

RC 構造物の塩害防止に関する研究 (その 2)

——コンクリート面保護塗膜の遮塩性比較試験——

喜 田 大 三 守 屋 正 裕

Study on Prevention of Salt Damage in Reinforced Concrete (Part 2)

——Experimental Study on Chloride Ion Shielding Property
of Concrete Protected with Paint——

Daizo Kita Masahiro Moriya

Abstract

It is a very important effect of coating on the surface of concrete to prevent penetration of salts transported by sea breezes. Therefore, various coatings were applied to concrete specimens and investigated for chloride shielding properties. Coated specimens were dipped in 3.5% NaCl solution for 5 weeks and chloride ions that had penetrated into the concrete from the NaCl solution were measured by the coloration test method and chemical analyses.

The results showed that several paints of reaction curing type such as epoxy resin, acrylic-urethane resin, and urethane resin were judged to be good in chloride ion shielding property. Polymer cement mortar and non-reaction solvent type paints such as of silicone resin, chlorinated rubber, and acrylic resin bases were not so effective.

概 要

塩害防止を目的とした RC 構造物の保護塗装において、塗膜に要求される機能の一つとして、飛来塩分のコンクリート中への浸透を抑制する遮塩性が非常に重要である。ここでは、コンクリート外壁面用の塗材 24 種類について、その遮塩性を試験し、比較検討した。

コンクリート試験体に供試塗材をそれぞれ標準的な塗布量で塗装し、3.5%塩化ナトリウム水溶液中に 5 週間浸漬した後、コンクリート中へ浸透した塩素イオンの浸透状況を、呈色反応試験と化学分析の二方法で調査した。その結果、反応硬化型樹脂系のエポキシ、ウレタン、アクリルウレタン、フッ素などの樹脂塗料が遮塩性に優れ、一液型の塩化ゴム、アルキッド、シリコン、アクリル等の樹脂塗料及びポリマーセメントモルタル等は遮塩性が劣った。

1. はじめに

RC 構造物の塩害防止法の一つとして、コンクリート表面の保護塗装が効果的と考えられる。前報¹⁾では、塗膜の酸素遮断性について電気化学的な方法で実験検討した結果を報告した。ここでは、塗膜の遮塩性についての試験結果を報告する。

周知のように、RC 構造物の塩害は、臨海地において、海から飛来する塩分がコンクリート表面に付着し、雨水とともにコンクリート中に浸透して次第に蓄積され、鉄筋の腐食被害を誘発させる現象である。

塩害を防止する保護塗膜は、鉄筋の腐食要因となる塩分や水分、空気(酸素)、炭酸ガス等を効果的に遮断する機能とともに、美装性や耐久性、施工性等に優れている必要がある。

ここにまとめた内容は、保護塗膜に要求される機能のうち、塩分の浸透防止効果(遮塩性)に関して、各種塗材について試験を行ない、比較検討した結果である。

2. 供試塗材

RC 構造物の外壁面に用いられる塗材の種類は、①含浸材系(充填剤を含まないクリヤー塗料)、②調合塗料

系 (着色顔料で調色した塗料), ③伸長形吹付材系 (単層形と複層形がある), ④ポリマーセメントモルタル系などで代表される。

供試した塗材は, このような分類の中から選んだ24種類で, 内容を表一1に示している。試験体コンクリートへの塗付量は, 各塗材ごとに標準的な量で1水準とした。

3. 試験方法

塗膜の遮塩性試験法としては, 単離塗膜による方法が道路橋の塩害防止指針²⁾の中に規格化されているが, 今回の試験では, より実際の塗装状況に近い条件での試験をねらいとして, コンクリート試験体に供試塗材を塗装した状態で試験を行なった。

3.1. 試験体

供試塗材を塗付するコンクリート試験体は, 表一2に示す調合の100mm角の立方体で, 脱型後, 20°C, RH 65%で3週間養生し, その後40°Cで1週間養生した。この試験体の2側面(A, B面とする)に, 20°C, RH 65%の条件下で各供試塗材を塗付し, 同条件下で1週間養生した。

