

二円筒転がり接触試験機を用いたレール鋼の 三軸残留応力の X 線測定

兼松 義一* 尾崎 稜 (鉄道総研)

X-Ray Measurement of Tri-axial Residual Stress in Rail Steel Using a Twin Disc Rolling Contact Fatigue Tester

Yoshikazu Kanematsu*, Ryo Ozaki, (Railway Technical Research Institute)

Tri-axial residual stress measurements were made on fatigue specimens using a twin disc rolling contact fatigue tester simulating rail and wheel contact. The contact surface of the specimen was sloped to impart slip due to the diameter difference. As a result, it was found that the direction of the shear stress component τ_{yz} corresponded to the direction of rail slip.

キーワード：レール鋼，二円筒転がり接触疲労試験，回折 X 線，残留応力，せん断応力
(Rail steel, Twin disc rolling contact fatigue tester, Diffraction X-ray, Residual stress, Shear stress)

1. はじめに

車輪とレールの接触によってレールに生じる現象として摩耗や転がり接触疲労 (以降、RCF) に起因したき裂の形成・進展が挙げられる。特にレールに形成されるき裂は、シェリングとして成長した場合にはレール折損に至る可能性があるため、鉄道事業者は、シェリング予防・検査・検査結果に応じた処置に時間と労力、コストを投入している。

RCF によるレールき裂の発生を評価するために、いくつかの基準が開発されている。Reis ら⁽¹⁾は、多軸の Dang Van 基準⁽²⁾を適用し、レールにき裂が発生するまでの寿命を推定する等の研究結果が報告されている。これらの研究は、残留応力がレールの疲労損傷に影響を与える可能性を示しているが、多くは有限要素法から算出した残留応力値が用いられていることが多い。そこで、本研究では二円筒転がり接触疲労試験を用いてレール鋼の疲労試験を行い、回折 X 線を用いた残留応力測定を行った結果を報告する。

2. 二円筒転がり接触疲労試験

〈2・1〉二円筒転がり接触疲労試験機の概要

使用した二円筒転がり疲労試験機は、二つのリング状試料を任意の負荷を与えて接触させ、ギア比によって設定した異なる速度で回転させることにより、転がりすべり接触状態とし、摩耗試験や疲労試験を行うものである。試験機の外観および構成図を図 1 に示す。

〈2・2〉試験片

レール試験輪は、JIS E 1101 に規定される普通レール (炭素量：0.63-0.75%、引張強度：800MPa 以上、金属組織：パ

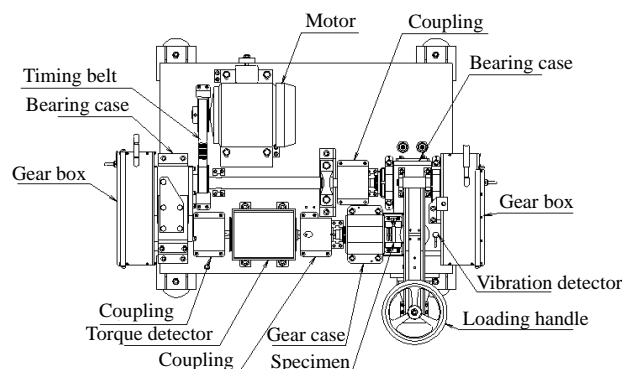


図 1 二円筒転がり接触疲労試験機

ーライト組織) から採取した。また、レール試験片の相手材は、JIS E 5402 に規定される SSW-QS 車輪 (炭素量：0.60-0.75%、引張強度：790-980MPa、金属組織：パーライト組織) のリム部から採取した。図 2 にそれぞれの試験片図面を示す。車輪およびレール試験片には、互いの接触面に勾配をつけており、試験輪の直径差によって微小なすべりが付与される形状とした。そのすべり率は約±0.18%である。

〈2・3〉試験条件

今回実施した試験条件はいずれも乾燥状態で、ギア設定すべり率 0.00%では回転数を 100、500、1,000、3,000、5,000、1万、3万、5万、10万、30万回とした。接触面圧は、50N レールと修正円弧踏面の組合せで、在来線の一般的な輪重相当の 860MPa とした。また、回転速度は 500 回まで 50rpm、5,000 回まで 500rpm、それ以降は 1,000rpm とした。

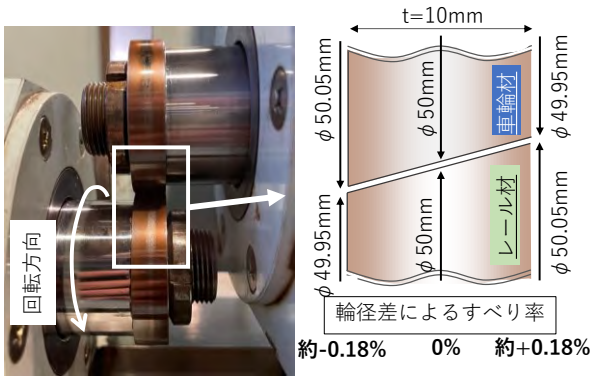


図 2 二円筒転がり接触疲労試験片

3. X線応力測定

〈3・1〉 X線応力測定条件

X線応力測定は、レール側の二円筒転がり疲労試験片の転走面について、直径差がない部分（中央）、直径差が小さい部分（直径：小）、直径が大きい部分（直径：大）の三箇所を測定点とした。また、二円筒試験片の円周方向の0度と120度の二箇所を測定した。図3にX線応力測定時の座標系を、表1に測定条件を示す。

