

00001
ISSN 0386—5878

土木研究所資料第 2536 号

土 木 研 究 所 資 料

樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験 (4)

昭和 63 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 © (1988) by P. W. R. I.

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

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

樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験 (4)

コンクリート研究室 室長 小林 茂敏
研究員 丹野 弘
高橋 弘人

要 旨

近年、海洋環境下にあるコンクリート構造物が塩害によって損傷している事例が増大し、その早急な対策の整備が必要となっている。本資料は、コンクリート構造物の塩害対策方法として最も有効な対策方法とされている樹脂塗装鉄筋に関する一連の研究のうち、樹脂塗装鉄筋の長期の耐久性を確認するために実施した暴露試験の結果についてとりまとめたものである。

キーワード：塗装鉄筋，暴露試験，塩害対策

目 次

1. はじめに	1
2. 飛沫帯における樹脂塗装鉄筋の暴露試験	2
2.1 試験の概要	2
2.2 使用材料	2
2.3 供試体	4
2.4 試験項目および試験方法	8
2.5 試験結果	9
2.6 まとめ	28
3. 海洋上における樹脂塗装鉄筋の暴露試験	29
3.1 試験の概要	29
3.2 使用材料	29
3.3 供試体	29
3.4 試験項目および試験方法	37
3.5 試験結果	37
3.6 まとめ	51
4. あとがき	52
参考文献	53

1. はじめに

近年、海洋環境下にあるコンクリート構造物が塩害によって損傷している事例が増大し、その早急な対策の整備が必要となってきた。海洋環境下に限らず、塩分環境下において建設されるコンクリート構造物の塩害対策方法としてエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いるのが最も有効な対策方法とされ、こうした背景をもとに「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説」（昭和 59 年，日本道路協会）においても取り上げられている。

本報告は当研究室において実施した樹脂塗装鉄筋に関する一連の研究のうち、樹脂塗装鉄筋の長期の耐久性確認を目的として行った暴露試験の結果についてとりまとめたものである。

本試験の実施にあたっては、茨城県鹿島港における暴露場所の提供を願った住友金属工業（株）をはじめ、関係各位に多大な御尽力をたまわった。ここに深く謝意を表します。

2. 飛沫帯における樹脂塗装鉄筋の暴露試験

2.1 試験の概要

飛沫帯に位置するコンクリート構造物は水分の存在下で海水中の塩化物イオンと大気中の酸素が常に供給されるため、コンクリート中の鋼材の腐食上過酷な環境にあるといえる。

そこで本試験は樹脂塗装鉄筋の飛沫帯における防食効果を確認するため、4種類の塗料を用いて製作した樹脂塗装鉄筋を使用して両引き供試体を製作し、暴露試験を行った。

暴露試験は1982年3月より開始し、1984年8月、1987年9月の2回に分けて解体調査を行った（以下、便宜的に2.5年暴露試験、5.5年暴露試験と呼ぶ）。

2.2 使用材料

2.2.1 鉄筋

試験に使用した鉄筋は、公称直径19mmの異形鉄筋（SD30、横フシおよび斜フシ）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

鉄筋の種類		降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
	フシ形状			
SD30—D19	横フシ	34.8	54.6	20
	斜フシ	38.5	59.4	21

2.2.2 塗料

樹脂塗装鉄筋の製作に使用した塗料の種類および塗膜厚さは、化学研究室が行った試験結果¹⁾をもとにして選定した。

(1) 塗料の組成と塗装方法

塗料の組成および塗装方法を表-2.2に示す。

(2) 塗膜の品質

1) 塗膜の硬度

JIS K 5400「塗料一般試験方法」に準拠し、鉛筆（三菱ユニ）を用いて塗膜の破れや傷を調べた。また、塗膜には温度依存性があることから、20℃および0℃についても調べた。

2) 基盤目付着性試験

塗膜を1mm×1mmの基盤目にカッターで切り、セロテープによるはく離試験を行った。

3) 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、1000V）によって測定した。

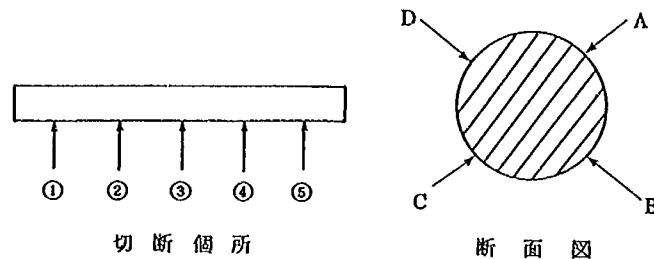
表一2.2 塗料の組成と塗装方法

塗料の 種 類	系 統	色 相	組 成 (％)				塗 装 方 法			
			主 剤	硬 化 剤	顔 料	その他		目標膜厚(μ)	プレヒート	アフクヒート
A	粉 体 エキシボ	ブラウン	エポキシ 樹 脂 (60.5)	酸無水物 (6.0)	着色顔料 (30.5)	添加物 (3.0)	静 電 スプレー 塗 装	150	180℃ 30分	240℃ 45分
								250	180℃ 30分	240℃ 45分
B	"	"	固形エポキシ 樹 脂	酸無水物	ベンガラ系	—	静 電 スプレー 塗 装	150	130～140℃	200℃ 50分
C	"	グリーン	エポキシ 樹 脂	—	—	—	静 電 スプレー	150	232℃ 28秒	
D	スラリー状	グ レ ー	エポキシ系	イソシア ネート	TiO_2, SiO_2 O	—	湿式粉 体塗装	150	210℃ 30分	

4) 塗膜厚

塗膜厚は図一2.1に示すように5ヶ所切断し、その切断面を顕微鏡により150倍に拡大して測定した。
測定点は1断面につき4方向から測定場所を設定し、1方向当り6点ずつ測定した。

以上の測定結果を表一2.3に示す。



図一2.1 塗膜厚の測定箇所

表一2.3 塗膜測定結果

塗料の 種 類	硬 度		付 着 性	膜 厚 (μ)		ピンホール数 1 m 当り (平均)
	20 °C	0 °C		目 標	実 測	
A	H	2 H	100/100	150	130 ～ 200	3 ～ 14 (6.0)
				250	220 ～ 390	3 ～ 13 (5.0)
B	2 H	3 H	"	150	170 ～ 190	0 ～ 多 (多)
C	H	H	"	150	150 ～ 190	0 ～ 41 (14.6)
D	3 H	3 H	"	150	170 ～ 200	多 (多)

2.2.3 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一2.4に示す。

(2) 骨 材

細骨材は富士川産の川砂を使用し、粗骨材は最大寸法を20 mmとした富士川産の川砂利を使用した。
骨材の物理試験結果を表一2.5に示す。

表一2.4 セメントの試験結果

比重	ブレン比 表面積 (cm ² /g)	凝 結					安定性 (煮沸 方法)	酸化マグ ネシウム (%)	三酸化 いおう (%)	強 熱 減 量 (%)
		室 温 (°C)	湿 度 (%)	水 量 (%)	始 発 (時-分)	終 結 (時-分)				
3.15	3,300	20.0	91	28.3	2-36	3-54	良	1.3	2.0	0.4
フロー値 (mm)	曲 げ 強 さ (kg/cm ²)				圧 縮 強 さ (kg/cm ²)				養生温度(°C)	
	1 日	3 日	7 日	28 日	1 日	3 日	7 日	28 日	室 温	水 温
262	—	35	53	71	—	152	259	414	—	—

表一2.5 骨材の物理試験結果

種 類	F.M	比 重	吸水量 (%)	ふ る い 通 過 量 (%)								
				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	6.73	2.67	1.03	100	76	27	0	0	0	0	0	0
細 骨 材	2.80	2.62	2.20	—	—	—	100	90	70	40	16	4

(3) 練り混ぜ水

コンクリートの練り混ぜ水には水道水を使用した。

(4) 混和剤

混和剤には市販の AE 剤ヴィンソルの原液を 20 倍溶液にして使用した。

(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}) 300 kg/cm² 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一2.6 に示す。

表一2.6 コンクリートの配合

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	混和剤 (cc/m ³)
20	60	39	165	275	718	1,140	55

2.3 供試体

2.3.1 供試体の形状寸法および種類

試験に用いた供試体の形状寸法は図一2.2 に示すような 10×10×100 cm の角柱の中心に長さ 130 cm の鉄筋 (D 19) を埋め込んだものである (かぶり 4 cm)。

供試体は鉄筋を水平に保ち、コンクリートを鉄筋に直角方向から打ち込んだ。

製作した供試体の種類と個数を表一2.7 に示す。

表-2.7 供試体の種類と個数

供試体名		暴露期間		目標膜厚 (μ)	備 考
		2.5 年	5.5 年		
M	Y 1	○			
	Y 2		○		
	N 1	○			
	N 2		○		
A	Y 2	○		150	
	Y 3		○	〃	
	N 1		○	〃	
	N 2	○		〃	
	N 3	○		250	塗膜キズ有り
	N 4		○	〃	〃
B	Y 2	○		150	
	Y 3		○	〃	
	N 1		○	〃	
	N 2	○		〃	
C	Y 1	○		〃	
	Y 2		○	〃	
	N 1		○	〃	
	N 2	○		〃	
D	Y 2		○	〃	
	Y 3	○		〃	
	N 1		○	〃	
	N 2	○		〃	
		11	11		

※) M: 無処理鉄筋使用

Y: 横フシ N: 斜フシ

2.3.2 ひびわれの導入

(1) 載荷方法

ひびわれ導入のための載荷は、鉄筋応力度 $\sigma_s = 1800 \text{ kg/cm}^2$ まで静的載荷を行ったのち、疲労載荷を行った。疲労載荷は上限値を 1800 kg/cm^2 (5.2 t)、下限値を 300 kg/cm^2 (0.9 t) として 7 Hz の正弦波で 30 万回繰返した。

(2) ひびわれ状況

供試体のひびわれ幅とひびわれ間隔の測定結果を表-2.8 に示す。なお、ひびわれ幅の測定には、図-2.2 に示すようにコンクリート側面に 10 cm 間隔でコンタクトストレインゲージ用プラグを貼付し、コンタクトストレインゲージで測定した。

表-2.8 ひびわれ幅とひびわれ間隔

種 類			平均ひびわれ 間 隔 cm	平均ひびわれ幅 1/1,000mm		
塗 料	フシ形状	膜 厚 μ		くり返し後		
				①	②	②－①
A	横	150	16.1	138	153	15
	斜	150	15.9	138	144	6
		250	16.2	143	154	11
B	横	150	16.7	146	155	9
	斜	〃	16.2	145	160	15
C	横	〃	15.6	138	151	13
	斜	〃	16.0	150	163	13
D	横	〃	16.6	144	159	15
	斜	〃	17.0	139	150	11
M	横	〃	15.0	124	134	11
	斜	〃	14.9	139	146	7

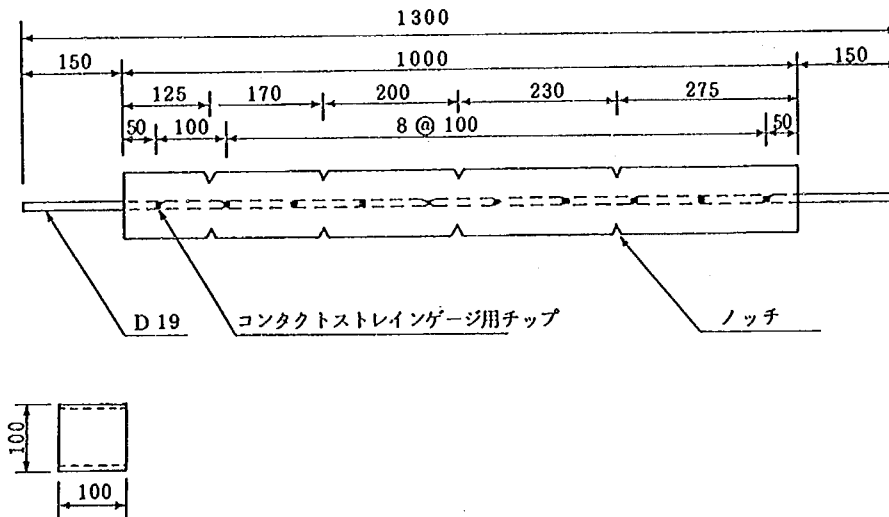


図-2.2 両引き試験供試体寸法および形状

2.3.3 暴露供試体の組立て

(1) 供試体の取付け

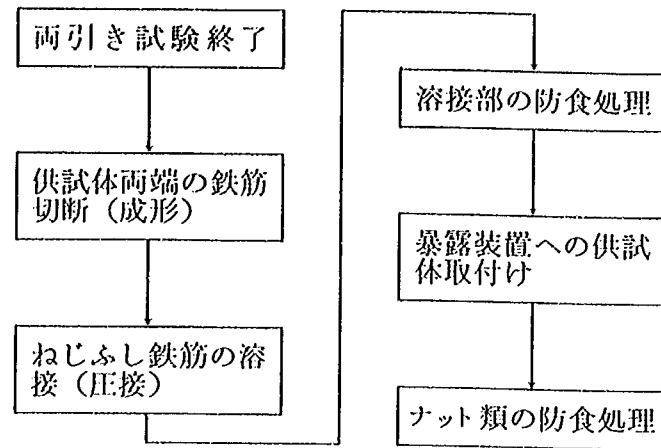
供試体はひびわれを保持したまま暴露試験を行うことから、図-2.3 に示す手順で鉄筋を加工した。

その後、図-2.4 に示すように鉄筋の引張応力度が 2000 kg/cm^2 となるようセンターホールジャッキで鉄筋を引張り、ナットで固定した。コンクリートのひびわれ幅の測定はコンタクトストレインゲージで測定した。なお、支持管取付け部両端には防食処理をほどこした。

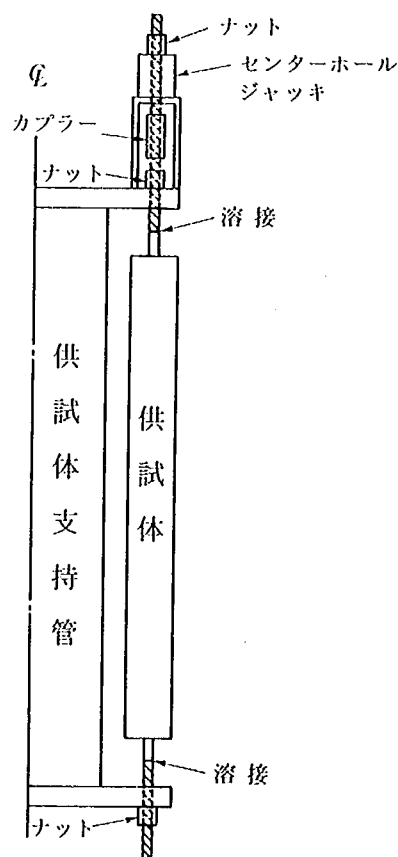
供試体の支持管への配置状況を図-2.5 に示す。

(2) 暴露供試体の設置

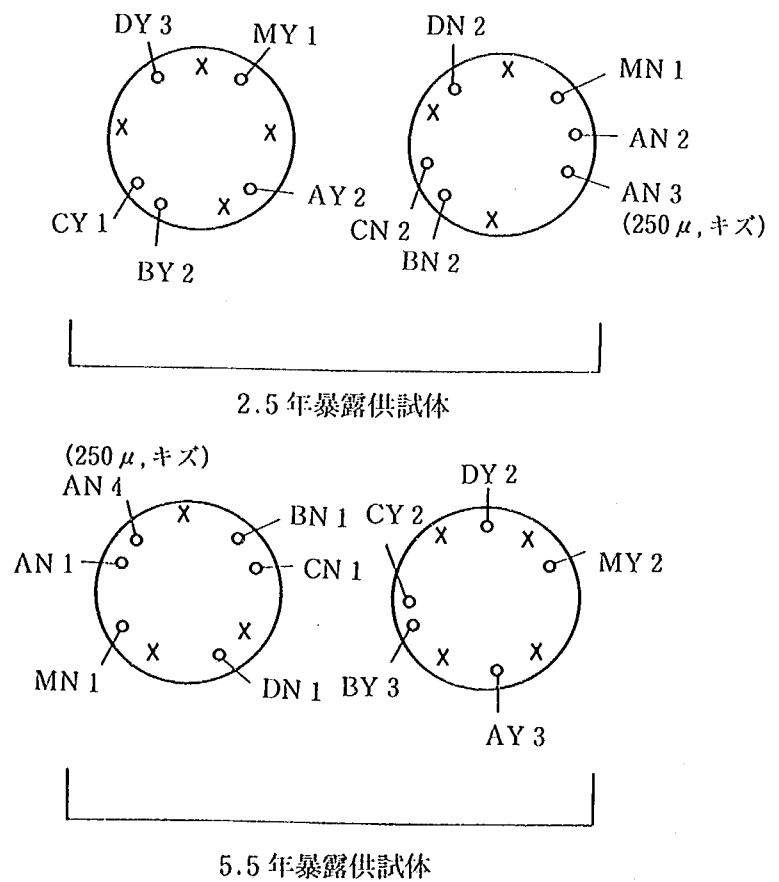
供試体を取付けた支持管は茨城県鹿島港内の海水の干満帯に設置した。



図一2.3 供試体の加工手順



図一2.4 供試体取付け方法



図一2.5 供試体配置状況（海側より矢視）

2.4 試験項目および試験方法

暴露した供試体は暴露期間を2回に分けて解体調査を行ったが、いずれの調査でも以下の項目について試験を行った。

2.4.1 供試体の外観観察

コンクリート表面の付着物を除去し、目視によってコンクリートの浮き、はく落ならびにコンクリート表面の錆汁の有無等を観察した。

2.4.2 ひびわれ観察

暴露試験の間に新たに発生したひびわれを観察するとともに、クラックスケールを用いてひびわれ幅を測定した。

以上の試験は供試体が支持管に取付けられた状態で行い、以下の試験については供試体を支持管から取外したのち試験を行った。

2.4.3 コンクリート中鉄筋の電位分布測定試験

鉄筋の腐食位置や腐食傾向を電位分布の測定によって推定する目的で、コンクリート表面（打設面）の軸方向中央線上を10 cm ピッチで測定した。

電極は飽和甘こう電極を用いて測定した。

2.4.4 鉄筋の腐食度調査

鉄筋を供試体からはとり出し、表—2.9 に示す腐食度区分にしたがって目視によって調査した。なお、樹脂塗装鉄筋については、塗膜のフクレ、ハガレ等についても目視によって調査した。

さらに、鉄筋のかぶりを実測し記録した。

表—2.9 鉄筋の腐食度区分

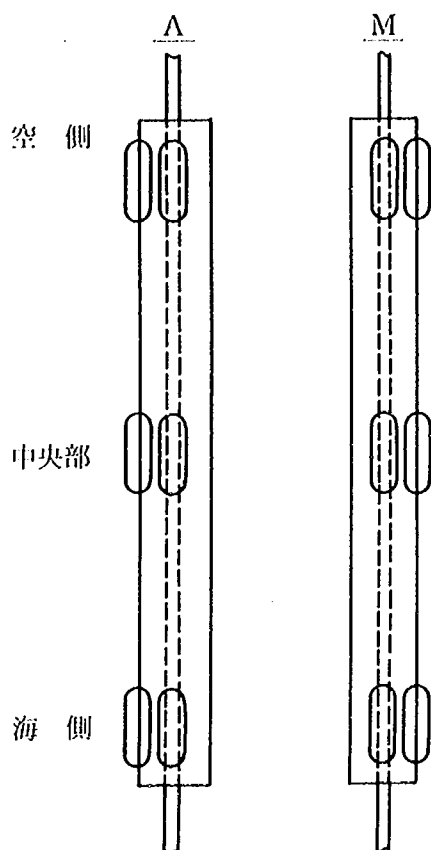
腐食度	腐食なし	A	B	C
腐食状態	腐食を認めず	ごく表面的な腐食	浅い孔食など断面欠損の軽微な腐食	断面欠損の明らかな著しい腐食

供試体割裂断面にフェノールフタレインのエチルアルコール1%溶液を噴霧し、赤変しない部分を中性化域とし、表面からの深さを測定した。

2.4.6 コンクリート中の塩分量測定試験

供試体からコンクリート片を採取し「コンクリート中の塩分量測定試験方法（土木研究所（案）」にしたがって全塩分量を測定した。測定用試料の採取位置を図—2.6 に示す。

なお、以上の試験方法の詳細については「コンクリート橋の塩害対策に関する暴露試験調査（I）」（土木研究所資料1851号、昭和57年）を参照されたい。



図一2.6 塩分量測定試料採取箇所

2.5 試験結果

2.5.1 供試体の外観観察

供試体の外観観察の結果、供試体取付け治具の錆汁が供試体上部（空側）に付着していたため、この部分については内部鉄筋からの錆汁の浸出は判別がつかなかったものの、コンクリートの浮き、はく離等の異常は認められなかった。

2.5.2 ひびわれ観察

(1) 図一2.7に2.5年および5.5年暴露後のひびわれ進展状況を示す。この図より、樹脂塗装鉄筋の比較用として無処理鉄筋を用いて製作した M 供試体は、2.5年暴露後で供試体端部より縦ひびわれの発生がみられ、5.5年暴露後では縦ひびわれの進行が顕著になっている。

(2) 一方、樹脂塗装鉄筋を用いて製作した供試体は、いずれの供試体も最初から導入していた横ひびわれの進行や新たな横ひびわれの発生は若干あるものの、縦ひびわれはまったく発生していない。

(3) 表一2.10にひびわれ幅の測定結果を示す。これより、ひびわれ幅は2.5年暴露後では増加する傾向を示し、逆に5.5年暴露後では減少する傾向を示している。このようにひびわれ幅の変化が暴露期間によって逆の傾向を示した原因は明らではないが、5.5年暴露後の樹脂塗装鉄筋使用供試体において最大ひびわれ幅が0.4 mmもある部分でも縦ひびわれの発生は認められず、樹脂塗装鉄筋の十分な防食効果がうかがえる。

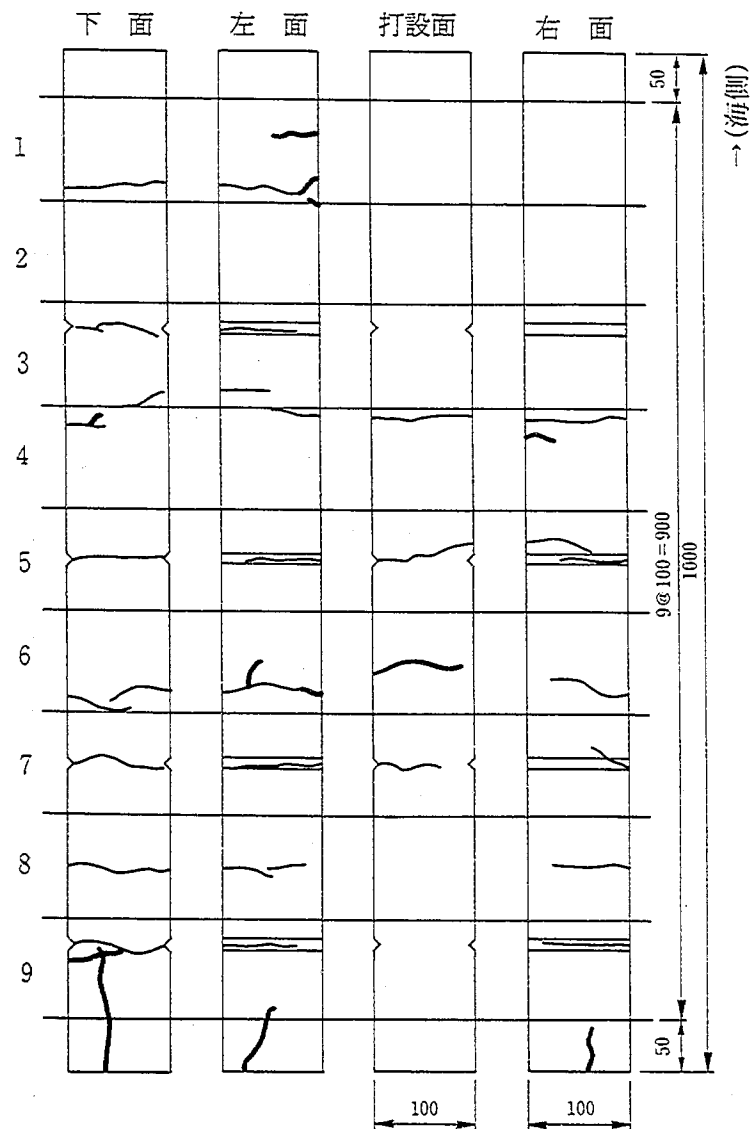


図-2.7.1 ひびわれ状況 M-Y1 (2.5年暴露)

