

レール頭部横裂進展速度の室内試験による検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○小谷 隼
 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 細田 充

1. はじめに

頭頂面シェリングから分岐したレール頭部横裂の管理は重要であり、近年、横裂進展速度に関する研究が進められている^{1)~3)}。本研究では、レール軸力を付加した実物大レールの横裂進展試験を進め、データの信頼性を向上させた。

2. 横裂進展試験について

2. 1 試験方法

頭部横裂の進展速度を把握するため、使用履歴のあるレール頭頂部に人工傷（半円状のスリット）を加工したレール10本、およびシェリングから頭部横裂が発生した実レール3本を用い横裂進展試験を実施した。なお、人工傷を加工したレールは頭部下向きの载荷試験を行い予き裂（疲労き裂）を発生させた。

横裂進展試験は、レール長さ方向と鉛直方向を同時に载荷できる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上にした状態で実施した。载荷方法は、レール軸力を負荷した状態で、応力全振幅を大小2通り設定し、応力全振幅大と応力全振幅小の载荷回数の割合を1:2として所定の回数ごとに繰返した。このように応力全振幅を変化させることにより、疲労き裂の進展速度が変わり、振幅ごとの疲労破面の境界が観察できると予想した。総繰返し数は210万回とし、未破断の供試体は強制破断させ横裂を観察した。

2. 2 試験結果

横裂進展試験の結果を表1に示す。試験結果の概要は以下のとおりである。

- ① 人工傷レールの予き裂は13.5~20.5mm、現場発生傷レールの試験前の横裂深さは、深さ26.9mmの供試体No.12を除くと8.0~12.2mmであった。
- ② 引張軸力754kNの条件では、9本中4本が破断した。疲労き裂は30.0~32.8mm程度の深さまで進展し、その後急進的に破断に至った(図2)。

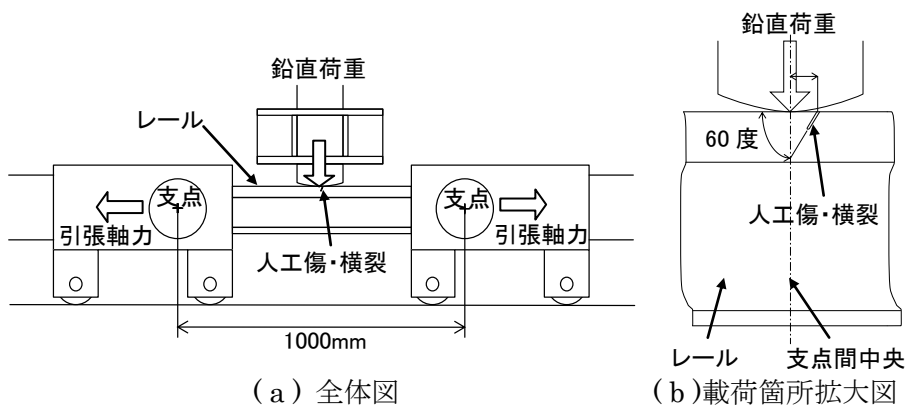


図1 横裂進展試験状態図

表1 横裂進展試験結果

供試体 No	(上段)レール種別 (下段)傷種別	応力全振幅* (N/mm ²)	引張軸力 (kN)	横裂深さ (mm) (上段)試験前 (下段)試験後	横裂進展速度 (mm/万回)	総繰返し数 (万回)
1	50kgN 人工傷	70 140	754	19.5 30.8	0.09 0.26	115.5
3	50kgN 人工傷	70 140		16.4 30.0	0.06 0.46	124.3
5	50kgN 人工傷	70 140		15.6 32.3	— 0.59	100.0
7	50kgN 現場発生	70 140		12.2 32.8	0.08 —	161.1
12	50kgN 現場発生	70 140		26.9 49.6	0.45 1.23	71.6
2	50kgN 人工傷	70 140	754	20.5 25.0	0.01	210 (未破断)
4	50kgN 人工傷	70 140		13.5 13.5	0	210 (未破断)
6	50kgN 人工傷	70 140		16.2 26.7	0.05	210 (未破断)
8	50kgN 人工傷	105 175		16.8 25.2	0.04	210 (未破断)
9	50kgN 人工傷	105 175		14.4 26.1	0.06	210 (未破断)
10	50kgN 人工傷	70 140	377	— —	—	210 (未破断)
11	50kgN 人工傷	70 140		15.5 15.5	0	210 (未破断)
13	60kg 現場発生	70 140	364	8.0 8.0	0	210 (未破断)

