

BiD フレーム工法による共同住宅の設計・施工事例

An Example of Design and Construction of Apartment Buildings by BiD Frame Construction Method

高橋 孝二*	小林 孝至*
Koji Takahashi	Takayuki Kobayashi
山崎 康雄*	千葉 祐介**
Yasuo Yamasaki	Yusuke Chiba
西田井 裕之**	鹿籠 泰幸***
Hiroyuki Nishidai	Yasuyuki Shikamori

要 約

本報告は、Built-in Damper (BiD) フレーム工法を、6 階建の鉄筋コンクリート造建築物に対して初めて適用した事例を紹介するもので、補強設計と補強工事の概要である。補強設計では、耐震性能の確認として時刻歴応答解析と動的な I_s 値（構造耐震指標）の評価結果について述べる。

また、補強工事では、本工法特有の制振鉄骨フレームの建方工事、増設スラブ工事、および住いながら工事の作業手順や留意事項、さらに課題等について述べる。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 建物概要
- § 3. 補強概要
- § 4. 耐震改修工事
- § 5. まとめ

§ 1. はじめに

建築物の耐震改修の促進に関する法律（耐震改修促進法）が平成 25 年 11 月に改正された。これは、発生が予想されている南海トラフの海洋型巨大地震や首都圏直下型地震などでの被害軽減のためである。耐震化促進のための制度強化と耐震改修計画認定の基準緩和など建築物耐震化の促進を図るための施行であり、今後は耐震補強の需要が増大すると考えられる。

共同住宅、特に民間マンションは、高いコストなどから居住者の同意形成が難しく、ほとんど補強が進んでいないのが現状である。こうした背景から、当社は共同住宅へ容易に適用できる補強工法として、制振技術を取り入れ、居住者が住みながらでも施工できる工法として「Built-in Damper (BiD) フレーム工法」を開発した。BiD フレーム工法（以下、本工法）は、既存建物の外側に地震のエネルギー

を吸収して揺れを低減する装置（AFT ダンパーシステム）を内蔵した鉄骨フレームと既存建物を接続させる補強工法で、ブレースを用いないことから、補強後の住戸内からの眺望にほとんど影響ないことが大きな特徴である。

本報告は、神奈川県横浜市にある旧耐震設計基準で設計された 6 階建共同住宅の耐震補強に本工法を適用した事例の紹介である。前報¹⁾の設計例に引き続き、その補強設計と補強工事の概要について述べる。尚、補強工事を平成 25 年 12 月に終え、リニューアル工事は平成 26 年 8 月まで実施予定である。

§ 2. 建物概要

補強対象建物は、旧耐震設計基準で設計された昭和 56 年に竣工した鉄筋コンクリート造 6 階建の共同住宅である。北面に外廊下、南面にバルコニーを有する片廊下式である。桁行き方向 6 スパンで、1 スパン 5.6 m～6.5 m の純ラーメン構造、梁間方向は 1 スパン 11 m の耐震壁付ラーメン構造である。1 階は事務所等、2 階から 6 階が住居である。概要は以下の通り。

建築場所：神奈川県横浜市

竣 工：昭和 56 年

用 途：共同住宅（30 戸）

延床面積：2758.485 m²

軒 高：17.77 m

構造種別：鉄筋コンクリート造

基 礎：直接基礎

* 建築設計部

** 関東建築支社

*** 建築事業企画部

§ 3. 補強概要

3-1 BiD フレーム工法の概要

本工法使用の AFT ダンパーシステム概要を図-1 に示す。AFT ダンパーシステムは、地震のエネルギーを吸収する粘弾性ダンパーと、柱の軸力を負担する軸力伝達機構で構成されている。

ダンパー部は粘弾性体 400 mm×400 mm、厚み 15 mm の高減衰ゴムが 3 枚の鉄板に挟み込まれものを 1 ユニットとし、2 ユニットまたは 4 ユニットでシステムを構成している。採用されている粘弾性ダンパーは、小さな揺れから大きな揺れのエネルギーを吸収でき、-20℃～60℃ の温度まで安定した減衰性能を発揮するなど構造物への利用には優れた特徴を有している。軸力伝達機構は、高強度の機械構造用炭素鋼 S45C-N 製で、軸径φ 120 mm のロッドで上下端が球状であるためピン支持となる。

