

# 東北地方太平洋沖地震を受けたRC造建物における制振補強効果

## Earthquake Response of Reinforced Concrete Building with Visco-Elastic Damper in the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

関谷 英一\*1

Eiichi Sekiya

### 要旨

兵庫県南部地震が発生した1995年以降、1981年の建築基準法改正以前（新耐震以前）の建物の耐震診断および耐震補強が進められ、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震の発生に伴い、耐震診断・耐震補強への関心は一般にも広がっている。耐震補強工法には耐震壁や鉄骨ブレースによる強度型補強が一般的であるが、近年では粘弾性ダンパーやオイルダンパー等の制振装置による補強例も増加している。本報告では粘弾性ダンパーおよび耐震壁によって補強した福島県郡山市にあるRC造学校校舎の補強概要を示す。また、東北地方太平洋沖地震において、建物近傍で観測された地震波により補強建物の地震応答解析を行い、補強効果の検証結果を示す。

キーワード：東北地方太平洋沖地震 耐震補強 粘弾性ダンパー

## 1. はじめに

兵庫県南部地震が発生した1995年以降、耐震性能に問題のある既存建物の耐震安全性を向上させることが急務とされ、近年では学校や庁舎等の公共建物のみならず、一般建物においても耐震診断・耐震補強が進められている。一般的に、低層RC造建物の耐震補強には、鉄骨ブレースや耐震壁の増設による強度型の補強が多いが、本報告では、福島県郡山市にある低層RC造の学校校舎を粘弾性ダンパーと耐震壁（一部、鉄骨ブレース）により補強した耐震補強例の概要を示す。<sup>1),2)</sup> また、2011年3月11日に発生した

東北地方太平洋沖地震において郡山市で観測された地震波を用いた地震応答解析による検討結果、および地震後の状況について記述する。

## 2. 補強概要

補強建物は1962年に建設された4階建てRC造の学校校舎であり、建築面積は766.41㎡、延床面積は2424.17㎡である。建物の平面形状は長手方向に6m×10スパン、短手方向が9m×1スパンの建物である。2004年に実施した現地調査および耐震診断の結果、各階のコンクリート圧縮強度

