

まくらぎ支持条件がレール損傷箇所の走行安全性に及ぼす影響の基礎的評価

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○塩田 勝利
(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 西宮 裕騎

1. はじめに

レール損傷箇所の走行安全性を適切に評価することは、鉄道事業者において徐行条件などの施策を決める上での必要要件であり、既往の研究では様々な条件を考慮した各種検討が行われている。ただし、レール損傷箇所の走行安全性には複数の要因が影響することがわかっており、実軌道の様々な軌道・車両状態が走行安全性に及ぼす影響の把握についてより深度化する必要がある。そこで、本研究では、影響要因の一つであるまくらぎ支持条件がレール損傷箇所の走行安全性に及ぼす影響について走行シミュレーションによる基礎的評価を行った。

2. 解析モデル

解析モデルを図1に示す。解析モデルは過去に構築し、妥当性が確認されているものを用いた²⁾。軌道はレール・まくらぎ・下部構造を梁要素とばね要素でモデル化し、車両は車体・台車・輪軸を剛体とし、それらをばね・ダンパで結合しモデル化した。車輪・レール間の接触については図1-(c)に示すように、開口部通過時に車輪とレールが三次元で複雑に接触する状態を考慮できるものとした。レール損傷箇所付近の設定状況を図2に示す。去り側レール変位が増加し、乗り移りに関して厳しい条件となるようレール開口部は列車進行方向の受け側まくらぎに近い位置とした。

3. 解析条件

本研究では在来線旅客車両を対象に、まくらぎ支持条件を変化させた場合のケーススタディを実施した。解析条件を表1に示す。なお、まくらぎ支持条件については、まくらぎの支持ばね定数を検討変数とし、噴泥や浮きまくらぎを想定した軟らかい状態³⁾からスラブ軌道相当の固い状態まで検討を行った。また、支持ばねの方向は鉛直、左右、前後方向とした。なお、検討する支持ばね定数は軌道全長で同一の値とした。走行安全性は、脱線係数が目安値0.8を超過する継続時間(以下、「脱線係数超過時間」とする)に着目し、過去の研究⁴⁾から走行安全上問題ないとされている15msecを指標とし、評価・比較を行った。15msec未満であれば営業走行が可能であるため、超過した場合でもただちに脱線に至るものではない。また、脱線の挙動を示すかについて、乗り移り時の車輪上昇量に着目し、車輪フランジとレール踏面の幾何学形状から、過度に上昇しない範囲を3mm程度とし、各条件の挙動を確認した。なお、車輪上昇量は、乗り移り時の車輪鉛直変位とした。

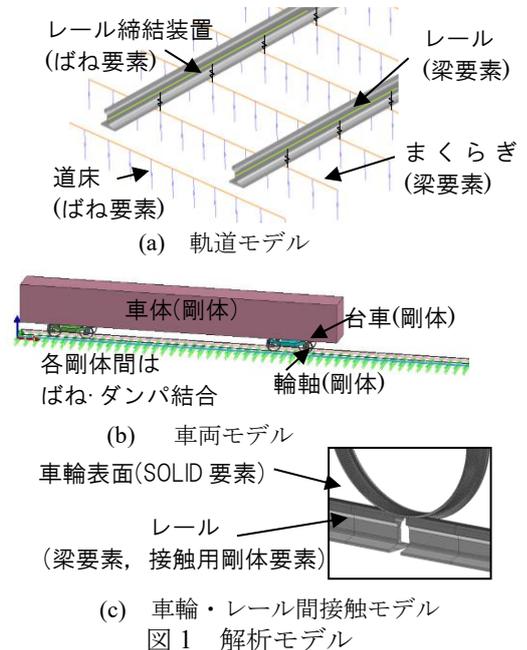


図1 解析モデル

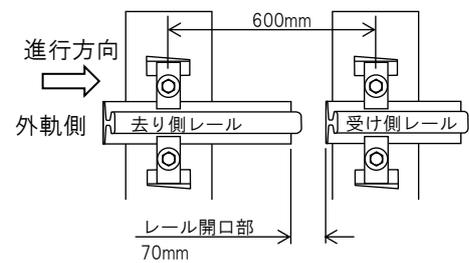


図2 開口部周辺

表1 解析条件

設定条件	諸元
車両	在来線旅客車両
車両総重量	34t
車輪踏面形状	修正円弧踏面
走行速度	70km/h
曲線半径	R600
レール	50kgNレール
軌間	1067mm
カント	0mm
軌道構造	PC6号9形
軌道パッドばね定数	110MN/m
レール支持間隔	600mm
レール開口量	70mm
まくらぎ支持ばね定数* 【検討変数】	【基本条件】各方向 20MN/m/まくらぎ (鉛直) 5, 10, 20, 50, 100, 300 MN/m/まくらぎ (左右) 5, 10, 20, 50, 100, 300 MN/m/まくらぎ (前後) 5, 10, 20, 50, 100, 300 MN/m/まくらぎ

