

論文 落葉起因のレール面上黑色皮膜に対する クエン酸による除去効果の検討

井戸 達哉¹・生駒 一樹²・鈴木 淳一³・辻江 正裕⁴
・幸野 真治¹・浦川 文寛⁴・陳 樺⁴

¹ 非会員 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: ido.tatsuya.72@rtri.or.jp (Corresponding Author), kono.masaharu.35@rtri.or.jp

² 非会員 公益財団法人鉄道総合技術研究所 総務部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: ikoma.kazuki.32@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

⁴ 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.fumihiko.07@rtri.or.jp, chen.hua.63@rtri.or.jp

秋季の山間線区において、落葉によってレール頭頂面上に形成される黑色皮膜が車輪の空転・滑走を引き起こす原因となっている。本研究では、この黑色皮膜を分解して除去を容易にする可能性のある化学物質としてクエン酸に着目し、その除去効果について室内試験と現地試験により検討を行った。2 円筒摩擦試験機を用いた室内試験により、水よりもクエン酸水溶液を供給した方が黑色皮膜は早く除去され、車輪／レール輪間の接線力が増加すること、およびクエン酸水溶液の濃度が高いほどこの除去効果が高いことが明らかになった。現地試験では、現場の黑色皮膜に対するクエン酸による除去効果を確認するため、現場のレール頭頂面に対して水またはクエン酸水溶液を散布し、列車の通過による黑色皮膜の外観変化を確認した。その結果、室内試験と同様に、水よりもクエン酸水溶液を散布した方が黑色皮膜は除去されやすいことが認められた。

Key Words: *adhesion force, wheel, rail, fallen leaves, black leaf layer, citric acid*

1. はじめに

秋季の山間線区では、沿線樹木からの落葉が軌道に堆積し、車輪／レール間に介在することで車輪の空転・滑走を引き起こす原因となっている。レール頭頂面の落葉は、車輪に踏み潰されて皮膜（本稿では「落葉皮膜」と呼ぶ）を形成した後、朝露や小雨などの水分を含むことで黒色の皮膜（本稿では「黑色皮膜」と呼ぶ）に変化する。この落葉皮膜と黑色皮膜は、いずれも車輪／レール間の粘着力を低下させるが、特に湿潤状態の黑色皮膜が粘着力を著しく低下させ、空転・滑走を引き起こすことが報告されている¹⁾。

落葉による空転・滑走の対策法としては、レール頭頂面上に黑色皮膜を形成させない形成抑制法と、形成した黑色皮膜を除去する除去法という2つの観点がある。現状は、形成抑制法として沿線樹木の伐採、除去法として

レール研磨などが行われている。しかし、落葉による空転・滑走が問題となる区間は一般に数十キロに及ぶことや、大雨で一旦レール頭頂面から黑色皮膜が無くなったとしても数日で再形成されること、直上に樹木が存在しない箇所でもレール頭頂面にも、黑色皮膜が形成されている他の区間で車輪に転写した皮膜が当該箇所のレール頭頂面に付着することで形成されることが確認されている。したがって、沿線樹木の伐採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するという課題があり、レール研磨は低速でしか走行できないため一度の作業で除去できる延長が限られ、再形成や転写の問題を踏まえると空転・滑走の防止には繋がりにくいという課題がある。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黑色皮膜の形成を抑制、もしくは除去する方法の確立が求められている。その他、黑色皮膜が存在する状態でも粘着力増加を図

る方法として増粘着材の散布（セラジェット、砂撒き）が行われる場合があるが、セラジェットは黒色皮膜の膜厚より粒径が小さいために膜に埋もれてしまい、砂は散布量の大半が車輪／レール間に入らないため、空転・滑走抑制効果は十分に得られていないのが現状である。

レール頭頂面上の黒色皮膜は、落葉に含まれるタンニンが水分存在下でレールの鉄と反応し、タンニン鉄という黒色の錯体を生成することで形成されると考えられている²⁾。著者らは、このタンニン鉄の生成を阻害、もしくは生成したタンニン鉄を分解する物質としてクエン酸に着目している³⁾。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。一方で、高濃度のクエン酸水溶液を散布すると、軌道部材の腐食に伴う交換周期の短縮やレール頭頂面の錆による短絡不良の発生が懸念されるため、効果を発揮する範囲内でなるべく低濃度を使用することが求められる。そこで本研究では、特にクエン酸水溶液による黒色皮膜の除去効果に着目し、除去効果の有無や濃度による効果の違いについて確認するための室内試験を実施した。さらに、その結果を踏まえて、現場の黒色皮膜に対するクエン酸水溶液による除去効果を確認するための現地試験を実施した。

クエン酸水溶液を用いた除去法は、黒色皮膜を除去して粘着力改善を図る点でレール研磨と同様であるが、クエン酸水溶液に黒色皮膜の除去を容易にする効果が認められれば、除去作業効率の改善、施工距離の延伸により空転・滑走の抑制に繋がるのが期待される。

