論文　レール頭頂面に形成した落葉起因の黒色皮膜除去法の検討

幸野　真治[1]・辻江　正裕[2]・浦川　文寛[2]・鈴村　淳一[3]

[1]正会員　公益財団法人鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部（〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38）
E-mail: kono.masaharu.35@rtri.or.jp (Corresponding Author)

[2]正会員　公益財団法人鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部（〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38）
E-mail: tsujie.masahiro.13@rtri.or.jp, urakawa.fumihiro.07@rtri.or.jp

[3]非会員　公益財団法人鉄道総合技術研究所 材料技術研究部（〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38）
E-mail: suzumura.junichi.64@rtri.or.jp

秋季の山間線区においては，落葉が車輪に踏まれて形成した黒色皮膜が，湿潤条件下において低粘着状態となり，列車の空転や滑走を引き起こす場合がある．そこで本研究では，クエン酸を用いた，低コストで簡便な黒色皮膜の除去法について検討した．はじめに，2 円筒試験機を用いた摩擦試験により，クエン酸が黒色皮膜の除去効果を持つこと，およびその後の水洗浄によって粘着力の改善が見込めることを確認した．また，絶縁継目にクエン酸水溶液を散布した状態でインピーダンスを測定した結果，橋絡により列車検知に問題を与えるおそれは低いことを確認した．最後に，営業線において，クエン酸水溶液の散布と摺動部材による除去を組み合わせた黒色皮膜の除去試験を実施し，摺動部材による除去効果を確認した．

Key Words: *fallen leaves, black leaf layer, adhesive force, wheel slip, citric acid*

1. はじめに

秋季の山間線区においては，車輪に踏まれた落葉がレール頭頂面で皮膜状態になる．さらに，朝露や小雨などの水分を含むことで，葉に含まれるタンニンと鉄が反応（タンニン鉄が生成）し黒色の皮膜（以下，「黒色皮膜」とする）が形成する [1]．この黒色皮膜は，湿潤条件下では低粘着状態となり，列車の空転や滑走を引き起こすことが報告されている [2]．黒色皮膜の対策として，現状では沿線の樹木の伐採やレール研磨などが実施されている．しかし，落葉による空転・滑走が懸念される区間は一般に数十キロに及び，沿線樹木の伐採により対策する場合は極めて長い延長に対して実施する必要があるため，多額の費用を要している．また，レール研磨により対策する場合は手持ち式の研磨機や作業車タイプの機械式の研磨機などがあるが，低速での施工となるため，施工延長がごくわずかとなっている．このように，現状の対策法は多大な労力や費用を要するため，より容易かつ安価に黒色皮膜の形成を抑制，もしくは除去する方法の確立が課題となっている．

本研究では，まず，レール頭頂面に形成した黒色皮膜を除去する対策として，クエン酸が持つタンニン鉄を生成させにくくする作用に着目した．クエン酸は，キレート効果（複数の配位座を持つ配位子が金属イオンと結合し，分離しにくい）によりタンニンの代わりに鉄と錯体を生成するため，クエン酸水溶液をレールに散布することでタンニン鉄の生成阻害および分解の効果，ひいては黒色皮膜の形成抑制効果と除去効果が期待できる．そこで，クエン酸による除去効果を確認するため，2 円筒試験機を用いて摩擦試験を実施した [3]．

次に，クエン酸水溶液の散布を含む，営業線における施工が軌道回路に与える影響について検討を行った．クエン酸水溶液により考えられるリスクとしては，左右レール間の漏れコンダクタンスの増加による不正落下，絶縁継目部における橋落（矯絡）が挙げられる．クエン酸水溶液の使用量としては，レール頭頂面が濡れる程度に限られ，またクエン酸水溶液の散布後には水洗浄を行うことから，不正落下のリスクは低いと考えられる．ただ

し，絶縁継目部については水洗浄の効果が明確ではないことから，以下に示す2種類の試験を実施した[4].

- 絶縁継目部にクエン酸水溶液を散布した場合の絶縁継目部における橋絡リスクの評価
- 絶縁継目部にクエン酸水溶液が長時間残存した場合のレール絶縁材の劣化評価

最後に，営業線のレール頭頂面に形成している黒色皮膜に対するクエン酸の除去効果を検証するため，クエン酸水溶液および摺動部材により黒色皮膜除去試験を実施した.

2. クエン酸による黒色皮膜の除去効果の検証[3]

クエン酸散布における黒色皮膜の変化，およびそれに伴う接線力の変化について調査するため，2 円筒試験機を用いて摩擦試験を実施した．試験の詳細を以下に示す.

(1) 試験方法

本試験においては，2 円筒転がりーすべり摩擦試験機使用した．本試験機は，円筒形の車輪試験片とレール試験片を接触させた状態で法線力を与え，任意のすべり率の下で試験片接触部に作用する接線力を測定できる．また，液体を試験片接触部に供給させながら試験片を転動させることができる.

