

レール頭頂面に形成した 落葉起因の黒色皮膜除去装置の開発

幸野 真治* 井戸 達哉** 辻江 正裕*
鈴村 淳一*** 生駒 一樹***

Development of Equipment to Remove Black Leaf Layer Formed on Rail Top Surface by Fallen Leaves

Masaharu KONO Tatsuya IDO Masahiro TSUJIE
Junichi SUZUMURA Kazuki IKOMA

On mountain railways in autumn, a black leaf layer is formed when fallen leaves are stepped on by wheels, containing moisture. This layer tends to reduce adhesion in wet conditions, resulting in wheel spinning or sliding. Our focus was on the chelating effect of citric acid, and we verified its effectiveness in removing the black leaf layer. We then proposed a method of removing the black leaf layer involving spraying citric acid, sliding a brush and cleaning with water, and developed equipment for carrying out these procedures. Following test on a commercial line using this equipment, we confirmed that it had sufficient performance to remove the black leaf layer.

キーワード：車輪／レール，落葉，黒色皮膜，空転，滑走，クエン酸

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）が形成される^{1) 2)}。この黒色皮膜は、湿潤条件下では粘着力の低下を引き起こし、列車の空転や滑走が発生しやすくなることが報告されている^{3) 4)}。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キロ程度におよび、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⁵⁾などがあるが、約2~3km/h程度と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費用や労力を要するため、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、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分解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、黒色皮膜の除去効果が期待できる。そこで、円筒型試験片に擬似的な黒色皮膜を形成させて2円筒転がり摩擦試験を実施し、クエン酸による黒色皮膜の除去効果を検証した⁶⁾。

次に、上記の2円筒転がり摩擦試験の結果を踏まえ、クエン酸を用いた黒色皮膜除去法の仕様を検討した。上記の試験で試験片に形成させた黒色皮膜は、営業線のレール頭頂面に形成する黒色皮膜そのもので

* 鉄道力学研究部 軌道力学研究室

** 元 鉄道力学研究部 軌道力学研究室

*** 材料技術研究部 潤滑材料研究室

はなく、皮膜の厚さや成分などが異なるため、営業線の黒色皮膜の除去に有効なクエン酸水溶液の濃度や研磨材の接触荷重などの条件は明確ではない。そこで、クエン酸水溶液を用いたレール頭頂面上の黒色皮膜の除去においてより効果的な適用条件を検討するため、営業線において黒色皮膜除去試験を実施した⁷⁾。

最後に、営業線での検討結果を踏まえ、黒色皮膜除去装置を開発した。本装置は、クエン酸散布等の施工を長距離にわたり実施できるように、軌道自動自転車を採用することとした。本装置を用いて、黒色皮膜が形成されている営業線にて黒色皮膜の除去試験を実施し、装置の性能を評価した⁸⁾。

2. 2円筒転がり摩擦試験

2.1 試験方法

本試験においては、図1に示す転がり-すべり摩擦力試験機⁹⁾を使用した。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。

試験条件を表1に示す。本研究で実施した接線力測定試験においては、試験片間のHertz最大接触圧力を実際の車輪/レール間の接触圧力と同程度の857MPaとするため、法線力は450Nとした。法線力を加えた後、空転発生時における低速域での走行を模擬するため、各試験片の回転数177rpm(1km/h相当)、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。なお、開始から2秒程度は、すべり率0%でモータが加速するため、接線力は発生しない。試験開始から300秒間は、接触部近傍に液体を10mL/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したものである。

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。

2.2 試験結果

2.2.1 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。まず外観

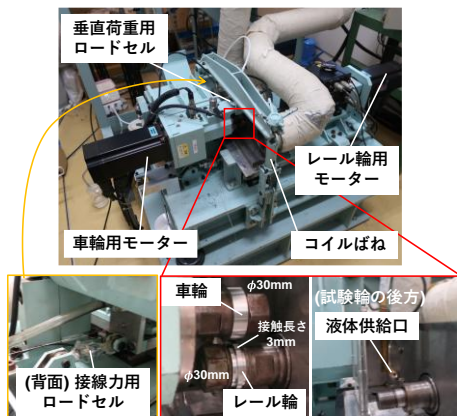


図1 2円筒転がり-すべり摩擦力試験機

表1 2円筒摩擦試験の試験条件

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

変化に関して、代表して蒸留水およびクエン酸 10 % の条件における試験片の様子を図 2 に示す。図 2(a) より、蒸留水を供給した条件では、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、図 2(b) より、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。なお、クエン酸水溶液 1% を供給した条件では、試験開始から 15 秒経過した時点でほとんど除去された。

