

論文

[1136] 防錆剤の低圧注入による鉄筋防食工法の開発

正会員 友澤 史紀 (東京大学建築学科)

正会員 野口 貴文 (東京大学建築学科)

正会員 ○ 廖 年 祈 (東京大学大学院)

1. はじめに

海砂はコンクリート材料として昭和37年頃より使用され、当初は無規制に近い状態であったため、昭和55年頃から海砂の塩分による鉄筋腐食が多数のコンクリート構造物に生じ、社会問題となった。その対策として塩分総量規制が実施されたため、今後建造されるコンクリート構造物に関しては、海砂による塩害問題は沈静化していくと考えられる。しかしながら、過去20年以上にわたって海砂を用いて建設された構造物が近畿以西には多数存在しており、それらに関しては、今後、鉄筋腐食による劣化が顕在化してくることが予想される。

このような海砂による鉄筋腐食の進行した構造物に対して、現在一般的に行われている補修は、鉄筋露出部分・ひびわれの大きな部分は鉄筋をはつり出し防錆処理を施すといった大規模な補修作業を必要とする反面、その他の部分は単に表面塗膜処理を行うだけの局部的ともいえる補修方法であり、根本的な腐食抑制方法とはなり得ず不安を残している。

筆者らは、鉄筋腐食の進行初期状態にある鉄筋コンクリート構造物に対し、亜硝酸塩系防錆剤を使用することにより、大規模なはつり・断面修復作業を必要とすることなく、非破壊的にコンクリート内部に腐食抑制環境を作り出す、鉄筋防食手法を開発することを目的として、一連の研究を行っている[1]。本研究では、鉄筋の腐食膨張によってひびわれの生じ始めたコンクリートに対し、ひびわれを通して亜硝酸塩系防錆剤を低圧注入し、鉄筋近くに高濃度に防錆剤を存在させることにより、腐食の進行を停止させる鉄筋防食手法の有効性について検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体の作製

試験用コンクリートの調合を表1に示す。コンクリート中のCl<sup>-</sup>の濃度が4 kg/m<sup>3</sup>となるようにNaClを練混ぜ水に予め混合し、作製したAEコンクリート中に、JIS G 3108に規定されるみがき棒鋼(SGD3, 10φ×390mm)をかぶり厚3cmとなるように埋め込んだ(図1)。ひびわれが鉄筋下部へ進展するのを防ぐため、ひびわれ防止材としてメッシュ状のガラス繊維補強材を配置した。コンクリートの打設方向は、壁筋・フープ筋を想定して、図1に示す方向とした。試験体両端部の鉄筋はシリコン樹脂で被覆し、材令4週まで湿空

表1. コンクリートの調合

スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	粗骨材寸法の法 (mm)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	重量 (kg/m <sup>3</sup> )			NaCl 添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	AE 剤 (g/m <sup>3</sup> )	4週圧縮強度 (MPa)
						セメント	細骨材	粗骨材			
18	4	6.0	15	3.9	178	297	705	1090	6.6	0.56	24.4

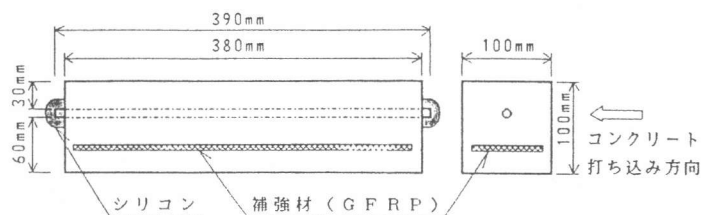


図1. 試験体の形状・寸法

養生（20℃，95%RH）を行った後，全ての試験体が所定のひびわれ幅となるまで高温乾湿繰返しによる腐食促進を行った。

## 2.2 試験体の補修・促進養生

全試験体のひびわれ幅が0.15mm程度になったところで表2に示す4水準の補修を施した。防錆剤としては，亜硝酸カルシウム水溶液を用いた。A工法でひびわれのない場合も同様に，鉄筋位置において防錆剤を注入した。A・B工法の亜硝酸塩塗布は，2日間かけて，試験体表面が亜硝酸塩で飽和され含浸しなくなる状態まで数回繰返し行った。コンクリート試験体中に導入された亜硝酸イオンは，A工法の場合に低圧注入により平均28.3g/本，塗布により平均4.6g/本であり，B工法の場合に平均7.4g/本であった。A工法およびB・C工法の概略を図2に示す。

