

論文

[1084] アクリルゴム系弾性防水材料による鉄筋コンクリート造の塩害防止効果に関する実験

正会員 榊田佳寛（建設省建築研究所）

正会員 安田正雪（建設省建築研究所）

正会員 ○谷川 伸（東亜合成化学工業研究所）

正会員 入田 一（東亜合成化学工業研究所）

1. まえがき

近年、塩害による鉄筋コンクリート構造物の早期劣化現象が顕在化し、大きな社会問題となっている。その一つの対策として、鉄筋の腐食要因である塩分、水分、酸素の外部からの浸透を阻止する目的で、コンクリート表面を防水材料で塗装被覆する方法がある。しかし、コンクリートが既に劣化要因を内在した場合の、防水塗膜による塩害防止効果には不明確な点が多かった。

本研究は、鉄筋腐食に対する劣化要因を内在している場合に、各レベルの外観的な損傷状況に対して、アクリルゴム系弾性防水材料が被覆効果をどの程度有するかを促進試験で検討したものである。

2. 実験計画及び実験方法

補修対象の鉄筋コンクリート構造物の劣化状態を図-1に示す3種類に分類し、それぞれを実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲに割り当てた。実験Ⅰは、外観的な損傷は無いが、内的に鉄筋腐食要因(塩分、水分、中性化)を内在している場合を想定した。実験Ⅱは断面修復材と旧コンクリート界面に生じる塩分濃度の濃淡分布(マクロセルの形成)が鉄筋腐食に及ぼす影響を想定した。実験Ⅲは、ひびわれが鉄筋にまで到達している場合を想定した。防水材料として高弾性型アクリルゴム系防水材料(以下防水材料Aと略す)、高弾性高張力型アクリルゴム系防水材料(以下防水材料Bと略す)、低弾性型アクリルゴム系防水材料(以下防水材料Cと略す)の三種類を用いた。尚、実験Ⅰ、Ⅱは防水材料Aのみで試験し、実験Ⅲでは防水材料A, B, Cの鉄筋腐食防止に対する性能比較を実施した。各実験における要因と水準を表-1に示した。表-1に示す水準のうち、塩化物量に関して実験Ⅰでは表-2に示す水準の組合せで試験を行い、実験Ⅱ及びⅢではすべての組合せで試験を行った。

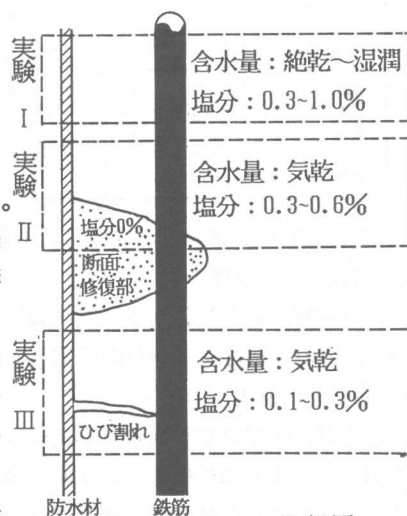


図-1 補修時の状態図

(1)コンクリート供試体の作製

試験に用いたコンクリート供試体は、表-3に示す配合で作製した。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は大井川産川砂、粗骨材は東京都青梅産の硬質砂岩碎石を各々使用した。供試体の形状を図-2に示す。実験Ⅲは、厚さ0.3 mmのスペーサーを使用し、4箇所鉄筋の裏側の深さまで疑似ひびわれを挿入した。

(2)中性化促進劣化処理

中性化促進試験機器を用い二酸化炭素濃度5%(温度20℃、湿度60%RH)の条件で実験Ⅰ、Ⅱでは

表-1 実験の要因と水準

		実験Ⅰ	実験Ⅱ	実験Ⅲ
内的劣化要因	かぶり厚さ	15, 40mm	15, 40mm	15, 40mm
	塩化物量＊)	0.3, 0.6, 1.0 %	0～0.3 % 0～0.6 %	0.1, 0.3 %
	含水状態	絶乾, 気乾, 湿潤	気乾	気乾
	ひびわれ	なし	なし	あり
	中性化深さ	15～25mm	15～25mm	5～15mm
防水材		防水材 A	防水材 A	防水材 A 防水材 B 防水材 C
促進試験方法		高温高湿劣化試験	高温高湿劣化試験	塩害促進試験

