

立命館大学大学院 ○学生員 谷口 悟

立命館大学理工学部 正会員 小林紘士

1. まえがき

近年、長大橋梁に対するアクティブコントロールの研究が盛んに行われている¹⁾。著者らは、これまでに補助翼によるアクティブフラッターコントロールの有効性を実験的、解析的に確かめてきている²⁾。本論文では、この補助翼によるアクティブコントロールがガスト応答に対しても有効であるか解析的に調査した。

2. 制御方法

図 1 に示す補助翼付き偏平箱桁を考える。偏平箱桁にガスト応答が発生したとき、その振動を検出して変位、速度の信号をもとに補助翼を駆動し、それによって発生する付加空気力により鉛直たわみ振動、ねじれ振動を制御する。

風速変動によるガスト空気力は

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

$$M(t) = \frac{1}{2} \rho \bar{U}^2 B^2 \left\{ \left(C_M + C_D \frac{Ar}{B^2} \right) \left(1 + 2 \frac{u(t)}{\bar{U}} \right) + \frac{dC_M}{d\alpha} \right\}_{\alpha=\alpha_0} \quad (2)$$

桁のたわみ h 、ねじれ α 、補助翼 β 、 γ 運動による空気力は

$$L_c = C_1 \dot{h} + C_2 \ddot{h} + C_3 \dot{\alpha} + C_4 \ddot{\alpha} + C_5 \dot{\beta} + C_6 \ddot{\beta} + C_7 \dot{\gamma} + C_8 \ddot{\gamma} \quad (3)$$

$$M_c = C_9 \dot{h} + C_{10} \ddot{h} + C_{11} \dot{\alpha} + C_{12} \ddot{\alpha} + C_{13} \dot{\beta} + C_{14} \ddot{\beta} + C_{15} \dot{\gamma} + C_{16} \ddot{\gamma} \quad (4)$$

ただし、係数 C_i は参考文献 3) をもとに求められる。

$\bar{U}$ は主流方向の平均風速、 ρ は空気密度、 $u(t)$ 、 $w(t)$ は水平、

鉛直方向の変動風速、 A は単位長さあた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、 C_M はモーメント係数、 $dC_L/d\alpha$ は揚力勾配、 $dC_M/d\alpha$ はモーメント勾配、 r は回転中心と桁の重心の距離。

たわみ 1 自由度ガスト応答の場合、補助翼の運動を $h, \dot{h}$ に比例させ、次のように駆動する。

$$\beta = K_{h\beta R} \frac{h}{b} + K_{h\beta I} \frac{\dot{h}}{b\omega}, \quad \gamma = K_{h\gamma R} \frac{h}{b} + K_{h\gamma I} \frac{\dot{h}}{b\omega} \quad (5)$$

ねじれ 1 自由度ガスト応答の制御についても同様に、

$$\beta = K_{\alpha\beta R} \alpha + K_{\alpha\beta I} \frac{\dot{\alpha}}{\omega}, \quad \gamma = K_{\alpha\gamma R} \alpha + K_{\alpha\gamma I} \frac{\dot{\alpha}}{\omega} \quad (6)$$

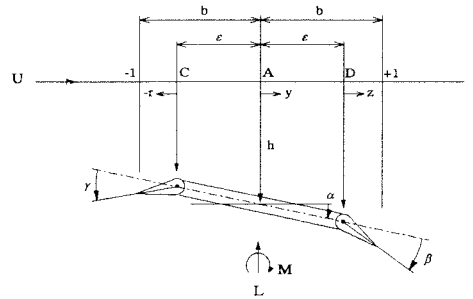


図 1 制御方法

表 1 補助翼付き偏平箱桁の構造特性

偏平箱桁弦長	54m
補助翼弦長	4m
質量	6372kgf・s ² /m ²
慣性モーメント	1.874E6 kg・s ²
曲げの固有振動数	0.0807Hz
ねじれの固有振動数	0.138Hz

3. ガスト応答解析

解析例では $K_{h\beta I}=0$, $K_{h\gamma I}=0$, $K_{\alpha\beta I}=0$, $K_{\alpha\gamma I}=0$ のケースについて実施した。式(3), (4)の空気力係数は準定常的なものと仮定している。解析対象とした橋梁の諸元は表1に示す。対数減衰率はたわみ、ねじれともに 0.02, 振動モードは 1 とした。平均風速 50m/s 主流方向の乱れ強度 $I_u=10\%$, 鉛直方向の乱れ強度 $I_w=5\%$ とした。式(1)~(4)の空気力を作用させたときの 1 自由度運動方程式を Runge-Kutta-Gill 法により数値積分した。

