

ノーズ可動クロッシング用き裂検知システムの開発

材料技術研究部 防振材料研究室

副主任研究員 坂本 達朗

1. はじめに

新幹線軌道に用いられる高マンガン鋼製ノーズ可動クロッシング（以下、ノーズ可動クロッシングとする）には、列車走行時の応力による疲労損傷の発生が懸念されるため、目視および浸透探傷法などによる定期的な点検が行われている。しかしながら、これらの検査ではノーズ可動クロッシングを作業時に吊り上げる必要があるなどの多大な労力を伴うことから、疲労損傷を効率的に検知できる手法が求められている。本発表では、過去に開発した鋼構造物用き裂検知システムに用いられる導電性塗料を用いて、ノーズ可動クロッシングを対象としたき裂検知システムを開発したので、その概要について述べる。

2. 導電性塗料によるき裂検知手法

鋼材のき裂検知材料は過去にいくつか開発されているが、基材に対する長期間の付着性を確保することが困難である場合が多いなど、屋外での長期耐久性に関する実績が少ない。そこで、屋外鋼構造物への長期耐久性が経験的に把握されている防食用の塗料に対してき裂検知機能を付与させた導電性塗料を開発した¹⁾。開発した導電性塗料にはバインダーにエポキシ樹脂、導電性顔料にカーボンプラック凝集体を選定し、マルチメータなどの簡易な測定機を用いて電気抵抗を測定できるようにするため、体積抵抗値を $10\Omega\cdot\text{cm}$ 程度に設定した。

導電性塗料を用いたき裂検知手法の概要を図1に示す。き裂の発生が見込まれる箇所に、絶縁および防食を兼ねた厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料（下塗り塗料）を塗布し、その上から導電性塗料を帯状に塗布する。さらに、導電性塗膜の保護および防食を目的とした中塗り塗料を塗布する。基材にき裂が発生すると、それに伴って基材と接着している導電性塗膜が破断し、塗膜の電気抵抗が増加するため、き裂の発生を検知できる。一方、導電性塗膜の電気抵抗は気温・湿度の変動によっても増減することが確認されている¹⁾。そこで、同形状の導電性塗膜を近傍に配置する方法を考案した。各導電性塗膜の電気抵抗の比を算出することで、環境因子による電気抵抗の変動を補償できる。

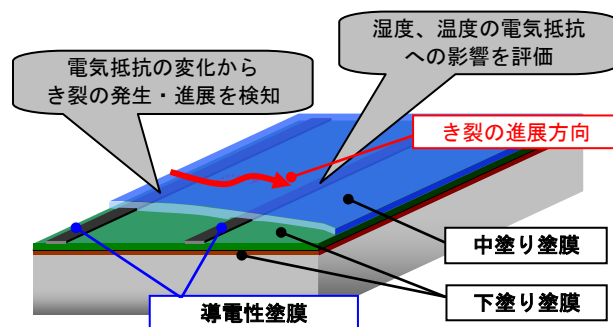


図1 導電性塗料を用いたき裂検知手法の概要

3. 導電性塗料を用いたノーズ可動クロッシングき裂検知システムの要求性能

導電性塗料を用いたき裂検知手法をノーズ可動クロッシングへ適用する際に要求される主な性能項目として、長期付着性およびき裂検知性が挙げられる。導電性塗料を用いたき裂検知システムを鋼材に適用した場合の長期耐久性やき裂検知性については過去に検証し、問題ないレベルであることを確認している¹⁾が、高マンガン鋼へ適用した場合についても問題ないことを確認する必要がある。また、ノーズ可動クロッシングにはレール潤滑油が塗布されるなど、鋼構造物とは異なる環境条件であることを考慮した性能評価が必要となる。