既存建物の外側に設けた鉄骨フレーム柱に上記 AFT ダンパーシステムが内蔵されている。既存建物と鉄骨フレームの一体性は、鉄筋コンクリート造の増設スラブにより接合で確保される。増設スラブと既存躯体の接合には、あと施工アンカーやその他認定工法を用いる。

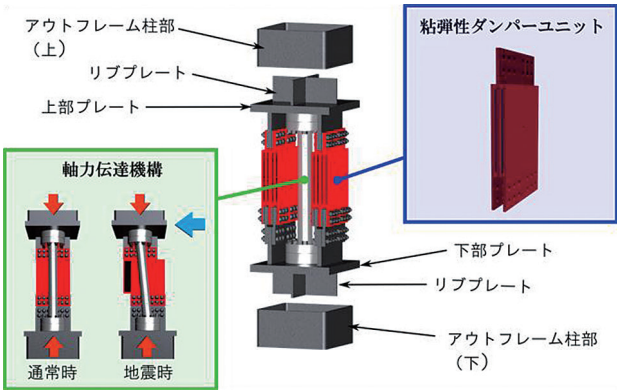


図-1 AFT ダンパーシステムの概要

3-2 補強建物概要

補強詳細を図-2 に示す。図に示すように増設壁を 1 階に 5 か所設置し、1 通り - B 通り柱の袖壁付柱 (2C1～6C1) に構造スリットを設けた。これは、BiD フレーム工法が性能発揮するため既存建物の必要最小限の耐震性・変形能を持たせるための処置である。外付けの鉄骨フレームの柱は□-600×600×25 (BCP325)、梁は H-700×300×14×25 (SN490B) を用いた。鉄骨フレームの基礎は、既存建物基礎とあと施工アンカーで一体とした。

