

フラッター発電の効率化に関する研究

京都大学大学院	学生会員	○金 起男	京都大学大学院	フェロー	松本 勝
西日本旅客鉄道(株)	正会員	¹⁾ 水野 恵介	京都大学大学院	学生会員	大窪 一正
京都大学大学院	学生会員	伊藤 靖晃			1)研究当時京都大学大学院

1. 序論

長大橋梁桁断面に生じるフラッターは、構造物を直接破壊に至らしめる危険な現象であり、橋梁の耐風設計における最重要課題となる。そのため、フラッターを制御することを目的とした数多くの研究がなされてきた。その一方で、近年、連成フラッターを利用して風力エネルギーを抽出するフラッター発電に関する研究も進められており、風車と比較しても優れた効率性を示すことが報告されている[1]。本研究では、フラッター発電の実用化に向けて、その効率化について検討を行う。

2. フラッター発電システムの概要

本研究では、磯貝らの提案するフラッター発電システム[1]を想定し、その効率に関して検討を行った。そのシステムとは、たわみ 1DOF バネ支持系にねじれ強制振動を与え、生じるたわみ応答振動からエネルギーを抽出するものである。Scanlan により提案された非定常空気力係数を用いると、たわみ 1DOF の運動方程式は Eq.(1) のようになる[2]。

$$m\ddot{\eta} + c_{\eta}\dot{\eta} + k_{\eta}\eta = \rho b^2 \omega_{\phi}^2 H_1^* \dot{\eta} + \rho b^2 \omega_{\phi}^2 H_4^* \eta + \rho b^3 \omega_{\phi}^2 H_2^* \dot{\phi} + \rho b^3 \omega_{\phi}^2 H_3^* \phi \quad (1)$$

ただし、 m ：単位長さあたりの質量、 k_{η} ：たわみばね定数、 c_{η} ：たわみ粘性係数、 η ：たわみ変位（下向き正）、 ϕ ：ねじれ変位（頭上げ正）、 $(\cdot)$ ：時間微分、 ρ ：空気密度、 b ：半弦長、 H_i^* ($i=1\sim 4$)：非定常空気力係数、 ω_{ϕ} ：ねじれ加振振動数、とする。このシステムの応答は Eq.(1) に示されるたわみの自由振動系に支配されるものであり、連成フラッターのたわみ分枝に分類される振動現象を巧妙に利用した発電システムであると言える。

3. 非定常空気力係数に着目した効率化の検討

ねじれ変位を以下のようにおき、Eq.(1)を解くと、与えるねじれ振幅に対するたわみ応答振幅の比は

$$\phi = \phi_0 \sin \omega_{\phi} t \quad (2) \quad \frac{\eta_0}{\phi_0} = \frac{\rho b^3 \omega_{\phi}^2 \sqrt{H_2^{*2} + H_3^{*2}}}{m \omega_{\eta}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{[1 - (\omega_{\phi}/\omega_{\eta}^*)^2]^2 + [2\zeta_{\eta}^* (\omega_{\phi}/\omega_{\eta}^*)]^2}} = \frac{L_{amp}}{k_{\eta}} \cdot M_d \quad (3)$$

となる。ただし、 η_0 ：たわみ振幅、 ϕ_0 ：ねじれ振幅、 ω_{η} ：たわみ固有振動数、 ζ_{η} ：たわみ減衰係数、 L_{amp} ：揚力振幅、 M_d ：周波数応答関数、とする。実際の発電システムの効率を議論するには、ねじれ加振に必要なエネルギー、カットイン風速、カットアウト風速等、いくつかの検討すべき項目があるが、本研究では、基礎的な検討として、Eq.(3)のように求められる、ねじれ振幅に対するたわみ応答振幅の比のみを対象に、効率化の検討を行うこととする。

非定常空気力係数が発電効率に与える影響を評価することを目的として、 $B/D=5, 8, 10, 12.5, 15, 20$ 各矩形断面を対象に解析を行った。Fig.1 に、解析により求めたねじれ・たわみ振幅比(η_0/ϕ_0)を示す。

また、Fig.2 には、解析に用いた各矩形断

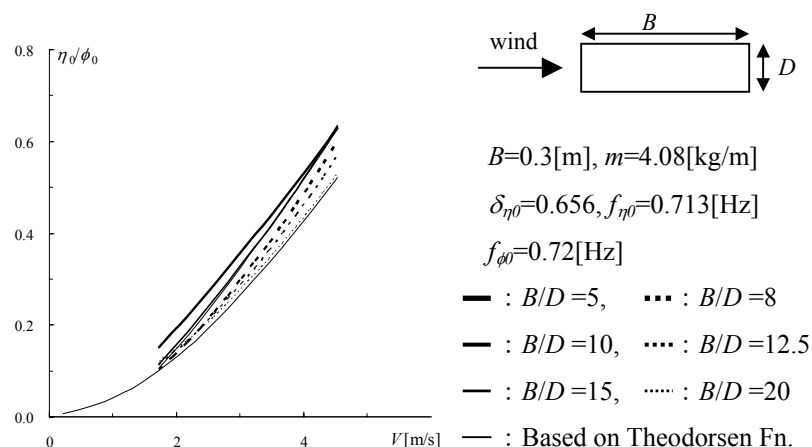


Fig.1 フラッター発電システム解析結果 ($B/D=5\sim 20$ 各矩形断面)

