

2017年度（第9回）免震構造・制振構造に関わる研究助成の成果報告

2方向水平力を受ける間柱型せん断パネルダンパーの
エネルギー消費性能に及ぼす周辺要素の影響

聲高 裕治（京都大学）

1 はじめに

近年、地震入力エネルギーを制振部材に吸収させることにより、主架構（柱、梁）の損傷を抑制する制振構造が広く普及している。制振部材は、基本的には面内挙動の把握が重要であり、これまでに面内挙動に着目した実験的研究が数多く行われている¹⁾など。しかし、実際の建物は3次元的に挙動するため、面外方向や水平2方向に関する検討も必要であり、摩擦ダンパー²⁾や座屈拘束ブレース³⁾を対象とした実験が行われている。

本一連の研究では、制振部材の一種である間柱型せん断パネルダンパーを対象として、面外方向の挙動だけでなく、水平2方向の挙動を把握することを目的としている。これまでに、せん断パネルダンパー単体（部材）の水平2方向荷重実験を行い、面内と面外で危険断面が異なるため、面内方向の挙動に面外方向の挙動が影響を与えないことを確認している⁴⁾。

本報では、間柱型せん断パネルダンパーの性能が、梁の拘束によってどのような影響を受けるかを確認するために実施した、1層1スパン平面架構の水平2方向荷重実験について報告する。なお、本報の研究成果は、2017年度（第9回）「免震構造・制振構造に関わる研究助成」の支援を受けたものである。

2 実験方法

2.1 試験体

試験体の概要を図1に示す。試験体は、1/4縮小モデルであり、せん断パネルダンパー、上下ブラケット、および1層1スパンの柱梁による平面架構からなる。本実験のパラメータは、間柱が取り付け梁中央の面外拘束条件である。1体目は間柱端を面外拘束しておらず、2体目は図1に示すように、間柱端の梁の一部を板厚6mmの拘束材を溶接することで間柱端を面外拘束している。面内方向については、面外拘束治具を介してピン治具と接続することによって、この部分を試験体全体の面内方向変形に追従できるようにしている。

2.2 荷重装置

実験は、東京工業大学 すすかけ台キャンパスに設置されている多自由度荷重装置を用いて行った。実験装置は、図2に示すように反力フレーム、ハット治具、荷重台からなる。ハット治具は水平トラス梁と鉛直ジャッキを介して反力フレームに固定されている。また、荷重台は下部をリニアスライダーにより支持し、水平方向に直交する2台の水平ジャッキを取り付けている。試験体は、図2の点線で示すように、上部をハット治具に、下部を荷重台に固定し、水平ジャッキにより水平2方向の変形を与える。実験中は、試験体の高さを一定に保つために鉛直ジャッキの変位を一定に保持している。

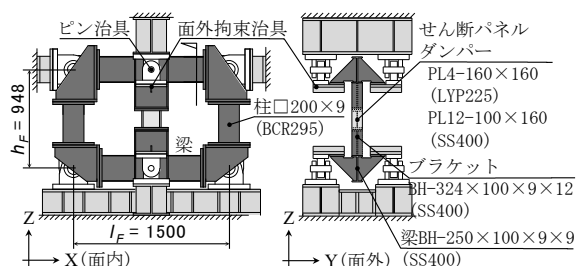


図1 試験体概要

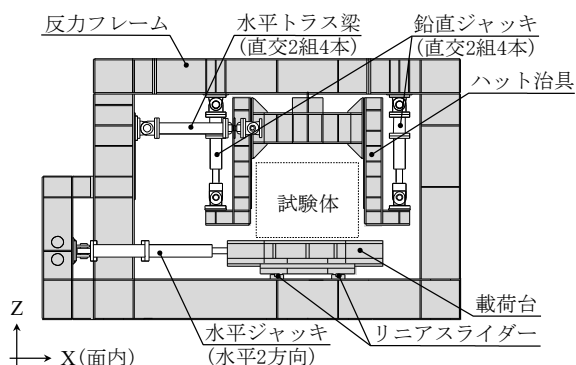


図2 多自由度荷重装置

2.3 荷重方法

荷重プログラムを図3に示す。実験は、所定の層間変形角に対して①面内方向のみ、②面外方向のみ、

および③水平2方向载荷をそれぞれ正負2サイクル行い、これを1セットとして、漸増変位振幅载荷を行う。目標層間変形角は $1/200$ 、 $2/200$ 、 $3/200\text{rad}$ とする。水平2方向载荷では、文献4)の部材実験と同様、楕円形の载荷経路を採用し、最大層間変形角が面内：面外=1：1となるように与える。