本測定は、二次元検出器を用いたX線残留応力測定法を用い、二次元検出器で得られた回折情報に佐々木らの三軸応力測定法（第三法）⁽⁴⁾を適用して三軸残留応力を測定した。

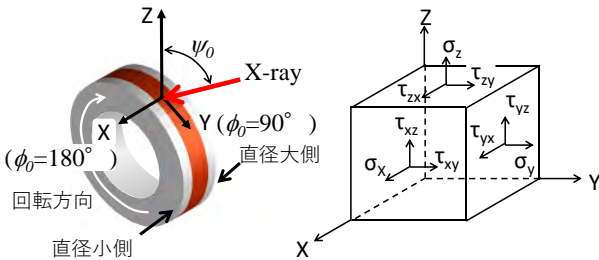


図 3 X線応力測定時の座標系

表 1 X線応力測定条件

特性 X 線	Cr K _α
回折 X 線 (hkl)	α-Fe (211)
管電圧、管電流	30kV、1.5mA
X線照射面積	φ 2mm
X線照射角度 (φ ₀ 、φ _θ)	(35°、0° 90° 180° 270°) (0°、0°)
X線照射時間	15 秒

〈3・2〉 X線応力測定結果

図4に各回転数でのX線応力測定の結果の一例を示す。なお、0回のプロットは、試験開始前の測定結果であり、試験片加工による残留応力値を意味する。また、図中のプロットは2回測定の平均値を示す。図4上段は試験片の転がり方向σ_yであるが、回転数の増加や試験片直径の違いは見ら

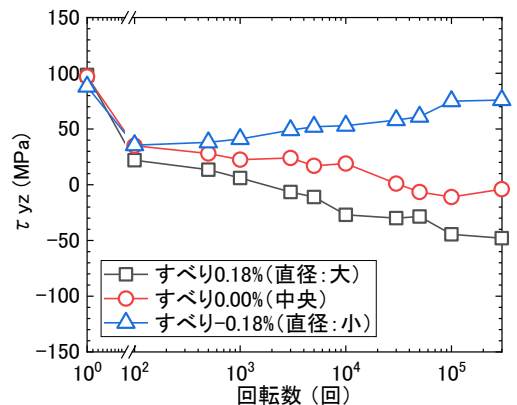
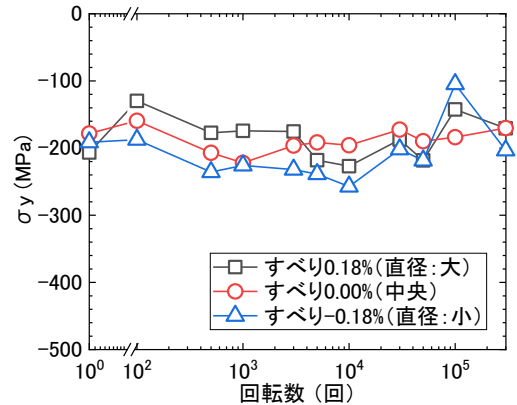


図 4 残留応力測定結果の一例（上：σ_y、下：τ_{yz}）

れない。一方、せん断の残留応力値τ_{yz}では、試験片の直径差、すなわちすべりの方向によって符号が反転し、また中央部（すべりなし）ではゼロに近い値で推移していた。

4. まとめ

車輪とレールの転がりすべり接触を模擬した二円筒転がり接触疲労試験において、レールが受けたすべりの向きとせん断応力τ_{yz}の符号が対応している傾向を把握した。今後はさらに回転数の増加させた場合のせん断応力τ_{yz}の変化や、き裂が形成された場合の変化を確認し、上述したレールのき裂発生各種基準への適用に取り組む予定である。

文 献

- (1) Reis T, Lima EA, Bertelli F, Santos Jr. AA. : "Progression of plastic strain on heavy-haul railway rail under random pure rolling and its influence on crack initiation.", Advances in Engineering Software, 124, pp.10-21 (2018).
- (2) Dang Van K, Cailletaud G, Flavenot BF, Le Douaron A, Lieurade HP. : "Criterion for high cycle fatigue failure under multiaxial loading., Biaxial and Multiaxial Fatigue", EGF 3. London, UK: Mechanical Engineering Publications, pp.459-478 (1989).
- (3) Deng TS, Zhao X, Wu B, Li W, Wen ZF, Jin XS : "Prediction of crack initiation of rail rolling contact fatigue.", Applied Mechanics and Materials 344, pp.75-82 (2013)
- (4) 佐々木他：エリアディテクタ方式のX線三軸応力測定法の改良に関する研究，日本機械学会論文集 A 編，75，750， pp. 219 (2009)