

エポキシ樹脂塗装鉄筋の許容塗膜損傷度に関する研究

三浦 尚*・板橋洋房**・新井哲三***

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、鉄筋取り扱い中において、樹脂塗膜に損傷が発生することがある。本研究では、このEP鉄筋に関して実験によって塗膜損傷の大きさとさびの進行との関係を調査した。その結果、EP鉄筋を使用した場合、その塗膜がかなり損傷している場合であっても普通鉄筋と比べてその防食性能は飛躍的に大きくなった。しかし、厳しい腐食環境下においては、腐食を防ぐための許容塗膜損傷寸法は、かぶり2 cmおよび4 cmで1 mm²程度、許容損傷面積率は、かぶり2 cmでは0.013%、かぶり4 cmでは0.054%であった。

Keywords: allowable coating damage, epoxy-coated steel bar, corrosion, corrosive condition

1. まえがき

一般の環境下においては、コンクリート中の鉄筋はコンクリートのアルカリ性により保護され腐食しないと考えられているが、これが塩分環境にさらされると腐食が発生するようになる。

特に、海岸部付近では、海水中の塩化物が、また、寒冷地では、冬期に散布される凍結防止剤に含まれる塩化物等が、コンクリート中に浸透して鉄筋まで達すると構造物中の鉄筋は、腐食するようになる。

現在のところ、このような被害を防ぐための最も有効的な防食方法の一つとして、普通の鉄筋の代わりにエポキシ樹脂塗装鉄筋（以下、EP鉄筋と略す）を使用することが考えられている。

ところで、このEP鉄筋は、運搬、曲げ加工、組み立て、施工等の鉄筋取り扱い中において、樹脂塗膜に損傷が発生することがある。

わが国で使われている塗膜厚200±50 μmのEP鉄筋の場合、塗膜に損傷がなければ、鉄筋に腐食が発生しないということはこれまで行われてきた実験・研究等で明らかにされているが、損傷がある場合には、そこから腐食が発生することが考えられる。

しかし、樹脂塗膜に損傷がある場合でも、それらの損傷が、ある程度小さければ構造物に有害な腐食は発生しないことも考えられる。

したがって、EP鉄筋を有効に使用するためには、鉄筋腐食が進行しないような許容できる塗膜損傷の大きさを見いだすことは、早急に調査しなければならない課題である。

既に、土木学会の「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）」において、樹脂塗膜損傷の大きさは「補修を要する損傷の面積が10～15 mm²以上のもので考えてよい。」と定めている¹⁾。

また、ASTM A 775-81においては、それを次のように規格化している。「製作中または、運搬中に生じた皮膜の損傷部は、その面積が0.1 in² (65 mm²) 以下の時は、補修しなくてもよい。65 mm²を越える損傷部は、すべて補修剤で補修すること。大きさに拘らず損傷部の総面積は、鉄筋表面積の2%を越えてはならない。」となっている²⁾。

しかし、実験によれば、この値は場合によってはあまりにも大きすぎ、環境によってはこのような規準を満足していても、さびの発生を長期にわたって防ぐことはできないと考えられる。

本研究は、このことから、長期にわたって、さびの発生を防ぐために必要な塗膜損傷の大きさの限界値を求めることを目的として、実験によって損傷の大きさとさびの進行との関係を調査したものである。

2. 実際の施工によって発生する塗膜損傷の程度

EP鉄筋を用いて、実際の鉄筋コンクリート構造物を建造した場合、その取り扱い方法によっては、鉄筋表面の樹脂塗膜が損傷し、防食性能が損なわれることが考えられる。

実際の建設において、EP鉄筋の表面にどの程度の損傷が発生するかについては、東北自動車道大湯川橋梁の床版工事において、日本道路公団と共同で詳細に調査し、以下の結果が得られた³⁾。

ここでは、EP鉄筋の施工を2種類の方法で行なって比較している。

すなわち、一方は、EP鉄筋の樹脂塗膜に傷をつけないように曲げ加工機のピンチローラーをテフロンでカ

* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科
(〒980 仙台市青葉区荒巻字青葉)

** 正会員 東北大学助手 工学部土木工学科

*** 正会員 工博 住友金属工業(株) 研究開発本部研究開発企画部次長

バーする他、運搬、曲げ加工、現場内小運搬、配筋のすべての工程で塗膜に傷がつかないように慎重に取り扱った場合であり、他方は普通の鉄筋と同じように取り扱った場合である。

そして、両者とも工場出荷の時点から施工現場での配筋作業完了までの間について、その間に発生した傷の大きさや個数を調べている。運搬の総延長距離は、大阪から秋田県鹿角市までの約1200 kmである。

図-1には、各作業種別における傷1個の最大値を示した。

この図において、白地のものは、かなり慎重に鉄筋を取り扱った場合を示し、斜線のものは、普通の鉄筋と同じように取り扱った場合である。ただし、切断面は含んでいない。

運搬時においては、塗膜損傷の大きさが12 mm²程度で、鉄筋の取り扱いの違いによる差は見られなかった。

曲げ加工時においては、普通の鉄筋と同じ様な取り扱いをしてもローラーによるつぶれを含む傷の大きさは、60 mm²程度となっている。

小運搬時においても普通の鉄筋と同じ様な取り扱いをしても35 mm²程度の傷の大きさである。

曲げ加工時や小運搬では、取り扱いの方法によって、2~3倍程度の値の違いはみられるが、それでもいずれもASTMの許容値である65 mm²より小さな値となっている。

配筋時においても小さな値であり、鉄筋取り扱いの方法による違いは、見られなかった。

図-2、図-3は、運搬から配筋までの傷の合計を作業種別に鉄筋全表面積に対する傷の面積率で示したものである。また、図中には鉄筋の径、長さ及び形状を示す。

この図より、ローラーによるつぶれを傷とみなした場合でも普通鉄筋と同じ取扱いで1.0%程度、慎重に取り扱った場合では、0.01%程度となった。

なお、曲げ加工をしない鉄筋においては、0.01%以下と非常に小さい値となっている。

3. 実験方法

(1) 方針

前述したように、EP鉄筋においては、製造、運搬、施工等の鉄筋取り扱い中に樹脂塗膜に目視可能な損傷が発生することがあるが、その損傷がある程度小さければ、構造物に有害となる腐食は発生しないと考えられる。

