

平成21年 6月19日現在

研究種目：基盤研究 (C)
研究期間：2007～2008
課題番号：19560587
研究課題名 (和文) コンクリート系カーテンウォールファスナーの摩擦ダンパー化に関する研究
研究課題名 (英文) Research on Friction Damper Fasteners for PCa Curtain Walls

研究代表者
安井 信行 (YASUI NOBUYUKI)
長崎総合科学大学・工学部・准教授
研究者番号：20310021

研究成果の概要：

建物の耐震安全性を高めるため、コンクリート外壁の金具を耐震要素化（地震エネルギー吸収要素化）する方法を研究した。金具のボルトを適切に締付け、一定の力ですべりを生じさせる方法では、金具とコンクリート間の摩擦だけに限定することで、安定した摩擦が得られることを確認した。一方、金具自体を大きく変形させてエネルギーを吸収させる方法では、一定以上のサイズで使用すれば、地震時の建物の揺れを小さくする効果が期待できることを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野 : 工学
科研費の分科・細目 : 建築学・建築構造・材料
キーワード : 鋼構造, カーテンウォール, ダンパー

1. 研究開始当初の背景

建築物の耐震安全性を高める方法として、ダンパーと呼ばれる制振装置を組み込んだ建築物が近年多く設計されている。しかし、従来のダンパー設置箇所は、一般に建物の平面計画などから大きな制約を受け、コア周辺に限られた数のダンパーしか設置できない場合が多く、建物の制振効果を期待するには数少ないダンパーに大きな耐力を負担させる必要が生じるが、ダンパー支持架構に応力が集中するためダンパーに付与できる耐力には限界がある。また、ダンパーは極力小さな変位でエネルギーを消費させるのが効果的で、剛性が高く耐力の低いダンパーを数多く分散配置することが制振にとって最適な

場合もある。鋼構造建物では耐火被覆や間仕切壁などが建物の剛性を高めることが指摘されており、地震力を負担しない部材を利用して耐震安全性を高めることも期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、以上に示した背景から、剛性が高く耐力の低いダンパーを数多く分散させて配置することを目的に、コンクリート系カーテンウォールのファスナーを摩擦ダンパーに適用する方法を研究する。カーテンウォールのアンカーボルトを適切な張力で締付けることにより、ファスナーとカーテンウォール間に一定の滑り耐力を付加して滑らせ、カーテンウォールのファスナーを「摩擦

型ダンパー」として用いることを試みるものである。また、研究開始後に追加した研究対象であるが、ファスナー部に曲げ降伏する部材を挿入し、地震時に層間変形が生じたときに曲げ降伏してエネルギーを吸収する「曲げ降伏型ダンパー」も考案し、性能を評価する。

3. 研究の方法

(1) ファスナー部詳細の提案

コンクリート系外壁を調査し、ダンパーとして利用可能な外壁を選定した。その結果、外壁はプレキャストコンクリートカーテンウォールとし、ファスナーの可動形式はスライド形式とした。その上で図1に示す2種類のダンパー「曲げ降伏型ダンパー」と「摩擦型ダンパー」を提案した。

曲げ降伏型ダンパーは、ダンパー材として圧延H形鋼を用いる方法で、一方のフランジをアンカーボルトで外壁上部に取り付け、他方のフランジを1次ファスナーを介して梁下部に取り付ける。地震時に層間変形が生じると、ダンパーのウェブが曲げ降伏し、塑性変形を生じることによりエネルギーを吸収する。

摩擦型ダンパーは、アンカーボルトを所定の張力で締め付け、ファスナーと外壁間、及びファスナーと座金間に摩擦力を生じさせ、所定の耐力で滑らせることにより、ほぼ剛塑性の荷重-変形関係を得ようとするものである。摩擦型ダンパーは外壁上部の中央に設置し、2本のアンカーボルトで締め付ける。

