

[53] 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

正会員 ○ 宮沢 健 (東亜合成化学工業 研究所)

谷川 伸 (東亜合成化学工業 研究所)

1. まえがき

骨材として海砂の使用や、外部からの塩分浸入によって内部鉄筋の腐食とかコンクリートのひび割れ損傷などの塩害が発生し、建造物の耐久性確保が重要視されている。

塩害防止対策としては、水セメント比の減少、かぶり厚さの増加、亜鉛メッキ鉄筋やエポキシ樹脂被覆鉄筋の使用などのほかに、コンクリート表面を塗装被覆する方法も提唱されている。表面被覆法は塩害の主因となる水分、酸素、塩分の外部からの浸入を遮断することが目的であり、塗料等で試験されているが塩害防止効果は余り顕著とは言えない。これは被覆材の力学的物性（強さ、伸び）や水分、酸素、塩分の遮断性能が不十分なためと考えられる。

本報では、被覆材としてアクリルゴム系弾性塗膜材を用い、かつ、コンクリート中に予め塩分が多量に混入している場合について、1.5 年間の海水浸漬試験を行い、塩害防止に対して有効な結果を得たので報告する。

2. 実験

2.1 供試体の作製

(1)コンクリート供試体：図-1 に示す構造のもので、主筋の直径16mmおよびフープ筋直径 9mmの鉄筋棒に、かぶり厚20mm および30mmとなるようにコンクリートを打設した。コンクリートの配合は表-1 の通りで、標準海水を添加して塩分混入量 0~1.0 % (セメント+細砂の合計量に対する%) に変化させた。

(2)アクリルゴム系弾性塗膜材：表-2 に示すようにプライマー、主材塗膜、仕上塗料より構成されており、主材塗膜物性は図-2 に示すようなゴム状弾性であるが、低温から高温の広い温度範囲で物性変化が少なく安定しており、加熱、紫外線、アルカリ、等各種劣化処理後も物性低下が少なく、耐久性に優れている。尚、参考までに、従来、塩害防止を目的として検討されてきた表面被覆材の伸び率を図-2 に併記したが、これらはほとんど伸びのない材料である。

また、表-3 に塩害発生要因である水分、空気、塩分に対する塗膜の遮断性能を掲げたが、参考までに併記した一般塗料品に比較して優れている。特に最近のコンクリート下地はひび割れを生じやすい傾向にあるので、表面被覆材としてもひび割れに追随しうる柔軟な塗膜が望まれている。この点に関連しては JIS A 60 21「屋根防水用塗膜材」に伸び時の劣化試験方法があり、塗膜を40~100 %伸張した後劣化処理を行って耐久性を評価している。従って、この方法を参考にして、塗膜の伸張時における遮断機能を測定し、結果を表-3 に併記した。この結果をみると、アクリルゴム系塗膜材はコンクリート下地に多少のひび割れを生じた場合にも塗膜は破断することなく伸びてかつ、水、空気、塩分等の

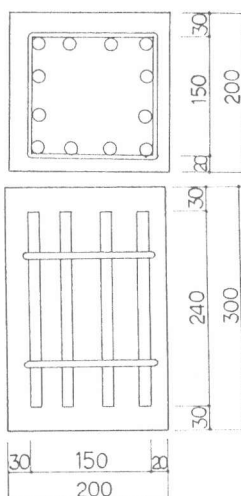


図-1 RC供試体の形状寸法と配筋状況

表-1 塩分混入コンクリートの調合

塩分混入量 (%)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
セメント	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
川砂	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38
川砂利	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91
標準海水 (10%濃度)	0	0.067	0.13	0.20	0.26	0.34
水	0.58	0.52	0.46	0.48	0.35	0.27
A E 剤	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
水セメント比 (%)	58					
スランプ値 (cm)	20~21					
呼び強度 (kgf/cm ²)	210					

$$\text{セメント+砂に対する塩分量: 塩分量 (\%)} = \frac{\text{塩分}}{\text{セメント+砂}} \times 100$$

粗骨材最大粒径 25 mm

標準海水の塩類組成 (%)	
塩化ナトリウム	77.8
塩化マグネシウム	10.9
硫酸マグネシウム	4.7
硫酸カルシウム	3.6
硫酸カリウム	2.5
炭酸カルシウム	0.3
臭化マグネシウム	0.2

