

暴露 20 年経過したコンクリート表面被覆材の性能

(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 ○大谷 悟司
 (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 浅井 洋
 独立行政法人 土木研究所 守屋 進
 日本ペイント販売 (株) 大澤 隆英

1. はじめに

コンクリート構造物の塩害が問題となり、その具体的対策に取り組み始めて久しい。海岸地域に建設され、飛来塩分によって塩害が予想される道路橋の設計・施工の留意事項が、1984年(昭和59年)に「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」(以下、指針(案))として規定された。当時としては、耐久性に関して多くの知見が得られていなかった。特に、塗装鉄筋やコンクリート塗装について技術開発が進められていたが、実績が少なく、長期的な耐久性に関する研究が求められた。このような背景において、本研究は、海洋環境下でも特に腐食条件が厳しい飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術の確立をめざし、1984年から海洋構造物の耐久性向上技術(大井川沖暴露試験)共同研究の一環として長期暴露試験を実施している。検討項目は、(1)防食技術の基本となるコンクリートのかぶりや配合が腐食の進行に及ぼす影響、(2)コンクリート中の鋼材の防食技術として、樹脂塗装鉄筋の実用化やPC鋼材の防塩処理材料の開発、(3)耐海水コンクリート部材として、塗装の実用化、含浸系塗料の開発、耐塩性コンクリートの開発、などである。本稿は、コンクリート部材表面に塗装を行った供試体の暴露20年後の性能について報告する。

2. 実験方法

暴露実験は、図-1に示す供試体表面にコンクリート塗装を行い、駿河湾大井川町沖合250mに位置する海洋技術総合研究施設(写真-1)に暴露した。供試体は、断面200×200mm、長さ1200mm、かぶり25mmである。コンクリートの配合を表-1に示す。コンクリートは、プレストレストコンクリート部材を想定して、早強ポルトランドセメントを使用し、水セメント比40%(設計基準強度40N/mm²想定)で工場製作した。コンクリート塗装材は、表-2に示す14種類を供試体全面に塗布した。供試体は

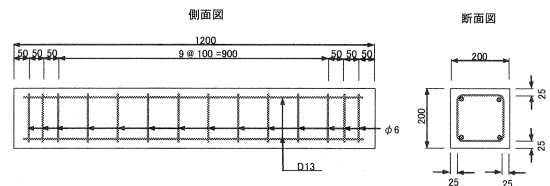


図-1 供試体形状図

表-1 配合

最大粗骨材寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単用量(kg/m ³)				材齢28日圧縮強度 (N/mm ²)
					水	セメント	細骨材	粗骨材	
20	8	4.5	40	38	166	415	659	1133	51.0

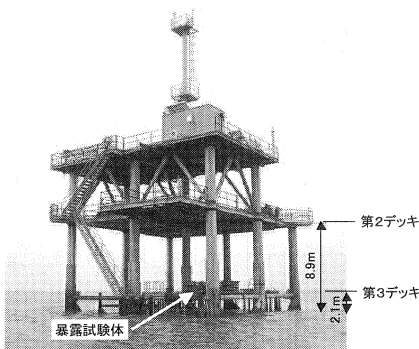


写真-1 海洋技術総合研究施設

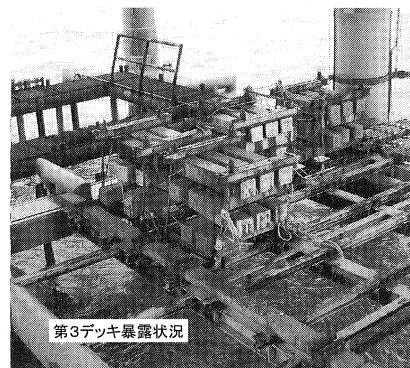


写真-2 試験体暴露状況

海面から約2.1mに位置する第3デッキに暴露した(写真-2)。暴露位置は、月平均気温5~25℃で、年平均気温は約16℃である。月平均湿度は57~87%で、年平均湿度は約71%である。8月~11月の期間は汀線に沿った風が吹き付け、飛来塩分量は、3.5~4.0mg/dm²/dayであり、その他の時期では約1.0mg/dm²/dayである。供試体は、暴露6年で一部を回収し、今回暴露20年で残りを回収した。実施した試験項目を表-3に示す。

