

3 3. 軌道レール温度上昇抑制工法の開発

(株)NIPPO 技術開発部 ○片岡 直之
同上 相田 尚

1. はじめに

鉄を主成分とするレールは、温度の変化により伸縮する。夏季に発生するレール張り出し現象は、レール温度の上昇による延伸が要因の一つと考えられ、脱線事故にも繋がりがねない重大な問題である。これに対し、レールの温度管理や道床の座屈防止板等の構造的対策（写真-1）など、日々の保線作業により未然に予防されている。



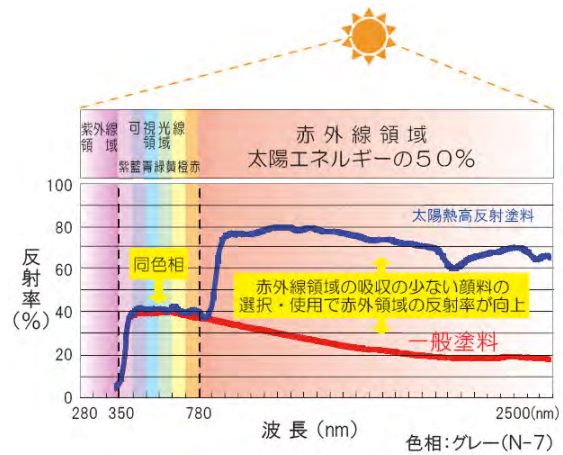
写真-1 レール張り出し対策例¹⁾

しかし、近年の酷暑によりレール温度が広域にわたって許容範囲を超えるような場合、最優先で緊急保線作業が実施されるものの、危険箇所の特定は難しく、また構造的対策の大半は営業中の軌道への適用には向かない。酷暑日が続けば、その対応が通常業務を逼迫することとなる。従って、夏季におけるレール温度の上昇を抑制できる対策が求められていた。

一方、舗装や建物の屋根などでは、夏季の温度上昇抑制対策の一つとして遮熱技術が適用されている。遮熱技術とは、太陽光のうち物質を温める作用のある赤外線域を効率的に反射する塗料（図-1）を塗布することで温度が上昇するのを抑制する技術である。

この遮熱技術をレールに応用すべく検討を行い、専用の遮熱性塗料、塗布機および洗浄システムを開発し、軌道レール温度上昇抑制工法として実用化した。

本文では、開発の経緯とともに施工例とその効果などについて報告する。



2. 軌道レール温度上昇抑制工法の概要

当該工法は、レール側面に専用の遮熱塗料を塗布することでレールの温度上昇を抑制するもので、長距離にわたり適用する場合には、施工性に優れた専用塗布機により効率的に施工可能である。また、供用によって塗料面に付着するレール特有の汚れは温度上昇抑制効果の低下原因となるため、洗浄性の高い専用塗料に加え、年1回程度の洗浄により効果を維持・回復し運用する。長距離にわたる洗浄には、新たに開発した洗浄システムを適用することができる。



3. 開発の経緯および課題

実際の現場においてレールの温度上昇抑制効果が求められる個所、範囲および対応の早さなどを勘案し、既設レールを対象とした対策として工法開発を進めることとした。

まず、他の分野でも実績のある一般的な水性の遮熱性塗料を用いた試験を実施した結果、実用化に向けてレール特有の汚れへの対応や施工性に課題があることがわかった。

3.1 汚れによる影響

既設レールの表面には、錆、オイルおよび金属摩耗粉³⁾などによる複合的な汚れが発生する。供用箇所や周辺環境などによってその汚れの質や進行具合などは大きく異なり、こういった汚れが塗料面に付着することで赤外線域の反射効率が低下し、温度上昇抑制効果を低下させる原因となる。

そこで、塗料面の汚れ具合がどの程度、レールの温度上昇抑制効果に影響するかを確認するために室内試験を実施した。

(1)室内照射試験

長さ 20cm に切り取ったレールを供試体とし、垂直、水平の 2 方向から等距離でランプ照射し加温することで、汚れ具合による温度上昇抑制効果への影響を相対的に評価した。図-2 は、汚れ具合毎のレール温度の推移を示したものである。

