

# 定点理論を用いた Maxwell 型制震ダンパーの最適設計法について

福井工業大学 正会員 ○安井 譲 ダイワ精機(株) 新保貴之

## 1. はじめに

構造物の層間にオイルダンパーや粘性ダンパーなどを設置して減衰性能を向上させることにより地震時の応答を低減させようとする制震工法がある。これらのダンパーと構造物との連結材は一般には剛ではなく弾性を有するため、Maxwell 型の粘性ダンパーとしてモデル化される。Maxwell 型のダンパーを有する 1 質点系の構造物の最適な減衰係数の値は定点理論<sup>1),2)</sup>により設定することができるとされている。本論文では、2 質点系モデルを例にとり、多質点系モデルへの定点理論の適用可能性を検討することとした。

## 2. 一質点系モデル

図-1 に、弾性連結材で設置されたダンパーを有する 1 質点系モデルを示した。ここに、

$m$  : 質量

$K$  : 構造物架構のばね定数

$k$  : ダンパーの連結材のばね定数

$c$  : ダンパーの粘性減衰係数

図-1 のモデルの基部に地震動  $y$  が入射したときの運動方程式は、質点  $m$  の基部からの相対変位を  $x$  としたとき次のように表される。

$$m\ddot{x} + c'\dot{x} + (K + k')x = -m\ddot{y} \quad \dots(1)$$

$$k' = \frac{k(\omega c)^2}{k^2 + (\omega c)^2} \quad \dots(2a), \quad c' = \frac{ck^2}{k^2 + (\omega c)^2} \quad \dots(2b)$$

上式において  $x = X e^{i\omega t}$ ,  $y = Y e^{i\omega t}$  とおくと単位の正弦波の地震入力に対する基部せん断力  $Q$  は次式で表される。ここに、 $i = \sqrt{-1}$  で、 $\omega$  は地震動の円振動数である。

$$Q = \left| \frac{m(\ddot{x} + \ddot{y})}{\ddot{y}} \right| = \left| \frac{(K + k') + i\omega c'}{(K + k') - \omega^2 m + i\omega c'} \right| \times m \quad \dots(3)$$

図-2 に、表-1 に示した諸元を有する 1 質点系モデルについて(3)式を用いて計算した基部せん断力を示した。同図には、 $c = 0$  と  $c = \infty$  の場合のほかにこれらの交点(定点と呼ぶ)をピークとするように定めた  $c = 410 \text{ kN/m/sec}$  の場合の結果も示してある。応答曲線が  $c$  の値の如何にかかわらず定点を通る性質やこれを利用して派生的に生じる諸関係は広く定点定理と呼ばれる。

## 3. 2 質点系モデル

図-3 に、弾性連結材で設置されたダンパーを有する 2 質点系モデルを示した。ここに、図中の記号の意味は次のようである。

$m_i (i=1,2)$  : 質点 1 と 2 の質量、 $K_i (i=1,2)$  : 1 層と 2 層の構造物架構のばね定数

$k_i (i=1,2)$  : 1 層と 2 層の連結材のばね定数、 $c_i (i=1,2)$  : 1 層と 2 層のダンパーの粘性減衰係数

図-3 のモデルの基部に地震動  $y$  が入射したときの運動方程式は、各質点  $m_i$  の架構基部からの相対変位を  $x_i$  としたとき次のように表される。

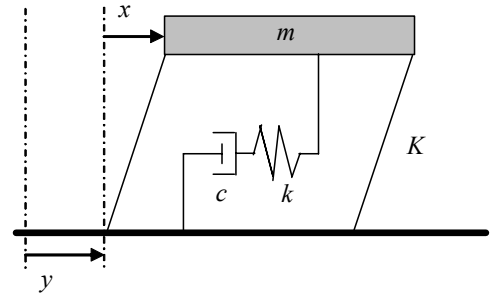


図-1 1 質点系モデル

表-1 1 質点系モデルの諸元

| 諸元 | m<br>(ton) | K<br>(kN/m) | k<br>(kN/m) | c<br>(kN/m/s) |
|----|------------|-------------|-------------|---------------|
| 値  | 40         | 25,000      | 12,500      | 410           |

(cは最適値)

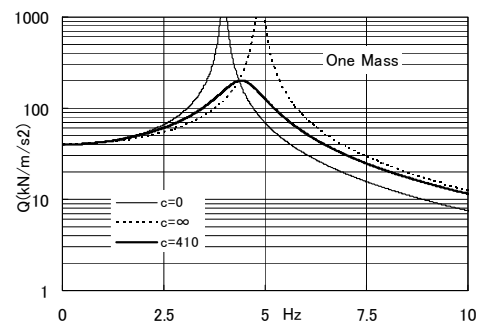


図-2 1 質点系モデルの基部せん断力

キーワード Maxwell 型ダンパー、定点理論、2 質点系、基部せん断力

連絡先 〒910-8505 福井市学園 3-6-1 福井工業大学 TEL 0776-29-2554

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c'_1 + c'_2 & -c'_2 \\ -c'_2 & c'_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_1 + K_2 + k'_1 + k'_2 & -K_2 - k'_2 \\ -K_2 - k'_2 & K_2 + k'_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y} \\ \ddot{y} \end{Bmatrix} \dots (4)$$

$$k'_i = \frac{k_i (\omega c_i)^2}{k_i^2 + (\omega c_i)^2} \dots (5a), \quad c'_i = \frac{c_i k_i^2}{k_i^2 + (\omega c_i)^2} \dots (5b)$$

