

アルミを挟んだ風地震ハイブリッド摩擦ダンパーに関する研究

寺井雅和*, 佐藤孝典**, 吉岡智和***, 南 宏一*

A STUDY of HYBRID FRICTION DAMPER used ALUMINUM ALLOY

Masakazu TERAJ, Takanori SATO, Tomokazu YOSHIOKA and Koichi MINAMI

ABSTRACT

Authors have proposed High tension bolted friction slip damper with much higher friction coefficients than conventional ones, so the dynamic loading tests have conducted by using the bolted friction slip connection specimens that sandwiched aluminum alloy sliding plates. In addition, for stabilization of frictional slipping behavior, specimens were also sandwiched by rubber washers. The purpose of this study is a proposal of new hybrid friction damper, which absorbs the vibration energy on both wind load and seismic load. In this paper, in order to describe the characteristics of this damper, dynamic loading tests were conducted and an analysis model of the damper was also proposed.

キーワード: ハイブリッド摩擦ダンパー, 高力ボルト, すべり係数, アルミニウム, 動的載荷試験, ゴムワッシャー

Keywords: Hybrid Friction Damper, High Tension Bolt, Slip Coefficient, Aluminum, Dynamic Loading Test, Rubber Washer

1. はじめに

制振構造は、入力されるエネルギーを吸収する機構を建築物に付与することで、構造物の減衰効果を高めて風や地震による「揺れ」を小さくするものである。パッシブ制振装置の一つの摩擦ダンパーは、金属同士の摩擦力によりエネルギー吸収を期待するダンパーで、摺動速度、振幅、周囲の温度に対する依存が小さい特徴がある。また、累積摺動距離が長くても摩擦力の低下や損傷が少ないので、大きな揺れを数回経験してもダンパーの交換が少なく済むため、維持管理の面で有利である。

近年、既存建築構造物の耐震補強工事が、積極的に行われている。耐震補強では、施行する側からすると、補強する構面が少ないこと、補強による使い勝手が低下しない、居ながら工事が可能であることが、理想である。一方、クライアントの立場では、居住性が改善し、機能性が向上され、経済性が高いことが望まれる。これらのことから、粘性系や摩擦系ダンパーを各階に設置する施工例が多く、今後とも需要は高いと考えられる。

筆者らは、摺動材としてアルミニウムを用いることで、高摩擦係数を実現した高力ボルト摩擦接合形式の制振ダンパーを開発した¹⁾。摩擦ダンパーが安定した摩擦力を発揮するためには、①摩擦面を押し付ける力を一定に保つ、②摩擦係数を一定に保つ、ことが

重要であるが、先に行った地震ダンパーの実験結果から、①のためには、新しく開発したゴムワッシャーを用いることで、安定したボルト軸力を保てることを確認でき、②の目的からは、アルミ合金 A2015P を使用するとよいが、摩擦係数を高くするために純アルミ A1050P を用いた方がよいとの評価を行った。この実験結果から、開発した摩擦ダンパーは、振幅によらず安定した高摩擦（高すべり）係数 $\mu = 1.0$ 程度が期待でき、エネルギー吸収効果が評価しやすいことが確認された。さらに、小型で安価、振動数や温度の影響がない、経年劣化が少ないという特徴も確認できた。

その後、このゴムワッシャーを用いたアルミ摩擦ダンパーのアイデアを応用し、降伏荷重の大きさによってエネルギー吸収特性に差を生じさせた二つのダンパーを組み合わせて一つのユニットとした、ハイブリッド型ダンパーを開発した^{2,3)}。すなわち、発生頻度の高い強風や小規模の地震動に対しては低降伏荷重のダンパー部分が作用し、大地震動など大変形を伴う揺れに対しては高降伏荷重のダンパー部分も作動してエネルギー吸収する機構が、一つのユニット内で切り替わるダンパーを開発した。本論では、この新しく開発したハイブリッド型制振ダンパーについて、作動概念を解説するとともに、動的加振実験を行い、風加振および地震加振に対するダンパーの基本性状に関する検討を行った。