次に、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 3 に示す。図 3 より、クエン酸水溶液の滴下条件に着目すると、概ね濃度が高いほど接線力係数が早期に増加する傾向が見られた。一方で、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。試験片の外観変化より、クエン酸水溶液の濃度が高いほど黒色皮膜も早期に除去されたことから、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。

2.2.2 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測定結果を図 4 に示す。図 4 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. 営業線における黒色皮膜除去法の仕様検討

2 章の試験結果より、クエン酸水溶液を供給することで黒色皮膜を早期に除去できるものの、供給から長時間経過すると、蒸留水供給条件よりも摩擦係数が低くなることがわかった。そこで、営業線においては、



図 2 試験開始後 30 秒間の試験輪の外観変化

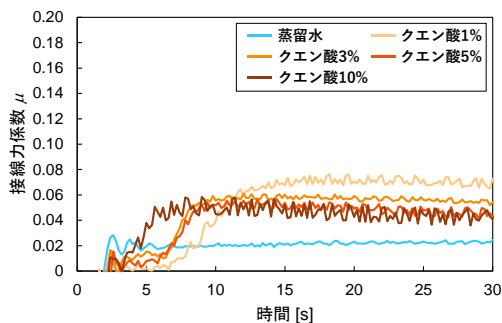


図 3 試験開始直後の接線力係数

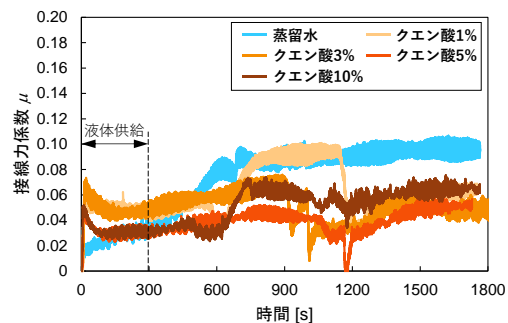


図 4 全試験時間の接線力係数

クエン酸水溶液をレール頭頂面に散布し、研磨材の摺動により黒色皮膜を除去した後、水でクエン酸水溶液および黒色皮膜の残渣を洗い流すという方法が効果的と判断した。本章では、上記の手法によるレール頭頂面上の黒色皮膜の除去において、より効果的な適用条件を検討するために、営業線の本線で実施した黒色皮膜除去試験について述べる。

3.1 試験方法

3.1.1 試験手順

黒色皮膜の除去試験は、図5に示す手順にしたがって実施した。各工程の詳細な作業内容を以下に示す。なお、各工程の丸付きの番号は図5の手順に対応している。

(1) レール頭頂面撮影…①, ④, ⑦

黒色皮膜の除去の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、④ではクエン酸水溶液または水道水を散布した状態のレール頭頂面、⑦では研磨材摺動および水道水の散布を実施した状態のレール頭頂面を撮影した。

(2) 膜厚測定…②, ⑧

レール頭頂面は、膜厚測定に十分な広い面を有しているため、黒色皮膜の除去程度を膜厚により評価することとし、電磁式膜厚計（A456CFTS, Elcometer Limited 製）によりレール頭頂面の皮膜の厚さを測定した。電磁式膜厚計は、電磁石の入ったプローブの先端をレールに近づけることで電磁誘導を発生させて、プローブとレールの間の距離のわずかな変化に対応する電圧の変化を利用して膜厚を測定する。②では初期のレール頭頂面上の膜厚、⑧では一連の工程後の膜厚を測定した。いずれも、試験区間 50cm を 5cm 間隔で 11 箇所測定した。

(3) クエン酸水溶液または水道水散布（事前散布）…③

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水道水を散布した。散布は一方向に一度だけ行った。散布の様子を図6に示す。噴霧器からの液体の噴射量は約 7mL/s で、噴射口の移動速度は約 800mm/s とした（以下、本工程を「事前散布」と呼ぶ）。

