

## 第 部門

## 3次元個別要素法を用いた地震時車両脱線挙動の研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 鈴置 真央  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 清野 純史  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 Charles Scawthorn

## 1. 研究の背景と目的

1995年の兵庫県南部地震や2004年の新潟県中越地震において、営業運転中の列車が脱線する事故が起きた。前者における脱線では、構造物の変状や特に大きな狂いが認められなかった区間があったとも現地報告よりなされており、地震時の揺れが脱線の主原因であったものと考えられる。

そこで列車に直接地震動が作用した場合について、高速度で走行する車両が、その速度、路線形状によってどのような挙動の違いを示すかを、3次元個別要素法（以下、DEMと略す）で検討した。

## 2. 解析対象モデル

DEMによる接触判定においては、車輪/レール、車体の辺/レール、車体の辺同士の接触判定に「円柱-円柱」、車体の頂点と車体の辺、車体の頂点とレールの接触判定に「球-円柱」、車体の頂点と地面の接触判定に「球-面」、車体の頂点同士の接触判定に「球-球」の接触条件を用いて接触力の算出を行った。そこで、車両及び軌道部について原則、球もしくは円柱によるモデル化を行った。車体の頂点および辺はそれぞれ1/8球、1/4円柱とし、車輪を円柱としてモデル化し、下図のようなモデルとした。

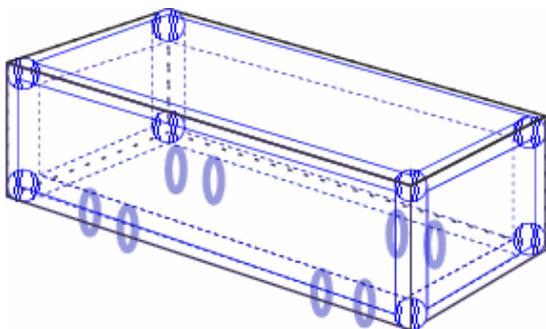


図1：DEMにおける車両モデル

なお、軌道部については、60kg レールの頂部幅

0.065m を直径とする 1/2 円柱と、その円柱と組み合わせてレール高さが 0.174m になるよう調整された直方体との組み合わせによりモデル化した。

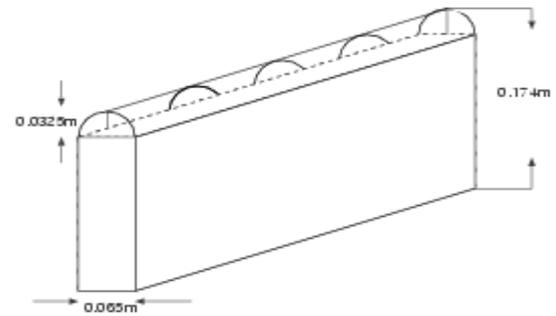


図2：DEMにおけるレールモデル

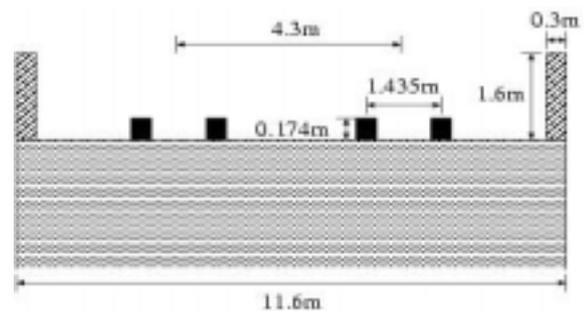


図3：軌道部諸元

## 3. 解析手法および解析結果

時間ステップを1万分の1秒として計算を行った。入力した地震波は2004年新潟県中越地震で観測された防災科学研究所のK-NET小千谷のもので、線路方向にNS成分、線路直交方向にEW成分を入力した。また、鉄道のモデル化にあたっては、レールと車輪の接触のモデル化や脱線基準が重要である。車両の共振振動数と一致する約1.2Hzの正弦波では、振幅100mm程度で脱線し、この値を換算すると570galになることから、本研究では地震動の線路直交方向成分が570galを超えるか、車両重心が鉛直方向にフランジ高さの3cm上昇すると脱線するものとした。

キーワード 脱線，地震，3次元個別要素法，列車事故，数値解析

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科 都市社会工学専攻  
 地震防災システム研究室 TEL 075-753-5133

