

I-357 アクティブコントロールによる単純桁の振動制御

長岡技術科学大学大学院 ○学生員 五十嵐信哉
 長岡技術科学大学機械系 矢鍋 重夫
 長岡技術科学大学建設系 正 員 鳥居 邦夫
 長岡技術科学大学建設系 正 員 池田 清宏
 長岡技術科学大学建設系 正 員 丸山 輝彦

1.はじめに 近年、橋梁等の構造物における低周波振動を制御するシステムとして、アクティブコントロールが注目されている。本報告では、最適制御システムを確立する第一歩として、機械・電気分野で確立された制御理論によるアクティブコントロールシステムを提案する。

2.定式化 m 次元制御力 u が作用する、n 自由度振動系の運動方程式は、

$$FM\ddot{y} + FC\dot{y} + y = bu \quad (1)$$

F: 質点たわみ性行列(n×n)
 M: 質量行列(n×n), C: 粘性行列(n×n)
 y: 質点変位ベクトル(n次元)
 b: 制御力作用点たわみせい行列(m×n)

と、表現できる。また、 $x = [y^T, \dot{y}^T]^T$ と変数変換することにより、(1)式から、次に示す状態方程式と呼ばれる1階の連立微分方程式を誘導する。

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2)$$

ここで、A, B は、以下の様に定義される。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -(FM)^{-1} & -(FM)^{-1}C \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ -(FM)^{-1}b \end{bmatrix}$$

x を測定し、その測定値にもとづき(振動)制御力 u を定める『状態フィードバック』という制御手法をこの系に適用する¹⁾。すなわち、すべての状態変数 x にフィードバック係数行列 S をかけることにより、制御力 u を求め、この u の値を(2)式の右辺に代入するものである。また、この状態フィードバックの流れを、ブロック線図に示す(図-1参照)。

$$u = Sx, \quad S = [S_{ij}] \quad i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$$

さらに、このフィードバック係数行列 S を求めるにあたり、次式に示す振動系の、エネルギー評価関数を最小化することを考える。

$$J(u) = \int_0^\infty \{x^T(\tau)Qx(\tau) + u^T(\tau)Ru(\tau)\} d\tau \quad (3)$$

ここで、Q, R : 重み係数(正定対称)行列である。そして、この(2), (3)式より、 $S = -R^{-1}B^TP$ と求めた。ここで、P は次のRiccati型行列方程式を満たす正定値行列である。

$$RA + A^TP - PBR^{-1}B^TP + Q = 0 \quad (4)$$

ここで、(3)式を最小化するという意味でこの制御系は、最適なフィードバック制御となっている。そして、この制御系が安定に動作することを、可制御性と可観測性を調べることで確認した。

3 数値計算例とその考察

図-2に示す両端単純支持のはりを、均等な3質点系にモデル化し、初期条件として、1次、2次モードの変位を考える。また、制振効果を、よりはっきりと確かめるために(1)式の粘性行列を $C=0$ と無視する。そして、このモデルの諸元を、以下に示す値とした。制御力は、図-3に示すCase 1~4を考えた。また、Q と R はそれぞれ、 $Q=qI_{2n}$, $R=rI_{2m}$ (I_{2i} は $2i \times 2i$ 単位行列)、q, r は、評価関数

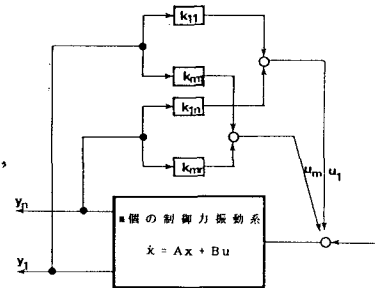


図-1 システムブロック線図

の重み係数を表わすスカラーである。そして、このスカラーの値を $r=1$ と固定して、 $q=1, 10, 100$ と変化させた時の制御状態を、数値計算によりシミュレーションした。この結果を図4~5に示す。

