

下負荷面モデルを用いた実物大バラスト軌道モデルの基礎検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○木次谷 一平 中村貴久 伊藤孝記

1. はじめに

列車荷重のような繰返し荷重が作用することで、バラスト道床は徐々に塑性沈下して大きく変位していくが、タイタンパ補修等による対策で安全な列車走行を維持している。そのため繰返し荷重によるバラスト道床の弾塑性変形挙動の検討は、補修の効率化を図るうえで意味があると考えられる。

筆者ら¹⁾は、非古典的弾塑性論である下負荷面モデルを用いて細粒分が含まれない新品状態における道床バラストの要素試験に対する数値解析を実施し、下負荷面モデルの適用性について検討した。しかし実務における数値解析手法の適用性を検討するにあたり、複数本のまくらぎから構成される実物大バラスト軌道モデルを対象に、繰返し荷重に対する弾塑性変形挙動を検討する必要があると考えられる。

そこで本報告では新品状態における実物大バラスト軌道モデルを作成し、定点の繰返し載荷における弾塑性変形挙動を実物大模型試験結果と比較した。

2. 下負荷面モデルの物性値

本解析手法で用いる下負荷面モデル²⁾の物性値は表-1に示すように新品状態におけるバラスト用に同定しており、正規降伏面の大きさ F_0 および初期弾性限界面の大きさ r_e は自重解析による繰返し載荷前の初期応力状態から求まる。表-1の物性値を用いて、バラストの繰返し三軸圧縮試験の数値解析を実施した。解析結果を図-1に示す。繰返し載荷回数4000回まで、試験結果の弾塑性変形挙動を再現できており、提案した物性値は新品状態におけるバラストの繰返し載荷による弾塑性変形挙動を再現できると考え、この物性値を用いて下記の実物大バラスト軌道モデルの数値解析を実施した。

3. 実物大バラスト軌道モデルの数値解析

実物大バラスト軌道モデルの繰返し載荷試験の数値解析を実施する。解析モデルを図-2に示す。解析モデルは対称性を考慮して1/2対称モデルとし、レールは断面諸元を50kgNレールに合わせたビーム要素とし、レールとまくらぎを軌道パッドを想定したばね要素で接続した。また道床バラストは高さ方向に4等分しており、各層においてそれぞれ物性値を入力することができる。

境界条件は解析モデルの底面は完全拘束、対称断面の水平方

表-1 新品バラストの物性値

物性値	値	単位
密度	—	t/m ³
ポアソン比	0.3	
正規降伏面の大きさ	—	kPa
正規圧密線の勾配	1.33	
圧密除荷線の勾配	0.003	
限界状態線の勾配	1.29	
下負荷面の発展速度	500	
弾性限界面の発展速度	115	
初期弾性限界面の大きさ	—	
体積弾性係数の補正係数	600	kPa
弾性限界面の発展限界	0.553	

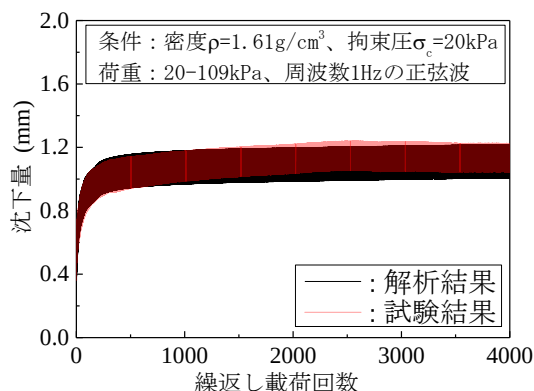


図-1 解析結果（繰返し三軸圧縮試験）

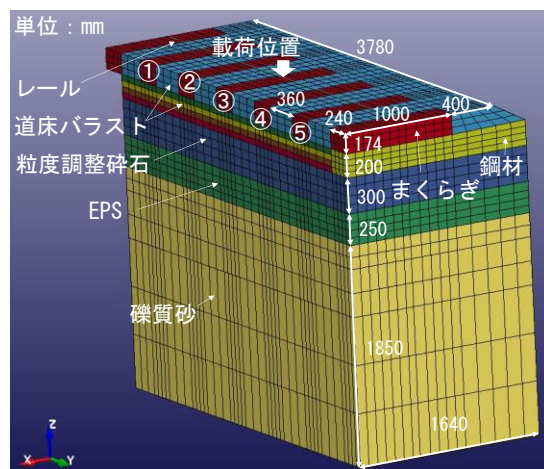


図-2 解析モデル

キーワード 道床バラスト、弾塑性解析、実物大模型試験

連絡先 〒185-0854 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 軌道・路盤 TEL042-573-7276

向の変形および回転を拘束および側面は水平方向の変形を拘束し、軌道の両端のまくらぎは、一方が鋼材の上に敷設されており、他方はまくらぎの底面が完全に拘束されている。また、全まくらぎの側面と道床バラストは2重節点とし、摩擦係数0とした。

