

### 地震時車両走行性に関するフラジリティ曲線と逸脱対策効果

鉄道総研 正〇曾我部正道 鉄道総研 正 浅沼 潔  
鉄道総研 正 渡辺 勉 鉄道総研 正 丸山 直樹

**1. 目的** 地震対策の効果を検討するためには、精度の高い投資判断を可能とする鉄道全体のリスク評価システムの構築が必要不可欠となる。地震リスクに関する研究は、近年、様々な分野で広く行われている。しかしながら、鉄道高架橋上における地震時車両走行性に関するフラジリティ曲線（地震動指標に対する被害発生確率）については、これまで十分な検討がなされておらず、その実態もよく分かっていない。このような背景から、本研究では、モデル線区に対して数値解析を行い、フラジリティ曲線の算出を試みた。また、大規模地震動による鉄道車両の脱線想定した場合、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。図-1に逸脱対策の一つとして逸脱防止ガード付きラダー型マクラギの概念図及び敷設状況を示す。逸脱防止ガード付きラダー型マクラギは、線路方向に連続する付帯構造を配置ししやすいラダーマクラギのメリットを生かした構造となっている。本研究ではその対策効果についても併せて検討した。

**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、ばねはバ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-2に逸脱防止ガードと車輪のモデル化の概念図を示す。脱線後の車両挙動を評価するために、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する手法を新たに提案した。ここで軌道構造は、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とした。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た。車輪と軌道構造部材との衝突は非線形の衝突ばねで表現するモデルを構築した。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、脱線後は上記の脱線後モデルを車輪ごとに使い分けることとした。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。

モデル線区は長さ 6.3km の複線の新幹線高架橋とした(3 径間、ブロック長 24m, 調整桁式)。高架橋の上層及び桁は剛な FEM 梁要素でモデル化した。高架橋の柱の非線形性は、重心位置に標準型バ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 地震動及び内陸活断層型の L2 スペクトル II を用いた<sup>1)</sup>。地盤は G2 地盤を想定した。車両の応答は非線形性が強いいため、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

