

S1-5

東日本大震災における制震補強建物の被災状況 Damage to Retrofitted R/C Buildings by means of Energy Dissipation System

北嶋 圭二
Keiji Kitajima

Abstract: This paper reported on the damage situations to the RC buildings retrofitted by means of energy dissipation system. From the damage situations of the retrofitted buildings of three example, the effect of energy dissipation system were confirmed.

1. はじめに

耐震性能に乏しい既存 RC 造建物にエネルギー吸収部材(制震ダンパー)を取付け、耐震性能を向上させる制震補強構法が開発・実用化され、建物を継続使用しながら補強工事が行える耐震補強工法の一つとして、近年、採用されるケースが増えてきている。

そこで本稿では、今回の地震で比較的大きな地震動が生じた宮城県大崎市、仙台市および福島県郡山市で被災した3件の制震補強建物の被災状況^{1),2),3)}について紹介する。

2. 摩擦ダンパーによる補強建物の被災状況(大崎市)

2.1 建物概要 本制震補強建物は、宮城県大崎市南部に建つ、地上3階、塔屋1階、延床面積2,872m²の1968年竣工のRC造学校校舎(写真1)である。本建物は今回の地震で震度7(計測震度6.6)を記録した築館からは約30km、震度6強(計測震度6.2)を記録した大崎市古川から5~6kmと比較的大きな地震動が記録された地域に位置するが、この地区の計測震度は5.4で震度5強と記録されている⁴⁾。応急危険度判定は“調査済み(青紙)”である。制震補強工事は2007年に実施され、桁行方向が摩擦ダンパー付制震ブレースの外付け工法⁵⁾により補強されている。

2.2 被災状況 本建物は補強工事翌年の2008年に岩手・宮城内陸地震(当該地区は震度5弱)を経験しているが、その際に構造スリットを施した腰壁周辺に軽微なひび割れなどが見られたものの、構造躯体の損傷は認められなかった。今回の地震においては、2008年と同じく構造スリット周辺の軽微なひび割れ(前回地震後未補修のものも含む)等が見られたが、構造躯体本体の損傷は認められなかった。むしろ隣接する建設年代が新しい建物の方がひび割れが多く見られた。

制震ブレースの取付状況を写真2に示す。制震ブレース取付部には、グラウトのひび割れや接合部の滑り等は確認されなかった。摩擦ダンパーの可動部境界で、若干仕上げ塗装が剥がれており、今回の地震において

摩擦ダンパーが1~2mm程度動いたものと推測される(写真3)。建物周辺においては、建物東側の地盤が沈下しており、それに伴って1階テラス部分が50mm程度沈下していた(写真4)。

2.3 補強設計時の時刻歴応答解析結果 補強設計時に採用した入力地震動の加速度応答スペクトル(h=5%)を図1に示す。図中の基本建物とは、既存建物に構造スリットを入れかつ早期にせん断破壊する梁に補強を施した状態の建物を指し、補強建物とは、基本建物に制震ブレースを取付けた状態を指す。基本建物



写真1 被災した大崎市の学校校舎の外観



写真2 制震ブレース取付状況



写真3 摩擦ダンパー可動部



写真4 テラス部分の地盤変状

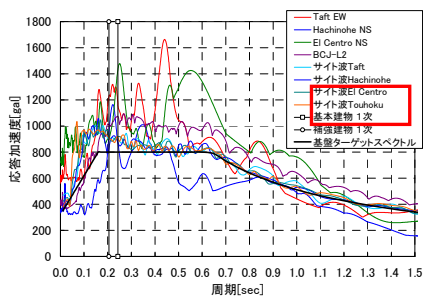


図 1 設計用入力地震動特性 (h=5%)

