

連成フラッターの分枝特性に関する研究

京都大学大学院 学生会員 ○松宮 央登 京都大学大学院 フェロー 松本 勝
 京都大学大学院 学生会員 金 起男 鹿島建設株式会社 正会員 大窪 一正¹⁾
 京都大学大学院 学生会員 伊藤 靖晃 1)研究当時京都大学大学院

1. 序論

長大橋梁桁断面に生じるフラッターは、構造物を直接破壊に至らしめる危険な現象である。そのためフラッターの安定化は長大橋梁の耐風設計における最重要検討項目であると言え、その実現にはフラッターの励振機構の解明が必要不可欠である。近年の研究では、連成フラッターにおいて支配的であるたわみ・ねじれ2DOFを考慮し、複素固有値解析(以下CEV解析と呼ぶ)及び、たわみ・ねじれ間の連成作用に着目したStep-by-step解析[1](以下SBS解析と呼ぶ)を用いて、連成フラッターの分枝のスイッチング特性が明らかにされてきた[2]。本研究はそれらの研究に続き、ねじれ・たわみの振動数比 $f_{\phi 0}/f_{\eta 0}$ を1.00に近づけたケースで、CEV解析とSBS解析によって連成フラッター解析を行い、特にスイッチングの過渡状態における分枝特性について考察を行う。さらにその検証として、 $B/D=20$ 矩形断面を対象にたわみ・ねじれ2DOF自由振動実験を行う。

2. 非定常空気力係数とフラッター解析法

Scanlanが提唱したflutter derivative[3]を用いると、たわみ・ねじれ2DOF自由振動系の運動方程式は式(1)のように表現される。

$$m\ddot{\eta} + c_{\eta}\dot{\eta} + k_{\eta}\eta = \frac{1}{2}\rho(2b)V^2 \left\{ kH_1^* \frac{\dot{\eta}}{V} + kH_2^* \frac{b\dot{\phi}}{V} + k^2 H_3^* \phi + k^2 H_4^* \frac{\eta}{b} \right\}, \quad I\ddot{\phi} + c_{\phi}\dot{\phi} + k_{\phi}\phi = \frac{1}{2}\rho(2b^2)V^2 \left\{ kA_1^* \frac{\dot{\eta}}{V} + kA_2^* \frac{b\dot{\phi}}{V} + k^2 A_3^* \phi + k^2 A_4^* \frac{\eta}{b} \right\} \quad (1)$$

ただし、 $m(I)$: 単位スパン長あたりの質量(慣性モーメント)、 $c_{\eta}(c_{\phi})$: たわみ(ねじれ)粘性係数、

$k_{\eta}(k_{\phi})$: たわみ(ねじれ)ばね定数、 η : たわみ変位(下向き正)、 ϕ : ねじれ変位(頭上げ正)、

(\cdot) : 時間微分、 ρ : 空気密度、 b : 半弦長、 k : 換算振動数($=b\omega/V$)、 ω : 円振動数、 V : 風速、

$H_i^* A_i^* (i=1\sim 4)$: 非定常空気力係数

本研究ではこの運動方程式をCEV解析及びSBS解析を用いて解き、フラッター解析を行った。

3. フラッター解析法の比較

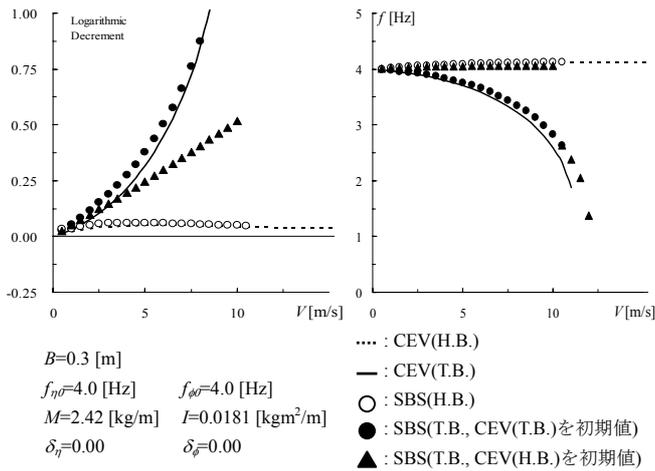
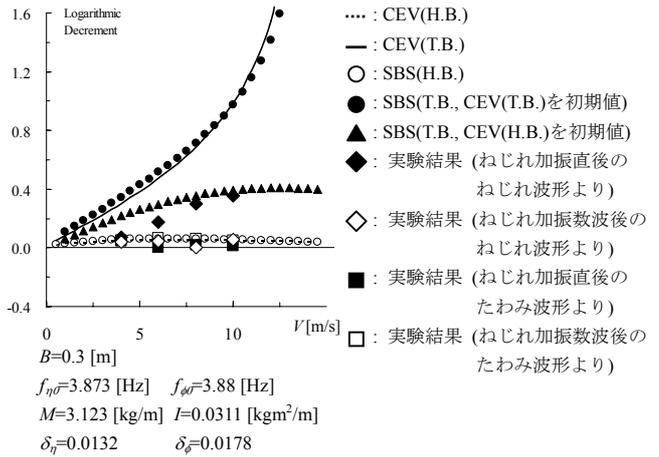
両フラッター解析法を、物理的観点から見ると、CEV解析は与えられた運動方程式を数学的に解いているのみで、得られる解に物理的なBranchの分類がされていない。一方、SBS解析は、連成空気力の作用を逐一計算する解析手法であり、最終的に系の振動数特性と減衰特性を支配する方程式によりBranchの定義がなされている。次に、両フラッター解析法を数学的に比較するため、式(1)にCEV解析及びSBS解析の結果を代入すると、CEV解析は、たわみ・ねじれの2つの運動方程式を同時に厳密に満たす2つの解のみを解として与え、一方、SBS解析は、着目する系の方程式のみを満たす解を与える。そのとき、もう一方の系は連成空気力により相互に与える影響を考慮されるのみであると言える。

