

# 鉄道用レール表層における 白色層の形成

辻 江 正 裕\*      森      久 史\*\*  
松 田 博 之\*,\*\*\*   佐 藤 幸 雄\*\*

## 1. はじめに

車輪及びブレーキ材などのように強い摩擦を受ける部品の表層に、白色層と呼ばれる金属組織の変化した箇所が確認されている。このような白色層の周辺には、微小なき裂が存在しており、欠陥につながることもある。そのため、強摩擦部品における白色層の発生形態を明らかにすることは、部品の長寿命化に大きな影響を及ぼす。

本題の鉄道用レール(以下、「レール」とする)もまた、車輪との接触摩擦を受ける部品であると考えられる。通常の走行では、レール表層に列車の輪重負荷を受けて加工硬化するに留まるが、車輪が空転あるいは滑走した場合には、白色層の発生が見受けられる。レール表層における白色層の発生メカニズムは、室内試験レベルで検証されてきた。しかし、室内試験の試験条件と実際の敷設レールが受ける使用環境などに相違があり、まったく同一条件での検証ではない。

白色層の発生要因については、切削工具などの知見から様々な説が示されてきたが、摩擦条件や鋼種などが影響する傾向が認められ、その原因を特定することは難しいと考えられる。一方、実際の敷設レールで生じた白色層についての報告はあるものの、その発生原因は特定されておらず、特徴などについても整理されたものは少ない<sup>(1)</sup>。

そこで本報では、まず白色層に関する研究動向をまとめた。次に、実際に敷設されているレールにおいて発生した白色層について、白色層の発生傾向や金属組織、き裂との関係

について調査した。そして小型の円筒試験機を用いた白色層の再現試験やFEM解析により、レールに発生した白色層の発生要因について検討した。

## 2. 白色層に関する研究動向

高摩擦領域に相当する環境下で摩擦を鋼材に与えた後、ナイタル腐食を行って表層部を断面組織観察すると、表層やその近傍に白い層状の組織が変化した箇所が見られるようになる。この白い層状の箇所が白色層と呼ばれ、Blankenstelle や異常硬化層、変質層とも言われる<sup>(2)-(4)</sup>。

この白色層は摩擦によって発生するが、鋼に与える摩擦仕事が必要になる。摩擦を加えることで与えられた力学エネルギーは、ひずみエネルギーと熱エネルギーに分解され、被摩擦材に作用するようになる。そして被摩擦材には自由エネルギーの変化が生じることにより、材料の相組織が変化する。すなわち、摩擦熱による組織の熱的非平衡状態を与えることと等しいことになる。白色層の発生がよく見られる高摩擦領域では、摩擦や加工がもたらす発熱により、閃光温度が約800°C以上に達することがある<sup>(5)(6)</sup>。このような状態では、材料表面が共析変態以上の温度上昇とひずみエネルギーを受けるようになり、表層部では相変態や析出、再結晶といった固相変態が考えられる。白色層は、このような表面の組織変化であると考えられる。

白色層の特徴として、硬度が極めて高いことが挙げられる。また、白色層にはマイクロオーダーの微小なき裂(以下、

\* 財団法人鉄道総合技術研究所鉄道力学研究部；研究員(〒185-8540 国分寺市光町)

\*\* 財団法人鉄道総合技術研究所材料技術研究部；主任研究員

\*\*\* 現在；東日本旅客鉄道株式会社研究開発センター

Formation of White Etching Layer on Rail Surface; Masahiro Tsujie\*, Hisashi Mori\*\*, Hiroyuki Matsuda\*,\*\*\* and Yukio Sato\*\* (\*Division of Railway Mechanics, Railway Technical Research Institute, Tokyo. \*\*Division of Material Research, Railway Technical Research Institute, Tokyo. \*\*\*Present: R&D Center, East Japan Railway Company, Saitama)

Keywords: *white etching layer, white layer, rail, rail squats, micro cracks*

2010年6月14日受理

「微小き裂」とする)を伴うことも確認されている。レールで見られる白色層は、こういった微小き裂が起点となって、シェリングと呼ばれる傷の発生につながると考えられている。これは、切削工具のチッピングが白色層と相関性があることと類似している。このような微小き裂の発生は、白色層の硬度が著しく高いために延性が低下し、脆くなることが原因であると考えられる。このように、白色層は微小き裂の起点にもなることから、白色層の発生低減に向けた対策を講じるためにも、その発生要因を検討する必要がある。

白色層に関する研究は1970年代に多く試みられ、その当時は白色層発生の現象論に関する報告が主であった。以降、相変態に関する研究が進み、加工組織のデータが蓄積され、さらに TEM 等の解析ツールが拡大したことから、理論的アプローチも増加した。最近では、白色層を強加工によるナノ組織化から整理されているレビューが、Umamoto らによって報告されている<sup>(1)(7)</sup>。

