

き裂検知可能な導電性表面材料の開発

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○坂本 達朗

正会員 田中 誠

江成 孝文

鈴木 実

(株) 日本特殊塗料 井上 健

長瀬 良平

1. はじめに

鋼構造物の安全に関わる重大な劣化の一つに、鋼部材における疲労き裂の発生および進展が挙げられる。その理由は、疲労き裂の発生によって部材破断に至る場合があるなど、鋼部材の強度が著しく低下するためである。現在の疲労き裂検査手法は目視による検査であり、鋼構造物維持管理標準によって定められている定期検査の一項目として行なわれている。目視検査の利点は複雑な装置を用いることなく検査できることであるが、問題点として、目視のため疲労き裂自体を見落としてしまうことや、そもそも 10mm 以下の疲労き裂の発見が困難であること、そして検査周期の間で疲労き裂の発生・進展が起きた場合、早急に対応できないことが挙げられる。以上から、現在の目視検査の補完を目的とした、疲労き裂の発生・進展を検知する簡便かつ低コストな手法が望まれている。現在イメージされている手法としては、疲労き裂の発生・進展を検知する表面材料を用い、検知情報から部材の状況をモニタリングするシステムが挙げられる。その一つに、導電性表面材料を用いることで、き裂発生時の電気特性変化を活用するき裂検知方法が有望と考えられる。本稿では安価で、き裂発生時の抵抗値の変化を測定しうる導電性表面材料の開発と、鋼構造物への適用可能性についての評価試験を行った結果を報告する。

2. 導電性表面材料の特性

導電性表面材料に要求される性能には、表面材料に生じるき裂の発生および進展速度を検知できること（き裂検知性）、鋼構造物への適用を想定しているため、10 年以上の長期耐久性を有すること（長期耐久性）、適用部材に発生するき裂に伴って表面材料も破壊されること（き裂視認性）が挙げられる。これらの要求性能を満たす材料について、鋼構造物の防食を目的とした防食塗料との併用が可能な、導電性材料を顔料とした塗膜状表面材料を検討した。樹脂には長期耐久性、き裂視認性について実績のあるエポキシ樹脂を用いることとした。導電性顔料については、電気抵抗値変化量によるき裂の初期発生および進展速度の評価を同一材料で行うことは困難と考えた。そこで、き裂発生用には金属系顔料を用い、細線状に施工して断線による抵抗値変化から検知することとした。き裂進展用には炭素系顔料を用いて、一般的な測定機器で測定可能な抵抗値を有する材料とし、き裂進展による抵抗値変化から検知することとした。図 1 に、開発した導電性表面材料を導入した疲労き裂検知における材料構成の概略図を示す。金属系顔料および炭素系顔料の

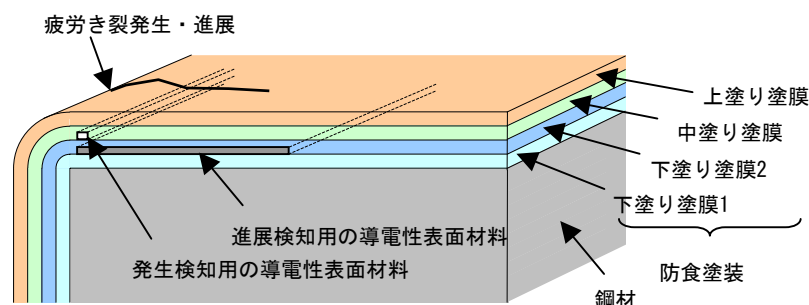


図 1 導電性表面材料を導入した
疲労き裂検知における材料構成の概略図

キーワード 疲労き裂, 導電性, 塗料, メンテナンス, 鋼構造物

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

選定には銀、銅、ニッケルや、グラファイト、カーボンブラック等の種々の材料を用いて導電性表面材料を作製し、造膜性、作業性および体積抵抗率等から検討を行った。その結果、金属系顔料には銀・銀被覆銅粉末、炭素系顔料にはカーボンブラックを用いた導電性表面材料において最適な材料配合を見出した。

3. 材料評価試験

・き裂検知性の評価

進展検知用の導電性表面材料について、き裂進展に伴う電気抵抗値変化からき裂検知性の評価を行った。試験片は図2に示すように、 $900 \times 300 \times 3\text{mm}$ のフレキシブル板にエポキシ樹脂塗料を $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ となるように塗布し、その上に導電性表面材料を $720 \times 50 \times 0.06\text{mm}$ の帯状に塗布した。端子接触部は表面材料端部から 10mm 離れた位置とし、抵抗測定は4端子法を用いた。き裂はカッターによる人工傷とし、帯の中央に長辺の一端から導入した。図3に人工傷長さと抵抗値増加量の関係を示す。これより、人工傷長さの増大に伴って導電性表面材料の抵抗値が指数関数的に増加していることが分かった。

