

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	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
Title(English)	
著者(和文)	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
Authors(English)	Daiki Sato, Toshiaki Sato, Takuya Nagae, Haruyuki Kitamura, Masato Ishii, Keisuke Yoshie
出典(和文)	第14回日本地震工学シンポジウム論文集, , , pp. 2271-2280
Citation(English)	, , , pp. 2271-2280
発行日 / Pub. date	2014, 12

## 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

加藤翼<sup>1)</sup>、佐藤大樹<sup>2)</sup>、佐藤利昭<sup>3)</sup>、長江拓也<sup>4)</sup>北村春幸<sup>5)</sup>、石井正人<sup>6)</sup>、吉江慶祐<sup>7)</sup>

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

e-mail : 7113607@ed.tus.ac.jp

2) 東京工業大学応用セラミックス研究所建築物理研究センター、准教授 博士 (工学)

e-mail : daiki-s@serc.titech.ac.jp

3) 東京理科大学理工学部建築学科、助教 博士 (工学)

e-mail : sato\_t@rs.tus.ac.jp

4) 防災科学技術研究所、主任研究員 博士 (工学)

e-mail : nagae@bosai.go.jp

5) 東京理科大学理工学部建築学科、教授 博士 (工学)

e-mail : kita-h@rs.noda.tus.ac.jp

6) 日建設計、技師長 博士 (工学)

e-mail : ishiim@nikken.co.jp

7) 日建設計、構造設計部長 博士 (工学)

e-mail : yoshie@nikken.co.jp

## 要 約

本論文は、既存超高層建物の長周期地震動対策として、下層部にのみ粘性減衰型オイルダンパーを配置する部分制振補強を提案し、履歴減衰型鋼製ダンパーを用いた場合の応答性状との比較検討を通して、その有用性を報告するものである。検討の結果、部分配置した場合においてもオイルダンパーは有効に機能し、長周期地震動に対して応答低減効果を示した。さらに、鋼製ダンパーを採用した場合に比べてダンパーの設置層と非設置層における層間変形の変化は緩和されることを確認した。

キーワード： 高層建物、長周期地震動、制振補強、部分配置

## 1. はじめに

近年、南海トラフに代表される海溝型巨大地震の発生が危惧されており、それに伴い生じる長周期地震動によって、長い固有周期を有する超高層建物は深刻な被害を受けることが懸念されている<sup>1)</sup>。そのため、既存超高層建物の長周期地震動に対する耐震性能の再検証が喫緊の課題となっている。1980年代の実架構を再現したE-ディフェンス振動台実験では、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を採用した柱梁接合部が破断に至ることが確認されている<sup>2)</sup>。実際に現場溶接を使用している超高層建物は多く現存しており<sup>3)</sup>、長周期地震動の予測波を用いた部材レベルの時刻歴応答解析による

検討からも多大な被害の発生が予想されている<sup>4),5)</sup>。このような被害を軽減するためには、長周期地震動によって建物に入力される巨大なエネルギーを制振装置（ダンパー）を用いて吸収し、主架構の塑性化により吸収するエネルギーを減少させることが有効である<sup>6)</sup>。ただし、超高層建物は、都市の中核機能を担うものであり、改修工事期間の建物機能の停止による経済的負担を勘案すると、迅速かつ現実的な解決方法が望まれる。そこで文献7では、長周期地震動によって応答が大きくなる下層部<sup>8)</sup>にのみ履歴減衰型鋼製ダンパー（以後、鋼製ダンパー）を設置する部分制振補強を提案しており、実大実験においても、その実用性は確認されている<sup>9)</sup>。しかし、鋼製ダンパーの部分配置は、地震動の大きさや設置層の数、ダンパーの投入量などの条件によって、ダンパー非設置層である上層の主架構に損傷を与える可能性も示唆されており<sup>10)</sup>、十分な注意が必要である。

以上を踏まえ、本論文では、本手法の拡張を目的に粘性減衰型オイルダンパー（以後、オイルダンパー）を用いた部分制振補強を提案し、鋼製ダンパーを採用した場合の応答性状との比較検討を通して、その応答特性および有用性を示す。

## 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地上21階、高さ80.5mの鋼構造建物である。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。解析は、剛床を仮定した立体部材モデルで行い、X方向のみを対象とする。スラブの合成効果は、梁の曲げ剛性のみを考慮し、片側スラブで1.4倍、両側スラブで1.8倍とした。固有値解析の結果、主架構のみの状態（以後、耐震モデル）における1次固有周期 $T_1$ は2.41secである。構造減衰は、減衰定数 $h=2\%$ の初期剛性比例型とした。設計クライテリアは、当時の設計水準<sup>4)</sup>をもとに、最大加速度 $4.0\text{m/s}^2$ に基準化したEl Centro 1940 NS（以降、El Centro）に対して最大層間変形角 $R_{\max} \geq 1/100\text{rad}$ としている。（付録A参照）。

