

レール損傷（頭部横裂）進展に関する分析

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○瀧川 光伸
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 本 卓也
 鉄道総合技術研究所 柏谷 賢治

1. 目的

レール損傷において、き裂が発生してから折損に至るまでの進展メカニズムは解明されていない。そのため、安全性や信頼性の面からレール損傷管理に多くのコストを費やしているのも事実である。特に在来線では、レール交換原因の半分がシェリング傷によるものであり、頭部横裂の進展メカニズムが解明されれば、レール折損に至る予測が確実に行えるようになり、安全性の向上やレール損傷管理の効率化につながる。そこで、本研究では損傷レールに対し疲労試験を実施し、き裂進展に関して破壊力学に基づく分析を行った。

2. 試験内容

レール疲労試験は図1に示す材料荷重試験装置を使用し、レールをヘッドダウンでセットし表1に示す2条件で行った。試験片には、営業線に敷設されていた50Nレールのエンクローズアーク溶接部に頭部横裂が発生した物を使用した。特に2回目の荷重条件は、上限値としてレール頭部に約40℃相当の軸力と通過列車のアップリフト分に相当する引張応力が発生するように設定し、下限値も約40℃相当の軸力から通過列車の輪重分を除いた応力が発生するように設定した。2回目の荷重設定条件の概念を図2に示す。

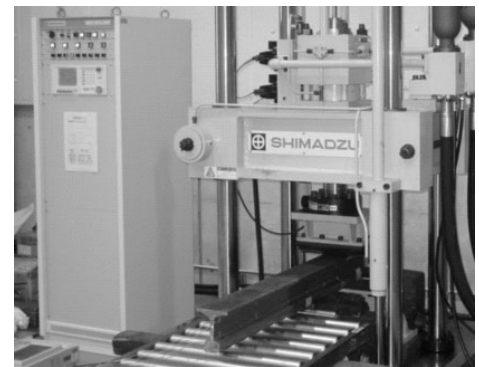


図1 材料荷重試験装置

表1 疲労実験における荷重条件

条件	荷重条件	载荷周波数	スパン	その他
①	上限値: 87kN 下限値: 10kN	5Hz	600mm	
②	上限値: 142kN 下限値: 10kN	5Hz	1,000mm	軸力(40℃)を考慮

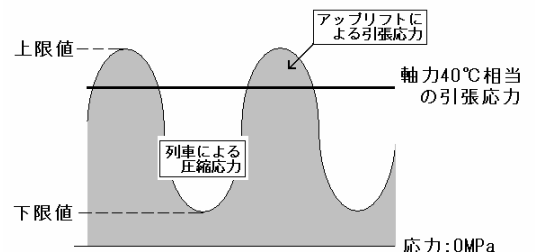


図2 2回目の設定条件（条件②）

3. 試験結果

表1に示す2条件で疲労試験を行い、定期的に70°で探傷したときの深さ方向の大きさについてまとめた結果を図3に示す。条件①の時は損傷き裂の進展が見られなかったが、条件②の時は損傷き裂の進展が見られた。さらに、当初、レール表面にき裂は見られなかったが、表面にき裂が現れてからは急激にき裂が進展した。

今回の試験では、最終的にレール破断まで至らなかったが、図4に示すようにそのレールを静的荷重で破断させ損傷状態についても確認をした。損傷のき裂は同心円

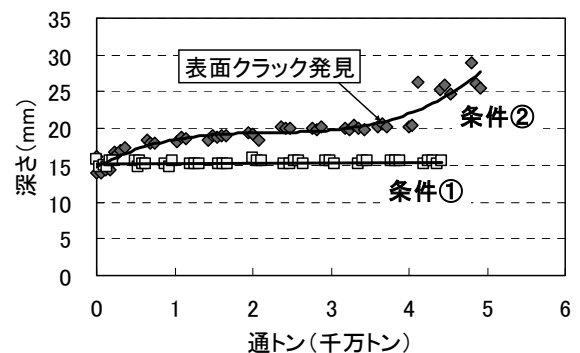


図3 損傷き裂の進展

キーワード：レール、頭部横裂、き裂の進展、レール応力、破壊力学、疲労試験

連絡先 〒331-0823 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目0番地 TEL:048-651-2389 FAX:048-651-2289

状に拡大しており、傷の深さも探傷結果とほぼ同じであった。

4. 考察

レールの疲労試験により得られた結果を破壊力学のモデルに基づき分析を行った。レール頭部横裂については、既に図5に示すような破壊力学モデルが提案されている¹⁾。き裂はレール破断結果から同心円状に進展しており、開口破壊痕跡（モードI）で成長することを前提としている同モデルが適用可能であると考えた。図4から最初のき裂の半径は約5mmであり、き裂中心付近はレール頭部から13mm付近となるため、そこでの応力は条件①で約45MPa、条件②で約95MPaとなる。したがって、応力拡大係数を求めるとそれぞれ K_I ①=3.6、 K_I ②=7.6となる。

