

# 動吸振器による建築物の振動制御

2014SC016 堀尾晟花

指導教員：大石泰章

## 1 はじめに

建築物は、地震や風の影響を受けて振動することがある。しかし振動は、構造物の安全性や居住性を損なう一つの要因であるため、その抑制のためにさまざまな方法が講じられている。例えば、東京のミッドタウンタワーにはアクティブ式の制振装置が直交2段重ねに設置され、並進2方向の振動とねじれを抑制している [3]。

本研究では、10階建てビルのモデルをもとに、動吸振器を用いた振動制御について考える。文献 [1] に基づき、パッシブ型とアクティブ型の動吸振器を設計し、その性能を比較する。また、地震波の加速度データを用いてシミュレーションを行い、制振効果を確認する。

## 2 モデル化

### 2.1 10階建てビル

文献 [1] に基づき、図1のような10階建てビルの制振を考える。

$i = 1, 2, 3, \dots, 10$  に対し、 $i$ 階の天井 ( $i+1$ 階の床)の質量を  $m_i$  とし、変位を  $x_i$  とする。地面の変位は  $x_0$  とする。また、支柱剛性を有していると考え、 $i$ 階の支柱のばね定数を  $k_i$  とする。各階の質量とばね定数は次のように与える：

$$m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_{10} = 50[t], \\ k_1 = k_2 = k_3 = \dots = k_{10} = 10000[\text{kN/m}].$$

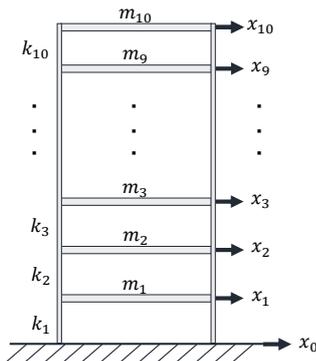


図1 10階建てビルのモデル

### 2.2 動吸振器

制振のために  $i$ 階の天井に動吸振器を設置する。動吸振器は可動マスの慣性力を反力にして制御力を得る制御方式である。本研究では、パッシブ型 (図2) と、アクティブ型 (図3) の2種類を使用する。可動マスの質量、ばね定数、ダンパの減衰係数、可動マスの変位をそれぞれ  $m_{di}$ 、 $k_{di}$ 、 $c_{di}$ 、 $y_{di}$  とする。パッシブ型はビルの固有振動数に同調す

るように  $k_{di}$ 、 $c_{di}$  を調整する。一方アクティブ型は、振動を検知するセンサ  $P$  の出力を受け、コントローラ  $C_o$  で処理をしてアクチュエータ  $A$  を駆動させるという構成になっている。

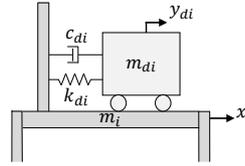


図2 パッシブ型

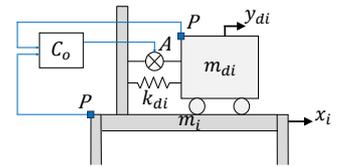


図3 アクティブ型

## 3 動吸振器の設計

### 3.1 パッシブ型動吸振器の設計

文献 [1] に基づき、モード分解を用いてパッシブ型動吸振器の設計を行う。本研究では文献 [1] にならって、1次モードから3次モードまでを制御対象とした場合と、1次モードのみを制御対象とした場合の2パターンについて考える。

図1をもとに振動モード解析を行うと、1次モードは10階、2次モードは4階、3次モードは6階が動吸振器の設置に適していることがわかった。各モードの減衰値の設計目標として次のように減衰比を定め、動吸振器の設計を行った：

$$\zeta_1 = 0.078, \quad \zeta_2 = 0.050, \quad \zeta_3 = 0.035.$$

### 3.2 アクティブ型動吸振器の設計

アクティブ型動吸振器は1次モードのみを制御対象とした。1次モードの最大振幅階は10階で、パッシブ型動吸振器と同様にモード分解を用いて  $m_{di}$ 、 $k_{di}$  を設定し、LQ制御を用いてコントローラを設計した。

## 4 パッシブ型とアクティブ型の性能比較

パッシブ型動吸振器を使用した場合と、アクティブ型動吸振器を使用した場合でシミュレーションを行い、制振性能を比較する。

$x_1 = 0.1[\text{m}]$ 、 $x_0 = x_2 = \dots = x_{10} = 0[\text{m}]$  となる状態、すなわち1階の天井の変位  $x_1$  を0.1m正の方向にずらした状態からシミュレーションを開始したときの、10階の天井の変位  $x_{10}$  の時間変化を図4、図5に示す。ここで、パッシブ型動吸振器については、10階のみに設置した場合は短時間で振動が収束する兆候が見られなかったため、4、6、10階に設置した場合のシミュレーション結果を比較に使用する。

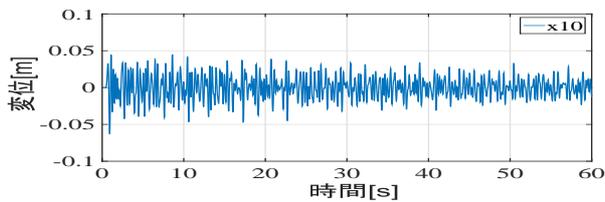


図4 パッシブ型(4, 6, 10階に設置)

