

論文 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

宇仁菅 康行^{*1}・榊田 佳寛^{*2}・地頭菌 博^{*3}・藤井和俊^{*4}

要旨:本研究は、塩害により劣化した鉄筋コンクリートの適切な補修方法を提案するために、3種類の補修材料で補修し、その塩害劣化抑制効果について比較検討したものである。補修方法として断面修復と表面被覆を施し、促進劣化させた後に、鉄筋腐食面積率および鉄筋腐食減量率について比較を行なった。

その結果、補修材料としては防錆剤入りのスチレンブタジエンゴム系ポリマーセメントモルタルを用いて鉄筋の裏側まで断面修復する方法が塩害劣化抑制に効果的であった。

キーワード:塩害, 断面修復, 表面被覆, 鉄筋腐食, 補修材料

1. はじめに

塩化物イオンによって鉄筋が腐食し、コンクリート構造物にひび割れなどの損傷が生じる劣化現象に対しては、従来より断面修復または表面被覆を中心とした補修方法が行われているが、その補修効果については未だ確立された評価がなされていないのが現状である〔1, 2, 3〕。

本研究は、代表的な補修材料であるスチレンブタジエンゴム系ポリマーセメントモルタル、これに防錆剤(亜硝酸リチウム)を加えたもの、およびエポキシ樹脂系ポリマーモルタルを用いて、初期に塩化物を混入した小型試験体に断面修復と表面被覆の2通りの補修方法を施工し、促進劣化試験を行って、補修効果を比較したものである。

本報では、促進劣化試験 12〔4〕, 24, 90 サイクルの結果を報告する。

なお、本研究は筆者の1人が建設省建築研究所に在籍していた時に、三菱建設(株)との共同研究として開始したものである。

2. 実験概要

2. 1 要因と水準

本実験では、補修方法を2つに分け、断面修復をシリーズ1、表面被覆をシリーズ2とした。シリーズ1では、1試験体にかぶり厚さ20mmの鉄筋を2本配置し、鉄筋の裏側10mmまではつつて補修を行なったケースと鉄筋径の1/2の深さまではつつて補修をおこなったケースを想定した。シリーズ2では、1試験体にかぶり厚さ10mmと30mmの鉄筋を1本ずつ配置した。

実験の要因と水準を表-1に示す。

2. 2 試験体

シリーズ1, 2の試験体の形状・寸法を図-1, 2に、コンクリートの調合を表-2に示す。試験体のコンクリートには予め塩化物を混入した。また、コンクリートの目標スランプは 18 ± 2 cm、目標空気量は 4 ± 1 %とした。鉄筋は丸鋼Φ13mmのみがき棒鋼を使用した。

*1 三菱建設(株) 技術研究所 主任研究員(正会員)

*2 宇都宮大学教授 工学部建設工学科 工博(正会員)

*3 三菱マテリアル(株) セメント研究所 主任研究員(正会員)

*4 三菱建設(株) 技術研究所 副所長(日本大学大学院理工学研究科海洋建築工学博士課程)(正会員)

表-1 実験の要因と水準

要因	試験体			補修材料				比較用	補修方法
	かぶり厚さ (mm)	水セメント比 (%)	コンクリート中の塩化物物量 (kg/m ³)	SBR* ¹	LSBR* ²	EPM* ³	NR* ⁴		
シリーズ									
1 断面修復	20	60	0.6	○	○	○	○	鉄筋の裏側 10mm まで補修	
			1.8	○	○	○	○		
			3.0	○	○	○	○		
			4.2	○	○	○	○		
	70	60	0.3	○	○	—	○	鉄筋径の 1/2まで 補修	
			0.6	○	○	—	○		
2 表面被覆	10、30	60	1.8	○	○	○	○		
			3.0	○	○	○	○		
			4.2	○	○	○	○		
			0.6	○	○	○	○		
	70	60	1.8	○	○	○	○		
			3.0	○	○	○	○		

*1 SBR：スチレンブタジエンゴム系ポリマーセメントモルタル

*2 LSBR：スチレンブタジエンゴム系ポリマーセメントモルタルに防錆剤（亜硝酸リチウム）を加えたもの

*3 EPM：エポキシ樹脂系ポリマーモルタル

*4 NR：補修を行わない試験体

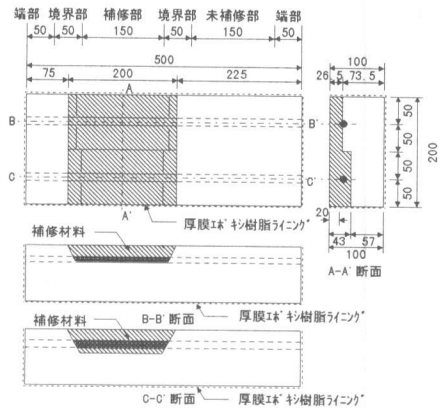


図-1 シリーズ1：断面修復試験体の形状・寸法（単位：mm）

表-2 コンクリートの調合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	1m ³ あたりの所要量(kg)				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤 (C×%)
60	48	180	300	849	947	0.1
70	51	189	270	900	894	0.1