(4) 研磨材の摺動…⑤

試験区間のレール頭頂面に対して、ナイロン製研磨材（スコッチブライト工業用パッド 8447, 3M 製）の摺動を行った。鉄材から切り出した重りを 3 個または 4 個重ねて、重りの底面に研磨材を貼り付けることで接触面圧を与える構造とした。重りの質量は 1 個当たり約 400g（研磨材を貼り付ける重りのみ約 300g）である。研磨材の摺動速度は約 25mm/s とし、図7のように一方向に一度だけ摺動させた。

(5) 水道水散布（事後散布）…⑥

条件によらず、研磨材を摺動させた後に水道水の散布を行った。散布方法は（3）項の事前散布と同様である（以下、本工程を「事後散布」と呼ぶ）。

3.1.2 試験条件

試験条件を表2に示す。2円筒摩擦試験では、クエン酸水溶液の濃度を最大 10%としており、濃度が高いほど黒色皮膜の除去効果は高い。一方、濃度 5%および 10%のクエン酸水溶液をレールに散布すると、レール頭頂面の錆形成による軌道回路の短絡不良の発生が懸念されるが、クエン酸の散布後に水を散布すれば（図5の手順⑥）、錆の形成が抑制され、水のみを散布した場合と同程度の膜厚となることを確認している。ここでは、実使用において必要な水の散布量を考慮し、本試験では水道水と濃度 1%、3%、5%のクエン酸水溶液の 4 種類を散布した。また、研磨材とレールの間の接触面圧は、実使用において研磨材に負荷可能な荷重の大きさを考慮し、7.4kPa（重り 3 個）と 10.0kPa（重り 4 個）の 2 条件とした。同じ条件下に

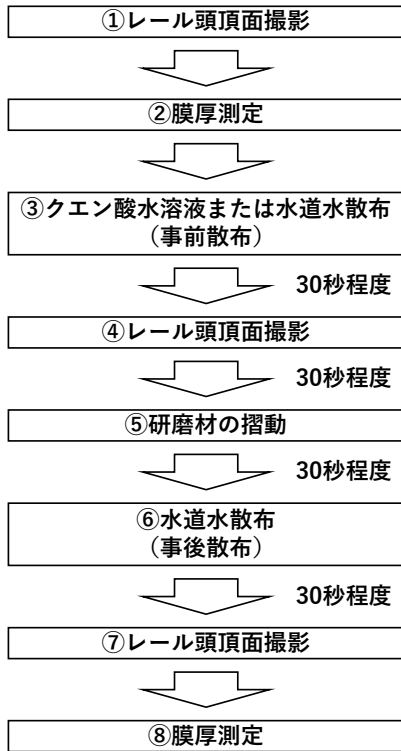


図5 黒色皮膜除去試験の手順



図6 液体散布の様子



図7 研磨材の摺動の様子

表2 黒色皮膜除去試験の試験条件

事前散布液体	水道水, クエン酸水溶液 1, 3, 5%	研磨材	スコッチブライト工業用パッド 8447
事後散布液体	水道水	研磨材の接触面圧	7.4kPa (重り 3 個), 10.0kPa (重り 4 個)
散布液体の噴射量	約 7mL/s	研磨材の摺動速度	約 25mm/s
噴射口の移動速度	約 800mm/s	同一条件下での試験回数	3 回

おける試験は3回実施した。なお、図5に示すように、③事前散布から⑦レール頭頂面撮影までの各手順の時間間隔は約30秒とした。

3.2 試験結果

3.2.1 レール頭頂面の外観

黒色皮膜が形成している初期のレール頭頂面、事前散布直後のレール頭頂面、および研磨材の摺動と事後散布を行った後のレール頭頂面の外観の例を図8に示す。

まず、初期のレール頭頂面と事前散布直後のレール頭頂面を比較すると、事前散布液体や研磨材の摺動時の接触面圧によらず、事前散布だけでは黒色皮膜の外観はほとんど変化しないことが確認できる。つまり、クエン酸水溶液を散布するだけでは黒色皮膜を除去できないと言える。