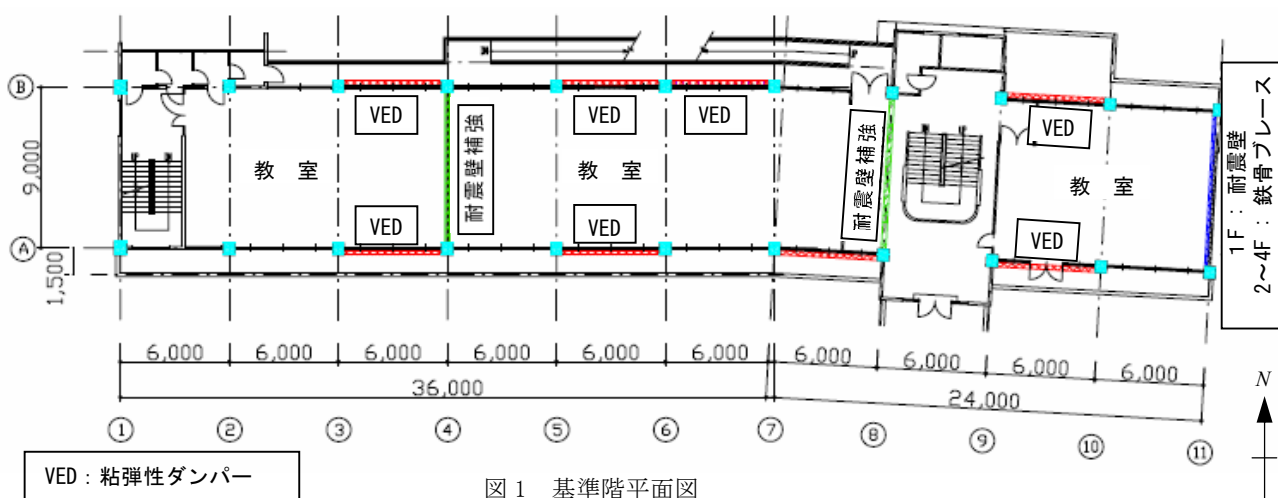


図1 基準階平面図

\*1 東京本店 建築設計部

は設計基準強度  $18 \text{ N/mm}^2$  に対して、平均で  $19.6 \sim 23.5 \text{ N/mm}^2$  であった。梁間方向で偏心により形状指標が  $0.65$  と低く、部分的に脆性的な部材が存在したこともあり、構造耐震指標  $I_s$  は両方向共に  $0.3$  程度となった。経年指標  $T$  は  $0.95$  と判定された。補強方針は、図 1 に示すとおり、梁間方向については耐震壁の設置により偏心を改善し、強度型補強とし、桁行方向については一部の脆性的な部材を解消した上で粘弾性ダンパーによる補強とした。

補強建物の主架構断面を表 1 に示す。柱断面は 1 階のみ大きく、大梁断面はハンチがある。耐震診断時には主架構については大きな損傷や劣化は確認されていない。写真 1 に補強前後の全景写真を示す。妻側 1 階に耐震壁を増設し、桁行き方向にダンパーブレースを設置した。

表 1 補強建物の柱梁断面

階	柱断面 X×Y	梁断面 (幅×せい)	
		梁間方向	桁行方向
4	600×650	400×850 (750)	350×750
3	600×650	400×850 (750)	350×750
2	600×650	400×950 (850)	350×750
1	650×750	400×950 (850)	400×750

単位はmm、( )内は中央部断面



(a) 補強前



(b) 補強後

写真 1 全景写真 (北東より)

写真 1 の妻壁 2~4 階に見えるのが建築主の要望により保存することとなったレリーフであるが、貝殻等を貼り付けて作られているため、老朽化に伴い工事振動で落下する恐れがあった。そのため、鉄骨ブレースの増設工事にあたっては、薄い透明の樹脂を吹き付け、落下防止対策を図った。

### 3. 粘弾性ダンパーの概要<sup>3),4)</sup>

図 2 に粘弾性ダンパーの端部詳細図例を示す。一方の端部のボルト孔をルーズホールとし、大地震時には高力ボルト (HTB) が滑り、設定以上の応力がダンパーおよび周辺部材に発生しない仕組み (リリース機構) となっている。また、ダンパーの両端部には面外応力が生じないように球面軸受けを採用している。本建物では表 2 に示す形状のアクリル系粘弾性ダンパーを使用した。

表 2 粘弾性ダンパーの形状

階	設置数	粘弾性体の形状			
		幅 mm	長さ mm	厚さ mm	層数
4	8	280	1300	6	4
3	16	280	1300	6	6
2	16	300	1300	6	6
1	16	325	1200	6	6

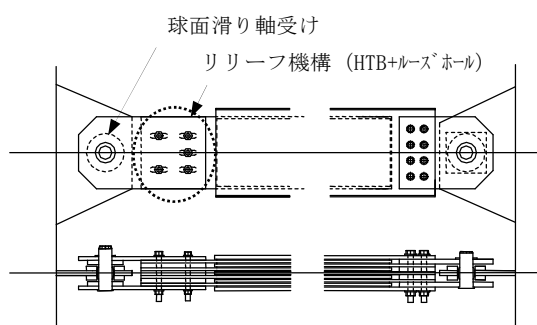


図 2 ダンパー端部詳細図



写真 2 粘弾性ダンパー設置状況

## 4. 地震応答解析

### 4.1 地震応答解析の概要

建物は、1階柱脚固定とした4質点系等価せん断モデルとする。スケルトンカーブの設定は荷重増分解析から得られたQ- $\delta$ 曲線を各層毎に独立した3折線にモデル化し、履歴特性は剛性逓減型 Tri-Linear モデル（武田モデル ( $\gamma=0.4$ ))とした。また、減衰については瞬間剛性比例型、 $h=3.0\%$ とした。

