

構造物の Active Mass Driver による制振

— 重みに関する一考察 —

高知高専土木工学科 正 吉川正昭 ○竹内光生

1. はじめに

近年、種々の振動問題に対処し、居住性、機能性、最終構造安全性などを高める処方策として、構造物の振動制御法が注目されている。架設段階時の橋梁の主塔は完成系より振動しやすく、振動制御が必要になる。従来に比べて剛性の低い柔軟な大型構造物に用いられるだけでなく、どうしても耐震が施せない重要構造物などにも適用されよう。Active Mass Driver(AMD)を用いて、入力波(エル・セントロN S50ガル)を考慮しない閉ループ制御時、入力波を考慮する閉ループ制御時など、解析と実験で研究¹⁾²⁾を行ってきた。制御則を支配する評価関数の中の重みに関しては明確な提案がなされていないため、最適な状態量に対する重み $[Q]$ と制御力に対する重み R の比を求める。そのため、入力地震に対する重み α は0とした。

2. 構造物モデルと提案した評価関数

8階建模型は図-1に示すように、AMD(全重量の1/100の約10kgf)を全モードの腹となる頂部に設置し、せん断型の振動を生じる。AMDを含んだ系の運動方程式は次のようになる。

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = -\{m\}\ddot{X}_0(t) + \{H\}(-m_a\ddot{x}_a) \quad (1)$$

ここに、 $[M]$ 、 $[K]$ 、 $[C]$ は質量マトリックス、剛性マトリックス、減衰マトリックス、 $\{H\}$ は制御力の作用位置を表す列ベクトル、 $x(t)$ は各質点の相対変位、 $\ddot{X}_0(t)$ は地動加速度、 m_a はAMDの質量、 $\ddot{x}_a$ はAMDの加速度で制御力 $u(t) = m_a\ddot{x}_a$ となる。

最適性を保証し、合理的な制御力を求めるため、佐藤¹⁾の提案した構造物に入力される地震エネルギーを考慮した時間依存型評価関数を用いる。

$$J = \{z(t)\}^T [Q] \{z(t)\} + \{u(t)\}^T R \{u(t)\} + \alpha \int_0^t [-\{\dot{x}(\tau)\}^T \{m\} \ddot{X}_0(\tau)] d\tau \quad (2)$$

$$\{z(t)\} = \{ \{x(t)\}, \{\dot{x}(t)\} \} \quad (3)$$

$[Q]$ は構造物の応答変位、速度に対する重み、 R は制御力に対する重み、 α は評価関数中の入力エネルギー量に対する重みである。状態量に対する重み $[Q]$ 、制御量に対する重み R は制御系の安定性にも関係する。 R はAMDが1つであるためスカラー量になる。

3. 制御量と重み $[Q]$ の関係

重み $[Q]$ を構造物が1番大きく振動するモードが1次モードであることから、このモードを消去するように重み付けをする。1階から8階の重みを表-1に示すように5ケースに分ける。 R は単独で決まるものでなく、 $[Q]/R$ の値で意味があることが分かる。 $[Q]/R$ を $10^{-8} \sim 10^{-2}$ まで変化させ、地震応答解析を行い、制御力、2階、5階、8階の最大応答変位とAMDの動きを求めて図-2に示す。 $[Q]/R$ を大きくすると8階の応答変位は低下し、AMDの動きが増加すると制御力は増加していくことがわかる。ケース1のように8階から4階までの応答量をフィードバックして制御すると、各階とも $[Q]/R$ が約 10^{-4} のとき、応答変位が逆に増加することがわかるので、制御をできていないことになる。一方、8階のみ応答量を制御すると5階と2階で同様に応答変位が増加する。最適な重み $[Q]/R$ はいずれのケースがよいか、AMDの動ける範囲との関係もあるが上部を大きく、下部を小さくするケース2、3の $[Q]/R$ がよいと考えられる。

4. まとめ

$[Q]/R$ は応答値の最適化に関する重みであり、この与え方によって、どの点の応答を低減するかは、パラメトリックなケーススタディによる必要がある。なお、入力地震を考慮するときは式(2)の α についても最適な値を求める必要がある。

