

まくらぎの固有モードが軌道の応答に及ぼす影響

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

有道床軌道の塑性沈下は維持管理上の大きな課題となっている。道床のように粒子集合からなる構造物は、粒子同士の接触部の摩擦力によりその形が保たれているが、道床に微細な振動が加わることで、粒子同士の接触を悪くし、摩擦力を減少させ、バラスト粒子の側方への流動が起こりやすくなる。また、列車からの動的荷重や振動を道床に直接伝えるのはまくらぎであるが、まくらぎは固有振動数付近の周波数で加振されると共振を起こし、他の周波数で加振された場合と比べて応答が強くなる。この際、まくらぎの曲げを伴うモード形状で振動した場合、振動の節や腹、位相の関係により、道床に伝達される荷重は場所的に不均一となり、軌道に不利な条件で加振される。本稿では、室内および現場での加振試験により、まくらぎの固有モードを特定し、まくらぎの固有モードがまくらぎ下面荷重と道床振動加速度に及ぼす影響について検討する。

2. まくらぎ単体の固有モードの測定

ここでは、コンクリートまくらぎ(3PR)の固有モードを測定するため、実験モーダル解析を実施した。実験内容は図1に示すとおりで、まくらぎ端部1点のインパルス加振に対するまくらぎ上22点のアクセラランス(加速度/加振力)を測定するものである。なお、まくらぎの境界条件を自由支持にするため、厚手のウレタンマットで支持した。測定データに対してモード解析を行い、1 kHz 以下で表1に示す6つの固有モードを特定した(図2にモード形状の一例を示す)。

3. 実軌道でのまくらぎ振動特性(伝達関数測定結果)

実軌道にて固有モードを含むまくらぎの振動と道床への加振荷重、および道床の応答の関係を調べるため、インパルスハンマによる加振試験を行った。測定項目はまくらぎ下面荷重、道床振動加速度、まくらぎ振動加速度で、それぞれ鉛直方向の応答を測定した。測定箇所は図3に示す通りで、まくらぎ振動加速度は、上下3次曲げのモードまで捉えるため、まくらぎ上面エッジ上の8点を測定した。まくらぎ下面荷重の測定は、筆者らが開発したセンシングまくらぎ¹⁾を用いて行った。ここで、センシングまくらぎとは、まくらぎ下面に全面に75個(25個×3列)の荷重センサを貼り付け、まくらぎ下面荷重の分布を測定するものである。加振条件は図3のように、左側レール頭部を、Z(鉛直)方向とY(こ返り)方向に20kN程度の力で5回加振して伝達関数(応答/加振力)を測定し、5回の平均値を各測定点の測定値とした。

2方向の加振の内、スペクトルのピークが顕著に現れたY方向加振におけるまくらぎ下面全面の荷重合計値、加振側レール直下と軌間中央の道床振動加速度(B2, B3)、加振側レール付近と軌間中央のまくらぎ振動加速度(S3, S4)の伝達関数を図4に示す。180Hz, 400Hz, 600Hz, 860Hz付近でまくらぎ下面荷重、道床振動加速度、まくらぎ振動加速度の伝達関数がピークとなり、3者の波形に相関

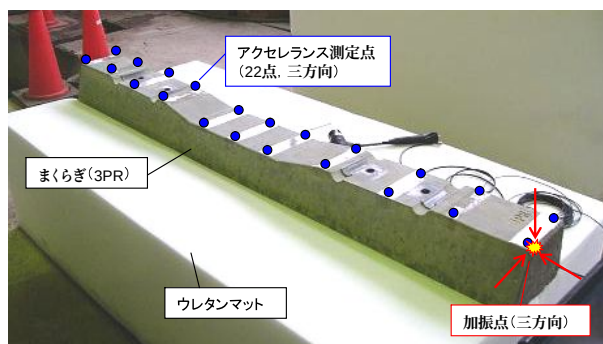


図1 まくらぎのインパルス加振試験

表1 まくらぎの固有モード測定結果

ID	モード形状	固有振動数
1	上下1次曲げ	148 Hz
2	前後1次曲げ	241 Hz
3	上下2次曲げ	435 Hz
4	1次ねじり	538 Hz
5	前後2次曲げ	630 Hz
6	上下3次曲げ	825 Hz

