

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

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
 琉球大学名誉教授 正会員 大城 武
 日本パーカライジング 非会員 村上 邦佳

1. はじめに

エポキシ樹脂塗装鉄筋（以下、「エポ筋」と称す。）は、塩害に対して極めて高い防食性があり、実用化されている。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。ここで、著者らの既往の研究²⁾により、かぶり不足の場合、エポ筋の損傷面積が 3mm^2 以下であれば、腐食速度は非常に小さいことがわかった。しかしながら、曲げひび割れとエポ筋の塗膜損傷が重なった場合は検証していない。

上述の背景を踏まえ本研究では、モルタル中に埋設されたエポ筋に対し、ひび割れと塗膜損傷が重なった場合、塗膜損傷の状態（大きさ、分布）が鉄筋腐食に及ぼす影響を定量的に明らかにした。

2. 実験方法

2.1 供試体概要と使用鋼材

本研究では、図1に示す $\phi 5\text{cm} \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を作製した。モルタルには、普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3 ）を使用し、砂は川砂（密度 2.59g/cm^3 ）を用いた。また、鉄筋内部を流れる電流を測定するため、 1.5cm に分割された鉄筋（以下、「分割鉄筋」³⁾と称す。）を埋設した。ここで、エポ筋は JSCE-E 102 を満たしている。なお、エポ筋を現場で使用する際、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、異型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、中央には曲げひび割れを模擬した厚さ 0.5mm のろ紙を挿入し、かつ中央の鉄筋

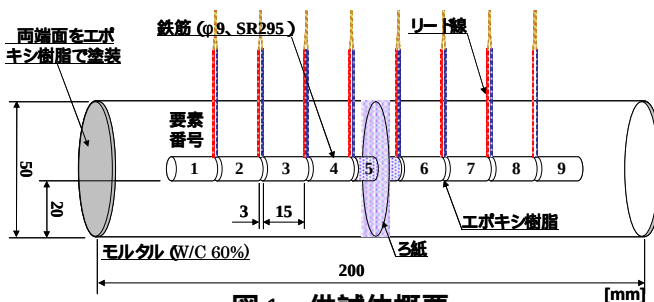


図1 供試体概要

要素にも巻いた。

2.2 実験ケース

実験ケースを表1に示す。鋼材はエポ筋と、普通鉄筋（SR295 $\phi 9$ 、黒皮あり）を使用した。エポ筋への塗膜損傷は、土木学会基準に定められている 1mm^2 をはじめとし、 3mm^2 および 8mm^2 の大きさであり、ハンディルーターで付与した。また、損傷の分布は、中央の要素に1つのもの（No2, 5, 7）、1要素おきに5つのもの（No3）、および全ての要素のもの（No4, 6, 8）とした。

2.3 養生・暴露方法

打設した供試体は水中（ 20°C ）にて28日間水中養生した。その後、塩水噴霧（ 20°C 、3%NaCl水溶液）1日、乾燥（ 20°C 、RH60%）2.5を1サイクルとし、28日間に亘り暴露した。

表1 実験ケース

No	使用鋼材	1要素あたりの塗膜損傷面積 (mm×mm)	塗膜損傷導入要素 (●)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	エポキシ樹脂塗装鉄筋	なし									
2		1×1					●				
3			●		●		●		●		●
4			●	●	●	●	●	●	●	●	●
5		1×3					●				
6			●	●	●	●	●	●	●	●	●
7		2×4					●				
8			●	●	●	●	●	●	●	●	●
9	普通鉄筋	-									

2.4 測定方法

マイクロセル腐食電流密度とマクロセル腐食電流密度を測定した。マクロセル電流は無抵抗電流計を用いて測定した。一方、マイクロセル腐食電流密度は分極抵抗を測定し、図2の式により算定した。また、マクロセル電流密度と分極抵抗を算定する際の表面積は、著者らの既往の研究²⁾から鋼材の表面積とした。なお、健全なエポ筋のマイクロセル腐食電流密度は0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、鉄筋位置が0cm、すなわちひび割れ箇所の腐食電流密度は最高値を示した。また、マクロセル腐食電流密度とマイクロセル腐食電流密度を比較すると、マイクロセル腐食電流密度が高い値を示した。

次に、塗膜損傷の分布による腐食電流密度の違いを図4に示す。これによれば、塗膜損傷のない要素の腐食電流密度は非常に低くなった。1要素のみに塗膜損傷があるケース(№2)では、中央の要素のみ腐食電流密度が高くなった。塗膜損傷の間隔が違うケース(№3, 4)を比較すると僅かながら№4のひび割れ箇所が高い値を示した。しかしながら、№2の腐食電流密度を考慮すると塗膜損傷とひび割れの関係は明確でない。

実験ケースごとの最大腐食電流密度を図5に示す。これによれば、普通鉄筋のケースは2.8 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ は、エポ筋のケースと比べ高い値を示した。また、エポ筋を用いたケースでは、塗膜損傷が8mm²で9要素のケース(№8)のみが高い腐食電流密度となった。