2. 室内試験

本章では、

- ①クエン酸水溶液による黒色皮膜の除去効果
- ②クエン酸水溶液の濃度による効果の違い
- ③クエン酸適用による車輪／レール間の粘着力変化について、室内試験により検討を行った結果を報告する。

(1) 試験方法

a) 試験装置

クエン酸による黒色皮膜の除去効果が認められたとしても、除去された結果として車輪／レール間の粘着力（接線力）が改善されなければ空転・滑走の抑制には繋がらない。そこで、車輪／レール間の接線力による黒色皮膜の除去、およびそれに伴う接線力の変化について調査するため、図-1に示す2円筒転がり-すべり摩擦力試験機

を用いて、車輪／レール輪間の接線力および法線力の測定を行った。本試験機は、円筒形の車輪試験片とレール輪試験片を接触させた状態でコイルばねにより任意の法線力を加え、各試験片の回転軸に取り付けられたモーターの回転速度を別々に制御することで、任意のすべり率の下でレール輪に作用する接線力を測定できる。取得データのサンプリング周期は0.2秒である。

b) 試験条件

本研究で実施した接線力測定試験は、450 Nの法線力を加えた状態で各試験片の回転速度 177 rpm、すべり率 0.1%（レール輪がわずかに低い回転速度）で試験を開始する。試験開始から 300 秒間は、接触界面に液体を供給するために接触部近傍に液体を 10 mL/min で滴下し、試験開始から 1800 秒後に試験を終了する。試験中は、接線力、法線力を測定するとともに、試験片の外観を静止画または動画で撮影した。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車輪／レール間と同程度の 857 MPa、周速度は試験装置の制約上 20 km/h 以上は難しいことに加え、各条件間の接線力の比較にあたって周速度の影響は小さいと考えられることから実車輪より低い 1 km/h、すべり率は空転に至らない走行状態として 0.1% に設定している。なお、本研究で用いた試験片は、実車輪とレールから切り出して製作し、図-2に示すような断面形状を有する。

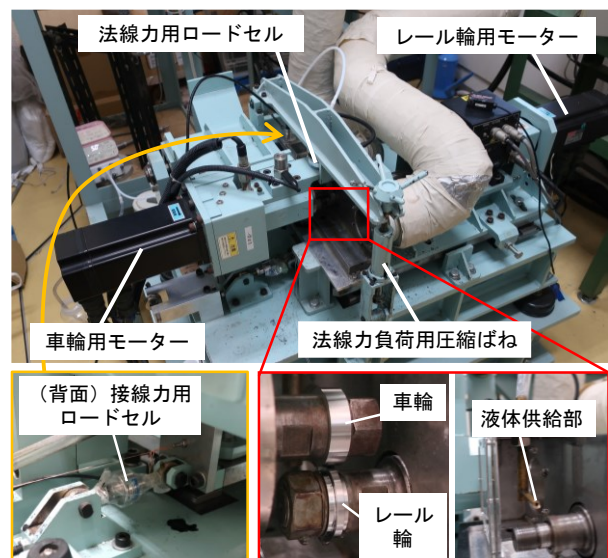


図-1 2円筒転がり-すべり摩擦力試験機

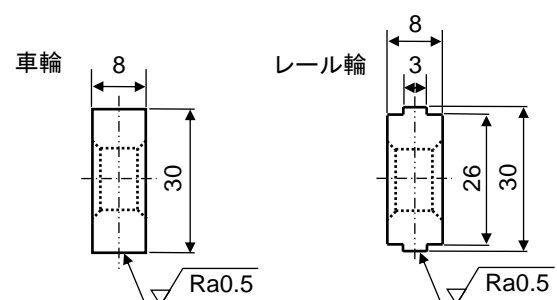


図-2 試験輪の断面形状



図3 レール輪表面の黒色皮膜の形成

表-1 室内試験の試験条件

車輪回転数 (周速度)	177.00 rpm (1 km/h)
レール輪回転数	176.82 rpm
すべり率	0.1%
法線力 (最大接触圧力)	450 N (857 MPa)
車輪/レール輪	金属表面/金属表面 (皮膜なし) 金属表面/黒色皮膜 (皮膜あり)
供給液体	蒸留水, クエン酸水溶液1%, 3%, 5%, 10%
液体供給速度	10 mL/min
液体供給時間	最初300秒
試験時間	1800秒
試行回数	3回

黒色皮膜の有無による違いについて検討するため、車輪の表面は通常の金属表面、レール輪の表面は通常の金属表面または黒色皮膜が形成された状態の2条件とした。これ以降、レール輪の表面が通常の金属表面である条件を「皮膜なし」、黒色皮膜が形成された条件を「皮膜あり」と呼ぶ。レール輪表面の黒色皮膜は、図-3に示すように、レール輪を5%タンニン酸水溶液に5時間浸漬することで形成した。

