

土 木 研 究 所 資 料

樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験(3)

昭和60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 © 1985 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。

樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験(3)

要旨

エポキシ樹脂塗装鉄筋は現在最も有効な防食方法の1つであるが、実際の構造物に用いるにあたっての適正な使用法を知るため、重ね継手部の横方向鉄筋に塗装鉄筋を使用した場合の耐荷力等について調査した。その結果主鉄筋に無処理鉄筋を用いた場合、横方向鉄筋に塗装鉄筋を用いても耐荷力は低下しないこと、疲労載荷試験の結果も梁の挙動に差異がないことが判明した。

キーワード：塗装鉄筋、重ね継手、横方向鉄筋、耐荷力

樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験(3)

1. まえがき

エポキシ樹脂塗装鉄筋（以下、塗装鉄筋と称す）は現在最も有効な防食方法の1つとされているが、適正な使用法についてはまだよく知られていない。そこで本試験では重ね継手を有するRC梁の載荷試験を行ない、塗装鉄筋を重ね継手部の横方向鉄筋として用いた場合の梁の耐力等について調査した。

2. 使用材料

2.1 鉄筋

試験に使用した鉄筋の種類と機械的性質を表-2.1に示す。

表-2.1 鉄筋の機械的性質

鉄筋径	フシの形状	降伏点 (kg/筋)	引張強さ (kg/筋)	伸び (%)
D 6	斜フシ	39	58	21
D 10	横フシ	39	54	27
D 13	〃	36	52	26
D 16	〃	35	52	27

2.2 塗料

エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗料の組成を表-2.2に示す。

表-2.2 エポキシ樹脂粉体塗料の組成表

1.基体樹脂	エポキシ系樹脂 エビビス型+ノボラーク型 エポキシ当量≒850	70.5wt%
2.硬化剤	フェノール系樹脂	
3.可撓性付与剤	—————	1.5 wt%
4.添加剤	ハジキ防止剤（アクリルオリゴマー）	1.5 "
	タレ止剤	1.3 "
5.顔料	体質（酸化珪素）	21.6 "
	着色（酸化鉄）	3.6 "
合 計		100 "

2.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋

2.3.1 塗装方法

2.1に示した鉄筋の表面がニアホワイトまたはホワイトメタル（表面粗さ：40～60μ）となるまでグ

リッドブラストによる下地処理を行ない、その後、プレヒートした鉄筋にエポキシ樹脂粉体塗料を静電付着させ、アフターヒートによってエポキシ樹脂を固定、硬化させる。

目標塗膜厚は 200 μ とした。

2.3.2 品質

測定項目および測定方法は前報¹⁾のとおりとした。品質測定結果を表-2.3に示す。

表-2.3 塗膜の品質測定結果

	硬 度		付着性	膜 厚 (μ)		ピンホール数 鉄筋 1 m 当り平均
	0°C	20°C		目 標	実 測	
D 6	2 H	H	100/100	200	230 ~ 320	多 数
D 10	"	"	"	"	170 ~ 210	"
D 13	"	"	"	"	180 ~ 210	1 ~ 2
D 16	"	"	"	"	180 ~ 210	10 ~ 15

2.4 コンクリート

(1) セメント

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。セメントの試験成績を表-2.4に示す。

表-2.4 セメントの試験成績

比 重	ブレン 比表面積 (cm^2/g)	凝 結					安 定 性 (煮沸法)	酸化マグ ネシウム (%)	三酸化 硫 黄 (%)	強 熱 減 量 (%)
		室 温 (°C)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時・分)	終 発 (時・分)				
3.16	3200	20.2	94	27.9	2-39	3-45	良	1.4	2.0	0.6
フロー値 (cm)	圧 縮 強 さ (kg/cm^2)				養生温度(°C)					
	1 日	3 日	7 日	28 日	室 温	水 温				
257	-	148	261	419	20.4	20.2				

(2) 骨 材

粗骨材は最大寸法 25 mm の鬼怒川産の川砂利を使用し、細骨材は鬼怒川産の川砂を使用した。骨材の試験成績を表-2.5に示す。

表-2.5 骨材の物理試験結果

種類	FM	比 重	吸水率 (%)	ふるい通過量 (%)									
				25 mm	20 mm	15 mm	10 mm	5 mm	2.5 mm	1.2 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm
粗骨材	2.58	2.58	1.78	100	79	58	30	6	0	0	0	0	0
細骨材	2.58	2.58	2.13	-	-	-	-	98	86	68	43	20	5

(3) 練り混ぜ水

練り混ぜ水には地下水を使用した。

(4) 混和剤

混和剤は市販の A E 減水剤 (ポゾリス Na 5 L) を使用した。

(5) 配 合

コンクリートの配合は、スランプ 8 ± 2 cm, 圧縮強度 (σ_{28}) 240 kg/cm^2 となるよう水セメント比を定めた。コンクリートの示方配合を表-2.6 に示す。

表-2.6 コンクリートの示方配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空 気 量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m^3)				
					セメント C	水 W	細 骨 材 S	粗 骨 材 G	混 和 剤 (A E)
25	8.0	4.0	53.0	40.3	281	150	748	1119	0.710

3. 載荷試験

3.1 供試体

供試体の形状寸法を図－3.1に示す。供試体は図のように矩形断面の単純はりとして二点対称載荷によりスパン中央部に等曲げモーメントを作用させた。等曲げモーメント区間には重ね継手を設けた。また、せん断区間にはスターラップを配してせん断破壊を防止し、重ね継手部分には主鉄筋比0、25、50%のスターラップを配した。さらに供試体には、重ね継手両端位置の下面にVノッチを設けることにより重ね継手部の鉄筋に確実に計算応力が作用するようにした。

試験要因としては主鉄筋ならびに重ね継手部のスターラップと使用鉄筋の違い（塗装鉄筋、無処理鉄筋）との組合せ、および重ね継手部スターラップの量（主鉄筋比0、25、50%）とした（表－3.1）。なお、重ね継手長は 20ϕ （ $=320\text{mm}$ ）一定とした。

表－3.1 供試体の種類

試験名	シリーズ	使用鉄筋		継手長	横方向鉄筋量 [*] (%)		
		主鉄筋	横方向鉄筋		0	25	50
静的曲げ試験	A	N	N	20ϕ	○	○	○
	B	E	E		○	○	○
	C	N	E		○	○	○
曲げ疲労試験	A	N	N		○	—	○
	B	E	E		—	—	○
	C	N	E		—	—	○

*) 主鉄筋断面積比, N…無処理鉄筋, E…塗装鉄筋

3.2 載荷方法

(1) 静的曲げ試験

図－3.2に載荷方法および測定方法の概要を示す。荷重は単調増加させ、途中で供試体の急激な破壊を防ぐため変位制御に変えた。

載荷試験時の測定項目および測定方法は以下のとおりとした。

1) 支間中央と載荷点のたわみ量

支間中央と載荷点および支点に変位計を取りつけ、各点のたわみ量を測定した。

2) 鉄筋のひずみ

載荷点下の主鉄筋にワイヤーストレインゲージを貼布し、鉄筋のひずみを測定した。

3) コンクリートのひずみ

重ね継手部の供試体底面に主鉄筋に沿ってワイヤーストレインゲージを貼布し、コンクリートのひずみを測定した。

4) コンクリートのひびわれ

各荷重段階におけるひびわれを調べ、ひびわれ幅を測定した。

(2) 曲げ疲労試験

供試体の形状寸法および載荷スパンは、(1)静的曲げ試験と同様である。

載荷方法は鉄筋(SD30)の引張応力度が許容応力度である 1800 kg/cm^2 となるまで静的載荷したのち、上限値を 7.5 t (主鉄筋応力度 $\sigma_s = 1800\text{ kg/cm}^2$)、下限値を 1.25 t ($\sigma_s = 300\text{ kg/cm}^2$)とし、 6 Hz の正弦波で100万回繰り返した。

途中、1万、5万、10万、20万、50万および100万回に達した時、疲労載荷を停止して上限荷重まで静的載荷したのち次の測定を行った。

1) 支間中央のたわみ

支間中央に $1/100$ mmダイヤルゲージを取りつけ、たわみ量を測定した。

2) 鉄筋のひずみ

載荷点下の主鉄筋にワイヤーストレインゲージを貼布し、鉄筋のひずみを測定した。

3) コンクリートのひずみ

重ね継手部の供試体底面に主鉄筋に沿ってワイヤーストレインゲージを貼布し、コンクリートのひずみを測定した。

4) コンクリートのひびわれ

コンクリートのひびわれを調べ、ひびわれ幅の測定を行った。

図-3.3に載荷方法および測定方法の概要を示す。

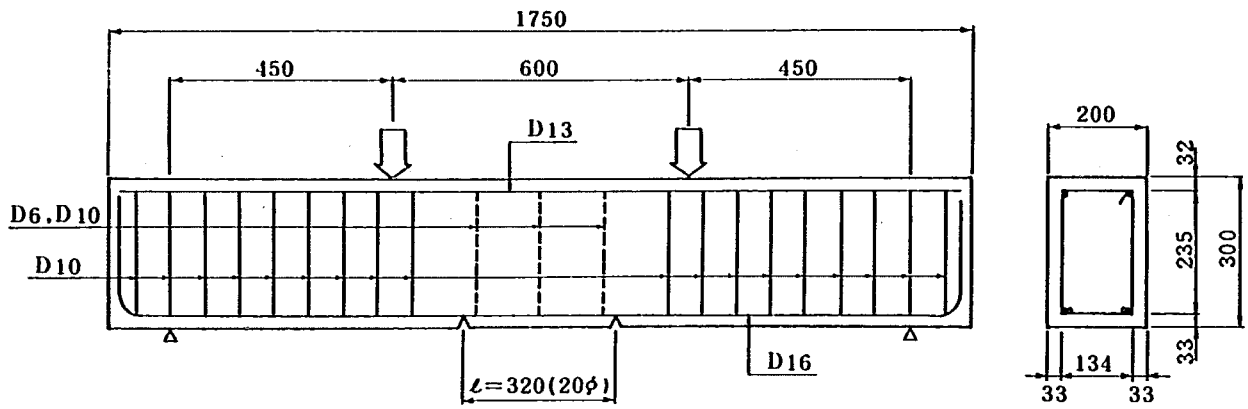


図-3.1 供試体の形状と寸法 (単位mm)