本研究で実施した接線力測定試験においては，450 N の法線力 を加えた状態で各試験片の回転数 177 rpm，すべり率 0.1 %（レール試験片がわずかに低い周速度）で試験を開始した．試験開始から 300 秒間は，接触部近傍に液体を 10 mL/min で散布し，試験開始から 1800 秒後に試験を終了した．試験中は，接線力および法線力を測定するとともに，試験片の外観を撮影した．なお，本試験における試験片間のヘルツ最大接触圧力は実際の車輪／レール間の接触圧力と同程度の 857 MPa とした．なお，本研究で用いた試験片は，実際の車輪とレールから切り出して製作されたものである.

表-1 摩擦試験の試験条件

車輪・レール試験片の直径	30 mm
接触長さ	3 mm
車輪試験片回転数（周速度）	177.00 rpm
レール試験片回転数	176.82 rpm
すべり率	0.1 %
法線力（最大接触圧力）	450 N (857 MPa)
供給液体	水，クエン酸水溶液 (濃度 1 %，3 %，5 %，10 %)
液体供給流量	10 mL/min
液体供給時間	試験開始後 300 s
試験時間	1800 s

黒色皮膜が形成している営業線における車輪／レール接触を模擬するため，車輪試験片の表面は通常の金属表面とし，レール試験片については 5 %タンニン酸水溶液に 5 時間浸漬することで，あらかじめ表面に黒色皮膜を形成した．また，クエン酸の効果について検討するため，接触部に供給する液体を蒸留水および濃度 1 %，3 %，5 %，10 %のクエン酸水溶液の 5 条件とした．また，同一条件下の試験を 3 回実施した． 試験条件をまとめて表-1 に示す.

(2) 試験結果

a) 試験開始直後

黒色皮膜の除去過程について検討するため，本項では試験開始から 30 秒間の結果に着目する．試験開始から 30 秒間の接線力係数（接線力／法線力）の測定結果を図-1 に示す．なお，開始から 2 秒程度はモーターの加速時間であり，接線力は発生しない．図-1 より，接線力係数は，クエン酸水溶液の濃度が高いほど早期に増加し，蒸留水の場合は 30 秒間でほとんど変化せず，低い値であった.

次に，試験開始から 30 秒間の試験片の外観変化に着目する．蒸留水の場合は，30 秒経過するまでレール試験片の黒色皮膜の変化はほとんど確認できなかった．一方，クエン酸水溶液 1 %の場合は，試験開始から 15 秒経過するとでほとんど除去されている様子が確認できた．さらに，クエン酸水溶液 10 %の場合は，試験開始から 9 秒経過した時点でほとんど除去された．以上より，クエン酸水溶液の濃度が高いほど，接線力係数が早期に増加し，黒色皮膜も早期に除去された結果となった．したがって，クエン酸水溶液の濃度が高いほど，車輪試験片とレール試験片の金属同士が早期に接触することで，摩擦係数が増加したと考えられる．代表して，蒸留水およびクエン酸 10 %の場合の外観変化を図-2 に示す.

b) 全試験時間

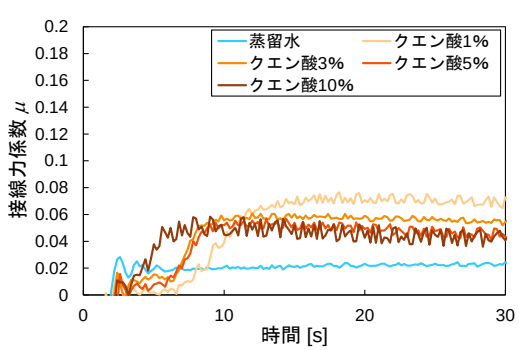


図-1 試験開始直後の接線力係数

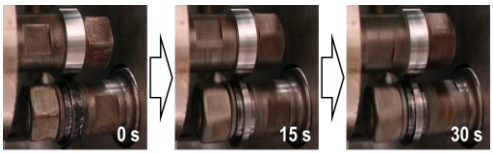
液体の供給終了後の接線力係数の変化について検討するため，本項では全試験時間（1800 秒）に着目する．全試験時間の接線力係数の測定結果を **図-3** に示す．**図-3** より，蒸留水供給後の接線力係数は 0.1 程度まで増加した．蒸留水を供給する条件においても，試験開始から 180 秒後には黒色皮膜がほとんど除去されていた．このことから，この接線力係数の増加は，両試験片の金属同士が接触し，微細な凹凸が摩耗し，実際に接触する面積（真実接触面積）が増加する 「なじみ」過程と考えられる．一方，クエン酸水溶液供給後の接線力係数は安定せず，ほとんどの時間で蒸留水供給後の値よりも低い値を示した．これはクエン酸が残存することにより，錆が発生するなど表面の性状が変化したことが原因と推定される．したがって，クエン酸水溶液による黒色皮膜除去後は，直ちに水で洗浄することにより，粘着力の改善が期待できると考えられる．

