

## 鉄道車輪への中性子残留応力測定法の適用に関する研究

Study on Application of Neutron Residual Stress Analysis to Railway Wheels

佐々木 敏彦<sup>1)</sup>

加藤 孝憲<sup>2)</sup>

Toshihiko SASAKI

Takanori KATO

<sup>1)</sup>金沢大学 <sup>2)</sup>住友金属

車輪の割損に対する安全性を検討するため、内部の残留応力を評価することが重要な課題となっている。そこで、FEM 解析にて内部残留応力を推定し、解析の妥当性について中性子回折法を用いて検証するための基礎的検討を行った。

キーワード : Residual stress, Wheel, FEM

### 1. 目的

車輪は、大きな力の踏面ブレーキが長時間または繰り返し作用した場合、車輪リム部の残留応力は圧縮応力から引張応力に変化し、車輪割損事故を引き起こす恐れがある。材料内部の応力状態を把握することは、き裂挙動を評価するにあたり重要な要素となる。しかし、車輪などの大型部材の場合、内部残留応力状態の測定は非常に困難である。そこで、本研究では、FEM 解析を用い内部残留応力を推定し、その妥当性について中性子回折法を用いて検討を行うことを目的として基礎的な検討を行った。

### 2. 方法

車輪製造時に導入される残留応力を評価するため、新製車輪を使用した。中性子回折法を用いた場合でも、大型部材の場合、中性子強度の低下やマシンタイムの制約を受けるため、試験片の切断は免れない。そこで Webster らにより提唱されている、応力開放を考慮した試験片切断方向の工夫を導入した (Fig.1)。応力算出には中性子回折法の標準法 (Fig.2) とともに新たに「中性子  $\sin^2$  法」を適用した。

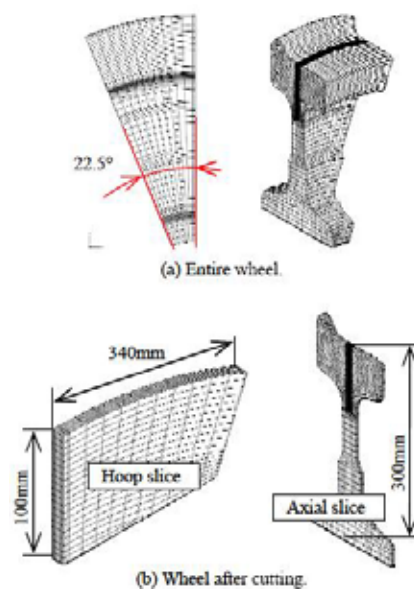


Fig.1 Schematic of FEM analysis and samples for neutron measurement.

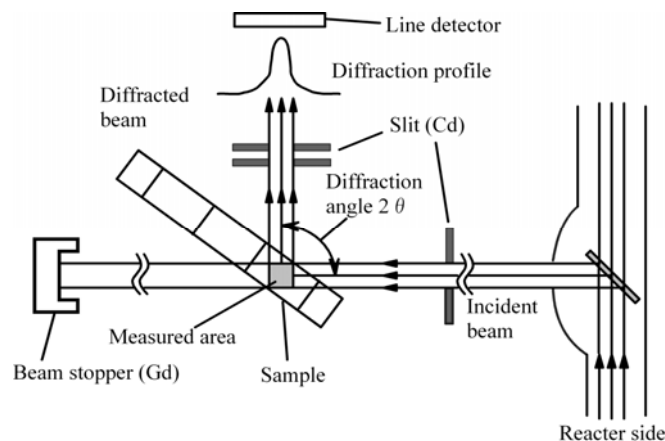


Fig. 2 Schematic of neutron optics used in this study.