遮断性能を保持すると考えられる。尚、参考までに併記した一般塗料品は硬い材料

表—2

試験材料の構成仕様

試 験 材 料	塗 膜 構 成 仕 様									形成塗膜厚 (mm)
	プ ラ イ マ ー			主 材			仕 上 塗 料			
	主 成 分	固形分 (%)	塗布量 (kg/㎡)	主 成 分	固形分 (%)	塗布量 (kg/㎡)	主 成 分	固形分 (%)	塗布量 (kg/㎡)	
アクリルゴム系弾性 塗膜仕上げ材	塩素系合成樹脂型	20	0.3	アクリルゴム系 エマルジョン型 粘剤スラリー	7.4	1.7	アクリル樹脂 溶剤型	30	0.6	1.0

料であるため、塗膜を伸張すると破断し、その時点で遮断機能は喪失すると見做せる。表—3 から 1mm厚のアクリルゴム系塗膜材の空気、塩分に対する遮断性能は、空気透過率及び塩素イオンの拡散係数から単純に比例計算するとコンクリートの厚さ、4~5mに相当し、100%伸張時においても1m程度に相当することになる。従って、遮断性能からみると、アクリルゴム系塗膜材で被覆することによって、コンクリートのかぶり厚さを1m以上とした場合と同様の効果ができると考えられる。

尚、表—3 に示した各種試験体の遮断性能の各試験法は下記の通りである。(1)透水試験は、JIS A 6910「複層模様吹付材」に準拠して測定。(2)空気透過率は圧力法 (-500mmHg減圧下) に準拠して時間に伴う圧力変化を測定。(3)塩素イオンの見掛けの拡散セルを用い塩素イオンの時間当りの透過量を、塩素イオン選択性電極で測定。(4)伸張時の試験は塗膜に5mm 間隔の標線を描きそれが、10mm 間隔となるまで引張治具で伸張して固定した後、上記遮断性試験を実施した。

2.2 試験方法

(1)海水浸漬試験：2.1(1)で作製したコンクリート供試体を図—4 のように標準海水に浸漬し、屋外に 1.5年間放置後、以下の項目について試験した。尚、蒸発防止と劣化促進のために、透明な蓋をして湿度および温度を保った。

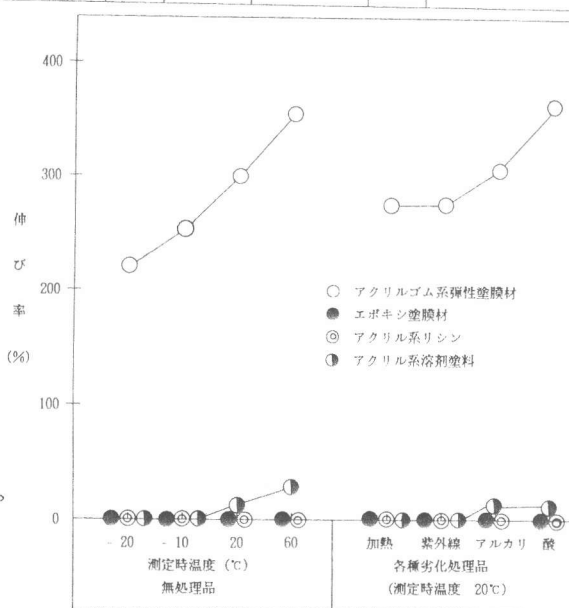
(2)外観試験：供試体表面のひび割れの有無、発錆状態、塗膜のふくれ、剝離等の異常の有無を肉眼判定した。

(3)塗膜の付着力試験：JIS A 6910に準拠して、垂直方向の引張り

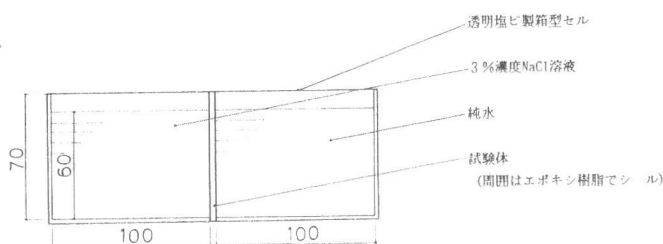
付着力を測定した。

(4)中性化深さの測定：試験体を切断した後、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、非着色くの深さを測定して平均中性化深さを求めた。

