

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 19 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420085

研究課題名(和文) レール用小型X線応力測定装置による実路線の転がり疲労の解明

研究課題名(英文) Study on rolling contact fatigue of rails using portable X-ray stress instrument

研究代表者

佐々木 敏彦 (Sasaki, Toshihiko)

金沢大学・人間科学系・教授

研究者番号：40251912

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：車輪とレールとの転動接触疲労によるレールの損傷についてX線応力測定法を適用して検討を行った。本研究では、測定部にCrK<sub>α</sub>特性X線を当て、発生するデバイリングを二次元検出器で計測し、新応力解析理論一般化cos<sup>2</sup>法を適用して三軸応力解析して検討した。その結果、三軸応力テンソル成分はレールの損傷初期の状態と相関し、非破壊非接触でそれを評価可能である見通しが得られた。

研究成果の概要(英文)：Rolling contact fatigue on the surface of rails due to railway wheel was studied using X-ray stress measurement method. Tri-axial stress analysis was conducted with a new stress analysis theory, so-called cosa method by detecting Debye-Scherrer ring with a two-dimensional X-ray detector and CrK<sub>α</sub> characteristic X-ray from irradiated area. As a result, it was found that tri-axial stress components corresponds to the initial damage of the rail and we can evaluate them nondestructively.

研究分野：金属加工学

キーワード：残留応力 X線回折 デバイリング 三軸応力

1. 研究開始当初の背景

重要な交通手段である鉄道では、新幹線などに見られるように車体技術は著しく進んでいる一方、レール技術には大きな進歩がなされていない。しかし、レールは列車通過毎に車輪との接触を受けて数年で劣化や折損を生じる(転動接触疲労, RCF)。しかし、劣化の検知が困難であり、一度敷設すると交換が難しい面がある。英国では、2000年にRCFが原因で大きな脱線事故が発生しているように、RCF問題は日本だけでなく世界的課題でもある。しかし、レールが損傷するメカニズムはまだ解明されておらず、科学的なレール保守ができない状況である。このため、莫大な労力とコストを費やしてレール事故を防がなければならない状態が続いている。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、X線回折に着目して、レールの損傷に関する実態解明とX線による損傷評価技術を検討していくことである。

(2) また、本研究によって、科学的な保守の実現に貢献し安全安心な鉄道の実現に貢献することである。

3. 研究の方法

(1) 二次元X線検出器を採用した新しいX線応力測定技術を適用する。すなわち、本方法はレールにX線を照射することで発生するデバイリングを計測してデータ解析し、残留応力と結晶状態を分析して行く。

(2) 応力解析理論には、一般的な平面応力解析(cos法)とともに三軸応力解析法(研究代表者が開発した「一般化cos法」)を適用する。

4. 研究成果

(1) 車輪とレールが接触し最も損傷を受けるレール頭頂面について二次元X線回折測定を行い、各部から得られるデバイリングを比較検討した。その結果、未使用レールでは、ディフラクトメータ上の回折強度に斑が見られ、結晶粒径が比較的大きく、転位密度が低い傾向が認められた。これに対して、在来線で長期間使用されたレールでは、回折環全周において緩やかな回折強度の変動が認められた。これは、車輪による接触応力のために結晶粒が流動し集合組織が発達したため

Rotation: 0 [deg]

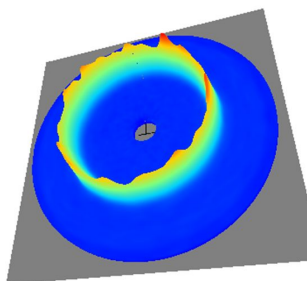


図1. 未使用レールから測定されたデバイリング

Rotation: 0 [deg]

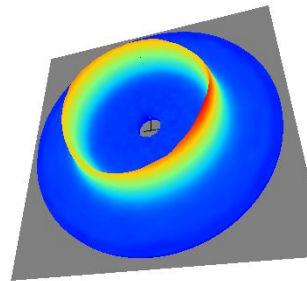


図2. 在来線で使されたレールから得られたデバイリング

と考えられる。

(2) 従来技術を用いた応力測定のため、各レールサンプルから $\sin^2$ 線図を測定して比較した結果、未使用レールでは見られないスプリット現象が、在来線で使されたレールからは測定され、三軸応力状態がレールと車輪の接触によって形成されていくことが判明した。

