

各種迎角における断面辺長比 2 矩形断面の大振幅空力自励振動

京都大学

学生員 ○佐々木 雄多

京都大学

正会員

八木 知己

京都大学

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

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。本研究では、断面辺長比 2 矩形断面を対象に、高無次元風速における構造物の 3 自由度大振幅応答特性を自由振動実験によって確認した。また、準定常空気力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に示す電力中央研究所の送電線用風洞設備¹⁾を用いて幅 $B=100\text{mm}$ 、高さ $D=50\text{mm}$ 、長さ $l=1000\text{mm}$ とした断面辺長比 $B/D=2$ 矩形断面の大振幅応答特性を把握した。この矩形断面では、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 $U=10\text{m/s}$ ($U/f_\theta B=115, 204$)において設定ねじれ角 θ_0 を $0\sim 90$ 度まで5度ずつ変化させ、有風時静的つりあい位置 θ_m からの応答振幅を把握した。

3. 準定常空気力を用いた時刻歴応答解析

(1)時刻歴応答解析

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力を用いた。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。一般に、ギャロッピングの発現は準定常的に説明できるが、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。

時刻歴応答解析では式(1)に示すような、準定常空気力を外力とした 3 自由度の運動方程式を解く。

$$m_q \ddot{q} + 2m_q C_q \dot{q} + K_q(x, y, \theta) = F_q \quad (1)$$

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。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。

(2) 実験結果と解析結果の比較および考察

$f_\theta=0.5\text{Hz}, 0.9\text{Hz}$ とした場合の振幅応答図を図 2,3 に示す。横軸をねじれ角の時間平均値である平均ねじれ角 θ_m 、縦軸を倍振幅とした。青色のプロットは実験結果、赤色のプロットは解析結果を示す。初期条件の違いで異なる応答がみられた場合は、mode1, mode2 と表記し区別した。また、本実験でみられた連成振動は構造連成による影響が比較的小さいことを別途確認している。

$f_\theta=0.9\text{Hz}$ とした場合は、図 2 より、範囲 1 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条件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ていると考えられる。また、時刻歴応答解析によりどちらの現象も準定常的にある程度再現できたことから、高無次元風速域において、ギャロッピングの大振幅応答だけでなく、ねじれ方向の自励振動が準定常的にある程度説明できることが明らかとなった。

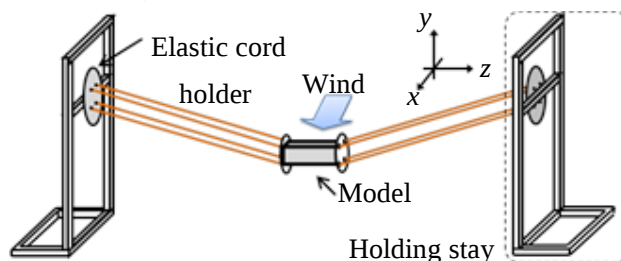


図1 弾性支持方法

キーワード: ギャロッピング, ねじれフラッター, 準定常空気力

連絡先: 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻 Tel 075-383-3244

$f_\theta=0.5\text{Hz}$ とした場合は、図3より、各平均ねじれ角 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、準定常的に説明できる自励振動であると考えられる。範囲2では、解析結果と実験値とは、応答が異なっているだけでなく、静的変形の影響で θ_m が0~5度付近に集中している。ここで、ねじれの応答振幅が実験値を再現できるように、仮想的にねじれ速度同相項を空気力に導入した場合の解析結果を図4に赤色のプロットで示す。この図より、解析結果は鉛直応答、水平応答において

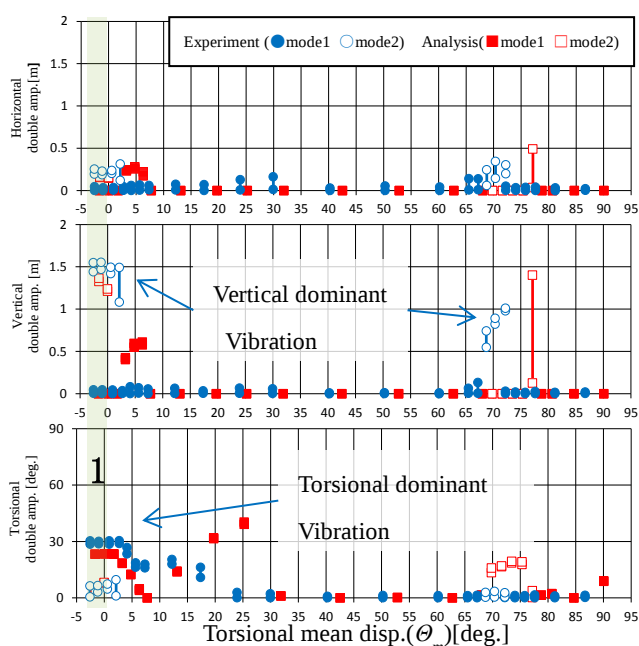


図2 振幅応答図(f_x, f_y, f_θ)=(0.5Hz, 0.5Hz, 0.9Hz)

