

熱処理レールのき裂進展速度に関する一考察

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○西本 晋平
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 細田 充
 (公財)鉄道総合技術研究所 非会員 兼松 義一
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 片岡 宏夫

1. はじめに

レールは軌道を構成する重要な部材であり、列車の走行安全性を確保するには、レール損傷を防止するための保守管理が非常に重要である。レール損傷の中で、発生が多い形態として頭部の転がり接触疲労損傷が挙げられる。近年では、熱処理レールにおいて、ゲージコーナキ裂を起点とした横裂による折損も発生しており、熱処理レールのき裂進展速度に関する研究が進められている^{1),2)}。本研究では、熱処理レールにおける横裂進展速度の推定精度向上の一環として、実レールを用いた基礎的な横裂進展試験を実施し、理論値との比較を行った。

2. 試験概要

頭部横裂の進展速度を把握するため、使用履歴のない各レールの頭頂部に人工傷(半径 5mm の半円状のスリット)を放電加工により加工した 50kgN レール 5 本に対して、横裂進展試験を実施した。横裂進展試験は、レール曲げ疲労試験機を用いて、図 1 に示すように、レール頭部を下にした状態(以下、「ヘッドダウン」という)で支点間隔 1,000mm、載荷間隔 150mm の片振り 4 点曲げで実施した。なお、応力条件は、頭部曲げ応力振幅が 140N/mm²、100N/mm²、70N/mm² となるよう設定し、それらを組み合わせ、一定の回数ごとに変化させた。クラックゲージの測定範囲は 25.2mm である。

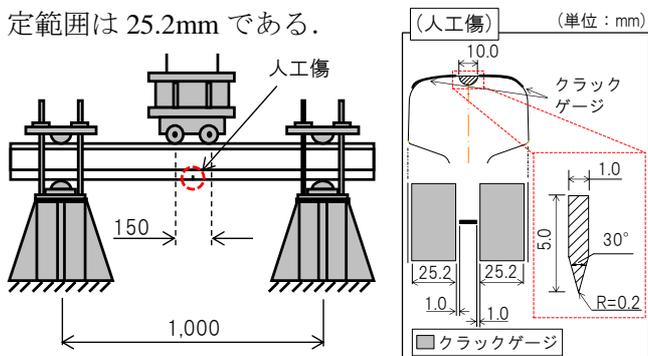


図 1 横裂進展試験概要

3. 試験結果

横裂進展試験の条件および結果を表 1、破断面の例を図 2 に示す。なお、各供試体は試験内で全て破断に至った。

横裂深さは、レール表面上に貼付したクラックゲージにより検知されるき裂長さと同破断後の疲労破面模様(ビーチマーク)の形状により算出した。また、横裂進展速度は、横裂深さの範囲ごとに進展量をその応力振幅の累積載荷回数で除した平均的な進展速度を算出した。横裂進展速度と横裂深さの関係を図 3 に示す。横裂深さが増加する程、横裂進展速度が速くなる傾向となり、

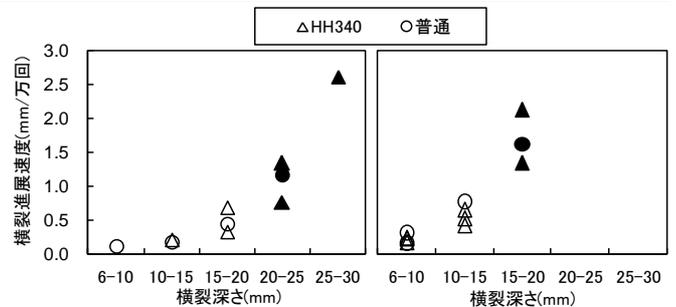


図 2 破断面例

熱処理レールおよび普通レールとも、同様の傾向を示し、レール種別による差異は小さい結果となった。

表 1 試験結果

供試体 No.	レール種別	頭部応力振幅 (N/mm ²)			横裂深さ (mm)
1	普通	70	—	140	24.6
2	HH340	70	100	140	29.1
3	HH340	70	—	140	16.6
4	HH340	—	100	140	28.7
5	普通	—	100	140	22.9



(a) 応力振幅 100N/mm² (b) 応力振幅 140N/mm²

※塗りつぶしは脆性的なき裂進展が混在する場合

図 2 横裂進展試験結果

キーワード レール, ゲージコーナキ裂, 横裂進展試験, き裂進展特性試験, 横裂進展速度

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7275

4. き裂進展特性試験

熱処理レールの材料特性を把握するため、レール頭部から切り出し深さおよび方向を変えた CT 試験片を採取し、き裂進展特性試験を実施した。その結果と過去に実施されたき裂進展特性試験の結果を図3に示す。熱処理レールは頭部表層からの深さにより硬さが漸減するが、き裂進展特性に差異はみられなかった。また、応力比 $R = 0$ で実施された普通レールのき裂進展特性試験結果に近い結果となった。

