

土 木 研 究 所 資 料

第 2 0 4 1 号

樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験(2)

樹脂塗装鉄筋の実用性に関する検討

昭和59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 © 1984 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 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、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

目 次

1. ま え が き	1
2. 使 用 材 料	2
3. エポキシ樹脂塗装鉄筋の施工性	4
4. 載 荷 試 験	7
4.1 コンクリート	7
4.2 引抜き試験	8
4.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋の重ね継手試験	11
4.4 エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたRC梁の力学的特性	21
5. エポキシ樹脂塗装鉄筋の防食効果試験	34
5.1 概 要	34
5.2 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁	34
5.3 T形断面曝露梁	47
6. あ と が き	56
参 考 文 献	56
塗装鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計・施工・品質規準（案）・同解説	57
塗装鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計・施工規準（案）	59
塗装鉄筋の品質試験方法および品質規準（案）	79

1. ま え が き

近年、海洋環境下において鉄筋の腐食によってコンクリート構造物が劣化する事例が増大し、その早急な対策が望まれている。鉄筋の腐食を防止する方法として、防食加工鉄筋、とりわけエポキシ樹脂塗装鉄筋が有効と考えられるが、まだ適正な使用法等については我が国ではあまり知られていないので早急に整備する必要が生じた。

本資料は、エポキシ樹脂塗装鉄筋を実際の構造物に用いるにあたっての施工性、力学的特性等について土木研究所で昭和57、58年調査・検討した結果と防食性を確認するための曝露試験の概要をとりまとめたものである。

昭和59年3月

コンクリート研究室長	小	林	茂	敏
化 学 研 究 室	片	脇	清	士
コンクリート研究室	丹	野		弘
"	高	橋	弘	人

2. 使 用 材 料

2. 1 鉄 筋

試験に使用した鉄筋は、D 6 ～ D 1 6 の 4 種類の鉄筋 (S D 3 0) とした。鉄筋の機械的性質を表 - 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 Y. P. (Kg/mm ²)	引 張 強 さ T. S. (Kg/mm ²)	伸 び E. L. (%)
D 6	斜 フ シ	4 0	6 1	2 9
D 1 0	横 フ シ	4 2	6 0	2 4
D 1 3	横 フ シ	3 6	5 6	2 5
D 1 6	横 フ シ	3 4	5 3	2 7

2. 2. 塗 料

エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗料は、¹⁾ 昨年の実験結果をもとにして運んだ。塗料の組成を表 - 2. 2 に示す。また補修用塗料の組成を表 - 2. 3 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 8 5 0	7 0. 5 wt %
2. 硬 化 剤	フェノール系樹脂	
3. 可 撓 性 付 与 剤	_____	
4. 添 加 剤	ハジキ防止剤 (アクリルオリゴマー) タレ止剤	1. 5 % 1. 3 %
5. 顔 料	体質 (酸化珪素) 着色 (酸化鉄)	2 1. 6 % 3. 6 %
合 計		1 0 0 %

表 - 2. 3 補修用エポキシ樹脂塗料 (リキッドタイプ) の組成表

1. 基 体 樹 脂	エポキシ系樹脂 + キシレン 1 5 %	1 0
2. 硬 化 剤	変性ポリアミドアミン	1

(混合重量比)

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 : 4 0 ～ 6 0 μ) 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り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

(1) 塗膜厚

鉄筋径ごとに鉄筋を10本(D6は13本)抜き取り電磁微厚計によりフシ間の平坦部の膜厚を測定した。ただし、D6は平坦部での測定ができないため、フシ部の膜厚を測定している。

(2) ピンホール

ピンホールテスター(低周波高圧パルス放電式, 1,000V)によって測定した。

(3) 硬度および付着性

塗膜の硬度および付着性はJIS K 5400「塗料一般試験方法」によった。

1) 硬度

三菱ユニの鉛筆を用いて塗膜のやぶれや傷を調べた。また、塗料には温度依存性があるため、20℃および0℃について調べた。

2) 付着性

塗膜を1mm×1mmのごぼん目に切り、セロテープによる剝離試験を行なった。

以上の測定結果を表-2.4に示す。

表 - 2.4 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1m当り平均
	0℃	20℃		目 標	実 測	
D 6	2H	H	100/100	200	230~320	多 数
D10	"	"	"	"	170~210	"
D13	"	"	"	"	180~210	1~2
D16	"	"	"	"	180~210	10~15

3. エポキシ樹脂塗装鉄筋の施工性

3.1 概 要

エポキシ樹脂塗装鉄筋の防食効果は、鋼材と水分、塩化物イオンおよび酸素との接触を遮断するエポキシ樹脂塗膜に依存している。しかし、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる実際の工事では、鉄筋の運搬、切断、曲げ加工、および組立てなどの施工時に塗膜が損傷する²⁾場合がある。

本章は、エポキシ樹脂塗装鉄筋の施工性を検討するために、載荷および曝露試験用供試体の製作時に、エポキシ樹脂塗膜の調査と観察を行なった結果について述べるものである。

3.2 運 搬

供試体製作に使用した鉄筋は、鉄筋径ごとに薄いビニールに包まれて搬入された。図-3.1は、D10 80本(5m)のなかからランダムに10本抜き取り、鉄筋の積みおろし、運搬にともなう塗膜の損傷位置を示したものである。図に示された損傷は、十分接近しなければ判別できない程度の軽微な損傷であるがこの図から損傷位置が両端に集中していることがわかる。さらに、損傷部分を観察すると、この損傷はこすれによるものであることから、積みおろしにともなうワイヤーのしぼりが損傷原因と考えられる。

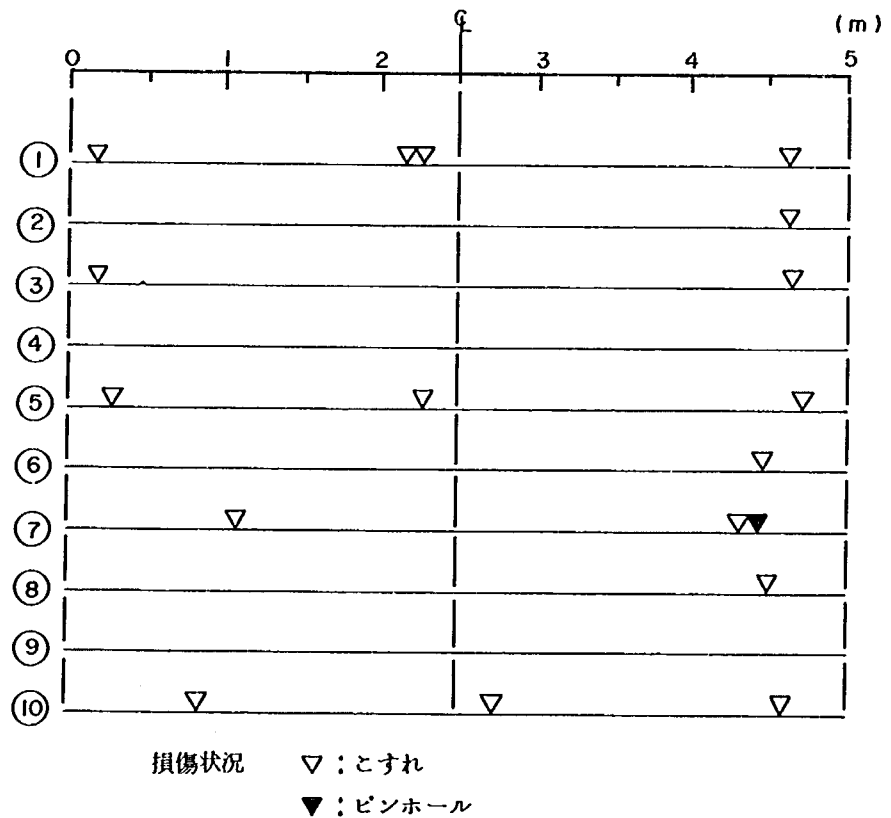


図-3.1 鉄筋搬入時の塗膜損傷位置と状況 (D10)

運搬中の鉄筋相互のこすれによる損傷は見受けられなかった。

3.3 加 工

鉄筋の切断にはシアークッターを用いたが、切断箇所では鉄筋が押しつぶされて塗膜が損傷した。

表-3.1は、供試体製作時に行なったエポキシ樹脂塗装鉄筋の曲げ加工試験結果である。供試体製作に用いた鉄筋は電炉品であるが、高炉品についても参考までに結果を記す。エポキシ樹脂塗装鉄筋の曲げ加工性は、加工時の温度に左右され、15℃前後での曲げ加工直後には塗膜にひびわれが観察されなかったものの、数日後にひびわれが発生した例もあった(その間の最低温度は-3℃)。

表-3.1 曲 げ 加 工 試 験 結 果

試験温度	曲げ内半径	D 6	D 1 0		D 1 3		D 1 6	
		高 炉	高 炉	電 炉	高 炉	電 炉	高 炉	電 炉
0 ℃	2 D	——	×××	△××	×××	×××	◎◎◎	××○
	3 D	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	○◎◎	×××	◎◎×	××○
	4 D	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎△×	◎◎◎	×◎◎
1 0 ℃	2 D	——	○◎◎	△××	×◎×	×××	◎◎◎	×◎×
	3 D	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	×××	△◎◎	◎◎◎
	4 D	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎○×	◎◎◎	◎◎◎
2 0 ℃	2 D	——	◎◎◎	◎○△	◎◎◎	×××	◎◎◎	◎◎◎
	3 D	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎
	4 D	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎	◎◎◎

◎：塗膜異常なし

○：曲げ角度 180° でクラック発生

△： " 135° "

×： " 90° "

3.4 塗膜の補修

鉄筋の運搬、切断、および曲げ加工時に生じた塗膜の損傷は、すべて2.2に示した補修用エポキシ樹脂塗料で補修塗りを行なった。

3.5 組 立 て

エポキシ樹脂塗装鉄筋の結束には、防食性を考慮して、一部にビニール被覆鉄線を用いた。セパレーターには、エポキシ樹脂塗装した市販の丸セパレーター（ $\phi 6 \text{ mm}$ ）を用いた。ただし、ネジ山は塗装できなかったため、コンクリート硬化後Pコンを取りはずして補修用エポキシ樹脂塗料を塗布した。後埋めにはセメントモルタルを用いた。

鉄筋かぶりを確保するスペーサーには、ビニール被覆鉄線を埋め込んだモルタルブロックと市販のプラスチックスペーサーを用いた。

以上のエポキシ樹脂塗装鉄筋の施工性に関する問題点と対策をまとめて表-3.2に示す。

表-3.2 エポキシ樹脂塗装鉄筋の施工性

	問 題 点	対 策	備 考
運 搬 加 工	- 鉄筋の積みおろしにともなうワイヤーのしほりによって塗膜が損傷する。 - 切断箇所の塗膜が押しつぶされる。 - 曲げ加工直後には塗膜にひびわれが発生しなかったものの、数日後に温度低下が原因と思	- ワイヤーに布を巻くか、または、ビニールロープなどを用いる。 - 補修塗りを行なう。	塗膜の補修方法に配慮する。

塗膜の補修	われるひびわれが発生した。 ・補修用エポキシ樹脂塗料（リキッドタイプ）は粘性が高く、ハケ塗りでは均一に塗れない。 ・硬化剤の使用比率によって異なるが、補修用塗料の硬化には約24時間必要であり、その間養生しなければならない。 ・先に塗装されたエポキシ樹脂塗膜と補修用塗料との接着性が悪く、剥れやすい。	・補修用塗料の品質の改良が早急に必要である。 ・補修面のヤスリがけなどを行ない、接着性を高める。	スプレー式
組立	・ビニール被覆鉄線は滑りやすく伸びやすいため、鉄筋の結束は1ヶ所につき2回行ないたすきがけとしなければならない。 ・エポキシ樹脂塗装鉄筋に対する電気溶接は、塗膜を剥がしてアースをとれば可能であるが、スパークの火花によって塗膜が焼けるため、非常に難しい。	・結束線には焼鈍鉄線または適当なクリップを用いる。防食を考慮する場合には、ビニール被覆鉄線またはカラー鉄線またはカラー鉄線を用いて堅固に緊結する。 ・エポキシ樹脂塗装鉄筋に対する電気溶接は極力行なわないようにする。	

4. 載 荷 試 験

4.1 コンクリート

4.1.1 載荷および曝露試験用供試体

(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-4.1に示す。

表-4.1 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 ($^{\circ}\text{C}$)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時・分)	終 発 (時・分)				
3.16	3140	20.2	94	27.9	2-28	3-45	良	1.3	2.0	0.6
フロー値 (mm)	曲 げ 強 さ (Kg/cm^2)				圧 縮 強 さ (Kg/cm^2)				養 生 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	
	1 日	3 日	7 日	28日	1 日	3 日	7 日	28日	室 温	水 温
256	—	34	48	69	—	138	235	416	20.4	20.2

(2) 骨 材

粗骨材は最大寸法を20mmとした青梅西多摩産の碎石を使用し、細骨材は日野、木更津の混合砂を使用した。骨材の試験成績を表-4.2に示す。

表-4.2 骨材の物理試験結果

種 類	F M	比 重	吸水率 (%)	ふるい通過量 (%)								
				20mm	15mm	10mm	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm
粗骨材	6.62	2.66	0.53	98	73	38	2	0	0	0	0	0
細骨材	2.74	2.60	2.58	—	—	—	99	87	74	45	17	4

(3) 練り混ぜ水

練り混ぜ水には水道水を使用した。

(4) 混 和 剤

混和剤は市販のAE剤ヴィンソル70LTをセメント重量の0.1%の割合で使用した。

(5) 配 合

コンクリートの配合は、スランプ $8 \pm 2 \text{ cm}$ 、圧縮強度 (σ_{28}) $180 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ を目標に水セメント比を定めた。コンクリートの示方配合を表-4.3に示す。

表-4.3 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 (AE)
20	8.0	4.0	68.5	44.1	242	166	822	1068	0.242

4. 1. 2 引抜き試験用供試体

使用材料は前報¹⁾と同じであるが、コンクリートの配合は、スランプ $8 \pm 2 \text{ cm}$ 、圧縮強度 (σ_{28}) 300 Kg/cm^2 を目標として水セメント比を定めた。コンクリートの示方配合を表-4.4に示す。

表-4.4 コンクリートの示方配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメン ト 比 W/C(%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (Kg/m^3)				
			水 W	セメント C	細 骨 材 S	粗 骨 材 G	混 和 材 (cc/m ³)
20	60	39	165	275	718	1,140	55

4. 2 引抜き試験

4. 2. 1 目 的

エポキシ樹脂塗装鉄筋をコンクリート構造物に使用した場合、コンクリートと鉄筋との間にやわらかい塗膜が存在するために、塗装鉄筋のコンクリートに対する付着強度が低下することがわかっている。しかし、エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度の低下の度合いは、使用する鉄筋の直径によって異なることが予想されるため、鉄筋径の違いによる付着特性についても知っておく必要がある。

これらのことより、引抜き試験を行なった。

4. 2. 2 供試体の製作

試験に使用した供試体は、図-4.1に示すように鉄筋を鉛直中心軸とする一辺 15 cm の立方体である。鉄筋の埋込み長さは前回の試験との整合性を考えて $5.3D \text{ cm}$ (D : 鉄筋直径) とし、のこりの部分は荷重端側からコンクリートとの付着を断った。

供試体は、コンクリートの打込み方向を鉄筋の引抜き

き方向に平行とし、鉄筋径ごとに3体ずつ製作した。供試体載荷面は、載荷板との密着を図るため、キャッピングをした。

なお、同時にコンクリートの品質管理のため、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ および $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ の

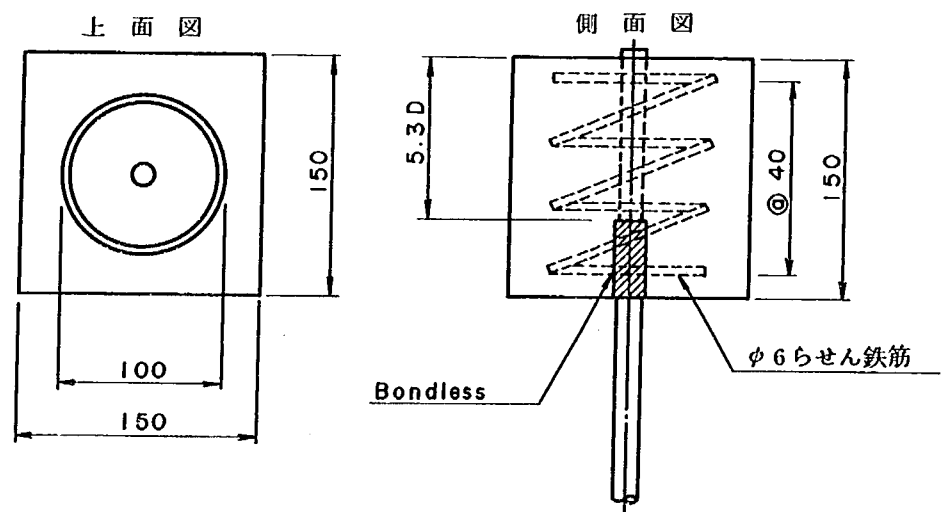


図-4.1 供試体の寸法および概要

円柱供試体を製作した。

4.2.3 試験方法

引抜き試験は日本コンクリート工学協会案に準じてコンクリートの材令28日で行ない、
 載荷速度は鉄筋の引張応力度が毎分500 Kg/cm^2 以下となるようにした。

測定項目および測定方法は次のとおりとした。

(1) 鉄筋自由端のすべり量

図-4.2に示すように鉄筋の自由端に変位計を取り付けてすべり量を測定した。

(2) 鉄筋の付着応力度

図-4.2に示すようにロードセルから荷重を検出し、鉄筋の付着応力度を次式から求めた。

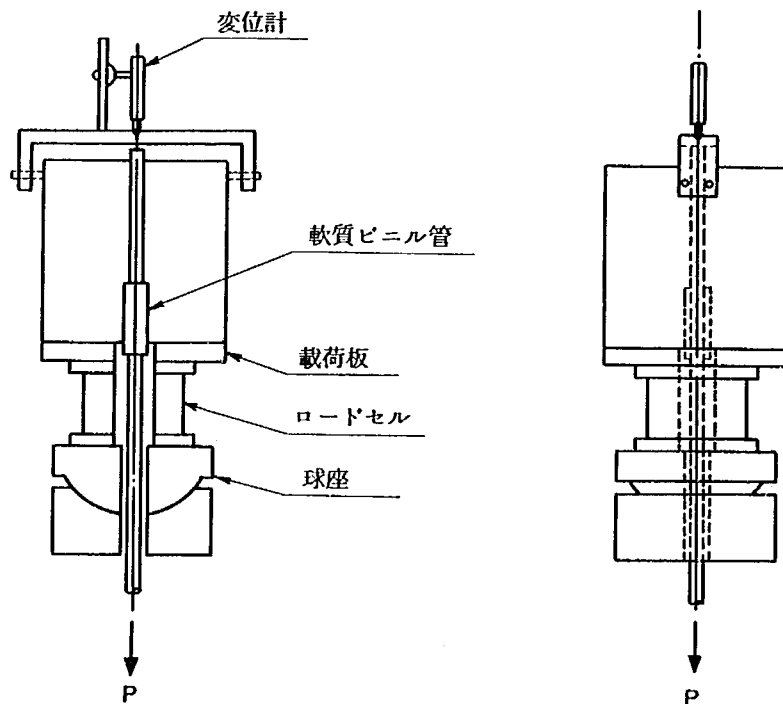


図-4.2 鉄筋のすべり量および荷重の測定方法

$$\tau = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot L} \alpha \cdots \cdots (1)$$

ここに、 τ : 付着応力度 (Kg/cm^2)

P : 引張荷重 (Kg)

D : 鉄筋径 (cm)

L : 付着長 (cm)

α : コンクリートの圧縮強度に対する補正係数 $= 300 / \sigma_c$

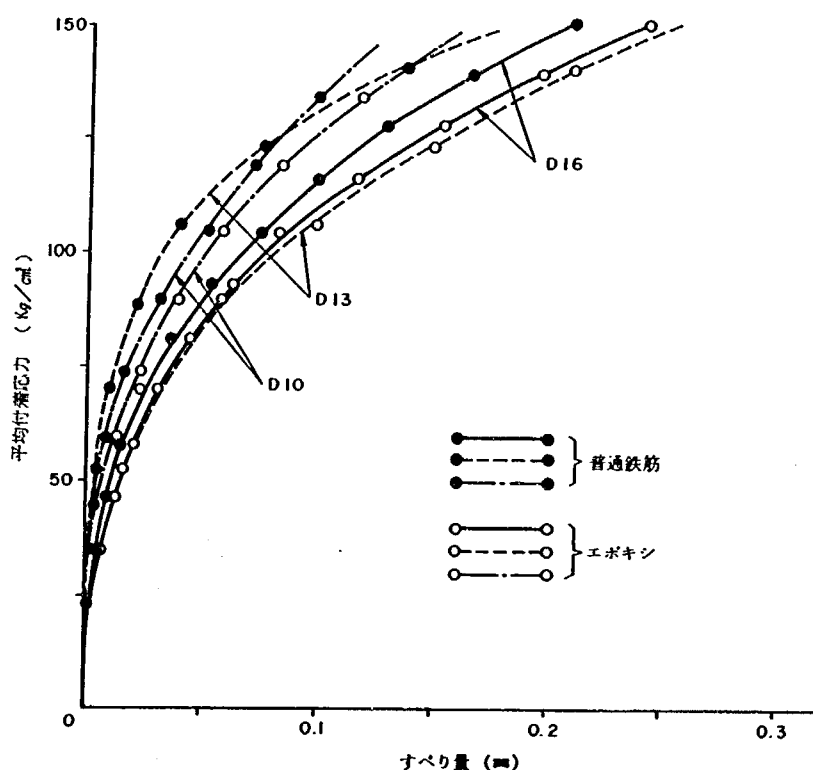
4.2.4 試験結果

鉄筋の付着応力度と鉄筋の自由端におけるすべり量との関係を図－4.3に示す。さらに鉄筋自由端のすべり量が鉄筋径の0.002倍となる平均付着応力度（以下、付着応力度とよぶ）と最大荷重時における平均付着応力度（以下、最大付着応力度とよぶ）を求め、表－4.5に示す。

なお、供試体はE－D13の2体を除き、鉄筋降伏後、引抜き破壊し、E－D13の2体は鉄筋降伏後、コンクリートに縦ひびわれが入って破壊した。

この試験の結果では、次のことがいえる。

- (1) エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着応力度は無処理鉄筋に比べて9～35%低下する。



図－4.3 鉄筋の付着応力度に対する鉄筋自由端のすべり量

表－4.5 付着応力度

径 (膜厚)	フシ形状	付着応力度 (Kg/cm²)			最大付着応力度 (Kg/cm²)		
		N	E	E/N	N	E	E/N
D16 (200)	横フシ	76 (3.5)	69 (4.6)	0.91	191 (4.7)	198 (14.9)	1.04
D13 (")	"	93 (7.0)	60 (5.6)	0.65	202 (15.0)	210 (12.4)	1.04
D10 (")	"	84 (13.2)	71 (8.6)	0.85	175 (11.4)	186 (17.3)	1.06

注) ()内の値は、供試体3個の値より求めた不偏分散の平方根。

N : 無処理鉄筋

E : エポキシ樹脂塗装鉄筋

(2) エポキシ樹脂塗装鉄筋の最大付着応力度は、無処理鉄筋に比べて若干(4~6%)高くなったが、大略差がないといえる。

(3) 異形鉄筋の直径の違いによる付着性能の変化の度合いは、試験結果のばらつき等もあり、明らかとはならなかった。

4.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋の重ね継手試験

4.3.1 目的

エポキシ樹脂塗装鉄筋は無処理鉄筋に比べ、コンクリートとの付着強度が低下する。したがって、エポキシ樹脂塗装鉄筋をコンクリート構造物に使用する場合には、重ね継手長や定着長の設計に、この付着強度の低下を考慮する必要があると考えられる。

本試験は、エポキシ樹脂塗装鉄筋と無処理鉄筋の両者について、重ね継手長を変化させた鉄筋コンクリート(以下、RCとよぶ)梁の静的曲げ試験と曲げ疲労試験を行ない、付着強度の低下が梁の挙動と耐荷力におよぼす影響を調べた。

4.3.2 供試体の製作

鉄筋の付着性状に影響をおよぼす要因には種々のものが挙げられるが、今回の試験では1) 重ね継手長、2) 鉄筋の表面処理のちがい(エポキシ樹脂塗装、無処理)にのみ着目し、他の要因は表-4.6のように一定とした。各供試体の名称と変化要因を表-4.7に、形状と寸法を図-4.4に示す。

表-4.6 試験要因(一定)

コンクリート強度	$\sigma_{28} = 180 \text{ Kg/cm}^2$
鉄筋径, 強度	横筋D16, SD30
塗膜厚	200 μ
かぶり	20 mm

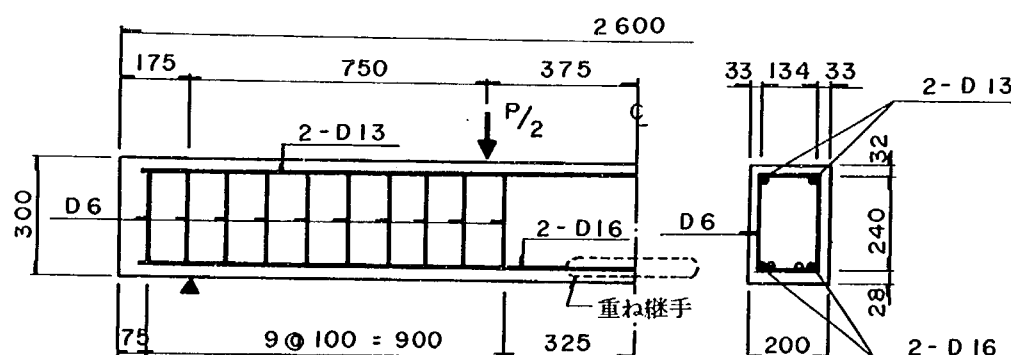
鉄筋の重ね継手は支間中央部の等曲げモーメント区間に設けたが、この区間にはスタースラップは配置していない。

供試体は、同一重ね継手長についてエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用したものと、無処理鉄筋を使用したものをそれぞれ1体ずつ、計2体製作したが、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した供試体では、鉄筋はすべて塗装したものを扱い、さらに鉄筋の結束にはビニール被覆鉄線を用いた。無処理鉄筋を使用した供試体では、鉄筋はすべて無処理鉄筋を用い、鉄筋の結束には焼なまし鉄線を用いた。

コンクリートの試験成績結果を表-4.8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材令で試験した。

表－4.7 各供試体の名称と変化要因

供試体の名称	重ね継手長	鉄筋の表面状態	載荷試験方法
N－1	64 mm	無処理	静的曲げ試験
E－1	(4φ)	エポキシ樹脂塗装	
N－2	128 mm	無処理	
E－2	(8φ)	エポキシ樹脂塗装	
N－3	192 mm	無処理	
E－3	(12φ)	エポキシ樹脂塗装	
N－4	256 mm	無処理	
E－4	(16φ)	エポキシ樹脂塗装	
N－5	320 mm	無処理	
E－5	(20φ)	エポキシ樹脂塗装	
N－14	224 mm	無処理	曲げ疲労試験
E－14	(14φ)	エポキシ樹脂塗装	
N－24	384 mm	無処理	
E－24	(24φ)	エポキシ樹脂塗装	



図－4.4 梁供試体の形状と寸法（単位mm）

表－4.8 コンクリートの試験成績結果

載荷試験方法	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	圧縮強度 (Kg/cm ²)	
				標準養生	現場養生
静的曲げ試験	1.0	6.0	1.0	328 339	264
				355 338	253
				340 324	244
				337	254
曲げ疲労試験	1.7	5.1	1.5	250 256	189
				262 252	167
				251 253	180
				254	179

4.3.3 試験方法

(1) 静的曲げ試験

図-4.4に示した供試体に3等分点载荷した。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切替えた。

载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) 支間中央と载荷点のたわみ量

支間中央、载荷点、および支点に変位計を取り付け、各点のたわみ量を測定した。

2) 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、スケールルーペ(倍率50倍)を用いてひびわれ幅を測定した。

図-4.5に载荷方法および測定方法の概要を示す。

(2) 曲げ疲労試験

供試体の形状、寸法、および载荷スパンは、(1)静的曲げ試験と同様であるが、鉄筋の重ね継手長は、 14ϕ 、 24ϕ の2種類とした。

载荷方法は、鉄筋(SD30)の引張応力度が許容応力度である 1800 kg/cm^2 となる荷重まで静的载荷したのち、疲労試験を行なった。疲労载荷は、上限値を主鉄筋応力度 $\sigma_s = 1800\text{ kg/cm}^2$ (4.7t)下限値を $\sigma_s = 300\text{ kg/cm}^2$ (0.8t)とし、6.2Hzの正弦波で200万回繰り返した。

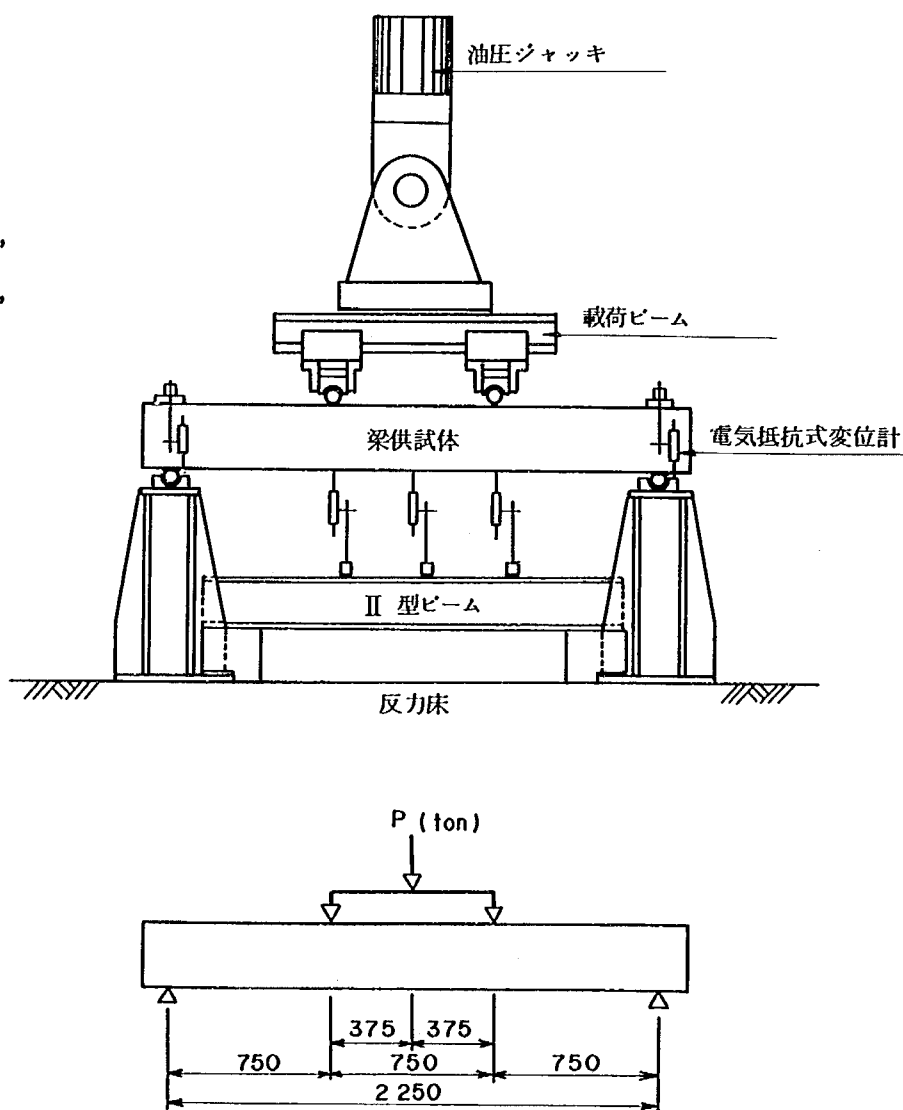


図-4.5 静的曲げ試験概要図

途中、1万、5万、10万、20万、50万、100万および200万回に達した時点で疲労試験を停止し、上限荷重まで静的載荷したのち、以下の測定を行なった。

1) 支間中央のたわみ量

支間中央に1/100 mmダイヤルゲージを取り付けてたわみ量を測定した。ただし、ダイヤルゲージは、下限荷重時ごとに取り付けているため、得られた値は下限荷重時から上限荷重時までの増分である。