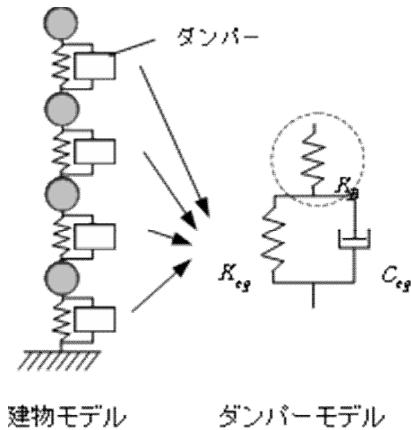


図3 建物モデル

粘弾性ダンパーのモデル化はフォークトモデルとし、設定温度は20度とした。取付けバネについては剛性のみを評価し、リリース機構は考慮しなかったが、解析の結果、ダンパーの最大応答荷重がリリース荷重を僅かに超える程度であったため大きな影響は無いと判断した。

入力地震波は最大速度を50[cm/s]に規準化した既往観測波3波 EL CENTRO 1940 NS(1940年 Imperial Valley 地震, El Centro 観測波 NS 成分)、TAFT 1952 EW (1952年 Kern County 地震, Taft 観測波 EW 成分)、HACHINOHE 1968 NS (1968年十勝沖地震, 八戸港湾観測波 NS 成分)、および東北地方太平洋沖地震における本建物の近傍で観測された郡山市観測波 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。

FKS018の加速度時刻歴と、 $h=5\%$ 、 $10\%$ 、 $20\%$ における応答スペクトル(変位、擬似速度、および擬似加速度)を図4、図5に示す。

NS方向については、約90秒から約140秒にかけて200gal程度の揺れが継続し、最大で745galを記録している。EW方向については約105秒から約135秒にかけて400gal程度の揺れが継続し、最大で1069galと非常に大きな加速度を記録していることがわかる。

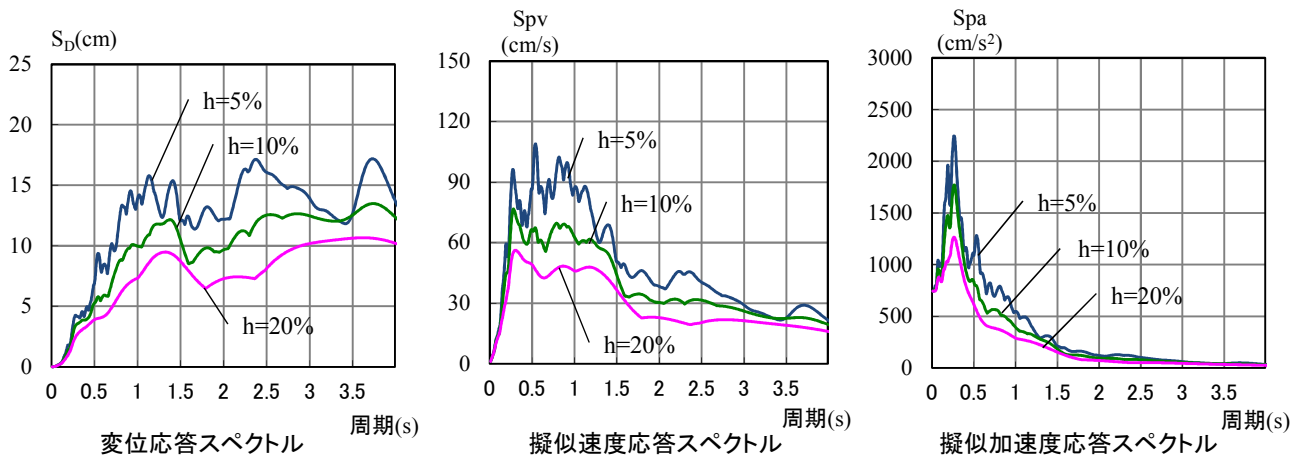
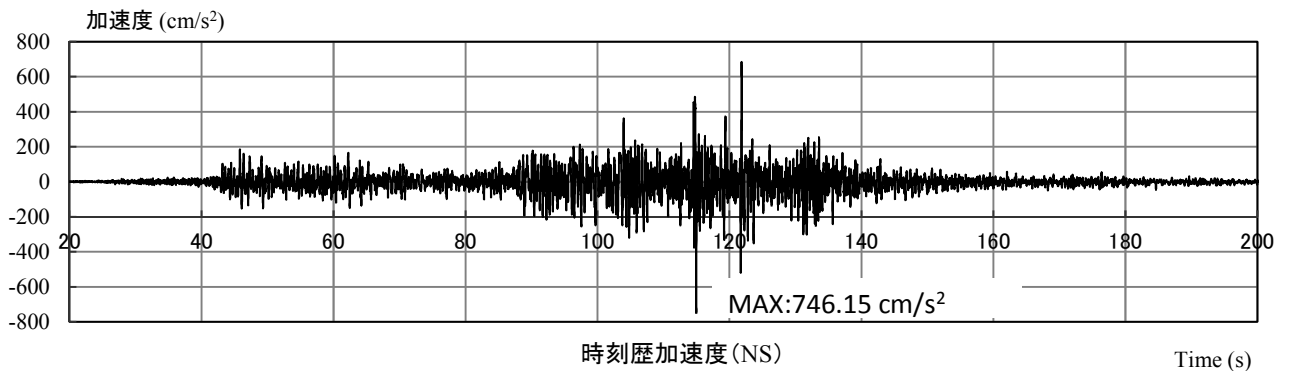


