

## S2-1-1

### レールき裂進展予測手法の検証

[土] ○青木宣頼 阿部司 小野寺孝行(JR 東日本)

Study of Prediction Model of Growth Rate of Rail Crack  
Fusayoshi Aoki, Tukasa Abe, Takayuki Onodera (East Japan Railway Company)

Rail defect causes traffic delay or derailment. So rail flaw management is important. In order to manage rail flaw, prediction of growth rate of rail crack is needed. There is a rail crack growth prediction method. It is found for past rail breakages. But it isn't confirmed for real rail crack growth. In this paper, we performed fatigue test of real rail with artificial defect to confirm this prediction model. As a result, we confirm this prediction model effective.

キーワード：レール傷，疲労試験，破壊力学

Keyword: rail defect, fatigue test, fracture mechanics

#### 1 はじめに

レールは一定の期間使用した後、ルールに定められた期間で交換している。この使用期限はレール溶接部の疲労寿命に基づき設定している。しかし実際のレールは車輪との転がり接触疲労によるき裂の発生や腐食、摩耗により使用期間を向かえる前に交換している。一方、損傷の発生を見逃すと、き裂が進展してレール折損に至り、輸送障害を引き起こす。そこで、適切な周期で探傷し、適切な基準でレール傷を管理することが重要である。周期や基準を決めるためには、レール傷の進展を予測することが必要である。柏谷<sup>1)</sup>によりレール傷の進展予測手法が開発されているが、その精度について実際のレールでは確認されていない。そこで、レール傷の中でもっとも多い割合を占めるレール頭部傷に着目して、レール頭部に人工傷を付与して疲労試験を行い、き裂の進展予測手法の精度を確認した。本報では疲労試験の結果とレール傷進展予測結果と比較した内容について報告する。

#### 2 レールのき裂進展予測方法

柏谷によるレールのき裂進展予測方法<sup>1)</sup>を概説する。これは列車荷重による曲げ応力、温度変化によるレール軸力、レール内部の残留応力、普通レール鋼のき裂進展特性を用いて、き裂の成長を破壊力学モデルから予測するものである。予測のフローを図1に示す。入力項目は、列車条件、軌道条件、初期のき裂長さである。計算手順は、き裂先端深さにかかる応力から応力拡大係数を算出し、き裂進展速度を求める。そして繰り返し回数を与えて、新たなき裂先端位置を求める。この計算を繰り返し行い、き裂進展を予測する手法である。これはこれまでのレール折損事例とある仮定を基に開発されたものだが、この手法について実際のレールについて検証がなされていない。

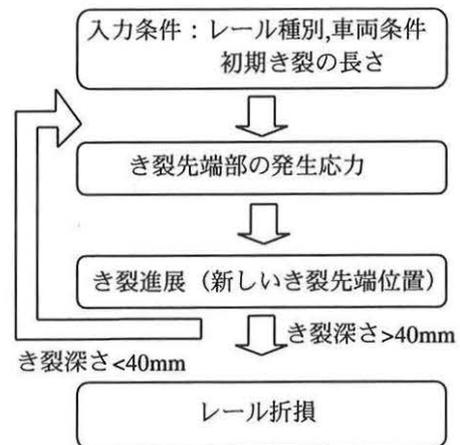


図1 き裂進展予測の流れ

#### 3 試験方法

##### 3.1 供試材

使用済みの60kgレール（累積通過トン数8億トン）に、図2に示すように予き裂として半円形の人工傷を付与した。人工傷はレール頭部中央に放電加工により直径30mm, 25mm, 20mm, 15mmの半円形状のものを4種類加工した。これは、レール頭部に発生するレール傷（横裂）を模擬したものであり、人工傷の半径は現在の管理基準を基に設定した。

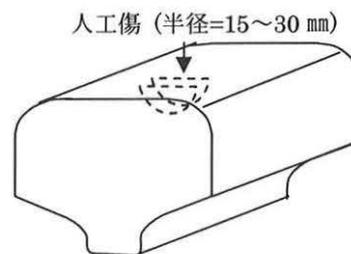


図2 試験体の概略図

### 3.2 疲労試験

試験は容量 200kN の油圧サーボ疲労試験機を用いて疲労試験を行った。応力波形はサイン波、負荷荷重繰返し速度は 7Hz、応力比  $R=0.06$ (最小荷重/最大荷重)の条件下で、支点間隔 1m でレール頭部を下に向けて 3 点曲げで試験を行った。列車通過時に生じる引張荷重と冬季のレール温度変化により生じる引張荷重を考慮して、レール頭頂部の引張荷重が 100MPa になるように試験荷重を設定した。なお、き裂長さは超音波探傷と破断後の破面から確認した。

