(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

# 1. はじめに

レール損傷の中で発生が多い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、これらの傷から分岐するレール頭部横裂のき裂 進展速度を把握する一環として,仮想き裂進展法<sup>1)</sup> と自動メッシング機能を有した有限要素法を用いた 解析手法の精度検証を行った.

#### 2. 解析概要

頭部横裂の進展速度の基礎的な特性を把握するた めに実施したレール頭部を下にした状態(以下,

「ヘッドダウン」という)の横裂進展試験を模擬し た解析を行った. 解析の概要を図1 に示す. 本解 析では支点間隔 1,000mm, 載荷間隔 150mm の片振 り4点曲げ試験を模擬した. レールは 50kgN の普通 レールとした. このレールをモデル化したき裂なし メッシュ(四面体二次要素)に対して、き裂進展解 析システム FINAS/CRACK を用いてき裂を導入し た.本システムの特徴は仮想き裂進展法1)と自動メ ッシングの組み合わせにより,自動的なき裂進展解 析を行える点にある. また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. また拘束条件は 1.000mm間隔のレール支点において、上下変位を拘 束した. 解析条件を表1に示す。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 10mm 偏 心させた位置に導入し、鉛直方向に深さ 5mm の半

衣!				
No.	初期き裂位置	残留応力[N/mm <sup>2</sup> ]		
1	中心	0		
2	10mm 偏心	0		
3	中心	50		
4	中心	100		

表1 解析条(	4
---------	---



円形状とした. さらにレールに発生する残留応力の 影響も考慮し, 先行研究<sup>2)</sup>を参考にレール頭部の残 留応力が一定であると仮定し, 0, 50, 100N/mm<sup>2</sup>の引 張応力を与えた.

次に解析過程について述べる.本解析では,仮想 き裂進展法<sup>1)</sup>よりエネルギー解放率*G*を算出し,線 形破壊力学の理論に基づいて以下の式より応力拡大 係数*K*に換算した.

$$K = \sqrt{\frac{E}{\left(1 - \nu^2\right)}G}$$

 $E = 2.06 \times 10^5$  (MPa): ヤング率 v = 0.3: ポアソン比 これにより荷重サイクルにおける K の最大値と最小 値を求め、応力拡大係数範囲  $\Delta K$  を算出し、 $\Delta K$  と以 下の Paris 則を用いてき裂進展量とサイクル数を求 めた. ここで m、C は材料定数であり、応力比 0.1 で実施された普通レールのき裂進展試験結果をもと に算出した<sup>3</sup>.

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m$$

ΔK:応力拡大係数範囲(MPa・m<sup>1/2</sup>)
 a:き裂進展量(m) N:荷重サイクル数

 $m = 3.65, \quad C = 7.23 \times 10^{-1}$ 

キーワード レール,レール頭部横裂,横裂進展解析,横裂進展速度 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 TEL042-573-7275

# 3. 解析結果

解析結果 No.1 と No.2 の横裂進展履歴を表 2 およ び図 2 に示す.また,図 3 に人工傷を頭頂部中心に 加工したレールと 10mm 偏心させた位置に加工した レールにおける横裂進展試験後の破面例を示す.こ こで載荷回数は過去の試験結果 <sup>3)</sup>と合わせるために, 横裂深さが 10mm となった時を初期値とした.なお 横裂深さとは,初期き裂の中心から鉛直方向の深さ のことをいう.き裂断面形状は過去に行われた試験 結果と概ね同様であるが,偏心時において頭部側面 のき裂進展量が大きくなり,深さ 20mm では頭部側 面がき裂の最深点となった.

## 4. 考察

横裂進展速度について,解析値,実験値<sup>3</sup>および矩 形断面を有する物体について,半楕円形状き裂に曲 げ応力が作用した場合の応力拡大係数<sup>4)</sup>を用いて求 めた推定値<sup>3)</sup>を比較する.なお推定値を算出する際 に用いた Paris 則の材料定数*m*, *C*は本解析と同様と した.横裂深さと載荷回数の関係を図4に示す.き 裂進展速度は横裂深さが増加するほど速くなる傾向

No. 1	横裂深さ(mm)	載荷回数(回)		
	15. 0	5. 2×10 <sup>5</sup>		
	20. 0	7. 6×10 <sup>5</sup>		
	25. 0	8. 3×10 <sup>5</sup>		
No. 2	横裂深さ(mm)	載荷回数(回)		
	15. 0	4. 7×10 <sup>5</sup>		
	20. 0	6. 4×10 <sup>5</sup>		

表2 横裂深さ-載荷回数



(a) 人工傷が中心の場合
 (b) 人工傷を偏心させた場合
 図3 横裂進展試験後の破面例<sup>3)</sup>



を示した.残留応力を考慮しない解析値と推定値は 概ね一致した.今回用いた推定値は矩形断面の側面 までき裂が進展する状態は考慮されていないため, 横裂深さ 20mm 以降にて解析値と推定値が乖離した と考えられる.また,焼鈍処理によって残留応力が除 去された普通レールの実験値と解析値は理論値より もよく一致した.さらに,残留応力を考慮した解析値 は引張応力の値が大きいほど,き裂進展速度は速く, 残留応力が存在する普通レールの実験値とも概ね一 致した.

## 5. おわりに

頭部横裂の進展速度の基礎的な特性を把握するた め,仮想き裂進展法と自動メッシング機能を有した 有限要素法を用いた解析手法の精度検証を行った. 解析結果は実験値および推定値と概ね一致した.今 後、より実現象に近い条件としてレール軸力や種々 のき裂形状を考慮した解析を実施していく予定であ る.

#### 【参考文献】

 Horst G. Delorenzi : Energy release rate calculations by the finite element method, Engineering Fracture Mechanics, Volume 21, Issue 1, Pages 129-143, 1985

2) 辻江ら:ゲージューナき裂の進展予測に関する一
考察,第19回鉄道技術連合シンポジウム講演論文
集, No.12-79, 2012.5-7

- 3)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
- 4) Y. Murakami : Stress Intensity Factors Handbook Vol.2, PERGAMON PRESS, 1986