

エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの防食に関する研究

琉球大学名誉教授 正会員 〇大城武 沖縄ピーシー(株) 非会員 仲宗根晋也
 沖縄職業能力開発大学校 非会員 成底佐一郎 日本パーカライジング(株) 非会員 村上 邦佳

1. はしがき

現在、海岸隣接部での塩分環境下に建設される鉄筋コンクリート構造物の主な防食方法は、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することである。その設計・施工に際しては、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¹⁾がガイドラインとなっている。ここでは、塗膜損傷の許容値として 1 mm^2 を標準とする規定を定めている。また、ASTM A 775-2001²⁾にも塗膜損傷の取り扱い規定がある。しかし、塗膜損傷の大きさについての取り扱いが上記の規定では異なり、また、塗膜損傷の腐食に対する影響の度合いも明確にされていない。そこで本研究では、許容される損傷の限界値をあらためて実験的に確認する事を目的としている。

2. 試験概要

塗膜に人工的に損傷をつけたエポキシ樹脂塗装鉄筋の鉄筋コンクリート試験体を製作し、塩水乾湿繰り返し促進試験を実施する。同時に、塩分環境下の海岸に試験体を暴露し、エポキシ樹脂塗装鉄筋の塩害劣化について長期に亘り調査研究を行う。また、損傷部での腐食のメカニズムを解明する目的で、マクロセルおよびミクロセルの腐食電流を測定するモデル試験体を製作し、定量的にそれらの値を計測して鋼材腐食を評価する³⁾。ここでは、上記の塩水乾湿繰り返し促進試験について記述する。

本試験に用いる試験体の諸元を図—1に示す。この試験体を対象に、塩水浸漬(3% NaCl、50℃)6日間、乾燥(60℃)6日間を1サイクルとする塩水乾湿繰り返し促進試験を実施した。所定のサイクル終了時にコンクリートコアを採取し、塩化物イオン量の分析を行い、また、試験体を解体して内部鉄筋の腐食を観察した。

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は海砂(東村新川産、比重 2.61)と石灰石砕砂(本部産、比重 2.67)の混合砂(混合割合 6:4)、粗骨材は石灰石碎石(本部産、比重 2.71)を使用した。コンクリートの配合は、水セメント比 50%、単位水量 160 kg/m^3 、スランプ $10 \pm 2\text{ cm}$ とした。エポキシ樹脂塗装鉄筋

の塗膜に各種サイズの損傷を人工的につけている。塗膜につけた損傷の種類および形状を表—1に示す。

3. 実験結果および考察

5サイクル終了時での鉄筋位置における塩化物イオン濃度は、 1.58 kg/m^3 (Cl⁻濃度)を表し、鋼材腐食発生限界濃度 1.2 kg/m^3 (Cl⁻濃度)を既に超えている。16サイクル終了時に 4.69 kg/m^3 (Cl⁻濃度)、21サイクル終了時には 4.45 kg/m^3 (Cl⁻濃度)と塩化物イオン濃度は高くなり、損傷部の鋼材表面はこの環境に曝されている。

長期の塩水乾湿繰り返し促進試験(16及び21サイクル)終了時において、無塗装鉄筋には著しい腐食が発生しているのに対し、損傷のない塗装鉄筋は健全であり、塗装による保護効果を完全に表している。人工的に損傷を付けた試験体の錆の発生状況は、損傷サイズにより異なる。試験体番号3および4の全部で30カ所ある $1 \times 1\text{ mm}$ の小さな損傷部において、2カ所に微小な斑点状の錆の発生が確認されただけで、他は健全である。また、試験体5および6の $1 \times 3\text{ mm}$ の損傷部においては、18ヶ所の損傷部中、試験体6—2(16サイクル)の1カ所に全面錆、試験体6—4(21サイクル)の1カ所に微小な錆が認められ、その他の16カ所は健全である。これらのことから、 $1 \times 1\text{ mm}$ および $1 \times 3\text{ mm}$ の損傷部での錆の発生割合は少なく、また、錆は狭い局所に限定されている。

$2 \times 4\text{ mm}$ の比較的大きな損傷部には、16サイクル終了時に、試験体7—2および試験体8—2の1カ所に全面錆が発生している。また、21サイクル終了時には試験体8—4の5カ所に全面錆が発生している。これらの錆は顕著であり、上記の $1 \times 1\text{ mm}$ および $1 \times 3\text{ mm}$ の損傷部での錆とは明らかに異なる。最も大きい $3 \times 4\text{ mm}$ の損傷部については、16サイクル及び21サイクル終了時においても点錆の発生しか認められない。

リブ上の比較的大きな $3 \times 3\text{ mm}$ および $3 \times 6\text{ mm}$ の損傷部については、21サイクルに試験体10—4および試験体11—4の1カ所に全面錆が発生し、腐食が顕

