

導電性塗料を用いた鋼構造物の疲労き裂検知手法の開発

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○坂本 達朗

鈴木 実

日本特殊塗料(株) 難波 浩己

井上 健

長瀬 良平

1 はじめに

鋼構造物を維持管理する上で、鋼部材に生じる疲労き裂は部材強度の低下につながる、安全に関わる重大な劣化とされている。そのため、巡回・目視検査による通常全般検査が2年を超えない範囲で定期的実施されている。目視検査は簡便な検査手法である一方で、構造物の構造によっては図1に示すように目視検査の困難な箇所があることや、検査周期の間で生じる疲労き裂の発生に対して早急に対応できないこと等が課題であり、目視検査の補完を目的とした疲労き裂の発生・進展を検知するシステムの開発が望まれている。筆者らは、導電性塗膜をき裂発生部位に適用することで、電気抵抗値変化からき裂発生・進展状況をモニタリングする手法を開発し、室内試験結果からき裂検知性、塗膜耐久性、き裂追従性を満足する材料配合を見い出した¹⁾。本稿では、開発した導電性塗膜の実橋りょうへの適用性把握を目的として、塗装工程の検証試験および疲労試験によりき裂開口幅を変化させたときの抵抗値測定を行なった。以下にその結果について報告する。

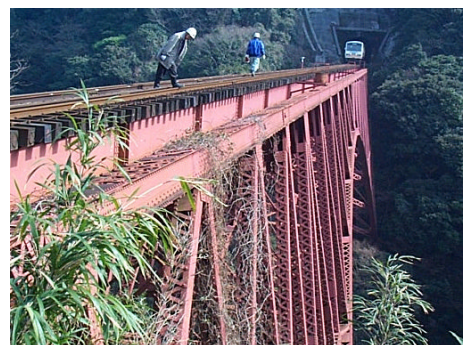


図1 検査困難な橋りょう例

2 評価試験項目

2.1 塗装工程検証試験

導電性塗料を実橋りょうへ適用する場合、塗膜の長期耐久性を確保するため、鋼構造物の防食を目的とした複合塗膜(塗装系と称する)に組み込む必要がある。現在想定している塗装系は鋼構造物塗装設計施工指針に規定されている塗装系ECOであり、表1に示すように4層から成る塗装系である²⁾。導電性塗料を組み込む際は、素地との絶縁性を確保するため、なるべく上層に組み込むのが望ましいが、表層に近い場合には紫外線等による塗膜減耗によって導電性塗膜が露出し、早期に塗膜劣化する可能性がある。そこで、下塗り塗料の塗り回数と塗膜に生じるピンホール数の関係と、塗り重ねの塗膜厚が確保しにくい導電性塗膜エッジ部について上塗り塗装した場合の塗膜厚について検討し、導電性塗料を組み込む工程を決定することとした。

表1 塗装系ECO(ECO1-7)の塗装工程²⁾

工程	塗料	塗布量 [g/m ²]	乾燥膜厚 [μm]
第1層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	200	約60
第2層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	200	約60
第3層	水系エポキシ樹脂塗料	220	約60
第4層	水系上塗塗料	120	約30

*何れかの層間に導電性塗料を組み込む必要がある。

2.2 き裂開口幅を変化させた場合の抵抗値測定

導電性塗膜の電気抵抗値を測定する際、疲労き裂発生部位によっては列車通過によってき裂開口幅が変動する場合が想定され、開口幅減少時に塗膜破断部での再導通が懸念される。そこで、定量的なき裂検知方法の選定を目的に、試験片を用いた疲労試験によってき裂開口幅を変動させた場合の塗膜抵抗値について検討した。

3 評価試験方法

3.1 塗装工程検証試験

下塗り層に生じるピンホール数の確認は塗膜の微小欠陥を検査可能な湿式ピンホール試験を用いた。試験片

キーワード 鋼鉄道橋、疲労き裂、き裂検知、導電性塗料、交流インピーダンス

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 TEL:042-573-7339

は 200×100×3.2mm の SS400 ブラスト鋼板にメーカーの異なる 3 種類の厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料を塗布したものを用い、塗装方法はスプレー塗装またははけ塗りとした。塗装回数は目標膜厚 60μm で 1 回または 2 回とした。これは塗装系 ECO の 1-2 層間または 2-3 層間に導電性塗料を組み込むことを想定したためである。また、現場でのスプレー塗装は部位によって膜厚が確保しにくい場合があることを考慮し、目標膜厚 30μm で 1 回塗装した試験片も作製した。

