

論文 摩擦ダンパー付間柱により補強された RC フレームの動的載荷実験

辻堂 寛子^{*1}・小平 渉^{*2}・勝俣 英雄^{*3}・倉本 洋^{*4}

要旨：意匠上および構造上の設計自由度が大きく、変形性能に優れた外付け制震補強構法の開発を目的として、摩擦ダンパーを組み込んだ間柱と外付け増設鉄骨梁で補強した RC フレームの動的載荷実験を行った。実験変数には外付け増設鉄骨梁の長さを選択した。本論では、増設鉄骨梁の長さが補強効果に及ぼす影響に関する検討結果を示す。

キーワード：外付け制震補強，摩擦ダンパー，増設鉄骨梁，間柱，RC フレーム

1. はじめに

2006年1月に「建築物の耐震改修の促進に関する法律の一部を改正する法律」が施行され、木造および非木造を問わず遅々として進んでいなかった一般住宅の耐震化も漸く進展の兆しが見えてきた。しかし、住宅の耐震化を促進するためには、安価で短工期の住み続けながら補強を可能にするような工法開発が必要不可欠である。特に、これまでほとんど着手されていない既存鉄筋コンクリート (RC) 造共同住宅の耐震補強については、住み続けながら補強に加えて耐震性が比較的低いベランダ側構面の補強を景観や動線を遮ることなく行うことが求められる¹⁾。

そこで筆者等は、限られた建築スペースに施工可能で、強度設定の自由度が大きく、変形性能に優れた低コスト耐震補強部材である摩擦ダンパー付間柱を組み込んだ鉄骨フレームを既存 RC 建築物の外部側面で一体化する工法を考案した²⁾。本論では、当該工法の実用化に資する技術資料を整備することを目的として実施した摩擦ダンパー付間柱と外付け増設鉄骨梁で補強した RC フレームの動的載荷実験の概要を述べると共に、補強 RC フレームの破壊性状と耐震性能およびダンパーの補強効果に及ぼす増設鉄骨梁長さの影響に関する検討結果を示す。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体の形状・寸法を図-1に示す。試験体は RC フレーム、増設鉄骨梁および間柱型摩擦ダンパーにより構成されている。

RC フレームは、既存の RC 造集合住宅の寸法・配筋を原型とし、約 1/3 にスケールダウンしたものであり、梁の曲げ降伏先行型として設計されている。表-1に部材断面詳細、表-2にコンクリートおよび鉄筋の材料特性を示す。

間柱型摩擦ダンパーは、摩擦材をスプラインプレートおよびステンレス板を取り付けた中板で挟みこんだものであり、摩擦材とステンレス板の間に滑りが生じることによりエネルギー吸収が行われるものである。また、摩擦材の締め付けに皿ばねを用いることにより、ボルト軸力を常に一定に保持し、安定した復元力特性を発揮する仕組みとなっている³⁾。なお、摩擦材の滑り荷重は 200kN と設定した。滑りのためのクリアランスは 65mm である。間柱型摩擦ダンパーと RC フレームの接合は梁に外付けされた増設鉄骨梁を介して行い、既存梁と増設鉄骨梁の接合は図-1に示すようにグラウトを介してスタッドおよびアンカー筋で行った。スタッドおよびアンカー筋量は既存鉄筋コンクリート造建築

*1 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)

*2 矢作建設工業 (株) 修士 (工学) (元 豊橋技術科学大学大学院生) (正会員)

*3 (株) 大林組技術研究所 建築振動制御研究室 工修 (正会員)

*4 豊橋技術科学大学 工学部建設工学系 准教授 博士 (工学) (正会員)

