

機関番号：17102  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2009～2010  
 課題番号：21760435  
 研究課題名（和文） P C a コンクリート外壁に適用するファスナー型摩擦ダンパーの減衰力に関する実験研究  
 研究課題名（英文） An Experimental Study on Friction Force of Fastener-Typed Frictional Damper Applied to Pre-cast Concrete Curtain Wall  
 研究代表者  
 吉岡 智和（YOSHIOKA TOMOKAZU）  
 九州大学・芸術工学研究院・准教授  
 研究者番号：40304852

研究成果の概要（和文）：

P C a コンクリート外壁に適用するファスナー型鋼-コンクリート摩擦ダンパーの性能を把握するため動的摺動実験を行った。実験の結果、ボルト張力が 25kN～50kN では摩擦力は概ねボルト張力に比例し、コンクリート摩擦面の不陸さやファスナー鋼材の発錆の有無が摩擦力に与える影響は小さかった。一方、ファスナー鋼材に防錆処理（一般さび止めペイント、溶融亜鉛めっき）を施すと未処理に比較し摩擦力が小さくなることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

A Dynamic slip test of steel-concrete frictional fastener damper applied to pre-cast concrete curtain wall was carried out. This report presents the result of dynamic slip test on steel-concrete frictional fastener damper.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：建築構造

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：制震構造，摩擦ダンパー，プレキャストカーテンウォール

1. 研究開始当初の背景

筆者は、鉄骨造建物の外壁として利用される P C a カーテンウォール(以下、外壁と略す)の剛性と耐力をそれが損傷しない範囲で利用することを目指し、図1に示す外壁のファスナー部分に制震ダンパーを組み込んだ外壁ファスナーダンパー<sup>1)</sup>を提案している。この構法の利点は、外壁の剛性を利用することで中小地震に対する変形制限(損傷限界)を比較的容易に満たすことができ、さらに小減衰力の制震ダンパーを多数分散配置した制震構造が実現出来る点にある。文献2では、そのような外壁ファスナーダンパーの必要性能として、大地震(速度 50kine)に対する層間

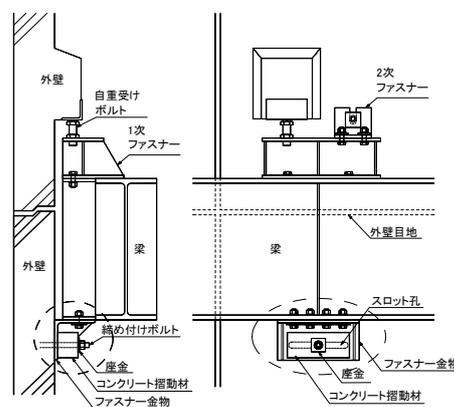


図1 摩擦型ファスナーダンパー<sup>1)</sup>

変形角を 1/100rad 以下に制限するために、外壁 1 枚毎に 2ヶ所の摩擦型ファスナーダンパーを設けた場合には、1 つのダンパーが 20kN 以上の減衰力を有し、その減衰力を累積すべり量 1,000mm まで保持する必要があるとの知見が報告されている。

筆者は、外壁ファスナーダンパーとして、コンクリート壁板と鋼製ファスナーを 1 本ボルトで締め付けた鋼-コンクリート摩擦ダンパーを提案<sup>3)</sup>した。当該摩擦ダンパーは、図 2 に示すように、コンクリート壁板と鋼製ファスナーとの摩擦面に生じる摩擦力に加え、鋼製ファスナーとコンクリート摺動材との摩擦面に生じる摩擦力が締め付けボルトの曲げせん断抵抗を利用しコンクリート壁板へ伝達される特徴を持っている。文献 3 で筆者らは、当該摩擦ダンパーにおいてボルト 1 本当たり 25kN の張力を導入することで所要の減衰力(20kN 以上の摩擦力)を發揮可能であることを確認した。