表1 部材断面表

柱	□-450x450x16x16 ~ □-600x600x40x40
大梁	BH-600x250x12x19 ~ BH-600x300x12x32

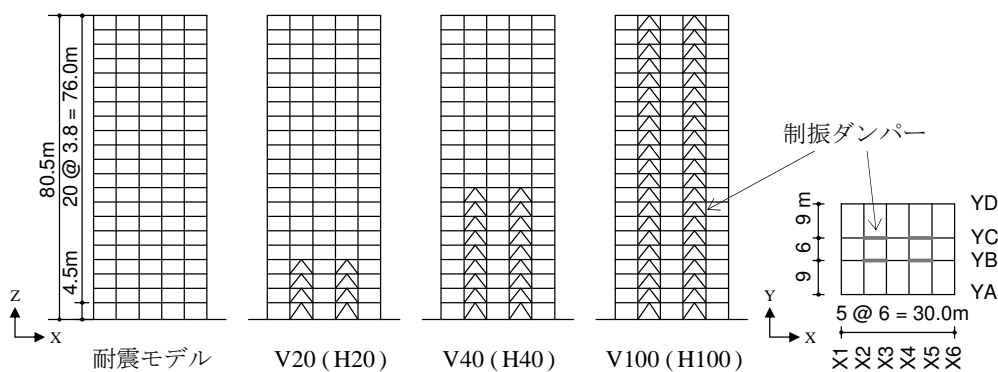


図1 検討対象建物の軸組図および伏図

### 2.2 制振ダンパー概要

本論では、制振ダンパーを下層20%に配置した場合、下層40%に配置した場合、もしくは、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、V100、鋼製ダンパーを配置したモデルをH20、H40、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 (図 2 参照)。ダンパー速度  ${}_dV_i$  と減衰抵抗力  ${}_dF_i$  の関係を図 3 に示す。本論では、リリース速度  ${}_dV_R = 0.032 \text{ m/s}$ 、粘性係数比 (1 次粘性係数に対する 2 次粘性係数の割合)  $p = 0.068$  を採用し、ダンパー 1 本当りのリリース荷重  ${}_dF_{Ri}$  は、1 層当りのダンパー設置基数  $n$ 、ダンパー設置角  $\theta_i$  を用いて (1) 式より算出する。

$${}_dF_{Ri} = \frac{{}_dQ_{Ri}}{n \cdot \cos\theta_i} \quad (1)$$

ここで、 ${}_dQ_{Ri}$ : 各層のダンパーのリリース層せん断力であり、本論では、第 1 層のダンパーのリリース層せん断力  ${}_dQ_{R1}$  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 段階に分布した。 ${}_dQ_{R1}$  は、(2) 式で定義する。

$${}_dQ_{R1} = {}_d\alpha_{R1} \sum_{i=1}^N m_i g \quad (2)$$

ここで、 ${}_d\alpha_{R1}$ : リリース層せん断力係数、 $N$ : 全層数、 $m_i$ : 各層の質量、 $g$ : 重力加速度であり、本論では、 ${}_d\alpha_{R1}$  をオイルダンパーの投入量として用いる。オイルダンパーの内部剛性  ${}_dK_i$  は、粘性係数  ${}_dC_i$  ( $= {}_dF_{Ri} / {}_dV_R$ ) を用いて (3) 式で表される<sup>11)</sup>。

$${}_dK_i = \beta \cdot {}_dC_i \quad (3)$$

ここで、 $\beta$ : 内部剛性係数であり、 $\beta = 3 {}_dV_R$  を採用する<sup>12)</sup> (この時、 ${}_dV_R$  の単位は、cm/s)。

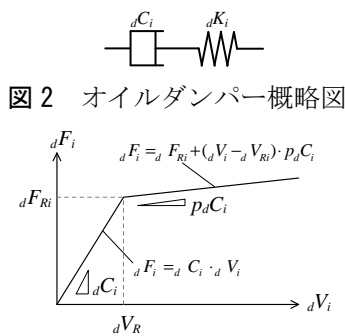


図 2 オイルダンパー概略図

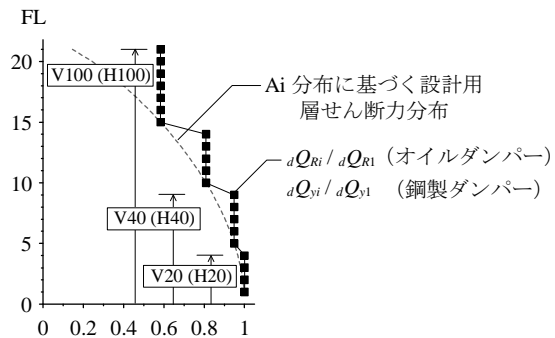


図 4 ダンパーのリリースおよび降伏層せん断力の分布

鋼製ダンパーは、座屈拘束ブレースを用いる。ダンパーの塑性化部には LY225 材 (降伏応力度  $225 \text{ N/mm}^2$ ) を用い、塑性化部長さは部材長さの  $1/4$  とし、それ以外は剛としてモデル化した。復元力特性は、完全弾塑性型である。ダンパー 1 本当りの降伏軸力  ${}_dF_{yi}$  は、(4) 式より算出する。