そこで、本実験においては、樹脂塗膜に人工的に種々の大きさの傷をつけたEP鉄筋をコンクリート中に埋め込んで、供試体を製作し、その供試体を用いて実験室内腐食促進試験を行ない、その結果から許容できる塗膜損傷の大きさを推定した。また、傷の寸法が小さくなるとマイクロセルによる腐食(1ヶの傷の中でアノードとカ

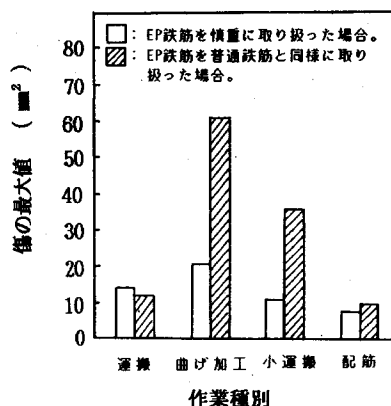


図-1 各作業種別における傷1個の最大値

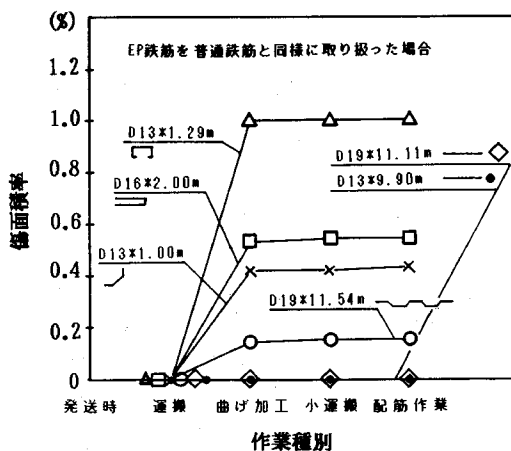


図-2 運搬から配筋までの傷 (ローラーによる潰れを傷とみなす場合)

注)

1. 傷面積率 = $\frac{\text{傷の総面積}}{\text{鉄筋全表面積}} \times 100$
2. ASTMの規格では、傷面積率の許容値を2%と定めている。
3. 切断面を含まない。

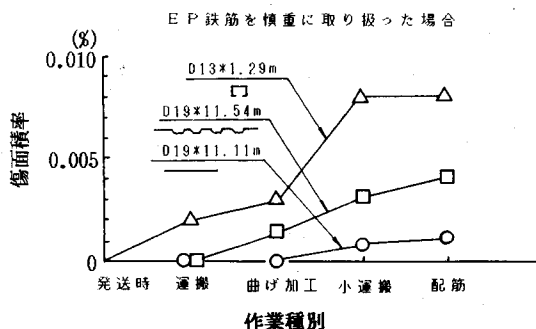


図-3 運搬から配筋までの傷

ソードが生じる)が生じにくくなり、また傷の面積率が小さくなるとマクロセルによるカソードの面積が小さくなるため腐食が減少すると考えられるので、傷の大きさと面積率の両方で検討することにした。

(2) 実験材料

実験に使用したEP鉄筋は、公称直径D19mmの異形鉄筋(SD345,ねじふし型と横ふし型)にエポキシ樹脂を静電粉体塗装したものであり、その樹脂塗膜の厚さは、 $200 \pm 50 \mu\text{m}$ 程度であり、ピンホール数は長さ1m当たり5個以下である。この鉄筋は、土木学会「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規準(案)」に適合したものである。

このEP鉄筋と比較する目的で、同一形状の普通鉄筋も使用した。

セメントは、市販の普通ボルトランドセメントを用い、細骨材として宮城県白石川産川砂(比重=2.56,吸水量=2.48%,粗粒率=2.89),粗骨材として宮城県丸森産碎石(比重=2.86,吸水量=0.76%,M.S.=15mmおよび25mm)を使用した。促進試験室内で使用する浸漬水としては、天然の海水($\text{Cl}^- = 21\,600 \text{ ppm}$)を仙台新港より採取して使用した。

また、本研究に用いたコンクリートの配合は、安全のため厳しい環境で用いられるコンクリートの内の比較的低品質のものとするため、水セメント比(W/C)を50%とし、目標スランプは $10 \pm 1 \text{ cm}$ となるように定めた。混和剤には、空気連行型減水剤を用いた。コンクリートの示方配合を表-1に示す。

実際の塩分環境下におけるコンクリート構造物においては、長期にわたって外部から塩化物が鉄筋コンクリート構造物中に浸透し、鉄筋表面の塩分濃度は、無視できない値となることが考えられる。

したがって、本研究では、厳しい環境下にあるコンクリート構造物において、約60年後にかぶり3cm付近のコンクリート中に蓄積する塩化物量を文献4)によって、安全側に0.8%と推定し、供試体のコンクリートには、あらかじめコンクリート重量の0.8%の割合で食塩を混入した。

(3) 供試体

供試体に用いる樹脂塗装鉄筋の塗膜には、あらかじめ各種の大きさの傷を人工的に作ったが、その大きさや個数は、前述したASTM A 775-81の規準および東北自動車道の大湯川橋梁上部工事における実測データを参考にして定めた。