白色層に関する研究動向について調査した結果、白色層は転動疲労を受けるような摩擦部品について多く見られ、鋳鉄や炭素鋼、合金鋼等の鉄鋼材料に多い。非鉄金属であるアルミニウム合金や黄銅製の同一部品と比較したところ、塑性フローや動的再結晶粒の発現は確認できるものの、白色層のような組織変化は見られない。また加工誘起マルテンサイト変態を生じるβチタン合金についても、転動疲労試験においては白色層の発生は見られなかった。このことから白色層の形成は、鉄鋼材料固有の現象であると考えられる。先行研究<sup>(1)-(4)(7)-(9)</sup>より白色層の発生要因として、表1に示すように、さまざまな説が考えられている。

これまでは、マルテンサイト変態や酸化物及び加工硬化が、白色層の発生要因と考えられてきた。TEM 観察等の微小領域の材料評価が行われるようになってからは、ナノ組織説や非晶質説も示されるようになった。

これらはいずれも、電子線回折にてデバイリングが認められることを根拠に考えられた説である<sup>(7)(10)</sup>。このような極微小領域の変形・相変態挙動に注目されるようになったのは最近のことであり、未だにそのほとんどは焼入説からの説明が多い。しかし焼入説についても、著者らの化学成分計算

表1 白色層の発生要因の整理。

説	特徴
溶融	摩擦熱が溶融温度領域を超えて再溶解した層
焼入	摩擦熱の急加熱急冷によるマルテンサイト変態層(マルテンサイト説)
加工硬化	摩擦高荷重下における材料組織の大ひずみ変形層
脱炭	摩擦発熱の炭素拡散による炭素欠乏層
ナノ組織	大ひずみによる組織分断化と高転位密度下での動的再結晶によるナノ組織層
非晶質	急熱急冷が大ひずみ変形に伴う非晶質層化
酸化物	摩擦発熱に伴う下地鉄の酸化

から求めた $\alpha'$ (マルテンサイト)硬度と測定硬度を比較すると大きな違いが見られることから、白色層の発生は焼入説だけでは整理ができないというも現状である。

このように白色層の発生には様々な説が考えられている。一方、レールに発生する白色層は、高摩擦という極めて複雑な状況における現象であるため、摩擦挙動は、鋼種や接触条件に大きく依存し、またこの諸説のトリガーとなる摩擦発熱の測定が極めて難しい。さらに鉄鋼材料では加工熱処理条件下において様々な相の変化が見られる。これらのことから、特定の説だけを支持することはできない。また実際に敷設されているレールに発生した白色層についても、通過トン数や(以下、「通トン」とする)や敷設状況によって、その発生形態はさまざまであり、その特徴を含めて整理された例はない。

### 3. レールに見られる白色層の実態

国内営業線のレールにおいては、シェリングと呼ばれる傷が群発している箇所、白色層の発生が確認されている。そこで国内在来線13線区のシェリング群発箇所を中心に、白色層の発生状況について実態調査を行った。

#### (1) レールにおける白色層の発生状況

白色層の発生が確認されている、レールの車輪と接触する面(以下、「レール頭頂面」とする)にナイタール腐食を行い、外観観察した結果を、図1に示す。図のように、白色層はレール頭頂面の白く観察される箇所であり、帯状に連続して発生するものや、点状で不連続に発生する形態がある。図1(a)に示すように連続して発生する帯状の白色層は、図2に示すように、(a)短い区間(数メートル)に発生するものと(b)長い区間(数十メートル)にかけて発生するものが確認さ

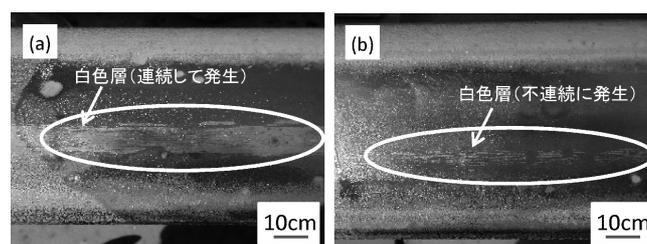


図1 レールに発生する白色層の形態。(a)連続して発生、(b)不連続に発生。

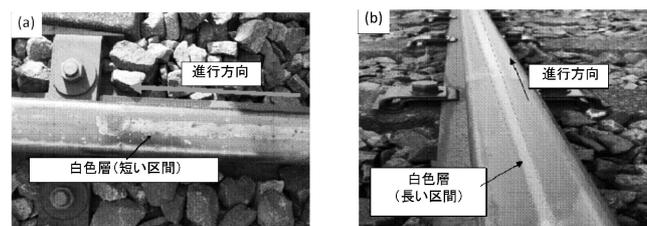


図2 レールに発生する白色層の形態。(a)短い区間に発生、(b)長い区間に発生。

れた。

つぎに白色層の発生している箇所について、駅間・構内、直線・曲線、敷設レールの種類との相関性について調べた。その結果、白色層の発生状況とレールの敷設環境について、以下の知見が得られた。

