

導電性表面材料を用いた亀裂検知センサに関する基礎検討

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○鈴木慧 正会員 坂本達朗
地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター 窪寺健吾 峯英一

1. 背景

鋼橋において、亀裂は部材の応力集中部に発生し、程度によっては進展すると部材の座屈や破断などに至る場合がある。鉄道では目視による検査が定期的に行われているが、評価に個人差が生じることや亀裂発生の初期段階を見落とす可能性があることから、亀裂の発生および進展を定量的にモニタリングできる手法の導入が求められている。

鉄道総研では過去に導電性塗料を用いた鋼構造物用の亀裂検知手法を提案している¹⁾。これは亀裂の発生が懸念される箇所にセンサとして導電性塗料を塗布し、部材に亀裂が生じた際に塗膜も破断して電気抵抗値が変化することから亀裂の発生、進展を検知できるものである。ただし塗料の塗布にあたっては防食のための塗替え塗装仕様へ組み込む必要があり、その場合、塗料の乾燥工程や配線作業などにより作業期間が1~2日長くなることを見込まれる。

そこで、より省工程での設置を目的として、通常の繊維に銅-ニッケル合金線（以下、金属線とする）を織り込んだ繊維シート（以下、eテキスタイルとする）に、後述する導電性フィルムを配置したセンサを新たに開発した²⁾。当該センサの設置には速乾型の接着剤などを使用するため、施工時間の大幅な向上が期待できる。しかし、当該センサを実環境下で使用する場合、繊維の湿潤に伴う金属線の腐食や、導電性フィルムの吸湿などによる電気抵抗値の変動など対策を要する事項がある。そこで本報では封止材の適用による各種材料の電気特性への影響把握を目的として、当該センサに種々の封止材を適用した状態で塩水噴霧試験を実施した結果について報告する。

2. 亀裂検知センサの概要

導電性フィルムは、カーボン系の導電性顔料を分散したポリエステル樹脂をスクリーン印刷技術でフィルム状としたものである²⁾。当該フィルムは導電性塗膜と同程度の強度であり、フィルムを設置した鋼材に亀裂が生じると、フィルムも同時に切断される。図1のように当該フィルムの電気抵抗値を測定する場合、亀裂の進展に伴って電気抵抗値は指数関数的に増加するため、初期の電気抵抗値からの変化量によって亀裂の進展程度を評価できる。

当該フィルムを用いた亀裂検知センサの構成を図2に示す。同センサでは絶縁と防食を兼ねた塗装上にフィルムを配置したeテキスタイルを設置し、その上に水分や酸素の遮断を目的とした封止材と、紫外線からの保護を目的とした耐候性材料を適用している。eテキスタイルに組み込まれた金属線は導電性フィルムの端部に接しており、電気抵抗値の測定時の配線となる。なお、テスター等で電気抵抗値を測定するため、eテキスタイルの近傍で金属線とビニル樹脂で被覆した銅-ニッケル合金線（以下、被覆導線とする）をはんだ付けしている。

3. 試験方法

本試験では塩水噴霧による金属線の腐食性と導電性フィルムの電気特性の評価を目的とした。このため試験体は図2に示す構成から耐候性材料を除いたものとした。封止材には現場で施工が容易であり、かつ材料

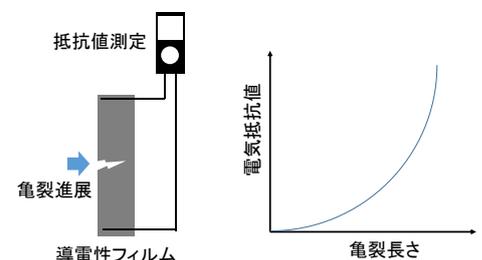


図1 亀裂検知の原理

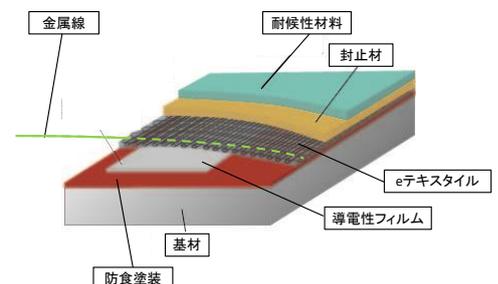


図2 亀裂検知センサの構成

キーワード 構造物 亀裂検知 eテキスタイル 塩水噴霧試験

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

特性の異なる4種類を選定し、封止しない条件を加えた全5条件の試験体を作製した(表1)。

塩水噴霧試験はJIS K 5600-7-1に準じた中性塩水噴霧条件(5%塩水噴霧)とした。試験機槽内に試験体を設置し、槽外に電源装置とロガーを設置して図3に示す電気回路を構成し、定電圧3Vを常時印加した。各試験体には100Ωの固定抵抗を直列に接続し、ロガーで測定した各試験体両端の電圧から以下の式によって各試験体の電気抵抗値を算出した。電気抵抗値の初期値と変化後の差分を初期値で除した値(以下、変化率とする)から、各試験体の電気特性を評価した。なおロガーの測定間隔は10分とし、24時間毎の平均値で整理した。

$$R = 100 \times \frac{3 - V}{V} [\Omega] \quad \left(\begin{array}{l} R: \text{試験体の電気抵抗値} [\Omega] \\ V: \text{試験体両端の電圧} [V] \end{array} \right)$$

