

自動復旧機能付地震対策クラッシュブルストッパの開発

中嶋 大智* 鈴木 貢* 宮本 岳史*
石井 大輔** 梶谷 泰史***

Development of the Crushable Stopper with Automatic Restoration Function for
Seismic Countermeasures

Daichi NAKAJIMA Mitsugi SUZUKI Takefumi MIYAMOTO
Daisuke ISHII Yasushi KAJITANI

We had developed a mechanical crushable lateral displacement stopper of which gap between a center pin and a bogie can be expanded only when it receives a strong impact such as earthquake. Thank to a simple mechanism, a motion of the mechanical crushable stopper is stable, but in the state where the gap is expanded there is a possibility of exceeding a limit for rolling stock moving dimensions during dead-heading to a car depot. For smooth dead-heading, it is necessary for crushable stopper to have a restoration function after expanding motion. Thus we have developed a hydraulic crushable stopper expanding the gap by a hydraulic circuit with automatic restoration function after expanding motion and the performance of the hydraulic crushable stopper has been confirmed by bench test.

キーワード：地震，脱線，台車，左右動ストッパ，クラッシュブルストッパ，ベンチ試験

1. はじめに

筆者らは、地震時の車両の走行安全性を向上することを目的とした台車部品の開発に取り組んでいる。地震発生時には、車体一台車間の左右動ストッパ遊間（以下、遊間と記す）の広い方が衝撃的なストッパ作用力が緩和されるとともに左右動ダンパによる振動減衰効果が大きくなることで走行安全性向上効果が期待できる¹⁾。また、地震のような異常時にのみ大きな減衰力を発生する地震時脱線対策左右動ダンパ²⁾（以下、地震対策ダンパと記す）を併用することで、走行安全性向上効果はさらに大きくなることがわかっている¹⁾。

この知見に基づき、常時は従来と変わらぬストッパとして機能し、地震時の強いストッパ作用力により遊間を拡大するクラッシュブルストッパの開発に取り組んでいる³⁾。これまでに開発した機械式クラッシュブルストッパは単純な動作機構のため安定した動作がなされるものの、遊間を拡大した状態では車両基地への回送時に車両限界を侵す恐れがある。円滑な回送のためには動作後の復旧機能を有することが望まれ、これを解決するため、油圧機構による遊間拡大動作機能および動作後の自動復旧機能を有する油圧式クラッシュブルストッパを開発し、ベンチ試験により性能確認を行った。

2. 油圧式クラッシュブルストッパの概要

クラッシュブルストッパは、一定荷重（以下、動作設定荷重と記す）以上のストッパ作用力が作用すると左右動ストッパ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 40kN 用、80kN 用を 2 個ずつ試作した。

外観を図 1 に示す。全体形状は全長 490mm（ストッパゴムを含む）、最大シリンダ径 110mm、最大高 144mm、最大幅 220mm、重さ約 22kg である。

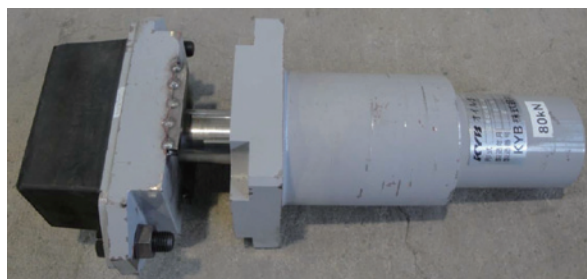


図 1 油圧式クラッシュブルストッパ外観

油圧式クラッシュブルストッパは、単筒の油圧式ダンパと同様の構造となっている。油圧回路を図 2 に示す。ピストン部には圧縮動作時に作用するリリーフバルブ、伸長動作時に作用するチェックバルブと絞りが設けられている。また、ボトム部にはリリーフバルブ、チェックバルブ、空気室が設けられている。

