

鉄道レールパッドの動的特性に関する研究

九州大学工学部 ○学生員 吉良 大
九州大学工学部 正会員 角 知憲
九州大学工学部 学生員 箱田 厚
九州大学工学部 学生員 池田健一

1. はじめに

波状摩耗とは、レール頭頂部に現れる正弦波状の摩耗のことである。前年度までの研究で波状摩耗の発生要因としてレール横方向の振動が関連している可能性が強いということが判明した。そこで、横方向の振動に対する減衰効果を高めるレールパッドを設計し、現在使用されているものと効果を比較・検討し考察していくことが本研究の目的である。

2. レール小返り振動モデル

波状摩耗の発生の有無は、軌道の動特性の違いによるものと推測できる。これは同一曲線内において波状摩耗の発生している有道床マクラギ区間と、発生していない無道床橋マクラギ区間が存在することが分かったためである。なかでもレール締結装置の小返り振動に対する減衰力の違いが影響を及ぼしている可能性が強いため波状摩耗の発生の有無がレール締結装置の損失係数の差にあると仮定し、波状摩耗が発生しているPCマクラギ区間の損失係数0.1を変化させて橋マクラギ区間と比較した。その結果、損失係数を0.3にするとこの区間の卓越する周波数のピークが下がり橋マクラギ区間と合うことが確認された。

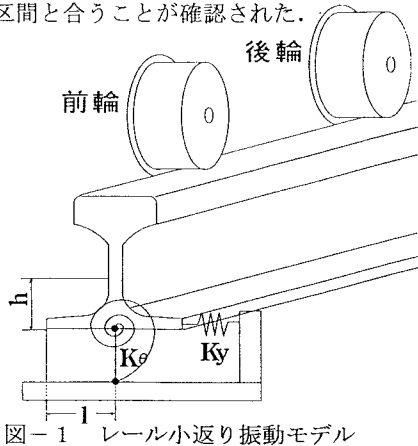


図-1 レール小返り振動モデル

レールの小返り振動モデルを図-1に示す。モデルは、レール底部に横方向のばね(k_y)とねじり方向のばね(k_θ)があると仮定し、ともに複素型のばね定数として与え損失係数を0.1と0.3で計算した。ここで h はレールの中立軸高さ、 l はレールパッド幅の半分の長さを表している。このモデルから弾性支承上の運動方程式を考えた。

$$Ely \frac{\partial^4 U}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + k_y U = 0$$
$$-GIp \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \rho I p t \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + k_\theta \theta = 0$$

以上より横方向変位 U_B とねじり変位 U_θ が求まり、さらにそれらの値を合成し、小返り時の値として、横方向とねじり方向の周波数応答関数を求めた。また式に使用した記号及び物性値は次のとおりである。

名称	記号	単位	物性値
レールのヤング係数	E	N/cm ²	2.06×10^7
レール断面二次モーメント (横)	I _y	cm ⁴	322.0
レールの材料密度	ρ	N/sec ² /cm ³	7.85×10^{-3}
レールの断面積	A	cm ²	64.05
レールの横弾性係数	G	N/cm ²	7.8×10^5
レール断面極二次モーメント	I _p	cm ⁴	201.0
レールベース回りの回転慣性	I _{pt}	cm ⁴	3.28×10^3