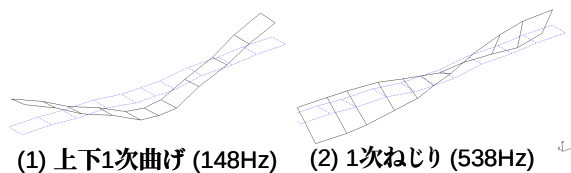


図2 まくらぎのモード形状

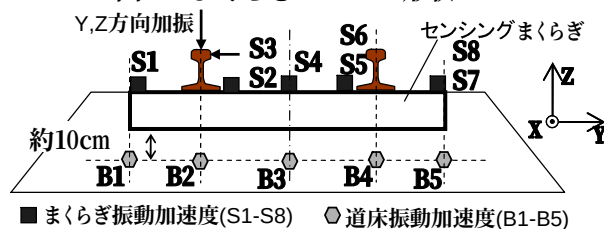


図3 測定点・加振点配置

キーワード: まくらぎの固有モード, 有道床軌道, まくらぎ下面荷重, まくらぎ変形, 動的応答

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

性が見られる。

4. まくらぎの固有モードに着目した動的応答の分析

図5の(1)から(4)は、まくらぎ振動加速度(S1～S8)と下面荷重の伝達関数から算定した、応答がピークとなるの周波数でのまくらぎ変形状とまくらぎ下面荷重の分布図である。なお、荷重と変位の値は周波数毎に大きく異なるため、周波数毎に各々レンジを調整している。図5のまくらぎ変形状より、180Hz、400Hz、600Hz、860Hzでそれぞれ、上下1次曲げ、上下2次曲げ、1次ねじり、上下3次曲げの形状を読み取ることができる。2章で特定したまくらぎ単体の固有モードの中で、これらと対応するモードの固有振動数は148Hz、435Hz、538Hz、825Hzと、伝達関数がピークとなる周波数と近いことから、実軌道においても、軌道の動的応答が、まくらぎ単体の固有モードの影響を強く受けることがわかる。また、図5

より、まくらぎの変位が大きい箇所で下面の荷重が強くなるため、特異な荷重分布が生じている。

図6は、まくらぎ下面荷重の応答が最大となった上下1次曲げモードの変形を、個別要素法の実物大軌道モデルに入力した場合の解析例で、ベクトル図はバラスト粒子の速度分布

(ZX平面)、レーダーチャートはまくらぎ下の5つの領域のバラストに関し、水平方向(XY平面)の頻度分布をプロットした図である。ベクトル図より、鉛直方向の速度は変位が最大となる中央で大きく、端面に近づくほど小さくなる。また、レーダーチャートより、水平方向の速度は、中央付近(領域3)ではまくらぎ側面(Y)方向が主であるが、両端付近(領域1,5)では端面(X)方向が主となった。これは、まくらぎの変形により生じたまくらぎ中央から端面への荷重の勾配により、端面方向への速度が生じたためと考えられ、まくらぎの曲げ変形により端面方向への移動が促進されることがわかった。

5. まとめ

本研究では、まくらぎの固有モードと軌道の応答との関係を調べるため、3PRまくらぎの実験モダ解析を行い、1kHz以下の6つの固有モードを特定した。実軌道にてインパルスハンマ試験を行い、まくらぎの固有振動数付近でまくらぎ下面荷重、道床振動加速度、まくらぎ振動加速度の伝達関数がピークとなること、またその周波数近傍では、まくらぎの固有モードに起因する変形状により、下面に特異な荷重分布が生じることがわかった。さらに、まくらぎの1次曲げを考慮したDEM解析を行い、まくらぎの変形により生じた荷重の不均一性により、まくらぎ下のバラストの速度が異なり、まくらぎ下面荷重の勾配に応じてバラストのまくらぎ端面方向への移動が促進されるという結果が得られた。

