

鉄道車両の走行時のまくらぎ負荷に関する解析的検討

九州大学工学部 学生会員 ○備瀬 翔太
九州大学大学院 学生会員 路 馳
九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. 目的

我が国では、PC まくらぎが導入された 1951 年以降に多くの PC まくらぎが製造、設置されてきた。しかし、近年では多くの PC まくらぎが耐用年数の目安とされている 50 年を超えており、これらの長年月使用されてきた PC まくらぎの早期時期が迫っている。将来的に、PC まくらぎの合理的な更新・維持補修計画を立案するためには、既存のまくらぎの残存耐力を正確に評価し、長寿命化を図ることが期待される。本研究では、その基礎的段階として、まくらぎを含む鉄道軌道の動的応答特性を精度良く評価できる手法を開発することを目的として、3 次元有限要素で鉄道軌道をモデル化し、鉄道車両の走行時のシミュレーションを行い、まくらぎにかかる負荷を検討した。

2. 内容

本研究では、まくらぎに作用する負荷を解析的に求めるために、汎用有限要素解析ソフト *MSC. Marc* を用いた動的接触解析を行った。鉄道軌道や車輪等は全て弾性体と仮定し、8 節点 3 次元要素でモデル化して、まくらぎ底面に発生する鉛直方向の接触力を求めた。

2.1. 解析対象と解析モデル

本研究の解析対象として、走行車両に JR 九州 305 系電車を想定し、1 車両の前輪 2 輪の走行状態を再現した。解析モデルは、対称性を考慮した片側レールを対象としたモデルを用いた。車輪は 2000mm 間隔で、まくらぎは 600mm 間隔で 20 本配置した。車輪には実車両および乗客相当の荷重が作用することを考慮するために車輪の車輪上部に重量体を配置し、車輪中央に設けた節点とばね剛性 12000N/mm のばねで接続した。モデルの寸法及び方向を図-1, 2 に示す。また、本研究では浮きまくらぎをモデル内に取り入れ、6 番目から 14 番目までのまくらぎを高さ 0.5mm の浮きまくらぎとした。(図-3)

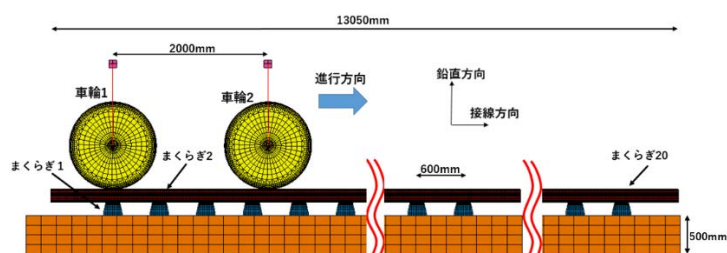


図-1 解析モデル

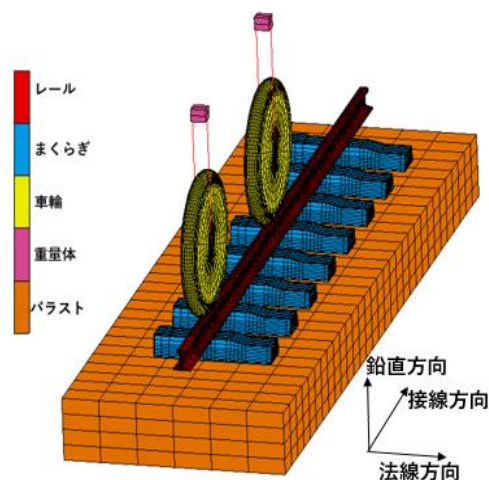


図-2 モデルの方向

2.2. 解析条件および解析ケース

境界条件として、レール及びまくらぎを接線方向及び法線方向に拘束した。重量体は鉛直方向及び法線方向に拘束した。バラスト底面はすべての方向を拘束した。また、車両の走行解析を行う前に自重により車輪が軌道で支えられた釣り合い状態を再現する解析を行い、それを初期条件としている。本研究では車両速度及び浮きまくらぎ区間の有無をパラメータとして4つの解析を行った。それぞれのケースにおいて車輪の走行距離は8.333mである。解析ケースを表-1 に示す。

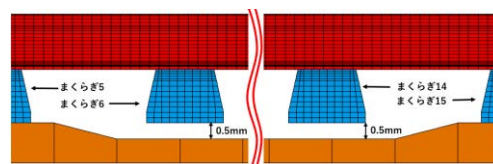


図-3 浮きまくらぎの設置

キーワード 有限要素法, まくらぎ, 接触力, 鉄道軌道

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 11 階 1102 号室構造解析学研究室 TEL092-802-3370

2.3. 材料特性

レールと車輪には密度 $7.7(\text{g}/\text{cm}^3)$, 弾性係数 $2.1 \times 10^5(\text{N}/\text{mm}^2)$, ポアソン比0.3の一般的な鋼材と同じ値を用いた. まくらぎに使用したコンクリートは密度 $2.3(\text{g}/\text{cm}^3)$, 弾性係数 $4.3 \times 10^4(\text{N}/\text{mm}^2)$, ポアソン比0.2の値を入力した. バラストには剛性が $44.8 \text{ kN}/\text{mm}$ となるように弾性係数を求め, 入力した. 材料特性を表-2に示す.

