

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|--|
| 論題(和文) | 履歴型制振部材を有する鋼構造中層建物の応答評価に関する研究(構造) |
| Title | |
| 著者(和文) | 吉澤 健洋, 栗林 晃司, 佐藤 大樹, 北村春幸 |
| Authors | daiki sato, Haruyuki Kitamura |
| 出典 / Citation | 日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 80, , pp. 1-4 |
| Citation(English) | , Vol. 80, , pp. 1-4 |
| 発行日 / Pub. date | 2010, 2 |
| rights | 日本建築学会 |
| rights | 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである |
| relation | isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110008729991 |

履歴型制振部材を有する鋼構造中層建物の応答評価に関する研究

構造-振動

準会員 ○ 吉澤健洋^{*1}
正会員 佐藤大樹^{*1}

正会員 栗林晃司^{*1}
正会員 北村春幸^{*1}

鋼構造 中層建物 履歴型制振部材

時刻歴解析 エネルギー

1. はじめに

耐震安全性は、終局耐力と塑性化変形能力の積（塑性化エネルギー吸収量）により判定している。このことを重点においた耐震計算である、エネルギーの釣合に基づく応答予測法¹⁾（以後、エネルギー法と呼ぶ）が確立されている。2005年にエネルギー法の告示・制定され、ダンパーを有する制振構造が、これまでより容易に設計できるようになった。これまで制振構造は主に高層建物に取り入れられていたが、今後は中低層建物に多く取り入れられることが予想される。

中低層建物を対象に、栗林ら²⁾はダンパーの実効変形を考慮したエネルギー法を提案している。実効変形は、ダンパーの諸元や配置、さらには建物の特性によって異なる。今後、中低層建物で制振構造を普及させるためには、これらが応答に与える影響を検討する必要

がある。

本報では、鋼構造中層建物に履歴型制振部材を取り付け、ダンパー一絡元と配置の違いが制振効果に与える影響について検討する。

2. 対象建物モデル及び入力地震動の概要

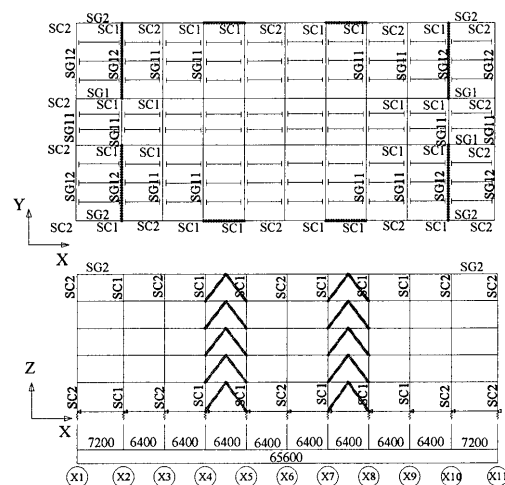
2.1 検討対象建物概要

検討対象建物は、地上5階、高さ21.3(m)の鉄骨構造建物とする。梁と柱の代表部材断面を表1に示す。基準とする純ラーメン構造は、 $C_0=0.2$ の水平地震力に対して許容応力度設計をし、 $D_s=0.25$ に対して保有水平耐力検討を行う。ただし、ダンパーによる制振効果を期待し、 $C_0=0.2$ に対して層間変形角 R_f は1/200を満足していない。図1に対象建物の基準階伏図と軸組図を示す。ダンパーの拘束力が制振効果に与える影響を調べるために、図1(a)、(b)の2つのモデルを使用する。図1(a)のようにダンパーを梁の中央にハの字型に設置した場合をB1モデルとし、図1(b)のようにダンパーを片流れ型に設置した場合をB2モデルとする。本報では、ダンパーとしてLYP225材の座屈拘束ブレースを用いる。なお、ダンパー配置の変化による比較以外は、B1モデルを使用する。

