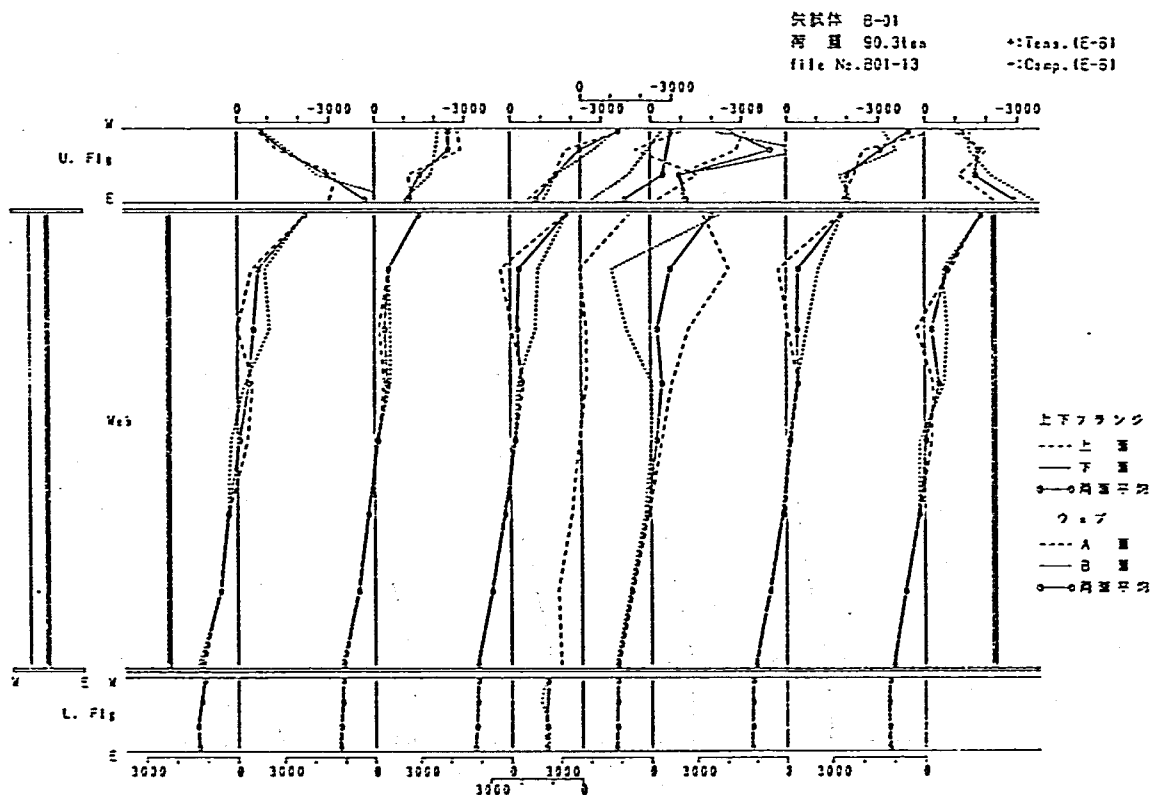


図-2.6.1(4) B-01供試体の曲げひずみ分布 (P=90.3t, 0.93P_{ust})

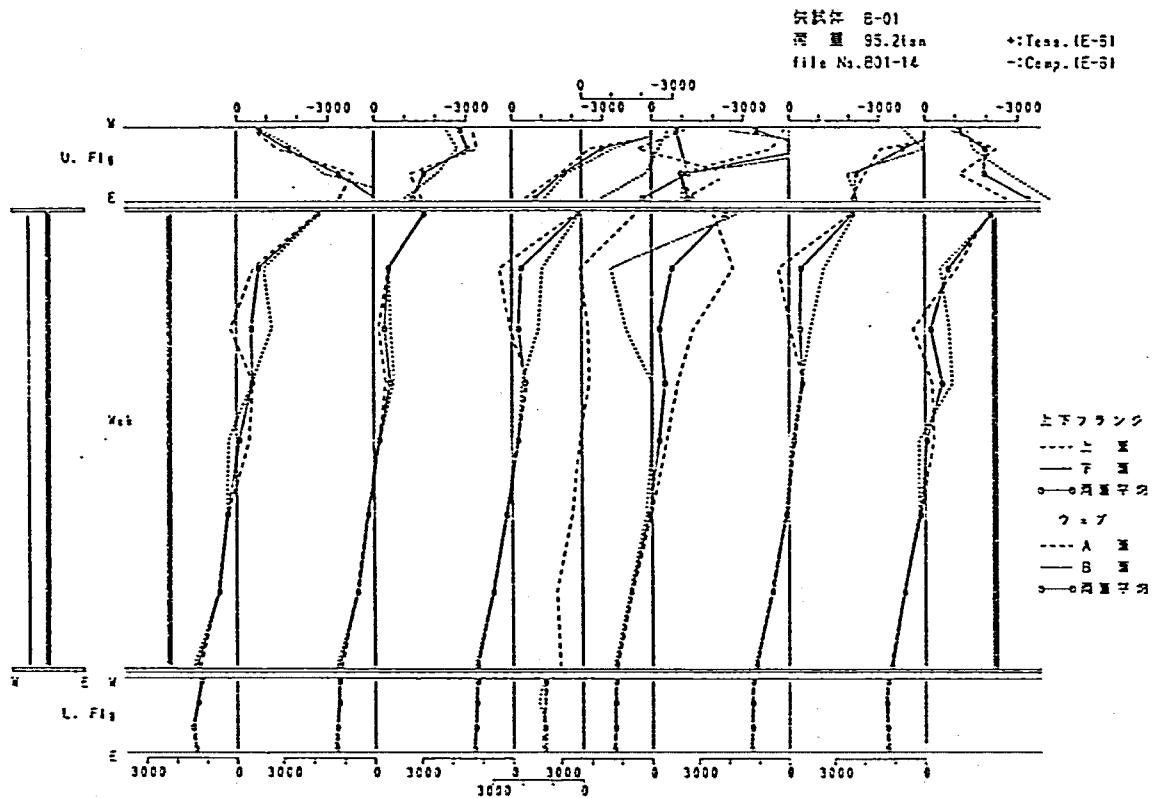


図-2.6.1(5) B-01供試体の曲げひずみ分布 (P=95.2t, 0.98P_{ust})

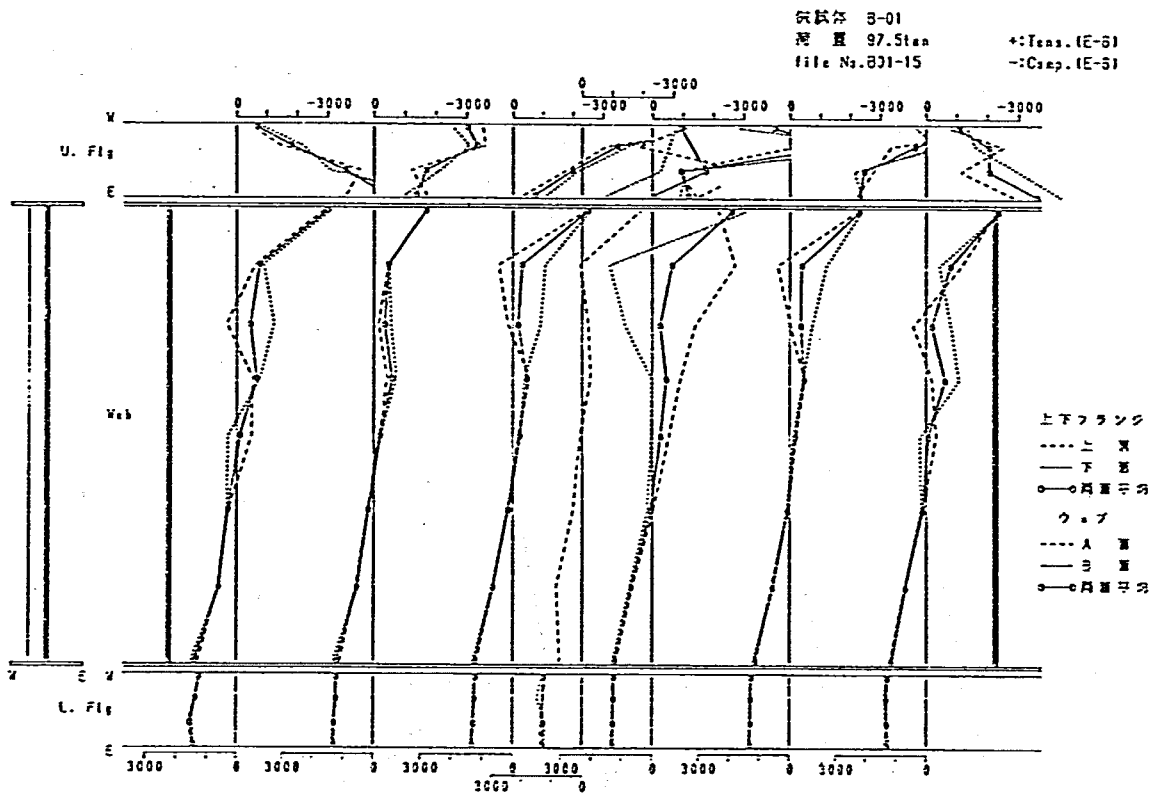


図-2.6.1(6) B-01供試体の曲げひずみ分布 (P=97.5t, 1.00P_{ust})

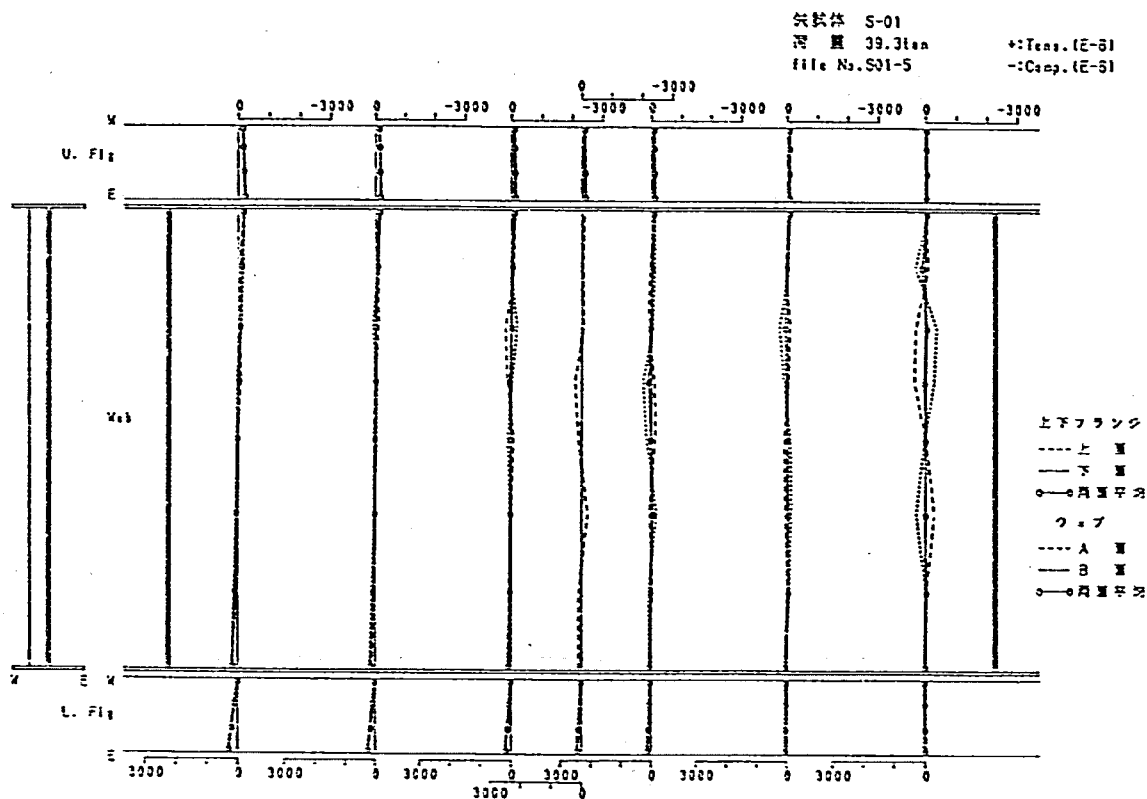


図-2.6.2(1) S-01供試体の曲げひずみ分布 (P=39.3t, 0.40P_{ust})

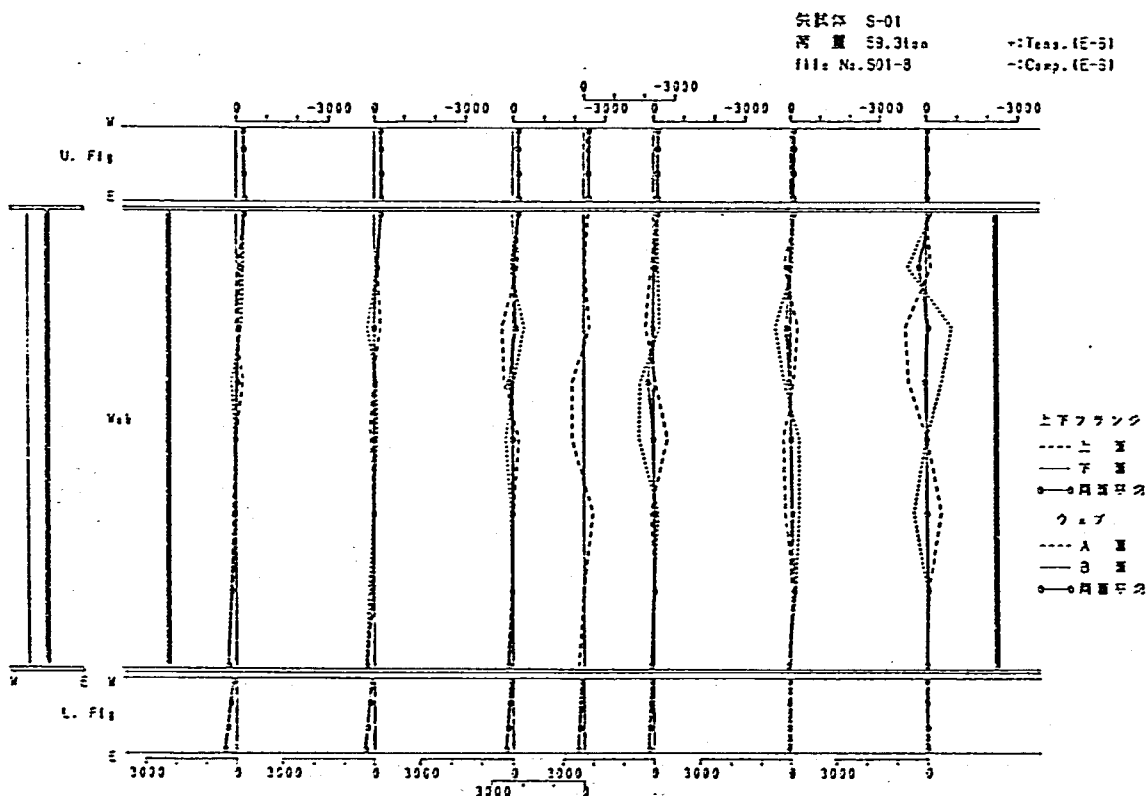


図-2.6.2(2) S-01供試体の曲げひずみ分布 (P=59.3t, 0.61P_{ust})

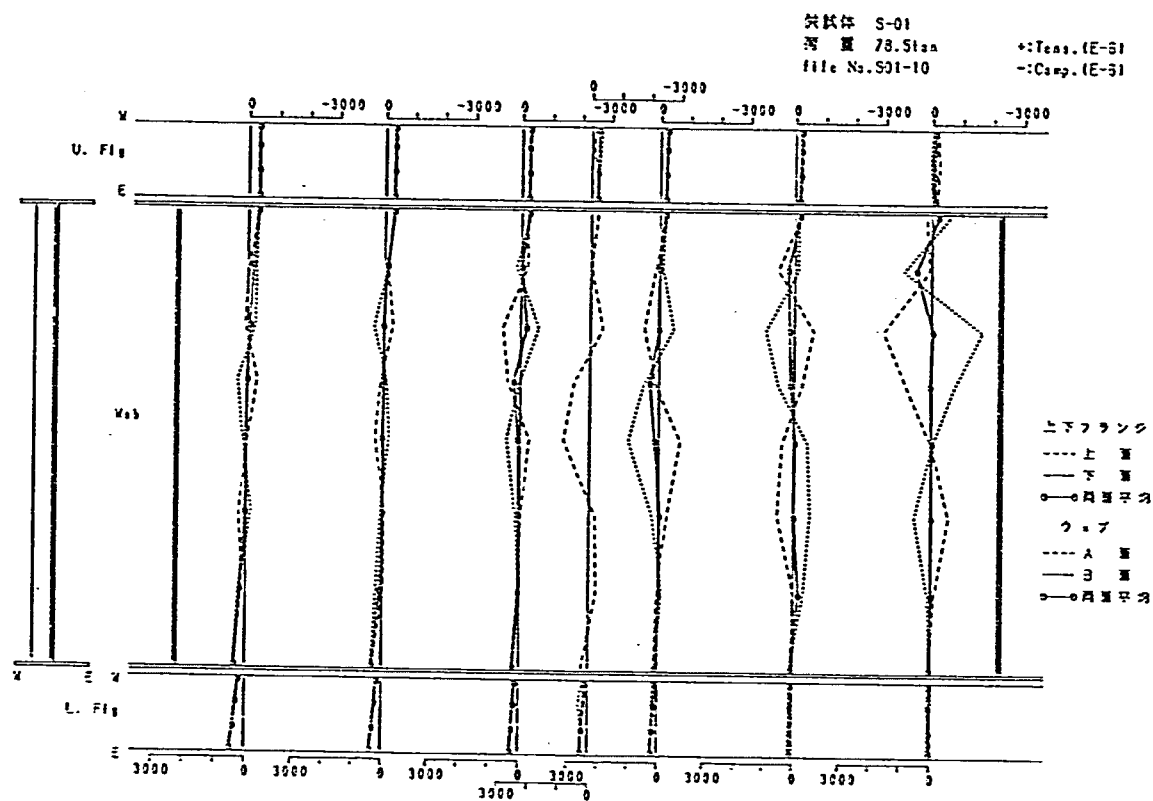


図-2.6.2(3) S-01供試体の曲げひずみ分布 (P=78.5t, 0.81P_{ust})

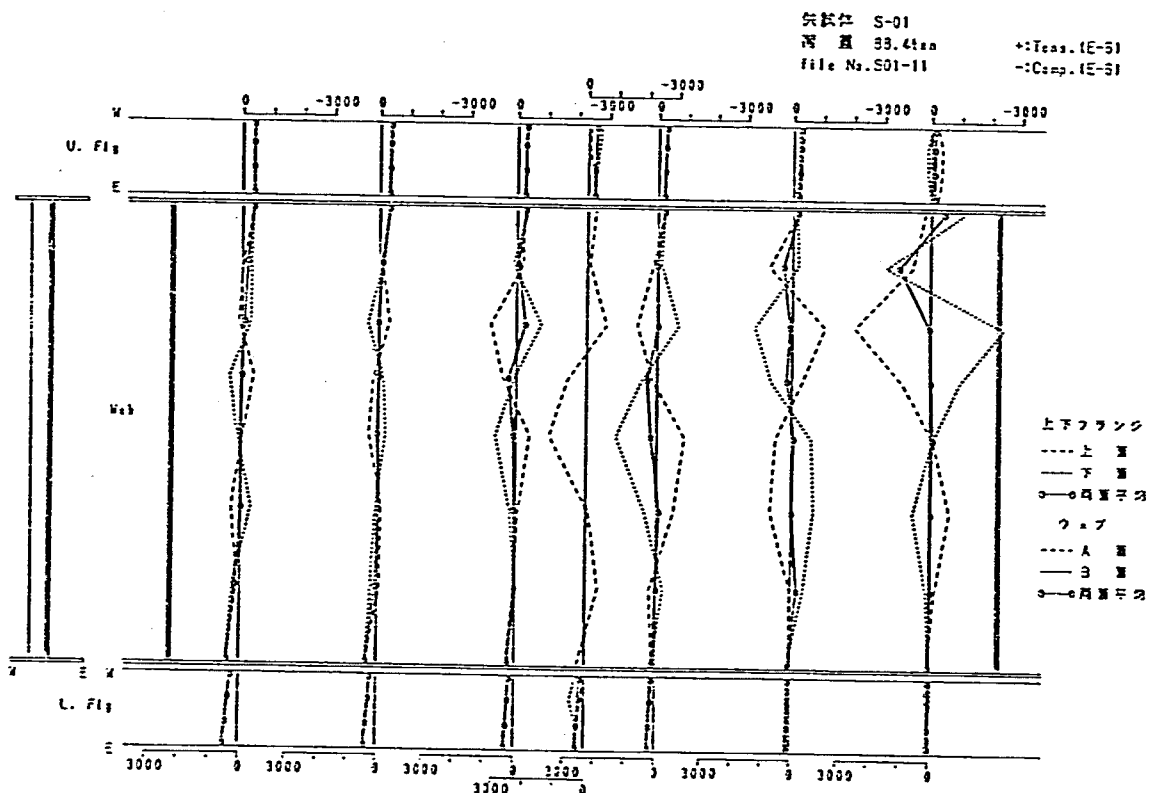


図-2.6.2(4) S-01供試体の曲げひずみ分布 (P=88.4t, 0.91P_{ust})

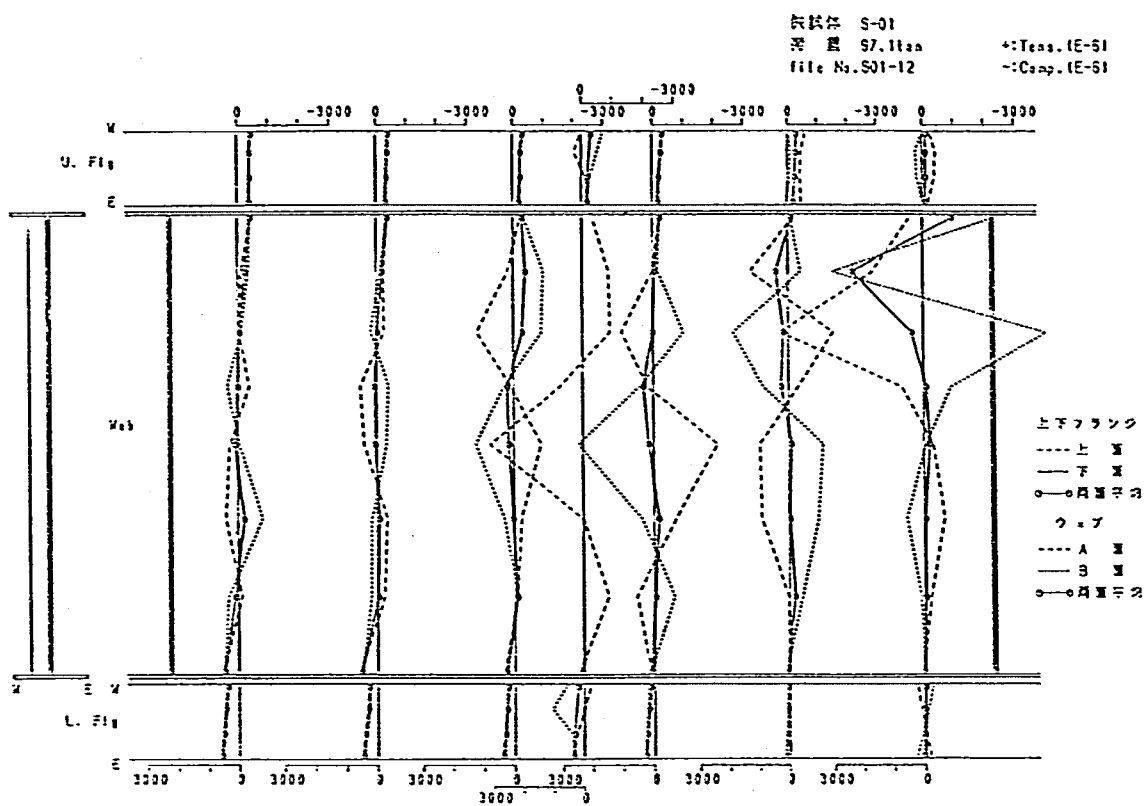


図-2.6.2(5) S-01供試体の曲げひずみ分布 (P=97.11, 1.00Pust)

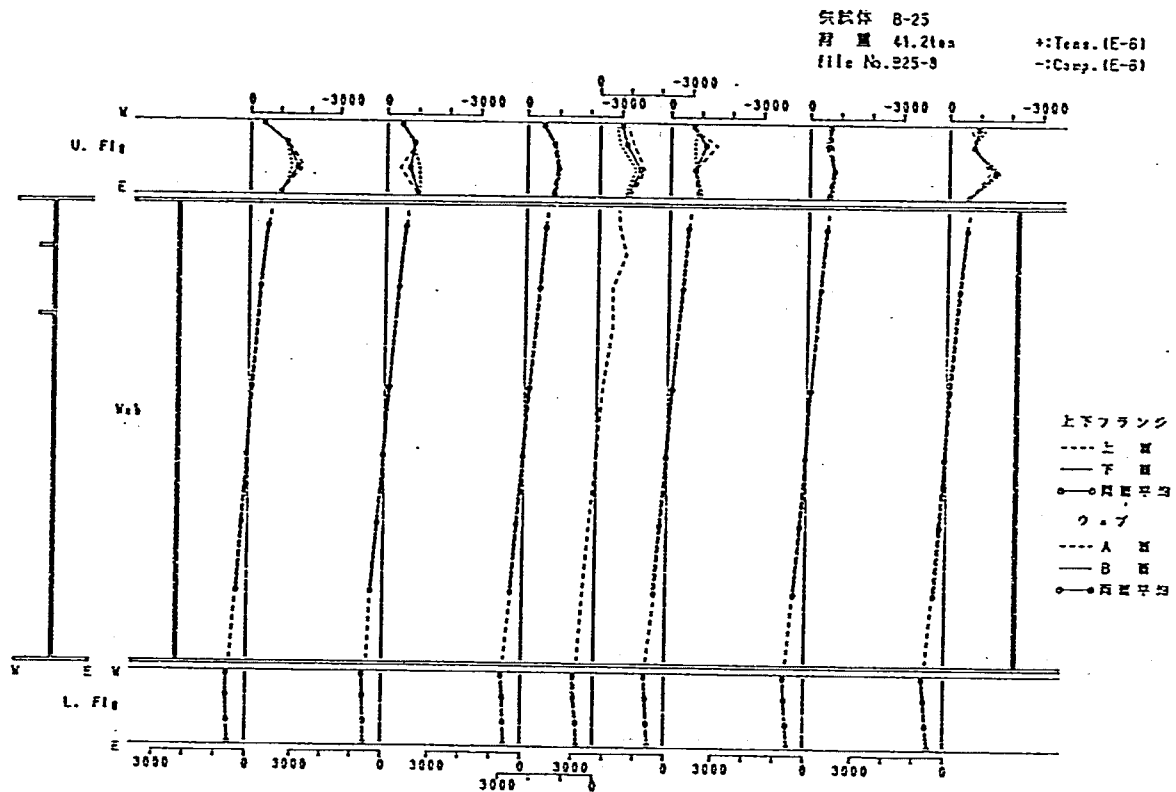


図-2.6.3(1) B-25供試体の曲げひずみ分布 ($P=41.21$, $0.42P_{ust}$)

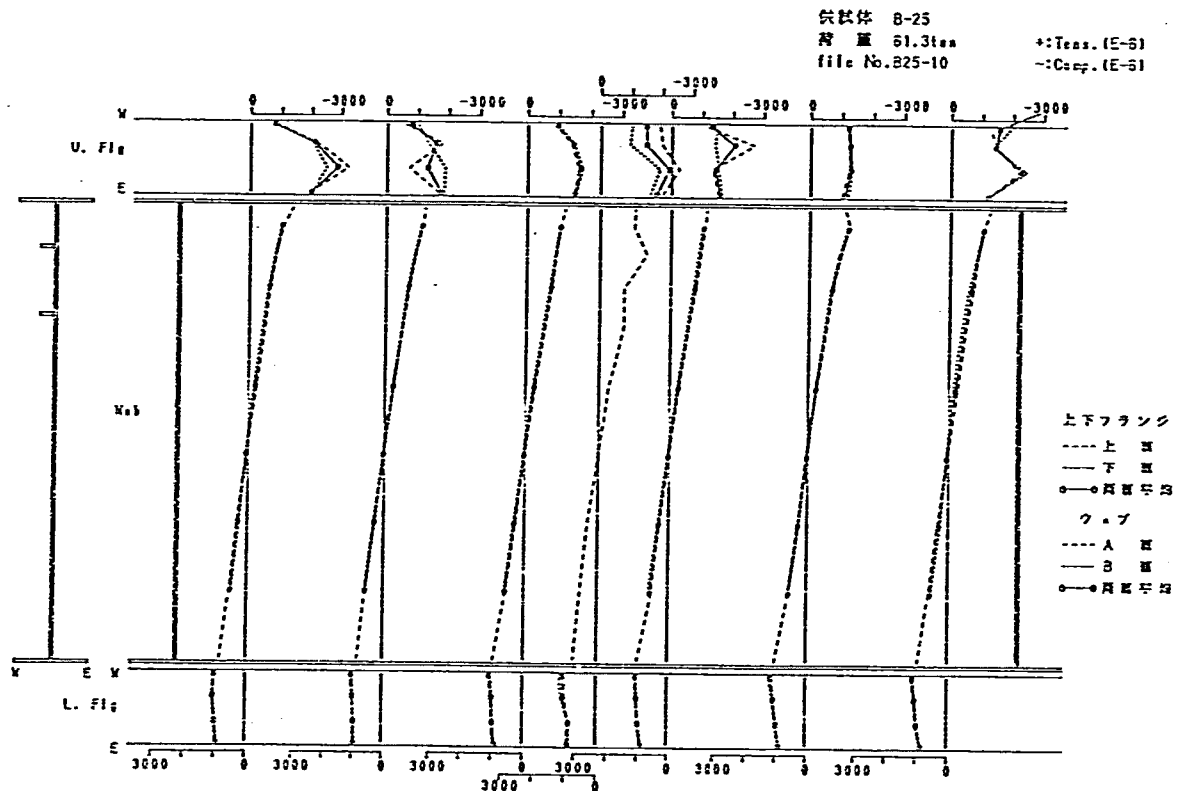


図-2.6.3(2) B-25供試体の曲げひずみ分布 ($P=61.31$, $0.63P_{ust}$)

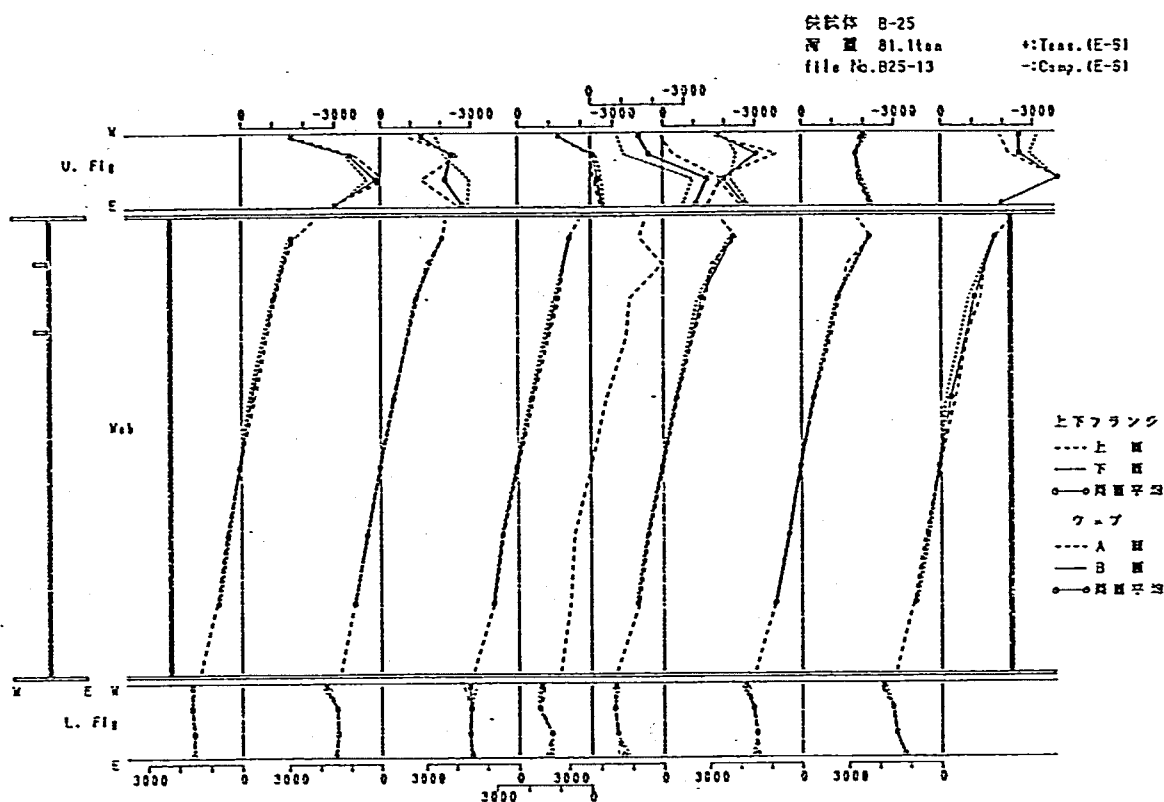


図-2.6.3(3) B-25供試体の曲げひずみ分布 (P=81.1t, 0.83P_{ust})

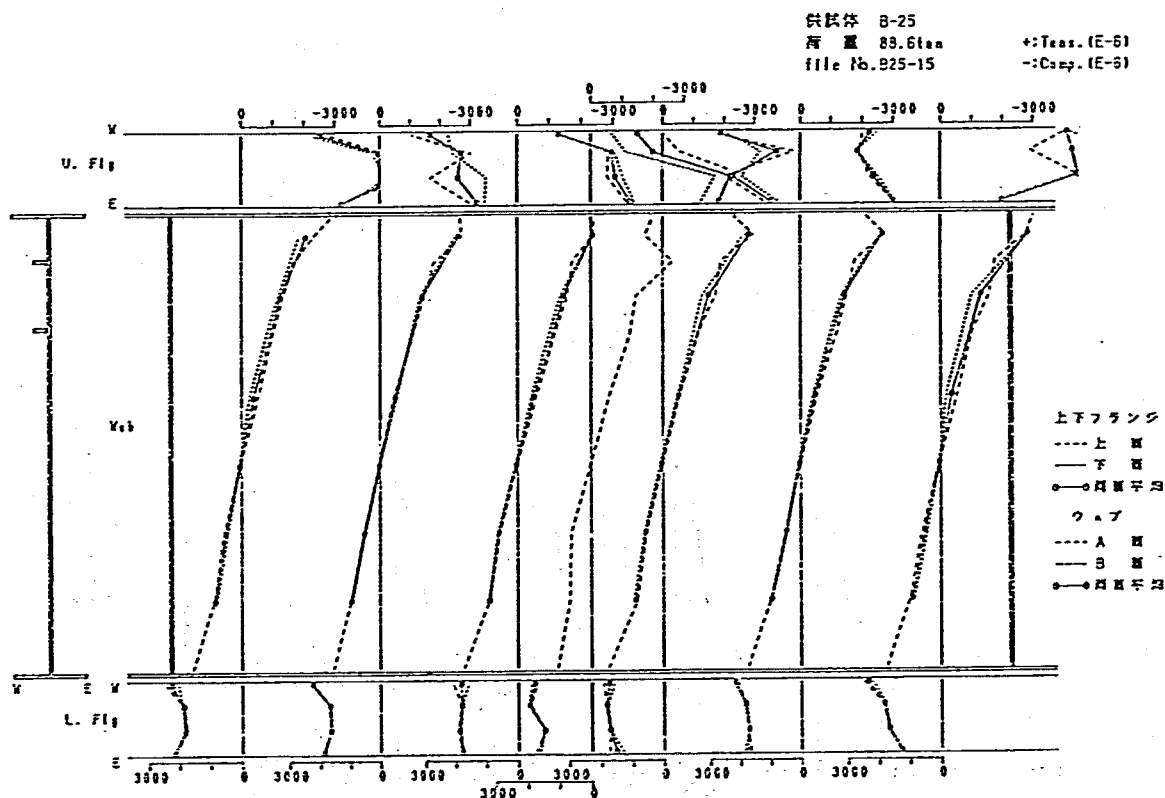


図-2.6.3(4) B-25供試体の曲げひずみ分布 (P=88.6t, 0.90P_{ust})

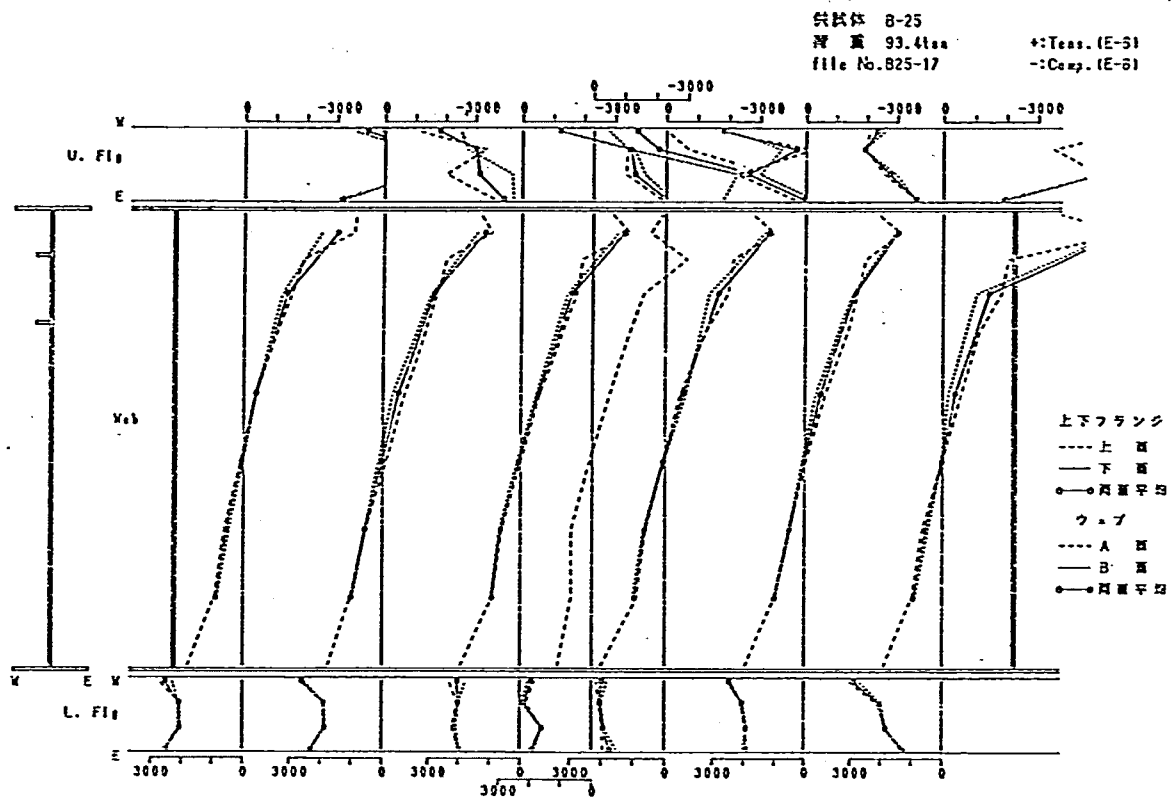


図-2.6.3(5) B-25供試体の曲げひずみ分布 (P=93.4t, 0.95P_{ust})

