

レール頭部横裂の進展速度に及ぼす影響因子の実験的検討

(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 正会員 水谷 淳  
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 片岡 宏夫  
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 山本 隆一

1. はじめに

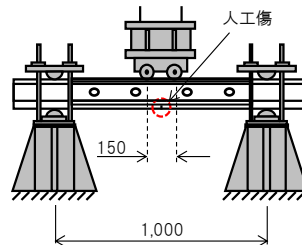
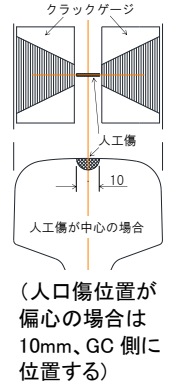
レール頭頂面シェリングおよびゲージコーナキ裂は水平裂が成長する過程で、き裂がレール底部方向へ分岐し(以下、「頭部横裂」という)、レール折損に至る可能性があり、保守管理の適正化のためレール頭部横裂の進展速度の把握が求められている。本研究では、各種実レールを用いた横裂進展試験、残留応力測定を実施しレールの横裂進展速度の把握および進展速度に与える影響因子について検討した。

2. 試験概要

各種実レールの頭頂部に人工傷(半径 5mm の半円状のスリット)を放電加工により設置した 50kgN レールに対してレール頭部を下にした状態(以下、「ヘッドダウン」という)の横裂進展試験を実施した。各供試体は表 1 に示すとおり使用履歴の有無、残留応力を低減させる目的で焼鈍したもの、き裂の位置を偏心したものおよび補強継目板を取り付けたもの、それぞれの横裂進展速度を把握する。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、支点間隔 1000mm、載荷間隔 150mm の片振り 4 点曲げで実施した。荷重条件は、初期のき裂が発生しやすいように人工傷から進展深さ 5mm 程度の予き裂発生後は 10~121kN で繰り返し載荷した。なお、補強継目板有りの状態の頭部曲げ応力振幅は補強継目板無しの状態と比較して、2 割程度小さくなっていた。これは補強継目板の装着により、レールと補強継目板を合わせた断面 2 次モーメントが大きくなったためであると考えられる。横裂深さは人工傷から概ね楕円形状にき裂が進展することを想定して、クラックゲージにより検知されるレール表面上のき裂長ささと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。ただし、あくまでヘッドダウンによる試験であり温度応力等も考慮していないため、営業線で発生するき裂進展の状態とは異なる。

表 1 試験条件

レール種別	使用履歴	焼鈍、補強継目板	人工傷位置	頭部曲げ応力振幅	鉛直荷重範囲
普通	無	—	中心	100 N/mm <sup>2</sup>	121 ~ 11 kN
	無	焼鈍	中心	80 N/mm <sup>2</sup>	
	無	補強継目板	中心	80 N/mm <sup>2</sup>	
	有	—	中心	100 N/mm <sup>2</sup>	
熱処理	無	—	中心	100 N/mm <sup>2</sup>	
	無	—	偏心	100 N/mm <sup>2</sup>	



(試験後の破面の例)

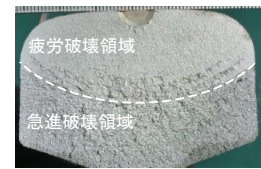


図 1 横裂進展試験概要 (図は補強継目板装着の条件)

