

地震に強い台車の開発

～高速試験車 ALFA-X 台車への地震対策ダンパ、クラッシュブルストッパの搭載～

○[機] 高杉 誠 [機] 江戸 義博 [機] 岩波 健 [機] 山下 忠志 (東日本旅客鉄道株式会社)

[機] 飯田 浩平 [機] 中嶋 大智 (鉄道総合技術研究所)

小川 貴之 佐々木 裕泰 (KYB 株式会社)

Development of earthquake resistant Shinkansen bogie

～Installation of parts of countermeasures against earthquake on ALFA-X bogie～

○Makoto Takasugi, Yoshihiro Edo, Ken Iwanami, Tadashi Yamashita

(East Japan Railway Company)

Kohei Iida, Daichi Nakashima (Railway Technical Research Institute)

Takayuki Ogawa, Hiroyasu Sasaki (KYB Corporation)

We have been working on various earthquake countermeasures for Shinkansen vehicles with the aim of improving safety. To realize a bogie that is hard to derail against an earthquake, we have developed a "lateral damper for earthquake countermeasures" that suppresses vibration of the railway car body during an earthquake and a "lateral displacement stopper for earthquake countermeasures" that expands the clearance between the railway car body and the bogie frame. The developed product satisfied the basic performance in the stationary test, and was installed in all the bogies of the high-speed test train ALFA-X and evaluated. In the running test of ALFA-X, it was confirmed that there was no problem in performance that there was no unexpected load input.

キーワード：台車，地震対策，脱線，走行安全性，高速試験電車

Key Words：Bogie, Earthquake countermeasure, Derailment, Running Safety, High-speed test train

1. 緒言

当社は、数々の災害を契機にさらなる安全性の向上を目指し、新幹線車両への地震対策に取り組んできた。2004年の新潟県中越地震を第一の契機とし、新幹線全車両への逸脱防止ガイド¹⁾の搭載やブレーキ停止距離の短縮等の安全対策を行ってきた。2011年に東日本大震災が発生し、再び当社管内において甚大な被害を受けたことから、さらに脱線しにくい台車を開発することが急務となった。

地震時の車両挙動シミュレーションより、比較的高い加振周波数帯では、地震動によって車両が振動すると、車体が台車の左右動ストッパに衝撃することで、著大横圧、台車のロール等の影響により車輪がフランジ高さ以上に跳び上がり、脱線に至ることが明らかになっている²⁾。東日本大震災発生の際、当社で2例目となった新幹線車両脱線のメカニズムも、このような挙動での脱線であったことが確

認され、左右動ストッパゴムに強く衝撃したことによる取付部の顕著な変形も確認されている³⁾。このような脱線を防止するためには、地震時の車体の揺れを抑制しつつ、車体と台車枠の遊間を広く確保することが効果的であることがわかっている⁴⁾。このことから、脱線しにくい台車を実現するために、これらの性能を持った「地震対策左右動ダンパ」および「地震対策クラッシュブルストッパ」の開発を実施した。

本報告では、これらの開発品の定置試験における基本的な性能の確認結果、および新幹線高速試験電車 ALFA-X の全台車に搭載し、地震時以外の通常走行時における性能を確認した結果を報告する。地震対策左右動ダンパ、地震対策クラッシュブルストッパの両方を台車に搭載するのは、世界で初の試みとなる。

2. 開発品の概要

2. 1 地震対策左右動ダンパ

(1) 概要

地震発生時に脱線しにくい台車を実現するためには、まず車体の揺れを抑制することが必要である。これらを実現するために、「地震対策左右動ダンパ」を開発した。過去のシミュレーションより、地震に対する走行安全性を向上させるには、左右動ダンパの減衰の変更、地震発生時等の異常時のみ大きな減衰力を発生させる特性を付加することが有効であることが報告されている⁵⁾。

本開発品は、E5、E6系に搭載している2段切替左右動ダンパをベースとし、高速度高減衰力特性を付加し、後述の地震対策クラッシュャブルストップをセットで搭載することから、ストローク長を変更した。筐体は量産実績のある溶接構造とし、使用温度範囲は-30℃～40℃とした。図1に開発品の写真を示す。



図1 地震対策左右動ダンパ

(2) 減衰力特性

図2に本開発品の減衰力特性の概念図を示す。地震動に対応するために、通常のダンパ使用領域範囲を超えた高速度域においてのみ高減衰力が生じる特性を付加した。また、想定以上の地震が発生した場合の台車および中心ピンのダンパ取付部の破損を防ぐために、高圧リリーフ特性を付加している。電磁弁のON/OFFによって低減衰力および地震発生時には高減衰力に切り替えることを可能としている。