人工傷は、カッターナイフを用い、塗膜を削り取ることによって作成した。この傷は、主に塗膜の引っかき傷に対応していると考えられる。

当初、樹脂塗膜損傷面積率は、0.2%以上の場合について実験を行なったが、環境によってはこれらの値が大きすぎることがわかったので、後に0.2%以下の場合についても実験を行なった。

ここで、樹脂塗膜損傷面積率とは、コンクリート中にあるEP鉄筋の全表面積に対する塗膜傷の合計面積と

表-1 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(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
25	10±1	4±1	50	40	170	340	700	1171
15	10±1	4±1	50	42	170	340	732	1133

表-2 0.2%以上の塗膜損傷の種類と形状

塗膜損傷		コンクリートのかぶり(cm)	塗膜損傷形状寸法 単位:mm
大きさ(mm ²)	個数		
3	25	2.4	
8	10		
20	10		
65	10		
100	4		

損傷の個数は、供試鉄筋長50cm当たりの数。
*印は、塗膜損傷3mm²の付与位置。

表-3 0.2%以下の塗膜損傷の種類と形状

塗膜損傷		コンクリートのかぶり(cm)	塗膜損傷形状寸法 単位:mm
大きさ(mm ²)	個数		
0.2	16	2.4	
1	4		
1	16		
1	40		
3	2		
3	5		
8	2		

損傷の個数は、供試鉄筋長50cm当たりの数。
*印は、塗膜損傷0.2mm²の付与位置。

の比率で表している。

この実験で、EP鉄筋の樹脂塗膜に与えた塗膜損傷の種類と形状寸法は、それぞれ表-2、表-3に示す。

EP鉄筋の樹脂塗膜に損傷を付けたものの代表的な例を写真-1および写真-2に示す。

供試体は、これらの傷を与えたEP鉄筋をコンクリート中に埋め込んで、かぶり2cmと4cmで製作した。この供試体の形状および寸法を図-4に示す。

また、腐食の程度を比較するため、同一形状の普通鉄筋によって同様な供試体を製作した。

過去の実験からブリージングの影響によって、鉄筋下部の腐食が上部より先行することがわかっているので、供試体製作の際、樹脂塗膜損傷部分は、コンクリート打設方向の下側となるように設置してコンクリートを打設した。

供試体は、コンクリート打設後1日で脱型した後、水

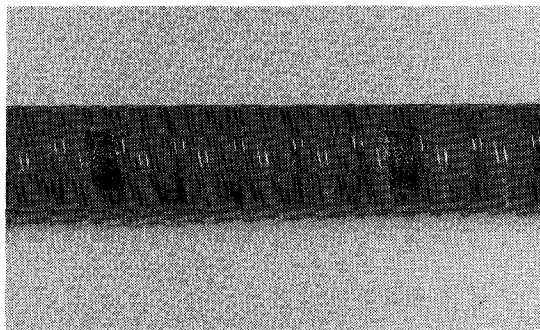


写真-1 0.2%以上の塗膜損傷 (65 mm² 10 cm 間隔)

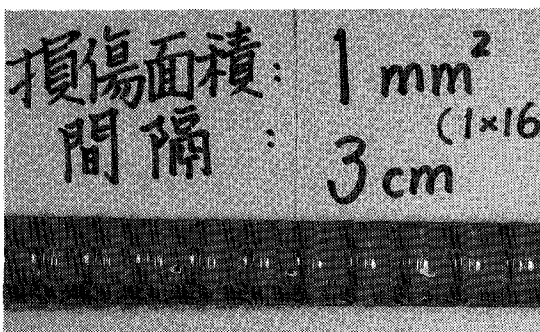


写真-2 0.2%以下の塗膜損傷 (1 mm² 3 cm 間隔)

温 20±3°C の水槽内で 14 日間水中養生を行なった。そして、材令 14 日で実験室内腐食促進試験に供した。

このコンクリートの圧縮強度および引張強度を表-4 に示す。

供試体を促進試験の試験槽に入れる前には、供試体の外部に露出している鉄筋および供試体の端部には、直接、浸漬水である海水の影響を受けないように防水等の目的でエポキシ樹脂系補修用塗料を塗布した。

(4) 試験装置

図-5 に実験に使用した腐食促進試験室の概略図を示す。

図に示すように腐食促進試験装置は、試験槽、温度制御部 (温度センサー、温度制御装置、リレー、温風器)、ポンプ部 (電動ポンプ、タイマー) などから構成されている。

腐食促進の試験状況を写真-3 に示す。

供試体は、室温を 50°C で一定にした腐食促進試験室内の 2 つの試験槽内に設置し、浸漬水である海水を 2 つの試験槽中で交互に移動させることによって供試体に対して 1 日 2 回 (これを 1 サイクルとする) の空气中乾燥-海水中浸漬の繰り返しを与えた。

4. 腐食試験法の評価

60×100×3(mm) の鉄板 (材質: SM490A) を促進

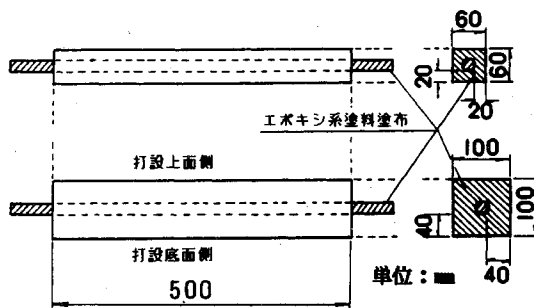


図-4 供試体の形状寸法

表-4 コンクリートの強度 (σ_{14})

粗骨材の最大寸法 (mm)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)
25	342	26.2
15	353	27.2

(水中養生)

