

道床バラスト層の残留沈下に与えるまくらぎ幅の影響に関する解析的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○河野 昭子
筑波大学大学院 正会員 松島 亘志

1. はじめに

我が国では保守軽減を目的とした‘省力化軌道’の提案が多方面で行われて来たが¹⁾、それらの工法における基本概念は、①まくらぎ幅の拡大、②まくらぎ下面の弾性化、③バラスト粒子の固化の3点となっている。①のまくらぎ幅の拡大では、まくらぎ底面の面積が増加することでバラストへ伝達する圧力を低減させることが可能となる。これについて、バラストへ伝達する圧力を一定値とした場合に、まくらぎ幅が道床バラスト層の残留沈下に与える影響に関して2次元個別要素法(以下、DEM)による検討を行った結果、まくらぎ底面幅240、480、720mmの3通りでは、480mmと720mmにおける道床バラスト層の残留沈下量は同程度であり、更にバラスト粒子の挙動は480mmの方が小さい傾向が得られた²⁾。ただし2次元DEMシミュレーションによる結果は、まくらぎ幅の差による定性的傾向は得られたものの、残留沈下量の値は実際の変位レベルの10倍ほどの値となり、定量的精度に課題が残された。そこで本研究では、同様の検討を3次元に拡張したDEMシミュレーションによって再度実施したので報告する。

2. シミュレーション概要

2-1 解析モデル：図1に解析モデルを示す。道床バラスト層の厚さは250mm、幅2000mm、奥行は300mmとした。また、まくらぎ幅はPC3号まくらぎの底面幅240mmを参考とした条件の他に、その2倍の480mm、3倍の720mmの3通りとした。ここで各まくらぎ条件において道床バラスト層モデルは全く同じモデルを用いた。

またバラスト要素は、実際の安山岩バラストの3次元形状の測定データをもとにして³⁾、‘動的最適化法’⁴⁾によって作成された球集合体である。ここでは1つのバラスト粒子を10個の球でモデル化している。またバラスト層部分の密度は1.64g/cm³程度で、締固め後の実際の道床バラスト層の密度1.67g/cm³⁵⁾より若干小さい(緩い)。

2-2 DEMパラメータ：表1に各要素のDEMパラメータを示す。まくらぎ要素のDEMパラメータは既往の研究⁶⁾を参考とし、路盤要素のDEMパラメータはコンクリート路盤にバラストマットを敷いた場合のばね係数⁷⁾を参考とした。また、バラスト要素の粒子間ばね係数は、式(1)に道床バラスト層の弾性波速度を代入して算出し、減衰係数は式(2)において反発係数 e_b を0.2として算出した。粒子間摩擦角は、既往の研究を参考とし⁸⁾36度とした。

$$k = m \frac{V^2}{\Delta X^2} \quad \cdots(1)$$

$$e_b = \exp\left(-\frac{h\pi}{\sqrt{1-h^2}}\right), \quad h = \frac{c}{2\sqrt{k \cdot m}} \quad \cdots(2)$$

ここで式(1)のVには弾性波速度V_p(kn算出)またはV_s(ks算出)、ΔXは粒子間距離の平均値、mは粒子の平均質量である。また式(2)のkは式(1)で求めた粒子間ばね係数、mは粒子の平均質量である。

2-3 载荷条件：载荷条件はいずれの条件でも20Hzの正弦波とする。荷重振幅は、まくらぎ下面の圧力を一定とするため、まくらぎ幅つまりまくらぎ底面積を考慮して、まくらぎ幅240、480、720mmで1:2:3の比とする。ここでは、在来線における一般的なまくらぎ下面圧力80kN/m²を参考として、荷重振幅は各まくらぎ幅で5.76、11.52、17.28kNとする。