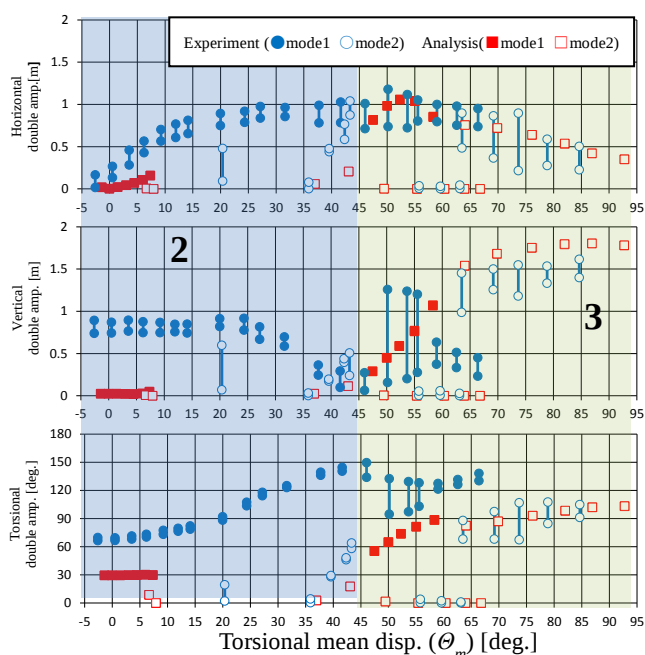


図3 振幅応答図 $\dot{\theta}$ 項なし(f_x, f_y, f_θ)=(0.5Hz, 0.5Hz, 0.5Hz)

も実験値とよい一致を示し、かつ広範囲の θ_m を実現できている。さらに、空気力にねじれ速度同相項を加味した場合の方が、鉛直方向とねじれ方向の位相差も実験結果とよい一致を示すことが確認された。以上より、範囲2における応答は、ねじれ速度同相項を加味することにより、説明が可能な自励振動であることが明らかとなった。

4. 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、高無次元風速域では、鉛直1自由度卓越振動およびねじれ1自由度卓越振動の大振幅応答が(範囲1)、準定常的にある程度再現できることが明らかとなった。
- 2) 3自由度連成振動において、平均ねじれ角45~90度の範囲における応答は(範囲3)、準定常的に説明できる自励振動であることが明らかとなった。
- 3) 3自由度連成振動において、平均ねじれ角5~45度の範囲における応答は(範囲2)、空気力に適当なねじれ速度同相項を加味することにより、鉛直応答、水平応答、およびその位相差を含めて説明できる自励振動であることが明らかとなった。

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、謝意を表する。

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

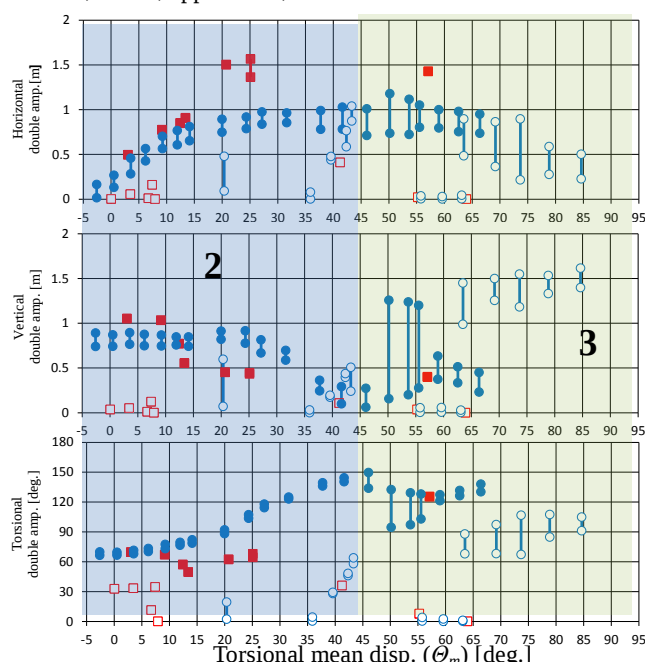


図4 振幅応答図 $\dot{\theta}$ 項あり(f_x, f_y, f_θ)=(0.5Hz, 0.5Hz, 0.5Hz)