試験対象のA, B面以外の4面は, 厚膜形エポキシ樹脂を塗付して十分にシールした。

3.2. 塩水浸漬処理

試験体を図一1に示す要領で, 供試塗装面を横向きとして3.5%の塩化ナトリウム水溶液中に浸漬し, 5週間放置して塩分の浸透を促進した。

3.3. 塩分浸透状況の調査

(1) 塩分浸透深さの測定 塗装面に直角に試験体を割裂し, そのコンクリート破面で, 塩素イオンの浸透深さ(塗膜下面からの距離)を測定した。まず破面に, 0.1%フルオレッセンナトリウム溶液を噴霧し, 続いて2%硝酸銀溶液を噴霧すると, フルオレッセンナトリウムで黒色化したコンクリート面に, 塩素イオンと硝酸銀との反応で生成する塩化銀が白色を呈して現われる。この白色部分の深さをノギスで測定(A, B両面で各6箇所)し, 平均値を求めて塩分浸透深さとした。

写真一1に破面の呈色状況を例示する。

(2) 塩分浸透量の分析 図一2に示すように, A, B両面から, それぞれ塗膜下の深さ10mmまでのコンクリートを切出し, その中に浸透している塩分量を化学分析で調査した。

切出したコンクリートを微粉砕し, JCIの「硬化コンクリート中に含まれる塩分分析方法」に準じて全塩分量を分析するとともに, 同じ試料について, セメントに由来するカルシウム量を定量し, 塩分含有率をセメント量

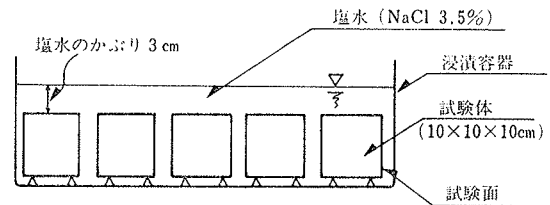
分類	No	塗材の種類	粘度(CPS)	固形分%	配合内容	塗付量 kg/m ²
含浸材系	1	塩化ゴム	50	15	1成分型	0.15
	2	液状エポキシ樹脂	80	45	主/硬=1/1	0.21
	3	固型エポキシ樹脂	80	37	主/硬=1/1	0.18
	4	アルキッド樹脂	110	50	1成分型	0.20
	5	シリコン樹脂	40	50	"	0.17
	6	アクリル樹脂溶液形	200	30	"	0.19
	7	ウレタン樹脂(TDI系)	60	41	湿気硬化型	0.15
	8	ウレタン樹脂(MDI系)	65	42	"	0.14
	9	アクリルオリゴマー	10	100	主/硬=100/3	0.17
	10	珪酸塩化合物	10	35	1成分型	0.16
調合塗料系	11	アクリル樹脂	400	54	"	0.25
	12	アクリルウレタン樹脂	500	65	主/硬=8/1	0.23
	13	フッ素樹脂	400	54	主/硬=8/1	0.20
	14	シリコンアクリル樹脂	400	56	主/硬=14/1	0.21
	15	固型エポキシ樹脂	700	63	主/硬=3/1	0.21
	16	液状エポキシ樹脂	1,600	100	主/硬=4/1	0.21
	17	ビニルエステル樹脂	400	100	主/硬=100/1.5	0.21
	18	ブランク(無塗装)	---	---	---	---
ポリマーセメント系	19	P, C, M P/C=10%	---	77	粉体 100/16	1.0
	20	P, C, M P/C=20%	---	79	100/32	1.0
	21	P, C, M P/C=30%	---	80	100/48	1.0
	22	P, C, M P/C=10%+SF10%	---	93	100/16	1.2
弾性吹付材	23	クロロプレナム系複層 下塗:クロロプレナム 主材:クロロプレナム 上塗:アクリルウレタン塗料	50 40,000 500	15 75 65	1成分型 " 主/硬=7/1	0.11 2.04 0.29
	24	ウレタン系複層 下塗:液状エポキシ樹脂 主材:ウレタン樹脂 上塗:アクリルウレタン塗料	80 30,000 500	45 95 65	主/硬=1/1 " 1/2 " 7/1	0.14 2.06 0.30
	25	弾性アクリル樹脂系単層 下塗:クロロプレナム 主材:アクリルエマルジョン	50 40,000	15 60	1成分型 "	0.11 1.13

