

# 台車の改良による地震時の車両走行安全性向上

鉄道力学研究部 車両力学

研究室長 宮本岳史

## 1. はじめに

地震時の脱線の多くは構造物や軌道が著大な地震動によって破壊された場所で発生している。これに対し鉄道構造物の耐震補強が行われ、構造物の耐震設計法や安全性を高める技術基準が見直されてきた。一方で、軌道が変形していないところで異常の無い車両が脱線したケースもあり、この場合は地震による軌道の振動によって脱線した可能性が高いと考えられる。

鉄道総研では、1995年の兵庫県南部地震以降、地震によって軌道が振動し、車両が大きく揺れて車両各部が大きく変位するような場合でも解析可能な車両運動シミュレーションプログラムVDSを開発し、地震時の車両挙動解析を行っている。また、大型振動台上にレール、新幹線の実台車および模擬車体(半車体)を載せて大きく加振する試験を実施し、シミュレーション計算の妥当性を検証してきた。

これまで培ったシミュレーション技術を活用し、台車を改良することで地震時の走行安全性向上を図る技術方策を検討したので、これを報告する。

## 2. VDS(Vehicle Dynamics Simulator)について

VDSは通常の車両走行シミュレーション機能に加えて、レール支持部から振動を入力し、車輪がレールから離れて跳び上がったり、車両が大きくロール変位する動きなどを精度よく解析する機能を持つ。VDS内では、新幹線電車を図1に示す1つの車体、2つの台車枠、4本の輪軸を剛体として、それら剛体間をばねやダンパなどで接続した車両モデルとした。車輪を支えるレールは1車輪ずつ独立に軌道からばね・ダンパで支えられている。地震時の走行安全性を検討するために、車輪とレール間の相対左右変位が70mmに達したときを走行安全限界と定義した。この相対左右変位が70mm未満であれば、たとえ車輪がレールから跳び上がっても安全限界内である(脱線していない)と判断した。一般化した入力振動として正弦波振動を用い、一定周波数、一定振幅で5波の左右変位をレール支持部に入力して1回のシミュレーション計算を実行し、ひとつの加振周波数に対し加振振幅を大きくしながらシミュレーション計算を繰り返し実行して脱線発生の有無を判別する。各加振周波数における脱線しない最大の加振振幅を安全限界振幅として図2に示す正弦波振動に対する走行安全限界線図を求めた。この走行安全限界線図を用いることで、大変位で振動する軌道上を走行する車両の走行安全性を比較できる。