3. クエン酸散布による絶縁継目部への影響評価[4)]

営業線において，黒色皮膜除去のために，クエン酸水溶液の散布を含めた施工を行う際，絶縁継目部にて軌道回路が電気的に接続され橋絡が発生し，列車を正しく検知できなくなる可能性について検討する必要がある．そこで，絶縁継目を有する試験レールにクエン酸水溶液を散布した際のインピーダンス（絶縁抵抗）を測定した．また，クエン酸水溶液が絶縁継目部の各部材の隙間に入り込み，長時間残存する可能性も考えられる．レール絶縁材がクエン酸水溶液に長時間暴露された際の電気的影響については，明らかになっていない．そこで，レール絶縁材をクエン酸水溶液に長時間浸漬させ，その後のインピーダンスを測定した．試験の詳細を以下に示す．



(a) 蒸留水



(b) クエン酸水溶液 10％

図-2 試験開始後 30 秒間の試験輪の外観変化

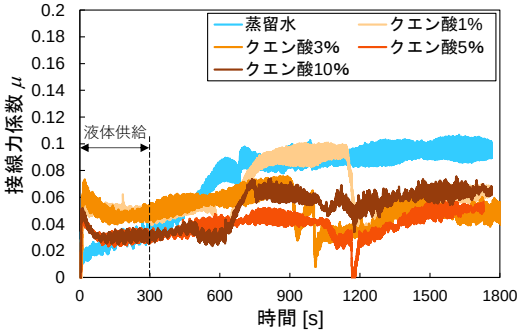


図-3 全試験時間の接線力係数

(1) クエン酸を散布した場合の橋絡リスクの評価

a) 試験方法

橋絡リスクの評価試験は，**図-4** に示す絶縁継目（50N-I）部を有する試験レールを用いて実施した．試験レールは通常の絶縁継目部と同様，レール（JIS 50kgN レール），継目板，継目板ボルトのほか，絶縁材であるレール形，プレート，つば付チューブから構成される．インピーダンスの測定については，**図-5** に示すようにレール絶縁継目部を中心にインピーダンス測定回路を構成した．

試験条件を**表-2** に示す．筆者らは，営業線で散布するクエン酸水溶液について，黒色皮膜の除去効果の確保，

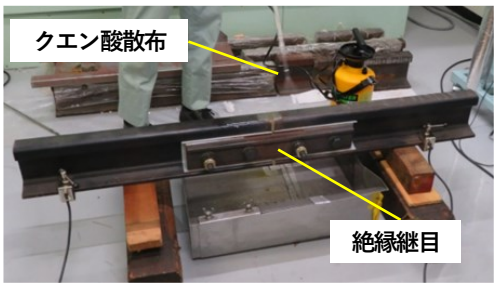


図-4 試験レール

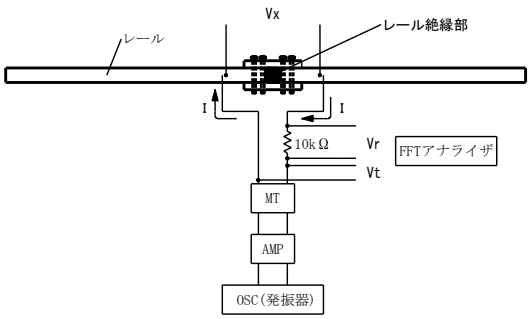


図-5 インピーダンス測定回路

表-2 インピーダンス測定の試験条件

印加電圧	約 6 V
交流周波数	10 Hz → 20 kHz
散布液体	なし 水 食塩水 5％クエン酸水溶液 5％クエン酸水溶液 → 水

およびレールに生じる錆の影響の抑制を考慮し，濃度 5 %とすることを想定している．そこで本試験では，営業線の絶縁継目部にクエン酸水溶液を散布した状態を模擬するため，絶縁継目部を有する試験レールに対し，噴霧器を用いて濃度 5 %のクエン酸水溶液を散布した．また，営業線においては前章に記載したように，レール頭頂面の錆の影響を鑑み，クエン酸水溶液の散布直後に水を散布することも想定している．そこで，クエン酸水溶液を散布した直後に同量の水を散布した．さらに参考として，水を散布した条件，および食塩水を散布した条件においてもインピーダンスを測定した．本試験では，約 6 V の交流電流を 10 Hz から 20 kHz まで，低周波から高周波の順に印加し，インピーダンスを測定した．

b)　試験結果

前項に記載した条件で実施した，絶縁継目部のインピーダンス測定結果を**図-6** に示す．**図-6** より，クエン酸水溶液を散布した条件およびクエン酸水溶液の散布後に水を散布した条件では，インピーダンスは 2 kΩ ~ 20 kΩ 程度であり，水散布条件におけるインピーダンス 20 kΩ ~ 60 kΩ と比較すると，低い結果となった．ただし，いずれの周波数においても 1 kΩ 以上の絶縁性は確保されており，食塩水を散布した条件と比較すると高い値となった．クエン酸水溶液の散布後に水を散布しても，インピーダンスが低いままとなったのは，絶縁継目の構成部材間の隙間にクエン酸水溶液が残留しており，水で流しきれなかったためと考えられる．