4. 高マンガン鋼に導電性塗料を適用した場合の性能評価

4. 1 長期付着性評価

高マンガン鋼に対する下塗り塗料の長期付着性を評価するための室内試験を行った。試験鋼材には面取り加工した高マンガン鋼を用い、厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料を 2 回塗布した。評価試験には、塗膜の付着性評価として一般的に用いられる、JIS K 5600-7-2「塗膜の長期耐久性・耐湿性（連続結露法）」に準じた連続結露試験を用いた。所定時間が経過した試験片に対して、JIS K 5600-5-6 および JIS K 5600-5-7「塗膜の機械的性質・付着性」に準じた基盤目試験およびアドヒジョン試験を行い、基材／下塗り塗膜間の付着性を評価した。

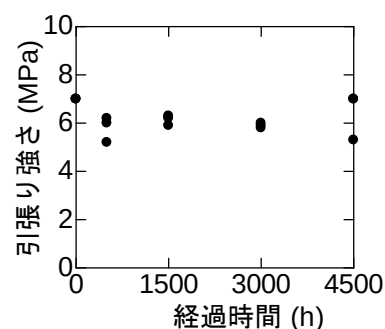


図 2 アドヒジョン試験結果

耐湿試験 4500 時間までのアドヒジョン試験結果を図 2 に示す。いずれの場合も付着力の低下は認められなかった。また、塗膜界面における層間はく離も生じていなかった。基盤目試験においても、テープ引張りによる塗膜はがれは認められなかった。これらの結果は鋼材に適用した場合と大きな違いはなく、高マンガン鋼にき裂検知システムを適用した場合にも良好な長期付着性を確保できる可能性が得られた。

4. 2 き裂検知性評価

ノーズ可動クロッシングにおいて、疲労き裂の発生が懸念され、特に安全性に大きな影響を与える個所は、

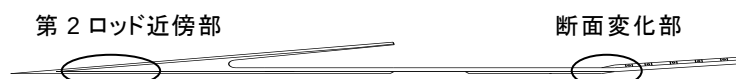


図 3 疲労き裂の懸念される個所（可動レール部）

図 3 に示す可動レール部の第 2 ロッド近傍部および断面変化部の底部とされている。また、各部位の断面形状から、いずれも底面から約 20mm 以上の高さになると断面積が低下し、き裂進展速度が大きくなると考えられる。このため、当該部位の腹部において底面に近い範囲に導電性塗料を塗布し、少なくとも 20mm まで進展したき裂を検知できることを要求性能として、実レールを用いたき裂検知性評価試験を行った。

・試験体

試験体には、第 2 ロッド近傍部および断面変化部をそれぞれ実レールから切出したものを用いた。各試験体の底部に予き裂を導入し、その近傍の腹部に下塗り塗料および導電性塗料を塗布した。図 4 に塗布概要を示す。ここでは導電性塗膜の帯幅と

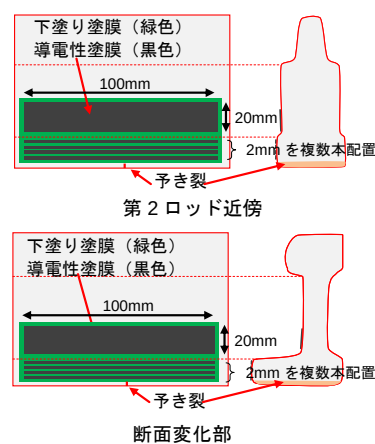


図 4 導電性塗膜の塗布位置

き裂検知性能の関係を評価するため、底部側に帯幅 2mm の塗膜を複数本配置し、断面形状が変化して平坦面になった箇所には帯幅 20mm の塗膜を配置した。塗膜長さはいずれも 100mm とした。

・試験方法

評価試験は、予き裂導入個所を中心に 3 点曲げによる繰返し荷重を負荷し、予き裂部分から進展する疲労き裂長さと導電性塗膜の抵抗変化量からき裂検知性能を評価した。荷重条件は、列車走行時に実際のレールに生じる荷重を考慮して、周波数 3Hz、30kN～96kN を基本とした。荷重の負荷中、規定回数ごとに加振を中断し、導電性塗膜の目視観察および電気抵抗の測定を行った。ここで各塗膜にき裂が生じた場合には、塗膜下端部を拡大観察してき裂開口幅を測定した。