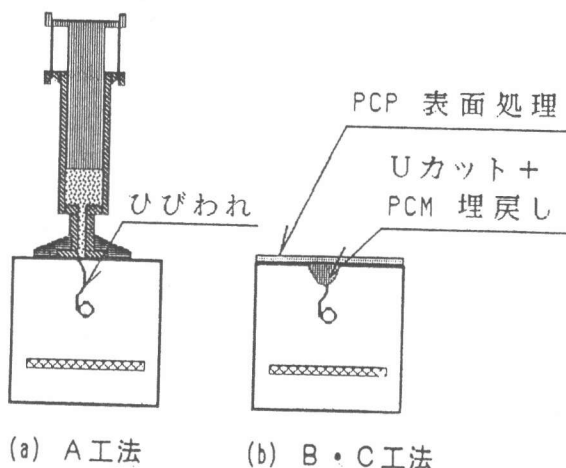
各補修終了後，2週間の気乾養生を行った後，図3に示すように1週間を2サイクルとして高温乾湿繰返し養生による腐食促進を開始した。

## 2.3 試験項目および方法

補修前および0，10，20，30サイクル終了時に，試験体表面のひびわれ幅および鉄筋の自然電位を測定した。自然電位の測定には対極として銅硫酸銅電極を用いた。試験体を割裂して鉄筋を取り出し，腐食面積の測定を行った後，クエン酸ニアンモニウム10%水溶液中に2日間浸漬して除錆し，両端を2cmずつを切断してから腐食減量を測定した。また，A・B工法の試験体は，ウ

表2. 補修工法の種類

補修工法	補修手順
A 防錆剤低圧注入	①ひびわれに沿って試験体表面5箇所に低圧注入用治具をエポキシ樹脂で取り付ける。 ②亜硝酸塩系防錆剤を約1 kgf/cm <sup>2</sup> の圧力で3日間注入する。 ③同一箇所からセメントスラリーを約1 kgf/cm <sup>2</sup> の圧力で注入する。 ④亜硝酸塩系防錆剤を試験体表面に塗布する。 ⑤ポリマーセメントペーストを用いて試験体表面を約2mm厚に仕上げる。
B 防錆剤塗布	①ひびわれに沿って深さ約10mmまで試験体表面をU字形にカットする。 ②亜硝酸塩系防錆剤をUカット部および試験体表面に塗布する。 ③ポリマーセメントモルタルを用いてUカット部を埋め戻す。 ④ポリマーセメントペーストを用いて試験体表面を約2mm厚に仕上げる。
C Uカット+埋戻し	①ひびわれに沿って深さ約10mmまで試験体表面をU字形にカットする。 ②ポリマーセメントモルタルを用いてUカット部を埋め戻す。 ③ポリマーセメントペーストを用いて試験体表面を約2mm厚に仕上げる。
D 無処理	比較のため補修を施さない。



(a) A工法 (b) B・C工法

図2. 補修工法の概略

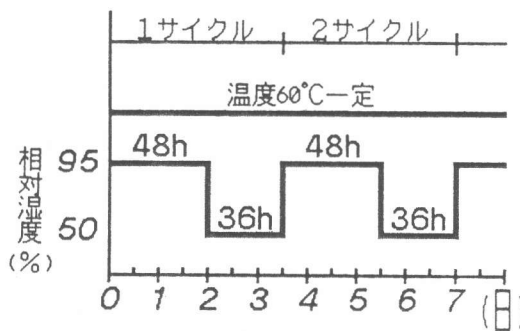


図3. 腐食促進サイクル

レタン系樹脂のトルエン溶液を用いて亜硝酸イオンの呈色試験を行い、一部の試験体についてはドリルでコンクリートの局所試料を採取し、比色法による亜硝酸イオンの定量分析を行い、その分布を調べた。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 亜硝酸イオンの分布

