T2R2東京工業大学リサーチリポジトリ Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	オイル・鋼製ダンパーを用いた下層部分制振補強の効果と 影響に関す る検討
Title(English)	INVESTIGATION ON EFFECTIVENESS AND INFLUENCE OF LOWER PARTIAL RETROFITTING WITH OIL DAMPAR OR STEEL DAMPER
著者(和文)	
Authors(English)	Daiki Sato, Toshiaki Sato, Haruyuki Kitamura, Takuya Nagae, Masato Ishii, Keisuke Yoshie
出典(和文)	日本建築学会技術報告集, Vol. 21, No. 48, pp. 533-538
Citation(English)	AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 21, No. 48, pp. 533-538
発行日 / Pub. date	2015, 6
Relation	https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/21/48/21_533/_article/-char/ja/
Note	本文データは学協会の許諾に基づきJ-STAGEから複製したものである

オイル・鋼製ダンパーを用いた 下層部分制振補強の効果と影響 に関する検討

加藤 翼 *1 佐藤大樹 *2 佐藤利昭 *3 北村春幸 *4 長江拓也 *5 石井正人 *6 吉江慶祐 *6

キーワード:

高層建物、制振補強、長周期地震動、オイルダンパー、鋼製ダンパー

Keywords:

High-rise building, Seismic retrofit, Long-period ground motion, Oil damper, Steel damper

INVESTIGATION ON EFFECTIVENESS AND INFLUENCE OF LOWER PARTIAL RETROFITTING WITH OIL DAMPER OR STEEL DAMPER

Tsubasa KATO * 1	Daiki SATO * 2
Toshiaki SATO * 3	Haruyuki KITAMURA — * 4
Takuya NAGAE — * 5	Masato ISHII * 6
Keisuke YOSHIE — * 6	

According to past researches, partial retrofitting which install steel dampers into lower stories of existing high-rise building as vibration control method for long-period ground motion is suggested. This paper reports the seismic response and response characteristics of the analysis models partial installed oil dampers or steel dampers aimed at enhancing the adaptive range of partial retrofitting. The analysis result shows effectiveness of oil damper and some points of attention to design such as the increase of deformation in the damper installed stories and the damper non-installed stories.

1. はじめに

超高層建物の設計において,長周期地震動に対する検討の必要性 が広く認識されつつある¹⁾。しかし,超高層建物の設計方法・技術 は,時代とともに変化を続けており^{2),3)},建設年代によっては,長周 期地震動に対する検討が必ずしも十分ではない場合も想定される。 1980年以前に建設された初期の超高層建物の実架構を再現した E-ディフェンス震動台実験⁴⁾では,長周期地震動による長時間の繰返 し変形によって現場溶接接合を採用した柱梁接合部の破断が確認さ れている^{5),6)}。実際に柱梁接合部に現場溶接接合を採用している超 高層建物は多く現存していることから⁷⁾,多くの建物で長周期地震 動に対する耐震補強が必要となる可能性も考えられる^{8),9)}。

長周期地震動に対する耐震補強方法として、制振ダンパーを用い た制振補強の有用性が報告されている¹⁾。しかし、超高層建物は、社 会の中枢機能を担うものであり、改修工事期間の建物機能の停止は、 大きな経済的損失に繋がる。さらに、超高層建物では、主架構の全 体曲げ変形の影響により上層部のダンパーが有効に機能しないとい う問題点も報告されている¹⁰⁾。そこで筆者ら¹¹⁾は、工期短縮による 経済的負荷の軽減と耐震性能の向上を両立する手法として、長周期 地震動などの巨大地震によって超高層建物の下層部に損傷が集中す る応答特性¹²⁾を考慮し、下層部にのみ履歴減衰型鋼製ダンパー(以 後、鋼製ダンパー)を部分配置する部分制振補強を提案しており、 実験からもその効果が実証されている¹³⁾。しかし、文献 14 では、ダ ンパーの投入量や配置層数、入力地震動の大きさなどの条件によっ

- ²² 東京工業大学建築物理研究センター 准教授・博士(工学)
- *3 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士(工学)
- *4 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士 (工学)
- *5 名古屋大学減災連携研究センター 准教授・博士 (工学)
- *6 ㈱日建設計構造設計部 博士(工学)

