

立命館大学大学院 学生員 ○貝戸 清之
 駒井鉄工(株)大阪設計部 正会員 木場 和義
 立命館大学理工学部 正会員 小林 紘士

1. まえがき

気流の乱れによるガスト応答のような複数の振動モードを含む不規則な振動に対しては、特定の振動数に対する振動制御を目的とするパッシブコントロール手法では限界がある。さらに、今後の橋梁構造物の長大化に伴い、渦励振やガスト応答などが連成した振動が生ずることが往々にして予想される。したがって、本研究においてはそのような振動に対する制御手法について解析的、実験的に検討を行った。

2. 制御手法

図 1 に示すように、斜張橋の主塔頂部付近から他に設けた固定端にメインケーブルとは別にコントロールケーブルを張り渡す。その桁側端部に設置したアクチュエータに制御力を与えることで、桁の鉛直たわみ振動を制御する。

桁に作用する変動揚力は、次式で与えられる。¹⁾

$$L(t) = \frac{1}{2} \rho \bar{U}^2 B \left\{ C_L \left(1 + 2 \frac{u(t)}{\bar{U}} \right) + \left(\frac{dC_L}{d\alpha} \right)_{\alpha=\alpha_0} + \frac{A}{B} C_D \right\} \frac{w(t)}{\bar{U}} \quad (1)$$

上式で、 $\bar{U}$ は平均風速、 $u(t)$ 、 $w(t)$ は各々水平、鉛直方向の変動風速、 ρ は空気密度、 A は単位長さ当りの主流方向の切断面、 B は桁断面の代表幅、 C_L は揚力係数、 $dC_L/d\alpha$ は揚力勾配、 C_D は抗力係数である。

また、制御力は、桁先端部、中央部、コントロールケーブルの主塔定着点での変位と速度を状態量として、それらをフィードバックさせアクチュエータに与えた。ゲインの算出は最適制御理論に基づき、評価関数として応答と制御力に対し、 Q と R の重みを有する次式の形を用いた。³⁾

$$J = \int_0^{\infty} \left[x(t)^T Q x(t) + R \{ u(t) \}^2 \right] dt \quad (2)$$

重みの選定にあたり、1 次と 2 次の応答を積極的に制御すること、制御力を 200tf 以内に抑えることを制振指標とした。

3. 実橋のガスト応答解析

解析対象は、最大支間長 250m、24 本ケーブル 2 面吊りの斜張橋の張出し架設時で、断面形状を図 2、構造諸元は表 1 に示す。

この斜張橋の桁全長に、平均風速 40m/s ($I_u=10\%$, $I_w=7\%$) 時に生ずる式(1)で表される変動揚力を作用させた時の解析結果を図 3 に示す。図中、(a)は桁先端部の応答の時系列、(b)は応答のパワースペクトルであり、両図において、実線は制御時、破線は非制御時である。また、(c)には制御力の時系列を示した。これらの図(a)で非制御時に対する制御時の応答の低減率が R.M.S 値で 80%であり、その制振効果が容易に確認

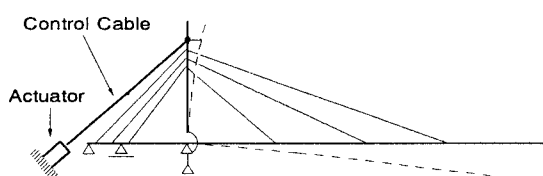


図 1. アクティブコントロールシステム

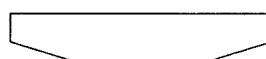


図 2. 桁断面形状

$C_D=0.70$

$C_L=-0.45$

$dC_L/d\alpha=5.2$

※地覆、高欄有りの場合 2)

表 1. 斜張橋の振動数(単位: Hz)

	実橋	模型(実験値)
1 次	0.202	2.08 (2.62)
2 次	0.487	5.37 (5.66)
3 次	0.852	9.87 (10.27)