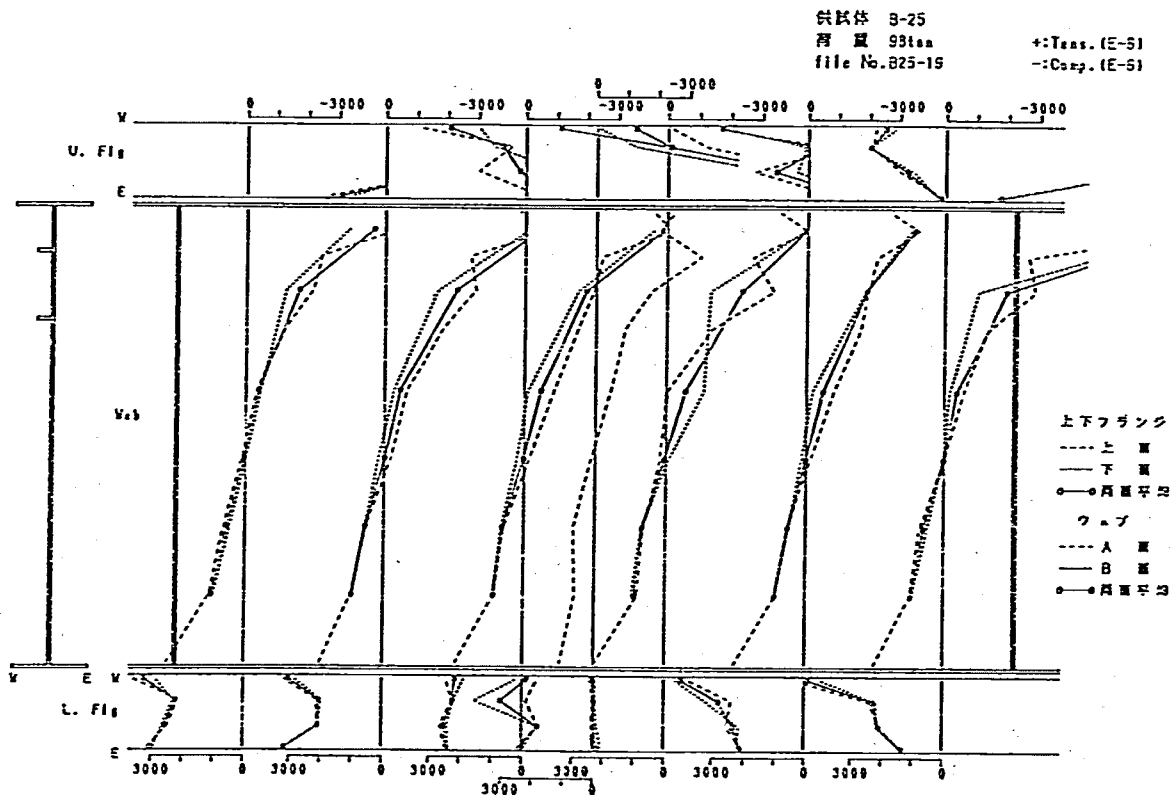


図-2.6.3(6) B-25供試体の曲げひずみ分布 (P=98.0t, 1.00P_{ust})

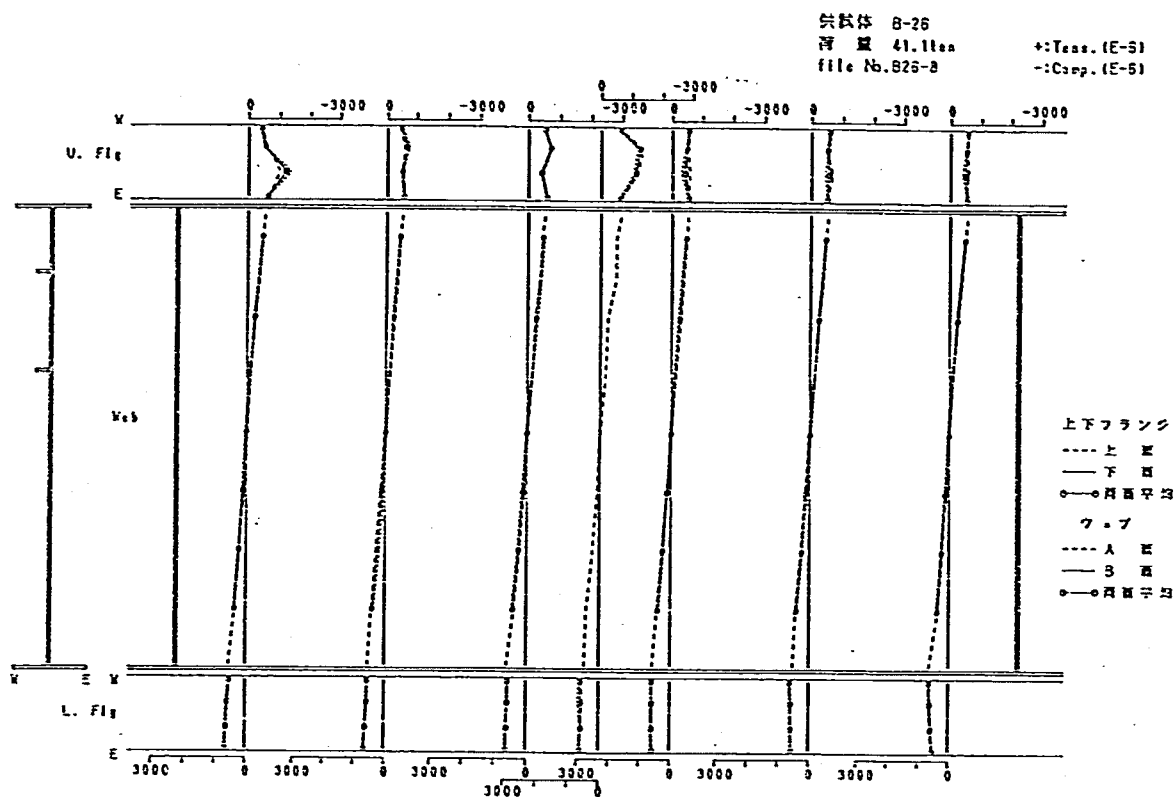


図-2.6.4(1) B-26供試体の曲げひずみ分布 (P=41.1t, 0.43P_{ust})

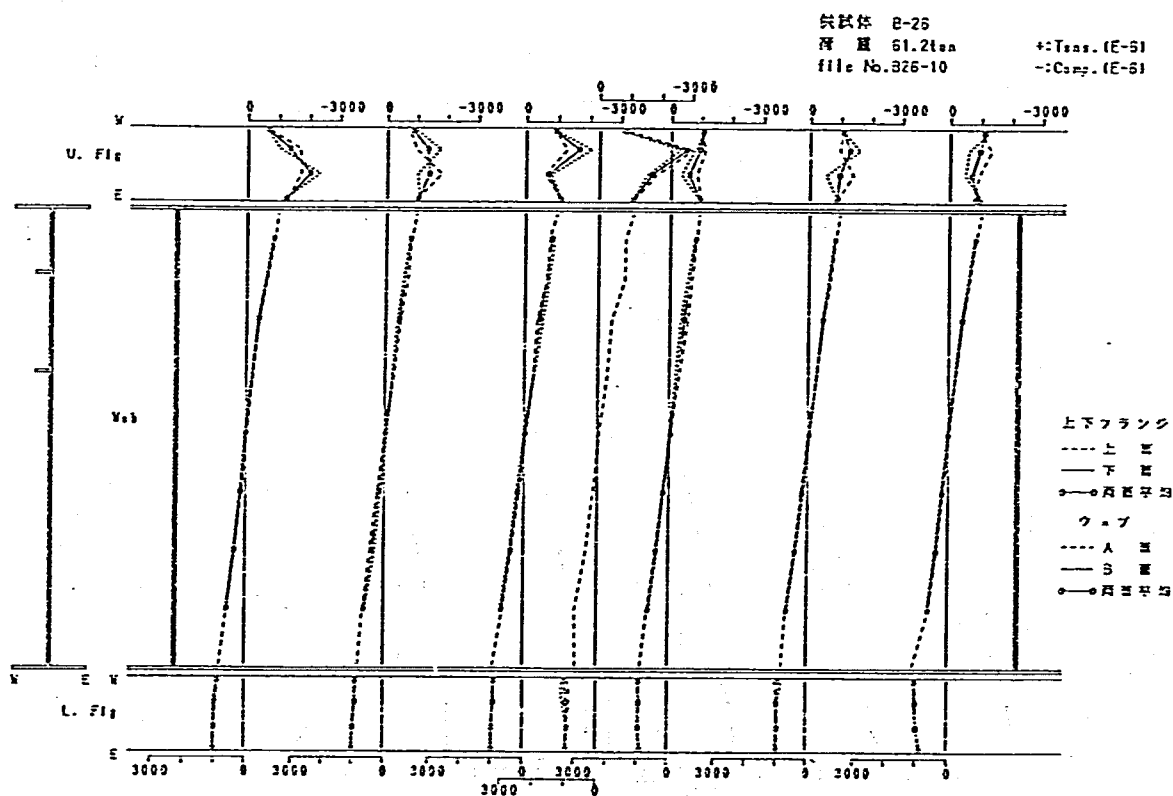


図-2.6.4(2) B-26供試体の曲げひずみ分布 (P=61.2t, 0.63P_{ust})

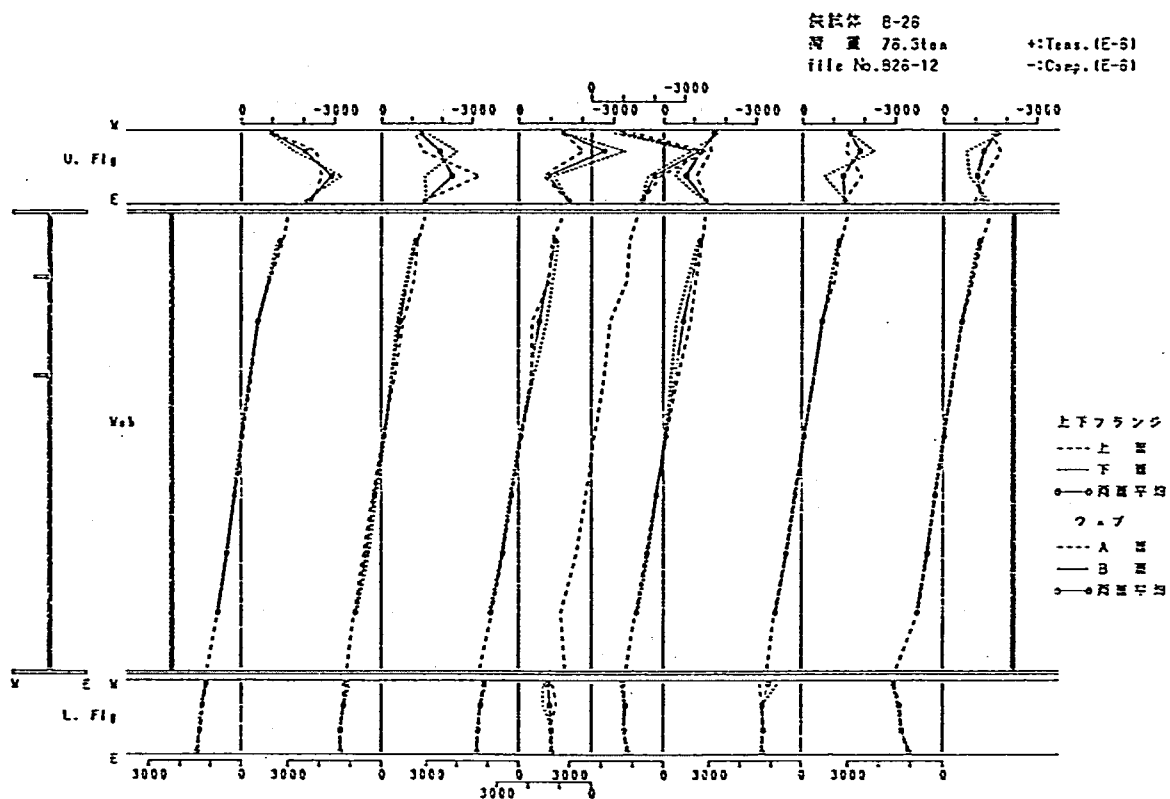


図-2.6.4(3) B-26供試体の曲げひずみ分布 (P=76.3t, 0.79P_{ust})

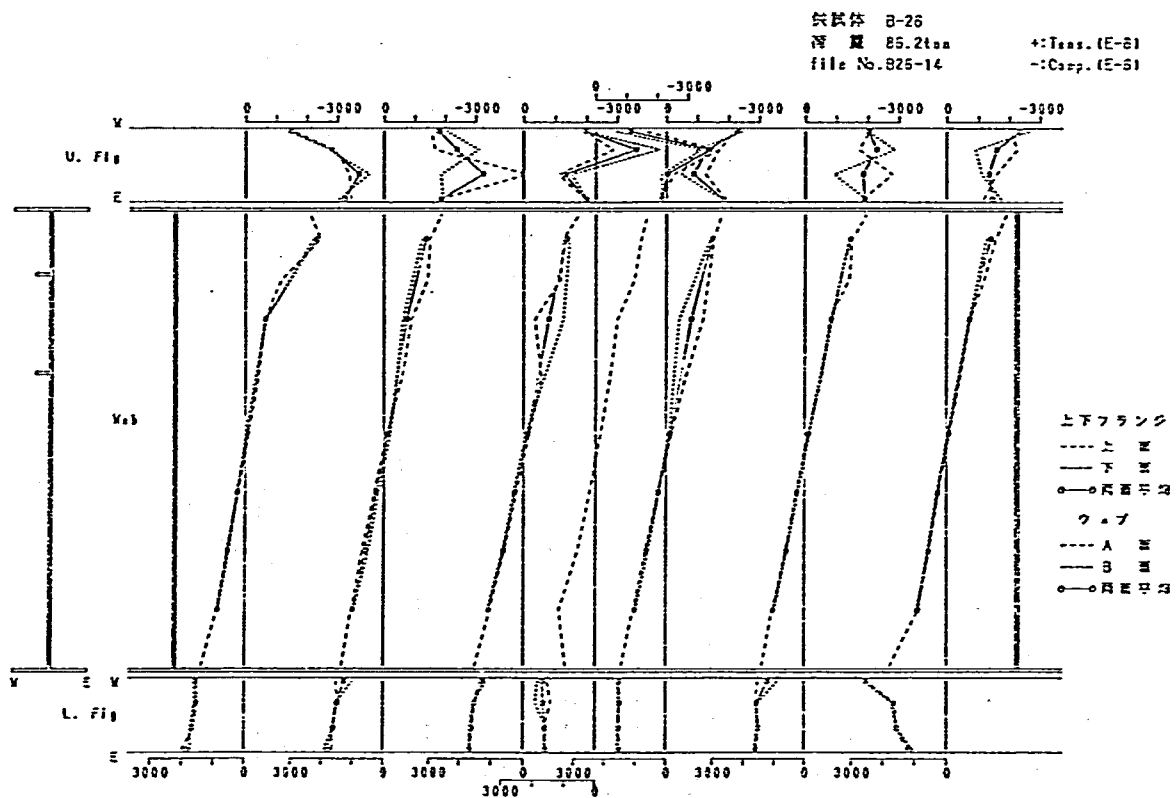


図-2.6.4(4) B-26供試体の曲げひずみ分布 (P=86.2t, 0.89P_{ust})

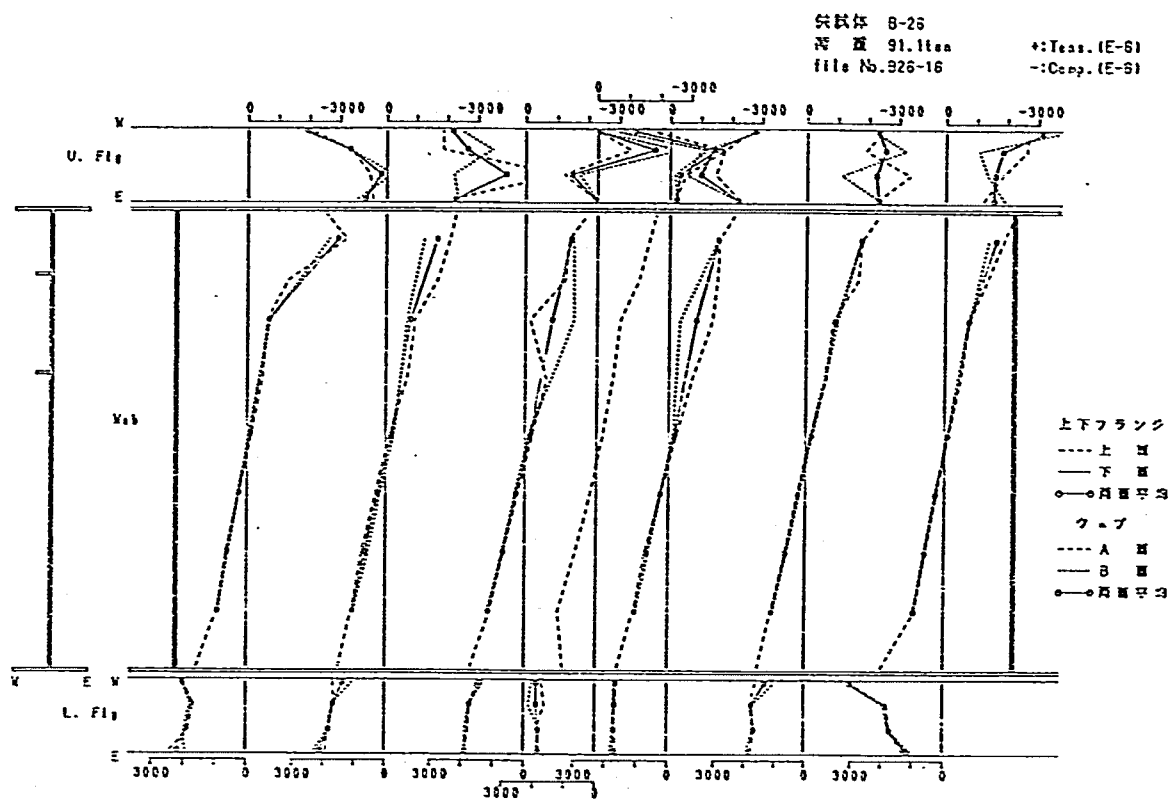


図-2.6.4(5) B-26供試体の曲げひずみ分布 (P=91.1t, 0.94P_{ust})

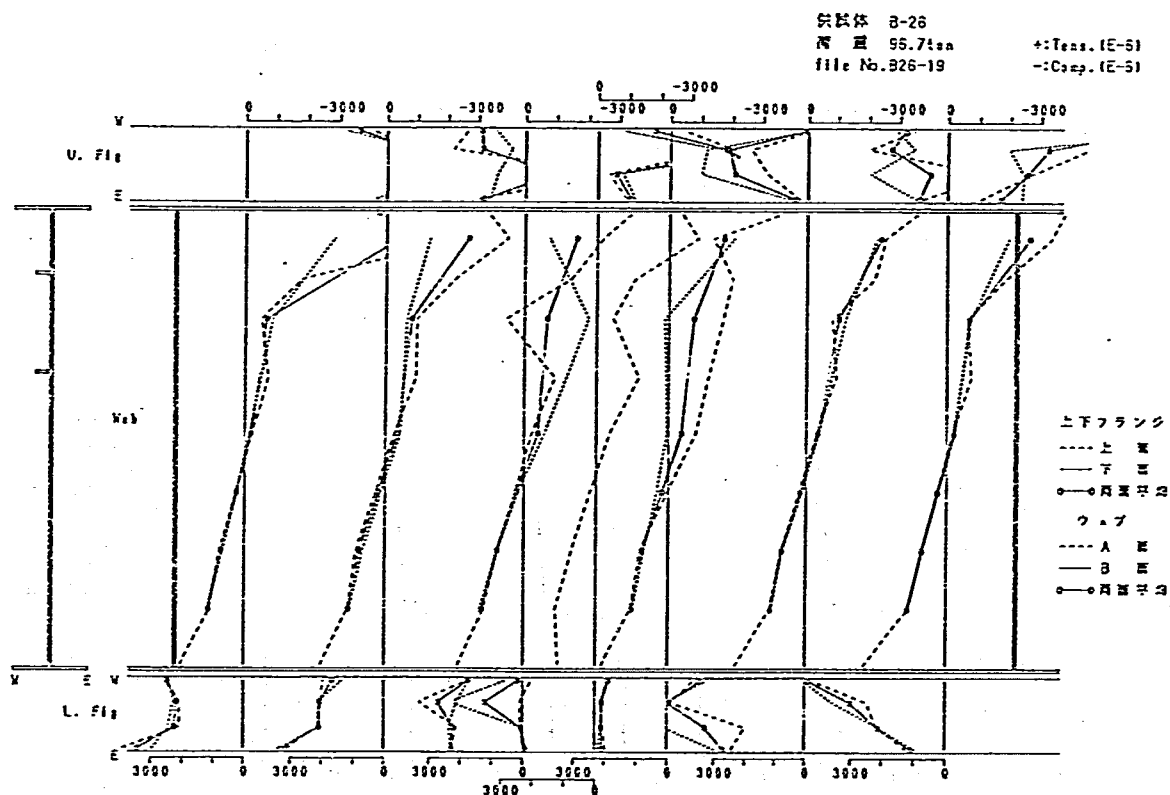


図-2.6.4(6) B-26供試体の曲げひずみ分布 (P=96.7t, 1.00P_{ust})

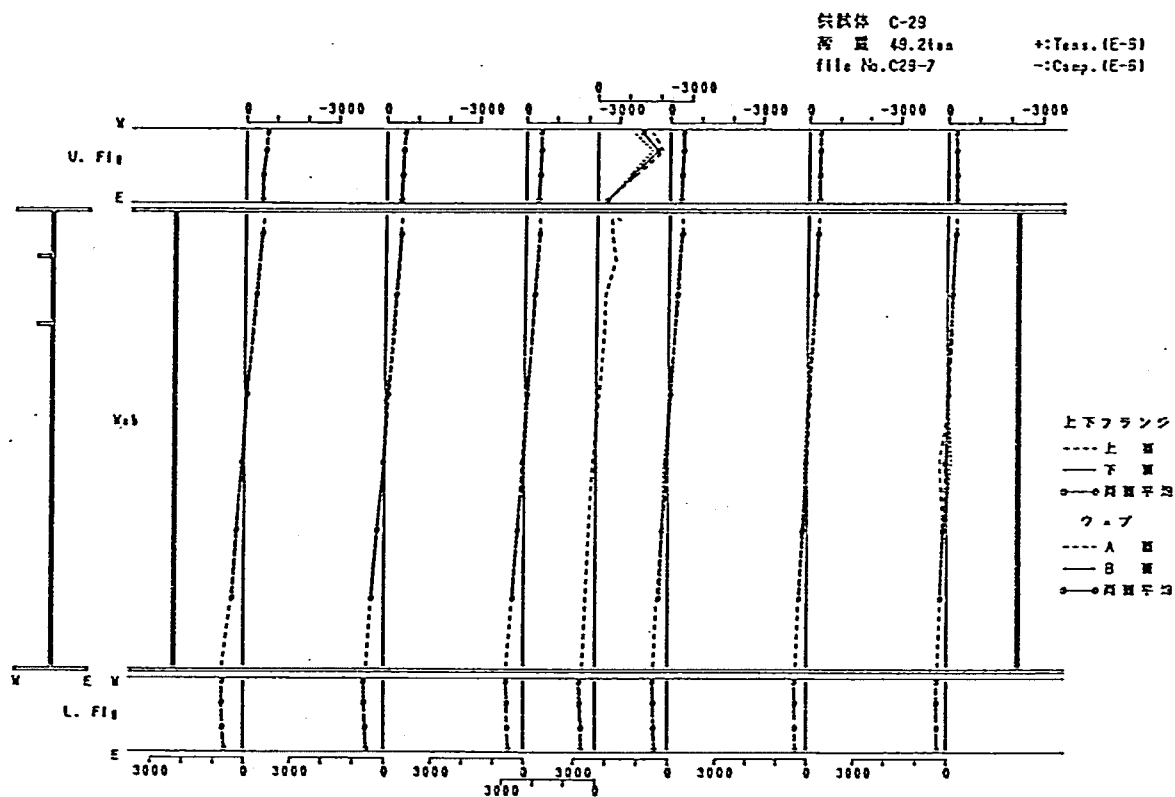


図-2.6.5(1) C-29供試体の曲げひずみ分布 (P=49.2t, 0.43P_{ust})

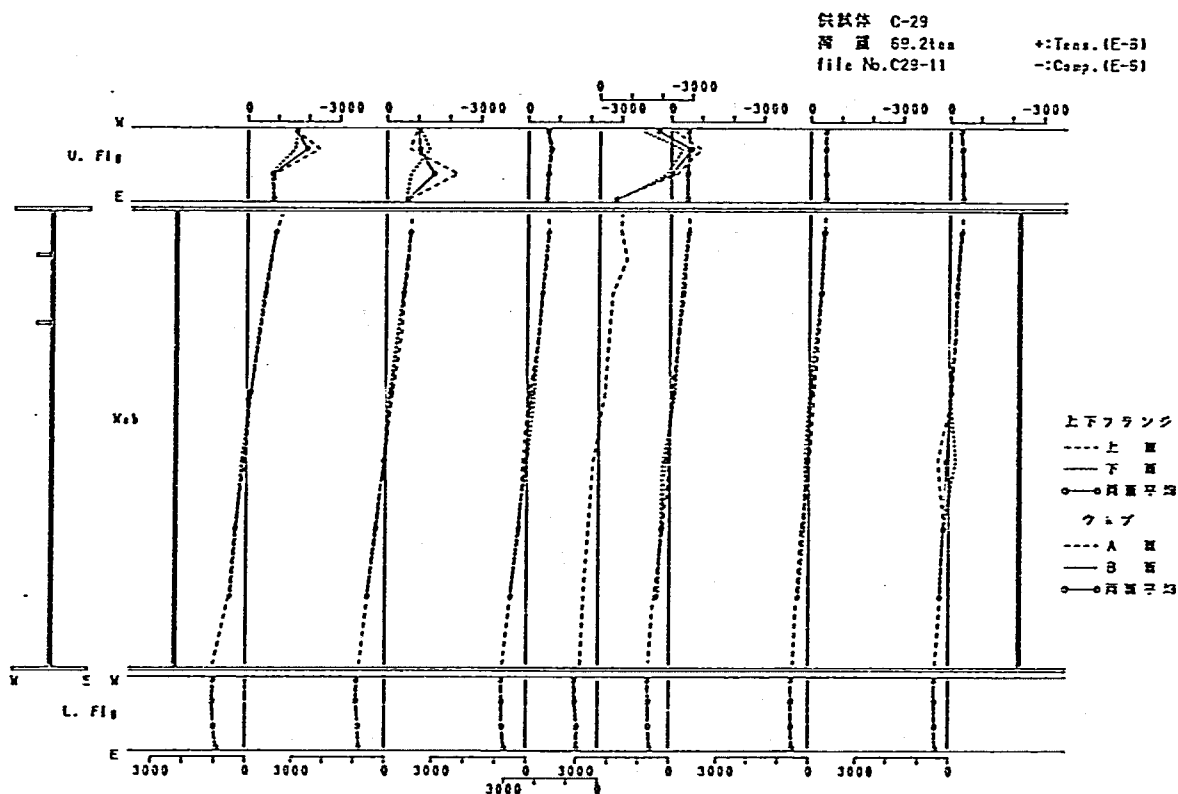


図-2.6.5(2) C-29供試体の曲げひずみ分布 (P=69.2t, 0.61P_{ust})

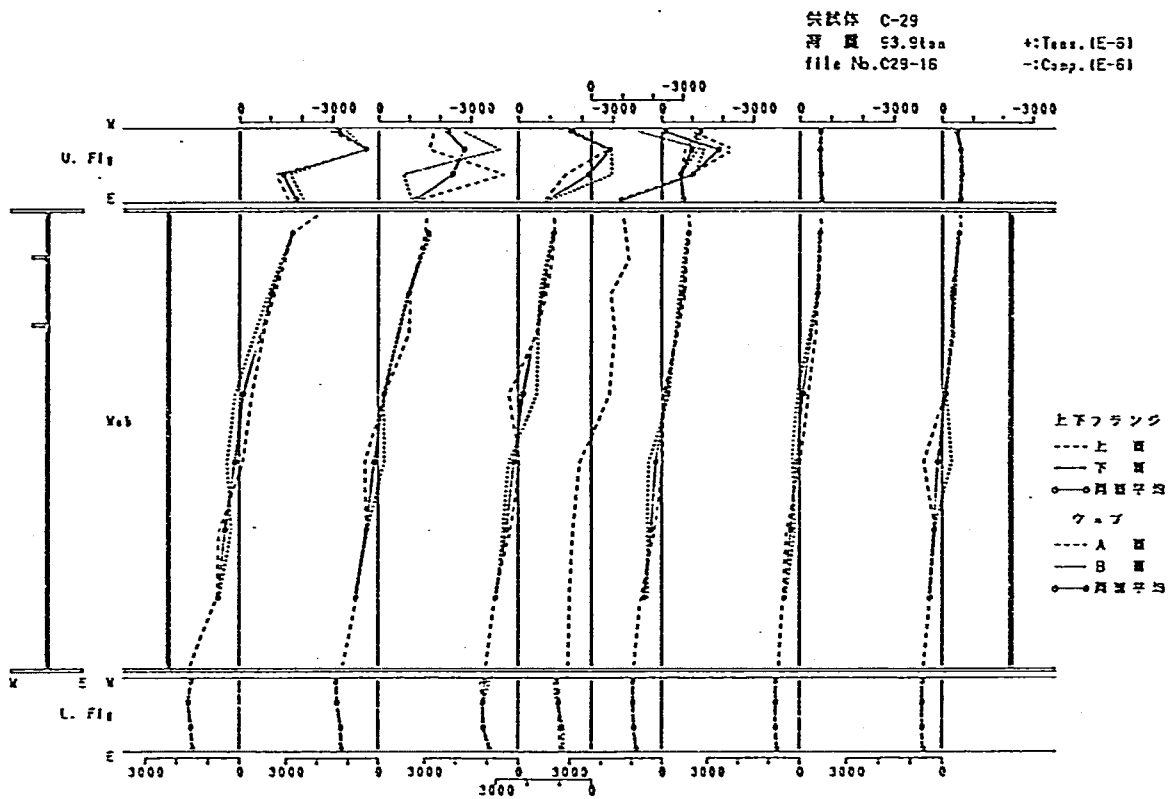


図-2.6.5(3) C-29供試体の曲げひずみ分布 (P=93.9t, 0.82P_{ust})

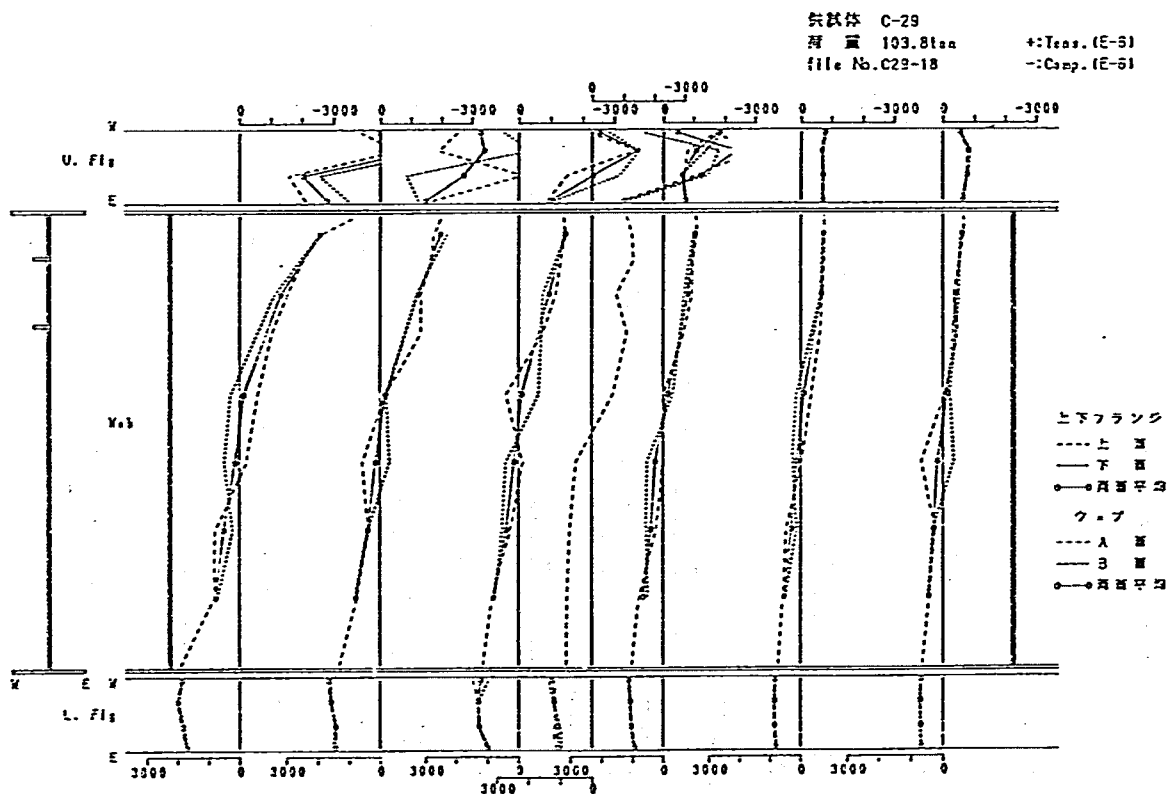


図-2.6.5(4) C-29供試体の曲げひずみ分布 (P=103.8t, 0.91P_{ust})

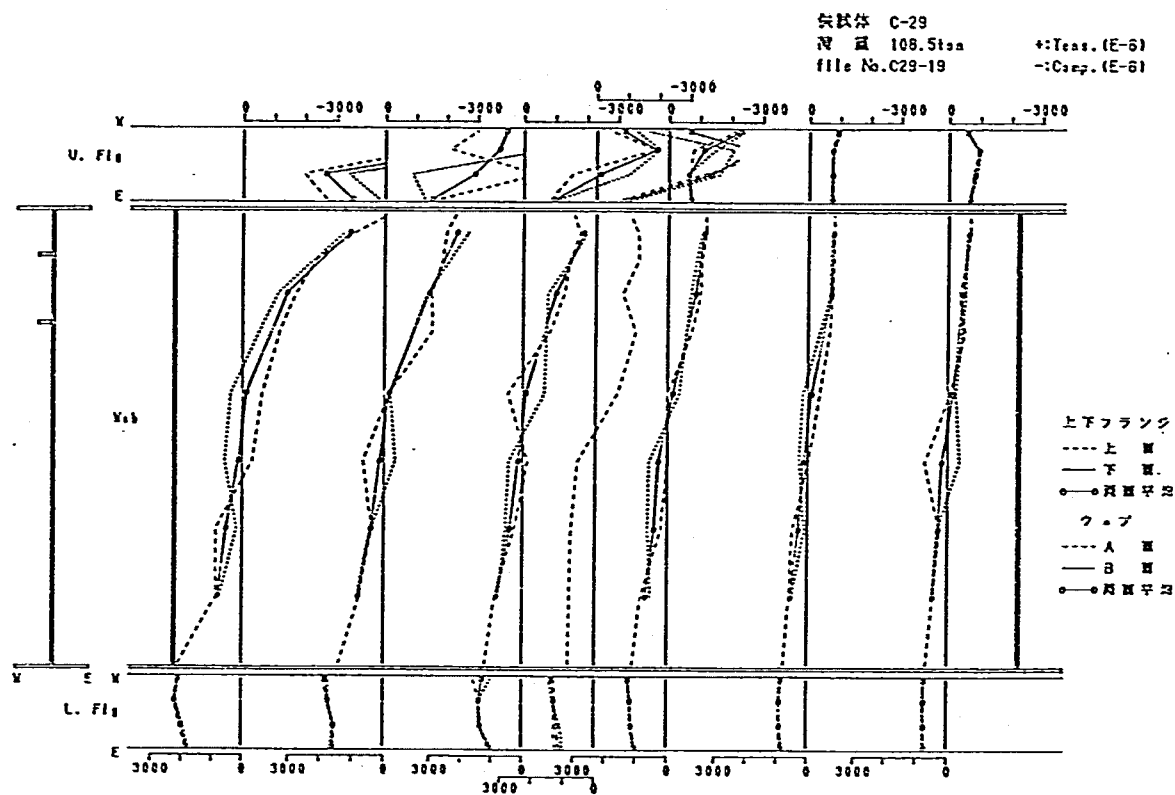


図-2.6.5(5) C-29供試体の曲げひずみ分布 ($P=108.5t$, $0.95P_{ust}$)