ては、ダンパー非設置層である上層部の主架構が損傷を受ける可能 性が示唆されており、部分制振補強の更なる検証が求められる。

本報は、文献 9 の発展として検討対象建物を追加し、下層部分制 振補強の検討範囲の拡張と本手法を用いる上での留意点を報告する ことを目的に、地震応答解析結果を整理したものである。本報では、 鋼製ダンパーに加えて、粘性減衰型オイルダンパー(以後、オイル ダンパー)を採用したモデルを対象に検討を行い、オイルダンパー を下層部分配置する有用性を確認するだけでなく、両ダンパーの応 答特性の違いも比較検討を通して示す。

2. 解析条件概要

2.1 検討対象建物概要

検討用解析モデルは、1980年代以前に建設された初期の純ラーメ ン構造の超高層建物を想定した(付録 A)地上21階と35階の鋼構 造建物である(以後,21 model と35 model)¹¹⁾。使用部材断面を表 1 に,検討モデルの軸組図,伏図および制振ダンパーの配置箇所を 図1にそれぞれ示す。建物重量は、21 modelが115346 kN、35 model が373870 kN である。解析には、剛床を仮定した3次元立体架構モ デルを用い、X 方向への1 方向入力とした。柱の弾塑性挙動は、曲 げと軸力の連成を考慮するマルチスプリングモデルで評価した。剛 床仮定のため、梁の軸伸縮は考慮しないが、梁端部の弾塑性挙動も ここでは同様に処理した。スラブの合成効果は、梁の曲げ剛性のみ に考慮し、片側スラブで1.4倍、両側スラブで1.8倍とする。主架構

^{*5} Assoc. Prof., Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univ., Dr. Eng.

¹ 東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻 大学院生 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

^{*1} Graduate Student, Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science

²² Assoc. Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Inst. of Technology, Dr. Eng.

^{*3} Assist. Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

^{*4} Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

^{*6} Nikken Sekkei Ltd., Dr. Eng.



のみの耐震モデルにおける 1 次固有周期 $_{f}T_{1}$ は 21 model が 2.41 s, 35 model が 4.07 s である。図 2 に静的弾塑性解析より得られた層せん 断力 Q と層間変形角 R の関係を示す。図中の〇印は標準層せん断力 係数 $C_{0}=0.3$ における値(固有周期 $_{f}T_{1}$, 地盤の卓越周期 0.6 s, 地域 係数 1.0) を、●印は当該層のいずれかの部材が降伏モーメントに達 した許容応力度時の値をそれぞれ表す。許容応力度時のベースシア 係数 C_{b} は、21 model が 0.195, 35 model が 0.084 であり、これに 1 次固 有周期を乗じた値 $C_{b+f}T_{1}$ (振動特性係数 R_{t} を考慮した、 C_{b} の C_{0} 相 当値 ¹⁵) は、21 model が 0.470, 35 model が 0.342 である。構造減衰は、 減衰定数 h=2%の初期剛性比例型とし、主架構のみに与える。

2.2 制振ダンパー概要

本報では、制振ダンパーを下層 20%、40%、60% および全層 100% に配置した場合を対象に検討を行う。オイルダンパーを配置したモデルを V20, V40, V60, V100, 鋼製ダンパーを配置したモデルを H20, H40, H60, H100 とダンパー配置層数によってそれぞれ呼び分ける。

オイルダンパーは、非線形粘性ダッシュポットと弾性バネを直列 結合した Maxwell モデルで構成する。ダンパー速度 $_{d}V_{i}$ と減衰抵抗 力 $_{d}F_{i}$ の関係を図 3 に示す。図中のリリーフ速度 $_{d}V_{R}$ は、21 model で 0.032 m/s、35 model で 0.015 m/s¹⁶、粘性係数比 p (1 次粘性係数 に対する 2 次粘性係数の割合)は、0.068 を採用する。内部剛性 $_{d}K_{i}$ は、 粘性係数 $_{d}C_{i}$ を用いて (1) 式で表される¹⁶。

$${}_{d}K_{i} = \beta \cdot_{d} C_{i} \tag{1}$$

ここで、 β : 内部剛性係数であり、 $\beta = 3_{d}V_{R}$ を採用する¹⁷⁾ (この時、 $_{d}V_{R}$ の単位は、cm/s)。鋼製ダンパーには、座屈拘束ブレースを採用し、 LY225 材 (降伏応力度 225 N/mm²)を用いる。塑性化部長さは、部 材長さの1/4とし、完全弾塑性型の復元力特性を用いる。塑性化部 の軸剛性は、降伏軸力と降伏応力度の関係より求まる断面積、塑性 化部長さ、ヤング係数を用いて算出した。議論を明確にするため、 本研究では両ダンパーの支持部材を含む塑性化部以外を剛と仮定し た。また、両ダンパーの端部は、主架構に対してピン接合とした。