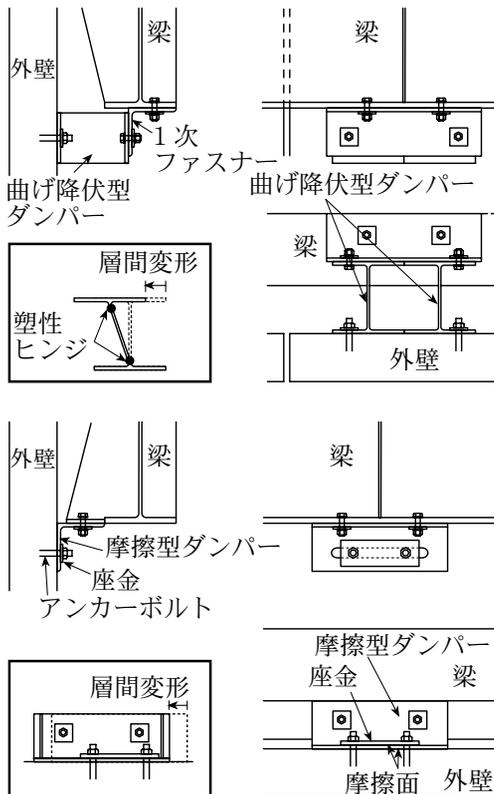


図1 曲げ降伏型ダンパーと摩擦型ダンパー

(2) 2種類のダンパーの性能確認実験

実験の種類は以下のとおりである。

① 曲げ降伏型ダンパーの性能を確認するため、ダンパー単体の基本性状確認実験、ダンパーに1次ファスナーを含む実形状での繰返し加力実験、及びダンパー単体の一定振幅繰返し載荷実験を行った。試験体は合計40体で、図2に示す様な試験体と装置を用いて実験を行った。

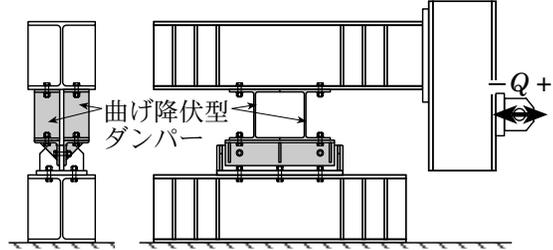


図2 曲げ降伏型ダンパーの実験装置

② 摩擦型ダンパーの性能を確認するための実験では、安定した摩擦係数が得られるよう、図3に示す摩擦面の条件をパラメータとして3回の実験を行った。Aは1本ボルト締め試験、Bは2本ボルト締め試験、Cは鋼-コンクリート摩擦面だけの2本ボルト締め試験であり、試行錯誤を繰り返しながら実験条件を決定した。試験体数は合計14体で、図4に示す様な試験装置を用いて動的に載荷した。

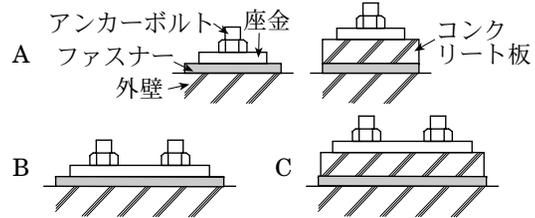


図3 摩擦面の条件

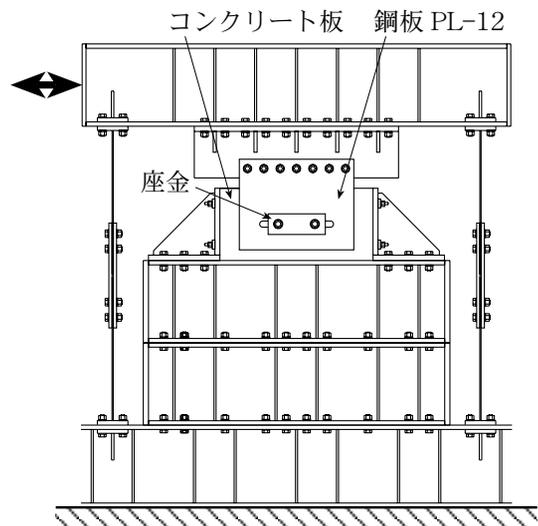


図4 摩擦型ダンパーの実験装置

③本研究で提案するダンパーを外壁に取り付けて十分な性能を発揮可能であることを確認するため、2分の1サイズの外壁にダンパー取り付け実験を行った。実験は、曲げ降伏型ダンパーと摩擦型ダンパーである。図5には、曲げ降伏型ダンパーの場合の試験体を示す。