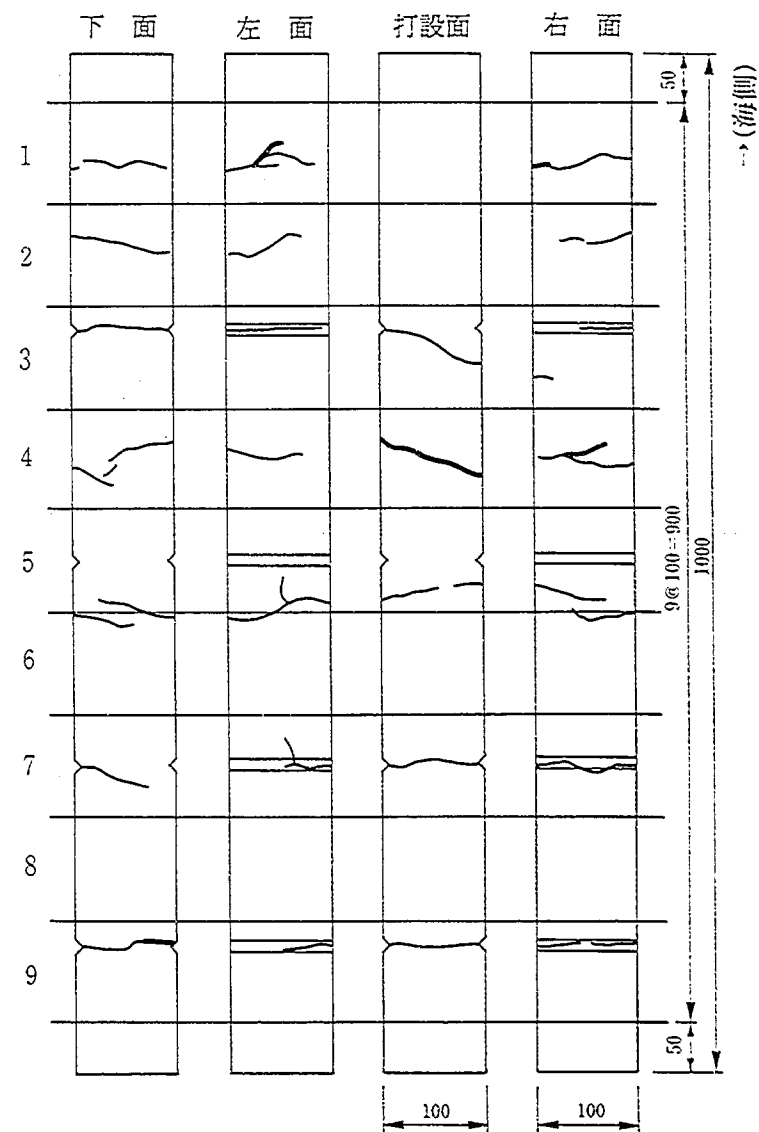
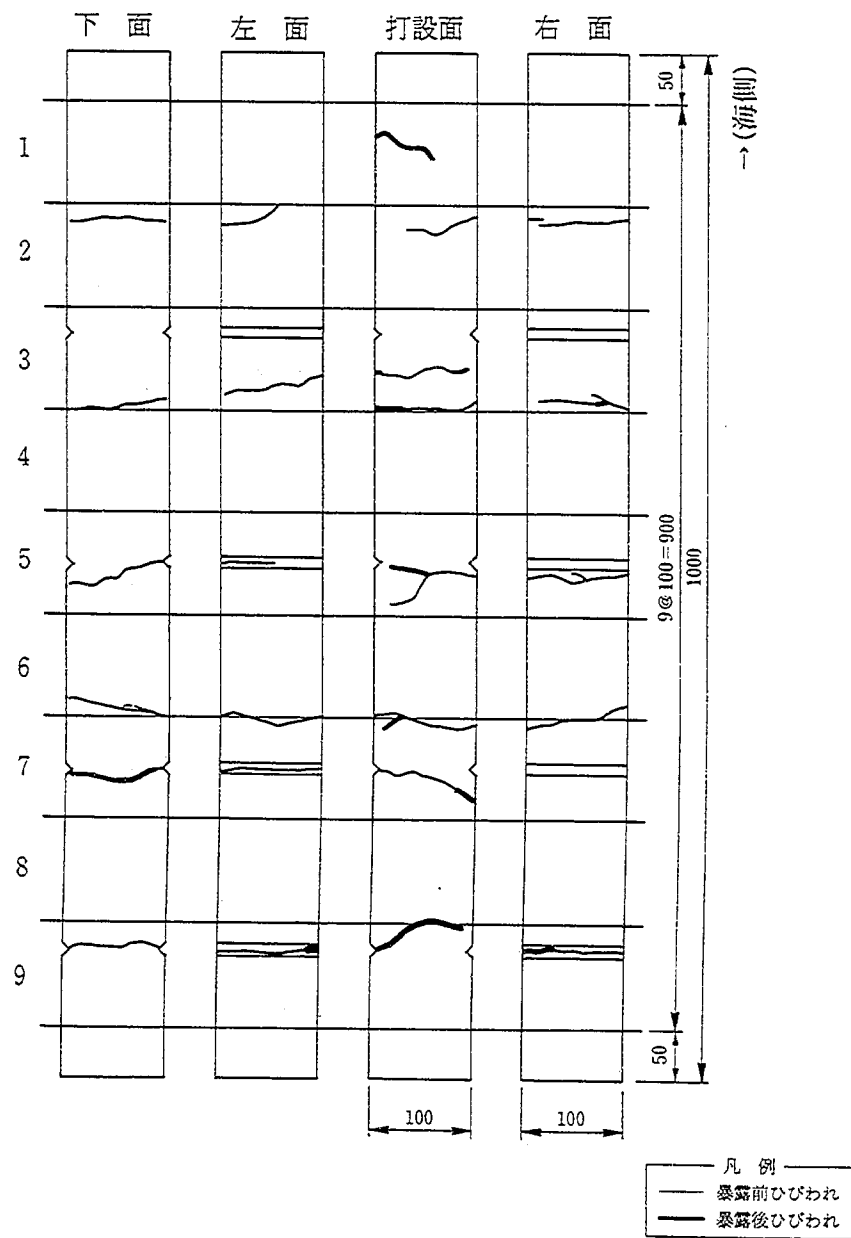
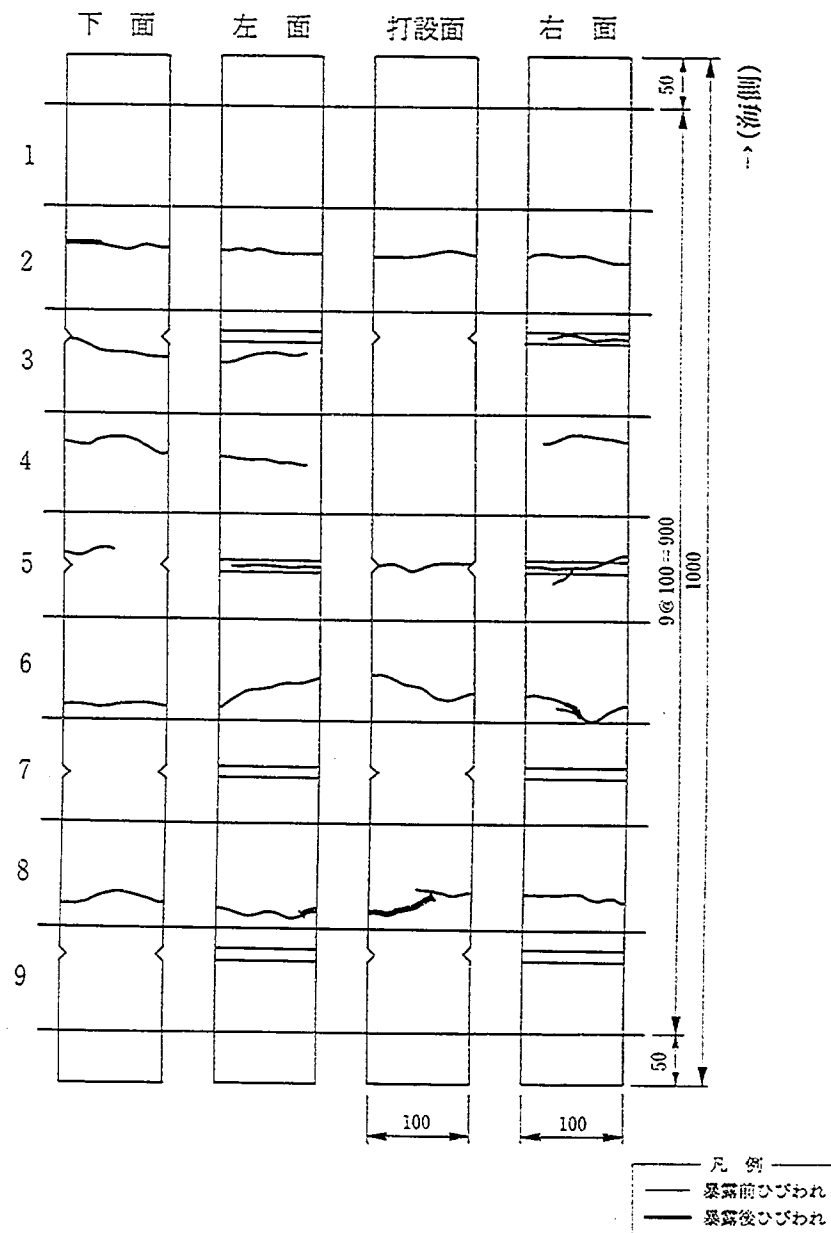


図-2.7.2 ひびわれ状況 M-N1 (2.5年暴露)



図—2.7.3 ひびわれ状況 A-Y2 (2.5年暴露)



図—2.7.4 ひびわれ状況 A-N2 (2.5年暴露)

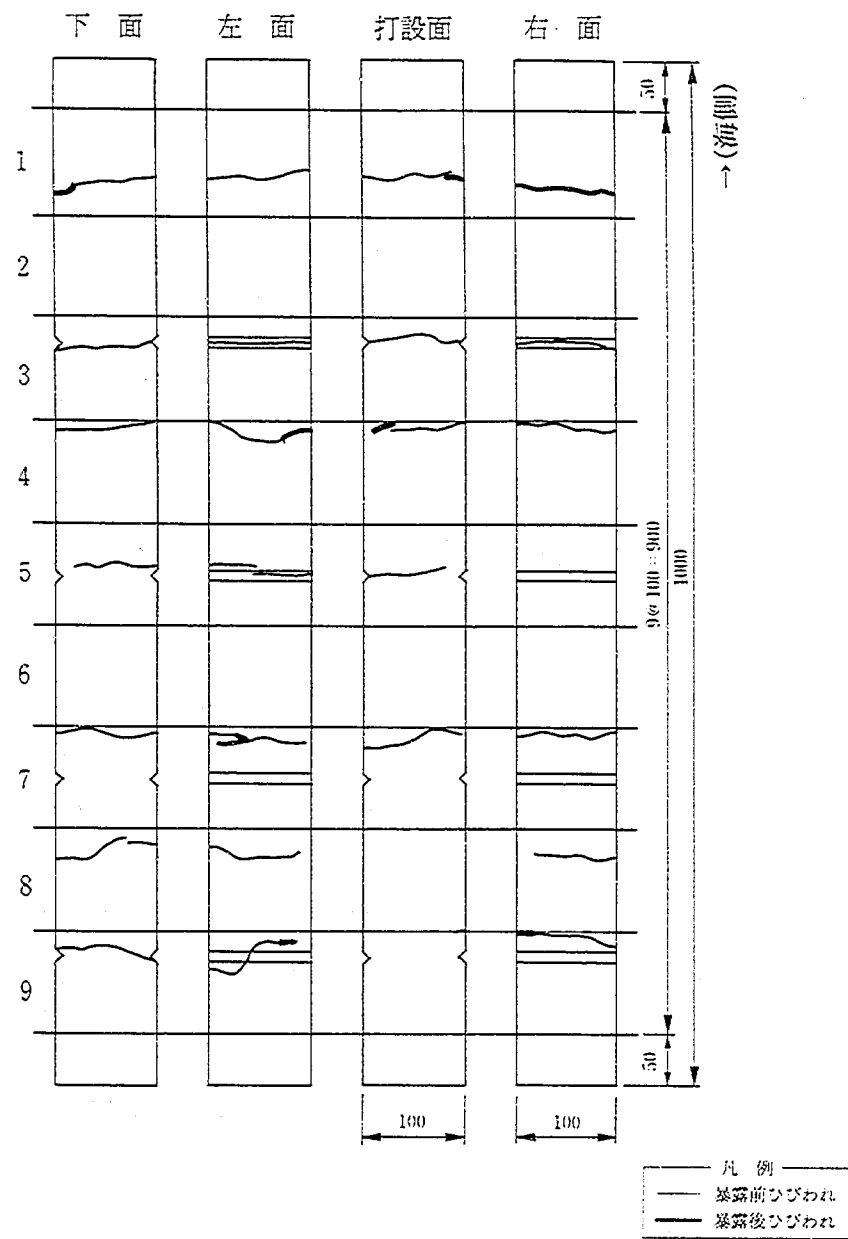


図-2.7.5 ひびわれ状況 A-N3 (2.5 年暴露)

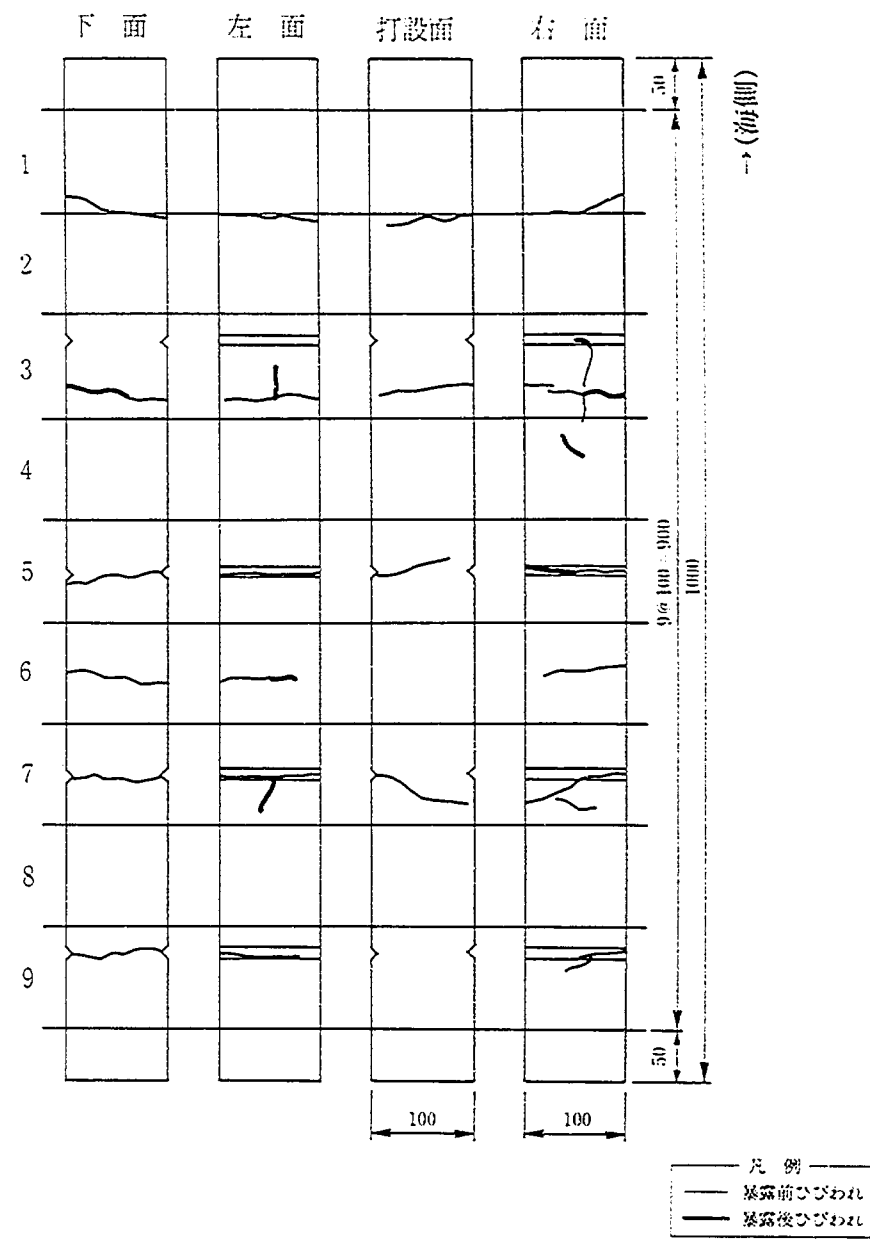
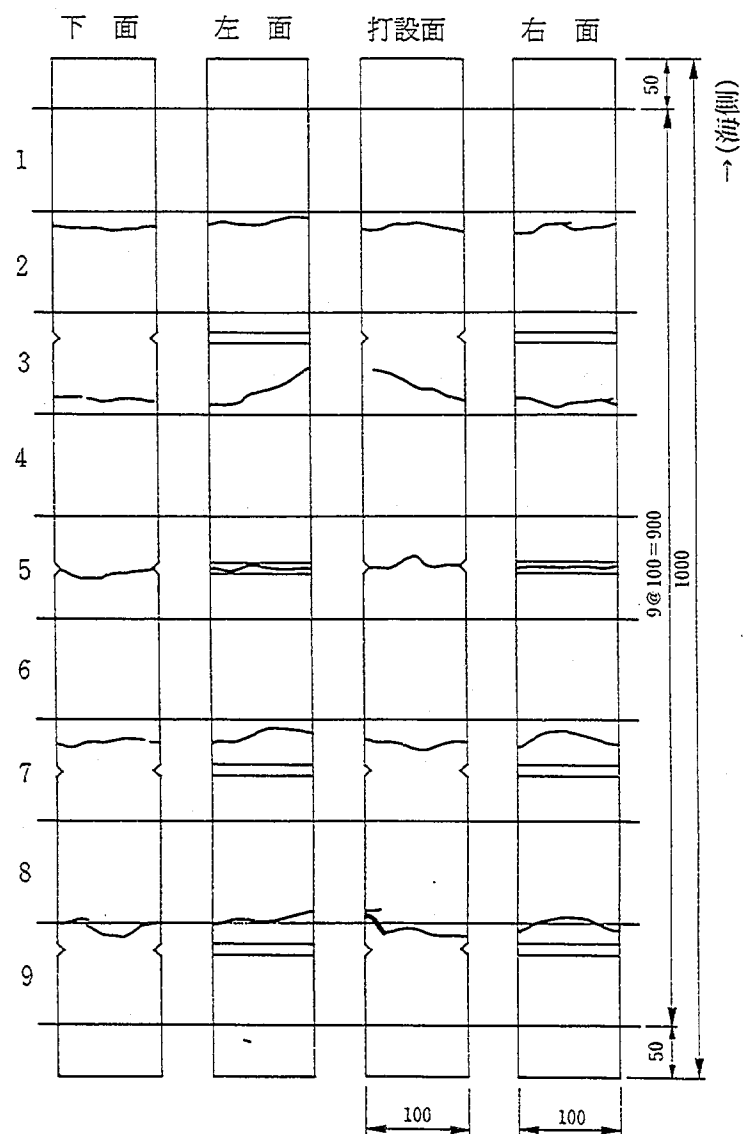
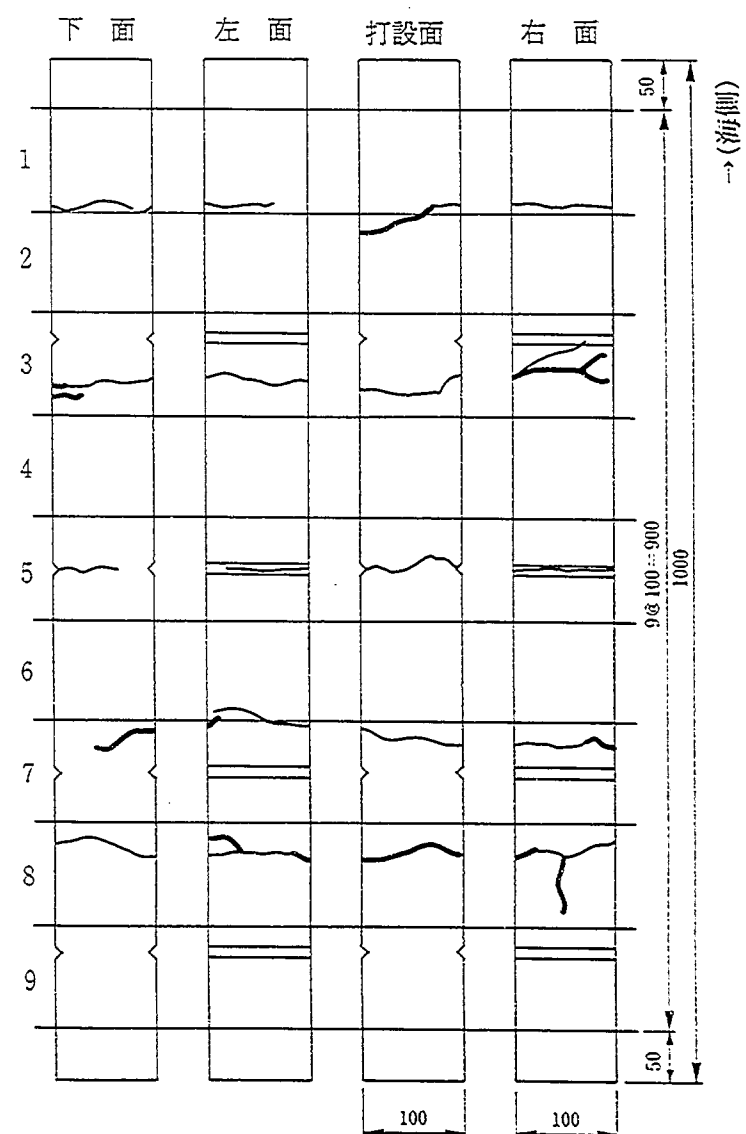


図-2.7.6 ひびわれ状況 B-Y2 (2.5 年暴露)



凡 例
 — 暴露前ひびわれ
 — 暴露後ひびわれ

図-2.7.7 ひびわれ状況 B-N2 (2.5 年暴露)



凡 例
 — 暴露前ひびわれ
 — 暴露後ひびわれ

図-2.7.8 ひびわれ状況 C-Y1 (2.5 年暴露)

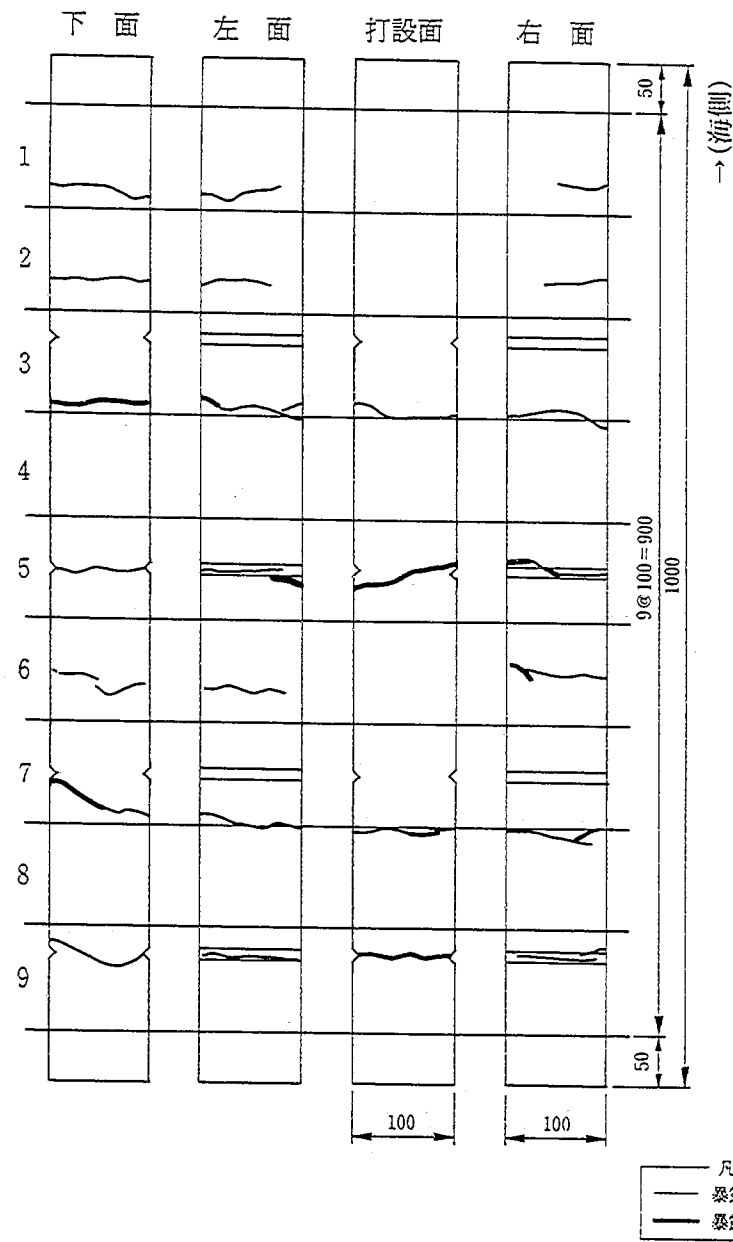


図-2.7.9 ひびわれ状況 C-N2 (2.5 年暴露)

