

F10T M20・M24HTBを用いたアルミ溶射摩擦ダンパーの静的繰返し載荷実験

正会員 中平和人*2 同 桑原 進*1
 同 井上一朗*1 同 田中利幸*2
 同 瀬川輝夫*2 同 宇野暢芳*3

1. 序

アルミ溶射摩擦ダンパーとは、二面摩擦接合面にアルミニウムを溶射することにより構成される履歴型エネルギー吸収機構で、想定している対象外乱は大地震である。以下に本ダンパーの目標性能を掲げる。

- 1) 高耐力（高すべり係数）であること
- 2) ほぼ剛塑性に近い安定した履歴特性を有すること
- 3) 安定履歴域での累積すべり量 > 1.2m であること^[3]
- 4) 履歴特性が周波数に大きく依存しないこと
- 5) シンプルかつコンパクトで取付交換が容易なこと
- 6) 設置後はメンテナンスフリーであること

過去幾多の静的・動的載荷試験が行われ、本ダンパーはパッシブ型の制震ダンパーとして効果的であり適用可能な性能を有することが確認されている^{[1]~[6]}。上記に

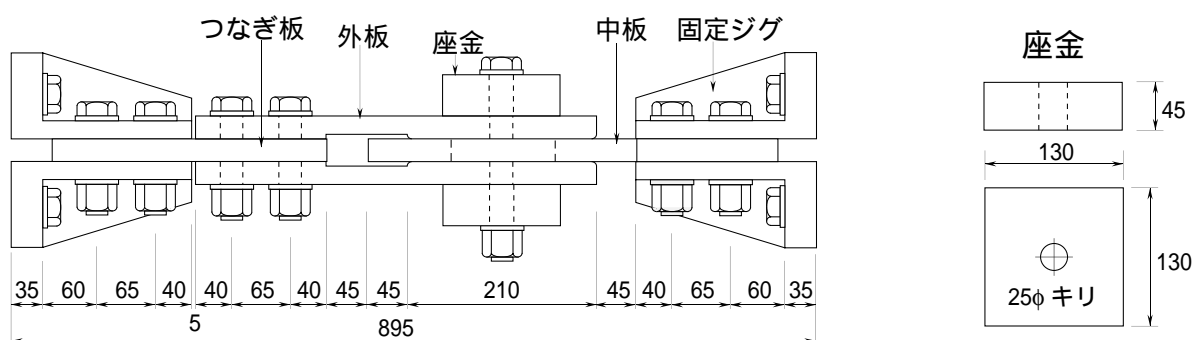
掲げた目標性能についてはほぼ満足する状況であるが、実用化に際しては課題も多い。高耐力かつ安定した履歴特性を確保するためには、摩擦面の最適条件をより緻密に把握する必要があり、基礎的研究のさらなる継続が望まれている。

本実験は、締付ボルトに F10T M20 および M24 を用い、それぞれを既往 M16 シリーズよりも高耐力の、30t ダンパーおよび 40t ダンパーとしてラインナップさせるためにその静的な力学的挙動を確認したものである。