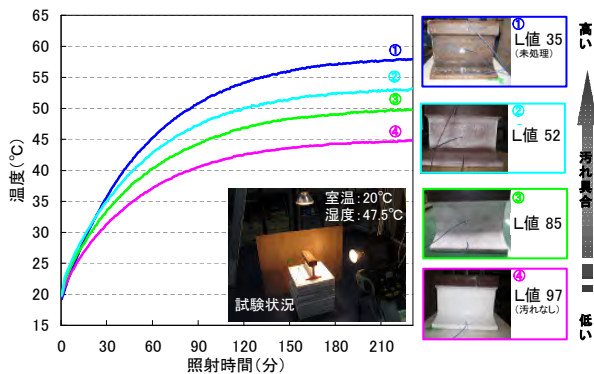


図-2 汚れ具合 (L 値) 毎の温度上昇抑制効果比較

汚れ具合の再現としては、錆に近い色として茶色のラッカースプレーを遮熱塗料面上に徐々に重ね塗りし、その具合を明度 (L 値) で確認することとした。L 値が小さいほど汚れ具合が高いことを示している。

試験結果としては、汚れ具合が高くなるとともに温度低減効果が低下することがわかった。

(2)汚れの除去について

汚れにより効果は低下するものの、それを除去

することにより塗料面が露出され、効果は回復すると考えられた。

しかし、一般の水性遮熱塗料を用いた場合、塗料表面に汚れが固着し半年程度の経過ではほぼ除去できない状態となった。

供用による汚れの付着は不可避であり、塗装面の自浄作用あるいは、簡単に汚れを除去できるといった塗料の開発が重要であると考えられた。

3.2 施工性

試験施工として、人力による塗布 (ハケあるいはスプレーヤーによる) を実施したが (写真-3)、バラスト上という不安定な状態での中腰作業となり、ある程度の距離を施工するとなると施工性や安全性に問題が残った。



写真-3 人力による塗布施工例

また、軌道内での作業は営業時間外の夜間作業となる場合が多く、時間的制限を受けることが想定された。

従って、限られた時間内に安全かつ効率的に施工できる機械が必要であると考えた。

4. 軌道レール温度上昇抑制工法の開発

以上の課題について検討し、専用の塗料、塗布機および洗浄システムを開発することとした。

4.1 専用塗料

供用により塗料面に付着するレール特有の汚れに対して、洗浄性の高い専用の遮熱性塗料を日本ペイント (株) と共同開発した。

(1)洗浄性

洗浄性の向上には、自浄作用や親水性等の機能を塗料に付加する手法があり、実軌道にて表-1 に示す5手法の試作塗料を用いて比較評価を行った。写真-4 は、4 ヶ月間供用した後、ウエスにて汚れを拭き取った状態の写真である。

表-1 試作塗料の概要

| 試作塗料 | 効果の概要 |
|------|----------------------------|
| A | 従来の遮熱性塗料を透明の高親水層で覆う2層仕上げ |
| B | 光触媒活性機能により塗膜表面を分解し汚れを除去する |
| C | 特殊機能により汚れに因らず温度上昇抑制効果を維持する |
| D | フッ素樹脂を配合した表面の硬度、平滑性が高い塗料 |
| E | 親水性を高め雨水により汚れを除去する |

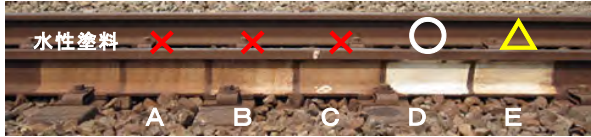


写真-4 4か月供用後の洗浄性試験結果

その結果、自浄作用は殆ど効果がなく、塗料面の硬度、平滑性、親水性を高めるために樹脂を添加した塗料が最も洗浄性が高いことが確認できた。

(2)密着性

通常の塗装工程の場合、塗装前に塗装する面に付着している錆汚れ等を除去するが、当該工法では時間的制約やコスト面を考慮し、工程を増やすことは難しいと判断した。

レール汚れの大半が錆であることを踏まえ、下地からの影響を最小限にすべく、ぬれ性や表面張力などを調整した。

(3)経済性

試験結果より、フッ素樹脂を配合した塗料が最も洗浄性が高いことが分かったが、非常にコストが掛かることが懸念された。

そこで経済性を考慮し、今回の試験に基づいて表面硬度、密着性、親水性を高めた樹脂の配合を行い、ポリウレタン系をベースとしたレール専用の遮熱性塗料を開発した。

4.2 専用塗布機

軌道上を走行しながら、レールの側面に塗料を塗布する専用の塗布機械の開発にあたり、以下の3点に主眼を置いた。

(1)人力による搬入、搬出可能

軌道周辺での機械使用には、架線や電気施設等の破損といったリスクが伴う。また軌道上での作業中、緊急的に軌道外へ退去する場合などを考慮し、人力にて搬入、搬出ができるようにした。