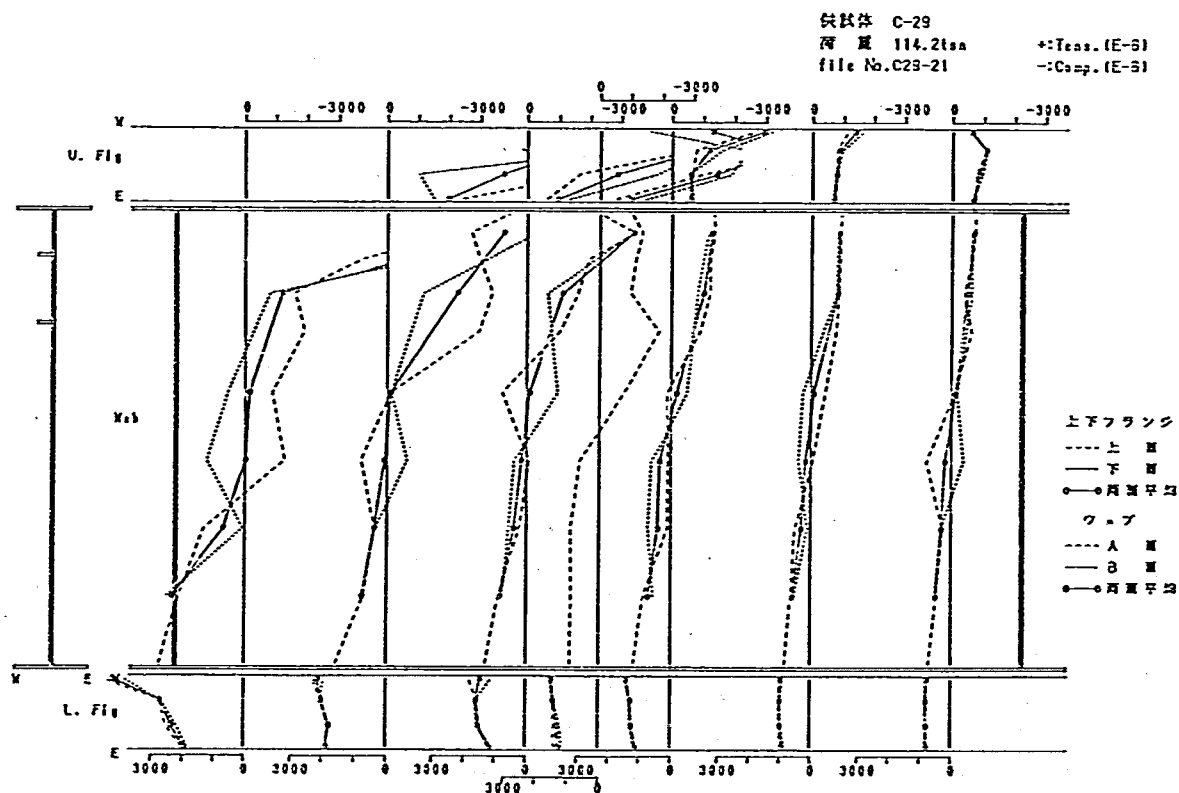


図-2.6.5(6) C-29供試体の曲げひずみ分布 ($P=114.2t$, $1.00P_{ust}$)

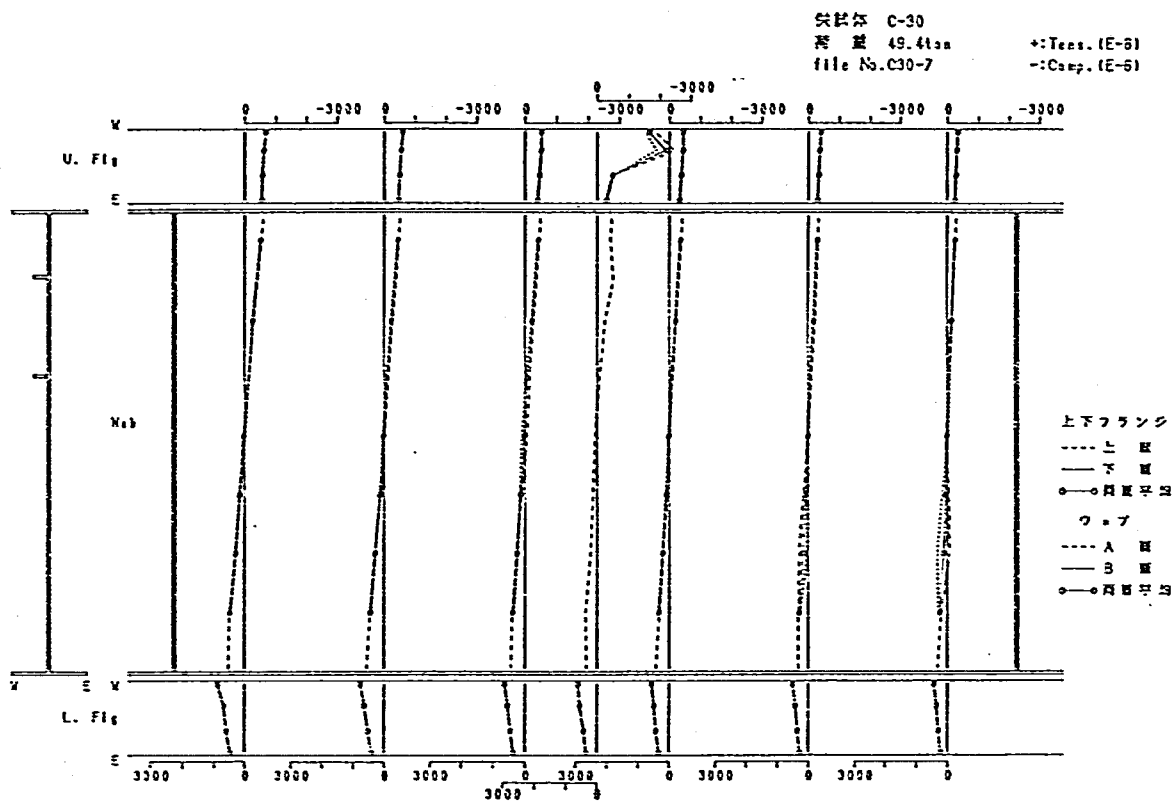


図-2.6.6(1) C-30供試体の曲げひずみ分布 (P=49.4t, 0.44P_{ust})

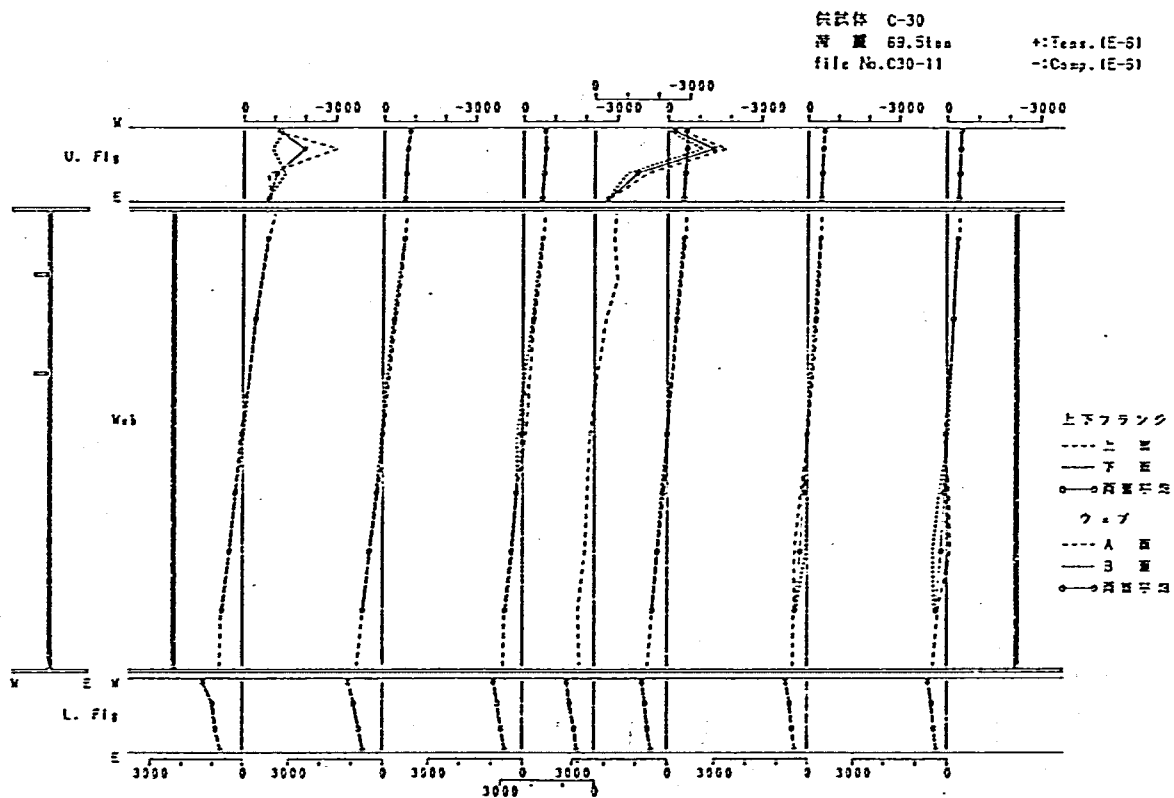


図-2.6.6(2) C-30供試体の曲げひずみ分布 (P=69.5t, 0.61P_{ust})

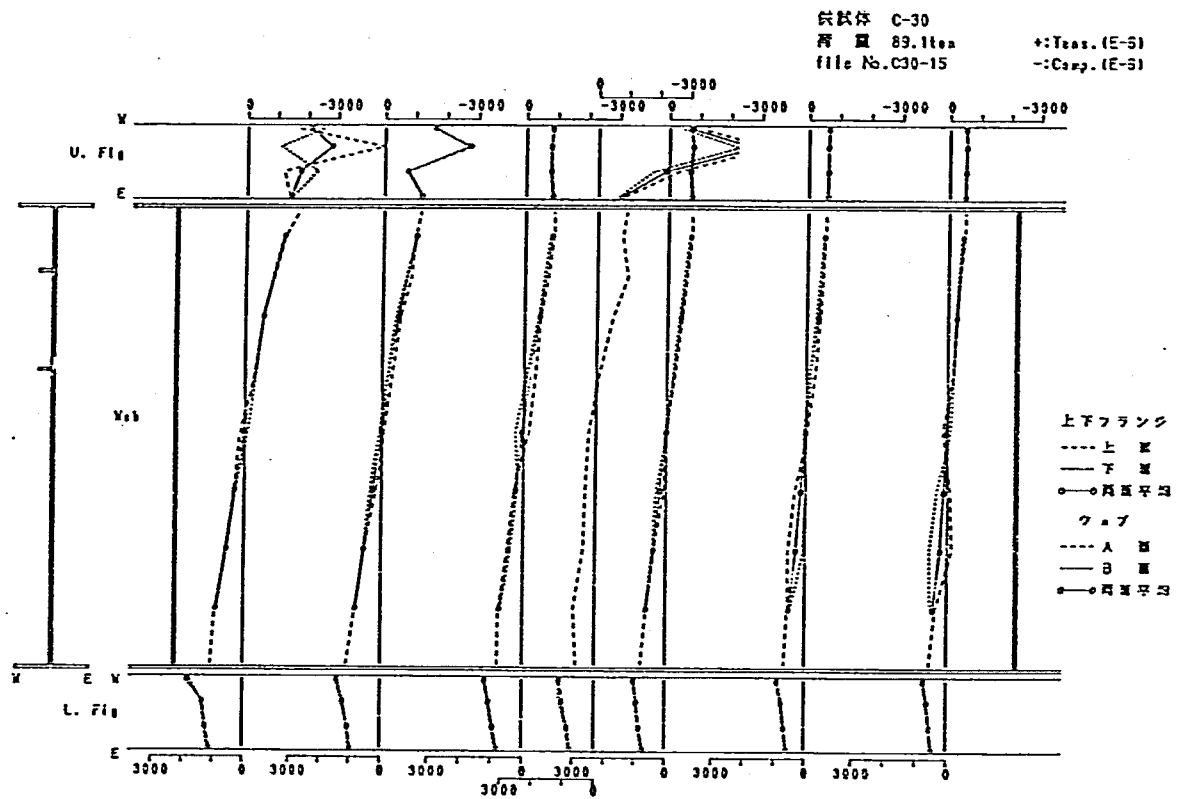


図-2.6.6(3) C-30供試体の曲げひずみ分布 (P=89.1t, 0.79P_{ust})

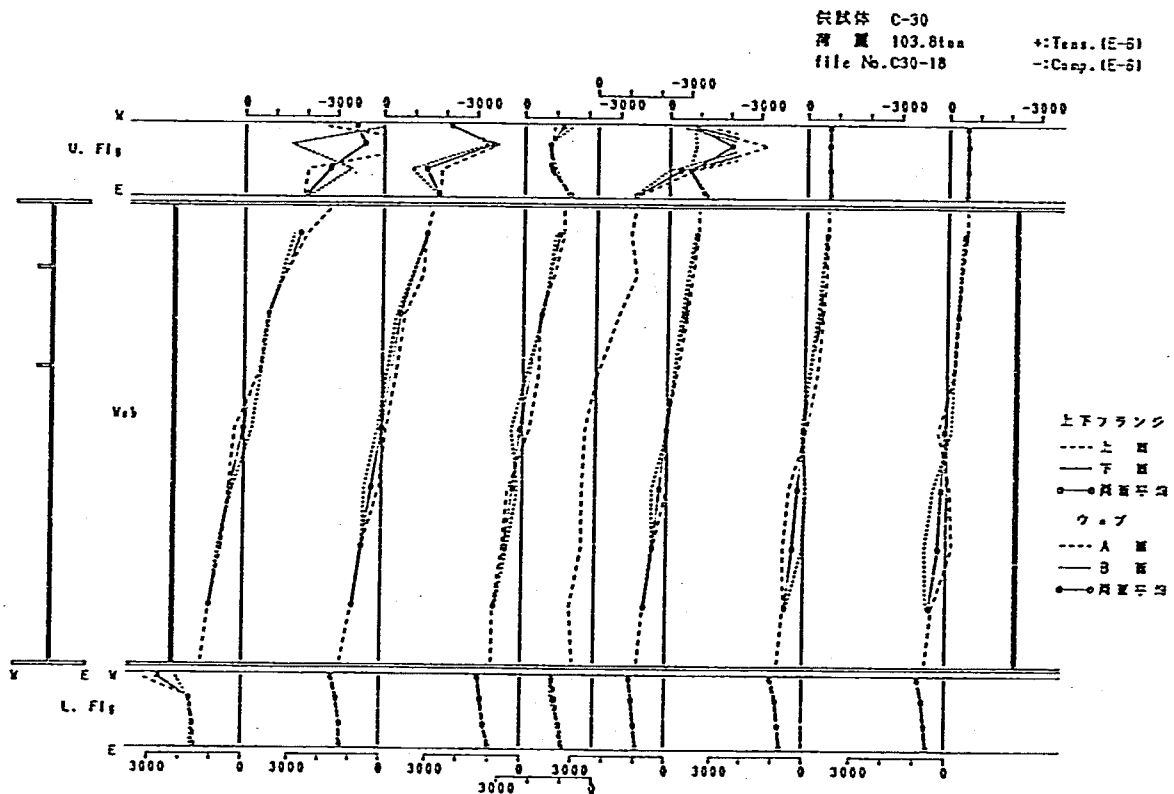
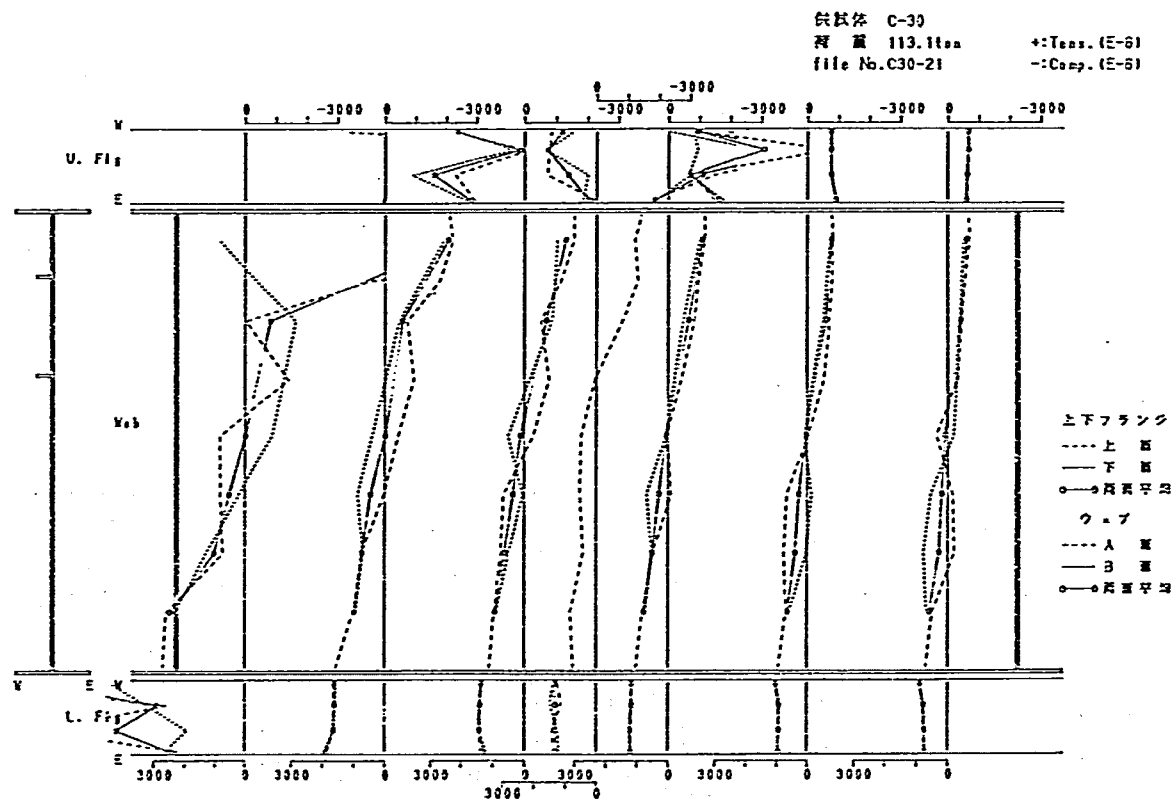
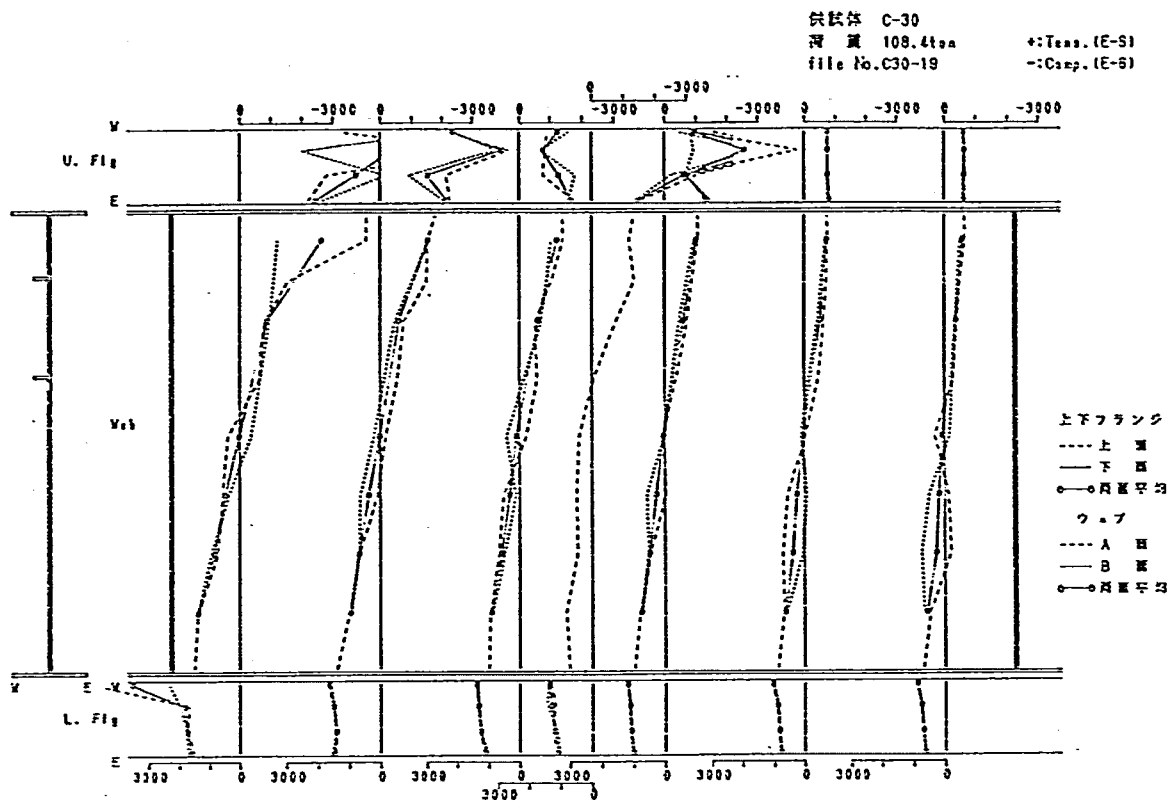


図-2.6.6(4) C-30供試体の曲げひずみ分布 (P=103.8t, 0.92P_{ust})



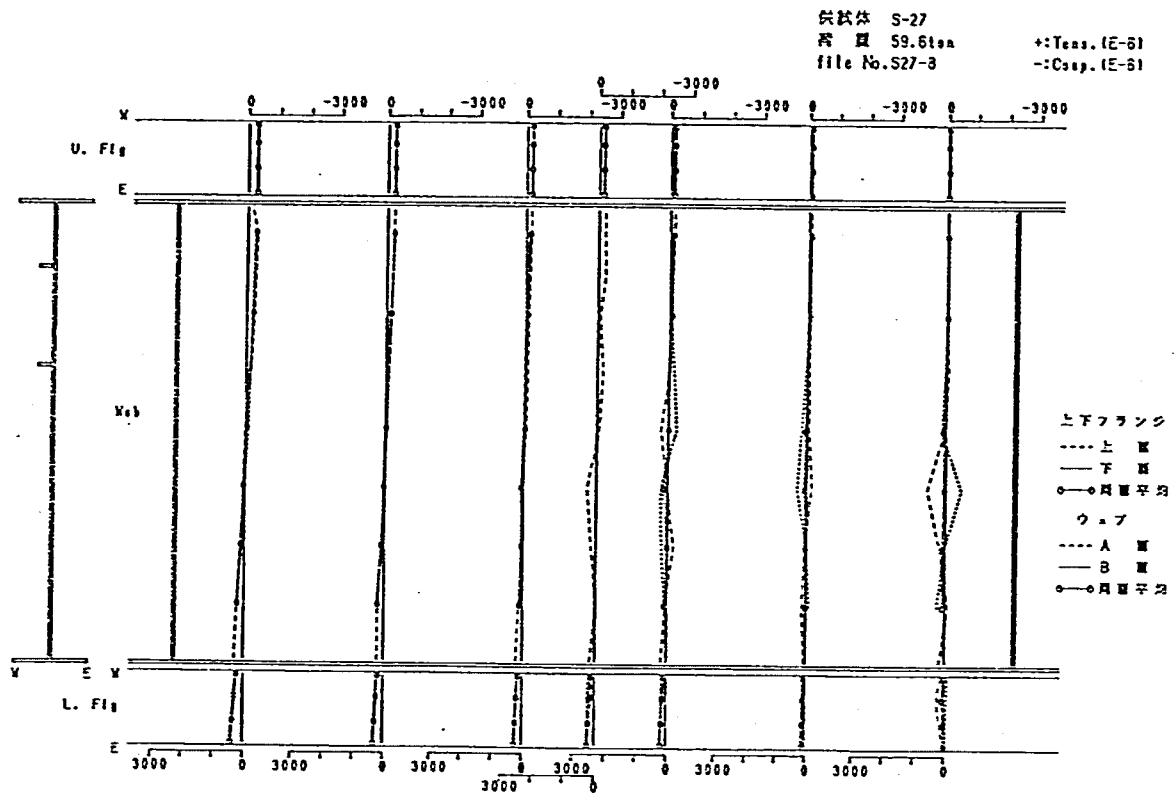


図-2.6.7(1) S-27供試体の曲げひずみ分布 (P=59.6t, 0.44Pust)

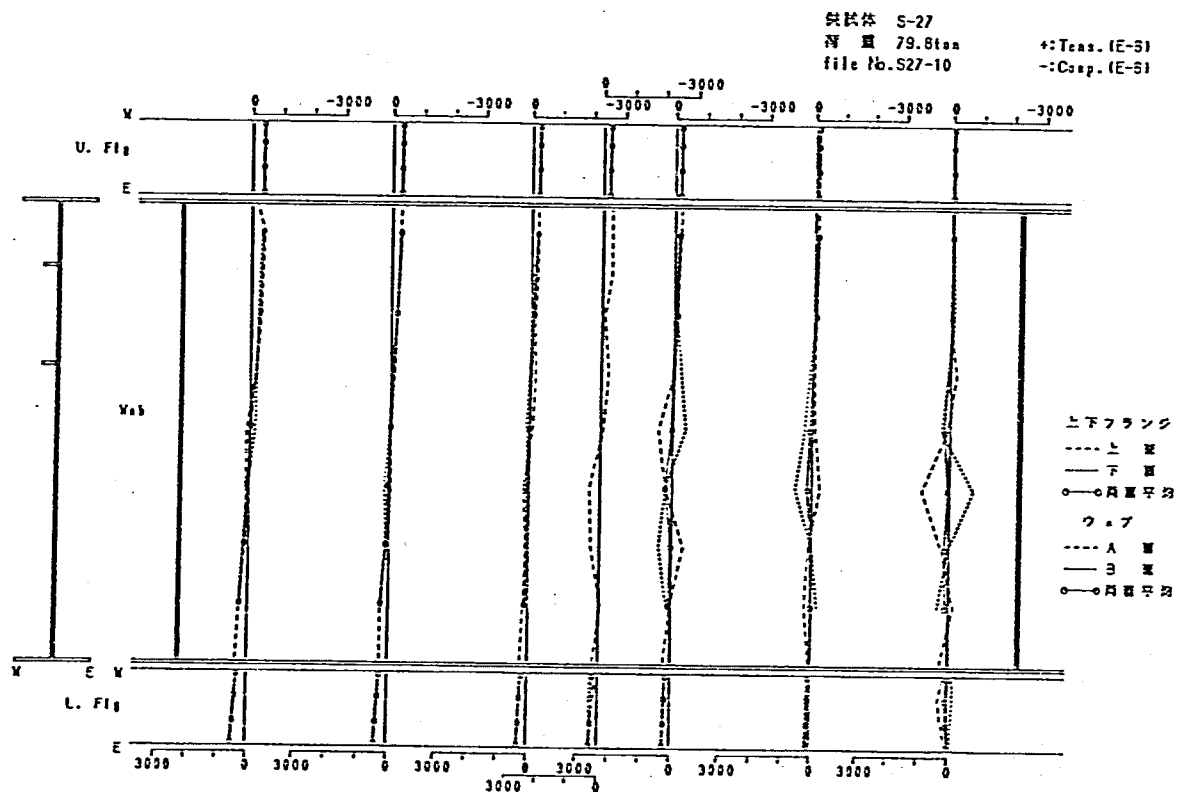


図-2.6.7(2) S-27供試体の曲げひずみ分布 (P=79.8t, 0.58Pust)

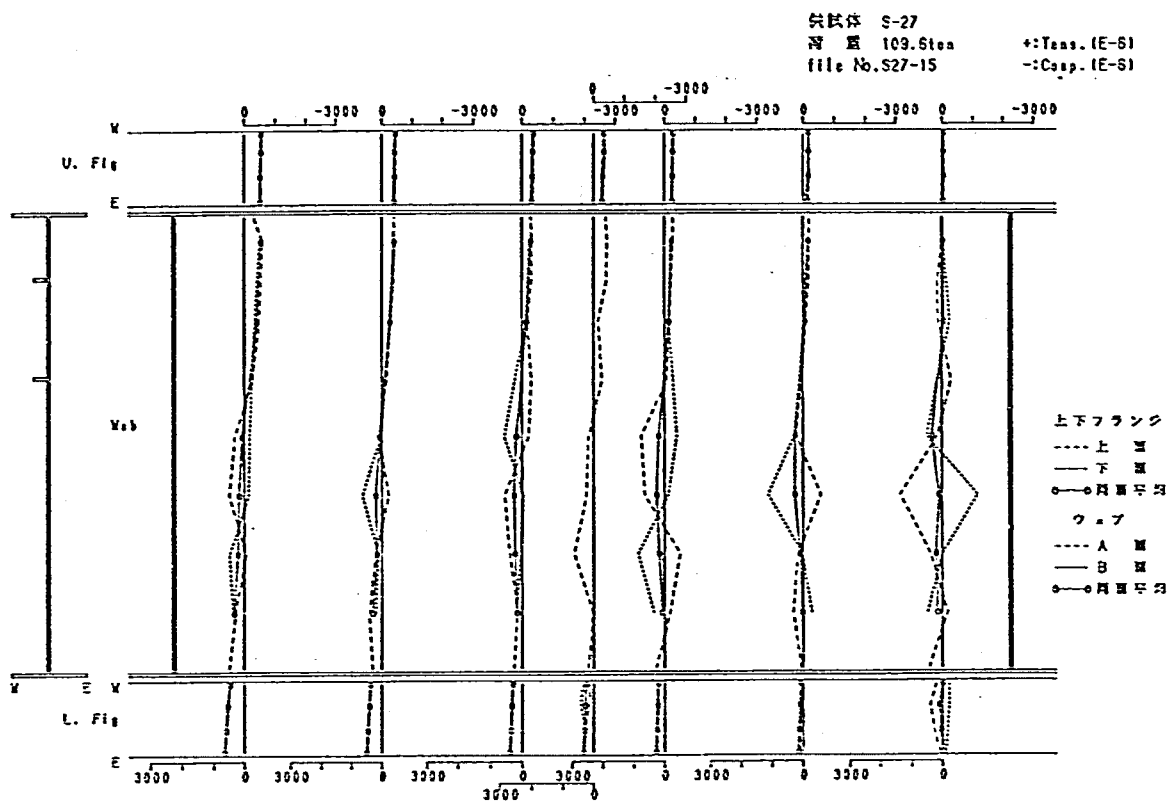


図-2.6.7(3) S-27供試体の曲げひずみ分布 (P=109.6t, 0.80P_{ust})

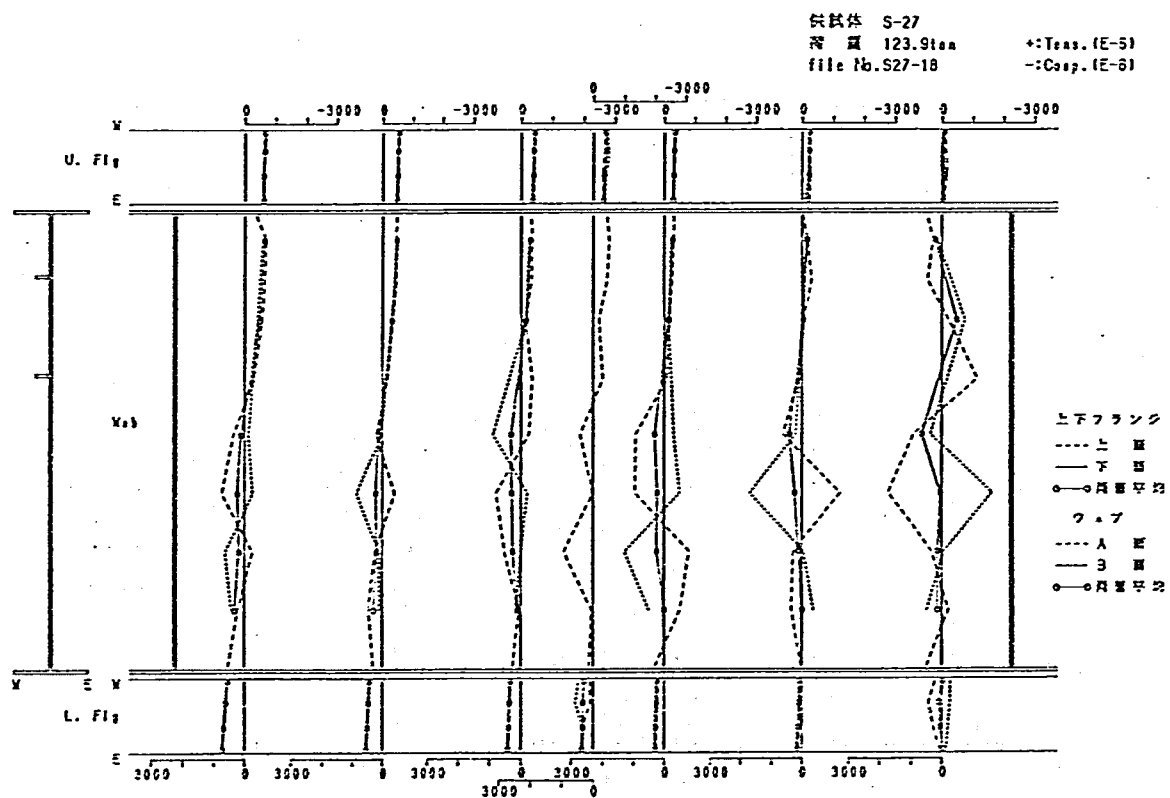


図-2.6.7(4) S-27供試体の曲げひずみ分布 (P=123.9t, 0.91P_{ust})

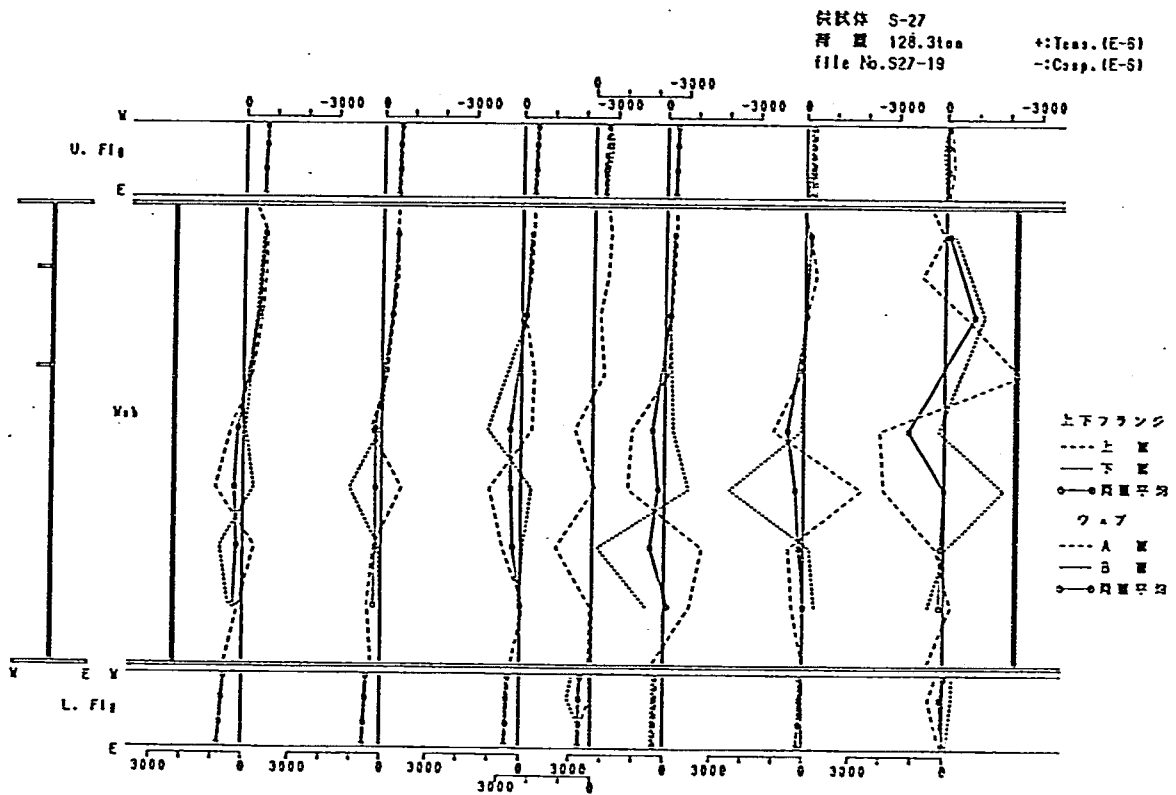


図-2.6.7(5) S-27供試体の曲げひずみ分布 ($P=128.3t$, $0.94P_{ust}$)

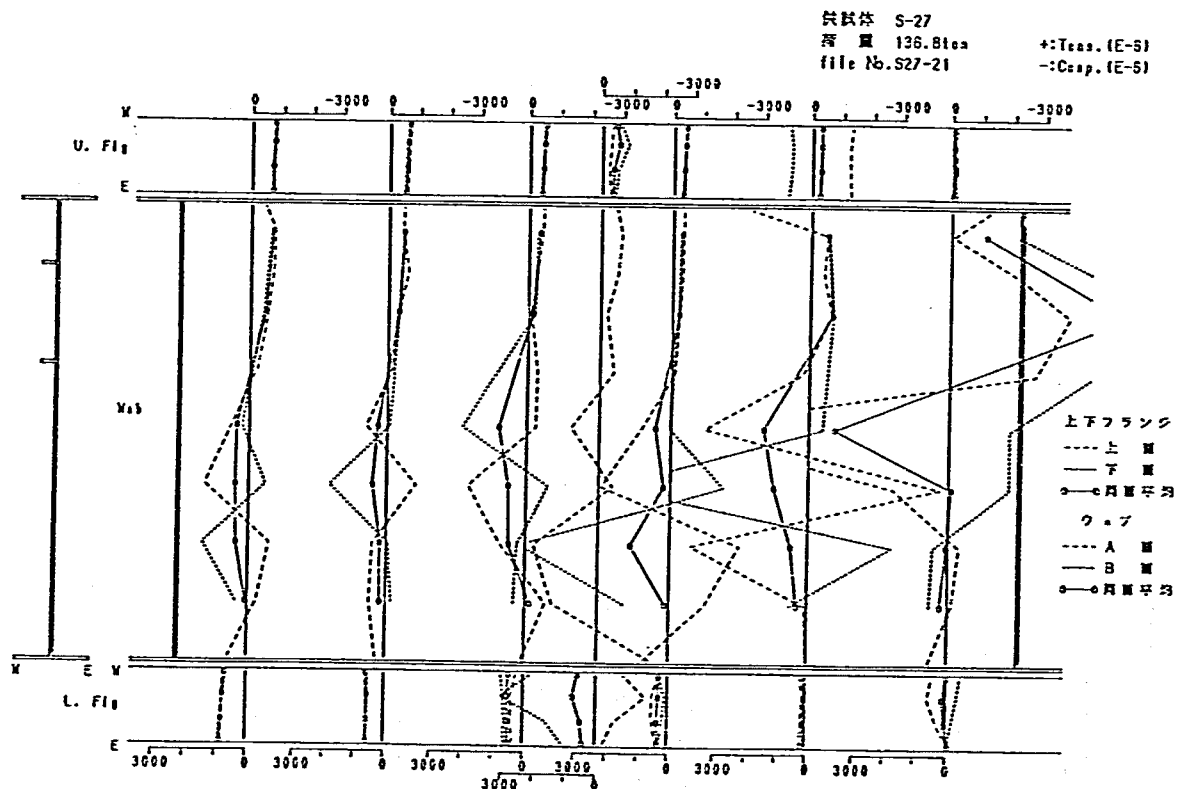


図-2.6.7(6) S-27供試体の曲げひずみ分布 ($P=136.8t$, $1.00P_{ust}$)

