

## バラスト軌道の鉛直方向に関する固有振動特性

鉄道総合技術研究所 フェロー会員 ○相川 明

## 1. はじめに

本研究では, バラスト軌道の鉛直方向の固有振動モードを解析的に再現するものである. 図-1 は, バラスト軌道で発生する可能性がある鉛直方向の振動モードの特徴である. ここに剛体振動モードは, まくらぎの質量がバラスト層のばね作用により, 剛体的に上下振動するモードであり, 弾性振動モードは, バラスト層全体が弾性的に伸縮するモードである.

## 2. 実測値によるバラストのリニアスペクトル

図-2 は現場測定値より求めたまくらぎ直下 10cm 位置での変位と加速度のリニアスペクトルである. 別途実施した実物大模型の加振実験結果より, 図中の 100Hz 付近の応答はバラスト層の剛体振動モードによることがわかった. 一方, 300Hz 近傍のピーク形状については, まくらぎの変形挙動を伴う固有振動モードには該当しないことがわかった.

## 3. 落錐衝撃载荷実験による剛体振動モード

バラスト軌道の実物大模型を用いて落錐衝撃载荷実験を行った. 図-3 は約 4000 回の载荷に関するまくらぎの鉛直変位(平均曲線)である. 荷重値は左右レール合計で 217 kN である. 図より, 衝撃荷重が加わると, バラスト層は瞬間的に弾性圧縮・復元し, その後まくらぎの跳ね上がりが発生したことがわかる.

## 4. 大規模有限要素モデルの構築

図-4 はまくらぎ-バラスト系の大規模有限要素モデルである. 本モデルは, バラストの多面体モデルを DEM で締固めて, その接触構造を維持したまま, 約 1cm サイズの四面体 2 次要素に分割したものである. バラスト相互の接触点, および, まくらぎ下面とバラスト層の接触点については, 共有節点(MPC)と, 引張力が作用しない非線形接触ばねにより, 2 種類のモデルを構築した. モデルの規模は, 節点数 705 万, 要素数 415 万である. 本モデルのレール位置に, 実軌道でのレール圧力の実測波形, および, 矩形インパルス波形(左右合計で 100kN)を入力し, 直接法ソルバーMUMPS を用いた FrontISTR による過渡応答解析を実施した.

## 5. 共有節点で接続したモデルの応答解析

図-5 は, 左レール直下のバラストについて, 実測荷重入力時のミーゼス応力である. 本解析では, 45 ms 時点で第 1

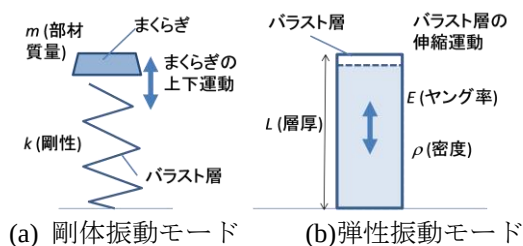


図-1 鉛直方向の固有振動モードの特徴

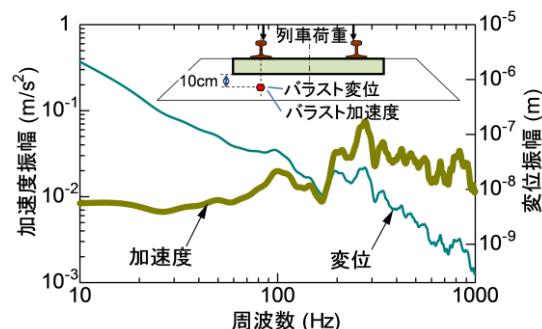


図-2 バラストのリニアスペクトル

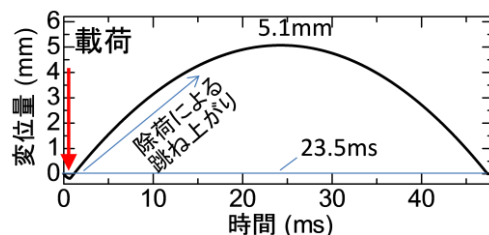


図-3 衝撃载荷後のまくらぎ変位(落錐試験)

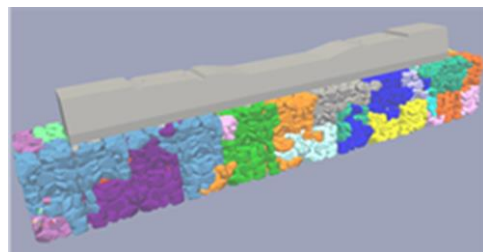


図-4 バラスト軌道の大規模モデル

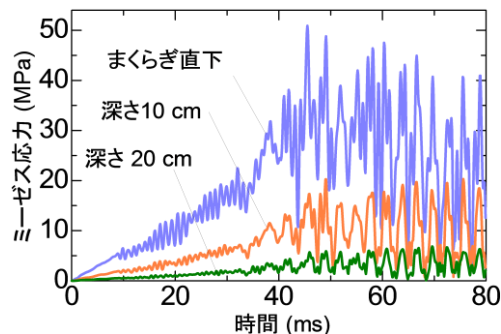


図-5 バラスト稜角部のミーゼス応力(MPC)

キーワード バラスト軌道, 現場測定, 実物大模型実験, 大規模有限要素法, 固有振動数  
連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38, E-mail: aikawa.akira.11@rtri.or.jp