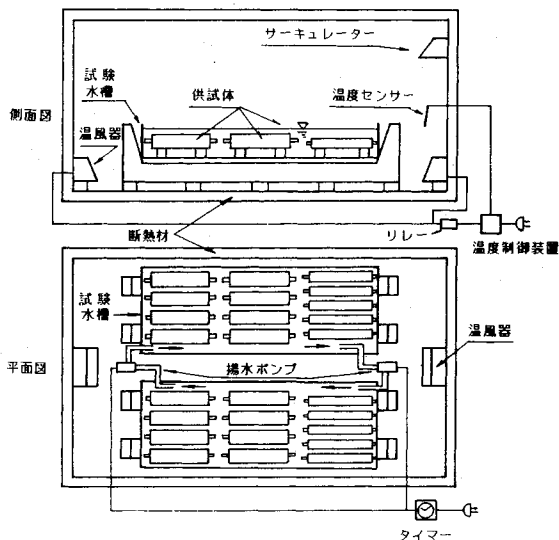


図-5 腐食促進試験室の概略図

試験室内および次に示す実際の各種環境下に設置し、その腐食量の結果から促進試験の評価を行った。

厳密に言えば、この方法は必ずしもコンクリート中の鉄筋腐食の促進試験法の評価になっているとは言えないかもしれないが、より簡便な方法がなかったので目安としてこのような方法を採用した。

現場の設置場所は、以下の 5 箇所である。

- 1) 沖縄県糸満市西方 14 km 洋上にあるルカン礁と呼ばれている珊瑚礁の燈台のコンクリート基礎台上 (波浪時に海水がかかる海洋大気中・高温地方)
- 2) 1) と同じ場所にある珊瑚礁内のプール内 (常時海水中・高温地方)
- 3) 徳島県阿南市にある四国電力阿南火力発電所構内

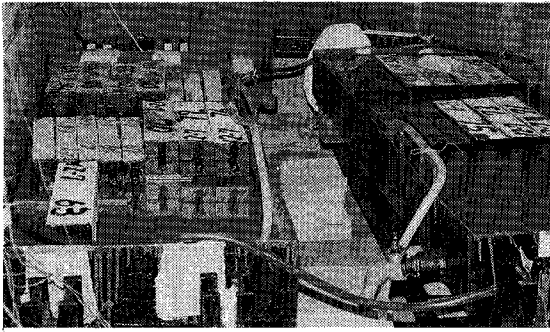


写真-3 腐食促進の試験状況

の棧橋の裏側(干満帯)

- 4) 兵庫県尼ヶ崎市の海岸から5kmの所にある工業地帯の建物の屋上(大気中)
- 5) 沖縄県那覇市内の陸上(塩分大気中・高温地方)

の計5箇所である。

また、腐食促進試験室内の鉄板の設置場所は、試験槽内の供試体の鉄筋位置と同じ高さに水平に吊り下げた。

このようにして、供試体と同じように鉄板にも空気中乾燥-海水中浸漬の繰り返しを与え、腐食促進試験室と現場との腐食の状態を比較した。

腐食促進試験後の鉄板の腐食状態を写真-4に示す。

腐食促進試験室の結果を表-5に示す。

表-5より、実験室で試験した鉄板の重量減少量から腐食量を求めてみると、促進試験200および400サイクル終了時でそれぞれ約0.54mm, 0.71mmであった。各地の現場における腐食速度の結果と当実験室での腐食促進試験データ結果から、腐食量(Y)と年数(X)との関係を $Y=X/(A+BX)$ と仮定して最小2乗法を用いて推定して得たグラフが図-6である。

この図は、期間を100年として推定したものである。

特に長期の値では、実際にはもう少し大きくなるものと思われるが、ここでは目安として用いることを目的としたものである。

この図より、腐食促進試験期間が現場では、どれくらいの暴露期間に相当するかを求めた。

その結果、促進試験期間400サイクルでは、ルカン礁の海洋大気中で約1年、四国電力阿南火力発電所構内の干満帯で約2.4年、ルカン礁の海水中では、この図より大きくなると仮定しても少なくとも数十年以上に相当していることが推定される。

また、この図より各環境における腐食進行の程度を比較することができる。

5. 結果および考察

所定の腐食促進試験期間終了後、供試体から鉄筋を取り出して腐食量を調べた。

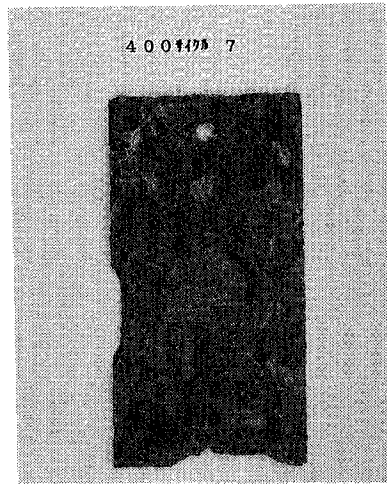


写真-4 腐食促進試験後の鉄板の腐食状態(腐食深さ0.777mm)

表-5 促進試験における鉄板の腐食深さ

サイクル数	腐食量 (g/m ²)	腐食深さ(mm)	平均値(mm)
200 サイクル	3949	0.502	0.536
	4348	0.553	
	4349	0.553	
400 サイクル	5330	0.678	0.709
	5241	0.667	
	5427	0.691	
	6106	0.777	
	5511	0.701	
	5791	0.737	
	5597	0.712	