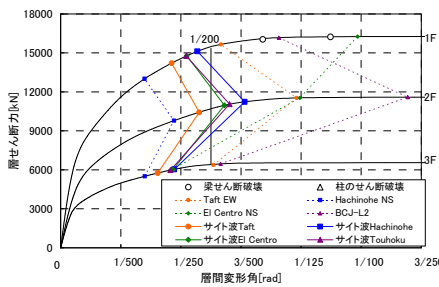


図 2 基本建物の応答解析結果

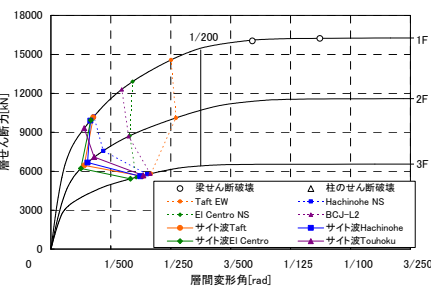


図 3 補強建物の応答解析結果

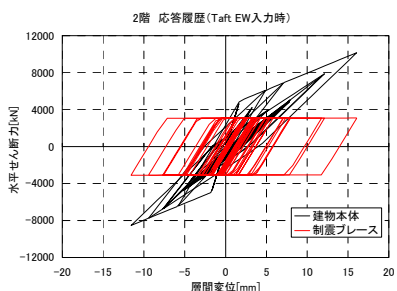


図 4 建物本体と制震ブレースの履歴曲線

の 1 次固有周期は 0.243 秒，補強建物は 0.209 秒である．基本建物と補強建物の応答解析結果を基本建物のスケルトンカーブ上にプロットしたものを図 2 および図 3 に，応答が最も大きかった Taft EW 入力時の 2 階部分における建物本体と制震ブレースの応答履歴を図 4 に示す．

2.4 入力推定と補強効果 1 階に設置してある摩擦ダンパーが 1~2mm 程度動いていたことより，今回の地震による本建物の 1 階の層間変形は概ね 3~4mm (層間変形角 1/1200~1/1000) 程度であったものと予想される．軽微なひび割れ程度しか見られなかった被害状況とも概ね対応している．この応答変形は，補強設計時の応答解析結果 (図 3) のサイト波での応答値を若干下回る大きさであり，そのことより入力地震動レベルを推定すると，補強設計時に採用したサイト波を若干下回る 250~300Gal 程度の大きさであったものと推測できる．この地震動レベルは，この地区の計測震度 5.4 と概ね対応する．

今回の地震を受けても桁行方向にほとんどひび割れが生じていなかった理由としては，制震ブレースによ

る剛性付加の効果が発揮されたものと考えられる．図 4 からわかるように，建物のひび割れ強度とひび割れ発生時の変形レベルが，補強部材の摩擦ダンパーの滑り始める荷重および変形とほぼ同程度であることより，制震補強により補強建物全体のひび割れ強度が 2 倍近く上昇したことになる．その結果，補強設計時に想定した入力レベルより小さな入力を受けた今回の地震では，摩擦ダンパーによるひび割れ抑制効果が十分に機能し，ひび割れ発生による剛性低下 (周期の伸び) に伴ない地震入力エネルギーが増えていく進行性破壊の現象⁶⁾ が生じなかったものと考えられる．

3. オイルダンパーによる補強建物の被災状況 (仙台市)

3.1 建物概要 本制震補強建物は，仙台市北部 (震度 6 強) の丘陵地の下側に建つ，1979 年竣工の 10 階建ての高層住宅である．写真 5 に補強後の建物全景を，図 5 に補強後の 2 階平面図を示す．平面的にはエレベーターホールを境に「く」型に屈折しており，さらに東側の棟で雁行し，立面的には 5 階以上の階で両側がセットバックする複雑な形状を有している．構造形式は，1 階から 6 階までが SRC 造，7 階から 10 階までは RC 造であり，桁行方向がラーメン構造，梁間方向が耐震壁付ラーメン構造である．増幅機構付制震装置 (オイルダンパー)⁷⁾ は，北面の外廊下側の外付け架構 (S 造柱・SRC 造梁) 内に取付けられている．

3.2 被災状況 本建物では，北面外廊下側の玄関脇の方立壁 (幅 700mm×高さ 1,100mm，厚さ 120mm) がせん断破壊し，非構造部材には大きな損傷 (図 6，写真 6) が生じた．しかし，既存主要構造体の柱，梁，耐震壁には，一部の微細なひび割れ (0.2mm 以下) が生じ



