

## 鉄道車両と地上設備の簡易な接触モデルの提案

鉄道総研 正会員 ○後藤 恵一 鉄道総研 正会員 曾我部 正道  
 鉄道総研 正会員 渡辺 勉 鉄道総研 正会員 上半 文昭

### 1. 目的

2004年の新潟県中越地震において走行中の新幹線が脱線し、それ以降、各所で地震時列車走行性に関する様々な研究が進められている。このうち、脱線後の車両挙動に関しては、実験的検討が困難であることから数値解析的検討が進められ、その基本特性が明らかにされつつあるが、脱線後に車両の各部位が軌道や構造物といった地上設備に接触する影響については未解明な点が多い現状にある。そこで本研究では、走行車両と地上設備の接触を表現可能な解析手法を構築するとともに、本手法の実用性を検討するために脱線後のギアケース等の輪軸構成部材とレールの接触に関する試計算を実施した。

### 2. 走行車両と地上設備の接触解析手法

図-1に走行車両と地上設備の接触モデルの概念図を示す。本研究では走行中の車両が地震動等の外力によって脱線し、地上設備に接触するような数十秒単位の長時間の現象を実用的な計算時間で評価するために、マルチボディー車両モデル上に配置する接触検知点と、3次元FEMでモデル化した地上設備上に定義する接触面とで接触を表現する手法を構築した。車両側の接触検知点は任意箇所配置可能であり、例えば、脱線後にレールや下路桁等の地上設備との接触が想定されるギアケース位置や車体位置に接触検知点を配置することで様々なパターンの接触現象を表現可能となる。また、接触力計算にはペナルティ法を用い、その接触ばね特性は接触検知点と接触面の仮想食い込み量と接触力の関係により、マルチリニアモデルとして区分的に定義するものとした。この接触ばね特性は要素実験または詳細なFEM解析により別途求めることとした。即ち、本接触モデルでは有限要素同士のようなミクロな接触は対象とせず、一定の精度を保ちつつもマクロに接触を表現することとした。

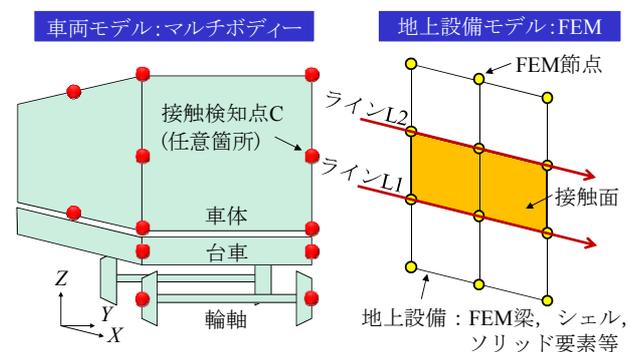


図-1 車両と地上設備の接触モデルの概念図

さらに、本提案モデルを、脱線前後の車両挙動を解析可能な、新幹線と鉄道構造物との動的相互作用解析プログラム DIASTARS III<sup>1)</sup>に組み込み、地上設備との接触を考慮した脱線後の車両挙動の解析手法を構築した。

### 3. 接触解析手法の実用性の検討

上記解析手法を用いて脱線後車両と地上設備の接触に関する試計算を行った。具体的には輪軸構成部材であるギアケース等が脱線後にレールに接触する際の車両挙動及び輪軸構成部材の逸脱防止効果について検討を行った。

図-2にレール等の地上設備の解析モデルを示す。レールは車輪の走行ラインとしても取り扱う剛な梁要素でモデル化し、その両端に加速度入力用の巨大質点を設けた。また、輪軸構成部材との接触を考慮するために、接触面構成用の剛な梁要素を配置し、これによりレール側面2箇所及び上面1箇所の計3箇所に接触面を構成し、レール形状を簡易に表現した。

車両の解析モデルは車体、台車、輪軸を剛体と仮定し、これらをばねとダンパで結合した31自由度モデルを用いた。車両は1両のみとし、その諸元は近年の新幹線車両を参考に仮定した。図-3に輪軸構成部材の配置を示す。

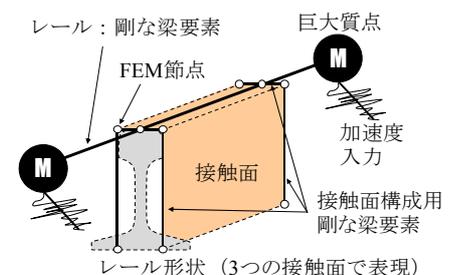


図-2 地上設備の解析モデル

キーワード：鉄道，地震，脱線，逸脱，動的相互作用，Multi Body Dynamics，数値解析，振動変位

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 鉄道力学研究部 構造力学 TEL:042-573-7290

本検討ではギアケース等を想定した軌間内の部材 A, 軸箱及び排障器等を想定した軌間外の部材 B とし, 検討では輪軸構成部材 A 及び B のどちらか一方のみを考慮した. 輪軸構成部材とレール間の接触ばねはレールの小返りばねに相当する 30kN/mm の線形モデルとした.

巨大質点への入力加速度は左右方向の 0.5Hz~2.0Hz の正弦波 5 波とし, 脱線及び逸脱限界振幅を見極めるために, 加振振幅を徐々に増させた. また, 図-3 に示す各部材の高さ H を解析パラメータとした. 脱線は車輪とレール間の水平方向の相対変位が 70mm を超えた場合, 逸脱は各部材がレールを飛び越えた場合とした.

