

制震・免震用ブレーキダンパーの紹介と 実建物への適用事例 Introduction of the Brake Damper and an Applied Building Example

佐野 剛志 Takeshi Sano
鈴井 康正 Yasumasa Suzui
勘坂 幸弘 YukihiroKanzaka
(本社設計本部設計第八部)

1. はじめに

建物に組込むことで地震時や台風時の建物の振動エネルギーを吸収し、建物の揺れや損傷を低減する免震・制震ダンパーが一般的な技術として認められている。

近年、一層の建設コスト縮減と耐震安全性の向上に寄与することが、新築、既存建築物に関らずダンパーに要求されている。このような現状を踏まえ、ダンパーに要求される各種性能（対応可能な揺れの大きさ、減衰性能、耐久性、取付ディテール自由度、メンテナンス性、コスト）で優位性のある部材を目指しブレーキダンパーの開発を進めてきた。

ここでは、実用化を始めたブレーキダンパーの特徴、種類、適用事例などについて紹介する。

2. ブレーキダンパーの基本構成

ブレーキダンパーは、ステンレス板とブレーキ材が摩擦・摺動して相対変位し、建物の振動エネルギーを摩擦熱に変換し、建物の揺れや損傷を低減する摩擦ダンパーである。ブレーキダンパーが安定した摩擦力を発揮するには、安定した面圧と摩擦係数が必要となる。

Fig. 1にブレーキダンパーの基本的な構成方法を示す。ステンレス板とブレーキ材間の摩擦面の面圧は、ボルトを締結することで発生させる。その際、適度に撓ませた皿ばね（図は並列5枚の例）を介在させることで、摩擦によるブレーキ材の板厚変化やボルト締結後の皿ばね高さに対する面圧変化が少ない構造となっている。

また、ブレーキ材には摺動を繰返しても摩擦係数の変動が小さく、耐摩耗性に優れた材料を使用している。

Fig. 2にブレーキダンパーの荷重 - 変形関係を示す。摩擦力が最大荷重となるNormal Bi-linear型の復元力特性を示し長方形のループ形状を示す。

3. 実用化ブレーキダンパーの種類

開発したブレーキダンパーは、施工方法（現場施工，工場生産），適用部位（制震，免震）に応じた以下の3タイプである。

- (1)現場施工型制震用ブレーキダンパー
- (2)ユニット型制震用ブレーキダンパー
- (3)ユニット型免震用ブレーキダンパー

現場施工型制震用ブレーキダンパーは、主として建物のブレースに適用するもので、施工現場にステンレス板、ブレーキ材、皿ばねボルトセットを部品単位で搬入

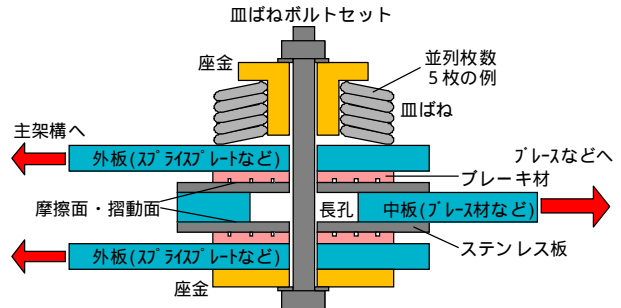


Fig. 1 ブレーキダンパーの基本構成
Components of the Brake Damper

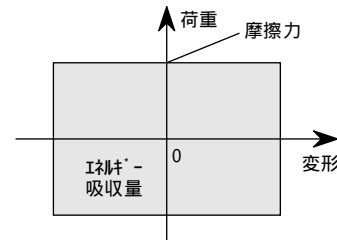


Fig. 2 ブレーキダンパーの荷重 - 変形関係
Restoring Force Characteristics of the Brake Damper

し、施工の進捗状況に合わせて現地で組立て、ボルトに所定軸力を導入し完成させる。

ユニット型制震用ブレーキダンパーも主として建物のブレースに用いるが、工場ではユニット型制震用ブレーキダンパーとして組立てを完了し、減衰性能を確認した後、施工進捗状況に合わせて現場に搬入し、取り付ける。

ユニット型免震用ブレーキダンパーは免震層に適用するもので、ユニット型制震用ブレーキダンパーと同様、組立、減衰性能確認後、現場に搬入し、取り付けて完成させる。

次に各タイプのブレーキダンパーについて紹介する。

4. 現場施工型制震用ブレーキダンパー

4.1 現場施工型制震用ブレーキダンパーの特徴

現場施工型制震用ブレーキダンパーは、部品単位で搬入し、現地で組立てるため、皿ばねボルトセットの数量を増やすことで、非常に大きな減衰力（摩擦力）のブレーキダンパーも構築可能である。