※ 1サイクルごとに応力全振幅小20万回、大10万回もしくは小40万回、大20万回の繰返し数とした。

キーワード レール横裂、シェリング、き裂進展速度、破壊力学

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2丁目8-38 (財)鉄道総合技術研究所 軌道構造 TEL042-573-7275

- ③ 50kgN レールで引張軸力 377kN、60kg レールで 364kN の条件では、4 本中 1 本が破断した。ただし破断した No. 12 は、試験前に大きな横裂のあったものであり、繰返し数 71.6 万回において、疲労き裂が深さ 49mm 程度まで進展し、その後急進的に破断に至った。

次に、破断およびき裂の進展した未破断の両方の供試体について、繰返し数 1 万回当りの横裂の進展速度を求めた。その結果を表 1 に示す。進展速度の算定にあたって、破断した供試体のビーチマークが明確に確認できるものについては(図 3)、各応力振幅の進み量のうち最も大きなものをその応力振幅の繰返し数で除して算出し、未破断の供試体は、ビーチマークが不明確のため、横裂の総進み量を総繰返し数で除して平均的な進展速度を算出した。応力全振幅が 140N/mm² で進展速度が最も速かったのは、供試体 No. 5 の 0.59mm/万回であった。供試体 No. 12 が他と比べ速い結果となっているのは、これが横裂深さ 40mm 付近の深い位置での進展速度のためである。

3. 考 察

本試験において、鉛直荷重のみでレールが曲げ圧縮の状態でも、引張軸力下で横裂が進展することを実験的に明らかにしているが、進展速度にかなりのばらつきが生じていた。このばらつきの一つの要因として、レール内部の残留応力が考えられる。残留応力が、①大きな引張の状態、②小さな引張、もしくはほとんど無い状態の 2 ケースが考えられる。前者については軸力+残留応力が大きく、曲げ圧縮による応力全振幅がほぼき裂進展に寄与すると推定され、後者については引張軸力を付加した場合においても、曲げ圧縮による応力全振幅の一部が圧縮の変動となり進展に寄与せず、前者と比較すると、進展速度が遅くなったものと推定される。

また、レール鋼の有効応力拡大係数範囲とき裂進展速度の関係が、次式のように提案されている¹⁾。

$$da/dN = 10^{-11} (\Delta K_{I\text{eff}})^3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 a : き裂の大きさ、 N : 応力変動の繰返し数、 $\Delta K_{I\text{eff}}$: 有効応力拡大係数範囲

式(1)によると、き裂進展速度は有効応力拡大係数範囲の 3 乗に比例する。この有効応力拡大係数範囲は応力変動に対応することから、き裂進展速度は応力変動の 3 乗に比例する。今回の試験結果は、横裂進展速度にばらつきが見られるものの、供試体 No. 12 を除き、進展速度が最も速いもので、応力全振幅が 2 倍になると進展速度が 7.4 倍となっており、理論とほぼ合致している。これより、応力全振幅 140 N/mm² の進展速度 0.59 mm/万回を基に、応力全振幅 100 N/mm² では 0.22mm/万回、応力全振幅 70 N/mm² では 0.07mm/万回と進展速度を推定することができるが、実際には年間の温度変化があり、実質的な進展速度は推定値よりも低下する。

4. まとめ

本研究では横裂進展速度を把握することを目的として、実物大レールの横裂進展試験を実施した。その結果、横裂進展速度を把握する見通しを得たが、人工傷の形状、き裂進展の計測法等、試験法に関してさらに改良を行う余地があると考えられる。今後は、定量的な横裂進展速度の推定のさらなる精度向上のため、引き続き深度化を図っていきたい。

参考文献

- 1) 柏谷賢治、石田誠：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、pp79～84、2003.7
- 2) 弟子丸将、片岡宏夫、柳沢有一郎：レール横裂進展速度に関する研究、新線路、pp28～30、2007.3
- 3) 青木宣頼：レール横裂きずの進展に関する研究、日本鉄道施設協会誌、pp149～151、2007.2

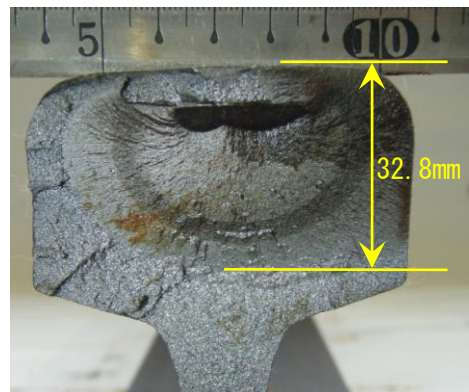


図 2 供試体 No.7



図 3 供試体 No.1