

論文 断面修復による鉄筋腐食の抑制に関する研究

杉浦 章雄*¹・榊原 弘幸*²・宮脇 賢司*³・大崎 敬一*⁴

要旨：塩害により劣化した鉄筋コンクリート構造物の断面修復においては、マクロセル腐食の発生が懸念されている。本研究では、打ち継ぎ部のある補修モルタル供試体を作製し、塩分浸漬、温冷乾湿繰り返し促進養生を行うことによって、塗布型および混和型の防錆材や断面修復材の種類による鉄筋腐食抑制効果を検討した。その結果、防錆材としては亜硝酸塩や亜硝酸塩を添加した防錆ペーストがもっとも高い腐食抑制効果を示した。また、防錆材と併用しない場合には、いずれの断面修復材も打ち継ぎ部に激しい腐食を発生させたが、断面修復材としての基本性能を確保している場合は、補修部分の腐食は抑制された。

キーワード：塩害、断面修復、鉄筋腐食、亜硝酸塩、塩化物イオン

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の早期劣化が問題となっており、それにともない様々な補修が行われている。その中でも断面修復工法は、鉄筋コンクリート構造物の補修に多用されている。しかしながら、塩害によって劣化したコンクリート構造物の断面修復においては、既存コンクリート部と補修部が鉄筋を介して隣接するため、断面修復方法によっては新たな鉄筋腐食を引き起こし、所定の補修効果を得ることができないことが指摘されている^{1) 2)}。

そこで本研究では、断面修復材として小断面の修復に用いられる超速硬系のポリマーセメントモルタル、下面増厚等に用いられる低弾性率タイプの吹き付け用ポリマーセメントモルタル、大断面の修復に用いられるグラウト材の3種類を、防錆材としてキレート反応系、亜硝酸リチウム系、アミノアルコール系2種類および亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペーストの計5種類を、各条件で組み合わせ、基材部と

断面修復部が鉄筋を介して隣接するモルタル供試体を作製し、防錆材および断面修復材による鉄筋の発錆抑制効果を評価した。

2. 実験概要

2. 1 供試体概要

鉄筋の発錆試験に用いた供試体は、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説」³⁾の付1. 3鉄筋コンクリート補修用防錆材の品質基準(案)に準じて作製した。供試体の概略図を図-1に示す。

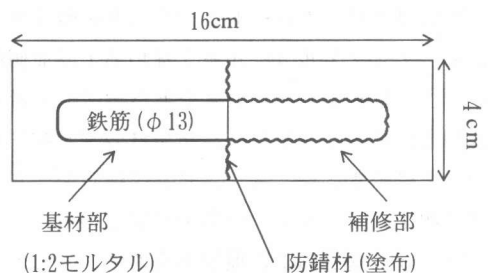


図-1 供試体概略図

- * 1 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究員 (正会員)
- * 2 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 主任研究員 (正会員)
- * 3 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究員
- * 4 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究員

表－１ 断面修復材の基本物性

断面修復材	分類	W/C (%)	S/C	P/C (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	長さ変化 (%)
P	小断面用 超速硬系PCM	25	1.5	7	6.5	27.4	0.04
S	下面増厚用 低弾性率PCM	44	1.5	9	8.7	36.4	0.08
G	大断面用 グラウト材	40	2.0	0	9.0	48.8	0.04
日本建築学会「断面修復用ポリマーセメントモルタル品質基準(案)」		—	—	—	6.0以上	20.0以上	0.15以下

2. 2 使用材料

鉄筋は、JIS K 6205の付属書2に規定されている丸鋼SR235のφ13×130mmのものを研磨紙で研磨し、アセトンにより脱脂し、使用した。

基材部として、普通ポルトランドセメントを用いたS/C=2、W/C=65%のモルタルを使用した。

補修部分には、断面修復材として、小断面の修復に用いられる左官用の超速硬系ポリマーセメントモルタル、下面増厚等に用いられる低弾性率タイプの吹き付け用ポリマーセメントモルタル、大断面の修復に用いられるグラウト材の3種類を使用した。使用した断面修復材の基本物性を表－1に示す。いずれも日本建築学会で規定されている「断面修復用ポリマーセメントモルタル品質基準」相当を満たすものである。

防錆材には、キレート反応系、亜硝酸リチウム系、アミノアルコール系2種類および亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペーストの計5種類を使用した。使用した防錆材の基本物性を表－2に示す。C、A1、PPは塗布型、A2は混和型、Nは塗布・混和両用型である。

