

アウトフレーム連結制振構法による耐震補強（その2）

Seismic Retrofit of Building Structures by Out-framed Viscous Damping System

片岡 隆広*1 太田 崇士*1 黒木 安男*1
Takahiro Kataoka Takashi Ohta Yasuo Kuroki

要旨

耐震補強工事において、「ながら施工」「建物外部のみでの施工」に対するニーズは非常に高い。そこで、こうしたニーズに応えるべく「アウトフレーム連結制振構法」（以下、本構法）を開発した。本構法の理論背景は、前報²⁾で報告した。本報告では、最初の適用物件である「Y社研修所耐震補強工事」を例に挙げ、実際の設計及び施工について報告する。「Y社研修所耐震補強工事」の実施設計及び施工経験を通じ、本構法が既存建物の有効な耐震補強構法であることを確認することが出来た。

キーワード：耐震補強 連結制振 アウトフレーム ダンパー

1. はじめに

東海・東南海・南海地震などの巨大地震発生の可能性が指摘される昨今、学校・病院を中心に、建物の耐震補強を実施する動きが目立っている。また、2006年1月に施行された改正耐震改修促進法がその動きに拍車をかけている。このような状況の中、様々な耐震補強工法が提案されているが、「ながら施工」「建物外部のみでの施工」に対するニーズは非常に高く、耐震壁の増設や枠付き鉄骨ブレース工法といった従来の耐震補強工法では対応出来ないケースが急増している。

当社では、こうしたニーズに応える目的で、「アウトフレーム連結制振構法」を開発し、本構法の理論的背景については、前報²⁾において紹介した。本報告では、実施物件である「Y社研修所耐震補強工事」を例に挙げ、実際の設計及び施工について紹介する。

2. 構法概要

本構法は、新設架構（アウトフレーム）と既存建物をオイルダンパー等のジョイントダンパーによって連結し、ジョイントダンパーに地震エネルギーの大部分を吸収させ、既存建物の損傷を軽減させる耐震補強工法である。理論的には、高層RC造建物等で実用化されている二棟連結制振システム⁴⁾⁵⁾を、耐震補強に応用したものである。本構法の特長は以下の通りである。

- ① 工事の大半を建物外部で行うため、「ながら施工」が可能である。（施工）
- ② アウトフレームによって、外観を刷新することが出来る。（デザイン）
- ③ 建物利用者が移転・引越しをする必要が無く、トータルコストの低減が可能である。（コスト）
- ④ ダンパー設置に伴う高減衰化により、信頼性の高い耐震性能向上効果が得られる。（耐震性）

3. 設計概要

3.1 建物概要

Y社研修所は、地上4階建のRC造建物で、1970年に竣



写真1 Y社研修所外観
(図1 A通り側)

*1 東京本店 建築設計部

工事名称	Y社研修所耐震補強工事
竣工年度	1970年(昭和45年)
所在地	栃木県栃木市
用途	研修所・宿舎
工期	平成17年7月～平成17年12月
構造・規模	地上4階、鉄筋コンクリート造
	架構形式：桁行方向 ラーメン構造
	張間方向 耐震壁付ラーメン構造
	基礎形式：杭基礎(既成杭φ350φ)
	使用材料：コンクリートFc21
	建築面積 688.7㎡、延床面積 2226.5㎡、軒高13.3m