参考文献

1) 相川明, 浦川文寛, 河野昭子, 名村明, 鷹尾良行: 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, No.12, pp. 73-78, 2008

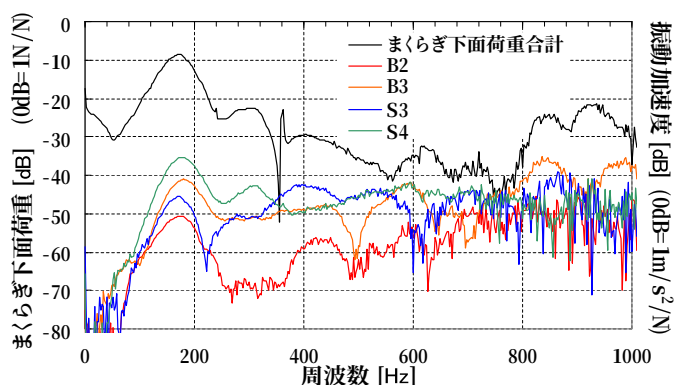


図4 Y方向加振時の伝達関数

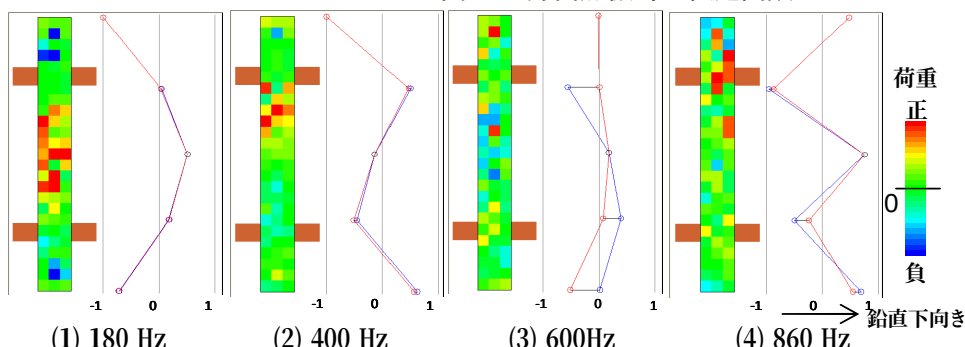


図5 まくらぎの変形状(右図)とまくらぎ下面荷重分布(左図)の関係

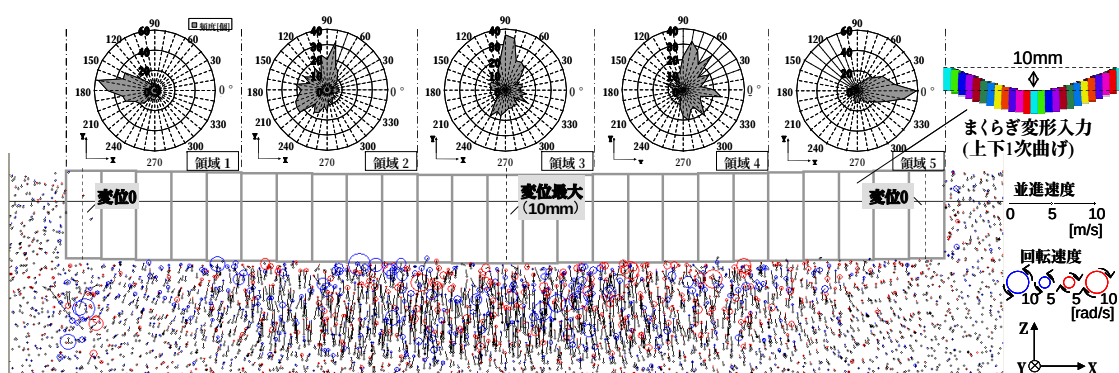


図6 まくらぎに変形が生じた際のバラスト粒子の速度分布 (DEM 解析)