以上より，絶縁継目部にクエン酸水溶液を散布すると，水散布条件と比べるとインピーダンスは低下するものの，1 kΩ 以上の絶縁性は確保できていることが確認できた．橋絡防止に関して定量的な規定は存在しないものの，主な軌道回路の短絡感度（軌道リレーが落下する短絡抵抗の最大値）の規定値が 0.06 ～1 Ω以上であること[注1)]を考慮すると，1 kΩ は十分に大きな値である．したがって，絶縁継目にクエン酸水溶液および水を散布しても，橋絡により列車検知に問題を与えるおそれは低いと考えられる．

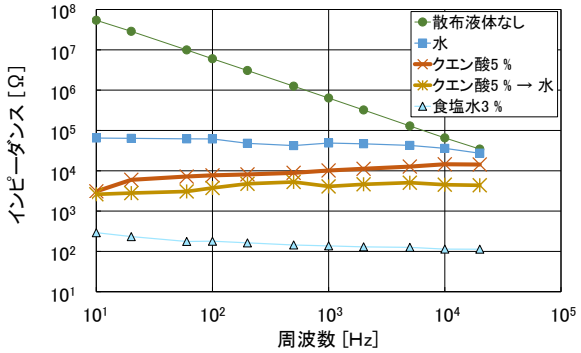


図-6　絶縁継目部のインピーダンス測定結果

(2)　高濃度クエン酸水溶液による
**　　レール絶縁材の劣化評価**

a)　試験方法

クエン酸水溶液が絶縁継目部に長時間残存した場合のレール絶縁材への影響を評価するため，レール絶縁材を高濃度のクエン酸水溶液に長時間浸漬させた．レール絶縁材の劣化評価においては，**表-3** に示す通り，絶縁継目部の構成部材であるレール形，つば付チューブ 2 種類およびプレートを評価対象とした．いずれも 50N-F-H 絶縁継目用のレール絶縁材（プレートの形状以外は 50N-I 絶縁継目用と共通）である．

表-4 に試験条件を示す．**表-3** に示すレール絶縁材一式を，クエン酸水溶液に浸漬させた．ここで，前節で述べた通り，営業線におけるクエン酸を用いた施工においては，濃度 5 %のクエン酸水溶液の散布を想定しているが，営業線において散布するクエン酸水溶液より高濃度の条件となるよう，本試験では濃度 10 %のクエン酸水溶液を使用した．また，営業線でクエン酸水溶液が残存すると想定される時間（乾燥するまでの時間）より十分長くなるよう，約 3 日間（69 時間）浸漬させた．

新品のレール絶縁材およびクエン酸水溶液に浸漬させたレール絶縁材について，それぞれ乾燥状態でインピー

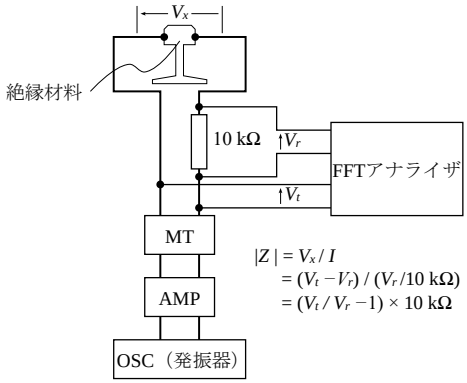


図-7　インピーダンス測定回路

表-3　評価対象としたレール絶縁材の材質

部材	種類	材質
レール形	50N-H JV8	EPV
つば付チューブ①	N 用 EPG	EPG (つば部) PC (チューブ部)
つば付チューブ②	N 用 AGP	GVP (つば部) AGP (チューブ部)
プレート	50N-F-H PA	PA

表-4　レール絶縁材の劣化評価に関する試験条件

レール絶縁材の浸漬に用いるクエン酸水溶液の濃度	10 %
浸漬時間	3 days (69 h)
印加電圧	約 6 V
交流周波数	10 Hz → 20 kHz

ダンスを測定し比較を行った．測定回路については**図-7**の通りであり，**図-5** の中の絶縁継目を各レール絶縁材単体に置き換えたものである．前節の試験と同様に，約 6 V の交流電流を 10 Hz から 20 kHz まで，低周波から高周波の順に印加し，インピーダンスを測定した．

b)　試験結果

クエン酸水溶液への浸漬直後および浸漬から約 3 日経過後のレール絶縁材を**図-8** に示す．**図-8** より，浸漬終了後もクエン酸水溶液および各絶縁材に変化は見られなかった．