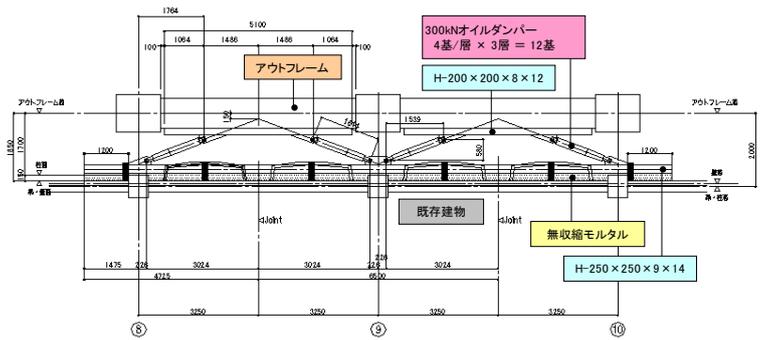


図2 ダンパー取付部詳細図

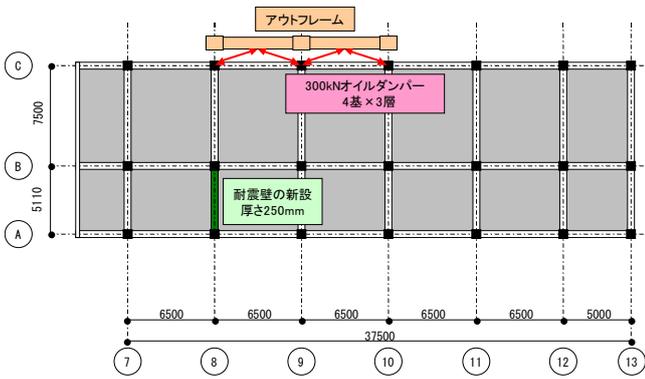


図1 補強伏図



写真2 Y社研修所(C通り側、補強後)



写真3 ダンパー部

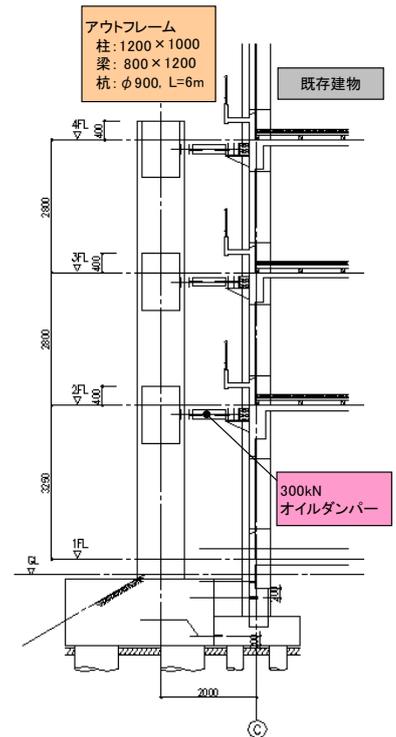


図3 補強断面図

工した旧基準(1981年以前)によって設計された建物である。耐震診断(第2次診断)¹⁾を実施したところ、1階から3階の I_s 値が基準値である0.6を下回り、既存不適格と診断された。

立地条件は、図1の補強伏図において、⑬通りは大きな池に、⑦通りおよびA通りは植栽に面している。また、C通り側は平地が建物壁面から数mしか無く、その先が急斜面になっている。

3.2 設計方針

設計条件として、建物内部での作業を極力減らし、基本的には建物外部から補強することを発注者から要求されていた。そこで、敷地条件・建物規模および形状・コストを考慮し、以下の方針及び表1に示すクライテリアに基づき、

図1～3に示す補強計画を立案した。

- ・ 桁行方向：アウトフレーム連結制振構法
ねじれ等の検討を実施し、補強効果を把握した上で、C通り側からの補強のみで対応することにした。
- ・ 梁間方向：RC耐震壁の増設
壁厚の増加や、乾式間仕切りを耐震壁に変更するなど、室内空間のイメージが極力変化しないように配慮した。

表1 クライテリア

評価方法	クライテリア
静的評価	耐震診断の I_s 値による評価 $I_s > 0.6$
動的評価	時刻歴地震応答解析 レベル2地震時の最大層間変形角 $< 1/250\text{rad}$