$${}_dF_{yi} = \frac{{}_dQ_{yi}}{n \cdot \cos\theta_i} \quad (4)$$

ここで、 ${}_dQ_{yi}$ : 各層のダンパーの降伏層せん断力であり、オイルダンパー同様、第 1 層のダンパーの降伏層せん断力  ${}_dQ_{y1}$  を基準に図 4 に示すように 4 段階に分布した。 ${}_dQ_{y1}$  は、(5) 式で定義する。

$${}_d Q_{y1} = {}_d \alpha_{y1} \sum_{i=1}^N m_i g \quad (5)$$

ここで、 ${}_d \alpha_{y1}$ : 第1層のダンパーの降伏層せん断力係数であり、鋼製ダンパーの投入量として用いる。

### 2.3 解析用入力地震動概要

本論の検討で用いる入力地震動は、現行設計で使用されている最大速度を 0.5 m/s に基準化した標準波 El Centro と 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  $S_V$  を 0.8m/s とした告示波 ART HACHI に加え、長周期地震動として東海・東南海地震の予測波 C-SAN-EW<sup>13)</sup> とする。図 5 に入力地震動の加速度時刻歴波形、最大加速度  $Acc_{max}$ 、実効継続時間  $t_0$ <sup>14)</sup> を、図 6 (a), (b) 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 6 中の一点鎖線は、耐震モデルの 1 次固有周期  $fT_1$  を示す。図 6 より、C-SAN-EW は、El Centro、ART HACHI に比べて、 $S_V$ 、 $V_E$  とともに約 1.5 倍大きい値となっていることが確認できる。

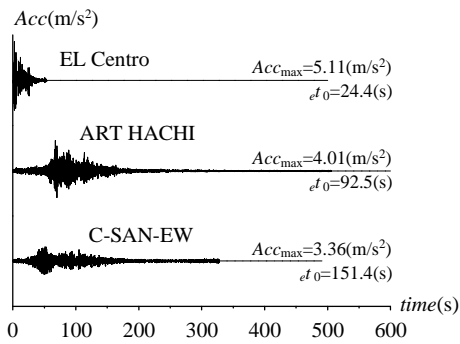


図 5 入力地震動の加速度時刻歴波形

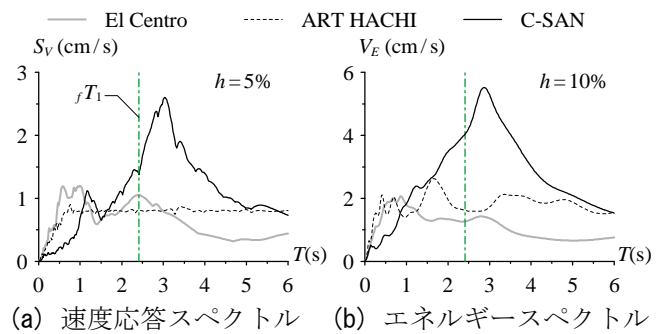


図 6 入力地震動のスペクトル

## 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 7 (a) ~ (c) に、応答解析結果の層間変形角  $R$ 、層の塑性率  $f\mu$ 、梁の累積塑性変形倍率の各層の最大値  $\sigma\eta$  の高さ方向分布をそれぞれ示す。なお、 $f\mu$  は、層の最大層間変形  $\delta_{maxi}$  を層の降伏変形  $\delta_{yi}$  で除することで算出し、 $\delta_{yi}$  は、静的増分解析の結果より、その層のいずれかの部材が全塑性モーメントに達する変形と定義した。