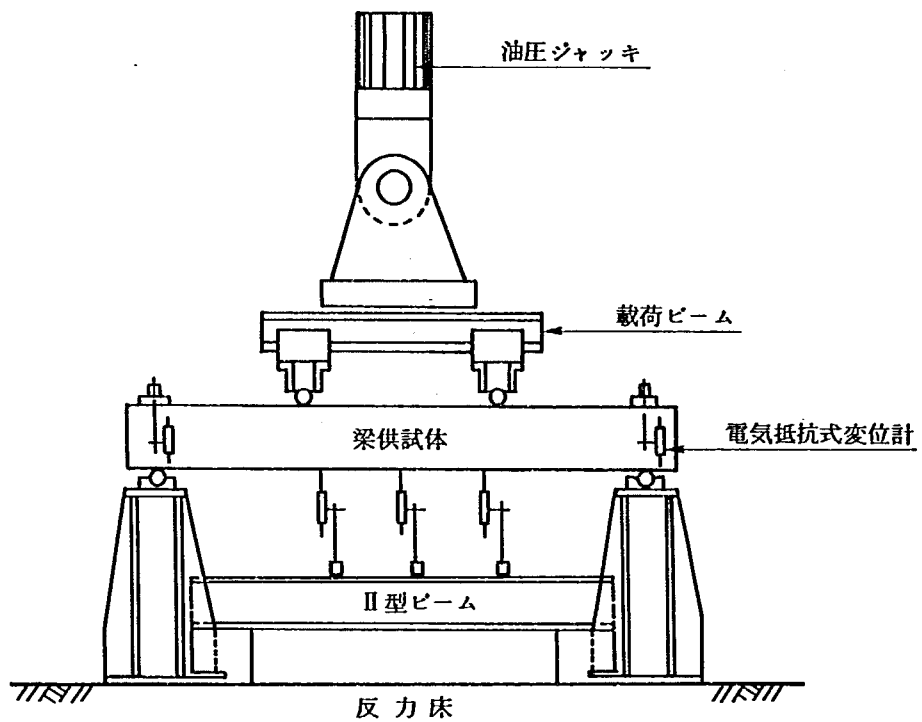


図-3.2 静的曲げ試験概要図

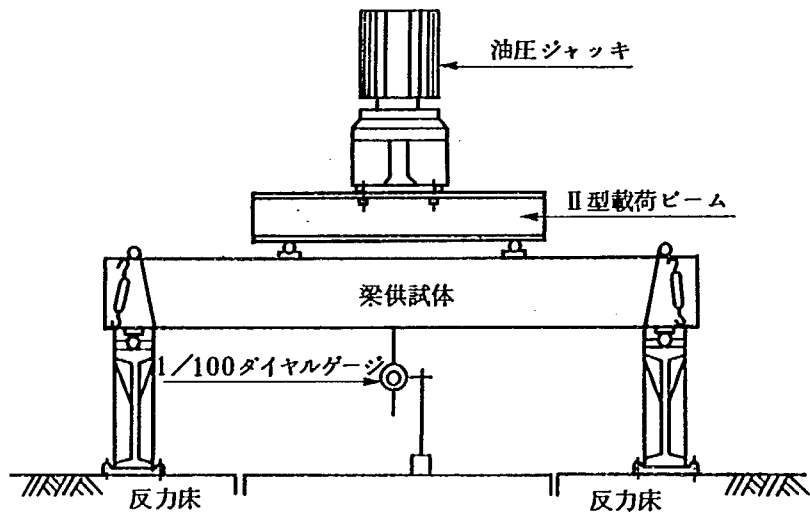


図-3.3 曲げ疲労試験概要図

4. 試験結果

コンクリートの試験成績結果を表-4.1に示す。

ただし、標準養生供試体は材令28日、現場養生供試体は梁供試体の載荷試験時材令で試験した。

4.1 静的曲げ試験

(1) 表-4.2および図-4.1に載荷試験結果を示す。これより、シリーズAとシリーズCは横方向鉄筋量 A_{st} と最大荷重 P_{max} より求めた主鉄筋応力度 σ'_s ならびに重ね継手部平均付着応力度 $\bar{\tau}'$ との関係がほぼ同様であるといえる。このことから、重ね継手部の横方向鉄筋に塗装鉄筋を用いても主鉄筋が無処理鉄筋である場合には耐力の低下はほとんどないといえる。

(2) また、シリーズAおよびCは横方向鉄筋量 A_{st} を25%から50%に増しても耐力の増加はわずかであり、耐力の増加に効果のある横方向鉄筋量は今回の実験では25%であった。しかし、

シリーズBは横方向鉄筋量の増加にともなって耐力もほぼ直線的な増加をしている。

(3) 次に、荷重と支間中央の変位との関係を図-4.2に、荷重と継手端部の鉄筋ひずみとの関係を図-4.3に示す。シリーズAおよびCは梁供試体が最大荷重に達する前に主鉄筋が降伏しており、最大荷重までの耐力は横方向鉄筋の効果によるものと思われる。しかし、シリーズBは主鉄筋の降伏以前に最大荷重に達している。

(4) 図-4.4に荷重と供試体底面のコンクリートひずみとの関係を示す。この図からは継手部の主鉄筋応力の分布は明らかではないが、主鉄筋に塗装鉄筋を用いたシリーズBでは継手区間で鉄筋応力がシリーズAおよびCに比べて平均化されているといえる。

(5) 図-4.5にひびわれ発生状況を示す。シリーズAおよびC (A-0%, C-0%を除く) の供試体の破壊性状は主鉄筋の降伏直後に継手部コンクリートの底面ならびに側面に主鉄筋に沿った縦ひびわれが発生し、最大荷重に達した後、過大なひびわれが生じて破壊したが、シリーズBは主鉄筋の降伏以前に最大荷重に達し、主鉄筋に沿った縦ひびわれが発生して破壊した。

4.2 曲げ疲労試験

(1) 図-4.6および図-4.7に繰り返し回数Nと支間中央の変位および継手端部の主鉄筋ひずみとの

表-4.1 コンクリートの試験成績結果

	圧縮強度 (kg/cm^2)	引張強度 (kg/cm^2)
標準養生供試体	340	25.6
現場養生供試体	358	26.9

表-4.2 静的曲げ試験結果

シリーズ	A_{st} (%)	P_{max} (ton)	σ'_s (kg/cm^2)	$\bar{\tau}'$ (kg/cm^2)
A	0	16.40	3,929	48.74
	25	19.50	4,672	57.96
	50	18.60	4,456	55.28
B	0	8.59	2,058	25.53
	25	11.61	2,782	34.51
	50	13.62	3,263	40.48
C	0	16.06	3,848	47.74
	25	18.90	4,528	56.18
	50	19.58	4,691	58.20

$$\text{ただし } \sigma'_s = \frac{M}{A_s \cdot j \cdot d}$$

$$\bar{\tau}' = \frac{\sigma'_s \cdot A_s}{U \cdot \Delta L}$$

関係を示す。繰返し回数と支間中央のたわみとの関係では、C-50%供試体が他の供試体に比べてたわみの増加が若干大きいほかは、安定した挙動を示した。また、繰返し回数と鉄筋ひずみとの関係ではA-50%供試体が若干ひずみが大きいものの、どの供試体も繰返し回数によるひずみの増加はほとんどなかった。

(2) 図-4.8にひびわれ発生状況を示す。横方向鉄筋のある供試体のひびわれ状況には差異はなく、主鉄筋に塗装鉄筋を用いても補強筋を使用すれば縦ひびわれの発生を防ぐことができるといえる。