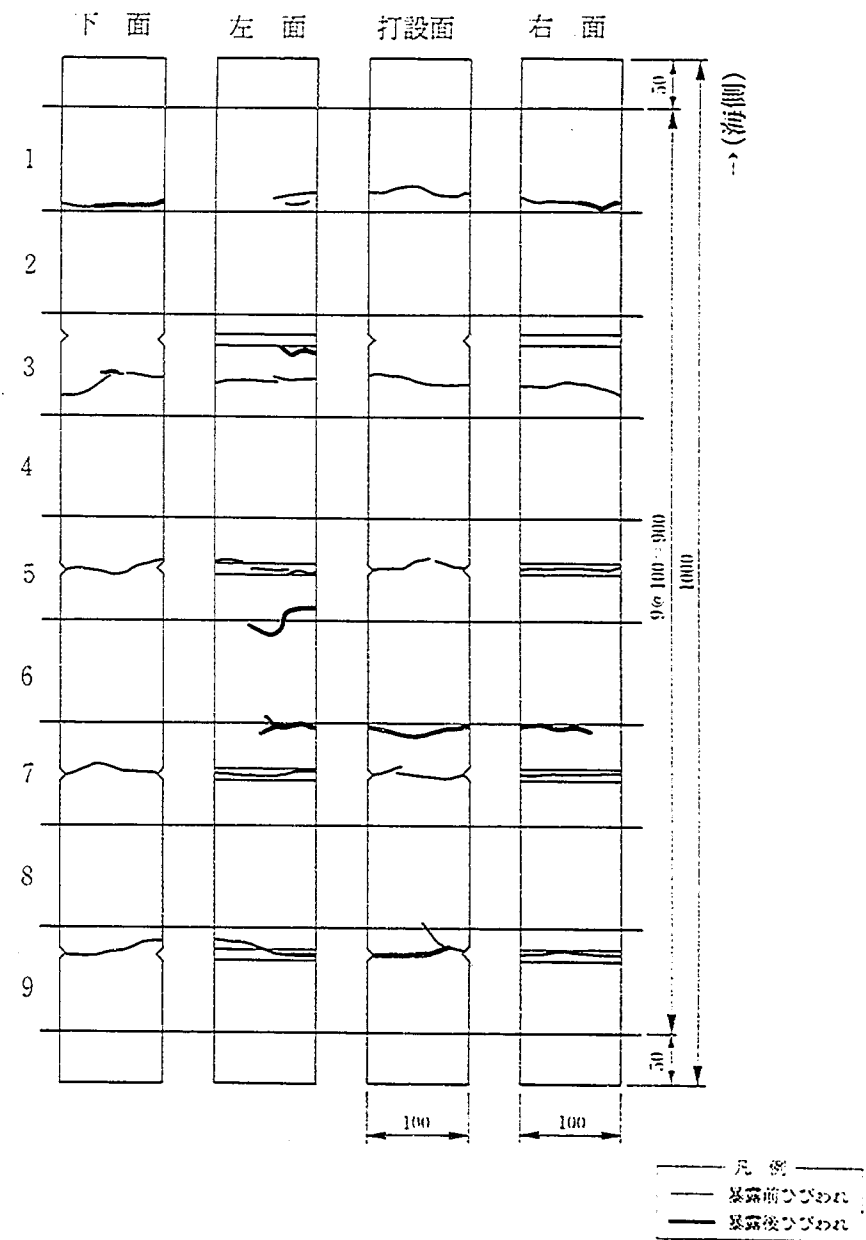


図-2.7.10 ひびわれ状況 D-Y3 (2.5 年暴露)

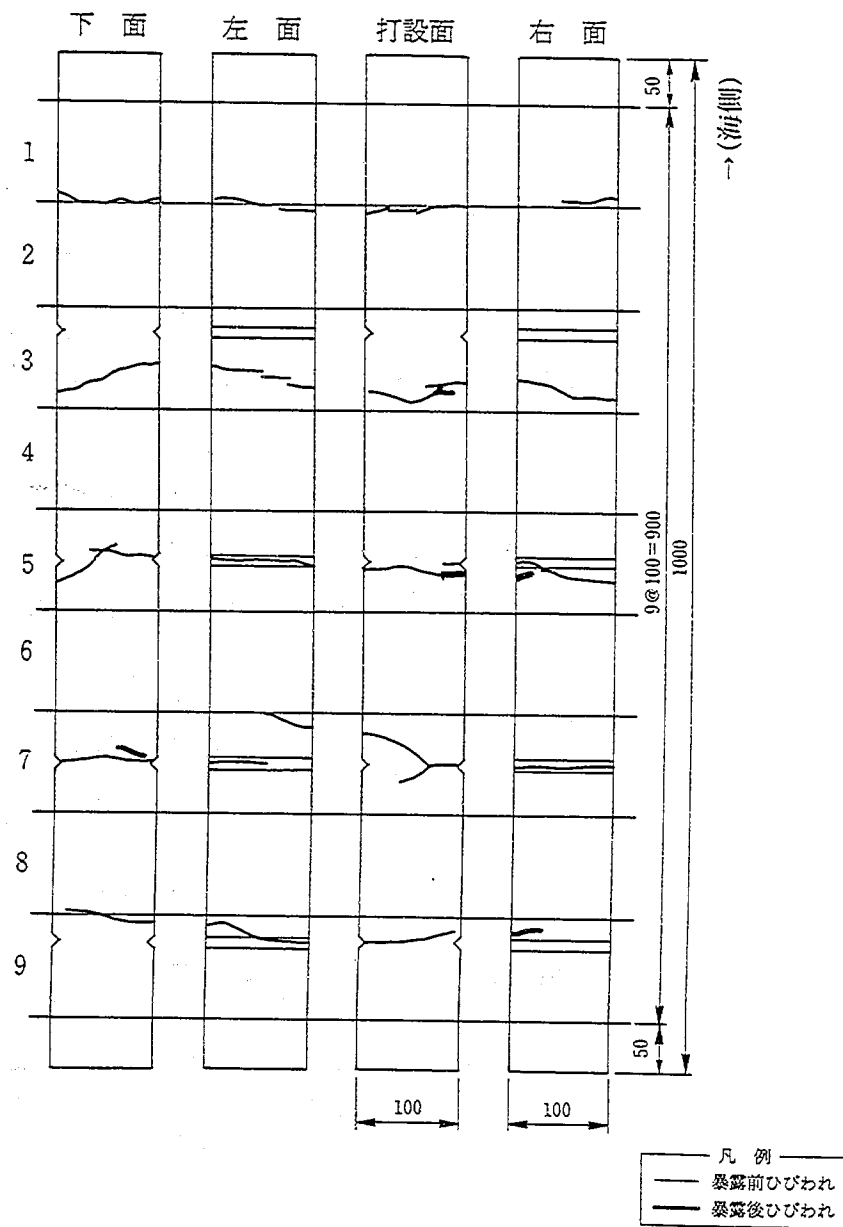


図-2.7.11 ひびわれ状況 D-N2 (2.5 年暴露)

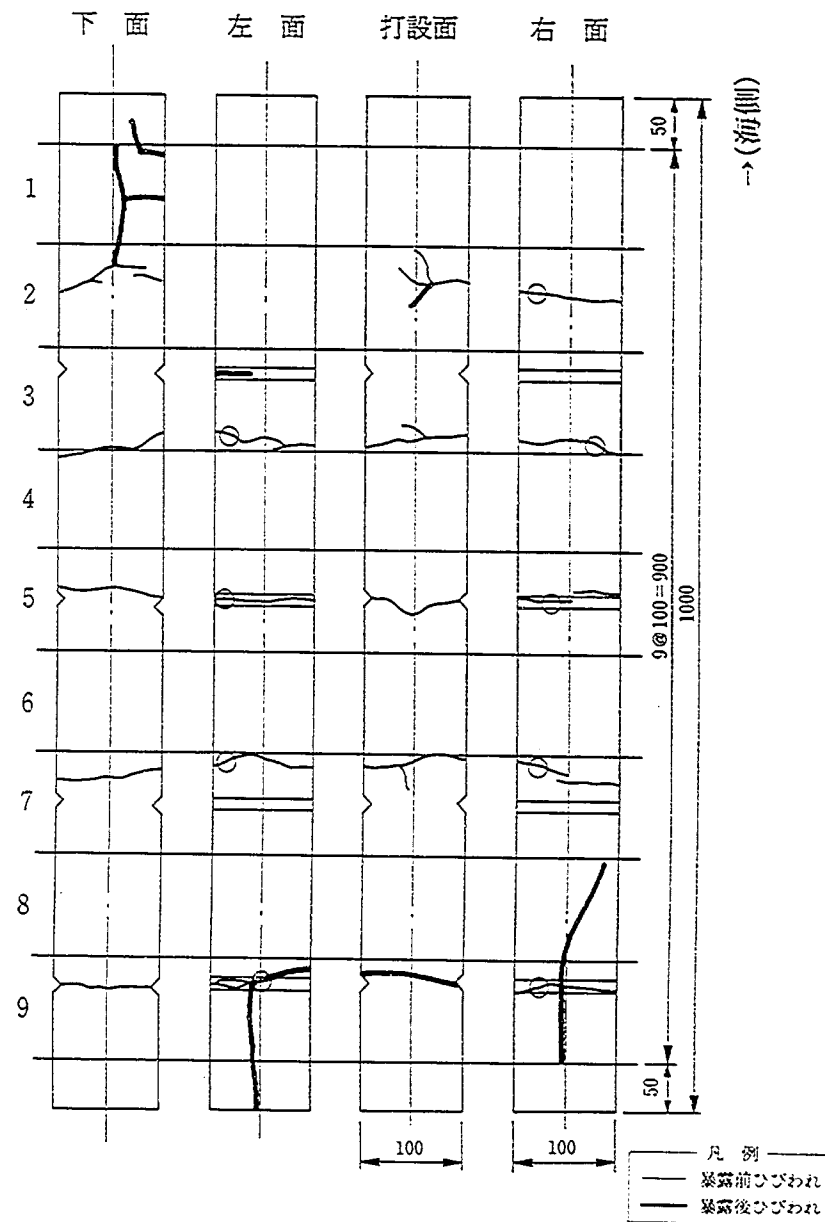


図-2.7.12 ひびわれ状況 M-Y2 (5.5 年暴露)

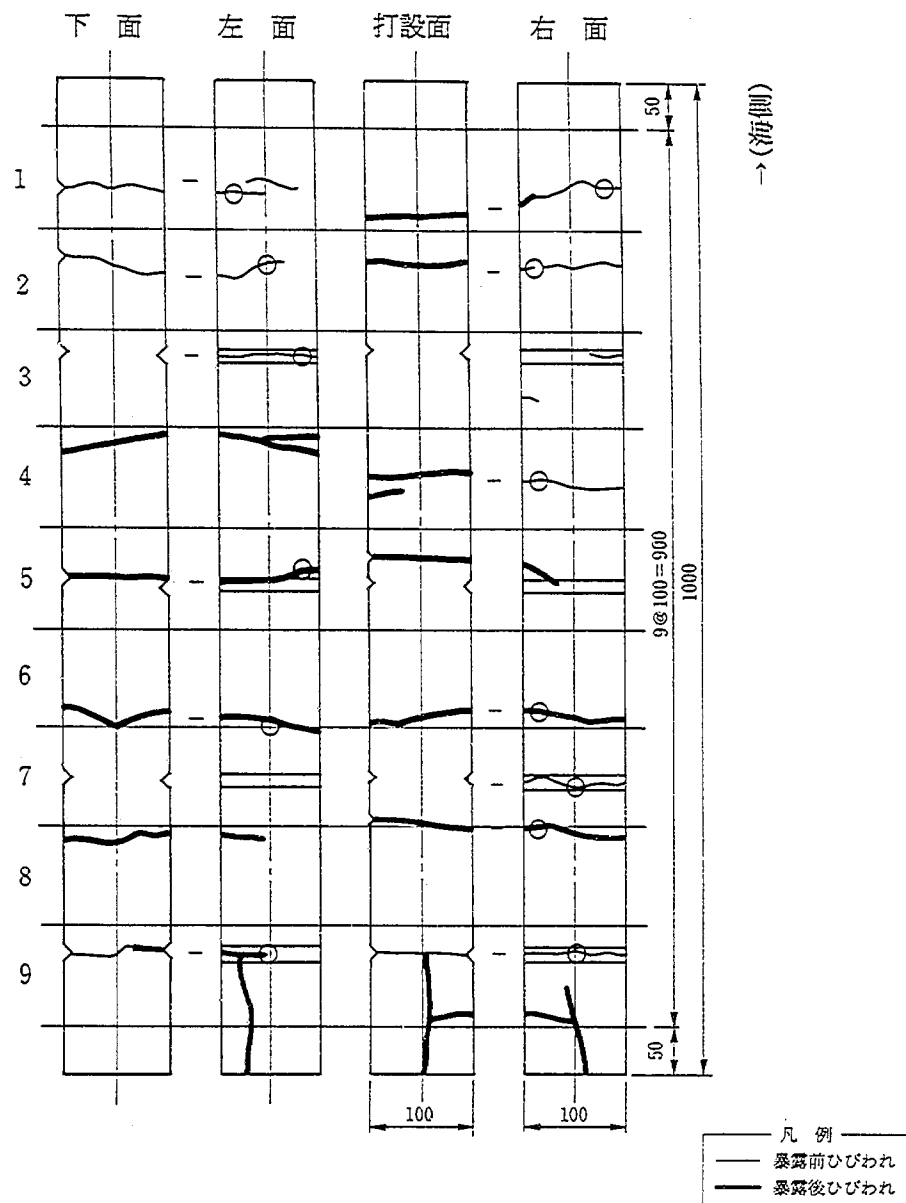


図-2.7.13 ひびわれ状況 M-N1 (5.5 年暴露)

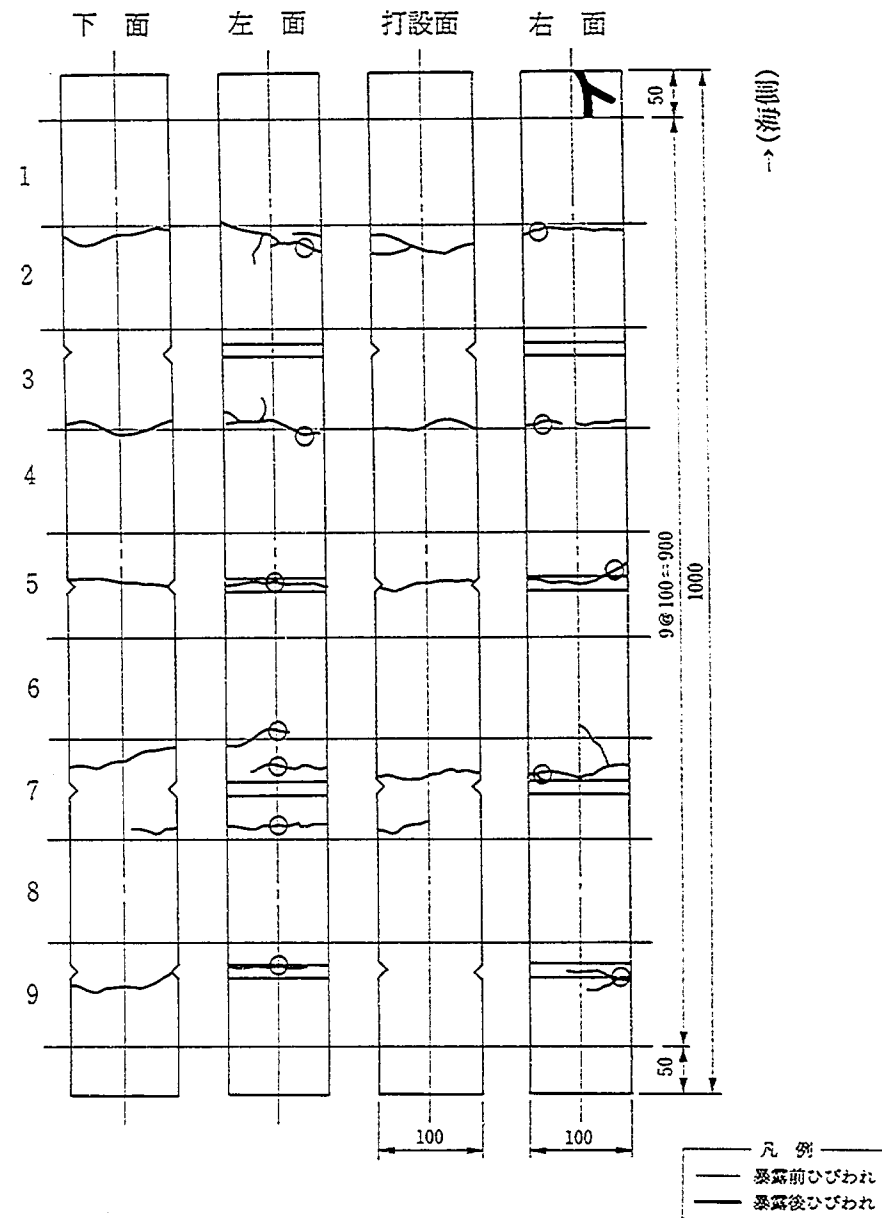
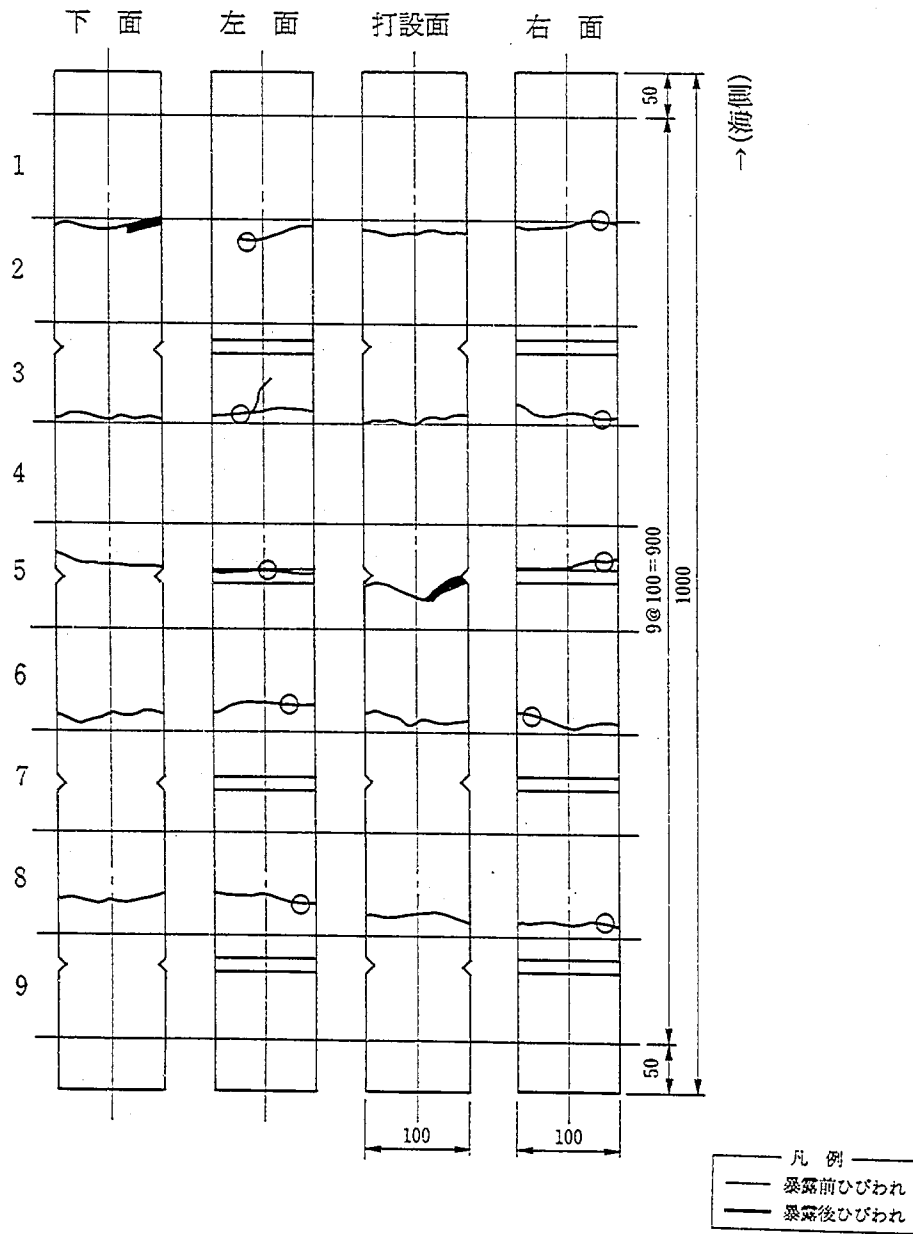
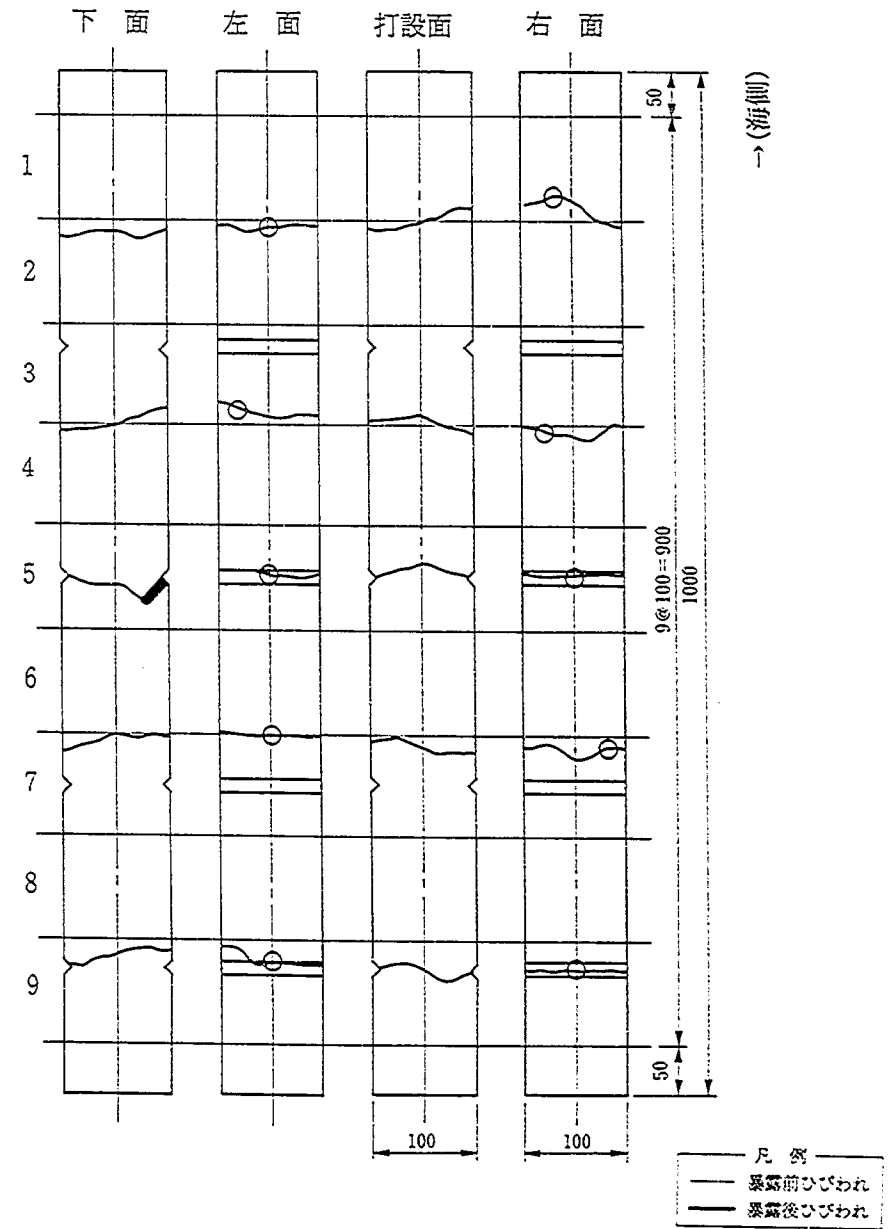