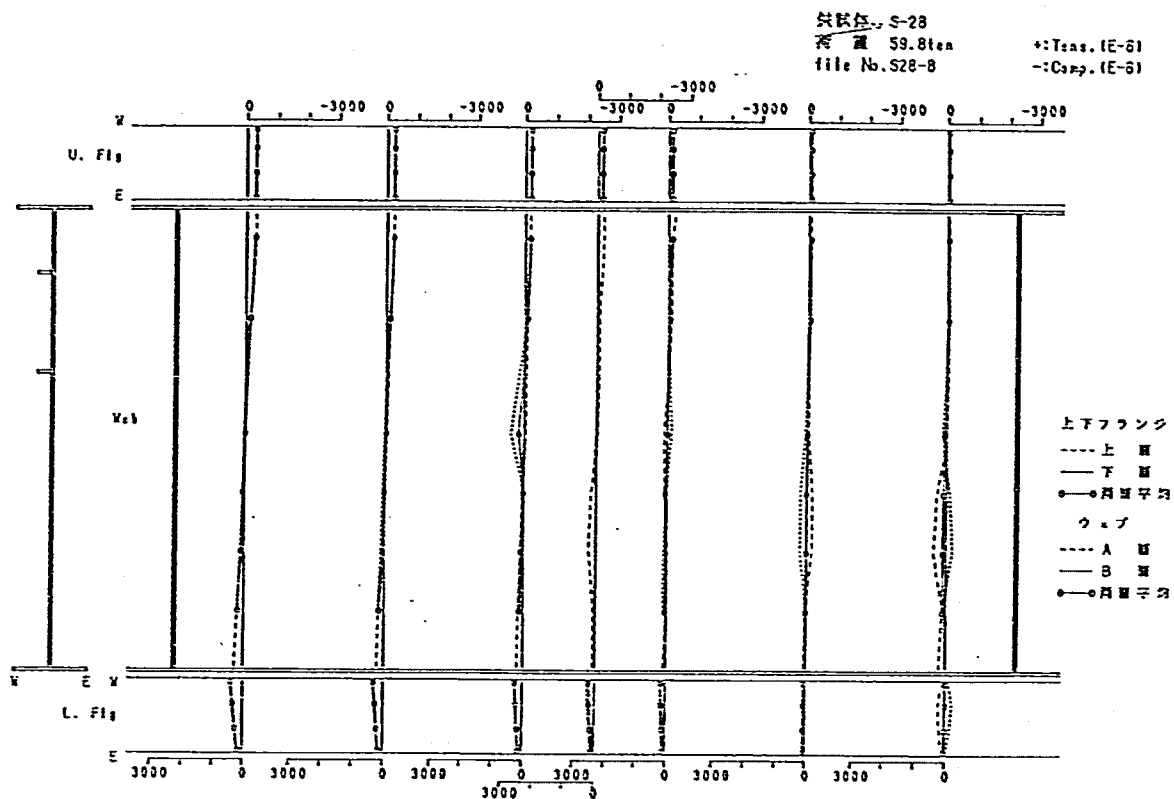


図-2.6.8(1) S-28供試体の曲げひずみ分布 ($P=59.8t$, $0.43P_{ust}$)

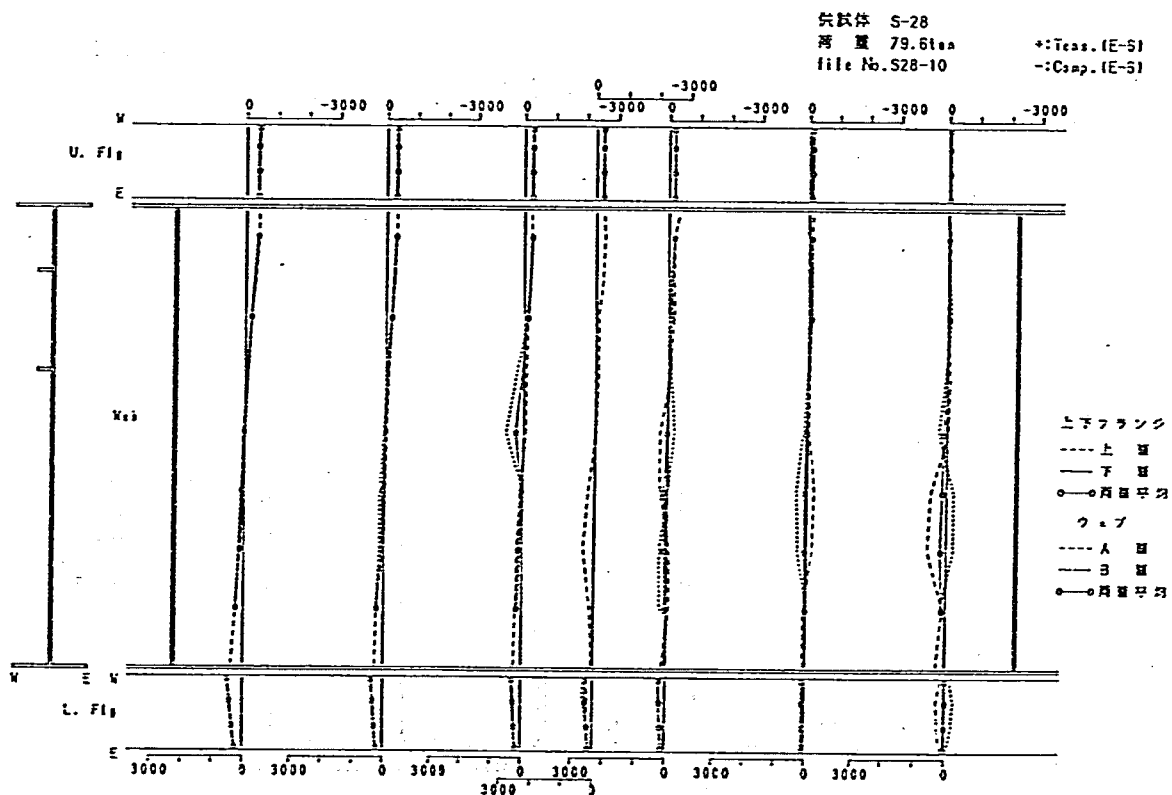


図-2.6.8(2) S-28供試体の曲げひずみ分布 ($P=79.6t$, $0.58P_{ust}$)

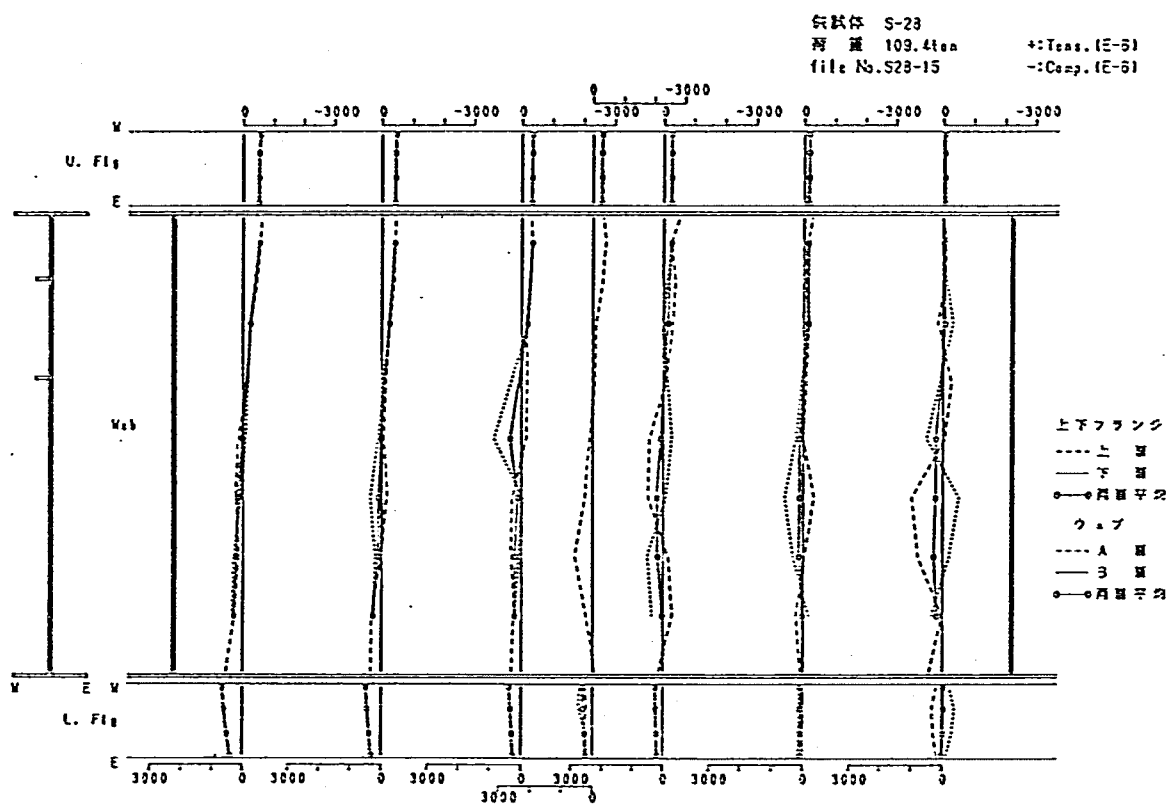


図-2.6.8(3) S-28供試体の曲げひずみ分布 (P=109.4t, 0.79P_{ust})

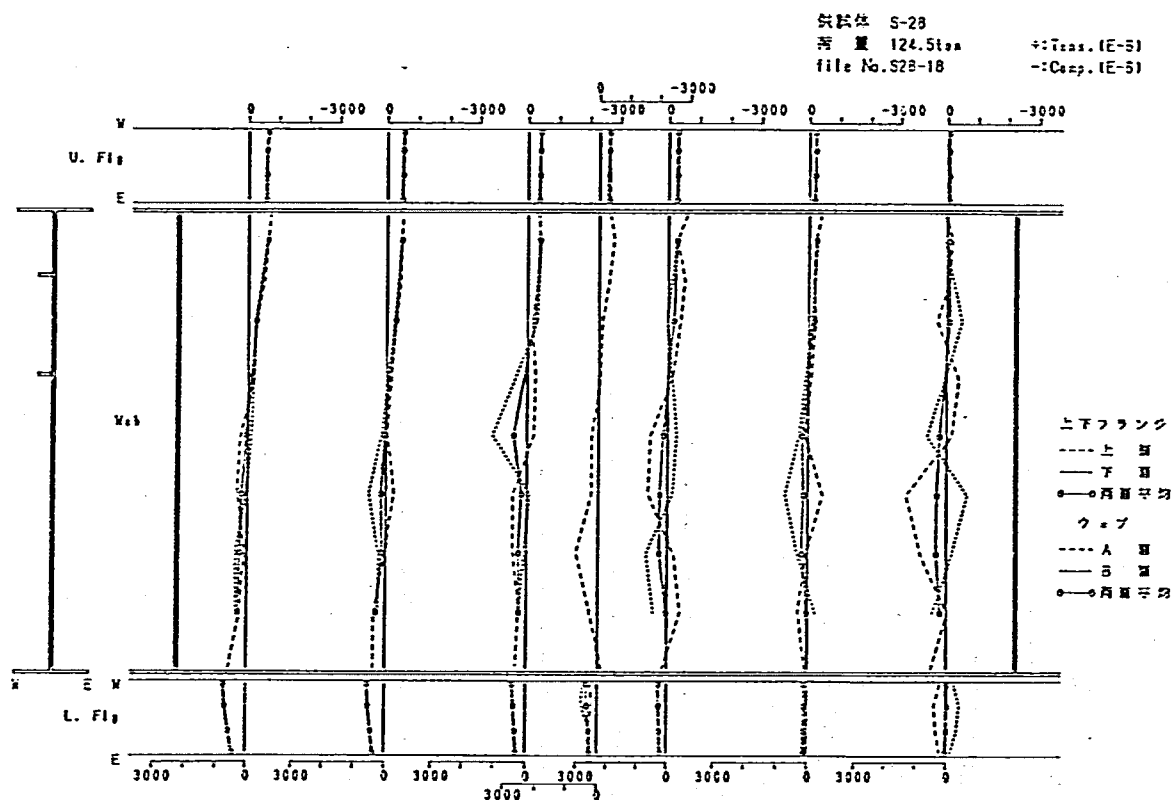


図-2.6.8(4) S-28供試体の曲げひずみ分布 (P=124.5t, 0.90P_{ust})

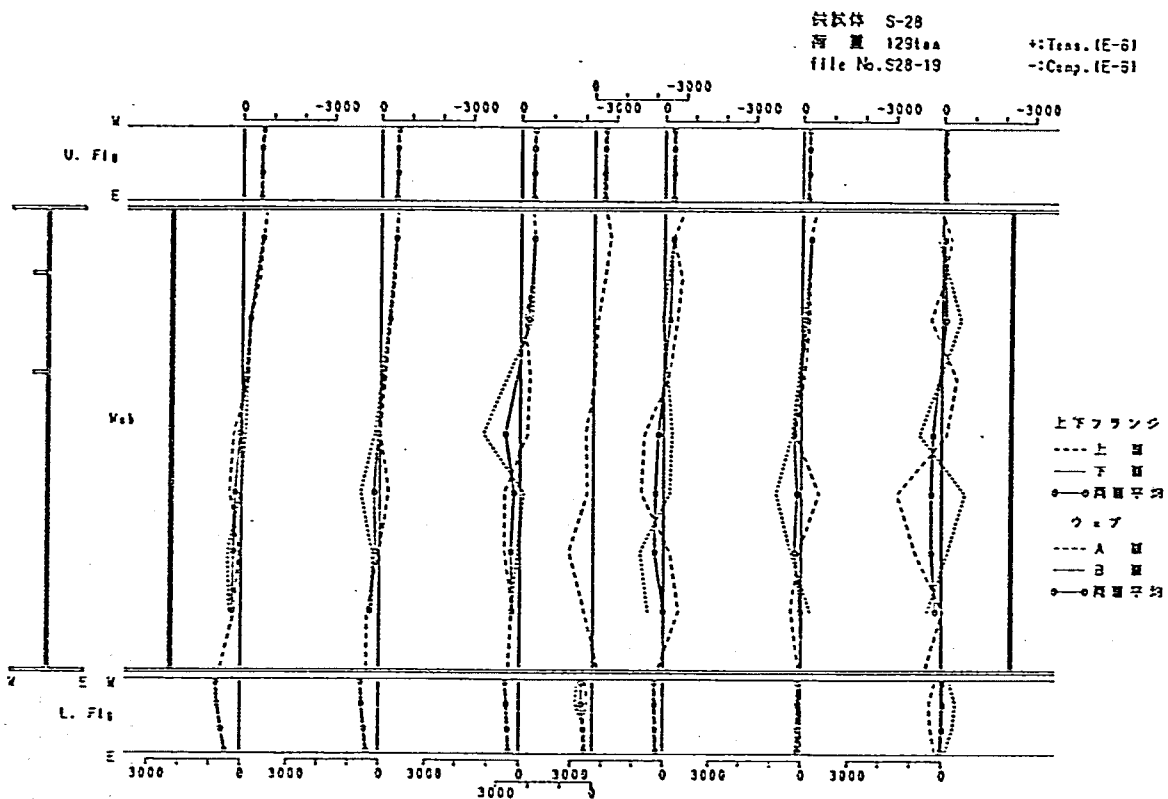


図-2.6.8(5) S-28供試体の曲げひずみ分布 ($P=129.0t$, $0.94P_{ust}$)

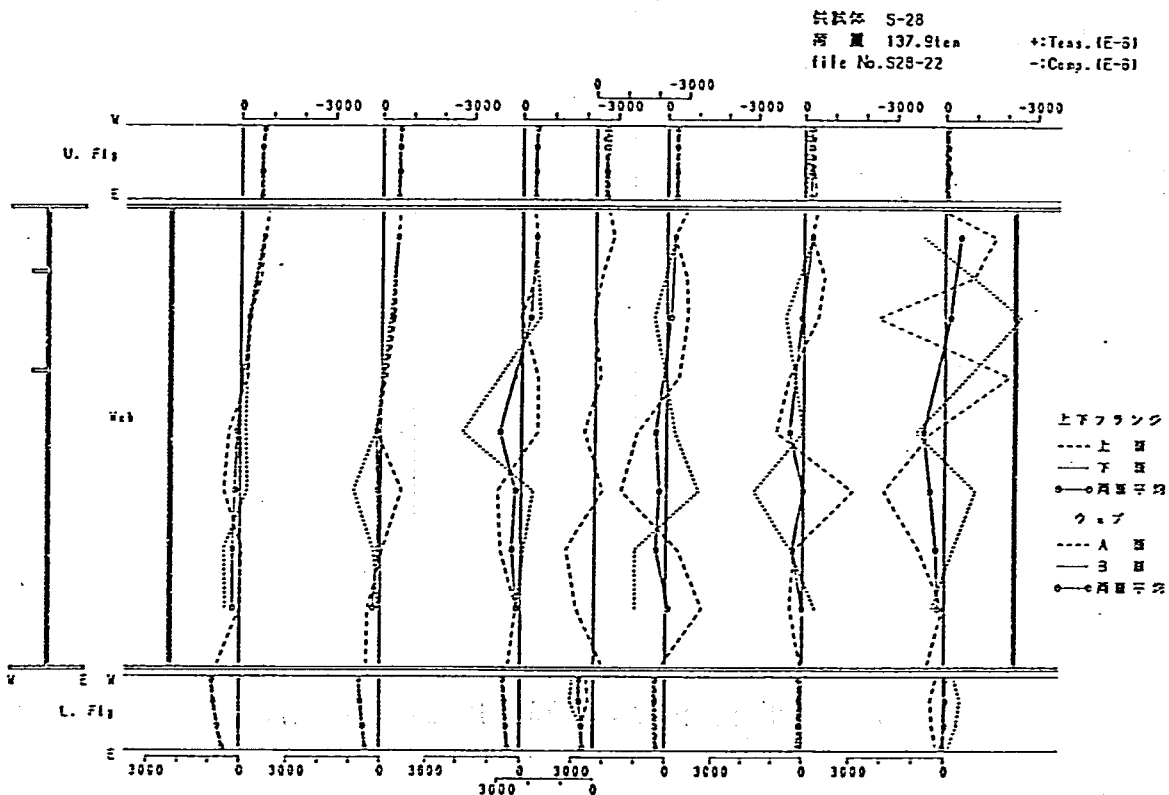


図-2.6.8(6) S-28供試体の曲げひずみ分布 ($P=137.9t$, $1.00P_{ust}$)

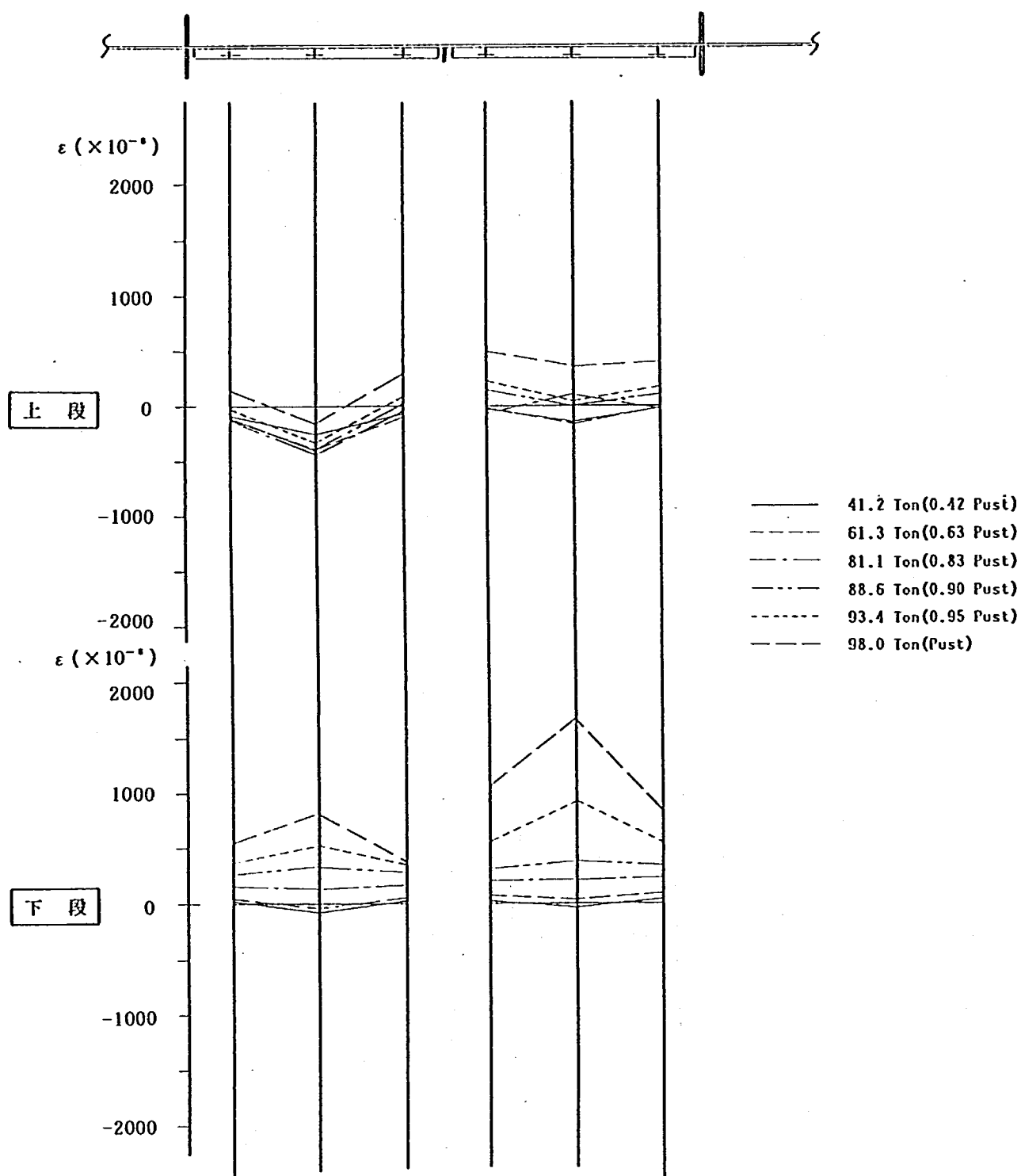


図-2.7(1) 水平補剛材のひずみ分布 (B-25 : 0.83 γ_{hreq})

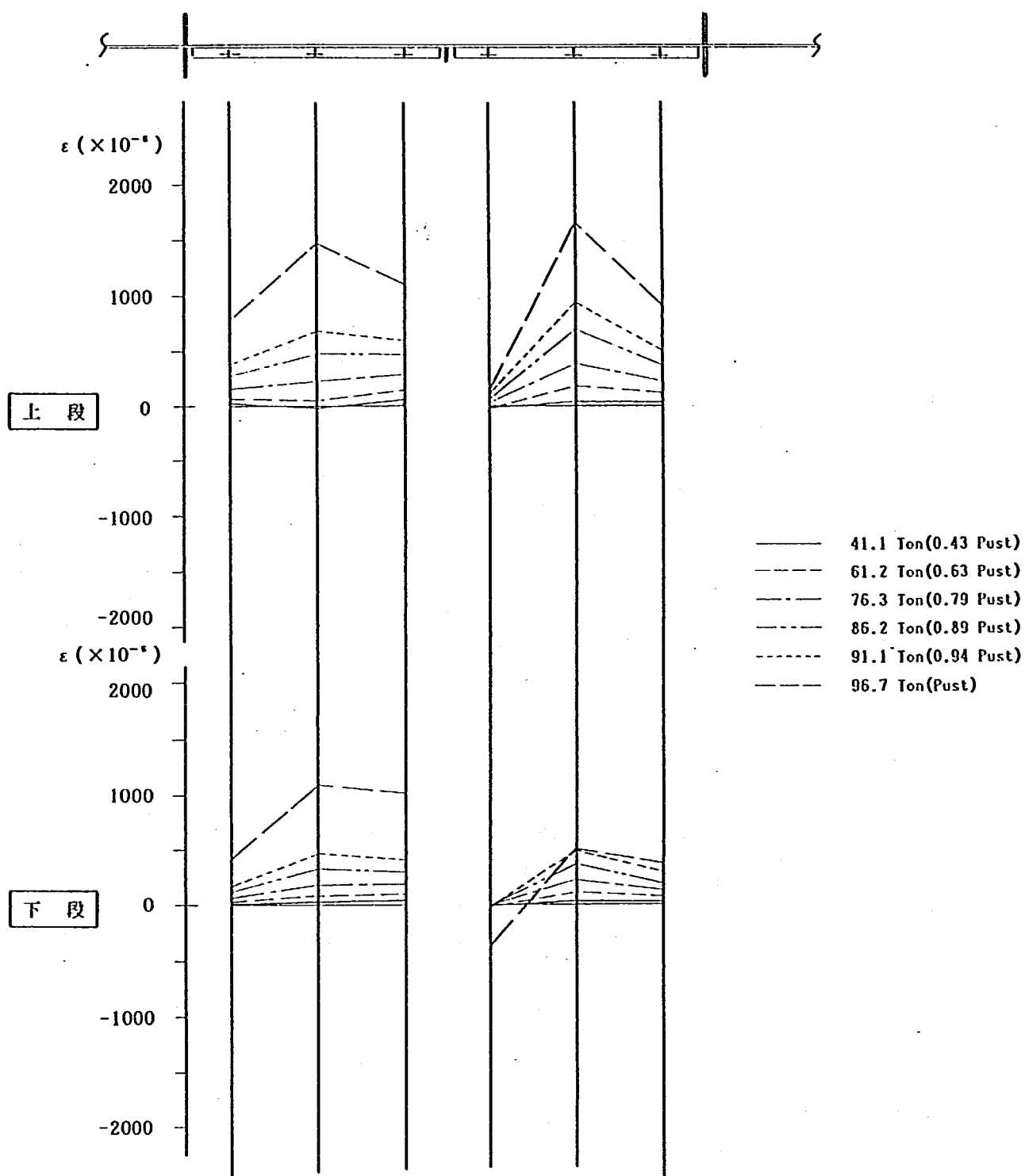


図-2.7(2) 水平補剛材のひずみ分布 (B-26 : 0.83 γ_{req})

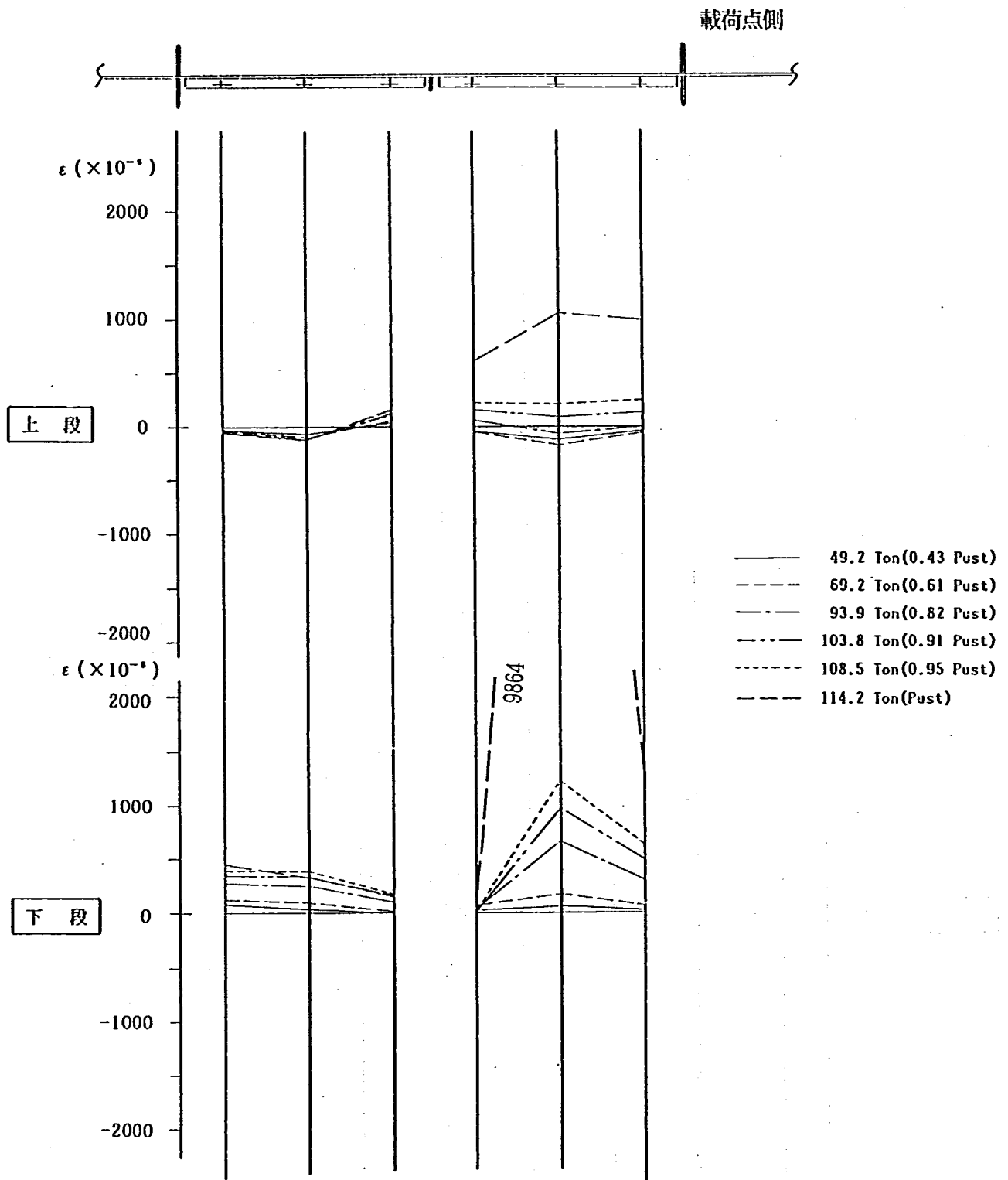


図-2.7(3) 水平補剛材のひずみ分布 (C-29: 0.88 γ_{req})

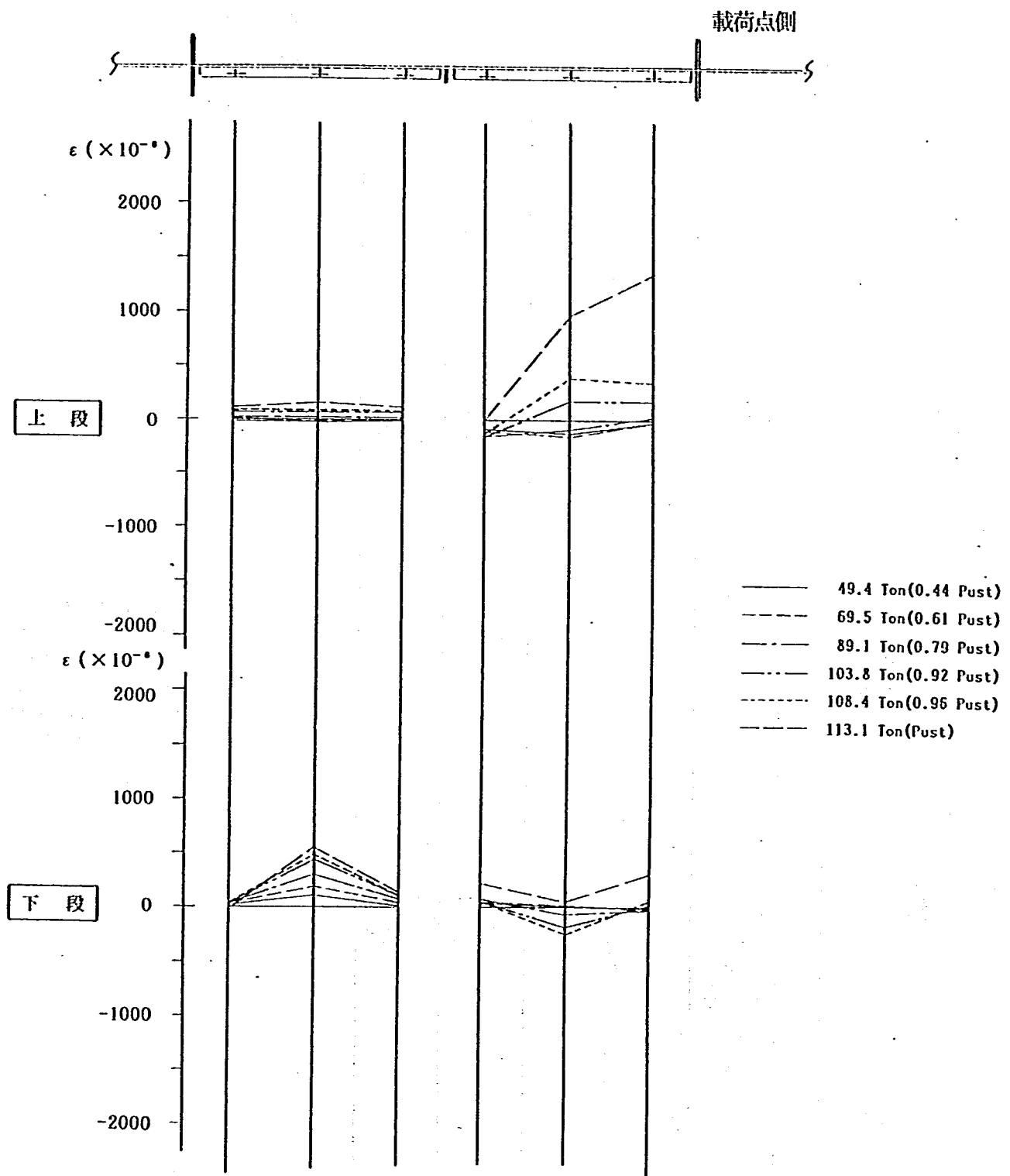


図-2.7(4) 水平補剛材のひずみ分布 (C-30 : 0.88 γ_{req})

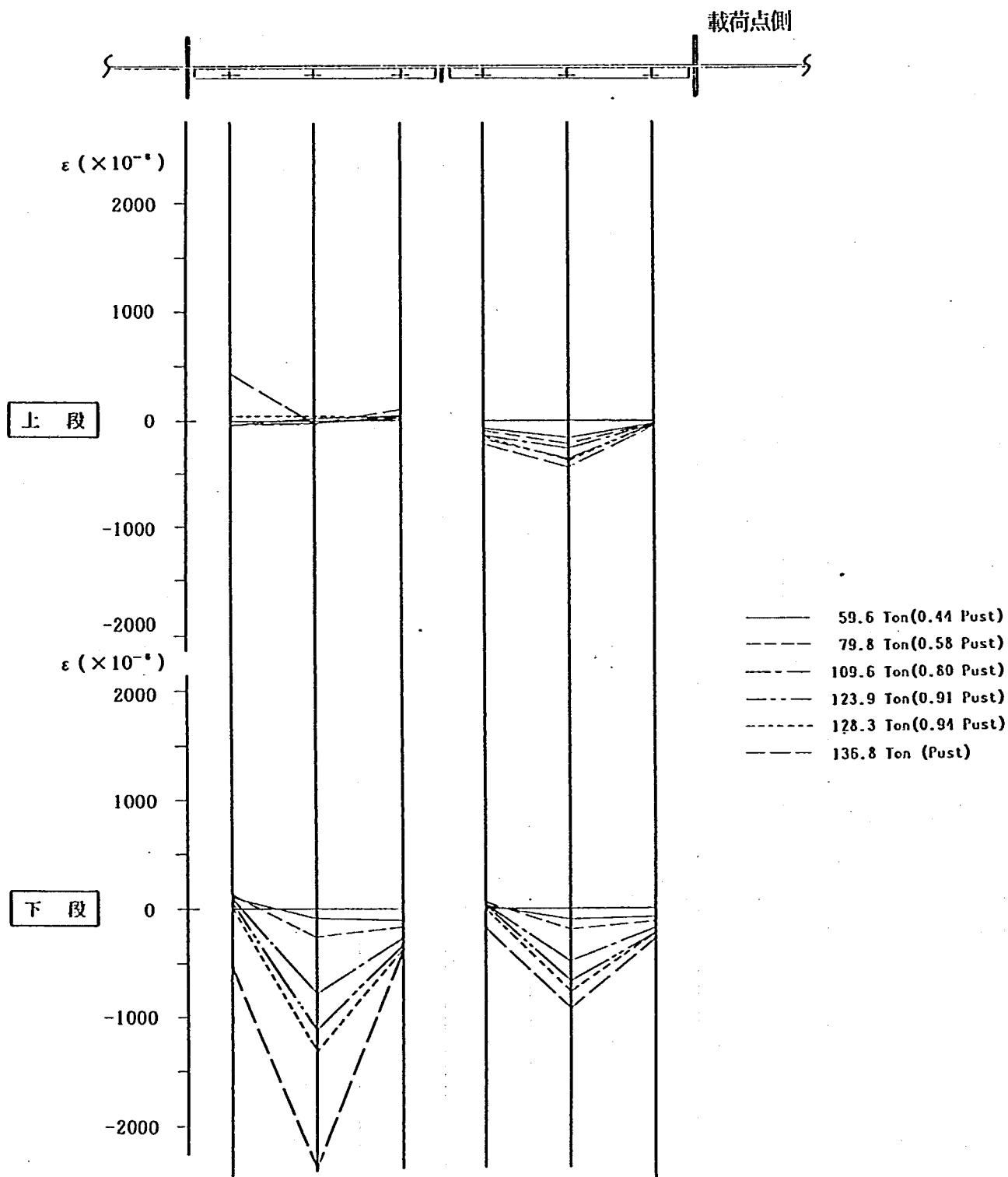


図-2.7(5) 水平補剛材のひずみ分布 (S-27 : 0.88 γ_{req})