＊)塩化物量は細骨材に対する NaCl の重量パーセントである

表-2 実験Ⅰの水準の組合せ

塩分量(%)			
含水状態	0.3	0.6	1.0
絶乾	—	○	○
気乾	○	○	○
湿潤	○	○	—

表-3 コンクリートの基本配合

最大骨材 寸法 (mm)	水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	単位量 (kg/m ³)			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
25	65	47	4	18	185	285	847	958

214日、実験Ⅲでは30日間処理し、実験Ⅰ、Ⅱで15～25mm、実験Ⅲで5～15mmの中性化深さとした。

(3)供試体の含水率調製

防水材塗装の前に、水中浸漬（湿潤水準）、20℃・60%RH（気乾水準）、60℃乾燥（絶乾水準）のそれぞれの雰囲気中に14日間放置した。

(4)防水材の施工

防水材の仕様及び形成膜厚を表-4に示す。防水主材塗膜のJIS A 6021 「屋根用防水塗膜材」準拠した引張り物性を表-5に示す。防水材は供試体の全面に塗布した。実験Ⅲのひびわれ部は、防水主材を施す前にひびわれ処理用塗膜¹⁾（伸び800%、引張り強さ3Kgf/cm²の低モジュラス品）を、塗布量は0.5Kg/m²でひびわれに沿って10cmの幅で塗布した。尚、非塗装供試体については、文献²⁾で類似の供試体を用いて既に示されているので本試験では実施せず、文献値により以下考察した。

(5)劣化試験

①高温高湿劣化試験

60℃、95～100%RH（高温高湿条件：2日）→60℃、40～50%RH（高温低湿条件：1日）を1サイクルとして、実験Ⅰは30および90サイクル、実験Ⅱは30サイクルまで劣化試験を実施した。

②塩害促進試験

3%塩水シャワー（液温50℃：2日）→50℃強制乾燥（1日）を1サイクルとして実験Ⅲは30サイクルまで劣化試験を実施した。

表-4 防水材の構成仕様及び形成膜厚

試験材料	塗 膜 構 成 仕 様						形成膜厚 (mm)
	下塗材		中塗材		上塗材		
	主成分	塗布量 (kg/m ²)	主成分	塗布量 (kg/m ²)	主成分	塗布量 (kg/m ²)	
防水材 A	合成樹脂系	0.3	アクリルゴム系 (水系)	1.7	アクリル ウレタン系	0.3	1.0
防水材 B	合成樹脂系	0.3	アクリルゴム系 (水系)	1.7	アクリル ウレタン系	0.3	1.0
防水材 C	合成樹脂系	0.3	アクリルゴム系 (水系)	1.7	アクリル 樹脂系	0.3	1.0

(6)測定項目と測定方法

①外観試験：コンクリート表面のひびわれ発生の有無、塗膜のふくれ等の異常を目視判定した。②塗膜の付着力強さ：JIS A 6910「複層仕上塗材」に準拠して測定した。③中性化深さ：供試体切断面にフェノールフタレイン1%溶液を塗布し非着色部の深さを測定した。④腐食面積率：トレース用紙に腐食部を写し取り、自動面積計を用いて腐食面積を測定して、計算により求めた。

⑤腐食減量率：

10%クエン酸二アンモニウム溶液に鉄筋浸漬後、腐食生成物を除去し、重量変化の測定により腐食量を求めた後、鉄筋全重量に対する減量率として計算により求めた。

3. 結果と考察

3.1.実験 I

(防水材 A, 高温高湿劣化処理30,90サイクル)

(1)外観変化

防水塗膜のふくれ、剥がれ、割れ等の異常は何れの供試体にも認められなかった。但し、コンクリート表面のひびわれが、90サイクル劣化処理品の塩分1.0%、初期含水状態が絶乾品の1供試体のみに最大3mmのひびわれが1本認められた。しかし、さらに継続している同水準の供試体には同様のひびわれが認められないことより、鉄筋腐食以外の要因によるものと推定され、検討中である。尚、ひびわれ部分の防水材 A は3mmのひびわれに追従し、塗膜にピンホール、破断等の異常は認められなかった。

表-5 中塗材の特性

試験材料	引張物性 ^{*1)}		樹脂量 ^{*2)} (%)
	伸び率 (%)	強さ (kgf/cm ²)	
防水材 A	330	25	54
防水材 B	810	27	54
防水材 C	175	28	34