4. 結果と考察

条件(a), (b)の試験結果を図4に示す。これらは試験中に1000%以上の変化率となり、条件(a)は240時間経過時点で、条件(b)は1000時間経過時点で試験を終了した。試験終了後の試験体を調査した結果、双方とも封止材内部で金属線が腐食により破断していることが確認された。

条件(c), (d), (e)の試験結果を図5に示す。これらは先の2条件と比較して比較的小さな変化率に留まった。条件(c)では400時間経過後から変化率の増減を繰り返し、1000時間経過時点で約55%の変化率を示した。封止材内部を確認した結果、金属線の腐食が確認された。一方、条件(c), (d)では1000時間経過しても導電性フィルムの吸湿に伴う電気抵抗値の増加分と考えられる10%以内の変化率となり、封止材内部での金属線の腐食は認められなかった。

以上の結果より電気抵抗値が大きく増大する要因は金属線の腐食による断線と考えられ、断線した金属線の近傍に塩水が存在したため、大きな電気抵抗値を示しつつも導通したと推定される。また、金属線への塩水の付着程度によって電気抵抗値がばらつくことで、変化率に大きな幅が生じた可能性がある。

封止材の材料特性を踏まえると、材料の硬度は変化率と相関が見られないが、封止材の厚みが大きい場合に金属線が腐食しにくい傾向にある。金属線近傍への塩水の浸入経路の一つに被覆導線/封止材間の界面が挙げられる。封止材の厚みが小さいと被覆導線の近傍が確実に埋設されず、塩水が浸入しやすくなった可能性がある。

5. まとめ

導電性フィルムを用いたe テキスタイルに封止材を適用した場合の電気特性への影響を把握するため塩水噴霧試験を実施した。その結果、厚みの小さい封止材を適用した場合、金属線の腐食による電気抵抗値の増大が認められた。今後は、封止材の厚みと金属線の腐食性について評価する必要がある。また、被覆導線に用いられる被覆材と封止材の密着性も金属線の腐食に影響する可能性が確認された。

6. 参考文献

- 1) 坂本達朗他：導電性塗料を用いて鋼構造物のき裂を検知する, RRR, Vol.70, No.5, pp.12-15, 2013
- 2) 窪寺健吾：亀裂検知用e テキスタイルの開発, ものづくり技術 新技術説明会, 2018

表1 封止材の特性

条件	材料	封止部厚み	硬度
(a)	封止なし	-	-
(b)	スプレー型パテ	小	高
(c)	封止用テープ	大	低
(d)	軟質パテ	大	低
(e)	UV硬化型樹脂	大	高

注) 封止部厚み・・・大:1mm以上, 小:1mm未満
硬度・・・高:指触で変形なし, 低:指触で変形あり

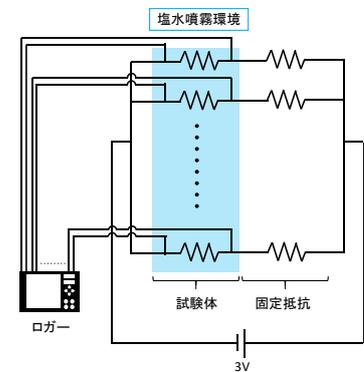


図3 回路構成

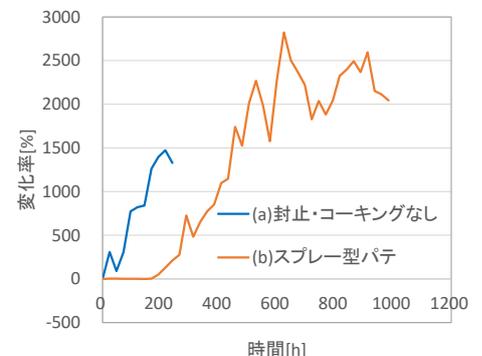


図4 条件(a) (b) 抵抗値変化率

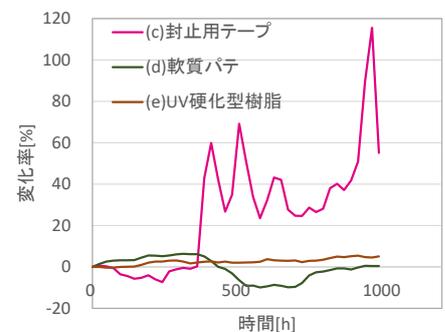


図5 条件(c) (d) (e) 抵抗値変化率