

## 地震時脱線対策クラッシュブルストップの開発

鉄道力学研究部 車両力学研究室  
副主任研究員 中嶋 大智

### 1. はじめに

車両の地震時走行安全性向上を目的に、車体一台車間にある左右動ストップについて、常時は従来の左右動ストップ遊間を維持しつつ、地震のような異常時に強い左右動ストップ当たりが生じた際に左右動ストップ遊間を拡大する地震時脱線対策クラッシュブルストップ装置を開発している。本装置はこれまでに開発した地震時脱線対策左右動ダンパ<sup>1)</sup>(以下、地震対策ダンパと記す)との同時運用を前提としており、汎用性向上を目的に地震対策ダンパの小型化も併せて実施した。これらの要素技術の開発に関する取り組みについて報告する。

### 2. クラッシュブルストップの概要

地震のような異常時に強いストップ当たりが生じた際に遊間を拡大するクラッシュブルストップを試作した。本装置では、左右動ストップに一定以上の荷重(動作設定荷重)が作用すると、左右動ストップゴムの支持部が遊間拡大方向に変位する構造となっている。動作設定荷重による確実な動作を確認するため、動作設定荷重を40kN、80kNと設定したものを2個ずつ試作した。これらの動作設定荷重は、試験機の性能と実験の利便性を勘案して設定したものである。実際に台車に搭載する際には車体質量や想定地震動等を考慮して設定する必要がある。

動作概念図を図1に示す。常時はメカニカルヒューズにより内筒と外筒が固定されることにより遊間を維持する。ここに動作設定荷重以上の力が作用するとメカニカルヒューズが破断し、ストップゴムと接続された内筒が変位し遊間を50mm拡大する。なお、メカニカルヒューズの交換により繰り返しの使用が可能となる。

外観を図2に、メカニカルヒューズを図3にそれぞれ示す。全体形状は動作設定荷重40kN用、80kN用共に全長414mm、最大シリンダ径110mm、最大高144mm、最大幅220mm、重さは約28kgである。メカニカルヒューズの材質には黄銅(JIS C3604B)を使用し、動作設定荷重に応じて異なるものをそれぞれ4本装着する。40kN用では直径7mm、80kN用では直径10mmとした。

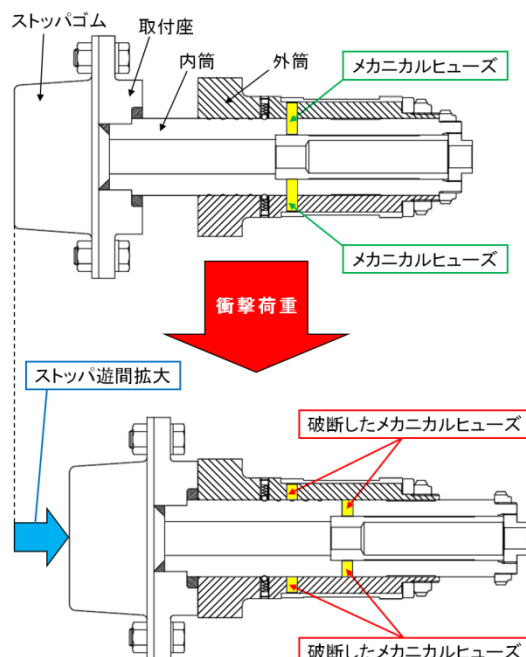


図1 クラッシュブルストップ動作概念図

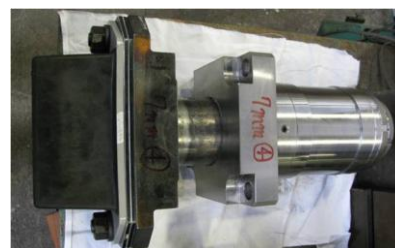


図2 クラッシュブルストップ外観



図3 メカニカルヒューズ

### 3. 静荷重試験

#### 3. 1 試験方法

図4に示すように、門型プレス機を用いて試験装置を構成し、メカニカルヒューズが破断するまで手動油圧ジャッキでゆっくりと載荷し、載荷荷重と可動部(内筒)の変位を測定した。

#### 3. 2 試験結果

測定結果の一例を図5に示す。また、全試験結果を表1に示す。ここで、推定破断荷重とは事前に求めた実験式により、メカニカルヒューズの材質と直径から算出される動作荷重の推定値である。動作設定荷重 80kN 用は推定破断荷重より 1 割程度大きな値であったが、40kN 用、80kN 用ともに測定値のばらつきは小さいことから、安定して動作していることを確認した。

