

レール圧力実測波形を用いた三次元個別要素法によるバラスト軌道の動的挙動解析

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

砕石とまくらぎからなるバラスト軌道には「軌道破壊」という交通荷重による劣化現象が避けられず、維持管理上の課題となっている。軌道破壊現象の解明には、道床内部での現象を明らかにする必要があることから、不連続体解析により道床部を不連続体粒子の集合として表し、ミクロな接触のメカニズムから挙動を再現することが有効と考えられる。

本稿では、実砕石形状の三次元測定結果を基に多面体近似したバラスト¹⁾を、三次元個別要素法を用いて締固め、軌道パッド、まくらぎ、道床、路盤からなる実物大軌道を不連続体としてモデル化した。このモデルに対して列車走行時のレール圧力実測波形を入力し、三次元個別要素法による軌道動的応答解析を行い、現場での測定結果と比較した。また、列車走行荷重下での道床バラストの挙動を解析的に求めた。

2. 解析条件

解析の概要を図1に示す。解析モデルは、バラスト軌道をレール延長方向に 50cm 抜き出し、路盤、道床バラスト碎石層、PC3号まくらぎ、軌道パッドからなるバラスト軌道の実際の構造を詳細かつ精密に再現したものである。

なお、まくらぎ長軸方向断面(Y-Z平面)を縦断面、まくらぎ短軸方向断面(X-Z平面)を横断面とする。モデルの境界については、まくらぎ短軸方向(Y方向)について、境界面両側に摩擦ゼロの固定壁を設け、モデル下面(Z方向)については、路盤底面を変位 0 の固定境界とし、また、モデル上面および側方の法面は自由境界とした。

現場のレール溶接継目部で測定されたレール圧力波形(図1(b))を解析モデル上面のレール位置に取り付けたレールパッド上面に入力し、まくらぎ、および、道床部の動的挙動を再現する。解析パラメータは表1とし、解析時間ステップは $\Delta t = 5 \times 10^{-6}$ secとした。要素間パラメータは、Mitaniら²⁾が行った花崗岩不連続面の一軸圧縮試験、一面せん断試験の結果を参考に設定した。