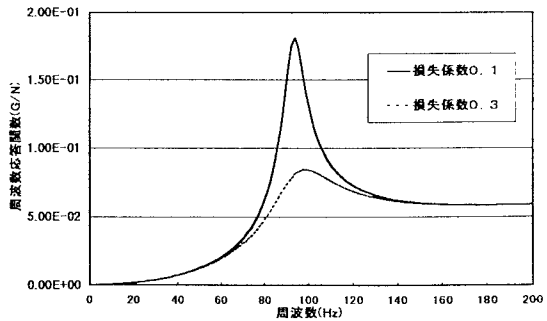


図-2 レール頭頂部におけるF R Fの変化

3. 数値計算

計算の結果を図-2に示す。この結果はレール頭部における計算結果である。

図のとおり、損失係数を変化させるとこの区間の卓越する振動数 100Hz 付近のピークが下がることから波状摩耗の発生を抑える可能性があることが分かった。

4. 実験概要

4-1 概説

数値計算を踏まえて、レール締結装置の振動に対する損失係数を大きくすることで波状摩耗の発生の有無に対する影響があることが推測された。

そこで今回、従来から用いられているレールパッドの他に、既製の高減衰パッド、また試作パッドの3種類のパッドを用いて、インパルスハンマーによる打撃応答試験をおこない、各パッドの損失係数を求めた。実験は、レール側面に圧電式加速度計を取り付け、インパルスハンマーにて上下方向を加振した。以下にその状況を図-3に示すが、レールパッドとアクリル板の間は強力接着剤で固定し、パッド底部と地面との間も石膏で固定して摩擦による影響をなくした。さらに、レール荷重とパッドとの間も摩擦による影響をなくすためにグリスを塗った。測定データはデータレコーダーに記録した後 FFT アナライザーにより周波数応答分析をおこなった。

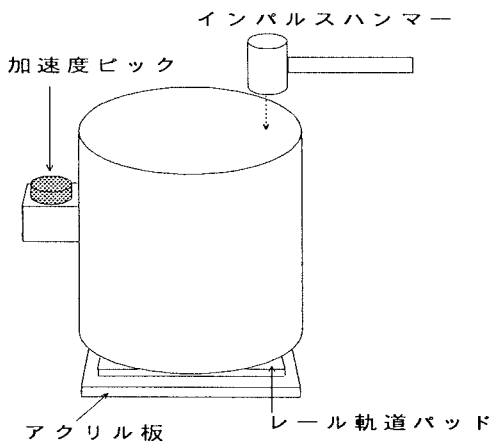


図-3 実験状況図

4-2 高減衰材

ここでは高減衰ゴムを使用した既製のパッドを用いた。

4-3 試作パッド

これは従来型パッドを等分し、側面に減衰材を塗ったものであり、荷重が加わった時にこの減衰材がせん断変形を起こし、これにより減衰効果を引き出そうとするものである。

4-4 理論値の数値計算

理論値の計算をおこなうため1自由度系の振動方程式をたて周波数応答関数を求め、その結果と実験値の結果を比較した。

5. 数値計算と実験結果および考察

周波数応答分析の計算結果と実験結果を図-4に載せる。

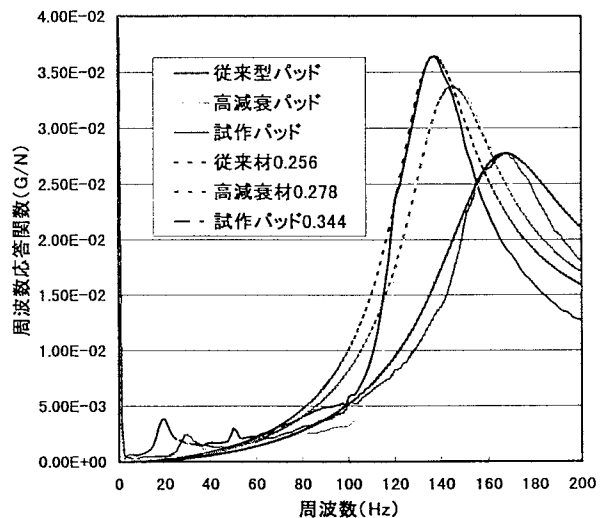


図-4 周波数応答関数

グラフから、3種類のパッドを比較すると、この区間での卓越する周波数付近でのピークが下がり上下方向の振動に対する減衰効果が従来型パッド・高減衰パッド・試作パッドの順に高まっていることが分かる。

これらの各パッドの損失係数は、従来型パッドが 0.256、高減衰パッドが 0.278、試作パッドが 0.344 であり、摩擦による影響が過大なため大きな数値となっているが、試作パッドではレールの波状摩耗の発生を抑える可能性があるかと推測される。

今後の課題としては、実験精度の向上を図り摩擦による影響をなくし、さらには現場実験で結果を検討する必要があると思われる。