* 建築・建設学科 ** アイディールブレン株式会社 *** 九州大学

※本稿は、日本建築学会構造系論文集へ投稿した原稿に、若干の手を加えたものである（2006年10月10日投稿、現在査読中）。

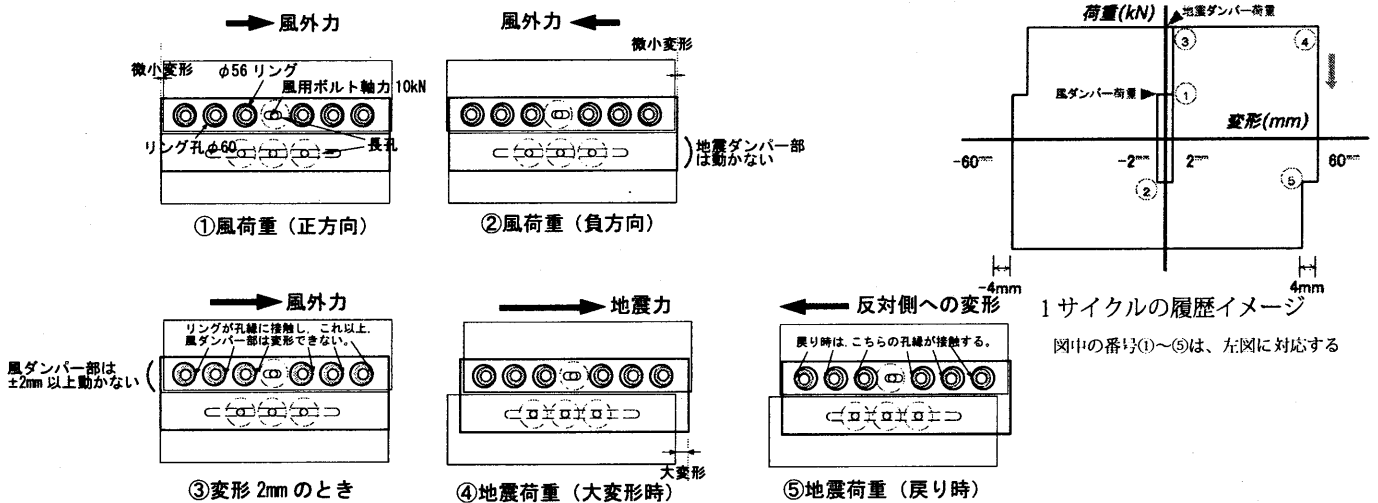


図3 ダンパー作動メカニズムの概略

2. 加振実験

2.1 試験体及び実験概要

既報1)において、摺動材には、純アルミとアルミ合金の2種類を検討したが、アルミ合金(A2017P)では、損傷が少なく、履歴ループが安定しているが、摩擦係数が $\mu = 0.4$ 程度であった。一方、純アルミ(A1050P)では、アルミ面の損傷は大きいものの、ゴムワッシャーを用いることで履歴ループが安定すること、摺動速度、振幅などに摩擦力が影響を受けないこと、そして摩擦係数が $\mu = 1.0$ 程度と極めて大きいことが確認できた。本実験では、全試験体で摺動材には純アルミ A1050P を使用した。

試験部分は、写真1と図1, 2に示すように、上下2列が独立に稼働し、上段が風用ダンパー、下段が地震用ダンパーとなっている。上段中央部にある風用ダンパーのボルト軸力は、全ての試験体で同じく、ボルト1本当たり10kNとしている。本実験のダンパーは2面摩擦なので、アルミと鋼材のすべり係数が1.0とすると、ボルト1本の風ダンパーでは、20kNのせん断抵抗となっている。風用ダンパーは、 $\pm 2\text{mm}$ 以上の変形をしないように、 $\phi 60\text{mm}$ の穴に対してクリアランス2mmを周囲に設けるよう、 $\phi 56\text{mm}$ 厚さ25mmの鋼製リングをはめ込んでいる。これが、風用ボルトを挟んで左右に3個ずつ計6個並べてある。 $\pm 2\text{mm}$ 以上の大変形時は、この鋼製リングがストッパーの役割をはたし、下段の地震用ダ

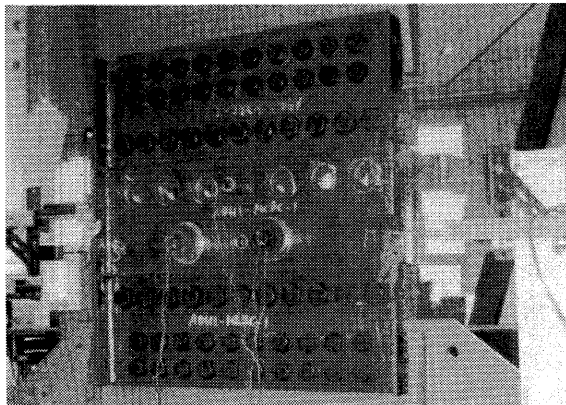


写真1 ダンパー部分

ンパーが負荷と変形を負担することになる。この作動メカニズムの概略を図3に示す。

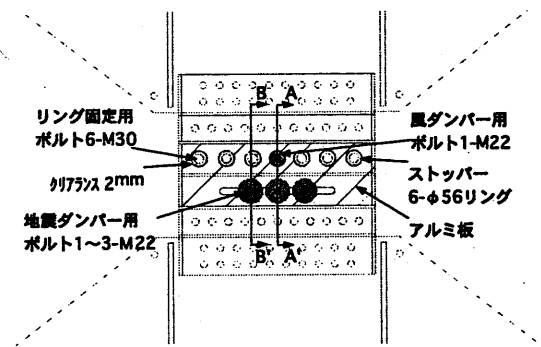


図1 ダンパー部分概略図

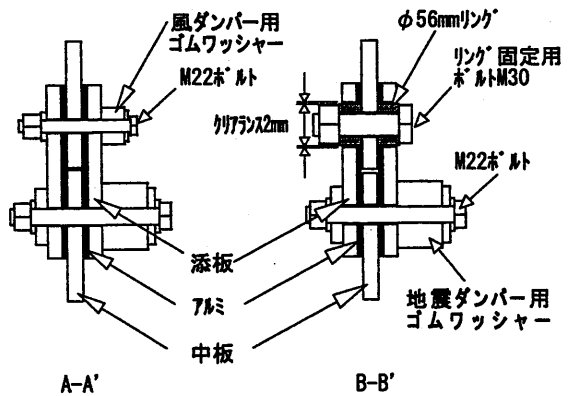


図2 ダンパー部分断面図

2.2 実験パラメータ

実験パラメータは、表1に示すように、摩擦面の合計面圧(ボルト本数1~3本, 初期導入ボルト軸力1本あたり42, 84, 126kN), 入力波形(定常波, ランダム派)を設定した。表1で試験体記号に"-A"とある9体は定常波, "-B"とある4体がランダム波で加振を行ったものを表す。この他に高力ボルトの軸力の安定性を確認する目的で、ダンパー部のワッシャー種類(ゴムワッシャーの有無, 皿ばね)による違いを調べる実験も計画した。

