

地震対策用左右動ダンパの開発

正[機] 鈴木 貢 (鉄道総研)

正[機] 飯田 浩平 (鉄道総研)

正[機] 中嶋 大智 (鉄道総研)

正[機] 遠竹 隆行 (鉄道総研)

正[機] 宮本 岳史 (鉄道総研)

正[機] 浅野 浩二 (JR 東日本)

正[機] 加藤 博之 (JR 東日本)

正[機] 梶谷 泰史 (JR 東日本)

正[機] 石井 大輔 (KYB)

Mitsugi SUZUKI, Ko-hei IIDA, Daichi NAKAJIMA, Takayuki TOHTAKE, Takefumi MIYAMOTO, RTRI
 Kouji ASANO, Hiroyuki KATOU, Yasushi KAJITANI, East Japan Railway Company
 Daisuke Ishii, KYB

We developed a new lateral damper for running safety of railway vehicles in case of an earthquake. The damper controls the shake of the vehicle, and prevents the derailment according to a large damping force. Moreover, the damper does not require large modifications of a bogie, and maintains usual running performances. We confirmed performances of the damper using numerical simulation and some experiments. This paper describes performance of the damper.

Keywords: railway vehicle, earthquake measure, running safety, lateral damper

1. はじめに

2004 年に発生した新潟県中越地震では、走行中の新幹線が被災し脱線した。その後、地震時における鉄道システムの安全性を向上する方策に関しては、様々な検討がなされ、その一部は既に実用化されている。これまでに鉄道総研では、地震時のような車両各部が大変位する場合においても解析が可能な車両運動シュミレーションプログラムの開発を行った¹⁾。さらに、これを用いた数値計算により、台車を改良することで地震時の走行安全性向上を図る方策についての検討を行った²⁾。この結果、その一つとして、車体左右動ダンパの減衰性能を高めることで車両の振動を抑制することが、地震時の脱線対策に有効であることが分かった。

この検討結果を基に、新幹線車両での使用を前提とした、通常時の走行性能を損なうことなく、地震時のみ大きな減衰力を発生する地震対策用左右動ダンパを試作した。ダンパ単体の性能試験、大型振動台を用いた実台車加振実験³⁾による安全性向上効果の実証、高速試験用新幹線車両を用いた本線での通常時の機能確認のための走行試験ならびに数値計算を実施した。以下に、その内容を紹介する。

2. 地震対策左右動ダンパの概要

地震対策左右動ダンパは、地震時には車両の振動を抑制するための大きな減衰力の発生が、通常時には走行性能を損なわぬよう従来のものと同様の減衰特性が要求される。このため、ダンパピストン速度に応じた減衰特性を設定する事でこれを実現した。具体的には、通常使用するダンパピストン速度域内では従来のままとし、地震時に軌道が大きく振動することで、ダンパピストン速度が高速となる速度域においては大きな減衰力を発生する減衰特性とした。

使用する油圧回路については、1)ピストンおよびシリンダ形状を決定する自由度が高いこと、2)作動油の移動量が少ないこと、3)内圧の上昇による減衰不良が発生しにくいことなどを考慮し、パイフロー構造(図 1)のものを採用した。試作した地震対策左右動ダンパの外観を図 2 に示す。

