

鉄道車両の脱線後の横まくらぎ上走行

鉄道総研 正〇曾我部正道 鉄道総研 正 後藤 恵一
鉄道総研 正 渡辺 勉 鉄道総研 正 浅沼 潔

1. 目的 大規模地震動による鉄道車両の脱線を想定した場合、被害の最小化を図るためには、脱線した車両を反対線や線路外部に逸脱させないための対策が重要となる。具体的には、軌道上に壁を構築する逸脱防止ガード等が提案されているが、バラスト軌道においては脱線後の車輪は線路方向に間欠配置された横まくらぎ上を走行することとなるため、車輪のジャンピング等、脱線後の車両走行に悪影響を及ぼすことが懸念される。本研究では、脱線後の横まくらぎ上走行の影響について、数値解析による評価方法を提案するとともに、その定量化を試みた。

2. 解析方法 検討には、車両と構造物との動的相互作用解析プログラム DIASTARS III を用いた。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た。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。このため、ばねはパイリニア型の非線形ばねとした。列車は8両編成とし列車速度は270km/hとした。

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。DIASTARS III では、MBD (Multi Body Dynamics) 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。軌道構造には、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を用いている。車輪は、解析の高速化を図るため区分的な直線(円錐台形)により近似するモデルとしている。車輪と軌道構造部材との衝突は、重錘落下試験結果に基づいた非線形の衝突ばねで表現する。脱線まで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、脱線後は上記のモデルを車輪ごとに使い分ける。本研究ではこのうち外側ガードのみを用いて検討を行った。

図-2に横まくらぎ形状のモデル化手法を示す。横まくらぎは、線路方向座標の関数としてその形状を離散的に定義する(横まくらぎ間のバラストの剛性は無視する)。この形状データを車輪の走行位置に応じて、車輪と軌道面(ここでは横まくらぎ表面)との相対変位算出時に加味することでまくらぎ上走行を表現することとした。ただし、DIASTARS III では、車輪と軌道面とは、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、図中に示すような車輪径とまくらぎ寸法・間隔から定まる落下限界を考慮する必要がある。このため、解析では落下限界時の車軸中心位置に基づいてまくらぎ形状関数を定義し用いた。

構造物は、定量的な評価が行えるように、実際の構造物の統計的な分布を考慮した延長6.2kmの複線の新幹線高架橋モデルとした(基本構造:3径間,ブロック長24m,調整桁式)¹⁾。高架橋の上層及び桁は剛なFEM梁要素でモデル化した。各高架橋の柱の非線形性は、重心位置に標準型パイリニアの非線形水平及び回転ばねを設けて考慮した。この線区に対して8両編成(編成長200m)の列車の走行開始位置を200m単位で変化させながら数値解析を行った。

入力地震動には鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震標準)に定める海溝型のL2スペクトルI地震動及び

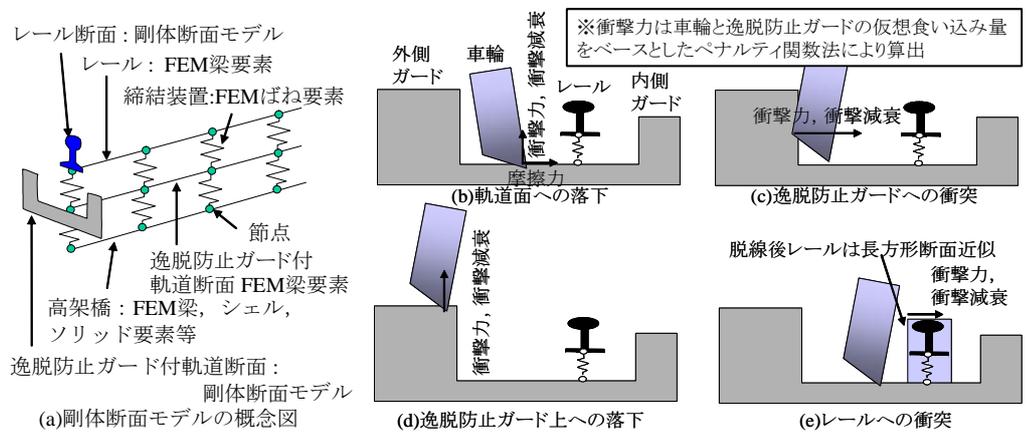


図-1 逸脱防止ガードと車輪のモデル化

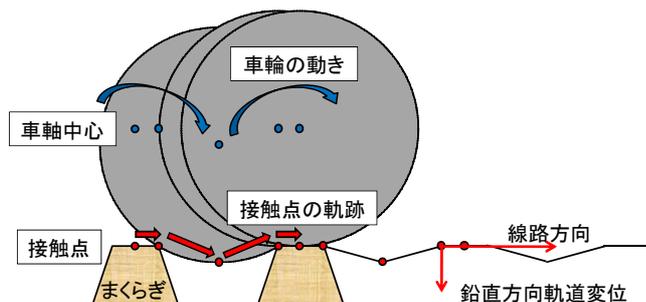


図-2 横まくらぎ形状のモデル化手法

キーワード 車両走行性, ラーメン高架橋, 動的相互作用解析, フラジリティ曲線, 逸脱防止ガード
連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 構造力学

