

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	履歴ダンパー付き弾性架構における吸収エネルギーに基づく制振性能評価手法
Title(English)	THE VIBRATION CONTROL PERFORMANCE EVALUATION METHOD BASED ON ABSORBED ENERGY FOR ELASTIC FRAME HAVING HYSTERETIC DAMPERS
著者(和文)	古谷慶, 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
Authors(English)	daiki sato, Haruyuki Kitamura, Mitsuru MIYAZAKI, Kazuhiko SASAKI, IWASAKI Yuichi
出典(和文)	日本建築学会技術報告集, Vol. 20, No. 44, pp. 127-132
Citation(English)	AIJ Journal of Technology and Design, Vol. 20, No. 44, pp. 127-132
発行日 / Pub. date	2014, 2
権利情報	日本建築学会
Relation	https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijt/20/44/20_127/_pdf
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

履歴ダンパー付き弾性架構における吸収エネルギーに基づく制振性能評価手法

THE VIBRATION CONTROL PERFORMANCE EVALUATION METHOD BASED ON ABSORBED ENERGY FOR ELASTIC FRAME HAVING HYSTERETIC DAMPERS

古谷 慶 — * 1 佐藤大樹 — * 2
北村春幸 — * 3 石井正人 — * 4
吉江慶祐 — * 4 宮崎 充 — * 5
佐々木和彦 — * 5 岩崎雄一 — * 5

Kei FURUYA — * 1 Daiki SATO — * 2
Haruyuki KITAMURA — * 3 Masato ISHII — * 4
Keisuke YOSHIE — * 4 Mitsuru MIYAZAKI — * 5
Kazuhiko SASAKI — * 5 Yuichi IWASAKI — * 5

キーワード:

超高層建物, 制振構造, 履歴ダンパー, エネルギーの釣合, 評価手法

Keywords:

High-rise building, Seismic control structure, Hysteretic damper, Energy balance, Evaluation method

To estimate the seismic performance in the difference of the arrangement situation of the hysteretic dampers which have a lot of influence for the vibration control effects, it is necessary to carry out many time-history analyses. However, it is difficult to comprehensively understand the relationship between the damper arrangement and vibration control effect from only the time-history analysis results. This paper proposes the vibration control performance evaluation method based on the absorbed energy without using the time-history analyses. This method can estimate of the best configuration pattern of dampers, and it is very effective for seismic control design.

1. はじめに

制振ダンパーは低層建物から高層建物まで幅広く適用されており, その制振効果がダンパーの配置位置や設置量などの設置状況に影響されることは, 部材モデルを用いた時刻歴応答解析結果^{例えば 1)~4)}からも明らかである。このように制振効果に影響する要因が多いダンパーを適用した建物設計において, 制振効果の大きい設置状況を判断するには, 部材モデルを用いた時刻歴応答解析による多くの検討・作業時間を必要とするだけでなく, その結果のみからダンパーと建物応答との関係を包括的に捉えることは難しい。これより, 時刻歴応答解析を行う以前に, ダンパーの設置状況と応答値との関係を把握できれば, 設計において有益なものになると考える。

多くの超高層建物に採用されている筋違型の変位依存型履歴ダンパー (以後, 履歴ダンパー) は, 全層間変形ではなくダンパー本体の変形に対応する層間変形 (以後, 実効変形) に対してのみ有効に稼働する。しかし, 超高層建物は, 中層部から高層部で曲げ変形が卓越しやすいため, いかに層間変形に対する実効変形の比率 (以後, 実効変形比) を大きく確保するかが重要となる。筆者らは, 履歴ダンパーを設置した 30 階鋼構造建物を対象として, 実効変形比に着目した検討を部材モデルによる時刻歴応答解析より行い, ①それ以上の制振効果を得られない最適なダンパーの設置量が存在すること, ②ダンパーの配置位置の違いにより実効変形比が異なること, ③実効変形比を大きく確保できるダンパーの配置位置はダンパーのエネ

ルギー吸収効率が高いことを確認した⁴⁾。同じ層間変形を与えた場合, 実効変形比が大きいほど制振効果が大きい。従って, ダンパーによるエネルギー吸収効率が大きい設計を行うには, ダンパーの設置状況と実効変形比, 層間変形の関係を捉えておくことが重要である。

本報では, 時刻歴応答解析を用いずに, 履歴ダンパーの配置位置および設置量が制振性能に与える影響を評価することを目標とし, エネルギーの釣合に基づく耐震設計法⁵⁾ (以後, エネルギー法) を用いた制振性能の評価手法を提案する。本手法は, 設計時に想定する最大層間変形 (以後, 目標層間変形) に対してダンパーが吸収できるエネルギー量と 1 階に作用する層せん断力の 2 つを求め, それらを制振性能の評価値として, ダンパーの配置位置および設置量の違いについて評価を行うものである。本手法の有用性は, 部材モデルの時刻歴応答解析結果と比較することで確認する。なお, 制振構造の性状を明らかにするため, 主架構は弾性状態を保つものとする。

