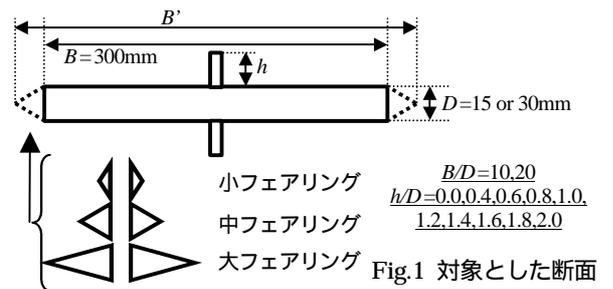


センターバリア付き扁平六角断面のフラッター安定化機構に関する実験的研究

京都大学工学研究科 学生員 江口 陽紀 (株)三菱重工業 正会員 四條 利久磨<sup>1)</sup>  
 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 足田 哲也  
 京都大学工学研究科 正会員 白土 博通 1) 研究当時京都大学大学院

**1. 序論** 本研究で対象とするフラッターは自己励起型発散振動であり、直接構造物の破壊につながるため、長大橋の設計においてはフラッター振動に対して安定な断面の開発が不可欠である。優れたフラッター安定性を有する断面として過去の研究から、空力的には橋梁断面に作用する非定常圧力を低減もしくは相殺することが有効であると明らかになっている。そこで本研究ではセンターバリアを設置した扁平六角断面を対象として風洞実験を行い空力特性を把握した上で、想定する長大橋の各種構造諸元を変化させフラッター安定化を試み、そのフラッター特性及び安定化機構に対し考察を行う。

**2. 対象とした断面** 本研究ではFig.1に示す $B/D = 10$ 及び $20$ ( $B$ :全弦長 $300\text{mm}$ 、 $D$ :桁高各 $30\text{mm}$ 及び $15\text{mm}$ )の矩形断面及びその両端に先端角度が $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $120^\circ$ のフェアリング(順に大・中・小フェアリングと定義)を一对設置した扁平六角断面を基本断面とし、それぞれの弦長中央部分上下に一对のセンターバリアを取り付け、その高さ( $h$ で定義)を桁高 $D$ で無次元化した $h/D$ を $0.4 \sim 2.0$ と変化させながら、たわみ・ねじれ各1自由度強制加振実験を行い、模型にかかる非定常揚力 $L$ 及び非定常モーメント $M$ を測定した。ただしその測定に際しては、一様流のみを対象とし、迎角( $\alpha$ で定義、頭上げ正)は $0^\circ$ 、 $3^\circ$ を対象とした。



**3. 非定常空気力係数** 流体中で2自由度振動をする断面に作用する非定常揚力 $L$ と非定常モーメント $M$ を、Scanlanによって提案された8個の非定常空気力係数 $H_i^*$ 、 $A_i^*$  ( $i=1\sim 4$ ) を用いて次式で定式化した[1]。

$$L = \frac{1}{2} \rho (2b) V^2 \left\{ kH_1^* \frac{h}{V} + kH_2^* \frac{b\dot{f}}{V} + k^2 H_3^* f + k^2 H_4^* \frac{h}{b} \right\}, \quad M = \frac{1}{2} \rho (2b^2) V^2 \left\{ kA_1^* \frac{h}{V} + kA_2^* \frac{b\dot{f}}{V} + k^2 A_3^* f + k^2 A_4^* \frac{h}{b} \right\}$$

ただし、 $h$ : たわみ変位(下向き正、弦長中央点における変位)、 $f$ : ねじれ変位(頭上げ正)、 $(\dot{\quad})$ : 時間微分

$V$ : 風速、 $\rho$ : 空気密度、 $b$ : 半弦長、 $k$ : 換算振動数(= $bw/V$ )、 $w$ : フラッター振動数

これらの非定常空気力係数のうち、ねじれ空力減衰項 $A_2^*$ はねじれフラッターに対する安定性を表し、 $A_2^* < 0$ で安定、 $A_2^* > 0$ で不安定となる。また比較的扁平な断面は $A_1^*$ 及び $H_3^*$ の絶対値が大きすぎることが原因でねじれ分枝が不安定化し連成フラッターが発現することが知られている。本研究では、フェアリング形状及びセンターバリアの高さを変化させ、 $|H_3^*|$ の低減を試みた。代表的な例としてFig.2に、迎角 $0^\circ$ における中フェアリング付き $B/D = 20$ 扁平六角断面に取り付けるセンターバリアの高さを変化させた場合の $A_2^*$ 、 $A_1^*$ 、 $H_3^*$ 、 $H_2^*$ を示す。これよりセンターバリアの高さに比例して $A_2^*$ 及び $H_2^*$ の絶対値が大きくなり、また特に $h/D = 1.0, 1.2$ の場合では $H_3^*$ の低減効果が得られていることが明らかになった。また $A_1^*$ に関しては、センターバリアの高さを変化させてもほとんど変化がみられなかった。