*20MN/m/まくらぎを基本条件とし各変数を設定

キーワード レール損傷, 走行安全性, 脱線係数, 車輪上昇量

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道構造 TEL042-573-7275

4. 解析結果

(1) 鉛直支持ばね定数

まくらぎの鉛直支持ばね定数別の解析結果を図3に示す。解析の結果、今回検討した5~300MN/m/まくらぎの範囲では、50MN/m/まくらぎを境に、まくらぎ支持ばね定数が小さくなるほど脱線係数超過時間および車輪上昇量が増加する結果となった。一方、50MN/m/まくらぎよりも支持ばね定数が大きくなった場合においても、脱線係数超過時間および車輪上昇量が増加する結果となった。これらについて、まくらぎ支持ばね定数が小さい場合には、去り側レールの鉛直変位が増加し受け側レールとの段違い量が大きくなると想定され、乗り移り時の車輪とレールの接触力が大きくなり輪重抜けの時間が増大するためであると考えられる。一方、まくらぎ支持ばね定数が大きい場合には、乗り移り時の衝撃がばね定数の増加に伴いまくらぎ下で吸収されにくくなり、その衝撃が車両側に伝わると想定され、輪重抜けの時間が増大することが影響していると考えられる。なお、支持ばね定数が5MN/m/まくらぎの条件において15msecを超過する結果となったが、その際の車輪上昇量は1.5mm程度でありレールを乗り越えるほどの車輪上昇量には達しておらず、脱線に至る挙動を示すものではなかった。

(2) 左右支持ばね定数

まくらぎの左右支持ばね定数別の解析結果を図4に示す。解析の結果、各条件において明確な差はみられなかった。このことから、まくらぎの左右方向の支持条件が走行安全性に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

(3) 前後支持ばね定数

まくらぎの前後支持ばね定数別の解析結果を図5に示す。解析の結果、前後のまくらぎ支持ばね定数が大きくなるほど脱線係数超過時間が短くなり、また、車輪上昇量が小さくなる傾向がみられた。ただし、その変動幅は6.9%以下と小さく、まくらぎの左右方向の支持条件が走行安全性に及ぼす影響は小さいと考えられる。

5. まとめ

本研究では在来線旅客車両を対象に、まくらぎ支持条件がレール損傷箇所の走行安全性に及ぼす影響について基礎的検討を行った。その結果、今回検討した条件下において、鉛直方向では支持ばね定数50MN/m/まくらぎを境に、ばね定数が変化した場合に脱線係数超過時間および車輪上昇量が増加する傾向にあることがわかった。また、左右・前後方向のまくらぎ支持ばね定数の影響は小さいことがわかった。なお、本傾向は走行速度や軌道線形によっても影響を受けると考えられるため、今後はこれらの条件を踏まえ、検討を深度化する予定である。

参考文献

- 1) 例えば、西宮裕騎ほか：軌道変位を考慮したレール損傷時の徐行条件の評価、鉄道工学シンポジウム論文集、第21号、p.p.145-152、2017.7
- 2) 西宮裕騎ほか：動的陽解法有限要素法を用いた鉄道車両の走行解析手法の構築、応力学論文集 Vol.21、p.I_649-I_660、2018
- 3) 伊藤孝記：FWDを用いた軌道支持剛性評価法の開発、施設研究ニュース、2013.10
- 4) 石田弘明ほか：鉄道車両の高周波輪重変動下における走行安全性評価に関する研究、日本機械学会論文集(C編)、第71巻、第702号

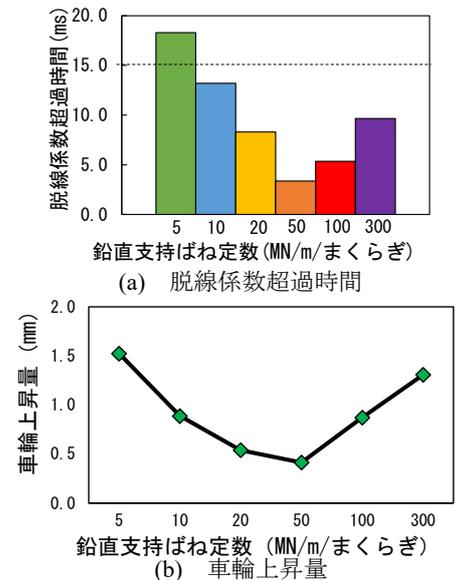


図3 鉛直支持ばね定数別の比較

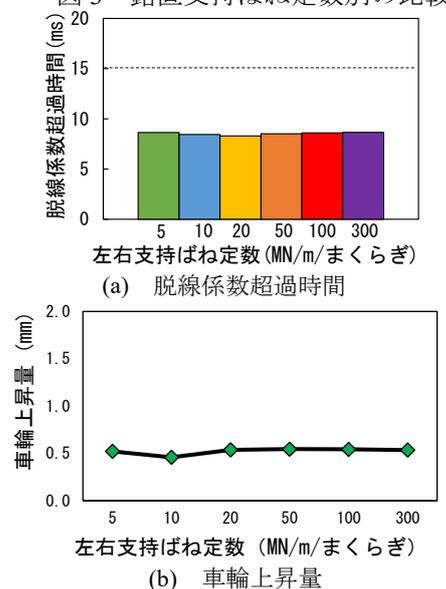


図4 左右支持ばね定数別の比較

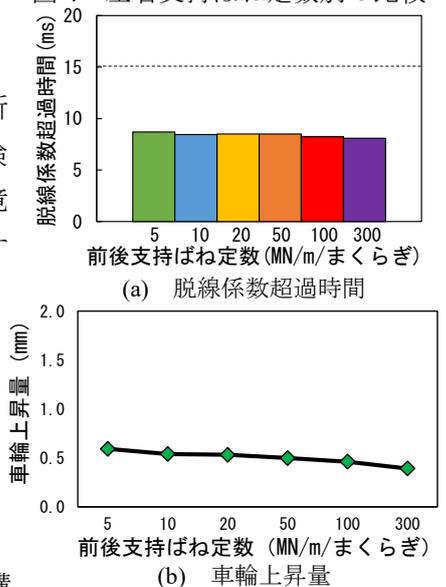


図5 前後支持ばね定数別の比較