

立命館大学理工学部 正会員 小林紘士

立命館大学理工学部 学生員 ○小川路加

1. まえがき

現在各地で海峡部を横断する橋梁プロジェクトが構想されている。明石海峡大橋を上回る規模の橋梁の実現に向けて断面形状の改善、剛性の付加、ダンパーの設置などによる耐風安定性対策が検討されている。筆者らは、吊橋補剛桁の曲げねじれフラッターを制御するため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確かめてきた¹⁾。ここでは、航空機の翼に利用されている補助翼と同様の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について風洞実験を実施して調査した。

2. 実験概要

模型の断面形状を図 1 に示す。模型の質量は、 $m=0.222\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^2$ 、慣性モーメントは $I_\alpha=1.31\text{E-}4\text{kg}\cdot\text{s}^2$ 、曲げの固有振動数は $f_b=210\text{Hz}$ 、ねじれの固有振動数は $f_\alpha=2.70\text{Hz}$ である。模型を曲げ h およびねじれ α の 2 自由度でバネ支持する。図 2 に示すように、模型の h 、 α 運動に対応して上、下流側の補助翼に相対回転角 α_1 、 α_2 を与えることにより付加空気が生じる。 α_1 、 α_2 に適当な動きを与えることによりこの付加空気の働きにより模型の運動を制御できる。補助翼のヒンジ点の変位 h_1 、 h_2 を検出してその変位を用いて補助翼を動かしフラッターをコントロールする。制御方法は次の 2 つの方法を試みた。

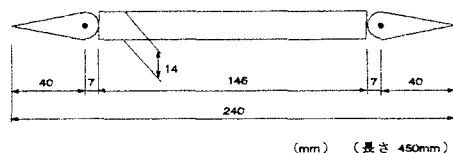


図1 模型断面図

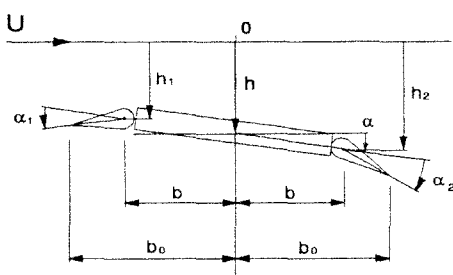


図2 制御方法

(1) α -control ねじれ変位に比例し上、下流側変位 h_1 、 h_2 に対して θ_1 、 θ_2 の位相差を持つ運動

$$\alpha_1 = K_1 \frac{h_1 - h_2}{b} e^{i\theta_1} \quad \alpha_2 = K_2 \frac{h_1 - h_2}{b} e^{i\theta_2} \quad (1)$$

(2) H-control 上、下流側変位 h_1 、 h_2 に比例し θ_1 、 θ_2 の位相差を持つ運動

$$\alpha_1 = K_1 \frac{h_1}{b} e^{i\theta_1} \quad \alpha_2 = K_2 \frac{h_2}{b} e^{i\theta_2} \quad (2)$$

ここで、添え字の 1, 2 は上流側, 下流側に対応するものであり、 $i = \sqrt{-1}$ 、 K は制御倍率である。なお、この報告では下流翼のみを用いて制御したときの結果について報告する。

4. 実験結果

4.1 α -control 下流側の補助翼のみを位相差 $\theta_2 = \pi/3$ として α -control により制御したときの実験結果を図 3 に示す。ここに、横軸は無次元風速 $U_r = U/\omega b$ である。 ω はコントロールしない時の模型がフラッターを発生したときの円振動数である。コントロールを与えない時のフラッター発生風速は $U_r = 2.9$ であった。制御倍率 K が大きくなるにつれてフラッター限界風速が引き上げられる傾向が見られる。 $K=1.5$ および 2.0 でコントロールした時、 $U_r=5$ 付近で発散振動に至っている。 $U_r=5$ はこの模型のダイバージェンス風速の計算値である。

次に制御倍率 $K=2.0$ に固定して、位相差 θ_2 を変化させた時の発散振動の出現する風速 $U_{r,cr}$ を図 4 示す。位相差 $\theta_2=\pi/3$ 付近で効果があり、 $\theta_2=\pi/3$ の時には限界風速は $U_r=5.3$ である。一方、 $\theta_2=-\pi/2$ から $-\pi/3$ の範囲では限界風速がコントロールをしない時の限界風速を下回っている。

