

軸力制限機構付き同調粘性マスダンパーの中低層建築物への適用性に関する研究 (その1)

正会員 ○皆川 隆之\*1 同 花井 勉\*2

軸力制限機構 同調粘性マスダンパー 中低層建築物  
回転慣性 実大ダンパー 加振実験

1. はじめに

近年、構造物に対する新たな応答制御法として、井上<sup>1)</sup>からは軸力制限機構付き同調粘性マスダンパー(以下、「FRTVMD」)を提案し、実大加振実験を通して、その理論と有効性を確認している。ここで言う FRTVMD は主に3つの機構から成り立つ制振システムである。1つ目は過大な軸力を制限する機構、2つ目は付加振動系を構成するための柔な支持部材、そして3つ目は粘性体による粘性抵抗力と回転慣性による質量効果を有する粘性マスダンパーである。既往<sup>1)</sup>の研究で実験されたダンパーは「外径がφ400mm、全長が1354mm、軸力制限荷重が800kN、慣性質量が1350ton」と非常に大型であるため、中低層建築物には適用できない。

そこで本研究では、中低層建築物に FRTVMD を導入することを目的とし、新たに小型の FRTVMD を提案する。そして解析によりその有効性を確認した上で、基礎的実験として、実大ダンパー単体の正弦波加振の試験結果について報告する。

なお、ダンパーの製品設計に当たり制約条件を2点設けた。1つ目はダンパーを小型化することである。具体的には、ダンパーがS造の中低層建築物の壁面内に設置されることを想定して、ダンパー外径を鉄骨柱幅の250mm以内に、かつ全長を1000mm以内に収めることとした。2つ目はダンパー取付け部の鉄骨部材の耐力を考慮し、軸力制限荷重を150kN以内に収めることとした。

2. 解析概要

2.1 建物概要

対象建物は、建物重量578tonのS造ラーメン構造の4階建物を仮定した。建物の質点条件を表1に、復元力特性を図1に、また固有値解析結果を表2に示す。

表1 質点情報

階	層重量(tf)	階高(cm)
4	104.6	320
3	174.9	320
2	154.2	320
1	144.3	365

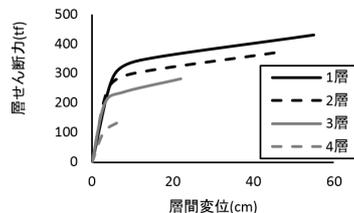


図1 建物の骨格曲線

表2 固有値解析結果

項目	1次	2次	3次	4次
固有周期(s)	0.900	0.332	0.230	0.173
刺激関数	1.287	-0.416	0.190	-0.133

2.2 振動解析結果

解析のための入力地震動は、告示波(JMA 神戸海洋気象台 NS位相)、及び TAFT-EW 波とした。FRTVMD の設置条件は慣性質量170tonの装置を1階に1基設置するものとし、1次モード(初期剛性)に対する有効質量比は $\mu=0.06$ となった。また、定点理論より最適値として求めた支持部材剛性は0.85kN/m、減衰係数は0.038kN/m/sである。

解析は以下の5ケースとした。軸力制限荷重FrをFr=∞, Fr=100kN, Fr=150kNとした3ケース、比較のため一般的なオイルダンパー(減衰特性:図2)を1~3階に各階2基設置したケース(凡例○:OIL)と、制振装置を設置しないケース(図3点線)の解析を行った。ここで解析により算出された最大応答値の高さ方向分布を図3に示す。図よりオイルダンパーを設置することで層間変形角が1/50~1/75程度に、さらにFRTVMDでは1階のみの設置に関わらず、各階共に損傷修復が必要の無いレベルの1/100程度にすることが可能であることが分かった。