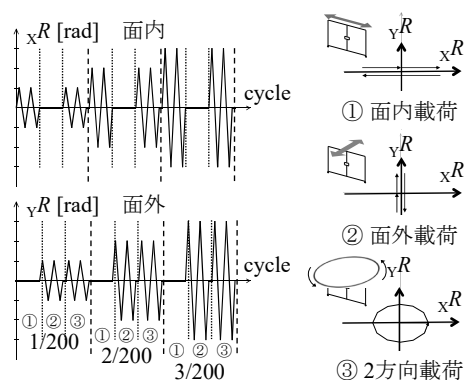


図3 载荷プログラム

2.4 計測方法

計測項目は、荷重、変位、ひずみである。荷重は水平トラス梁に取り付けられた2分力計ロードセルにて、変形は変位計にて、ひずみはひずみゲージにて計測する。変位・ひずみの計測位置を図4に示す。

柱梁接合部、梁の変位は载荷台からの相対変位として計測した。柱梁接合部4か所の表裏に取り付けたターゲットの8点の面内・面外方向の変位を計測し、面内・面外方向の層間変形角 xR 、 yR は、水平変形を階高(h :948mm)で除して求める。ダンパーの変位はダンパー下部からの相対変位を計測し、面内・面外方向の変形角 $x\gamma$ 、 $y\gamma$ は、水平変形をダンパー高さ(h :160mm)で除したものとする。柱の回転角 $y\theta_c$ 、梁の回転角 $y\theta_b$ は、接合部表裏の鉛直変形を距離(l_1 :808mm)で除したもの、梁の面外方向の水平変形を距離(l_2 :350mm)で除したものとする。

ひずみゲージは、柱の各辺の中央、梁と間柱のフランジの側面、せん断パネルダンパーのフランジの幅方向2点(表裏)に、それぞれ貼付した。面内・面外方向において、柱のひずみゲージから得た曲げモーメントよりせん断力を算出し、柱2本が負担するせん断力の和を Q_F とし、層せん断力 Q から Q_F を引いたものをダンパーが負担するせん断力 Q_D とした。

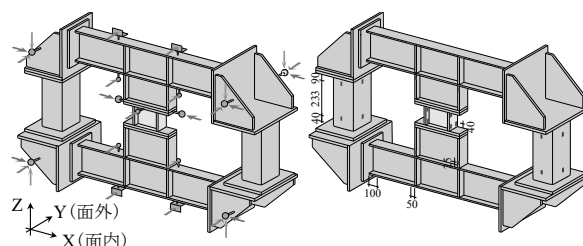


図4 変位・ひずみ計測位置

3 実験結果

3.1 試験体の損傷状況と実験経過

まず、試験体の損傷状況と実験経過をみる。実験中、面内層間変形角の正負最大時において、せん断パネルダンパーにせん断変形の集中がみられた。最終破壊状況を図5に示す。柱には損傷がみられず、上部梁端のウェブ面、間柱およびダンパーのフランジにおいて降伏に伴うリューダース線がみられた。また、せん断パネルダンパーにはパネルウェブに手で触ってわかる程度の面外変形が確認できた。

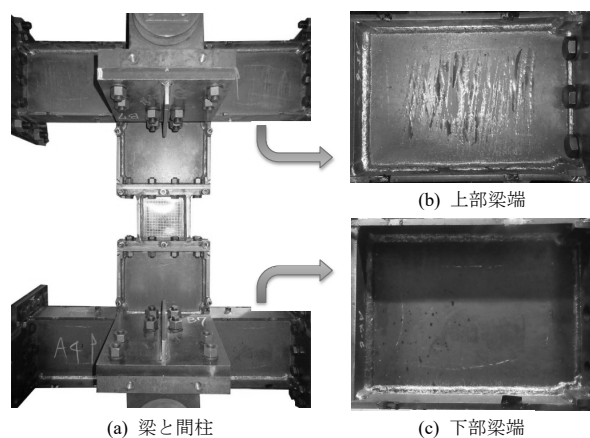


図5 最終破壊状況

3.2 荷重-変形角関係

間柱端面外拘束あり・なしの荷重-変形角関係について考察する。

(1) 面内方向の挙動

面内方向の荷重-変形角関係を図6に示す。左図は、縦軸を層せん断力 xQ 、横軸を層間変形角 xR とした架構全体の挙動であり、柱梁架構の終局耐力 xQ_u を破線で併せて示している。一方、右図は、縦軸をダンパーの負担せん断力 xQ_D 、横軸をダンパーの変形角 $x\gamma$ としたダンパーの挙動であり、ダンパーの降伏耐力 xQ_y を破線で併せて示している。いずれの変形角においても、間柱端面外拘束あり・なしに