P, C, M: アクリル樹脂系ポリマーセメントモルタル 主: 主剤
P/C: ポリマー/セメント比 硬: 硬化剤
SF: シリカヒューム
TDI: トリレンジイソシアネート
MDI: ジフェニルメタンジイソシアネート

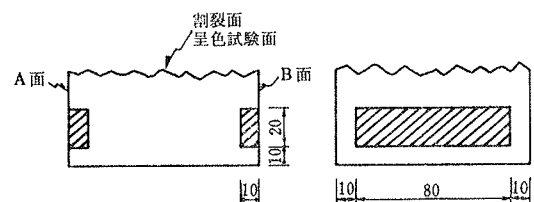
表一1 供試塗材の種類と塗付量

水セメント比 %	実測スランプ cm	単位量 kg/m ³				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	A E 剤
65	9.0	185	286	887	905	2.97

表一2 コンクリートの調合



図一1 塩水浸漬状況



図一2 Cl分析用試料の切出し

に対する塩素イオンの重量割合(%)に換算して塩分浸透量とした。結果はA, B両面の平均値で表示した。

4. 試験結果と考察

塩分浸透深さ及び浸透量の測定結果を図-3に示した。図-4には、浸透深さと浸透量の対応関係を示している。また、無塗装(ブランク)の塩分浸透量を基準として、次のように塗膜の遮塩性を定義し、図-5に遮塩率と塗付量との関係、表-3に遮塩性評価結果を示した。

$$\text{遮塩率(\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

A: ブランクの塩分浸透量

B: 塗装試験体の塩分浸透量

これらの結果から次の諸点が考察される。

(1) 図-4に示した関係から、呈色反応を利用した塩分浸透深さの測定データと、化学分析による浸透量のデータとは、ばらつきはあるものの一定の相関性が認められ、両者とも遮塩性の判定法として有効であると考えられる。呈色反応による方法は、簡便ではあるが、浸透塩分量によって呈色程度が異なるため、目視による浸透深さの測定において誤差が生じやすく、また、浸透量が微量の場合には呈色が確認できにくいなどの欠点がある。

(2) 図-3などから明らかなように、塗材によって遮塩性は大きく異なっている。中には、塩分浸透がブランク(無塗装)と同程度で、遮塩効果が全くない塗材も見受けられる。

(3) 図-5に示した遮塩性と塗材の塗付量との関係によると、同程度の塗付量でも塗材によって遮塩性が著しく異なっており、塗材の材質が大きく関与していると判断できる。

(4) 供試した塗材のうち、含浸材系では、No. 2, 3のエポキシ樹脂(液状, 固型)とNo. 7, 8のウレタン樹脂(TDI, MDI系)の遮塩性が非常に良好であった。これらは、反応硬化タイプの樹脂で、架橋反応して硬化するため、一液溶剤タイプの樹脂と比べて樹脂の骨格が強固となり、その点が遮塩性に寄与しているものと考えられる。

液状エポキシ樹脂(No. 2)と固形エポキシ樹脂(No. 3)とを比較すると、後者の方がより遮塩性が高い。後者は、前者よりもエポキシ樹脂主材の重合度が2~5倍高く、その影響が現われているものと思われる。

(5) 調合塗料系では、エポキシ樹脂(No. 15, 16)の他、アクリルウレタン樹脂(No. 12)、フッ素樹脂(No. 13)の遮塩性が高く、次いでビニルエステル樹脂(No. 17)、シリコンアクリル樹脂(No. 14)が良好であった。これらはいずれも反応硬化型樹脂塗料である。

