

日本道路公団 正会員○藪谷忠大 京都大学大学院 フェロー 松本 勝
 京都大学大学院 学生員 阿部和浩 京都大学大学院 学生員 中島亘章
 京都大学大学院 学生員 後藤和夫

1. はじめに

明石海峡大橋に代表されるような長大吊橋の建設ではしばしば発散振動であるフラッター現象が問題となる。一般に、吊橋の中央支間長が長くなるとねじれ固有振動数が低下し、より低風速でのフラッターの発現が危惧される。今後、さらに長い支間長を有する超長大橋の建設には、新たな桁断面開発が必要である。その一環として、本研究では、より優れたフラッター安定性を有する桁断面の開発を目指した。矩形断面などの一般的な桁断面形状では、前縁部での流れの剥離がフラッター制御に及ぼす影響が大きいことをふまえ[1]、矩形断面前縁部の流れ制御により、非定常空気力を考慮した空力特性について考察を加える。

2. 研究の背景

過去の本研究において、フラッターのアクティブ制御を目指し、矩形断面の前縁部に設けた鉛直可動プレートを断面振動に同調させて稼働させることによりフラッター安定性を試みた[1]。その結果として、前縁部の可動プレートを断面振動に対して適切な位相差と振幅で稼働することによりフラッターが安定化することがわかった。しかし、このようなアクティブ制御を実橋に適用する場合、フラッターの発現するような強風化で断面振動をフィードバックさせながら可動プレートを適切に制御することを意味し、極めて困難となる。このことをふまえ、今回は Fig.1 に示すような断面前縁部上面に風力により回転する

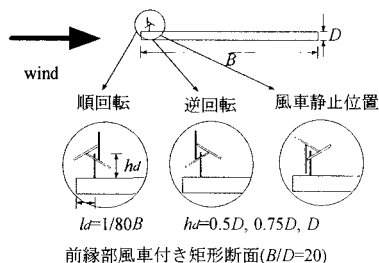


Fig.1 模型断面図

風車を設けた前縁部風車付き矩形断面を提案した。この断面では、風車の回転方向（順方向、逆方向）、及び、風車の中心高さ（ $h_d=0.5D, 0.75D, D$ ）を変えることにより、前縁部の流れの剥離によって生じる内部循環流を制御することをねらった。これらの断面を用い、たわみ・ねじれ一自由度強制加振のもとで風洞試験を行い、断面に作用する非定常空気力を測定した。なお、断面に作用する非定常揚力 L 、非定常モーメント M は、8 個の非定常空気力係数（ $H_i^*, A_i^*, i=1\sim 4$ ）を用いて以下のように表される[2]。

$$L = \frac{1}{2} \rho (2b) U^2 \left\{ k H_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + k H_2^* \frac{b \dot{\phi}}{U} + k^2 H_3^* \phi + k^2 H_4^* \frac{\eta}{b} \right\}, \quad M = \frac{1}{2} \rho (2b^2) U^2 \left\{ k A_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + k A_2^* \frac{b \dot{\phi}}{U} + k^2 A_3^* \phi + k^2 A_4^* \frac{\eta}{b} \right\}$$

ここに、 L ：単位長さあたりの非定常揚力（下向き正）、 ρ ：空気密度、 b ：半弦長（ $=B/2$ ）、 U ：風速、 k ：換算振動数（ $=b\omega/U$ ）、 ω ：円振動数、 $(\dot{\cdot})$ ：時間微分、

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）、

M ：単位長さあたりの非定常モーメント（頭上げ正、弦長中央点まわり）、

過去の研究から連成フラッターの発現にはこれらの非定常空気力係数のうち、ねじれ一自由度振動時にねじれの減衰項となり、ねじれフラッター及び連成フラッターの発現に大きく寄与する A_2^* 、たわみ・ねじれ二自由度連成振動時に発生する空気力に関する連成項、 A_1^* 、 H_3^* が重要であることがわかっている[3]。風車の回転状態による A_1^* 、 H_3^* の特性に違いがみられなかったことから、以下では A_2^* の結果をもとに考察する。

3. 非定常空気力特性

順転及び逆回転、また比較のために、風車を静止させた状態についても計測した。風車の静止状態は、風

Tadahiro YABUTANI, Masaru MATSUMOTO, Kazuhiro ABE, Nobuaki NAKAJIMA, Kazuo GOTOH

車が順回転するように設置し、羽根の一枚が真下に来るように設置した(Fig.1)。風車の回転状態をこれらの3ケースに変化させ、風車中心高さを変えた場合のねじれ減衰項 A_2^* を Fig.2 に示す。これらを見ると、 $h_f=0.5D, 0.75D$ の場合、順回転のとき、二次元平板の非定常空気力係数より小さな