2. 制振性能評価値の算出

2.1 骨組特性値を用いたせん断モデル⁶⁾

本報では, 制振性能の評価に, 図 1(a) (次頁) に示す実効変形を考慮したせん断モデル⁶⁾における力学的関係を用いる。図 1(a)において, i 層の擬似フレーム剛性 K_{fi} は主架構のみの弾性層剛性であり, 擬似ダンパー剛性 K_{di} および擬似ブレース剛性 K_{bsi} は式(1a), (1b)で表される⁶⁾。なお, 添え字 s はせん断モデルの諸元および応答値を示す。

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

²⁾ 東京理科大学理工学部建築学科 助教・博士 (工学)

³⁾ 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士 (工学)

⁴⁾ ㈱日建設計構造設計部 博士 (工学)

⁵⁾ オイレス工業㈱

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

²⁾ Assistant Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Eng., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

³⁾ Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Eng., Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

⁴⁾ Associate, Structural Engineering Dept., Nikken Sekkei Ltd., Dr. Eng.

⁵⁾ Oiles Corporation

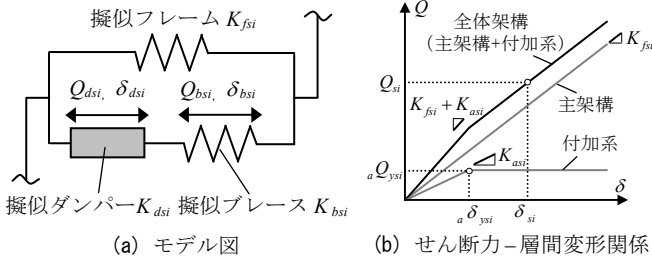


図1 せん断モデル

$$K_{dsi} = \alpha_{Ni}^2 \cdot K_{di}, \quad K_{bsi} = \alpha_{Ni} \cdot K_{dri} \quad (1a, b)$$

ここで、 K_{di} ：ダンパー剛性の水平成分である。

式(1)中の骨組特性値 α_{Ni} および K_{dri} は、主架構のみの弾性部材モデル（状態 N ，図 2(a)）と、この主架構の制振部材設置箇所に剛性が極端に大きい弾性ばねを挿入した（状態 R ，図 2(b)）2 ケースの静的解析結果から得られ、式(2)によって算出される⁹⁾。なお、状態 N 、 R において、静的解析時の荷重分布 F_{Ni} 、 F_{Ri} は設計用層せん断力分布に基づくものとする。

$$\alpha_{Ni} = \delta_{dNi} / \delta_{Ni}, \quad K_{dri} = Q_{dri} / \delta_{Ri} \quad (2a, b)$$

ここで、 δ_{di} ：制振部材設置箇所の相対変形の水平成分、 δ_i ：層間変形（ $=x_{i+1} - x_i$ 、 x_i ：層の相対変位）、 Q_{di} ：制振部材設置箇所の弾性ばねが負担する軸力の水平成分である。添え字 N 、 R は、状態 N 、 R による計算値であることを示す。

α_{Ni} はダンパーの設置量 0 の時の実効変形比に当たるため、その設置箇所における実効変形比の上限値を表し^{4), 7)}、 K_{dri} は制振部材設置箇所の架構の曲げ剛性の程度を表す⁴⁾。

本報において、擬似ダンパーと擬似ブレースの直列系（図 1）を付加系と呼び、添字に a を付ける。また、付加系と擬似フレームの並列系を全体架構と定義する。

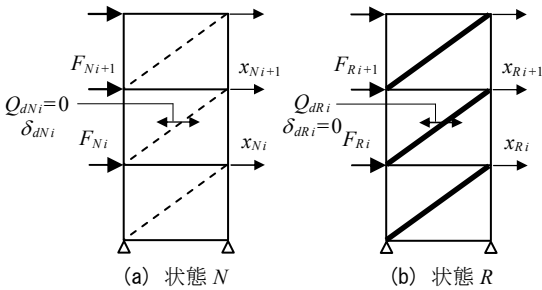


図2 状態 $N \cdot R$ 解析

2.2 評価値の算出

はじめに、ダンパーが吸収し得るエネルギー量を表す評価値 V'_{Ds} について述べる。主架構の弾性を仮定した際の制振構造に適用するエネルギーの釣合式⁵⁾は、実効変形を考慮した付加系を用いて次式で表される。

$${}_f W_{es} + {}_a W_{ps} = E_s - {}_f W_{ds} = E_{Ds} \quad (3)$$

ここで、 ${}_f W_{es}$ ：主架構の弾性振動エネルギー、 ${}_a W_{ps}$ ：付加系の弾性振動エネルギー、 ${}_a W_{ps}$ ：付加系のエネルギー吸収量、 E_s ：入力された総エネルギー量、 ${}_f W_{ds}$ ：主架構の減衰により消費されるエネルギー、 E_{Ds} ：損傷に寄与するエネルギー入力量である。