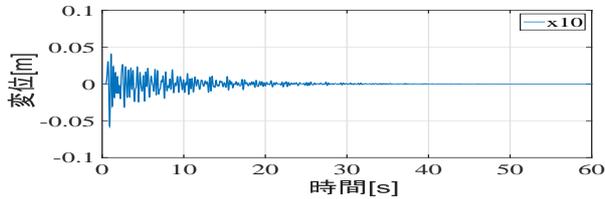


図5 アクティブ型(10階のみ設置)

この結果から、アクティブ型動吸振器の方が収束が早く、性能が優れていることがわかった。

## 5 地震波を用いたシミュレーション

4章では自由振動の減衰について調べた。次に、外部から振動を与えた場合に見せる建築物の振動が、パッシブ型動吸振器とアクティブ型動吸振器ではどのように違うかについて調べる。特に、地震等の大きな揺れにも動吸振器による制振法は有効であるかを調べるため、実際の地震波の加速度データを使用してシミュレーションを行う。

使用した地震データは、1940年に発生したEl Centroの南北方向の観測地震波である。もとのデータは加速度データであるため、2回積分することで変位データを作成する。その際、データに誤差が含まれており、そのまま積分すると変位は発散してしまうため、積分して得られたデータから平均値を引くことで実際の変位に近い値を作成し、シミュレーションを行った。

図1における、地面の変位  $x_0$  を作成した変位データに基づいて変化させ、地震を模した振動を与える。このときの10階の変位  $x_{10}$  の時間変化を図6、図7に示す。

この結果から、アクティブ型動吸振器は地震波においても制振効果を発揮することがわかった。なお、1階から9階の変位については、10階の変位よりも小さい振幅で振動し、10階の変位と同様に零に収束することを確認している。

図6では、パッシブ型動吸振器を10階のみに設置することを考えた。地震波に対し動吸振器の設置個数によって制振効果が変わるか比較するため、4, 6, 10階に動吸振器を設置した場合のシミュレーションを行う。結果を図8に示す。

図6と図8を比較すると、振動波形に大きな差がないことから、動吸振器の個数に関わらずパッシブ型動吸振器は地震波において制振効果をあまり発揮しないことがわかった。

以上より、パッシブ型動吸振器は地震波においてはあまり制振性能を発揮しないが、アクティブ型動吸振器は地震波等の大きな揺れにも対応できることがわかった。

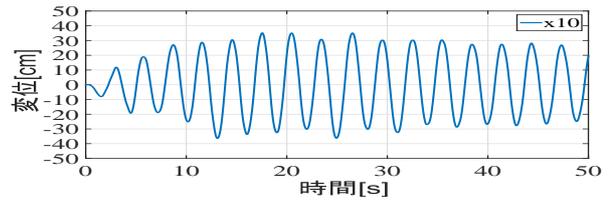


図6 パッシブ型(10階のみ設置)

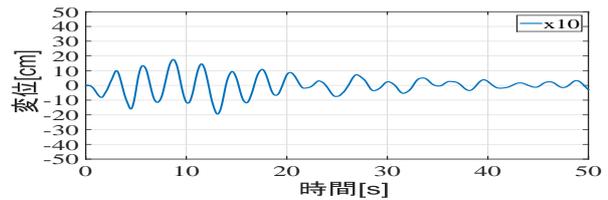


図7 アクティブ型(10階のみ設置)

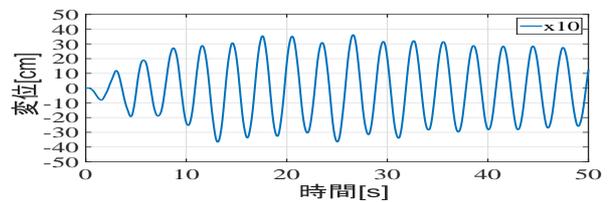


図8 パッシブ型(4, 6, 10階に設置)

## 6 おわりに

本研究では、10階建てのビルのモデルに対する、パッシブ型動吸振器とアクティブ型動吸振器の設計を行い、その制振性能を比較した。また、地震波を用いてシミュレーションを行い制振効果を確認した。その結果、パッシブ型動吸振器に比べアクティブ型動吸振器は制振性能が優れており、地震波等の大きな揺れにも対応できることがわかった。

しかし、パッシブ型動吸振器にはエネルギー補給が不要である等のメリットがある。したがって、今後の課題として、パッシブ型とアクティブ型を組み合わせたハイブリッドマスダンパを使用し、様々な振動に対応できる動吸振器の設計を考えることが挙げられる。

## 参考文献

- [1] 背戸一登:『構造物の振動制御』。コロナ社, 東京, 2006.
- [2] 背戸一登:『動吸振器とその応用』。コロナ社, 東京, 2010.
- [3] 小池裕二:「長大構造物におけるアクティブ振動制御技術の実際」『計測と制御』vol. 51, no. 2, pp. 180-185, 1979.
- [4] <http://www.seinokyo.jp/jsh/top/>