2) コンクリートのひずみ

支間中央断面上縁に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。

3) 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なった。

図-4.6に載荷方法および測定方法の概要を示す。

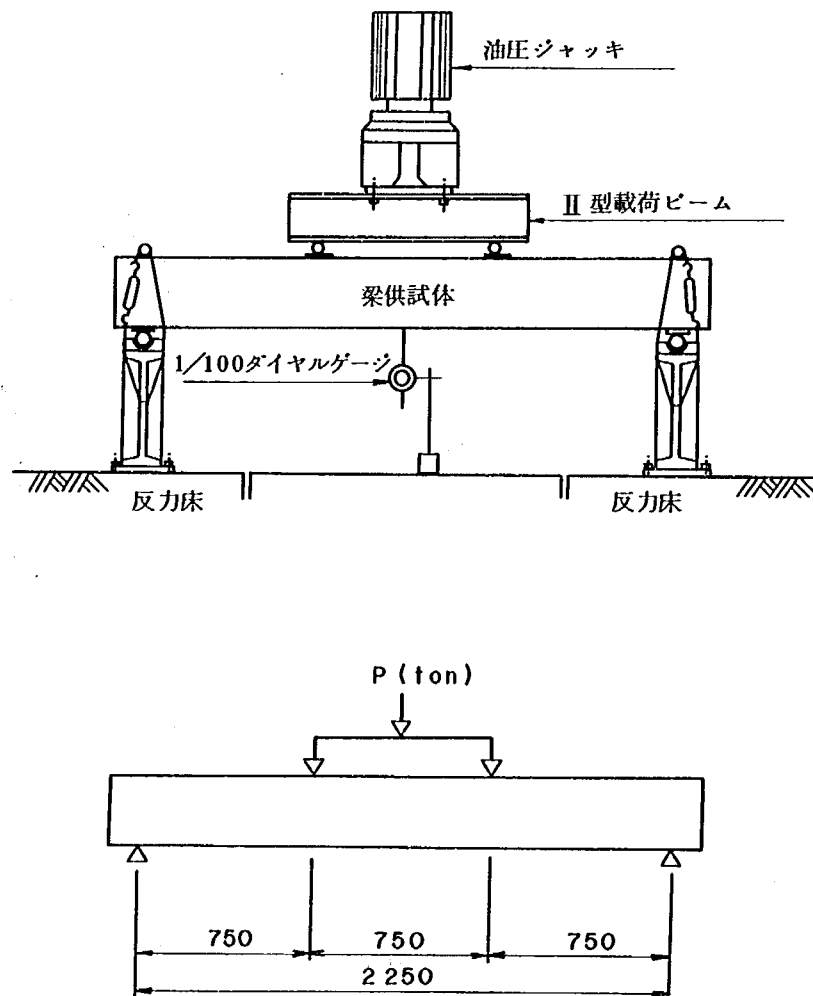


図-4.6 曲げ疲労試験概要図

4.3.4 試験結果

(1) 静的曲げ試験

1) 図-4.7に各供試体の荷重と支間中央におけるたわみ量の関係を示す。これより、重ね継手長の増加にともない、最大荷重およびたわみ量が増大していること、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した供試体は、無処理鉄筋を使用した供試体に比べ、破壊時の荷重とたわみ量が小さく、付着強度が低いことがわかる。なお、供試体はすべて鉄筋の重ね継手部より破壊しており、継手破壊時の荷重を最大荷重とした。

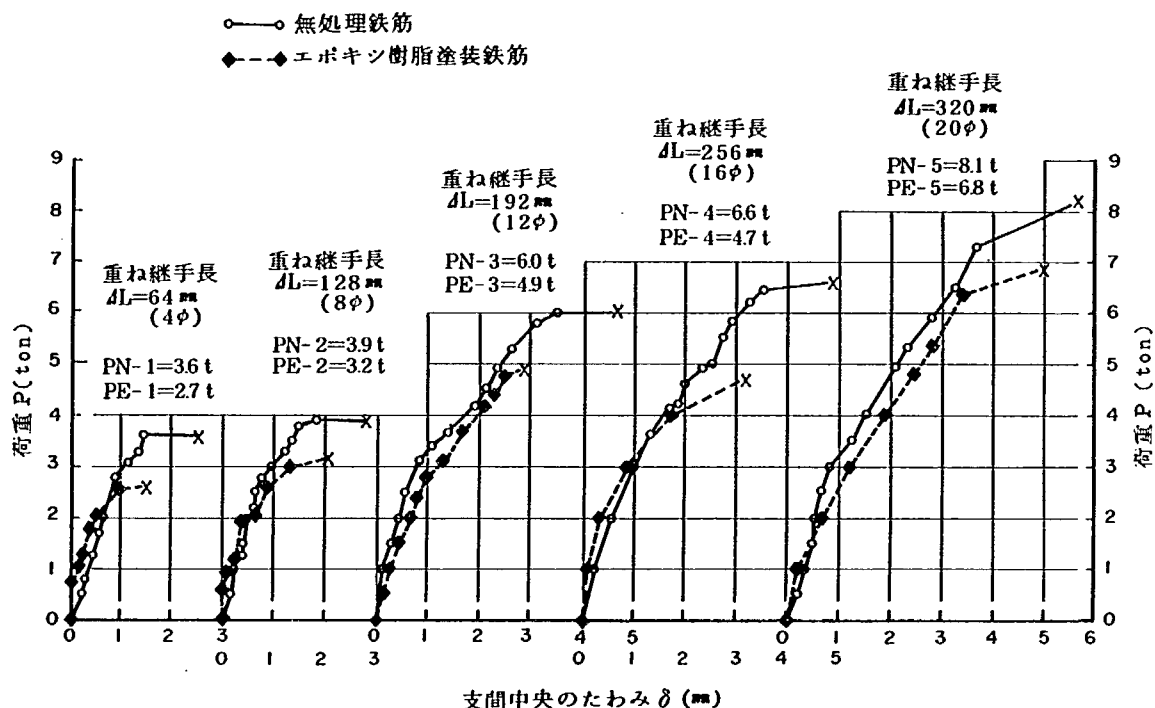


図-4.7 静的曲げ試験 支間中央の荷重—たわみ曲線

2) 表-4.9に各供試体の最大荷重 P (ton), 鉄筋応力度 σ_s (Kg/cm^2), 付着応力度 $\bar{\tau}$ (Kg/cm^2), および使用鉄筋の違いによる最大荷重の比 P_E/P_N を示す。

鉄筋応力度 σ_s は、複鉄筋長方形梁として最大荷重 P (ton) より求めた継手破壊時の引張鉄筋応力度である。付着応力度 $\bar{\tau}$ は、次式によって求めた継手破壊時の平均付着応力度である。

$$\bar{\tau} = \frac{\sigma_s \cdot A_s}{U \cdot \Delta L} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 σ_s : 継手破壊時の引張鉄筋応力度 (Kg/cm^2)

A_s : 鉄筋断面積 (cm^2)

U : 鉄筋の周長 (cm)

ΔL : 鉄筋の重ね継手長 (cm)

表-4.9 静的曲げ試験測定及び計算結果

供試体	重ね継手長 ΔL (mm)	使用鉄筋	最大荷重 P (ton)	鉄筋応力度 σ_s (Kg/cm ²)	付着応力度 $\bar{\tau}$ (Kg/cm ²)	$\frac{P(E鉄筋)}{P(N鉄筋)}$
N-1	64	N鉄筋	3.6	1,386	86.0	—
E-1	(4 ϕ)	E鉄筋	2.7	1,039	64.5	0.750
N-2	128	N鉄筋	3.9	1,502	46.6	—
E-2	(8 ϕ)	E鉄筋	3.2	1,231	38.2	0.821
N-3	192	N鉄筋	6.0	2,314	47.9	—
E-3	(12 ϕ)	E鉄筋	4.9	1,888	39.1	0.817
N-4	256	N鉄筋	6.6	2,547	39.5	—
E-4	(16 ϕ)	E鉄筋	4.7	1,811	28.1	0.712
N-5	320	N鉄筋	8.1	3,130	38.9	—
E-5	(20 ϕ)	E鉄筋	6.8	2,624	32.6	0.840
注) N鉄筋 … 無処理鉄筋 E鉄筋 … エポキシ樹脂塗装鉄筋 σ_s … 継手破壊時の引張鉄筋応力度 $\bar{\tau}$ … 平均付着応力度					平均	0.788

図-4.8に重ね継手長 ΔL と鉄筋応力度 σ_s および平均付着応力度 $\bar{\tau}$ との関係を示

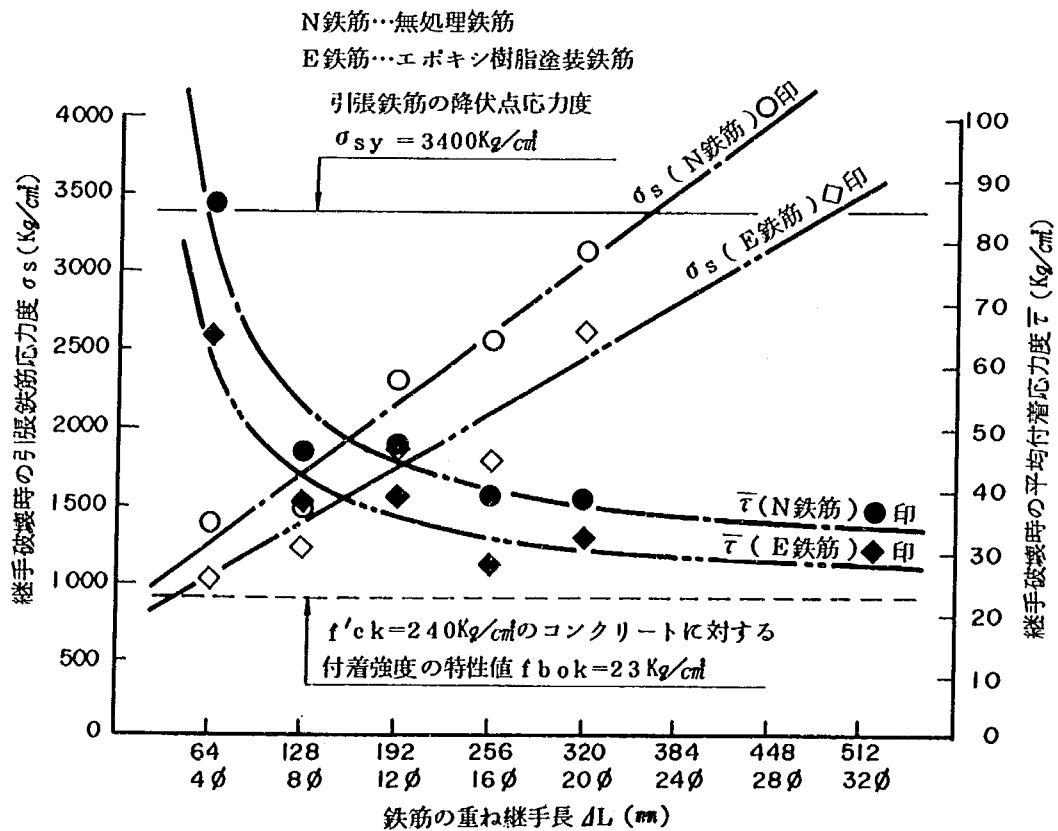


図-4.8 重ね継手長と引張鉄筋応力度及び平均付着応力度の関係

す。今回の実験では、重ね継手長を4~20 ϕ と比較的短くしたため、鉄筋応力度は降伏点まで達せず、継手部で破壊していたが、図-4.8で重ね継手長 $4L$ と鉄筋応力度 σ_s は比例していることから、重ね継手長を長くすれば破壊形式を継手破壊から鉄筋降伏破壊へ移行させることが可能である。

図中の破線は、土木学会「コンクリート構造物の限界状態設計法試案」に示されている付着強度の特性値であり、コンクリートの圧縮強度の特性値 $f_{ck}' = 240 \text{ kg/cm}^2$ に対して $f_{bok} = 23 \text{ kg/cm}^2$ が与えられている。実験結果はすべてこの値を上回っているが、エポキシ樹脂塗装鉄筋は無処理鉄筋に比べて付着強度が低下しており、その平均低下率は21%である。

- 3) 図-4.9に各供試体の破壊後のひびわれ状況を、図-4.10に荷重と平均ひびわれ幅の関係を示す。いずれの供試体も継手先端から生じたひびわれが上縁まで達している。また、供試体底面では、重ね継手区間に、鉄筋に沿った縦ひびわれが多数発生しているが使用鉄筋の違いによる顕著な差異は認められない。しかし、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた供試体は、無処理鉄筋に比べてひびわれ間隔が大きく、同一荷重に対するひびわれ幅も大きくなる傾向がある。

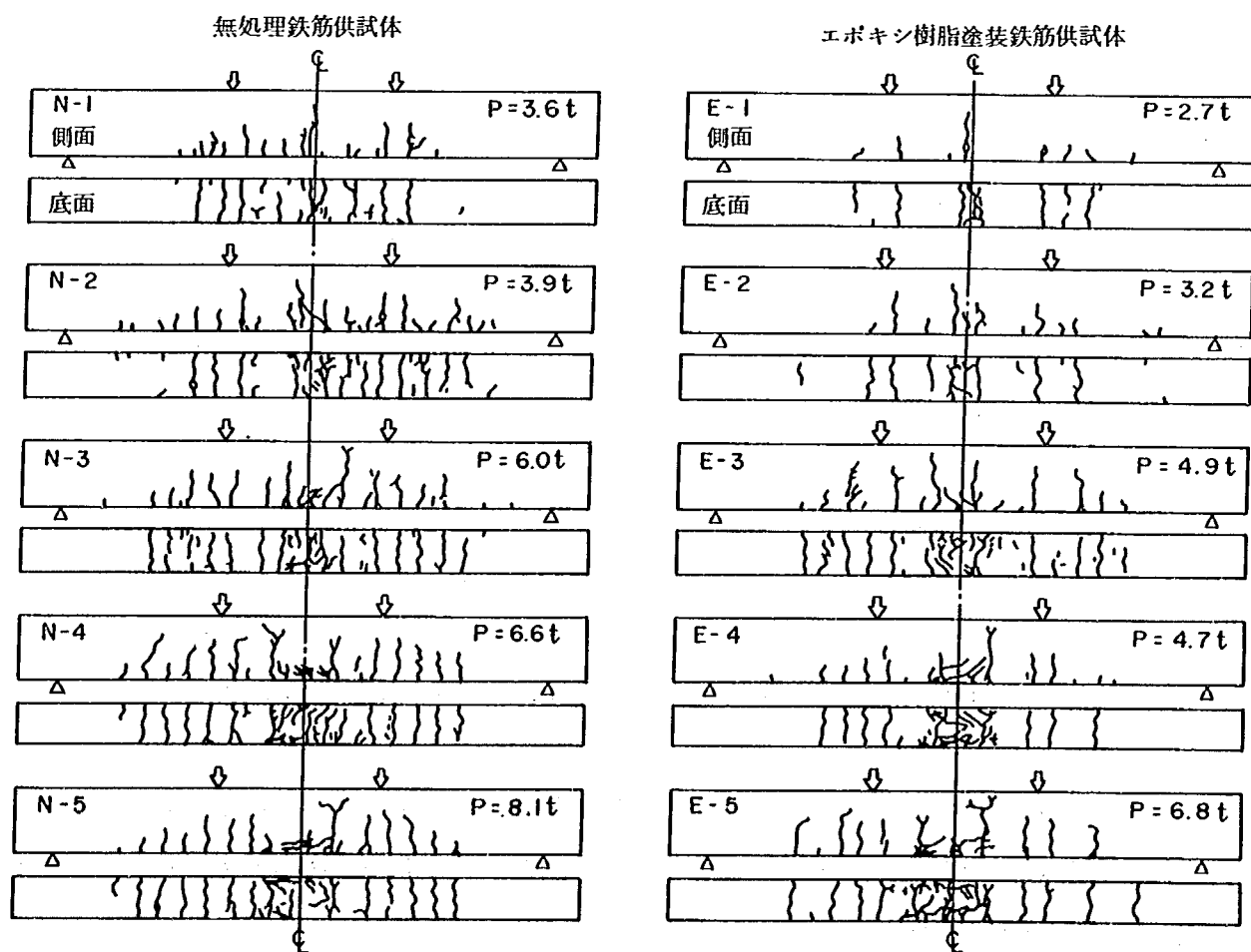
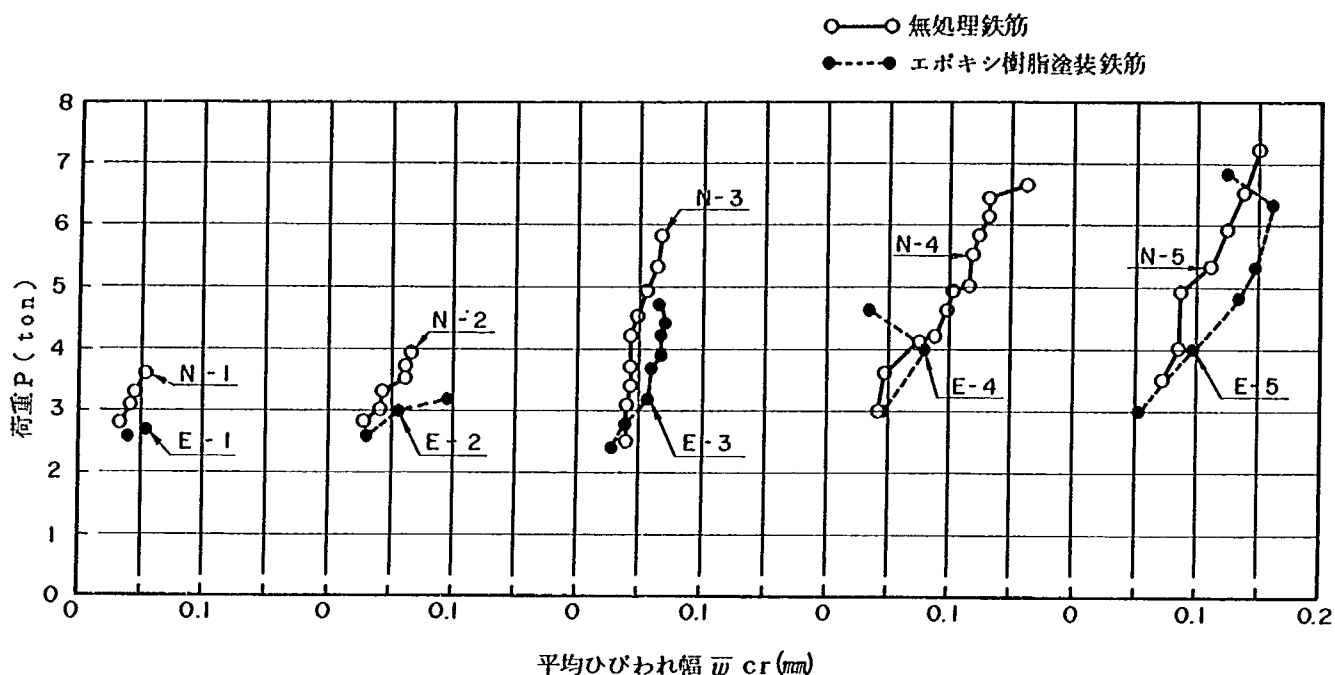


図-4.9 静的曲げ試験ひびわれ図



図一 4.1 0 荷重と平均ひびわれ幅の関係

(2) 曲げ疲労試験

1) 図一 4.1 1 および図一 4.1 2 に荷重と支間中央の変位およびコンクリート上縁のひずみの関係を示す。ただし、繰返し回数 $N = 1$ 万回以降の値は、下限荷重 $P = 0.8$ t での値を 0 としたものである。

鉄筋の重ね継手長を $\ell = 14\phi$ (224 mm) とした供試体は、N-14, E-14 とともに 200 万回の疲労載荷に耐えられず、E-14 は初回載荷の $P = 4.0$ t で破壊し、N-14 は初回載荷後、繰返し回数 $N = 7100$ 回で破壊した。一方、重ね継手長を $\ell = 24\phi$ (384 mm) とした供試体は、N-24, E-24 とともに 200 万回の疲労載荷に耐えたが、その挙動には、いくつかの相違があった。

図一 4.1 3 および図一 4.1 4 は、各サイクルにおいて疲労試験を中止し、上下限荷重間で静的載荷した場合の繰返し回数と支間中央の変位増分およびコンクリートの上縁ひずみ増分との関係を示したものである。N-24, E-24 とともに繰返し回数に対する変化が小さく、安定した挙動を示しているが、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた E-24 は無処理鉄筋を用いた N-24 に比べて変位、ひずみともそれぞれ約 10 % 大きい。

2) 各供試体の曲げ疲労試験終了後のひびわれ状況を図一 4.1 5 に示す。E-24 供試体には鉄筋とコンクリートとの付着がゆるんだことを示す鉄筋に沿った縦ひびわれが重ね継手区間に発生している。

3) 200 万回の曲げ疲労試験に耐えた、N-24, E-24 の両供試体について、静的曲げ試験を行なった。図一 4.1 6 に荷重とスパン中央のたわみ、およびコンクリート

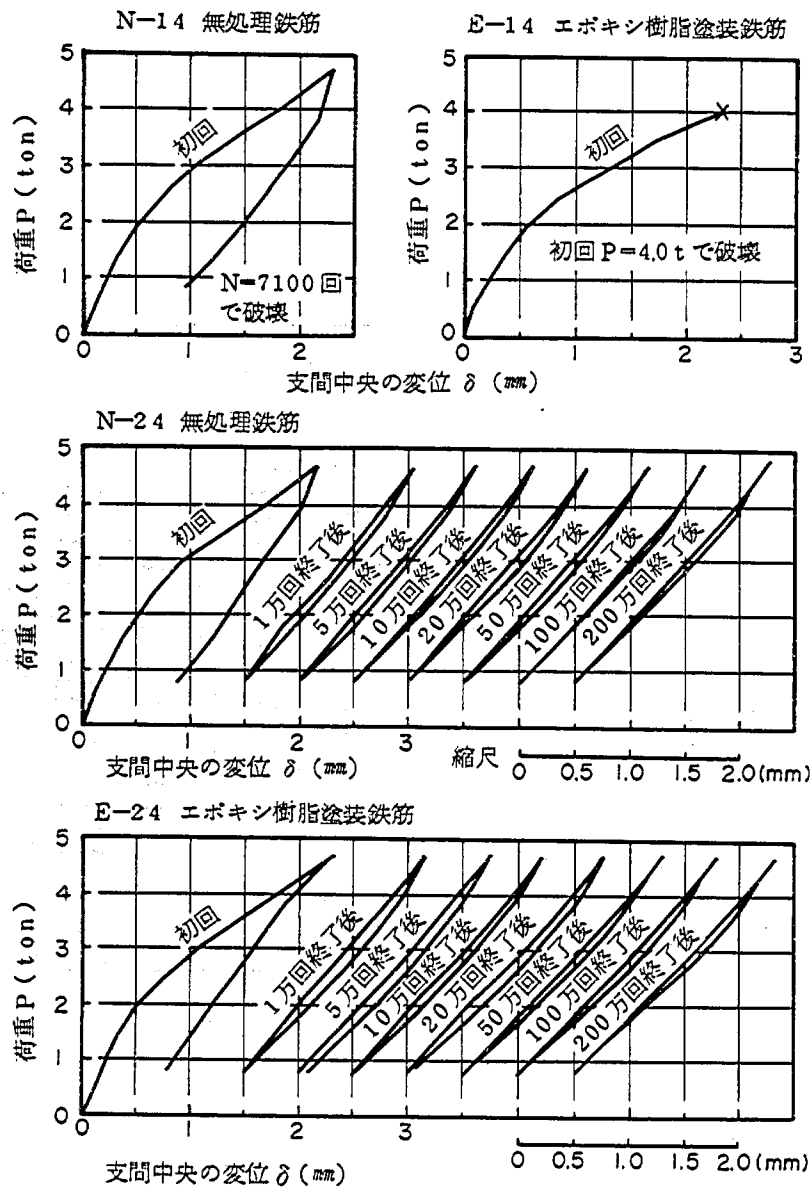


図-4.1.1 曲げ疲労試験 支間中央の荷重-変位曲線

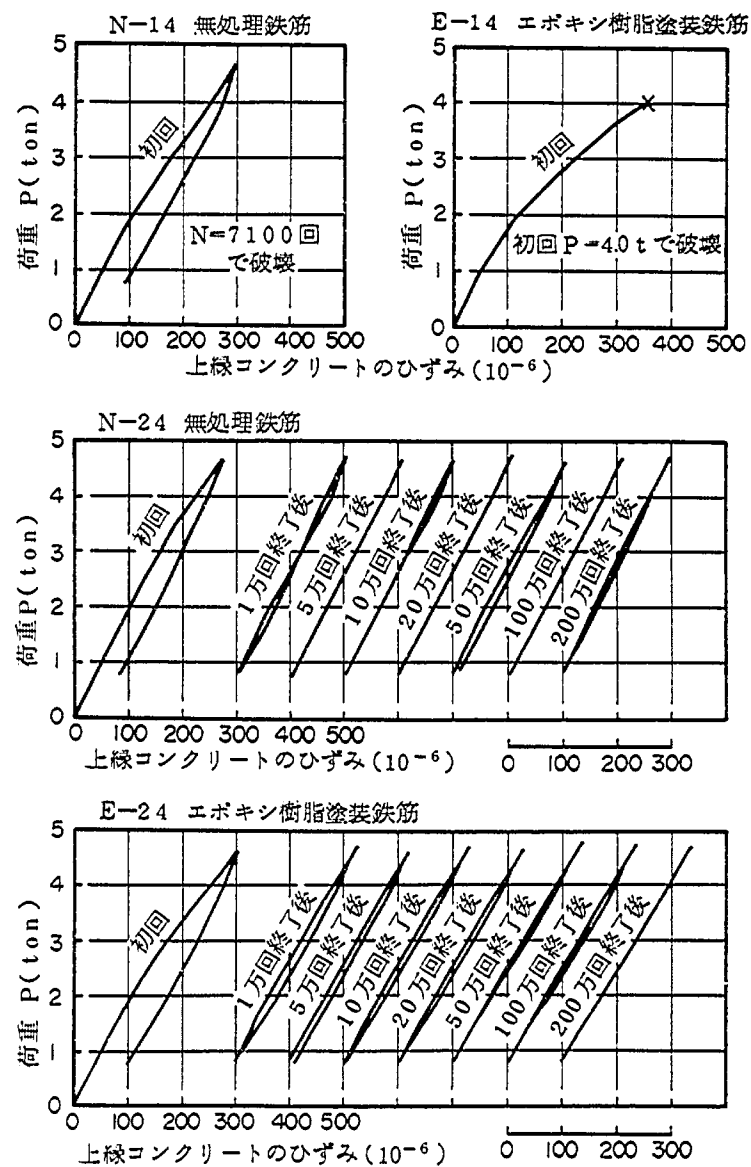
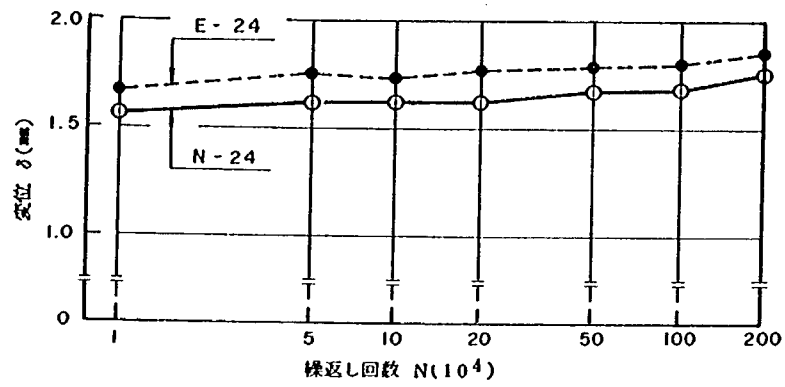
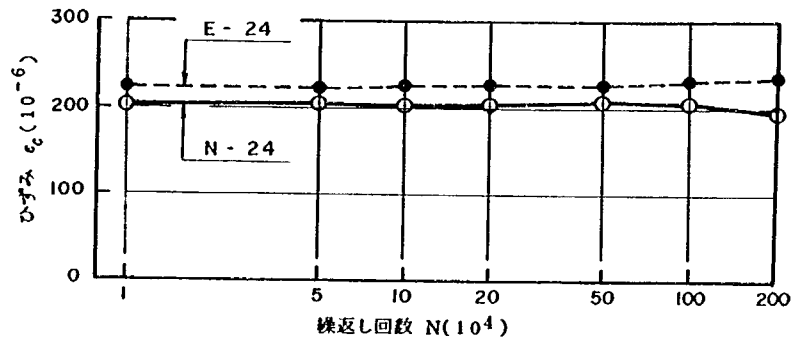


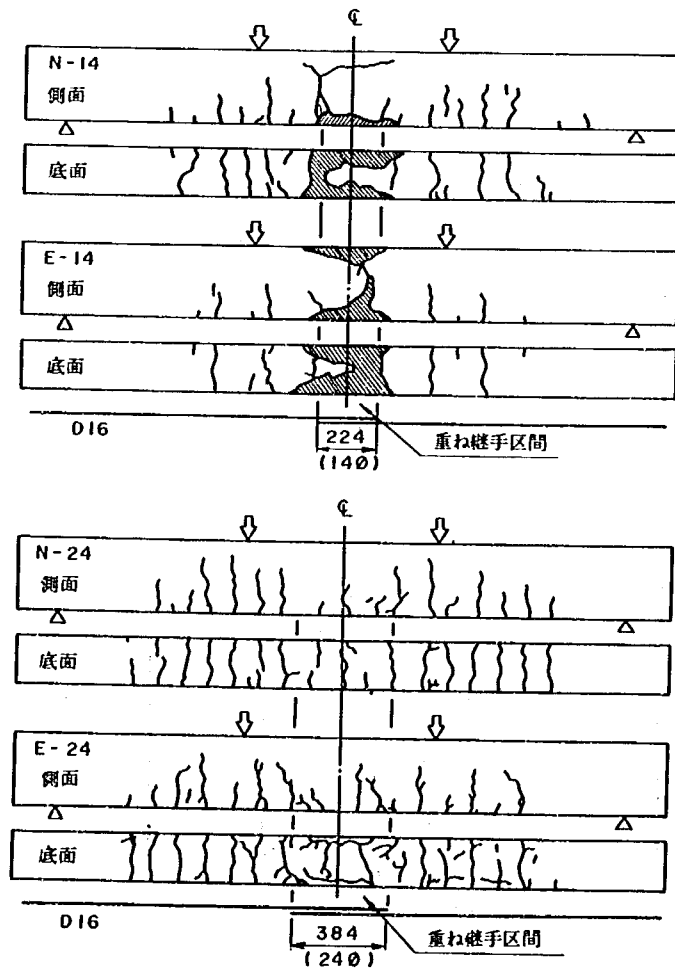
図-4.1.2 曲げ疲労試験 荷重と上縁コンクリートひずみの関係



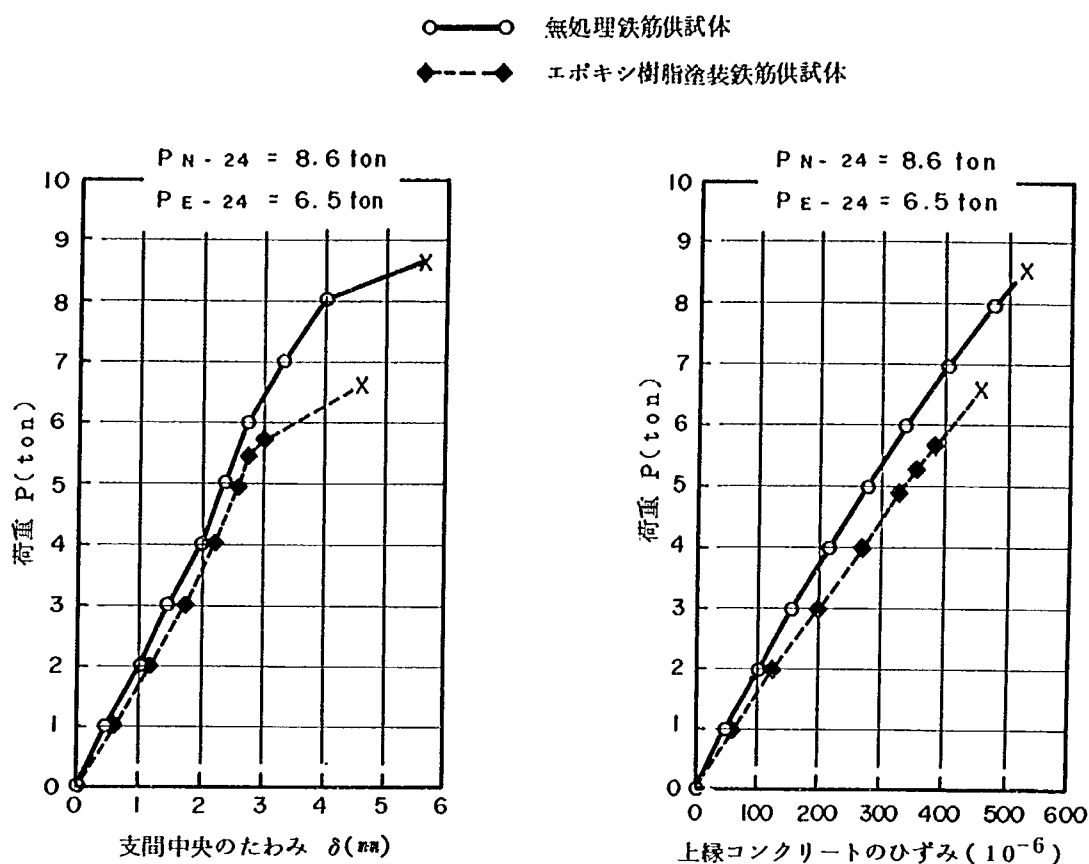
図一 4.1 3 上下限荷重間の支間中央変位増分と繰返し回数



図一 4.1 4 上下限荷重間の上縁コンクリートひずみ増分と繰返し回数



図一 4.1 5 曲げ疲労試験終了後のひびわれ図



図— 4.16 曲げ疲労試験終了後の静的曲げ試験結果

トの上縁ひずみとの関係を、表— 4.10に破壊時の荷重 P ，鉄筋応力度 σ_s ，および平均付着応力度 $\bar{\tau}$ の計算値を示す。ただし、両供試体とも疲労載荷後の試験であるため、前述の静的曲げ試験結果との比較はできない。

