

歴史的建築物補強のための連結屋根制震システムの開発

新居 藍子^{*1}・欄木 龍大^{*1}・長島 一郎^{*1}・糸井 達哉^{*1}・西川 泰弘^{*2}・鈴木 裕美^{*3}・豊田 祥之^{*3}

Keywords : historical architecture, interaction control, roof, semiactive damper, seismic retrofit

歴史的建築物, 連結制震, 屋根, 可変減衰装置, 耐震改修

1 はじめに

近年の都市再開発事業において, 保存すべき歴史的建築物に隣接させて超高層建物を建設する例がみられる。本研究は, そのような歴史的建築物の耐震補強に適用可能な, 隣接する既存或いは新築の構造物とつなぐオイルダンパーを内蔵した屋根架構による連結制震システムの開発を目的とする。

歴史的建築物を単独で補強する場合は, 補強構面を配するため, 工事期間中を含め使い勝手に影響する。連結制震システムでは, 補強工事の大半を連結部に集約することが出来たため, 建物を使用したまでの補強工事が可能となる。構造物自体への補強工事を極力少なくし, 建物の内・外観デザインを生かしたい歴史的建築物の場合は特に有用である。開発した連結屋根制震システムでは, 建物間をアトリウムとして利用できるなど, 魅力的な空間を創出できる(図-1)。



図-1 連結屋根制震システムによるアトリウム空間
Fig.1 Atrium

*1 技術センター建築技術研究所防災研究室

*2 設計本部構造グループ

*3 設計本部耐震計画グループ

本論では, まず, 連結屋根制震システムの概要を示す。次に, 例題として, SRC 造 6 階建ての官公庁の建物(歴史的建築物)と, 新設の S 造 36 階建て超高層建物を連結する場合について, 解析により連結補強効果を検討し, 連結屋根架構の試設計¹⁾を行った結果を示す。連結補強効果の検討では, 建物内部に鋼材プレースを用いる通常の耐震補強や建物内部にオイルダンパーを用いる制震補強と, 補強構面数や地震時の応答について比較を行う。

2 連結屋根制震システムの概要

図-2 に開発した連結屋根制震システムの模式図を示す。歴史的建築物の屋上に屋根受け補強を設けてオイルダンパーを配置し, オーバーハングさせた屋根架構と建物屋上部で接続する。屋根架構部分は, オイルダンパーの制震性能を満たすような剛性を有する, グリッドと水平プレースで構成する。歴史的建築物と新設建物との間

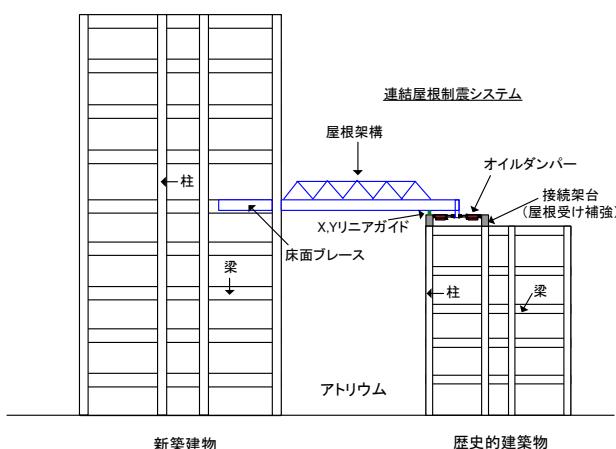


図-2 連結屋根制震システム
Fig.2 Interaction control roof system

はアトリウムを設けることで建物間の空間を有効に利用できるようにした。接続部が外壁部分にないため、すっきりとした外観となる。

3. 解析による補強効果の検証と試設計

歴史的建築物として、昭和初期に建築された官公庁の建物を想定し、新設の超高層建物と連結した場合の連結補強効果を解析的に検討する。鋼材プレースを用いる通常の耐震補強や制震ダンパーによる建物内部の補強と比較し、必要な連結補強量を検討し、連結屋根架構の試設計を行う。

3.1 解析モデル

歴史的建築物は、昭和初期に建築されたSRC造6階建ての官公庁の建物を、超高層建物は、S造36階建ての建物を想定した。連結時の解析モデルの概略を図-3及び表-1に示す。歴史的建築物は、張間4構面、桁行10構面の擬似立体等価せん断モデル（1次固有周期0.29秒）とし、超高層建物は、質点系の等価曲げせん断モデル（1次固有周期3.72秒）として、歴史的建築物の頂部の6層どうしをオイルダンパー（ダンパー要素+屋根架構を考慮したばね要素）で連結する。両建物を連結層で1質点に縮約したときの質量比は315.3:1、剛性比は1.96:1である。

