

(I-15) 実在する歩道橋の多モード振動制御

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 瀬尾 高宏

学生会員 仲村 成貴

日本大学理工学部 正会員 鈴木 順一

正会員 花田 和史

1. はじめに 構造物の振動制御方法の一つに多モード振動制御がある。多モード振動制御は各モード単位で振動制御を行うことを前提としており、システムが複雑になるため実用例はまだ少ない。構造物の振動をアクティブ制御する場合、構造物の自由度が無限であるので、フィードバック量の観測を行う位置や制御装置の設置位置の選定、フィードバックゲイン設計を誤ると系が不安定になる危険性がある。本研究は実在する歩道橋を対象として制御対象モードに最も効果を与え他のモードとは不干渉な観測・制御位置を選定し得る制御用数値モデル¹⁾²⁾作成しと現代制御理論を用いてアクティブ制御シミュレーションを行った結果について報告するものである。

2. 対象構造物と予備実験 予備実験として起振機による加振実験を行った。

研究対象とした構造物は橋長 64.13 m、幅員 4.00 m、鋼ワーレントラス形式の見明川歩道橋である。鉛直方向に最大起振力 150 N、周波数 1.0 ~ 15.0 Hz で掃引加振をした。サンプリング周波数 256 Hz でデジタル測定を行ない 50 Hz のローパスフィルターに通した。予備実験より得られた振動特性を表 1 に示す。

3. 制御用数値モデル 予備実験の結果より応答が顕著である鉛直曲げ 1 次モードおよび 2 次モードを制御対象とした。表 1 で網掛けの部分に制御するモード、白の部分が無視するモードである。制御用数値モデルを図 1 に示す。図中の点 A、B は鉛直曲げ 3 次モードの節にあたり、この点に状態フィードバック用センサーを設置すると可観測・不可観測性によりこのモードを無視することが出来る。またねじれモードと水平モードの振動軸にあたる幅員中央にセンサーを設置することにより、これらのモードを無視することが出来る。制御用数値モデルの物理定数を表 2 に示す。

4. 最適フィードバックゲイン設計と

アクティブ制振シミュレーション

制御用数値モデルの状態方程式を式 (1) に示す。

$$\begin{Bmatrix} \ddot{x} \\ \dot{x} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -M^{-1}C & -M^{-1}K \\ I & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ x \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} M^{-1}K_f \\ 0 \end{Bmatrix} u \quad (1)$$

x : 変位ベクトル、 M : 質量行列、 K : 剛性行列

C : 減衰係数行列、 I : 単位行列

u : 制御入力ベクトル、 K_f : 制御力係数ベクトル、

減衰係数行列は実験より得られた制御対象とするモードの減衰定数を用いて Rayleigh 法により仮定した。

状態フィードバックゲインを g 、外乱を V として制御入力式 (2) で表される。

$$u = -g \cdot \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ x \end{Bmatrix} + V \quad (2)$$

表 1 振動特性

	固有振動数	モード型
1 次	2.0 Hz	鉛直曲げ 1 次
2 次	2.7 Hz	水平曲げ 1 次
3 次	4.1 Hz	ねじれ 1 次
4 次	4.9 Hz	ねじれ 2 次
5 次	6.0 Hz	鉛直曲げ 2 次
6 次	6.8 Hz	ねじれ 3 次
7 次	7.6 Hz	ねじれ 4 次
8 次	9.4 Hz	ねじれ 5 次
9 次	11.1 Hz	鉛直曲げ 3 次

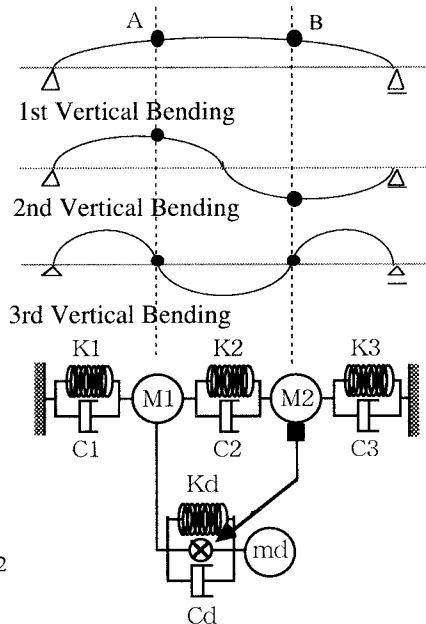


図 1 制御用数値モデルと制御装置

Key word : アクティブ制御、多モード制御、制御用数値モデル、実験モード解析、スピルオーバー

日本大学理工学部土木工学科 (〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL & FAX 03-3259-0689)

