

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

地震による車両の揺れを抑えて脱線を防ぐ

激しい地震の揺れにより鉄道車両が脱線するのを防ぐため、さまざまな研究が行なわれています。これまでの検討により、車体の揺れを抑えることで脱線を防止できることがわかりました。この結果をもとに、地震時に車体の揺れを抑え脱線防止を図る台車部品の開発に取り組みました。今回は、その概要と、加振試験や数値計算による脱線防止効果の確認を中心とした開発の様子についてご紹介します。

はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震は日中の生活時間帯での発生であったため、鉄道に乗車していた方も多く、その中には激しい地震に遭遇した場合に鉄道車両がどのようなになってしまうのかを考えた方も多かったのではないのでしょうか。車両が激しい地震に遭遇し脱線してしまうと、重大な被害が発生する可能性があります。このような場合に被害を軽減する方策としては、地震発生後直ちに車両の走行速度を可能な限り低くすることが有効であると考えられます。車両の走行速度が低ければ、どのような事態となっても被害を最小限に抑えることができるからです。そして、なによりも車両を脱線させないことが大事であると考えられます。

では、脱線を防止するためには、どのような方策が必要となるのでしょうか。そのためには、まず、地震による脱線のメカニズムを知る必要があります。兵庫県南部地震や新幹線が被災し脱線した新潟県中越地震などを契機に、地震による脱線のメカニズムについての検討が進められています。鉄道

総研では、地震時のように車両の各部が大きく変位する場合においても解析が可能な車両運動シミュレーションプログラムを開発し¹⁾、地震により車両が脱線に至るプロセスを数値計算により調査しました。その結果、地震の揺れ方や周波数により脱線の形態は異なるものの、軌道が健全に近い状態でも車体と台車に生じた激しい揺れが相互に作用し脱線に至ることがわかりました。さらに、台車のばねやダンパー諸元を変更した際の脱線に対する安全性の向上効果についても調査を行いました²⁾。その結果、左右動ダンパー(図1)の減衰性能を高め、車体の揺れを抑制することが、脱線に対する安全性の向上に有効であることがわかりました。

本稿では、この検討結果をもとに開発した、地震時にのみ大きな減衰力を発生して脱線を防止する地震時脱線対策左右動ダンパー(以下、地震対策ダンパー)の概要と、各種試験や数値計算により確認された脱線防止効果について紹介します。



鈴木 貢
Mitsugi Suzuki
鉄道力学研究部
車両力学研究室
主任研究員
[専門分野] 走行安全性
測定技術, 走行安全性



飯田 浩平
Kouhei Iida
鉄道力学研究部
車両力学研究室
副主任研究員
[専門分野] 地震時走行
安全性, 台車諸元同定
技術



遠竹 隆行
Takayuki Toutake
車両構造技術研究部
車両運動研究室
副主任研究員
[専門分野] 走行安定性,
走行安全性



中嶋 大智
Daichi Nakajima
鉄道力学研究部
車両力学研究室
副主任研究員
[専門分野] 地震時走行
安全性, 走行安定性



宮本 岳史
Takefumi Miyamoto
鉄道力学研究部
車両力学研究室
室長
[専門分野] 地震時走行
安全性, マルチボディ
ダイナミクス

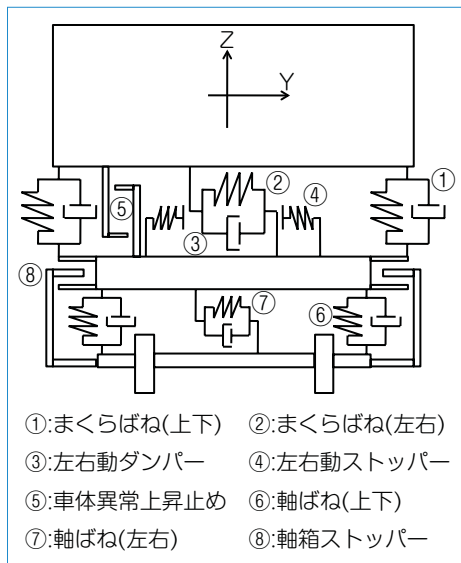


図1 車両モデル(正面図)の概要



図2 試作ダンパー

地震対策ダンパーの概要

(1) 開発コンセプト

地震対策ダンパーは、高速で走行するため地震時においても高い安全性が要求される新幹線車両用のものを対象とし、次の2つの要件を満たすよう開発を進めました。

その要件とは、まず、地震時には大きな減衰力を発生し、常時には現行の左右動ダンパー(以下、現行ダンパーと記す)と変わらぬ減衰性能を有すること、実装に当たっては台車や車体に大幅な構造変更が生じないことの2つです。