次に，各レール絶縁材のインピーダンス測定結果を**図-9** に示す．**図-9** より，新品およびクエン酸水溶液に浸漬させたすべてのレール絶縁材について，インピーダンスの値がほぼ一致していることがわかる．また，いずれの周波数においても 1 kΩ 以上の絶縁性が確保されていることも確認できた．以上より，濃度 10 %のクエン酸水溶液がレール絶縁材のインピーダンスに悪影響を及ぼす可能性はないと考えられる． また，営業線における黒色皮膜除去試験においては，濃度 5 %のクエン酸水溶液を使用するとともに，最後に水で洗浄するため，本試験と比較して希薄な濃度となる．したがって，営業線においてクエン酸水溶液を絶縁継目部に散布しても，絶縁性能の低下を引き起こすリスクは低いと考えられる．



(a)　浸漬直後

(b)　浸漬から 3 日経過後

図-8　クエン酸水溶液に浸漬させたレール絶縁材の外観

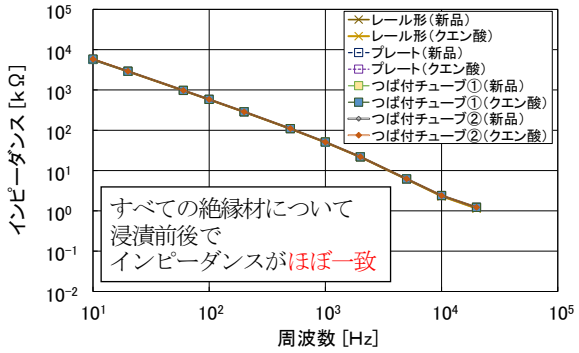


図-9　レール絶縁材のインピーダンス測定結果

4.　営業線における黒色皮膜の除去試験

クエン酸を用いた黒色皮膜除去法の営業線への適用にあたり，著者らは新たに摺動部材を用いた手法を検討した．従来の研磨機を用いた施工においては，レールの表層ごと研削しており，人の歩行速度程度での施工となるため施工延長が限られていた．一方，摺動部材を用いた手法においてはレール頭頂面を摺動するにとどまるため，施工速度および施工延長の向上が期待できる．そこで，営業線のレール頭頂面に形成している黒色皮膜に対し，クエン酸および摺動部材を用いた黒色皮膜の除去試験を実施した．試験の概要を**図-10** に示す．**図-10** の通り，まず黒色皮膜が形成しているレール頭頂面に対し，タンニン鉄を分解するためクエン酸水溶液を散布した．次に，表面に残存している黒色皮膜にせん断力を作用させて除去を図るため，摺動部材をレール頭頂面に接触させ，荷重を加えた状態で摺動させた．また，2 章の結果より，水を散布することで粘着の改善を見込めることが判明した．そこで，摺動部材通過後に，黒色皮膜の残渣の洗浄も兼ねて，レール頭頂面に水を散布した．摺動部材として，シート状の研磨材を用意し，黒色皮膜の除去効果を確認した．本試験の詳細を以下に示す．

(1)　トンネル等の区間における黒色皮膜の除去試験

a)　試験方法

試験箇所の概要を**表-5** に示す．当該路線は秋季に空転・滑走が多発しており，中でも本試験の実施箇所周辺は，例年黒色皮膜の形成が顕著であることから選定した．

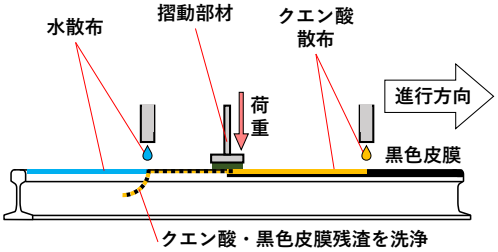


図-10　黒色皮膜の除去試験の概要

なお，黒色皮膜の除去試験は明かり区間を対象に実施する予定であったが，試験実施日である 11 月 30 日は雨が降っており，黒色皮膜の大部分は除去されていた．先行研究により，降雨のあった箇所を列車が通過すると，雨により軟化した黒色皮膜が車輪に踏まれてさらに軟化し，雨により洗い流されることで消失すると考察されており，通過列車本数（軸数）が多いほど黒色皮膜が除去されやすいことが判明している [5]．本試験箇所は単線区間であり，1 時間に上下それぞれ 1 本以上と比較的多くの列車が通過する区間であることから，黒色皮膜の消失は降雨下における車輪の繰返し通過によるものと考えられる．（なお，雨と車輪の通過により黒色皮膜が除去される過程で空転／滑走が生じやすくなるため，降雨下にて列車が通過する前に黒色皮膜を除去することが必要となる．）

黒色皮膜の除去試験の実施に向けて，本試験の実施予定箇所付近のトンネルおよび落石覆い区間を調査したところ，レール頭頂面に黒色皮膜が局所的に残存していたため，これを対象に試験を実施した．