A工法（低圧注入）およびB工法（塗布）の0サイクル時における、試験体内の亜硝酸イオン濃度分布の一例を図4 (a) (b)に示すが、低圧注入によって防錆剤がより深く高濃度で浸透していることがわかる。A工法において、注入・塗布量から計算される試験体全体の「亜硝酸イオン/塩化物イオン」モル比（以下単にモル比と記す）の平均は1.58であり、有錆鉄筋の腐食進行を抑制するといわれているモル比2 [2]よりも低い。しかしながら、図4 (a)に示すように鉄筋近傍においては、高濃度（1%，モル比4程度）の亜硝酸イオンが存在しているため、A工法は十分に防食可能な環境を作り出している。またB工法では、塗布量から計算される試験体内での平均モル比は0.35と有効抑制量以下であり、図4 (b)に示すように鉄筋近傍における亜硝酸イオン濃度も0.1%程度（モル比0.4）しかなく、B工法では補修直後に防食可能な亜硝酸塩が供給されていない。

A工法の各試験体における平均ひびわれ幅と注入防錆剤量との関係を図5に示しており、ひびわれ幅の大きなものほど注入防錆剤量は多くなる傾向を示している。本実験における塩化物イオン濃度  $4 \text{ kg} / \text{m}^3$  から、腐食抑制に必要な防錆剤最小注入量を算出すると  $60 \text{ cc} / \text{本程度}$  となるが、ひびわれのない場合に対しても  $50 \text{ cc} / \text{本程度}$  の防錆剤が注入されており、鉄筋位置への拡散にある程度の時間を要するものの、本実験で用いた注入工法は有効であると考えられる。

#### 3.2 ひびわれ幅・自然電位・腐食減量

試験体表面のひびわれ幅、鉄筋の自然電位および鉄筋の腐食減量の推移を、それぞれ図6、図7および図8に示す。

いずれにおいてもA工法（低圧注入）の優位性が認められる結果となった。特に、鉄筋の腐食減量に関しては、その優位性が顕著であり、補修時とほとんど変わらない値を示しており、30サ

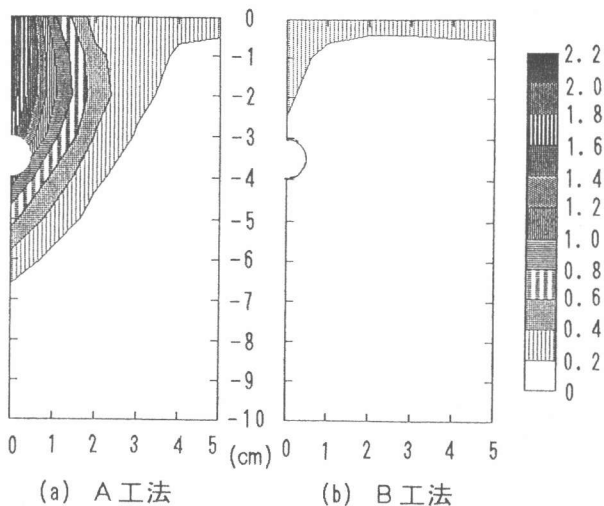


図4. 亜硝酸イオン濃度分布（コンクリートに対する重量%）

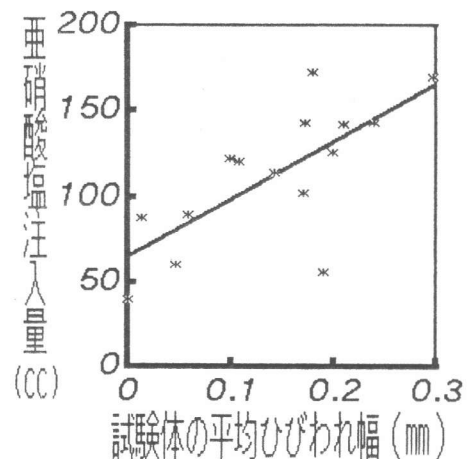


図5. ひびわれ幅と防錆剤注入量

イクルまでは腐食の進行がほぼ完全に抑制されていることがわかる。ひびわれ幅に関しては、防錆剤を塗布したB工法に比べて半分以下にとどまっている。また、自然電位は補修直後から急速に貴な状態へ移行し、腐食の目安とされる $-350\text{mV}$ より貴な値を保っている。

本実験においては、B工法（塗布）の防食効果は少なく、ひびわれ幅、自然電位および腐食減量ともにC工法と同程度の結果を示している。この原因としては、①塩化物イオン濃度を高く設定したこと、②高温乾湿繰返しにより腐食反応は急速に促進されたが、本実験の30サイクルという短期間では拡散による鉄筋位置での亜硝酸イオンが防食に不十分な量であったことが考えられる。ただし、自然電位は徐々に貴な状態へ移行していることから、亜硝酸イオンの内部拡散が進行し[3]鉄筋位置の亜硝酸イオン濃度が高まりつつあると考えられる。したがって、今後亜硝酸塩による防食効果が次第に現れてくることが予想される。