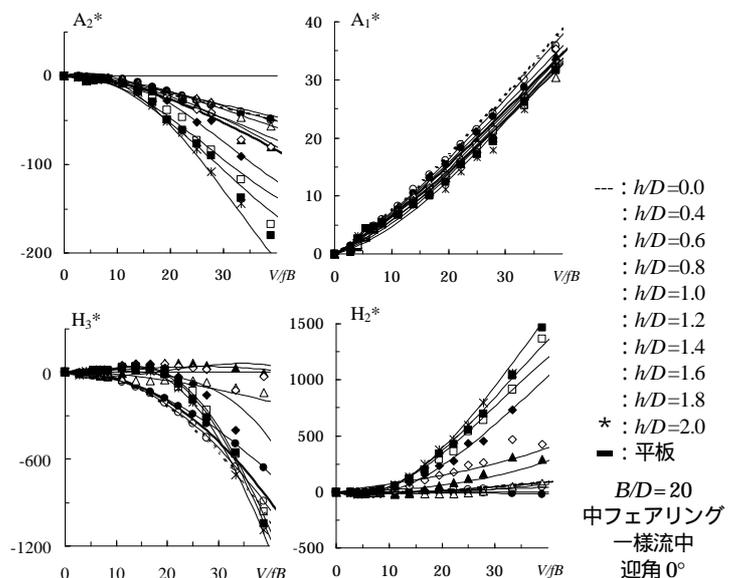


Fig.2 センターバリア付き扁平六角断面の非定常空気力係数

**3. フラッター解析** 本研究では桁幅員 $B=30\text{m}$ のセンターバリア付き扁平六角断面を有する側径間比 $0.5$ 、サグ比 $0.1$ 、中央支間長 $3000\text{m}$ の実吊橋を想定した桁断面の構造諸元を解析に用いた。Fig.3には上と同じ断面のフラッター解析結果を示すが、 $h/D = 1.0, 1.2$ では風速限定型、 $h/D = 1.4$ 以上では発散型でたわみ分枝が不安定化するという結果が得られた。また $h/D = 1.0$

キーワード：フラッター振動、非定常空気力、センターバリア、たわみ・ねじれ振動数比  
 連絡先：京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻気圏工学講座  
 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL：075-753-5093 FAX：075-761-0646

の断面にStep-by-step解析法[2]を適用した結果をFig.4に示す。これよりこの断面では $H_3^*$ 低減によりねじれ分枝が安定化し、 $H_2^*$ の増大によりたわみ分枝が不安定化するという特性が明らかになった。

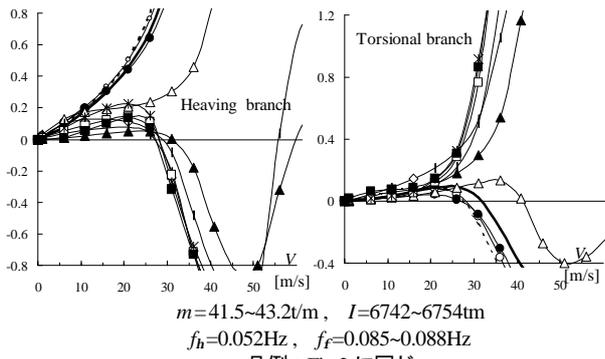


Fig.3 フラッター解析から求まる各分枝の対数減衰率

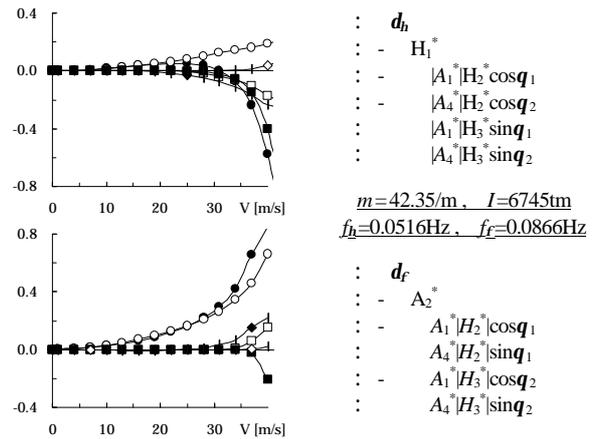


Fig.4 Step-by-step 解析から求まる各分枝の対数減衰率( $h/D=1.0$ )

