

PC まくらぎの振動特性の把握と構造変更による振動低減効果

鉄道総合技術研究所	正会員	○坂井	宏隆
鉄道総合技術研究所	正会員	浦川	文寛
鉄道総合技術研究所	正会員	相川	明
鉄道総合技術研究所	正会員	名村	明

1. はじめに

本研究では、バラスト層上の PC まくらぎに関する実験モダル解析結果に基づいて、バラストの影響をばねで表現した PC まくらぎの 3 次元 FEM モデルを構築した。さらに、本モデルに軌道パッドにおける実測荷重を入力して、過渡応答解析によりまくらぎに構造変更を施したモデルにおける振動特性と比較することで、まくらぎの構造変更による振動のバラストへの影響を解析的に調べた。

2. 解析条件

解析対象のまくらぎは、在来線で用いられている 3 号 PC まくらぎである¹⁾。本研究ではこれを(1)ベースとして、(2)まくらぎ剛性 2 倍、(3)密度 2 倍（以上の 3 つは図-1(a)), (4)下面幅を 2 倍（図-1(b)), (5)高さを 100 mm 高くしたもの（図-1(c)）を用意し、解析検討を行った。作成モデルの諸元を表-1 に示す。

モデルの作成時には、まくらぎの上面を除いた各面にバラストを模擬した剛性を持つ三軸方向の節点ばねを設けることで、まくらぎの周囲がバラストで充填された状態を模擬した。なお、ばねの各種パラメータは実験モダル解析によって決定した。

入力荷重は在来線特急（走行速度 123 km/h）の 1 台車通過時の左右レール圧力である。図-2(a-b)にそれぞれ入力荷重の実波形およびスペクトル解析結果を示す。図より、入力荷重のピークは 80 Hz および 300 Hz 付近にあることがわかる。荷重の入力点はレール締結中心直下のまくらぎとし、左右レール圧力を同時载荷した。

荷重の出力点は、加振点直下にあたるまくらぎ底面（左右レール下）と、長手方向の中心線上でまくらぎ底面両端部（左右端部）の 4 点である。出力データは各点における加速度・圧力の時刻歴応答、および加速度のフーリエ振幅スペクトルである。なお、ここでは加振方向が鉛直方向のみのため、出力および考察は鉛直方向成分のみで行った。

3. 解析結果の実測データとの比較

次頁図-3 は、センシングまくらぎ²⁾を用いた加速度および圧力の実測値と（入力荷重の測定時と同時計測したもの）と、ベースモデルによる解析結果を比較したものである。図より、解析結果ではピーク値が実測よりやや低いものの、加速度・圧力データともにピークの出方や減衰の様子は比較的よく合っている。すなわち、実験モダル解析によるバラストのモデル化によって、まくらぎの振動挙動を適切に表現できているといえる。

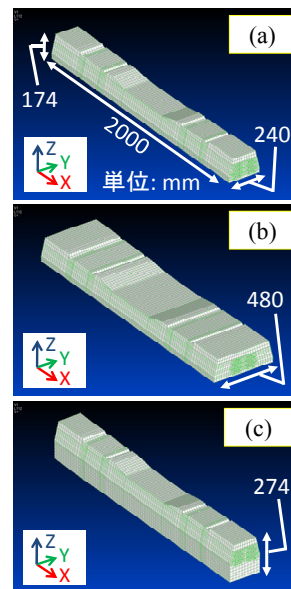


図-1 まくらぎモデル

表-1 解析モデル諸元

物性	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
節点(個)	55911	55911	55911	62976	74955
要素(個)	60731	60731	60731	67231	78671
質量(kg)	161.4	161.4	319.5	274.1	335.8
体積(m ³)	0.068	0.068	0.068	0.116	0.142