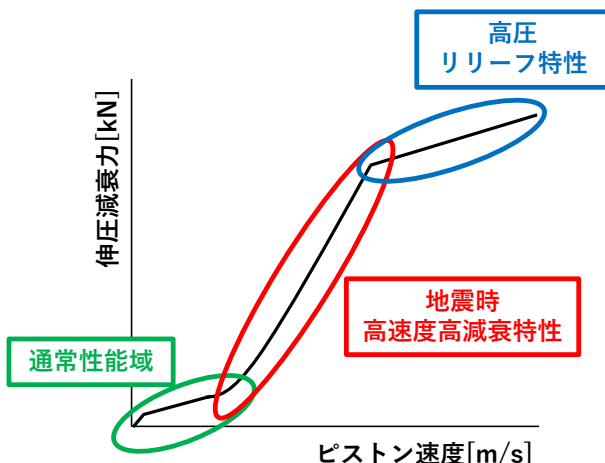


図2 減衰力特性の概念図

2. 2 地震対策クラッシュャブルストップ

(1) 概要

車両を脱線しにくくするためには、車体の揺れを抑制するとともに、車体と台車枠の遊間を広く確保することが効果的である。このことを実現するために、「地震対策クラッシュャブルストップ」(以下、地震対策CS)を開発した。

本開発品の構造は、公益財団法人鉄道総合技術研究所において開発実績のある「ピン破断方式」を適用することとした⁶⁾。図3に開発品の写真を示す。



図3 地震対策クラッシュャブルストップ

(2) 動作原理

図4に地震対策CSの動作概念図を示す。地震対策CSは、従来のストップゴムと同様、車体左右動の遊間を保持する役割を持つが、ストップへ入力される荷重が、ピンの破断荷重以上になった場合に、ストップのピンが破断することで全長が短くなり、車体との遊間を拡大する。

ピン破断荷重と遊間拡大量については、公益財団法人鉄道総合技術研究所の地震動による台車の挙動解析シミュレーション結果により設定した。

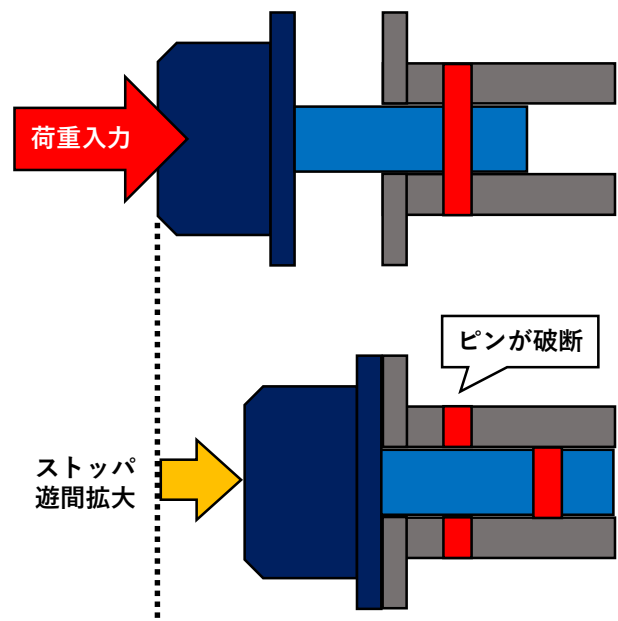


図4 地震対策CSの動作概念図

2. 3 開発品の効果シミュレーション

開発品を車両に搭載した場合の効果について、公益財団法人鉄道総合技術研究所にてシミュレーションを行った。結果を図5に示す。本シミュレーションは、車両の諸元を当社の車両とし、車輪上昇量が5mm（脱線の前段、輪重が0の場合を模擬）に達する各周波数での振幅を示している。各周波数の振動を受けた際に、この線以下の振幅であれば安全であることを示している。開発品を搭載することにより、全体的に限界振幅を大きくできており、脱線に対する安全性の向上効果を確認することができた。

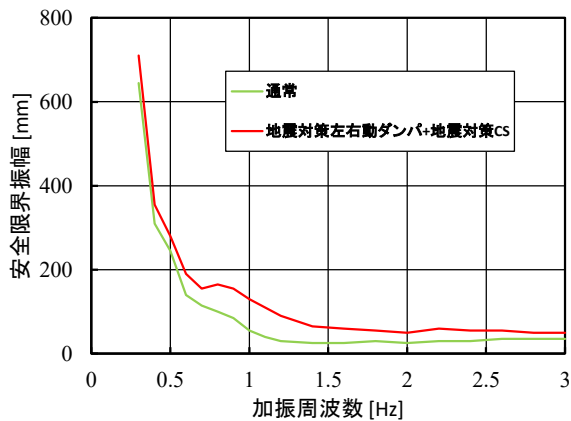


図5 安全限界振幅線図

3. 定置試験結果

3. 1 地震対策左右動ダンパ

(1) 速度—減衰力特性試験

出荷試験を実施した全ての地震対策左右動ダンパにおいて減衰力の検査規格を満足したことを確認した。

また、地震動を想定しての高速度—高減衰力試験も実施した。0.05m/sから段階的に速度を上げ、高速度時においても減衰力特性を満足することを確認した。

(2) 耐久試験

作動耐久試験と振動耐久試験、衝撃動試験を実施した。実施の結果、各種試験項目について減衰力の変化は初期値に対し大きな変化は見られず、構成部品に損傷や油漏れはなく良好であった。

