

## 多様な要求性能を実現する「ブレーキダンパー®」

鈴井 康正      佐野 剛志      平田 寛  
野村 潤      内海 良和

(本社建築本部)

(本社建築本部)

### “Brake Damper®” Adaptable to Various Required Performances

Yasumasa Suzui      Takeshi Sano      Hiroshi Hirata  
Jun Nomura      Yoshikazu Utsumi

#### Abstract

A “brake damper” is a friction-slip damper that uses high-tension bolts, and it has been applied to many buildings. During an earthquake, the brake damper absorbs building’s vibration energy by the friction between a brake pad and a stainless steel plate fastened with high-tension bolts. This paper presents various types of brake dampers adaptable to mega-earthquakes: for example, long-period ground motions and epicentral ground motions. These include dampers with double shear faces, four-fold shear faces, two step sliding load characteristics, and variable damping force characteristics. The structural performances of these brake dampers were confirmed by dynamic loading tests using full-scale brace-type brake dampers and test specimens of the damper units.

#### 概 要

架構内の高力ボルト接合部に摩擦板(ブレーキ材)とステンレス板を一对にして挟み込み、地震時の建物の振動エネルギーを摩擦熱に変換することにより、建物の応答を低減する「ブレーキダンパー®」を開発し、既に多くの建物に適用している。ブレーキダンパーは、近年注目されている長周期地震動や都市直下地震などの巨大地震にも対応可能な制振デバイスである。現在、既に実建物への適用実績がある「2面摩擦ブレーキダンパー」、 「4面摩擦ブレーキダンパー」の他に、今回新たに、中小地震と大地震とで滑り荷重を2段階に調整できる「2段階滑りブレーキダンパー」や既存主架構の保有耐力に応じて設置することが可能なダンパーとして変位依存型の可変減衰力を有する「可変減衰力ブレーキダンパー」を開発した。本報では、実大ブレース型試験体やダンパー要素試験体を用いた動的載荷実験により、各種ブレーキダンパーの基本特性や長周期地震動に対する多数回繰返し特性を確認した結果について報告する。

#### 1. はじめに

建物の主架構内に組み込んだ制振デバイスにより建物の損傷や応答を制御する技術が各方面で開発されている。大林組は1990年代後半より高力ボルト摩擦接合滑りダンパー(以下、ブレーキダンパーと称す)の開発に着手し、多くの実験により構造性能を確認し、実建物への適用を重ねてきた<sup>1)~4)</sup>。

用途拡大に伴う多様な要求性能を実現するために、現在、様々なタイプのブレーキダンパーの開発を進めている。既報<sup>1), 2)</sup>では、「2面摩擦ブレーキダンパー」、「4面摩擦ブレーキダンパー」の構造性能と実建物への適用について報告した。一方、近年注目されている長周期地震動に対しては、建物が長時間にわたり大きく揺れる可能性が指摘されており<sup>5)</sup>、ダンパーには多数回の繰返し変位に対して高い耐久性を発揮することが要求される。

本報では、「2面摩擦ブレーキダンパー」、「4面摩擦ブレーキダンパー」に加え、新たに開発した「2段階滑り

ブレーキダンパー」、「可変減衰力ブレーキダンパー」の構成・特徴、及び動的載荷実験によって確認した基本特性、多数回繰返し特性について報告する。各ブレーキダンパーの概要は、以下の通りである。

##### 1) 2面摩擦, 4面摩擦ブレーキダンパー

現在実建物に適用されているタイプのブレーキダンパー

##### 2) 2段階滑りブレーキダンパー

中小地震と大地震とでダンパー荷重のレベルを2段階に調整可能なブレーキダンパー

##### 3) 可変減衰力ブレーキダンパー<sup>6)</sup>

骨組補強を最小化した制振補強を実現する変位依存型可変減衰力特性を有するブレーキダンパー

#### 2. 2面摩擦, 4面摩擦ブレーキダンパー

##### 2.1 構成と特徴

2面摩擦ブレーキダンパー(以下、2面タイプ)、4面摩擦

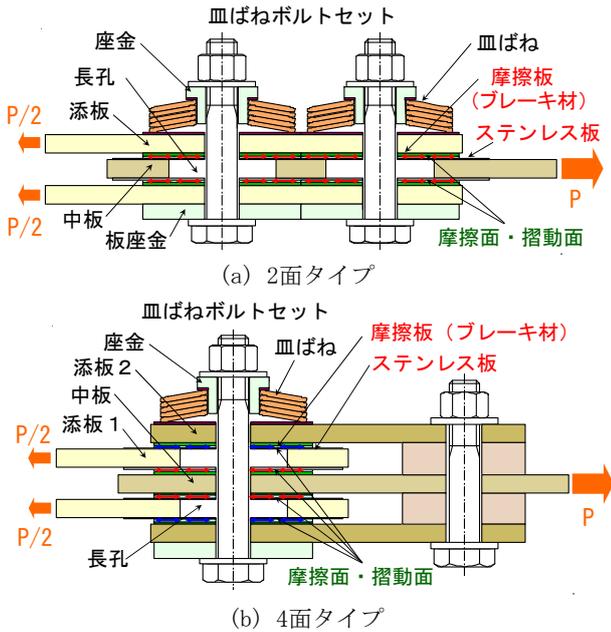


Fig. 1 ブレーキダンパーの構成  
Composition of Brake Damper

ブレーキダンパー(以下、4面タイプ)の構成をそれぞれ Fig. 1(a), Fig. 1(b)に示す。ブレーキダンパーはブレースや間柱などの耐震要素を構成する中板と添板の間に摩擦板(ブレーキ材)とステンレス板とを一對にして挟み込んだ制振システムである。自動車等のディスクブレーキの技術を応用しており、一定の滑り荷重で摺動することで建物の振動エネルギーを摩擦熱に変換し、建物の応答や損傷を低減することができる。

摩擦板を構成するブレーキ材には摩擦係数の安定した複合摩擦材(フェノール系樹脂)を使用している。ブレーキダンパーの摺動面を皿ばね<sup>7)</sup>を介した高力ボルト(以下、皿ばねボルトセットと称す)で締付けるため、ブレーキ材の摩耗等に伴うボルト軸力の変動を低減することができる。このため、安定した滑り荷重を得ることができる。

