

V-256

鉄筋コンクリートの電食による劣化抑制方法に関する基礎研究

足利工業大学 正会員 ○黒井登起雄
 足利工業大学 末吉 達也
 足利工業大学 正会員 青戸 章
 足利工業大学 松村 仁夫

1. 研究目的

鉄筋コンクリートは直流電流作用によって鉄筋の電解腐食（電食）、かぶりコンクリートのひびわれ、および剥離と、同時に、鉄筋周辺のペーストの軟化に伴う鉄筋との付着強度の低下が起り劣化する。これら電流作用による劣化抑制・防止方法としては鉄筋コンクリートへの電流の流入、および流出を少なくすることが有効と考えられる。そこで、本研究では樹脂塗装鉄筋、セメント混和用ポリマー、および樹脂系塗料の絶縁効果を鉄筋、およびモルタルの電気抵抗試験、および鉄筋の水中における電食試験で基礎的に実験し、電流作用による鉄筋コンクリートの劣化防止・抑制方法への有効性を考察した。

2. 実験の概要

2.1 樹脂塗料をコーティングしたモルタルおよびポリマーモルタルの電気抵抗試験； セメントは普通ポルトランドセメント（比重=3.16）を用い、細骨材は鬼怒川産川砂（比重= 2.59、吸水率=1.68%、FM=2.83）を使用した。塗料は、無溶剤エポキシ樹脂塗料とポリブタジエン系弾性塗布材の2種類を用いた。基準モルタルの配合は、表1に示すように、W/C=0.60（S/C=2.5）とした。また、ポリマーはSBR系3種類、アクリル系2種類、およびエポキシ系1種類の合計6種類とした。ポリマーセメント比は7、および15%の2水準とした（表1）。それぞれの電気抵抗測定用供試体は、図1に示すように、相対する面に真鍮板（10cm×10cm）を接着した、一辺が10cmの立方体の形状、および寸法の供試体とした。塗料をコーティングしたモルタルの場合、供試体は最初に半分の10×10×5cmの形状で作成し、材令7日標準養生後に樹脂塗料を所定量（1層塗りと3層塗り）塗布してから10×10×10cmの形状となるように新モルタルを打込み供試体を完成させた。10cm立方の供試体は、測定まで湿布養生（21℃±3℃）した。電気抵抗試験用供試体は一水準につき3個を作成し、同時に圧縮強度試験用円柱供試体（φ5×10cm）も6個作成した。

電気抵抗測定は、材令3、7、14、28、56、および90日に立方体供試体の相対する真鍮板電極を介して交流電流（100 mAまたは20 Vで周波数500Hz）を接続し、電極間の電圧または電流値を測定して行った（図1）。交流電源は（株）横河電気製作所製の交流標準電圧電流発生器を用い、電圧、および電流の測定はデジタルマルチメータを用いた。

2.2 樹脂塗装鉄筋の電気抵抗および水中における電食試験； 鉄筋は、D19mm（ピンホール数が0、3、5個/mの3水準）、およびD25mm（ピンホール数が0、5、8、11個/mの4水準）のエポキシ樹脂塗装した異形鉄筋を用いた。実験では、樹脂塗装鉄筋を16cm程度に切断して、各水準毎に6本の試料を1組とした。

(1) 電気抵抗試験；各鉄筋径、およびピンホール数毎に樹脂塗装鉄筋を深さ14cmの蒸留水、および3%NaCl溶液中にそれぞれ浸漬し、一定電圧の交流電流を鉄筋と電極（内径36mmの銅パイプ）に接続した。電圧は、電流測定を考慮して、蒸留水に浸漬した場合、50V（周波数；200Hz および500Hz）、またNaCl溶液に浸漬

表1 モルタルの配合

材料の種類	P/C (%)	W/C (%)	S/C	単位量 (kg/m³) *	単位量 (kg/m³) *	単位量 (kg/m³) *	フロー mm
				セメント	水	細骨材	
---	---	60	2.5	530	310	1325	---
SBR-1	7	45	2.5	578	260	1445	40.5
	15	"	"	"	"	"	218
	15	"	"	"	"	"	217
SBR-2	7	"	"	"	"	"	40.5
	15	"	"	"	"	"	202
	15	"	"	"	"	"	252
SBR-3	7	"	"	"	"	"	40.5
	15	"	"	"	"	"	---
	15	"	"	"	"	"	---
アクリル-1	7	47	2.5	571	268	1427	39.9
	15	"	"	"	"	"	165
	15	"	"	"	"	"	224
アクリル-2	7	"	"	"	"	"	39.9
	15	"	"	"	"	"	231
	15	"	"	"	"	"	---
エポキシ-1	7	45	2.5	578	260	1445	40.5
	15	"	"	"	"	"	---
	15	"	"	"	"	"	86.7

