

V-191

各種塗装材料を用いたコンクリートの防食効果に関する研究

榎大林組技術研究所 正会員 竹田 宣典
東海大学海洋学部 正会員 迫田 恵三
榎大林組技術研究所 正会員 十河 茂幸

1. はじめに

海洋環境下におけるコンクリート構造物では、外部より侵入する塩分により鉄筋の腐食が促進され、ひびわれやはくりが生じ、コンクリートの耐久性が著しく低下することがある。コンクリートの表面を塗装し、外部からの塩分を遮断する方法は、鉄筋の腐食を抑制する効果があると思われる。しかしながら、各種塗装材料の防食性能および海洋環境下での耐久性については、明確にされてないのが現状である。本研究は、各種塗装材料を用いて防食を行なったコンクリートについて海洋暴露試験および腐食促進試験を行いその効果について検討を行ったものである。

表-1 試験概要

試験	海洋暴露試験（清水港沖合）	促進試験（室内試験）
試験条件	- 海中（水深1.1m） - 海水温度 18.4℃, pH8.29 - Clイオン濃度 18.4% - 溶存酸素量 7.38ppm - 海上大気中（堤防上） - L.W.L. + 5.0m位置、強風時、波しぶきを受ける - 内陸（海洋より約30km）	①人工海水浸漬（80℃）-----1時間 成分：NaCl 2.45%, MgCl ₂ ·6H ₂ O 1.1%, CaCl ₂ 0.15%, Na ₂ SO ₄ 0.45% ②高温湿潤（70℃, RH95%）---1.5時間 ③冷却乾燥（70℃~15℃, RH95%~25%）-----3.5時間 ①, ②, ③を1サイクルとし、1日4サイクルの自動運転
供試体		
測定	暴露1ヶ年後	300,500,750 サイクル終了時

2. 実験概要

実験は表-1に示す2つの方法で行った。

海洋暴露試験は、海上大気中、海中および内陸の3条件下において行い、促進試験は、人工海水の浸漬・高温湿潤・冷却乾燥の繰り返しによる方法とした。

表-2に配合およびコンクリートの品質を示す。使用材料には、普通ポルトランドセメント、木更津産山砂、八王子産碎石を用いた。鉄筋はD19異形棒鋼を用い、かぶりは暴露供試体では20mm、促進供試体では35mmとした。

表-2 配合およびコンクリートの品質

Gmax (mm)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			試験名	スランプ (cm)	空気量 (%)	試験開始時の湿度 (kg/cm ²)
		W	C	AE減水剤				
15	50	188	332	0.83	海洋暴露	12.0	5.3	410
					促進試験	14.0	4.1	475

表-3に示すコンクリート塗装材料を用いて、供試体の全面を塗装した。B, Eはひびわれ追従性のある塗装系であり、Bは「道路橋の塩害対策指針（案）」のB種である。C, Dは長期防錆型（同指針案, C種）の塗装系である。各塗装材料の防食効果は、コンクリート中への塩分浸透量、鉄筋の腐食面積、自然電位および塗膜の劣化状況（ひび・うき・はがれ）等により評価した。表-4に測定方法を示す。

表-3 供試体の種類

	供試体名（塗装材料）	膜厚 (μm)	伸び率	塩素イオン透過量 mg/cm ² ・日
A	無塗装（プレーン）	0	---	---
B	柔軟型エポキシ樹脂	80	* 10.0 %	10 ⁻² 以下
C	厚膜型エポキシ樹脂	450	* 3.5 %	10 ⁻³ 以下
D	厚膜型ビニルエステル樹脂 （ガラスフレーク含有）	350	* 1.4 %	10 ⁻³ 以下
E	弾性ポリマーセメント （強性アクリルゴム）	2100	** 4.7 mm	10 ⁻³
F	ポリマーセメント （アクリル系）	2500	** 0.85mm	10 ⁻²

3. 実験結果

3.1 促進試験による劣化促進効果

表-5に海洋暴露試験および促進試験での測定結果を示す。図-1に促進試験による塩分量および腐食面積率の変化を示す。

（1）塩分量……無塗装コンクリートの海中における暴露1ヶ年での表面部分（深さ2cmまで）の塩分量は約0.3%であるが、促進試験によると300サイクルで同程度の塩分が浸透した。また、海上大気中における暴露1ヶ年での塩分量は約0.1%であり、促進試験による100サイクル程度に相当すると考えられる。

（2）鉄筋の腐食……無塗装コンクリートの腐食面積は、海洋暴露試験では海中部分においても非常に小さいが、促進試験では120サイクルでひびわれが発生し腐食が進行した（写真-1）。乾湿

*「道路橋の塩害対策指針（案）」同解説「コンクリート塗装材料の品質試験方法（案）」 **ゼロスパンテンション法（JIS A 8021）

表-4 測定方法

測定項目	試験方法
鉄筋の自然電位	ASTM C 876 照合電極には飽和硫酸銅電極を使用
鉄筋の腐食状況	展開図に腐食状況を写しとり腐食面積率で評価
塩分量分析	塩素イオン選択性電極を用いた電位差測定法による全塩分定量。コンクリート重量に対するNaCl換算値を算出。