(5)鉄筋の発錆面積の測定：主筋と



図—2 主材塗膜の伸び率 (JIS A 6021) 試験法



図—3 塩素イオン拡散セル

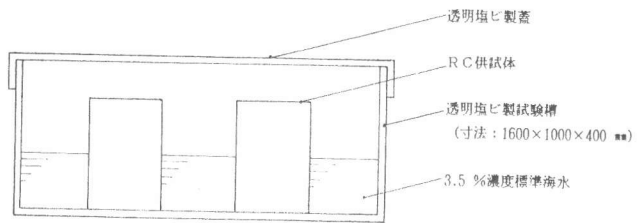
表—3 試験材料の塩害発生要因に対する遮断性

項 目		遮 断 性			100%伸張時の遮断性			相当コンクリート厚さ (mm)	
塩害発生要因		透水量 (ml)	空気透過率 R cc / mhrmmHg	塩素イオンの 拡散係数 D (cm ² /sec.)	透水量 (ml)	空気透過率 R cc / mhrmmHg	塩素イオンの 拡散係数 D (cm ² /sec.)	対空気	対塩素
アクリルゴム系弾性塗膜材		0.0	2.8×10^{-4}	1.4×10^{-11}	0.1	1.3×10^{-4}	5.3×10^{-11}	1.100~5.000	1.200~4.300
他の 被 覆 材	エポキシ樹脂系	0.0	4.5×10^{-6}	3.6×10^{-12}	塗膜が破断するため、遮断性なし。			0~30.000	0~17.000
	アクリル系リシン	180	40	7.2×10^{-7}	塗膜が破断するため、遮断性なし。			0~0.04	0~0.08
	アクリル系溶剤塗料	0.4	2.0×10^{-2}	9.3×10^{-9}	塗膜が破断するため、遮断性なし。			0~7	0~6
	コンクリート板	72	1.4	6.0×10^{-8}	-----	-----	-----	-----	-----
空気透過率及び 塩素イオン拡散係数 の算出		・ 空気透過率 R (cc / mhrmmHg) $R = H \cdot \frac{V}{S} \cdot \frac{1}{760} \cdot \frac{1}{P}$ H : 1時間当りの圧力低下 (mmHg / hr) V : 低圧側の空間容積 (cc) S : 透過面積 (m ²) ℓ : 材厚 (m) P : 低圧側の初期圧力 (mmHg)				・ 塩素イオンの見掛の拡散係数 D (cm ² /sec) $D = \frac{Q}{t} \cdot \frac{\ell}{C}$ Q : 透過速度が一定になってから時間 t (sec) の間に透過する塩素イオン量 (mole / cm ²) ℓ : 材厚 (cm) C : 初期の塩素イオン濃度差 (mole / cm ³)			

フープ筋に区分し、発錆部分を方眼紙に投影して発錆面積率を求めた。

(6)鉄筋の径変化の測定：鉄筋直径の変化を測定した。

(7)含有塩分量及びpHの測定：コンクリート供試体を、表層から1cm間隔に切断し、粗骨材を取り除いた後のセメントと細砂部分を微粉碎したもの5gに水100ccを加え、表—4



図—4 標準海水浸漬法

標準海水浸漬後のRC供試体外観

pH電極で水溶液のpHを測定した後、80℃加熱処理して、塩素イオン選択性電極で塩分量を測定した。

3. 結果と考察

3.1 外観及び塗膜の付着性

表—4 に試験

塩分混入量 (%)		0		0.2		0.4		0.6		0.8		1.0	
かぶり厚さ (mm)		20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30
ブランクRC供試体	外観	空中部	浸漬部	空中部	浸漬部	空中部	浸漬部	空中部	浸漬部	空中部	浸漬部	空中部	浸漬部
	結果	錆溶出	錆溶出	錆溶出	錆溶出	錆溶出	異常なし	錆溶出	異常なし	錆溶出	異常なし	錆溶出	異常なし
	塗膜の付着力 kgf/cm ²	16.0	17.3	15.0	15.5	15.7	15.2	15.5	15.6	15.8	16.0	16.3	15.2
アクリルゴム系塗膜材被覆RC供試体	外観	空中部	浸漬部	空中部	浸漬部	空中部	浸漬部	空中部	浸漬部	空中部	浸漬部	空中部	浸漬部
	結果	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	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし
	塗膜の付着力 kgf/cm ²	16.0	17.3	15.0	15.5	15.7	15.2	15.5	15.6	15.8	16.0	16.3	15.2

