

## 車両用地震時脱線防止対策左右動ダンパの開発

鉄道力学研究部 車両力学  
副主任研究員 鈴木 貢

### 1. はじめに

地震時における鉄道システムの安全性を向上させる方策については、これまでに様々な検討がなされてきた。このうち、車両側からの取り組みとして、台車改良により地震時の走行安全性の向上を図る検討がある<sup>1)</sup>。これにより、左右動ダンパの減衰性能を高めることで、地震により生じた車両の動揺を抑制することが脱線対策に有効であるという知見が得られた。

この検討結果を基に、新幹線車両での使用を前提とし、通常走行時には乗り心地の確保などこれまでと同様に機能し、地震時には大きな減衰力を発生することで車両の脱線を防止する新しい左右動ダンパ（以下、地震対策ダンパと記す）を試作した。本発表では、地震対策ダンパの概要と、その機能を確認するために実施した試験ならびに数値計算の内容と結果を報告する。

### 2. 地震対策ダンパの概要

地震対策ダンパには、地震時には車両の動揺を抑制するための大きな減衰力が、通常時には乗り心地向上のため従来の左右動ダンパと変わらぬ減衰特性が、各々要求される。これに対し、ダンパピストン速度に応じた減衰特性を設定することで要求性能を実現した。具体的には、ダンパピストン速度が、通常使用する速度域においては減衰力を従来のとおりとし、地震時の大きな軌道変位により車両が大きく振動する高い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。このような減衰特性を実現するため、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の特徴を有したバイフロー構造(図1)の油圧回路を採用した。試作したダンパの外観を図2に示す。

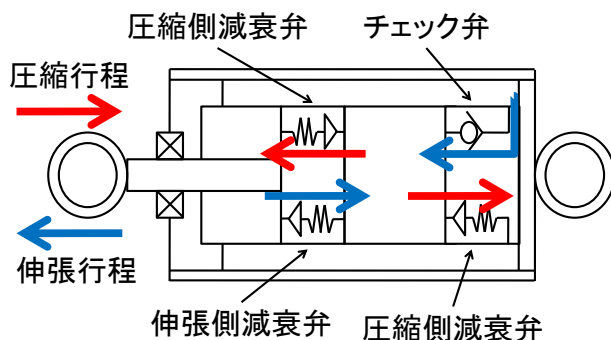


図 1 地震対策ダンパ油圧回路概略図



(単位: mm)

	地震対策	現 行	
		電磁弁なし	電磁弁あり
外 径	156	90	102
取付長	455		
ストローク	135		
シリンダ内径	90	70	
ピストンロッド外径	35		

図 2 地震対策ダンパ外観

### 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、地震対策ダンパの減衰性能を調査した。なお、この際、比較のため従来から使用されている一般的な左右動ダンパ(以下、現行ダンパと記す)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、ダンパピストン変位と減衰力のリサージュを図 4 に示す。地震対策ダンパの減衰性能は、ダンパピストン速度が 200mm/sec 以下の通常使用域においては現行ダンパのものと同等であるのに対し、これを超える速度域においては現行ダンパに比べ最大で 2 倍程度大きい減衰力が発生することが確認された。また、ピストン速度が高速になった場合においても、地震対策ダンパのリサージュは規則的な減衰力の発生を示す円に近い状態となるのに対し、現行ダンパのリサージュには減衰力の発生がないことを示す欠けが確認された。

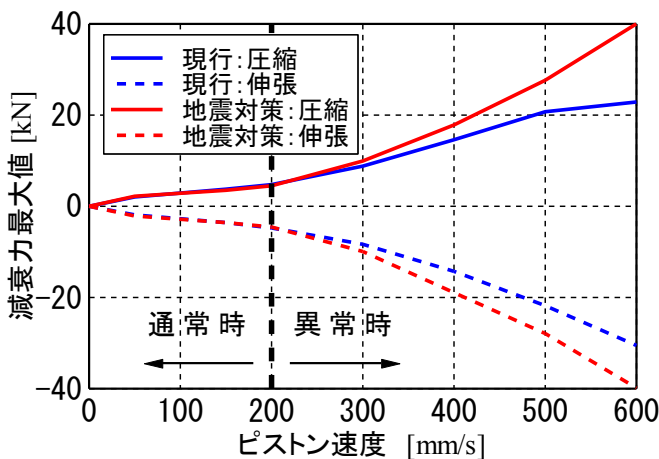


図 3 ダンパ性能線図 (FV 線図)