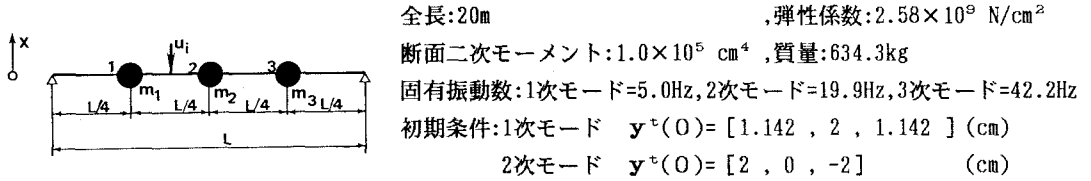


図-2 数値計算に用いたモデル

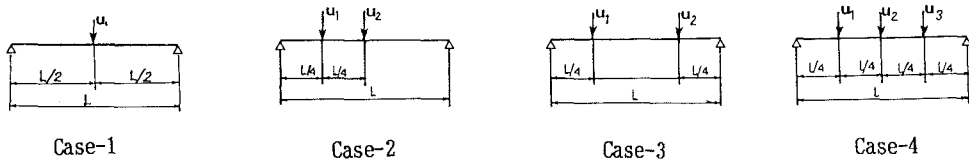


図-3 制御力パターン

1次モード（図-2における質点2の変位）

2次モード（図-2における質点1の変位）

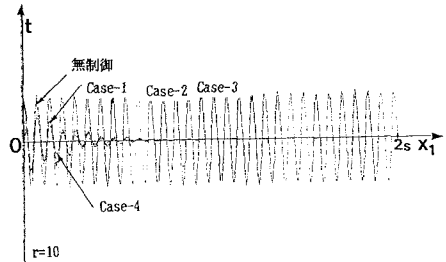
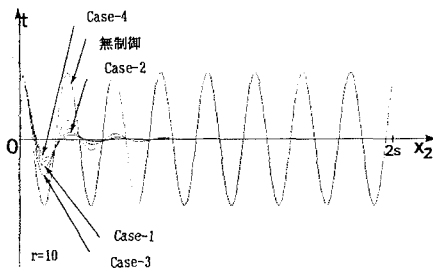


図-4 変位 - 時間

また、質点1~3全ての変位が 1×10^{-2} 以下になるまでに要した、全制御力における、力積の和を図-5に示す。

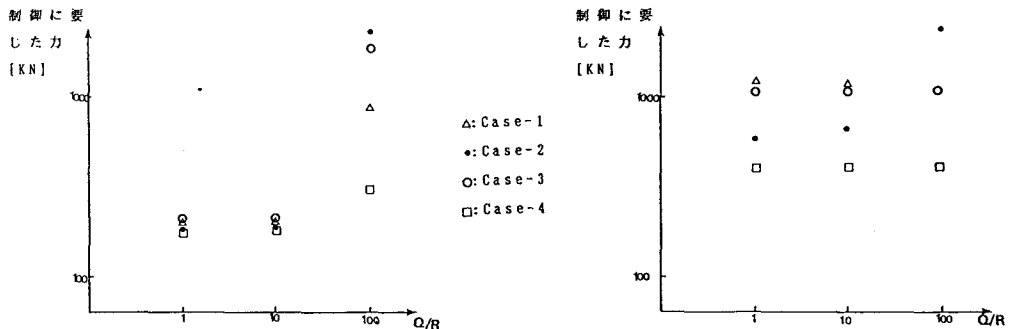


図-5 制振に要した力積 - r

図-4,5より、制御力の数が増えるほど、より小さな力で大きな制振効果が得られることがわかった。この傾向は、振動数が高い、高次モードになほど大きくなる。さらに、 q が大きな値になるほど顕著である。また、制御力が左右対称に配置されたものは、 q が大きくなっても、その制振に要した力積の変化は少ないが、左右非対称に配置されたものは q の値に大きく依存し、 q が大きくなるにつれて、より大きな制御力を必要としていることがわかる。このように、本手法は、制御システムとして有望であるといえよう。

参考文献 1)上滝致孝,明石友行:制御理論の基礎と応用,オーム社