

ひび割れ補修したコンクリートの実環境における防食性能の検証

大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○村田 哲 フェロー会員 新藤 竹文
成和リニューアルワークス 非会員 菅野 道昭 フェロー会員 松岡 康訓

1. はじめに

コンクリート構造物にひび割れが生じると、塩化物イオン等の劣化因子がひび割れ部を通じて急速に浸入するため、鋼材の腐食発生を著しく早めることになる。そのため、適切な方法によってひび割れを補修することは、構造物の長寿命化にとって極めて重要である。本研究は、各種の方法によりひび割れ補修したコンクリートを実環境に曝露し、その防食効果を検証するのを目的とする。ここでは、曝露期間 3.5 年における、電気化学的手法によりモニタリング調査した結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 曝露試験体の概要

試験体は図-1 に示すとおり、異形鉄筋 D16 を 1 本配置した □100×100×400mm の角柱である。コンクリートの使用材料を表-1 に、配合を表-2 にそれぞれ示す。試験体は 3 点曲げ載荷により底面中央部に 0.2mm の曲げひび割れを導入したのち、3 週間気中乾燥を行い、ひび割れ補修を行なった。試験ケースは表-3 に示すとおり、鉄筋のかぶり、ひび割れ補修材および注入方法をパラメータとした 5 ケースである。ひび割れの補修はアクリル系樹脂またはけい酸塩系表面含浸材（主成分：けい酸ナトリウム）を使用し、アクリル系樹脂については、刷毛塗りに加えて低圧注入を行ない、ひび割れへの充填深さの違いについても比較検討した。ひび割れ導入面以外の面はエポキシ樹脂にてコーティングし、端面には塩ビ板を接着した。また、曝露試験体と同じ諸元、同じ方法でダミー試験体を製作し、カッターにて切断し、実体顕微鏡によって補修材のひび割れ充填深さを計測した。計測面の一例を写真-1 に、充填深さを表-4 にそれぞれ示す。けい酸塩系含浸材は充填深さを明確に確認することができなかったが、0.2mm 以下の細かなひび割れの充填に適した材料であるためと考えられる。アクリル系樹脂の充填深さは、刷毛塗りで 10mm、低圧注入では 29mm であり、低圧注入は刷毛塗りの約 3 倍の深さまで樹脂を充填させることができた。

2.2 曝露試験の概要

写真-2 に示す伊豆半島東海岸の曝露試験場にて曝露試験を実施した。モニタリング調査は電気化学的手法として自然電位および分極抵抗を、曝露開始時および曝露期間 1.5、2.5、3.5 年時に実施した。なお、曝露時の試験体の向きは、ひび割れ補修面を下面とした。

3. 実験結果および考察

曝露材齢－自然電位関係を図-2 に示す。ASTM C876 の判断基準によると、CSE 照合電極を用いた場

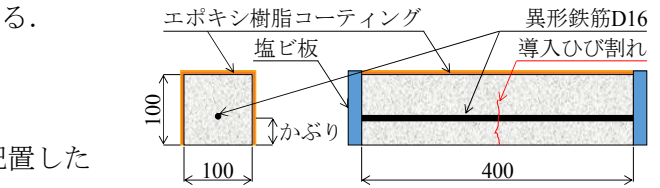


図-1 試験体概要

表-1 使用材料

記号	品名	粗粒率	密度
C	早強ポルトランドセメント	-	3.14 g/cm ³
S	君津産陸砂	2.36	2.63 g/cm ³
G1	青梅産石灰砕石5号	7.11	2.65 g/cm ³
G2	青梅産石灰砕石6号	6.2	2.65 g/cm ³

表-2 コンクリートの配合

G _{max} (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G1	G2
20	50	41	153	306	760	441	661

表-3 試験ケース

試験体	鉄筋かぶり	ひび割れ補修材	注入方法
N30	30 mm	補修なし	-
S30		けい酸塩系樹脂	刷毛塗り
A30			
A50	50 mm	アクリル系樹脂	低圧注入
A50L			

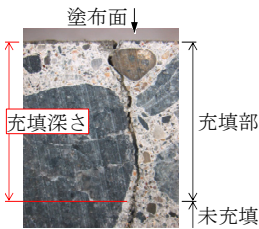


写真-1 計測面の一例

表-4 充填深さ

対応試験体	補修方法	充填深さ
S30	けい酸塩系 (刷毛塗り)	確認不可
A30 A50	アクリル系 (刷毛塗り)	10 mm
A50L	アクリル系 (低圧注入)	29 mm

