

離散体バラスト軌道モデルを用いたまくらぎ下弾性化の影響の検討

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○ 河野 昭子
 正会員 浦川 文寛
 正会員 名村 明
 正会員 相川 明

1. はじめに

有道床弾性まくらぎは 20 年ほど前より開発が行われた後、現在では広く実用化され、沈下抑制の効果なども報告されている^{*1)}。本研究では、鉄道総研において開発された「離散体バラスト軌道モデル」を用いて、まくらぎ下弾性化が道床バラスト層の動的挙動に与える影響を検討することを目的とし、「PC3 号まくらぎ」と「有道床弾性まくらぎ」(以下、弾性まくらぎ)の2通りの条件における個別要素法シミュレーションを行った。

2. シミュレーション概要

2-1 解析ソフト: 本解析では、多面体モデルの個別要素法解析ソフトであるItasca社製の 3DECを用いた。3DECでは計算の効率化のために独自の接触判定のアルゴリズム^{*2)}を導入しているため、多面体同士で異常貫入が生じることがある^{*3)}。本解析のモデルにおいても、その影響が確認されたため、解析モデルの構築においては 2-2 に述べるように、道床バラスト層の間隙比を小さくする(モデルの全体サイズを圧縮する)こととした。

2-2 解析モデル: バラスト粒子は、一要素 30 点程度の頂点を持つ多面体でモデル化し、その多面体 12907 個を用いて道床バラスト層を構築した。ここで、実軌道と同程度の間隙比 0.6 で構築したモデルでは、予備解析において著大なまくらぎ変位が発生したため、まくらぎ幅方向を圧縮することで間隙比を先行モデル^{*4)}と同程度の 0.35 まで小さくした。道床バラスト層の厚さや道床肩部の幅や傾斜は実軌道と同様の値とした。また、まくらぎ要素はPC3 号まくらぎと同じ形状の多面体要素とするが、まくらぎ下弾性化の影響を検討するため、まくらぎ底面から 16mm で要素を分割し(図 1 参照)、まくらぎ本体要素とまくらぎ底面要素を剛接した要素とした。

2-3 DEMパラメータ: 表 1 に各要素のDEMパラメータを示す。まくらぎ底面要素以外のパラメータは先行モデル^{*4)}と同じ値を用いた。まくらぎ底面要素は、有道床弾性まくらぎの実験結果^{*5)}を参考にして予備解析によって決定した結果、粒子間ばね係数はPC3 号の 1/10 弱となり、法線方向ばね係数に対する接線方向ばね係数の割合も減少した。

3. シミュレーション結果

3-1 応答波形

(1) まくらぎ下面荷重: 図 2 にシミュレーション結果より、まくらぎ下面荷重波形を示す。図より、PC3 号まくらぎ条件と比較して弾性まくらぎ条件の方が、若干まくらぎ下面荷重が減少している。

(2) バラスト変位: 図 3 にまくらぎ下部のバラスト要素について、道床上層部・中層部・下層部から各 1 要素ずつ抽出したバラストの鉛直方向変位を示す。図より、PC3 号まくらぎ条件と比較して弾性まくらぎ条件の方がバラストの変位が小さく、その差異は上層部のバラストで大きく、下層部のバラストでは小さい。

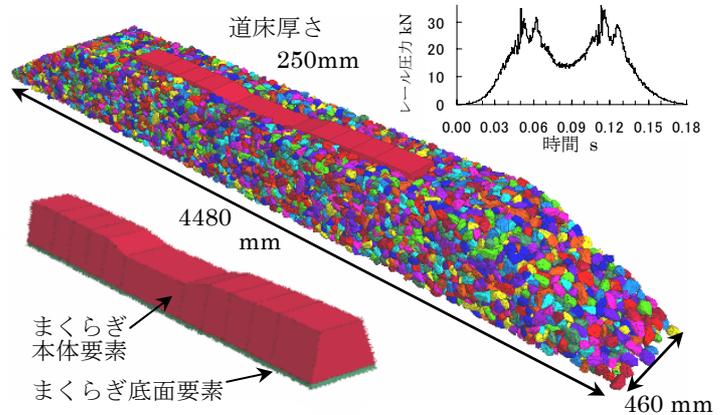


図 1 多面体要素を用いた軌道モデル

表 1 各要素の DEM パラメータ

		法線方向	接線方向	摩擦
		粒子間ばね係数 Kn (Pa/m)	粒子間ばね係数 Ks (Pa/m)	係数 μ(度)
バラスト		2.0×10^{10}	4.9×10^9	34.1
まくらぎ (PC3号)	本体要素	2.0×10^{10}	4.9×10^9	30
	底面要素	2.0×10^{10}	4.9×10^9	30
まくらぎ (弾性まくらぎ)	本体要素	2.0×10^{10}	4.9×10^9	30
	底面要素	1.8×10^9	3.4×10^8	30
固定壁		2.0×10^{10}	4.9×10^9	0