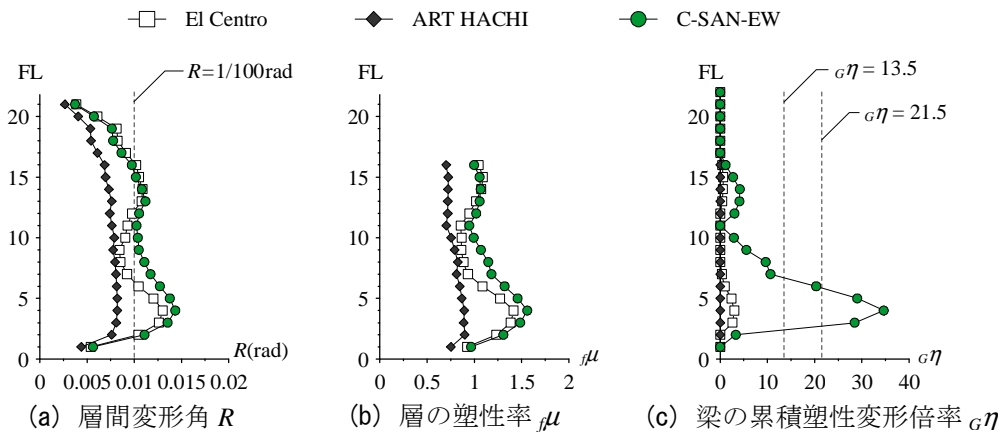


図 7 耐震モデルにおける応答値の高さ方向分布

図7(a)より、El Centro、C-SAN-EW入力時の層間変形角は、全層でほぼ同程度の値を示しており、ともに  $R=1/100$  radを上回っていることが確認できる。図7(b)の層の塑性率について見ると、 $R=1/100$  radを超える変形を示す層であっても  $f\mu=2.0$  以下に収まっており、告示波ART HACHIに対しては、全層が  $f\mu=1.0$  以下の弾性範囲に留まる耐震性能を有していることが確認できる。図7(c)の梁の累積塑性変形倍率について、同程度の変形を示したEl CentroとC-SAN-EW入力時の応答を比較すると、長周期地震動であるC-SAN-EW入力時において、El Centro入力時の応答を大きく上回る累積損傷が、下層部の梁に集中的に発生していることが分かる。文献15で提案されている安全限界値は、柱梁接合部を現場溶接とした場合  $G\eta \leq 13.5$ 、工場溶接とした場合  $G\eta \leq 21.5$  であり、C-SAN-EW入力時の本検討モデルの最大累積塑性変形倍率は、それらを大きく上回っていることが確認できる。以上より、本検討モデルのような初期の超高層建物は、制振補強などを行い長周期地震動入力時の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・鋼製ダンパーの投入量の検討

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、採用するダンパーの投入量（以後、ダンパー量）を決定する。なお、以降の検討では、入力地震動としてC-SAN-EWのみを用いる。まず、ダンパー量の違いによるエネルギー吸収率の変化について考察する。図8(a)~(c)にダンパー量  $d\alpha_{R1}$ 、 $d\alpha_{y1}$ と応答解析結果の入力エネルギー  $E$ 、入力エネルギー  $E$  に対する主架構のエネルギー吸収量  $fW_p$  の割合  $fW_p/E$  およびダンパーのエネルギー吸収量  $dW_p$  の割合  $dW_p/E$  の関係をそれぞれ示す。

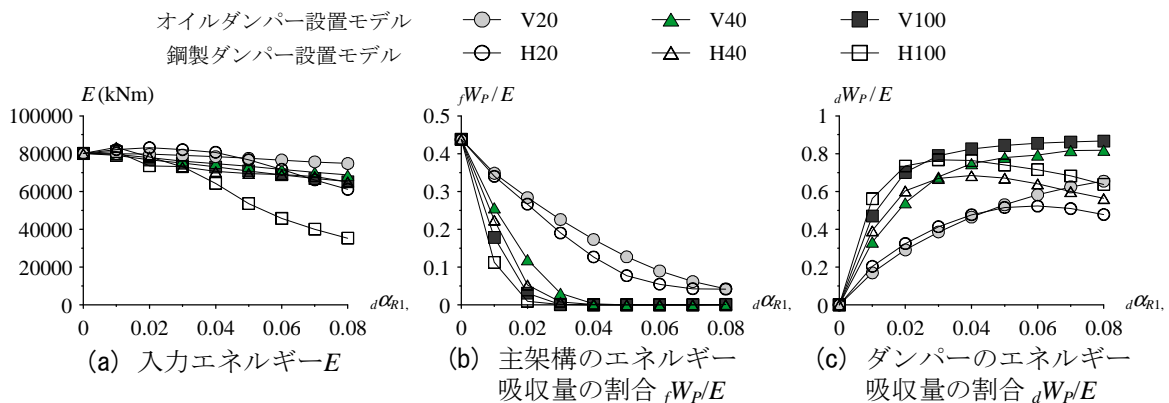


図8 ダンパー量の違いによるエネルギー吸収率の変化

図8(a)より、ダンパー量の増加に伴い入力エネルギーは減少傾向にあるが、H100を除いて大きな変化は見られない。H100に関しては、ダンパー量による固有周期の変動が大きいためであると考えられる<sup>7)</sup>。図8(b)の主架構のエネルギー吸収量の割合に着目すると、オイル・鋼製ダンパー設置モデルはともにダンパー量を増加することで同様の傾向で減少しており、V40、H40およびV100、H100については、一定以上のダンパー量で主架構が弾性に留まることが確認できる。しかし、V20、H20では、上層のダンパー非設置層で主架構が損傷を受けており、主架構の吸収エネルギーを0にすることは出来なかった。ここで、V20の  $d\alpha_{R1}=0.08$  とダンパーの総投入量（全層のダンパーの  $dQ_{Ri}$  の合計値）が同程度となるV40の  $d\alpha_{R1}=0.04$  では、主架構が塑性化していないことから、ダンパーの投入量のみではなく、配置層数を確保することも制振効果を発揮するための重要な条件であると考えられる。図8(c)のダンパーのエネルギー吸収量の割合については、ダンパー量とともに増加傾向を示すが、鋼製ダンパーの場合、あるダンパー量で極大値を示し、それ以上の投入量においては減少傾向を示している。極大値となるダンパー量は、H20が  $d\alpha_{y1}=0.06$ 、H40が  $d\alpha_{y1}=0.04$ 、H100が  $d\alpha_{y1}=0.03$  とダンパーの配置層数の少ないモデルの方が大きいことが確認できる。一方、オイルダンパーの場合は、一定以上のダンパー量で増加傾向が緩やかになっているが、極大値を示すことはなかった。

