[27] エポキシ樹脂塗装鉄筋の防食性に関する検討

正会員 武 若 耕 司 (鹿児島大学工学部)

1. まえがき

海洋環境等,塩害を受ける環境下に新設されるコンクリート構造物にエポキシ樹脂塗装鉄筋(以下,EP鉄筋と 称す)を利用することは,鉄筋防食上極めて有効であると考えられる。しかし,この鉄筋をさらに実用的なものと するためには,鉄筋塗装時に生じる塗りむら,ピンホールあるいは鉄筋の運搬や加工に際して生じる損傷などいわ ゆる塗装欠陥への対応策の確立等を目的としたより詳細な防食効果の検討が必要である。特に塗装欠陥の問題に関 しては,欠陥の存在が防食性を著しく低下させる原因となりかねない反面,塗装過程や構造物の施工時にこの欠陥 を皆無とすることが施工性,経済性等に多大な影響を及ぼす可能性も高く,解明が急がれる問題の一つである。著 者らもこれまでに暴露実験等¹⁾を通してEP鉄筋の防食性に関する一連の検討を行って来たが,本研究では,そ の後新たに実施した海洋暴露実験から明らかとなった結果について報告するとともに,さらに若干の室内腐食実験 から塗装欠陥部の腐食性に関して一考察を加えたものである。

2. 実験概要

2-1 海洋暴露実験について

1) 使用した E P 鉄筋:暴露実験で検討を行なった E P 鉄筋は, D10 異形鉄筋(8D85,横ふし型,高炉品)に素 地調整としてショットブラスト(#70)処理を施し,これに外国産のエポキシ樹脂粉体塗料を静電吹きつけさせ たものである。塗装にあたっては,塗膜厚の目標値を100,200,および300μmに設定した。表1には,実験に 使用した鉄筋の実際の塗装状況について示す。なおピンホール箇所については,あらかじめ上記塗装樹脂と同様の 組成を有する液体型樹脂で補修してあるが,その他の箇所には欠陥等は確認されなかった。

2) 暴露供試体概略:暴露供試体は図ー1に示す鉄筋かぶり3 cm の10×10×110 cm R C 矩形梁で,暴露にあたっては供試体2体を1組としてボルト締めによる2点載荷状態とし, 表-1 暴露実験で検討を行ったEP鉄筋の塗装状態

スパン中央部引張縁のひびわれ幅の最大値が常時約 0.2 ~ 0.3 mm 程度となる様に保持させた。なお,コンクリートの ^WCは 60%と した。

3)暴露場所:暴露場所は静岡県伊豆半島東岸(平均気温約16℃)の岩場で,最高潮位から50 年程度上部に位置した暴露台上に供試体を放置した。この環境は常時海水のしぶきを受け,鉄筋腐食上極めて過酷な海洋飛沫帯に属するものである。また暴露期間は3年間とした。

2-2 室内腐食実験について

1) 使用した E P 鉄筋: この実験で用いた E P 鉄筋は, D16異形 鉄筋(SD30,横ふし型,高炉品)にショットブラスト処理を行なった後, 国産のエポキシ樹脂粉体塗料を吹き付けたものである。実験は,目 標塗膜厚100,200,300 μm のものについてそれぞれ行ったが,その 際,-部の試料では塗装欠陥部の腐食性を検討するためあらかじめ塗 装の一部を所定の面積だけ削り取り,素地を露出させて(以下,キズ

••••••		\$	主题,	⊈(µ n	.)	ピンホ
供試体	鉄‴筋	日婚値	実	測	值	ール数
<i>N</i> 6.	NG.	F1136 (101)	最小~最 大	平均	標準偏差	(倜/m)
Nca-8-1	F-1-1		68~128	94	18	18
(80)	F-1-2	100	58~174	107	82	29
Nca-8-2	F-1-8		121~289	178	86	7
(81)	F-1-4	100	98~198	128	25	6
Ncb-8-1	F-2-1		184~810	212	46	18
(82)	F-2-2	200	159~811	228	49	5
Ncb-8-2	F-2-8		117~260	186	82	9
(88)	F-2-4	200	98~299	184	60	7
Nc c-8-1	F-8-1		244~460	842	64	0
(86)	F-8-2	800	287~427	850	47	
Nc c-8-2	F-8-8		160~876	804	51	1
(87)	F-8-4	800	202~485	845	54	0



図-1 海洋暴露供試体の概略 (単位: ****)

