

ひび割れ注入材として用いた塩分吸着型エポキシ樹脂の
暴露試験による鉄筋腐食抑制効果の検証

日本国土開発（株）正会員 ○千賀 年浩 正会員 横山 大輝
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 正会員 内藤 勲
東海大学 正会員 伊達 重之

1. はじめに

塩害環境下にある鉄筋コンクリート構造物は、コンクリート内部へ塩化物イオンが浸透することにより鉄筋が腐食し、その腐食による膨張によってひび割れや剥落などの塩害劣化が顕在化している。塩害で劣化した鉄筋コンクリート構造物は断面修復工法などの補修が施されるが、コンクリート内部の塩分の除去が不十分である場合は、再劣化が生じることもある。塩害による再劣化は近年問題視され、その対策の一つとして、無機系材料に塩分吸着剤を添加した断面修復材や防錆材が開発されている。無機系材料のみならず、ひび割れ注入材などで多く用いられる有機系材料の塩害対策への活用が可能となれば、更なる展開が期待される。例えば、一般にひび割れ注入材は塩害対策としては選択されないが、ひび割れ注入材に塩分吸着剤を添加することで塩害対策にも適用可能となり、かつ、ひび割れ追従性も期待される。

そこで、著者らは有機系材料にエポキシ樹脂を用い、塩分吸着剤を添加した「塩分吸着型エポキシ樹脂」の開発を行ってきた。既往の研究においては、「塩分吸着型エポキシ樹脂」の塩分吸着効果、またコンクリートの初期欠陥の一つである温度ひび割れなどのひび割れ先行型を模擬した供試体のひび割れに、「塩分吸着型エポキシ樹脂」を注入し室内の促進試験を実施し、鉄筋腐食抑制効果を確認している¹⁾。

本稿では、その供試体を用いた屋外の暴露試験結果について述べる。

2. 塩分吸着型エポキシ樹脂の構成材料

本研究で使用した塩分吸着剤は、層状複水酸化物の一種であり、層間に陰イオンを取り込み、保持している陰イオンとイオン交換する性能を有する。本研究では、この陰イオンのイオン交換性能を向上させるため、層状複水酸化物の結晶子サイズを10nm程度に小さく調整し、またその層間には、工業的に利用しやすく塩化物イオンとのイオン交換がされる、硝酸イオン(NO₃⁻)を担持させたものを塩分吸着剤として用いた。層状複水酸化物の塩化物イオン(Cl⁻)の吸着及び硝酸イオン(NO₃⁻)の放出イメージを図-1に示す。

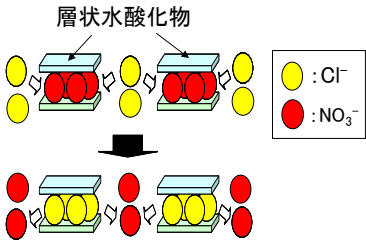


図-1 層状複水酸化物の
イオン交換イメージ

エポキシ樹脂は、2液混合型の硬質形低粘度形エポキシ樹脂を用いた。

また、塩分吸着型エポキシ樹脂は、上述のエポキシ樹脂の質量に対し、塩分吸着剤を20% 置換したもの（以降、“HEP”と記す）である。なお、HEPは、ひび割れ注入材としては、JIS A 6024 「建築補修用注入エポキシ樹脂」の硬質形低粘度形冬用の規格を満足している。HEPの性状を表-1に示す。

表-1 HEP の性状

性状	比重	粘度 (mPa・s ; 23℃)	引張強さ (N/mm ²)	接着強さ(標準条件) (N/mm ²)
樹脂				
HEP	1.21	330	35	8.1

3. 実験概要

ひび割れ先行型ひび割れを有する鉄筋コンクリートを模擬した供試体を一定期間暴露し、内部の鉄筋に腐食が発生し始めた後、塩分吸着型エポキシ樹脂を注入し、その鉄筋腐食抑制効果を供試体の分極抵抗と自然電位の測定によって検証した。

供試体は、直径 100mm、高さ 200mm の VP 塩ビ管を型枠とし、長さ 150mm の異形鉄筋 D13 を、塩ビ管の高さ中央に水平に設置し、コンクリートを打込んだ。コンクリートの配合を表-2 に示す。コンクリートは脱型を行わず

キーワード エポキシ樹脂, 補修, 塩化物イオン, 塩分吸着剤
連絡先 〒107-8466 東京都港区赤坂 4-9-9 日本国土開発(株) TEL 03-5410-5750

気中で 28 日間養生した後、割裂引張載荷により鉄筋の直角方向にひび割れを発生させた。ひび割れを発生させた 3 検体の供試体のひび割れ幅を表-3 に示す。供試体は、後述する暴露試験場にて暴露させ、供試体中の鉄筋の分極抵抗及び自然電位を測定し、ASTM C 876 の飽和硫酸銅基準で示される、 -350mV より卑の値を示したことによって鉄筋腐食の可能性がみられた後、HEP をひび割れに注入し、再度暴露を継続した。供試体の作製概要を図-2 に示す。

