

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 塩分吸着及び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
鹿児島大学 正会員 山口 明伸 正会員 審良 善和
鹿児島大学 学生会員 東 雄介

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、塩化物イオンの浸透による鉄筋の腐食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。一般に、塩害劣化した鉄筋コンクリート構造物の補修は断面修復工法などが施されるが、初期欠陥となる温度ひび割れや乾燥収縮ひび割れなどの補修は、錆汁などの変状が観られない場合、ひび割れ幅にもよるがひび割れ注入工法が採用されるケースが多い。しかし、既にひび割れ内部のコンクリートや鉄筋に塩化物イオンが浸透、また付着している場合、ひび割れ注入後も局部的に塩害劣化を起こすことも考えられ、再劣化が懸念される。

このような塩害による劣化や再劣化の対策として、著者らは有機系の補修材として多く用いられるエポキシ樹脂に、塩分吸着剤を添加した「塩分吸着型エポキシ樹脂補修材」（以降、“本補修材”と記す）の開発を行ってきた。この本補修材を上記の塩害環境下における初期欠陥のひび割れに対し、ひび割れ注入材として適用すれば、補修と同時にひび割れ内部のコンクリート及び鉄筋の既存塩化物イオンを吸着し、鉄筋腐食の抑制が期待できる。本補修材の適用イメージを図-1に示す。既往の研究において、通常のエポキシ樹脂のひび割れ注入では鉄筋腐食の進行が観られるケースにおいて、本補修材を適用することによる鉄筋腐食抑制効果を、室内の促進試験によって確認している¹⁾。

本研究では、初期欠陥のひび割れを模擬した鉄筋コンクリート供試体を用いた海上大気中の暴露試験を実施し、鉄筋の腐食の程度やひび割れ幅の違いによる、本補修材の塩分吸着及び鉄筋腐食抑制効果について検証した。

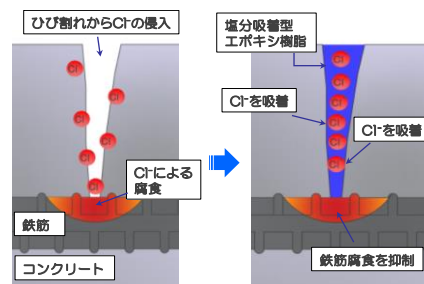


図-1 ひび割れ注入材への適用イメージ

2. 本補修材の構成材料

今回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（ NO_3^- ）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（ NO_3^- ）の放出イメージを図-2に示す。

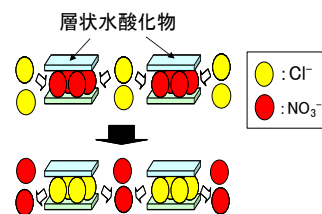


図-2 層状複水酸化物のイオン交換イメージ

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、本補修材はこ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。

3. 実験概要

供試体は150×500×100mmの角柱とし、暴露面からかぶり50mmの位置に異形鉄筋D13を設置した、W/C=50%、 $G_{\text{max}}=20\text{mm}$ 、スランプ $8\pm 2.5\text{cm}$ 及び空気量 $4.5\%\pm 1.5\%$ の鉄筋コンクリート供試体とした。供試体概要を図-3に示す。供試体はコンクリート打設後、28日間封かん養生し、その後初期欠陥のひび割れを模擬するため、供試体中央に二点載荷にて0.3mmと0.5mmの2水準のひび割れ幅のひび割れを導入した。ひび割れ導入後、暴露面以外の5面をエポキシ樹脂にて被覆した。

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

暴露試験は鹿児島県谷山港にある暴露試験場の護岸上にて実施した。供試体は暴露 3 ヶ月、6 ヶ月経過時にひび割れに HEP を注入した。なお、比較のため、注入無し及び通常のエポキシ樹脂（以降、“EP”と記す）を注入した供試体についても試験し、供試体は全て N=5 とした。各試験ケースを表-1 に示す。供試体はひび割れ注入後再暴露し、暴露期間中は鉄筋の腐食状況を確認するため、ひび割れ直上の鉄筋の自然電位を測定した。また、HEP の塩分吸着効果を確認するため、暴露 6 ヶ月のひび割れ幅 0.5mm 供試体において、注入前及び HEP 注入後再暴露 3 ヶ月経過時に、ひび割れを中心に $\phi 25\text{mm}$ のコアを採取し、コンクリート内部の塩化物イオンの分布状況を EPMA 法によって分析した。なお、注入前及び注入後の分析は同コアによる実施ができないため、同試験条件で異なる供試体にて実施した。

