

土 木 研 究 所 資 料

鉄筋コンクリート部材のひびわれ幅 に関する調査試験

昭和62年 3 月

建設省土木研究所
地質化学部コンクリート研究室

Copyright ©1987 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承認を得ずしてこれを行ってはならない。

鉄筋コンクリート部材のひびわれ幅 に関する調査試験

コンクリート研究室室長 小林 茂 敏

研究員 丹 野 弘

森 濱 和 正

要旨

海岸地域などにおける鉄筋コンクリート構造物のひびわれ抑制は構造物の耐久性や使用性の面で非常に重要である。最近では構造物の設計法も限界状態設計法に移行しつつあり、ひびわれ幅についてもより明確に評価しようという気運にある。そのためには、ひびわれ幅の計算法もより正確なものが要求される。

本報告は調査研究課題「コンクリート構造物のひびわれ抑制に関する調査」の一環として行った。曲げ、せん断ひびわれの実験結果およびその考察の結果を述べている。

キーワード：鉄筋コンクリート部材、ひびわれ幅、曲げひびわれ、せん断ひびわれ

目 次

1. ま え が き	1
2. ひびわれ幅に関する規準	2
2.1 ひびわれ幅	2
2.2 ひびわれ幅算定式	3
3. 曲げひびわれ幅に関する実験	8
3.1 実験概要	8
3.2 実験結果	10
3.3 考 察	23
3.4 ま と め	32
4. せん断ひびわれ幅に関する実験	33
4.1 実験概要	33
4.2 実験結果	37
4.3 考 察	57
4.4 ま と め	68
5. あ と が き	69
〈参考文献〉	69

1. ま え が き

コンクリートは引張強度が小さいので、一般にはコンクリートに引張ひびわれが入ることを見込んで設計している。ひびわれが生じるとコンクリート中の鉄筋は腐食の心配があるが、ひびわれ幅が小さければ、ほとんど有害でないとされている。

しかしながら、ひびわれ幅があまり大きいと、見た目にも不安であるし、塩分の多い環境などでは耐久性に影響してくることも考えられる。

このため、1986年に改訂された土木学会コンクリート標準示方書では限界状態設計法の中で、表-1.1に示すような各種の使用限界の中で、ひびわれの使用限界をもって使用限界とすることとし、限界のひびわれ幅を規定している。

ひびわれ幅の計算式は、曲げひびわれについては多数の提案式がある一方、せん断ひびわれについてはほとんど検討されていない。したがって、曲げひびわれ幅については、どの式を使うのが適切なのかという問題があり、せん断ひびわれについてはどのように計算すれば良いのかわからないというのが現状である。

このため、本報告では、はじめに曲げひびわれ幅についての基本的な考え方についての検討と各国の計算式について調査する。次いで曲げ、せん断ひびわれについて各種の設計条件で製作した部材を用いて行った実験結果を述べ、各国の計算式との整合性、適切な計算式についての検討を行うこととする。

表-1.1 使用限界状態の例¹⁾

ひびわれの使用限界状態	ひびわれにより美観を害するか、耐久性または水密性や気密性を損ねるかする状態
変形の使用限界状態	変形が構造物の正常な使用状態に対して過大となる状態
変位の使用限界状態	安定、平衡を失うまでには至らないが、正常な状態で使用するには変位が過大となる状態
損傷の使用限界状態	構造物に各種の原因による損傷が生じ、そのまま使用するのが不適當となる状態
振動の使用限界状態	振動が過大となり、正常な状態で使用できないか、不安の念を抱かせるかする状態
有害振動発生の使用限界状態	地盤等を通じて周辺構造物に有害振動を伝播し、不快感を抱かせる状態

2. ひびわれ幅に関する規準

鉄筋コンクリート部材は、通常コンクリートの引張を無視して設計しており、ひびわれの発生を許している。しかし、ひびわれ幅も過大となれば変形が極度に大きくなり使用において不快感を与えたり、使用困難となる。また、塩害による被害も大きくなるといわれており、耐久性に与える影響も大きい。

弾性設計法では、鉄筋の許容応力度を下げたり、構造細目によってひびわれ幅を抑制していた。限界状態設計法では、すべての限界状態について検討することを目的としており、ひびわれ幅についても直接制限しており、より積極的な方法をとっている。

この章では、ひびわれ幅算定方法の概要と限界状態設計法に移行し、曲げひびわれ幅はもちろんせん断ひびわれ幅に関する各国の規準を示す。このような規準として、CEB/FIPの1978年のモデルコード、ソ連の規準(SNIP)、1986年土木学会(JSCE)の規準をとり上げる。

2.1 ひびわれ幅

2.1.1 曲げひびわれ

ひびわれ性状の解析には主としてつぎのような基本的考えに基づいている。⁴⁾

鉄筋コンクリート部材のひびわれは、荷重の増加とともにその数を増し、ひびわれ間隔が減少する。ある荷重段階を過ぎれば新たなひびわれは生じなくなり、ひびわれ間隔は定常状態となる。この定常状態に達したのちのひびわれ性状について検討されている。

ひびわれ幅 w は、ひびわれ間の鉄筋の伸びとコンクリートの伸びの差としてあらわれる。ひびわれ間の鉄筋の平均ひずみを $\bar{\epsilon}_s$ 、平均応力度を $\bar{\sigma}_s$ 、ひびわれ間隔を ℓ とすれば

$$w = (\bar{\epsilon}_s - \bar{\epsilon}_c) \ell = \left(\frac{\bar{\sigma}_s}{E_s} - \bar{\epsilon}_c \right) \ell \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

または、

$$w = \left(\frac{\sigma_s - \Delta\sigma_s}{E_s} - \bar{\epsilon}_c \right) \ell \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

ここに、 σ_s はひびわれ位置の鉄筋応力度、 $\Delta\sigma_s$ はひびわれ間の付着による鉄筋応力度の減少量の平均値。

$\bar{\epsilon}_c$ はコンクリートのクリープ、収縮などの影響がない場合は非常に小さいので無視することができる。このとき、ひびわれ幅はひびわれ間隔と鉄筋の平均応力度によって支配されることになる。

ひびわれ間隔の算定には大別して、①付着に起因した(鉄筋直径/鉄筋比)を主要因子にとる式、②ひびわれ発生条件としてコンクリート断面の曲げ引張抵抗を用いるもの、③コンクリートの有効引張断面積またはかぶりを主要因子にとる式の3グループがある。

平均ひずみについては、鉄筋応力度の比較的小さいところをのぞけば $\Delta\sigma_s$ のひびわれ幅に

与える影響は小さい。

2.1.2 セン断ひびわれ⁵⁾

セン断ひびわれ幅の算定に関する研究は少なく、曲げひびわれのように定式化されたものはない。これまで①曲げひびわれ幅の算定式の拡張したもの、②トラスモデルを用いてスターラップ応力と関連させているもの、③スターラップのひずみを制御するもの、などが提案されているが、いずれも実験式、半実験式である。

セン断ひびわれ幅に影響を与える要因として、曲げひびわれと同様、第一にセン断補強鉄筋のひずみとひびわれ幅の間にはほぼ線形関係があるといわれている。第二にセン断補強鉄筋の径、表面形状やセン断補強鉄筋比など付着に関する要因によってセン断ひびわれを抑制できるようである。しかし、セン断補強鉄筋と部材軸とのなす角度、セン断支間比、ウェブ幅などセン断特有の諸要因も指摘されている。

2.2 ひびわれ幅算定式

2.2.1 曲げひびわれ幅

各国の規準によるひびわれ幅算定式は1)～3)のとおり、記号はできるだけ土木学会にあわせた。以下にほぼ共通の記号を示す。

w : ひびわれ幅 (cm)

k_1 : 鋼材の付着性状の影響を表わす定数

k_2 : 荷重の影響を表わす定数

k_3 : 載荷の影響を表わす定数

C : かぶり (cm)

C_s : 鉄筋間隔 (cm)

ϕ : 鉄筋径 (cm)

σ_s : 鉄筋の応力

E_s : 鉄筋のヤング係数

1) CEB - FIP 1978 年の式

$$w = 1.7 w_m$$

ただし、 w_m : 平均ひびわれ幅 (cm)

$$w_m = S_{rm} \cdot \epsilon_{sm}$$

S_{rm} : 平均ひびわれ間隔 (cm)

$$S_{rm} = 2 \left(C + \frac{C_s}{10} \right) + k_1 k_3 \frac{\phi}{\rho_r}$$

$$C_s < 15 \phi \text{ のときは, } C_s = 15 \phi$$

ρ_r : 引張有効鉄筋化

$$\rho_r = \frac{A_s}{A_{c,ef}}$$

$A_{c,ef}$: コンクリートの引張有効断面 (cm²)

A_s : $A_{c,ef}$ 内の全鉄筋断面積 (cm²)

ϵ_{sm} : 平均引張ひずみ

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \frac{k_2}{2.5 k_1} \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \right] \geq 0.4 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

σ_{sr} : コンクリートが引張強度に達したときの鉄筋の応力

k_1 : 異形鉄筋 0.4

丸鋼 0.8

k_2 : 初期荷重 1.

多数載荷 0.5

k_3 : 曲げ 0.125

純引張 0.25

偏心引張 $0.25 \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2 \epsilon_1}$

(ϵ_1, ϵ_2 はひびわれコンクリート断面積内の最大ひずみ
および最小ひずみ)

2) SNIP

$$w = k_1 k_2 k_3 \frac{\sigma_s}{E_s} 20 (3.5 - 100 p) \sqrt{\phi}$$

ただし, p : 鉄筋比

$$p = \frac{A_s}{bd}$$

k_1 : 異形鉄筋 : 1

丸鋼 : 1.3

異形鋼線 : 1.3

普通鋼線 : 1.5

k_2 : 短期荷重および固定並びに持続荷重の短期成分を考慮する場合 : 1

繰返し荷重並びに固定並びに持続荷重の長期成分を考慮する場合

気乾状態にあるコンクリート : 1.5

飽水状態にあるコンクリート : 1.2

軽量骨材を用いたコンクリート : 1.5

気泡コンクリート : 2.5

k_3 : 曲げおよび偏心圧縮 : 1

引張： 1.2

3) JSCE

$$w = k_1 \{ 4 C + 0.7 (C_s - \phi) \} \cdot \left(\frac{\sigma_{se}}{E_s} \left(\text{または} \frac{\sigma_{pe}}{E_p} \right) + \epsilon'_{cs} \right)$$

$$S_e = S_p + k_2 S_r$$

ただし、 ϵ'_{cs} ：コンクリートの乾燥収縮およびクリープによるひびわれ幅の増加を考慮するための数値（一般に 150×10^{-6} ）

σ_{se} ：断面力 S_e により生ずる鉄筋応力度の増加量

σ_{pe} ：断面力 S_e により生ずる PC 鋼材応力度の増加量

S_p ：永久荷重による断面力

S_r ：変動荷重による断面力

k_1 ：異形鉄筋： 1

普通丸鋼： 1.3

PC 鋼材： 1.3

k_2 ：一般に 0.5

E_p ：PC 鋼材のヤング係数

2.2.2 せん断ひびわれ

共通の記号は以下のとおり。

w ：せん断ひびわれ幅（cm）

V_s ：設計せん断力（kgf）

V_{cd} ：コンクリートの分担するせん断力（kgf）

s ：せん断補強鉄筋の間隔（cm）

A_w ：1組のせん断補強鉄筋の断面積（ cm^2 ）

p_w ：せん断補強鉄筋比 $= \frac{A_w}{b \cdot s \sin \alpha}$

s_b ：折曲鉄筋の間隔（cm）

A_b ：折曲鉄筋の断面積（ cm^2 ）

b ：部材幅（cm）

d ：有効高さ（cm）

x ：中立軸高さ（cm）

α ：せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度

σ_s ：せん断補強鉄筋の応力

1) CEB

$$w_k = 1.7 k_w w_m \text{ (mm)}$$

ただし、 k_w ：スターラップの傾斜による係数

$$\alpha = 90^\circ \text{C のとき} \quad 1.2$$

$$\alpha = 45^\circ \sim 60^\circ \text{ のとき} \quad 0.8$$

$$W_m = \epsilon_{sm} \times s_{rm}$$

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \left(\frac{V_{cd}}{V_s} \right)^2 \right] \geq 0.4 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$s_{rm} = 2 \left(C + \frac{C_s}{10} \right) + k_1 k_s \frac{\phi}{\rho_w} \leq \frac{d-x}{\sin \alpha} \quad (\text{mm})$$

$$\rho_w = \frac{A_w}{s b \sin \alpha}$$

$$V_{cd} = \beta f_{vd1} b d$$

$$f_{vd1} = 0.25 f_{ctd} \xi (1 + 50 p)$$

$$\xi = 1.6 - d \geq 1$$

$$f_{ctd} = 0.434 f'_c{}^{\frac{2}{3}}$$

$$\beta = \begin{cases} 2d/a & (a/d \leq 2) \\ 1 & (a/d > 2) \end{cases}$$

f'_c : コンクリートの圧縮強度

$$\sigma_s = \frac{V_s - V_{cd}}{b \cdot d \cdot \rho_w} \cdot \frac{1}{\sin \alpha (\sin \alpha + \cos \alpha)} \geq 40 \text{ MPa}$$

2) SNIP

$$w = k_3 R (d + 30 \phi_{\max}) \frac{k_1}{p_w} \frac{t^2}{E_s^2}$$

$$\text{ただし, } R = (20 - 1200 p_w) \cdot 10^3 \geq 8 \times 10^3$$

$$p_w = p_s + p_b$$

p_s : スターラップ比

$$p_s = A_w / b \cdot s$$

p_b : 折曲鉄筋比

$$p_b = A_b / b \cdot s_b$$

$\phi_{\max}$: スターラップ, 折曲鉄筋のうちの最大径

$$t = \frac{V_s}{b d} - 0.25 \frac{N}{A_c}$$

N : 軸力 (圧縮を正)

A_c : 部材の全断面積

3) JSCE

せん断補強鉄筋の応力度で制限している。応力度の算定は以下のとおりである。

(1) スターラップの応力

$$\sigma_w = \frac{(V_s - V_{cd})s}{A_w \cdot z (\sin \alpha + \cos \alpha)}$$

(2) 鉛直スターラップと折曲鉄筋を併用の場合

① 鉛直スターラップ

$$\sigma_s = \frac{V_s - V_{cd}}{A_w \cdot z/s + A_b \cdot z (\cos \alpha_b + \sin \alpha_b)^3 / s_b}$$

② 折曲鉄筋

$$\sigma_b = \frac{V_s - V_{cd}}{A_w \cdot z / [s (\cos \alpha_b + \sin \alpha_b)^2] + A_b \cdot z (\cos \alpha_b + \sin \alpha_b) / s_b}$$

3. 曲げひびわれ幅に関する実験

3.1 実験概要

3.1.1 供試体の種類

曲げひびわれ幅は、引張応力とかぶりの影響がもっとも大きいといわれている。今回の実験はこの影響を検討するため、供試体は主鉄筋およびかぶりを変化させた。

供試体は図-3.1のように断面 $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ 、長さ 4 m であり、かぶりおよび鉄筋を表-3.1のとおりとした。せん断支間部分ではせん断破壊しないようにスターラップを配置した。最大モーメント区間は、ひびわれの分散に主鉄筋以外の影響をさけるため、スターラップはもちろんスペーサーなどはいっさい使用しなかった。

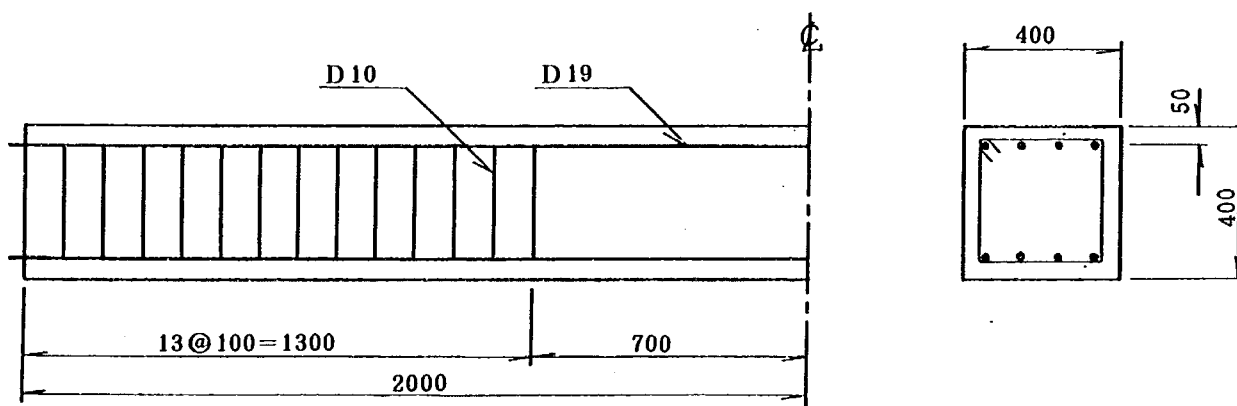
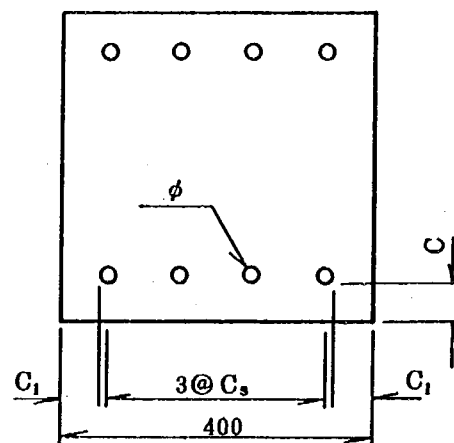


図-3.1 供試体の形状・寸法

表-3.1 供試体の諸元

供試体	主鉄筋 ϕ	かぶり C (mm)	側面かぶり C_1 (mm)	鉄筋間隔 C_s (mm)
I	D19	20 (23.7)	20 (25.0)	113.7 (110)
II	D19	50 (50.5)	50 (56.7)	93.7 (89)
III	D19	100 (101.6)	100 (104.0)	60.3 (57)
IV	D16	50 (49.1)	50 (55.5)	94.7 (91)
V	D25	50 (50.0)	50 (53.7)	91.7 (89)

() 内は、供試体の測定値



製作後の供試体の寸法測定結果は表－3.1の()内のおりであった。

3.1.2 使用材料

1) コンクリート

コンクリートの配合を表－3.2に示す。

表－3.2 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
20	8±2.5	4±1	65.0	45.0	166	255	838	1051	102(cc)

- ① セメント：普通ポルトランドセメント
- ② 細骨材：粗粒率 2.80，比重 2.61，思川砂
- ③ 粗骨材：粗粒率 6.73，比重 2.68，東城寺碎石
- ④ 混和剤：AE剤（チューポールC）

供試体載荷試験時の圧縮強度は、260 kgf/cm²であった。

2) 鉄 筋

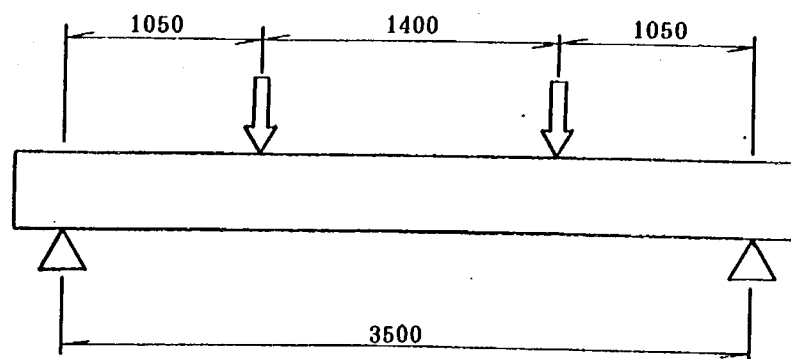
鉄筋は、横フシのSD 30を使用した。機械的性質は表－3.3のとおりである。

表－3.3 鉄筋の機械的性質

鉄筋の種類	降 伏 点 (kgf/mm ²)	引 張 強 さ (kgf/mm ²)	伸 び (%)
D 16	35.1	55.3	19
D 19	37.0	57.5	19
D 25	36.5	57.0	19

3.1.3 載荷方法

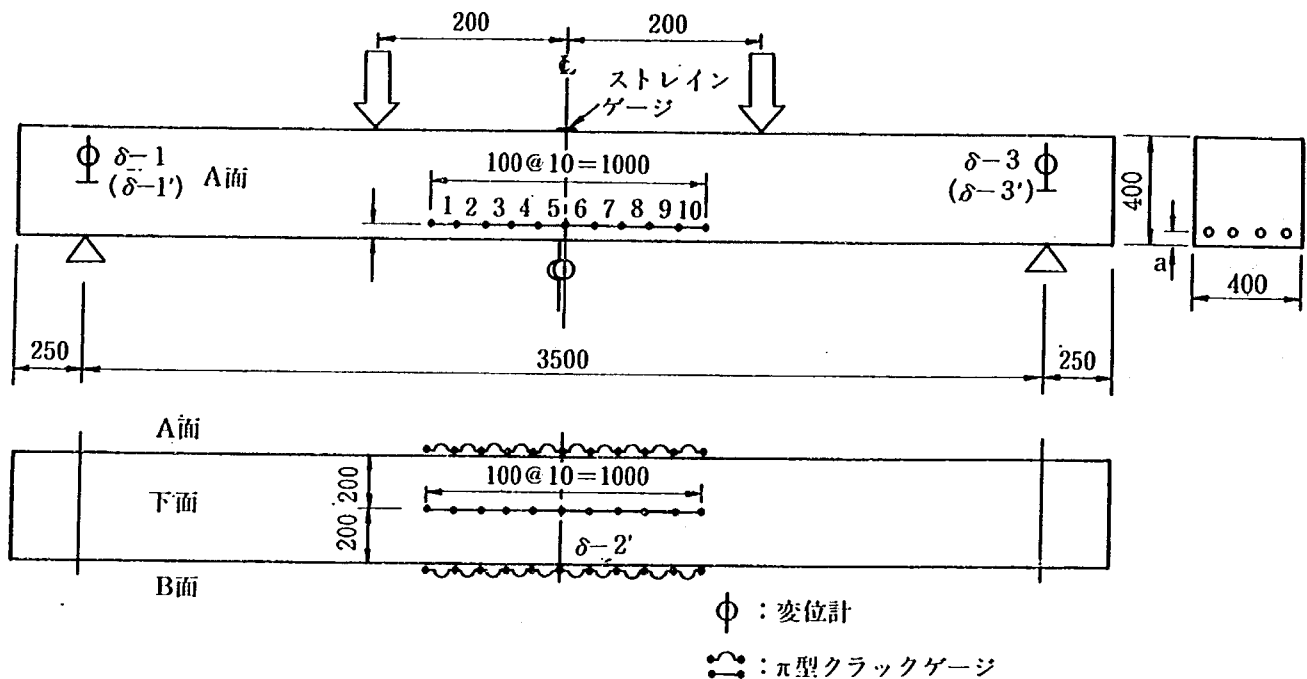
載荷は、図－3.2のように2点曲げ載荷とした。荷重は上縁のコンクリートが圧縮破壊するまで一方向漸増で加えた。



図－3.2 載 荷 方 法

3.1.4 測定方法

ひびわれ幅，たわみ，ひずみの測定位置は図－3.3のとおりである。



図－3.3 測定器の配置

- ① ひびわれ幅は，引張線と側面の鉄筋位置において，測定長 10 cm の π 型変位計で測定した。
- ② たわみは，はり中央と支点の沈下を測定した。
- ③ 鉄筋のひずみは，4 本のうち内側 2 本の中央で測定した。

3.2 実験結果

各供試体の荷重－たわみ，荷重と主鉄筋のひずみの関係は図－3.4～図－3.8，図－3.9～図－3.13のとおりである。

おもなひびわれ幅と荷重の関係は図－3.14～図－3.18のとおり，ひびわれ発生後鉄筋の降伏まではほぼ直線関係にあることがわかる。

ひびわれ状況を図－3.19～図－3.23に示す。ひびわれの分散性は，鉄筋径が太いほど，かぶりが小さいほどよいことがわかる。

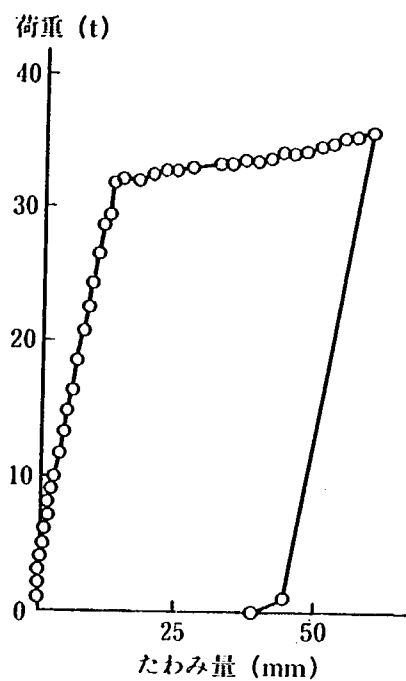


図- 3. 4 荷重-たわみ関係
(供試体 I)

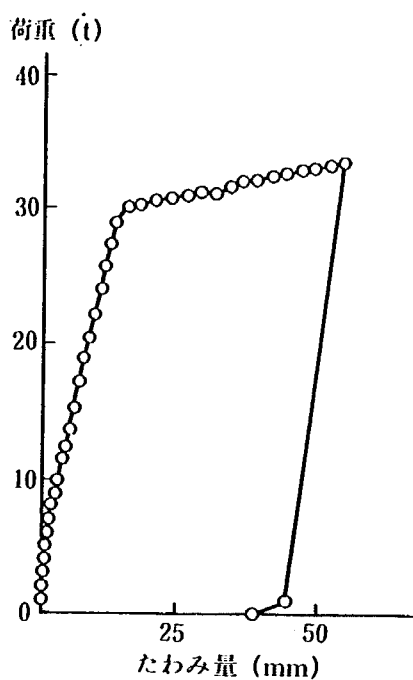


図- 3. 5 荷重-たわみ関係
(供試体 II)

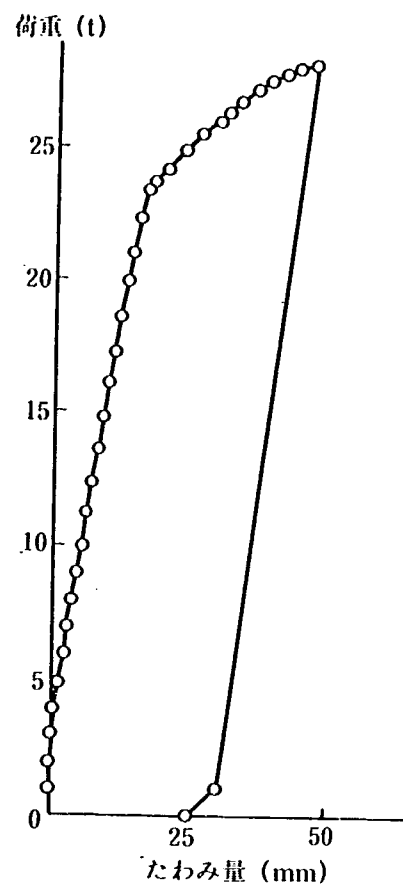


図- 3. 6 荷重-たわみ関係
(供試体 III)

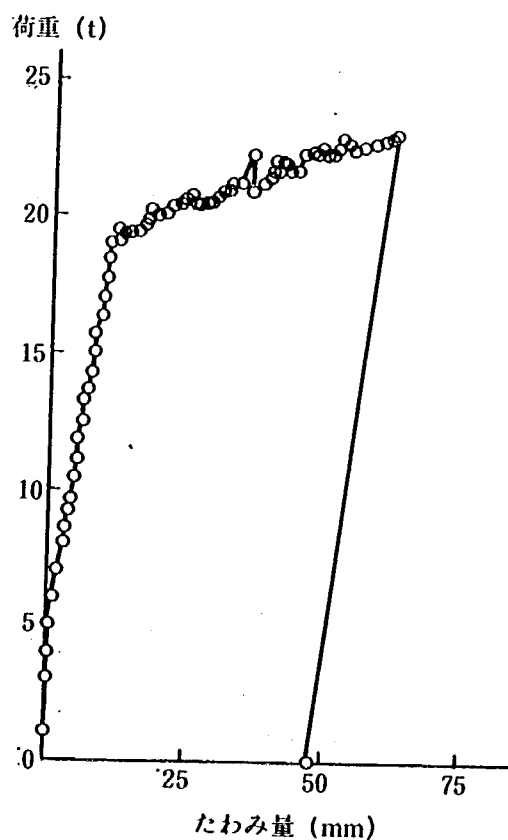


図- 3. 7 荷重-たわみ関係 (供試体 IV)

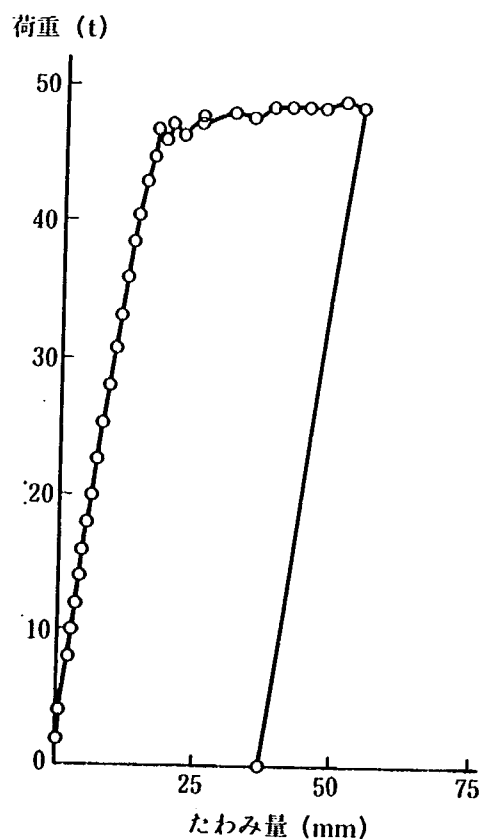


図- 3. 8 荷重-たわみ関係 (供試体 V)

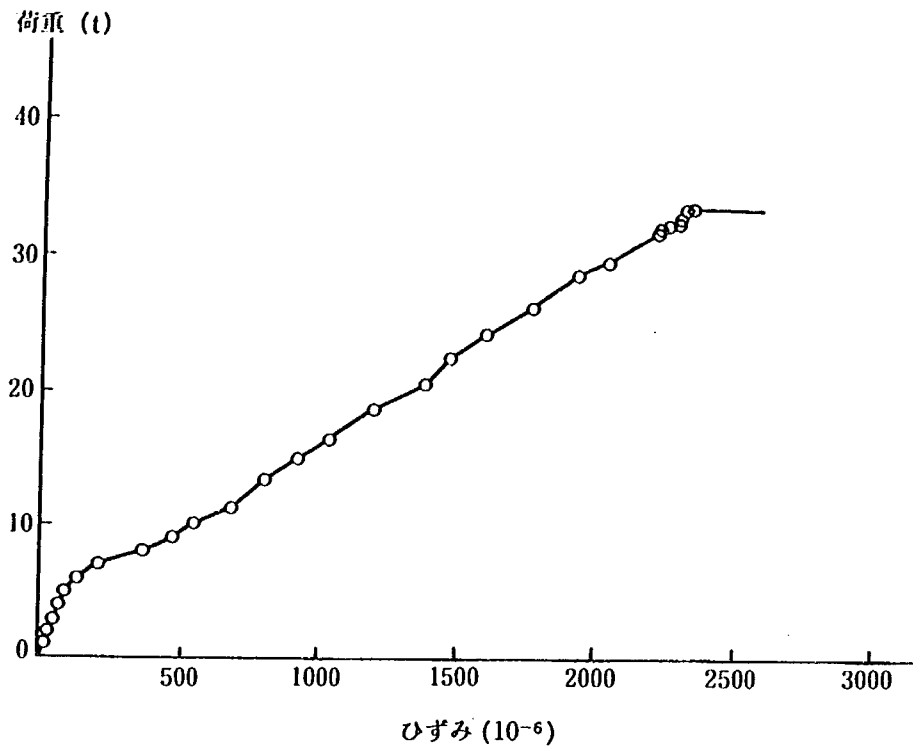


図- 3. 9 荷重-主鉄筋ひずみ関係 (供試体 I)

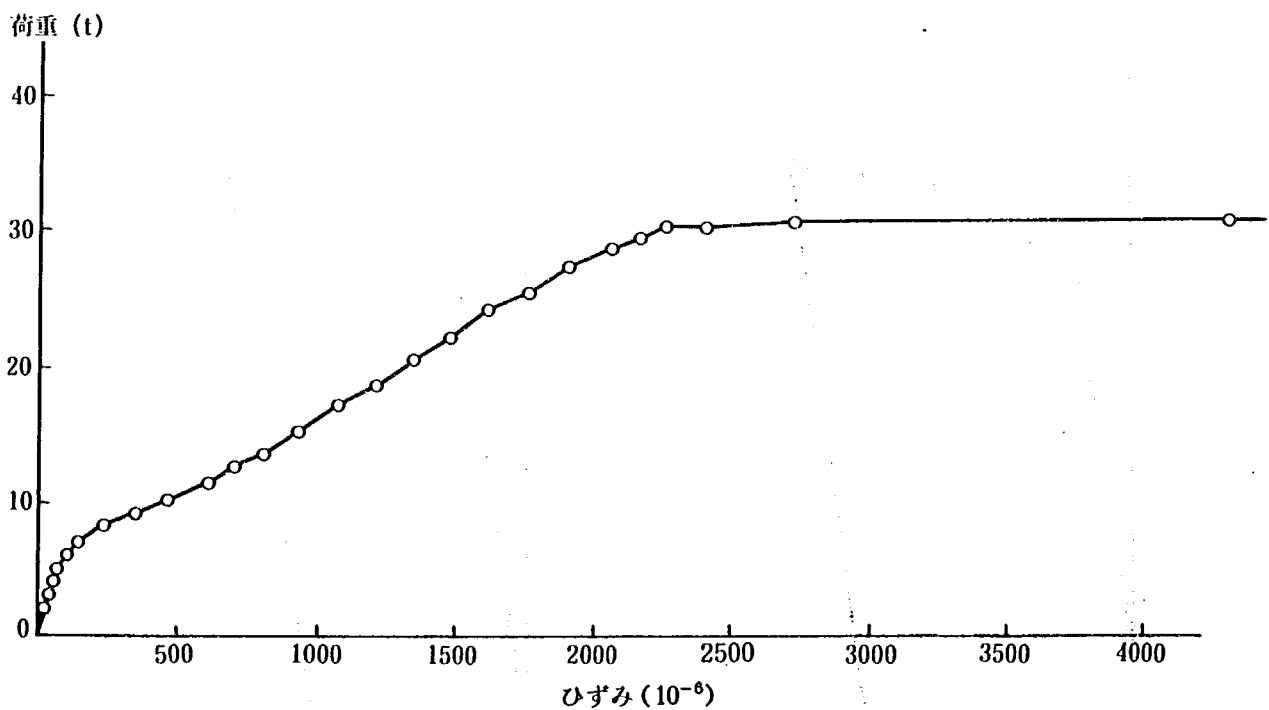


図- 3. 10 荷重-主鉄筋ひずみ関係 (供試体 II)

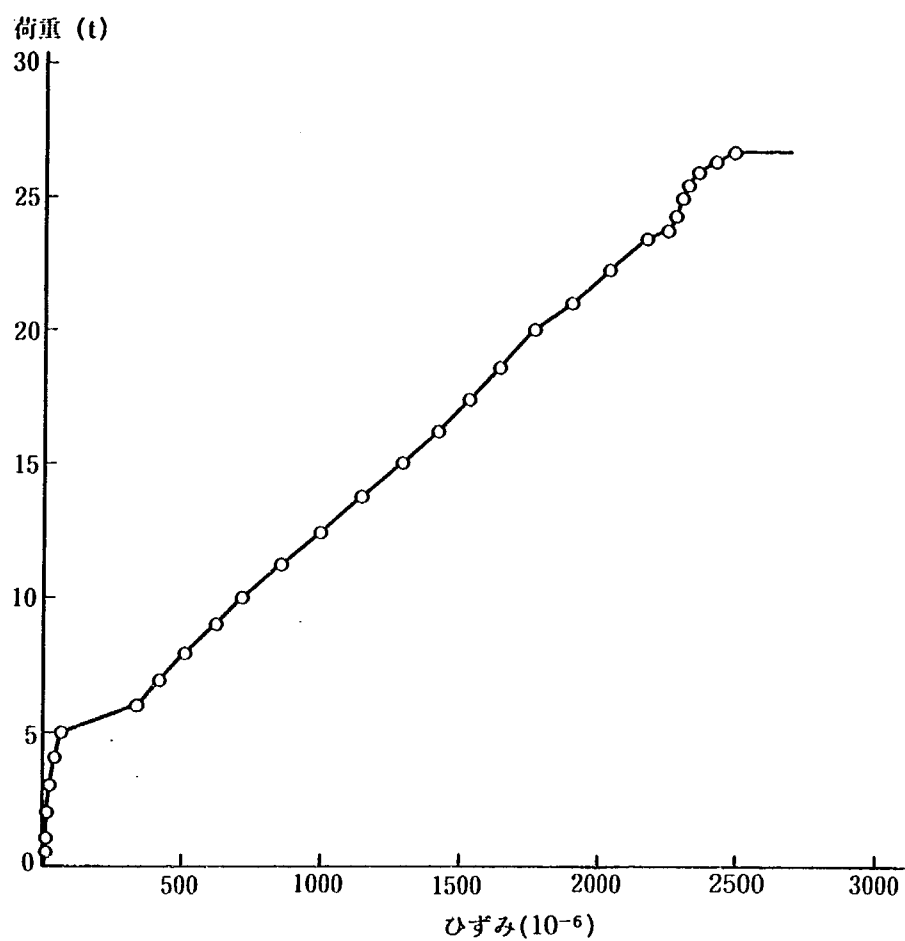


図- 3. 11 荷重-主鉄筋ひずみ関係 (供試体Ⅲ)

