

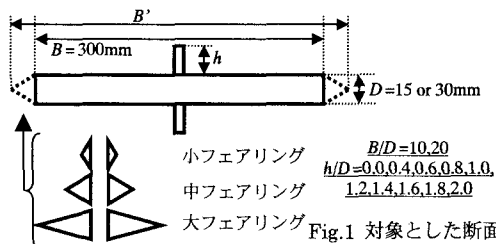
京都大学工学部
京都大学工学研究科
京都大学工学研究科

学生員 ○疋田 哲也
正会員 白土 博通
学生員 江口 陽紀

京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
㈱三菱重工業 正会員 四條 利久磨¹⁾
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、構造物の破壊につながるため、長大橋の設計においては十分に安定な断面の採用が不可欠である。優れたフラッター安定性を有する断面を求めてこれまで多くなされてきた研究からその安定化対策としては、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、構造的にはその断面に最適なたわみ・ねじれ固有振動数を与えることが特に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300mm、 D : 桁高各30mm及び15mm)の矩形断面及びその両端に先端角度が 30° 、 60° 、 120° 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、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、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、非定常空気力係数を測定した。ただしその測定に際しては、一様流のみを対象とし、迎角(α で定義、頭上げ正)は 0° 、 3° の両方を対象とした。



3. 非定常空気力係数 流体中で2自由度調和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]。

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

ただし、 η : たわみ変位(下向き正、弦長中央点における変位)、 ϕ : ねじれ変位(頭上げ正)、 $(\dot{\quad})$: 時間微分
 V : 風速、 ρ : 空気密度、 b : 半弦長、 k : 換算振動数($=b\omega/V$)、 ω : 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の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。これに基づき本研究では、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° 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導入により 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その値は取り付けない場合とほとんど変化がなかった。このような傾向は迎角 0° の矩形断面及び小フェアリング扁平六角断面で

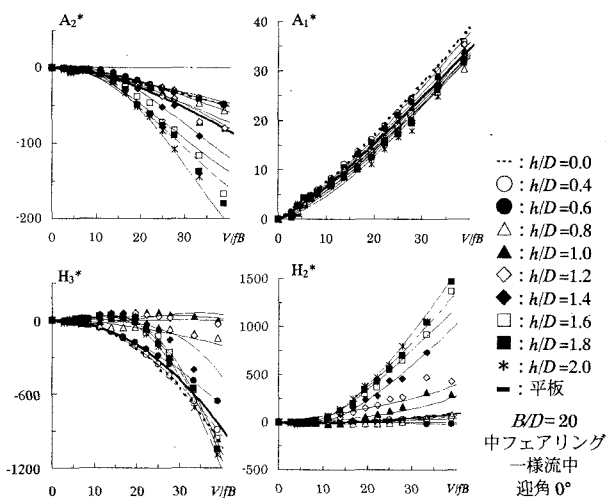


Fig.2 センターバリア付き扁平六角断面の非定常空気力係数

も見られたが、迎角を 3° とした場合や大フェアリングを用いた場合にはこのような傾向が見られなかった。

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 3000m の吊橋を想定して桁断面の構造諸元を求め、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。これより $h/D=1.0$ の断面にStep-by-step解析法[2]を適用してねじれ分枝が安定化したたわみ分枝の不安定化する機構を調べたところFig.4に示す結果が得られ、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ことが明らかになった。

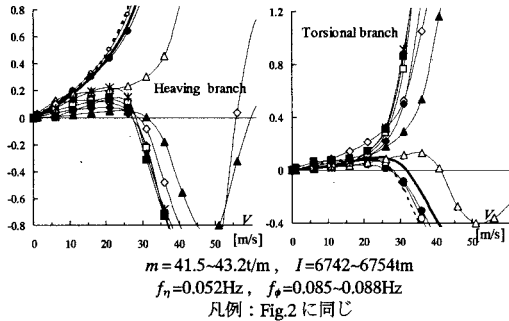


Fig.3 複素固有値解析から求まる各分枝の対数減衰率

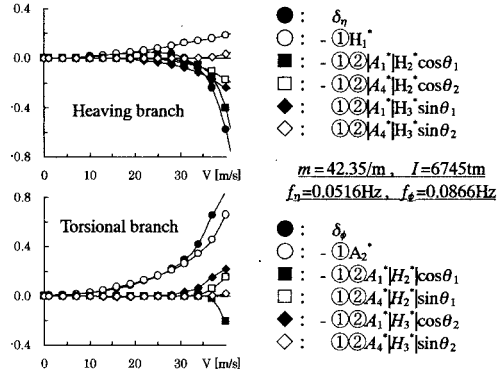


Fig.4 Step-by-step 解析から求まる各分枝の対数減衰率($h/D=1.0$)

4. 振動数比によるフラッター制御 たわみ・ねじれ固有振動数比を下げればたわみ分枝の対数減衰率曲線が正の方へと引き上げられることから、風速限定型でたわみ分枝が発現する上記の2断面に対したわみ固有振動数を変化させ仮定の振動数比を与え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 $f_{a0}/f_{n0}=1.1$ 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。

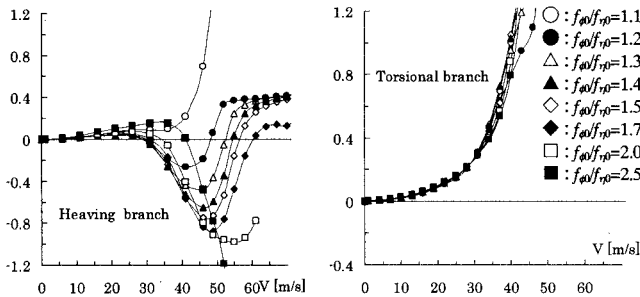


Fig.5 固有振動数比を変化させた場合の各分枝の対数減衰率 ($h/D=1.0$)

$m=42.35\text{t/m}$, $I=6745\text{tm}$
 $f_{a0}=0.0866\text{Hz}$, $B'=30\text{m}$

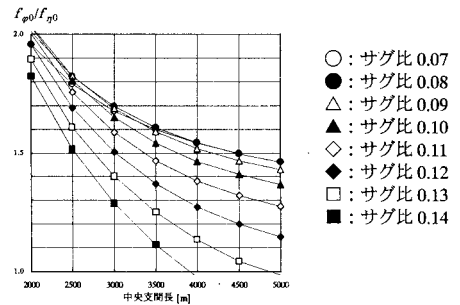


Fig.6 サグ比と中央支間長を変化させた場合の固有振動数比の変化

5. 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。そのため、構造的にフラッターを安定させる対策を考え吊橋の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。このようにフラッターの安定化には、空力及び構造の両面から対策を行う必要がある。

【参考文献】

- [1] Scanlan, R.H., Beliveau, 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): "各種構造断面の非定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