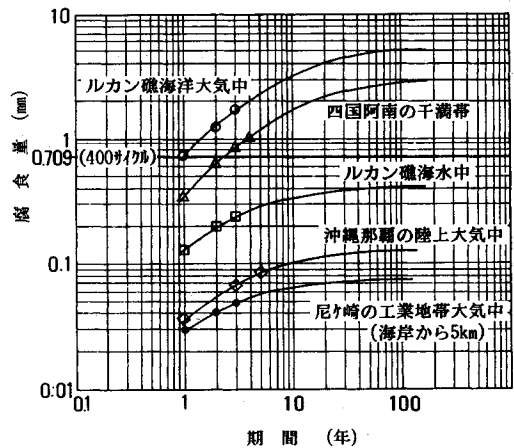


図-6 各地の現場における腐食量と期間との関係

腐食促進試験期間中に供試体の鉄筋軸に沿って縦ひび割れが発生したかどうかを確かめるため、供試体を割裂する3~4時間前に、それらの供試体を赤インク中に浸漬した。

その結果、普通鉄筋を用いた供試体においては、200

サイクル時においても、鉄筋軸に沿って縦ひび割れの発生しているものが確認された。

それらの供試体に発生した縦ひび割れのひびわれ幅は、最大で2mm程度であり、そのひび割れ部の周辺には、さび汁の付着物も確認された。

供試体を鉄筋のリップを含む面で割裂してみると、普通鉄筋を用いた供試体では、鉄筋面が赤インクで染まっていた。このことから、普通鉄筋を用いた供試体では、ひび割れ発生後は空气中乾燥—海水中浸漬の繰り返しの度に浸漬水である海水が鉄筋まで到達していたと考えられる。また、普通鉄筋に発生した腐食は、かなり体積(厚み)のある腐食でそれらは鉄筋のふしの高さまで膨張しており、コンクリート中の鉄筋表面積の大部分を覆うほどの赤さびであった。

これに対して、EP鉄筋を用いた供試体は、すべて400サイクルの腐食促進試験終了時点でも鉄筋に沿った縦ひび割れの発生は確認されなかった。

普通鉄筋の供試体と同様に、供試体を割裂して供試体内部からEP鉄筋を取り出し、その外観および発生した腐食の状況を観察した。

その結果、外観は供試体を製作した時点でのEP鉄筋と殆ど変わりはなかった。

エポキシ樹脂塗膜の損傷部において、さびが発生しているものも見受けられたが、その場合でも塗膜の破損は見られず損傷の小さいものでは塗膜の浮き上がりも見られなかった。

腐食状況の調査は、カッターで鉄筋表面の樹脂塗膜を慎重に取り除いて行ない、樹脂塗膜の下の鉄筋に腐食が発生していた場合には、その腐食領域をも測定した。

腐食領域の測定は、塩化ビニル膜で腐食領域の鉄筋面を包み、その領域をトレースし、これを1mm目方眼紙に写して、腐食領域の表面積を測定する方法で行った。

EP鉄筋に発生したさびの形態は、主に樹脂塗膜と鉄筋の隙間に鉄筋軸方向に入り込んだ隙間腐食であったが、塗膜損傷部の腐食以外はすべて、普通鉄筋に発生した赤さびと異なる黒さびであった。

(1) 樹脂塗膜損傷面積率0.2%以上の結果

図-7は、各サイクル数に対する塗膜損傷面積と塗膜損傷1個当たりの腐食面積との関係を示した。

ここで、塗膜損傷1個当たりの腐食面積とは、樹脂塗膜損傷部に発生した腐食面積の合計を塗膜損傷の個数で除した値である。

この図より、100サイクルでは、かなりのばらつきはあるものの200サイクル、400サイクルと促進試験期間が長くなるにつれて、塗膜損傷面積が大きいほど腐食面積も大きくなっていることがわかる。

100サイクルにおいて、かぶり2cmのものより、かぶり4cmの腐食面積の方が大きくなっている。これは、

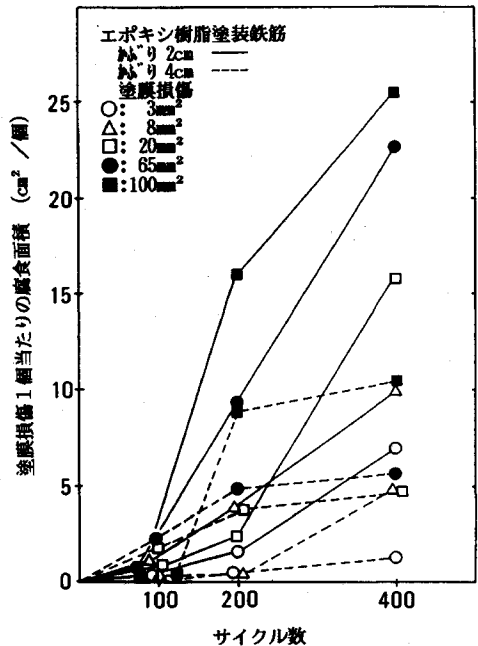


図-7 塗膜損傷1個当たりの腐食面積とサイクル数との関係

試験期間が短いためとも考えられるが、かぶりが大きい分だけフリージング水の量も多かったためとも考えられる。

促進試験期間が100サイクルから200サイクル、さらに400サイクルへと長くなるにつれて、コンクリートのかぶり厚さによる腐食面積の違いがはっきりと現れてくる。特に、かぶりが2cmの方は、200サイクルから400サイクルにかけて、腐食面積が大きく増加しているのに対して、かぶり4cmの方では、それほど大きな増加量はみられない。すなわち、EP鉄筋を用いた場合であっても塗膜に損傷がある場合には、鉄筋のかぶりが高いほど腐食量は小さくなる。

図-8、図-9、図-10は、塗膜損傷面積率0.2%以上の各サイクルにおける塗膜損傷1個当たりの腐食面積と塗膜損傷の大きさの関係を示した。

これらの図からもわかるように、サイクル数が多くなると塗膜損傷の面積が大きくなるにつれて腐食面積も増加している傾向が見られる。

前述したASTMの規準では、塗膜損傷面積が1個当たり、65mm²以下で且つ、塗膜損傷の合計がコンクリート中の鉄筋表面積の2%以下程度の大きさであれば許容できるとしているが、この程度の損傷の場合であってもサイクル数の増加と共にさびが増加しており、さびの進行が頭打ちになったとは考えられない。