オイルダンパー1本当りのリリーフ荷重 $_{d}F_{Ri}$ および鋼製ダンパー1本当りの降伏軸力 $_{d}F_{yi}$ は、1層当りのダンパー設置基数 n、ダンパー設置角 θ_{i} を用いて(2a,b)式よりそれぞれ算出する。

$$_{d}F_{Ri} = \frac{_{d}Q_{Ri}}{n \cdot \cos \theta_{i}}, \quad _{d}F_{yi} = \frac{_{d}Q_{yi}}{n \cdot \cos \theta_{i}}$$
 (2a,b)

ここで、 $_dQ_{Ri}$: 各層のリリーフ層せん断力、 $_dQ_{yi}$: 各層の降伏層せん 断力であり、本報では、第1層のリリーフ層せん断力 $_dQ_{R1}$ および降 伏層せん断力 $_dQ_{y1}$ を基準とし、Ai 分布に基づく設計用層せん断力 分布をもとに図4に示すように4段階分布とした。 $_dQ_{R1}$, $_dQ_{y1}$ は (3a,b) 式でそれぞれ算出する。

$${}_{d}Q_{Rl} = {}_{d} \alpha_{Rl} \sum_{i=1}^{N} m_{i} g, \quad {}_{d}Q_{yl} = {}_{d} \alpha_{yl} \sum_{i=1}^{N} m_{i} g$$
(3a,b)

ここで、 $_d\alpha_{R1}$:第1層のリリーフ層せん断力係数、 $_d\alpha_{y1}$:第1層 の降伏層せん断力係数、N:全層数、 m_i :各層の質量、g:重力加速 度であり、本報では、 $_d\alpha_{R1}$ 、 $_d\alpha_{y1}$ をそれぞれオイル・鋼製ダンパーの ダンパー量として用いる。



2.3 解析用入力地震動概要

入力地震動には、設計における標準波として用いられている最大 速度を 0.5 m/s に基準化した El Centro 1940 NS (以後, El Centro) と、 想定される長周期地震動として東海・東南海地震の予測波 C-SAN-EW¹⁸⁾, さらに、本検討モデルに対して C-SAN-EW と同等の 入力レベルとなるように調整した模擬地震動として、Hachinohe 1968 EW 位相を用いて 0.64 秒以降の周期帯域の速度応答スペクトル S_V (h = 5%)を 1.4 m/s に基準化した告示波 ART HACHI 140 を採用す る。図 5 に速度応答スペクトル S_V (h = 5%)およびエネルギースペ クトル V_E (h = 10%)をそれぞれ示す。



なお、図中の矢印で示す範囲は、本検討で使用する 21 model および 35 model の耐震モデル ~ H100 の弾性 1 次固有周期 $_{21} T_1$ (2.41 ~ 1.71 s), $_{35} T_1$ (4.07 ~ 3.13 s) をそれぞれ表す。また、本報では、高次モードによる影響の検証を行うため、図中には、21 model の耐震モデルにおける 2 次固有周期 $_{21f} T_2$ (0.86 s) も併せて表示している。

3. 時刻歴応答解析に基づく応答評価

3.1 検討対象建物の耐震性能評価

はじめに,耐震モデルを対象に時刻歴応答解析を行い,検討対象 建物の耐震性能を把握する。図6に,応答解析より得られた層間変 形角 *R* および梁の累積塑性変形倍率の各層における最大値 *G* の高 さ方向分布をそれぞれ示す。



