

I - B29

たわみ卓越分枝からの連成フラッター発生機構

京都大学大学院 学生員 藪谷忠大 京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
 京都大学工学研究科 正会員 陳 新中 三井造船 正会員 吉住文太
 京都大学大学院 学生員 阿部和浩 京都大学大学院 学生員 後藤和夫

1. はじめに 長大橋梁の建設においては、たわみ・ねじれ2自由度振動の連成フラッターが問題となる。連成フラッターの発生は構造物の破壊につながるため、その発生機構の解明及び安定化は重要課題である。近年、その発生機構が解明されてきてはいるものの、不明な点も多い。特に、中央鉛直板付き矩形断面においては、たわみ卓越分枝 (Heaving branch) からの連成フラッターが発生することが報告されている¹⁾。本研究ではこのフラッター発生機構を明らかにするとともに、たわみ及びねじれ卓越分枝からのフラッター発生要因からその安定化策について考察する。

2. 研究の背景 中央鉛直板付き矩形断面（断面辺長比 $B/D=20$, $h/D=1.0$ ）と過去にフラッター安定化の見られた断面をFig.1に示す。これらの断面を用いてたわみ・ねじれ1自由度強制加振実験

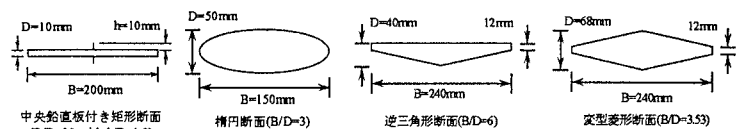


Fig.1 模型断面図

を行い、周囲に設けた圧力ホールにより、断面周りの非定常圧力を測定した。これを断面周りで積分することで、非定常空気力を求めた。この非定常空気力から算出される非定常空気力係数のうち、ねじれ振動の減衰項となるねじれフラッター及びたわみねじれ2自由度連成フラッターの発現に大きく寄与する非定常空気力係数、 A_2^* をFig.2に示す。さらに、このようにして、求めた非定常空気力係数を用いて、非定常空気力を表現し、たわみねじれ2自由度連成フラッター解析（複素固有値解析）を行った（Fig.3）。これらより、 A_2^* の特性において最も優れた断面である中央鉛直板付き矩形断面が、連成フラッター特性に最も優れているわけではないこと、また、他の断面とは異なり、たわみ卓越分枝からフラッターが発現していることがわかる。

3. たわみ卓越分枝からのフラッター発生機構

たわみ卓越分枝からフラッターが発生する中央鉛直板付き矩形断面において、ねじれ固有振動数を固定し、たわみ固有振動数を変化させたときの複素固有値解析結果をFig.4に示す。これより、たわみ固有振動数がねじれ固有振動数より小さい場合には、Heaving branchでフラッター発現すること、たわみとねじれの振動数曲線がフラッター発現風速より小さい風速で交わり、たわみ固有振動数が低いほど高風速でフラッターが発現することがわかる。Step-by-step解析 (Heaving branch) に基づき¹⁾、Heaving branchの対数減衰率 δ_n に関する項を調べた。これをFig.5に示す。これより、 $-1/2 |A_1| |H_3| \sin \theta_1$ (◆の項) の正負の逆転する風速付近で δ_n の正負が逆転することから、この項がフラッターが発現に支配的な項であることがわかる。この項の成分の

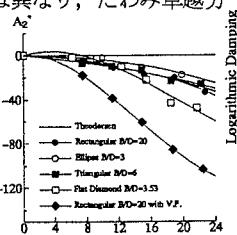


Fig.2 非定常空気力係数

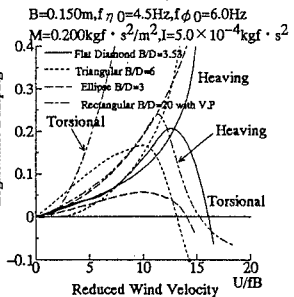
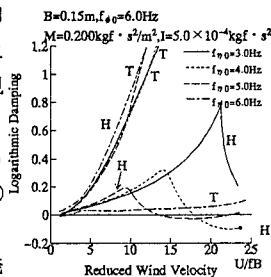
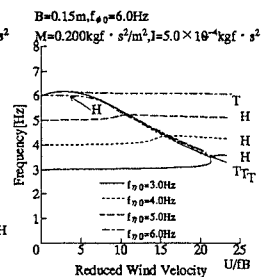


Fig.3 各種断面の複素固有値解析結果

Fig.4 中央鉛直板付き矩形断面の複素固有値解析結果 (ω_n 固定)

キーワード：フラッター解析，たわみ卓越分枝，非定常空気力係数

〒606-01 京都市左京区吉田本町環境地球工学教室気圏工学研究室 075-753-5093

うち、 $|A_1^*|H_3^*$ は符号が変化しないが、 $\sin \theta_1$ の符号が風速の増加と共に変わる (Fig.6) . 以下、 $\sin \theta_1$ について考察を加える。 θ_1 , $\sin \theta_1$, θ , ω_ϕ は次のように表される。

$$\theta_1 = \theta - \frac{\pi}{2}, \quad \sin \theta_1 = -\cos \theta, \quad \theta = \tan^{-1} \frac{2\xi_\phi \omega_\eta \omega_\phi}{\omega_\phi^2 - \omega_\eta^2}, \quad \omega_\phi^2 = \omega_{\phi 0}^2 - \left(\frac{\rho b^4}{I} \right) \omega_F^2 A_3^*$$

