

構造物のAMDによる振動制御解析

高知高専建設システム工学科 正員 吉川正昭
高知高専建設システム工学科 正員○竹内光生

1. はじめに

近年、AMD (Active Mass Driver) による振動制御法の最適制御則として、状態量だけでなく、入力波を考慮した研究報告がなされているが、安定した制御効果が得られるレベルに至っておらず、最適制御則に含まれる状態量、制御量、入力波の重みを、制御の対象モデルによって変える試行錯誤の方法など未知な部分も残されている。本報告は、最適制御則の試行錯誤の事例の1つではあるが、AMDを最上階に設置した3層構造物に、最大値100ガルのエル・セントロ地震波形を入力した振動制御解析の結果を、閉ループ制御則(状態量のみ)、開ループ制御則(入力波のみ)、閉開ループ制御則(状態量、及び入力波)を用いた場合について報告する。

2. 構造物モデルと解析方法

3階建模型は図1に示すように、AMD(全重量の1/100の約1.7kgf)を1次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つぎのようになる。

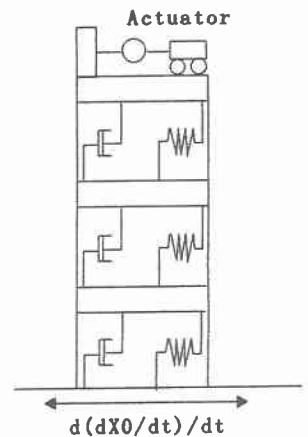


図-1 モデル図

$$[M] \cdot \{d(dx/dt)/dt\} + [C] \cdot \{dx/dt\} + [K] \cdot \{x\} = -\{m\} \cdot d(dx0/dt)/dt + \{H\} \quad (1)$$

ここに、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ は、それぞれ質量、剛性、減衰マトリックス、 $\{m\}$ は質量の列ベクトル、 $\{H\}$ は制御力の作用位置を表す列ベクトル、 $\{x\}$ は各質点の相対変位ベクトル、 $d(dx0/dt)/dt$ は地震加速度、 u は制御力、AMDの質量を m_a 、AMDの加速度を $d(dx_a/dt)/dt$ とすると $u = -m_a \cdot d(dx_a/dt)/dt$ となる。

解析には、上式(1)を次のように変形した。

$$\{dz/dt\} = [A] \cdot \{z\} + [B] \cdot \{U\} \quad (2)$$

ここに、 $\{z\}$ は6行の列ベクトル $\{x; dx/dt\}$ 、 $\{U\}$ は2行の列ベクトル $\{u; d(dx0/dt)/dt\}$ 、 $[A]$ は6行6列のマトリックス $[0, I; -M^{-1}K, -M^{-1}C]$ 、 $[B]$ は6行2列のマトリックス $[0, 0; -M^{-1}H, -M^{-1}m]$ である。 0 は0要素のマトリックス、あるいはベクトル、 I は単位マトリックスである。

最適制御則を示す時間依存型の評価関数は次のようである。

$$\int_{t-\Delta t}^t [z^T \cdot Q \cdot z + u^T \cdot r \cdot u + \alpha \cdot \{-(dx/dt)^T \cdot m \cdot d(dx0/dt)\}] dt \quad (3)$$

ここに、 Q は状態量の重みを示す6行6列のマトリックス、 r は制御力の重みを示すスカラー量、 α は入力地震にかかる重みを示すスカラー量である。式(2)、式(3)より、最適制御力 u は次のようになる。

$$u = -\frac{\Delta t}{2r} \cdot \frac{1}{m_a + m_d} \cdot \theta_a \cdot dx_3/dt + \frac{\{\phi_i\}^T \{m\}}{\phi_i^1} \cdot d(dx0/dt)/dt \quad (4)$$

ここに、 m_a 、 m_d は3層目の質量とアクチュエーターの質量、 θ_a 、 dx_3/dt は3層目の速度にかかる重みと3層目の速度、 $\{\phi_i\}$ 、 ϕ_i^1 は i 次モードベクトルと、その第1成分である。この制御力 u は、閉開ループ制御力であり、制御力の1項目は閉ループ制御力、2項目は開ループ制御力を示す。

3. データ及び解析結果

本解析で用いたエル・セントロ地震波形を図-2に示し、表-1には図-1の集中質点系の3自由度線形モデルの下層から順に層番号を付け、重量、剛性、および固有振動数、固有ベクトルを示す。図-3に、閉ループ制御、開ループ制御、閉開ループ制御解析の結果を示す。図の縦軸は、モデルの最上階（3層目）の最大応答変位を示し、横軸が最大制御力を示している。最大制御力が0の最大応答変位は無制御時の最大応答変位2.1cmを示し、解析結果をプロットした線が左側にあるほど少ない最大制御量で最大応答変位を低減できるので制御効率がよいということになる。閉ループ制御と開ループ制御の線が交差する領域が存在し、ここでは最大制御力が約80kgfまでと約170kgfを越えた領域では閉ループ制御の方が制御効率がよいことがわかる。閉開ループ制御は、閉ループ制御力を約70kgfとし、開ループ制御力を0から増加させて制御効率を調べた。結果は、最大応答変位を急激に低減できる領域のあることがわかる。図-4に、閉ループ制御、開ループ制御、閉開ループ制御解析時の最大制御力、約160kgfを供給した場合の、制御力時刻歴、最上階の応答変位時刻歴曲線、そのパワースペクトラムを示す。閉ループ制御は、最初の2秒間にあまり変位が減少していないのに対して、開ループ制御、閉開ループ制御は比較的早く制御効果が現れている。