すなわち、環境によっては長期にわたって腐食を防ぐためには、ASTMが規定している65mm²以下であれば許容できるという規準をそのまま使用するの、危険

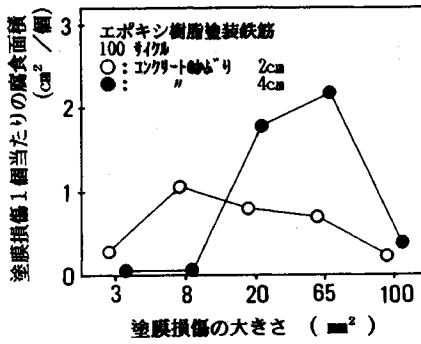


図-8 100 サイクルの促進試験結果

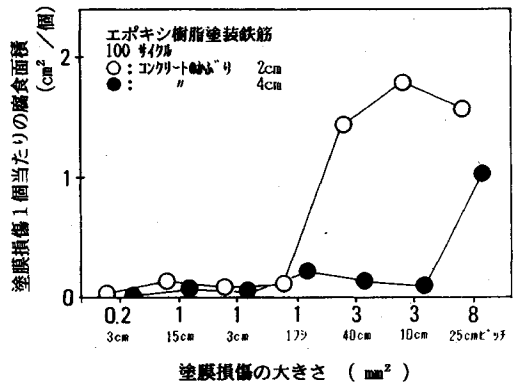


図-11 100 サイクルの促進試験結果

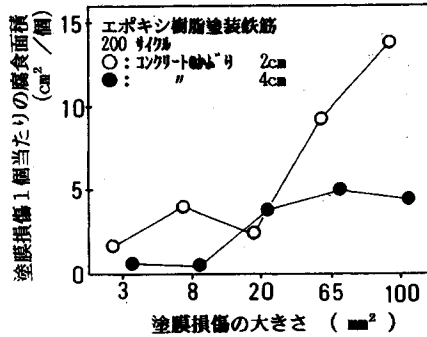


図-9 200 サイクルの促進試験結果

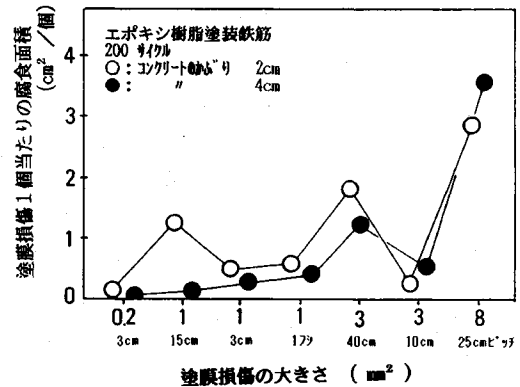


図-12 200 サイクルの促進試験結果

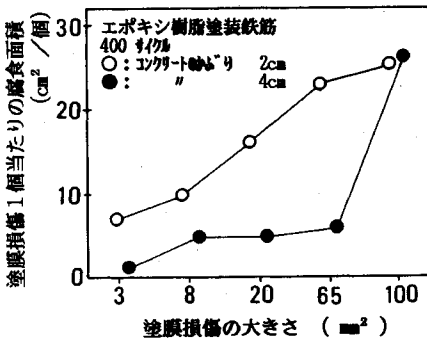


図-10 400 サイクルの促進試験結果

であると思われる。

コンクリートのかぶり2cmの方では、今回のどの損傷面積においてもサイクル数が増えるにしたがって腐食面積も増加する傾向がわかる。

かぶりの厚い4cmにおいては、腐食の進行する割合が減少し、頭打ちになっているようにも思われるが、この時点では、判断しにくい。

(2) 樹脂塗膜損傷面積率0.2%以下の結果

図-11、図-12、図-13は、塗膜損傷面積率0.2%以下の各サイクルにおける塗膜損傷1個当たりの腐食面積と塗膜損傷の大きさの関係を示した。

EP鉄筋の塗膜損傷がある程度まで小さくなると腐食

が進行しなくなるという過去の実験結果⁹⁾があるので、長期間腐食を防止するためには、サイクル数が増加しても、腐食が増加しないような損傷の大きさとすれば良いと考える。

腐食促進100サイクルの結果、かぶり2cmでは、塗膜損傷の大きさが0.2~1mm²までの損傷においては、腐食面積に違いはみられず、3mm²程度から増加している。かぶり4cmでも損傷が3mm²までは、腐食面積に大きな違いはなく、損傷が8mm²から腐食面積の増加がみられる。なお、これらの塗膜損傷部においては、損傷部全箇所¹⁰⁾に腐食が発生したわけではなく、かなりばらつきは見られた。

腐食促進200サイクルの結果では、塗膜損傷が0.2mm²においては、図-11の結果と同程度であった。

ところが、損傷がより大きい場合には、かぶり2cmでは、塗膜損傷の大きさが同じであっても損傷個数が少ない鉄筋に発生した腐食の方が大きかった。

かぶり4cmでは、1mm²の損傷において損傷の間隔が小さくなるにつれて腐食面積が徐々に増加する傾向を示しているのに対して、損傷面積が3mm²では、かぶり2cmと同様に逆になる傾向を示している。

