

IV-408

個別要素法を用いた軌道の動的挙動解析

東海旅客鉄道（株） ○正会員 鬼頭 昭人
 東海旅客鉄道（株） 正会員 長戸 博
 （株）CRC総合研究所 正会員 榊原 辰雄
 （株）CRC総合研究所 上山 誠司

1. はじめに

軌道の上下方向の構造解析手法としては、従来からレールを梁と考えた線形弾性解析が主に用いられてきた。解析モデルとしては、レールが無限に続く弾性支承体上にあり連続的に支持されると仮定する Winkler の連続弾性支承上の梁モデルとまくらぎを各支点と考えて離散的に弾性支持されると仮定する有限間隔弾性支持モデルの2つが一般的である。軌道の弾性を表すレール支点支持ばね係数は、レール支持体を単位長さだけ沈下させる荷重と定義され、軌道パッド及びまくらぎの圧縮、まくらぎの曲げ、道床バラスト及び路盤の沈下による各部材のばねを結合した直列線形ばねとして算出している。¹⁾

本検討では、道床バラスト部のばねを道床バラスト部全体で一つのばねと考えるのではなく、一つ一つの道床バラスト粒子のモデル化を行い、個々の道床バラスト粒子間のばねを考慮することにより、個別要素法を用いて軌道の沈下挙動について解析を行った。

なお、本検討は2次元個別要素法による粒状体解析コード *PFC^{2D}* (*Particle Flow Code in 2 Dimensions*) を用いて行った。この解析コードで用いられている基本式は、ニュートンの運動の第2法則と力と変位関係である。運動法則と力・変位関係式を各ステップ毎に交互に行い、粒子の変位や接触力等を時々刻々と求めるという計算のアルゴリズムとなっている。

2. モデルの作成及び解析条件

道床バラスト粒子は図1に示すように、粒径、バラスト形状の指標である偏平度、細長度を数種類のクランプモデルで表現した。レール、まくらぎのモデル化は各々面接着モデル（パラレルボンディングモデル）、クランプモデルで表現した。軌道パッドは図2に示すようにレールとまくらぎの粒子の法線方向ばね定数を調整しモデル化を行った。なお、クランプとは複数の BALL で構成される集合体を言い、クランプとして定義された集合体は、内部の接触計算が省略されるため、計算時間を短縮することができるという長所がある。

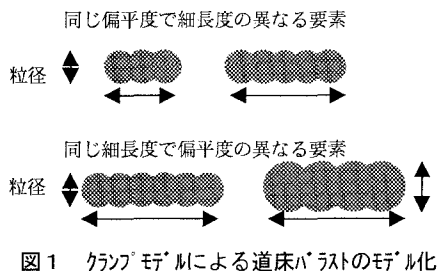


図1 クランプモデルによる道床バラストのモデル化

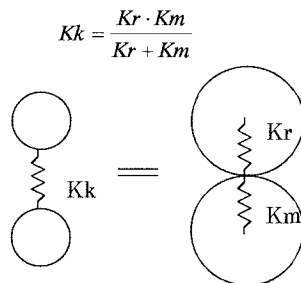


図2 軌道パッドのモデル化

レール、軌道パッド、まくらぎ、道床バラストのモデル化を行い、図3の軌道モデルを作成した。軌道モデル中のバラスト粒子はランダムに発生させたもので、粒度分布は粒径 53.0mm 7%、37.5mm 35%、28.5

キーワード 個別要素法、道床バラスト、ばね定数、弾性材

連絡先 〒454-0815 愛知県名古屋市中川区長良町 1-1 Tel(052)363-7924 Fax(052)369-1501

mm49%、19.0mm9%、形状は細長度22.5%、偏平度13.9%に従うものとした。

レール、まくらぎ、道床バラストに用いた物性パラメータは表1に示すとおりである。境界条件は、レールの両端で回転拘束しレールが連続している状態を再現した。また、まくらぎは鉛直方向のみ変位することができる。底部境界、側方境界をそれぞれ剛とした。荷重条件は、レール中央の粒子に0～17.2tfとなるように13Hzで60秒間動的载荷を行った。なお、粒子の動きに着目することを目的としたために振動の影響を大きくなるように減衰を1%と少なく仮定した。

表1 材料の物性パラメータ

バラスト	法線方向ばね定数	2.0×10^9	N/m
	せん断方向ばね定数	5.0×10^7	N/m
	密度	2690.0	kg/m ³
	摩擦係数	0.268	
まくらぎ (木)	弾性係数	1.8228×10^{10}	N/m ²
	密度	1170.0	kg/m ³
レール (50N)	縦剛性 EI_x	411.6×10^7	Kg·cm ²
	密度	50.4	kg/m

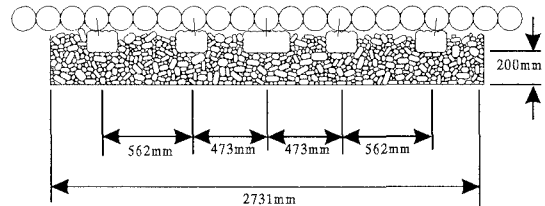


図3 軌道モデル図

3. 解析結果及び考察

解析は道床バラスト粒子間のばね定数を変えた2ケースについて行った。ケース1は表1のとおりとし、ケース2はバラスト間に弾性材を挿入したものをイメージしてまくらぎ下面から50mm下までの間にある道床バラスト粒子間の法線方向ばね定数をワンオーダー落として、 2×10^7 N/mとした。

軌道モデルの中央まくらぎの沈下曲線を図4に示す。ケース1の沈下曲線をみると、初期沈下が終了後、沈下がだらだらと進み、約10秒を過ぎると急激に沈下が進むことがわかる。このときのバラスト粒子の動きを図5、6に示すと、0～8秒までは一般にいう初期の圧密現象、10～15秒の間はバラスト粒子がまくらぎ下から側方へ動く側方流動現象を表しているものと推測される。また、ケース1とケース2の沈下曲線を比較すると、ケース2の方が初期沈下の現象ははっきりと現れずだらだらと沈下をしていくが、初期沈下終了までの時間は長くなり、8秒载荷時の沈下量を比較するとケース2はケース1の約3分の1となり軌道の沈下抑制効果が現れていることがわかる。

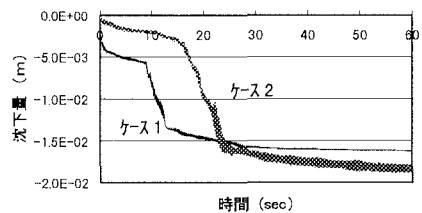


図4 沈下量と時間の関係

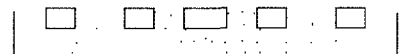


図5 粒子の移動（ケース1、0～8秒）



図6 粒子の移動（ケース1、0～15秒）

4. おわりに

今回の解析では実際の軌道に近い形でモデル化することができた。レールの境界条件については、検討の結果、回転のみ拘束し鉛直方向はフリーとしたが、これは厳しすぎる条件となっていると思われる。実際のレールは軌道方向にまくらぎにて鉛直方向変位を弾性支持され、かつまくらぎも沈下するので、この条件をどのようにモデルに反映させるかを検討する必要がある。また、道床バラストの挙動の性質からすると3次元解析を行うのが最も良いと思われるが、現時点では計算時間が膨大になり現実的ではないものと思われる。

参考文献

- 1) 須田征男、長門彰、徳岡研三、三浦重：新しい線路—軌道の構造と管理—、(社)日本鉄道施設協会、pp. 366～371、1997