

長大橋のアクティブ フラッター コントロールに関する研究

立命館大学 理工学部 正員 小林紘士
松尾橋梁 正員 ○永岡 弘

1. まえがき

本研究では、吊橋補剛桁の端部にコントロール翼を設置し、その迎角を桁の振動に合わせてコントロールすることによりフラッター制御空気力を発生させることを考え、この方法によるフラッター制御について理論的、実験的に検討した。この目的は、偏平で軽量の吊橋補剛桁の耐フラッター特性を向上させて、経済的な断面を持つ長大橋の設計を図ろうというものである。

2. 解析方法

図1に示すような平板に近い桁 W_0 にコントロール翼 W_1, W_2 を設置した系を考える。

桁に作用する空気力は桁が円振動数 ω で調和振動しているとする、上下変位 $h_0 = \bar{h}_0 e^{i\omega t}$ 、回転角 $\alpha_0 = \bar{\alpha}_0 e^{i\omega t}$ の関数として表される。以下の記号の意味は文献1)による。

$$L_0 = \pi \rho b_0^2 (\ddot{h}_0 + U \dot{\alpha}_0 - b_0 a \ddot{\alpha}_0) + 2\pi \rho U C(k) [h_0 + U \alpha_0 + b_0 (1/2 - a) \dot{\alpha}_0] \quad 1)$$

$$M_{\alpha 0} = \pi \rho b_0^3 [a \ddot{h}_0 - U (1/2 - a) \dot{\alpha}_0 - b_0 (1/8 + a^2) \ddot{\alpha}_0] + 2\pi \rho U b_0^2 (a + 1/2) C(k) [h_0 + U \alpha_0 + b_0 (1/2 - a) \dot{\alpha}_0] \quad 2)$$

ここで、コントロール翼の制御量を α_{m1}, α_{m2} とすれば、 W_1, W_2 の回転角は $\alpha_1 = \alpha_0 + \alpha_{m1}$ 、 $\alpha_2 = \alpha_0 + \alpha_{m2}$ となる。また、翼が桁の端部に固定されているので W_1, W_2 の変位は $h_1 = h_0 - \alpha_0 b_0$ 、 $h_2 = h_0 + \alpha_0 b_0$ である。コントロール翼に作用する空気力も、それぞれ $h_1, \alpha_1, h_2, \alpha_2$ の関数として式1), 2)と同様の式で表すことができる。その結果、この系全体の空気力 $L_T, M_{\alpha T}$ が求められる。これを用いて次のフラッター方程式により、フラッター限界風速を計算する。

$$\left. \begin{aligned} m \ddot{h} + S_\alpha \ddot{\alpha} + K_h h &= -L_T \\ S_\alpha \ddot{h} + I_\alpha \ddot{\alpha} + K_\alpha \alpha &= M_{\alpha T} \end{aligned} \right\} \quad 3)$$

3. フラッター制御についての数値的検討

図2に示すモデルを考え、上の考え方によるコントロールについて調べる。

W_1, W_2 を $\alpha_{m1} = k_\alpha e^{i\theta_1} \alpha_0$ 、 $\alpha_{m2} = k_\alpha e^{i\theta_2} \alpha_0$ でコントロールする。ここに、 θ_1, θ_2 は α_0 に対する位相進み角。 W_1, W_2 の幅をいずれも桁幅の5%とする。 k_α とフラッター限界風速 U_F との関係を各位相進み角ごとに計算した結果が図3である。 $\theta_1 < 0, \theta_2 > 0$ のときは U_F を上昇させる傾向があり、 ∞ にすることもできる。位相が $\theta_1 > 0, \theta_2 < 0$ の場合は U_F を低下させる。 θ の大きさは $\pi/2$ で最も効果がある。

4. 実験結果および理論値との比較

幅200mm×高さ14mmの長方形断面の両端に三角形エッジを付けた桁模型を用いた。コントロール翼は幅20mm×厚さ2mmで両端を丸めた。 $\alpha_{m1} = k_\alpha e^{i\theta_1} \alpha_0$ 、 $\alpha_{m2} = k_\alpha e^{i\theta_2} \alpha_0$ でコントロール翼を制御した。

フラッター発生直前の風速でコントロール翼の効果を確かめた例を図4に示す。いったん発生した振動がコントロール翼により抑えられている。

次に k_α を変えフラッター実験を行った。その結果を図5に示す。翼が完全な平板ではないこと。下流側の翼が上流側の翼の後流域に入り、乱れの影響を受け有効に働かなかったか、あるいは乱れの状態によっては不利な方向に働いたということが考えられる。そこで、コントロール翼の空気力を40%として計算した結果を波線で示す。 $k_\alpha = 2.0$ までは理論値と実験値のある程度の一致がみられる。 $k_\alpha = 2.5$ 程度まで大きくするとフラッターは完全に抑制されるはずである。しかし、実際には $k_\alpha = 2.5$ 以上ではダイ

