

導電性塗料を用いた鋼の疲労き裂検知性能評価に関する検討

○ [土] 坂本 達朗 [土] 鈴木 実 (鉄道総研)

The Study of Fatigue Crack Detecting Property of Electric Conductive Paint

○Tatsuro Sakamoto, Minoru Suzuki, (Railway Technical Research Institute)

In maintenance of steel railway bridges, assessment of safety against fatigue failure is conceivable as a major factor. Upon fatigue cracks discovered, remedy should be made sufficiently prior to a condition progressive to a serious degree and extent. Therefore, it is needed to devise a method for detecting fatigue cracks with greater accuracy. We have developed electric conductive paint which could detect the generation and the progress of fatigue cracks, and have conducted various experiments toward practical use. This report describes the study of fatigue crack detecting Property of electric conductive paint considering practical use.

キーワード：疲労き裂，導電性塗料，防食，鋼鉄道橋，維持管理

Key Words : fatigue crack, electric conductive paint, corrosion, steel railway bridge, maintenance

1. はじめに

鋼構造物に生じる疲労き裂は，構造物の安全性に影響する重大な変状である．現状の疲労き裂照査は一般的に定期巡回による目視検査を主体とし，検査精度や検査周期の観点から，発見できるき裂の程度に限界があると考えられる．そこで，筆者らは目視検査に頼らずに疲労き裂を検知できる手法について検討した．その結果，電気的特性変化から疲労き裂の発生および進展を検知可能な導電性塗料を開発し，これを用いた疲労き裂検知手法を提案した¹⁾．

本き裂検知手法の実用化にあたり，屋外における長期間（10 年程度を想定）の耐久性について検証する必要がある．また，き裂発生により導電性塗膜が露出した箇所に水分が介在した場合，電気特性の変化によりき裂検知性に影響を及ぼすと考えられ，このような状況を想定した電気特性評価を行う必要がある．そこで，導電性塗料を組み込んだ塗装系（複数の防食塗料からなる複合塗膜）について，促進劣化試験と水分介在の影響評価試験を実施した．

2. 導電性塗料を用いたき裂検知手法の概要

導電性塗料を用いたき裂検知手法のイメージを図 1 および図 2 に示す．き裂発生の際の懸念される箇所（以下，き裂検知部位と呼ぶ）において，断線に伴う導通の有無によるき裂発生検知を目的とした細線状塗膜（発生検知用導電性塗膜）と，抵抗変化によるき裂進展検知を目的とした帯状塗膜（進展検知用導電性塗膜）の二種類を，「鋼構造物塗装設計施工指針」に記載される塗装系 ECO1-7 と呼ばれる塗装

系に組み込んだ²⁾．各導電性塗膜の抵抗を測定する抵抗測定器の設置箇所（以下，抵抗測定部と呼ぶ）は，検査者が測定しやすいようにき裂検知部位から離れた箇所に設置した．その際，抵抗測定部とき裂検知部位を接続する必要があるが，導線を用いると切断の恐れなどがあるため，き裂検知用導電性塗料よりも体積抵抗率の小さい導電性塗料（以下，配線用導電性塗料と呼ぶ）を配線として用いた．表 1 に，き裂検知用と配線用の導電性塗料のそれぞれの特徴を示す．

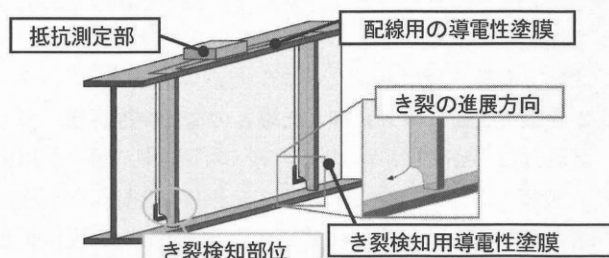


図 1 導電性表面材料を用いたき裂検知イメージ

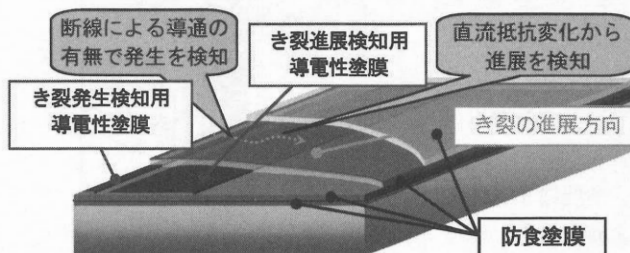


図 2 き裂検知部位におけるき裂検知イメージ

表 1 き裂検知用, 配線用導電性表面材料の特徴

	き裂検知用	配線用
バインダー	エポキシ樹脂	ポリウレタン樹脂
顔料	カーボンブラック	銀粉, 銀被覆銅粉
抵抗率	$10\Omega \cdot \text{cm}$	$10^{-3}\Omega \cdot \text{cm}$

3. 試験方法

3.1 き裂検知部を模擬した試験片の促進劣化試験

試験片は, 寸法 $150 \times 70 \times 3.2\text{mm}$ の SS400 サンドブラスト鋼板に, 各導電性塗料を組み込んだ塗装系 ECO1-7 を塗布した. 塗装工程を表 2 に示す. 試験片外観および導電性塗料の塗装寸法は図 3 に示す通りとし, それ以外の塗料は鋼板全面に塗装した.