表 1 試験体諸元

試験体記号	ボルト本数	導入軸力 (kN)	ダンパー (kN)	備考
No.1-A	1	42	84	
No.2-A	1	84	168	
No.3-A	1	126	252	
No.4-A	2	42	168	
No.5-A	2	126	504	
No.6-A	3	42	252	
No.7-A	3	84	504	
No.8-A	3	84	504	ゴムパッキンなし
No.9-A	3	84	504	皿ばね使用
No.2-B	1	84	168	
No.4-B	2	42	168	
No.5-B	2	126	504	
No.7-B	3	84	504	

注) 風ダンパーは、ボルト本数1本、軸力10kNは全試験体で共通
 -A: 定常波による加振、-B: ランダム波による加振

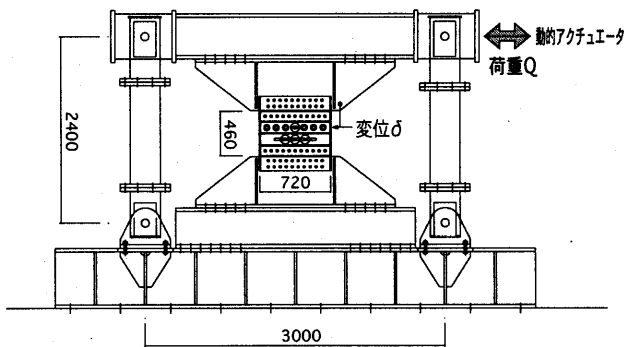


図 4 試験装置

2.3 加力装置と加力波形

加振は、摩擦ダンパーを組み込んだ4ピンのロ字形フレームに対して動的1000kNアクチュエータにより正負繰返しの強制変位を与えた。図4に加振装置を示す。

加振パターンは、図5に示すように3部構成となっている。

①風加振：±2mmの正弦波1000回の繰り返し。

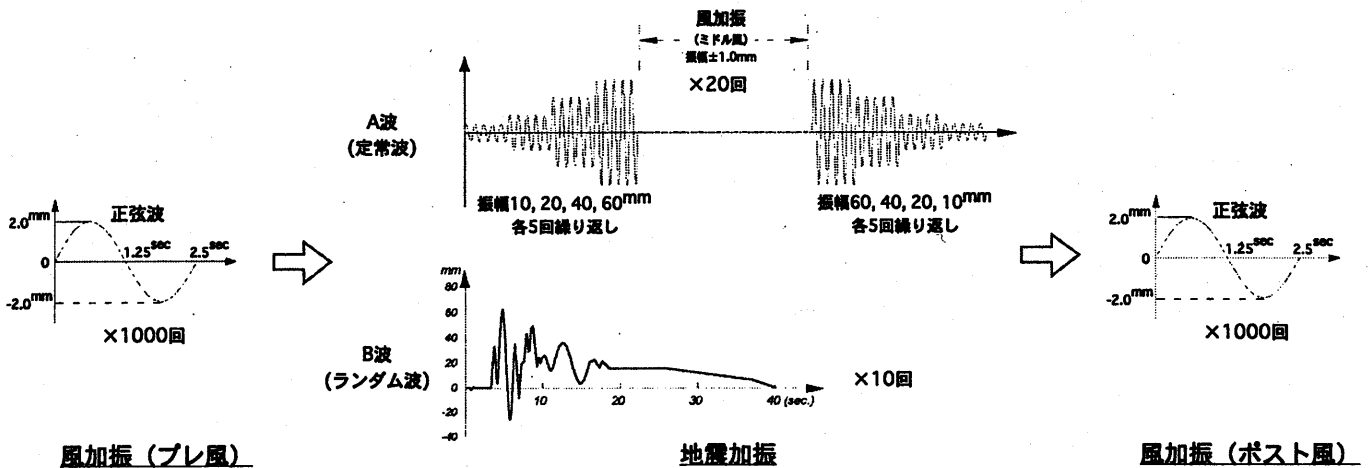


図 5 加振パターン

②地震加振：ダンパーの基本的な性能を確認するための正弦波（以下、本論ではA波と呼ぶ）と、実波形を想定したランダム波（以下、B波と呼ぶ）の2種類とする。A波では、図5に示すように、振動数0.4Hzの正弦(sin)波とし、加力フレームの目標水平変位は10, 20, 40, 60mmと漸増変化させ、同振幅で各5回繰り返した。その後、地震加振途中の風加振を想定した±1mmの正弦波を20回繰り返したあと、目標水平変位を60, 40, 20, 10mmと漸減変化させ、同振幅で各5回繰り返した。B波では、実地震波形をもとに作成した、ランダム振幅のモデル波を10回繰り返す。

