

鉄道用レールの残留応力測定

Residual stress measurement of railway rail

兼松 義一¹⁾ 岩 淵 研 吾¹⁾ 鈴 木 裕 士²⁾

Yoshikazu KANEMATSU Kengo IWAFUCHI Hiroshi SUZUKI

¹⁾財団法人鉄道総合技術研究所 ²⁾日本原子力研究開発機構

(要旨) 本課題では、実使用レールの頭部表層の第二種格子ひずみおよび集合組織の評価のため、レール頭部表層から約 1mm の小板を採取し、それらを積層させた試料について中性子回折を用いて測定を実施した。

キーワード：鉄道レール・残留ひずみ・集合組織

1. 目的

鉄道用レールにおいては、実使用にともない、レール鋼（パーライト）中のフェライト成分が 222 軸を車輪転走面に垂直にそろえて配向する傾向が、X 線回折軸密度測定（逆極点測定法）により確認されている。本研究課題では、そのような配向状態が形成されることによって表層部に誘起される残留ひずみ成分をバルク残留ひずみと分離・抽出して評価する。

2. 方法

(1) 試料

実使用レールの軸心（幅方向の中心）位置・頭部表層から、レール幅方向 10mm×レール長手方向 10mm×厚み 1mm の小板を採取した。同様の小板を隣接する長手方向の位置から 10 枚採取し、それらを積層させた試料を準備した。なお、供試レールは直線で使用されたレールであり、レール長手方向の蓄積された損傷の程度は一律であると仮定している。また、レール頭部表層は金属組織の微細化により、X 線回折が得られなかった経緯から、頭部表層を約 200 μ m～300 μ m 除去している。実使用レールとの比較のため、新品未使用レール頭部から 10mm×10mm×10mm の小片を切出し、焼鈍熱処理を施すことにより、ひずみを除去した試料も準備した。

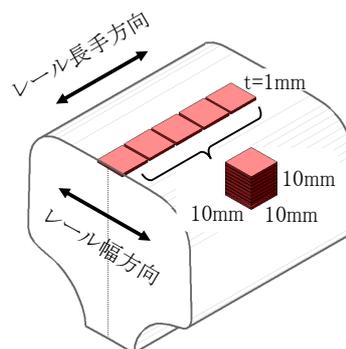


図 1 試料採取の概要図

(2) 測定

準備した試料について、JRR3-RESA II を用いて正極点測定を行った。測定条件を表 1 および表 2 に示す。測定には、オイラークレドールを使用し、フェライトの (110) (200) (211) の 3 回折線について回折プロファイルを得た。(110)および(200)は同一波長で測定したが、(211)はより短い波長を用いた。

表 1 測定条件 (ϕ , χ)

試料	ϕ , °	χ , °
実使用レール材	-180, -150, -120, -90, -60, -30, 0, 30, 60, 90, 120, 150	0, 30, 60, 90

表 2 測定条件 (使用波長、回折角度、照射時間)

	使用波長, Å	回折角度, °	照射時間, min	スリットサイズ
110	2.2126	65.95	10	4mm×4mm
200	2.2126	101.0	30	4mm×4mm
211	1.4143	74.4	30	4mm×4mm

3. 研究成果

(1) 第二種格子ひずみの評価

レールの頭部表層は車輪との繰返し転がり接触により、塑性流動が形成されることが金属組織観察より明らかとなっている¹⁾。そのため、転がり接触疲労が蓄積されたレール頭部表層の残留応力を評価する際、材料中の平均的な格子ひずみ（第一種格子ひずみと第二種格子ひずみの重ね合わせ）の評価のみではなく、第二種格子ひずみを評価することにより、より高精度な解析やシミュレーションの実施に寄与できると考えられる。本課題で測定した実使用レールの第二種格子ひずみの評価は、中性子応力測定法標準²⁾に則って行った。表2に、測定した波長、試料の平均的な格子定数およびその格子定数から算出した(110)回折面の格子面間隔を示す。また、図2に算出された実使用レールの残留ひずみを示す。本試料は、実使用レールの頭部表層より切出し・研磨した小板を積層したものであるため、第一種格子ひずみは開放されていると考えられる。算出された残留ひずみは0~-0.0003程度の値を示しており、実使用レールの表層に残存している第二種格子ひずみと考えられる。なお、試料直行三方向でひずみの分布に明瞭な特徴は認められない。