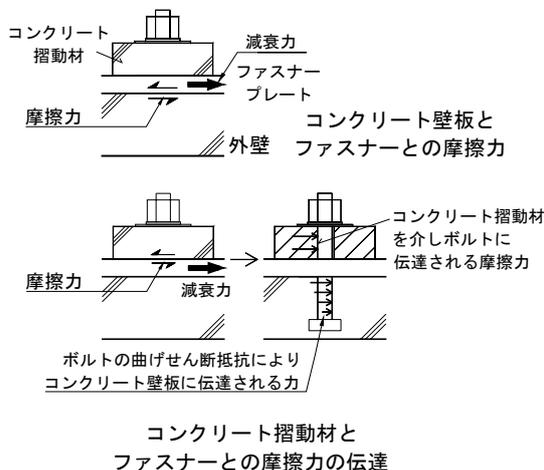


図 2 ボルトを介した 2 面摩擦型ダンパー<sup>3)</sup>

#### 参考文献

- 1) 平田寛, 河野昭彦, 安井信行, 九谷秀和 : 外壁ファスナーをダンパーとして用いた鉄骨ラーメンの動的応答性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 分冊, pp. 959, 960, 2007. 8
- 2) 吉岡智和, 大久保全陸 : コンクリートと鋼材摩擦面の摩擦すべり挙動に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 第 23 巻, 第 3 号, pp. 1165-1170, 2001. 6
- 3) 吉岡智和, 中城卓也, 野口和宏 : 鋼-コンクリート摩擦すべり接合部のすべり挙動, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 3, 2008. 7, pp. 1117-1122

#### 2. 研究の目的

P C a コンクリート外壁ファスナーダンパーに利用するための鋼-コンクリート圧着二面摩擦ダンパーを開発するため、その実

用化に不可欠な摩擦力 (=すべり係数×初期ボルト張力) に与える次の事項の影響を確認した。

#### (1) 初期ボルト張力の大小(実験 1)

より大きな摩擦力の發揮を期待し、25kN を超える初期ボルト張力を導入した場合のすべり係数を把握した。

#### (2) コンクリート壁の平滑さ(実験 2)

一般にファスナーを取り付ける P C a コンクリート外壁の内側は、施工の容易さから人手による金ゴテ押さえ仕上げとされ凹凸があるためその平滑さがすべり係数に与える影響を把握した。

#### (3) 鋼製ファスナーの表面処理-防錆塗装の有無(実験 3)

コンクリート外壁を接続するための鋼製ファスナーに施された外部からの雨水等の漏水による腐食を防ぐための防錆塗装有無がすべり係数に与える影響を把握した。

#### 3. 研究の方法

##### (1) 試験体

本実験で使用したダンパー要素試験体を組み込んだ鋼製骨組の形状・寸法を図 3 に、ダンパー要素試験体の形状・寸法を図 4 に、示す。試験体は、外壁のファスナー部分を抜き出した実大のファスナーダンパー要素であり、外壁を模したコンクリート壁板、ファスナー金物を模したファスナープレート、及びファスナープレートとボルト座金との間の摩擦面に挿入するコンクリート摺動材で構成し、それらをコンクリート壁板に機械式定着させた 1 本の普通ボルト (M24) で締め付け圧着した。コンクリート壁板の寸法は長さ 1220mm×高さ 250mm×厚さ 250mm とした。実験 1, 3 に用いたコンクリート壁板は、両側面に摩擦面を設定できるようにボルトを両側に突出させ、摩擦面には木製型枠脱型面を用いた。一方、実験 2 に用いたコンクリート壁板は、片側に普通ボルト (M24) を埋め込み、埋め込みボルト端部にナット 2 個 (ダブルナットとして固定) を設け有効埋め込み深さが