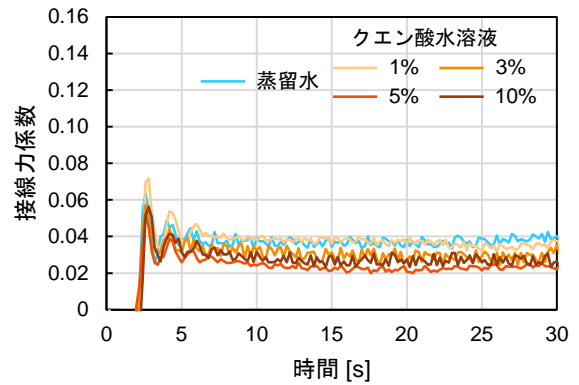
また、クエン酸の効果について検討するため、接触界面に供給する液体を蒸留水および濃度1%、3%、5%、10%のクエン酸水溶液の5条件とした。以上より、室内試験では計10条件の試験を行い、同一条件下の試験を3回実施した。

試験条件をまとめて表-1に示す。

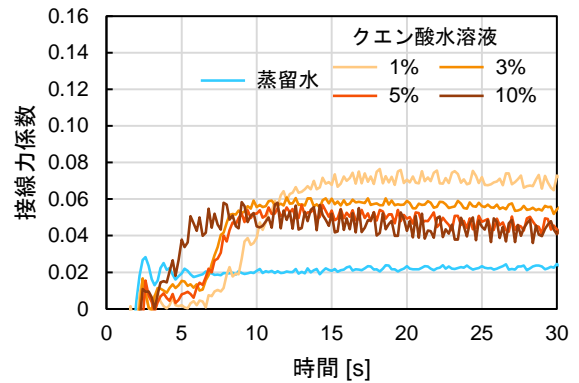
(2) 試験結果

a) 試験開始後30秒間

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)の時刻歴波形について、レール輪が皮膜なしの場合の例を図-4(a)、皮膜ありの場合の例を図-4(b)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。同図(a)より、皮膜なしの場合の接線力係数は供給液体によらず同様の挙動を示す。すなわち、クエン酸水溶液の濃度の影響は小さい。一方、同図(b)より、皮膜ありの場合の接線力係数は、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秒間でほとんど一定である。



(a) 皮膜なし



(b) 皮膜あり

図4 試験開始後30秒間の接線力係数

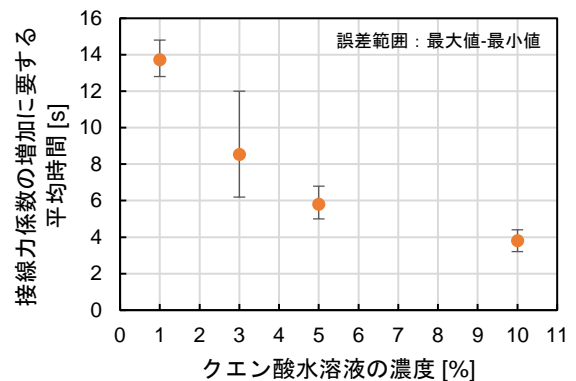


図5 接線力係数の増加に要する平均時間とクエン酸水溶液の濃度の関係

そこで、皮膜ありの場合に、試験開始から30秒間において接線力が発生してから増加が終了するまでの時間を読み取り、試行3回の平均を算出した結果を図-5に示す。同図より、クエン酸水溶液の濃度が高いほど、接線力係数の増加に要する時間が短いことが分かる。

試験開始から30秒間の試験輪の外観変化の例として、レール輪が皮膜あり、供給液体が蒸留水、クエン酸水溶液1%、10%の場合の外観画像を図-6に示す。同図(a)より、蒸留水の場合は、30秒経過するまでレール輪の黒色皮膜の変化はほとんど確認できない。一方、同図(b)より、クエン酸水溶液1%の場合は、試験開始から9秒、12秒とレール輪の転動面の黒色が薄くなり、15秒経過

時点で黒色皮膜がほとんど除去されている様子が確認できる。さらに、同図(c)より、クエン酸水溶液 10% の場合は、試験開始から 6 秒でレール輪の転動面の黒色がかなり薄くなり、9 秒経過時点で黒色皮膜がほとんど除去されている。以上より、図-5 に示したように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するのは、黒色皮膜がより早く除去され、車輪とレール輪の金属同士の接触が確保されたためであると考えられる。

なお、図-4(b)において、クエン酸水溶液 10% の場合であっても、試験開始から 5 秒程度は蒸留水の場合よりも接線力係数が低くなっていた。これは、黒色皮膜が分解、軟化することで、黒色皮膜が残存している間は接触界面のせん断強度が低下するためであると考えられる。この

