

第 部門 地震時における車両の脱線挙動に関する研究

京都大学工学部 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。

DEM を用いて接触力計算および接触判定をするにあたり、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。

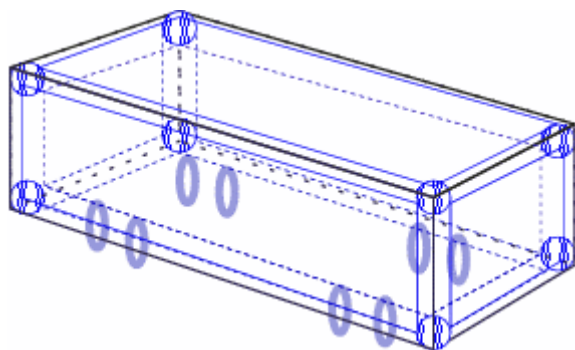


図 1：DEM における車両モデル

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。

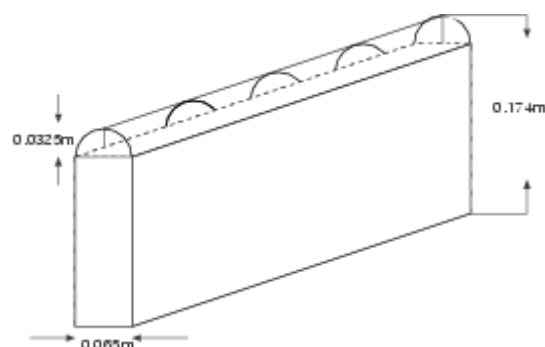


図 2：DEM におけるレールモデル

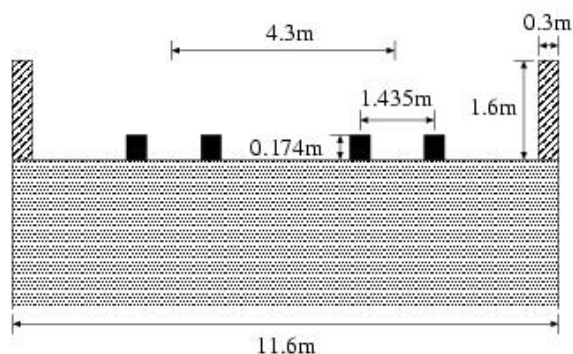


図 3：軌道部諸元

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。

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。

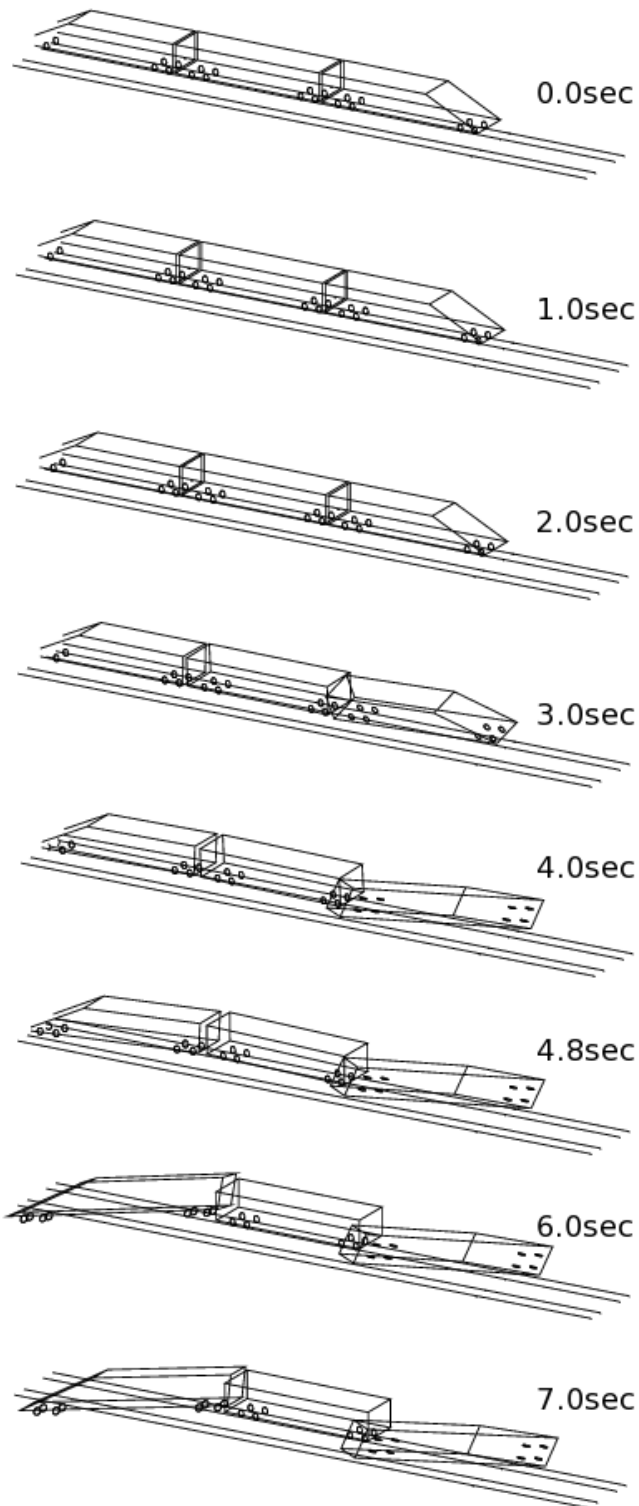


図4：脱線挙動経時変化（0km/h）

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>