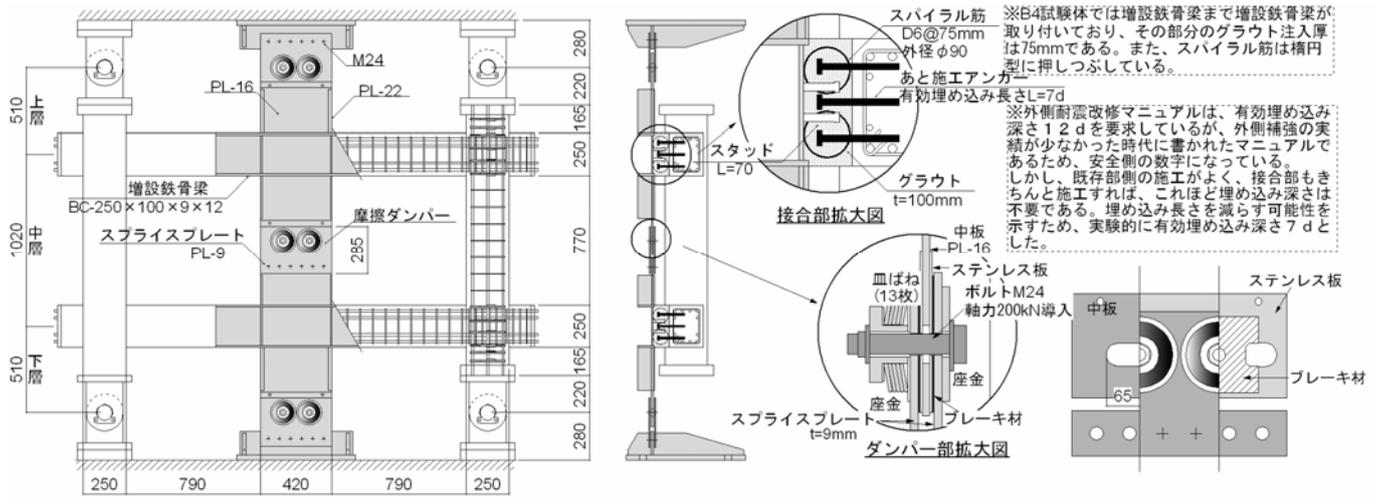


図-1 試験体概要 (例：試験体 B1)

表-1 部材断面詳細

柱	B×D	250×250
	主筋	8-D13(pg=1.62%)
	HOOP筋	2-D4@100mm(pw=0.11%)
梁	B×D	200×250
	主筋	8-D16, 4-D13(pt=2.10%)
	ST筋	2-D6@75mm, pw=0.44%

表-2 材料特性

鉄筋		コンクリート 圧縮強度	グラウト 圧縮強度		
種別	使用部位			降伏強さ	引張強さ
D4(SD295A)	柱帯筋	353	520	19.2	57.8
D6(SD345)	梁あばら筋	379	530		
D13(SD345)	柱・梁主筋	367	544		
D16(SD345)	梁主筋	378	556		
SN490B	増設鉄骨梁	-	-		

単位：N/mm²

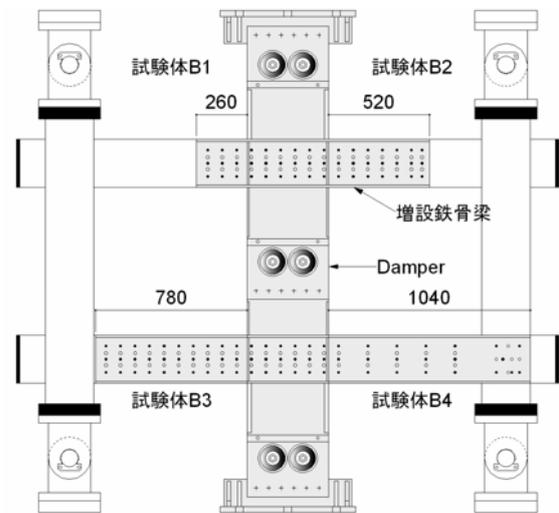
物の外側耐震改修マニュアル⁴⁾に従って決定し、図-2に示すように配置した。

実験には、無補強の試験体 N および補強をした試験体 B1～B4 の計 5 体の試験体を用いた。補強した試験体は、図-2に示すように増設鉄骨梁の長さがそれぞれ異なっている。なお、B4 試験体では柱梁接合部まで増設鉄骨梁が取り付けられているが、その部分の補強方法はグラウト注入厚さが異なる点とスパイラル筋を楕円形に押しつぶした点を除いては、梁部と同様とした。