表1 静荷重試験結果

動作設定荷重		80kN		40kN	
推定破断荷重		83.9kN		43.5kN	
装置 No.		1	2	3	4
動作荷重	1回目	94.5kN	94.4kN	45.7kN	44.0kN
	2回目	94.7kN	93.0kN	45.7kN	46.4kN
	3回目	92.4kN	92.1kN	44.4kN	44.5kN
	平均	93.8kN	93.2kN	45.3kN	44.9kN

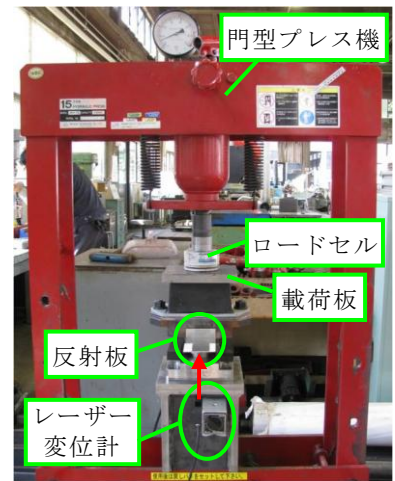


図4 静荷重試験装置

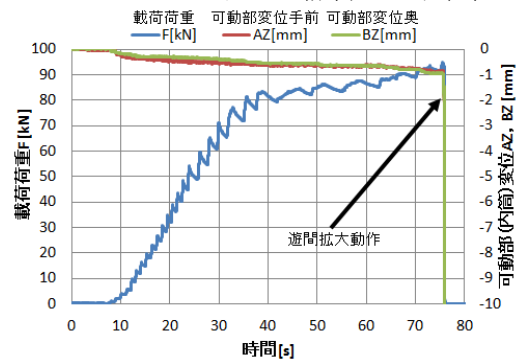


図5 測定結果一例(動作設定荷重 80kN)

#### 4. 実台車加振実験による動荷重試験

試作したクラッシュブルストップについて、地震時に台車に衝撃的な力が作用した際の動作確認、および遊間拡大による脱線防止効果を調査するため、鉄道総研所有の大型振動試験装置(以下、振動台と記す)上に設置した試験体を用いて加振試験を実施した。

試験体の外観を図6に示す。試験体は新幹線半車体を模擬したもので、振動台上に敷設されたレール、その上に配置された実物の新幹線台車、車体を模擬した荷重枠、荷重枠の転倒防止と前後、ピッチングおよびヨー方向の運動を拘束するための転倒防止リンクから構成される。輪重は車輪直下のレールに貼付したひずみゲージにより測定した。

台車への取り付けの様子を図7に示す。クラッシュブルストップを既存の台車のストップ受座の位置に取り付けることは難しいため、台車枠のつなぎばり上に溶接したクラッシュブルストップ支持台に取り付けた。これに伴い、左右動ストップ高さは従来と比べて 170mm 上方へ移動する。中心ピン側ではストップゴムとの接触位置の変化を考慮し、当て板を装着する改造を行った。左右動ストップ作用力は支持台に貼付したひずみゲージにより測定した。左右動ストップストロークは、図8に示すようにストップゴム底板上に反射板を取り付け、レーザー変位計を用いて測定した。

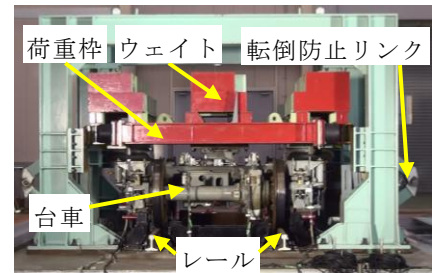


図6 加振実験試験体外観

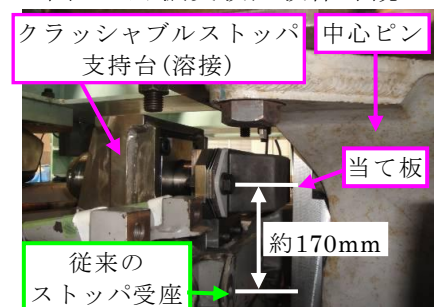


図7 台車への取り付け

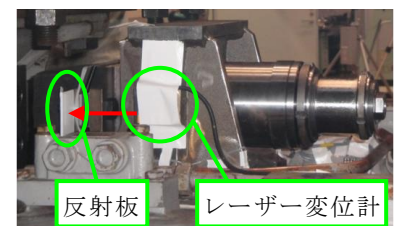


図8 左右動ストップストローク測定

#### 4. 1 試験条件

正弦波および地震波で台車を左右（まくらぎ）方向に加振した。地震波加振については新潟県中越地震の十日町 BL R3 高架橋上の推定地震動<sup>2)</sup>(中越波)を用い、振幅に対して任意の倍率(加振倍率)を乗じた波形で加振した。なお、クラッシュブルストップは、前述のとおり地震対策ダンパとの併用を前提としているため、全ての試験において地震対策ダンパを装備した条件で実施した。

