

# カレントインタラプタ法による屋外暴露塗膜の 耐久性評価

Durability Evaluation of Exposed Coated Steel Panels  
Using Current Interrupter Technique

技術開発部門  
研究部研究第一グループ  
Technical Development Division,  
Research Development Department  
Research Group 1

塗料事業部門  
建築・構造物塗料事業部  
構造物塗料テクニカルサポートグループ  
Paint Operating Division,  
Architectural and Protective Coatings Department  
Protective Coating Technical Support Group



堀田 裕貴  
Hiroki Hotta



森田 さやか  
Sayaka Morita

## 要 旨

塗膜の耐久性評価は、外観観察や付着性試験で行うのが一般的であるが、近年では、さらに塗膜の劣化および塗膜下で生じている金属腐食に関する情報を得るために、電気化学的手法が検討されている。

今回、屋外暴露により劣化させた塗装試験片を用いて、その耐久性を外観観察・付着性・ダメージ部周辺における塗膜下の腐食状況を観察するとともに、電気化学的測定方法のひとつであるカレントインタラプタ法でも評価を行った。カレントインタラプタ法で測定した塗膜下鋼材表面の抵抗値(分極抵抗値)とその他の評価結果から、カレントインタラプタ法が暴露塗膜の耐久性評価に有用であることを確認した。

## Abstract

Generally, the durability evaluation of exposed coated steel panels is evaluated by observation of appearance changes and adhesion test. Recently a variety of electrochemical techniques have been used for the measurement of under-film corrosion of coated steel.

On this report, an exposed coated steel panels wear evaluated by the appearance changes, adhesion test, corrosion status observation of the steel panel corrosion under paint film and one of the electrochemical measurement which is Current interrupter technique. As a result of test using this technique, which is effective on the durability evaluation of the exposed coated steel panels.

## 1. はじめに

塗膜の耐久性の判定は、目視または拡大鏡を用いてさび・膨れなどの外観変化を評価し、それぞれの面積や進行状況から判断する方法が一般的である。また、素地と塗膜の付着力や塗膜の強度を測定する評価方法もあるが、これらは破壊試験であり、評価部分にダメージを与えることは避けられない。

近年、塗膜に与えるダメージを最小限に抑え、定量的に塗膜の劣化度を判定することができる交流インピーダンス法やカレントインタラプタ法などの電気化学的測定法が提案されている<sup>1)2)</sup>。カレントインタラプタ法は、塗膜下鋼材表面の劣化度を判定することのできる手法の一つである。

本研究では、2年間屋外暴露に供した塗膜を外観観察、カレントインタラプタ法による電気化学的測定、クロスカット法による塗膜の付着性試験、および塗膜を除去した後のさび発生状況で評価した。これらの結果を比較するとともに、カレントインタラプタ法が暴露塗膜の耐久性評価に有用であるかについて確認した。

## 2. 実験

### 2.1 塗装試験片の作製および試験方法

本試験では、アルキド樹脂塗料塗装系(下塗り35 $\mu$ m/中塗り35 $\mu$ m/上塗り30 $\mu$ m/上塗り25 $\mu$ m,トータル膜厚125 $\mu$ m)6種類について試験・評価を実施した。アルキド樹脂塗料塗装系6種類は、それぞれ下塗りに含有される防錆顔料および色相が異なっている。表1に各塗装系下塗塗料に使用した、りん酸系防錆顔料の種類および色相を示す。中塗塗料と上塗塗料に関しては、いずれの塗装系も同一塗料である。各供試塗料を100 $\times$ 100 $\times$ 1.6mmの普通鋼にエアースプレーで塗装し、塗装後の試験片を室温で2週間養生させた後、沖縄県伊計島にて2年間暴露した。なお、試験片の暴露位置は離岸距離10mの厳しい腐食環境であり、試験片は25度の角度で暴露した。

表1 本試験で使用した各塗装系下塗塗料の防錆顔料の種類および色相

塗装系 NO.	1	2	3	4	5	6
防錆顔料	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
色相	グレー	赤さび	赤さび	グレー	グレー	赤さび

