

電磁気的手法を用いたレール鋼の非破壊損傷評価

Non-destructive Damage Evaluation of Rail Steel Using Electro-magnetic Techniques

産業技術総合研究所	鈴木 隆之	Takayuki SUZUKI	Member
筑波大学大学院 [学]	寺崎 亮実	Akimitsu TERASAKI	
筑波大学大学院	寺本 徳郎	Tokuo TERAMOTO	Member
鉄道総合技術研究所	宮崎 佳樹	Yoshiki MIYAZAKI	
鉄道総合技術研究所	岩松 勝	Masaru IWAMATSU	

Using Hall and ECT sensors, a non-destructive damage evaluation was performed for the specimen of rail steel with simulated white damage layers. Two types of specimens were used, one with a simulated white damage layer of 1mm depth and the other that of 100 μ m. First using Hall sensor, distribution of magnetic flux around the white damage layers was measured by means of magnetic flux leakage technique. Both magnetic flux leakages of B_y and B_z revealed the presence of the white damage layers. Also from the magnetic flux leakage distribution, white damage layer's width was able to be determined. For ECT sensor the phase difference corresponded well with the white damage layer. Highly sensitive detection of the white damage layer could be performed with the increase of applied frequency.

Keywords: Rail Steel, Non-destructive Damage Evaluation, Magnetic Flux Leakage Technique, Hall Sensor, ECT Sensor, Simulated White Damage Layer

1. 緒言

鉄道等レールを有する輸送機器の信頼性、健全性を確保する上で、レールの保守、検査技術の確立は大きな課題である。

鉄道用レール鋼にはパーライトからなる高炭素鋼が用いられているが、車輪の転動接触による摩擦熱により発熱と冷却を繰り返す、マルテンサイトを主成分とする白色層という硬化層が生成される。この白色層がはく離等を生じ疲労き裂等の起点となる場合が多く、早期にまた定量的に検出することが急務となってきている。[1-2]

ところで、これまで我々のグループでは、オーステナイト系ステンレス鋼を対象として塑性変形や疲労変形により生じるマルテンサイトが漏洩磁束法やECT法等の電磁気的手法により測定できることを明らかにしてきた。[3-5]

そこで、本研究ではこれらの電磁気的手法を用いてレール鋼の相変化の検出が可能であるか試みた。まず、漏洩磁束法によりレーザー焼入れにより作成した模擬白色層近傍の漏洩磁束密度変化の測定を行い、そ

の幅、深さと漏洩磁束密度との関係を明らかにした。また、ECT法により、模擬白色層と母材との位相差を測定し、さらに印加周波数と模擬白色層の出力信号との関係を求めた。これらの結果から、電磁気的手法による白色層の定量的な検出・評価の可能性についての検討を行った。

2. 試験片及び実験方法

2.1 試験片

試験片は鉄道用レールに使用される高炭素鋼 (E1101 50kgNレール) であり、その化学成分をTable 1に示す。母材はパーライトで強磁性体である。また、実機の使用过程中に生じる白色層を模擬するため、試験片表面にレーザー焼入れにより模擬白色層を生成させた。その硬さは900Hvであり、実機の白色層の硬さ (800Hv) とほぼ同等の値を示している。[2]

試験片は一辺が120X120X8.9mmの正形状の板材の中央部に水平方向に幅4.4mm、深さ1mmおよび100 μ mの模擬白色層を有するものを用いた。そのマクロ写真をFig.1に示す。また、Fig.2のレーザー顕微鏡写真により、模擬白色層ではマルテンサイト状の組織が生成していることを確認することができる。

連絡先: 鈴木 隆之, 〒305-8564 茨城県つくば市並木1-2-1
産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門,
e-mail: suzuki-takayuki@aist.go.jp

Table 1 Chemical composition of E1101 (wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.68	0.26	0.89	0.018	0.007

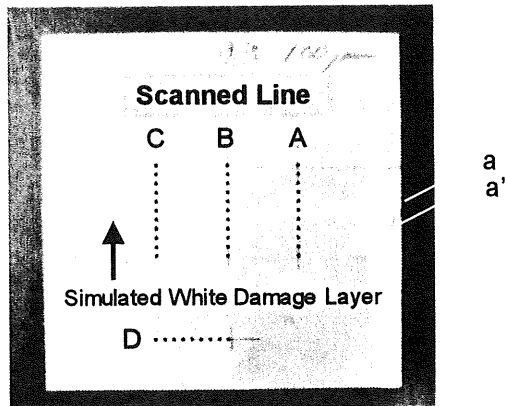


Fig. 1 Specimen with simulated white damage layer depth of 100µm.