* 鉄道力学研究部 車両力学研究室
** KYB 株式会社
*** 東日本旅客鉄道株式会社

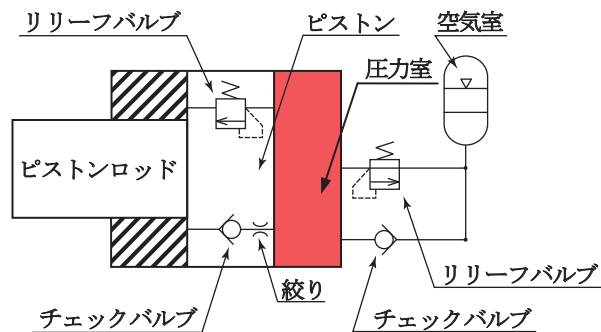


図2 油圧回路図

遊間変更動作時の油の流れ図を図3に示す。常時は、ストップ遊間が広がらないように各リリースバルブの開弁圧力を設定してある。地震時にストップ当たりが生じ、ピストンロッドに動作設定荷重を超過する力が作用するとリリースバルブが開弁し、ピストンが変位してストップ遊間を拡大する。ピストン部のリリースバルブは、ピストンが数mm変位した場合にバルブを押し付けているスプリングの予圧縮が完全に抜ける構造となっている。ピストン部のリリースバルブのスプリングの予圧縮が完全に抜けた状態ではピストンの前後でほぼ同圧力となるため受圧面積がシリンダ内径分の面積(図2中の赤の部分の圧力)からピストンロッド断面積(図3中の※の部分)へ減少する。それゆえ、ストップ遊間を拡大するのに必要な荷重は本ストップでは約1/4に減少するためストップ遊間が拡大しやすい状態となり、これにより走行安全性向上をはかる。

遊間拡大動作時の油の流れ(赤色矢印)
遊間復位動作時の油の流れ(青色矢印)

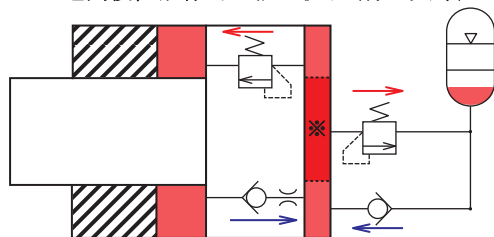


図3 地震時のストップ内の油の流れ図

つぎに、油圧式クラッシュブルストップの特徴である自動復旧機能について説明する。本ストップにはピストンロッドの進入体積分を吸収するために空気室が設けられている。この空気室に0.5～0.7MPa程度の圧縮空気を封入しておくことにより、ピストンが変位しストップ遊間が拡大された後もピストンに力が作用しなくなると圧縮空気の反力で元の最伸長の状態までピストンが変位し自動復旧する。地震の揺れが続いている間はストップ遊間が拡大したままの状態が望ましいため、ピストン部の流路に絞りを設けることにより、空気室の反力に対して減衰力を発生し復帰時間を調節することができる。本ストップではこの絞りを調節することにより最縮長から最伸長までの復帰時間を約2分30秒程度に設定した。

3. 静荷重試験

3.1 試験方法

ダンパ減衰力試験機の加振シリンダを用いて、油圧式クラッシュブルストップを圧縮し、変位荷重特性を測定した。静荷重試験状態を図4に示す。



図4 静荷重試験状態

3.2 試験結果

測定結果の一例を動作設定荷重毎に図5、図6に示す。動作設定荷重まで荷重が加わったところで遊間拡大動作したことがわかる。ストップが約5mm変位した後の荷重は最大荷重時と比較し1/4となっており、さらに除荷後の復帰時間も約2分30秒で安定しており、設定通りの遊間拡大動作および自動復旧動作を確認できた。