(3) 低温試験

3段階の温度（-20、-25、-30℃）に冷却した後、減衰力を測定した。減衰力の変化は初期値に対し大きな変化は見られず、構成部品に損傷や油漏れはなく良好であった。

(4) 耐水試験

耐水試験2種（JIS E 4034）により試験を実施した。試験後の作動油と新油との水分を比較した結果、新油より水分値が小さかったため、水分の侵入はないと判断した。

3. 2 地震対策クラッシュブルストップ

(1) 破断試験

ピンの破断特性を確認するために破断試験を行った。破断荷重は設定値の±30%の範囲内であることを確認し、性能を満たすことを確認した。

また、低温環境下（-30℃）の性能についても確認を行った。低温時と常温時で10%程度の差であること、破断後の荷重抜けについて同等であることを確認した。

(2) 耐久試験

2つのサンプルを用いて作動耐久試験と振動耐久試験を実施した。作動耐久試験については、ピンが破断することではなく、耐久試験後の破断試験においても破断荷重の要件を満足した。振動耐久試験についても、ボルトの緩みや損傷は見受けられず、良好であった。

(3) 耐水試験

耐水試験2種（JIS E 4034）により試験を実施した。試験後にストップの分解を行い、水分の侵入がないことを確認した。

4. 走行試験結果

2019年5月～12月にかけて、高速走行試験電車ALFA-Xにこれらの開発品を搭載し、速度320～400km/hでの現車走行試験にて、地震時以外の通常走行時における性能を確認した。地震対策左右動ダンパと地震対策CSの両方を台車に搭載しての走行試験は、世界で初の試みとなる。

測定は、地震対策左右動ダンパは3、6号車にて、地震対策クラッシュブルストップは3、6、7号車にて実施し、地震対策左右動ダンパのストローク量、減衰力、地震対策CSへの中心ピン接触荷重のデータを取得した。図7に開発品の搭載位置、図8に開発品の搭載状況を示す。

2019年5月～6月までの走行試験結果から、中心ピンが地震対策CSに接触し、最大荷重が発生している地点が「仙台～北上」に集中していたことから、評価区間を「仙台～北上」とした。



図6 高速走行試験電車ALFA-X

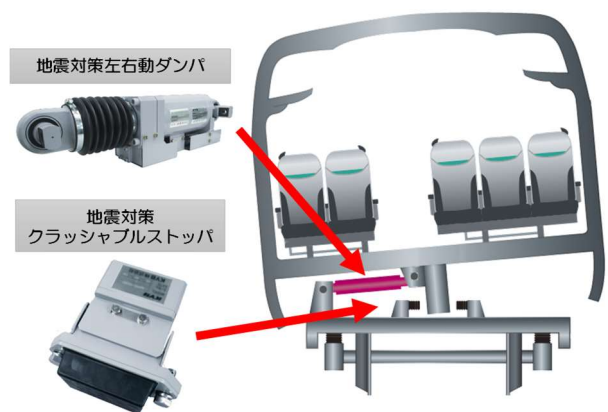


図7 開発品の搭載位置

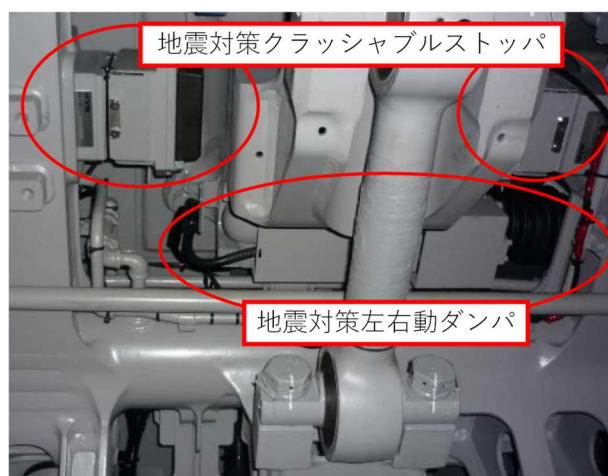


図8 開発品の搭載状況

4. 1 地震対策左右動ダンパ

図9に評価区間における減衰力の最大値の検出状況を示す。走行試験の結果から、ストロークの最大値および減衰力の最大値の検出は地点に依存し、ストロークの最大値は、伸側、縮側ともに曲線付近で検出しており、減衰力の最大値についても同様の結果となった。

