

アルミ溶射摩擦ダンパー付きブレース架構荷重実験

正会員 中平和人*¹, 同 井上一朗*²
 同 桑原 進*², 同 瀬川輝夫*¹
 同 田中利幸*¹

1. 序

構造建築物に対する地震入力エネルギーを吸収して構造物の振動を抑制する装置として摩擦ダンパーがある。著者らは摩擦面にアルミを溶射したアルミ溶射摩擦ダンパーを提案し、安定した履歴性状を呈するための摩擦面の条件についてダンパー単体を用いて静的・動的に検討してきた^{[1]~[6]}。本報では、アルミ摩擦溶射ダンパー（以下摩擦ダンパーと呼ぶ）とそれを支持するブレースを柱・梁で構成されるラーメン構造（以下フレームと呼ぶ）に組み込んだ架構の履歴挙動の確認を目的とした繰返し水平加力実験について述べる。

2. 実験方法

2-1 試験体・荷重方法

図1に試験体と荷重方法を示す。試験体は表1に示す2体であり、実験パラメータは架構に組み込むアルミ溶射摩擦ダンパーの数である。柱・梁はH形鋼、ブレースには溝形鋼を用いている。摩擦ダンパーはブレースと

下梁に1つまたは2つ高力ボルトで接合する。図1は2つを装着した状態を示す。図中の内の数字はダンパーの番号を示す。2試験体は同一架構を使用し、摩擦ダンパーだけを交換して荷重する。架構は柱梁接合部の下側二箇所をピン支持され、上側二箇所をピンを介して加力梁に接合される。オイルジャッキにより加力梁に繰返し水平力を作用させる。

図2に摩擦ダンパー接合部の組立詳細図を、図3に摩擦ダンパーの構成部品を示す。摩擦ダンパーは高力ボルト(F10T M16)による二面摩擦接合形式であり、角部を面とりした2枚の外板側にアルミ溶射している。外板の内側をすべる中板には長孔をあけている。高力ボルトの初期ボルト張力は10 tonである。

外板のアルミ溶射面はアルミ溶射された後、研磨・脱脂されている。アルミ溶射厚の目標値は100 μmである。研磨の際に溶射面には油が浸透するため、外板は溶剤中

表1 試験体一覧

試験体名	アルミ溶射摩擦ダンパー		
	ダンパー数	初期ボルト張力 (ton)	接触圧 (kg/cm ²)
FDP-1	1	10	185
FDP-2	2	10	185

試験体架構

柱 : H-200×204×12×12
 梁 : H-175×175×7.5×11
 ブレース : 2C-125×65×6×8 材質はすべてSS400

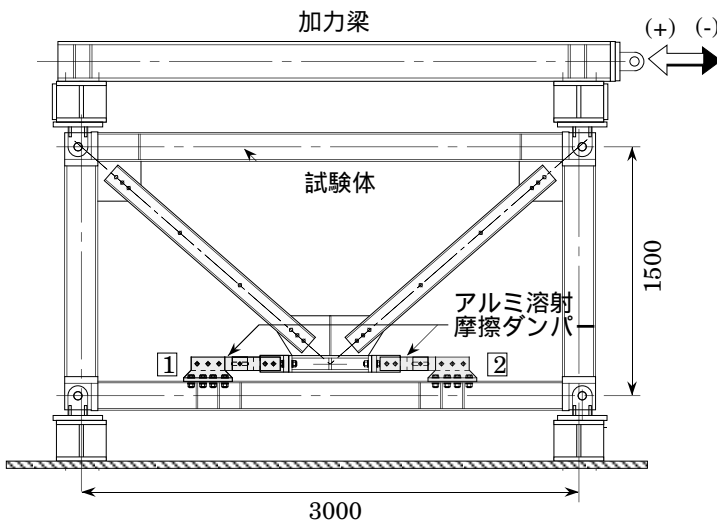


図1 試験体および荷重方法

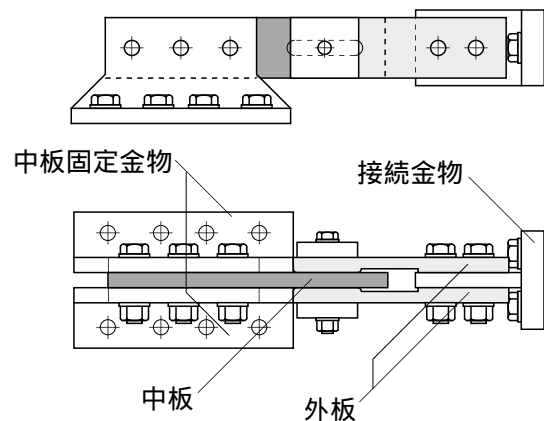


図2 アルミ溶射ダンパー組立図

The horizontal loading test of frame with thermally sprayed aluminium friction dampers

