

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420582

研究課題名(和文) コンクリート系共同住宅の財産保護に資する二次壁の制振デバイス化に関する研究

研究課題名(英文) An Development of RC Damping Partial Wall Using Friction Damper for Protection of Condominium Property

研究代表者

吉岡 智和 (Yoshioka, Tomokazu)

九州大学・芸術工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40304852

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：摩擦ダンパーを用いたRC制振方立て壁の開発を目指し、実大方立て壁試験体を用いた水平加力実験を実施した。実験結果から、摩擦ダンパーが作動し壁せん断力を制御することで、方立て壁を概ね無損傷に維持しつつ剛塑性型復元力特性を発揮できることを確認した。さらに、アスペクト比2.0, 1.25, 1.0と変更した方立て壁について、摩擦ダンパーのボルト締め付け力を変更することにより設定した壁せん断力の大小に応じた損傷状況、荷重変形復元力特性を把握し、最終破壊状況を確認した。

研究成果の概要(英文)：Lateral loading tests of full-scale partial wall specimens were carried out in order to develop RC damping partial wall using friction damper. This report presents the test results of proposed RC damping partial wall.

研究分野：建築構造

キーワード：方立て壁 摩擦ダンパー 制振デバイス 損傷制御

1. 研究開始当初の背景

RC造・SRC造共同住宅の中でも特に、板状平面を持つ共同住宅における典型的な地震被害として、適切な構造スリットにより架構と縁切りされていない二次壁のせん断破壊が報告されている。このような二次壁の地震被害を防ぎつつ、その強度と剛性を利用するため、筆者らは二次壁の中でも特に破壊性状が明快な方立て壁を摩擦ダンパーにより制振デバイス化する構法を提案した。この構法の特徴は、方立て壁を上下に分離し、高強度アルミ板摺動材を用いた鋼-コンクリート摩擦ダンパーによりそれらを連結することで、壁に伝達される水平力をコントロールし、損傷を生じない程度にその耐力、剛性を利用するものである。

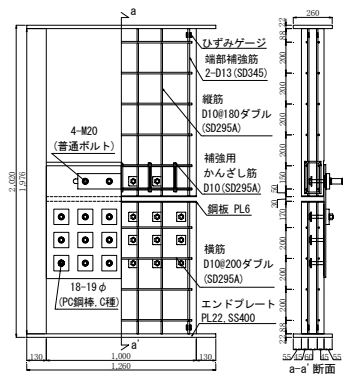
2. 研究の目的

本研究では、提案した RC 制振方立て壁を模擬した実大試験体の水平加力実験を行い、(1)摩擦ダンパーの摩擦力により、壁負担せん断力を制御でき、RC 方立て壁(アスペクト比 2)に生じるひび割れ損傷等を抑制できること、(2)摩擦ダンパーが負担する摩擦力の大きさを変更した場合の荷重変形関係と RC 方立て壁(アスペクト比 2)の損傷・破壊状況の関係を明らかにし、許容できる損傷の範囲で方立て壁が負担できるせん断力の大きさと摩擦力が偏心して作用する RC 方立て壁の最終破壊性状を確認し、(3) 現行の RC 共同住宅で見られるアスペクト比 1, 1.25 の形状寸法を持つ RC 方立て壁について、摩擦ダンパーが負担する摩擦力の大きさを段階的に増加させた場合の、ひび割れ損傷状況と荷重変形復元力特性を明らかにした。