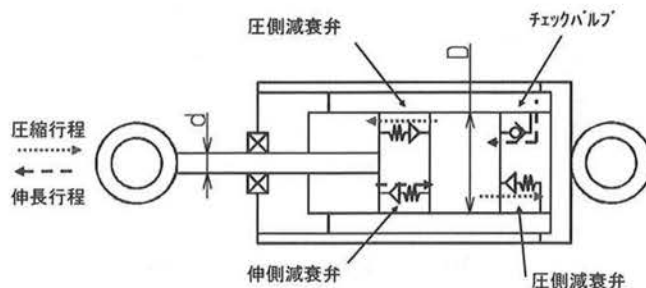


図 1 地震対策左右動ダンパ油圧回路概略図

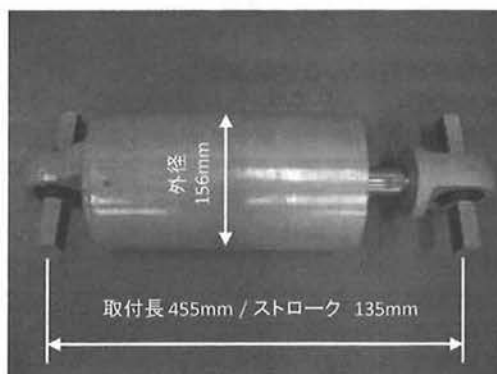


図 2 地震対策左右動ダンパ外観

3. 単体性能試験

ダンパ性能試験機を用いた正弦波加振により単体性能試験を実施し、地震対策左右動ダンパの減衰性能を調査した。なお、この際、比較のため通常使用される一般的な性能の左右動ダンパについても同様の試験を実施した。

試験結果としてダンパ性能線図を図 3 に、ダンパピストン速度と減衰力のリサージュを図 4 に示す。

地震対策左右動ダンパの減衰性能は、ダンパピストン速度が 200mm/s 以下の通常使用域では、一般的な左右動ダンパのものと同等であった。これを超える速度域では、一般的な左右動ダンパに比べ最大で 2 倍程度大きい減衰力の発生が確認された。また、地震対策左右動ダンパではリサージュが規則的な減衰力の発生を示す円に近い状態となっているのに対し、減衰力の発生がないことを示す欠けが確認された。

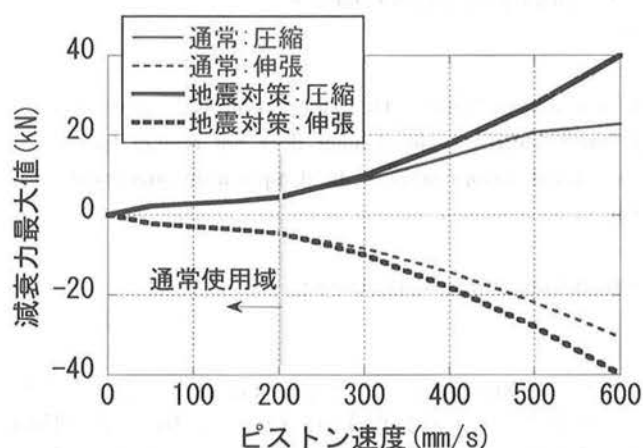


図 3 ダンパ性能線図(FV 線図)

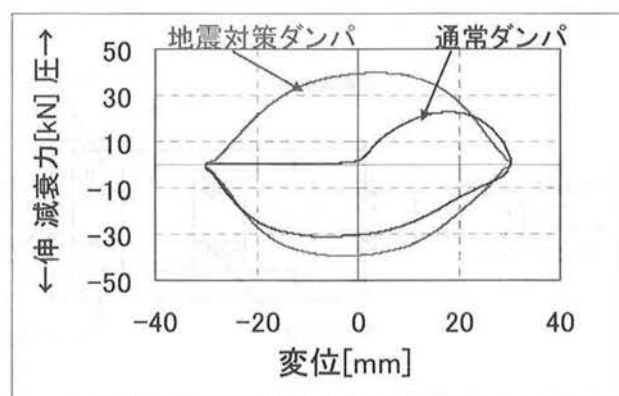


図 4 ピストン変位-減衰力リサージュ
(ピストン速度 600mm/s)

4. 振動台試験による性能確認

4.1 試験概要

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 5)を配し、これをまくら木方向に正弦波または地震波により加振した。この際、試験体に地震対策左右動ダンパを装備した場合と一般的な左右動ダンパを装備した場合について、加振振幅を大きくしながら、輪重がゼロとなる振幅ならびにこの時の各部の挙動について調査した。

4.1 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た。この際、荷重条件は空車相当とした。

試験結果として、輪重がゼロとなった際の加振周波数と振動台左右変位振幅(加振振幅)最小値の関係を図 6 に示す。加振周波数 0.7Hz 以上では、輪重がゼロとなる際の振動台左右変位振幅最小値は一般的な左右動ダンパに比べ地震対策左右動ダンパの場合に大きく、振動に対する安全性が向上していることが確認された。

