

## ポリイミド材料を用いた鋼橋防食方法に関する検討

宇部興産機械(株) ○川内 康寛 宇部興産機械(株) 後藤 悟史  
宇部興産(株) 寺田 武史

### 1. はじめに

膜厚が確保しにくい部材角部や経年劣化した伸縮装置からの漏水等が起りやすく腐食環境が厳しい桁端部は、一般部と比較し、発錆しやすい部位である。このような弱点となる部位を耐久性の高い材料で被覆すれば、鋼橋全体の防食性を向上させ、LCC(ライフサイクルコスト)を低減することができる。本検討では、航空宇宙材料としても使用されているポリイミド材料を用いた鋼橋の新しい防食方法の開発を目的とし、同材料と塗料との付着性を確認するとともに、ポリイミド層を追加したことによる防食効果について、サイクル試験により検討した。

### 2. ポリイミド材料

ポリイミドとは、繰り返し単位にイミド結合をもつ高分子化合物のことであり、高強度(引張強度200~400N/mm<sup>2</sup>以上)、高防食性(耐酸性、耐アルカリ性、耐紫外線性、耐放射線性)等の特徴を持つ耐久性の高い材料である。また、材料と製法を調整することで鋼と同じ線膨張係数(12×10<sup>-6</sup>)とすることができ、他の耐久性材料に比べ安価な材料である。宇部興産(株)ではフィルムタイプや被膜タイプ等のポリイミド材料を開発しており、液晶テレビや携帯電話等の家電製品や通信機器のプリ

ント基板等に広く使用されている。また、耐熱性にも優れていることから航空宇宙分野でも多用されており、小惑星探査機「はやぶさ」の特殊断熱材(サーマルブランケット)として使用された実績も有している。ポリイミド材料は、過酷な環境においても高い耐久性を有しており、新しい防食材料としての活用も期待できる。

### 3. 防食仕様

本検討で使用する防食仕様を表-1および図-1に示す。ポリイミド材料は、フィルムタイプのUPILEX<sup>®</sup>(宇部興産製)と被膜タイプのU-ワニス(宇部興産製)の2種類を用いることとした。ポリイミド層の形成は、フィルムタイプは接着材により、被膜タイプは液体状のU-ワニスを塗布し、高温焼成して製膜する方法により行った。

### 4. プルオフ法による付着性試験

#### 1) 試験要領

エポキシ樹脂塗料下塗とポリイミド層との付着強度を確認するため、プルオフ法による付着性試験(JIS K 5600-5-7)を行った。本検討では、試験片の防食仕様を表-1の下塗までとし、ポリイミド層との付着に無関係な中塗および上塗は省略した。フィルムタイプの試験片は、耐熱性に優れて

表-1 防食仕様

工程	塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	膜厚 (μm)
工場 塗 装	素地調整	ブラスト処理 (ISO Sa 2 1/2)	-
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160
		ポリイミドフィルム もしくは ポリイミド被膜	
	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	540
	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	170
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140
合計			262.5

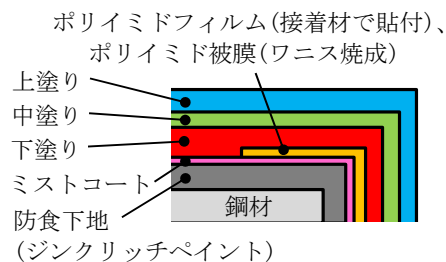


図-1 防食被覆構成

キーワード ポリイミド, 接着剤, 焼成, エポキシ樹脂塗料

連絡先 〒 755-8633 山口県宇部市大字小串字沖ノ山 1980 E-mail : 31856u@ube-ind.co.jp

いる基本グレードの UPILEX<sup>®</sup>-S と樹脂との接着性を向上させた UPILEX<sup>®</sup>-CA とし、接着には汎用両面粘着テープ NP203(Dexerials(株), 50 $\mu$ m)を用いた。被膜タイプの試験片は、耐熱性や引張強度等に優れている高耐熱性タイプの U-ワニス-S と、S タイプに比べ低温・短時間で焼成が可能で、柔軟性や耐アルカリ性に優れている一般耐熱性タイプの U-ワニス-A とし、それぞれ 200 $^{\circ}$ C と 350 $^{\circ}$ C で焼成した。鋼道路橋塗装・防食便覧<sup>1)</sup>には接着剤を用いた防食層の付着強度に関する規定がないため、塗料メーカーの自主基準値(2.0N/mm<sup>2</sup>以上)を本検討での評価基準とした。

## 2) 試験結果および考察

フィルムタイプの試験結果の一覧を表-2に示

す。粘着テープを用いた試験片ではミストコートとポリイミドとの接着層全面で剥離し、塗膜に比べ、使用した粘着テープの付着強度が著しく低いことがわかった。本検討で用いたテープは、汎用性の高い安価な製品であるため、今後、材料の選定方法について検討する必要がある。