写真 5 被災した仙台市の高層住宅の外観

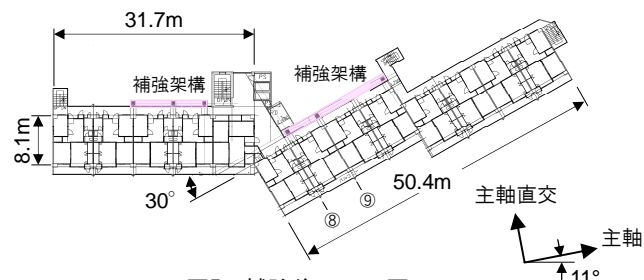
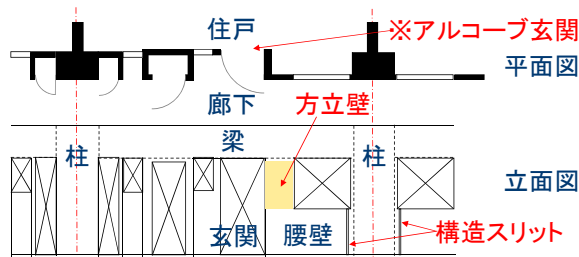


図 5 補強後の平面図



※1978年宮城県沖地震直後からアルコーブ玄関を採用されるようになる
 図6 損傷した方立壁の形状

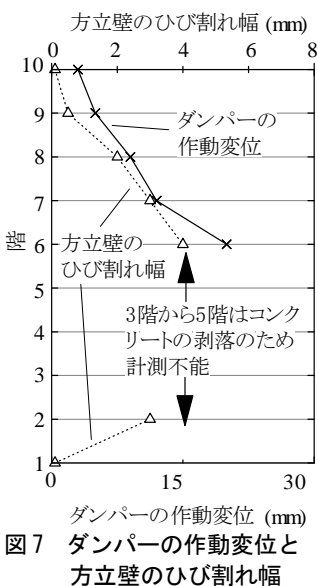


図7 ダンパーの作動変位と方立壁のひび割れ幅

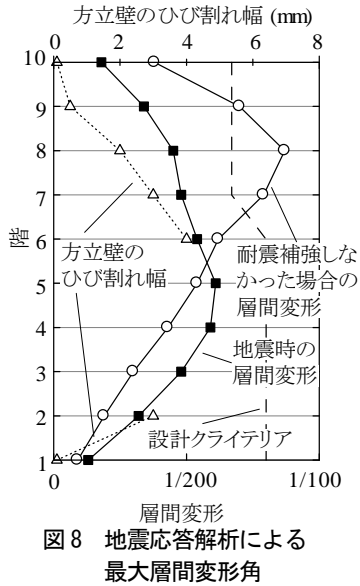


図8 地震応答解析による最大層間変形角

ただで、その他大きな損傷はなく、建物本体は震災以後も継続使用された。また、増設架構および増設架構と既存建物の取付部には損傷は見られなかった。オイルダンパーの作動変位は、ロッドに残る潤滑油の痕跡から調査した結果、6階の作動変位(オイルダンパーは6～10階に設置、6階以下ダンパーなし)が最も大きく20mm程度で、そこから上の階に向かって徐々に小さくなっていったと報告されている(図7)。

3.3 地震応答解析による補強効果の確認 文献2)

では、本建物から約2.6kmに位置する仙台市役所本庁舎で観測された地震動記録⁸⁾を補正して使用し、本制震補強建物の地震時の変形挙動を推定している。図8に地震応答解析結果(桁行方向の最大層間変形角)を示す。図8中には、補強を行わなかった場合の応答値と、現地調査した方立壁のひび割れ幅が合わせて示されている。地震時の変形挙動の推定結果(高さ方向の変形分布)は、方立壁の損傷状況およびダンパーの作動変位の傾向と整合しており、本建物の地震時挙動が概ね再現できている(補強効果があった)と報告されている²⁾。

4. 粘弾性ダンパーによる補強建物の被災状況(郡山市)

