

ひび割れ補修の先行注入剤としての亜硝酸リチウム防錆性能に関する研究

○福岡大学 学生会員 久保田崇嗣 福岡大学 正会員 樋原弘貴
福岡大学 正会員 村上 哲 福岡大学 正会員 添田政司 福岡大学 学生会員 阿部 稜

1. はじめに

近年、ひび割れ注入工法において、特に 0.2mm 程度のひび割れには注入材が深部まで行き届いておらず、充てんされていないという事例が散見されている。注入材の充填が不十分の場合には、想定よりも劣化因子が侵入しやすく、早期の鉄筋腐食の進展が懸念される。その対策として、防錆性能が期待される亜硝酸リチウムを先行剤として注入することで、早期の再劣化を低減することが可能であると考えられる。そこで本研究は、ひび割れ補修における亜硝酸リチウムの先行剤として利用した場合としない場合での鉄筋腐食の進展について、自然電位および分極抵抗による電流密度により、その有効性について検討を行った。

2. 実験概要

図-1 には、供試体の概要を示す。試験に用いたコンクリートは、早強ポルトランドセメントを用いて表-1 に示す水セメント 45% の配合で作製した。コンクリート供試体は、75mm×100mm×200mm のもので、打設時には、中央部にあらかじめ 0.2mm のプラスチック板を埋め込み、コンクリート硬化後に引き抜くことで模擬ひび割れを導入した。また、埋設した鉄筋は、φ9mm×150mm の磨き丸鋼の中心位置から±15mm の計 30mm の範囲を予め塩水シートを巻き付けて、その後乾燥させることで腐食を促進させた腐食鉄筋を用いた。腐食鉄筋は、腐食箇所部分の中心位置に模擬ひび割れが直行するように埋設した。供試体作成後は、水分を含ませた吸水シートを覆い密閉状態で温度 20℃ の環境下で 28 日間の湿封養生を行った。湿封養生後は、1 日間の乾燥を経てひび割れ補修を行った。表-2 には、ひび割れ補修の要因と水準を示す。一般的な補修材料として、Ⅲ種のエポキシ樹脂（以下：EP）とけい酸塩系表面含浸材（略以下：Si）、けい酸塩系表面含浸材と反応促進剤の併用（以下：Si-反）を用いて補修を行った。さらに、先行剤として 0.4mol/L の亜硝酸リチウム水溶液を 0.8mL 注入して、1 日後の乾燥を経て各種材料にて補修を行った EP-Li、Si-Li、Si-反-Li の計 6 水準を設けた。

補修後は、いずれも注入材の硬化を発揮させるために温度 20℃・湿度 60% の環境に 3 日間静置した。その後は、塩害環境を想定して、3%濃度の塩水に湿らせた吸水シート上にひび割れ面を下にして温度 20℃ 湿度 80%環境で静置させ、14 日ごとに温度 20℃・湿度 60%の乾燥環境へ変化させた乾湿繰り返し試験を実施した。測定項目は、鉛照合電極を用いた自然電位測定、および分極抵抗値の測定を経時的に行った。

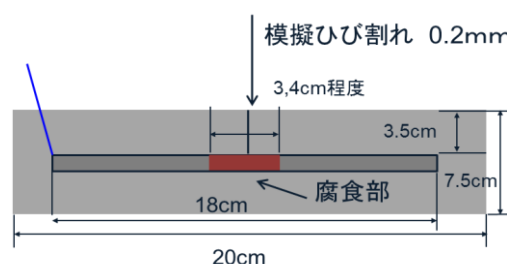


図-1 供試体概要

表-1 配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				空気量 (%)
		W	C	S	G	
45	42.3	162	395	729	1063	4.5±1.0

3. 結果及び考察

図-2 には、補修材として、けい酸塩系表面含浸材あるいは反応促進剤を用いた場合の先行剤の有無による自然電位の経時変化を示す。測定は、腐食鉄筋の範囲で、ひび割れ面と逆側の供試体面を鉄筋に沿って 3 点測定を行い平均値として示している。補修方法の違いについてみると、Si は、45 日目で電位が卑化する結果を示し、腐食が進行していると推察されたのに対し、先行剤を用いた Si-Li の場合は、101 日目までの範囲では電位

表-2 要因と水準

ひび割れ幅	腐食	補修材
0.2mm	有/無	亜硝酸Li+エポキシ樹脂 (EP-Li)
		亜硝酸Li+けい酸塩系表面含浸材 (Si-Li)
		反応促進剤+けい酸塩系表面含浸材 (Si-反)
		亜硝酸Li+反応促進剤+けい酸塩系表面含浸材 (Si-反-Li)
		エポキシ樹脂 (EP)
		けい酸塩系表面含浸材 (Si)

の卑化は確認されなかった。亜硝酸リチウムにより、防錆されていると考えられ、先行剤による有効性が確認できた。一方の、Si-反および Si-反-Li では、現時点での自然電位の卑化は確認されていない。ひび割れ補修においては、Si よりも Si-Li の方がひび割れの閉塞性が高くなり、塩化物イオンの侵入が抑制されているものと思われる。

図-3 には、エポキシ樹脂を用いた補修における先行剤の有無による自然電位の経時変化を示す。先行剤の有無に関わらず、自然電位は、いずれも 45 日目で卑化している。塩化物イオンが侵入して腐食が進行したものと考えられる。種類別にみると、EP では、継続して卑を示しているのに対し、EP-Li では、45 日目で卑化したものの、74 日目で貴化しており、その後の自然電位は安定している。腐食が進行した際に、 Fe^{2+} と亜硝酸イオンが反応して二次不動態化したと思われる。二次不動態化されたことで、その後の腐食の進行を抑制できると考えられる。