セメント：普通ポルトランドセメント（比重：3.15）

細骨材：鬼怒川産川砂（比重：2.58，吸水率：2.24%）

粗骨材：八王子産砕石（比重：2.66，吸水率：0.62%，最大寸法：20mm）

混和剤：AE減水剤，AE助剤

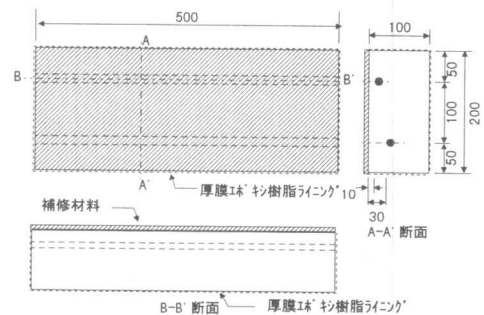


図-2 シリーズ2：表面被覆試験体の形状・寸法（単位：mm）

2. 3 補修材料

補修材料を表-3に、補修材料の基本性能を表-4に示す。補修材料はスチレンブタジエンゴム系ポリマーセメントモルタル（以下SBR）、これに防錆剤（亜硝酸リチウム）を加えたもの（以下LSBR）、およびエポキシ樹脂系ポリマーモルタル（以下EPM）を用いた。また比較用に補修を行わない試験体（以下NR）も作製した。

表面被覆は塗厚10mmとした。試験体は脱型後4週間20℃の室内で湿布養生した後、シリーズ1では温度20℃、湿度60%の室内に1週間保存し、シリーズ2では20℃の水中に1週間浸漬した。その後補修を実施し、補修後1週間の養生の後促進劣化試験を開始した。試験体の試験面以外は厚膜エポキシ樹脂でライニングした。ライニング厚は、底面（試験面の反対側）が1回塗り1.0mm、小口面が1回塗り0.5mmとした。

2. 4 促進劣化試験

促進劣化試験の条件を図-3に示す。1サイクルは7日から成り、50℃湿度100%を3日、40℃

表-3 補修材料

シリーズ	材料の種類	SBR	LSBR	EPM
1	防錆処理剤	防錆剤*混入SBR系ポリマーセメントペースト	防錆剤*混入SBR系ポリマーセメントペースト	ジングリッチ塗料
	プライマー	同上	同上	エポキシ樹脂
	断面修復材	SBR系ポリマーセメントモルタル	防錆剤*混入SBR系ポリマーセメントモルタル	エポキシ樹脂系ポリマーモルタル
2	プライマー	—	—	エポキシ樹脂
	表面被覆材	SBR系ポリマーセメントモルタル	防錆剤*混入SBR系ポリマーセメントモルタル	エポキシ樹脂系ポリマーモルタル

*：亜硝酸リチウム

湿度 40%を 4 日保った。補修効果を確認するまでの促進劣化試験材齢は、12, 24, 90 サイクルの 3 種類とした。

2. 5 測定項目と方法

測定項目とその方法を以下に示す。

(1) 補修面の目視観察

ひび割れ等の発生を確認するため、試験体補修面の目視観察をおこなった。

(2) 鉄筋腐食面積率

鉄筋の腐食部分をビニールシートに描き写し、画像解析装置を用いて腐食面積を測定し、腐食面積率を算定した。

(3) 鉄筋腐食減量率

腐食した鉄筋を煮沸したクエン酸－アンモニウム水溶液で浸漬し、錆を除去した後の鉄筋重量を測定した。鉄筋腐食減量率は次式から算出した。

$$\text{鉄筋腐食減量率} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \text{ (\%)} \quad \begin{array}{l} W_0 : \text{みがき鉄筋の初期鉄筋重量 (g)} \\ W_1 : \text{クエン酸処理後の鉄筋重量 (g)} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} W_0 : \text{みがき鉄筋の初期鉄筋重量 (g)} \\ W_1 : \text{クエン酸処理後の鉄筋重量 (g)} \end{array}$$