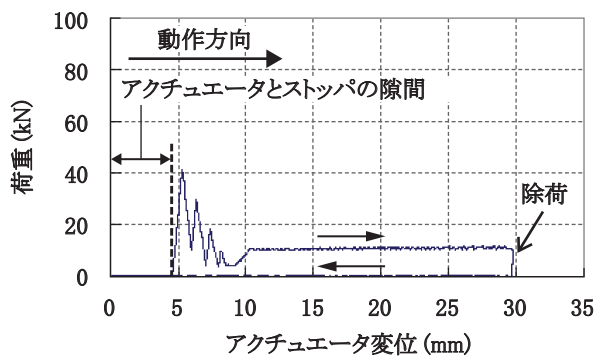


図5 測定結果の一例(動作設定荷重 40kN)

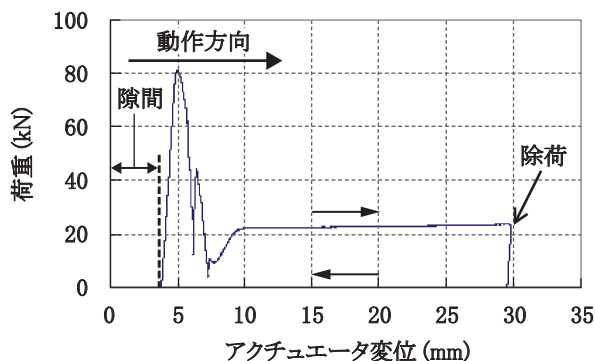


図6 測定結果の一例(動作設定荷重 80kN)

4. 大型振動試験装置による加振試験

試作した油圧式クラッシュブルストップに地震時に発生する衝撃的な作用力が作用した際の動作および遊間拡大後の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上で実物の新幹線用台車に本クラッシュブルストップを装着して加振試験を実施した。試験体の外観を図7に示す。本試験については既報に詳しい³⁾。

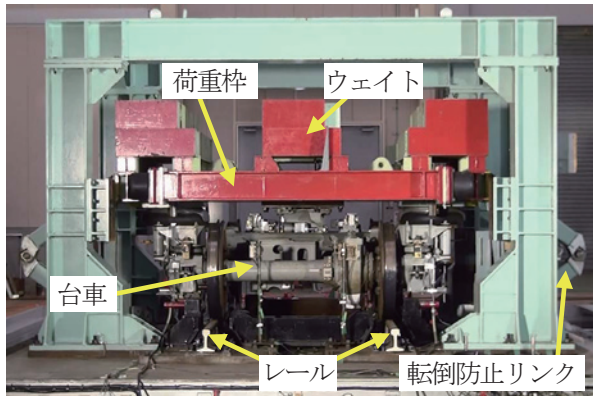


図7 実台車加振実験試験体外観

4.1 試験条件

機械式クラッシュブルストップの場合³⁾と同様に正弦波および地震波でレール左右(まくらぎ)方向に加振した。動作設定荷重毎の加振条件を表1、表2に示す。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⁴⁾(以下、中越波と記す)を用い、任意の倍率(以下、加振倍率と記す)を乗じた振幅(40, 45, 50%)の波形で加振した。なお、全ての試験において左右動ダンパに地震対策ダンパを装備した条件で実施した。

表1 加振条件(油圧式・動作設定荷重 40kN)

No.	周波数・加振加速度/波種・加振倍率		
	1回目	2回目	3回目
1-1	1.2Hz 500Gal	1.2Hz 600Gal	—
1-2	1.0Hz 320Gal	1.1Hz 420Gal	
1-3	中越波 40%	中越波 45%	中越波 50%

表2 加振条件(油圧式・動作設定荷重 80kN)

No.	周波数・加振加速度
2-1	1.4Hz 1100Gal

4.2 試験結果

遊間拡大動作をした加振条件、および各条件における左右動ストップ作用力最大値を表3に示す。表3の加振条件のうち代表的な条件について、遊間拡大動作の前後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8に示す。加振試験の結果、油圧式クラッシュブルストップでは、動作設定荷重より小さい作用力で動作してしまう場合があることがわかった。また、動作後の復帰時間は概ね設定通りであった。

