

レール継目穴のき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 ○細田 充  
 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 弟子丸 将

1. はじめに

レール継目部における損傷の多くは、継目穴の内面を起点としたき裂が原因であるが、その進展速度は明らかではない。筆者らは、継目穴からのき裂の進展速度を把握することを目的として、継目穴内面に切り欠きを加工した実レールのき裂進展試験を実施してきた<sup>1)</sup>。本研究は、試験数を増やし、また継目穴周辺の残留応力を切り出し法により把握した。それらの結果を用いて実軌道の継目穴のき裂進展速度の検討を行った。

2. き裂進展試験

継目穴内面を起点としたき裂の進展を再現するため、試験レールに対し4点曲げの繰返し載荷試験による、き裂の進展試験を実施した。図1に試験の概要を、表1に試験条件を示す。新品の50kgN普通レールの腹部に継目穴を穿孔し、継目穴内面にレール長さ方向に対してレール底部側に45度方向(以下「下45度方向」とする)およびレール頭部側に45度方向(以下「上45度方向」とする)の2箇所に切り欠きを施し試験レールとした。

図2に荷重の載荷回数とき裂長さの関係の試験結果の例を示す。どの試番においても図2と同様に載荷回数とき裂長さの関係は概ね線形となっており、試験の条件下ではき裂長さにより進展速度は変化しないと考えられる。図3にき裂進展速度と応力振幅の関係を示す。各試番について、上45度方向のき裂と比較して下45度方向のき裂の方が、概ねき裂進展速度が速くなる結果となった。また、荷重振幅の大小とき裂の進展速度に相関がみられた。

3. 残留応力測定

継目穴のき裂の進展に関して、レール表面の残留応力が関与している可能性が考えられたため、継目穴を穿孔加工した新品の50kgNレール2本に対し、残留応力測定を行った。図4に測定概要を示す。測定は切り出し法により行い、切り出しおよびひずみの測定の手順を上記のき裂進展試験と実軌道のレール継目部のレールを想定したものとした。測定したひずみ値から次式によりき裂進展方向の垂直方向の残留応力値 $\sigma_c$ を求めた<sup>3)</sup>。

$$\sigma_c = -E \times (\epsilon_c + \nu \epsilon_L) / (1 - \nu^2) \dots (1)$$

ただし、E：鋼のヤング率 ( $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ )、 $\sigma_c$ ：き裂進展方向の垂直方向の残留応力、 $\epsilon_c$ ：き裂進展方向の垂直方向の解放ひずみ、 $\epsilon_L$ ：き裂進展方向の解放ひずみ、 $\nu$ ：鋼のポアソン比 (0.3) である。

測定結果を表2に示す。どの条件および測定位置においても圧

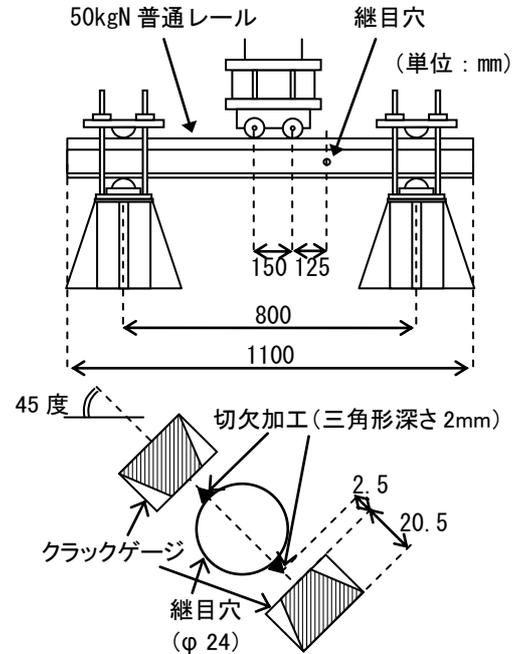


図1 継目穴のき裂進展試験の概要

表1 き裂進展試験の条件

試験数	最大荷重 (kN)	最小荷重 (kN)	荷重振幅 (kN)	継目穴内面 応力振幅 <sup>*</sup> (N/mm <sup>2</sup> )
1	225	30	195	250
3	265	30	235	300
3	305	30	275	352
2	320	30	290	371
3	350	30	320	410

<sup>\*</sup>き裂がない場合に載荷荷重に対し継目穴内面に発生する応力振幅のこと<sup>2)</sup>

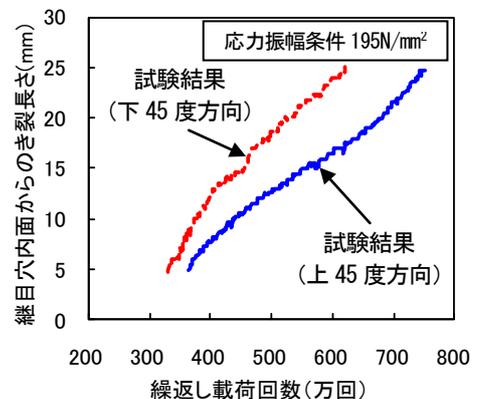


図2 載荷回数とき裂長さの例

キーワード レール継目部, 継目穴, 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 TEL042-573-7275 FAX042-573-7432