4. 実験結果

図-4 に暴露 3 ヶ月供試体の自然電位測定結果の平均値を示す。暴露前は全供試体において -200mV 程度の値を示していたが、暴露試験開始後自然電位は卑の傾向となり、暴露 3 ヶ月時では「腐食あり」と判定される -350mV 程度の値を示した。ひび割れ注入後、全供試体とも自然電位は貴の傾向を示したが、暴露 1 年程度を境に N の自然電位は卑の傾向を示し、HEP は高い電位値を維持する結果となった。図-5 に暴露 6 ヶ月供試体の自然電位測定結果の平均値を示す。図-4 と同様に暴露試験開始後、全供試体の自然電位は卑の傾向を示し、暴露 6 ヶ月時は暴露 3 ヶ月時と比較し、自然電位値が高い状態でひび割れ注入となった。ひび割れ注入後、暴露 1 年程度を境に HEP 及び EP は高い電位値を維持する結果となったが、現時点ではこれらの差は観られず、またひび割れ幅の違いによる影響も明確に観られなかった。引続き経過観測を要する。

図-6 に暴露 6 ヶ月注入前と注入後再暴露 3 ヶ月時の暴露面(上)から深さ 20mm 部分における Cl 濃度分布図を示す。注入前は暴露面から 0~5mm の範囲のコンクリートに Cl が浸透していることが分かる。また、12~20mm の範囲において若干ではあるがひび割れ周辺部に Cl が確認できる。注入後は 12~20mm の範囲のひび割れ部において 0.4%程度の Cl が確認できる。これは HEP のエポキシ樹脂中に含まれる Cl である。一方、0~10mm の範囲におけるひび割れ部の Cl 濃度はそれよりも高く、またその周辺部では Cl 濃度が減少していることが分かる。これは HEP の塩分吸着効果によって、ひび割れ周辺部の塩化物イオンが固定化されたことが考えられる。

5. 結論

本研究では、ひび割れ注入材として適用した塩分吸着型エポキシ樹脂の塩分吸着及び鉄筋腐食抑制効果を検証した。その結果、初期欠陥のひび割れの影響で塩害劣化し得る鉄筋コンクリートのひび割れに、塩分吸着型エポキシ樹脂を注入することで、ひび割れ部に浸透した塩化物イオンを吸着固定化し、その後の鉄筋腐食を抑制する可能性が確認された。

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

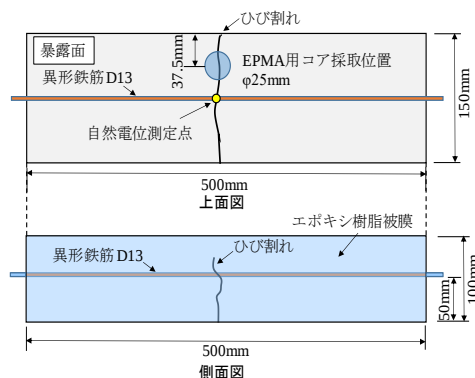


図-3 供試体概要図

表-1 試験ケース

注入材料	暴露期間(注入前)	ひび割れ幅	
		0.3mm	0.5mm
無し(N)	3ヶ月	○	○
	6ヶ月	○	○
HEP	3ヶ月	○	○
	6ヶ月	○	○
EP	3ヶ月	○	○
	6ヶ月	○	○

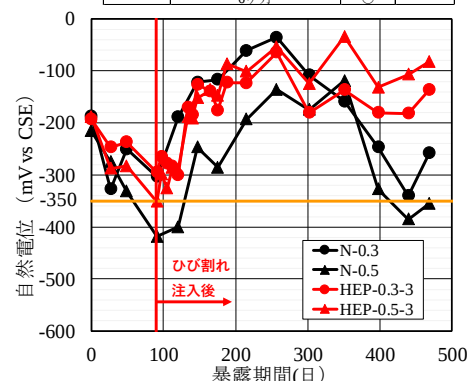


図-4 暴露 3 ヶ月自然電位測定結果

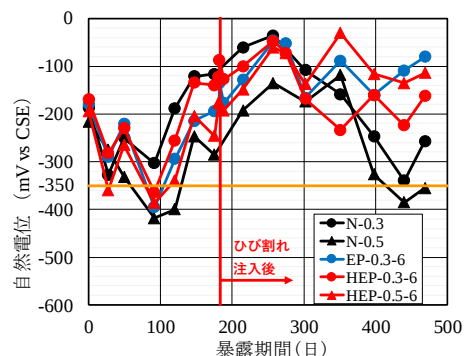


図-5 暴露 6 ヶ月自然電位測定結果

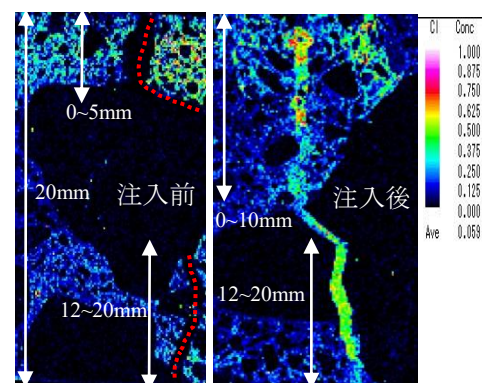


図-6 EPMA 法による Cl 濃度分布結果