図4 FKS018 NS 成分の時刻歴加速度および応答スペクトル

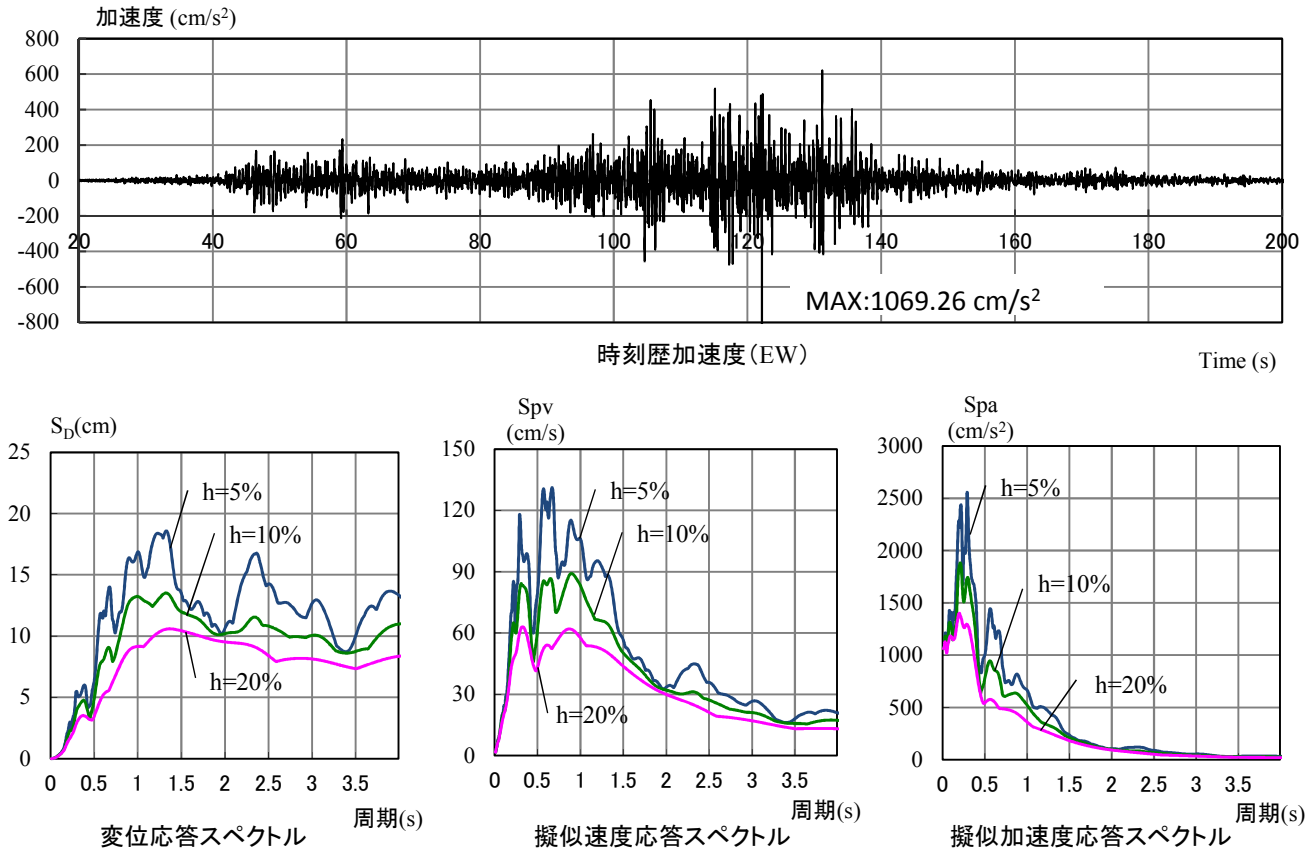
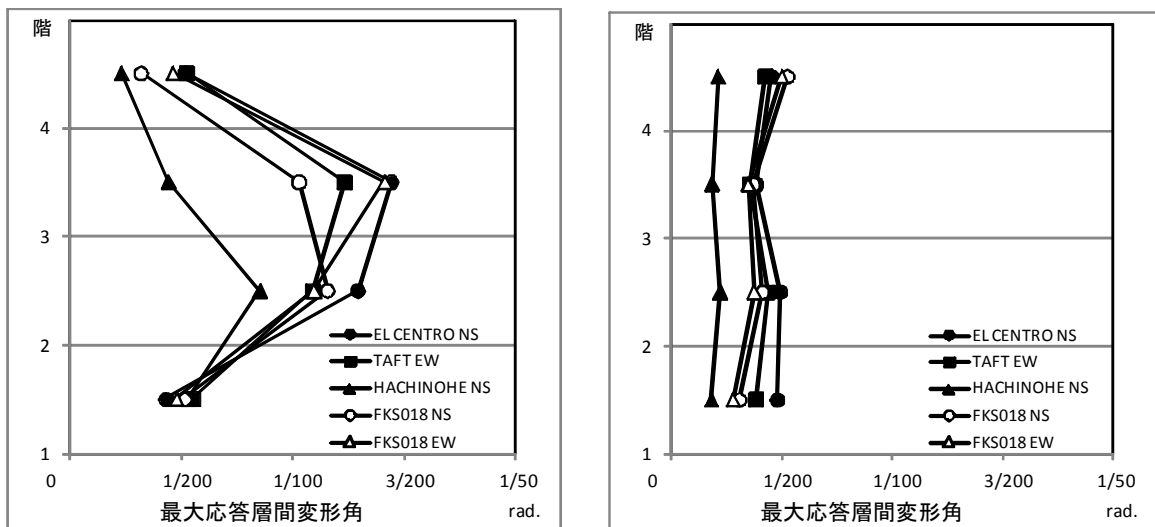


図5 FKS018 EW成分の時刻歴加速度および応答スペクトル

#### 4.2 地震応答解析結果

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図6に示す。(a)は補強前(非制振)、(b)は補強後(制振)である。最大層間変形角は、補強前では最大で約1/70rad.程度、補強後では概ね1/200rad.以内となった。

