

第 I 部門

各種迎角をもつ断面辺長比 2 の矩形断面における大振幅空力自励振動特性

京都大学工学部 学生員 ○佐々木 雄多 京都大学工学研究科 正会員 八木 知己
 京都大学工学研究科 学生員 濱野 真彰 (一財) 電力中央研究所 正会員 松宮 央登
 (一財) 電力中央研究所 非会員 西原 崇

1. 背景

構造物に風が作用すると、ギャロッピング、ねじれフラッターといった空力自励振動が発現する。耐風設計上は各自励振動発現付近の風速域において、微小振幅応答を対象とした構造物の安定性が議論されるにすぎない。そこで本研究では、自励振動発現後の高無次元風速時における構造物の 3 自由度大振幅応答特性を把握した。3 自由度系においては、空力的な連成振動も把握することができる。また、準定常空気を想定した時刻歴応答解析により、自励振動の分類および発生機構の解明を試みた。

2. 3 自由度弾性支持自由振動実験

本研究では、図1に示すような電力中央研究所の送電線用風洞設備¹⁾を用いて断面辺長比 $B/D=2$ (B : 幅, D : 高さ) 矩形断面の大振幅応答特性を把握した。模型の仕様は幅 $B=100\text{mm}$, 高さ $D=50\text{mm}$, 長さ $l=1000\text{mm}$ である。 $B/D=2$ 矩形断面は、自励振動としてギャロッピングおよびねじれフラッターが発現することが知られている。また、本機構では、固有振動数の調節が可能であり、水平・鉛直の固有振動数 f_x, f_y を $f_x=f_y=0.5\text{Hz}$ に、ねじれの固有振動数 f_θ を 0.9Hz または 0.5Hz に設定した。 $f_\theta=0.9\text{Hz}$ では、鉛直・ねじれの各1自由度卓越振動が、 $f_\theta=0.5\text{Hz}$ では、3自由度間の連成振動が発現することを意図している。風速 $U=10\text{m/s}$ で設定ねじれ角 θ_0 を $0\sim 90$ 度まで2度または5度ずつ変化させ、有風時静的つりあい位置からの静止後または加振後の応答を把握した。

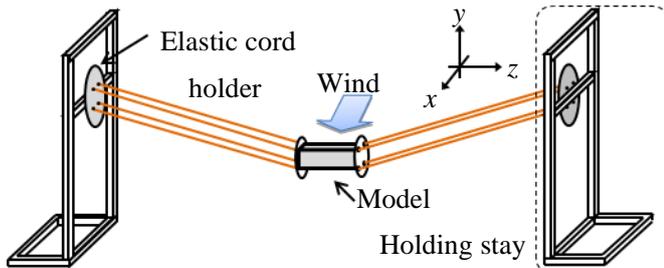


図1 弾性支持方法

3. 準定常空気をを用いた時刻歴応答解析

(1) 準定常空気の定式化

本研究では、模型に作用する空気力に、高無次元風速域において適用性の高い準定常空気をを用いた。準定常理論では、振動中の物体に作用する空気力が、その瞬間の相対風速 U_r ・相対迎角 α_r を用いて静止物体に作用する定常空気力に等しいと仮定する。図2に示すように、水平、鉛直、ねじれ変位を $x[\text{m}]$, $y[\text{m}]$, $\theta[\text{rad.}]$ とした風軸上で矩形柱が振動すると U_r , α_r は式(1)で、矩形柱に作用する準定常空気力 F_x , F_y , F_θ は式(2)~(4)で表される。ただし、 C_D , C_L , C_M は抗力、揚力、空力モーメント係数である。一般に、ギャロッピングの発現は準定常的に説明できる。一方、ねじれフラッターの発現はねじれ速度同相項が空気力に含まれないため準定常的に説明できない。

$$U_r = \sqrt{(U - \dot{x})^2 + (-\dot{y})^2}, \phi = \tan^{-1}\left(\frac{-\dot{y}}{U - \dot{x}}\right), \alpha_r = \theta + \phi \quad (1)$$