計測されている最大の減衰力については3号車、6号車いずれもダンパの減衰力規格以下の減衰力であったことから、強度および耐久性について問題はないと考えられる。

最大動作速度については3号車で0.19m/s、6号車で0.33m/sであった。これらの結果は、通常使用範囲で発生する動作速度であり、設計減衰力と最大荷重を比較した結果、ほぼ設計通りの減衰力が発生していることが確認できた。

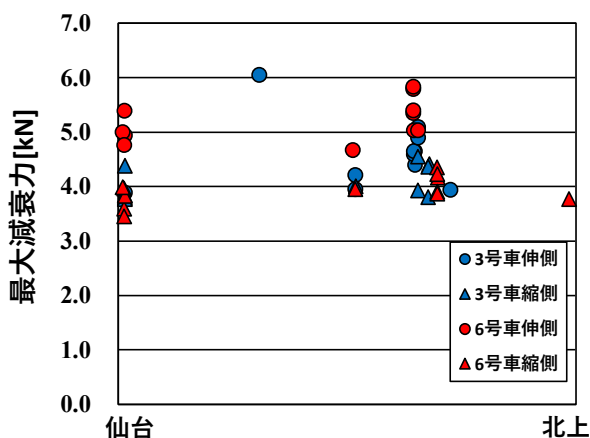


図9 減衰力最大値の検出状況

4. 2 地震対策クラッシュブルストッパ

地震対策CSに関しては、有効なデータの取得期間が2019年7月～12月であったため、その期間のデータを用いて整理を行った。走行試験中、地震対策CSと中心ピンの接触が確認されているが、降伏破壊、疲労破壊に至る入力とは認められなかった。

また、地震対策CSへの最大接触荷重および接触回数と速度の関係について確認した。その結果、線路形状の影響により、接触は進行方向右側で多い傾向にあることと、接触

荷重と接触回数には号車によっては速度依存性が見受けられた。接触が多い地点は曲線区間であり、想定通りの結果である。これは前項で触れた、地震対策左右動ダンパのストロークの最大値の検出地点と同様の傾向となる。

5. 結言

地震発生時に脱線しにくい台車とするために、車体の揺れを抑制し、車体と台車枠の隙間を確保することができる「地震対策左右動ダンパ」と「地震対策クラッシュブルストッパ」を開発し、定置試験および双方の開発地震対策品を搭載して現車試験を行い、以下の結果を得た。

- (1) 各種設計条件に基づき設計を行い、地震対策左右動ダンパと地震対策CSの試作品を製作した。
- (2) 地震対策左右動ダンパと地震対策CSは、各種定置試験において、基本性能を満足したことを確認した。
- (3) 地震対策左右動ダンパは、現車走行試験において、規格を超えた減衰力の発生はなく、ほぼ設計通りの減衰力が発生しており、動作速度についても通常使用範囲内の値であったことから、強度および耐久性について問題はないと考えられる。
- (4) 地震対策左右動ダンパのストロークの最大値、減衰力の最大値の検出は曲線区間で発生しており、地点依存性が確認された。
- (5) 地震対策CSは、現車走行試験において、中心ピンと接触していることが明らかになったが、設計の範囲内の荷重であるため問題ないと考えられる。
- (6) 接触荷重と接触回数には号車によって速度依存性があるものが見受けられた。中心ピンとの接触は曲線区間で発生しており、地震対策左右動ダンパのストローク最大値の検出地点と同様の傾向が見られた。

参 考 文 献

- 1) 梶谷泰史，加藤博之，浅野浩二：車両逸脱防止 L 型ガイドの開発，JR EAST Technical Review, No.29, pp.27-30, 2009.
- 2) 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，日本機械学会論文集 C 編, Vol.64, No.626, pp.1236-1243, 1998.
- 3) 堀岡健司：東北地方太平洋沖地震における新幹線脱線メカニズム解明と地震対策について：JR EAST Technical Review, No.45, pp.27-30, 2013.
- 4) 宮本岳史，石田弘明：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.21, No.12, pp.35-40, 2007.
- 5) 鈴木貢，飯田浩平，宮本岳史，中嶋大智，遠竹隆行，梶谷泰史：鉄道車両の地震対策用左右動ダンパの開発，鉄道総研報告, Vol.25, No.6, pp.17-22, 2011.
- 6) 中嶋大智，鈴木貢，西山幸夫，宮本岳史，梶谷泰史：地震時脱線対策クラッシュブルストッパの開発，鉄道総研報告, Vol.27, No.10, pp.17-22, 2013.