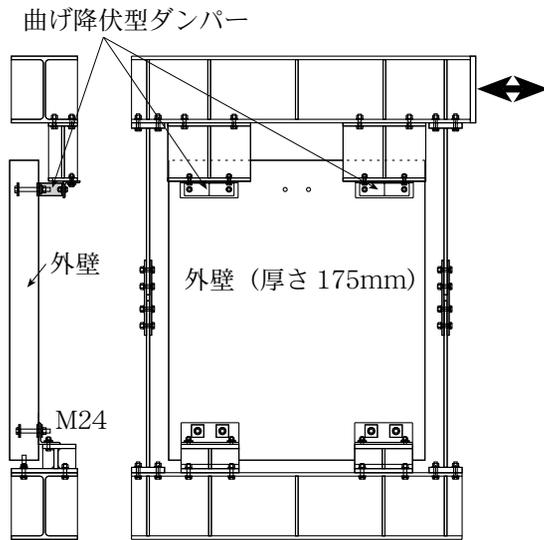


図5 2分の1サイズ外壁の実験

(3) ダンパー付き建物の地震応答解析

図6に示すような中低層建物に、本研究で提案するダンパーを取り付けた場合の地震応答解析を行い、ダンパーに必要な変形能力を確認するとともに、ダンパーが建物の応答を低減する性能があることを確認した。

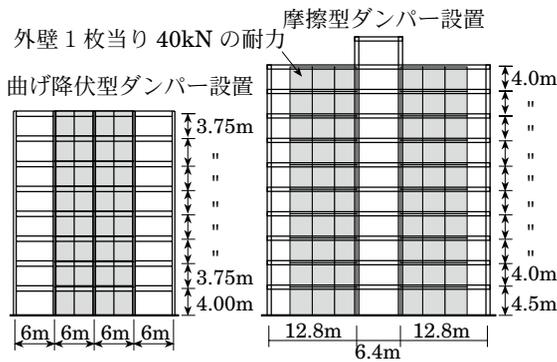


図6 解析対象建物

4. 研究成果

(1) ダンパーの性能確認実験の成果

①図2に示した曲げ降伏型ダンパーの性能確認実験を行った結果、図7に示すようなせん断力-せん断変形関係が得られた。これらの実験結果から得られる初期剛性と降伏耐力は、図8に示す方法によって求めた計算式によって十分な精度で予測可能であることを明らかにした。

これらの実験結果から、図9に示す耐力低下するまでの塑性吸収エネルギーと累積塑性変形の関係が得られ、ダンパーサイズが200mmの場合は累積塑性変形が1000mm以下で耐力低下する場合があることを示した。一方、ダンパーサイズが300mmと250mmの場合は、累積塑性変形が1500mm程度まで耐力低下を示さず、十分な塑性変形能力があることを確認した。