$$F_x = \frac{1}{2} \rho U_r^2 l \{DC_D(\alpha_r) \cos \phi - BC_L(\alpha_r) \sin \phi\} \quad (2)$$

$$F_y = \frac{1}{2} \rho U_r^2 l \{DC_D(\alpha_r) \sin \phi + BC_L(\alpha_r) \cos \phi\} \quad (3)$$

$$F_\theta = \frac{1}{2} \rho U_r^2 l \{B^2 C_M(\alpha_r)\} \quad (4)$$

(2) 解析手法

時刻歴応答解析では式(5)に示されるような、準定常空気を外力とした 3 自由度の運動方程式を解く。

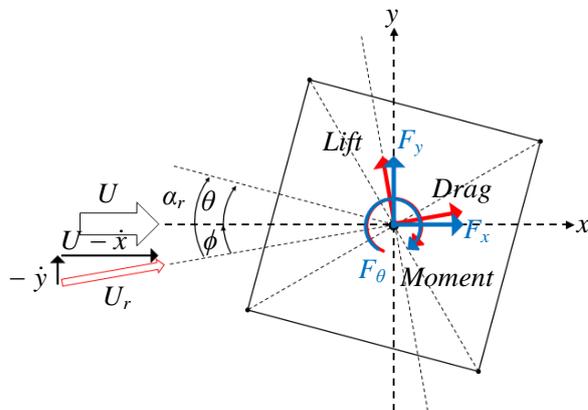


図2 準定常空気力の定義

Yuta Sasaki, Tomomi Yagi, Hisato Matsumiya, Masaaki Hamano, Takashi Nishihara
sasaki.yuta.45u@st.kyoto-u.ac.jp

$$m_q \ddot{q} + 2m_q C_q \dot{q} + K_q(x, y, \theta) = F_q \quad (5)$$

q は x, y, θ のいずれかを表し, m_q は質量 m [kg] ($q=x, y$) または慣性モーメント I [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$] ($q=\theta$), C_q は構造減衰を表す係数, K_q は弾性ひもによる復元力である. 式(2)~(4)で示される準定常空気力を外力 F_q として4次のルンゲクッタ法により時刻歴応答解析を行った.

(3) 実験結果と解析結果の比較および考察

現象は振幅応答図により評価する. 横軸をねじれ角の時間平均値である平均ねじれ角 θ_m , 縦軸を振幅とし, 定常状態の時刻歴応答波形における最大振幅と最小振幅を示した. 青色が実験結果, 赤色が解析結果である. 初期加振の違いで異なる応答がみられた場合は mode1, mode2 と表記することにより区別した. また, 実験機構では構造連成による影響が考えられるが, その寄与が小さいことは時刻歴応答解析により確認した. 以下に応答図および考察を示す.

$f_\theta=0.9\text{Hz}$ とした場合は図3より, ①の範囲において鉛直1自由度卓越振動およびねじれ1自由度卓越振動が初期加振の違いによりみられたことから, 各自励振動間で空力干渉が発生したと考えられる. また, 時刻歴応答解析によりどちらの現象もある程度再現できたことから, 高無次元風速域においては, ギャロッピングの大振幅応答が準定常的に再現できることが明らかとなっただけでなく, 準定常理論では説明できないと予想されたねじれ方向の自励振動が, 準定常的にある程度再現できることが示された.

