

[1072] アクリルゴム系塗膜材被覆によるコンクリートの塩害防止効果

正会員 ○谷川 伸 (東亜合成化学工業 研究所)
 永井健太郎(東亜合成化学工業 研究所)
 正会員 宮沢 健 (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(以下RCと略す)構造物の劣化が大きな社会問題となっている。主原因は飛来塩分の浸透、及び海砂、セメント混和剤使用による初期混入塩分である。RC構造物の長期耐久性を塩害発生環境下で確保するには、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ことが必要である。対策法の一つとして、コンクリート表面の塗装被覆が提唱されており、最近では下地コンクリートにひび割れを発生しても追従できる高弾性型塗膜材へと志向している。しかし、これら材料に関して、RC構造物に対する塩害防止機能は勿論、塗膜材自体の耐久性能等、系統的に検討されていない状況で不明確な点が多かった。

本報では、アクリルゴム系塗膜材を中心に、各種高弾性塗膜材自体のひび割れ追従機能の耐久性能、及びRC供試体被覆による塩害防止性能を、塩害促進試験、5年間の実暴露試験等により、総合的に見地に立って検討した。

2. 実験概要

2.1 実験計画

高弾性塗膜材は、コンクリートにひび割れを発生しても塗膜が追従し、外界からの塩害発生要因を遮断する機能を有する。本試験として、Step-Iで高弾性塗膜材自体のコンクリートひび割れ発生部における伸び時の耐久性能、及びStep-II、IIIでRC供試体に対する塩害防止性能試験を実施した。伸び時の耐久性試験として、塗膜劣化に大きな影響を与える^[1]オゾン処理及び紫外線処理を行った。尚、Step-IIIの塩害実暴露試験(5年)は、総合的に優れたもの一種のみを代表として選択し、実施した。実験概要を表-1に示す。

2.2 実験方法

(1) 高弾性塗膜材の耐久性試験

しゃ塩性能に優れている高弾性塗膜材を表-2に示す仕様で、石綿フレキシブル板(150×70×3mm)に塗布した。塗膜形成後(膜厚、約1100μ)、各水準の下地ひび割れ(0.1、0.3、1.0、3.0mmの4水準)を発生させ、保持具で固定し、以下の劣化試験を行った。

1)オゾン劣化: JIS A 6021「屋根防水用塗膜材」に準じた処理を行い、伸張部を中心に塗膜のひび割れ、ふくれ、剝離及び破断の有無を目視で評価した。尚、試験体裏面等からのオゾン侵入を防ぐため、塗膜表面以外は全てパラフィンシールした。

表-1. 実験概要

試験 step	項目	Step-I	Step-II (RC供試体 混入塩分0%)	Step-III (RC供試体 混入塩分 0-0.1%)
		ひび割れ追従時の 耐久性評価 オゾン劣化 紫外線劣化	塩害促進劣化試験 による評価 塩水噴霧乾燥 塩水噴霧	5年間の塩害実暴露 試験による評価 海水浸漬 屋外暴露
高弾性 塗膜材	アクリルゴム系	○	○	○
	ウレタンゴム系	○	○	—
	ポリブタジエンゴム系	○	○	—
(硬質) エポキシ樹脂系塗膜材	—	○	○	
	無 塗 装	—	○	—

○印: 実験を実施したものを。

Step-I 高弾性・塗膜材自体のひび割れ追従時の耐久性

Step-II 高弾性塗膜材被覆による塩害防止効果を促進試験で把握(エポキシ樹脂被覆、無塗装との比較で)

Step-I、IIで総合的に優れた塗膜材を選定

Step-III 5年間の実暴露試験でアクリルゴム系塗膜材の塩害防止性能を評価。
混入塩分0-1.0%

2)紫外線劣化：JIS A 1415「プラスチック建築材料の促進暴露試験方法」に準じ、WS型サンシャインウェザーメータ（水噴射18分/2時間）で1000時間処理し、伸張部を中心に1)と同様に評価した。

