

中低層建築物のパッシブ制震ダンパー配置法に関する研究
 STUDY ON ARRANGEMENT TECHNIQUE OF PASSIVE SEISMIC DAMPERS ON LOW AND MEDIUM-RISE BUILDINGS

○皆川勝¹, 神田亮²

*Masaru Minakawa¹, Makoto Kanda²

Abstract : This paper propose the arrangement technique of the seismic damper in an architectural building. In this technique, the dampers are arranged in other that each dampers are constantly damaged under earthquake excitation. It needs for this arrangement technique to make the amplitude and phase of complex eigenvector of the building constant at each story. The stiffness of the building is controlled and dampers are arranged due to stiffness proportional damping.

1. 序論

制震ダンパーを有する建築物では、地震時にできるだけ多くのエネルギーをダンパーが吸収し、主架構の損傷を低減することが理想的である。多くのエネルギー吸収をするには、各層のダンパーの損傷がほぼ一樣になるようにダンパーのパラメータを定め配置するのが望ましい。既往の研究では、笠井^[1]、竹内^[2]、石丸^[3]らにより有効なダンパーの配置法が提案されている。

本論文では、中低層建築物を対象とした制震ダンパーの配置法を提案し、従来の配置法との比較を行う。なお、本論文で提案する配置法は、ダンパーの設置により生じる各層の位相差に着目したものである。

2. 弾性多自由度系の減衰機構と応答特性

建築物を振動系として見た場合、応答制御を目的として取り付けられるダンパーは、減衰機構として解釈することができる。その効果は、ダンパー容量の大小によるほか、減衰機構の形態による。本節では、振動系の基本的な応答特性を把握するため、PC を用いたシミュレーションを行い、応答低減効果について検討する。

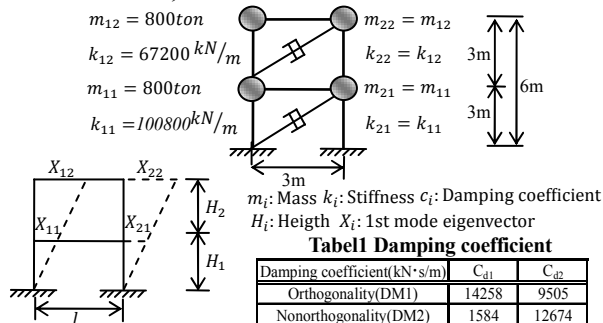


Fig.1 Vibration model and Frame of reference

2.1 シミュレーション概要

ダンパーを含む減衰は、ダンパー減衰 $h_d = 0.18$ 、主架構減衰 $h_0 = 0.02$ としたときの1次の減衰定数が0.2となる剛性比例型(DM1)を基本形とする。また、ダンパーの全容量が等しく比率の異なる減衰(DM2)とする。なお、振動系モデルと座標系を Fig.1 に振動系の減衰係数を Table1 に示す。入力地震動は、1次の固有円振動数と等しく振幅が 100gal の正弦波とした。

2.2 シミュレーション結果

DM1 と DM2 の複素固有値解析の結果と時刻歴応答変位を Fig.2 に示す。Fig.2a)より、減衰機構が比例減衰(DM1)の場合では、1次固有ベクトルが直線となり、層

間の位相差はほとんどなく、最大層間変位が同時刻で同じである。しかし Fig.2b)より、非比例減衰(DM2)の場合では、1次固有ベクトルが直線にならず、位相差が生じ、同時刻での最大層間変位が異なる。次に全容量が等しく、 c_1/c_2 を変化させ求めた層間の位相差と1次減衰定数の関係を Fig.3 に示す。Fig.3 より c_1/c_2 が k_1/k_2 に等しく減衰機構が振動系に対し直交性を有する場合、位相差はほぼ 0° となり、減衰定数は最大値となる。これに対し、 c_1/c_2 が k_1/k_2 と異なるとき層間に位相差が生じ、減衰定数は低下する傾向がある。これより、1次固有ベクトルが直線をなし、減衰機構が振動系に対して直交性を有していれば高い応答低減効果が得られることがわかる。