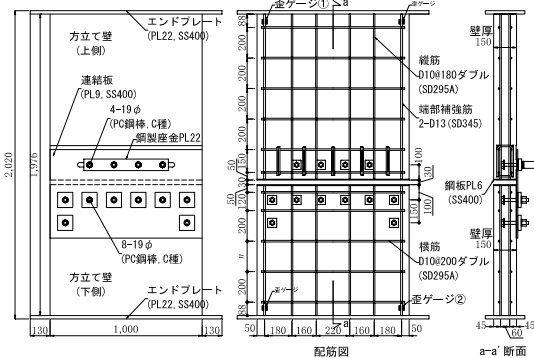
3. 研究の方法

(1) 試験体の詳細、及び実験条件

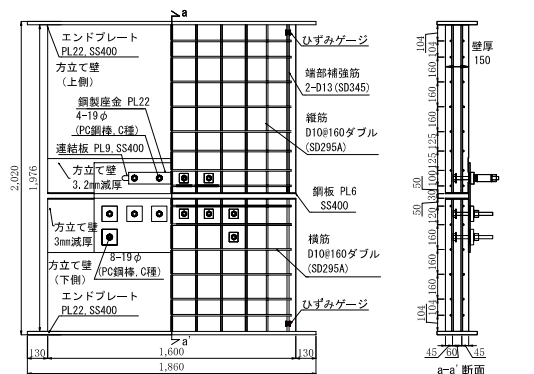
図 1 に試験体形状・配筋を示す。試験体は一般的な共同住宅のバルコニー側方立て壁を想定した実物大モデル(壁厚 150mm, 壁内法高さ 1976mm)とした。縦筋として D10@180 ダブル配筋(SD295A)を、両端に端部補強筋として 2-D13(SD345)を配筋した。横筋は D10@200 ダブル配筋(SD295A)とした。コンクリートは、中高層共同住宅の低層部を模擬するため普通コンクリートとした。壁頭・壁脚には加力用鋼製骨組へ取り付けるため、エンドプレート(PL22, SS400)を設けた。エンドプレートは、縦筋と端部補強筋を挿入するため穿孔し、縦筋、端部補強筋を挿入した後に全周隅肉溶接を施し、それらとエンドプレートと連結した。方立て壁は、壁脚から高さ 873mm の位置で上下に分割し、30mm のクリアランスを設けた上で、摩擦ダンパーを構成する鋼板(PL9, SS400)を用い連結した(以降、連結板と称す)。連結板下部と下側方立て壁は、壁中に埋め込み機械式定着させた PC 鋼棒 19φ(C 種)により摩擦接合(導入張力 125~180kN/本)し固定した。連結板と方立て壁の間に約 0.6 のすべり係数を発揮させるために、純アルミ板(厚さ 2.0mm, A1050P-H24)を



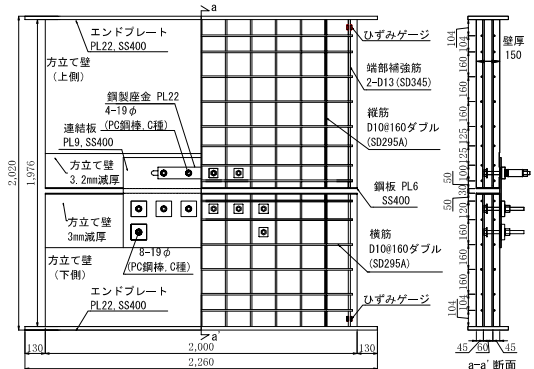
(a) Fc21 試験体



(b) T40, T80, T160, T240 試験体



(c1) L1600 試験体



(c2) L2000 試験体

図 1 試験体の形状寸法・配筋

挿入し圧着した。連結板上部には、長孔(30φ×長さ 610mm)を設けボルトとの接触なく水平方向に摺動が生じるようにした上で、上側方立て壁に埋め込み機械式定着させた 4-M20(普通ボルト), 又は 4-19φ(PC 鋼棒, C 種)により締め付けた。摩擦ダンパー部での