図 6(a) の層間変形角について見ると,(i)21 model は, C-SAN-EW, ART HACHI 140 入力時に同等の変形を示しており,最大で R =0.015 rad 程度まで変形していることが確認できる。(ii)35 model は, ART HACHI 140 入力時の方が C-SAN-EW 入力時より大きな応答を 示しており,最大変形は,(i)21 model 同様, R = 0.015 rad 程度の値 を示している。図 6 (b) の梁の累積塑性変形倍率に着目すると,(i) 21 model は,同等の最大変形を示した C-SAN-EW 入力時と ART HACHI 140 入力時で大きく異なる応答値を示しており(図 5 (b)よ り,入力エネルギーの差異によるものと考えられる), C-SAN-EW 入 力時には,下層部の梁に集中的な累積損傷が発生していることが分 かる。文献 19 では, $G\eta$ の安全限界値として,柱梁接合部を現場溶 接接合とした場合 $G\eta = 13.5$,工場溶接接合とした場合 $G\eta = 21.5$ を 提案しており, C-SAN-EW 入力時の応答値はそれらを超過してい ることから,大きな損傷の発生が予測される。(ii)35 model において も, ART HACHI 140 入力時に下層部の梁に大きな損傷が見られ,最 大で *σ*η = 13.5 を上回る結果となった。以上より、本検討モデルのような初期の超高層建物において、長周期地震動入力時の応答が設計 用地震動である標準波入力時の応答を大きく上回る可能性が認めら れ、制振補強などを行い最大変形や部材の累積損傷を低減する必要 がある。

3.2 オイル・鋼製ダンパーのダンパー量に関する検討

前節の検討を踏まえ、オイル・鋼製ダンパーをそれぞれ配置した制 振モデルを対象に時刻歴応答解析を行い、ダンパー量の違いによる 応答性状の変化の確認ならびに以降の検討で採用するダンパー量の 決定を行う。本節の検討では、ダンパーの配置層数およびダンパー量 の変更による固有周期の変化を考慮し、周期変動による影響の小さ い ART HACHI 140 を入力地震動として用いる。

はじめに、エネルギー吸収量の分担について考察する。図 7 に 35 model のダンパー量 $_{d\alpha_{R1}, d\alpha_{y1}}$ と入力エネルギー Eに対する全ダンパ ーのエネルギー吸収量 $_{dW_P}$ の割合 $_{dW_P/E}$ および主架構のエネルギ 一吸収量 $_{fW_P}$ の割合 $_{fW_P/E}$ の関係をそれぞれ示す。なお、図中の $_{d\alpha_{R1}}=0, _{d\alpha_{y1}}=0$ は、耐震モデルの応答値を意味する。



図7(a)のダンパーのエネルギー吸収量は、鋼製ダンパーの場合、 ある入力に対して極大値を示すダンパー量が存在することが知られ ているが²⁰⁾、下層部分配置を採用した場合においても同様の傾向が 認められる。オイルダンパーは、極大値となるダンパー量がないため、 ダンパー量の多い範囲では、鋼製ダンパーに比べて高いエネルギー 吸収能力を示している。しかし、極大値以下となるダンパー量の少な い範囲では、エネルギー吸収量が鋼製ダンパーと同等の値を示した。 図示はしないが、21 model においても同様の傾向が確認された⁹。図 7(b)の主架構のエネルギー吸収量は、オイル・鋼製ダンパーともにダ ンパー量の増加に伴い大きく低減している。ただし、鋼製ダンパーを 配置したモデルの場合、エネルギー吸収量が極小値を示すダンパー 量が存在し、それ以上のダンパー量においては、鋼製ダンパーが塑 性化しにくくなることで主架構のエネルギー吸収量の割合が増加傾 向を示した。そこで、図8に35 modelのV100,H100の各ダンパー 量における梁の累積塑性変形倍率 Gn の平面分布を示す。検討対象箇 所は、耐震モデルにおいて最大の Gη を示した第8層の YB 通りの 梁端部とし、図中には、参考として耐震モデルの応答値を破線で併 記している。図 8(a) より、V100 は、ダンパー量の増加に伴い梁端部 の損傷が大幅に低減していることが分かる。一方,図8(b)の H100 では、_dα_{v1}=0.015を上回るダンパー量において、ダンパー配置箇所に 隣接する境界梁(X3-X4)の損傷のみがダンパー量の増加に伴い増大