### 2.2 塗装試験片の評価

沖縄暴露試験2年後に試験片を回収し、目視による外観(さび・膨れ)観察、カレントインタラプタ法による電気化学的測定、クロスカット法による付着性試験を行い、各試験後に塗膜を強制的にはく離し、塗膜下のさび発生状況を観察した。

外観観察の判定に関しては、一般部の劣化をASTM D610-01(さび)、ASTM D714-02(膨れ)の基準に従って評価し、カット部の劣化をカット部からのさび幅・膨れ幅で評価した。

カレントインタラプタ法による電気化学的測定は、塗装鋼板に微小電流(最小で1.46pA)を流し、放電電流を切断した際に生じる放電現象(電位減衰現象)を解析することにより、塗膜下金属の劣化度および塗膜の劣化度を判定する<sup>3)</sup>。このカレントインタラプタ法による電気化学的測定で分極抵抗値、分極容量値、塗膜抵抗値、塗膜容量値が算出されるが、本報では塗膜下金属表面の抵抗を表す分極抵抗値を種々の評価結果と合わせて考察した。カレントインタラプタ法による分極抵抗値測定には、北斗電工(株)製の塗膜下金属腐食診断装置HL201を用いた。

クロスカット法による付着性は、JIS K 5600-5-6に準じ、素地表面に達する碁盤目状の切り込みを入れた後、セロハンテープを塗膜に付着し引きはがすことで評価した。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 外観観察評価結果

表2に、沖縄暴露2年後の塗膜外観写真、外観(一般部、カット部のさび・膨れ)観察結果、カレントインタラプタ法による分極抵抗値測定結果を示す。

一般部では、いずれの塗装系でもさび・膨れの発生がなく、分極抵抗値測定部も目視では健全な状態であった。

カット部においては、全ての塗装系でさび・膨れの発生が認められた。さびに関しては、いずれも2.0mm程度の発生であり、塗装系の違いによる差は確認できなかった。カット部の膨れ幅に関しては、塗装系によって差が認められた。特に膨れが目立ったのはNo.1とNo.6であり、No.1は膨れ幅が5.0mmと最も大きかった。No.6は膨れ幅は1.0mmと最も小さかったものの、測定部近傍にまで進行している糸状膨れがあった。

#### 3.2 カレントインタラプタ法による分極抵抗値測定結果

カレントインタラプタ法により算出された分極抵抗値は、塗膜下金属表面の抵抗を示しており、抵抗値が高いほど健全で低いほど劣化が進行していることを示す。No.2、No.3、No.4、No.5の塗装系では、 $10^9 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}^2$ オーダーの分極抵抗値を示したのに対し、最もカット部からの膨れが進行していたNo.1は $10^7 \Omega \cdot \text{cm}^2$ オーダー、カット部から測定部近傍まで糸状膨れが進行していたNo.6は $10^6 \Omega \cdot \text{cm}^2$ オーダーの低い値を示した。この結果より、No.1、No.6の塗装系では、塗膜下金属腐食が進行していると推測される。

以上の測定結果より、塗装系によって分極抵抗値に差があることがわかった。しかしながら、外観観察結果ではいずれの塗装系でも分極抵抗値測定部を含めて、一般部の劣化は認められず、目視外観とカレントインタラプタ法による分極抵抗値測定結果との相関性を確認することはできなかった。

表2 沖縄暴露2年後の外観(さび・膨れ)観察およびカレントインタラプタ法による分極抵抗値測定結果

外観評価結果	一般部		カット部		一般部		カット部		一般部		カット部	
	膨れ (ASTM)	さび (ASTM)	膨れ [mm]	さび [mm]	膨れ (ASTM)	さび (ASTM)	膨れ [mm]	さび [mm]	膨れ (ASTM)	さび (ASTM)	膨れ [mm]	さび [mm]
	10	10	5.0	2.0	10	10	3.0	2.0	10	10	2.0	1.0
沖縄暴露 2年後外観												
分極抵抗 ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	$10^{7.0}$				$10^{9.5}$				$10^{10.0}$			
外観評価結果	一般部		カット部		一般部		カット部		一般部		カット部	
	膨れ (ASTM)	さび (ASTM)	膨れ [mm]	さび [mm]	膨れ (ASTM)	さび (ASTM)	膨れ [mm]	さび [mm]	膨れ (ASTM)	さび (ASTM)	膨れ [mm]	さび [mm]
	10	10	4.0	2.0	10	10	3.0	1.0	10	10	1.0	2.0
沖縄暴露 2年後外観												
分極抵抗 ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	$10^{9.7}$				$10^{10.8}$				$10^{6.1}$			