擬似ブレースは弾性のため ${}_a W_{ps} = {}_a W_{ps}$ となる。さらに、式(3)において、地震終了時刻には ${}_f W_{es} = {}_a W_{es} = 0$ となることから、地震終了時におけるエネルギーの釣合式は次式で表される。

$${}_a W_{ps} = {}_a W_{ps} = E_{Ds} \quad (4)$$

ここで、 ${}_a W_{ps}$ ：ダンパーのエネルギー吸収量である。

E_{Ds} は、次式で表される⁵⁾。

$$E_{Ds} = \frac{1}{2} \cdot M \cdot V_{Ds}^2 \quad (5)$$

ここで、 M ：架構の総質量、 V_{Ds} ： E_{Ds} の速度換算値である。

一方、実効変形を考慮したダンパーが吸収し得るエネルギー ${}_a W'_{ps}$ は、目標層間変形 δ_{si} とダンパーの等価繰り返し数 n_{eq} ^{5), 8)}を与えることで算出できる（式(6)）。

$${}_a W'_{ps} = \sum_{i=1}^N {}_a W'_{psi} = \sum_{i=1}^N \left\{ 4 \cdot n_{eq} \cdot {}_a Q_{ysi} \cdot (\delta_{si} - \delta_{ysi}) \right\} \quad (6)$$

本手法では簡便性を考慮し、地震応答時の層間変形の高さ方向分布を、設置するダンパーの配置位置や設置量に関わらず、ダンパーを設置していない弾性主架構モデル（状態 N ）から得られる層間変形分布と等しいと仮定している。この仮定は、部材モデルを用いた多数の時刻歴応答解析から、全層にダンパーを設置し、特定層に損傷が集中せず、主架構が弾性範囲に留まる場合において、地震波によるばらつきはあるが概ね妥当であると確認している（付録 A，参照）。

式(6)中の付加系の降伏せん断力 ${}_a Q_{ysi}$ および降伏変形 ${}_a \delta_{ysi}$ は（図 1(b)）、骨組特性値を用いて次式で表される⁹⁾。

$${}_a Q_{ysi} = \alpha_{Ni} \cdot {}_d Q_{yi}, \quad {}_a \delta_{ysi} = {}_a Q_{ysi} / K_{asi} \quad (7a, b)$$

$$K_{asi} = \frac{1}{1/K_{dsi} + 1/K_{bsi}} = \frac{K_{dsi} \cdot K_{bsi}}{K_{dsi} + K_{bsi}} \quad (7c)$$

ここで、 ${}_d Q_{yi}$ ：ダンパーの降伏せん断力である。

式(6)に式(7a-c)を代入することで、最終的に ${}_a W'_{ps}$ は次式のように表される。

$${}_a W'_{ps} = 4 \cdot n_{eq} \cdot \alpha_{Ni} \cdot {}_d Q_{yi} \cdot \left\{ \delta_{si} - {}_d Q_{yi} \cdot \left(\frac{1}{K_{dri}} + \frac{1}{\alpha_{Ni} \cdot K_{di}} \right) \right\} \quad (8)$$

ダンパーの設置量に基づく諸元（ ${}_d Q_{yi}$ および K_{di} ）を決定し、ダンパーの等価繰り返し数(n_{eq})および目標層間変形(δ_{si})を定めた場合、 ${}_a W'_{ps}$ を大きく確保するためには、骨組特性値の α_{Ni} または K_{dri} を大きな値とする必要があることが式(8)より分かる。ダンパーを建物中央の近くに配置することで、 α_{Ni} および K_{dri} の両者を大きくすることが出来る⁴⁾。つまり、 ${}_a W'_{ps}$ を大きくするためには、ダンパーの設置量だけでなくダンパーの配置位置も検討する必要がある。なお、付録 B に、本報で用いる 10 種類のダンパーの配置位置（3 章，後述）における α_{Ni} および K_{dri} の結果を示す。

式(5)の関係より、ダンパーが吸収し得るエネルギー量を表す評価値 V'_{Ds} を次式のように定義する。

$$V'_{Ds} = \sqrt{\frac{2 \cdot {}_a W'_{ps}}{M}} \quad (9)$$

式(9)より算出した V'_{Ds} が入力地震動の V_D より小さい場合、想定したダンパーの配置位置や設置量では目標層間変形以上の応答となることを意味する。

次に、層せん断力を表す評価値について述べる。超高層建物の設計において、設計用ベースシア係数 C_B は、当初から周期の違いによる応答特性を考慮し、 $C_B = (0.15 \sim 0.30) / T_1^9$ (T_1 ：全体架構の 1 次固有周期)と設定され、 $C_B \cdot T_1 = (0.15 \sim 0.30)$ と表せる。また、保有水平耐力計算においても、 T_1 が $2T_c$ (T_c ：地盤特性係数)以上の長い領域では $R_t = 1.6T_c / T_1$ (R_t ：振動特性係数)の式が用いられ、第 1 層の全体架構の層せん断力係数 C_1 は、 $C_1 = Z \cdot R_t \cdot C_0$ (Z ：地震地域係数、 C_0 ：

