

相対迎角速度を考慮した空気力を用いた断面辺長比 2 矩形断面の振幅評価

京都大学 学生会員 ○片山 理貴
京都大学 正会員 野口 恭平

京都大学 正会員 松宮 央登
京都大学 フェロー会員 八木 知己

1. 背景・目的 橋梁構造物を破壊に至らしめる空力自励振動は、その発現の有無が重要であるため発現風速付近での検討が多く行われている。一方で、発現後の大振幅領域における空力現象に関する検討は少ない。そこで本研究では、ギャロッピングやねじれフラッターといった空力自励振動が発生するとされている断面辺長比 $B/D=2$ 矩形断面を対象に時刻歴応答解析を行うことで、大振幅領域における振動応答特性、すなわち、応答振幅特性を解明することを試みた。本解析では、既往研究において Matsumiya et al.¹⁾によって定式化された「相対迎角速度を考慮した空気力」を外力として用いた。これは準定常空気力に倣って定式化されており、新しい変数として相対迎角速度を導入することで、ねじれ速度項も含む空気力である。振動応答特性解明に関しては、この相対迎角速度を考慮した空気力による振動応答と準定常空気力による振動応答との比較を行うことで、準定常空気力の適用可能範囲についての検討も試みた。

2. 解析手法および空気力のモデル化 本研究における座標軸の定義を Fig.1 に示す。解析における諸元は、空気密度 $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$ 、風速 $U=10\text{m/s}$ 、質量 $m=3.0\text{kg}$ 、矩形断面幅 $B=0.1\text{m}$ 、矩形断面高さ $D=0.05\text{m}$ 、矩形スパン長 $l=1.0\text{m}$ 、質量慣性モーメント $I=0.03\text{kg}\cdot\text{m}^2$ 、鉛直固有振動数 $f_y=0.5\text{Hz}$ 、水平固有振動数 $f_x=0.5\text{Hz}$ であり、振動を促すために鉛直初期変位を 1.0m で与えた。さらに、ねじれ固有振動数 f_θ を変化させて、ねじれ・鉛直固有振動数比 f_θ/f_y が $0.1\sim 5.0$ の範囲における振動応答特性の遷移を確認した。

本研究では、準定常理論（振動中の物体に作用する空気力はその刹那における相対風速および相対迎角で作用する力に等しいとするもの）に基づいた準定常空気力（モデル 1）と、準定常空気力モデルと近い定式化で相対迎角速度 $\dot{\alpha}$ を考慮した空気力（モデル 2、式(1)~(3)）の 2 種類のモデルの空気力を外力として用いることで、時刻歴応答解析を行った。Fig.2 に、相対迎角 α と無次元相対迎角速度 $b\dot{\alpha}/U_r$ ($b=B/2$) の 2 変数関数である空気力係数 C_L^* 、 C_D^* 、 C_M^* を示す。ここで、無次元相対迎角速度 $b\dot{\alpha}/U_r$ を 0 とし、相対迎角 α のみの関数とした空気力係数から得られる空気力が準定常空気力と一致する。

また、この時刻歴応答解析は、鉛直・水平・ねじれ 3 自由度の運動方程式をそれぞれ時間領域で解くことで振動応答振幅を得るものである。本解析で外力として用いた 2 種類のモデルの空気力は振幅に対する非線形性までも考慮しているため、微小振幅領域に限らず大振幅領域に対しても適用することができる。

$$F_y = \frac{1}{2} \rho U_r^2 l \left\{ BC_L^* \left(\alpha, \frac{b\dot{\alpha}}{U_r} \right) \cos \varphi + DC_D^* \left(\alpha, \frac{b\dot{\alpha}}{U_r} \right) \sin \varphi \right\} \quad (1)$$

$$F_x = \frac{1}{2} \rho U_r^2 l \left\{ -BC_L^* \left(\alpha, \frac{b\dot{\alpha}}{U_r} \right) \sin \varphi + DC_D^* \left(\alpha, \frac{b\dot{\alpha}}{U_r} \right) \cos \varphi \right\} \quad (2)$$

$$F_\theta = \frac{1}{2} \rho U_r^2 l \left\{ B^2 C_M^* \left(\alpha, \frac{b\dot{\alpha}}{U_r} \right) \right\} \quad (3)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{-\ddot{x}\dot{y} + \frac{\dot{y}\dot{y}}{\tan \varphi}}{U_r^2}, \quad \alpha = \theta + \varphi \quad (4)$$

