

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	十字モデルに基づく間柱型ダンパーの塑性化時における簡易性能評価
Title(English)	Simple Performance Evaluation of The Plasticized Stud Type Damper Based on The Principle of Virtual Work
著者(和文)	佐藤弦太, 佐藤利昭, 佐藤大樹, 北村春幸, 山口路夫, 脇田直弥, 綿貫雄太
Authors(English)	Genta Sato, Toshiaki Sato, Daiki Sato, Haruyuki Kitamura, Michio Yamaguchi, Naoya WAKITA, Yuta WATANUKI
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 121-122
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 121-122
発行日 / Pub. date	2016, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

十字モデルに基づく間柱型ダンパーの塑性化時における簡易性能評価

制振間柱 簡易性能評価 十字モデル
実効変形 静的増分解析

正会員 ○佐藤弦太*¹ 同 佐藤利昭*² 同 佐藤大樹*³
同 北村春幸*¹ 同 山口路夫*⁴ 同 脇田直弥*⁴
同 綿貫雄太*⁴

1. はじめに

ダンパーの制振効果には、周辺架構の特性をはじめ、制振部材の配置計画や投入量、入力地震動などが影響する。制振ダンパーの設置型には、ブレース型や間柱型等があり、間柱型ではダンパー単体の性能から、架構に組み込んだ際の性能を推定することは難しい。

本研究は、間柱型鋼材ダンパー（以後、間柱型ダンパー）の構面内設置位置および周辺架構が、ダンパーの制振効果に与える影響を、簡易的に評価することを目的とする。本稿では、既報にて提案したダンパーが弾性時における間柱型ダンパーの簡易性能評価¹⁾を塑性化時に適用する方法を示す。検討式の妥当性の検証には、立体フレームモデルによる静的増分解析を用いる。制振効果の評価には、層間変形に占める有効なダンパーの変形の割合である実効変形比²⁾を用いる。

検討式の算出には、和田らにより提案されている十字モデルによる仮想仕事法の式³⁾を参照する。

2. 十字モデル概要

文献 1, 3) と同様反曲点位置が部材中央であると仮定し、部材中央で各部材を区切り十字モデルを作成する。本稿では、柱梁接合部の十字モデルを柱梁十字、ダンパー接合部の十字モデルをダンパー十字と呼び、柱梁十字の概要を図 1 に示す。以降、各外力、変形および添え字を次のように定義する。

Q :せん断力 V :垂直方向の反力
H :十字モデル高さ L :十字モデル幅
h :柱の内法高さ l :梁の内法長さ
D :パネルゾーンせい B :パネル幅
E :ヤング係数 G :せん断弾性係数
A :断面積 I :断面 2 次モーメント
M :モーメント δ :水平変形
t :部材厚さ τ :せん断応力度
θ :回転角 k :剛性

<右下添え字>

c :柱 g :梁 p :シャープパネル pl :塑性化部
dc :ダンパー取付部材 dg :ダンパー取り付け梁
B :曲げ s :せん断

<左下添え字>

d :ダンパー十字

3. 十字モデルによるダンパー塑性化時の実効変形比 $c\alpha_{ey}$ の算出

本章では、十字モデルによるダンパーの塑性化時の層間変形に対する塑性化部の変形の割合を $c\alpha_{ey}$ とし、その算出方法を示す。

3.1 降伏層間変形の算出

ダンパーの降伏層間変形 $d\delta_y$ は、文献 1) で示した $d\delta$ の算出の際、ダンパー部の十字モデルの塑性化部のせん断力 dQ_{pl} を塑性化部の降伏せん断力 dQ_{ply} とした際の層間変形とする。

3.2 ダンパー塑性化時の実効変形比 $c\alpha_{ey}$ の算出

文献 1) で示した手法では、反曲点位置が部材中央であるという仮定の下、弾性時の実効変形比 $c\alpha_e$ を算

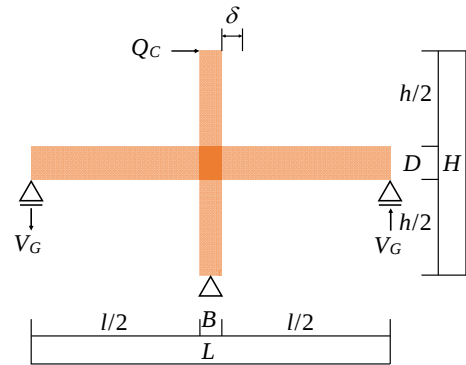


図 1 柱梁接合部の十字モデル概要

出している。本稿の十字モデルによるダンパーが塑性化した際の実効変形比 $c\alpha_{ey}$ の算出にあたり、反曲点位置が大きく変化することが予想される。塑性化部のモデル化を完全弾塑性型とするとダンパーの塑性化後は、柱の負担せん断力のみ増加する。よって、塑性化後の塑性化部の変形増分は、純ラーメンの柱梁接合部の十字モデルを用いて算出する。本稿では、スパン中央にダンパーを設置した時を対象とする。その際、ダンパー接合部は、柱梁十字の梁境界となる。塑性化後の塑性化部の変形増分は、柱梁十字の梁境界の回転角より算出する。また、ダンパーが全層で塑性化した際を仮定し、層間変形角 $1/75$ を対象とする。