*1) JIS A 6021に準拠して測定

*2) 塗膜中に占める樹脂の重量パーセント

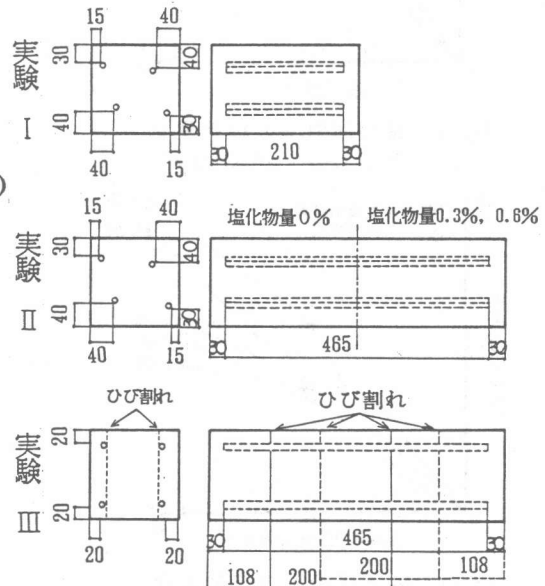


図-2 供試体の形状

尚、非塗装供試体の促進試験は、本促進試験に比較して若干異なるが非常に良く類似した条件となっている。即ち、60℃、95%RH以上2～3日間、気乾放置（常温）2～3日間の繰返しが1サイクル（以下、促進劣化Aと称す）で、含水状態が気乾水準の供試体について試験した結果、塩分量0.3%水準は、かぶり15mmの面に25サイクルで0.1mm以下のひびわれを生じ、50サイクルで0.1～0.3mmのひびわれを生じた。一方、塩分量0.6%水準では、かぶり15mmの面に7サイクルで0.1mm以下のひびわれを生じ、25サイクルで0.3mm以上のひびわれとなった。²⁾

(2)腐食面積率及び腐食減量率

気乾状態に於いて防水塗装を施工した場合の塩分量と腐食（腐食面積率、腐食減量率）の関係を、図-3,4,5,6に示す。塩分量が増加すると腐食量が増大する傾向にある。かぶり厚さの影響は、薄い場合(30×15mm)、30サイクルから90サイクルで腐食面積率の増加は余りないが腐食減量率が増加している。これは腐食が鉄筋のより深い方向へと進行していることを示すものと思われる。厚い場合(40mm)、30～90サイクルの間、腐食面積率、減量率共徐々に増加している。全般に、劣化試験サイクルの増大に伴い腐食速度の鈍化傾向が認められる。尚、比較のため、促進劣化Aによる非塗装供試体の腐食面積率及び腐食減量率を図-3～6に示した。²⁾これより、非塗装供試体に比較して、全ての塩分量水準において、アクリルゴム系防水材による鉄筋腐食抑制効果が認められる。

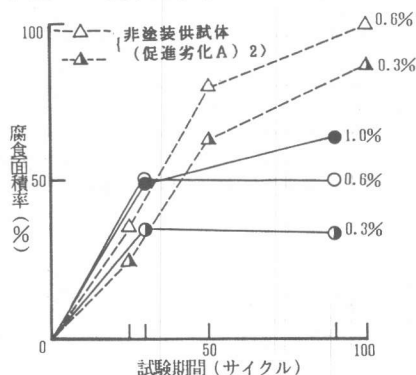


図-3 腐食面積率の経時変化
(かぶり 30×15mm)

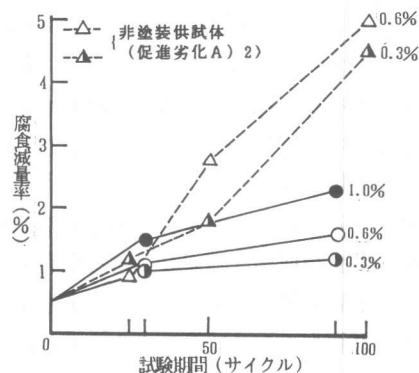


図-4 腐食減量率の経時変化
(かぶり 30×15mm)

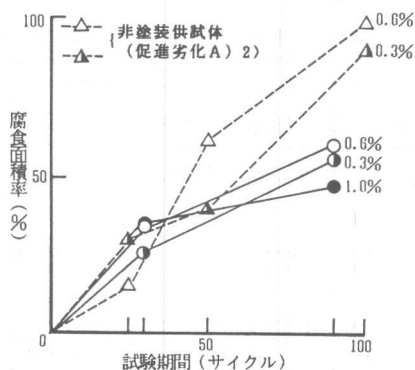


図-5 腐食面積率の経時変化
(かぶり 40×40mm)