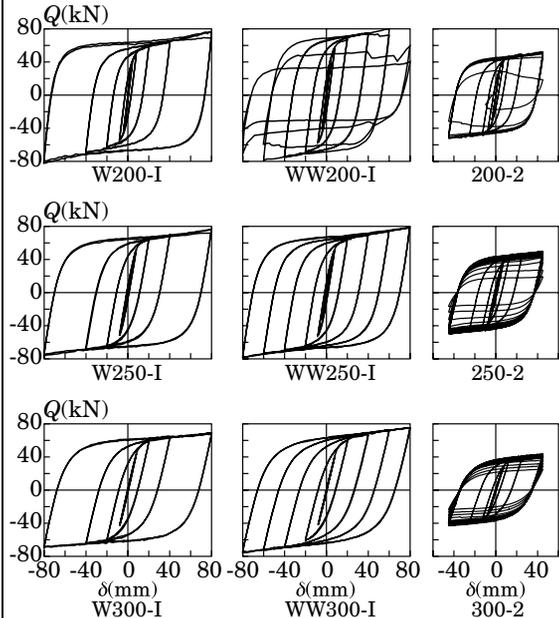


図7 せん断力-せん断変形関係

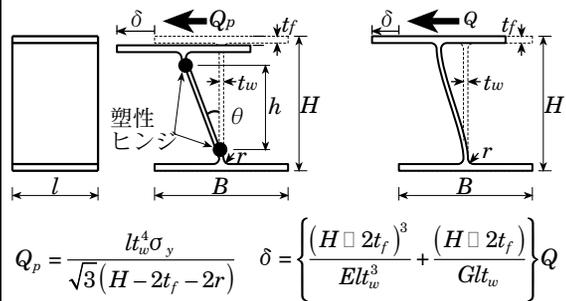


図8 ダンパーの耐力と剛性の評価方法

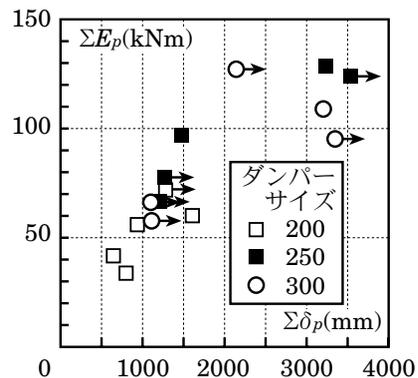


図9 塑性吸収エネルギーと累積塑性変形

②摩擦型ダンパーの性能確認実験の結果の一例を図10a～cに示す。図10a～cの縦軸は摩擦力、横軸は累積すべり変位である。

1本ボルトの実験(図3のA)では、繰返し加力に伴って座金が回転し、ボルト張力が低下すると共に摩擦力も低下した(図10a)。そのため、座金の回転を拘束する目的でボルトを2本とし(図3のB)、実験を行った。しかし、ファスナーと座金間の摩擦面(鋼-鋼摩擦面)には焼付きが生じやすく、図10bに示すようにすべり量の累積とともに摩擦力が上昇した。一方、鋼-鋼摩擦面のない実験(図3のC)では、図10cに示す累積すべり量と摩擦力の関係が得られ、座金回転によるボルト張力の低下や、焼付きによる摩擦力の上昇も見られず、安定した摩擦力を発揮可能である結果を得た。