傾向を示し, $_{d\alpha_{11}} = 0.04$ で耐震モデルの応答値を上回っていることが 確認できる。これは、連層配置した鋼製ダンパーによって誘発された 主架構の全体曲げ変形が、周りの境界梁に大きな強制変形を与える ためである¹¹⁾。一方でオイルダンパーは、全体曲げ変形を緩和するこ とが出来るため²¹⁾、V100 において $_{d\alpha_{R1}}$ を大きくすることによる境 界梁への損傷集中は発生しなかったと考えられる。また、下層部分配 置を採用することによっても、主架構の全体曲げ変形は緩和される ため¹¹⁾、H40、H60 では H100 に比べてダンパー量の増加に伴う境界 梁の損傷増大は軽減されていた。しかし、ダンパー設置層と非設置層 の切り替わり層付近の損傷の増大が確認された(図 10 後述)。

なお, 21 model は, 35 model に比べて建物高さが低く, 全体曲げ変 形量が小さいことに加えて $C_{b+f} T_1$ が高いため, 境界梁への損傷集中 はほとんど見られないことを確認している⁹。



次に、最大応答値について考察する。図 9 に 21 model、35 model に おけるダンパー量 $_{d\alpha_{R1}, d\alpha_{y1}}$ と応答解析結果の最大層間変形角 R_{max} の 関係をそれぞれ示す。



本報では、 $R_{\text{max}} \leq 0.01$ rad を設計目標と定めてダンパーの応答低 減効果を評価する。図 9 より、各モデルにおける設計目標を満足する ために必要なダンパー量 $_{d\alpha'_1}$ ($R_{max} \leq 0.01$ rad を満足する $_{d\alpha_{R1}, d\alpha_{P1}}$ の最小値)を抽出し,整理したものを表 2 に示す。ただし、21 model の V20 および 35 model の V20, H20, H40 については、今回検討した範 囲のダンパー量では、0.01 rad 以下に抑えることが出来なかったため、 R_{max} が最小となるダンパー量を記載している(括弧付きで表記)。 また表中には、当該ダンパー量における R_{max} を併せて表示している。

表2 必要ダンパー量_dα'₁と最大層間変形角Rmax

21model			35model				
	$_{d} \alpha'_{1}$	$R_{\rm max}(\times 10^2)$		$_{d} \alpha'_{1}$	$R_{\rm max}(\times 10^2)$		
V20	(0.08)	(1.05)	V20	(0.03)	(1.26)		
V40	0.04	0.94	V40	0.025	0.94		
V60	0.03	0.88	V60	0.015	0.95		
V100	0.03	0.82	V100	0.015	0.90		
H20	0.07	0.98	H20	(0.025)	(1.34)		
H40	0.03	0.94	H40	(0.02)	(1.03)		
H60	0.02	0.94	H60	0.02	0.89		
H100	0.02	0.85	H100	0.015	0.89		

* 括弧付きは, $R_{\max} \leq 0.01 \, \mathrm{rad}$ を満足しなかったモデルの値

表 2 より, 21 modelの場合, 鋼製ダンパーの方がオイルダンパーに 比べて小さなダンパー量で $R_{max} \leq 0.01$ rad を満足することが出来て おり, 鋼製ダンパーの変形抑制能力の高さが窺える。しかし, 35 model の H40 では, V40 とは異なり, $R_{max} \leq 0.01$ rad を満足することが出来 なかった。そこで、図 10 に 35 model の V40 と H40 の各ダンパー量 における層間変形角 R の高さ方向分布を示し、ダンパー量の増加に 伴う変形分布の変化を確認する。



図 10 より、V40, H40 ともにダンパー設置層は、ダンパー量の増 加に伴い変形が低減しているが、切り替わり層付近の変形について は、一定のダンパー量を超えると逆に増大していくことが確認でき る。ただし同図より、過大なダンパー量の投入による切り替わり層 付近の変形の増大傾向は、オイルダンパーを採用することで鋼製ダ ンパーに比べて緩和されることが分かる。切替わり層付近の変形増 大は、特定層への損傷集中に直結するため、部分制振補強を採用す る上で、適度なダンパー量を投入し、かつ十分なダンパー配置層数 を確保する等の配慮が必要である。