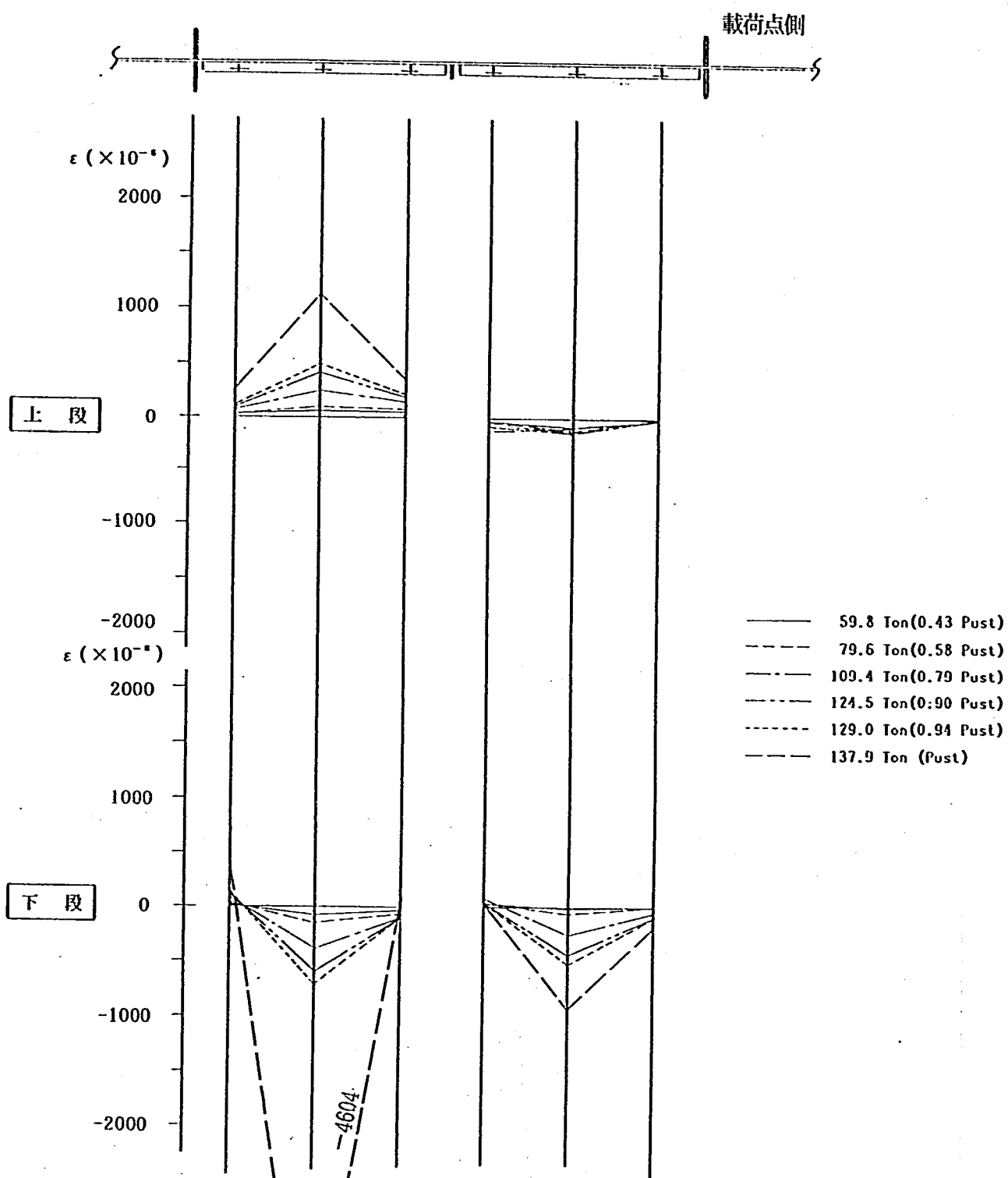


図-2.7(6) 水平補剛材のひずみ分布 (S-28: 0.88 γ_{req})

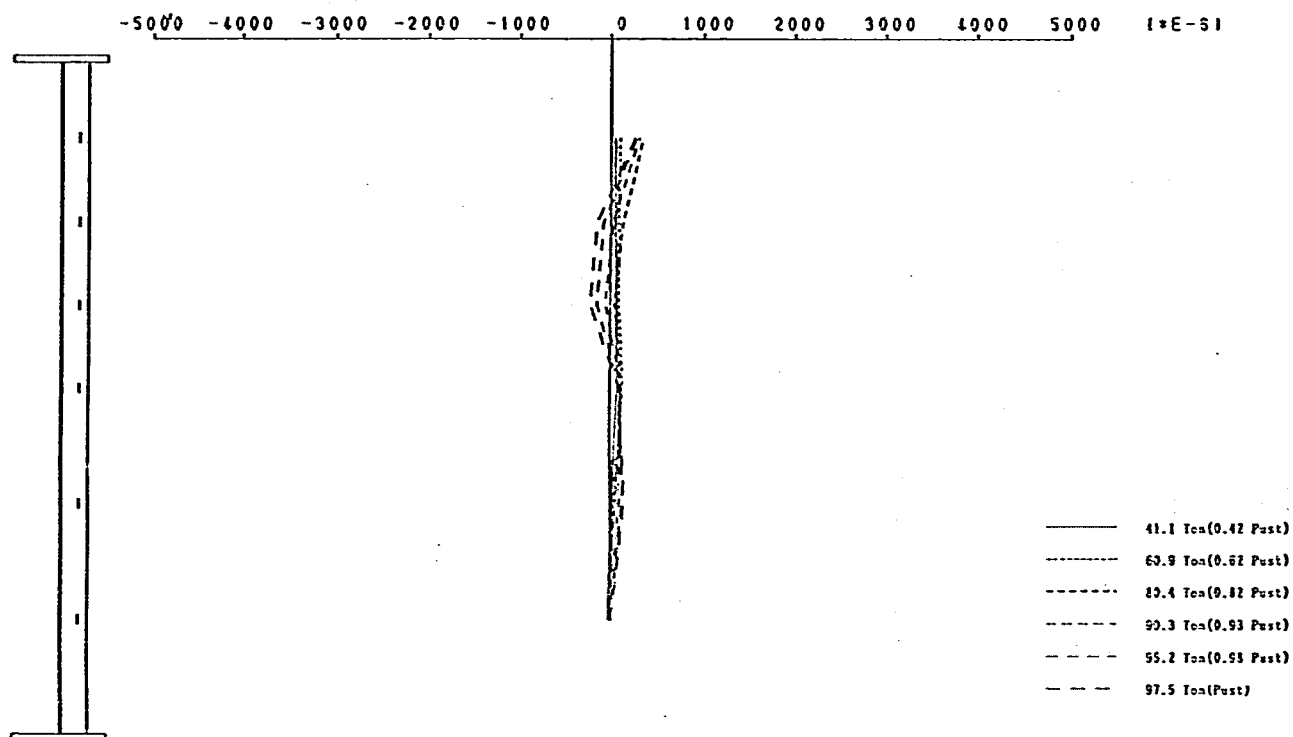


図-2.8(1) 垂直補剛材のひずみ分布 (B-01)

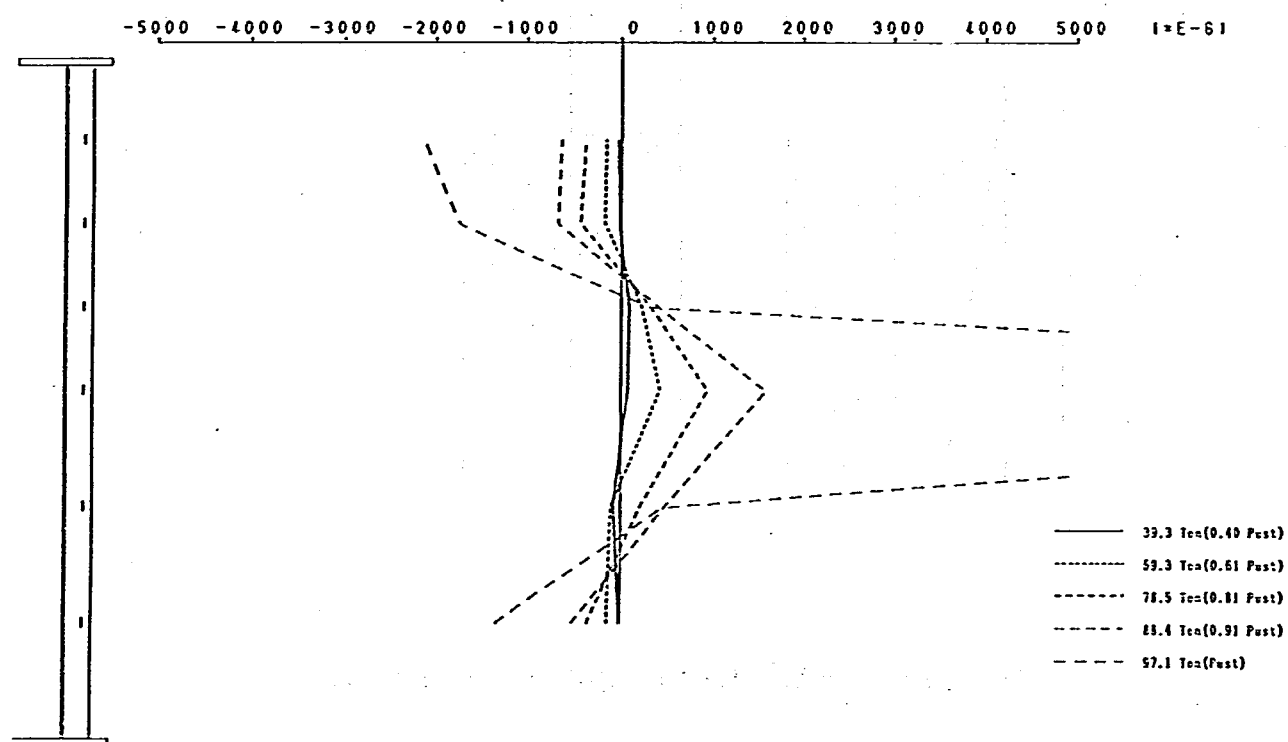


図-2.8(2) 垂直補剛材のひずみ分布 (S-01)

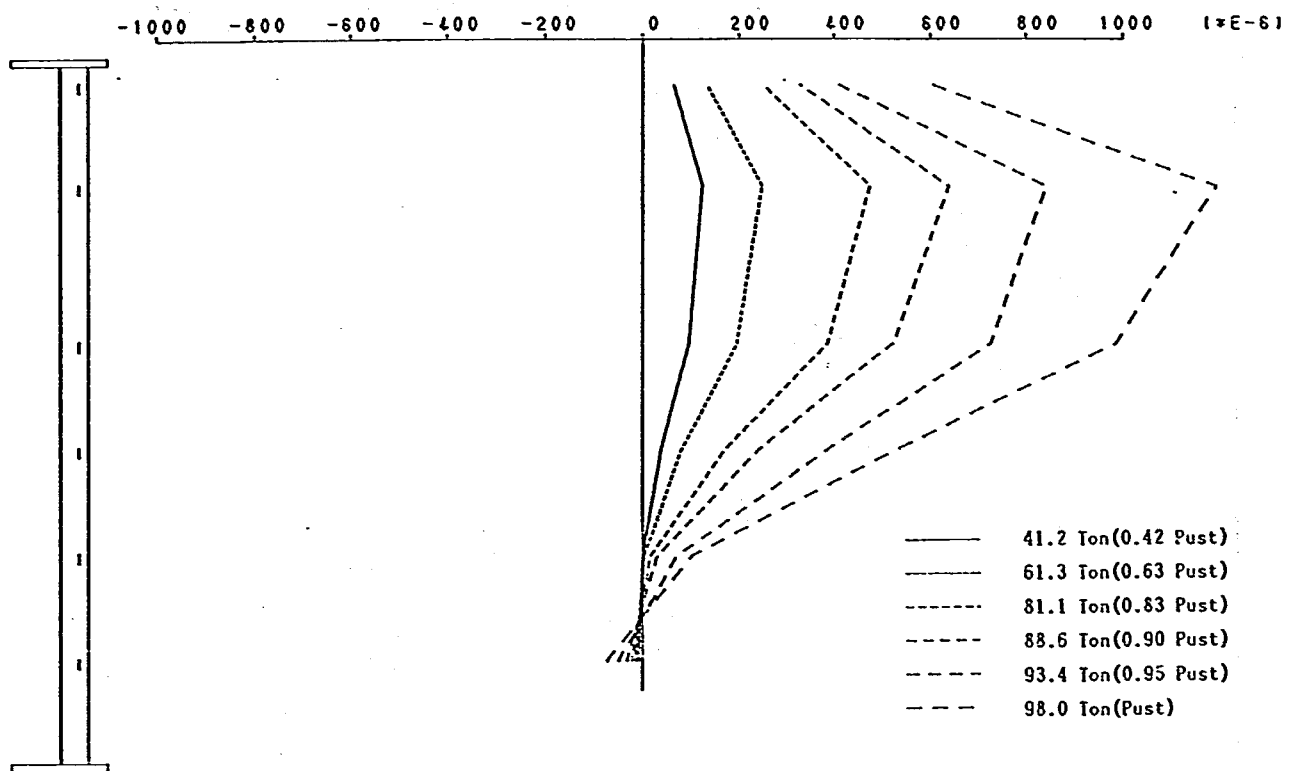


図-2.8(3) 垂直補剛材のひずみ分布 (B-25)

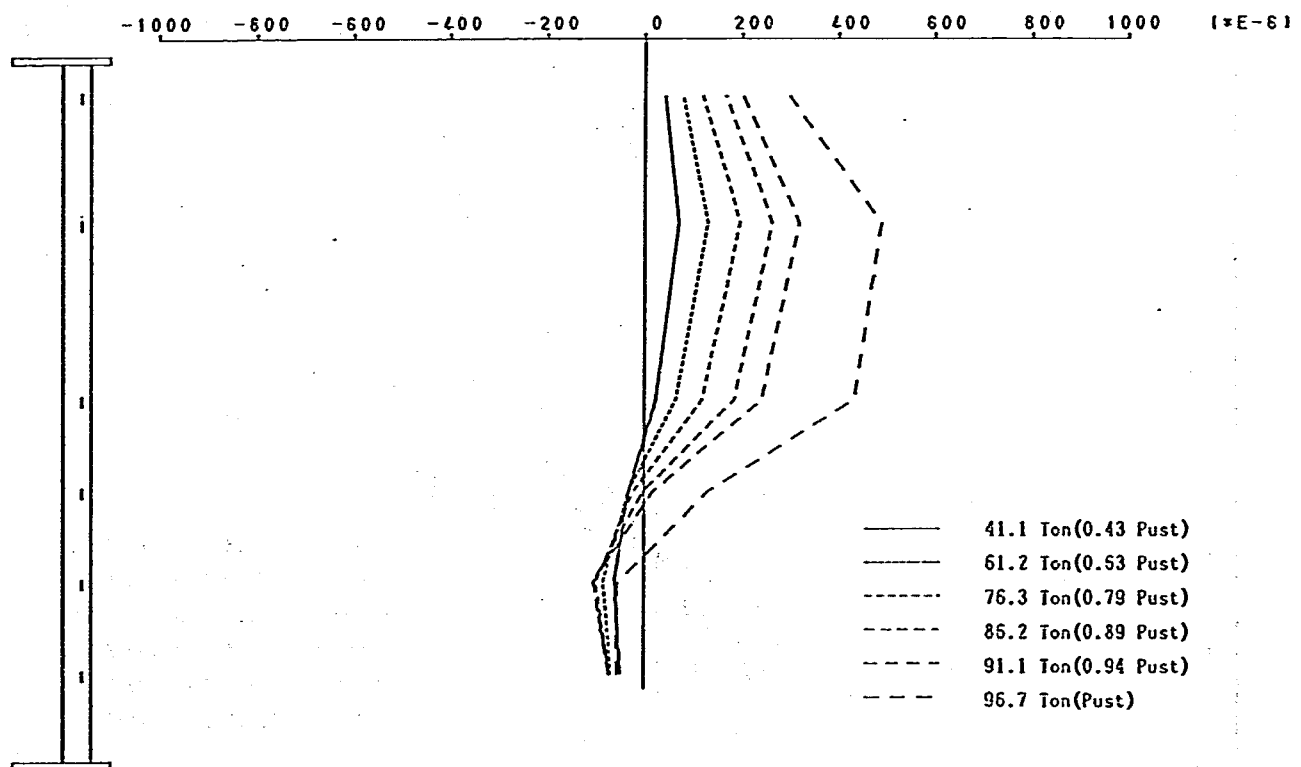


図-2.8(4) 垂直補剛材のひずみ分布 (B-26)

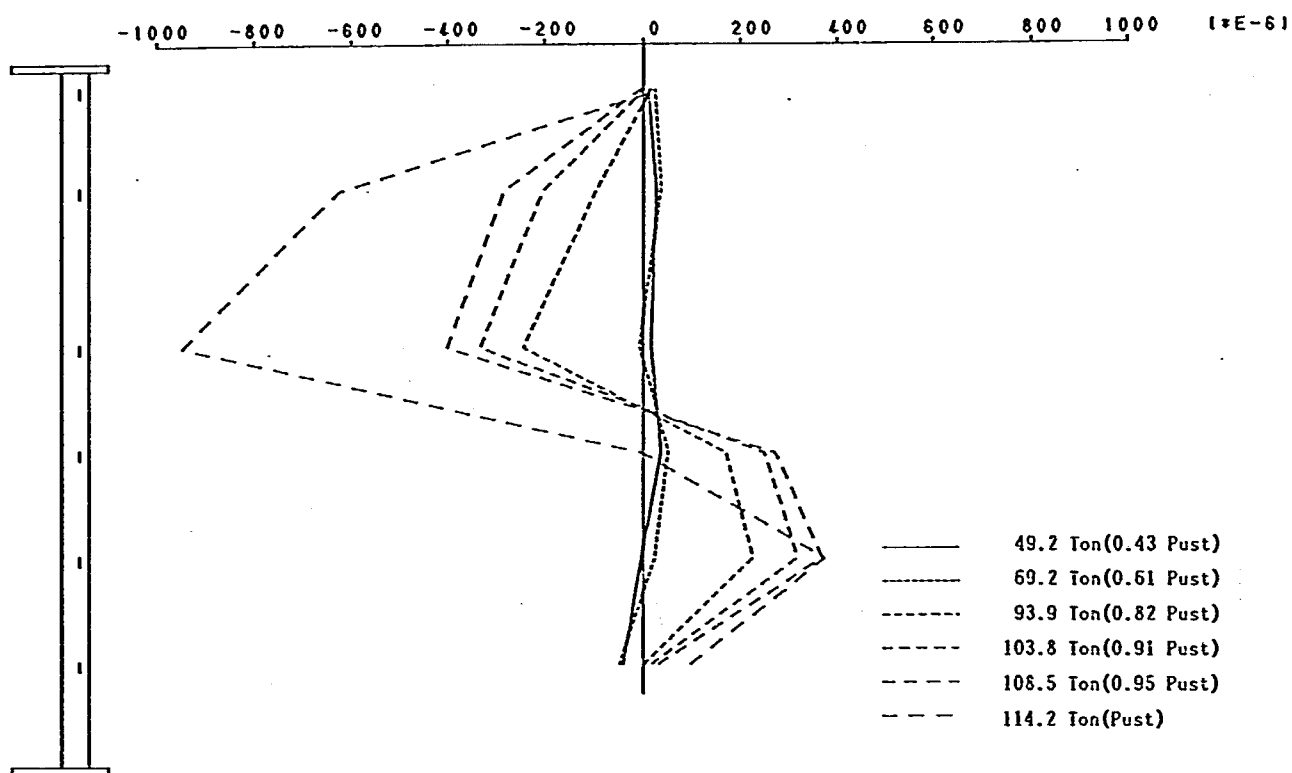


図-2.8(5) 垂直補剛材のひずみ分布 (C-29)

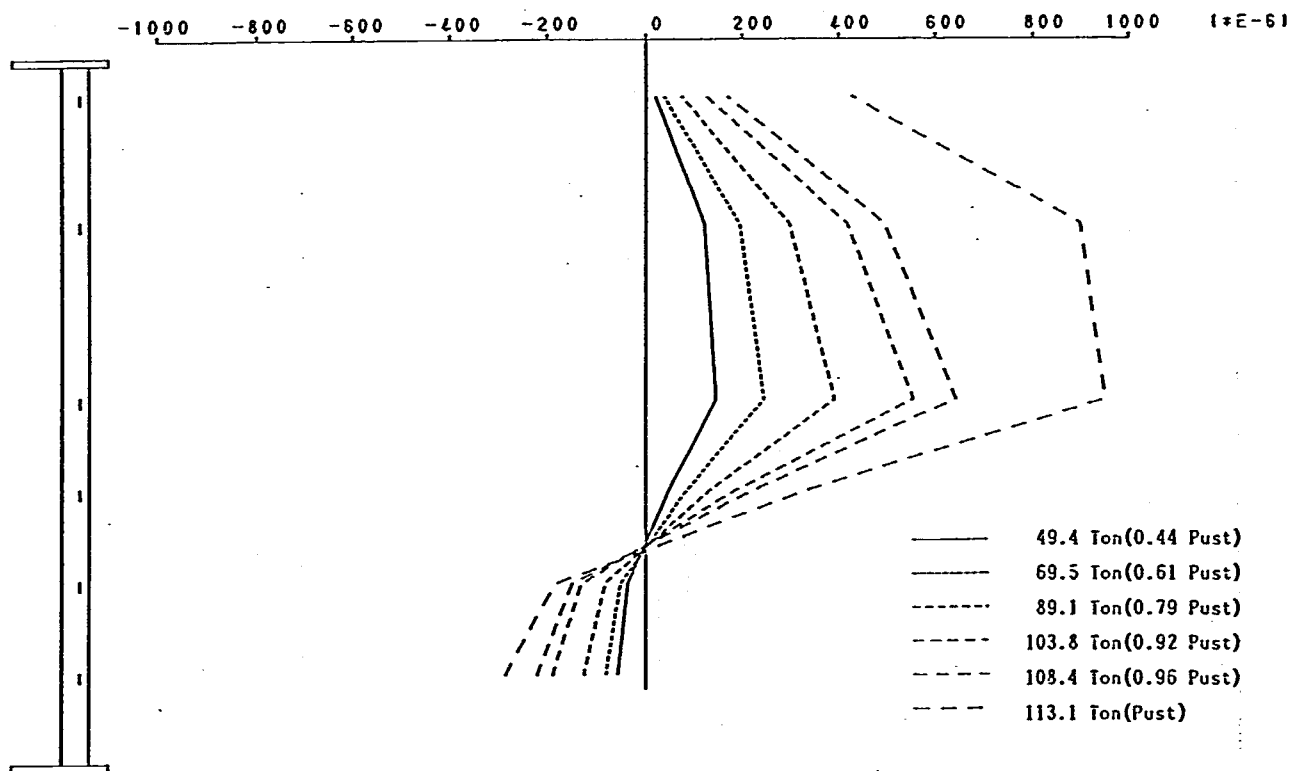


図-2.8(6) 垂直補剛材のひずみ分布 (C-30)

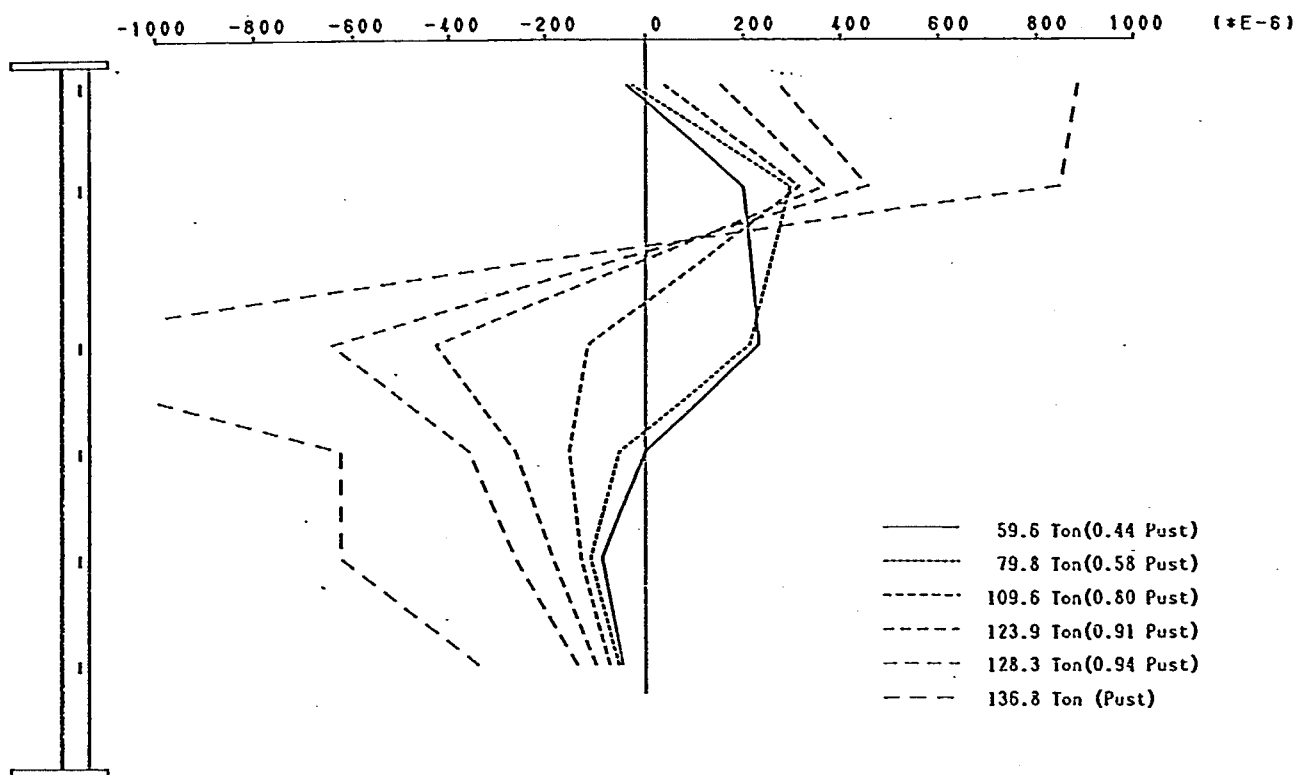


図-2.8(7) 垂直補剛材のひずみ分布 (S-27)

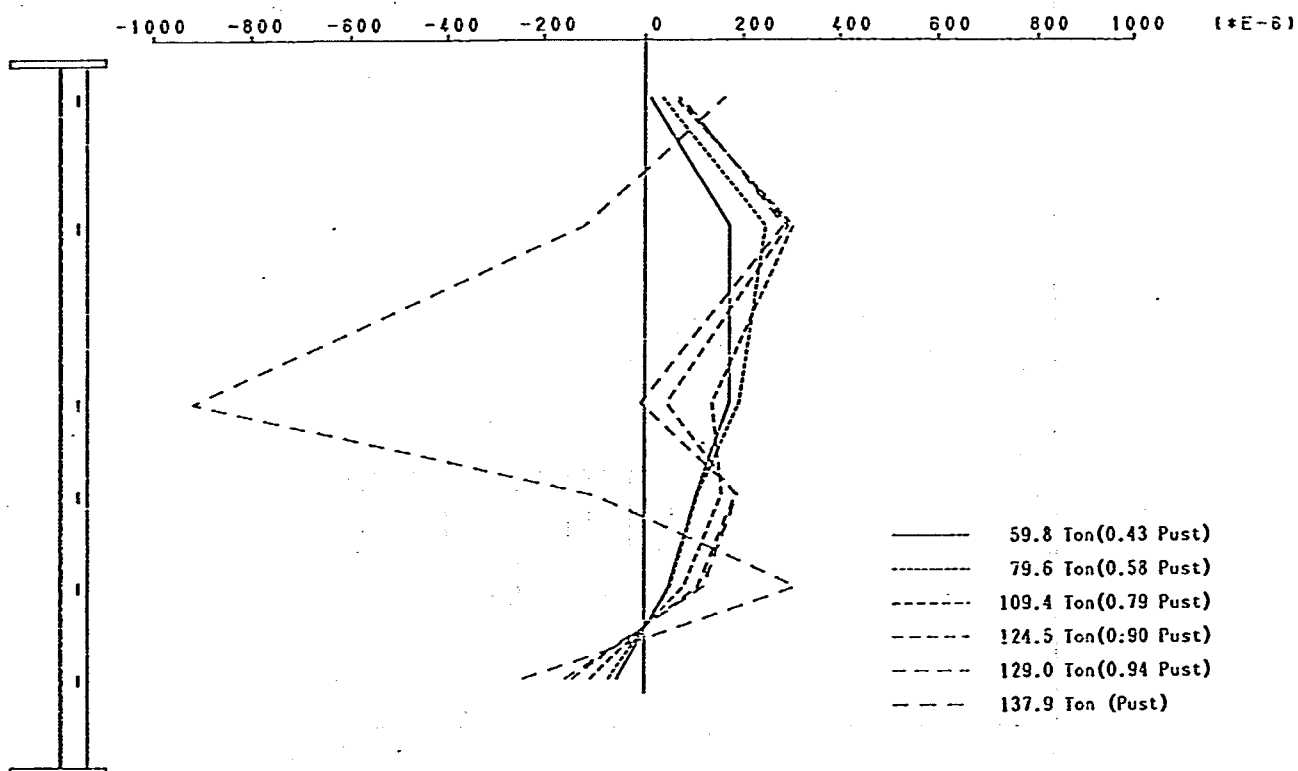


図-2.8(8) 垂直補剛材のひずみ分布 (S-28)

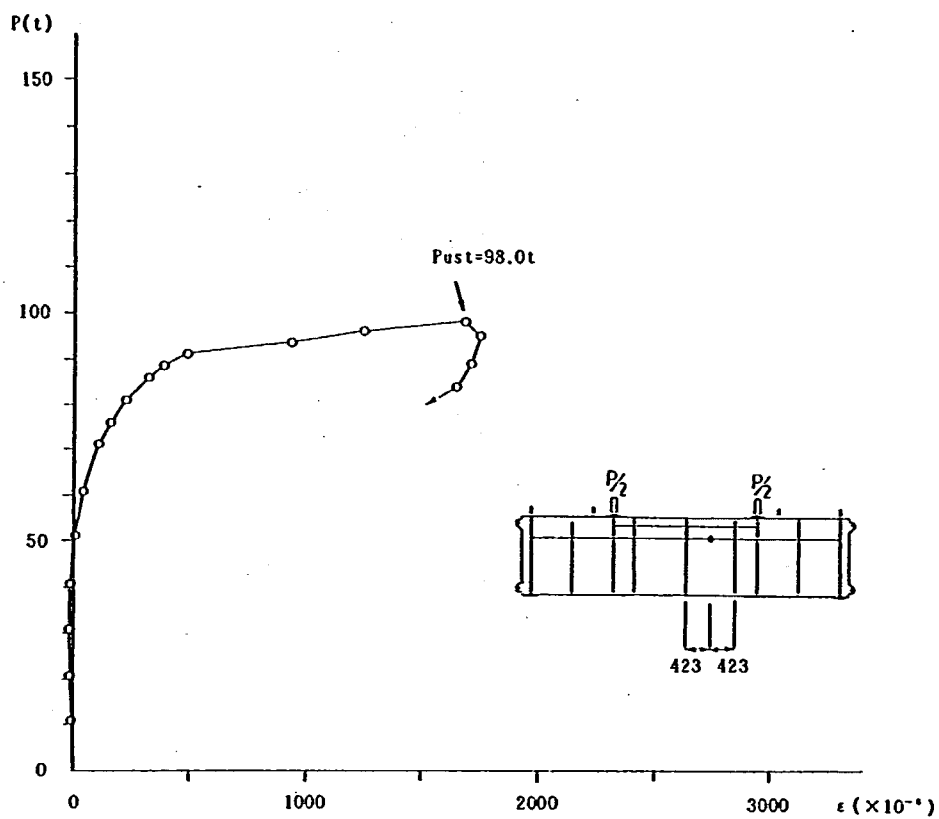


図-2.9(1) 荷重と水平補剛材のひずみの関係 (B-25 : $0.83 \gamma_{breq}$)

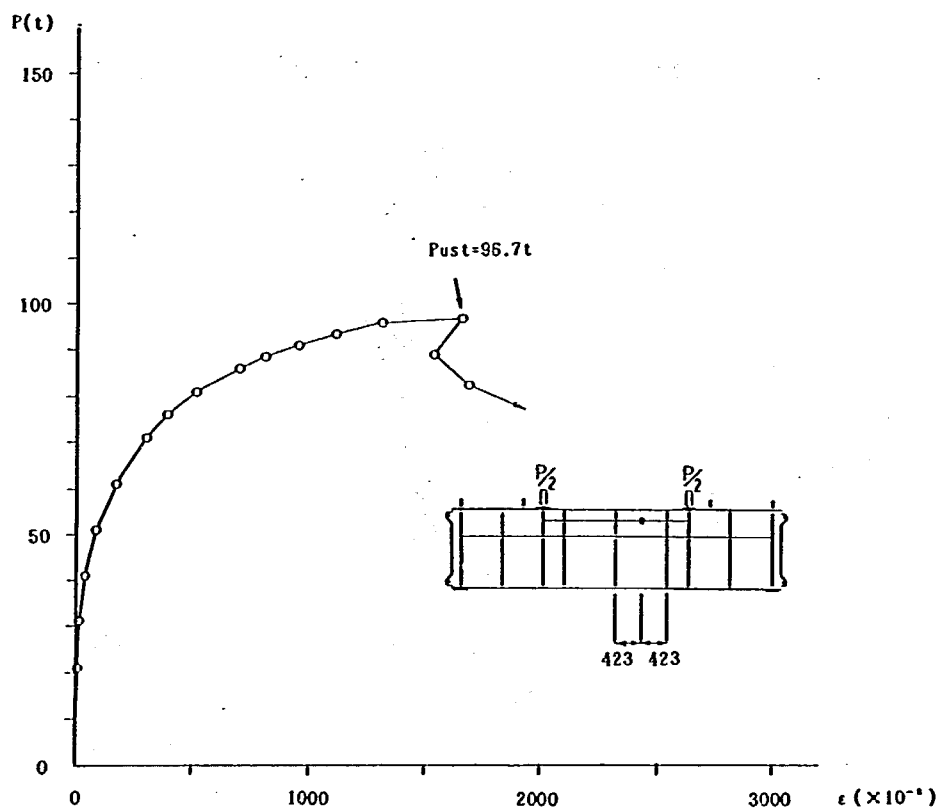


図-2.9(2) 荷重と水平補剛材のひずみの関係 (B-26 : $0.83 \gamma_{breq}$)

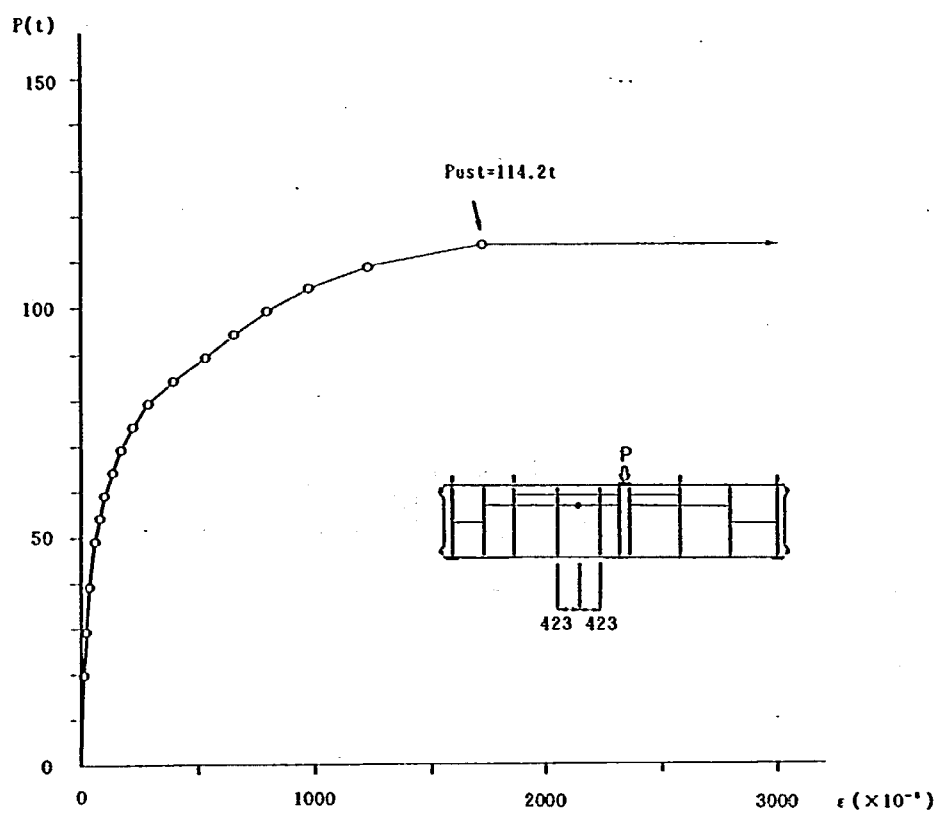


図-2.9(3) 荷重と水平補剛材のひずみの関係 (C-29 : $0.88\gamma_{hreq}$)

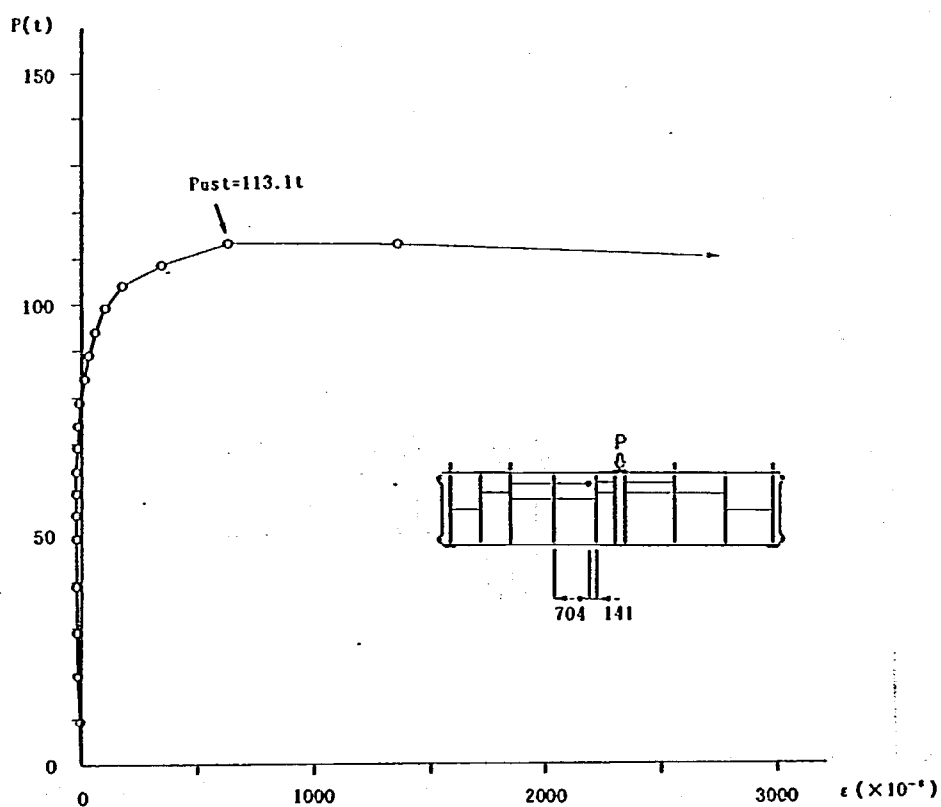


図-2.9(4) 荷重と水平補剛材のひずみの関係 (C-30 : $0.88\gamma_{hreq}$)