標準層せん断力係数) から、 $C_1 \cdot T_1 = 1.6 \cdot T_c \cdot Z \cdot C_0$ と表せる。これを考慮し、基準化層せん断力係数 α'_{s1} を次式で定義する(式(10))。

$$\alpha'_{s1} = \frac{Q_{s1}}{M \cdot g} \cdot T_1 \quad (10)$$

ここで、 Q_{s1} : 第1層の全体架構の層せん断力、 g : 重力加速度である。なお、 Q_{s1} は、第1層の目標層間変形 δ_{s1} に対して図1(b)に示すせん断力と層間変形の関係を用いて算出する。

2.3 評価値の算出手順

- 1) 状態 N , R の静的解析結果から、想定したダンパーの配置位置における骨組特性値 α_{Ni} および K_{dRi} を算出し、式(1b)より K_{bsi} を求める。
- 2) ダンパーの設置量に基づく諸元(dQ_{yi} および K_{di})を決定し、式(1a)より K_{dsi} を求める。
- 3) 目標最大層間変形角 R_{smax} を設定し、状態 N の静的解析結果(手順1)より得られる層間変形分布において、最大値を取る層が R_{smax} となるように全層の目標層間変形 δ_{si} を算出する。
- 4) ダンパーの等価繰返し数 n_{eq} を設定し、式(8)より、ダンパーが吸収し得るエネルギー dW'_{ps} を算出した後、式(9)より評価値 V'_{Ds} を求める。
- 5) δ_{s1} と図1(b)の関係から、第1層の全体架構の層せん断力 Q_{s1} を算出し、式(10)より、もう1つの評価値 α'_{s1} を算出する。

ダンパーの配置位置を変更する場合は手順1)、ダンパーの設置量を変更する場合は手順2)に戻ることで、 V'_{Ds} および α'_{s1} を算出できる。

3. 部材モデルの時刻歴応答解析による制振性能評価手法の検証

3.1 検討対象建物および入力地震動の概要

検討対象建物には、図3に示す30階鋼構造建物⁴⁾を採用する。図3に示すように、階高は1階のみが5.5m、他の階は4mである。平面形状は基本スパンが長辺方向(X方向)で6.4m、短辺方向(Y方向)で中央部6m、その他12.8mから構成された32m×38.4mの矩形であり、各階同一とする。部材断面は標準層せん断力係数 $C_0=0.2$ の設計用地震力に対して許容応力度設計を行い決定した。主架構の1次固有周期 T_1 は4.47sである。解析はX方向のみを対象とし、剛床を仮定した部材モデルで行う。また、構造減衰は主架構の T_1 に対して2%となる剛性比例型とする。

ダンパーには、座屈拘束ブレースを用いる。ダンパーは塑性化部と弾性部で構成され、部材長さ L_d に対して塑性化部の長さを $L_d/3$ とし、塑性化部面積 A_d に対し弾性部断面積を $2A_d$ とする。塑性化部にはLY225材(降伏応力度225N/mm²)を用い、ダンパーの復元力特性は完全弾塑性型とする。検討に用いるダンパーの配置位置は、図3に示す10種類とする。文献4)では、部材モデルの時刻歴応答解析より、全層連層配置の1-6、2-5、3-4および千鳥配置のchidoriの応答性状を示しており、制振効果はchidoriが最も大きく、全層連層配置では建物中央の近くに配置するほど大きいことを確認した。本報では、全層連層配置と千鳥配置との中間に位置するものとして、10層毎を1グループとし設置箇所を変更した部分連層配置のA~Fを加え、合計10種類のダンパーの配置位置について比較を行う。

各層のダンパーの降伏せん断力 dQ_{yi} は、第1層のダンパー降伏せん断力 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6層毎の5段階とした⁴⁾。 dQ_{y1} と第1層のダンパーの降伏せん

断力係数 $d\alpha_{y1}$ の関係は次式で表される。

$$dQ_{y1} = d\alpha_{y1} \cdot M \cdot g \quad (11)$$

図4に、検討に用いる入力地震動の擬似速度応答スペクトル S_{pr} ($h=5\%$)およびエネルギースペクトル V_E ($h=10\%$)を示す。図中には、本報の検討範囲における制振構造の1次固有周期帯(3.26s~4.20s)を示す。本報では、長周期領域で S_{pr} ($h=5\%$)が0.8m/sで基準化された模擬波を用い、位相特性としてHACHINOHE 1968 EWおよびJMA KOBE 1995 NS(以後、ART HACHI, ART KOBE)を採用する。