(2) 各塗装材被覆RC供試体の塩害促進試験。

1)RC供試体(I)の作製：セメント/川砂/川砂利/水/AE剤（10%水希釈品）＝1.0/2.38/2.91/0.58/0.025のコンクリート配合（水-セメント比58%、スランプ20～21cm、FC＝210

kgf/cm³）でφ9mmの鉄筋一本を中央に埋め込んだ55×65×150mmの角柱とした。塗装供試体は、表-2に示す仕様で全面に塗装した。

2)塩害促進試験：次の(A)(B)2方法を、それぞれ実施した。

(A)塩水シャワー↔乾燥試験^[2]：3%塩水シャワー（液温30℃）を3時間、次に50℃強制乾燥12時間を1サイクルとし、100サイクルまで実施した。これは、塩分の濃縮浸透化、及び乾燥時の空気補給により鉄筋の腐食をより促進させるものであり、実構造物が受ける塩害環境を想定した。

(B)塩水噴霧試験：JIS Z 2371「塩水噴霧試験方法」に準じ、3%塩水噴霧装置（内温35℃）で、5000時間連続処理した。これは、常時、高温多湿条件下での鉄筋腐食に対する促進を想定した。

(3) アクリルゴム系塗膜材被覆RC供試体の5年間塩害試験

1)RC供試体(II)の作製：2・2(2)と同配合コンクリートを用い、図-1に示すφ16mmの主筋、φ9mmのフープ筋で構成された鉄筋枠にかぶり厚さが20mm、30mmとなるRC供試体とした。尚、混入塩分量が、0～1.0%（セメント+細砂の合計量に対する食塩量）の範囲で0.2%毎の6水準となるよう食塩を添加した。アクリルゴム系塗膜材は、表-2に示す仕様で全面に被覆し、被覆しないものとの比較を行った。

2)海水浸漬試験：RC供試体（混入塩分0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0の6水準）の下半分が海水に浸るようにし、屋外に5年間放置した。蒸発防止と劣化促進のため試験槽に透明な蓋をして高湿度状態とした。

3)屋外暴露試験：混入塩分量を0、1.0%の2水準として、地上約20m、海岸から約2Km（名古屋）の位置に5年間屋外放置した。

(4) 測定項目と測定方法

1)外観試験：供試体表面のひび割れ発生の有無、発錆状況、塗膜のふくれ等の異常を肉眼判定した。

2)塗膜の付着力試験：JIS A 6910「複層模様仕上塗材」に準じ、垂直方向の引張り付着力を測定した。

3)中性化深さ：供試体切断面に、フェノールフタレイン1%エタノール溶液を塗布し、非着色部の深さを測定した。

表-2. 試験材料

試験材料	構成	下塗材	中塗材	上塗材
高弾性アクリルゴム系塗膜材		エポキシ含有合成樹脂系	アクリルゴム系水系エマルジョン型粘結物。	アクリルウレタン系溶剤型
高弾性ウレタンゴム系塗膜材		エポキシ樹脂系	ウレタンゴム系溶剤型粘結物	アクリルウレタン系溶剤型
高弾性ポリブタジエンゴム系塗膜材		エポキシ樹脂系	ポリブタジエンゴム系溶剤型粘結物	アクリルウレタン系溶剤型
エポキシ樹脂系塗膜材		エポキシ樹脂系	エポキシ樹脂系溶剤型粘結物	アクリルウレタン系溶剤型
膜厚(μm)		～30	1,000	100

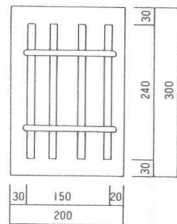
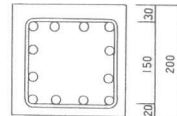