摩擦板とステンレス板は、それぞれ摺動面の反対側表面に摩擦係数が0.45以上の値となるようにブラスト処理を施し、摩擦板やステンレス板を乾式で挟み込むだけで施工できるように工夫している。

Fig. 1(b)の4面タイプでは、Fig. 1(a)の2面タイプと比べて摩擦面数を2面から4面に増やすことにより、皿ばねボルトセット数を従来の1/2に減らすことができ、ダンパーのコンパクト化やローコスト化を実現できる。

## 2.2 動的载荷実験

2.2.1 目的 2面摩擦ブレーキダンパー、4面摩擦ブレーキダンパーの基本特性、多数回繰返し特性を確認するために、実大架構を模擬した鉄骨フレームにブレースタイプのダンパーを組み込み、動的载荷実験を実施した。

### 2.2.2 実験計画

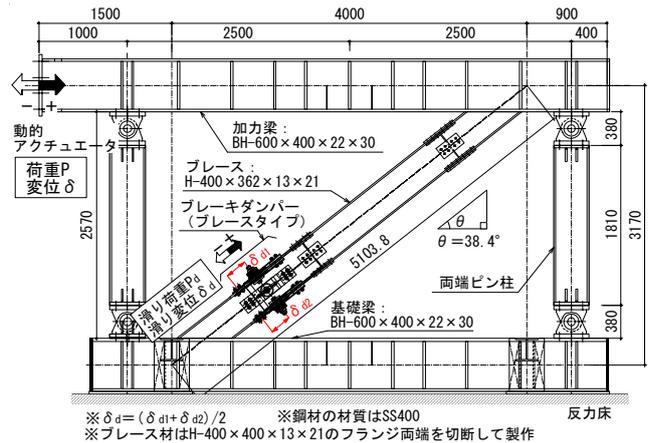
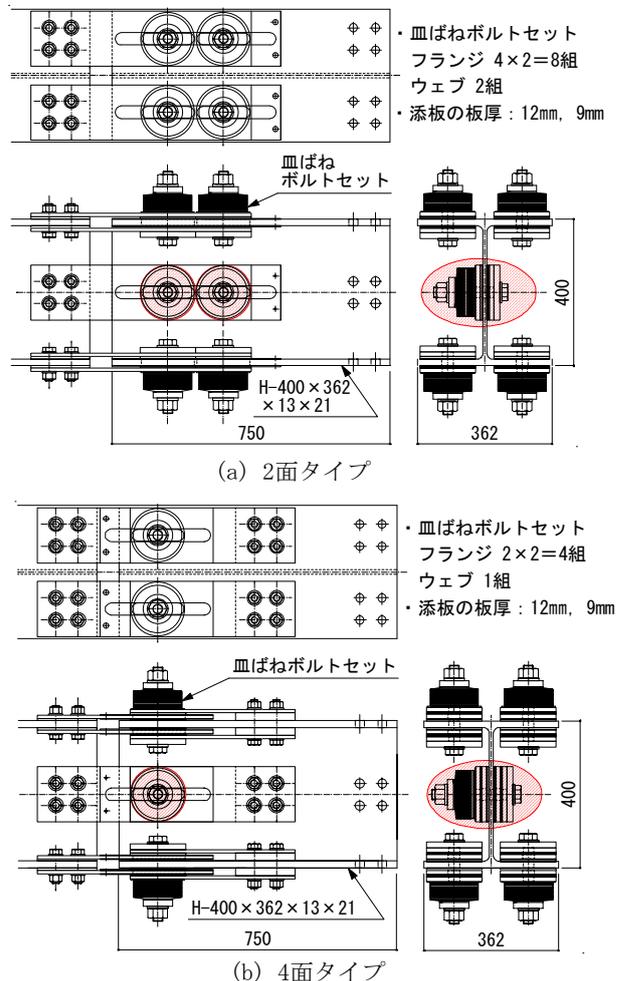


Fig. 2 試験体形状・寸法(ブレースタイプ)  
Configuration and Dimensions of Test Specimens  
(Brace Type)



※多数回繰返し载荷では、ウェブの皿ばねボルトセット(赤丸ハッチ部)を緩めた状態で载荷を実施

Fig. 3 ブレーキダンパー概要(ブレースタイプ)  
Outline of Brake Damper (Brace Type)

(1) 試験体 試験体形状・寸法をFig. 2、ブレーキダンパー部概要をFig. 3に示す。ブレースの断面サイズは、H-400 x 362 x 13 x 21(H-400 x 400 x 13 x 21のフランジ両

Table 1 载荷メニュー  
Test Program

载荷試験	試験No.	波形	周期 T (sec)	アクチュエータ 振幅 $\delta$ (mm)	ダンパー 目標振幅 $\delta_D$ (mm)	ダンパー 目標速度 $V_D$ (mm/s)	定常 サイ クル数 $N_c$ (回)
基本 特性 確認	1	正弦波	2	$\pm 10$	$\pm 7.84$	$\pm 24.6$	10
	2			$\pm 20$	$\pm 15.7$	$\pm 49.2$	
	3			$\pm 30$	$\pm 23.5$	$\pm 73.9$	
	4			$\pm 40$	$\pm 31.4$	$\pm 98.5$	
多数回繰返し	正弦波		4	$\pm 40$	$\pm 31.4$	$\pm 49.2$	100

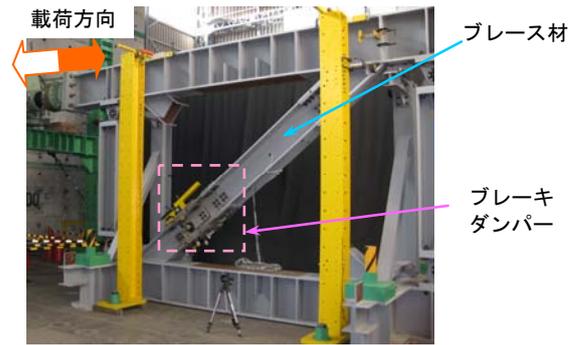


Photo 1 载荷状況  
View of Loading Test

Table 2 実験結果一覧(基本特性)  
List of Test Results (Basic Loading)