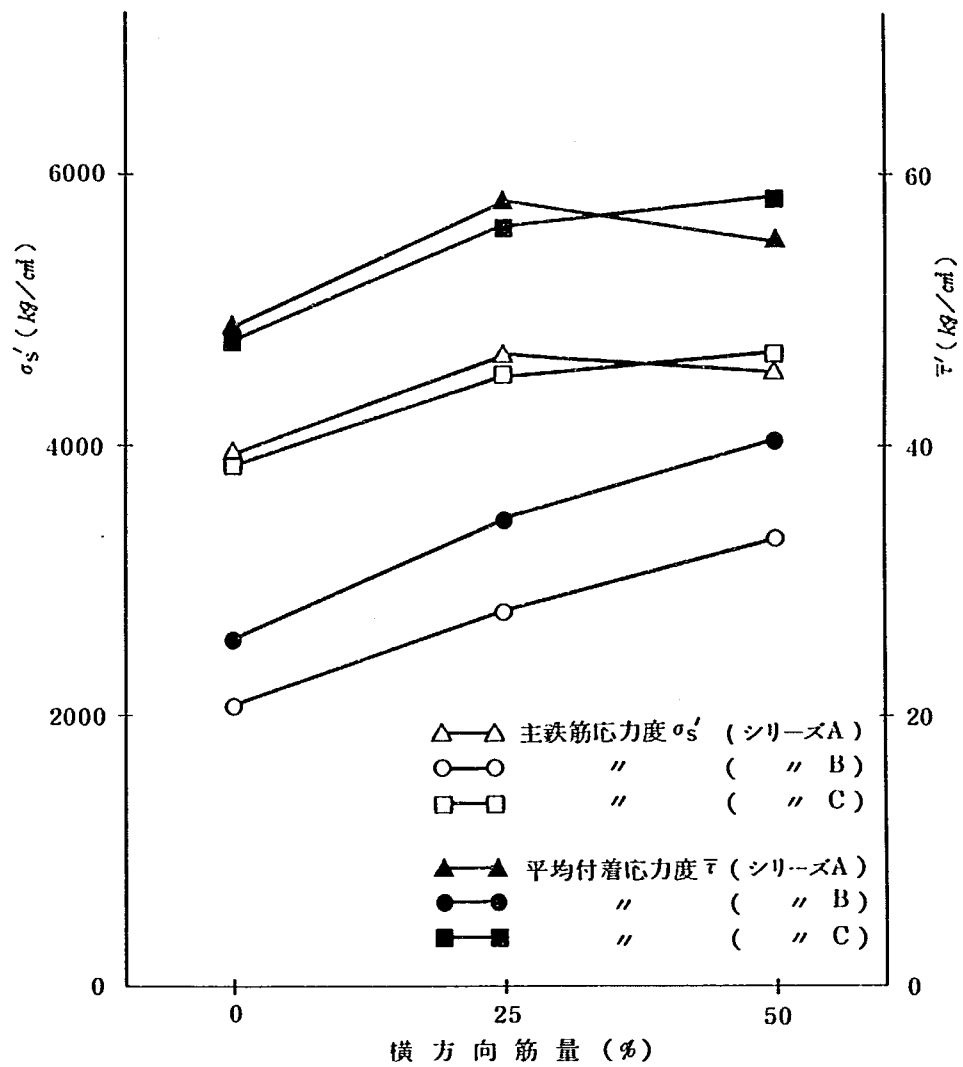


図-4.1 横方向鉄筋量と主鉄筋応力度および平均付着応力度との関係

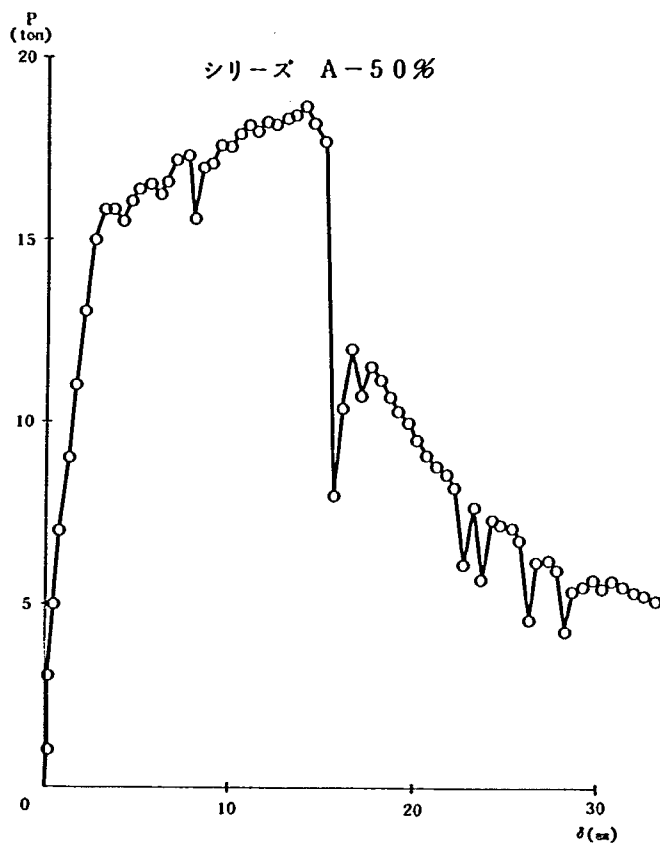
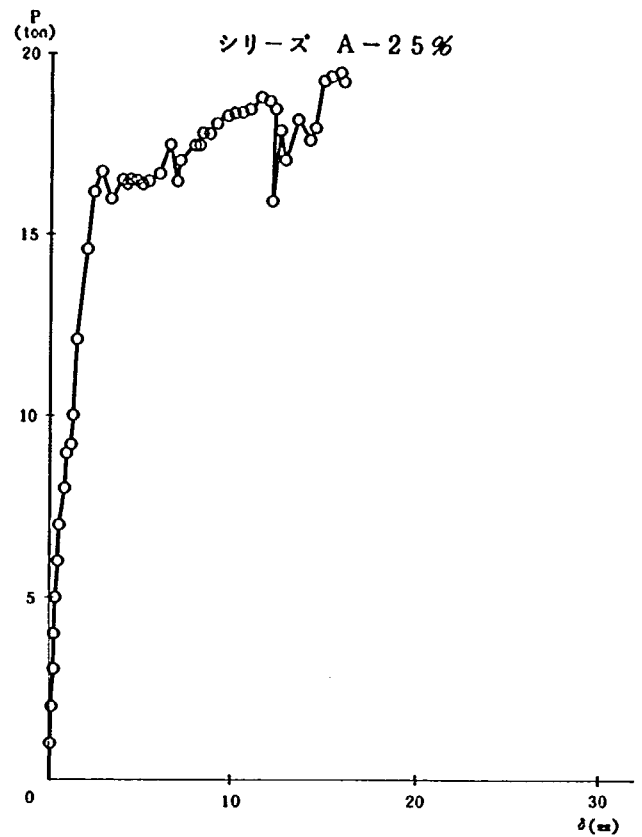
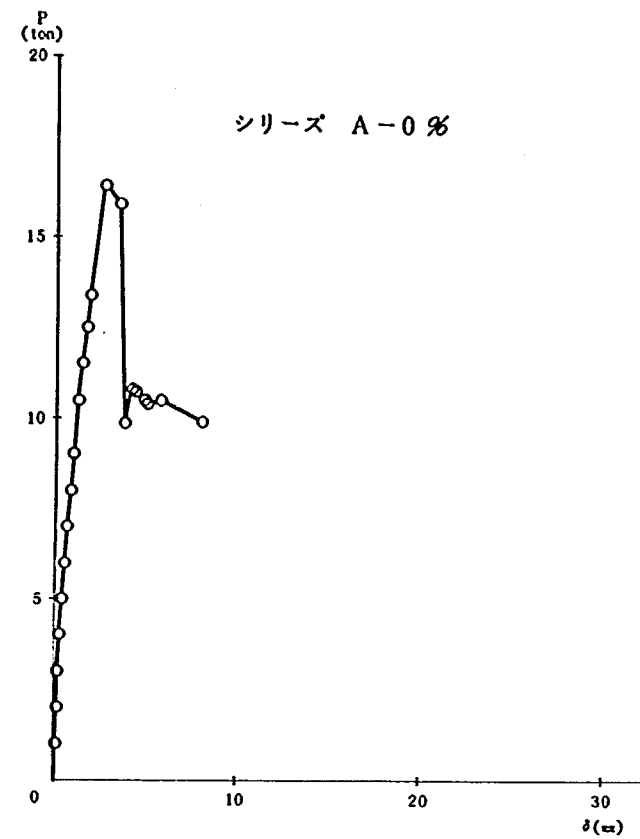


図-4.2 荷重と支間中央の変位との関係(1)

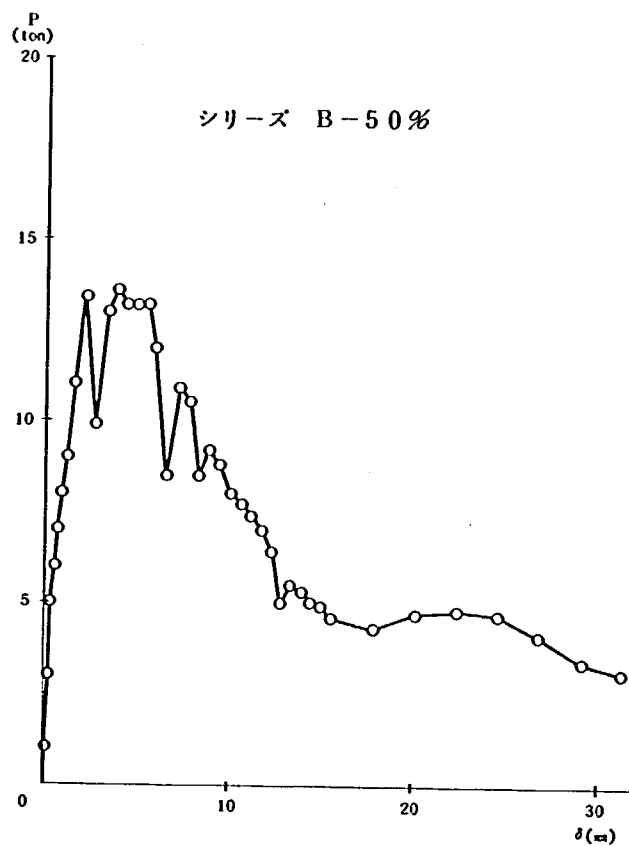
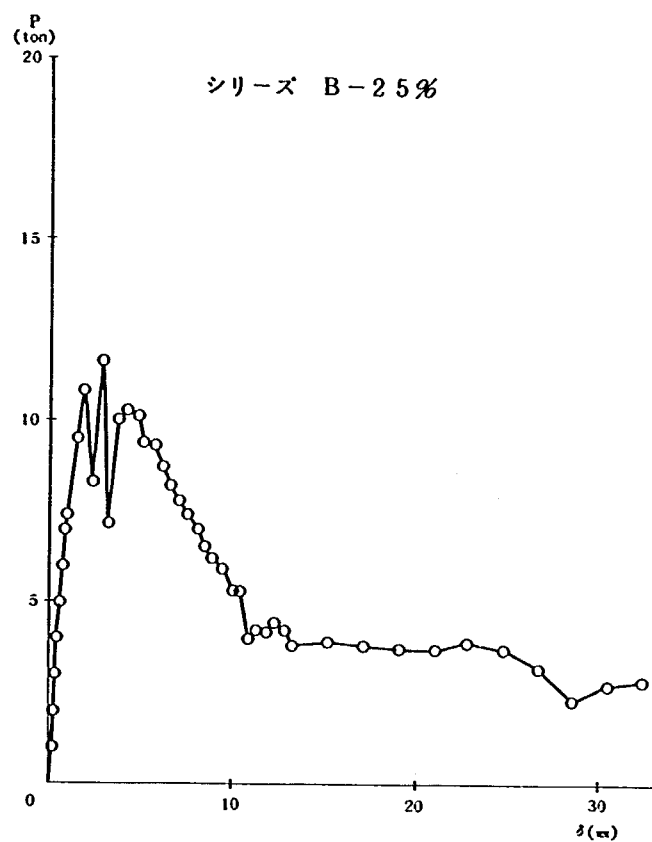
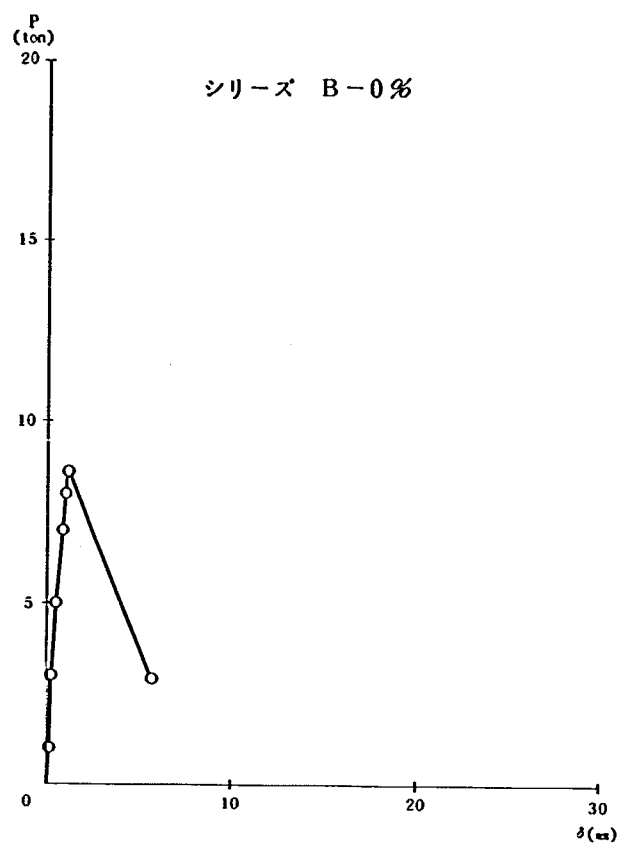


図-4.2 荷重と支間中央の変位との関係(2)

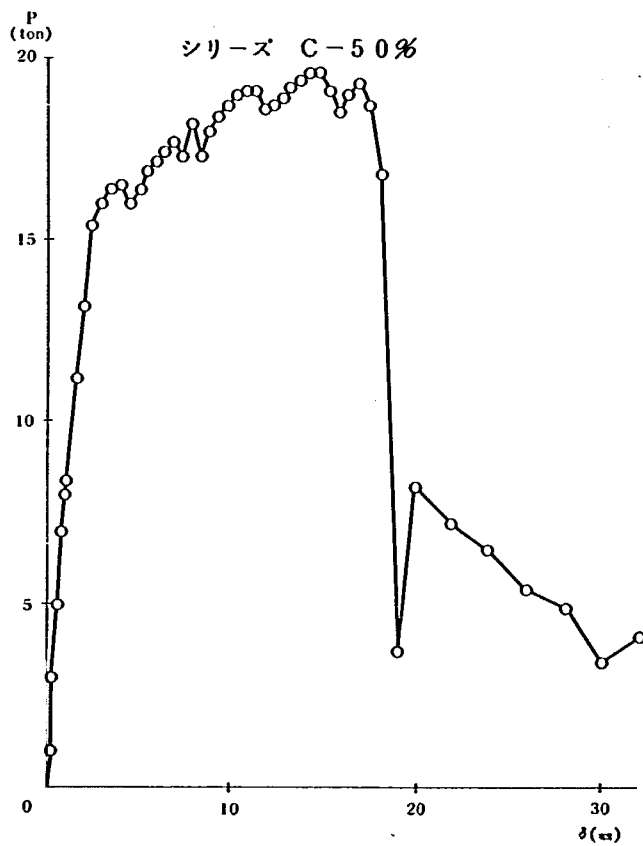
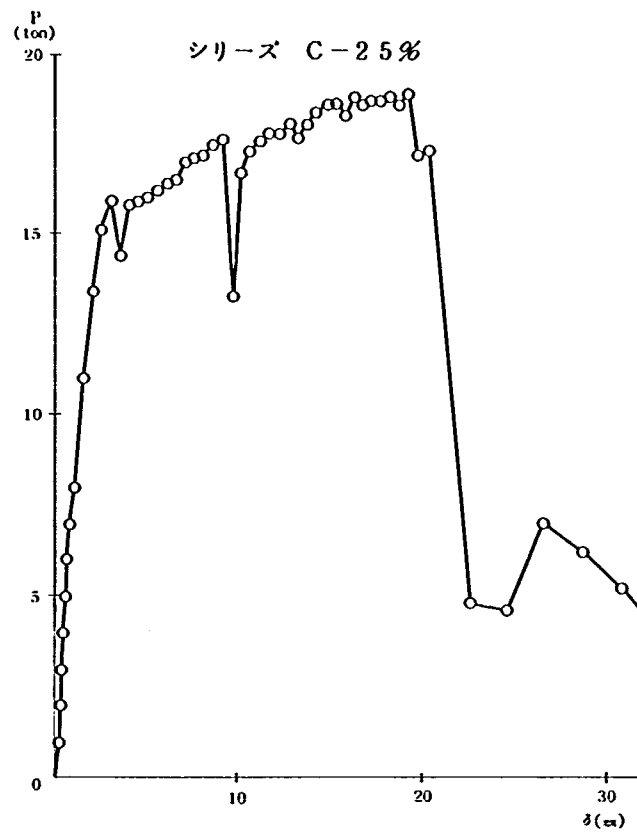
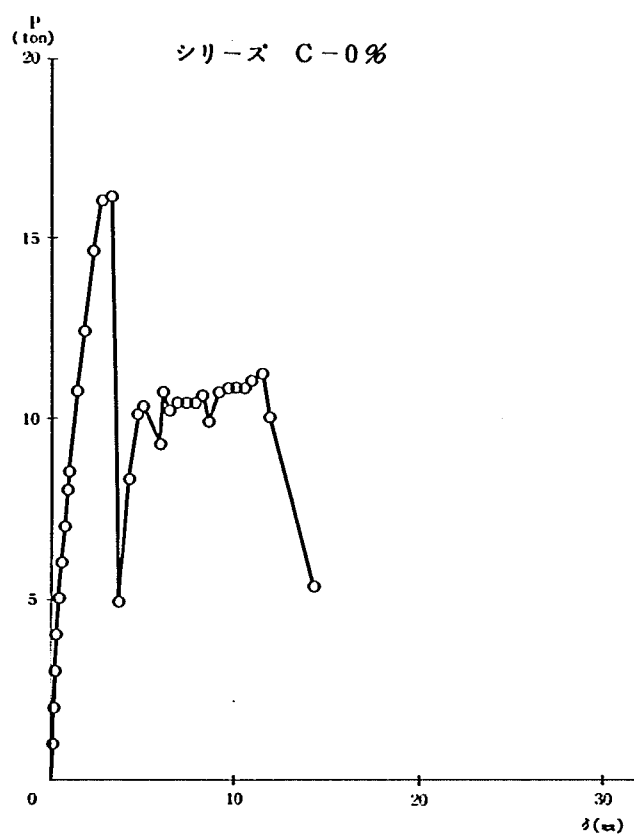