③風加振：±2mmの正弦波1000回の繰り返し。

2.4 計測方法

加振中の強制変位によって生じる荷重、フレームの層間変形、および摩擦面近傍のせん断変形、そして摩擦面を拘束する締め付け用高力ボルト軸力の変化をそれぞれ計測した。なお、強制変位によって生じる荷重は、アクチュエータに取り付けたロードセルにより計測し（図4のQ）、フレームの層間変位は、上下水平梁の相対変形として計測した。また試験部分（摩擦部）の変形は、中板と添板の相対変形として計測した（図4のδ）。さらに、ボルト軸力は、高力ボルトの軸に貼り付けたひずみゲージにより計測したひずみ測定値から換算して求めた。なお加振はアクチュエータ制御用コントローラーの関係から、アクチュエータ内蔵の変位計で目標とした時刻歴波形を満足するように、プログラムを組んで制御した。

3. 風ダンパーの応答

2.3で示したように、本報の加振では、地震加振を受ける前と後に風加振がある。ここでは、地震前の風加振を“プレ風”と呼び、地震後を“ポスト風”と呼んで区別することにする。

風の作用は、長時間にわたり続くので、累積作用時間に係る疲労や温度上昇に対して、材質や性能が変化しないことを確認する必要がある。風による振動は、建物は特定の固有振動数付近で応答が卓越する。前報において、アルミ摩擦ダンパーは、異なる振動数0.4Hzと0.8Hzでも、応答に全く違いがないことが確認されている。本報では、振動数0.4Hzの正弦波で加振した。

3.1 プレ風加振の応答

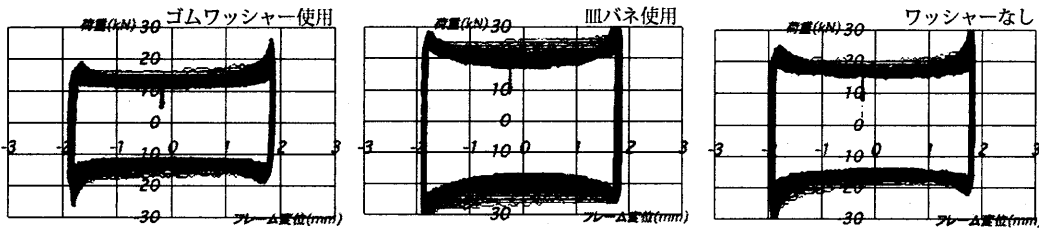


図7 プレ風の応答 (左から No.7-A, No.8-A, No.9-A)

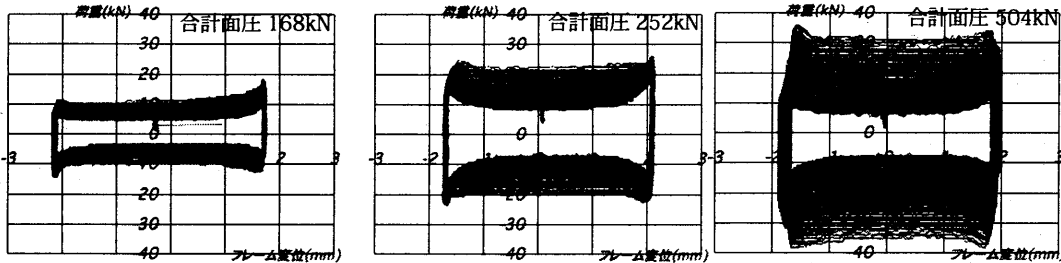


図8 ポスト風の応答 (左から No.4-B, No.3-A, No.5-A)

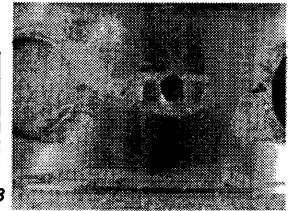


写真2 風ダンパーにおけるアルミ板の損傷状況

図7にプレ風加振によって得られた3実験の履歴応答を示す。なお、13体全ての試験体で風ダンパー部は、ボルト本数1本、軸力10kNで共通している。若干の初期軸力誤差などがあるので、ループの大きさは少し異なっているが、1000回の繰り返しでも履歴は安定していることがわかる。図7のNo.8-Aはゴムワッシャーの代わりに皿バネを使用した試験体で、No.9-Aはワッシャーなしの試験体であるが、風ダンパーの場合、20kN程度と大きなせん断抵抗力は作用しないため、ボルト軸力の変動は小さいことが考えられ、後述する地震ダンパーとは異なりゴムワッシャーの有無や皿ばねを用いても履歴応答に大差はみられなかったと考えられる。

3.2 ポスト風加振の応答

地震加振後のポスト風加振も、±2mmの定常波を1000回繰り返した。なお、ポスト風加振前には、ボルト軸力を10kNに調整し直してから加振を始めている。

図8に3体の履歴応答結果を示す。この3体は、左から地震ダンパー部の合計面圧が168kN、252kN、504kNと並べてあるが、地震ダンパーの合計面圧が大きいくほど、風加振の初期ループが大きくなっている。このダンパーの場合、構造上、風加振時には地震ダンパー部は動いていないので、地震ダンパー部の合計面圧に応じて応答が変化するはずはない。それにもかかわらず履歴応答に違いが見られた原因は、先の地震加振時に風ダンパー部が影響を受けたためと考えられる。すなわち、地震加振時に、風ダンパー部が±2mm以上変形しないようにφ56のリングがφ60の孔縁にぶつかるが、これにより柔らかく低強度のアルミ板が支圧され面外に膨らんだ。このことは、実験後のアルミ板摩擦面を写した写真2に見られるように、ストッパーが孔縁に当たった部分のアルミ板が削れていることから確認できる。この膨らみによって、新たな摩擦抵抗が生じるため、加振初期のループが大きく推移した。そして1000回の加振により、この膨らみ部分が削られてゆくの、徐々に初期ボルト軸力に基づく10-20kN程度の摩擦力に収束したと考えられる。