#### 4. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- 1) 低圧注入工法は、塗布工法と比較して、亜硝酸塩系防錆剤を速く高濃度で広範囲に浸透させることが可能である。
- 2) 亜硝酸塩系防錆剤の低圧注入工法は、表面に微細ひびわれが生じた程度の腐食進行状態の鉄筋に対して、非常に有効な防食手法となる。

#### 謝辞

本研究に際して日産化学工業(株)および(株)小野田の方々に多大なるご協力を頂いた。本研究費は、平成3年度文部省科学研究費・試験研究B（課題番号02555124）によった。付記して謝意を表する。

#### 参考文献

- 1) 廖 年折他：亜硝酸塩系防錆剤による塩化物含有コンクリート中の鉄筋防食手法に関する研究（その1）（その2），日本建築学会大会学術講演梗概集A，1991年，pp.213-216
- 2) 小林明夫他：塗布型腐食抑制剤によるコンクリート中の鉄筋の防食に関する研究，土木学会論文集，第420号，pp.51-60，1990年8月
- 3) 平居孝之他：既存RC構造物のコンクリート表面への防錆剤塗布工法による鉄筋の防錆に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集A（近畿），pp.295-296，昭和62年10月

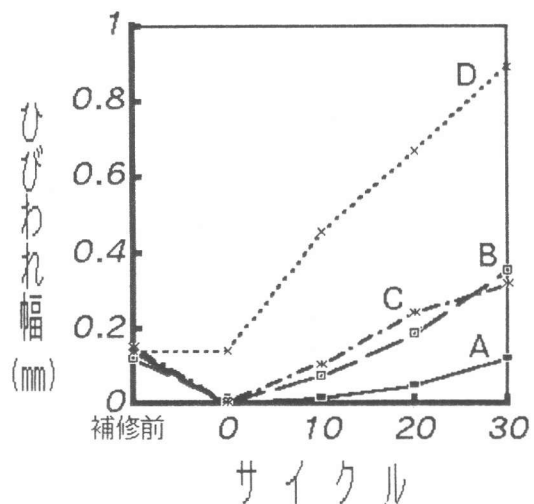


図6. ひびわれ幅の経時変化

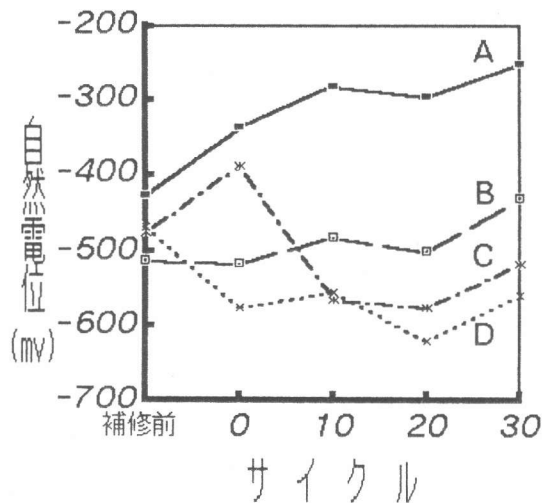


図7. 鉄筋の自然電位の経時変化

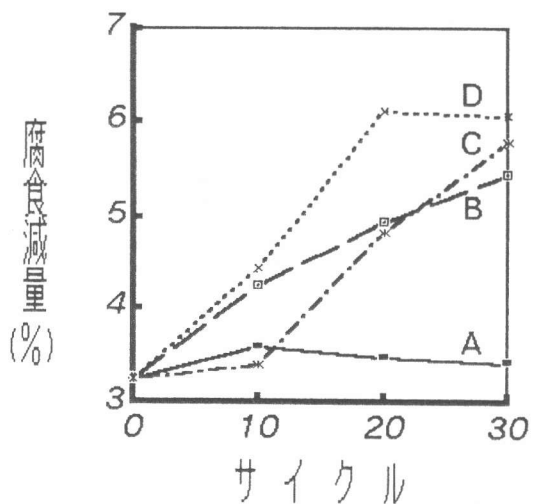


図8. 鉄筋の腐食減量の経時変化