次に、事前散布液体による結果の違いについて比較する。図8より、事前散布液体が水道水であっても、研磨材の摺動とその後の事後散布により黒色皮膜が若干除去されるが、クエン酸水溶液の方がより顕著に黒色皮膜が除去されていることがわかる。また、クエン酸水溶液の濃度が高くなるほど黒色皮膜の除去が顕著であることもわかる。以上から、接触面圧が同等の条件においては、高濃度のクエン酸水溶液を散布した方が黒色皮膜は除去しやすいと言える。これらの結果から、クエン酸水溶液が、室内試験で形成させた擬似的な黒色皮膜だけでなく、営業線で形成する黒色皮膜も除去できることを確認できた。なお、研磨材摺動時の接触面圧の違いに着目すると、接触面圧が高い方が黒色皮膜はわずかに多く除去されたが、除

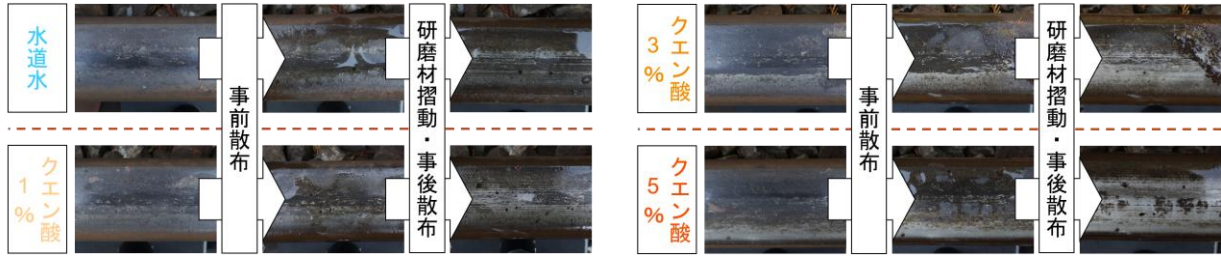


図8 レール頭頂面の外観変化の例（写真は接触面圧 7.4kPa）

去の程度に大きな差異は見られなかった。

3.2.2 黒色皮膜の膜厚

初期のレール頭頂面および除去試験後のレール頭頂面の膜厚測定結果より、膜厚の減少量を算出した(初期の膜厚測定値は、4~7 μm 程度であった)。次に、初期のレール頭頂面の膜厚に対する減少量の割合(減少率)を黒色皮膜の除去程度と捉えて算出し、各条件の試験回数3回で平均した。膜厚減少率の平均を図9に示す。接触面圧 7.4kPa の場合の平均減少率は水道水で 30%程度、濃度 1%のクエン酸水溶液で 50%程度、濃度 3%、5%のクエン酸水溶液で 70%程度であり、接触面圧 10.0kPa の場合の平均減少率は水道水、濃度 1%のクエン酸水溶液で 30%程度、濃度 3%のクエン酸水溶液で 70%程度、濃度 5%のクエン酸水溶液で 60%程度である。以上から、接触面圧 7.4kPa および 10.0kPa のいずれの場合も、水道水や濃度 1%のクエン酸水溶液に比べて、濃度 3%や 5%のクエン酸水溶液を事前散布の方が膜厚の減少率は大きいことがわかる。

以上の検証により、膜厚測定による黒色皮膜の除去程度の評価においては、水道水や濃度 1%のクエン酸水溶液に比べて、濃度 3%以上のクエン酸水溶液の方が除去効果は高いことが確認できた。

3.3 黒色皮膜除去の仕様

3.2 節の結果より、クエン酸水溶液の濃度が高くなるほど、外観上黒色皮膜が多く除去されたほか、濃度 3%以上のクエン酸水溶液を事前散布することで、高い膜厚減少率を得られた。ただし、これ以上濃度を高くすると、水で洗い流しても錆の形成を抑制できず、軌道回路における短絡不良が発生することが懸念されることから、レール頭頂面の黒色皮膜の除去においては濃度 5%のクエン酸水溶液が適していると考えられる。

