

塩害環境下におけるエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた鉄筋コンクリートの防食に関する研究

琉球大学 正会員 ○富山潤, 琉球大学名誉教授 正会員 大城武
長泉パーカーライジング(株) 大貫隆弘

1. 目的

エポキシ樹脂塗装鉄筋の防食性は広く認識されている。しかし、エポキシ樹脂塗装鉄筋には、運搬、曲げ加工、組み立ておよび施工などの鉄筋を取り扱う際に、樹脂塗装に損傷が発生することがあり、この損傷部からの鋼材腐食の危険性が考えられる。しかし、損傷がある程度小さい場合には、構造物に有害な腐食は発生しないものと考えられる。塗膜損傷の大きさについての取り扱いが平成15年改訂版の「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」やASTM A775-2001に塗膜損傷の大きさの取り扱いが規定されているものの、その内容は異なるものである。また、塗膜損傷の鉄筋に対する影響に関する国内の研究も少ないのが現状である¹⁾。

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ことを目的としている。ここでは、塗膜に損傷を付けたエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いて鉄筋コンクリートの試験体を製作し、塩害環境下の海岸に試験体を暴露し、コンクリート中のエポキシ樹脂塗装鉄筋の劣化について長期に亘り調査研究を行う。本報では、暴露期間6年後の結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 コンクリートの使用材料と配合

コンクリートには、普通ポルトランドセメント（琉球セメント(株)、密度 3.16g/cm^3 、比表面積 $3210\text{cm}^2/\text{g}$)を用い、細骨材としては新川沖産海砂（比重2.61）と本部産石灰岩砕砂（比重2.67）の混合砂（混合割合6:4）を使用した。粗骨材は本部産石灰岩砕石（比重2.71、最大寸法13mm）を使用した。コンクリート配合は、水セメント比50%、単位水量 160kg/m^3 、スランプ $10\pm 2\text{cm}$ とした。

試験に使用したエポキシ樹脂塗装鉄筋は、公称径D-19の異形鉄筋にエポキシ樹脂を静電粉体塗装したものであり、その品質は、JSCE-E102「エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格」の適合品である。このエポキシ樹脂

と比較する目的で、同一形状の普通鉄筋を使用する試験体の試験も行った。

試験に使用したエポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜には、あらかじめ各種の大きさの損傷を人工的に付けている。その大きさと個数は、設計施工指針およびASTM A775-2001の基準を参考に決めた。塗膜に付けた損傷の種類および形状を表-1に示す。試験体製作に際しては、これらのエポキシ樹脂塗装鉄筋にかぶり25mmおよび30mmを確保した。暴露試験体は上下面以外の4面は遮塩性の塗装を行った。図-1に暴露試験体の寸法・諸元を示す。

表-1 塗装損傷の種類と形状

試験体番号	塗装損傷(mm ²)	損傷個数	備考		
			形状・寸法(mm×mm)	塗装損傷率(%)*	損傷位置
1			普通鉄筋		
2	0	0	0	0	損傷なし
3	1	4	1×1	0.013	節
4	1	16	1×1	0.052	
5	3	4	1×3	0.039	
6	3	8	1×3	0.078	
7	8	4	2×4	0.105	
8	8	8	2×4	0.201	
9	12	4	3×4	0.157	
10	9	4	3×3	0.118	
11	18	4	3×6	0.235	リブ

*塗装損傷率は、暴露試験体鉄筋長510mm当たりを示す。

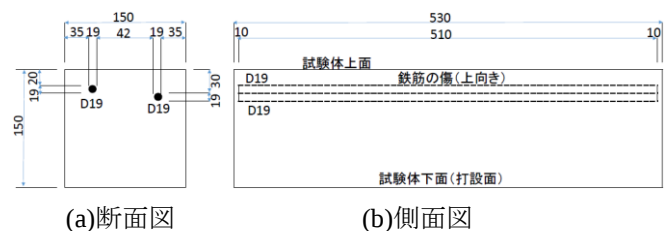


図-1 暴露試験体（単位：mm）

2.2 暴露試験

暴露試験は、沖縄本島中部の東シナ海側の海水飛沫を受ける防波堤上の厳しい環境下で行った。試験体設置は、平成19年3月である。測定は暴露期間5年、10年、15年の3回を予定していたが、暴露5年目は実施ができず、6年目(平成25年9月)に測定を行った。写真-1に暴露場状況を示す。