試験 No.	周期 T (sec)	アクチュ エータ 振幅 $\delta$ (mm)	定常 サイク ル数 $N_c$ (回)	2面タイプ				4面タイプ			
				添板9mm		添板12mm		添板9mm		添板12mm	
				滑り荷重 $P_{d,mean}$ (kN)	摩擦係数 $\mu_{mean}$	滑り荷重 $P_{d,mean}$ (kN)	摩擦係数 $\mu_{mean}$	滑り荷重 $P_{d,mean}$ (kN)	摩擦係数 $\mu_{mean}$	滑り荷重 $P_{d,mean}$ (kN)	摩擦係数 $\mu_{mean}$
1	2	$\pm 10$	10	736	0.235	756	0.242	708	0.227	724	0.232
2		$\pm 20$		877	0.280	877	0.280	831	0.266	847	0.271
3		$\pm 30$		985	0.315	959	0.307	994	0.318	965	0.309
4		$\pm 40$		1015	0.325	974	0.312	1045	0.334	996	0.319

端を切断して製作), 取付け角度(Fig. 2の $\theta$ )は $38.4^\circ$ である。2面タイプ, 4面タイプのブレーキダンパーの試験体を各2体(添板厚さ9mm, 12mmの2種類)用意した。試験体は, 皿ばねボルトセット, 摩擦板(ブレーキ材), ステンレス板などで構成されている。皿ばねボルトセットには高力ボルトM27と13枚並列重ねの皿ばね(外径130mm, 内径65mm, 板厚3.6mm)を用い, 2面タイプでは計10組, 4面タイプでは計5組の皿ばねボルトセットを使用した。ボルト1本あたりの目標導入軸力を156.3kNとした。予め皿ばねのたわみと反発力との関係を確認し, 皿ばねのたわみを計測することでボルト導入軸力を管理した。試験体の目標滑り荷重は, すべての皿ばねボルトセットを締め付けた場合, 摩擦係数を0.32とすると, 以下の通りである。

2面タイプ:  $156.3\text{kN} \times 0.32 \times 2\text{面} \times 10\text{セット} = 1000\text{kN}$

4面タイプ:  $156.3\text{kN} \times 0.32 \times 4\text{面} \times 5\text{セット} = 1000\text{kN}$

(2) 载荷・計測方法 载荷メニューをTable 1に示す。Fig. 2に示す動的アクチュエータを载荷用鉄骨フレームの上部加力梁の一端に接続し, 変位制御により水平荷重を作用させた。ダンパーを組み込んだブレース材の両側には両端ピン柱を配置している。ダンパーの基本特性を確認するための载荷には定常部が10サイクルの正弦波からなる波形を用い, Table 1の試験No.1~4の順で载荷を実施した。正弦波の周期は, 文献1), 2)での载荷条件を参照し, 2秒とした。さらに, 添板12mmの試験体については, 別途, 長周期地震動を想定した周期4秒, 100サイクルの正弦波による多数回繰返し载荷を実施した。

ブレーキダンパーの軸方向滑り荷重 $P_d$ は, アクチュエータ内蔵荷重計の指示値からブレースのせん断力の水平成分(ひずみゲージより算出)を差引き, その値をブレース材軸方向の値に変換して算出した。また, ダンパーの滑り変位 $\delta_d$ として, 皿ばねボルトセット部と固定側ボルト接合部の間における中板の相対変位を測定した。

### 2.2.3 実験結果

(1) 基本特性 試験体の载荷状況をPhoto 1, 基本特性確認実験の結果一覧をTable 2に示す。Table 2の滑り荷重 $P_{d,mean}$ は, ブレーキダンパーの滑り荷重-滑り変位関係から求められる全消費エネルギー(荷重-変位関係の履歴面積であり, 積分により算出)を全累積滑り変位で除して算出した。また, 摺動面の摩擦係数 $\mu_{mean}$ は, 上述の滑り荷重 $P_{d,mean}$ とボルト目標導入軸力(156.3kN)を用いて算出した。試験No.1, No.2の载荷において, 滑り荷重は若干小さな値を示した。これは, 摩擦板に使用しているブレーキ材が新品で累積滑り変位が小さな範囲では, 摩擦係数が低めの値になる傾向を反映している。また, 载荷時の振幅が大きくなるにつれて, 摩擦係数が若干大きくなる傾向がある。なお, 試験No.3, No.4における摩擦係数は, 概ね目標値に近い値であった。

ダンパーの滑り荷重-滑り変位関係(試験No.1~No.4の結果を重ね書き)をFig. 4に示す。図中には, 目標滑り荷重(1000kN), 目標値 $\pm 10\%$ の滑り荷重(900kN, 1100kN)をそれぞれ, 一点破線(青線), 破線(赤線)で併記している。各試験体ともに, 安定した剛塑性型の履歴特性を示し, 変位振幅の大きい試験No.3, No.4の载荷では, 滑り荷重