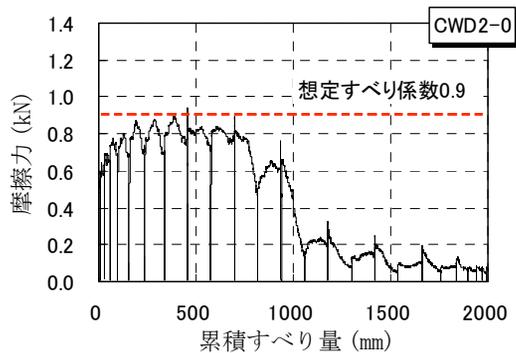


図10a 累積すべり量と摩擦力の関係

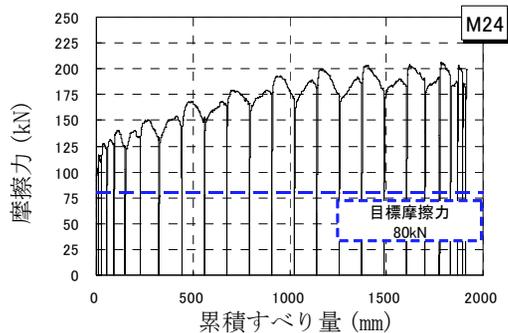


図10b 累積すべり量と摩擦力の関係

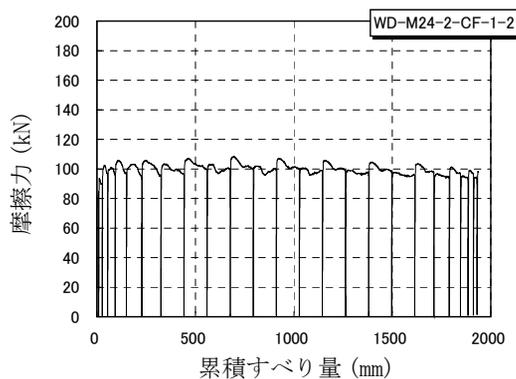


図10c 累積すべり量と摩擦力の関係

以上の摩擦型ダンパーの性能確認実験より、摩擦型ダンパーとするファスナーは外壁のコンクリートと座金側のコンクリート板で挟む方法に決定した。

③外壁にダンパーを取り付けた実験では、外壁を実大の2分の1サイズとしたため、曲げ降伏型ダンパーのサイズも2分の1に縮小し、サイズは150mmである。図11に、ダンパーに作用するせん断力と層間変形の実線と、ダンパーに作用するせん断力とダンパーのせん断変形の実線と破線で示す。なお、図12にはダンパーだけの実験結果を示すが、耐力低下するまでの累積塑性変形量は、外壁に取り付けた場合もダンパーだけの場合も同程度である。ダンパー以外の外壁やファスナー部分は若干の弾性変形を示したが、破損や塑性化、すべり等は見られず、剛性の高いダンパー支持部材として使用可能と言える。

この実験ではダンパーのサイズを150mmとしているため、累積塑性変形は300mm～400mmとなっている。これは、ダンパーのサイズが300mmの場合と比べて高さに対するウェブ厚さの割合が大きく、塑性変形がウェブのフィレット端に集中し易かったこと、及びフィレット端付近の材質が良好でなかったことが原因と考えられる。そこで、同じダンパー材を焼鈍して実験を行った(図11のAN-INC, AN-30)。その結果、振幅が±30mmの場合には耐力低下するまでの累積塑性変形量は800mmを超え、靱性の高い材料を使用すれば高い塑性変形能力を示すことが可能であることを明らかとした。

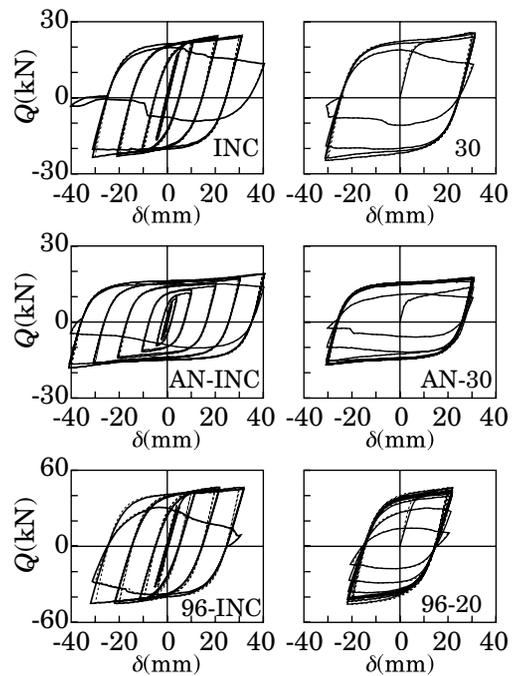


図11 せん断力-せん断変形関係 (外壁に取り付けた場合)

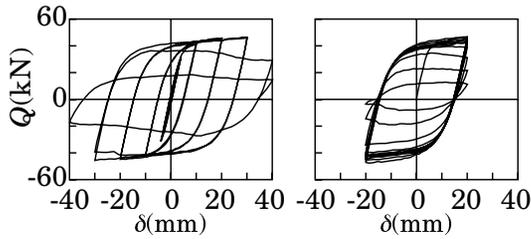


図12 セン断力-せん断変形関係
(ダンパーだけの実験)

(2) ダンパー付き建物の地震応答解析

本研究で提案するダンパーを中低層建物に取り付けて地震応答解析を行った。曲げ降伏型ダンパーは実験結果を基に Tri-linear 型、摩擦型ダンパーは Bi-linear 型でモデル化した。図13にダンパーのせん断力-せん断変形関係を示すが、両者とも耐力は40kNとした。