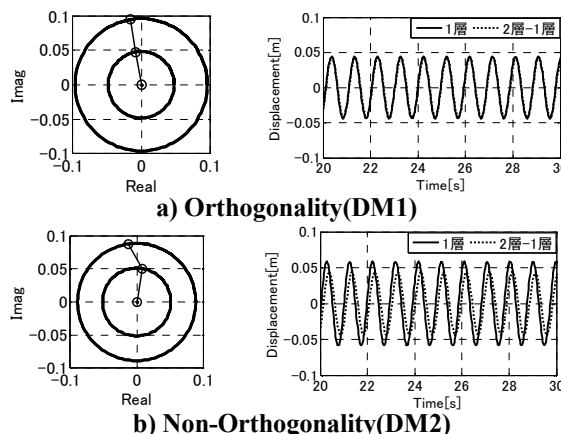


Fig.2 Attenuation organization and Response characteristic

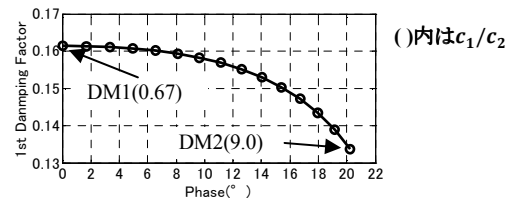


Fig.3 Phase vs.1st mode Damping Factor

3. ダンパーの配置法

前節のシミュレーションより建築物の応答は、1次モードが支配的であるという前提のもとで、質量・剛性より求めた1次固有ベクトルが直線となるような主架構の剛性分布を調整し、その主架構に対し直交性を有するようにダンパーを配置することを提案する。

3.1 ダンパー量の算定

ダンパーの減衰量は、主架構のみを1自由度系に縮約

1: 日本大学生産工学研究科 大学院生 Graduate Student, Graduate School of Industrial Tech., Nihon Univ.

2: 日本大学生産工学部教授 博士(工学) Prof. Collage of Industrial Tech., Nihon Univ., Dr. Eng.

した場合の最大応答値 $S_D(h_0)$ と目標応答値 $S_D(h)$ から下式により応答低減率 $F_h^{[4]}$ を求め,それに対する減衰定数($h = h_d + h_0$)とする.

$$F_h = \frac{1+10h_0}{1+10h} = \frac{S_D(h)}{S_D(h_0)} \quad \dots(1)$$

3.2 剛性分布の算定

本節では,1次固有ベクトルが直線となるような剛性分布 k_i を算定する.剛性分布の算定に際し,各層の質量と階高はわかっているものとする.今, i 層の質量を m_i ,階高を H_i ,1次固有ベクトルの値を X_i とする.振動系の座標は Fig.1 と同様とし $X_{11} = 1$ として定めた.1 次の固有ベクトルより,求められる層間変形角が全層で等しくなるためには,下式を満足する必要がある.

$$\frac{1}{H_i} = \frac{X_i - X_{i-1}}{H_i} = \text{一定} \quad \dots(2)$$

また,1 次の固有円振動数 1ω と $i, i-1, i-2$ の各層の主架構の剛性を $k_{fi}, k_{fi-1}, k_{fi-2}$ とすると X_i は下式のように表わされる.

$$X_i = \frac{k_{fi} + k_{fi-1} - 1\omega^2 m_{i-1}}{k_{fi}} X_{i-1} - \frac{k_{fi-1}}{k_{fi}} X_{i-2} \quad (i = 2 \sim n) \quad \dots(3)$$

式(2), (3)より,1 次の固有ベクトルが直線となるような剛性分布 k_i は式(4)となる.

$$k_i = \frac{H_1 \{ (X_{i-1} - X_{i-2}) k_{i-1} - X_{i-1} 1\omega^2 m_{i-1} \}}{H_i} \quad \dots(4)$$

式(4)より, k_i は i 層より下層の情報と1次固有円振動数より推定することができる.式(4)中の ω^2 は初期値として主架構のみの場合の値を用い, Fig. 4 のフローの示すようなイタレーションを行う.また,1 次固有ベクトルが直線となるような剛性 k_i が主架構の剛性 k_{fi} より小さい値となった場合,剛性 k_i を定数倍する必要がある.

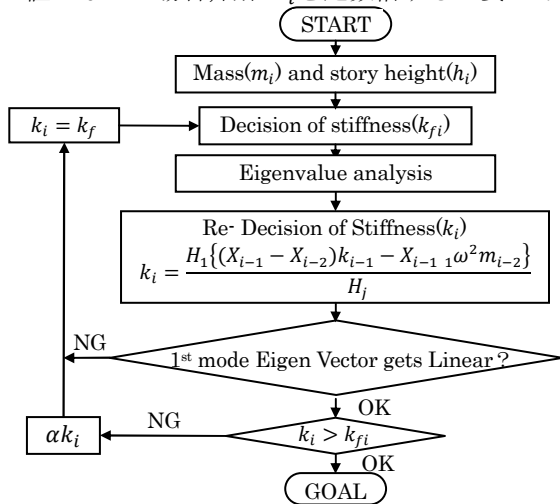


Fig.4 Flow chart of stiffness

剛性の分布が決定したのち,各層のダンパー容量を示す減衰係数 c_i を算定する.ダンパーは通常,各層間に設置されるため剛性比例型の減衰マトリクスを構成するように配置する.その場合,減衰係数 c_i は下式のように定められる.