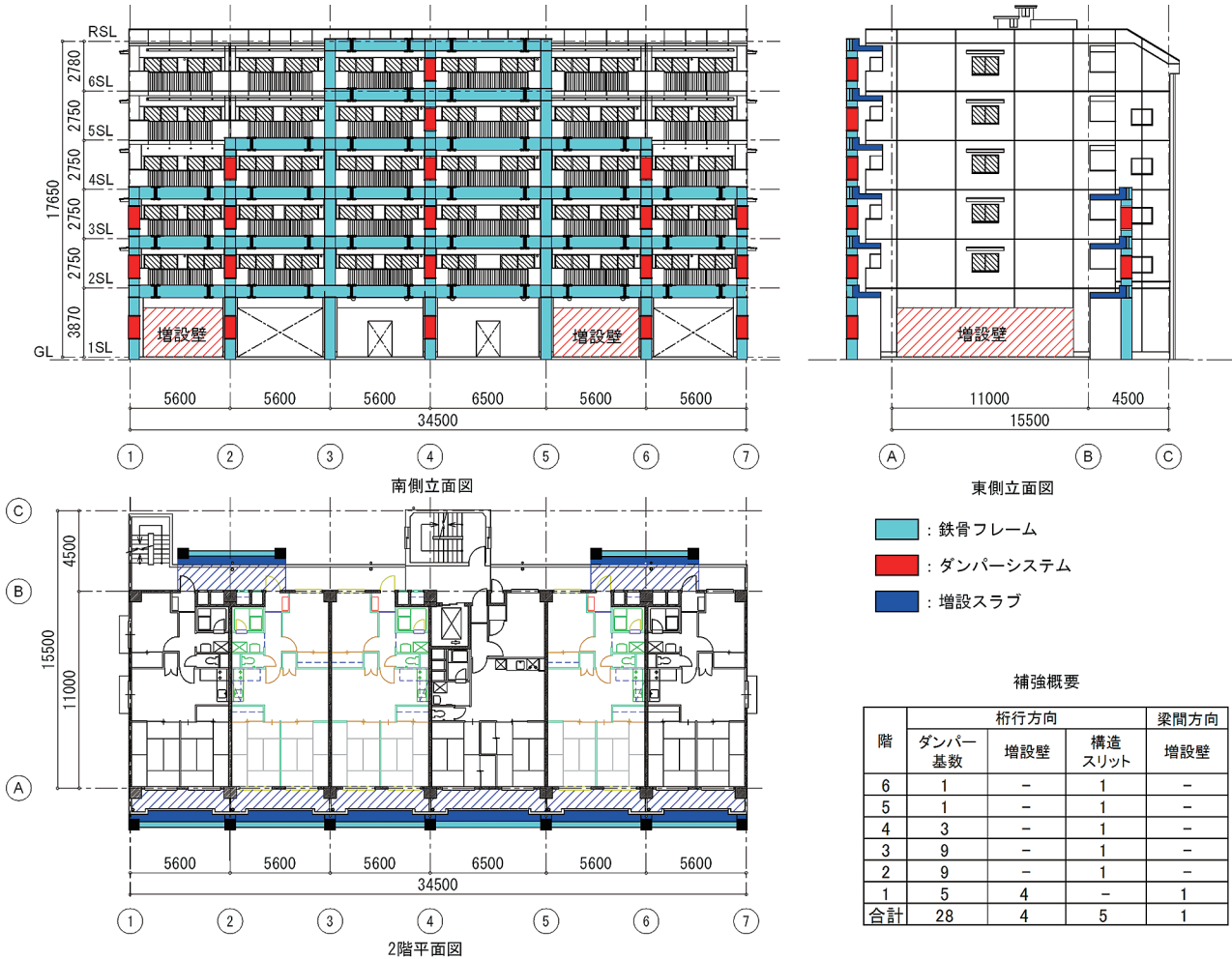


図-2 補強詳細

鉄筋コンクリート造の増設スラブは、 $F_c = 27\text{N/mm}^2$ 、厚み 250 mm、D16@150～200 ダブル配筋とし、鉄骨フレーム基礎と同様にあと施工アンカーにより既存躯体と一体となるよう接合した。ダンパーシステムは、減衰力の調整として粘弾性ダンパーユニットが 4 ユニットおよび 2 ユニット内蔵の 2 タイプを設置した。図に示すようにダンパーシステムは、バルコニー側に 20 基、廊下側に 8 基の計 28 基とした。バルコニー側の 3、5 通りの柱は周期調整用として、AFT ダンパーシステムを内蔵していない通常の鉄骨柱とした。

3-3 耐震性能確認

(1) 時刻歴応答解析結果

桁行方向の補強は制振工法によるため地震応答解析にて耐震性能を確認した。検討に用いた入力地震動は、平成 12 年建設省告示第 1461 号規定の極めて稀に発生する地震動波形（以下、告示波）3 波および既往の観測波（ELCENTRO-NS、TAFT-EW、HACHINOHE-NS）の最大速度値を 50 cm/s に基準化した波形の計 6 波とした。

靱性化（補強対象とする既存建物がある層間変形角まで構造スリット補強等により靱性を確保したもの）した既存建物の静的荷重増分解析の結果から、各層 1/100 以上の変形性能を確認できたので、時刻歴応答解析でのクライテリアを最大応答層間変形角 1/125 以下とし、1 層は壁構造であるため層間変形角 1/500 以下に設定した。

補強前（既存建物）と補強後（補強建物）の最大応答層間変形角を図-3 に示す。告示波 3 波に対する応答値は既往観測波に比べると小さいため、本報告では省略する。補強前の最大は TAFT-EW での 4 層が 1/61 で、補強後の最大は ELCENTRO-NS での 5 層が 1/139 であった。層間変形角が 1/2 程度となり、補強効果の確認ができた。

(2) 構造耐震指標

補強前と補強後の耐震診断で構造耐震指標 I_s 値を利用して性能評価する。 I_s 値が 0.6 以上であれば現行の耐震設計基準と同等の耐震性能と考えられるため、目標値は 0.6 とした。表-1 に補強前後の構造耐震指標 I_s 値を示す。

梁間方向は、耐震診断の結果から偏心率の改善のみで所要の耐震性能が得られると判断したため、1 階の 7 通りに壁を増設した。壁を補強した状態で再度、耐震診断を行った結果、SD 値が 0.67 から 1.0 に改善したことにより I_s 値は 0.45 から 0.79 となった。

桁行方向は、制振補強であるため現行耐震診断基準²⁾での強度指標 C 値と靱性指標 F 値により直接的に算出することができない。制振補強建物の耐震性能評価法として、換算 I_s 値が様々な手法で提案^{3),4)}されている。しかし、補強対象の建物規模やダンパーの種類（履歴系、粘性系、粘弾性系等）によっては評価ができないなどの適用範囲が限定されている場合がある。そこで筆者等は、地震応答解析結果を I_s 値に援用させることで上記の制約