キーワード エポキシ樹脂塗装鉄筋、損傷の限界値、腐食、防食効果、暴露試験

連絡先 〒903-0213 沖縄県西原町字千原1番地 TEL098-895-8649



写真-1 暴露状況

3. 試験結果

3.1 コンクリート表面の状況調査

目視により試験体の暴露面の変状観察を行った。その結果、写真-2に示すように普通鉄筋を埋設した#1に鉄筋腐食が原因と考えられるひび割れが、かぶり 20mm の位置で確認された。他の試験体には特に大きな変状は確認できなかった。



写真-2 #1の変状 (鉄筋腐食によるひび割れ)

3.2 塩化物イオン濃度試験

分析は、暴露面から 10mm 間隔でスライスしたコンクリート片を粉碎し、JCI SC-5 (硬化コンクリート中に含まれる塩分の簡易分析方法) に準じた電位差滴定法により行った。その結果を図-2に示す。また、参考のために回帰分析も行った。これより、表面塩化物イオン濃度 Co は 13.3kg/m^3 、かぶり 20mm の位置で 4.7kg/m^3 、かぶり 30mm の位置で 2.0kg/m^3 の塩化物イオン濃度が確認され、鋼材腐食の発生に十分な塩分量である。

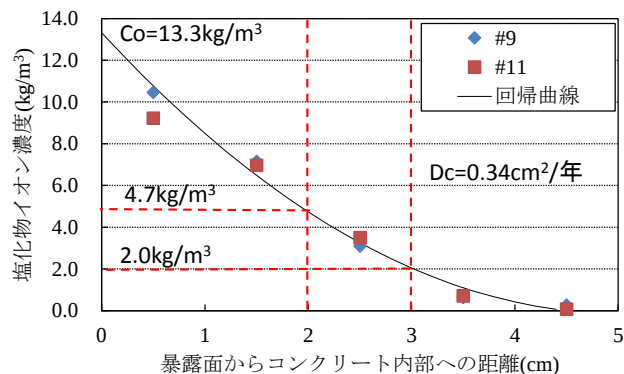


図-2 塩化物イオン濃度分析結果

3.3 中性化試験

中性化試験は、JIS A 112 (フェノールフタレイン液散布) に従い実施した。その結果、ほとんど中性化深さ

は確認できなかった。したがって、#1の鉄筋腐食および損傷部の腐食は塩害によるものである。

3.4 目視による腐食観察

鉄筋あるいはエポキシ樹脂塗装の損傷位置の腐食状況は、試験体を割裂し、内部の鉄筋を取り出し、目視および実体顕微鏡により観察した。

表-2に損傷個所に腐食が生じている数を腐食発生数とし、表記した。この結果より、損傷面積が 1mm^2 以上だと全体的に腐食が生じていることになる。しかし、次に示すように腐食の状況は、損傷の大小にかかわらず軽微な腐食である。これは損傷部においてマイクロセル腐食が卓越しているためである²⁾と考えられ、今後の腐食進行の状況を継続的に調査する必要がある。

写真-3に普通鉄筋の腐食状況を、写真-4に損傷位置で生じた代表的な腐食状況を示す。

表-2 試験体ごとの腐食発生数

試験体番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
塗装損傷(mm^2)	普通鉄筋	0	1	1	3	3	8	8	12	9	18
損傷個数		0	4	16	4	8	4	8	4	4	4
かぶり (mm)	20 30	20 30	20 30	20 30	20 30	20 30	20 30	20 30	20 30	20 30	20 30
腐食発生数	全面 上面	- -	0 0	2 0	4 3	8 8	4 4	7 7	4 3	4 4	4 3



写真-3 普通鉄筋の腐食状況(下:20mm, 上:30mm)



(a) #3-20mm

(b) #11-20mm

写真-4 エポキシ塗装鉄筋の損傷個所の腐食状況

4. まとめ

厳しい塩害環境に 6 年間暴露した損傷を有するエポキシ塗装鉄筋の腐食状況を調査した。その結果、軽微な腐食が確認された。今後も暴露試験を継続し、損傷個所での腐食状況を観察する。

参考文献

- 1) 星野富夫, 上久保通夫, 岸利治: 沖縄の海洋飛沫帯に長期間暴露したエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたコンクリートの防食効果に関する研究, コンクリート工学年次論文, Vol.33, No.1, pp.1151-1156, 2011
- 2) 中澤亮介, ほか 4 名: ひび割れを有するモルタル中における塗膜損傷を受けたエポキシ樹脂塗装鉄筋の腐食特性, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 5-115, pp.229-230, 2008