・長期耐久性の評価

促進劣化試験には、実際に用いる場合の耐久性評価を行うという観点から、鋼構造物塗装設計施工指針¹⁾に記されている一般環境で15年以上の長期耐久性が期待できる塗装系の間に導電性表面材料を組み込んだ試験片を作製し、複合塗膜の耐久性および電気特性の耐久性を評価することとした。表1に、進展検知用の導電性表面材料について、鉄道総研式複合サイクル試験（RTRI 複合サイクル試験）¹⁾、連続塩水噴霧試験、促進耐候性試験を実施した時の電気抵抗値の変化量を示す。これより、促進劣化試験中の電気抵抗値の変化率は5%以内に収まっていることが確認された。

・き裂視認性の評価

試験片として、図4に示すように鋼板に導電性表面材料を塗布したものを作製し、疲労試験機を用いて疲労き裂を発生させたときの鋼板側および塗膜側のき裂長さを測定することで、き裂視認性の評価を行った。疲労試験条件は、試験鋼板（SS400）の弾性域の70～80%を最大の応力とし、 $0.05 \sim 170\text{MPa}$ で 20Hz の繰り返し荷重をかけて行った。疲労き裂長さの測定にはマイクロスコップを用いた。図5に、約80000サイクル終了後の鋼板側および塗膜側に発生した疲労き裂の拡大図を示す。これより、何れの疲労き裂長さにおいても約 2mm であり、殆ど同じ長さであった。また、鋼板側から測定した疲労き裂長さと電気抵抗値の関係は、図3の人工傷導入試験と同様の傾向であったことから、開発した導電性表面材料は、き裂視認性を有することが示された。

1) (財) 鉄道総合技術研究所編集、「鋼構造物塗装設計施工指針」、2005年5月

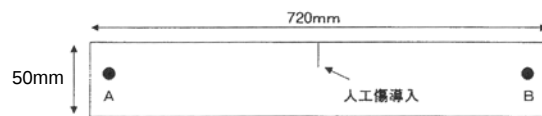


図2 試験片の概略図

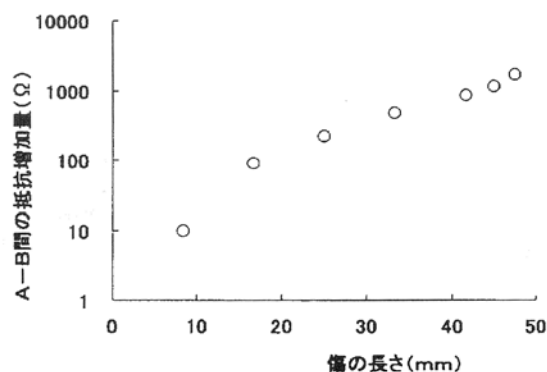


図3 人工傷長さと抵抗値増加量の関係

表1 耐久性評価試験結果

鉄道総研式 複合サイクル 試験		連続塩水噴霧 試験		促進耐候性 試験	
サイ クル数	変化率 [%]	時間 [h]	変化率 [%]	時間 [h]	変化率 [%]
1.5	3.8	645	0.5	700	-1.1
2.5	3.0	1460	-0.7	1050	-2.6
4.5	-1.2	2160	-0.9	1750	-2.8
6.5	-1.7	3360	2.2	2250	-3.0

備考： 3枚の試験片を作製し、各々の測定値の平均を記載した。

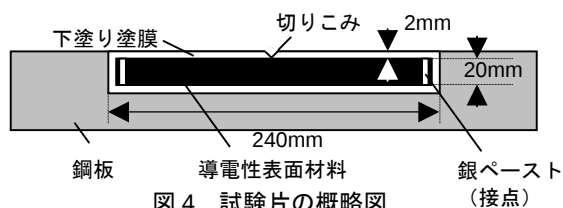


図4 試験片の概略図

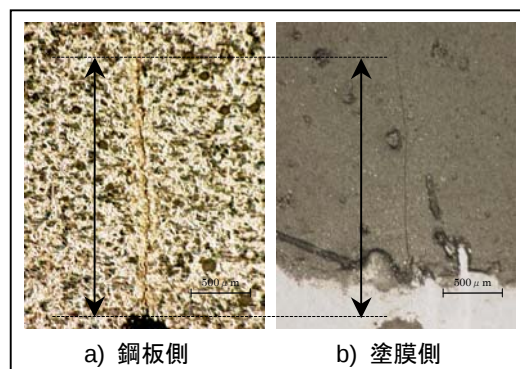


図5 鋼板側および塗膜側のき裂概観