キーワード 連成フラッター, フラッター発電, 非定常空気力係数,

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-753-5093

面の非定常空気力係数のうち、 H_2^* 、 H_3^* を示した。Fig.1に示されるように、 $B/D=5$ 、8、10矩形断面において振幅比が大きくなり、効率化が図られることが解析的に示された。これは、Eq.(3)における揚力振幅(L_{amp})が、 H_2^* 、 H_3^* の絶対値に対応して大きな値をとることによるものである。

4. ねじれ加振振動数に着目した効率化の検討

ねじれ加振振動数を変化させた際の発電効率への影響の評価を行うために、比較的平板の空気力に近い特性を示す $B/D=20$ 矩形断面を対象に、ねじれ強制加振・たわみ 1DOF バネ支持実験を行い、同時に実験と同等の諸元を用いて解析を行った。

実験により得られたねじれ・たわみ振幅比(η_0/ϕ_0)を、解析結果とともに Fig.3 に示す。これにより、実験結果と解析結果は定性的に一致しているといえる。低風速域においては実験値と解析値に差異が認められるが、これは、構造減衰 δ_{η_0} が振幅に依存し、小振幅の振動時には 0.656 より大きくなっていったためと考えられる。

ねじれ加振振動数がたわみ系の固有振動数に近い $f_\phi=0.72$ [Hz]で最大効率を得ることが確認され、また、それに近い加振振動数では、加振振動数が小さいケースのほうがより効率であることも確認された。これらの結果は、Eq.(3)における周波数応答関数(M_d)が大きくなること、また、外力の振幅(L_{amp})において、ねじれ振動数の増加による効果より、振動数が低くなり対応する無次元風速が増加することによる、 $|H_2^*|$ 、 $|H_3^*|$ 増加効果の方が大きいことを示しているといえる。

5. 結論及び今後の課題

本研究により得られた結論を以下にまとめる。

- 1) フラッター発電のシステムは、連成フラッターのHeaving Branchの特性を巧妙に利用したシステムであるといえる。
- 2) 解析結果より、 $|H_2^*|$ 、 $|H_3^*|$ が大きな断面で本システムの効率化が図られることが示唆された。
- 3) たわみ固有振動数に対して、外力のねじれ振動数を同程度にするかわずかに低振動数にすることによって、効率化が図られた。これは、共振振動数付近で周波数応答関数がピークを迎えることと、少し低周波数では周波数応答関数の値をある程度保持したまま、同風速に対して高無次元風速を対象としていることになり、 $|H_2^*|$ 、 $|H_3^*|$ が増加することによって外力としての揚力の振幅が増大することによるものと考えられる。

また、今後の課題として、ねじれ加振に必要なエネルギーの計測・検討、矩形断面に限らずより効率の高い断面の検討、などが挙げられる。

参考文献

- [1] 磯貝紘二 他 (2003):フラッタ発電の概念検討, International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics 2003, Amsterdam
- [2] R.H.Scanlan et.al. (1974): Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, J. Eng. Mech. Proc. ASCE Vol. 100, EM4.

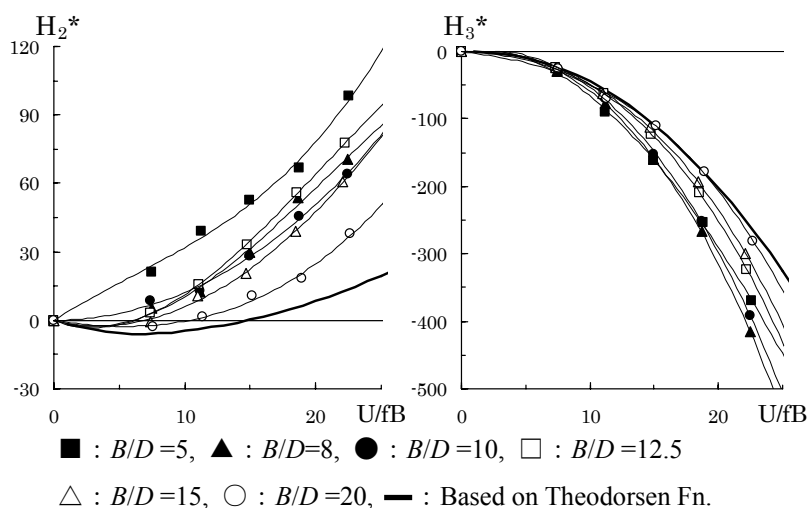


Fig.2 各矩形断面の非定常空気力係数 (H_2^* , H_3^*)

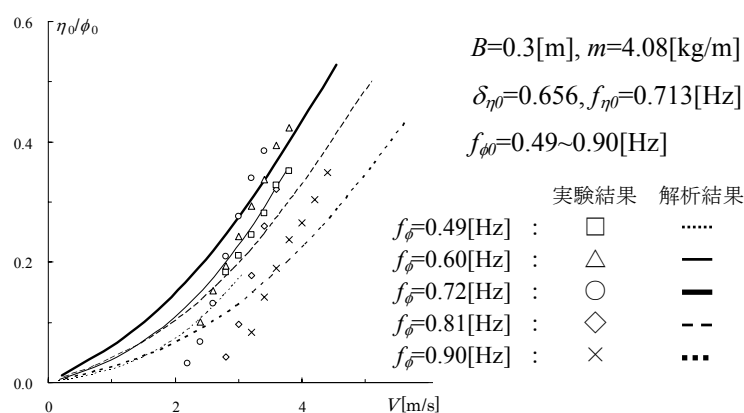


Fig.3 フラッター発電システム実験・解析結果 ($B/D=20$ 矩形断面)