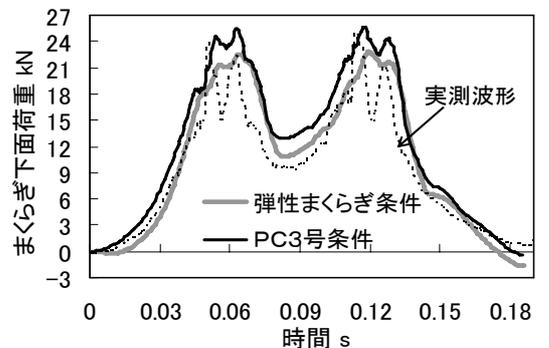


図 2 まくらぎ下面圧力波形の比較

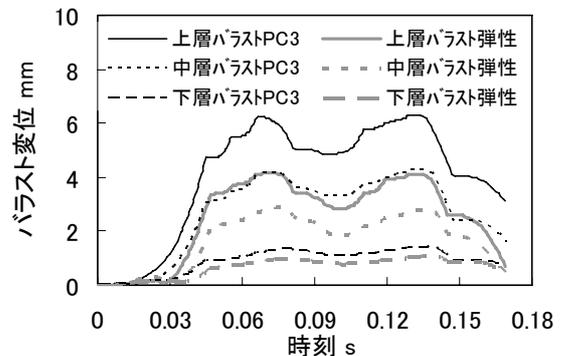


図 3 バラスト変位波形

3-2 ミクロな観察

(1) まくらぎ下面とバラストの接触圧力: 図4に、図1に示す入力荷重波形の前軸最大荷重時における、まくらぎ要素下面とバラスト要素の法線方向接触応力の分布を示す。図より、左図のPC3号条件では、接触圧力が100MPaを越える点が14ヶ所見られるのに対して、右図の弾性まくらぎ条件では見られない。また接触点の点数は、弾性まくらぎ条件で著しく増加しているのが明らかである。これは弾性まくらぎ条件において、まくらぎ底面要素の粒子間ばね係数が減少しているためと考えられる。

(2) まくらぎ下部のバラストの接触点におけるFs/Fn比: 図5に、図4に示す法線方向接触圧力Fnと、各点における接線方向接触圧力Fsの比を示す。図より、右図の弾性まくらぎ条件では、Fs/Fnが0.577以上の点、つまり粒子の滑りが発生する点が多く見られ、特にまくらぎ底面の輪郭上で顕著である。これは弾性まくらぎ条件において、バラスト要素1個あたりの接触点が増加すること起因するものと考えられる。

(3) まくらぎ下部のバラスト要素作用力: 図6に、前軸最大荷重時におけるバラスト要素作用力の鉛直方向成分の分布を示す。図より、左図のPC3号条件では、鉛直方向作用力が10N以上の点が12ヶ所見られるのに対して、右図の弾性まくらぎ条件では7ヶ所程度で、全体的に弾性まくらぎ条件では小さい値を示している。

これは、先述(2)によって、まくらぎ下面からバラスト要素に伝達する荷重において、弾性まくらぎ条件では接線方向つまりモデルの水平方向成分が増加することから、鉛直方向成分についてはPC3号条件よりも減少した結果であることを示唆している。

4. おわりに

まくらぎ底面要素の法線・接線方向ばね係数が異なる2通りの多面体バラスト軌道モデルを用いた個別要素法シミュレーションを行った結果、まくらぎ下弾性化の影響について、定性的な影響が明らかとなった。ただし本解析で用いたモデルは、実際の道床バラスト層と物性が異なる問題点もあることから、今後、より最適なモデルの作成と解析プログラムの開発を進めて行く予定である。

