

防錆被覆PC鋼材の耐久性能評価に関する促進耐候性試験

(株)高速道路総合技術研究所 正会員 ○竈本 武弘
 中日本高速道路(株) 正会員 長谷 俊彦
 (株)高速道路総合技術研究所 正会員 寺田 典生

1. はじめに

PC鋼材はPC構造物にとって重要な材料の一つである。PC鋼材には「PC構造物の設計耐用期間中、設計当初に見込んだ緊張力を維持し続ける」ことが求められる。

PC鋼材の防錆方法には、完全なPCグラウトによる方法のほか、鋼材表面を物理的に腐食促進因子から遮へいする方法が挙げられる。後者の防錆方法を適用した材料は工場内の安定した環境で加工が行われることや、必要な品質検査に合格した鋼材のみを用いることができるため、品質の安定化や施工現場での労力削減を実現できるという利点があり、外ケーブルを標準とした高速道路橋では使用実績が多い。NEXCOでは、2010年7月に、PC箱桁橋の桁内に配置する外ケーブルに限定し、防錆PC鋼材の品質・施工管理基準に関する研究委員会の成果¹⁾を参考に、構造物施工管理要領²⁾に防錆被覆PC鋼材の品質管理基準を制定した。

本文では、NEXCOの品質管理基準を制定するため、国内の各種防錆被覆PC鋼材の製品から採取した供試体を用いて、健全品、模擬欠陥品、補修品の試験片を製作し、冷熱繰返し試験、塩水噴霧試験、酸・アルカリ浸漬試験などを実施し、試験方法の適用の妥当性を検証したので報告する。

2. 試験方法

2.1 試験項目、試験方法

本試験で実施した試験項目は、① 被覆のピンホール試験 ② 冷熱繰返し試験 ③ 連続結露試験 ④ 中性塩水噴霧試験 ⑤ 酸・アルカリ浸漬試験 である。各試験は参考文献¹⁾に基づき実施した。今回行った試験方法と参考とした試験方法の概要を表-1に示す。

2.2 試験片の概要

(1) 防錆被覆PC鋼材の種類

試験に供した防錆被覆PC鋼材は、PC箱桁橋の桁内に配置される外ケーブルでの使用を想定し、国内で製造されているエポキシ樹脂やポリエチレン樹脂などにより防錆被覆された製品を用いた。試験に供した防錆被覆PC鋼材の概要を表-2に示す。

(2) 試験片の条件

試験片は、健全品、補修品、模擬欠陥品の3条件とした。また、補修品は、幅5mm×長さ10mm程度の傷をつけた後にすぐメーカー指定の方法で補修したものと、傷をつけた後、発錆させた後にさびを落とし補修したものと2種類とした。模擬欠陥品の欠陥は、径1mm程度のピンホールをドリルで開けたものと膜厚を約100 μ m前後にまで紙やすりで薄く削った薄膜部との2種類とした。

表-2 試験に供した防錆被覆 PC 鋼材の概要

		製品A	製品B	製品C
膜厚 (μ m)	カタログ値	400~1200	400	200
	工場管理値	600~700	400~450	120~280
被覆の材料		エポキシ樹脂	ポリエステル系樹脂 ポリエチレン系樹脂	エポキシ樹脂
被覆の方法		内部充てん型	内部充てん型	全素線塗装型