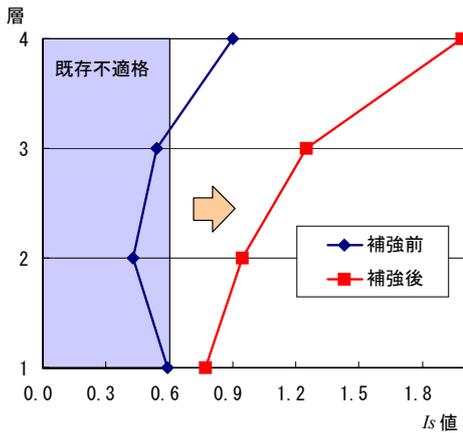


図4 Is値による評価

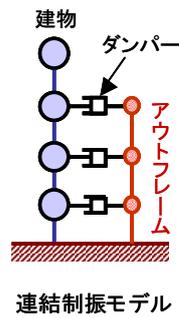


図5 解析モデル

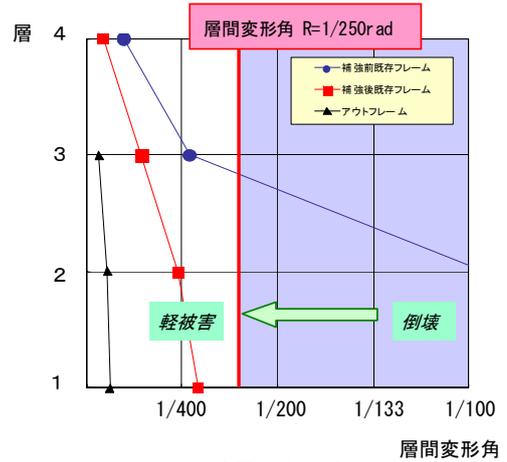


図6 地震応答解析結果

3.3 ダンパーの設計

前報において、ダンパー量の最適設計に関して報告した。これによると、各層に取り付けるダンパーの最大減衰力の総和が、各層の建物重量の20%程度である時、最も効率よく補強できるとのことであった。そこで、本建物の設計においても、ダンパー量を建物重量に基づいて設定した。ダンパー量を設定した後、Is値による評価及び時刻歴地震応答解析を行い、クライテリアを満足することを確認した。

3.4 アウトフレームの設計

アウトフレームの設計に関して、長期荷重に対しては、長期許容応力度設計を行った。また、時刻歴地震応答解析を実施し、レベル2地震動に対する最大応答値（応力）に対して、短期許容応力度設計を行った。

3.5 補強効果

3.5.1 静的評価（Is値評価）

既存建物の耐震性能を評価する方法のうち、Is値による評価が最も一般的な手法といえる。そこで、本構法による補強効果を文献3)に基づいてIs値に換算し、耐震性能を評価することとした。

図4より、本構法によって耐震補強することで、全ての階においてクライテリアである $Is > 0.6$ を満足し、十分な補強効果を得られることが確認できた。

3.5.2 動的評価（時刻歴地震応答解析）

補強効果の確認及び地震時の建物挙動を把握する目的で、地震応答解析を実施した。解析では、立体モデルによる地震応答解析によって振れの影響が無視できることを確認した上で、多質点系地震応答解析によって耐震性能を把握することとした。以下、多質点系地震応答解析の概要について述べる。

建物の補強設計において、柱の桁行方向の靱性指標が全

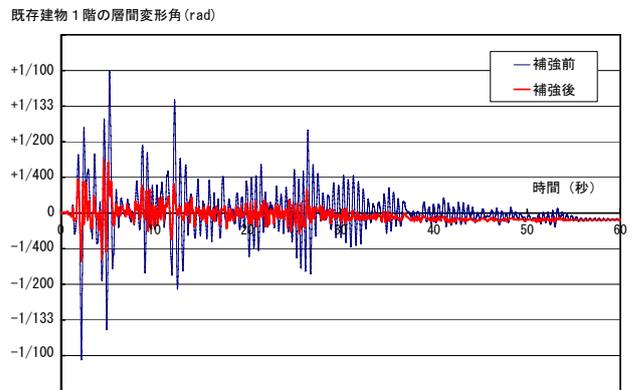


図7 既存建物の層間変形角

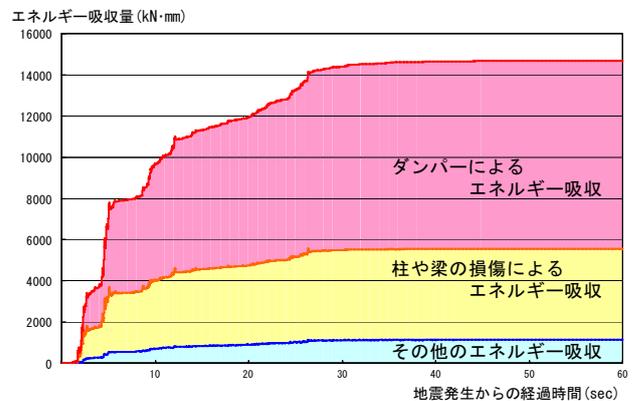


図8 補強後のエネルギー吸収量

て1.0以上となるように耐震スリットを配置している。そこで、レベル2地震時の最大層間変形角が、靱性指標1.0に相当する $1/250rad$ 程度以下であることをクライテリアとして設定した。

