

I-A 225 前縁に鉛直可動プレート設けた矩形断面のフラッター解析法の検討

京都大学大学院 学生員 藪谷忠大 京都大学工学部 正会員 松本 勝
 京都大学工学部 正会員 陳 新中 京都大学大学院 学生員 吉住文太

1. はじめに

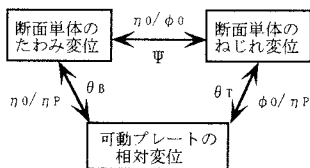
超長大橋の実現には耐風安定性の確保のため新たな桁断面の工夫が必要とされる。その一環として、矩形断面の前縁部に付した鉛直可動プレートにより断面周りの流れ場を変化させるフラッターのアクティブ制御を目指した。その非定常圧力特性から、可動プレートの動きがフラッター制振に対して、有効にも逆効果にもなることが指摘され¹⁾、それらの動き（位相差）を明確にすることは制御上重要である。本研究では、前縁部可動プレート付き矩形断面でのたわみ及びねじれ1自由度強制加振実験の非定常圧力特性をもとに、たわみ・ねじれ・可動プレート間の振幅比・位相差を考慮に入れたフラッター解析を行った。

2. 解析における不定問題

連成フラッターの解析においては、非定常空気力の表現が重要であり、ある風速・換算風速のもとで8個の非定常空気力係数を求めておく必要がある。しかし、今回の可動プレートによる流れ場のアクティブ制御の場合、ねじれ変位と可動プレート変位間の振幅比 ϕ_0/η_P ・位相差 θ_T を設定すると、ねじれに関する4個の非定常空気力係数 A_2^* ・ A_3^* ・ H_2^* ・ H_3^* は定まるが、たわみに関する4個の非定常空気力係数は定められない。すなわち、他の4個のたわみに関する非定常空気力係数 A_1^* ・ A_4^* ・ H_1^* ・ H_4^* はたわみ変位と可動プレート変位間の振幅比 η_0/η_P ・位相差 θ_B によって決定されるが、図1に示すようにたわみ・ねじれ・可動プレート変位のそれぞれ二つの間に振幅比・位相差が存在するために、この振幅比 η_0/η_P ・位相差 θ_B は系の応答におけるたわみねじれ間の振幅比 η_0/ϕ_0 ・位相差 Ψ によって決まる。ところが、系の応答を求めるためにはたわみに関する非定常空気力を決めておくことが必要となるため、連成フラッター解析は不定問題となる。このため、本研究では、まず、たわみねじれ間の振幅比・位相差を仮定することで、たわみに関する非定常空気力係数を定め、それによって求められる系の応答のたわみねじれ間の振幅比・位相差が元の値と一致するまで繰り返し計算して収束させ、たわみに関する4個の非定常空気力係数を決定するStep-by-step解析法を用いた。

3. 解析手法

フラッター安定性に直接影響する A_2^* の制御を考え、たわみと可動プレート間の振幅比・位相差を固定し、ねじれ主導モードのStep-by-step解析に着目した。このとき、図1の従属関係により、ねじれたわみ間の振幅比・位相差が決まると、それに応じてたわみと可動プレート間の振幅比・位相差が決定される。ところが、本研究においては、 $\eta_0/\eta_P (=0.3)$ 、 $\theta_B (0^\circ \text{ から } 45^\circ \text{ ピッチ})$ で測定しているにすぎず、任意の η_0/η_P ・ θ_B によって決まるたわみに関する非定常空気力係数を求めることができない。そこで、前縁部可動プレート付き矩形断面の変動圧力からプレートのみ稼動した場合の変動圧力を θ_B ・ θ_T を考慮して差し引いたときの変動圧力が矩形断面の変動圧力に類似したことから、ある矩形断面の変動圧力と断面を静止させて可動プレートのみ動かしたときの変動圧力を θ_B を考慮して足しあわせたもので表現できると仮定した¹⁾。その際、可動プレートの設置を考慮して、実際の単体矩形断面の断面辺長比($B/D=20$)より小さい $B/D=12.5$ の矩形断面の変動圧力を足し合わせるものとした。なお、任意の η_0/η_P に対しては、 $B/D=12.5$ の矩形断面の変動圧力係数が相対迎角の最大値に比例するという線形性を考慮して対処した¹⁾。以上の仮定に基づき、振幅比・位相差を収束させながらStep-by-step解析(Torsional branch)を行った。



η_0 : たわみ片振幅
 ϕ_0 : ねじれ片振幅
 η_P : Plateの相対変位
 θ_B : たわみ速度下向き最大からPlateの相対変位上向き最大までの位相差
 θ_T : ねじれ変位頭上げ最大からPlateの相対変位上向き最大までの位相差
 Ψ : ねじれ変位頭上げ最大からたわみ変位下向き最大までの位相差
 $\theta_B = \pi/2 - \Psi + \theta_T$