フィードバックゲインは最適レギュレータ理論を式(3)に示す評価関数に適用して決定した。

$$J = \int_0^\infty [X^T Q X + U^T R U] dt \tag{3}$$

Q : 状態量に係る設計パラメータ

R : 操作量に係る設計パラメータ

X : 状態変数ベクトル、 U : 操作変数ベクトル

設計パラメータ Q 、 R はそれぞれ式(4)、式(5)に示すように決定した。

$$Q = \text{diag}[1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \tag{4}$$

$$R = 1.0 \times 10^{-5} \tag{5}$$

制御装置の諸元を表3に示す。制御用数値モデルの M_1 に単位衝撃を与えアクティブ制御シミュレーションを行った。 M_1 、 M_2 の時刻歴応答をそれぞれ図2、図3に示す。また m_d の時刻歴応答を図4に示す。表4にハーフパワー法で算出した減衰定数を示す。図2、図3および表4より制御用数値モデルと最適レギュレータ理論の併用は制御効果を検討する方法として優れていることが確認できた。

5. おわりに 本研究のシミュレーションでは6個のフィードバックゲインを各状態量に必要としたが、最適レギュレータ理論により設計したフィードバックゲインが系を不安定にする事は無かった。予備実験結果をもとに作成した制御用数値モデルはアクティブ制御シミュレーションに有用であることが示された。今後はFEMフルモデルに対しアクティブ制御シミュレーションを行い、スビルオーバーの有無や制御効果について検証するつもりである。また実際にアクティブ制御を実橋に適用した実験を実施する予定である。

[参考文献]

- 1) 瀬尾、仲村、鈴木、花田：
実在する歩道橋の制御用数値モデル、
第26回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、1999.3、PP.106-107
- 2) SEO, NAKAMURA, SUZUMURA, HANADA：
Numrical Model for Active Control,
XST-NU water and enviromental symposium,
1999.9、PP.63-67
- 3) 土井：
長大連絡橋主塔構造物の多モード振動制御に関する研究、日本大学学位論文、1998.5、PP.19-38

表 2 制御用数値モデルの物理量

M_1	9.05	[ton]
M_2	1.07×10	[ton]
K_1	9.45×10^2	[kN / m]
K_2	6.23×10^3	[kN / m]
K_3	2.27×10^3	[kN / m]
C_1	1.26	[kN.sec / m]
C_2	2.29	[kN.sec / m]
C_3	1.92	[kN.sec / m]

表 3 制御装置の物理量

control mass	4.50×10^{-2}	[ton]
spring constant	20.0	[kN / m]

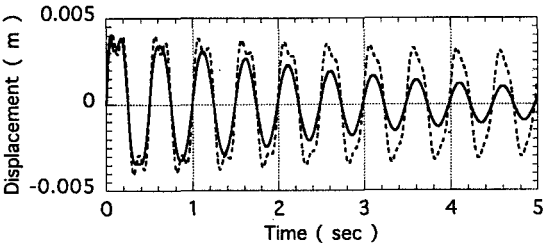


図 2 M 1 の時刻歴応答

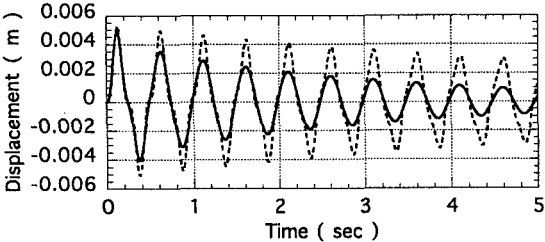


図 3 M 2 の時刻歴応答

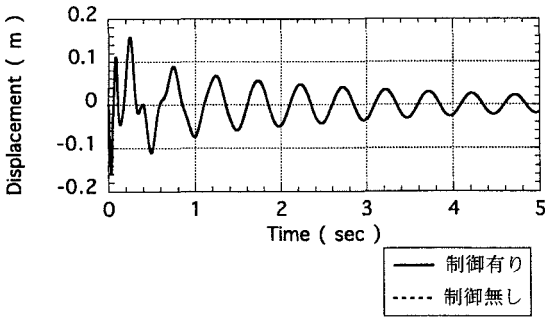


図 4 mdの時刻歴応答

表 4 減衰定数の比較 (%)

	制御無し	制御有り
1 次	0.63	2.5
2 次	0.81	9.5