また、エポキシ樹脂塗料とポリイミド層との付着強度の確認ができなかったため、フィルムの接着に強力接着剤を用いた試験片を作製した。その際、着目する界面に無関係な防食下地とミストコートは省略した。強力接着剤を用いた試験片ではエポキシ樹脂塗装の内部で剥離し、付着強度は UPILEX<sup>®</sup>-S が 2.4N/mm<sup>2</sup>、UPILEX<sup>®</sup>-CA が 2.7N/mm<sup>2</sup>で、いずれも評価基準を上回った。試験

表-2 プルオフ法による付着性試験結果(フィルムタイプ)

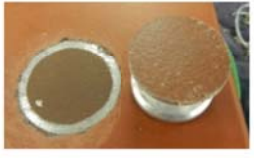

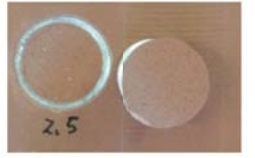

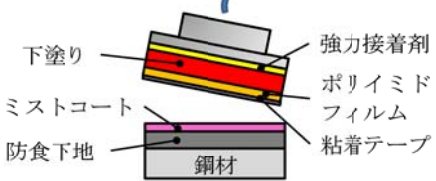
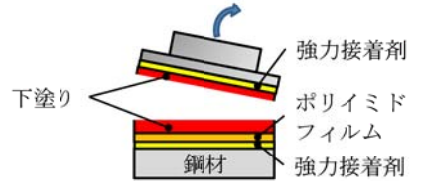
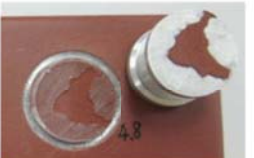



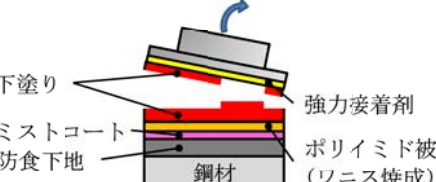
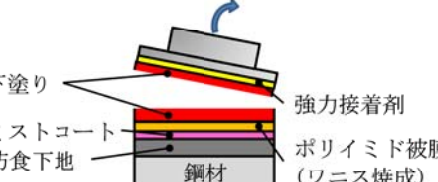
種類	UPILEX-S(12.5 $\mu$ m)	UPILEX-CA(12.5 $\mu$ m)	UPILEX-S(12.5 $\mu$ m)	UPILEX-CA(12.5 $\mu$ m)
接着材	粘着テープ		強力接着剤	
写真(代表)				
剥離面(模式図)				
付着強度(平均)	0.8 N/mm <sup>2</sup>	0.8 N/mm <sup>2</sup>	2.4 N/mm <sup>2</sup>	2.7 N/mm <sup>2</sup>
評価結果	—	—	○	○

表-3 プルオフ法による付着性試験結果(被膜タイプ)

品名	U-ワニス-S(200 $^{\circ}$ C)	U-ワニス-S(350 $^{\circ}$ C)	U-ワニス-A(200 $^{\circ}$ C)	U-ワニス-A(350 $^{\circ}$ C)
写真(代表)				
剥離面(模式図)				
付着強度(平均)	5.6 N/mm <sup>2</sup>	4.7 N/mm <sup>2</sup>	4.9 N/mm <sup>2</sup>	6.2 N/mm <sup>2</sup>
評価結果	○	○	○	○

の結果より、防食層全体としての付着強度が接着層に大きく影響を受けるものの、ポリイミド層とエポキシ樹脂塗膜との付着性は全く問題がないことがわかった。

被膜タイプの試験結果の一覧を表-3 に示す。すべてのタイプにおいて、エポキシ樹脂塗装の内部または強力接着層界面から剥離し、付着強度は  $4.0\text{N/mm}^2$  以上で評価基準を大きく上回った。フィルムタイプの強度の2倍程度であるが、これは試験片の塗装を異なる日に行ったため、エポキシ樹脂塗膜の厚さや乾燥程度に違いが生じたためではないかと考えられる。被膜タイプの結果からも、ポリイミド層とエポキシ樹脂塗装との付着性は全く問題がなく、防食被膜として構成できることがわかった。

## 5. 塩水噴霧サイクル試験

### 1) 試験要領

ポリイミド層の追加による防食性能の確認のため、めっきの耐食性試験方法(JIS H 8502)である塩水噴霧サイクル試験を行った。本試験では、ポリイミド材料を追加したトータルとしての被膜の耐久性を評価するため、表-1の防食仕様の上塗まで施工した試験片と、標準試験片(C5 塗装系)との比較によって評価することとした。