※ 減衰はいずれも $\delta=0.02$

できる。さらには、(b)において、1次と2次の各ピークで応答が低減されていること、(c)において制御力がほぼ200tf以下に抑えられていることから目標とした制御が行われていることが伺える。

4. 模型実験と解析

上記の解析結果を確認するために、実橋に相似な1/100スケールの3次元弾性模型による風洞実験を行った。模型の構造諸元は表1に示す。乱れ強度に関しては実橋と同値が得られるような、格子乱流中で応答実験を行った。その実験

結果と解析結果を図4に示す。ここで、横軸が平均風速、縦軸が桁先端部でのガスト応答のR.M.S値である。図中の線が解析値、プロットが実験値であり、点線及び○印が非制御時、実線及び●印が制御時を表す。解析値と実験値での両者の一致はみられないが、傾向的には一致していると考えられる。応答の低減率を、例えば4.8m/s時(実橋の40m/sに相当)のR.M.S値と比較すると、解析では73%であったのに対して、実験では53%となった。その他の風速域においても全般的に実験の方が高い制振性能を示した。この最大の要因としては、解析において空力減衰の影響を高く見積もりすぎたためであると考えられる。

5. 結論

現実的な制約条件の下でも、鉛直たわみガスト応答に対して有効な制振効果が得られた。また、解析及び風洞実験より検討した両者の一致は整合的であった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、東京大学の藤野陽三教授、阿部雅人講師から貴重なコメントを頂き、実験器材をお借りしたことを深く感謝致します。また学部学生の菊池弘泰君にも多大なるご協力を頂きました。

【参考文献】1)E.H.Dowell, et al: A modern course in aeroelasticity, SIJTHOFF & NOORDHOFF, 1978, 2)芦原, 林田他: 常吉連絡橋(仮称)の部分模型風洞実験, 第13回風工学論文集, 1994, 3)山口: 構造振動・制御, 共立出版, 1996

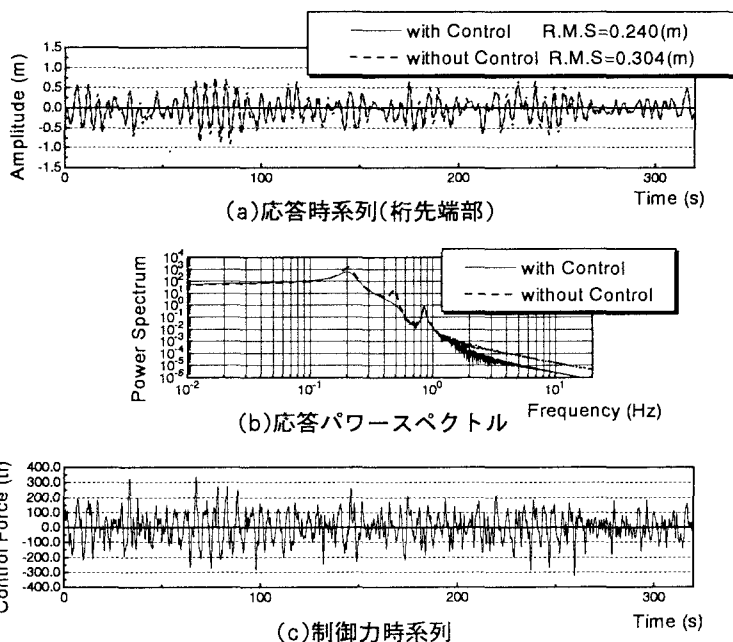


図3. ガスト応答に対する制振効果(実橋解析)

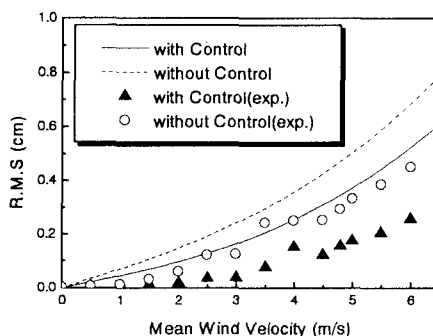


図4. ガスト応答に対する制御効果 (模型: 桁先端部)