歴史的建築物のモデルの諸元を表-2に示す。補強前のベースシア係数は、張間(X)方向が0.53、桁行(Y)方向が0.38である。柱位置にフレーム及び既存壁に相当する弾塑性ばねを設ける。復元力特性は、フレームを武田モデル、既存壁を原点指向モデルとした。

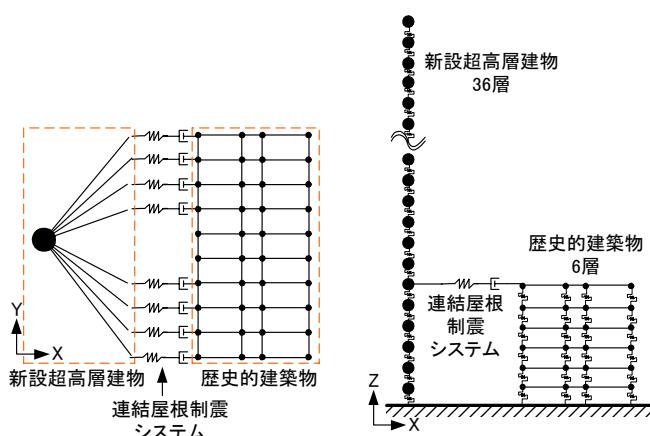


図-3 解析モデル
Fig.3 Analytical model

3.2 歴史的建築物の補強方法

歴史的建築物の補強は、連結補強のほか、比較として、建物内部に鋼材プレースを設置するプレース補強、建物内部にオイルダンパーを設置する内部制震補強を検討した。各補強要素のモデル特性を図-4に示す。連結に用いるダンパーは、50~60cmの変形が可能な、主に免震建物の免震層に用いられるオイルダンパーを想定し、内部補強のダンパーは、制震用オイルダンパーを想定している。連結部の免震ダンパーは、通常のパッシブダンパーのほか、簡易制御則を適用した可変減衰ダンパーを用いるケースについても検討した。簡易制御則では、ダンパーの減衰力と歴史的建築物の速度を検知し、ダンパーが歴史的建築物に対して減衰力として作用する場合は、減衰係数を大きくし、加振力として作用する場合は、減衰係数を小さくする。減衰係数はCL=5kN·s/cm、CH=50kN·s/cmの2値とした。

3.3 必要な補強量の検討

歴史的建築物は、リベットで組み立てた鉄骨を有するSRC造であり、限界変形能力は1/200程度と考えられる²⁾。極めて稀に発生する地震に対して層間変形角が1/200におさまるのに必要な補強量を、パラメータスタディにより検討した。X方向について検討した結果を図-5及び表-3に示す。耐震補強では6層合計で18構面（ベースシア係数で0.23程度付加）、内部制震補強では計10構面、連結補強では免震ダンパー8台が必要補強量であった。なお、既存壁が比較的少ないY方向では、1,2層のみ2構面ずつプレース補強を行うことで、頂部での連結補強（9台の免震ダンパー）が可能となる。歴史的建築物の連結部分の構面は9スパンあり、8台及び9台のダン

表-1 両建物の特性
Table1 Property of both buildings

	超高層建物	歴史的建築物	比
1次固有周期(秒)	3.72	0.29	12.7
6層一般化重量(kN)	13752350	43620	315.3
等価剛性(kN/cm)	39931	20412	1.96

表-2 歴史的建築物(補強前)の諸元
Table2 Parameters of historical architecture (before retrofitted)

層	階高(cm)	重量(kN)	X方向せん断力係数			Y方向せん断力係数		
			フレーム	既存壁	計	フレーム	既存壁	計
6	441	16723	0.53	0.93	1.46	0.65	0.24	0.89
5	400	15683	0.43	0.39	0.83	0.47	0.21	0.67
4	400	15683	0.38	0.34	0.72	0.40	0.19	0.59
3	400	15683	0.34	0.36	0.71	0.35	0.17	0.53
2	400	16203	0.31	0.38	0.68	0.31	0.13	0.44
1	350	16203	0.28	0.25	0.53	0.28	0.10	0.38

