

1407 導電性塗料を用いた疲労き裂検知システムの検討

正 [土] ○坂本 達朗 (鉄道総研)

正 [土] 田中 誠 (鉄道総研)

鈴木 実 (鉄道総研)

井上 健 (日本特殊塗料)

長瀬 良平 (日本特殊塗料)

The Study of Fatigue Crack Detecting System Using Electric Conductive Paint

Tatsuro SAKAMOTO, Railway Technical Research Institute, 2-8-38, Hikarityo, Kokubunji city

Makoto TANAKA, Railway Technical Research Institute

Minoru SUZUKI, Railway Technical Research Institute

Ken INOUE, Nihon Tokusyu Toryo

Ryohei NAGASE, Nihon Tokusyu Toryo

One of the serious problems about railway steel bridges is fatigue crack. The current method of the inspection of the steel railway bridge is mainly visual check. Accordingly, it is sometimes difficult to find fatigue crack depending of location of steel members. Therefore, it is important to devise a method for detecting fatigue crack easily and exactly without visual check. We have developed electric conductive paint which is mixed with electric conductive pigment. In case of painting electric conductive paint on the steel member, the electric resistance of electric conductive paint increases at an exponential rate with the fatigue crack propagation. We report here the result of the development of the inexpensive system of detecting fatigue crack using electric conductive paint.

Keywords: Fatigue crack detecting system, Electric conductive paint, durability

1. はじめに

鋼鉄道橋における重大な変状の一つに、鋼の疲労き裂が挙げられる。疲労き裂の発生を確認した場合には、緊急に修繕されることが少なくない。そのため、2年を超えない範囲で健全度を判定するための検査が実施されている。ただし、点検方法は目視を主体とし、検査のための足場架設を行わなければならないため、橋りょうの構造や架設箇所によっては点検困難となる場合がある。また、疲労き裂の点検は検査者の経験、技能に依存し、10mm以下の疲労き裂は発見しにくいとされている。従って、目視以外で疲労き裂の発生を判断可能な手法が望まれている。

著者らは、鋼鉄道橋に防食を目的とした防食塗料が適用されていることに注目し、防食塗膜間に隠ぺい可能な導電性塗料を開発した¹⁾。この塗料はエポキシ樹脂をバインダーとし、導電性顔料としてカーボンブラックを分散させたものである。図1に示すように、導電性塗料を塗布した鋼材に疲労き裂が進展した場合、き裂の進展に伴って電気抵抗値が変化することを確認し、き裂の早期発見や進展予測が可能であることを見出している。

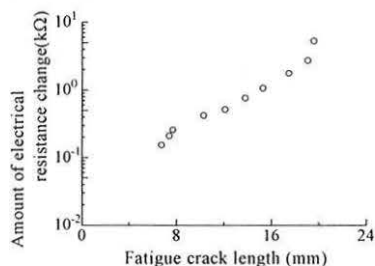


Fig.1 Amount of electrical resistance change vs fatigue crack length¹⁾

本稿では、導電性塗料を用いた疲労き裂検知システムを開発するため、実橋りょうへの適用を想定した特性評価試験として、実橋りょうを模擬した試験体を用いたき裂検知性評価、鋼のき裂発生に伴う塗膜の追従性評価、防食塗膜間に導電性塗料を組み込んだ場合の長期耐久性評価を行なったので、その結果について報告する。

2. 試験方法

2.1 き裂検知性評価試験

これまでに実施したき裂検知性評価では、試験片に板厚1.6mmの薄型鋼板を使用していた。本稿では、実橋りょうと同程度の肉厚(約10mm)を有し、ASTME399の標準コンパクト試験片に準拠した小型試験片と、現場での補強、補修を想定して模擬部材を溶接した古桁を用いて、それぞれに対して繰り返し載荷試験を実施した際のき裂検知性を評価した。

図2に小型試験片および古桁の外観および試験状況を示す。小型試験片に対しては、繰り返し載荷試験機を用いてき裂発生箇所(切り欠き部)に0.05~30MPaの繰り返し引張り荷重を載荷した。古桁に対しては、下フランジ両端下部を単純支持し、上フランジの中央部に30~600kN、3Hzの繰り返し荷重を載荷した。導電性塗料の塗布箇所は、疲労き裂が最も発生しやすいと想定される、中央下フランジ下面に溶接した模擬部材の近傍とした。

塗装工程は、いずれの試験体においても、1層目に厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料、2層目に導電性塗料を塗布した。1層目の塗料は、導電性塗料と鋼材との絶縁を確保するために塗装した。塗布幅は、10mm以下の疲労き裂長さを評価するため、20mmとした。