2. 試験体および実験方法

ボルト径 M24 用の試験体を図 1 に示す。

試験体の一覧を表 1 に示す。表 1 に示すボルトの初期導入軸力は標準ボルト張力である。表 2 に標準ボルト張力



M24ボルト用試験体組立図

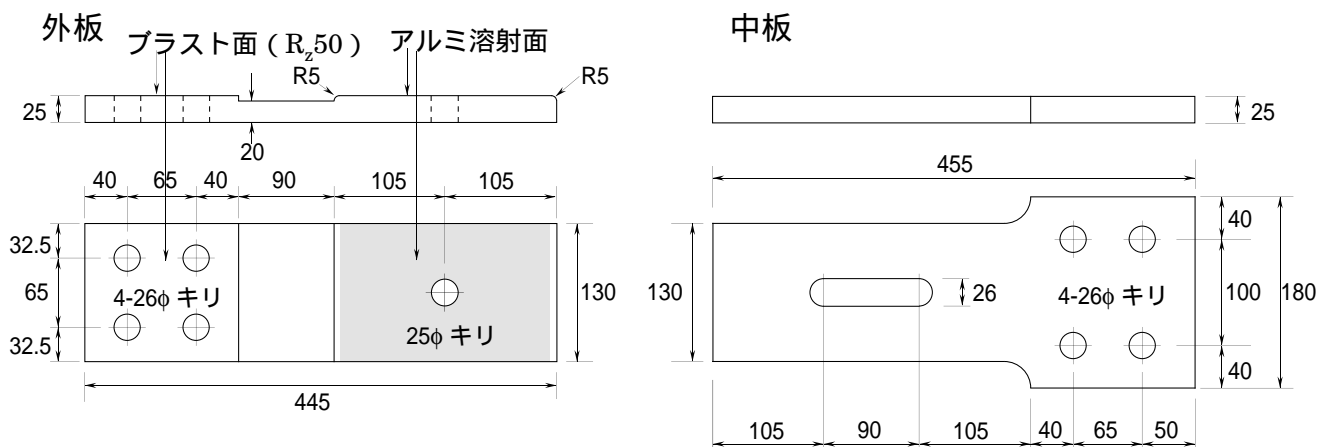


図 1 M24ボルト用の試験体

と、ダンパーとして見込むすべり耐力を径別に示す。

実験パラメータは、既往の知見および先立って実施された予備実験に基づいて以下のように定めた。

- ・外板および中板素材 [SS400, SUS410]
- ・中板表面処理 [鏡面, プラスト]
- ・外板溶射面下地処理 [Ni-Al 下地の有無]
- ・外板溶射面処理 [研磨の有無]
- ・目標溶射膜厚 [100μm ~ 200μm]
- ・締め付け高力ボルト [F10T M20, M24]
- ・载荷プログラム [漸増, 漸減]

板素材にSUS410を用いるのは長期間にわたる防食のためである。下地Ni-Al 有の試験体ではニッケルアルミによる下地溶射(溶射厚20~30μm)を施しており、この有意性についても確認する。下地Ni-Al 有の場合、溶射膜厚はこの下地材厚を含んでいる。

外板溶射面処理というのは溶射面の研磨および脱脂の工程である。溶射膜厚を正確に管理するための一手法として、従来は過剰溶射後に所定の膜厚になるまで溶射面を研削することとしていたが、溶射皮膜組織は多孔質状となるため研削油の浸透が避けられず、これが初期サイクルにおいてすべり係数を低める現象を引き起こしている。

これは脱脂することで解決するものの、残留研削油の完全脱脂もまたその管理も事実上困難であることから、溶射をしたままの状態での膜厚管理を基本とすることとした。

また今回から溶射面の長さを拡張した試験体形状としているが、これは繰返し载荷によって剥離するアルミ被膜の量を低減し、安定した履歴を得ることを目論んだものである。これにより平均接触圧は100kg/cm²程度と従来の約半分となり、また中板と外板の相対位置関係に関わらず常に平均接触圧を一定に保てるようになった。試験体の表面粗さやアルミニウムの溶射厚などについては実測管理しており、ほぼ目標値を満足している。载荷は正負交番荷重とし、図2に示す载荷プログラム(漸増および漸減)による変位をオイルジャッキで与えている。

3. 実験結果および考察

代表的な試験体の実験結果を図3に示す。それぞれの試験体毎に、摩擦力 - すべり量関係・ボルト軸力 - すべり量関係・各サイクル毎の平均すべり係数の推移を1セットにまとめて示している。ボルト軸力 - すべり量関係において、図中の破線は初期導入ボルト軸力を示す。

