

転がり疲れ試験におけるアコースティックエミッション信号と表面状態の評価

Evaluation of Acoustic Emission Signals and Surface Conditions in Rolling Contact Fatigue Test

日鉄テクノロジー（正）*向井 悠 埼玉工大（正）長谷 亜蘭

Yu Mukai*, Alan Hase**

*Nippon Steel Technology, **Saitama Institute of Technology

1. 緒言

転がり疲れ環境で使用される鉄鋼材料では、接触・摺動する表面もしくは内部からき裂が発生してピッチングやフレーキングに代表されるはく離に至ることが知られている¹⁾。鉄鋼材料の転がり疲れにおいてき裂発生・進展・はく離といった特性を把握することはとても重要であるが、一般的な疲労き裂進展試験のように直接き裂を観察することが難しいため、現状では途中止めによる断面観察などで評価を行っている。

一方、金属材料の表面の損傷形態を *in situ* で計測できる技術としてアコースティックエミッション（以下、AE）法がある。AE 法は、き裂の発生のようなエネルギーの解放過程によって発生源から固体内部を伝播する MHz オーダーの弾性応力波（AE 波）を *in situ* で検出する技術であり、転がり疲れ試験と組み合わせることで従来の評価法では得られないような転がり疲労き裂に関する特性の取得が期待できる。

そこで本研究では、鋼材の 2 円筒転がり疲れ試験を実施して AE 信号の取得を行った。また、一定試験数で試験片表面を観察することにより表面状態の変化と AE 信号の比較を行った。

2. 試験方法および条件

本試験で用いた試験機の外観を Fig. 1 に示す。転がり疲れ試験は西原式摩耗試験機を使用した。本試験機は円筒形状の試験片を接触させながら歯数の異なる歯車を用いて回転させることで、負荷とすべりを同時に与えることができる。潤滑油にはナフテン系原料油の ENEOS 製クリセフオイル F8 を採用し、低速側試験片の上から毎分 6 cc 滴下した。また、試験終了は試験機に取り付けた加速度センサが 2.5G を超えた時とし、 10^5 回とそれ以降は 10^6 回ごとに試験機を停止して試験片を取り外して表面状態の観察を行った。

供試材には機械構造用炭素鋼 S45C を採用した。試験片は粗加工後に 860℃ 水焼入れおよび 580℃ 焼戻しを各 1 時間実施し、外径 $\phi 30$ mm、内径 $\phi 16$ mm、幅 8 mm となるよう仕上げ加工を行った。試験片の幅方向の表面粗さは $Ra=0.17 \mu\text{m}$ 、 $Rz=1.39 \mu\text{m}$ とした。

AE センサは広帯域型センサ（NF 回路ブロック製：AE-900S-WB）を用い、高速側試験片の回転軸があるギアボックスの側面に設置した。AE 増幅率は 50dB とし、ノイズ除去のために 20 kHz のハイパスフィルタ処理を行った。Table 1 に試験条件と AE 計測条件を示す。取得した AE 信号は、AE アナライザ（NF 回路ブロック製：AE9702）を介して PC で記録した。

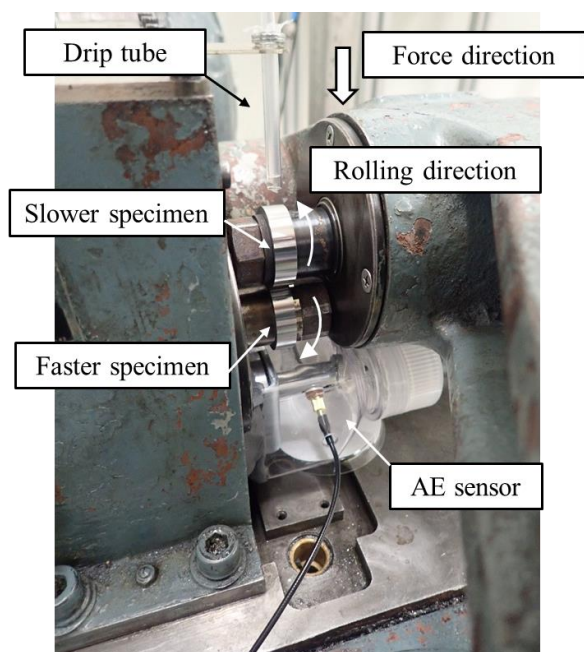


Fig. 1 Appearance of the test section

Table 1 Summary of the experimental condition

Hertzian stress	900MPa
Specific sliding	9%
Rotational speed	Slower specimen:727 rpm Faster specimen:800 rpm
AE amplification factor	50dB
AE signal filter	HPF:20 kHz LPF:through
Sampling rate	0.25 μs

3. 結果および考察

試験は最終的に $N=3.5 \times 10^6$ 回で振動増加により終了した。はく離は低速側試験片に発生し、損傷の激しい箇所では幅方向全面に及んでいた。高速側試験片の表面にき裂と思われる損傷は見られたが、はく離は発生しなかった。途中止めによる表面観察の結果、 $N=2 \times 10^6$ 回終了後の低速側試験片にはく離が観察された。発生したはく離の SEM 画像を Fig. 2 に示す。破面は繰返し負荷によって潰れており、明確なストライエーションは見られないが、扇形のはく離の先端より回転方向に放射状の模様が残っていることから、表面起点によるはく離が発生したと推測される。本試験条件では繰返し荷重、すべり、潤滑油の効果によってき裂およびはく離が発生したと考えられるが、加速度センサでは低速側試験片が激しく損傷するまで表面状態の変化を捉えることはできなかった。