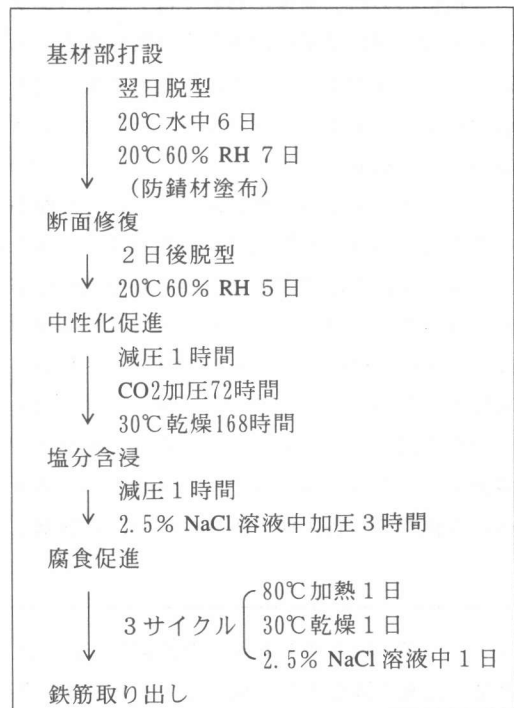
2. 3 養生および促進腐食条件

養生および促進腐食は、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説」の付1.3鉄筋コンクリート補修用防錆材の品質基準(案)の防錆性試験方法に従った。工程を図－2に示す。JIS R 5201に準じて1:2モルタルで基材部を成形し、

表－2 防錆材の基本物性

防錆材	種類	比重	pH
C	キレート反応型	1.05	1.9
N	亜硝酸リチウム	1.15	10.5
A1	アミノアルコール	1.15	11.0
A2	アミノアルコール	1.05	10.0
PP	亜硝酸リチウム含有PCM ^{*)}	1.78	11.3

*) 亜硝酸リチウム添加量1.5wt%/粉体



図－2 養生および腐食促進工程

20℃, 80% RH 中で1日養生した後脱型した。その後, 20℃水中で6日間および20℃, 60% RH 中で7日間養生し, 基材とした。むき出しの鉄筋を再度研磨紙で研磨し, 塗布型防錆材を基材部界面と補修部の鉄筋表面に塗布後, 断面修復材を成形した。混和型防錆材は, 断面修復材混練時に混練り水と一緒に添加した。成型後, 20℃, 80% RH 中で2日間養生した後脱型した。その後, 20℃, 60% RH 中で5日間養生した。

促進腐食は, 真空ポンプで20℃中1時間脱気後, 二酸化炭素を72時間加圧注入し, 中性化を行った。さらにその後, 30℃中で168時間乾燥後, 20℃中1時間脱気, 2.5%塩化ナトリウム溶液中で3時間加圧含浸させた。80℃密封加熱, 30℃乾燥, 20℃2.5%塩化ナトリウム溶液浸漬を各1日ずつ計3日を1サイクルとして, 乾湿繰り返しを3サイクル繰り返した。その後, 割裂して鉄筋を取り出し, 10%クエン酸二アンモニウム溶液中で1分間錆落とし後, アセトンで洗浄し, 鉄筋の発錆面積を測定した。防錆率は, 補修部分を基材部と同じもので修復した比較用供試体を基準とし, 基材部と補修部に分けて, 次式のとおりに計算した。

$$\text{発錆率 (\%)} = \frac{\text{棒鋼の発錆面積}}{\text{棒鋼の有効面積}} \times 100$$

$$\text{防錆率 (\%)} = \frac{\text{比較用発錆率} - \text{補修用発錆率}}{\text{比較用発錆率}} \times 100$$

なお, 発錆状況は各試験シリーズ毎に変動することが予想されたので各シリーズに比較用供試体を作製し, 防錆率を計算した。

3. 実験結果と考察

3. 1 断面修復材の影響

断面修復材種類と鉄筋の防錆率の関係を図-3に示す。基材部の防錆性は, 断面修復材の種類によって大きな変化が見られず, 比較用供試体と同レベルの発錆を示した。一方, 補修部の