以上のことから、大きな地震荷重を経験した後も、安定して風加振の揺れを制御するためには、ストッパーリングにより支圧を受けても、アルミが潰れ膨張しないような工夫が必要であると考えられ、この点は今後改良の上、再実験で検証する必要がある。

3.3 ボルト軸力の変動

図9に、No.7-A, No.8-A, No.9-Aの風ダンパーボルトの軸力変動を示す。No.7-Aはゴムワッシャー有り、No.8-Aはゴムワッシャー無し、No.9-Aはゴムワッシャーの代わりに皿バネをつけた試験体である。左の列にプレ風加振、右の列にポスト風加振のものを示してある。いずれもスタート時点では、ボルト軸力を10kNに調整してから加振を始めている。

いずれの試験体も、プレ風加振では、徐々にボルト軸力が上昇し

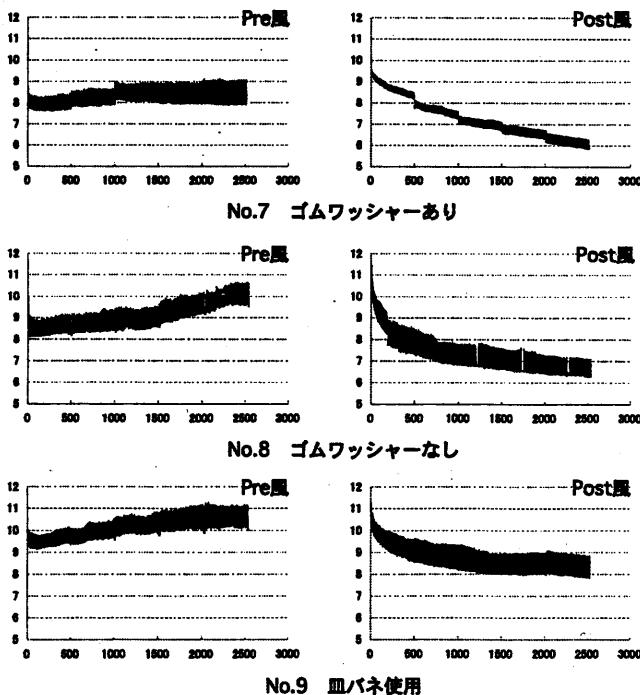
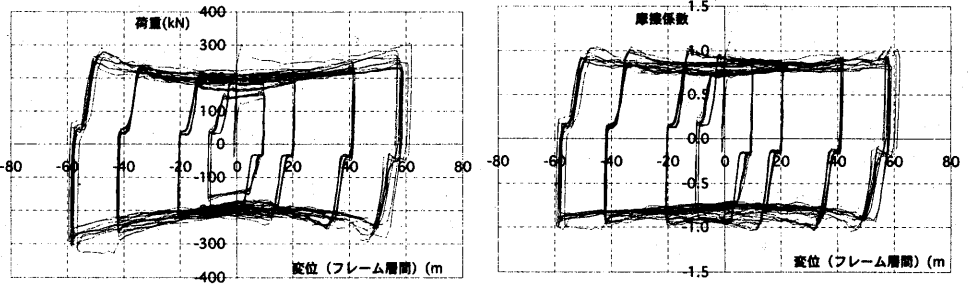


図9 風ダンパーのボルト軸力変動
(縦軸：ボルト軸力 (kN)、横軸：時間 (秒))

ているが、ゴムワッシャーが有る場合 (No.7-A) では、1000回の連続加振でもほとんど変化していない。一方、ポスト風加振では、いずれの場合も、ゆるやかに軸力が抜けていくことがわかる。この傾向は、ワッシャーや皿パネの有無にかかわらず生じているが、3.2でも考察したように、地震加振により膨張したアルミ板が風加振時に削れていくため、面を拘束しているボルト軸力が徐々に抜けていっているものと考えられる。ゴムワッシャーや皿パネを取り付けることで、このようなボルト軸方向の変形を緩衝する効果が期待されているが、風ダンパー用ボルトの軸力は10kN程度なので、軸拘束が敏感に対応していなかったと考えられる。



(a) 荷重 - 変位関係 (b) 摩擦係数 - 変位関係
図 10 地震ダンパー (No.4-A) の応答履歴

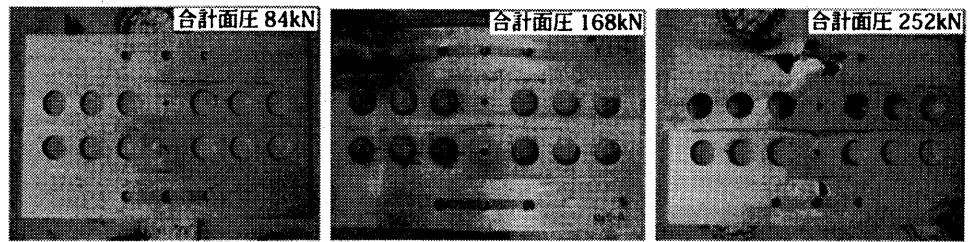


写真 3 アルミ面損傷の状態 (左から, No.1-A, No.2-A, No.3-A)