解析モデルは、図5に示すように、既存建物及びアウトフレームの各層を1質点に置換した多質点系等価せん断モデルで、2棟の各層をジョイントダンパーで連結させている。減衰は瞬間剛性比例型とし、既存建物3%、アウトフレーム2%とした。既存建物及びアウトフレームの骨格曲線は、

荷重増分解析で算出されるQ- δ 曲線を Tri-linear 型でモデル化した。また、履歴モデルは、武田モデルとした。ジョイントダンパーは、取付きバネを考慮した Maxwell モデルによってモデル化した。

図6~7に示す解析結果より、本構法によって耐震補強することで、クライテリアを満足し、十分な補強効果を得られることが確認できた。また、ダンパー量に関して、前報で報告した通り、建物重量の20%程度に設定することが適切であることが分かった。このようにダンパー量を設定した結果、全エネルギー吸収量に占めるダンパーのエネルギー吸収量は50%程度となり、既存建物の損傷を大幅に低減できることが図8より確認できた。

4. 施工概要

既存建物が設計図書通りに施工されているかを確認するために現地測量を実施した結果、スパンや1階の階高が設計図書と異なっていることが分かった。そこで、測量結果を設計にフィードバックし、既存建物の実態に合わせた設計・施工を実施した。

本工事では、ダンパー及びダンパー取付用鉄骨の水平精度の確保に重点をおいて施工管理を行った。要求された施工精度は水平面に対して $\pm 1^\circ$ であり、これを満足するために、施工方法及び施工手順を検討し、図9に示す手順で施工した。また、アウトフレームの鉛直精度の確保にも重点をおき、既存建物から控えを取ることで、JASSや社内規準等の基準値を満足する施工精度を確保した。

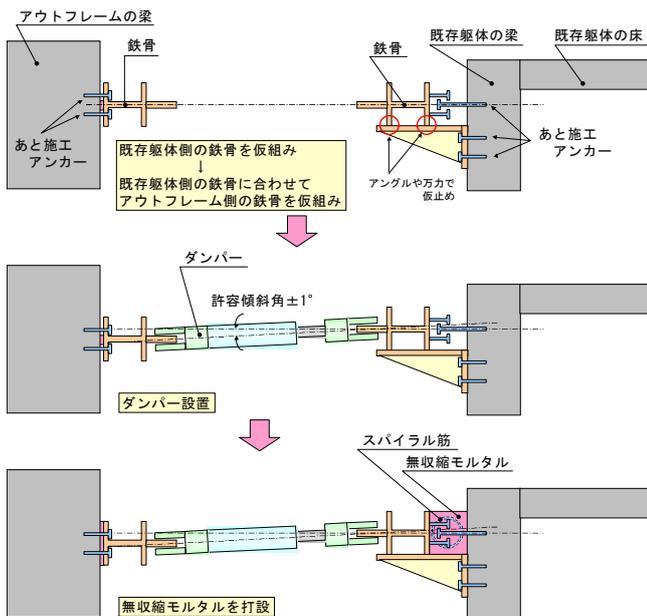


図9 ダンパー取り付け手順

5. まとめ

「Y社研修所耐震補強工事」の実施設計及び施工経験を通じ、以下の知見が得られた。

- 本構法が、既存建物の耐震補強として十分な耐震性能を有し、有効な構法であることが確認できた。
- 本構法では、既存建物の現状に合わせて、アウトフレームの構築やダンパーの設置を実施する必要があるため、事前の現地測量が不可欠である。
- ダンパーの取り付け精度及びアウトフレームの鉛直精度を確保するために、施工手順を入念に検討する必要がある。

謝辞

アウトフレーム連結制振構法の開発は、京都大学都市環境工学専攻竹脇・辻研究室と共同で実施しました。ここに御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課（監修）、日本建築防災協会（発行）：2001年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説
- 2) 高橋宏治他：アウトフレーム連結制振構法による耐震補強、鴻池組技術研究報告、Vol.16、pp.49-56、2006
- 3) 倉本洋他：制振補強を施した既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断法、日本建築学会構造系論文集、第559号、pp.189-195、2002.9
- 4) 檜原健一他：連結制振構法を用いた事務所ビルの耐震改修、第3回粘弾性ダンパーの開発と耐震設計・耐震補強への応用に関するシンポジウム（早稲田大学理工総研プロジェクト研究）、pp.82-87、1999
- 5) 古城豊光他：粘弾性体をジョイントダンパーとして使用した高層建物の設計、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2分冊、pp.857-858、1998