平成18年度土木学会関西支部年次学術講演会

第 I 部門 連成フラッターのスイッチング過渡状態における分枝特性に関する考察

京都大学工学部	学生員	○松智	官央登	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	学生員	金	起男	京都大学工学研究科	学生員	大窪一正
				京都大学工学研究科	学生員	伊藤靖晃

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*_{q0}/*f*₁₀ 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.

<u>2. 非定常空気力係数とフラッター解析法</u> 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.

$$m\ddot{\eta} + c_{\eta}\dot{\eta} + k_{\eta}\eta = \frac{1}{2}\rho(2b)V^{2}\left\{kH_{1}^{*}\frac{\dot{\eta}}{V} + kH_{2}^{*}\frac{b\dot{\phi}}{V} + k^{2}H_{3}^{*}\phi + k^{2}H_{4}^{*}\frac{\eta}{b}\right\}, \quad I \quad \ddot{\phi} + c_{\phi}\dot{\phi} + k_{\phi}\phi = \frac{1}{2}\rho(2b^{2})V^{2}\left\{kA_{1}^{*}\frac{\dot{\eta}}{V} + kA_{2}^{*}\frac{b\dot{\phi}}{V} + k^{2}A_{3}^{*}\phi + k^{2}A_{4}^{*}\frac{\eta}{b}\right\}$$
(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)、 $c_n(c_{\theta})$: 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)、

(•):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=1~4): 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.

ここで、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.また、CEV 解析で得られる 2 つの解の間に物理的な差異は定義さ れていないのに対し、SBS 解析では得られる解に明確な物理的な定義がなされていると言える.

3. 分枝のスイッチング特性 Fig.1 に 2 次元平板を対象とし、ねじれ・たわみの振動数比 f_{o0}/f_{n0}=1.30 における CEV 解析及び SBS 解析の結果を示す. SBS 解析の Torsional Branch は低風速域においては CEV 解析の Torsional Branch とよく一致するが、フラッター発現風速付近でやや対数減衰率の絶対値が増加している. そして、フラッター振動数が一定値に収束せず、解が求められない風速域を経て、CEV 解析の Heaving Branch の延長線上に再び解が現れる. SBS 解析の Heaving Branch は、低風速域ではやはり CEV 解析の Heaving Branch とよく一致するが、フラッター発現風速付近で





対数減衰率が急激に減少し,SBS 解析の Torsional Branch と重なるような特性を示し,最終的に CEV 解析の Torsional Branch に漸近する. このように SBS 解析を用いると,低風速域では,CEV 解析の分類に即した状態で 2 種類の分枝が存在し,そして高風速域では,CEV 解析による従来の分枝の分類とは逆のモードでそれぞれの分 枝が存在するスイッチング特性が得られる.

Hisato MATSUMIYA, Masaru MATSUMOTO, Ginam KIM, Kazumasa OKUBO, Yasuaki ITO

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_{q0}f_{n0}=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.2 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.2 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 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. $f_{\phi}/f_{\eta 0}$ を 1.01~1.10 と変化 させつつ同様の解析を行ったところ、同様に、SBS 解析の解が初期値に依存する特性が、分枝のスイッチ ングの過渡的な風速域において見られた.

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 の一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.3 に示されるように、共存している振動数



Fig.3 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)

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 以下に、本研究で得られた結論を述べる.

- ・ 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できると言える.
- ・ 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し、かつ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*, 6-11, 2005.

^[3] R.H.Scanlan et.al. : Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, J. Eng. Mech. Proc. ASCE Vol. 100, EM4, 1974.