- 白色層は、駅構内、駅間のいずれにおいても発生する。特に、駅手前のブレーキ区間に多く発生する。
- 白色層は直線及び曲線部のいずれにも発生する。
- 白色層は、レール材質(普通レール、熱処理レール)やレール形状(JIS 50 kg Nレール、JIS 60 kgレール)にかかわらず発生する。

### (2) レール白色層とシェリング傷との関係

つぎに、白色層とシェリング傷の関係について調べるため、白色層ならびにシェリング傷が発生したレールについて調査した。図3(a)はレール頭頂面に浸透探傷を行ってシェリング傷の開口部を可視化させたものであり、(b)は磁粉探傷を行って頭頂面に発生した微小き裂を可視化させたものである。このように白色層が発生している帯域の境界部に、シェリング傷の開口部が見受けられた。また磁粉探傷結果より、シェリングの開口部が見られた帯域に、無数の微小き裂が発生していることが確認できた。このことから白色層の周辺に無数の微小き裂が発生し、それらが成長することで、シェリング傷の起点となる可能性が示された。

### (3) レールに発生する白色層

レールに発生した白色層の厚さについて調べるために、白色層が発生したレールを撤去し、断面組織観察を行った。断面組織を光学顕微鏡で観察した結果を図4に示す。

図4(a)は連続して発生した白色層の断面であり、(b)は不連続に発生した白色層の断面を示している。図に示すように、レールの最表層に白い層状の組織が見られることから、

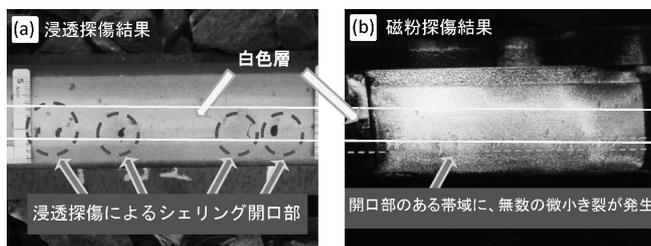


図3 シェリング傷の開口部と白色層の関係。(a) 浸透探傷結果、(b) 磁粉探傷結果。

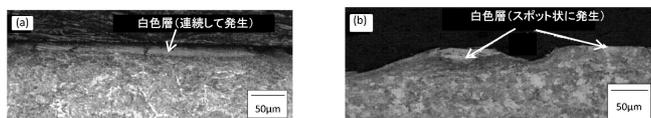


図4 断面組織観察結果。(a) 連続して白色層が発生した断面 (b) 不連続に白色層が発生した断面

白色層が表層及び表層直下に発生していることがわかる。

つぎに断面観察により、発生した白色層厚さの分布を調べた。その結果、図5に示すように白色層厚さの最大値は62  $\mu\text{m}$  であり、また15~25  $\mu\text{m}$  に多く分布していた。また断面観察した白色層の厚さについて、累積通トン別に分類した結果を図6に示す。このように累積通トンが増加するにつれて、白色層厚さの分布は減少する傾向にあることがわかる。この理由として次のことが考えられる。

- 形成された白色層部の組織が、通トンの増加とともに摩耗する。
- 通トン数の増加により、白色層に発生した微小き裂が連結し剥離することで、白色層の厚さは薄くなる。

累積通トンの増加は、レールに対して熱やひずみのサイクルを増加させることと同じであり、白色層の厚さは増加すると考えられる。しかし、熱やひずみの分布がレール表層に限られることから、発生する白色層の厚さには限度があると考えられる。一方、白色層の発生に伴う微小き裂もたまたま白色層のはく離や摩耗により、累積通トンが増加するにつれて白色層の厚さは減少する傾向にあると推測できる。

### (4) レール白色層の金属組織

本項では、白色層が発生したレール(S68C)の金属組織について観察した結果を示す。図7に、白色層が発生したレールの断面組織を示す。

このように、白色層が発生したレールの断面組織を観察すると、最表層に白色層が確認できるほか、白色層直下には(a)金属組織が微細化した領域や(b)塑性流動組織が見られ