NAKAHIRA Kazuto, INOUE Kazuo, KUWAHARA Susumu, SEGAWA Teruo and TANAKA Toshiyuki

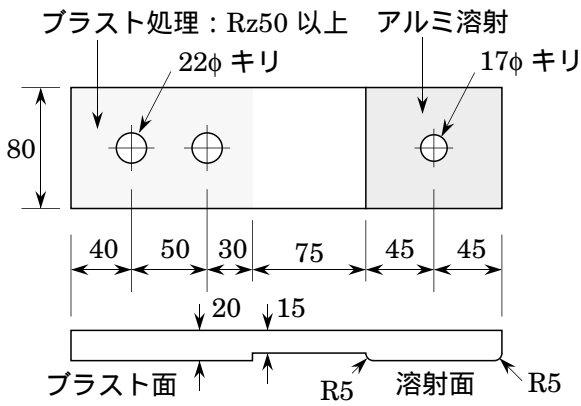


図 3.1 ダンパー部品図 (外板)

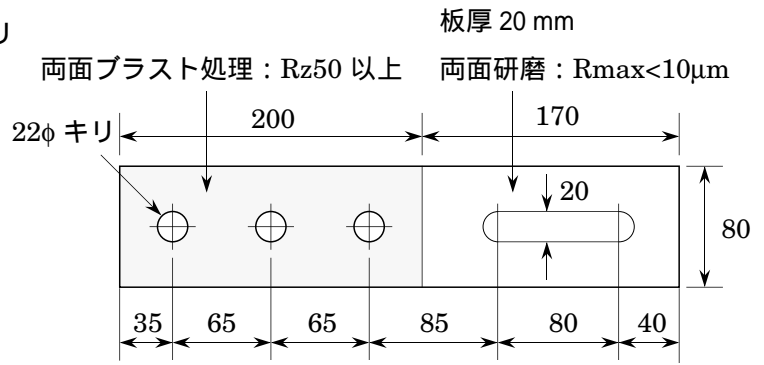
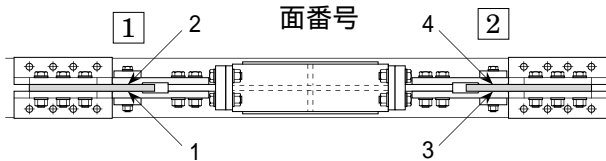


図 3.2 ダンパー部品図 (中板)

表 2 アルミ溶射ダンパー部品の溶射厚・表面粗さ

試験体	面番号	外板アルミ溶射面		中板摩擦面			
		アルミ溶射厚		表面粗さ 目標値	表面粗さ実測平均値		
		目標値 (μm)	実測値 (平均値) (μm)		R_a (μm)	R_{max} (μm)	R_z (μm)
FBP-1	1	100	90 , 110 , 120 , 110 (108)	$R_{\text{max}} < 10$	0.38	4.88	2.44
	2	100	100 , 100 , 90 , 80 (93)	$R_{\text{max}} < 10$	0.40	4.06	2.60
FBP-2	1	100	150 , 140 , 150 , 150 (148)	$R_{\text{max}} < 10$	0.36	4.28	2.50
	2	100	150 , 150 , 150 , 140 (148)	$R_{\text{max}} < 10$	0.38	3.46	2.56
	3	100	140 , 130 , 110 , 120 (125)	$R_{\text{max}} < 10$	0.36	4.18	2.36
	4	100	150 , 130 , 150 , 150 (145)	$R_{\text{max}} < 10$	0.40	4.50	3.40
平均		(128)		0.38	4.23	2.64	



R_a : 中心線平均粗さ
 R_{max} : 最大高さ
 R_z : 十点平均粗さ

で超音波を当てることにより脱脂されている。一方、中板の外板アルミ溶射面が接触する面は、表面粗さが $R_{\text{max}} < 10 \mu\text{m}$ となるように研磨されている。表 2 には外板アルミ溶射面の溶射厚測定値・外板アルミ溶射面と接触する中板摩擦面の表面粗さ測定値を示す。 R_a 、 R_{max} 、 R_z は JIS B 0601 (1982) で定義される表面粗さの指標である。