くり返しおよび温水の作用により腐食が促進され、ひびわれが生じたものと考えられる。

（3）自然電位……図-3に促進試験における鉄筋の自然電位の変化を示す。試験開始後直ちに電位は卑の値となり、急速に塩分が鉄筋位置まで浸透したことを示している。

表-5 塩分量、自然電位、腐食面積率の測定結果

試験項目	海洋暴露試験（1ヶ月）				促進試験				コンクリート・塗膜の劣化状況
	塩分量（%）	塩分量（%）	自然電位（mV）	腐食面積率（%）	サイクル数	塩分量（%）	自然電位（mV）	腐食面積率（%）	
無塗装	海上	0.13	119	0	300	0.30	590-270	10.7	ひびわれ幅0.3
	海中	0.41	377	0.23	500	0.39	820-430	21.9	ひびわれ幅増大
	内陸	0	74	0	750	0.43	520-380	79.8	錆汁あり、破壊
柔軟エポキシ	海上	0.015	99	0	500	0.008	110-80	0.2	変化なし
	海中	0.005	122	0	750	0.05	530-320	17.5	塗膜にひびわれ
	厚膜	0	98	0	500	0.008	120-100	0.4	変化なし
厚膜ビニルエステル	海上	0	174	0	750	0.013	330-220	1.5	変化なし
	海中	0.005	104	0	500	0.008	450-290	4.7	塗膜のうき多数
	厚膜	0.015	210	0	750	0.02	270-220	0.0	はがれ、うき多
弾性ポリマーセメント	海上	0.01	93	0	500	0.008	120	0.1	うき数ヶ所
	海中	0	114	0	750	0.008	100-80	0.1	うき数ヶ所
	厚膜	0	98	0	500	0.008	150-130	0.1	変化なし
ポリマーセメント	海上	0	98	0	500	0.008	150-130	0.1	変化なし
	海中	0.03	175	0	750	0.014	80-80	0.0	うき数ヶ所

3.2 コンクリート塗装による防食効果

図-2に海洋暴露試験における塩分浸透状況を示す。海洋暴露試験（1ヶ月）および促進試験（750サイクル）のどちらにおいても塗装を行ったコンクリート中の塩分浸透量および鉄筋の腐食面積率は、無塗装のコンクリートのそれらに比べて非常に少なく、良好な遮塩性あるいは防食効果が認められた。ただし、促進試験によって柔軟エポキシには塗膜にひびわれが発生し、塩分が侵入したために腐食が進行した。表-5に示す様に、塗装系の種類によって防食性能に若干の差があった。

3.3 塗装材料の劣化状況

塗装材料の劣化は、海洋暴露1ヶ月において、海中・海上大気中でともに認められなかった。促進試験を行うことにより、塗装材料自体の劣化は著しく促進され、塗装系の種類によって劣化状況（うき・はがれ・ひび等）は大きく異なる。（表-5参照）

促進試験750サイクル終了時において、柔軟エポキシは塗膜にひびわれが発生し、厚膜ビニルエステル、弾性ポリマーセメント、ポリマーセメントでは塗膜のうきがみられた。

特に、厚膜ビニルエステルは促進試験の初期より塗膜のうきが多く、750サイクルでは塗膜のはがれが顕著であった（写真-2）。また、厚膜エポキシは塗膜に何の変化もなく健全であった。

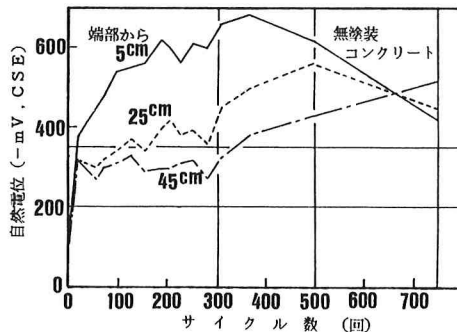


図-3 自然電位の変化（促進試験）

4. まとめ

良好な遮塩性を有する塗装材料を用いることによって、鉄筋の腐食を抑制することが可能である。本実験における促進試験100サイクルでの塩分浸透量は海上大気中における暴露1ヶ月に相当し、300サイクルでの塩分浸透量は海中における暴露1ヶ月に相当した。また、促進試験により塗装材料の劣化の促進効果が認められ、塗装系の種類によって、その劣化状況は著しく異なることが判明した。

今後、より長期的な耐久性および防食性能を把握するために、長期間の海洋暴露試験あるいは、劣化を早期に判定することが可能な促進試験方法を検討していく予定である。



図-1 塩分量・腐食面積率の変化（促進試験）

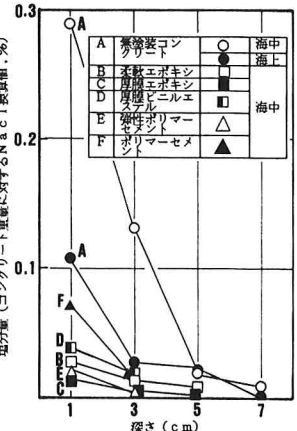


図-2 塩分浸透量（海洋暴露試験）

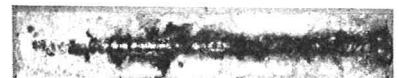


写真-1 無塗装コンクリートの腐食状況



写真-2 厚膜ビニルエステル劣化状況