(6) ポリマーセメントモルタル系では、ポリマー/セメント比を変えて供試したが、いずれも顕著な遮塩効果

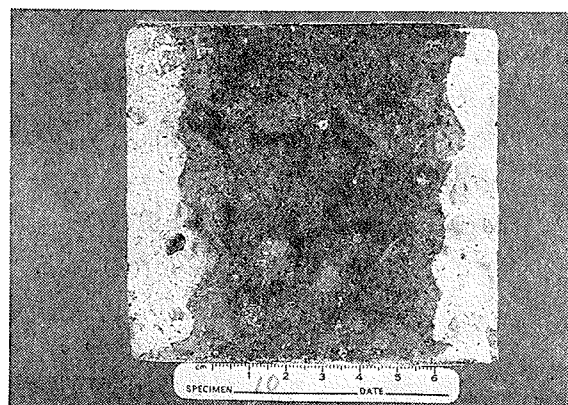


写真-1 割裂面の Cl 呈色試験

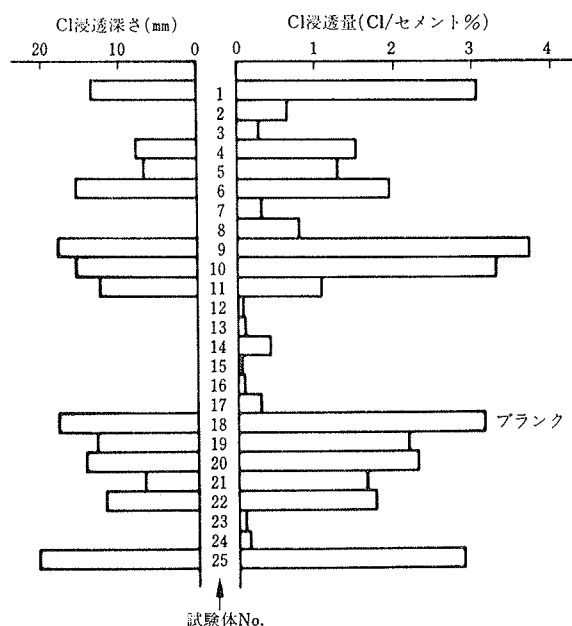


図-3 Cl 浸透状況調査結果

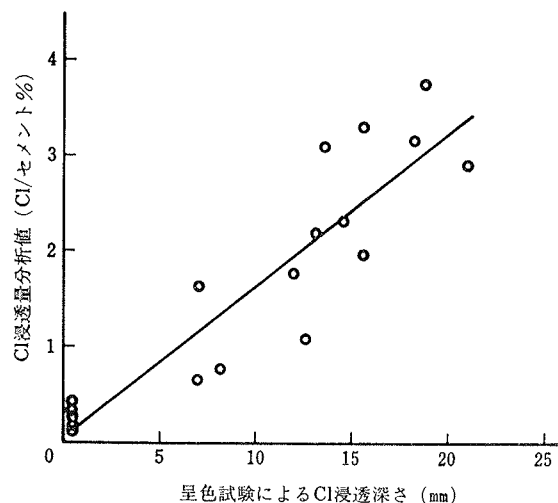


図-4 Cl 浸透深さと浸透量の関係

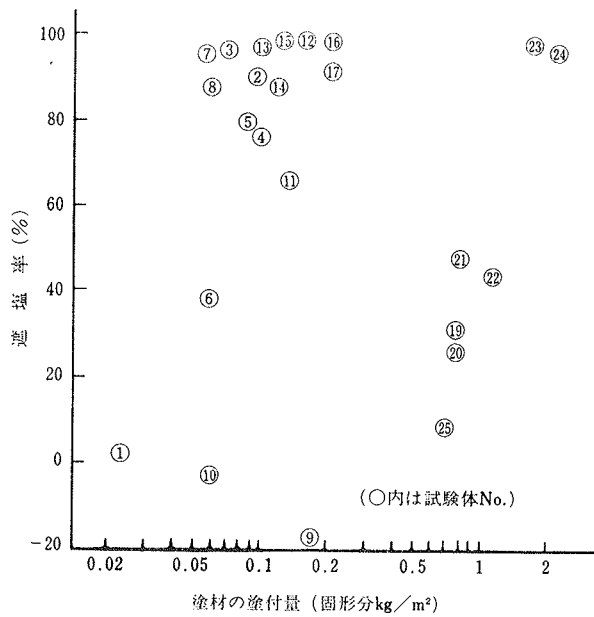


図-5 塗材の塗付量と遮塩率

は認められなかった。シリカヒュームの添加効果も認められない。やはり樹脂塗膜に比べるとセメント質の緻密性が劣るとためと判断される。

(7) 伸長形吹付材系では、クロロプレンゴム系複層塗材 (No. 23) とウレタンゴム系複層塗材 (No. 24) の遮塩性が良好であった。これらのトップコートに使用しているアクリルウレタン塗料は、No. 12 の塗料とほぼ同等の材質で、それ単独でも良好な遮断性を有している。

弾性アクリルエマルション系の単層塗材 (No. 25) は、比較的膜厚は大きいとその割に遮塩性は著しく劣っていた。

5. まとめ

RC 構造物の塩害防止塗材に関する研究の一環として、各種塗材の遮塩性について比較試験を行なった。

試験法としては、コンクリート試験体に供試塗材を塗装して NaCl 溶液中に浸漬し、塗膜を通してコンクリート中に浸透した塩素イオンの浸透深さと浸透量を調査する方法を適用した。

供試した24種類の塗材の中で、反応硬化型のエポキシ樹脂、ウレタン樹脂、アクリルウレタン樹脂、フッ素樹脂、ビニルエステル樹脂、シリコンアクリル樹脂等の遮塩性が良好であった。前報で酸素の透過防止効果に優れていたウレタンゴム系複層塗材も良好な遮塩性を示した。

分類	No.	塗材の種類	遮塩率 %	遮塩性評価
