

バラスト軌道落錘試験に関する三次元個別要素法解析

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

バラスト軌道は、列車走行による繰返し荷重により、沈下等の劣化が生じるため、保守コストが膨大となる。効率的な保守を行うためには、沈下のメカニズムを解明し、軌道劣化を精度良く予測するモデルを確立することが求められる。本研究は、不連続体の解析理論を用いたバラスト軌道劣化モデル(図1)の開発を目的とする。このモデルでは、道床を剛な不連続体粒子の3次元的な集合としてモデル化し、1つ1つの粒子形状は、実際のバラストを模した多面体で表し、粒子同士の接触状況に応じて、接触部に垂直応力と摩擦力が働くものとする。本論文では、砕石の三次元形状を測定し、多面体して数値化したデータから、バラスト軌道の一部を構築し、三次元個別要素法を用いて落錘試験に関するシミュレーションを行う。その結果を落錘試験の結果と比較検討する。

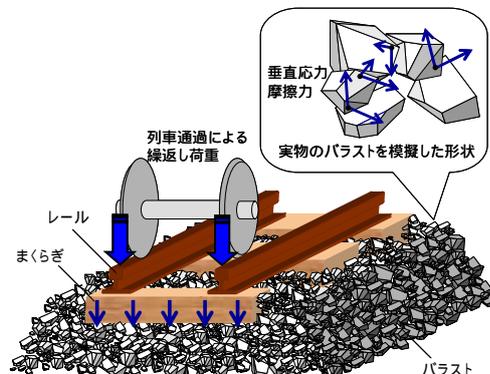


図1 バラスト軌道劣化モデル



図2 形状計測の結果

2. 砕石の三次元形状計測

敷設されている線路から 1000 個のバラストをサンプルとして採取し、バラストの頂点座標を計測する。次に計測した頂点座標から独自に作成したツール¹⁾を用いて自動的に多面体を作成する。ここで、多面体の1面は3つの頂点を結んだ三角形とする。図2に計測したバラスト形状をCAD上で描写した図と実物のバラストの写真を示す。

3. 三次元個別要素法を用いた落錘試験のシミュレーション

(1) 解析条件

図3のように、500×500×400mmの箱に、バラストとまくらぎ(3号まくらぎの長さ500mm分)を詰め込み、まくらぎ上面中央に180×140×10mmの軌道パッドを貼り付ける。軌道パッドの上面にレール圧力に相当する当分布荷重を0.2秒間加える。また、今回行った落錘試験でのレール圧力の最大値が79.7kNであったことから、パッドに加える荷重を0~80kNとし、載荷・除荷を1回行う。

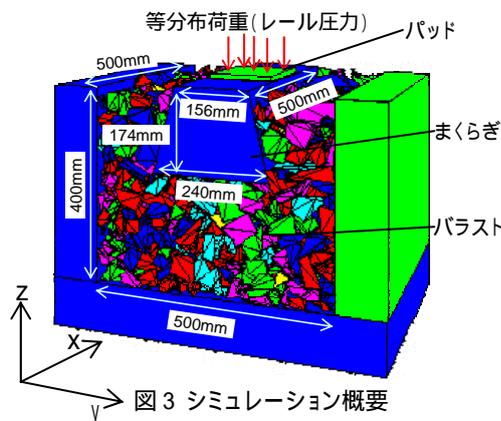


図3 シミュレーション概要

解析の時間ステップは $\Delta t=1 \times 10^{-5}$ sec とする。バラスト、まくらぎ、パッドは全て剛体とし、密度はそれぞれ $2.7t/m^3$, $2.4t/m^3$, $1.0t/m^3$ とする。また、各ブロック間のパラメータとして、垂直バネ $K_n=1 \times 10^{10}N/m$ 、せん断バネ $K_s=1 \times 10^{10}N/m$ 、摩擦角 $=30^\circ$ 、粘着力 $c=0Pa$ を入力する。ただし、まくらぎ-側壁間の摩擦角は 0° とする。