図-4.2 荷重と支間中央の変位との関係(3)

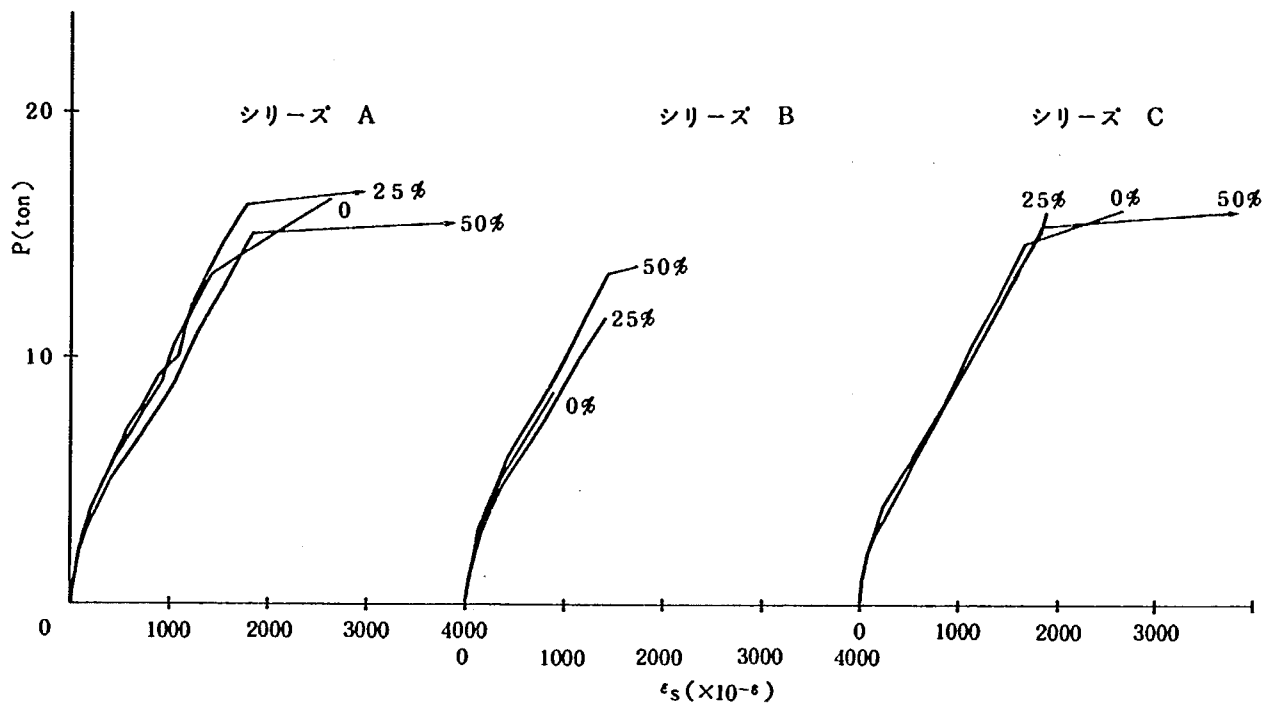


図-4.3 荷重と重ね継手端部での鉄筋ひずみとの関係

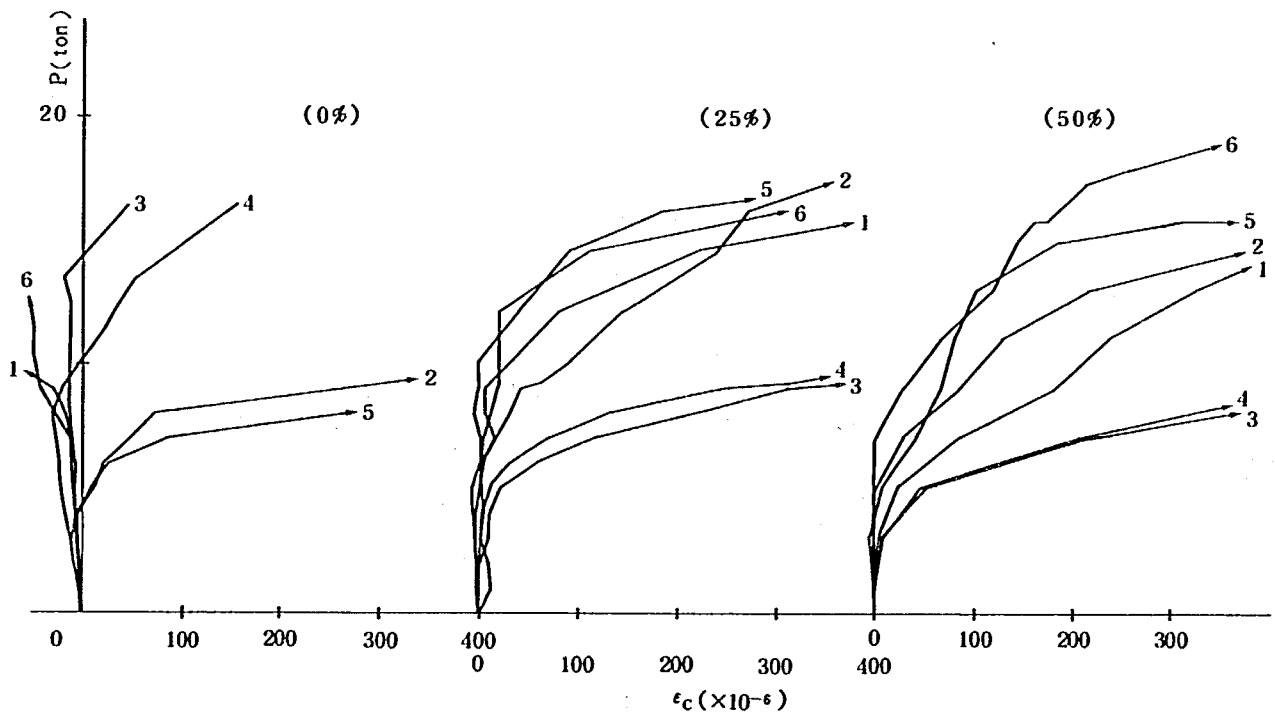


図-4.4 荷重とコンクリートひずみとの関係 (シリーズA)

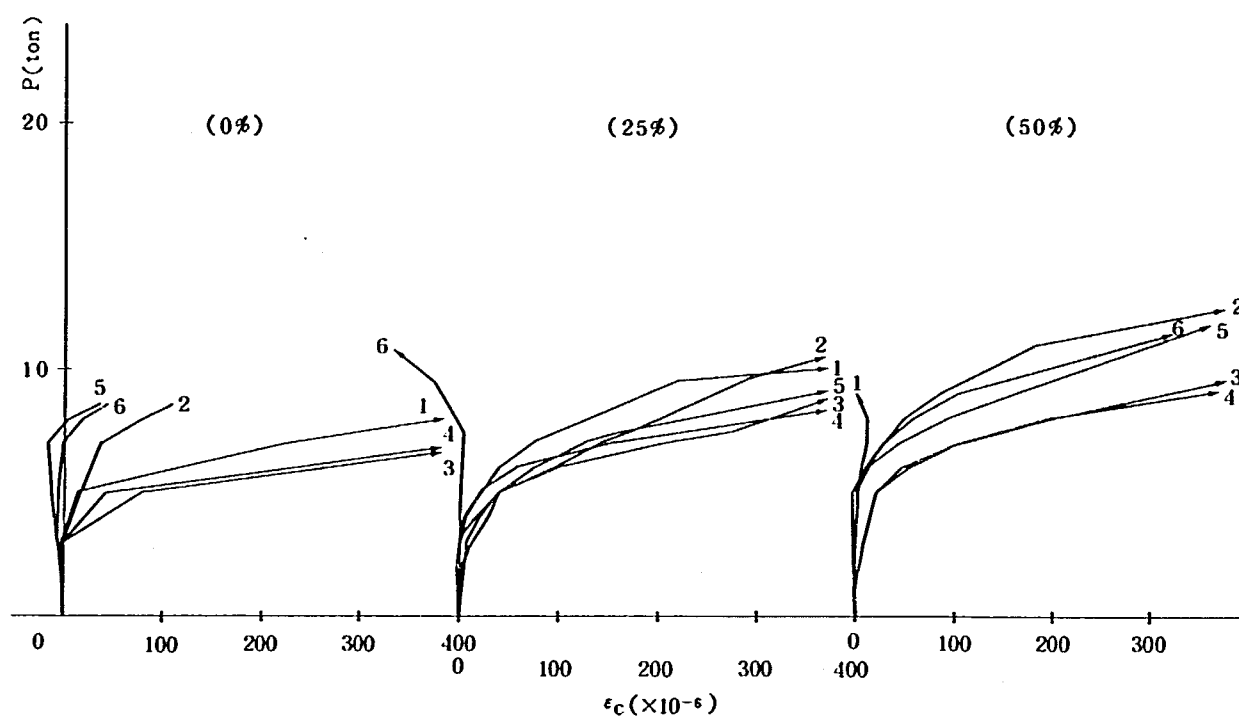


図-4.4 荷重とコンクリートひずみとの関係 (シリーズB)