$\omega_\eta, \omega_\phi, \omega_F$: たわみ, ねじれ, フラッター円振動数, ξ_ϕ : ねじれ振動の減衰定数, $\omega_{\phi 0}$: ねじれ固有円振動数, ρ : 空気密度, I : 単位スパンあたりの慣性モーメント, b : 半弦長

$\sin \theta_1$ の変化は θ が第一象限から第二象限に移動したからであり、これは ω_η と ω_ϕ の大小の逆転による (Fig.7, Fig.8) . これは、 $A_3^* > 0$ による空力剛性の作用により、 ω_ϕ が減少したためであると考えられる。以上の考察をまとめると次のようになる。まず、風速が上がるにつれて、 $A_3^* (> 0)$ の項により、ねじれ円振動数 ω_ϕ が低下し、たわみ円振動数 ω_η を下回ること、 θ が第一象限から第二象限に移動する。これより、 $\sin \theta_1$ の符号が変わり、対数減衰率における $\diamond$ の項の符号が正から負に変わる。つまり、ねじれ円振動数 ω_ϕ が、たわみ円振動数 ω_η を下回ること、たわみ卓越分枝において、連成空気に不安定効果がもたらされる。

次に、Heaving branchにより、フラッターが発現する連成フラッターが発現する条件を考える。過去の研究より、Torsional branchより発現する連成フラッターにおいては A_2^* に関する項が制振力として大きく作用することが知られている¹⁾。Fig.2に示したように中央鉛直板付き矩形断面 ($B/D=20$ with V.P. ($h/D=1.0$)) では、他の断面に比べて A_2^* が負でその値が小さい。これにより、Torsional branchによるフラッター発現が抑制されている間に、上記の理由により、Heaving branchからフラッターが発現すると考えられる。実際に、Theodorsen関数による2次元平板で A_2^* の値を3倍すると、Heaving branchによりフラッターが発現する (Fig.9) . このことから、非定常空気力係数の正負が2次元平板に従うような断面においては、 $A_2^* < 0$ で A_2^* の値が小さいことが、Heaving branchからフラッターが発現する十分条件と考えられる。また、たわみ固有振動数が低いほど高風速でフラッターが発現することについては、 ω_η と ω_ϕ の大小の逆転がより高風速で起こるためと考えられる。

4. まとめ まず、たわみねじれ連成フラッターの発現の要因として次の二つが考えられる。

- ① ねじれ卓越分枝から発現する場合、 A_2^* の安定化効果より、 $-1/2 |H_3^*| A_1^* \cos \theta_2$ の不安定効果の方が大きくなる。
- ② たわみ卓越分枝から発現する場合、 ω_ϕ が ω_η より小さくなる。

対策として、

- ① A_2^* を負に保ち、 A_1^* と $|H_3^*|$ の値を小さくする。
- ② A_3^* を小さくするか、たわみ固有振動数を小さくする。

参考文献

- 1) 松本ら: 超長大吊橋のフラッター安定化に関する研究, 土木学会論文誌, 1996 2) Scanlan, etc.: Airfoil and bridge deck flutter derivatives, Journal of ASCE, EM6, 1971

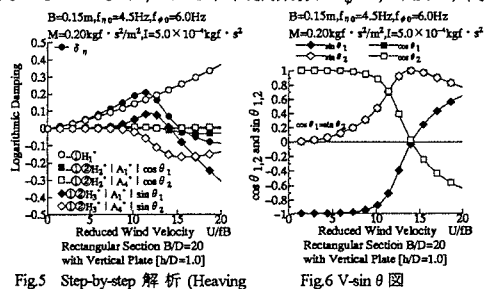


Fig.5 Step-by-step 解析 (Heaving

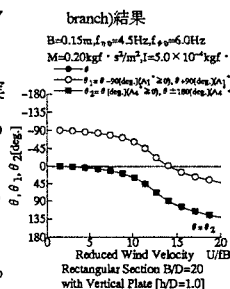


Fig.7 V-θ 図

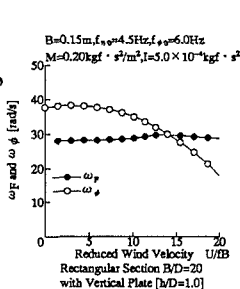


Fig.8 V-ω 図

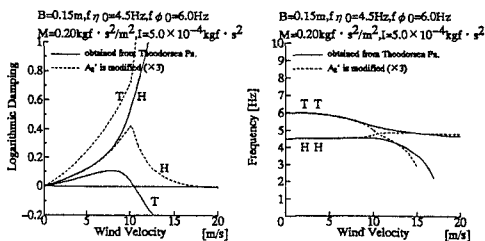


Fig.9 2次元平板の空気力(Theodorsen関数)を用いた複素固有値解析結果(A_2^* を3倍)