3. 解析結果

(1) まくらぎ変位

まくらぎの変位に関する解析結果と実測値を図2に示す。図より、解析結果は実測値と比較して、前後軸通過時でそれぞれ約 0.5mm、

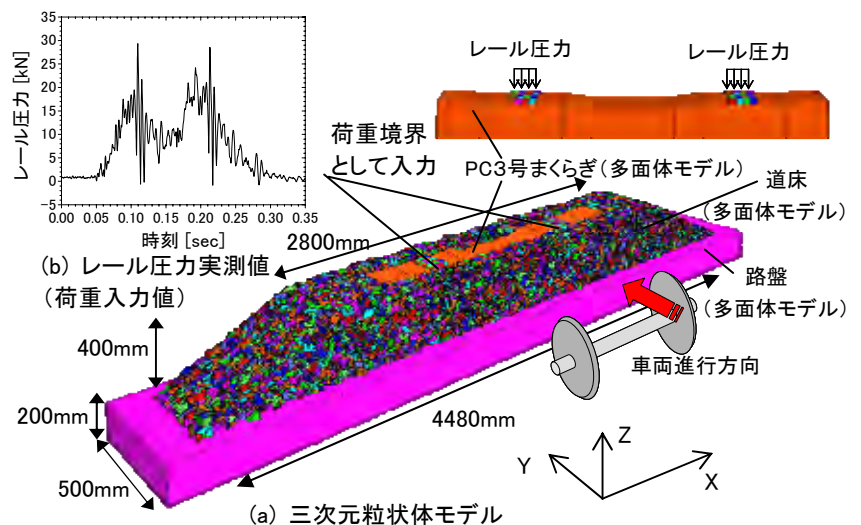


図1 三次元個別要素法を用いたバラスト軌道動的挙動解析概要

表1 解析パラメータ

要素内パラメータ	バラスト	まくらぎ	パッド	路盤	側壁
密度 ρ [kg/m ³]	2720	2400	1000	2400	3000
要素間パラメータ	バラスト	まくらぎ	パッド	路盤	側壁
	バラスト	バラスト	まくらぎ	バラスト	バラスト
垂直ばねkn[Pa/m]	2.0×10^{10}	2.0×10^{10}	1.0×10^{10}	2.0×10^{10}	2.0×10^{10}
せん断ばねks[Pa/m]	4.9×10^9	4.9×10^9	1.0×10^{10}	4.9×10^9	4.9×10^9
粘性係数c[Pa]	0	0	1.0×10^{10}	0	0
摩擦角 ϕ [°]	34.1	30	80	40	0

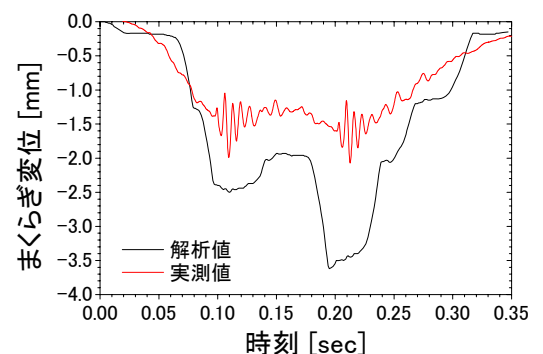


図2 まくらぎ変位(まくらぎ中央)

キーワード: バラスト軌道、三次元個別要素法、多面体モデル、軌道動的挙動解析

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

1.5mm 大きい、前後軸通過で 2 つのピークが発生する傾向を概ね再現できていることがわかる。

(2) まくらぎ下面荷重

まくらぎ下面の荷重の分布を図3に示す。図3では、軌間中心付近のまくらぎ側面に荷重の集中する部分が見られる。まくらぎ縦断面に関して、幅 20mm 毎に荷重を合計し、図示したのが図4である。図より、まくらぎ側面付近で、中央部より荷重が大きくなることわかる。

(3) 個々のバラストの挙動

解析により、個々のバラストの速度と角速度を求めた。図5(a)に前軸通過による載荷過程で、バラスト速度と角速度が最大となった時刻 $t=0.097\text{sec}$ (前軸がまくらぎ中央より 271mm 手前を通過)の速度ベクトルと角速度の分布を、(b)に前軸がまくらぎ中心直上を通過した時刻 ($t=0.110\text{sec}$) での分布を示す。なお、台車通過後の除荷過程では、後軸がまくらぎ中心より 552mm 後方を通過した際 ($t=0.239\text{sec}$) にバラストの

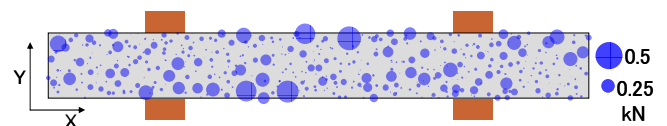


図3 まくらぎ下面荷重分布(解析)

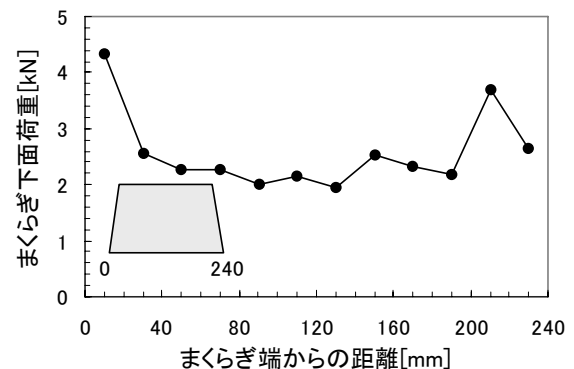


図4 まくらぎ下面荷重分布(縦断面、解析)