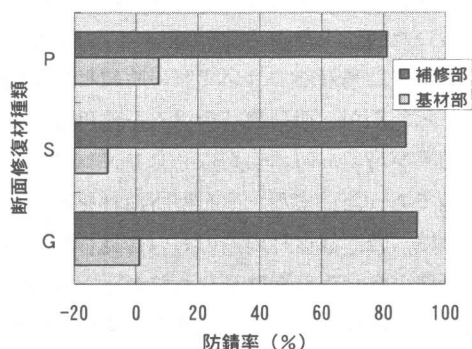


図-3 断面修復材の種類と鉄筋防錆率の関係

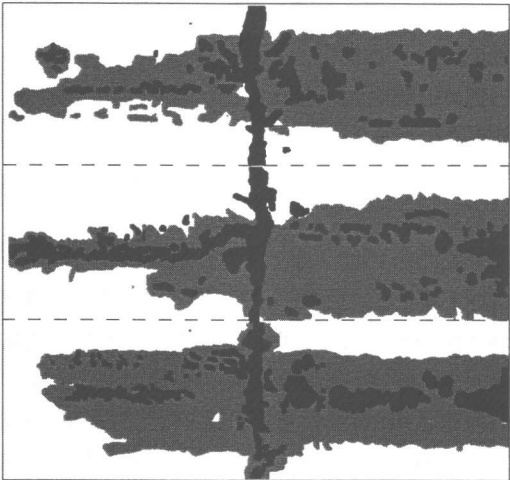
防錆性は, 種類による大きな変化は見られなかったが, 比較用供試体と比べると高い防錆性を示した。また, すべての断面修復材において比較用供試体と大きく異なり, 打ち継ぎ部分に激しい腐食が見られた。これは, 異種材料を打ち継いだためにマクロセル腐食が生じたものと考えられる⁴⁾⁵⁾。一例として, 図-4に比較用供試体と断面修復材Pを使用した供試体の発錆状況を示す。いずれも鉄筋3本の展開図で, 中央に打ち継ぎ部があり, 左側が基材部, 右側が補修部となるように表示している。淡色部分が点錆を, 濃色部分が面錆を示している。比較用供試体で, 基材部よりも補修部に発錆が広く見られたのは, 若材齢で促進試験を開始するためと考えられる。

3. 2 塗布型防錆材の影響

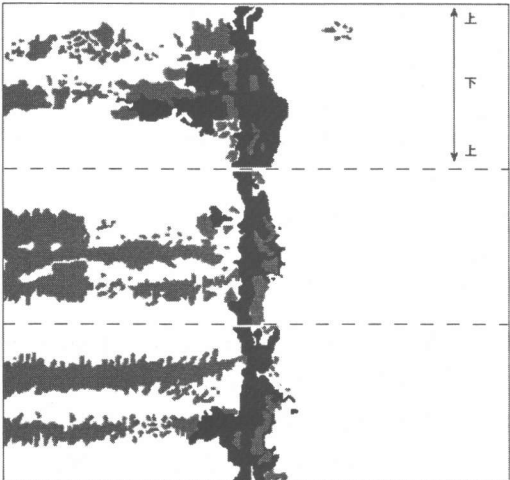
塗布型防錆材は, 補修側鉄筋表面とモルタルの打ち継ぎ部に, ポリマーセメントペースト系防錆材Pは約2mm厚に, その他のものは約100g/m²を2回塗布した。断面修復材はいずれもSを用いた。塗布型防錆材と鉄筋の防錆率の関係を図-5に示す。基材部では, 亜硝酸リチウムを使用したNとPPで高い防錆効果が見られたものの, 他の防錆材では比較用供試体と大きな差が見られなかった。これは, 亜硝酸リチウムが他の防錆材よりも高い浸透性を持つためと考えられる。アミノアルコール系の防錆材も浸透性のあることがいわれているが⁶⁾, 今回の

試験方法では、塗布後から促進試験までの時間が短いために十分浸透していないものと思われる。一方、補修部ではいずれの防錆材も防錆効果を示したが、亜硝酸リチウムを使用したものの効果が高く、防錆効果は $PP > N > C > A1$ の順であった。また、塗布型防錆材を使用したものは、断面修復材のみのものに見られた打ち継ぎ部の激しい腐食は見られなかった。これは、塗布型防錆材が基材部に浸透するために、打ち

基材部 ← | → 補修部



比較用供試体



断面修復供試体

淡色部分：点錆，濃色部分：面錆

図－４ 鉄筋発錆状況

継ぎ部の電位変化が緩慢になったためと考えられる。

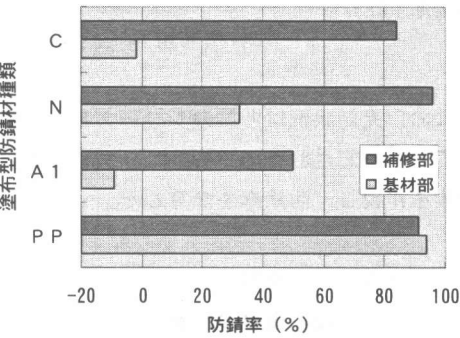
3. 3 混和型防錆材の影響

混和型防錆材の場合、断面修復材の物性への影響が危惧されるので、添加量と初期物性の関係を確認した。断面修復材 S に混和した結果を図－6 に示す。亜硝酸リチウム系のものは最適量があるが、添加によって初期強度が上がる傾向が見られた。一方、アミノアルコール系のものは、添加によって初期強度が低下する傾向が見られた。しかしながら、いずれにおいても少量添加においては大きな悪影響はなく、実用上問題ないものと考えられる。

