

新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングのき裂進展解析

(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 及川 祐也
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 山本 隆一
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 片岡 宏夫

1. はじめに

現在、新幹線で使用されている高マンガン鋳鋼製ノーズ可動クロッシングは、製造時に内部に発生する鑄巣(微細な空隙)を完全になくすことが難しく、さらに超音波による内部の探傷検査が困難であることから、定期的な解体検査により表面上の傷の有無を確認しており、保守管理に手間を要している。そこで検査の効率化や交換周期延伸によるコスト低減を目標にレール鋼を用いた新幹線用ノーズ可動クロッシングを開発したり、ここで、開発したクロッシングの検査周期を検討する際、傷の大きさと残存寿命の関係を把握する必要がある。先行研究において、可動レールの2種類の一様断面におけるき裂進展試験を実施した²⁾。本報告では、上述の試験を模擬した一様断面モデルおよび実形状モデルによるき裂進展解析を実施し、き裂進展速度を試算した結果について述べる。なお、評価対象は図1のとおり可動レールの中で比較的発生応力が高いと想定される車輪乗り移り部および叉部の断面とした。

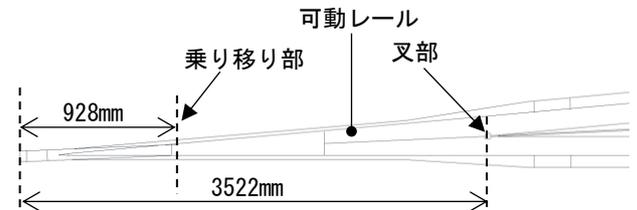


図1 き裂進展解析を行う断面位置

2. 一様断面形状を対象としたき裂進展解析

き裂進展試験で用いた一様断面の供試体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、仮想き裂進展法³⁾と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 を用いた有限要素法による解析を実施した。なお、ソルバーには FINAS/STAR を用いた。荷重はレール頭部から鉛直方向に繰り返し作用させ、荷重の大きさは試験の応力振幅と同様の 100N/mm² になるように設定した。境界条件は1,000mmの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。き裂進展則は、応力比 R の影響を考慮できる以下の Walker 則を用いた。ここで m, n, C は材料定数であり、普通レールの要素試験片を用いたき裂進展試験結果⁴⁾を基に算出した値を用いた。

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

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

試験²⁾およびき裂進展解析から得られたき裂長さと荷重回数の関係を図2に示す。全体の特徴として、き裂長さの増加に伴い、き裂進展速度が速くなる傾向を把握した。また、試験と解析の結果は良く一致し、本解析モデルを用いてき裂進展試験を模擬できると考えられる。このことから、本システムは任意断面を対象とした解析にも対応できると判断され、断面形状が変化する実形状の可動レールについても、き裂進展の挙動を推定できると考える。

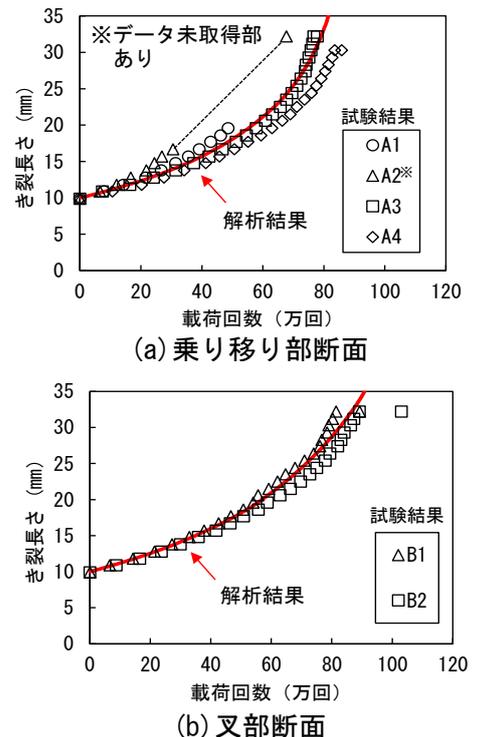


図2 き裂長さと荷重回数の関係

キーワード レール鋼製ノーズ可動クロッシング, き裂進展解析, き裂進展速度

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7275

3. 可動レール全体モデルのき裂進展解析

図3に示す可動レール全体モデルを用いて、乗り移り部および又部のき裂進展解析を実施した。解析条件を表1に示す。き裂進展解析システムはFINAS/CRACKを使用し、ソルバーはMSC Nastranとした。荷重面は車輪とレールの接触を模擬し、長軸12.0mm、短軸6.0mmのだ円とした。荷重の大きさは、走行試験にて測定した輪重の大きさから60kNとした。荷重位置は、乗り移り部はき裂直上とし、又部は又部後端側の基準線側で荷重した。境界条件は、可動レールと大床板が接する面にばねを設置した。ばね値は、き裂導入断面に走行試験にて発生した主応力の最大値が発生するように決定した。き裂進展則はWalker則を用いた。