柱梁十字の水平変形 δ の算出は、文献 3) に倣う。 δ とダンパーの降伏層間変形 $d\delta_y$ が等しくなる際の柱梁十字の柱の負担せん断力 Q_c を Q_{cy} とする。また、層間変形角 $1/75$ となる時の層間変形 δ_{max} と δ が等しくなる際の Q_c を Q_{cmax} とする。よって、 $d\delta_y$ から δ_{max} まで変形した際の柱梁十字の柱の負担せん断力の増分 ΔQ_c は、

$$\Delta Q_c = Q_{cmax} - Q_{cy} \quad (1)$$

と表せる。続いて、 ΔQ_c による柱梁十字の梁境界の回転角を算出する。文献 3) に倣い、シャープパネルに働くせん断力の増分 ΔQ_p 、せん断応力度 τ_p はそれぞれ

$$\Delta Q_p = \frac{lh - BD}{B(B+l)} \Delta Q_c \quad (2)$$

$$\tau_p = \frac{\Delta Q_p}{D \cdot t_p} \quad (3)$$

と表せる。シャープパネルのせん断変形に伴う柱の回転角 θ_c と梁の回転角 θ_g の幾何学的な関係から、

$$B\Delta\theta_c = l\Delta\theta_g \quad (4)$$

と表せる。式 (2)~(4) を整理して、 θ_g は

$$\Delta\theta_G = \frac{B}{l} \left(\frac{\tau_p}{G_p} - \Delta\theta_G \right)$$

$$\Leftrightarrow \Delta\theta_G = \frac{\Delta Q_p}{G_p D t_p \left(1 + \frac{l}{B} \right)}$$

と表せる。よって ΔQ_p による、ダンパーの設置位置における回転角の増分 $\Delta_d\theta$ は、下式のように表せる。

$$\Delta_d\theta = \Delta\theta_G + \int_0^{0.5l} \frac{MM}{EI_{dG}} dx + \int_0^{0.5l} \frac{MM}{EI_G} dx$$

$$= \Delta\theta_G + \int_0^{0.5l} \frac{\Delta Q_C}{EI_{dG}} \frac{H}{L} x \left(1 - \frac{3}{2L} x \right) dx + \int_0^{0.5l} \frac{\Delta Q_C}{EI_G} \frac{H}{L} \frac{x^2}{2L} dx \quad (6)$$

$$= \Delta\theta_G + \frac{\Delta Q_C H}{16EL^2} \left(\frac{2l^2 L - l^3}{I_{dG}} + \frac{l^3}{3I_G} \right)$$

簡易化のため、ダンパー取付位置上下端の回転角は等しいとし、塑性化部の増分変形 $\Delta\delta_{pl}$ は

$$\Delta\delta_{pl} = \frac{H}{2} \tan(\Delta_d\theta) \cdot 2 = H \tan(\Delta_d\theta) \quad (7)$$

と表せる。よって、 $\delta_{\max}$ における $c\alpha_{ey}$ は

$$c\alpha_{ey} = \frac{d\delta_{ply} + \Delta\delta_{pl}}{\delta_{\max}} \quad (8)$$

と表せる。ここに、 $d\delta_{ply}$: 塑性化部の降伏変形である。

4. 立体フレームモデルによる提案式の検証

本章では、十字モデルを用いて算出したダンパーの降伏層間変形およびダンパー塑性化時の実効変形比の式を立体フレームモデルの静的増分解析との比較により検証するものである。

4.1 検討対象建物

本報では、地上 5 階、建物高さ $4.5 + 4.2 \times 4 = 21.3$ m、長辺 (X) 方向 $6.4 \times 8 + 7.2 \times 2 = 65.6$ m、短辺 (Y) 方向 $11.75 \times 2 + 7.2 = 30.7$ m の鋼構造建物⁴⁾を検討の対象とする。図 2, 3 に、基準階伏図とダンパー設置構面の軸組図を示す。基準とする柱梁の部材断面を表 1, 2 に示す。検討方向は X 方向で、主架構のみの 1 次固有周期 $fT_1 = 1.23$ s である。主架構は弾性で、各階に剛床を仮定する。

4.2 間柱型ダンパー概要

間柱型ダンパーは、図 3 に示すように、Y1, Y4 通りの X5~X7 通りに 2 基ずつ配置する。せん断パネルには LY225 材を用い、復元力特性は完全弾塑性型とする。第 1 層のダンパーの降伏せん断力 dQ_{y1} は、

$$dQ_{y1} = d\alpha_{y1} \cdot W \quad (9)$$

により算出する。ここに、 $d\alpha_{y1}$: 第 1 層のダンパーの降伏せん断力係数、 W : 建物の総重量である。以降、 $d\alpha_{y1}$ をダンパー量と呼び、 $d\alpha_{y1} = 0.01, 0.03, 0.07$ を対象に検討を行う。ダンパーの降伏せん断変形は 1.02 mm とした。図 4 に各ダンパー量におけるせん断パネルの復元力特性を、表 3 に初期剛性、ダンパー取付部材およびダンパー取付大梁の断面を示す。