図-4 に時刻歴波形の例を示す. 本図は輪軸構成部材 B の結果である. 図-4 (b) より, 左右の車輪が交互に持ち上がり約 4.5 秒で脱線しているのが分かる. また, 図-4 (c) より, 脱線後の輪軸の水平変位が部材 B とレールの接触, 車輪とレールの接触により抑制されていることを確認できる. 図-4 (d) より, 部材 B とレールの 1 回目の接触時に 600kN を超える大きな荷重が発生していることが分かる. 以上から, 本解析手法により地上設備との接触を考慮した地震時の車両挙動及び車両と地上設備間の接触力を表現可能であることが分かった.

図-5 に輪軸構成部材の高さが逸脱限界振幅に及ぼす影響を示す. 図には脱線限界も併せて示した. 両限界振幅は加振振幅を徐々に増大させた際に, 初めて脱線及び逸脱が生じる限界の加振振幅を示すものである. 図より両部材とも高さが 300mm までは脱線限界と逸脱限界がほぼ一致しており, 輪軸構成部材による逸脱防止効果が小さいことが分かる. 一方, 部材の高さが 345mm の場合には逸脱防止効果が明確に表れている. また, 本解析条件においては, 軌間外に存在する部材 B の方が軌間内に存在する部材 A よりも逸脱防止効果が高いことが確認できる. これは車両の脱線モードに起因するものと推測される.

4. まとめ

地上設備との接触を考慮した脱線後の車両挙動の解析手法を構築した. また, 試計算により本解析手法の実用性を確認した. さらに, 輪軸構成要素による逸脱防止効果を確認した.

参考文献

1) 後藤恵一, 曾我部正道, 田辺誠, 浅沼潔: 脱線後の車輪と軌道の接触モデルに関する研究, 鉄道力学論文集, No.15, pp.132-139, 2011.

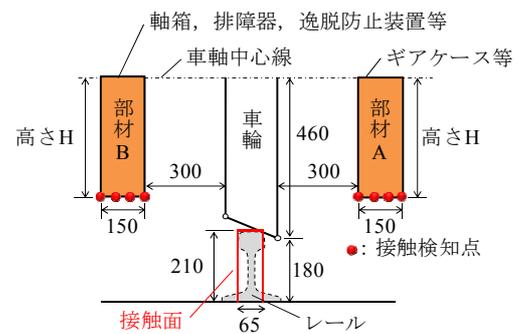


図-3 輪軸構成部材の配置及び解析の初期条件 (単位: mm)

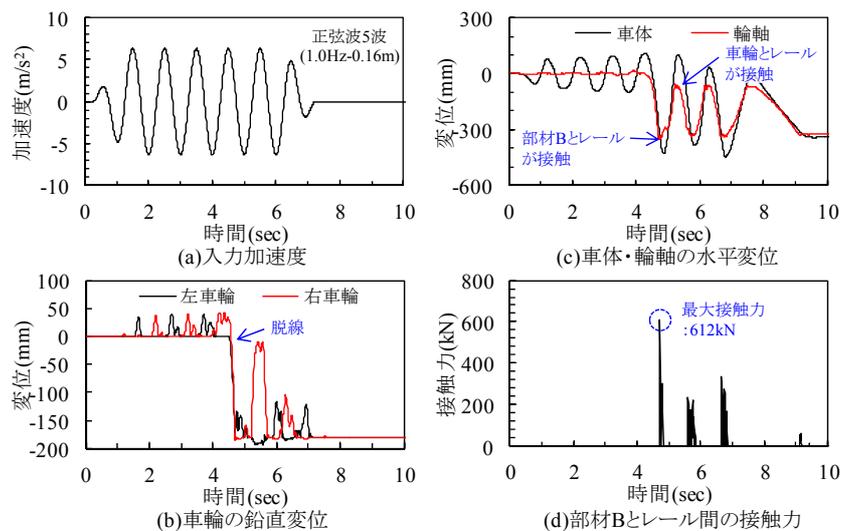


図-4 時刻歴波形の例 (正弦波 5 波, 加振振動数 1.0Hz, 加振振幅 160mm, 輪軸構成部材 B, H=345mm)

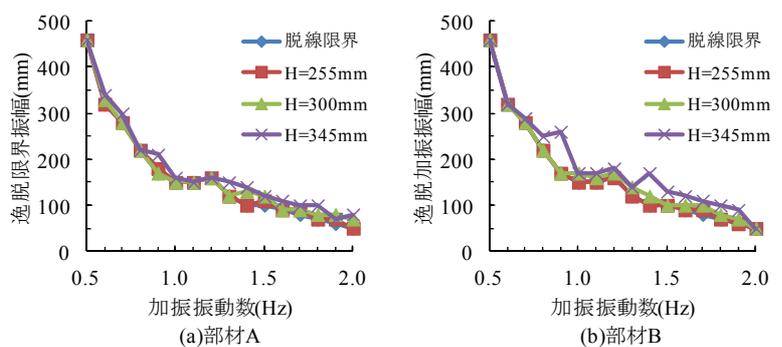


図-5 部材の高さが逸脱限界振幅に及ぼす影響