部と呼ぶ)実験に供した。さらに,この EP鉄筋は塗りむらによる 塗装欠陥を液体エポキシ樹脂塗料によって補修した箇所も存在した ため,特にこの部分を取り上げて,欠陥補修部の防食性を検討する 目的で使用した。

2)実験方法:今回の室内腐食実験では以下に示す2実験を行った。なお、これらの実験の要因および水準については表-2に示す。

i) 浸漬実験:図-2(a)に示す様に、£P鉄筋の5 m区間を3.0 % Nacl 水溶液中に4ヶ月間浸漬させて鉄筋の防食性を検討するものである。

i) 海水噴霧腐食実験:図-2(b)に示す様に,かぶり2cmでEP 鉄筋を配筋させた10×10×40cmのコンクリート供試体に,スパン 中央部引張縁の残留ひびわれ幅が0.1 mm程度となる様にひびわれ を導入した後,50°Cの海水(この場合,槽内温度は約35°C)を毎時 30ℓ噴霧させる実験である。なお,実験に使用したコンクリートの WCは60%であり,コンクリート中にはあらかじめセメント重量比で 0.5%のNaclも混入した。

3. 暴露実験結果

3-1 無処理鉄筋の腐食状況

今回の暴露実験では比較のため無処理の鉄筋を使用した供試体も 同時に暴露させ、その劣化性状についても検討を行なった。図-3 は、この供試体の暴露終了時における外部観察結果を示したも のであるが、この図からも明らかな様に、無処理鉄筋使用の供試 体には鉄筋腐食によると思われる縦ひびわれが発生しており、この ひびわれ幅は最大で0.25~0.85 mm程度まで拡大していた。また、写 真-1にははつり出した鉄筋の腐食状況を、表-8には腐食量の測定結 果についてその主な値を示したが、これらの結果からも、無処理鉄筋が 予想通りかなりの範囲にわたって著しく腐食している状況を明確に確認 できる。

3-2 £ P鉄筋の暴露後の状況

EP鉄筋を用いた供試体には,いずれの場合も無処理鉄筋に見ら れた様なコンクリートの劣化は認められず,暴露後も健全性は保 たれていた(図-4)。ただし, %83の供試体についてはスパン中央部 のひびわれ幅が暴露前の値の約3倍に拡大し,また供試体偶角部も 丸味を帯びた状態となっていたが,これらの損傷は暴露後約1年経過 した時点で暴露台が台風により破損した際に生じたものである。

一方,鉄筋をはつり出し内部のEP鉄筋の状況について調査した

写真-1 無処理 鉄筋の腐食状況の 一例



表-2 室内腐食実験における要因と水準 1) 浸漉実験の場合

 キズ部
 キャッピング部

 キズ部
 キャッピング部

 a) 浸渍実験
 海水(50°C)

 パイプヒーター
 パイプヒーター

 欧一2
 室内腐食実験の

 版路(単位:mm)
 海水噴霧窝食実験

		(図中の数値はひびわれ幅を示す ()内は暴露直前の値;単位mm)					
供試体 NO.8	4 Saon (0.	17510.051	Y	0.35(0.25)	0.07510.051	0.025	
	aozs kao	75(0.05)	5	Q375(Q25)	(0.0510.05)	(0.075	
	<u>9001 /01</u>	25(0.075}		04(02751	0,125(0,075)	0.05	
	· · · · · ·		_				
		N WE WE WE	5		> 0.1(003)	20.0 (
(側面)	-K	0.1 0.2 0	걊	iz is I	7	{	
L				<u> </u>		1	
供試体 NO, 8	5 0075 (0025)	10051 003	Jo.	(0-225)	10025100 0.054	0.030	
(तदक्त)	0075(0025)	asidos	10.2	75 (0.275)	700410.0791 0025	(0.05)	
	C. 005	10051	p۵	5(0.25)	0.025100763 0.02	5 (0.03)	
r	N 01	6	110	0161	(
(0,0)	The start	(001100)	ю	20025 002	0.0 0 00 00 00 00	0251	
(側面)	1005		M	a Lug			
<u> </u>				<u>1 m U m V</u>			