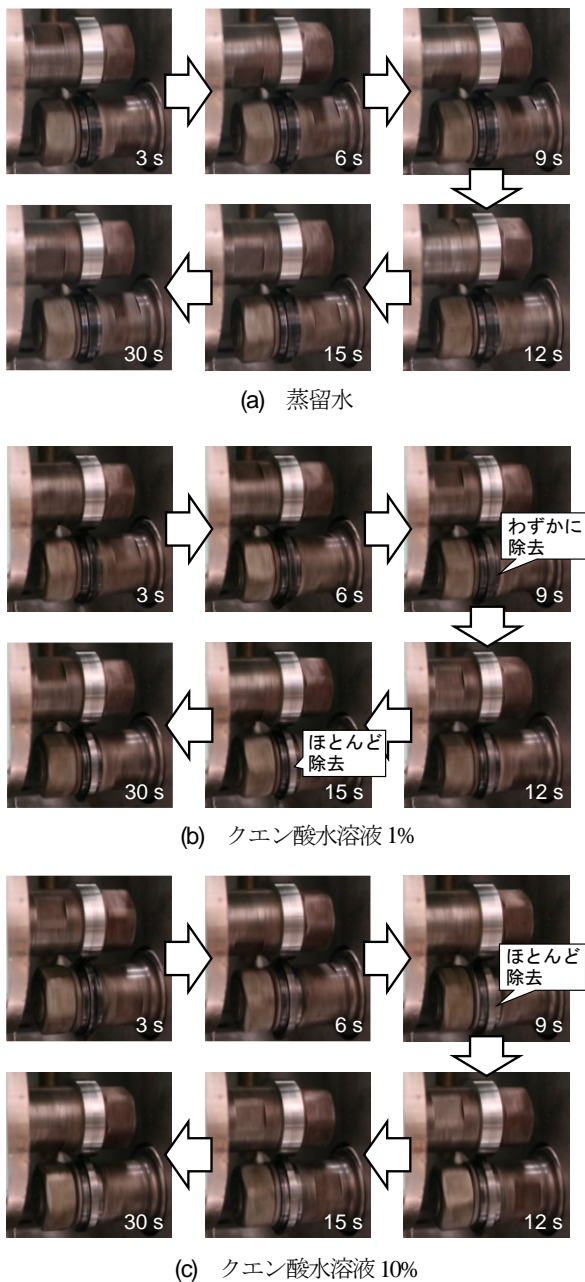


図-6 試験開始後 30 秒間の試験輪の外観変化 (皮膜あり)

ことは、車輪/レール間の接線力によりレール頭頂面上の黒色皮膜を除去することを想定した場合、ある程度除去できるまでは車輪の空転・滑走が起りやすい状態であることを意味している。従って、実用上は増粘着材と併用するなどの何らかの措置が必要と予想される。

各条件において、試験開始から 20~30 秒の接線力係数の平均値を算出し、さらにこの値を試行 3 回で平均してクエン酸水溶液の濃度との関係を調べた結果を図-7 に示す。同図において、蒸留水はクエン酸水溶液の濃度 0% として示した。同図より、皮膜なしの場合は、蒸留水とクエン酸水溶液の平均接線力係数の差は小さい。すなわち、蒸留水とクエン酸水溶液の潤滑性の差は小さく、クエン酸水溶液そのものが原因で水 (雨や結露など) が介在した場合よりも車輪/レール間が滑りやすいことはないと考えられる。皮膜ありの場合は、蒸留水と比較してクエン酸水溶液の平均接線力係数は高い値を示している。これは、蒸留水供給の場合のみ評価時間内に黒色皮膜が除去されなかったためである。ただし、クエン酸水溶液の中では、濃度が低いほど平均接線力係数が高い傾向が確認できるが、この原因については別途調査が必要である。また、皮膜なしと皮膜ありを比較すると、蒸留水供給の場合は皮膜ありの方が低い平均接線力係数を示し、黒色皮膜による低粘着現象が表れていると言える。一方、クエン酸水溶液供給の場合は、皮膜ありの方が高い平均接線力係数を示す。これは、同じクエン酸水溶液介在下であっても、初めから黒色皮膜が存在しない場合よりも黒色皮膜が除去された後の方が高い粘着力を示すことを意味しており、その原因解明のためには表面分析などが必要と考えられ、今後の検討課題とする。

b) 全試験時間

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時刻歴波形について、レール輪

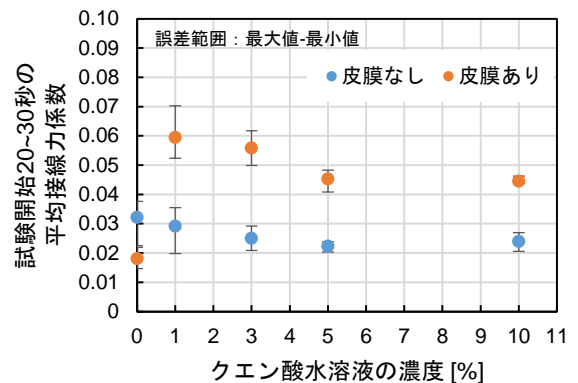
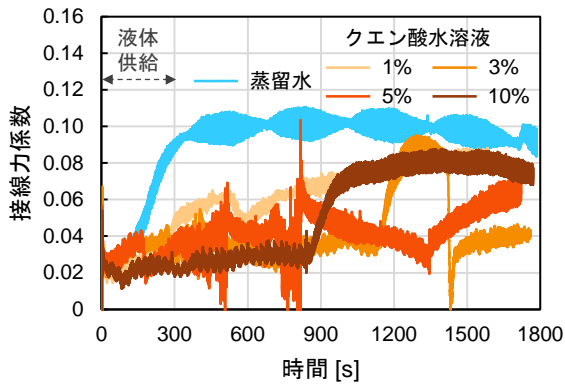
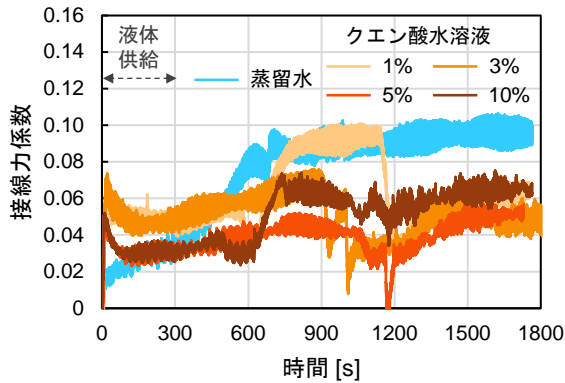