続いて、ダンパー量の違いによる応答値の変化について考察する。図 9(a)~(c) に第 1 層の層せん断力係数  $\alpha_1$ 、最大層間変形角  $R_{max}$ 、梁の累積塑性変形倍率の全層の最大値  $G\eta_{max}$  をそれぞれ示す。

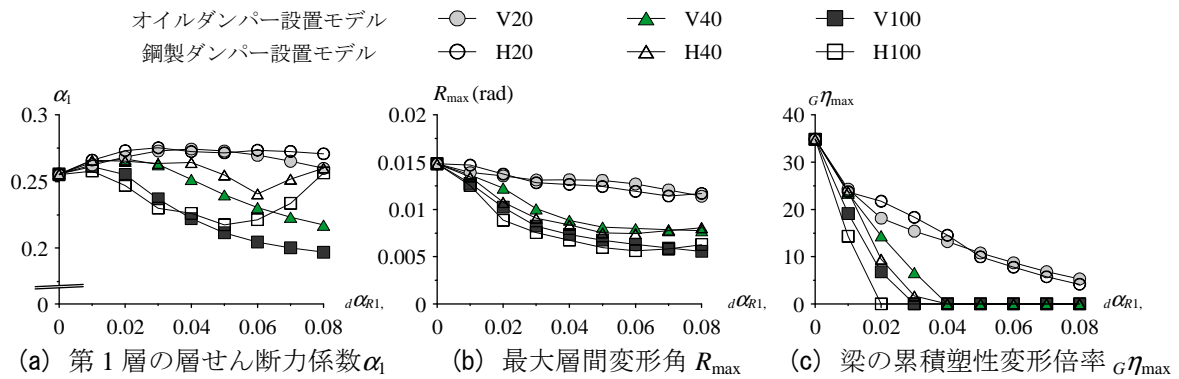


図 9 ダンパー量の違いによる最大応答値の変化

図 9(a) より、層せん断力係数については、オイルダンパーの場合、極小値を示さずダンパー量の増加に伴い緩やかに低減していることが分かる。一方、鋼製ダンパーの場合、H40は  $d\alpha_{y1}=0.06$ 、H100は  $d\alpha_{y1}=0.05$  で極小値をとっているが、H20では明確な極小値は見られない。図 9(b) の層間変形角も同様に、鋼製ダンパーの場合のみ極小値が見られ、そのダンパー量は、H20で  $d\alpha_{y1}=0.07$ 、H40、H100でともに  $d\alpha_{y1}=0.06$  であった。図 9(c) の梁の累積塑性変形倍率を見ると、制振補強を施すことで大きな応答低減効果が見られ、ダンパー量の大きい範囲では、両ダンパーともに同程度の応答を示している。

以上の検討より、鋼製ダンパーの投入量には  $d\alpha_{y1}=0.06$  を採用する。オイルダンパーの投入量は、オイル・鋼製ダンパーに発生する最大軸力を同等とする設計上の条件と層間変形角、梁の累積塑性変形倍率等の最大応答値が同程度の値を示しているという応答側の条件を考慮して  $d\alpha_{R1}=0.06$  を採用し、以降の検討で用いることとする。

### 3.4 部分配置したモデルの応答特性

前節で定めたダンパー量における時刻歴応答解析による応答性状を把握する。図 10(a)~(c) に層間変形角  $R$ 、入力エネルギー  $E$  に対するダンパーのエネルギー吸収率  $dW_i/E$ 、実効変形比  $\alpha_e$  (最大層間変形に対するダンパーの最大変形の水平成分の割合) の高さ方向分布をそれぞれ示す。

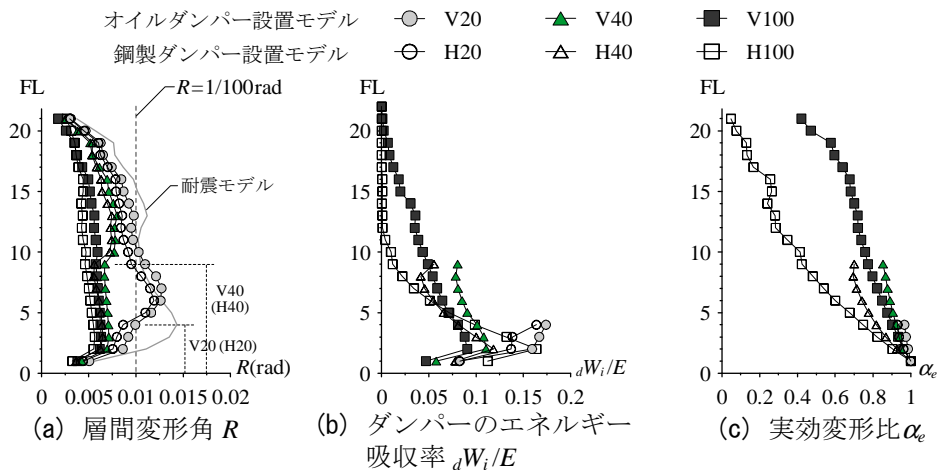


図 10 制振モデルにおける応答値の高さ方向分布

図 10(a) より、V20、H20は、ダンパー設置層から非設置層に替わる層（以後、切り替わり層）で大きく構造特性が変化するため、上層で  $R=1/100$  rad を超える最大変形が生じていることが確認でき、これにより上部の主架構が損傷していると考えられる（図8(b)）。ここから、本検討モデルにおいて