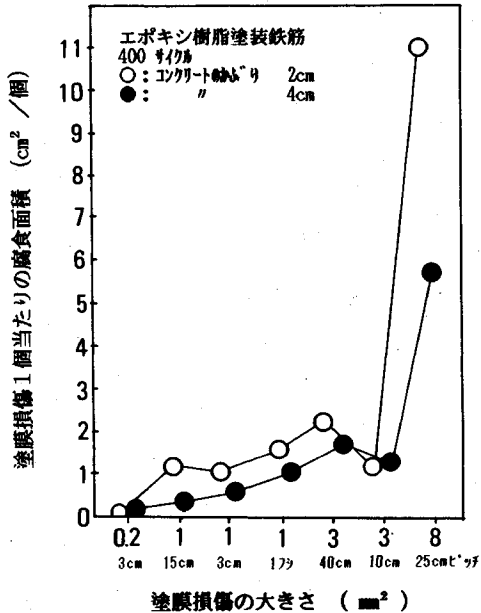


図-13 400サイクルの促進試験結果

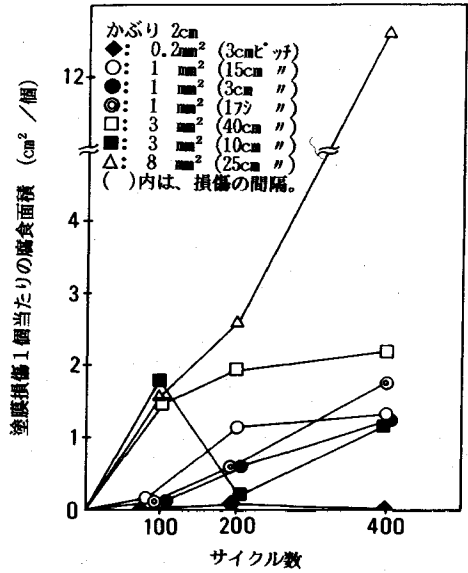


図-14 各塗膜損傷面積に対する塗膜損傷1個当たりの腐食面積とサイクル数との関係

腐食促進400サイクルの結果では、塗膜損傷8mm²の腐食面積は、かぶり2cmで200サイクルの約3倍、かぶり4cmでは、約2倍であった。

図-14、図-15は、かぶり2cmおよび4cmの塗膜損傷1個当たりの腐食面積と各試験サイクルとの関係を示す。

塗膜損傷0.2mm²では、400サイクル試験終了時でも腐食の進行は見られなかった。すなわち、損傷面積が0.2mm²の場合には、腐食に対して安全であると思われる。塗膜損傷1mm²では、損傷面積によっては、200サイクルまでは、腐食の増加はみられるが400サイクルになるとそれほど腐食は進行せず頭打ちになる場合があると思われる。塗膜損傷3mm²および8mm²では、すべて試験期間の増加に伴って腐食量が増加する傾向を示している。ただし、塗膜損傷3mm²でかぶり2cmの場合、腐食が頭打ちになっているように見えるものもあるが、これは結果にばらつきが大きく、且つかぶり4cmの場合が頭打ちになっているとは言えないので、安全のため、頭打ちになっているとは考えないのがよいと思われる。すなわち、損傷面積3mm²以上では、長期にわたると腐食が増加する可能性があると考えられる。

次に、損傷1mm²の場合について損傷面積率と試験サイクルとの関係を図-16、図-17に示す。

図中の腐食面積とは、塗膜損傷部に発生した腐食面積の合計である。

これより、かぶり2cmの場合、損傷面積率0.013%以下、かぶり4cmの場合、損傷面積率0.054%以下であれば腐食は進行しないことがわかる。

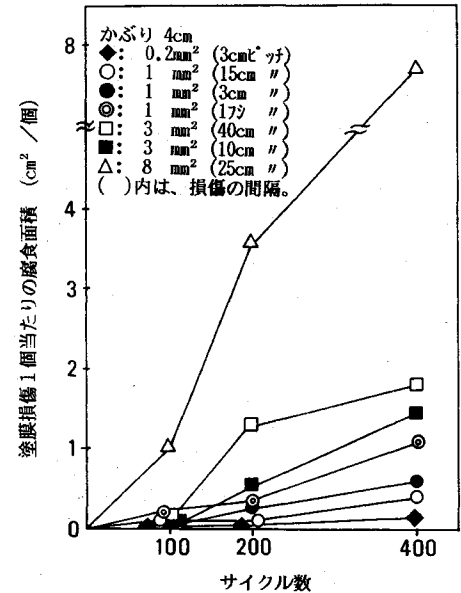


図-15 各塗膜損傷面積に対する塗膜損傷1個当たりの腐食面積とサイクル数との関係

6. 結 論

エポキシ樹脂塗装鉄筋の腐食に対して許容できる塗膜損傷を見出すため、エポキシ樹脂塗装鉄筋の樹脂塗膜に種々の損傷を付け、コンクリート中に埋め込んで鉄筋コンクリート供試体を製作し、空气中乾燥-海水中浸漬の繰り返しを与える実験室内腐食促進試験によって、樹脂塗膜損傷部に発生する腐食について調査を行った。