载荷プログラムは図 4 に示す漸増繰返し载荷である。FBP-2 に先だって载荷した FBP-1 ではフレームを塑性化させないために载荷時の最大層間変形角を 1/150 としている。

2-2 アルミ溶射摩擦ダンパー装着手順

アルミ溶射摩擦ダンパーの組立および架構への装着は以下の手順に従う。これは、中板と外板アルミ溶射面を密着させること、梁との接合時に摩擦ダンパーに生じる初期応力を小さくすることが目的である。

1. 中板摩擦面をアセトンにより脱脂する。
2. 摩擦ダンパーを構成する中板・外板・中板固定金物・接続金物を仮組みし、中板と中板固定金物、接続金物と外板の接合部を本締めする。その後中板と外板

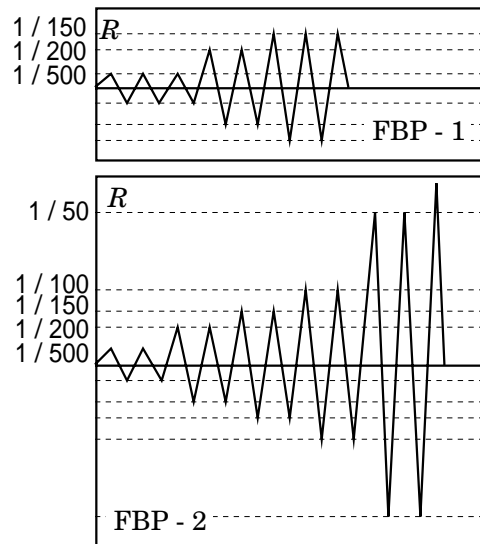


図 4 载荷プログラム

をアルミ溶射面を締付けるボルトに初期ボルト軸力 10 ton を導入する。

3. 中板固定金物と下梁の接合部を本締めする。
4. 接続金物とプレースの接合部を本締めする。

3. 実験結果

図5, 6に水平荷重 - 層間変形角関係を示す。縦軸には水平荷重 P を, 横軸には架構の層間変形角 R を示す。図中の点線はフレームだけの載荷実験から得られた弾性剛性 K_f であり, 次式の値をもつ。

$$P = K_f R$$

$$K_f = 2912 \text{ (ton/rad)} \quad (1)$$

図5中の△は載荷終了時を ▲は摩擦ダンパーを締め付ける高力ボルトを緩めボルト軸力を0にした時を示す。また図6中の△はそれぞれダンパー1のボルトを緩めたとき, ▲は両方のボルトを緩めた時を示す。柱・梁が弾性域では $P - R$ 関係はほぼ Bi-linear 型である二次剛性の領域では摩擦ダンパーが滑るためフレームだけの剛性となる。ただし, FBP-2の層間変形角 1/50以上の履歴ループではフレームが塑性化するため二次剛性が低下している。載荷終了後, 水平荷重を0にして摩擦ダンパーを締め付けた高力ボルトを緩めると, フレームの復元力により残留層間変形角は小さくなり, フレームが弾性である FBP-1 試験体ではほぼ0になっている。

図7, 8, 9には摩擦ダンパーの摩擦力 - すべり量関係

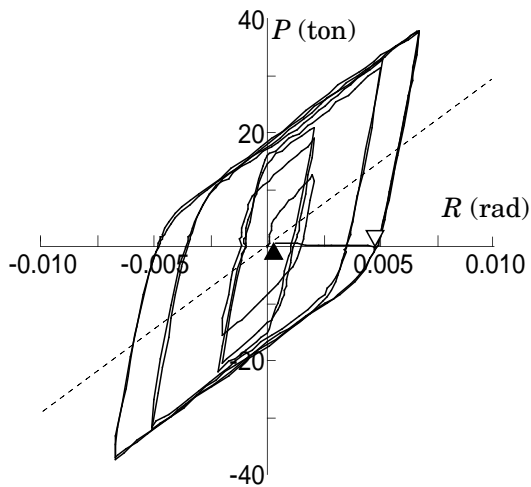


図5 水平荷重 - 層間変形角関係(FBP-1)

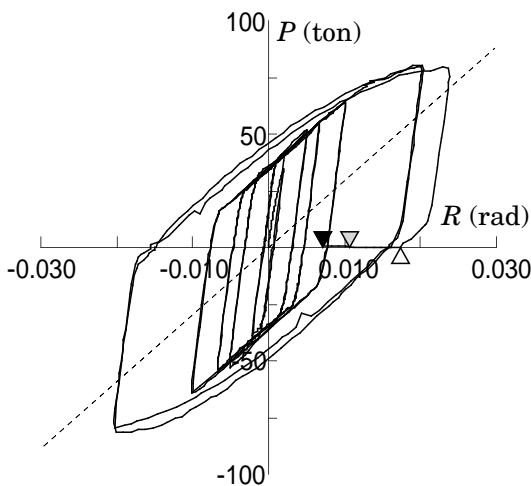


図6 水平荷重 - 層間変形角関係(FBP-2)