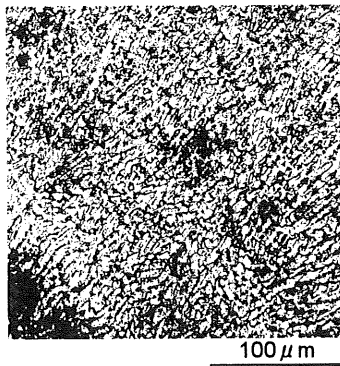


Fig. 2 Micrograph of simulated white damage layer.

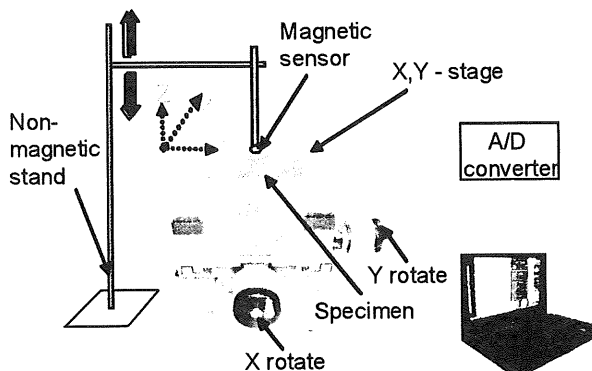


Fig. 3 Non-destructive damage evaluation system for magnetic flux leakage.

2.2 Hall センサによる漏洩磁束密度測定

漏洩磁束密度の測定は Fig.3 のような非破壊評価システムにより行った。Hall センサ、X-Y ステージ、コントローラ、コンピュータ等から構成される。試験片にはネオジム磁石 (0.38T) により帯磁を行いながら、模擬白色層に対し垂直方向に走査を行った。Hall センサのリフトオフは2mm である。

2.3 ECT 測定

ECT 測定には、中央に励磁コイル、両側に検出コイルを配置した三連コイルを用いた。[6] そのリフトオフは1mm である。測定は Fig.1 で示すように、A、B、C のように模擬白色層に対し垂直方向に走査を行うとともに、D のように母材のみの領域においても同様に行った。

3. 測定結果および考察

3. 1 Hall センサによる漏洩磁束密度測定

模擬白色層深さ 1mm 及び 100µm の長手方向及び鉛直方向の漏洩磁束密度 B_y と B_z の分布を、それぞれ Fig.4 に示す。模擬白色層深さ 1mm 及び 100µm の試験片測定において、ともに B_y と B_z の分布にて、模擬白色層に対応した磁束密度分布を検出することができた。また、この分布は、磁性体に欠陥が存在するときの漏洩磁束密度の分布と同様なものである。交流透磁率を測定して得られた模擬白色層の比透磁率は母材と比較して低く [7]、欠陥と同様の漏洩磁束密度分布を生じたと考えられる。

また、Fig.4 (a) の模擬白色層深さ 1mm の B_z 分布と Fig.4(b) の模擬白色層深さ 100µm の B_z 分布ともその極値は模擬白色層の端部とほぼ一致しており、漏洩磁束密度 B_z の測定により模擬白色相の幅の同定が可能であることがわかる。

さらに、Fig.4(a) の模擬白色層深さ 1mm と Fig.4(b) の模擬白色層深さ 100µm の極値間の差 ΔB_z を比較すると、模擬白色層深さ 1mm の場合は $0.93 \times 10^{-4} T$ であるのに対し、模擬白色層深さ 100µm 場合は $0.39 \times 10^{-4} T$ であり、著しい差が認められた。したがって、さらに様々な深さの白色層の深さのデータを取得することにより、その深さも同様に推測できる可能性を有する。

3. 2 ECT 測定

模擬白色層深さ 1mm 及び 100 μm の試験片での領域 A~D を ECT センサで測定し、その位相差で表示した結果を Fig.5(a)、(b)に示す。模擬白色層を含む A~C に関する結果では模擬白色層近傍で位相差が増加する傾向が確認された。一方、模擬白色層の影響が無い母材のみを走査した D では、いずれも一定の値を示し本センサの有効性を示した。これは模擬白色層では 3.1 で述べたように母材と比較して非透磁率が減少することに加えて、電気抵抗率も母材では 0.24 $\mu\Omega\text{m}$ に対し、模擬白色層では 0.34 $\mu\Omega\text{m}$ [7]と変化するためである。