**4. 振動数比によるフラッター制御** 構造的対策により風速

限定型で生じる負減衰を正にさせられると示唆されることから、風速限定型でたわみ分枝が発現する  $h/D=1.0$  の断面に対し振動数比を 1.1~2.5 に変化させた場合でフラッター解析を行った。その結果 Fig.5 に示すように  $h/D=1.0$  の断面では振動数比  $f_{r0}/f_{i0}=1.1$  とした場合にはたわみ・ねじれの両分枝が安定化するという結果が得られた。またこの断面を有する、想定した吊橋の各種構造力学的諸元を変化させて所要の振動数比実現を模索したところ Fig.6 に示すようにサグ比 0.13 では中央支間長 4200m 以上、サグ比 0.14 では中央支間長 3500m 以上でこれは実現可能で、このときフラッターに対して完全に安定化された断面となることが明らかとなった。

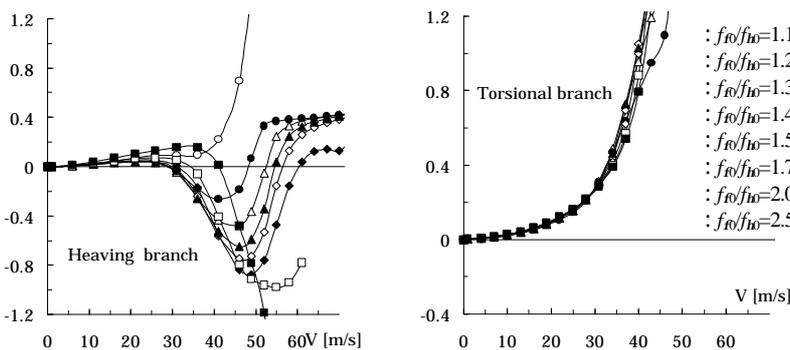


Fig.5 固有振動数比を変化させた場合の  $m=42.35/m, I=6745tm$  各分枝の対数減衰率 ( $h/D=1.0$ )  $f_{r0}=0.0866Hz, B'=30m$

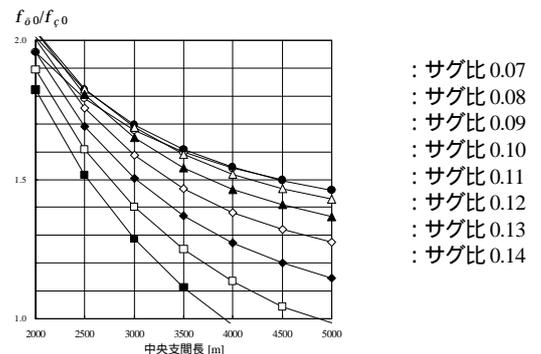


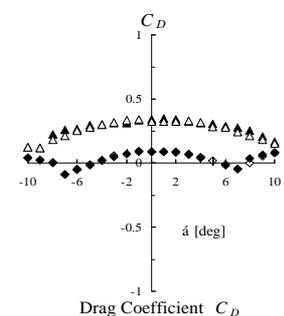
Fig.6 サグ比と中央支間長を変化させた場合の固有振動数比の変化

**5. 静的空気力特性** センターバリアを設置した場合、風荷重が増加し横倒れ座屈など抗力に対する安定性が危惧されるため、静的空気力実験を行い抗力係数 $C_D$ をFig.7に示す。抗力係数 $C_D$ はセンターバリアを設置することによって大きくなること示されており、水平たわみによるねじれ振動に対する影響を考察するために3自由度でのフラッター安定性を検討していくことが今後の課題となる。

**6. 結論** 扁平六角断面に適切な高さのセンターバリアを設置するとそれにより $|H_3^*|$ が低減され、ねじれ分枝が安定化するが、同時に $H_2^*$ の絶対値が大きくなることに起因してたわみ分枝が不安定化する。また構造的対策を考えたたわみ・ねじれ固有振動数比を変化させたところ、今回対象とした断面の中には振動数比1.1が実現されればフラッターは完全に安定化するものが存在し、その実現の可能性も示唆された。センターバリアを設置した場合、風荷重が増加し横倒れ座屈など抗力に対する配慮が必要となる。

**【参考文献】**

[1] Scanlan, R.H., Belveau, J.G., Budlong, K.S.(1974):"Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks", Jour. Eng. Mech. Division, Proc. ASCE.,Vol.100, EM4.  
 [2] 小林祐輔、松本 勝(1994):"各種構造断面の非常空気力特性に関する研究" 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集、第1部、pp.692-693



B/D=21.7 hexagonal . . . : 5m/s : 10m/s  
 With center barrier . . . : 5m/s : 10m/s  
 Fig.7 センターバリア設置による抗力係数の変化