

レール腹部水平裂のき裂進展に関する一考察

北海道旅客鉄道株式会社 正会員 ○大場 久良
 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 佐藤 幸雄
 鉄道総合技術研究所 兼松 義一

1. はじめに

営業線でレールの腹部に水平裂が発生する事象が報告されている¹⁾。本研究では、腹部水平裂の発生原因の解明を目的として材料調査および残留応力測定を行うとともに、腹部水平裂の発生したレールについて進展試験を実施し、水平裂の進展に関して検討を行った。

2. 材料調査

腹部水平裂は、レール腹部を貫通しておらず、発生レールを強制的に開口させ破面観察を行ったところ、脆性破面であり破面同士が接触した跡が認められないことから、き裂は開口したままであったと考えられる(図1)。さらに、破面の腐食程度がほぼ一様であるため、水平裂が形成された後き裂は停留したまま経過していたと考えられる。また、水平裂発生レールには、腹部表面に環境腐食による錆がみられ、腐食ピットが応力集中源として作用し水平裂の発生を助長したと想定される。なお、金属組織の異常や介在物などは確認されず、化学成分はレール製造当時の規格に規定される範囲内にあり、材質的に異常はみられなかった。

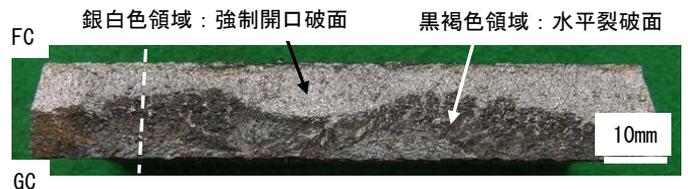


図1 水平裂破面の外観

また、水平裂発生レールには、腹部表面に環境腐食による錆がみられ、腐食ピットが応力集中源として作用し水平裂の発生を助長したと想定される。なお、金属組織の異常や介在物などは確認されず、化学成分はレール製造当時の規格に規定される範囲内にあり、材質的に異常はみられなかった。

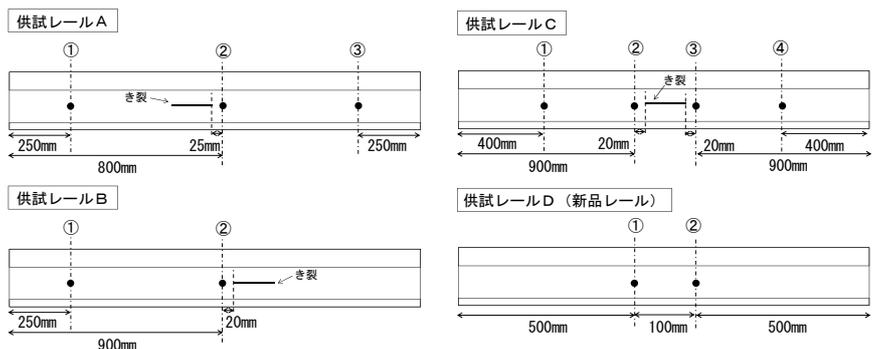


図2 残留応力測定試験片のゲージ貼付

3. レール表面の残留応力測定

腹部水平裂の発生および進展に関して、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、水平裂が発生したレールの残留応力測定を行った。測定は、まず腹部におけるレール鉛直方向の残留応力に注目し、2軸のひずみゲージを用い、2軸の中の1軸をレール高さ方向に合わせてレール腹部に貼付けた。各試験片へのゲージの貼付位置を図2に示す。次に、ゲージ貼付位置前後でレール

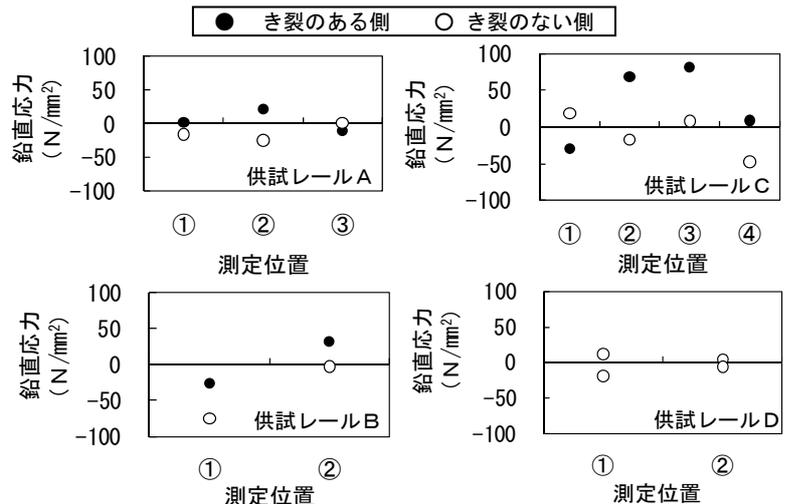


図3 残留応力測定結果

を正方形に切出し、解放されたひずみ量からレール高さ方向の残留応力を求めた²⁾。

各供試レールの鉛直方向の残留応力の測定結果を図4に示す。き裂から離れた位置と新品レールDについて

キーワード レール, 腹部水平裂, 残留応力, 脆性破面, 環境腐食

連絡先 〒060-8644 札幌市中央区北11条西15丁目1-1 北海道旅客鉄道(株)鉄道事業本部工務部保線課 TEL 011-700-5790

は、大きな引張りの残留応力は観測されなかったが、き裂近傍の測点（供試レールA, Bの②, Cの②, ③）で、21~82N/mm²の引張りの残留応力が測定された。供試レールはすでにき裂が入っており、き裂が発生する以前にはさらに大きな引張りの残留応力が存在していた可能性が高く、水平裂の発生を助長したと考えられる。