#### 4. 2 試験結果

遊間拡大動作した加振条件および各条件における遊間拡大動作前の左右動ストップ作用力最大値を表2に示す。このうち No.1-2, 正弦波 1.2Hz660Gal の条件について遊間拡大動作を含む6秒間の左右動ストップ作用力と左右動ストップストロークの時刻歴を図9に示す。なお、試験の都合上、遊間の拡大量は30mmとした。クラッシュブルストップにおいては左右動ストップ作用力が動作設定荷重以下では遊間が維持され、動作設定荷重以上では遊間が拡大されることが確認できた。さらに、図9と同じ加振条件で遊間を23mmに固定した場合とクラッシュブルストップが遊間拡大動作した場合との輪重の時刻歴波形を比較した結果を図10に示す。遊間23mm固定の場合には輪重ゼロが確認されたが、クラッシュブルストップの遊間拡大機構を有効にすると、輪重変動の減少および最大10.1kNの残存輪重の増加を確認した。これは20.3%の輪重残存率の増加に相当している。

また、中越波45%の条件についても、正弦波加振の場合と同様に動作設定荷重以下の左右動ストップ作用力では遊間が維持され、動作設定荷重以上の左右動ストップ作用力によって遊間が拡大することを確認した。遊間23mm固定の場合、輪重は最小18.5kNで輪重ゼロは確認されなかったが、クラッシュブルストップの遊間拡大動作後においては、輪重変動の減少および最大10.9kNの残存輪重の増加を確認した。これは18.2%の輪重残存率の増加に相当している。

表2 加振試験結果

No.	動作設定荷重	加振条件	左右動ストップ作用力最大値
1-1	40kN	1.2Hz 600Gal	42.91kN
1-2	40kN	1.2Hz 660Gal	45.40kN
1-3	40kN	0.6Hz 90Gal	49.96kN
1-4	40kN	中越波 45%	44.49kN
2-1	80kN	1.4Hz 1100Gal	113.92kN

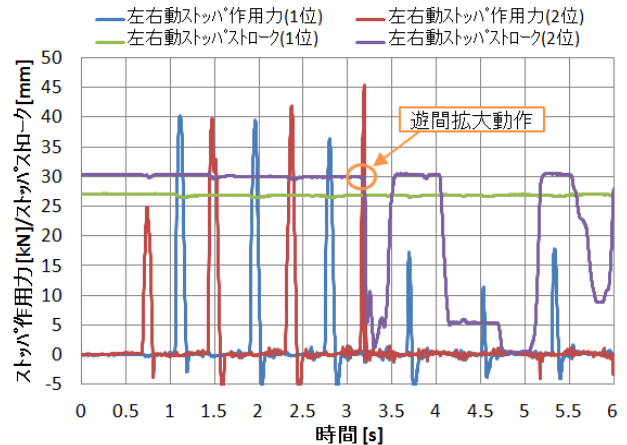
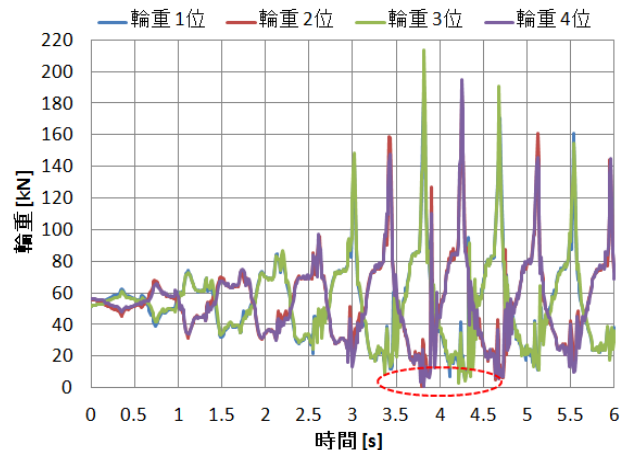
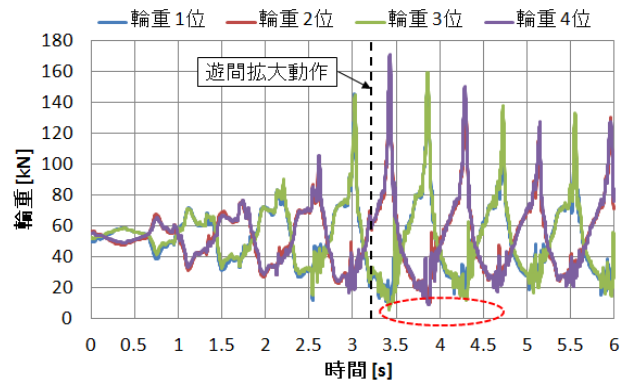