- 4) 載荷試験終了後、鉄筋の重ね継手部分のコンクリートをはつり、鉄筋の表面状態を観察したが、エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜に損傷はなく、200万回疲労試験後もエポキシ樹脂塗膜は健全であり、防食効果にも影響がないと考えられる。

表— 4.10 曲げ疲労試験終了後の静的曲げ試験結果

供 試 体	重ね継手長 ΔL (mm)	使用 鉄 筋	最 大 荷 重 P (ton)	鉄筋応力度 σ_s (Kg/cm ²)	付着応力度 $\bar{\tau}$ (Kg/cm ²)
N-24	384 (24 ϕ)	N鉄筋	8.6	3324	34.4
E-24	"	E鉄筋	6.5	2508	25.9

4.4 エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたRC梁の力学的特性

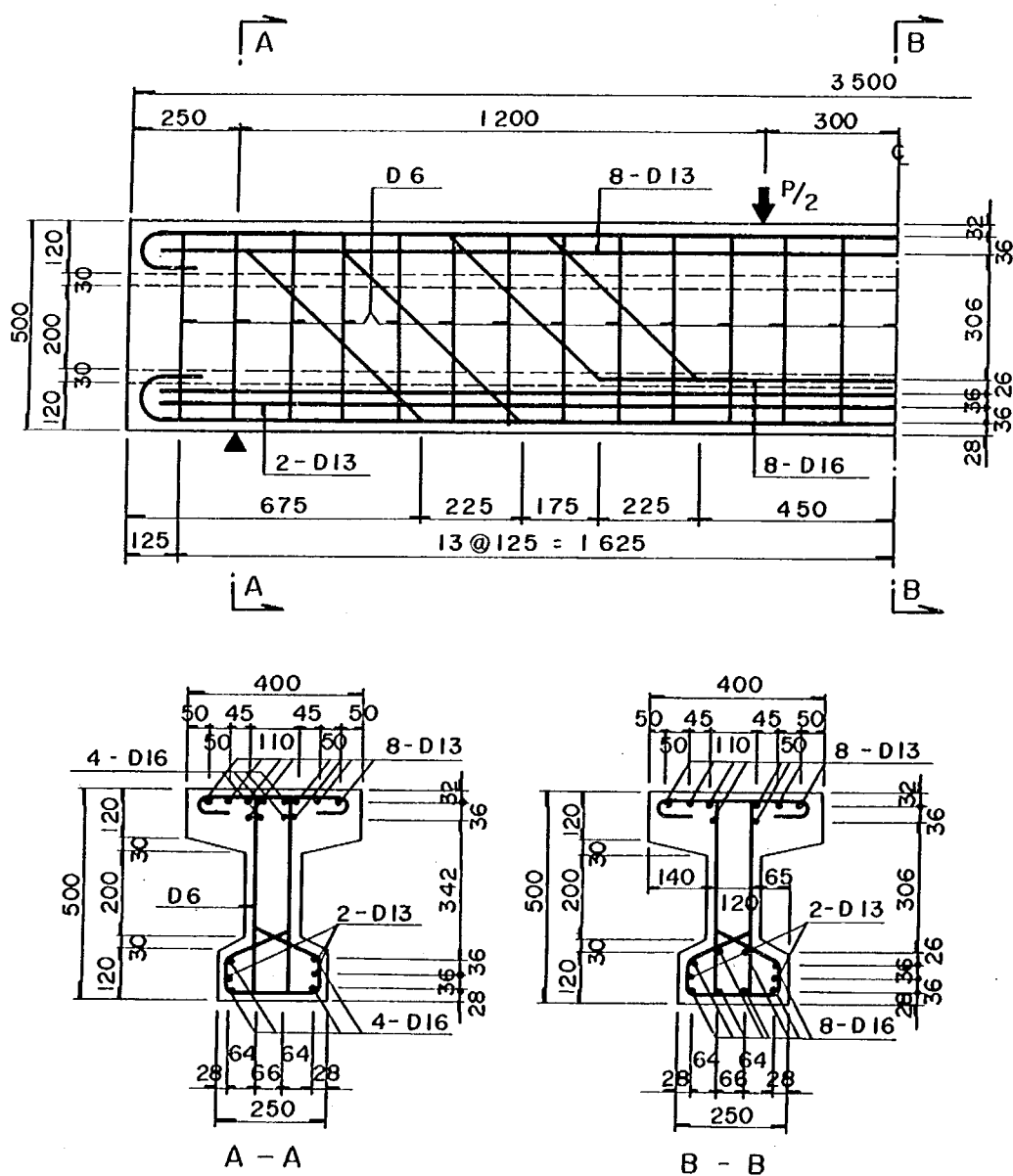
4.4.1 目 的

エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度が無処理鉄筋に比べて20%程度低下することは、先の試験結果ならびに多くの報告で知られているとおりであるが、エポキシ樹脂塗装鉄筋を

実際の構造物に用いた場合に、この付着強度の低下が構造物の力学的特性に対してどのようにはたらくかを知るために、エポキシ樹脂塗装鉄筋ならびに無処理鉄筋を用いたT形断面供試体の静的曲げ載荷試験を行ない、比較・検討するものである。

4.4.2 供試体の製作

供試体は、使用鉄筋としてエポキシ樹脂塗装鉄筋と無処理鉄筋を用いたものをそれぞれ1体ずつ製作した。供試体の形状寸法を図－4.17に示す。エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた供試体では、鉄筋はすべて塗装したものを、鉄筋の結束にはビニール被覆鉄線を用



図－4.17 T形断面RC梁供試体の形状寸法（単位mm）

いた。無処理鉄筋を用いた供試体では、鉄筋はすべて無処理鉄筋を用い、結束線には焼きなまし鉄線を用いた。

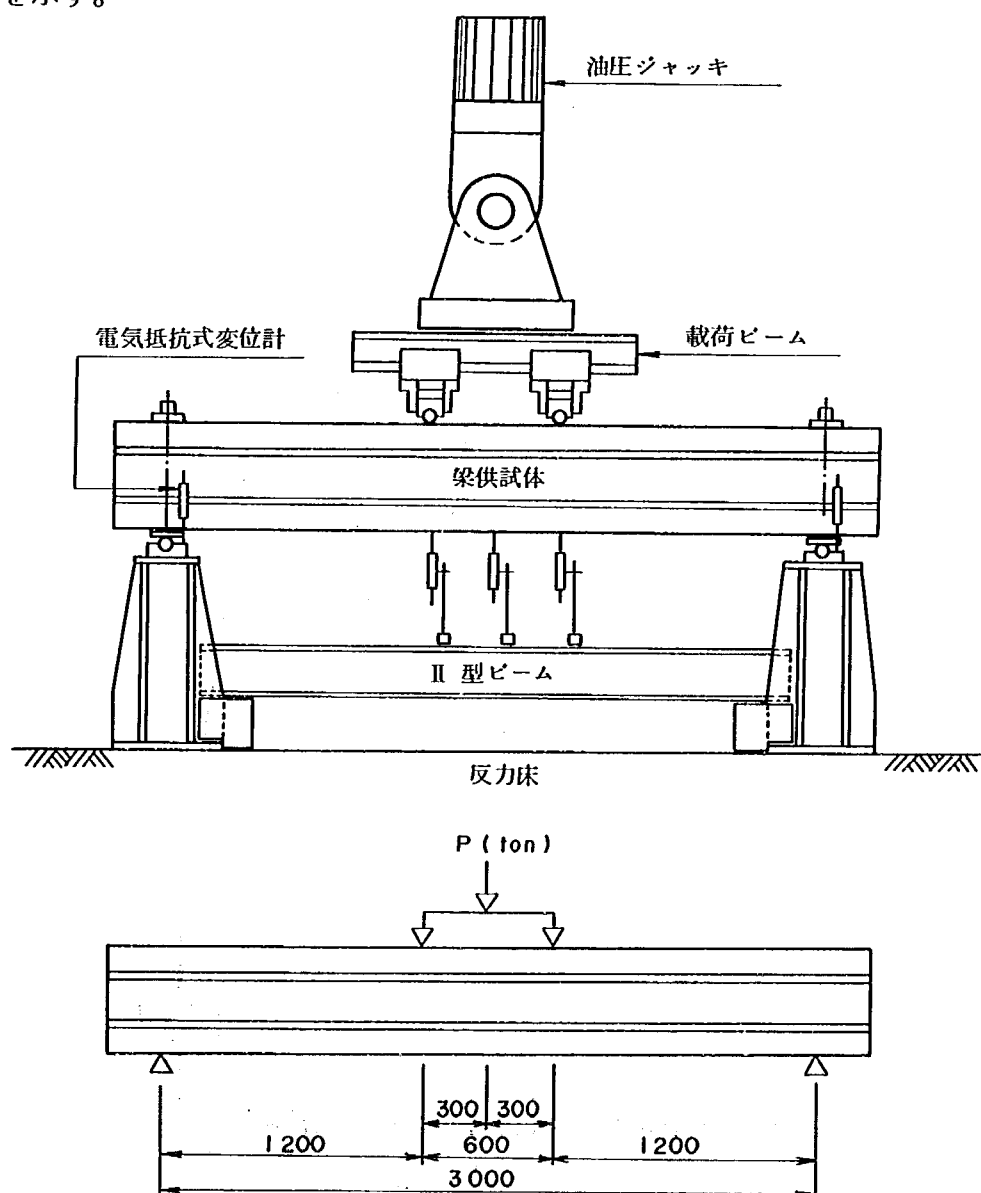
コンクリートの試験成績結果を表－4.11に示す。ただし標準養生供試体は材令28日、現場養生供試体は、梁供試体載荷時材令で試験した。

表－4.11 コンクリートの試験成績結果

スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	圧縮強度 (Kg/cm ²)	
			標準養生	現場養生
10	6.0	10	328	302
			355	289
			340	242
			337	278

4.4.3 試験方法

図－4.17に示したT形供試体に2点載荷した。図－4.18に載荷方法および測定方法の概要を示す。



図－4.18 静的曲げ試験概要図

荷重の載荷は、以下のような漸増繰り返し載荷とした。

第1行程……ひびわれ発生荷重を知るため、 $P = 5.0 \text{ t}$ まで $\Delta P = 1.0 \text{ t}$ ずつ荷重を増加させ、その後、 $P = 1.0 \text{ t}$ まで減少する。

第2行程……主鉄筋応力度 $\sigma_s = 1800 \text{ Kg/cm}^2$ (許容応力度) に相当する荷重 $P = 21.0 \text{ t}$ まで $\Delta P = 3.0 \text{ t}$ ずつ荷重を増加させ、その後、 $P = 1.0 \text{ t}$ まで減少する。

第3行程……主鉄筋応力度 $\sigma_s = 3000 \text{ Kg/cm}^2$ (降伏点) に相当する荷重 $P = 35.5 \text{ t}$ まで $\Delta P = 3.0 \text{ t}$ ずつ荷重を増加させ、その後、 $P = 1.0 \text{ t}$ まで減少する。なお、 $P = 35.5 \text{ t}$ 時の支間中央のたわみ量を δ とする。

第4行程…… $P = 40.0 \text{ t}$ まで $\Delta P = 1.0 \text{ t}$ ずつ荷重を増加させ、その後、変位制御に切換え、支間中央のたわみ量が 2δ となるまで $\delta/4$ ビッチで変位を増加させる。

第5・6行程……第4行程の操作を 3δ および 4δ となるまで繰り返す。

以上のローディングパターンを図-4.19に示す。

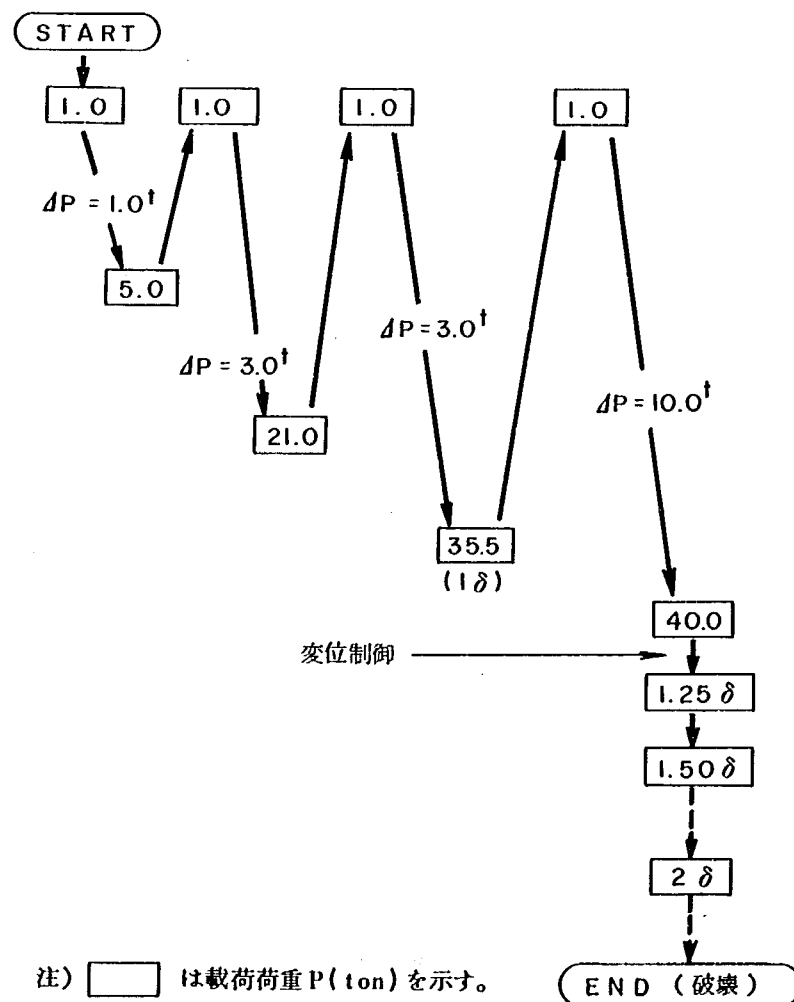


図-4.19 T形断面供試体 静的曲げ試験
のローディングパターン

なお、載荷試験時の測定項目および測定方法は次のとおりである。

(1) 支間中央と載荷点のたわみ量

支間中央，荷重載荷点，および支点に変位計を取付け，各点のたわみ量を測定した。

(2) コンクリートのひずみ

支間中央において，供試体高さの5等分にゲージを貼布し，コンクリートのひずみを測定した。

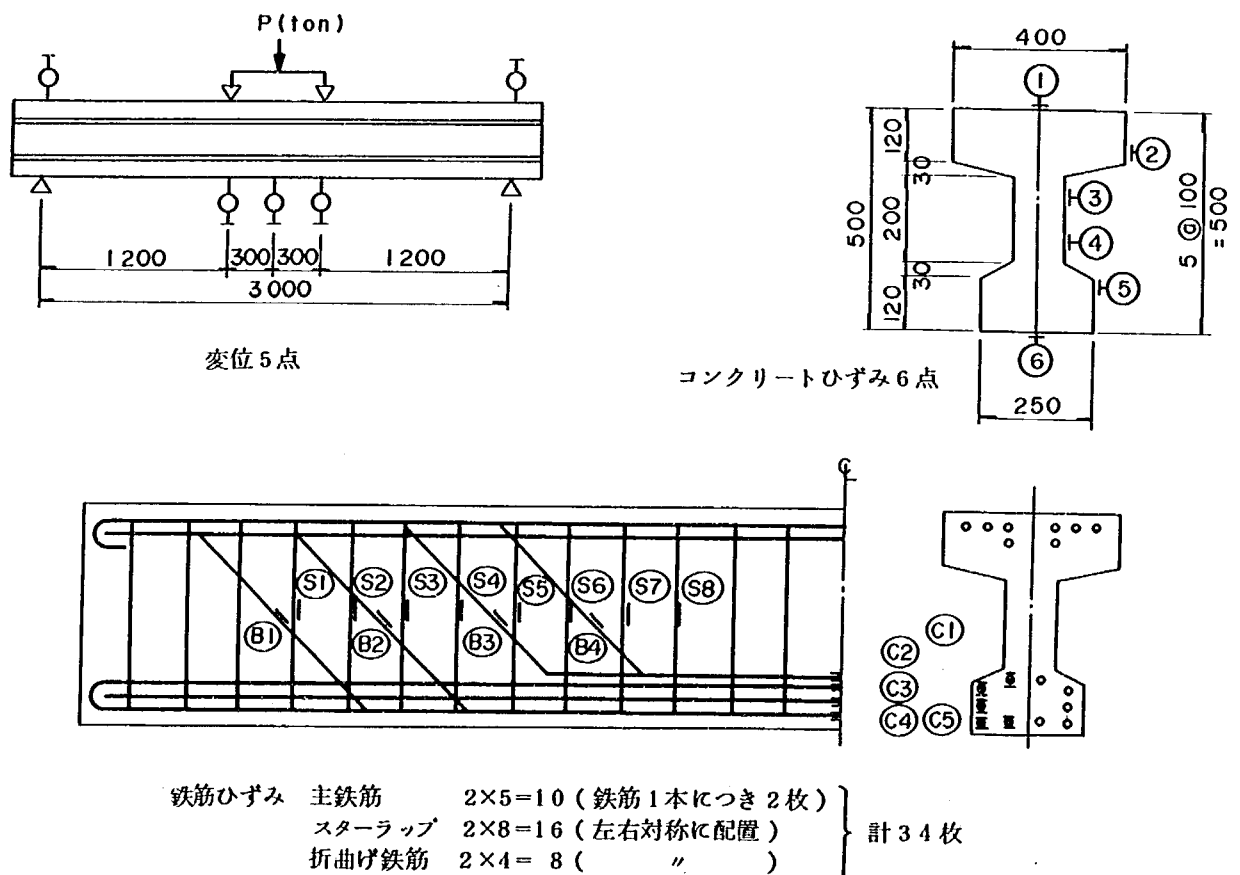
(3) 鉄筋のひずみ

支間中央における主鉄筋，およびせん断スパン部の折曲げ鉄筋とスターラップにゲージを貼布し，鉄筋のひずみを測定した。

(4) コンクリートのひびわれ

ひびわれ発生後，各荷重段階におけるひびわれの進展を調べ，ひびわれ幅をスケールルーペ（倍率100倍）を用いて測定した。

図－4.20に各項目の測定位置を示す。



図－4.20 変位およびひずみの測定位置

4.4.4 試験結果

1) 図－4.21に支間中央における荷重とたわみ量の関係を示す。図中の実線と破線は，それぞれ無処理鉄筋とエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた供試体を示している。また，図中

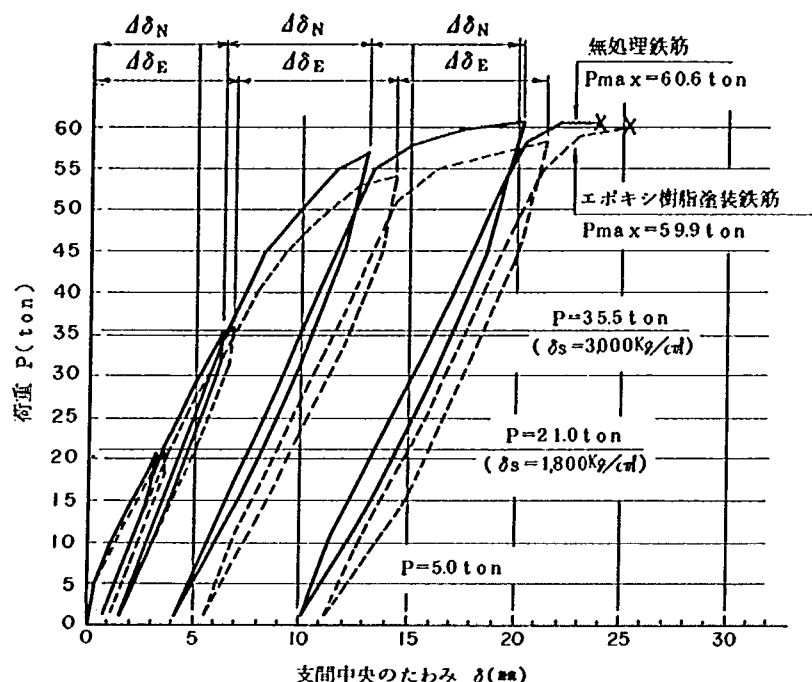


図-4.21 支間中央の荷重-たわみ曲線

の×印は、供試体の破壊時点を示しているが、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた供試体は支承部コンクリートの圧縮破壊、無処理鉄筋を用いた供試体はせん断スパン部のウェブコンクリートのせん断破壊であった。

- 2) エポキシ樹脂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、同一荷重に対するたわみ量が若干大きく、荷重とたわみ量がほぼ直線的に変化している荷重区間 ($P = 9.0 \sim 35.5 \text{ t}$) で両者のたわみ量を比較すると表-4.12のようになり、約10%の剛性低下が認められる。しかし、最大荷重および供試体破壊時の最大たわみ量については両者に大きな差異はない。

表-4.12 同荷重に対するたわみ量の比較

荷 重 P (ton)	支間中央のたわみ量 δ (mm)		無処理鉄筋 に対する比 δ_E/δ_N
	無処理鉄筋	エポキシ樹脂 塗装鉄筋	
9.0	0.97	1.13	1.16
12.0	1.54	1.71	1.11
15.0	2.12	2.35	1.11
18.0	2.75	2.96	1.08
21.0	3.17	3.50	1.10
24.0	4.06	4.31	1.06
27.0	4.58	4.89	1.07
30.0	5.18	5.52	1.07
33.0	5.79	6.15	1.06
35.5	6.33	6.67	1.06
平均			1.09

3) 支間中央における主鉄筋のひずみと荷重との関係を図-4.2.2に示す。この図から使用鉄筋の違いによる差異はほとんど認められない。㉔, ㉕, ㉖において鉄筋の降伏荷重に差異が認められるが, これは, この間の荷重増分が $\Delta P = 4.0 \text{ t}$ と大きく, 適確な鉄筋降伏荷重を測定することができなかったためである。

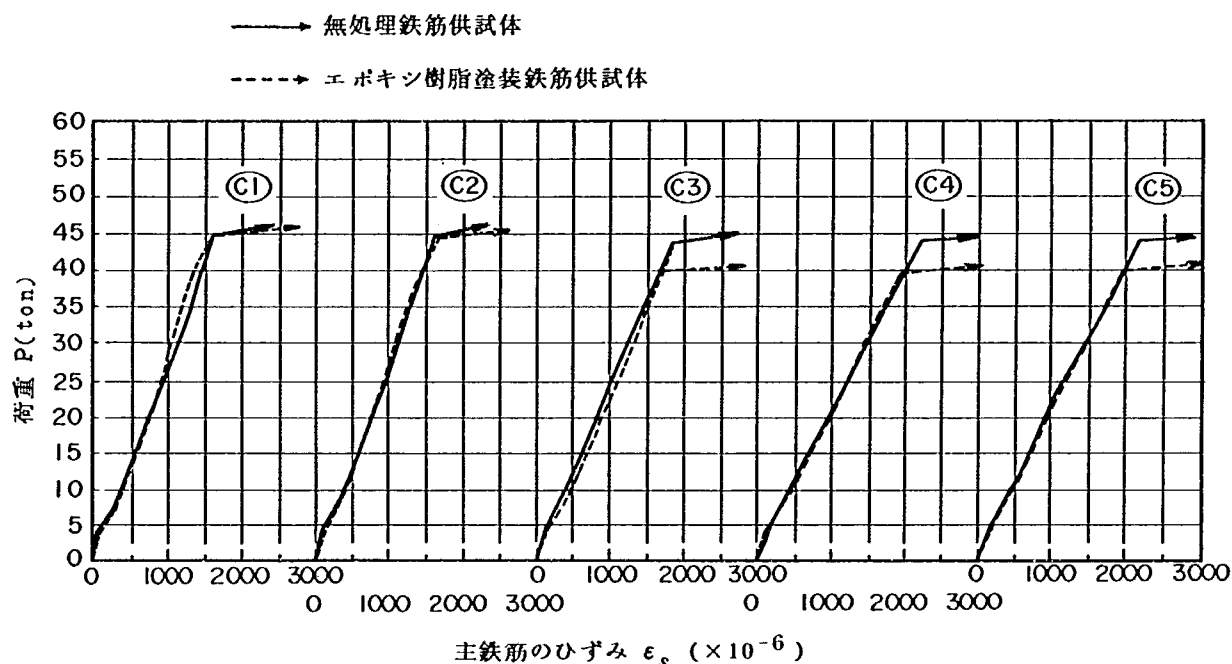
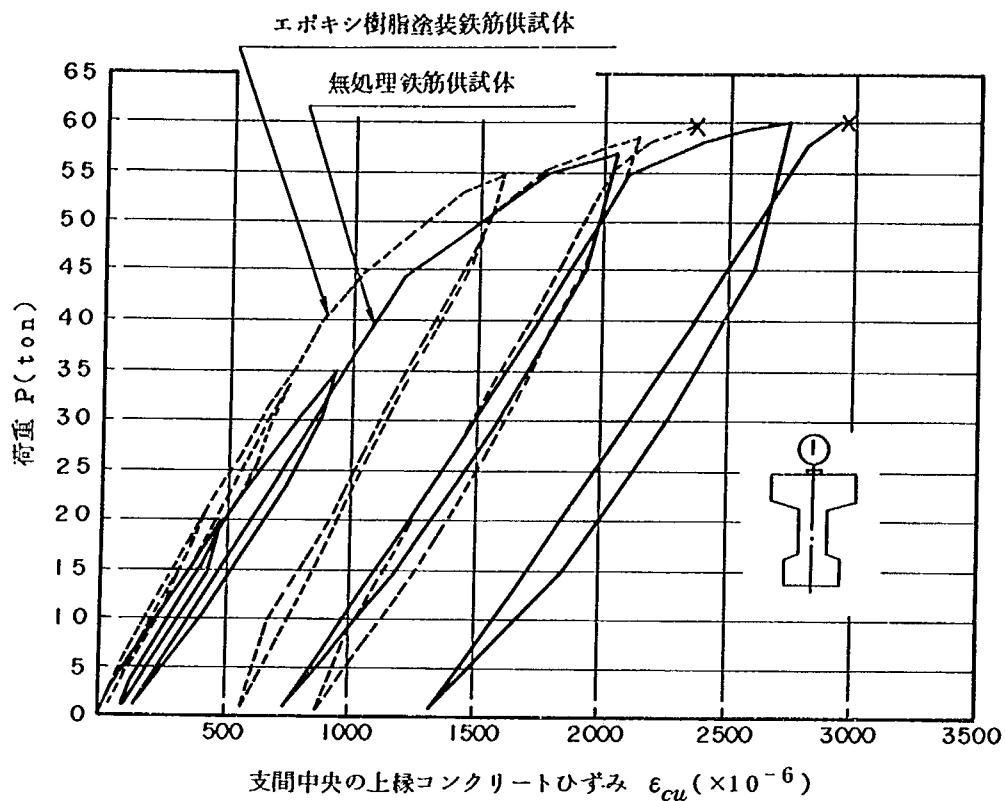
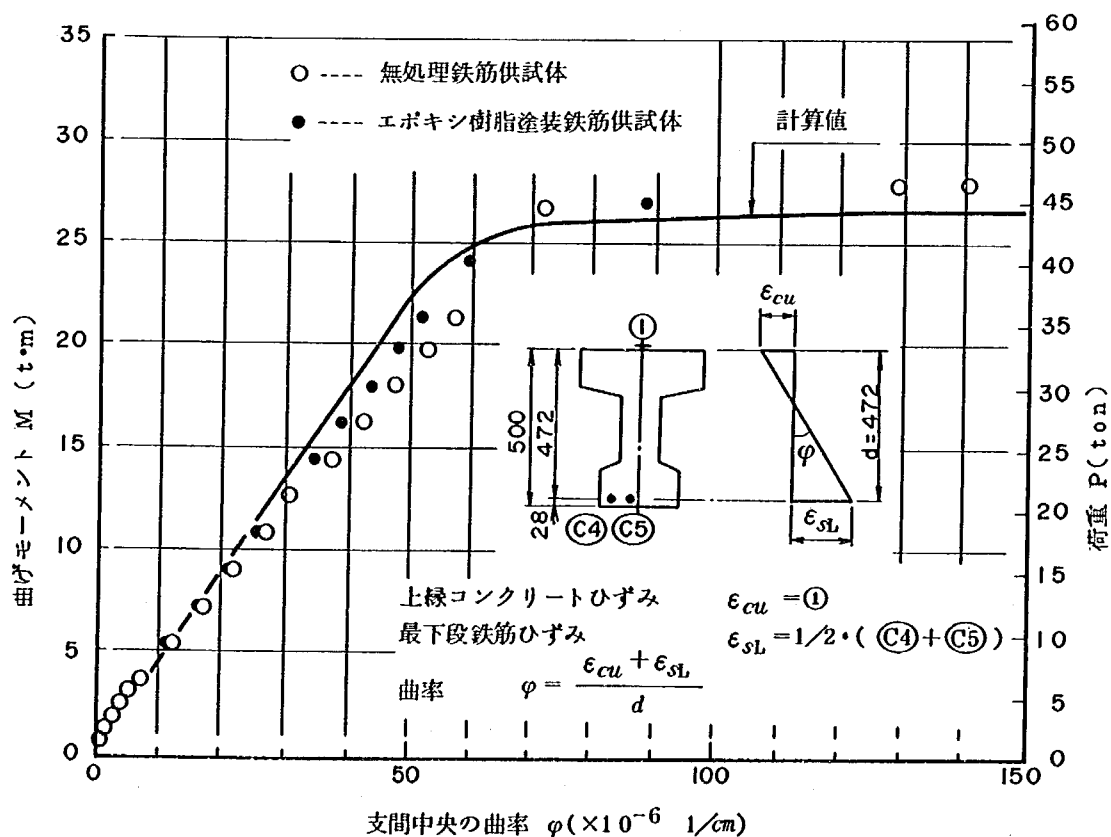