・試験結果および考察

各試験体において幅 2mm の導電性塗膜にき裂が生じた場合、き裂が塗膜を横断して 2～3mm を越えると塗膜の電気抵抗は初期値と比較して 20%以上に増加した。このことから、帯幅 2mm の場合には 5mm 程度のき裂を検知できることが分かった。

続いて、幅 20mm の導電性塗膜にき裂が生じた場合のき裂長さと抵抗変化量の関係を図 5 に示す。いずれの試験体でも、き裂進展とともに電気抵抗が指数関数的に増加することが確認された。また、初期の電気抵抗と比較した場合、き裂が約 2～3mm 進展すると塗膜の電気抵抗は 1% (約 0.1k Ω) 程度増加し、き裂が約 10mm 進展すると 10% (約 1k Ω) 程度増加することが分かった。

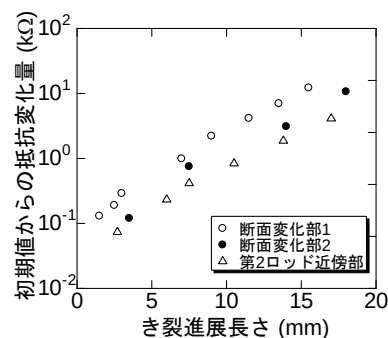
既往の研究により、導電性塗膜の電気抵抗は湿度に大きく影響され、上塗りをしていない状態では約 70%の湿度変化で約 5%の抵抗変化を生じることを確認している¹⁾。各試験体の両側面に配置した導電性塗膜の電気抵抗の比から湿度影響を補償した結果、き裂の発生によって電気抵抗が明確に変化したと判断できる抵抗変化率は、湿度影響を補償しない場合には 10%程度だったが、湿度影響を補償する場合には数%程度となった。これより、図 5 の抵抗変化率とき裂長さの関係を考慮すると、湿度影響を補償しない場合には 10mm 程度、湿度影響を補償する場合には 5mm 程度のき裂を検知可能と考えられる。

以上の試験結果から、導電性塗料を数 mm～数十 mm の帯幅で塗装することで、ノーズ可動クロッシングに生じるき裂を検知できる可能性が得られた。

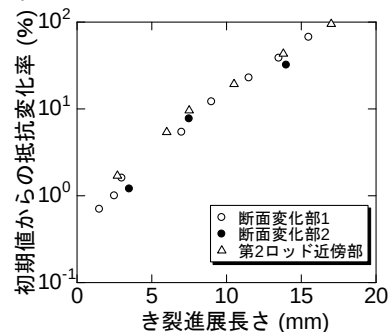
5. レール潤滑油が影響する場合の性能評価試験

システム施工後にレール潤滑油が塗布された場合の下塗り塗膜／導電性塗膜間の付着性および導電性塗膜の電気特性への影響を把握することを目的とした試験を行なった。試験鋼材にサンドブラスト処理した SS400 鋼板を用い、下塗り塗料 2 回に導電性塗料を 1 回塗布した。この試験片を転轍機用の潤滑油に浸漬し、500 時間毎での付着性評価（基盤目試験）を行った。なお、潤滑油による塗膜の膨潤や化学反応などが生じる場合、高温雰囲気中で反応が促進され则认为、夏のレール温度を考慮して 60℃雰囲気中で浸漬試験を行った。導電性塗膜の電気特性を評価するため、2000 時間浸漬後の試験片に対して導電性塗膜に人工傷を導入したときの電気抵抗を測定し、別試験片にて測定した浸漬前の値と比較した。

浸漬時間 2000 時間まで 500 時間毎に基盤目試験を実施した結果、いずれの場合も塗膜のはがれの発生は見られなかった。続いて、浸漬前および浸漬時間 2000 時間後の導電性塗膜に人工傷を導入した場合の電気抵抗測定結果を図 6 に示す。この結果、傷長さと電気抵抗の変化量との関係に違いは見られなかった。以上の結果から、導電性塗膜表面に潤滑油が付着しても、長期付着性およびき裂検知性能へ影響することはないと考えられる。