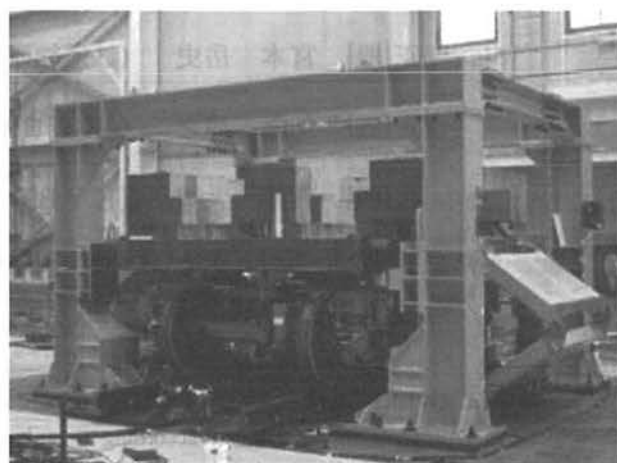


図 5 試験体概略図

表 1 正弦波加振試験での加振条件

加振周波数 [Hz]	加振加速度 [Gal]
0.5	120, 130, 140, 150
0.7	110, 115, 120, 125
1.0	300, 350, 400
1.2	400, 450, 500, 550, 600
1.3	500, 600
1.6	500

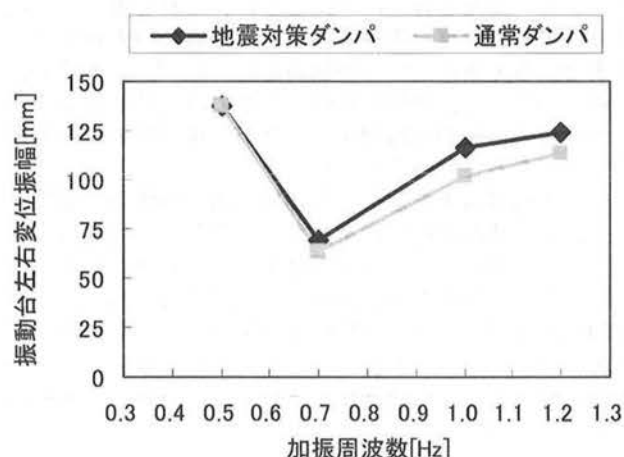
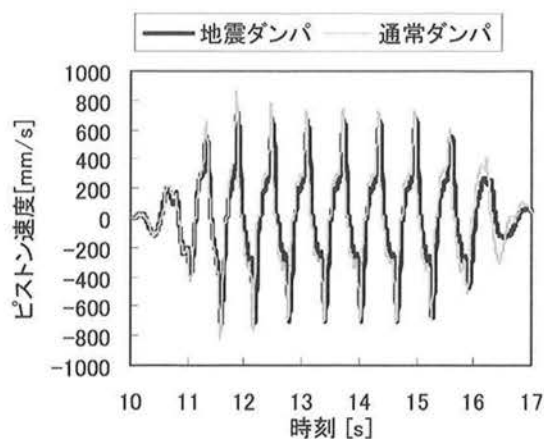
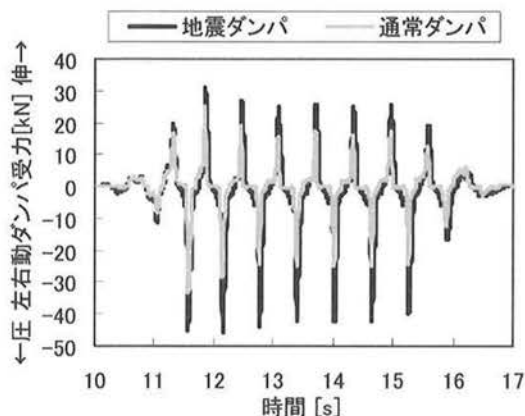