4.1 建物概要

本制震補強建物は、福島県郡山市(震度6弱)に建つ、1962年竣工の4階建RC造学校校舎(延床面積:2,424m²)である。図9に補強建物の基準

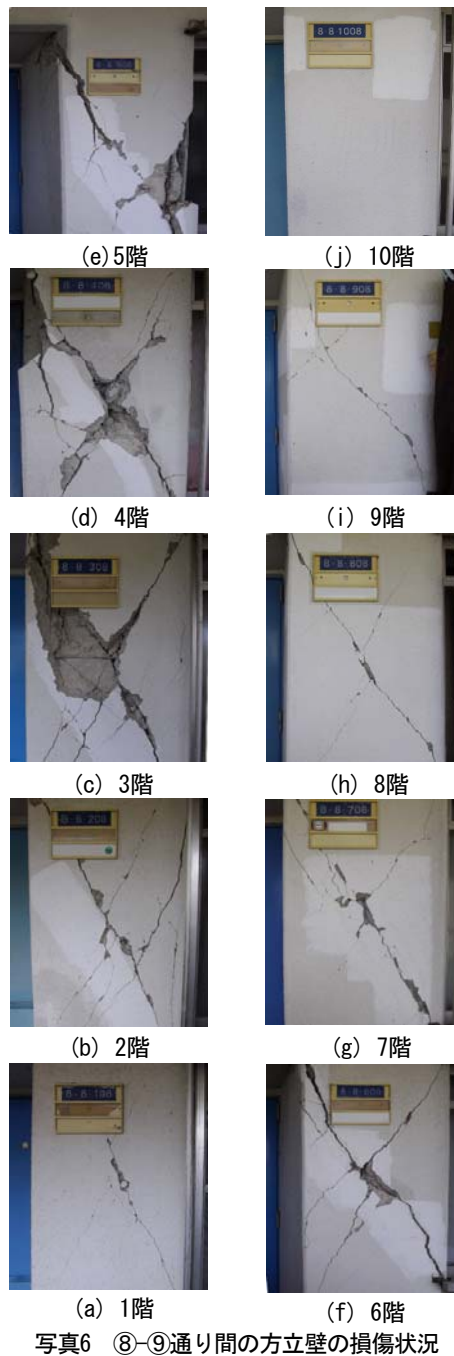


写真6 ⑧-⑨通り間の方立壁の損傷状況

階平面図を示す。梁間方向は耐震壁の設置により偏心を改善し、強度型補強とし、桁行方向は一部の脆性的な部材を解消した上でアクリル系粘弾性ダンパーにより補強されている。補強後建物全景を写真7に、粘弾性ダンパー取付状況を写真8に示す。

4.2 被災状況

本建物の被災状況は、2次壁に軽微なひび割れや、仕上げモルタルの剥落が確認されたが、主要構造部や粘弾性ダンパーの損傷はほとんど見られなかったと報告されている。また、同一敷地内の粘弾性ダンパーによる他の制震補強建物についても大きな被害は見られなかったのに対し、同一敷地内の新耐震後に施工された建物では、開口まわりに比較的大



写真7 被災した郡山市の学校校舎の外観

きなひび割れや、窓ガラスの破損等が見られたと報告されている³⁾。

4.3 地震応答解析による補強効果の確認

文献3)では、地動最大速度を50cm/sに規準化した既往3波および東北地方太平洋沖地震における郡山市観測波 FKS018 (防災科学技術研究所 K-NET による)のNS方向,EW方向の合計5波を用いた地震応答解析を実施し、解析結果から補強効果を確認している。図10に地震応答解析によって得られた補強前後の最大応答層間変形角を示す。図10(a)はダンパーを考慮しない場合(補強前)、(b)はダンパーを考慮した場合(補強後)である。最大層間変形角は、補強前では最大で約1/70 rad.程度、補強後では概ね1/200 rad.以内となっており、郡山市における観測波 FKS018 の応答はNS,EW方向共に、概ね既往3波と同等であったと報告されている³⁾。