4. 地震ダンパー加振

地震の揺れを想定した加振部分について、実験結果を整理・検討する。地震加振は、定常波 (A波) とランダム波 (B波) の2種類の波で加振しているので、それぞれに分けて整理する。ここでの検討項目は、履歴応答の安定性、ダンパー摺動にともなう摩擦音が居住性におよぼす影響などが挙げられる。

4.1 摩擦係数と変位の関係

ダンパーの摺動時はボルト軸力は大きく変動しているため、煩雑さを避けるために、設計などでは初期ボルト軸力をもとにしたすべり係数 (みかけの摩擦係数) を利用することが一般的である。しかし、本実験ではボルト軸力の変動が極めて大きく、加振中は初期ボルト軸力の数倍もの値になる試験体がある。したがって、加振全体の履歴性状を的確に把握するために、ダンパーの繰り返し摺動時摩擦力は、摺動時に変動するボルト軸力をもとに計算した摩擦係数 (真の摩擦係数) によって評価することにした。

高力ボルト摩擦接合の摩擦力の計算は、次式で表される⁴⁾。

$$F = m \cdot \mu \cdot N \quad (1)$$

ここに、 F : 摩擦力 (本実験では、図4の Q)、 m : 摩擦面数 (本論では2)、 μ : 摩擦係数、 N : ボルト軸力 (kN)

地震ダンパー用高力ボルト2本、ボルト軸力42kNを導入したNo.4-A試験体の荷重-変位関係と、摩擦係数-変位関係の二つのグラフを図10に示す。横軸の変位は、図4の δ で表すように、母材と添板 (アルミ板) 間の摩擦部分近傍の相対変位量である。荷重-変位関係では、振幅が大きくなるにつれて荷重が大きくなり、外側に沿った形の履歴を描いている。図11左図には、同試験体の2本のボルト軸力推移を示しているが、振幅が大きくなるにつれて軸力、

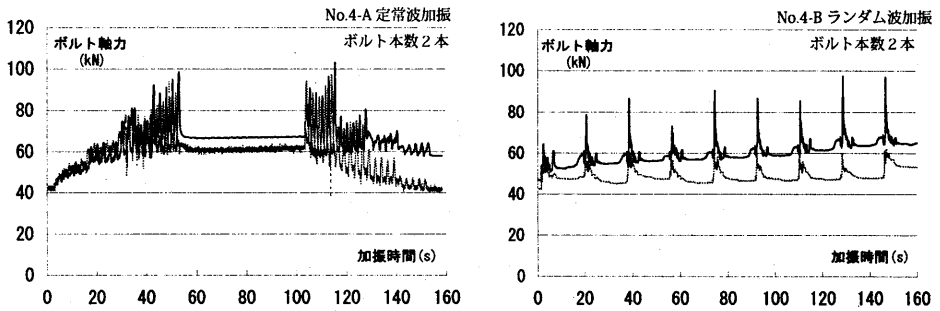


図 11 ボルト軸力の変化

変動値が大きくなっている。したがって、(1)式で摩擦係数 μ を縦軸にグラフを描きなおすと、図10(b)のように、ほぼ1.0程度で安定した推移を示していることがわかる。

風ダンパー部のストッパーが4mmスリップした後の剛性が、少し柔らかい挙動を示していることが実験結果からわかる。この剛性は、振幅や入力波にかかわらず、1つの実験ではほとんど同じ傾きである。これは、ストッパーのリングが孔縁に接触し、ダンパー全体を支圧しながら反対方向へ引き戻している (あるいは、押し戻している) 部分であり、フレームを含む装置全体の剛性であると言える。

今回実験を行った試験体は、ボルト本数と導入軸力の掛け合わせで、84~504kNまでの合計面圧の幅がある。摩擦係数がおおよそ1.0とすると、(1)式により168~1008kNのせん断抵抗を示すダンパーである。図10(b)のように縦軸を摩擦係数で表すと、合計面圧にかかわらず安定した履歴ループを描くことが確認できた。また、すべての試験体で、摺動時に大きな摺動音は発生せず、ほぼ無音で摺動する性状を示した。

