

大型試験装置と車両運動シミュレーション

下村 隆行

車両構造技術研究部(車両運動 主任研究員)

宮本 岳史

鉄道力学研究部(車両力学 主任研究員)

松本 信之

鉄道力学研究部(構造力学 研究室長)



しもむら たかゆき



みやもと たけし



まつもと のぶゆき

はじめに

車両運動シミュレーションの精度を向上するため、鉄道総研の車両試験台を活用して実車の台車ばね系諸元の同定を行いました。また、地震時の車両挙動を解析し、大型振動台を使った実物台車の加振実験により、車輪の乗り上がりや跳び上がり精度良く表現できることを確認しました。このように、鉄道総研では常に解析精度の向上を図りながら、車両運動シミュレーションを車両の設計や乗心地向上のための改良、走行安全性評価などに活用しています。

車両試験台の活用例

本装置は、車両の運動特性や駆動制御性能などの試験に使用します。実物車両一両を用いて走行を模擬する試験装置としては国内唯一のもので、速度500km/hまでの試験が可能です。車両の運動特性としては、走行安定性、正弦



図1 車両試験台の試験風景

波を用いた周波数応答、実際の軌道不整を入力とする振動乗心地性能等を試験することができます。

この車両試験台において一両モデルの上下および左右方向の周波数応答試験を実施し、台車ばね系諸元を同定しました。

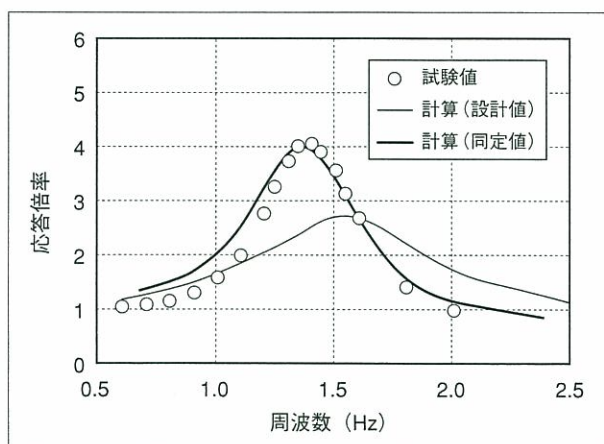


図2 上下方向の周波数応答結果

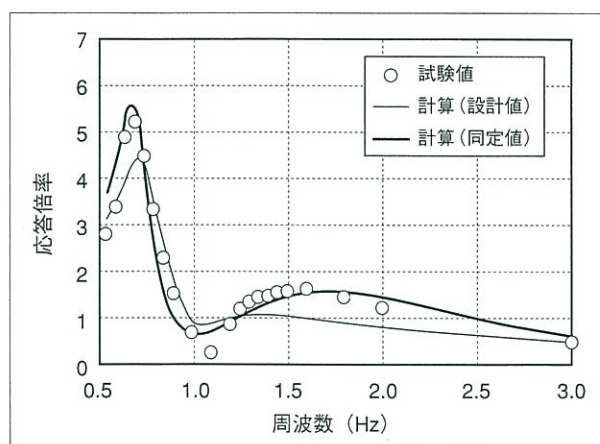


図3 左右方向の周波数応答結果

諸元の同定は、加振入力に対する各部の応答について、質量特性や軸距などを既知として計算した結果と試験結果とを比較検討することにより行います。試験風景を図1に示します。

試験結果と計算結果を図2、図3に示します。図2が上下方向、図3が左右方向の周波数応答です。設計値を用いた計算結果と試験結果の応答倍率を比較すると、上下方向の周波数応答試験では1.4Hz付近に、左右方向の周波数応答試験では0.7Hzと1.6Hz付近に差が認められますが、同定値を用いた計算結果は試験結果と良く一致していることがわかります。