4. 結論

本研究にて得られた知見を以下に示す。

- 1) 健全なエポキシ樹脂塗装鉄筋は高い防食性を有する。
- 2) エポキシ樹脂塗装鉄筋は塗膜損傷が3mm²以下の場合、腐食電流密度は非常に低くなる。
- 3) 塗膜損傷が8mm²以上で複数、かつひび割れがある場合腐食電流密度は高くなる。

謝辞

山田義智様、小西知義様、大貫隆弘様ならびに涌井賢一様に感謝の意を表します。

$$I_{\text{macro}} = \frac{I_{i+1,i} + I_{i-1,i}}{S_i} \quad \text{ここで } I_{\text{macro}}: \text{鉄筋要素 } i \text{ のマクロセル電流密度 } (\mu\text{A}/\text{cm}^2)$$

$$I_{i+1,i}: \text{鉄筋要素 } i+1 \text{ から鉄筋要素 } i \text{ に流入する電流 (A)}$$

$$I_{i-1,i}: \text{鉄筋要素 } i-1 \text{ から鉄筋要素 } i \text{ に流入する電流 (A)}$$

$$S_i: \text{鉄筋要素 } i \text{ の表面積 (cm}^2\text{)}$$

$$I_{\text{micro}} = \frac{K}{R_{pi}} \quad \text{ここに } I_{\text{micro}}: \text{鉄筋要素 } i \text{ におけるマイクロセル腐食電流密度 } (\mu\text{A}/\text{cm}^2)$$

$$K: \text{定数 } 0.0209 \text{ (V)}$$

$$R_{pi}: \text{鉄筋要素 } i \text{ における分極抵抗 (cm}^2\text{)}$$

図2 腐食速度の算定式

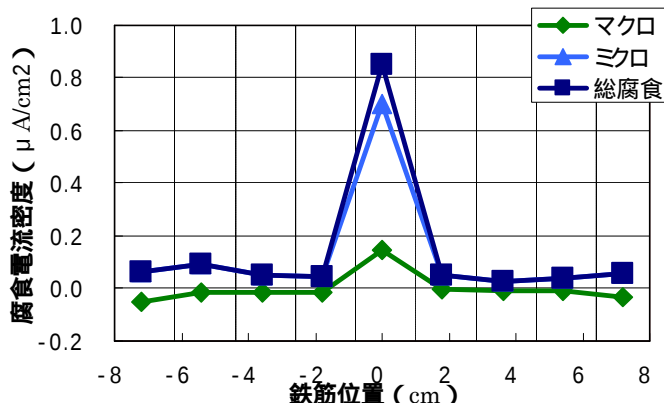


図3 実験結果の例 (№8)

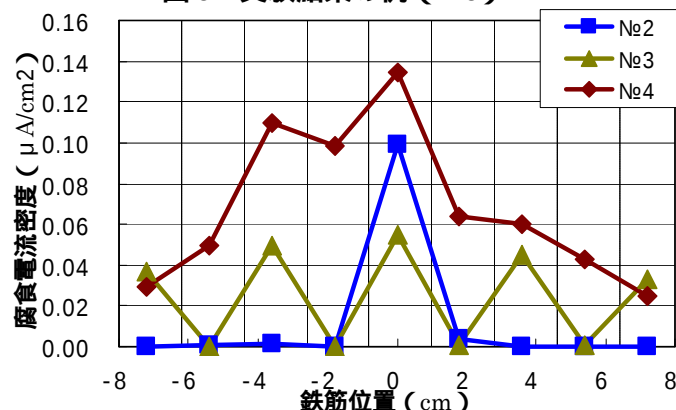


図4 塗膜損傷の分布による腐食電流密度の違い

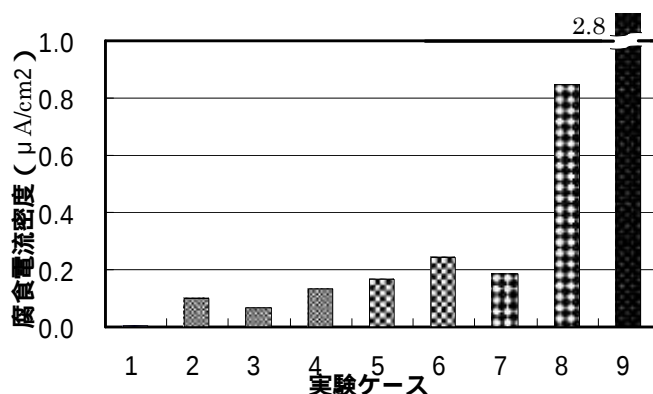


図5 実験ケースごとの腐食電流密度の最大値

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) 中澤亮介, 宮里心一, 大城武, 村上邦佳, 小西知義, 大貫隆弘 : モルタル中に埋設されたエポキシ樹脂塗装鉄筋における塗膜損傷と腐食の関係, 第54回材料と環境討論会講演集, pp.429-432 (2007)
- 3) 宮里心一, 大即信明, 小長井彰祐 : 分割鉄筋を用いたマクロセル電流測定方法の実験的・理論的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No.2, pp.547-552 (2001)