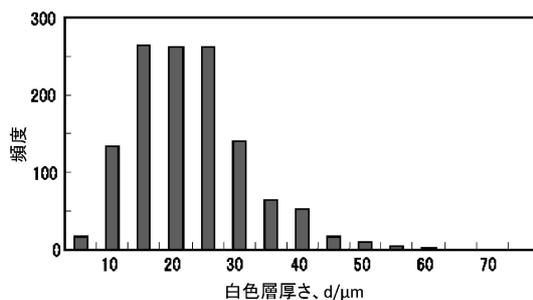


図5 断面組織観察からもとめた白色層厚さの分布。

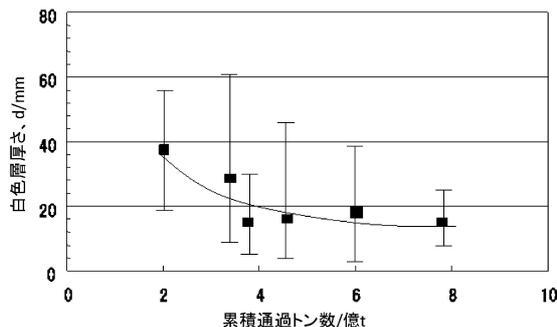


図6 白色層厚さと通トン数との関係。

る。

図7(a)(b)における白色層とその直下の組織、ならびに未使用レールの金属組織を、より高倍率で観察した結果をそれぞれ図8(a)(b)ならびに図9に示す。

これらの観察結果より、白色層直下における金属組織は、未使用レールの金属組織に比べて、微細化していることがわかる。このような組織の微細化には、繰返し摩擦の増加、すなわち摩擦熱と塑性ひずみの増加が原因であると考えられる。白色層内部の微細化した領域についてX線解析を行って調べた結果、白色層の組織を占めるのが $\alpha$ (フェライト)及び $\alpha'$ であり、残留 $\gamma$ (オーステナイト)はほとんど見られなかった。

熱・ひずみ分布が連続的であるならば、白色層直下の塑性流動組織を解析することで、白色層内部における微細化の原因を調べることができる。塑性流動組織には図8(b)の矢印部分のように、 $\alpha/P$ (パーライト)が微細化してバンド状に摩擦方向へ流動していることがわかり、さらにパーライト中の $\theta$ (セメントイト)が点状に分散するようになる。このことか

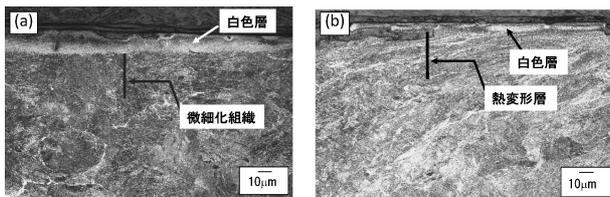


図7 白色層が発生したレールの断面組織観察結果。  
(a) 白色層直下に塑性流動が見られない場合  
(b) 白色層直下に塑性流動が見られる場合

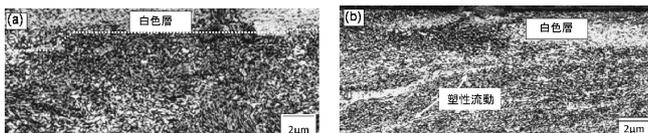


図8 白色層と母材境界部の断面組織観察結果。  
(a) 白色層直下に塑性流動が見られず微細化している場合  
(b) 白色層直下に微細化した組織と共に塑性流動が見られる場合

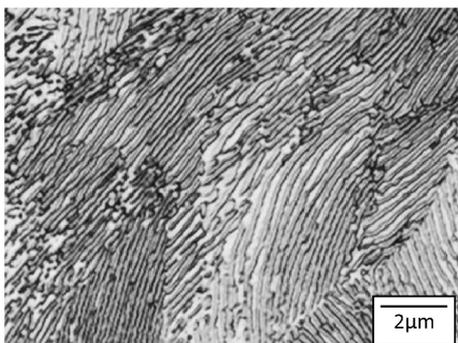


図9 未使用レールの金属組織。

ら相組織の変化は、熱やひずみを受けて相変態を伴いながら回復、あるいはフェライトの動的再結晶により微細化したと考えられる。

一方で、白色層は酸化物あるいは脱炭した層であると考えられている。しかし組織の断面硬さを調べると、白色層内部では約900 Hv~1000 Hvであることから、脱炭組織では無いと考えられる。またダイナミック硬度計を用いて、白色層と未白色層部(以下、「母材」とする)の押し込み変形抵抗を比較した。その結果を図10に示す。曲線の立ち上がりには相組織の違いによる変形挙動の相違が若干認められるものの、変形勾配や除荷後の変形などに大きな差が見られないことから、白色層は酸化物の発生に起因するものではないと考えられる。

白色層の発生は、酸化あるいは脱炭の影響ではないと考えられることから、加工硬化の影響が推測される。さまざまな圧延率で圧延を加えたレール鋼の試験片を用いて硬さの飽和について調べた結果、約500 Hvに飽和点が認められた。このことから、白色層の発生は、加工硬化が主要因となっているとは言い難い。