一方、荷重履歴を受ける前の新品のブレーキ材は設計摩擦係数より若干低めの摩擦係数を示すため、この低下分を設計段階で考慮する必要がある。また現場においてボルト締付精度を管理する必要がある。

なお、現場施工上、Fig. 1に示すような2面せん断（2面滑り）構造となる。

4.2 現場施工型制震用ブレーキダンパーの型式

現場施工型制震用ブレーキダンパーを実建物に適用する場合、Table 1、Table 2に示す大臣認定（評価は（財）日本建築センター）を受けた10種類のブレーキダンパー用皿ばねボルトセットから最適の皿ばねボルトセットを選択して使用する。Fig. 3に皿ばね各部の寸法を示す。A、Bシリーズでは個々の皿ばね反力や組立後寸法、施工性などに若干違いがある。

例えば、2700kNの摩擦力を発生するブレーキダンパーを構築する場合、Bシリーズ型式FSD130Bの皿ばねボルトセット（皿ばね並列枚数10枚）を30組を使用し、各々156.3kN × (10/11)の軸力で締付けると2700kNの摩擦力を得ることができる。計算式は下記の通り。

摩擦力2700kN

軸力156.3kN × 皿ばね並列枚数(10/11)

× 摩擦係数0.32 × せん断面数2 × セット数30 (1)

この様に、皿ばねボルトセットの数および皿ばね並列

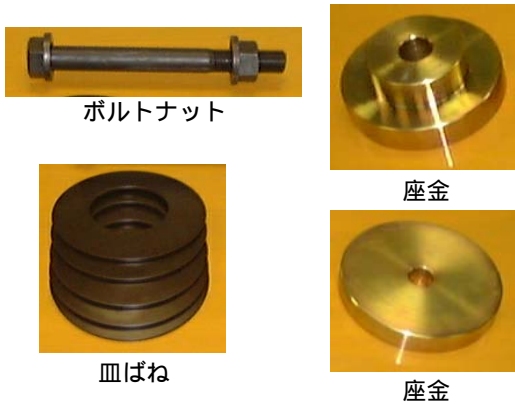


Photo 1 皿ばねボルトセット
Coned Disc Spring and Bolt Set

Table 1 現場施工型制震用ブレーキダンパーの型式
List of the On-site Construction Brake Damper
(A series)

Aシリーズ						
型式	FSD80A	FSD100A	FSD120A	FSD130A	FSD150A	
目標導入軸力(kN) (最大並列枚数時)	52.9	83.3	138.1	166.6	194.9	
摩擦係数	0.32					
摩擦力(kN) (最大並列枚数時)	33.9	53.3	88.4	106.6	124.7	
皿ばね最大並列枚数	13					
最小ボルト径(mm)	M20	M20	M24	M24	M27	
皿ばね形状	外径d1(mm)	80	100	120	130	150
	内径d2(mm)	40	50	60	65	75
	板厚t(mm)	2.10	2.60	3.20	3.60	3.90
	高さh1(mm)	4.70	5.85	7.10	7.80	8.80
	たわみf(mm)	2.60	3.25	3.90	4.20	4.90

枚数を変えることで多様な摩擦力に対応可能で、最大約6000kNの制震ブレースとして使用した実績がある。

4.3 現場施工型制震用ブレーキダンパーの施工手順

現場施工型制震用ブレーキダンパーはPhoto 1に示す皿ばねボルトセットで、Photo 2に示すステンレス板、ブレーキ材を、外板（スプライスプレート）と中板（ブレース材）の間に挟み込んで完成させる。

Photo 3に施工手順を示す。

仮設用スプライスプレートを撤去しステンレス板、ブレーキ材を本設スプライスプレートとブレース材間の所定位置に取り付ける。

皿ばねボルトセットを取り付ける。

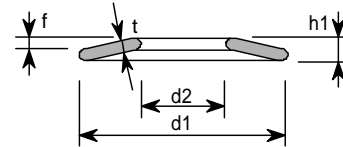


Fig. 3 皿ばねの各部寸法
Each Part Size of the Coned Disc Spring

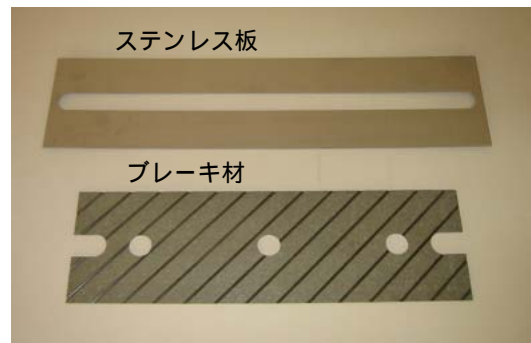


Photo 2 ステンレス板とブレーキ材
Stainless Plate and Frictional Material

Table 2 現場施工型制震用ブレーキダンパーの型式
List of the On-site Construction Brake Damper
(B series)