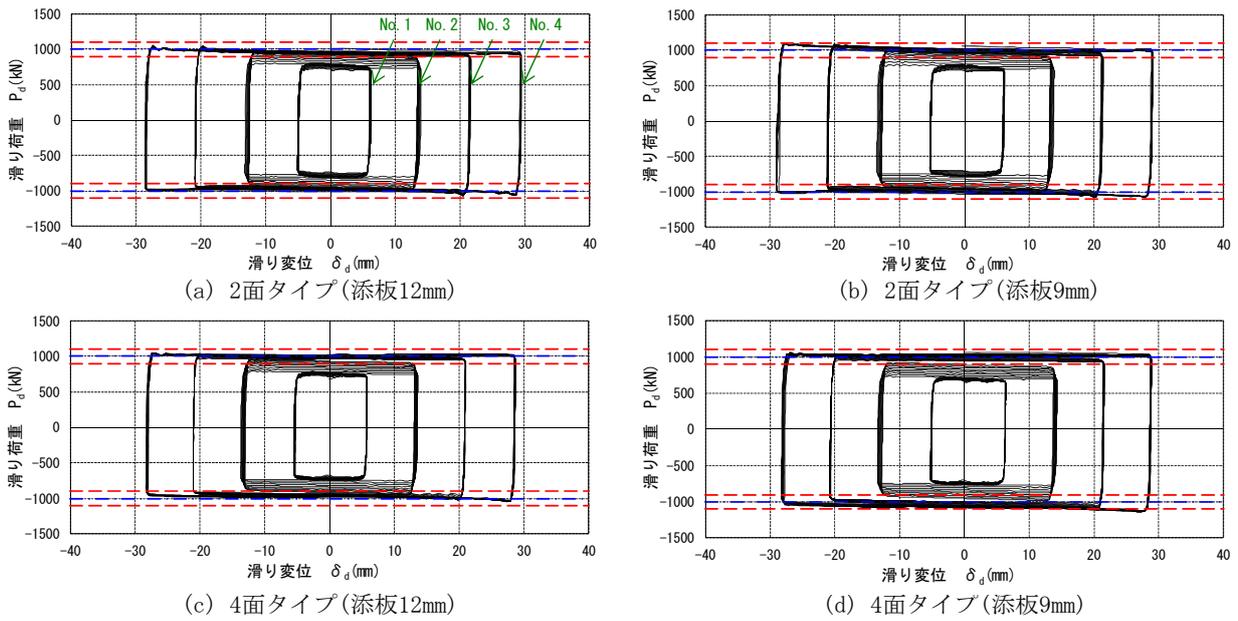


Fig. 4 ダンパーの滑り荷重－滑り変位関係(基本特性)  
Sliding Load - Sliding Displacement Relationship (Basic Loading)

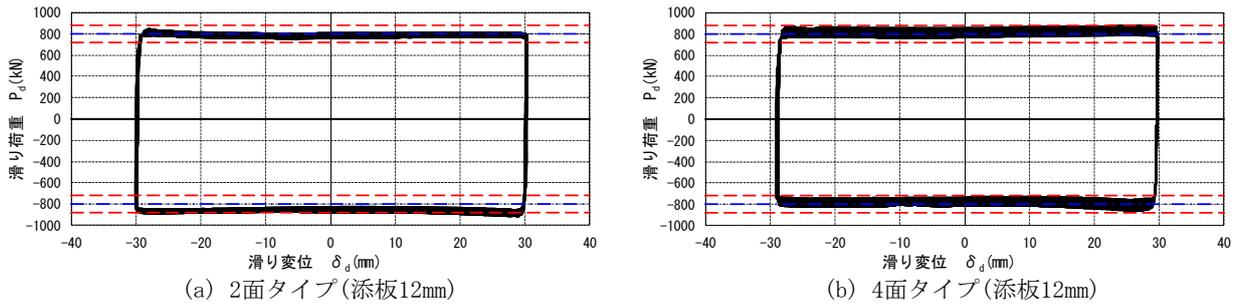


Fig. 5 ダンパーの滑り荷重－滑り変位関係(多数回繰返し特性)  
Sliding Load - Sliding Displacement Relationship (Multi-cycle Loading)

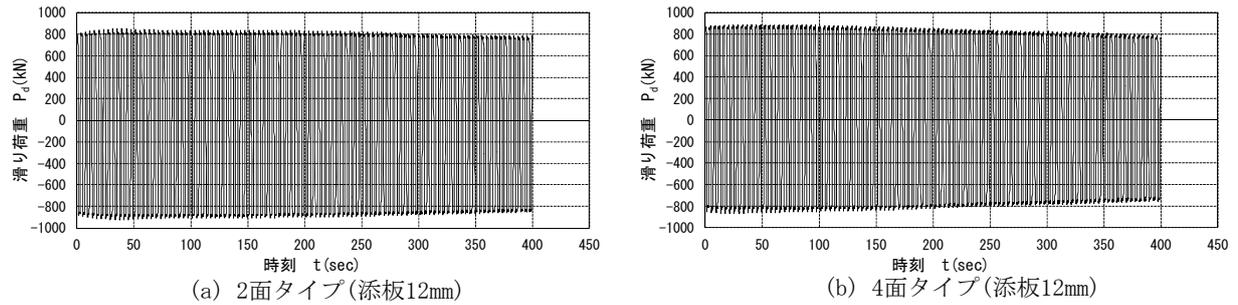


Fig. 6 ダンパーの滑り荷重の時刻歴(多数回繰返し特性)  
Time History of Sliding Load (Multi-cycle Loading)

が概ね目標滑り荷重 $\pm 10\%$ の範囲に入っている。

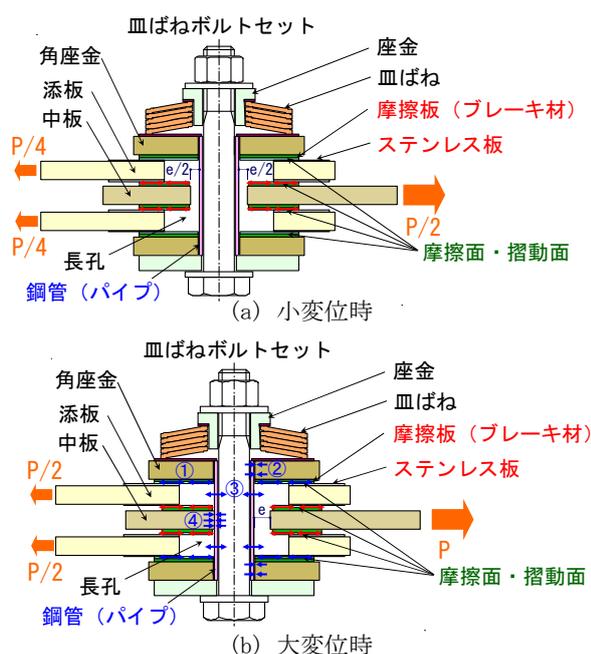
(2) 多数回繰返し特性 多数回繰返し载荷によるダンパーの滑り荷重－滑り変位関係をFig. 5, ダンパーの滑り荷重の時刻歴をFig. 6に示す。長周期地震動を想定した多数回繰返し载荷に対しても、ダンパーは安定した剛塑性型の履歴特性を示している。なお、100サイクル経過時の滑り荷重は、载荷初期に対して、2面タイプで95%、4面タイプで91%であった。