前述の周波数応答結果から求めた同定値の妥当性を検証するため、本線の直線

区間を130km/hで走行した際に測定された車体の振動加速度波形と、同定値を用いたシミュレーションによる波形を比較しました。その結果を図4、図5に示します。図4が進行前台車直上の車体上下振動加速度、図5が進行前台車直上の車体左右振動加速度です。図に示すように、両者は加速度の大きさや変動の周波数がほぼ一致しています。したがって、車両試験装置において台車ばね系諸元の同定を行うことにより、本線の直線区間を走行した場合の車両の運動を精度良く予測できることがわかります。

シミュレーションによって車両の運動を再現するには、解析モデルの妥当性ととも、モデルに対応した正確な諸元を

入力することが重要です。ここでは、台車ばね系諸元を精査する一手法として、車両試験台の軌条輪加振機能を活用した事例を紹介しました。この実験結果を用いてシミュレーション計算を行うことで、さまざまな条件下での車両の走行状態を正確に予測することが可能になります。今後は、同定値を用いた曲線通過シミュレーションを行い、曲線区間を走行した場合の走行安全性や乗心地を精度良く予測する方法や、300km/h以上の高速で走行する車両にも適用する方法について更に検討を進める予定です。

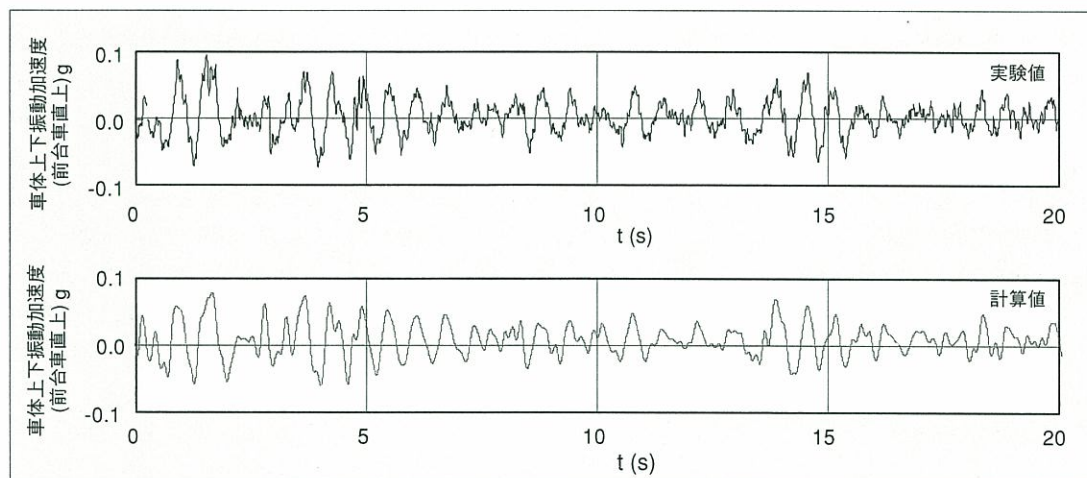


図4 前位台車直上の車体上下振動加速度波形の比較(速度 130km/h)