表3 加振試験結果(油圧式)

No.	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 500Gal	34.67kN
1-1	40kN	1.2Hz 600Gal	35.32kN
1-2	40kN	1.2Hz 660Gal	32.30kN
1-3	40kN	中越波 40%	33.91kN
1-3	40kN	中越波 45%	35.99kN
1-3	40kN	中越波 50%	37.41kN
2-1	80kN	1.4Hz 1100Gal	74.17kN

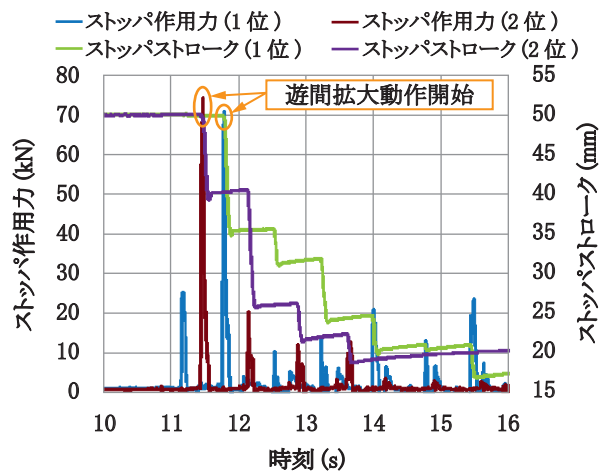


図8 左右動ストップ作用力とストップストロークの関係(油圧式・動作設定荷重 80kN・正弦波 1.4Hz1100Gal)

5. 緩衝器試験機によるベンチ試験

加振試験の結果を受け、株式会社フコク所有の緩衝器試験機を用いてストップ当たりを模擬した衝撃荷重を載荷し、動作荷重を測定するベンチ試験を実施した。本試験装置は、試験体(クラッシュブルストップ)を箱状の治具に固定し、ロードセル、治具、試験体、ロードアームの接触点の間に隙間の無い状態にした後、油圧によりロードアームのストロークを伸ばすことで衝撃荷重を載荷する構造となっている。

5.1 試験条件

試験体には動作設定荷重 80kN 用で静荷重での動作荷重を 76.1kN に調整したものを用いた。

ピストン速度が大きくなるとその分発生する減衰力が大きくなることによる動作荷重への影響が考えられる。また、ロードアーム動作圧力が大きくなるとピストン速度も大きくなると考えられる。そこで、ピストン速度の動作荷重への影響を調べるため、ロードアーム動作圧力の条件を 7.35, 9.81, 19.6MPa の 3 通りとした。

また、載荷方向によるストップ作用力への影響を調べるため、水平状態に加えストップゴムをロール及びヨー方向に 3° 傾斜させた状態での試験も併せて実施した。

特集：車両技術

5.2 試験結果

ストップが動作した条件の測定結果の一例を図9に示す。ストップストロークが初期値から3mm以上減少した場合に動作したものとし、動作前の作用力の最大値を動作荷重とした。この試験での動作荷重は、調整値に対し最大6.0kNの差があったが、大半は調整値付近であった。また、動作後の復帰時間は概ね設定通りであった。

動作荷重とロードアーム動作圧力の関係を図10に示す。ロードアーム動作圧力が大きいとピストン速度も大きいことは確認できたが、図10よりロードアーム動作圧力による動作荷重への影響は小さいと考えられることから、ピストン速度の動作荷重への影響も小さいと推定される。

ロードアーム動作圧力9.81MPaの場合の目標荷重に対する最大作用力の関係を図11に示す。動作しなかった目標荷重70kN以下では全ての載荷方向でほぼ目標荷重通りの荷重が作用していることがわかる。また、載荷方向毎の動作荷重の平均値は72.5～74.8kNとその差は小さく、載荷方向のストップ作用力への影響はみられなかった。