は、下層20%では配置箇所が十分でないことが示唆される。V40、H40も同様に、切り替わり層より上層で最大変形を示しているが、その値は、 $R=1/100$  rad 以下に収まっているため、主架構は無損傷となっている（図8(b)）。ダンパー設置層に着目すると、オイルダンパーに比べ鋼製ダンパーの変形抑制効果が高いことが確認できる。しかし、切り替わり層における層間変形の変化について見ると、オイルダンパーを配置したモデルの方が鋼製ダンパーに比べて変化は抑えられていることが分かる。図10(b)より、H20、H40は、切り替わり層直下のダンパーのエネルギー吸収率が大きくなる傾向を示すが、V20、V40においては見られなかった。V100とH100のダンパーのエネルギー吸収率を比較すると、下層部では、鋼製ダンパーがオイルダンパーを上回っているが、上層部では、鋼製ダンパーの場合、ほとんどエネルギー吸収を行っていないことが確認できる。これは、図10(c)に示す実効変形比の低下が原因である。実効変形比の低下は、ダンパー軸力の伝達による柱の軸伸縮によって誘発されるが、鋼製ダンパーの場合、部分配置することにより、架構の全体曲げ変形が緩和され、ダンパーの稼働効率が向上することが報告されている<sup>7)</sup>。オイルダンパーの場合は、元々、実効変形比の低下を引き起こすので<sup>16)</sup>、部分配置による実効変形比の改善量は鋼製ダンパーに比べると小さいが、同様の傾向が認められた。

### 3.5 入力倍率の違いによる応答性状の変化

本節では、C-SAN-EWの入力倍率を0.2～2.0(0.2刻み)で変動させた時のダンパーのエネルギー吸収率や応答値の変化について考察する。図11(a)～(d)に応答解析結果の $V_E$ と入力エネルギー $E$ に対する主架構のエネルギー吸収量 $fW_p$ の割合 $fW_p/E$ およびダンパーのエネルギー吸収量 $dW_p$ の割合 $dW_p/E$ 、最大層間変形角 $R_{max}$ 、梁の累積塑性変形倍率の全層の最大値 $G\eta_{max}$ の関係をそれぞれ示す。

図11(a)より、V20、V40は、H20、H40より主架構のエネルギー吸収量の割合が大きくなる傾向が見られ、巨大地震に対して主架構が損傷を受けやすいと考えられる。ただしこれは、損傷を受ける（塑性化する）梁がV20、V40の方がH20、H40に比べて多いためであり（付録B参照）、図11(c)の層間変形角および図11(d)の梁の累積塑性変形倍率の最大値については、オイルダンパーに比べ鋼製ダンパーを配置したモデルの方が大きな応答を示していることが確認できる。図11(b)のダンパーのエネルギー吸収量の割合に着目すると、オイルダンパーは、入力倍率の小さい範囲では一定の吸収量を示しているが、入力倍率の漸増に伴い、エネルギー吸収割合が減少傾向を示し、ダンパーの配置層数の少ないモデルの方が小さな入力倍率で減少が始まっている。鋼製ダンパーは、入力倍率の小さな範囲では、オイルダンパーに反してエネルギー吸収量の割合が低い。これは、変形量が小さく鋼製ダンパーが降伏変位に達していないためである。そのため、入力倍率の漸増に伴いエネルギー吸収量の割合は増加していくが、ある入力レベルで極大値を迎え、その後は減少傾向を示した。両ダンパーで比較すると、主架構が損傷を受けない範囲の入力倍率においては、オイルダンパ