後の外観状態を示した。ブランク品は、多くの試験体について空中露出部に鉄筋錆の表面溶出が認められた。後述の鉄筋腐食状態と見比べると、供試体の緻密さに若干のバラツキがあったことも考えられる。

一方、アクリルゴム系塗膜材被覆品供試体には塗膜のふくれ、剥離、割れ等の異常や、錆の表面溶出現象は認められなかった。また、塗膜の付着力は15kgf/cm²以上で良好な付着状態であった。

3.2 中性化深さ

表—5 に平均中性化深さを示す。ブランク供試体では2.8~5.0mmの範囲にわたっているが、アクリルゴム系塗膜材被覆供試体は中性化領域が認められない。炭酸ガスの透過を抑えているため、中性化を防止していると考えられる。

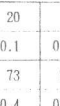
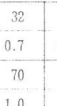
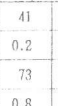
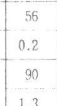
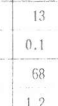
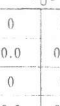
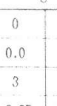
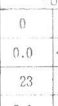
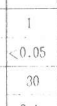
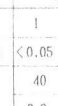
3.2.2 鉄筋の発錆状況

表—6 に鉄筋の発錆状況を示す。ブランク品は、供試体中の鉄筋、全てに発錆が認められた。塩分混入量の影響をみると、塩分量の増加に伴って鉄筋の発錆量は多くなり、塩分量0.8%の場合に最大の腐食を示した。尚、塩分1.0%混入品の発錆量はむしろ少なく

表—5 供試体の平均中性化深さ

試 験 体	部 位	中性化深さ (mm)						平均
		塩 分 混 入 量 (%)						
		0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	
ブランク RC供試体	空中部	3.2	3.4	5.0	4.5	4.6	4.2	4.2
	浸漬部	3.4	2.8	4.2	4.9	3.4	4.3	3.8
アクリルゴム系 塗膜材被覆 RC供試体	空中部	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	浸漬部	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表—6 標準海水浸漬後の鉄筋の発錆状況

塩分混入量 (%)			0		0.2		0.4		0.6		0.8		1.0	
かぶり厚さ (mm)			20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30
ブランク RC 供試体	外 観	空中部												
		浸漬部												
	主筋 16φ	発錆面積 (%)	13	12	20	4	32	15	41	13	56	27	13	8
		径変化 (mm)	0.2	0.1	0.1	0.1	0.7	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
	フープ 筋 9φ	発錆面積 (%)	33	38	73	21	70	53	73	58	90	68	68	50
	径変化 (mm)	1.5	1.2	0.4	0.2	1.0	1.4	0.8	1.0	1.3	2.0	1.2	1.8	
アクリルゴム系 塗膜被覆 RC 供試体	外 観	空中部												
		浸漬部												
	主筋 16φ	発錆面積 (%)	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	1
		径変化 (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
	フープ 筋 9φ	発錆面積 (%)	0	0	0	0	3	2	23	33	30	32	40	48
	径変化 (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	<0.05	<0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	

なっている。
これは、ある一定の塩分量で鉄筋の不働態は破壊されるが過剰になる逆に腐食が減少するという過去の知見と同様の傾向と思われる。¹⁾

次にかぶり厚の影響は、20mmと薄い方が主筋、フープ筋とも発錆量が多い。

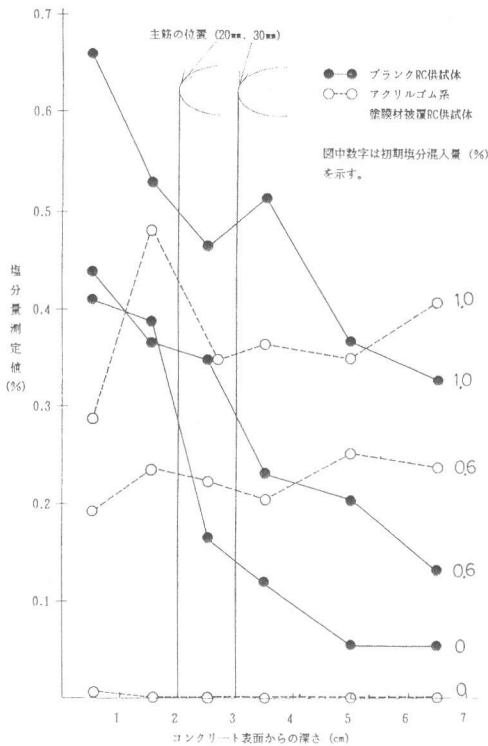


図-5 コンクリート中の塩分分布

0 のものは20mm,30mm 面供はほぼ同程度であるが、0.2%以上塩分を混入しているものは、主筋で 1.6~5 倍程度の発錆面積となっている。又、空中部と浸漬部とでは、空中部の方により多くの発錆が認められた。