を示す。縦軸には外板に貼付した歪ゲージより算定した摩擦ダンパーの摩擦力 P_D を, 横軸には外板と中板の相対距離を摩擦ダンパーのすべり量 δ_D として示す。図中の三角印は図5, 6の三角印と対応する。溶射ダンパーの履歴ループはいずれも剛塑性に近い挙動を示し, すべった後はほぼ一定の耐力を保っている。図10にはすべり係数の推移を示している。縦軸に各履歴ループごとの平均すべり係数を, 横軸には履歴ループ番号を示す。ただし, 各平均すべり係数に対応するすべり荷重は, 対象としている履歴ループの面積に対応する変位振幅で除したものである。最初1ループのすべり係数は0.25 ~ 0.50程度にとどまっているが, 数ループですべり係数は上昇し, 0.85近傍の値で安定する。平均するとFBP-1では0.79, FBP-2の両ダンパーでは0.84となる。

図11, 12にはボルト軸力 - ダンパーすべり量関係を示

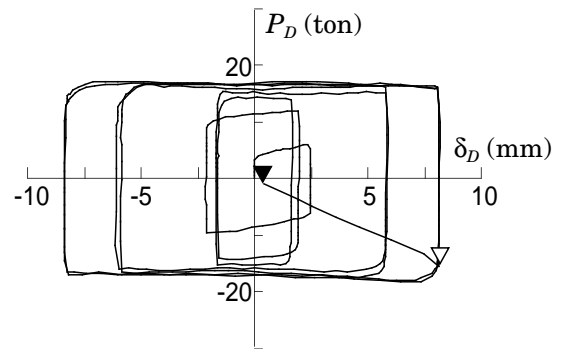


図7 ダンパー摩擦力 - すべり量関係(FBP-1)

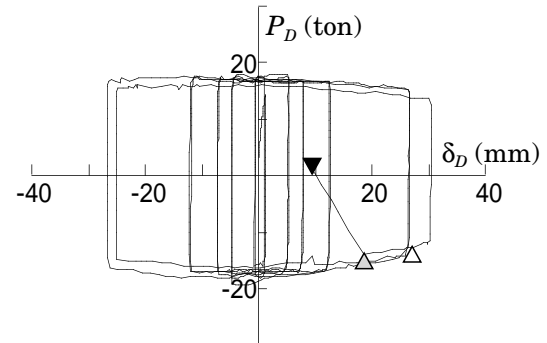


図8 ダンパー摩擦力 - すべり量関係 (FBP-2, ダンパー1)

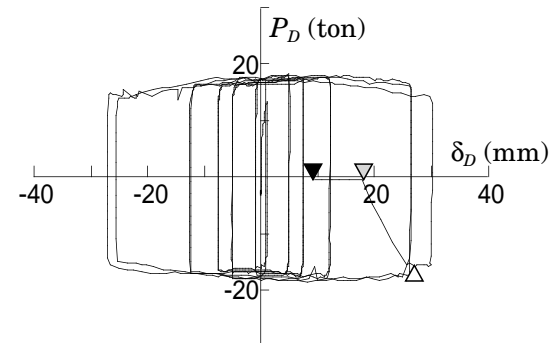


図9 ダンパー摩擦力 - すべり量関係 (FBP-2, ダンパー2)

す。縦軸にボルト軸力 N_{bolt} , 横軸にはダンパーのすべり量 δ_D を示す。载荷が進むとボルト軸力は上昇し, 12.5 ton 近傍で ± 0.5 ton 程度の変動を繰り返す。

4. 結

本報では, アルミ溶射ダンパーとそれを支持するブレースを柱・梁で構成されるラーメン構造に組み込んだ架構の繰返し水平加力実験について述べた。以下に得られた結果を要約する。

