

[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 (鹿兒島大学工学部)

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がねない反面、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EP鉄筋: 暴露実験で検討を行なったEP鉄筋は、D10異形鉄筋(SD35, 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300 μm 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-1に示す鉄筋かぶり3cmの10×10×110cm RC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、スパン中央部引張縁のひびわれ幅の最大値が常時約0.2~0.3mm程度となる様に保持させた。なお、コンクリートの W/C 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°C)の岩場で、最高潮位から50cm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EP鉄筋: この実験で用いたEP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つけたものである。実験は、目標塗膜厚100, 200, 300 μm のものについてそれぞれ行なったが、その際、一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

表-1 暴露実験で検討を行ったEP鉄筋の塗装状態

供試体 番号	鉄筋 番号	目標値	塗 膜 厚 (μm)			ピンホ ール数 (個/m)
			最小~最大	平均	標準偏差	
Nca-8-1 (80)	F-1-1	100	68~128	94	18	18
	F-1-2		58~174	107	32	29
Nca-8-2 (81)	F-1-3	100	121~289	178	86	7
	F-1-4		93~193	123	25	6
Ncb-8-1 (82)	F-2-1	200	134~310	212	46	18
	F-2-2		159~311	228	49	5
Ncb-8-2 (83)	F-2-3	200	117~260	186	32	9
	F-2-4		93~299	184	60	7
Ncc-8-1 (86)	F-3-1	300	244~460	342	64	0
	F-3-2		237~427	350	47	0
Ncc-8-2 (87)	F-3-3	300	160~376	304	51	1
	F-3-4		202~435	345	54	0

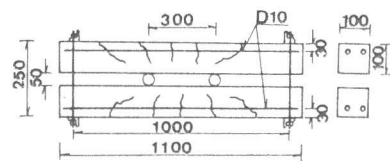


図-1 海洋暴露供試体の概略 (単位: mm)

結果によると、目標塗膜厚を $300\mu\text{m}$ に設定したものはすべてについて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 $100\mu\text{m}$ および $200\mu\text{m}$ 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 $\#81$, 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 $100\mu\text{m}$ および $200\mu\text{m}$ に設定したEP鉄筋使用の残りの1本づつ($\#80$ 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 $100\mu\text{m}$)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を兆しの見える箇所も存在していた。

なお、同じ目標塗膜厚 $100\mu\text{m}$ 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 $\#80$ と $\#81$ 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、 $\#80$ 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 $\#81$ の供試体を使用したものに比べ2~3倍にも達していた。

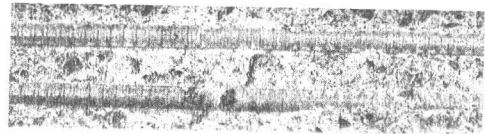
従ってこの結果から、EP鉄筋が防食上最低限確保しなければならない塗膜厚は、塗装上のばらつき等も考慮した最低値が約 $100\mu\text{m}$ 以上、ピンホール数については 10 個/ m 以下となるようである。

2) 供試体 $\#83$ 中のEP鉄筋(目標塗膜厚 $200\mu\text{m}$)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 8cm 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 $\#81$ あるいは 82 の供試中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

a) 供試体 $\#82$ 中の鉄筋の状態(目標塗膜厚 $200\mu\text{m}$, 健全)



b) 供試体 $\#83$ 中の鉄筋の状態(目標塗膜厚 $200\mu\text{m}$, 腐食部あり)