表-5 の通り，外観の比較のため，本試験前後にレール頭頂面を撮影した．膜厚は，各条件の試験領域のうち，局所的な黒色皮膜が残存している部分を対象に，5 点測定した．クエン酸水溶液は濃度 5 %のものを使用した．また，クエン酸の反応時間を確保するため，クエン酸水溶液を散布してから摺動部材を摺動させるまでの待機時間を 30 秒とした．本試験では，摺動部材として 4 種類の研磨材（スコッチブライト 工業用パッド（3M 製）；粗さ#150，#280，#320，#400）を用いて試験を行った（**図-11**）．押付け荷重は 104 N とした．

b)　試験結果

レール頭頂面の外観について，粗さ#150，#320 および#400 の研磨材で摺動させた箇所では大きな変化が見られなかった（一例として，粗さ#320 の研磨材を用いて黒色皮膜の除去試験を行った箇所を**図-12(a)**に示す）．一方で，**図-12(b)**の通り，粗さ#280 の研磨材で摺動させた箇所については，黒色皮膜が広く除去されていた．これは皮膜の元となった落葉が踏まれてから経過した時間が短いとみられ，他の箇所の黒色皮膜ほど踏み固められていなかったためであると考えられる．

表-5　実施内容および試験条件（トンネル等区間）

試験日時 天候	11 月 30 日 00:00～04:00 頃（天候：雨）
試験箇所の線形	トンネルおよび落石覆い区間，単線，4‰の上り勾配
レール種別	JIS 50kgN 普通レール
測定項目	レール頭頂面撮影，膜厚（試験前後）
クエン酸の濃度	5%
クエン酸散布後の待機時間	30 s
研磨材の粗さ	#150，#280，#320，#400
押付け荷重	104 N

黒色皮膜の除去試験前後の膜厚平均値を**図-13** に示す．**図-13** より，外観上黒色皮膜が除去されていた，粗さ#280 の研磨材で摺動させた条件においては，試験後に膜厚平均値が増加した．この原因としては，研磨材を摺動させた際に皮膜の残渣がレール頭頂面上に残り，その地点の膜厚を測定していた可能性が考えられる．一方で，他の試番の研磨材で摺動させた条件については，試験後に膜厚が減少していることを確認した．よって，研磨材には黒色皮膜の除去効果があると考えられる．ただし，トンネルおよび落石覆いの区間の黒色皮膜は雨の影響を受けにくく，車輪に何度も踏み固められ続けると考えられるため，明かり区間の黒色皮膜とは性状が異なると考えられる．よって，明かり区間においても黒色皮膜の除去効果を検証する必要がある．そこで，明かり区間で黒色皮膜の再形成が確認できた日程に黒色皮膜の除去試験を実施した（次節で詳述）．

(2)　明かり区間における黒色皮膜の除去試験

a)　試験方法

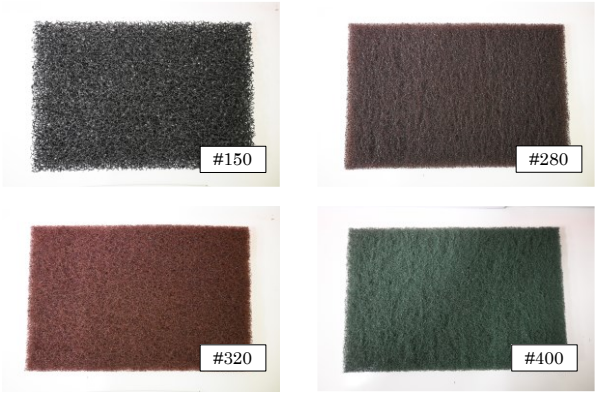
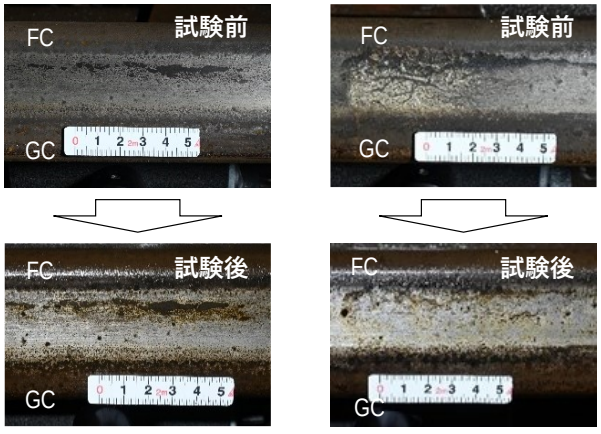


図-11　研磨材の外観の例



(a)　#320　　(b)　#280

図-12　黒色皮膜の除去試験前後のレール頭頂面

試験箇所の概要を**表-6** に示す．明かり区間に形成した黒色皮膜の除去効果について検証するため，前節と同様に黒色皮膜の除去試験を実施した．前節で述べた黒色皮膜の除去試験実施日からの経過時間は約 1.5 日であるが，明かり区間である本試験箇所において黒色皮膜は再形成していた（**図-14** の試験前の写真を参照）．試験箇所は単線の行違い区間内であり，2‰の上り勾配である．