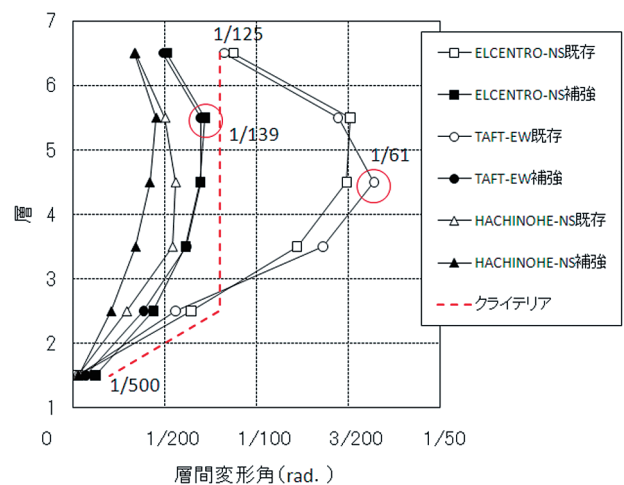


図-3 最大応答層間変形角（既存観測波）

表-1 補強前後の構造耐震指標
桁行方向（ dI_s 値）／梁間方向（ I_s 値）

階	桁行方向		梁間方向	
	補強前	補強後	補強前	補強後
6	0.65	0.78	2.82	2.82
5	0.44	0.71	1.74	1.74
4	0.44	0.85	1.35	1.35
3	0.40	0.90	1.19	1.19
2	0.41	0.80	1.08	1.08
1	0.50	0.83	0.45	0.79

を受けず、汎用性の高い評価方法として動的に評価する I_s 値（以下、 dI_s 値）を提案^{5),6)}している。

この dI_s 値の評価法は、靱性補強した建物の I_s 値に、制振補強による応答制御効果から算出される動的性能向上倍率 Nr を、補強建物に入力した地震動波形ごとに求め、その平均値 Nr_{ave} を乗じることで dI_s 値を得る手法で、(1)式の通りである。

$$dI_s^{(i)} = I_s^{(i)} \times Nr_{ave}^{(i)} \quad \cdots (1)$$

ここで (i) は各階を示す。

表-1 に示すように桁行方向各層の dI_s 値は 0.6 を上回り、時刻歴応答解析において設計クライテリアを満足するように補強した結果を反映していると考えられる。

§ 4. 耐震補強工事

4-1 施工計画

耐震補強工事の工事工程を図-4 に示す。補強工事の全体工期は 4 月中旬に着工し、同年 12 月下旬に竣工で約 9 ヶ月、各工事の期間は、基礎工事に約 2 ヶ月、制振フレームの建方工事に 9 日、増設スラブ工事に 2 ヶ月、仕上げ工事（ダンパーシステムのカバー取付、鉄骨部の塗装）に 2 ヶ月とした。制振鉄骨フレームの建方工事、増設スラブ工事などの本工法特有の特殊な工事は、これまで工事経験がないことから、現場職員、協力会社および設計監理者との綿密な事前打合せにより計画した。また、本工事は居住者が住みながらの工事実施であった

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
仮設工事			足場組立						解体
基礎工事		掘削		基礎工事・鉄骨0節					
躯体工事			制振鉄骨フレーム建方 接合部躯体目荒し あと施工アンカー穿孔・打ち込み 鉄筋・型枠・コンクリート打設						
								増設スラブ工事	
								仕上げ工事・カバー取り付け	
準備工事		給水・雨水配管盛り替え 受水槽解体 駐輪場解体							
1階内部工事	倉庫撤去			耐震壁新設			耐震壁新設	駐輪場・駐車場仕上げ	

圖一4 工事工程

め、工事の進め方や様々な対策等についても留意して計画した。

なお本工事は、横浜市より耐震改修促進法の認定を取得していることから、任意検査として、基礎の配筋、鉄骨建方終了時、および増設壁の配筋状況の確認、中間検査として、増設スラブの3階床の配筋検査を受けた。