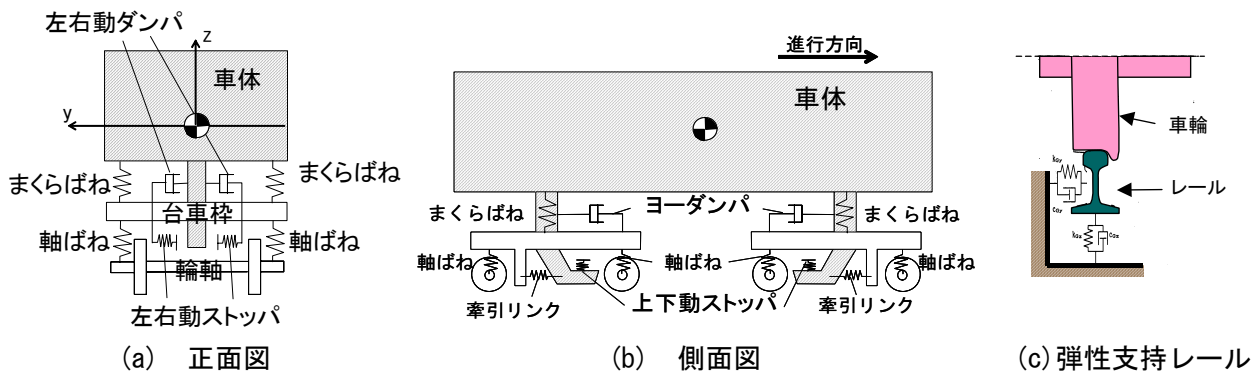


図1 シミュレーションの車両モデル

### 3. 地震時の安全性向上策の検討

通常時の走行性能を損なうことのないようにして、著大な地震時にのみ動作して安全性を高めることの出来る部品を検討した。

#### 3.1 台車諸元変更

正弦波振動に対する走行安全限界線図に車両諸元が及ぼす影響を調査した。表1に示した①まくらばね減衰を大きく、②左右動ダンパ減衰力を大きく、③車体異常上昇止めの間隔を拡げる、④軸箱ストップ遊間を拡げる、⑤左右動ストップ遊間を拡げることを、それぞれ個別に変更したときには、左右動ダンパの場合を除き、加振周波数全域で効果を得ることは難しいことが分かった。そこで図2に示すように、上述の5項目を組合わせて変更することで、ほぼ加振周波数全域で安全限界振幅を高め、地震時の安全性を向上することができることが分かった。ただし、これら台車諸元を変更する際には、通常走行時の安全性や乗り心地性能などとの両立を十分に考慮しなければならない。

表1 5項目変更諸元

| 項目         | 変更   |
|------------|--|
| まくらばね減衰    | 標準の2倍  |
| 左右動ダンパ減衰   | 標準の2倍  |
| 車体異常上昇止め間隔 | 標準 70mm を 130mm に拡大                              |
| 軸箱ストップ遊間   | 上方: 標準 24mm を 60mm に拡大<br>下方: 標準 28mm を 35mm に拡大 |
| 左右動ストップ遊間  | 標準 20mm を 40mm に拡大                               |

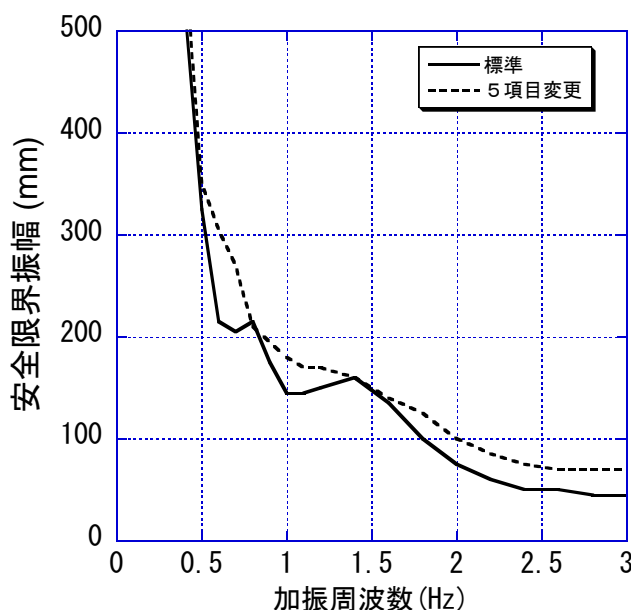


図2 5項目組合せて変更したときの走行安全限界線図

#### 3.2 クラッシュブルストップ

著大な地震動によって車両が大きく揺すられて、車体と台車間の左右動ストップに過大な荷重が作用した際に、図3のようにストップ座が潰れ、左右動ストップの遊間が拡がる機構（クラッシュブルストップと呼ぶ）を採用したときの走行安全限界線図を図4に示す。クラッシュブルストップモデルは、通常走行状態では図5中の基本特性として遊間20mmの左右動ストップとして機能し、著大な荷重で圧壊後には遊間が拡大して図5中の圧壊後特性となるものとした。ここでは圧壊する閾値を超えた直後にばね特性を切り替えるモデルとし、ストップが圧壊する過程における部材の塑性変形によるエネルギー吸収は考慮していない。つまり、このクラッシュブルストップモデルでは著大な地震の時にだけ左右動ストップ遊間が大きくなる機能に着目したモデル化を行っている。図4より、図5の圧壊後特性、圧壊閾値300kNのクラッシュブルストップを用いたとき、加振周波数1.8Hz以上で安全限界振幅が高くなる事が分かる。しかし、加振周波数1.6Hz以下では安全限界振幅が低くなった。