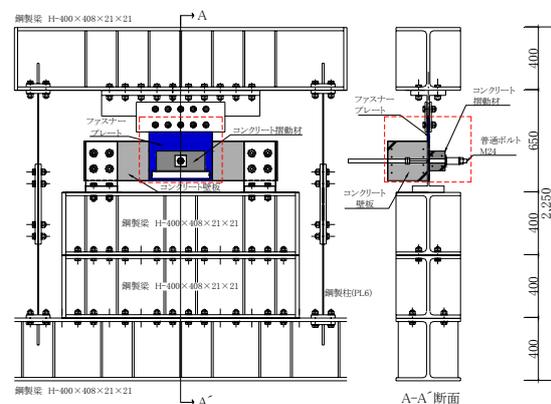
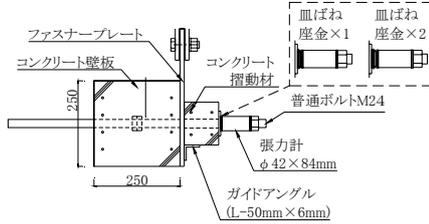
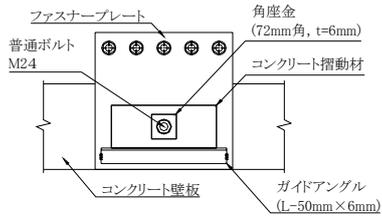
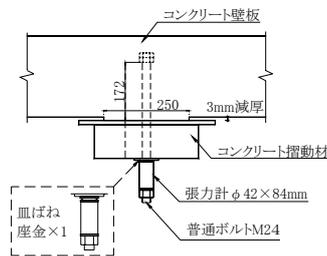


図 3 ダンパー要素試験体(実験 1, 3)を組み込んだ鋼製骨組



(a) 実験 1, 3



(b) 実験 2

図 4 ダンパー要素試験体

172mm(呼び径の 7 倍)となるように、壁板内に機械式定着させた。加えて、その摩擦接触面をボルト埋め込み部周辺(250mm×250mmの範囲)に限定するため、中央摩擦面と両端固定面との間の 285mm の長さの範囲を厚さ 3mm だけ減厚した。コンクリートには、PCa カーテンウォールと同様に軽量 1 種コンクリートを用いた。ファスナープレートには厚さ 12mm の鋼板(SS400)を使用し、摺動時に締め付けボルトとボルト孔縁との接触を避けるために幅 30mm×長さ 260mm の長孔を設けた。摩擦面は特別な表面処理を施していない未発錆状態の黒皮未除去面とした。コンクリート摺動材の形状・寸法は、初期ボルト張力に応じて長さ 305mm×高さ 100mm×幅 125mm の直方体(25, 37.5kN の場合)、長さ 360mm×高さ 125mm×幅 150mm の直方体(50kN の場合)とし、中央に 26φ のボルト孔を 1 つ設けた。使用したコンクリートは、実験準備期間を短縮するため早強コンクリートとし、摩擦面はコンクリート壁板と同様に木製型枠脱型面とした。また、摩擦接触面をボルト孔周辺(初期ボルト張力が 25kN, 37.5kN の試験体では長さ 145mm×幅 125mm の範囲、50kN の試験体では長さ 170mm×幅 150mm の範囲)に限定するため、端部より 80mm, 95mm の長さの範囲を厚さ 3mm だけ減厚した。加力時にコンクリート摺動材の回転を防止するため、ファスナープレートにガイドアングル(L=50mm×50mm×6mm)を設けた。ファスナープレート、コンクリート摺

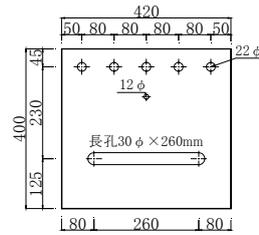
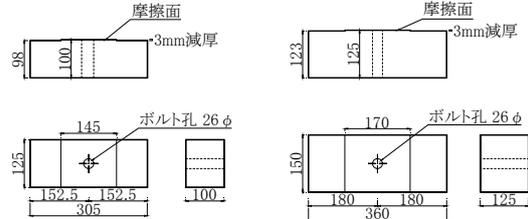