4-2 制振鉄骨フレーム建方

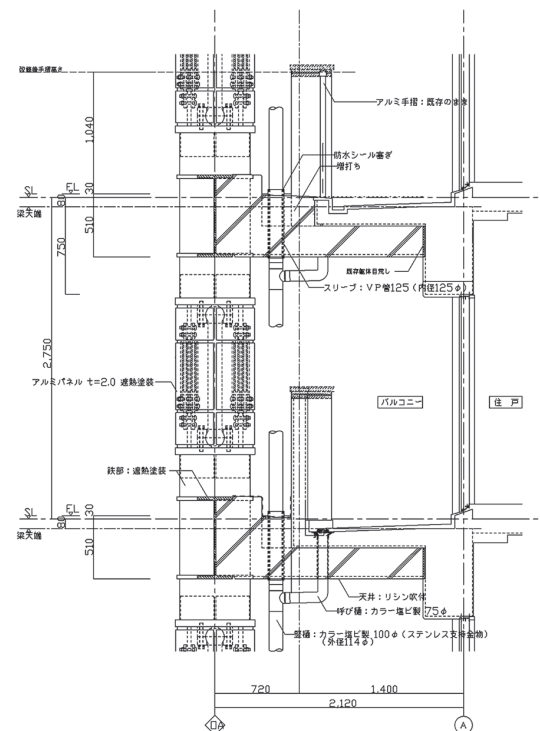
制振フレームの取付詳細を図-5に、建物配置を図-6に、制振フレーム柱のセット状況を図-7にそれぞれ示し、鉄骨建方の状況を写真-1に示す。揚重計画はバルコニー側の敷地が約6mと狭いため荷降ろしできる位置に搬入車を設置できないことから4通りの柱までは、メインクレーンと合番クレーンの2台を使用した。図-7のように、一つの吊上げピースは粘弾性ダンパーユニットおよび軸力伝達機構の下部ボルト接合部で分割した。

これは、柱部を溶接接合すると高熱がダンパーに加わり、性能変化を避けるためと、現場における溶接作業を極力少なくし施工の省力化を図るためである。

また、搬送中のダンパーユニットと軸力伝達機構の養生のために、仮の拘束治具を下部に取り付け、吊上げ直前に取り外してから揚重した。柱をセットしてから梁を取り付ける作業を、1通り側から順次行い、バルコニー側は7日間、廊下側は2日間で完了した。鉄骨フレームは、既存躯体から仮設梁により固定し建て入れ直し後に本締め作業を行った。

4-3 増設スラブ工事

増設スラブの工事は、表面塗装の剥離、躯体目荒し、既存梁側面にあと施工アンカーの穿孔・打込み、スラブ配筋、型枠、コンクリート打設の手順で実施した。工事状況を写真-2に示す。あと施工アンカー工事において



図一5 制振フレーム取付詳細



图—6 建物配置



(a) ピース揚重

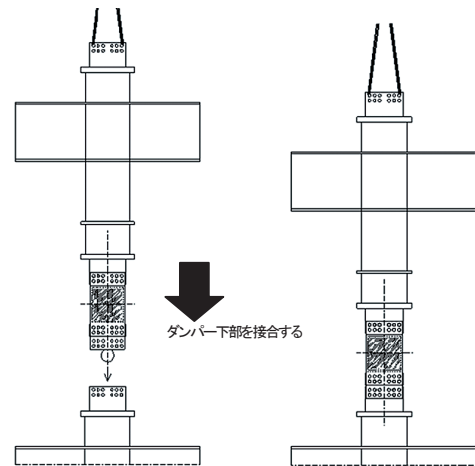


図-7 制振鉄骨フレーム柱のセット



(b) ダンパー下部接合



(a) 目荒し・スラブ配筋

(c) バルコニー側建方完了
写真-1 制振鉄骨フレーム建方(b) コンクリート打設
写真-2 増設スラブ工事

は、1 構面に打ち込むアンカーの本数が多く、ピッチ、ゲージ間隔が密であり削孔工事が厳しい状況であったため既存鉄筋との干渉をさけるため、予め鉄筋探査機により、あばら筋の位置を確認して墨だし後に削孔した。

