

アウトフレームを用いた連結制震構法による耐震補強（その1：基本耐震補強特性）

○辻 聖晃¹⁾，竹脇 出²⁾，高橋宏治³⁾，樫原健一⁴⁾

1)京都大学都市環境工学専攻，〒606-8501 京都市左京区吉田本町，mtsuj@archi.kyoto-u.ac.jp

2)正会員，京都大学都市環境工学専攻，〒606-8501 京都市左京区吉田本町，takewaki@archi.kyoto-u.ac.jp

3)鴻池組，〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町3-6-1，takahashi_ku@konoike.co.jp

4)正会員，鴻池組，〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町3-6-1，katagihara@konoike.co.jp

1. 序

学校建築に対する耐震補強は，建築に関するものに対して課せられた課題のうち，現時点では最も緊急度の高いものの一つである。しかしながら，費用や工期（標準的な耐震補強構法は，一般には夏休みなどの長期休業期間にしか実施できない）の問題から，十分な速度では進んでいないのが実情である。

本研究の目的は，建物の外周部に，建物とは切り離して骨組架構（アウトフレーム）を新設し，これと既存建物を特性を適切に調整したダンパーで連結することにより，既存建物の耐震性能を大幅に向上させることができる新しい耐震補強の構法（以下では「アウトフレームを用いた連結制震構法」ないし「本構法」と呼ぶこととする）を提案し，さらに既存実物件を想定した建物に対するケーススタディーを実施して，提案する構法の有用性と妥当性を検証することにある。

2. アウトフレームを用いた連結制震構法の概要

本構法は，図1に示すように，既存建築物の外周に，既存建築物とは独立して，十分な強度と剛性を有する骨組架構を新設し，これと既存建物を，履歴ダンパーやオイルダンパーなどで連結することで構成される。

本構法の特徴は以下のようにまとめられる。(1)既存躯体への工事はアウトフレームとの連結部分に限定され，建物内部の作業が発生しない。したがって内部設備などの工事に伴う移転を必要としない。(2)ブレースの設置や開口閉鎖を伴わないため，現建物の外観や使い勝手を変化させることがない。(3)一般的な構法と同

等もしくは低いコストで実施できる。(4)動力学に基づいたダンパー配置計画を行うため，信頼性の高い耐震性能向上効果が得られる。

3. アウトフレームを用いた連結制震構法の基本特性

3-1 構造物モデル，入力地震動と応答評価法

あらかじめ本構法におけるアウトフレームとダンパーの適切な容量の目安を得るために，単純モデルを用いたパラメトリックスタディーを実施する。構造物モデルとしては，2個の平面せん断型構造物モデルの同一床レベルをダンパーで連結したモデルを用いる（図2）。なお，本報では，既存建物，アウトフレームとも，1質点系にモデル化した場合の結果を示す。建物とアウトフレームを多質点系とし，かつ，現実的な復元力特性を与えた場合の結果は次報で示す。

ダンパーとしては，要求される耐震性能や，ダンパーに許容されるコストなどを勘案して，粘性系ダンパーや履歴系ダンパーなどを単独，あるいは組み合わせで用いることが考えられるが，本報では，線形の減衰係数を有するオイルダンパーあるいはノルマルパイリニア型の復元力特性を有する履歴ダンパーを連結ダンパーとして採用した場合の結果のみを示す。