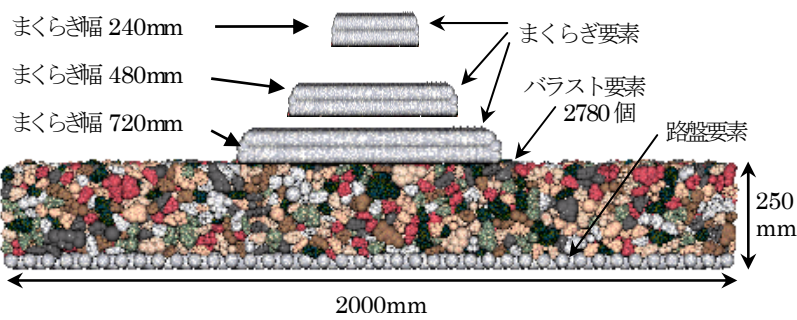


図1 離散体バラスト軌道縦断面モデル

表1 DEMパラメータ

		まくらぎ要素	バラスト要素	路盤要素
粒子間ばね係数 (N/m)	k_n	9.09×10^6		6.00×10^4
	k_s	2.27×10^6		2.31×10^4
粒子間減衰係数 (N・s/m)	C_n	608		104.7
	C_s	304		65
摩擦角	μ	20度	36度	20度

3. シミュレーション結果

3-1 残留沈下量と変位振幅：シミュレーション結果より、各条件における載荷回数とまくらぎの残留沈下量（正弦波荷重0時の変位）の関係を図2に示す。図より、まくらぎ幅 240mm の場合は、残留沈下量が他の2ケースに比較して大きな値となり、載荷 10 回目では 0.42mm となり、まくらぎ幅 480、720mm の場合の 3～4 倍の値となる。また沈下曲線の傾きも、まくらぎ幅 240mm で大きく、この傾向は定性的には 2 次元 DEM による検討と一致している。また定量的には、今回の 3 次元 DEM による結果は実際の沈下量と同程度のオーダーとなっている。

次に、各条件における載荷回数と変位振幅（正弦波荷重0時の変位と最大荷重時の変位の差）の関係を図3に示す。図より、いずれのケースにおいても変位振幅は 1.0～1.5mm の範囲に分布する。載荷 1-3 回目では、まくらぎ幅 240mm の条件で変位振幅が大きいが、その差異は小さく、載荷 4 回目以降は、まくらぎ幅 480mm の条件で若干小さいものの、まくらぎ幅による差異は全体的に小さい。

つまり、まくらぎ下面圧力を一定とした場合、まくらぎ幅の影響は弾性変形には塑性変形ほど現れないものと考えられる。

3-2 道床バラスト層のせん断ひずみ分布：図4に各条件における載荷 10 回終了時のせん断ひずみ（残留変位より算出したせん断ひずみ）の分布を示す。図より、まくらぎ幅 240mm の場合、せん断ひずみが 0.03 を超える領域は、まくらぎ直下のバラスト層表層から、バラスト層下部まで達している。一方、まくらぎ幅 480mm、720mm の場合は、せん断ひずみが 0.03 を超える領域は主にバラスト層の上層部に集中していることが明らかである。

4. おわりに

以上より、まくらぎ幅が道床沈下量に与える影響について 3 次元 DEM シミュレーションによって検討した結果、定性的傾向は 2 次元 DEM と同様となったが、定量的には 3 次元 DEM の方が沈下量が約 1/10 となり、実現象のオーダーに近づいた。つまり 2 次元 DEM に

においても定性的検討は可能といえるが、定量的精度を上げる上では 3 次元モデルがより有効といえる。ただし 3 次元 DEM では、今回の載荷 10 回程度に 3 日間程度の時間がかかったことから、計算負荷の軽減が今後の課題といえる。