3. 実験結果および考察

3. 1 シリーズ 1 : 断面修復

(1)補修面の目視観察

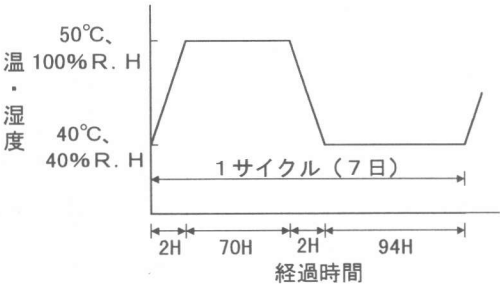
12、24 サイクルではどの試験体もひび割れを生じなかった。90 サイクルでは水セメント比 70%、混入塩化物量 3.0kg/m³ の 3 試験体の未補修部、および水セメント比 60%、混入塩化物量 4.2kg/m³ で E P Mにより断面修復を行った試験体の未補修部に鉄筋に沿ったひび割れが発生した。ひび割れ発生部の鉄筋の腐食面積率はすべて 100%で、鉄筋腐食減量率は 2.9%を超えていた。

(2) 鉄筋腐食面積率

水セメント比 60%の試験体で、図－1 に示した未補修部、境界部、補修部の鉄筋腐食面積率を各促進サイクル毎に図－4, 5 に示す。図－4 は鉄筋の裏側 10mm まで、図－5 は鉄筋径の 1/2 まで断面修復した場合で、それぞれ上段が塩化物量 1.8kg/m³、下段が 3.0kg/m³ である。境界部の鉄筋腐食は 12 サイクルから認められ、塩化物量が多くなるほどその傾向は顕著になった。また、鉄筋の裏側 10mm まで断面修復した試験体の境界部の鉄筋腐食面積率は、鉄筋径の 1/2 まで断面修復した試験体の鉄筋腐食面積率より小さくなった。 L S B Rを用いた試験体の境界部の鉄筋腐食面積率は、S B Rに比較して小さいことから、亜硝酸リチウムの防錆効果は鉄筋に塗

表－4 補修材料の基本性能

材料	圧縮強さ (N/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	付着強さ (N/mm ²)	乾燥収縮 (×10 ⁻⁴)	吸水率 (%)
防錆剤混入SBR系 ポリマーセメントペースト	33.3	10.5	2.2	－	1.09
SBR系 ポリマーセメントモルタル	50.0	10.9	2.3	0.9	2.38
防錆剤混入SBR系 ポリマーセメントモルタル	58.1	13.3	2.4	4.8	0.61
エポキシ樹脂系 ポリマーモルタル	33.0	18.0	3.8	0.8	0.02



図－3 促進劣化試験条件

布するだけでなく、断面修復材に混入することにより鉄筋の防錆効果が増大したものと考えられる。鉄筋の裏側 10mm まで断面修復する補修方法では、補修材料の種類にかかわらず補修部の鉄筋の腐食を抑制することができた。しかし、鉄筋径の 1/2 まで断面修復する方法ではどの補修材料を用いても鉄筋の腐食を抑制することはできなかった。この傾向は混入塩化物量 4.2kg/m^3 および水セメント比 70% の試験体でも同様であった。

水セメント 60%、

70% の N R の鉄筋腐食面積率と断面修復した試験体の未補修部の鉄筋腐食面積率との関係を図 - 6 に示す。断面修復した試験体の未補修部の鉄筋腐食面積率は、N R の鉄筋腐食面積率より大きくなり、部分的な補修は補修しない部分の鉄筋腐食を促進する結果となった。このことより、塩害を受けた構造物の補修に際し、補修範囲および補修方法において十分な検討が必要であると考えられる。

3. 2 シリーズ 2 : 表面被覆

(1) 補修面の目視観察

24 サイクルまでは表面被覆材の剥離は見られなかった。90 サイクルでは表面被覆材に E P M を用いた 6 体のうち、5 体の

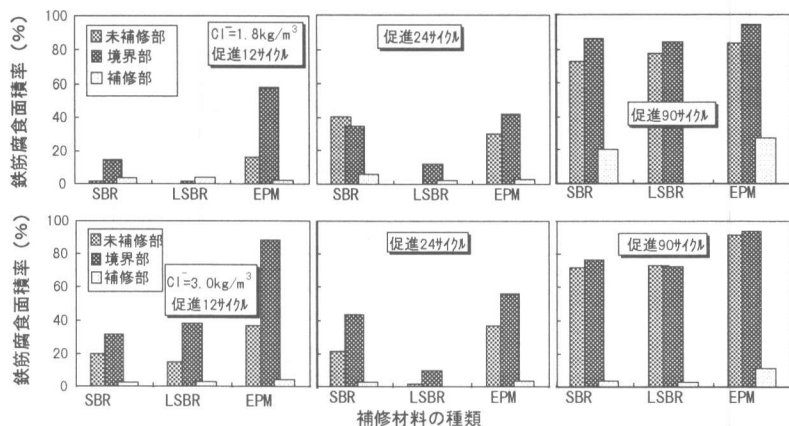


図-4 鉄筋の裏側10mmまで断面修復した試験体の鉄筋腐食面積率(水セメント比60%)