$f_\theta=0.5\text{Hz}$ とした場合は, 図4より各平均ねじれ角

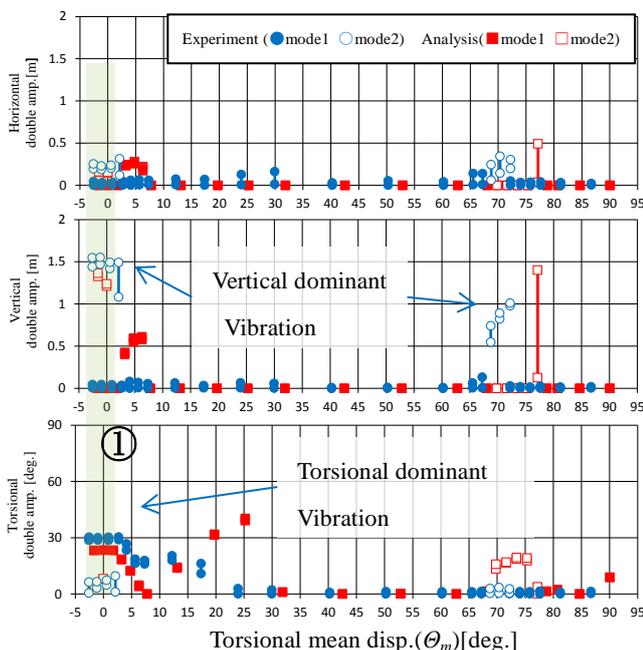


図3 振幅応答図(f_x, f_y, f_θ)=(0.5Hz, 0.5Hz, 0.9Hz)

θ_m において3自由度連成振動が確認された. 以下 $\theta_m=45$ 度で2つの範囲に分けて考察する. 範囲③では実験結果が時刻歴応答解析によりある程度再現されたため, 準定常的な応答であると考えられる. 範囲②では解析により応答が再現できず, θ_m が設定ねじれ角と大きく異なる現象も見られた. 要因として, 準定常空気力にねじれ速度同相項が含まれないことが考えられるため, 空気力にねじれ速度同相項を加味することにより, 現象が議論できると考えられる.

5. 結論

以下に, 本研究で得られた結論を述べる.

- 1) $B/D=2$ 矩形断面において, ギャロッピング発現後, 全振幅が $1.5D$ ほどの大振幅応答が準定常的に説明できることが明らかとなった.
- 2) 準定常理論では説明できないとされたねじれ方向の自励振動は, 高無次元風速域における大振幅応答では準定常的にある程度再現された.
- 3) 準定常空気力を用いて再現できなかった現象については, ねじれ速度同相項を空気力に加味する必要があると思われる.

謝辞 本研究の一部は, 一般社団法人日本鉄鋼連盟の助成を受けたものである. ここに記し, 謝意を表す.

参考文献

- 1) 松宮央登, 西原崇: 4 導体送電線の大振幅ギャロッピング振動時における空気力モデルの検討, 日本風工学会論文集, Vol.38, No.4, pp.87-100, 2013

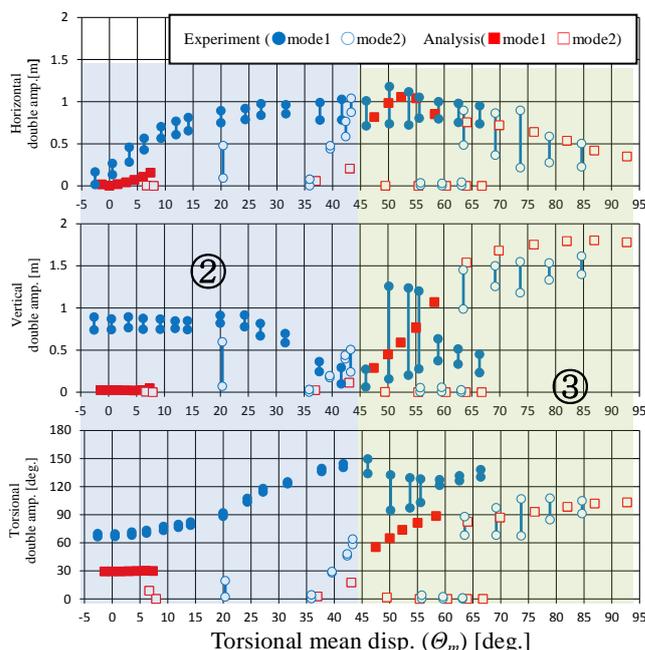


図4 振幅応答図(f_x, f_y, f_θ)=(0.5Hz, 0.5Hz, 0.5Hz)