図-4.2.2 荷重と主鉄筋ひずみの関係

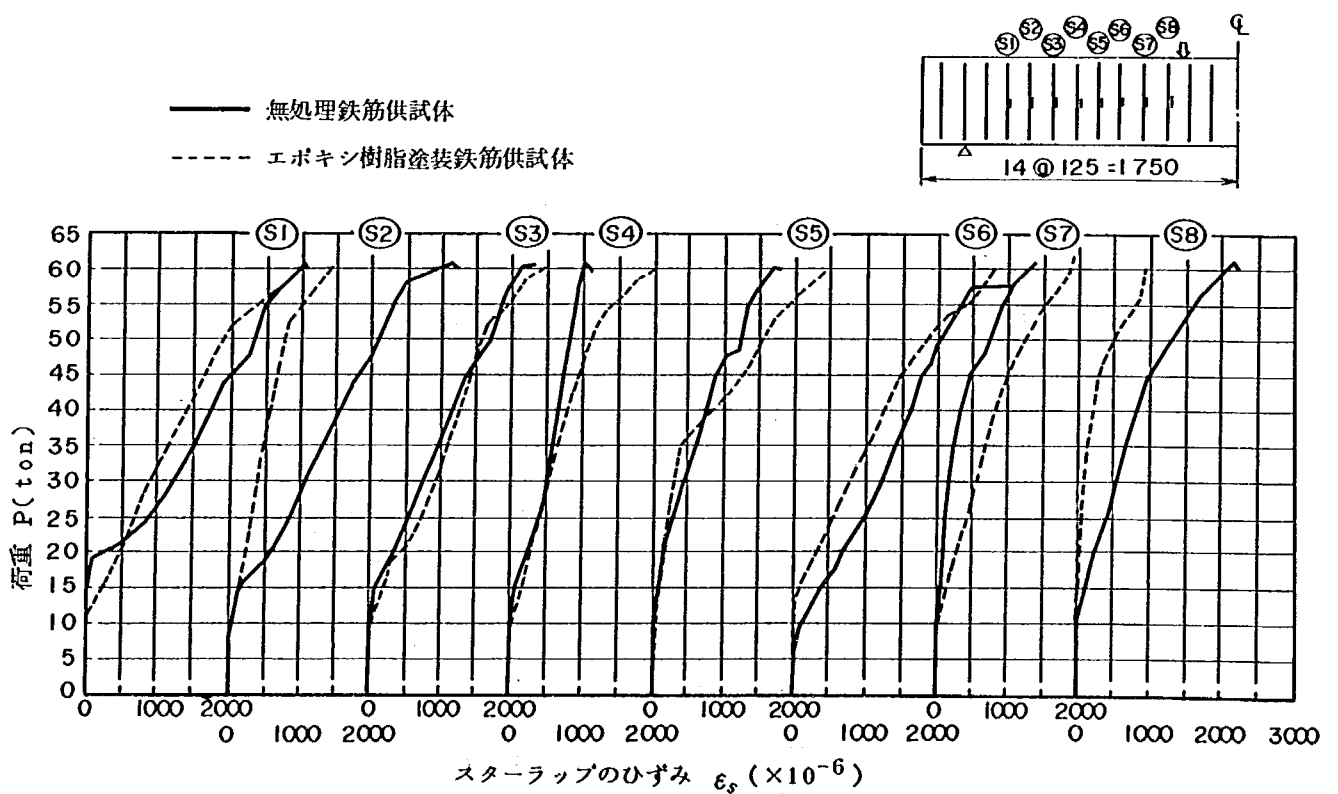
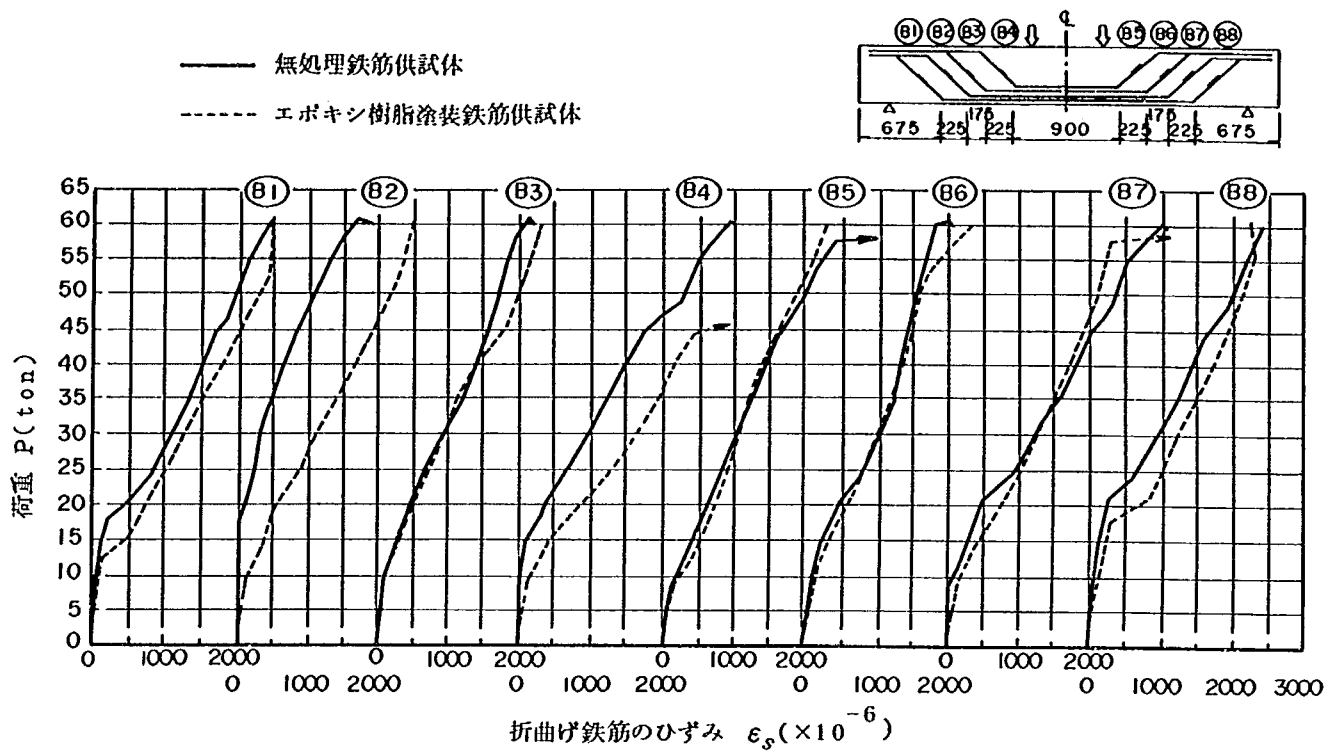
- 4) 図-4.2.3に荷重と支間中央で測定したコンクリートの上縁ひずみとの関係を図-4.2.4に, 曲げモーメントと支間中央の曲率との関係をそれぞれ示す。これらの結果は, 図-4.2.1と逆の傾向を示しているが, 部材全体の曲げ剛性を評価するには, 図-4.2.1が適切である。
- 5) 図-4.2.5および図-4.2.6に, 荷重と折曲げ鉄筋およびスターラップのひずみとの関係を示す。折曲げ鉄筋やスターラップのようなせん断補強鉄筋は, せん断ひびわれ発生前後でその挙動が大きく変化する。ひびわれ発生後は, それまでコンクリートが受け持っていたせん断力を鉄筋が受け持つため, 鉄筋ひずみが急激に増大する。このことからせん断ひびわれ発生荷重を荷重～ひずみ曲線から求めると表-4.1.3のようになる。使用鉄筋の違いによるせん断ひびわれ発生荷重に大きな差はなく, ほとんどが $P = 9.0 \text{ t}$ でひびわれが発生している。
- 6) 図-4.2.7・1～3に, 荷重載荷第2, 3, 5行程終了後のひびわれ発生状況を示す。この図から, エポキシ樹脂塗装鉄筋および無処理鉄筋を用いた供試体は両者とも, 全体的によく似たひびわれ発生状況であり, 塗膜の有無による明確な差は認められない。
- 7) 図-4.2.8は, ひびわれ幅の測定結果を図示したもので, 測定対象とした10本のひびわれを曲げひびわれとせん断ひびわれに分類し, それぞれのひびわれ幅の平均値と荷



図－4.23 荷重と上縁コンクリートひずみの関係



図－4.24 曲げモーメントと曲率の関係



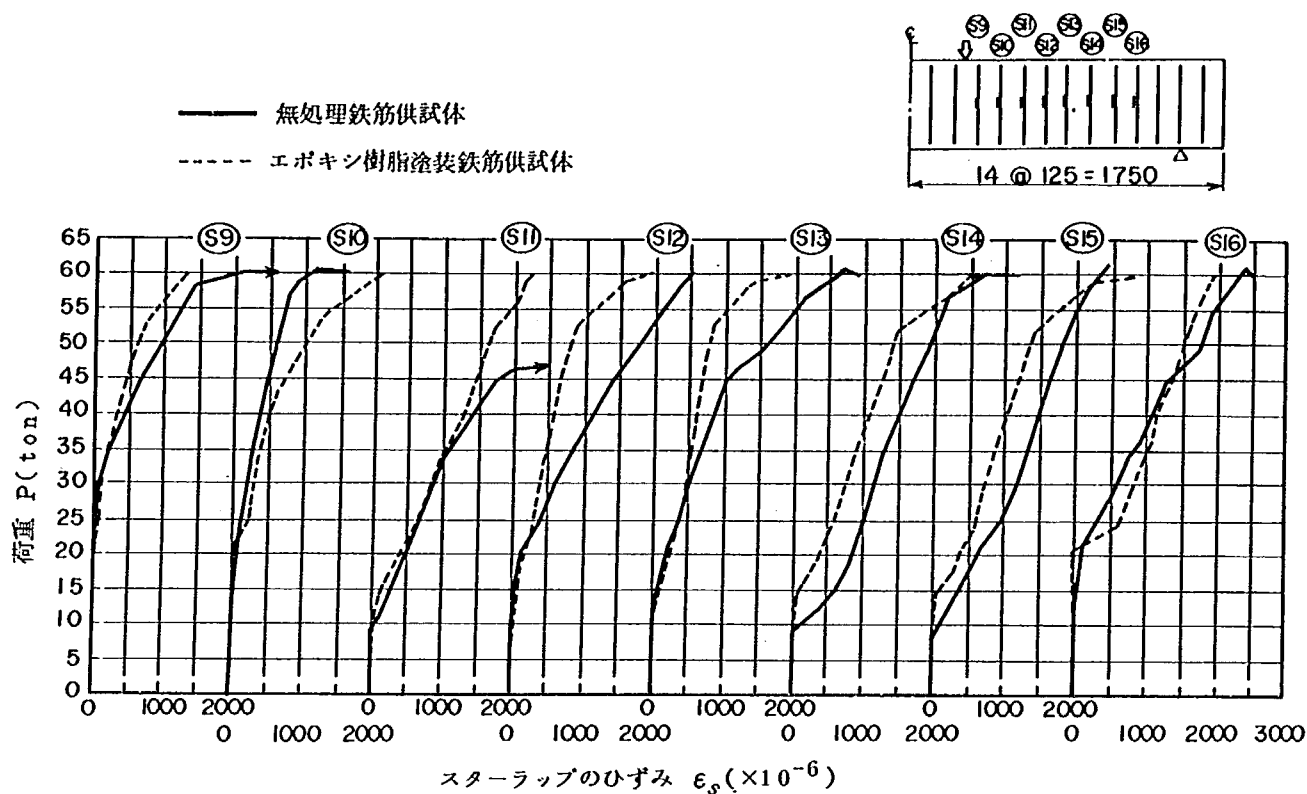
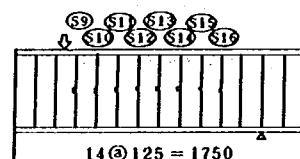
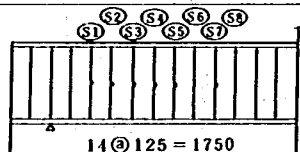
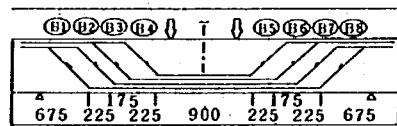


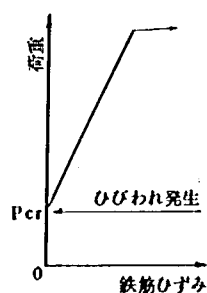
図-4.2.6.2 荷重とスターラップひずみの関係

表-4.1.3 せん断ひびわれ発生荷重

鉄筋 種別	ひびわれ発生荷重 $P_{cr} (\text{ton})$		鉄筋 種別	ひびわれ発生荷重 $P_{cr} (\text{ton})$		鉄筋 種別	ひびわれ発生荷重 $P_{cr} (\text{ton})$	
	N鉄筋	E鉄筋		N鉄筋	E鉄筋		N鉄筋	E鉄筋
(B1)	12.0	12.0	(S1)	15.0	12.0	(S9)	*	*
(B2)	18.0	9.0	(S2)	9.0	9.0	(S10)	*	*
(B3)	9.0	9.0	(S3)	9.0	9.0	(S11)	9.0	9.0
(B4)	12.0	9.0	(S4)	12.0	9.0	(S12)	9.0	9.0
(B5)	9.0	9.0	(S5)	12.0	9.0	(S13)	9.0	9.0
(B6)	9.0	9.0	(S6)	9.0	9.0	(S14)	9.0	9.0
(B7)	9.0	9.0	(S7)	*	9.0	(S15)	9.0	9.0
(B8)	9.0	9.0	(S8)	12.0	*	(S16)	21.0	21.0

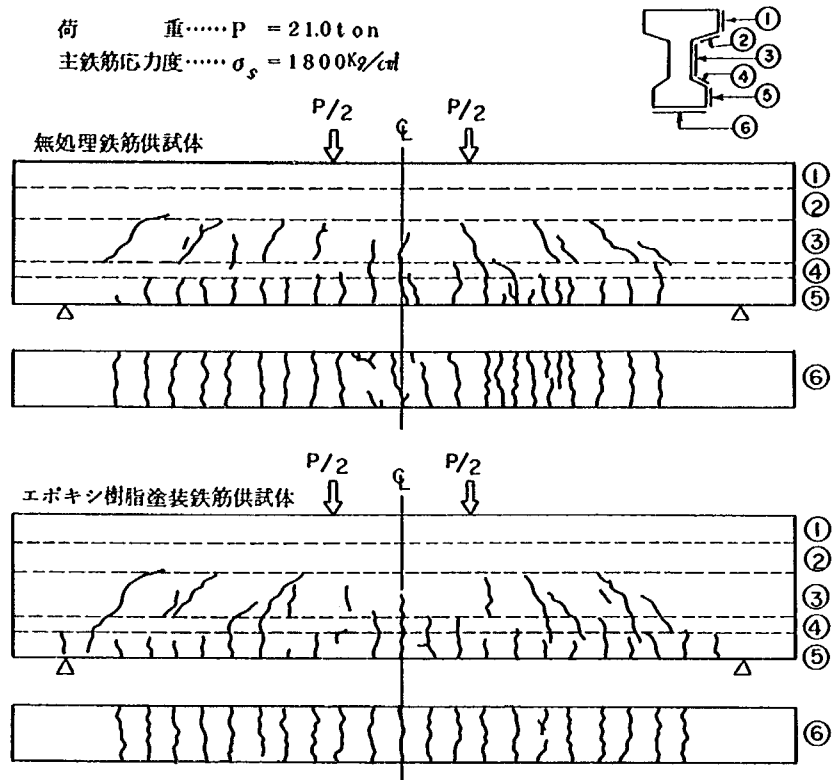


注) 鉄筋種別 … 左図参照
 N鉄筋 … 無処理鉄筋
 E鉄筋 … エポキシ樹脂塗装鉄筋
 * … ひびわれ発生荷重が明確でないもの。



第2行程最終

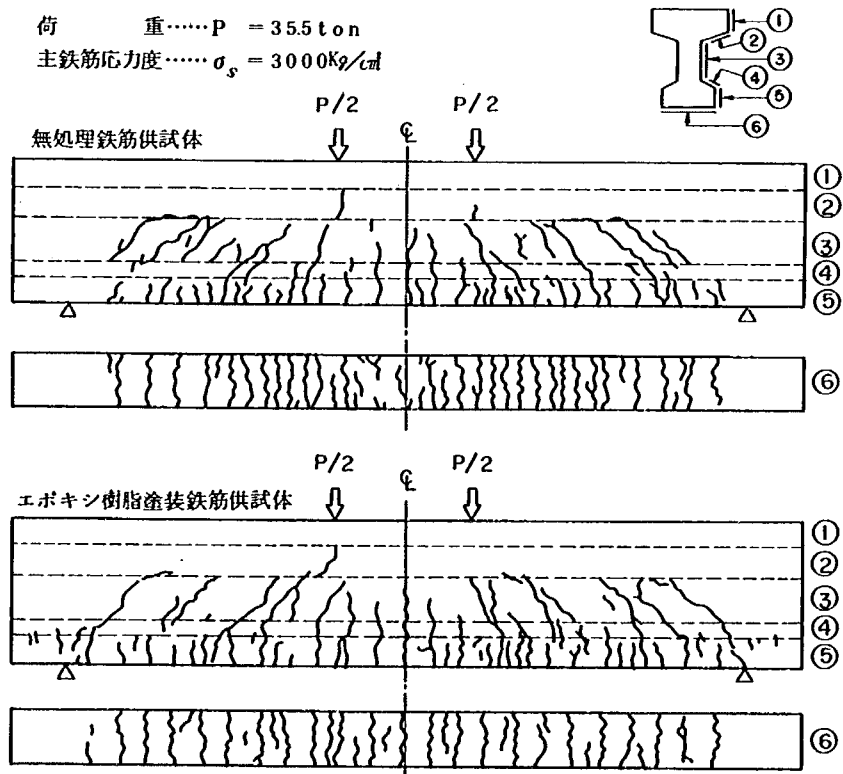
荷 重…… $P = 21.0 \text{ ton}$
主鉄筋応力度…… $\sigma_s = 1800 \text{ kg/cm}^2$



図一 4.2.7.1 ひびわれ展開図

第3行程最終

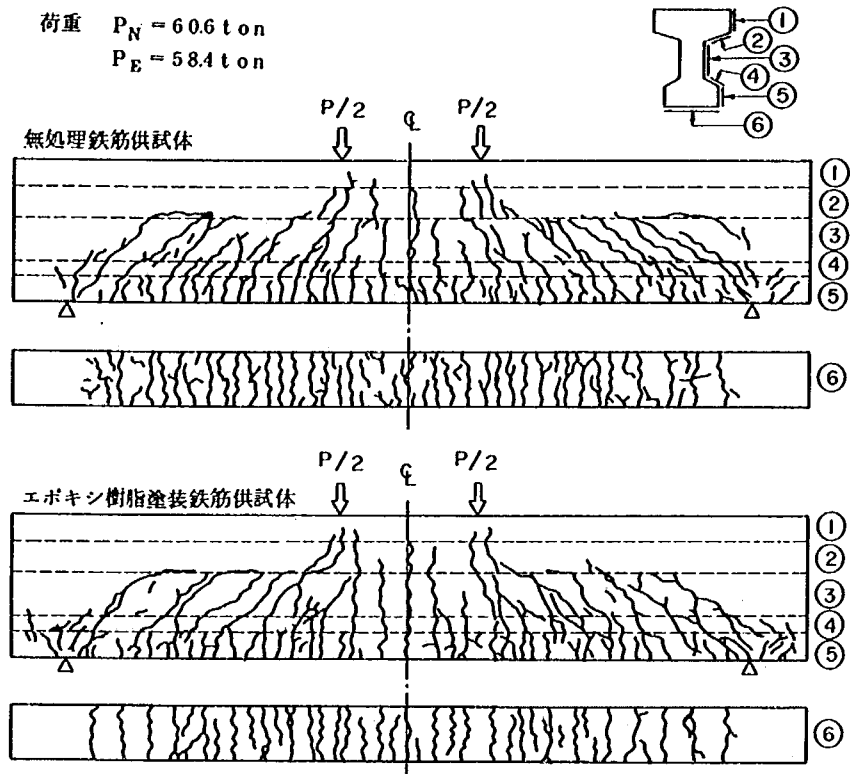
荷 重…… $P = 35.5 \text{ ton}$
主鉄筋応力度…… $\sigma_s = 3000 \text{ kg/cm}^2$



図一 4.2.7.2 ひびわれ展開図

第5行程最終

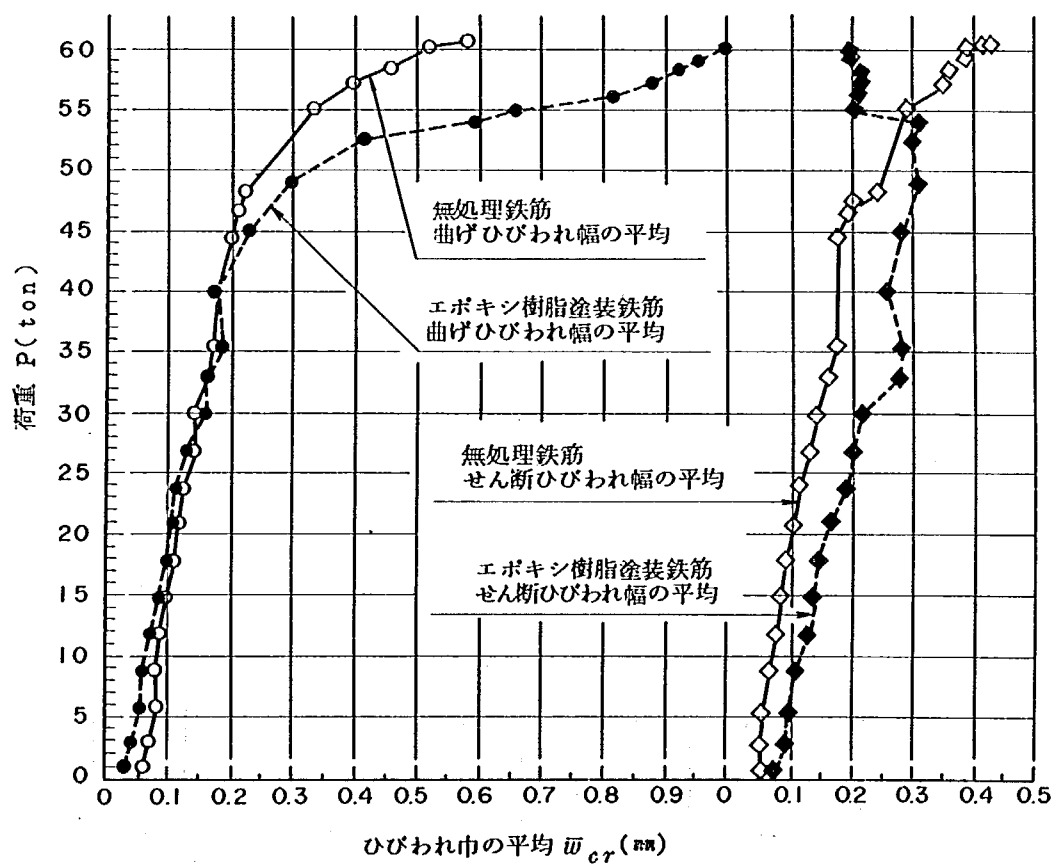
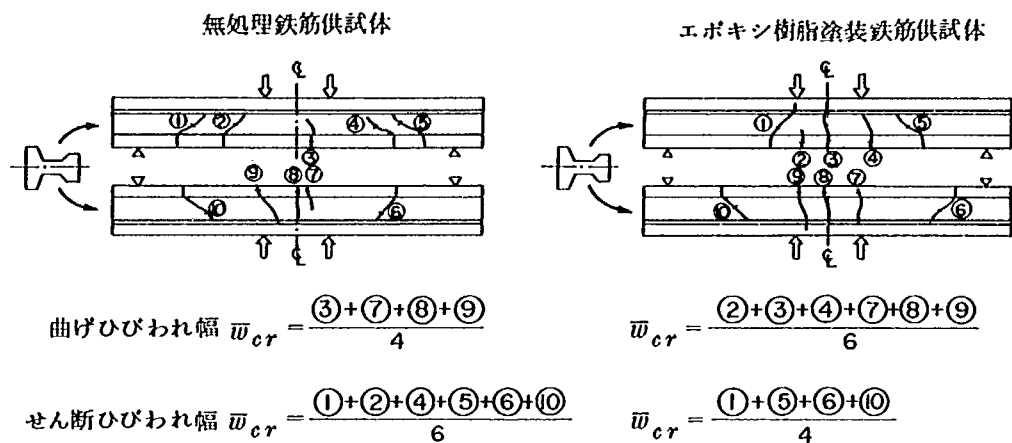
荷重 $P_N = 60.6 \text{ ton}$
 $P_E = 58.4 \text{ ton}$



図－4.2.7.3 ひびわれ展開図

重との関係を示している。エポキシ樹脂塗装鉄筋供試体は無処理鉄筋供試体に比べてひびわれ幅が増加する。特にせん断ひびわれは、初期の段階からその傾向が顕著である。しかし、鉄筋自体十分に防食されていることを考慮するならば、ひびわれ幅の増加は実用上、支障とはならないと考えられる。

- 8) 曲げひびわれ発生荷重は、エポキシ樹脂塗装鉄筋供試体で $P_c = 3.0 \text{ t}$ ，無処理鉄筋供試体で $P_c = 4.0 \text{ t}$ であった。



図一 4.28 荷重とひびわれ幅の平均値との関係

5. エポキシ樹脂塗装鉄筋の防食効果試験

5.1 概 要

エポキシ樹脂塗装鉄筋の防食効果を天然の腐食性環境において確かめることを目的として、鉄筋コンクリート供試体を製作し、曝露試験を行うものである。

エポキシ樹脂塗装鉄筋を実際の構造物に使用する場合には、施工時に塗膜が損傷したり、コンクリートにひびわれや打継目が存在する場合など、より過酷な条件下での防食性能を明らかにしておく必要がある。本試験では、以上の条件を考慮したエポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁とT形断面曝露梁の2種類の供試体を製作し、曝露試験に用いることにした。

5.2 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁

5.2.1 概 要

塗膜の一部が損傷しているエポキシ樹脂塗装鉄筋の防食性能を明らかにするため、塗膜に鉄筋素地が露出する程度の損傷を与えたエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いて供試体を製作した。塗膜の損傷レベルは4段階とし、各レベルについて2体、計8体に载荷によってひびわれを発生させたのち、曝露に供する。

5.2.2 供試体の製作

エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁の形状寸法を図-5.1に示す。供試体のスパン中央部の等曲げモーメント区間には幅0.3mm、深さ20mm、長さ200mm（供試体幅）の切り込み（スリット）を120mm間隔に7本配置し、载荷により発生するひびわれを等間隔にするようにした。

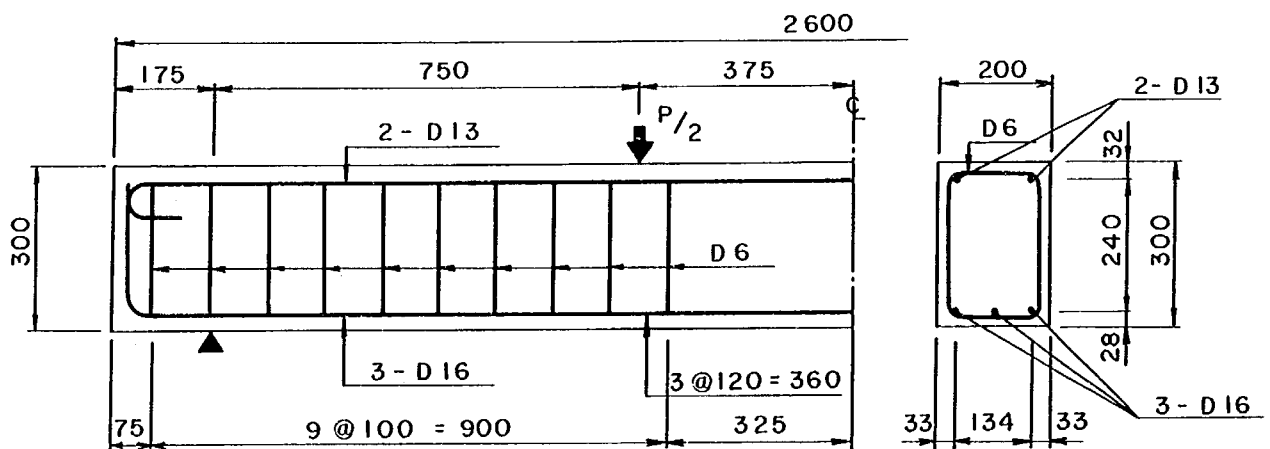
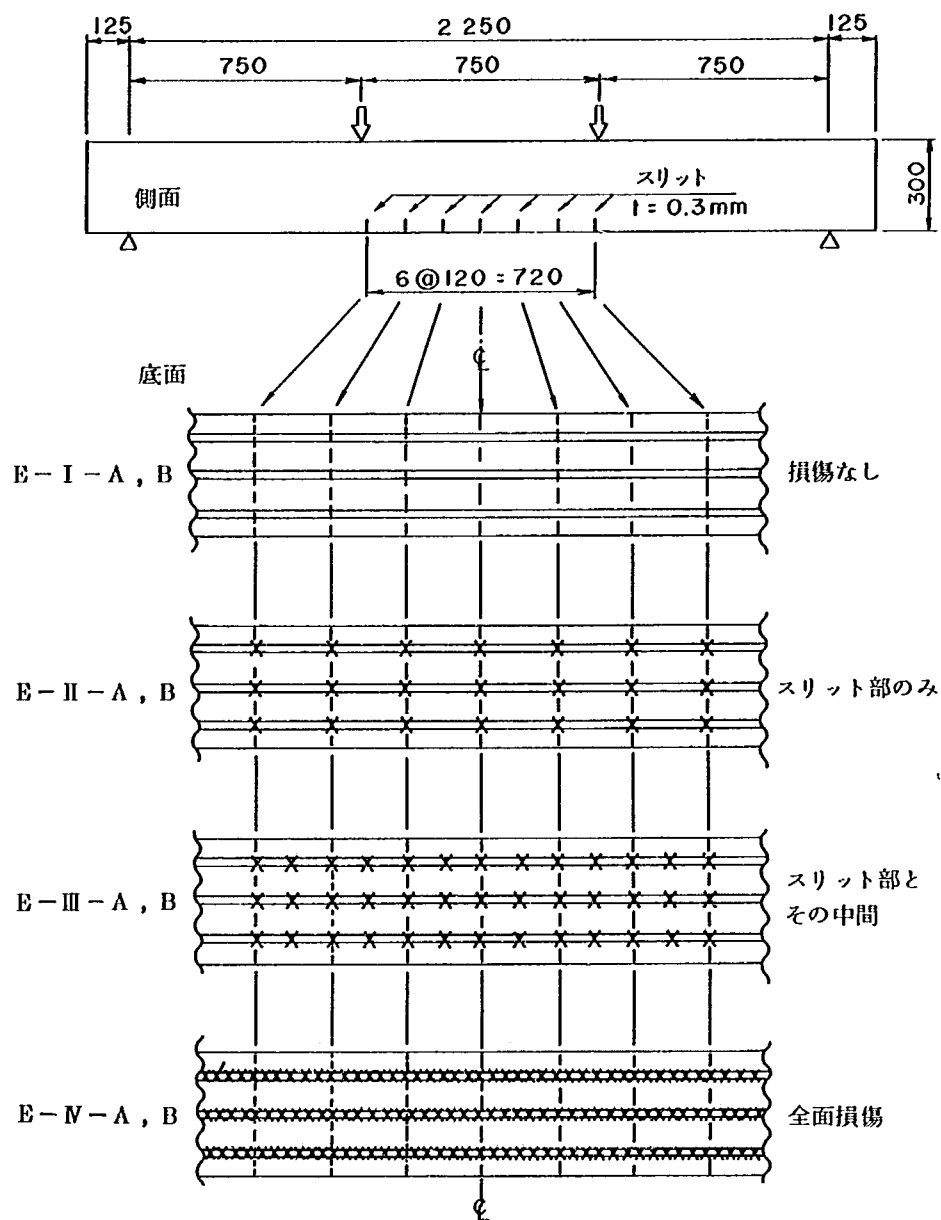


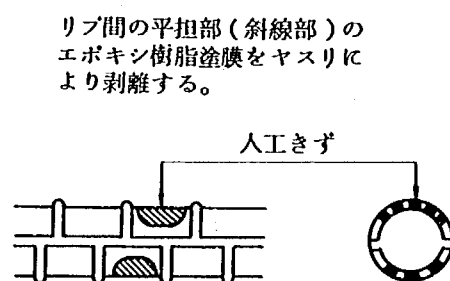
図-5.1 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁の形状寸法（単位mm）

主鉄筋には、図-5.2に示す位置で塗膜に損傷を与えている。塗膜の損傷は、図-5.3に示すように、ヤスリを使って人工きずを与えたものである。

供試体製作に用いた鉄筋は、すべてエポキシ樹脂塗装鉄筋であり、鉄筋の結束にはビニル被覆鉄線、スペーサーにはモルタルスペーサー、セパレーターにはエポキシ樹脂塗装し



図ー 5.2 スリットの設置位置とエポキシ樹脂塗膜の損傷レベル



図ー 5.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋の人工きず

た丸セバ ($\phi 6$) をそれぞれ用いている。

表- 5. 1 にコンクリートの試験成績結果を示す。

表- 5. 1 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁
コンクリートの試験成績結果

ス ラ ン プ (cm)	空 気 量 (%)	コンクリート 温 度 (℃)	圧 縮 強 度 (Kg/cm^2)	
			標 準 養 生	現 場 養 生
1 7	5. 1	1 5	2 5 0	2 5 6
			2 6 2	2 5 2
			2 5 1	2 5 3
			2 5 4	1 8 1