### 3. 2段階滑りブレーキダンパー

#### 3.1 構成と特徴

ダンパー荷重のレベルを2段階に調整可能な2段階滑りブレーキダンパー(以下、2段階滑りタイプ)の構成をFig. 7, 履歴特性モデルをFig. 8に示す。

添板の両外側に角座金を配置し、添板と角座金の間にも摩擦板(ブレーキ材)とステンレス板を一对にして挟み込んだ。また、高力ボルトの周囲に高強度の鋼管(以下、



〔荷重伝達機構〕

赤の矢印：添板・中板間での摩擦板とステンレス板の摺動摩擦  
 青の矢印：①添板・角座金間での摩擦板とステンレス板の摺動摩擦  
 →②角座金とパイプの支圧→③パイプのせん断→④パイプと中板の支圧

Fig. 7 2段階滑りブレーキダンパーの構成  
 Composition of Brake Damper with Two Step of Sliding Load

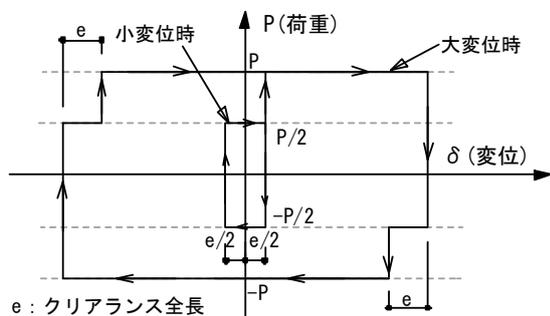
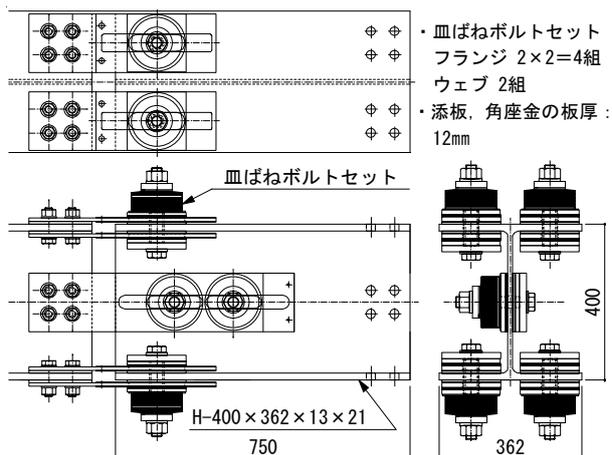


Fig. 8 2段階滑りブレーキダンパーの履歴特性  
 Hysteretic Loop Characteristics of Brake Damper with Two Step of Sliding Load

パイプ)を配し、パイプと中板の長孔端との間に一定のクリアランス(Fig.7において $e/2$ ,  $e$ :クリアランス全長)が確保されるように中板にも長孔を設けた。

中小地震時のように小さな変位(Fig. 7で変位量 $<e/2$ )に対しては、中板と添板との間でのみ滑りが生じる。このときに有効な摩擦面数は2面である。一方、大地震時のような大きな変位(Fig. 7で変位量 $\geq e/2$ )に対しては、パイプが中板の長孔端部に接触することにより、パイプを介して中板、角座金が一体となって動くため、摩擦面数は4面となり、滑り荷重は小変位時の2倍となる。

このように、2段階滑りブレーキダンパーは、中小地震と大地震とで滑り荷重を2段階に調整できるため、建物の



※フランジに2段階滑りタイプ、ウェブに2面摩擦タイプのブレーキダンパーを使用

Fig. 9 ブレーキダンパー概要(ブレースタイプ)  
 Outline of Brake Damper (Brace Type)

Table 3 载荷メニュー  
 Test Program

载荷パターン	試験No.	波形	周期 T (sec)	アクチュエータ振幅 $\delta$ (mm)	ダンパー目標振幅 $\delta_D$ (mm)	ダンパー目標速度 $V_D$ (mm/s)	定常サイクル数 $N_c$ (回)
基本载荷	1	正弦波	2	$\pm 5$	$\pm 3.92$	$\pm 12.3$	10
	2			$\pm 10$	$\pm 7.84$	$\pm 24.6$	
	3			$\pm 20$	$\pm 15.7$	$\pm 49.2$	
	4			$\pm 30$	$\pm 23.5$	$\pm 73.9$	
	5			$\pm 40$	$\pm 31.4$	$\pm 98.5$	
多数回繰返し载荷		正弦波	4	$\pm 40$	$\pm 31.4$	$\pm 49.2$	100

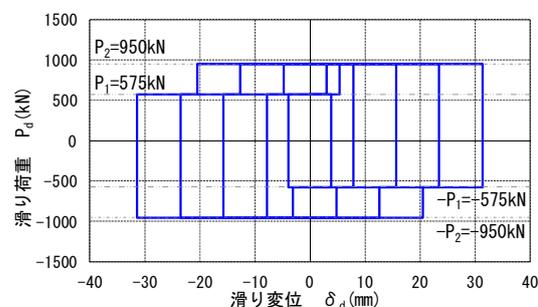


Fig. 10 履歴特性モデル(基本特性)  
 Model of Hysteretic Loop Characteristics

比較的小さな揺れから大きな揺れまで、幅広く制振効果を発揮できる利点を有する。

なお、この時、皿ばねボルトセットのボルトに直接せん断力は作用しないため、ボルトは導入軸力を一定に保つ役割のみを担う。

### 3.2 動的载荷実験

3.2.1 目的 2段階滑りブレーキダンパーの基本特性、多数回繰返し特性を確認するために、2.2節と同様のブレースタイプのダンパーを組み込み、動的载荷実験を実施した。