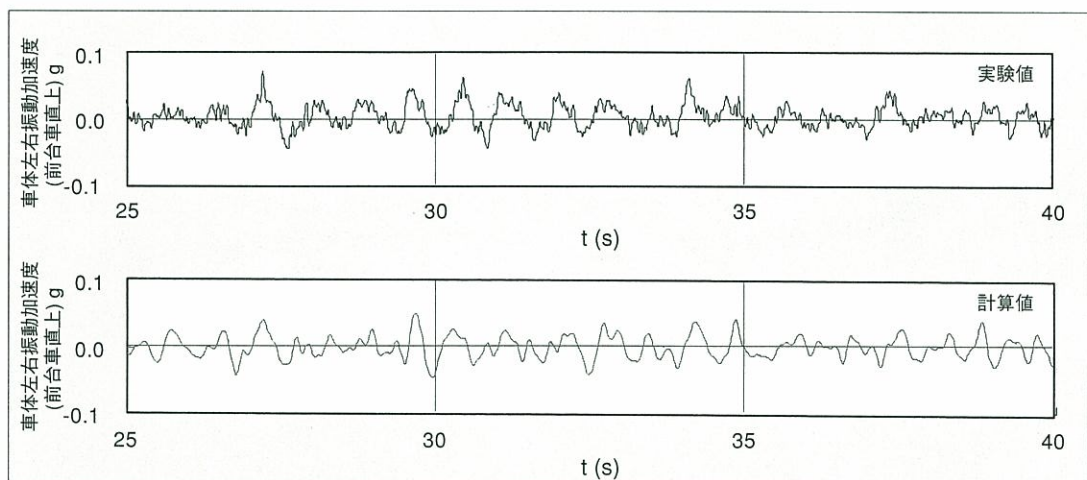


図5 前位台車直上の車体左右振動加速度波形の比較(速度 130km/h)

地震時の車両挙動解析

前項では、直線及び曲線や不整のある軌道上の走行をシミュレーションにより解析し、車両の設計・改良に活用する事例を紹介しました。このほかに鉄道総研では、脱線・転覆といった車両の走行安全性に関わる問題に対処するため、車輪がレール上に乗り上がったとき、車輪がレールに衝突して跳び上がる場合を取り扱うことができるシミュレーションの開発を進めています。このシミュレーションでは、図6に示すような上下・左右に弾性支持されたレールのモデルを用いま

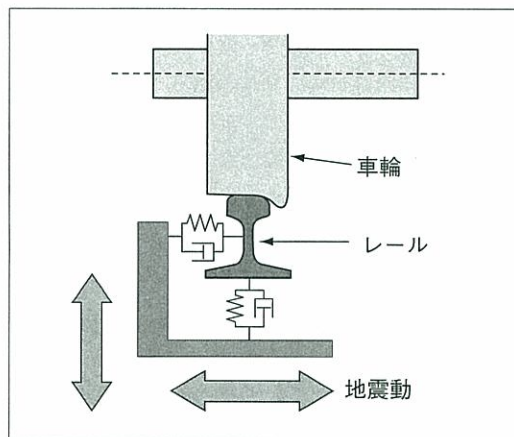


図6 弾性支持されたレールのモデル

す。車輪が跳び上がってレールと離れた後、輪軸とレールは独立に運動し、再び接触するとレール上を車輪が転走します。

シミュレーション解析の一例として、地震により軌道が大きく左右および上下方向に振動する場合の車両の挙動を解析した結果を図7に示します。軌道振動の周波数が1Hz以下と低い時には車体が左右に大きく変位して片側車輪が足を上げ、周波数が2Hz以上と高くなると車輪フランジがレールに衝突して、車輪が跳び上がるようになります。また、解析の結果、軌道の上下動が脱線に及ぼす影

響は小さく、地震時の脱線では軌道の大きな左右動が主たる要因であることが分かりました。

軌道に正弦5波の左右変位を入力し、周波数を変えて各加振周波数で脱線に至る直前の軌道変位振幅を求めました。解析結果の例を、軌道振動の周波数と脱線限界振幅との関係で表した走行安全限界線図として図8に示します。走行安全限界線図は、地震による脱線事例の検討に用いられた

り、地上構造物を設計する際の変位制限の目安として活用されています。

実物大半車体加振実験によるシミュレーションの検証

シミュレーションの妥当性を検証するため、(株)大林組技術研究所の大型振動台上に実物の新幹線台車と半車体モデルを搭載し、車輪がレールから跳び上がるほど大きな左右振動を加えて車両挙動を調査しました。