続いて、各モデルの全層のダンパーの累計投入量について考察する。図 11 にダンパー配置層数と $_d\alpha'_1$ におけるダンパー総投入量 $\Sigma_dQ'_i$ (全層の $_dQ_{Ri}, _dQ_{yi}$ の累計値)の関係を示す。なお、図中の×印は、 $R_{max} \leq 0.01$ rad を満足できなかったモデルの値を意味する。



図 11 より, 21 model の場合, V40, V60 および H20, H40, H60 は, V100, H100 に比べてダンパー総投入量が抑えられている。さらに, H60 は, H20, H40 よりも総投入量が小さいことから, 適切な配置層 数を確保することで, ダンパー総投入量を最小限に留められること が分かる。35model についても, V60 は V40 よりダンパー総投入量 が抑えられていることが確認できる。

3.3 下層部分制振補強モデルの応答特性

前節の検討を踏まえ,下層部分制振補強を採用した建物の応答特性について考察する。本節の検討では,設計目標を満足できなかった4例を除き,最大層間変形角が同等であると考え,ダンパー量として表2に記載した 40% を採用することとする。

はじめに、層せん断力の分布形状を確認する。図12 に ART HACHI 140 入力時における各モデルの層せん断力分布 Q_i/Q_i (第1層のせん 断力 Q_i に対する各層のせん断力 Q_i)を示す。なお、図中の太線は、 耐震モデルにおけるAi分布に基づく設計用層せん断力分布を表す。



図 12 より,層せん断力の分布形状は,オイル・鋼製ダンパーの違いやダンパーの配置層数による変化がほとんど見られず,概ね耐震 モデルにおける設計用層せん断力分布と対応していることが分かる。 なお,この傾向は,他の地震動の入力に対しても確認された。

続いて、部分制振補強による応答低減効果と各層の応答性状を確認する。検討対象は、図 6 の耐震モデルの応答解析結果より、長周期地震動によって梁端部に特に大きな累積損傷が発生した 21 model とする。C-SAN-EW 入力時における各モデルの層間変形角 R および梁の累積塑性変形倍率の各層の最大値 $_{G\eta}$ の高さ方向分布を図 13, 14 にそれぞれ示す。図中には、耐震モデルの応答値を破線で併記する。図 13 の層間変形角について見ると、V20、H20 を除き、制振補強を施したモデルは、全層が R=0.01 rad 以下に収まっている。切り替わり層付近の変形に着目すると、ダンパー設置層に比べて、変形の増大

が認められるが、耐震モデルの応答値を上回ることはなかった。図 14 の梁の累積塑性変形倍率については、固有周期の変動による影響 もあるが、制振補強を施すことによって梁端部の損傷が大幅に低減 していることが確認できる。ただし、V20、H20 では、切り替わり層付 近の梁に損傷が発生しており、上記の層間変形角の検討結果と合わ せても配置層数が十分でないと判断できる。



最後に、上層部の応答増大が予想される高次モードの影響につい て検証する。入力地震動には、図 5 の 21 model の 2 次固有周期 21/*T*2 とスペクトルの関係より、2 次モードの影響を強く受けると考えら れる El Centro を採用することとし、その入力倍率を1.5 倍 (El Centro 75) とした場合の応答解析より得られた層間変形角 *R* の高さ方向分 布を図 15 に示す。図中の破線は、耐震モデルの応答を意味する。



図 15 より、オイル・鋼製ダンパーにかかわらず、ダンパーを下層 部分配置したモデルでは、切り替わり層より上層で耐震モデルを上 回る変形を示していることが確認できる。ここから、入力地震動によ っては、下層部分制振補強がマイナスに作用する場合も考えられる。 ただし、図示はしないが入力倍率を 1.0 倍としたいずれの入力波の 解析結果からは、上記の様な傾向は認められず、全層が耐震モデル 以下の応答に低減していることを確認している。以上より、設計時に おいて高次モードの影響の出やすい地震動を採用することに加えて、 上層の応答が増大する入力レベルを把握することが必要である。

4. まとめ

本報では,既存超高層建物に対する制振補強方法として,下層に のみオイルまたは鋼製ダンパーを部分配置する手法を提案し,21 階 および 35 階の鋼構造建物に対して下層 20%,40%,60% および全層 に配置したケースを対象に地震応答解析を行い,応答性状の比較検 討を行った。限られた範囲ではあるが得られた知見を以下に示す。