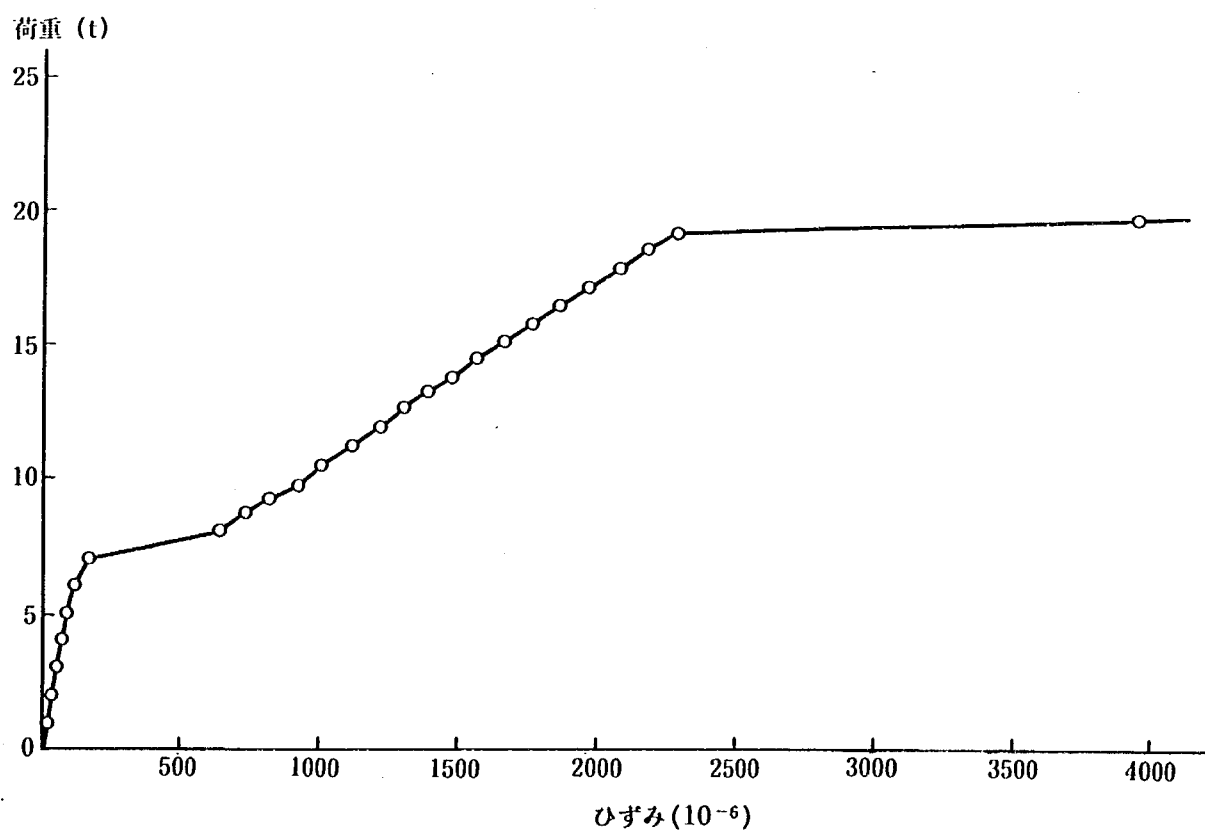
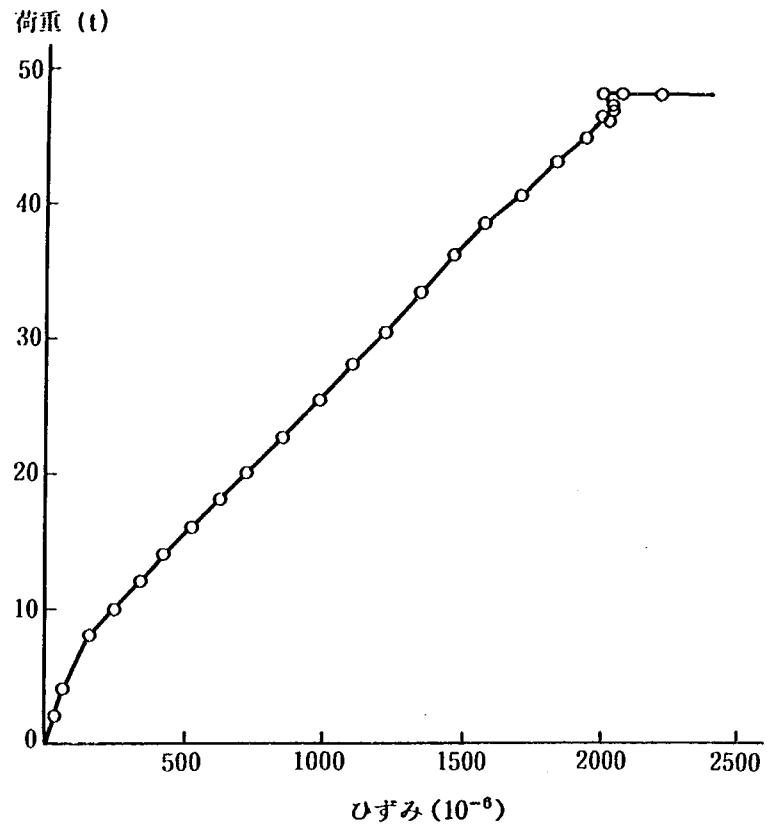


図- 3. 12 荷重-主鉄筋ひずみ関係 (供試体Ⅳ)



図－ 3. 13 荷重－主鉄筋ひずみ関係（供試体 V）

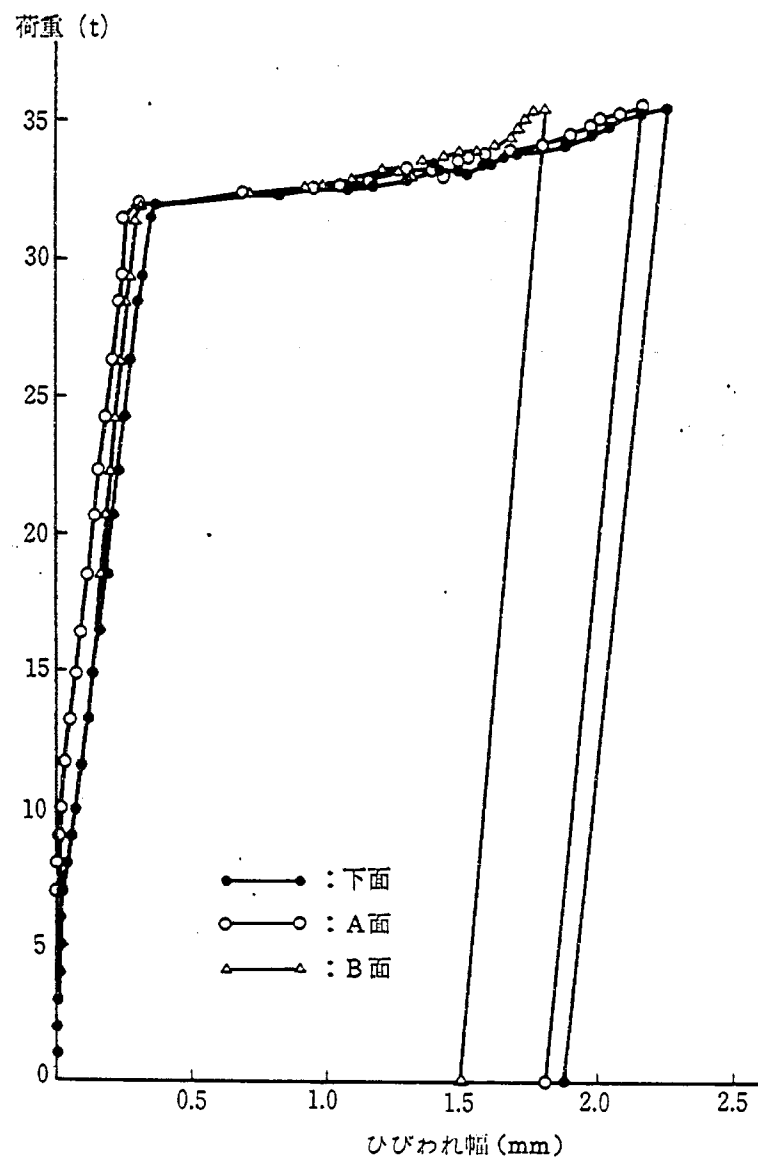


図- 3. 14 荷重-ひびわれ幅の関係 (供試体 I)

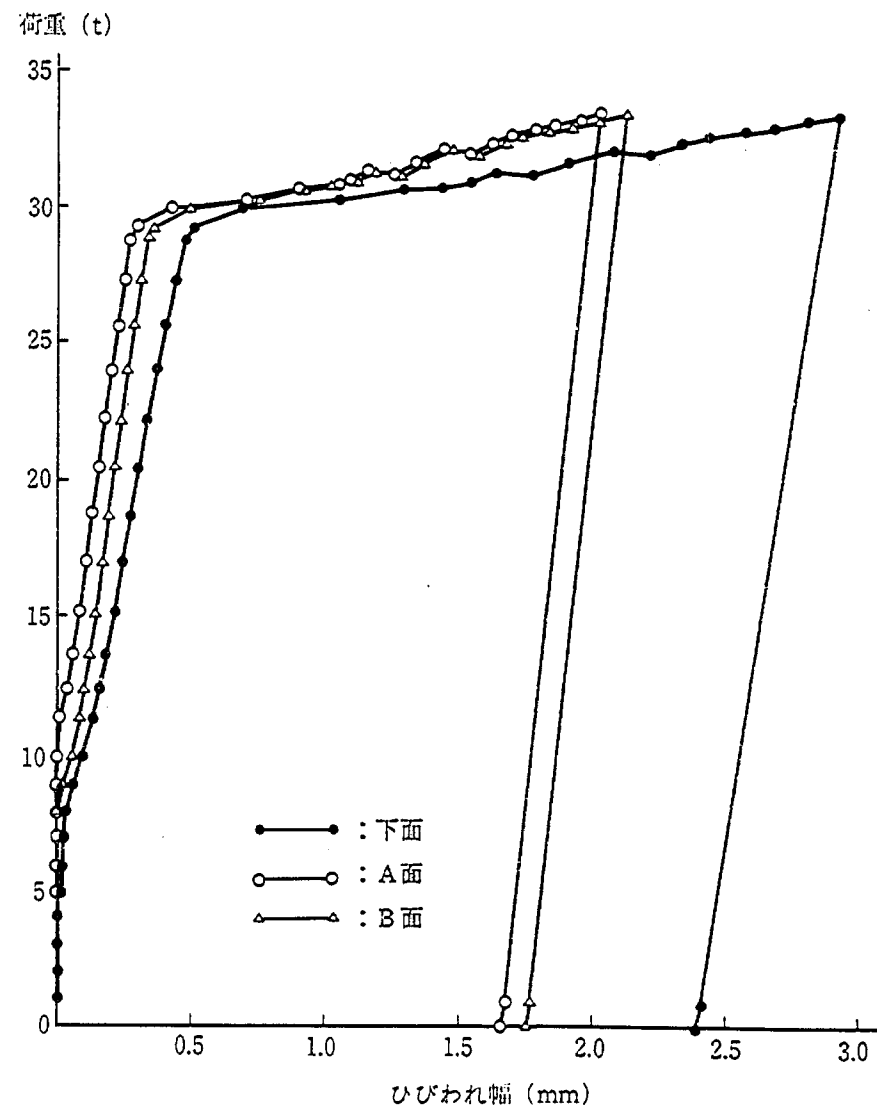


図- 3. 15 荷重-ひびわれ幅の関係 (供試体 II)

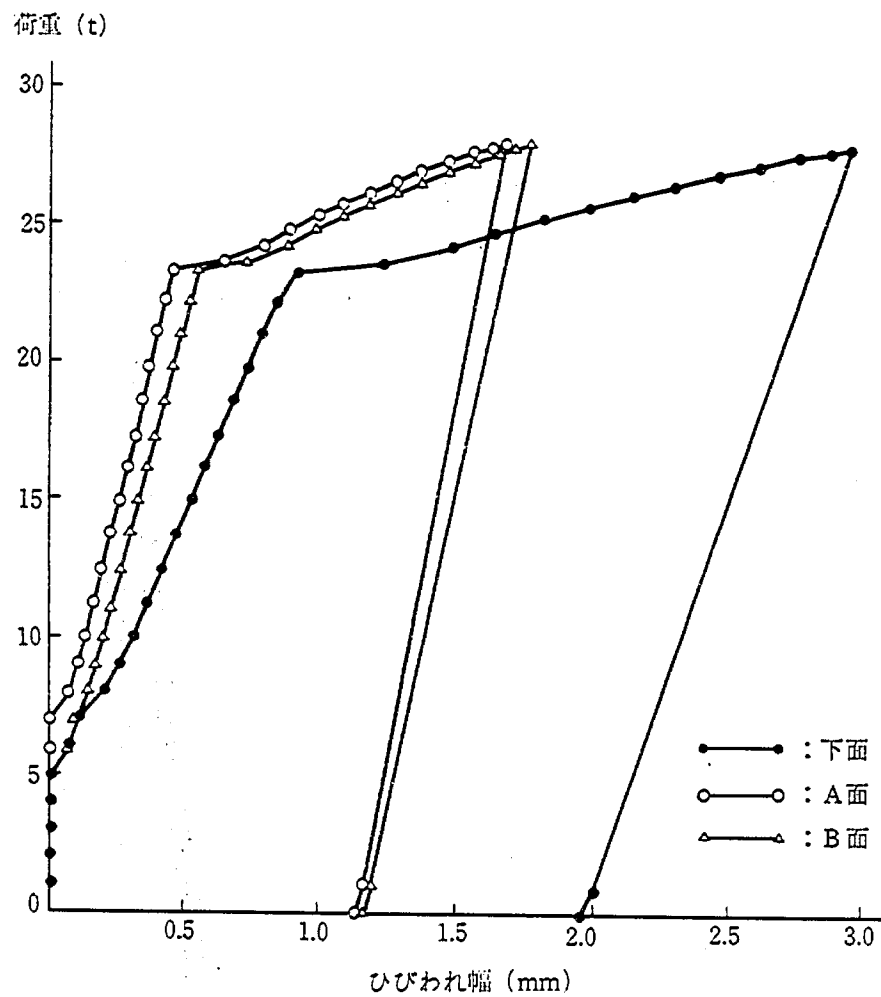


図- 3. 16 荷重-ひびわれ幅の関係 (供試体Ⅲ)

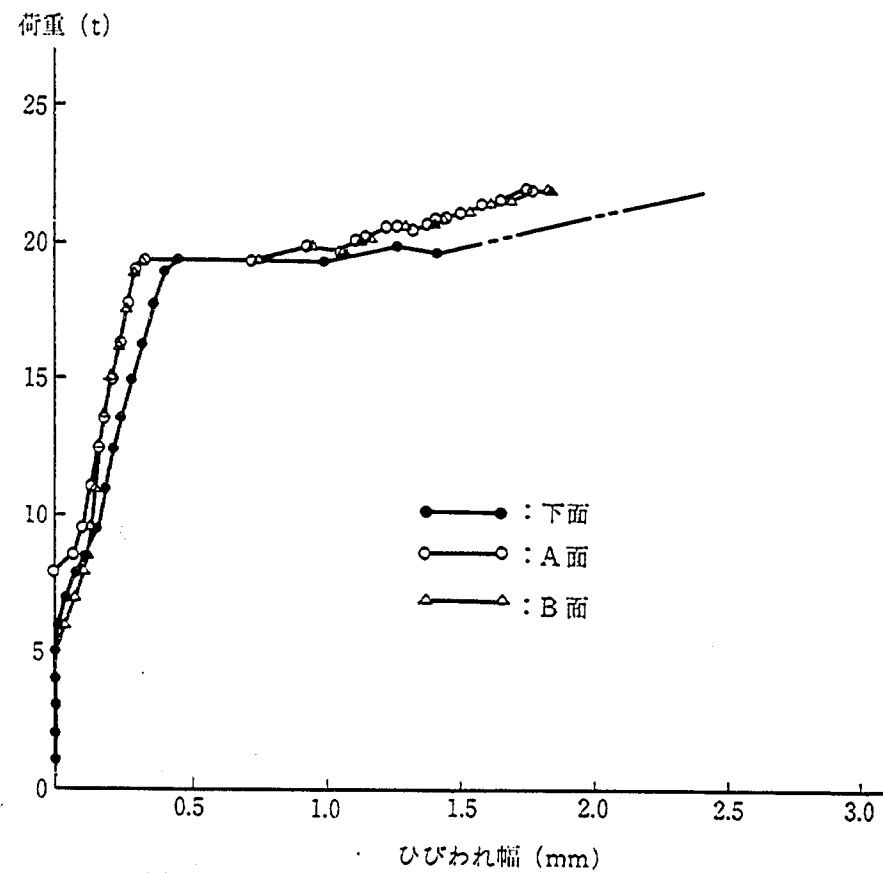


図- 3. 17 荷重-ひびわれ幅の関係 (供試体Ⅳ)

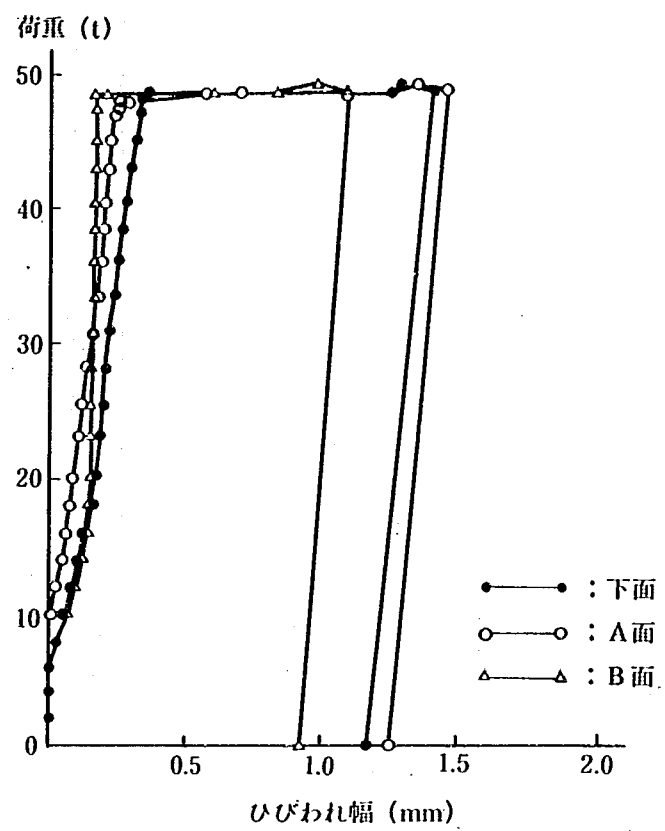


図- 3.18 荷重-ひびわれ幅の関係 (供試体 V)

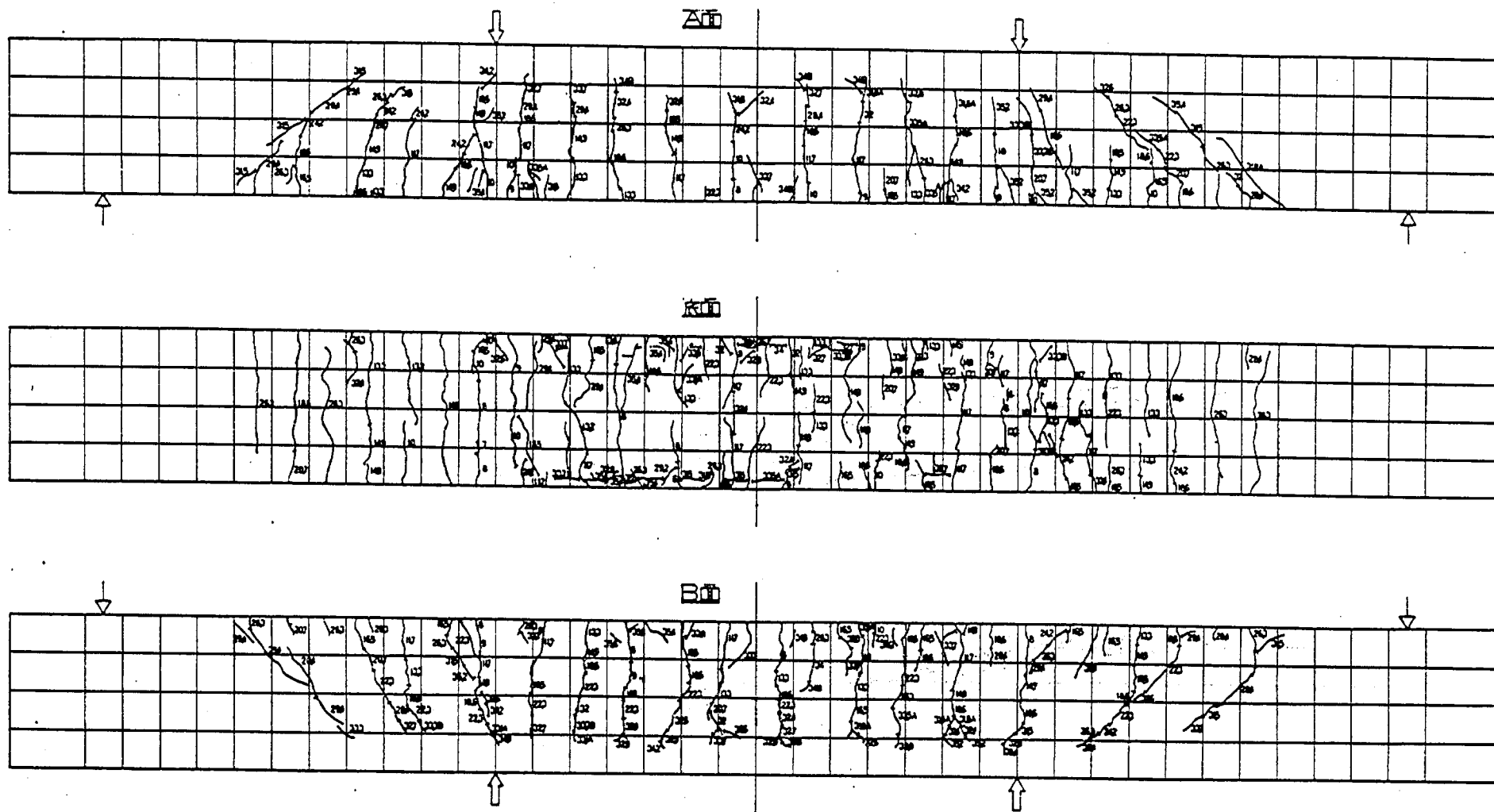


図 - 3.19 ひびわれ状況 (供試体 I)

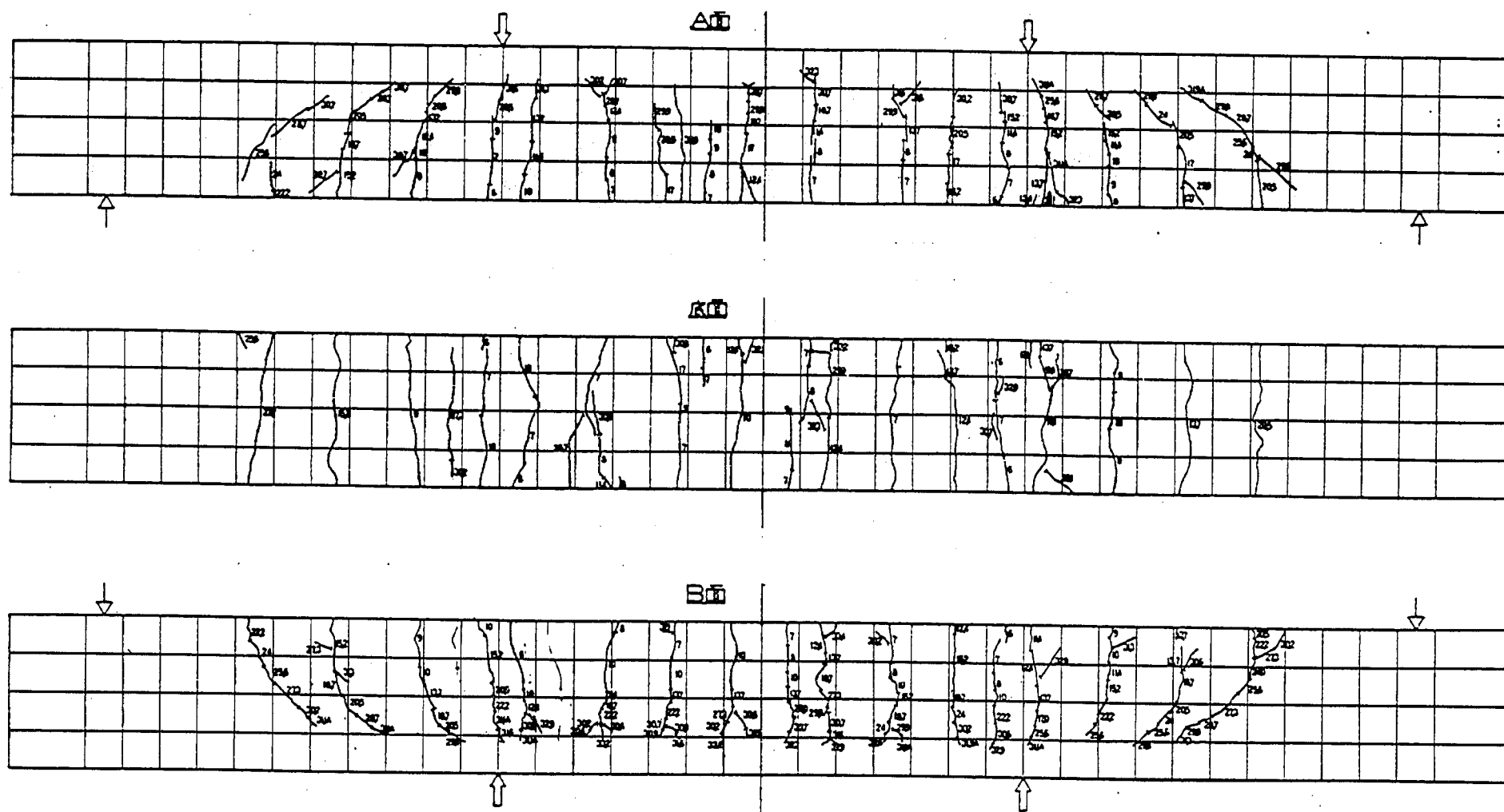


図 - 3. 20 ひびわれ状況 (供試体 II)

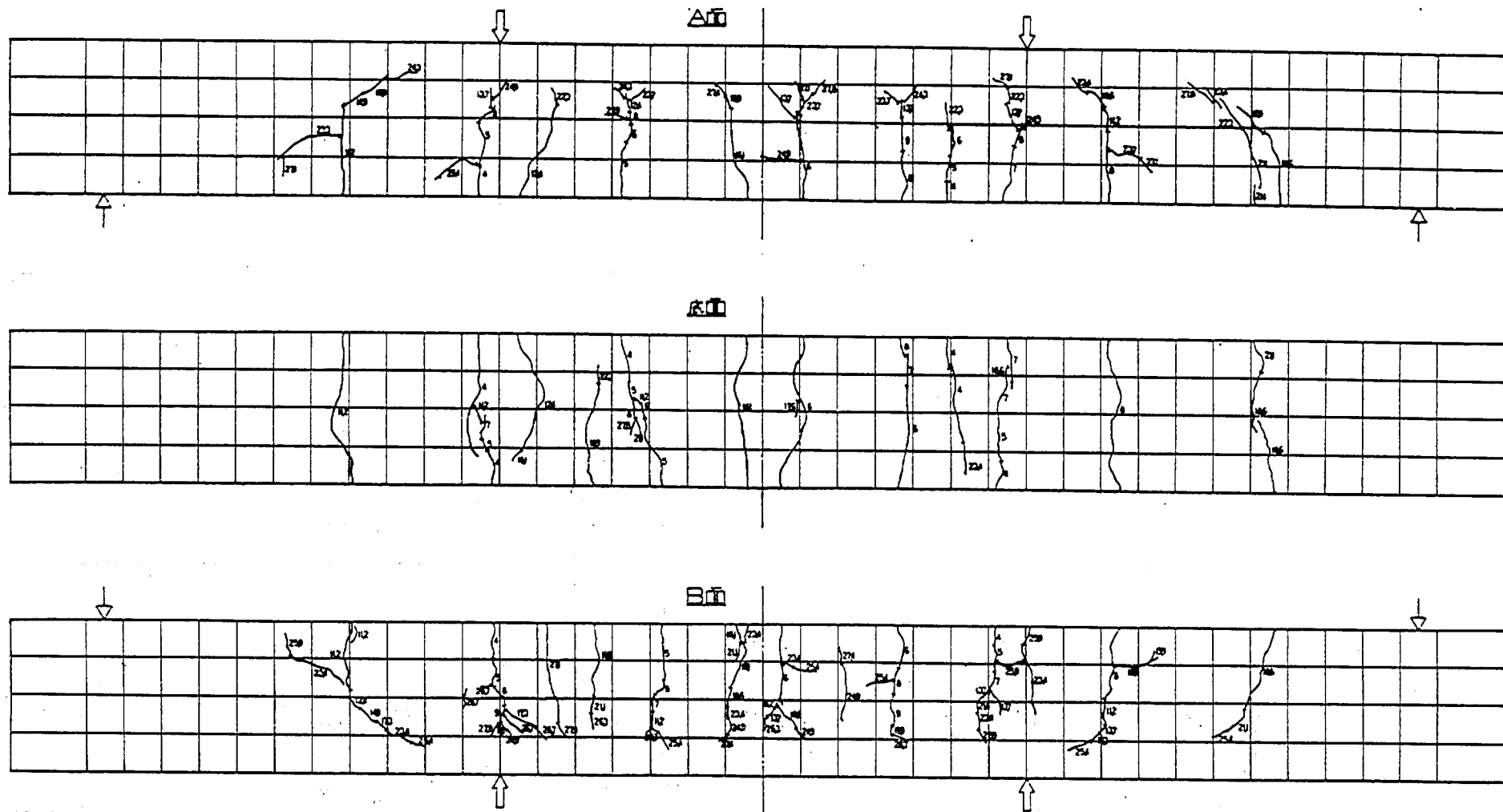


図- 3. 21 ひびわれ状況 (供試体Ⅲ)

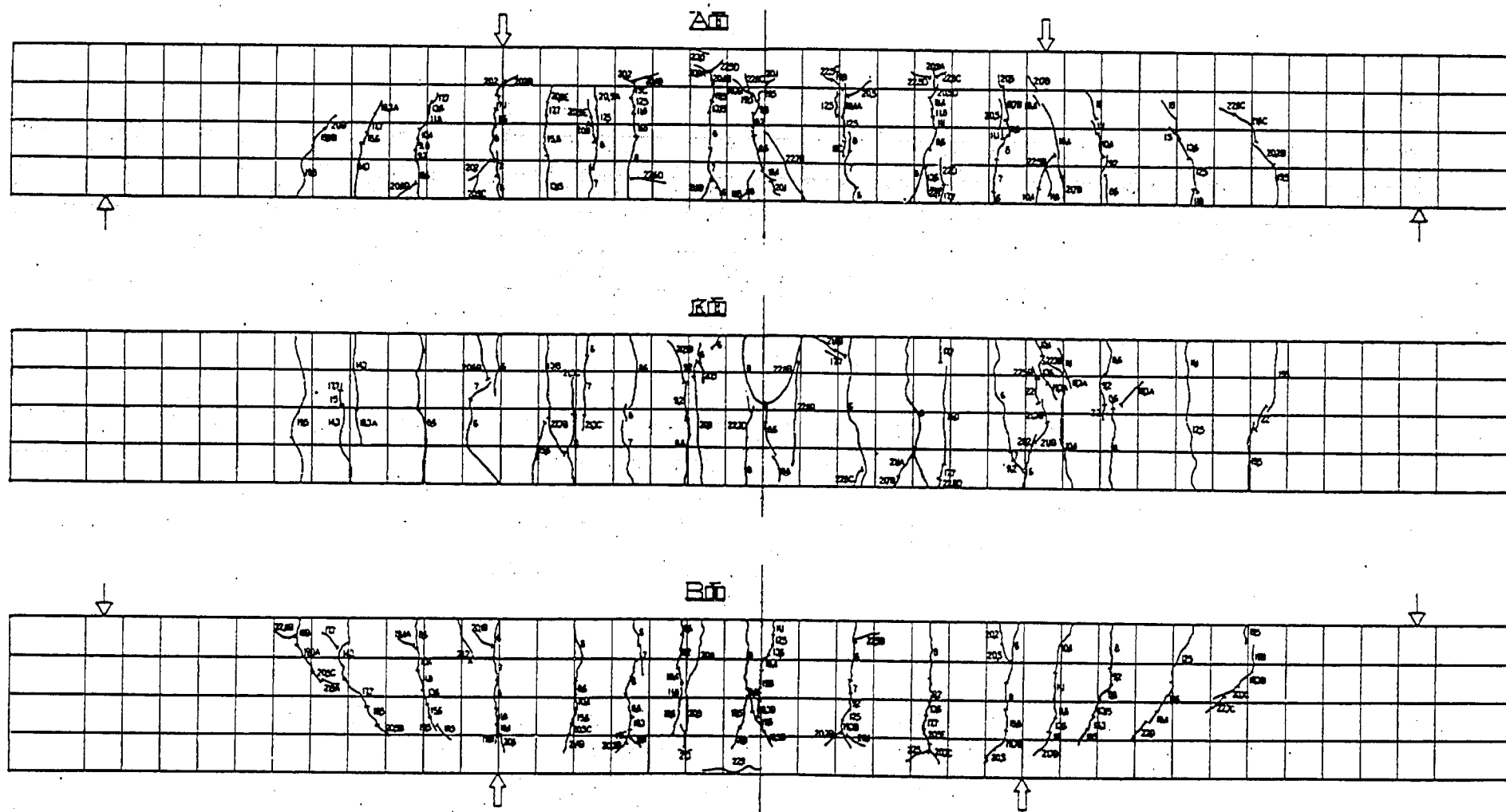


図 - 3. 22 ひびわれ状況 (供試体 IV)

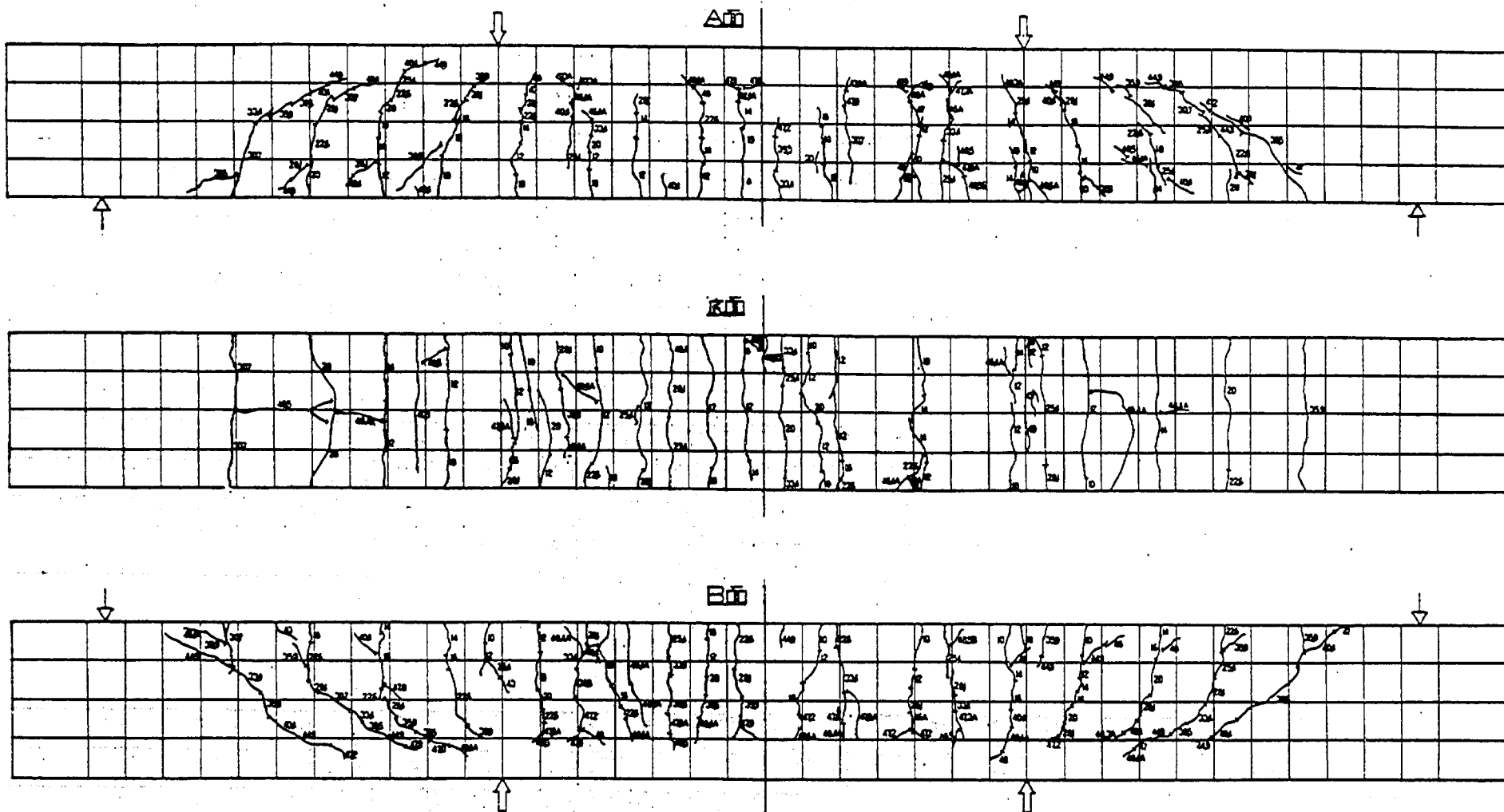


図-3.23 ひびわれ状況(供試体V)

3.3 考 察

3.3.1 ひびわれ間隔

鉄筋コンクリートの曲げ部材は、引張縁コンクリートが引張応力に達したときにひびわれを生じ、荷重の増加にともないひびわれ本数は増加し、ひびわれ間隔は減少する。この状況を図-3.24～図-3.28に示す。そして、付着応力が最大になるとひびわれは増加しなくなり、ひびわれ間隔は定常状態になる。

定常状態のひびわれ間隔とかぶり、鉄筋径および鉄筋比との関係を図-2.29～図-2.31に示す。図中の各国の規定は、ひびわれ幅 w の計算式（＝最大ひびわれ間隔 $l_{\max}$ ×平均ひずみ $\bar{\epsilon}$ ）中の最大ひびわれ間隔の項を示したものである。係数はすべて1とした。SNIPは実験式であり、かならずしも最大ひびわれ間隔を表わしたものではないが、算定式は平均ひずみの積の形をとっており、ひずみ以外の項を最大ひびわれ間隔とみなした。

ひびわれ間隔はかぶりと比例関係にありそうであるが、鉄筋径および鉄筋比にはほとんど影響はないようである。（最大ひびわれ間隔／平均ひびわれ間隔）は、全供試体平均で1.71であった。