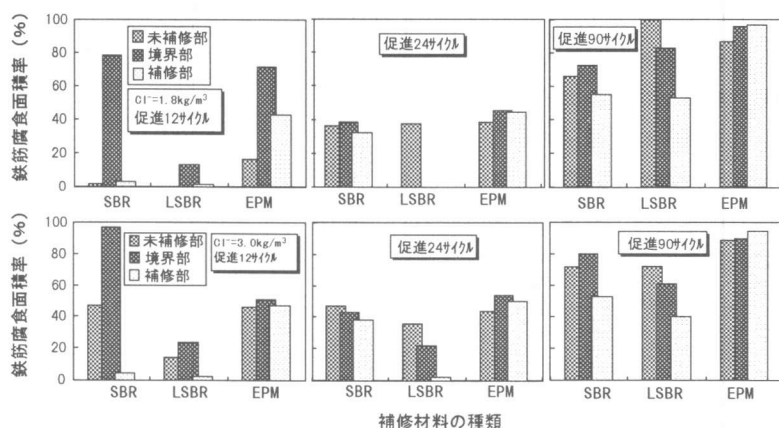


図-5 鉄筋径1/2まで断面修復した試験体の鉄筋腐食面積率(水セメント比60%)

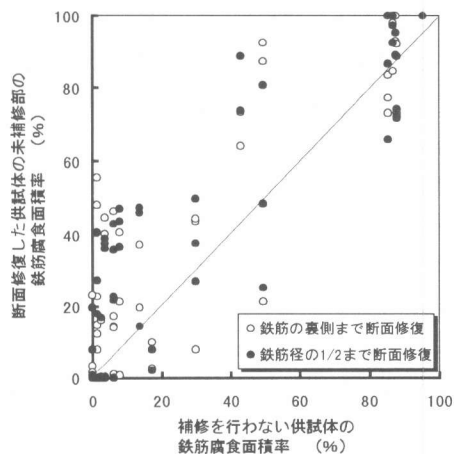


図-6 補修を行わない試験体の鉄筋腐食面積率と断面修復した試験体の未補修部の鉄筋腐食面積率の関係

試験体で、表面被覆材の剥離が見られた。

(2) 鉄筋腐食面積率

水セメント比 60%、
混入塩化物量 1.8、
3.0kg/m³ で表面被覆した試験体の鉄筋腐食面積率を各サイクル毎に図－7 に示す。上段がかぶり厚 30mm、下段が 10mm である。図中の破線は NR の鉄筋腐食面積率である。24 サイクルまではすべての要因において、鉄筋の腐食はほとんど認められなかった。90 サイクルでは混入塩化物量が多い場合には、どの材料を用いても鉄筋の腐食を抑制する効果に差は見られなかった。

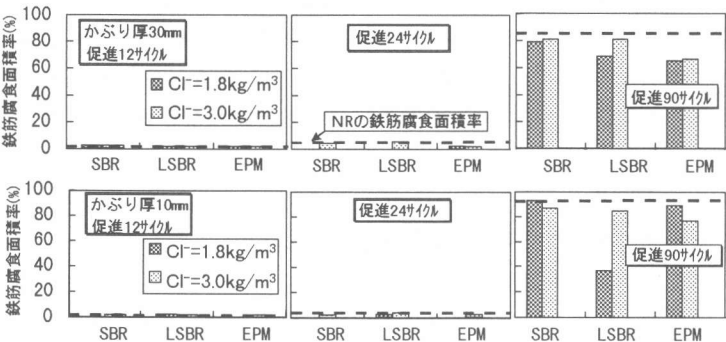
この傾向は混入塩化物量 4.2kg/m³ および水セメント比 70%の試験体でも同様であった。