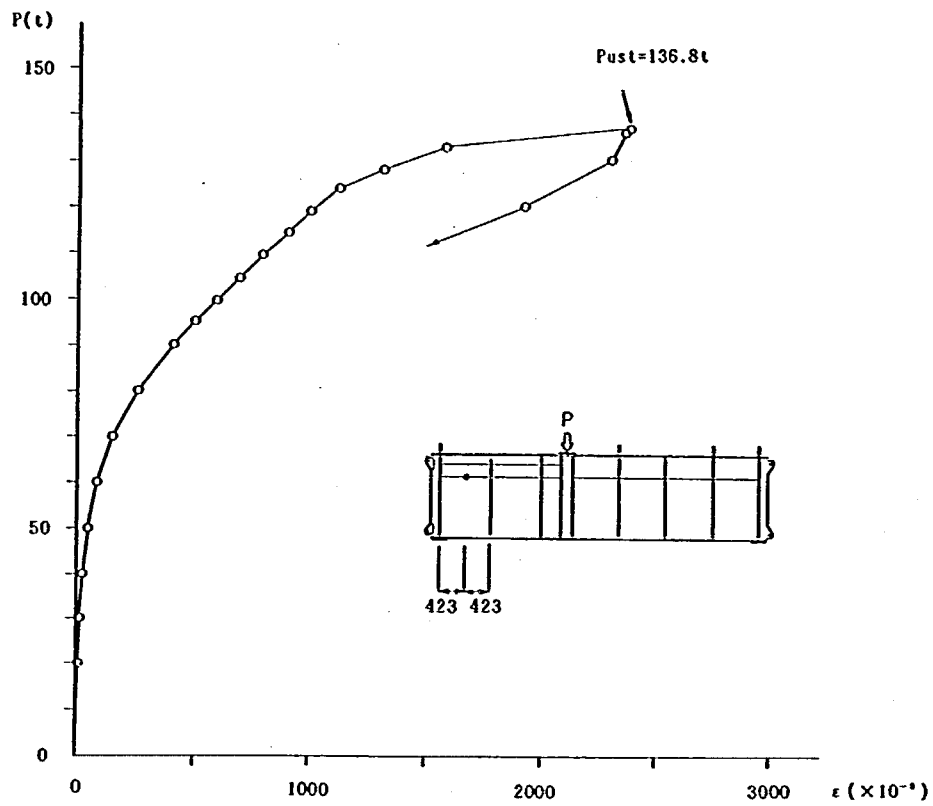


図-2.9(5) 荷重と水平補剛材のひずみの関係 (S-27 : $0.88 \gamma_{hreq}$)

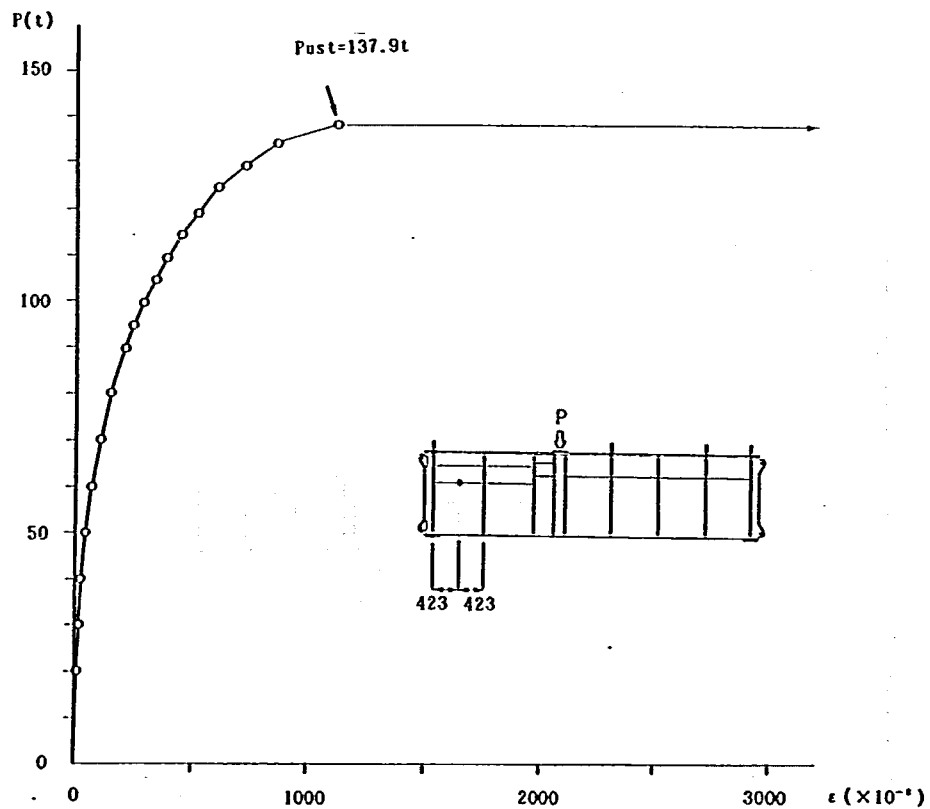


図-2.9(6) 荷重と水平補剛材のひずみの関係 (S-28 : $0.88 \gamma_{hreq}$)

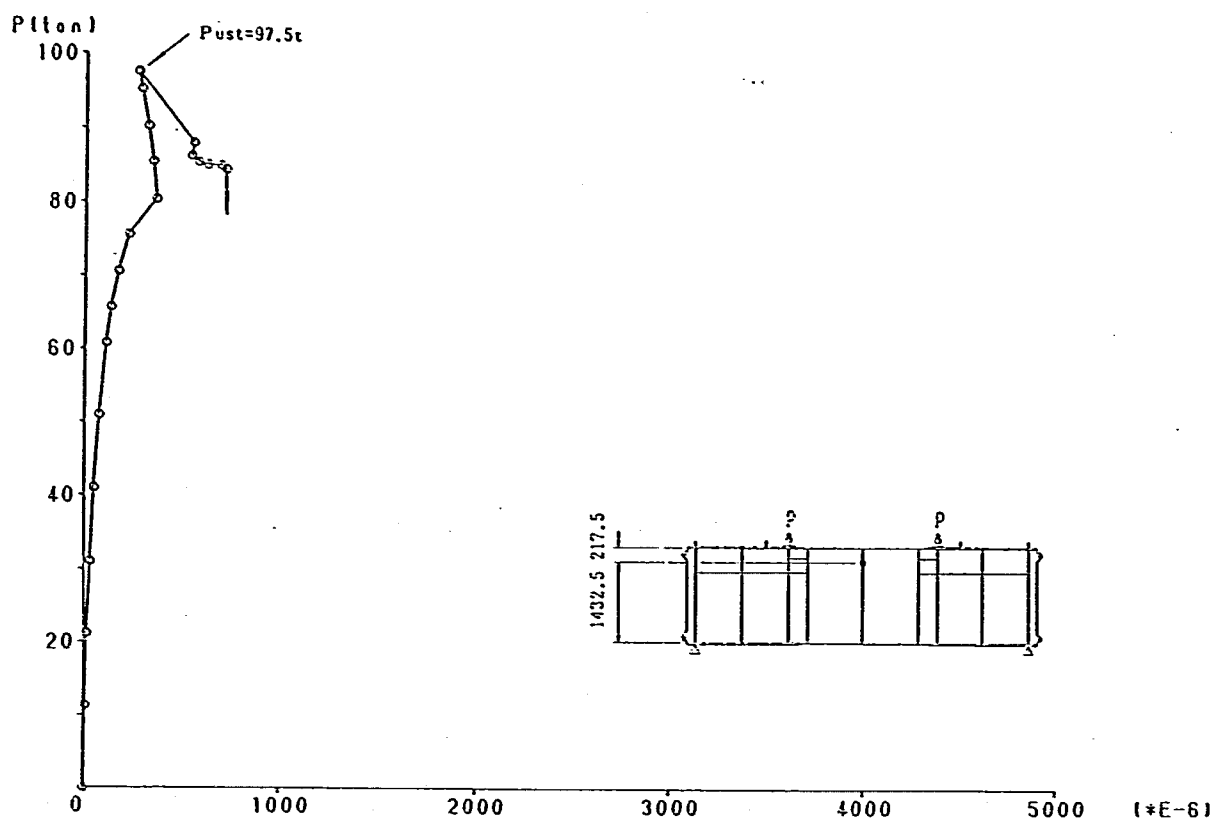


図-2.10. 1(1) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (B-01)

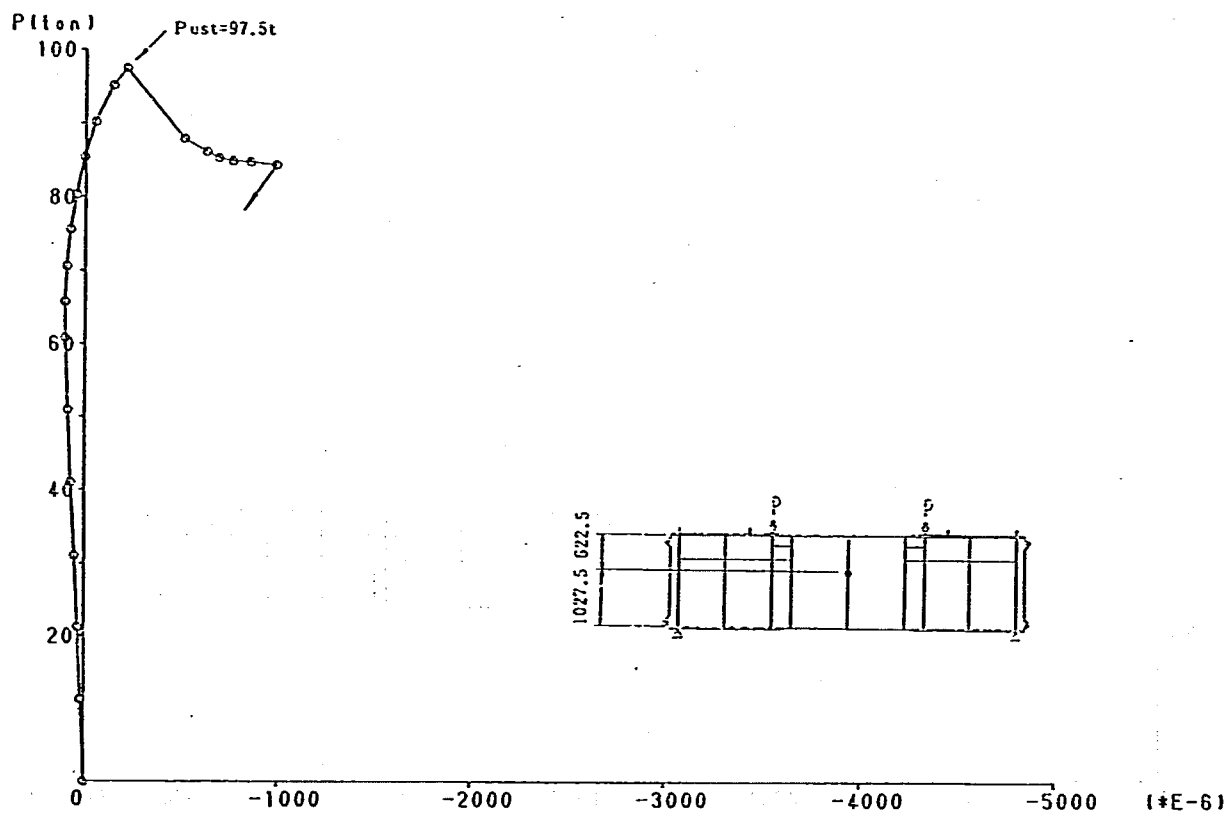


図-2.10. 1(2) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (B-01)

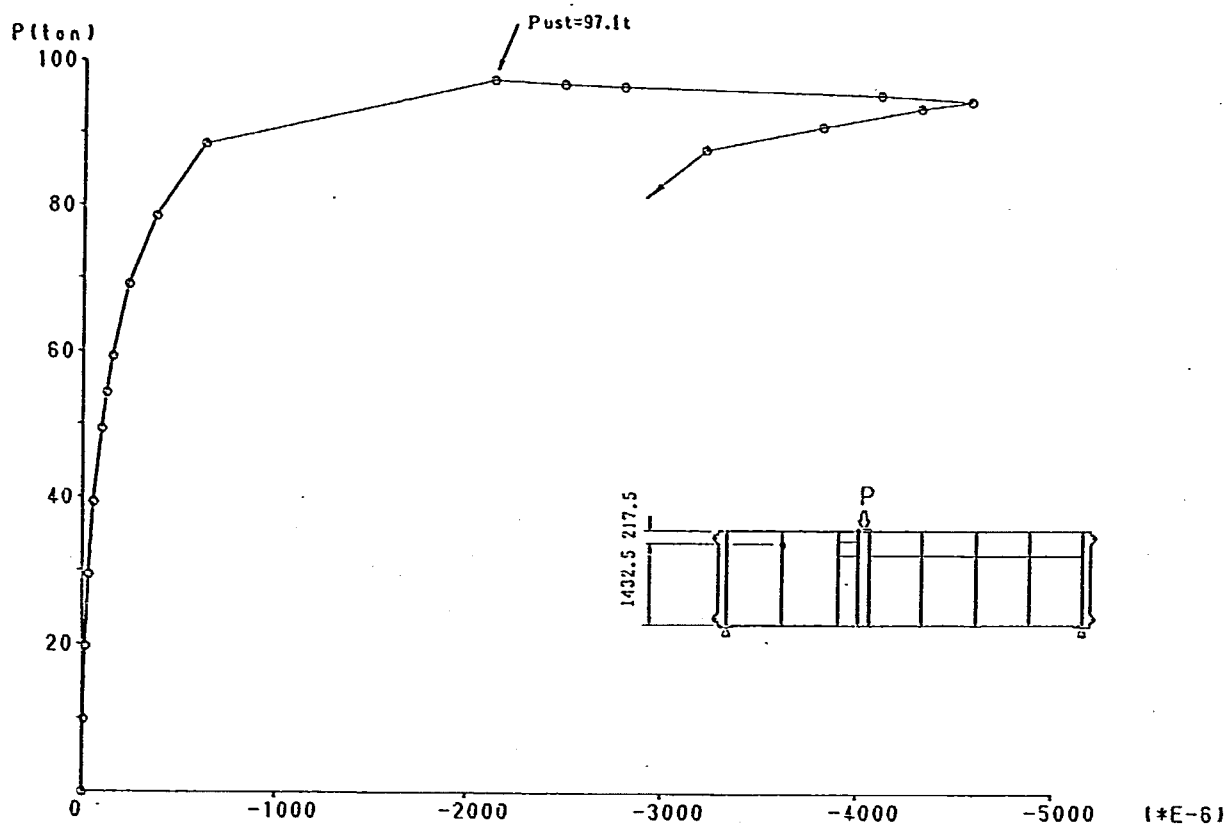


図-2.10. 2(1) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (S-01)

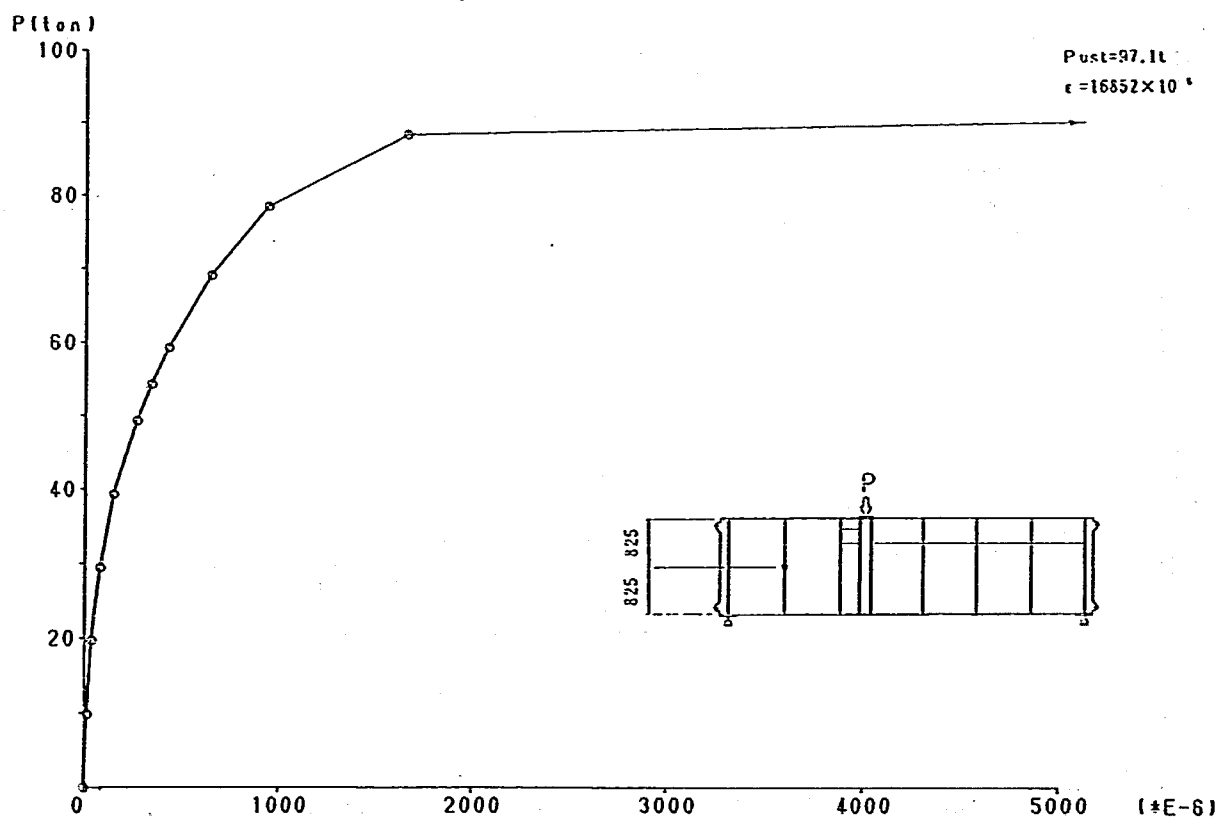


図-2.10. 2(2) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (S-01)

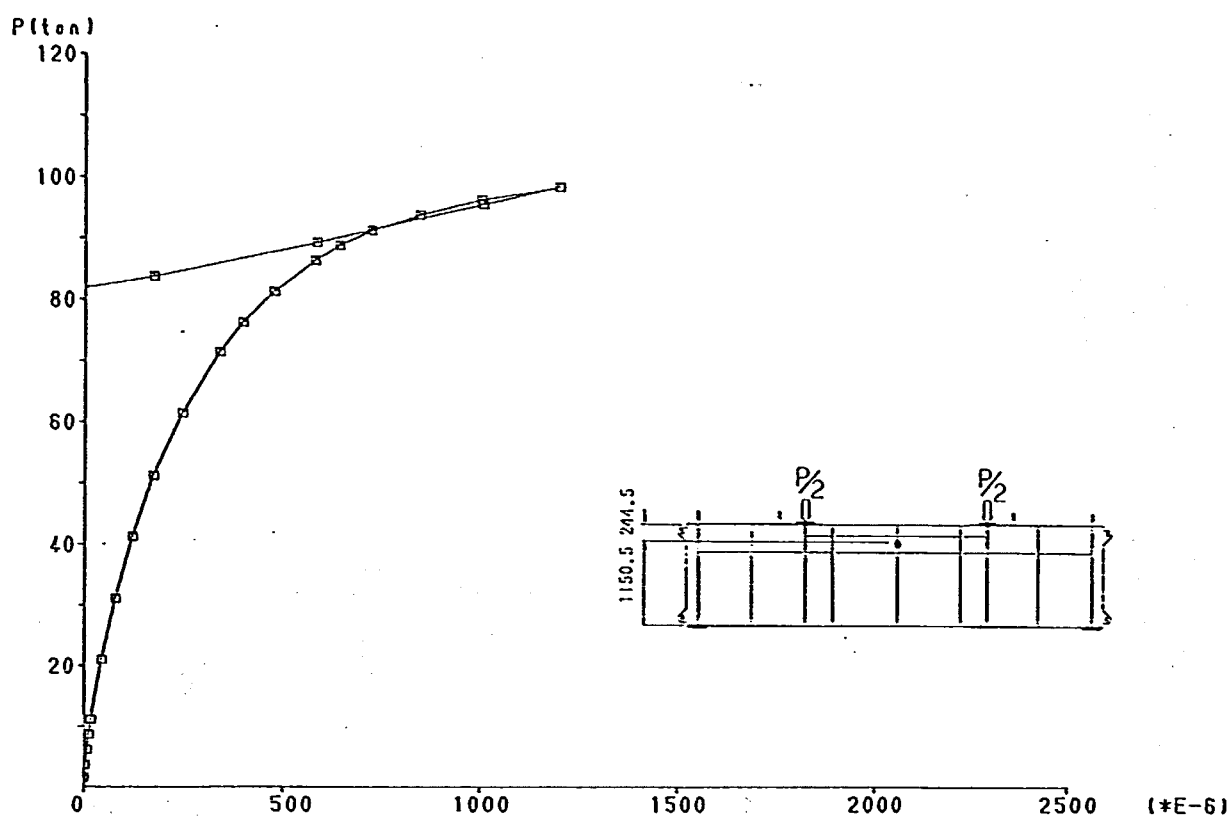


図-2.10. 3(1) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (B-25)

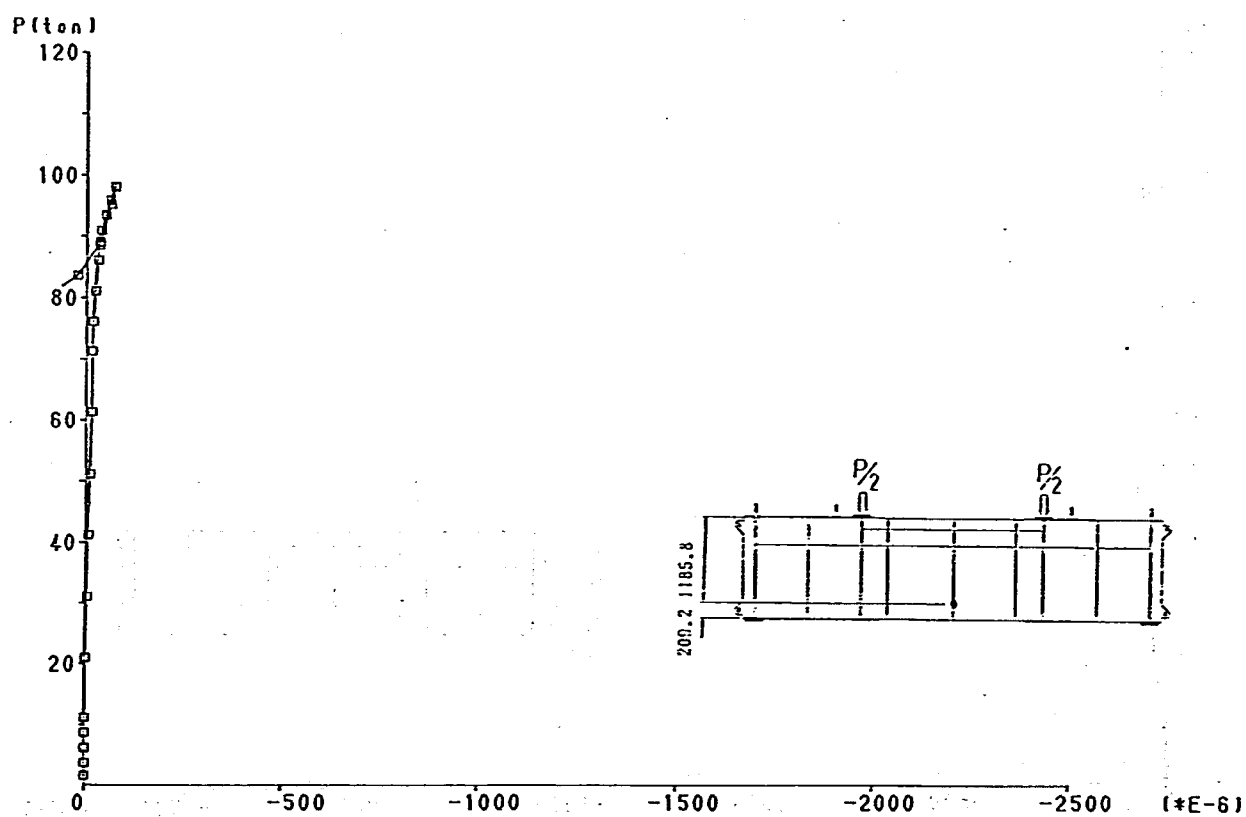


図-2.10. 3(2) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (B-25)

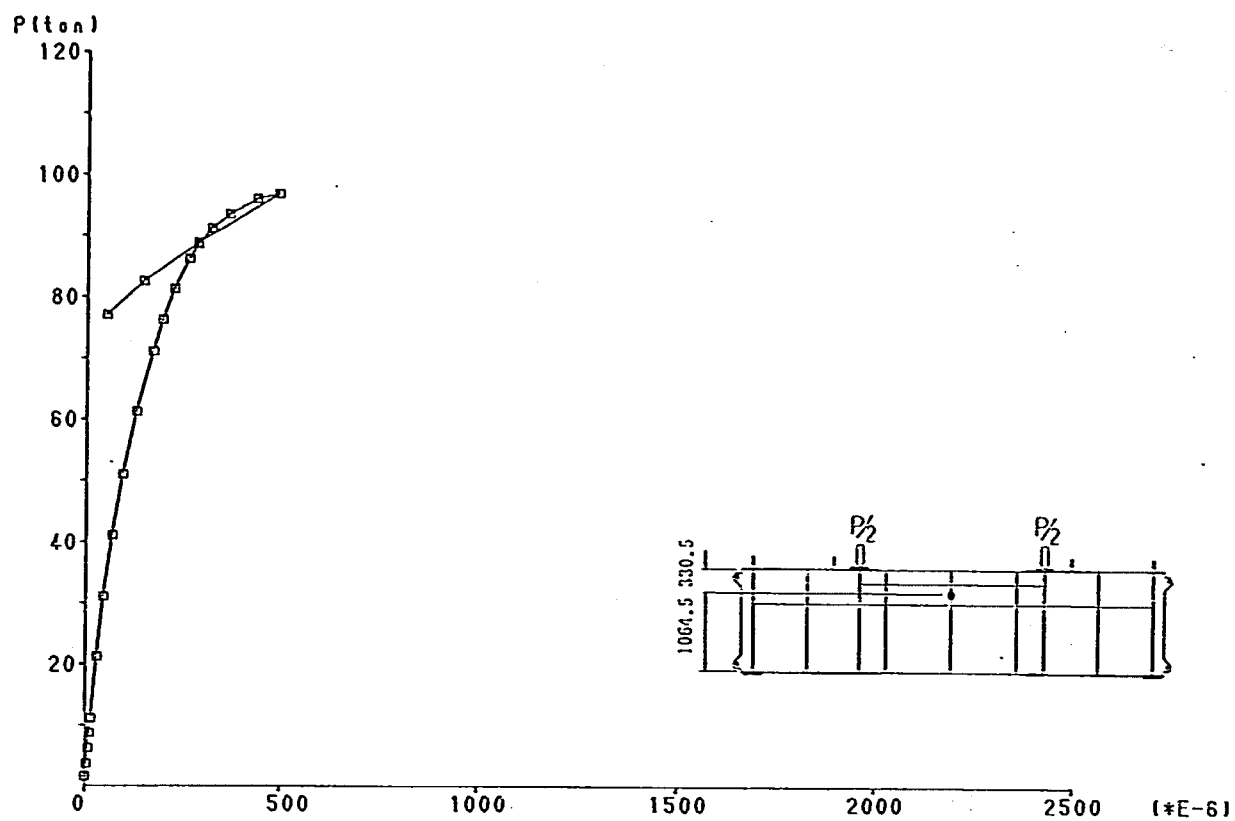


図-2.10. 4(1) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (B-26)

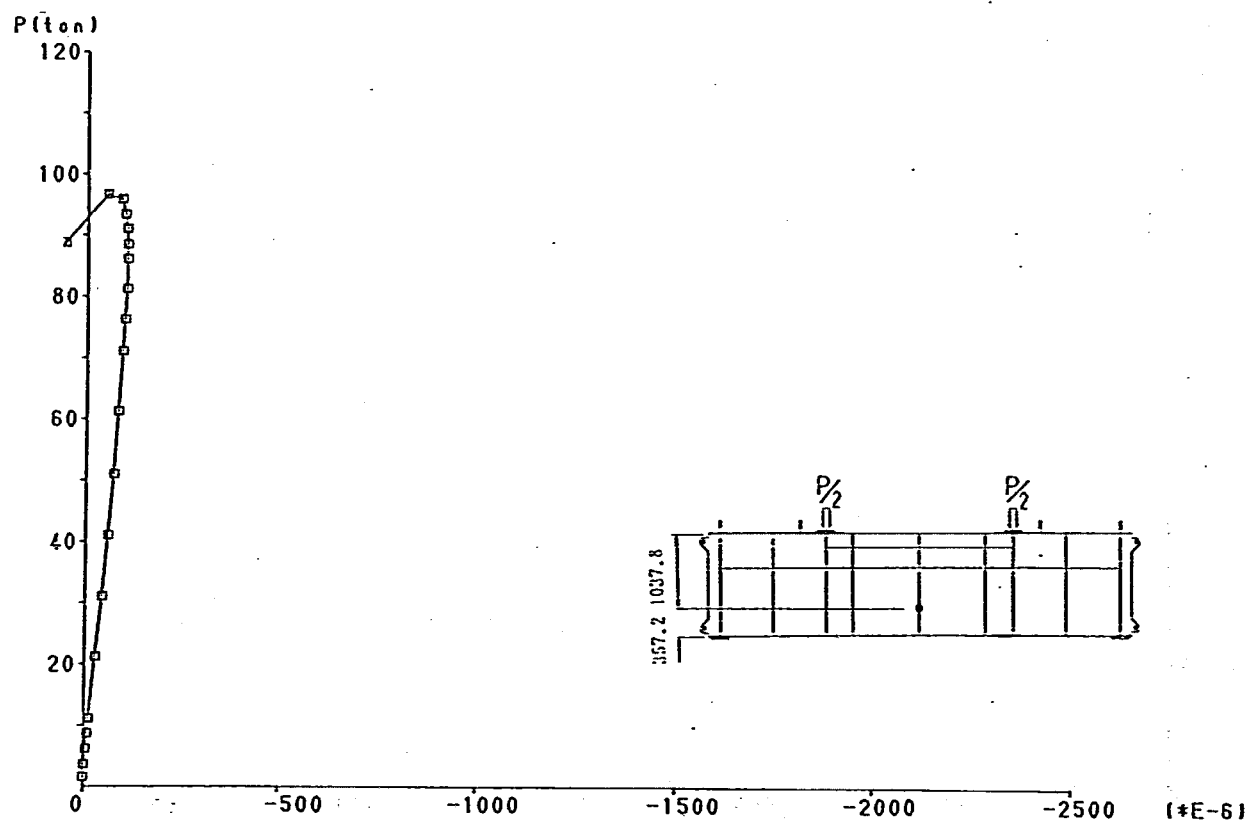


図-2.10. 4(2) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (B-26)

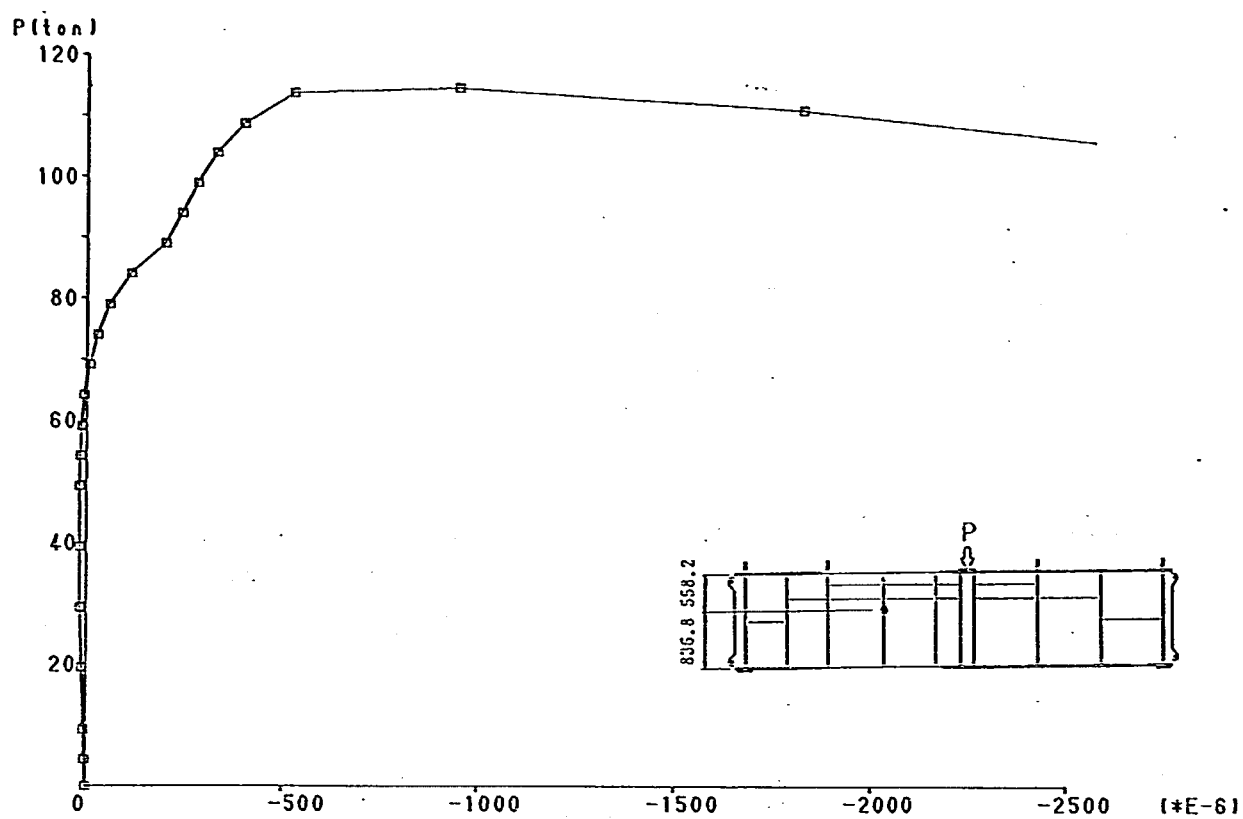


図-2.10. 5(1) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (C-29)

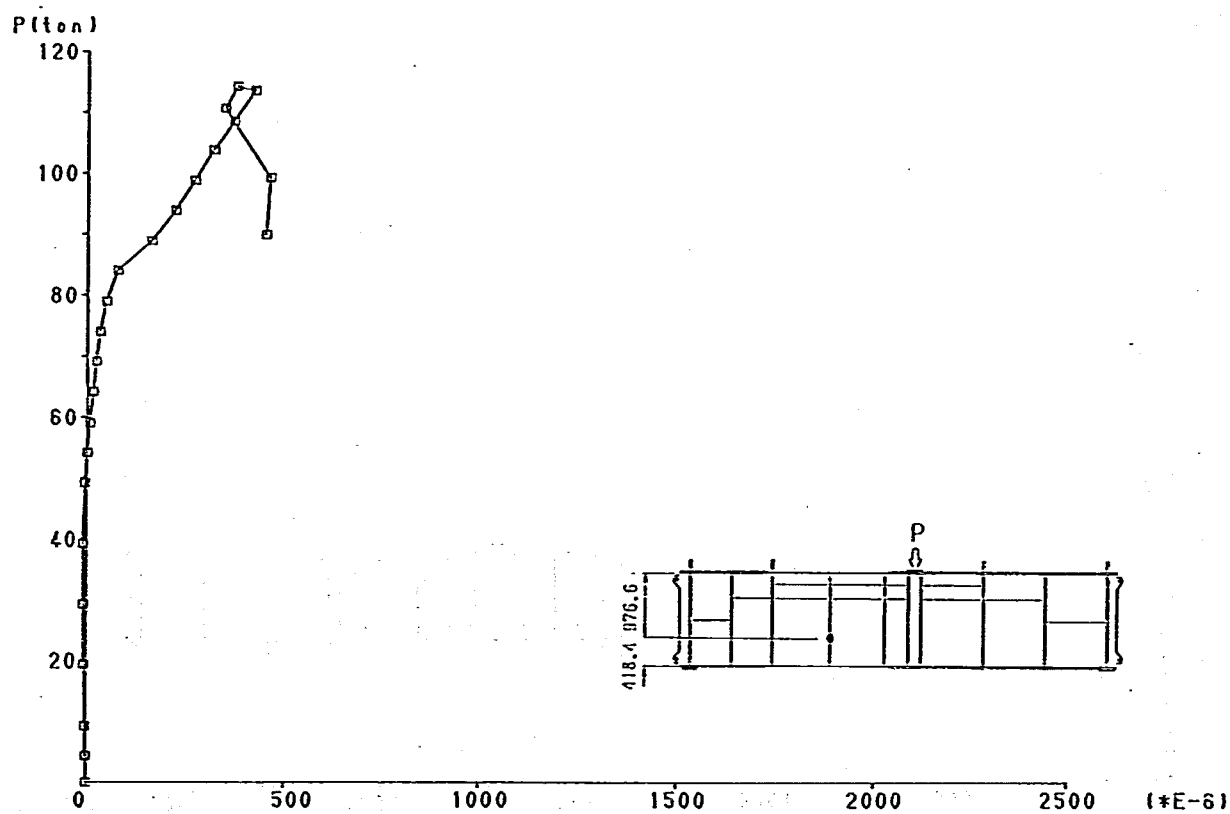


図-2.10. 5(2) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (C-29)