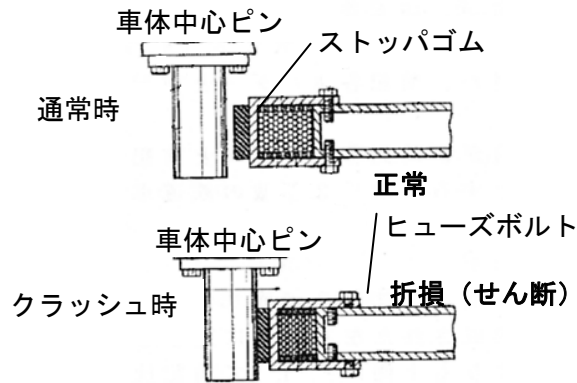


図3 クラッシュブルストップパ模式図（メカニカルヒューズタイプ）

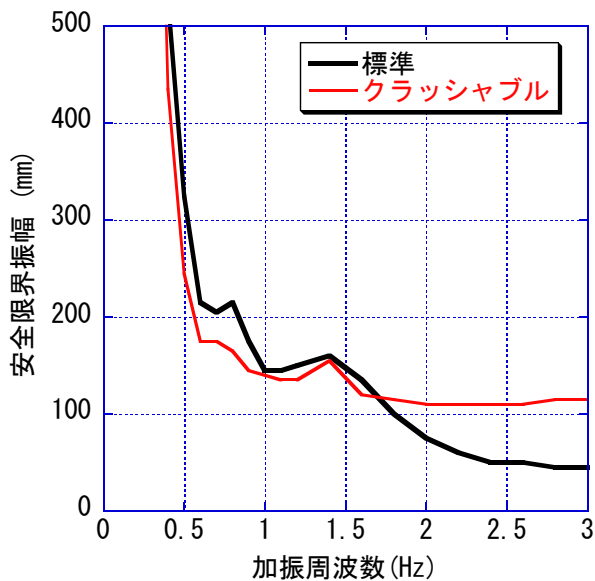


図4 クラッシュブルストップパを用いた時の  
走行安全限界線図

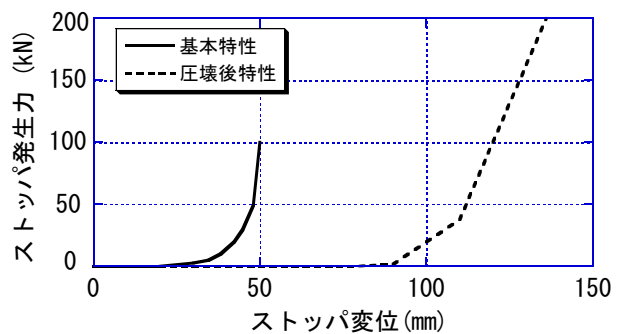


図5 クラッシュブルストップパの圧壊後のばね特性

### 3.3 地震対策左右動ダンパ

大きな地震が発生した場合には、車両各部は通常とは異なった大きな動きとなるという特徴を活かして、大きな地震の時にだけ機能する対策をいくつか考案し、その効果をシミュレーションによって検討した。その中のひとつとして地震対策左右動ダンパを紹介する。ここで提案する地震対策左右動ダンパは図6に示す性能を有し、通常時のダンパ使用速度範囲 0.2m/sec を超えたときに、減衰力がダンパ速度の2乗に比例して大きくなる特性とした。ダンパ速度に対する切り替えはダンパ内部の油圧回路で実現出来ると考えられる。すなわち、この地震対策左右動ダンパは通常時の走行性能に影響を及ぼすことなく、かつ特殊な切り替え機構も不要にして、ダンパ速度が高速となる異常時のみ作動するものである。提案した地震対策左右動ダンパを用いた場合には図7に示すように、加振周波数 0.6Hz 以上の広い範囲で走行安全限界が高くなり、地震時の走行安全性を向上させる効果があることが分かった。

### 3.4 地震対策左右動ダンパとクラッシュブルストップパの組合せ

クラッシュブルストップパと地震対策左右動ダンパを併用した場合には、それぞれの上述した性能を変更することで効果が大きくなり、単独の性能変更結果と併用した場合の走行安全限界線図を図8に示す。

