

配置制限を受けた制振ダンパーによる応答一様化について

正会員

○鈴木光雄*

鋼材ダンパー
一様層間変形角

粘性ダンパー

制振構造

1. はじめに

地震時の建物の耐震性能向上のために、地震時の応答層間変形角の分布が一様であることは、理想的な状態であるものと考えられる。制振ダンパーを設置することで応答低減に加え、ダンパー配置を調整することで応答の一様化も可能となる。ただし、建築計画上、制振ダンパーが設置可能な箇所は限定され、制振効果を十分に発揮できない場合も多い。本報告では、制振装置の配置制限を受ける場合の応答について基本的な考察を行う。

2. 検討建物

平面形が図1に示す38.4m×27.6mで、階高4m、15層の事務所建物を想定し、Y方向（短辺方向）の応答を検討対象とする。制振装置の配置可能箇所は、破線で囲んだスパン6.4mの3か所とする。

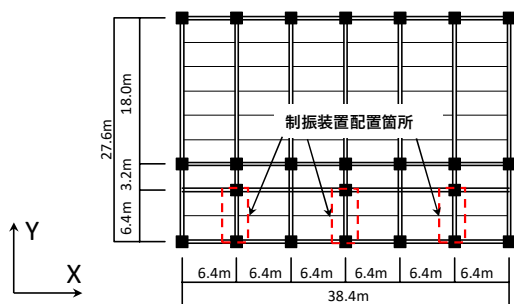
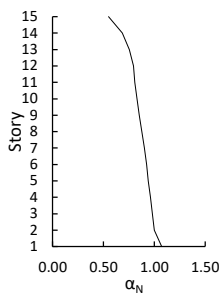


図1 伏図

建物の諸元を表1に示す。建物固有周期は2.45sであり、弾性モデルとし、減衰は2%の剛性比例型とする。

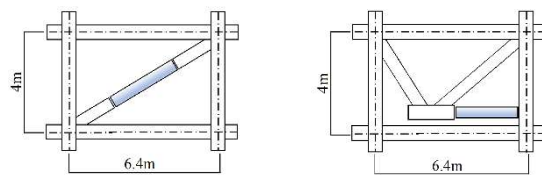
表1 建物諸元

Story	階高 (m)	重量 (kN)	剛性 (kN/mm)
15	4.0	11524.7	291.4
14	4.0	9990.3	348.1
13	4.0	9990.3	379.7
12	4.0	10014.3	399.4
11	4.0	10155.7	466.6
10	4.0	10295.6	507.0
9	4.0	10371.7	541.2
8	4.0	10389.3	559.5
7	4.0	10392	574.9
6	4.0	10357.2	606.5
5	4.0	10545.9	681.0
4	4.0	10697.1	709.5
3	4.0	10697.1	766.0
2	4.0	10768.4	914.3
1	5.0	11099	1458.3

図4 α_N

制振装置は鋼材ダンパーと粘性ダンパーの場合を考える。鋼材ダンパーはブレース配置、ノーマルバイリニア型の履歴特性を持つものとし、粘性ダンパーはシアリンク型配置とし、

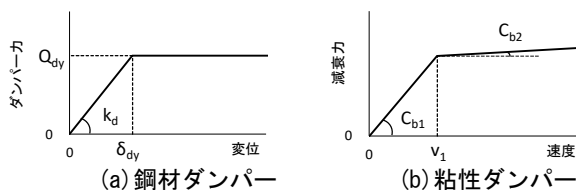
速度に対しバイリニア型の特性を持つものとする(図2,3)。水平成分に置換した各ダンパーの特性値を表2に示す。一か所当たりの最大力は2500kN程度として、各層に配置される最大量（水平成分）は、鋼材ダンパーでは剛性の合計を1000kN/mm、粘性ダンパーでは一次減衰係数の合計を175kNs/mmとする。