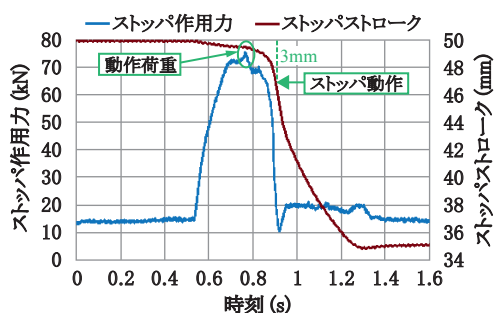


図9 測定結果の一例

(目標荷重 80kN, ロードアーム動作圧力 9.81MPa)

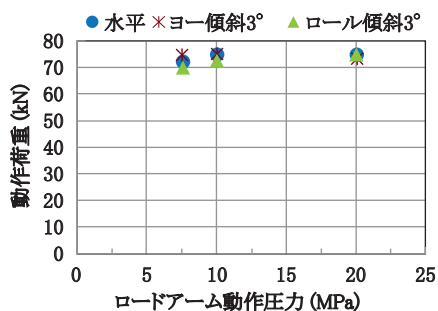


図10 動作荷重とロードアーム動作圧力の関係

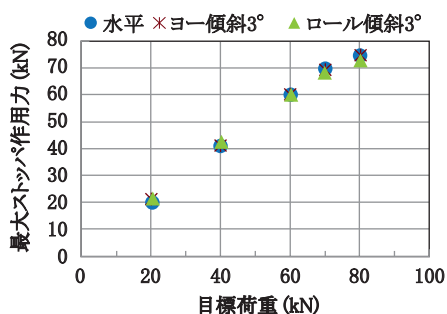


図11 目標荷重に対する最大作用力の関係
(ロードアーム動作圧力 9.81MPa)

6. まとめ

油圧機構による遊間拡大動作機能および動作後の自動復旧機能を有する油圧式クラッシュブルストップを動作設定荷重40kN用、80kN用の2種類試作した。これらの試作装置を用いて、静荷重試験による変位荷重特性確認、加振試験による動作確認、ベンチ試験による性能確認を行った。結果を以下にまとめる。

- (1) 静荷重試験の結果、動作設定荷重40kN用、80kN用ともに設定荷重で動作していることを確認した。
- (2) 加振試験の結果、油圧式クラッシュブルストップでは、動作設定荷重より小さい作用力で動作してしまう場合があることがわかった。
- (3) ベンチ試験の結果、動作荷重は試験前の調整値76.1kNに対し最大6.0kNの差があったが、大半は調整値付近であった。
- (4) 動作荷重とロードアーム動作圧力の関係より、ピストン速度の動作荷重への影響は小さいと推定される。
- (5) 目標荷重に対する最大作用力の関係より、動作しなかった目標荷重70kN以下では全ての載荷方向でほぼ目標荷重通りの荷重が作用しており、載荷方向毎の動作荷重の平均値は72.5～74.8kNと差は小さく、載荷方向のストップ作用力への影響はみられなかった。
- (6) 自動復旧機能については、いずれの試験においても動作後の復帰時間が概ね設定通りとなっていることを確認した。

今後は、動作の安定性を確認していくとともに状況により遊間拡大動作は機械的に行い、復位動作は油圧回路により行うハイブリッド方式の検討も予定している。

謝辞

緩衝器試験機によるベンチ試験にあたり、ご協力いただいた株式会社フコクの関係各位に対し、この場を借りて深く感謝の意を表す。

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の向上に関する解析, 鉄道総研報告, Vol.21, No.12, pp.35-40, 2007
- 2) 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
- 3) 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プの開発, 鉄道総研報告, Vol.27, No.10, pp.17-22, 2013
- 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, 2008.12