図-7 試験開始 20~30 秒の平均接線力係数とクエン酸水溶液の濃度の関係



(a) 皮膜なし

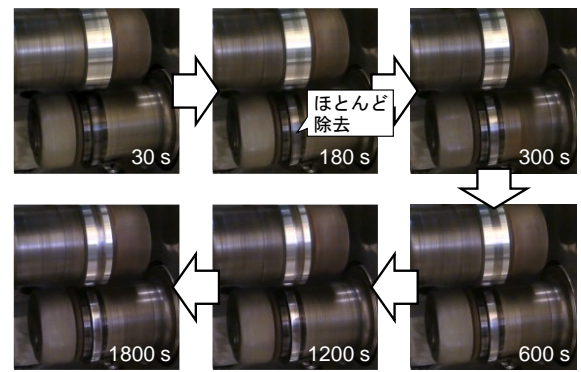


(b) 皮膜あり

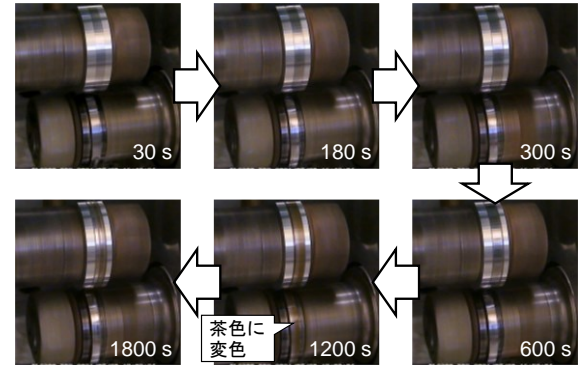
図-8 全試験時間の接線力係数

が皮膜なしの場合の例を図-8(a), 皮膜ありの場合の例を図-8(b)に示す. 同図より, 皮膜なしと皮膜ありのいずれにおいても, 蒸留水供給後の接線力係数は 0.1 程度まで増加する. これは, 両試験片の表面の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」過程と考えられるが, 皮膜ありでは黒色皮膜が介在していた分, なじみが終了するまでの時間が長くなっている. 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す. これは, クエン酸による錆の発生などが影響している可能性がある.

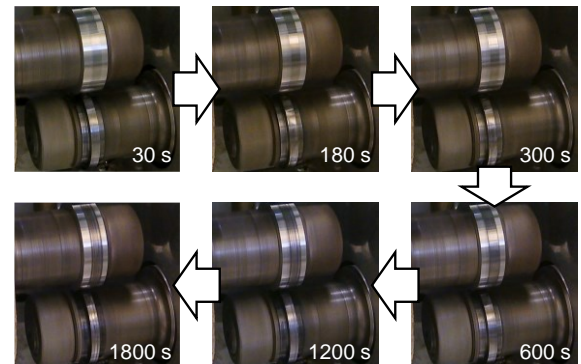
全試験時間の試験輪の外観変化の例として, レール輪が皮膜あり, 供給液体が蒸留水, クエン酸水溶液 1%, 10%の場合の外観画像を図-9 に示す. 前項で述べたように, クエン酸水溶液供給の場合は濃度 1%でも 20秒以下で黒色皮膜は除去されていたが, 図-9(a)より, 蒸留水供給の場合は, 黒色皮膜がほとんど除去されるまでに 180秒程度要している様子が確認できる. それ以降は, 外観上大きな変化は見られない. また, 同図(b)(c)より, クエン酸水溶液 1%および 10%の場合は, 試験後半で錆と考えられる茶色の物質がレール輪の転動面に発生する様子などが確認できるが, 接線力係数と外観の変化に明確な関係性は認められない. 以上より, クエン酸水溶液供給後の接線力係数の変化は, 錆などの表面の材料変質が



(a) 蒸留水



(b) クエン酸水溶液 1%



(c) クエン酸水溶液 10%

図-9 全試験時間の試験輪の外観変化 (皮膜あり)

影響していると推定されるものの, 詳細な原因解明のためには, 外観以外の化学的分析法を導入する必要がある.