普通レール鋼のき裂進展速度と応力拡大係数範囲の関係は基礎的な材料試験の結果から図6のようになるため、求めた応力拡大係数からき裂進展速度を推定すると条件①の場合では損傷き裂は進展せず、条件②の場合では100万回（トン1,000万トン相当）で約3mmの進展となることがわかった。図3より、条件②における载荷当初のき裂進展速度は1,000万トン相当で約3mm進展しており、モデルの進展速度と一致する結果となった。

実際の試験では、損傷き裂が進展するに連れて一旦進展速度が遅くなっているが、原因の1つとしてレール内部の残留応力の変化が考えられる。今回の試験片は溶接部であり、しかも損傷の位置がレール母材と溶接材の境界付近だったため、残留応力の影響ははっきりと確認できなかった。今後は母材における試験も行い、残留応力の影響も考慮した分析を検討していく必要がある。また、図3よりレール表面にき裂が現れてからは、急激にき裂の進展速度が速くなる結果となっており、損傷き裂がレール表面に現れた場合は、急激にき裂の進展が進む可能性が示された。

5. まとめ

これまでの試験と分析から、レール頭部横裂に関する進展予測を行える可能性が確認された。そのためにも、レール内部の残留応力についても整理しておく必要がある。さらに、損傷き裂がレール表面に現れた場合は、き裂の進展が急激に進む恐れがあり、レール損傷管理上でも注意をしなければならないことがわかった。

【参考文献】

- ・第142回鉄道総研月例発表会講演要旨 2001.8

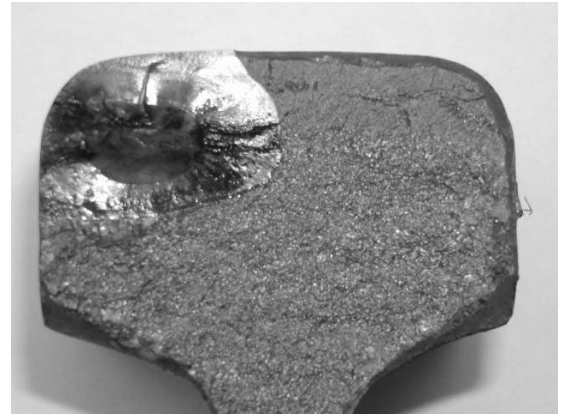
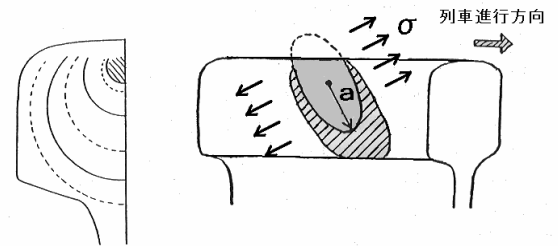


図4 損傷き裂の進展状態



$$\text{応力拡大係数} : k_I = \frac{2}{\pi} \sigma \sqrt{\pi a}$$

σ : 応力

a : 円板状き裂の半径

図5 レール頭部横裂の破壊力学モデル

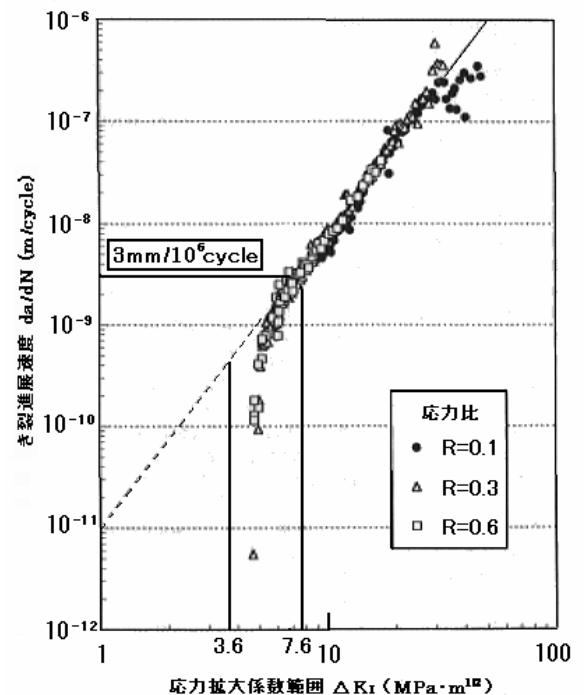


図6 き裂進展速度と応力拡大範囲の関係