含浸材系	1	塩化ゴム	2.0	×
	2	液状エポキシ樹脂	89.8	△
	3	固型エポキシ樹脂	95.9	◎
	4	アルキッド樹脂	75.9	×
	5	シリコン樹脂	79.4	×
	6	アクリル樹脂溶液形	38.1	×
	7	ウレタン樹脂(TDI系)	95.6	◎
	8	ウレタン樹脂(MDI系)	87.6	△
	9	アクリルオリゴマー	-18.0	×
	10	珪酸塩化合物	-4.0	×
調合塗料系	11	アクリル樹脂	66.0	×
	12	アクリルウレタン樹脂	98.4	◎
	13	フッ素樹脂	97.1	◎
	14	シリコンアクリル樹脂	87.3	△
	15	固型エポキシ樹脂	98.4	◎
	16	液状エポキシ樹脂	98.1	◎
	17	ビニルエステル樹脂	91.1	○
トポリマーセメント系	18	ブランク (無塗装)	-	-
	19	P. C. M P/C=10%	30.8	×
	20	P. C. M P/C=20%	27.0	×
	21	P. C. M P/C=30%	48.3	×
弾性吹付材	22	P. C. M P/C=10% +SF 10%	44.1	×
	23	クロロプレンゴム系複層	97.3	◎
	24	ウレタンゴム系複層	95.9	◎
	25	弾性アクリル樹脂系単層	7.9	×

◎：遮塩率95%以上 △：遮塩率80～89.9%
○： " 90～94.9% ×： " 79.9%以下

表-3 各塗材の遮塩性評価

一方、一液型のアクリルオリゴマー、アクリル樹脂、シリコン樹脂、塩化ゴム、アルキッド樹脂、弾性アクリル樹脂等は遮塩性が低く、ポリマーセメントモルタルやリチウムシリケート含浸剤も顕著な遮塩効果は認められなかった。

なお、ここに報告した試験は、(株)エービーシー商会の御協力のもとに実施した。

参考文献

- 1) 喜田, 守屋, 住野: RC 構造物の塩害防止に関する研究(その1), 大林組技術研究所報, No. 34, (1987), pp. 82～86