図-3 無処理鉄筋使用RC梁の暴露後のひびわれ状況

a)目標塗膜厚	100 µm	(図中の数値はひびわれ幅を示す ()内は暴露直前の値;単位mm)
供	式体 NO,80	0.075 (0.05)	4 0.275) 0.1(0.06) (0.05
	(底面)	0.075(0.05) {0.1(0.05)	0.125(0.3) {0.05 0.25(0.3) {0.1(0.07) 0.05
供節	大体 NO,81 0.05 (底面)	{ 0.075 (0.05(0.025) (0.01) (0.075(0.05) 0.055(0.05)	0.1(0.225) (005(003) (0.04 (0.03) (

b)目標塗膜厚 200 µm 供試体 NO,82 J 0075 0061 0.075 0.1751 0.251 0.15(0.01) 0.15(0.05) 0.6510.051 225(0,2) (底面) L0025 0.125(0.06) 0.025(0.03) 0,025(0,2) 供試体 NO,83 10.61 0.21 0025 00510075 0.1 (0.0 2 5) loos 005(0075) (0.1(0.05) (底面) 0.05(0075) 1055 (0.2) 0.1 (0.05)

o)目標金膜厚 300 μm 供試体 NO,86 aos (0.1(a05) (0.4(a5)) aos (0.5(a5) (0.5(a5)

(低面)		0.2 (0.03)	03 (0275)	0125100751
図-4	E P鉄筋使	吏用 RC梁	の暴露後	のひびわれ状況

表-3 無処理鉄筋の腐食量の測定結果

供試体 /化	鉄筋 <i>1</i> 6	宿食面積率 (%)	腐食減量 (g∕105cm)	平均腐食 深さ (輝)	最大腐食 深さ(###)
	1	1 9.8	4.11	0.0 9	1.588
84	2	895	4.8 8	0.0 4	1.1 8 5
85	1	8 8.4	5.5 7	0.0 6	1.505
	2	6 8.9	1 1.6 4	0.0 7	1.2 9 8

結果によると、目標塗膜厚を300μmに設定したものはすべてについて 2)供試体ル82中の鉄筋の状態(目標塗膜厚200μm,健全) 全く変状が見うけられず,塗膜の状態も暴露前と何ら遜色ないもので あった。また、目標塗膜厚が100μmおよび200μmの場合についてもそ れぞれ暴露を行なった2本の供試体の内1本(供試体/681,および82) 中のEP鉄筋では,同様に健全性は保持された状態にあった(写真-2 (a)。しかし,目標塗膜厚を100μmおよび200μmに設定したEP鉄筋使用 の残りの1本づつ(ん80および83)については、この鉄筋の防食性が 十分であるとは考えられない結果が生じていた(写真−2(b))。そこで 以下に防食性低下の状況およびその原因について検討を行なった結 果をとりまとめて示す。

1) 供試体 & 80 中の EP 鉄筋(目標塗膜厚 100 μm)の場合: この鉄 筋の変状は、塗膜面上からは全く認められなかった。しかし、塗膜 の状態を詳細に検討した結果,塗膜と鉄筋素地との付着性が暴露以 前の状態に比べ著しく低下している箇所が非常に広範囲に存在する ことが確認された。図-5(a)はこの塗膜の付着性低下部を示したものであ るが,この部分にはわずかではあるが素地鉄筋の発錆が確認された箇 所および腐食発生の兆しの見える箇所も存在していた。

なお,同じ目標塗膜厚100,μmのEP鉄筋を使用し,しかもコンクリート の品質等も同等と考えられる 680 と681の供試体において鉄筋防食 性能が非常に大きく異なった原因は,先に示した表-1より明らかな 様に、使用した鉄筋の実際の塗装状態にかなり差が見られたことにある と思われる。特に、ん80の供試体に使用した鉄筋には目標値をかなり 下回る塗膜厚の箇所が存在し、しかもピンホール数は低81の供試体に 使用したものに比べ2~3倍にも達していた。

0.3

ិត

Ħ

42 6

1002

¥ 0.1

0

20

従ってこの結果から、EP鉄筋 が防食上最低限確保 しょければな らない塗膜厚は,塗装上のばらつ き等も考慮した最低値が約100## 以上, ピンホール数については 10個/…以下となるようである。

2) 供試体 1683 中の EP 鉄筋 (目標塗膜厚200 μm)の場合: この鉄筋においては,供試体中 央部のコンクリートのひびわれ 箇所を中心とする約8㎝の区間