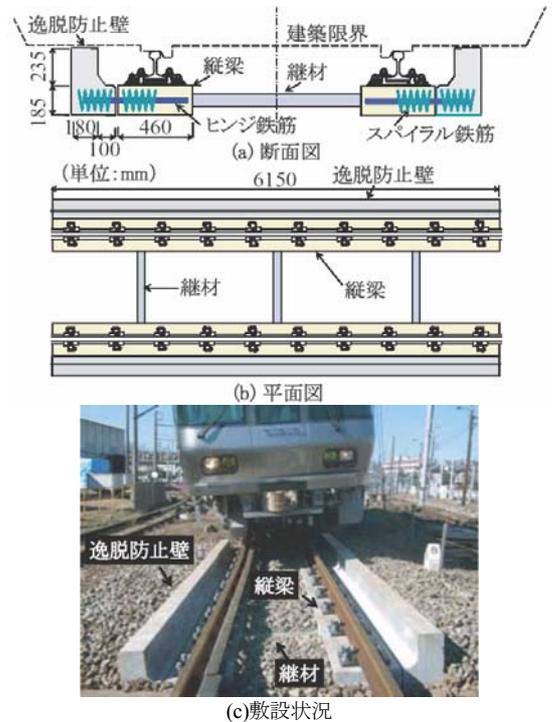


図-1 逸脱防止ガード付きラダー型マクラギの概念図

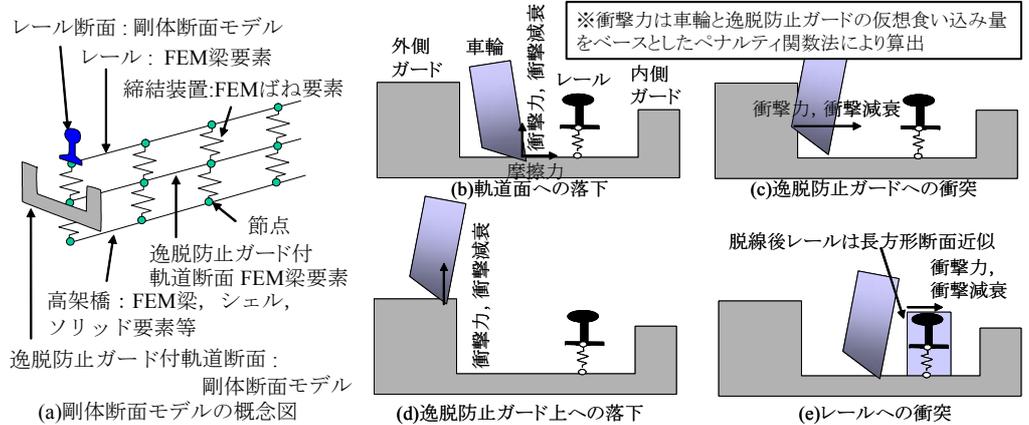


図-2 逸脱防止ガードと車輪のモデル化

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

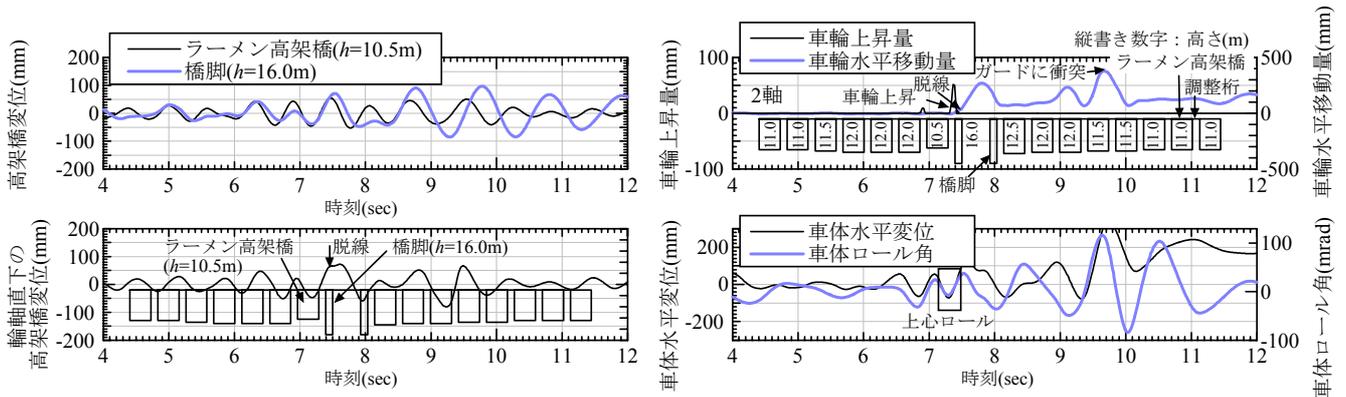


図-3 時刻歴波形の例(海溝型L2スペクトルI,  $PGA = 240gal$ )

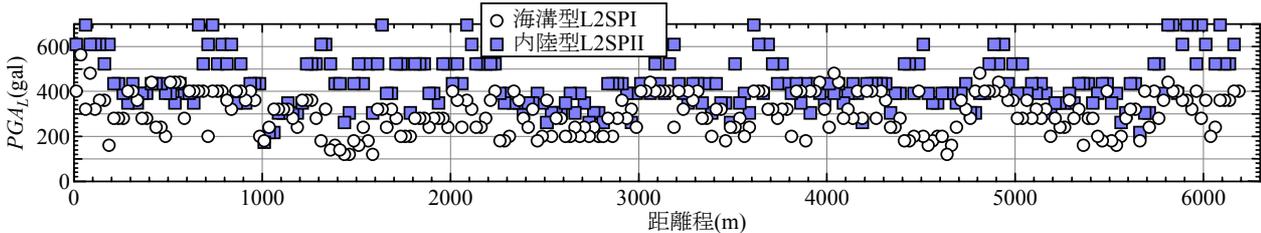


図-4 モデル線区の限界地表面加速度  $PGA_L$

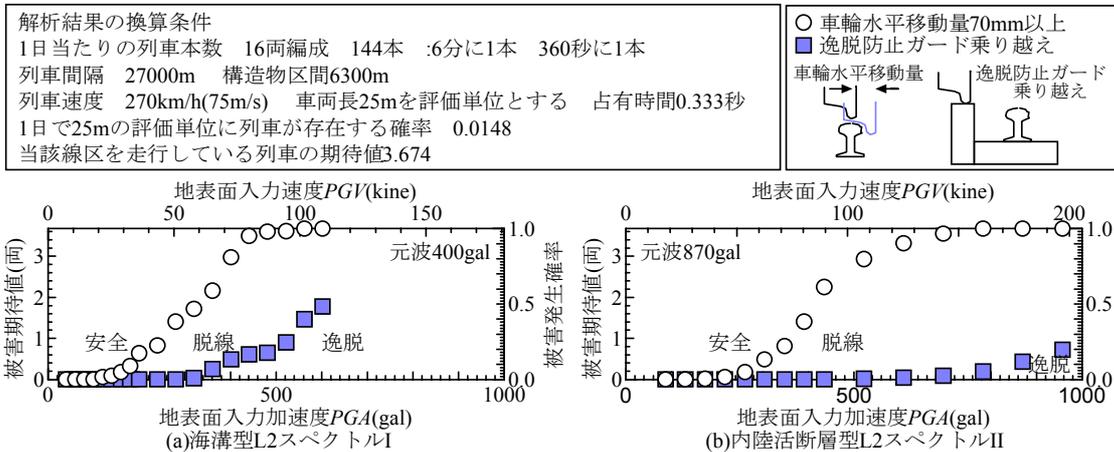


図-5 モデル線区の地震時車両走行性に関する fragility 曲線

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 に脱線が生じたケースの時刻歴波形の例を示す。ラーメン高架橋と橋脚の変位を見ると、7秒で相対変位 50mm を生じていることが分かる。車輪直下の構造物の変位を見ると7秒前後で 2Hz、全振幅 80mm の加振を受けていることが分かる。車輪上昇はラーメン高架橋と橋脚の間の調整桁上ではじまり、車輪水平移動量が 70mm を超えて脱線している。脱線した車輪は 9.7 秒に逸脱防止ガードに衝突している。脱線時刻において車体水平変位と車体ロール角は完全に同位相となっており、上心ロールによる脱線であると判断される。

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。車両の応答は 1 両単位の最大値で整理し、海溝型は 8 秒後、内陸型は 6 秒後の走行位置で図中に整理して示した。 $PGA_L$  は、海溝型の L2 スペクトル I 地震動で 100~400gal、内陸活断層型の L2 スペクトル II で 200~600gal 程度とばらついた。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。

図-5 にモデル線区の地震時車両走行性に関する fragility 曲線を示す。図中に示す仮定に基づき図-4 に示した数値解析結果を整理した。この fragility 曲線は、車両の諸元、構造物の種類及び配置、地盤特性、地震動の種類に大きく依存するが、今後のリスク解析に対する一つの指標と成り得るであろう。提案した逸脱防止ガード付きラダー型マクラギは、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。

**4. まとめ** ①脱線後の車両挙動を評価する剛体断面モデルを提案した。②モデル線区に対する脱線 fragility 曲線を算出した。③逸脱防止ガード付きラダー型マクラギは、海溝型、内陸型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。

参考文献 1) 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。