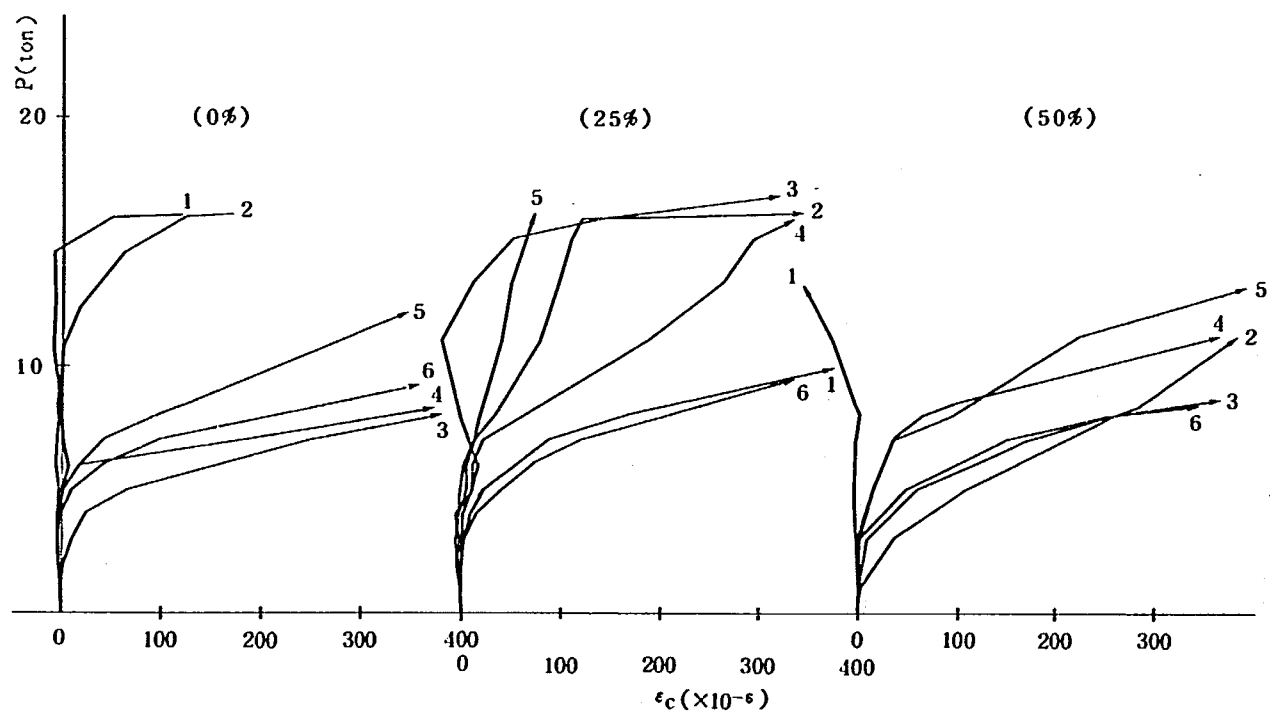


図-4.4 荷重とコンクリートひずみとの関係 (シリーズC)

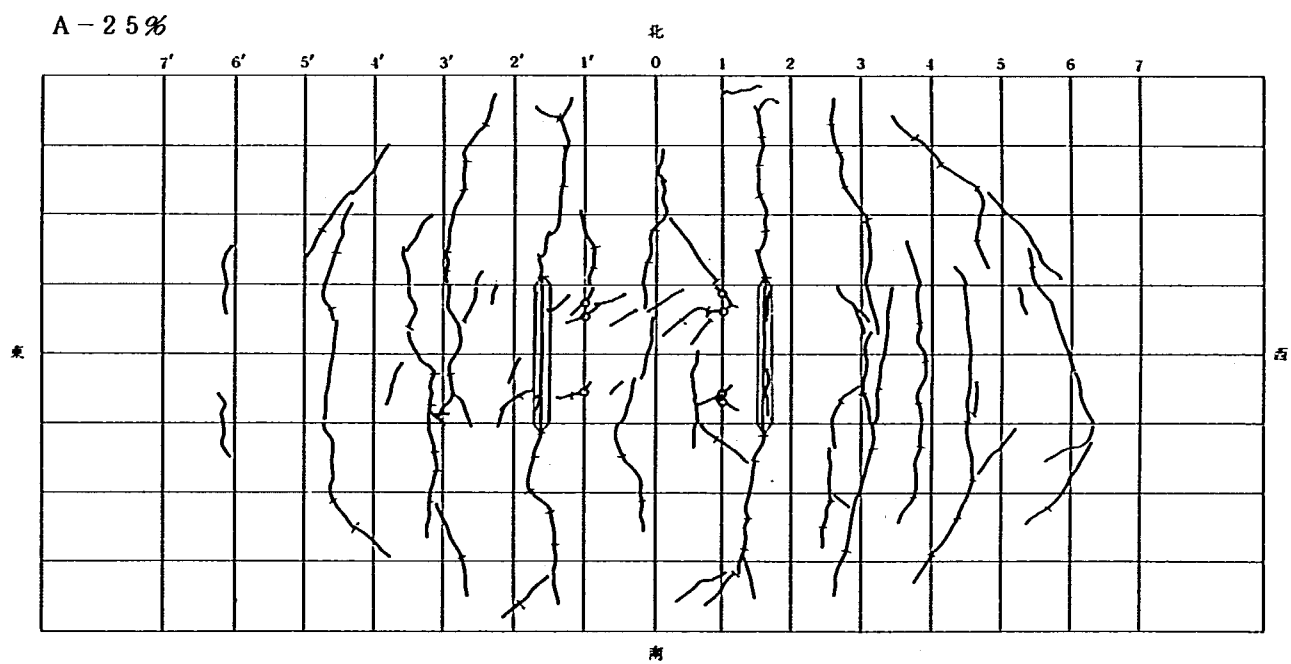
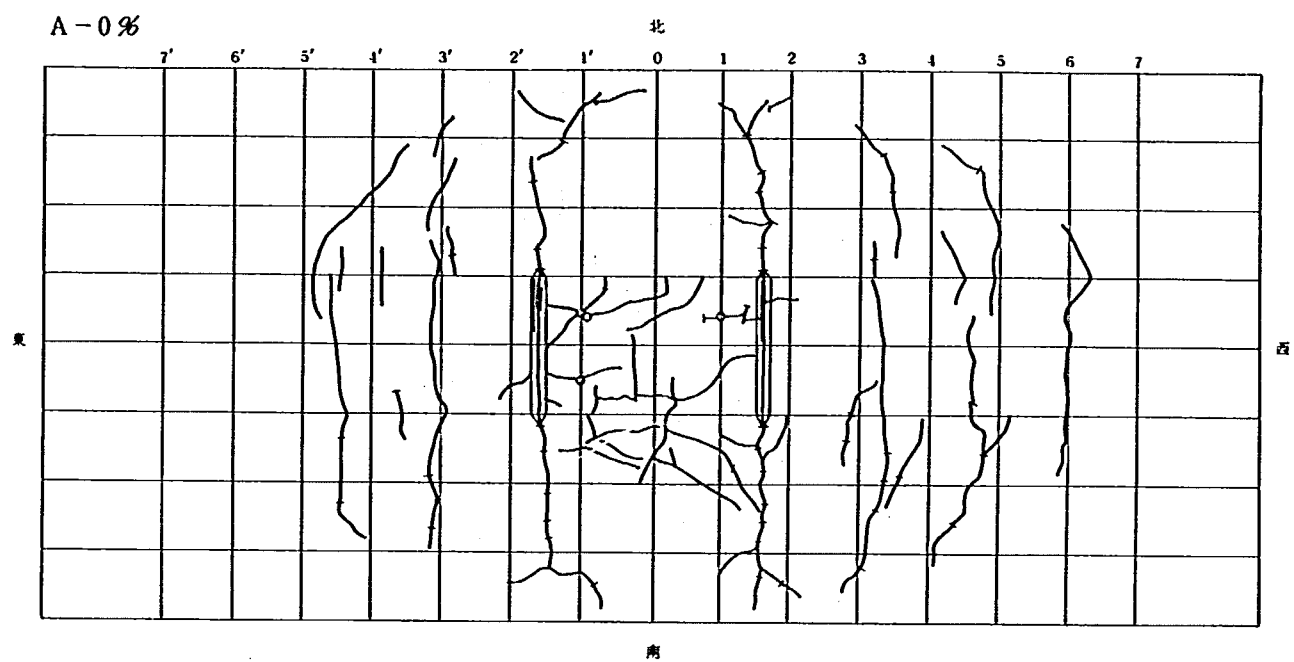


図-4.5 静的曲げ試験供試体ひびわれ状況(1)

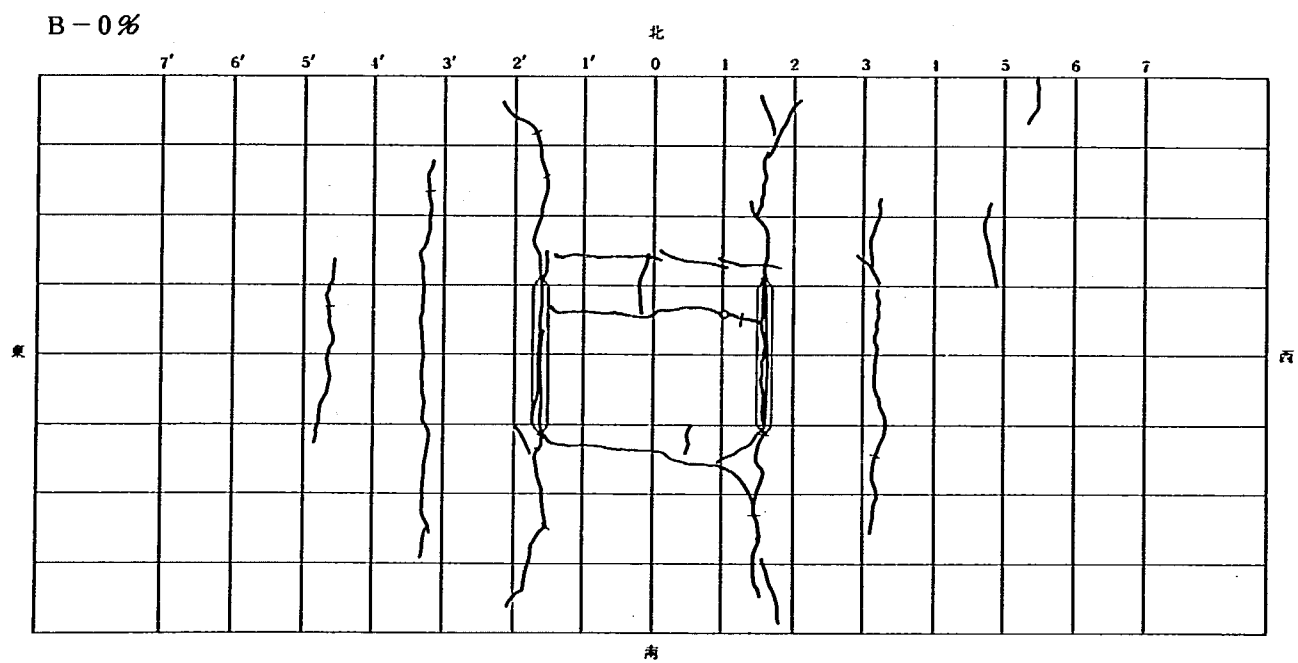
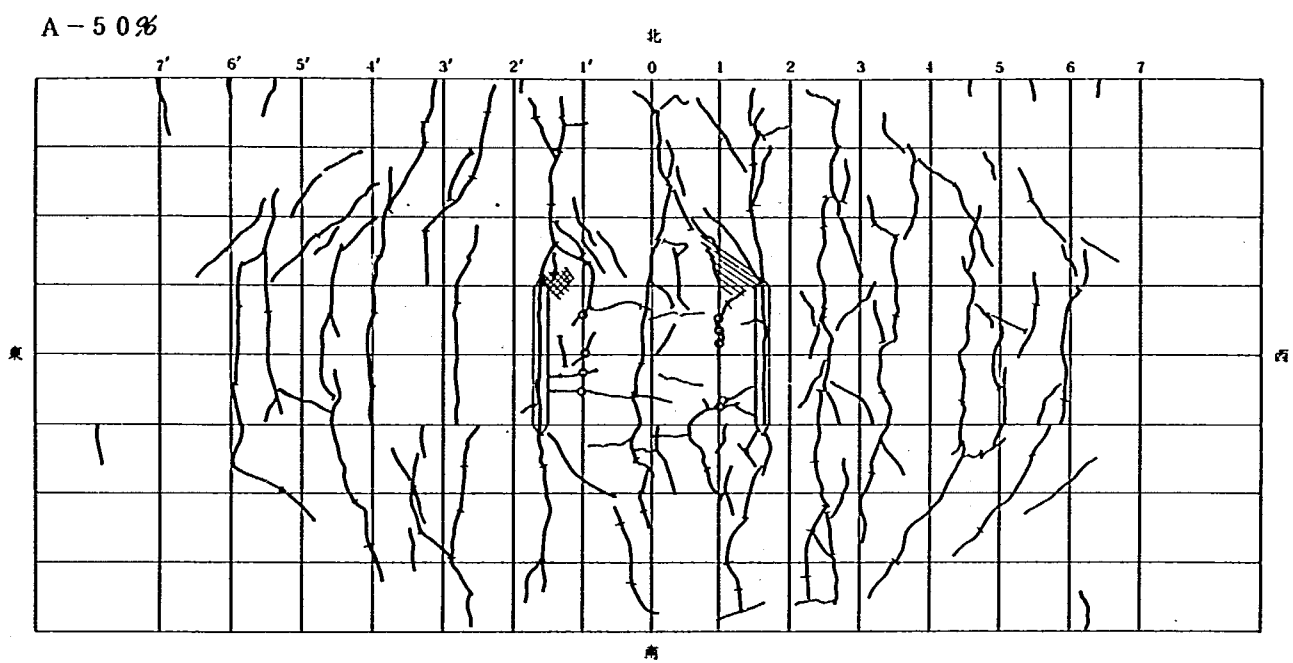