通常のレールは0.68%Cであることから、添加元素より硬さを推定すると、レールに相当する100%マルテンサイト硬度は約700 Hvとなり、白色層は $\alpha'$ 組織化している可能性が考えられる。組織が微細化していることも合わせて考えると、白色層の硬度は微細な $\alpha'$ によって得られたものであると推定される。

レールに発生した白色層の近傍について、EBSDで解析した結果を図11に示す。このように、白色層の近傍においては、様々な方位を持った微細粒の形成が確認された。また粒界方位解析を行った結果、その微細粒は大角粒界に囲まれていることがわかった。摩擦熱に伴う相変態や動的再結晶等の固相反応が、このような微細粒の形成に影響を及ぼしていると考えられる。

このようにEBSDや粒界方位解析を行った結果、白色層近傍において、摩擦発熱による逆変態で $\theta$ を核とした微細 $\gamma$ を経て $\alpha'$ へと変態したこと、また塑性変形によるすべりにより分割された旧粒界からの動的再結晶で微細粒が発生したことが考えられる。したがって、レール表面に熱及びひずみ

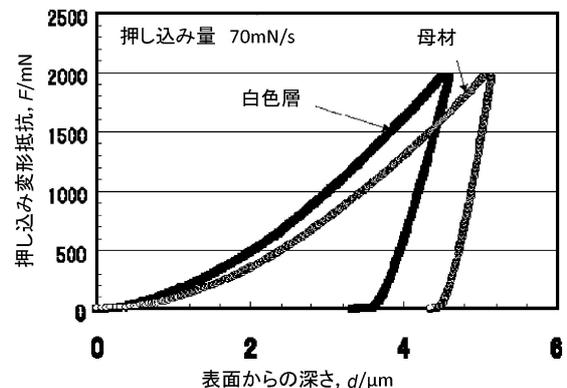


図10 ダイナミック硬度計による白色層と母材の押し込み曲線挙動。

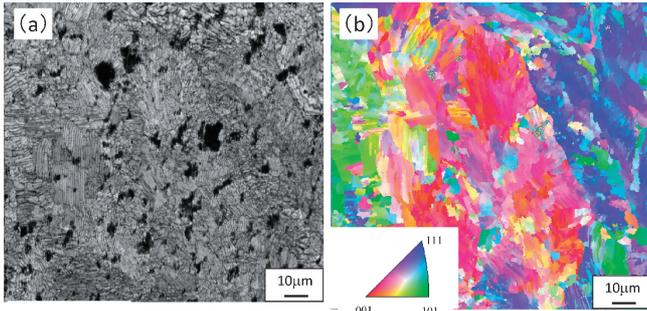


図11 白色層近傍のEBSD解析結果。  
(a) 白色層部分の観察像, (b) 結晶方位分布図。

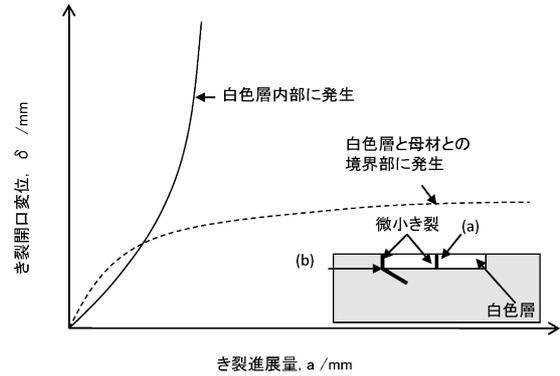


図13 微小き裂の進展挙動とその模式的説明。

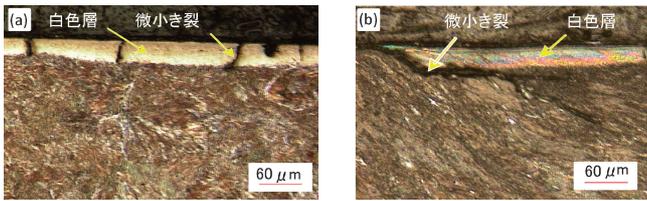


図12 白色層周辺における微小き裂の発生形態。  
(a) 白色層内部に発生, (b) 境界部に発生。

がもたらされるような強い摩擦状態, すなわちレールを通過する列車が空転や滑走することが, 白色層の発生に影響を及ぼしていると考えられる。

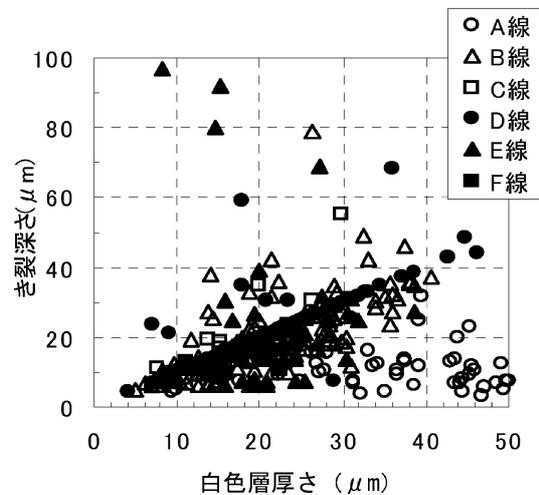
#### (5) 白色層と微小き裂の関係

レールの断面組織観察より, 白色層に伴って微小き裂の存在が確認されている。白色層に伴って発生する微小き裂を観察した結果の一例を図12に示す。このように白色層に伴って発生する微小き裂は, その発生箇所によって, (a)白色層の内部に発生するものと, (b)白色層と母材の境界部に発生するものに分類される。これらの微小き裂には, 次のような特徴が見られる。