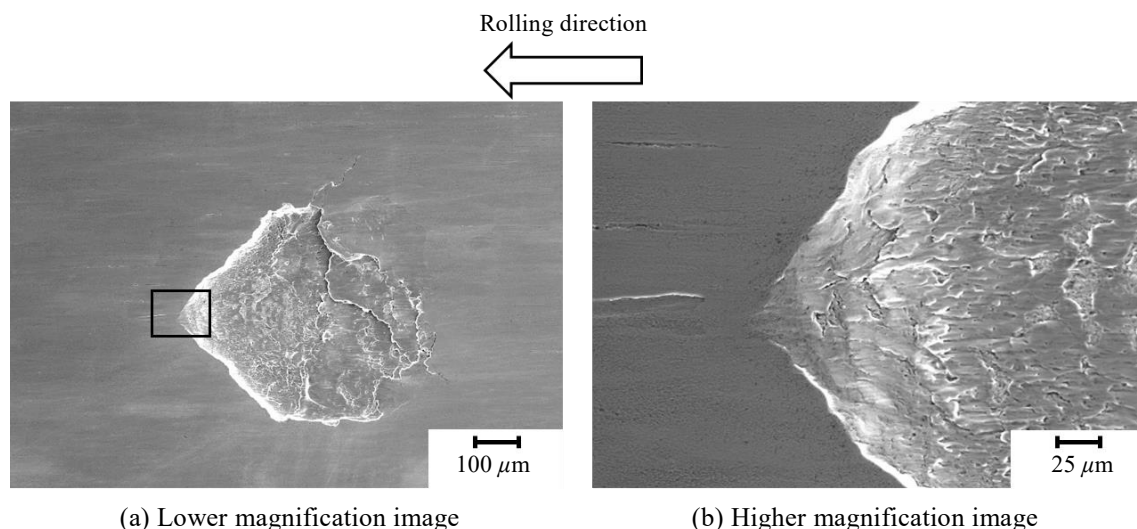


Fig. 2 SEM observation results of the slower specimen

はく離を確認した $N=2 \times 10^6$ 回停止直前の AE 信号源波形と加速度センサの比較を Fig. 3 に示す。連続型 AE 信号の中に突発型の AE 信号が観察されており、この突発型 AE 信号は $N=2.8 \times 10^5$ 回より試験終了直前まで観察された。また、この突発型の信号は加速度センサでは反応していないことがわかる。この突発型 AE 信号と試験初期の AE 信号の周波数解析の結果を Fig. 4 に示す。試験初期の連続型 AE 信号に比べて突発型 AE 信号は 0.1 MHz 未満の周波数で大きなピークが見られた。また、0.1~0.3 MHz 以上の周波数も観察されることから、接触による塑性流動と微細な欠陥の生成に起因する弾性波であることが示唆された。

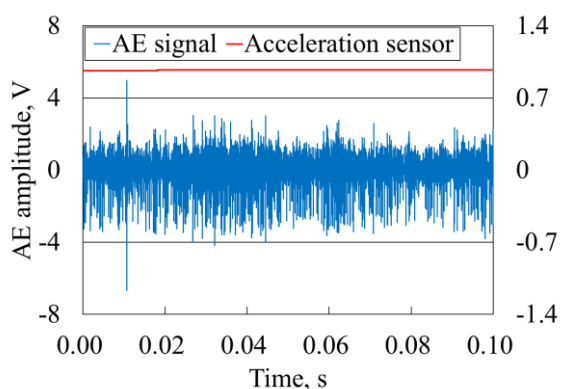


Fig. 3 Comparison of AE signals and Acceleration sensor

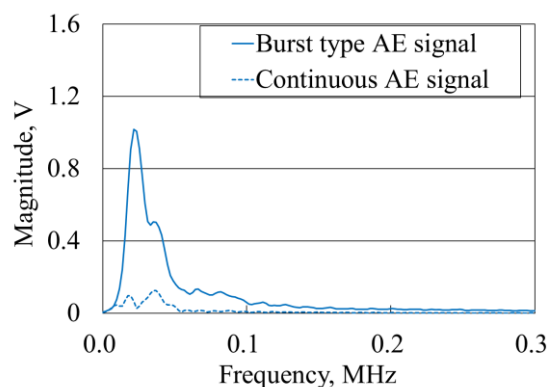


Fig. 4 Comparison of AE signals frequency spectrum

4. 結言

西原式摩耗試験機を用いた転がり疲れ試験において AE 計測と途中止めによる表面の SEM 観察を行った。その結果、振動が増加する前から AE センサでは突発型 AE 信号が観察された。突発型 AE 信号の周波数解析の結果、接触面の塑性流動とき裂の発生に起因する弾性波を捉えられていることが示唆された。

文献

- 1) 吉田：トライボ設計のための転がり疲れ寿命と面圧強さ，日本理工出版会（2012）31.
- 2) A. Hase: Early Detection and Identification of Fatigue Damage in Thrust Ball Bearings by an Acoustic Emission Technique, Lubricants, 8, 3 (2020) 37.