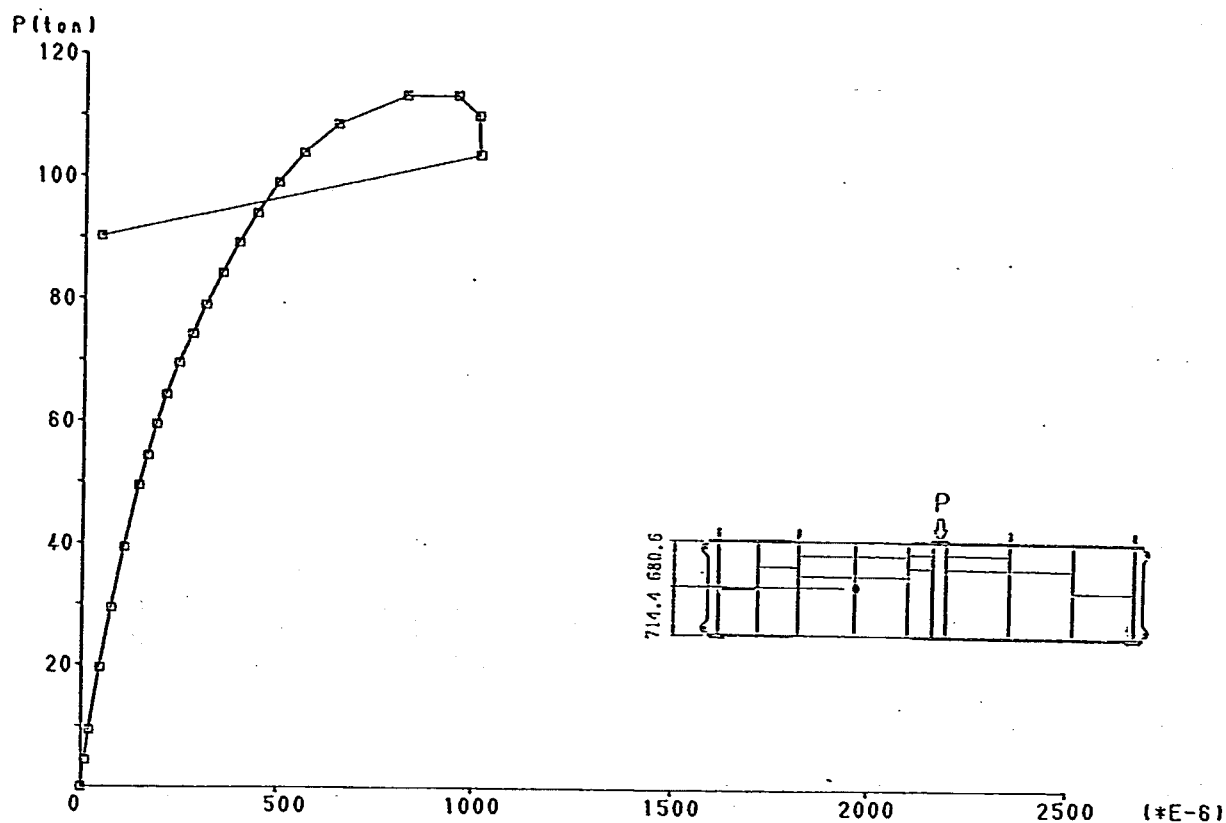


図-2.10. 6(1) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (C-30)

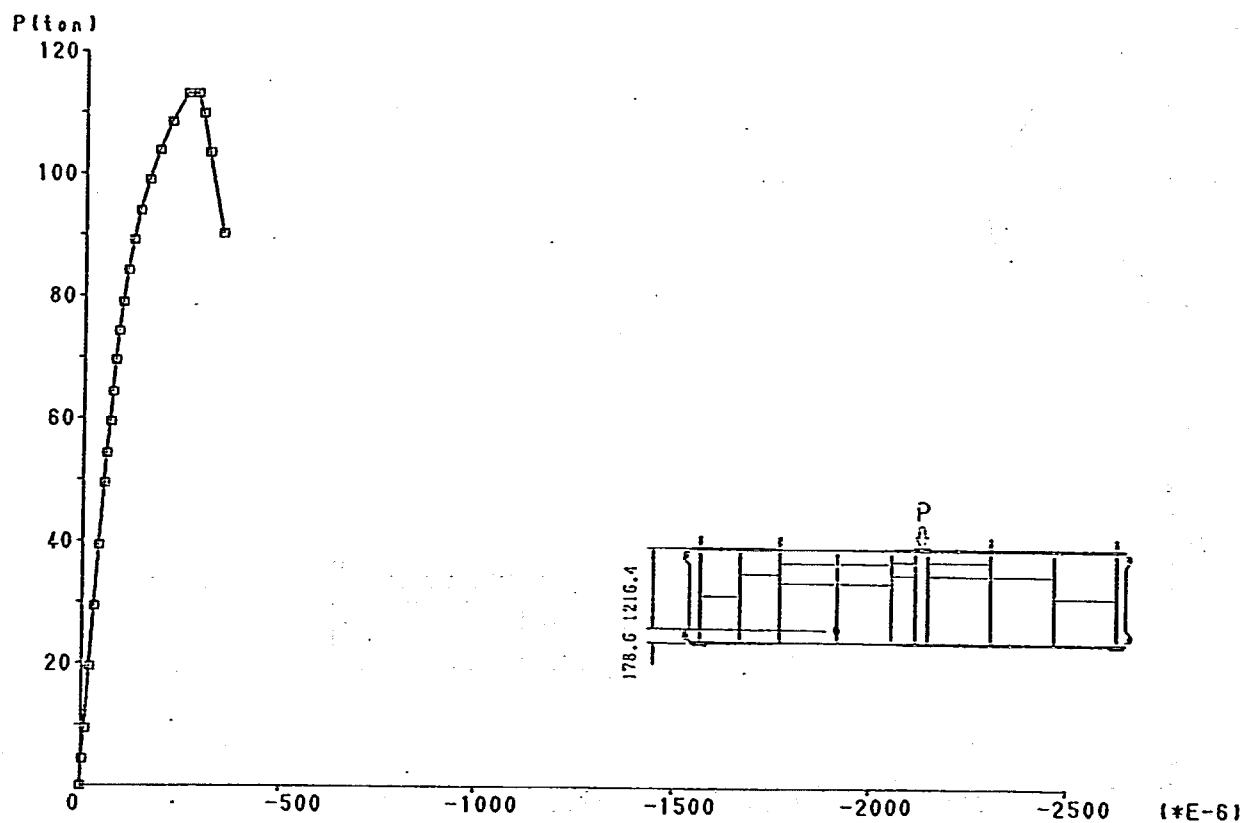


図-2.10. 6(2) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (C-30)

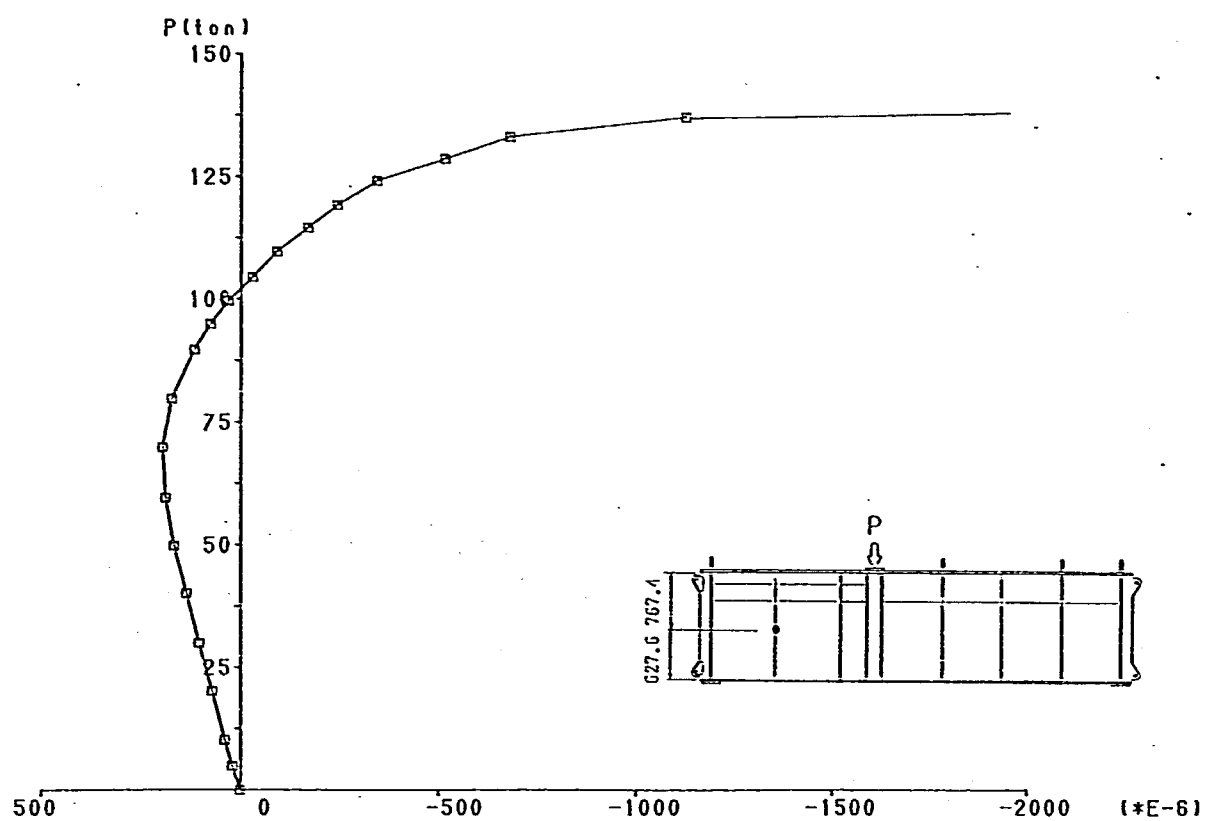


図-2.10. 7(1) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (S-27)

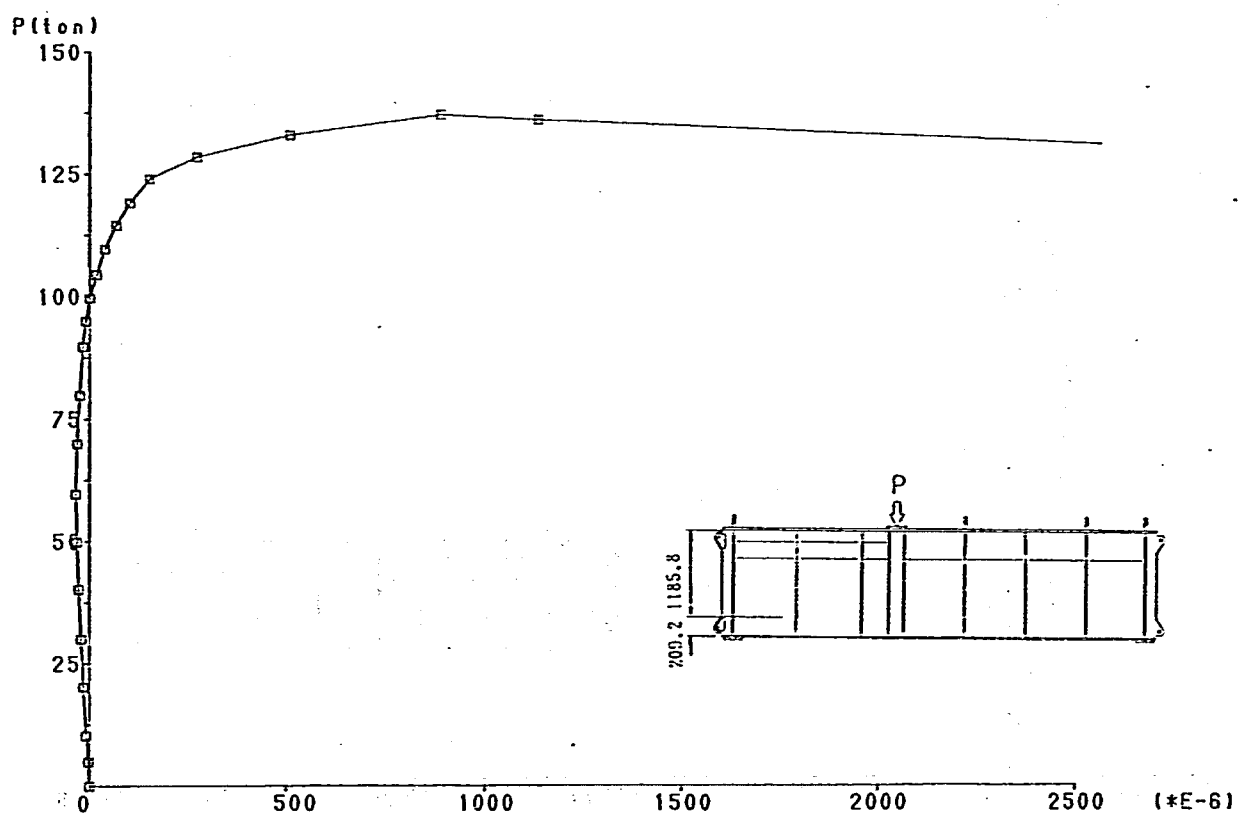


図-2.10. 7(2) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (S-27)

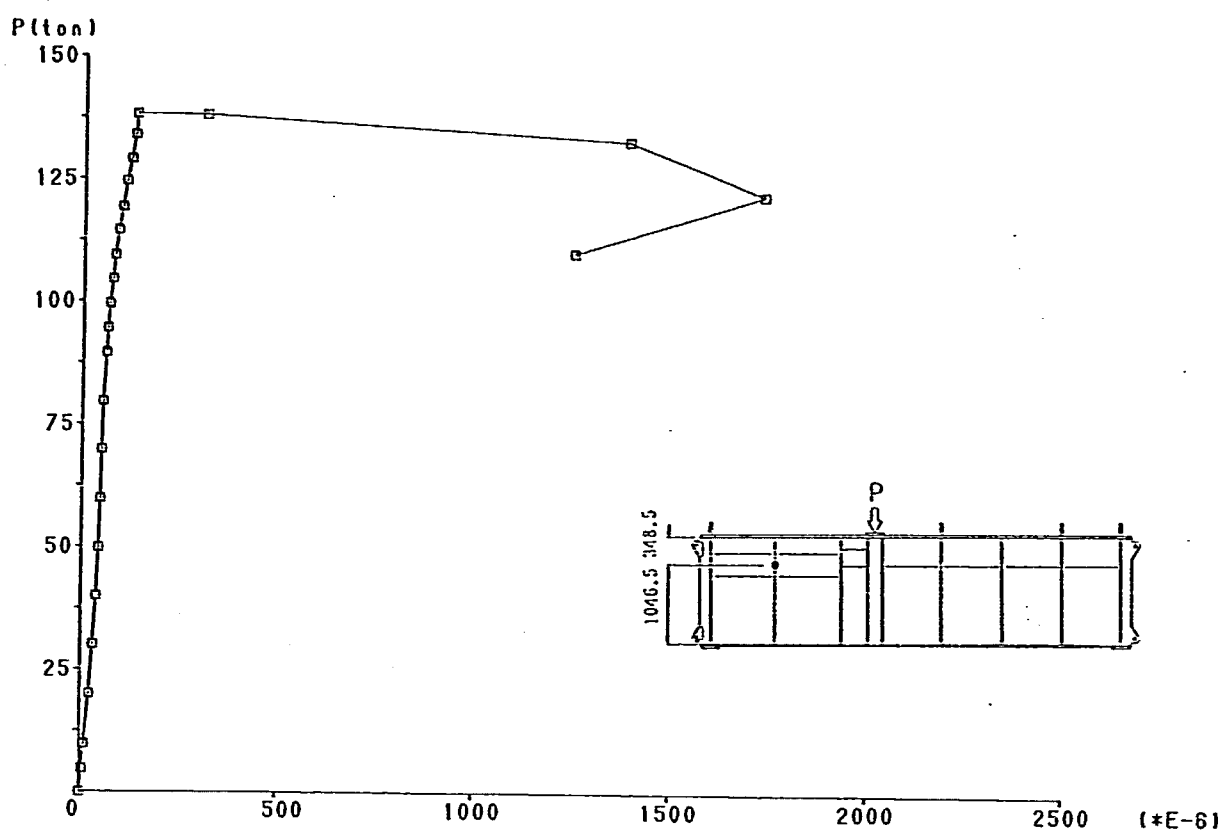


図-2.10. 8(1) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (S-28)

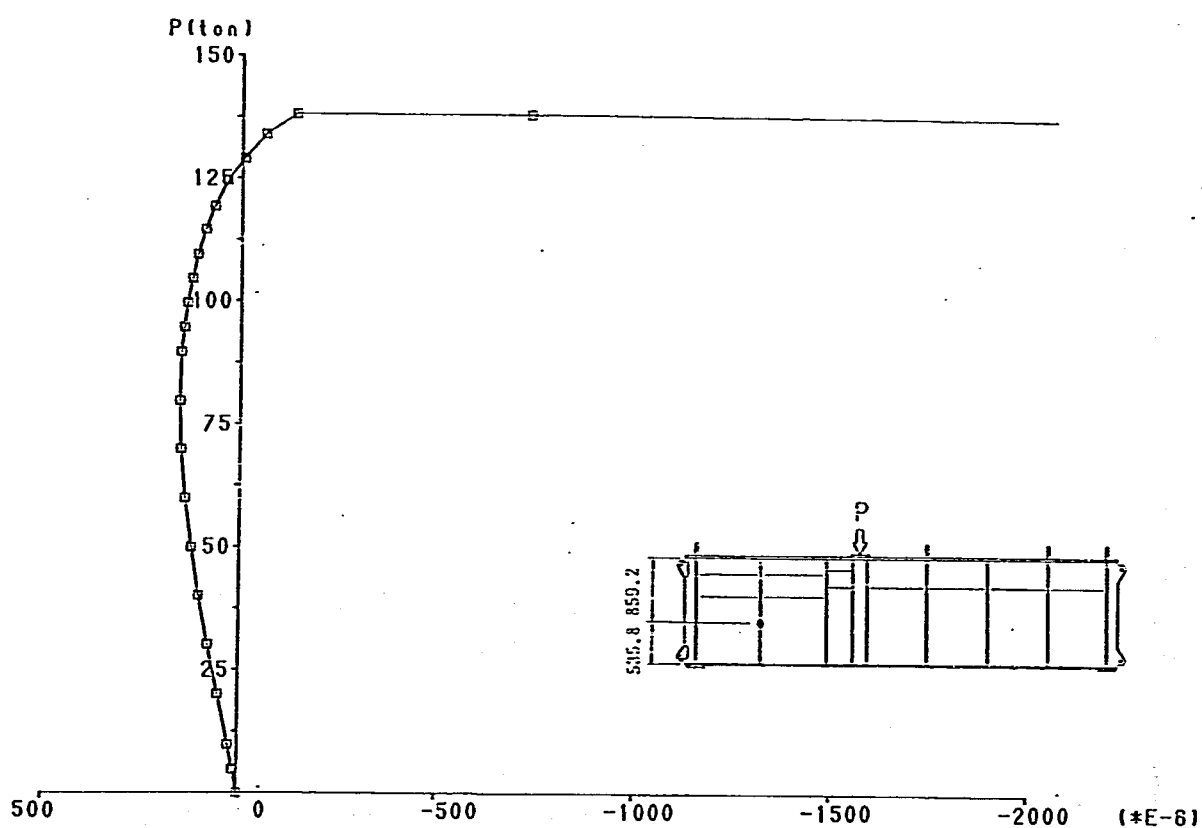
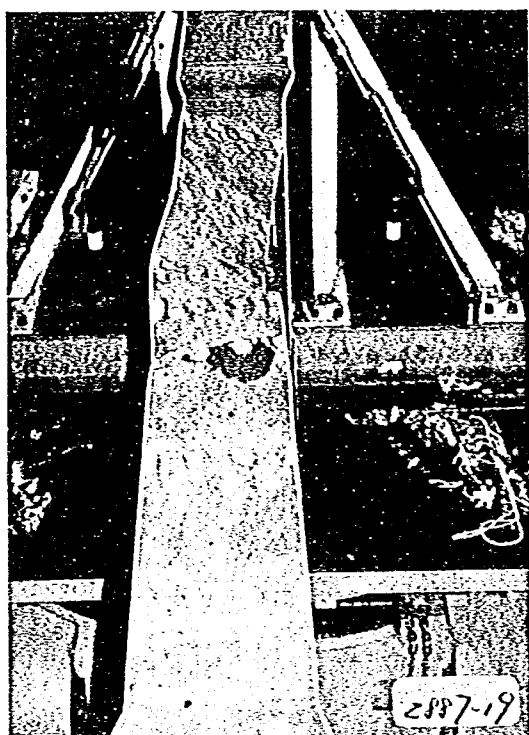
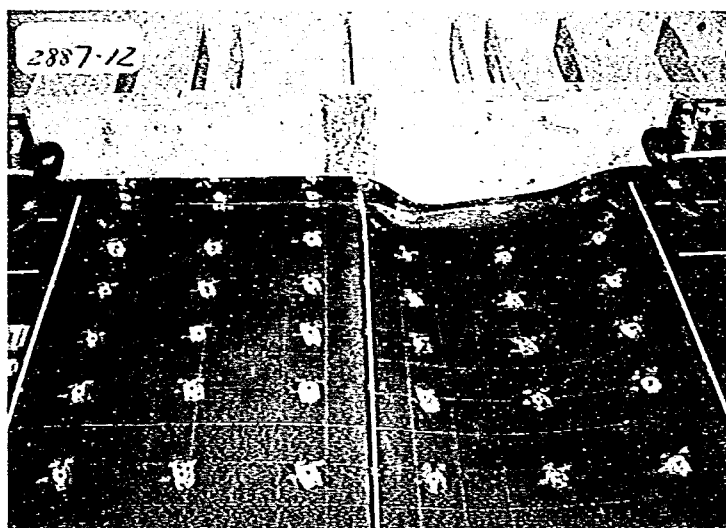


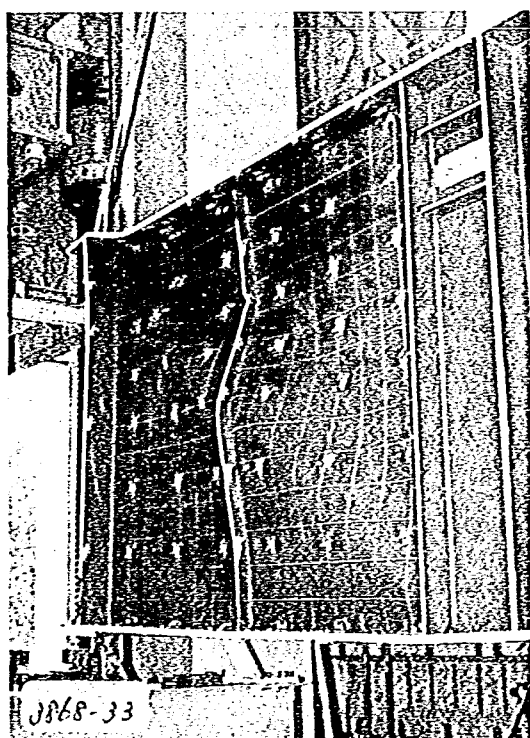
図-2.10. 8(2) 荷重と垂直補剛材のひずみの関係 (S-28)