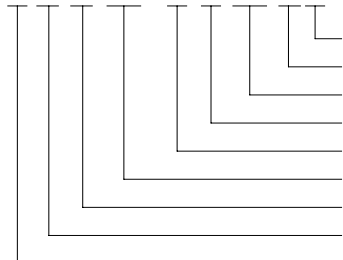
表1 試験体一覧

No	試験体名称	外板			中板		締付ボルト	平均接触圧	载荷種別																		
		素材	形状	溶射面		素材				摩擦面の処理																	
				Ni-Al 下地	研磨脱脂						目標膜厚																
a1	SNA15-U20LI	SS 400	長	有	無	150 (μm)	SUS 410	鏡面	F10T M20	93 (kg/cm ²)	漸増																
a2	SNA15-U20LD						SS	粗度 Rmax <10			漸減																
a3	SNA15-S20LI						無	無			100 (μm)	SUS 410	ブラスト	R _z 30	初期導入ボルト軸力 18.2 (t)	漸増											
a4	SNA15-S20LD																漸減										
a5	SNG15-U20LI																有	有	200 (μm)	鏡面	F10T M24	114 (kg/cm ²)	漸増				
a6	SNG15-U20LD																							漸減			
a7	SNA10-UB20LI			SUS 410	短	有			粗度 Rmax <10	F10T M24														26.2 (t)	漸増		
a8	SNA10-UB20LD																									漸減	
a9	SNA15-UB20LI						無	無			150 (μm)	SUS 410	鏡面	F10T M20	93 (kg/cm ²)	漸増											
a10	SNA15-UB20LD																									漸減	
a11	SA15-UB20LI																有	有	100 (μm)	SUS 410	ブラスト	R _z 30	初期導入ボルト軸力 18.2 (t)			漸増	
a12	SA15-UB20LD																										漸減
b1	SNA15-U24LI	SS 400	長	有	無	150 (μm)			SUS 410	鏡面														F10T M24	114 (kg/cm ²)		漸増
b2	SNA15-U24LD																										
b3	SNA20-U24LI						有	有			200 (μm)	粗度 Rmax <10	F10T M24	26.2 (t)	漸増												
b4	SNA20-U24LD															漸減											
b5	UNA20-U24LI															SUS 410	短	有	粗度 Rmax <10	F10T M24	26.2 (t)	漸増					
b6	UNA20-U24LD																						漸減				

表2 標準ボルト張力と見込むすべり耐力

ボルト呼び径	標準ボルト張力 (t)	すべり係数 0.8換算のすべり耐力 (t)
M16	11.7	18.7
M20	18.2	29.1
M24	26.2	41.9

SNA15-UB24LI



- 载荷プログラム (I: 漸増载荷, D: 漸減载荷)
 試験体形状 (L: 溶射面 長い, S: 溶射面 短い)
 締付ボルト径 (16: M16, 20: M20, 24: M24)
 中板表面処理 (B: プラスト処理, 無し: 鏡面仕上げ)
 中板素材 (S: SS400, U: SUS410)
 目標溶射膜厚 (10: 100μm, 15: 150μm, 20: 200μm)
 外板溶射面研磨 (G: 研磨脱脂有り, A: 研磨脱脂無し)
 外板溶射面下地 (N: Ni-Al下地有り, 無し: 下地無し)
 外板素材 (S: SS400, U: SUS410)

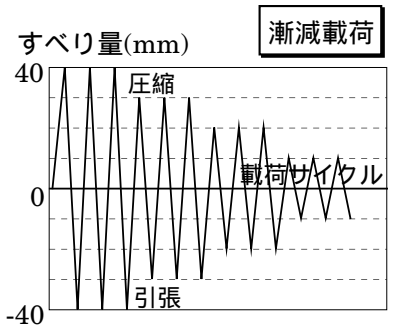
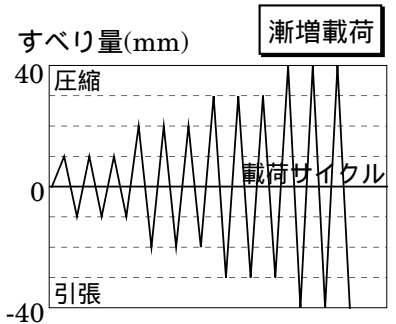