#### 3.2.2 実験計画

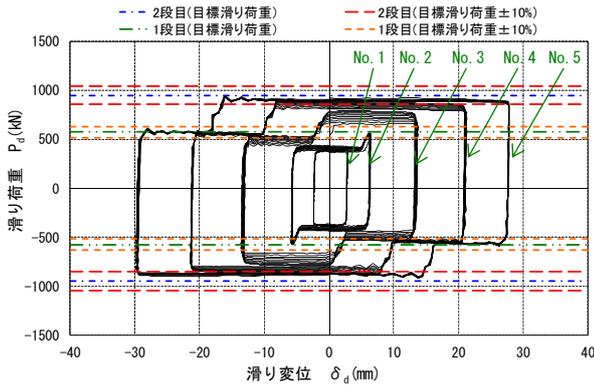


Fig. 11 ダンパーの滑り荷重－滑り変位関係  
(基本特性)  
Sliding Load – Sliding Displacement Relationship  
(Basic Loading)

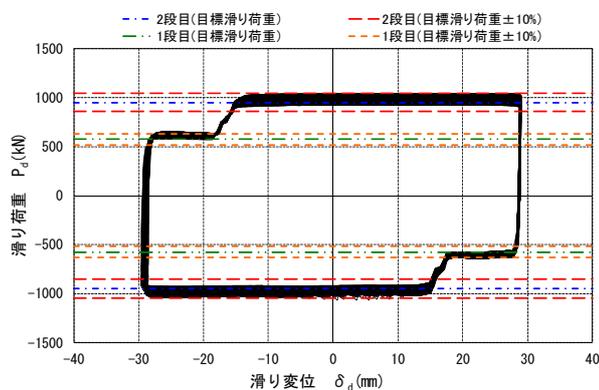


Fig. 12 ダンパーの滑り荷重－滑り変位関係  
(多数回繰返し特性)  
Sliding Load – Sliding Displacement Relationship  
(Multi-cycle Loading)

(1) 試験体 試験体は、2.2.2項と同じ鉄骨フレーム、ブレース材を使用する。ブレーキダンパー部概要をFig. 9に示す。試験体は、2.2.2項と同様の皿ばねボルトセット、摩擦板(ブレーキ材)、ステンレス板を使用している。また、ダンパーに使用する鋼管(パイプ)は、材質をクロムモリブデン鋼鋼管SCM435TK(JIS G3441)、断面サイズを $\phi$ -38.1×4.0とし、熱処理により強度を高めて使用した。

試験体のフランジ部に2段階滑りタイプ、ウェブ部に2面タイプのブレーキダンパーを使用した。皿ばねボルトセット数は、フランジ部が4組、ウェブ部が2組であり、計6組である。

ボルト1本当たりの目標導入軸力は156.3kNとした。別途実施した要素実験の結果を踏まえて、2段階滑りタイプの摩擦係数を0.30、2面タイプの摩擦係数を0.32とすると、この試験体は2段階の滑り荷重を有し、1段階、2段階の目標滑り荷重は、以下の値となる。

1段階の滑り荷重：

$$156.3\text{kN} \times (0.30 \times 2\text{面} \times 4\text{セット} + 0.32 \times 2\text{面} \times 2\text{セット}) = 575\text{kN}$$

2段階の滑り荷重：

$$156.3\text{kN} \times (0.30 \times 4\text{面} \times 4\text{セット} + 0.32 \times 2\text{面} \times 2\text{セット}) = 950\text{kN}$$

なお、パイプと中板ボルト孔端とのクリアランス全長 $e$ は、 $e=10.9\text{mm}$ に設定した。

(2) 荷重・計測方法 荷重メニューをTable 3に示す。荷重方法・計測方法は、2.2.2項で述べた方法と同様である。基本特性を確認するために、Table 3の試験No.1～No.5の荷重を順に実施した。基本特性確認荷重時に想定した2段階滑りブレーキダンパーの履歴特性モデルをFig. 10に示す。

また、長周期地震動を想定した周期4秒、100サイクルの正弦波による多数回繰返し荷重を別途実施した。

### 3.2.3 実験結果

(1) 基本特性 基本特性確認荷重時におけるダンパーの滑り荷重－滑り変位関係(試験No.1～No.5の結果を重ね書き)をFig. 11に示す。同図には、1段階の目標滑り荷重(575kN)と目標値±10%の滑り荷重(518kN, 633kN)、及び2段階の目標滑り荷重(950kN)と目標値±10%の滑り荷重(855kN, 1045kN)を併記している。

小変位時、大变位時の履歴特性は、Fig. 10の履歴特性モデルと概ね対応している。試験No.1～No.3の滑り荷重が目標滑り荷重より小さいのは、2章の試験と同様に、ブレーキ材が新品であることの影響と考えられる。試験No.2の履歴特性の第一象限と第三象限で荷重の変動が見られるのは、パイプが中板の長孔端部に接触し、1段階から2段階に荷重が切り替わったためである。

また、荷重時の振幅が大きくなるにつれて、滑り荷重が若干増加する傾向にある。振幅の大きな荷重(試験No.4, No.5)に対しては、1段階、2段階の滑り荷重ともに、概ね目標滑り荷重の±10%以内に収まっている。

(2) 多数回繰返し特性 多数回繰返し荷重によるダンパーの滑り荷重－滑り変位関係をFig. 12に示す。長周期地震動を想定した多数回繰返し荷重に対して、ダンパーは安定した履歴特性を示している。なお、100サイクル経過時の滑り荷重は、荷重初期に対して、1段階滑り荷重、2段階滑り荷重ともに90%であった。

## 4. 可変減衰力ブレーキダンパー

### 4.1 構成と特徴

可変減衰力ブレーキダンパーの基本構成をFig. 13に示す。通常のブレーキダンパーと同様に摩擦板(ブレーキ材)、ステンレス板、皿ばねボルトセットを用い、さらにダンパー変位に応じて締付け高さが変化する「高さ変化機構」を介装することを特徴とする。高さ変化機構は、主に金属製のころ材およびテーパー材から構成される。

高さ変化機構は、隆起部が対向したテーパー材の間に摩擦低減用のころ材が挟み込まれて配置され、ダンパー変位が0のときに高さが最大となり、ダンパー変位が所定値を超えて増加すると高さが低下する構造となっている。

