

[54] コンクリート構造物の補修に関する基礎的研究

正会員 片 脇 清 士 (建設省土木研究所)

1. まえがき

損傷をうけたコンクリート構造物の補修方法を早急に確立することが社会的要請となっている。潮風や海からの波しぶきによって飛来した塩分が、コンクリート内部に浸透し鉄筋を腐食させる塩害もコンクリート構造物を損傷させる原因のひとつである。このような塩害による損傷時の補修にあたってはコンクリート内部の鋼材腐食を長期的にかつ効果的に抑制し続けることが第一に重要である。このような観点から適切な補修設計や施工方法を行うための室内実験や実際の構造物への試験工事を実施しているところである。補修の基礎となる補修材料に関する材料試験のうち塗装材料についてその試験結果の一部を報告するものである。

2. 研究の概要

補修手順にはたとえば事前調査, 補修設計, 施工, 施工管理が含まれるが, 補修設計にあたっては構造物の損傷度合だけでなく立地環境の腐食性や維持管理の難易をも含めて考慮しなければならず, 補修に用いる材料にもさまざまな性能が要求されることになる。

ところで鋼材腐食の進行を抑制するにはコンクリート外部からの塩分, 水や水蒸気, 酸素の腐食促進因子を効果的に遮断しなければならない。環境遮断の方法には塗装による方法やコンクリートへの樹脂含浸による方法があるがここでは補修用のコンクリート塗装をとりあげる。

さて, コンクリート塗装ではコンクリート表面に塗膜遮断能力と塗膜それ自体の耐久性を持続させるために, 各々特性や機能の異なる塗装材料が塗り重ねられる。塗装材料には, プライマー, パテ, 塗装中塗, 塗装上塗があり, これらが一体となって塗装系となりその機能は表-1に示す通りである。

さて, 塗料には周知の通り多くの種類があり, 価格だけでなく性能が異なっている。塗装によってコンクリートの防食能力を復活させ長期にわたる構造物の耐久性を確保するためにはそれらを評価し適切な材料を選定しなければならない。

そこで代表的な15種類の塗装系について塗膜の塩素イオン透過量, 酸素透過量, 透湿量, 塗膜強度, 塗膜の粘弾性状等の材料試験を行った。

試験内容は表-2に示す通りであるが, ここでは紙面の制約もあり塩素イオン透過量および透湿量の試験方法と試験結果を主に述べることにしたい。

表1 補修用コンクリート塗装

		機 能	方 法
塗	プライマー	補修塗装材料がコンクリート面に対して良好な密着性および健全な塗膜を形成し得る塗装	コンクリート全面にプライマーを塗布する。巣穴等にパテを全面充填, 塗布する。
	パテ	下地を形成する。	
装	塗中	コンクリート中の鋼材を腐食させる外部からの要因すなわち塩分, 水分, 酸素等の透過侵入を遮断防止して, 鋼材の腐食を抑制する塗膜を形成する。	コンクリート全面に塗布する。
系	塗上	塗装系の耐候性および美観を向上させる。	コンクリート全面に塗布する。

表 2 試 験 内 容

試験項目	試験片	くり返し数		試験方法	試験温度℃	フィルム枚数	備 考
		0.標準膜厚	1.基準膜厚				
1 塩素イオン透過量	遊離フィルム	各 3	各 3	塩分濃度勾配を利用する	20	1	試験方法は建設省土木研究所「コンクリート塗装材料の防食性能」に準拠する。
2 酸素透過量	遊離フィルム	各 3	各 3	還元反応を利用した電極法	20	1	
3 透過量	遊離フィルム	各 3	各 3	カップ法	20 40	3	
4 塗膜強度	遊離フィルム	各 3	各 3	定速度法による引張試験	-20 20 40	3	
5 粘 弾 性	遊離フィルム	各 1	各 1	スペクトロメーター法	-100~+100	1	



3. 試験方法

(1) 塗装材料

試験に供した塗装系 15 種類を標準膜厚を表-3 に示す。アクリル系 (1 種類), エポキシ系 (4 種類), 弾性系 (3 種類), ガラスフレーク系 (4 種類), タールエポキシ系 (1 種類), FRP 系 (2 種類) を用いる。