図 5 ファスナープレートの形状寸法



(a) 張力 25, 37.5kN 用 (b) 張力 50kN 用

図 6 コンクリート摺動材の形状寸法

表 1 コンクリートの調合計画 (実験 1 ~ 3 共通)

使用部位(*)	Fc (N/mm <sup>2</sup> )	スランブ (cm)	空気量 (%)	メント比 (%)	細骨材率 (%)	(kg/m <sup>3</sup> )				
						単位水量	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
CW	30	18	5.0	45.0	47.7	181	403	787	424	4.03
CP	42	18	4.5	40.5	30.0	234	577	420	1040	-

\*CW:コンクリート壁板, CP:コンクリート摺動材

表 2 コンクリートの圧縮試験結果(実験 2)

使用部位*	種類	単位体積	呼び強度	圧縮強度	ヤング係数	材令
		(t/m <sup>3</sup> )				
CW	軽量1種	1.84	30	35.6	1.79	42
CP	早強	2.39	42	45.9	3.46	24

\*CW:コンクリート壁板, CP:コンクリート摺動材

動材の形状、寸法を図 5、図 6 に、使用したコンクリートの調合計画を表 1 に、コンクリートの圧縮試験結果の代表例(実験 2)を表 2 にそれぞれ示す。

外壁ファスナーに生じる地震応答を模擬するため、上記のダンパー要素試験体を鋼製骨組(上下梁 H-400×408×21×21, 柱 PL6)内に設けた高さ 800mm の鋼製架台上に設置し、上梁に取り付けられた T 型金物に添板を介して高力ボルト摩擦接合により固定した上で、上梁に水平方向変位を与えた。なお、ファスナーダンパー要素試験体を構成するコンクリート壁板の両端は、鋼製架台上に設けた T 型金物を介し、PC 鋼棒(19φ)8 本で締め付けすべりを発生しないよう固定した。

## (2) 実験条件

実験 1 では、締め付けボルトの初期ボルト張力、

及びボルト締め付け部への皿ばね座金の挿入の有無を実験変数に設定した。初期ボルト張力は 25kN, 37.5kN, 50kN の 3 レベルを設定し、その範囲は、第 1 章で示した文献 3 で所要の摩擦力 20kN を十分に発揮可能と予想される 25kN を下限とし、M24 普通ボルトの降伏軸耐力 79.7kN の約 2/3 に相当する 50kN を上限とした。繰り返し摺動時の摩擦面の磨耗に伴うボルト締め付け長さの減少によるボルト張力の低下を緩和するため、締め付けボルトの軸剛性を減少させることを企図し、皿ばね座金をボルト締め付け部に挿入した試験体(1 枚挿入:SW1, 2 枚挿入:SW2)、及びそれを行わない皿ばね座金なし試験体(SW0)を計画した。皿ばね座金の枚数は、初期ボルト張力として 25kN, 37.5kN を導入した試験体では 1 枚、50kN の試験体では 2 枚を並列型でそれぞれ挿入した。使用した皿ばね座金は JIS B1251 の M24 用軽荷重用の 1 種とした。

実験 2 では、コンクリート壁板摩擦面の平滑さ、及びボルト締付部への皿ばね座金の挿入の有無を実験変数に設定した。コンクリート壁板の摩擦面仕上げには、金ごて押さえ仕上げ面(RS4)、金ごて押さえ下がり面(RS1)を設定し、実験 1 のコンクリート壁板の摩擦面を木製型枠脱型面とした M24×1-N250-FLT 試験グループの実験結果と比較した。実験 2 では、M24×1-N250-FLT 試験グループと、コンクリート壁板の摩擦面仕上げを除き同様の条件で実験を行った。金ごて押さえ仕上げ面(RS4)と金ごて押さえ下がり面(RS1)は、国土交通省大臣官房官庁営繕部監修「建築工事共通仕様書」の「15.3 床コンクリート直均し仕上げ」に規定された表 3 に示す作業手順の手順 6 と手順 4 に該当するものとした。なお、金ごて押さえ仕上げに当たり、ボルト埋め込み周辺にファスナープレートとの接触領域が限定できるように、ボルト埋め込み部周辺を若干盛り上げる均しを行った。また、実験 1 と同様に、皿ばね座金を 1 枚挿入した試験体(SW1)と皿ばね座金なし試験体(SW0)を計画した。