### 3. 研究成果

測定の結果、車輪軸方向、半径方向および周方向ともに FEM 解析結果と良好な一致を示す傾向が得られた。これより、FEM 解析にて車輪内部残留応力状態が推定可能である見通しが得られたと考えられる。また、き裂進展に寄与する周方向応力は踏面より 20mm 程度の深さまで圧縮残留応力が導入されていることが確認できた。

### 4. 結論・考察

FEM 解析と中性子測定結果は良好な一致を示したことより、FEM 解析により内部残留応力状態を推定可能であると考えられる。新製車輪の周方向残留応力は、リム部中央において車輪踏面に高い圧縮の残留応力が存在し、深さ 20mm 程度まで圧縮応力状態であることより、万一、き裂が発生した場合でも、き裂進展を阻止する応力状態であるため、十分安全であると考えられる。

### 5. 引用(参照)文献等

- (1) Nishimura S. et al., Study on the Residual Stresses in Railroad Solid Wheels and Their Effect on Wheel Fracture, *Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series I*, Vol. 41, No. 349 (1975), pp.2557-2566.
- (2) Fukuoka H. et al., Acoustoelastic Analysis of Residual Stress in the Rim Part of Railroad Wheel, *Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A*, Vol. 50, No. 453 (1984), pp. 945-952.
- (3) Nishimura S. et al., The Method of Residual Stress Measurement for Railroad Solid Wheels, *Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series I*, Vol. 40, No. 334 (1974), pp. 1554-1562.
- (4) Grosse M. et al., Strain measurements at railway wheels, *Materials science & engineering. A*, Vol. 437 (2006), pp. 88-92.
- (5) Rohlfes W. H. et al., Effect of brake shoe action on thermal cracking and on failure of wrought steel railway car wheels, *University of Illinois Bulletin, Engineering Experiment Station Bulletin Series No. 387*, Vol. 47, No. 77, No. 387 (1950).
- (6) Stone D. et al., An evaluation of residual stress in cast steel railroad wheels using electromagnetic acoustic transducers, *U.S Department of Transportation* (1998).
- (7) Gordon J. et al., Estimation of residual stresses in railroad commuter car wheels following manufacture”, *U.S. Department of Transportation* (2003).
- (8) Holowinski A. M. et al., Estimation of actual residual stresses due to braking and contact loading of rail vehicle wheels, *U.S. Department of Transportation* (1996).
- (9) Hirakawa K., *Rolling Stock & Technology* No. 135, pp.51-53 (2007).
- (10) Hirakawa K., *Rolling Stock & Technology* No. 136 (2007), pp.39-44.
- (11) Johnson K. L., *Contact mechanics*, (1985) Cambridge University press.
- (12) Sasaki T. et al., Measurement of residual stress in rails by neutron diffraction, *WEAR*, Vol. 265 (2008), pp. 1402-1407.
- (13) Tanaka K. et al., *Evaluation of residual stressed by X-ray diffraction -fundamentals and applications-*, (2006) Yokendo, Tokyo.
- (14) Webster G. A. et al., Neutron diffraction determinations of residual stress patterns in railway rails, *Residual stress in rails*, Vol. I (1992), pp. 143-152.
- (15) Webster P. J. et al., Residual stress changes in railway rails, *Physica B*, Vol. 180 & 181 (1992), pp. 1029-1031.
- (16) Webster P. J. et al., Synchrotron X-Ray Measurements of Residual Stress in a Worm Railway Rail, *Materials Science Forum*, Vol. 404-407 (2002), pp.767-772.
- (17) The Society of Materials Science, *Japan Standard Method for Neutron Stress Measurement* (2005).
- (18) Holden T. M. et al., Macroscopic stress measurements by neutron diffraction and the part played by the “stress-free” reference, *ISIJ International*, Vol. 46, No. 7 (2006), pp. 959-965.
- (19) Luzin V. et al., Neutron residual stress measurements on rail sections for different production conditions, *Proceedings of IMECE04, 2004 ASME International Mechanical Engineering Congress and exposition*, (2004) pp. 1-6.