

レール頭部横裂の進展速度の有限要素解析による検討

○ [土] 細田 充 [土] 片岡 宏夫 [土] 弟子丸 将 [土] 小谷 隼 (鉄道総合技術研究所)

Study on the Transverse Crack Growth Rate in Rail Head with Finite Element Method

Mitsuru Hosoda, Hiroo Kataoka,

Tadashi Deshimaru, Jun Kotani, (Railway Technical Research Institute)

The maintenance work on rail defects, especially squat, is very important to ensuring railway safety. Transverse cracks branched from horizontal cracks rail of the head and grow in a direction toward railbase. The study on the mechanism of crack growth is very useful to making a maintenance plan. The authors had proposed a test method for crack growth with full-scale test rail. In this paper, we clarified factors affective the properties of transverse crack growth rate through simulation this test using finite element method.

キーワード：レール、有限要素法、シェリング、頭部横裂

Keywords : Rails, Finite Element Method, Shelling, Transverse Crack in Rail Head

1. はじめに

レール傷はレール破断につながる可能性があり、発生メカニズムの解明、進展速度の把握は重要な課題である。筆者らはシェリングから分岐した頭部横裂の進展速度を把握するため、頭部横裂のあるレールを対象に、レール軸力を負荷した状態で鉛直荷重を繰返し作用させる曲げ疲労試験を行ってきた¹⁾²⁾。本研究は、試験を模擬した有限要素解析を行い、頭部横裂の進展特性について検討したものである。

2. 試験を模擬した有限要素解析

試験で使用したレールの有限要素モデルを作成して解析を行い、荷重載荷時のき裂先端の応力拡大係数を求め、き裂の形状や鉛直荷重の与え方により、頭部横裂の進展特性に影響する因子を検討した。本報告では軸力、鉛直荷重により生じる横裂の応力拡大係数について報告する。

図1に解析モデルを、表1に解析の諸元を示す。上記の横裂進展試験を模擬し、支点間距離1000mmとして3点曲げの静的解析を行った。解析モデルはき裂を設定しており、形状はレールの破断面を模擬した。図2にき裂形状を模擬した解析モデルの例を示す。形状が異なることによる影響を検討するため2種類を設定し、横裂深さは3通りとした。

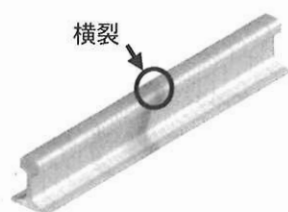
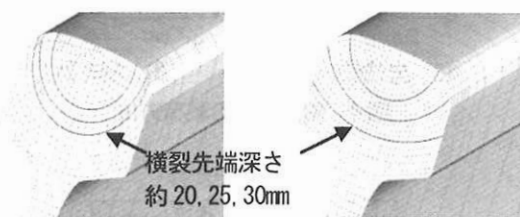


図1 解析モデル

表1 解析の諸元

項 目	種類・諸元	
レール	50kgN レール	
荷重条件	軸力	754kN
	鉛直荷重	190kN
き裂角度	60 度	
支点間距離	1000mm	



(1) 解析モデル A

(2) 解析モデル B

図2 き裂形状を模擬した解析モデル

荷重は軸力754kN(温度変化量50度相当)、鉛直荷重190kN(底部応力140N/mm²相当)の2パターンとして、応力拡大係数を求めた。鉛直荷重の与え方による影響を検討するため以下の3通りの載荷方法とした。

方法①:横裂先端からレール長さ方向に20mm離れた位置のレール頭頂面に集中荷重を載荷する方法(図4(1))

方法②:鉛直荷重を載荷した場合に発生する半分の曲げモーメントを両支点に作用させる方法(図4(2))

方法③:鉛直荷重を載荷した場合に発生する半分の曲げモーメント+せん断力を作用させる方法(図4(3))

曲げモーメント、せん断力は図3のようにレールを梁とし、長さ方向中央に鉛直荷重を載荷した場合に、レール断面に作用する力である。方法②と方法③は、軌きょうの解析モデルの結果から短いレール長さ(500mm)の詳細部分モデルによる再解析を行うことを考慮して試行したものである。方法②は両端に12.5kN・m曲げモーメントを作用させ中央部に曲げのみを与えている。方法③は中央の鉛直荷重100kNと端面のせん断力50kNを作用させたモデルであるが、これにより中央部に発生する曲げモーメントが方法②と同

じ 12.5kN となっている。これらを重ね合わせると、方法①の中央付近への作用とほぼ同等となると考えた。
各解析条件をまとめたものを表 2 に示す。き裂の条件は、横裂の深さおよび破断面形状を、鉛直荷重は上記した 3 通りの方法を種々設定し、解析を行った。