表 3 金ごて押さえ仕上げ作業手順

手順	作業内容	実験条件
1	中むら取りを木ごてで行う	-
2	金ごて押えを行い、セメントペーストを十分に表面に浮き出させる	
3	締め具合を見て、金ごてで強く押え平滑にする	
4	金ごて押さえ下がり	RS1
5	金ごて押さえ中下がり	-
6	金ごて押さえ仕上げ	RS4

実験 3 では、ファスナープレートの表面処理、及びボルト締付部への皿ばね座金の挿入の有無を実験変数に設定した。ファスナープレートの表面処理には、黒皮未除去(16 日間露天に暴露、散水し赤錆発生)(RFP)、防錆塗

装(塗料: JIS K5621 一般さび止めペイント, 素地調整: 2 種)(PAFP)、溶融亜鉛めっき(JIS H8641, 2 種, 付着量の異なる 2 種類 HDZ35/HDZ55 を設定)(Zn35FP, Zn55FP)を設定し、実験 1 のファスナープレート黒皮未除去(未発錆)とした M24×1-N250-FLT 試験グループの実験結果と比較した。実験 3 では、M24×1-N250-FLT 試験グループと、ファスナープレートの表面処理方法を除き同様の条件で実験を行った。また、実験 1 と同様に、皿ばね座金を 1 枚挿入した試験体(SW1)と皿ばね座金なし試験体(SW0)を計画した。

実験 1～3 では、実験グループ毎の試験体数として、皿ばね座金なし試験体(SW0)は 1 体、皿ばね座金を挿入した試験体(SW1)は同一試験条件下で 3 体を計画し、総計 36 体の実験を実施した。

### (3) 加力方法, 計測方法

加力は 200kN 動的サーボアクチュエータにより鋼製骨組の上梁に水平方向に強制変位を与え、その変位は片振幅 10, 20, 40, 60mm に対し振動数 1.00, 0.50, 0.25, 0.17Hz となる図 7 に示す正弦波とした。

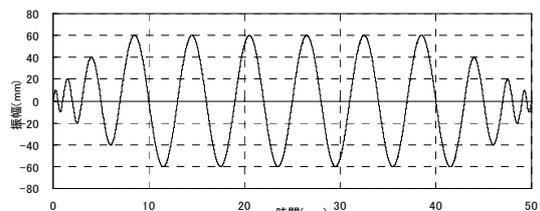


図 7 加振波

計測した物理量は、水平力、締め付けボルト張力、鋼製骨組上下梁の相対水平変位、コンクリート壁板とファスナー金物とのすべり変位とした。

## 4. 研究成果

### (1) 実験 1 の結果

実験 1 の実験結果として、壁負担せん断力とすべり変位の関係の代表例、壁負担せん断力の絶対値と累積すべり量の関係の代表例を、ボルト締め付け部への皿ばね座金の挿入した試験体について初期ボルト張力毎に図 8 に示す。なお、壁負担せん断力は、強制変位に伴い生じた水平力から、鋼製骨組が負担するせん断力を除いたもので、ファスナーダンパーの摩擦力に相当する。また、累積すべり量は、実験中に摩擦面が経験したすべり変位の総和を表している。

いずれの試験体においても、摩擦力とすべり変位の関係は概ね完全剛塑性型の履歴曲線を描いた。但し、履歴曲線上での摺動開始前の立ち上がり直線途中に見られるスリップは、コンクリート摺動材がボルトに接触することで、摩擦力の伝達が可能となるまでのガタが原因と考えられる。初期ボルト張力が