図 6 輪重ゼロ時の振動台左右変位振幅の比較

図 7 に加振周波数 1.6Hz、加速度振幅 500Gal で加振した際のダンパピストン速度およびダンパ受け発生力の時刻歴波形を示す。地震対策左右動ダンパでは一般的な左右動ダンパに比べ、ダンパピストン速度は小さく、ダンパ受け発生力は大きくなっていることが確認された。このことから、地震対策ダンパでは、ダンパピストン速度の高速域においても大きな減衰力を発生し、高い減衰性能を発揮している事が窺えた。



(a) ダンパピストン速度



(b) ダンパ受け発生力

図7 ダンパ速度およびダンパ受け発生力の時刻歴波形
(加振周波数 1.6Hz、加振加速度 500Gal)

4.2 地震波加振試験

地震波加振試験では中越推定地震動の条件により試験を実施した。この際、荷重条件は定員相当とした。

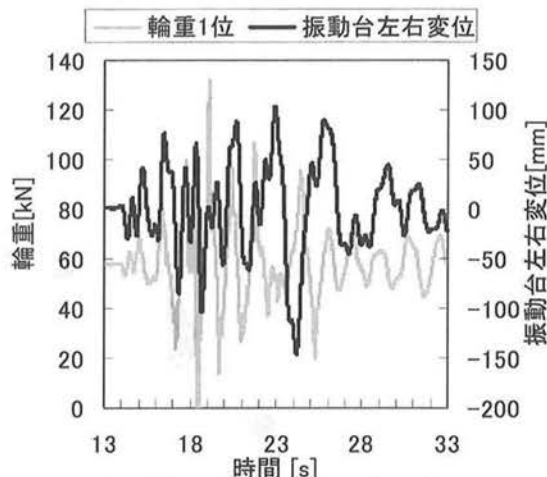
試験の結果、地震対策左右動ダンパおよび一般的な左右動ダンパで輪重ゼロが観測された際の振動台左右変位の全振幅はそれぞれ 159mm と 149mm であった。この時の輪重と振動台左右変位の時刻歴波形を図8に示す。地震対策左右動ダンパでは一般的な左右動ダンパに比べ輪重ゼロとなる加振振幅が 10%程度大きく、走行安全性向上の効果があることが確認された。

5. 数値計算による性能確認

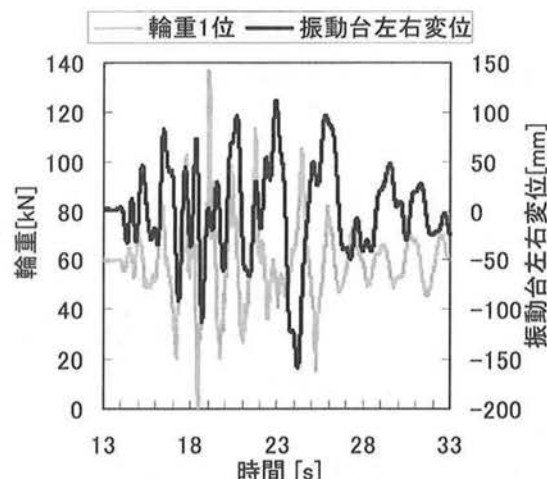
振動台試験で使用した試験体は、1)半車体相当である、2)転倒防止用アームが付加されている、3)停止状態である 4)ヨーダンパを装備していないなどの理由により、実際の車両の走行を完全模擬できてはいない。そこで、地震対策左右動ダンパを装着した際の走行安全性向上の効果を数値計算により確認を行った。この際、車両は新幹線車両(定員乗車)、車体左右動ダンパの特性以外については標準のものとして、車体左右動ダンパについては地震対策左右動ダンパと比較のための一般的な左右動ダンパの特性を有するものとした。この車両が速度 275km/h で不整の無い直線軌道上を走行する条件で計算を実施した。

計算結果として、正弦波 5 波加振による地震時の走行安全性解析結果を図9に示す。地震対策左右動ダンパ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渡って一般的な左右動ダンパのものに比べ大きく、その

効果は加振周波数によって変化するが、最大では 17%程度大きくくなっていることが確認された。特に加振周波数 1.2Hz~2.4Hz の車両の上心ローリングに起因したロッキング脱線防止する効果が大きいことが分かった。



(a) 地震対策左右動ダンパ



(b) 一般的な左右動ダンパ

(加振振幅 146mm)