TEL 042-573-7290

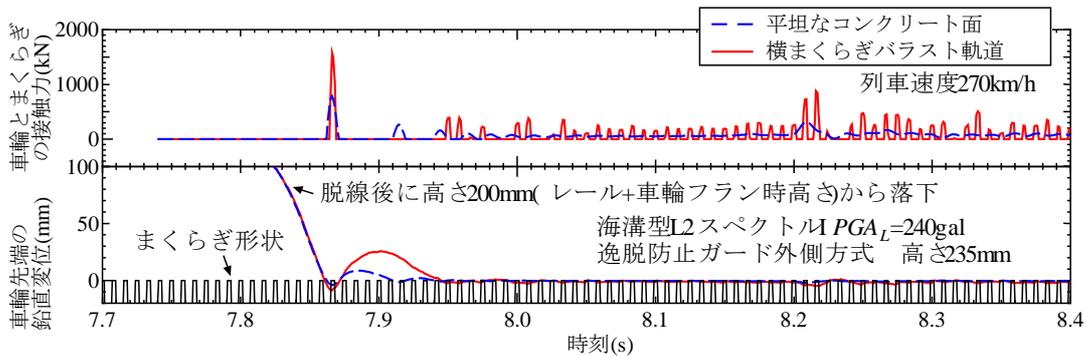


図-3 脱線後車輪の鉛直挙動と車輪とまくらぎ間の衝撃力の関係

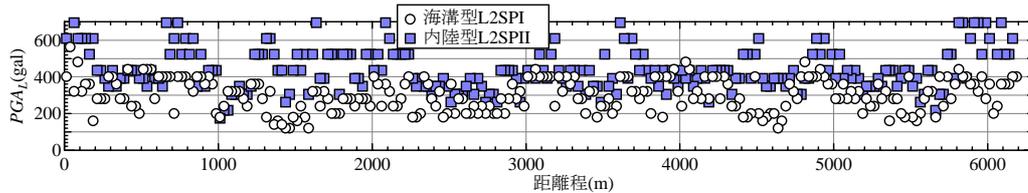


図-4 脱線限界地表面入力加速度

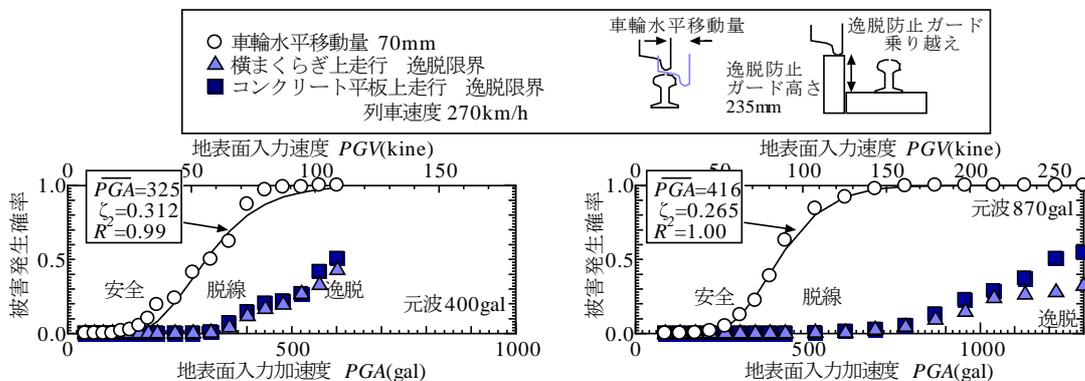


図-5 モデル線区の地震時車両走行性に関するフラジリティ曲線

内陸活断層型のL2スペクトルIIを用いた²⁾。地盤はG2地盤を想定した。車両の応答は非線形性が強いので、地震動の入力加速度振幅を線形に漸増させながら検討を行った。脱線限界の目安値には、車輪のフランジがレールから外れて水平に移動した量の限界として70mmを適用した。逸脱限界の目安値は、車輪が逸脱防止ガードを乗り越えた場合とした。

3. 解析結果 図-3に脱線後車輪の鉛直挙動と車輪とまくらぎ間の接触力の関係を示す。脱線後の車輪の挙動を見ると、コンクリート上を平坦に走行する場合に比べ、まくらぎ上を走行する場合はややねあがりが多い傾向が読み取れる。車輪とまくらぎ間の接触力については、車輪落下直後に1500kNの接触力が生じた。

図-4に車輪の水平移動量が70mmを超える限界地表面入力加速度 PGA_L を示す。6.2kmの高架橋の場合、25mの車両長単位で248走行パターンが考えられるが、図はそれぞれの走行パターンについて脱線時の PGA_L をプロットしたものである。海溝型は走行開始8秒後、内陸活断層型は走行開始6秒後の位置で図中に整理して示した。図から、同規模の波の繰り返し数が多い海溝型の方が、厳しい PGA_L となっていることが分かる。

図-5にモデル線区の地震時車両走行性に関するフラジリティ曲線を示す。図は、図-4に基づき被害発生確率を算出したものである。逸脱防止ガードは、それぞれの地震動の元波に対して逸脱被害発生確率10%程度であり、かなりの大規模地震動に対しても効果を発揮することが分かった。また、図からコンクリート平板上を走行した場合も、横まくらぎ上を走行した場合も逸脱に関するフラジリティ曲線には大きな差がないことが分かった。

4. まとめ ①線路方向1点接触の車輪/軌道間モデルにより脱線後の横まくらぎ上走行を評価するために、落下限界を考慮したまくらぎ形状関数の設定方法を提案した。②今回検討したケースでは、横まくらぎ上走行により、落下後のはねあがりが大きくなる場合があるが、逸脱に関する被害発生確率には大きな差がみられなかった。今後、検討パラメータを増やし検討の深度化を図る。

参考文献 1)曾我部正道, 原田和洋, 浅沼潔, 丸山直樹, 渡辺勉:連続する鉄道構造物群の地震時車両走行性, 土木学会鉄道力学論文集, Vol. 13, pp.177-184, 2009, 2)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 丸善, 1995.