よって最大耐力および剛性の差はほとんど見られない。また、ダンパーの挙動についても間柱端面外拘束条件によらず、面外変形の影響は見られない。

(2) 面外方向の挙動

面外方向の荷重-変形角関係を図 7 に示す。梁中央の面外変形を拘束した試験体では、面外方向の抵抗力が生じており、架構全体は弾性挙動を示している。ダンパー挙動において、間柱端面の全塑性曲げ耐力の計算値 ${}_yQ_p$ とし、図中に破線で示す。実験結果と比較すると、間柱端は面外方向の全塑性曲げ耐力には達していないことがわかる。このように、間柱が取り付く梁中央に面外方向の抵抗力を付与しても作用する面外力は小さく、間柱型せん断パネルダンパーの面内方向の挙動には影響を与えないことがわかる。

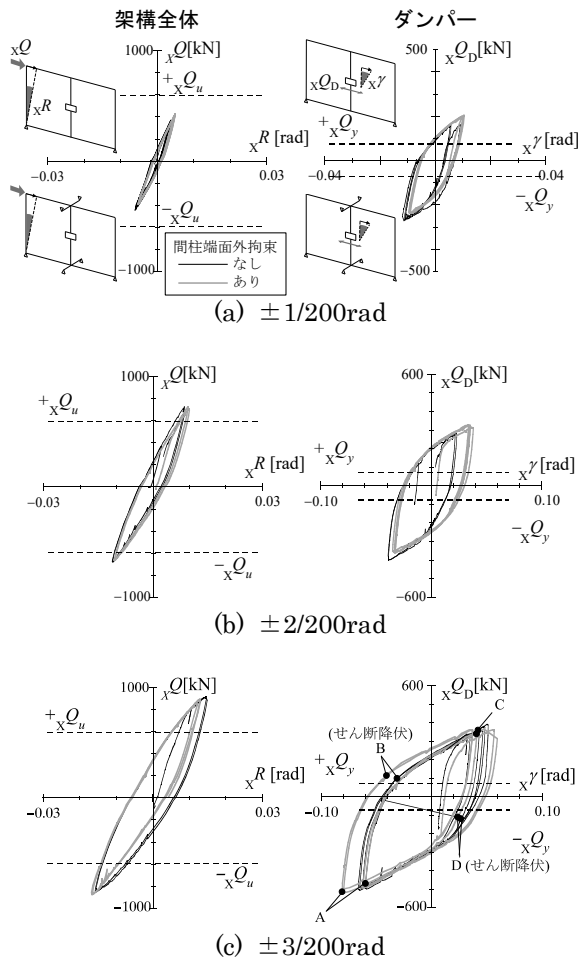


図 6 面内方向の荷重-変形関係

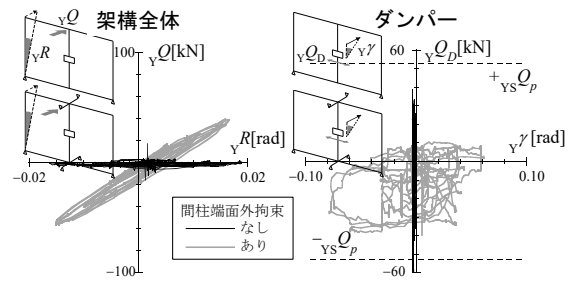


図 7 面外方向の荷重-変形関係

3.3 ダンパーの変形割合

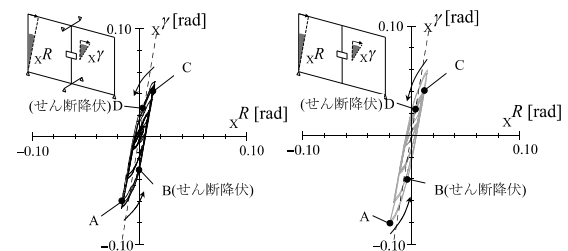
ダンパー変形と全体変形の関係を考える。

(1) 面内方向の挙動

面内方向のダンパーの変形角と層間変形角の比較を図 8 に示す。縦軸はダンパーの変形角 ${}_x\gamma$ 、横軸は層間変形角 ${}_xR$ であり、階高 h_F をダンパー高さ h_D で除した比を破線で併せて示す。図 6(c) の水平 2 方向荷重 2 サイクル目の挙動について、パネルウェブのせん断降伏付近 ${}_xQ_y$ (B、D)、最大変形角 (A、C) について図 8 にプロットする。これらは、 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ の順に推移している。ダンパーが弾性範囲にあるとき ($A \rightarrow B$ 、または $C \rightarrow D$) は、全体変形に比べてダンパーの変形増加が小さく、間柱全体としての変形が大きい。一方、パネルウェブがせん断降伏すると ($B \rightarrow C$ 、または $D \rightarrow A$)、破線に対応した履歴を示している。すなわち、間柱が取り付く梁中央の面外拘束条件によらず、幾何学的条件に応じた変形をダンパーに集中させられていると言える。

(2) 面外方向の挙動

図 8 と同様に、面外方向についてもダンパーの層間変形に対する変形割合を図 9 に示す。面外方向については、梁中央の面外拘束がない試験体では、ダンパーに変形が生じていない。しかしながら、梁中央の面外拘束がある試験体では比較的大きな変形がダンパー部に生じている。