(2) 落錘試験

まくらぎ幅一本分の軌道を敷設し(道床幅は十分に広い)、図4に示す落錘試験機を用いて重錘の自由落下による衝撃荷重を与え、その際のレール圧力とレール直下のまくらぎ下面とバラストとの接触荷重を測定する。レール圧力は軌道パッドに圧力センサーを埋め込んだ試験パッドにより、まくらぎ下面の接触荷重はレール直下のまくらぎ下面に貼り付けた6個の圧電フィルム型荷重センサー(S1,S2,S3,S4,S5,S6)により測る。実験条件としては、重錘を600~1000kg、落下高さを3~40mmの間で変化させる。

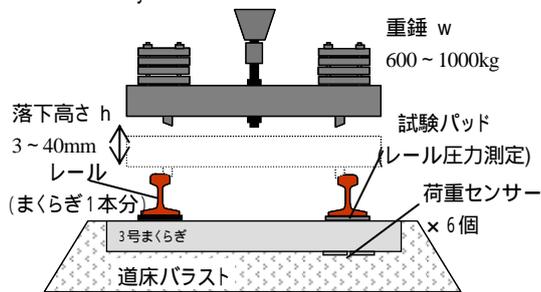


図4 落錘試験概要

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, 落錘試験

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

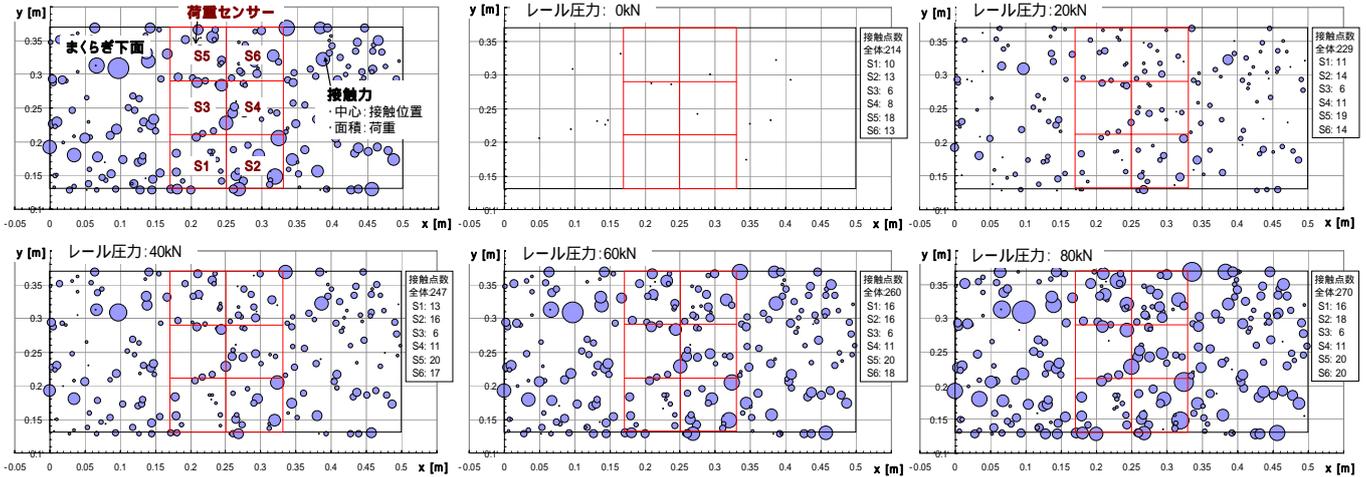


図5 まくらぎ下面の接触荷重分布(積載荷過程, レール圧力:0kN, 20kN, 40kN, 60kN, 80kN)