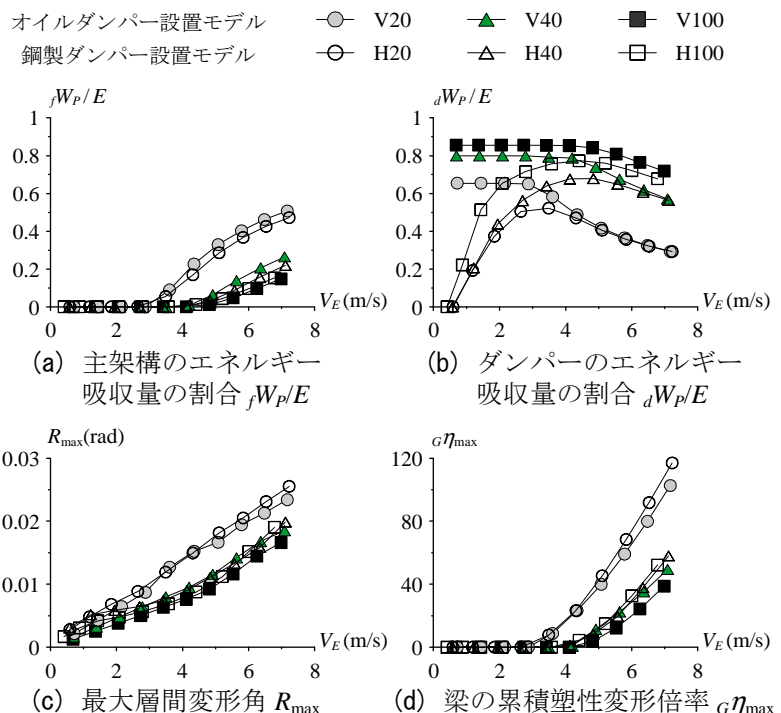


図11 入力倍率に伴うエネルギー配分および最大応答値の変化

一のエネルギー吸収量の割合が鋼製ダンパーを上回っているが、主架構が塑性化するほどの大きな入力に対しては、両者が同程度となる結果を示した。これは、オイルダンパーのエネルギー吸収率が低下したためであり、主架構の塑性化によって固有周期が長くなることに伴うダンパー速度の低減がその要因の1つとして考えられる（付録C参照）。

#### 4. まとめ

長周期地震動を想定した既存超高層建物の制振補強として、下層部に粘性減衰型オイルダンパーを部分配置した場合の応答特性を履歴減衰型鋼製ダンパーを使用した場合の応答性状と比較検討することで確認した。得られた知見を以下に示す。

- ・ 下層部にオイルダンパーを部分的に配置した場合においても、鋼製ダンパー同様に有効に機能し、ダンパー設置層に関しては、確かな制振効果を確認した。また、ダンパー非設置層についても十分な配置層数を確保することにより、応答低減効果が認められる。
- ・ オイルダンパーを採用した場合、ダンパー設置層と非設置層の切り替わりにおける層間変形の変化を鋼製ダンパーに比べて抑えることが出来た。
- ・ 主架構が損傷を受ける大きな入力レベルに対しては、オイルダンパーのエネルギー吸収率が低下し、鋼製ダンパーと同程度の値を示す結果が得られた。

#### 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。

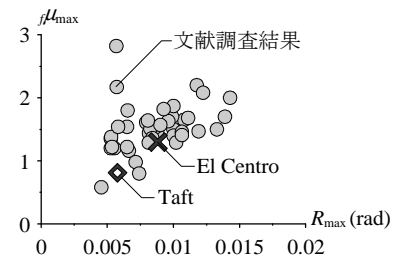
#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：長周期地震動と建築物の耐震性、2007.12
- 2) 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ー吸収と分担率 一部分切り出し架構に対するE-ディフェンス振動台実験一、日本建築学会構造系論文集、第75巻、第653号、pp.1217-1226、2010.7
- 3) 中川真里奈、佐藤大樹、北村春幸、長江拓也、佐野剛志：性能評価シートに基づく既存高層鋼構造建物の柱梁接合部の調査、日本建築学会技術報告集、第19巻、第42号、pp.579-584、2013.6
- 4) 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
- 5) 佐藤大樹、長江拓也、北村春幸、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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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- $\Delta$ 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
- 9) 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、斎藤大樹、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
- 10) 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

- 11) 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
- 12) 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、pp1281-1288、2008.8
- 13) 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
- 14) 秋山宏、北村春幸：エネルギースペクトルと速度応答スペクトルの対応、日本建築学会構造系論文集、第608号、pp.37-43、2006.10
- 15) 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—、日本建築学会構造系論文集、第604号、pp.183-191、2006.6
- 16) 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：連層配置した履歴型ダンパーと粘性型ダンパーが超高層建物の制振効果に与える影響、日本建築学会技術報告集、第18巻、第39号、pp.477-482、2012.6

## 付録.A

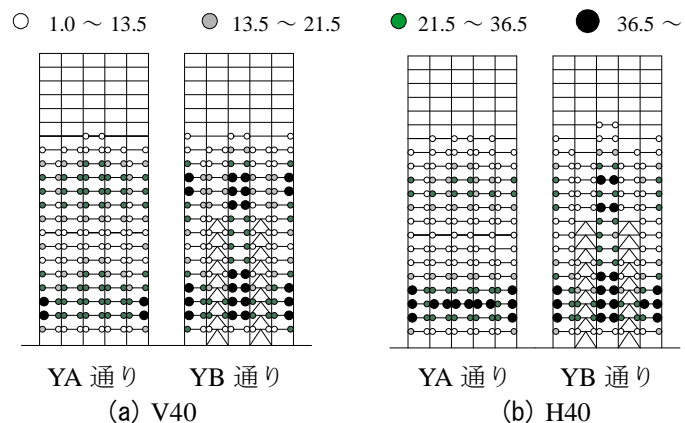
想定年代である1980年代以前における設計手法<sup>4)</sup>を踏襲した時刻歴応答解析を通して、本検討モデルの妥当性を検証する。解析は、等価せん断モデルで行う。初期剛性は、立体部材モデルを用いた静的増分解析より得られた許容応力度時の層せん断力と層間変形から算出する。復元力特性は、Bi-linear型を採用し、第2勾配の設定は、弾性剛性の50%とした。構造減衰は、 $h = 2\%$ の初期剛性比例型である。入力地震動は、最大加速度  $4.0 \text{ m/s}^2$  に設定した標準波El CentroとTaft 1952 EWを用いる。付図1に解析結果として最大層間変形角 $R_{\max}$ と最大塑性率 $f\mu_{\max}$ の対応を示す。なお、図中の丸プロットは、文献調査より得られた当時の建物の応答値の内、レベル2に最大加速度  $4.0 \text{ m/s}^2$  を採用しているものを抜粋した値である<sup>4)</sup>。付図1より、本検討モデルは、レベル2の入力に対して $R_{\max} \leq 0.01 \text{ rad}$  かつ  $f\mu_{\max} \leq 2.0$  を満足しており、文献調査結果と比較しても、当時の標準的な設計水準の範囲内に分布していることが確認できる。