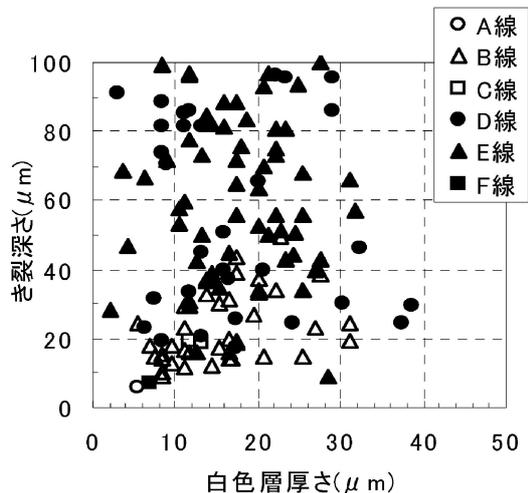
- 白色層内部に発生する微小き裂のほとんどは, 白色層内部もしくは白色層と母材の界面で停留している。
- 境界部に発生する微小き裂は, 白色層と母材の界面に沿って進展している。

このような微小き裂の進展における相違は, 白色層と母材との硬さの違いが影響しているものと考えられる。それぞれのタイプについて, 発生した微小き裂が応力負荷を受けて進展する傾向を図13に模式的に示す。白色層内部に発生した微小き裂は進展するにつれて, き裂先端が母材部の延性の影響を受けて鈍化し, 開口しやすくなる。一方, 境界部に発生する微小き裂は, 母材との延性の違いによってもたらされるせん断力の影響を受け, 境界に沿ってレール底部へと進展する可能性が高いことがわかった。

これらの微小き裂について, き裂深さと白色層厚さとの関係を表したのが図14である。図白色層内部に発生する微小き裂はそのほとんどが白色層内部に停留しているのに対し, 境



(a) 白色層内部に発生したき裂



(b) 境界部に発生したき裂

図14 白色層厚さとき裂深さの関係。  
(a) 白色層内部に発生したき裂, (b) 境界部に発生したき裂。

界部に発生した微小き裂については, き裂深さと白色層厚さには相関が見られないことが確認された。

#### 4. 白色層発生に関する検討

本章では、白色層発生の妥当性を検証するため、2円筒転がり接触疲労試験機を用いた白色層の再現試験、ならびに応力ひずみ解析を実施し、レール白色層発生の妥当性について検討した。

##### (1) 空転および滑走を模擬した再現試験

白色層の発生は、車輪が空転あるいは滑走することが原因であると考えられてきた。そこで図15に示すような、円筒試験片を組み合わせて摩擦を与える、西原式摩擦試験機を用いて、表2に示す空転や滑走を模擬した試験条件の下、白色層の再現試験を実施した。空転を模擬した試験では、レール鋼試験片を固定して車輪鋼試験片のみを回転させた。一方、滑走を模擬した試験では、車輪鋼試験片を固定してレール鋼試験片のみを回転させた。回転後、それぞれの試番におけるレール鋼試験片について断面組織観察を行った。その結果を図16(a)、(b)に示す。図16(a)は空転を模擬した条件におけるレール鋼試験片の断面組織観察結果であり、図16(b)は滑走を模擬した条件におけるレール鋼試験片の断面組織観察結果である。このように、いずれの試験条件においても、白色層の発生が確認できた。このことから、空転や滑走のような厳しい接触状態になると、レール表層に白色層が発生することが確認できた。

