

論文

[1085] 無機質系防水材料による鉄筋コンクリートの塩害抑制効果に関する実験

正会員○西村健太郎 (青木建設 研究所)
 正会員 山口和夫 (青木建設 研究所)
 正会員 榊田佳寛 (建設省建築研究所)
 正会員 安田正雪 (建設省建築研究所)

1. はじめに

海岸近くの鉄筋コンクリート構造物においては、外部からの塩分侵入によりコンクリート中の鉄筋が腐食する事例が数多く報告されている。本研究では、このような環境にある構造物において、乾燥収縮等の原因により既にひびわれが発生しているものについての補修工法として、コンクリート表面に無機質系防水材料を塗布する方法を取り上げ、各種鉄筋コンクリート試験体について劣化促進試験を行い、その劣化抑制効果を実験的に検討した。補修に使用した防水材料は、コンクリート表面に塗布することで、コンクリート中の空隙を不溶性の結晶で充填し防水効果を発揮するとされるものである。

本実験は、建設省建築研究所と(株)青木建設研究所との共同研究として実施したものである。

2. 実験概要

2.1 実験計画

実験Ⅰでは、15x15x25cmの試験体[1]を用いて防水材料の塗布による劣化抑制効果を、実験Ⅱでは、模擬ひびわれを設けた15x15x50cmの試験体を用いて、防水材料の塗布、ひびわれの閉塞による劣化抑制効果を検討した。実験計画の概要を表1に、試験体の形状・寸法を図1に示す。

模擬ひびわれについては、所定の厚さ(0.3mm、0.7mm)の真鍮板を型枠表面から鉄筋の位置まで挿入し、コンクリート打ち込み後にそれを引き抜いてスリット状のひびわれを作成した。

2.2 使用材料およびコンクリートの調合

セメントは、普通ポルトランドセメント、細骨材は大井川産川砂(絶乾比重2.61、吸水率1.34%)、粗骨材は青梅産砕石(絶乾比重2.62、吸水率0.65%)を使用した。コンクリートの調合および性質を表2に示す。

鉄筋は、JIS G 3108「みがき棒鋼用一般鋼材」に規定する、みがき棒鋼 SGD-3で直径13mmのものを使用した。

表1 実験計画

要因	水準	
	実験Ⅰ	実験Ⅱ
水セメント比 (%)	75, 65, 55	75, 65, 55
かぶり厚さ(mm)	15, 40	15, 40
ひびわれ幅(mm)	—	0.3, 0.7
中性化深さ(mm)	0, 約15	0, 約15
防水材料	無塗布、塗布	無塗布、塗布
試験体寸法(cm)	15x15x25	15x15x50

表2 コンクリートの調合および性質

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/cm ³)					スラック (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
		セメント	水	細骨材	粗骨材	AE剤			
75	52	264		935	858	.032	17.5	4.3	230
65	50	305	198	881	878	.046	18.0	4.8	325
55	48	360		824	890	.054	18.0	4.4	448

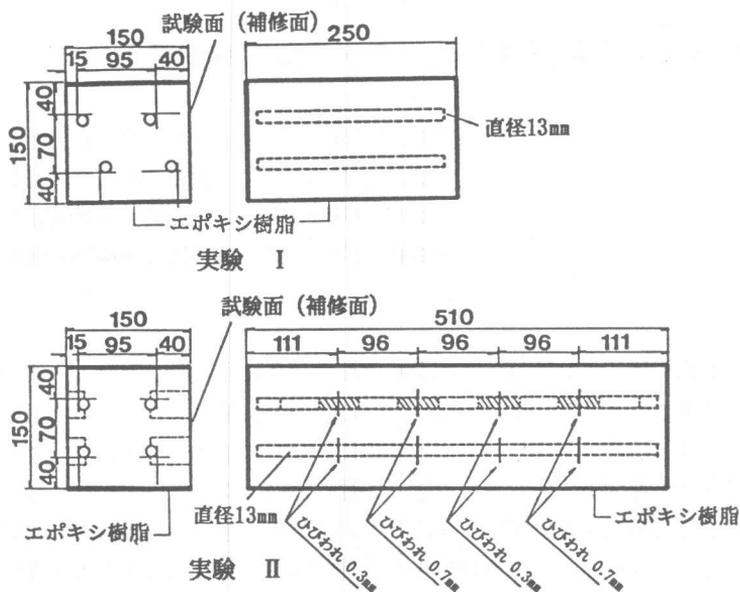


図1 試験体の形状・寸法 (単位mm)