実物大半車体を用いた加振実験の様子を図9に示します。また、図10は振動台を正弦5波で左右に加振したときの実験結果とシミュレーション結果を、走行安全限界線図の形で示したものです。なお、図10では、実験で車輪がレールから確実に離れたことを確認できる指標として車輪上昇量を用いることとし、車輪が3mm以上上昇したときに入力された変位振幅(片振幅)を安全限界振幅として実験結果を整理しました。また、図10のシミュレーション結果は、実験と同じ1台車半車体のモデルにより計算した結果で、車輪上昇量3mmを目安とし、各加振周波数に対してその目安値を超える加振振幅を5mm刻みで探索して安全

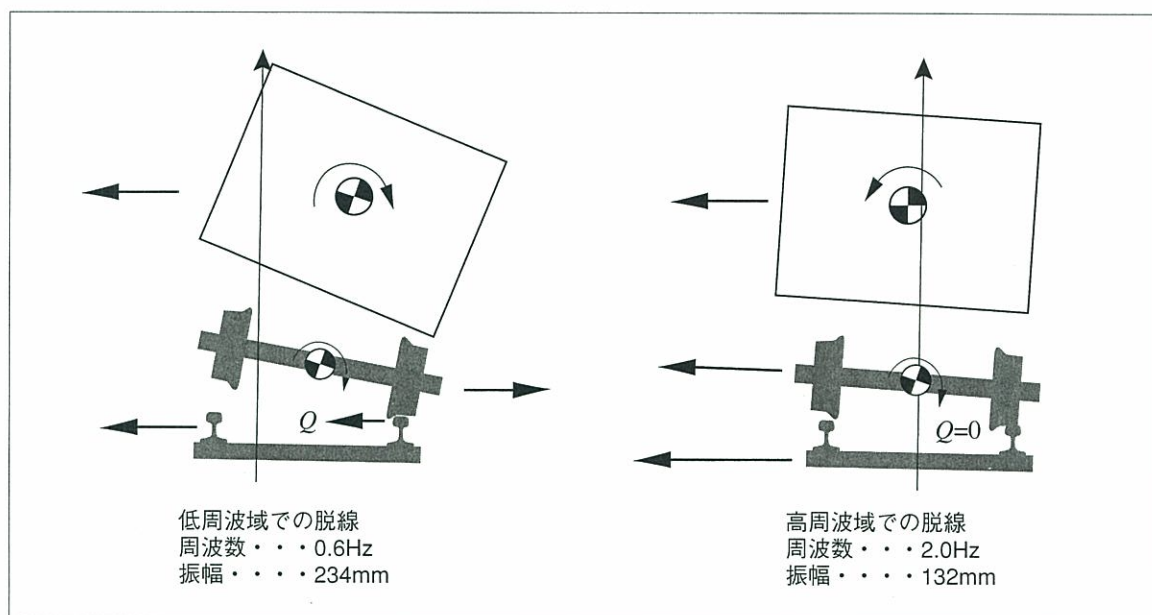


図7 地震動による脱線時の車両挙動(加振周波数による相違)