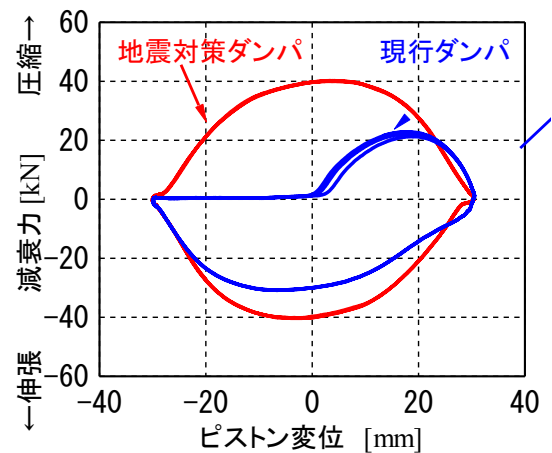


図 4 ピストン変位-減衰力のリサージュ (ピストン速度 600mm/sec 時)

### 4. 大型振動試験装置による性能確認試験

#### 4.1 試験概要

大型振動試験装置上(以下、振動台と記す)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なる半車体モデルの試験体(図 5)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た。この際、加振振幅を段階的に大きくしていき、試験体に地震対策ダンパ、現行ダンパをそれぞれ装備した場合の車輪がレールから離れる～輪重がゼロとなる際の加振振幅ならびに車両各部の挙動について調査した。

#### 4.2 正弦波加振試験

正弦波加振試験により得られた、輪重がゼロとなった際の加振周波数と振動台左右変位(加振振幅)の最小値の関係を図 6 に示す。加振周波数が 0.7Hz 以上では、輪重がゼロとなる際の加振振幅の最小値は現行ダンパに比べ地震対策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。また、図 7 に加振周波数 1.6Hz、加振振幅 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。地震対策ダンパでは現行ダンパの場合に比べ、ダンパ

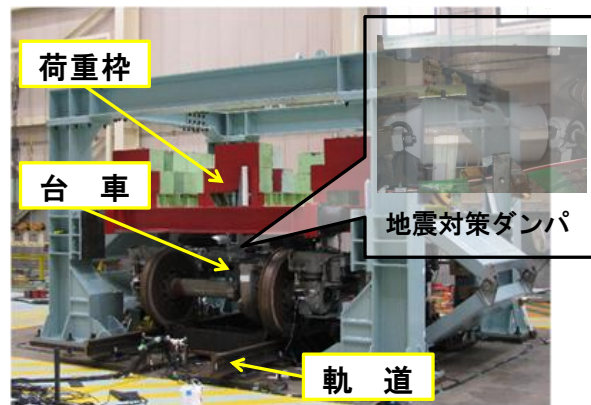


図 5 試験体外観

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った。このことから、地震対策ダンパはダンパピストン速度が高速となる場合に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確認された。