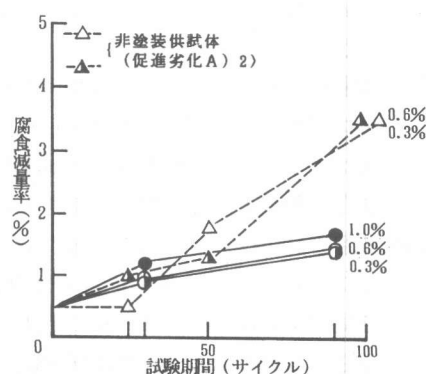


図-6 腐食減量率の経時変化
(かぶり 40×40mm)

腐食面積率は単に鉄筋表面の腐食度合を示すに対し、腐食減量率は腐食容積（表面積×深さ）を示す。ここで腐食の方向性を示す尺度として(1)式に示す腐食比を用いて考察を進めたい。

$$\text{腐食比} = \frac{\text{腐食減量率} - 0.5}{\text{腐食面積率}} \dots\dots (1)$$

(1)式において、-0.5は鉄筋黒皮部の減量補正值²⁾を示している。

腐食比は値が大きいほど腐食が鉄筋の深さ方向へ進行していることを示し、小さいほど表面方向へ進行していることを示す。

気乾状態の塩分量と腐食比との関係を図-7,8に示す。塩分量の増加に伴い腐食比は増大傾向にあり、腐食が深さ方向に進行していることを示す。

塩分量0.6%の含水状態と腐食比との関係は図-9,10に示すように鉄筋のかぶり厚さ、または含水状態の違いで、腐食の進行状況が異なる。即ち、促進30サイクルでは、かぶり厚さが薄い場合(30×15mm)、含水状態が湿潤となる程、腐食比は小さくなるが、かぶり厚さが厚い場合(40mm)は、その逆の傾向を示している。これに対し、劣化試験

90サイクルになると、腐食比には明確な傾向が認められない。これは表-6に示すように供試体中の含水率推移が、90サイクルで平衡に達したことに起因すると考えられる。また、コンクリ

ート中の含水率は、促進期間が長くなるに従って減少しており、防水材Aが、過剰水分を外部へ放出する機能を有することが認めらる。

3.2.実験Ⅱ(防水材A、高温高湿促進劣化処理30サイクル)

(1)外観変化

塗膜外観の異常、及びコンクリート表面のひびわれは認められなかった。

(2)腐食面積率及び腐食減量率

塩分濃淡分布界面の腐食面積率を鉄筋を1cm刻みに区分して測定した結果を図-11,12に示す。塩分濃淡の界面では、かぶり厚さ、及び塩分濃度勾配の大小によらず、鉄筋の腐食面積率は大きくっており、これより塩分濃淡分布界面はマクロセルの形成による腐食を受け易いことを示している。

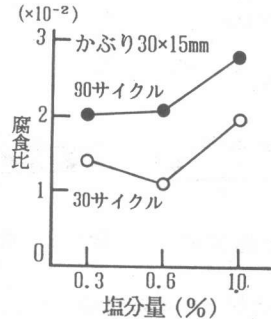


図-7 塩分量と腐食比の関係 (かぶり 30×15mm)

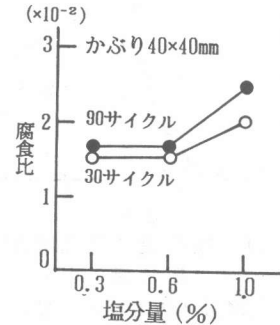


図-8 塩分量と腐食比の関係 (かぶり 40×40mm)

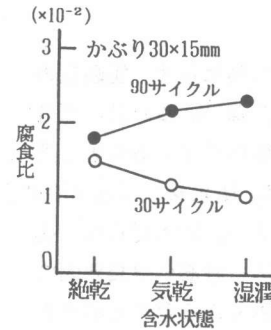


図-9 含水状態と腐食比の関係 (かぶり 30×15mm)

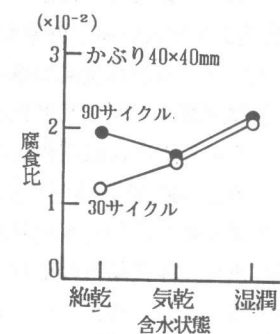


図-10 含水状態と腐食比の関係 (かぶり 40×40mm)

表-6 コンクリート供試体の含水率

塩分量 (%)		0.3		0.6			1.0	
含水状態		気乾	湿潤	絶乾	気乾	湿潤	絶乾	気乾
含水率 (%)	30サイクル	2.2	2.8	1.8	2.5	2.8	2.1	2.3
	90サイクル	1.2	1.6	1.7	1.7	1.8	1.3	1.7