本試験においては、研磨材の接触面圧の違いによる黒色皮膜除去の程度に大きな差異は見られなかったが、クエン酸水溶液の濃度が高い条件においては、いずれの接触面圧でも黒色皮膜が顕著に除去されていた。したがって、研磨材の接触面圧は少なくとも 7kPa から 10kPa 程度を確保すればよいと考えられる。

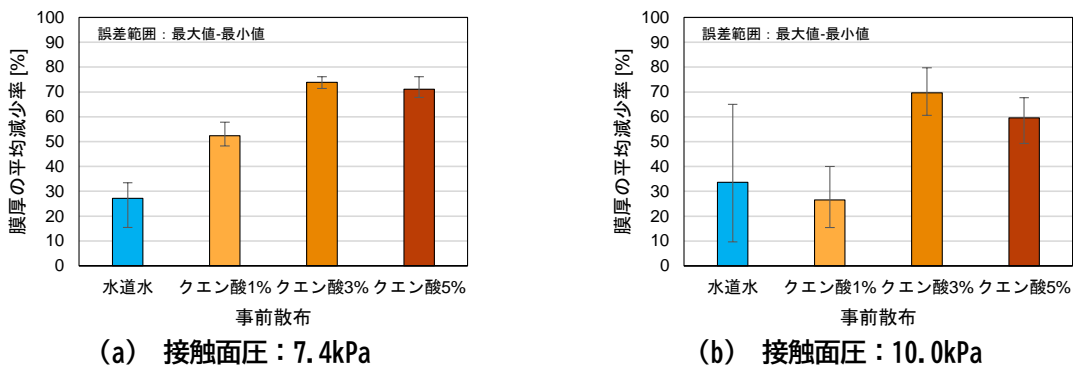


図9 黒色皮膜の膜厚の平均減少率

4. 黒色皮膜除去装置の開発および性能評価

3章の営業線での検討より、レール頭頂面にクエン酸を散布し、レール頭頂面に工業用の研磨材(ナイロン製)を摺動させてせん断力を作用させることによって、黒色皮膜を除去可能であることが確認できた。これらの手順に基づき、営業線において形成した黒色皮膜を連続的に除去する黒色皮膜除去装置(以下、「除去装置」と呼ぶ)を開発した。そして、黒色皮膜が形成している営業線において、除去装置を用いた黒色皮膜除去の試験施工を実施した。

4.1 除去装置の構造

除去装置の概要を図10に示す。本装置は、2台の軌道自動自転車および1台の牽引用トロを援用しており、①クエン酸を散布する「クエン酸水溶液散布機構」、②レール頭頂面に円筒型研磨材を接触させ、せん断力を与え黒色皮膜を除去する「黒色皮膜除去機構」、③クエン酸や黒色皮膜の残渣を洗浄する「水散布機構」で構成される。まずクエン酸水溶液散布機構を設置した1台目の軌道自動自転車を走行させ、レール頭頂面にクエン酸水溶液を散布する。次に、黒色皮膜除去機構および水散布機構を搭載した牽引用トロを、2台目の軌道自動自転車で牽引しながら走行し、クエン酸と反応した黒色皮膜の除去、およびクエン酸と黒色皮膜の残渣の洗浄を行う。このように、クエン酸水溶液の散布と黒色皮膜の除去を独立して実施できるため、クエン酸と黒色皮膜の反応時間を確保することが可能である。また、黒色皮膜除去機構については、レール頭頂面との接触面積を増加させるとともに、せん断力を発生させるため、ピッチ方向に転動する円筒型の研磨材を採用した。

4.2 試験施工条件

試験施工の条件を表3に示す。この条件は、3章の検討結果および、別途基地線で実施した仕様検討により決定した。走行速度については、施工速度を向上させつつ、走行風の影響を受けず確実にクエン酸水溶液をレール頭頂面に散布させるよう10km/hとした。クエン酸水溶液の滴下量は、走行速度10km/hにおいても、レール頭頂面を十分に濡らすことができるよう600mL/minとした。円筒型研磨材の周速度は、軌道自動自転車が10km/hで走行しても、レール頭頂面に対して後方へすべりを与えられるよう20km/hとした。接触荷重は、3章の検討において黒色皮膜が除去できた時の接触面圧(7~10kPa)以上の面圧を確保できる値とした。水の散布量は、クエン酸水溶液および黒色皮膜の残渣を十分に洗浄できるように1200mL/minとした。