図9 左右動ストップ作用力とストップストロークの関係(正弦波 1.2Hz 660Gal)



(a) 遊間 23mm 固定



(b) クラッシュブルストップ (動作)

図10 輪重の時刻歴波形比較(正弦波 1.2Hz 660Gal)

## 5. 地震対策ダンパの小型化

地震対策ダンパは、常時には現行の左右動ダンパとして機能し、地震のような異常時には大きな減衰力を発生することで車体・台車の振動を吸収し脱線を防止する。実用化に向けて先行開発品の油圧回路や構成部材の安全率の見直しにより小型化することで汎用性の向上を図るとともに、多くの新幹線車両に採用されているフルアクティブ振動制御装置に対応した電磁弁付き地震対策ダンパを新たに試作した。

試作ダンパの地震時走行安全性向上効果を確認するため、前述のクラッシュブルストップの試験と同様に振動台における実台車加振試験を実施したところ、図11のように現行の新幹線車両用左右動ダンパを装備した場合に輪重がゼロとなる加振振幅の約1.4倍の振幅まで輪重がゼロとならないことから、先行開発品と変わらない脱線防止効果があることを確認した。

さらに、フルアクティブ振動制御装置に対する常時の走行安定性を確認するため、新幹線車両に電磁弁付き地震対策ダンパを実装して走行試験を実施し、正常な動作と速度320km/hまでの良好な走行安全性を確認した。(図12)

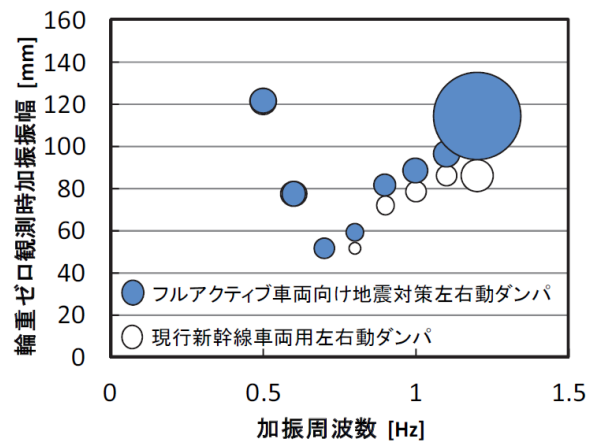
## 6. まとめ

地震時の車両走行安全性向上を目的に、地震対策ダンパとの同時運用を前提として、常時は従来の遊間を維持し、地震のような異常時に強いストップ当りが生じた際には遊間を拡大するクラッシュブルストップを提案し、動作設定荷重40kN用、80kN用の2種類試作した。これらを用いて、静荷重試験による動作安定性確認および振動台における加振試験による動作確認を行った。静荷重試験の結果、動作荷重のばらつきは小さく、安定して動作することを確認した。また、加振試験の結果、クラッシュブルストップでは、左右動ストップ作用力が動作設定荷重以下では遊間が維持される一方、動作設定荷重以上では遊間が拡大して輪重変動が減少し、残存輪重が増加することがわかった。なお、クラッシュブルストップを実際に台車に搭載する際には、車体の質量や想定される地震動等を考慮した上で動作設定荷重を設定する必要がある。

一方、地震対策ダンパについても汎用性向上を目的に小型化をはかるとともに、フルアクティブ振動制御装置に対応した電磁弁付き地震対策ダンパを新たに試作した。振動台における加振試験により、先行開発品と変わらない脱線防止効果を確認するとともに、新幹線車両に実装した走行試験を行い、正常な動作と速度320km/hまでの良好な走行安全性を確認した。

## 参考文献

- 1) 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
- 2) 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



※.円はダンパ力の大きさを示す。○: 10kN  
図11 正弦波加振試験による脱線防止効果確認



図12 新幹線車両に実装した試作ダンパ