軸が測点直上を通過する。図より、第1軸通過時点から300～400 Hzの大きな振動が発生し、また、深い地点ほど応力値が減少する傾向がわかる。なお、バラスト層全体での最大応力値は80 MPaであった。このことより、通常の走行条件であっても、バラスト内部において、微細な規模の破砕や摩耗などが発生する可能性があるといえる。

図-6は、矩形波入力時のまくらぎ鉛直変位のリニアスペクトルである。本解析では310 Hzで弾性振動モードが発生したが、この値は上述の現場測定値にほぼ一致している。したがって、現場で観測された約300 Hzのピークは、バラスト層の弾性振動によるものと判断できる。

## 6. 非線形ばねで接続したモデルの応答解析

引張応力が作用しないモデルを用いて同様の過渡応答解析を実施した。実測荷重入力に対するバラストのミーゼス応力の時刻歴応答を図-7に示す。図中、プラス方向の動きは圧縮で下向きの挙動を意味し、逆にマイナス方向の動きは、引張で上向きの挙動を表す。前述の共有節点接続の場合と比較すると、最大応力値に大きな差は無い。しかし、波形の細部に着目すると、共有節点接続の場合は、上向きと下向きの微小な動きが規則的に交互に発生し、このことがバラストに高周波振動を誘発することがわかる。一方、非線形ばねの場合は、引張時に応力が発生しないことにより、バラストは断続的に一方向への微小な動きを繰返し、これらの微小な動きが時間軸上で累積されて、低周波の振動が発生することがわかる。本解析では、弾性振動モードの約1/3の周波数で剛体振動モードが発生した。

図-8および図-9はインパルス荷重入力時の、まくらぎ鉛直変位の時刻歴応答とリニアスペクトルである。本解析では約121 Hzで剛体振動モードが発生し、図-8に示すように荷重除荷時にまくらぎの跳ね上がりが発生した。なお、別途実施した実物大加振実験では剛体振動モードは98 Hzで発生しており、本解析の結果と20%ほどの差がある。これは、本解析では、砕石の物性値について、現場の値では無く一般的な値を用いたことが原因している。しかし、解析値は概ね実測値に符合しており、また、弾性振動モードの約1/3の周波数にて、剛体振動モードが発生することが数値解析的に確認できた。

## 7. まとめ

本研究では、バラスト大規模有限要素モデルの接触点情報に関して、共有節点と非線形接触ばねによる2つのモデル化を行い、バラスト層の弾性振動モードと剛体振動モードの2つを再現した。解析結果より、接触点における引張力の有無が、剛体振動モードの発生に大きく影響し、また、弾性振動モードのおよそ1/3の周波数で、剛体振動モードが発生することが解析的に明らかになった。本研究の成果をもとにすると、まくらぎ下面のバラスト層との接触構造の改善が、バラスト劣化現象の低減に大きく貢献するものと推察される。

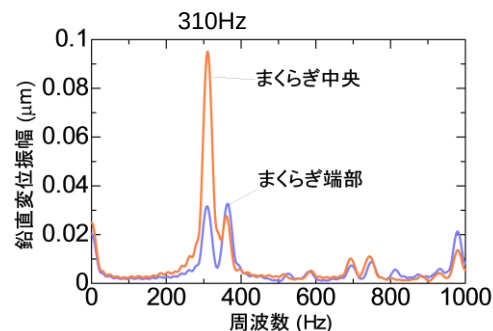


図-6 まくらぎ変位のリニアスペクトル(MPC)

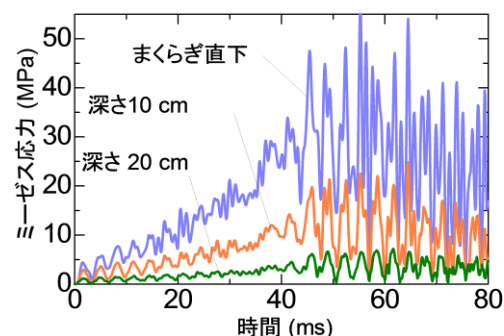


図-7 バラスト稜角部のミーゼス応力(非引張)

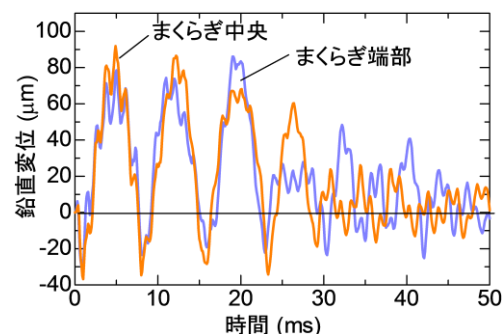


図-8 矩形波入力時のまくらぎ変位(非引張)

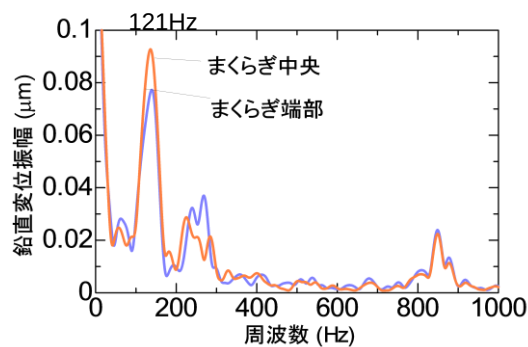


図-9 鉛直変位リニアスペクトル(非引張)