4. フラッター特性

Step-by-step解析では、固定したねじれと可動プレート変位間の位相差 θ_T を 0° から 15° ピッチで変化させ、さらに風速は無次元風速で1から1刻みで変化させた。解析結果のうち、 $\theta_T=15^\circ$ 、 105° 、 180° の場合の対数減衰曲線、たわみねじれ変位間の振幅比、位相差を図2、図3、図4に示す。 $\theta_T=15^\circ$ のときはねじれ変位がたわみ変位より位相が進んだ状態で、 $\theta_T=180^\circ$ の場合はほとんど同位相でフラッターの発現がみられる。また、 θ_T とそのときフラッター発現風速の関係を示した図を $B/D=10$ 、 12.5 、 15 、 20 の矩形断面の発現風速と比較して図5に示す。これより、 $\theta_T=30^\circ \sim 165^\circ$ においては $B/D=20$ の矩形断面のフラッター発現風速を上回っている。また、 $\theta_T=225^\circ \sim 315^\circ$ においては $B/D=10$ の矩形断面のフラッター発現風速をも下回っている。以上より、 θ_T の取り方によって可動プレートが有効にも逆効果にもなることがわかる。また、 $\theta_T=60^\circ$ の場合のたわみ振動の減衰項となる非定常空気力係数 H_1^* （図6）をみると、低風速域で正になっており、たわみ応答がこの風速域でややセンシティブになることに注意する必要がある。このことは、文献2)にも指摘されている。

解析の構造諸元； $B=0.20\text{m}$, $f_{\eta 0}=3.0\text{Hz}$, $f_{\phi 0}=6.0\text{Hz}$, $M=0.20\text{kgf} \cdot \text{s}^2$, $I=5.0 \times 10^{-4}\text{kgf} \cdot \text{s}^2$, $\phi_0=2.0[\text{deg.}]$

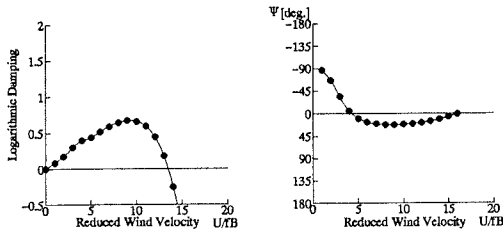


図2.Step-by-step解析の結果（ $\theta_T=15^\circ$ ）

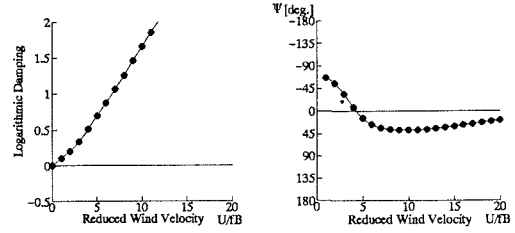


図3.Step-by-step解析の結果（ $\theta_T=105^\circ$ ）

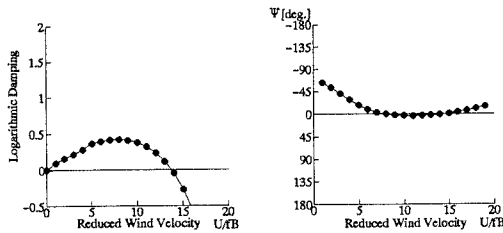


図4.Step-by-step解析の結果（ $\theta_T=180^\circ$ ）

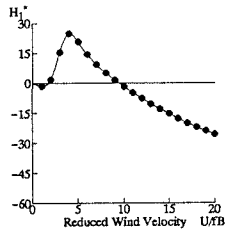


図6.非定常空気力係数 H_1^* （ $\theta_T=60^\circ$ ）

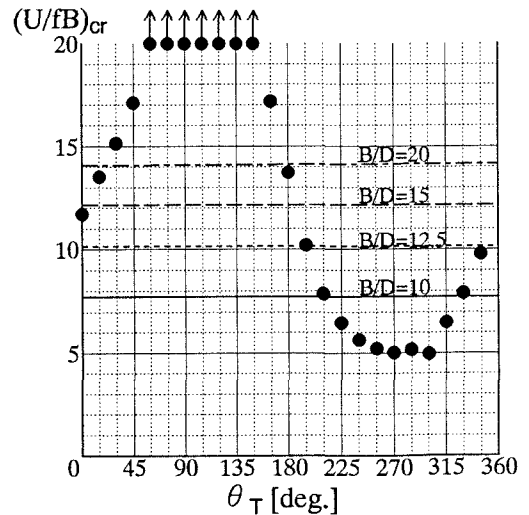


図5.Step-by-step解析の結果（ θ_T-U_{cr} 図）

5. 結論

可動プレートの設置は、フラッター振動に対して有効にも逆効果にもなりうる。有効な領域（位相差）は大きいため、可動プレートの位相差設定は容易となり、フラッター制振に対して有効な手段といえる。

参考文献

- 1) 吉住、松本；鉛直可動プレートを前縁部に設けた矩形断面の非定常圧力特性、土木学会第51回年次学術講演会論文集、1996、2) 日下部、佐藤、関谷；アクティブコントロールによるフラッター制御に関する実験的研究、第13回風工学シンポジウム論文集、1994