

step-by-step 解析に基づいた 新たなフラッター発現風速推定式の提案及びその検討

京都大学大学院 学生員 加藤 嘉昭 京都大学大学院 フェロー 松本 勝
電力中央研究所 正会員 松宮 央登¹⁾ 京都大学大学院 学生員 藤原 慎也

1)研究当時京都大学大学院

1. 序論

長大橋梁に生じる連成フラッターは自励型発散振動であり、その発現が構造物を直接破壊に至らしめるため、長大橋梁設計の際の最重要検討項目である。本研究では、連成フラッター解析手法として、松本らによって提案された step-by-step 解析[1](以下 SBS 解析)を用い、SBS 解析により明らかとなった連成フラッター発生機構に基づいて、フラッター発現風速推定式を導出し、その導出過程の検討を行う。

SBS 解析は、連成空気力の作用を逐一計算しているため、連成フラッターの発生機構に基づいた解析手法である。したがって、分枝が明確に定義でき、Fig1 に示されているように、高風速域で分枝が入れ替わる「分枝のスイッチング特性」が確認できる[2]。また、SBS 解析では、減衰特性及び振動数特性が各非定常空気力係数の線形和で表現されているため、各分枝においてフラッター特性に対する各非定常空気力係数の寄与がわかり、フラッターの安定化にはどの非定常空気力係数を制御すればよいかを明確に示すことができるという利点がある[3]。

2. フラッター発現風速推定式

Selberg[4]は平板翼に対して以下に示す非常に簡単なフラッター発現風速推定式を提案した。

$$V_F = 3.71 \cdot f_{\phi 0} \cdot 2b \sqrt{\frac{\sqrt{mI}}{\rho(2b)^3} \left\{ 1 - \left(\frac{f_{\eta 0}}{f_{\phi 0}} \right)^2 \right\}} \quad (1)$$

この推定式では、フラッター発現風速が構造諸元のみによって表現されているため、容易に発現風速が求められるという利点がある。しかしながら、フラッター振動数が風速によって変化するにも関わらず、系の固有振動数によって発現風速が表現される理由は未だ完全には解明されていない。

SBS 解析により明らかとなった連成フラッター発生機構に基づいて、ねじれ分枝においてフラッター振動数とたわみの固有振動数が交わる時にフラッターが発現すると考えられることから、フラッター振動数をねじれ1自由度の振動数で表現し、さらに準定常状態を仮定すると、次のような2次元平板におけるフラッター発現風速推定式が誘導できる。

$$V_F = 3.81 \cdot f_{\phi 0} \cdot 2b \sqrt{\frac{\sqrt{mI}}{\rho(2b)^3} \left\{ 1 - \left(\frac{f_{\eta 0}}{f_{\phi 0}} \right)^2 \right\}} \quad (2)$$

この式は、Selberg が提案したフラッター発現風速推定式(1)とほぼ一致している。

3. フラッター発現風速推定式の導出過程の検討

Fig.1 に振動数比 $f_{\phi 0}/f_{\eta 0}=1.3$ において2次元平板を対象に行った SBS 解析結果及びたわみ・ねじれ1自由度解析結果を示す。また、Fig.2 に SBS 解析及び式(2)によるフラッター発現風速とねじれ1自由度振動数とたわみの無風時の固有振動数が交わる風速を示す。これらの図を見ると、フラッター発現風速とねじれ1

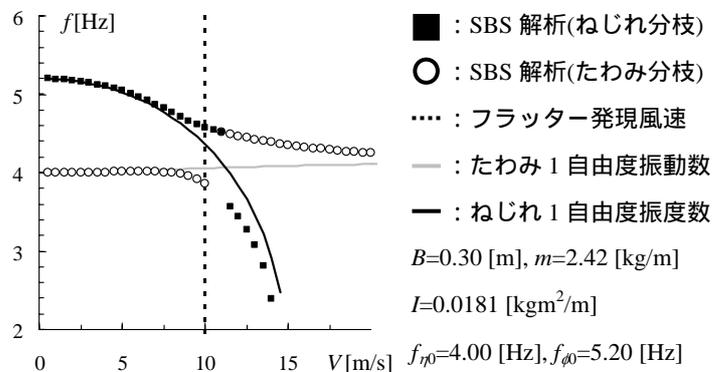


Fig.1 SBS 解析結果：振動数特性(2次元平板)

キーワード Selberg, フラッター発現風速, ねじれ分枝

自由度振動数が無風時のたわみ固有振動数が交わる風速との間に差が見られる．それにもかかわらず，式(2)は高い精度でフラッター発現風速を推定している．これは，式(2)を導出する際には，(a)SBS 解析で定義されるねじれ分枝において，フラッター振動数と無風時のたわみ固有振動数が交わる風速とフラッター発現風速が一致する．(b)ねじれ分枝のフラッター振動数が，ねじれ1自由度振動数に等しい．(c)準定常状態を仮定する．(d)たわみ固有振動数は風速によらず無風時の値から変化しない．という4つの仮定を用いており，これらが生じる誤差を互いに打ち消したためと考えられる．