2.2 荷重方法

荷重装置の概略図および試験体の設置状況を図-3および写真-1にそれぞれに示す。

荷重は鉛直マニュアルジャッキ 2 台により軸力比 0.2 に相当する軸力を両柱にそれぞれ負荷した後、加力梁の水平を維持した状態で動的アクチュエータを用いて水平変位制御により同一振幅で 5 サイクルの正弦波を入力した。その際に用いた振幅は、層間変形角 R_f (図-3 参照) 0.0005, 0.0015, 0.003, 0.005, 0.006, 0.007, 0.010, 0.012, 0.015, 0.017, 0.020, 0.025rad を目標とし



図中の●はアンカーの位置、○はスタッドの位置を示す

図-2 アンカーおよびスタッドの配置

て入力した。ただし、振幅をアクチュエータの内蔵変位計により制御しているため、荷重フレーム自体の変形の影響等により試験体の層間変形角は目標値よりも若干小さなものとなった。また、荷重中は軸力の制御を行っていないが、荷重サイクル毎に荷重前後で値をチェックし、変動している場合には、次荷重前に修正を行っ

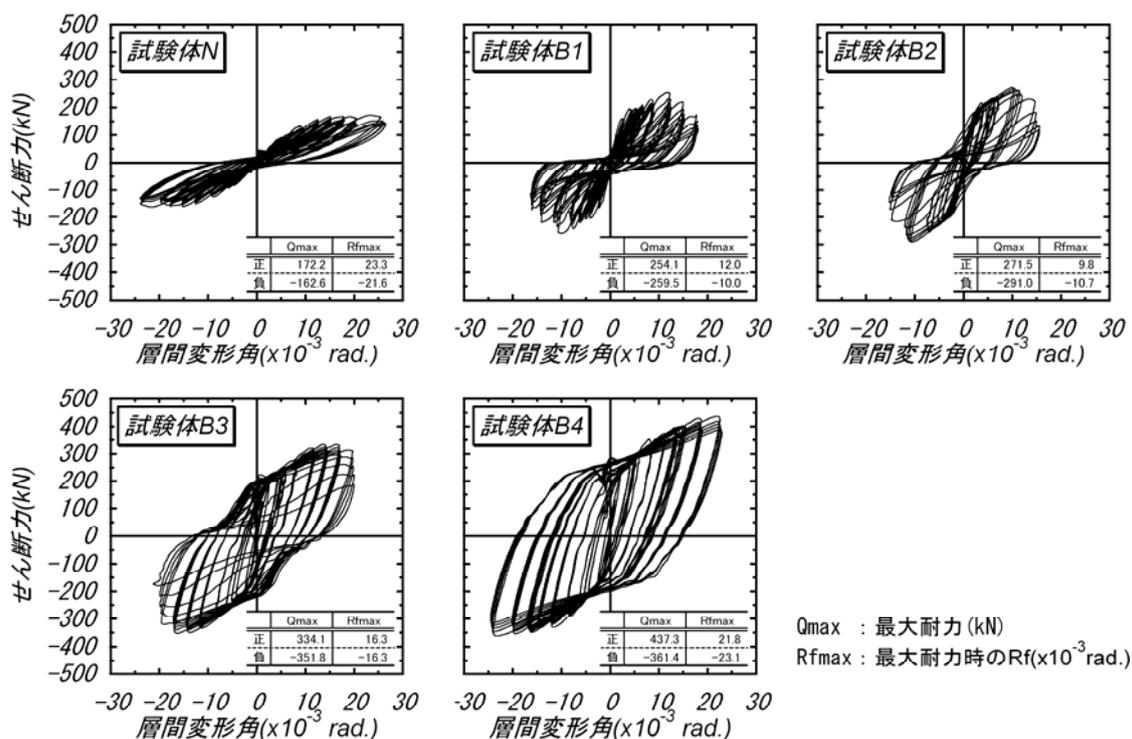


図-5 荷重-層間変形角関係

まで耐力低下は見られず、アクチュエータの性能限界により荷重を 0.025rad. で終了した。また、同サイクルにて柱にひび割れが生じた。

以上示したように、試験体 B1 および B2 は梁のせん断補強筋の降伏が先行するのに対し、試験体 B3 および B4 は梁主筋の降伏が先行している。増設鉄骨梁が短い場合、鉄骨梁を取り付けていない部分に大きなせん断力が作用し、損傷が集中しやすくなることがわかる。

3.2 荷重-変形角関係

図-5 に各試験体の荷重-変形角関係を示す。

補強した試験体は、無補強の試験体 N に比べて最大耐力および剛性は大きく、補強効果が発揮されたといえる。また、試験体 N は鉄筋降伏後においても履歴ループの膨らみが非常に小さいのに対して、補強した試験体は鉄筋降伏以前においても履歴ループの膨らみは大きく補強することでエネルギー吸収能力が向上していることがわかる。しかし、補強試験体はそれぞれ増設鉄骨梁の長さの違いにより履歴性状に顕著な差異が認められた。