縮の残留応力が測定され、10mm 離れと比較し、継目穴内面の方が大きな圧縮の残留応力が生じている。また上 45 度方向と比較し、下 45 度方向の方が小さな圧縮の残留応力が測定されたことから、き裂進展試験において、下 45 度方向の方が進展速度が速いことの一因になっていると推定される。また実軌道の継目部のレールを想定して測定した残留応力は、き裂進展試験時のレールを想定したものと比較し、小さい圧縮の残留応力であるため、き裂進展試験の進展速度よりもき裂の進展が速い可能性がある。

4. き裂進展試験結果による実軌道のき裂進展速度の検討

上記の試験結果を用いて、実軌道の継目穴のき裂進展速度を簡易に推定する方法を検討した。実軌道の継目穴に発生する応力振幅とき裂進展速度の関係を求めるために、試験で設定した表 1 の継目穴内面応力から試験時の圧縮残留応力  $-100\text{N/mm}^2$  を差し引いた応力振幅と各応力段階における下 45 度方向の最速のき裂進展速度との関係 (図 3 の補正後のデータ) の近似式を求めた。近似式は過去のレール鋼の要素試験から得られたき裂進展則<sup>4)</sup>を参考に、き裂進展速度が応力の 3 乗に比例するものとした。得られた近似式を以下に示す。

$$da/dN = 1.36 \times 10^{-8} \times \sigma^3 \dots (2)$$

ただし、 $da/dN$  : き裂進展速度 (mm/万回),  $\sigma$  : 継目穴内面応力 ( $\text{N/mm}^2$ ) である。図 3 のとおり近似式は試験結果の傾向をよく再現している。

各列車条件・継目板条件を想定した継目穴の内面の応力変動が、既往の現地試験の結果<sup>2)</sup>より求められている。その値を式(2)に代入しき裂の進展速度を推定した。ここで、表 2 より実軌道を考慮した下 45 度方向の残留応力は小さな値であったため本推定では残留応力を付加していない。推定結果を図 5 に示す。推定結果は継目部の条件が標準条件で  $0.08 \sim 0.13\text{mm/万回}$ 、摩耗継目板条件で  $0.15 \sim 0.27\text{mm/万回}$  の結果となった。

5. まとめ

本研究ではき裂進展試験および残留応力測定を行い、継目穴の発生応力とき裂進展速度の関係を明らかにした。また、それら結果を用いて継目穴のき裂の進展速度を試算した。今後は有限要素法等を用いて解析的にき裂進展速度を検討する。

参考文献

- 1) 弟子丸将他：レール継目ボルト穴からのき裂進展速度に関する研究，土木学会第 62 回年次学術講演会，4-257，(2007)
- 2) 片岡宏夫他：レール継目部の発生応力と疲労寿命推定，鉄道総研報告，15 巻 4 号，(2001)
- 3) 阿部則次他：60kg レールの残留応力 鉄道技術研究所報告，NO.A-87-24，(1987)
- 4) 柏谷賢司：レール横裂の成長の推定，第 142 回鉄道総合技術研究所月例発表会講演要旨，(2001)

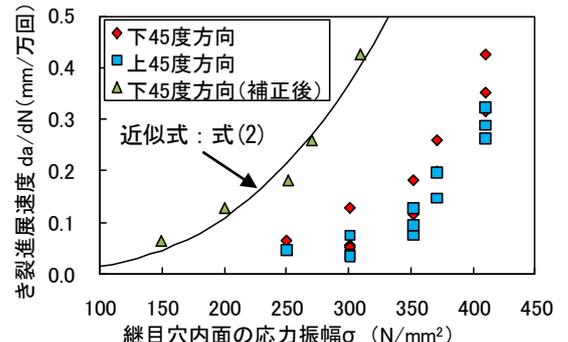


図 3 き裂進展速度と応力振幅

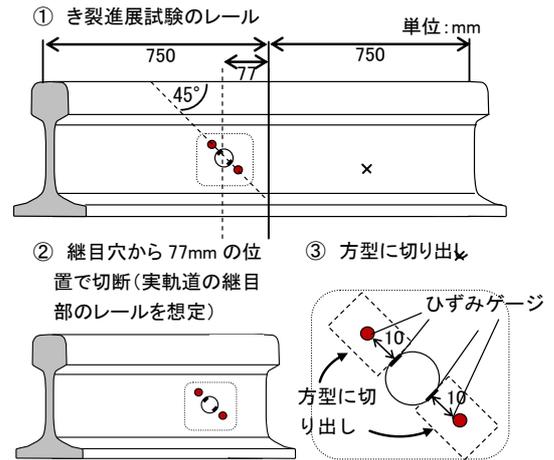


図 4 残留応力の測定概要

表 2 残留応力測定結果(単位:  $\text{N/mm}^2$ )

残留応力の測定段階	上 45 度		下 45 度	
	10mm 離れ	継目穴内面	10mm 離れ	継目穴内面
①-③ (き裂進展試験のレールの残留応力を想定)	-76	-134	-51	-102
②-③ (実軌道の継目部のレールの残留応力を想定)	-72	-101	-18	-14

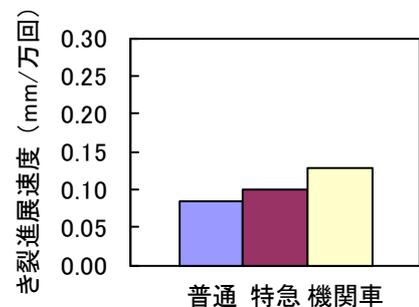


図 5 近似式による推定結果 (継目部標準条件)