付図1 検討モデルの妥当性の検証結果

## 付録.B

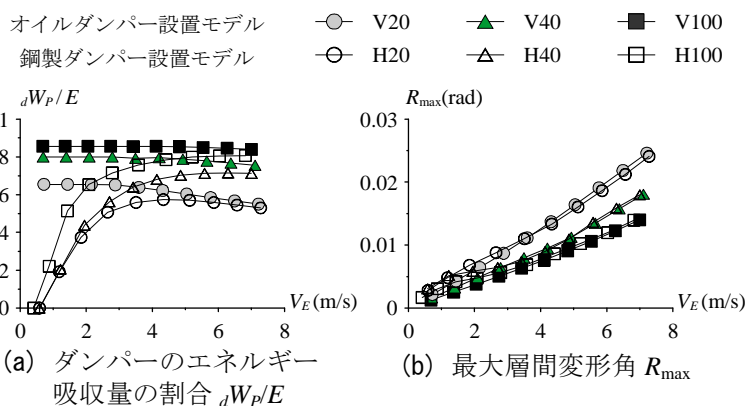
オイル・鋼製ダンパーを配置したモデルの損傷分布の違いを確認する。付図2(a),(b)に入力倍率2.0におけるV40、H40の梁の累積塑性変形倍率の架構内分布を示す。なお、図中のプロットは、文献15の安全限界値を参照して区分している。付図2(a),(b)より、両者の損傷分布形状に大きな違いは見られない。梁端部の損傷度合いに着目すると、 $c\eta = 36.5$ を超える大きな損傷を受けている箇所は、V40よりH40の方が多く、最大値と比較しても、H40の方が大きいことを確認した。しかし、 $c\eta = 13.5 \sim 21.5$  および  $c\eta = 21.5 \sim 36.5$  の範囲の応答値を示す箇所は、V40の方がH40に比べて約1.7倍多く、結果としてV40の主架構全体の吸収エネルギーがH40を上回っているということが分かる。



付図2 梁の累積塑性変形倍率の架構内分布（入力倍率2.0）

付録. C

図 11 の入力倍率を変動させた場合の検討を、主架構を弾性として行った結果を付図 3(a), (b) に示す。付図 3(a) より、入力倍率の増加に伴うオイルダンパーのエネルギー吸収量の割合の低下は図 11 (b) に比べると僅かであり、鋼製ダンパーより大きな値を示していることが確認できる。入力倍率 2.0 における第 1 層のオイルダンパーの最大速度を比較すると、主架構を弾性とした場合は弾塑性の場合の約 1.2 倍 (V100) ~ 2.0 倍 (V20) の値を示していた。併せて付図 3(b) より、主架構弾性の場合、オイル・鋼製ダンパー設置モデルの最大変形は同程度となる結果が得られた。



付図 3 主架構弾性の場合における入力倍率に伴う応答値の変化

## Seismic Response Evaluation of High-Rise Building Installing Oil Damper into Lower Stories Partially.

KATO Tsubasa <sup>1)</sup>, SATO Daiki <sup>2)</sup>, SATO Toshiaki <sup>3)</sup>, NAGAE Takuya <sup>4)</sup>

KITAMURA Haruyuki <sup>5)</sup>, ISHII Masato <sup>6)</sup> and YOSHIE Keisuke <sup>7)</sup>

1) Graduate Student, Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science

2) 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) Senior Researcher, EERC, NIED, Dr. Eng.

5) Prof., Dept. of Architecture, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

6) Structural Engineer Senior Associate, Nikken Sekkei Ltd, Dr. Eng.

7) General Manager, Structural Engineering Section, Nikken Sekkei Ltd, Dr. Eng.

### ABSTRACT

This paper describes an effectiveness of partial retrofitting with viscous oil damper as a vibration control method of the existing high-rise buildings under the long-period ground motions. The validity is verified by the comparison between the seismic response of the case adopting the hysteresis damper, and the sudden change of the deformation in the damper installed stories and the non-installed stories is suppressed by adopting oil damper

*Keywords: High-rise building, Long-period ground motion, Seismic retrofit, Partial installation*