(2)レール側面（4面）を同時に塗布可能

レール頭部を除くレール側面を一層仕上げで塗装するために、ノズル、ポンプおよび施工速度な

どについて試験を行い選定した。レール塗布の概念図を図-3に示す。

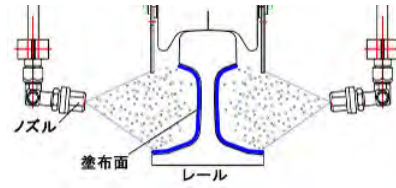


図-3 レール塗布の概念図

各ノズルは、それぞれ独立したバルブで操作可能であり、1～4面塗装は任意で選択可能である。

(3)3 軌間に対応

国内には3種類の軌間があり、それぞれに対応できるように車軸にスペーサを脱着することで、車輪間幅を可変できる構造とした（写真-5）。



以上を織り込み完成した専用塗布機を写真-6に、機械の主要緒元を表-2に示す。

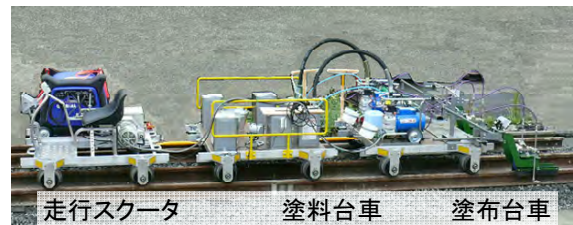


写真-6 専用塗布機

表-2 塗布機の主要緒元

| | |
|-------|---------------------|
| 全車台寸法 | 1,322mm×1,200mm |
| 速度 | 0~100m/min |
| 作業速度 | 10~20m/min |
| 動力 | 発電機 EF5500SDE |
| | 騒音レベル (58~64dB) 7m |
| 軌間距離 | 1067,1372,1435mm可変式 |

4.3 洗浄システム

長距離にわたり洗浄作業を人力で行うことは容易ではなく、機械施工が必要と考えた。そこでライフサイクルコスト等を勘案し、装置本体は専用塗布機をベースとする安価なシステムとして開発を進めた。

洗浄手法や洗剤に関して実軌道で様々な要素試験を実施した。その結果、「洗剤発泡散布→特殊形状ブラシによる汚れ掻き出し→スポンジによる拭き取り→すすぎ」の一連の洗浄方法を連続的に行う洗浄システムとし完成させた（図-4）。



図-4 洗浄ユニットのイメージ

当該システムは、専用塗布機に洗浄ユニットを載せ替えた搭乗式であり、洗剤発泡ユニット、ブラッシングユニットおよびすすぎユニットで構成され、それぞれ人力で搬入、搬出可能である。

洗剤の散布は、油污れの堆積した箇所にて有効であり、錆び汚れ程度では省くこともできる。

4.4 本工法の特長

(1) レール温度上昇抑制効果

レール温度上昇抑制効果を確認するために、切り取りレールの照射試験（写真-7）を行い、表面および内部温度を測定した（図-5）。



写真-7 室内照射試験一例

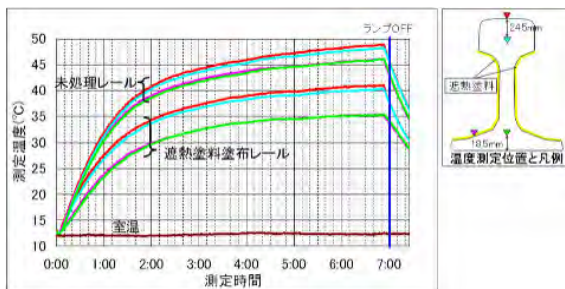


図-5 照射試験のレール温度測定結果例

その結果、未処理のレールに比べ、表面、内部温度ともに 10°C 程度低減することを確認した。

(2) 保線作業の軽減

鉄道事業者は、営業路線のレール温度を管理し保線作業に反映している。夏季においては、45°C あるいは 50°C を基準とする場合が多く、その温度を越えた段階で、緊急の保線点検を最優先で実施することとなっている。