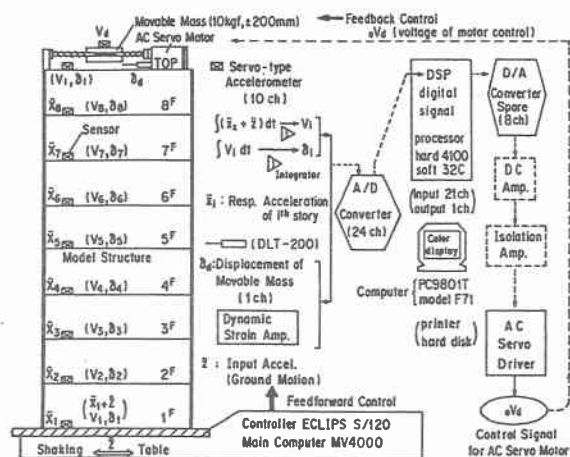


Fig. 1 Schematic of Control System

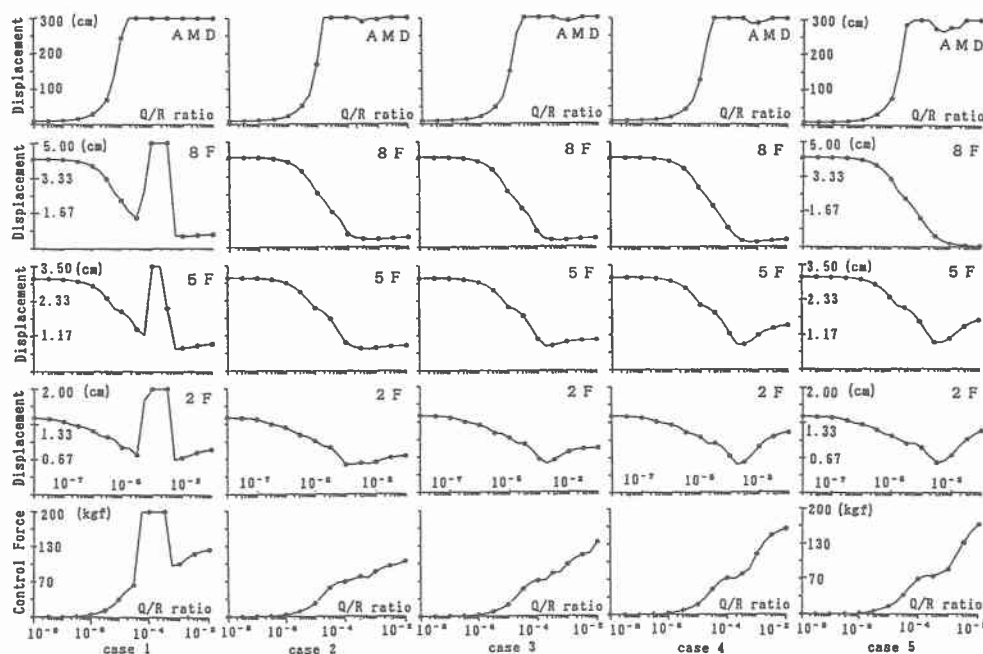
Table 1 Cases of Partitioned Submatrices Q

case	Q_8	$Q_{7,6}$	$Q_{5,4}$	$Q_{3,2,1}$
1	100	100	100	0
2	100	50	50	0
3	100	50	25	0
4	100	50	0	0
5	100	0	0	0

$q_8 \sim 1$: Weighting matrices of each floor

q_8 : 8th floor weight, ...

$q_{3,2,1}$: 3rd, 2nd and 1st floor weight

Fig. 2 Control Parameters of Partitioned Submatrices Q ($q_8, q_7, q_6, q_5, q_4, q_3, q_2, q_1$)

参考文献

- 1) 佐藤忠信, 土岐憲三, 望月俊宏, 吉川正昭: 可動質量型制振装置を用いた構造物の閉ループ振動制御、土木学会論文集NO. 525/I-3, PP. 201~211, 1995. 10
- 2) 吉川正昭, 川井伸泰, 他2名: 転がり振り子による制振—可変ゲイン制御による制振効果—、土木学会構造工学委員会, PP99~106, 1995. 8