Bシリーズ						
型式	FSD80B	FSD100B	FSD120B	FSD130B	FSD150B	
目標導入軸力(kN) (最大並列枚数時)	49.5	80.0	132.3	156.3	189.0	
摩擦係数	0.32					
摩擦力(kN) (最大並列枚数時)	31.7	51.2	84.7	100.0	121.0	
皿ばね最大並列枚数	10		11			
最小ボルト径(mm)	M20	M20	M24	M24	M27	
皿ばね形状	外径d1(mm)	80	100	120	130	150
	内径d2(mm)	40	50	60	65	75
	板厚t(mm)	2.30	2.90	3.50	3.80	4.30
	高さh1(mm)	4.80	6.00	7.25	7.85	8.80
	たわみf(mm)	2.50	3.10	3.75	4.05	4.50

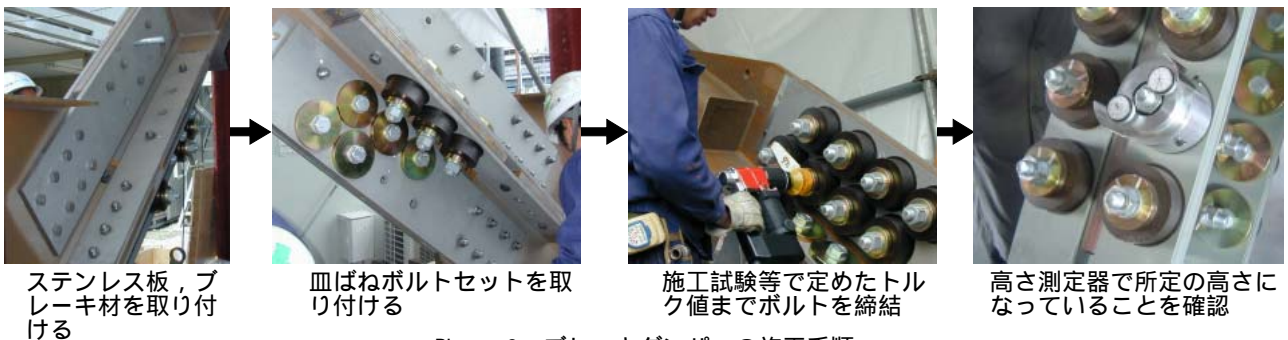


Photo 3 ブレーキダンパーの施工手順
Setting Procedure of the Brake Damper

施工試験等で締め付けトルクとボルト軸力、皿ばねたわみ量の関係を予め把握し、当該トルク値までボルトを締め付ける。

皿ばねが所定のたわみ量となっていることを高さ測定器で確認する。ここで示したトルク値管理による施工手法で、大半の皿ばねボルトセットの軸力導入は1回で完了し、高さ測定後に修正が必要となるのは少数である。

5. ユニット型制震・免震用ブレーキダンパー

ユニット型ブレーキダンパーには、制震用および免震用ブレーキダンパーの2種類がある。ユニット型ブレーキダンパーは工場で組立て、性能確認試験を全数実施することで、出荷前に所定の摩擦力を確認している。

試験機の加力性能に限界があるため、制震用で最大2000kN程度、免震用で最大800kN程度の摩擦力を想定し型式を決定した。型式より大きな摩擦力を必要とする場合は、ユニット型ブレーキダンパーを並列に繋いで使用するなどの工夫が必要となる。

工場生産のためFig. 4に示すような4面せん断（4面滑り）構造とし部材断面の小型化を実現した。

5.1 ユニット型制震用ブレーキダンパーの型式

ユニット型制震用ブレーキダンパーはTable 3に示す4種類から最も適したものを選択する。本ダンパー適用建物は、建物毎にダンパーも性能評価を受けるので摩擦力はTable 3に示す定格荷重近傍で調整が可能である。