値を示し安定化の方向に働いているが、逆回転のときには、負の値を示しているものの平板の空気力係数より大きな値を示しており、安定化の傾向を示している。このことから、風車によって内部循環流に逆らわず、促進する流れを再現するとき、フラッター安定化の方向へ向かうと考えられる。一方で、 $h_f=D$ の場合、風車の回転状態に関わらず A_2^* は負の値を示しているものの、平板の係数より大きな値を示しており、風車がこの高さになると前縁部の剥離流れによる負圧領域を抜けたため、風車の回転状態の影響が小さくなったと考えられる。また、 $h_f=0.75D$ の場合には、風車を静止させた状態でも、平板の非定常空気係数を下回っている。このことから風車状の棒材をある高さに設置し、うまく内部循環流を促進できれば、フラッター特性の改善が期待される。

4. フラッター特性

たわみ・ねじれ二自由度連成フラッターの解析を行う際、たわみ・ねじれ各一自由度強制加振野本で測定した非定常空気力を足し合わせることで、二自由度連成フラッター解析を行う。ある風速に対して二自由度振動時に唯一の回転数が存在する。

ところが、各一自由度強制加振時には風速に対して、それぞれの風速が存在するため、厳密な意味での足し合わせが不可能となる。ある風速に対してたわみ・ねじれ各一自由度振動時に風車の回転数がほぼ一定であったことをふまえて足し合わせが可能であるとし、たわみ・ねじれ二自由度解析を行った。その結果を Fig.3 に示す。これより、 $h_f=0.5D$ の時の順回転、 $h_f=0.75D$ の時の順回転及び風車静止状態で、二次元平板のフラッター特性を上回っている。このことから、風車の回転により前縁部の剥離によって生じる内部循環流をうまく促進できれば、また、風車を静止させた状態でもその設置により、内部循環流を制御できればフラッター特性の改善が期待される。

5. 結論

前縁部に風車を設置することにより、フラッター制御をする場合、風車により内部循環流に準ずる回転を再現することによりフラッター特性の改善が期待される。また、風車状の部材をある程度の高さに設置することで、内部循環流をうまく制御できればフラッター特性の改善が期待される。

【参考文献】 [1]松本勝ら：前縁部に設けた鉛直可動プレートを用いた流れ制御によるフラッターのアクティブコントロール、第14回風工学シンポジウム論文集、pp425-430、1997年 [2]Scanlan R. H. etc. : Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of ASCE., Vol100, EM4, Augst, 1974 [3]松本勝ら：非定常空気力に着目したフラッター安定化策についての考察、第13回風工学シンポジウム論文集、pp.377-382、1994年

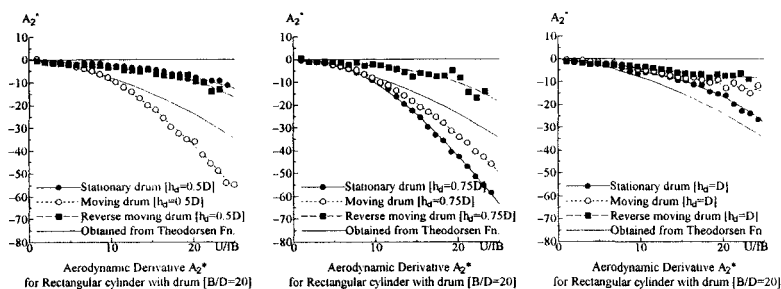


Fig.2 非定常空気力係数 A_2^*

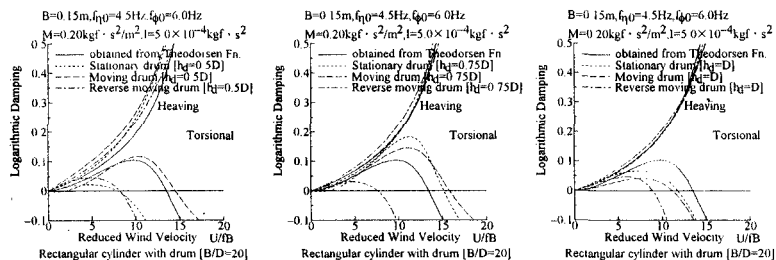


Fig.3 フラッター解析結果