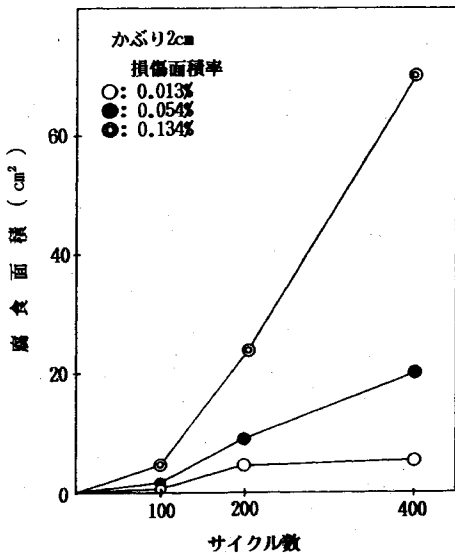


図-16 塗膜損傷の大きさが1mm²の時の各損傷面積率に対する腐食面積とサイクル数との関係

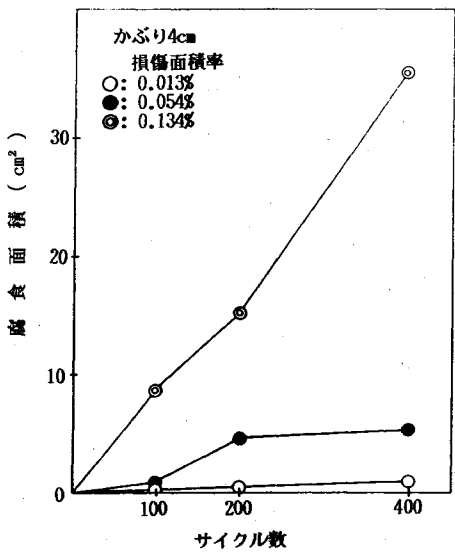


図-17 塗膜損傷の大きさが1mm²の時の各損傷面積率に対する腐食面積とサイクル数との関係

本研究の結果、次のようなことがわかった。

- (1) 鉄筋腐食性環境下において、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した場合、その塗膜がかなり損傷している場合であっても普通鉄筋と比べてその防食性能は飛躍的に大きくなる。
- (2) ASTMの規準では、塗膜損傷面積が1個当たり65mm²で、且つ塗膜損傷の合計がコンクリート中の鉄筋表面積の2%以下程度の損傷の大きさであれば許容できている。しかし、今回の実験によると、この程度の塗膜損傷では、試験期間が長くなるにつれて、鉄筋

に発生する腐食も大きくなっている。

したがって、構造物の耐用年数を半永久的と考えるならば、すべての環境に対してこの規準をそのまま引用するのは危険であると思われる。

(3) 樹脂塗膜損傷の大きさ及び面積率が小さくなると明らかに腐食の発生は小さくなっていることが確認された。

そして、厳しい環境下における半永久構造物において腐食を防ぐための樹脂塗膜損傷の最大値は、かぶり2cmおよび4cmとも1mm²程度であった。

また、これらの塗膜損傷に対して許容できる損傷面積率は、かぶり2cmでは、0.013%以下、かぶり4cmでは、0.054%以下であった。

(4) 鉄筋の腐食の程度は、環境によって大きく異なる。したがって、構造物の設計耐用年数がより短い場合および環境がより厳しくない場合の許容塗膜損傷度は、それぞれの環境条件によって異なってくることになるがこれらの値よりかなり大きくすることが出来るものと思われる。

(5) これらの結果は促進試験によるものであり、必ずしも実際の環境に精度良く適用できるとは言えないが、以上のことから腐食性環境下でエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用する場合、その取扱いには、次のような点に注意しなければならないと思われる。

(a) 気温が高く、常に乾燥-湿潤が繰り返されるような厳しい環境において、長期間使用される鉄筋コンクリート構造物に対しては、エポキシ樹脂塗装鉄筋の取扱いは、普通鉄筋と比べて慎重にし、その塗膜損傷度は、かぶり2cmでは、1個当たりの塗膜損傷の大きさは1mm²以下で、且つ損傷面積率が0.01%以下、かぶり4cmでは、同様に1mm²以下で0.05%以下程度となるように塗膜損傷部を補修しなければならない。

(b) 腐食性環境であっても、常に海水中にある場合など、環境が特に厳しくない場合、あるいは使用期間が比較的短い場合の鉄筋コンクリート構造物に対しては、エポキシ樹脂塗装鉄筋の取扱いは、普通鉄筋と同程度で良く、また、塗膜損傷部の補修も損傷面積が50~100mm²程度以上の特に大きい部分のみで良い。

なお、これらの値はコンクリートの水セメント比が50%における実験結果によって求められたものである。

エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用するような環境におけるコンクリートの水セメント比は、この程度以下で使われることが多いものと思われるが、水セメント比がより大きい場合には、更に厳しく考える必要があるものと思われる。

参考文献

- 1) 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), 土木学会コンクリート・ライブラリー第 58号, 1986年2月.
- 2) Standard Specification for Epoxy-Coated Reinforcing bars. (ASTM A 775-81)
- 3) 東北自動車道積雪寒冷地における橋梁床版の耐久性に関する調査検討報告書 (その2), 日本道路公団 仙台建設局 鹿角工事事務所, 1985年7月.
- 4) 日本コンクリート工学協会編: 海洋コンクリートの防食指針案資料2, pp.49~62, p.57, 図-12, 関博・小野寺幸夫: 海岸コンクリート構造物の劣化, セメント・コンクリート, No.312, pp.9~15, 1973.Feb.
- 5) 新井哲三・白川 潔・三上尚人・小山清一・山崎 章: エポキシ樹脂塗装鉄筋, 住友金属, Vol.36, No.3, Jul.1984.

(1991.4.15 受付)

STUDY ON ALLOWABLE COATING DAMAGE OF AN EPOXY-COATED REINFORCING STEEL BAR

Takashi MIURA, Hirofusa ITABASHI and Tetsuzou ARAI

Usage of an epoxy-coated reinforcing bar has been one of the most effective methods that prevent corrosion damages. It may happen that flaws are made on coating surfaces during transportation, handling, or bending of an epoxy-coated bar. This study examines the effects of flaws on the coating upon the corrosion of an epoxy-coated bar intensively. Epoxy-coated steel bars were embedded in concrete test pieces with 2 cm and 4 cm of cover, and the area of corrosion on the bars were observed for 400 days. The coated bars showed much higher preventive ability under a corrosive condition than the uncoated ones, even if there are some flaw on coating. However, the experimental results suggest that, under a severe corrosive condition, a flaw should not exceed 1 mm², the area of the whole flaws should not exceed 0.013% and 0.054% for 2 cm and 4 cm of cover, respectively.