アクリルゴム系塗膜被覆品は、塩分量 0.2%混入品まで発錆を認めず、0.4%混入品はフープ筋に若干の発錆が認められた。フープ筋の場合、径変化のほとんどない表面のみの発錆であり、特に溶接部に多く認められた。又、かぶり厚による鉄筋発錆への影響は特に認められなかった。

アクリルゴム系塗膜で被覆すれば鉄筋の不働態膜を破るような塩分を混入していても外界からの水分及び空気の供給を遮断することにより、コンクリート中の鉄筋を腐食から保護すると考えられる。

3.2.4 コンクリート中の塩分及びpH

塩分分布は図-5 に示すように、ブランク品は塩分混入量に関係なく最表層部ほど高い含有量を示し外界からの浸入塩分によるものであることがわかる。尚、浸入塩分はコンクリート 7cm深さまでかなりの量に達している。アクリルゴム系塗膜被覆品は、分布よりみて外界からの塩分をほとんど遮断していることがわかる。特に表層部で少ない分布となっているのは、コンクリートの養生時に生じた塩分移動によるものと思われる。又、塩分の分析値は初期混入量より少ない値となっているが、これは塩化物の一部がセメントの水和反応の際に複塩として固定されている為に検出されていないと考えられる。²⁾

次に、pH分布を図-6 に示した。アクリルゴム系塗膜材被覆品は塩分量に関係なく、ブランク品よりも主筋回りのpHが、0.3程度高くなっており、その点からも鉄筋の発錆を防止していることが分る。即ちpHが高い状態に保たれるので塩分の存在下においても鉄筋の腐食が抑制されている。

4. まとめ

試験結果を要約すれば次の通りである。

アクリルゴム系塗膜材でコンクリート表面を被覆すると、予め塩分を含有している場合にも、コンクリートの中性化防止、外部からの塩分の浸入防止、コンクリートのアルカリ性保持、鉄筋の腐食防止に有効である。これはアクリルゴム系塗膜の透水性が小さく、気密性があり、塩分の浸透を抑制する性質に起因すると考えられる。

参考文献 1) Shalon, R., Raphael, M. : Influence of Sea Water on Corrosion of Reinforcement, ACI Journal, Vol. 55, No.12, June 1959

2) 近藤, 森永: コンクリートの中性化および鉄筋の発錆に関する研究 その9 硬化コンクリート中の固定塩分量の導入量による差。日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 1975, PP71~72

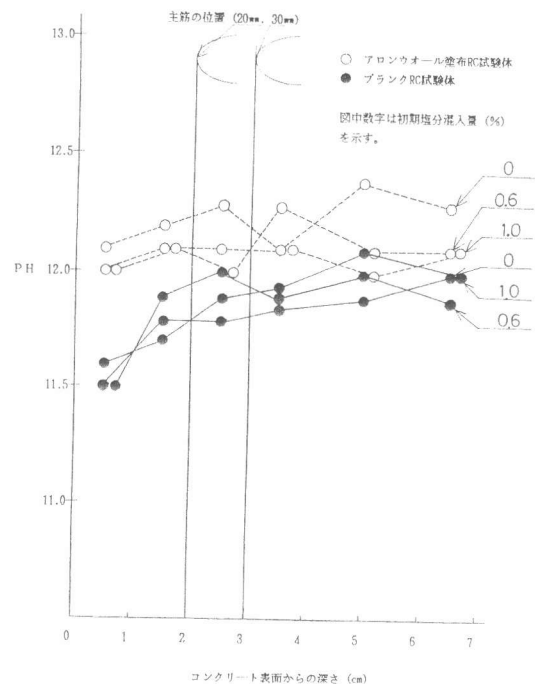


図-6 コンクリート中の pH 分布