表-1 試験方法の概要

試験項目および参考とした試験方法		今回の試験方法	
被覆のピンホール試験 (JSCE-E 512 エポキシ樹脂鉄筋のピンホール試験方法)	電流波形	直流, 交流, パルス電流	パルス放電式
	試験電圧	1000V	1000V, 3000V
	試験装置	—	ピンホール検知器
	供試体形状, 寸法	—	防錆被覆PC鋼材試験片 長さ17cm
	塗料材料	—	各メーカーの被覆材料
	走査速度	0.5 m/s	0.5 m/s
冷熱繰返し試験 (JIS C 0025 環境試験方法 (電気・電子) 湿度変化試験方法)	温度変化の割合	1±0.2 °C/min	1±0.2 °C/min
	最高, 最低温度	—	+40°C~-20°C
	放置時間	3時間, 2時間, 1時間, 30分間または10分間	11時間
連続結露試験 (JIS K 5600-7-2 塗料一般試験方法-第7部: 塗膜の長期耐久性-第2節: 耐湿性 (連続結露法))	試験片寸法	鋼板 (150×70×0.8mm)	防錆被覆PC鋼材試験片 長さ17cm
	試験片位置の温度	50±1°C	50±1°C
	相対湿度	95%以上	95%以上
	空気流量	湿潤箱内容積の約3倍/h	湿潤箱内容積の約3倍/h
	水	脱イオン水	脱イオン水
	回転環の速さ	毎分約1/3回転	毎分約1/3回転
中性塩水噴霧試験 (JIS K 5600-7-1 塗料一般試験方法-第7部: 塗膜の長期耐久性-第1節: 耐中性塩水噴霧性)	試験溶液	塩化ナトリウム水溶液 濃度(50±5)g/l	塩化ナトリウム水溶液 濃度(50±5)g/l
	噴霧溶液のpH	6.5~7.2	6.5~7.2
	試験板	鋼板 (150×100mm)	防錆被覆PC鋼材試験片 長さ17cm
酸・アルカリ浸漬試験 (JSCE-E 512 エポキシ樹脂塗装鉄筋用塗料の塗膜耐薬品性試験方法)	試験液	塩化カルシウム3モル濃度水溶液	塩化カルシウム3モル濃度水溶液
		水酸化ナトリウム3モル濃度水溶液	水酸化ナトリウム3モル濃度水溶液
		水酸化カルシウム飽和水溶液	水酸化カルシウム飽和水溶液
		硫酸5%水溶液	硫酸5%水溶液
	試験片寸法	鋼板 (150×70×3.2mm)	防錆被覆PC鋼材試験片 長さ17cm
	被膜の厚さ	220±40 μm	各製品の被覆厚さ
	試験温度	23±2°C	23±2°C
	試験時間	1000時間以上1100時間以内	1000時間

表-3 試験片数量

	健全品	補修品		模擬欠陥品	
		錆なし	錆あり	ピンホール	薄膜
被覆のピンホール試験	5	5	5	5	5
冷熱繰返し試験	5	3	3	3	3
連続結露試験	5	4	4	4	4
中性塩水噴霧試験	5	3	3	3	3
酸・アルカリ浸漬試験 (各溶液ごと)	5	3	3	3	3

2.3 試験片数量

各試験に対する1製品あたりの試験片数量を表-3に示す。

3. 試験結果

3.1 被覆のピンホール試験

荷電電圧は、参考文献¹⁾より製品A, Bが3000V, 製品Cが1000Vとした。試験に供した全試験片のうち健全品, 補修品については, ピンホールは検出されなかった。模擬欠陥品として人為的に製作したピンホール部については, 全試験片ともピンホールとして検出された。また, 人為的に製作した被覆厚さ100 μ m前後の薄膜部については, ピンホールとして検出されなかった。

3.2 冷熱繰返し試験

冷熱繰返し試験の温度条件は, 最高温度40 $^{\circ}$ C, 最低温度-20 $^{\circ}$ Cで行った。100サイクルの負荷に対し3製品とも被覆には, 特に変化は見られなかった。冷熱繰返し試験の条件における負荷は他の環境負荷試験に比べ, 被覆および鋼材に与える負荷が少ないものと考えられる。

3.3 連続結露試験

2400時間の連続結露試験の結果, **写真-1**に示すように, 各製品の模擬欠陥品 (ピンホール) ではさびの発生および進行が確認できた。健全品および模擬欠陥品 (薄膜) ではさびの発生はなかった。また**写真-2**に示すように補修品ではさびを生じたものがあったが, メーカーにより補修されたものを改めて試験したところさびは生じなかった。補修の仕上りにより, 性能に差が生じることがわかった。

- ① 製品A : 模擬欠陥品 (ピンホール) に径1~2mm程度のさびが発生。
- ② 製品B : 補修品にさびが発生。模擬欠陥品 (ピンホール) に径3~7mm程度のさびが発生。
- ③ 製品C : 模擬欠陥品 (ピンホール) に径3~5mm程度のさびが発生。

3.4 中性塩水噴霧試験

3600時間の中性塩水噴霧試験の結果, 各製品の模擬欠陥品 (ピンホール) からさびの発生が確認できた。健全品および模擬欠陥品 (薄膜) ではさびの発生はなかった。また**写真-3**のように補修部からさびを生じたものがあった。各試験方法の中では, さびの発生状況が最も大きく鋼材に与える負荷が大きい。

- ① 製品A : 模擬欠陥品 (ピンホール) のさびは径5~18mmに広がった。隣接したより線は発錆していなかった。
- ② 製品B : 模擬欠陥品 (ピンホール) のさびは径10~15mmに広がった。隣接したより線は発錆していなかった。補修品の補修部分からのさびは径10~15mm程度に広がった。
- ③ 製品C : 模擬欠陥品 (ピンホール) のさびは径5~20mmに広がった。隣接したより線は発錆していなかった。