3.3.2 ひびわれ幅

鉄筋降伏以前の引張縁と側面鉄筋位置の最大ひびわれ幅および平均ひびわれ幅とひずみの関係を図-3.32～図-3.36に、かぶりの異なる供試体のひびわれ幅と鉄筋応力、鉄筋径の異なる供試体のひびわれ幅と鉄筋応力の関係を図-3.37、図-3.38に示す。これらよりひびわれ幅は鉄筋ひずみとほぼ比例関係にあること、かぶりの影響の大きいことがわかる。

1) かぶりの影響

図-3.39に各応力ごとのかぶりとひびわれ幅の関係を示すとおり、ほぼ比例関係にあり、かぶりが大きくなるほどひびわれ幅も大きくなる。

2) 鉄筋径、鉄筋比の影響

鉄筋径とひびわれ幅の関係を図-3.40に、鉄筋比とひびわれ幅の関係を図-3.41に示す。部材の断面が同じであれば鉄筋比の大きいほどひびわれ幅は小さくなるようである。

3) 有効高さ d の影響

引張縁ひびわれ幅を式(3.1)で補正した値と側面ひびわれの関係は図-3.42～図-3.46のとおりである。

$$w' = \frac{d-x}{h-x} w \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

ここに、 w' ：側面鉄筋位置補正ひびわれ幅

d ：有効高さ

h ：部材高さ

x ：圧縮縁から中立軸までの距離

w ：引張縁ひびわれ幅

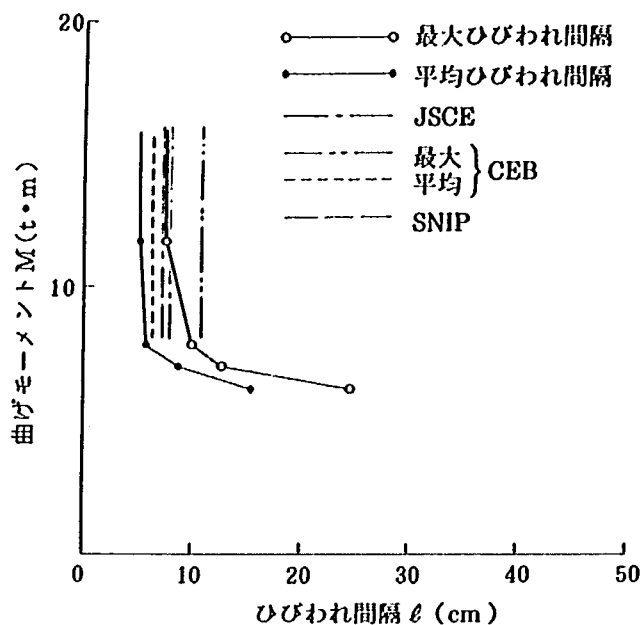


図- 3. 24 ひびわれ間隔-曲げモーメントの関係 (供試体 I)

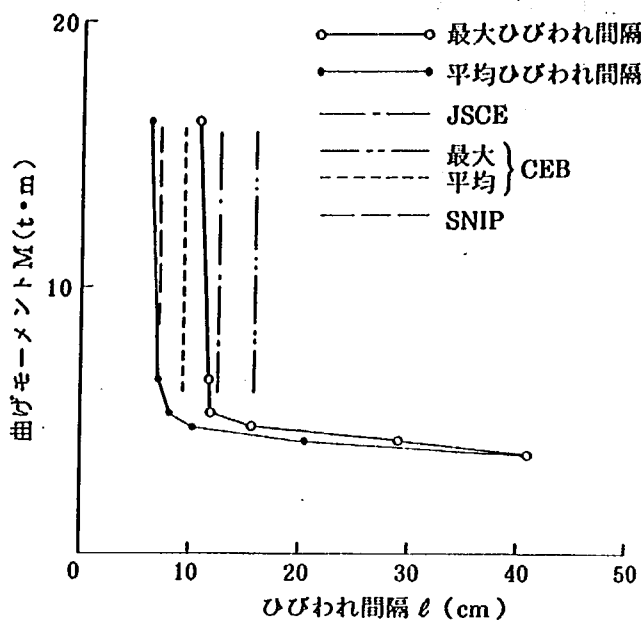


図- 3. 25 ひびわれ間隔-曲げモーメントの関係 (供試体 II)

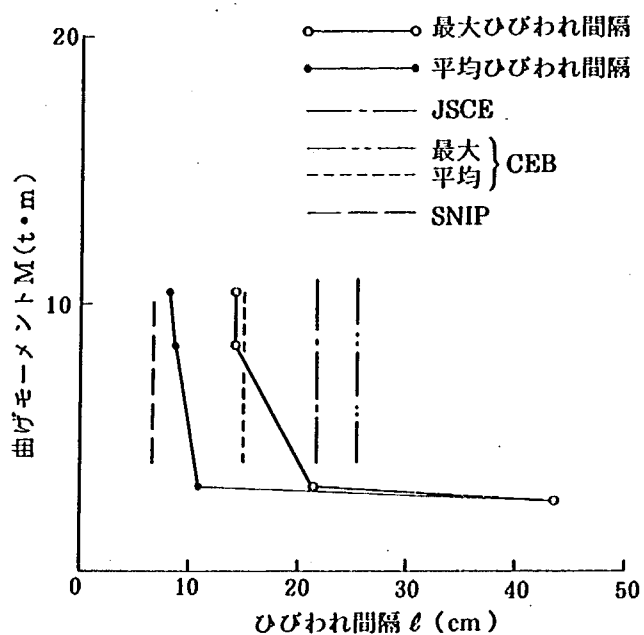


図- 3. 26 ひびわれ間隔-曲げモーメントの関係 (供試体 III)

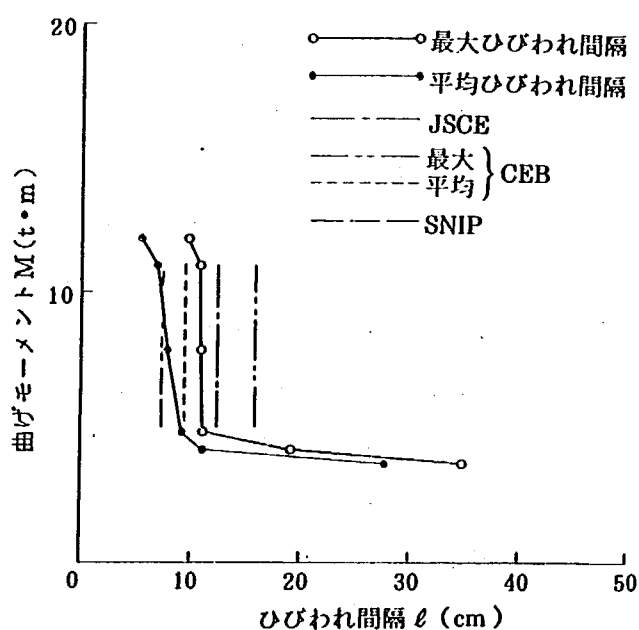


図- 3. 27 ひびわれ間隔-曲げモーメントの関係 (供試体 IV)

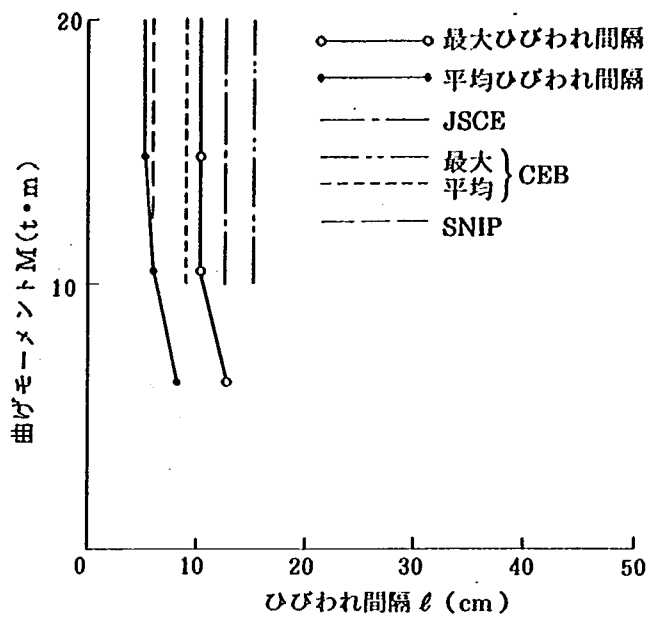


図- 3. 28 ひびわれ間隔—曲げモーメントの関係 (供試体 V)

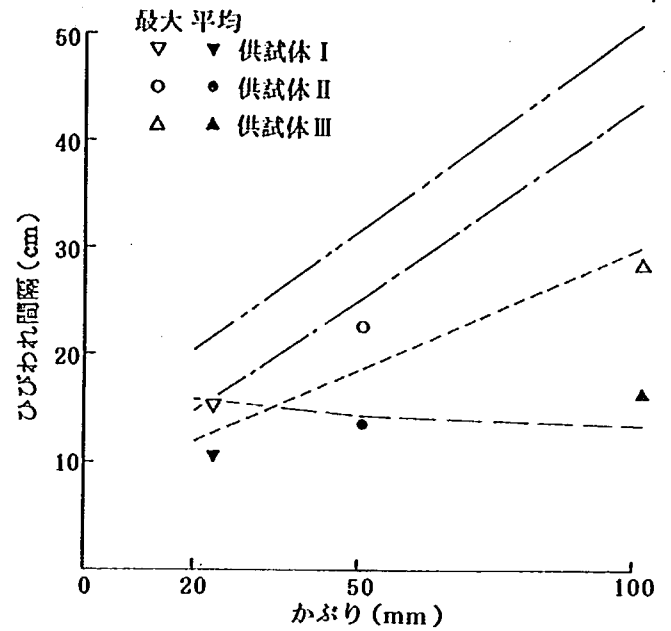


図- 3. 29 ひびわれ間隔—かぶりの関係

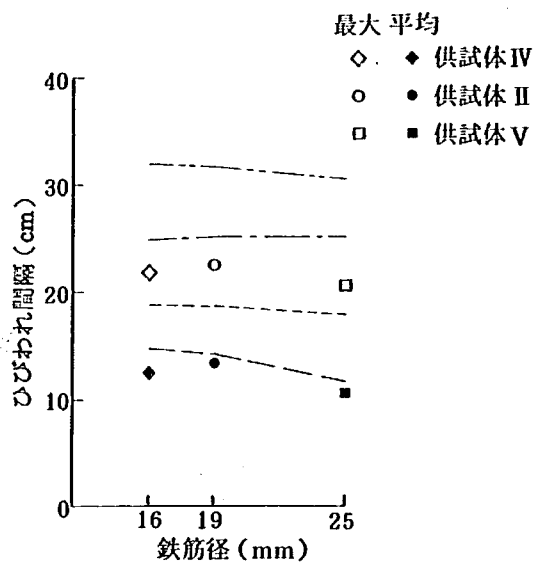


図- 3. 30 ひびわれ間隔—鉄筋径の関係

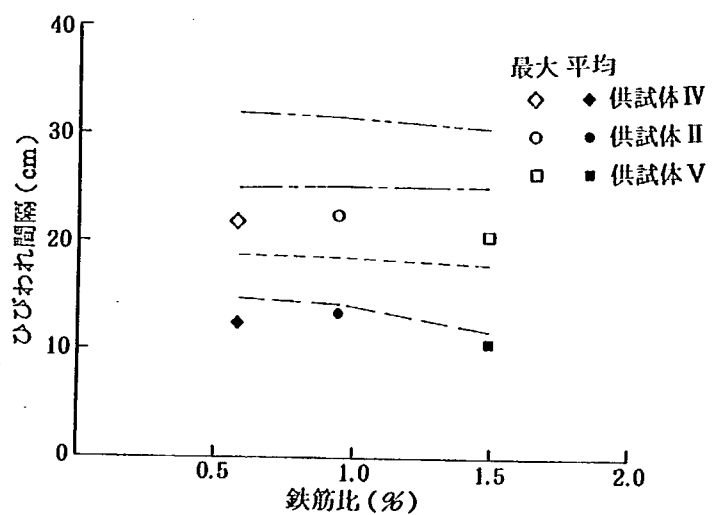


図- 3. 31 ひびわれ間隔—鉄筋比の関係

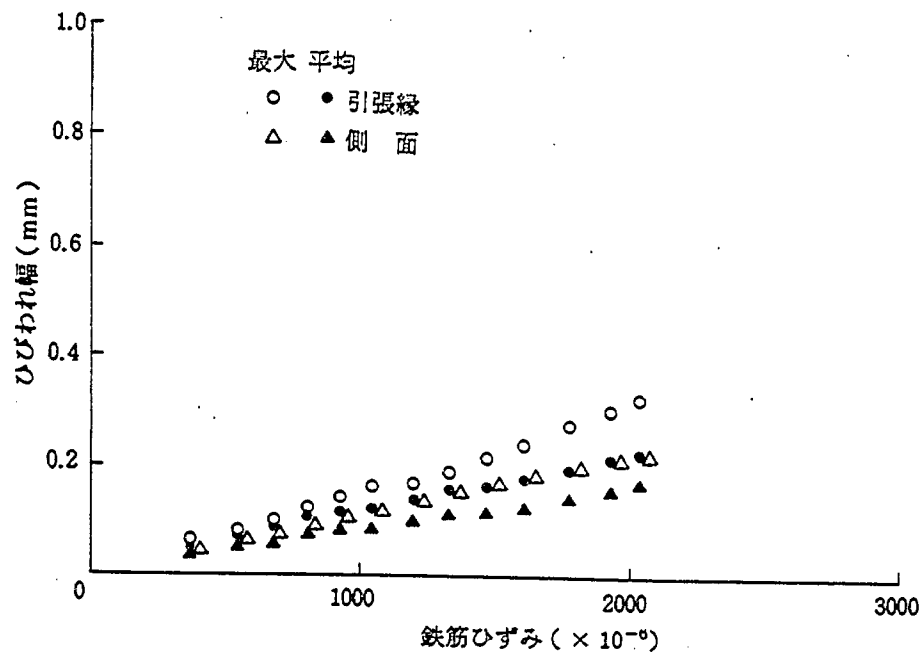


図- 3. 32 ひびわれ幅-鉄筋ひずみの関係 (供試体 I)

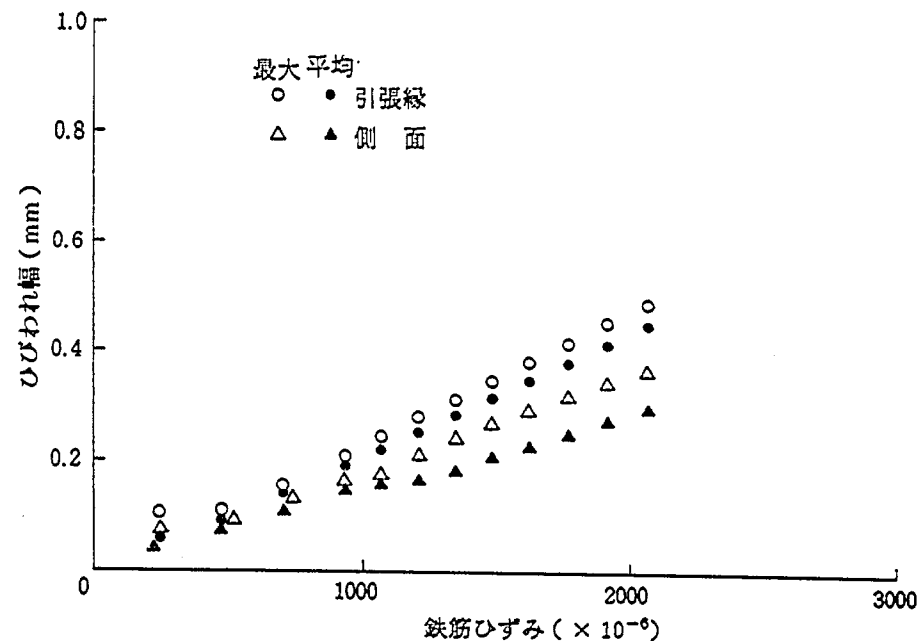


図- 3. 33 ひびわれ幅-鉄筋ひずみの関係 (供試体 II)

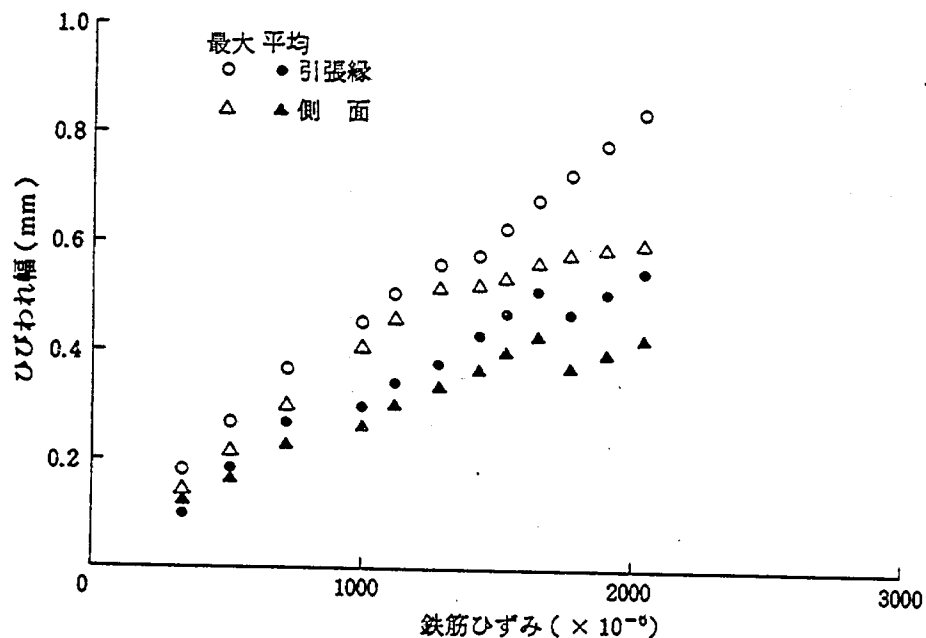


図- 3. 34 ひびわれ幅-鉄筋ひずみの関係 (供試体 III)

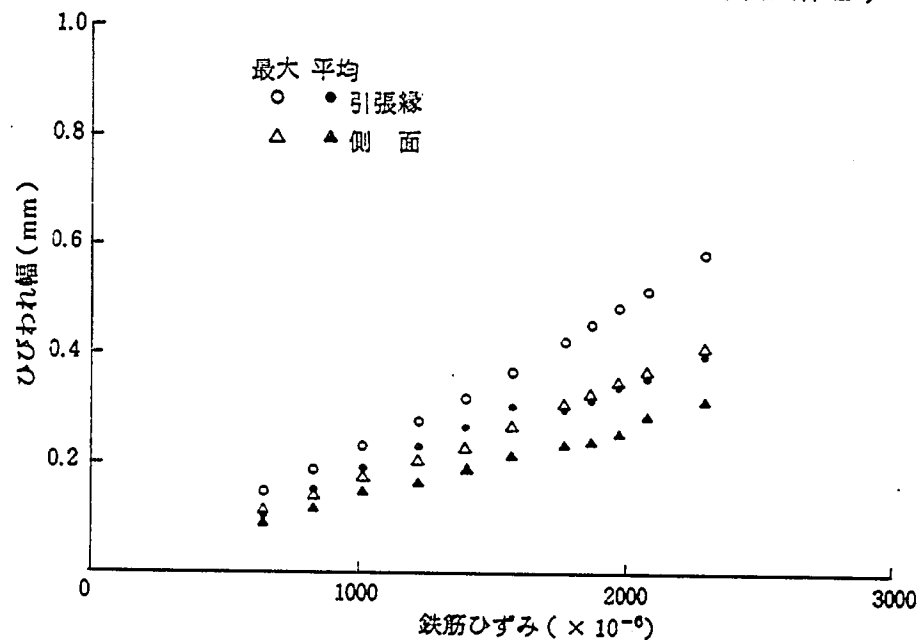


図- 3. 35 ひびわれ幅-鉄筋ひずみの関係 (供試体 V)

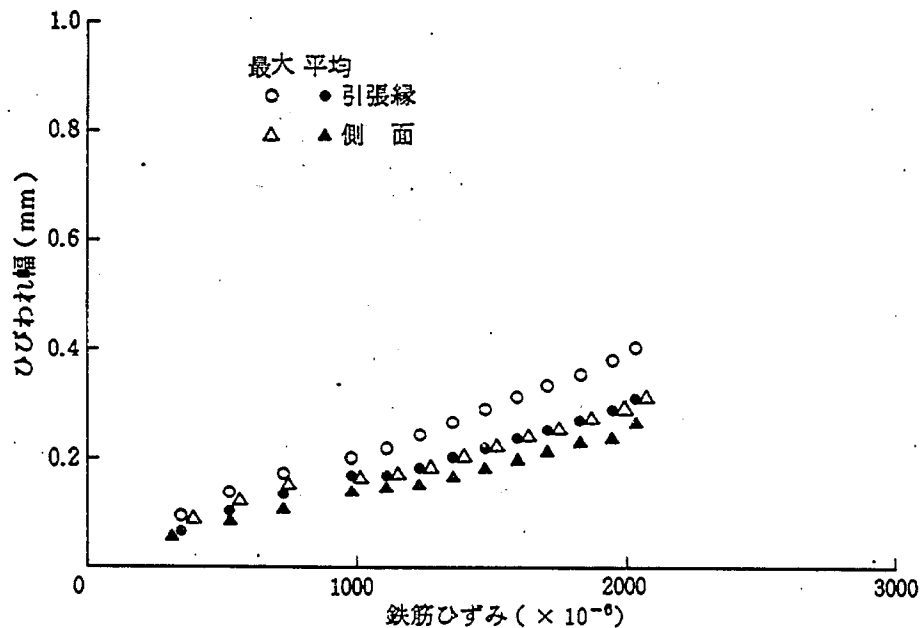


図-3.36 ひびわれ幅-鉄筋ひずみの関係(供試体V)

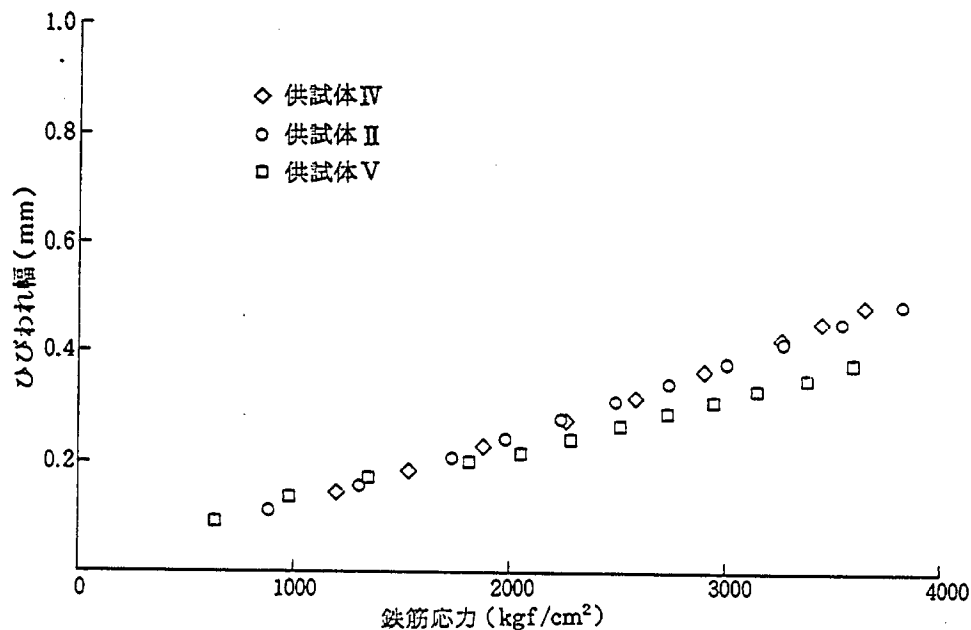


図-3.38 鉄筋径の変化によるひびわれ幅-鉄筋応力の関係

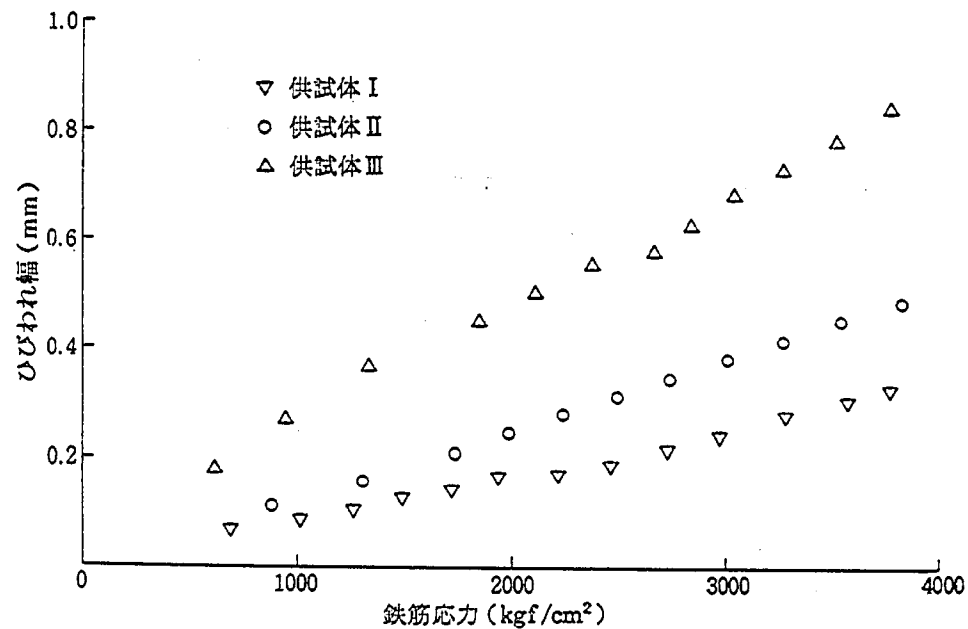


図-3.37 かぶりの変化によるひびわれ幅-鉄筋応力の関係

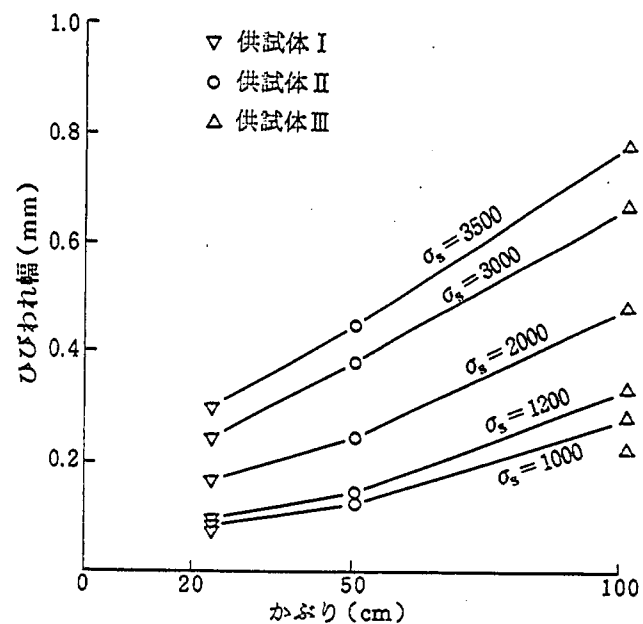


図-3.39 鉄筋応力段階ごとのひびわれ幅-かぶり関係

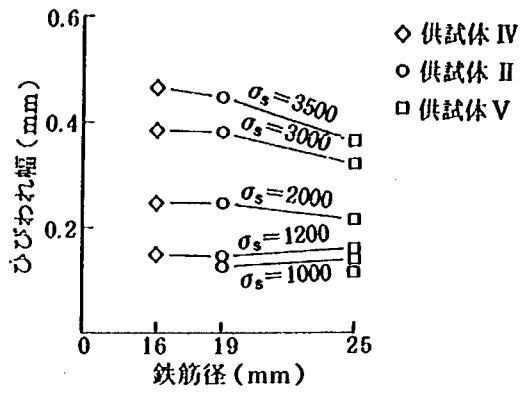


図-3.40 鉄筋応力段階ごとの
ひびわれ幅-鉄筋径の関係

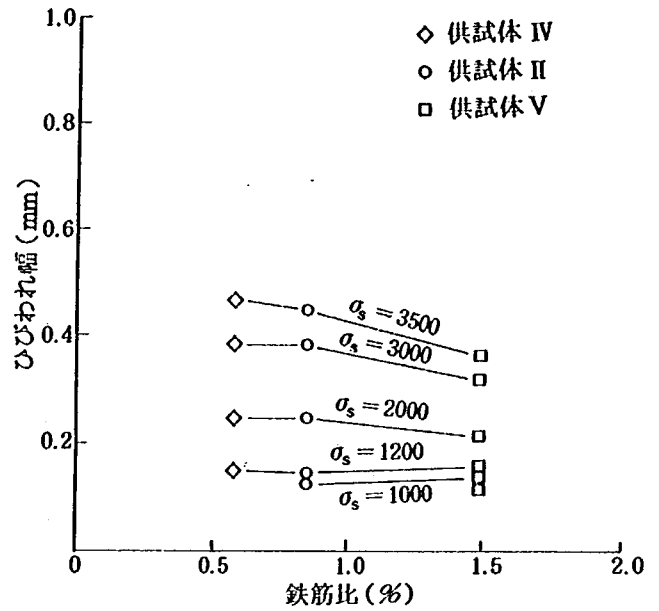


図-3.41 鉄筋応力段階ごとの
ひびわれ幅-鉄筋比の関係

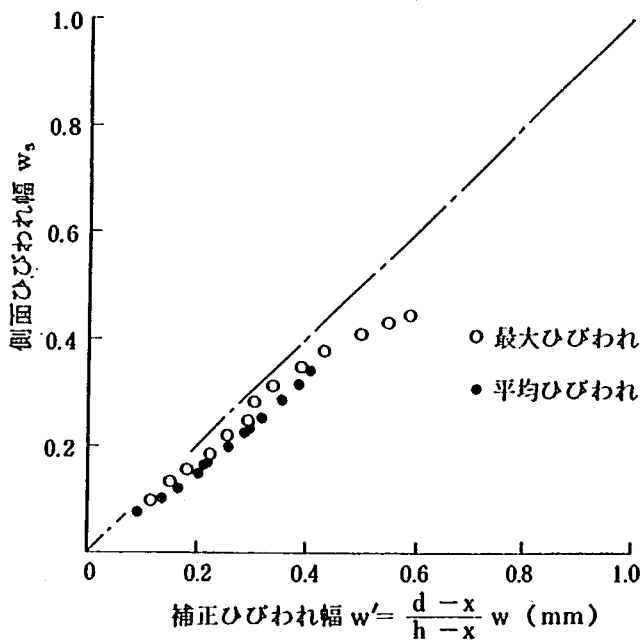


図-3.42 側面ひびわれ幅-補正ひびわれ
幅の関係 (供試体 I)

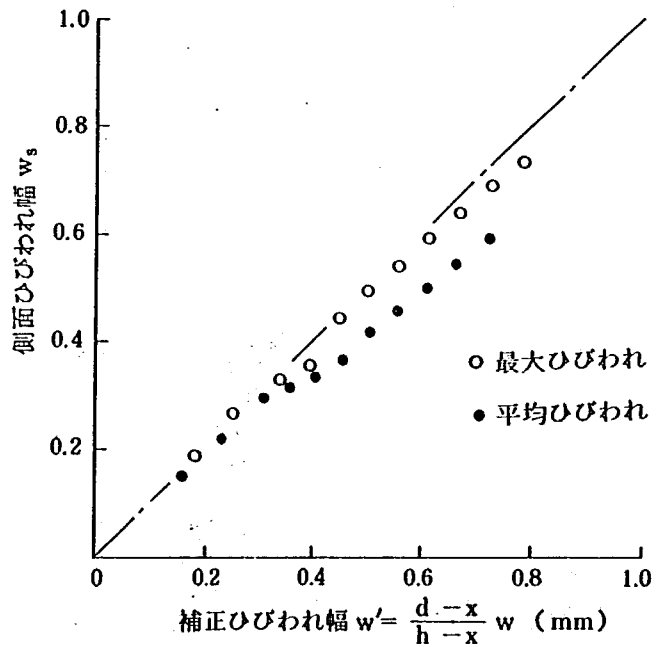


図-3.43 側面ひびわれ幅-補正ひびわれ
幅の関係 (供試体 II)

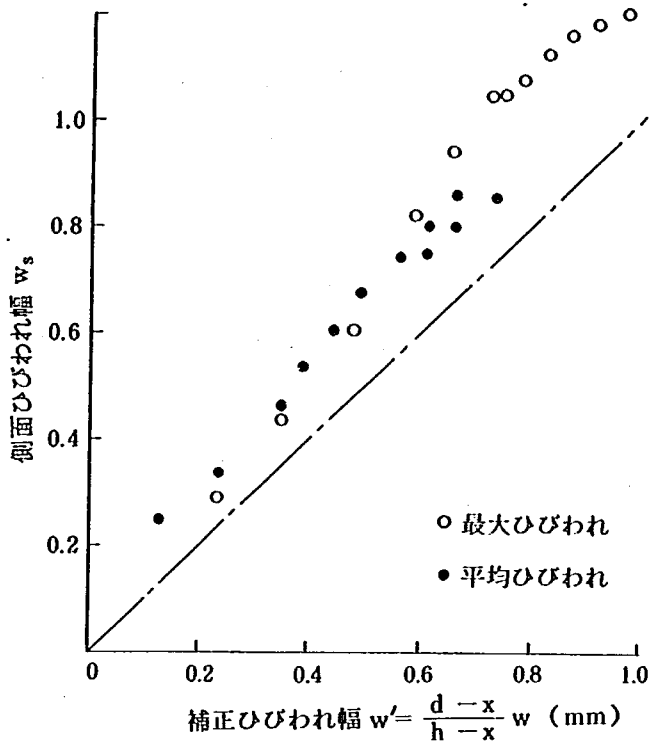


図- 3. 44 側面ひびわれ幅-補正ひびわれ幅の関係 (供試体Ⅲ)

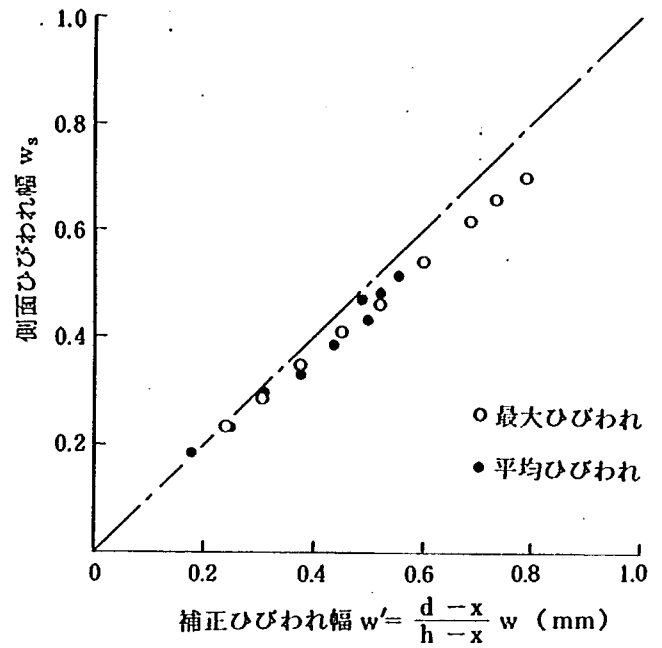


図- 3. 45 側面ひびわれ幅-補正ひびわれ幅の関係 (供試体Ⅳ)

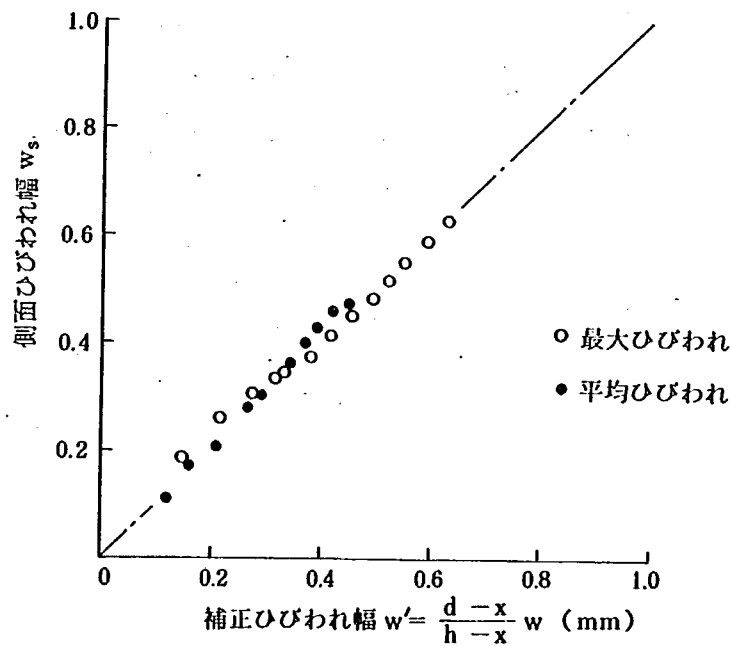


図- 3. 46 側面ひびわれ幅-補正ひびわれ幅の関係 (供試体Ⅴ)

側面ひびわれ w_s と w' とはほぼ等値であり、同じかぶりでも有効高さが大きくなればひびわれ幅はわずかに小さくなりそうである。

また、側面のかぶりとひびわれ幅の関係を供試体Ⅱの $\sigma_s = 2000 \text{ kgf/cm}^2$ のときのひびわれ幅を基準に図-3.47に表わした。側面ひびわれもかぶりの影響は大きく、比例関係にありそうである。

3.3.3 各国の規定との比較

最大ひびわれの実験値と各国の規定のひびわれ幅の算定式との比較を図-3.48～図-3.52に示す。計算にあたって、鉄筋や載荷などに関する係数は1、JSCEの ϵ_p は0とした。

いずれの供試体についてもJSCEの算定式の適合性がよい。CEBは低応力では小さく、高応力ではほぼ一致している。SNIPは、ひびわれ幅にもっとも影響の大きいかぶりが考慮されておらず、実験値よりかなり小さい。

