

レール継目部の梁モデルによる動的応力解析

○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 正会員 阿部則次
 鉄道総合技術研究所 若月 修
 鉄道総合技術研究所 正会員 及川祐也

1. はじめに

定尺レールの疲労寿命を推定するためには、列車条件、軌道条件に応じて発生するレール継目部応力を明らかにする必要があります。著者らは以前に、レール継目部周辺の動的応力解析法を構築し、静的载荷試験により解析モデルの検証を行った¹⁾。本報告ではレール端における車輪/レール間の接触ばね特性を調べ、それを用いた解析結果と現地測定結果を比較し、解析モデルの妥当性を検討した結果を報告する。

2. レール継目部のモデル

輪重変動を計算するための有限要素梁モデルを図1に示す。本モデルでは、レールを Timoshenko 梁、まくらぎを質点とし、レール/まくらぎ間とまくらぎ/固定点間をばねダンパで結合した。継目部については継目板を Euler 梁とし、レールとばねで結合するモデルとしている¹⁾。

通常、梁モデルを用いた計算では車輪/レール間に Hertz 理論による接触ばね係数を用いることが多いが、継目部のレール端部では Hertz 理論の前提である半無限体近似が成立しない。そこで、レール端部に作用する集中荷重と表面変位の関係を有限要素法解析により求め、それらを影響関数として、Kalker のアルゴリズム²⁾を用いることにより、レール端部におけるレール/車輪間の接触ばね特性を求めた。その結果、図2に示すように車輪中心がレール端の直上にあるときの接触ばね係数はヘルツ接触によるばね係数の約6割であり、車輪中心が遊間に位置する場合、レール/車輪間の貫入量の乗数は 3/2 より若干大きくなっていくことがわかった。

3. 現地測定結果との比較

図1の梁モデルについて、レール底部曲げ応力の解析結果と以前に実施したレール継目部の現地測定結果³⁾を比較することにより、解析モデルの妥当性を検討した。ここでは左右レールについてそれぞれのレール頭頂面凹凸形状を考慮した解析を行った。現地測定軌道の諸元を表1に、計算諸元を表2に示す。軌道パッド

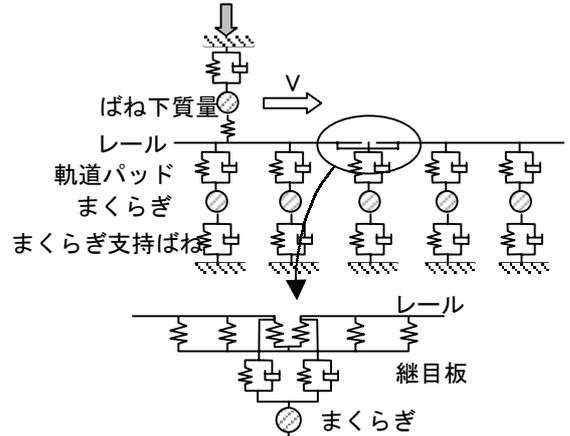


図1 解析モデル図

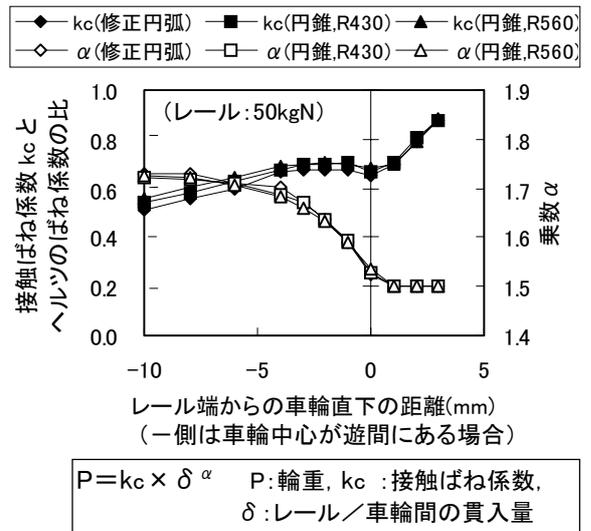


図2 レール端部の接触ばね係数

表1 現地測定軌道の諸元

項目	値	
線形	直線区間	
レール種別	50 kgNレール	
締結装置	一般部	5形(50N用)
	継目部	継目用締結装置(50N用)
軌道パッドばね定数	110 MN/m	
まくらぎ種別	一般部	PCまくらぎ3号
	継目部	大版木まくらぎ

キーワード：レール継目部、レール応力、梁モデル

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7275 FAX 042-573-7432

のばね定数は公称値を用い、まくらぎ支持ばね定数を測定結果と合うように調節した。車輪／レール間の接触ばねは一般区間については車輪とレールの新品形状から算出される Hertz 理論によるばね係数を用い、レール端については前述の図 2 の特性を用いた。Timoshenko 梁のせん断係数には所定のレール形状に対して材料力学の梁理論より算出した数値を用いた。