また、基部せん断力は次式で定義される

$$Q = \left| \frac{m_1(\ddot{x}_1 + \ddot{y}) + m_2(\ddot{x}_2 + \ddot{y})}{\ddot{y}} \right| \dots (6)$$

(4)式において  $x_i = X_i e^{i\omega t}$ ,  $y = Y e^{i\omega t}$  において(5)式を考慮しながら  $X_i$  と  $Y_i$  について解き、これらを(6)式に代入すると基部せん断力を計算することができる。

表-2 に例題計算に用いた 2 質点系モデル <sup>3)</sup> の諸元を示した。同表には解析ケースも示してある。いずれも 1 次の基部せん断力を最小にするようなダンパーの値を求めることを考える。ケース 1 は  $c_1 = c_2 \neq 0$  の条件で、ケース 2 は  $c_1 \neq 0, c_2 = 0$  の条件で、ケース 3 は  $c_1 = 0, c_2 \neq 0$  の条件でそれぞれ最適ダンパーの値を求めるものとする。

図-4 に例としてケース 1 の基部せん断力を示した。最適値は  $c_1 = c_2 = 0$  と  $c_1 = c_2 = \infty$  の交点(定点)の値を最大値とするように定めた。このとき、ダンパーの値は  $410 \text{ kN/m/sec}$  となる。

図-5 に、3 つのケースの最適化した場合 (3 ケースとも最適値は  $410 \text{ kN/m/sec}$  となった) の基部せん断力を比較して示した。ケース 1 が最もダンパーの効果が発揮されるようである。ケース 3、即ち 2 層目にダンパーを設置する場合はダンパーの効率が悪いといえる。

4. まとめ

- 1) 1 質点系モデルの基部せん断力に着目した例題計算を行い、定点定理が成り立つことを確認した。
- 2) 2 質点系モデルの例題計算を行い、定点定理により最適なダンパーの値が検索可能であることを示した。
- 3) 例題計算の結果、1 層にダンパーを設置するのが最も効率的であることが分かった。

謝辞

株)大林組技術研究所の蔭山満博士から貴重なアドバイスをいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 背戸一登他：パソコンで解く振動の制御、丸善㈱、pp71-74
- 2) 蔭山満他：AIJ 大会学術講演梗概集、B-2、構造Ⅱ、pp1007-1008,2005 年 9 月
- 3) 柴田明徳：最新耐震構造解析、森北出版㈱、pp.59-62

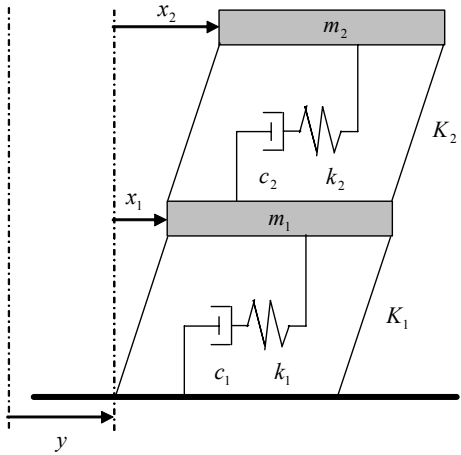


図-3 2 質点系モデル

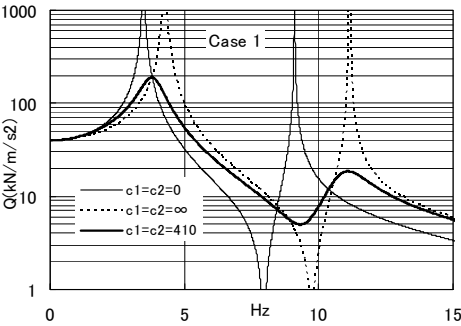


図-4 基部せん断力 (ケース 1)

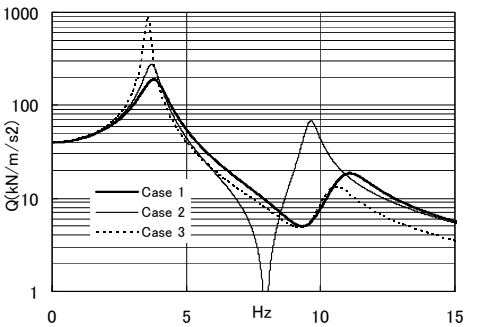


図-5 最適化モデルの基部せん断力

表-2 2 質点系モデルの諸元と検討ケース

|        | mi<br>(ton) |    | Ki<br>(kN/m) |        | ki<br>(kN/m) |        | ci<br>(kN/m/s) |     |
|--------|-------------|----|--------------|--------|--------------|--------|----------------|-----|
|        | 1層          | 2層 | 1層           | 2層     | 1層           | 2層     | 1層             | 2層  |
| Case 1 |             |    |              |        |              |        | 410            | 410 |
| Case 2 | 20          | 20 | 25,000       | 25,000 | 12,500       | 12,500 | 410            | 0   |
| Case 3 |             |    |              |        |              |        | 0              | 410 |

(ciは最適値)