* ポリマーの単位量は g/m³ で示した。

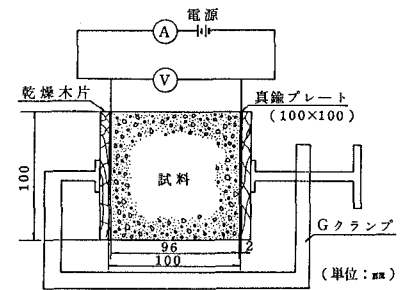


図1 モルタルの電気抵抗試験方法

した場合、10Vとした。電気抵抗は、鉄筋と溶液間の電流値を測定して計算によって求めた。

(2) 水中における鉄筋の電食試験；各鉄筋径、およびピンホール数毎に、各12本の樹脂塗装鉄筋（3本×電解時間の水準4）をそれぞれ深さ14cmの水道水中に浸漬し、一定電圧の直流電流を鉄筋を陽極にして接続した。電解電圧は20Vとし、各電解時間終了までそれぞれの電流値を記録計で測定した。電解時間は任意に14日間で4水準を設定した。各電解時間終了後の鉄筋の腐食量は質量測定から求めた。比較のために、みがき丸棒鋼、および黒皮付き異形棒鋼も同一条件で電食試験を実施した。

3. 実験結果及び考察

表2は樹脂系塗料をコーティングしたモルタルの電気抵抗試験結果を示す。モルタルの電気抵抗は、材令90日で約2400Ωcmであるのに対して、無溶剤エポキシ樹脂塗料とポリブタジエン系弾性塗布材をモルタル面に1層（厚さ約140μ、および500μ）、および3層に塗布したモルタルの電気抵抗は、約4000～12000Ωcmで、無塗装モルタルの4.15～5.03倍、および1.70～1.92倍に電気抵抗を高めることができる。表3は各種ポリマーモルタルの電気抵抗試験結果を示す。材令90日における電気抵抗は、SBR系、アクリル系、およびエポキシ系のポリマーの種類に関わらずほぼ同じで、それぞれ約4000～6400Ωcm、約3200

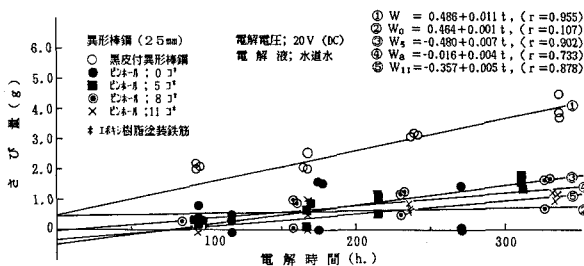


図2 水中における樹脂塗装鉄筋の電食試験結果の例

～4500Ωcm、および約3900～4800Ωcmを示し、ブレンモルタルの約2400Ωcmに対して約1.35～2.73倍大きくなる。また、普通の鉄筋（みがき丸棒鋼と黒皮付異形棒鋼）、および樹脂塗装鉄筋の水中における電気抵抗は、普通の鉄筋の場合、約18～48Ω（蒸留水中）、および約0.42～0.65Ω（塩水中）で非常に小さい。しかし、樹脂塗装鉄筋の電気抵抗は普通の鉄筋の約 $10^3 \sim 10^4$ 倍の大きさである¹⁾。図2は水道水中における普通の鉄筋と樹脂塗装鉄筋（D25mm、ピンホール数0.5、8、および11個）の電食試験結果の一例を示す。さび量は、いずれの鉄筋においても電解時間の増大に伴ってほぼ比例的に増加するが、さび速度は黒皮付異形棒鋼の場合0.011g/h、樹脂塗装鉄筋の場合0.001～0.007g/hで、樹脂塗装鉄筋の防食効果が著しい。しかしピンホール数の影響は、樹脂塗装鉄筋の電食がピンホール部分よりも鉄筋端部で著しく、明確に認められなかった。以上より、樹脂系塗料をコーティングしたモルタル、ポリマーモルタル、および樹脂塗装鉄筋は絶縁性が著しく向上し、電流作用を受ける鉄筋コンクリートの劣化抑制および防止法として樹脂系塗料のコーティング、ポリマーモルタルの使用、および樹脂塗装鉄筋の使用は有効な手段であると考えられる。