試験施工箇所は、例年黒色皮膜の形成が確認される約5kmの山間区間を対象とした。この区間のうち、黒色皮膜の形成が実際に顕著であった延べ22地点にて、施工前後の外観観察および膜厚測定を実施した。



図10 黒色皮膜除去装置の概要

表3 試験施工条件

軌道自動自転車の走行速度	10km/h
クエン酸水溶液の滴下量	600mL/min
円筒型研磨材の周速度	20km/h
円筒型研磨材の接触荷重	28N
水の散布量	1200mL/min

4.3 試験施工結果

施工前後におけるレール頭頂面の外観観察の一例を図 11 に示す。施工前にはレール頭頂面全域にわたって黒色皮膜が形成していることが確認できる。一方、施工後にはレール頭頂面にわずかに黒色皮膜が斑状に残存する状態となっており、レール頭頂面に形成していた黒色皮膜の大部分が除去されたことが確認できた。また、その他の地点においても、概ね同様に黒色被膜が除去されることを確認した。

施工前後に実施した黒色皮膜の膜厚測定結果について、代表として 6 地点の結果を図 12 に示す。いずれの地点においても、除去施工により黒色皮膜が除去され、その膜厚も減少していることが確認できる。本研究における除去施工で最も除去効果が認められたのは、図 12(b)に示す地点 B の内軌で 92%減少であった。また、測定地点全体では、約 60%の膜厚が減少する効果が確認できた。いずれの地点においても施工後の平均膜厚は約 2 μ m まで除去できていることから、施工前の平均膜厚が薄い箇所については、相対的に除去した膜厚の割合が低く出たものと考えられる。なお、図 12(c)に示す地点 C の外軌においては 5%の減少にとどまっている。これは地点 C が半径 250m の急曲線であり、かつ 105mm のカントと 10mm のスラックが設定されていることから、除去装置が内軌側へ移動することで、外軌側においてレール頭頂面中心に研磨材が十分に接触していなかったことによるものと考えられる。ただし、車輪と主に接触する GC 側については、外観観察により黒色皮膜が除去されていることを確認した。