(a) 間柱端面外拘束なし (b) 間柱端面外拘束あり

図 8 ダンパー変形角と層間変形角 (面内方向)

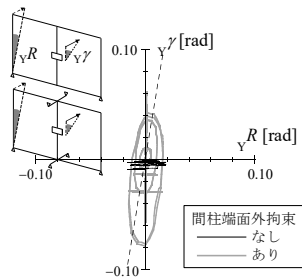


図9 ダンパー変形角と層間変形角（面外方向）

3.4 梁のねじれ

間柱端面外拘束したことによる梁のねじれの影響を検討する。梁のねじれ角と柱の回転角の関係を図10に示す。縦軸を面外方向の梁のねじれ角 $\gamma\theta_b$ 、横軸を面外方向の柱の回転角 $\gamma\theta_c$ とする。ここで、梁のねじれ角とは、柱の回転角 $\gamma\theta_c$ と梁の回転角 $\gamma\theta_b$ の差分である。これより、間柱が取り付く梁中央を面外拘束しても、梁のねじれは、わずかであることがわかる。

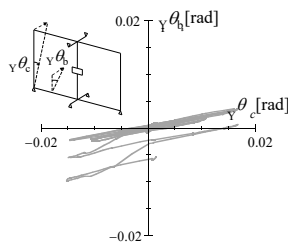


図10 梁のねじれ角と柱の回転角（面外方向）

4 まとめ

本報では、架構内に組み込まれた間柱型せん断パネルダンパーの水平2方向挙動に関する実験を行った以下に得られた結果を示す。

- [1] 間柱が取り付く梁中央の面外拘束がある状態においても、ダンパーにとって重要である面内方向の挙動は、面外拘束がない状態と同様の履歴性状を示した。
- [2] ダンパーがせん断降伏後、階高とダンパー高さの比の幾何学的条件に応じた変形をダンパーに集中させられた。このことは、部材実験⁴⁾と本報の実験に共通しており、すなわち、水平2方向変形が間柱型せん断パネルダンパーの面内挙動に及ぼす影響は小さいと考えることができる。

謝辞

本研究の遂行にあたって、東京工業大学 吉数祥一先生、山本優子氏に多大なるご尽力を賜りました。また、架構試験体の製作にあたって、株式会社角藤鉄構事業部にご協力を賜りました。筆末ながら、付記して深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 玉井宏章ほか: せん断パネルダンパーの最適スチフナ曲げ剛性比について、日本建築学会構造系論文集、第79巻、第706号、pp.1983-1990、2014.12
- 2) 大出大輔ほか: 面外変形が高力ボルト摩擦接合滑りダンパーの性能に及ぼす影響、鋼構造年次論文報告集、第25巻、pp.919-924、2017.11
- 3) 小崎均ほか: 二方向地震動入力を受ける座屈拘束ブレース付鉄骨架構のブレース構面外応答、構造工学論文集、Vol.61B、pp.401-408、2015.3
- 4) 山本優子ほか: 水平2方向変形を受けるせん断パネルダンパーの実験、鋼構造年次論文報告集、第25巻、pp.911-918、2017.11