前者については、地震時の脱線防止に効果があっても、常時の乗り心地を損なうことは避けたいためです。このため、ダンパーのピストン速度に応じて異なる減衰性能を設定することとしました。具体的には、通常使用するピストン速度の範囲(200mm/sec以下)では発生する減衰力は現行のままとし、ピストン速度がそれ以上大きくなる範囲では大きな減衰力を発生する減衰特性としました。

後者については、地震対策ダンパーをより現実的なものとするため、既存の車両にも実装可能な形状でなければ

なりません。そこで、実在する車両に実装することを想定し、車体と台車の位置関係などを確認し、これに適合する形状にしました。

(2) 開発の変遷と概要

これまでに、開発中のものを含め図2に示す3タイプの地震対策ダンパーを試作しました³⁾。まず、I型は最初に試作したもので、油圧回路には一般的な左右動ダンパーで多く用いられているユニフロー型(☞参照)となっており、フルアクティブ振動制御装置に対応可能な2段切替式ダンパーとなっています。高速試験用新幹線に実装し、常時の乗り心地を調査しました。

II型ではフルアクティブ振動制御装置への対応を止め、減衰力発生不良の解消に重点をおきました。油圧回路を作動油の移動を抑制可能なバイフロー型(☞参照)へ変更するとともに、ダンパー形状を見直し、ピストン速度が高速となる場合においても安定して減衰力が発生することを確認しました。

☞ ユニフロー型油圧回路

伸張行程、圧縮行程ともに同じ減衰弁を使用する油圧回路。

☞ バイフロー型油圧回路

伸張行程、圧縮行程でそれぞれ異なる減衰弁を使用する油圧回路。

III形は現在開発中のタイプです。II型で得られた結果を基に、アキュムレーターの外付けなどのさらなる油圧回路見直しにより小型化を図りました。また、実用化に向け、フルアクティブ振動制御装置への対応も図りました。

なお、本稿では、II型により得られた脱線防止効果について紹介します。

大型振動試験装置による性能確認

(1) 試験概要

地震対策ダンパーの地震時の性能確認にあたっては、より現実に近い状態とするため車両に実装した条件での確認が必要となります。そこで、鉄道総研の所有する大型振動試験装置上に実物の軌道、新幹線台車および車体を模擬した荷重枠から構成される試験体(図3)を配し、これをまくらぎ方向に正弦波または地震波により加振しました。この際、試験体に地震対策ダンパーを装備した場合と現行ダンパーを装備

表1 正弦波加振試験での加振条件

加振種別	加振加速度 / 加振倍率 (設定値)
正弦波 0.5Hz	120, 130, 140, 150 Gal
正弦波 0.7Hz	110, 115, 120, 125 Gal
正弦波 1.0Hz	300, 350, 400 Gal
正弦波 1.2Hz	400, 450, 500, 550, 600 Gal
正弦波 1.3Hz	550, 600 Gal
正弦波 1.6Hz	500, 600 Gal
中越推定地震動	50, 60, 65%

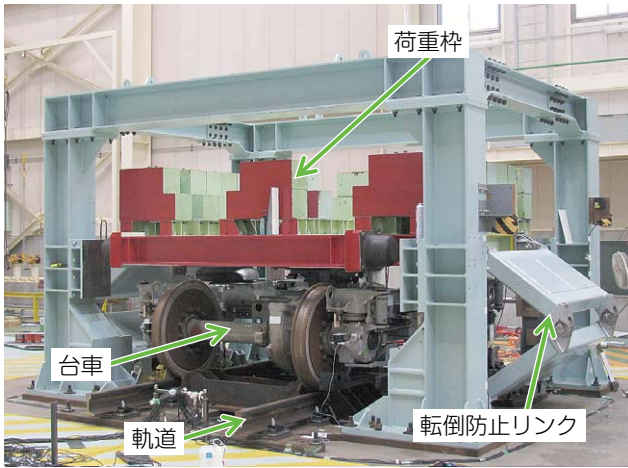


図3 試験体外観

した場合について、加振振幅を大きくしながら、脱線防止効果を確認しました。また、この試験では、装置の性能や安全面の配慮から、軌道に貼付したひずみゲージから得られた輪重がゼロとなる状態、つまり車輪がレールから離れた状態を脱線とみなし、その限界となる加振条件を調査しました。