また、Fig.5(b)には模擬白色層 100 μm の試験片を用い ECT センサの印加周波数を変化させた場合の結果を示す。渦電流が表面近傍に集中する 100kHz の方が 50kHz と比較して模擬白色層近傍での変化が現れていることがわかる。さらに様々な周波数で試験を行うことにより、白色層の深さとの関係も得ることができると考えられる。

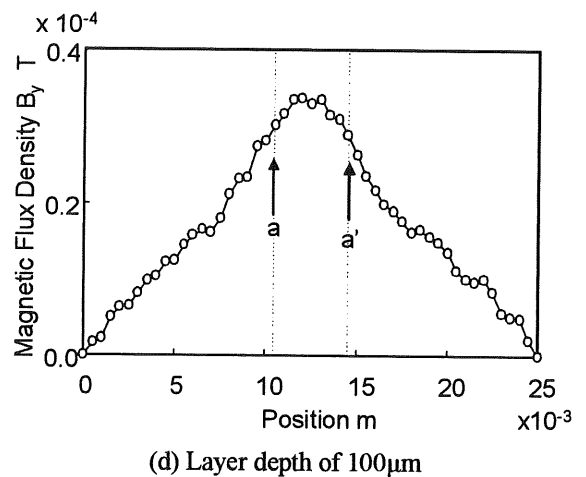
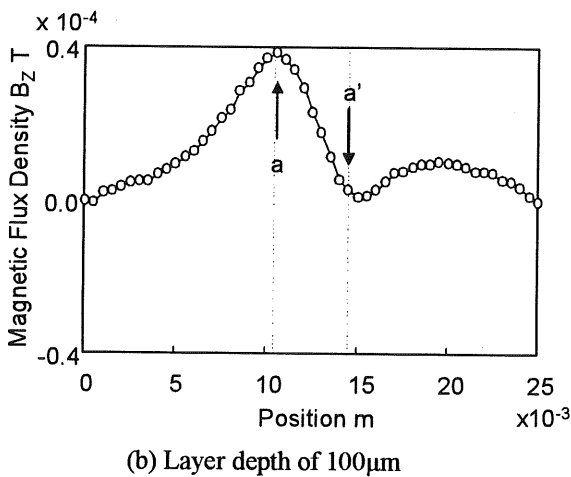
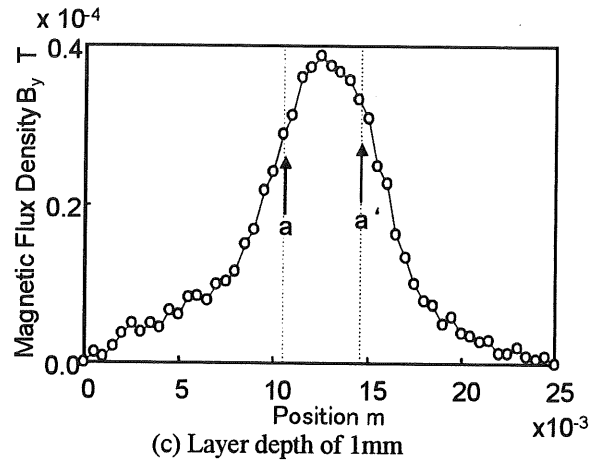
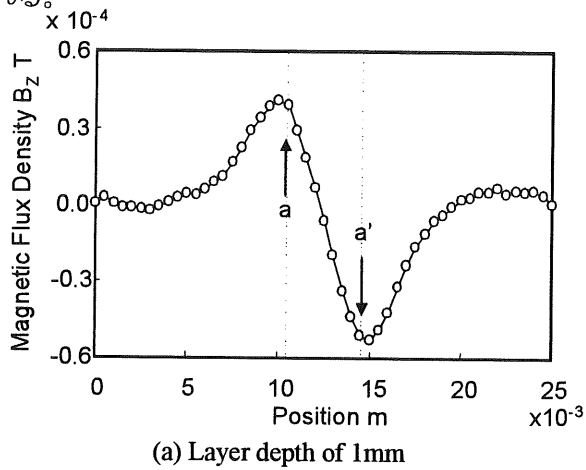
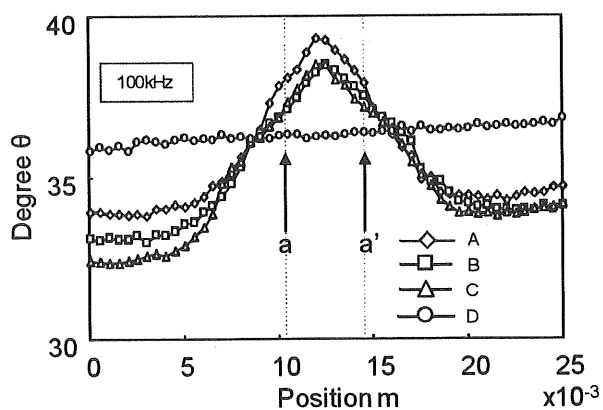