コンクリート打設工事は、既存の片持ちスラブ下にコンクリートを流し込むので、その充填性の確保が極めて

難しい。そこで、既存の片持ちスラブの先端付近と梁側付近にチドリで 1 m ピッチに直径約 10 cm の孔をあけ、打設時にその孔を利用して充填確認とバイブレータによる締固めを実施した。また、コンクリートのスランプを調整し、流動性にも配慮した。型枠脱型後、コンクリートが細部に渡り良好に打設されていることを確認した。

4-4 住いながら工事

本建物では居住者が日常生活を行っているため、施工中の安全および生活環境保全に十分配慮することが重要である。

(1) 安全対策

居住者への安全配慮として、作業内容・場所・時期および日常動線の制限・立ち入り禁止区域について、事前に説明会や掲示・回覧等を行い周知を徹底した。

バルコニー側の施工時は、バルコニーが全て使用できなくなるため、さまざまな対策が必要であった。バルコニー側の状況を写真-3に示す。窓の養生は、日常生活にできるだけ支障が生じないように採光に配慮し、プライバシー保護の観点から乳白色のボードを選定した。緊急の避難時には簡単に破壊できることや工事が無い日には、ボードの一部が住戸側から開閉可能な仕掛けを設けた。また、洗濯物が干せなくなることから、空き住戸に乾燥機を設置して、住民がいつでも自由に使用できるようにした。

廊下側施工時の留意点は、居住者が通行できなくなることが生じるので、作業時間のお知らせや、型枠支保工の間隔を広くし有効幅確保に努めた。本工事では、実施しなかったが、居住者が外出したい時の合図方法や帰宅時の一時待機場所などを作ることも必要であると考えた。

(2) 騒音・振動対策

騒音・振動の極力小さい工法や施工機器を選定することが重要である。本工事では空き住戸を利用した騒音測定の実施や居住者へのアンケート調査により施工中に発生する騒音レベルや居住者の不快感などについて、実状を把握することができた。特に、目荒し作業やあと施工アンカー削孔工事時の騒音は大きく、居住者への負担・影響が大きいことから、低騒音・低振動で施工効率を損なわない工法の改良や開発が必要である。

また、施工工区から離れた部屋を一時的な避難場所とする等の対策が必要になる。

§5. まとめ

本報告は、BiD フレーム工法を初適用した旧耐震設計基準6階建共同住宅の設計・工事の概要である。

まとめとして、

- (1) BiD フレーム工法にて補強した本建物は、想定した地震に対し、地震応答量および動的構造耐震指標 dIs で耐震性能があることを確認できた。具体的には、最大応答層間変形角で1/2に、 dIs 値は0.4~0.5が0.7~0.9へと、改善が見られた。
- (2) 本補強工事においては、「制振フレーム建方」および



写真-3 バルコニー側の窓養生

「増設スラブ工事」を「住いながら」で実施しなければならない。これらは本工法特有の内容である。これまで経験したことのない工事にも関わらず、スムーズに実施することができた。また、本工事により今後のBiDフレーム工法工事に活かせる多くの情報・ノウハウを得ることができたが、今後の課題は「増設スラブ工事」の躯体の目荒しやあと施工アンカー工事での騒音であり、居住者の負担を出来るだけ軽減することである。

謝辞. 最後に本工事の設計・施工にあたりご尽力を頂いた粘弾性ダンパーメーカー・住友ゴム工業(株)および鉄骨加工会社・坂本工業(株)の皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 高橋孝二, 他3名: BiD フレーム工法による共同住宅の耐震補強, 西松建設技報, Vol. 36
- 2) 日本建築防災協会: 2001年度改定版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説, 2010.9
- 3) 社団法人建築研究振興協会他: 既存建築物の耐震診断・耐震補強マニュアル 2003年版, pp 付7-1~付7-10
- 4) 倉本洋, 北倉友佳: 制振補強を施した既存鉄筋コンクリート造建築物の構造耐震評価法の検証, 構造工学論文集, Vol. 54B, pp. 457-464, 2008.3
- 5) 山下忠道, 他16名: 制振補強効果による動的性能向上倍率の算出, 2012年度日本建築学会学術講演梗概集, 構造IV, pp. 305-322, 2012.9
- 6) 佐藤匠, 他14名: 増幅機構付制振装置を用いた補強後建物の換算 Is 値の算出例 (制振補強効果による動的性能向上倍率の算出), 日本建築学会技術報告集, 第19巻, 第42号, pp. 465-470, 2013.6