

塗膜損傷を受けたエポキシ樹脂塗装鉄筋のモルタル中における腐食特性

金沢工業大学大学院	学生会員	中澤 亮介
金沢工業大学	正会員	宮里 心一
琉球大学	フェロー会員	大城 武
日本パーカライジング	非会員	村上 邦佳
長泉パーカライジング	非会員	大貫 隆弘

1. はじめに

一般環境下におけるコンクリート中の細孔溶液はアルカリ性を示す。その結果、コンクリート中の鉄筋は、通常の使用条件下では容易に腐食しない。しかしながら、塩分環境下に曝されると、塩化物イオンの影響により早期に腐食が発生する。したがって、この様な環境下にて供用されるコンクリート構造物を防食するため、一部でエポキシ樹脂塗装鉄筋(以下、「エポ筋」と称す。)が用いられている。しかしながら、エポ筋は、運搬、曲げ加工、組立て、施工等の取扱い中において、樹脂塗膜に損傷が発生することがある。その結果、この損傷部から腐食が発生することもある。したがって現在、激しい塩分環境下において腐食を防ぐための許容塗膜損傷面積は 1mm^2 とされている¹⁾。しかしながら、施工の際にこの損傷面積以下とすることは難しく、規制値の緩和が望まれている。

上述の背景を踏まえて本研究では、モルタル中に埋設されたエポ筋に対し、損傷の状態(大きさ、分布)が鉄筋腐食に及ぼす影響を明らかにした。

2. 実験概要

本研究ではかぶり不足を模擬し²⁾、図1の様なモルタル供試体を作製した。また、鉄筋内部で流れる電流を測定するため、15mmに分割した鉄筋(以下、分割鉄筋と称す。)を埋設した。分割鉄筋とは、任意の長さに分割された鉄筋の両端にリード線をハンダ付けし、エポキシ樹脂で隣接する分割鉄筋要素間を絶縁したものである。また、隣接する分割鉄筋要素のリード線を接続し電氣的に1本の鉄筋とみなした。なお、エポ筋を現場で使用の際、付着強度の観点から、丸鋼が使用されることは極めて希である。ただし、異形鉄筋の節の高さや節の間隔が腐食に及ぼす影響を除くため、本研究では丸鋼を使用した。また、損傷部分が最もか

ぶりの小さくなるように鉄筋を設置した。供試体は28日間の水中養生後(20℃)、1日間の3%NaCl水溶液(20℃)噴霧・2.5日間の乾燥(20℃、RH60%)が繰り返される塩害促進暴露を105日間行った。

実験ケースを表1に示す。試験要因は、エポ筋の塗膜損傷の大きさおよび分布状態とした。1要素当りの損傷面積は補修を必要とする面積、すなわち 1mm^2 を基準に4水準設けた。損傷の分布は、任意の距離に損傷を模擬した鉄筋要素が1箇所のみにある場合(2, 6, 8, 12)、固まって5箇所ある場合(3, 9)、距離を置いて5箇所ある場合(4, 10)および連続して9箇所ある場合(5, 7, 11, 13)とした。本研究では、鉄筋要素間を流れる腐食電流をマクロセル電流、一方鉄筋要素内を流れる電流をマイクロセル電流と定義し、図2に示す方法で暴露28日目に測定した。また、マクロセルアノード電流密度とマイクロセル電流密度を足し合わせた値を総腐食電流密度とした。

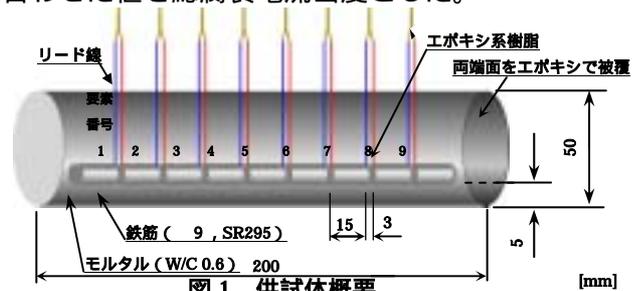


図1 供試体概要

表1 実験ケース

要素番号	鋼材の種類	一つ当たりの塗膜損傷 (mm×mm)	損傷導入鉄筋要素									延べ損傷面積 (mm ²)	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1	エポキシ樹脂塗装	損傷無し											0
2													1
3		1×1											5
4													5
5													9
6		1×3											3
7													27
8													8
9		2×4											40
10													40
11													72
12		4×10											40
13													360
14		普通鉄筋	-										-

キーワード 塩害, エポキシ樹脂塗装鉄筋, 塗膜損傷, 腐食速度

連絡先 〒921-8510 石川県石川郡野々市町扇ヶ丘7-1 Tel076-248-1305 Fax076-294-6713

なお、エポ筋では、塗膜損傷部のみで腐食することから、図2の算定の際、塗膜損傷面積を用いる場合と、鉄筋要素の全表面積を用いる場合の2通りとした。

3. 実験結果

測定結果の例を図3に示す。これによれば、マクロセル腐食よりミクロセル腐食が卓越することがわかる。したがって、エポ筋の塗膜損傷部では小さな腐食セルが形成することが確認できた。

