

軸力を考慮したレール横裂傷の進展試験

東京地下鉄株式会社	正会員	○柳沢有一郎
鉄道総合技術研究所	正会員	片岡 宏夫
鉄道総合技術研究所	正会員	大野 宗伸
鉄道総合技術研究所	正会員	弟子丸 将

1. はじめに

レールの横裂傷は、レール折損に直接結びつく傷であり、その管理は、安定輸送を確保する上で重要である。過去に横裂傷の進展について要素試験および理論解析による推定がなされたが、実レールの横裂進展試験は十分に行われていない。そこで、実物大レールを用いて軸力を考慮した試験を実施し、レール頭部からの横裂傷の進展を破壊力学等の理論に基づいて検討した。

2. 横裂の進展試験

レール試験片として表1に示す経年履歴のあるレールを収集し、図1に示す半円形の人工傷を加工した。人工傷からの傷が実際の傷と比較して進展しにくいことを、予備載荷試験を実施して予き裂を発生させた後、レール長さ方向と鉛直方向に同時に載荷できるレール曲げ疲労試験機を用いて横裂進展試験を行った。試験は図2に示すようにレール頭部を上にした状態で試験架台に据え付け、レール長さ方向に引張軸力を負荷した後に載荷点直下の繰返しの曲げ応力変動を発生させる試験方法により行った。引張軸力は温度変化量 50 相当と 25 相当の2通りとした。また、応力全振幅を表2に示す所定の回数ごとに变化させるようにして、傷の進展状況が分かるようにした。

表1 レール試験片の履歴

レール 種別	累積通過トン数 (億トン)	経過年数 (年)
50kgN	2.47 ~ 2.63	12.6 ~ 13.4

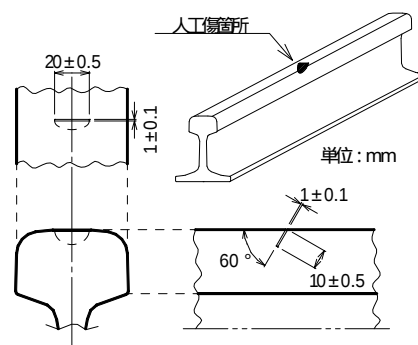


図1 人工傷

表2 横裂傷進展試験条件

項 目		試験条件	
試験方法		片振り 3 点曲げ	
引張軸力		754kN	377kN
応力全振幅	大	150 ~ 10N/mm ²	150 ~ 10N/mm ²
		10 万回	10 万回
	小	80 ~ 10N/mm ²	80 ~ 10N/mm ²
		20 万回	10 万回
試験環境		常温，大気中	
載荷周波数		4.0Hz	

応力全振幅はレール底部の値

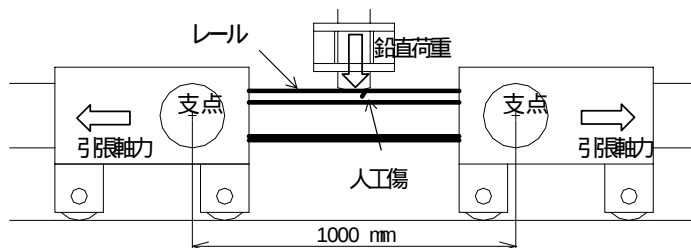


図2 横裂進展試験状態図

3. 試験結果

横裂進展試験の結果を表3に示す。未破断の№2と№4を強制的に破断させて破面を観察したところ、№2には疲労き裂の進展が深さ22.6mmまで見られたが、№4は横裂の進展はほとんどみられなかった。№1と№3は疲労き裂が深さ30mm程度まで進展し、さらに急進的に進展して破断に至り、破面にき裂進展の過程を示すビーチマークがみられた。№1と№3のき裂の進展の角度はそれぞれレール長さ方向に対し50度、59度であり斜めに傷が進展するのを再現することができた。例として№1のビーチマークの様子と進展角度を図3に示す。ビーチマークの頭頂面からの深さを測定し、荷重の繰返し数と横裂の頭頂面からの深さの関係を把握した。