表2 波長および平均的な格子面間隔

波長, Å	2.21265
実使用レールの格子定数(a)	2.86769
平均的な格子面間隔 (110), Å	2.02776

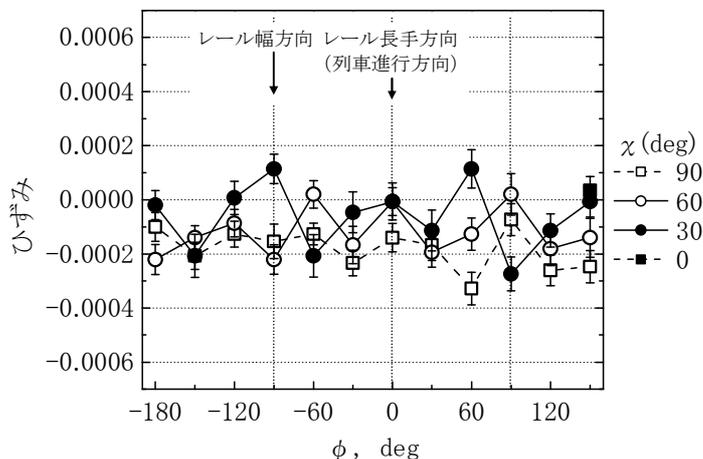


図2 実使用レールの回折線から算出した残留応力

(2) 集合組織の評価

正極点測定を実施した結果を図3~5に示す。本試料と同じ実使用レールから採取した試料について、事前にX線回折を用いて軸密度測定を実施している。その結果、表層から約500~1500μm深さまで、フェライト成分が111軸を車輪転走面に垂直にそろえて配向する傾向が確認されている。本試料では、表層から約1000μm厚さの平均的な回折データを得ることができ、X線回折を用いた軸密度測定と同様に局所的に回折強度の強・弱が得られる見込みであった。しかし、測定された積分強度比 (=最も高い積分強度/最も低い積分強度) は最大で1.5程度であり、明瞭な集合組織の形成は確認できなかった。

4. 結論・考察

本課題で、実使用レールの頭部表層から約1mm厚さの小板を採取し、それらを積層させて製作した試料について、中性子回折を用いた第二種格子ひずみの評価および集合組織の評価を実施した。その結果、約50

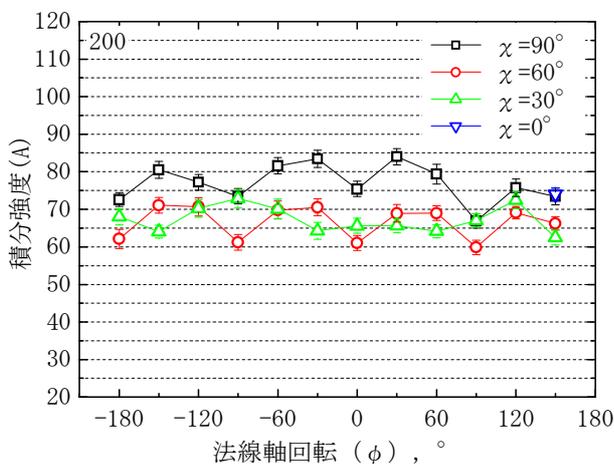


図3 実使用レール(200)回折の積分強度

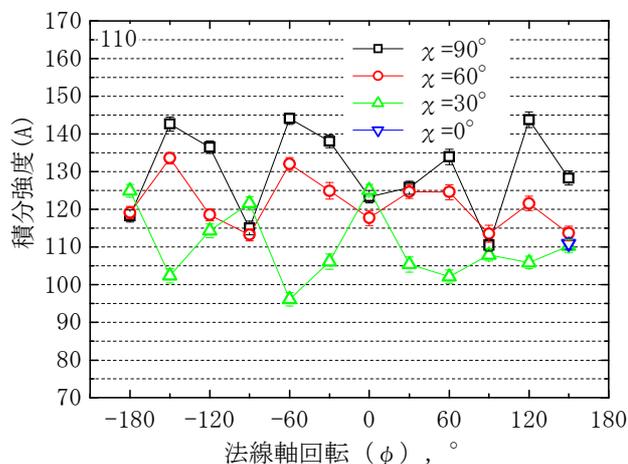


図4 実使用レール(110)回折の積分強度

～150MPa 程度の大きさで、第二種格子ひずみによるものと考えられる残留応力が確認された。レールの使用状況によって頭部表層の損傷の程度は異なるが、レール頭部表層の残留応力の評価にあたっては、第二種格子ひずみの影響を軽視できないと、今回の測定結果から推定される。今回は、従来から使用している「ひずみ除去焼鈍材」に加え、「第一種格子ひずみを開放させた標準試料」を用いた測定の必要性を確認することができた。

また、事前に X 線回折によって確認されていたフェライト成分の 111 軸配向は、今回の試料および測定条件では明瞭に認められなかった。本試料については、本課題での測定結果の妥当性を検討するため、今後、X 線回折を適用した軸密度測定を実施する計画である。

5. 引用(参照)文献等

- 1) Yukio SATOH, Kengo IWAFUCHI, Effect of rail grinding on rolling contact fatigue in railway rail used in conventional line in japan, Wear 265 (2008) pp.1342-1348.
- 2) 日本材料学会 X 線材料強度部門委員会, “中性子応力測定法標準” (2005)

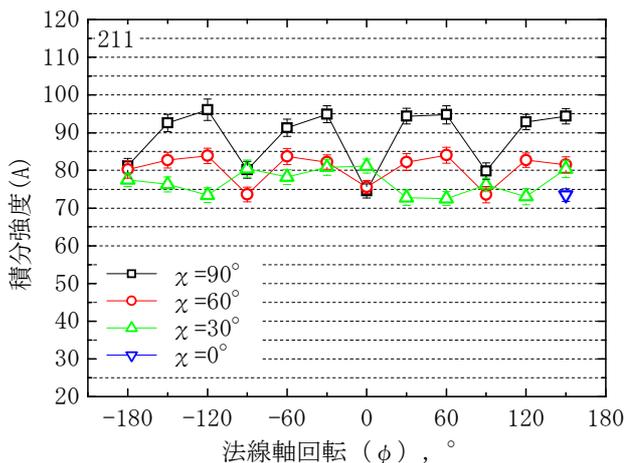


図5 実使用レール(211)回折の積分強度