5. 2. 3 ひびわれの導入

(1) 載荷方法

ひびわれの導入は、図- 5. 4 に示すように、スパンを $2,250\text{mm}$ とする 3 等分点載荷によった。荷重の載荷は、図- 5. 5 に示すような繰返し載荷とし、下限荷重を $P = 2.0\text{t}$ 、上限荷重を $P = 10.4\text{t}$ として 5 回繰返した。なお、上限荷重 $P = 10.4\text{t}$ は、主鉄筋応力度が $\sigma_s = 2700\text{Kg}/\text{cm}^2$ となる値である。

載荷時の測定項目および測定方法は以下のとおりとした。

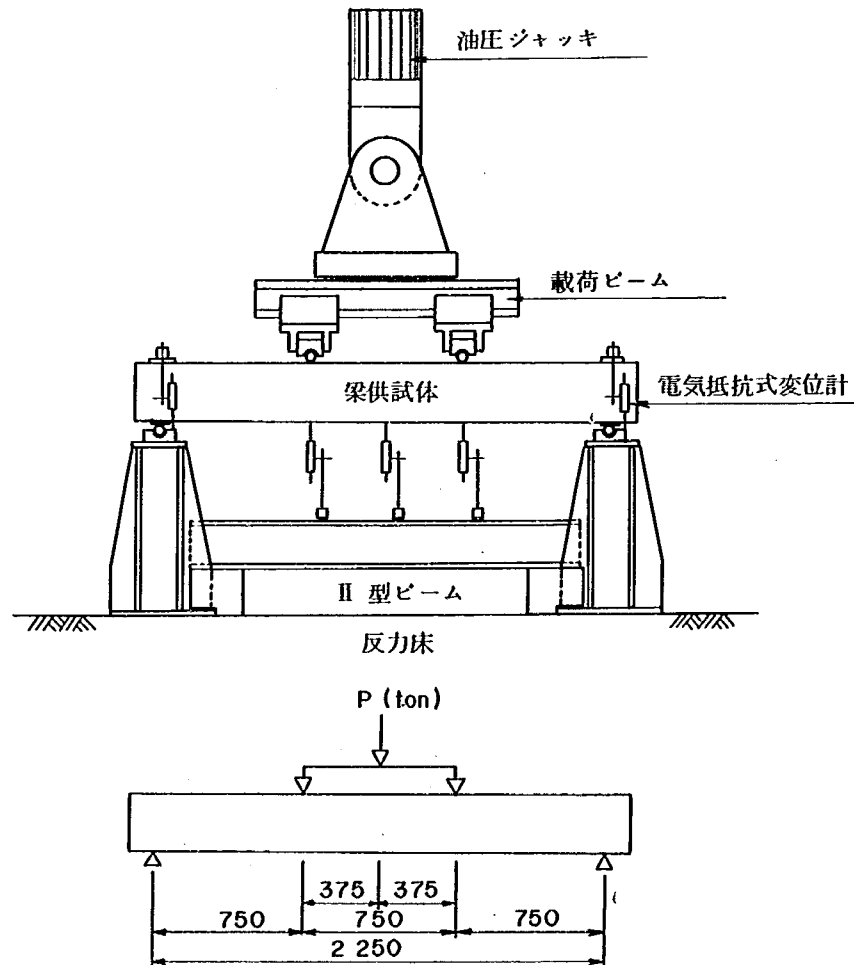
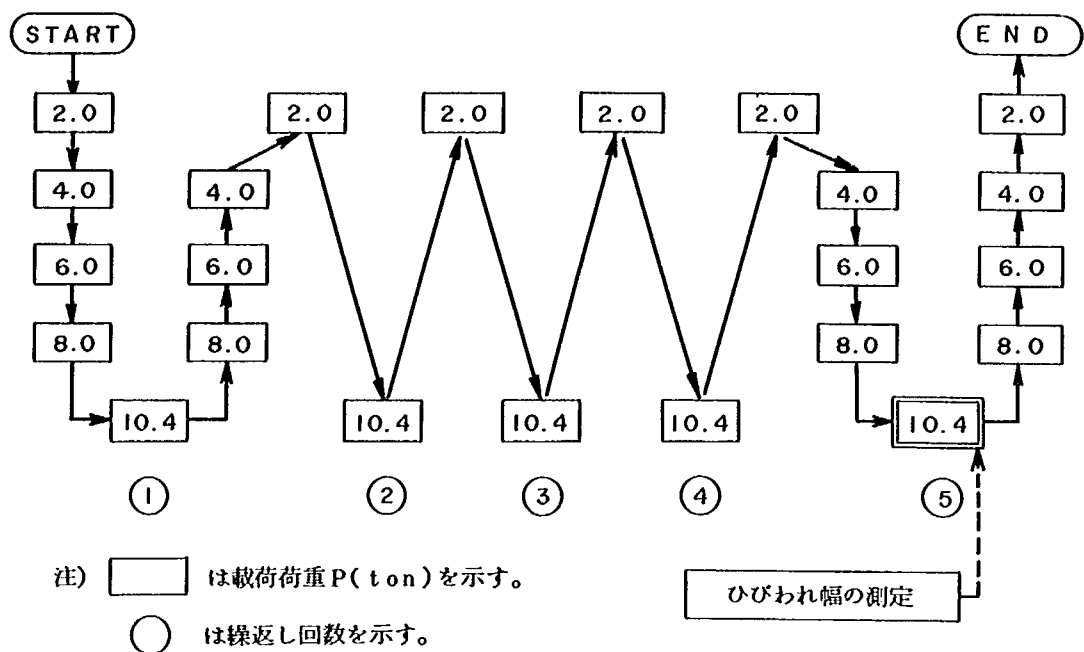


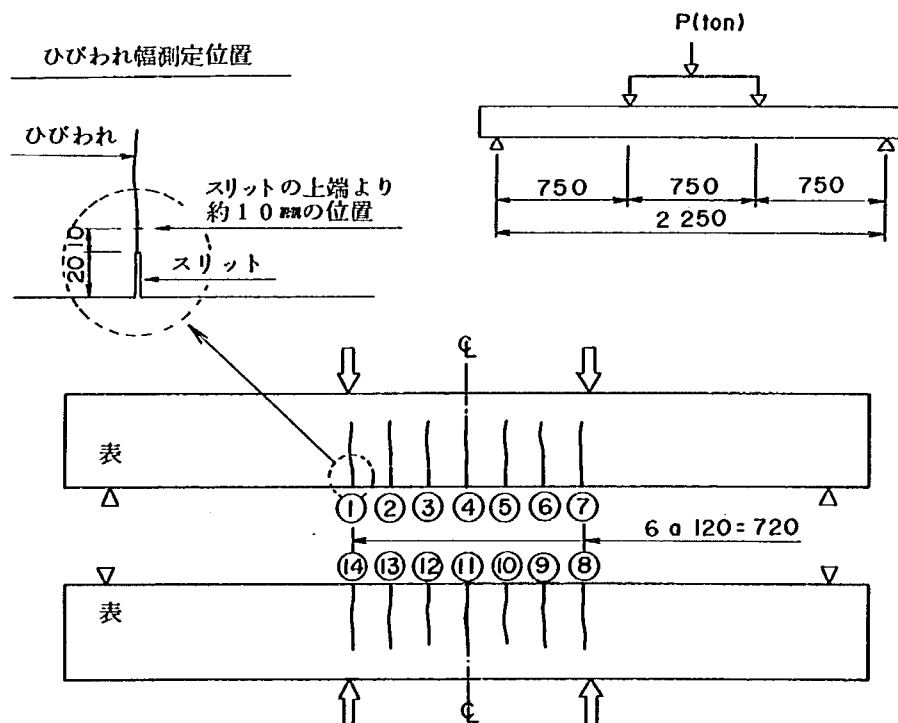
図- 5. 4 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁 静的曲げ試験の概要



図一 5.5 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁 静的曲げ試験のローディングパターン

1) コンクリートのひびわれ

ひびわれの進展状況を観察し、5回目の上限荷重 $P = 10.4$ t 載荷時にひびわれ幅を測定した。対象としたひびわれは、切り込みから発生したひびわれ14本とし、切り込み先端より約10 mm上の位置でのひびわれ幅を測定した(図一 5.6 参照)。



図一 5.6 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁 静的曲げ試験時ひびわれ幅測定位置

2) たわみ量の測定

供試体の支間中央，荷重載荷点，および支点の5ヶ所に変位計を取り付けて，各点のたわみ量を測定した（図－5.4参照）。

(2) 測定結果

1) コンクリートのひびわれ

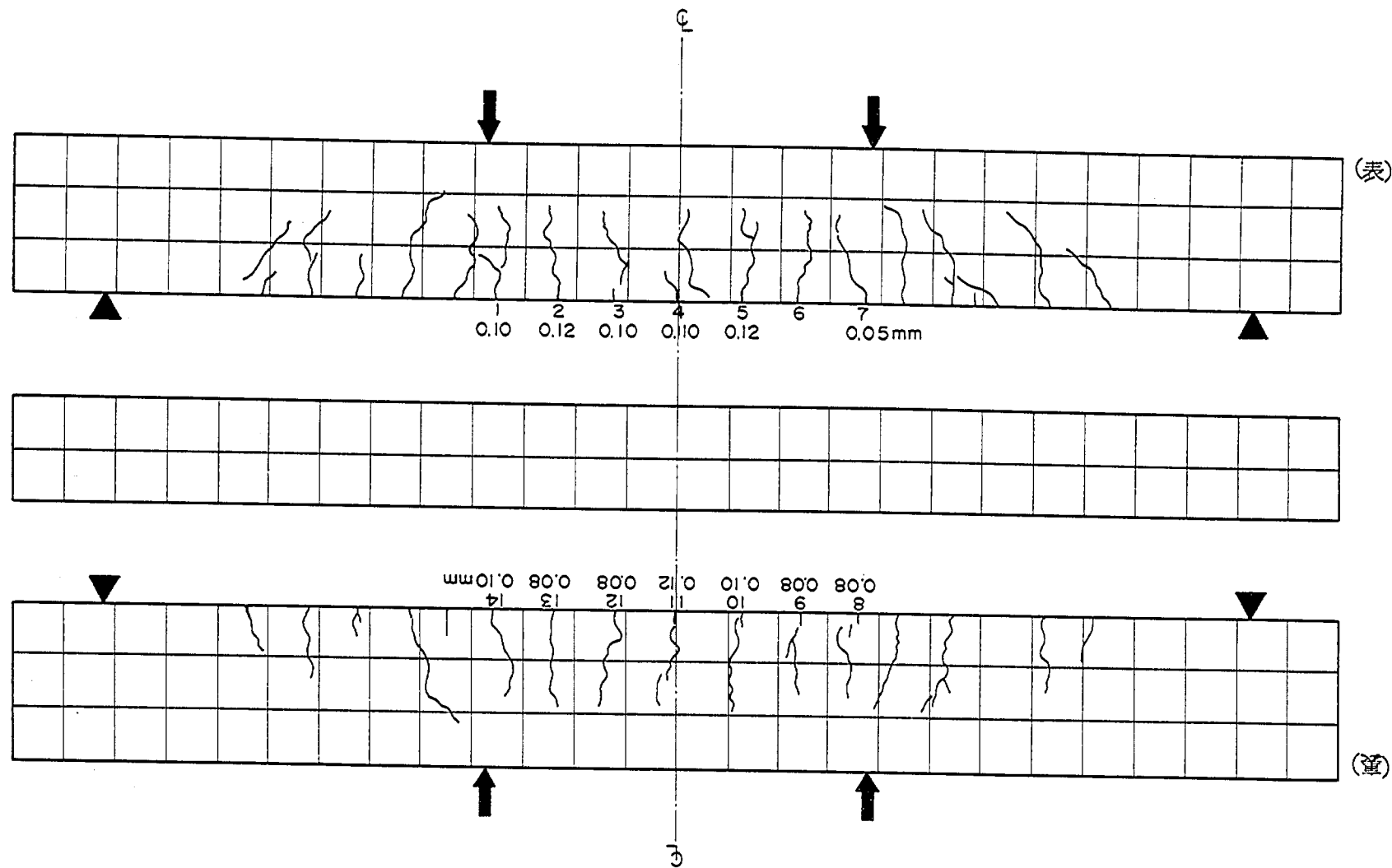
図－5.7に各供試体の5回目の上限荷重 $P = 10.4 \text{ t}$ 載荷時におけるひびわれ発生状況を示す。ひびわれはいずれも切り込みから発生しており，等間隔となった。

表－5.2に，ひびわれ幅の測定結果を示す。平均ひびわれ幅は，E－I－Aを除いて 0.1 mm 前後の値を示している。

表－5.2 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁
静的曲げ試験時，ひびわれ幅測定結果

（5回目， $P = 10.4 \text{ ton}$ 載荷時） （単位mm）

ひびわれ		供 試 体							
		E-I-A	E-I-B	E-II-A	E-II-B	E-III-A	E-III-B	E-IV-A	E-IV-B
表	①	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.08	0.10	0.10
	②	0.15	0.12	0.05	0.07	0.08	0.10	0.10	0.15
	③	0.20	0.10	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05
	④	0.20	0.10	0.10	0.05	0.12	0.12	0.08	0.12
	⑤	0.15	0.12	0.15	0.08	0.10	0.08	0.10	0.10
	⑥	0.20	—	0.10	0.10	0.15	0.07	0.08	0.08
	⑦	0.10	0.05	0.10	0.05	0.03	0.10	0.06	0.08
裏	⑧	0.15	0.08	0.05	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08
	⑨	0.20	0.08	0.10	0.08	0.05	0.15	0.08	0.10
	⑩	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	⑪	0.05	0.12	0.15	0.10	0.08	0.10	0.08	0.12
	⑫	0.15	0.08	0.12	0.15	0.08	0.10	0.12	0.10
	⑬	0.15	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	⑭	0.15	0.10	0.10	0.12	0.05	0.15	0.08	0.08
平 均		0.150	0.095	0.090	0.093	0.084	0.102	0.090	0.097



E-I-B

図-5.7.2 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図

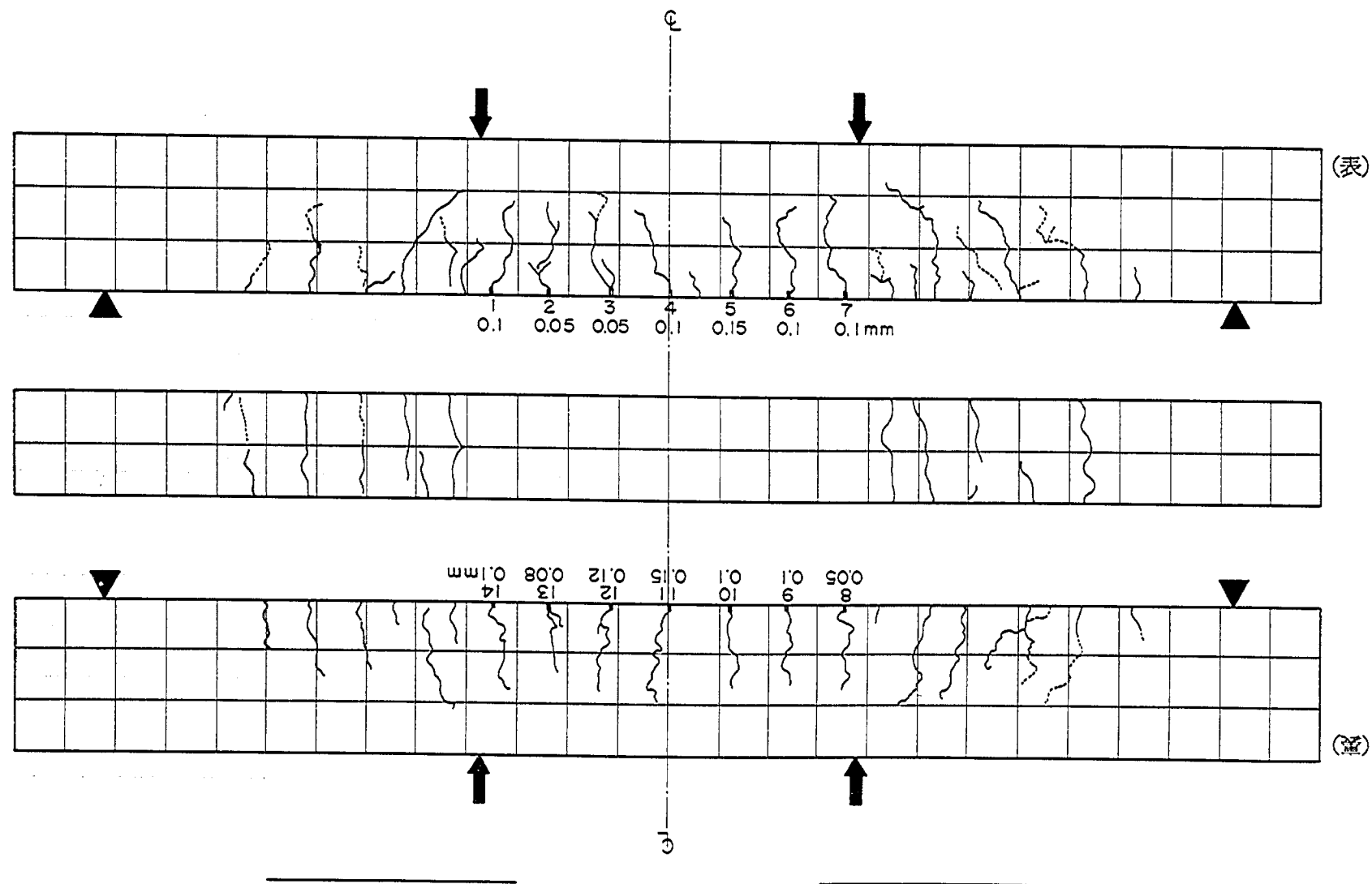
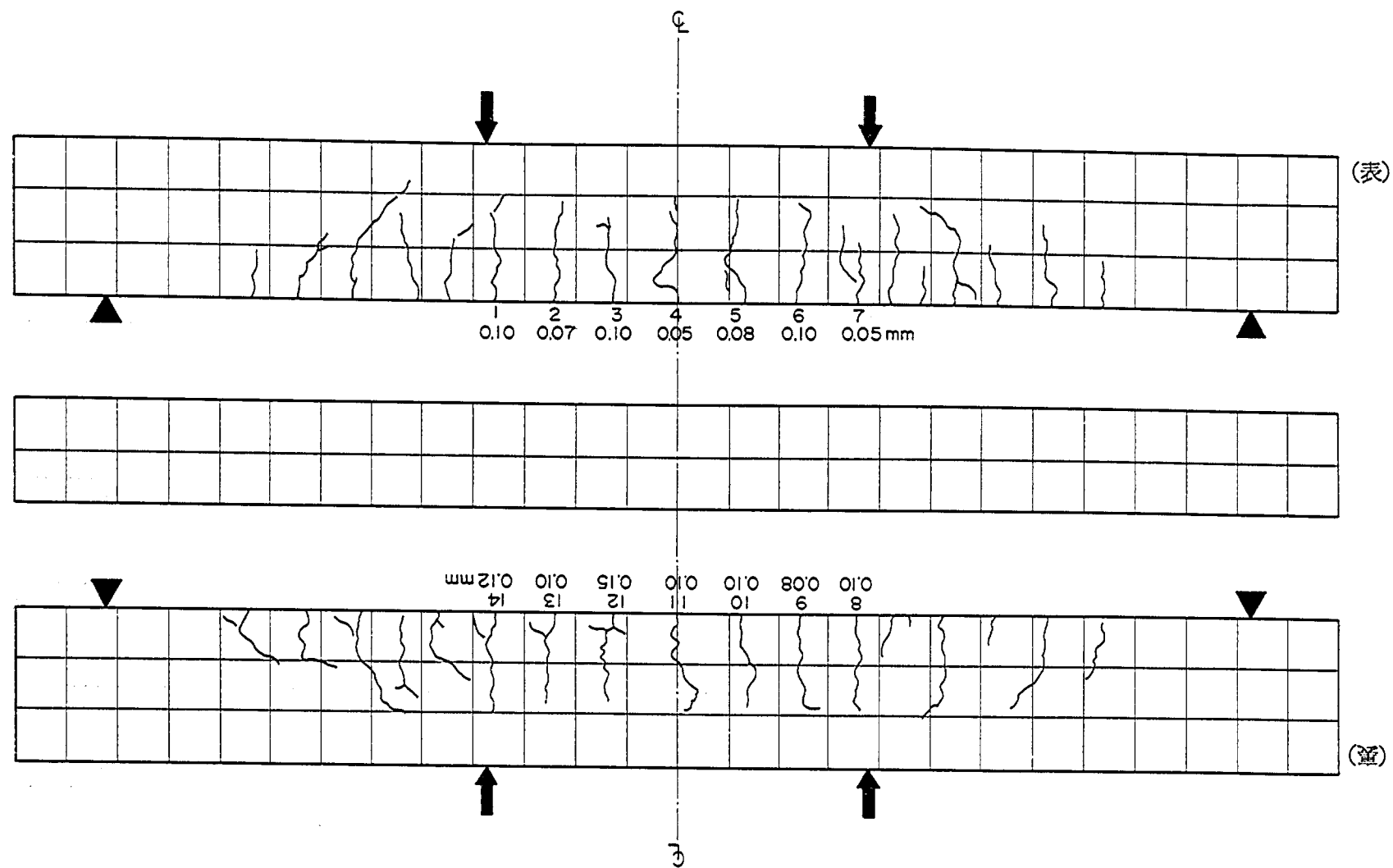
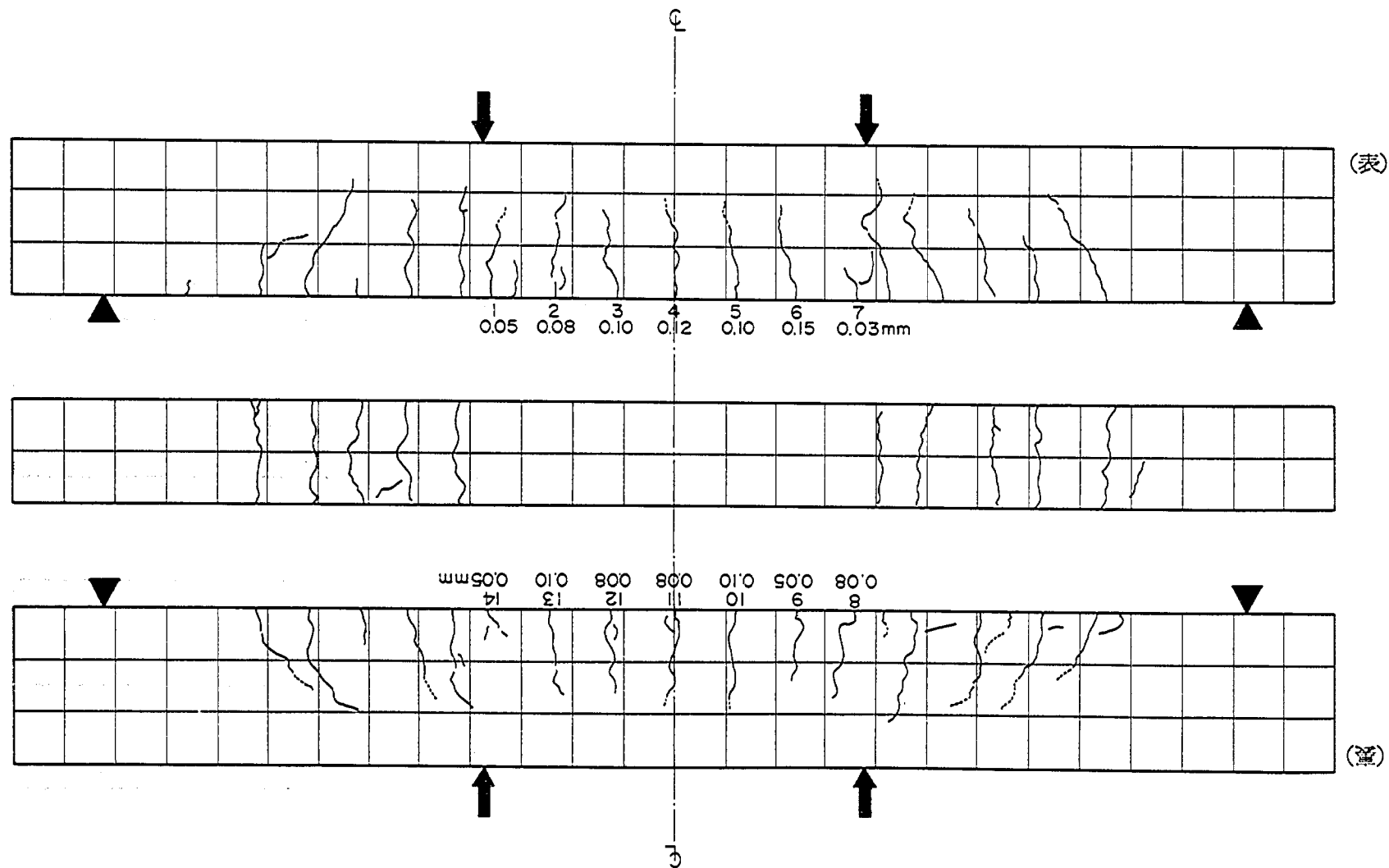


図-5.7.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図



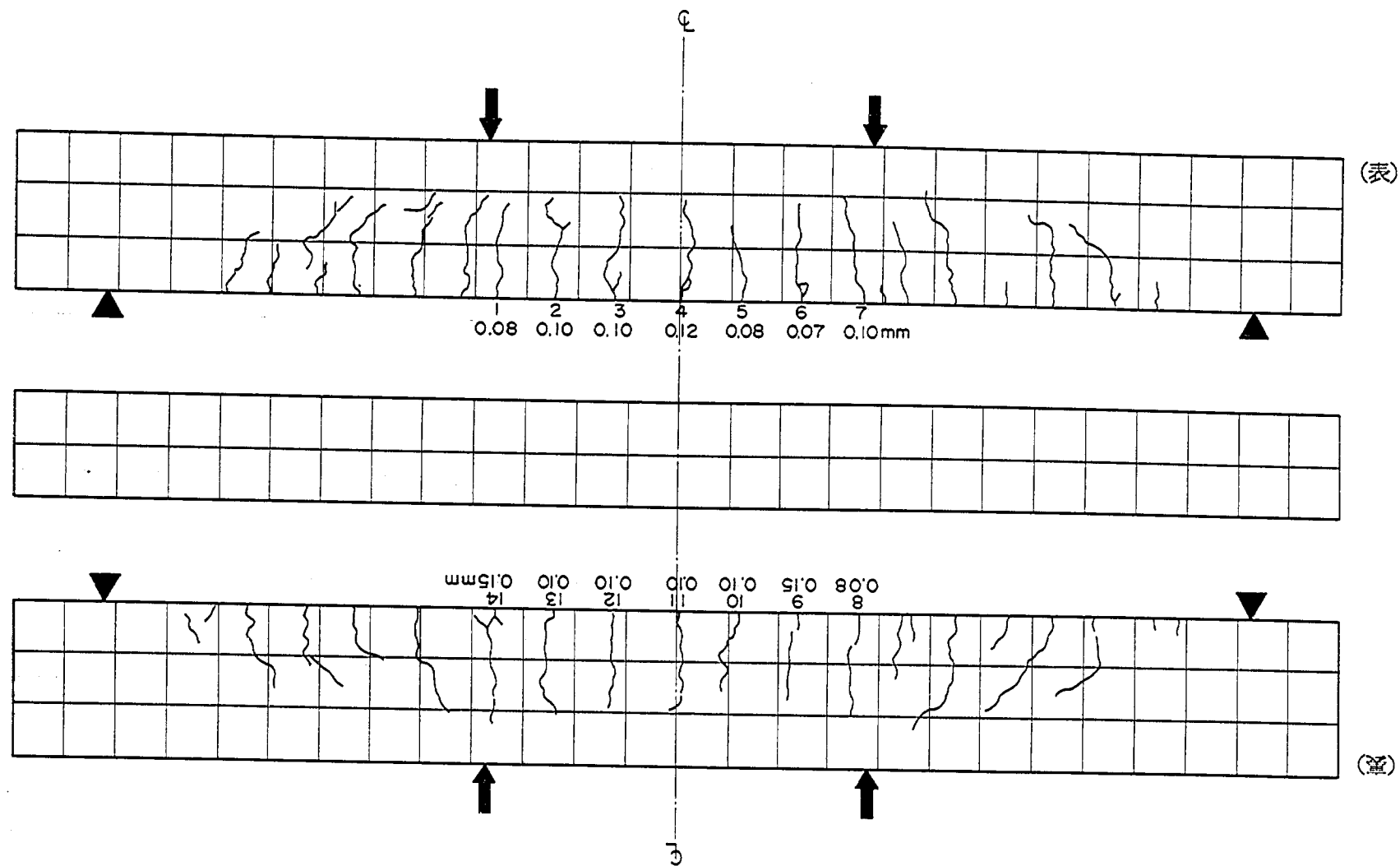
E-II-B

図-5.7.4 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図



E-III-A

図-5.7.5 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図



E-III-B

図-5.7.6 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図

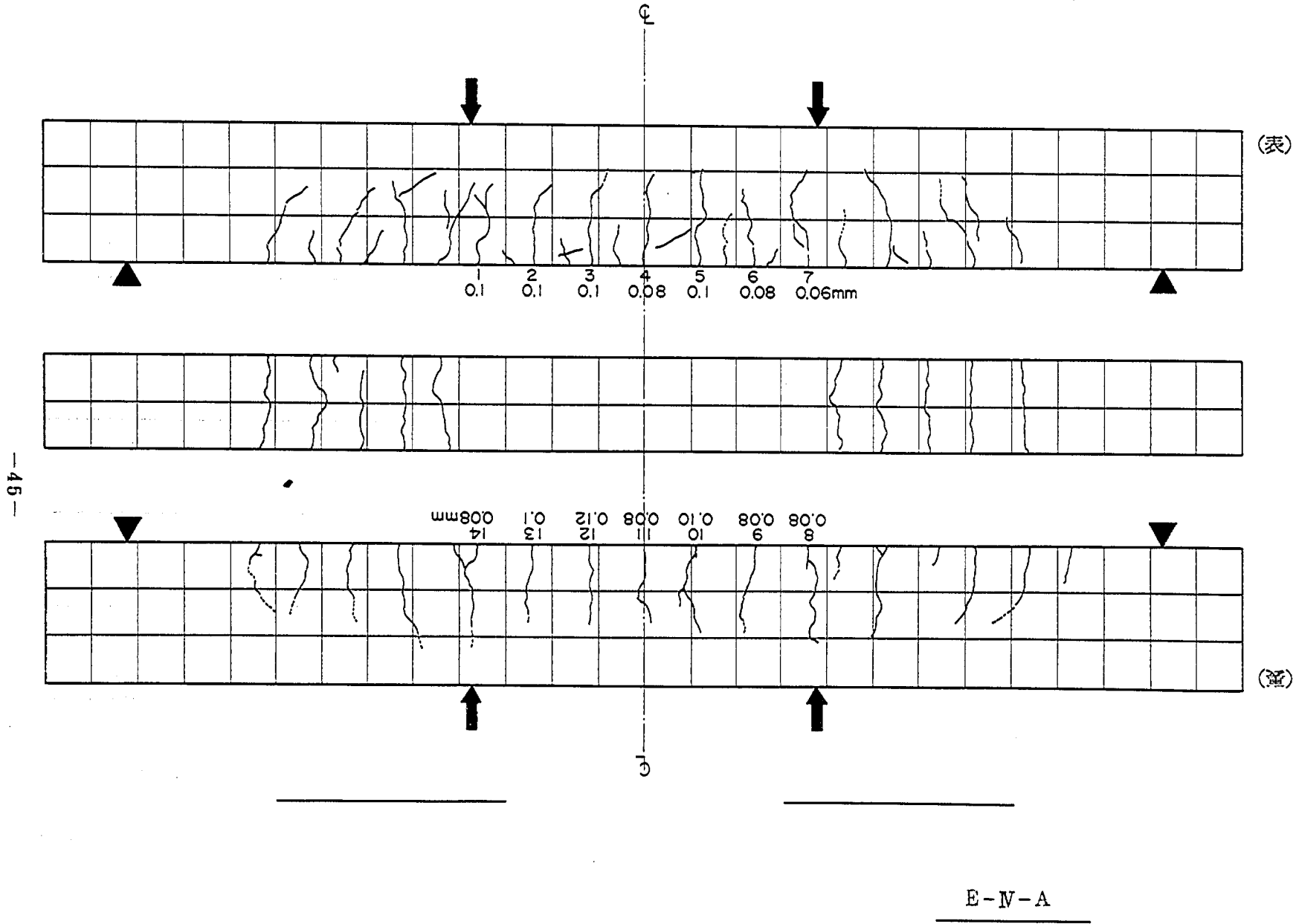
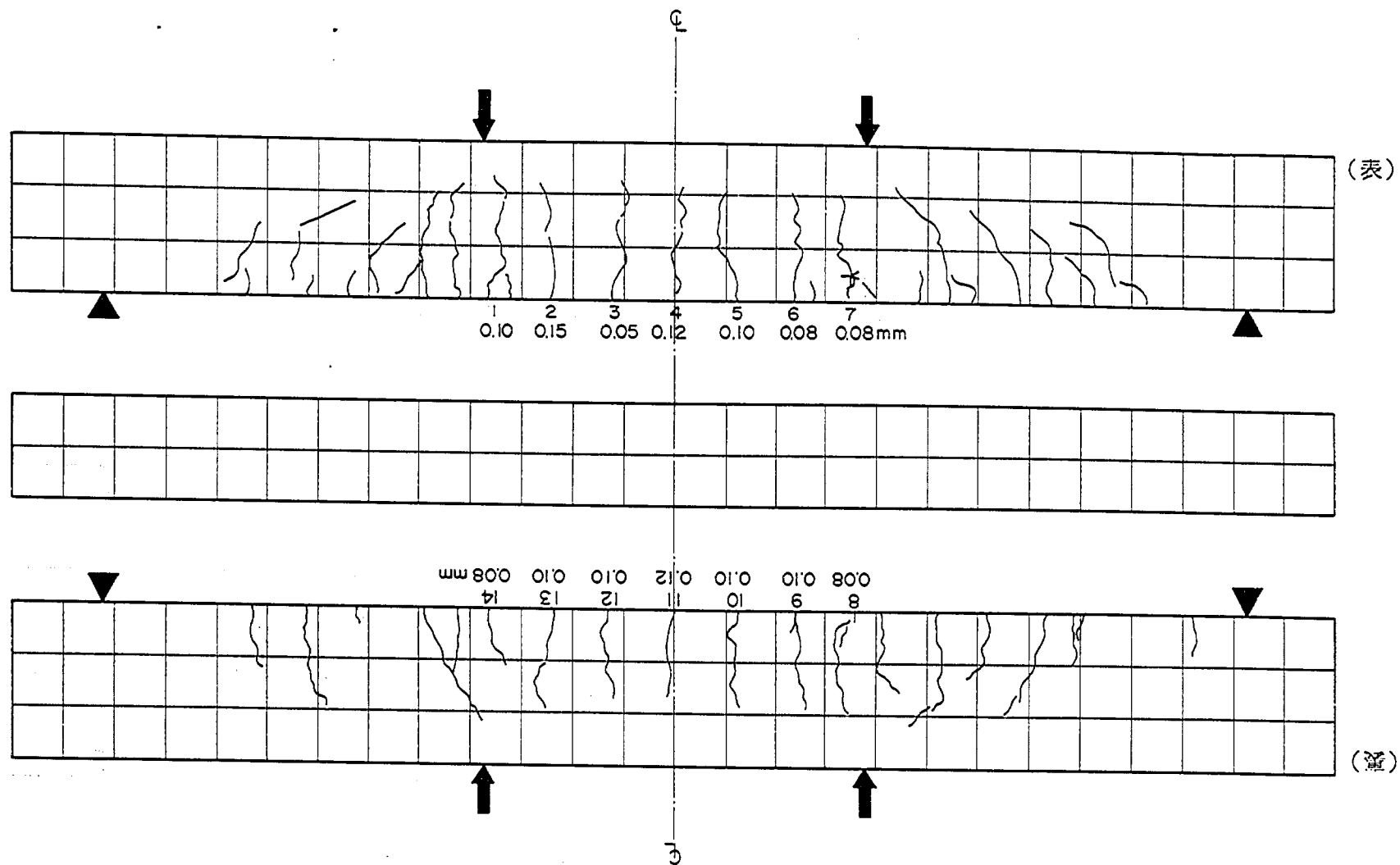