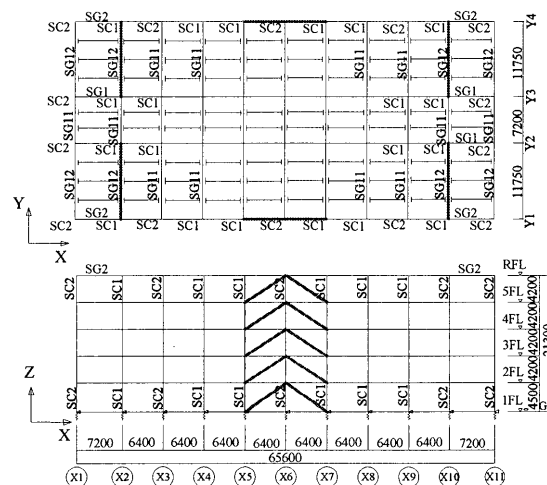
解析ではX方向に着目して、X方向への一方向入力とした。剛床を仮定した三次元立体架構モデルを用いて、部材の曲げと軸方向

表1 対象建物の代表部材断面

| | 符号 | 鋼材種類 | 階 | 部材 |
|----|------|--------|-----|------------------|
| 大梁 | SG1 | SN490B | 1~R | HY-600×250×12×22 |
| | SG2 | SN490B | 1~R | H-600×200×11×17 |
| | SG11 | SN490B | 1~R | H-800×300×13×26 |
| | SG12 | SN490B | 1~R | HY-800×300×16×28 |
| 柱 | SC1 | BCR295 | 5 | □-450×450×16 |
| | | BCR295 | 3~4 | □-450×450×19 |
| | | BCR295 | 1~2 | □-450×450×22 |
| | SC2 | BCR295 | 4~5 | □-450×450×16 |
| | | BCR295 | 1~3 | □-450×450×19 |



(a) B1モデル 基準階伏図、Y1・Y4通り軸組図



(b) B2モデル 基準階伏図、Y1・Y4通り軸組図

図1 対象建物モデル 単位：(mm) ——— ダンパー設置位置

力に対する弾塑性挙動については、材端部の2平板間に複数の完全バイリニアの軸ばねを断面形状に合わせて配置した。スラブの合成効果は梁の曲げ剛性のみ考慮する。部材中央部には、弾塑性のせん断ばねを配置した。固有値解析の結果、フレームの状態における1次固有周期 f_1T_1 は1.097(sec)である。減衰はフレームの f_1T_1 に対して $h=2\%$ となる剛性比例型とした。

2.2 フレームの静的解析

図2にフレームの静的弾塑性解析より得られた各層の層せん断力 Q と層間変形角 R の関係を示す。外力分布型は A_i 分布を基にした1次設計用地震力とする。図中の○は、その層のいずれかの部材が降伏モーメントに達した時の値を示し、●はその層のいずれかの部材が全塑性モーメントに達した時の値を示している。許容応力度(図2の1Fの○のとき) $C_b=0.185$ で、 $C_\theta=C_b \cdot f_1T_1=0.203$ である。弾性限界時ベースシヤ係数(図2の1Fの●のとき) $C_y=0.235$ で、 $C_y \cdot f_1T_1=0.258$ である。

2.3 入力地震動の概要

解析に用いる地震動は、最大速度を50kineに基準化したEl Centro 1940 NS と、コーナー周期 $T_c=0.64$ (sec)以降の領域で、 $S_v=100$ cm/sec ($h=5\%$)となる模擬地震動波形をX方向から入力したものを用いる。採用した位相特性はHACHINOHE 1968 EW 及びJMA KOBE 1995 NS である。以後、El Centro, ART HACHI, ART KOBE と呼ぶ。図3(a), (b)に、速度応答スペクトルとエネルギースペクトルを示す。

3. ダンパーの設定

3.1 ダンパーの断面積の算定

ダンパーの降伏層せん断力係数 α_{y1} をパラメータとし、第1層のダンパーの層せん断力 Q_{y1} を以下の式で求める。

$$Q_{y1} = \alpha_{y1} \cdot \sum_{i=1}^N m_i g \tag{1}$$

ここで、 N : 層数、 m_i : i 層の質量、 g : 重力加速度である。また、各層のダンパーの降伏層せん断力 Q_{yi} は第1層のダンパーの降伏層せん断力 Q_{y1} と同じ値を用いる。これをtype1とする(図4)。