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) 河野昭子：鉄道バラスト軌道の沈下速度に対するまくらぎ幅の影響に関する DEM による検討，第44回地盤工学会研究発表会発表論文集（CD-ROM）， pp29-30, 2009
- 3) 河野昭子、松島亘志：繰返し衝撃荷重下の道床バラスト層の動的挙動と沈下特性，鉄道総研報告， vol24, No12, pp47-54, 2010
- 4) 松島亘志、竿本英貴：複雑な砂粒子形状の個別要素モデル化手法の提案，第37回地盤工学会研究発表論文集， pp357-358, 2002
- 5) 須長誠：ガンマ線を用いた道床バラストの密度測定法，第28回土質工学会研究発表会， pp2383-2384, 1993
- 6) 浦川文寛、相川明：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， vol23, No2, pp11-16, 2009
- 7) 名村明：有道床軌道の繰返し変形と評価法に関する研究，北海道大学学位論文, 2004
- 8) 河野昭子ほか：レール表面凹凸部の道床バラスト層の変形挙動に関する検討，第17回鉄道技術・連合シンポジウム，講演概要集 pp571-574, 2010

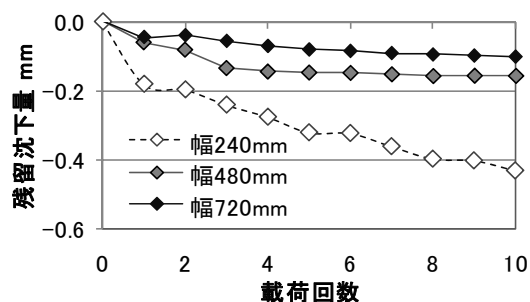


図2 載荷回数-残留沈下量の関係
(シミュレーション結果)

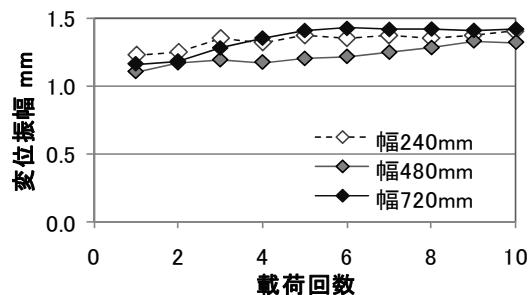


図3 載荷回数-変位振幅の関係
(シミュレーション結果)

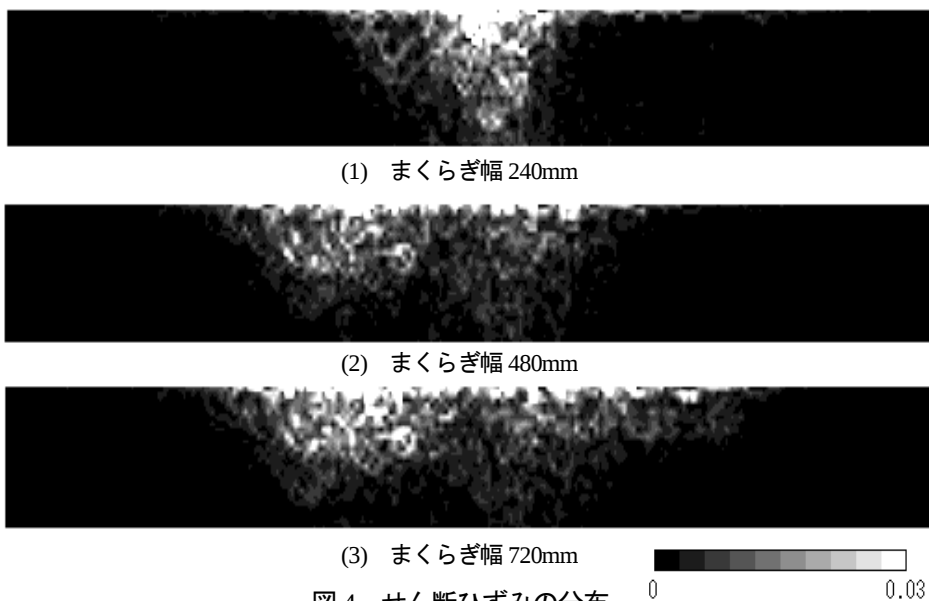


図4 せん断ひずみの分布