補修に使用した防水材は、セメント系 ($\text{SiO}_2, \text{CaO}, \text{MgO}, \text{Na}_2\text{O}$ などを成分とする) の粉体 (比重 2.96) で、水と練り混ぜてコンクリート表面に塗布した。

2.3 実験方法

実験は、図2に示す順序で行った。試験体作製・養生後、中性化促進を施すものについては、深さ約15mmまで中性化を行い、その後防水材の表面塗布による補修・湿潤養生を行った後に、腐食促進試験に供した。腐食促進試験は、塩水シャワー (50℃ 3%食塩水) 12時間と、60℃の強制乾燥12時間を1サイクルとし、これを270サイクルまで行った。なお、腐食促進試験開始時の材令は、中性化なしの試験体で約3ヶ月、中性化促進を行った試験体で約9ヶ月である。

2.4 腐食の評価

実験I、実験II共に中性化なしの試験体については30、90、180、270サイクルで、中性化促進を行った試験体については30、120、180サイクルで試験体を取り出し、鉄筋の腐食面積を測定し、それを鉄筋の表面積で除して腐食面積率とした。また、鉄筋の錆を取り除いた後に重量を測定し、重量の減少量を初期値で除して重量減少率とした。また腐食因子の透過性を評価する意味で、実験Iについては、各サイクルについてコンクリート中へ浸透した塩分量を測定した。塩分量はコンクリート表面からの距離が鉄筋と同じ位置で鉄筋と平行にφ10mmのドリルで試料を採取し[2] 電位差滴定法により全塩分量を測定した。また、実験IIの鉄筋については、鉄筋の表面積をひびわれ箇所を含む部分 (図1中、斜線部分) とひびわれ箇所を含まない部分 (図1中、斜線以外の部分) とに等面積に分けて腐食面積率を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリート中への浸透塩分量

図3、4に水セメント比85%の試験体の各サイクルにおけるコンクリート中の塩分量を示す。中性化促進を行った試験体については、中性化なしのものに較べて全体的に浸透塩分量が少ない傾向にあり、防水材を塗布したものの方が無塗布のものに較べて浸透塩分量が少ない傾向にある。水セメント比75%および55%の試験体も同様の傾向を示した。



図2 実験順序

また、コンクリート中への塩分の浸透はフィックの法則

$$\frac{\partial N}{\partial T} = k \frac{\partial^2 N}{\partial x^2}$$

(解)
$$\frac{N}{N_0} = 1 - \operatorname{erf} \left[\frac{x}{2\sqrt{kT}} \right]$$

T : 測定時材令 (day)

x : コンクリート表面からの距離 (cm)

k : 塩分の拡散係数 (cm²/day)

N : 材令 T、距離 x での塩分濃度 (%)

N₀ : コンクリート表面 (x = 0) の塩分濃度 (%)

erf : 誤差関数

に従うと仮定して 180 サイクルにおける塩分量の値を用いて N₀ 一定として解いた k の値を比較したのが、表 3 である。

3. 2 鉄筋の腐食の評価

3. 2. 1 実験 I について、鉄筋の腐食量は、腐食面積率で最大約 50%、重量減少率で最大約 2% であり、一部の試験体をのぞき、コンクリート表面にひびわれの発生は見られなかった。外部からの塩分の侵入を想定した本実験の条件では、鉄筋が腐食するのにかなりの時間が必要であると思われる。発錆箇所は、ほとんどの場合鉄筋の下側でありブリーディングの影響が大きいと考えられる。