暴露試験は、北海道増毛町にある暴露試験場にて実施した。暴露試験場は日本海に面し、常時塩分が飛来する環境にある。暴露試験場の位置を図-3 に示す。暴露試験場の飛来塩分量は、土研法により 2015 年 10 月から 1 年間調査した結果、 $12.0\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$ であった。

測定方法は自然電位と分極抵抗とし、自然電位は照合電極として飽和銀塩化銀電極を用い、分極抵抗は $10\text{kHz}\sim 1\text{mHz}$ の範囲で設定した交流インピーダンス法によって測定した。供試体の測定は暴露試験前に 1 回実施し、暴露試験中は半年毎に実施した。

4. 実験結果

図-4 に供試体 3 検体の飽和硫酸銅換算による自然電位の測定結果を示す。暴露前は、3 検体とも -100mV 程度の値を示していたが、暴露試験開始後は、自然電位は卑の傾向となり、暴露 1 年では 3 検体とも鉄筋腐食の可能性がある -350mV より卑の値を示した。この暴露 1 年において、ひび割れに HEP を注入した。ひび割れ注入後となる暴露 1 年 6 ヶ月は、3 検体とも自然電位は貴の値となり、鉄筋腐食の可能性がある -350mV より貴の値を示した。また、暴露 2 年ではその自然電位の値は維持されていた。

図-5 に供試体 3 検体の分極抵抗の測定結果を示す。3 検体の供試体は、暴露前は $10000\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 前後の値を示したが、暴露試験開始後は、分極抵抗が低下し、暴露 1 年では $20\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 前後の値を示した。これは、図-4 の自然電位と同様の傾向となり、鉄筋の腐食によるものと推察される。ひび割れ注入後となる暴露 1 年 6 ヶ月は、3 検体とも分極抵抗値は増加し、 $200\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ 程度の値を示した。また、暴露 2 年ではその分極抵抗値が維持される結果となった。これは HEP の塩分吸着効果によって、鉄筋の腐食が抑制されたと考えられる。

5. 結論

本研究では、塩分吸着型エポキシ樹脂をひび割れ注入材として用いた鉄筋腐食抑制効果を暴露試験によって検証した。その結果、塩分吸着型エポキシ樹脂を、ひび割れ先行型ひび割れの影響で鉄筋が腐食したコンクリートに注入することにより、鉄筋腐食抑制効果が得られた。

参考文献

- 1) 千賀年浩ほか：ひび割れ注入材として用いた塩分吸着剤混入エポキシ樹脂の鉄筋腐食抑制効果の検証，コンクリート年次論文集，vol.39，No.1，2017

表-2 コンクリート配合

セメントの種類	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)				スランブ (cm)	空気量 (%)
				W	C	S	G		
普通ポルトランドセメント	20	50	44	145	290	832	1052	8.0	5.0

表-3 供試体のひび割れ幅

供試体NO.	NO.1	NO.2	NO.3
ひび割れ幅 (mm)	0.2	0.35	0.6

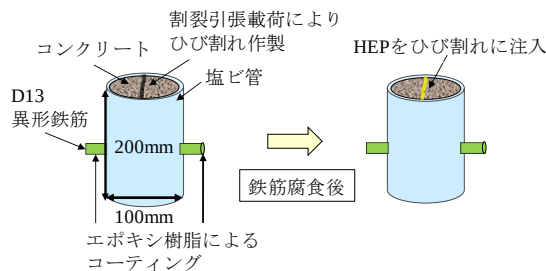


図-2 供試体作製概要図



図-3 暴露試験場位置図

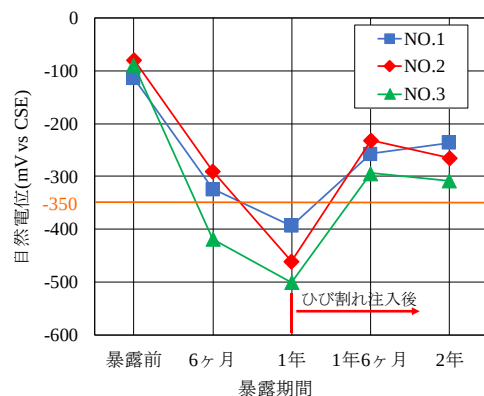


図-4 自然電位測定結果

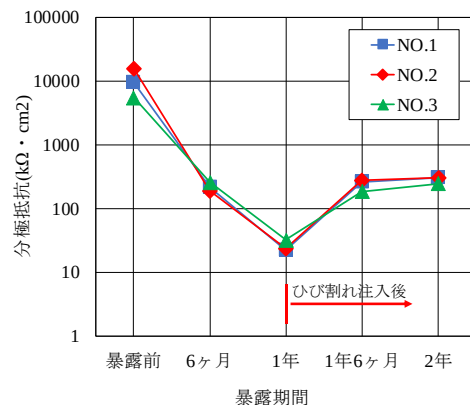


図-5 分極抵抗測定結果