

塩害環境に暴露した塗布材料と塗布面が異なる RC 供試体の腐食抑制効果の相違

(国研) 土木研究所 正会員 ○加藤智丈 櫻庭浩樹 佐々木巖 西崎到

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の耐久性を保持するためには鉄筋の腐食を抑制することが重要であり、表面被覆工法や表面含浸工法などが実施されている。しかし実際の構造物では、その全ての面を補修することは困難であるため、環境等に応じた塗布部位や塗布材料の選定が必要である。そこで筆者らは、表面被覆工法・表面含浸工法による塩害補修の適用範囲が異なる場合における鉄筋の腐食抑制効果の違いについて検討を行っている。ここでは、塩害環境への暴露している供試体の調査試験の結果から、塗布材料や塗布面の違いが鉄筋の腐食抑制に及ぼす効果について報告する。

2. 実験概要

2.1 供試体の作製方法

供試体に用いた基材コンクリートの配合は表-1 に示すとおりであり、塩化物イオン量換算で 2.4kg/m³、または 6.0kg/m³ となるように NaCl を混入した。基材コンクリートの寸法は 150mm×150mm×500mm とし、図-1 に示すとおり、D13 の異形鉄筋 4 本をかぶり 30mm となるように配置した。作製した供試体の種類は表-2 に示すとおりであり、塗布材料や塗布範囲を変化させた。供試体種別は基準供試体を R とし、その他の供試体は塗布材料により分類した。また、各記号の後の数字は長手方向の面における塗布面の数を示す。表面被覆工法では標準的なエポキシ樹脂系の塗装仕様（プライマー、パテ、中塗り、上塗り、目標膜厚 140μm）の被覆を実施し（記号 E）、表面含浸工法ではシラン系表面含浸材（記号 S）、あるいはけい酸塩系表面含浸材（記号 N）を 200g/m² 塗布した。

2.2 暴露環境

2014 年 7 月から沖縄県大宜味村の海岸に位置する暴露試験場にて暴露試験を開始した。また、供試体の暴露環境を確認するために実施している飛来塩分量の調査結果では、捕集した方位や季節により変動はあるものの、年平均飛来塩分量が 1.0mdd (mg/dm²/day) 以上であった。

2.3 調査方法

暴露供試体の調査は 2017 年 1 月（約 900 日）まで計 6 回実施した。調査項目は、供試体の外観調査、および鉄筋の自然電位測定、分極抵抗測定である。外観調査は目視にて変状の発生を確認し、変状の種類や形状などを記録した。鉄筋の自然電位測定は照合電極に銀塩化銀電極を用いて、供試体上面の長手方向(L=500mm)を 6 分割した約 83mm 間隔の 5 測点で測定を行い、5 測点の平均値を測定値とした。また、測定対象の鉄筋は供試体片方の上面側と下面側の各 1 本ずつとした。分極抵抗測定はポテンショ-ガルバノスタットと FRA（周波数特性分析器）を用いて交流インピーダンス法により行い、得られた見かけの分極抵抗から腐食電流密度を算出した。

表-1 コンクリートの示方配合

W/C [%]	単位量 [kg/m ³]				
	水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
55	160	299	858	968	4.19

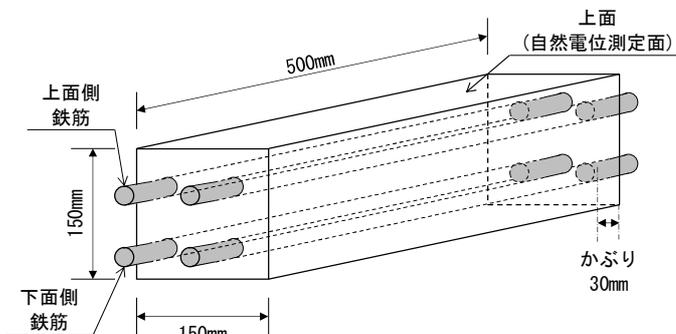


図-1 供試体の形状

表-2 供試体の種類

種別	長手方向の面における塗布面		断面概要
	被覆材	含浸材	
R	-	-	
E2 (エポキシ樹脂)	両側面	-	
E3 (エポキシ樹脂)	両側面 底面	-	
S3 or N3 (シラン) (けい酸)	-	両側面 底面	

*E3 は長手方向の両側端面にエポキシ樹脂系の塗装仕様の表面被覆材を塗布し、その他の供試体は片側端面に塗布した。

キーワード 表面保護工, 塩害, 鉄筋腐食, 自然電位, 分極抵抗

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 TEL:029-879-6763

3. 結果

塩化物イオン量 2.4kg/m^3 を混入した供試体の自然電位測定結果を図-2に示す. 図中には一般的に用いられている ASTM の判定基準である -200mV , -350mV を併せて示した. 上面側鉄筋はいずれの供試体でも -200mV から -350mV の範囲であった. 一方, 下面側では R, E2, N3 は上面側と同様の範囲であったが, E3, S3 は -200mV よりも貴であった. また, 夏季(暴露日数 700 日)と冬季(暴露日数 900 日)の結果では両者とも腐食判定領域は同じであったが, 鉄筋の自然電位はコンクリートの温度などにより測定値が変動することが知られており²⁾, 本測定結果においても多少の測定値の変動が見られた.

次に分極抵抗の測定結果を図-3に示す. 図中には CEB 基準による腐食速度の判定を示した. これによれば, 上面側鉄筋では R が中～高速の腐食速度であり, E3, S3, N3 が低～中速であった. また, 下面側鉄筋では R は上面側鉄筋と同様に中～高速であり, E3, S3, N3 は不活性であった.