※白の点線：カレントインタラプタ法による分極抵抗値測定部

※カット部のさび・膨れはカット部からの最大幅を示す

### 3.3 クロスカット法による付着性試験結果


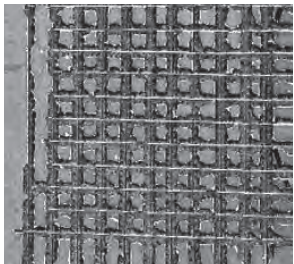
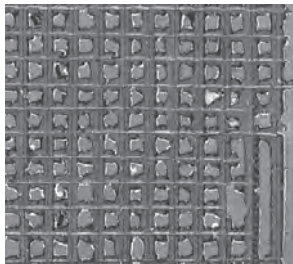
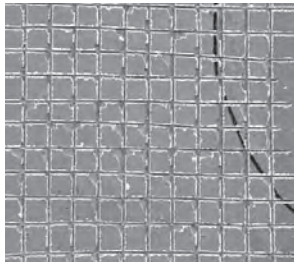
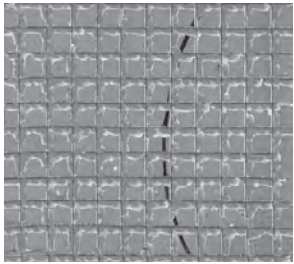
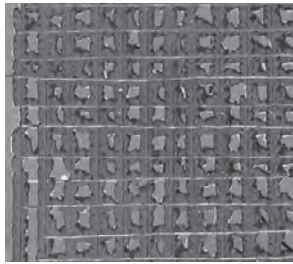
表3に、クロスカット法による付着性試験結果を示す。素地の露出度に関しては、目視で観察した結果を点数化した。点数化の基準は、表欄外に記載している。No.4は、はく離がほとんどなく、No.5もはく離がわずかに認められる程度であった。これらは、カレントインタラプタ法による分極抵抗値測定結果でも $10^9 \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}^2$ オーダーの高い分極抵抗値を示しており、外観、付着性試験、カレントインタラプタ法による分極抵抗値測定の全てで良好な結果を示した。

一方、付着性試験で最も塗膜がはく離した塗装系はNo.1であった。No.1は、ほとんどが素地と下塗りの界面でのはく離であり、素地との付着力が低下していることがわかった。また、No.1の分極抵抗値は $10^7 \Omega \cdot \text{cm}^2$ オ

ーダーと、他の仕様に比べて低い数値を示していることから、塗膜下金属の劣化が進行していると考えられる。No.1の次に塗膜のはく離が激しかった塗装系はNo.6であった。No.6のはく離位置は素地と下塗りの界面または下塗りと中塗りの界面のはく離で、素地が約50%露出している状況であった。No.6もNo.1と同様に分極抵抗値が低かった塗装系であり、付着性試験と分極抵抗値の結果から、塗膜および塗膜下金属の劣化が進行していることを確認できた。

以上の付着性試験の結果より、分極抵抗値の低かったNo.1とNo.6の塗装系で素地の露出度が高くなっており、カレントインタラプタ法により算出した分極抵抗値と素地の露出度には高い相関性があることがわかった。

表3 クロスカット法による付着性試験結果

	No.1	No.2	No.3
クロスカット試験箇所 拡大写真			
主なはく離位置	素地と下塗りの界面	素地と下塗りの界面 下塗りと中塗りの界面	素地と下塗りの界面 下塗りと中塗りの界面
素地の露出度	5	2	3
	No.4	No.5	No.6
クロスカット試験箇所 拡大写真			
主なはく離位置	下塗りと中塗りの界面	下塗りと中塗りの界面	素地と下塗りの界面 下塗りと中塗りの界面
素地の露出度	1	1	4

※素地の露出度の基準  
 1：素地の露出はほとんどない  
 2：素地の約10%～約25%程度が露出  
 3：素地の約25%～約50%程度が露出  
 4：素地の約50%以上が露出。  
 5：素地がほぼ露出している