図-4.5 静的曲げ試験供試体ひびわれ状況(2)

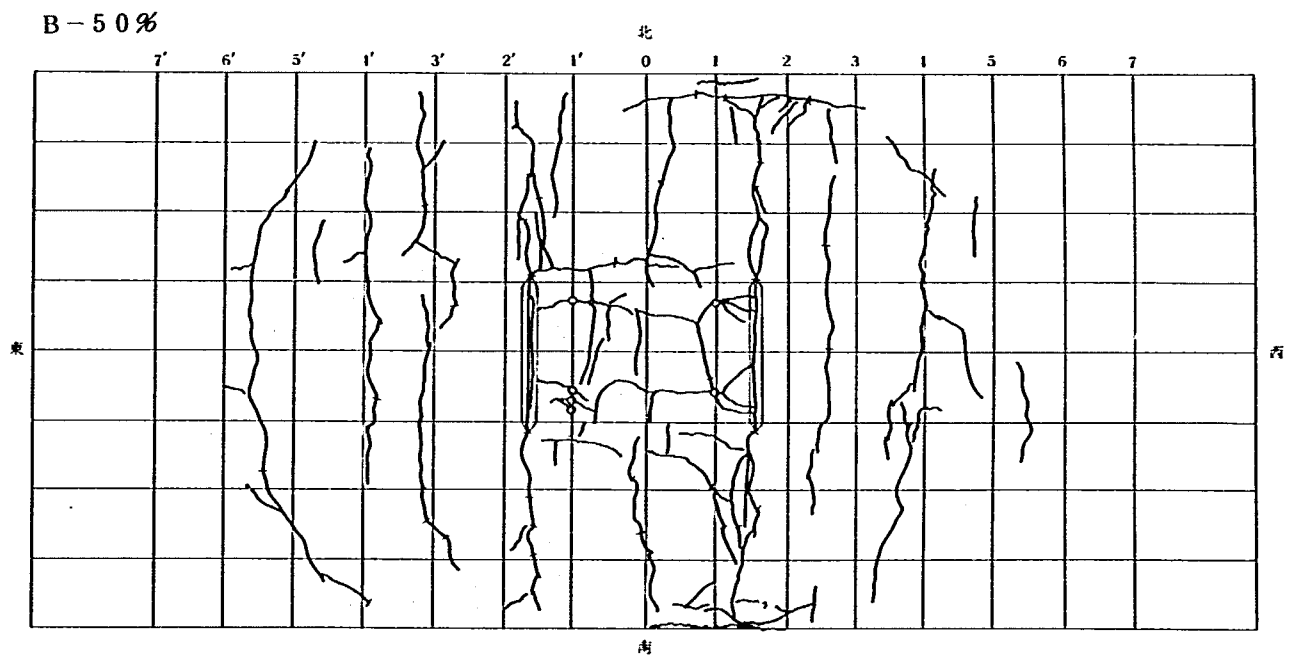
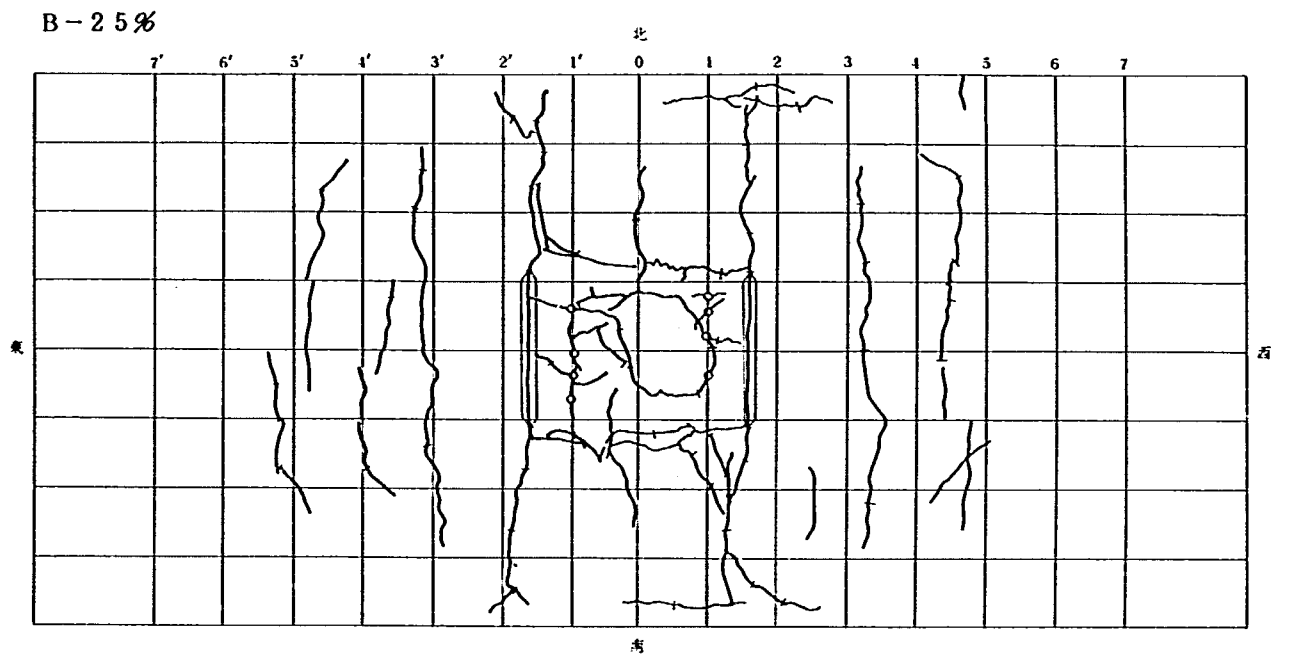


図-4.5 静的曲げ試験供試体ひびわれ状況(3)

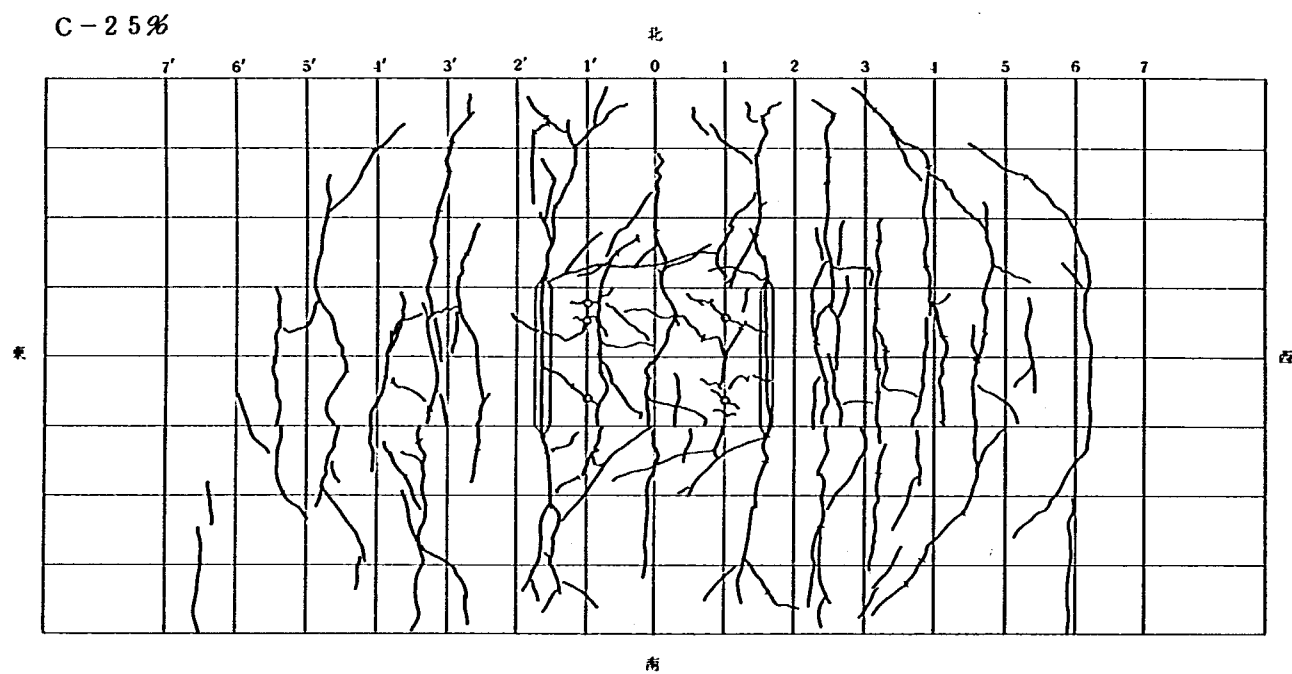
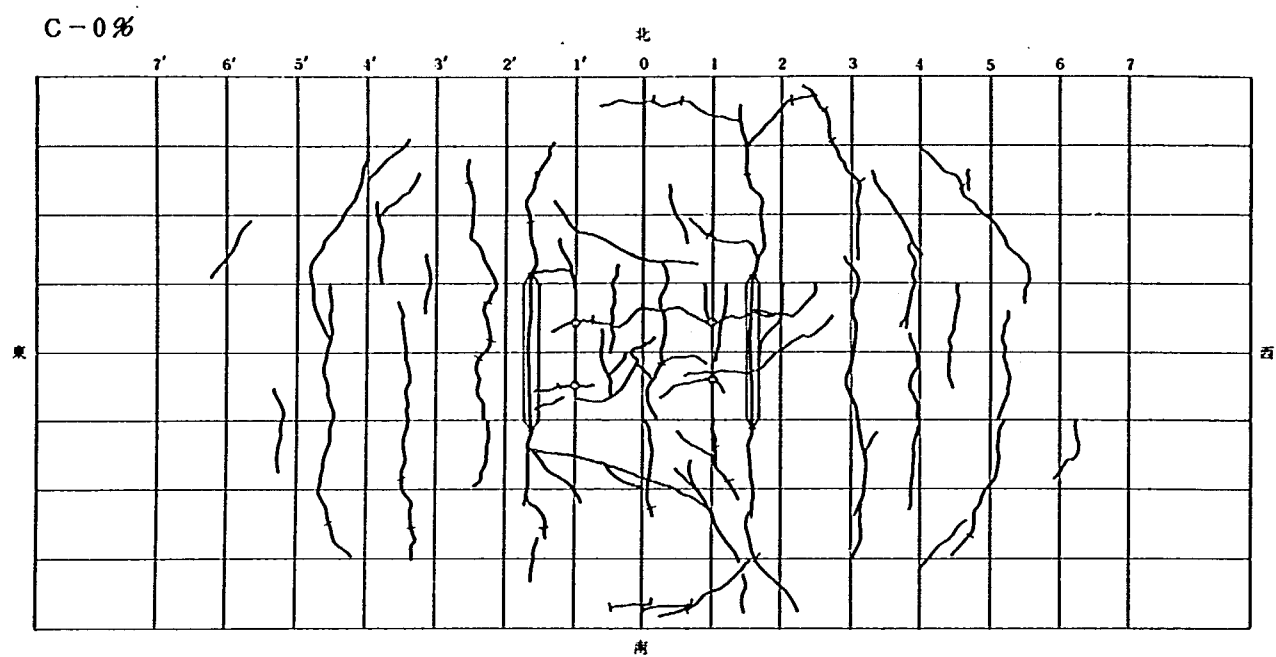