3. 3 補修方法及び補修材料の比較

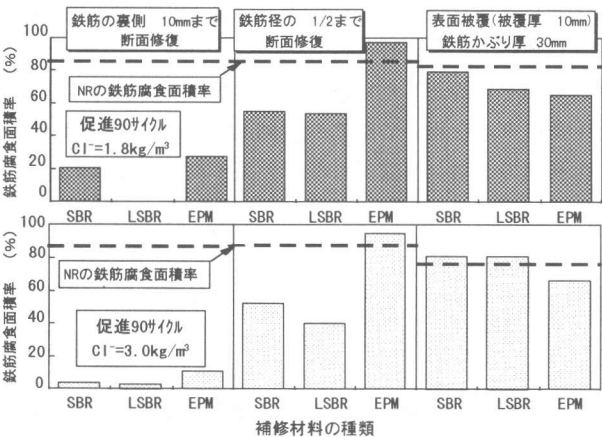
水セメント比 60%、塩化物量 1.8、3.0kg/m³ で 90 サイクルでの補修方法及び補修材料の比較を図－8 に示す。これらは補修部の鉄筋腐食面積率で比較したものであり、上段が塩化物量 1.8kg/m³、下段が 3.0kg/m³ で、左が鉄筋の裏側 10mm まで断面修復、中央が鉄筋径の 1/2 まで断面修復、右が表面被覆を 10mm 厚(鉄筋かぶり厚 30mm)で行った補修方法である。

塩化物量に関係なく補修方法としては、鉄筋の裏側 10mm まで断面修復する方法が効果があることがわかった。

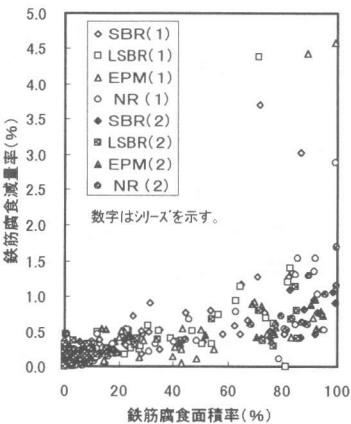
補修材料としては L S B R が最も効果的であった。鉄筋径の 1/2 まで断面修復する場合には、E P Mより L S B R、S B Rの方が鉄筋の腐食は少なかった。表面被覆の場合は、補修材料による差



図－7 表面被覆した試験体の鉄筋腐食面積率(水セメント比60%)



図－8 補修方法および補修材料の比較



図－9 鉄筋腐食面積率と鉄筋腐食減量率の関係

は認められなかった。

3. 4 鉄筋腐食面積率と鉄筋腐食減量率の比較

鉄筋腐食面積率と鉄筋腐食減量率の関係を図-9に示す。鉄筋腐食面積率が増えるに従って、鉄筋腐食減量率はゆるやかに増加し、鉄筋腐食面積率が70%を超えると、鉄筋腐食減量率が急激に増加する傾向[5]は認められなかった。腐食減量率が2%を超えているのは、断面修復試験体の未補修部でひび割れが発生していた鉄筋の腐食減量率であった。

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた知見を以下に示す。

(1) 断面修復では

防錆剤入りのスチレンブタジエンゴム系ポリマーセメントモルタルを用いて鉄筋の裏側10mmまで補修する方法が効果的であった。

(2) 表面被覆では

塩化物量が多くなると、材料の違いによる抑制効果の差は、ほとんどみられなかった。

(3) 補修方法を比較すると

塩害抑制を目的とした補修方法としては、防錆材入りのスチレンブタジエンゴム系ポリマーセメントモルタルを用いて鉄筋の裏側10mmまで断面修復する方法が最も効果的であった。

劣化初期の段階では表面被覆の効果が高く、補修範囲、補修時期によって適切な補修方法の使い分けが必要と考えられる。

なお、本研究では、同様の水準で屋外暴露試験を継続中である。今後あわせて検討していきたい。

謝辞：本研究を実施するに当たり、建設省建築研究所無機材料研究室長 阿部道彦氏に便宜をはかって頂きました。また、足利工業大学の毛見教授のご指導、工学部学生の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の補修工法研究委員会報告書(Ⅲ)
- [2] 浜田秀則，福手勤，阿部正美：「塩害により劣化した鉄筋コンクリート部材の補修効果に関する実験的考察」，コンクリート工学論文集，第3巻第2号，1992，7月，pp. 85～95
- [3] 松里広昭，岡本享久，窪川豊之：「最近の補修・補強材料について」，コンクリート工学，Vol.33，No.12，1995，12，pp. 33～42
- [4] 藤井和俊，樹田佳寛，安田正雪，小島利広：「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」，日本建築学会大会学術講演梗概集，1989，10月，A，pp. 641～642
- [5] 掛川勝，樹田佳寛，松林裕二，小俣一夫：「表面被覆材及び浸透吸水防水材の塩害防止効果に関する実験」，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，NO.1，1993，pp. 709～714