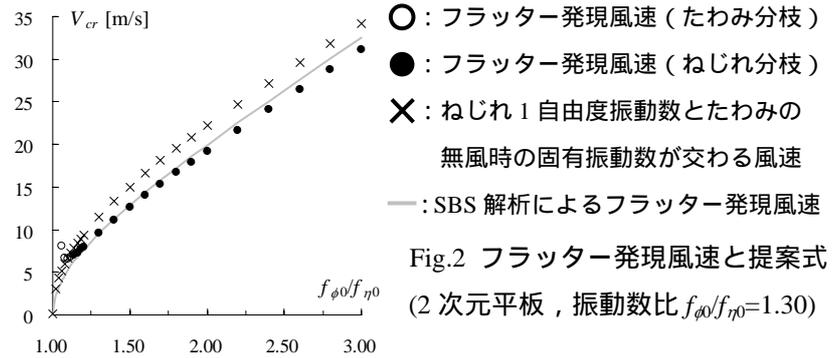


Fig.2 フラッター発現風速と提案式 (2次元平板, 振動数比 $f_{\phi 0}/f_{\eta 0}=1.30$)

ここで，4つの仮定うち(a)及び(b), (c)の3つの仮定による誤差を検討する．ねじれ分枝のフラッター振動数は，ねじれ1自由度振動数と等しいとき，以下のように表される

$$f_F = \sqrt{f_{\phi 0}^2 - \left(\frac{\rho b^4}{I}\right) f_F^2 A_3^*} \tag{3}$$

ここで， A_3^* は Theodorsen 関数($C(k) = F(k) - iG(k)$)の実部 $F(k)$ ，虚部 $G(k)$ を用いると，以下のように表される．

$$A_3^* = \frac{\pi}{k} \left(\frac{F(k)}{k} + \frac{G(k)}{2} \right) \tag{4}$$

さらに準定常状態($F(k)=1, G(k)=0$)とすると，

$$A_3^* = \frac{\pi}{k^2} \tag{5}$$

これを式(3)に代入すると，

$$f_{\phi} = \sqrt{f_{\phi 0}^2 - \left(\frac{\rho b^2}{4\pi I}\right) V^2} \tag{6}$$

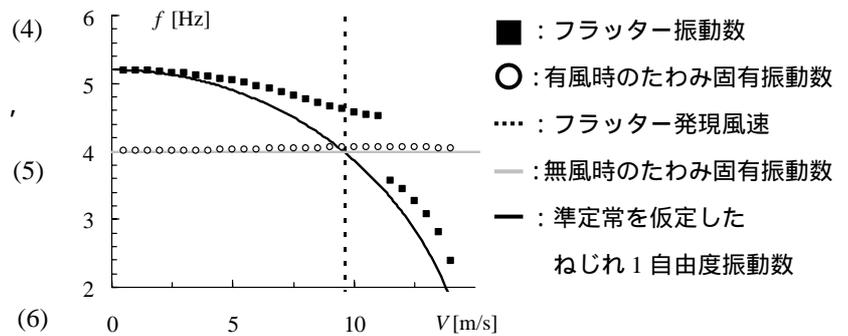


Fig.3 ねじれ分枝の振動数特性 (2次元平板, 振動数比 $f_{\phi 0}/f_{\eta 0}=1.30$)

Fig.3 は，振動数比 $f_{\phi 0}/f_{\eta 0}=1.3$ において2次元平板を対象に行った SBS 解析結果におけるねじれ分枝の振動数特性である．なお，有風時のたわみ固有振動数とは，SBS 解析のねじれ分枝の step2 で求まるものである．この図に示されているように，式(5)で表される A_3^* を用いたねじれ1自由度振動数と無風時のたわみ固有振動数が交わる風速とフラッター発現風速がほぼ一致していることがわかる．

4．結論

以下に本研究で得られた結論をまとめる．

4．結論

以下に本研究で得られた結論をまとめる．

- (1) SBS 解析によって得られたフラッター発現に関する知見から，準定常状態において，ねじれ分枝のフラッター振動数と無風時のたわみ固有振動数が交わる風速がフラッター発現風速と一致すると仮定すると，非常に精度の高いフラッター発現風速推定式が誘導できた．これにより，従来まで未解明であった Selberg のフラッター発現風速推定式の導出過程の大部分が明らかとなった．
- (2) SBS 解析の特性から求めた発現風速推定式は，実際にはフラッター発現風速を高い精度で推定しているが，それぞれの仮定で誤差は生じており，4つの仮定を用いてフラッター発現風速を正確に評価できる理由については，詳細な検討が必要である．

参考文献

[1] M. Matsumoto et al. : Flutter mechanism and its stabilization of bluff bodies. *9th ICWE*, pp827-838,1995.
 [2] M. Matsumoto, "Flutter instability of structures", *Proceedings of 4th EACWE*, 2005.
 [3] Matsumoto, M. : Flutter instability of structures", *Proc. of 4th EACWE*, 6-11, 2005.
 [4] A. Selberg: "Oscillation and aerodynamic stability of suspension bridges", *ACTA Plytechnica Scandinavica, Civil Engineering and Construction Series*, No.13, 1961