3.2 制振性能評価手法の検証

ART HACHIおよびART KOBE入力時の10種類のダンパーの配置位置における時刻歴応答解析結果の V'_{Ds} および α'_{s1} (応答値)と、 V'_{Ds} および α'_{s1} (評価値)の比較を行う。検討に用いるダンパーの設置量は $d\alpha_{y1}=0.015$ とする。入力地震動の入力倍率は0.75倍、1.0倍、1.5倍とする。評価値を算出する際、目標最大層間変形角 R_{smax} およびダンパーの等価繰返し数 n_{eq} を設定するが(2.3節、前述)、ここでは本手法の検証が目的であるので、 R_{smax} および n_{eq} は時刻歴応答解析結果を用いることとする。なお、 R_{smax} は、入力倍率0.75倍で1/170rad、1.0倍で1/135rad、1.5倍で1/100radと設定した。各値は、本検討範囲において各々の地震応答時の最大層間変形角を算出し、入力倍率ごとに求めた平均値である。 n_{eq} は、時刻歴応答解析結果からダンパーの配置位置ごとに全層の n_{eq} を算出し、一つのダンパーの配置位置に対して全層の n_{eq} の平均値を求めると、本検討範囲においてART HACHIで1.97~9.57、ART KOBEで0.74~2.63であった。

図5(次頁)に、応答値と評価値との比較結果を示す。図には全60ケースを示す。図5(a)より、 V'_{Ds} は概ね誤差 $\pm 15\%$ 以内に収まることが確認でき、精度は良好である。図5(b)より、 α'_{s1} は、ART HACHI

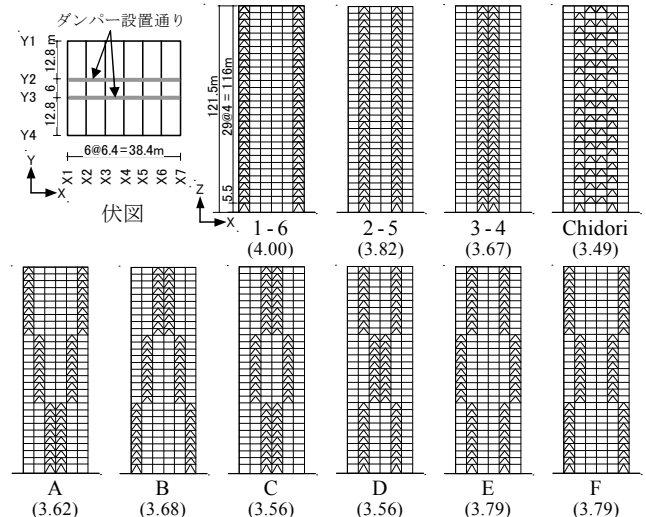


図3 検討対象建物の伏図、軸組図およびダンパーの配置位置

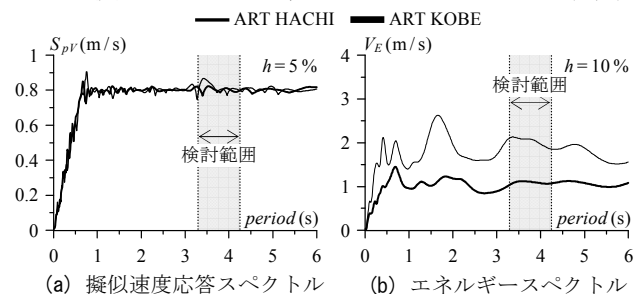


図4 入力地震動のスペクトル

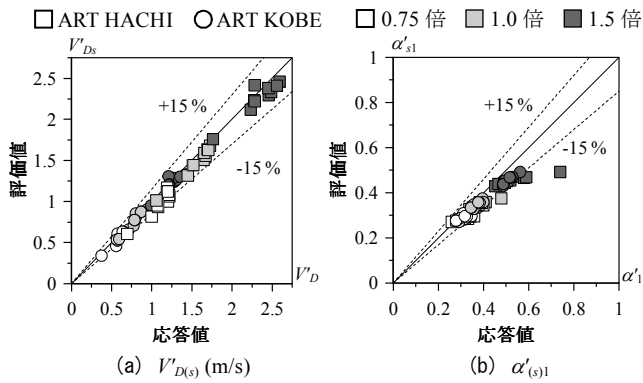


図5 評価値の精度検証 ($d\alpha_{y1}=0.015$)

の入力倍率1.5倍で精度が劣るプロットが存在するが、概ね誤差±15%以内に収まる。図5(b)の精度が劣ったプロットは入力倍率1.5倍時の1-6であり、他のダンパーの配置位置と応答が大きく異なるため精度が劣った(付録A, 参照)。これより、評価値は、概ね誤差±15%以内で応答値を捉えられることが分かった。

以上より、適切に R_{smax} および n_{eq} を設定することが出来れば、評価値は応答値を十分な精度を持って捉えられることが確認できた。

4. 制振性能の評価

4.1 ダンパーの配置位置の違いによる評価

本節では、10種類のダンパーの配置位置(図3)の違いによる制振性能の評価を行う。図6(a), (b)に、ダンパーの配置位置の違いによるART HACHI, ART KOBE 入力時の応答値と評価値との比較をそれぞれ示す。検討に用いるダンパーの設置量は $d\alpha_{y1}=0.015$ とし、入力地震動の入力倍率には0.75倍, 1.0倍, 1.5倍を用いる。評価値の算出に用いる目標最大層間変形角 R_{smax} およびダンパーの等価繰り返し数 n_{eq} は、前章と同様に時刻歴応答解析結果を用いる。

