

フローティングスラブ軌道における車両走行シミュレーション

東京大学

東京大学

鉄道総合技術研究所

学生会員 ○新井 進太郎

正会員 蘇 迪

正会員 田中 博文

1. はじめに

近年，都市部の地下に建設された鉄道において，フローティングスラブ軌道の急曲線区間で外軌のゲージコーナー部に波長 20cm 程度の波状摩耗が発生している事例が報告されている⁽¹⁾．この区間でレール交換直後の波状摩耗がない状態で実施された車両走行試験において，前述の波長の波状摩耗上を車両が走行した際に励起される周波数である 60Hz 程度の振動の卓越が確認されている．このことから本軌道において卓越する 60Hz 程度の振動が波状摩耗の発生に寄与していることが考えられるが，この振動が軌道構造のどの部分に由来するものかは不明で，有効な対策の提案には至っていない．

そこで本研究では，フローティングスラブ軌道上を車両が走行するシミュレーションを行い，この軌道構造の振動特性を評価した．また，波状摩耗抑制に効果があると考えられる変更を施したケースでシミュレーションを行い，各ケースにおける軌道各部の振動低減効果を評価した．

2. シミュレーションモデル

2.1 軌道モデル概要

軌道部は有限要素解析ソフト ABAQUS を用いてモデル化した．図 1 に，解析モデルの概観図を示す．



図 1 曲線軌道モデルの概観図

今回の解析では軌道振動の再現性向上を目的とし，レール・まくらぎ・フローティングスラブ部を 6 面体ソリッド要素で分割した．モデル長はスラブ板の単位長さである 20m としている．また，レールとまくらぎ間にあるレールパッドと，フローティングスラブとト

ンネル内インバート間にあるコイルばねに関しては，図 2 に示すように別途ばね・ダッシュポッド要素を組み込むことで実物の挙動を再現した．

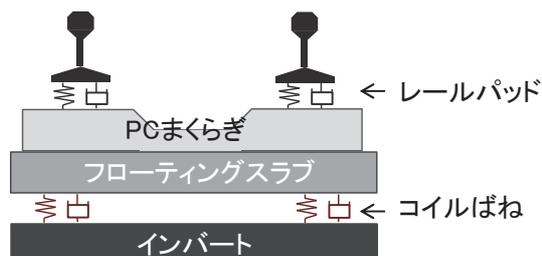


図 2 軌道の各要素の位置関係

2.2 車両モデル概要

車両部の挙動については，車体・台車が各 5 自由度，輪軸が 3 自由度の合計 27 自由度の運動方程式を解くことで求めた⁽²⁾．これに加え今回の解析では曲線部を走行する車両の応答に着目するため，カントによる輪重・横圧の分配を考慮した座標変換を計算プログラムに追加した．車両の通過速度はモデル対象とした曲線に合わせて 40km/h とし，1 両編成の通勤型車両の付随車をモデル化した．

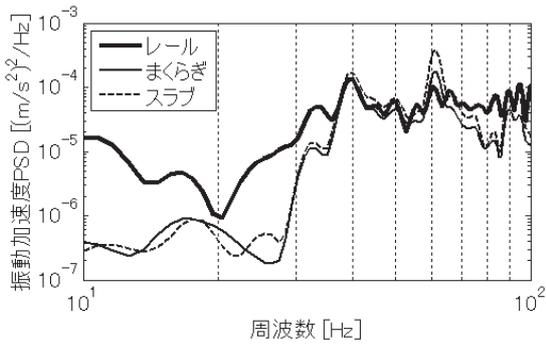
3. 解析結果

3.1 曲線区間のシミュレーション結果

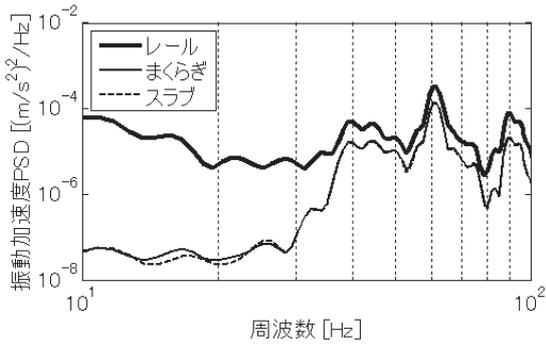
図 3 に，シミュレーション結果のうち外軌側軌道各部の振動加速度 PSD を示す．上下方向・左右方向いずれの PSD においても，60Hz 付近でピークを確認することができ，特に左右方向で顕著な卓越が見られた．上下方向の 60Hz 付近はレールよりもまくらぎ・スラブが大きく振動していることから，このピークは軌道全体が振動するモード由来のものであると推測される．これ以外にも左右方向では 40Hz，90Hz 付近に，上下方向では 40Hz 付近に明瞭なピークを確認することが出来た．上下振動は左右振動に比べて 60Hz 以上の周波数域でレール部のスペクトルに明瞭なピークが見られず，振動の異方性が確認された．