(2) 試験方法

1) 塗膜の塩素イオン透過量測定方法

塩分濃度こう配を利用して, 塩分透過量測定セル (図-1) を用いて塗膜中を透過する塩素イオン量を測定する (試験温度 20℃)。

塩素イオンの透過が平衡になった時点で, 塩素イオン透過量 Q_1 ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 24\text{h}$) を求める。

2) 塗膜の透湿度試験方法

一定時間内に単位面積の塗膜を通過する水蒸気量の大小 (透湿度) Q ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$) を日本工業規格 (JZ 0208) に規定する試験法に準拠して測定する (試験温度: 20℃ と 40℃ の 2 水準)

試験片には塗膜を遊離フィルム状にしたものを用いる。

表 3 塗装系の種類

No	塗 装 系	膜厚 (μ)	備 考
01	アクリル系 溶 剤 型	100	1 種類
02	エポキシ系 エマルジョン型	1000	4 種類
03	エポキシ系 溶 剤 型	200	
04	エポキシ系 無 溶 剤 型	500	
05	エポキシ系 湿 面 用	1000	
06	弾 性 系 ポリブタジエン無溶剤型	1000	3 種類
07	弾 性 系 アクリルエマルジョン型	500	
08	弾 性 系 ウレタン溶剤型	200	
09	ガラスフレーク系 エポキシ-1	1000	4 種類
10	ガラスフレーク系 ビニルエステル-1	1000	
11	ガラスフレーク系 エポキシ-2	1000	
12	ガラスフレーク系 ビニルエステル-2	1000	
13	タールエポキシ系 タールエポキシ	200	1 種類
14	エポキシ系 FRP ガラスロービング補強用	2000	2 種類
15	ポリブタジエン系 FRP ガラス繊維補強用	1000	

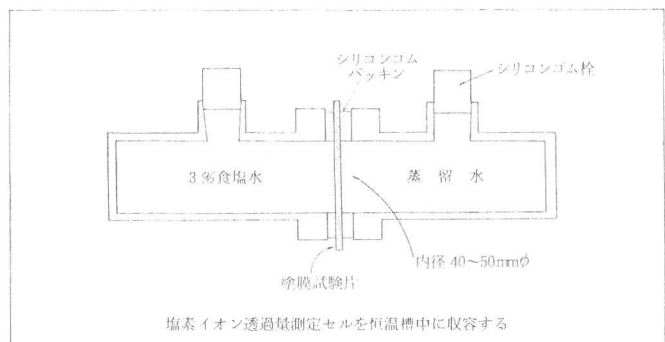


図 1 塩素イオン透過量測定方法

4. 試験結果と考察

4.1 塗膜の塩素イオン透過量測定結果

塗膜の塩素イオン透過量（くり返し3回の測定結果）を表-4に示している。

(1) 塗膜系による差異

塗膜の種類によってその塩素イオン透過性能が異なる。

総合膜でくり返し3のデータがいずれも塩素イオン透過を示すのは、エポキシ系エマルジョン（02）及び弾性系アクリルエマルジョン（07）である。

単膜では、アクリル系溶剤型（01）、弾性系アクリルエマルジョン（07）、弾性系ウレタン溶剤型（08）、ガラスフレーク系エポキシ1（11）は、それぞれくり返し3の全てが透過を示している。

(2) 膜厚の影響

同じ系統の塗膜では、膜厚の大きいものが、塩素イオンを透過しにくい傾向にあるが、エポキシ系エマルジョン型（02）および弾性系アクリルエマルジョン型（07）は、膜厚が大きいにもかかわらず塩分を透過しやすい。エマルジョン型は水溶性の塗料であり蒸発乾固による重合作用であるために生成した塗膜にポロシティが多いためである。

測定結果を整理して表-5に塩素イオンの遮断性能で塗膜を分類している。

薄い塗膜をコンクリート表面に形成することで塩素イオンの遮断が効果的に行なわれ、コンクリートのかぶりを実質的に厚くすることが可能である。ただし、単膜で塩素イオンの阻止性能が劣る種類（01, 08, 13）は、環境の腐食性の比較のおだやかな場合に用いるかあるいは、性能のすぐれた上塗塗料と組み合わせるなどの処置を必要とするであろう。