Hiroshi KOBAYASHI Hiroshi NAGAOKA

バーゼンが発生し、安定限界はダイバーゼンズ限界風速により決定された。

そこで、フラッターを制御するためのコントロール翼の回転に加えて、ダイバーゼンズをコントロールするための静的な回転を与えて実験を行った。その結果、わずかではあるがダイバーゼンズ風速が高められた。しかし、完全に抑制することはできなかった。電気回路上の問題でダイバーゼンズコントロールがうまくいかなかったものと考えられる。

5. 結論

1) 理論計算においては、フラッター限界風速を ∞ にすることも可能である。模型実験では、コントロール翼の効果は理論値の40%程度になった。この理由としては、翼が完全な平板ではないということ。また、下流側の翼が上流側の翼の後流域に入り、有効に働かなかったか、あるいは乱れの状態によっては不利な方向に働いたということが考えられる。

2) コントロール翼に静的な回転を与えて、フラッターとダイバーゼンズを同時に制御することは理論的には可能である。しかし、この方法で実験した場合、ほんのわずかしかな安定限界を高めることができなかった。これは、実験で使ったコントロールシステムに問題があると考えられ、改良の余地がある。

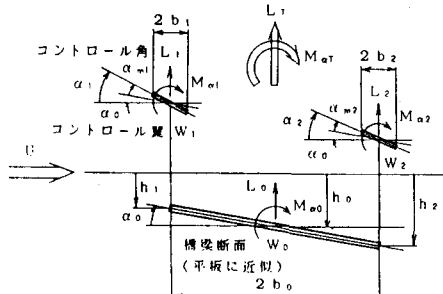


図1 コントロール翼を設置した平板

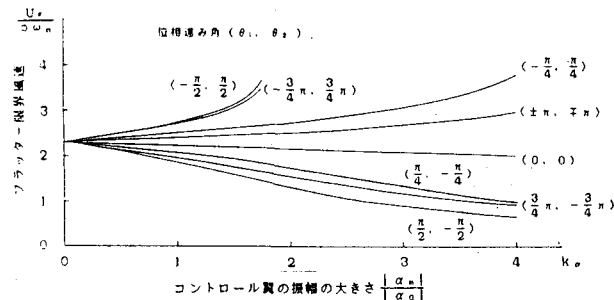


図3 計算結果 ($k_\alpha - U_F/b\omega_\alpha$ 図)

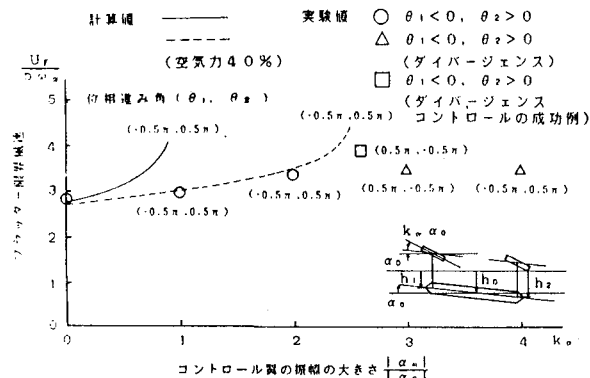


図5 実験値と理論値の比較 ($k_\alpha - U_F/b\omega_\alpha$ 図)

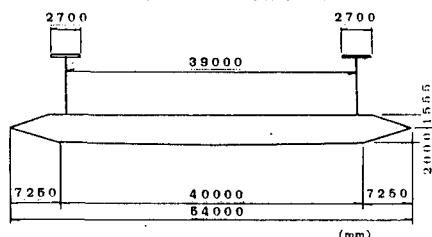


図2 計算に用いたモデル

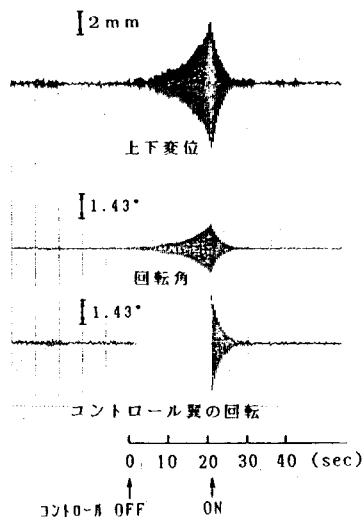


図4 コントロール翼の効果

参考文献

- 1) 鷺津久一郎 「空力弾性学」 共立出版