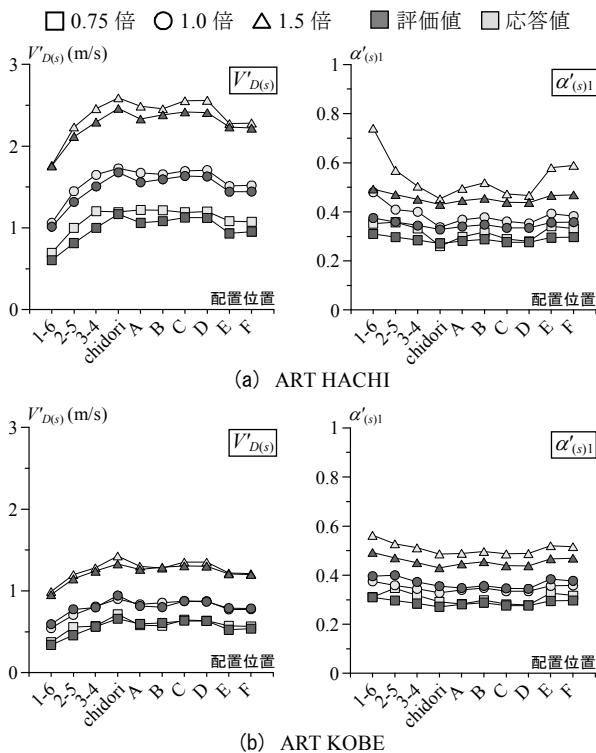


図6 ダンパーの配置位置の違いによる $V'Ds$ および $\alpha's1$ ($d\alpha_{y1}=0.015$)

図6(a), (b)の応答値 $V'Ds$ に着目すると、部分連層配置ではAとB, CとD, EとFがほぼ同等であり、 $(E, F) < (A, B) < (C, D)$ の順に大きくなる。全層連層配置および千鳥配置を含めて比較すると、 $1-6 < 2-5 < (E, F) < 3-4 < (A, B) < (C, D) < chidori$ の順に大きくなる。このダンパーの配置位置の違いによる $V'Ds$ の変化は、評価値 $V'Ds$ でも概ね同様の傾向を示すことが確認できる。次に、図6(a), (b)の応答値 $\alpha's1$ に着目すると、 $1-6 > 2-5 > (E, F) > 3-4 > (A, B) > (C, D) > chidori$ の順に小さくなる。ART HACHI では入力倍率1.5倍で $\alpha'1$ と評価値 $\alpha's1$ に大きな差があるが、それ以外のダンパーの配置位置の違いによる $\alpha'1$ の変化は、 $\alpha's1$ でも概ね同様の傾向を示すことが確認できる。

以上より、ダンパーのエネルギー吸収量および層せん断力を表す評価値である $V'Ds$ と $\alpha's1$ により、ダンパーの配置位置の違いによる制振性能の優劣を相対的に判断することができる。

4.2 ダンパーの設置量の違いによる評価

本節では、ダンパーの設置量をパラメータに加え、ダンパーの設置量を増加させた際にダンパーの配置位置の違いが制振性能にどのような影響を与えるのかを評価値の $V'Ds$ および $\alpha's1$ から考察していく。ダンパーの配置位置には1-6と3-4を、ダンパーの設置量には $d\alpha_{y1}=0.005, 0.015, 0.03, 0.045, 0.06$ を用いる。なお、本節以降では、ダンパーの等価繰り返し数 n_{eq} を全てのダンパーの配置位置および設置量において2.5⁸⁾とする。

実効変形比とダンパーのエネルギー吸収量との関係について見ていく。ここで、ダンパーの塑性化を考慮した実効変形比の予測値 $\alpha_{es,eqi}$ は、付録Cに従い算出する¹⁰⁾。図7(a), (b)に、1-6および3-4における $\alpha_{es,eqi}$ と $V'Ds$ および $\alpha's1$ との関係を示す。図中の破線は、目標最大層間変形角 R_{smax} を $1/1000 \sim 1/50$ rad とした際の評価値であり、実線でつながれたプロットは、ある R_{smax} での各ダンパーの設置量における評価値である。破線は、右から $d\alpha_{y1} = 0.005 \sim 0.06$

