

非定常圧力特性から見た分離箱桁のフラッター安定化機構に関する研究

京都大学	学生員	疋田 哲也
京都大学	フェロー	松本 勝
京都大学	正会員	阿南 景子
東日本旅客鉄道株式会社	正会員	江口 陽紀 ¹⁾
京都大学	学生員	水野 恵介

1)研究当時京都大学

1. 序論

本研究で対象とする長大橋断面のフラッターは、一般にある風速以上で発現し次第に振幅が増大し、最終的に構造物を破壊に至らしめる危険な現象である。優れた耐フラッター安定性を追求して行われてきた過去の研究により、桁断面に作用する非定常空気を低減もしくは相殺することがフラッターの空力的制御法として有効であることが知られている。本研究においては、分離箱桁断面に耐風安定化部材を設置した断面に対し風洞実験を行い、フラッター安定化のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 風洞実験

本研究においては、断面辺長比 $B^*/D=5$ 矩形断面を $0.5B$ の間隔で並列に配置した $B/D=12.5$ 分離箱桁断面を基本断面とし、Fig.1 に示すように耐風安定化部材である正三角形フェアリングを両端に設置した断面（以下 2TF）及び、その断面にさらに鉛直板（ギャッププレート）を中央空間部に設置した断面（以下 2TFGP）を採用した。そしてこれらの断面に対し風洞内で強制加振実験を行い非定常空気力及び非定常圧力を計測した。

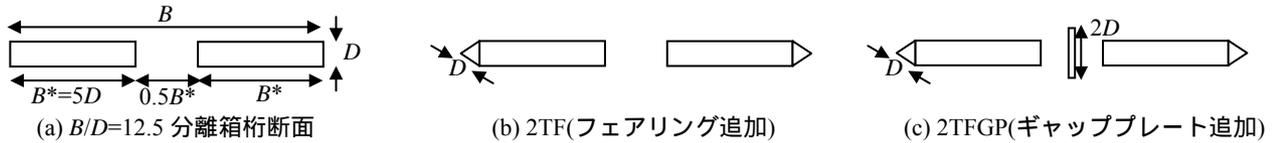


Fig.1 本研究で対象とした断面

3. 非定常空気力特性及び非定常圧力特性

本研究においては、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^* 及び 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

非定常空気力係数のうち A_2^* はねじれフラッターに対する安定性を決定し、安定化のためには $A_2^* < 0$ となることが求められる。また連成フラッターの安定化には連成項 A_1^* 及び H_3^* の絶対値を低減することが必要であると明らかにされている[2]。Fig.2 には、本研究で対象とした3断面の非定常空気力特性を示す。基本断面の場合高風速にて $A_2^* > 0$ となりねじれフラッターに対し不安定となることが示唆されるが、耐風安定化部材を設置することでそれが解消され、平板の理論解とほぼ同等の値が得られている。また連成項に関しては、平板解と比較した A_1^* の絶対値が全3断面において低減されている一方で、2TFGPのみが H_3^* の絶対値も同時に著しく低減される結果を示したため、この断面は十分なフラッター安定性が期待される。

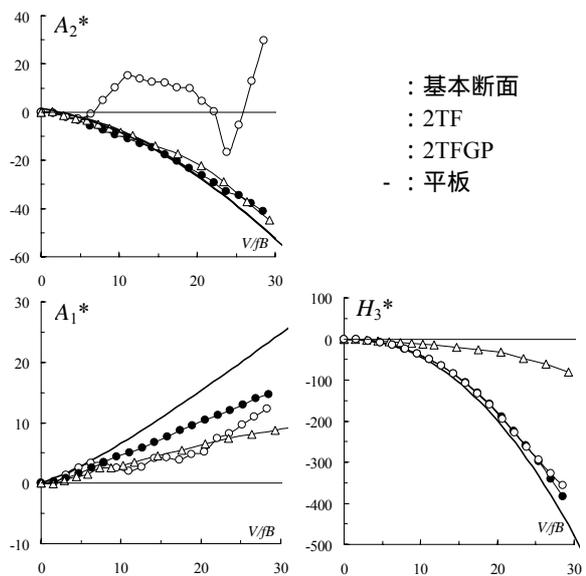


Fig.2 3断面の非定常空気力係数

4. 非定常圧力特性

非定常空気力は非定常圧力の断面周り積分により求められるため、両者の間には以下の関係式が成立する。

$$A_2^* = \frac{V^2}{2b^2\omega^2\eta_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_{px} \sin \Psi_H dx = \frac{V^2}{2b^2\omega^2\eta_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p A_2^* dx \quad A_1^* = \frac{-V^2}{2b\omega^2\eta_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_{px} \cos \Psi_H dx = \frac{V^2}{2b\omega^2\eta_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p A_1^* dx$$

キーワード フラッター、空力的制御、非定常圧力特性、位相制御

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学社会基盤工学専攻橋梁工学講座 TEL 075-753-5091