(3) 一般化cos法を適用してレール頭頂面における三軸応力成分の発生状態を求め、車輪との接触状況が異なる未使用レール、在来線使用レールとを比較した。未使用レールでは、各三軸応力成分の値が小さく、また、レールの幅方向に関してほぼ一定値を示した。一方、在来線使用レールでは応力成分ごとに傾向に差が現れるものの、深さ方向の成分を除く垂直応力成分は大きい圧縮応力を示し、レール幅方向にも明瞭な分布を示した。

(4) 三軸応力成分のうち、せん断応力は値が小さいものの、レールの長手方向と法線方向に関するせん断応力成分はレールの中央を境に応力値の正負が反転する特徴的な応力分を示すことが判明した。

(5) 回折環から得られた半価幅についてレール頭頂面における分布をマッピングして調べた結果、在来線で使されたレールには車輪と測定接触に対応した縞状の変化が明瞭に表れることが判明した。また、局部的に半価幅が高くなる部分が観察され、転位密度が増加している部分が存在していることが判明した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計10件)

T. Miyazaki, T. Sasaki, A comparison of X-ray stress measurement methods based on the fundamental equation, J. Appl. Cryst., 49, pp.426-432 (2016). 査読有

T. Miyazaki, Y. Fujimoto, T. Sasaki, Improvement in X-ray stress

measurement using Debye-Scherrer ring by in-plane averaging, J. Appl. Cryst., 49, pp.241-249 (2016). 査読有

T. Miyazaki, T. Sasaki, X-ray residual stress measurement of austenitic stainless steel based on Fourier analysis, Nuclear Technology, vol.194, No.1, pp.111-116 (2016). 査読有

T. Fujita, N. Kamura, Maruyama and T. Sasaki, Evaluation of Rolling Contact Fatigue by Using X-ray Diffraction, ASTM; the Materials Performance and Characterization, Vol. 5, No. 1, pp. 23-37 (2016). 査読有

T. Miyazaki, T. Sasaki, X-ray stress measurement from an imperfect Debye-Scherrer ring, T. Miyazaki, T. Sasaki, Int. J. Mater. Res., 106, pp.237-241 (2015). 査読有  
T. Miyazaki, Y. Maruyama, Y. Fujimoto, T. Sasaki, Improvement of X-ray stress measurement from a Debye-Scherrer ring by oscillation of the X-ray incident angle, Powder Diffraction, 30, pp.250-255 (2015). 査読有

T. Miyazaki, T. Sasaki, Linearized analysis of X-ray stress measurement using the Debye-Scherrer ring, Int. J. Mater. Res., 106, pp.1002-1004 (2015). 査読有

丸山洋一、宮崎利行、佐々木敏彦, イメージングプレートを用いた X 線応力測定装置の開発と検証, 日本材料学会誌, vol.64, No.7, pp.560-566, 2015. 査読有

藤本 洋平、宮崎 利行、佐々木 敏彦, デバイリングのフーリエ解析による鉄鋼材料の X 線応力測定, 日本材料学会誌, vol.64, No.7, pp.567-572, 2015. 査読有

T. Miyazaki, T. Sasaki, X-ray stress measurement with two-dimensional detector based on Fourier analysis, Int. J. Mater. Res., 105, pp.922-927 (2014). 査読有

[学会発表](計 22 件)

乾典規、伊藤覇臣、佐々木敏彦, 鉄道レールの X 線三軸応力測定, 平成 26 年度日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸支部連合講演会, pp.507, 2015年12月5日, 富山

佐々木敏彦、宮崎利行、水野亮二、古川敬、三原毅, cos 法によるオーステナイト系材料の X 線応力測定に関する研究, 日本材料学会第 47 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, pp.91-94, 2015年7月16日, 大阪

乾典規、藤本洋平、井上直、佐藤嘉洋、佐々

木敏彦、アルミニウムの X 線残留応力測定への cos 法の適用に関する研究, 日本材料学会第 47 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, pp.87-90, 2015年7月16日, 大阪

江尻正一、大場宏明、佐々木敏彦, 二次元検出器を用いた X 線応力測定法による応力値評価, 日本材料学会第 47 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, pp.83-86, 2015年7月16日, 大阪

水野亮二、西川聡、古川敬、佐々木敏彦、三原毅, X 線回析による塑性ひずみ測定法の開発(第 2 報), 日本材料学会第 47 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, pp.58-61, 2015年7月16日, 大阪

嘉村直哉、藤田工、丸山洋一、佐々木敏彦, X 線回析環分析装置による転動面の分析, 日本材料学会第 47 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, pp.58-61, 2015年7月16日, 大阪