図-2.7.14 ひびわれ状況 A-Y3 (5.5 年暴露)



図—2.7.15 ひびわれ状況 A-N1 (5.5 年暴露)



図—2.7.16 ひびわれ状況 A-N4 (5.5 年暴露)

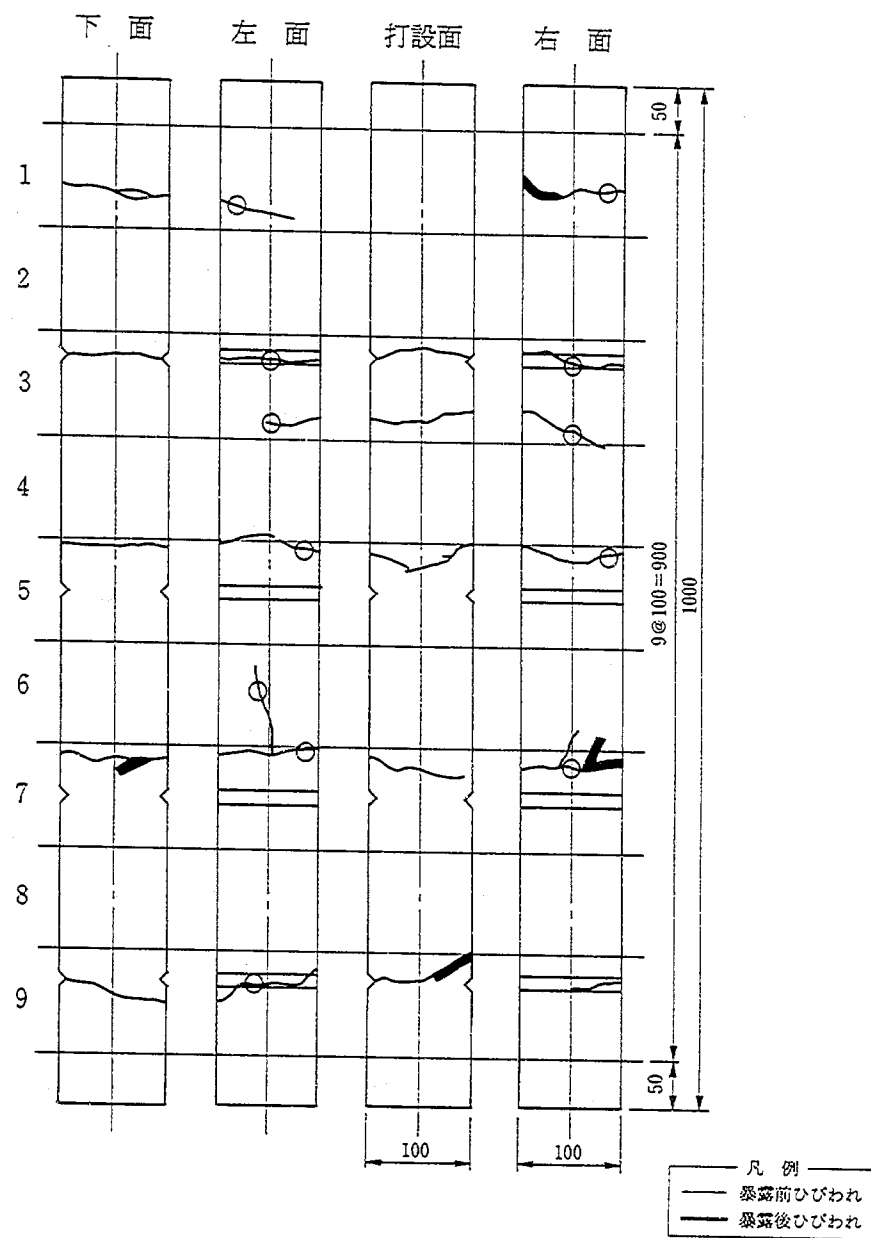


図-2.7.17 ひびわれ状況 B-Y3 (5.5 年暴露)

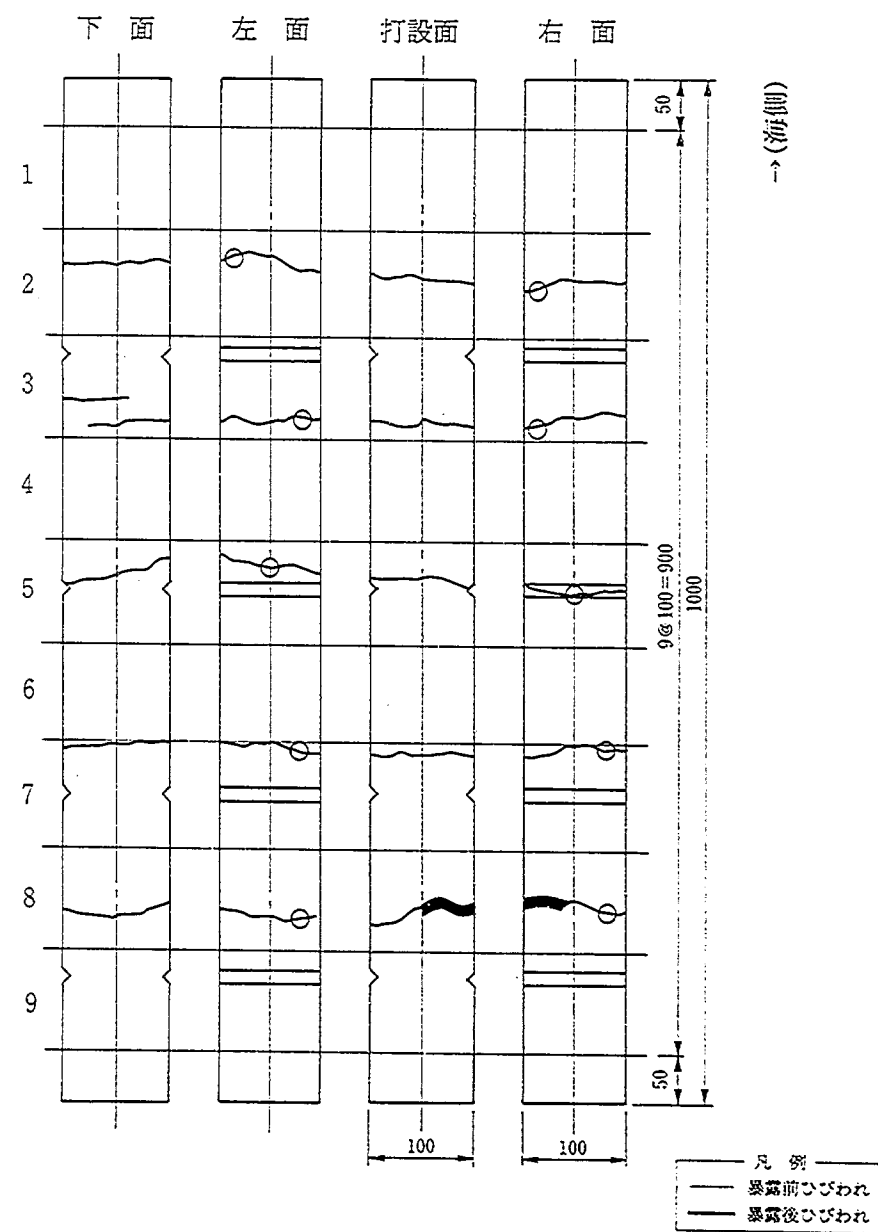


図-2.7.18 ひびわれ状況 B-N1 (5.5 年暴露)

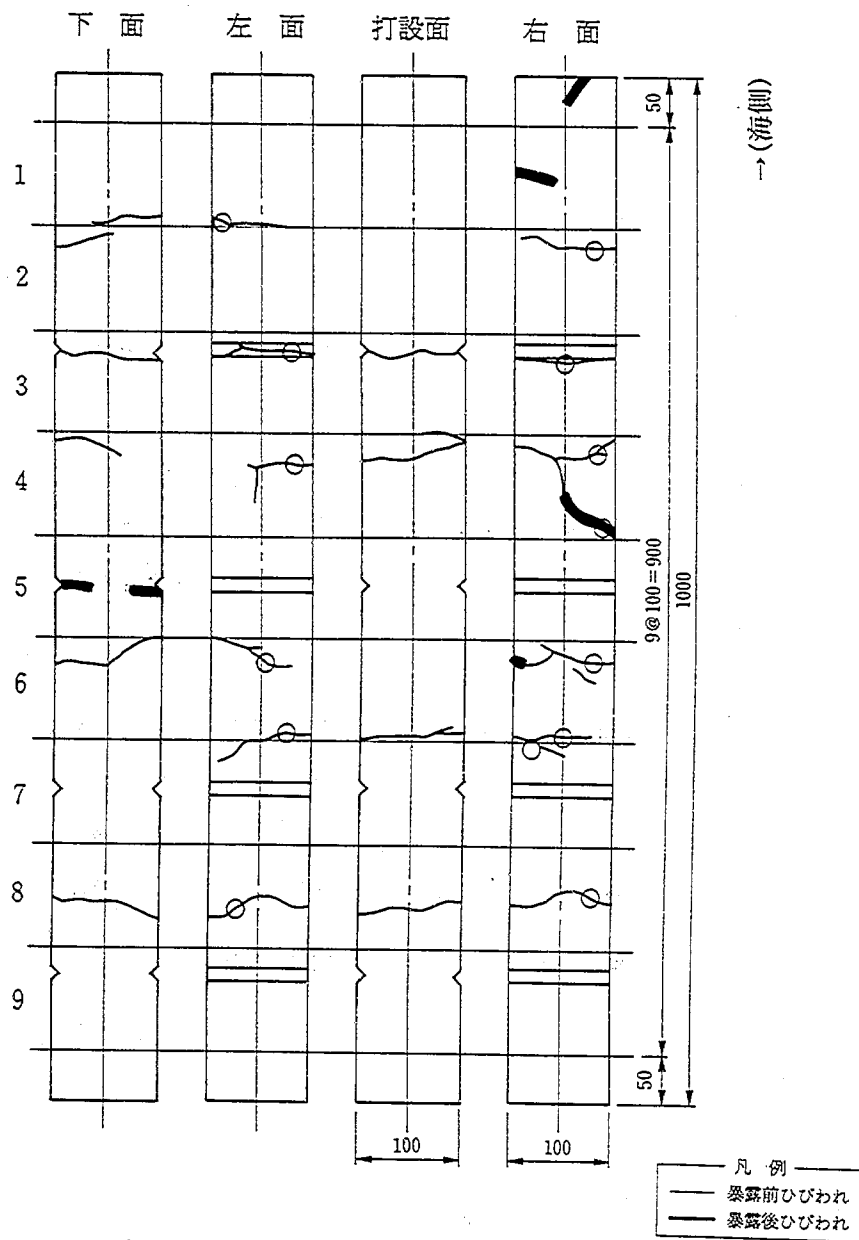


図-2.7.19 ひびわれ状況 C-Y2 (5.5 年暴露)

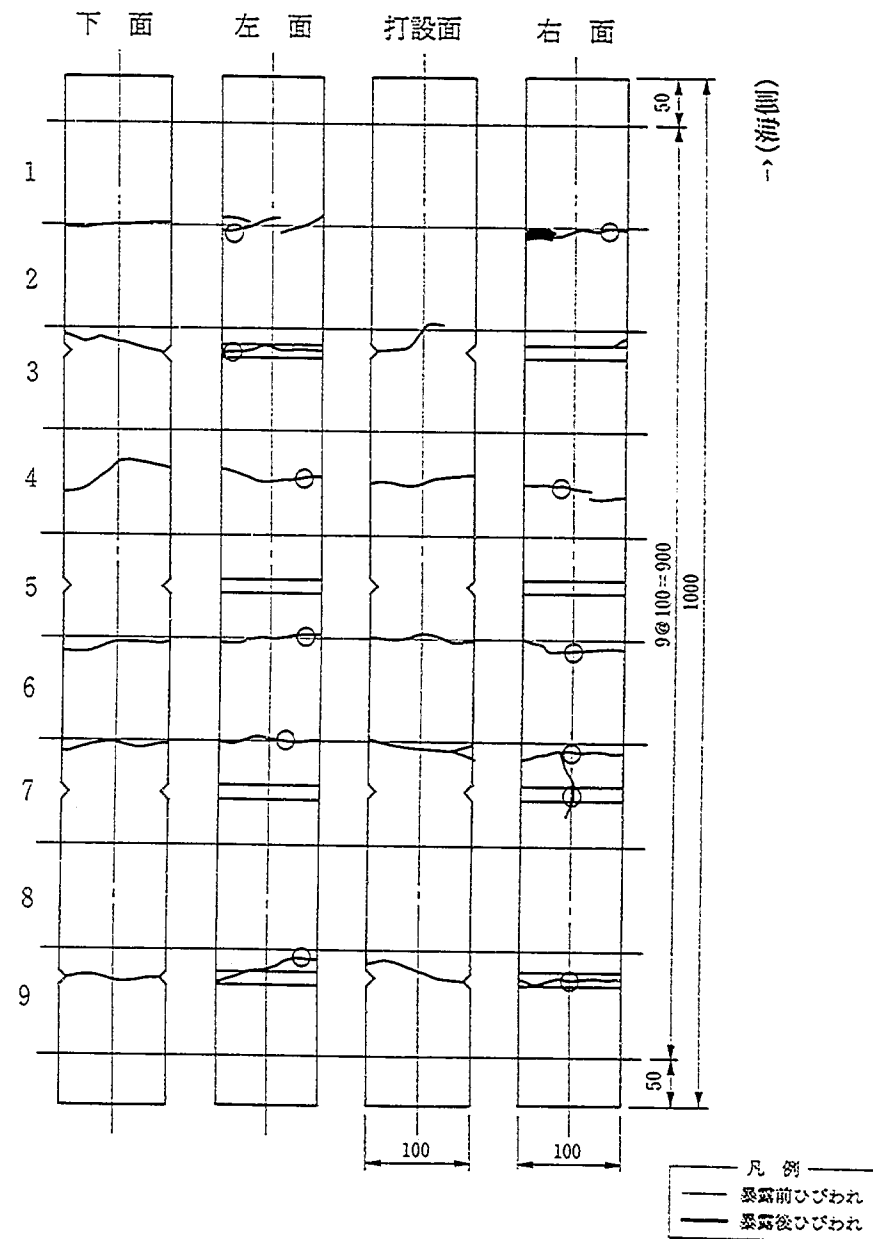


図-2.7.20 ひびわれ状況 C-N1 (5.5 年暴露)

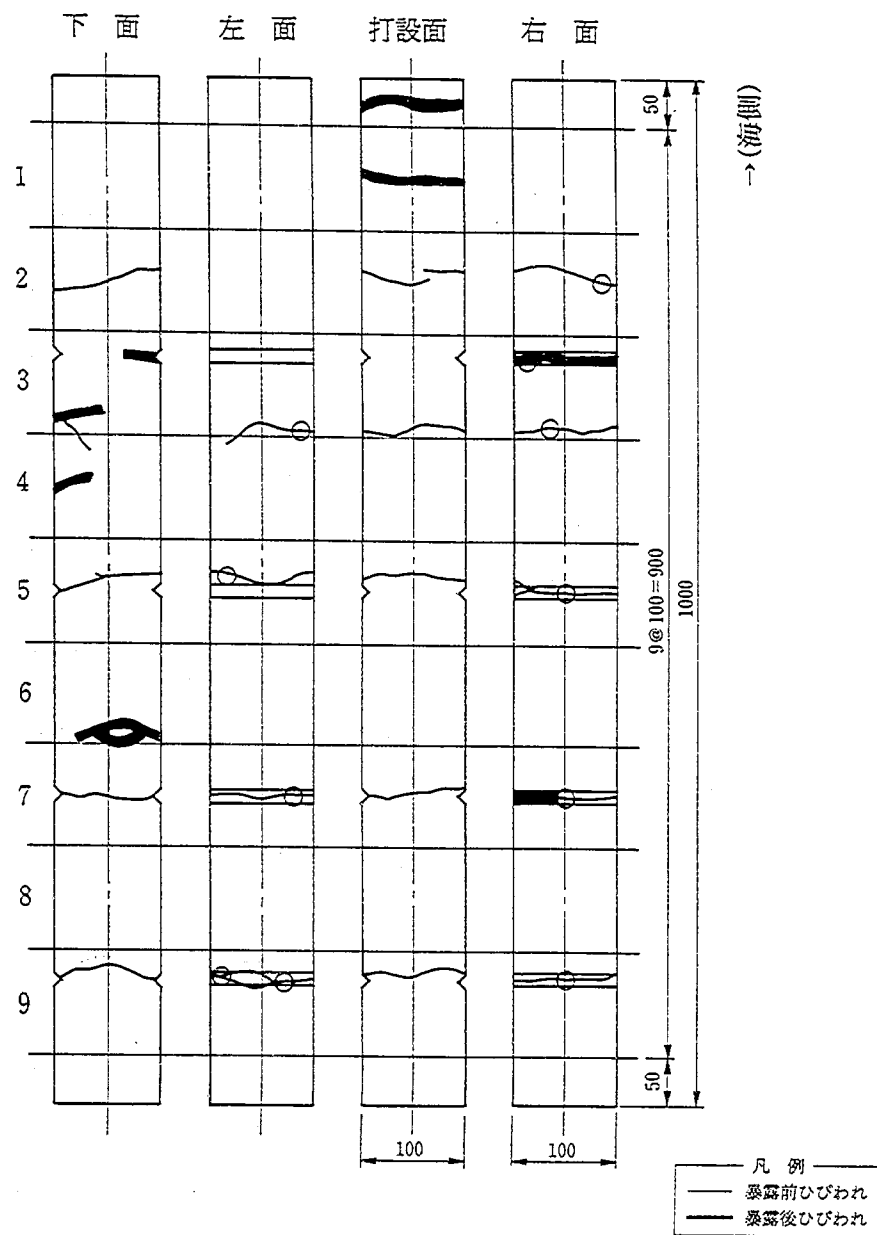


図-2.7.21 ひびわれ状況 D-Y2 (5.5 年暴露)

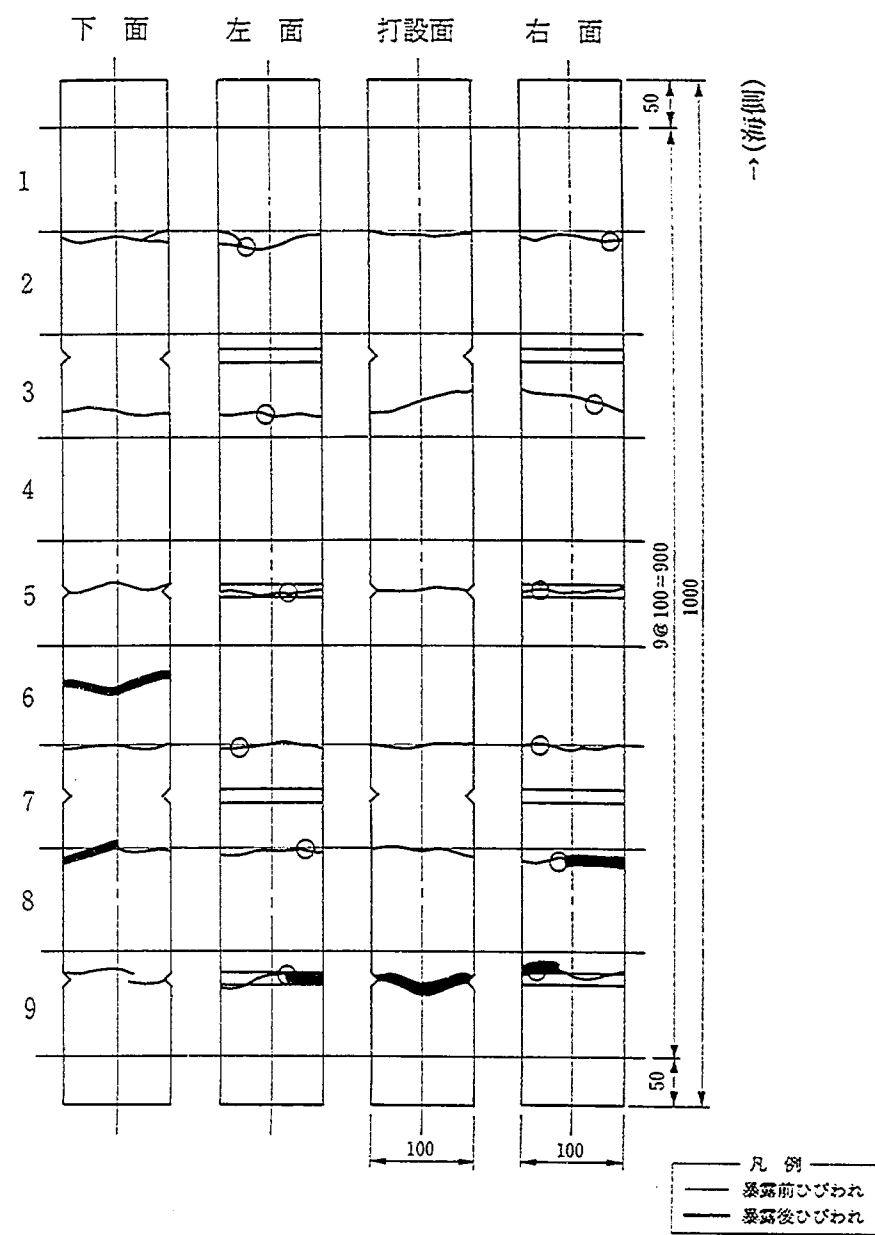


図-2.7.22 ひびわれ状況 D-N1 (5.5 年暴露)

表一2.10 ひびわれ幅測定結果

	供試体 No.		① 暴露前平均 ひびわれ幅	② 暴露後平均 ひびわれ幅	②-①(mm)
2.5 年 暴 露 供 試 体	M	Y 1	0.07	0.24	0.17
		N 1	0.08	0.04	-0.04
	A	Y 2	0.14	0.44	0.29
		N 2	0.07	0.07	0
		N 3	0.03	0.07	0.04
	B	Y 2	0.09	0.25	0.16
		N 2	0.10	0.13	0.03
	C	Y 1	0.08	0.16	0.08
		N 2	0.08	0.10	0.02
	D	Y 3	0.12	0.66	0.54
		N 2	0.15	0.09	-0.06
5.5 年 暴 露 供 試 体	M	Y 2	0.14	0.13	-0.01
		N 2	0.11	0.08	-0.03
	A	Y 3	0.16	0.11	-0.05
		N 1	0.14	0.12	-0.02
		N 4	0.17	0.11	-0.06
	B	Y 3	0.11	0.17	0.06
		N 1	0.10	0.08	-0.02
	C	Y 2	0.12	0.10	-0.02
		N 1	0.19	0.08	-0.11
	D	Y 2	0.11	0.08	-0.03
		N 1	0.13	0.10	-0.03

2.5.3 コンクリート中鉄筋の電位分布測定

(1) 図一2.8に電位分布測定結果を示す。この図より、D 供試体を除いては 2.5 年暴露供試体に比べ、5.5 年暴露供試体は、電位が卑（-）の方向に増加しているものの、A～D 供試体は供試体全長にわたって電位はほぼ一定の値を示している。

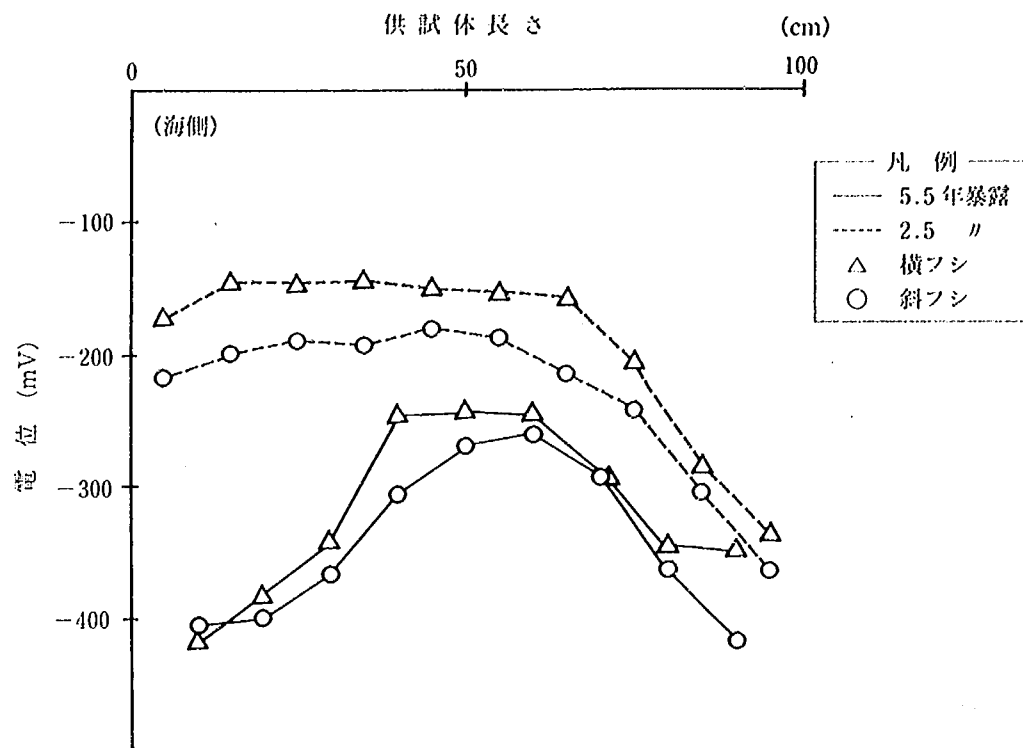
(2) 無処理鉄筋供試体は供試体端部の電位が中央部の電位に比べ卑（-）の方向に増加しており、供試体端部のコンクリートに縦ひびわれが発生していたことと合せて、内部鉄筋が腐食していることが十分に予想できると言える。