図-4.5 静的曲げ試験供試体ひびわれ状況(4)

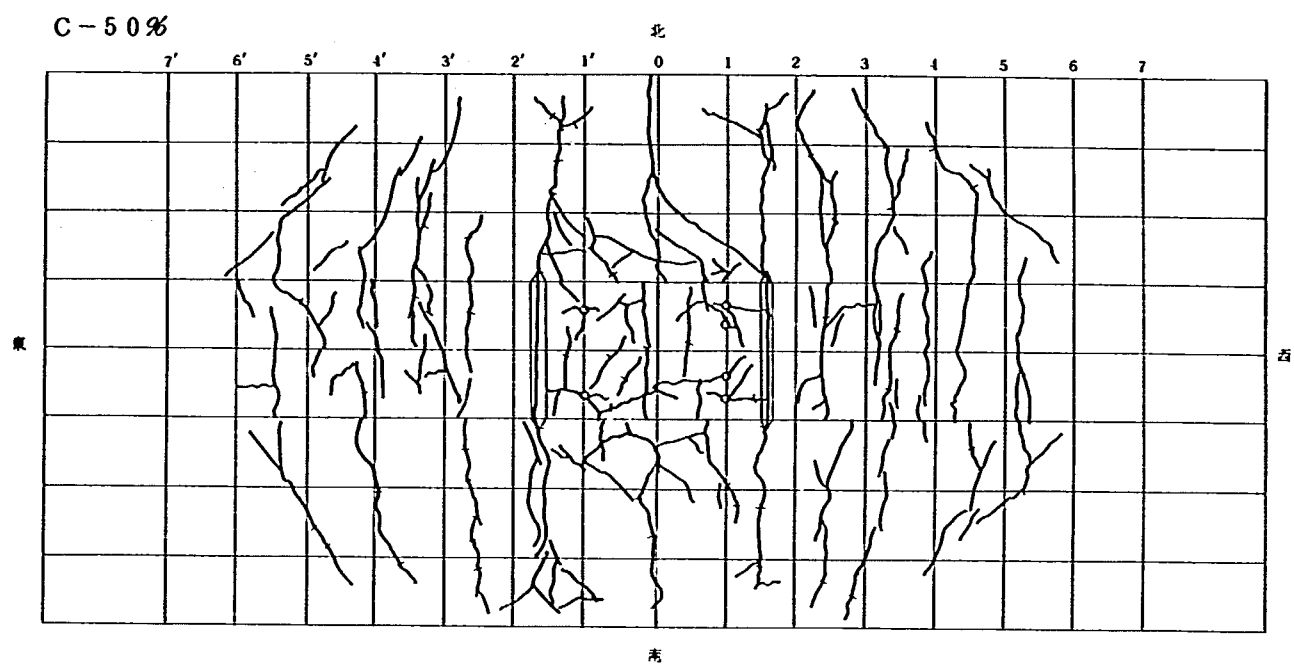


図-4.5 静的曲げ試験供試体ひびわれ状況(5)

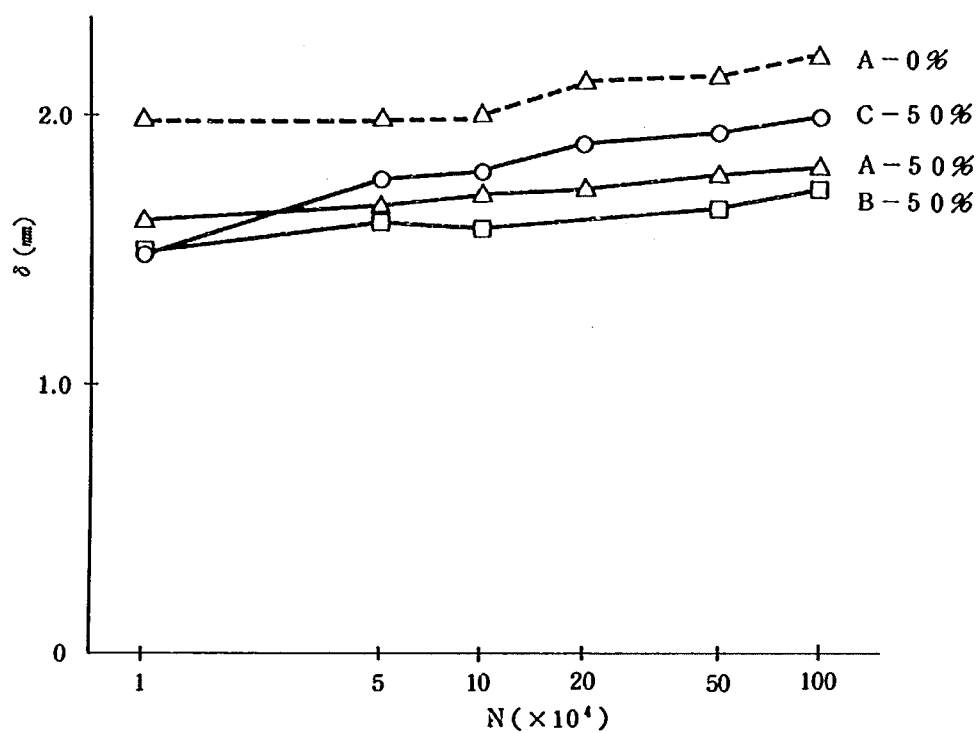


図-4.6 繰返し回数と支間中央のたわみとの関係

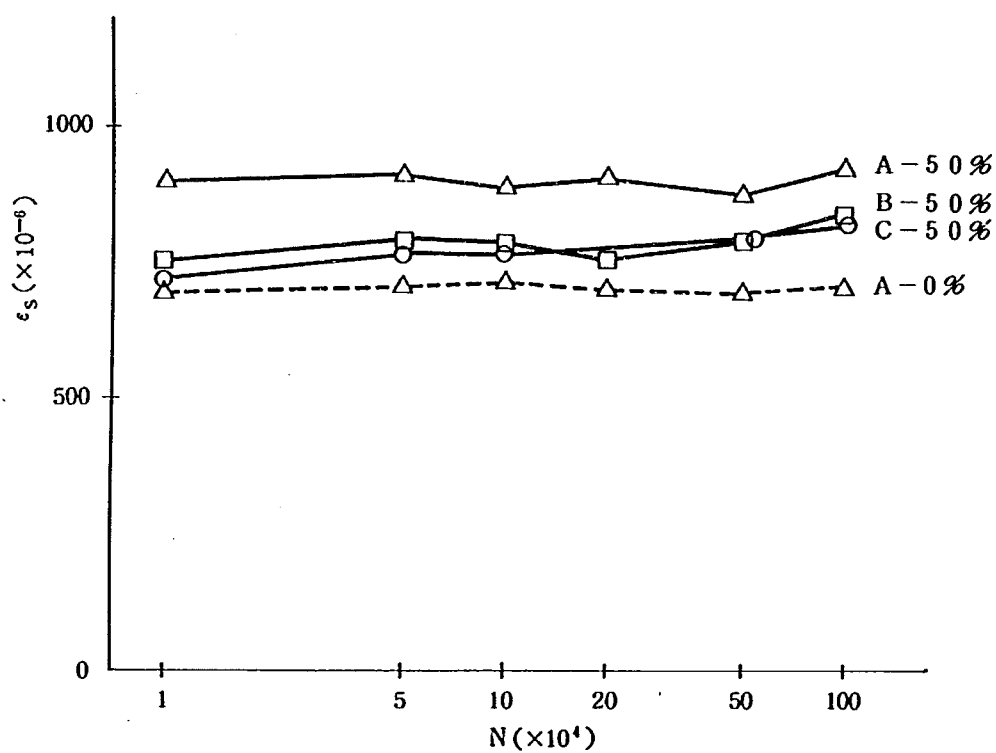
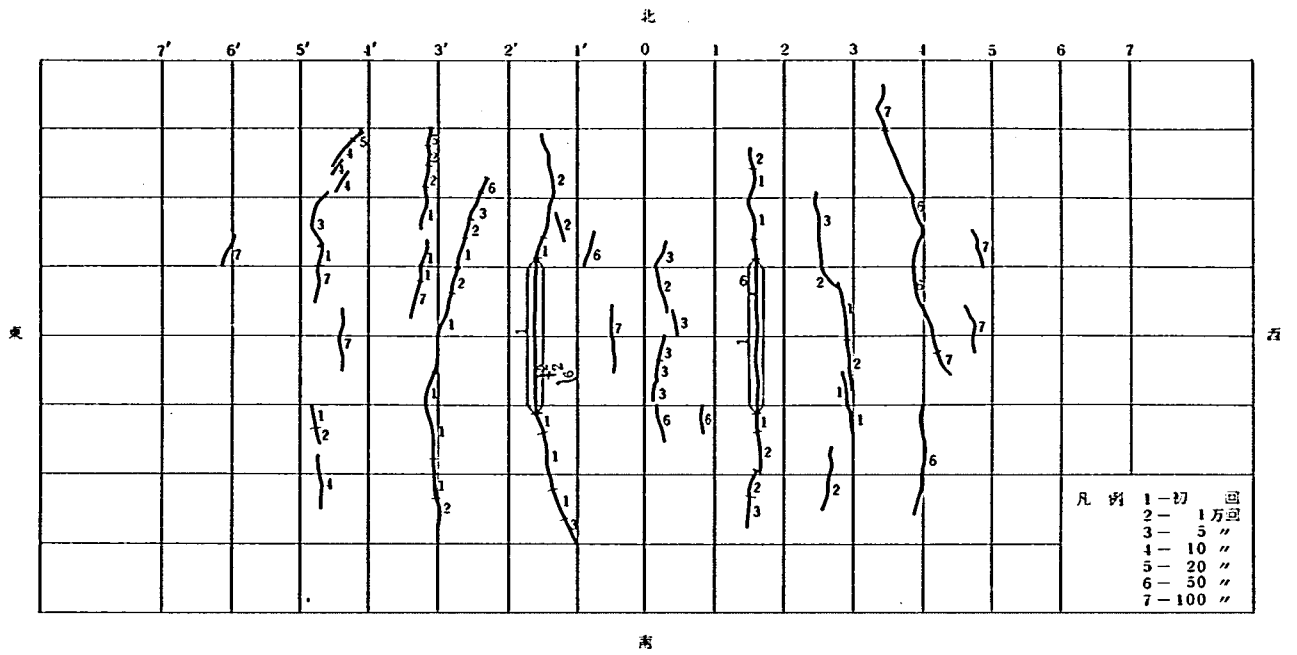