次に、断面修復材 S に対し混和型防錆材を 1 wt% 添加したときの混和型防錆材と鉄筋の防錆率の関係を図－7 に示す。いずれの防錆材においても防錆効果が見られたが、塗布型と同様にその効果は $N > A2$ の順で、亜硝酸リチウム系の防錆効果が高かった。

3. 4 基材部に内包塩分を含む場合

実構造物の補修においては、完全な塩分含浸部の除去は難しいことが考えられるので、基材コンクリートに内包塩分が残存している場合を想定し、基材部のモルタルに塩化物イオン量で 1.5 kg/m^3 に相当する NaCl を打設時に添加した。内包塩分含有供試体での、塗布型防錆材



図－５ 塗布型防錆材の種類と鉄筋防錆率の関係

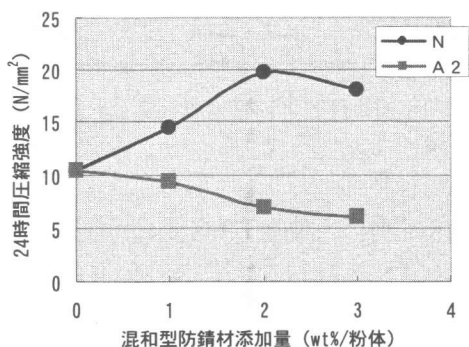


図-6 混和型防錆材の添加量と断面修復材の初期強度の関係

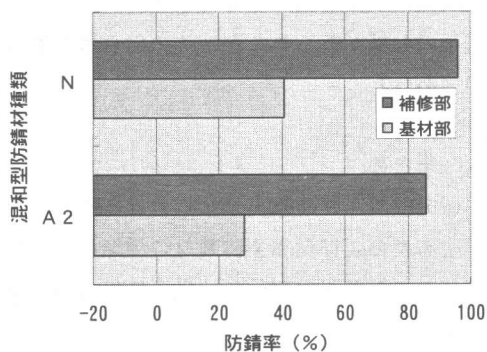


図-7 混和型防錆材の種類と鉄筋防錆率の関係

と鉄筋の防錆率の関係を図-8に示す。本シリーズでは、基材部に内包塩分を含有した1:2モルタル、断面修復部に内包塩分を含有しない1:2モルタルを使用したものを比較用供試体として用いた。比較用供試体以外の断面修復材には、Sを使用した。塗布型防錆材を用いず、断面修復材Sのみで補修したものは、内包塩分がない場合と同様に打ち継ぎ部に激しい腐食が見られ、補修部には発錆があまり見られなかった。また、基材部においても内包塩分がない場合に比べ腐食は激しくなっていたものの、発錆面積ではあまり変化が認められなかった。一方、塗布型防錆材の種類による影響は、内包塩分がない場合と若干変化はあるものの、ほぼ同様に亜硝酸リチウムを使用したNとPPで高い防錆効果が見られた。内包塩分の含有の有無による発錆面積に大きな変化が見られないのは、試験養生期間が短いために、促進養生時の塩水含浸の影響の方が大きくでたためと考えられる。

次に、内包塩分含有時のより高い防錆効果を検討するために、最も防錆効果の高かった亜硝酸リチウム系防錆材Nを塗布と混和で併用した場合の防錆性を評価した。各使用方法による鉄筋の防錆率との関係を図-9に示す。断面修復材にはSを使用した。亜硝酸リチウム系防錆材Nを塗布と混和で併用することによって、単独使用よりも優れた防錆効果が得られた。併用時

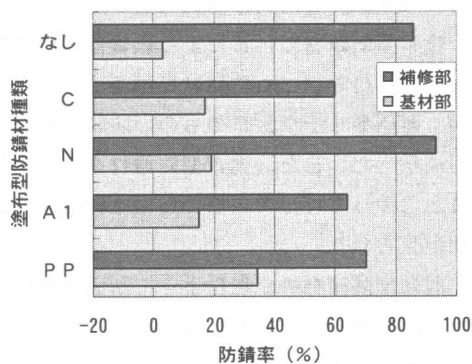


図-8 塗布型防錆材の種類と鉄筋防錆率の関係 (内包塩分含有時)