以上より, クエン酸水溶液は黒色皮膜を除去しやすくする効果が認められるが, 除去後にクエン酸を放置すると黒色皮膜とは別の要因 (錆など) で粘着力を低下させる恐れがあるため, 黒色皮膜除去後はすぐに水で洗浄することが粘着力改善に有効であると考えられる.

3. 現地試験

前章の室内試験における黒色皮膜はレール輪をタンニン酸水溶液に浸漬することで形成したもので, 現場のレール頭頂面に形成される黒色皮膜そのものではない. 現場の黒色皮膜には, タンニンの他にガラクトキロン酸と

呼ばれる糖類やリグニンといった物質が含まれることが分かっている⁵⁾。そのため、室内試験で得られたクエン酸による除去効果が現場の黒色皮膜に対しても認められるか疑問が残る。そこで本章では、現場のレール頭頂面に形成された黒色皮膜に対するクエン酸水溶液による除去効果について検討を行った現地試験の結果を報告する。

(1) 試験方法

現地試験では、前章の室内試験と同様に車輪／レール間の接線力によって黒色皮膜の除去を図ることとし、レールにクエン酸水溶液を散布した後列車を通過させた。ただし、室内試験で得られた結果より、粘着力改善のためには黒色皮膜除去後すぐに水で洗浄する必要があると考えられることから、列車通過後にレールに水道水を散布する工程も追加した。試験手順を図-10に示す。なお、1試験での試験区間は片側レールの長手方向100cmである。詳細な作業内容を以下に記す。

レール頭頂面撮影では、黒色皮膜の除去程度を外観で評価するため、デジタルカメラによりレール頭頂面を真上から撮影した。①では黒色皮膜が付着した初期のレール頭頂面、②では条件によってクエン酸水溶液または水道水を散布し、その後列車が通過してから水道水を散布した状態のレール頭頂面を撮影した。クエン酸水溶液散布、車輪通過、水道水散布の一連の工程による黒色皮膜の除去程度を①と②の画像を比較することで判断するこ

ととする。ただし、レール頭頂面が①では乾燥状態、②では湿潤状態であることに注意が必要である。

クエン酸水溶液または水道水散布では、試験区間のレール頭頂面に対して、市販の園芸用噴霧器を用いてクエン酸水溶液または比較用として水道水を散布した。散布の様子を図-11に示す。散布は一方向に一度だけ行い、噴霧器からの液体の噴射量はおおよそ7mL/s、噴射口の移動速度はおおよそ800mm/sとした。以下、本工程を「事前散布」と呼ぶ。

列車通過後の水道水散布では、試験区間のレール頭頂面に対して、条件によらず水道水の散布を行った。散布方法は事前散布と同じである。以下、本工程を「事後散布」と呼ぶ。

現地試験の試番および試験条件を表-2に示す。本試験は2本の通過列車に対して実施し、各列車に対してクエン酸水溶液5%と水道水を事前散布した。クエン酸水溶液5%と水道水を事前散布する範囲はそれぞれ100cm、その間隔は30cm程度とし、図-12のように車輪の円周長内に散布箇所が全て収まるようにすることで、レールの一方の散布箇所接触した車輪踏面がもう一方の散布箇所接触しないようにした。なお、試験箇所は単線かつ直線であり、下り方面に向かって4‰の上り勾配である。なお、図-10に示したように、事前散布から列車通過まで4~5分程度、列車通過から事後散布まで1~2分程度の時間が空いている。

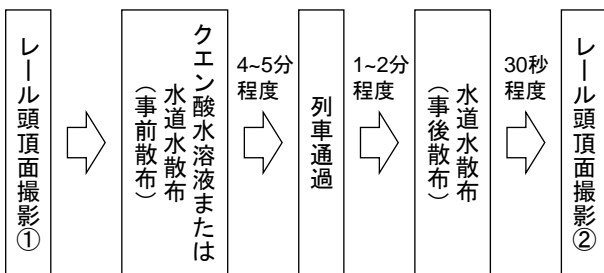


図-10 現地試験の手順

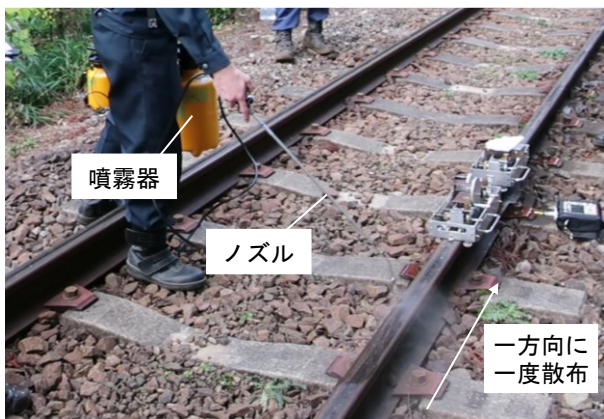


図-11 液体散布の様子

表-2 現地試験の試番および試験条件

試番・試験日時	試番1, 2 : 11月26日14:30頃 試番3, 4 : 11月26日15:55頃 (天候: 晴れ)
試験箇所の線形	単線, 直線, 下り方面に向かって4‰の上り勾配
レール種別	JIS 50kgN普通レール
事前散布の液体	試番1, 3 : 水道水 試番2, 4 : クエン酸水溶液5%
事後散布の液体	水道水
散布液体の噴射量	おおよそ7 mL/s
噴射口の移動速度	おおよそ800 mm/s (一方向に一度散布)
通過列車	試番1, 2 : 下り・1両編成 試番3, 4 : 上り・3両編成