バーは実際に設置が可能である。連結補強により、建物内部の工事を最小限にすることができる。

3.4 地震時応答の比較

補強前と各補強ケースについて、X方向の地震応答解析を行った。入力地震動は、建設省告示第1461号に基づく基盤波(乱数位相)を作成し、中小地震は倍率0.1、大地震は倍率1.5(第2種地盤を想定)とした。各層の最大加速度と最大層間変形を図-6に示す。中小地震時には、連結補強の加速度応答が最も小さく、頂部ではブレース補強の約1/2と、居住性の面で内部補強より優れている。

大地震時の層間変形角は、いずれの補強方法でも1/200以内となることを確認した。連結時の連結部の応答は、表-4に示すように、22cm程度とダンパーの可動範囲内である。パッシブと簡易制御とでは最大応答値に大差は見られなかった。大地震時の両建物の消費エネルギーを図-7に示す。消費エネルギーの総量は、いずれの補強でも殆ど差がないが、パッシブの連結補強では、ダンパーによるエネルギー吸収量が増え、歴史的建築物、超高層建物とも、構造体の損傷につながる歪みエネルギーが減少している。さらに、簡易制御を行った場

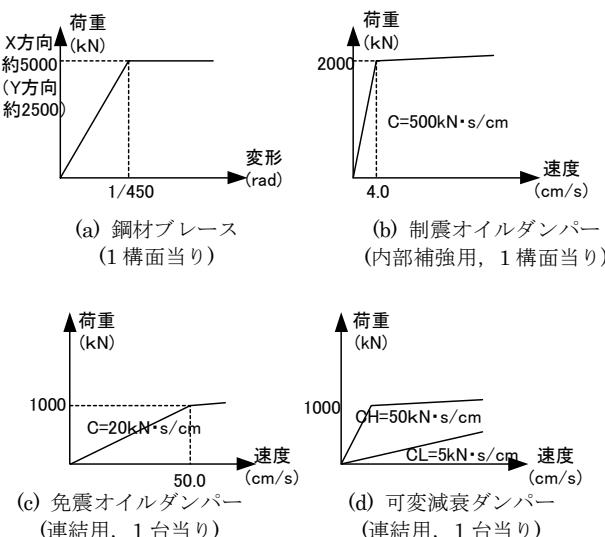


図-4 各補強要素の特性

Fig.4 Characteristics of steel brace and oil damper

表-3 補強構面数
Table 3 Number of installed frames

層	ブレース補強	内部制震補強
6	0	0
5	2	1
4	4	2
3	4	2
2	4	2
1	4	3
計	18	10

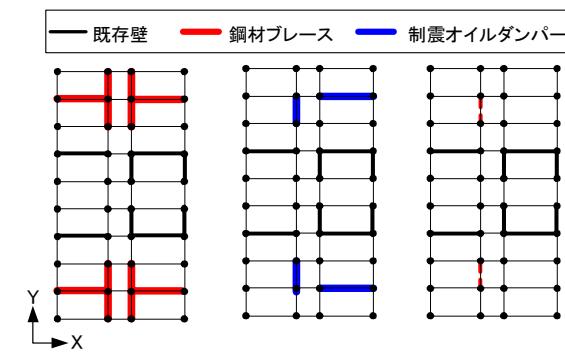


図-5 歴史的建築物の補強構面(基準階平面)
Fig.5 Frames installed in historical architecture (Plan of standard floor)