表-1 モデルの諸元

層番号	1	2	3	AMD
重量(kgf)	62.0	52.9	52.9	1.7
剛性(kgf/cm)	45.3	45.3	45.3	

Mode	1	2	3
固有振動数(Hz)	2.02	5.65	7.81
モード	2.20	-0.78	0.93
ベクトル	1.78	-0.42	-1.61
	1.00	1.00	1.00

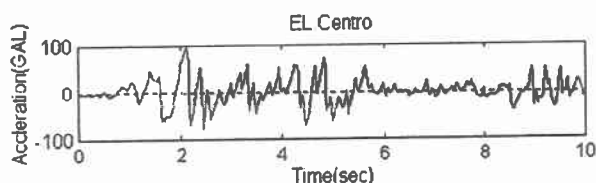


図-2 入力地震波形

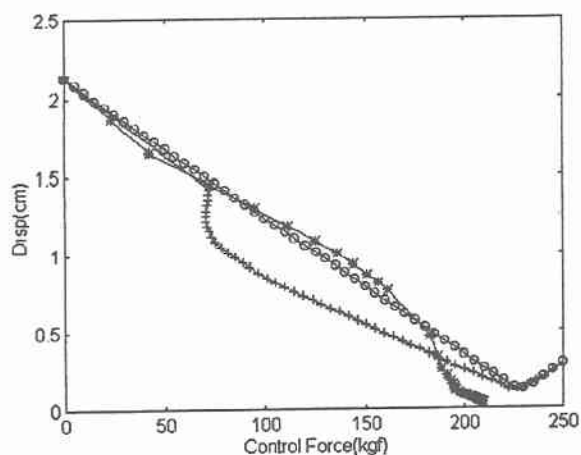


図-3 最大応答変位と最大制御力の関係

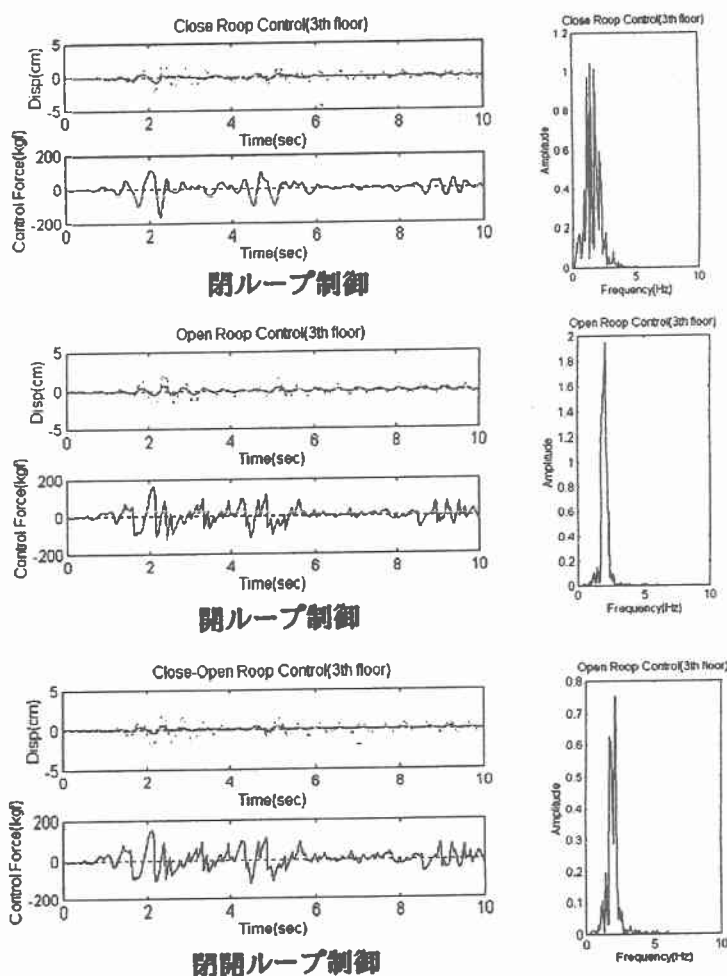


図-4 閉、開、閉開ループ制御の比較
(最大制御力160kgfの場合)

* 閉ループ制御
○ 開ループ制御
+ 閉開ループ制御

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開ループ震動制御, 土木学会論文集No. 525/I-3, PP201~211, 1995. 10