Fig. 4 Changes in magnetic field B_z , B_y near simulated white damage layer.

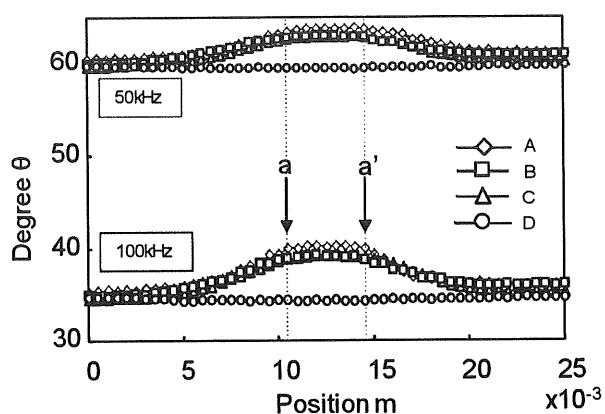
4. 結言

電磁気的手法を用いて、模擬白色層を有するレール鋼の非破壊損傷評価を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) Hall センサを用いて漏洩磁束を測定することにより、模擬白色層の深さが 1mm、100 μm の場合とも、検出することができた。また、漏洩磁束密度分布 B_z の極値から模擬白色層の幅を同定することができた。
- (2) 3連コイルを有する ECT センサを用いて、その位相差を測定したところ、模擬白色層と母材では明確な差異が認められた。
- (3) 漏洩磁束法や ECT 法を用いることにより、模擬白色層の検出は十分に可能であった。また、さらにデータを取得していくことによりその深さ等も推定することができる可能性を有する。



(a) Layer depth 1mm



(b) Layer depth 100µm

Fig. 5 Distribution of ECT output along scanned lines at 50kHz and 100kHz.

参考文献

- [1] 加藤孝憲 他, 白色層を起点とした鉄道車輪鋼の転がり接触下における疲労損傷, 材料, Vo.56, No.12, pp.1150-1155, 2007.
- [2] 宮崎佳樹, 岩松勝, 田中芳親, 糸崎秀夫, 都築理志, SQUIDによる鉄道用レール診断の基礎的検討, 第20回電磁気関連のダイナミクスシンポジウム講演論文集, pp.15-20, 2008.
- [3] 鈴木隆之, 寺本徳郎, 北原美樹, 笹本明, MR センサおよびECT センサを用いたオーステナイト系ステンレス鋼の疲労損傷評価, 日本保全学会第3回学術講演会要旨集, pp.141-143, 2005.
- [4] 寺本徳郎, 土居崇, 鈴木隆之, インピーダンス測定によるオーステナイト鋼の材質劣化の検知, 圧力技術, Vol.42, No.5, pp.19-25, 2004.
- [5] 寺本徳郎, ECT法を用いたオーステナイト系ステンレス鋼の高精度損傷評価, 日本 AEM 学会誌, Vol.13, No.2, pp.87-93, 2005.
- [6] 山田興治, 高梨光教, 小賀野順之, 磯部仁博, 電磁気的手法による構造材料の非破壊評価, 第11回 MAGDA コンファレンス講演論文集, pp.42-45, 2002.
- [7] 寺本徳郎, 北村秀星, 寺崎亮実, 鈴木隆之, 宮崎佳樹, 岩松勝, ECT センサによる炭素鋼の材料損傷評価例, 第20回電磁気関連のダイナミクスシンポジウム講演論文集, pp.37-40, 2008.