5. まとめ

以上、本稿では制震補強された既存RC造建物の地震被災状況について記した。ある特定の制震補強建物の被災状況ではあるが、いずれの建物においても補強設計時に想定していた補強効果が確認されたと報告されている。

一方、高層住宅の制震補強建物では、非構造部材である方立壁に大きな損傷が生じ、住民に不安な思いを与えた。方立壁の損傷は、制震補強が原因で生じたのではなく、建物の変形レベルと部材損傷レベルの関係に基づくものであるが、今後、補強目標性能の設定および補強後の耐震性能の評価に際しては、十分に配慮しなければならない項目であると考えられる。

謝辞

本稿を作成するにあたり、飛鳥建設株式会社 久保田雅春氏、高瀬裕也氏、株式会社鴻池組 関谷英一氏から制震補強

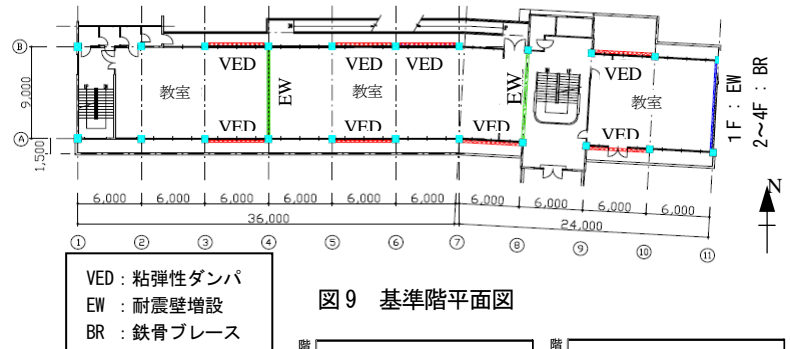


図9 基準階平面図



写真8 ダンパー取付状況

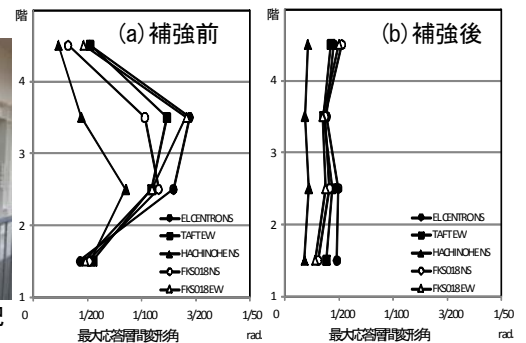


図10 最大応答層間変形角の比較

建物の情報および資料を提供して頂きました。ここに記し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 北嶋圭二ほか：摩擦ダンパーによる制震補強建物の被災状況と強震観測記録について，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造IV，pp.57-60，2012.9
- 2) 高瀬裕也，久保田雅春ほか：増幅機構付制震装置で耐震補強された10階建高層住宅建築物の補強効果に関する考察，日本建築学会技術報告集，Vol.18，No.39，pp.535-540，2012.6
- 3) 関谷英一：粘弾性ダンパによる制振補強を施したRC造校舎の例，早稲田大学理工学研究所「第6回粘性系ダンパによる既存建築物の制振補強設計に関するシンポジウム」2011.12
- 4) 気象庁：平成24年4月地震・火山月報(防災編)付録2.「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」による各地の震度，2011.4
- 5) 北嶋圭二：外付け制震ブレースを用いた耐震補強工法，建築技術，Vol.651，pp.160-165，2004.5
- 6) 横内基，北嶋圭二，中西三和，安達洋，青山博之：制震補強された実在鉄筋コンクリート造校舎の補強効果に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，No.592，pp.145-152，2005.6
- 7) 石丸辰治，新谷隆弘，久保田雅春，秦一平：増幅機構を用いた制震構造システムに関する研究，第10回日本地震工学シンポジウム，pp.31-34，1998.11
- 8) 妹尾嘉章，高瀬裕也ほか：トグル制震構法で耐震補強された仙台市役所本庁舎の地震観測，—その1—2011年東北地方太平洋沖地震における地震動記録一，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造II，pp.43-44，2011.8