(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	細田	充
(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

レール損傷で多数を占める形態として頭頂面シ ェリングが知られているが,近年は曲線外軌に発生 するゲージューナき裂も顕在化している.本研究で は,応力比を考慮できるき裂進展則を用いた解析モ デルを作成し,解析結果を横裂進展試験結果と比較 し,解析精度を検証した.

2. 解析方法および条件

本研究で適用したモデルの詳細を図1 に示す. 本解析では支点間隔 1000mm,載荷間隔 150mmの 片振り4点曲げ試験を模擬した.解析モデルは既 研究で用いたものと同様のものを用いた¹⁾.き裂 設定には,自動メッシング機能を有したき裂進展 解析システム FINAS/CRACK を用いた.さらに, ソルバーには大規模非線形構造解析システム

FINAS/STAR を用いた. 荷重は最大値 120kN, 最 小値 10kN とし、レール底面から鉛直方向に繰り 返し作用させた. 拘束条件はレール支持位置にお いて上下変位を拘束し,長手方向はレール支持位 置の底面中心部1点を拘束した. 解析条件を表1 に示す. 普通レールを対象にレール頭部の残留応 力の有無によるき裂進展速度の違いを確認した. 入力した残留応力の値は改良型深穴穿孔法(MIRS 法) 2)による測定結果 3)を用いた.本研究では初期 き裂を設定したが、初期き裂を加工することによ り、レール頭部の残留応力は解放されることが考 えられるため、頭頂部 0~5mmの残留応力は0 N/mm²とした.また,熱処理レールを対象に初期 き裂位置の違いによるき裂進展速度の違いを確認 した. 初期き裂はレール長手方向の中央側で断面 方向の中心またはゲージコーナき裂を想定して中 心から10mm 偏心した位置に設定した.

解析で用いるき裂進展則は、応力比R(最小応

カ/最大応力)の影響を考慮できる Walker 則を用 いた.ここで*m, n, C* は材料定数であり,応力比*R* が0,0.1,0.5 で実施された普通レールの要素試験 片を用いたき裂進展試験結果 4)をもとに各条件に 最も一致する係数を算出した(図2).なお,き裂 進展試験にて鋼種によるき裂進展特性の違いはほ とんどなかったことから,普通レールと熱処理レ ールは同じ材料定数を用いて解析を実施した.

$$\frac{da}{dN} = C \left(\frac{\Delta K}{(1-R)^{1-n}} \right)^m \quad C = 3.85 \times 10^{-12}, \quad n = 0.62, \\ m = 3.0$$

ΔK:応力拡大係数範囲(MPa・m^{1/2})
a:き裂進展量(m) N:荷重サイクル数 R:応力比



キーワード レール, レール頭部横裂, 横裂進展解析, き裂進展速度, 応力比
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 TEL042-573-7272

3. 解析結果

まず,普通レールを対象とした解析結果と試験結 果 4について言及する. 図4 に載荷回数と横裂深さ の関係を示す.新品普通レールの引張残留応力を考 慮した解析結果 No.1-1 は新品普通レールの試験結 果と良い一致を得た.以上のことから、本解析は残留 応力の影響が含まれるき裂進展速度を精度良く推定 できていると言える.また,引張の残留応力を考慮し ない解析結果 No.1-2 は,解析結果 No.1-1 と比較し て,き裂進展速度が1/2 程度遅くなり,残留応力の影 響でき裂進展速度が大きく変化することが分かる.

次に、熱処理レールを対象とした解析結果と試験 結果 4について言及する.載荷回数と横裂深さの関 係を図 5 に示す.初期き裂位置を偏心させた解析結 果 No.2-2 は、横裂深さ 15mm 以上の領域で初期き 裂位置を中心とした解析結果 No.2-1 よりもき裂進 展速度が若干速くなった.また、横裂深さと応力拡大 係数範囲 ΔK の関係を図 6 に示す.レール鋼の疲労 破壊靭性 K_{fc} (破断に至る応力拡大係数範囲)はおお よそ 40MPa \sqrt{m} であり 5,初期き裂位置が偏心の場 合には横裂深さ約 20mm,初期き裂位置が中心の場 合は横裂深さ約 26mm でその値に到達している.こ れは、横裂進展試験において偏心させた場合の限界 横裂深さが中心の場合と比較して浅い位置で破断し た試験結果と合致する.

4. おわりに

応力比を考慮できるき裂進展則を用いてレール頭 部を下にした状態の横裂進展試験を模擬した解析を 行い,解析精度を検証した.解析結果は試験結果と概 ね一致した.今後,より実現象に近い条件としてレー ル軸力,種々のき裂形状を考慮した解析を実施し,各 種軌道条件を考慮可能な横裂進展解析モデルを構築 する.

【参考文献】

- 水谷ら:有限要素法を用いたレールき裂進展速度 に関する解析手法の精度検証,土木学会第72回年 次学術講演会,2017.9
- 2) 永井ら: 改良型深穴穿孔法による内部残留応力測 定, 検査技術, 第21巻, 第6号, pp.64~67, 2016.6

3) 細田ら:レールのき裂進展速度に及ぼす影響因子の実験的検討,土木学会第73回年次学術講演会,

2018.8

- 4) 西本ら:レールのき裂進展速度に関する実験的考察,土木学会第72回年次学術講演会,2017.9
- 5) 西田ら: 数種のレール鋼における疲労き裂伝ぱ特 性および破壊靭性特性の評価,材料,第32巻,第 352号,1983.1