試験体 B1 および B2 は、試験体 B3 および B4 に比べて履歴ループの膨らみが小さい。これは

前節で述べたように、荷重初期段階から増設鉄骨梁の取り付けられていない梁端部の損傷の進行が著しく、それに伴い梁中央部の回転によるダンパー部の相対水平変形が小さくなり、結果としてダンパーの摩擦抵抗能力が低下したためと考えられる。

一方、試験体 B3 は試験体 B1 および B2 に比べて良好な履歴性状を呈しており、ダンパーの摩擦抵抗能力が十分に発揮されているといえる。しかし、梁主筋が曲げ降伏した直後から若干であるが履歴にスリップ性状が認められた。

試験体 B4 は、全試験体の中で最も良好な補強効果が発揮された。荷重終了まで耐力低下は認められず、履歴面積も大きく、かつ、履歴にスリップ性状はまったく認められない。

3.3 摩擦面の滑り量

図-6 に試験体 B1, B3 および B4 の正荷重時における荷重サイクル毎の摩擦面に生じた滑り量の推移状況を示す。同図の縦軸は、スライズプレートと中板 (図-1 参照) の相対変位を滑り量として示している。なお試験体 B2 については、 $R_f=0.005$ rad. のサイクルで滑り始めたことを目視で確認しているが、梁端の著しい破壊が原

因で良好な計測データが得られなかったため、同図から除外している。

試験体 B1 の摩擦面は試験体崩壊時まで滑りがほとんど認められなかった。これは増設鉄骨梁が取り付けしていない既存 RC 梁部分のせん断破壊の進行により、梁中央部での間柱による曲げ戻し力よりもダンパーの摩擦力が上回ったためと考えられる。したがって、試験体 B1 の補強効果は増設鉄骨梁と弾性鉄骨間柱のみによるものであるといえる。

試験体 B3 および B4 は、 $R_f=0.005\text{rad.}$ の荷重サイクル時から滑り出し、試験体が崩壊に至る直前までほぼ同様な挙動を示している。試験体 B3 および B4 の履歴性状に差が生じたのは、摩擦ダンパーの影響ではなく増設鉄骨梁の長さが影響したものと推測される。すなわち、試験体 B3 では最終的には梁端部に損傷が集中したのに対して、試験体 B4 では梁全体に損傷が分散されたために全試験体の中で最も良好な補強効果が発揮されたものと推測される。