## 4 試験結果

### 4.1 傷の進展

試験の結果、人工傷の半径が 25 mm と 30 mm のものは、傷が進展し始めてから 10 万回で折損した。20mm のものは 60 万回、15mm は 600 万回で折損した。図 3 に破面の一例を示す。破面は人工傷を中心に扇状に疲労域が広がり、レール頭部から深さ 30~35 mm を境に脆性破面を呈している。

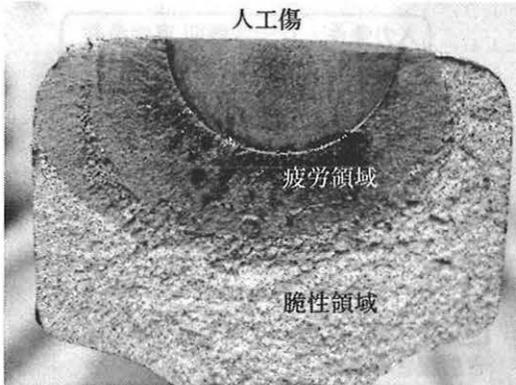


図 3 破断面 (人工傷 15mm)

次に、試験結果を繰返し回数とき裂長さで整理したものを図 4 に示す。予き裂の長さが 20~30 mm については急速にき裂が進展し破断に到っている。一方、予き裂が 15 mm のものは、他に比べてき裂の進展は緩慢であることが分かる。き裂進展速度の違いはき裂先端位置に働く荷重の違いや、残留応力の違い、それら応力により決まる応力拡大係数の違いにより生じると考えられる。

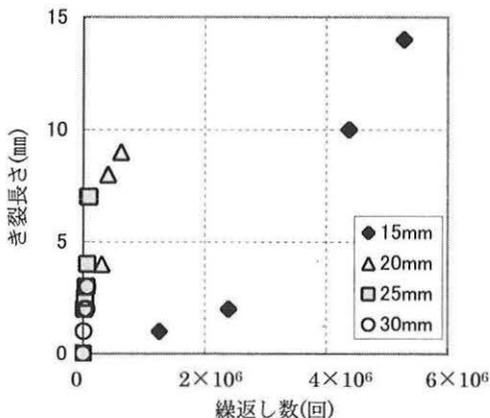


図 4 疲労試験結果

### 4.2 き裂進展予測結果との比較

今回の試験条件に基づいたレールき裂進展予測結果と疲労試験の結果を比較した。結果を図 5 に示す。き裂の進展予測は、初期のき裂を 15mm として、載荷荷重に疲労試験と同じ大きさの荷重を用い、残留応力は疲労試験に用いた材料の残留応力の測定結果を用いた。図 5 は深さ 15mm からのき裂進展予測結果に対応するように、疲労試験結果の繰返し回数をずらして表示している。疲労試験の結果とき裂進展予測結果を比較すると、予き裂が 20mm 以上のものでは概ね一致している。一方、予き裂が 15mm のものでは実測の値はシミュレーションよりも進みが遅くなっており、あまり一致していない。この原因を考えると、載荷荷重ももとの残留応力については同じと考えられるが、人工傷の加工の際に 15mm の加工時にのみ大きな圧縮の残留応力が発生したため傷が進展しにくくなったことも考えられる。今後放電加工した際の人工傷周辺の残留応力について確認する必要がある。

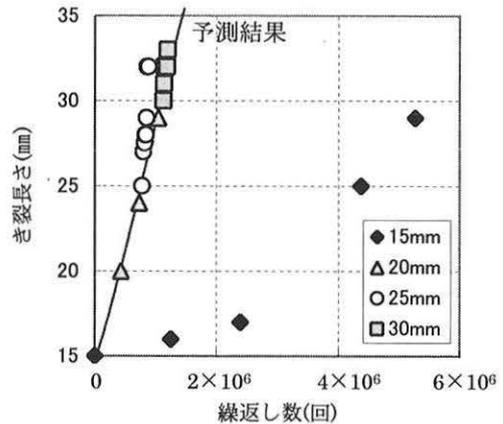


図 5 疲労試験結果とき裂予測の比較

## 5 おわりに

レール進展予測手法の精度を確認するために、人工傷による疲労試験を行った。その結果、予き裂が 20mm 以上の試験片については、予測結果と試験結果は良い一致をみた。一方、予き裂が 15mm のものについては、予測と試験結果に差が見られた。これについては、今後の検討課題である。今回の試験の結果、この手法によりある程度レール傷の進展予測が可能であることが分かった。今後は実際に営業線で発生したレール傷について疲労試験を実施し、き裂進展予測手法の妥当性を確認する予定である。また、レールの他の部位の傷についても同様の試験を行い、この予測手法の妥当性を確認して、レール傷全体の予測を可能にする予定である。そして、各線区の条件に合わせて列車荷重や軌道条件を与えることで傷の進展を予測して、線区に応じた効率的なレール傷管理(基準、探傷周期)が可能となると考えている。

### 参考文献

- 1) 柏谷賢治, 石田誠, 鉄道力学シンポジウム, 7, 79(2003).