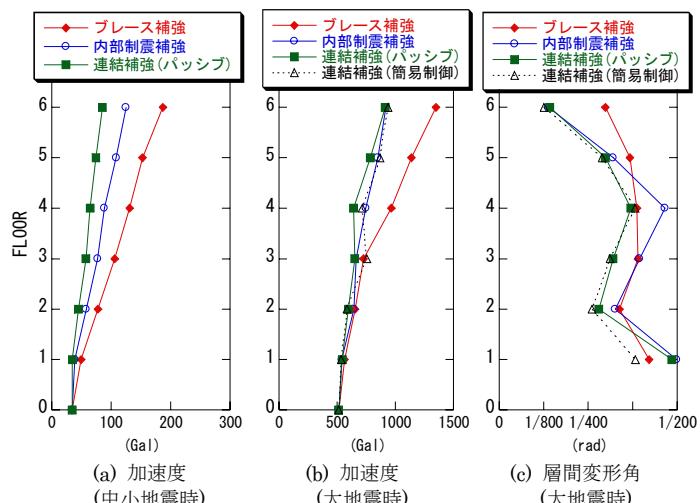


図-6 歴史的建築物の最大応答(X方向)
Fig.6 Maximum response of historical architecture

表-4 連結部の最大応答(パッシブ、X方向、大地震時)
Table 4 Maximum response at connection

棟間変形(cm)	22.1
棟間速度(cm/s)	63.3

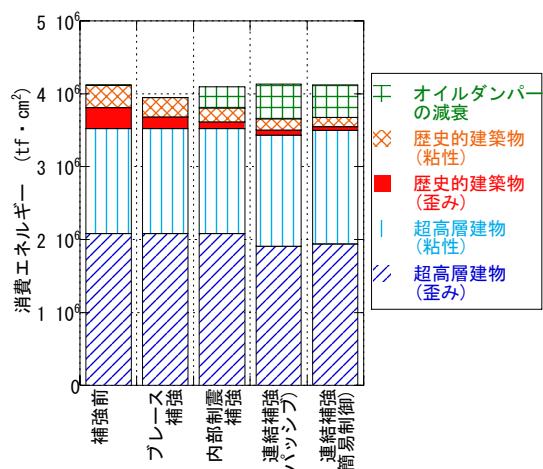


図-7 補強方法による消費エネルギーの比較(X方向、大地震時)
Fig.7 Energy dissipated during earthquake

合、パッシブと比較して、歴史的建築物の歪みエネルギーが30%程度減少する。

3.5 連結屋根制震システムの試設計

図-8、図-9に解析結果に基づき、試設計した連結屋根制震システムを示す。

歴史的建築物側の連結部では、水平力は屋根受け補強に設置したオイルダンパーの交点に伝達し、鉛直力は上部に設置したX、Yリニアガイドにより、屋根受け補強を通じて既存の柱に伝達することで、水平力と鉛直力の伝達部を明確に分離し、ディテールを単純化している。また、屋根受け補強は、最上階の柱上部、梁上部に設けることで、応力集中を緩和し、オイルダンパーの反力を構造物にスムーズに伝達している。オイルダンパーは、屋根受け補強内に平面的に自由に配置でき、水平2方向に効くよう設置している。屋根架構部分は、オイルダンパーに水平力が十分に伝達するよう、グリッドと水平プレースで剛強に構成している。超高層建物側の連結部は、内部床面プレースを配置し、屋根架構と剛強に接合している。

4 まとめ

歴史的建築物の補強方法として、隣接する超高層建物

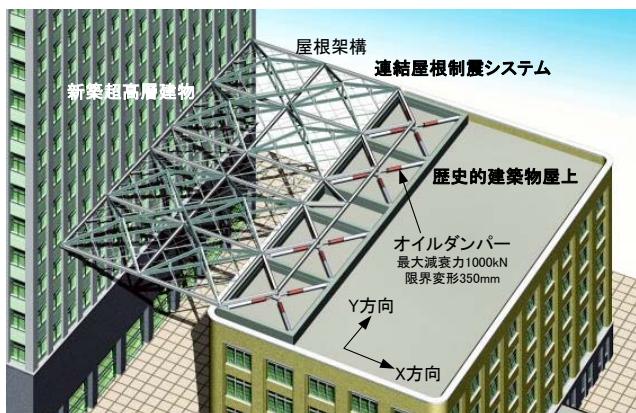


図-8 連結屋根制震システムの試設計
Fig.8 Interaction control system

と屋根架構とオイルダンパーにより連結する、連結屋根制震システムを開発し、解析による補強効果の検証及び連結屋根架構の試設計を行った。頂部を隣接する超高層建物と連結することで、歴史的建築物の建物内部の補強工事を殆ど無くして、耐震性を十分に高められることができた。



図-9 連結屋根制震システムの試設計(全景)
Fig.9 Interaction control system

謝辞

本研究は、平成18、19年度住宅・建築関連先導技術開発助成事業（課題名「住宅等既存構造物の耐震性向上のための連結制御システムの実用化」）による補助のもとで行われた東京大学大学院工学研究科建築学専攻 高田研究室との共同研究の成果の一部である。

参考文献

- 1) 豊田祥之、長島一郎、櫛木龍大、糸井達哉、新居藍子、西川泰弘、鈴木裕美：超高層新築建物と制震ダンパーで連結した歴史的建築物の耐震改修計画、日本建築学会大会デザイン発表会、2008.9
- 2) 藤村太史郎、西川泰弘、鈴木裕美、安田聰、梅野岳、内山晴夫：昭和初期に建設された建築物の構造性能（その1）短スパン梁、日本建築学会学術講演梗概集、2008.9