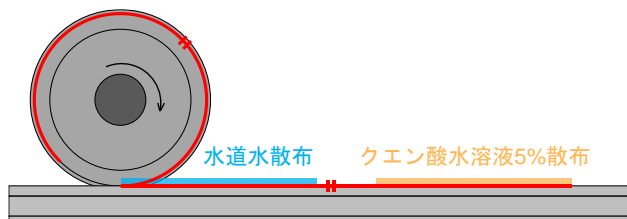


図-12 事前散布の散布範囲

(2) 試験結果

初めに、事前散布の散布液体によらず得られた結果について述べる。初期レール頭頂面と事前散布後のレール頭頂面の比較により、事前散布（クエン酸水溶液 5% または水道水）のみでは黒色皮膜の状態はほとんど変化しないことが確認された。すなわち、クエン酸水溶液または水道水を散布するのみでは、黒色皮膜はほとんど除去されない。ただし、この結果は本試験で実施した市販の噴霧器を用いた散布方法で得られたものであり、高圧洗浄機等を用いた方法では散布するのみで黒色皮膜が除去される可能性はある。また、事後散布はクエン酸によるレール腐食や粘着力低下などの悪影響の防止を狙ったものであるが、車輪通過後の黒色皮膜の残渣が洗浄される効果も確認された。

次に、事前散布の散布液体による結果の比較を行う。黒色皮膜が付着した初期レール頭頂面と事前散布、車輪通過、事後散布を施した後のレール頭頂面を真上から撮影した画像を図-13に示す。図-13(a)(c)より、事前散布の散布液体が水道水の場合でも、車輪通過と事後散布によって黒色皮膜が一定程度除去されている様子が確認された。一方、図-13の(a)と(b)、(c)と(d)の比較より、水道水よりもクエン酸水溶液 5% を事前散布した方が多くの黒

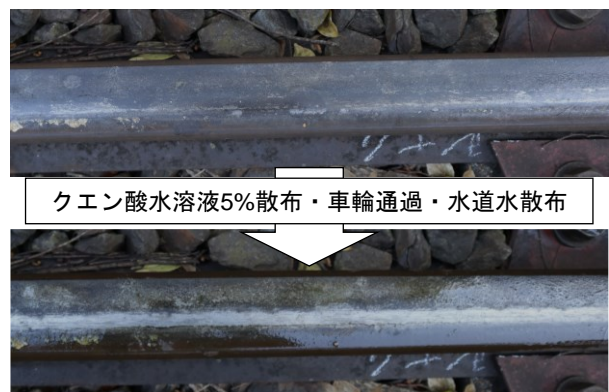
色皮膜が除去されている様子が確認された。これらの結果を踏まえると、水道水またはクエン酸水溶液を事前散布すれば車輪通過によって黒色皮膜が除去される可能性があり、特にクエン酸水溶液を事前散布した方がより多くの皮膜が除去される可能性が高いと言える。

一方、事前散布の散布液体が同じ場合（図-13の(a)と(c)、(b)と(d)）でも、試番によって黒色皮膜の除去程度や除去範囲は異なる。これは、通過列車の軸数、輪重、上り・下りや運転士の運転方に伴う運転状況の違い（力行、惰行など）、車輪の接触する位置、黒色皮膜の形成状態などが影響している可能性があるが、本試験結果からは原因の特定は難しい。こういった結果のばらつきの原因解明のためには、より多くの地点および列車で同様の試験を実施する必要がある。

以上の現地試験結果より、クエン酸水溶液による黒色皮膜の除去効果が外観上認められたが、黒色皮膜が除去された結果として空転・滑走の発生が抑制されるかについては本試験では検証できていない。前章の室内試験において、外観上黒色皮膜が除去されることで粘着力が改善される結果が得られたため、現場においても同様の結果が得られると期待されるが、この点については改めて検証する必要がある。