- オイルダンパーを下層部分配置することで、鋼製ダンパー同様、
 長周期地震動入力時の最大変形および梁端部の累積損傷を大幅に
 低減することが出来た。ただし、高い制振効果を期待する場合、+
 分な配置層数の確保が必要となる。
- オイルダンパーを採用することで、大きなダンパー量を投入した
 時の境界梁への損傷集中および切り替わり層付近の変形の増大傾向が、鋼製ダンパーを採用した場合に比べて緩和された。
- ・両ダンパーともに、部分配置を採用することにより、設計目標を 満足するために必要なダンパー総投入量を全層配置に比べて抑え ることが出来た。さらに、適切な配置層数を確保することによって、 総投入量を最小限に留めることが出来ることを示した。
- オイル・鋼製ダンパーを部分配置した場合、入力レベルが大きく、 高次モードの卓越する地震動の入力によって、ダンパー非設置層 の変形が、耐震モデルの応答値を上回る可能性が認められた。

今回の検討は, P-ム効果の影響が小さい範囲であるため, 解析時に P-ム効果を考慮していないが, 入力がさらに増大した場合には, P-ム 効果を考慮した検討が必要になると思われる。これについては, 今後 検討を行う予定である。

謝辞

本研究成果は、防災科学技術研究所と東京理科大学の共同研究の 一部です。検討を進めるにあたり、日建設計、オイレス工業、東京 理科大学による制振研究会では、貴重な助言を頂きました。また、 本研究の一部は、社団法人日本鉄鋼連盟「鋼構造研究・教育助成事業」 による「一般テーマ研究助成」によって実施されたものです。記して 謝意を表します。

参考文献

- 日本建築学会:長周期地震動と超高層建物の対応策-専門家として知って おきたいこと-、2013.10
- 2) 日本建築学会:長周期地震動と建築物の耐震性,2007.12
- 3) 加藤翼, 佐藤利昭, 佐藤大樹, 北村春幸, 長江拓也, 石井正人, 吉江慶祐: 文献調査に基づく既存超高層建物の現状把握と地震応答解析モデルの構築, 日本建築学会技術報告集, 第 20 巻, 第 45 号, pp.575-590, 2014. 6
- 4) 長江拓也, 鐘育霖,島田侑,福山國夫,梶原浩一,井上貴仁,中島正愛,斉 藤大樹,北村春幸,福和伸夫,日高桃子:超高層建物の耐震性能を検証す る大規模実験システムの構築-E-ディフェンス震動台実験-,日本建築 学会構造系論文集,第640号,pp.1163-1171,2009.6
- 5) 佐藤大樹,島田侑,大内隼人,長江拓也,北村春幸,福山國夫,梶原浩一, 井上貴仁,中島正愛:長周期地震動を受ける鋼構造超高層建物のエネルギ 一吸収と分担率-部分切り出し架構に対する E-ディフェンス振動台実 験-,日本建築学会構造系論文集,第75巻,第653号,pp.1217-1226,2010.7

