

I - B 75

2500m級の超長大吊橋を対象とした補助翼によるパッシブフラッター制御の効果

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

長大吊橋の空力振動の中でしばしばクリティカルな要因となるのがフラッターである。長大橋のフラッター制御として空力的な方法や機械的な方法が提案されている。Wilde, 藤野らは、補助翼に作用する空気力を利用したアクティブ最適制御について検討した^[1]。しかし、アクティブ制御ではシステムの複雑さ、機能の信頼性、コスト面において問題がある。設計風速レベルの風は、100年に一度起こるかどうかの現象であり、それに対しアクティブな方法を取ることは、現時点では困難が伴うと考えられる。そこで、筆者らは、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提案し、2次元モデルについて検討^[2]を行った。本研究では、それをさらに発展させ、橋軸方向も含めた3次元モデルについて解析を行った。

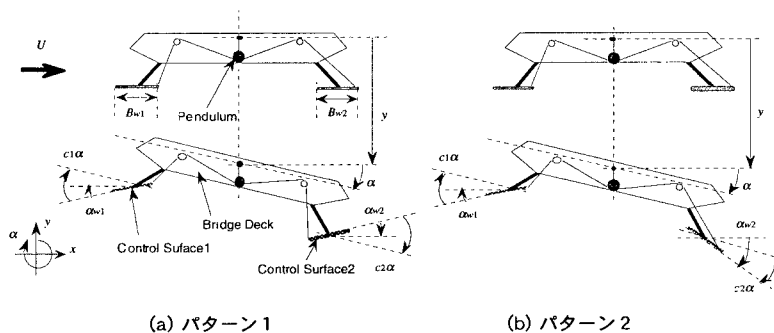


図1 パッシブ制御システム

補助翼の接合位置を変化させることにより調節することができる。ただし、パターン2の翼の動きでは風向により補翼とケーブルの取り付け方を換えなければならないという欠点がある。

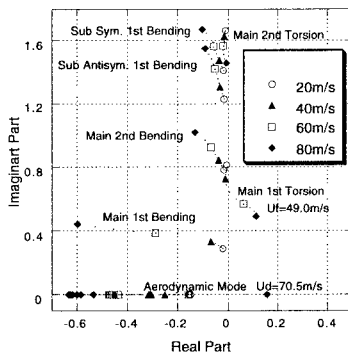


図2 風速に伴う固有値の変化（非制御時）

2. 解析手法と結果

本解析においては、中央径間長が2500(m)、両側径間長が1000(m)という吊橋を想定した。桁の運動としては、曲げとねじれの2自由度を仮定し、中央径間1次モードの曲げ固有周期は $T_b=23.1(s)$ 、ねじれ固有周期は $T_\theta=7.4(s)$ である。吊橋全体を梁要素として扱い、ケーブルの質量は橋桁（梁）自身に付加したモデルとなっている。空気力の評価には、明石海峡大橋 Flat 型箱桁断面について、無次元風速 $K=0$ 付近では準定常理論より、その他の領域については風洞実験により得られた非定常空気力係数^[3]をもとに、増川, Wilde, 藤野らが定式化した有限次数近似（RFA）を用い^[4]算出した。そして、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。図2は、風速を $U=20\sim 80(m/s)$ まで変化させたときの固有値の変化をプロットしたものである。これより $U=80(m/s)$ 以下の風速領域において、風速 $U=49.0(m/s)$ で中央径間1次モードのフラッター、風速 $U=70.5(m/s)$ でダイバージェンスという2種類の発散振動が生じることが分かった。

いま、この2種類の発散振動を抑制するために、中央径間中央部に補助翼を配する（図3）。ここで、振り子の周期が十分長く常に鉛直に静止している状態、つまり $\beta=0$ を仮定する。このとき、補助翼の幅 B_w を橋桁の10%、長さ L_w を200(m), 1000(m), 2000(m)という3種の場合について、橋桁に対する回転角 c と発散振動の発生風速 U_c の関係を図4(a)パターン1, (b)パターン2に示す。これより、補助翼の回転角比には最適値が存在することが分かる。また、パター

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 〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 TEL：03-3812-2111（内線6099） FAX：03-5689-7292

ン1の補助翼の動きでは $U_c=70.5(\text{m/s})$ 以上の限界風速を得ることが出来なかった。これは、中央径間1次モードのダイバージェンスがクリティカルな要因となるためであった。つまり、このような補助翼の動きではフラッターを抑制することは出来るが、ダイバージェンスに対しては有効ではないといえる。一方、パターン2の動きでは $U_c=82.5(\text{m/s})$ において生じる側径間逆対称1次モードフラッターがクリティカルであり、中央径間1次モードのフラッター、ダイバージェンス両方の発散振動に対して有効であった。