図4は、停車中の列車に地震動を加えた際の挙動の経時変化を示したものである。

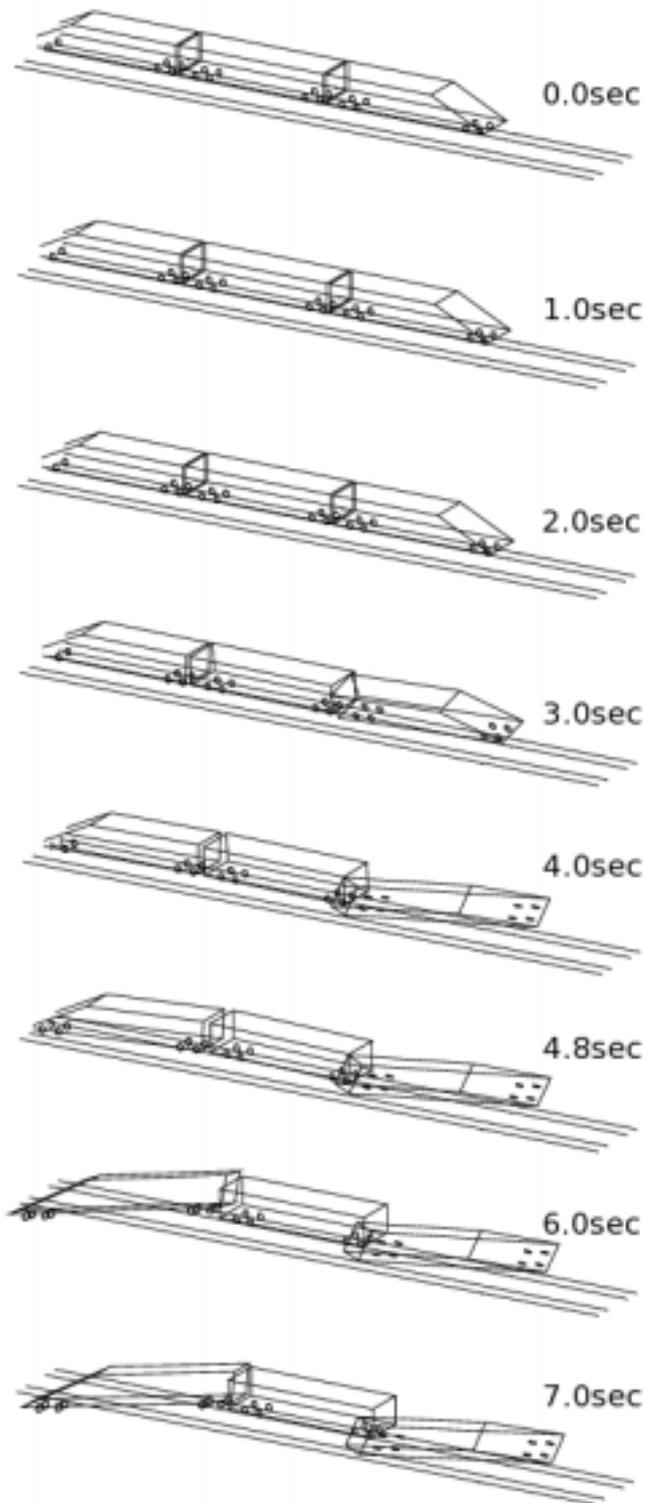


図4：脱線挙動経時変化（0km/h）

停車中の列車に地震動を加えた際は、地震動加速度の線路直交方向成分が 570gal を超える前に、列車が線路方向周りのモーメントを大きく受けて転倒を始める。先頭車および最後尾車の脱線挙動に比べて、中間車の脱線挙動は小さい。これは連結器を通して受けるモーメントや力が前後の車両挙動の違いから相殺されるためであると考えられる。

これに対し、高速度走行では脱線後も転覆することなく前進する挙動を示した。

#### 4．結論および今後の研究

3次元個別要素法では、要素間接触におけるばね係数および減衰係数の設定が重要なものとなっており、これについてはさらに検討を加える必要がある。

また、車両について更なる詳細なモデル化が必要である。特に車輪フランジについては、その幾何特性を考慮したモデルを考察する必要がある。この解析においては、車輪を車体と一体の剛体と仮定しているが、本来は車輪、台車、車体のばねの間にばねが設置されており、走行時にこのばねから受ける影響も考慮する必要がある。

今回の解析においては、高速度走行時のみの解析であったが、2003年十勝沖地震では50km/hという低速走行時に脱線しており、今後低速走行時の解析も必要である。

#### 5．参考文献

[1]宮本昌幸. 車両の脱線メカニズム. 鉄道総研報告, Vol.10, No.3, pp.31-38, 1996.

[2]永井克美. 強振動による高架橋被災時の列車事故に関する研究. 京都大学修士論文, 2003

[3]列車の転覆はなぜ起きる？曲線の制限速度、カント、緩和曲線との関係は？:

<http://www1.odn.ne.jp/~aaa81350/kaisetu/tenpuku/tenpuku.htm>