$$c_i = \frac{2 \cdot 1h}{1\omega} k_i \quad \dots(5)$$

4. 配置法の検証

提案した配置法の妥当性を検証するため,PC による数値シミュレーションを実施する.得られた結果は, A_i 分布に基づいてダンパーの配置を決定する従来の手法

[5]と比較する.対象とするダンパーは弾塑性ダンパーとする.

4.1 シミュレーション概要

対象とする建築物は,高さ 54m,階高 3.6m の中層建築物である.振動系モデルは,その建築物をフレームモデルに置換したものとする.振動系モデルの剛性分布は, A_i 分布に基づく層せん断力分布に比例する TypeS,下層の剛性が足りない TypeL,実建築物の TypeR の3種類とする.1 次固有周期はそれぞれ 1.62s,1.62s,1.46s となり,目標層間変形角を 1/125 とした.弾塑性ダンパーの塑性率は各層一定の $\mu = 4$ となる.なお,入力地震波は,宮城県沖地震の位相スペクトルを用いて作成したレベル 2 相当の模擬地震波[6]である.

4.2 シミュレーション結果

シミュレーションで得られた最大応答層間変形角を Fig.5 に示す.Fig.5 より,本配置法により弾塑性ダンパーを配置した制震建築物の応答はいずれの Type においても従来の配置法より小さくなり,特に下層において応答が低減していることがわかる.また,本配置法の層間変形角はほぼ一様に分布しており,TypeS 以外の TypeL,TypeR でこの傾向は顕著に表れている.これらのことより,本配置法は,高い応答低減効果が得られると考えられる.

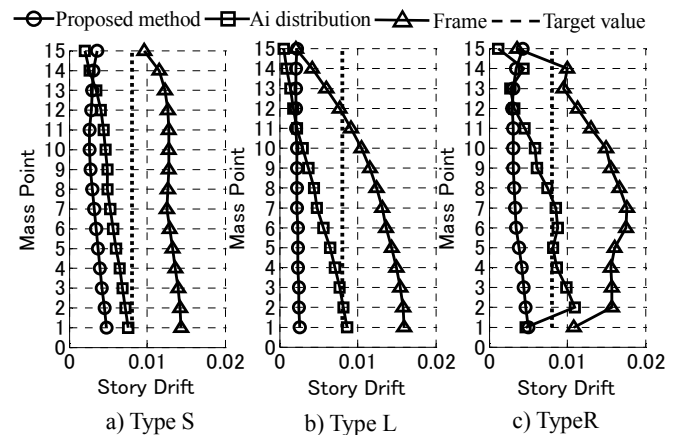


Fig.5 Maximum response of interlayer displacement drift

5. まとめ

本論文では,パッシブ制震ダンパー配置法を提案し,数値シミュレーションを行い従来の配置法と比較を行った.得られた知見を以下に示す.

- ① 1 次固有ベクトルが直線となる主架構の剛性分布を修正し,振動系に対して減衰機構が直交性を有するようなダンパー配置法を提案した.
- ② 本配置法は,従来の配置法に比べ,特に下層で応答低減効果が高く層間変形角も一様となる.したがって,本配置法により応答低減効果が高く制震ダンパー配置が実現できたと考えられる.

[参考文献]

[1]竹内徹,市川康,中島秀雄,笠井和彦:ダンパーが不均等配置された多層パッシブ制震構造応答予測,日本建築学会構造系論文集,第 583 号,pp115-122,2004.9
 [2]石丸辰治:応答性能に基づく「対震設計」入門,彰国社(2004)
 [3]笠井和彦,伊藤浩資:弾塑性ダンパーの剛性・降伏力・塑性率の調整による制震構造の応答制御法,日本建築学会構造系論文集,第 595 号,pp45-55,2005.9
 [4]日本免震協会:パッシブ制震構造設計・施工マニュアル,第 2 版,2004
 [5]国土交通省住宅局:建築物の構造関係技術基準解説書(2001 年度版)
 [6](社)日本建築構造技術者協会:建築構造の設計と管理,第 1 版,2006P