図- 5. 7. 7 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図



E-N-B

図-5.7.8 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図

2) たわみ量の測定

たわみ量の測定結果を図-5.8に示す。

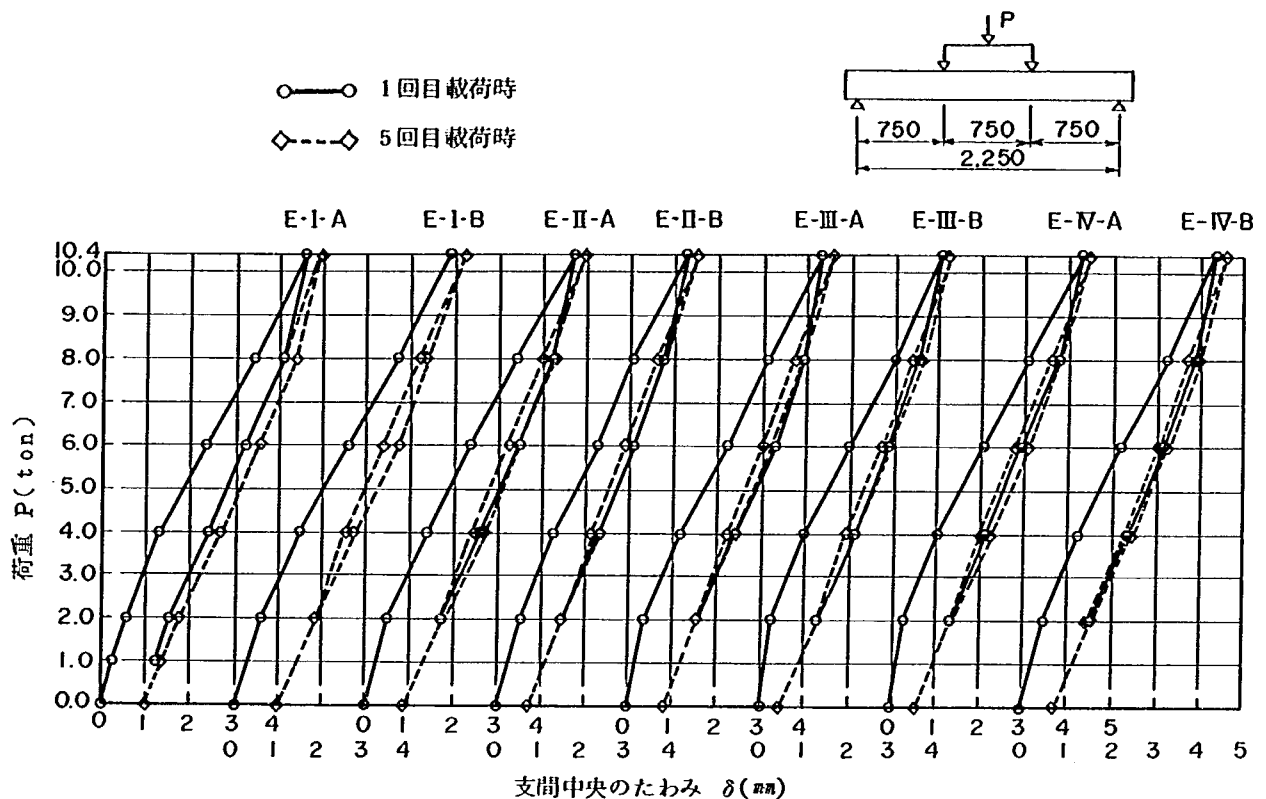


図-5.8 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁 静的曲げ試験時 荷重-たわみ曲線

5.3 T形断面曝露梁

5.3.1 概要

エポキシ樹脂塗装鉄筋の防食性能を無処理鉄筋と比較し、スパーサー、セパレーター、および結束線など、コンクリート中に埋め込む付属材料が鉄筋の腐食に与える影響を調べるために、T形断面の供試体を製作し、曝露試験に用いることにした。

供試体の種類は、表-5.3に示す4種類とし、それぞれ使用材料を変化させている。このうち①および②供試体は、载荷によりひびわれを発生させている。

5.3.2 供試体の製作

供試体製作に用いた材料を表-5.4に示す。

(1) ①および②供試体

①および②供試体の形状寸法を図-5.9に示す。①供試体は無処理鉄筋のみを使用し、②供試体は無処理鉄筋とエポキシ樹脂塗装鉄筋の混合使用とした。また、それぞれの供試体の下フランジ中央には、PO鋼より線SWPR7A(9.3mm)3本を非緊張のままスパイラルシース(φ23mm)内に配置し、コンクリート硬化後、セメントペーストによるグラウトを行った。

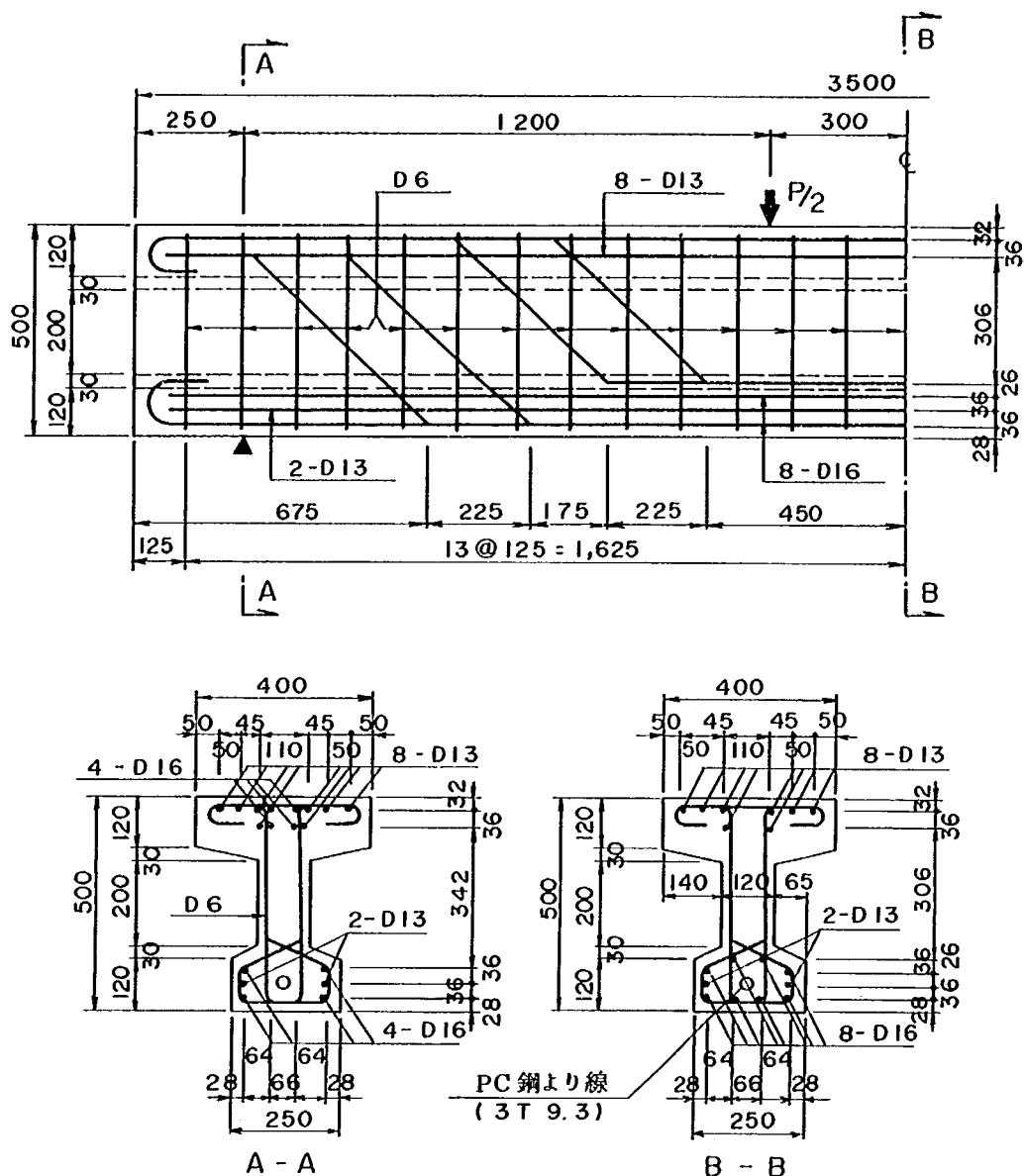
コンクリートの試験成績結果を表-5.5に示す。

表 - 5.3 T形断面曝露梁の概要

供 試 体 名 称	使 用 材 料	備 考
① 無処理鉄筋使用梁 (ひびわれ発生)	○ 無処理鉄筋 ○ 無処理セパレーター ○ モルタルスペーサー ○ 焼なまし鉄線	
② エポキシ樹脂塗装鉄筋使用梁 (ひびわれ発生)	○ エポキシ樹脂塗装鉄筋と無処理鉄筋の混 合使用 ○ エポキシ樹脂塗装セパレーター ○ モルタルスペーサー ○ ビニル被覆鉄線	
③ 打 継 梁 (打継目あり) (ひびわれなし)	○ 上記材料の混合使用 ○ スペーサーはモルタル製およびプラスチ ック製の両者を用いる。	
④ 鉄 筋 骨 組 梁 (鉄筋のみ)	○ 無処理鉄筋 ○ エポキシ樹脂塗装鉄筋 ○ 焼なまし鉄線 ○ ビニル被覆鉄線	

表 - 5.4 T形断面曝露梁の使用材料

供試体 使用材料	① 無処理鉄筋使用梁	② エポキシ樹脂塗装 鉄 筋 使 用 梁	③ 打 継 梁	④ 鉄 筋 骨 組 梁
鉄 筋	無処理鉄筋	無処理鉄筋 エポキシ樹脂塗装鉄筋	無処理鉄筋 エポキシ樹脂塗装鉄筋	同 左
結 束 線	焼なまし鉄線	ビニル被覆鉄線	焼なまし鉄線 ビニル被覆鉄線	同 左
ス ペ ー サ ー	モルタルスペーサー	同 左	モルタルスペーサー プラスチックスペーサー	—
セ パ レ ー タ ー	無処理セパレーター	エポキシ樹脂塗装セパ レーター	無処理セパレーター エポキシ樹脂塗装セパ レーター	—
P コ ン 後 埋	セメントモルタル	同 左	セメントモルタル エポキシ樹脂	—
P C 鋼 材	P C鋼より線 SWPR7A 3T9.3	同 左	同 左	—
備 考	コンクリート一体打 ひびわれ発生	同 左	コンクリート2度打ち 打継目あり ひびわれなし	コンクリート打設せず 鉄筋のみ



図－5.9 T型断面曝露梁の形状寸法（単位mm）

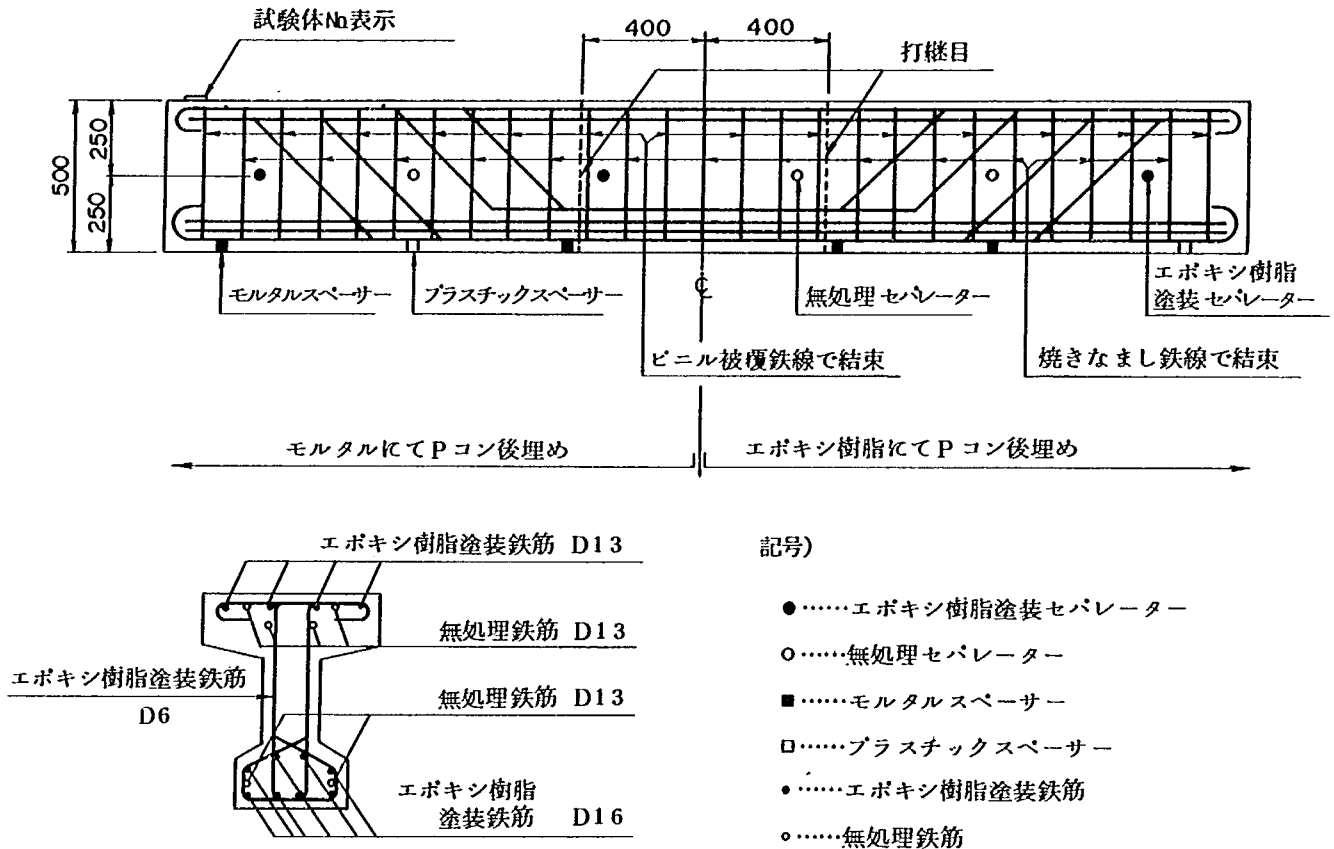
表－5.5 T形断面曝露梁
コンクリート試験成績結果

供 試 体	ス ラ ン プ (cm)	空 気 量 (%)	コンクリート 温 (℃)	圧 縮 強 度 (Kg/cm ²)	
				標 準 養 生	現 場 養 生
①, ②および ③の中央部	17	5.1	15	250 256	169
				262 252	166
				251 253	187
				254	174
③の両端部	10	6.0	10	328 339	292
				355 338	285
				340 324	278
				337	285

(2) ③供試体

③供試体の各材料の配置位置を図－5.10に示す。形状寸法は、①および②供試体と同様であるが、供試体には2ヶ所にコンクリートの打継目をもうけている。また、下フランジ中央には、①、②供試体と同様、P C鋼より線を挿入したスパイラルシースを埋め込んでいる。

コンクリートの試験成績結果を表－5.5に併記する。



注) スターラップはすべてエポキシ樹脂塗装鉄筋

図－5.10 T形断面曝露梁－打継梁の使用材料配置

(3) ④供試体

④供試体は、コンクリートを打設せず、鉄筋だけを組立てた供試体である。使用鉄筋および結束線の配置位置は、③供試体と同じである。ただし、P C鋼より線およびスパイラルシースは配置していない。

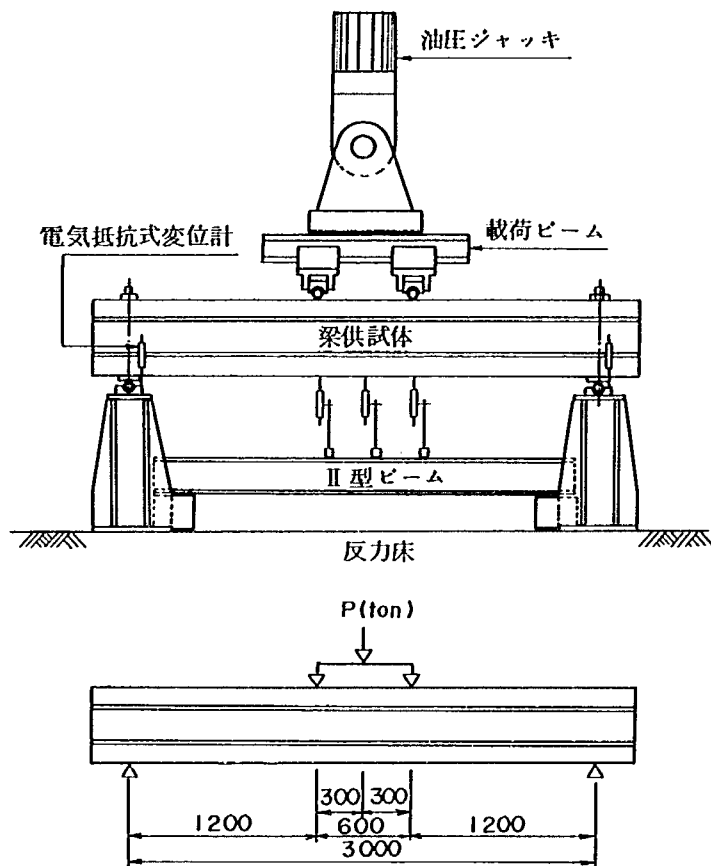
曝露供試体のコンクリート中性化深さ、塩分浸透量、および圧縮強度を測定するため、円柱供試体（ $\phi 15 \times 30 \text{ cm}$ 、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ ）を同時に製作し、曝露することとした。

5.3.3 ひびわれの導入

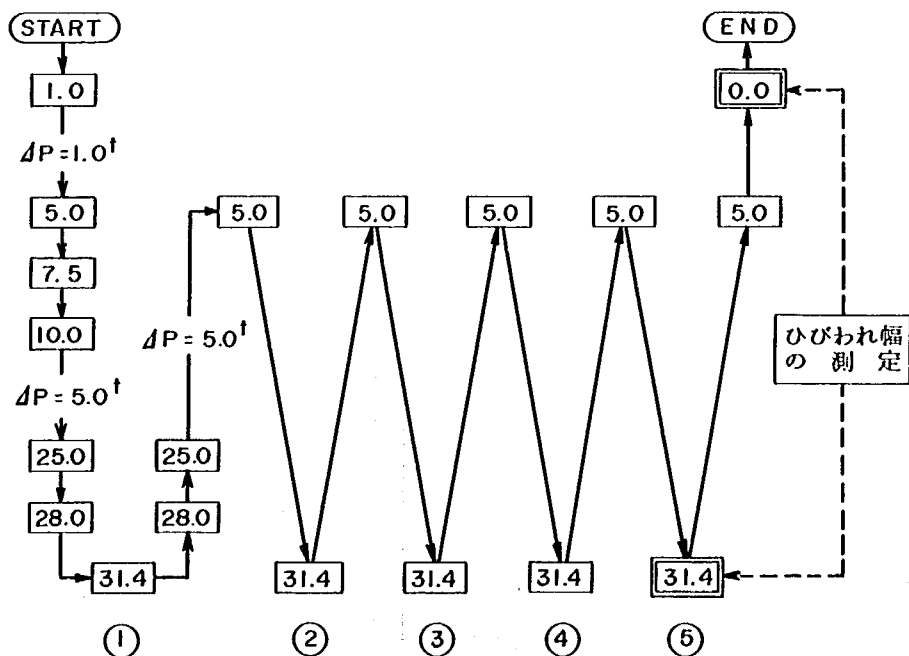
(1) 載荷方法

①および②供試体には、荷重を載荷してコンクリートにひびわれを導入した。ひびわ

れの導入は、図－5.1 1に示すように、スパンを3,0 0 0 mm, 曲げスパンを6 0 0 mmとする2点载荷によった。荷重の载荷は、図－5.1 2に示すような繰返し载荷とし、下限



図－5.1 1 静的曲げ試験の概要



注) は载荷荷重 P (ton) を示す。

○ は繰返し回数を示す。

図－5.1 2 T形断面曝露梁 静的曲げ試験のローディングパターン

荷重を $P = 5.0 \text{ t}$ ，上限荷重を $P = 31.4 \text{ t}$ として 5 回繰返した。なお，上限荷重 $P = 31.4 \text{ t}$ は，主鉄筋応力度が $\sigma_s = 2,700 \text{ Kg/cm}^2$ となる値である。

載荷時の測定項目および測定方法は以下のとおりである。

1) コンクリートのひびわれ

ひびわれの進展状況を観察し，5 回目の上限荷重 $P = 31.4 \text{ t}$ 載荷時および除荷後にひびわれ幅を測定した。対象としたひびわれは，曲げひびわれ 6 本，せん断ひびわれ 4 本の計 10 本とした。

2) たわみ量の測定

供試体のスパン中央，荷重載荷点，および支点の 5 ケ所に変位計を取り付けて，各点のたわみ量を測定した（図－5.11 参照）。

(2) 測定結果

1) コンクリートのひびわれ

図－5.13 にひびわれ発生状況とひびわれ幅測定位置を，表－5.6 にひびわれ幅の測定結果を示す。ひびわれ発生状況に大きな差異はないが，平均ひびわれ幅を比較すると，表－5.6 のようになり，エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた T 形断面曝露梁は無処理鉄筋を用いたものにくらべ，曲げひびわれ，せん断ひびわれの両者とも，載荷時におけるひびわれ幅が大きくなることがわかる。しかし，荷重を除荷した場合には，両者の差異はほとんどない。なお，ひびわれ発生荷重は，両者とも $P = 3.0 \text{ t}$ であった。

表－5.6 ひびわれ幅測定結果

① 供試体		② 供試体	
ひびわれ		ひびわれ幅 $w \text{ (mm)}$	
		31.4 t	0.0 t
表	①	0.15	0.08
	②	0.10	0.03
	③	0.10	0.04
	④	0.10	0.03
	⑤	0.20	0.05
裏	⑥	0.11	0.05
	⑦	0.08	0.02
	⑧	0.07	0.01
	⑨	0.05	0.01
	⑩	0.07	0.04

注) 繰返し 5 回後の測定結果

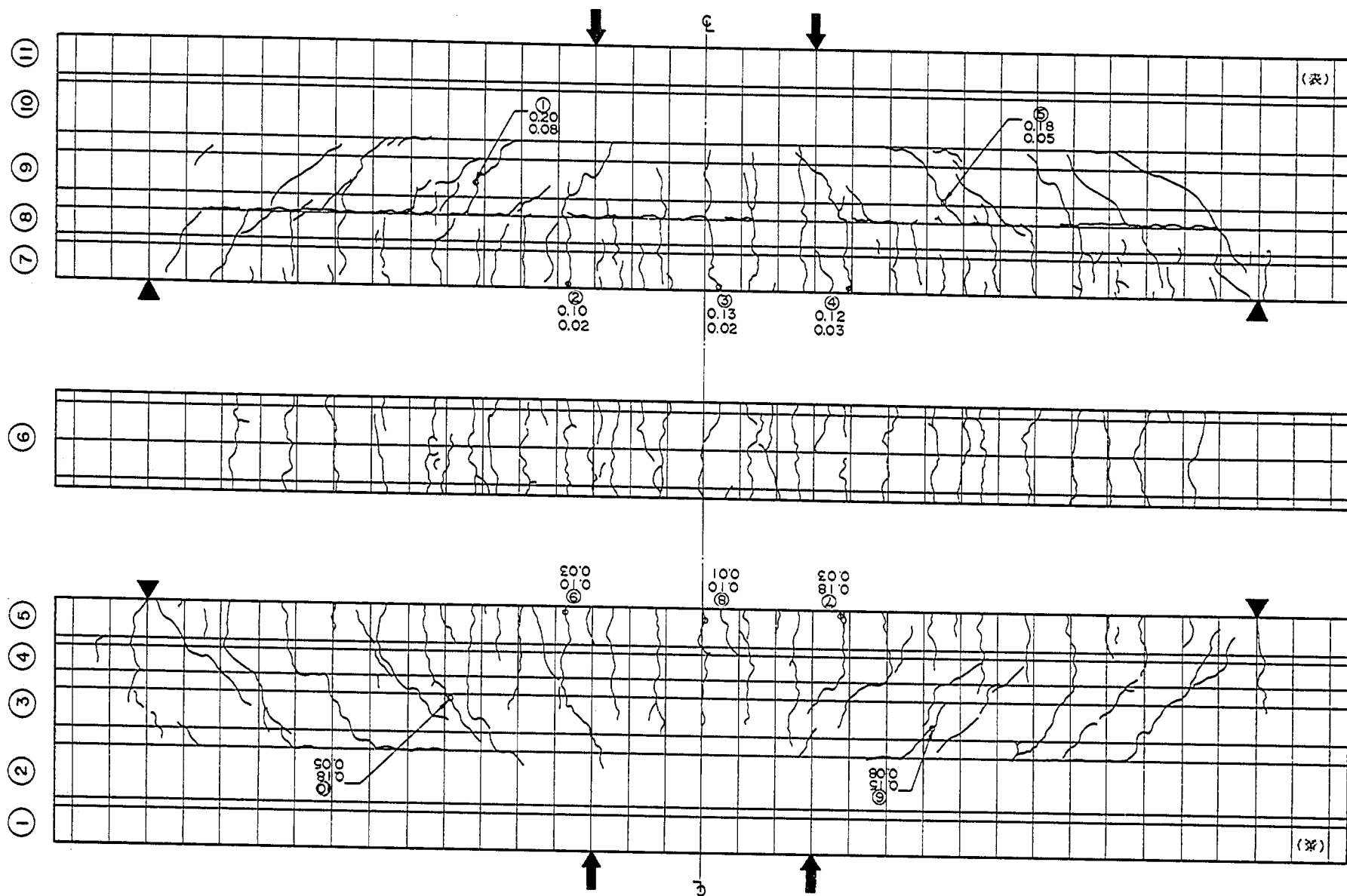
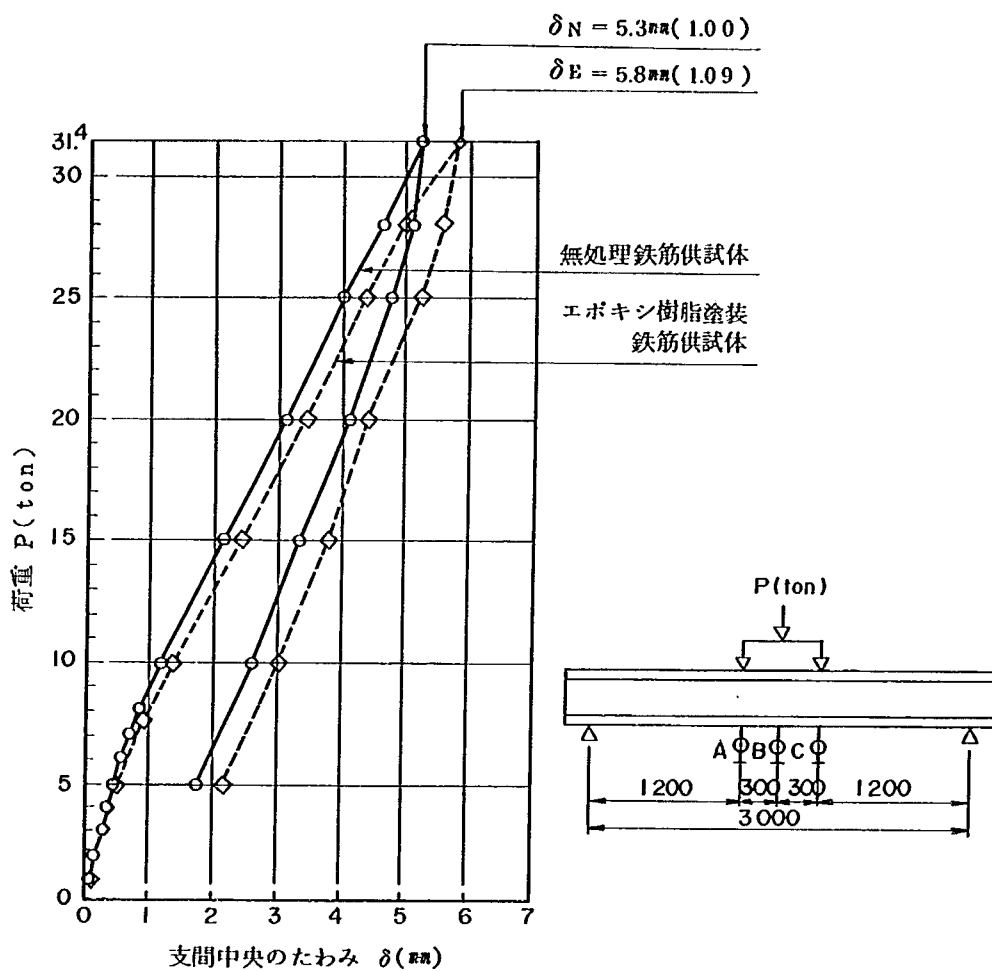