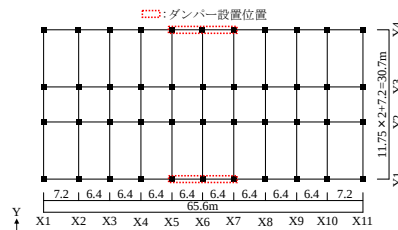


図 2 基準階伏図

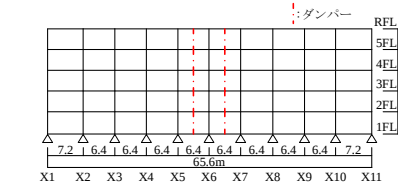


図 3 Y1, Y4 通り軸組図

表 1 梁の部材断面

符号	階	部材断面
SG1	2~R	H-600×250×12×22
SG2	2~R	H-600×200×11×17
SG11	2~R	H-800×300×13×26
SG12	2~R	H-800×300×16×28
種類		SN490B

表 2 柱の部材断面

符号	階	部材断面
SC1	5	□-450×450×16
	3~4	□-450×450×19
	1~2	□-450×450×22
SC2	4~5	□-450×450×16
	1~3	□-450×450×19
種類		BCR295

表 3 ダンパーの初期剛性と周辺部材断面

$d\alpha_{y1}$	初期剛性 (kN/mm)	取付部材	ダンパー取付大梁
0.01	180.5	H-600×200×9×12	H-600×200×12×28
0.03	541.5	H-600×250×12×28	H-600×250×16×32
0.07	1263.5	H-750×350×16×32	H-800×350×16×36

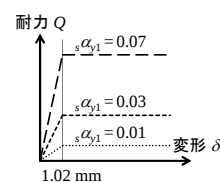


図 4 せん断パネルの復元力特性

4.3 検討結果

図 5 に横軸を層間変形角とし、縦軸を実効変形比とした検討結果を示す。検討結果より、層間変形角 1/75 において、十字モデルで求めた値が立体フレームモデルにより算出した値の半分程度となるが、傾向は概ね捉えられていることが分かる。降伏層間変形は、十字モデルの値が僅かに大きいものの概ね一致することが分かる。

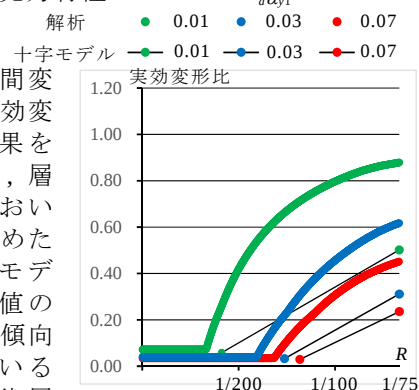


図 5 層間変形角 R と実効変形比の関係

5. まとめ

中低層建物に間柱型ダンパーを設置する際の塑性化時の実効変形比およびダンパーの降伏層間変形角を簡易的に推定する方法を提案し、その妥当性を検証した。

(1) 十字モデルにより、算出した塑性化時の実効変形比は、立体モデルの静的増分解析による値の半分程度となったものの傾向を捉えられることを確認した。

(2) 十字モデルにより、算出した間柱型ダンパーの降伏層間変形角は、立体モデルの値よりも僅かに大きくなったが、概ね対応することを確認した。

1) 佐藤 弘太, 佐藤 利昭, 佐藤 大樹, 北村 春幸, 山口 路夫, 脇田 直弥, 綿貫 雄太: 十字モデルに基づく間柱型ダンパーの簡易性能評価, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2016.3

2) 石井 正人, 北村 春幸, 和田 章, 笠井 秀和: 粘弾性型制振部材付き架構のモデル化に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, 第 531 号, pp.55-62, 2000.5

3) 堀井 昌博, 和田 章: 構造設計のためのメモランダム-7-ラーメンの変形と部材のプロポーション, 建築技術, No.349, pp.155-164, 1980.9

4) 松澤 祐介, 佐藤 大樹, 栗林 晃司, 北村 春幸, 山口 路夫, 西本 晃治: 履歴型ダンパー配置が中低層鋼構造建物の地震応答性状に与える影響, 構造工学論文集, Vol.58B, 2012.3

*1 東京理科大学 *2 九州大学大学院

*3 東京工業大学

*4 新日鉄住金エンジニアリング

*1 Tokyo University of Science *2 Kyusyu University

*3 Tokyo Institute of Technology

*4 Nippon Steel & Sumikin Engineering Co, Ltd