3.4 減衰特性

図-7 に全試験体の荷重サイクル毎における等価粘性減衰定数の推移状況を比較したものを示す。なお、等価粘性減衰定数は各サイクルにおける2回目の繰り返しで得られた履歴曲線から求めている。

試験体 B1 は、摩擦面の滑りがほとんど生じなかったものの、増設鉄骨梁等の効果により試験体 N に比べて若干であるが大きな減衰を生じている。

試験体 B2 および B3, B4 は、摩擦面の滑りが確認された $R_f=0.005\text{rad.}$ の荷重サイクルより等価粘性減衰定数が急激に増加している。しかし、梁端部の損傷が初期から大きかった試験体 B2 は、他の2試験体に比べて等価粘性減衰定数の増加度合いが小さく、最大で20%程度となった。また、摩擦面の滑り量の推移状況がほぼ同じであった試験体 B3 および B4 は、同様な等価粘性減衰定数の推移状況を示し、 $R_f=0.007\text{rad.}$ の荷重サイクル以降では30%弱の減衰効果が得られて

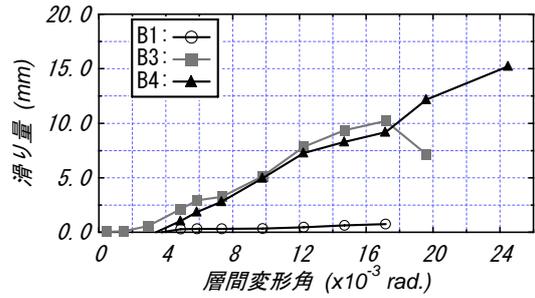


図-6 摩擦材の滑り量

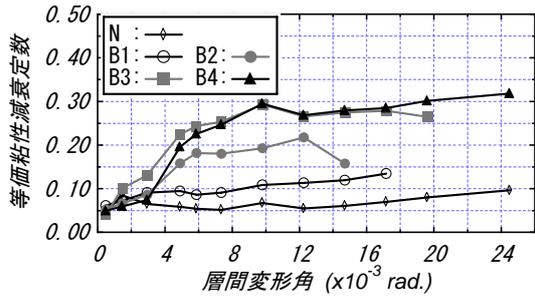


図-7 等価粘性減衰定数

いる。

3.5 梁主筋の応力分布

図-8 に $R_f=0.005$ および 0.010 rad. の荷重サイクルにおける上梁の既存面側の上端主筋の応力分布を示す。図中の太い縦破線は増設鉄骨梁の取り付け範囲を示す。なお、3.1節で述べたように各試験体は $R_f=0.010\text{rad.}$ の荷重サイクルまでは梁主筋の降伏は認められていない。

試験体 N の応力分布はほぼ直線的であり、梁全体に様なせん断力が作用していたものと推測される。また、梁中央付近 (c~f の範囲) においてもある程度の応力が生じていることが認められる。

一方、試験体 B2, B3 および B4 では梁端部の応力分布の勾配が大きく、既存 RC 梁に大きなせん断力が作用していたものと考えられる。また、梁中央付近 (c~f の範囲) では応力がほとんど生じておらず、増設鉄骨梁が概ね有効に作用していたものと判断できる。ただし、増設鉄骨梁の端部付近では若干応力が生じている。これは、既存 RC 梁に生じたひび割れが増設鉄骨梁を接合しているグラウトに伸展することにより、既存 RC 梁と増設鉄骨梁の一体性が低下したためと考えられる。