(2) 正弦波加振試験

正弦波加振試験では、表1に示す加振条件により試験を実施しました。この際、荷重条件は空車相当としました。

各加振周波数で輪重がゼロとなった振動台左右変位振幅（以下、加振振幅と記す）の最小値を図4に示します。輪重がゼロとなる際の加振振幅は、加振周波数0.6Hz以下では双方のダンパーとも同じであるのに対し、0.7Hz以上では現行ダンパーに比べ地震対策ダンパーのものが大きくなっており、脱線に対する安全性が向上していることが確認されました。

本試験結果には1.2Hzまでのものしか示されていません。これは、1.3Hzの加振が現行ダンパーの耐荷重条件をはるかに超えるものであったため破損してしまい、比較データを得られなかったことによるものです。なお、地震対策ダンパーでは、現行ダンパーが破損するような加振条件においても、

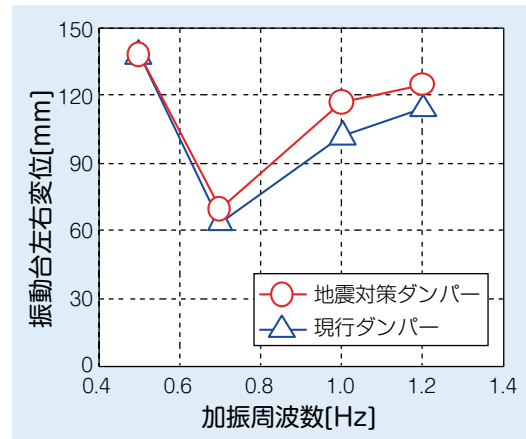


図4 正弦波加振試験結果

健全な状態で減衰力を発生していることが確認されました。

(3) 地震波加振試験

地震波加振試験では新潟県中越地震で新幹線車両が脱線した高架橋上で揺れを推定した推定地震動⁴⁾により、加振振幅の倍率を段階的に大きくしながら試験を実施し、輪重がゼロとなる加振条件を調査しました。この際、荷重条件は定員乗車相当としました。

試験の結果、加振振幅の倍率が地震対策ダンパーでは65%、現行ダンパーでは60%の条件で、それぞれ輪重がゼロになることが確認されました。この時の輪重と振動台左右変位の時刻歴波形を図5に示します。地震対策ダンパーでは現行ダンパーに比べ輪重ゼロとなる加振振幅の倍率が5%大きくなっており、脱線に対する安全性が向上していることが確認されました。

数値計算による性能確認

振動台試験で使用した試験体は、1)

半車体相当である、2) 転倒防止用アームが付加されている、3) 停止状態である、4) ヨーダンパーを装備していないなどの理由により、実際の走行中の車両とは異なります。そこで、これを補間するため、数値計算により走行状態での地震対策ダンパーの脱線防止効果を確認しました。この際、車両は新幹線車両（定員乗車）、左右動ダンパーの特性以外については一般的なものとし、左右動ダンパーについては地震対策ダンパーと、比較用として現行ダンパーの特性を有するものとししました。この車両が速度275km/hで不整の無い直線軌道上を走行する条件で計算を行いました。

計算結果として、双方のダンパー条件で得られた走行安全限界振幅（参照）と、その比である限界振幅向上率を図6に示します。地震対策ダンパーを装備した条件での安全限界振幅は、全ての周波数領域にわたって現行ダンパーのものに比べて大きく、脱線に対