Fig. 5にユニット型制震用ブレーキダンパーの外観図を示す。

5.2 ユニット型免震用ブレーキダンパーの型式

ユニット型免震用ブレーキダンパーはTable 4の型式で免震材料の大臣認定（評価は(財)日本建築センター）を取得しており、3種類から選定する必要がある。

Fig. 6にユニット型免震用ブレーキダンパーの外観図を示す。Photo 4に出荷前の性能確認試験の様子を示す。

6. 現場施工型制震用ブレーキダンパー適用事例

6.1 建物概要

現場施工型制震用ブレーキダンパーを適用した建物の概要をTable 5に示す。軸組図をFig. 7に示す。本建物は



Photo 4 ユニット型免震用ブレーキダンパーの性能確認試験（カバーの無い状態）
Test of the Factory Production Brake Damper

Y形ブレース・ダンパー（弾塑性ダンパー）とブレース型および間柱型の現場施工型制震用ブレーキダンパーを建物のコア部分に配置する構造となっている。

6.2 ブレース型ブレーキダンパー

建物Y方向のブレース型ブレーキダンパー（Fig. 8）は

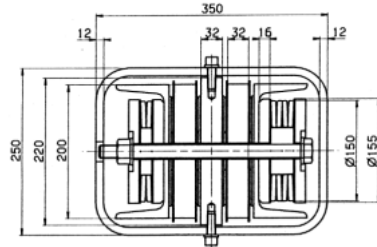


Fig. 4 ユニット型免震用ブレーキダンパー断面図
Section of the Factory Production Brake Damper

Table 3 ユニット型制震用ブレーキダンパーの型式
List of the Factory Production Brake Damper for Vibration Control

制震用					
型式	定格荷重(kN)	ストローク(mm)	取付長L(mm)	W(mm)	H(mm)
FR065-1	650	± 120	1950	270	380
FR110-1	1100		2300		
FR130-1	1300		2480		
FR170-1	1700		2810		

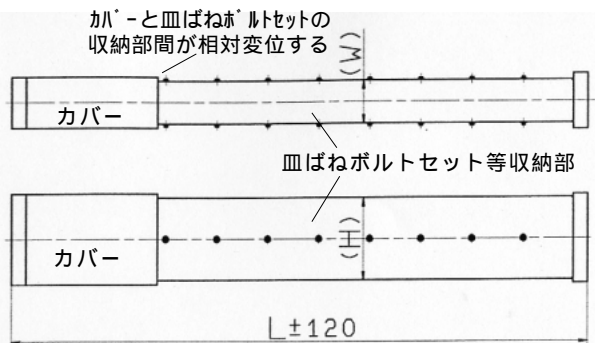


Fig. 5 ユニット型制震用ブレーキダンパー外略図
Size of the Factory Production Brake Damper for Vibration Control

Table 4 ユニット型免震用ブレーキダンパーの型式
List of the Factory Production Brake Damper for Base Isolation

免震用					
型式	定格荷重(kN)	ストローク(mm)	取付長L(mm)	W(mm)	H(mm)
FM050-1	550	± 550	2970	390	300
FM065-1	688		3140		
FM080-1	825		3310		

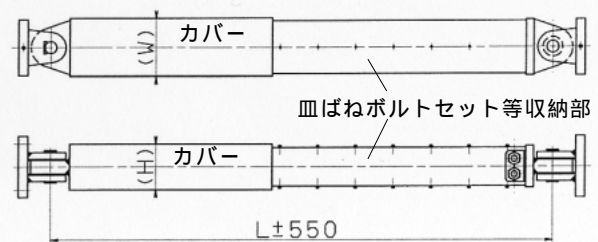


Fig. 6 ユニット型免震用ブレーキダンパー外略図
Size of the Factory Production Brake Damper for Base Isolation

ブレース材の断面形状がH-400×450×300で、ブレース下端と主架構接合部のスライスプレートを用いてダンパーを構築した。ダンパーの摩擦力は、1380kN～2240kNで、建物Y方向の全剛性に対するダンパーの剛性負担率は、約30%～60%である。

6.3 間柱型ブレーキダンパー

建物X方向の4階から8階には間柱型ブレーキダンパー (Fig. 8) を設けた。摩擦接合面は、H-1000×350の間柱の上下束材間のウェブ部分に構築した。ダンパーの摩擦力は623kN～757kNで、建物X方向の全剛性に対し、Y形ブレース・ダンパーと間柱型ブレーキダンパーを合せた剛性の負担率は、約15～60%である。両方向のブレーキダンパーは、直径100と120の皿ばねボルトセットを用いて構築しており、ブレーキダンパー取付け部周辺の架構は、ダンパー摩擦力の1.3倍以上の応力に対応できるよう設計した。