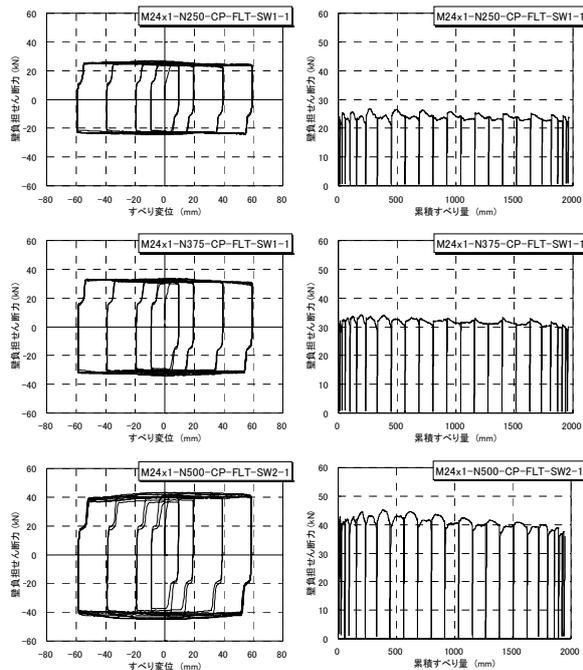


図8 壁負担せん断力とすべり変位，累積すべり変位の関係の代表例（皿ばね座金挿入試験体）

25kN, 37.5kN の試験体では，皿ばね座金が未挿入の場合に繰り返し摺動に伴い摩擦力がやや低下するが，初期ボルト張力が 50kN の試験体では，皿ばね座金の有無に係わらず，繰り返し摺動に伴い摩擦力が漸減した。なお，初期ボルト張力の増加に伴い発揮できる摩擦力は増加するものの，その大きさは初期ボルト張力に必ずしも比例しない傾向が観られた。

ボルト締め付け部への皿ばね座金の挿入による繰り返し摺動時のボルト張力の低下を抑制する効果を確認する。サイクル毎のボルト張力保持率と累積すべり量の関係を図9に示す。サイクル毎のボルト張力保持率は，各サイクルで観測された最大，最小のボルト張力の平均値を初期ボルト張力で除した値を用いている。実験終了時のボルト張力保持率は，皿ばね座金未挿入(SW0)の場合に，N250, N375, N500 試験体では 0.57, 0.56, 0.55 となり，初期ボルト張力の大小による差は観られなかった。一方，皿ばね座金を挿入した(SW1, SW2)場合には，N250, N375, N500 試験体の実験終了時のボルト張力保持率の平均値は 0.71, 0.69, 0.60 となり，皿ばね座金挿入によりボルト張力低下量は皿ばね座金なしの試験体に比較し，N250, N375, N500 試験体で 67, 70, 89%に低減された。

皿ばね座金を挿入しボルト張力の低下を限定的ながら抑制できた試験体(SW1, 2)サイクル毎の平均すべり係数と累積すべり量の関係を図9に示す。図中の平均値は，試験体毎に求めた摺動開始から実験終了までにす

