

矩形断面のねじれフラッター特性に関する考察

京都大学大学院

学生会員 ○伊藤 靖晃

京都大学大学院

フェロー

松本 勝

西日本旅客鉄道株式会社

正会員

水野 恵介¹⁾

京都大学大学院

学生会員

大窪 一正

京都大学大学院

学生会員

金 起男

1)研究当時京都大学大学院

1. 序論

フラッター振動現象は自己励起型発散振動であり、構造物を破壊に至らしめるため、長大吊橋の動的安定性を考える上で最重要検討項目である。そのため、フラッターの励振機構を解明することは必要不可欠である。そこで本研究では、Step-By-Step 解析(SBS 解析)[1]を用いて、ねじれフラッターの励振機構について考察を行う。

2. 非定常空気力特性

振動する断面に作用する非定常揚力 L 及び非定常ピッチングモーメント M は以下のように定式化されている[2]。

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

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

ここで、 L ：単位スパン当たりの揚力(下向き正)、 M ：単位スパン当たりのモーメント(頭上げ正、弦長中央点まわり)、 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

本研究では、この L, M を用いたたわみ・ねじれ 2DOF の運動方程式を複素固有値解析(CEVA)及び SBS 解析を用いて解き、フラッター解析を行った。

3. 矩形断面のフラッター特性に関する考察

矩形断面のフラッター特性は断面辺長比(B/D)の変化とともに変化し、 $B/D=5, 8, 10$ 矩形断面ではねじれフラッターが、 $B/D=12.5, 15, 20$ 矩形断面では連成フラッターが発生する。一般に、ねじれフラッターは A_2^* が正值をとるときに起こると考えられ、Fig.1 の A_2^* 特性からねじれフラッターと連成フラッターの境界は $B/D=10$ と 12.5 の間にあると考えられる。 A_2^* の正負は、上面圧力(正圧)のねじれ速度との同相成分 $C_p H_2^*$ の重心が断面の中心の上流側にあるか下流側にあるかで決まり、上流側にある場合は A_2^* は負値をとるためねじれフラッターは起こらず連成フラッターとなり、下流側にある場合は A_2^* は正值をとるためねじれフラッターが起こる。

矩形断面では、断面辺長比の減少とともにねじれフラッターに対して不安定になる。しかしながら、ねじれフラッターが起こる断面でもたわみ振動・ねじれ振動から連成空気力が生じるため、連成フラッターに対する不安定性を有しているといえる。さらに、ねじれ・たわみ振動数比(f_ϕ/f_η)が減少すると連成フラッターに対して不安定化する。特に、 $B/D=5, f_\phi/f_\eta=1.1$ の矩形断面では Fig.2 に示すように高風速域で Heaving Branch の連成フラッターが潜在的に起こることが確認できる。また、 $B/D=10, f_\phi/f_\eta=1.1$ の矩形断面では Fig.2 に示すように Heaving Branch の連成フラッターが起こることが確認できる。このケースでは、振動数特性も連成フラッターが起こる他の断面と同様の特性を示すため、連成フラッターのフラッター特性[3]からすれば、 $V=5 \sim 15$ [m/s] の風速域では Torsional Branch の連成フラッターも共存していると考えられる。

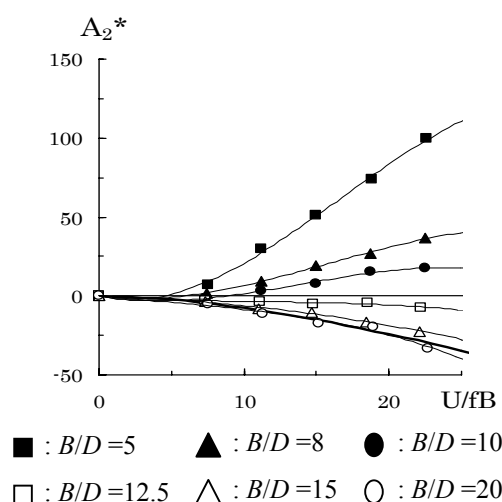


Fig.1 the flutter derivative of

2D rectangular cylinders

キーワード ねじれフラッター, 連成フラッター, 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

4. 非定常空気力係数の寄与に関する考察

SBS 解析から TB flutter の制御には A_2^* , A_1^* , H_3^* が重要な役割を果たし、分枝のスイッチング後の HB flutter の制御には H_1^* , A_1^* , H_3^* が重要な役割を果たすことが明らかになっている[3]。しかしながら、 $B/D=5$ 矩形断面では、前縁で剥離した流れが再付着しないために他の矩形断面と流れのパターンが異なるため、 A_1^* , A_4^* の特性が他の矩形断面と大きく異なり、Fig.4 から HB flutter に対して H_1^* , A_4^* , $|H_3^*|$ が重要な役割を果たすことが確認できる。

5. 結論

- ・ねじれフラッターは連成フラッターより複雑な励振機構を有する。
- ・ $B/D=5$ 矩形断面は、 $B/D=8,10$ 矩形断面とは異なった分枝特性を示す。
- ・ねじれフラッターは基本的には Torsional Branch であるが、 $B/D=10$, $f_\phi/f_\eta=1.1$ の矩形断面の SBS 解析では Torsional Branch から Heaving Branch へのスイッチングも確認された。
- ・ $B/D=8,10$ 矩形断面では、Torsional Branch では A_2^* , A_1^* , H_3^* が、Heaving Branch では H_1^* , A_1^* , H_3^* が重要な役割を果たすが、 $B/D=5$ 矩形断面の Heaving Branch では H_1^* , A_4^* , H_3^* が重要となる。
- ・今後の課題として、分枝に着目したより詳細なフラッター解析を行い、風洞実験の結果と比較する必要がある。