この例では設置基数は一般的なオイルダンパーに比べて1方向6基から1基となり、コスト面でも設置場所においてもFRTVMDの有効性が確認できた。

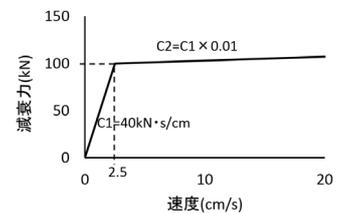


図2 オイルダンパーの減衰特性

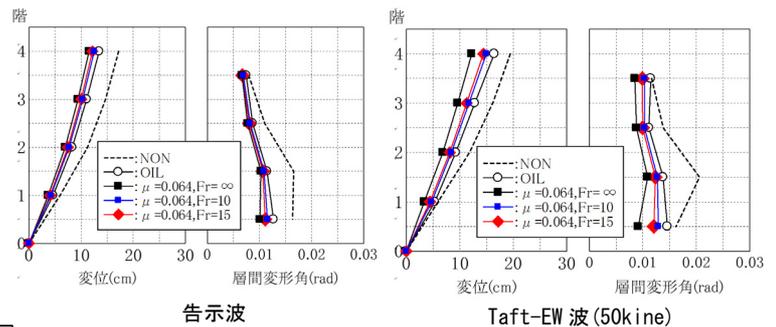


図3 最大応答値

2.3 実大ダンパーの概要

上記の解析条件を満たす実大ダンパーの諸元を表3に、概要図を図4に示す。なおダンパーの力学モデルは既往の文献<sup>2)</sup>のとおりである。図に示すとおり、ダンパー外径がφ205mm、かつ全長が690mmと、「1.はじめに」に記述した“ダンパーの小型化”に関する制約条件をクリアできた。小型化が可能になった理由は2つある。1つ目の理

由はボールねじのリードを小さくすることで、式(1)に示す質量増幅率が大きくなり、効率よく慣性質量を得られたことによる。そして2つ目の理由は、慣性質量を発揮するための付加錘が粘性抵抗を発揮するための外筒と兼用させることで、装置の構成が簡単になったためである。

表3 実大ダンパー諸元

諸元		単位	
ボールねじ	ボールねじ径	mm	45
	リード <sup>※1</sup>	mm	12
	ストローク	mm	±100
質量要素	付加錘(外筒)外径	mm	205
	質量増幅率	-	2211
	等価質量	ton	170
粘性要素	外筒内径	mm	150
	内筒外径	mm	146
	シリコンオイル充填長さ	mm	110
	せん断隙間	mm	2
軸力制限部	軸力制限荷重	kN	100~150に設定可能

※1: ボールねじのナットが1回転するとき、軸が進む距離

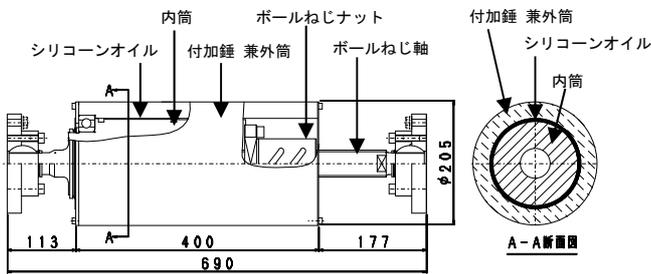


図4 実大ダンパー概要図

$$M_i = \lambda m_i \quad \dots \text{式(1)}$$

$$m_i = \beta \cdot m, \quad \beta = \frac{D_o^2 + D_i^2}{8} \cdot \left( \frac{2\pi}{L_d} \right)^2$$

ここで、 $M_i$ : 慣性質量、 $m$ : 質量、 $\lambda$ : 等価摩擦係数、 $\beta$ : 質量増幅率、 $D_o$ : 錘外径、 $D_i$ : 錘内径、 $L_d$ : ボールねじリード

### 3. 実験結果

#### 3.1 正弦波加振試験の概要

試作した実大ダンパーの基本性能を確認するために、正弦波加振試験を実施した。実験概要図を図5に、試験体を写真1に示す。加振装置は最大荷重±3,000kN、最大振幅±300mm、最大速度±300mm/sの性能を有するダイナミックアクチュエータが組み込まれた門型フレームを用いた。計測項目は変位と荷重とした。変位はダンパー変位を計測値とし、荷重はアクチュエータ先端のロードセルにより測定した。このときダンパーの軸力制限荷重は130kNに設定した。加振パラメータは、振動数0.5Hzと1.1Hzでそれぞれ速度10,20,30mm/sの合計6種類とした。