3. 解析結果及び考察

接触力はまくらぎ底面に存在する各節点に作用する鉛直方向の接触力を合計して算出した. 解析結果は速度間で解析時間が異なるため, 横軸を車両(車輪)の走行距離とし, 同じ車輪の通過位置で発生する接触力が比較できるようにした. (図-4,5)

3.1. まくらぎ 5 (支持まくらぎ区間)

図-4,5 より,全てのまくらぎが支持されているケース 1 及び 2 から,速度間で最大接触力に明確な差は認められず, 荷重が移動している様子が確認できた. また, 車両速度が速いほど接触力の振幅が大きく,最大値は僅かに大きいことが確認できた. ケース 3 及び 4 については, 浮きまくらぎが無い場合と比べて支持するまくらぎの本数が減少したことで接触力の値はかなり大きくなることが認められた.

3.2. まくらぎ 10 (浮きまくらぎ区間)

図-6 より,まくらぎ 10 は, 浮きまくらぎ区間となるが, 浮きが存在する 3 及び 4 においても車輪がまくらぎを通過する際にまくらぎとバラスト間の接触が生じ, 接触力が発生した. ただし, レールのたわみが比較的に小さいため, 浮きが無い場合にまくらぎに作用する力の 1/3 程度の値となる結果が得られた. また, 支持まくらぎ区間と同様に速度が速いほど接触力の振幅が大きいことも認められた.

4. 結論と今後の課題

本研究から,まくらぎの支持状態に関わらず, 速度が速いほどまくらぎへの負荷が大きいことが確認された. また, 浮きまくらぎがあると, 隣接するまくらぎに作用する接触力は大きくなるため, 隣接するまくらぎは力学的な損傷進展が早くなりうることを確認できた. 今後は, より速い速度で車両が通過した時のまくらぎに働く負荷を検討していく予定である.

表-1 解析ケース

	車両速度	解析時間	浮きまくらぎの有無
ケース1	50km/h	0.6秒	無
ケース2	100km/h	0.3秒	無
ケース3	50km/h	0.6秒	有
ケース4	100km/h	0.3秒	有

表-2 材料特性

	車輪	レール	まくらぎ	バラスト
密度(g/cm^3)	7.7	7.7	2.3	—
弾性係数(N/mm^2)	2.1×10^5	2.1×10^5	4.3×10^4	100
ポアソン比	0.3	0.3	0.2	—



図-4 まくらぎ位置と浮きまくらぎ区間

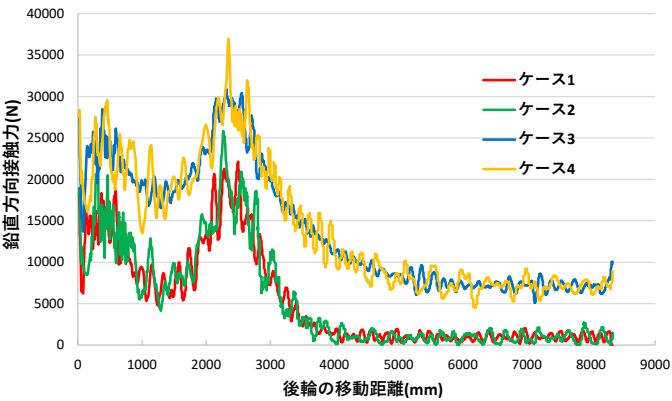


図-5 まくらぎ 5

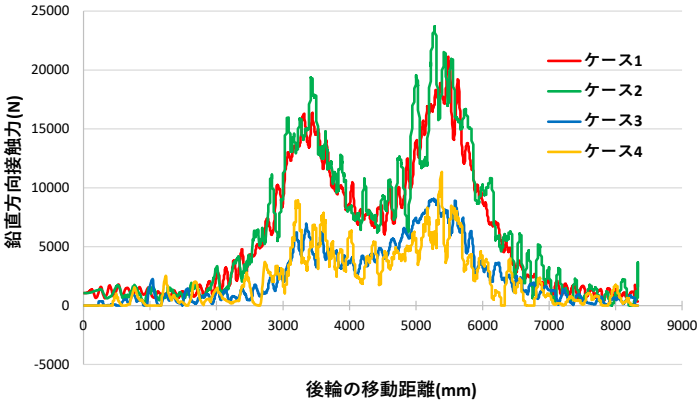


図-6 まくらぎ 10