ダンパー取付け角度を θ とし、各層1方向に8本のダンパーが設置されているので(図1(a))、降伏軸力 N_{yi} は次式で求められる。

$$N_{yi} = Q_{yi} / 8 \cos \theta \tag{2}$$

ダンパーの降伏応力度 σ_y を用い、1本分の断面積 A_i を算出する。

$$A_i = N_{yi} / \sigma_y \tag{3}$$

3.2 等価剛性及び等価断面積の算定

図5で示すように、ダンパーは塑性化部と弾性部で構成されてい

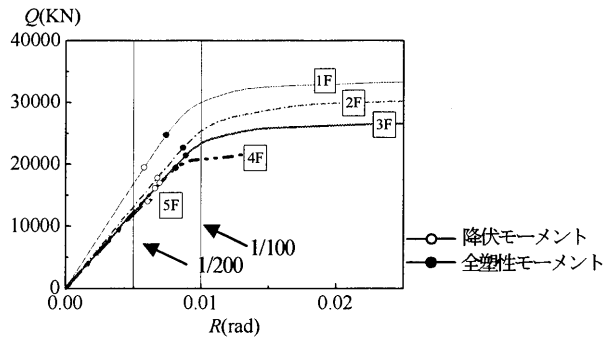


図2 フレームの静的解析結果

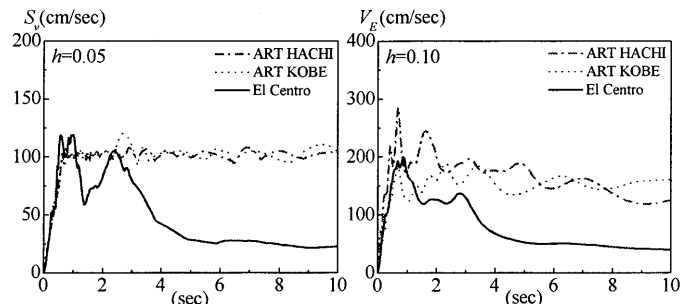


図3 (a)速度応答スペクトル, (b)エネルギースペクトル

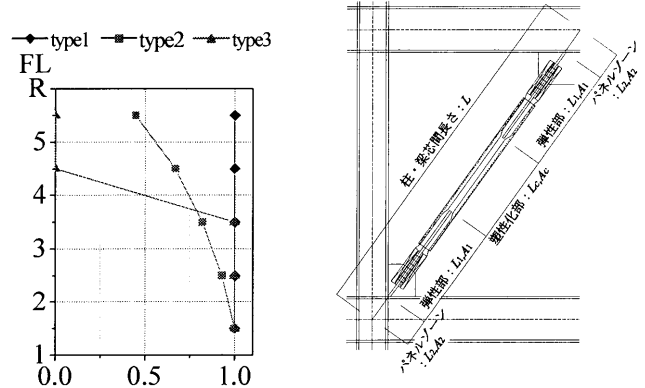


図4 ダンパーの耐力比分布(Q_{yi}/sQ_{y1})

図5 ダンパー配置図

る。本解析では、1部材でモデル化する³⁾に当たり、ダンパーの等価剛性 K 及び等価断面積 A' を次式で算定する。

$$K = \frac{sE_s A}{L} \cdot \frac{1}{\alpha + 2\beta \frac{sA}{A_1} + (1 - \alpha - 2\beta) \frac{sA}{A_2}} \tag{4}$$

$$A' = sA \cdot \frac{1}{\alpha + 2\beta \frac{sA}{A_1} + (1 - \alpha - 2\beta) \frac{sA}{A_2}} \tag{5}$$

ここで、 L : 柱・梁芯間長さ、 sE : 鋼管の弾性係数、 sA : 塑性化部断面積、 A_1 : 弾性部断面積、 A_2 : パネルゾーン断面積、 α : 塑性化部長さの柱・梁芯間の長さに対する比、 β : 弾性部長さの柱・梁芯間の長さに対する比である。 $L_c=0.25L$ では、 $\alpha=0.25, \beta=0.325, L_2=0.05L, A_1=2sA, A_1=A_2$ とし、 $L_c=0.50L$ は $\alpha=0.50, \beta=0.200$ とする。なお、ダンパーの塑性化部長さの比較以外は $L_c=0.25L$ とする。

3.3 検討用ダンパー量の決定

ダンパー量を検討するために、図6(a),(b)にパラメータである $s\alpha_{yi}$ を横軸に取り0.02~0.20まで変化させたときの、入力エネルギーEに対するフレームの塑性歪エネルギー fW_p の比(fW_p/E)及び入力エネルギーEに対するダンパーの塑性歪エネルギー sW_p の比(sW_p/E)の変化を示す。モデルはB1モデル、ダンパーの塑性化部長さは $L_c=0.25L$ とする。