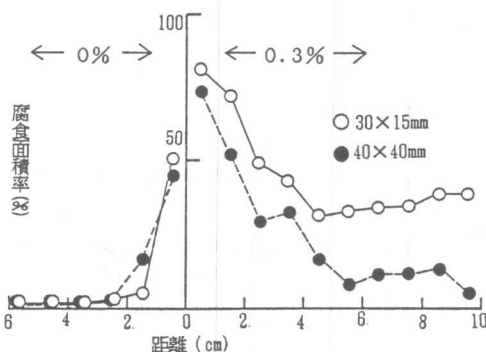


図-11 塩分濃淡分布界面の腐食面積率
(塩分量: 0%~0.3%)

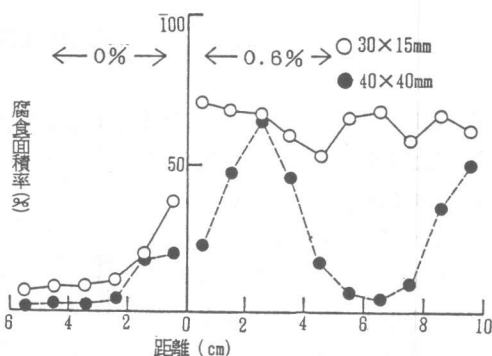


図-12 塩分濃淡分布界面の腐食面積率
(塩分量: 0%~0.6%)

3.3. 実験Ⅲ (防水材 A, B, C: 塩害促進劣化処理30サイクル)

(1) 外観変化: 塗膜外観の異常、コンクリート表面の新たなひびわれ、及び初期ひびわれ部からの錆汁の溶出は認められなかった。

(2) 腐食面積率及び腐食減量率

腐食面積率及び腐食減量率を図-13, 14に示す。実験Ⅲの腐食量は実験Ⅰ、及びⅡに比較して少ない。これは、塩分量が少ないことと促進試験法の劣化度に差があるためと考えられる。3種類の防水材の比較では、防水材C (低弾性アクリルゴム系) の腐食度が若干大きい。防水材Cは、塗膜中に占める体質顔料の量が多いため、鉄筋の腐食要因である酸素、水分、塩素イオンを通し易くなるためと考えられる。

4. まとめ

これまでの実験から次のことが明かになった。

(1) 本試験の範囲内では、塩分量0.6%までの供試体は、ひびわれの発生が認められず、又、腐食量 (腐食面積率、腐食減量率) も抑制されている。

(2) コンクリート中に塩分濃度の濃淡分布が存在する場合、濃淡分布界面に位置する鉄筋は腐食を受け易いことがわかった。

(3) 3種類のアクリルゴム系防水材を比較すると、樹脂量の大きい中塗材を使用した防水材の塩害防止効果が優れていることがわかった。

<参考文献>

1) 谷川、永井「緩衝塗材による外壁塗膜防水材のひび割れ処理に関する研究」, 1987年度, 日本建築学会大会学術講演梗概集

2) 友澤、榊田、本橋、松林、田中、原「表面被覆材及び吸水防止材による鉄筋コンクリート造の塩害劣化抑制効果に関する研究」(その1. 実験の計画およびひびわれ状況, その2. 鉄筋の腐食状況および腐食抑制効果), 1989年度, 日本建築学会大会学術講演梗概集

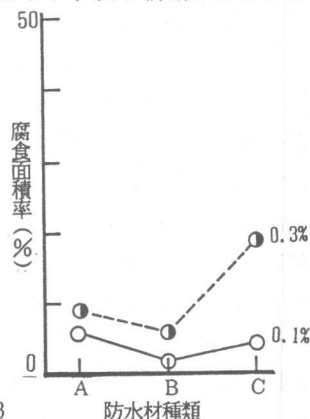


図-13 防水材種類と腐食面積率の関係

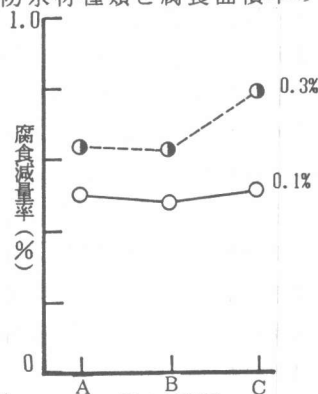


図-14 防水材種類と腐食減量率の関係