ボルトの位置は、その摩擦力が壁内法高さの半分の高さ、すなわち曲げモーメントの反曲点位置に生じるように設定した。さらに、連結板(外側)と鋼製座金(PL22, SS400)との間に、同種金属間の焼き付きを防止し安定した摩擦力を発揮させるため摺動材として高強度アルミ板(厚さ 3mm, A7075P-T351, JIS H4000)を挿入した。当該摩擦ダンパーでは、方立て壁と連結板との間の摩擦力に加え、連結板と高強度アルミ板摺動材との摩擦力を締め付けボルトのせん断抵抗により方立て壁に伝達できる特徴を有している。鋼製座金は、摩擦接触面の拡大を図るため 22mm 厚の鋼板とした。ボルト締め付け部には、皿ばね座金(M20 軽荷重用 1 種, JIS B1251)を 2 枚並列に重ねて挿入し、繰り返し摺動に伴うボルト張力低下の緩和を図った。摩擦ダンパー部の方立て壁摩擦面には鋼製型枠脱型面を使用し、摩擦接触面を限定するため各ボルトの周囲(75mm 角)を残した上で、上壁板の底面から上方向へ 225mm の範囲を減厚した。連結板の摩擦面には未発錆の黒皮未除去面を、高強度アルミ板の摩擦面には圧延面を使用した。試験体の材料強度試験結果を表 1, 表 2 に示す。

実験条件として、3 つの試験グループの実験を行った。

①Fc21 試験体: 研究目的(1)を確認するため、摩擦ダンパー部の締め付けボルト張力として、曲げせん断ひび割れ発生時せん断力の上限値を 100kN と見なし、既往の実験結果に基づきすべり係数を 0.8 と想定し、初期ボルト張力 32kN/本を導入した。

②T40, T80, T160, T240 試験体: 研究目的(2)を確認するため、摩擦ダンパー部の締め付けボルト 4 本に導入したボルト張力の総和を 40, 80, 160, 240kN の 4 レベル(T40, T80, T160, T240 試験体)を設定した。それぞれのボルト張力のレベルは、方立て壁を無損傷(T40)、軽微な損傷は許容するものの端部補強筋は未降伏(T80)、摩擦ダンパーを摺動させず方立て壁を曲げ破壊(T240)、T80 と T240 の中間の摩擦力を発揮した場合の損傷状態の確認(T160)をそれぞれ企図し設定した。なお、T160 試験体は、実験終了後概ね無損傷であった T40 試験体を再利用し加力実験を行った。

③L1600, L2000 試験体: 研究目的(3)の確認するため、壁面上にひび割れ損傷が生じる場合の壁負担せん断力、端部補強筋の引張降伏時の壁負担せん断力、及びそれら損傷発生状況に応じた荷重変形復元力特性の把握を目的とし、両試験体について導入ボルト張力の総和を 80, 160, 320kN に増加した T80, T160, T320 test run を実施した。

(2)加力方法, 及び計測方法

図 3 に加力装置を示す。加力は試験体を上下の加力桁に取り付け、上部加力桁に接続した 750kN 静的アクチュエータにより水平力を作用させた。反力床に固定した下部加力桁とアクチュエータを接続した上部加力桁とは 2

表 1 コンクリートの圧縮試験結果

試験体名	材齢(日)	単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )
Fc21	64	22.5	27.0	22.8

試験体名	材齢(日)	単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )
T40, T160	77	22.0	35.0	26.6
T80	106	22.1	39.8	29.5
T240	145	22.1	37.1	27.7

試験体名	材齢(日)	単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )
L1600	83	22.5	48.3	33.7
L2000	127	22.4	47.4	29.1

表 2 鉄筋等の引張試験結果  
(a)Fc21, T40, T80, T160, T240 試験体

使用部位	径・厚さ	材質	降伏点(N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )
端部補強筋	D13	SD345	377	584	183
縦・横筋	D10	SD295A	349	462	180
連結板	PL9	SS400	321	434	197
摺動材	3mm	A7075P	553	587	71.1
純アルミ	2mm	A1050P	119	123	71.5

(b)L1600, L2000 試験体

使用部位	径・厚さ	材質	降伏点(N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数(kN/mm <sup>2</sup> )
端部補強筋	D13	SD345	379	547	171
縦・横筋	D10	SD295A	362	483	170
連結板	PL9	SS400	424	479	190
摺動材	3mm	A7075P	553	587	71.1