(a) 鋼材ダンパー

(b) 粘性ダンパー

図2 ダンパー軸組図



(a) 鋼材ダンパー

(b) 粘性ダンパー

図3 ダンパーの特性パラメータ

表2 ダンパー諸元（水平成分）

(a) 鋼材ダンパー

(b) 粘性ダンパー

降伏変位 δ_{dy} (mm)	各層の 剛性上限値 k_d (kN/mm)	粘性係 数比 C_{b2}/C_{b1}	リリース 速度 v_1 (mm/s)	接続剛性と 減衰係数比 (1/s)	各層の 1次粘性係数 上限値 C_{b1} (kN・s/mm)
6.42	1000	0.068	32	7.0	200

振動解析モデルは質点の制振装置付き等価せん断型モデルとする（粘性ダンパーはMaxwellモデル）。本計画では、制振ダンパーを外端スパンに連層配置となっているため、曲げ変形等によりダンパーの制振効果が低減することになる。この影響を考慮したダンパーの実効変形比の影響について、状態N,R解析を行いモデル化する¹⁾。状態N解析の中央のダンパー設置個所の相対変形の水平成分の層間変位に対する比 α_N を図4に示す。また、R解析では最上階で逆せん断が生じる状態であるため、最上階にダンパーを配置しない計画とする。

3. 建物応答の一様化

建物応答一様化は文献2、3と同様に、一次固有モード逆問題の閉形式を利用し剛性を制御するものとする。 n 質点のせん断型モデルを考え、 j 層の質量、せん断剛性を m_j 、 k_j とし、1次の固有円振動数を $\omega_j^{(1)}$ 、モードベクトル成分を $u_j^{(1)}$ とする。減衰のない多自由度系の自由振動に関する固有値問題を考え、

一次モードにおける各層の方程式を、 k_j について整理すると下式の通り表される。

$$k_j = \left(\omega^{(1)^2} \sum_{l=j}^n m_l u_l^{(1)} \right) / (u_j^{(1)} - u_{j-1}^{(1)}) \quad (1)$$

これを、制振ダンパーの配置に応用する際に $\omega^{(1)}$ をパラメーターとしダンパー量の調整を行う。 $\omega^{(1)}$ は剛性制御後の固有円振動数を指定するものであるが、ここでは剛性を増加させる場合にのみダンパーを付加し、剛性を下げる操作を行わない。このため、指定する固有周期はダンパー配置操作後の固有周期とは異なることになる。そこで、 $\omega^{(1)}$ を制御後の固有周期と区別する意味合いで、 ${}_a\omega (= 2\pi / {}_at)$ として表現する。

4. 入力地震動およびレベル

対象地震動は、建設省告示第1461号に定められるスペクトルで作成された地震動（位相は Hachinohe1968(NS)、JMA-Kobe1995(NS)）と観測地震波（最大速度 0.5m/s）の El Centro1940(NS)、Taft1952(EW)、Hachinohe1968(NS)、および BCJ-L2 を 0.815 倍したものである。

5. 応答一様化結果

鋼材ダンパーおよび粘性ダンパーの場合で一様化を行う。ここで、3章で述べたパラメーター ${}_at$ を下表（それぞれ7ケース）に示す。 ${}_at$ が小さくなるほど、固有周期が短くなり、ダンパーの量が増える効果を示す。

表3 鋼材ダンパーのパラメーター ${}_at$

${}_at(1)$	${}_at(2)$	${}_at(3)$	${}_at(4)$	${}_at(5)$	${}_at(6)$	${}_at(7)$
2.300	2.238	2.175	2.113	2.050	1.988	1.863

表4 粘性ダンパーのパラメーター ${}_at$

${}_at(1)$	${}_at(2)$	${}_at(3)$	${}_at(4)$	${}_at(5)$	${}_at(6)$	${}_at(7)$
2.425	2.375	2.350	2.325	2.300	2.275	2.250

一様化を行った結果の複数地震動の応答を包絡した最大層間変形角を図5、ダンパー量の分布を図6に示す。

${}_at(1)$ ではダンパー量が不足して、一様化不十分となっている。 ${}_at(2) \sim {}_at(4)$ は、概ね様な応答結果である。

図6に示される通り ${}_at(5) \sim {}_at(7)$ では、各階に配置できるダンパー量の上限に達する状態となる。図5に示されるように ${}_at(5) \sim {}_at(7)$ では、様な応答分布が崩れていく。

