

脱線後の鉄道車両の締結装置上走行を模擬するための簡易力学モデル

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○後藤 恵一

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 曾我部 正道

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 浅沼 潔

1. 目的 大規模地震動により鉄道車両が脱線した際、その車両を反対線や線路外部に逸脱させないための各種逸脱防止装置の開発が進められている。その一つとして、軌道上に連続した壁を構築する逸脱防止ガードが提案されているが、有道床軌道については脱線後の車輪が横まくらぎ上を走行し、また、走行面が滑らかなスラブ軌道についても締結装置等の上を走行することが想定されるため、車輪の跳ね上がり等、脱線後の車両走行に悪影響を及ぼすことが懸念される。そこで本研究では、脱線後の鉄道車両が締結装置上を走行する状態を表現するために、簡易な力学モデルを構築することとした。

2. 力学モデルの構築 簡易な力学モデルは、車両と構造との動的相互作用解析プログラム DIASTARS III を改良して構築した。

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て構成している。実車には各構成要素間に相対変位抑制のためのストッパが設けられているため、ばねはバイリニア型の非線形ばねを採用している。

図1に逸脱防止ガードと車輪のモデル化の概念図を示す。DIASTARSIIIでは、脱線後の車両挙動を評価するために、MBD(Multi Body Dynamics)の手法により逸脱防止ガードを含む軌道構造と車輪をモデル化している。軌道構造は軌間の外側又は内側に逸脱防止ガードを有する剛体断面モデルとし、車輪は解析の高速化を図るため区分的な直線(円錐台形)で近似するモデルとしている。車輪と走行面との衝突は、車輪形状のアタッチメントを用いた軌道部材の静的載荷試験結果に基づく接触ばねで表現される¹⁾。脱線前は車輪とレールの精密な幾何形状を考慮した接触モデルを、脱線後は上記の脱線後モデルを車輪ごとに使い分ける手法を用いている。

図2に本研究で改良した締結装置を考慮するための簡易力学モデルの概念図を示す。本力学モデルでは、脱線後の走行面を線路直角方向にA、B二つのゾーンに分割する手法を提案した。

この両ゾーンの走行面に対して凹凸を線路方向への関数として離散的に定義するものとした。この手法により締結装置やまくらぎの凹凸を表現することができる。また、車輪と走行面との接触ばねについても、線路方向の関数として離散的に定義可能なモデルとした。これにより横まくらぎや締結装置とバラストの繰り返しなど、間欠的に変化する接触剛性も表現することができる。

3. 解析事例 上記の簡易力学モデルを用いて脱線後の車両走行に関する試計算を実施した。表1に検討ケースを示す。検討ケースは、A、

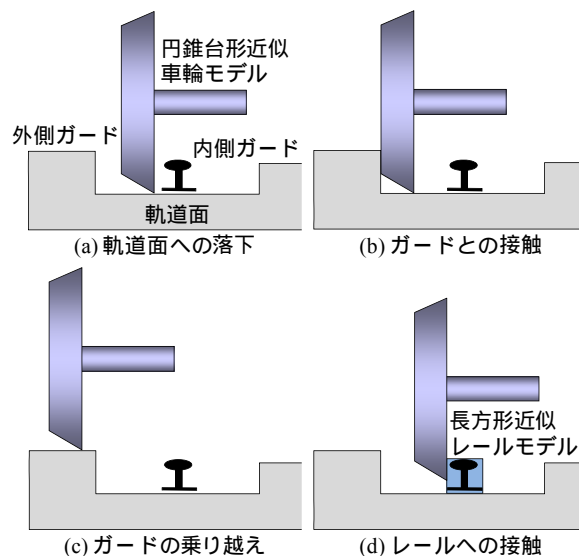


図1 逸脱防止ガードと車輪のモデル化

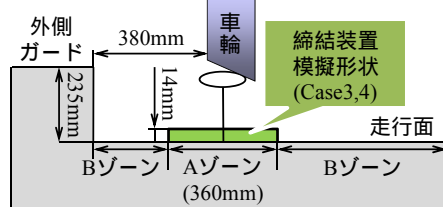


図2 締結装置のモデル化

表1 検討ケース

ケース	A ゾーン	B ゾーン
Case1	平坦	平坦
Case2	横まくらぎ形状	横まくらぎ形状
Case3	平坦+締結	平坦
Case4	横まくらぎ形状+締結	横まくらぎ形状

