

I - B165 補助翼による超長大橋のフラッターに対するパッシブ制御の提案

東京大学大学院工学系研究科 学生員 川上 季伸 正会員 Krzysztof WILDE
フェロー 藤野 陽三 正会員 木村 吉郎

1. はじめに

Wilde, 藤野らは^[1]補助翼に作用する空気力を利用した、超長大橋のフラッターへの最適アクティブ制御について検討した。しかし、一般にアクティブ制御においてはシステムが複雑であるため、メンテナンスや長期使用への信頼性の問題などが伴い、実用化という点で懸念があることも事実である。

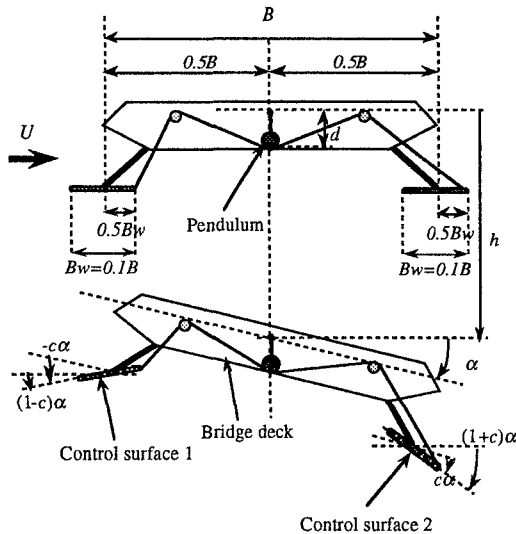
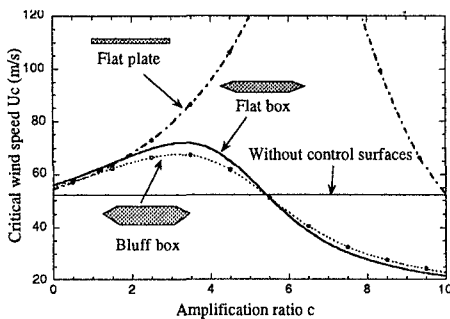


Fig.1 Cross Section of Bridge Deck

Fig.2 Critical Wind Speed of Various Deck vs. Amplification Ratio c

型箱桁断面でのフラッター発生風速は 51.5(m/s)である。橋桁を平板とみなす解析方法では、大きな誤差が生じることが Fig.2 より明らかであり、以下の解析においては Flat 型箱桁断面として扱うこととする。また、補助翼回転角比には最適値が存在し $c=3.5$ において、補助翼非装着時の約 40% 増のフラッター発生風速 74(m/s) が得られることがわかる。

補助翼を用いたアクティブ最適制御^[1]においてわかったことは、橋桁のねじれ変形に伴い、風上側の補助翼は橋桁のねじれ変形とはほぼ逆位相で、風下側の補助翼とはほぼ同位相で回転させればよいということであった。そこで、本研究では補助翼のこのような動かし方をパッシブに実現させることを考えた。具体的には、振り子を利用して補助翼を動かし、橋桁自身の運動を補助翼の動きに反映させるようなフラッターへのパッシブな制御システムを考える。(Fig.1)

いま、錘が鉛直に静止しているとする。このとき、橋桁が角度 α だけねじれ運動をすると、補助翼 1 は反時計回りに $c\alpha$ 、補助翼 2 は時計回りに $c\alpha$ 回転することになる。ここで、 c は補助翼の橋桁のねじれ運動に対する回転角比であり、補助翼と振り子を繋ぐケーブルの取り付け位置を変えることにより変化させることができる。

2. 解析手法と結果

本解析においては、中央径間長が 2000m 程度の吊り橋を想定し、橋桁の運動として曲げとねじれの 2 自由度モデルを採用した。いま、十分に重い錘と長周期の振り子を仮定する。つまり、ケーブルを伝わって振り子に作用する力がその運動にほとんど影響せず、常に錘が鉛直に静止した状態を考える。このとき、補助翼回転角比 c とフラッター発生風速の関係は Fig.2 のようになる。なお、橋桁の形状として 3 つの断面を考えた。ここで、非定常空気力の評価には、平板については Theodresen 関数、Flat 型、Bluff 型箱桁断面については実験により得られた値^[2]をもとに、藤野, Wilde, 増川らが定式化した有限次数近似 (RFA) を用い算出した^[3]。そして、それを運動方程式に代入し、各風速において複素固有値解析を行うことによりフラッター発生風速を決定した。また、補助翼非装着時における Flat