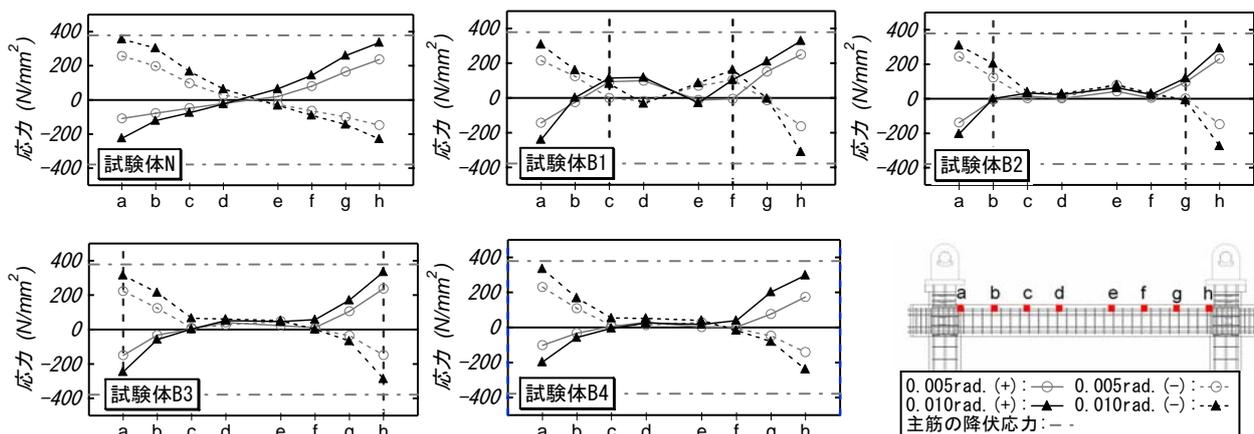


図-8 梁主筋の応力分布

また、試験体 B1 は増設鉄骨梁を取り付けている範囲の応力分布の勾配が試験体 N とは逆となっている。これは既存 RC 梁部分のせん断破壊の進行により梁の剛性が低下し、間柱による梁の曲げ戻しの効果が顕著となったためであると考えられる。

4. まとめ

摩擦ダンパー付間柱と外付け増設鉄骨梁で補強した RC フレームの動的載荷実験を行い、補強 RC フレームの破壊性状と耐震性能およびダンパーの補強効果に及ぼす増設鉄骨梁長さの影響を検討した。

本研究で得られた知見は以下のように要約できる。

- (1) 増設鉄骨梁を既存 RC 梁に取り付けた場合、増設鉄骨梁が取り付いていない既存 RC 梁部分に作用するせん断力が増加するため、当該梁のせん断破壊の防止に配慮する必要がある。
- (2) 増設鉄骨梁を梁全長もしくは柱梁接合部まで取り付けることにより、既存 RC 梁の損傷を分散させることができる。
- (3) 間柱に取り付けた摩擦ダンパーを効果的に作用させるためには、既存 RC 梁の損傷を抑制するような取り付け詳細にすることが肝要である。特に、増設鉄骨梁を既存 RC 梁の全長に配することは効果的である。
- (4) 一方、増設鉄骨梁を全長に配することは梁の

剛性を高め、柱のせん断破壊を助長する可能性も否定できない。従って、補強する際には崩壊形に対する検討も重要である。

謝辞

本研究は、国土交通省平成 18 年度住宅・建築関連先導技術開発助成事業費補助金の交付を受けて実施したものです。また、本研究の実施にあたり、(株)大林組技術研究所・佐野剛志氏には多岐に亘りご助言・ご指導を戴いた。ここに、記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 倉本 洋, 小平 渉, 他 7 名: 粘弾性ダンパー付き間柱を設置した鉄骨フレームの動的挙動, 日本建築学会構造系論文集, 第 606 号, pp.97-104, 2006.8
- 2) 勝俣英雄, 他 3 名: 耐震補修・補強を施した鉄筋コンクリート造フレーム模型の振動台実験, コンクリート工学年次論文集, vol.28-2, pp.391-396, 2006
- 3) 佐野剛志: 高力ボルト摩擦接合滑りダンパーの開発 (その 10 実大間柱型 FSD の性能確認実験) 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.777-778, 2006.9
- 4) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の外側耐震改修マニュアル-枠付き鉄骨ブレースによる補強-, 134pp., 2002.7