キーワード ひび割れ補修, 自然電位法, 分極抵抗法

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL 045-814-7228



写真-2 試験体暴露状況

合の自然電位が -0.35V 以下の場合、鉄筋腐食可能性は90%以上と判定される¹⁾。ひび割れ補修なしの N30 の自然電位は曝露期間中 $-0.41\text{V} \sim -0.45\text{V}$ で推移した。また、けい酸塩系含浸材で補修した S30 の自然電位は材齢とともに低下し、曝露期間 3.5 年で -0.47V まで低下した。いずれも 90%以上の確率で鉄筋が腐食していると考えられる。アクリル系樹脂で

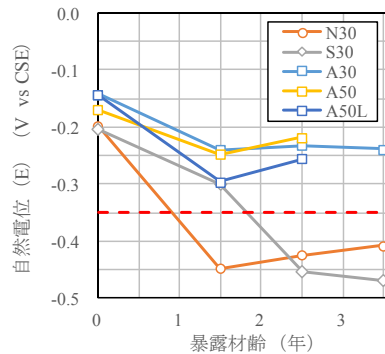


図-2 暴露材齢-自然電位

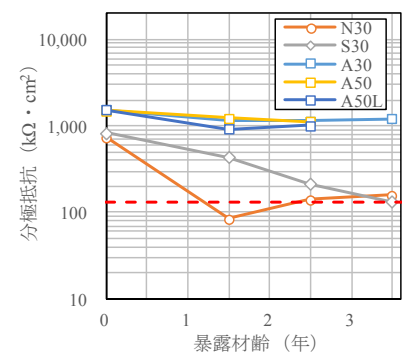


図-3 暴露材齢-分極抵抗

補修した A30, A50 および A50L の曝露期間中の自然電位は $-0.35\text{V} \sim -0.20\text{V}$ の間で推移しており鉄筋腐食の有無は判定できないが、錆汁の発生等はなく、腐食反応は生じていないと考えられる。

曝露材齢-分極抵抗関係を図-3 に示す。CEB の判断基準値によると、分極抵抗 (R_p) $> 130\text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ であると鉄筋腐食反応は不活性、 $52\text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2 \leq R_p < 130\text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ であると低～中程度の腐食速度と判定される²⁾。ひび割れ補修なしの N30 の分極抵抗は曝露期間中 $84 \sim 160\text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ で推移し、けい酸塩系含浸材で補修した S30 の分極抵抗は材齢とともに低下し、曝露期間 3.5 年で $133\text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ まで低下した。いずれも低速度で鉄筋腐食していると考えられる。アクリル系樹脂で補修した A30, A50 および A50L の曝露期間中の分極抵抗は約 $1000\text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ かそれ以上であり、鉄筋腐食を防止できた。

自然電位および分極抵抗の測定結果より、アクリル系樹脂を用いてひび割れを補修した場合、実環境曝露時の劣化因子の侵入による鉄筋の腐食発生を防止し、自然電位および分極抵抗の低下を抑制できた。一方、けい酸塩系含浸材を用いてひび割れを補修した場合、曝露材齢とともに自然電位および分極抵抗が低下し、曝露期間 3.5 年でひび割れ補修なしの場合と同等となった。けい酸塩系含浸材は微細なひび割れや表面からの含浸による細孔構造の緻密化による耐久性向上に適しており、曝露初期ではこの効果によって耐久性の向上が見られたものの、幅 0.2mm のひび割れは完全に閉塞できず、鉄筋腐食が進行したと考えられる。

4. まとめ

使用したアクリル系ひび割れ補修材はひび割れへの充填性に優れ、実環境曝露試験において曝露期間 3.5 年における劣化因子の侵入を抑制し、鉄筋腐食を防止できた。なお、現時点では、鉄筋のかぶりおよび注入方法による樹脂充填深さの違いが腐食の程度および電気化学的特性に及ぼす影響は認められなかった。なお、曝露試験を継続しており、今後、回収・解体調査によって鉄筋の腐食状況を観察し、防食性を検証する予定である。

参考文献

- 1) ASTM C876-91 (Reapproved 1999) Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, Annual Book of ASTM Standards 2006, Vol.03.02, pp.11-16, 1991 (1999)
- 2) CEB Bulletin No. 243: Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures affected by Reinforcement Corrosion, 1998