

第 I 部門

一定速度回転時の非定常空気力による矩形断面のねじれフラッター不安定性の検討

京都大学工学部 学生員 ○後藤 崇文
 京都大学大学院工学研究科 学生員 小野 拓海
 電力中央研究所 正会員 松宮 央登

京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己
 京都大学大学院工学研究科 学生員 奥西 智也
 京都大学大学院工学研究科 正会員 野口 恭平

1. 背景

橋梁構造物は強風下で空力自励振動を発現することが問題となる。これは発散振動とされており、設計上は振動自体を発現させないことが重要である。そのため、従来の研究は自励振動の発現の有無に焦点を当てたものが多いため、微小振幅域での検討が主であり、振動発現後の大振幅応答特性については未解明な部分が多い。橋梁で発生する空力自励振動のうち、ねじれフラッターについては、ねじれ速度を考慮しない準定常理論では高無次元風速域においても応答を表現できないという問題がある。本研究ではそれを踏まえ、空気力にねじれ速度を考慮することによるねじれフラッターの表現可能性について検討を行った。ねじれフラッターに着目するため、対象はねじれ 1 自由度系に絞った。また、一定速度回転中の模型に作用する非定常空気力を、回転速度を様々に変えて計測することにより、ねじれ速度を持つ模型の空力特性を把握した。

2. 自由振動実験概要

電力中央研究所の風洞設備¹⁾を用い、ねじれ 1 自由度の大振幅自由振動実験を実施した。対象とした模型は $B/D = 5$ 矩形断面($B = 0.125\text{m}$, $D = 0.025\text{m}$, 長さ $l = 1.000\text{m}$, アクリル樹脂製)である。この断面では、微小振幅領域においてはねじれフラッターが発現することが知られている。模型の固有振動数は $f_{\theta 0} = 0.58\text{ Hz}$ とした。つり合い時の模型の迎角を 0° に設定し、風速を変化させ、計測を実施した。本実験での無次元風速 $U/f_{\theta 0}B$ (U :風速, f_{θ} :振動数)の範囲は $41 \sim 277$ である。初期条件として、ねじれ変位が迎角 0° の状態とある迎角を有する場合の二つを考え、いずれも手で模型を固定した状態から静かに放し計測を行った。

3. 空気力測定実験

大振幅振動中の物体に作用する空気力について、

松宮ら²⁾は準定常空気力をもとに、ねじれ速度を考慮して空気力を定式化している。本研究ではこれを参考に、模型に作用するねじれ方向の空気力を以下のように定式化した。

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

ρ :空気密度[kg/m^3], b : 半弦長($= B/2$) , C_M^* は新たに定義する空力モーメント係数である。なお、空気力および角度の定義を図-1 に示す。この力は準定常理論におけるねじれ方向の準定常空気力に、ねじれ速度 $\dot{\theta}$ を無次元ねじれ速度 $b\dot{\theta}/U$ の形で変数として考慮したものともみなすことができる。

次に、式(1)に示した C_M^* を算出するために、一定速度で連続回転中の模型に作用する非定常空気力を測定した。モーターによって模型の回転速度を制御し、風速を変化させて計測を実施した (図-2) 。迎角及びねじれ速度ごとにねじれ方向の非定常空気力を求め、 C_M^* を算出した結果を図-3 コンター図として示す。 $b\dot{\theta}/U = 0$ の場合は、静的空気力係数 C_M と一致することを別途確認している。図-3 より、 $b\dot{\theta}/U$ の絶対値が大きくなるにつれて、 C_M^* の C_M からの乖離が大きくなる。

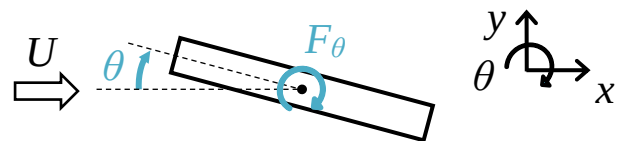


図-1 空気力の正の向き及び角度の定義

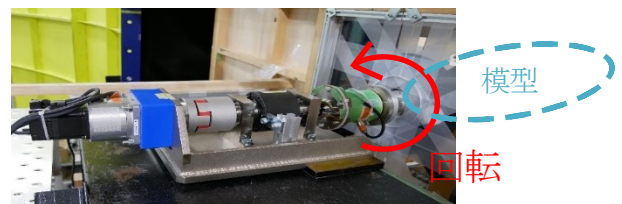


図-2 空気力計測の様子

なることが確認できる. このように, ねじれ方向に運動する物体に作用する非定常空気力に対し, ねじれ速度の影響が大きいことが明らかとなった. なお, ねじれ速度を無次元化した変数として $b\dot{\theta}/U$ を用いることの妥当性を確認しておく必要がある. $b\dot{\theta}/U$ を一定にし, $\dot{\theta}$ および U を変えた場合の C_M^* の変化を図-4 に示す. 参考のため, 静的空気力係数 C_M を黒線で重ねて示している. 図-4 より, $b\dot{\theta}/U$ が一定のもとで C_M^* の値は $\dot{\theta}$ と U の値の組によらずほぼ等しくなった. これより $b\dot{\theta}/U$ を変数とすることの妥当性が示された.