入力地震動としては，最大地動速度が50cm/sあるいは100cm/sとなるように規準化した記録地震波を用いる。応答評価は，時刻歴応答解析により実施する。

3-2 粘性ダンパーで連結した場合

既存建物の固有周期 T_e を0.5s（4～5層程度のRC造建物を想定），既存建物とアウトフレームの減衰定数

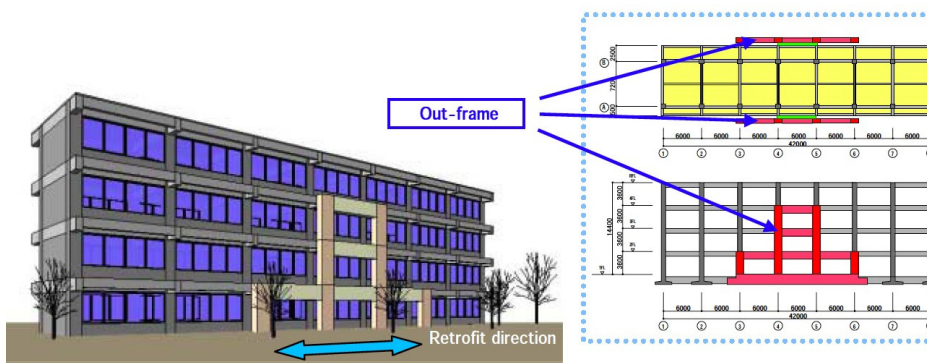


図1 構法の概念図

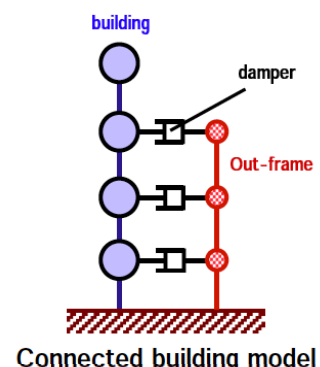


図2 構造物モデル

(非連結時)をどちらも3%, 両構造物とも完全弾性系とした場合についての結果を示す(他諸元は表1). 表中において, T_A はアウトフレームの固有周期, δ_E^0 および δ_A^0 はそれぞれ, 非連結時の既存建物およびアウトフレームの最大層間変位を示す.

表1 モデル諸元

	T_A	地震波 (50cm/s)	δ_E^0	δ_A^0
Case1	0.25s	JMA-Kobe 1995 NS	8.5cm	1.5cm
Case2	0.15s	JMA-Kobe 1995 NS	8.5cm	0.4cm
Case3	0.15s	Hachinohe 1968 NS	3.4cm	0.3cm

図3に, 横軸に既存建物の弾性剛性に対するアウトフレームの弾性剛性の比 κ (図中では stiffness ratio と表記)を, 縦軸に非連結時の最大層間変位 δ_E^0 に対する連結時の最大層間変位の比をとり, 既存建物の減衰係数に対するダンパー減衰係数の比(図中では χ と表記)をパラメタとした結果を示す. なお, 図中の μ は, 既存建物の質量に対するアウトフレームの質量の比を示す. また, 図中の rigid とは, 既存建物とアウトフレームを剛結した場合の結果を示している.

図より, 既存建物とアウトフレームをオイルダンパーで連結した場合について, 以下の傾向が観察される.

- (1)アウトフレームが十分な剛性を有していれば, 地震動の種別に関らず, ダンパーの減衰係数が大きくなるほど, 大きな地震応答低減効果が得られる.
- (2)同じダンパー減衰係数で比較すると, κ が大きいほど, 大きな地震応答低減効果が得られる. ただし, κ の値が1を越えたあたりで, 地震応答低減効果はほぼ

上限となる.

3-3 履歴ダンパーで連結した場合

$T_E=0.5s$, $T_A=0.15s$, $\kappa=1.11$ ($\mu=0.1$)の場合についての結果を示す. 履歴ダンパーの復元力特性は第二分枝剛性比が0.01のノルマルバイリニア型, 既存建物は降伏層間変位が6.0cm, 第二分枝剛性比が0.05のノルマルバイリニア型とした. 入力地震波は, Case4がJMA-Kobe 1995 NS (50cm/s), Case5が同波(100cm/s), Case6がHachinohe 1968 NS (100cm/s)である.

図4に, 横軸に履歴ダンパーの降伏変位を, 縦軸に非連結時の最大層間変位に対する連結時の最大層間変位の比をとり, 既存建物の剛性に対する履歴ダンパーの剛性の比(図中では kD と表記)をパラメタとした結果を示す. なお, 図中の rigid とは, 既存建物とアウトフレームを剛結した場合の結果を示している.

図より, 既存建物とアウトフレームを履歴ダンパーで連結した場合, 履歴ダンパーの特性を適切に調整すれば, 既存建物とアウトフレームを剛結した場合に得られる応答低減効果を上回る効果が得られるものの, 適切なダンパー特性は地震動の種別やレベルによって異なるという傾向が観察される.

4. まとめ

本報では, アウトフレームを用いた連結制震構法について, その概要と, 基本特性について述べた. 次報では, 実在する学校校舎建築を想定した試設計例を紹介し, 本構法の有効性と妥当性を示す.