キーワード：フラッター，補助翼，パッシブ制御，長大橋，空力制御

連絡先 〒113 東京都文京区本郷 7-3-1 Tel : 03-3812-2111 (内線 6099) Fax : 03-5689-7292

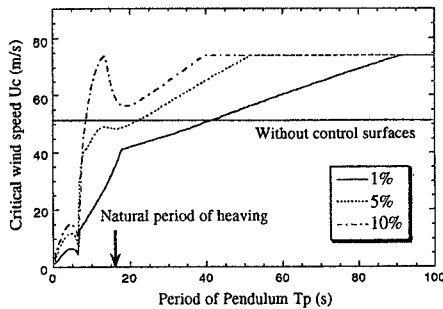


Fig.3 Relation between Period T_p and Critical Wind Speed, $c=3.5$

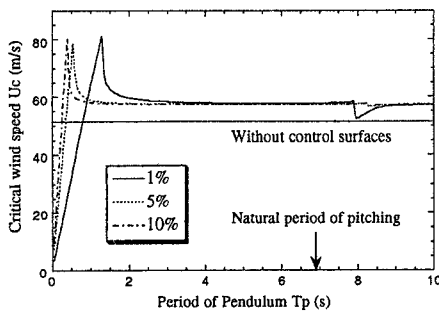


Fig.4 Relation between Period T_p and Critical Wind Speed, $c=0.1$

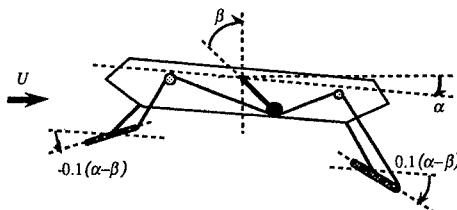


Fig.5 Interaction of Bridge Deck and Pendulum, $c=0.1$ $T_p=1.3(s)$

独立に変化させることにより、更なる効果が期待できる可能性がある。また、橋桁のねじれ運動の回転中心と振り子の回転中心をずらすことによりフラッターに対する有効な手段となるかも知れない。これらの点については、さらなる検討が必要であると考えられる。また、補助翼間や補助翼と橋桁間における相互作用、接合部分における摩擦の問題など様々な要素が加わってくるため、模型実験による有効性の検証も必要である。

謝辞 増川淳二氏(鹿島)ならびに岩本政巳氏(名工大)には非定常空気力の評価に際し貴重な助言や資料を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献 [1] Wilde.K 藤野陽三 Bhartia.B 「Active Control of Flutter Instability of bridge Deck with Rational Function Approximation of Aerodynamic Forces」 1994,第13回風工学シンポジウム論文集,pp425~430.

[2] 岩本政巳「超長大吊橋の耐風応答特性—風洞実験結果とその予測—」1989,東京大学修士論文.

[3] Wilde.K 増川淳二 藤野陽三 「Time Domain Modeling of Bridge Deck Flutter」 1995,Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering.

[4] 川上季伸「補助翼による超長大橋のフラッターに対する新しいパッシブ制御の提案」1997,東京大学卒業論文.

Fig.3は、 $c=3.5$ のときの振り子の周期とフラッター発生風速の関係を示したものである。振り子の対数減衰率を $\delta=0.05$ とし、錘の質量として橋桁質量の1, 5, 10%それぞれの場合を考える。振り子の周期が長くなるにしたがい、フラッター発生風速は74(m/s)に収束していく。このとき、振り子はほぼ静止した状態にある。錘質量が1%とき、このような状態になるには90(s)程度の周期の振り子が必要になることがわかる。錘質量の増加とともにその周期は短くなるものの、非常に長周期の振り子が必要であることがわかった。

補助翼回転回転角比 c と振り子の周期 T_p に対するフラッター発生風速の変化を考えたとき、 c, T_p ともに小さな領域においてフラッター発生風速の大きなピークが見られた。そこで、Fig.4に $c=0.1$ としたときの振り子周期とフラッター発生風速の関係を示す。振り子周期1.3(s)のとき、補助翼非装着時の約55%増のフラッター発生風速81(m/s)が得られた。このとき、振り子の運動は橋桁のねじれ運動とは逆方向に、しかも少し早い位相で非常に大きく振れており(Fig.5)、それにより補助翼の有効な回転が実現されていることがわかった。しかし、このフラッター発生風速のピークは振り子周期や補助翼回転角比の変化に対して非常にセンシティブであり、チューニングが難しいという問題が残った。

3. まとめと今後の展望

種々の解析的検討の結果^[4]、高いフラッター発生風速を得るための補助翼の動きを実現するには、振り子の運動に対して次のような2つの基本的な考え方があることがわかった。

- ①重い錘で長周期の振り子を用い、常に錘を鉛直に静止させた状態に保ち、橋桁のねじれ運動に伴い補助翼の回転させる
- ②短周期の振り子を用い、錘を橋桁と逆方向に大きく振れさせることにより補助翼を回転させる

本解析では、橋桁の挙動を決定する様々な要素のうち、おもに補助翼回転角比と振り子周期に注目して解析を行った。しかし、補助翼1, 2の幅や取り付け位置、または補助翼の回転角比を左右