3.5 酸・アルカリ浸漬試験

(1) 塩化カルシウム

健全品, 補修品については, いずれも被覆のふくれ, 剥がれ等は無かった。製品A, Bの膜厚が比較的厚い製品では, 模擬欠陥品 (ピンホール) でのさびの発生はなかった。一方, 膜厚の比較的薄い製品Cでは, 模擬欠陥品 (ピンホール) に径1mm程度のさびの発生が確認された。

(2) 水酸化ナトリウム

製品Bでは, すべてのもので被覆の表層部にひび割れが生じた。模擬欠陥品 (ピンホール) では, いずれの製品もさびは発生しなかった。

製品A



製品B



製品B

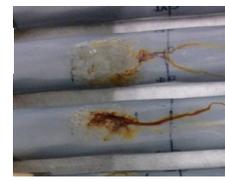


写真-1 連続結露試験後(模擬欠陥部)

写真-2 連続結露試験後(補修部)

写真-3 塩水噴霧試験後(補修部)

- ① 製品A：健全品，補修品，模擬欠陥品からのさびの発生は無かった。
- ② 製品B：健全品，補修品，模擬欠陥品からのさびの発生は無かった。しかし，**写真-4**のように表層の被覆全体がひび割れた。この製品の被覆は表層が耐久性ポリエステル系硬質樹脂，下層が高密度ポリエチレン系特殊樹脂の2層からなっており，表層部分の耐久性ポリエステル系硬質樹脂被覆が化学反応し劣化した。下層の高密度ポリエチレン系特殊樹脂に化学反応はなかったと考えられる。また補修品では，健全品と同様に表層の被覆全体にひび割れが発生し，ピンホールを検出した。
- ③ 製品C：健全品，補修品，模擬欠陥品からのさびの発生は無かった。

(3) 水酸化カルシウム

各製品とも健全品，模擬欠陥品からのさびは発生しなかった。製品Bのさびを発生，除去した後補修した部分については，被覆を剥ぎ取ると**写真-5**のようにさびの発生が確認された。

- ① 製品A：健全品，補修品，模擬欠陥品からのさびの発生はなかった。
- ② 製品B：健全品，模擬欠陥品からのさびの発生はなかった。補修品からさびが発生した。
- ③ 製品C：健全品，補修品，模擬欠陥品からのさびの発生はなかった。

(4) 硫酸

製品A，Bの膜厚の厚い製品に関しては，模擬欠陥品（ピンホール）のさびはなかった。膜厚の薄い製品Cでは，**写真-6**のように被覆を剥ぎ取り観察すると，強酸によるPC鋼材の浸食が確認された。

- ① 製品A：健全品，補修品，模擬欠陥品からのさびの発生はなかった。
- ② 製品B：健全品，補修品，模擬欠陥品からのさびの発生は無かった。
- ③ 製品C：被覆を剥ぎ取ると模擬欠陥品（ピンホール）から直径3～4mm，深さ1～2mmのPC鋼材が強酸による浸食を受けていた。



写真-4 製品B 水酸化ナトリウム浸漬試験後(健全部)

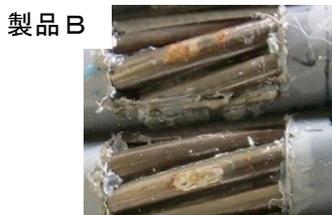


写真-5 製品B 水酸化カルシウム浸漬試験後(補修部)



写真-6 製品C 硫酸浸漬試験後(模擬欠陥部)

4. まとめ

今回実施した各種耐久性試験より以下の知見を得た。

- (1) 健全品はいずれの製品も各種耐久性試験を行っても，鋼材にさびを生じることはない。
- (2) 良好な補修を行えば，被覆の各種性能は回復し鋼材にさびを生じさせることはない。
- (3) 本試験方法では，被覆の欠陥および被覆補修方法の良否を判定することが可能である。
- (4) 鋼材に対して，中性塩水噴霧試験による負荷が最も大きい。

なお，本試験により明らかになった不具合については，メーカーによりすでに対応，改善されていることを付け加える。

参考文献

- 1) (財)高速道路調査会，防錆被覆PC鋼材の品質・施工管理に関する手引，2010. 2
- 2) 東・中・西日本高速道路(株)，構造物施工管理要領，pp2-160～2-163，2010. 7