1) 黒井、松村；エポキシ塗料および樹脂塗装鉄筋の絶縁性について、第17回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、1990.3

表2 樹脂系塗料をコーティングしたモルタルの電気抵抗試験結果

〔交流電流、周波数：500Hzで測定した電気抵抗〕

種類 \ 材令		電気抵抗 $\times 10^3$ (Ωcm)						
		3日	7日	14日	28日	56日	90日	6月
無塗装モルタル		1.07	1.50	1.91	2.01	2.31	2.37	※
		(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	()
無溶剤1料シ	1層	6.98	8.35	8.34	9.92	10.5	9.84	※
		(6.50)	(5.57)	(4.37)	(4.94)	(4.54)	(4.15)	()
樹脂塗料	3層	10.1	12.2	10.6	12.7	12.1	11.9	※
		(9.43)	(8.15)	(5.58)	(6.32)	(5.23)	(5.03)	()
ポリブタジ系	1層	3.47	2.78	2.95	3.70	3.72	4.04	※
		(3.22)	(1.85)	(1.54)	(1.84)	(1.61)	(1.70)	()
弾性塗布材	3層	11.5	12.8	18.7	8.49	5.44	4.55	※
		(10.7)	(8.55)	(9.82)	(4.22)	(2.35)	(1.92)	()

※ () 内の数値は各材令毎の無塗装モルタルの電気抵抗に対する比率を示す。

※ 電気抵抗試験の現在継続中を示す。

表3 各種ポリマーモルタルの電気抵抗試験結果

〔交流電流、周波数：500Hzで測定した電気抵抗〕

材令の 種類	P/C (%)	W/C (%)		材令 / 電気抵抗 $\times 10^3$ (Ωcm)						
				3日	7日	14日	28日	56日	90日	6月
-----	-----	60		1.07	1.50	1.91	2.01	2.31	2.37	※
				(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	(1.00)	()
SBR-1	7	45		2.70	3.42	5.61	5.34	5.38	6.09	※
				(2.52)	(2.92)	(2.94)	(2.66)	(2.33)	(2.57)	()
	15	45		2.56	3.72	4.79	6.02	6.27	6.46	※
				(2.39)	(2.49)	(2.51)	(2.96)	(2.71)	(2.73)	()
SBR-2	7	45		1.80	2.27	3.25	3.98	4.12	4.37	※
				(1.67)	(1.52)	(1.71)	(1.98)	(1.78)	(1.84)	()
	15	45		1.30	2.08	3.21	4.13	4.32	4.29	※
				(1.21)	(1.40)	(1.69)	(2.03)	(1.87)	(1.81)	()
SBR-3	7	45		1.89	2.41	3.22	3.83	3.92	4.07	※
				(1.76)	(1.61)	(1.69)	(1.91)	(1.70)	(1.72)	()
	15	45		1.86	2.83	3.48	4.33	4.69	5.29	※
				(1.73)	(1.89)	(1.83)	(2.13)	(2.03)	(2.23)	()
7798-1	7	47		1.91	2.62	3.76	4.12	4.35	4.47	※
				(1.78)	(1.75)	(1.97)	(2.05)	(1.88)	(1.89)	()
	15	47		1.98	2.01	2.58	3.48	3.83	3.82	※
				(1.85)	(1.34)	(1.28)	(1.71)	(1.66)	(1.61)	()
7798-2	7	47		1.45	1.81	1.76	3.00	3.13	3.20	※
				(1.35)	(1.21)	(0.92)	(1.49)	(1.35)	(1.35)	()
	15	47		1.64	2.23	3.10	3.79	4.11	4.35	※
				(1.53)	(1.49)	(1.63)	(1.88)	(1.78)	(1.84)	()
1443-1	7	45		1.66	2.03	3.05	3.51	3.68	3.86	※
				(1.55)	(1.06)	(1.60)	(1.75)	(1.59)	(1.63)	()
	15	45		1.87	2.63	3.60	4.34	4.62	4.84	※
				(1.74)	(1.78)	(1.89)	(2.13)	(2.00)	(2.04)	()