ここで解析手順を以下に①～③で示す。

- ① 表-2に示す各材料の物性値を入力し自重解析を実施し、繰返し载荷前の初期応力状態を計算する。ここで自重時に道床バラストは弾性変形するとして弾性材料として扱い、さらに図-2のまくらぎ③の载荷位置に押さえ荷重5kNを载荷した。
- ② 自重解析から得られた道床バラストの初期応力状態から、各道床バラスト層において正規降伏面の大きさ F_0 および初期弾性係数 r_e を算出した。
- ③ 道床バラストの材料を下負荷面モデルに変更し、自重解析から得られた初期応力を引き継いで、繰返し载荷の数値解析を実施する。ここで繰返し载荷は、図-2のまくらぎ③の载荷位置に5～165kNおよび周波数5Hzの正弦波を与えた。

解析結果を図-3に示す。ここで解析結果は、試験結果と同様に载荷したまくらぎ③の端部の節点の鉛直変位量を抽出した。

結果より、繰返し载荷回数1000回までの载荷および除荷における沈下量の推移は、試験結果とよく合致していることがわかった。除荷時の沈下量は解析結果において試験結果より若干小さくなったものの、载荷時の沈下挙動は繰返し回数1000回までにおいて再現性が高いことがわかった。

さらに、载荷するまくらぎ①および②の端部における繰返し载荷終了時における除荷時の沈下量を図-4に示す。解析結果は試験結果の傾向を捉えていることが確認できる。

今回の解析モデルはまくらぎ底面と道床バラストの節点を共有しているため、まくらぎと道床バラスト間の隙間が生じる浮きまくらぎを再現することはできない。そのため、図-4の繰返し载荷回数1000回時の残留沈下量は試験結果と比較して小さくなっており、より再現性の高い数値解析を実施するためには、まくらぎ底面とバラスト道床間の接触について考慮する必要がある。

表-2 物性値

物性値	密度(t/m^3)	ポアソン比	ヤング率(kPa)	ばね係数(MN/m)
3号PCまくらぎ	2.38	0.17	3.50E+07	—
道床バラスト	1.6	0.3	1.00E+05	
レール(鋼材)	7.87	0.3	2.10E+08	
粒度調整砕石	2.213	0.3	3.43E+05	
EPS	0.02	0.1	1.50E+04	
礫質砂	2.25	0.3	7.00E+04	60
軌道パッド	—	—	—	

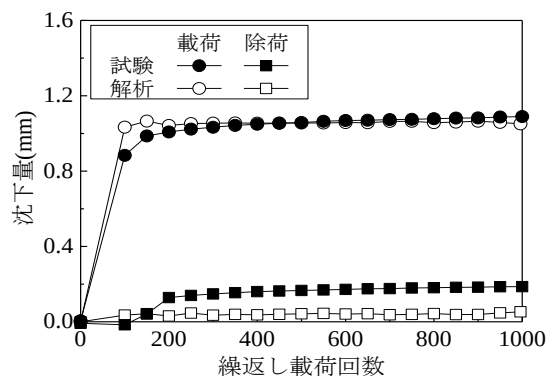


図-3 解析結果(まくらぎ③の端部)

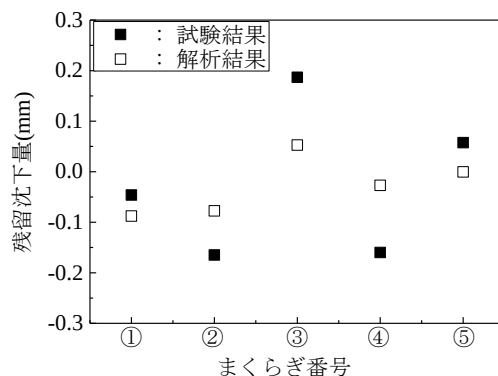


図-4 解析結果(まくらぎ①～⑤の端部)

5. まとめ

実現場を想定した実物大バラスト軌道モデルに対して、下負荷面モデルを用いた数値解析を実施した。その結果、繰返し载荷1000回までにおける軌きょう全体としての弾塑性変形挙動に対して、試験結果を通して概ね表現できることがわかった。今後は、浮きまくらぎを再現するため、まくらぎとバラスト道床間の接触を考慮した数値解析を実施する予定である。

参考文献

- 1) 木次谷、伊藤、中村：下負荷面モデルによる曲線部のバラスト道床に対する弾塑性解析、第54回地盤工学研究発表会、pp:1181-1182、2018。
- 2) 岡安、村本、中村：弾性境界面を考慮した下負荷面モデルによるバラストの繰返し負荷挙動の予測、第49回地盤工学研究発表会、pp:1025-1026、2014。