に素地鉄筋の腐食箇所が存在し、この腐食部の一部は塗膜面上からも点 錆状に確認されるものであった。また、外観的には何ら損傷が見られな い塗膜においても図-5(b)に示す様に1)の場合と同様の塗膜の付着性 低下の現象が広範囲に確認された。なお、この場合の劣化原因について は、鉄筋の塗装状態が、劣化の生じていないん81あるいは82の供試中。)キス部について の鉄筋と比較しても大差ないことから塗装上の問題とは考えられず,最 図-7



供試体1683中の鉄筋の状態(目標塗膜厚200ルm腐食部あり) b)

A CARACTER	M. Asta Sugar		
a and the process			
		2019 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 1	
			ne s P

c) b)の鉄筋から塗膜を除去した状況







目標塗護厚

o—o 100 µm

Δ---Δ 200 μm

60

キズ部の面積 (mm²)

40

-□300 µm

80

大の原因が,供試体スパン中央部のひびわれ幅の著しい拡大にあると予 想される。このことは,EP鉄筋の使用においてもコンクリートの品質や ひびわれ幅等に対する十分な配慮が必要であることを示すものである。

4. 室内腐食実験結果

Nacl 3.0 %水溶液に 4 ケ月間浸漬させた EP鉄筋の内, キズ部を有して いない場合に関しては, 目標塗膜厚 200 μm および 300 μm の鉄筋はい ず れも完全に防食性が保たれた状態であった。これに対して, 目標塗膜厚 100 μm のものでは外見的には変状は見られないが, その塗膜を詳細に検 討すると, 暴露実験結果において示したものと同様の塗膜と素地の付着 性低下部の存在が明らかとなった。一方, キズ部を有する鉄筋に関して はまず素地露出部で腐食が顕著に現われ, その腐食性状は図 - 6 に示す 様に欠陥部の面積が小さいほど腐食深さが増大する傾向となっていた。

また,塗膜部の状態についてはいずれの塗膜厚の場合においても,図-7(a)に一例を示す様なキズ部を中心として塗膜と素地の付着低下部が存 在していた。図-8は、この付着性低下部の面積とキズ面積との関係を示 したものである。この結果によると目標塗膜厚が100μmの場合には全体 的に付着性低下部の面積は広いがキズの面積には影響を受けておらず, 塗膜自体の問題が大きく影響する様である。これに対して目標塗膜厚

表-4 海水噴霧実験より得られた塗膜の付着性低下部 面積





図-9 海水噴霧実験における塗膜の付着性低下箇所の一例 (図中の数値は塗膜厚の実測値)

200μmあるいは300μmではキズの影響を明確に受け、キズ面積の増加に伴って付着性低下部の面積も増加する傾向にある。なお、 この様な塗膜と素地との付着劣化は塗りむら補修部にも見うけられ、特に補修樹脂厚の薄い箇所を中心として補修部のかなり広い範 囲に及んでいた(図-6(b))。

また,上記の浸漬実験において生じた塗膜の付着性低下の現象は,海水噴霧実験におけるコンクリート中の EP 鉄筋にも確認された。表-4 および図-9 は,この海水噴霧実験で生じた付着劣化部の面積およびその発生状況の一例を示したものであるが,これらの傾向はいずれも浸漬実験結果とはほぼ同様であり,キズ部等の塗膜に欠陥部が存在するとその周辺の健全な塗膜へも欠陥が拡大していき,鉄筋の防食性に大きく影響する様であった。

5. 結 論

本研究は、EP鉄筋の実用化をはかるにあたって有効な資料と成すことを目的で実施した海洋暴露実験および室内腐食実験の結果 について報告したものである。この内,特に海洋暴露実験からは、EP鉄筋が鉄筋防食方法として非常にすぐれていることを再認識 させる結果を得たが、一方では今回の実験結果は、塗装欠陥部が存在するとEP鉄筋の劣化はその欠陥存在箇所のみにとどまらず、 元来健全な塗膜部の防食性をも著しく低下させる可能性を有していることを明確にさせるものであった。

6. あとがき

海洋暴露実験の実施およびそのとりまとめに際して多大な御配慮をいただいた東京大学生産技術研究所教授小林一輔博士に進んで 感謝の意を表します。なお,本研究は昭和58年度文部省科学研究費(総合研究(A),研究代表者:小林一輔)の援助を受けて実施し た研究の一部である。

〔参考文献〕

(1) 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」コンクリート工学Vol. 21, 16 2,1983.

(2) 武若耕司,松田耕---: 「樹脂塗装鉄筋の防食性に関する基礎的研究」土木学会西部支部研究発表会概要集,1985.