4.2 摩擦面の状況

写真3に3体の試験体の実験終了後のアルミ板の摩擦面の状態

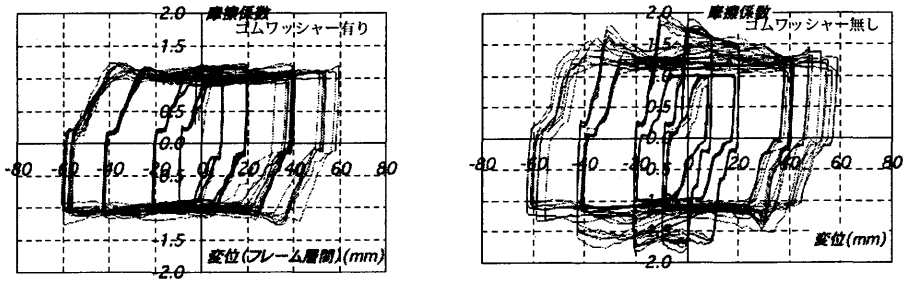


図 12 ゴムワッシャーの有無による応答履歴

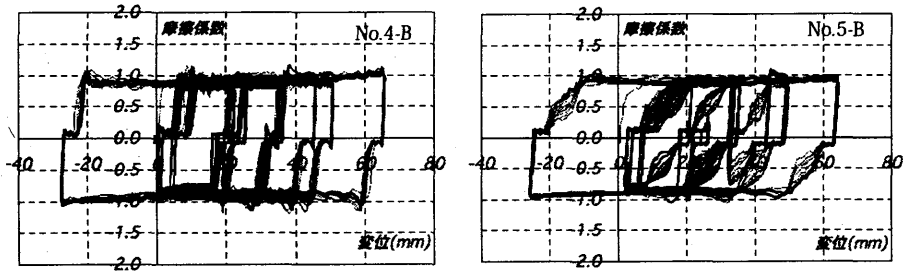


図 13 ランダム波による応答履歴

を示す。No.3-A では、板が引きちぎられるように捲れ上がっているが、これはダンパーの摺動により溶解したアルミが鋼材にはり付き、実験終了後にこれを無理矢理引き剥がしたためである。図 2 にダンパー部の断面図を示したが、アルミ板の外側には 16mm 厚の添え板で押さえつけているので、実験中にアルミが面外に膨れ出すことはない。

加振中に摺動面でどのような現象が起こっているか確認する術はないが、アルミが剥がれて溶解し、鋼材に溶着した状態で摺動していると考えられる。つまり、このダンパーは鋼板とアルミ板が機械的に擦れあっているわけではなく、材料強度に依存して金属塑性流動が起こるために、極めて安定した履歴挙動を示していると言える。

ここに示した 3 体の試験体は、ボルトが 1 本で、それぞれ導入軸力が 42kN, 84kN, 126kN の試験体である。写真 2 より、ボルト軸力が大きくなるに従い、すなわちダンパー部の合計面圧が大きくなるにつれ、摺動面のアルミの損傷度は激しくなっていることがわかる。しかし、履歴応答は、合計面圧にかかわらずほぼ 1.0 程度の高摩擦力で安定しているため、アルミ摩擦ダンパーは摩擦面の損傷程度と履歴性能に関連がないことが確認できた。

4.3 ボルト軸力の推移

図 11 に、加振時間推移にともなうボルト軸力の変動量を示している。左は漸増・漸減载荷 (A 波) をしたもので、右はランダム波形を 10 回連続で加振 (B 波) したものである。いずれも、地震ダンパーは一本当たり 42kN の初期軸力を与え、2 本のボルトで締め付けてあるため、それぞれ 2 本の線で推移を描いている。

A 波では、漸増载荷とともに徐々にボルト軸力は増しており、また一サイクルあたりの変動量も大きくなっていることがわかる。逆に、漸減载荷では徐々にボルト軸力は減少している。B 波では、振幅が大きくなると、ボルト軸力も大きく変動するが、10 回の繰り返しの間では、微増であることがわかる。以上のことから、ボルト

軸力は、ダンパー部が大変形時 (あるいは加速度が大きい場合) に大きく変動するが、加振が終了すると、初期の軸力近くまで戻ることが確認できた。

4.4 ゴムワッシャーの効果

風ダンパーと同様、地震ダンパーもゴムワッシャーの効果を確認するために、No.7-A ではゴムワッシャー有り、No.8-A ではゴムワッシャー無しで加振した。図 12 にワッシャーの有無以外のパラメータは全く同じとした 2 体の履歴応答を示す。ゴムワッシャーがあると、振幅にかかわらず摩擦係数はほぼ一定 (1.0 程度) で安定した履歴をしているのに対して、ゴムワッシャーが無いと摩擦係数は大きく変動し、同一サイクルの振幅も不安定な履歴を示していることがわかる。このことから、地震ダンパーでは、ゴムワッシャーの効果が十分にあることが確認できた。

4.5 ランダム波の効果

図 13 に、ランダム波で加振した 2 体の試験体の履歴を示す。A 波と同様、振幅にかかわらず摩擦係数は 1.0 程度で安定していることがわかる。また、同一パターンの波を 10 回連続で加振しているが、ほぼ同じ履歴応答を示しており、再現性という点からも性能が保証できるダンパーであると言える。

5. モデル化

本研究で開発したハイブリッド型摩擦ダンパーを、実構造物における制振装置として組み込むために、これまでの検討をもとに、地震ダンパー部の履歴モデルを提案する。

基本的なループは、振幅にかかわらず、1.0 ~ 1.2 程度で推移する完全剛塑性型モデルで考える。図 10 (b) や図 13 でも確認できるように、本ダンパーの履歴は、地震ダンパー部が動いているときでも、風ダンパー部も $\pm 2\text{mm}$ のスリップ挙動があることが特徴である。

$$\text{変形漸増時: } \mu = +1.0 \text{ (一定値)} \quad (2)$$

$$\text{除荷時: } \delta = -4\text{mm} \text{ (} \mu = -0.1 \text{ のとき)} \quad (3)$$

$$\text{変形漸減時: } \mu = -1.0 \text{ (一定値)} \quad (4)$$

$$\text{再載荷時: } \delta = +4\text{mm} \text{ (} \mu = +0.1 \text{ のとき)} \quad (5)$$

ここに、 μ : 摩擦係数, δ : 変位 (mm)