図-4 は、けい酸塩系表面含浸材を用いた補修における各種材料の分極抵抗値の経時変化を示す。Si の分極抵抗は、一旦増加する傾向であったが、60 日以降は大幅に減少し、腐食の進行しやすい状況にあることが分かる。一方の、先行剤を注入した Si-Li は、緩やかな増加傾向を示し、Si よりも腐食の進行を抑制される結果を確認できた。一方の、Si-反、Si-反-Li においては、増加傾向を示し、101 日目で Si-Li を含めて同程度の値となっている。反応促進剤には、けい酸塩系表面含浸材と良好な反応を行うために、亜硝酸リチウムが混和されているため、この亜硝酸の効果によるものと考えられ、Si-反でも十分な防錆効果を期待できるとと思われる。

図-5 は、エポキシ樹脂補修による EP、EP-Li の分極抵抗の経時変化を示す。EP は、試験開始から分極抵抗値は低下する傾向を示したのに対し、先行剤を注入することで、一旦分極抵抗は、低下しているが試験開始 60 日以降で、抵抗値が増加に転じている。

以上のことから、いずれの補修材においても亜硝酸リチウムを先行剤として注入することで、腐食した鉄筋に対しても有効であることが分かった。

4. まとめ

- (1) 亜硝酸リチウムを先行注入することで、既存のひび割れ補修に比べ鉄筋腐食の進行を抑制できる。
- (2) 腐食した鉄筋に対しても亜硝酸リチウムは先行注入剤として有効である。

[参考文献]

- 1) 鴨谷ほか：凍結防止剤が侵入したグラウト充填不良部の PC 鋼材腐食に対する亜硝酸リチウムを用いた補修の性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1006-1011，2012

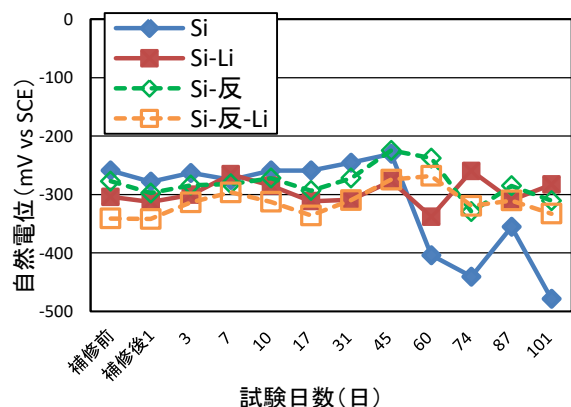


図-2 けい酸塩系表面含浸材補修供試体の自然電位経時変化

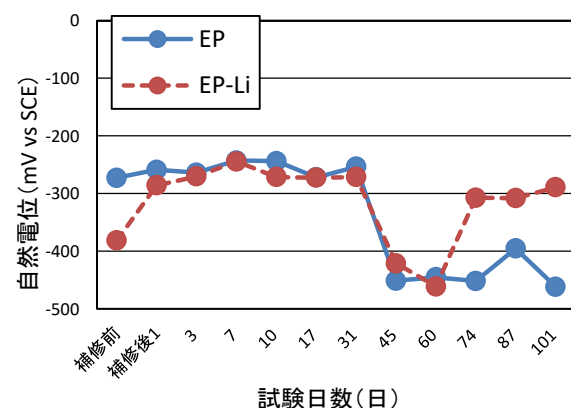


図-3 エポキシ樹脂補修供試体の自然電位経時変化

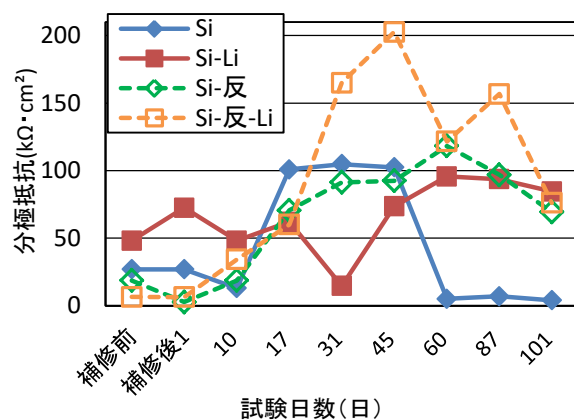


図-4 けい酸塩系表面含浸材補修供試体の分極抵抗経時変化

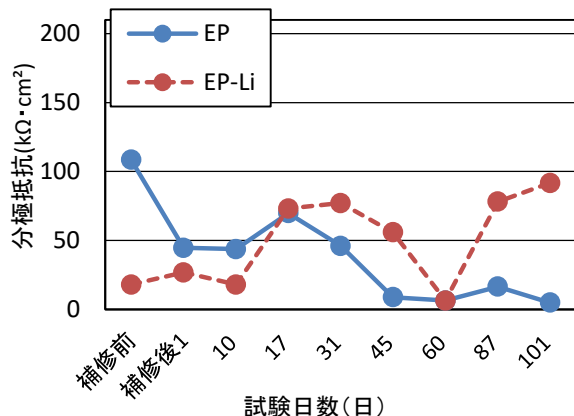


図-5 エポキシ樹脂補修供試体の分極抵抗経時変化