

転がり接触疲労き裂と摩耗の三次元競合解析モデルの開発

Development of a Three-Dimensional Competitive Analysis Model for Rolling Contact Fatigue Cracks and Wear

赤間 誠 (Akama Makoto)

車輪表面の損傷は、転がり接触疲労 (RCF) き裂と摩耗で起こる。それらは両方とも車輪-レール境界面における接触力によって駆動される。そして車輪鋼の特性、即ち、強度、延性及び粒子構造、潤滑の有無及び接触荷重は、RCF または摩耗のいずれが損傷に支配的であるかに影響を及ぼす因子である。よって実際の車輪の損傷を評価するためには、RCF 及び摩耗の両方を考慮して、疲労き裂における初期の進展と摩耗の相互作用を検討し、条件によってはき裂成長が継続したり、摩耗によって消滅することを解明しなければならない。そこで本研究では、二円筒試験を行い、接触圧力、滑り率、乾燥条件又は潤滑条件等を変化させた種々条件で、試験片に発生するき裂及び摩耗を観察、測定した。それら結果を考慮し組み込んだ、レールにおける進展と摩耗の進行を正確にシミュレーションできるプログラムを作成した。

開発したプログラムは、最初に境界要素法 (BEM) により、Hertz 型接触圧分布が表面を移動する半無限体内の二次元 (2D) 表面傾斜き裂を水平裂とし、応力拡大係数 (K 値) 解析を行った。き裂の傾斜角度 β 、き裂長さ a とレール・車輪間の Hertz 接触圧分布の半幅 c の比 a/c 、き裂面摩擦係数 μ_c 及び接触圧分布の最大値 p_0 と接線方向表面力 q_0 の比 q_0/p_0 を種々変化させて、引張りモード及び面内せん断モードの K 値サイクルの変動範囲 ΔK_I 及び ΔK_{II} を解析した。

上述の K 値解析に用いたき裂は 2D き裂である。これを実際にレールに存在するき裂を模擬した三次元 (3D) き裂に近似する。まず 3D き裂は半だ円き裂と考え、き裂の幅方向に幾つかの 2D き裂を設定する。それらに対する車輪からの負荷は、輪重と車輪及びレールの形状を考慮して Hertz 理論で求めた 3D 半だ円体接触圧分布とした。各 2D き裂上を通過する際の最大値を前節の p_0 とした 2D 接触圧分布と考えれば、各 2D き裂の ΔK_I 及び ΔK_{II} が式 (1) から求められる。3D き裂とした水平裂は、同時に面外せん断モードの K 値変動 ΔK_{III} も発生する。文献によると、角度 α ($0 \leq \alpha \leq 45$) が 45° では、車輪が通過する際に水平裂に発生する ΔK_{III} と ΔK_{II} の比 $\Delta K_{III}/\Delta K_{II}$ は、種々の条件で 0.9 程度である。本研究では α が 45° では ΔK_{III} は ΔK_{II} と同値、 0° では 0 とし、その間の角度では線形的に変化すると考えた。

水平裂は、 K_I 負荷の繰り返し後に、両振り K_{II} 及び K_{III} 負荷が繰り返される非比例混合モード負荷を受ける。よって本研究では、非比例負荷のもとで検証されている Hourlier and Pineau 基準によって分岐時期及び角度を予測する。この基準は、き裂は微小な分岐き裂 s の先端における進展速度 da/dN が最大となる方向に沿った径路をたどるとするも

のである。角度が θ 傾いた長さ s のき裂先端における K 値 k_1 及び k_2 の表現に関しては、主き裂先端における K 値 K_I 及び K_{II} を用いた Amestoy の表現を用いた。