図2 载荷プログラム

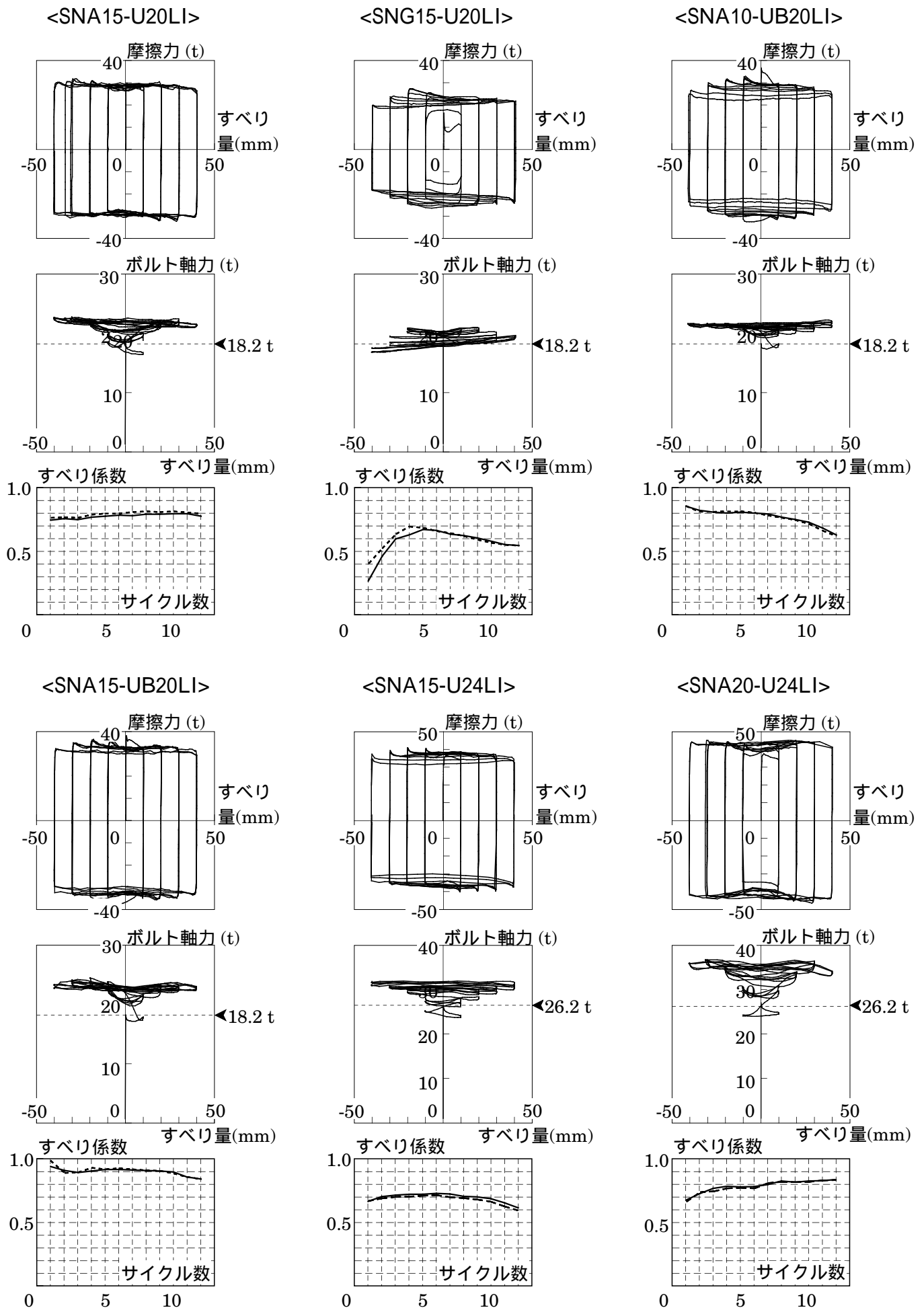


図3 摩擦力-すべり量関係・ボルト軸力-すべり量関係・各サイクルごとの平均すべり係数

また平均すべり係数とは各サイクルごとのすべり係数 - すべり量関係と横軸で囲まれる面積をそのサイクルのすべり量で除した値で、実線・破線がそれぞれ圧縮側・引張側を表している。

SNA15-U20LI について摩擦力 - すべり量関係を見ると、ほぼ剛塑性の挙動を示していることがわかる。すべり係数も 0.75 ~ 0.80 と高く、繰返しによるすべり係数の低下もみられない。ボルト軸力は処女載荷時に初期導入軸力を一時的に下まわるものの、その後上昇して初期導入軸力の 125% 程度にまで達し、載荷終了後も低下しない。上記の傾向は、載荷プログラムが漸増・漸減どちらであっても殆ど相違しない。

アルミ溶射面を研磨・脱脂した SNG15-U20LI と溶射をしたままの SNA15-U20LI を比較すると明らかなように、アルミ溶射膜厚が同じでも溶射面を研削したものは、いくら脱脂してもその処理が構造的に不十分とみえ、処女載荷時のすべり係数が低くなり、また不安定な履歴挙動が避けられない傾向にある。すべり係数はいったん上昇するが徐々に低下の一途を辿っている。

