

I - B34

矩形断面桁端部の流れ制御によるフラッター安定化

京都大学大学院 学生員 阿部和浩 京都大学大学院 フェロー 松本 勝
 日本道路公団 正会員 藪谷忠大 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

今春開通した明石海峡大橋をはじめとする長大吊橋の建設においては、空力振動現象に対する安全性照査が必須となる。とりわけ、フラッターは自励的発散振動であり、直ちに破壊を意味する。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、より低風速でフラッターを発現しやす。今後更に大きいスパンをとばすためには、より優れた空力特性を持つ桁断面の開発が必要とされている。矩形断面などの基本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るフラッター安定性について考察を加える。

2. 研究の背景

過去、フラッター安定化を目的とし、矩形断面前縁部に断面振動に同調する鉛直可動プレートを設けることによるアクティブ制御を試みた[1]。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動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、実橋に適用する場合、フラッターの発現するような強風下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

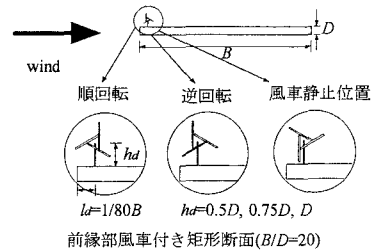


Fig.1 模型断面図

ことは極めて困難となる。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（ $H_i^*, A_i^*, i=1\sim4$ ）を用いて以下のように表される[2]。

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

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、 $(\cdot)$ ：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）、

連成フラッターの発現には、これら非定常空気力係数のうち、ねじれ一自由度振動の減衰項となる 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

KEYWORD: 前縁部風車付き矩形断面, フラッター制御, 非定常空気力係数

〒606-8109 京都市左京区吉田本町 環境地球工学教室気圏工学研究室 TEL:075-753-5093

風車を順回転・逆回転・静止させた状態について実験を行った。風車の静止状態は、風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)。それぞれのケースについて、風車

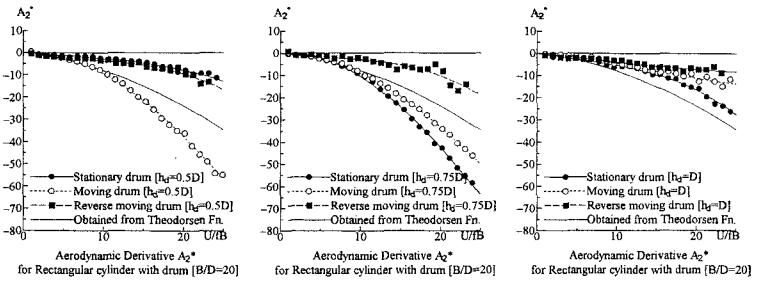


Fig.2 非定常空気力係数 A_2^*

中心高さ h_d を変えた場合のねじれ減衰項 A_2^* を Fig.2 に

示す。 A_2^* が負の値のとき、ねじれ振動は正減衰で安定であり、正なら不安定である。 $h_d=0.5D, 0.75D$ の場合、順回転のとき、二次元平板より安定化の方向に働いているが、逆回転のときには、平板より不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、 $h_d=D$ 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、 $h_d=0.75D$ 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実験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。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

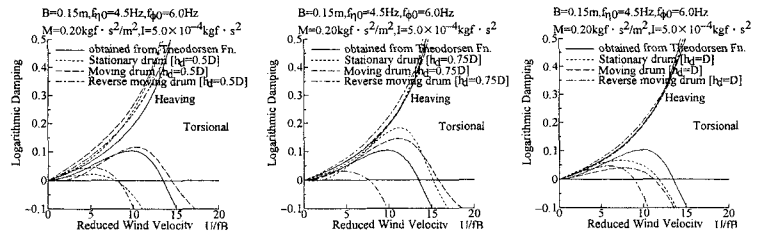


Fig.3 フラッター解析結果

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、 $h_d=0.5D$ の時の順回転、 $h_d=0.75D$ 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内部循環流をうまく制御する位置に設置すれば、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ってフラッター制御する場合、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、風車状の部材を最適な高さに設置することで、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、pp.425-430、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