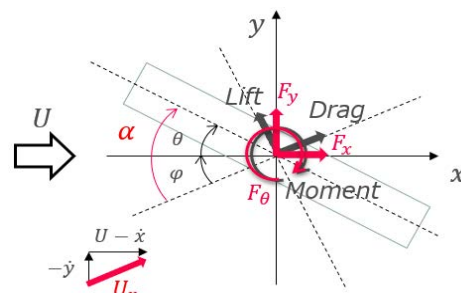


Fig.1 座標軸の定義

キーワード 相対迎角速度を考慮した空気力、非線形空気力、大振幅、振幅評価

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

TEL : 075-383-3170

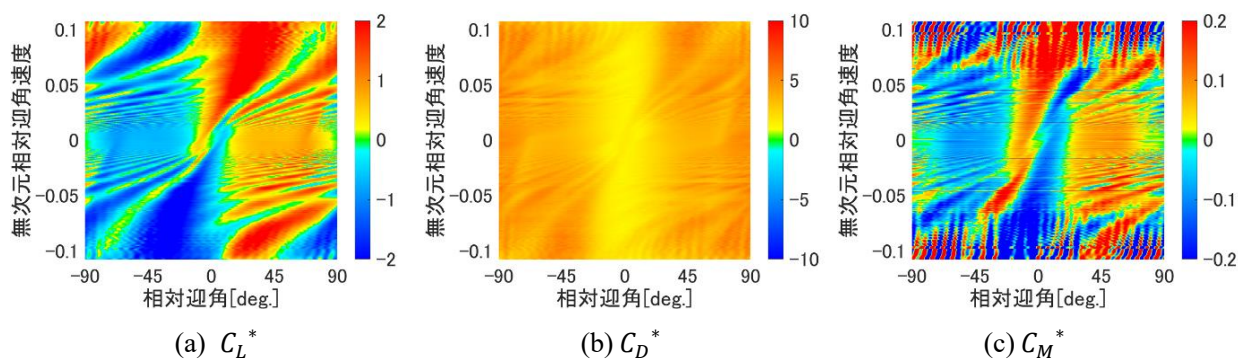


Fig.2 相対迎角と無次元相対迎角速度の2変数で表される空気力係数 ($B/D=2$ 矩形断面) ²⁾

3. 解析結果 Fig.3 にねじれ・鉛直固有振動数比 f_θ/f_y に対する各モデル・各方向の全振幅応答を示す．ここで全振幅とは，解析時間 600s の最後の 1/15(40s)における各周期の peak to peak (1 周期の極大値から極小値を引いたもの) の平均値である．相対迎角速度を考慮した空気力モデルを用いた場合，振動数比が 1 に近く，自由度間で連成しやすいケースでは，3 自由度連成振動が発生した．一方で，振動数比が 1 よりも大きく自由度間で連成しにくいケースでは鉛直卓越振動またはねじれ卓越振動が発生した．さらに，3 自由度連成振動や鉛直卓越振動のケースでは 2 つのモデルによる応答が一致するが，ねじれ卓越振動のケースでは 2 つのモデルによる応答が一致しないことが判明した．

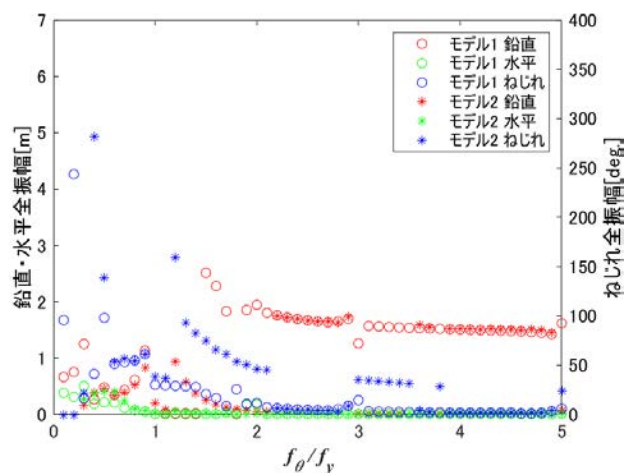


Fig.3 振動数比 f_θ/f_y に対する全振幅応答

自由度間で連成しやすいケースにおけるねじれ振動は，鉛直振動に起因する連成振動であると考えられる．そしてその鉛直振動はねじれ速度項に依らない振動のため，準定常空気力モデルが適用できることが判明した．一方で，自由度間で連成しにくいケースにおけるねじれ振動は連成起因ではない振動であり，ねじれフラッターであると考えられる．よって，このねじれ振動はねじれ速度項に依る振動であるため，ねじれ速度項を含まない準定常空気力モデルは適用できないことが判明した．また，自由度間で連成しにくいケースにおける鉛直振動は連成起因ではない振動であり，ギャロッピングであると考えられる．この鉛直振動はねじれ速度項に依らない振動のため，ねじれ速度項を含まない準定常空気力モデルが適用できることが判明した．

4. 結論 $B/D=2$ 矩形断面において，相対迎角速度を考慮した空気力モデルでは，ねじれ・鉛直固有振動数比の変化に応じて，3 自由度連成振動や鉛直卓越振動（ギャロッピング），ねじれ卓越振動（ねじれフラッター）がそれぞれ発生することが確認された．準定常空気力モデルでは，ねじれフラッターは再現できないが，鉛直振動に起因する連成振動の場合にはねじれ振動が発生してもその応答特性が再現できることが判明した．

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 20H02232 の助成を受けた．

参考文献 1)Matsumiya et al.: Unsteady aerodynamic force modelling for 3-DoF-galloping of four-bundled conductors, Journal of Fluids and Structures, Vol.112, 103581, 2022. 2) 奥西智也：相対迎角速度に着目した矩形断面の大振幅自励振動時の空気力特性に関する研究，京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻修士論文，2021．