アルミ溶射膜厚については、M20 と M24 とで最適膜厚が若干異なる可能性がある。従来の研究ではボルト径によらず膜厚 150 μm 程度が最適とされており、M20 についてはその知見通りであった。しかし M24 については目標溶射膜厚が 150 μm [実測約 130 μm] の SNA15-U24LI が不調で、繰返しによるすべり係数の低下が見られたのに対し、目標溶射膜厚が 200 μm [実測約 220 μm] と大きい SNA20-U24LI は平均して 0.75 ~ 0.80 と高い安定したすべり係数を示した。これは、M20 シリーズにおいて膜厚が 150 μm である SNA15-U20LI が安定した履歴性状であるのに対して、膜厚が 100 μm である SNA10-UB20LI の繰返しによるすべり係数の低下が大きいということと対応している性状である。したがって本試験体の形状では、溶射膜厚については M20 で 150 μm 、M24 で 200 μm 程度が適切だと思われる。膜厚がそれより薄くても厚くても繰返し載荷によりすべり係数は低下し、履歴挙動が不安定となる^{[2][4][5]}。

中板表面処理に関しては、ブラスト処理を行った SNA15-UB20LI の平均すべり係数は 0.85 ~ 0.90 と高い値を示すが、各サイクルの初めだけすべり係数が高いのであって一様に高く安定しているのではない。また載荷を繰り返す度にすべり係数は少しずつ低下していく。

Ni-Al による下地処理の有無については、ほとんど相違はなかったものの、下地処理を行った方が若干高くかつ安定した結果が得られている。中板・外板の素材については、SS400 が SUS410 にかわっても高いすべり係数

と安定した履歴性状が得られ、顕著な影響は見られなかった。また載荷プログラムについても漸増・漸減で履歴特性への影響は顕著ではなかった。

5. 結

本ダンパーで F10T M20 (標準ボルト張力 18.2t) を用いて得られるすべり荷重は 30t、また F10T M24 (同 26.2t) を用いて得られるすべり荷重は 40t であり、目標としている高耐力型ダンパーとして十分な性能が得られることが確認された。アルミ溶射摩擦ダンパーが 0.80 程度のすべり係数を有し、高耐力かつ安定した履歴特性を持つための条件を以下にまとめて結論とする。

- 1) 溶射面の研削は行わない。その場合においても油脂の類が溶射面に付着せぬよう留意する。
- 2) 目標溶射膜厚は M20 で 150 μm 、M24 で 200 μm 程度とする。この膜厚は Ni-Al 下地処理を含む。
- 3) 平均接触圧は 100kg/cm² 程度と低めにする。

本研究の今後の検討課題を以下に示す。

- a) M20, M24 ボルトを用いた試験体の動的載荷実験
- b) 載荷時にボルト軸力が増大するメカニズムの解明
- c) 本ダンパーの実施設計への適用

謝辞

本研究の実験・結果の整理などを当時大阪大学工学部建築工学科 4 年生小林良史氏にご協力いただいた。付記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 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1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.587 ~ 590, 1993年9月
- [2] 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1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海) B構造I, pp.649 ~ 652, 1994年9月
- [3] 徳山純一郎, 清水晶子, 井上一郎, 小野聡子: 摩擦ダンパーを装着したせん断形多質点系の地震応答性状(その1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海) B構造I, pp.757 ~ 760, 1994年9月
- [4] 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
- [5] 井上一郎, 辻岡静雄, 小野聡子, 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集, 第36号・構造系, pp.213-216, 1996年7月
- [6] 中平和人, 井上一郎, 桑原進, 瀬川輝夫, 田中利幸: アルミ溶射摩擦ダンパー付きブレース架構載荷実験, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第36号・構造系, pp.217-220, 1996年7月

*1 大阪大学工学部建築工学科

*2 竹中工務店大阪本店設計部構造G

*3 新日本製鐵技術開発本部鉄鋼研究所

Dept. of Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Osaka Univ.

Structural Engineering Section, Building Design Dept., TAKENAKA corp.

Steel Research Lab., Technical Development Bureau, NIPPON STEEL corp.