

レール白色層と微小き裂進展について

○辻江 正裕 [土] 松田 博之 金 鷹 [土] 名村 明 (鉄道総合技術研究所)

White Etching Layer and Micro crack growth

○Masahiro Tsujie Hiroyuki Matsuda Jin Ying Akira Namura

(Railway Technical Research Institute)

Micro cracks are generated on the rail surface with the rail white etching layer occurrence. These micro cracks are divided into two types depending on the area of appearance. There is a possibility that the cracks generated on the boundary between the pearlite part and the white etching layer may develop, because there are no correlation between the crack depth and the white etching layer thickness. In this paper, we report the observation results of micro cracks and the results of RCF test.

キーワード：微小き裂，き裂進展，白色層，白層，シェリング，塑性流動

Key Words：Micro cracks, crack growth, white etching layer, white layer, plastic flow

1. はじめに

近年，鉄道用レールに発生する諸問題が体系化され分類されている。このなかでもレールの車輪と接する面（以下，レール頭頂面と呼ぶ）に，「レール白層」や「レール白色層」と呼ばれる硬化層が発生することが概念的には知られており，このレール白色層を起点として微小き裂が進展していることが確認されている。しかし，この白色層の発生と微小き裂進展との関係などについては，あまり多くの知見を得られていないのが現状である。

白色層ならびに微小き裂の事後対策として，削正で除去する方法を提唱するために，本研究ではその第一段階として，微小き裂の発生状況を調べるとともに小型試験機を用いて再現試験をおこなった。

2. 白色層を起点とする微小き裂

先行研究より¹⁾，レール白色層の周辺に発生する微小き裂には，図 1 のように白色層内部に発生するものと，白色層と母材（パーライト層）との境界部に発生するものとに分類される。

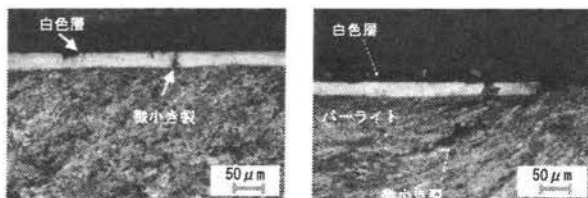


図 1 白色層と微小き裂の形態例

白色層内部に発生する微小き裂は，き裂深さが白色層厚さより大きくなることはあまり見られないが，境界部に発生する微小き裂の深さについては，

あてはまらない。つまり，白色層内部に発生する微小き裂については白色層を削正することで除去できるが，境界部に発生する微小き裂は白色層を削正するだけでは除去できず，さらに進展しレール破断を引き起こす恐れが考えられる。

3. レール白色層の現状

実際のレールでの微小き裂発生状況を把握するために，微小き裂発生箇所，ならびに微小き裂進展と塑性流動の関係について，特に白色層とパーライト層との境界部に発生する微小き裂に着目して調査をおこなった。

観察に用いたレールは，白色層の発生が確認されている，曲率半径 2000m の曲線区間の外側に敷設されていたレールであり，累積通過トン数は 4.6 億トンである。観察断面は図 2 に示す方向で切断し，各断面をそれぞれ a, b, c とした。この 3 種類の断面の組み合わせを供試レールに 6 箇所設定し，合計 18 の断面を観察した。

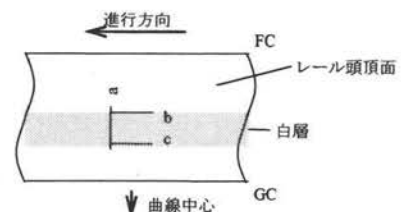


図 2 レール断面組織観察箇所

3.1 微小き裂発生箇所

組織観察をおこない微小き裂の発生状況を調べた結果，断面 a は塑性流動の見られる領域に微小き裂の発生が確認された。断面 b においては微小き裂が

多数確認され、断面 c においては微小き裂の発生はごく少数ではあるが、断面 b で発生しているものよりも大きいものが見られた。また断面 b では白色層の列車進行方向出口側（以下、出口側とする）付近に微小き裂の発生が多く見られる傾向にあるのに対し、断面 c においては白色層の列車進行方向入口側（以下、入口側とする）に多く発生している傾向があった。