これらの式を図示すると、図 14 のようになる。 μ_2 ($-\mu_2$) の値は、試験体によってやや大きめに推移する、あるいは振幅によってやや変動している場合もあるが、全ての試験体の安全側をとり $\mu_2=1.0$ と固定値とする。 μ_1 ($-\mu_1$) は、地震ダンパー部が逆方向へ変形を戻し、風ダンパー部が滑り出す瞬間を表す値となるが、これは風ダンパーのボルト軸力に依存する。このたびの実験では、すべての試験体で、風ダンパーボルトは 1 本 10kN で統一しているが、地震ダンパーの摩擦係数は地震ボルト軸力で除しているため、本実験で行われる地震ボルト軸力の範囲 (42 ~ 252kN) であれば 0.04 ~ 0.23 程度になる。しかし、この値の大小が地震ボルトの摩擦係数 $\pm \mu_2$ の

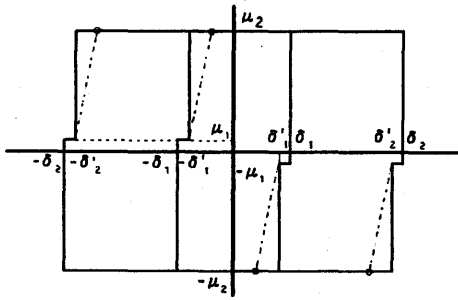


図 14 モデル化されたダンパー

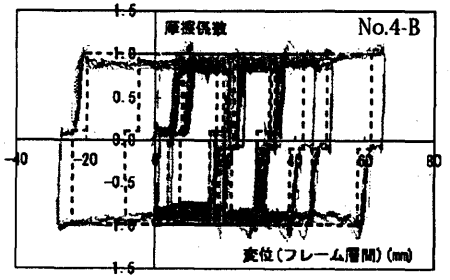
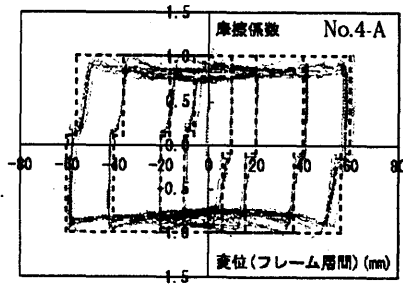


図 15 実験とモデルの比較

値に影響を与えることはないので、簡単のため 0.1 で固定した。

次に、横軸の変位については、ダッシュがついた変位 (δ_1 など) は、それぞれダッシュの無い同記号の変位から 4mm だけ動いた量となる。この 4mm は、風ダンパー部の ϕ 56mm リングのクリアランス \pm 2mm 分の移動量に相当する。4.1 で述べたように、風ダンパー部のストッパーが 4mm 変位した後の剛性は、少し柔らかい挙動を示している (図 14 では一点鎖線部)。簡単のために、本論ではこの部分のモデル化はせずに、実線のように無限剛性で推移することとした。

図 15 に、A 波と B 波による実験結果と、それぞれの加振パターンをもとに、提案したモデルを適用した計算値を重ねて比較した 2 例を示す。おおよその履歴は、提案したモデルで表現することができるがわかる。

6. まとめ

摺動材としてアルミニウムを用いることで、高摩擦係数を実現した高力ボルト摩擦接合形式の制振ダンパーを開発した。さらに、このダンパーの性状を応用して、降伏荷重の大きさによってエネルギー吸収特性に差を生じさせた二つのダンパーを組み合わせて一つのユニットとした、ハイブリッド型ダンパーを開発した。本論では、この新しく開発したハイブリッド型制振ダンパーについて、作動概念を解説するとともに、動的加振実験を行い、風加振および地震加振に対するダンパーの基本性状に関する検討を行った。実験結果の検討から、次のことが確認された。

- ・地震加振の前に受けるプレ風加振では、安定した履歴を示すが、ボルト軸力の変動が小さいため、ゴムワッシャーなどによる軸方向対策は必要ない。
- ・地震加振後の風加振に対しても継続的にダンパーが安定して作用するために、ストッパーリングによる支圧の影響など、改善が必

要である。

- ・地震ダンパーは、振幅にかかわらず、摩擦係数 1.0 程度で安定した応答を示す。また、摺動時はほとんど無音である。
- ・地震ダンパーは、ゴムワッシャーを取り付けることによって、履歴応答は安定する。
- ・実験結果をもとに、地震ダンパーのモデルを提案した。このモデルは、入力波形にかかわらず実験結果を再現できることが確認された。

謝辞

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO 技術開発機構) による「産業技術実用化開発助成事業 (一般企業向け)」の補助を受けて行われた。本実験の遂行において、福山大学大学院 三谷和司君の協力を得た。ここに記して深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 寺井雅和, 佐藤孝典, 吉岡智和, 南 宏一: ゴムワッシャーを用いた高力ボルト摩擦すべりダンパーに関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.614, pp.107-114, 2007 年 4 月
- 2) 三谷和司, 寺井雅和, 佐藤孝典, 南宏一: ゴムワッシャーを用いた高力ボルト摩擦すべりダンパーに関する研究 その 2 風・地震ハイブリッドダンパーの動的加振実験, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 30 巻, pp.121-124, 2007 年 3 月
- 3) 佐藤孝典ほか 8 名: 組立制振構造の開発 その 8, その 9. 風と地震を対象とする 2 段切替え摩擦ダンパー (前) (後) 日本建築学会 2007 年度大会 (九州) 学術講演梗概集, 構造系, pp.973-976, 2007 年 9 月
- 4) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 丸善, 2001