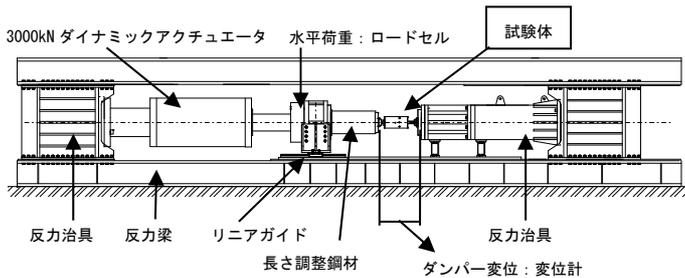
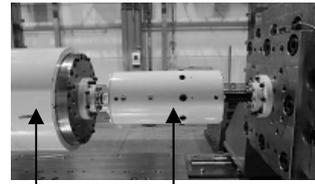


図5 実験概要図



長さ調整鋼材 試験体

写真1

#### 3.2 正弦波加振試験結果

軸力制限機構が発動しない加振の履歴ループを図6に、また速度と粘性力の関係を図7に示す。図6において実線は実験値を、また一点鎖線は既往の文献<sup>2)</sup>により算出した理論値を示す。図6、図7ともに実験値と理論値は概ね一致しており、当ダンパーは既往の文献<sup>2)</sup>の力学モデルで評価できることが確認できた。

次に軸力制限機構が発動する加振の履歴ループを図8に、また速度と軸力制限荷重の関係を図9に示す。ここでいう軸力制限荷重は正負最大荷重の平均値を採用した。当初の設定どおり130kNで安定した軸力制限機構が発動している。また図8からわかるように、軸力制限機構が発動しても履歴ループ全体が右肩下がりになっている。この理由は付加錘等の慣性質量が加速度に反応して、慣性力を発揮しているためである。

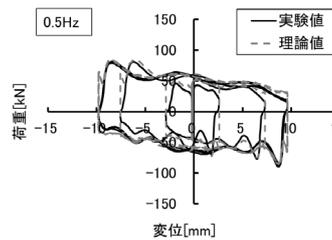


図6 履歴ループ

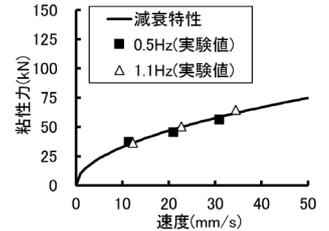


図7 速度と粘性力の関係

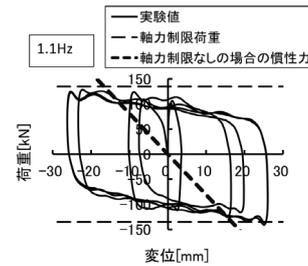


図8 履歴ループ

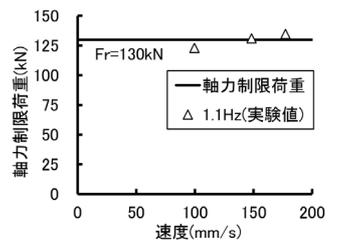


図9 速度と軸力制限荷重の関係

### 4. まとめ

中低層建築物向けのFRTVMDの有効性を解析で確認するとともに、試作した実大ダンパーの正弦波加振実験により既報の力学モデルを適用できることを確認できた。また、軸力制限値も安定して発揮することを確認できた。今後は、実大ダンパーに同調用の柔な支持部材を取付けたFRTVMDの実大実験を実施する所存である。

#### 【参考文献】

- 井上ほか: 軸力制限機構付き同調粘性マスダンパーの実大加振実験とその解析的検証, 日本建築学会構造系論文集, 第76巻, 第665号, pp.1271-1280, 2011.7
- 井上範夫/五十子幸樹: 建築物の変位制御設計, 平成24年25日発行, 丸善

\*1 えびす建築研究所  
\*2 えびす建築研究所 博士(工学)

\*1 Ebisu Building Laboratory CO.,LTD.  
\*2 Ebisu Building Laboratory CO.,LTD.,Dr.Eng