3. 試験結果

ヘッドダウンの横裂進展試験結果を図 2 に示す。

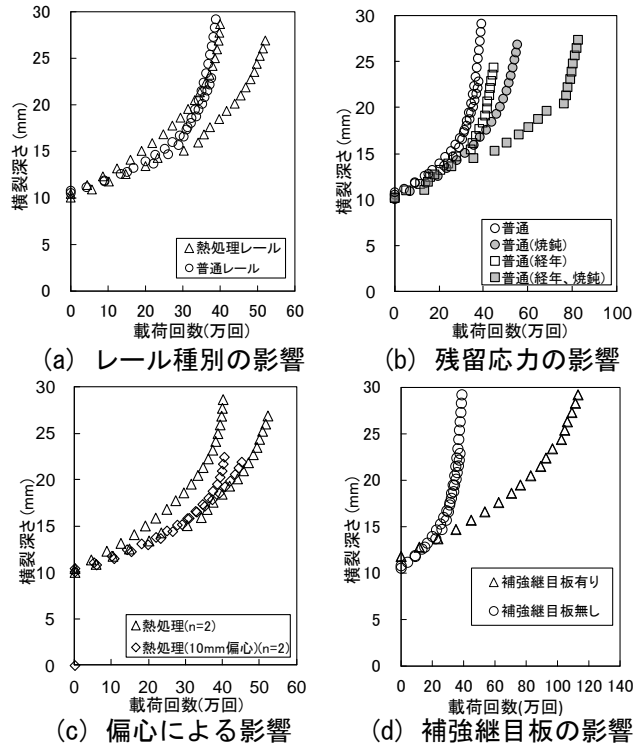


図 2 横裂進展試験結果

キーワード レール、ゲージコーナキ裂、横裂進展試験、横裂進展速度、残留応力

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

試験結果は以下のとおりである。

- (a) 载荷回数の増加に伴い、横裂が進展し、かつ横裂進展速度が速くなる傾向を示した。
- (b) 熱処理レールの1本の横裂進展速度が他3本に比べて遅い結果を呈している(図2(a))。このばらつきは、レール頭部の残留応力がレールにより異なることによるものと推察される。鋼種の影響はその他の因子と比較すると小さい結果となった。
- (c) 残留応力を低減させる目的で焼鈍した2種類のレールが非処理品に比べて遅い結果となった(図2(b))。レール頭部中央位置には引張の残留応力が発生することが知られており、本試験結果から残留応力が影響していることが示された。
- (d) 初期き裂を偏心させた場合、限界深さが中心の場合と比較して浅い位置で破断に至った(図2(c))。
- (e) 補強継目板の取り付けにより横裂進展速度は大幅に低下した(図2(d))。

#### 4. 残留応力測定

残留応力が横裂進展速度に与える影響を確認するため、MIRS法(図3)でレール頭部内部の残留応力測定を行った。ただし、焼鈍を施した供試体は、切り出し法で測定を行い、レール頭部内部では概ね残留応力が消滅されているのを確認した。

測定結果を図4に示す。全体として、深さ10~30mmでは引張の残留応力が発生しており、その範囲の平均値は新品の普通レールおよび熱処理レールでそれぞれ66N/mm<sup>2</sup>、72N/mm<sup>2</sup>であった。

#### 5. 考察

き裂進展速度を決定する有効応力拡大係数範囲ΔKおよび応力比Rについて着目する。以下にき裂進展速度を表すウォーカー則を示す。

$$\frac{da}{dN} = C[\Delta K(1-R)^{n-1}]^m \quad R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

ここで、*a*: き裂の大きさ、*N*: 応力変動の繰返し数、*C*, *m*: 材料定数、 $\sigma_{\min}$ : 最小応力、 $\sigma_{\max}$ : 最大応力  
 なお、有効応力拡大係数範囲はき裂が開いている間のき裂先端付近に分布する応力の大きさの程度を示す。図5は横裂進展試験においてレール頭部に発生する各応力から求められる有効応力拡大係数範囲および応力比の概念図である。横裂進展試験では、残留応力が存在している状態から、鉛直荷重に伴い引張の曲げ応力振幅がレール頭部に発生して有効応

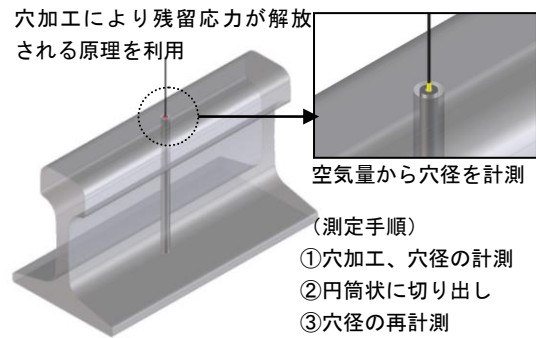


図3 MIRS法による測定

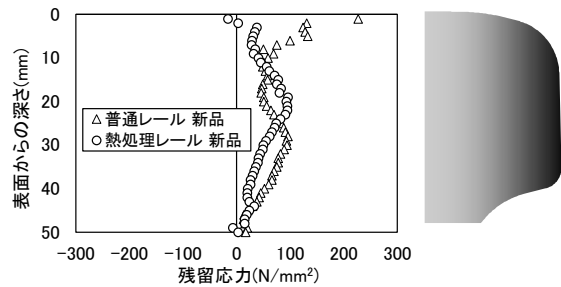


図4 残留応力測定結果

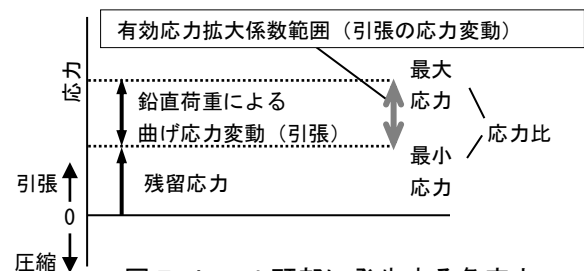


図5 レール頭部に発生する各応力

力拡大係数範囲となる。補強継目板を装着した場合には、曲げ応力振幅、有効応力拡大係数範囲も小さくなり、横裂進展速度が低下したと考えられる。一方、応力比は最小応力/最大応力で定義されるが、本試験においては、

最小応力: 残留応力

最大応力: 残留応力+鉛直荷重の曲げ引張応力振幅となる。すなわち、残留応力が大きくなることで、応力比が大きくなり、焼鈍およびその他のレールの試験結果の比較で横裂進展速度に差があるのは、残留応力が異なることによる応力比の違いが大きく影響していると考えられる。

#### 6. まとめ

各種実レールを用いた横裂進展試験を実施し、横裂進展速度の把握および進展速度に与える影響の因子について検討した。鋼種、残留応力、き裂の位置の違い等の影響を把握した。

#### 【参考文献】

- 1) 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