表-6 の通り，外観の比較のため，本試験前後にレール頭頂面を撮影した．クエン酸水溶液は濃度 5 %のものを使用した．また，クエン酸水溶液を散布してから研磨材を摺動させるまでの待機時間を 30 秒とした．本試験では，2 種類の研磨材（スコッチブライト 工業用パッド（3M 製）；粗さ#150，#400）を用いて試験を行った．明かり区間の黒色皮膜は，降雨のたびに消失することから，トンネルおよび落石覆い区間ほど踏み固められていないと考えられる．そこで，押付け荷重を 27 N とし，(1)節で実施したトンネルおよび落石覆い区間での黒色皮膜除去試験よりも小さい荷重条件で試験を実施した．

b) 試験結果

#150 および#400 の研磨材による試験前後のレール頭頂面の外観変化を**図-14** に示す．**図-14** より，いずれの粗さにおいても黒色皮膜が除去され，照り面が確認できた．これはレール頭頂面と研磨材が密着し，十分なせん断力が黒色皮膜に作用したためと考えられる．また，#150 に比べて，#400 の研磨材で摺動させた条件の方が黒色皮膜の除去効果が高いことも判明した．これは#400 の方が目が細かいため，レール頭頂面と研磨材の接触面積が広くなったことが要因であると考えられる．

5. まとめ

本研究では，クエン酸が持つタンニン鉄を生成させにくくする作用に着目し，クエン酸を用いた黒色皮膜の除去法について検討した．まず，2 円筒試験機を用いた摩擦試験により，クエン酸による黒色皮膜の除去効果を確認した．次に，絶縁継目部の絶縁性能に及ぼすクエン酸の影響について評価した．最後に，営業線において黒色皮膜の除去試験を実施し，黒色皮膜の除去効果を確認した．得られた知見を以下に示す．

(1) 2 円筒試験機による摩擦試験を実施した結果，クエン酸水溶液の濃度が高いほど，接線力係数が早期に

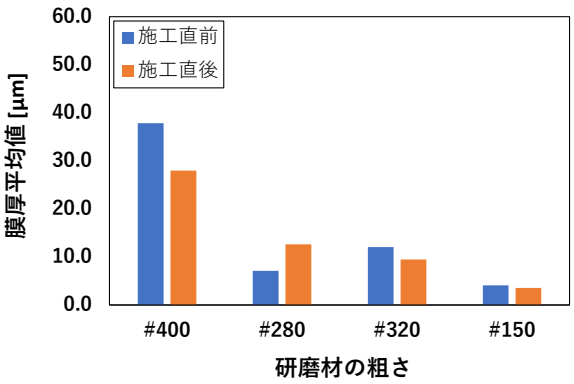
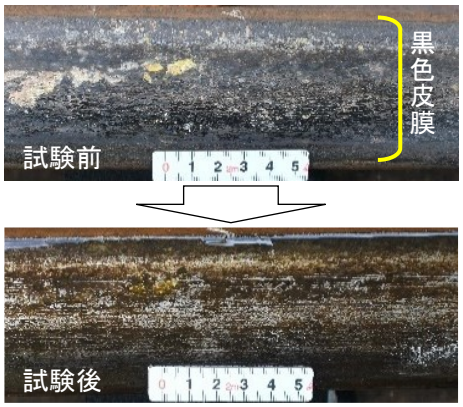


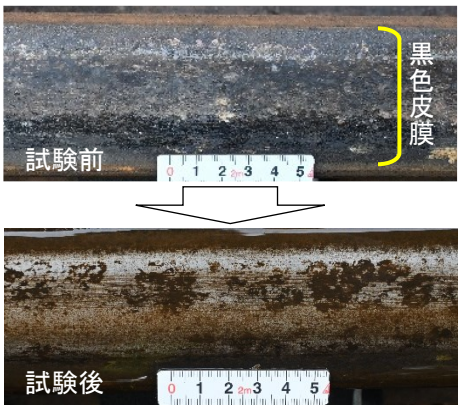
図-13 黒色皮膜の除去試験前後の膜厚測定値の平均

表-6 実施内容および試験条件（明かり区間）

試験日時 天候	12 月 1 日 9:00～16:00 頃（天候：晴れ）
試験箇所の線形 (12 月 1 日)	明かり区間，単線（行違い区間），2‰の上り勾配
レール種別	JIS 50kgN 普通レール
測定項目	レール頭頂面撮影
クエン酸の濃度	5 %
クエン酸散布後の待機時間	30 s
研磨材の粗さ	#150，#400
押付け荷重	27 N