従って、レール温度を下げることで緊急の保線点検回数の低減が期待できるものと考えられる。

(3) 効率的な施工

専用塗布機を適用することで均一かつ効率的に塗布可能である。

(4) 洗浄性に優れる

塗料が洗浄性に優れるため汚れを除去しやすく、それにより継続的に効果を維持することができる。

4.5 適用箇所

以下のような箇所を抽出し適用することが効果的と考えられる。

- ① レールの張り出しが多い区間
- ② 保線点検回数が多い区間
- ③ ポイント部（可動部）周辺

5. 実施例と効果

平成 21 年度から現在まで、8 箇所の実軌道で実施し、そのうち 4 箇所が機械施工（写真-8）であり、塗布機に関して所定の施工能力があることを確認した⁴⁾。また、それぞれの箇所で温度測定や洗浄性などについて追跡調査を行っている。



写真-8 塗布機による施工状況

5.1 レール温度上昇抑制効果

全ての適用箇所で温度上昇抑制効果が得られたものの、施工箇所毎で効果にバラツキが生じた。これは、日照条件や軌道・周辺環境などの影響によるものと思われる。その一例として、異なる 2 箇所の測定結果を図-6、7 に示す。

なお、温度測定は熱電対を遮熱処理レールと未処理レールに設置し行った。設置位置は互いの温度影響がない範囲で、供用環境が同じとなるようできるだけ近くにした。

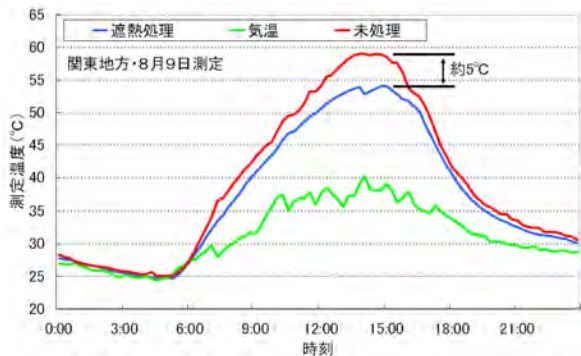


図-6 実軌道レールの温度測定例①

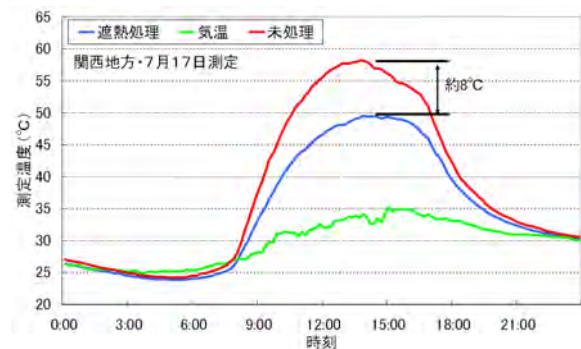


図-7 実軌道レールの温度測定例②

平成 23 年 7 月 1～31 日までの期間で、レール最高温度の日数を比較した結果を図-8 に示す。これより、45℃以上の日数が 21 日→12 日と半減されていることが確認できた。

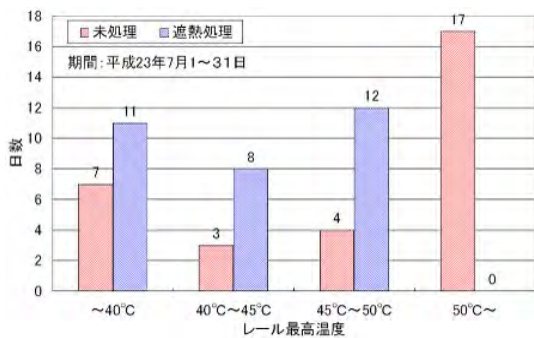


図-8 実軌道でのレール最高温度毎の日数比較

5.2 洗浄性

洗浄性に関して、あえてオイルが混在する汚れの状態が厳しい区間を選定し、昨年度から継続して追跡調査を実施している。平成 23 年 7 月で供用 10 ヶ月となった状態で未洗浄部分の洗浄を行い、どの程度汚れを除去できるかを、その前後の明度を測定し比較を行った (写真-9)。

その結果、4 ヶ月間未洗浄の場合と比較すると若干値は低くなるものの、初期値に対しては 90%程度回復することが確認できた (図-9)。



写真-9 洗浄性確認試験結果 (オイル汚れ)