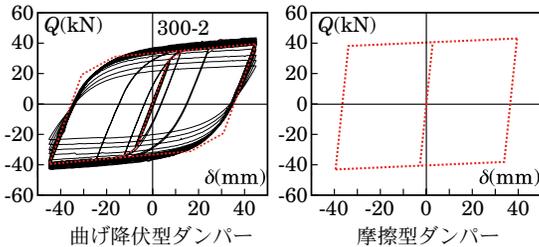


図13 ダンパーのせん断力-せん断変形関係

図14に曲げ降伏型ダンパーを設置した8層骨組の最大層間変形角分布を示す。入力地震動は El Centro NS, Taft EW, JMA Kobe NS, Yokohama 模擬波であり、地動最大速度は25kine, 50kineである。ダンパーのある建物は、ダンパーの無い建物より平均10%程度層間変形が小さい。なお、2層及び4層骨組では、それぞれ18%と13%最大層間変形角が低下しており、耐震性能が向上している。

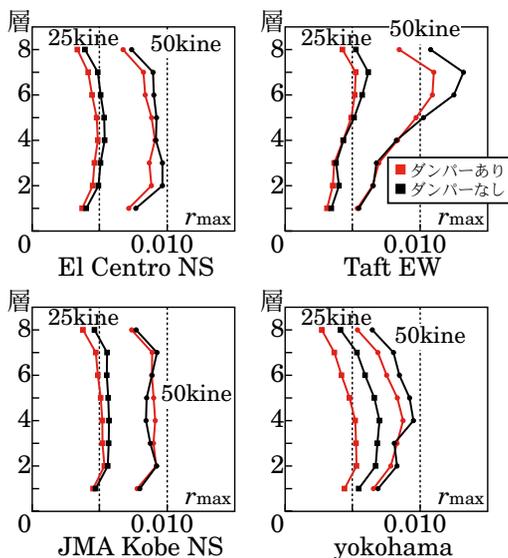


図14 最大層間変形角の分布

解析によって得られた最大層間変形角とダンパーの累積塑性変形の関係を図15に示す。地動最大速度25kineの地震動に対して最大層間変形角は最大0.01rad、累積塑性変形は最大750mmであり、地動最大速度50kineの地震動では0.02radと1500mmである。ダンパーのサイズが250mmと300mmのダンパーは、これらの条件を満たしており、必要なダンパーの性能を満たしていると言える。

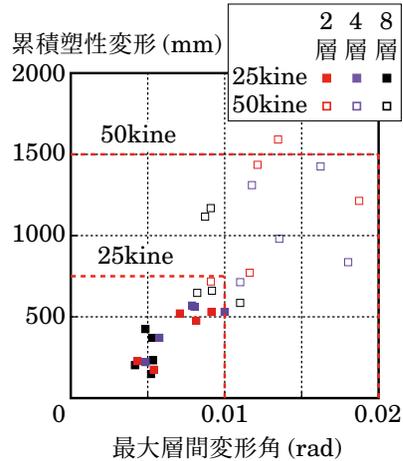


図15 最大層間変形角と累積塑性回転角

図16に摩擦型ダンパーを設置した10層骨組の最大層間変形角分布を示す。入力地震動はJSCA波の八戸港湾、神戸海洋気象台、東北大学であり、図16は3波の平均を示している。地動最大速度は50kine, 100kineである。ダンパーのある建物は、ダンパーの無い建物より平均20%程度層間変形が小さくなっており、制振効果が期待できる。

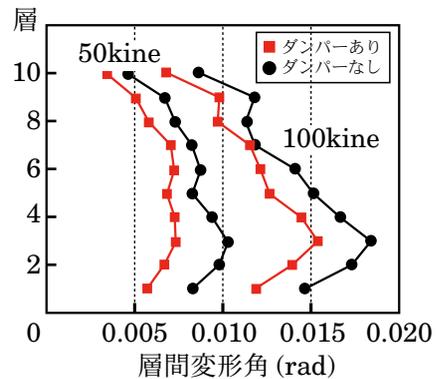


図16 最大層間変形角の分布

この解析によって得られた摩擦型ダンパーの累積塑性変形は、地動最大速度が50kineの場合に400mm程度、100kineの場合に600mm程度である。本研究で提案している摩擦型ダンパーは図10cで示したように、累積すべり量1500mm以上安定して変形可能であり、必要な性能を満たしていると言える。