図-1 RC供試体(II)の形状寸法と配筋状況

4)鉄筋の発錆面積、径変化：発錆部分を方眼紙に投影して発錆面積率を求め、径変化はノギスで測定した。さらに、錆グレーディング評価も行った^[3]。

5)コンクリートの塩分：可溶性塩分量を、J・C・Iの方法に従って浸漬表面中央部から1cm深さ毎に求めた。

3. 結果と考察

3.1 高弾性塗膜材の耐久性能

オゾン劣化、紫外線劣化処理後の塗膜外観を表-3に示す。ポリブタジエンゴム系塗膜材は、オゾン劣化によりほとんどの試験体で伸張方向に直角のひびわれ、又は破断を生じた。これは、耐候性に優れたアクリルウレタン系上塗材で、表面は保護されていても膜厚は約100μと薄く、ひび割れ部ではさらに薄くなるため、オゾンの侵入を防ぎきれなかったからであろう。ウレタンゴム系塗膜材は、上塗材の破断、ピンホール等が認められたが、中塗材には伸張方向に直角のひびわれは認められなかった。尚、アクリルゴム系塗膜材には異常が認められなかった。

又、紫外線劣化により、ウレタンゴム系、ポリブタジエンゴム系共、上塗材は亀裂を生じ、中塗材露出の場合は、亀甲状の亀裂、破断等の劣化を受けたが、アクリルゴム系は異常を認めなかった。ひび割れ追従機能を保持するには、中塗材自体の耐候性が重要であることがわかった。

3.2 各塗装材被覆RC供試体の塩害促進試験結果

外観、及び塗膜の付着力強さを表-4に示す。被覆しなかったものは、一部ひび割れを生じたが、被覆したものは、ふくれ、亀裂等の異常は認められなかった。但し、ポリブタジエンゴム系塗膜材は黄変した。塗膜の付着力強さは、概ね10kgf/cm²以上と良好であったが、ウレタンゴム系塗膜材は上塗材と中塗材との付着力が6kgf/cm²と小さい。

塩害促進試験後においても、アクリルゴム系、ウレタンゴム系、ポリブタジエン系の塗膜材の弾性は保持されており、

表-3 高弾性塗膜材伸張時のオゾン、紫外線劣化

劣化処理	高弾性塗膜材 固定ひび割れ仕様	アクリルゴム系塗膜材		ウレタンゴム系		ポリブタジエンゴム系	
		下塗+中塗	下塗+中塗+上塗	下塗+中塗	下塗+中塗+上塗	下塗+中塗	下塗+中塗+上塗
オゾン劣化 (75pphm×168hr)	0.1mm					中塗材ひび割れ	
	0.3mm					中塗材ひび割れ	上塗材中塗材共破断
	1.0mm					中塗材ひび割れ	破断
	3.0mm				上塗材破断	完全破断	完全破断
紫外線劣化 (1,000hr)	0.1mm			中塗材破断 亀甲状の表面亀裂		中塗材のひび割れ	上塗材ひび割れ
	0.3mm			表面亀裂	上塗材キレシ		
	1.0mm			亀裂	上塗材ひび割れ	亀裂のひび割れ	
	3.0mm			表面ノミ 中塗材破断 亀裂	中塗材ピンホール	上塗材破断	上塗材ひび割れ

表-4. 塩害促進試験後の外観及び塗膜の付着力強さ

試験体	促進試験項目	A) 塩水シャワー乾燥試験 100サイクル(100日間)		B) 塩水噴霧 5,000hr (208日間)			
		外観	塗膜の付着力 強さkgf/cm ²	外観	塗膜の付着力 強さkgf/cm ²		
		割離箇所	割離箇所	割離箇所	割離箇所		
無塗装RC供試体(1)	△ 0.1mmのひび割れ発生	—	—	○異常なし	—		
塗膜材被覆RC供試体(1)	高弾性アクリルゴム系	○異常なし	16.3	A	○異常なし	11.8	T
	高弾性ウレタンゴム系	○異常なし	9.4	T	○異常なし	6.3	T
	高弾性ポリブタジエンゴム系	△著しく黄変	21.9	A	○△わずかに黄変	16.2	P
	エポキシ樹脂系	○	25.2	C	○異常なし	28.1	C
割離箇所							