加振周波数 2.4Hz 以上でクラッシュブルストップ単体の安全限界振幅を下回るものの、加振周波数 0.6Hz 以上の広い範囲で比較的大きな効果が得られることが分かる。左右動ストップを大きく広げて、かつ左右動ダンパによる減衰力を大きくしたことで、両者の利点が活かされ地震時走行安全性が向上したと考えられる。

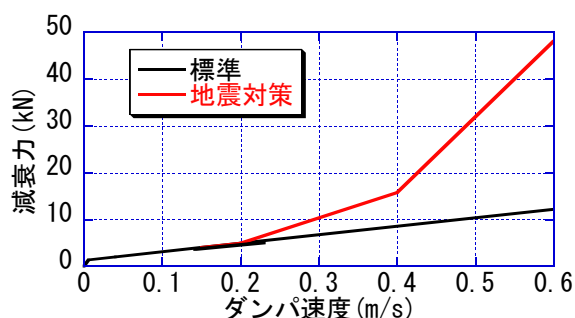


図 6 地震対策左右動ダンパの特性

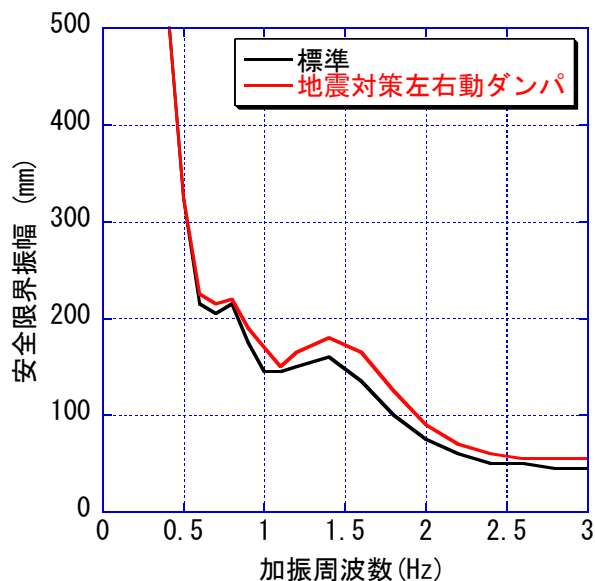


図 7 地震対策左右動ダンパを用いた時の走行安全限界線図

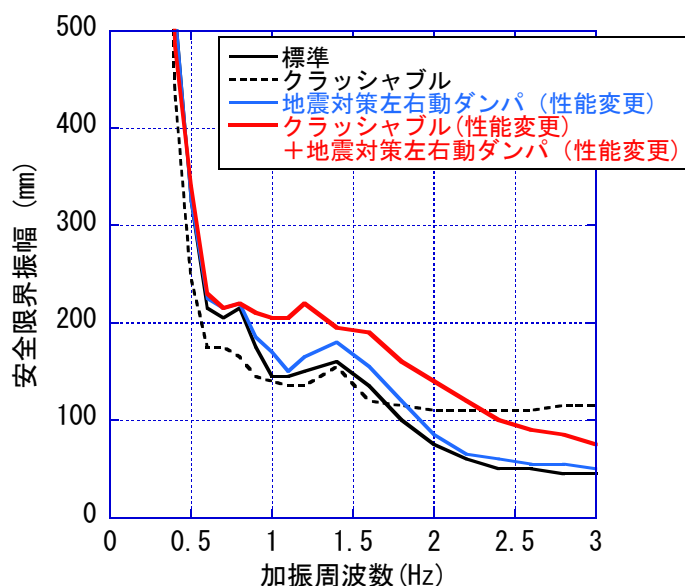


図 8 地震対策左右動ダンパとクラッシュブルストップを併用した時の走行安全限界線図

#### 4. おわりに

地震時の鉄道の安全性を向上する方策については、現在さまざまな検討が進められている。ここでは計算機シミュレーションにより、車両側で取り得る地震対策の可能性を示した。現在、地震対策左右動ダンパを製作し、特性の確認を進めている。今年度中に、実物大の振動台実験で地震時の安全性向上効果を確認する予定である。