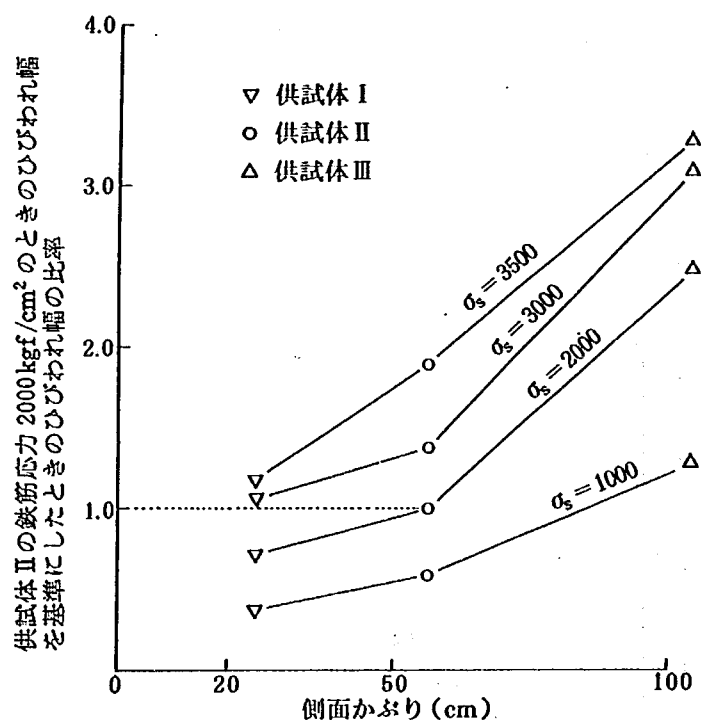


図-3.47 側面ひびわれ幅－側面かぶりの関係

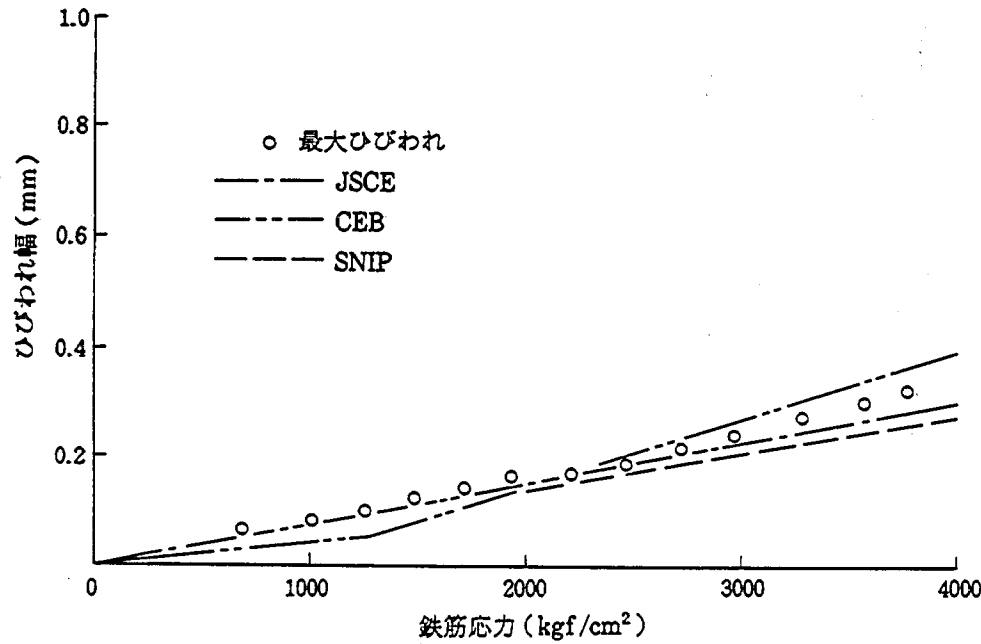


図- 3. 48 ひびわれ幅の各国規準との比較 (供試体 I)

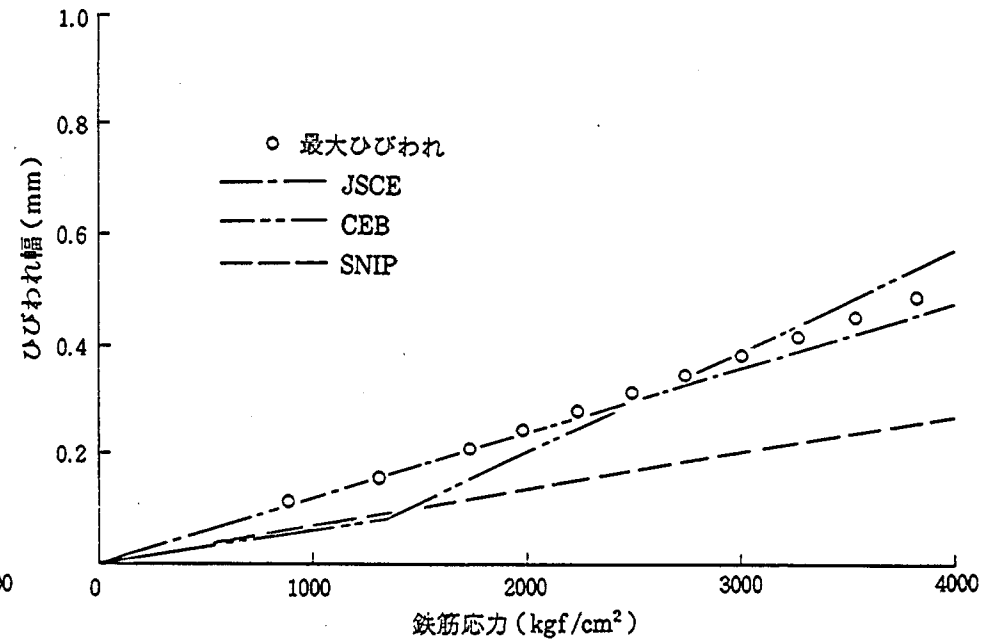


図- 3. 49 ひびわれ幅の各国規準との比較 (供試体 II)

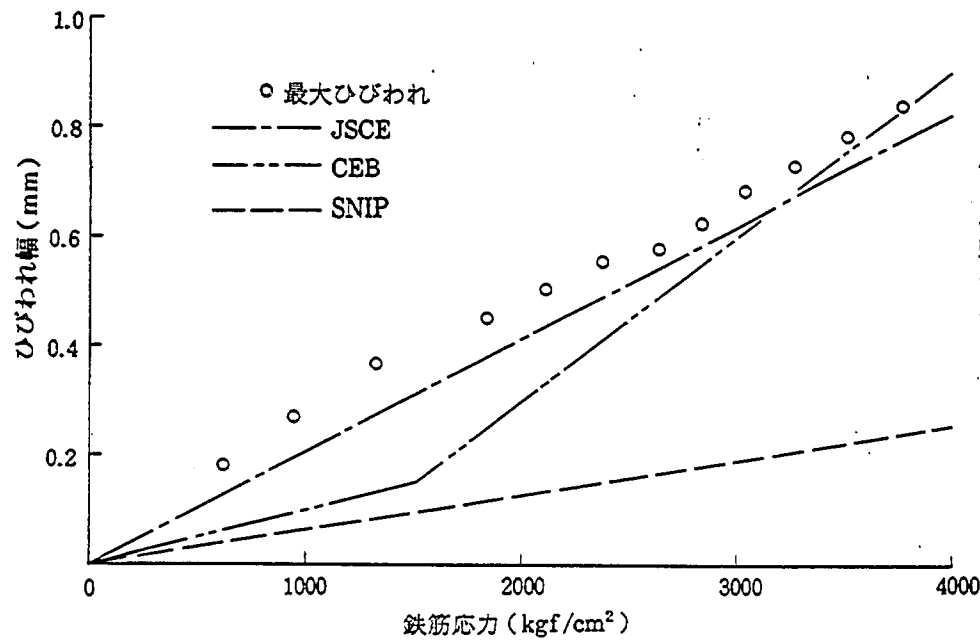


図- 3. 50 ひびわれ幅の各国規準との比較 (供試体 III)

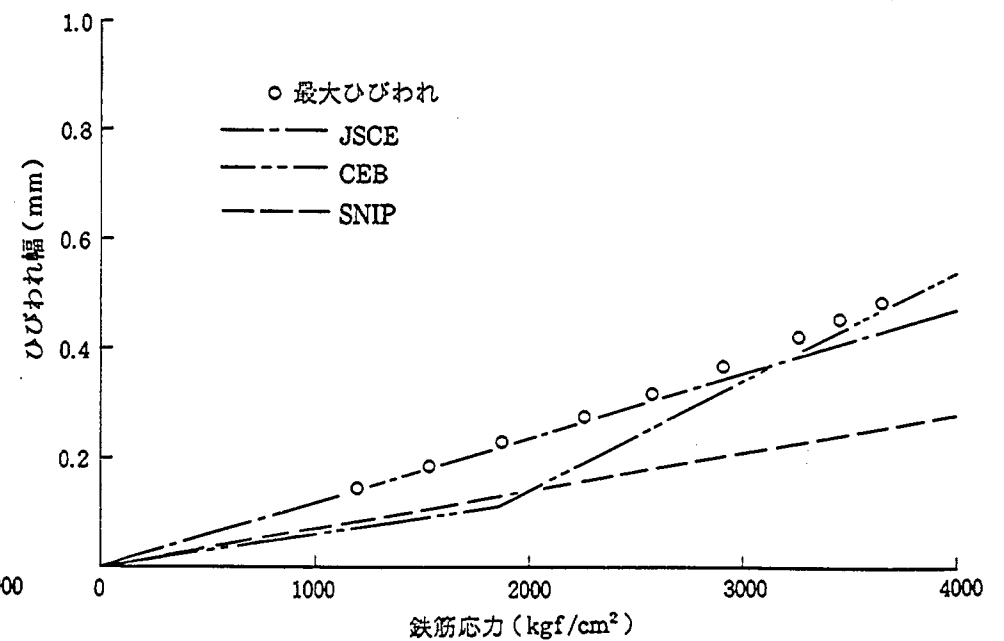


図- 3. 51 ひびわれ幅の各国規準との比較 (供試体 IV)

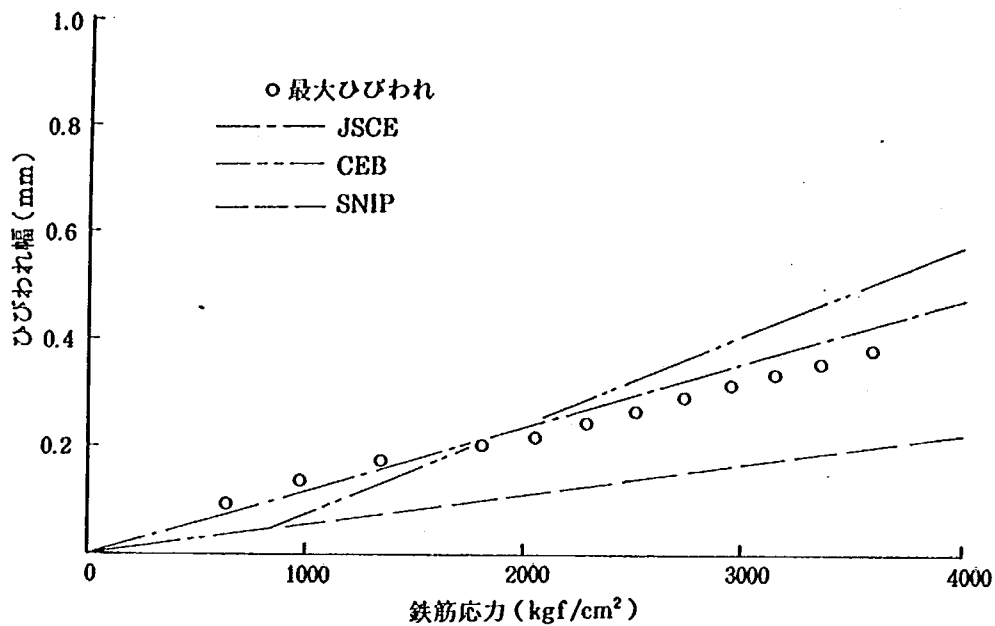


図- 3.52 ひびわれ幅の各国規準との比較（供試体 V）

3.4 ま と め

曲げひびわれの研究は、主要影響因子の選び方によって①鉄筋直径 / 鉄筋比、②曲げ剛性、③かぶりの 3 グループに分類されている。今回の実験およびこれまで行われた多くの実験から③のかぶりの影響がもっとも大きいことがわかった。そのほか、鉄筋比 P や鉄筋径 ϕ 、有効高さ d も少なからず影響がありそうである。鉄筋の付着に起因する①や剛性に影響の大きい d についても今後検討する必要がある。

また、今回の実験より側面ひびわれ幅もほぼかぶりに比例することがわかった。

規準との比較では、かぶりを主眼においた JSCE の算定式が実測値にはほぼ一致していた。

4. せん断ひびわれ幅に関する実験

4.1 実験概要

4.1.1 供試体の種類

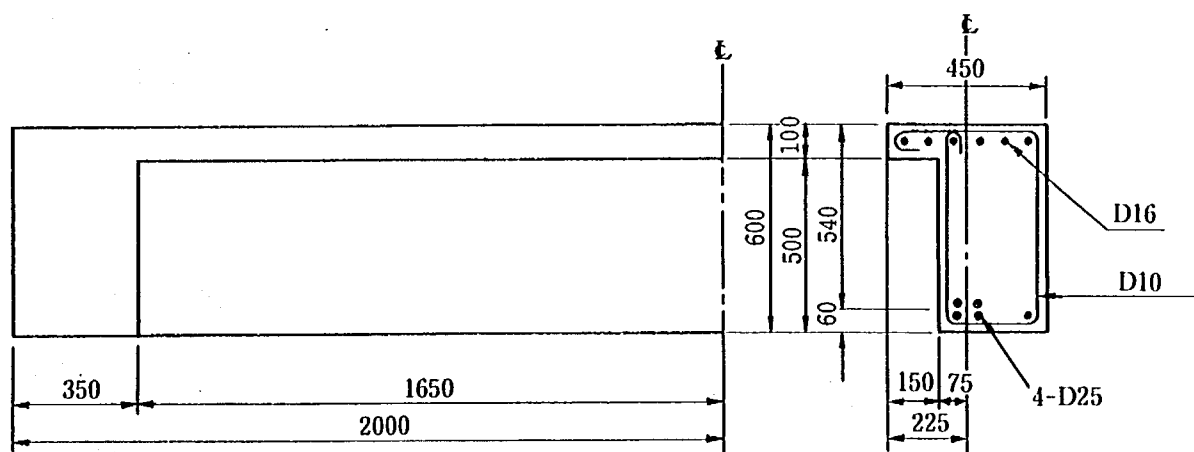
供試体の諸元は表－4.1のとおり，スターラップを変化させ，かぶりは30 mm一定とした。供試体A，B，Cはせん断補強鉄筋比を一定にし，鉄筋径を変えた。供試体A，D，Eは鉄筋は同じとし，鉄筋比（鉄筋間隔）を変えた。供試体Fは，スターラップを部材軸に45°に傾けた（傾斜スターラップ）。鉄筋間隔はトラス理論にもとづき供試体Aと同じ応力になるようにした。

表－4.1 供試体諸元

供試体の種類	せん断補強鉄筋				
	鉄筋の種類	間隔 (cm)	傾斜角 (度)	鉄筋比 Pw (%)	応力度* (kg/cm ²)
A	D 10	12.2	90°	0.78	2,000
B	D 6	5.4	"	"	"
C	D 13	21.6	"	"	"
D	D 10	8.6	"	1.11	1,400
E	D 10	18.2	"	0.52	3,000
F	D 10	17.2	45°	0.78	2,000

* 主鉄筋が許容応力時のときのせん断補強鉄筋に生じる応力度

供試体の形状は図－4.1，表－4.1による。スターラップの配筋状態は図－4.2のとおりである。



図－4.1 供試体の形状，寸法

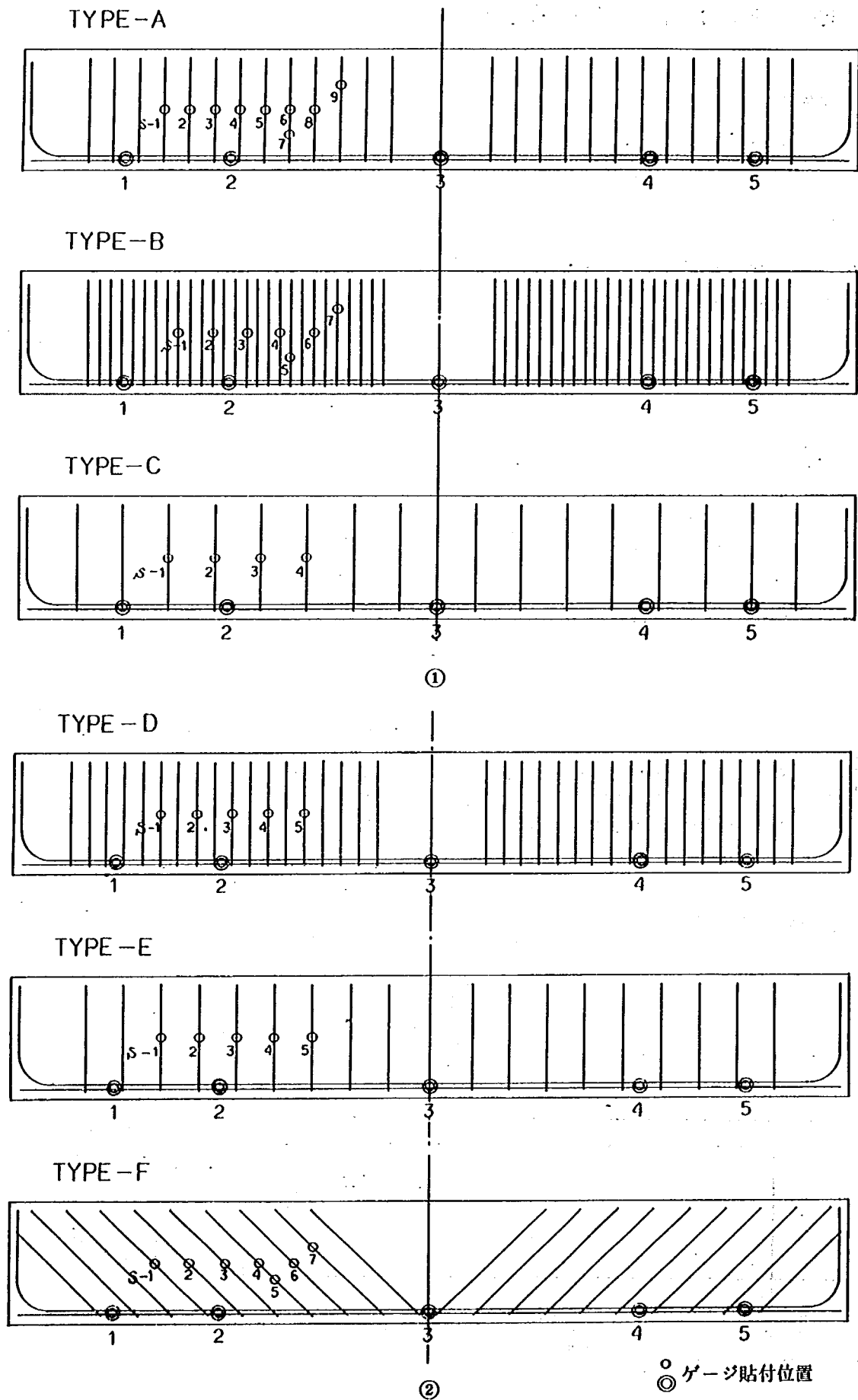


図-4.2 スターラップの配筋状況

4.1.2 使用材料

1) コンクリート

コンクリートの配合は表－4.2のとおりである。

表－4.2 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg / m ³)				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
20	8 ± 2.5	4 ± 1	70.0	52.3	174	249	977	892	2.5(ℓ)

- ① セメント：早強ポルトランドセメント
- ② 細骨材：粗粒率 3.09，比重 2.62，八王子砕砂
- ③ 粗骨材：粗粒率 6.61，比重 2.68，八王子碎石
- ④ 混和剤：A E 剤

載荷試験時の圧縮強度は，表－4.3のとおり，供試体 A，B，C と D，E，F ではバッチが異なる。

表－4.3 コンクリートの強度

供 試 体	圧縮強度 (kg f/cm ²)	引張強度 (kg f/cm ²)	ヤング係数 (kg f/cm ²)	ポアソン比
A, B, C	254	20.8	1.95×10^5	0.16
D, E, F	313	27.3	2.27	0.16

2) 鉄 筋

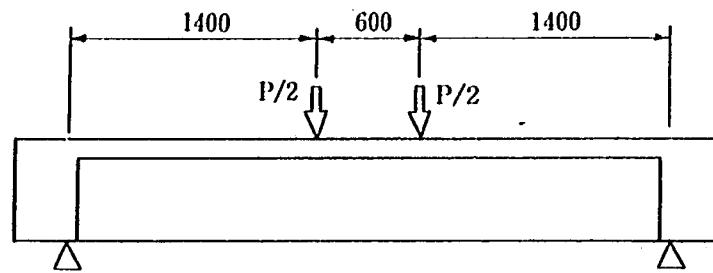
製作に使用した鉄筋は，SD 35 である。機械的性質は表－4.4のとおりである。

表－4.4 鉄筋の機械的性質

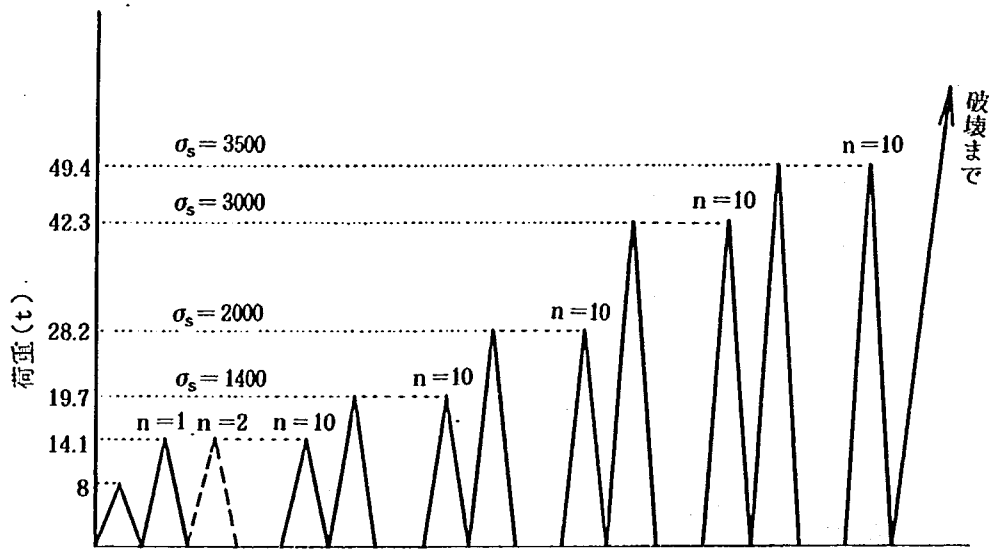
鉄筋の種類	降 伏 点 (kg f/mm ²)	引張強さ (kg f/mm ²)	伸 び (%)
D 6	40.4	57.6	22
D 10	43.6	61.5	23
D 13	39.8	56.4	26
D 25	36.6	56.3	19

4.1.3 載荷方法

載荷は図－4.3のように2点曲げ載荷とした。載荷パターンは図－4.4のように，8 t で



図－ 4. 3 載 荷 方 法



図－ 4. 4 載荷パターン

1 回繰返したのち、14.1 t、19.7 t、28.2 t、42.3 t、49.4 t でそれぞれ 10 回ずつ繰返した。繰返したときの荷重のせん断補強鉄筋の応力が表－ 4. 5 になるようにしたものである。

表－ 4. 5 せん断補強鉄筋応力

供 試 体	せん断補強鉄筋応力 (kgf/cm ²)				
	14.1 t	19.7 t	28.2 t	42.3 t	49.4 t
A	1000	1400	2000	3000	3500
B	1000	1400	2000	3000	3500
C	1000	1400	2000	3000	3500
D	700	980	1400	2100	2450
E	1500	2100	3000	(4500)	(5250)
F	1000	1400	2000	3000	3500

4.1.4 計測方法

せん断ひびわれ幅，たわみの計測は図-4.5のようにおこなった。ひびわれ幅は，測定長50 mmの π 型変位計で測定した。

ひずみの測定位置は，図-4.2のとおりである。

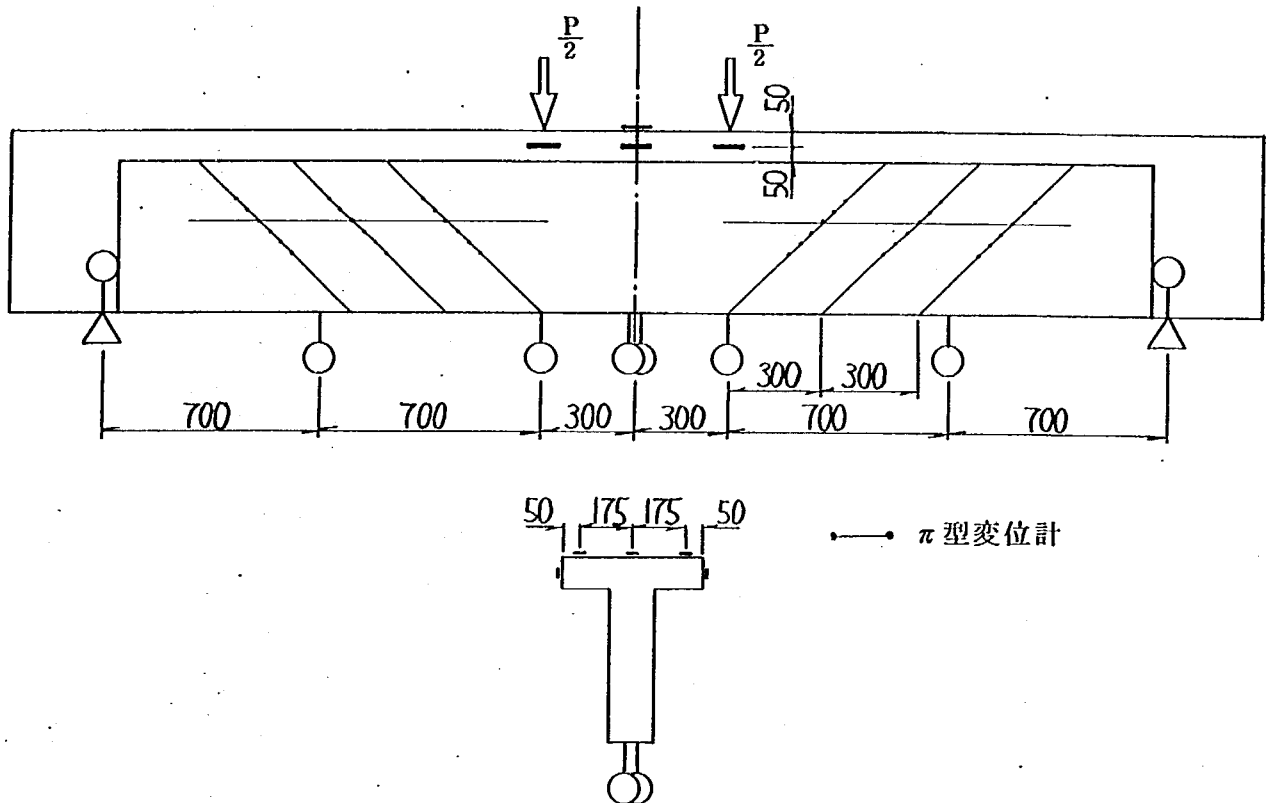


図-4.5 計測方法

4.2 実験結果

1) ひびわれ状況

図-4.6～図-4.11のとおり。

鉄筋径が細いほど，鉄筋比が大きいほど，ひびわれ分散性がよいようである。傾斜スターラップはさらに分散性がよいようである。

2) 荷重-たわみ関係

図-4.12～図-4.17のとおり。

全供試体とも，28.2t以降はせん断ひびわれの発達が著しく，繰返しにともなう変位の増加も大きくなっている。全変位の増加および繰返しにともなう変位の増加は，鉄筋径が細いほど（鉄筋比一定の場合），鉄筋比が大きいほど，また傾斜スターラップのほう小さくなっており，ひびわれ分散性と同じ傾向にある。

TYPE A

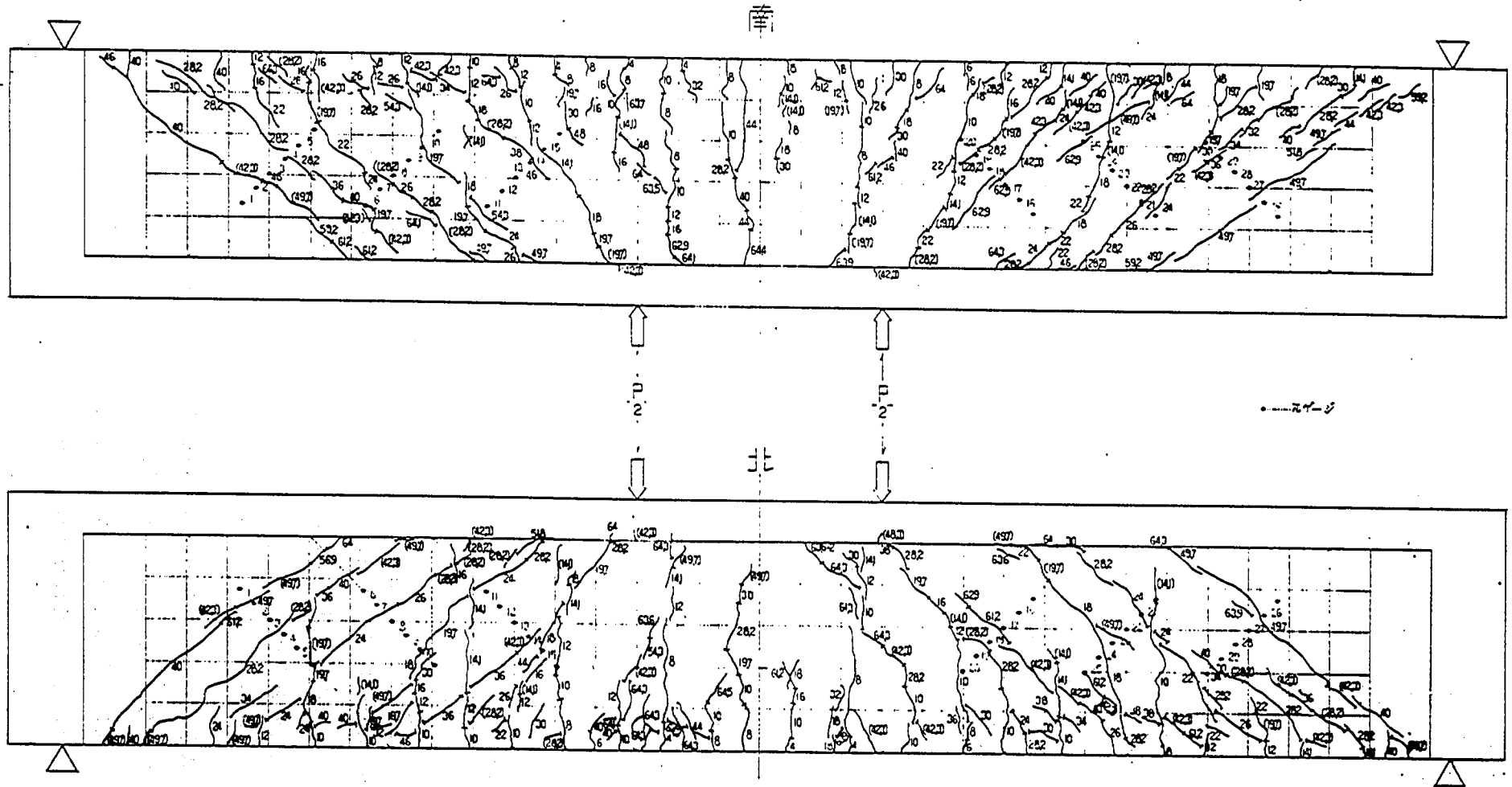


図-4.6 ひびわれ状況(供試体A)

TYPE B

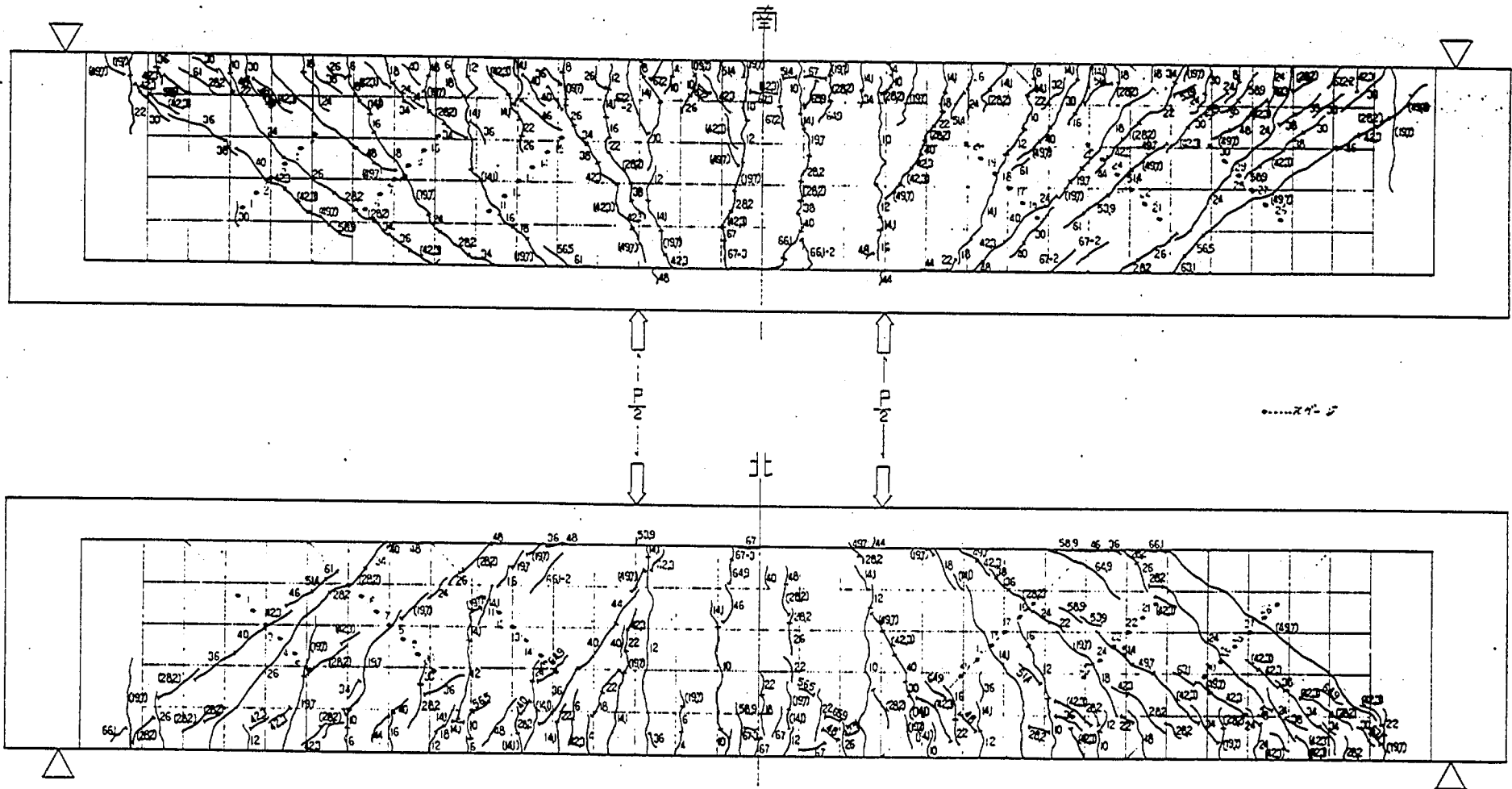


図-4.7 ひびわれ状況(供試体B)

TYPE C

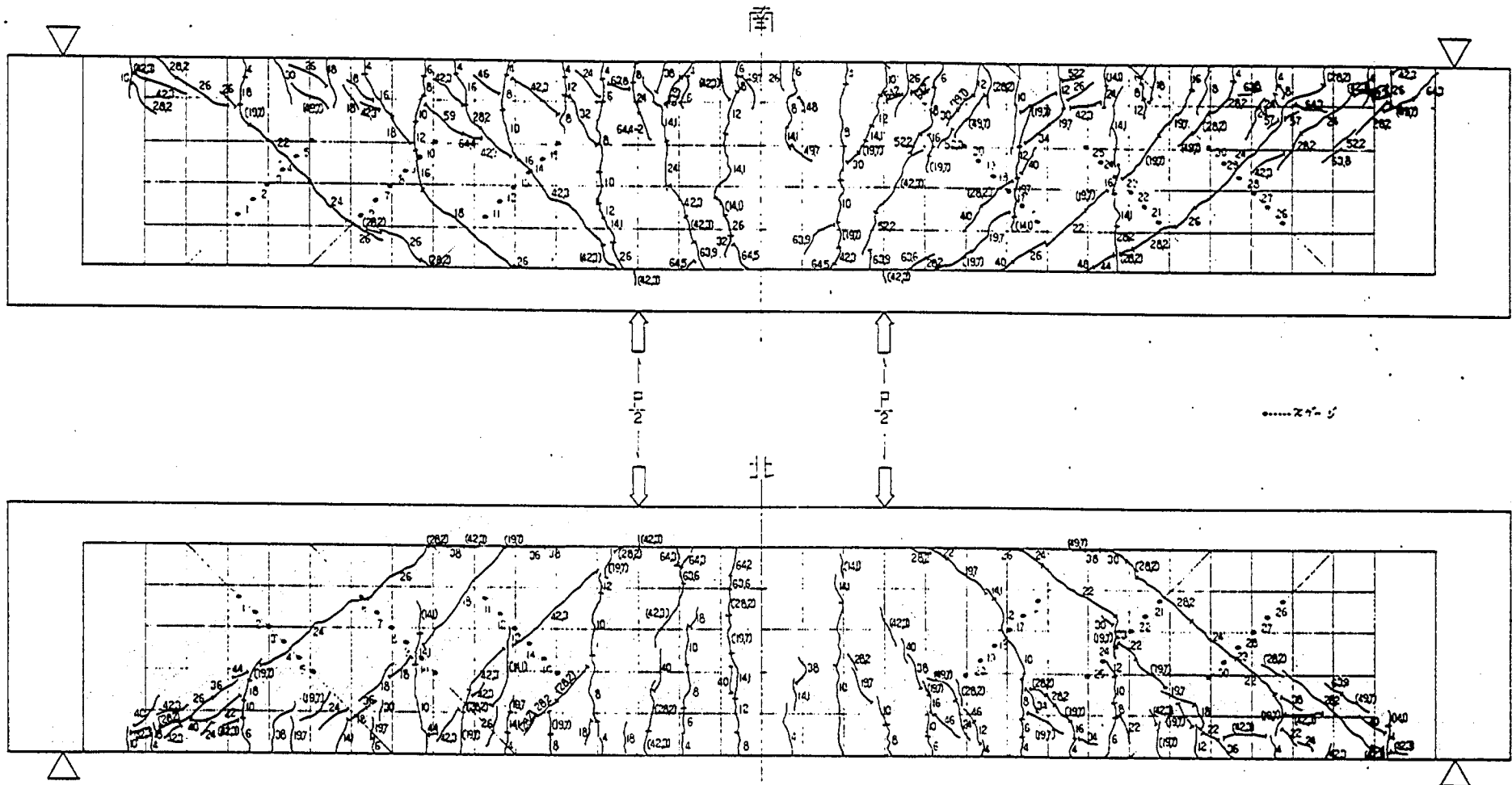


図-4.8 ひびわれ状況(供試体C)