車輪位置と去り側のレール端から 280mm 離れた底部に発生する曲げ応力の関係を図 3 に示す。当該箇所では端焼きレールを使用しておりレール端におけるレール頭頂面の落ち込みが小さいため、継目通過時の衝撃はあまり大きくない。レール頭頂面はレール端部が凸状になっており、280mm 離れの曲げ応力は車輪が直上を通過するときになだらかなピーク（ピーク 1 と称す）を持ち、遊間の手前でレール凹凸の勾配が大きくなっている位置で鋭いピーク（ピーク 2 と称す）を持っている。パラメータスタディにより、ピーク 1 は軌道パッドとまくらぎ支持ばねに、ピーク 2 は車輪／レール間の接触ばねに依存していることが確認された。なお、継目通過後の変動は解析結果の方が測定結果より小さく、さらに検討する必要がある。

列車毎の解析結果と測定結果のピーク値の比較を図 4 に示す。機関車の測定結果のピーク 2 はピーク 1 より小さかったため、ここでは比較を行わなかった。特急、普通列車、機関車の車種について解析値と測定値の差は平均で 9%、最大で 28% であり、右レールについては良く一致していた。

4. おわりに

レール継目部の梁モデルについて解析結果を現地測定結果と比較し、ピーク値については良好な結果を得たが、継目通過後の応力変動についてはさらに検討する必要がある。今後、梁モデルの解析で得られた輪重変動から有限要素法のソリッドモデルを用いて解析したボルト穴周辺応力と、現地測定結果を比較し、モデルの定量化を進める予定である。最後に、現地測定でご協力をいただきました東日本旅客鉄道株式会社に感謝いたします。

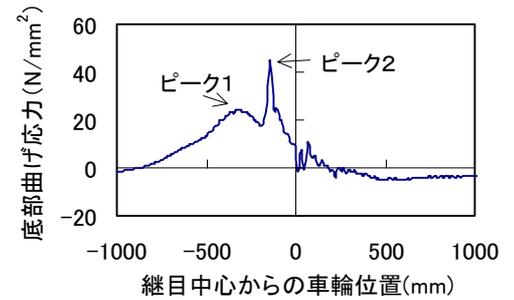
[参考文献]

- 1) 片岡宏夫他：レール継目部の動的応力解析に関する基礎的検討，第 56 回年次学術講演会概要集第 4 部，2001.10
- 2) J.J.Kalker：Three-Dimensional Elastic Bodies in Rolling Contact, Kluwer Academic Publishers, 1990
- 3) 片岡宏夫他：レール継目部の発生応力と疲労寿命推定，鉄道総研報告，Vol.15, No.4, 2001.4

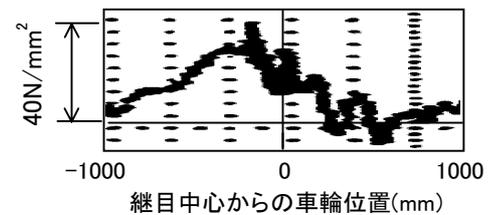
表 2 計算諸元

項目		値
レールのせん断係数		0.412
軌道パッド	ばね定数	110 MN/m
	減衰係数	0.098 MN・s/m
まくらぎ支持ばね	ばね定数	100MN/m
	減衰係数	0.098 MN・s/m
レール／継目板間ばね定数 (継目板を8要素に分割)		10GN/m

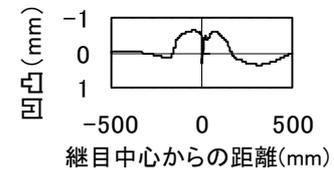
*まくらぎ支持ばねは片側レール、1締結当たりの値を示す



(a) 解析値

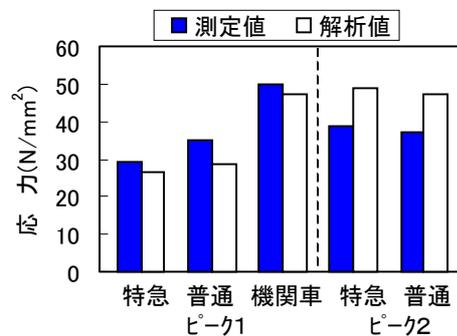


(b) 測定値

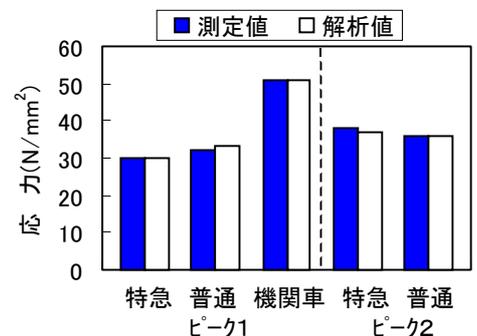


(c) レール頭頂面凹凸波形

図 3 レール底部曲げ応力の波形例 (特急、左レールの場合)



(a) 左レール



(b) 右レール

図 4 底部曲げ応力のピーク値の比較