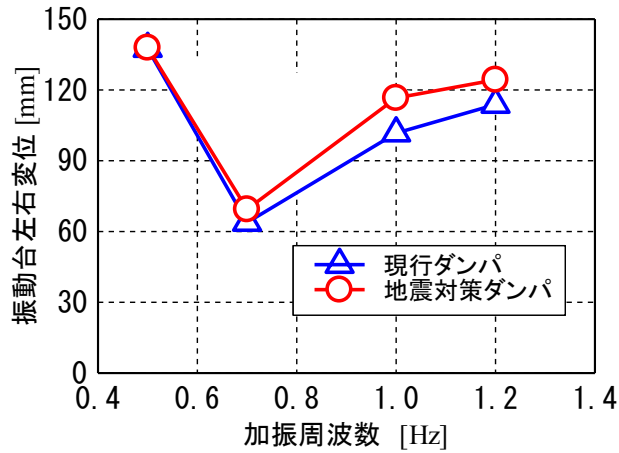
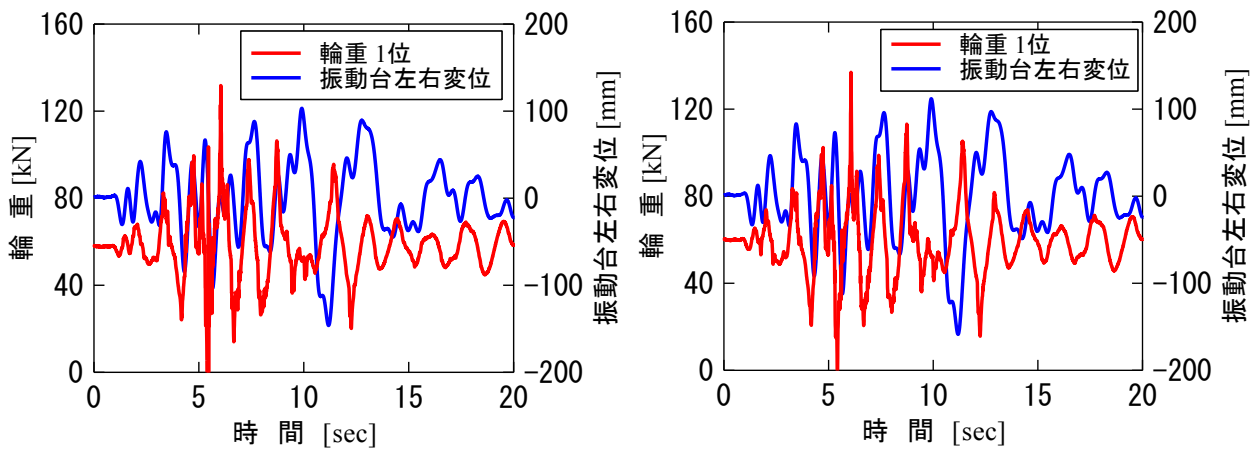


図 6 輪重ゼロ時の振動台左右変位の比較

#### 4.3 地震波加振試験

地震波加振試験では新潟県中越地震の推定地震動を用いて試験を実施した。試験の結果、地震対策ダンパ、現行ダンパの場合に輪重がゼロとなる際の振動台左右変位の最大振幅は、それぞれ 159mm と 146mm 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 7 に示す。地震対策ダンパでは現行ダンパの場合に比べ輪重がゼロとなる加振振幅が 10%程度大きく、走行安全性向上効果があることが確認された。



(a) 現行ダンパ(最大加振振幅 146mm)

(b) 地震対策ダンパ (最大加振振幅 159mm)

図 7 輪重ゼロ観測時の輪重および振動台左右変位の時刻歴波形

#### 5. 数値計算による性能確認試験

振動台による加振試験では、停止状態である、半車体モデルであるなどの理由により、実際の走行状態にある車両を完全に模擬できていない。そこで、これまでに得られた地震対策ダンパの減衰特性を反映した数値計算を行い、これを装備した際の走行安全性の向上効果を確認した。この時、比較のため、現行ダンパの減衰特性による計算も行った。また、これに先立ち、使用する計算モデルの妥当

性を検証するため、先に実施した振動台試験を数値計算によりトレースし、試験結果と計算結果の比較を行った。その結果、計算では急峻なピークこそ再現しきれていないものの、輪重がゼロとなるタイミングなど良く一致していることから(図 8)、本モデルは今回の計算に適していることを確認した。走行状態を模擬した計算では、振幅を段階的に大きくしながら正弦 5 波による左右加振を行い、車輪とレールの相対左右変位が 70mm 以上となった際に車両は脱線状態にあるとみなし、この直前の加振振幅を走行安全限界振幅として、これを調査した。その結果を図 9 に示す。地震対策ダンパを装備した場合の走行安全限界振幅は全ての周波数帯に渡って現行ダンパのものに比べ同等もしくは大きく、その効果は加振周波数によって変化するが、最大で 17%程度大きくなっていることが確認された。特に、1.2~2.0Hz の車体上心ロールに起因した脱線を防止する効果が大きいことが分かった。