表-2 塗装の仕様

No.	供試体の系統	プライマー	バテ	中塗1	中塗2	上塗
1	A種塗装系	エポキシ樹脂 100g/m ²	エポキシ樹脂 必要量	エポキシ樹脂 260g/m ² , (60μ)	—	ポリウレタン樹脂 120g/m ² , (30μ)
2	B種塗装系 (柔軟型エポキシ系)	エポキシ樹脂 100g/m ²	エポキシ樹脂 100g/m ²	柔軟性 エポキシ樹脂 230g/m ² , (60μ)	—	柔軟型 ポリウレタン樹脂 125g/m ² , (30μ)
3	B種塗装系 (柔軟型エポキシ系)	エポキシ樹脂 100g/m ²	エポキシ樹脂 300g/m ²	柔軟性 エポキシ樹脂 280g/m ² , (60μ)	—	柔軟型 ポリウレタン樹脂 120g/m ² , (30μ)
4	C種塗装系 (厚膜型エポキシ系)	エポキシ樹脂 100g/m ²	エポキシ樹脂 100g/m ²	厚膜型 エポキシ樹脂 780g/m ² , (350μ)	—	ポリウレタン樹脂 125g/m ² , (30μ)
5	C種塗装系 (ビニルエステル系)	エポキシ樹脂 100g/m ²	エポキシ樹脂 300g/m ²	厚膜型 ビニルエステル樹脂 1000g/m ² , (350μ)	—	ポリウレタン樹脂 120g/m ² , (30μ)
6	超膜厚型エポキシ系	エポキシ樹脂 100g/m ²	エポキシ樹脂 100g/m ²	超膜厚型 エポキシ樹脂 2000g/m ² , (1000μ)	—	ポリウレタン樹脂 125g/m ² , (30μ)
7	超膜厚型ウレタン系	湿気硬化型 ポリウレタン樹脂 100g/m ²	エポキシ樹脂 必要量	超膜厚型 ポリウレタン樹脂 850g/m ² , (500μ)	超膜厚型 ポリウレタン樹脂 850g/m ² , (500μ)	ポリウレタン樹脂 120g/m ² , (30μ)
8	変性エポキシ系	エポキシ樹脂 100g/m ²	エポキシ樹脂 必要量	特殊エポキシ樹脂 920g/m ² , (500μ)	特殊 エポキシ樹脂 920g/m ² , (500μ)	ポリウレタン樹脂 120g/m ² , (30μ)
9	セメント系	アクリル樹脂 300g/m ²	ポリマーセメント 800g/m ²	シリコン樹脂 500g/m ² , (250μ)	シリコン樹脂 500g/m ² , (250μ)	シリコン樹脂 200g/m ² , (50μ)
10	ウレタン系	専用シーラー 500g/m ²	—	ポリウレタン樹脂 4000/m ² , (2000μ)	—	ポリウレタン樹脂 150/m ² , (40μ)
11	シリコンゴム系	専用プライマー 200cc/m ²	ポリマーセメント 1000cc/m ²	シリコンゴム樹脂 (600μ)	—	—
12	アクリルゴム系	塩ビ系樹脂 400g/m ²	—	アクリルゴム樹脂 1000g/m ²	アクリルゴム樹脂 1300g/m ²	アクリルウレタン樹脂 400g/m ²
13	無機材料	無機質 100g/m ²	エポキシ樹脂 100g/m ²	無機質塗料 150g/m ² , (30μ)	—	無機質塗料 100g/m ² , (30μ)
14	有機無機混合材料	有機無機混合 塗料用 100g/m ²	有機無機混合 塗料用 300g/m ²	有機無機混合塗料 100g/m ² , (400μ)	—	ポリウレタン樹脂 100g/m ² , (30μ)

表-3 試験項目

調査項目	調査方法
外観観察	供試体表面塗装材のふくれ、剥離、亀裂およびコンクリートのひび割れ等を目視調査する。
付着強度試験	建研式付着強度試験 塗装材表面にコンクリートにいたる□40mm×40mmの切り込みを設け、エポキシ樹脂で塗装材表面に同寸法の鋼製治具を接着し、この治具を介してコンクリート面に垂直に1kN/minの速度で引き剥がす力を与え、付着力を測定する。最大付着力を接着面積で除して付着強度とする。
塩化物量調査	供試体よりコアを採取し、表面から0~10mm, 10~30mm, 30~50mmにスライスし、この間に含まれる塩化物イオン濃度を測定する。測定方法は、JCI法による。
中性化深さ	フェノールフタレイン法 塩化物量調査用に採取したコア試験体の表面に、1%フェノールフタレイン溶液を噴霧し、未着色部分の深さを測定する。
鉄筋腐食調査	鉄筋をはつりだし目視にて腐食の有無を観察する。
塗膜調査	EPMAによって塗膜中への塩化物侵入の有無を測定する。