ART KOBE は他の2波とは傾向が異なったため、本報ではEl Centro及びART HACHIからダンパー量を決定する。図6(a)より、El CentroとART HACHIは、 $s\alpha_{yi}=0.07$ 以上で fW_p/E の値に変化があまり見られない。つまり、 $s\alpha_{yi}=0.07$ 以上ではフレームが損傷していないことがわかる。図6(b)を見ると、 $s\alpha_{yi}=0.10\sim0.12$ でダンパーが多くエネルギーを吸収していることがわかる。以上のことから、本報の検討用ダンパー量を $s\alpha_{yi}=0.10$ とする。なお、本報では以後、 $s\alpha_{yi}=0.10$ のダンパー量を使用する。

3.4 ダンパーの耐力比分布

前節までの各層のダンパー量は、第1層の降伏層せん断力と同じ値を用いた(type1)。図4に示すようにAi分布に基づいた降伏層せん断力分布に従って決めたものをtype2とし、type1から4,5層のグループを除いたものをtype3とする。表2にtype別の1次固有周期と、次章で検討を行う条件別の1次固有周期を示す。

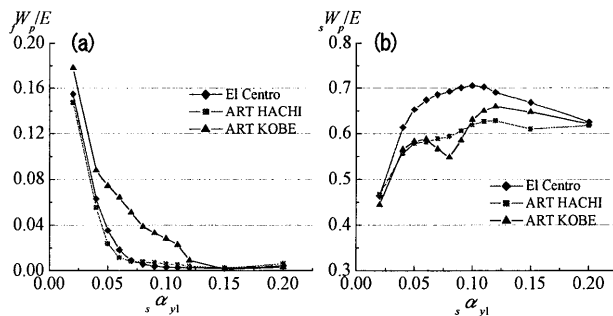


図6 検討用ダンパー量の決定

表2 1次固有周期

| type | モデル | 塑性化部長さ | 1次固有周期(sec) |
|-------|-----|--------|-------------|
| type1 | B1 | 0.25L | 0.734 |
| | | 0.50L | 0.759 |
| type2 | B2 | | 0.705 |
| type3 | B1 | 0.25L | 0.749 |
| | | | 0.782 |

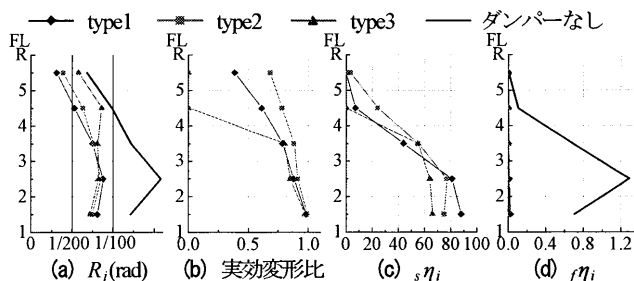


図7 ダンパー耐力比分布の変化による比較

4. ダンパー結元と配置が応答に与える影響

本章では、層間変形角 R_i で最大値、ダンパーの累積塑性変形倍率 $s\eta_i$ とフレームの累積塑性変形倍率 $f\eta_i$ で累積値、実効変形比の4つに着目して応答を評価する。実効変形比については次節で述べる。また、地震動は全てEl Centroとする。

4.1 実効変形比の定義と累積塑性変形倍率の算定

制振構造を考えた場合、柱の軸伸縮により生じる骨組全体としての曲げ変形の影響により、ダンパーに有効に働く変形(実効変形) $s\delta_i$ は低下する²⁾。実効変形比とは、層間変形 $\delta_{i,max}$ に対する実効変形 $s\delta_i$ の比率であり、以下の式で表すことができる。

$$s\delta_i / \delta_{i,max} = (s\Delta_i / \cos\theta) / \delta_{i,max} \quad (6)$$

ここで、 $s\Delta_i$:ダンパーの軸変形である。

ダンパーの累積塑性変形倍率 $s\eta_i$ は次式より算出される。

$$s\eta_i = sW_{pi} / (sQ_{yi} \cdot s\delta_{yi}) \quad (7)$$

ここで、 sQ_{yi} : i 層のダンパーの降伏層せん断力、 $s\delta_{yi}$: i 層のダンパーの降伏層間変形である。

4.2 ダンパーの耐力比分布の変化による検討

El Centroで $s\alpha_{yi}=0.10$ についてtype1,type2,type3を比較する。図

7に層間変形角 R_i 、実効変形比、ダンパーの累積塑性変形倍率 $s\eta_i$ 、フレームの累積塑性変形倍率 $f\eta_i$ を示す。モデルはB1モデル、ダンパーの塑性化部長さは $L_c=0.25L$ とする。