(3) なお、ASTM C 876-77 に準拠すれば、鋼材の腐食状態と電位 E との間には、

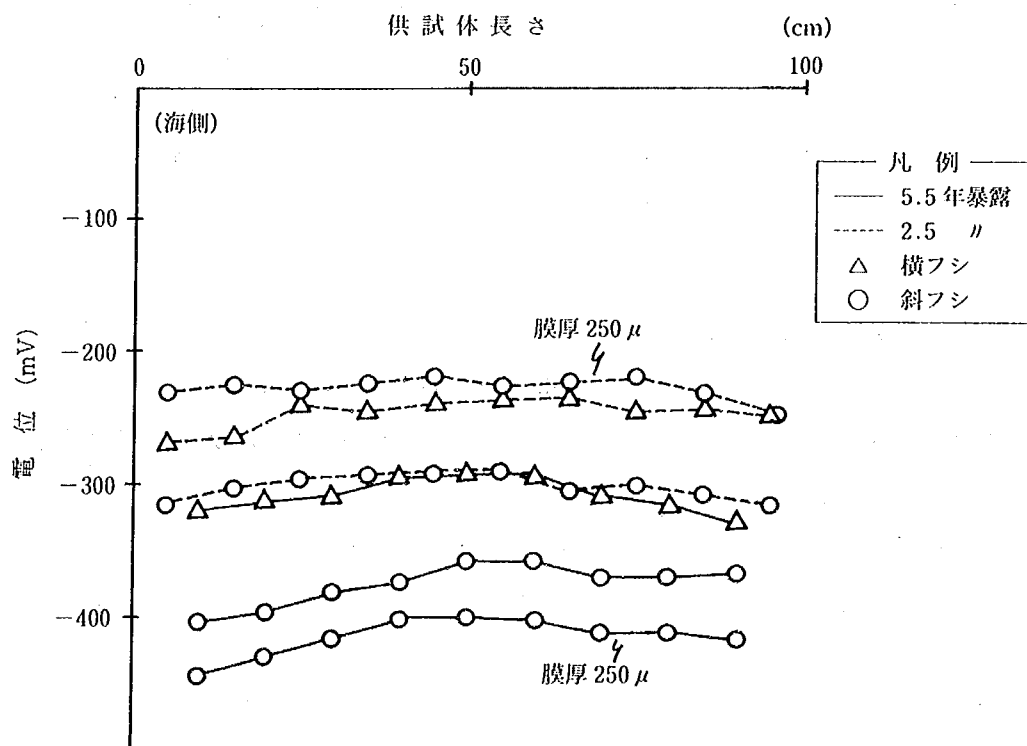
-0.12 < E 90%以上の確率で腐食が生じていない。

-0.27 < E ≤ -0.12 不確定。

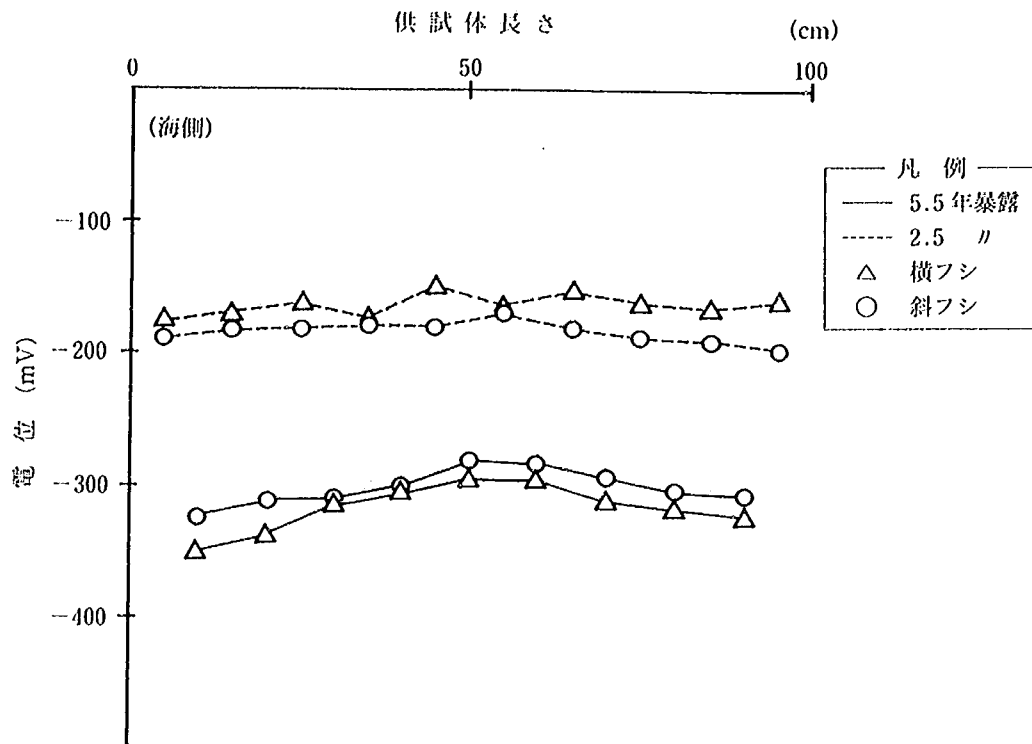
E < -0.27 90%以上の確率で腐食が生じている。



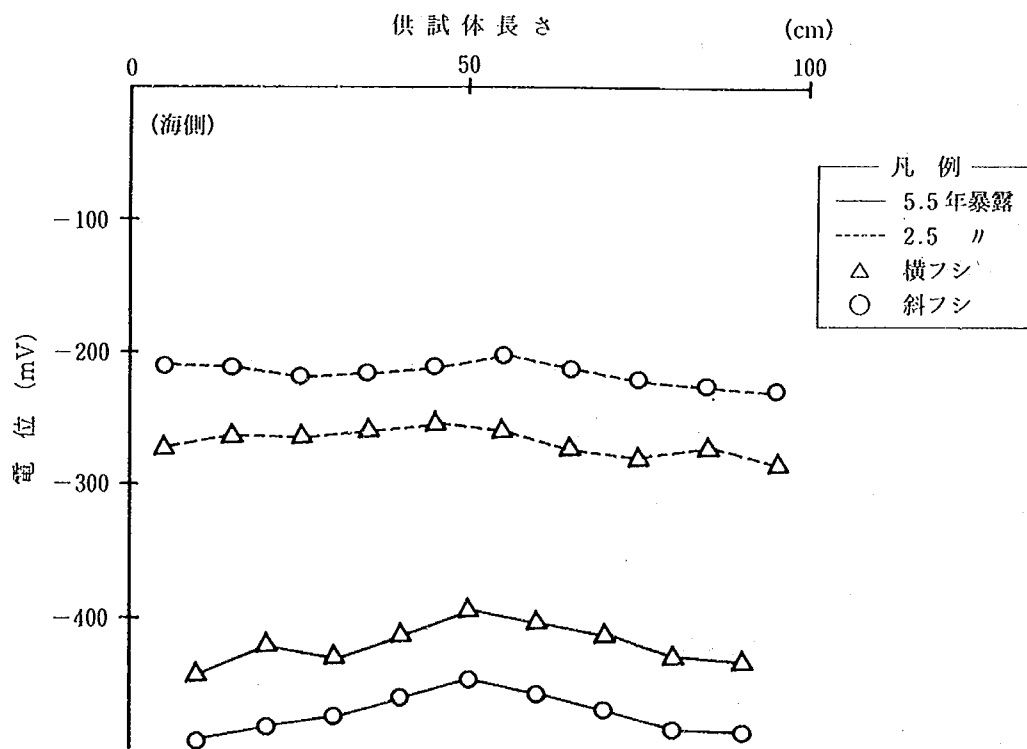
図一2.8.1 電位分布測定結果 (供試体：M)



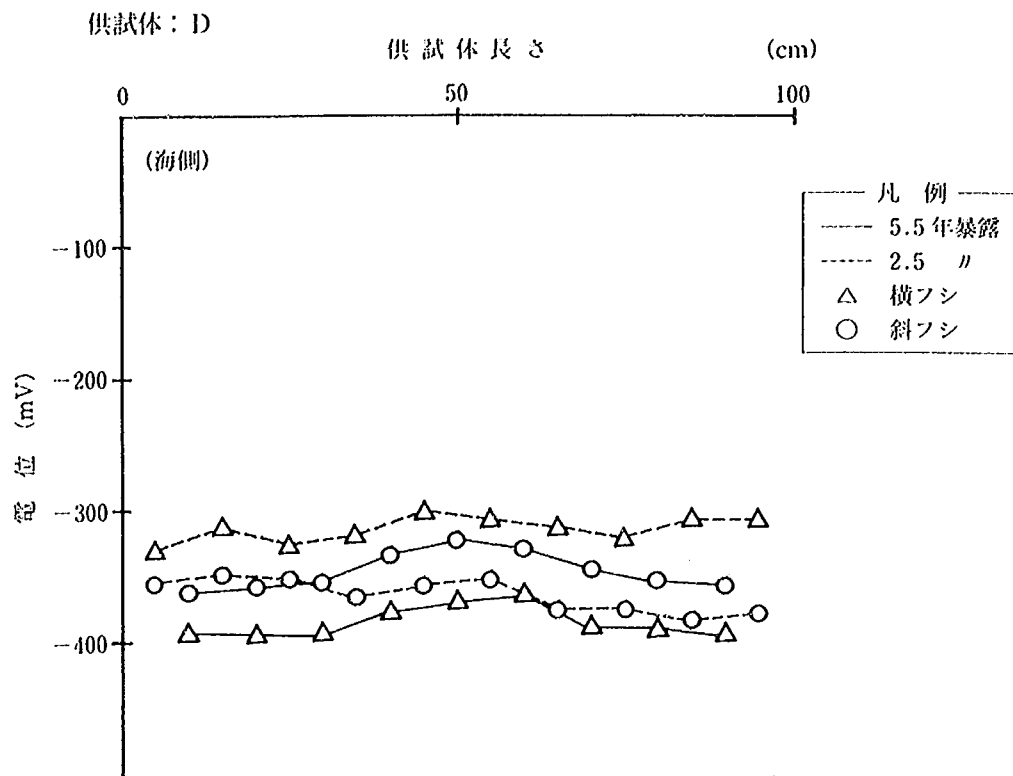
図一2.8.2 電位分布測定結果 (供試体：A)



図一2.8.3 電位分布測定結果 (供試体：B)



図一2.8.4 電位分布測定結果 (供試体：C)



図—2.8.5 電位分布測定結果 (供試体：D)

との関係があるとされている。無処理鉄筋を使用した供試体では、縦ひびわれの発生状況から推定して、こうした関係が適合すると思われるが、樹脂塗装鉄筋を使用した供試体については、いずれの供試体も電位は鋼材が腐食しているとされる電位であるが、外観観察、ひびわれ観察の結果からは内部鋼材が腐食していることは予想し難い。

こうしたことから、樹脂塗装鉄筋を用いた構造物の電位分布測定を行う場合には、必ずしも無処理鉄筋と同様に測定値を取り扱えないことを考慮する必要があると考えられる。

2.5.4 鉄筋の腐食度調査

(1) 鉄筋かぶりの実測値を表—2.11 に示す。

(2) 次に、鉄筋の腐食度調査結果を図—2.9 に示す。これより、鉄筋に腐食が認められたのは無処理鉄筋のみであった。表—2.12 に鉄筋の腐食長さ率を示す。

$$\text{腐食長さ率} = \frac{\ell_A + \ell_B + \ell_C}{L_0} \times 100 (\%)$$

ここに、 L_0 ：測定対象鉄筋の全長

ℓ_A, ℓ_B, ℓ_C ：腐食度 A, B, C に相当する腐食長さ

(3) これらの結果より、暴露期間が長くなるにつれて腐食長さ率は増大し、特に、腐食度 C のような断面欠損が明らかな著しい腐食が増大している。

(4) また、ひびわれ観察および電位分布測定結果からも予想されたことであるが、鉄筋の腐食は供試体端部ほど著しいことが調査の結果確認できた。一例を写真—2.1 に示す。

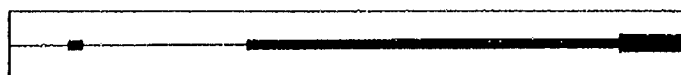
表一2.11 かぶり実測値

供試体		かぶり最小値 (cm)	暴露年	
			2.5	5.5
M	Y 1	2.8	○	
	Y 2	3.8		○
	N 1	3.0	○	
	N 2	3.0		○
A	Y 2	4.0	○	
	Y 3	4.0		○
	N 1	3.9		○
	N 2	3.0	○	
	N 3	2.7	○	
	N 4	3.8		○
B	Y 2	3.0	○	
	Y 3	3.9		○
	N 1	3.9		○
	N 2	4.0	○	
C	Y 1	3.0	○	
	Y 2	3.5		○
	N 1	3.0		○
	N 2	2.8	○	
D	Y 2	3.4		○
	Y 3	4.0	○	
	N 1	3.0		○
	N 2	3.0	○	

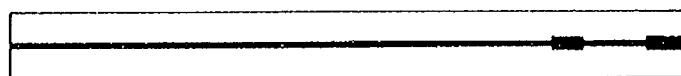
表一2.12 鉄筋の腐食長さ率

供試体		腐食度別腐食長さ率(%)			腐食長さ 率 (%)	暴露年	
		A	B	C		2.5	5.5
M	Y 1	57	10	0	67	○	
	Y 2	22	3	65	100		○
	N 1	90	10	0	100	○	
	N 2	49	4	47	100		○

M-Y 1

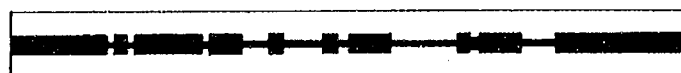


M-N 1



凡 例	
----	腐食なし
—	腐食度A
—	“ B
—	“ C

M-Y 2



M-N 2

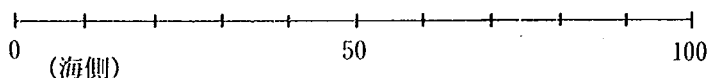
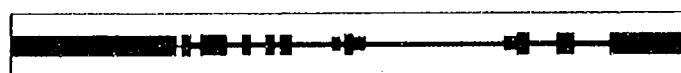


図-2.9 鉄筋腐食度

(5) 次に樹脂塗装鉄筋の塗膜観察結果を写真-2.2~2.4に示す。写真-2.2は供試体を製作する際に塗膜を人為的に損傷させ、鉄筋素地を露出させたまま暴露試験に供したものであるが、鉄筋素地にはごく軽微な錆が見られるほかは塗膜内部への錆の進行などはまったく見受けられない。

(6) 写真-2.3にD供試体の塗膜のはく落状況を示す。塗膜のはく落は供試体割裂時に生じたものであるが、いずれもピンホール集中部よりのはく落が生じていた。このような塗膜のはく落はB~D供試体に共通して見受けられたことであったが、A供試体は写真-2.4に示すとおりはく落は生じていなかった。

2.5.5 コンクリートの中性化深さ試験

(1) コンクリートの中性化はひびわれ部ではひびわれに沿って鉄筋位置に達するまで中性化が進行していたものの、ひびわれ部以外のコンクリートの中性化深さは、最大で1.5 mmであった。

(2) このように中性化がほとんど進行していない原因としては、供試体が海水の干満帯にあるためにコンクリートが常時湿潤状態に近い環境にあったことと、海水中の硫酸塩がセメント中の C_3A と反応して膨張性のエトリンガイトを生成し、その結果、コンクリート表面の空隙が減少したことによると推測できる。



写真-2.1 M-Y2 鉄筋の腐食状況



写真-2.2 A-N1 塗装鉄筋の塗膜損傷部状況



写真-2.3 D-N1 塗装鉄筋のピンホール部塗膜損傷状況
(写真中、青線部が暴露前の測定においてピンホールが集中していた部分)



写真-2.4 A-Y3 塗装鉄筋のピンホール部状況
(写真中、青線部が暴露前の測定においてピンホールが集中していた部分)

2.5.6 コンクリート中の塩分量測定試験

(1) 図-2.10 にコンクリート中の全塩分量測定試験結果を示す。

(2) この図より、2.5 年暴露供試体に比べ、5.5 年暴露供試体の塩分量は 2~3 倍程度に増加蓄積されているが、供試体表層部と中央部での塩分量の関係および供試体長さ方向での塩分量の関係は明確には把握できなかった。これは、供試体が常時湿潤状態に近い状況にあったためと思われる。

(3) いずれにしてもこのように塩分が大量に浸透しているにもかかわらず、樹脂塗装鉄筋が腐食していないことは、樹脂塗装鉄筋の良好な防食性能を示しているといえる。

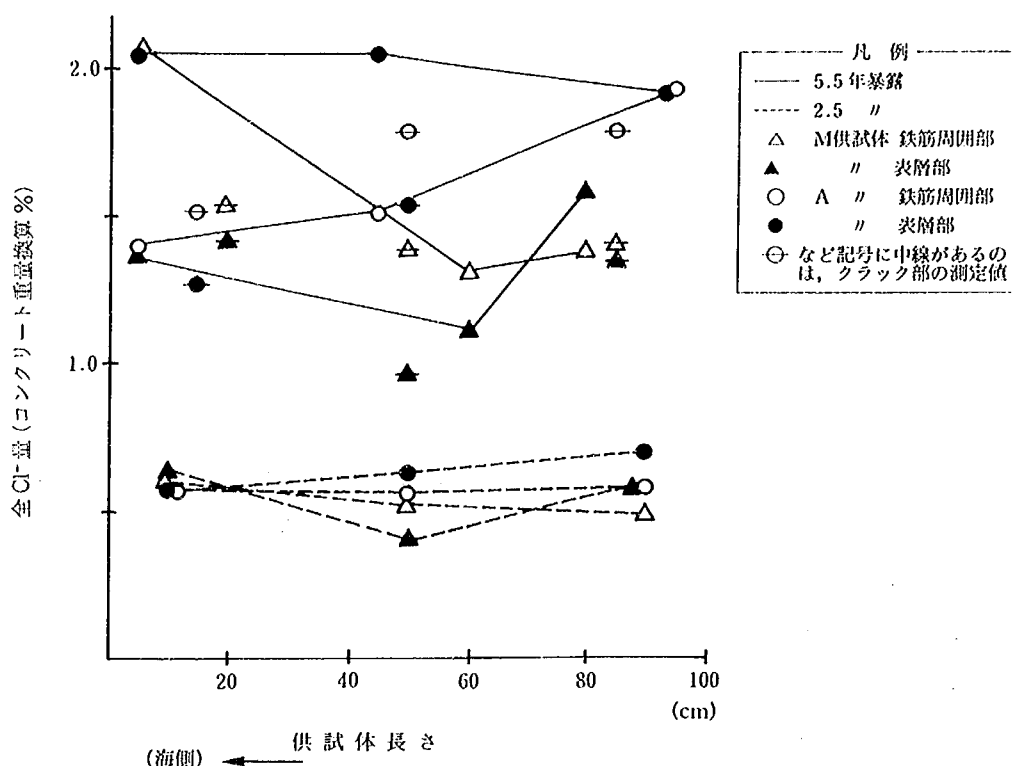


図-2.10 コンクリート中の塩分量測定結果

2.6 まとめ

(1) 今回の暴露試験は、供試体が常時湿潤状態に近い状況にあるなど暴露条件としては比較的緩やかだったものの、樹脂塗装鉄筋の十分な耐食性が確認できた。

(2) 今回の調査で明らかとなったピンホール部からの塗膜の劣化に対処するには「エポキシ樹脂塗装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)の樹脂塗装鉄筋の品質規準(案)に拠るのがよいと思われる。

3. 海洋上における樹脂塗装鉄筋の暴露試験

3.1 試験の概要

樹脂塗装鉄筋を実際の構造物に使用するにあたっては、施工時に塗膜が損傷して鉄筋素地が露出したり、コンクリートにひびわれや打継目が存在する場合など鉄筋の腐食をより助長させる環境下での防食効果を確認する必要がある。

本試験は以上の条件を考慮して製作した供試体を静岡県大井川町沖合に建設された「海洋技術総合研究施設」（以下「施設」と呼ぶ）の海上約9mのデッキに1984年6月より設置したものであり、解体調査は次年度以降行う予定であるが、この間、外観観察を中心に定期調査を行ってきたのでその結果について報告する。

3.2 使用材料

「樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験(2)」を参照されたい。

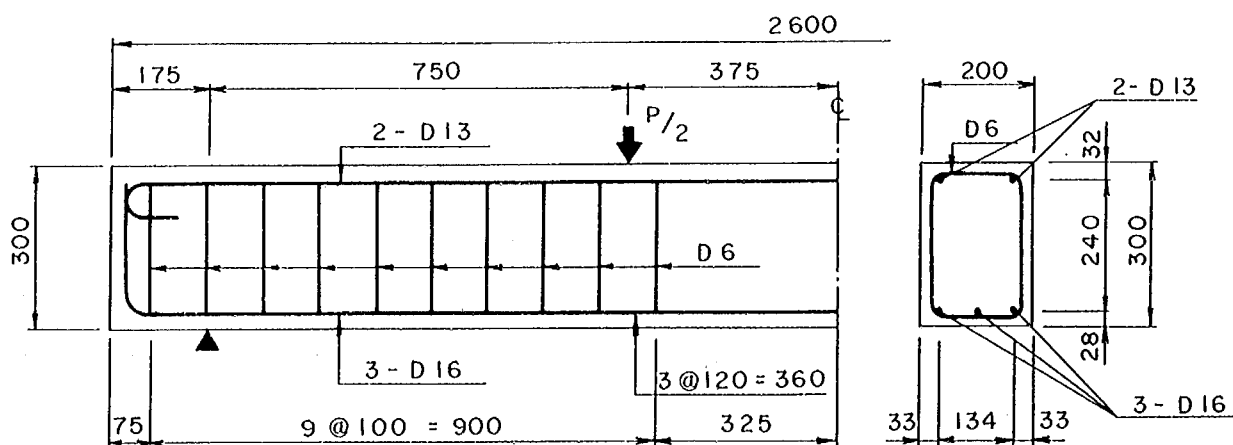
3.3 供試体

3.3.1 供試体の形状寸法および種類

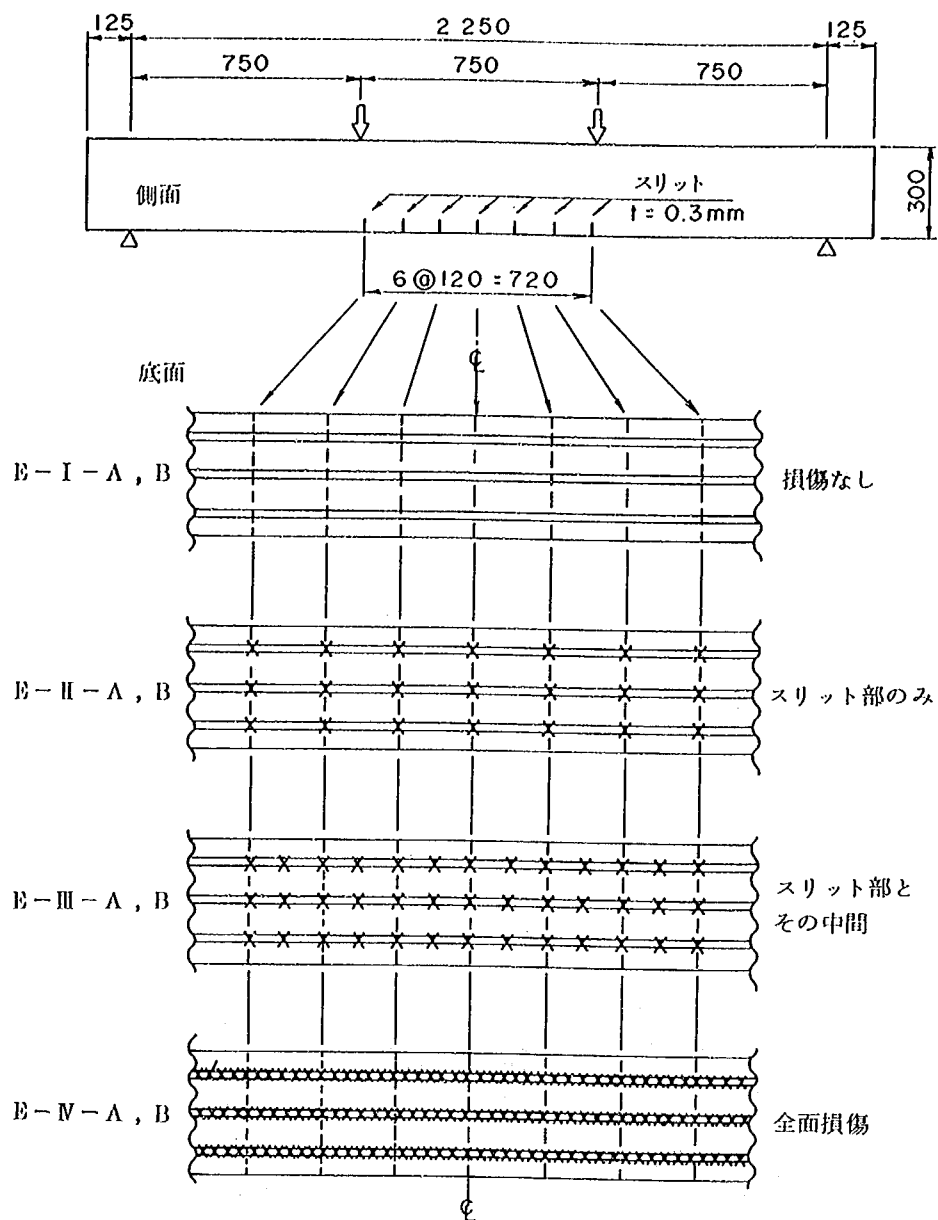
詳細については「樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験(2)」を参照されたい。ここではシリーズⅠ供試体（樹脂塗装鉄筋損傷梁）およびシリーズⅡ供試体（T形断面梁）の形状寸法および種類を図—3.1～3.4、表—3.1～3.2に示す。