3. 実験結果

(1) 外観観察

主な供試体回収時外観状況を写真-3に示す。供試体表面に認められる錆び汁は、暴露施設に固定する鋼材が腐食したものである。供試体は井桁に組んで暴露したため、波に洗われてお互いが擦れ合い、一部では塗装材が剥がれた部分が観察された。このような部位では、表面塗膜の付着強度試験や塩化物量の測定は適当でないと判断し、試験から除外した。塗膜の損傷は、主に膨れや剥がれによるものであった。図-2に外観観察結果を示す。損傷面積率とは、供試体全表面積に対する塗装材の損傷面積の割合を示す。指針(案)仕様のA種、B種およびC種塗膜の損傷はほとんど認められず良好であった。一方、変性エポキシやセメント系、アクリルゴム、無機系塗装材は、供試体の損傷面積率が高く、供試体側面全体に膨れや剥がれが生じた供試体も認められた。

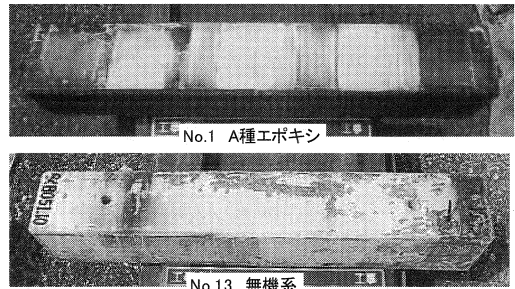


写真-3 供試体外観

(2) 付着強度試験

暴露6年および暴露20年の付着強度を図-3に示す。暴露6年は3箇所、暴露20年は、暴露上下面、両側面および端面の計5箇所の平均値である。破壊界面は、塗膜で破壊するものと、コンクリートを破壊して剥離するもの、それぞれが混在して破壊するものがあつた。暴露20年経過した供試体の指針(案)仕様のA~C種塗膜の付着強度は、2.7N/mm²以上であり、特に、A種エポキシ樹脂は、5箇所全てでコンクリート母材に破壊が認められ、良好な付着強度が得られた。超膜厚ウレタン樹脂は、全てが樹脂層で破壊しており、他の試験体に比べ小さい値であつた。また、セメント系や無機系では破壊層が明確に判断できない試料もあつた。暴露6年の付着強度と比較すると、全般的に付着強度は高い傾向を示した。材齢的にもコンクリート強度が増進したことが原因とは考え難く、試験方法などが原因と考える。塗装系の付着強度は、いずれの材料も平均値で1N/mm²を超える結果が得られた。

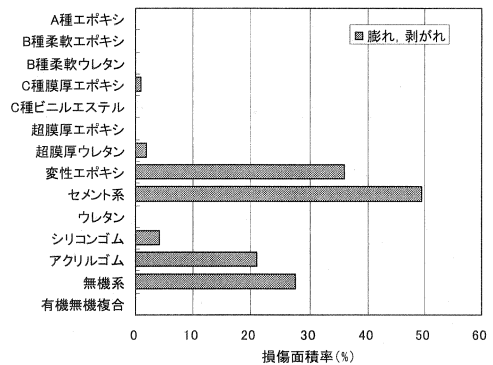


図-2 外観観察結果

(3) 中性化

採取コアから測定した中性化深さは、全ての試験体で0mmであり、全く中性化を示さなかつた。これは、水セメント比が40%と小さく、表面塗装材の損傷は認められるが、二酸化炭素の侵入がかなり妨げられたことが要因と考えられる。

(4) コンクリートの塩化物分析

表面塗装を行っていない供試体の暴露14年経過時の塩化物イオン濃度分布を図-4に、表面塗装を施した供試体の暴露20年経過時の塩化物濃度を図-5~図-7に示す。表面塗装を行っていない供試体は、水セメ