このため、ダンパー変位が0のときは摩擦力(滑り荷重)が最大となり、ダンパー変位が所定値を超えると変位の大きさに応じて高力ボルトの導入軸力が低下することに

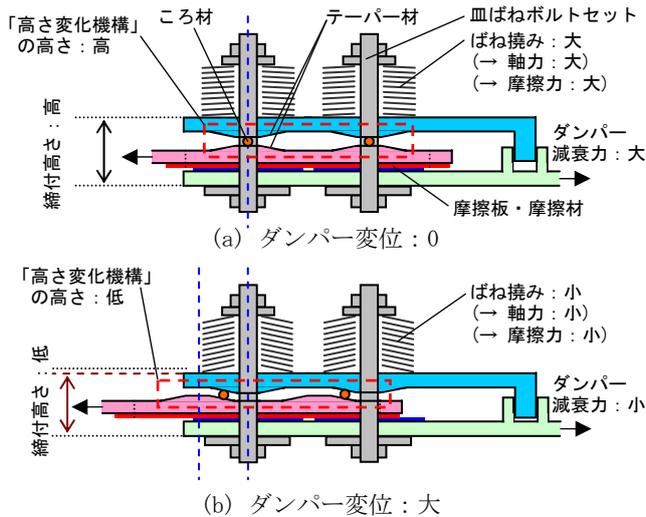


Fig. 13 可変減衰力ブレーキダンパーの基本構成  
Basic Composition of Brake Damper with Variable Damping Force Characteristics

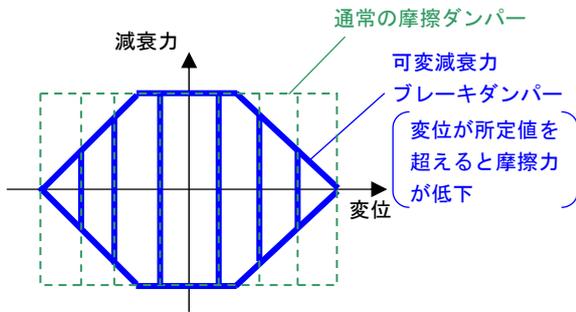


Fig. 14 可変減衰力ブレーキダンパーの特徴  
Feature of Brake Damper with Variable Damping Force Characteristics

より摩擦力が低下するダンパー特性が得られる。なお、摩擦面に働く垂直力(鉛直方向力)を発生させるばね材として皿ばねを採用している。

可変減衰力ブレーキダンパーの減衰力-変位関係を Fig. 14に示す(青線)。ダンパー変位が所定値を超えると摩擦力が低下する特性を有する。比較のため、通常の摩擦ダンパーの減衰力-変位関係を重ねて示す(緑線)。Fig. 14では、通常の摩擦ダンパーと比べて、可変減衰力ブレーキダンパーの方が1サイクル当たりのループ面積(エネルギー消費量)が小さいが、可変減衰力ブレーキダンパーの最大摩擦力を増やすことで、1サイクル当たりのエネルギー量を通常の摩擦ダンパーと同等にすることは容易に可能である。

可変減衰力ブレーキダンパーの適用効果のイメージを Fig. 15に示す。ダンパー変位(主架構の変形)の増加に応じてダンパー減衰力が低下するため、建物の主架構・基礎に余裕が少ない場合でも必要なダンパー量を十分に設置できる利点がある。

## 4.2 動的載荷実験

### 4.2.1 目的 可変減衰力ブレーキダンパーの基本特

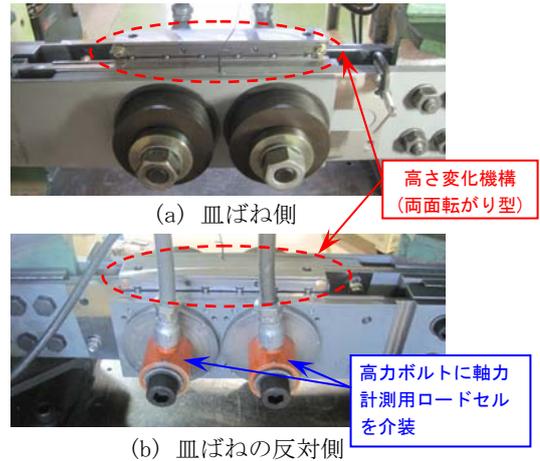


Photo 2 要素試験体  
Test Specimen of Damper Unit

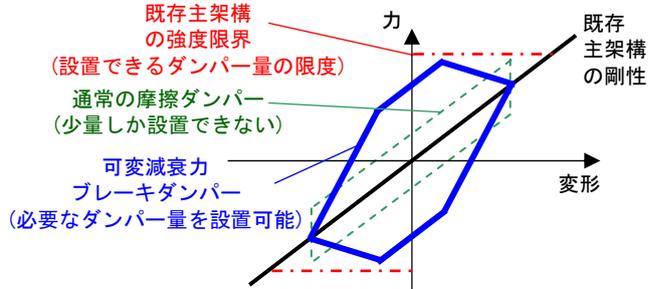


Fig. 15 可変減衰力ブレーキダンパーの適用効果  
Effect by Application of Brake Damper with Variable Damping Force Characteristics

性と多数回繰返し特性を確認するため、要素試験体を製作し、水平一方向(ダンパー作動方向)の動的載荷実験を実施した。

4.2.2 実験計画 動的載荷実験に使用する試験体は、2ユニットの可変減衰力ブレーキダンパーからなる要素試験体1体とした。要素試験体の外観をPhoto 2に示す。摩擦面数は2面とし、皿ばねボルトセット、ステンレス板には、従来のブレーキダンパーと同等の部材を用いた(ただし、皿ばねは12枚並列重ねとした)。摩擦板(ブレーキ材)には、ブレーキダンパーで通常用いている製品よりもやや大きい摩擦係数(=0.39程度)を示す開発品を使用した。ボルト1本当たりの目標導入軸力は120kNとし、高力ボルトに介装したロードセルにより計測管理した。

高さ変化機構は、Fig. 13の基本構成を2層に重ねた両面転がり式の構成とし、各ころ材を強制的に同期させるためにガイド材を設けた。テーパの形状は、ダンパー変位が所定値(10mm)を超えると高さ変化機構の高さが低下し始め、ダンパー変位40mmでほぼ0になるように設定した。