図7(a)の R_i では、type1とtype2で大きな差は確認できないが、type3は4,5層でtype1,type2と比べて値が増大していることがわかる。図7(b)の実効変形比より、type2がtype1に比べて上層でも有効にダンパーが機能していることがわかる。図7(c)の $s\eta_i$ はtype別で大きな差は出ていない。図7(d)より、ダンパーなしでは $f\eta_i$ の値が大きいのにに対し、ダンパーを設置することで、どのタイプでもフレームがほとんど損傷しないことが確認できる。また、El Centroの結果では、type3のように4,5層にダンパーを設置しない場合でも、フレームは損傷しないことがわかる。

4.3 ダンパーの降伏応力度の変化による検討

LYP225材ダンパーの降伏管理幅が、上下約10%(205~245(N/mm²))あるとしたときの応答に与える影響を検討する。type1でダンパーの降伏応力度 $s\sigma_y=205, 225, 245$ を比較する。ダンパーの断面積 A_i は変わらないものとし、降伏応力度 $s\sigma_y$ を変化させたとき、降伏軸力 sN_{yi} は変化する(式(3))。 $s\sigma_y=225$ のときのダンパー量は $s\alpha_{yi}=0.10$ であるが、 $s\sigma_y=205$ のときは $s\alpha_{yi}=0.09$ 、 $s\sigma_y=245$ の

ときは、 $\alpha_{y1}=0.11$ となる。地震動は El Centro とし、モデルは B1 モデル、ダンパーの塑性化部長さは $L_c=0.25L$ とする。図 8 に層間変形角 R_i 、実効変形比、ダンパーの累積塑性変形倍率 $s\eta_i$ 、フレームの累積塑性変形倍率 $f\eta_i$ を示す。

図 8(a), (b) より、 R_i と実効変形比は、 $s\sigma_y$ の違いによる影響はほとんど見られない。また、図 8(a) の R_i はすべて 1/100 以下に抑えられている。図 8(c) の $s\eta_i$ では下層で開きが大きく出ている。さらに、1 層に着目すると、 $s\eta_i$ は $s\sigma_y=225$ に比べて $s\sigma_y=205$ で 6% 程度の増加で、 $s\sigma_y=245$ においても 6% 程度の減少である。図 8(d) の $f\eta_i$ より、 $s\sigma_y$ の違いによる影響はほとんどないことがわかる。

10% 程度の降伏応力度の違いであれば、最大値及び累積値に与える影響はほとんどないことが確認できる。

4.4 ダンパーの塑性化部長さの変化による検討

ダンパーの塑性化部長さを変更して比較を行う。type1 で、 $\alpha_{y1}=0.10$ について $L_c=0.25L$ と $L_c=0.50L$ を比較する。地震動は El Centro とし、モデルは B1 モデルとする。表 2 にそれぞれの 1 次固有周期を示す。図 9 に層間変形角 R_i 、実効変形比、ダンパーの累積塑性変形倍率 $s\eta_i$ 、フレームの累積塑性変形倍率 $f\eta_i$ を示す。

図 9(a), (b) より、 R_i と実効変形比は塑性化部長さ別でほとんど差が出ていない。また、 R_i はすべて 1/100 以下に抑えられている。図 9(c) の $s\eta_i$ は 1, 2 層で差が出ている。さらに、 $s\eta_i$ は 1 層では $L_c=0.25L$ に比べて $L_c=0.50L$ は 26% 減少している。図 9(d) の $f\eta_i$ より、 $L_c=0.25L$ と $L_c=0.50L$ では、フレームは損傷しないことが確認できる。

塑性化部の長さを $L_c=0.25L$ から $L_c=0.50L$ に変化させても、最大値と実効変形比にはほとんど影響がないが、累積値は塑性化部長さの短い方が大きくなるがわかる。