本の鋼製柱(PL25×幅 400mm, SM490)で支持し連結した。加力は変位制御とし、方立て壁の部材角  $R = \pm 1/400 \text{ rad}$  (層間変位 5mm),  $\pm 1/200 \text{ rad}$  (層間変位 10mm),  $\pm 1/100 \text{ rad}$  (層間変位 20mm) を各 1 回ずつ与えた後に、 $R = \pm 50 \text{ rad}$  (層間変位 40mm) を 5 回繰り返し、再び  $R = \pm 1/100 \text{ rad}$ ,  $\pm 1/200 \text{ rad}$ ,  $\pm 1/400 \text{ rad}$  となる変位を与えた。物理量として、水平力、上・下加力桁間の水平変位差(層間変位)、壁

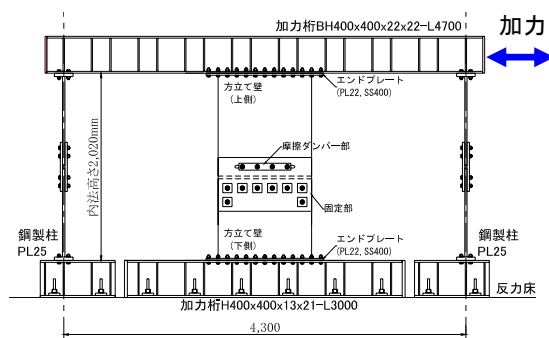


図 3 加力装置

頭・脚部位置での端部補強筋ひずみ，連結板と上部方立て壁との間のすべり変位，連結板固定部の回転とすべり変位，及び摩擦ダンパー一部の締付けボルト張力を計測した。

#### 4. 研究成果

(1)Fc21 試験体の実験結果：壁負担せん断力と層間変位の関係を図4に示す。壁負担せん断力は水平力より鋼製骨組の負担せん断力を除いた値を，すべり係数は壁負担せん断力を初期ボルト張力の総和で除した値を表す。図4に示すように，壁負担せん断力は層間変位の増加に係わらず，約110kNで頭打ちとなり，概ね剛塑性型の履歴ループを示すとともに，R=1/50 サイクル時のすべり変位は層間変位の約88%に達していた。以上の結果より，摩擦ダンパーの摩擦力により壁負担せん断力を制御出来ていたことが分かる。また，計測されたすべり係数の最大値は，想定したすべり係数0.8をやや上回った。

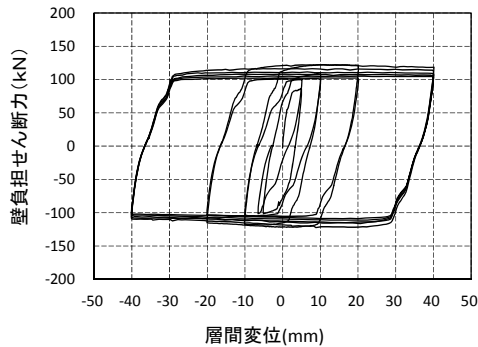


図4 せん断力と変位の関係 (Fc21)

続いて，方立て壁に生じた損傷等を確認するため，実験終了時のひび割れ損傷状況を図5に示す。実験開始前(試験体取り付け時)にエンドプレートと壁板の境界に肌割れが発生するとともに，壁頭・壁脚に曲げせん断ひび割れが生じた。ただし，残留ひび割れ幅はいずれも0.2mm以下となり，鉄筋の防錆上問題となるようなひび割れ幅は残留しなかった。

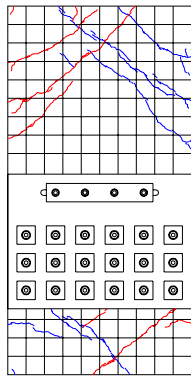


図5 実験終了時の損傷状況 (Fc21)

(2)T40, T80, T160, T240 試験体の実験結果：図6に壁負担せん断力と層間変位の関係を，図7に各サイクル正加力・変位ピーク時の層間変位に占める摩擦ダンパーのすべり変位の割合を示す。図6，図7に示すように，T40, T80 では，摩擦ダンパーが作動し壁負担せん断力の上限を摩擦力で制御できており，R=1/50 サイクルでのすべり変位が層間変位に占める割合は，約98%，92%となり安定したエネルギー吸収能力を示した。T40 では端部補強筋に降伏は生じなかったものの，T80 ではすべり係数が想定より大きく発揮され