図 5 は、鉄筋の腐食面積率の経時変化を水セメント比の違いおよび防水材塗布の有無について示したものである。図 6 は鉄筋の腐食面積率の経時変化をかぶりの違いおよび防水材塗布の有無について示したものである。また図 7、8 は重量減少率の経時変化を同様に示したものである。

中性化なしの試験体については、水セメント比、かぶりの違いによる腐食量の違いははっきりとしない。また防水材塗布による腐食抑制効果もはっきりとは認められない。中性化促進を行ったものについては、かぶり 15mm の鉄筋表面まで中性化が達しているため、かぶりの違いによる腐食量の差が認められる。また防水材を塗布したものの方が腐食量は少ない傾向にある。

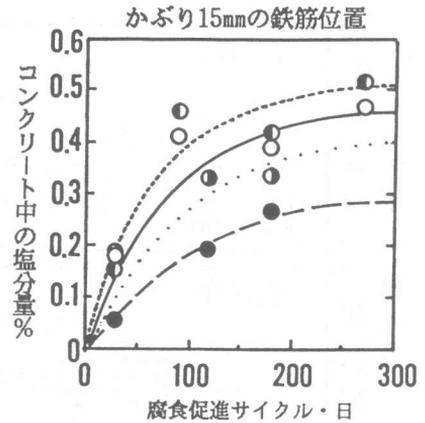


図 3 浸透塩分量の経時変化

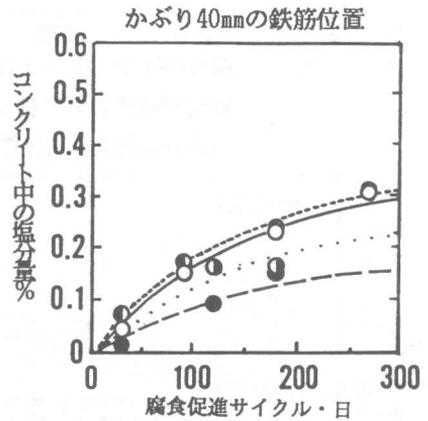


図 4 浸透塩分量の経時変化

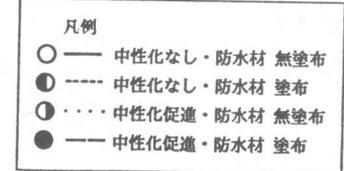


表 3 塩分の拡散係数

中性化	防水材	水セメント比	N ₀ (%)	k (cm ² /d)
中性化なし	無塗布	75	0.66	0.078
		65		0.057
		55		0.040
	塗布	75		0.075
		65		0.083
		55		0.049
中性化促進 約15mm	無塗布	75	0.071	
		65	0.042	
		55	0.017	
	塗布	75	0.042	
		65	0.030	
		55	0.014	

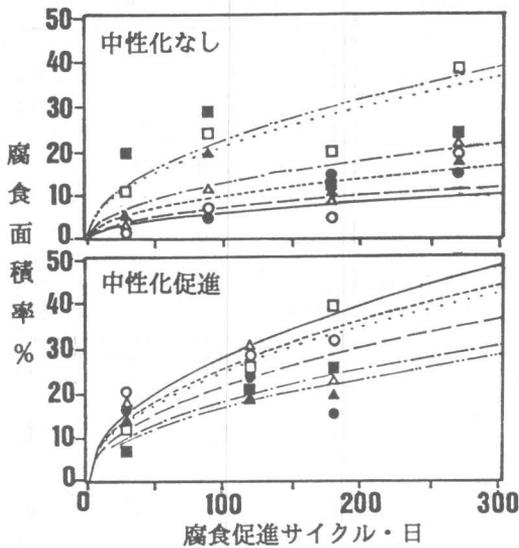


図5 腐食面積率の経時変化
(水セメント比による影響)