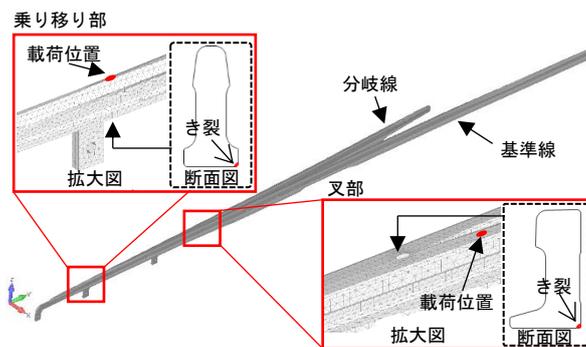


図3 可動レール全体モデル

表1 解析条件

		断面形状	
		乗り移り部	又部
荷重	荷重面形状	だ円 (長軸 12.0mm × 短軸 6.0mm)	
	大きさ	60kN	
	位置	き裂直上	まくらぎ直上
	き裂導入断面* の最大主応力	81.5N/mm ²	79.8N/mm ²
ばね値		500 N/mm	12.5 N/mm
き裂進展則		Walker 則	

※き裂がない場合の応力

図4にき裂長さと通過トン数の関係を示す。なお、き裂長さは底面に沿ったき裂進展量から算出し、通過トン数は軸重を11トンとして算出した。き裂進展速度は、き裂長さ20mm程度までは乗り移り部、又部共にほぼ同じであるが、その後、乗り移り部のき裂進展速度が速くなった。これは、図5に示すように、き裂進展に与える影響が大きいき裂近傍のレール長手方向の引張応力が、乗り移り部は底部中央に近づくほど高く、又部は初期き裂導入部の一部のみが高いためと考える。また、深さ10mmのき裂が試験²⁾にて破断に至った20mm程度まで進展するのに要する通過トン数は、約3,500万トンであった。なお、本解析では残留応力を考慮していない。過去に可動レールの残留応力を測定した例はないが、可動レール底部に引張の残留応力が存在している場合、き裂進展速度がより速くなると考えられる。今後、残留応力分布を詳細に把握し、残留応力を考慮した解析を実施する必要がある。

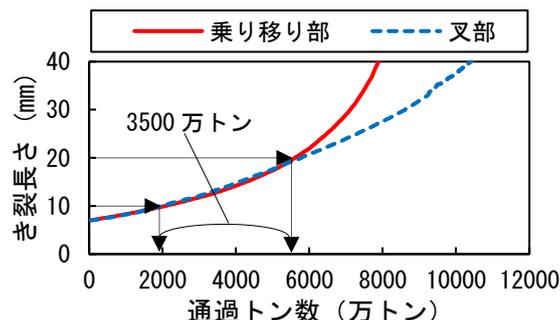


図4 き裂長さと通過トン数の関係

5. まとめ

新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングの可動レールにおける2種類の一様断面モデルによるき裂進展解析および実形状モデルによるき裂進展解析を実施した。一様断面モデルの解析結果がき裂進展試験と良く一致したことから、実形状モデルを用いた解析によりき裂進展速度を試算した。今後は、本結果を用いて検査周期を策定すると共に、残留応力を考慮したき裂進展解析を行い、解析精度の向上を目指す。

【参考文献】

- 1) 及川ら：新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングの開発，鉄道総研報告，Vol.29，2015
- 2) 田中ら：新幹線用レール鋼製ノーズ可動クロッシングのき裂進展に関する一考察，土木学会第73回年次学術講演会，2018.9
- 3) Horst G. Delorenzi：Energy release rate calculations by the finite element method, Engineering Fracture Mechanics, Volume 21, Issue 1, p129-p143, 1985
- 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

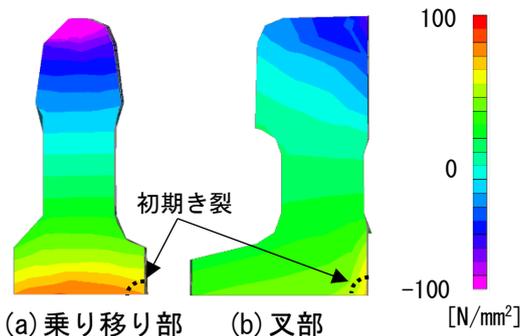


図5 き裂導入断面のレール長手方向応力