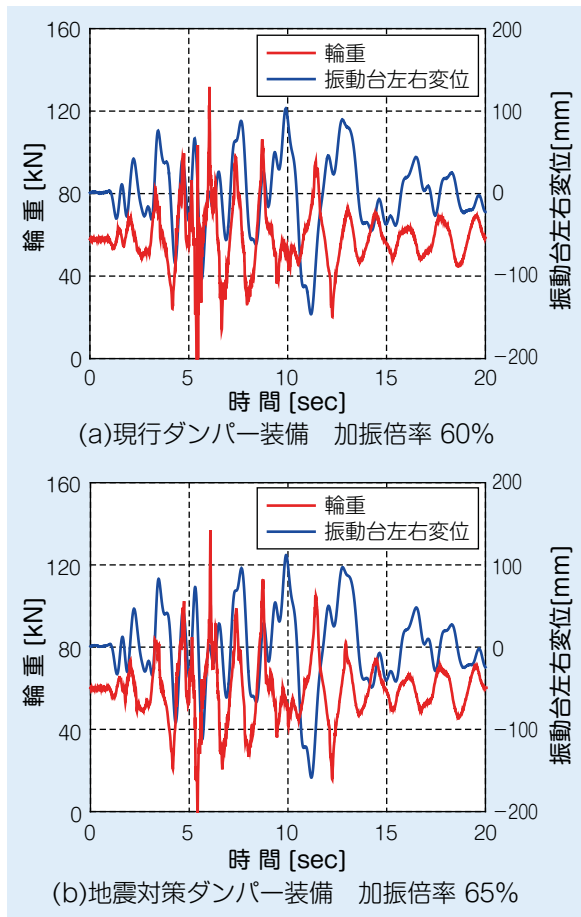


図5 地震波加振試験結果(輪重ゼロ観測時)

する安全性が向上していることが確認されました。また、限界振幅向上率からその向上効果は加振周波数によって変化しているものの、最大で17%程度大きくなっていることが確認されました。特に1.2Hz~2.4Hzでの周波数帯では、脱線を防止する効果が大きいことが分かりました。

さらなる安全性向上を目指して

前記のとおり、Ⅲ型の地震対策ダンパーについては、現在、鋭意開発を進めております。これに併せ、地震時におけるさらなる安全性の向上を目指して、地震対策クラッシュブルストッ

走行安全限界振幅

軌道振動を正弦波5波による左右加振を入力条件とし、走行安全限界振幅は車輪とレールの相対左右変位が70mmに達した時に脱線状態であると判断し、この際の加振振幅より5mm小さい脱線しない最大の振幅。

パー装置(図7)の開発も行っております。本装置は、常時は従来の左右動ストッパーとして機能し、地震時に激しいストッパー当りが生じることで所定の仕掛けによりストッパー遊間を拡大するものです。これによりストッパー当りをするまでの間隔を広げ、ストッパーに当りにくくします。また、地震対策ダンパーと併用することにより、拡大した遊間がダンパーの動作域となることでさらに大きな減衰力を発生させることができます。地震対策クラッシュブルストッパー装置による脱線防止効果については、Ⅲ型の地震対策ダンパーのものと併せ、改めて別の場で報告します。

おわりに

地震時における鉄道車両の脱線を防止する方策の一つとして地震対策ダンパーを提案、試作し、各種試験によりその効果を確認しました。その結果、

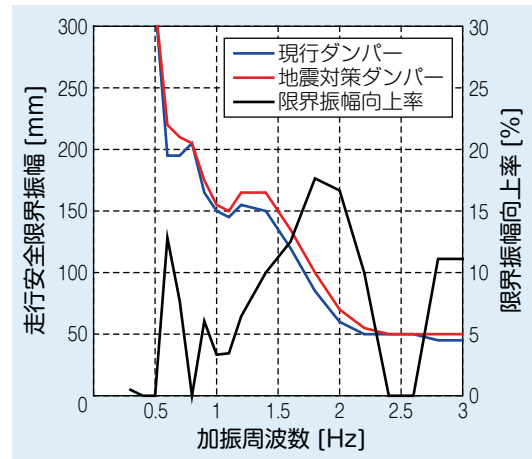


図6 数値計算結果



図7 クラッシュブルストッパー装置(油圧動作型)

従来に比べ脱線に対する安全性が向上すること、また、常時においては走行性能を損なわないことを確認しました。今後は、在来線車両や、様々な振動制御装置への対応を図るとともに、地震対策クラッシュブルストッパー装置との並行運用などに関する検討を進め、地震時における走行安全性のさらなる向上を目指していきたいと考えています。[RRR]

文献

- 1) 宮本, 他: 地震時の鉄道車両の挙動解析, 日本機械学会論文集C編, Vol.64, No.626, pp.236-243, 1998
- 2) 宮本, 石田: 台車改良による地震時走行安全性の向上に関する解析, 鉄道総研報告, Vol.121, No.12, pp.35-40, 2007
- 3) 鈴木, 梶谷, 石井, 他: 地震対策用左右動ダンパの開発, J-Rail 2010 講演論文集, pp.453-456, 2010
- 4) 新潟県中越地震新幹線脱線シミュレーション解析, 鉄道総研報告, 特別第52号, 2008