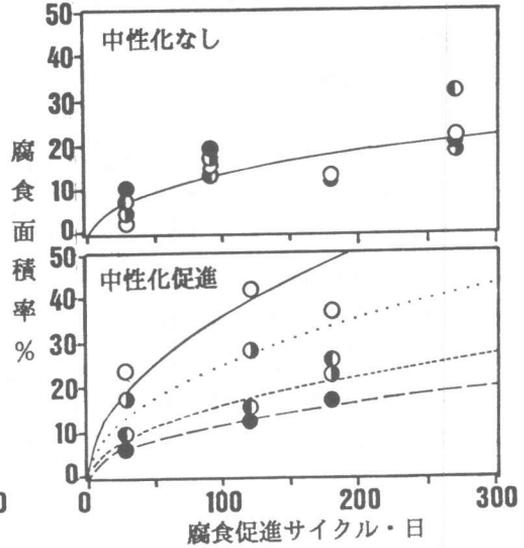


図6 腐食面積率の経時変化
(かぶり厚さの影響)

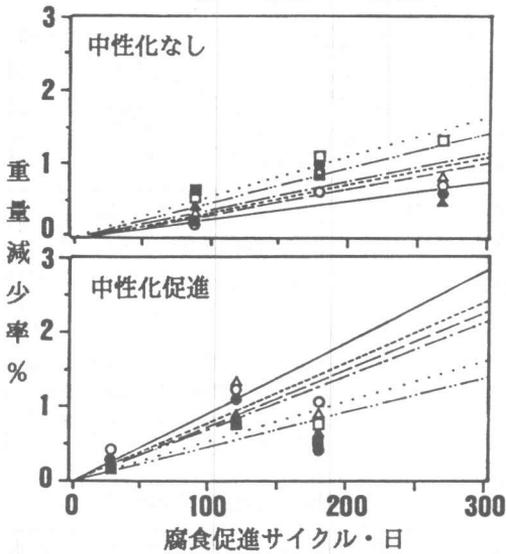


図7 重量減少率の経時変化
(水セメント比による影響)

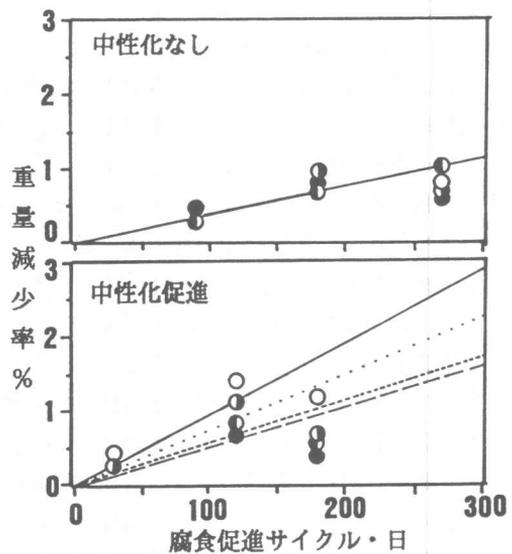


図8 重量減少率の経時変化
(かぶり厚さの影響)

凡例

○	—	W/C=75%・防水材 無塗布
△	- - -	W/C=65%・防水材 無塗布
□	⋯⋯	W/C=55%・防水材 無塗布
●	—	W/C=75%・防水材 塗布
▲	- - -	W/C=65%・防水材 塗布
■	⋯⋯	W/C=55%・防水材 塗布

凡例

○	—	かぶり15mm・防水材 無塗布
⊙	- - -	かぶり40mm・防水材 無塗布
⊖	⋯⋯	かぶり15mm・防水材 塗布
●	—	かぶり40mm・防水材 塗布

3. 2. 2 実験Ⅱについて、腐食量は、実験Ⅰと同程度であった。発錆箇所は、ひびわれ部分および鉄筋の下側であり、ひびわれ部分のみが極端に腐食した例はなかった。

図9は、腐食面積率の経時変化を水セメント比の違いおよび防水材塗布の有無について示したものである。全体的に中性化促進を行ったものの方が腐食面積率が大きい。中性化なしのものが条件によるはっきりとした差が認められないのに対し、中性化促進を行ったものでは、水セメント比が小さいほど腐食面積率は小さい傾向にある。また防水材を塗布したものの方が腐食面積率は小さい傾向にある。