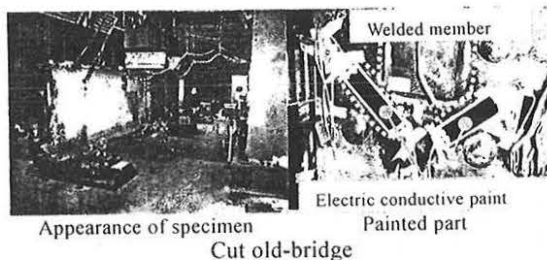
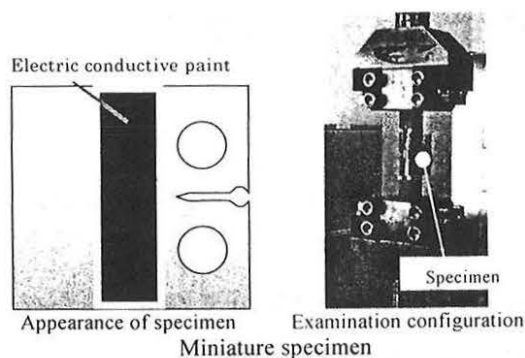


Fig.2 Examination configuration

2.2 き裂追従性評価試験

鋼の疲労き裂発生とともに塗膜が破壊されるかについて評価を行った。試験板は 400×60×1.6mm の薄板鋼板とし、1 層目に厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料、2 層目に導電性塗料を塗布した。試験板の長手方向中央に切り欠きを設け、繰り返し載荷試験機を用いて疲労き裂を発生させた。疲労き裂が 2mm 程度進展した時点で試験片の両面（塗装側と無塗装側）の疲労き裂長さを測定した。

2.3 長期耐久性評価試験

鋼鉄道橋の防食には、複数の塗料を塗り重ねた複合塗膜（塗装系）が用いられている。本試験では、今後の環境問題を考慮し、鋼構造物塗装設計施工指針に記載されている環境負荷低減型の長期耐久性塗装系である塗装系 ECO を用いた²⁾。塗装工程を表 1 に示す。評価試験には、JIS K5600-7-1 の連続塩水噴霧試験、JIS K5400 9.8 (1990) の促進耐候性試験、鉄道総研式複合サイクル試験を実施した²⁾。

Table 1 Painting process

layer	paint	thickness
1	Zinc-rich paint	about 30 μ m
2	high-build epoxy resin paint	About 60 μ m
3	electric conductive paint	50~60 μ m
4	water-based paint	about 60 μ m
5	Water-based paint	about 30 μ m

3. 結果と考察

3.1 き裂検知性評価試験

図 3 に疲労き裂長さと直流抵抗値変化量を示す。いずれにおいても疲労き裂長さの増加に伴って抵抗値が指数関数的に増加しており、抵抗値から疲労き裂長さを検知できることが認められた。なお、き裂長さに対する抵抗値変化量が試験体によって異なるが、これは荷重条件や構造がそれぞれ異なり、き裂開口幅に違いが生じたためと考えられる。

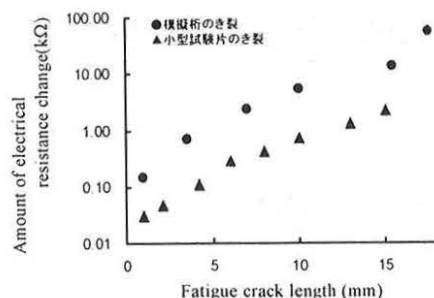


Fig.3 Amount of electrical resistance change vs fatigue crack length

3.2 き裂追従性評価試験

図 4 に、疲労き裂発生箇所の拡大写真を示す。これより、2mm 程度の疲労き裂長さでも塗膜が同時に破壊され、疲労き裂の発生・進展状況を遅滞なく検知できると考えられる。

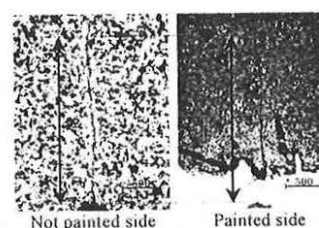


Fig.4 Macro Photograph of Fatigue crack

3.3 長期耐久性評価試験

図 5 に、各種耐久性評価試験の試験時間と直流抵抗値を示す。汎用の防食塗装系で変状が生じ始める段階においても抵抗値に大きな変化はなく、長期間にわたり安定した電気特性を有することが認められた。

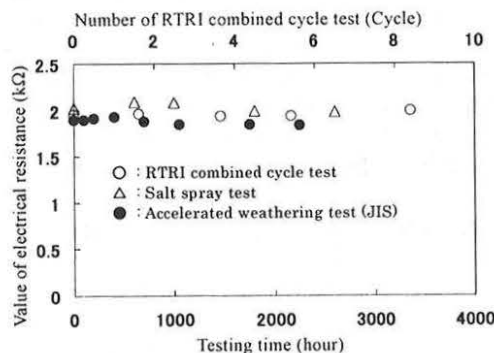


Fig.5 Result of durability tests

4. まとめ

導電性塗料を用いた疲労き裂検知システムを開発するため、実橋りょうへの適用を想定した特性評価試験を実施した。その結果、開発した導電性塗料は疲労き裂検知性を有し、かつ長期の耐久性を有することが認められた。今後の課題として、屋外への適用に伴う環境因子（温湿度等）の影響、塗装作業性等を考慮したシステム設計について検討する必要がある。

参考文献

- 1) 坂本達朗, 田中誠, 江成孝文: 鋼鉄道橋用き裂検知表面材の基本特性, 鉄道技術連合シンポジウム 2005, pp185, 2006.1
- 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