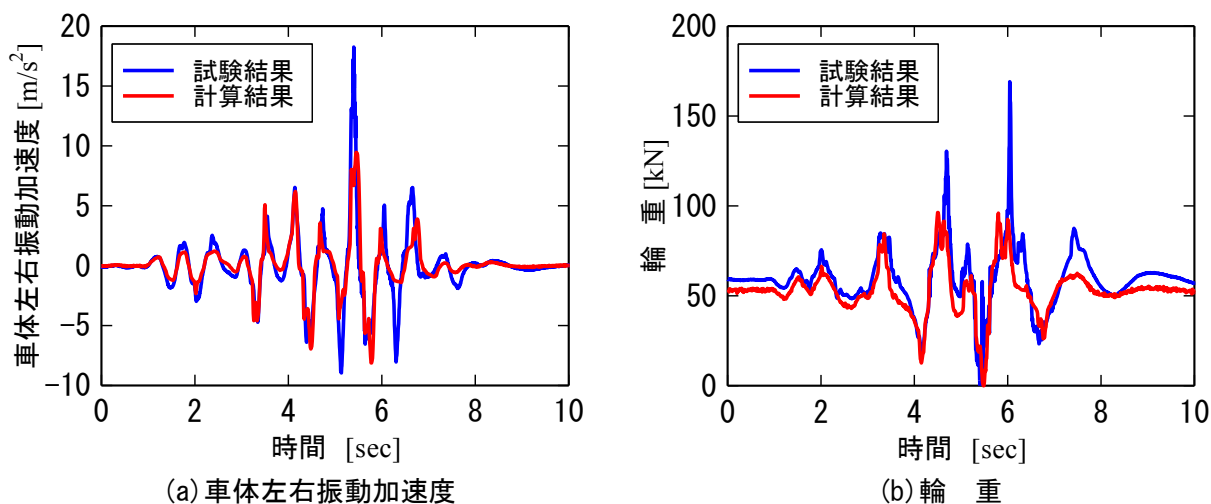


図 8 計算モデルの検証結果例

## 6. まとめ

台車改良による地震時の脱線防止対策として、地震対策ダンパを開発した。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することで、地震により生じた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することができた。今後は、ダンパ本体の小型軽量化、2次サスペンションに振動制御がある場合の地震対策ダンパの導入について検討を進めていく。最後に、地震対策ダンパ開発に当たりご高配を賜った東日本旅客鉄道株式会社殿、KYB株式会社殿に、心より御礼申し上げます。

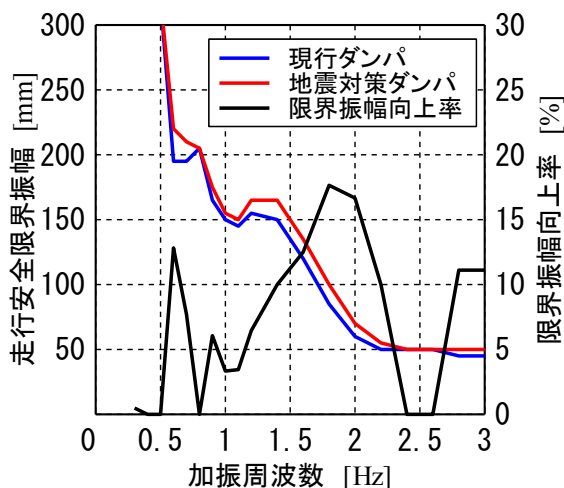


図 9 数値計算による地震対策ダンパの効果

## 参考文献

- 1) 宮本岳史,石田弘明: 台車改良による地震時走行安全性向上に関する解析,鉄道総研報告, Vol.21, No.12, pp.35-40, 2007