

マルチボディダイナミクスによる車両運動解析の妥当性検証に関する一考察

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○西宮 裕騎
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 細田 充
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 田中 博文

1. はじめに

車両の運動と軌道の弾性変形による動的相互作用を考慮したシミュレーションが、軌道の設計や評価に広く用いられている。近年、その計算精度を保証するため、シミュレーションの妥当性を定量評価することが求められている。本研究では、車両および軌道の運動シミュレーションの精度検証を目的とし、諸元が比較的明確な車両と軌道を対象として車両運動シミュレーションを実施し、実車走行実験結果との比較検証を行った。

2. 解析モデル

使用した解析モデルを以下に示す。解析には、汎用のマルチボディダイナミクスツールである「SIMPACK」を用いた。

(1) 車両モデル

車両モデルを図1に、解析諸元を表1に示す。対象として、過去の実験などから詳細な諸元が得られている試作台車を装架した試験車両を用いた。台車形式はモノリンク式のボルスタレス台車である。車両モデルは車体、台車、輪軸の各質点で構成される1車両モデルとし、各質点間の結合については、ばね・ダンパ要素によりモデル化した。車両モデルの総自由度は30である。車輪・レール間のクリープ力の計算モデルにはFASTSIM¹⁾を用い、その断面形状は設計断面を用いた。

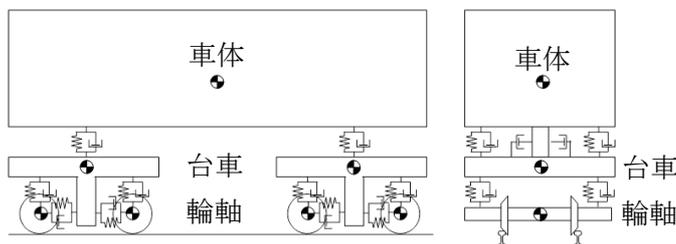


図1 車両モデル

表1 解析諸元

項目	諸元
台車中心間距離	14.4m
軸距	2.1m
ばね上質量(車体質量)	24.6t
ばね間質量	1.5t/台車
ばね下質量	1.5t/輪軸
車輪踏面形状	修正円弧踏面
レール種別	50kgN レール
軌間	1067mm
レール鉛直支持ばね	30MN/m/締結
レール横支持ばね	35MN/m/締結

(2) 軌道モデル

軌道は、過去の実験から諸元が明らかなバラスト道床の構内実験線を対象とした。マルチボディダイナミクスによる車両運動解析では、レールを剛体と仮定したモデルが用いられることがあるが、本研究ではレール・まくらぎ・地盤を車輪直下に追従する質量とし、その間をばねとダンパで結合したモデルを用いる。このモデルを移動支持ばねモデルと称し、概略を図2に示す。移動支持ばねモデルのばね特性は、離散支持されたレールの上下剛性と等価になるように、剛性等を換算する必要がある。そこで、レールとその支持ばねを弾性床上の梁と仮定し、表1に示すレール鉛直・横支持ばね係数を移動支持ばねモデルのばね特性に換算した。なお、換算に使用するまくらぎ間隔は600mmとした。

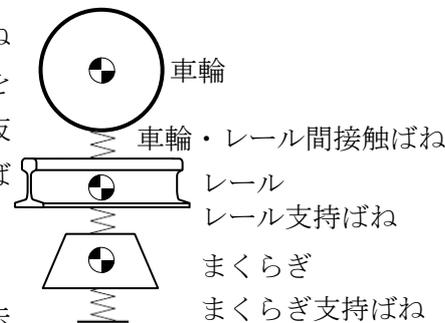


図2 移動支持ばねモデル

3. 解析と実験結果の比較

解析結果の比較検証のため、前述の車両と軌道を用いて実施された過去の実験²⁾を参照する。実験軌道の軌道変位を図3に示す。高低変位と通り変位については、6m~25mの波長成分を対象とした復元波形を求めて設定した。なお、構内実験線のため、意図的に著大な軌道変位を設定している。

キーワード マルチボディダイナミクス, SIMPACK, 移動支持ばねモデル, 車両運動

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

実験とシミュレーション結果の比較を図4に示す。本研究では、輪重と横圧の低周波成分を比較検証するため、各諸量にカットオフ周波数 10Hz のローパスフィルタ処理を施した。図4から、本シミュレーションは輪重と横圧の低周波成分の傾向を概ね捉えており、キロ程 250m~450m 区間の外軌横圧の平均値は実験値と比較して約 20%程度の誤差であり、内軌横圧は 32%程度の誤差であった。同様に、キロ程 550m~600m 区間の外軌横圧の平均値は約 1%、内軌横圧の平均値は 61%の誤差であった。内軌横圧の誤差は、車輪・レール間の摩擦係数が影響していると考えられる。キロ程 200m~250m 区間では、実測の外軌横圧が増加しているが、シミュレーションでは増加量が少ない。これは、軌道変位、車輪・レールの断面形状などが、実験とシミュレーションとで差があるためであると考えられる。計算精度を向上させるためには、軌道変位や車輪・レール間の摩擦係数の設定の見直し、車輪およびレールの断面形状を実測から設定することなどが考えられる。