三井真吾、西村龍太郎、三好敏喜、新井康夫、佐々木敏彦, 一体型 SOI ピクセル検出器による工業材料の背面反射デバイリング計測に関する研究, 日本材料学会第 47 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, pp.18-21, 2015年7月16日, 大阪

佐々木敏彦, 二次元検出器方式の X 線・中性子応力測定に関する研究, 第 175 回 X 線材料強度部門委員会研究討論会, pp.7, 2015年2月6日, 京都

乾典規、藤本洋平、佐々木敏彦, cos 法による工業材料の X 線応力測定, 平成 26 年度日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸支部連合講演会, pp.507, 2014年12月6日, 新潟

藤本洋平、宮崎利行、福島佳奈、佐々木敏彦, X 線回析線の二次元イメージングを応用した鉄道レールの残留応力・材料評価, 平成 26 年度日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸支部連合講演会, pp.507, 2014年12月6日, 新潟

伊藤覇臣、大滝尚、佐々木敏彦, X 線回析線の二次元イメージングを応用した鉄道レールの残留応力・材料評価, 平成 26 年度日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸支部連合講演会, pp.506, 2014年12月6日, 新潟

橘真由、藤田工、嘉村直哉、佐々木敏彦, 転がり疲労した軸受鋼の二次元方式 X 線応力測定, 日本材料学会第 47 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, pp.123-126, 2014年7月16日, 大阪

井上直、佐藤嘉洋、川上洋司、佐々木敏彦, アルミニウム合金 5052 摩擦攪拌溶接部の残留応力評価, 日本材料学会第 47 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, pp.115-118, 2014年7月16日, 大阪

佐々木敏彦、宮崎利行、古川敬、三原毅, MnK 線および二次元検出器によるオーステナイト系材料の X 線応力測定, 日本材料学会第 47 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, pp.107-110, 2014年7月16日, 大阪

水野亮二、西川聡、古川敬、佐々木敏彦、三原毅, X 線回析による塑性ひずみ測定法の開

発, 日本材料学会第47回X線材料強度に関するシンポジウム, pp.89-92, 2014年7月16日, 大阪

藤本洋平、佐藤光、宮崎利行、佐々木敏彦, cos法によるオーステナイト系ステンレスのX線残留応力測定, 日本材料学会第47回X線材料強度に関するシンポジウム, pp.77-81, 2014年7月16日, 大阪

伊藤覇臣、佐藤光、宮崎利行、佐々木敏彦, cos法によるニッケル基合金のX線残留応力測定, 日本材料学会第47回X線材料強度に関するシンポジウム, pp.73-77, 2014年7月16日, 大阪.

江尻正一、大場宏明、佐々木敏彦, 2D法によるX線応力解析の検討, 日本材料学会第47回X線材料強度に関するシンポジウム, pp.14-17, 2014年7月16日, 大阪.

宮崎利行、佐藤光、佐々木敏彦, フーリエ解析によるX線応力測定, 日本材料学会第47回X線材料強度に関するシンポジウム, pp.1-4, 2014年7月16日, 大阪.

佐々木敏彦、江尻正一、大場宏明, 二次元検出器方式によるX線三軸応力測定, 日本材料学会第47回X線材料強度に関するシンポジウム, pp.13-17, 2013年7月18日, 東京.

21 佐藤光、宮崎利行、伊藤覇臣、古川敬、佐々木敏彦, ステンレス鋼の二次元方式X線応力測定, 日本材料学会第47回X線材料強度に関するシンポジウム, pp.80-83, 2013年7月18日, 東京.

22 佐々木敏彦、橘真由、藤田工、嘉村直哉、藤本洋平, 転がり疲労した軸受鋼の二次元方式X線応力測定, 日本材料学会第47回X線材料強度に関するシンポジウム, pp.92-95, 2013年7月18日, 東京.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計3件)

名称: 回折環計測装置

発明者: 佐々木敏彦, 宮崎利行

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2013-216790

出願年月日: 2013年10月17日

国内外の別: 国内

名称: 回折環分析方法および回折環分析装置

発明者: 宮崎利行, 佐々木敏彦

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2014-213211

出願年月日: 2014年10月17日

国内外の別: 国内

名称: 回折環計測装置

発明者: 佐々木敏彦

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2015-130466

出願年月日: 2015年6月29日

国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://next.w3.kanazawa-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 敏彦 (SASAKI, Toshihiko)

金沢大学・人間社会研究域・人間科学系・教授

研究者番号: 40251912