

I - 333

長大橋梁の風による振動の空力的アクティブ制御

(株)横河ブリッジ 正員 ○中辻 亘
立命館大学理工学部 正員 小林紘士

1. まえがき 長大橋梁の耐風安定性を空力的な手法で得ることは、鋼重の必要以上の増加を防ぐ経済的な橋梁、更には超長大橋梁を可能とするものといえる。本研究では以前より行ってきたコントロール翼によるアクティブフラッターコントロール¹⁾に関し、コントロール翼からの空気力を実測することにより計算によるコントロール効果の推定の信頼性を高めようと試みる。一方、航空の分野では補助翼によるフラッターコントロールの研究例がある。コントロール翼による制御と同様に橋梁に適用できるものとして実験的に調べてみた。

2. 制御方法 図1に示すような平板に近似した橋梁断面の上部にコントロール翼を上流、下流端にそれぞれ設置した系を考える。この桁に作用する空気力は文献²⁾より次のように表される。

$$L_0 = \pi \rho b^2 (\ddot{h} + U \dot{\alpha} - b a \ddot{\alpha}) + 2 \pi \rho U b C(k) \left\{ \dot{h} + U \alpha + b \left(\frac{1}{2} - a \right) \dot{\alpha} \right\} \quad (1)$$

$$M_0 = \pi \rho b^3 \left\{ a \ddot{h} - U \left(\frac{1}{2} - a \right) \dot{\alpha} - b \left(\frac{1}{8} + a^2 \right) \ddot{\alpha} \right\} + 2 \pi \rho U b^2 \left(a + \frac{1}{2} \right) C(k) \left\{ \dot{h} + U \dot{\alpha} + b \left(\frac{1}{2} - a \right) \dot{\alpha} \right\} \quad (2)$$

またコントロール翼に作用する空気力も同様に計算できる。そこでこの系の運動方程式は以下になる。

$$m \ddot{h} + S \ddot{\alpha} + K_h \dot{h} = -(L_0 + L_1 + L_2) \quad (3)$$

$$S \ddot{h} + I \ddot{\alpha} + K_a \alpha = M_0 + M_1 + M_2 + L_1 s_1 - L_2 s_2$$

コントロール翼角度は既往の研究で効果的であった制御方法で次式のように作動させる。すなわち

$$\alpha_1 = K_1 \frac{h_1}{b} e^{i\theta_1}, \quad \alpha_2 = K_2 \frac{h_2}{b} e^{i\theta_2} \quad (4)$$

ここにKは制御倍率、 θ は変位に対する位相角であり添字1、2はそれぞれ上流翼、下流翼に対するものである。式(3)、(4)を用いてフラッター限界風速を求めることができ、適当なコントロール翼の制御倍率K、位相角 θ を選ぶことによって限界風速を引き上げることができる。

3. 応答実験 制御効果を確認するために2次元風洞実験を行った。模型は図2に示すものを使用し、コントロール翼は桁の内部に埋め込んだ直流モーターにより駆動させ、制御はパソコンを用いたデジタル制御によって行った。模型の応答を図3に示す。図4にフラッター限界風速 V_F の制御計算値(実線)と実験結果を示す。 $\theta = \pi/2$ が効果的で、Kが大きいほど制御力が大きいのが分かる。図3にみられるように V_F の実験値は計算値と相違がみられ、また風速 $V = 10.0 \text{ m/s}$ でダイバージェンスにより実験不能となった。