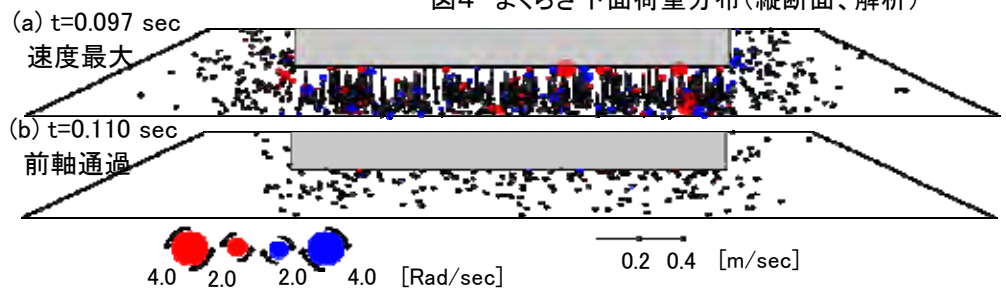


図5 バラストの速度ベクトルおよび角速度の分布(横断面、解析)

速度と角速度が最大となった。図(a)の速度分布より、まくらぎ直下の領域では、鉛直方向に大きく沈み込む動きがあり、まくらぎ端部から斜め下部の領域では、バラストは側方に移動する傾向が見られる。一方、図(b)の前軸通過時では、バラストに大きな動きは見られない。

バラスト速度と角速度が最大となった時刻 $t=0.097\text{sec}$ における左レール直下の縦断面上での速度ベクトルと角速度の分布を図6に示す。図より、まくらぎ中央付近のバラストの移動はほぼ鉛直方向に限定されているのに対し、まくらぎ側面付近では、斜め下向きの移動とともに、局所的な回転が発生していることがわかる。

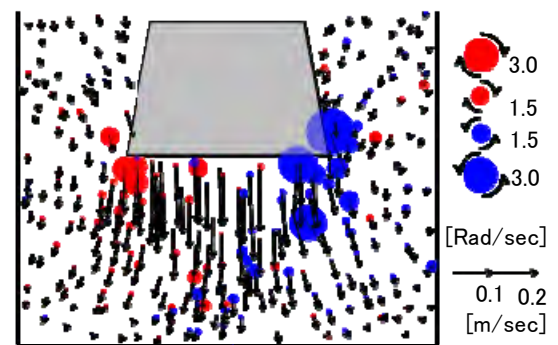


図6 左レール直下バラストの速度ベクトルおよび角速度の分布(縦断面、解析)

5. 考察

測定した砕石形状データを基に、三次元個別要素法を用いてモデル化した実物大軌道に対し、レール圧力実測波形を入力し、1台車通過時の動的応答解析を行った。測定結果と比較したところ、本解析により、列車通過時のレール圧力に対するまくらぎ変位を概ね再現することができた。また、まくらぎ下面荷重と個々のバラストの動特性として、速度および角速度ベクトルを求めた。これにより、まくらぎ下面の荷重は、まくらぎ側面付近に集中し、かつ、まくらぎ側面付近のバラストには、回転および側方への移動する傾向が得られた。まくらぎが下向きに運動する際、まくらぎ側面付近のバラストは、まくらぎに対して「くさび」のように傾斜して接触面が接するため、鉛直方向の移動に対する抵抗力に加えて、側方および回転移動に対する抵抗力が影響し、中央部と比較して剛性が高くなることにより、分担荷重が大きくなると考えられる。

参考文献

- 1) 浦川文寛, 相川明, 河野昭子, 緒方政照, 名村明: バラスト軌道劣化モデルの開発を目的とした単粒度砕石の3次元形状計測システム, 第3回地盤工学会関東支部研究発表会講演集, pp.415-419, 2006.
- 2) 三谷泰浩, 江崎哲郎, 浦川文寛, Mostafa Sharifzadeh, “せん断変形過程における岩盤不連続面の間隙幅分布の評価に関する研究”, 第34回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 pp.57-64, 2005.01