白色層の再現試験では、いずれの条件においても白色層の

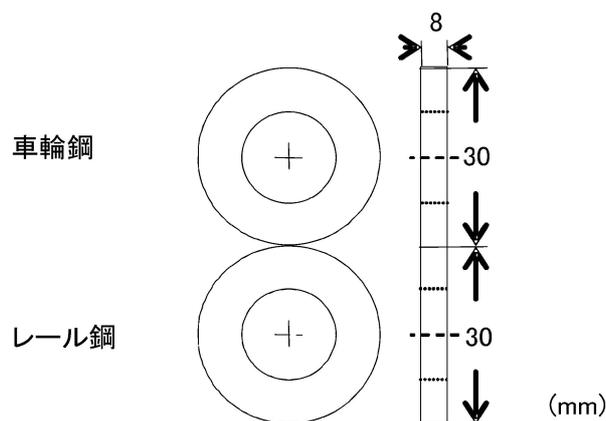


図15 再現試験の試験片。

表2 再現試験の条件。

	面圧	公称すべり率	回転回数(回転時間)
空 転	760 MPa	100% (レール輪固定)	40(3 s)
			100(7 s)
滑 走	760 MPa	100% (車輪固定)	40(3 s)
			100(7 s)

発生が確認できたが、特に滑走を模擬した試験においては、微小き裂の発生も確認された。滑走を模擬した試験で発生した白色層は不連続に見られたことから、白色層に伴って発生した微小き裂は、き裂同士が合体することで白色層の一部を剥離させる可能性があると考えられる。

##### (2) 摩擦熱とひずみの FEM による解析

白色層は強い摩擦の発生により生じると考えられる。そこで、摩擦を受けるレール表層におけるひずみや、熱について解析を行った。

車輪との接触による摩擦により、レールには摩擦エネルギーを介して、塑性ひずみと熱がもたらされる。与えられる摩擦熱は式(1)で与えられる。

$$\Delta T = \int \frac{\sigma \varepsilon}{c\rho} d\varepsilon \quad (1)$$

ここで、 $\Delta T$ は温度差、 $\sigma$ は等価応力、 $\varepsilon$ はひずみ、 $c$ は比熱、 $\rho$ は密度である。式(1)から、摩擦熱は主に塑性ひずみエネルギーの影響として見積もることができる。

レール表層における、車輪との接触によるひずみ分布について、FEM 解析を行った。解析に用いたモデルは、レールと車輪の転がり接触を想定し、2次元平面ひずみ条件下で弾塑性解析を行った。解析では、列車通過と等価(最大接触圧 900 MPa)となるよう接触範囲と垂直荷重を算出し、接線力を加えた力を接触力として、レール表面に負荷し、この負荷を一方向に10回移動载荷させて、その時のひずみ及び応力を計算した。ひずみ分布の解析結果を図17に示す。このように表層部分に強い塑性ひずみが集中的に発生していることが

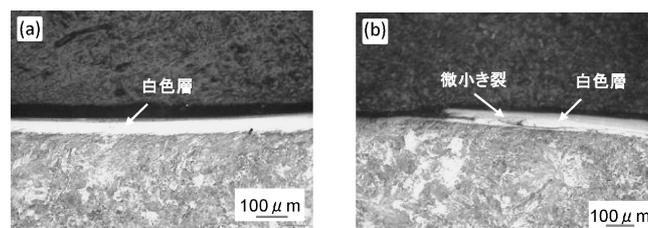


図16 白色層再現試験結果。  
(a) 空転を模擬、(b) 滑走を模擬。

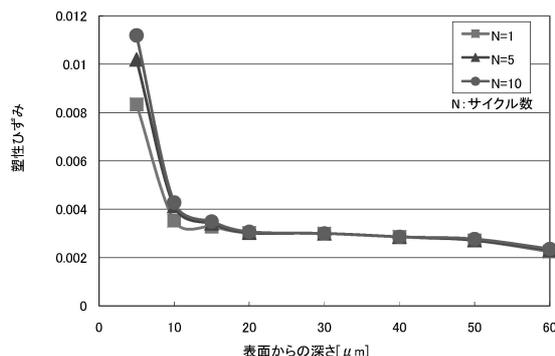


図17 車輪との接触による塑性ひずみの解析結果。

確認できる。等価応力の分布もまた、図17と同様の分布を有することが解析により確認されている。ひずみ及び等価応力の解析結果と鉄の比熱並びに密度を用いて式(1)から発生熱を算出すると、 $\Delta T = 800^\circ\text{C}$ 程度となる。このことから、次のように考えられる。

- 白色層の発生は、ひずみと等価応力の高い表層部に限定される
- 車輪との接触による摩擦熱により、レールの表層において、相変態が生じる。

4.(1)節の再現試験において、試験片の一部が溶解したことから、試験片表面においてAc1変態点以上の摩擦熱が生じていることが確認された。再現試験以外でも、レールが摩擦を受けた時には、瞬時に閃光温度が上昇することも知られている。白色層を詳細に観察すると、微細等軸 $\alpha'$ 相や強変形パーライト相が観察されることから、白色層内の組織変化が生じていると考えられ、白色層では、相変態を伴った組織変化が生じている可能性が高いと考えられる。