c) b)の鉄筋から塗膜を除去した状況

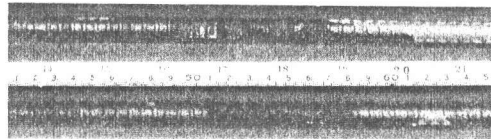


写真-2 EP鉄筋の暴露後の状況

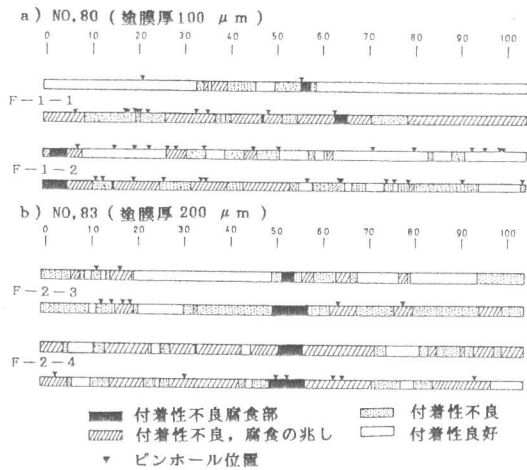


図-5 暴露供試体中のEP鉄筋の劣化状況

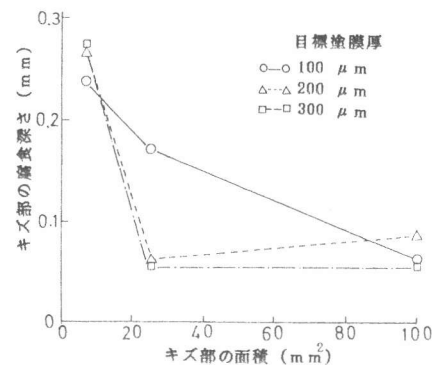


図-6 キズ部における腐食深さとキズ部面積の関係

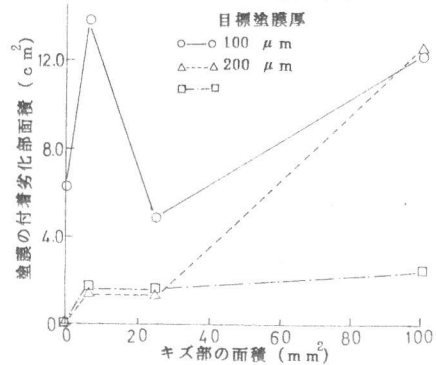


図-8 付着性低下部の面積とキズ部面積の関係

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 $\#81$ あるいは 82 の供試中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

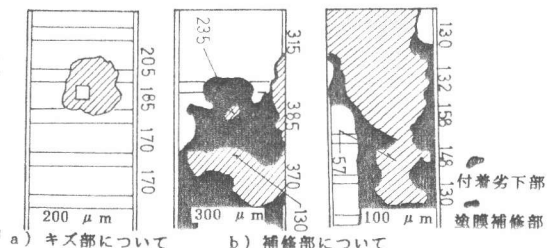


図-7 浸漬実験において発生した塗膜の付着性低下部の例(図中の数値は塗膜厚の実測値)

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ヶ月間浸漬させた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100 μm の場合には全体的に付着性低下部の面積は広いがキズ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 200 μm あるいは300 μm 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謹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, No. 2, 1983.
- (2) 武若耕司, 松田耕一: 「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.

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

目標塗膜厚 (μm)	キズの面積 (cm^2)	4週		8週	
		付着性低下部面積		面積率(%)	
		平均(cm^2)	面積率(%)	平均(cm^2)	面積率(%)
100	0	9.51	5.28	8.882	49.84
	0	0	0	0	0
	0.0625	0	0	9.77	5.48
200	0.25	0	0	9.96	5.58
	1.0	12.57	6.98	-	-
300	0	0	0	0	0

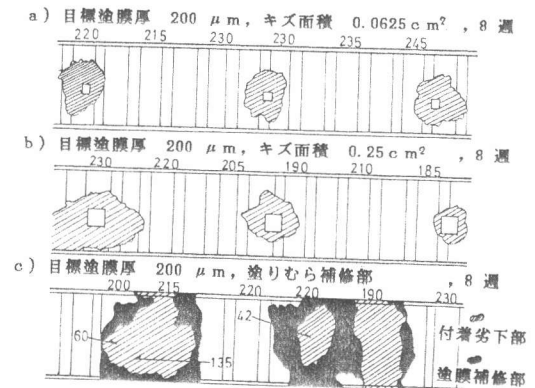


図-9 海水噴霧実験における塗膜の付着性低下箇所の一例(図中の数値は塗膜厚の実測値)