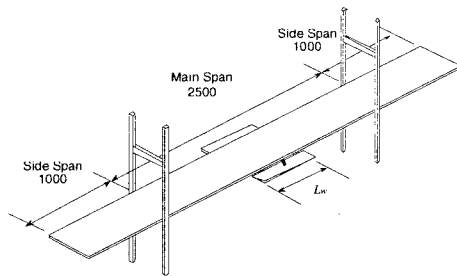
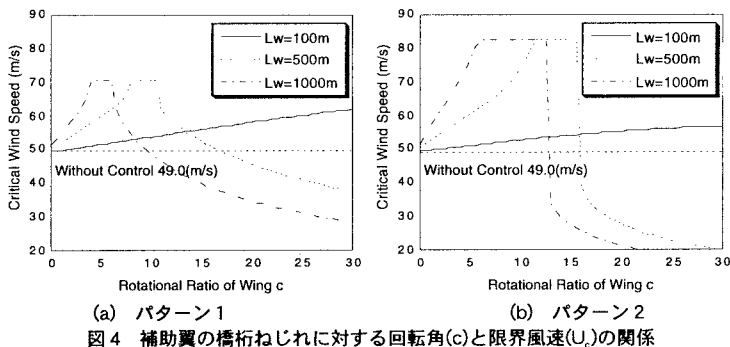
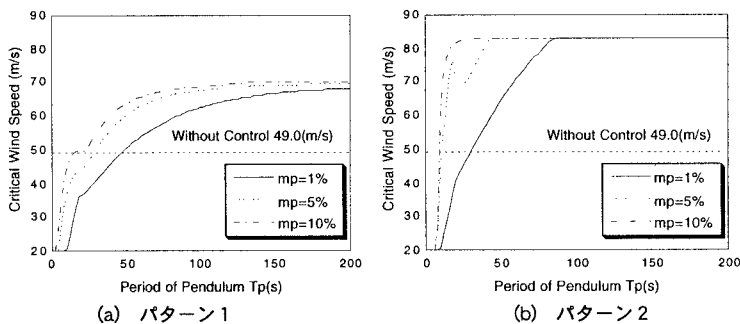


図3 橋桁全体部

次に、振り子の自由度も含めた解析を行う。振り子の質量 m_p が大きく、周期 T_p が長い程、橋桁の運動に関係なく鉛直に静止することになるが、実際には質量などを橋全体の質量の数%に抑える必要がある。図5に、振り子の質量 m_p を橋全体の1%, 5%, 10% という3つのパターンについて、振り子周期 T_p と限界風速 U_c の関係を示す。補助翼の緒元としては、長さ $L_w=500(\text{m})$ 、回転角比 $c=10$ 、(a)パターン1、(b)パターン2とする。グラフの平坦部においては、振り子はほぼ静止した状態であった。つまり、(a)において $m_p=1\%$ のとき振り子を静止した状態に保つには $T_p=200(\text{s})$ 以上の振り子が必要であり、 $m_p=10\%$ のとき $T_p=60(\text{s})$ 程度で十分であった。また、(b)のとき $m_p=1\%$ であっても、 $T_p=80(\text{s})$ 程度の振り子で静止した状態を保つことができたことが分かった。

図4 補助翼の橋ねじれに対する回転角(c)と限界風速(U_c)の関係図5 振り子の周期(T_p)と限界風速(U_c)の関係

3. 結論と今後の課題

補助翼を用いた長大吊橋のフラッター制御の効果について解析的に検討した。2つのパターンの補助翼の動きを提案し、主径間中央部に配された500mの補助翼を適切に動かすことにより、発散振動の発生風速を非制御時の約68%増まで改善することができ、その有効性を示した。

本解析では、橋桁の動きとして曲げとねじれの2自由度を仮定したが、補助翼を動かす要素として振り子を利用してするため橋桁直角方向の運動を振り子の練成効果を含めた解析を行う必要がある。また、ケーブルやタワーの効果を考慮したモデルの構築も必要である。さらに、補助翼間や補助翼と橋桁間における風の相互作用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と考えられる。

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, p425-430
 [2] 川上季伸 Wilde.K 藤野陽三 「補助翼を用いた超長大吊橋のフラッターに対するパッシブ制御」 1997, 第52回年次学術講演会講演概要集 I-B, p330-331
 [3] 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
 [4] K.Wilde Y.Fujino J.Masykawa 「Time Domain Modeling of Bridge Deck Flutter」 1996 July, JSCE, Vol.13 No.2, 93s-104s