4. 解析および実験結果

解析結果として, 図5, 図6, 図7にそれぞれ, まくらぎ下面の接触荷重分布, まくらぎの鉛直方向の位置と下面接触点数(頂点数), まくらぎ下面の各センサー貼り付け位置での接触荷重の合計値を示す. 図5より, レール圧力が増加するにつれて接触点数が増加し, かつ個々の接触点での荷重も増大する傾向が見られる. 図6より, 載荷時のまくらぎはレール圧力にほぼ比例する形で沈下し, 除荷後は初期から約1mmの沈下が見られた. 同図より, 載荷・除荷の過程でまくらぎ下面とバラストの接触点は214点から282点に増加していることから, バラストの移動による道床の塑性変形が発生していると思われる. 図7より, 各センサー位置の接触荷重はレール圧力に対して線形的に増加するが, 中央部(S3,S4)の荷重は端部(S1,S2,S5,S6)のそれと比べて小さい. 接触点を比較した場合でも中央部最も少なく, かつ接触点の増加もS4で2点見られたのみである. 図8は, 各実験ケースにおける最大レール圧力に対するまくらぎ下面の最大接触荷重の計測値をプロットし, 近似直線を加えたものである. まくらぎサイズや載荷条件がシミュレーションとは異なることもあり, 解析結果との差異はあるが, 中央部(S3,S4)での接触荷重が端部と比べて小さくなり, 解析値と同様の傾向が見られる.

5. 考察

解析および実験より, まくらぎ中央部での接触荷重は, 端部と比較して小さいという傾向が見られたが, それについての考察を行う. 図9にまくらぎ下面をy方向に10mm毎に区切り, その区間での接触荷重の合計を示す. 沈下がある程度生じたレール圧力40kN以上の接触荷重は, 両端(y=130mm, 370mm)で最大となっている. これは, まくらぎの中央付近のバラストはまくらぎによってその動きが拘束されが, 端部ではまくらぎによる拘束力が弱いため, 回転等の微小移動によるバラスト配列の最密化が行われ, 接触点数が増加する. その結果, まくらぎ端部でのバラストによる支持点が増え, 荷重の分担が大きくなるためと考えられる.

6. まとめ

本論文では, バラストを三次元多面体データとして取り込み, バラスト軌道の一部を構築した. 三次元個別要素法を用いて落錘試験に関する載荷シミュレーションを行い, その結果を落錘試験と比較したところ, まくらぎ下面のバラストとの接触荷重は, まくらぎ端部に集中することがわかった.

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碎石の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.

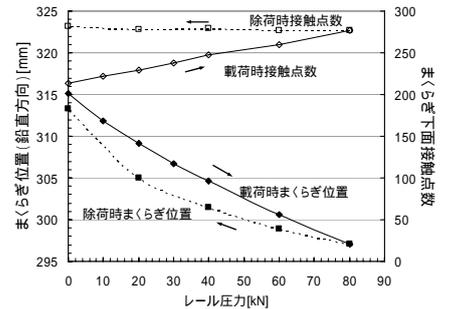


図6 まくらぎ位置と下面接触点数

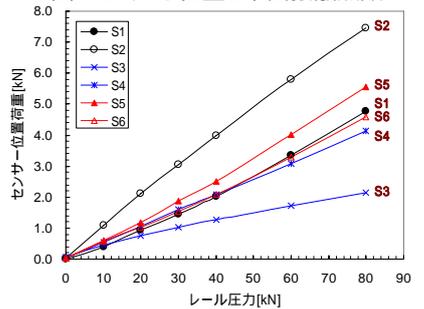


図7 まくらぎ下面センサー位置の接触荷重

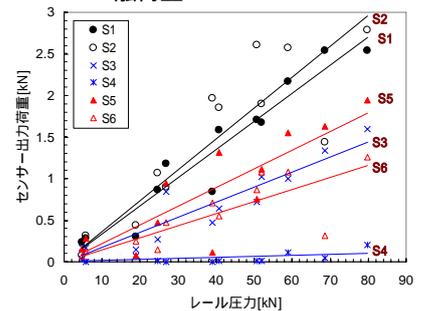


図8 まくらぎ下面の接触荷重

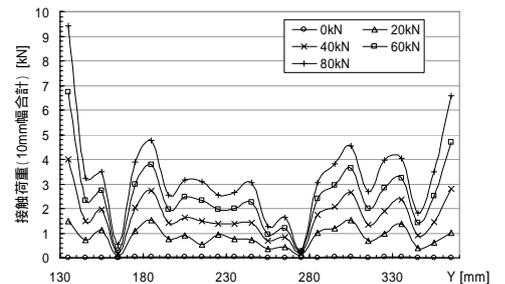


図9 まくらぎ y 方向 10mm 幅毎の接触荷重