### 3.4 塗膜下のさび発生状況の観察

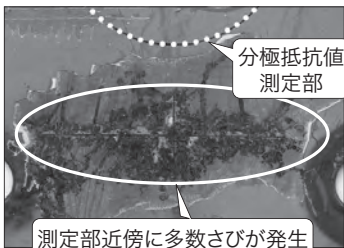
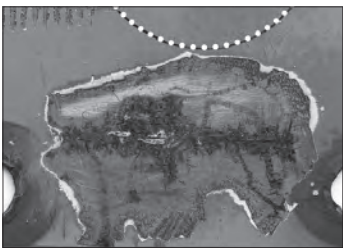
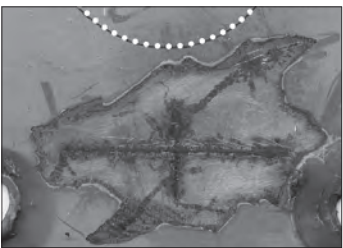
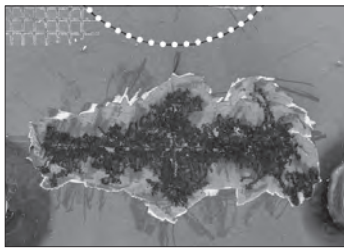
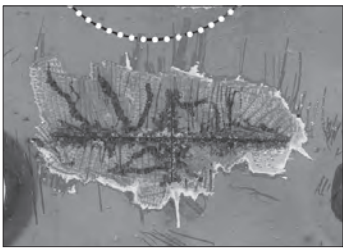
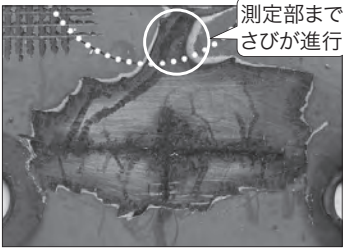
カッターナイフを用いてカット部周辺の塗膜を強制的にはく離し、塗膜下のさび発生状況を観察した。表4にカット部周辺の塗膜を除去した後の各塗膜下外観を示す。

表4の結果より、カレントインタラプタ法による分極抵抗値測定において低い値を示したNo.6では、測定部の塗膜下にさびが発生しており、このさびの影響で低い分極抵抗値を示したと考えられる。同様に低い分極抵抗値を示したNo.1では、測定部まで腐食は進行してい

なかつたが、測定部近傍およびカット部近傍で、多数のさびの発生が確認できた。一方、高い分極抵抗値を示したNo.2、No.3、No.4、No.5では、測定部の塗膜下にさびの発生がなく、No.1やNo.6と比較しても、カット部からのさび発生量も少ない傾向にあった。

これらの結果から、カレントインタラプタ法による分極抵抗値測定によって、目視では確認できない塗膜下の劣化状況が判断でき、実際の塗膜下腐食と分極抵抗値には相関があることがわかった。

表4 塗膜を除去した後の塗膜下外観

	No.1	No.2	No.3
塗膜はく離後の外観	 <p>分極抵抗値測定部</p> <p>測定部近傍に多数さびが発生</p>		
塗膜はく離後の外観			 <p>測定部までさびが進行</p>

※白の点線：カレントインタラプタ法による分極抵抗値測定部

---

## 4. まとめ

沖縄に2年間暴露した試験片において、外観(さび・膨れ)評価、カレントインタラプタ法を用いた分極抵抗値測定、クロスカット法による付着性試験および塗膜下のさび発生状況の確認を行い、分極抵抗値と種々の評価結果に相関があることを確認できた。

従って、カレントインタラプタ法を用いた電気化学的測定を行うことによって、目視では確認できない塗膜下金属の劣化状況を判定することができる。

## 参考文献

- 1)永井昌憲, 中山俊介, 田邊弘住：  
第16回防錆技術発表大会予稿集P165-170
  - 2)岩瀬嘉之, 相澤匡, 田邊弘住, 河合登：  
第35回鉄鋼塗装技術討論会予稿集(2012)
  - 3)田邊弘住：表面技術, 45, 10, p.43(1994)
-