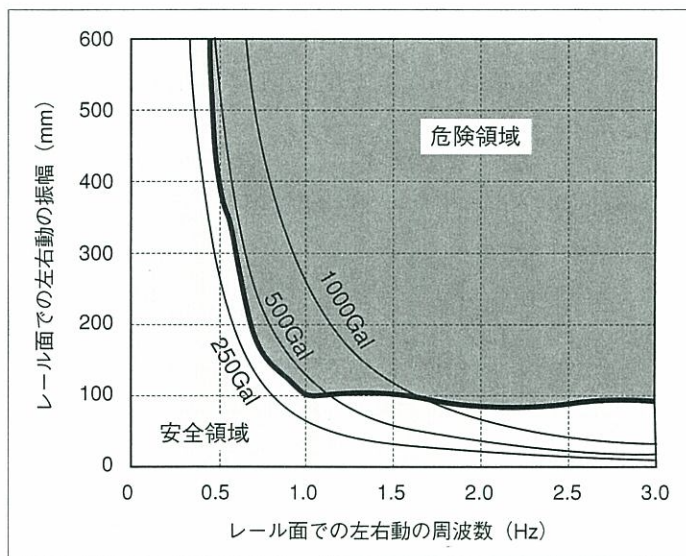


図8 シミュレーションによる走行安全限界線図の作成例

限界を求めたものです。この結果から、シミュレーションで求めた安全限界振幅の計算値は、各周波数帯で実験結果と概ね一致していることが分かります。このほか、振動台を大きく加振したときの車体左右振動加速度、車輪上昇量、輪重、横圧などのシミュレーション結果が実験で観測されたデータと良く一致し、輪軸が片足を上げたり、車輪フランジが衝突したりして車輪がレールから離れるような挙動についても、シミュレーションによって精度良く再現できることを確認しました。

実物台車を用いた加振実験によって、シミュレーション解析の妥当性を検証しました。同時に、跳び上がった車輪がレール上へ戻った際には約250kNの輪重が発生し、激しく車輪フランジがレールに衝突した際には150kNを超える横圧が発生しますが、このように著大な衝撃を受けても、軌道及び台車に大きな損傷が発生しないことも確認できました。

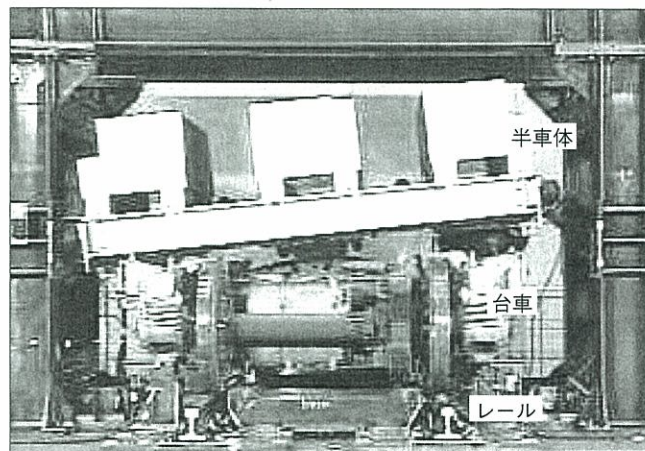


図9 振動台での実物大半車体の加振実験

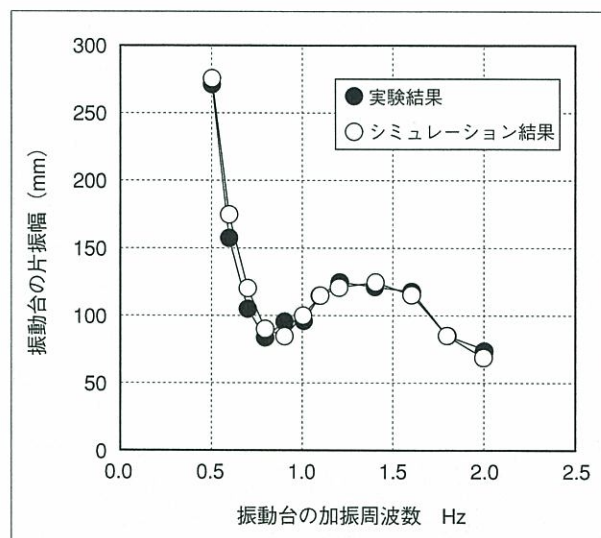


図10 実験結果とシミュレーション結果の比較
(車輪上昇量が3mmに達する加振振幅)

おわりに

大型試験装置とシミュレーションの関係について具体的な事例をもとに紹介しました。実物の挙動を直接調べるだけでなく、大型試験装置が解析手法や予測手法の妥当性の検証に活用されていることをご理解いただけたと思います。今後も、より安全で快適な鉄道に資する研究開発を進めるために、大型試験装置とシミュ

レーション技術を大いに活用したいと考えています。RRR

※記事に関するお問い合わせ先
車両構造技術研究部（車両運動）
NTT: 042-573-7285
J R: 053-7285