キーワード：波状摩耗，有限要素解析，車両走行シミュレーション，軌道振動

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

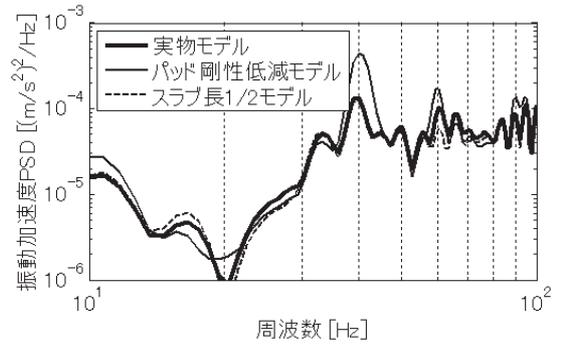


(a)上下振動加速度

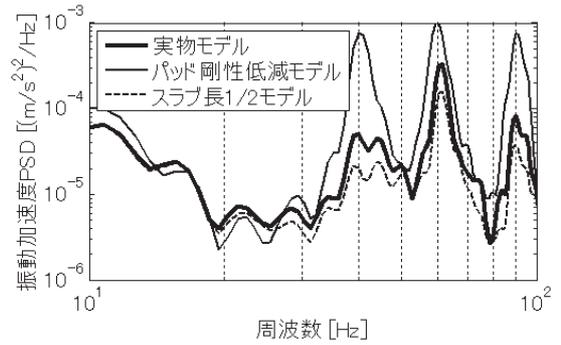


(b)左右振動加速度

図 3 フローティングスラブ軌道における車両走行シミュレーションの外軌側振動加速度 PSD



(a)上下振動加速度



(b)左右振動加速度

図 4 対策工のシミュレーション結果 (レール振動)

3. 2 対策工のシミュレーション結果

波状摩耗の発生を抑制するための研究として、特殊な締結装置を用いることによって、鉛直方向の軌道支持剛性を低減させる手法が報告されている⁶⁾。これを参考にレールパッド値を 1/10 に設定したモデルと、卓越周波数の抜本的な変更を目的としスラブ板の単位長さを半分の 10m にしたモデルを作成し、それぞれ同条件で走行シミュレーションを行いモデル中央部の外軌側のレールの加速度 PSD を比較した。

図 4 に、シミュレーション結果を示す。レールパッドの剛性を变化させたケースでは 60Hz 付近での振動加速度が増幅される上、他のピークも励起される結果となっており、振動抑制効果は見られない。一方、スラブ板の単位長さを半分の 10m にしたケースでは上下・左右ともに 60Hz 付近のピークが抑えられ、左右方向では 40Hz, 90Hz 付近の振動も低減している。これは 3. 1 節で述べたスラブ板を含む軌道全体での振動モードがスラブ板の長さが変わることで大きく変化し、60Hz 付近の固有モードが変化したことが原因と考えられる。既開業の営業線において、スラブ板の長さを変えることは施工上の問題から実現は難しいが、今後のフローティングスラブ軌道の設計に向けて本シミュレーション手法の活用が考えられる。

4. まとめ

フローティングスラブ軌道における外軌波状摩耗の発生に寄与していると考えられる 60Hz 付近の卓越振動の発生原因を解明するために、FEM の軌道モデル上を車両が走行するシミュレーションを行った。その結果、振動加速度は左右・上下共に 60Hz 付近にピークが見られ、実現象との一致が確認された。対策工としてはスラブ板の単位長さを半分にすることで振動モードを变化させたものが効果的である可能性を示した。なお、本軌道に隣接する防振まくらぎ軌道では外軌波状摩耗は発生しておらず、これら他の軌道形式と比較したシミュレーション結果については別途報告する予定である。

参考文献

- (1) 田中博文, 清水惇, 古川敦, 菊池圭介, 地子給和行: 振動特性に着目した直結系軌道における急曲線外軌波状摩耗の発生要因の推定, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第 15 号, pp. 140-147, 2010.
- (2) Di Su, Yozo Fujino, Tomonori Nagayama, Jaime Hernandez, and Masaki Seki: Vibration of reinforced concrete viaducts under high-speed train passage: measurement and prediction including train-viaduct interaction, Structure and Infrastructure Engineering, vol. 6, pp. 621-633, 2010.
- (3) 田中博文, 清水惇, 佐野弘典, 辻江正裕: 低ばね定数型レール締結装置の試験敷設と波状摩耗抑制効果の検証, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第 18 号, pp.15-22, 2014.