Photo 5に適用状況を示す。

7. まとめ

ブレーキダンパーは制震・免震部材として必要な各種認定を取得済みで、エネルギー吸収性能、耐久性、取付ディテールの自由度、メンテナンス性、コスト面などに優れたダンパーとして実用化がすすんでいる。

2003年7月現在、現場施工型制震用ブレーキダンパーは6件の新築事務所ビルで実用化されており、既存建物の耐震補強にも適用が予定されている。

またユニット型免震用ブレーキダンパーも実建物への適用が決まっている。

なお、現場施工型制震用ブレーキダンパーは大同精密工業株式会社、ユニット型制震・免震用ブレーキダンパーはトキコ株式会社が外販を実施している。

参考文献

- 1) 高橋, 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, (2000.9)
- 2) 日野, 中村, 他: 高力ボルト摩擦接合滑りダンパーの開発



Photo 5 適用状況
Application to the Building

発と実建物への適用, 鋼構造年次論文報告集第8巻, pp. 133～140, (2000.11)

- 3) 佐野, 鈴井, 他: 高力ボルト摩擦接合滑りダンパー (ブレーキダンパー) の開発 (ブレーキダンパーの性能確認実験と実建物への適用), 大林組技術研究所報No.62, pp. 13～20, (2001年)
- 4) 勘坂, 他: 4面せん断高力ボルト摩擦接合滑り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. 773-776, (2002.8)
- 5) 佐野, 他: 4面せん断高力ボルト摩擦接合滑りダンパーの開発その3～その4, 日本建築学会大会 (2003.9)

Table 5 建物の概要
Outline of the Building

用途	事務所・店舗・駐車場
面積	建築面積約3000m ² 延床面積約57000m ²
階数	地上30階, 塔屋2階, 地下3階
高さ	約150m
構造種別	地上 ブレース付き鉄骨造 地下 鉄骨鉄筋コンクリート造

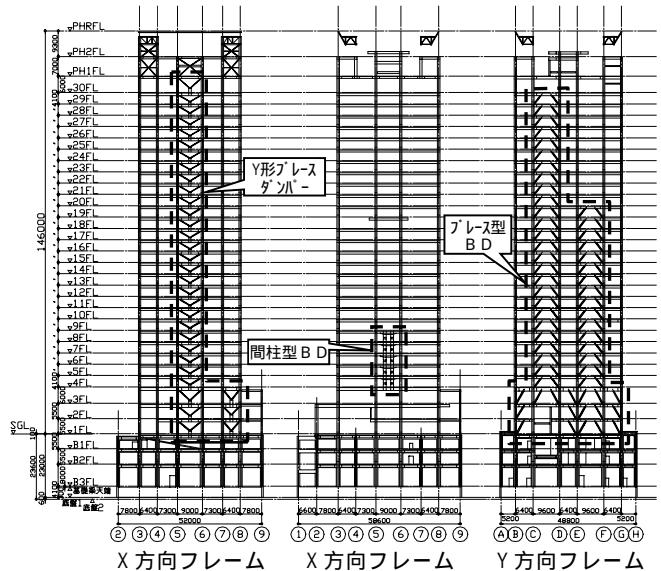
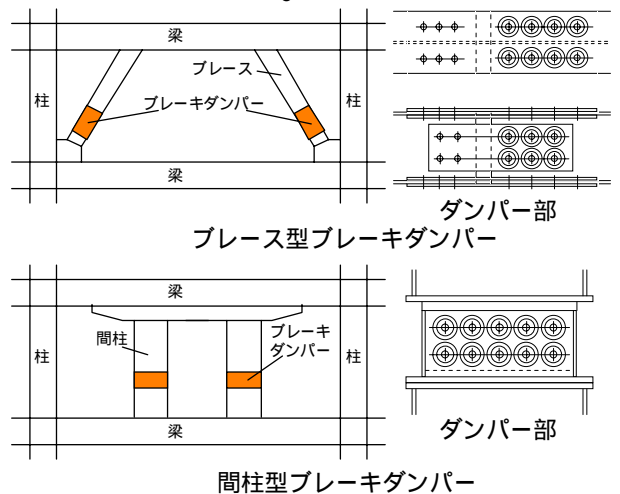


Fig. 7 軸組図

Framing Elevation



間柱型ブレーキダンパー

Fig. 8 ブレース型ブレーキダンパー
Application Forms of Brake Damper