4.5 ダンパー配置の変化による検討

ダンパー配置の変化による比較を行う。type1 で、 $\alpha_{y1}=0.10$ について図 1 に示した B1, B2 モデルを比較する。地震動は El Centro とし、ダンパーの塑性化部長さは $L_c=0.25L$ とする。表 2 にそれぞれの 1 次固有周期を示す。図 10 に層間変形角 R_i 、実効変形比、ダンパーの累積塑性変形倍率 $s\eta_i$ 、フレームの累積塑性変形倍率 $f\eta_i$ を示す。

図 10(a) の R_i は配置による影響が特に出ていない。図 10(b) の実効変形比を見ると、B2 モデルの方が、ダンパーが有効に機能していることがわかる。図 10(c) の $s\eta_i$ では、B2 モデルの方が 1 層で 38% 増加していた。図 10(d) の $f\eta_i$ より、ダンパーの配置によるダンパーの累積値の変化は、ほとんどないことが確認できる。

最大値に変化はないが、B2 モデルの方がダンパーは有効に機能し、フレームは損傷しにくいことがわかる。また、ダンパーの累積値は B2 モデルの方が大きくなる。

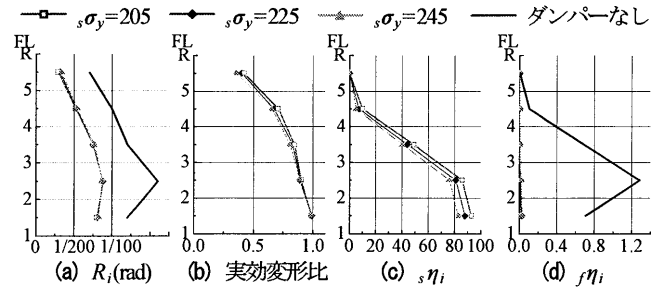


図 8 ダンパーの降伏応力度の変化による比較

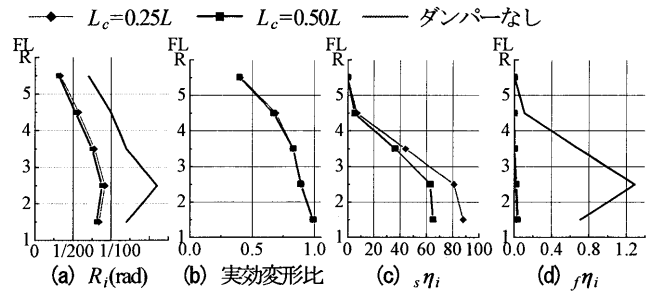


図 9 ダンパーの塑性化部長さの変化による比較

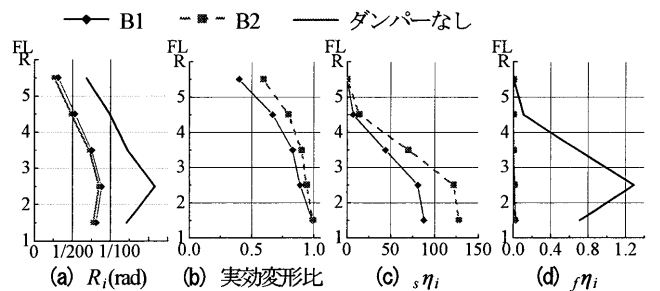


図 10 ダンパー配置の変化による比較

5. まとめ

本報では、鋼構造中層建物に履歴型制振部材を設置し、三次元立体架構モデルを用いた解析を行い、ダンパー緒元と配置の違いが応答に与える影響について、以下の知見を得た。

- ・LYP225 材のダンパーであれば、 $s\sigma_y$ の上下 10% 程度のずれの影響による最大値及び累積値の変化はほとんどない。
- ・ダンパーの塑性化部長さを $L_c=0.25L$ から $L_c=0.50L$ に変えても最大値にはほとんど影響はないが、ダンパーのエネルギー累積値は塑性化部長さが長いほど小さくなる。
- ・梁の中心にこの字型にダンパーを配置するより、柱と柱を結ぶ片流れ型にダンパーを配置した方が、ダンパーが有効に機能すると思われる。

参考文献

- 1) 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、1999.11
- 2) 栗林晃司、佐藤大樹、北村春幸、山口路夫、西本晃治：履歴減衰型制振部材の実効変形を考慮した鋼構造建物のエネルギーの釣合に基づく応答予測法（その 1、その 2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.493-496、2009.8
- 3) 佐伯英一郎、前田泰史、中村秀司、緑川光正、和田章：実大アンボンドブレースに関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、大 476 号、pp.149-158、1995.10

*1 東京理科大学