図8 輪重および振動台左右変位の時刻歴波形

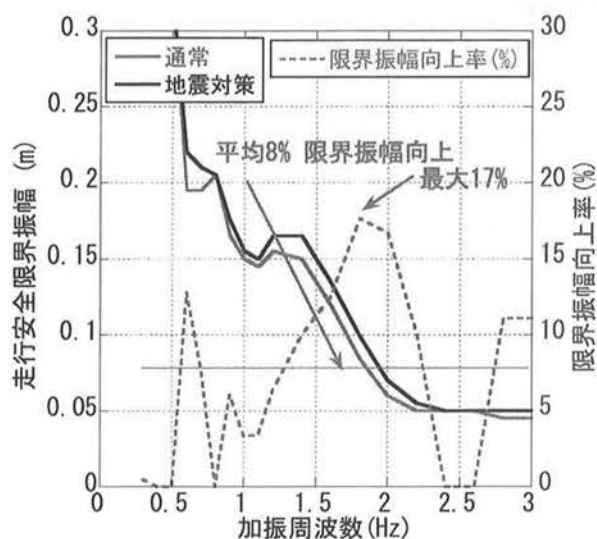


図9 数値計算による地震対策左右動ダンパの効果

6. 通常走行時の性能確認

高速走行試験用新幹線車両に地震対策左右動ダンパを装備し、走行速度 245km/h~315km/h までの高速走行

時の性能確認試験を実施した。

試験結果として、ダンパピストン速度最大値と走行速度の関係を Fig.10 に示す。ダンパピストン速度は走行速度の上昇とともに大きくなるものの、最大で 150mm/s であった。単体性能試験結果等より、ダンパピストン速度が 200mm/s 以下の範囲では一般的な左右動ダンパと変わらぬ減衰特性であることから、地震対策左右動ダンパを装備しても左右動ダンパとしての通常の機能に問題がないことが確認された。

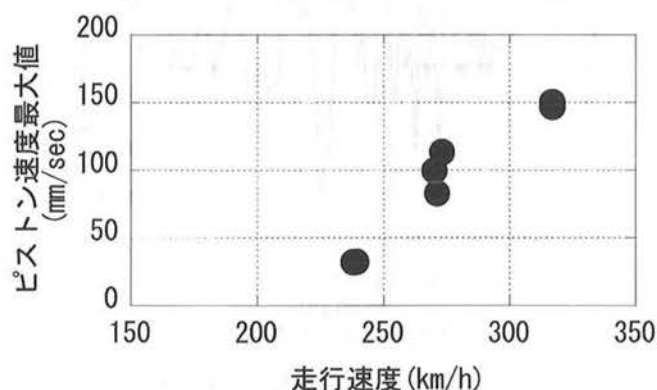


図 10 通常走行時性能確認試験における
ダンパピストン速度の測定最大値

7. まとめ

台車改良による地震時の脱線防止対策として、地震対策左右動ダンパの開発を行った。開発したダンパを用いた各種試験ならびに数値計算によりその効果を確認した。その結果、地震時のような環境下においては大きな減衰力を発生させることで、車両の動揺を抑制し、脱線を防止する効果があることを確認した。また、通常走行時には従来の車体左右動ダンパと変わらぬ機能であることを確認した。

今後は、本体の小型軽量化ならびに 2 次サスペンションの振動制御がある場合の地震対策左右動ダンパの導入について検討を進めていく。

参考文献

- 1) 宮本岳史, 石田弘明, 松尾雅樹 : 地震時の鉄道車両の挙動解析—上下, 左右に振動する軌道上の車両運動シミュレーション—, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.64, No.626, pp.236-243, 1998.10.
- 2) 宮本岳史, 石田弘明 : 台車改良による地震時走行安定性向上に関する研究, 鉄道総研, Vol21, No.12, pp.35-40 2007
- 3) 宮本岳史, 松本信之, 曾我部正道, 下村隆行, 西山幸夫, 松尾雅樹 : 大変位軌道振動による実物大鉄道車両の加振実験, 機論 C, 71-706, pp. 1849-1855, 2005