

長大橋桁断面における連成フラッターの分枝特性

京都大学大学院 学生会員 大窪 一正 京都大学大学院 フェロー 松本 勝
 西日本旅客鉄道(株) 正会員 1)水野 恵介 京都大学大学院 学生会員 金 起男
 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り、その安定性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る。フラッターに対し高い安定性を実現するためには、その励振機構の解明は必要不可欠である。そこで本研究では、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、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、各種橋梁桁断面を対象に分枝のスイッチング特性についての考察を行う。また、その検証実験としてたわみ・ねじれ 2DOF ばね支持実験を行う。

2. 非定常空気力係数と 2DOF フラッター解析

Scanlan により提案された非定常空気力係数を用いると、たわみ・ねじれ 2DOF の運動方程式は Eq.(1) のようになる[2]。

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

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

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_{η} (c_{ϕ}): たわみ(ねじれ)粘性係数、 k_{η} (k_{ϕ}): 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、とする。本研究ではこの運動方程式を複素固有値解析(以下 CEV 解析と呼ぶ)及び SBS 解析を用いて解くことでフラッター解析を行った。

3. 連成フラッターの分枝のスイッチング特性

$B/D=20$ 矩形断面を対象に行ったフラッター解析結果及び 2DOF ばね支持実験結果のうち、減衰特性及び振動数特性を Fig.1 に示す。CEV 解析では運動方程式を数学的に解いているに過ぎず、得られる二つの解は物理的な意味での区別、つまり分枝の定義ができない。そのため、Fig.1 に示されるように、風速に対して連続

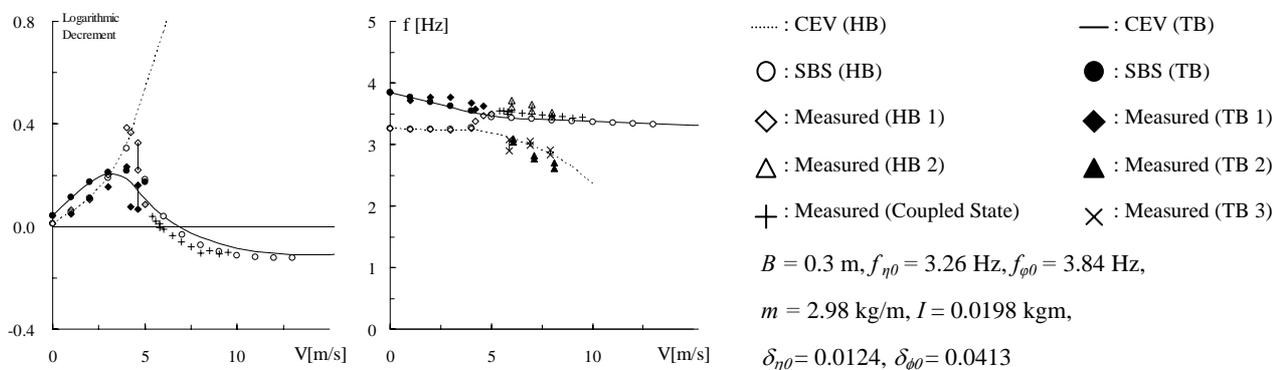


Fig. 1 Comparisons of Flutter Analysis and Free Vibration Tests for B/D=20 Rectangular Cylinder

キーワード 連成フラッター, SBS 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

的に変化する二つの解のうち，無風時の振動数がねじれ固有振動数に帰着するものをねじれ分枝(Torsional Branch, T.B.)，たわみ固有振動数に帰着するものをたわみ分枝(Heaving Branch, H.B.)としてきた．このため，一般的な構造断面に生じる連成フラッターは，T.B.であると考えられてきた．一方，SBS 解析とは，たわみ・ねじれ間に連成空気が作用し合う過程を逐一計算する解析法であり，最終的に系を支配する方程式がたわみ系かねじれ系かで，分枝が定義される．両解析結果を比較すると，低風速域において両者はほぼ一致するが，高風速域においては大きな差異が認められる．SBS 解析の H.B.では，フラッター発現風速よりやや低い風速域において解の傾向が急変し，高風速域では，CEV 解析で従来 T.B.と考えられてきた解に漸近するという特性を示す．このような分枝特性は，2DOF ばね支持実験によっても確認された．以上より，連成フラッターの不安定性は，T.B.から H.B.にスイッチングし，高風速域においては，連成フラッターは H.B.で発現していることが示された．