4. き裂進展確認試験

過去に腹部水平裂が発生した現場で行った応力測定試験³⁾の結果(表1), 腹部水平裂の進展に大きく寄与すると考えられるレール腹部の鉛直応力は、絶対値でみた場合に、圧縮側（極小値）の方が引張側（極大値）の2倍程度大きかった。一般に、圧縮側の応力によってはき裂は閉口し進展しないが、引張の残留応力の存在によりき裂先端にき裂を進展させるような正の応力変動が発生することが想定される。このことから水平裂の進展の検討に当たっては、鉛直応力について、現地測定試験で観測した引張側の極大値とともに圧縮側の極小値にも着目した。き裂進展試験は、き裂がないレールに対し、現地測定試験で得られた圧縮側・引張側の2倍程度の鉛直応力が中立軸で発生する荷重条件を設定し、水平裂発生レールのき裂先端の応力が大きくなるようにレールを設置し載荷した。試験に先立ち、き裂先端位置に鉛直応力の引張側の極大値の2倍以上を発生させる試験条件を検討するためにFEM（有限要素）解析を行った。解析は表2に示す条件で行い、レール腹部中立軸の鉛直応力を観測した。解析の結果、載荷点から100~300mm離れた位置で最大となった（図4）。以上を踏まえて表3に示す試験条件で、き裂進展を目的に載荷試験を実施したところ、いずれの条件においてもき裂は進展しなかった。

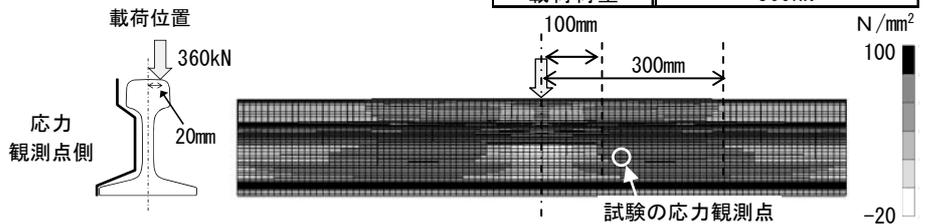


図4 偏心載荷時の鉛直方向応力の解析結果

表1 現地測定試験結果

測定項目		最大値	最小値
輪重 (kN)	極大値	102	39
腹部鉛直応力 (N/mm ²)	極大値	39	—
	極小値	—	-74
	応力変動	72	9
腹部せん断応力 (N/mm ²)	極大値	33	—
	極小値	—	-31
	応力変動	51	20

表2 解析条件

レール種別	50kgNレール
レール長さ	1100mm
支持ばね定数	60MN/m
支持条件	全面支持
載荷位置	レール頭部の中央から断面方向に20mm離れた位置
載荷荷重	360kN

表3 き裂進展試験の概要

	①繰返し載荷 (中心載荷)	②繰返し載荷 (偏心載荷)	③衝撃載荷	④転動疲労
載荷荷重 (kN)	30~370 (振幅340)	30~390 (振幅360)	340	270
鉛直応力 (N/mm ²)	最大値	110	0	0
	最小値	-150	-190	-80
	応力変動	140	90	190
レール長さ方向のせん断応力 (N/mm ²)	最大値	3	0	60
	最小値	0	-9	-40
	応力変動	3	3	9
備考	現地の鉛直応力の最小値の2倍	現地の鉛直応力の最大値の2倍	車輪フラット等による衝撃輪重を想定	移動荷重の載荷せん断応力変動の最大値の2倍
供試レール	3本	3本	5本	1本

5. まとめ

材料調査の結果、水平裂発生レールには腹部表面に環境腐食による錆がみられ、腐食ピットが応力集中源として作用したと想定される。また、腹部に大きな引張りの残留応力が作用していたことが水平裂の発生を助長したと考えられる。さらに、き裂の大部分は急進破壊によって形成され、開口したままの状態でも停留したものと推定されること、および各種き裂進展試験でき裂が進展しなかったことから今回調査した腹部水平裂に関しては、き裂が急速に進展して破断に至る可能性は低いと考えられる。

参考文献

- 1) 大塚ほか：レール腹部水平裂の発生原因に関する一考察 土木学会第62回年次学術講演会, 4-256 (2007)
- 2) 阿部ほか：60kgレールの残留応力 鉄道技術研究所報告, NO. A-87-24 (1987)
- 3) 細田ほか：レール腹部水平裂の発生要因とそのき裂進展に関する検討 土木学会第64回年次学術講演会, 4-331 (2009)