サイクル試験は表-4 に示すとおり、塩水噴霧 : 2 時間、乾燥 : 4 時間、湿潤 : 2 時間を1サイクルとして実施した。試験片は表-5 に示すとおり、標準試験片および4. と同様のポリイミドタイプとした。また、昨今、地球環境への影響を考慮し、低 VOC 塗料として水性塗料の積極的な開

発が期待されている背景を踏まえ、U-ワニス-S と U-ワニス-A の溶媒 NMP(N-メチル-2-ピロリドン)を水溶媒とした U-ワニス-1 と U-ワニス-2 を、さらに、U-ワニス-S と U-ワニス-A の引張強度や耐アルカリ性等の平均的な性質を有している U-ワニス S+A を追加した。

### 2) 試験結果および考察

標準試験片とあわせ、特に高い防食性を発揮した試験片の試験結果を表-6 に示す。フィルムタイプではフィルムにより剥離部が引っ張られて連続化しているように見られ、それに起因して剥離が広がりやすいと考えられる。また、被膜タイプでも剥離部の連続化がみられるが、フィルムタイプより程度が小さい。ただし、標準試験片と比較し、ポリイミド層を追加したタイプはいずれも、さびの進展が小さかった。

また、3D スキャナーを使用し、表面形状(凹凸)を計測した結果を表-7 に示す。計測する表面形状は、試験片洗浄後の塗膜の膨れ(高さ 0.1mm 以上)と、塗膜除去・ブラスト後の地鉄の欠損(深さ -0.2mm 以下)とし、それぞれ最大高さ(または深さ)、面積および体積を計測した。

計測の結果、フィルムタイプの UPILEX<sup>®</sup>-S では膨れ体積が、フィルムタイプの UPILEX<sup>®</sup>-CA では膨れの最大高さおよび体積が、標準試験片より大きな値となった。被覆タイプの U-ワニス-1 と U-ワニス-2 では、膨れの面積が標準試験片より大きな値となった。しかし、断面欠損に関しては、全ての試験片で標準試験片より小さくなっており、欠損率は 50%以下となっている。

サイクル試験の結果、ポリイミド層を追加する

表-4 試験条件

	項目	条件
1 サ イ ク ル	塩水 噴霧	5%NaCl 35°C 2hr
	乾燥	20~30%R.H. 60°C 4hr
	湿潤	95%R.H. 50°C 2hr

表-5 試験片一覧

No.	仕様	焼成 温度(°C)	溶媒	下地
1	熔融亜鉛めっき	-	-	-
2	C-5塗装	-	-	ブラスト処理 (ISO Sa 2.5) + 無機ゾンクリッチ ペイント75μm + ミストコート
3	UPILEX-CA	-	-	
4	UPILEX-S	-	-	
5	U-ワニス-S	350	NMP	
6	U-ワニス-A	350	NMP	
7	U-ワニス-A	200	NMP	
8	U-ワニス-1	350	水	
9	U-ワニス-2	200	水	
10	U-ワニス S+A	350	NMP	

※No.3~10の下塗り,中塗り,上塗りは、C-5塗装系と同様とする。

ことで、腐食により塗膜が膨れやすい傾向にあるが、断面欠損の程度は標準試験片より大きく改善されることがわかった。

離しやすい可能性があるが、防食性は大幅に向上することが期待できる。今後は、ポリイミドフィルムを貼り付ける接着材の選定や、ポリイミド被膜の焼成時の防食下地およびミストコートへの影響について検討する予定である。

## 6. まとめ

ポリイミド材料自体と標準塗膜との付着性能に問題はないことがわかった。また、ポリイミドを用いた防食材料は、腐食の進行により塗膜が剥

## 参考文献

1) 日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧，2007

表-6 サイクル試験結果一覧表

試験No.	2	3	4	8	9
タイプ	標準試験片	ポリイミドフィルム		ポリイミド被膜	
	C-5塗装系	UPILEX-CA	UPILEX-S	U-ワニス-1	U-ワニス-2
1176hr					
2232hr					
3936hr					

表-7 表面形状(凹凸)の計測結果

No.	種類	塗膜の膨れ(高さ0.1mm以上)			地鉄の欠損(深さ-0.2mm以下)		
		最大高さ(mm)	面積(mm <sup>2</sup> )	体積(mm <sup>3</sup> )	最大深さ(mm)	面積(mm <sup>2</sup> )	体積(mm <sup>3</sup> )
2	標準	2.138	991	511	-0.781	237	68
3	UPILEX-S	1.733	810	519	-0.570	44	12
4	UPILEX-CA	2.236	965	681	-0.673	98	30
8	U-ワニス-1	1.315	1106	436	-0.504	26	7
9	U-ワニス-2	1.125	1089	375	-0.325	21	5

※着色部は標準試験片より優位なデータ得られた箇所を示す。