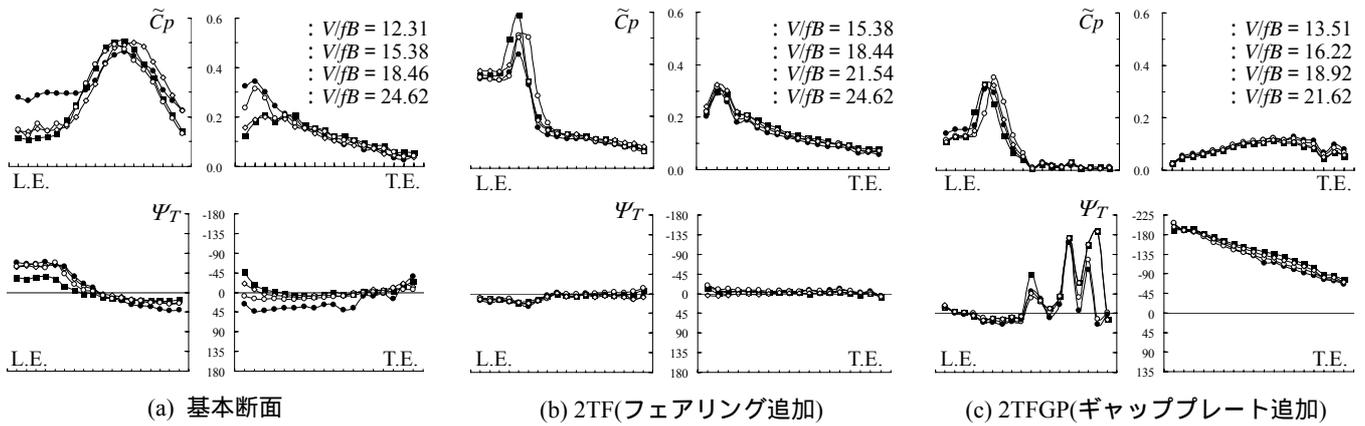


Fig.3 ねじれ1自由度強制加振時における3断面の非定常圧力特性

$$H_3^* = \frac{-V^2}{2b^2\omega^2\phi_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p \cos \Psi_T dx = \frac{V^2}{2b^2\omega^2\eta_0} \int_{-1}^1 \tilde{C}_p H_3^* dx$$

ただし、 \tilde{C}_p : 変動圧力係数(表面圧力の変動成分を動圧で無次元化したもの)、 Ψ_H/Ψ_T : たわみ/ねじれ1自由度強制加振中において、相対迎角頭上げ最大に対する表面圧力負圧最大の位相遅れ、 x : 断面中心からの無次元距離(下流向き正、 $-1 \leq x \leq 1$)

続いて Fig.3 には同じく3断面の、ねじれ1自由度強制加振中における非定常圧力特性を示す。連成フラッターの励振力は前縁端からの剥離によりもたらされる圧力変動であることが明らかにされているが[3]、これらの断面の非定常圧力特性からは、開口部を設けた結果下流側断面にも同様に剥離によって大きな圧力変動がもたらされているであろうことが読みとれる。またギャッププレートの設置により下流側断面の位相特性は大幅に変化している。Fig.4 には2TFGPの $\tilde{C}_p H_3^*$ 分布を示すが、この断面の H_3^* 低減は前縁端からの剥離による励振力を下流側断面の圧力変動により相殺する形で実現されており、ギャッププレート設置に起因して、下流側断面において設置前より位相が90°から180°進む位相制御の効果が得られたためであると考えられる。

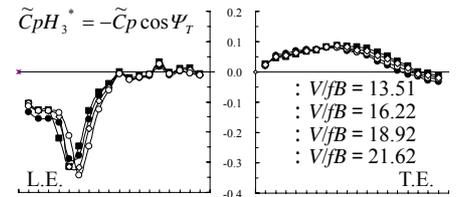


Fig.4 2TFGPの $\tilde{C}_p H_3^*$ 分布

5. フラッター特性

本研究では上述の3断面を桁断面として有する中央支間長3000m、側径間比0.5、サグ比0.1、フェアリングも含めた全弦長 $B'=30m$ の長大吊橋を想定して桁断面の構造諸元を求め、フラッター解析の際に用いた。Fig.5 には複素固有値解析より求まるたわみ・ねじれ各分枝の対数減衰率を示すが、 A_1^* 及び H_3^* 両者の絶対値が低減された2TFGPに関しては想定した風速域でフラッターが発現しないという結果が得られた。これは、同構造諸元下における平板のフラッター発現風速の2倍以上という値であり、フラッターに対し空力的に安定な断面であることが示された。

6. 結論

分離箱桁断面は、フェアリング及びギャッププレートを設置することで連成空気が大幅に低減され、3000mの中央支間長を有する長大橋の桁断面に適用した場合でも十分なフラッター安定性を示すことが明らかにされた。またその理由としては、ギャッププレートの設置により下流側断面の位相差特性が大幅に改善されたためであることが非定常圧力特性より示された。

7. 参考文献

[1]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.
 [2]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
 [3]M. Matsumoto, et al., Torsional Flutter of Bluff Bodies, J. Wind Engineering and Ind. Aerodyn., Vol.69-71, 1997, pp. 871-882

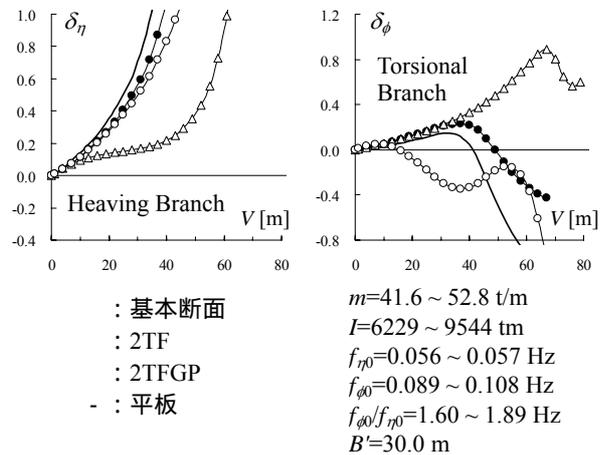


Fig.5 3断面のV- δ 図

基本断面 $m=41.6 \sim 52.8$ t/m
 2TF $I=6229 \sim 9544$ tm
 2TFGP $f_{r0}=0.056 \sim 0.057$ Hz
 平板 $f_{\phi 0}=0.089 \sim 0.108$ Hz
 $f_{\phi 0}/f_{r0}=1.60 \sim 1.89$ Hz
 $B'=30.0$ m