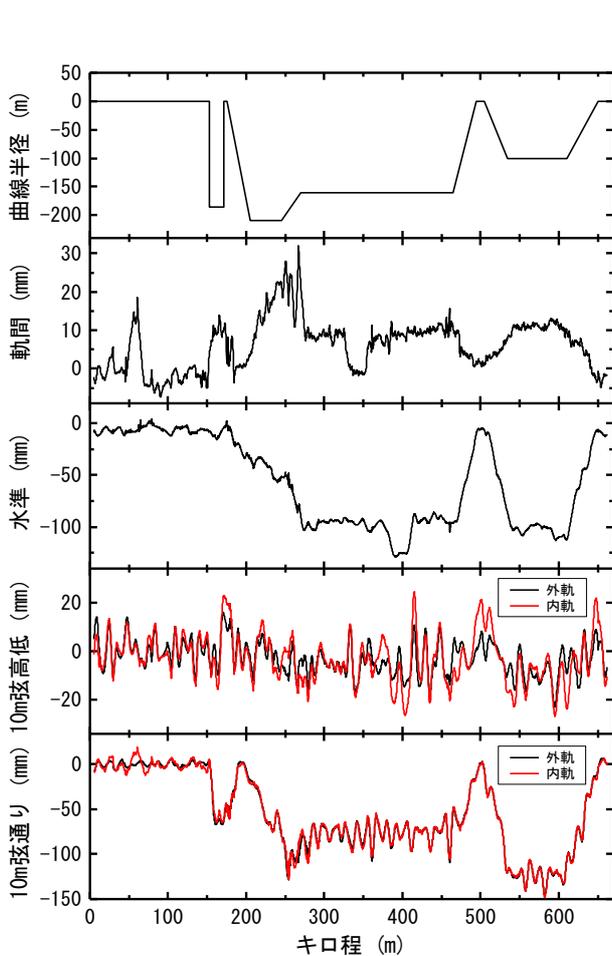


図3 軌道線形および軌道変位

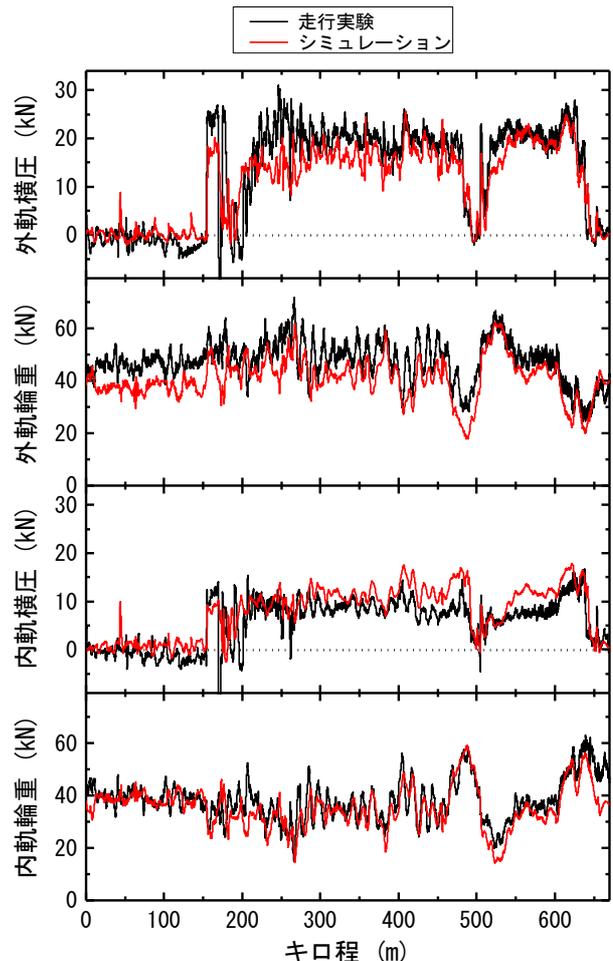


図4 走行実験とシミュレーションの比較

4. まとめ

本研究では、車両と軌道の相互作用を考慮したシミュレーションの精度検証を目的とし、諸元が明らかな車両と軌道を対象として車両運動シミュレーションを実施し、実車走行実験結果との比較検証を行った。その結果から、本シミュレーションにより得られた輪重と横圧の低周波成分の計算精度を確認した。今後、計算精度を向上させるため、軌道変位の設定、車輪・レール間の摩擦係数、車輪踏面およびレール頭面形状の設定などを改良し、計算精度を向上させる予定である。

参考文献

- 1) Kalker, J.J. : A Fast Algorithm for the Simplified Theory of Rolling Contact, Vehicle System Dynamics, Vol.11, pp.1-13, 1982.
- 2) 西宮裕騎, 平出壮司, 片岡宏夫 : 試験線におけるレール開口部走行試験, 第 21 回鉄道技術連合シンポジウム J-RAIL2014, S2-1-3, 2014.