図10は、腐食面積率の経時変化をかぶりの違いおよび防水材塗布の有無について示したものである。中性化促進を行ったものについては、ひびわれ部分の鉄筋表面およびかぶり15mmの鉄筋表面

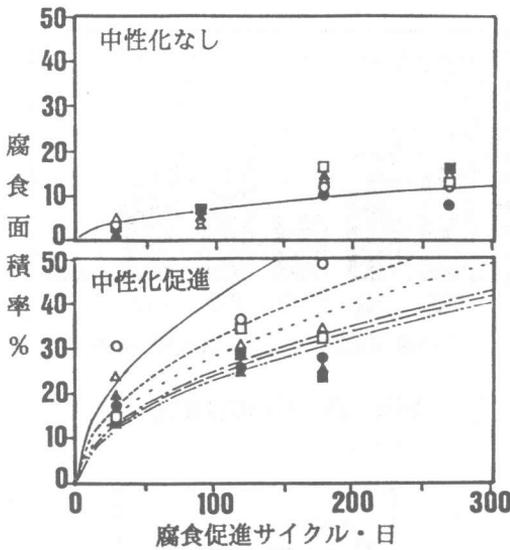


図9 腐食面積率の経時変化
(水セメント比による影響)

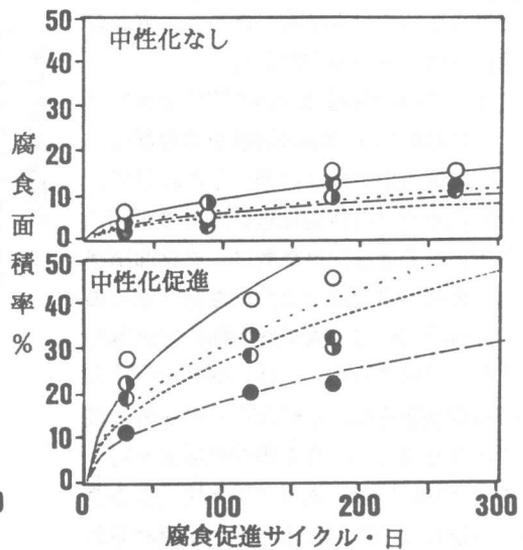


図10 腐食面積率の経時変化
(かぶり厚さの影響)

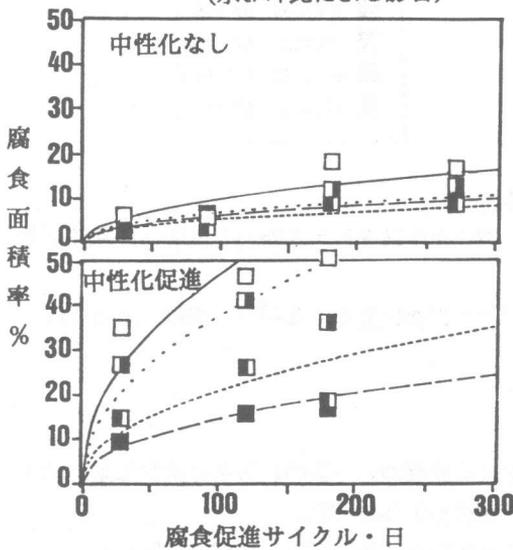
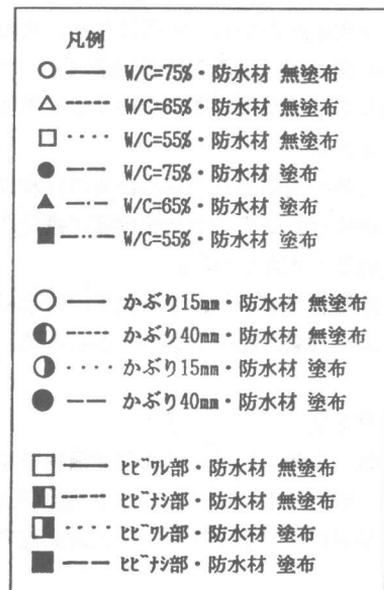