供試体上面はいずれの供試体も無塗布面であり, 塩分や水などが浸入するため, 上面側鉄筋の結果では鉄筋の腐食抑制効果の差異を判断することが困難であると考えた. そこで, 下面側鉄筋に着目すると, 自然電位の測定結果では腐食判定が異なり, 鉄筋の腐食状態に差が見られた. しかし, 分極抵抗の測定結果では供試体 R は腐食速度が他の供試体に比べて大きいことが確認されたものの, 他の供試体は不活性の判定領域となり, 塗布材料の相違による鉄筋の腐食抑制効果は明確にならなかった. 分極抵抗は自然電位と同様にコンクリートの温度に依存し, 温度が低くなると分極抵抗が大きくなることが知られている³⁾. 冬季の調査では鉄筋の腐食速度が低下し, 差異が明確にならなかったと考えられた.

外観調査の結果, 暴露日数の経過とともにひび割れ延長が増加し, ひび割れ幅が大きくなった. 特に塩化物イオン量 6.0kg/m^3 を混入した供試体は発生が多く, ほとんどのひび割れが鉄筋に沿った位置で発生しており, ひび割れ幅が 0.4mm 程度の供試体も確認された. また, 塗膜の変状では供試体 E3 の側面(被覆面)に膨れが確認された. これは無被覆の R や表面含浸材を塗布した S3, N3 と比べて, 供試体内部の含水率が高いことを示唆するものである. したがって, 塗布材料や塗布面の差異が鉄筋の腐食抑制に及ぼす効果は, 塗布材料による塩分浸入の遮断だけではなく, コンクリート内部の水分などの環境を変化させることも一つの要因として挙げられると考えられた.

4. まとめと今後の予定

塩害環境に暴露した供試体の鉄筋の腐食状態を調査した結果, 自然電位測定結果では塗布材料や塗布面の相違により鉄筋の腐食抑制に及ぼす効果が異なることが確認されたが, 分極抵抗測定結果では塗布材料の相違による明確な差は見られなかった. 今後も暴露を継続して, 分極抵抗が小さくなると考えられる夏季に測定を実施し, 差異を確認する予定である. また, 塗布材料が鉄筋の腐食抑制に及ぼす効果は塩分浸入の遮断だけでなく, コンクリート内部の環境を変化させることも要因と考えられるため, これらを踏まえたメカニズムの解明を進めていく方針である.

参考文献

- 1) 加藤智文ほか: 表面被覆材と含浸材の塗布面の違いが鉄筋の腐食抑制に及ぼす効果-屋外暴露試験-, 年次学術講演会講演概要集, Vol.71, pp.443-444, 2016
- 2) 足立幸郎ほか: 自然電位・分極抵抗法による鉄筋腐食現地自動調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.1243-1248, 1995
- 3) 西田孝弘ほか: 材料分離の影響を受けたコンクリート中铁筋の腐食速度の温度依存性, 土木学会論文集, No.781/V-66, 75-87, 2005.2

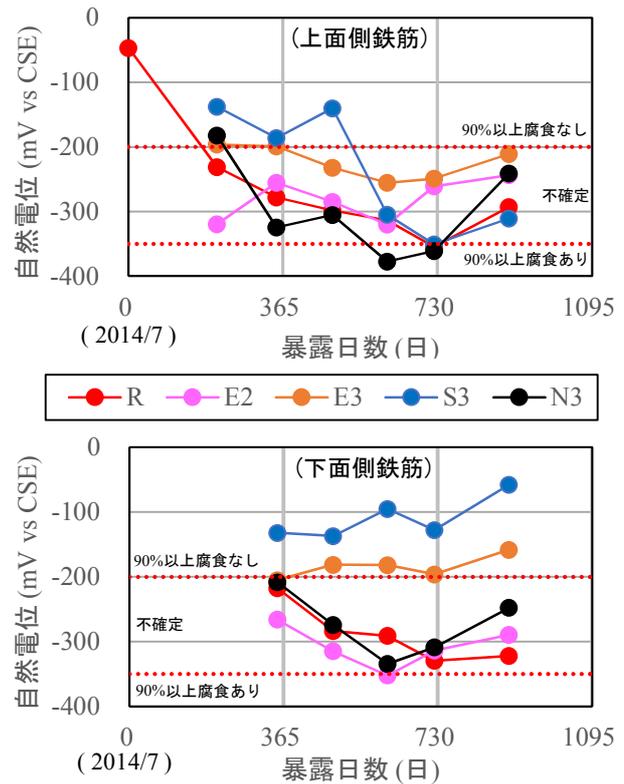


図-2 自然電位の測定結果

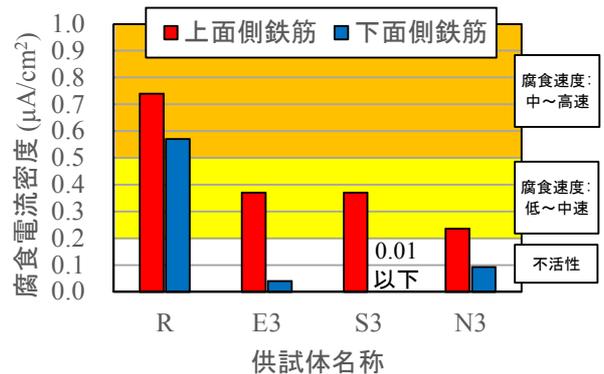


図-3 腐食電流密度の測定結果 (冬季)