3.3.2 ひびわれの導入

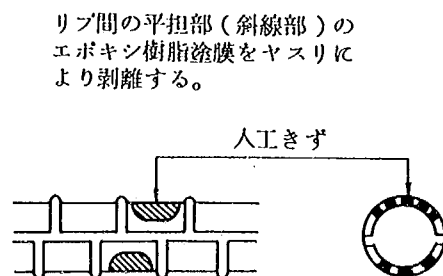
ひびわれ導入のための荷重の詳細は前記資料を参照されたいが、概要を示すとシリーズⅠ供試体およびシリーズⅡ供試体ともに主鉄筋応力度 $\sigma_s = 2700 \text{ kg/cm}^2$ となる荷重を上限荷重として5回繰返し荷重を行った。



図—5.1 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁の形状寸法（mm）



図一3.2 スリットの設置位置とエポキシ樹脂塗膜の損傷レベル



図一3.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋の人工きず

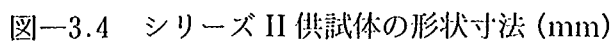


表-3.1 シリーズII供試体

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 ○ モルタルスパーサー ○ 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 ○ モルタルスパーサー ○ 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 ○ スパ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-3.2 シリーズII供試体

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	モルタルスパーサー	同 左	モルタルスパーサー プラスチックスパーサー	—
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鋼より繰 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

3.3.3 暴露供試体の組立て

(1) 組立ての概要

シリーズ I 供試体 8 体, シリーズ II 供試体 4 体を施設上に設置するため, 載荷試験によってコンクリートにひびわれを発生させた供試体は暴露期間中も一定のひびわれ幅を保つようにして供試体を組立てた。なお, 円柱供試体 15 本は架台 (KW-2 白) に取り付けた。

(2) ひびわれ再発現・保持

荷重を載荷してコンクリートにひびわれを発生させたシリーズ I 供試体 8 体, シリーズ II 供試体 2 体 (①, ②供試体) を図-3.5 のように載荷の際の圧縮側の面を向い合せにして重ね合せ, ボルトを締め付けることによって載荷の際に発生したひびわれを再発現させた。ボルトの締め付けはコンクリートのひびわれ幅を測定しながら行い, 載荷試験の上限荷重時でのひびわれ幅と同様となるまで締め付けた。

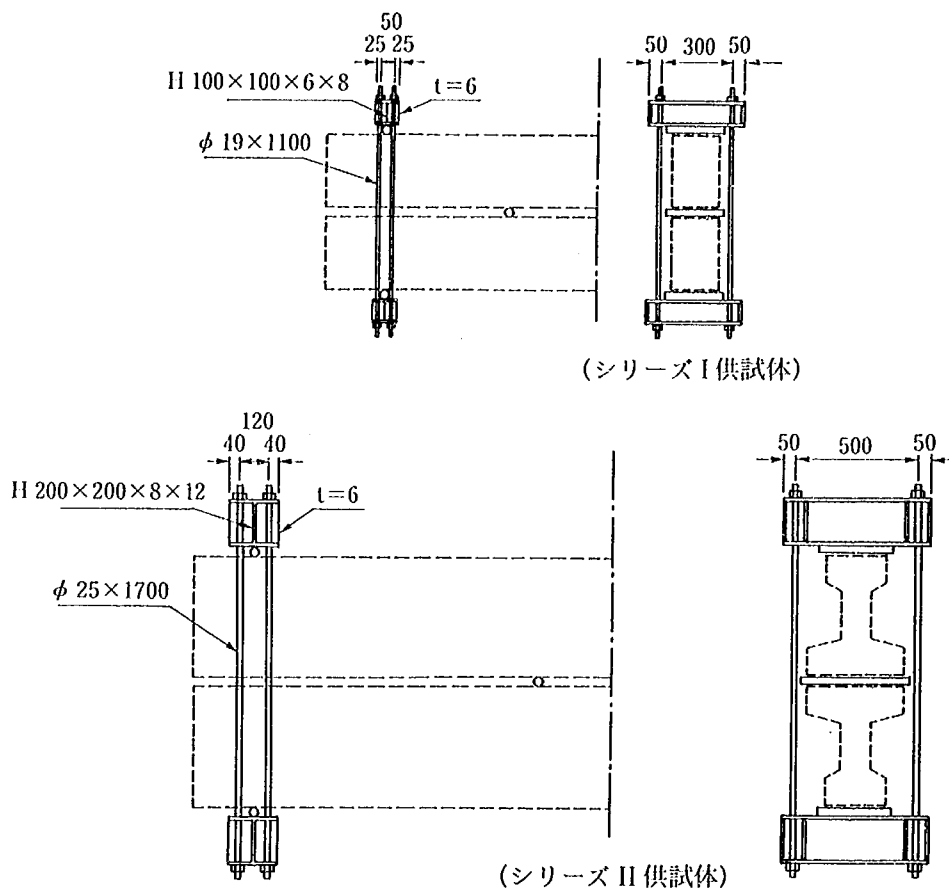


図-3.5 供試体の締め付け状況

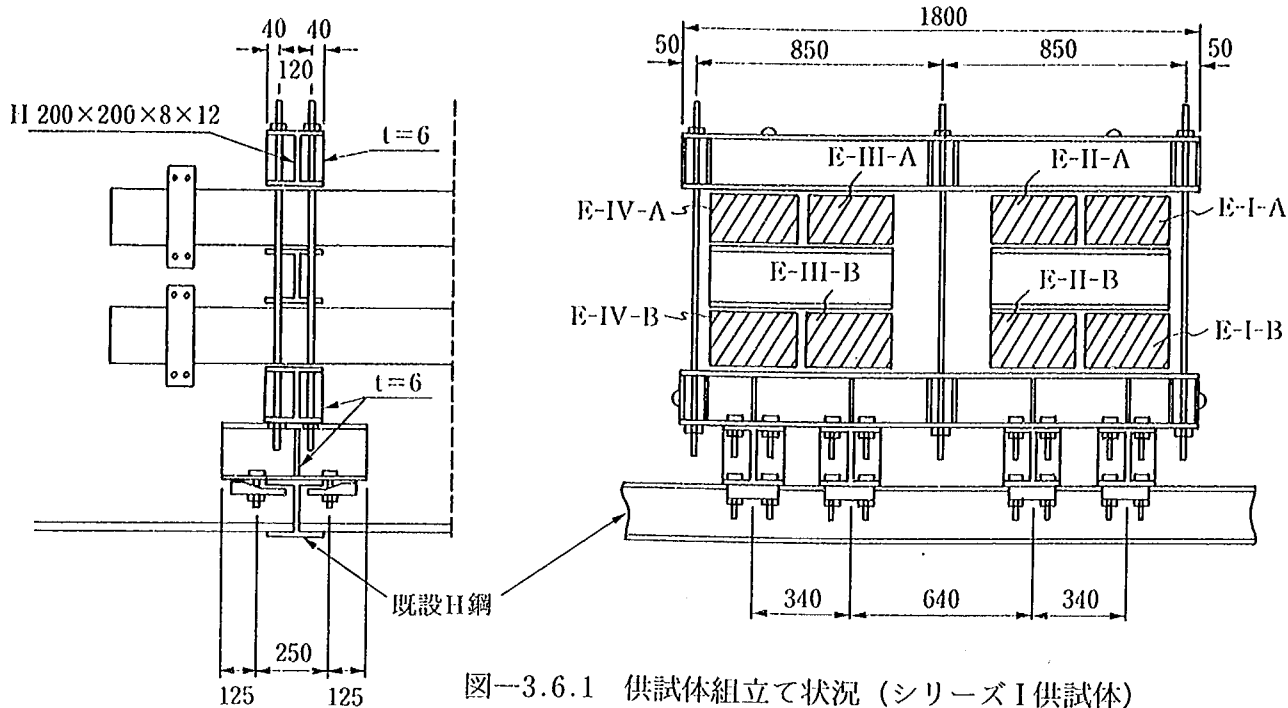
ボルト締め付けののち, シリーズ I 供試体 112 点 (14 点/体), シリーズ II 供試体 20 点 (10 点/体) のひびわれ幅の測定を行った。

(3) 暴露用組立て

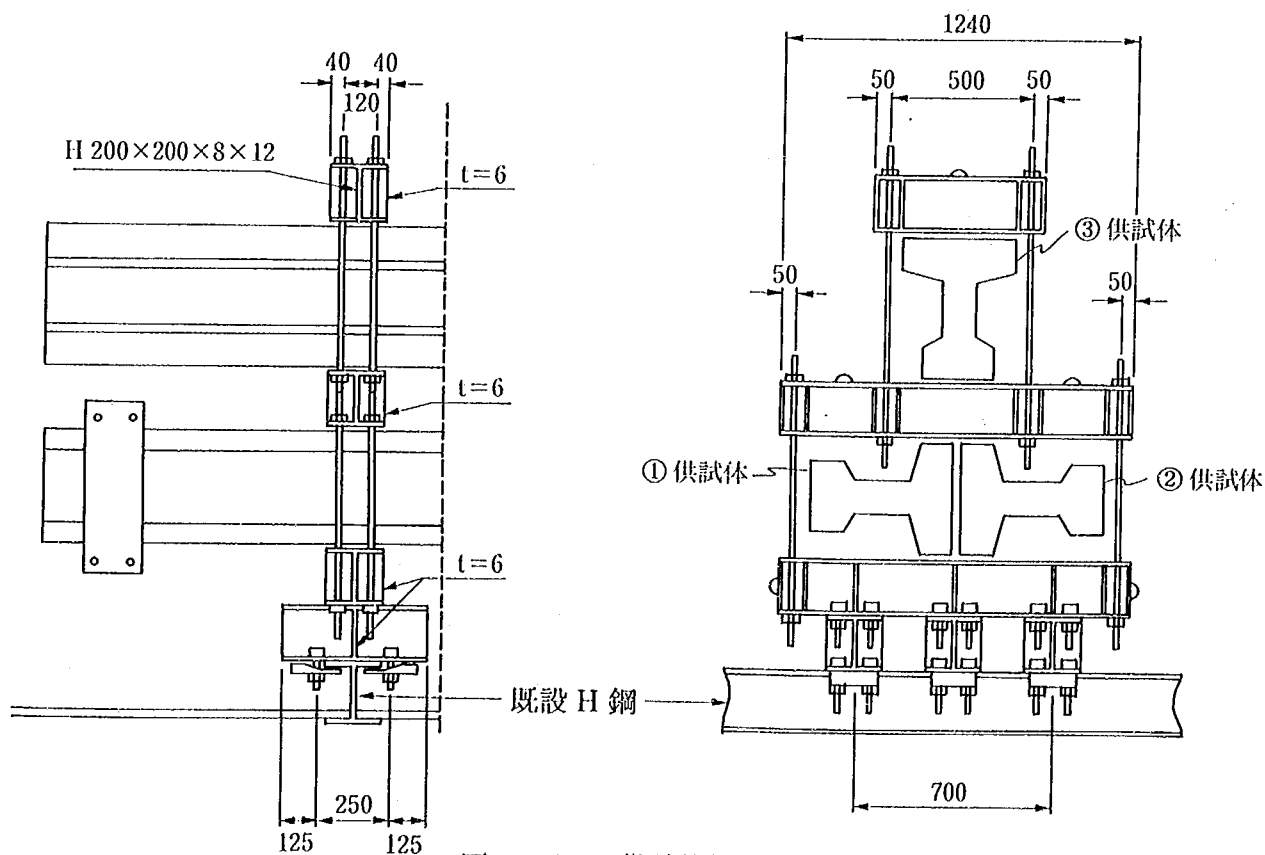
(2) で重ね合せた供試体を施設上に設置するため, 図-3.6 に示すように組立てた。

なお, 供試体の重ね合せならびに暴露用組立てに用いた治具は SS 41 (棒鋼 $\phi 25$, $\phi 19$ は SS 50)

の鋼材を使用し、塗装の素地調整は3種ケレン、塗装は鉛丹さび止めペイント2種2回塗り、合成樹脂調合ペイント中塗・上塗各1回とした。また、組立ての過程で損傷した塗装はタールエポキシ樹脂塗料で補修した。



図一3.6.1 供試体組立て状況（シリーズI供試体）
※）供試体 No. は陸側より矢視



図一3.6.2 供試体組立て状況（シリーズII供試体）
※）供試体 No. は陸側より矢視

3.3.4 供試体設置

(1) 設置場所

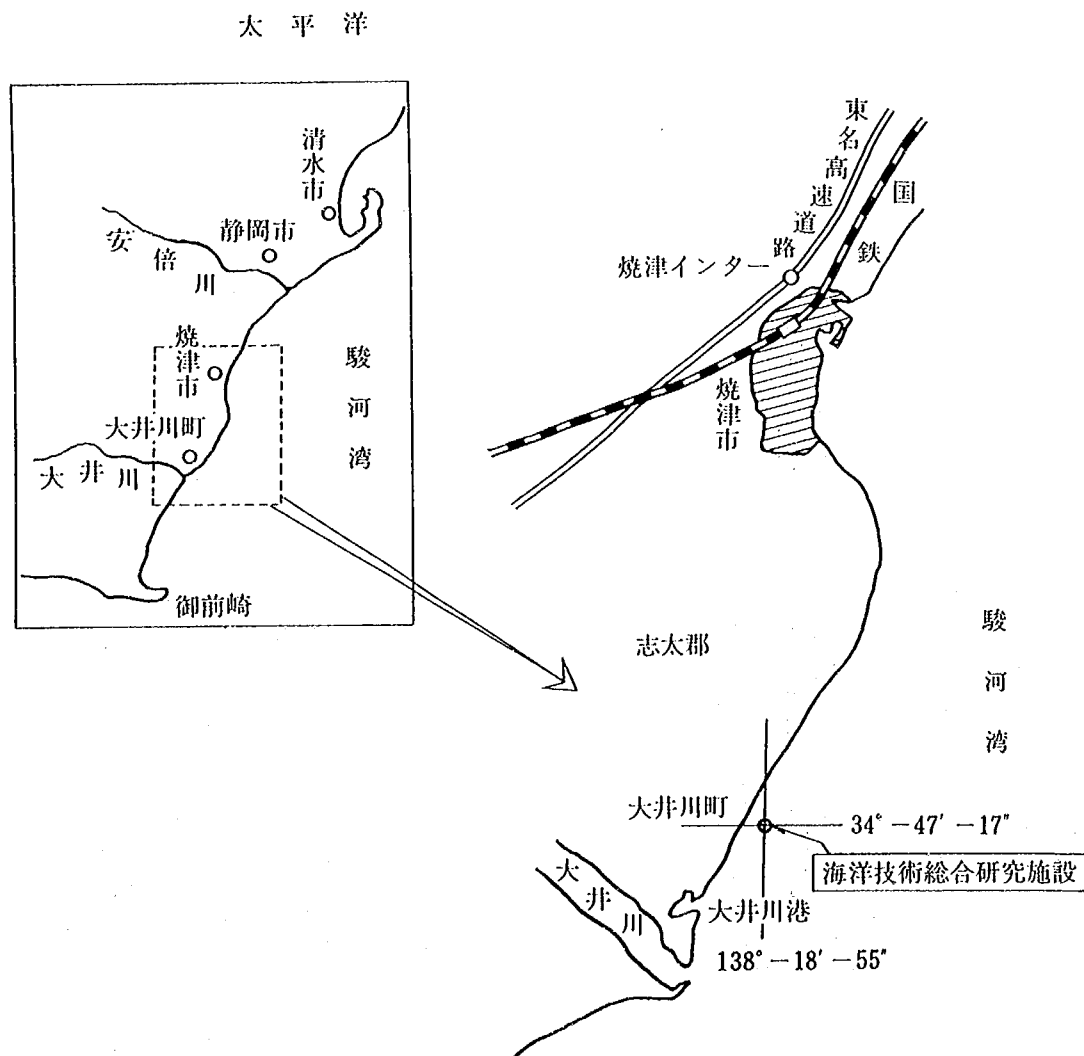
暴露地点となる施設は、海洋構造物の耐久性や劣化対策調査などの海洋技術に関する総合研究を目的として、駿河湾内の静岡県大井川町の沖合 250 m、水深約 7.5 m の地点（図一3.7）に建設されたものである。施設の構造は、図一3.8 に示すように 9 本の鋼管杭からなる鋼製プラットフォーム形式で、一辺 15 m 四方、海面上の高さ 14 m の規模のものである。

施設上での供試体設置箇所は第 2 デッキ東南部とした（図一3.9 斜線部分）。この箇所は第 1 デッキによる日光、雨水の遮断・緩和作用がなく、天然の腐食性環境下での構造物の耐久性を調査するのに適している。

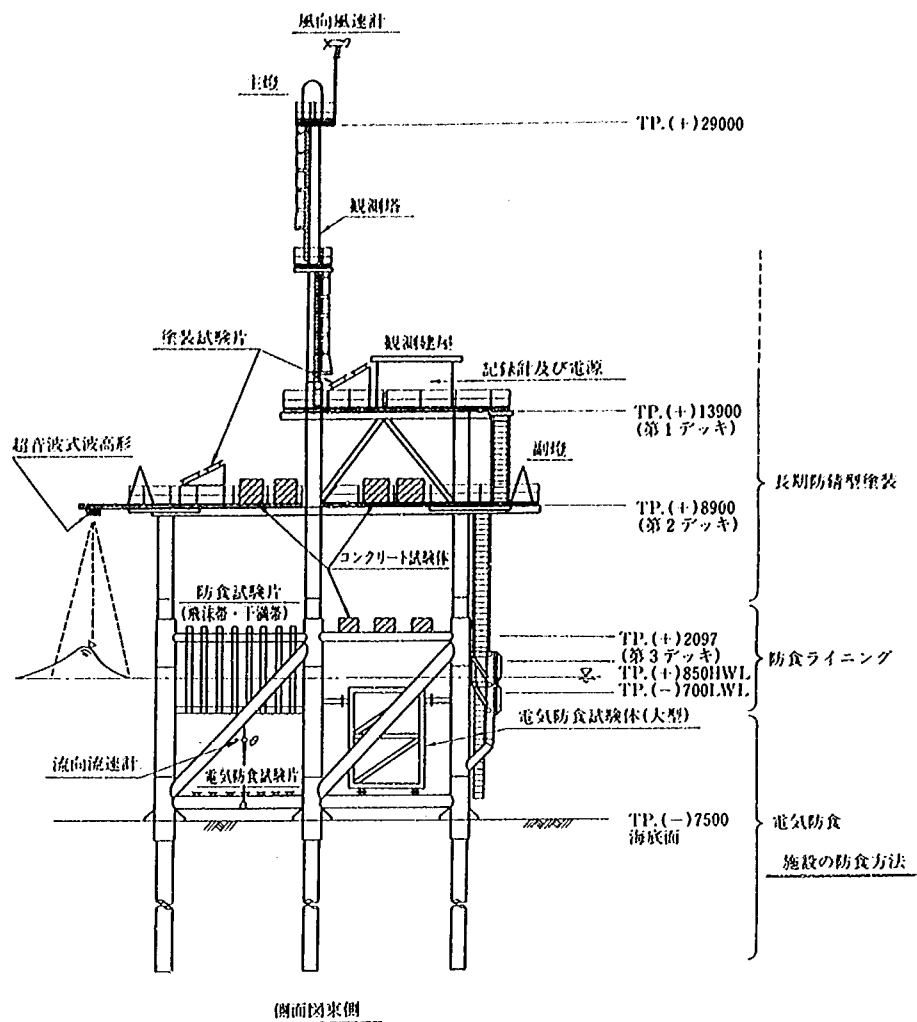
(2) 設置状況

組立てた供試体を図一3.6 に示すように組立て用治具とデッキ既設の H 鋼に締め付けた。なお、既設 H 鋼の塗膜を傷つけないよう締め付け治具との間にゴムをはさんだ。

シリーズⅡ ④ 供試体（鉄筋組立てのみ）はデッキ既設の H 鋼上にそのまま設置した。

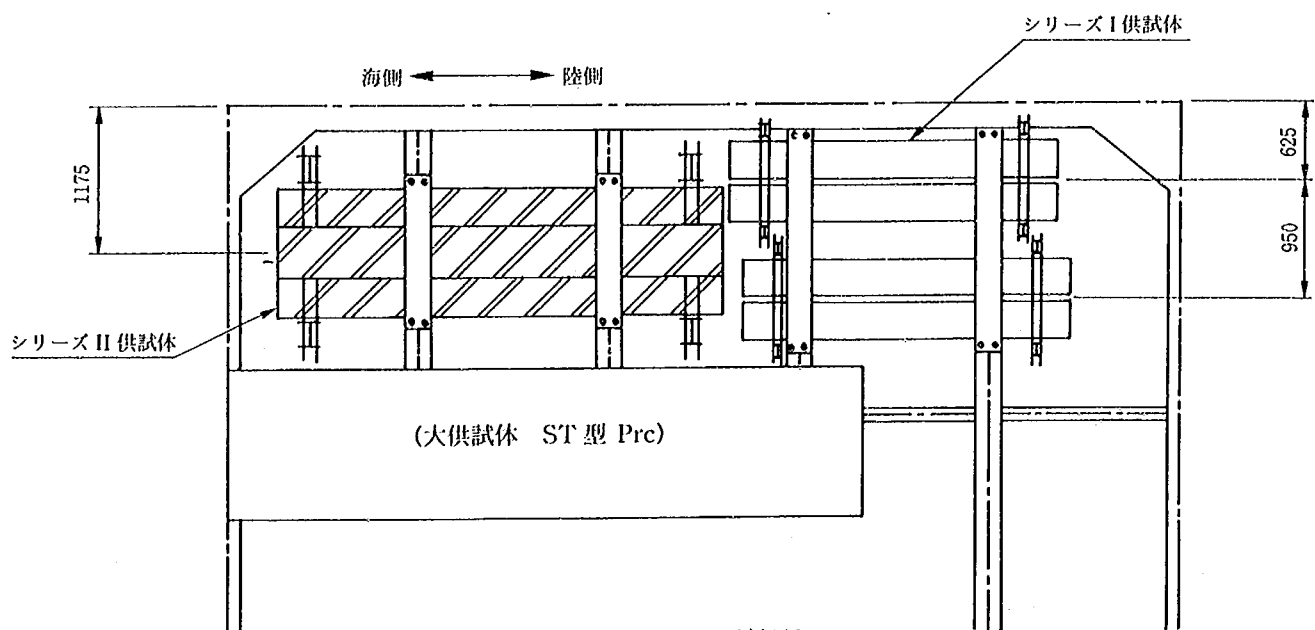


図一3.7 海洋技術総合研究施設位置図



図一3.8 海洋技術総合研究施設 (海洋暴露試験施設)