塩水による塗膜の劣化は認められなかった。

鉄筋の発錆状態は表-5に示すように被覆しなかったものは、発錆率60~85%であったが、被覆したものは10%以下と少なく被覆効果を示した。

コンクリート中の塩分分布は図-2に示すように、被覆したものはしなかったものと比較して約1/10と少なく、外界からの塩分浸透を抑制していることがわかった。以上、2種の塩害促進試験により、ここで実施した塗装材の塩害防止効果は十分にあることがわかった。

塩害促進試験の促進度は、④塩水シャワー⇄乾燥による乾湿の繰り返しの方が、③塩水噴霧試験に比較して、約半分の所用日数で、外観(0.1mmのひび割れを発生)、鉄筋腐食(1.4倍)、コンクリート中への浸透塩分量(1.3倍)と大きく、塩害促進度が高いことがわかった。

3.3 アクリルゴム系塗膜材被覆RC供試体、5年間の塩害試験結果

(1) 外観、塗膜の付着力強さ、中性化深さ。

表-6に示すように、被覆していないものは海水浸漬5年間で、全ての供試体に0.3~1.2mm幅のひび割れが、 $\phi 16$ mmの主筋に沿って認められ、かぶり厚さによる差が顕著に認められた。尚、1.5年間の浸漬では錆汁のコンクリート表面への溶出のみで、ひび割れ発生にまで達していなかった。^[4]5年間の屋外暴露により、無塩品は、ひび割れ発生を認めなかったが、塩分1.0%混入品は、ひび割れ発生を生じ、初期混入塩分の影響が著しいことが認められた。

アクリルゴム系塗膜材で被覆したものは、海水浸漬、屋外暴露後、塗膜材にふくれ、剝離、亀裂等の異常はなく、塗膜を剥ぎ取ってコンクリート表面を露出させた結果、ひび割れ発生も認められなかった。尚、塗膜材の付着力強さは、 $15\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上と良好であった。

又、5年間の海水浸漬によってもアクリルゴム系塗

表5. 鉄筋の発錆状況

促進試験	被覆材	供試体(I)				
		無塗装RC	アクリルゴム	フレタングム	ポリブタジエン	エポキシ
塩水シャワー 乾燥試験 100サイクル (100日間)	外観					
	発錆面積(%)	85	3	10	5	1
塩水噴霧 5000hr (208日間)	外観					
	発錆面積(%)	61	7	10	10	0

図-2 コンクリート中の塩分分布

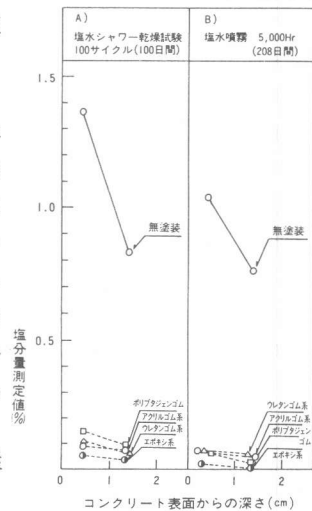


表-6. RC供試体(II)の外観、中性化深さ、塗膜の付着力

試験 供試体	塩分混入量 (%)	標準海水浸漬試験						屋外暴露(名古屋)	
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0	1.0
無塗装 RC供試体 (II)	外観								
	ひび割れ (mm)	0.4~1.2	0.8	0.5~1.2	0.3~1.2	0.6~0.7	1.0~1.5	なし	0.8
	中性化深さ (mm)	1.0	0.4	1.2	0.5	なし	0.5	なし	0.4
	塗膜の付着力 (kgf/cm ²)	5.3	4.7	4.9	7.2	4.5	6.9	7.6	8.9
アクリルゴム系 塗膜被覆 RC供試体 (II)	外観	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
	中性化深さ (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0
	塗膜の付着力 (kgf/cm ²)	15.9	16.2	15.8	15.1	15.5	15.2	16.6	17.1

膜材の弾性は保持されており、塗膜の耐塩性は良好であった。

中性化深さは、被覆せずに海水浸漬したもので平均値が4.5～7.2mmと混入塩分による差はなかった。屋外暴露したものは7.6mm～8.9mmと浸漬したものに比較し深い。