- ・摩擦ダンパーを取り付けた架構は, 柱・梁が弾性域ではほぼ Bi-linear 型の水平荷重 - 層間変形角関係を示す。
- ・摩擦ダンパーの摩擦力とすべり量の関係は剛塑性に近い履歴ループを示す。
- ・摩擦ダンパーのすべり係数は最初 1 ループは 0.25 ~ 0.5 程度であるが, 数ループで上昇し, 0.85 近傍ではほぼ一定になる。これはダンパー単体^[6]の試験結果とほぼ同じである。
- ・载荷終了後, 水平荷重を 0 にして摩擦ダンパーを締め付けた高力ボルトをゆるめると, フレームの復元力により残留層間変形角は小さくなり, フレームが弾性である FBP-1 試験体ではほぼ 0 になる。

参考文献

- [1] 小野聡子, 中平和人, 辻岡静雄, 井上一郎: アルミ溶射摩擦ダンパーの静的および動的履歴特性に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.41B, pp.1 ~ 8, 1995年3月
- [2] 井上一郎, 小野聡子, 徳山純一郎: アルミ溶射摩擦

ダンパーの静的履歴特性に関する研究(その1) ~ (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.587 ~ 590, 1993年9月

- [3] 井上一郎, 辻岡静雄, 小野聡子, 徳山純一郎: 摩擦ダンパー/アルミ溶射摩擦ダンパー, 日本建築学会近畿支部耐震構造部会シンポジウム, pp.1 ~ 10, 1993年12月
- [4] 小野聡子, 辻岡静雄, 瀬川輝夫, 田中利幸, 中平和人: アルミ溶射摩擦ダンパーの静的および動的履歴特性に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告会, pp.341 ~ 344, 1994年6月
- [5] 小野聡子, 辻岡静雄, 瀬川輝夫, 田中利幸, 中平和人: アルミ溶射摩擦ダンパーの静的および動的履歴特性に関する研究(その1) ~ (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.757 ~ 760, 1994年9月
- [6] 小野聡子, 井上一郎, 辻岡静雄, 中平和人, 瀬川輝夫, 田中利幸: アルミ溶射摩擦ダンパーの摩擦面の条件, 日本建築学会近畿支部研究報告会, 1996年7月

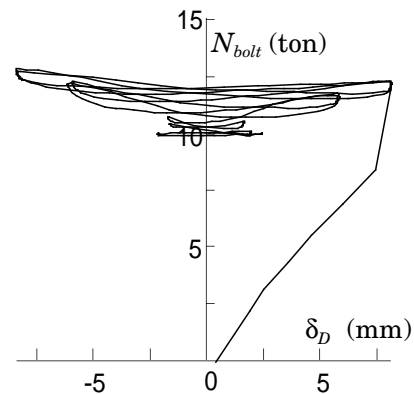


図 11 ボルト軸力 - ダンパーすべり量関係 (FBP-1)

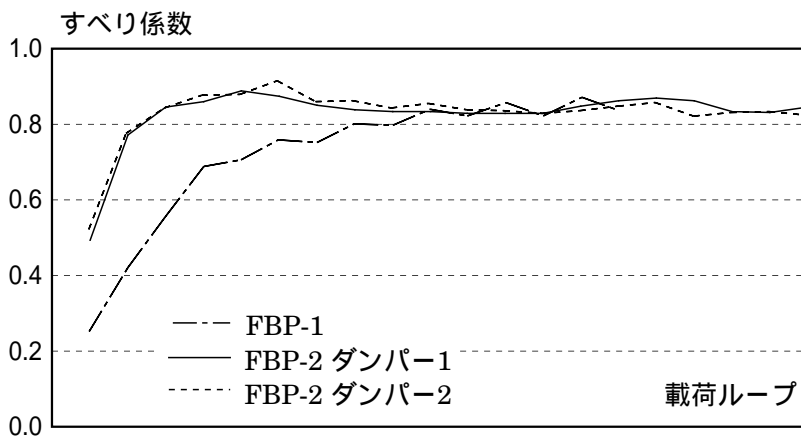


図 10 ダンパーのすべり係数推移

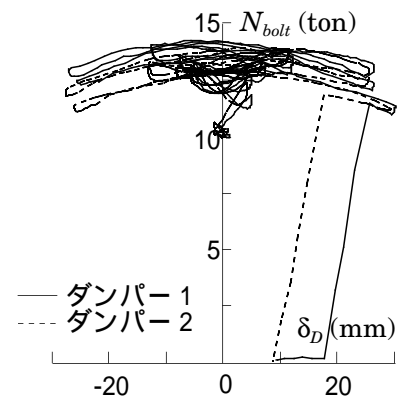


図 12 ボルト軸力 - ダンパーすべり量関係 (FBP-2)

*1 竹中工務店大阪本店設計部構造課

*2 大阪大学工学部建築工学科