4. スイッチング過渡状態における分枝特性

2次元平板を対象に、振動数比を $f_{\phi 0}/f_{\eta 0}=1.00$ としてCEV解析及びSBS解析を行った。SBS解析においては、通常は無風時の固有振動数を初期値として用いるが、ここでは、各風速におけるCEV解析の振動数特性の2解を初期値として用いた結果を、CEV解析結果と共にFig.1に示す。なお、Heaving Branchの解は初期値に依存せず一つの解に収束したため、その解を示している。Fig.1に示されるように、SBS解析のTorsional Branchの解は、解析の初期値に依存し、初期値として与えた振動数特性に近い値を示している。ただし、CEV解析のHeaving Branchの解を初期値とした解析で得られた解は、振動数・振幅比・位相差の3つの特性が

キーワード 連成フラッター, Step-by-step 解析, 分枝, スイッチング

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-753-5093

Fig.1 2次元平板のフラッター特性(振動数比 $f_{90}/f_{\eta\sigma}=1.00$)Fig.2 たわみ・ねじれ2自由度自由振動実験結果($B/D=20$ 矩形断面)

Heaving Branch の解と共存しているのに対し、減衰特性のみは異なった特性を示しているという、CEV 解析では得られない解である。

5. たわみ・ねじれ 2DOF 自由振動実験

以上の結果から、両解析手法の特徴も考慮すると、SBS 解析によってのみ得られる上記のような解は、たわみ・ねじれの方の方程式のみを満たす不安定な解であり、またこのような解を経て分枝のスイッチングが生じていると考えられる。この過渡的な不安定な解が、実現象において生じえる解であるのかを検証するため、 $B/D=20$ 矩形断面を対象に、たわみ・ねじれ 2DOF 自由振動実験を行った。実験に先立って行った連成フラッター解析結果を踏まえ、慎重に加振・計測を行った結果、Fig.2 に示されるように、共存している振動数でのねじれ加振直後のねじれ波形から、SBS 解析によってのみ得られる不安定な解に近い特性が得られた。ただし、振動特性はすぐに Heaving Branch の解に近い特性へと推移した。このように、分枝のスイッチングが生じている過渡的な風速域において、非常に不安定ではあるが、一方の方程式のみを満たすような解が存在していることが実験的に示された。

6. 結論

- CEV解析は、たわみ・ねじれの二つの運動方程式を同時に厳密に満たすもののみを解として与え、SBS解析は、着目する系の運動方程式のみを満たすものも解として与えることが可能であると言える。
- SBS解析では解析の初期値の与え方によって異なる解に収束することが確認された。
- 分枝がスイッチングする過渡的な風速域においては、一方の方程式のみを満たす非常に不安定な解が存在し、それを経てスイッチングが生じると考えられる。このためCEV解析ではスイッチングを表現できず、SBS解析によってのみスイッチングを表現することが可能であると考えられる。また、このような不安定な解の存在は、 $B/D=20$ 矩形断面を対象としたたわみ・ねじれ2DOF自由振動実験によっても確認された。

参考文献

- [1] 松本 勝 他：非定常空気力係数に着目したフラッター安定化策についての考察，第13回風工学シンポジウム論文集,pp377-382, 1994.
- [2] Matsumoto, M. : Flutter instability of structures”, *Proc. of 4th EACWE, 6-II*, 2005.
- [3] R.H.Scanlan *et.al.* : Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, *J. Eng. Mech. Proc. ASCE Vol. 100, EM4*, 1974.