供試体配置図



図一3.9 供試体設置箇所

3.4 試験項目および試験方法

3.4.1 供試体の外観観察

目視によってコンクリートの浮き，はく落ならびにコンクリート表面の錆汁の有無等を確認した。

3.4.2 ひびわれ観察

暴露試験の間に新たに発生したひびわれを観察するとともに，クラックスケールを用いてひびわれ幅を測定した。

以上の試験は，85年6月および86年7月の2度の定期調査の際に行った。

3.5 試験結果

(1) ひびわれ幅の測定結果を表-3.3～3.4に，また，ひびわれ状況を図-3.10に示す。なお，外観観察の結果からは，コンクリートに浮き，はく離などの異常は認められず，錆汁も観察されなかった。

(2) これらの結果からは内部鉄筋に著しい腐食は生じていないと推定できる。

表-3.3.1 ひびわれ幅測定結果 (E-I-A)

No.	ひびわれ幅 (mm)		
	初期値	1 年後	2 年後
		85. 6.26	86. 7.16
①	0.10	0.08	0.05
②	0.15	0.20	0.10
③	0.15	0.08	0.06
④	0.20	0.10	0.10
⑤	0.15	0.10	0.10
⑥	0.20	0.10	0.08
⑦	0.07	0.05	0.06
⑧	0.15	0.08	0.08
⑨	0.20	0.10	0.13
⑩	0.15	0.10	0.10
⑪	0.05	0.05	0.06
⑫	0.15	0.08	0.08
⑬	0.15	0.08	0.06
⑭	0.10	0.05	0.06
平均	0.14	0.09	0.08

表-3.3.2 ひびわれ幅測定結果 (E-I-B)

No.	ひびわれ幅 (mm)		
	初期値	1 年後	2 年後
		85. 6.26	86. 7.16
①	0.12	0.05	0.06
②	0.12	0.08	0.06
③	0.10	0.05	0.08
④	0.10	0.05	0.10
⑤	0.12	0.08	0.10
⑥		0.10	0.08
⑦	0.05	0.05	0.06
⑧	0.08	0.05	0.06
⑨	0.08	0.05	0.08
⑩	0.10	0.08	0.10
⑪	0.12	0.08	0.10
⑫	0.08	0.08	0.06
⑬	0.08	0.05	0.08
⑭	0.10	0.05	0.08
平均	0.10	0.06	0.08

表-3.3.3 ひびわれ幅測定結果 (E-II-A)

No.	ひびわれ幅 (mm)		
	初期値	1 年後	2 年後
		85. 6.26	86. 7.16
①	0.10	0.10	0.10
②	0.05	0.08	0.08
③	0.05	0.05	0.05
④	0.10	0.10	0.08
⑤	0.15	0.08	0.06
⑥	0.10	0.08	0.06
⑦	0.10	0.10	0.05
⑧	0.05	0.05	0.06
⑨	0.10	0.08	0.08
⑩	0.10	0.15	0.10
⑪	0.15	0.10	0.08
⑫	0.12	0.20	0.10
⑬	0.08	0.08	0.06
⑭	0.10	0.10	0.08
平均	0.10	0.10	0.07

表-3.3.4 ひびわれ幅測定結果 (E-II-B)

No.	ひびわれ幅 (mm)		
	初期値	1 年後	2 年後
		85. 6.26	86. 7.16
①	0.10	0.10	0.05
②	0.08	0.08	0.05
③	0.10	0.10	0.06
④	0.05	0.08	0.05
⑤	0.08	0.10	0.08
⑥	0.10	0.10	0.08
⑦	0.05	0.05	0.04
⑧	0.10	0.10	0.08
⑨	0.08	0.08	0.06
⑩	0.10	0.15	0.10
⑪	0.10	0.10	0.08
⑫	0.15	0.20	0.10
⑬	0.10	0.08	0.06
⑭	0.15	0.10	0.10
平均	0.10	0.10	0.07

表-3.3.5 ひびわれ幅測定結果 (E-III-A)

No.	ひびわれ幅 (mm)		
	初期値	1 年後	2 年後
		85. 6.26	86. 7.16
①	0.05	0.05	0.04
②	0.08	0.05	0.06
③	0.10	0.08	0.10
④	0.12	0.08	0.08
⑤	0.10	0.08	0.08
⑥	0.15	0.10	0.10
⑦	0.03		
⑧	0.08	0.10	0.08
⑨	0.05	0.05	0.05
⑩	0.10	0.10	0.08
⑪	0.08	0.05	0.06
⑫	0.08	0.10	0.08
⑬	0.10	0.05	0.06
⑭	0.05	0.05	0.04
平均	0.08	0.07	0.07

表-3.3.6 ひびわれ幅測定結果 (E-III-B)

No.	ひびわれ幅 (mm)		
	初期値	1 年後	2 年後
		85. 6.26	86. 7.16
①	0.10	0.08	0.05
②	0.15	0.15	0.08
③	0.10	0.08	0.04
④	0.15	0.10	0.08
⑤	0.08	0.15	0.08
⑥	0.07	0.10	0.06
⑦	0.10	0.15	0.10
⑧	0.08	0.05	0.08
⑨	0.15	0.08	0.08
⑩	0.10	0.08	0.08
⑪	0.10	0.08	0.06
⑫	0.10	0.10	0.10
⑬	0.10	0.08	0.08
⑭	0.15	0.10	0.08
平均	0.11	0.10	0.08

表-3.3.7 ひびわれ幅測定結果 (E-IV-A)

No.	ひびわれ幅 (mm)		
	初期値	1 年後	2 年後
		85. 6.26	86. 7.16
①	0.10	0.08	0.10
②	0.10	0.08	0.08
③	0.10	0.10	0.10
④	0.08	0.10	0.06
⑤	0.10	0.10	0.10
⑥	0.08	0.05	0.06
⑦	0.06	0.08	0.08
⑧	0.08	0.08	0.08
⑨	0.08	0.10	0.10
⑩	0.10	0.10	0.08
⑪	0.08	0.08	0.04
⑫	0.12	0.10	0.08
⑬	0.10	0.08	0.06
⑭	0.08	0.05	
平均	0.09	0.08	0.08

表-3.3.8 ひびわれ幅測定結果 (E-IV-B)

No.	ひびわれ幅 (mm)		
	初期値	1 年後	2 年後
		85. 6.26	86. 7.16
①	0.10	0.05	
②	0.10	0.10	0.15
③	0.05	0.10	0.10
④	0.15	0.10	0.10
⑤	0.10	0.15	0.10
⑥	0.08	0.08	0.08
⑦	0.08	0.10	0.10
⑧	0.08	0.10	0.15
⑨	0.10	0.10	0.10
⑩	0.10	0.08	0.10
⑪	0.12	0.10	0.13
⑫	0.10	0.10	0.10
⑬	0.10	0.10	0.10
⑭	0.08	0.05	0.06
平均	0.10	0.09	0.11

表一3.3.9 ひびわれ幅測定結果
(シリーズII①供試体)

No.	ひびわれ幅 (mm)		
	初期値	1年後	2年後
		85. 6.26	86. 7.16
①	0.20	0.20	0.10
②	0.10	0.05	0.06
③	0.10	0.02	
④	0.10	0.05	0.06
⑤	0.25	0.20	0.02
⑥	0.11	0.15	0.13
⑦	0.08	0.08	0.03
⑧	0.07		
⑨	0.05	0.05	0.06
⑩	0.07	0.10	0.08
平均	0.11	0.10	0.07

表一3.3.10 ひびわれ幅測定結果
(シリーズII②供試体)

No.	ひびわれ幅 (mm)		
	初期値	1年後	2年後
		85. 6.26	86. 7.16
①	0.25	0.15	0.08
②	0.10	0.10	0.06
③	0.13	0.10	0.08
④	0.12	0.10	0.06
⑤	0.20	0.15	0.12
⑥	0.15	0.15	0.13
⑦	0.18	0.20	0.06
⑧	0.10	0.08	0.04
⑨	0.10	0.08	0.05
⑩	0.25	0.20	0.10
平均	0.16	0.13	0.08

表一3.4 平均ひびわれ幅の変化 (mm)

供 試 体	初期値	1 年 後	2 年 後
E-I-A	0.14	0.09	0.08
B	0.10	0.06	0.08
平 均	0.12	0.08	0.08
E-II-A	0.10	0.10	0.07
B	0.10	0.10	0.07
平 均	0.10	0.10	0.07
E-III-A	0.08	0.07	0.07
B	0.11	0.10	0.08
平 均	0.10	0.09	0.08
E-IV-A	0.09	0.08	0.08
B	0.10	0.09	0.11
平 均	0.10	0.09	0.10
シリーズII①	0.16	0.13	0.08
②	0.11	0.10	0.07

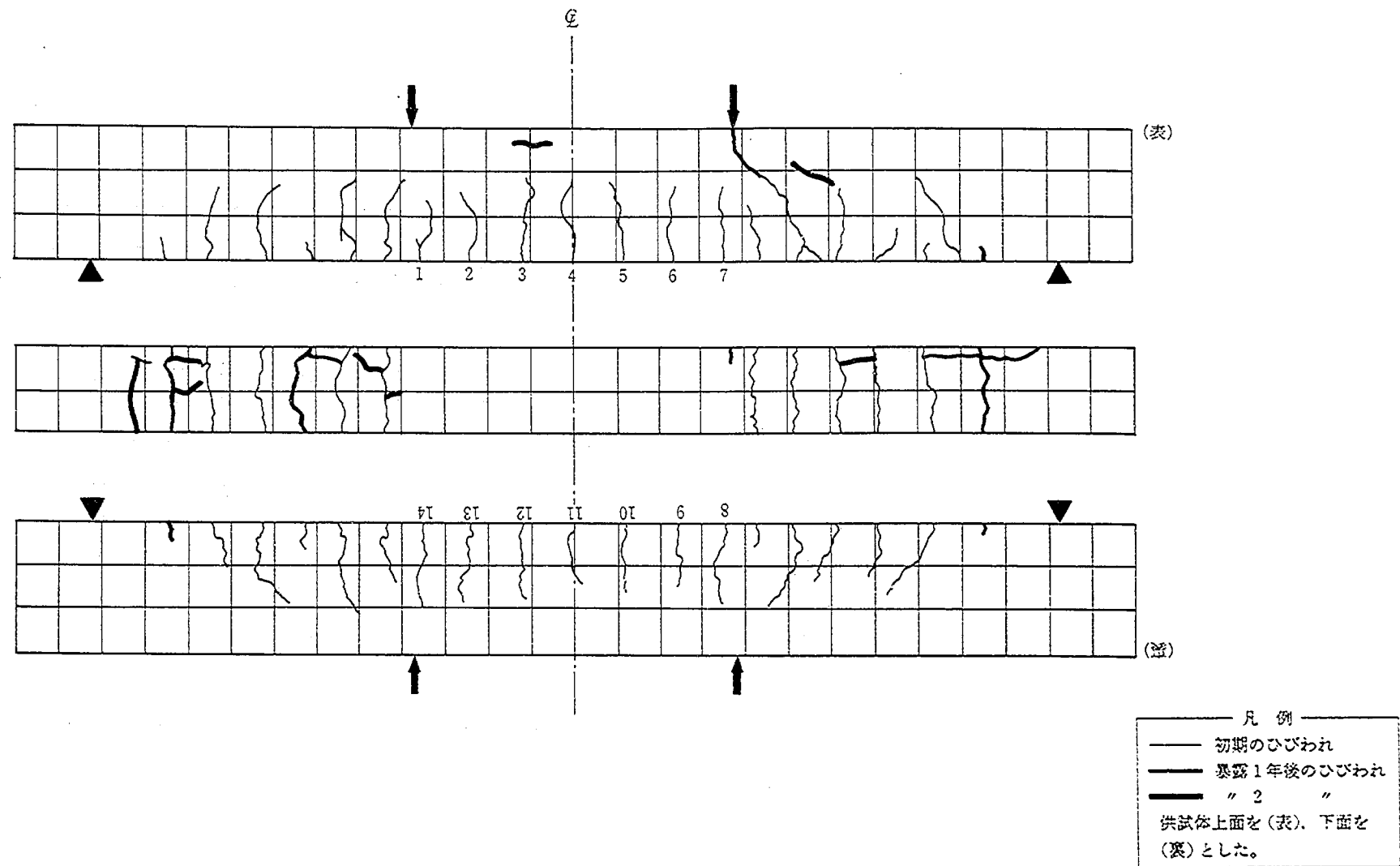


図-3.10.1 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図 (E-I-A)

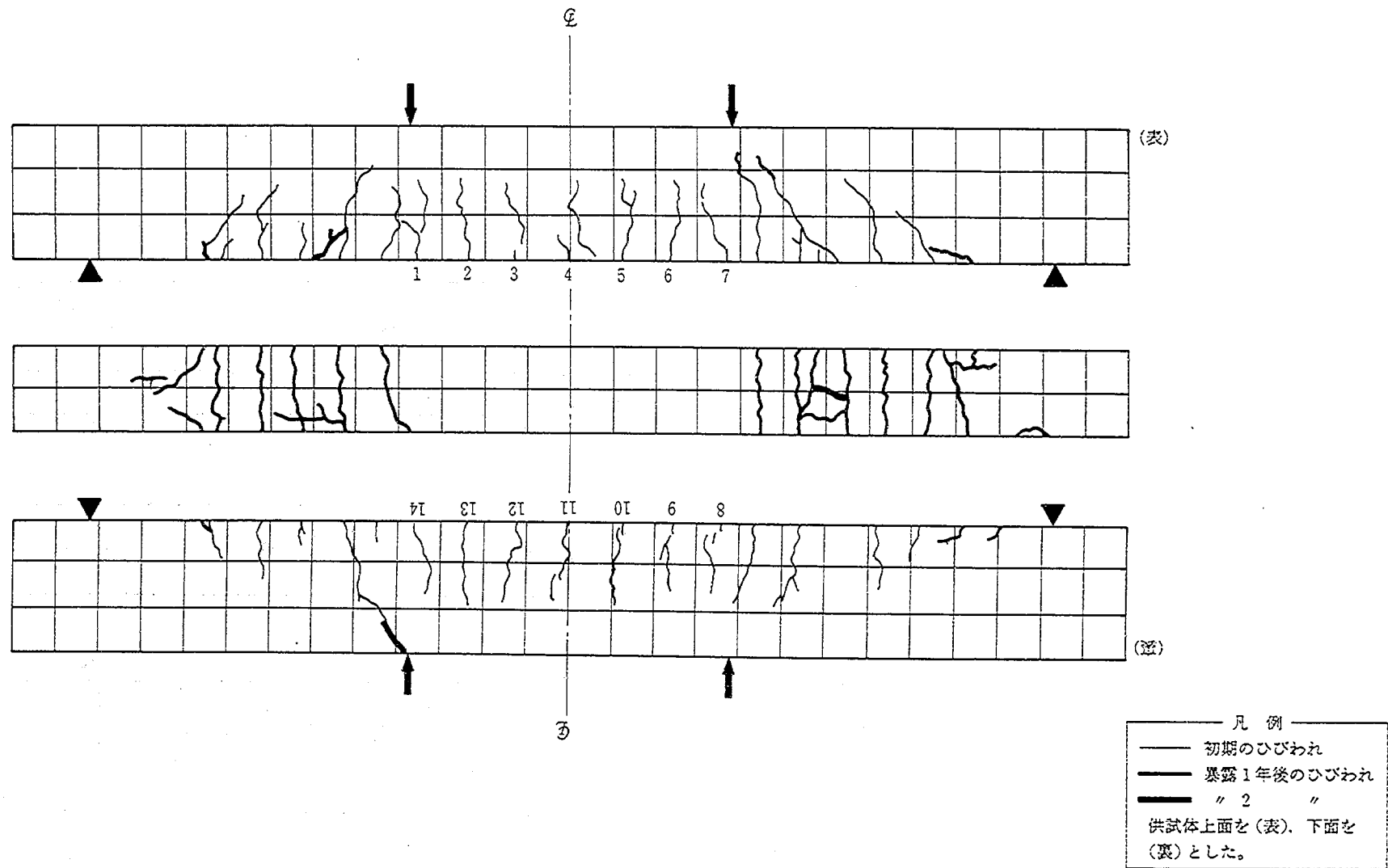
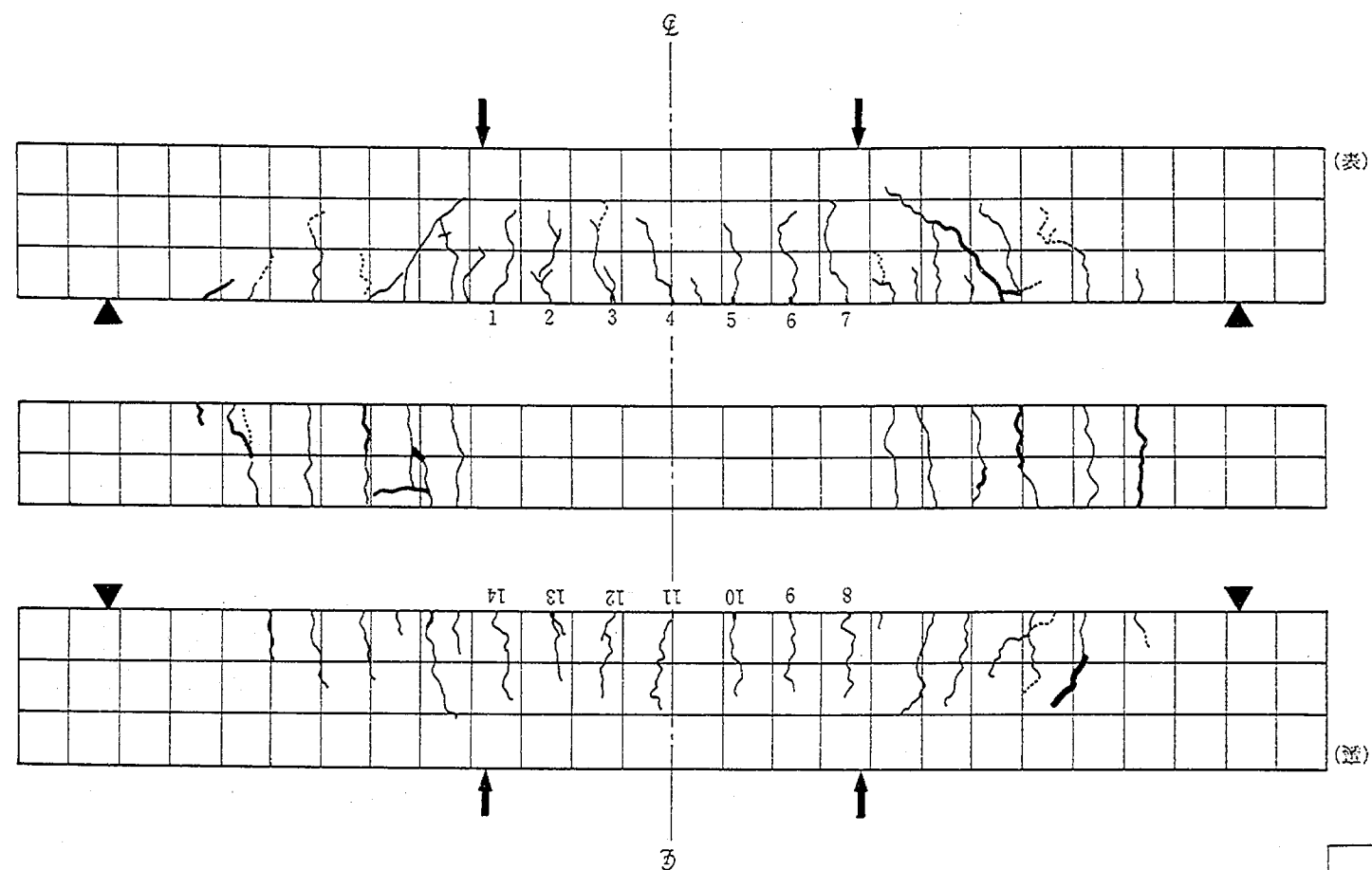


図-3.10.2 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図 (E-I-B)



— 凡 例 —

—— 初期のひびわれ

—— 暴露 1 年後のひびわれ

—— " 2 " "

供試体上面を(表)、下面を(裏)とした。

図-3.10.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図 (E-II-A)

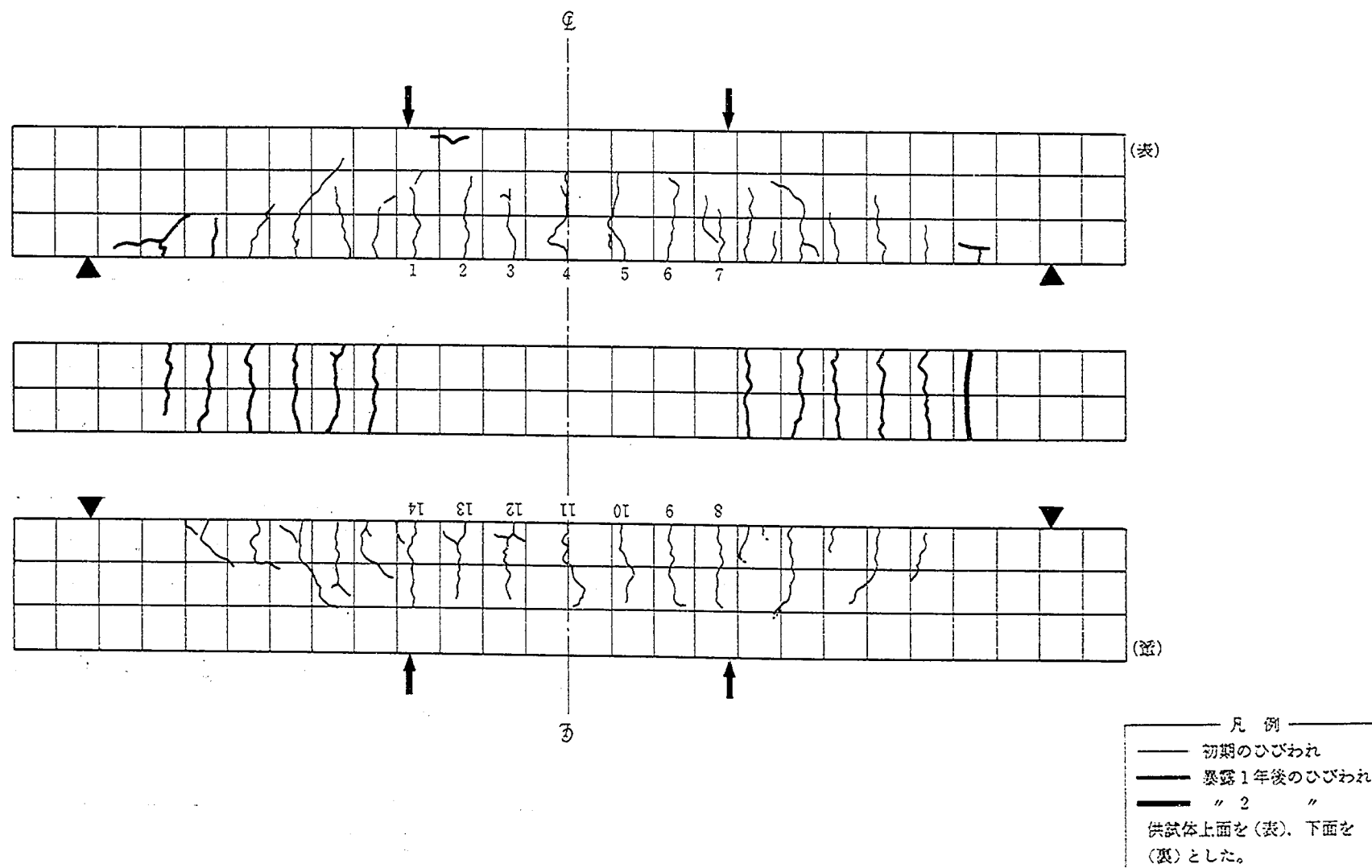


図-3.10.4 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図 (E-II-B)