たため僅かに降伏する結果となった。一方，T160は，T40, T80に比較し撓動量は少ないものの摩擦ダンパーが作動し摩擦力により壁負担せん断力を制御できていたが，R=1/50(4回目)サイクルの負加力時に壁負担せん断力

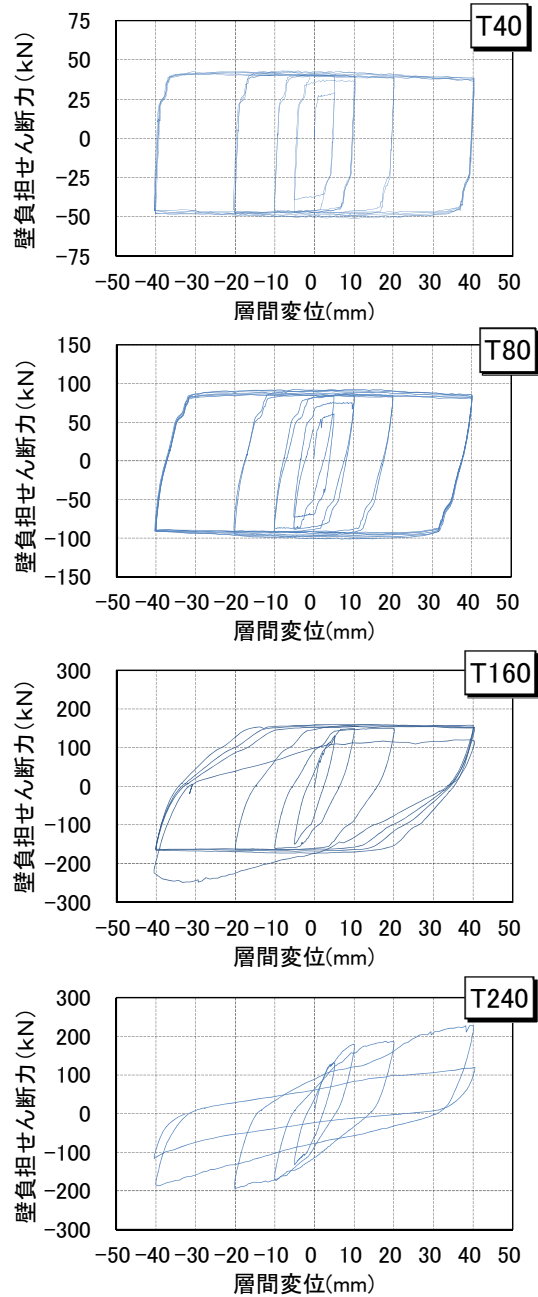


図6 せん断力と変位関係 (T40, T80, T160, T240 試験体)

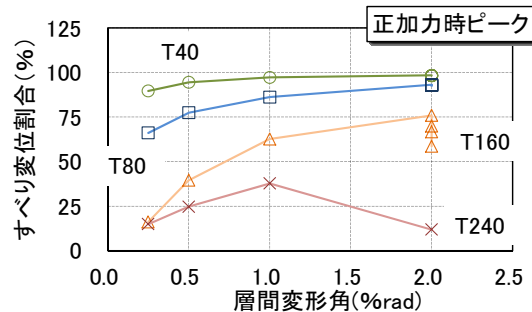


図7 層間変位に占めるすべり変位の割合



が急増した後に耐力低下が生じた。他方、T240は、摩擦ダンパーのすべり変位が層間変位に占める割合が最大で3割程度しか摺動せず、軸拘束のないRC方立て壁と同様の荷重変形特性を示したが、 $R=1/50$ (1回目)サイクルの正加力時に壁負担せん断力が急増した後に、写真1に示す面外への折れ曲がりが生じ耐力低下を起こした。T160の耐力低下もT240と同様の原因により生じた。これは当該方立て壁は、水平スリットにより上下に分割され片面のみ摩擦ダンパーを介し連結されているため、(a)繰返し加力に伴いエンドプレートと方立て壁の肌分かれが累積し、上下方立て壁が伸び上がるにより水平スリット間隔が狭まり、(b)摩擦ダンパー部の締め付けボルトが連結板のボルト長孔下縁と接触し、片側のみ(a)により生じる伸びを拘束したことが原因と推測される。