図-9 実軌道における洗浄性確認結果

さらに、洗浄によってどの程度温度上昇抑制効果が回復するかを確認するため、洗浄の前後の同じような気温となる 2 日のレール温度変化を比較した (図-10)。

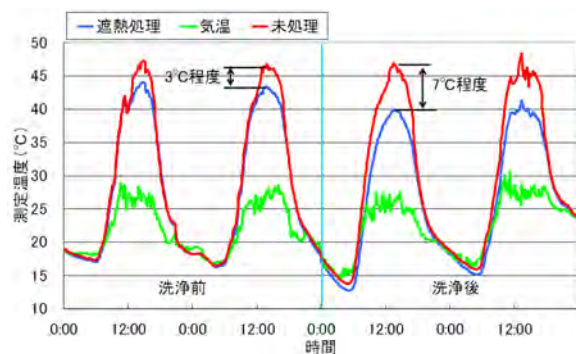


図-10 洗浄による効果の回復

結果としては、洗浄前で 3℃程度だった効果が、洗浄後に 7℃程度となった。塗布直後で 7～10℃程度の効果が得られていたことから、初期段階に近い状態まで回復したと思われる。

これらの結果から、汚れの質や進行具合にもよるが、洗浄頻度は年 1 回あるいはオイルなどが混在する汚れの状態が厳しい箇所では年 2 回程度で効果を維持・回復するといった運用が可能と考えられる。

また、表面性状に関しては供用約1年を経過し、目視による確認ではあるが、大きな変化は見られない。

5.3 レール洗浄の実施例と効果

施工から約1年が経過した施工箇所（約300m）において、洗浄システムを用いたレール洗浄を実施した。

(1)施工性

搬入や搬出などの時間を除き、1.5時間で約300mの区間を洗浄完了したことから、施工能力としては時間あたり200m程度であった。



写真-10 洗浄状況（ブラッシングユニット）

(2)洗浄効果

洗浄後の明度を測定し結果、初期値97に対して85（約88%）まで回復した。



写真-11 洗浄前後の状況

6. まとめと今後の課題

(1)当該工法の評価

これまでの施工実績から、実軌道において以下のことが確認できた。

- ① レールの温度上昇抑制に効果があること
 - ・温度上昇抑制効果は、3～8℃程度
- ② 供用による汚れに対する洗浄性

- ・供用後1年経過時でも汚れが落ちる
- ③ 洗浄によって効果を維持・回復できること
 - ・洗浄後、温度上昇抑制効果が3℃→7℃に回復
- 当該工法の最大の目的であるレールの温度上昇抑制効果は、施工箇所により差があった。施工地域の日射角度、湿度等の環境による影響、また、バラスト、枕木等軌道全体からの輻射熱による影響との関連も検討の余地がある。
- しかし、いずれの施工箇所においても、レール温度上昇時の緊急出動回数は温度低減効果により大幅に減る結果となった。

(2)施工方法

専用塗布機および洗浄システムにより、長い適用箇所において人力施工に比べ安全で効率的な連続施工が可能になった。今後、夜間の限られた規制時間内の施工に対応するため、機械のシンプル化や準備・撤去作業の簡素化について更に改善する必要がある。

7. おわりに

遮熱塗料は、節電・省エネへの関心の高まりから省エネ塗料などとも呼ばれホームセンターなどでも手軽に購入できるほど一般に普及している。こうした塗料の普及はその利便性から、環境ビジネスに新しい方向性を見出すこととなり、当該工法を開発するきっかけの一つともなった。

レールの張り出しという重大事故に繋がる事象の防止策の中で、現位置で任意の箇所に塗料を塗ることで効果があるとすれば、その機動性と利便性は様々な箇所に適応する可能性を秘めていると考える。

今回、当該工法の開発にあたって、鉄道保線業務の実態の一部に触れることができたが、昼夜問わず公共交通の安全を管理する努力に敬意を表すとともに、当該工法がその一助となれば幸いである。

最後に、実軌道での試験施工および追跡調査に御協力頂いた鉄道事業者の皆様に誌面を借りて御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 櫻井一樹, 山田啓介, 柳沼謙一: 工事作業直後の軌道状態を再現した軌道変状防止対策の効果確認試験, 第15回鉄道技術・政策連合シンポジウム, pp.567～570, 2008年
- 2) 日本ペイント(株)HP: <http://www.nipponpaint.co.jp/>
- 3) 伴巧: 車輪とレールの間に介在する物質が起す現象, RRR, pp.10～13, 2008年8月
- 4) 相田尚, 片岡直之: 軌道レール温度上昇抑制工法の開発と実施例, 建設の施工企画, pp.58～62, 2011年6月