

I-485

アクティブコントロールを用いた単純桁の振動制御

長岡技術科学大学 ○学生員 本田公治
 (株)竹中工務店 五十嵐信哉
 長岡技術科学大学 正員 鳥居邦夫

1. 目的

近年、電気、機械の分野で発展した制御理論を橋梁等の土木構造物のアクティブコントロールに用いることが注目されている。しかし、アクティブコントロールの制御力の設置位置は制振特性に大きな影響を与えるにも関わらずその研究は殆ど行われていない。そこで本報告では、制御理論に基づき単純桁を例に1～3次の混合した振動モードに対し、1制御力の時に最も制振効果の高い制御力の位置に関する検討を行なった。

2. 定式化

1 制御力 u が作用する n 自由度振動系の運動方程式は、

$$M\ddot{Y} + C\dot{Y} + KY = bu \quad (1)$$

M : 質量行列 C : 粘性行列
 K : 剛性行列 Y : 質点変位ベクトル
 b : 制御力設置位置を示す行列

となる。また、(1)式で $x = [Y^T, \dot{Y}^T]^T$ と変数変換することにより状態方程式と呼ばれる1階の連立微分方程式

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

を誘導する。ここで、システム行列 A 、配分行列 B は以下の様に定義される。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1}K & -M^{-1}C \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1}b \end{bmatrix}$$

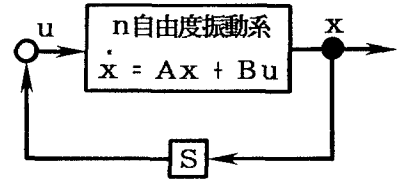


図1 システムブロック線図

状態変数ベクトル x を測定し、その測定値から制御力 u を定める状態フィードバックと呼ばれる制御理論によりこの振動系を制御することとする。図1に状態フィードバックのブロック線図を示す。

状態変数ベクトル x にフィードバック係数行列 S を乗じた一次式

$$u = Sx$$

$$S = [S_{1i}] \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

から制御力 u を求め、この u を (2) 式に代入することにより、状態フィードバックによる制御系の挙動を表わす方程式

$$\dot{x} = (A + BS)x \quad (3)$$

が求まる。ここで、

$$\det(A + BS) = 0 \quad (4)$$

さらに、フィードバック係数 S を求めるにあたり、制御系の設計が容易である極配置法を用いる。この手法は、システム行列 A の固有値 μ より (3) 式の行列 $(A + BS)$ の複素固有値 λ の実部が小さくなるように λ の値を配置することにより、振動系を安定に制御するも

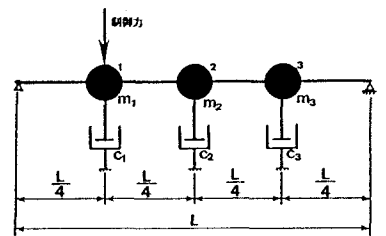


図2 単純桁の3質点モデル

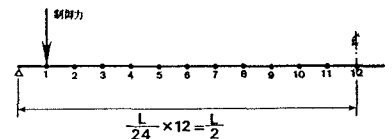


図3 制御力設置位置

のである。このように定めた λ の値を(4)式に代入すると S_{11} を未知数とする n 本の連立1次方程式が導かれ、フィードバック係数 S_{11} を決定できる。

3. 数値計算例と結果

図2に示す非減衰性の単純桁モデルを用い、1～3次モード振動がそれぞれ単独で発生している時に、図3のNo.1～12の節点の中で、どの点に制御力を設置すれば最も高い制振効果が発揮されるかを検討する。そして、1～3次各モードに対し、表1の初期変位をそれぞれ与え、その振動が収束するまでに要した総制御消散エネルギーを各モードごとに示すと図4、5、6となる。この結果は、振動の腹に制御力を設置した時に所要の力積が最も少なくなり、最も効率の良い制振効果を得るということを表わしている。

	質点1	質点2	質点3
1次モード振動	0.5	0.7071	0.5
2次モード振動	0.7071	0.0	0.7071
3次モード振動	-0.5	0.7071	-0.5

表1 各振動モードの初期変位

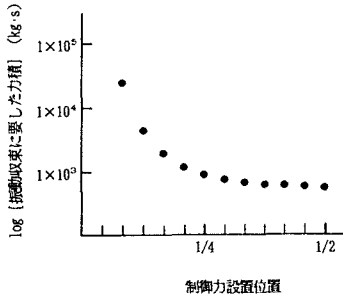


図4 1次振動モード制振

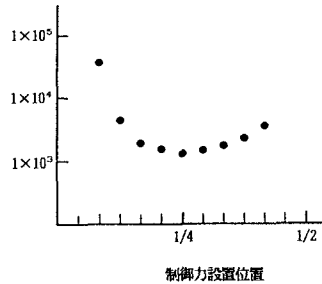


図5 2次振動モード制振

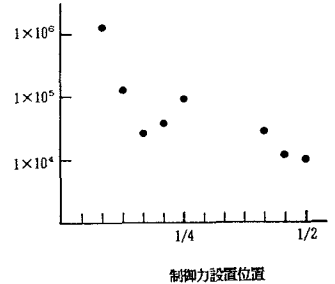


図6 3次振動モード制振

次に、複数振動モードに対する制御力の設置位置の検討を行なう。各モードごとの結果である図4、5、6に、それぞれ表2に示す3通りの重みを付けて1～3次のモードを重ね合わせ入力した場合に、各節点で要した制御力の力積を出したものを図7、8、9に示す。

	1次モード	2次モード	3次モード
Case1	10	5	0
Case2	10	5	1
Case3	1	1	1

表2 複数振動モードにおける重み係数

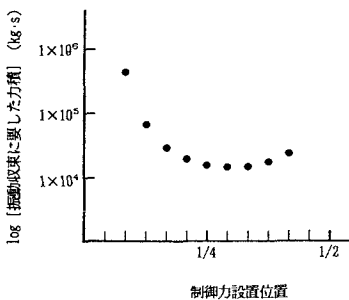


図7 Case1の制振

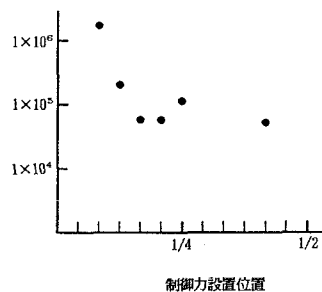


図8 Case2の制振

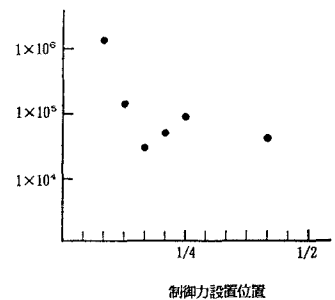


図9 Case3の制振

この結果より、1、2次の混合振動モードに対しては桁の1/4付近、1～3次の混合振動モードに対しては桁の1/6付近で効率的に制振が行なわれるということが明らかになった。このことから、高次のモードが加わるほど良好な制御力の設置位置は桁端方向へ移動することがわかった。また、1～3次の混合振動モード（図8、9）の節点No.10で力積が少なくなっており、この節点に関しても効率の良い制振効果を上げることができる。しかし、この左右の節点（No.9,11）では、力積が無限大になっており制振不能である。そのため、この位置に制御力を設置することは不適切であると思われる。このように、高次の振動が混合してくると制御力の設置位置の決定が、非常に重要であり検討を要するといえる。