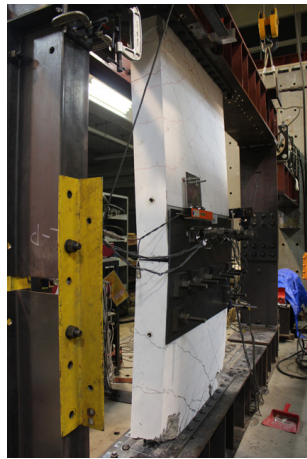


写真1 T240試験体の破壊状況

図8に実験終了時の方立て壁の損傷状況を示す。T40は想定通り、壁頭・脚部のエンドプレートとの肌分かれを除き、壁面にはほとんどひび割れ損傷が生じなかった。T80は壁面に曲げせん断ひび割れが生じたものの、その残留ひび割れ幅は修復が容易な0.2mm以下に抑制され、そのひび割れ長さは $3\text{m}^2$ を下

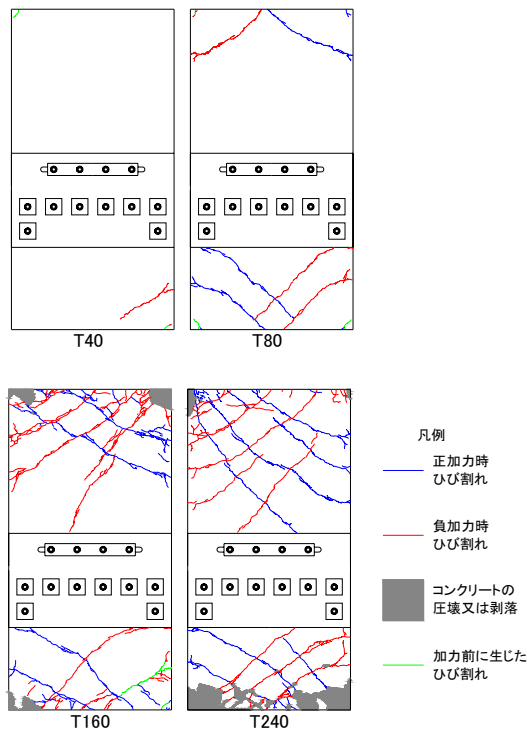


図8 実験終了時の損傷状況 (T40~T240試験体)

回った。より大きな摩擦力を負担したT160では幅0.2mmを超過する残留ひび割れも生じる結果となっており、損傷を抑制した範囲で二次壁の耐力・剛性を利用しようとするRC制振方立て壁の目的を果たしていない。

(3)L1600, L2000試験体の実験結果：図9に壁負担せん断力と層間変位の関係を、図10に実験終了時の損傷状況を示す。

L1600-T80は、下部方立て壁に軽微な曲げせん断ひび割れ(BSC1, 2,  $Q=85.6\text{kN}$ ,  $-88.5\text{kN}$ )が生じたが、概ね90kNの壁負担せん断力を実験終了時まで維持した。L2000-T80は無損傷の状態のまま、概ね110kNの壁負担せん断力を実験終了時まで維持した。L1600-T160は、 $R=\pm 1/400$ (1)サイクル時に上部方立て壁にせん断ひび割れ(SC1, 2,  $Q=209\text{kN}$ ,  $-199\text{kN}$ )が発生し、端部補強筋が壁負担せん断力205kNにて引張降伏した後に、同サイクル中に最大耐力(217kN)を発揮した。L2000-T160は、 $R=\pm 1/400$ (1)サイクル時に上部方立て壁にせん断ひび割れ(SC1, 2,  $Q=223\text{kN}$ ,  $-207\text{kN}$ )が発生し、同サイクル中に最大耐力(223kN)を発揮した。両試験体ともに、最大耐力以降は摩擦ダンパー部の締め付けボルト張力の低下