一方、被覆したものは炭酸ガスの透過抑制により中性化領域は認められなかった。

(2) 鉄筋の発錆状況
表7に発錆状態、面積、径変化表8に錆グレーディング評価を示した。

被覆せずに海水浸漬したものでは主筋発錆率は、かぶり厚20mmで、

70%以上、30mmで40%以上とかぶり厚さによる影響が認められた。混入塩分量の影響は海水浸漬が1.5年のものでは[4]塩分量多いと発生率が高かったが、5年間浸漬したものは大差なく、発錆状態が一律化している。さらに、主筋の錆グレーディングランクは、断面欠損を生じているIVが混入塩分量に関係なく20～70%認められ、このランクの錆膨張がコンクリートにひび割れを生じさせたと考えられる。

被覆せずに屋外暴露したものは、無塩品で5%程度の発錆が認められ、塩分1%混入品は、かぶり厚20mmで85%、30mmで25%の発錆率と、かぶり厚さの影響が大きく認められた。錆グレーディングランクは、無塩品は部分的な浮き錆を生じているIIが主体で、塩分混入品はIVが主体と、混入塩分量の鉄筋腐食に対する影響が著しいことがわかった。

一方、被覆したものは長期間海水に浸漬しても、混入塩分0.8%までは鉄筋腐食を十分に抑制し、屋外暴露したものは塩分1%混入品が発錆率約15%と被覆しないものに比較し、1/5と小さく、被覆による効果が認められた。尚、主筋の錆グレーディングランクは被覆により海水浸漬で混入塩分0～0.6%品はIV→II、0.8%品はIV→IIIと小さいランクの錆へと抑制されている。但し、塩分1%混入品はIV→IVと同ランクであった。しかし屋外暴露したものは塩分1%混入品でも被覆によりIV→IIと抑制しており、一般環境下で効果

表7. 鉄筋の発錆状況

供試体	初期混入塩分(%) コンクリートかぶり厚(mm)	標準海水浸漬試験(5年)												屋外暴露(名古屋)(5年)				
		0		0.2		0.4		0.6		0.8		1.0		0		1.0		
		20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	
無塗膜RC供試体(II)	外観	空中部																
		浸漬部																
	主筋 16φ	発錆面積(%)	78	60	75	40	80	50	75	70	76	45	75	70	5	5	85	25
	径変化(mm)	1.2	0.1	0.6	0.1	0.6	0.1	0.5	0.2	0.8	0.2	0.7	0.2	<0.05	<0.05	1.8	0.1	
フープ筋 9φ	発錆面積(%)	100	100	85	77	90	90	100	90	100	50	100	90	30	5	100	65	
径変化(mm)	0.8	0.2	0.3	0.4	0.6	0.5	1.8	1.6	2.0	0.2	0.5	1.8	0.4	<0.05	2.6	1.2		
アクリルゴム系塗膜被覆RC供試体(II)	外観	空中部																
		浸漬部																
	主筋 16φ	発錆面積(%)	0	0	0	0	15	0	15	10	25	10	75	50	0	0	15	10
	径変化(mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
フープ筋 9φ	発錆面積(%)	0	0	20	10	30	25	20	50	70	75	100	90	0	0	55	50	
径変化(mm)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.2	

表8 鉄筋の錆グレーディング評価結果

供試体	劣化試験 混入塩分%	標準海水浸漬試験 5年間												屋外暴露 5年間(名古屋)																	
		0		0.2		0.4		0.6		0.8		1.0		0%		1.0%															
		20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30														
無塗膜RC供試体(II)	主筋 16φ																														
	フープ筋 9φ																														
アクリルゴム系塗膜被覆RC供試体(II)	主筋 16φ																														
	フープ筋 9φ																														
(3) グレーディングランク		<table border="0"> <tr> <td></td> <td>I</td> <td>黒皮の状態</td> <td></td> <td>III</td> <td>浮き錆(断面欠損はなし)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>II</td> <td>部分的な浮き錆</td> <td></td> <td>IV</td> <td>断面欠損を生じている錆</td> </tr> </table>																			I	黒皮の状態		III	浮き錆(断面欠損はなし)		II	部分的な浮き錆		IV	断面欠損を生じている錆
	I	黒皮の状態		III	浮き錆(断面欠損はなし)																										
	II	部分的な浮き錆		IV	断面欠損を生じている錆																										