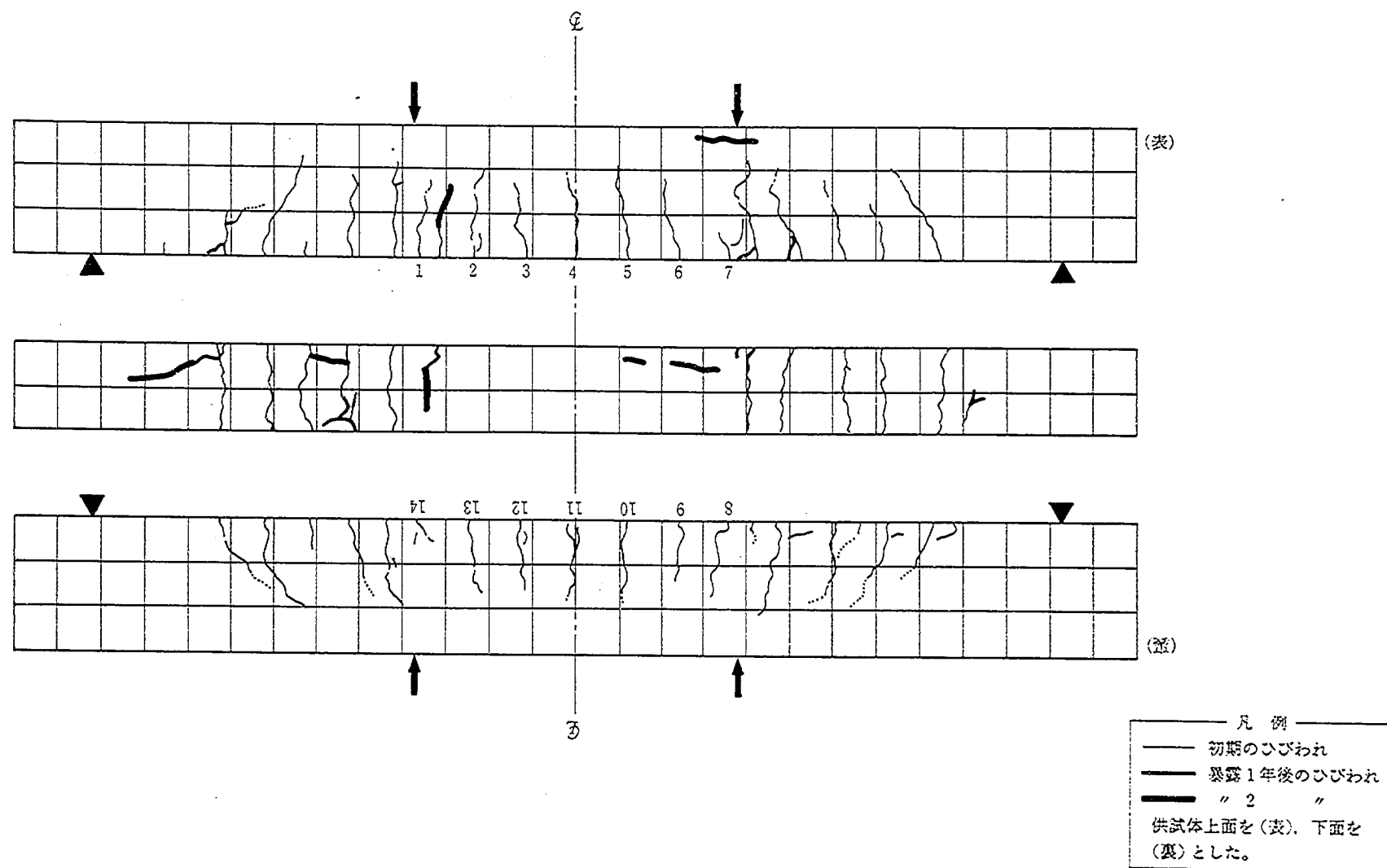
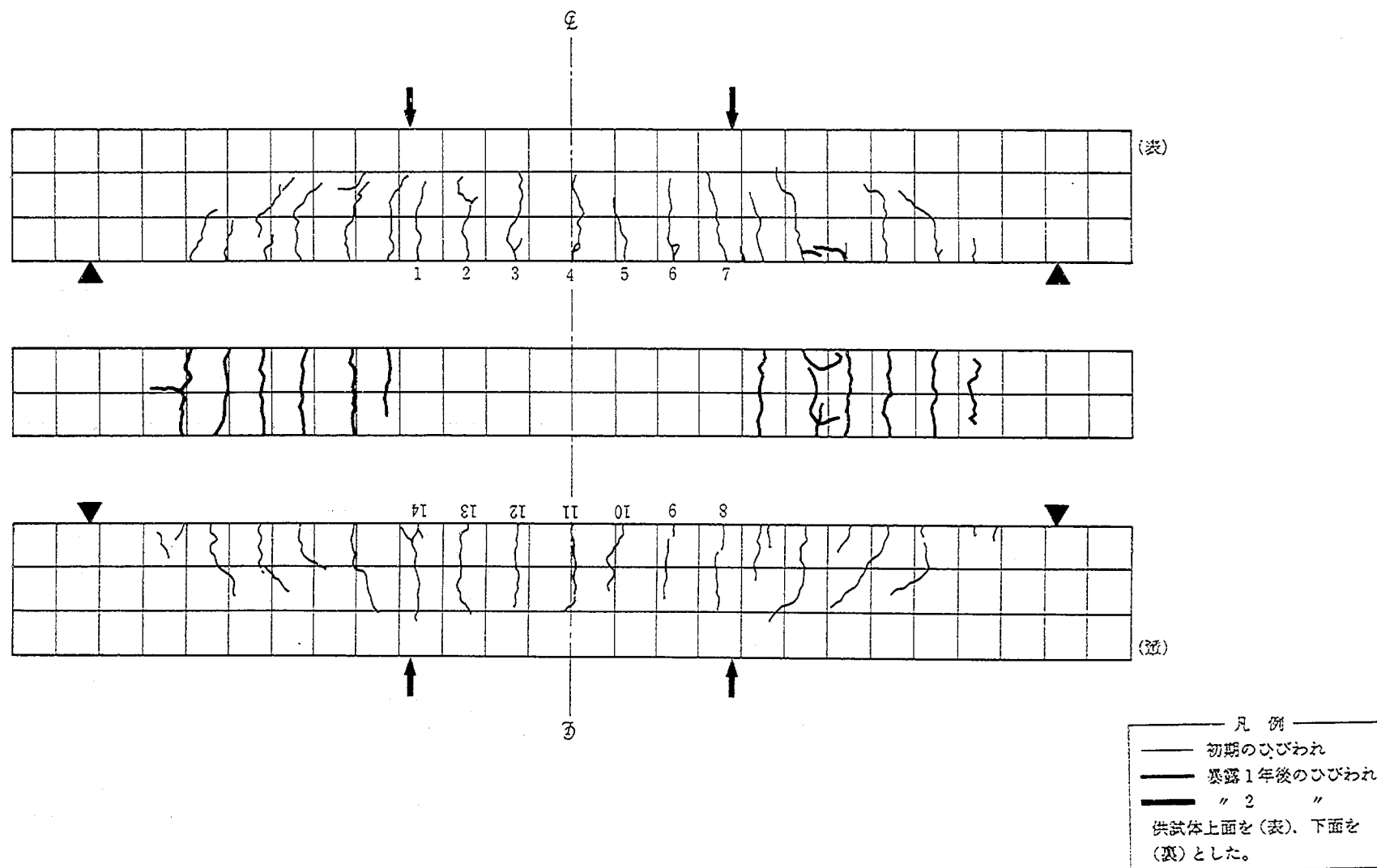
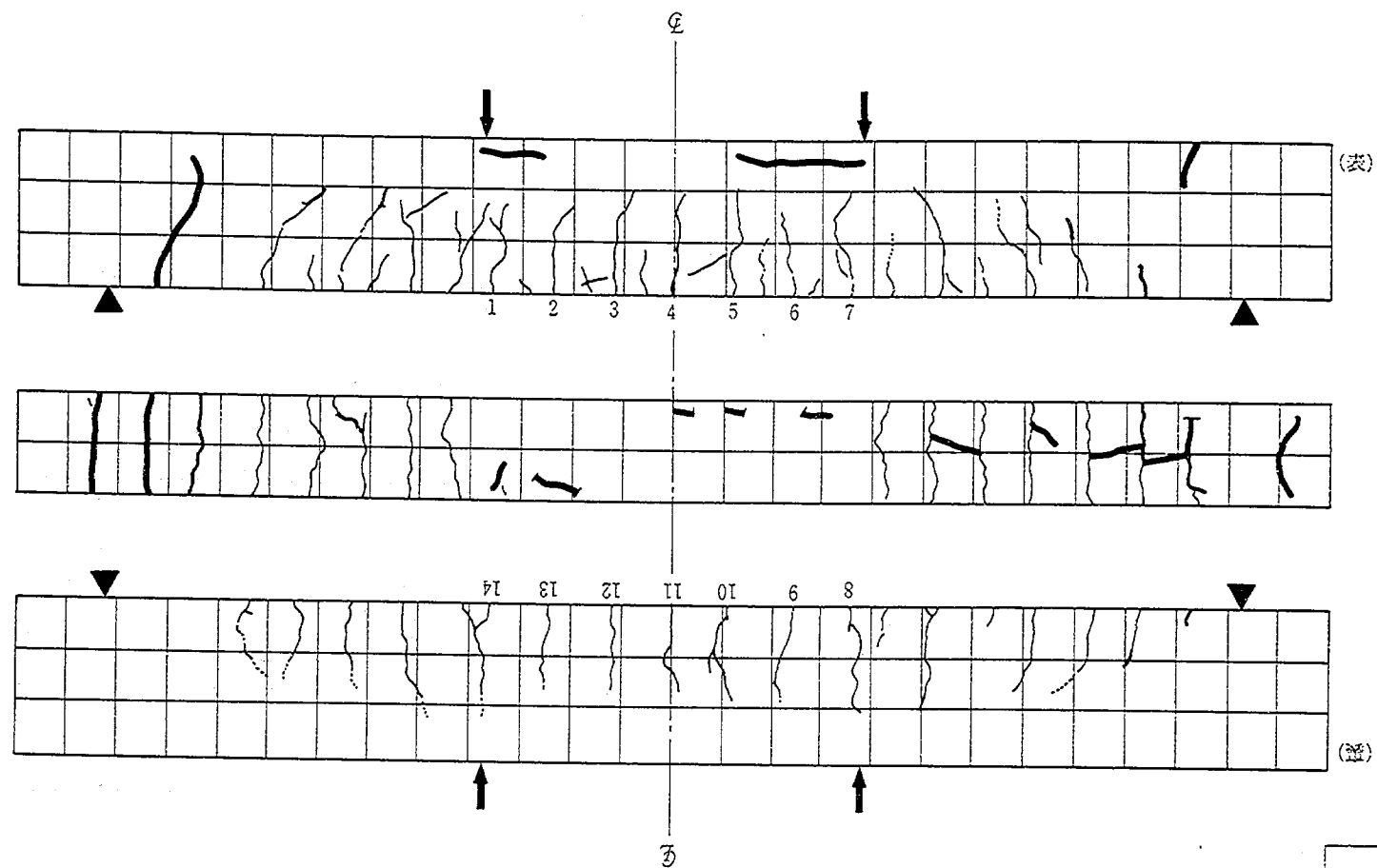


図-3.10.5 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図 (E-III-A)



図—3.10.6 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図 (E-III-B)



凡 例

- 初期のひびわれ
- 暴露1年後のひびわれ
- " 2 "

供試体上面を(表)、下面を(裏)とした。

図-3.10.7 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図 (E-IV-A)

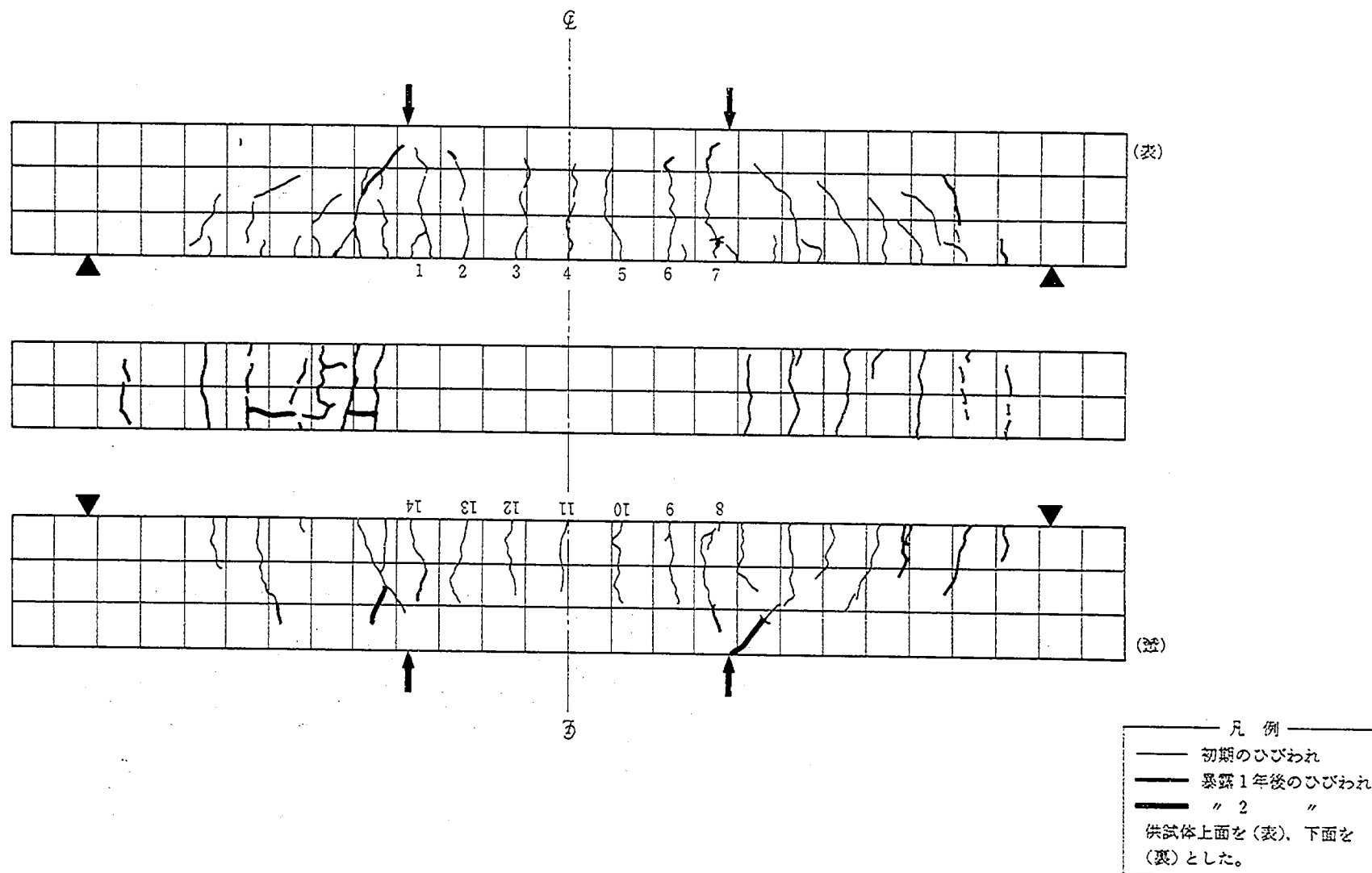
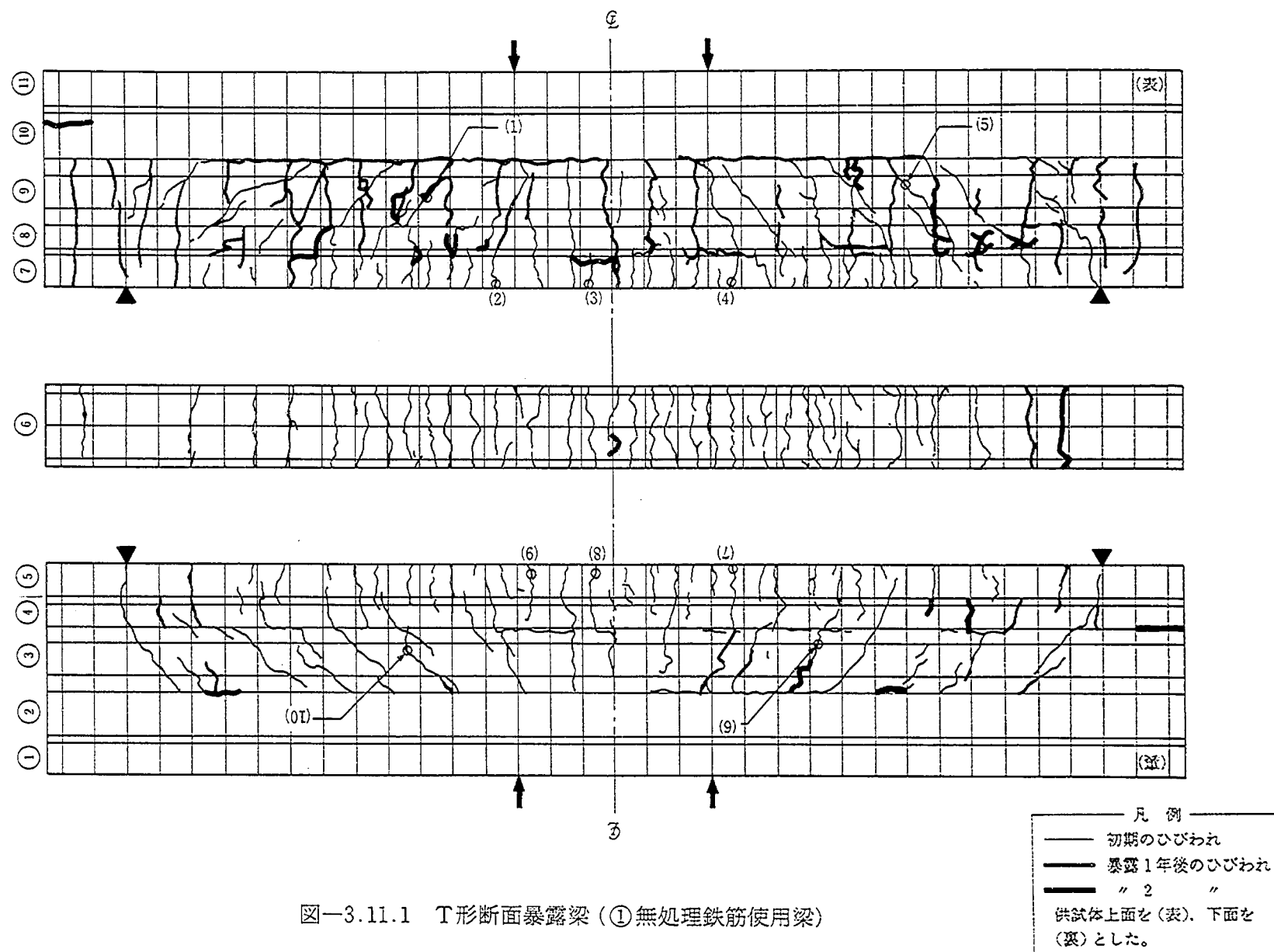
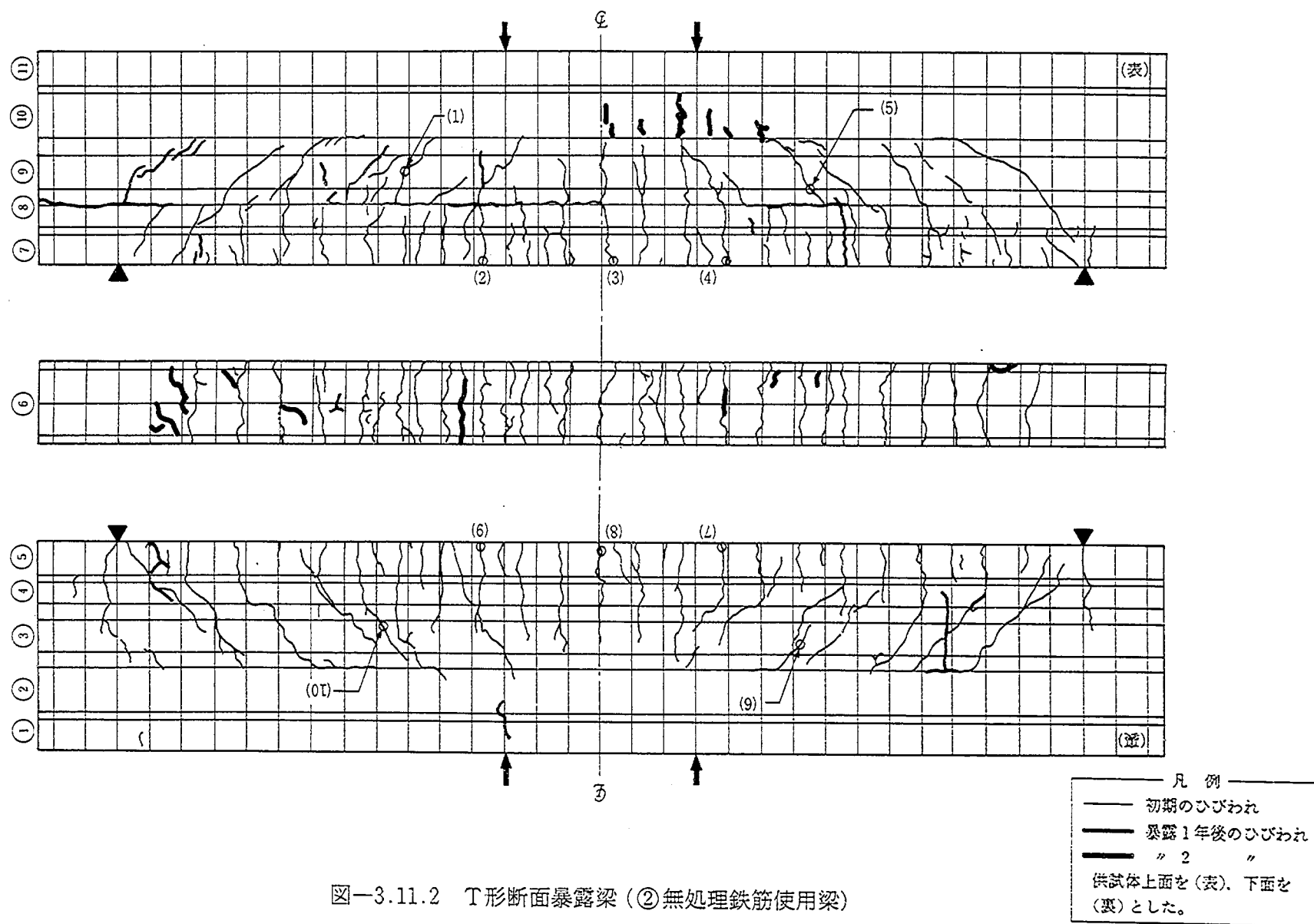


図-3.10.8 エポキシ樹脂塗装鉄筋損傷梁ひびわれ図 (E-IV-B)





3.6 まとめ

海洋上における樹脂塗装鉄筋の防食効果は2.の結果からも十分期待できると考えられるが、最終的な確認は今後の解体調査の結果をもって行う予定である。

4. あとがき

今回の試験の結果、無処理鉄筋に比較して樹脂塗装鉄筋の十分な防食効果が確認できた。現在継続中の暴露試験は結果が得られ次第報告する予定であるが、今回の結果と同様の結論が得られるものと予想される。

今回の調査結果ならびに今までの樹脂塗装鉄筋使用の実績などから、無処理鉄筋に比較して樹脂塗装鉄筋をコンクリート構造物に使用することは構造物の耐久性を確保するうえで極めて有効な方法であると言える。

参考文献

- 1) 片脇清士, 守屋 進, 深田幾夫:「エポキシ樹脂塗装鉄筋に関する基礎的研究」1979年, 第1回コンクリート工学年次講演会講演論文集
- 2) 小林茂敏, 片脇清士, 森浜和正, 高橋正志, 高橋弘人:「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
- 3) 小林茂敏, 片脇清士, 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
- 4) 建設省土木研究所, 東北地方建設局:「コンクリート橋の塩害対策に関する暴露試験調査(I)」1982年, 土木研究所資料第1851号
- 5) 建設省土木研究所:「海洋技術総合研究施設に関する報告書」1984年
- 6) 土木学会:「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針(案)」1986年, コンクリートライブラリー第58号
- 7) 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, コンクリート工学論文 No.83.2-1

樹脂塗装鉄筋に関する調査
及び試験(4)

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2536号
昭和63年3月(1988)
小林茂敏, 丹野弘
高橋弘人

要 旨

近年, 海洋環境下にあるコンクリート構造物が塩害によって損傷している事例が増大し, その早急な対策の整備が必要となっている。本資料は, コンクリート構造物の塩害対策方法として最も有効な対策方法とされている樹脂塗装鉄筋に関する一連の研究のうち, 樹脂塗装鉄筋の長期の耐久性を確認するために実施した暴露試験の結果についてとりまとめたものである。

キーワード: 塗装鉄筋, 暴露試験, 塩害対策

○

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十円切手
をはって下
さい。

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
コンクリート研究室御中

No. _____

土研資料第2536号

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○

○

土木研究所資料第 2536 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

土木研究所資料第 2536 号

○