上記の要素試験体を用い、最大速度30mm/secの三角波載荷により動的載荷実験を行う計画とした。また、ダン

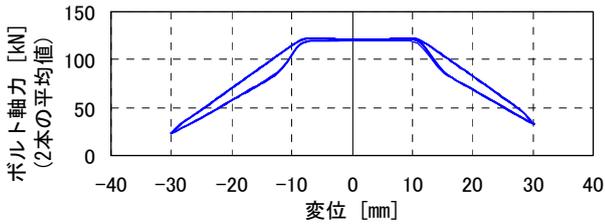
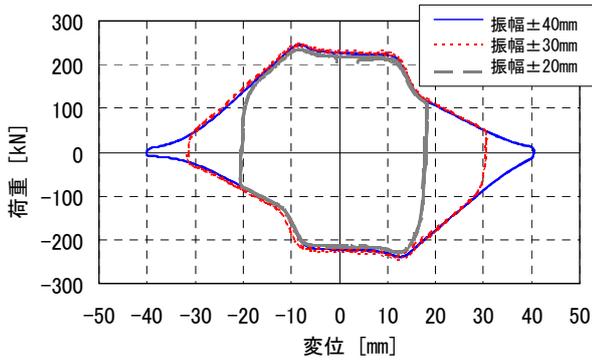
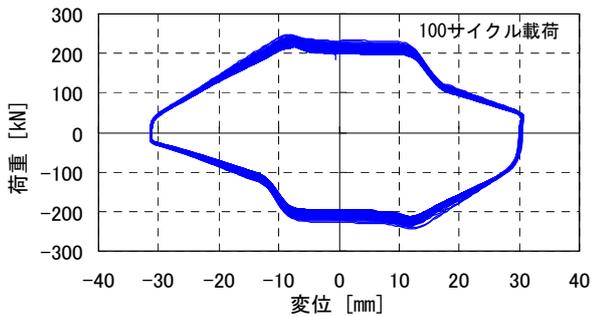


Fig. 16 ボルト軸力-ダンパー変位関係  
Axial Force of High-Tension Bolt -  
Displacement of Damper Relationship



(a) 基本特性



(b) 多数回繰返し特性

Fig. 17 ダンパーの荷重-変位関係  
Load - Displacement Relationship of Brake  
Damper with Variable Damping Force Characteristics

パー変位として、荷重用フレームを基準としたダンパーの滑り変位を計測した。

**4.2.3 実験結果** ダンパー振幅±30mm、5サイクル荷重におけるボルト軸力-ダンパー変位関係をFig. 16に示す。ここで、ボルト軸力は、2組の皿ばねボルトセットに介装したロードセルの計測値の平均とした。所定のダンパー変位(10mm)を超えるとボルト軸力が低下しており、高さ変化機構の作動により概ね目標通りのボルト軸力変化特性が得られた。

基本特性の確認を目的とした、ダンパー振幅±20, 30, 40mm、5サイクル荷重におけるダンパーの荷重-変位関係をFig. 17(a)に示す。ダンパー変位が10mmを超えると荷重が低下を開始し、変位40mmで荷重がほぼ0になっており、概ね目標通りの可変減衰力特性が得られた。また、ダンパー振幅が異なる荷重でもほぼ同じ骨格曲線を安定して描いた。なお、履歴ループが若干の非対称性を示す理由として、皿ばねの圧縮方向の荷重-たわみ関係における履歴の影響が考えられる。

多数回繰返し特性の確認を目的とした、ダンパー振幅±30mm、100サイクル荷重におけるダンパーの荷重-変位関係をFig. 17(b)に示す。多数回繰返し荷重に対しても摩擦板の劣化は小さく、高い繰返し耐久性を示した。

## 5. まとめ

長周期地震動や都市直下地震などの巨大地震に対して対応可能な制振デバイス「ブレーキダンパー」に関して、各種ブレーキダンパーの構成・特徴を紹介するとともに、ダンパーの基本特性や多数回繰返し特性を確認するために行った動的荷重実験の結果を示した。本報の結論は以下の通りである。

- 1) 現在、実建物で使用されている2面摩擦ブレーキダンパー、4面摩擦ブレーキダンパーを対象に実大ブレース型ダンパーの動的荷重実験を実施した。その結果、変位振幅の増大に対して安定した基本特性(滑り荷重、履歴特性)が得られること、長周期地震動を想定した多数回繰返し荷重に対して優れた耐久性を発揮することを確認した。
- 2) 中小地震と大地震で滑り荷重を2段階で調整可能な2段階滑りブレーキダンパーを開発した。実大ブレース型ダンパーの動的荷重実験により、当初の目標通り滑り荷重が2段階に切り替わることで、高い繰返し耐久性を有することを確認した。
- 3) ダンパー変位に応じて減衰力が変化する可変減衰力ブレーキダンパーを開発した。ダンパー要素試験体を用いた動的荷重実験により、当初の目標通りダンパーの変位増加に伴って滑り荷重が低減すること、高い繰返し耐久性を有することを確認した。

## 参考文献

- 1) 鈴木康正, 他: 4面摩擦「ブレーキダンパー」の開発, 大林組技術研究所報, No.75, (2011)
- 2) 鈴木康正, 他: 改良型ブレーキダンパーの開発, 大林組技術研究所報, No.73, (2009)
- 3) 高橋泰彦, 他: 高力ボルト摩擦接合滑りダンパーの開発 その1~その7, 日本建築学会大会学術講演梗概集C-1, pp.979~992, (2000)
- 4) 野村潤, 他: 高力ボルト摩擦接合滑りダンパーの開発 その11~その13, 日本建築学会大会学術講演梗概集C-1, pp.1069~1074, (2010)
- 5) 例えば, 日本建築学会 構造委員会 長周期建物地震対応ワーキンググループ: 長周期地震動対策に関する公開研究集会, (2011)
- 6) 佐野剛志, 他: 可変減衰力ブレーキダンパーの開発 その1~その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集B-2, pp.791~794, (2011)
- 7) 例えば, ばね技術研究会: 第3版 ばね, 丸善株式会社, pp.283~292, (1982)