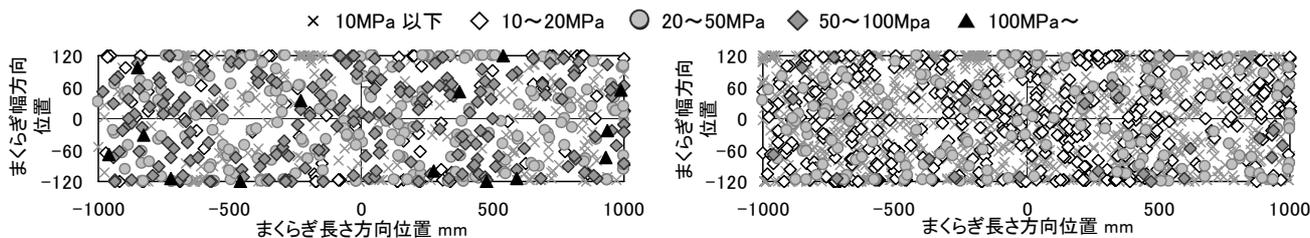


図4 まくらぎ下面とバラストの法線方向接触圧力の分布

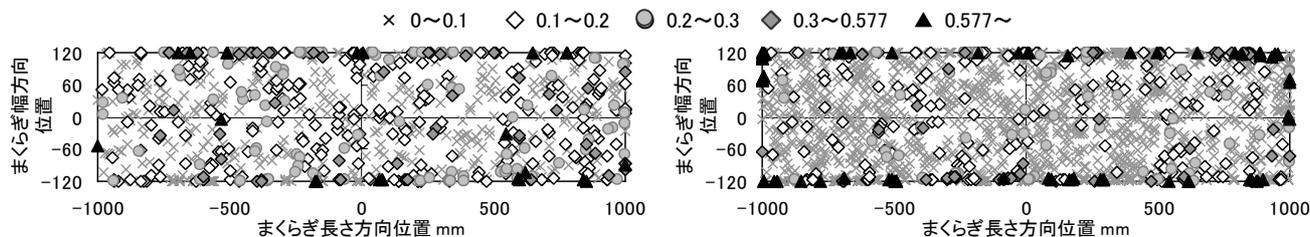


図5 まくらぎ下面とバラストの接触点におけるFs/Fnの比の分布

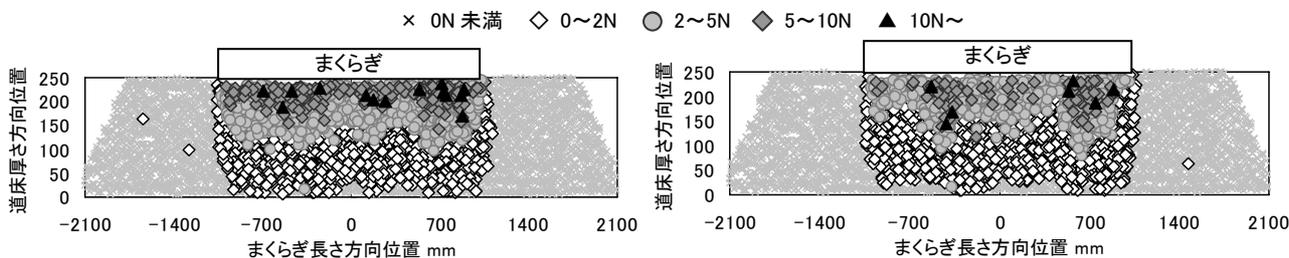


図6 バラスト要素の鉛直方向の変位 列車通過前→通過後

参考文献

- 1) たとえば、堀池高広:「軌道を構成する材料と構造」省力化軌道その4, 日本鉄道施設協会誌, pp980-983,2007
- 2) P.A.Cundall: Formulation of a 3D Distinct element Model Part1- A Scheme to Detect and Represent Contac in a System Composed of Many Polyhedral Blocks, Int.J.Rock Mech.Min.Sci.&Geomec.Abstr, vol.25,No3, pp107-116, 1988
- 3) 河野昭子ほか: 多面体要素を用いた DEM 三軸圧縮試験の試み, 第43回地盤工学研究発表会, pp823-824, 2008
- 4) 浦川文寛ほか: 三次元個別要素法によるバラスト軌道の動的応答解析, 鉄道総研報告, vol.23, No2, pp11-16,2009
- 5) たとえば、三浦重ほか: 実用形有道床弾性まくらぎの開発, 鉄道総研報告, vol4, No5, 1990