- 6) 岡崎太一郎,松宮智央,長江拓也,福山國夫,井上貴仁,中島正愛:超高層 鋼構造建物の現場溶接接合が有する耐震性能を検証する E-ディフェンス 振動台実験,日本建築学会構造系論文集,第78巻,第685号,pp.569-578, 2013.3
- 7) 中川真里奈, 佐藤大樹, 長江拓也, 北村春幸, 佐野剛志: 性能評定シートに よる既存超高層鋼構造建物の梁端現場溶接接合部の調査, 日本建築学会 技術報告集, 第19巻, 第42号, pp.579-584, 2013.6
- 佐藤大樹,長江拓也,北村春幸,中川真里奈,助村浩太郎,梶原浩一:既存 超高層鋼構造建物の長周期地震動に対する耐震性評価と制振補強,第10 回日中建築構造技術交流会論文集,pp.61-70,2013.11
- 9) 加藤翼, 佐藤大樹, 佐藤利昭, 長江拓也, 北村春幸, 石井正人, 吉江慶祐: 下層部にオイルダンパーを部分配置した超高層建物の応答評価, 第 14 回 日本地震工学シンポジウム, pp.2271-2280, 2014. 12
- 10) 日本建築構造技術者協会:応答制御構造設計法,彰国社,2000.12
- 11)島田侑、佐藤大樹、長江拓也、北村春幸、福山國夫、梶原浩一、井上貴仁、 中島正愛、斎藤大樹、福和伸夫、日高桃子:超高層建物の下層階に部分配 置する履歴型ダンパーの効果と影響に関する検討-長周期地震動を想定 した耐震改修-、日本建築学会構造系論文集、第75巻、第649号、 pp.549-557, 2010.3
- 12) 金紋廷, 荒木慶一, 山川誠, 田川浩, 五十子幸樹:極大地震動に対する超高 層純ラーメン鋼構造建物の動的応答に及ぼす P-ム効果の影響, 日本建築学 会構造系論文集, 第74巻, 第644号, pp.1861-1868, 2009. 10
- 13) 佐藤大樹,長江拓也,大内隼人,島田侑,北村春幸,福山國夫,梶原浩一, 井上貴仁,中島正愛,斉藤大樹,福和伸夫:長周 期地震動を受ける超高層 建物の鋼製ダンパーによる制振改修に関する E-ディフェンス振動台実験, 日本建築学会構造系論文集,第76巻,第667号,pp.1139-1648,2011.9
- 14) 橋本奨吾, 佐藤大樹, 北村春幸, 長江拓也, 佐野剛志: 複合用途を想定した 超高層鋼構造建物の応答性状と制振補強効果, 構造工学論文集, Vol.59B, pp.309-319, 2013. 3
- 15) 戸張涼太, 佐藤大樹, 古谷慶, 北村春幸, 石井正人, 吉江慶祐, 宮崎充, 佐々木和彦, 岩崎雄一: 骨組特性値を用いた履歴型ダンパーを有する建物 の制振性能評価, 構造工学論文集, Vol.59B, pp.321-327, 2013. 3
- 16)日本免震構造協会:パッシブ制振構造設計・施工マニュアル,第3版, 2013.11
- 17) 笠井和彦, 伊藤浩資, 小椋崇之:オイルダンパーの等価剛性調節による制 振構造の応答制御手法, 日本建築学会構造系論文集, 第73巻, 第630号, pp.1281-1288, 2008.8
- 18)愛知県建築住宅センター:名古屋三の丸地区における地域特性を考慮した耐震改修のための基盤地震動の作成(概要版),(財)愛知県建築住宅センター耐震構造委員会設計用入力地震動検討部会,pp.1-48,2004.6
- 19)北村春幸,宮内洋二,浦本弥樹:性能設計における耐震性能判断基準値に 関する研究-JSCA 耐震性能メニューの安全限界値と余裕度レベルの検討 ー,日本建築学会構造系論文集,第604号,pp.183-191,2006.6
- 20) 古谷慶, 添田幸平, 佐藤大樹, 北村春幸, 石井正人, 吉江慶祐, 宮崎充, 佐々木和彦, 岩崎雄一: 履歴ダンパーを有する超高層弾性架構の実効変形 比に着目した制振性能評価, 構造工学論文集, Vol.58B, pp.197-207, 2012.3
- 21)加藤翼,佐藤大樹,助村浩太郎,北村春幸,石井正人,吉江慶祐,宮崎充, 佐々木和彦,岩崎雄一:1970年代を想定した超高層建物の長周期地震動に 対する応答特性と制振補強 その2 鋼製・粘性ダンパーを用いた制振補強, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), B-2, pp.819-820, 2013. 8

22) 日本建築学会:高層建築技術指針, 1967.6

付録 A 文献調査結果に基づく検討対象建物の妥当性検証

想定年代である 1980 年代以前の超高層建物を対象とした文献調査結果 ³⁾よ り得られた設計用ベースシア係数 *C_b* および本検討モデルの許容応力度時ベ ースシア係数 *C_b* と 1 次固有周期 *T*₁ の関係を図 A に示す。図中の破線は、高 層建築技術指針 ²²⁾の基準である *C_b*=0.18/*T*₁, 0.36/*T*₁ の関係を表す。図 A よ り、35model は、*C_b*=0.18/*T*₁ ~ 0.36/*T*₁ の範囲内に存在しているが、21model は、 *C_b*=0.36/*T*₁ を上回る結果となった。ただし、21 model については、当時の設 計手法を踏まえた地震応答解析 ³⁾より、その妥当性を確認している⁹⁾。