a) 鉛直ガスト応答の解析結果

鉛直ガスト応答の解析結果を図 2 に示す。a)は応答の時系列である。実線は制御倍率 $K_{h\beta R}=K_{h\gamma R}=2.0$ 時, 点線は無制御時の結果である。b)は応答のパワースペクトルである。各曲線はそれぞれ異なる制御倍率のときの結果を示す。制御したときの応答の低減率は r.m.s.値で, 制御倍率 $K_{h\beta R}=K_{h\gamma R}=1.0$ の時 67%, 制御倍率 $K_{h\beta R}=K_{h\gamma R}=2.0$ の時 51%, 制御倍率 $K_{h\beta R}=K_{h\gamma R}=3.0$ の時 41%となった。制御倍率が上昇することにより制御効果があがることわかる。

b) ねじれガスト応答の解析結果

ねじれガスト応答の解析結果を図 3 に示す。a)は応答の時系列, b)は応答のパワースペクトルである。鉛直ガスト応答の解析と同様に各曲線はそれぞれ異なる制御倍率のときの結果を示す。制御したときの応答の低減率は制御倍率 $K_{\alpha\beta R}=1.0$, $K_{\alpha\gamma R}=-1.0$ の時, 15%であり, 制御倍率 $K_{\alpha\beta R}=2.0$, $K_{\alpha\gamma R}=-2.0$ のとき低減率は 9%, 制御倍率 $K_{\alpha\beta R}=3.0$, $K_{\alpha\gamma R}=-3.0$ のとき低減率は 6%となり, かなり鉛直ガスト応答に比べてかなり制御効果があることがわかる。

4. 結論

補助翼によるガスト応答の制御を数値的に検討したが, 補助翼によるガスト応答制御は有効であった。

今後の課題として, 速度に比例した項を考慮した解析, 実測空気力による解析, 実験による制御効果の確認が必要であると思われる。

謝辞 本研究の遂行にあたり, 御協力頂いた坂崎信夫氏, 多賀浩政氏に感謝の意を表します。

[参考文献]1)例えば, 松野, 佐藤, 日下部: フローパターン擾乱型アクティブコントロールの適用性に関する研究, 第14回風工学シンポジウム論文集, 1996年, 2)小林, 小川, 谷口: 補助翼によるフラッターのアクティブコントロール, 土木学会第52回年次学術講演概要集, 1997年, 3)李, 小林: 2次元翼のアクティブ・フラッター・サプレッション(第3報), 日本航空宇宙学会誌第28巻第319号

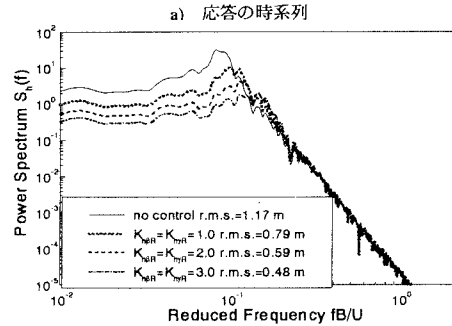
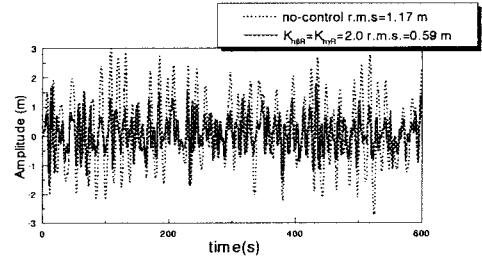


図2 鉛直ガスト応答の解析結果

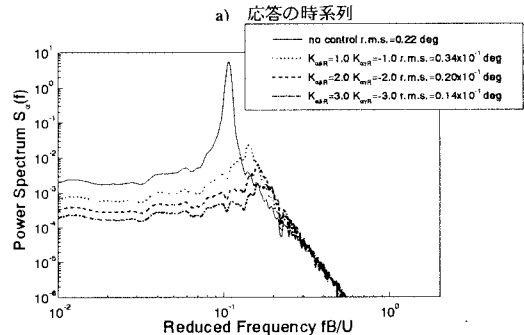
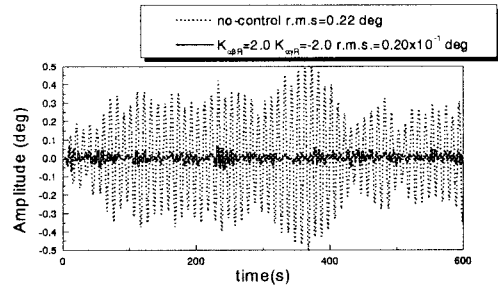


図3 ねじれガスト応答の解析結果