TYPE D

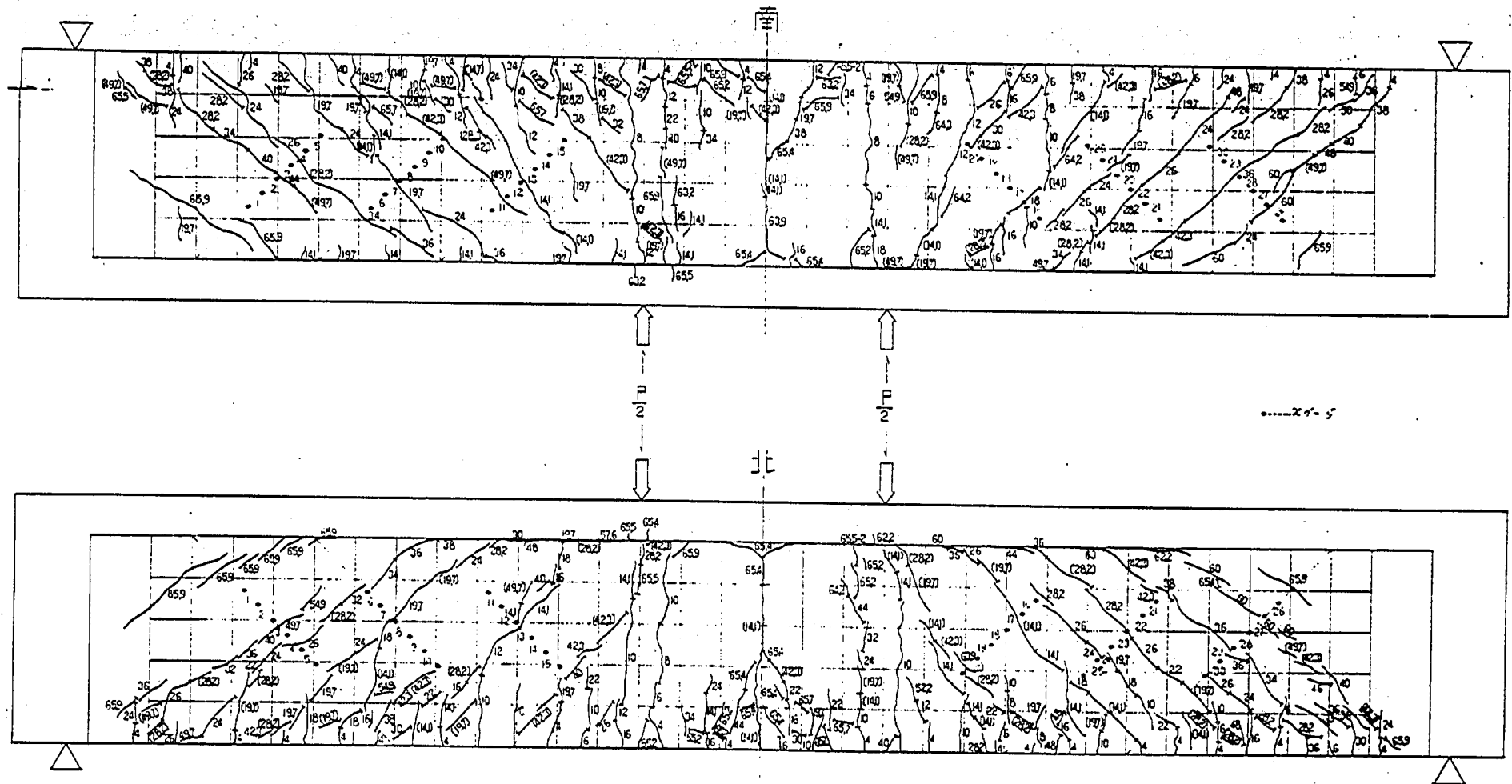


図-4.9 ひびわれ状況(供試体D)

TYPE E

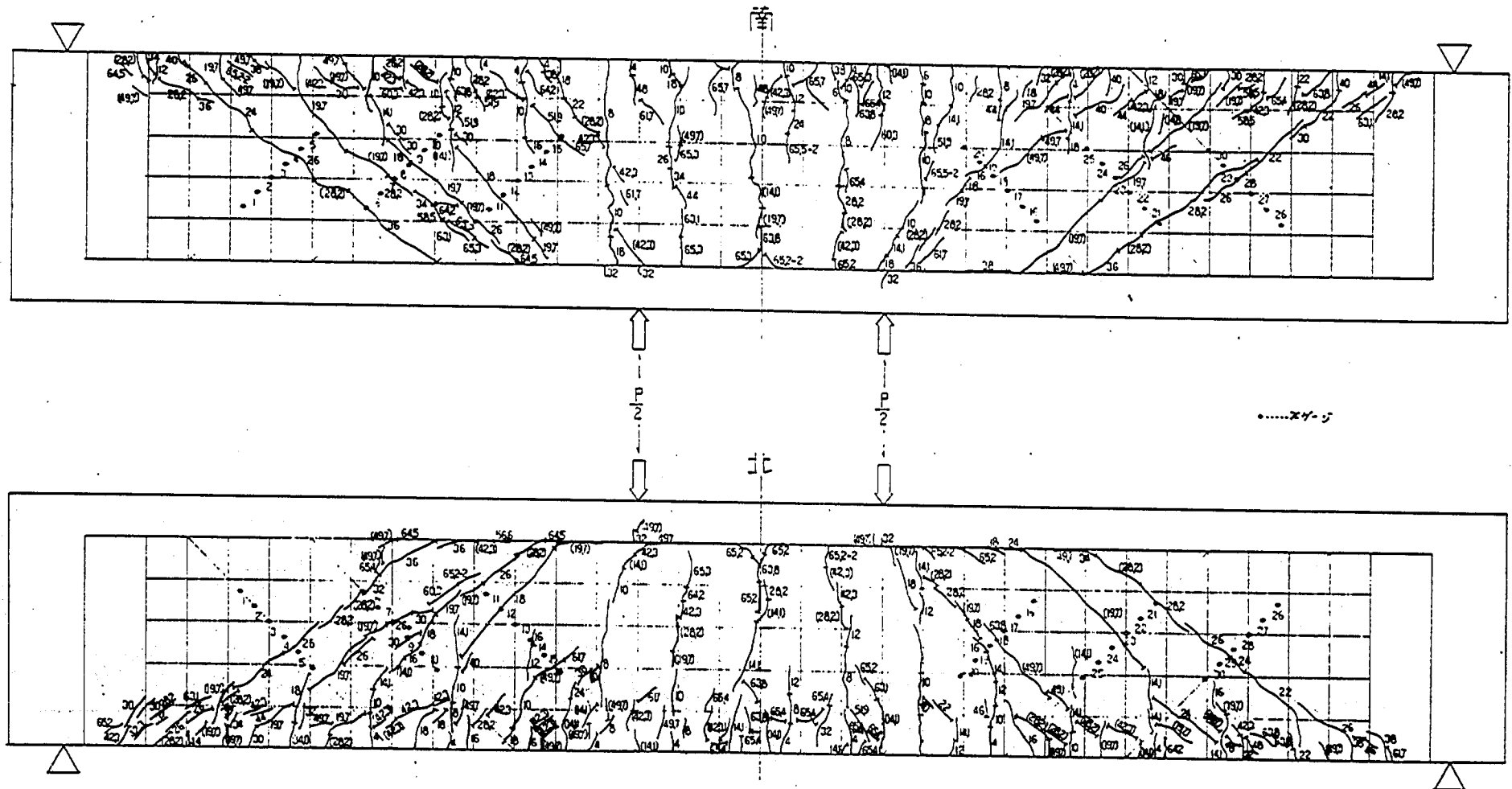


図 - 4.10 ひびわれ状況 (供試体 E)

TYPE F

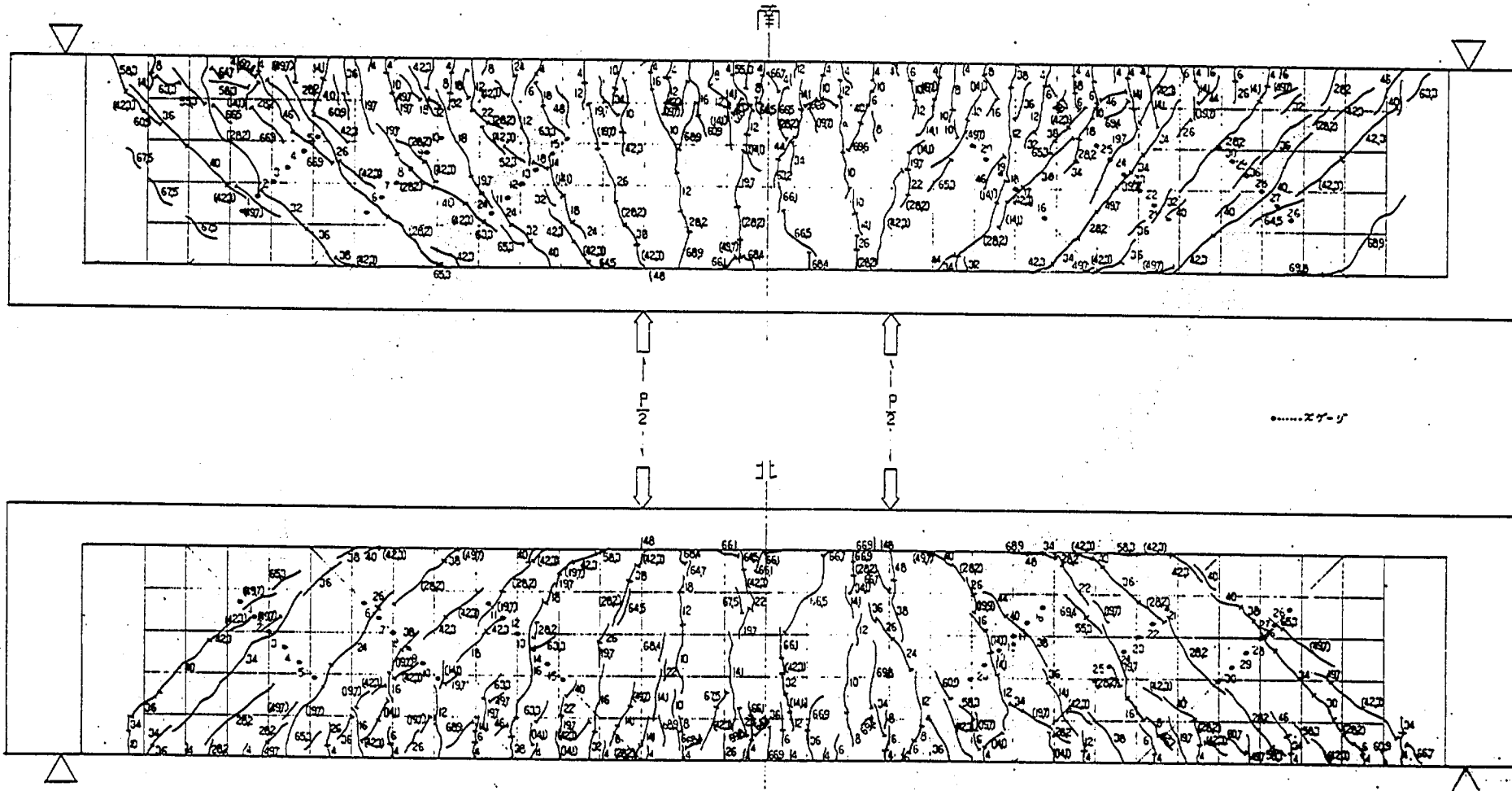


図-4.11 ひびわれ状況(供試体F)

荷重 (ton)

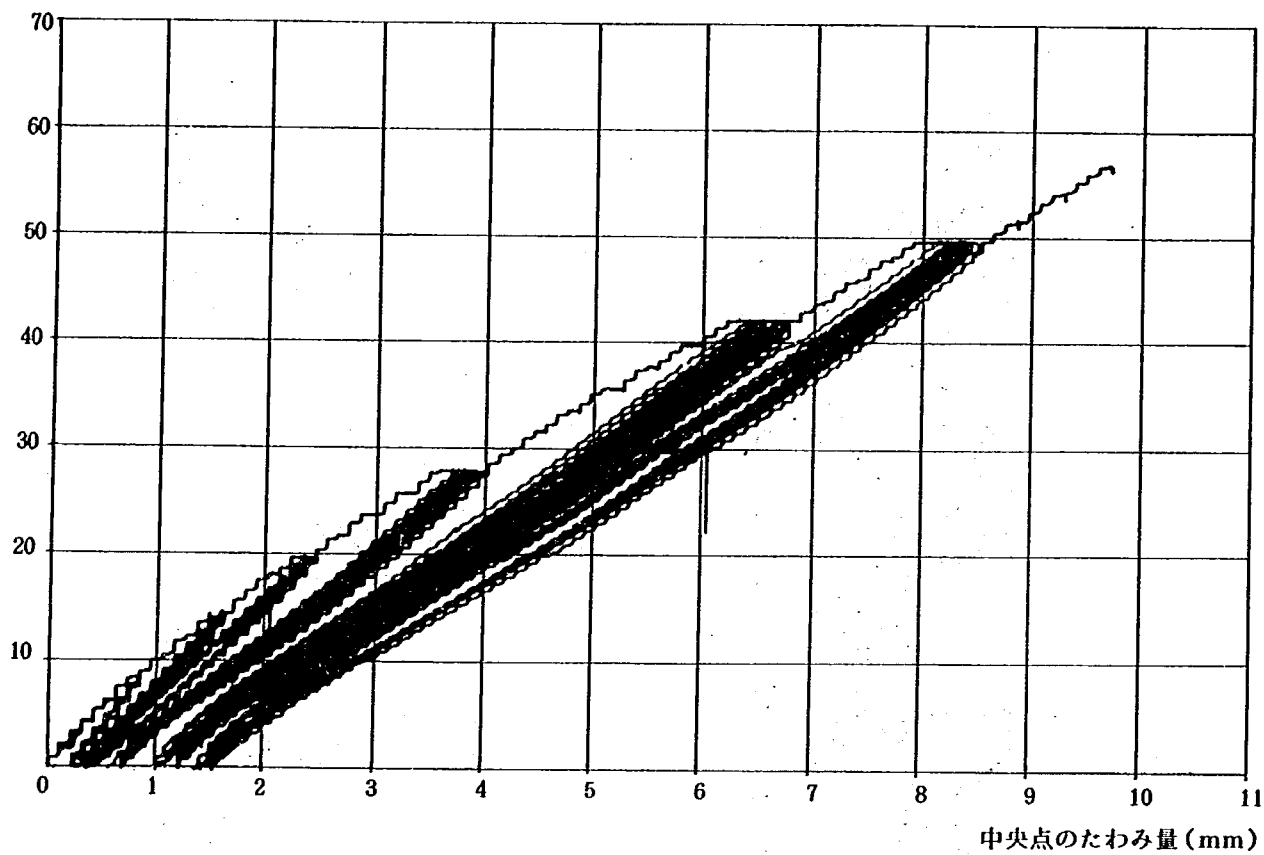


図- 4. 12 荷重-たわみ関係 (供試体 A)

荷重 (ton)

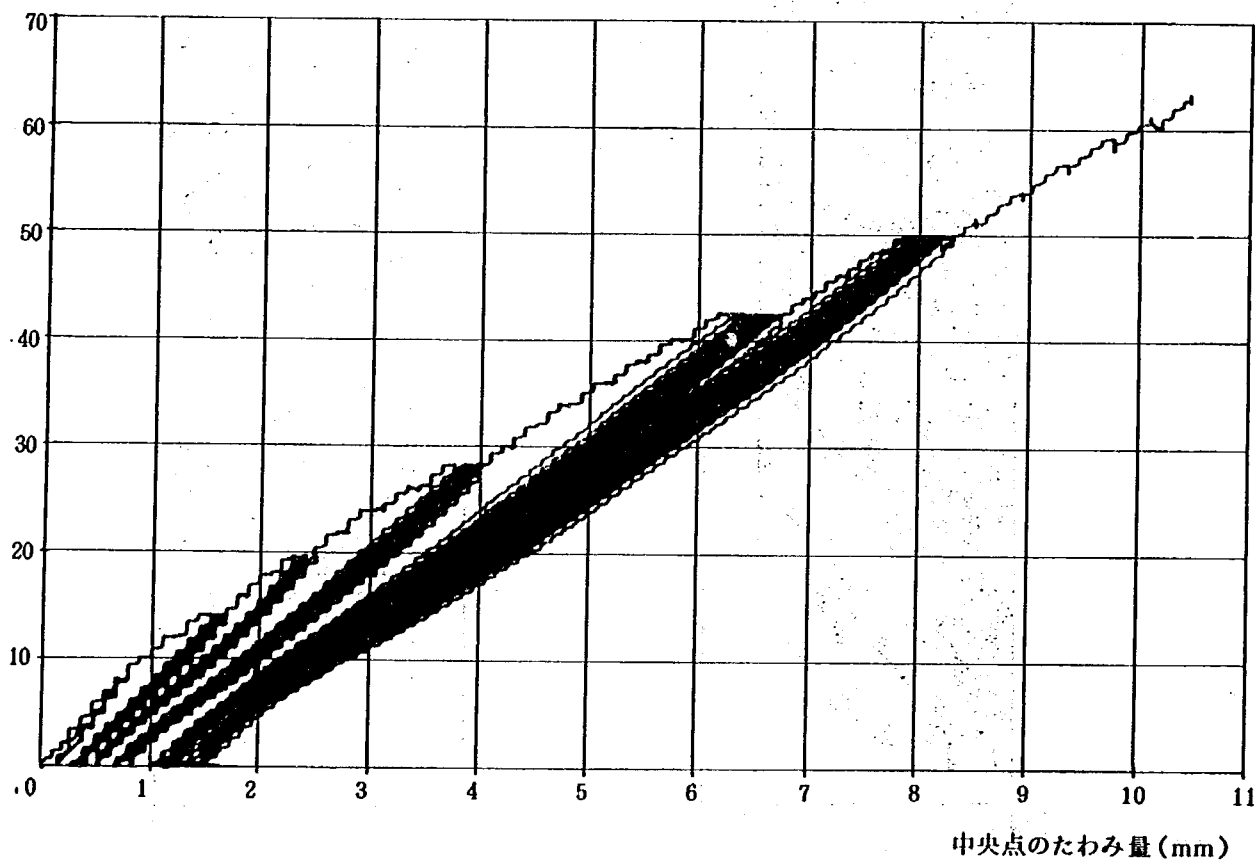


図- 4. 13 荷重-たわみ関係 (供試体 B)

荷重 (ton)

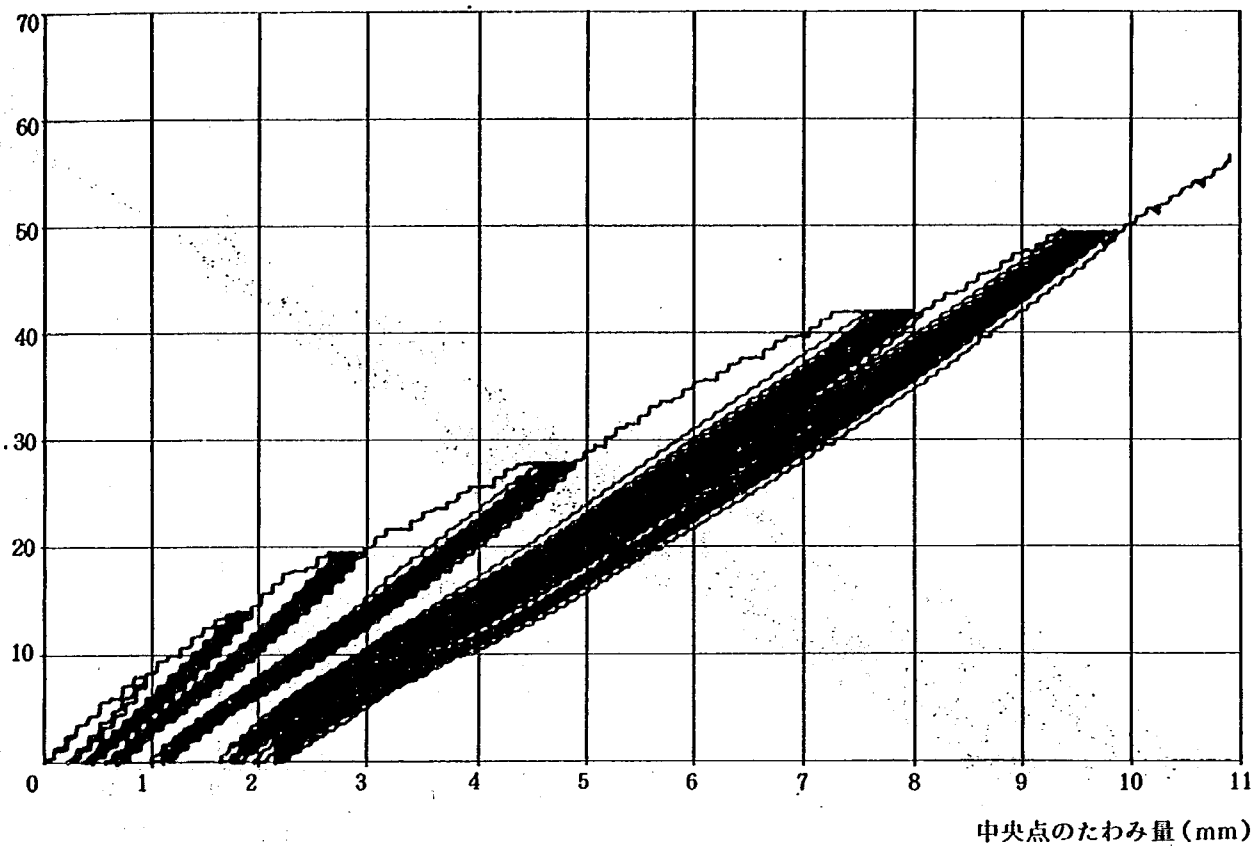


図- 4. 14 荷重-たわみ関係 (供試体 C)

荷重 (ton)

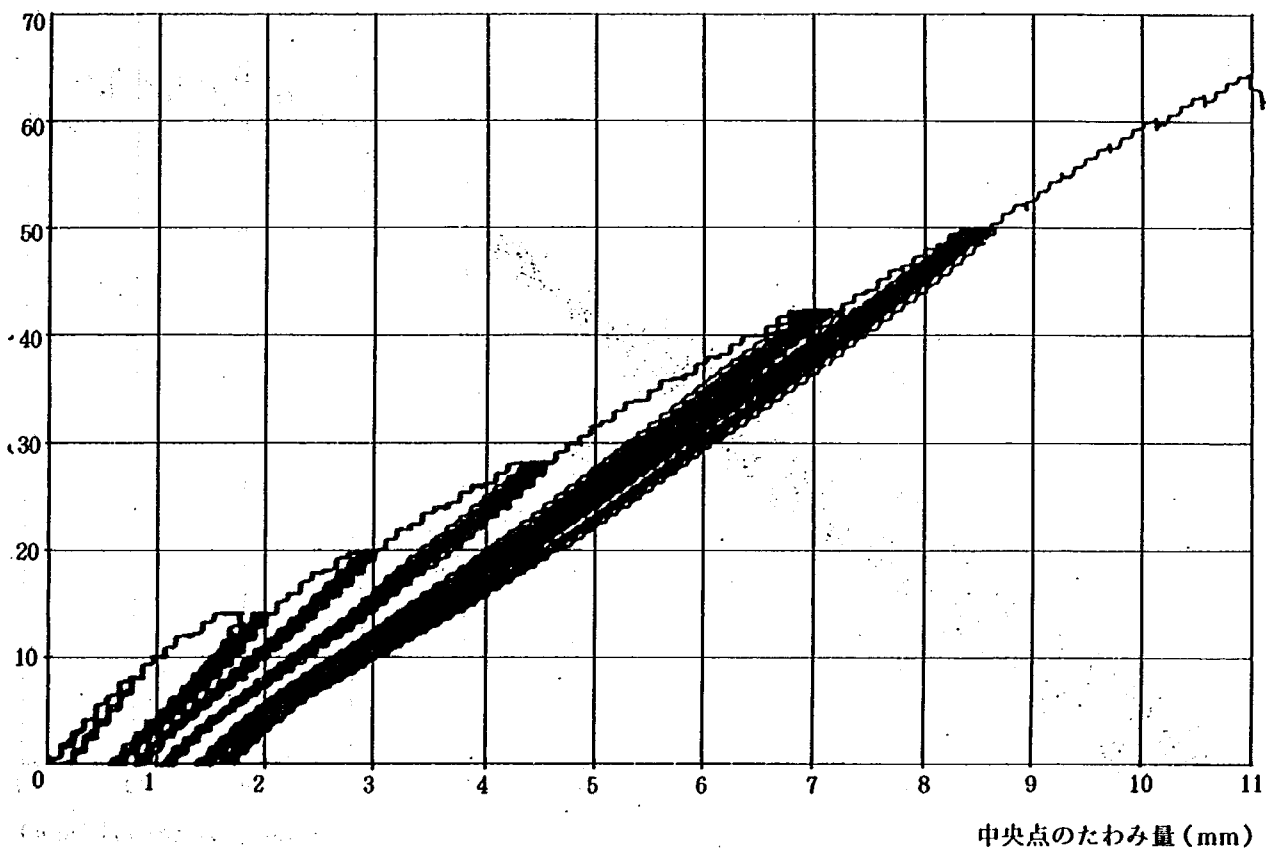


図- 4. 15 荷重-たわみ関係 (供試体 D)

荷重 (ton)

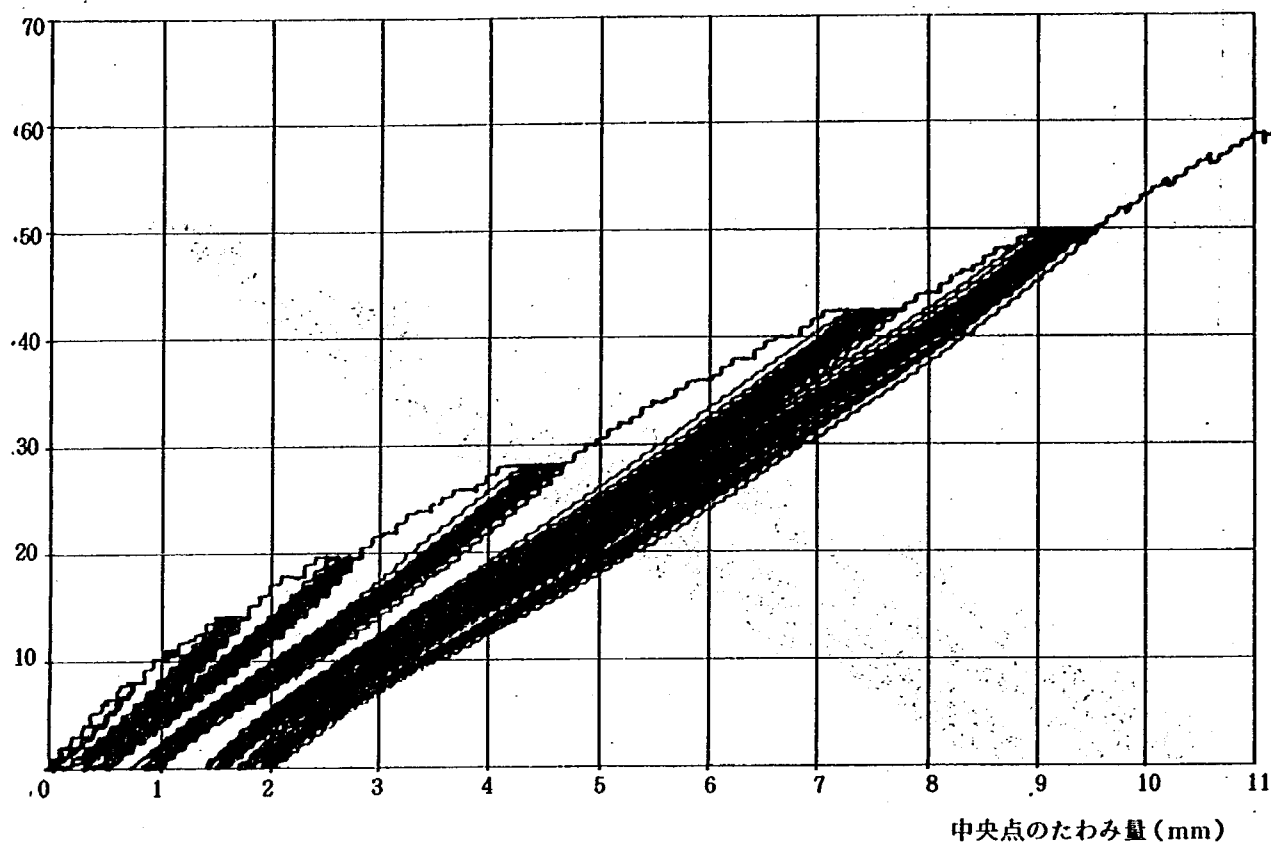


図- 4. 16 荷重-たわみ関係 (供試体 E)

荷重 (ton)

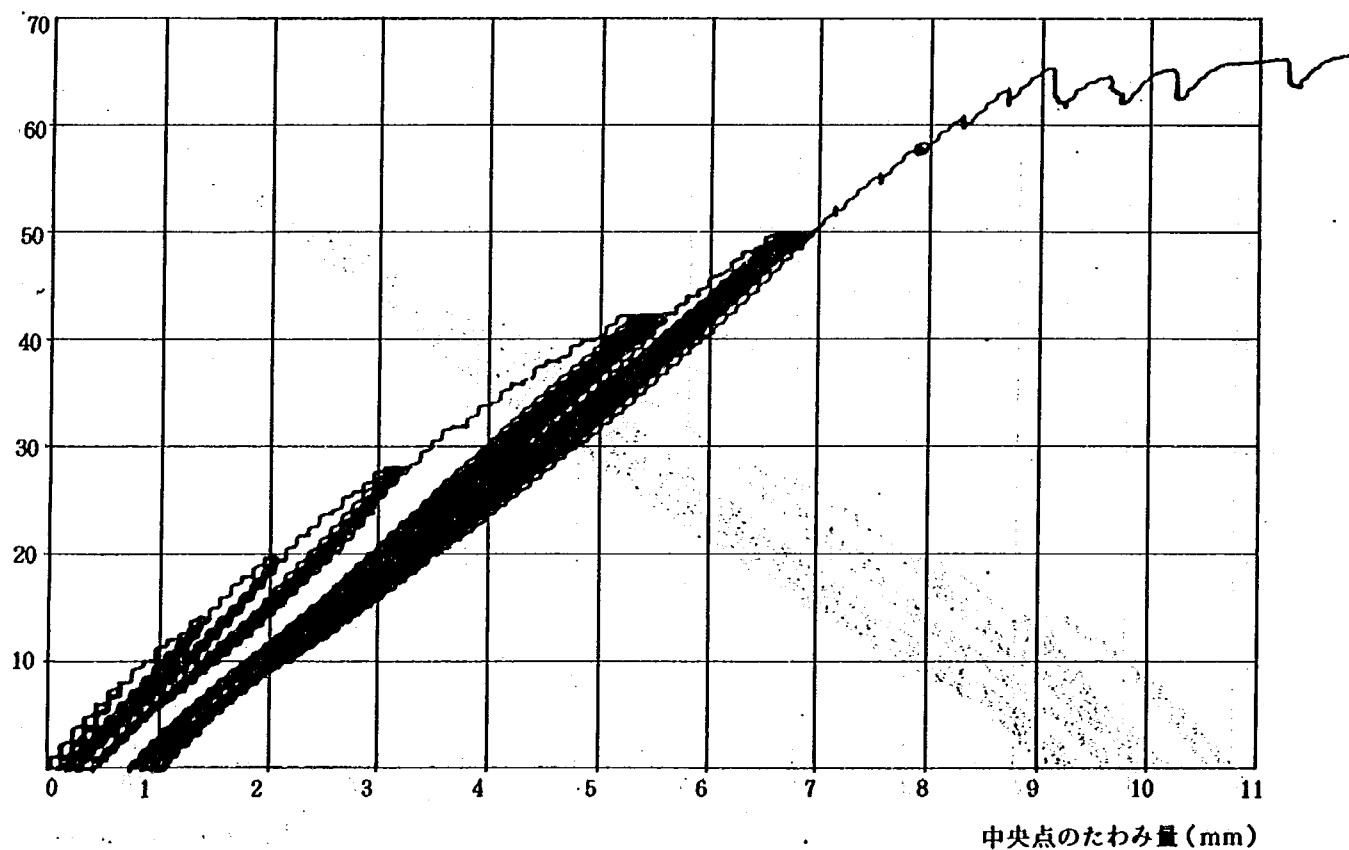


図- 4. 17 荷重-たわみ関係 (供試体 F)

3) スターラップの荷重－ひずみ関係

図－4.18～図－4.23のとおり。図中にはトラス理論によって求めた計算値（実線）とJSCEの計算式（一点鎖線），CEBの計算式（二点鎖線）によって求めた値も示してある。

測定位置によってひずみの大きさはかなりばらついているが，原点を結ぶ直線となっており，最大のひずみ値はほぼ計算どおりとなっている。供試体Fはばらつきは小さく，全スターラップがほぼ均一にせん断力に作用している。

4) スターラップのひずみ分布とせん断ひびわれ荷重－ひびわれ位置の関係

3)の関係をさらにわかりやすく見るため，図－4.24～図－4.29のようにスターラップひずみとせん断ひびわれ荷重，ひびわれ位置を示した。

せん断ひびわれの発生は，はじめに載荷点付近に発生し，しだいに支点方向に増加している。それにともないひずみも支点方向に増加しているが，最大はせん断支間の中央付近となっている。供試体Fのスターラップはせん断ひびわれ発生初期をのぞきほぼ一定に働いていることがわかる。

5) せん断ひびわれ幅とスターラップの応力の関係

図－4.30～図－4.35のとおり。図中には，CEBの算定式から得たスターラップの応力と，ひびわれ幅も示してある。

実験値は，ひびわれ位置とスターラップのひずみ測定位置，ひびわれ幅測定位置とが一致しておらず，かならずしも鉄筋位置のひびわれ幅ではなく，バラツキが大きいようである（鉄筋比の大きい供試体D，傾斜スターラップのFはバラツキも小さく，CEBの計算値とほぼ一致している）。荷重とスターラップのひずみは図－4.18～図－4.23のようにほぼ比例関係にあり，ひびわれ幅の検討にあたってはおもに荷重との関係，またはトラス理論から求めるスターラップの応力でとりあつかうこととする。

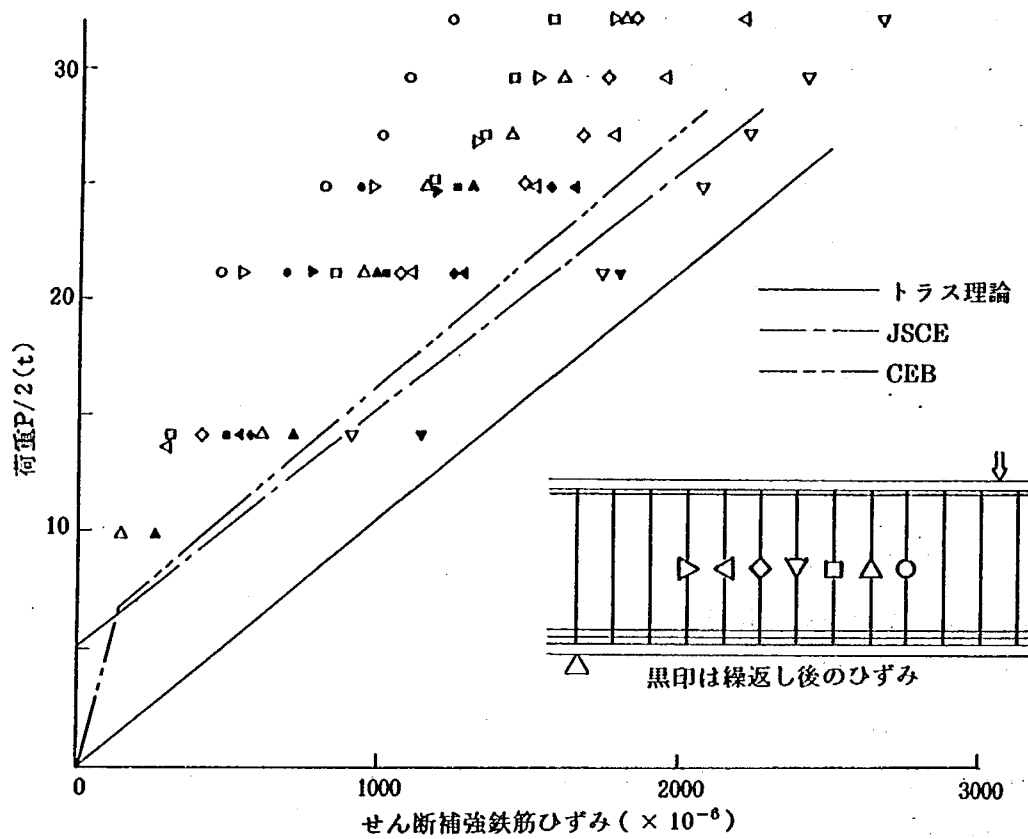


図-4.18 荷重-せん断補強鉄筋ひずみの関係 (供試体 A)