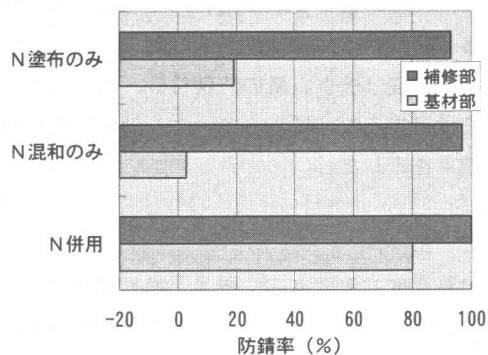


図-9 防錆材の使用法と鉄筋防錆率の関係 (内包塩分含有時)

の鉄筋発錆状況を図-10に示す。打ち継ぎ部に若干の発錆が見られたが、その腐食は軽微なものであった。

4. まとめ

本研究では、断面修復工法における断面修復材と塗布型および混和型防錆材の種類による鉄筋腐食への影響を検討した。以下に得られた結果を示す。

- 1) 断面修復材の種類による影響は、断面修復材としての基本性能を満たしていれば、その防錆効果に大きな違いは認められなかった。ただし、断面修復材単独で使用的場合は、打ち継ぎ部に局所的な腐食を生じた。
- 2) 塗布型防錆材の種類による影響は、いずれの防錆材においても防錆効果は認められたが、亜硝酸リチウム系のものの防錆効果が最も高かった。また、塗布型防錆材を使用することによって打ち継ぎ部の腐食を抑制する傾向が見られた。
- 3) 混和型防錆材の添加によって断面修復材の物性は若干変化するが、少量添加では実用上問題のない範囲であった。
- 4) 混和型防錆材の種類による影響は、塗布型と同様に、いずれの防錆材においても防錆効果が認められたが、亜硝酸リチウム系のものの防錆効果が最も高かった。
- 5) 内包塩分を含有する基材部に対しても、塗布型防錆材は防錆効果を示した。
- 6) 亜硝酸リチウム系の防錆材は、塗布と混和を併用することによって、より効果的な防錆効果を示した。

参考文献

- 1) 出村克宣, 大濱嘉彦, 伊部 博: 補修後5年を経過した鉄筋コンクリート造建物の鉄筋腐食, コンクリート構造物の補修工法と電気防食に関するシンポジウム論文報告集, pp. 29-32, 1994. 10

基材部

← | →

補修部

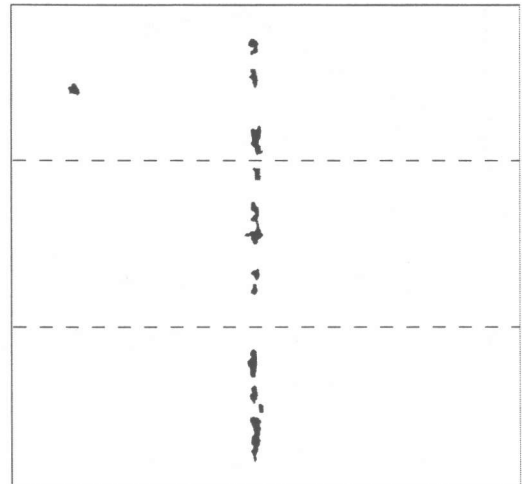


図-10 亜硝酸リチウム系防錆材Nの
塗布・混和併用時の発錆状況

- 2) 宇仁管康行, 梶田佳寛, 地頭蘭 博, 藤井和俊: 塩害により劣化した鉄筋コンクリートの補修方法に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 19, No. 1, pp. 1165-1170, 1997. 6
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説, 日本建築学会, pp. 186-194, 1997. 1
- 4) 守分敦郎, 長滝重義, 大即信明, 宮里心一: 断面修復が鉄筋のマクロセル腐食におよぼす影響, コンクリート構造物の補修工法と電気防食に関するシンポジウム論文報告集, pp. 7-14, 1994. 10
- 5) 上條達幸, 徳重英信, 川上洵: ポリマーセメントモルタルによる鉄筋防錆に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No. 53, pp. 669-674, 1999.
- 6) Maeder, U.: A New Class of Corrosion Inhibitors for Reinforced Concrete, Proceedings of the 3rd CANMET/ACI International Conference on Concrete in Marine Environment, ACI SP 163-10, pp. 215-232, 1996