4.2 H-control 下流側の補助翼のみを位相差 $\theta_2 = \pi/2$ として H-control により制御したときの実験結果を図 5 に示す。 $K=0.2, 0.3$ でコントロールした時、コントロールのない時の限界風速よりやや高い風速でフラッターにより発散振動が発生しているが、それより高い風速域にて再び安定化し、 $U_r=5.4$ でダイバージェンスにより発散している。 $K=0.5$ 以上でコントロールした場合はダイバージェンス風速の計算値を超える風速域まで発散振動は起こらずコントロールの無いときの限界風速の約 2 倍の風速まで限界風速が高められている。しかしながら、 $K=1.5, 2.0$ では $U_r=4.6\sim 5.5$ において発散には至らないものの不安定な振動が発生した。

制御倍率を $K=1.0$ に固定して、位相差 θ_2 のみを変化させた時の限界風速を図 6 に示す。下流側の補助翼を H-control で制御した場合は、 $\theta_2=\pi/12\sim 3\pi/4$ の広い範囲において無制御時の限界風速より約 2 倍の風速まで限界風速が高められている。その他の位相差を与えた時の限界風速は、コントロールしない時の限界風速とほとんど変わらない。 α -control による制御の場合に比べ、広範囲の位相差でダイバージェンス風速まで限界風速を高めることができた。

4. 結論

補助翼によるアクティブフラッターコントロールが有効であることがわかった。補助翼を用いて空力的アクティブコントロールすることにより限界風速をダイバージェンス風速まで高めることができるが、ねじれ変位入力によるフラッター制御効果は小さいこと、また、後流側桁端部の上下方向変位入力によるフラッター制御効果は大きいことがわかった。

参考文献

1) H. Kobayashi and H. Nagaoka, "Active Control of Flutter of a Suspension Bridge", Jour. of Wind Eng. and Ind Aerodyn., 41-44(1992), pp959-970

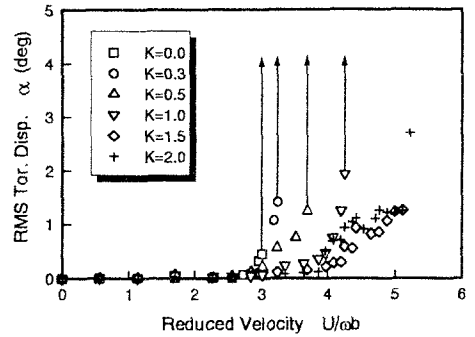


図3 フラッター特性(α -control)

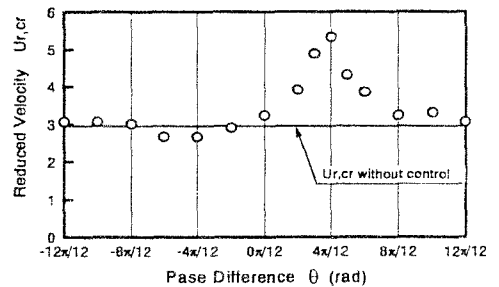


図4 位相差 θ_2 に対する限界風速(α -control)

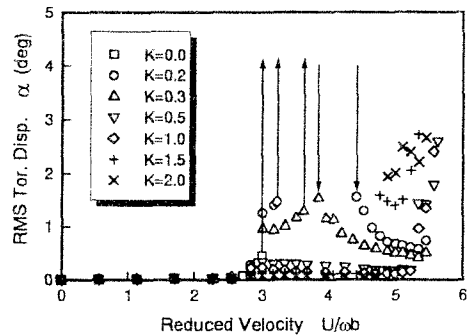


図5 フラッター特性(H-control)

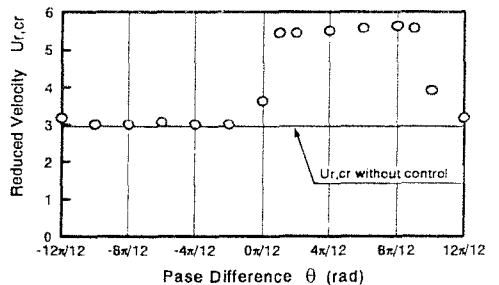


図6 位相差 θ_2 に対する限界風速(H-control)