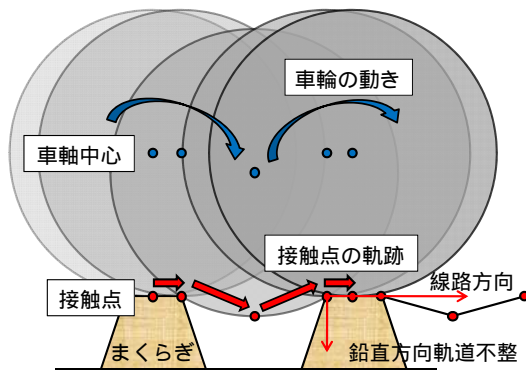


図3 まくらぎ形状のモデル化手法

キーワード：鉄道、地震、脱線、逸脱防止ガード、動的相互作用、Multi Body Dynamics、まくらぎ、締結装置

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

Bゾーンの両方を平坦又は横まくらぎ形状とした Case1, Case2 に加え, 各 Case の A ゾーンに簡易な締結装置形状を定義した Case3, Case4 として, 列車は 1 両編成とし, 列車速度は 270km/h とした. 図 3 に走行面の線路方向の不整形形状のモデル化手法を横まくらぎの場合を例として示す. 前述のように横まくらぎは, 線路方向の座標の関数としてその形状を離散的に定義し, この形状データを車輪の走行位置に応じて車輪と走行面との相対変位算出時に加味することで表現した. ただし, DIASTARS III では, 車輪と走行面とは, 線路方向に 1 点で接触するモデルであるため, 非現実的な落下量が生じないように, 車輪径とまくらぎ形状・間隔から定まる落下限界を, 輪軸中心位置に基づいてまくらぎの形状関数を定義した. なお, 逸脱防止ガードについては, 外側のみをモデル化し, 脱線を表現するために徐々に振幅を拡大させた正弦波を軌道に入力した.

図 4 に車輪上昇量及び車輪水平移動量の時刻歴波形の例を示す. 加振後約 2.2 秒に左車輪が浮き上がり始め, レールに着地後, 右車輪が大きく浮き上がり, 約 3.9 秒で車輪の水平移動量が 70mm を超えて脱線に至っていることが確認できる. また, その後も車輪は移動し続け, 約 4.7 秒で逸脱防止ガードに接触し, それ以上の横移動が制限されているのが分かる.

図 5 に脱線後車輪の鉛直挙動及び車輪と走行面間の接触力の関係を示す. 図 5(a) で, 脱線後の車輪の挙動に着目すると, 平坦なコンクリート上を走行する Case1 に比べ, まくらぎ上を走行する Case2 で脱線直後の跳ね上がり量がやや大きい傾向が読み取れる. また, Case2 ではまくらぎ間に車輪が落下するため, 2 つのまくらぎに接触する特徴的な挙動も確認できる. 次に図 5(b), (c) では, 締結装置を考慮した Case3, Case4 では, 考慮していない Case1, Case2 に比べ脱線直後の跳ね上がり量が大きく, 最大で 85mm 程度まで車輪が上昇した. また, 車輪が A ゾーンから B ゾーンに移動した後では, 車輪の上昇量に大きな違いは見受けられない. 実際に生じる車輪の上昇量や接触力は, 車輪と締結装置の接触剛性に依存するため, これらはあくまで一検討例に過ぎないが, 簡易な力学モデルとしては, 走行面の違いによる挙動の変化という基本的な特徴は表現できていると考える. 今後, 車輪と締結装置のマクロな接触剛性に関する検討を行い, 総合的な評価を実施していく予定である¹⁾.