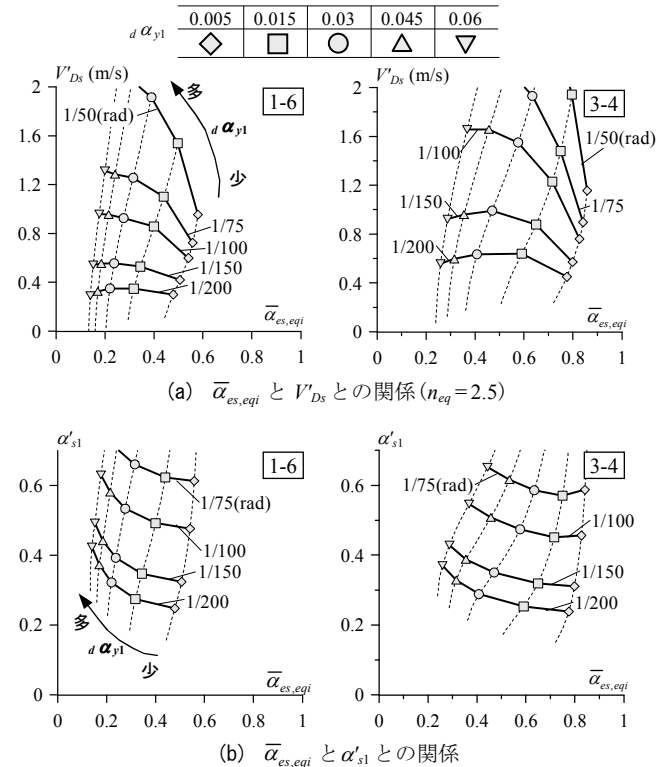


図7 実効変形比 $\alpha_{es,eqi}$ と評価値との関係

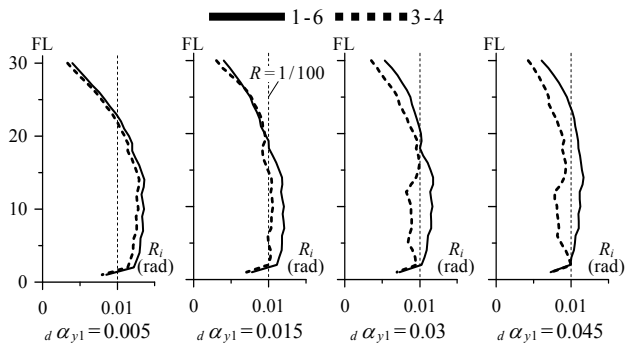


図 10 $V_D=1.20\text{ m/s}$ における時刻歴応答解析結果(ART KOBE)

6. おわりに

本報では、変位依存型履歴ダンパーを設置した 30 階鋼構建造物を対象として、ダンパーの設置状況 (配置位置および設置量) の違いが制振性能に与える影響を評価する手法を提案した。本手法は、目標とする層間変形およびダンパーの等価繰り返し数 n_{eq} を設定し、ダンパーが吸収できるエネルギー量および 1 階に作用する層せん断力を評価値として用いて、対象とする建物の制振性能を判断することができる。なお、本報における対象建物の主架構は弾性状態を保つものとした。本検討範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1) 本報で提案した評価値は、適切な目標層間変形および n_{eq} を設定すれば、部材モデルの時刻歴応答解析結果に対し良好な精度を有することを確認した。
- (2) 評価値を用いることで、10 種類のダンパーの配置位置による制振性能の優劣を相対的に判断することができる。また、ダンパーの設置量をパラメータとしたダンパーの配置位置の比較より、ダンパーの設置量の増加に伴う制振性能の変化がダンパーの配置位置により異なることを示した。
- (3) 設計に用いる入力エネルギーに対し、目標層間変形を満たすダンパーの配置位置および設置量を推定する手法を示し、部材モデルの時刻歴応答解析結果からその妥当性を検証した。

本手法は、目標層間変形分布やダンパーの等価繰り返し数の設定に課題を残すものの、時刻歴応答解析を用いずに、対象建物のダンパーの配置位置や設置量の違いによる制振性能の変化を相対的に評価できるため、設計の初期段階での判断材料として有用である。

謝辞

本研究は、日建設計、オイレス工業、東京理科大学北村研究室による制振研究会の成果の一部を用いたものです。

参考文献

- 1) 平田淳二, 寺本隆幸: 各種ダンパーを用いた鋼構建造物の応答性状に関する研究—ダンパー配置による影響—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp.569-570, 2008.9
- 2) 山崎昭司, 大宮幸, 村岡康祐, 寺本隆幸: 低降伏点鋼制振部材を用いた超高層建築の応答性状に関する研究(その 1: 高さ方向配置による影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), pp.723-724, 2003.9
- 3) 竹中裕美, 大宮幸, 寺本隆幸: 低降伏点鋼ダンパーを用いた超高層建築の応答性状に関する研究—ダンパーの平面配置及び高さ方向分布の影響—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), pp.175-176, 2004.8
- 4) 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, pp.197-208, 2012.3