また、郡山市における観測波 FKS018 の応答はNS、EW方向共に、概ね既往観測波と同等であった。5章に示すが、本建物の地震後の状況が、軽微なひび割れ程度であったことから、解析で得られた応答変形は、概ね妥当であると考えられる。



(a) 補強前 (非制振)

(b) 補強後 (制振)

図6 補強前後の最大応答変形角

## 5. 東北地方太平洋沖地震後の状況

本建物の同一敷地内の校舎は、平成15年に実施した耐震優先度調査の結果を踏まえ、新耐震以前の建物は全て耐震診断・耐震補強を実施し、平成21年までに耐震化率100%を達成している。また、建築主の、少しでも耐震性能を高めたいという意向により、多くの建物で粘弾性ダンパーによる補強を採用している。

粘弾性ダンパーによる補強を施した本建物の被害状況は、非構造壁の軽微なひび割れや、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殆どなかった。また、同一敷地内の粘弾性ダンパーによる他の制振補強建物についても、主要構造部については大きな被害は無く、ひび割れの補修等による復旧工事のみであった。



写真3 地震後のダンパー状況（被害なし）



写真4 非構造壁のひび割れ状況

一方で、1981年の建築基準法改正以後（新耐震後）に施工された建物の一部では開口まわりに比較的大きなひび割れの発生や、窓ガラスの破損等が確認された。これは、建設当時は、現在のように構造スリット等を設け、非構造壁に過大な応力を発生させない設計上の考え方が確立されていなかったことが一因ではないかと考えられる。これらの損傷については、主架構そのものに損傷はないため、構造上は比較的軽微な損傷といえるが、直ちに建物を使用することは困難であり、復旧工事に比較的時間を要した。このような損傷については、本敷地内のみならず、郡山市内の各所で見受けられた。



写真5 新耐震後建設建物の被害状況

## 6. まとめ

本報告では福島県郡山市にある低層RC造の学校校舎を粘弾性ダンパーと耐震壁の増設により補強した耐震改修例を示し、地震応答解析結果および地震後の状況について記述した。粘弾性ダンパーによる制振補強の結果、既往観測波3波および東北地方太平洋沖地震観測波（郡山市）に対する地震応答解析では層間変形角  $1/200$  rad.程度の応答結果となることを確認した。被害状況が軽微であったことから、応答結果は概ね妥当な評価であると考えられる。

震度6弱を記録した東北地方太平洋沖地震、および、その後の度重なる余震に対して、本建物をはじめ、同一敷地内における新耐震以前のすべての補強建物には大きな被害が発生していないことも確認され、その補強効果を発揮したものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 関谷英一：粘弾性ダンパーを用いた RC 造建築物の耐震補強例、第 5 回高減衰構造物に関するシンポジウム、pp. 88-93、2004. 6
- 2) 関谷英一、壁谷澤寿成、曾田五月也：粘弾性ダンパーによる制振補強を実施した既存 RC 造建物の付加減衰評価(その 1)、(その 2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 773-776、2006. 9
- 3) 曾田五月也、和田純一、平田裕一、山中久幸：繰り返し加力実験にもとづく粘弾性ダンパーの力学モデルの構築、日本建築学会構造系論文集、pp. 29-36、1994. 3
- 4) 森裕重、黒木安男、樫原健一：粘弾性ダンパーを用いた CFT 造超高層住宅(5)、(6)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1107-1110、1999. 9

#### 謝辞

本報告は、早稲田大学理工学研究所プロジェクト研究「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 年東北地方太平洋沖地震の経験を踏まえて—」に投稿した論文に加筆したものである。プロジェクト研究の代表である曾田五月也教授（早稲田大学）およびプロジェクト関係者には貴重なご意見を賜りました。ここに御礼申し上げます。

防災科学技術研究所 K-NET 郡山（FKS018）を使用しました。ここに御礼申し上げます。