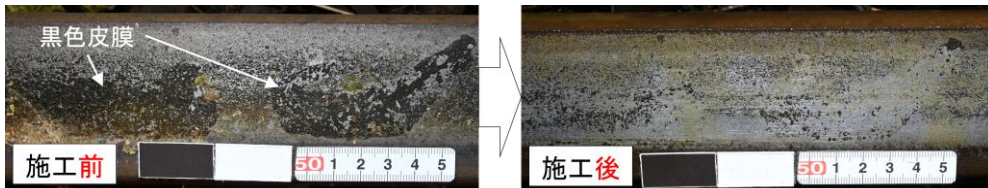


図 11 試験施工前後のレール頭頂面の外観の例

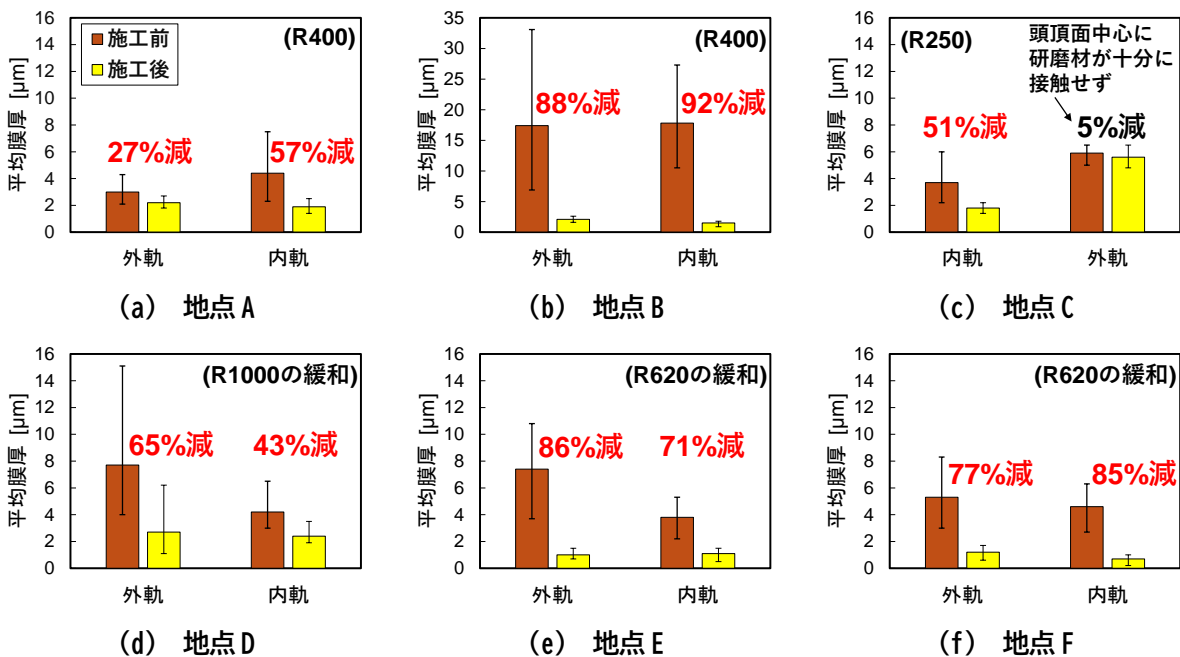


図 12 試験施工前後の膜厚平均値の例

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、クエン酸水溶液を用いたレール頭頂面上の黒色皮膜の除去において、効果的な適用条件を検討するため、レール頭頂面に対するクエン酸水溶液（または水）散布、研磨材の摺動による除去、水散布の一連の工程による黒色皮膜除去試験を実施した。最後に、クエン酸散布機構、黒色皮膜除去機構および水散布機構から構成される黒色皮膜除去装置を開発し、黒色皮膜が形成している営業線において、除去装置を用いて黒色皮膜除去の試験施工を実施した。得られた知見は以下の通りである。

- (1) 2円筒試験機による摩擦試験の結果、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) 営業線における黒色皮膜除去の仕様検討の結果、散布するクエン酸水溶液の濃度は5%のものを用い、研磨材の接触面圧は少なくとも7kPaから10kPa程度を確保すればよいと判断できた。
- (3) 黒色皮膜除去装置による試験施工の結果、レール頭頂面の外観において、黒色皮膜の大部分が除去された。また、試験後に膜厚が平均で約60%、最大で92%減少しており、本装置が営業線の黒色皮膜に対して高い除去効果を発揮できることを実証した。

文献

- 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
- 2) 生駒一樹，鈴木淳一，木村成克，陳樺：落葉によるレール上黒色皮膜の生成と評価，第25回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集（J-RAIL2018），U0024，2018
- 3) H. Chen, T. Furuya, S. Fukagai, S. Saga, K. Ikoma, K. Kimura and J. Suzumura, "Wheel slip/slide and low adhesion caused by fallen leaves," *Wear*, Vol. 446-447, 203187, 2020.
- 4) Z. Li, O. Arias-Cuevas, R. Lewis and E.A. Gallardo Hernández: Rolling-sliding laboratory tests of friction modifiers in leaf contaminated wheel-rail contacts, *Tribology Letters*, 2009, 33, 97-109.
- 5) 相馬直樹：旭川支社管内における秋季空転防止対策および鹿衝突防止対策，新線路，2021年8月号，pp.6-8，2021.
- 6) 幸野真治，辻江正裕，浦川文寛，鈴木淳一：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，鉄道工学シンポジウム論文集，第27号，pp.79-86，2023
- 7) 幸野真治，辻江正裕，浦川文寛，井戸達哉，鈴木淳一，陳樺：クエン酸を用いた落葉に起因する黒色皮膜除去法の仕様検討，鉄道技術連合シンポジウム（J-RAIL2023），S2-1-1，2023
- 8) 幸野真治，辻江正裕，浦川文寛，鈴木淳一，生駒一樹：レール頭頂面に形成した落葉起因の黒色皮膜除去試験，土木学会年次学術講演会，VI-691，2024
- 9) 陳樺：研究開発七つ道具 転がりすべり摩擦試験機，RRR，Vo. 70，No. 4，p. 41，2013