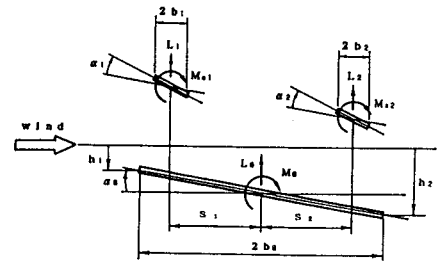


図1 コントロール翼を設置した平板

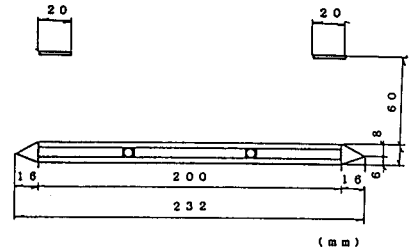


図2 模型断面

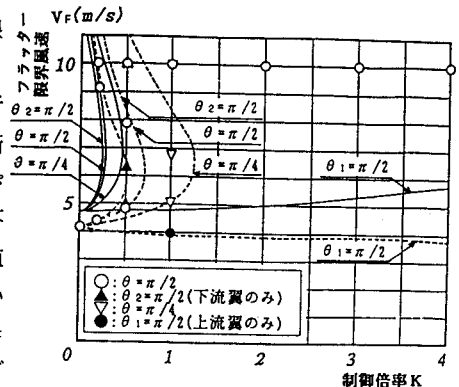


図4 フラッター限界風速の理論値と実測値

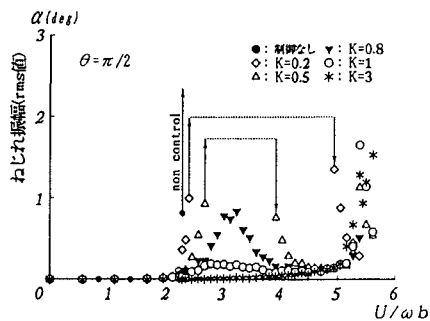


図3 模型の応答

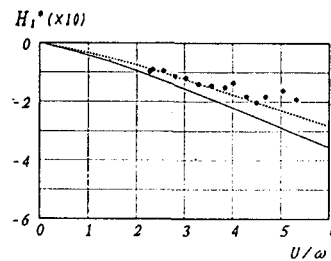


図5a) 桁の空気力係数

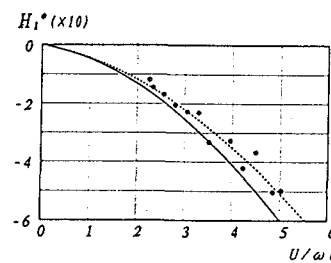
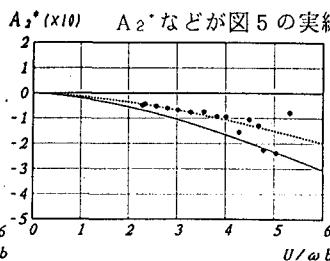
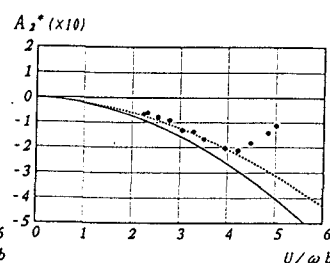


図5b) コントロール翼制御時の空気力係数



4. 空気力解析 計算値に比べ制御効果が小さかった原因を調べるためscanlanによる方法³⁾で制御時の動的空気力の測定を行った。動的空気力は次式の空気力係数で表した。

$$L_h = \left(\frac{1}{2} \rho U^2 \right) (2b) \times (k H_1 \cdot \frac{h}{U} + k H_2 \cdot \frac{b \dot{\alpha}}{U} + k^2 H_3 \cdot \alpha + k^2 H_4 \cdot \frac{h}{b}) \quad (5)$$

$$M_a = \left(\frac{1}{2} \rho U^2 \right) (2b^2) \times (k A_1 \cdot \frac{h}{U} + k A_2 \cdot \frac{b \dot{\alpha}}{U} + k^2 A_3 \cdot \alpha + k^2 A_4 \cdot \frac{h}{b}) \quad (6)$$

この結果模型本体、上、下流翼それぞれの非連成空気力係数 H_1^* 、 A_2^* などが図5の実線に示す理論値より小さい値であるのが分かった。そこでこの理論値を実測値に合うようにそれぞれの係数ごとに表1に示す補正係数を与えると図5の点線になる。この空気力を用いて再びフラッター限界風速を計算すると図4の破線ようになった。これより、実験値と補正理論値による計算結果がよく一致していることが分かる。

表1 補正係数一覧

	桁	上流翼	下流翼
H_1^*	$\times 0.8$	$\times 0.5$	$\times 1$
H_4^*	$\times 1$	$\times 0.7$	$\times 0.7$
A_1^*	$\times 0.9$	$\times 0.8$	$\times 0.9$
A_2^*	$\times 0.65$	$\times 0.5$	$\times 0.8$

5. 補助翼によるフラッターコントロール 図6に示す補助翼を有する流線型断面を用いてフラッター制御実験を行った。制御方法は式(4)によって行った。いくつかの実験ケースのうち、下流翼のみを用いた制御結果について、最も効果的であった $\theta = \pi/4$ の応答を図7に示す。コントロール翼による制御に比べて倍率Kが小さい値で大きな効果がみられた。しかし計算値とは異なった結果であった。今後比較的大きい補助翼の慣性力やモーターの特性などの制御系の力学も考慮した計算を進める予定である。

6. 結論 コントロール翼によるフラッター制御において空気力の実測値を用いて計算した限界風速は実験値に近い値を得ることができた。

補助翼を用いたフラッター制御効果が実験で確認できた。

参考文献 1)永岡弘、小林紘士：長大橋梁のアクティブフラッターコントロールに関する研究、土木学会第44回年次学術講演会、平成元年 2)鷲津久一郎：空力弾性学、共立出版 3)Robeart H. Scanlan, John J. Tomko: AIRFOIL AND BRIDGE DECK FLUTTER DERIVATIVES, ASCE Vol. 97, No EM6, 1971

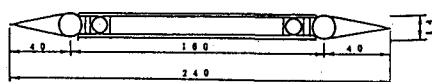


図6 補助翼型模型断面

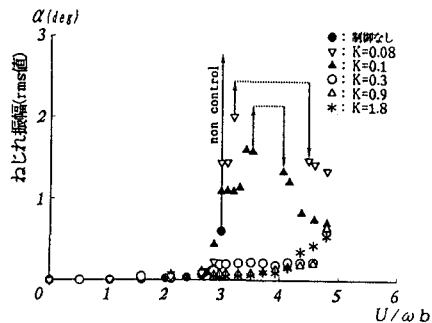


図7 補助翼型模型の応答波形