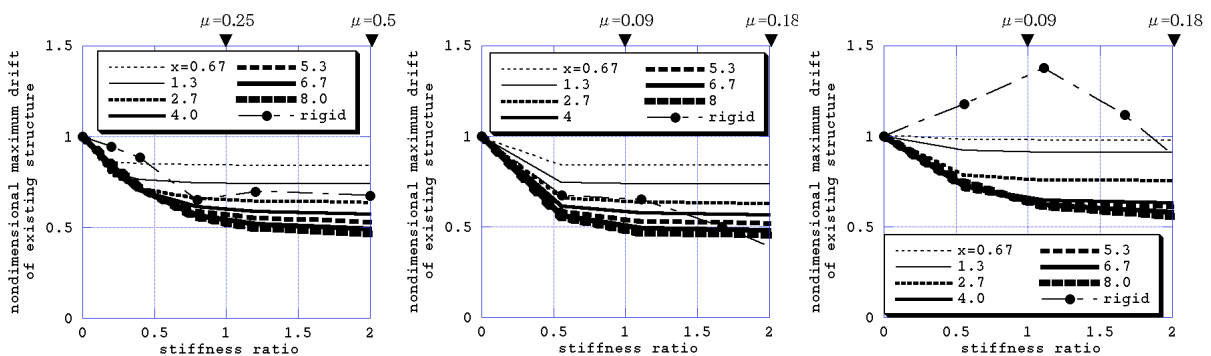


図3 非連結時の層間変位に対するオイルダンパー連結時の層間変位の比 (左: Case1, 中: Case2, 右: Case3)

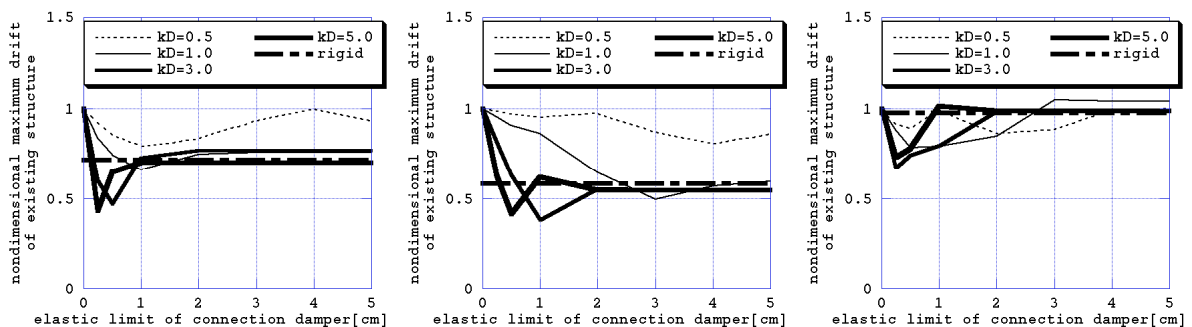


図4 非連結時の層間変位に対する履歴ダンパー連結時の層間変位の比 (左: Case4, 中: Case5, 右: Case6)

アウトフレームを用いた連結制震構法による耐震補強（その2：試設計例）

○高橋宏治¹⁾, 檜原健一²⁾, 辻 聖晃³⁾, 竹脇 出⁴⁾

1) 鴻池組, 〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1, takahashi_ku@konoike.co.jp

2) 正会員, 鴻池組, 〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1, katagihara@konoike.co.jp

3) 京都大学都市環境工学専攻, 〒606-8501 京都市左京区吉田本町, mtsuji@archi.kyoto-u.ac.jp

4) 正会員, 京都大学都市環境工学専攻, 〒606-8501 京都市左京区吉田本町, takewaki@archi.kyoto-u.ac.jp

1. 序

前報では、アウトフレームを用いた連結制震構法による耐震補強について、単純モデルを用いて、ダンパーの種別・容量と、応答低減効果の傾向を示した。本報では引き続き、いっそう現実的な構造モデルを用いて、本構法の有効性と妥当性を示す。

2. 試設計例

2-1 試設計建物概要

補強対象とした建物は、鉄筋コンクリート造4階建てで、平面形状としては桁行方向は6mの7スパン、張間方向は7.2mの1スパン、立面形状としては階高3.6mの4層、建物高さは14.4mである。軸組図を図1に示す。張間方向は耐震壁があり耐力が十分あるものとし、検討は全て桁行方向について行う。