(a) #150



(b) #400

図-14 黒色皮膜の除去試験前後のレール頭頂面

増加し，黒色皮膜も早期に除去された．ただし，長時間経過すると，クエン酸水溶液供給後の接線力係数は安定せず，ほとんどの時間で蒸留水供給後の値よりも低い値を示した．したがって，クエン酸水溶液による黒色皮膜除去後は，直ちに水で洗浄することにより，粘着力の改善が期待できると考えられる．

(2) 絶縁継目部にクエン酸水溶液を散布しても，1 kΩ以上の絶縁性が確保できていることを確認できた．また，レール絶縁材を10 %のクエン酸水溶液に約3日間浸漬させても，絶縁性はほぼ変化しなかった．したがって，絶縁継目にクエン酸水溶液を散布しても，橋絡により列車検知に問題を与えるリスクは低いと考えられる．

(3) 営業線において，クエン酸および研磨材を用いた黒色皮膜の除去試験を実施した．その結果，トンネルおよび落石覆いでは1条件を除いて膜厚が減少し，また明かり区間においては，広い範囲で黒色皮膜が除去され，照り面が確認できた．これはレール頭頂面と研磨材が密着し，十分なせん断力が黒色皮膜に作用したためであると考えられる．

今後は本手法を応用し，黒色皮膜除去の長距離施工を可能とするシステムの構築を検討する．

NOTES

注1) 日本鉄道電気技術協会：軌道回路〔改訂二版〕，p.57，2008.

REFERENCES

1) 菅原衛：山間線区における空転滑走に関する研究，土木学会第 67 回年次学術講演会，VI-495，pp. 989-990，2012．[Sugawara, M.: A study on wheel slip/slide in mountainous line, *The 67th Annual Conference of Japan Society of Civil Engineers*, VI-495, pp. 989-990, 2012.]

2) Chen, H., Furuya, T., Fukagai, S., Saga, S., Ikoma, K., Kimura, S. and Suzumura, J.: Wheel slip/slide and low adhesion caused by fallen leaves, *Wear*, Vol. 446-447, 203187, 2020.

3) 井戸達哉，生駒一樹，鈴村淳一，辻江正裕，幸野真治，浦川文寛，陳樺：落葉起因のレール面上黒色皮膜に対するクエン酸による除去効果の検討，第 26 回鉄道工学シンポジウム論文集，pp. 113-120，2022. [Ido, T., Ikoma, K., Suzumura, J.,Tsujie, M., Kono, M., Urakawa, F. and Chen, H.: Investigation of removal effect of citric acid on black leaf layer on rail surface caused by fallen leaves, *Journal of railway engineering*, *JSCE*, Vol.26, pp. 113-120, 2022.]

4) 幸野真治，辻江正裕，遠山喬，進藤卓朗：黒色皮膜除去を目的としたクエン酸散布の絶縁継目部への影響評価, 土木学会第 78 回年次学術講演会， 2023（投稿中）．[Kono, M., Tsujie, M., Toyama, T., Shindo, T.: Evaluation of the effect of spraying citric acid to remove black leaf layers on insulated joints, (submitted to *The 78th Annual Conference of Japan Society of Civil Engineers*, 2023).]

5) 鈴村淳一，生駒一樹，陳樺：レール頭頂面黒色皮膜の形成におよぼす環境的要因の影響，第 26 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集（J-RAIL2019），JSCM-3-2，2019．[Suzumura, J., Ikoma, K. and Chen, H.: Effects of environmental parameters on black film formation on the rail head, *Proceedings of 26th Railway Technical Union Symposium (J-RAIL2019)*, JSCM-3-2, 2019.]

(Received March 31, 2023)
(Accepted June 9, 2023)

INVESTIGATION OF METHOD TO REMOVE BLACK LEAF LAYER CAUSED BY FALLEN LEAVES ON RAIL TOP SURFACE

Masaharu KONO, Masahiro TSUJIE,
Fumihiro URAKAWA and Junichi SUZUMURA

In the autumn, when fallen leaves are stepped on by wheels, and when they contain moisture such as morning dew or rain, the tannin contained in the leaves reacts with iron to form a black leaf layer. This black layer can cause low adhesion under wet conditions, resulting in wheel slips or sliding. To prevent the black leaf layer, some efforts have been taken, such as cutting down trees and grinding rails, but these methods are very costly, and therefore, easier and cheaper countermeasures are required. In this study, we investigated a low-cost and simple method of removing black leaf layers using citric acids. First, we conducted friction tests using a two-disk rolling machine and confirmed that citric acids are effective in removing black leaf layers and that adhesive force can be improved by subsequent washing with water. Secondly, we measured the insulation resistance of the test insulated joints with citric acids sprayed on them, and confirmed that sufficient resistance values were maintained, thus confirming that there is no problem in spraying citric acids on rails in commerical lines. Furthermore, we carried out a test to remove black leaf layers by using citric acids and sliding materials on a commercial line, and confirmed the effectiveness of them.