塗膜損傷面積を用いて図2の算定を行った結果を図4に示す。これによれば、損傷面積が1mm²のケースが著しく高い値を示した。

一方、鉄筋要素の全表面積を用いて図2の算定を行った結果を図5に示す。ただし、普通鉄筋のケース(14)は5 μA/cm²であり、極端に大きな値を示したので除いた。これによれば、損傷面積の大きなケース(12、13)が最も大きな値を示した。

4. 結果の整理

図4と図5を踏まえ、総合的に評価する。1(損傷無し)では、腐食の進行が認められなかった。一方、12(普通鉄筋)と比べて、塗膜損傷の分布状態の違い(3と4、9と11)は、腐食電流密度に大きな影響を及ぼさなかった。また、塗膜損傷面積の違いによっても腐食速度に大きな違いは見られなかった。

105日目における供試体の概観を写真1に示す。これらによれば、12(普通鉄筋)は腐食が進行し、腐食ひび割れから錆汁が出ていることが確認できた。6~13の一部では、腐食ひび割れが発生しているのが確認できた。一方、1~5では、ひび割れが確認できなかった。

5. 結論

- 1) 健全なエポ筋では高い防食性を有する。
- 2) 損傷面積が1mm²の場合でも、損傷箇所に必要な塩化物イオンが存在すれば腐食する可能性がある。

参考文献

- 1) 土木学会：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]，コンクリートライブラリー112，(2003)
- 2) 田中良樹・河野広隆・渡辺博志：北米における実構造物コンクリート中のエポキシ樹脂塗装鉄筋の性能，土木学会論文集 E Vol. 62No4, 739-756 (2006)

$$I_{macro} = \frac{I_{i+1,i} + I_{i-1,i}}{S_i}$$

ここで、 I_{macro} ：鉄筋要素 i のマクロセル電流密度 (A/cm²)
 $I_{i+1,i}$ ：鉄筋要素 i+1 から鉄筋要素 i に流入する電流 (A)
 $I_{i-1,i}$ ：鉄筋要素 i-1 から鉄筋要素 i に流入する電流 (A)
 S_i ：鉄筋要素 i の表面積 (cm²)

$$I_{micro} = \frac{K}{R_{pi}}$$

ここに、 I_{micro} ：鉄筋要素 i におけるミクロセル腐食電流密度 (A/cm²)
 K ：定数 0.0209 (V)
 R_{pi} ：鉄筋要素 i における分極抵抗 (Ω·cm²)

図2 腐食速度算定式

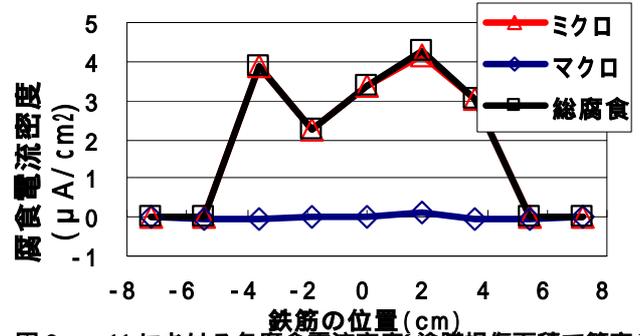


図3 11における各腐食電流密度(塗膜損傷面積で算定)

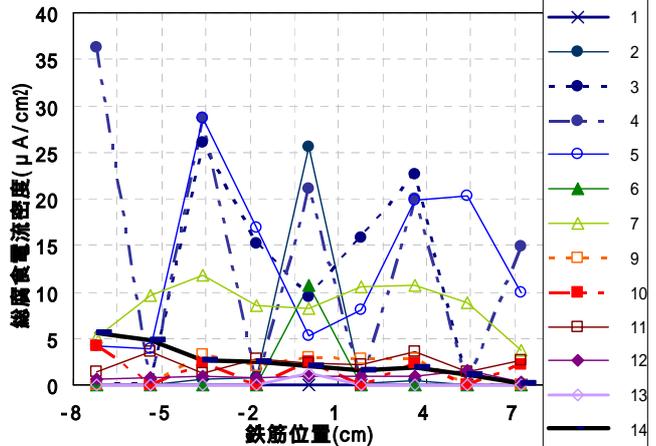


図4 総腐食電流密度(塗膜損傷面積で算定)

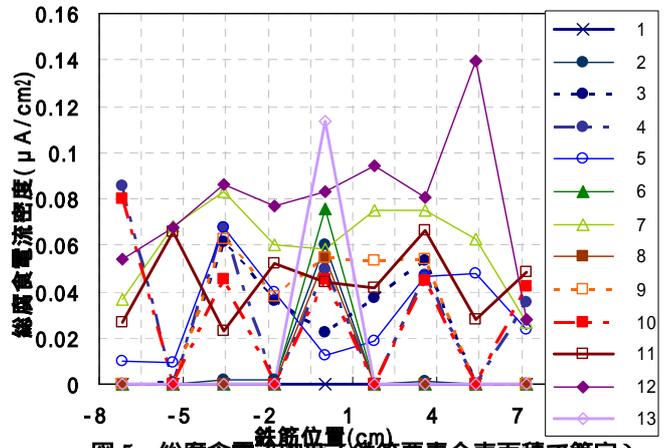


図5 総腐食電流密度(鉄筋要素全表面積で算定)



写真1 供試体の概観(上から 14、10、5)