表 2 複合サイクル試験用試験片の塗装工程

工程	塗料	膜厚 [μm]
第 1 層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	約 60
第 2 層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	約 60
第 3 層	き裂検知用導電性塗料	約 60
	配線用導電性塗料	約 90
第 4 層	水系エポキシ樹脂塗料	約 60
第 5 層	水系上塗塗料	約 30

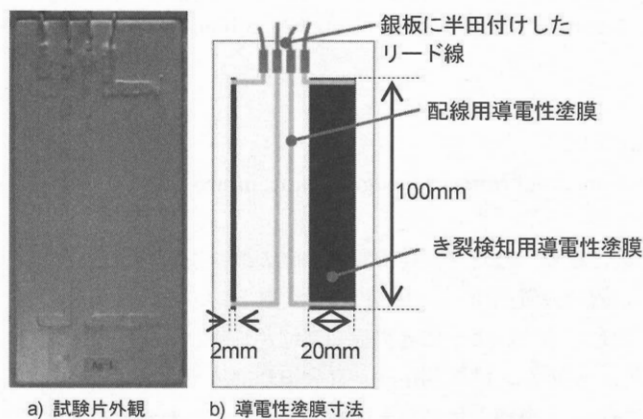


図 3 促進劣化試験用試験片の外観

評価試験は, 複合塗膜の促進劣化試験として実績を持つ, オゾン暴露, 人工海水噴霧, 模擬濃縮雨水噴霧, 乾燥の繰り返しによるサイクルからなる鉄道総研式促進サイクル試験を用いた²⁾. 評価方法は, サイクル毎の外観観察および導電性塗膜の抵抗測定とした. 抵抗測定にはマルチメータを用い, 試験片数は $n=2$ で実施した.

3.2 き裂発生後に水分介在した場合の電気特性評価

試験片は, ASTM に準じたコンパクト標準試験片を用いた. 塗装方法および塗装手順は 3.1 と同様とし, き裂検知用導電性塗料を所定形状に塗布した試験片を 2 枚作製した. 塗装後, 片方の試験片のみ繰り返し載荷試験を行い, 疲労き裂を約 10mm 発生させた. これにより, 同試験片では発生検知用導電性塗膜は破断され, 進展検知用導電性塗膜に 5mm 程度の長さのき裂が生じ

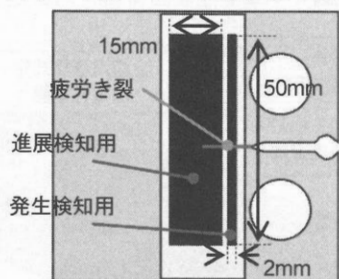


図 4 水分介在試験用試験片の導電性塗膜寸法とき裂発生位置

た状態になっている. なお, もう片方の試験片の導電性塗膜にはき裂を発生させていない. 図 4 に導電性塗膜の寸法と疲労き裂の発生位置を示す.

疲労き裂を導入した試験片を蒸留水噴霧試験機中に静置し, 60 分蒸留水噴霧と 300 分乾燥を繰り返した. 試験中の各導電性塗膜に定電流 ($50\mu\text{A}$) を印加し, 各塗膜の電圧値の測定により抵抗を算出した. 試験中の抵抗変化から, 水分介在による各塗膜の電気特性を評価した.

4. 試験結果

4.1 き裂検知部を模擬した試験片の促進劣化試験

10 サイクル (一般環境で 15 年程度の耐久性を期待できる塗装系に塗膜変状が生じるサイクル数) まで実施した結果, いずれの試験片も塗膜割れ, ふくれなどは見られなかった. その一方で, 抵抗はわずかに減少する傾向にあった. ただし, 全ての試験片で同程度の減少傾向だったため, 1 つの試験片の抵抗値に対するそれ以外の試験片の抵抗値の比率を算出した. 図 5 にその結果を示す. これより, サイクル毎の比率はほぼ一定だった. これらの結果から, 導電性塗膜を組み込んだ塗装系の防食性および電気特性は, 少なくとも 10 年程度の耐久性を有すると考えられる.

4.2 き裂発生後に水分介在した場合の電気特性評価

疲労き裂後に水分介在した場合の電気特性評価として, 疲労き裂を導入しない試験片に対する導電性塗膜の抵抗比を図 6 に示す. これより, 進展検知用導電性塗膜の抵抗比は, 蒸留水噴霧・乾燥の繰り返しに対して変化せず, 水分が介在してもき裂検知機能を保持することが分かった.

その一方で発生検知用導電性塗膜の抵抗比は, 徐々に増加して最終的に絶縁状態となった. 外観観察から疲労き裂の発生箇所と素地の腐食進行が確認されたため, 開口部の腐食が抵抗に影響したと考えられる. ただし, 抵抗増加によってき裂発生を明確に知ることができることか

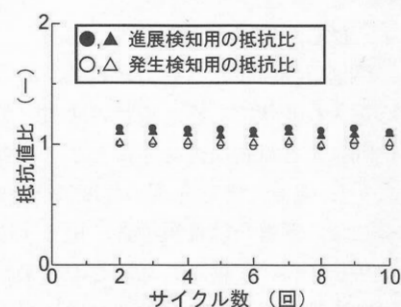


図 5 基準試験片に対する抵抗比率の推移

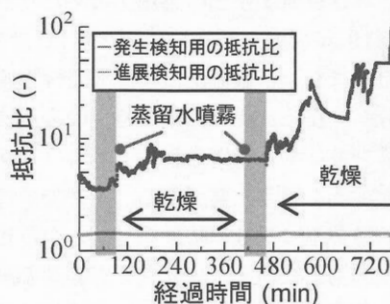


図 6 き裂の有無による抵抗比率の推移

参考文献

- 坂本, 鈴木, 田中: 導電性表面材料を用いた鋼構造物用き裂検知手法の開発, 鉄道総研報告, Vol.24, No.8, 2010
- (財) 鉄道総合技術研究所編: 鋼構造物塗装設計施工指針, 2005