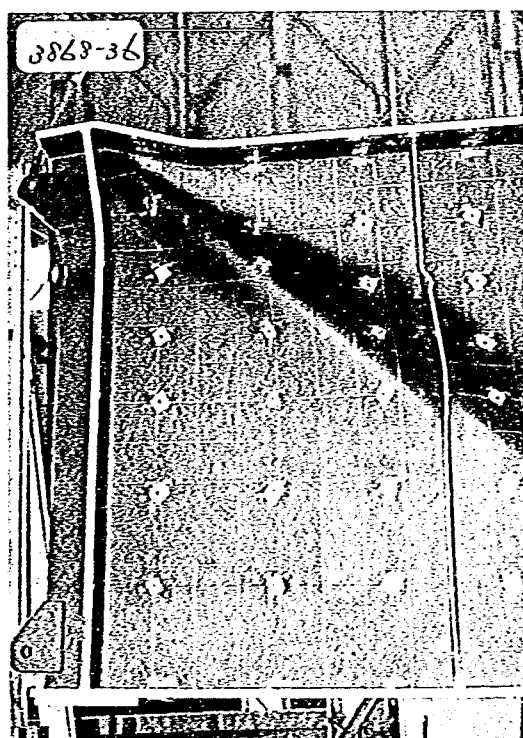
(1) 供試体B-01



(2) 供試体B-01

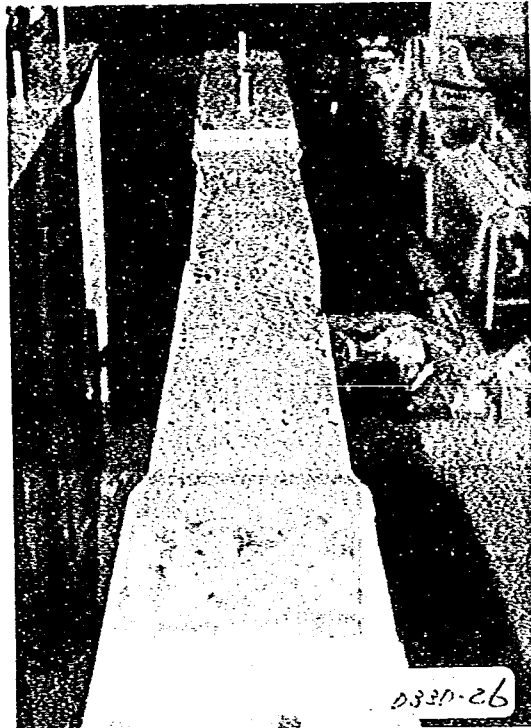


(3) 供試体S-01

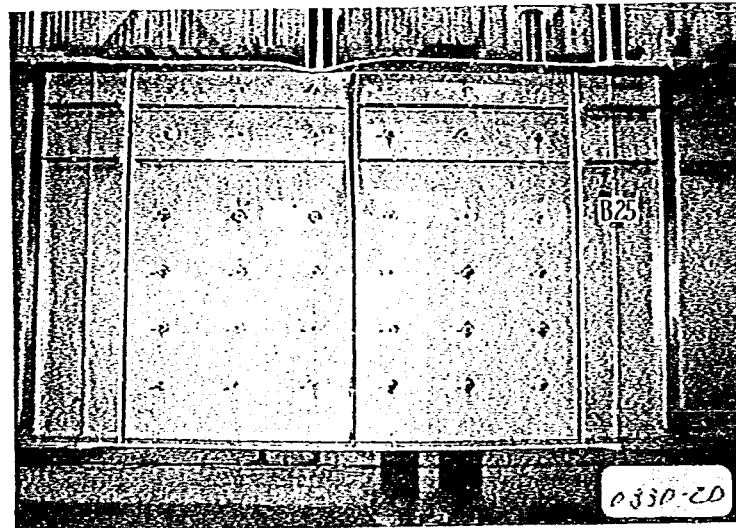


(4) 供試体S-01

写真-2.2 荷重除荷後の供試体の状況

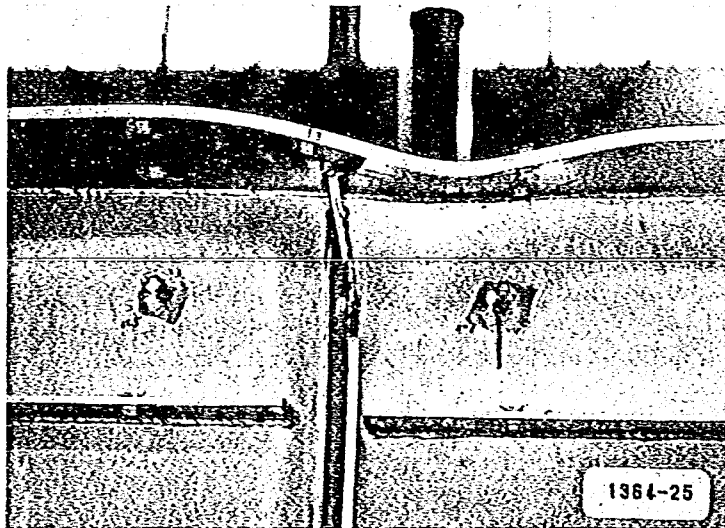


(5) 供試体B-25

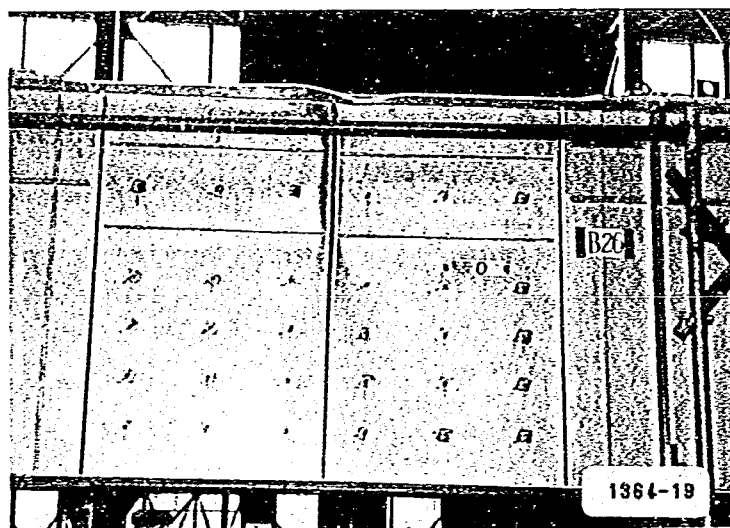


(6) 供試体B-25

写真-2.2 荷重除荷後の供試体の状況

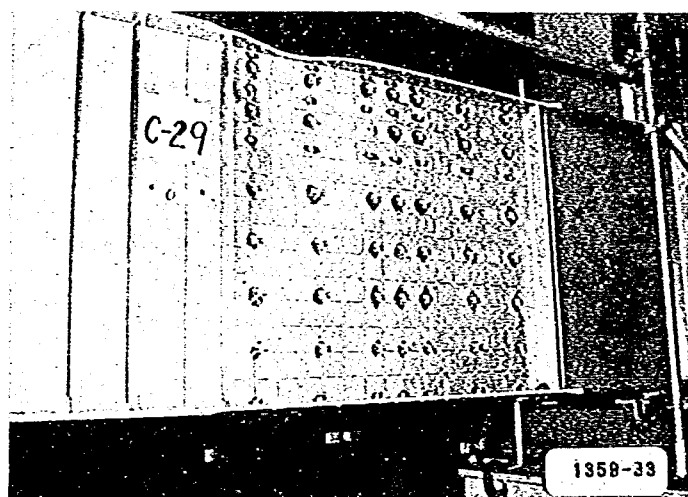


(7) 供試体B-26

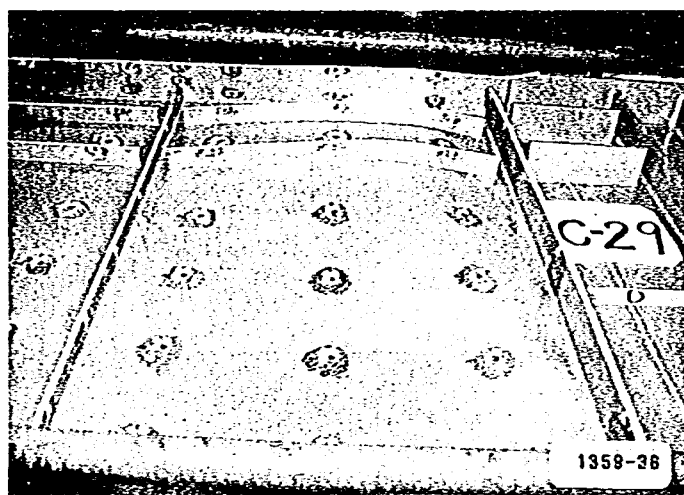


(8) 供試体B-26

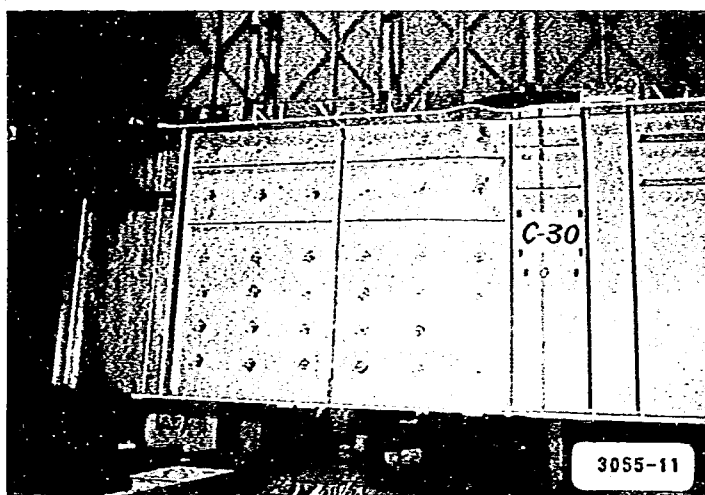
写真-2.2 荷重除荷後の供試体の状況



(9) 供試体C-29

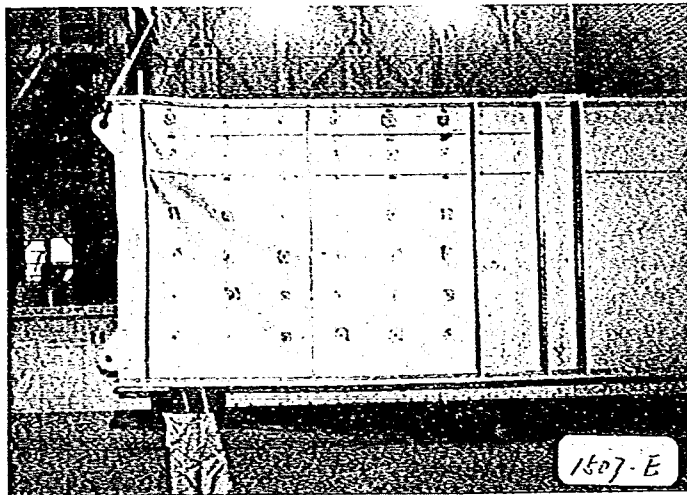


(10) 供試体C-29

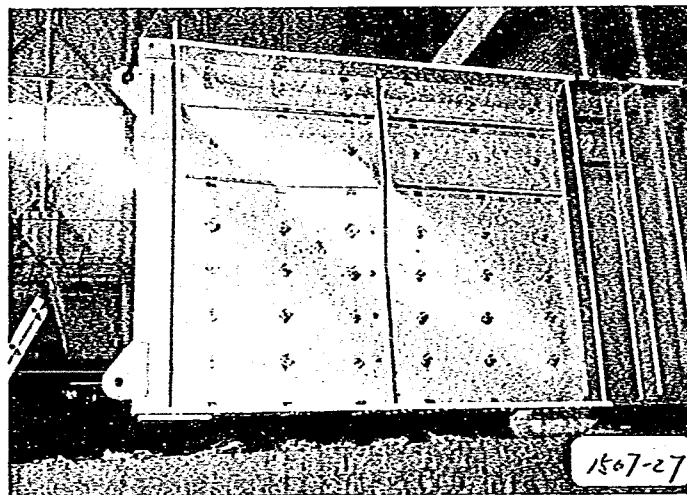


(11) 供試体C-30

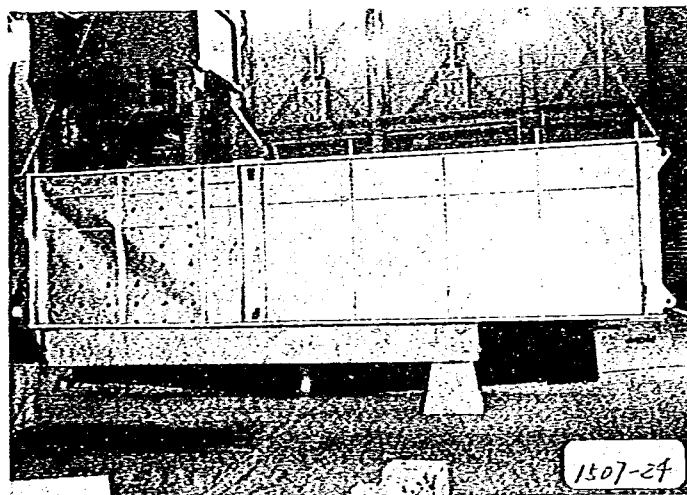
写真-2.2 荷重除荷後の供試体の状況



(12) 供試体S-27



(13) 供試体S-28



(14) 供試体S-28

写真-2.2 荷重除荷後の供試体の状況

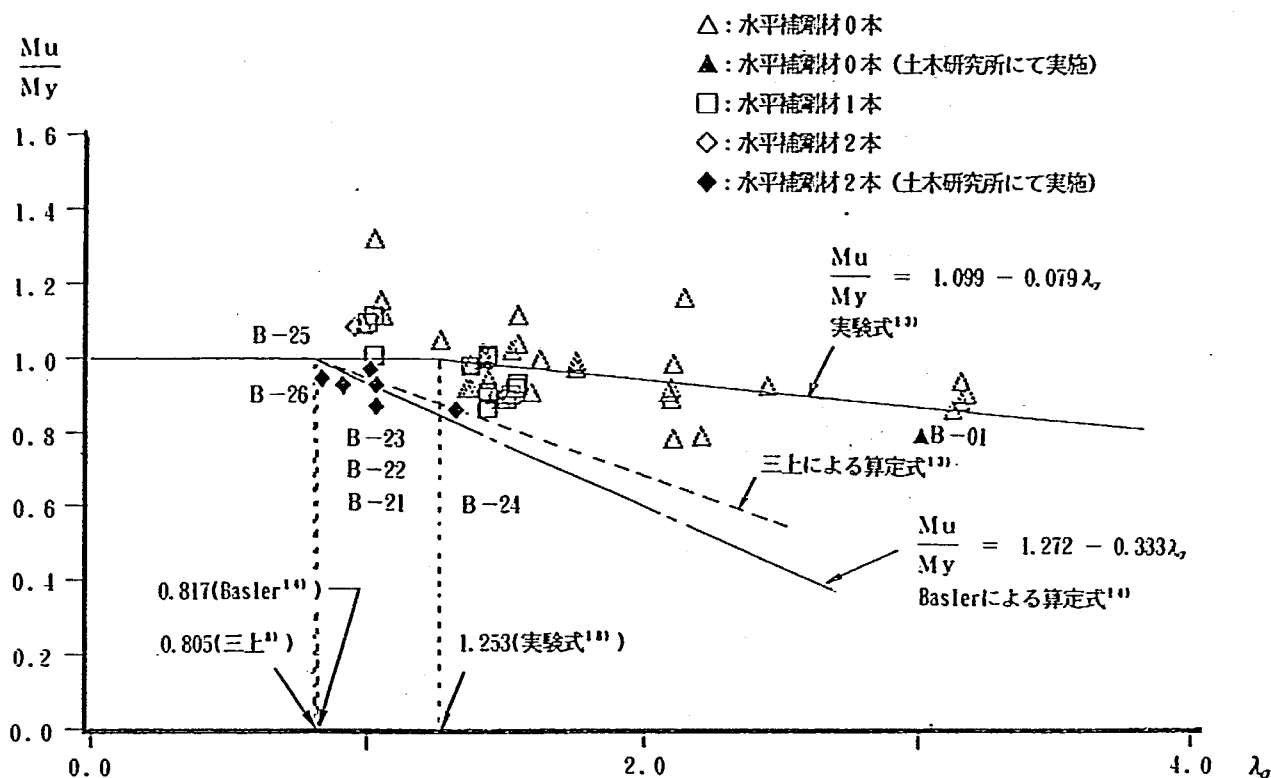


図-3.1 幅厚比パラメータと曲げ耐荷力の関係

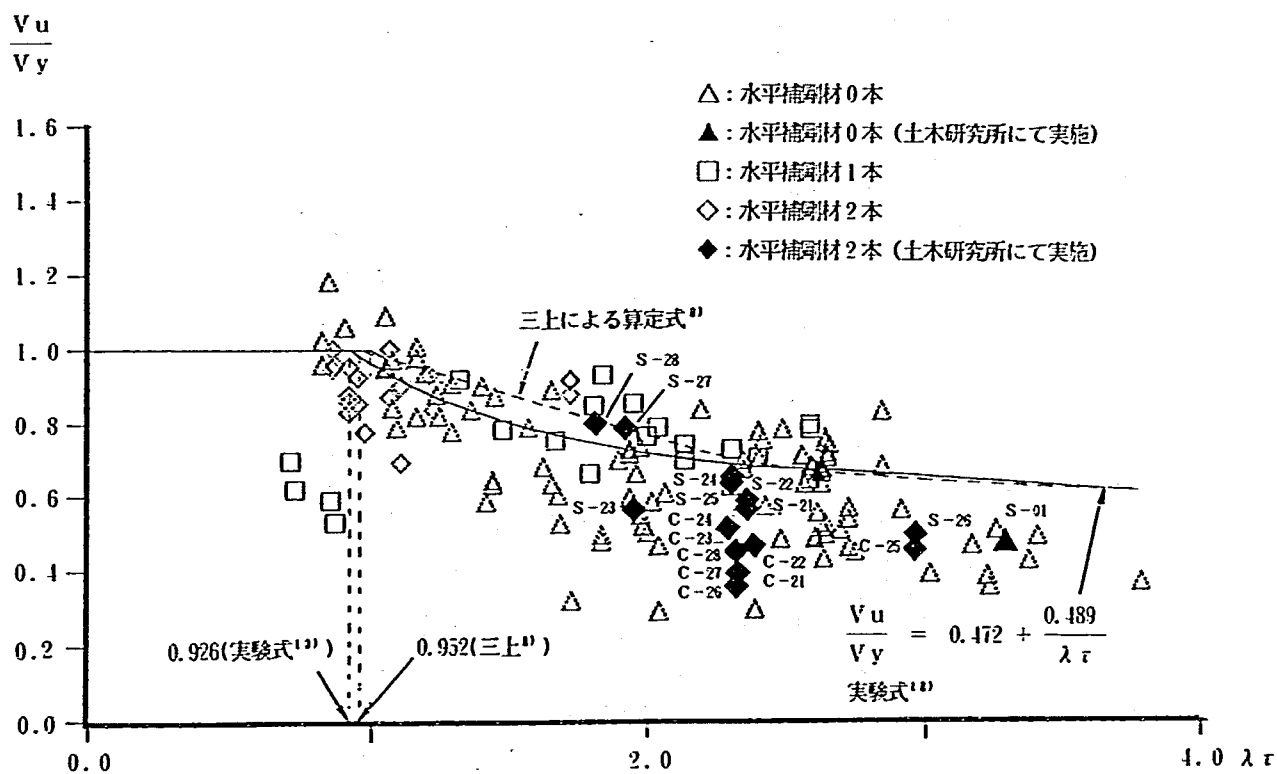


図-3.2 幅厚比パラメータとせん断耐荷力の関係

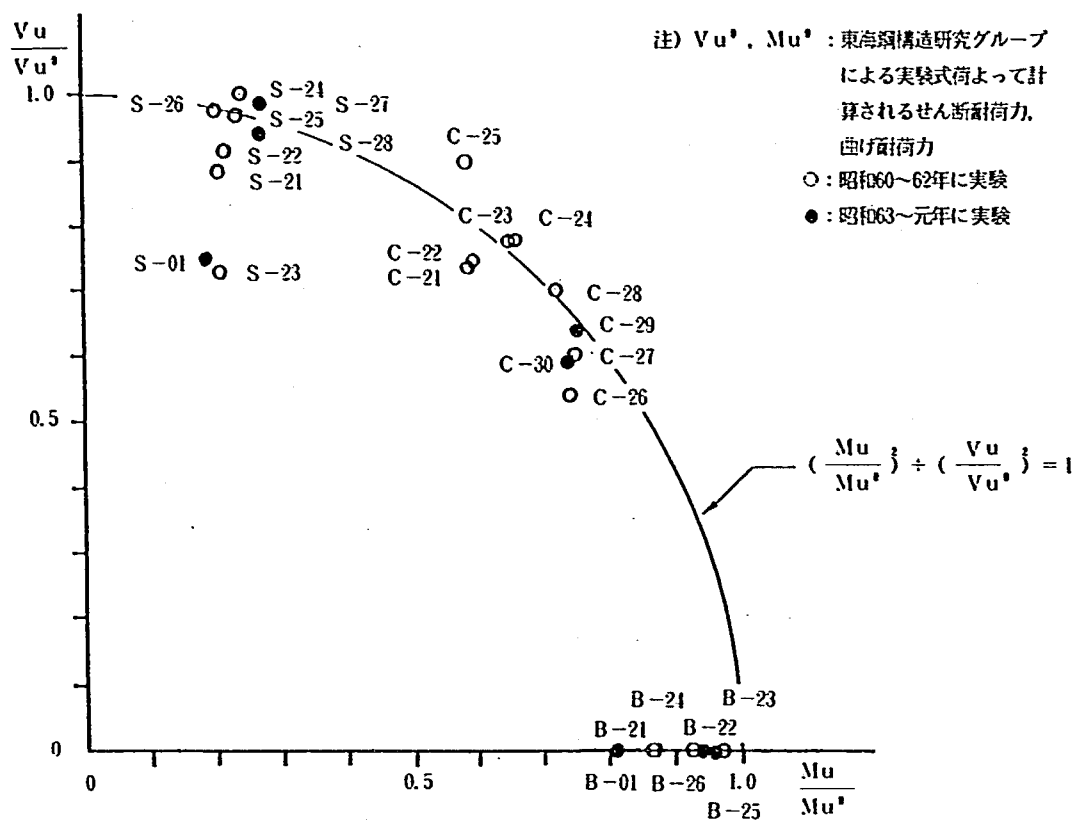


図-3.3 曲げ耐力とせん断耐力の相関

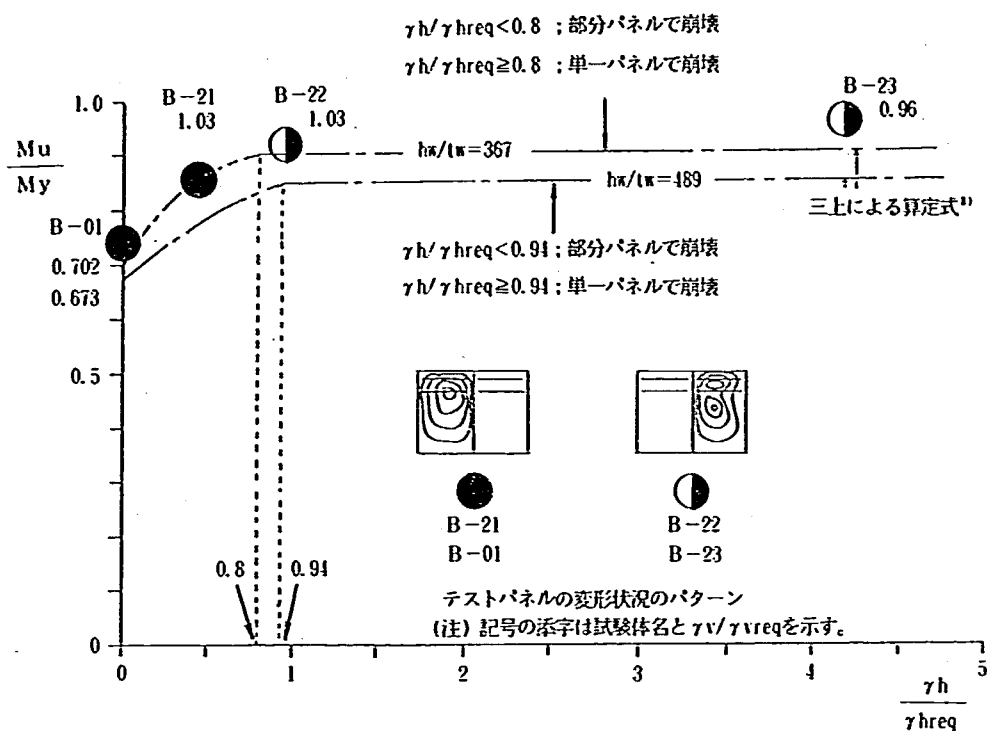


図-3.4 水平補剛材の剛度と曲げ耐荷力の関係

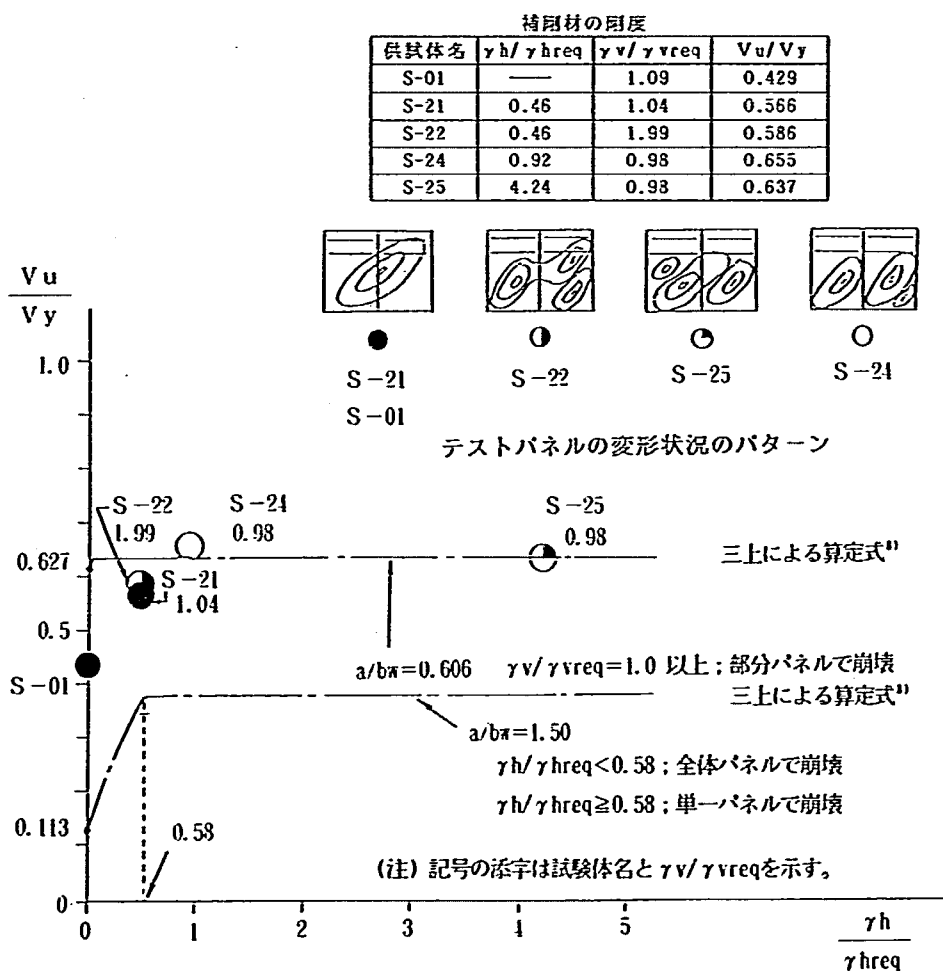


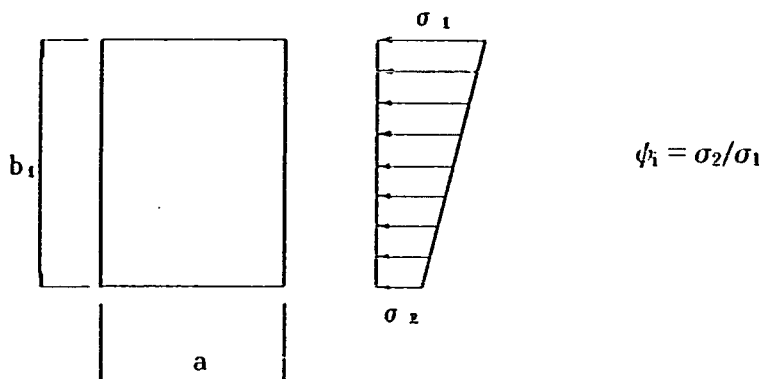
図-3.5 水平補剛材の剛度とせん断耐荷力の関係

参 考 資 料

水平補剛材の取付位置の計算方法

単一パネルの極限曲げ・圧縮（引張）強度 σ_{ulti} は弾性座屈応力度 σ_{crie} に対するパラメータ λ を用いて、次の宇佐美の式から計算できる。なお、 $\phi_i \leq -1$ の場合、安全側をとって $\phi_i = -1$ として計算する。

(1) 曲げ圧縮又は圧縮の場合（ $-1 \leq \phi_i < 1$ ）



$$\frac{\sigma_{ulti}}{\sigma_{yw}} = \frac{1}{\lambda_i} \left\{ (1.1 - 0.1\phi_i) - (0.27 - 0.05\phi_i) \frac{1}{\lambda_i} \right\} \leq 1$$

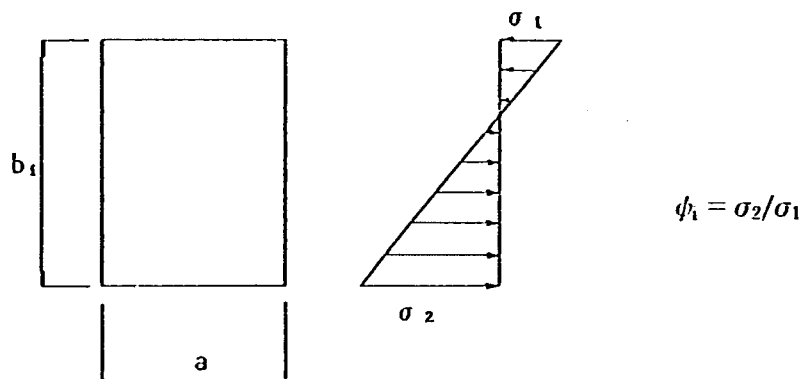
ここに、 λ_i ：等価幅厚比（ $= \sqrt{\sigma_{yw} / \sigma_{crie}}$ ）

$$\sigma_{crie} : \text{弾性座屈応力} \left(= k_{\sigma i} \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t_w}{b_i} \right)^2 \right)$$

$k_{\sigma i}$ ：座屈係数

$$\begin{cases} 23.9 & : -7 \leq \phi_i \leq -1 \\ 10\phi_i^2 - 6,264\phi_i + 7.636 & : -1 \leq \phi_i \leq 0 \\ \frac{8.4}{1.1 + \phi_i} & : 0 \leq \phi_i \leq 1 \end{cases}$$

(2) 曲げ又は曲げ引張の場合（ $\phi_i \leq -1$ ）



$$\frac{\sigma_{ulti}}{\sigma_{yw}} = 1 \quad : \lambda_i \leq 0.8$$

$$= \frac{1.2}{\lambda_i} - \frac{0.32}{\lambda_i^2} : \lambda_i > 0.8$$

以上の極限強度式を用いれば単一パネルの圧縮縁において

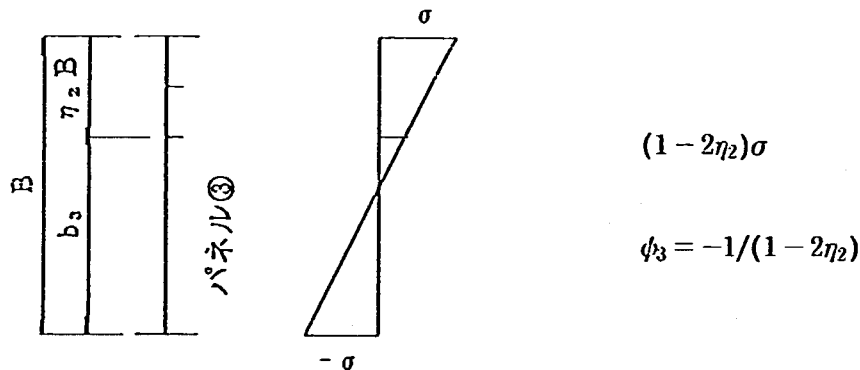
$$\sigma_{ulti} = \sigma_{ywi}$$

ここに、 σ_{ulti} : 単一パネル i の極限強度

σ_{ywi} : ウェブの上端が降伏応力 σ_{yw} に達したときのパネル i の上端の応力
に達するような水平補剛材の取付位置を求めることができる。

限界取付位置の計算

η_2 から決める場合



パネル③の弾性座屈応力

$$\sigma_{cr3e} = k_{\sigma 3} \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left(\frac{t_w}{b_3} \right)^2 = k_{\sigma 3} \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left\{ \frac{t_w}{(1 - \eta_2)B} \right\}^2 \quad (1)$$

パネル③の降伏応力

$$\sigma_{yw3} = \sigma_{yw}(1 - 2\eta_2)$$

パネル③の等価幅厚比

$$\lambda_3 = \sqrt{\frac{\sigma_{yw}}{\sigma_{cr3e}}} = \frac{(1 - \eta_2)B}{t_w} \sqrt{\frac{\sigma_{yw} \cdot 12(1 - \mu^2)}{\pi^2 E \cdot k_{\sigma 3}}} \quad (2)$$

パネル③の極限強度

$\lambda_3 > 0.8$ と仮定すると,

$$\frac{\sigma_{ult3}}{\sigma_{yw}} = \frac{1.2}{\lambda_3} - \frac{0.32}{\lambda_3^2} \rightarrow \sigma_{ult3} = \sigma_{yw} \left(\frac{1.2}{\lambda_3} - \frac{0.32}{\lambda_3^2} \right) \quad (3)$$

今求める限界幅厚比は,

$$\sigma_{ult3} = \sigma_{yw3} \quad (4)$$

を満たす λ_3 である。

従って、式(3)、(4)から、

$$\begin{aligned}\sigma_{yw}(1-2\eta_2) &= \sigma_{yw} \left(\frac{1.2}{\lambda_3} - \frac{0.32}{\lambda_3^2} \right) \\ 1-2\eta_2 &= \frac{1.2}{\lambda_3} - \frac{0.32}{\lambda_3^2}\end{aligned}\quad (5)$$

ここで、 $\zeta = B/t_w \sqrt{\sigma_{yw}/E}$ とおき式(2)に代入し、 $\psi_3 < -1$ より $k_{\sigma 3} = 23.9$ であるから、

$$\lambda_3 = \zeta(1-\eta_2) \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{23.9\pi^2}} \quad (6)$$

一方、式(5)より、

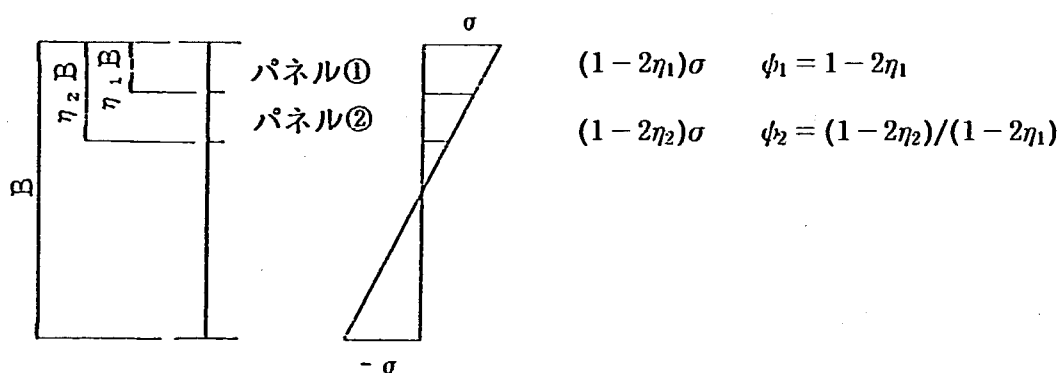
$$\lambda_3 = \frac{1.2 + \sqrt{1.44 - 1.28(1-2\eta_2)}}{2(1-2\eta_2)} \quad (7)$$

式(6)、(7)より、

$$\zeta = \frac{\frac{1.2 + \sqrt{1.44 - 1.28(1-2\eta_2)}}{2(1-2\eta_2)}}{(1-\eta_2) \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{23.9\pi^2}}}$$

が得られる。

パネル①



パネル①の弾性座屈応力

$$\sigma_{cr1e} = k_{\sigma 1} \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t_w}{b_1} \right)^2 = k_{\sigma 1} \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left\{ \frac{t_w}{\eta_1 B} \right\}^2 \quad (8)$$

パネル①の降伏応力

$$\sigma_{ywi} = \sigma_{yw}$$

パネル①の等価幅厚比

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{\sigma_{yw}}{\sigma_{cr1e}}} = \frac{\eta_1 B}{t_w} \sqrt{\frac{\sigma_{yw} \cdot 12(1-\mu^2)}{\pi^2 E \cdot k_{\sigma 1}}} \quad (9)$$

パネル①の極限強度

$$\sigma_{ult1} = \sigma_{yw} \frac{1}{\lambda_1} \left\{ (1.1 - 0.1\phi_1) - (0.27 - 0.05\phi_1) \frac{1}{\lambda_1} \right\} \quad (10)$$

今求める限界幅厚比は、 $\sigma_{ult1} = \sigma_{yw}$ を満たす λ_1 である。

$$\therefore \frac{1}{\lambda_1} \left\{ (1.1 - 0.1\phi_1) - (0.27 - 0.05\phi_1) \frac{1}{\lambda_1} \right\} = 1 \quad (11)$$

これを解くと、

$$\lambda_1 = \frac{(1.1 - 0.1\phi_1) + \sqrt{(1.1 - 0.1\phi_1)^2 - 4(0.27 - 0.05\phi_1)}}{2} \quad (12)$$

ここで、 $\zeta = B/t_w \sqrt{\sigma_{yw}/E}$ とおくと式(9)は、

$$\lambda_1 = \zeta \eta_1 \sqrt{\frac{12(1 - \mu^2)}{\pi^2 \cdot k_{o1}}} \quad (13)$$

式(12)、(13)より、

$$\zeta = \frac{(1.1 - 0.1\phi_1) + \sqrt{(1.1 - 0.1\phi_1)^2 - 4(0.27 - 0.05\phi_1)}}{\eta_1 \sqrt{\frac{12(1 - \mu^2)}{\pi^2 \cdot k_{o1}}}}$$

ここに、 $\phi_1 = 1 - 2\eta_1$

$$k_{o1} = 10\phi_1^2 - 6.264\phi_1 + 7.636 \quad : \quad -1 \leq \phi_1 \leq 0$$

$$= \frac{8.4}{1.1 + \phi_1} \quad : \quad 0 \leq \phi_1 \leq 1$$

パネル②

パネル②の弾性座屈応力

$$\sigma_{cr2e} = k_{o2} \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left\{ \frac{t_w}{(\eta_2 - \eta_1)B} \right\}^2 \quad (14)$$

パネル②の降伏応力

$$\sigma_{yw2} = (1 - 2\eta_1)\sigma_{yw}$$

パネル②の等価幅厚比

$$\lambda_2 = \frac{(\eta_2 - \eta_1)B}{t_w} \sqrt{\frac{\sigma_{yw} \cdot 12(1 - \mu^2)}{\pi^2 E \cdot k_{o2}}} \quad (15)$$

パネル②の極限強度

$$\sigma_{ult2} = \sigma_{yw} \frac{1}{\lambda_2} \left\{ (1.1 - 0.1\phi_2) - (0.27 - 0.05\phi_2) \frac{1}{\lambda_2} \right\} \quad (16)$$

求める限界幅厚比は、 $\sigma_{u112} = \sigma_{rw2}$ を満たす λ_2 である。

$$\therefore \frac{1}{\lambda_2} \left\{ (1.1 - 0.1\phi_2) - (0.27 - 0.05\phi_2) \frac{1}{\lambda_2} \right\} = (1 - 2\eta_1) \quad (17)$$

これを解くと、

$$\lambda_2 = \frac{(1.1 - 0.1\phi_2) + \sqrt{(1.1 - 0.1\phi_2)^2 - 4(1 - 2\eta_1)(0.27 - 0.05\phi_2)}}{2(1 - 2\eta_1)} \quad (18)$$

ここで、 $\zeta = B/t_w \sqrt{\sigma_{rw}/E}$ とおくと式(15)は、

$$\lambda_2 = \zeta(\eta_2 - \eta_1) \sqrt{\frac{12(1 - \mu^2)}{\pi^2 \cdot k_{\sigma 2}}} \quad (19)$$

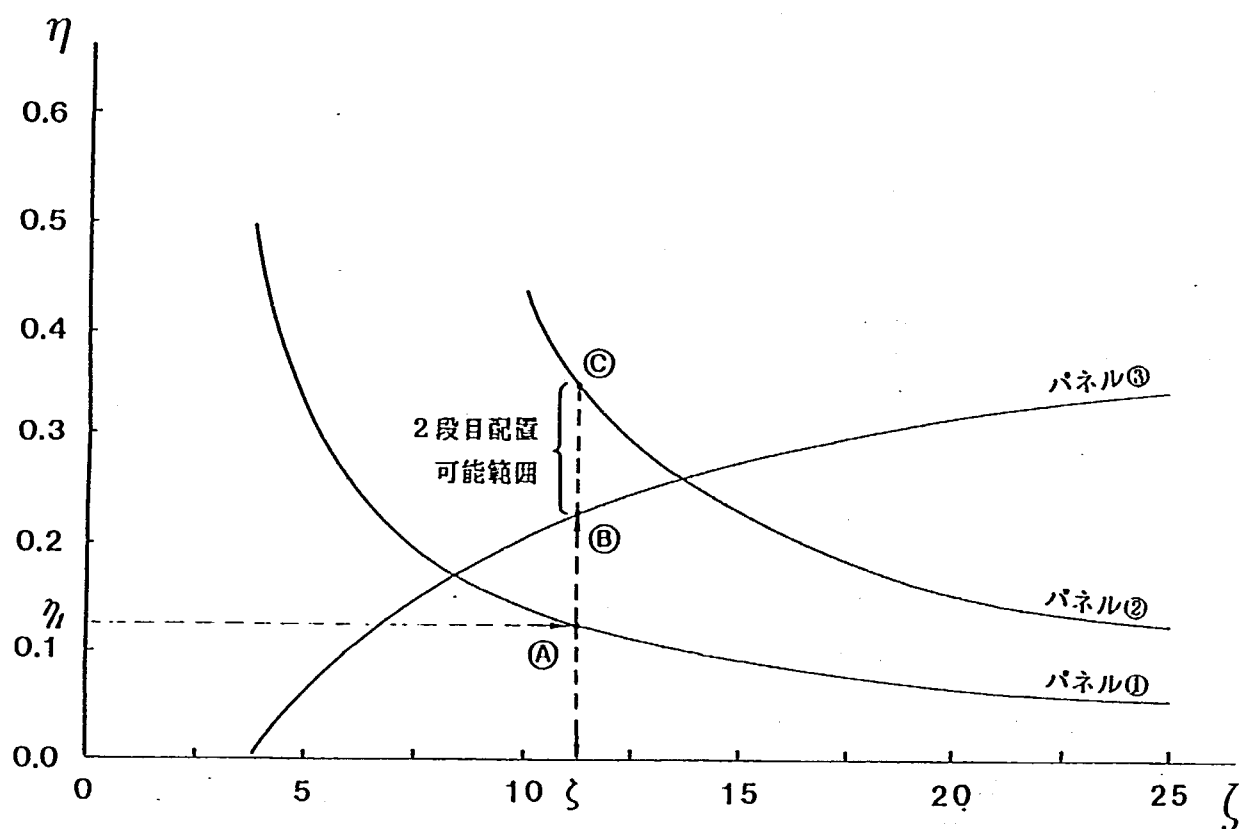
式(18), (19)より、

$$\zeta = \frac{\frac{(1.1 - 0.1\phi_2) + \sqrt{(1.1 - 0.1\phi_2)^2 - 4(1 - 2\eta_1)(0.27 - 0.05\phi_2)}}{2(1 - 2\eta_1)}}{(\eta_2 - \eta_1) \sqrt{\frac{12(1 - \mu^2)}{\pi^2 \cdot k_{\sigma 2}}}}$$

ここに、 $\phi_2 = (1 - 2\eta_2)/(1 - 2\eta_1)$

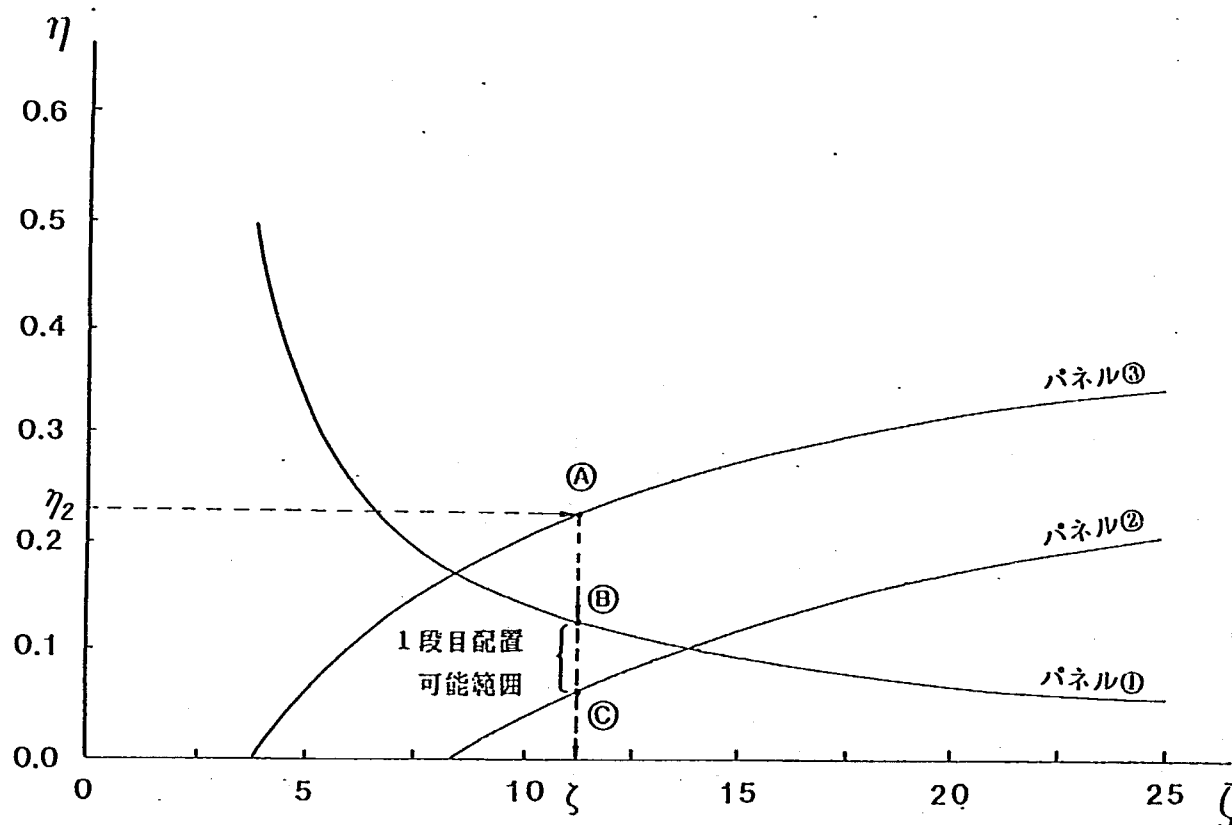
$$k_{\sigma 2} = 10\phi_2^2 - 6.264\phi_2 + 7.636 \quad : \quad -1 \leq \phi_2 \leq 0$$

$$= \frac{8.4}{1.1 + \phi_2} \quad : \quad 0 \leq \phi_2 \leq 1$$



1 段目の位置を先に決めた場合

1. 1 段目の位置 η_1 を決める。⇨ パネル①より限界幅厚比 z が決まる。
 2. パネル②, ③によって決まる限界幅厚比がパネル①で決まった z 以上になるように, 2 段目を配置する。
 - Ⓑ点: 2 段目をⒷ点より上 (図中で上) の方に配置するとパネル③による限界幅厚比は z 以上となる。
 - Ⓒ点: 2 段目をⒸ点より下 (図中で下) の方に配置するとパネル②による限界幅厚比は z 以上となる。
- 従って, Ⓑ~Ⓒ間に配置すれば限界幅厚比は z 以上となる。



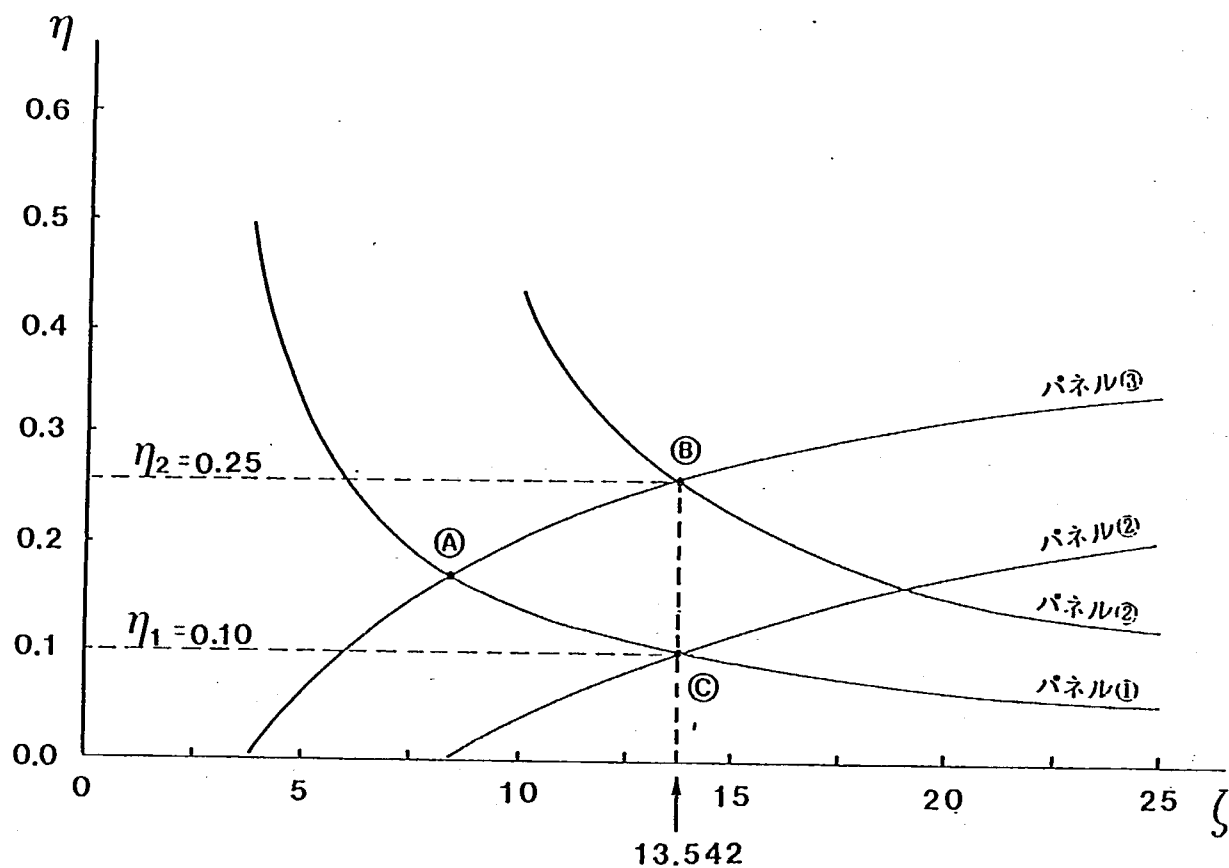
2 段目の位置を先に決めた場合

1. 2 段目の位置 η_2 を決める。⇒ パネル③より限界幅厚比 ζ が決まる。
2. パネル①, ②によって決まる限界幅厚比がパネル③で決まった ζ 以上になるように, 1 段目を配置する。

Ⓑ点: 1 段目をⒷ点より下 (図中で下) の方に配置するとパネル①による限界幅厚比は ζ 以上となる。

Ⓒ点: 1 段目をⒸ点より上 (図中で上) の方に配置するとパネル②による限界幅厚比は ζ 以上となる。

従って, Ⓑ〜Ⓒ間に配置すれば限界幅厚比は ζ 以上となる。



ウェブの幅厚比を最大にする取付け位置

①: 水平補剛材を1段配置する場合, ウェブの幅厚比を最大にする取付け位置。

②, ③: 水平補剛材を2段配置する場合, ウェブの幅厚比を最大にする取付け位置。

参考文献

- 1) 薄板構造の強度と設計に関する調査研究グループ: 薄板構造の強度と設計に関する調査研究, 土木学会関西支部共同研究グループ報告書, 1988, 1989.

プレートガーダー耐荷力実験報告
(その2)

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3031号
平成3年11月(1991)
構造橋梁部橋梁研究室
藤原 稔・西川和廣・村越 潤
鹿嶋久義・斎藤 浩

要 旨

現在、土木研究所では、道路橋示方書の限界状態設計法への移行をふまえ、荷重及び部材の耐荷力に関して種々の研究を行っている。このうち、鋼部材の耐荷力に関しては、プレートガーダーを対象に主として終局限界状態の照査に用いるべき耐荷力を検討するため、昭和60年度から62年度にかけて水平補剛材を2本有するプレートガーダー大型供試体18体の耐荷力実験(純曲げ実験4体(B-21~B-24)、曲げとせん断の組合せ実験8体(C-21~C-28)、せん断実験6体(S-21~S-26))を行い、その結果を土木研究所資料第2533号にまとめた。

本報告書は、上記の検討を継続し、昭和63年度から平成元年度までに実施した、水平補剛材2本を有する大型供試体を用いた耐荷力実験結果についてとりまとめたものである。

キーワード: プレートガーダー、終局耐荷力、幅厚比、補剛材配置、補剛材剛度

郵便はがき

3 0 5 - □ □

41円切手
をはって
下さい。

建設省土木研究所
橋梁研究室

御中

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 18

No. 18

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第3031号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住 所)

氏 名

⑩