4. 時間領域応答解析及び自由振動実験結果の考察

式(1)に示したねじれ速度を考慮した空気力の適用可能性を把握するため, 時間領域応答解析を実施した. 左辺に構造系, 右辺に式 (1) の空気力を外力として持つ, 以下に示す運動方程式を解く.

$$I\ddot{\theta} + 2IC_\theta\dot{\theta} + K_\theta = F_\theta \quad (2)$$

I は慣性モーメント [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$], C_θ は構造減衰を表す係数 [$1/\text{s}$], K_θ は系の復元モーメント [$\text{N}\cdot\text{m}$] である. 時間積分法には 4 次のルンゲ・クッタ法を用い, 時間刻みは 0.01 秒とした.

無次元風速毎の定常応答振幅の解析結果を, 自由振動実験結果と合わせて図-5 に示す. 図-5 より, 解析によって自由振動実験で確認された定常応答を概ね再現できた. これより, ねじれ速度を考慮した空気力は, ねじれ 1 自由度定常振動現象を表現可能であることが示された.

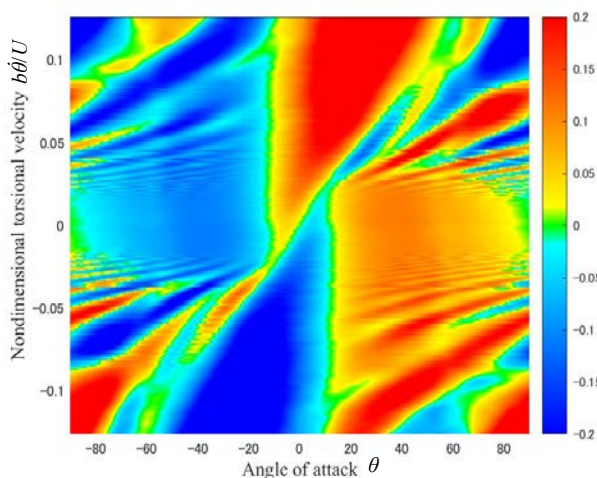


図-3 $B/D=5$ 空気力係数 C_M^*

5. 結論

- (1) C_M^* についてねじれ速度の影響が大きいことが確認された. なお C_M^* は, $b\dot{\theta}/U$ が一定であれば $\dot{\theta}$ と U にかかわらず等しいことが確認されたことから, θ と $b\dot{\theta}/U$ により一意に決まることが示された.
- (2) 一定速度回転中の非定常空気力を計測することにより求めたねじれ速度を考慮した空気力は, ねじれ 1 自由度定常振動現象を表現可能であることが示された.

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, 87-100, 2013.
- 2) H.Matsumiya, T.Nishihara, T.Yagi: Aerodynamic modeling for large-amplitude galloping of four-bundled conductors, Journal of Fluids and Structures, Vol.82, 559-576, 2018.

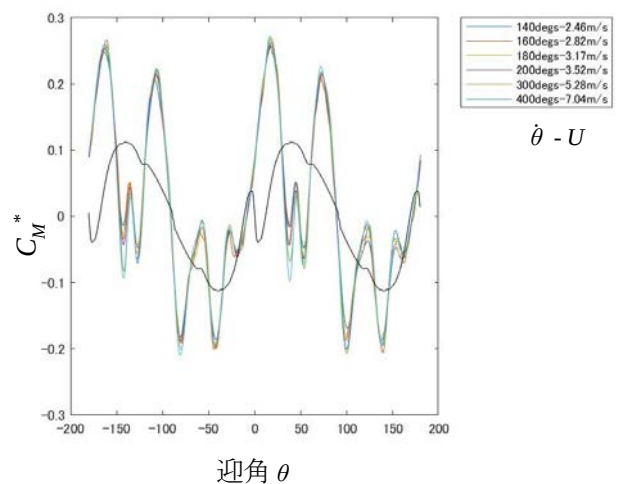


図-4 $b\dot{\theta}/U = 0.0642$ における C_M^* の比較

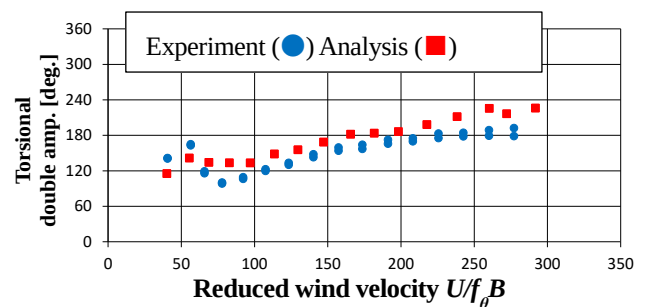


図-5 無次元風速-応答ねじれ倍振幅関係