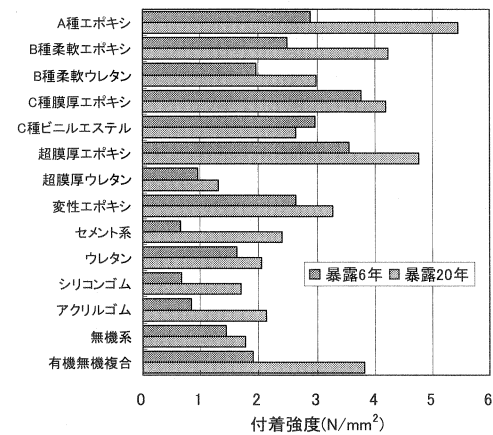


図-3 付着強度

ント比 40%の PC 供試体で、普通ポルトランドセメントおよび早強ポルトランドセメントを使用したものである。また、コンクリートの緻密化による遮塩性向上をねらったシリカフェーム使用供試体についても示した。コンクリート表面 5mm (0~10mm 間) の塩化物イオン濃度は、概ね 9.5kg/m^3 であり、厳しい環境状態であることがわかる。これに対して、表面塗装を行った供試体の濃度分布は、無塗装の 1/50 程度の濃度を示しており、表面からの塩化物の侵入はほとんど無いものと判断できる。無機系塗装材で若干表面濃度が高くなっており、外観観察において損傷が認められることから外部から浸透したものと考えられる。塗装を行った供試体内の塩化物イオン濃度は、一般に鋼材腐食発生限界濃度²⁾とされている 1.2kg/m^3 と比較しても小さく抑えられていることが確認できる。この結果より、いずれの表面塗装材も 20 年に亘り、飛来塩分の厳しい環境条件下においても良好な遮塩効果を有することが確認できた。

(5)鉄筋腐食調査

表面塗装を行った供試体は、これまでの調査結果から、中性化や塩害による鉄筋腐食は生じないと考えられる。塗装材の損傷部位から雨水が浸透し、鉄筋の腐食を進行させる恐れが考えられる。そこで、供試体を解体し、鉄筋腐食状況を観察した。鉄筋には腐食した形跡は認められず健全な状態であった。

4. まとめ

- (1) 20年間海洋暴露した結果、指針(案)仕様の塗装材に損傷は認められず健全であった。
- (2) 塗装材の種類によって付着強度は異なるが、暴露試験による顕著な劣化は認められない。
- (3) コンクリートの中性化は全く生じなかった。
- (4) 塗装材によるコンクリート表面被覆によって、十分な遮塩効果が得られることが確認できた。
- (5) 供試体内の鉄筋の腐食は認められなかった。

本実験において切断した供試体の一部は、塗膜の補修や新規塗装の耐久性確認を目的とし、塗装材を再塗布し、同暴露施設で再暴露している。

謝辞：本暴露試験を行った海洋技術総合研究施設を長期間にわたって維持管理していただきありがとうございます国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所の関係各位に謝辞を表します。

参考文献

- 1) 大谷悟司, 浅井洋, 守屋進: 長期暴露試験によるコンクリート構造物の耐久性評価に関する実験的考察, 第12回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.569-572, 2003
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書 [施工編], 2002

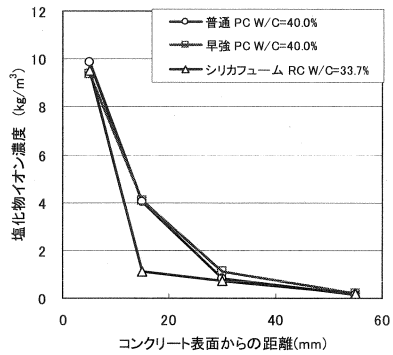


図-4 無塗装供試体 (暴露 14年)

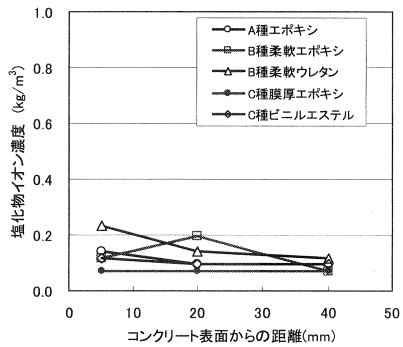


図-5 塗装供試体-1 (暴露 20年)

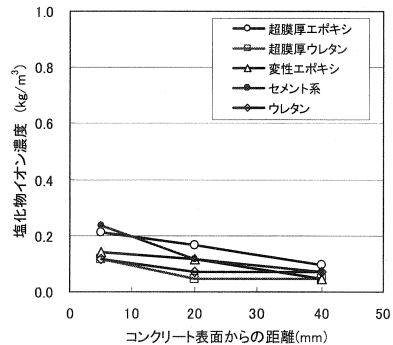


図-6 塗装供試体-2 (暴露 20年)

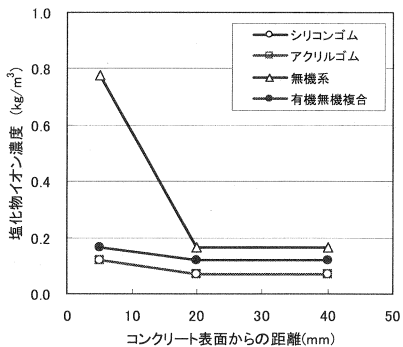


図-7 塗装供試体-3 (暴露 20年)