を十分に発揮した。

(3) コンクリート中の塩分

図-3、図-4に塩分分布を示す。海水浸漬による塩分浸透量は、被覆されていない無塩のものでは浸漬期間1.5年^[4]5年で表層部は0.4→0.5%^{2~3cm}深さでは、0.17%→0.4%と変化した。これは表層部の塩分濃度は1.5年でほぼ一定化し、その後内部へと浸透している

ことを示す。また、塩分を混入させたものは外部からの塩分補給、混入塩分の内部への移動により、鉄筋に近い箇所でもむしろ最高値を示した。尚、被覆したものは浸漬による塩分浸透を抑制していることがわかった。

屋外暴露したものは、飛末塩分の浸透がほとんど認められなかった。尚、被覆していない場合、塩分を混入させたものは表層部塩分は雨で洗われ、少なくなっているが、2~3cm深さでは逆に多くなり内部へと順次濃縮されている。しかし被覆したものは分布が一定であり、雨の影響を受けていない。

4. まとめ

①コンクリートひび割れに対する追従性能を有するゴム状高弾性塗膜材は、中塗材によっては、オゾン、紫外線による劣化を受け、上塗材で覆われていても、その機能を失うものがあることがわかった。②高弾性塗膜材被覆によるRC供試体に対する塩害防止機能を塩害促進試験によって検討した結果、しゃ塩性が極めて優れているといわれるエポキシ樹脂に比較して同程度の性能を有することがわかった。③特に、アクリルゴム系塗膜材については、5年間の海水浸漬、屋外暴露試験により、塗膜材の耐久性を含め、混入塩分0.8%程度までは、塩害防止機能を十分に発揮することが確認できた。

参考文献

- [1] 小池 迪夫：建築メンブレン防水材料編、工業調査会 P.P.293~304、1970
- [2] 大城 武、谷川 伸、永井健太郎：鉄筋コンクリート構造物の暴露試験について、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、P.P.193~196、1986
- [3] 森永 繁他：海砂使用上の技術基準に関する研究、日本建築学会学術講演梗概集、1980.
- [4] 宮沢 健、谷川 伸：アクリルゴム系塗膜材被覆による鉄筋コンクリートの塩害防止効果、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、P.P.209~212、1984

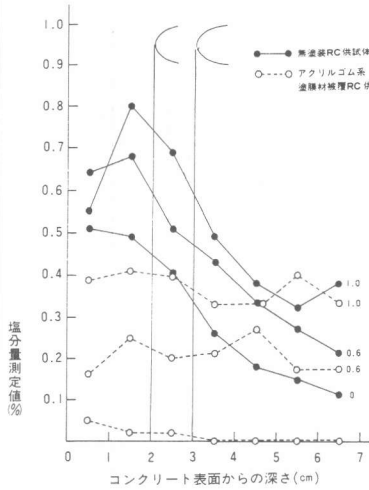


図-3 海水浸漬した供試体のコンクリート中の塩分分布

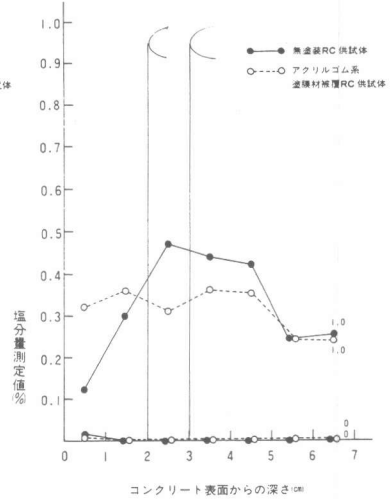


図-4 屋外暴露した供試体のコンクリート中の塩分分布