表4 塗膜の塩素イオン透過性能

塗装系 No.	塗 装 系	分 類	膜 厚 μ	塩素イオン透過量 (mg/cm ² ·day)	塩素イオン透過の評価
01	アクリル系溶剤型	総合膜	95	0	○
		単 膜	50	0.28 ~ 0.39	×
02	エポキシ系エマルジョン型	総合膜	1000	0.39 ~ 0.66	×
		単 膜	340	0.65 ~ 0.97 <	×
03	エポキシ系溶剤型	総合膜	200	0 ~ 0.48 × 10 ⁻³	○
		単 膜	80	0	○
04	エポキシ系無溶剤型	総合膜	500	0	○
		単 膜	130	0 ~ 0.48 × 10 ⁻³	○
05	エポキシ系湿面用	総合膜	900	0	○
		単 膜	600	0 ~ 0.48 × 10 ⁻³	○
06	弾性系ポリブタジエン無溶剤型	総合膜	1000	0 ~ 0.48 × 10 ⁻³	○
		単 膜	600	0 ~ 0.48 × 10 ⁻³	○
07	弾性系アクリルエマルジョン型	総合膜	750	0.97 <	×
		単 膜	300	0.65 × 10 ⁻² ~ 0.97 <	×
08	弾性系ウレタン溶剤型	総合膜	200	0	○
		単 膜	70	0.018 ~ 0.052	×
09	ガラスフレーク系エポキシ1	総合膜	1000	0	○
		単 膜	500	0 ~ 0.87 × 10 ⁻³	○
10	ガラスフレーク系ビニルエステル1	総合膜	1500	0	○
		単 膜	500	0	○
11	ガラスフレーク系エポキシ2	総合膜	1500	0	○
		単 膜	800	0.82 × 10 ⁻³ ~ 0.2 × 10 ⁻²	△
12	ガラスフレーク系ビニルエステル2	総合膜	1200	0 ~ 0.48 × 10 ⁻³	○
		単 膜	600	0 ~ 0.82 × 10 ⁻³	○
13	タールエポキシ系タールエポキシ	総合膜	200	0	○
		単 膜	70	0 ~ 0.97 <	×
14	エポキシ系ガラスロービング補強用	総合膜	2000	0.48 × 10 ⁻³ ~ 0.082	○
		単膜1	800	~ 0.48 × 10 ⁻³	○
		単膜2	250	~ 0.87 × 10 ⁻³	○
15	ポリブタジエンガラス繊維補強用	総合膜	1000	0 ~ 0.48 × 10 ⁻³	○

○ 塩素イオンを透過しにくい
× 塩素イオンを透過する

測定値が0.5 ~ 0.9 ppmは測定誤差内であり7週間の期間内で塩素イオンが透過しないと判断を下して評価の欄内で○と表示した。

表5 塩素イオン遮断性能の分類

塩素イオンの阻止性能が優れている塗装系	No.	塗 装 系	膜厚
			μ
塩素イオンの阻止性能が優れている塗装系 (総合膜)	03	エポキシ系溶剤型	200
	04	エポキシ系無溶剤型	500
	05	エポキシ系湿面用	1000
	06	弾性系ポリブタジエン無溶剤型	1000
	09	ガラスフレーク系エポキシ1	1000
	10	ガラスフレーク系ビニルエステル1	1000
	11	ガラスフレーク系エポキシ2	1000
	12	ガラスフレーク系ビニルエステル2	1000
	14	エポキシ系ガラスロービング補強用	2000
	15	弾性系ポリブタジエンガラス繊維補強用	1000
塩素イオンの阻止性能が劣る塗装系 (単膜)	01	アクリル系溶剤型	100
	08	弾性系ウレタン溶剤型	200
	13	タールエポキシ系タールエポキシ	200
塩素イオンの阻止性能が劣る塗装系 (総合膜)	02	エポキシ系エマルジョン型	1000
	07	弾性系アクリルエマルジョン型	500