柱はすべて700×700mm、基礎梁を除く梁は全て400×750mmの断面を有しており、新耐震規定以前の標準

的な配筋がなされているものとする。各層の質量および弾性時層剛性を表1に示す。

2-2 連結ダンパーおよびアウトフレーム

前報で示したように、履歴ダンパーに比べてオイルダンパーの方が、容量に対する耐震補強効果の単調性（ダンパーを多く入れるほど、高い耐震補強効果が得られる傾向）とロバスト性（耐震補強効果が地震動の種別やレベルに依存しない傾向）に富むことを考慮して、本報の試設計例では、オイルダンパーを連結ダンパーとして採用することとする。

オイルダンパーは、一本につき、初期減衰係数が50kNs/cm、リリース速度が6.5cm/s、リリース後の減衰係数が4.0kNs/cm、最大減衰力が500kNのものを想定する。このオイルダンパーの配置方法として、表2に示す4ケースを設定し、耐震補強効果の比較を実施する。

表2 連結ダンパーの検討ケース（数字は本数）

	第1層	第2層	第3層
Case1	4	4	4
Case2	6	4	2
Case3	2	4	6
Case4	2	2	2

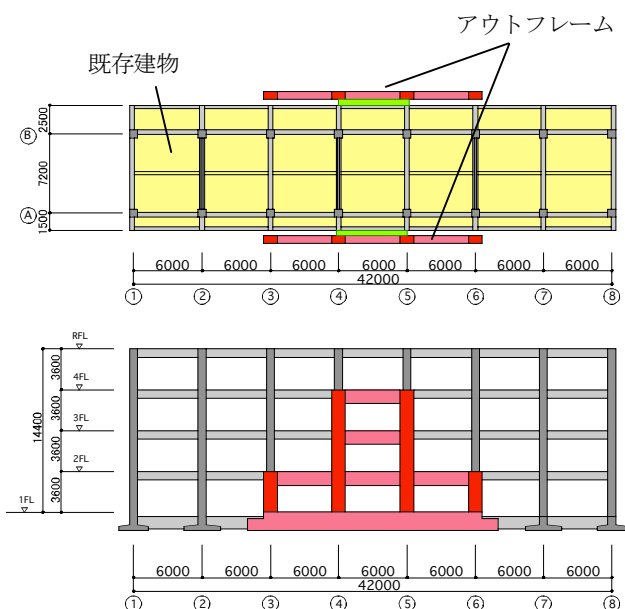


図1 軸組図

アウトフレームは、プレストレス導入による圧着工法により製作することを想定して断面を決定した。柱の断面は740×1,200mm、梁の断面は700×1,200mm（3階）ないし1,400mm（1, 2階）である。この結果、既存建物とアウトフレームの両者を等価な1質点系に置換した場合の剛性比は約2となった。ダンパーからの水平力によって生じる転倒モーメントに対する抵抗性を増すため、第1層では3スパン、第2, 3層では1スパンの逆T字型の形状とした。また、第4層については、対象とする建物の第4層が十分な耐震性能を有していることを考慮して、アウトフレームを設置しな

表1 建物およびアウトフレーム諸元

	質量 (ton)				剛性 (kN/cm)				固有周期 (s)
	4階	3階	2階	1階	4階	3階	2階	1階	
既存建物	561	612	612	612	7963	8228	8524	11646	0.45
アウトフレーム	-	35	54	114	-	4629	7923	21202	0.09

かった。アウトフレームの軸組図を図1に、アウトフレームの各層の質量および弾性時層剛性を表1に示す。

2-3 応答評価用の地震動と解析モデル

応答評価用の地震動としては、建築センター波を地震動最大速度が50cm/sになるように規準化したものを用いる。解析モデルは、前報の図2に示した、各層を1質点とする多質点せん断型モデルを用いる。既存建物の各層は武田型の復元力を有する弾塑性構造物、アウトフレームは弾性構造物として取り扱う。連結ダンパーは、リリース機構によるバイリニア型の減衰特性を有するダッシュポットにモデル化する。動的応答解析時の構造減衰特性としては、1次の減衰定数が3%となるような瞬間剛性比例型とする。