6. 参考文献

- [1] 松本 勝、小林裕輔、浜崎 博、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、1994、pp. 359-364
- [2] Scanlan, R.H., Belveau, J.G., Budlong, K.S., Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, J. Eng. Mech. Div. Proc. ASCE, Vol.100, EM4, August, 1974, pp. 657-672.
- [3] Matsumoto, M., "Flutter Instability of Structures" to be printed, 4th EACWE, 2005

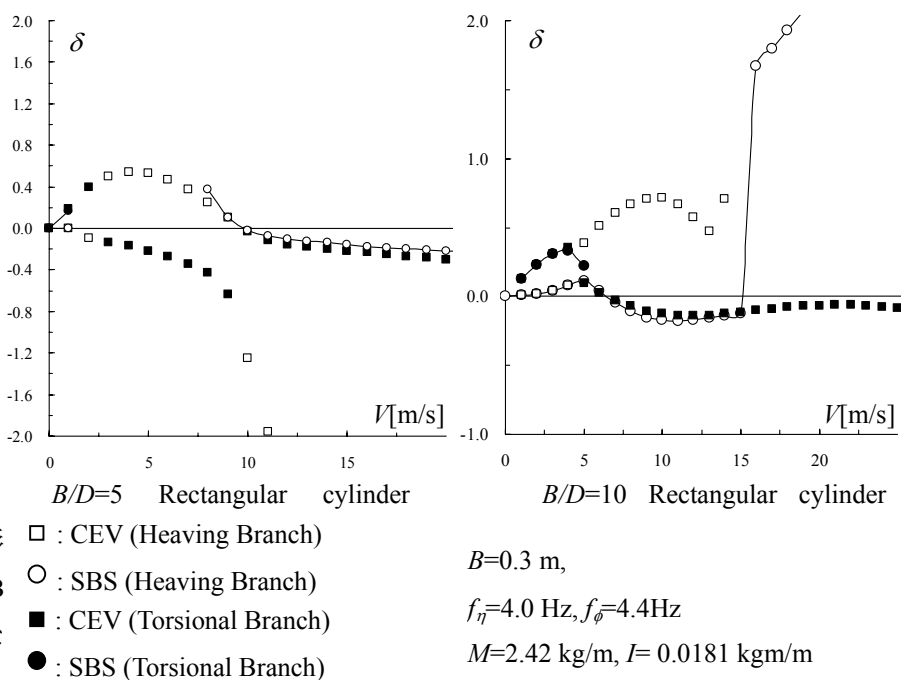


Fig.2 coupled flutter characteristics of $B/D=5$ and $B/D=10$ Rectangular Cylinder ($f_\eta/f_\phi=1.1$) obtained by CEV analysis and SBS analysis

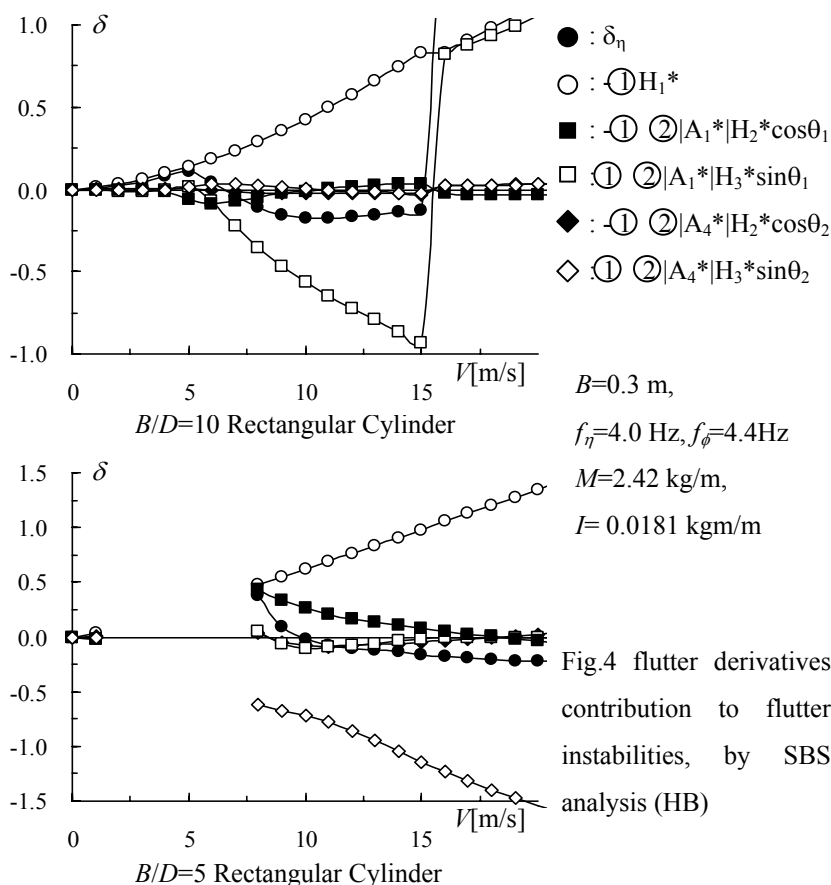


Fig.4 flutter derivatives contribution to flutter instabilities, by SBS analysis (HB)