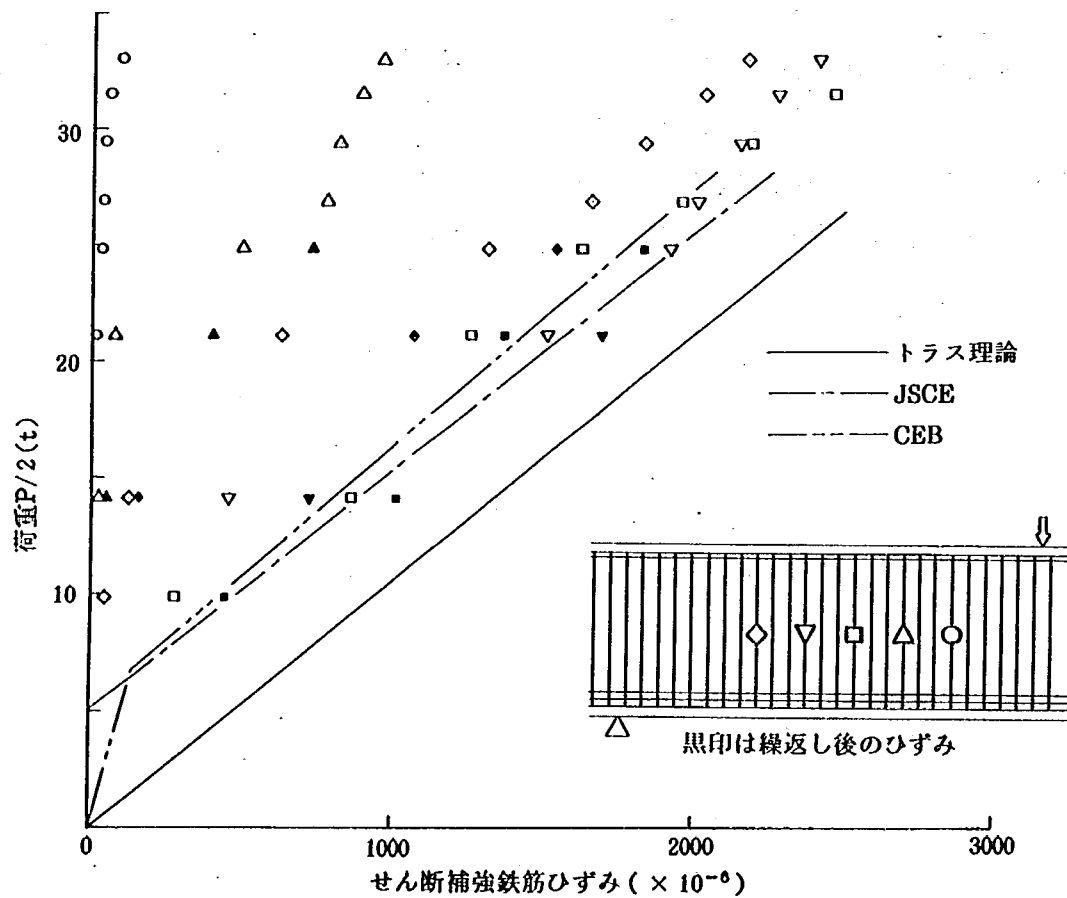


図-4.19 荷重-せん断補強鉄筋ひずみの関係 (供試体 B)

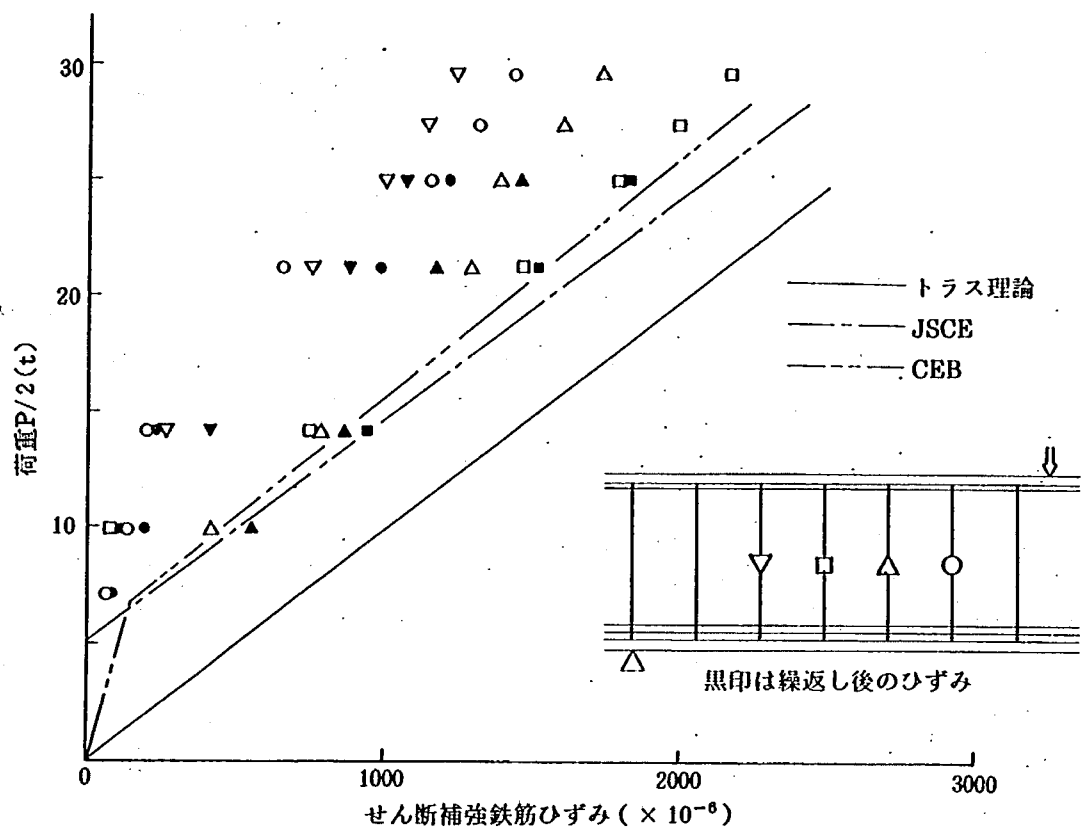


図- 4. 20 荷重—せん断補強鉄筋ひずみの関係 (供試体 C)

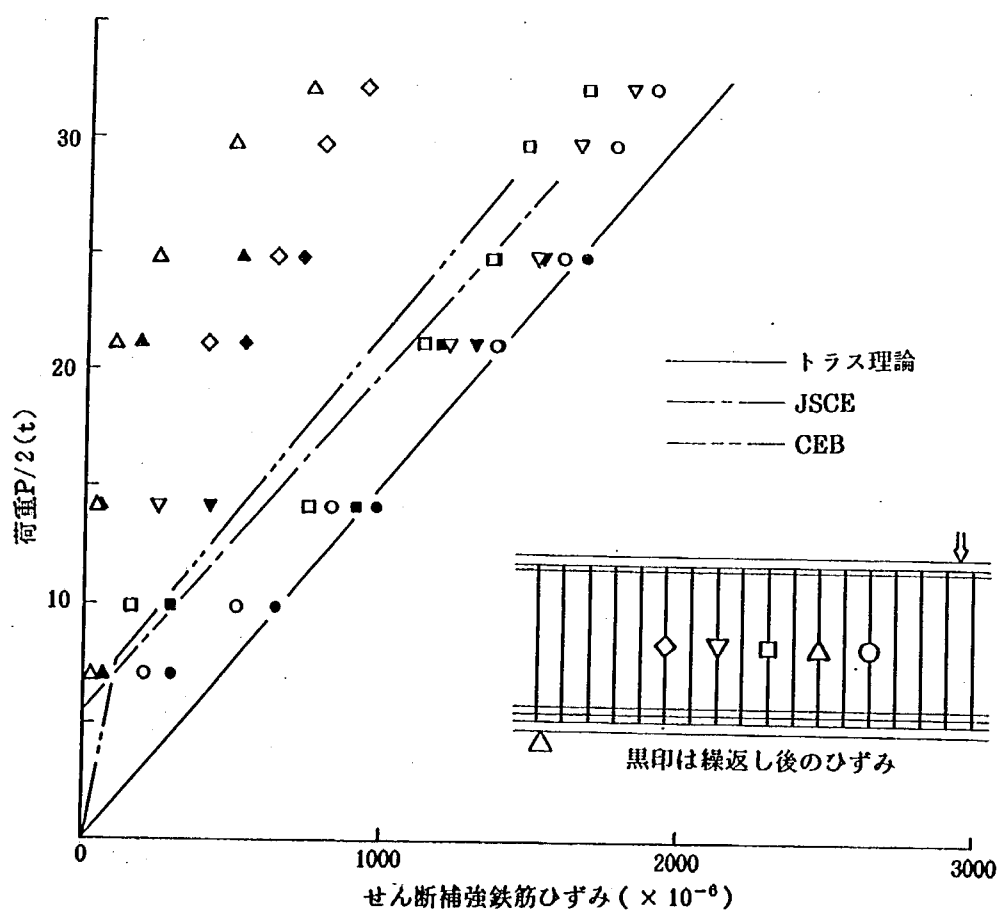


図- 4. 21 荷重—せん断補強鉄筋ひずみの関係 (供試体 D)

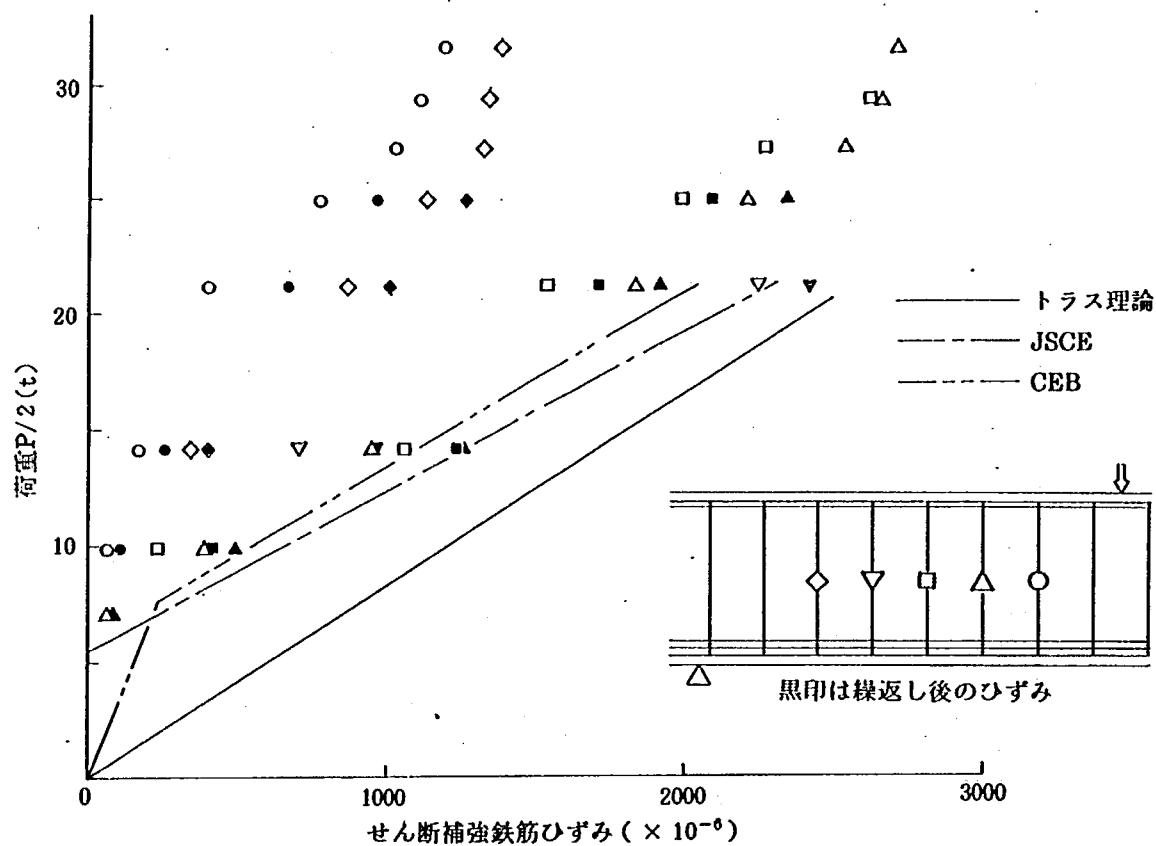


図- 4.22 荷重-せん断補強鉄筋ひずみの関係 (供試体 E)

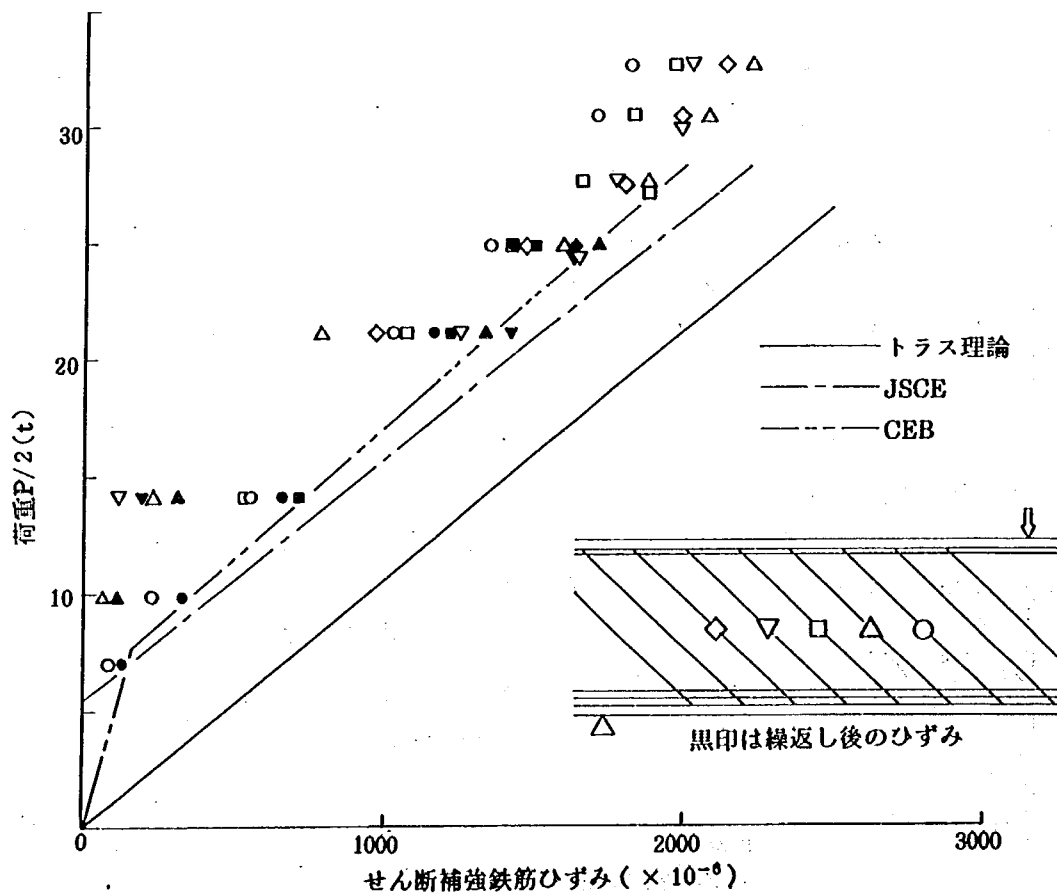


図- 4.23 荷重-せん断補強鉄筋ひずみの関係 (供試体 F)

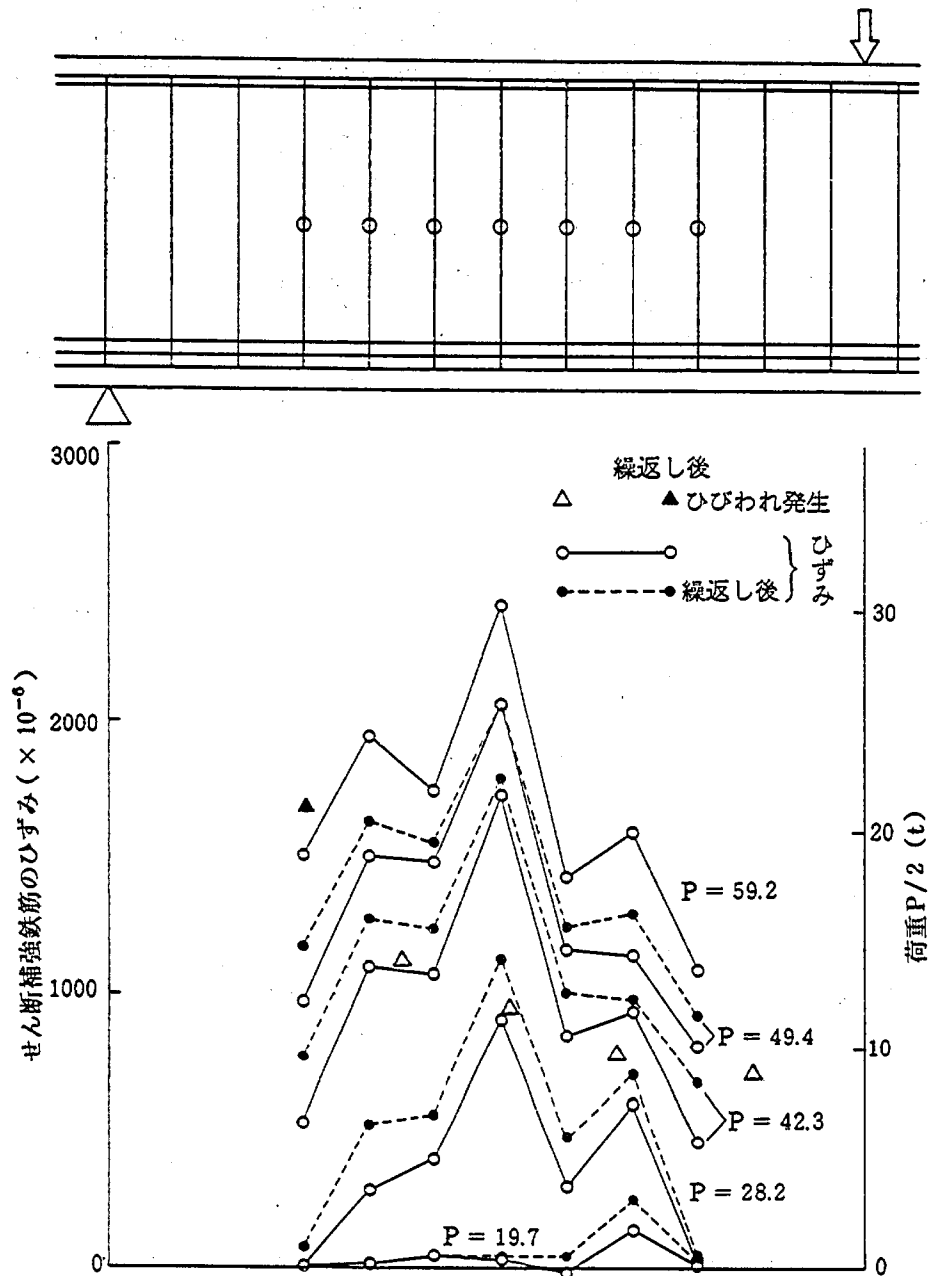


図-4.24 せん断補強鉄筋のひずみ分布およびせん断ひびわれ発生荷重, 発生位置の関係 (供試体 A)

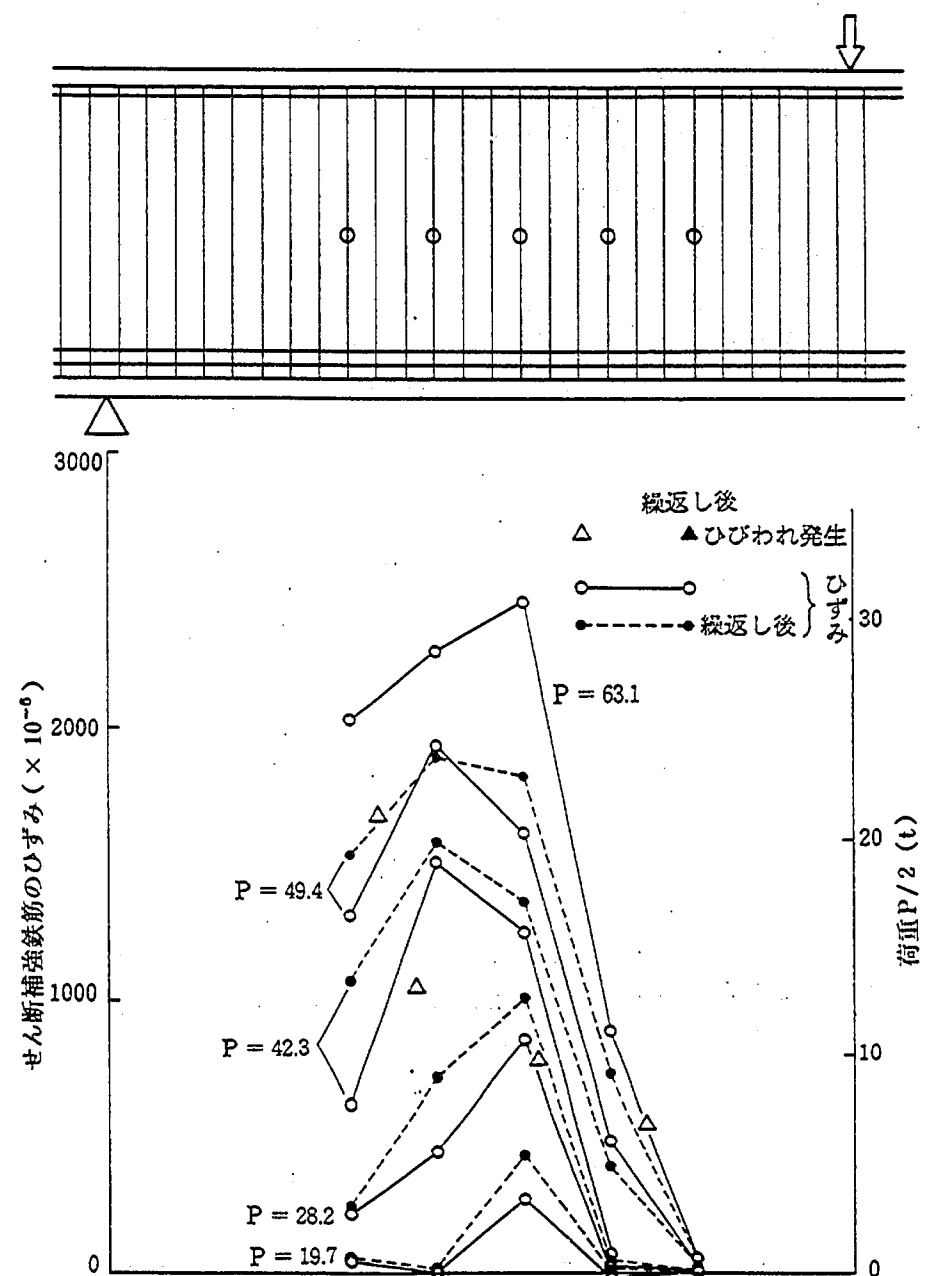


図-4.25 せん断補強鉄筋のひずみ分布およびせん断ひびわれ発生荷重, 発生位置の関係 (供試体 B)

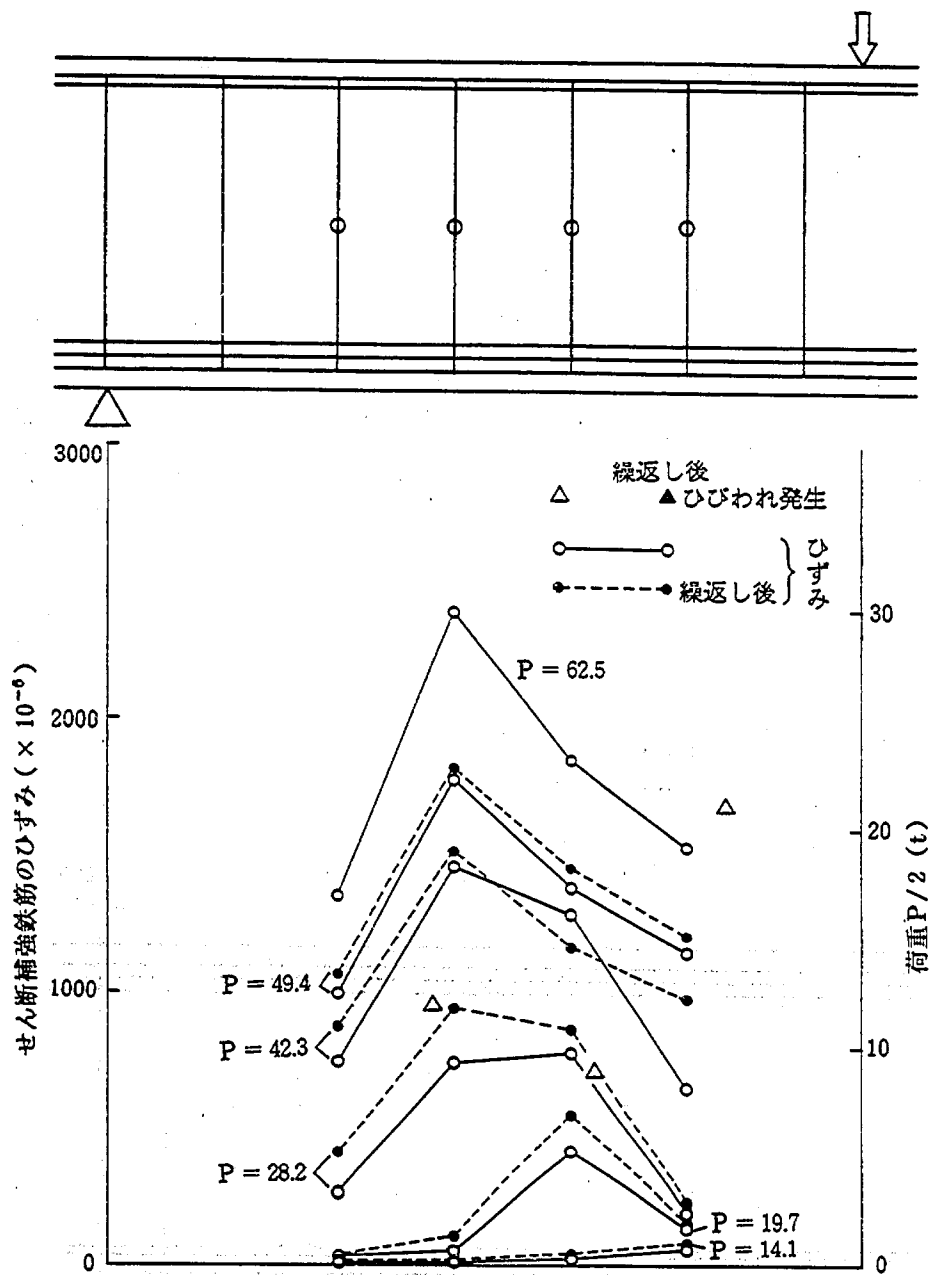


図-4.26 セン断補強鉄筋のひずみ分布およびせん断ひびわれ発生荷重, 発生位置の関係 (供試体 C)

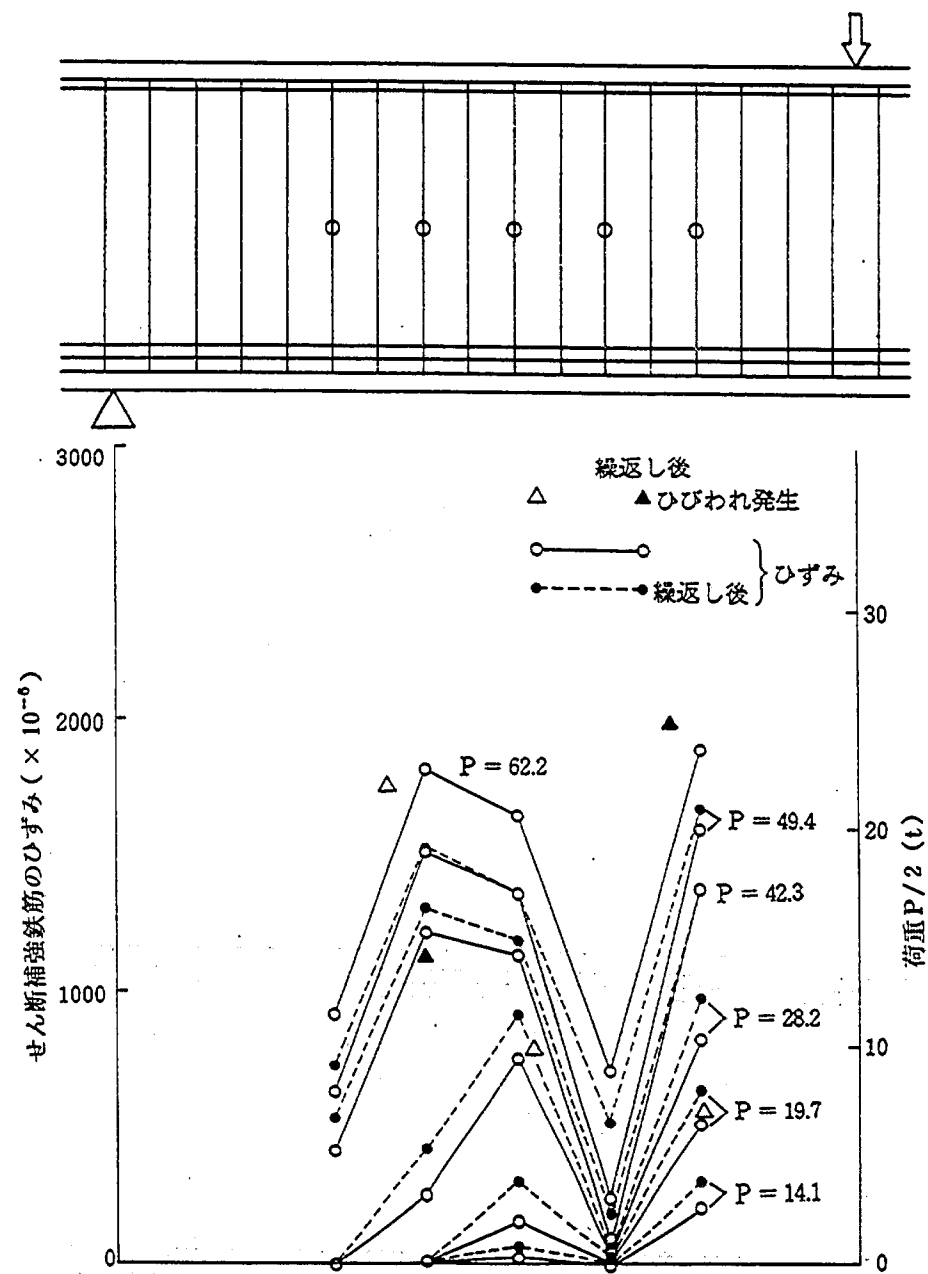


図-4.27 セン断補強鉄筋のひずみ分布およびせん断ひびわれ発生荷重, 発生位置の関係 (供試体 D)

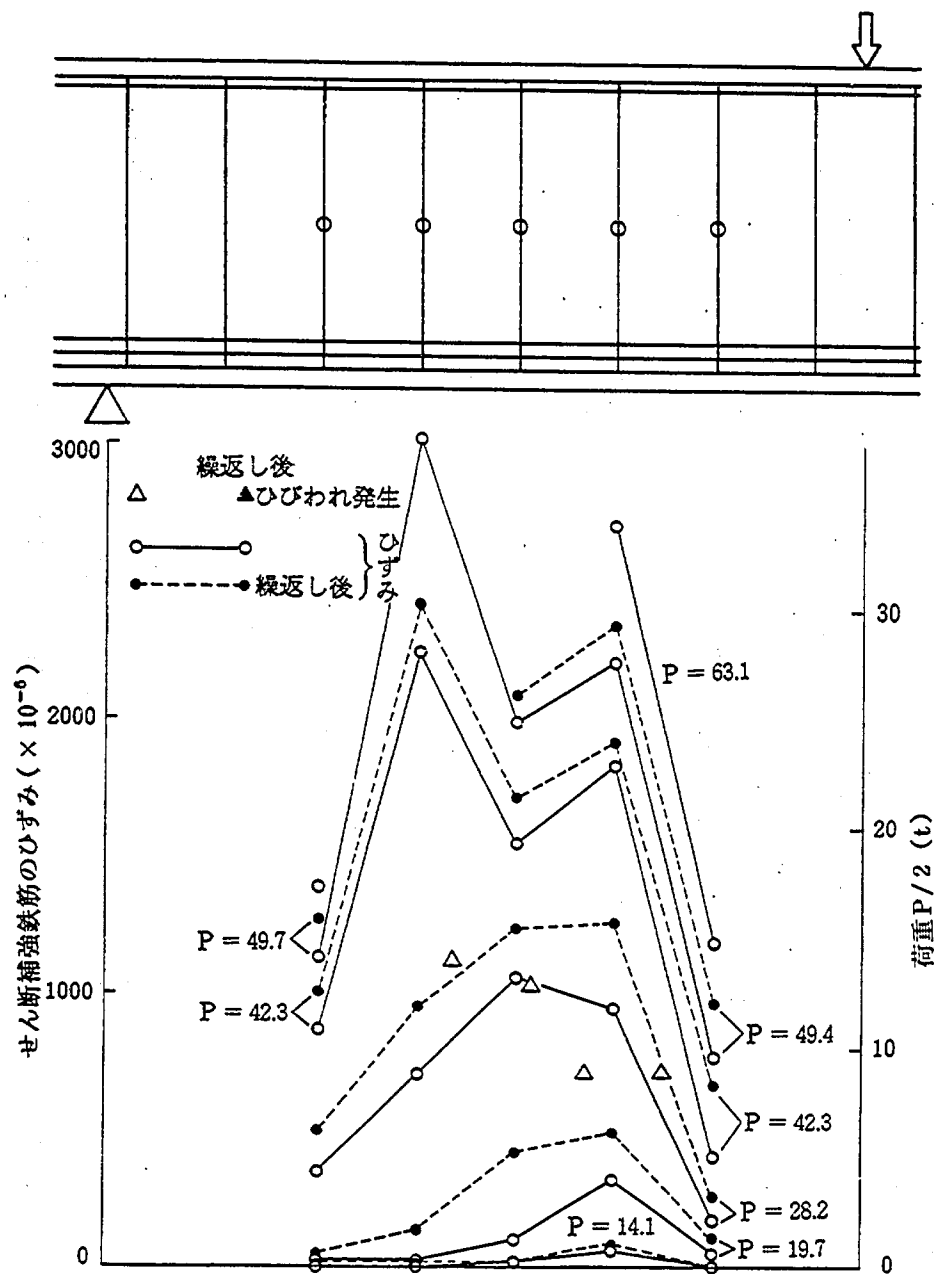


図-4.28 せん断補強鉄筋のひずみ分布およびせん断ひびわれ発生荷重, 発生位置の関係 (供試体 E)