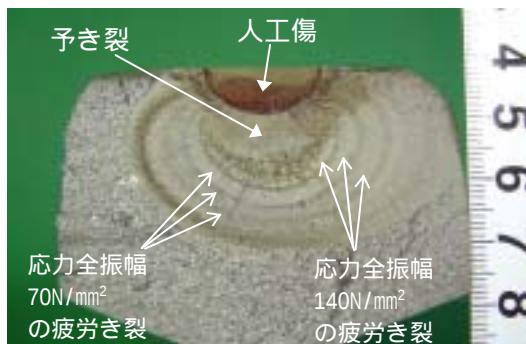
キーワード 横裂傷、疲労亀裂

連絡先 〒114-0002 東京都北区王子5-28-16 東京地下鉄株式会社 南北線工務区 TEL 03-3927-8871

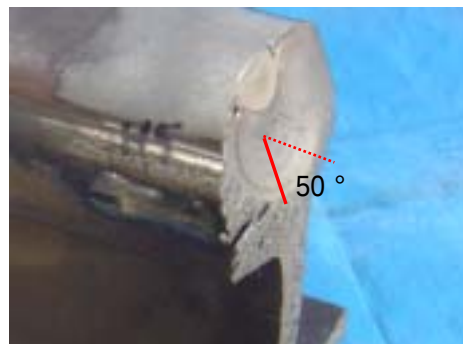
№1 では 30.8mm、№3 では 30.0mm の深さまで疲労き裂が達していた。また、横裂の頭頂面からの深さと繰返し数 1 万回当りの横裂の進み量を求めた。これらについて、例として№1 の結果を図 4 および図 5 に示す。№1 および№3 の結果から、横裂深さが 27mm 程度に達すると、進展速度が大きくなる傾向が見られた。横裂深さが 27mm 以下の横裂の進展速度をみると、応力全振幅が 140N/mm^2 のときは約 $0.12 \sim 0.23\text{mm/万回}$ 、 70N/mm^2 のときは約 $0.03 \sim 0.06\text{mm/万回}$ であった。

表 3 横裂進展試験結果

供試体 №	引張軸力 (kN)	応力全振幅 (N/mm^2)	累積繰返し 数($\times 10^3$)	破断 未破断
1	754	140	400	破断
		70	755	
2	754	140	2,000	未破断
		70	4,000	
3	754	140	443	破断
		70	800	
4	377	140	2,000	未破断
		70	4,000	
5	377	140	2,000	未破断
		70	4,000	



(a) ビーチマーク



(b) 進展角度

図 3 試験レールの破断面の例 (№1)

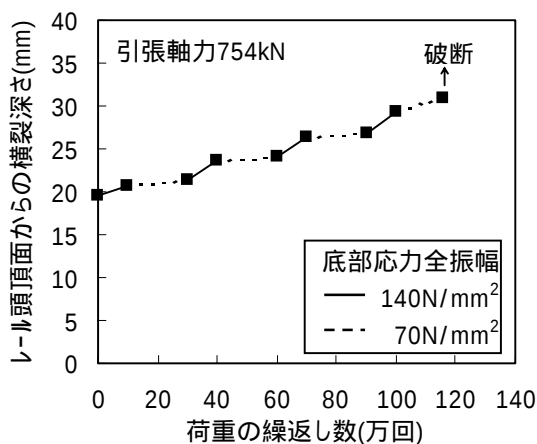


図 4 荷重の繰返し数と横裂深さ (№1)

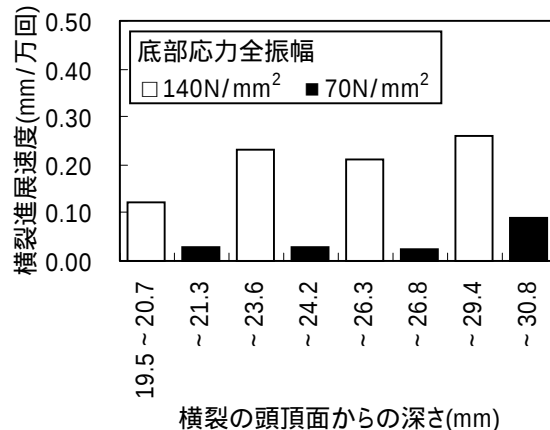


図 5 頭頂面からの深さと横裂の進展速度 (№1)

4. 考 察

柏谷によるき裂進展速度の式¹⁾によると、き裂の進展速度は有効応力拡大係数範囲の 3 乗に比例するとされている。したがって、き裂の進展速度は応力変動の 3 乗に比例することとなる。今回の試験結果は、頭頂面からの横裂深さが比較的浅い部分では、応力全振幅が 2 倍になると横裂の進展速度が約 4～8 倍になる傾向が見られ、理論と合致している。一方、未破断の供試体については、№2 はき裂の進み量が小さいためビーチマークを形成するには至らず、所定の繰返し数内では破断に至らなかった。№4 は予き裂からの進展は見られなかった。これは、軸力、曲げによる応力および残留応力で決まる有効応力拡大係数範囲が、下限界応力拡大係数範囲（き裂が進展しない下限値）を下回ったためにき裂が停留したものと考えられる。

5. まとめ

引張軸力を作用させた場合に見かけ上圧縮となる曲げの状態でも横裂が進展することを実験的に明らかにした。さらに、斜めに進展する横裂を再現し、ビーチマークにより進展速度を正確に把握することができた。今後、き裂を有するレールのき裂進展試験を実施したいと考えている。

参考文献 1) 柏谷賢治、レール横裂成長速度予測モデル、鉄道力学論文集、土木学会構造工学委員会、第 8 号、2003 年 7 月