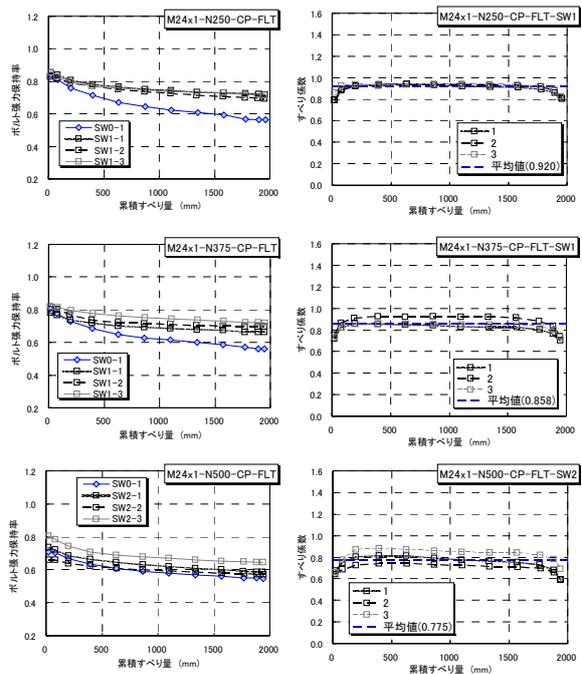


図9 サイクル毎のボルト張力保持率，すべり係数と累積すべり量の関係

べり係数とすべり変位の曲線が囲む面積の総和を実験終了時の累積すべり量で除した値に関する各試験グループ3体の平均値を示している。

いずれの試験体においても，摺動開始とともにすべり係数は上昇し，すべり変位 3~4 mm 前後で試験グループ毎のすべり係数の平均値 (0.92~0.77)に達し，繰り返し摺動時には，概ね一定のすべり係数を維持し摺動した。また，初期ボルト張力が大きいほど，すべり係数の平均値が小さくなるが，先に示したように初期ボルト張力が大きいほど，繰り返し摺動に伴うボルト張力の低下量が増大するためと考えられる。

#### (2) 実験2の結果

図10に，コンクリート板の摩擦面を金ごで押さえ仕上げしたRS4試験体の壁負担せん断力とすべり変位の関係，壁負担せん断力の絶対値と累積すべり量の関係を代表例として示す。皿ばね座金未挿入のRS4-SW0-1試験体では，摺動開始とともに摩擦力が急増した後に，繰り返し摺動に伴い摩擦力が大きく減少した。一方，皿ばね座金を挿入したRS4-SW1試験グループでは，繰り返し摺動に伴い摩擦力は漸減するもののコンクリート壁板の摩擦面が平滑なN250-FLT-SW1試験グループ(実験1)と概ね同程度の摩擦力を発揮した。

実験1と同様に，皿ばね座金を挿入した試験グループ(SW1)サイクル毎の平均すべり係数と累積すべり量の関係を図11に示す。いずれの試験体でも，摺動開始とともにすべり係数は上昇し，すべり変位 3~4mm 前後で試験グループ毎のすべり係数の平均値 (0.91~

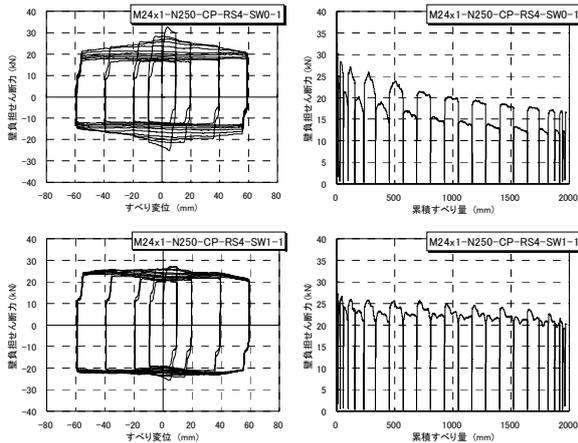


図 10 壁負担せん断力とすべり変位、累積すべり変位の関係の代表例 (RS4 試験体)

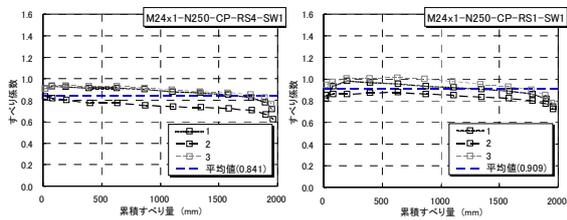


図 11 サイクル毎のすべり係数と累積すべり量の関係 (実験 2)

0.84)に達し、繰り返し摺動時には、概ね一定のすべり係数を維持し摺動した。FLT-SW1 試験グループ(実験 1)と比較するとコンクリート壁板摩擦面の仕上げの違いによる平滑さの差に係わらず、いずれの試験グループでもすべり係数として 0.9 前後を発揮可能であった。