図11 腐食面積率の経時変化
(ひびわれの影響)



まで中性化が達しているため、かぶりの違いによる腐食量の差が認められる。また防水材料を塗布したものの方が腐食面積率は小さい傾向にある。

図11は、腐食面積率の経時変化をひびわれ部分とそうでない部分の違いおよび防水材料塗布の有無について示したものである。ひびわれ近傍部分はそうでない部分よりも腐食面積率が大きい傾向にある。またいずれの場合も防水材料を塗布したものの方が腐食面積率は小さい傾向にある。

また、ひびわれ幅 0.7mmの箇所を含む部分、ひびわれ幅 0.3mmの箇所を含む部分、ひびわれ箇所を含まない部分とにわけて、腐食面積の速度係数を比較したものが図12である。腐食面積速度係数は、腐食面積率(A)の経時変化が上に凸の曲線となるので、 $A=k\sqrt{t}$ (tは腐食促進サイクル)で近似した係数kの値である。中性化促進を行ったものの腐食速度は、中性化なしのものに比べてかなり大きい。また中性化促進を行ったものについては、水セメント比による違い、ひびわれの有無による違いが認められる。防水材料の効果については、ひびわれの有無にかかわらず防水材料を塗布したものの方が腐食速度が小さい傾向にある。またひびわれ幅の違いによる補修効果は、本実験の範囲では差が生じていないようである。

4. まとめ

本実験の結果から得られたものは次の通りである。

- 1) 中性化促進を行った試験体の鉄筋の腐食量は、中性化促進を行わなかった試験体の鉄筋に比べて総じて大きかった。
- 2) 本実験で扱った、無機質系の防水材料をコンクリート表面に塗布する補修工法は、ある程度の塩害抑制効果が期待できると思われる。

* 参考文献

- [1] 原、友澤、梶田 「表面被覆材および吸水材による鉄筋コンクリート造の塩害劣化抑制効果に関する研究(その1)」 日本建築学会大会学術講演梗概集1989 P651
- [2] 建設省 「コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書<第一編>」 1988 P400-402

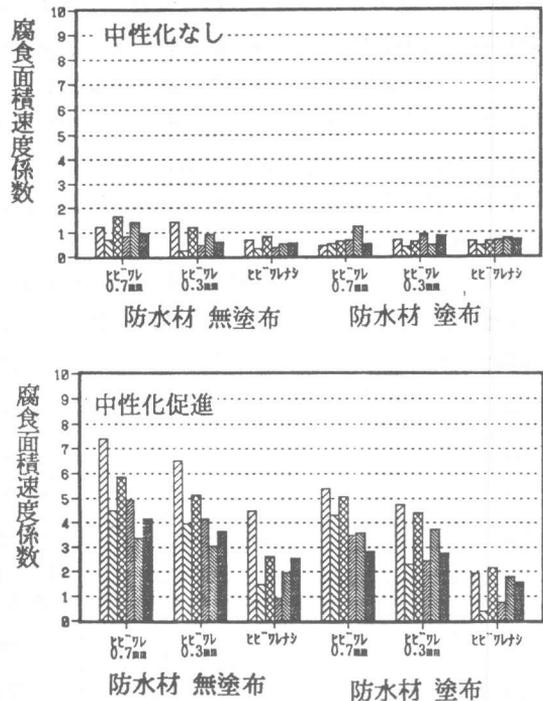


図12 腐食面積速度係数

凡例	
	W/C=75%・ガブリー15mm
	W/C=75%・ガブリー40mm
	W/C=65%・ガブリー15mm
	W/C=65%・ガブリー40mm
	W/C=55%・ガブリー15mm
	W/C=55%・ガブリー40mm