- 5) 秋山宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版, 1999
- 6) 石井正人, 笠井和彦: 多層制振構造の時刻歴解析に用いるせん断棒モデルの提案, 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No.647, pp.103-112, 2010.1
- 7) 笠井和彦, 岩崎啓介: 様々な形式の制振構造における自由度縮約法と水平パネ系への変換法, 日本建築学会構造系論文集, No.605, pp.37-46, 2006.7
- 8) 北村春幸, 財津和廉, 馬谷原伴恵: 主架構の塑性化を考慮した制振構造物のエネルギーの釣合に基づく応答評価法, 日本建築学会構造系論文集, No.599, pp.71-78, 2006.1
- 9) 日本建築学会: 高層建築技術指針, 1964
- 10) 古谷慶, 佐藤大樹, 添田幸平, 北村春幸, 石井正人, 吉江慶祐, 宮崎充, 佐々木和彦, 岩崎雄一: 超高層建物における実効変形比に着目した制振性能評価 その 3 制振部材の塑性化を考慮した実効変形比の予測手法の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), pp.959-960, 2012.9

付録 A 目標層間変形の高さ方向分布の検証

図 A1 に、目標層間変形 δ_{si} (黒実線), 10 種類のダンパーの配置位置 (図 3) における地震応答時の層間変形 δ_i (灰色実線), それらの平均値 (点線) の比較結果を示す。なお、ダンパーの設置量は $\alpha_{y1}=0.015$, 入力地震動は ART HACHI で、入力倍率は 0.75 倍, 1.0 倍, 1.5 倍とする。図より、入力倍率 1.5 倍における 1-6 の δ_i が δ_{si} よりも大きくなるが、全ての入力倍率において、 δ_i の分布形状は概ね δ_{si} の分布形状と近いことが確認できる。図示はしないが、ART KOBE においても同様の結果が得られている。

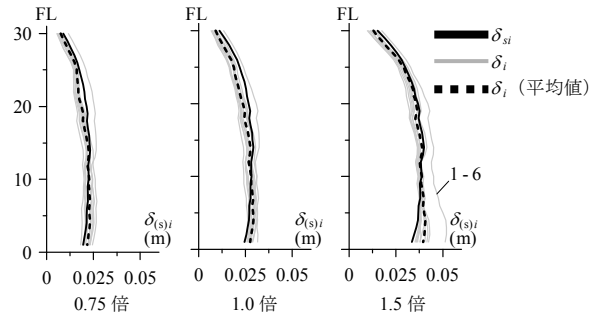


図 A1 目標層間変形の高さ方向分布の検証 (ART HACHI, $\alpha_{y1}=0.015$)

付録 B 様々なダンパーの配置位置における骨組特性値⁶⁾

図 B1 に、2-5, A, B (図 3) における骨組特性値 α_{Ni} および K_{dRi} の高さ方向分布を示す。なお、骨組特性値を算出する際の静的解析の設計用層せん断力には Ai 分布を用いた。図より、中層部のダンパーの配置位置が同様であるため、 α_{Ni} は一致するが、上層部及び下層部では建物中央の近くに配置するものほど大きくなっている。 K_{dRi} は、全層連層配置である 2-5 に比べ A および B の方が大きくなっている。図 B2 に、10 種類のダンパーの配置位置における骨組特性値の全層の平均値 $\bar{\alpha}_{Ni}$ と \bar{K}_{dRi} を示す。 $\bar{\alpha}_{Ni}$ の最大値は 3-4, \bar{K}_{dRi} の最大値は chidori, $\bar{\alpha}_{Ni}$ および \bar{K}_{dRi} の最小値は 1-6 である。A~F は、1-6, 2-5, 3-4 に比べ、 $\bar{\alpha}_{Ni}$, \bar{K}_{dRi} とともに大きな値となる。

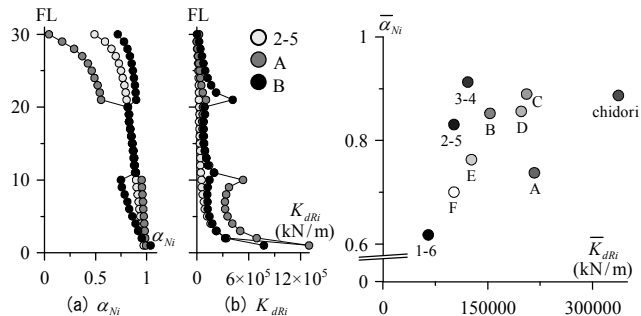


図 B1 α_{Ni} と K_{dRi} の高さ方向分布

図 B2 $\bar{\alpha}_{Ni}$ と \bar{K}_{dRi}

付録 C 履歴ダンパーの実効変形比の算出式¹⁰⁾

せん断モデルにおける履歴ダンパーの実効変形比 $\alpha_{es,eqi}$ は次式で表される。

$$\alpha_{es,eqi} = \frac{\alpha_{Ni} \cdot \delta_{dsi}}{\delta_{si}} = \frac{\alpha_{Ni} \cdot (\delta_{si} - \delta_{bsi})}{\delta_{si}} \quad (C1)$$

ここで、 δ_{bsi} : 擬似ブレースの変形である。