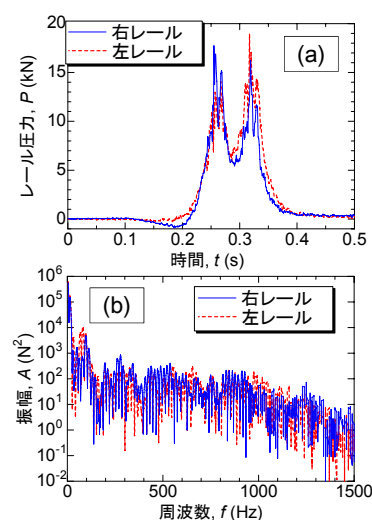


図-2 (a)入力荷重および、(b)スペクトル解析結果

キーワード 3次元有限要素法, まくらぎ, 振動, バラスト, 固有周波数

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 軌道力学研究室 TEL 042-573-7291

4. 加速度応答のフーリエ振幅スペクトル分析

図-4(1-5)は、各まくらぎにおいて過渡応答解析を行い算出した右レール直下の加速度の時刻歴応答をフーリエ振幅スペクトルに変換したものである。図中の記号(A-F)は、剛体モードおよび上下曲げモードを呈する固有周波数 (A: Y 軸回転 B: Z 軸並進 C: 上下1次曲げ D: 上下2次曲げ E: 上下3次曲げ F: 上下4次曲げ) を示し、各グラフ中の同じ記号が同じ変形モードに対応している。まず、(1)のベースとなるまくらぎに着目すると、80 (A, B), 436 (D) および 819 Hz (E) 付近に大きなピークがある。また、80 Hz 付近のピーク周波数は入力荷重のピーク周波数と等しい。(2)の剛性を高くしたケースにおいては、剛体モードにおけるベースまくらぎとの差異はほとんど見られず、高周波数帯でピーク周波数が上昇する傾向が見てとれる。しかし、そのピーク値はやや増加傾向にあることがわかり、剛性の増加による上下振動の低減効果はそれほど高くないといえる。次に、(3)の密度を高くしたケースでは、剛体モードにおけるピーク値の減少が5ケース中最大である。また、ピーク周波数は全体的に下降傾向にあることもいえる。剛体モードで応答値が下がった原因は、構造変更によって入力荷重の固有周波数である 80 Hz 付近からピーク周波数が外れたためであると考えられる。しかしながら、本報告においてはすべての解析ケースに対して同様の荷重を用いているものの、入力波形であるレール圧力は構造全体の振動特性を反映した値となるため、その影響を吟味する必要がある。(4)のまくらぎ幅を広げたケースでは、ピーク周波数はベースとほとんど変化せず、ピーク値が全体的に減少する傾向が見て取れ、良好な結果であることがうかがえる。(5)の高さを増やしたまくらぎでは、全体的にピーク値は減少しつつ、ピーク周波数は低周波数帯の剛体モードで下降傾向、高周波数帯で上昇傾向にあることがわかる。

5. おわりに

本報告では、実荷重を用いた過渡応答解析によって、実験モデル解析により得られたバラストを模擬するばねを付加したモデルを用いることで、種々のまくらぎの振動特性を把握した。その結果、作成モデルはまくらぎの振動挙動を適切に再現でき、まくらぎ幅を広げたケースが最も振動低減に効果があることがわかった。今後は入力荷重の影響を考慮し、レールを付加したモデルにおける解析の実行と、減衰を必要とする系全体(レール～まくらぎ～バラスト)の周波数特性を把握することで、効率的な振動対策法の提案を試みたい。

参考文献

- 1) JISE1201: プレテンション式 PC まくらぎ, 1990.
- 2) 相川明, 浦川文寛ほか: まくらぎ下面の動的荷重分布測定のためのセンシングまくらぎの開発と応用, 鉄道力学論文集, Vol. 12, pp. 73-78, 2008.

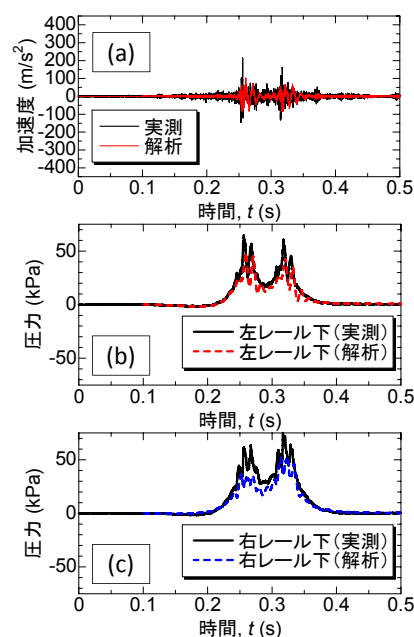


図-3 解析と実測の比較:(a)加速度 (b) 左レール下圧力 (c)同右レール

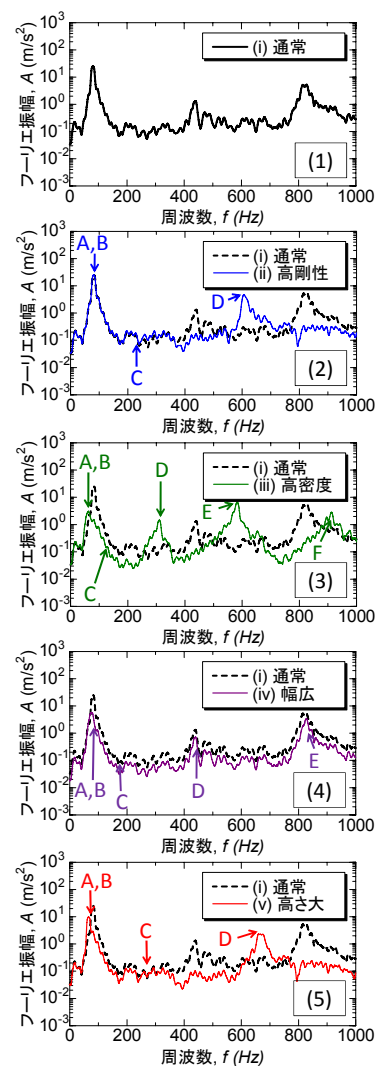


図-4 各まくらぎのフーリエ振幅スペクトル