鋼材ダンパーの場合、特に ${}_at(8)$ 、 ${}_at(9)$ で上層部分で応答が増えている。図7は横軸をダンパー量として縦軸は最大層間変形角を示す。建物全体のダンパー量が増えているにもかかわらず、最大応答層間変形角が増大しており、最適なダンパー量が存在する結果となっている。

粘性ダンパーの場合も様な応答が崩れるが、本解析例では最大応答変形角は単調に減少する傾向となっている。

また、ダンパーの各層の分布傾向は、4～6階付近と12階付近に必要なダンパー量が多くなる傾向であり、4～6階付近に対する12階付近のダンパー量の比は、鋼材ダンパーに比べ粘性ダンパーの方が多くなっている。

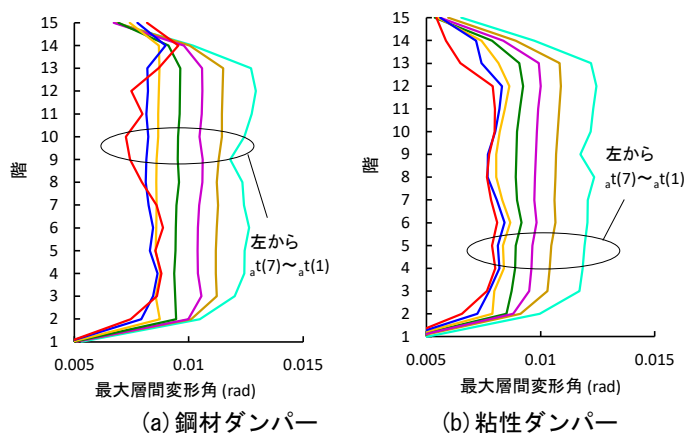


図5 最大層間変形角

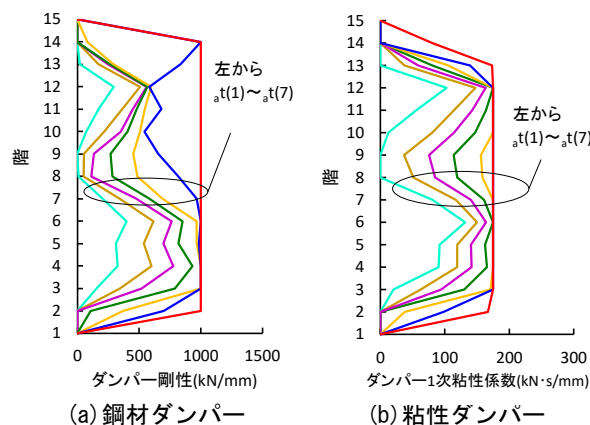


図6 ダンパーの分布

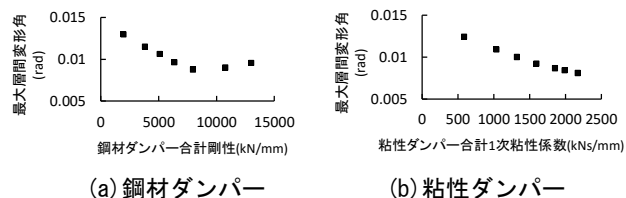


図7 全ダンパー量と最大層間変形角

(各グラフ左から ${}_at(1) \sim {}_at(7)$ の場合を示す)

6. まとめ

鋼材ダンパーおよび粘性ダンパーについて、配置制限を受けた場合の建物の応答一様化をパラメトリックに行い、ダンパー量を増やしても応答の改善につながらない場合があることを確認した。

参考文献

- 1) 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 647, pp.103-112, 2010
- 2) 鈴木光雄: 弾塑性等価せん断型モデルにおける複数地震応答の最大層間変形角の一様化方法と弾塑性ダンパー配置法への応用, 構造工学論文集.B, Vol.68B, pp.452-461, 2022
- 3) 鈴木光雄: 粘性ダンパーによる複数地震応答の最大層間変形角の一様化方法, 日本建築学会構造系論文集, 807, pp.758-767, 2023 (5月掲載予定)