同様の解析を各種橋梁桁断面に対して行ったところ，楕円形断面，菱形断面，三角形フェアリング付き分離箱桁断面，鉛直板付き $B/D=20$ 矩形断面等，多くの断面において，同様のスイッチング特性が確認された．その一例を Fig.2 に示す．これにより，連成フラッターにおける分枝のスイッチング特性は，連成フラッターの発現する構造断面において，一般的に生じる特性であることが示唆された．なお，これらの断面のうち，Fig.2, (b)に示した鉛直板付き $B/D=20$ 矩形断面($h/D=1.0$)のように，幾つかの断面，構造諸元においては，CEV 解析結果においても振動数特性の交差が確認された．つまり，解析条件によっては CEV 解析においても分枝のスイッチングが得られると言えるが，今後系統的かつ詳細な解析・考察が必要であり，また，CEV 解析の解が持つ物理的な意味に関して，より詳細な検討が必要である．

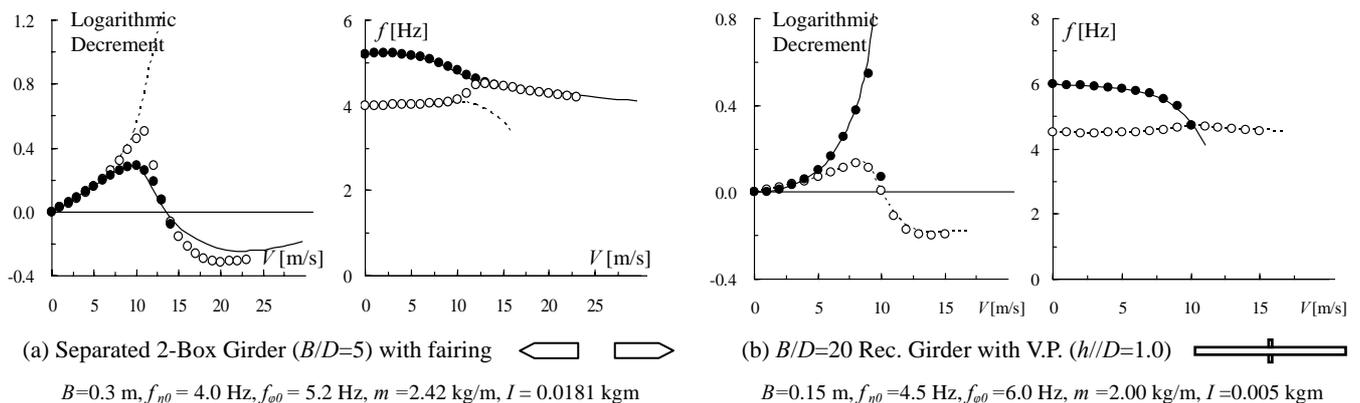


Fig. 2 Branch Characteristics of Coupled Flutter for Various Bridge Girders

(..... : CEV (HB), O : SBS (HB), — : CEV (TB), ● : SBS (TB))

5. 結論及び今後の課題

本研究により得られた結論を以下にまとめる．

- 1). $B/D=20$ 矩形断面を対象に行った SBS 解析結果及び風洞実験結果より，高風速域における，連成フラッターの分枝のスイッチング特性が確認された．
- 2). SBS 解析により，各種構造断面において連成フラッターの分枝のスイッチングが確認された．これにより，分枝のスイッチング特性は，連成フラッターの発現する構造断面において，一般的に生じる特性である可能性が示唆された．

また，CEV 解析の解の持つ物理的な意味に関し，今後詳細な検討を行う必要がある．

参考文献

- [1] 松本勝, 小林裕輔, 浜崎博(1994) : 構造基本断面における連成フラッターの発生機構に関する研究, 第 13 回風工学シンポジウム論文集, pp.359-364
- [2] R. H. Scanlan *et al.* (1974) : Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, *J. Eng. Mech. Proc. ASCE Vol. 100, EM4*.