図-5.13.2 T形断面曝露梁（②エポキシ樹脂塗装鉄筋使用梁）

2) たわみ量の測定

第1回目載荷時におけるスパン中央の荷重—たわみ曲線を図—5.14に示す。エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた曝露梁は，無処理鉄筋を用いたものにくらべ，同一荷重に対するたわみ量が大きく，上限荷重載荷時で約10%曲げ剛性が低下している。



図—5.14 T形断面曝露梁 静的曲げ試験時 荷重—たわみ曲線

6. あ と が き

以上の試験結果より次のことが明らかとなった。

- (1) エポキシ樹脂塗装鉄筋の施工性は、塗膜の補修を除いて無処理鉄筋と同等である。
- (2) 塗膜の補修は、補修面のヤスリがけなどの工夫だけでは十分に補えず、使用しやすい補修用塗料の開発が望まれる。
- (3) エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度は、無処理鉄筋に比べ、約20%低下するので、重ね継手長および定着長に対する考慮が必要である。
- (4) 重ね継手を有しないエポキシ樹脂塗装鉄筋供試体の曲げ剛性は無処理鉄筋供試体に比べ、約10%低下するが、破壊荷重に大きな差はない。
- (5) エポキシ樹脂塗装鉄筋供試体は、無処理鉄筋供試体に比べひびわれ幅が若干大きくなる傾向があるが、鉄筋自体が防食加工されていることを考慮するならば実用上、特に問題とはならないと思われる。

参 考 文 献

- 1) 小林茂敏，片脇清士，森浜和正他；「樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験(1)」 1982年
土木研究所資料第1819号
- 2) 太田利隆他；「エポキシ樹脂被覆鉄筋を用いた海岸擁壁試験工事」 1982年
セメント技術年報№36
- 3) 小林一輔，伊藤利治，武若耕司；「エポキシ樹脂塗装鉄筋に関する実験的研究」 1983年
コンクリート工学№83-2

塗装鉄筋を用いるコンクリート構造物の
設計・施工・品質規準(案)・同解説

(建設省土木研究所案)

1984年3月

建設省土木研究所

本指針（案）は、塗装鉄筋に関する研究の成果に基づいて各種の規準を定める場合、あるいは責任技術者の判断によって塗装鉄筋を使用する場合の参考資料用に作成したものであり、法的な強制力は有しない。

塗装鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計・施工規準(案)

第 1 章	総 則	61
1 条	適 用 範 囲	61
2 条	定 義	61
第 2 章	塗 装 鉄 筋	62
3 条	塗装をほどこす鉄筋	62
4 条	塗 料	62
5 条	塗装の方法	62
6 条	塗装鉄筋の品質と試験方法	63
7 条	塗装鉄筋の検査	63
8 条	塗装鉄筋の運搬・貯蔵	64
第 3 章	鉄 筋 工	64
9 条	総 則	64
10 条	塗装鉄筋の加工	65
11 条	塗装鉄筋の組立	66
12 条	塗装鉄筋の継手の施工	67
13 条	塗膜面の補修	67
第 4 章	許容応力度	68
14 条	許容付着応力度	68
15 条	塗装鉄筋の許容引張応力度	71
第 5 章	構 造 細 目	71
16 条	塗装鉄筋の曲げ形状	71
17 条	塗装鉄筋の継手	72
18 条	塗装鉄筋の定着	73
19 条	か ぶ り	73
第 6 章	コンクリート用材料	74
20 条	セメント	74
21 条	水	75

22条	細骨材	75
23条	海砂	75
24条	粗骨材	76
25条	混和材料	76
第7章	配合	77
26条	水セメント比	77
27条	コンシステンシー	77
第8章	コンクリートの施工	78
28条	総則	78
29条	締固め	78
30条	継目	78

第 1 章 総 則

1 条 適用範囲

この指針は、コンクリート構造物の防食の目的で塗装鉄筋を用いるコンクリート部材の設計および施工において、特に必要な事項についての一般の標準を示すものである。

この指針に示されていない事項については、「無筋および鉄筋コンクリート標準示方書」（土木学会）あるいは「道路橋示方書」（道路協会）によるものとする。

（解 説）

適切な設計と施工がなされたコンクリート構造物は、コンクリートの透水係数が小さいことと、ポルトランドセメントの水和の際に生成する多量の水酸化カルシウムのために、通常の使用条件の下ではコンクリート中の鉄筋は容易に腐食しない。しかし、構造物が腐食性の環境におかれる場合、脱塩していない海砂を用いる場合、コンクリートに過大なひびわれが生じる場合、などにおいては、鉄筋の腐食によってコンクリート構造物の耐久性が著るしく低下することがある。

塗装鉄筋は、このような鉄筋の腐食によるコンクリート部材の破損を防止する方法の一つとして使用されるものである。

この指針は塗装鉄筋を用いてコンクリート構造物を設計施工する場合の特に必要な事項について定めてあるので、ここに示していない事項については「無筋および鉄筋コンクリート標準示方書（以下解説文中においては「RC示方書」という）」（土木学会）、「道路橋示方書」（道路協会）にしたがうものとする。なお、著るしく腐食性の激しい環境、塩化物を多量に含む材料を用いるコンクリート、特殊な構造物に塗装鉄筋を使用する場合は設計・施工にあたって関連の基準、指針を参考にし、十分な検討をおこなうことが必要である。また塗装鉄筋をプレストレスコンクリート（PC）構造物に用いる場合には、本指針のほかに関連の基準、指針を参考に設計・施工をおこなうものとする。

2 条 定 義

この指針の用語を次のように定義する。

普通鉄筋 塗装をほどこさない普通丸鋼および異形鉄筋をいう。

塗装鉄筋 前処理をほどこした異形鉄筋に粉体塗料を静電塗装したもので品質規準に合格したものという。

エポキシ樹脂塗料 エポキシ基を有する樹脂を配合した塗装系の総称。

（解 説）

普通鉄筋について この指針では、塗装を施していない普通丸鋼および異形鉄筋を普通鉄筋と

ということとしたが、「亜鉛めっき鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（案）」（土木学会）においても亜鉛めっきを施していない鉄筋を普通鉄筋と定義しているのので、この用語は広義には、鉄筋表面を防食性材料で被覆していない鉄筋と定義する。なお、普通丸鋼および異形鉄筋の定義は、RC示方書にしたがうものとする。

塗装鉄筋について 塗装鉄筋は、普通鉄筋のうち鋼材表面に前処理をほどこした異形鉄筋に主としてエポキシ樹脂等の粉体塗料を静電塗装するものであるが、前処理の方法として酸洗い後化成処理をほどこす方法と、ブラスト処理を行なう方法があるが、土木研究所の試験ではブラスト処理の方法が曲げ加工性が優れていた。

第 2 章 塗 装 鉄 筋

3 条 塗装をほどこす鉄筋

塗装をほどこす鉄筋は、原則として JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」の規格に適合するものでなければならない。

（解 説）

塗装をほどこす鉄筋は、原則として日本工業規格に定められたものを使用しなければならない。

4 条 塗 料

塗装鉄筋に用いる塗料はエポキシ樹脂または同等の品質を有する材料を主体とした粉体塗料を用いなければならない。

（解 説）

コンクリート中での塗膜の耐久性や塗膜の遮塩性能を損わないよう、加工時の損傷のうけにくさを考慮して塗装鉄筋用粉体塗料を本規格では当面エポキシ樹脂粉体塗料のみとする。

塗装鉄筋用に種々の粉体塗料が開発されつつあるのでエポキシ樹脂以外にも品質や実用性能が確かめられれば本規格に採用できるものとする。

5 条 塗装の方法

塗装鉄筋は製造時に素地調整を行った鉄筋に静電塗装を行う工程を含むものとする。

(解 説)

塗装鉄筋の品質は塗料だけでなく素地調整度や塗装方法によって異なるので、次のような条件を満たさなければならないものとした。

素地調整はブラスト処理により少なくともSIS Sa 2½とし、表面粗度は40μ~80μ(Rmax)程度とする。また素地調整を終えた棒鋼は空気中の水分による錆のもどりを防ぐため、4時間以内に塗装するのが望ましい。

塗装は均一で欠陥のない所定の厚みの塗膜を効率よく得るため棒鋼を予熱して静電塗装するものとした。

6条 塗装鉄筋の品質と試験方法

- (1) 塗装鉄筋の品質は「品質規準(案)」に合格しなければならない。
- (2) 試験方法は「品質規準(案)」にしたがわなければならない。

(解 説)

(1)について 「品質規準(案)」は塗装鉄筋を用いたコンクリート部材の設計、施工を適切におこない、耐久性を向上させるために必要な塗装鉄筋の品質について規定している。したがって、塗装鉄筋を用いる前に品質試験をおこない、その品質を確かめなければならない。

7条 塗装鉄筋の検査

- (1) 塗装鉄筋は、公的機関で確認された製品成績表、または立会試験によって、その品質を確かめなければならない。
- (2) 塗装鉄筋は、これを用いる前に品質を確かめるための検査をおこなわなければならない。

(解 説)

(1)について 塗装鉄筋は、官庁、協会、大学およびこれに準ずる公的機関で確認された製品成績表、あるいは使用者の立会試験によって、その品質が「品質規準(案)」に合格していることを確認したうえで受け取らなければならない。

(2)について 塗装鉄筋は、製品成績表が「品質規準(案)」に合格していれば出荷されるが、運搬および貯蔵において、8条(解説)に示すように塗膜が損傷する場合もある。したがって、これを用いる前には、外観検査を中心とした検査をおこなって、品質を再度確認することが必要である。

8 条 塗装鉄筋の運搬および貯蔵

- (1) 塗装鉄筋の運搬には、原則として塗膜に損傷を与えないよう工夫しなければならない。
- (2) 塗装鉄筋を貯蔵する際は、直接地上に置くことや、長期にわたって直射日光にあたることを避けなければならない。

(解 説)

(1)について 塗装鉄筋の運搬・積みおろしなど通常の取り扱いにおいて、鉄筋が変形するような強い衝撃を加えないようにすることはいうまでもないが、積みおろしにともなうワイヤーのしほりによる塗膜の損傷にも注意を要する。しかし、ワイヤーのしほりによる塗膜の損傷はワイヤー部分に限られ、しかもごく軽微な損傷であることから、ワイヤーに布を巻くなどの工夫をすれば容易に防げる。このような工夫をせずに塗膜が損傷した場合は、12条にしたがって補修をすればよい。

(2)について 地上の岩石類、その他によって塗装鉄筋が傷つけられることがあるので、直接地上に置かないようにしなければならない。また、エポキシ樹脂塗膜は紫外線にあまり強くないので、長期にわたって直射日光にあたらないようにしなければならない。

第 3 章 鉄 筋 工

9 条 総 則

- (1) 本章は塗装鉄筋の加工および組立てに適用する。
- (2) 本章に規定されていない塗装鉄筋の加工および組立てを行なう場合には、十分に検討したのち、その使用法を決めるものとする。
- (3) 塗装鉄筋の加工・組立てを行なう際に特記図や設計図に示された以外の方法を用いる場合は、施工図を作成し、施主の承認をうける。

(解 説)

本章に規定した塗装鉄筋の加工および組立ては、塗装鉄筋の特性を考慮して定めているので、これにしたがう場合は問題ないが、本章に規定されていない場合の加工および組立ては、実験等を参考にして十分な検討ののち、その使用の可否を決めるのがよい。

設計図は鉄筋の加工寸法、形状を正確に割り出すことができ、所要のかぶり、あき、定着の長さ、継手などがとれ、鉄筋が無理なく納まるような鉄筋の組立て方が明確に示されていることが

必要である。

施工図は必要に応じて使用者が設計図にもとづいて作成する。

塗装鉄筋の加工・組立て方法で、特記仕様書や図面で指定されているものはそれに従うものとする。指定されている以外の方法を用いる場合や、(2)の場合には施主の承認を得ることとし、特に指定のない場合には本章に示される方法を用いるものとする。

本章の条文がR C示方書 1 3 8 条と重複する場合は、本章を優先させるものとする。

1 0 条 塗装鉄筋の加工

- (1) 有害な曲がりあるいは損傷のある鉄筋は用いない。
- (2) 塗装鉄筋は、設計図に示された形状および寸法に正しく一致するように、塗膜ならびに鉄筋の材質をできるだけ害さないように加工しなければならない。
- (3) 塗装鉄筋の切断は、シアーカッターかのかによる。
- (4) 塗装鉄筋の加工は、塗膜に損傷を与えない温度の範囲でおこなわなければならない。

(解 説)

(1)について 有害な曲がりとは、直線にした場合、規定の直線筋とみなされない。つまり、きょう正した後でも強度・伸びなどについてJ I S規格の規定以上にならない曲がりがある場合をいう。

損傷のある鉄筋とは、その損傷によって鉄筋の強度等の品質が規格値以下になるものや、塗膜に補修されていない傷があるものなどである。

(2)について 塗装鉄筋の加工の基本的な考え方は、R C示方書 1 3 8 条と同様であるが、曲げ形状等は設計図に示されたものとする。

(3)について 鉄筋の切断では、原則として塗膜を変質損傷させるような方法であってはならない。シアーカッターおよびのかを使用しても塗膜が若干損傷するが、やむを得ないものとする(13条参照)。

(4)について 塗装鉄筋を高温に加熱すると塗膜が熱によって変質する。また、あまり低温であれば塗膜がガラス化して加工時にひびわれが生じやすくなる。このような損傷を防ぐため、加工は製品成績表に示される加工可能な温度範囲で行なうものとする。

11条 塗装鉄筋の組立て

- (1) 鉄筋は組立てる前に、油、ゴミ、泥など、鉄筋とコンクリートとの付着を害するおそれのあるものは除去する。
- (2) 鉄筋は設計図および施工図にしたがい、正しく配筋し、コンクリートの打込み完了まで移動しないよう十分堅固に組立てなければならない。
- (3) 鉄筋は防錆した鉄線または適当なクリップで互いに十分堅固に緊結する。
- (4) スペース、セパレーターおよび吊り金具は設計図に示された種類、仕様にしたがう。
- (5) 鉄筋の組立てが終わった後、検査をおこなわなければならない。
- (6) 鉄筋の組立てが終わった後、コンクリート打設まで長期間経過しないようにする。もし長期間経過した場合は、コンクリートの打設に先立ち再度検査し、必要に応じて清掃をおこなう。

(解説)

(1)について 鉄筋とコンクリートとの付着を妨げるものは、鉄筋を組立てた後では除去しにくいので、組立てる前にこれを除去することとする。鉄筋組立て作業中、あるいは組立て後、このようなものが付着しないようにするのは当然のことである。

(2)について 設計図および施工図にしたがって組立てられた鉄筋は、コンクリート打設から硬化まで正しい位置から移動しないよう、十分堅固に組み立てられなければならない。

(3)について 結束線には直径 0.9mm以上の焼鈍鉄線または適当なクリップを用いるが、防食性を考慮して、ビニル被覆鉄線、カラー鉄線等を用いるのがよい。ただし、これらは鉄線表面がすべりやすいため、堅固に緊結するようにする。

点溶接は、塗膜が損傷するので、塗装した鉄筋には使用できない。

(4)について 設計図には、スペース、セパレーターおよび吊り金具の種類、位置、可能ならば使用数量などを記入する。スペースには一般にモルタル、コンクリート製、防錆したスチール製、プラスチック製のものを用いる。

(5)について 鉄筋の組立てが終わったら、必ず検査をおこなわなければならない。検査をおこなう時期は、コンクリートを打ち込む前であるのは当然であるが、誤りがあつた場合の修正労力・時間などを考えると、一度に検査を行なうのではなく、組立て工程の途中にも検査をおこなっておくことが望ましい。

配筋の検査は、鉄筋の種類、本数だけではなく、鉄筋の位置が設計図に示されている寸法に納まり、コンクリートの打込み作業などで、鉄筋が移動することのないように堅固に支持され、結束されているかどうか、ならびに塗膜に傷がついていないかどうかを入念にチェックすることが大切である。

(6)について 鉄筋を組立ててから長期間たつと、鉄筋の位置がくったり、泥、油などがついたり、塗膜に傷がついたりすることもあるので再検査し、必要に応じて清掃、補修塗りをしてから、コンクリートを打ち込まなければならない。

12条 塗装鉄筋の継手の施工

- (1) 鉄筋の継手の位置は設計図および施工図による。
- (2) 塗装鉄筋の継手を設ける場合には、重ね継手を原則とする。重ね継手以外の接合方法による継手は、特記および設計図による。
- (3) 将来の打ち継ぎのために、構造物から露出しておく鉄筋は、塗膜の損傷を受けないように、これを保護しなければならない。

(解説)

(1)について 継手位置の基本的な考え方はRC示方書20条と同様であるが、鉄筋の継手は部材の強度に相当の影響を及ぼすので、継手の位置は設計図に明示することとした。

(2)について 継手の方法には重ね継手のほかに溶接継手、機械継手、スリーブ継手など各種の継手があるが、重ね継手以外の継手を用いる場合には、試験によってその性能を十分にたしかめなければならない。ただし、溶接継手を用いる場合には、普通鉄筋を溶接した場合にあらわれる欠陥のほかに、加熱のために塗膜が損傷する。したがって、塗装鉄筋には原則として溶接継手をおこなわないこととするが、やむをえずこれをおこなった場合には13条にしたがって塗膜の損傷部分を補修しなければならない。以上のことをふまえ、重ね継手以外の継手方法を用いる場合には、特記および設計図に明示することとした。

(3)について 鉄筋の腐食を防ぐために、鉄筋表面、特に鉄筋切断面には何らかの防食処理をほどこさなければならない。将来、コンクリートを打継ぐ場合には、付着を害するものはこれを取り除かななくてはならない。

13条 塗膜面の補修

塗膜面のきず、鉄筋の切断部、溶接部、その他塗膜が損傷、欠落している部分は、十分に清掃したうえで補修用塗料を塗布して補修しなければならない。

(解説)

塗膜面にはできるだけ鉄筋素地の露出部分のないことが望ましい。しかしピンホールは、その発見と補修の労力、時間を考慮して、塗装鉄筋が「品質規準(案)」に合格していることを前提として補修の必要箇所から除外した。

塗装鉄筋の切断部、溶接部および曲げ加工した箇所などで明らかに塗膜が欠落、損傷している

部分は補修用塗料で補修しなければならない。その場合補修箇所はさび、油、汚れをふきとり、先に塗装された樹脂塗膜と補修用塗料との接着性をよくするためにサンドペーパーなどで前処理をおこなう。

なお、補修は鉄筋組立て前におこなうことが望ましい。

第 4 章 許 容 応 力 度

1 4 条 許容付着応力度

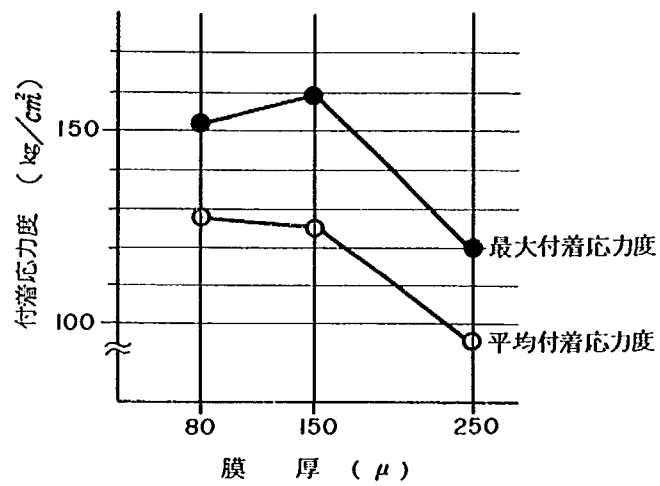
塗装鉄筋とコンクリートとの許容付着応力度は表-4・1の値以下とする。

表-4・1 許容付着応力度 τ_{oa} (kg/cm^2)

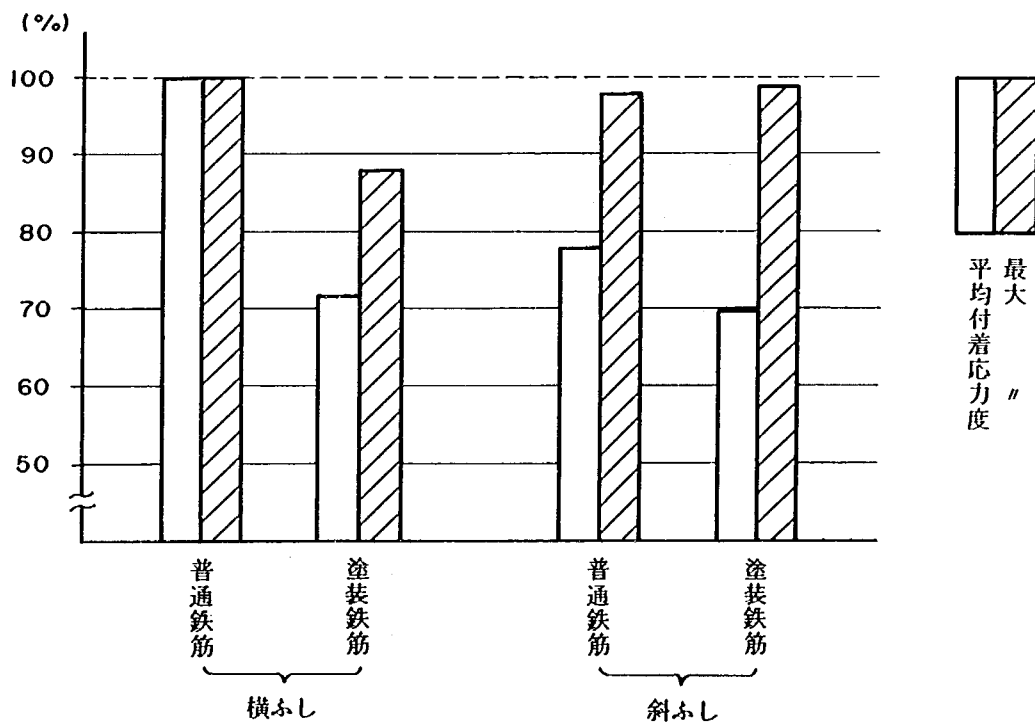
	設計基準強度 σ_{ck} (kg/cm^2)			
	1 8 0	2 4 0	3 0 0	4 0 0 以上
異形鉄筋	1 0. 5	1 2. 5	1 4. 5	1 6

(解 説)

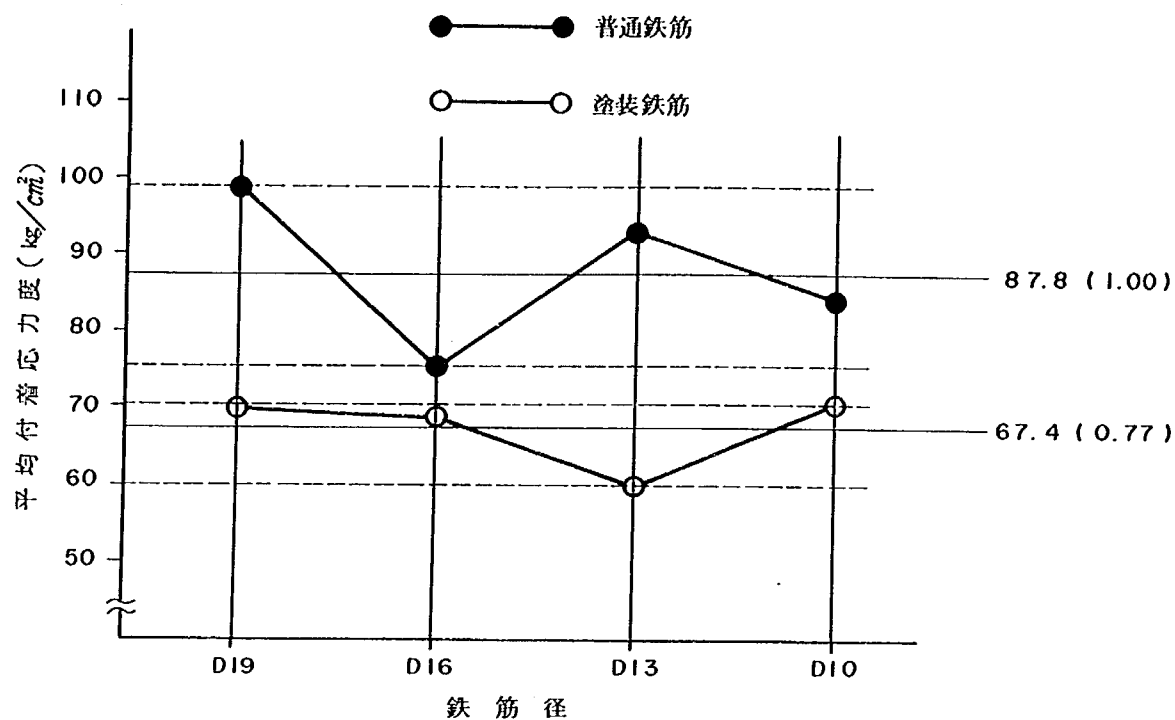
塗装鉄筋の膜厚は、鉄筋の防食効果、曲げ加工性および付着応力度の低下等を考慮して180 $\pm$ 50 μ と規定している（「品質規準(案)」）が膜厚がこの範囲では塗装鉄筋の付着応力度は、普通鉄筋に比べ、約20%低下することが実験的に確かめられている。この付着応力度の低下は、同一定着長、同一重ね継手長に対して、塗装鉄筋を用いた部材の耐力を普通鉄筋を用いた部材の耐力に比べて低下させる。したがって、両者の部材耐力を同等とするために、塗装鉄筋とコンクリートとの許容付着応力度を下げ、普通鉄筋より定着長、重ね継手長を長くするようにした。



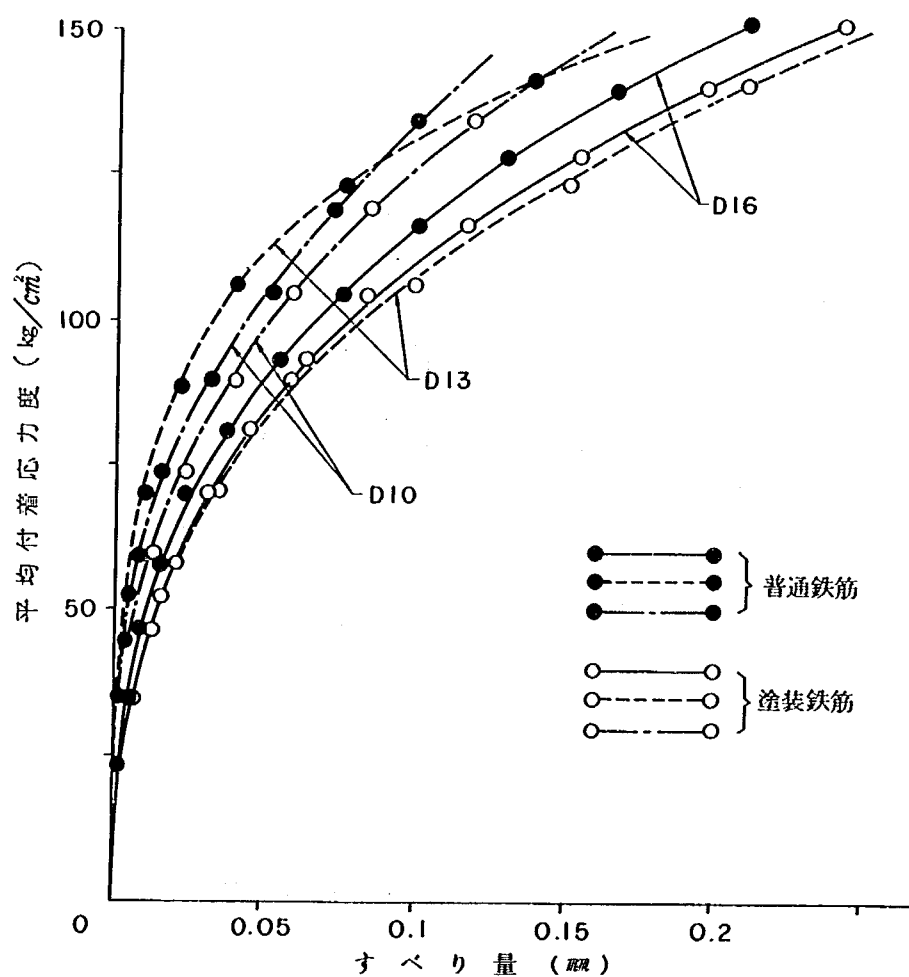
図一解 4・1 膜厚と付着応力度との関係



図一解 4・2 塗装鉄筋の付着応力度



図一解 4・3 鉄筋径と付着応力度の関係



図一解 4・4 鉄筋径のちがいによるすべり量と付着応力度の関係

15条 塗装鉄筋の許容引張応力度

塗装鉄筋の許容引張応力度は「無筋および鉄筋コンクリート標準示方書」67条によるものとする。

(解説)

塗装鉄筋の機械的性質は、塗装をほどこす前の鉄筋に対応する規格値に適合することを条件としている（「品質規準（案）」〔2〕参照）ので、塗装鉄筋の許容引張応力度は、RC示方書67条に定められている普通鉄筋に対する許容応力度を用いることができる。

なお、普通鉄筋ではコンクリートに生じるひびわれが鉄筋の防食上有害であるために許容応力度の低減を行なう場合もあるが、塗装鉄筋に対してはこのような処置は一般に行なわなくてよい。

ただし、水密性からひびわれを厳しく規制する場合には塗装鉄筋を用いた場合でも、ひびわれ幅低減のために許容応力度の低減をはからなければならない。

第5章 構造細目

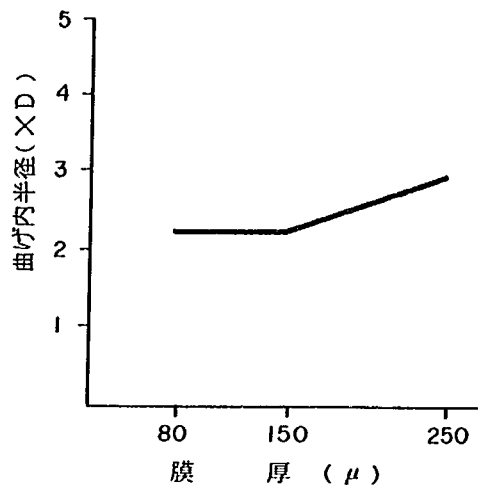
16条 塗装鉄筋の曲げ形状

塗装鉄筋の曲げ形状は「無筋および鉄筋コンクリート標準示方書」18条によるものとする。

(解説)

塗装鉄筋の曲げ加工性は、1)塗膜が厚いほど、2)硬度が高いほど、3)密着性が悪いほど劣ることが実験的に確かめられている。

したがって、塗装鉄筋の曲げ加工性等を考慮して定める「品質規準（案）」に塗膜の品質が適合し、本指針（案）10条にしたがって曲げ加工を行なえば、塗膜に損傷が生じることを少なくしてRC示方書に定められた曲げ形状に加工できる。SD30、SD35鉄筋では、フック、スターラップの最小曲げ内半径は鉄筋径の2～2.5倍と小さくなるが、構造上これを大きくすることは不経済であるし、塗膜が損傷しても13条にしたがって補修を行なえば実用上問題はないので、塗装鉄筋の曲げ形状も普通鉄筋と同様に、RC示方書18条によることとした。ただし、可能であれば曲げ内半径を2.5φ以上としておくことが望ましい。



図一解 5 ・ 1 膜厚と曲げ内半径との関係

17条 塗装鉄筋の継手

- (1) 塗装鉄筋の継手は重ね継手を原則とする。重ね継手以外の継手を用いる場合には、十分な検討をおこなわなくてはならない。
- (2) 引張鉄筋の重ね継手は、「無筋および鉄筋コンクリート標準示方書」20条(4)の式で求めた長さ l 以上、25φ以上、重ね合わせなければならない。ただし、コンクリートの許容付着応力度は、14条表-4・1の値を用いなくてはならない。
- (3) 塗装鉄筋と普通鉄筋とで継手を構成する場合には、塗装鉄筋の防食性能を損なわないようにし、重ね継手長は(2)による。
- (4) 圧縮鉄筋の重ね継手は、(2)で求めた長さ l の80%以上で25φ以上重ね合わせなければならない。