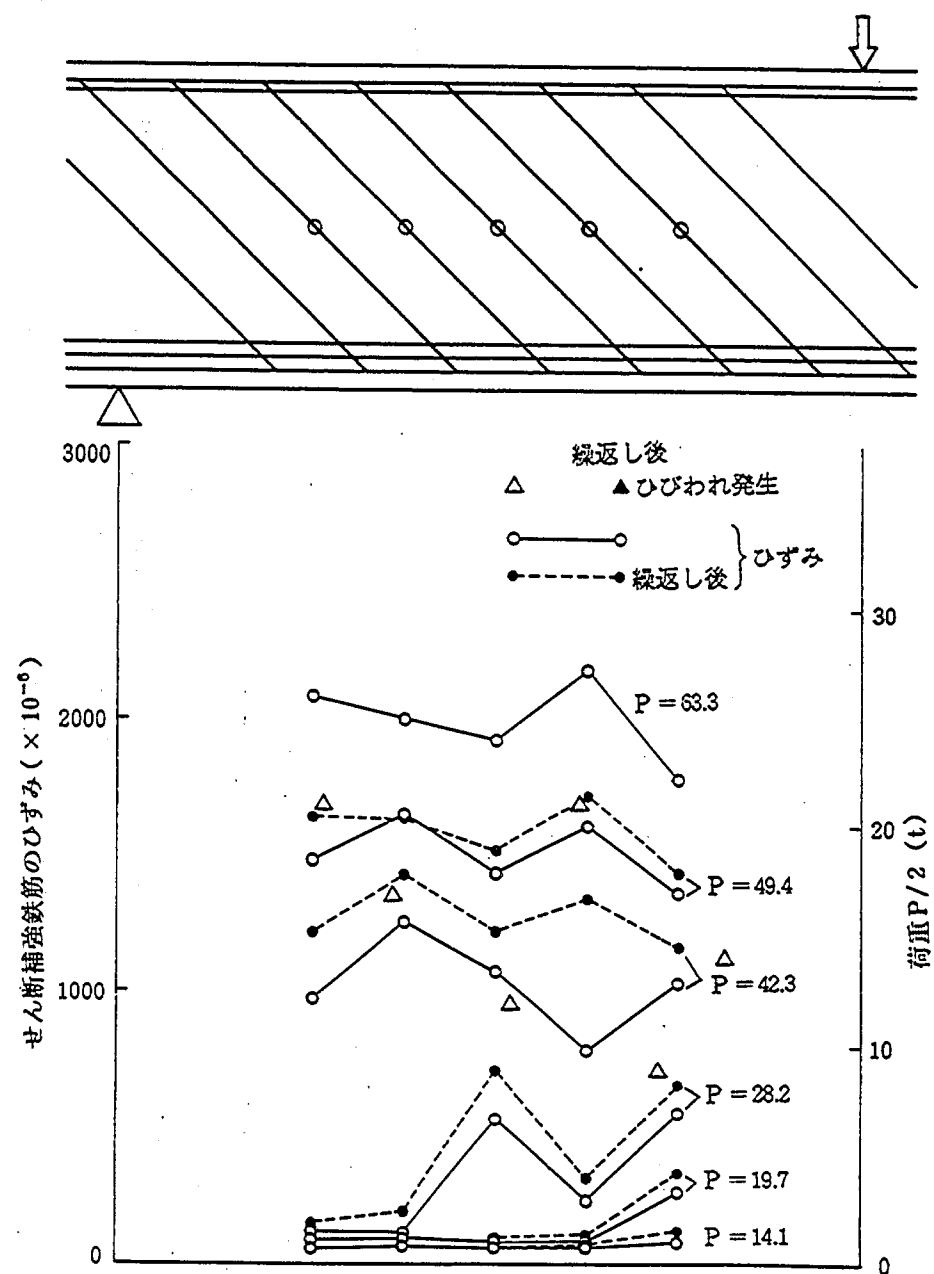
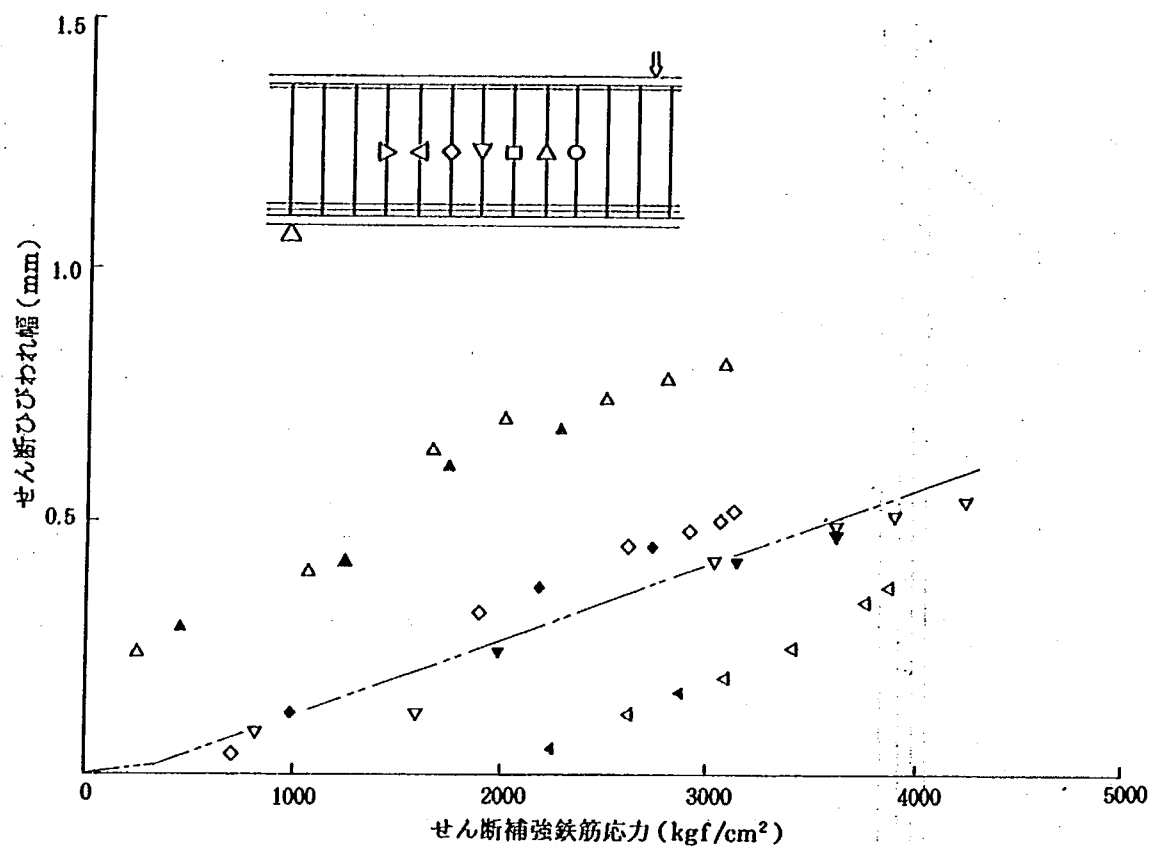
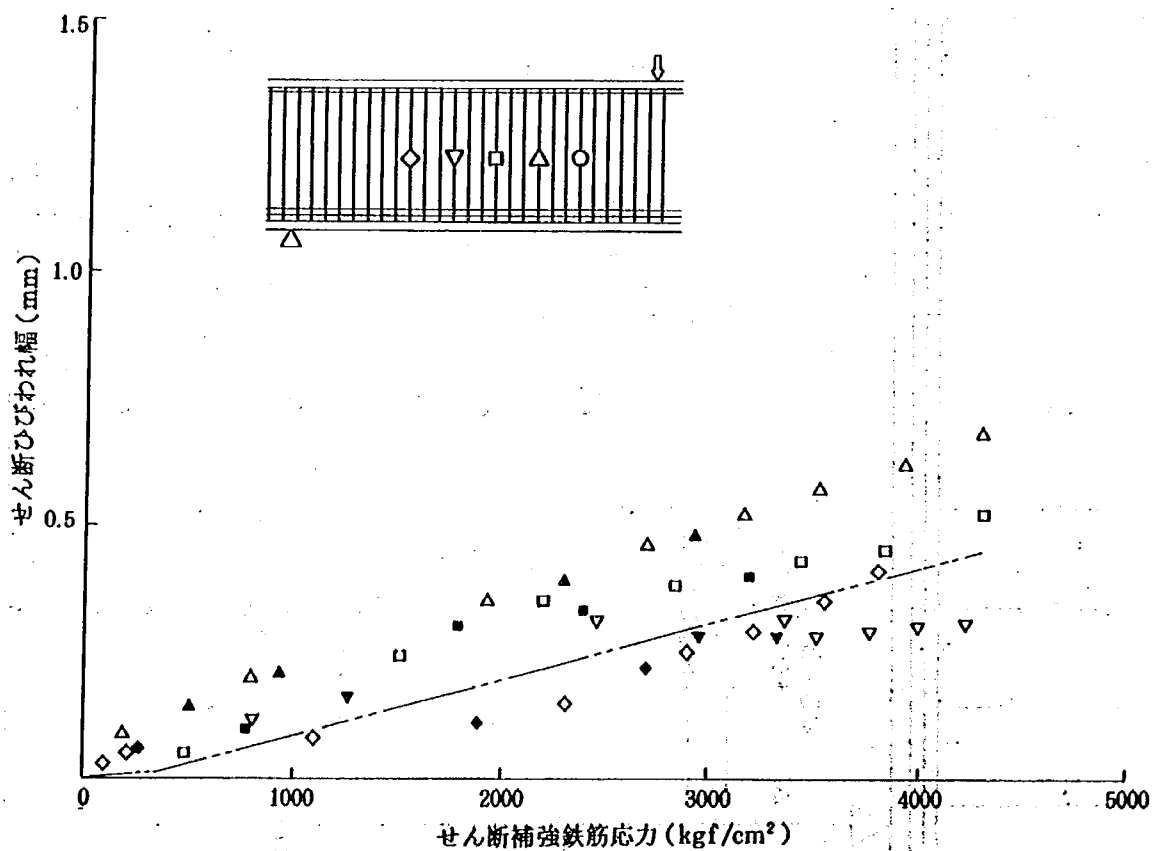


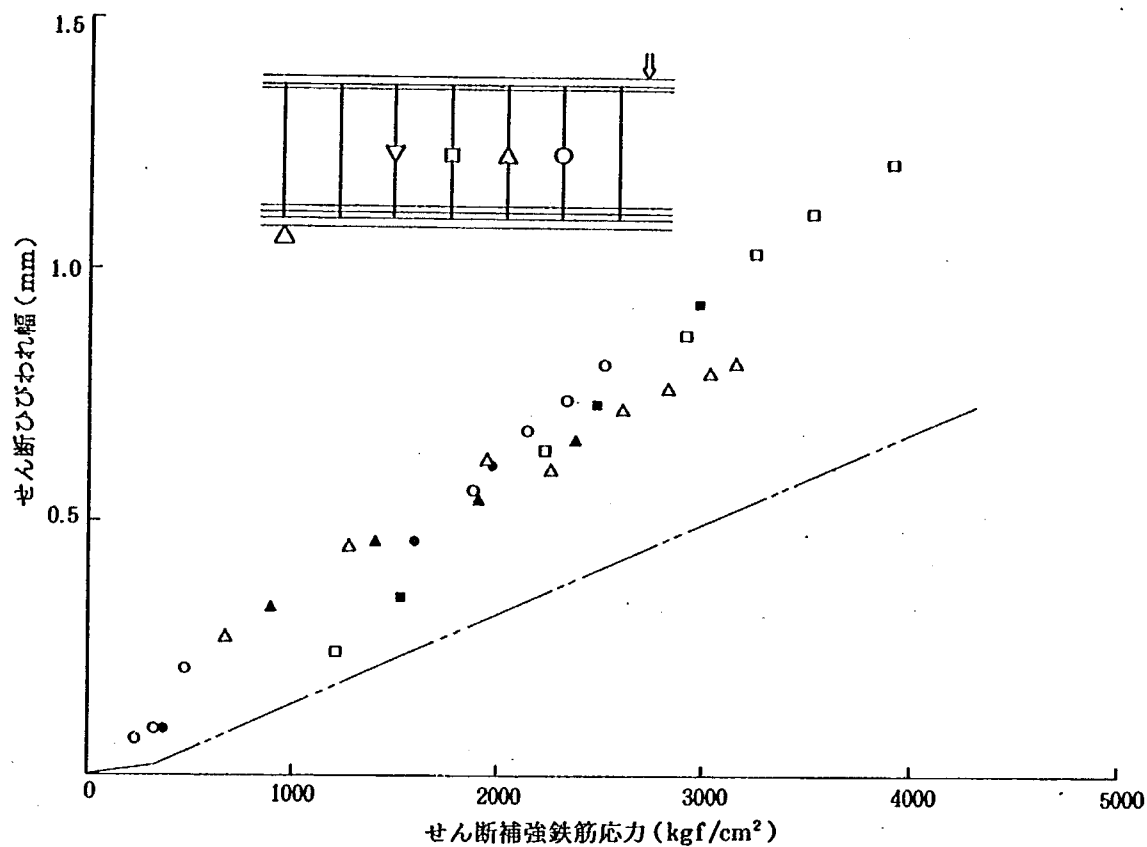
図-4.29 せん断補強鉄筋のひずみ分布およびせん断ひびわれ発生荷重, 発生位置の関係 (供試体 F)



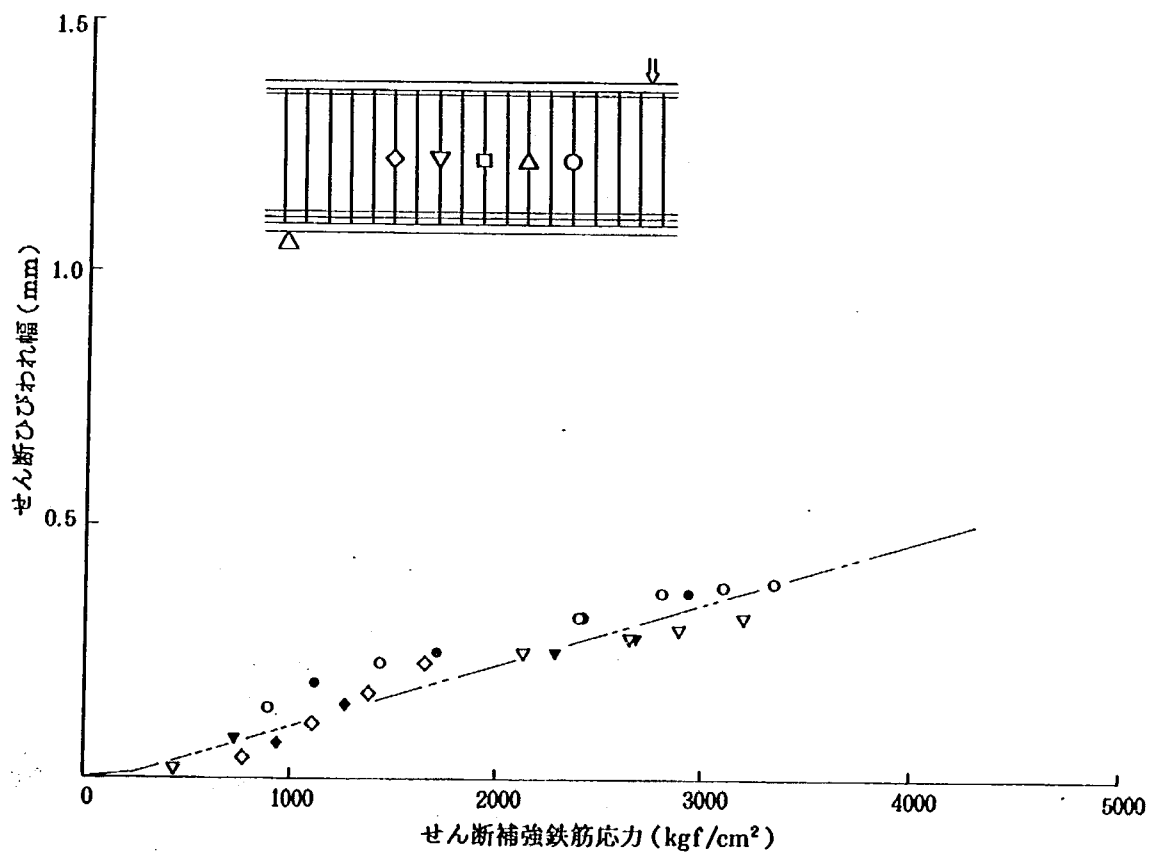
図－ 4. 30 せん断ひびわれ幅－せん断補強鉄筋応力の関係（供試体 A）



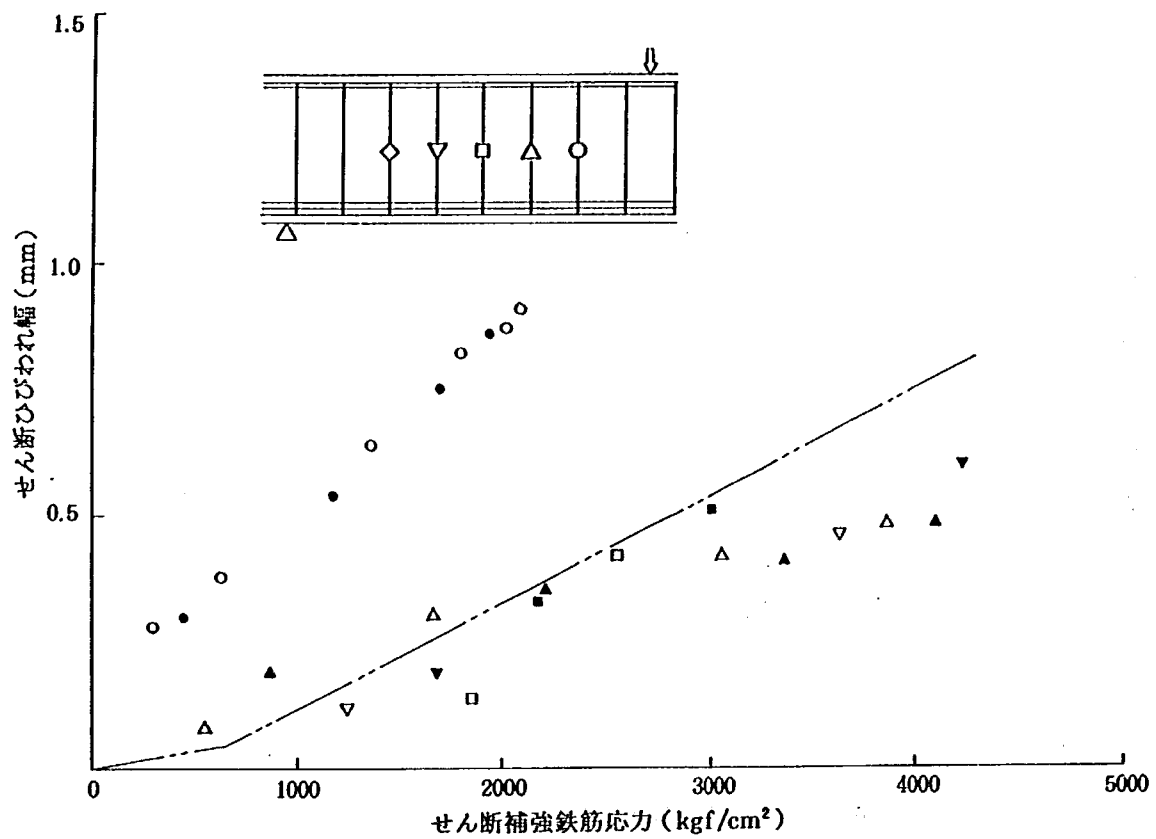
図－ 4. 31 せん断ひびわれ幅－せん断補強鉄筋応力の関係（供試体 B）



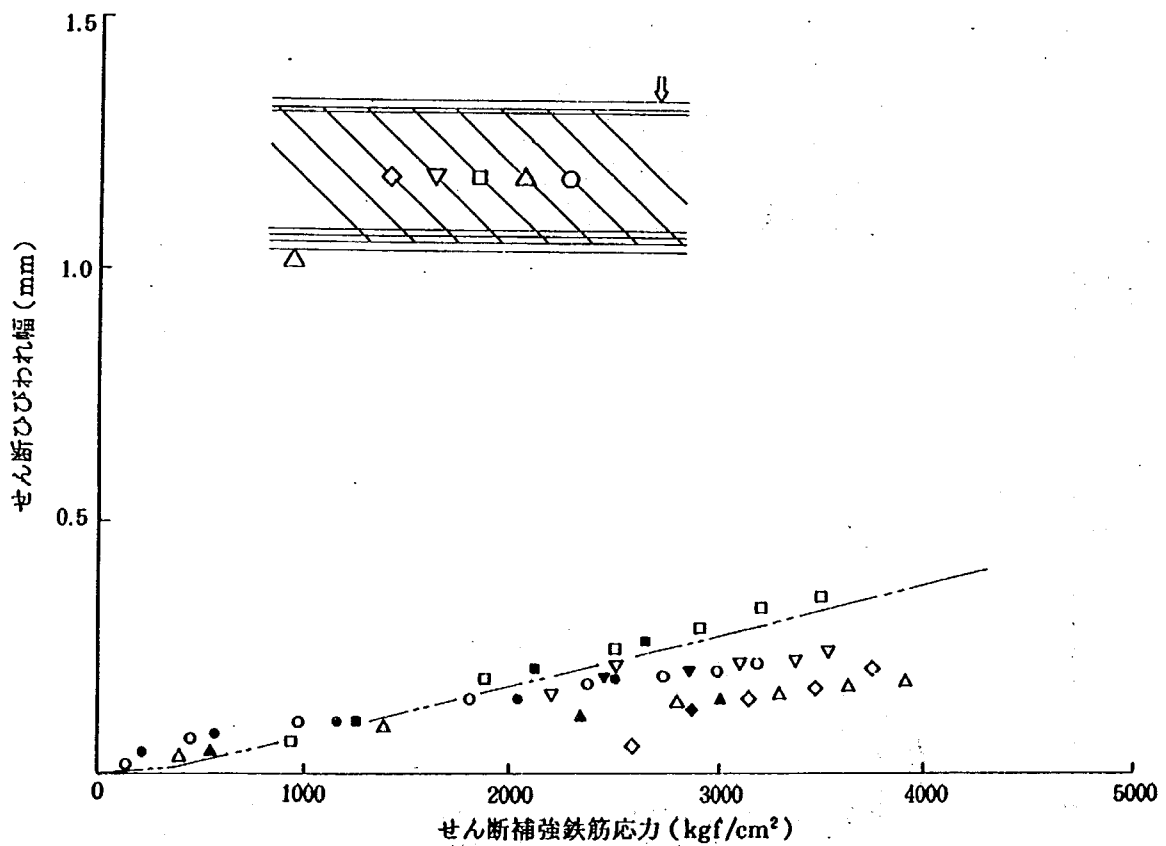
図－ 4. 32 せん断ひびわれ幅－せん断補強鉄筋応力の関係（供試体 C）



図－ 4. 33 せん断ひびわれ幅－せん断補強鉄筋応力の関係（供試体 D）



図－4.34 せん断ひびわれ幅－せん断補強鉄筋応力の関係（供試体 E）



図－4.35 せん断ひびわれ幅－せん断補強鉄筋応力の関係（供試体 F）

4.3 考 察

せん断ひびわれは、斜め引張力によって生じる。せん断ひびわれを生ずるとせん断補強鉄筋によって応力が再配分される。せん断補強鉄筋の応力は、付着応力によって周辺のコンクリートに伝達され、あらたなせん断ひびわれを生じる。このことは、せん断応力がほぼ一定の位置（たとえば中立軸）では曲げひびわれ幅の考え方と同じように、せん断ひびわれ幅 w は式（4.1）で近似できることを表わしている。

$$w = \ell \times \bar{\epsilon} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここに、 ℓ ：せん断ひびわれ間隔

$\bar{\epsilon}$ ：せん断補強鉄筋の平均ひずみ

よって、今後のとりあつかいは式（4.1）を基本とする。

4.3.1 ひびわれ間隔

荷重－ひびわれ間隔の関係は図－4.36～図－4.41に示すように定常状態は曲げひびわれほど明確ではない。とくに最大ひびわれ間隔は、初期のひびわれ発生できまっており、その傾向は鉄筋径が太いほど、鉄筋比が小さいほど顕著である。平均ひびわれ間隔は、増減を繰返しながらか定常状態に進んでいるものが多くなっており、ひびわれ幅の算定にあたっては、ひびわれ幅の平均をとり、平均ひびわれ幅を算定するのがよいかもしれない。

定常状態のひびわれ間隔と鉄筋間隔、鉄筋比の関係を図－4.42、図－4.43に示す。最大ひびわれ間隔についての関係はみあたらない。平均ひびわれ間隔についてみるならば、ひびわれに関して一般にいわれているように付着の良好な細い鉄筋を使用した場合や、鉄筋化（鉄筋量）を増やしたもののほどひびわれの分散性はよさそうである。

最大ひびわれ間隔と平均ひびわれ間隔の比は、全供試体の平均は1.70、供試体Cを除くと1.81であった。

せん断ひびわれの発生域の関係を示したのが表－4.6である。ひびわれ発生限界とは、支点および載荷点から45°の傾きを境いにその付近はせん断ひびわれが発生しにくいことを考慮したものである。表－4.6からもひびわれの分散性の一般的傾向をあらわしていることがわかる。

4.3.2 せん断ひびわれ幅

1) 鉄筋径の影響

鉄筋比を一定にし、鉄筋径を変化させたときのひびわれ幅と荷重の関係を図－4.44に、各応力段階ごとにひびわれ幅－鉄筋径の関係を図－4.45に示すように細い鉄筋を密に配置するほどひびわれ幅を小さく抑えることができる。

2) 鉄筋比の影響

鉄筋径を一定とし、鉄筋比（鉄筋量、鉄筋間隔）を変化させたときのひびわれ幅－荷重の関係を図－4.46に、ひびわれ幅－鉄筋比の関係を各応力段階ごとに示したのが図－4.

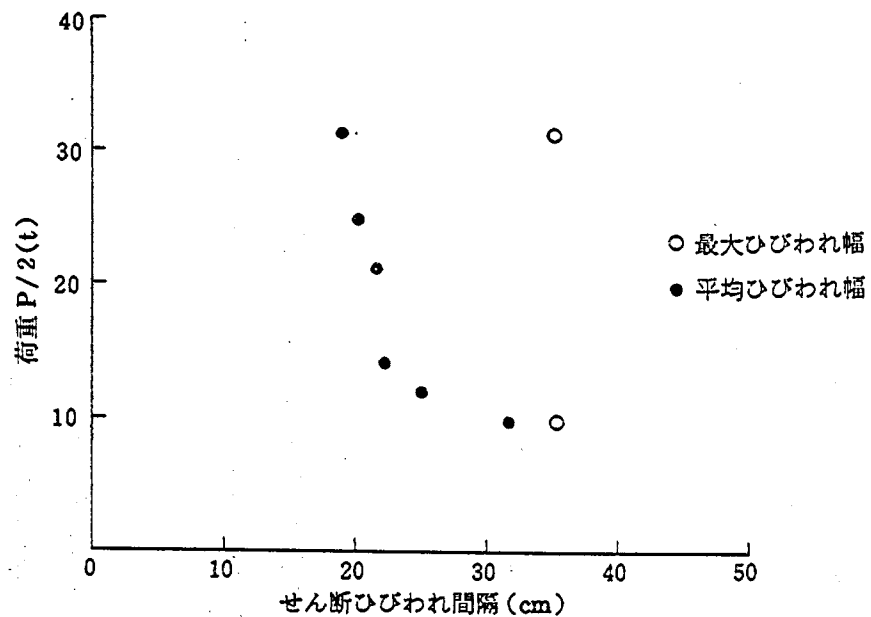


図-4.36 荷重-せん断ひびわれ間隔 (供試体 A)

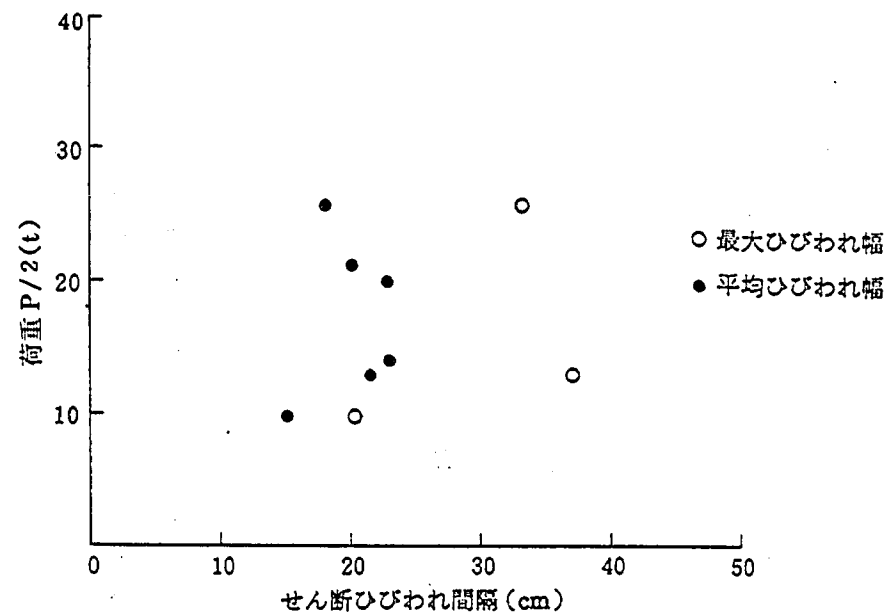


図-4.37 荷重-せん断ひびわれ間隔 (供試体 B)

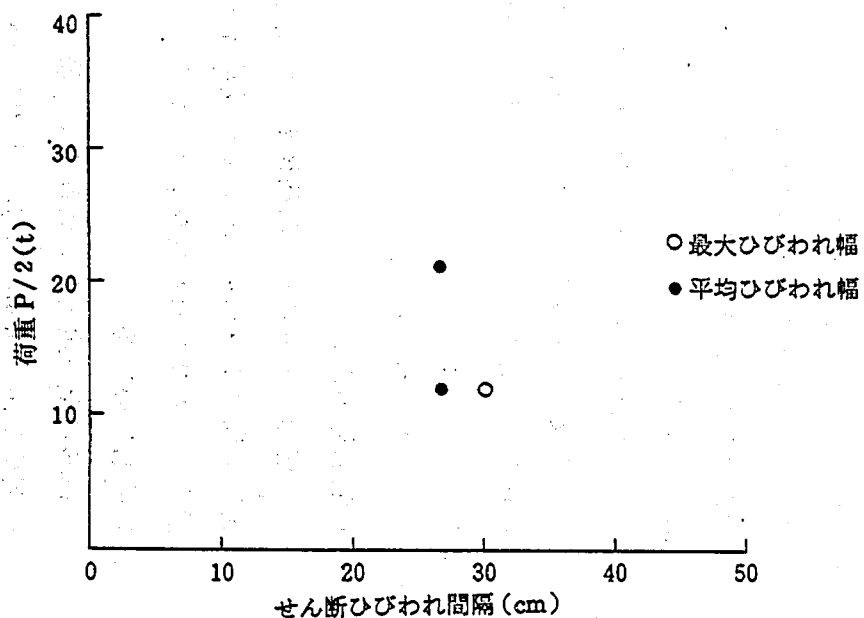


図-4.38 荷重-せん断ひびわれ間隔 (供試体 C)

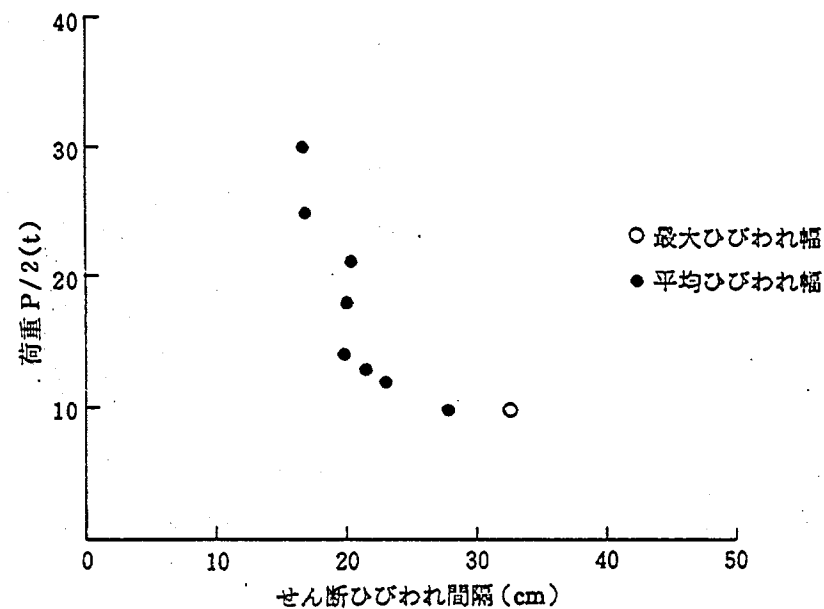


図-4.39 荷重-せん断ひびわれ間隔 (供試体 D)

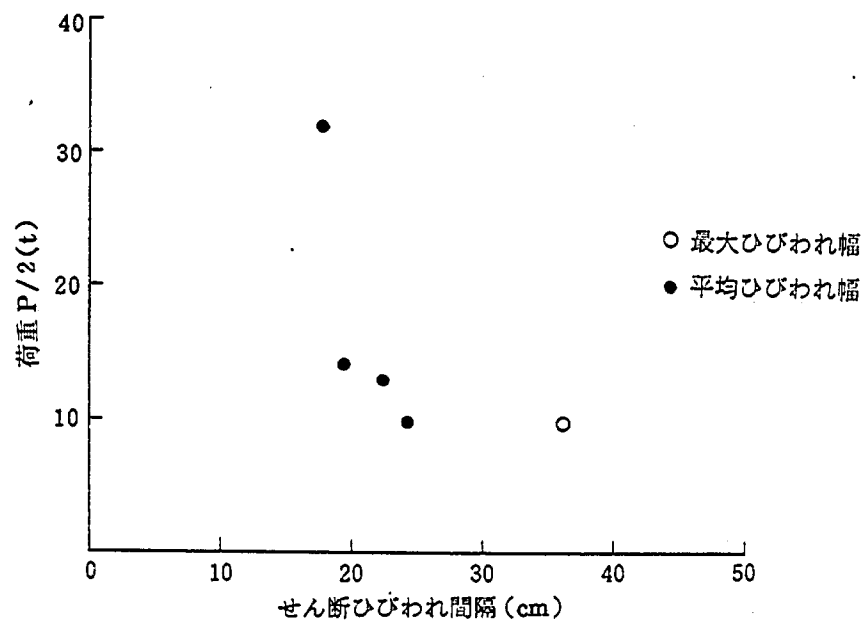


図-4.40 荷重-せん断ひびわれ間隔 (供試体 E)

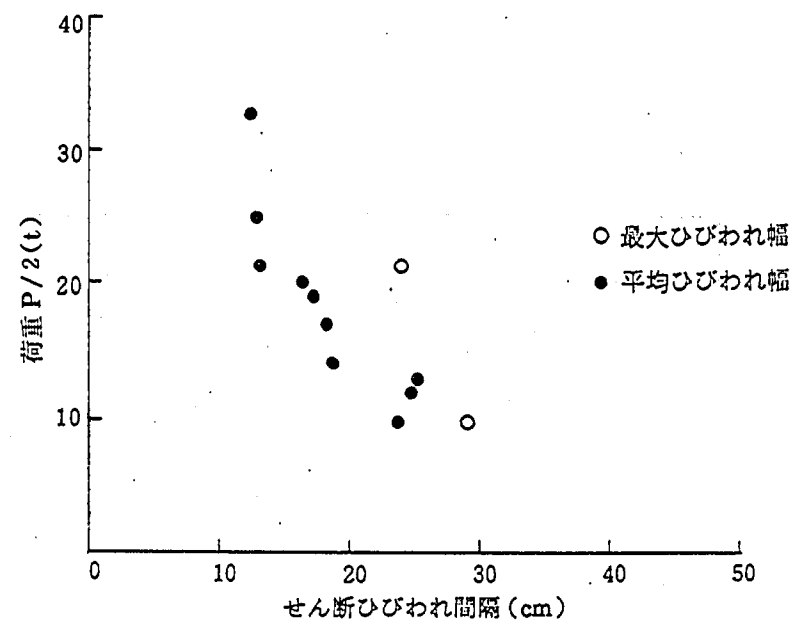


図-4.41 荷重-せん断ひびわれ間隔 (供試体 F)

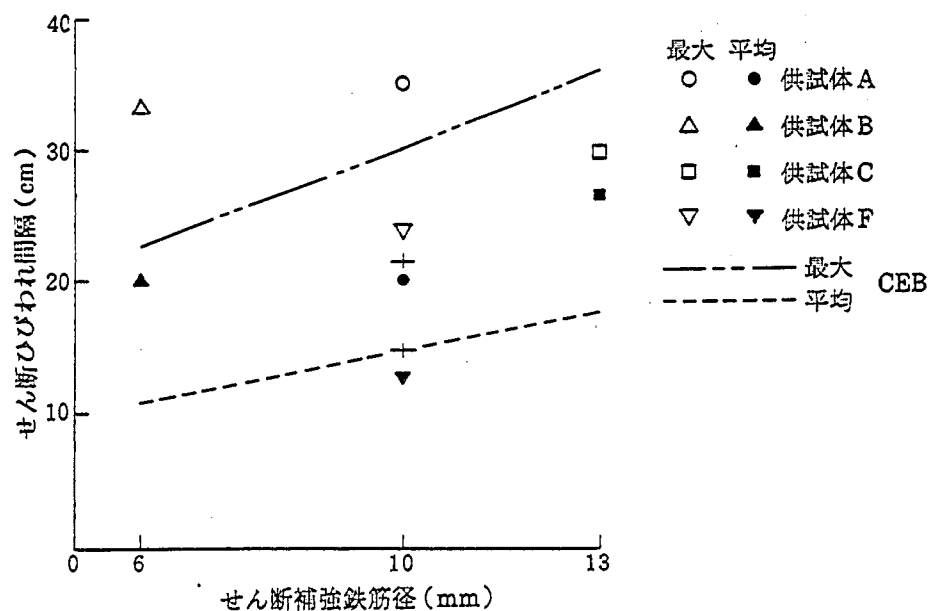


図-4.42 せん断ひびわれ間隔-せん断補強鉄筋径の関係

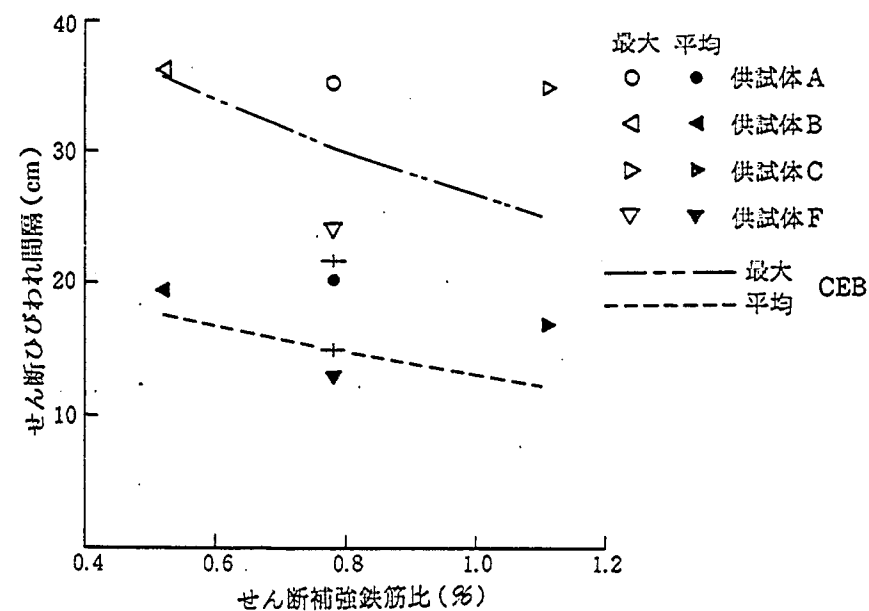
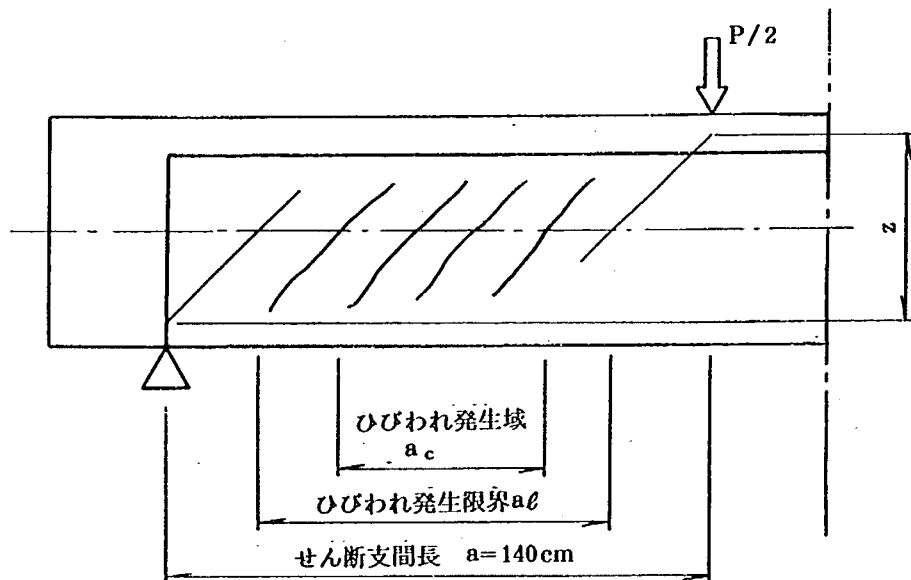


図-4.43 せん断ひびわれ間隔-せん断補強鉄筋比の関係

表-4.6 ひびわれ発生域

供試体	a_c (cm)	① $\frac{a_c}{a}$	② $\frac{a_\ell}{a}$	$\frac{①}{②}$
A	81.6	0.58	0.65	0.89
B	90.7	0.65		1.00
C	66.7	0.48		0.74
D	83.2	0.59		0.91
E	48.6	0.35		0.54
F	95.1	0.68		1.05