3.2 微小き裂進展と塑性流動の関係

微小き裂進展の傾向を明らかにするため、微小き裂周りの塑性流動の方向を調査した。断面 a ではゲージコーナー側方向に、断面 b では進行方向に塑性流動があった。断面 c では一部進行方向と逆の方向に見られたが、大半は組織が微細化しており塑性流動の向きは確認されなかった。

既報²⁾によると、き裂内部に水が浸入することが要因となり、列車進行方向にき裂が進展するとされている。しかし微小き裂が多く見られた断面 b においては、白色層の出口側に多く、塑性流動に沿って進行方向とは逆向きに微小き裂が進展していた。逆に断面 b よりも大きな微小き裂が見られた断面 c においては、組織が微細化した領域に進行方向に微小き裂の進展が見られた。

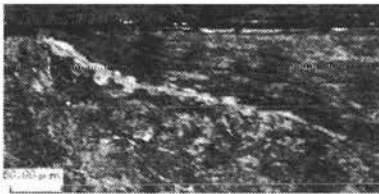


図 3 塑性流動に沿った微小き裂

以上の結果より、白色層の発生に伴う微小き裂は、初期段階においては塑性流動に沿って進展するが、それ以降は列車進行方向にのみ大きく進展するものと推定される。

4. 転動試験機による微小き裂の再現試験

さまざまな条件の下でレール白色層周辺に発生する微小き裂の発生状況を確認するために、模擬白色層を付加した試験片を用いて 2 円筒転がり接触疲労試験をおこなった。

4.1 試験条件

実験に用いた試験片は図 4 に示す $\phi 30\text{mm}$ 、幅 8mm の円筒試験片で、普通レール材および SQ 車輪材より切り出したものである。レール材試験片には図 4 で示すように円周方向 45° おきに計 8 個、既報³⁾と同様に半導体レーザーで加工した模擬白色層を付加している。模擬白色層の大きさは $0.4\text{mm} \times 4\text{mm}$ 、公称深さは $50\mu\text{m}$ である。試験は微小き裂の進展を促進させるために、水潤滑の環境下でおこなった。

4.2 結果

試験片を一定時間回転させた後、中央付近（図 4 の破線）で切断し、断面を観察した。観察項目は、白色層とその境界部ならびにパーライト層での微小き裂発生状況と微小き裂進展状況である。

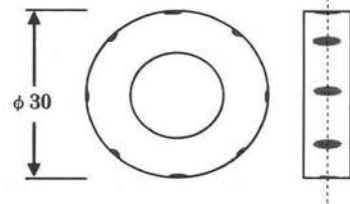


図 4 転動疲労試験片の形状

表 1 は接触面圧 760MPa 、すべり率 1% のもとで転動疲労試験をおこない、微小き裂発生の有無を発生箇所別にまとめたものである。発生箇所は白色層内部、白色層とパーライト層の境界部、パーライト層（疲労層）の 3 箇所に分類した。また回転数は 10, 20, 50 万回転である。

表 1 微小き裂再現試験結果

回転数[万回]	白色層内部	白色層境界部	疲労層
10	○	×	×
20	○	○	○
50	○	○	○

これらの結果より、白色層内部に発生する微小き裂が、他の箇所よりも発生時期が早いことがわかる。また境界部に発生する微小き裂とパーライト層に発生する微小き裂については、発生時期に大きな違いは見られなかった。微小き裂進展については、さらに再現実験をおこない検討する必要がある。

5. まとめ

本研究では、レール頭頂面に発生するレール白色層を起点とする微小き裂のうち、白色層とパーライト部との境界部に発生する微小き裂について、発生状況を調べた。また、さまざまな条件下での微小き裂の進展状況を把握するため、小型試験機を用いた再現試験をおこなった。今後はこれらの結果を踏まえ、微小き裂除去のための削正法を提案するために、削正を伴った転動疲労試験を大型試験機でおこなう予定である。

参考文献

- 1) 松田 博之ほか、レール白色層の発生状況とシェリングとの関係について、第 63 回土木学会全国大会、IV-051, (2008)
- 2) A.F. Bower, The Influence of Crack Face Friction and Trapped Fluid on Surface Initiated Rolling Contact Fatigue Cracks, Journal of Tribology, 110 (1998), 704-711.
- 3) 中村 崇ほか、レール白層の対策と発生要因に関する一考察、鉄道力学論文集、第 12 号(2008), 49-54.