導電性塗膜エッジ部における上塗り塗膜厚確認は次の方法で試験した。導電性塗膜の上に水系上塗塗料を目標膜厚 30μm で 1 回塗布した試験片を用い、導電性塗膜エッジ部をカット式膜厚計で円錐状に切削し、切削面の断面を拡大観察することで上塗り塗膜厚を測定した。

3.2 き裂開口幅変化を測定した抵抗値測定

試験片は、400×60×3.2mm の SS400 鋼板に厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料および導電性塗料を 1 回ずつ塗布したものを用い、導電性塗膜寸法は 210×2.6mm とした。き裂発生には最大応力 170MPa の繰返し引張荷重を載荷し、導電性塗膜を横断する約 5mm の疲労き裂を発生させた。抵抗値測定には LCR ハイテスタ（日置電機製、3522-50）を用い、引張荷重を変化して開口幅を増減させた場合の交流インピーダンス測定を行なった。

4 結果と考察

4.1 塗装工程検証試験

下塗り層のピンホール試験結果を表 2 に示す。塗装回数 2 回にした場合、何れの塗装方法においてもピンホールは確認されなかった。スプレー塗装に関しては目標膜厚 60μm で 1 回塗装した場合でもピンホールの発生は確認されなかったが、部位によってばらつきが生じる場合を想定した目標膜厚 30μm ではピンホールの発生が確認された。一方はけ塗りでは目標膜厚 60μm で 1 回塗装した場合にピンホールが確認された。従って何れの塗装方法でも 2 回塗装してから導電性塗料を塗装するのが望ましいことが分かった。

導電性塗膜エッジ部での上塗り塗膜厚を測定した結果、目標膜厚 30μm に対して約 10μm しかない部分が観察された。水系上塗塗料に用いられるポリウレタン樹脂塗料の減耗量は数μm/年とされており、導電性塗膜の上には 2 層分の塗膜を有するのが望ましいことが分かった。以上の結果から、導電性塗料は塗装系 ECO の 2-3 層間で組み込むのが適切と判断した。

4.2 き裂開口幅を変化させた場合の抵抗値測定方法

図 2 に引張荷重と交流インピーダンスの関係を表すボード線図を示す。低周波数域でのインピーダンスは引張荷重によって疲労き裂発生前の数倍～数百倍となり、インピーダンスの測定値のみからき裂長さを正確に知ることが困難となることが分かった。一方、高周波数域では勾配-1 の変化が見られた。これは塗膜破断に伴い、導電性塗膜破断箇所の一部がコンデンサー要素を有したためと考えられる。コンデンサー要素を有したインピーダンスは測定周波数の増加に対して低下するが、高周波数範囲においては交流特性が顕在化するため、勾配-1 の特性がもたらされたものと考えられる。また、本試験結果から 3×10⁴ 以上の周波数範囲においてインピーダンスの荷重依存性が小さくなり、インピーダンスの測定による定量的なき裂検知が可能となることが分かった。

参考文献

1) 坂本, 田中, 鈴木, 導電性塗料を用いた疲労き裂検知システムの検討, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, p249, 2009
2) (財) 鉄道総合技術研究所編, 鋼構造物塗装設計施工指針, 2005

表 2 下塗り塗膜のピンホール試験結果

塗布方法	塗布回数	目標膜厚 [μm]	ピンホール数		
			塗料 A	塗料 B	塗料 C
スプレー	1	30	8	11	25
スプレー	1	60	0	0	0
スプレー	2	60×2	0	0	0
はけ塗り	1	60	2	32	5
はけ塗り	2	60×2	0	0	0

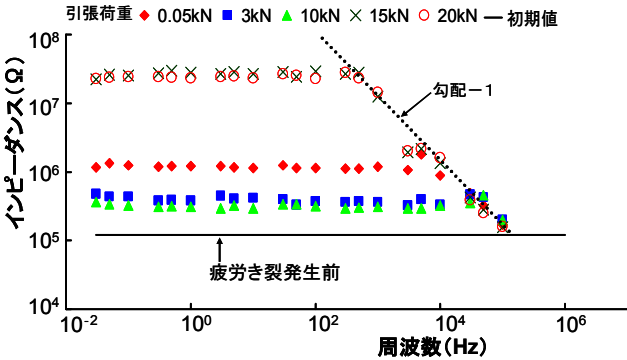


図 2 交流インピーダンスの引張荷重および周波数との関係