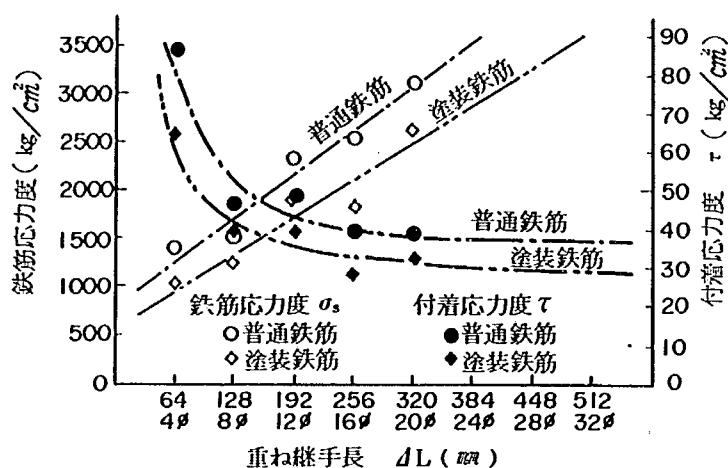
(解 説)

(1)について 鉄筋の継手には、重ね継手、ガス圧接継手などの溶接継手、機械継手、スリーブ継手などがあるが、重ね継手以外の継手は、継手施工時にその部分の塗膜に損傷を与えることが避けがたく、損傷部分に確実な補修を施すことが困難な場合が多い。したがって、重ね継手以外の継手を用いる場合には、塗膜損傷部の補修方法をも含めて試験の結果に基づいて十分な検討をおこなわなければならない。

(2)について 塗装鉄筋の付着応力度は、普通鉄筋よりも低いので重ね継手長は14条表-4・1の許容付着応力度の値を用いてRC示方書20条(4)、(8)式で計算した長さ l 以上重ね合わせる

こととし、計算した重ね合わせ長さが小さくならないように、その最小値を規定した。

(3)について 塗装鉄筋と普通鉄筋とで継手を構成する場合の継手長は、許容付着応力度の小さい塗装鉄筋の継手長が(2)で求めた長さ以上とれるようにする。



図一解 5・2 重ね継手長と鉄筋および付着応力度との関係

18条 塗装鉄筋の定着

- (1) 塗装鉄筋の端部は、コンクリート中に十分埋込んで、鉄筋とコンクリートとの付着力によって定着するか、フックをつけて定着するか、または機械的に定着しなければならない。
- (2) 塗装鉄筋の折曲鉄筋端部の定着長は、異形鉄筋でフックをつけない場合 19φ、フックをつけた場合 13φとする。

(解 説)

R 0 示方書 21 条参照。

19条 かぶり

かぶりは「無筋および鉄筋コンクリート標準示方書」23 条によるものとする。

(解 説)

一般に塗装鉄筋は、普通鉄筋に比べてひびわれの発生等に伴う腐食の進行に対して十分な耐食性が保証されているので、普通鉄筋を用いる場合と同等の耐久性を確保することを前提とするならば、かぶりを低減することができる。しかし施工性および付着強度を確保することから、かぶ

りは普通鉄筋の場合と同様としたのである。

表一解 5・1 最小かぶり (cm)

状 態	スラブ	は り	柱
風雨にさらされない場合	1.0	1.5	2.0
寸法が大きく重要な構造物, または, 風雨にさらされるもの	2.0	2.5	3.0
ばい煙, 酸, 油, 塩類等の有害な化学 作用を受けるおそれのある部分を有効 な保護層で保護しない場合	2.0	3.5	4.0

第 6 章 コンクリート用材料

20 条 セメント

- (1) 普通ポルトランドセメント, 中庸熱ポルトランドセメント, 早強ポルトランドセメント, 超早強ポルトランドセメント, 耐硫酸塩ポルトランドセメント, 高炉セメント, シリカセメントおよびフライアッシュセメントは それぞれ JIS R 5210, JIS R 5211, JIS R 5212 および JIS R 5213 に適合したものでなければならない。
- (2) (1)以外のセメントを用いる場合には, その品質をたしかめ, 使用方法を十分に検討しなければならない。

(解 説)

塗装鉄筋を鉄筋コンクリート構造物に用いる場合でも, JIS に適合するものを用いなければならない。混合セメントには, 高炉, シリカ, フライアッシュの各セメントがあり, 混合材の量によってそれぞれ A 種, B 種および C 種に区分されている。これらのセメントにはそれぞれ特長があり, 品質にもかなりの差異がある。高炉, シリカおよびフライアッシュセメントはポルトランドセメントと比較すると, セメントの水和反応に際して, 遊離石灰の発生が少ないため, 化学的な作用または海水に対する抵抗力が大きく, ワーカビリチーがよくなる場合もあるが, 同一水セメント比の場合, 中性化速度が速くなり, 早期強度の発現も小さい。混合セメントのこれらの特性を考慮して用いるならば, 腐食性の環境に対してポルトランドセメントよりむしろ有利な場合もある。

(1)以外のセメントを用いる場合には塗装鉄筋に対する影響, コンクリートの耐久性等を十分に検討して, 適切に使用しなければならない。

21条 水

- (1) 水は油、酸、塩類、有機物等、コンクリートの品質と塗膜に影響を及ぼす物質の有害量を含んでいてはならない。
- (2) 海水を練り混ぜ水として使用してはならない。

(解 説)

(1)および(2)について コンクリートの練り混ぜ水はRC示方書75条(解説)に述べられている各種有害物および塗膜を侵食する成分の有害量を含んでいてはならない。特にコンクリート中に塩素イオンが含まれている場合、塗膜のピンホール部分からの鉄筋の腐食が促進されるおそれがあるので、海水を練り混ぜ水として使用してはならない。

また、海岸近くの井戸、河口では海水が混入していることがあるので注意しなければならない。RC示方書75条(解説)ではこのような場合の練り混ぜ水に含まれる塩素イオン濃度の限度を3000 ppm程度としているが、塗装鉄筋を使用する場合にも、安全のためにこの値を目安にするのがよい。

22条 細 骨 材

細骨材は「無筋および鉄筋コンクリート標準示方書」の規定に適合するものでなければならない。

(解 説)

RC示方書では、細骨材の粒度は77条に、細骨材中の有害物含有量の限度は78条に、細骨材の耐久性は79条に規定している。塗装鉄筋を使用するコンクリートには、これらの規定に適合する細骨材を用いなければならない。

23条 海 砂

- (1) 海砂に含まれる塩化物の許容限度の標準は、海砂の絶乾重量に対し、NaClに換算して0.1%とする。
- (2) 海砂に含まれる塩化物含有量の試験は、土木学会規準「海砂中の塩分含有量の試験方法」によるものとする。

(解 説)

(1)について 塗装鉄筋は、塗膜の品質が良好で、塗装が完全であれば鉄筋腐食の心配はないが結束線、スペーサー、セパレーター等耐食性があまり良好でないものや、部材表面に近くない部

分に塗装されていない材料が用いられる場合もあるので、海砂に含まれる塩化物の許容限度の標準をRC示方書80条(解説)にしたがって規定した。しかし、補強材料がすべて塗装してあるような場合にはこの規定は緩和できる。

塩化物含有量が許容限度をこえる海砂は、水洗い、その他により許容限度以下として使用するか、または塩化物含有量の大きさに応じて適当な処置を講じて用いなければならない。

このような措置として考えられるのは

- 1) 水セメント比を小さくし、入念に施工して密実なコンクリートをつくる。
- 2) かぶりを増すと同時に、所定の施工精度を保つようにする。
- 3) 良質な防錆剤を用いるようにする。
- 4) 水密性の高い表面仕上げをするようにする。

(2)について 海砂中の塩化物含有量は、土木学会規準「海砂中の塩分含有量の試験方法」によって測定することとする。

24条 粗骨材

粗骨材は「無筋および鉄筋コンクリート標準示方書」の規定に適合するものを用いなければならない。

(解説)

RC示方書では、粗骨材の粒度は82条に、粗骨材に含まれる有害物含有量の限度は83条に、粗骨材の耐久性は84条に、砕石は85条に、高炉スラグ砕石は86条に規定している。塗装鉄筋を使用するコンクリートにもこれらの規定に適合する粗骨材を用いなければならない。

25条 混和材料

- (1) 混和剤として用いるAE剤および減水剤は、それぞれJIS A 6204 に適合するものでなければならない。
- (2) 混和剤として用いるフライアッシュはJIS A 6201に適合するものでなければならない。
- (3) (1)および(2)以外の混和材料については、その品質を確かめ、コンクリートの品質および塗膜に悪影響のないことを確認し、使用方法を十分に検討して用いなければならない。

(解説)

(1)について 塗装鉄筋の腐食を防止するためには、AE剤または減水剤を使用して、単位水量の減少やワーカビリティの改善を図り、密実なコンクリートとなるように入念な施工を行なうことが重要である。ただし、塩化カルシウムを多量に含んでいるAE剤、減水剤の場合には、塩素

イオンにより塗膜損傷部分からの腐食が促進されることがあるので、注意が必要である。

(2)について 品質のすぐれたフライアッシュを使用すると、コンクリートの水密性が向上し、水分や塩化物の浸透を抑制することができるので、塗装鉄筋等の防食に有利である。

第 7 章 配 合

26条 水セメント比

- (1) 水セメント比は「無筋および鉄筋コンクリート標準示方書」95条によるものとする。
- (2) 海洋構造物に用いるコンクリートの耐久性から定まる水セメント比は「無筋および鉄筋コンクリート標準示方書」234条によるものとする。

(解 説)

コンクリートの水セメント比は、塗装鉄筋を用いる場合でも、RC示方書95条にしたがって定めなければならない。すなわち、コンクリートの圧縮強度をもととするときは95条(1)、耐久性をもととするときは、一般のコンクリート構造物の場合95条(2)、海洋構造物の場合234条(1)、水密性をもととするときは177条にそれぞれしたがわなくてはならない。

塗装鉄筋についての既往の試験結果から塗装鉄筋を用いることによって構造物の耐久性は相当に向上するが、コンクリートの品質は普通鉄筋の場合と同等とするのがより安全であるので塗装鉄筋を用いた場合でも、耐久性をもととして水セメント比を定めるときは、RC示方書の規定によることとした。

しかし、参考資料および今後の試験結果等を十分に検討し、環境条件を十分に考慮すれば、耐久性から定まる水セメント比をRC示方書に示されている最大値よりいくらか大きくしてもよい。

27条 コンシステンシー

コンクリートのコンシステンシーは、作業に適する範囲内でできるだけ小さいスランプのものでなければならない。

(解 説)

作業に適するワーカビリティに相当するコンシステンシーは、塗装鉄筋を用いた場合でも普通鉄筋を用いた場合と同様に、部材の形状および寸法、コンクリートの取扱いおよび締固めの方法、かぶりおよび配筋状態等によって異なる。したがって、塗装鉄筋を用いた場合でもRC示方書99条に従って作業に適する範囲内でできるだけ小さいスランプのコンクリートを用いなければならない。

第 8 章 コンクリートの施工

28条 総 則

塗装鉄筋を用いる場合でも、一般の鉄筋コンクリート構造物の場合と同様、欠点のないコンクリートが得られるように、コンクリートの施工には細心の注意を払わなければならない。

(解 説)

塗装鉄筋は、鉄筋を防食する必要から用いられるので、その使用効果を十分に発揮させるためには、コンクリートの施工にあたって、RC示方書の14章～19章に準拠し、打込み、締固め、養生、継目、鉄筋工、型わくおよび表面仕上げ等に留意し、腐食の原因となる水分、塩化物などの侵入路がコンクリートに生じないように十分な配慮が必要である。

29条 締 固 め

腐食性環境にさらされる構造物に用いるコンクリートは、振動機を用いて締固めるのを原則とする。

(解 説)

塗装鉄筋の耐食性を有効に発揮させるためには、塗装鉄筋をコンクリートによって十分に被覆することが重要である。したがって、部材が腐食性環境にさらされる場合には、コンクリートの打込みにあたっては細心の注意をはらい、材料分離や豆板のないような均一で密実なコンクリートとなるよう、RC示方書125条に準拠して振動機を用いて締固めを行なうことが必要である。

30条 継 目

腐食性環境にさらされる構造物には、打継目をなるべくつくらないようにし、伸縮継目は防水を完全にすることとする。

(解 説)

打継目は構造物の欠陥となりやすいので、打継目をつくらないのが望ましい。そのためには、構造物の規模、施工条件等を考慮して打継目を要しないように設計することが大切である。

やむをえず打継目をもうける場合は、継目部の新旧コンクリートの密着および防水に留意する必要がある。

伸縮継目も同様に欠陥となりやすいので、防水を完全にすることが望ましい。

塗装鉄筋の品質試験方法および品質規準（案）

1. 塗装鉄筋の品質規準	80
〔1〕 種 類	80
〔2〕 品 質	80
〔3〕 検 査	83
〔4〕 表 示	83
2. 塗装鉄筋の品質試験方法	85
〔1〕 塗膜の外観	85
〔2〕 塗膜厚測定	85
〔3〕 ピンホール試験	85
〔4〕 塗膜硬度の測定	85
〔5〕 耐アルカリ性試験	86
〔6〕 耐食性試験	87
〔7〕 コンクリートとの付着性試験	88
〔8〕 耐衝撃性試験	88
〔9〕 曲げ加工性試験	89
〔10〕 塗膜硬化度	89

1. 塗装鉄筋の品質規準

(1) 種 類

塗装鉄筋は、曲げ加工可能温度範囲により1種、2種の2種類とする。

表－1.1 塗装鉄筋の種類

種 類	加工下限温度	表 示	塗 装 の 色
1 種	5℃以下	望ましい加工温度の範囲を明示する	青 色 系
2 種	15℃以下	"	青色系および錆色系以外

塗料の種類によって、塗装鉄筋の曲げ加工温度範囲が異なることがある。特に低温で曲げ加工する際に困難をともなう場合がある。このため塗装鉄筋を低温でも加工できる1種と常温での加工に限った2種とに区別する。これらの種類は塗膜の色によって表示するのが望ましい。

(2) 品 質

- (1) 塗装鉄筋は、品質管理の行きとどいた塗装工場において製作されたものでなければならない。
- (2) 塗装鉄筋の製造に用いる棒鋼は、JIS G3112鉄筋コンクリート用棒鋼の品質を満足する異形棒鋼で塗装に適した表面性状のものでなければならない。
- (3) 塗装鉄筋は、エポキシ樹脂または同等の品質を有する材料を主体とした粉体塗料を用いたものでなければならない。
- (4) 塗装鉄筋は、製造時に素地調整を行った鉄筋に静電塗装を行う工程を含むものとする。
- (5) 塗装鉄筋は、長期間にわたって耐食性を確保するとともに、構造物の使用条件を満たすために表－2.1の規定を満足するものでなければならない。
- (6) 塗装鉄筋は、立合試験等または公的機関による試験で品質が確認されたものでなければならない。

表－2.1 塗装鉄筋の品質

項 目	品 質
塗 膜 の 外 観	塗膜は均一でわれ、はがれ、きずがないこと。
塗 膜 厚	塗膜厚さは $180 \pm 50 \mu$ を標準とする。

ピンホール	鉄筋長さ1 m当り5個以内であること。
塗膜硬度	硬度Fの鉛筆で塗膜の表層を破損しないこと。
耐アルカリ性	耐アルカリ性試験においてふくれやはがれを生じないこと。
耐食性	腐食促進試験においてさびが生じないこと。
コンクリートとの付着性	塗装鉄筋の最大付着応力度が非塗装鉄筋の最大付着応力度の80%以上であること。
耐衝撃性	試験によって塗膜にわれ、はがれが生じないこと。
曲げ加工性	試験によって塗膜にわれ、はがれが生じないこと。
塗膜硬化度	試験によって塗膜が粘着化しないこと。

(1) 塗装鉄筋は素地調整および塗装工程に専用の装置と熟達した技術を有する品質管理の行きとどいた工場で生産されたものでなければならない。

(2) 現在流通している異形棒鋼のなかには、きずや線状きずがみられるものがある。これは鋼素材やミル工程に起因するものであり、塗装後塗膜にピンホールを生じやすいので製造時には、これらの欠陥が棒鋼表面にないことを確認しなければならない。

(3) コンクリート中での塗膜の耐久性や塗膜のしゃ塩性能を損わないよう、加工時の損傷のうけにくさを考慮して塗装鉄筋用粉体塗料をこの基準では当面エポキシ樹脂粉体塗料のみとする。

塗装鉄筋用に種々の粉体塗料が開発されつつあるのでエポキシ樹脂以外にも品質や実用性能が確かめられればこの基準に採用できるものとする。

(4) 塗装鉄筋の品質は塗料だけでなく素地調整度や塗装方法によって異なるので、次のような条件を満たさなければならないものとした。

素地調整はブラスト処理により少なくともSIS Sa 2½とし、表面粗度は40μ～80μ（Rmax）程度とする。また素地調整を終えた棒鋼は空気中の水分による錆のもどりを防ぐため、4時間以内に塗装するのが望ましい。

塗装は均一で欠陥のない所定の厚みの塗膜を効率よく得るため棒鋼を予熱して静電塗装するものとした。

(5) 塗装鉄筋は、十分な耐食性を有するほか、耐衝撃性、曲げ加工性などの作業性およびコンクリートとの付着性も、十分なものでなければならない。これらの性能は、エポキシ樹脂粉体塗料の種類および膜厚によっても異なるので塗装鉄筋を使用するにあたっては、下記の項目について、その品質を確認しなければならない。

1) 塗膜の外観

塗装の良否を判定するために行う。

2) 塗 膜 厚

各種塗装鉄筋の品質試験結果によれば、耐食性、すなわち塗膜のしゃへい性能は膜厚が厚い程優れ、一方、耐衝撃性や曲げ加工性、コンクリートとの付着性などの物理的性能は膜厚が厚くなる程劣ってくる。したがって耐食性能および物理性能の両者を満足させるために、ある範囲内の膜厚とする必要があり、塗膜厚について標準的な値を提示することにした。

3) ピ ン ホ ール

異形棒鋼に塗装した場合にはふしやリブ部分の塗膜が薄くなり、塗膜にピンホールが発生する場合がある。素地まで塗膜を貫通するピンホールは塗装鉄筋の耐食性を低下させるものであり皆無であることが望ましい。

工場塗装の管理水準としては、鉄筋長さ1 m当り多くとも5個以内とし、これを越える数のピンホールが発生する場合は、棒鋼および塗装工程全体の見直しを行うものとする。

ピンホールは、塗装鉄筋に用いた塗料と同等以上の品質を有する塗料を用いて補修しなければならない。

4) 塗 膜 硬 度

塗膜は塗装鉄筋の取扱い、運搬、コンクリート打込み作業などを考慮すると、ある程度の硬さが必要であり、しかも曲げ加工が支障なく行える硬さでなければならないので塗膜硬度をFより硬いこととした。

5) 耐 アルカリ性

合成樹脂系塗料の中には耐アルカリ性が劣り、塗膜がふくれたりはがれたりするものがある。実験結果によれば、品質の劣る塗装鉄筋が短時間でふくれたりはがれたりするのはアルカリ性溶液中に部分浸漬された場合である。そこで耐アルカリ性試験を行って、品質を確認することとした。

6) 耐 食 性

海上あるいは海岸線付近の波しぶきや潮風を受ける、いわば飛沫帯での利用を前提にした防食材料の腐食促進試験方法には、建設省土木研究所で提案している試験方法等がある。

7) コンクリートとの付着性

コンクリート構造に用いる鉄筋は、コンクリートとの付着性を確保しなければならない。実験によれば、塗装鉄筋の付着強度は普通鉄筋に比べて、低下することが知られているが、実験結果によれば、異形棒鋼に塗装した場合には塗装を行っていない鉄筋の80%以上の付着強度は得られることが明らかとなったので、これを品質規格の下限值とし、塗装鉄筋を用いてコンクリートの設計を行う場合には、そのことを配慮して行うこととした。

付着性試験方法は日本コンクリート工学協会の付着強度試験方法(案)等によるものとする。

8) 耐 衝 撃 性

塗装鉄筋に用いられる塗膜は一般に多少の衝撃では傷つきにくいものである。塗装鉄筋についての運搬時や取扱上の注意は定められているが、不測の大きな衝撃に対しても塗膜に傷がつかないように耐衝撃性を試験項目に入れた。

9) 曲 げ 加 工 性

鉄筋の曲げ内半径および曲げ形状は、道路橋示方書に規定されているので塗装鉄筋といえどもこの規定に定められる最小曲げ内半径で曲げ加工ができるものでなければならない。

塗装鉄筋は低温になるほど曲げ加工が困難となり、曲げ加工を低温においても可能とするには高価な材料を用いなければならない。したがって経済性を考慮して、低温時にも加工が可能な1種と、常温で加工することを前提とした2種の2種類を規定することにしたものである。試験によってわれやはがれが生じない曲げ加工下限温度を求めなければならない。

10) 塗 膜 硬 化 度

塗膜が十分に硬化しているか否かは、塗膜性能に大きく反映するので、これを簡便に調べる方法として、溶剤ラビングテストを採用した。硬化不十分な時には塗膜が軟化したり粘着性を帯びてくるので指触評価によって判定する。

以上の品質試験方法は付録「塗装鉄筋の品質試験方法」に準拠するものとする。

- (6) 塗装鉄筋の品質は材料、製法によってかなり変化するが、外見からは見わけることが困難であるので立合試験や公的機関による試験で品質の確認されたものを用いることとした。

(3) 検 査

塗装外観、塗膜厚、ピンホール、塗膜硬度、曲げ加工性、塗膜硬化度は、一製造単位ごとに検査を行い、〔2〕の規定に適合しなければならない。

- (1) 塗装鉄筋の品質を確認するため、基本的には、この基準に定められた全項目の検査をすることが望ましいが、品質項目によっては試験に長時間を要したり、特殊な試験機器を用いなければならないものがあるため、検査項目を限定した。製造者は、一製造単位ごとに定められた試験方法に基づき検査を行い、検査成績書を作成し、提出しなければならない。

(4) 表 示

塗装鉄筋は種類を区別する表示および製造年月、製造者名を適当な方法で表示しなければならない。

塗装鉄筋は曲げ加工可能温度により 1 種と 2 種に分けられるが、1 種については青色系の塗料、2 種については、青色および錆色以外色の塗料を用いたものを使用するものとする。

また、製造年月、製造者名は略号による表示によって鉄筋表面に表示するのが最も望ましい方法であるが、ミルシート等によって表示する場合は、塗膜の色や塗装する鉄筋の形状の特徴等をミルシートに表示し、製品の識別が容易に行えるよう配慮しなければならない。製品説明書またはミルシートには曲げ加工可能な温度の範囲を明記する。

2. 塗装鉄筋の品質試験方法

(1) 塗装の外観

(1) 試験片

試験する塗装鉄筋の長さは 3.5 m 以上とすることが望ましい。

(2) 試験方法

拡散日光のもとで、全周・全長にわたって塗膜面を肉眼で見て、塗膜の均一さ、われ、はがれ、きずの有無を調べる。

(3) 表示

各項目について、異常の有無を表示する。

(2) 塗膜厚測定

(1) 試験片

試験する塗装鉄筋の長さは、3.5 m 以上とすることが望ましい。

(2) 試験方法

塗膜厚測定機として電磁式膜厚計を用いる。

電磁式膜厚計の零点調整は測定する塗装鉄筋と同じ形状・材質の普通鉄筋にて行う。

(3) 測定位置

ふし・リブの部分を除く平坦部でほぼ 50 cm おきとする。

(4) 表示

測定位置および測定結果を表示する。

(3) ピンホール試験

(1) 試験片

試験する塗装鉄筋の長さは、3.5 m 以上とすることが望ましい。

(2) 試験方法

測定機器には乾式ホリデーデテスターを用いる。

試験電圧は 1000 V とする。

(3) 測定位置

端部を除く全周・全長とする。

(4) 表示

ピンホール個数およびピンホール発生の位置を明示する。

(4) 塗膜硬度の測定

(1) 試験片

試験する塗装鉄筋の長さはほぼ 30 cm とする。

(2) 試験方法

- 1) 鉛筆は JIS S 6006 (鉛筆) に規定する F を用い、図 1 に示すように鉛筆のしんの長さ方向に対し、直角な平面が得られるように削る。
- 2) 準備された鉛筆を供試体に対し 45 度を保ちつつ、図 2 に示す方向に線書きする。この線の長さは 20 mm 以上とし最初の 10 mm は判定の対象から除く。
- 3) 試験温度は 20 °C とする。

(3) 測定位置

ふし、リブの部分を除く平坦部とする。

(4) 表示

測定位置および測定結果を表示する。

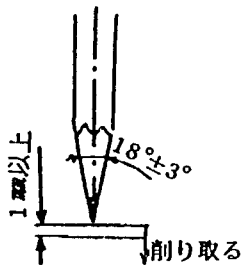
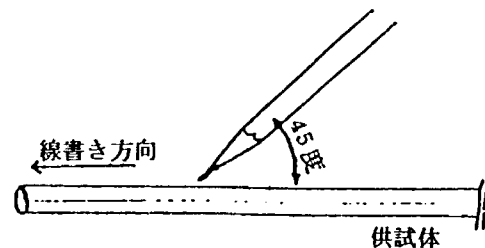


図 1 鉛筆の削り方



線書きの際の荷重は、1 kgf (9.8 N) 程度とする。

図 2 試験方法

(5) 耐アルカリ性試験

(1) 試験片

試験する塗装鉄筋の長さはほぼ 30 cm とし、両端をエポキシ樹脂によってシールする。

(2) 試験方法

1) 試験溶液

水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) を飽和した 3 % 食塩水を用い、液温は 50 °C とする。

2) 試験装置

試験片を溶液中に垂直にたて試験片のほぼ 1/2 を浸漬し試験期間中液面の高さを一定とするように溶液の蒸発分を補う。

試験時間は 300 時間とする。

(3) 表示

試験時間終了後、溶液よりひきだし、水面部および水中部の塗膜を観察する。あわせて写真記録も行う。

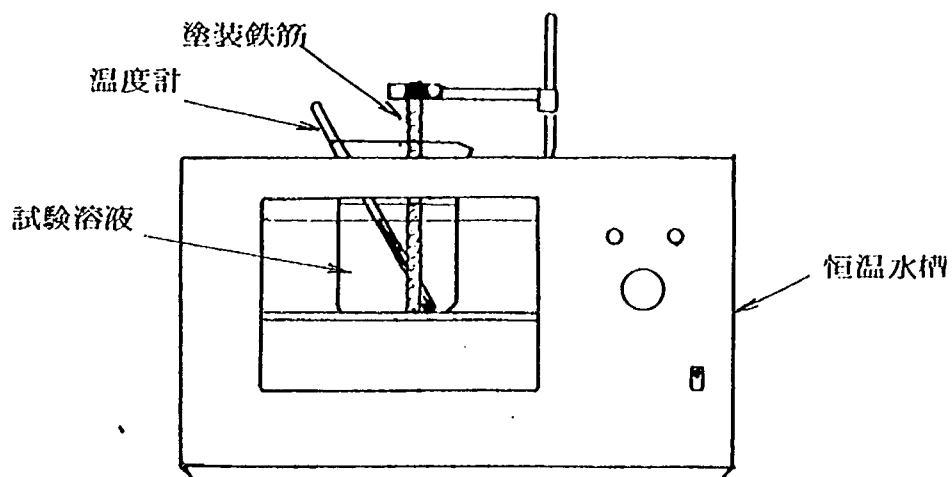


図 3 試験装置

(6) 耐食性試験

(1) 供 試 体

1) 材 料

鉄筋には塗装鉄筋を用いる。

コンクリート材料としては普通ポルトランドセメント，川砂，川砂利を用いる。

初期塩分量としてコンクリート 1 m^3 当り 30 kg の塩化ナトリウムを練り混ぜ水に溶かし混入する。

2) 配 合

水セメント比を 70% ，スランプ 8 cm を標準とする。

3) 供試体形状

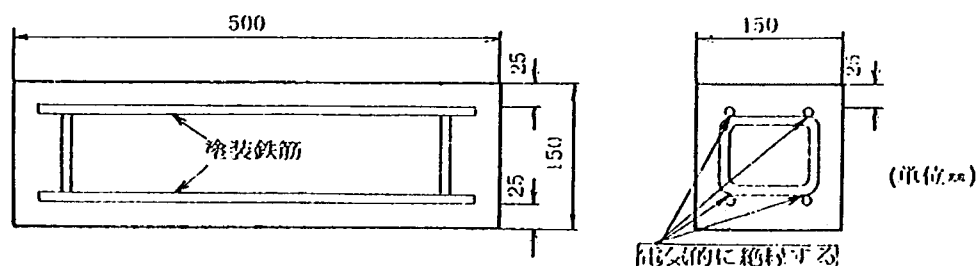


図 4 耐食性試験供試体形状

(ただし，帯鉄筋および結束線は，ビニール被覆したものをを用いる。)

4) 養 生

供試体打設後 7 日間以上湿潤養生を行う。

(2) 試験方法

次の試験条件により行う。

試 験 内 容			
条件 1	塩水浸漬	3 %食塩水中（液温 5 0 ℃）に供試体を 1 2 時間浸漬する。	条件 1，条件 2，条件 3 の順序で組合せて 1 サイクルとする。
条件 2	湿 潤	温度 5 0 ℃，湿度 9 8 % の高湿度空气中に供試体を 1 2 時間放置する。	
条件 3	乾 燥	乾燥空气中に供試体を 2 4 時間放置する。	

2) 試験期間

1 サイクル 4 8 時間の組合せ試験を 5 0 サイクル行う。

3) 解体調査

試験期間終了後，供試体を解体し，鉄筋を取出し腐食状況を観察する。

(3) 表 示

塗装鉄筋の腐食状況を記録する。

(7) コンクリートとの付着性試験

(1) 試験方法

試験方法は日本コンクリート工学協会「付着強度試験方法（案）」等に準拠する。

試験にあたっては，塗装鉄筋の付着強度試験とあわせて，普通鉄筋の付着強度試験も行うものとする。

(2) 表 示

下記の項目を表示する。

- 1) 鉄 筋 径
- 2) 付着応力度－すべり曲線図
- 3) 最大付着応力度および塗膜の破壊状態
- 4) 普通鉄筋との最大付着応力度比

(8) 耐衝撃性試験

(1) 試験片

試験する塗装鉄筋の長さはほぼ 3 0 cm とする。

(2) 試験方法

- 1) 日本工業規格 J I S K 5 4 0 0 6. 1 3. 3 b 法に規定する衝撃変形試験機を用いる。ただし，この試験機は平板を固定する形式なので，鉄筋を固定できるような固定台に改良する。

2) 試 験

高さ 50 cm からの落錘試験を行い衝撃面の状態を観察する。

3) 試験温度は 20℃とする。

(3) 測 定 位 置

ふし・リブの部分を除く平坦で行う。

(4) 表 示

測定位置および測定結果を表示する。

(9) 曲げ加工性試験

(1) 試 験 片

鉄筋の長さは、1 m 程度とする。

(2) 試 験 方 法

1) 試験機器

鉄筋曲げ機を用いる。ただし、塗装鉄筋が交点ローラーおよび力点ローラーに直接触れないように保護処置を講ずるのが望ましい。

2) 試験温度

塗装鉄筋の試験温度は製品に示される加工可能な温度範囲の下限值とする。

3) 試 験

曲げ内半径 2.0 ϕ (ϕ は鉄筋の公称直径) で 180 度曲げる (曲げる際の軸は鉄筋断面のリブを結ぶ線とする。)

加工後の試験片のひびわれやはがれの有無を観察する。

(3) 表 示

試験温度、試験片の径、材質試験片の観察結果を表示する。

(10) 塗膜硬化度

(1) 試 験 片

試験する塗装鉄筋の長さは、ほぼ 30 cm とする。

(2) 試 験 方 法

1) メチルエチルケトンで湿したガーゼで塗膜表面を 10 往復こすり塗膜の表面の粘着化の有無を指触で調べる。

2) 試験温度は 20℃とする。

(3) 測 定 位 置

ふし・リブの部分を除いた平坦部とする。

(4) 表 示

測定位置および測定結果を表示する。

樹脂塗装鉄筋に関する
調査および試験(2)

ISSN

土木研究所資料第2041号

マイクロフィルム第 号

昭和59年3月(1984)

—樹脂塗装鉄筋の実用性に関する検討— 小林茂敏, 片脇清士, 丹野 弘

高橋弘人

キーワード 塗装鉄筋, 重ね継手, 施工性, 設計・施工・品質規準(案)

要 旨 鉄筋の腐食を防止する方法として, エポキシ樹脂塗
装鉄筋が有効と考えられるが, まだ適正な使用法等
が整備されていない。本報告は, 塗装鉄筋を実際の構造物に
用いるにあたっての施工性, 力学的特性等について調査・検
討した結果をとりまとめ, あわせて設計・施工・品質規準
(案)を示したものである。



郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい。

建設省土木研究所

コンクリート研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

土研資料 2041 号

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第 2041号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

⑩