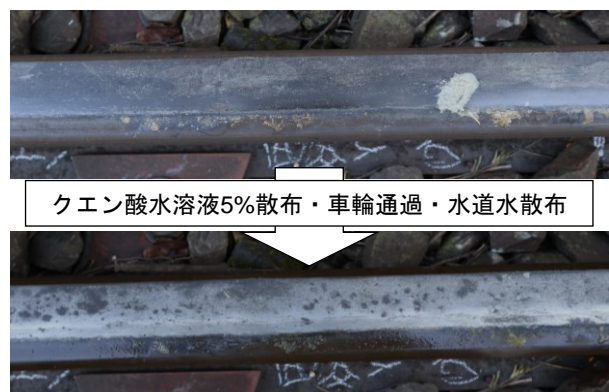
(a) 事前散布：水道水（試番 1）



(b) 事前散布：クエン酸水溶液 5%（試番 2）



(c) 事前散布：水道水（試番 3）



(d) 事前散布：クエン酸水溶液 5%（試番 4）

図-13 現地試験におけるレール頭頂面の外観変化

4. まとめ

車輪の空転・滑走の原因となる落葉起因のレール頭頂面上黒色皮膜に対して、皮膜の除去効果が期待できるクエン酸に着目し、その効果について室内試験と現地試験により検討を行った。2円筒転がりすべり摩擦力試験機を用いた室内試験（車輪／レール輪間の接線力測定および外観観察）において、以下の結果が得られた。

- (1) 蒸留水と比較してクエン酸水溶液を供給した場合は、黒色皮膜が1/10以下の時間で除去された。
 - (2) クエン酸水溶液の濃度が高いほど早く黒色皮膜が除去され、接線力係数は早く増加した。
 - (3) 黒色皮膜除去後の接線力係数に関しては、クエン酸水溶液を供給した場合は安定せず、蒸留水の場合よりも低い値を示した。
 - (4) 比較的高濃度のクエン酸水溶液をレール頭頂面に散布して黒色皮膜を除去後、すぐに水で洗浄することが粘着力改善には有効な可能性が示唆された。
- また、現場の黒色皮膜に対してクエン酸水溶液または水道水散布、列車通過、水道水散布の一連の工程を実施した現地試験において、以下の結果が得られた。
- (5) 水道水よりもクエン酸水溶液を散布してから車輪が通過した方が多くの黒色皮膜が除去された。

本研究で得られた結果より、クエン酸水溶液が黒色皮膜の除去を容易にする効果は確認できたため、今後は現場におけるクエン酸水溶液の適用方法や黒色皮膜の除去機構について検討を進める予定である。

REFERENCES

- 1) 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.
- 2) 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.]
- 3) 生駒一樹，鈴木淳一，陳樺：落葉により生成したレール上黒色皮膜除去のためのクエン酸の適用検討，第 26 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集（J-RAIL2019），JSCM-3-1，pp. 419-421，2019。[Ikoma, K., Suzumura, J. and Chen, H.: Study on the application of citric acid for removal of black film formed by fallen leaves on the rail, *Proceedings of 26th Railway Technical Union Symposium (J-RAIL2019)*, JSCM-3-1, pp. 419-421, 2019.]
- 4) 陳樺：研究開発七つ道具 転がりすべり摩擦力試験機，RRR，Vol. 70，No. 4，p. 41，2013。[Chen, H.: Seven Tools for Research and Development Rolling-Sliding Frictional Machine, *RRR*, Vol. 70, No.4, p. 41, 2013.]
- 5) 陳樺，日比野澄子，鈴木淳一，生駒一樹，松原孝聡，ビンセントメジエール，ガブリエルギヨーム，シャンプンバステイエ：山間線区における車輪／レールの低粘着発生条件の実験調査，第 27 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集（J-RAIL2020），JSCM-1-5，2020。[Chen, H., Hibino, S., Suzumura, J., Ikoma, K., Matsubara, T., Vincent, M., Gabriel, G., Champin, B., Experimental survey of low adhesion occurrence conditions for wheel/rail in mountainous lines, *Proceedings of 27th Railway Technical Union Symposium (J-RAIL2020)*, JSCM-1-5, 2020.]

(Received April 1, 2022)

(Accepted June 3, 2022)

INVESTIGATION OF REMOVAL EFFECT OF CITRIC ACID ON BLACK LEAF LAYER ON RAIL SURFACE CAUSED BY FALLEN LEAVES

Tatsuya IDO, Kazuki IKOMA, Junichi SUZUMURA, Masahiro TSUJIE,
Masaharu KONO, Fumihiko URAKAWA and Hua CHEN

Black leaf layer formed on the rail head surface by fallen leaves causes wheel slipping and sliding in mountainous areas in autumn. We focused on citric acid because it may decompose the black leaf layer and thus facilitate its removal. In this paper, we investigated its removal effect by laboratory and field tests. In the laboratory tests using Twin-disc Rolling-sliding Frictional Machine, the black leaf layer was removed earlier and the tangential force between wheel disc and rail disc increased earlier when citric acid aqueous solution was supplied rather than water. Furthermore, it was found that supplying a higher concentration of citric acid aqueous solution was more effective in removing the black leaf layer. In the field tests, water or citric acid aqueous solution was sprayed on the rail head surface and the change in appearance of the black leaf layer due to the passage of the train was confirmed to investigate the removal effect of citric acid on the actual black leaf layer. Similar to the laboratory tests, the actual black leaf layer was more noticeably removed when citric acid aqueous solution was sprayed than when water was sprayed.