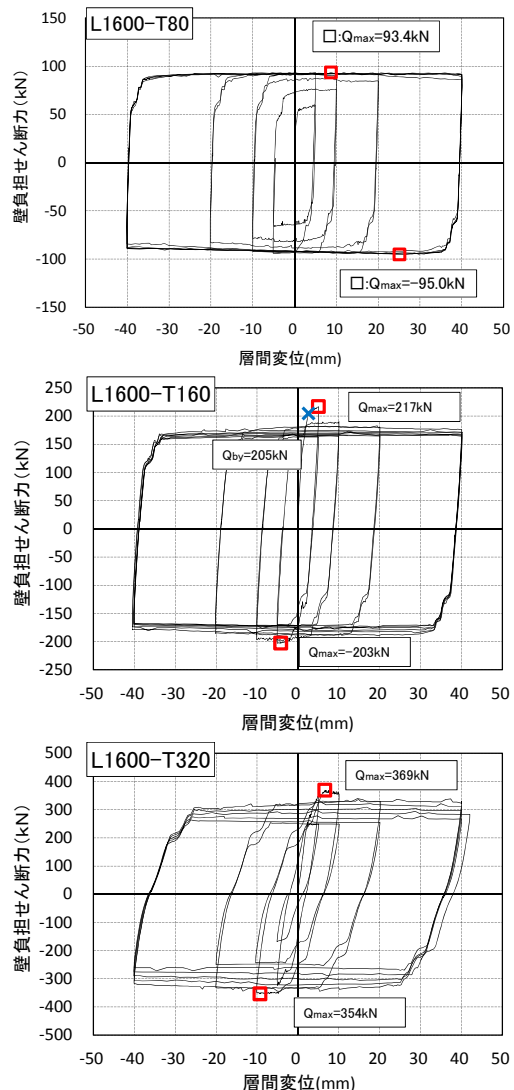


図9(a) せん断力と変位の関係 (L1600)

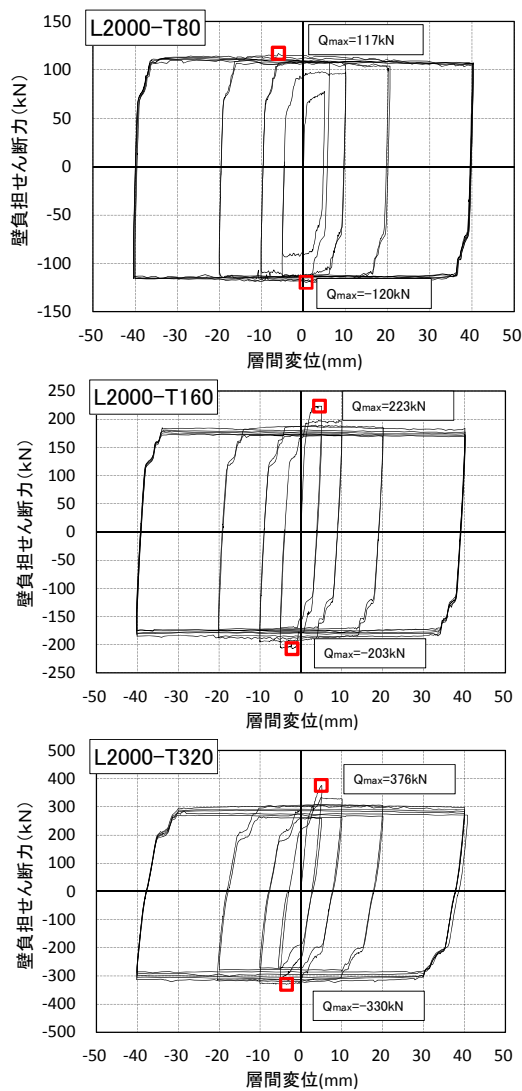


図9(b) せん断力と変位の関係 (L2000)