### (3) 実験 3 の結果

図 12 に、壁負担せん断力とすべり変位の関係の代表例を、図 13 に皿ばね座金を挿入した試験グループ(SW1)サイクル毎の平均すべり係数と累積すべり量の関係を示す。

ファスナープレートが黒皮未処理(発錆あり)の RFP 試験グループでは黒皮未処理(発錆なし)の N250-FLT-SW1 試験グループ(実験 1)と概ね同程度の摩擦力(すべり係数)を発揮した。一方、ファスナープレートに錆止めペイントを施した PAFP 試験グループでは黒皮未処理(発錆なし)に比較し、すべり係数が約 18%低下した。他方、亜鉛めっき処理を施した Zn35FP, Zn55FP 試験グループでは黒皮未処理(発錆なし)に比較し、すべり係数が約 27%, 14%低下し、亜鉛の付着量が多い試験グループ(Zn55FP)がより大きなすべり係数を発揮した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

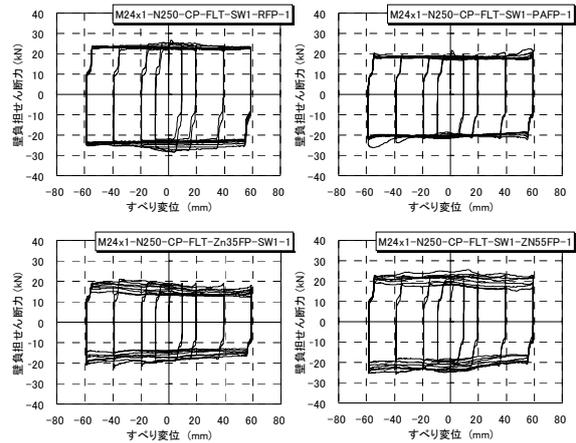


図 12 壁負担せん断力とすべり変位の関係の代表例 (実験 3 / 皿ばね座金挿入)

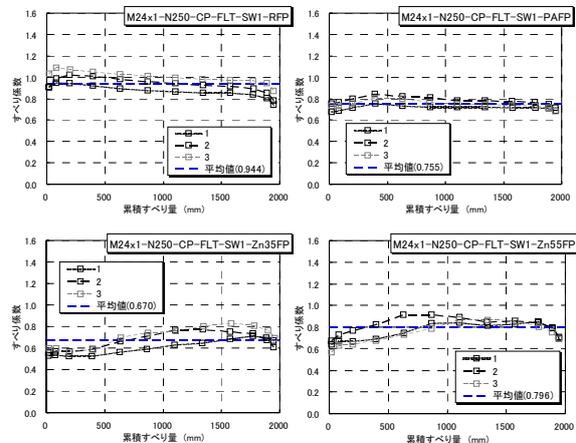


図 13 サイクル毎のすべり係数と累積すべり量の関係 (実験 3)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ①吉岡智和, 野口和宏, 締め付けボルト張力の異なる鋼-コンクリート摩擦ダンパーのすべり挙動, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol. 32, No. 2, 2010, pp. 943-948

〔学会発表〕(計 2 件)

- ①野口和宏, 吉岡智和, コンクリート系外壁を用いた制震デバイスの開発研究 その 1 外壁面の平滑さが摩擦型ファスナーダンパーの摩擦力に与える影響, 日本建築学会研究報告 九州支部, 2010. 3. 7, 長崎総合科学大学  
②吉岡智和, 池田彩佳, 野口和宏, コンクリート系外壁を用いた制震デバイスの研究 その 1. 溶融亜鉛メッキファスナーを用いた摩擦型ファスナーダンパーの摩擦力, 日本建築学会大会, 2010. 9. 11, 富山大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉岡 智和 (YOSHIOKA TOMOKAZU)  
九州大学・芸術工学研究院・准教授  
研究者番号: 40304852