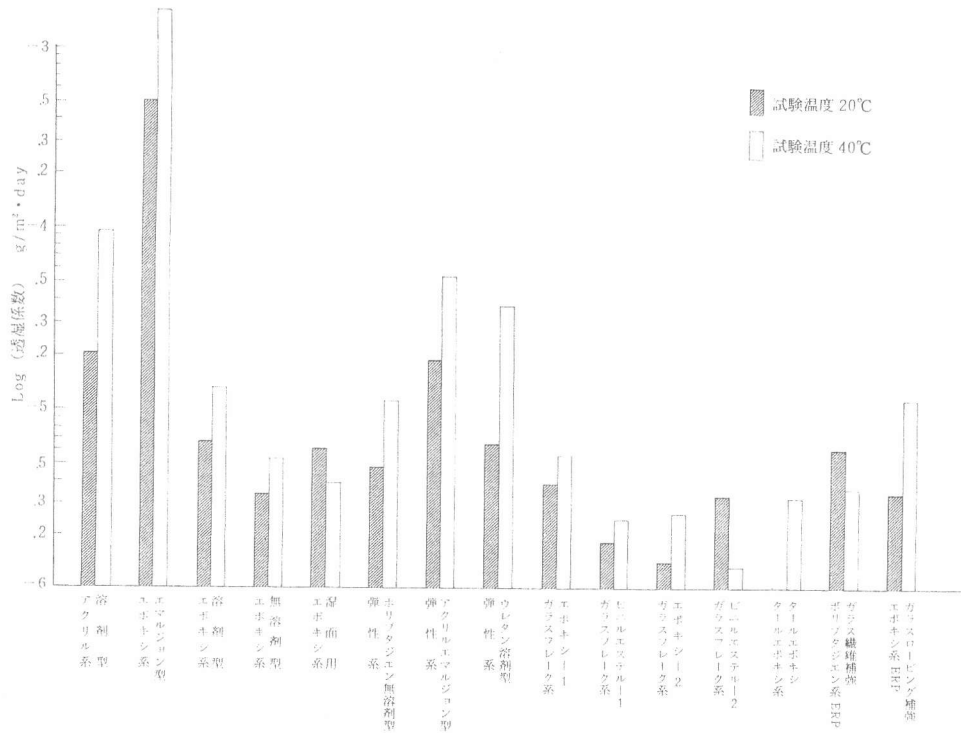


図2 塗膜の透湿度

4.2 透湿度試験結果

遊離フィルムの透湿度試験結果を図-2に示している。

(1) 塗装系による差異

塗膜の種類によってその透湿性が異なる。比較的水蒸気を通しやすいのは右の4種類である。

塗装系No	塗 装 系	膜厚 (μ)
01	アクリル系溶剤型	110
02	エポキシ系エマルジョン型	1,000
07	弾性系アクリルエマルジョン型	1,000
08	弾性系ウレタン溶剤型	200

(2) 試験温度の影響

試験温度が高い程透湿係数が大きくなる傾向がある。(試験温度40°Cの場合には試験温度20°Cの場合に比べて塗膜はおよそ2-5倍の水蒸気透過量を示している。) 構造物周囲の温度が高温の場合には塗膜は水蒸気を通しやすくなるが、コンクリートの透水係数よりも塗膜の透湿度係数は単位的に小さく、塗膜をコンクリート表面に形成することによってコンクリートのかぶりを実質的に厚くした効果は大きいと考えられる。

5. ま と め

コンクリート表面に塗膜を形成して内部鋼材の腐食の進行を抑制するために用いる塗装材料はすぐれた性能を示すものも多いが、その種類を膜厚によっては、塩素イオンや水分の遮断を効果的に行いえない場合があることが確かめられた。本試験では15種類の塗装系について材料試験を行い、各材料の特性を定量的に測定できたので、今後は補修設計時に必要性能に応じた合理的な材料選択が可能となったといえる。

- 参考文献 1) 建設省土木研究所 コンクリート構造物の補修指針(案)(1983)
 2) " コンクリート塗装材料の防食性能(1983)
 3) 社団法人日本道路協会 道路橋の塩害対策指針・同解説(1983)