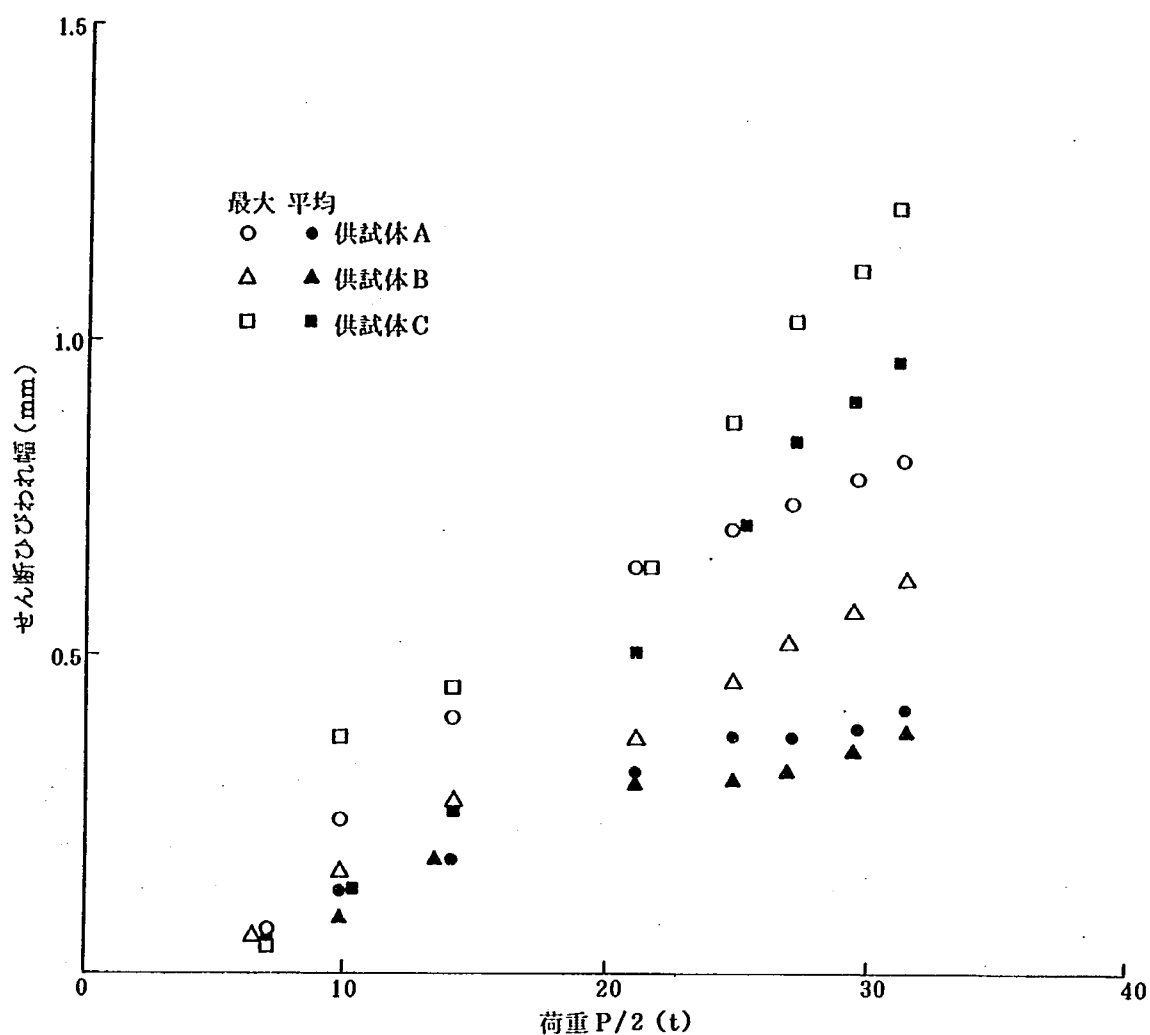


図 - 4.44 せん断補強鉄筋径の変化によるせん断ひびわれ幅-荷重の関係

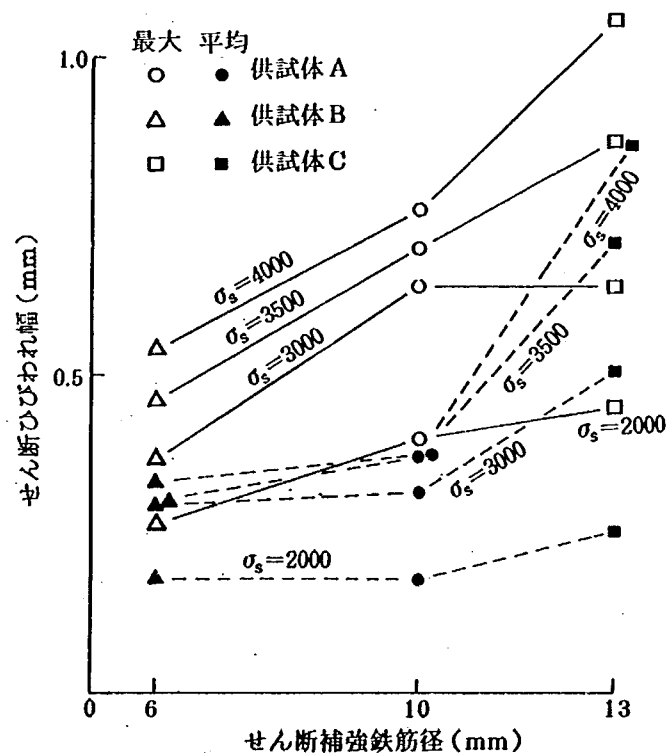


図 - 4.45 せん断補強鉄筋応力段階ごとの、せん断ひびわれ幅-せん断補強鉄筋径の関係

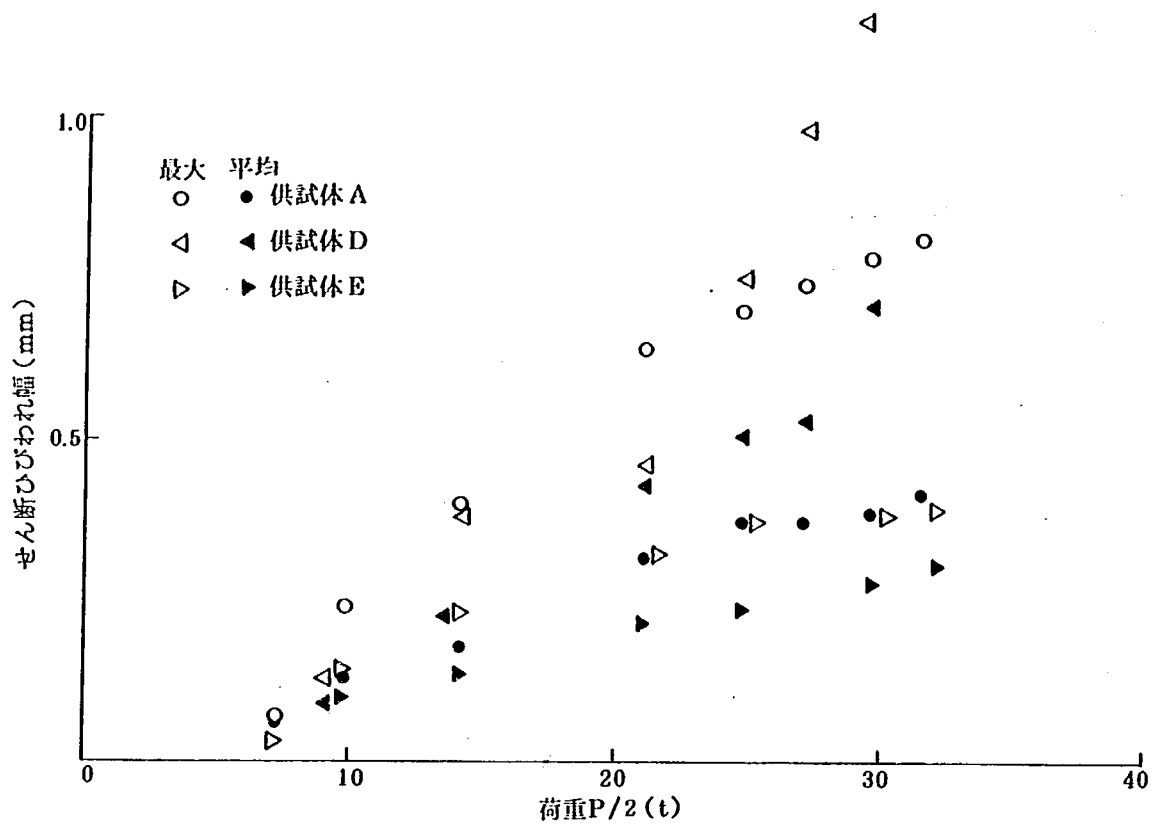


図- 4. 46 せん断補強鉄筋比の変化によるせん断ひびわれ幅-荷重の関係

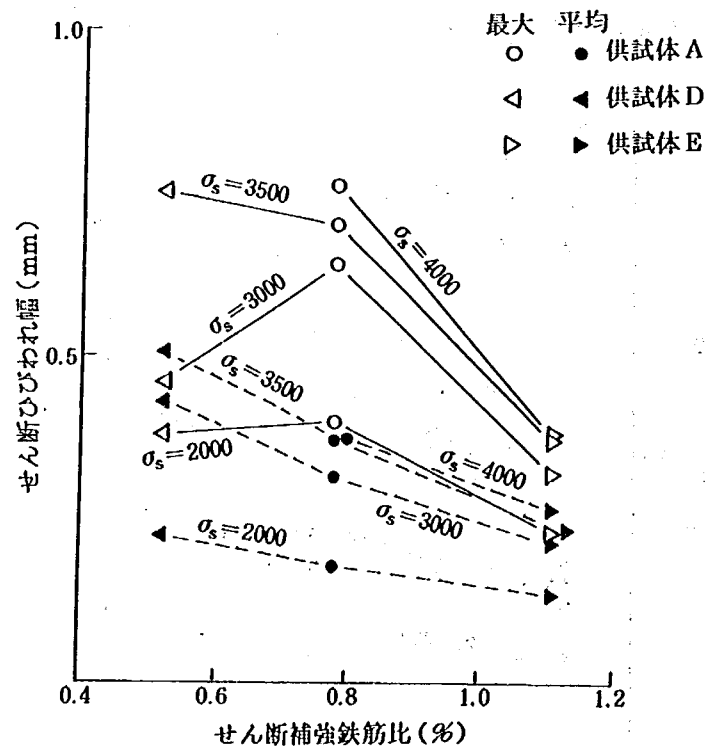


図- 4. 47 せん断補強鉄筋応力段階ごとのせん断ひびわれ幅-せん断補強鉄筋比の関係

47 である。鉄筋比とは反比例の関係にあり、鉄筋比が大きいほどひびわれ幅が小さくなることがわかる。

3) 鉄筋間隔の影響

鉄筋間隔との関係は図-4.48 のようである。鉄筋間隔を小さくするほうがよいようである。

4) スターラップの傾斜

スターラップの傾斜の影響を図-4.49, 図-4.50 に示す。図-4.50 には角度を 45° , 60° , 75° , 90° に変化させた計算値 (75° のときの $kw = 1.0$ とした) も示した。

これより、傾斜スターラップのひびわれ効果はたいへん大きいこと、最大ひびわれ幅と平均ひびわれ幅の比が小さく、ひびわれ幅のばらつきの小さくなることがわかる。

4.3.3 各国規定との比較

最大および平均せん断ひびわれ幅と CEB, SNIP のひびわれ幅算定式を比較したのが図-4.51 ~ 図-4.56 である。

供試体 F 以外は実測値のほうがかなり大きな値となっている。とくに最大ひびわれ幅はひびわれ発生位置の偶発性によるところが大きいようである。

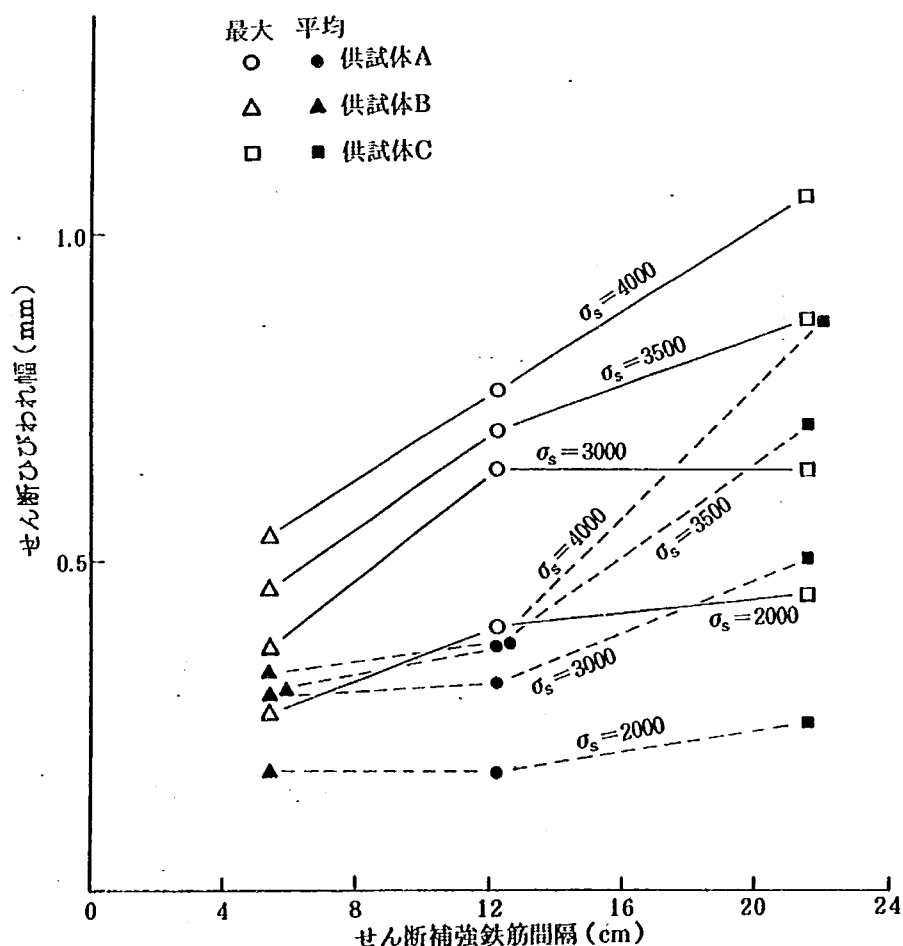


図-4.48 せん断補強鉄筋応力段階ごとのせん断ひびわれ幅—せん断補強鉄筋間隔の関係

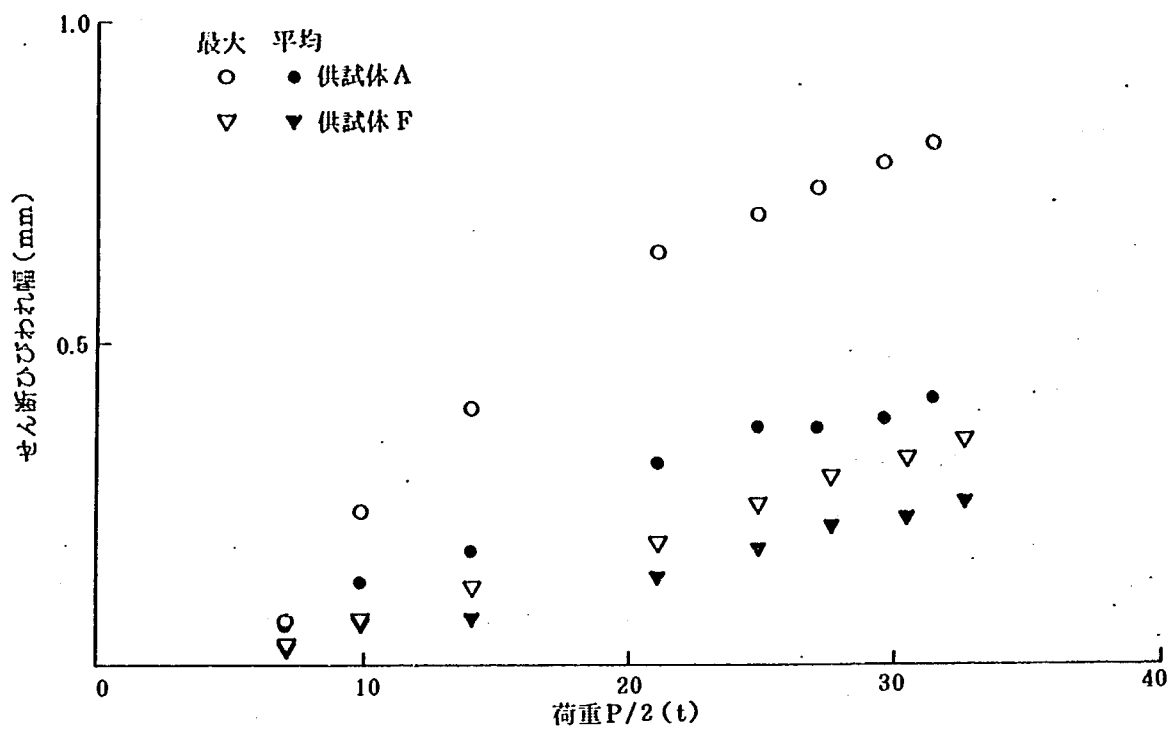


図- 4. 49 せん断補強鉄筋と部材軸とのなす角度の変化によるせん断ひびわれ幅-荷重の関係

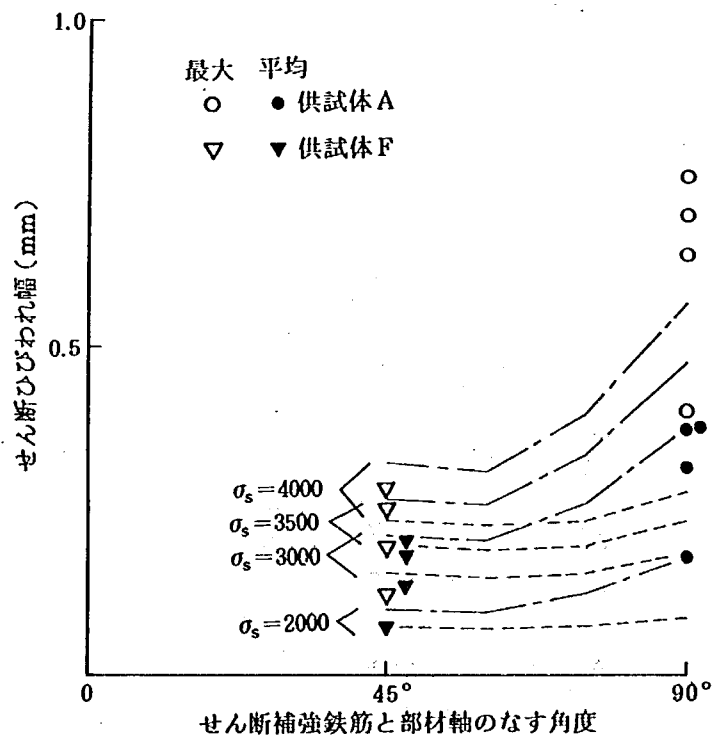


図- 4. 50 せん断補強鉄筋応力段階ごとのせん断ひびわれ幅-せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度の関係

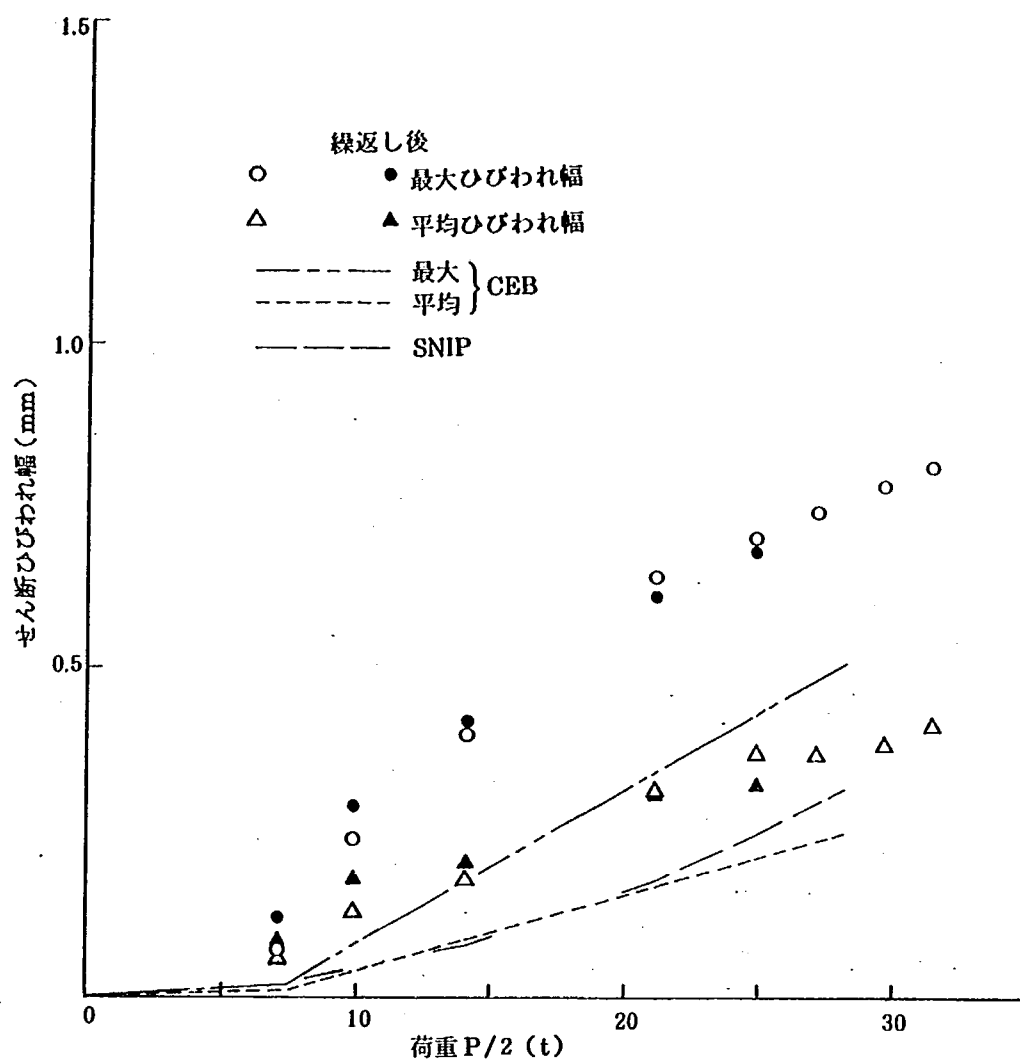


図 - 4.51 せん断ひびわれ幅と各国規準との比較 (供試体 A)

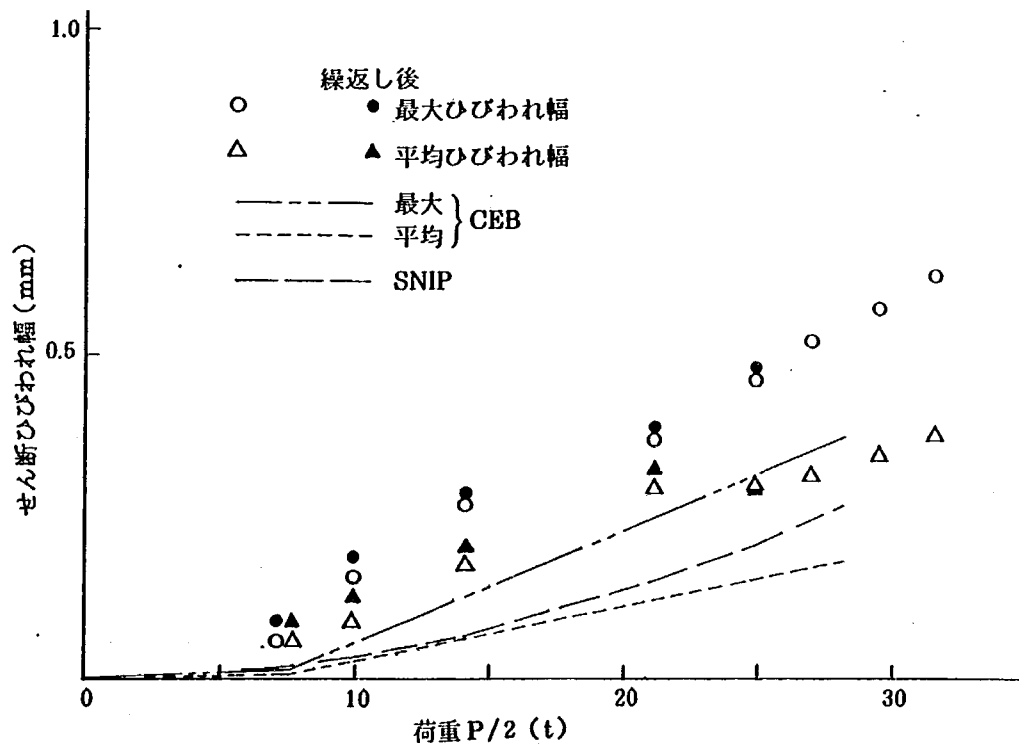
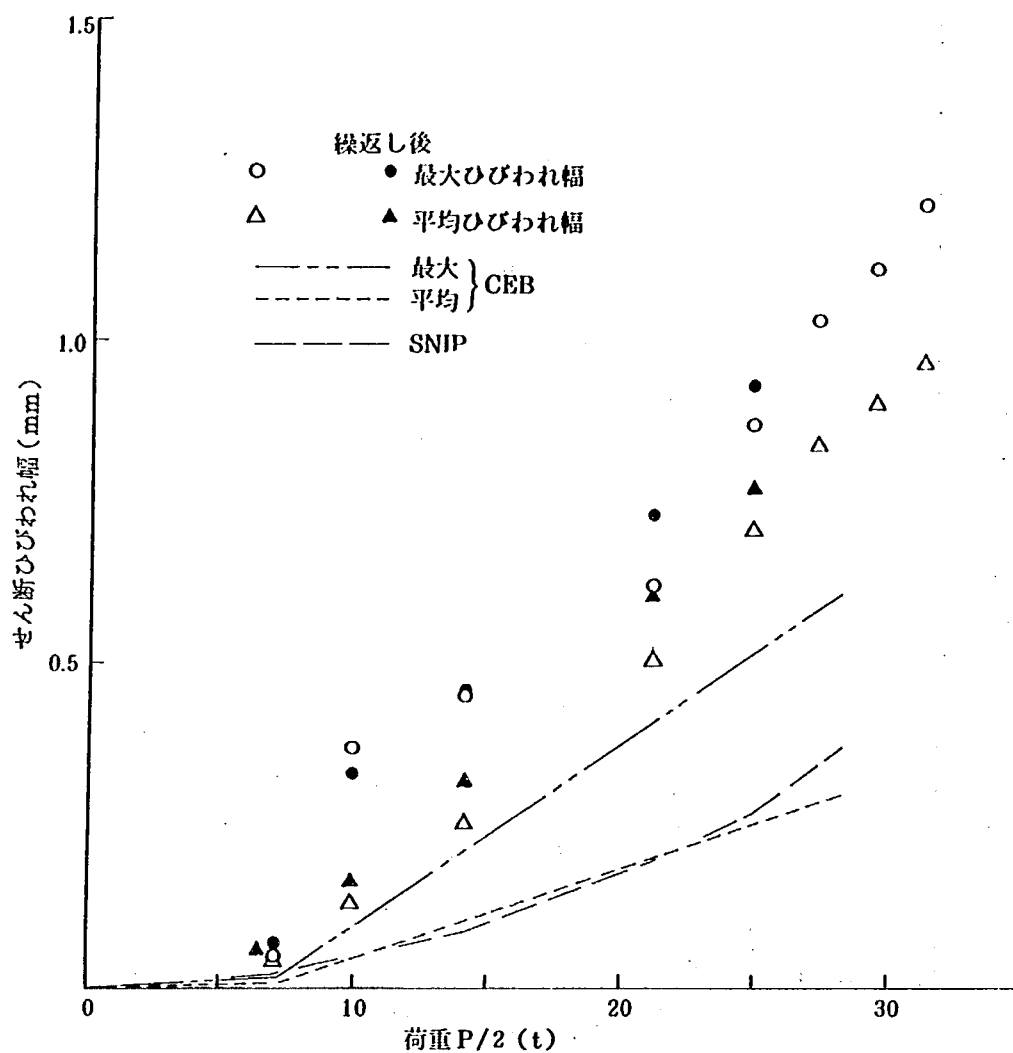
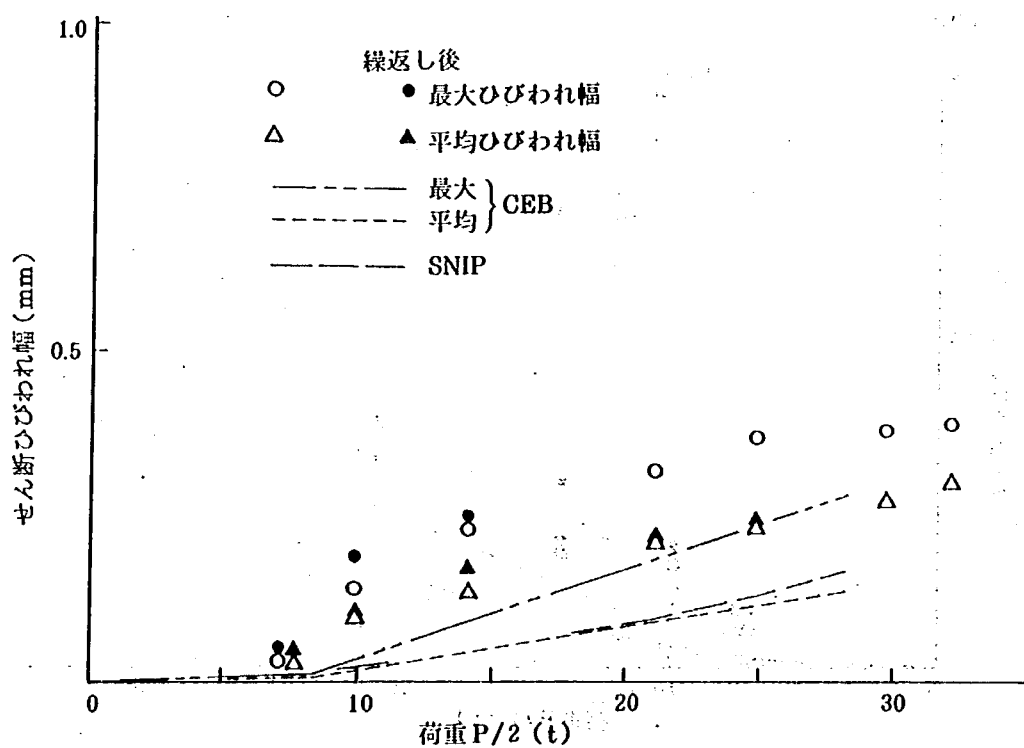


図 - 4.52 せん断ひびわれ幅と各国規準との比較 (供試体 B)



図－4.53 セン断ひびわれ幅と各国規準との比較（供試体 C）



図－4.54 セン断ひびわれ幅と各国規準との比較（供試体 D）

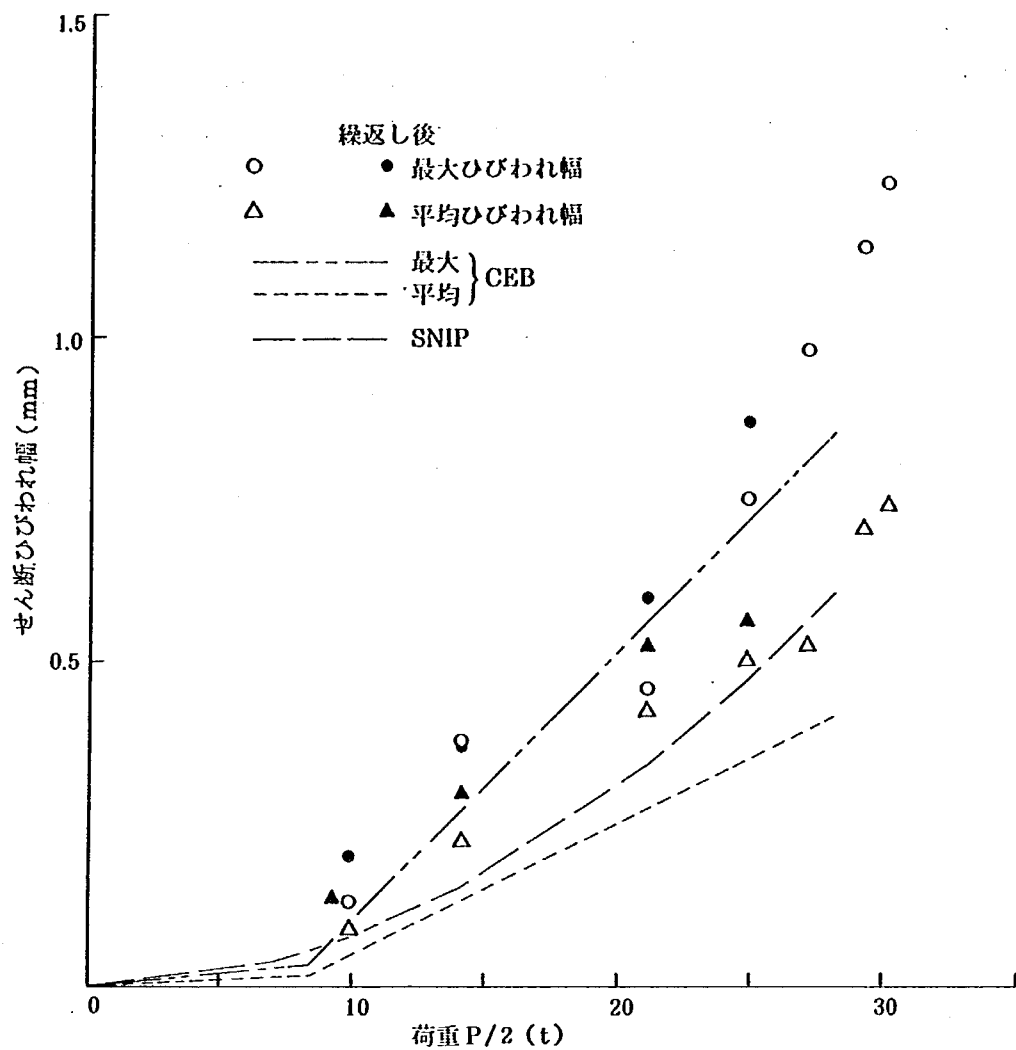


図- 4. 55 せん断ひびわれ幅と各国規準との比較 (供試体 E)

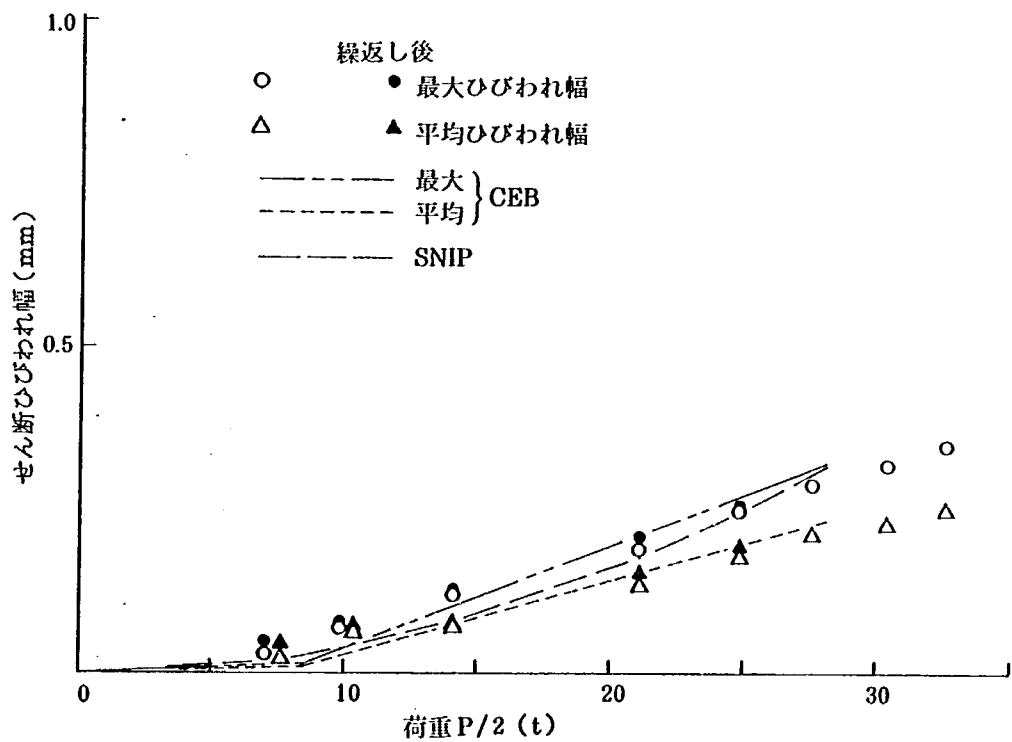


図- 4. 56 せん断ひびわれ幅と各国規準との比較 (供試体 F)

4.4 ま と め

せん断ひびわれについてもひびわれ理論を適用しまとめを試みた。しかし、今回の実験からはせん断ひびわれ発生の偶発性によって、ひびわれ間隔はかならずしも明確な定常状態はあらわれなかった。

ひびわれ性状については、一般にいわれているように付着のよい細径鉄筋を使用したもの、鉄筋量の大きいものほどひびわれの分散性はよく、ひびわれ幅を抑制することができる。傾斜スターラップはひびわれ分散性、ひびわれ幅抑制など良好なひびわれ性状を示した。

せん断ひびわれの発生メカニズムやその後の挙動の解明は不十分である。現在、せん断ひびわれ幅算定規準はCEBとSNIPがあるが、その適用性は疑問である。

5. あ と が き

ひびわれ幅の算定にあたり， $w = \ell \bar{\epsilon}$ を基本式として実験をおこなった。曲げひびわれについてはほぼ基本式を満足し，ひびわれ間隔 ℓ の算定には，かぶり C が主因であることがわかった。せん断ひびわれについても曲げひびわれと同じ基本式のもとにデータを整理したが，それを満足するものは得られなかった。せん断ひびわれのメカニズムは多くの要因を含んでおり，非常に複雑である。今後も多くの実験・研究が必要である。

<参 考 文 献>

- 1) 土木学会「コンクリート標準示方書・設計編」1986年10月
- 2) CEB - FIP : CEB - FIP
MODEL CODE FOR CONCRETE STRUCTURES, 1978
- 3) 青柳征夫「ソ連における鉄筋コンクリート部材のせん断・ねじり並びにひびわれ幅に関する設計方法（その2・終）ねじり並びにひびわれ幅に関する設計法」コンクリート工学，
Vol. 18, No. 10, pp. 50 ~ 54, 1980年10月
- 4) 角田与史雄「鉄筋コンクリート部材の諸性状（その8）－ひびわれ－」コンクリートライブラリー第34号，pp. 75 ~ 79, 1972年8月
- 5) 土木学会，コンクリートライブラリー第61号，pp. 207 ~ 210, 1986年10月

鉄筋コンクリート部材の
ひびわれ幅に関する調査試験

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2461号
昭和62年3月(1987)
小林茂敏, 丹野弘
森濱和正

キーワード: 鉄筋コンクリート部材, ひびわれ幅, 曲げひびわれ, セン断ひびわれ

要 旨 海岸地域などにおける鉄筋コンクリート構造物のひびわれ抑制は構造物の耐久性や使用性の面で非常に重要である。最近では構造物の設計法も限界状態設計法に移行しつつあり、ひびわれ幅についてもより明確に評価しようという気運にある。そのためには、ひびわれ幅の計算法もより正確なものが要求される。
本報告は調査研究課題「コンクリート構造物のひびわれ抑制に関する調査」の一環として行った。曲げ、セン断ひびわれの実験結果およびその考察の結果を述べている。



郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

コンクリート研究室

御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2461号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印