4. まとめ 脱線後の鉄道車両が締結装置上を走行する状態を表現するために簡易力学モデルを構築した. 本モデルでは, 脱線後の走行面を線路直角方向に A, B 二つのゾーンとする手法及び両ゾーンの走行面に対して凹凸と接触剛性を線路方向への関数として離散的に定義する手法を提案した. そして, 試解析により走行面の違いによる挙動の変化を確認した.

参考文献 1) 後藤恵一, 曾我部正道, 浅沼潔, 渡辺勉: 鉄道車輪と PC まくらぎの接触力に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.769-774, 2010.

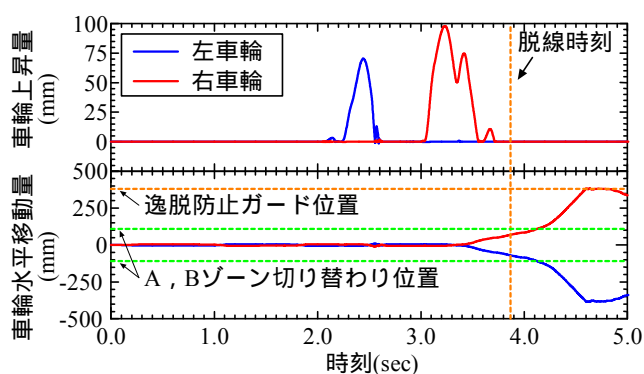
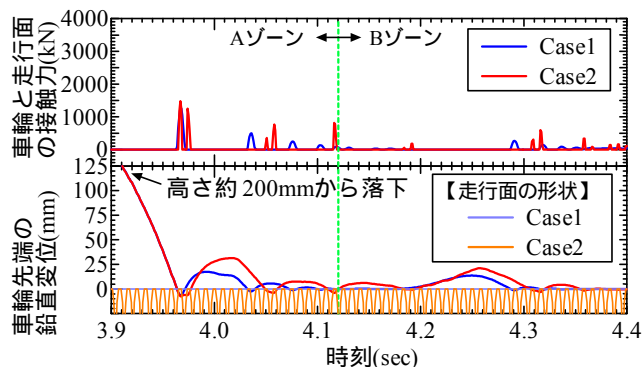
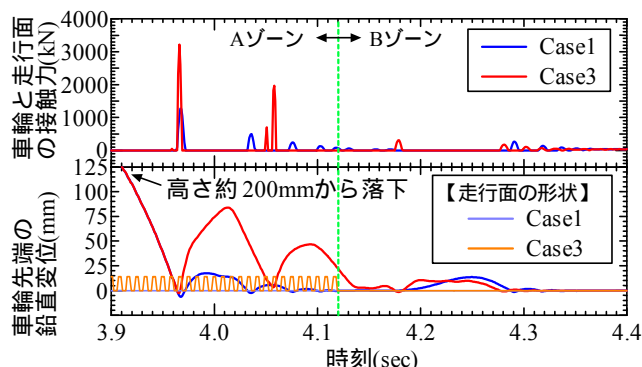


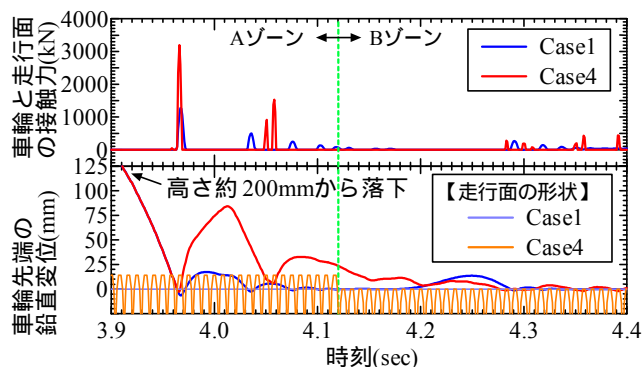
図4 車輪上昇量及び車輪水平移動量の時刻歴波形



(a) Case1とCase2の比較



(b) Case1とCase3の比較



(c) Case1とCase4の比較

図5 脱線後車輪の鉛直挙動及び接触力の関係