図-4.7 繰返し回数と重ね継手端部の鉄筋ひずみとの関係

A-0%



A-50%

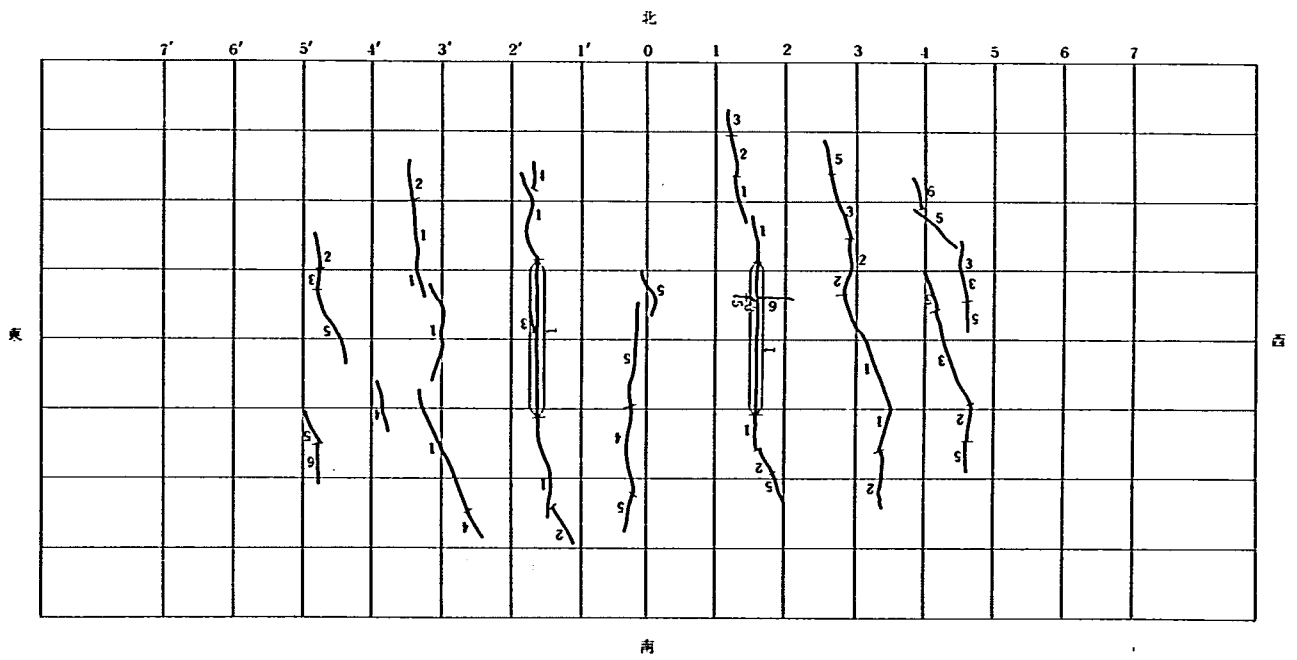
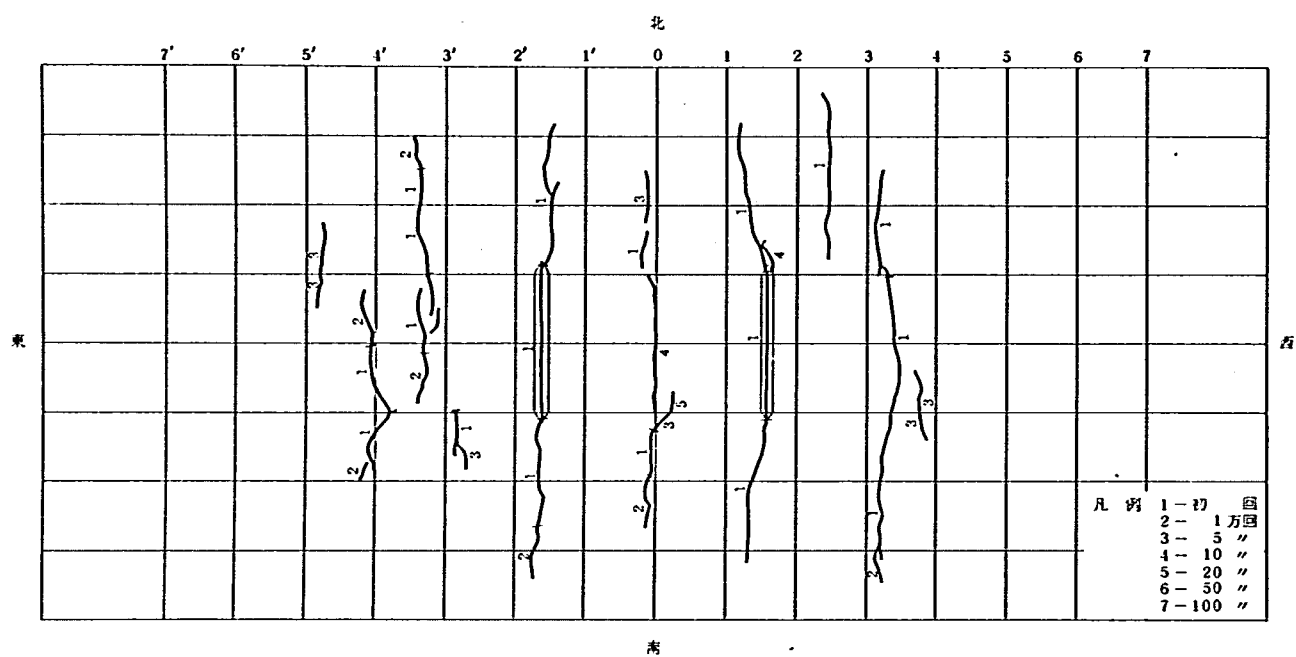


図-4.8 曲げ疲労試験供試体ひびわれ状況(1)

B-50%



C-50%

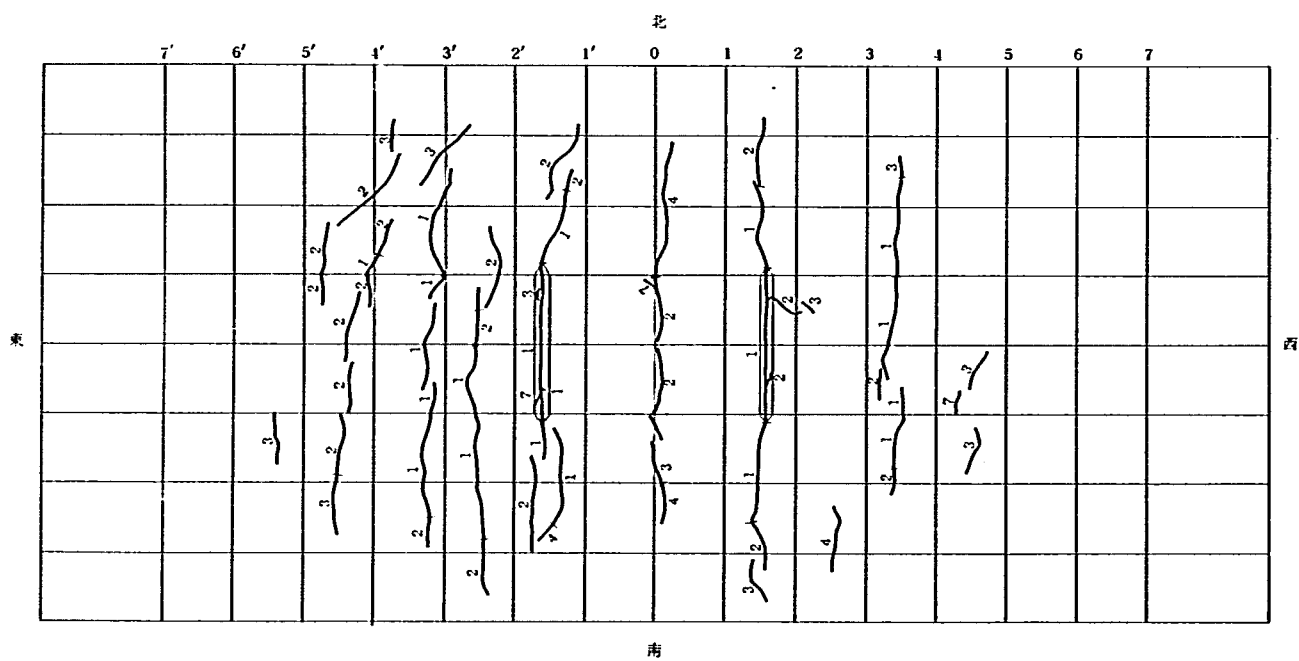


図-4.8 曲げ疲労試験供試体ひびわれ状況(2)

5. ま と め

- (1) 主鉄筋に無処理鉄筋を用いた場合、重ね継手部の横方向鉄筋に塗装鉄筋を使用しても無処理鉄筋を使用した供試体と同様の耐力が得られる。
- (2) 主鉄筋に塗装鉄筋を用いた供試体は無処理鉄筋を用いた供試体に比べ、重ね継手区間で鉄筋応力が平均化されている。
- (3) 今回の疲労载荷試験の範囲内では主鉄筋および横方向鉄筋に塗装鉄筋を用いても無処理鉄筋を用いた供試体との挙動に差異はなかった。

参 考 文 献

- 1) 小林茂敏, 丹野 弘, 高橋弘人:「樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験(2)」 1984 年 土木研究所 資料第 2041 号
- 2) 太田利隆, 服部健作他:「エポキシ樹脂被覆鉄筋の重ね継手に及ぼす横方向鉄筋の影響について」 1984 年 土木学会年次講演会

樹脂塗装鉄筋に関する調査 及び試験(3)

ISSN 0386-5878
土研資料第2211号
昭和60年3月(1985)

要旨

エポキシ樹脂塗装鉄筋は現在最も有効な防食方法の1つであるが、実際の構造物に用いるにあたっての適正な使用方法を知るため、重ね継手部の横方向鉄筋に塗装鉄筋を使用した場合の耐荷力等について調査した。その結果主鉄筋に無処理鉄筋を用いた場合、横方向鉄筋に塗装鉄筋を用いても耐荷力は低下しないこと、疲労載荷試験の結果も梁の挙動に差異がないことが判明した。

キーワード：塗装鉄筋、重ね継手、横方向鉄筋、耐荷力