(3) まとめと今後の課題および展望

本研究では、剛性が高く耐力の低いダンパーを数多く分散させて配置することを目的に、コンクリートカーテンウォールのファスナーを「摩擦型ダンパー」および「曲げ降伏型ダンパー」に適用する方法を研究した。その結果、摩擦型ダンパーでは、アンカーボルトは2本1組での使用が望ましく、鋼-鋼摩擦面が生じないように鋼-コンクリート摩擦面だけに限定するディテールとすることで、安定した耐力が得られることを明らかにし、地震時に想定される累積すべり量を遥かに超える安定した性能が発揮可能であることを示した。また、曲げ降伏型ダンパーにおいても、サイズが250mmと300mmのH形鋼をダンパーとして用いれば、必要とされる累積塑性変形まで耐力低下せず、地震時の建物の最大層間変形角を1割以上低下させる効果があることを示した。

本研究の特徴は、耐震要素として利用されなかったコンクリート外壁を、耐震要素として利用しようとするものである。本研究で提案している2種類のダンパーの性能は、外壁を耐震要素として活用する際に必要な性能を保有しており、今後実用化されることが期待できる。ただし、実用化に際しては、摩擦型ダンパーのボルト張力の導入方法と管理、ファスナー部の腐食に伴う摩擦力の変化等を明らかにすることが課題である。一方、曲げ降伏型ダンパーは、ダンパーの効果がやや低い。ダンパーの効果を高めるためには弾性剛性を高めること、および累積塑性変形能力の向上のための工夫が課題としてあげられる。これらの課題に対しては、今後も引き続き研究を行う予定である。

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)

〔雑誌論文〕(計5件)

- ① 安井信行、河野昭彦、九谷和秀、吉岡智和、許斐信三、尾宮洋一、外壁ファスナーのダンパー化に関する研究 その1 研究概要、日本建築学会九州支部研究報告、第47号、493-496、2008、査読無
- ② 安井信行、河野昭彦、九谷和秀、吉岡智和、許斐信三、尾宮洋一、白川敏夫、外壁ファスナーのダンパー化に関する研究 その2 曲げ降伏型ダンパー、日本建築学会九州支部研究報告、第47号、497-500、2008、査読無
- ③ 山下裕介、安井信行、河野昭彦、九谷和秀、吉岡智和、許斐信三、尾宮洋一、野口和宏、外壁ファスナーのダンパー化に関する研究 その3 鋼-コンクリート摩擦ダンパーのすべり試験、日本建築学会九州支部研究報告、第47号、501-504、

2008、査読無

- ④ 安井信行、九谷和秀、白川敏夫、吉岡智和、許斐信三、尾宮洋一、河野昭彦、外壁ファスナーのダンパー化に関する研究 その4 曲げ降伏型ダンパーの載荷実験、日本建築学会九州支部研究報告、第48号、393-396、2009、査読無
- ⑤ 中城卓也、安井信行、九谷和秀、吉岡智和、許斐信三、尾宮洋一、河野昭彦、外壁ファスナーのダンパー化に関する研究 その5 2本ボルト締め付け型鋼-コンクリート摩擦ダンパーのすべり試験、日本建築学会九州支部研究報告、第48号、397-400、2009、査読無

[その他]

ホームページ

http://www.arch.nias.ac.jp/home/labo/ya_sui/Fastener.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安井 信行 (YASUI NOBUYUKI)
長崎総合科学大学・工学部・准教授
研究者番号：20310021

(2) 研究分担者

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

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

河野 昭彦 (KAWANO AKIHIKO)
九州大学大学院・人間環境学府・教授
九谷 和秀 (KUTANI KAZUhide)
九州産業大学・工学部・教授
白川 敏夫 (SHIRAKAWA TOSHIO)
九州産業大学・工学部・副手
許斐 信三 (KONOMI SHINZOU)
日本設計九州支社・支社長
尾宮 洋一 (ONOMIYA YOUICHI)
鹿島九州支店・副部長