キーワード 塩害、エポキシ樹脂塗装鉄筋、人工的損傷、塩水乾湿繰り返し促進試験

連絡先 〒904-2162 沖縄県沖縄市海邦町 3-27 (沖縄ピーシー工場) Tel.098-934-4233

著に現れている。

ここで観察されるエポキシ樹脂損傷部での錆は、腐食速度に関する促進試験によると、マクロセル腐食よりもミクロセル腐食との結論が得られている³⁾。鋼材素面とコンクリート間には微細な空隙が存在し、また高濃度の塩化物イオン環境下にある。この様な環境下においては脱不動化が容易に生じ、局部腐食が発生すると考えられる。この局部腐食の生じる起点は、不動態被膜の構造や厚さの微妙な変化により決定されると考えられる。ある起点で腐食が発生すると、局部腐食の進行速度は早いのが特徴である。今回の観察において局部のみに腐食が見られたことは、その場所の腐食発生時期と観察時期が一致したことによるもので、今後時間の経過に伴い他の損傷部にも腐食が発生するものと考えられる。

この様に、局部腐食の観点から損傷部面積の影響の度合いを考察する事は非常に難しい問題である。今後、小面積の損傷部の腐食とコンクリート構造物の耐久性との関係を解明することが重要な課題と考えられる。

4. まとめ

無塗装鉄筋とエポキシ樹脂塗装鉄筋の錆の発生状況の比較から、エポキシ樹脂塗装鉄筋の防食性能が確認された。人工的な損傷部の錆の発生状況および進展の観察結果によると、サイクル増に伴い錆の増加および拡大が明らかになっている。鋼材素面とコンクリート間には微細な空隙が存在し、また高濃度の塩化物イオン環境下にある事から、脱不動化が容易に生じ、局部腐食が発生すると考えられる。

損傷部のサイズが $1 \times 1 \text{ mm}$ および $1 \times 3 \text{ mm}$ と小さい場合には、錆の発生状況は斑点状であり、損傷面積も小範囲に限定されている。しかし、それ以上の大きい損傷部に発生している錆は顕著であり、コンクリート構造物の耐久性に関わる問題であると思われ、さらに検討を要する。

本研究に際し、琉球大学山田義智教授、金沢工業大学宮里心一准教授、並びに長泉パーカライジング（株）大貫隆弘社長の協力を頂きました。ここに謝意を表します。

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[改訂版]、土木学会 コンクリートライブラリー112、2003. 11
- 2) ASTM A 775 - 2001、Epoxy-coated reinforcing steel bars

- 3) 中澤亮介ほか：塗膜損傷を受けたエポキシ樹脂被覆塗装鉄筋のモルタル中における腐食特性、土木学会第62回年次学術講演会（平成19年9月）p1047～1048

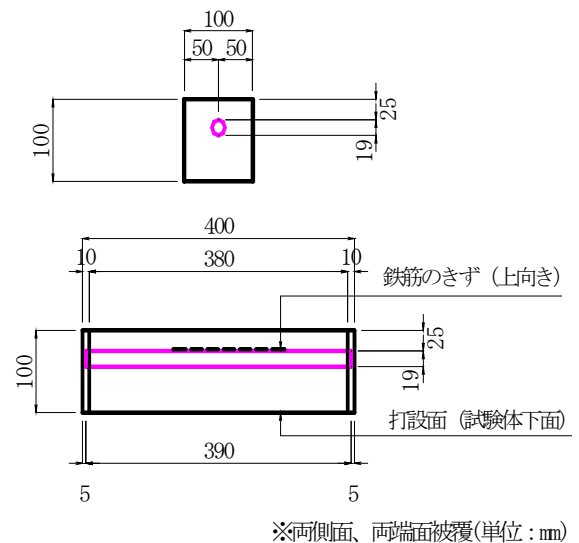


図-1 促進試験体 (100×100×400)

表-1 塗膜損傷の種類と形状

試験体番号	塗膜損傷 (mm ²)	個数*	備考*		
			形状・寸法 (mm×mm)	塗膜損傷率 (%)	損傷位置
1			普通鉄筋		
2	0	0	0	0	傷なし
3	1	3	1×1	0.013	節
4	1	12	1×1	0.053	
5	3	3	1×3	0.039	
6	3	6	1×3	0.079	
7	8	3	2×4	0.105	
8	8	6	2×4	0.211	
9	12	3	3×4	0.158	リブ
10	9	3	3×3	0.118	
11	18	3	3×6	0.237	

*：個数及び塗膜損傷率の数値は、促進試験体鉄筋長38cm当たりを示す。

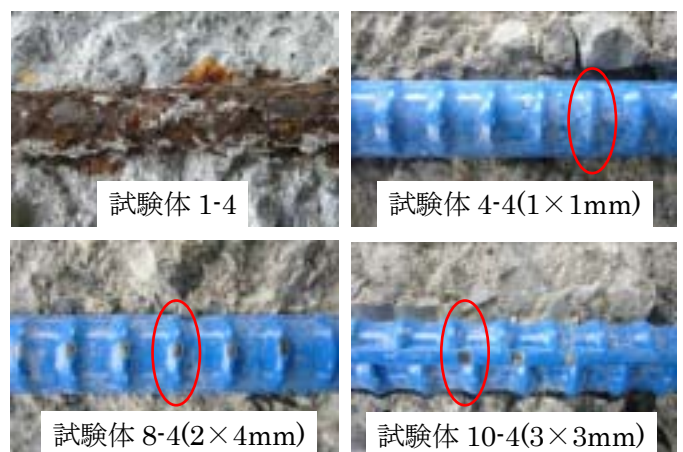


写真-1 錆の発生状況