に伴い壁負担せん断力が減少したが、それぞれ約 180kN, 190kN 以上の壁負担せん断力を実験終了時まで維持した。L1600-T320 は  $R=\pm 1/400$  (1) サイクル時に上部方立て壁に曲げせん断ひび割れが、下部方立て壁にせん断ひび割れが新たに生じ、同サイクル中に最大耐力 (368kN) を発揮した。L2000-T320 は、 $R=\pm 1/400$  (1) サイクル時に下部方立て壁にせん断ひび割れ (SC3, 4,  $Q=302\text{kN}$ ,  $-285\text{kN}$ ) が新たに生じ、同サイクルピーク時に最大耐力 (376kN) に達した。両 test run ともに摩擦ダンパー部の締め付けボルト張力の低下にともない大きく壁負担せん断力が低下した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

①吉岡智和, 吉村拓也, 摩擦ダンパーを用いた RC 制振方立て壁の地震時挙動, コンクリート工学年次論文集, 査読有り, Vol. 37, No. 2, pp. 829-834, 2015. 06.

〔学会発表〕 (計 7 件)

①吉村拓也, 角周作, 吉岡智和, RC 方立て壁の制振デバイス化に関する実験的研究その 2 摩擦ダンパーを適用した RC 方立て壁の水平加力実験, 日本建築学会大会, 2014. 09. 12, 神戸

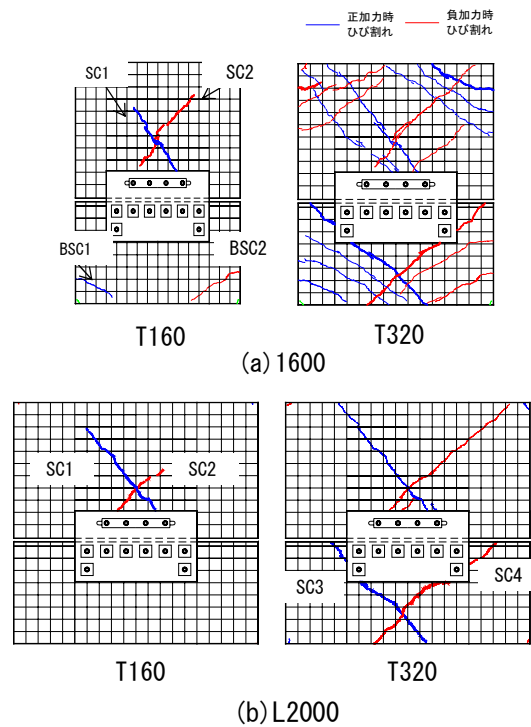


図 10 実験終了時の損傷状況

大学

②高地俊成, 吉村拓也, 吉岡智和, 摩擦ダンパーを用いた RC 制振方立て壁の水平加力実験 (その 1) 実験方法及び実験結果 (ステンレス鋼板を用いた試験体), 日本建築学会九州支部, 2015. 03. 01, 熊本県立大学

③吉村拓也, 高地俊成, 吉岡智和, 摩擦ダンパーを用いた RC 制振方立て壁の水平加力実験 (その 2) 実験結果 (摩擦力を変更した試験体シリーズ), 日本建築学会九州支部研究報告会, 2015. 03. 01, 熊本県立大学

④前田剛志, 畑中優一, 高地俊成, 吉岡智和, 摩擦ダンパーを適用した実大 RC 制振方立て壁の水平加力実験 その 1 実験方法, 日本建築学会大会, 2015. 09. 05, 東海大学

⑤畑中優一, 前田剛志, 高地俊成, 吉岡智和, 摩擦ダンパーを適用した実大 RC 制振方立て壁の水平加力実験 その 2 実験結果, 日本建築学会大会, 2015. 09. 05, 東海大学

⑥高地俊成, 吉岡智和, ステンレス鋼板を用いた摩擦ダンパーを適用した RC 制振方立て壁の水平加力実験, 日本建築学会, 2015. 09. 05, 東海大学

⑦畑中優一, 前田剛志, 高地俊成, 吉岡智和, 摩擦ダンパーを用いた RC 制振方立て壁の水平加力実験 (その 3) アスペクト比 1 の形状を有す RC 制振方立て壁の地震時挙動, 日本建築学会九州支部研究報告会, 2016. 03. 06, 琉球大学

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