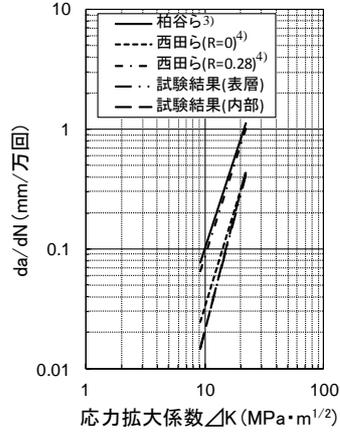


図3 き裂進展特性試験結果

5. 考察

横裂進展速度において、実験結果と理論値の比較を行った。矩形断面を有する物体について、半楕円形状き裂に曲げ応力が作用した場合の応力拡大係数を式(1)より算出し、前節の結果に基づき、横裂進展速度の理論値を式(2)に示す過去に提案されたレール鋼における応力比を考慮した Paris 則⁴⁾から求めた。

$$\Delta K = M_k \frac{\sigma \sqrt{\pi a}}{E(k)} \quad \dots\dots (1)$$

$$E(k) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \phi} d\phi \quad k^2 = 1 - (a/c)^2$$

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K_{eq})^m \quad \Delta K_{eq} = \sqrt{\Delta K \cdot K_{max}} \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 ΔK : 応力拡大係数 ($\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)
 M_k : 矩形体中の楕円状き裂の補正係数
 a, c : 楕円状き裂の短径と長径 (mm)
 $m=3.38, C=1.46 \times 10^{-9}$

また、レールはその形状により製造過程で必然的に残留応力が存在するため、残留応力の影響も考慮した。残留応力については、既往の研究²⁾を参考に、50, 75, 100N/mm²の3パターンで実施した。

図4に载荷回数と横裂深さの関係、図5に横裂深さと横裂進展速度の関係を示す。どちらの結果も残留応力を0~100N/mm²に変化させて算出した理論値と概ね整合した。

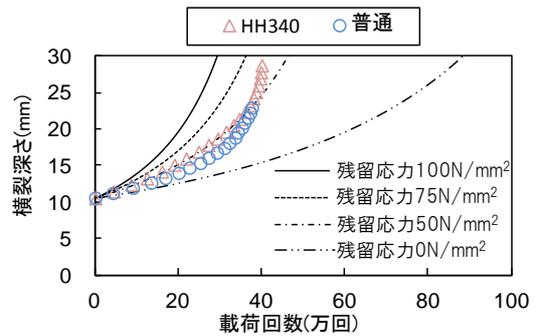
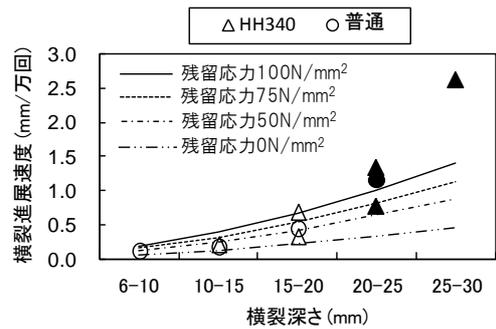


図4 横裂進展速度(応力振幅 100N/mm²)



※塗りつぶしは図2による

図5 载荷回数と横裂深さ(応力振幅 100N/mm²)

なお、図5より、理論値においても横裂深さが増加する程、進展速度が速くなる傾向となった。また、横裂深さが、全面的に疲労破壊領域であった20mm以下までは、理論値との差異は小さいが、それ以上になると差異が大きくなる傾向となった。

6. まとめ

人工傷を加工した実レールを用いたヘッドダウンの横裂進展試験を実施し、横裂深さと横裂進展速度の関係を把握した。熱処理レールと普通レールで進展傾向は大きく変わらなかった。今後、レール軸力を考慮したレール曲げ疲労試験を実施していく予定である。

【参考文献】

- 1)平野ら：レールに発生する横裂の進展に関する一検討，土木学会第69回年次学術講演会，2015.9
- 2)辻江ら：ゲージコーナき裂の進展予測に関する一考察，第19回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，No.12-79，2012.5-7
- 3)柏谷ら：レール横裂成長速度予測モデル，第7回鉄道力学シンポジウム，2003.7
- 4)西田ら：レール鋼の疲労き裂伝ば過程における残留応力の影響，材料，第32巻，第352号，1983.1