## 5. 考 察

これまで白色層の発生については、冷却段階に着目した解析がおこなわれてきた。しかしレールと車輪の摩擦挙動においては、冷却段階の他に温度上昇時についても考える必要がある。空転や滑走のように大きなすべりを伴う摩擦が生じた際、摩擦開始から最大温度まで瞬時に加熱された状態となる。この際、組織が塑性変形し、初期組織である $\alpha + \text{P}$ 組織は発熱により $\alpha + \gamma$ 領域にまで逆変態して、逆変態完了時にP中の $\theta$ を核とした微細な $\gamma$ が形成される。それと同時に、初析 $\alpha$ もまたすべりにより分断され、 $\alpha$ の核生成サイトが増加するようになる。微細な $\gamma$ はセメントタイトからの炭素固溶を引き継ぐために、過飽和な炭素を含むことで化学的に安定化する。その後の放冷時に $\gamma$ から $\alpha'$ に変態し、最終的に微細な $\alpha$ と $\alpha'$ が析出して白色層になると考えられる。 $\gamma$ から $\alpha'$ への変態では、直接 $\gamma \rightarrow \alpha'$ への変態と $\theta$ 相から $\varepsilon$ (炭化物)相への変化を介した $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$ への変態が考えられる。前者の変態では双晶関係のある $\alpha'$ 、後者の変態では様々な方位を有する $\alpha'$ が得られ、EBSDの方位解析とほぼ対応するような傾向が得られるが、本調査だけの結果のみからこのことを支持するのは難しい。そこで、今後、より微小な領域を観察することで評価したい。

著者らは、このような摩擦発熱による、逆変態を含めた相変態を摩擦発熱相変態と称し、今後さらに微視領域を含めた検討を行ってメカニズムを解析していく予定である。

## 6. お わ り に

白色層に関する研究は古くから行われており、その発生要因について様々な説が示されてきた。しかし、摩擦という極

めて複雑な現象から白色層の発生について明らかにすることは、難しい課題であった。

著者らは、現場敷設レールの調査、白色層の特徴の調査、白色層の再現試験、FEM解析などを行い、白色層の発生に関する基礎的検討を行った。そして、本稿で紹介したような摩擦発熱による逆変態を含めた相変態を、摩擦発熱相変態と称し、摩擦時の温度上昇を含めたメカニズムを考えて新たな説を導入した。相変態による組織変化を原因とする白色層の発生に対しては、相変態挙動を制御することができ、なおかつ、微小き裂が発生しても強靱である素材の適用が望ましいと考えられる。

今後、白色層発生対策法として、冶金学的な知見からさらに検討を進めるとともに、白色層に伴って発生する微小き裂に対しても、レール表層を砥石で取り除く削正法について検討を進める。そしてこれらの手法の検証を進め、現場ヘフィードバックさせて、安全で安心できる軌道の技術開発を行ってきたいと考えている。

## 文 献

- (1) 三田尾眞司, 本庄 稔, H. W Zhang, 大崎 智, 宝野和博: ふえらむ, **14**(2009), 30-31.
- (2) 山田俊宏: 日本金属学会誌, **40**(1976), 757-763.
- (3) 矢畑 昇: 日本金属学会誌, **41**(1977), 21-26.
- (4) 大道寺達, 村上昇一: 日本機械学会論文集, **39**(318), (1973), 603-609.
- (5) J. F. Archard: Wear, **2**(1958), 438-455.
- (6) 川本 信, 岡林邦夫: 日本金属学会誌, **37**(1973), 350-356.
- (7) 梅本 実, 戸高義一, L. Jinguo: 鉄と鋼, **94**(2008), 616-628.
- (8) 山田俊宏, 川本 信, 岡林邦夫: 日本金属学会誌, **35**(1971), 58-63.
- (9) V. N. Tkachev, A. T. Radchenko and B. M. Fishtein: Metal Science and Heat Treatment, **7**(1965), 45-46.
- (10) 室賀 啓, 坂 公恭: 鉄と鋼, **84**(1998), 31-62.
- (11) 横山泰康, 三田尾眞司, 酒井潤一, 山本定弘: 鉄と鋼, **86**(2000), 417-424.
- (12) 上田正治, 内野耕一, 瀬沼武秀: 鉄と鋼, **87**(2001), 190-197.

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★  
 2005年 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了  
 同年 財団法人鉄道総合技術研究所 研究員  
 現在に至る  
 専門分野: トライボロジー, 破壊力学  
 ©レールと車輪の接触による諸現象の研究に従事  
 ★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★



辻江正裕



森 久史



松田博之



佐藤幸雄