2-4 耐震補強前後の比較

桁行方向の最大層間変形角を図2に示す。図より以下のことが観察される。

(1)既存建物のみの場合には、最大で約1/60の層間変形角が生じているのに対し、アウトフレームとダンパーで連結した場合には、ダンパーの総量や配置方法により差があるものの、最大で1/100から1/200の層間変形まで、応答が顕著に低減できている。

(2)ダンパー減衰係数分布形状が同じでその総量が異なるCase1とCase4を比較すると、Case1の方が最大層間変形角が小さくなっている。これは前報で示した結果と対応している。またこのとき、アウトフレームとダンパーで連結されていない最上層を除き、最大層間変形角の分布はほぼ相似形状となっている。

(3)ダンパー減衰係数の総量が同じでその分布が異なるCase1, Case2, Case3を比較すると、ダンパー減衰係数が大きな層ほど、大きな応答低減効果が得られる傾向がみられる。

(4)アウトフレームとダンパーで連結されていない

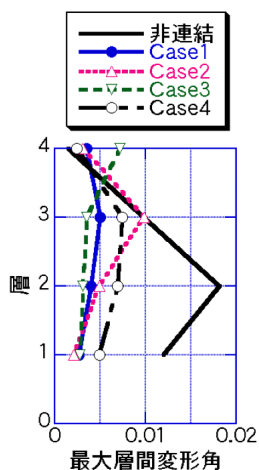


図2 層間変形角分布

最上層では、非連結時に比べて応答がやや増大する傾向がみられる。この傾向は、上層に多くのダンパーを配置した場合に、より顕著になる。

以上のことより、アウトフレームおよび連結ダンパーの設計に際しては、既存建物とアウトフレームをそれぞれ1自由度系とするような単純モデルに対する検討から得られた傾向を参考とすることに十分な合理的がある一方で、層方向のダンパー減衰係数分布の決定に際しては、少なくとも多自由度せん断質点系モデルを用いた慎重な検討が必要となる、ということもいえる。なお、本設計例では、結果的に、各層ダンパーの減衰係数を同じとしたケースにおいて、「最大層間変形角の最大値」が最小となっている。

図3には、ダンパーで連結しない場合と連結した場合(Case1)の、地震動によるエネルギーの吸収分率率を示す。両者での総入力エネルギーには大差がないものの、非連結時には地震エネルギーの大部分を建物の塑性化による履歴減衰によって消費しているのに対し、連結時にはダンパーによって地震エネルギーの大部分が消費されていることがわかる。

3. 結論

本研究で提案する、耐震補強のための新しい構法「アウトフレームを用いた連結制震構法」は、開口にブレースを増設したり、新設の架構を建物とPC構棒などで緊結して建物外周に設置したりするような標準的な耐震補強の構法に比べて、既存の躯体に対する工事が格段に少ないため、より短い工期と同等または低いコストで、既存建物の耐震性能を大幅に向上させることが可能である。また、動力学に基づく設計を前提とするため、耐震補強効果の信頼性も高い。この意味で、本構法が学校建築の耐震補強の促進に果たす役割は極めて大きいと結論できる。

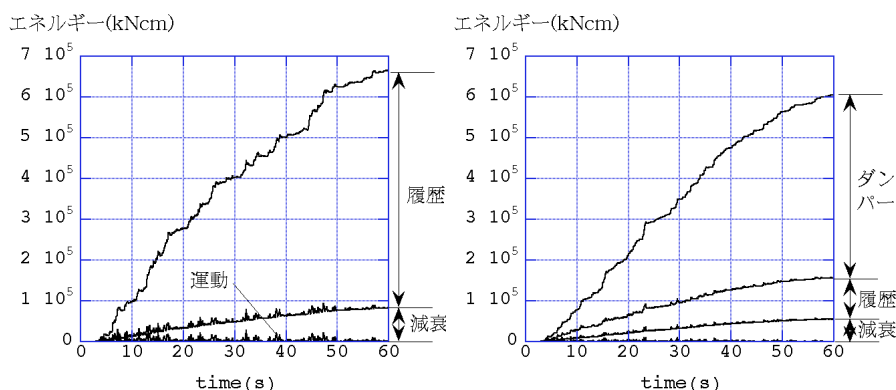


図3 地震入力エネルギーの時刻歴 (左：非連結時，右：Case1 連結時)