a) 初期からの変化量で算出した場合



b) 初期からの変化率として算出した場合

図 5 き裂長さと抵抗変化量の関係（幅 20mm の場合）

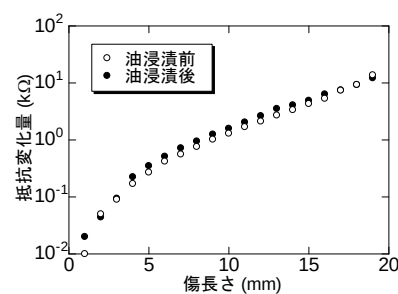


図 6 電気抵抗測定結果

6. ノーズ可動クロッシングき裂検知システムの提案

これまでの試験結果を基に開発したノーズ可動クロッシングき裂検知システムの概要を図7に示す。幅 5mm 程度のき裂検知用および温湿度の影響補償用の導電性塗膜を腹部の底部に近い個所に配置する。線路の脇で電気抵抗を測定できるように、配線用に開発した体積抵抗値の低い導電性塗料およびリード線を介して軌間外側に設置した測定機器に接続する。なお、レールの転換の際にリード線が外れないように、リード線をクロッシングに接着させ、さらにコーキング材を塗布してリード線と配線用塗料の接続個所を保護する。また、細密検査時のレール吊り上げに対応できるよう、着脱式のコネクタを設ける。本システムは JR 西日本管内で試験的に使用されており²⁾、追跡調査によるシステムの長期性能評価が行われている。敷設したノーズ可動クロッシングの外観を図8に示す。

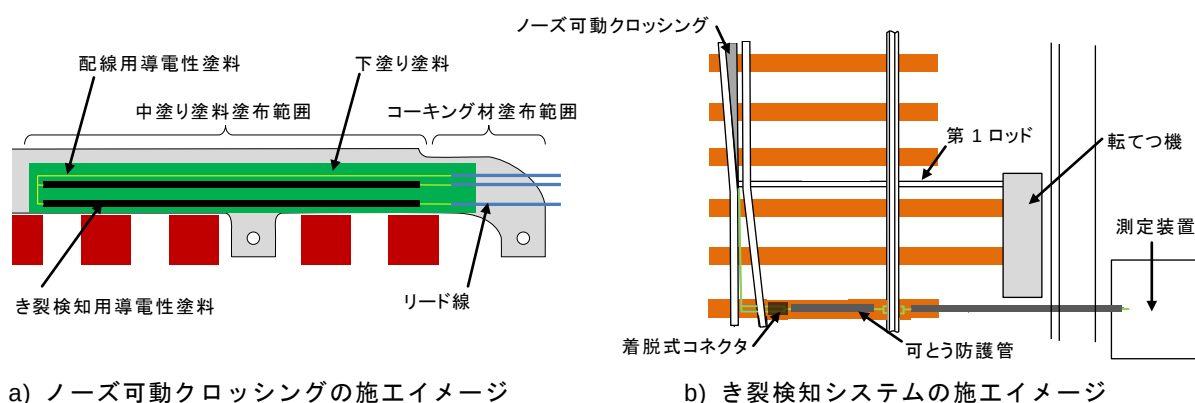


図7 ノーズ可動クロッシングき裂検知システムの概要

7. まとめ

ノーズ可動クロッシングの疲労損傷を効率的に検知できる手法として、過去に開発した鋼構造物用き裂検知システムに用いられる導電性塗料をベースに、ノーズ可動クロッシングを対象としたき裂検知システムを開発した。主な概要を以下に示す。

- (1) 本システムのノーズ可動クロッシングへの適用性を把握するため、高マンガン鋼に適用する際の長期付着性およびき裂検知性や、レール潤滑油の付着に伴う影響について評価した結果、大きな問題は無いことを確認した。
- (2) 実用を想定したノーズ可動クロッシングのき裂検知システムを提案した。このシステムは現在 JR の営業線内において試験的に使用され、評価が行われている。



クロッシングの先端部の状況



ケーブルの敷設状況

図8 システムの敷設状況

参考文献

- 1) 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
- 2) 國田, 本野, 柳谷: ノーズ可動クロッシング折損検知の現地検証, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.68, VI-523, 2013.8