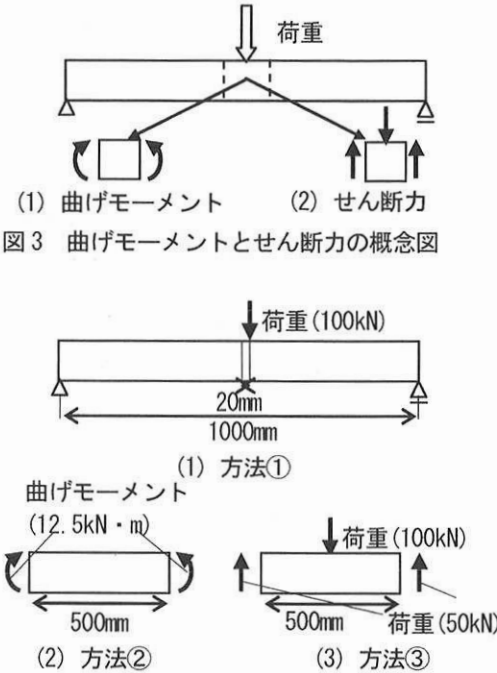


図 4 鉛直荷重の載荷方法

表 2 解析条件

解析 ケース	鉛直荷重 載荷方法	横裂 長さ (mm)	破面の 設定 ^{*1}
1	①、②、③	20	A
2	②、③	25	A
3	②、③	30	A
4	②、③	20	B
5	②、③	25	B
6	②、③	30	B

*1:数字は図2の解析モデル

3. 解析結果

解析の結果から、各解析ケースと応力拡大係数をまとめたものを表 3 に示す。

表 3 各解析ケースと応力拡大係数

解析 ケース	(単位MPa・m ^{1/2})				
	軸力	荷重載荷方法			
		鉛直荷重			
		方法①	方法②	方法③	方法②+③
1	25.6	-25.1	-10.3	-14.1	-24.4
2	30.3		-10.6	-15.2	-25.8
3	33.8		-10.7	-15.9	-26.6
4	24.8		-11.6	-16.1	-27.7
5	35.3		-13.5	-18.0	-31.5
6	51.3		-17.7	-24.1	-41.8

(1) 鉛直荷重の載荷方法による影響

図 5 に解析ケース 1 の各鉛直荷重作用方法と応力拡大係数を示す。方法②と方法③の和を求めた値と、方法①の値はほぼ同じとなった。一方、同等の曲げモーメントを与えた方法②と方法③の応力拡大係数には差がみられた。軌きょうの載荷や 3 点曲げにより発生する応力拡大係数を検討

する場合、曲げモーメントだけではなく、せん断力による影響を考慮する必要があると考えられる。また、方法②と方法③の応力拡大係数の合計値に対するせん断力による応力拡大係数 (方法③と方法②の差) の割合は 2 割程度となった。但しこの値は曲げモーメントとせん断力のバランスにより変化する。

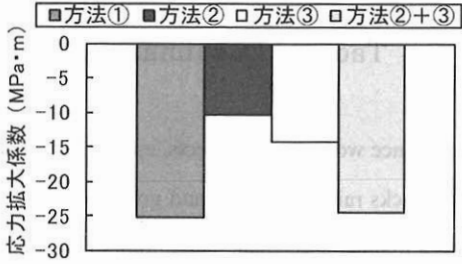


図 5 鉛直荷重の載荷方法と応力拡大係数

(2) 横裂深さによる影響

図 6 に解析ケース 1 ～ 3 および 4 ～ 6 の結果による横裂深さと応力拡大係数の関係を示す。以下でも鉛直荷重による応力拡大係数の評価は、方法①もしくは方法②と方法③の和をしたものの結果を用いる。横裂深さが大きくなるに伴い、軸力および鉛直荷重による応力拡大係数の絶対値が大きくなった。また、解析ケース 1 ～ 3 と 4 ～ 6 を比較した場合、後者の方が横裂が深くなるに伴い大きな値となっているのは、横裂が頭側面に達して左右の拘束がなくなっている影響であると考えられる。

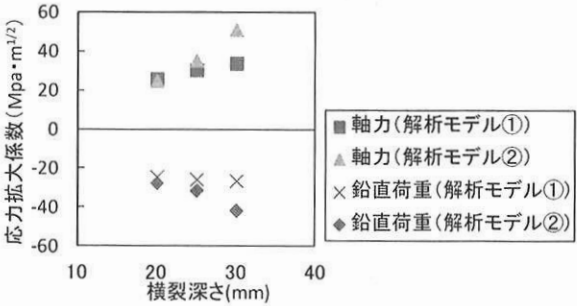


図 6 横裂深さと応力拡大係数の関係

4. まとめ

以上、横裂進展試験を模擬した有限要素解析を行い、き裂の鉛直荷重の載荷方法が、応力拡大係数に与える影響を把握した。今後は、さらに解析の精度向上およびパラメータスタディを重ね横裂の進展特性の解明に努めたい。

文献

- 1) Deshimaru, T. et al : Eeperimental Study on the Prediction Method of Transverse Crack Growth Rate, IHHA Conference 2011, (2011)
- 2) 小谷隼他: レール頭部横裂進展速度の室内試験による検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会, 4-115, (2011)