

I-229 連成振動をする矩形断面に作用する非定常空気力に関する研究

京都大学大学院 学生員 新原雄二 京都大学工学部 正員 松本 勝
 京都大学工学部 正員 白石成人 京都大学工学部 正員 白土博通
 建設省 正員 重高浩一 ㈱前田建設工業 正員 山口滋弘

1. まえがき

本研究では、連成フラッターとねじれフラッターとの関連性について考究するために、断面辺長比 $B/D=20, 10$ の矩形断面に作用する非定常空気力を調べ、システム同定手法を用いて非定常空気力係数の同定を行った。その際、新たに等価Theodorsen関数という物理量をとりあげ、非定常空気力係数 $H_i^*, A_i^*(i=1\sim4)$ を同定した。その結果より振動モードに応じた空気力の重ね合わせについて検討する。

2. 非定常空気力係数の同定方法

たわみ振動とねじれ振動が連成する場合の運動方程式の右辺(非定常空気力、揚力 L とピッチングモーメント M)は、8個の非定常空気力係数 $H_i^*, A_i^*(i=1\sim4)$ を用いて次式で表される。

$$L = \frac{1}{2} \rho U^2 (2b) \left\{ k H_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + k H_2^* \frac{b \dot{\phi}}{U} + k^2 H_3^* \phi + k^2 H_4^* \frac{\eta}{b} \right\} \quad (1)$$

$$M = \frac{1}{2} \rho U^2 (2b^2) \left\{ k A_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + k A_2^* \frac{b \dot{\phi}}{U} + k^2 A_3^* \phi + k^2 A_4^* \frac{\eta}{b} \right\}$$

ただし、 U :風速、 ρ :空気密度、 b :半弦長、 k :換算振動数、 η, ϕ :たわみおよびねじれ変位

近年、連成振動する構造断面の非定常空気力係数を自由振動法や強制振動法を用いて実験的に同定しようとする試みがなされている^{1) 2) 3)}。しかし、例えば連成振動波形から同定する場合には、未知数の数に対して条件式が不足することから不定問題となり、非定常空気力係数を同定することは解析上できないと考えられる。ところで、平板理論によるとこれら8個の係数は相互に独立ではなく、Theodorsen関数 $C(k)=F(k)-iG(k)$ の実部と虚部の2つの関数で表現できる。一般の構造断面では揚力とピッチングモーメントの非定常性を表す関数は必ずしも一致しないことが考えられる。未知数と条件の数を一致させるという観点から、本論文では等価Theodorsen関数を用いて、各断面の非定常空気力係数を求めると共に、振動モードに対する空気力の重ね合わせについて検討を加えた。Theodorsenの翼理論⁴⁾にならい、等価Theodorsen関数 F_L, G_L, F_M, G_M を式(2)で定義し、この4個のパラメータをカルマンフィルターを用いて同定した後、8個の非定常空気力係数を求めた。

$$L = -\pi \rho b^2 U \dot{\phi} - 2\pi \rho b U \left\{ F_L \left(U \phi + \dot{\eta} + \frac{b}{2} \dot{\phi} \right) - G_L \left(\frac{U}{\omega} \dot{\phi} - \omega \eta - \frac{b \omega}{2} \phi \right) \right\} \quad (2)$$

$$M = -\frac{\pi}{2} \rho b^3 U \dot{\phi} + \pi \rho b^2 U \left\{ F_M \left(U \phi + \dot{\eta} + \frac{b}{2} \dot{\phi} \right) - G_M \left(\frac{U}{\omega} \dot{\phi} - \omega \eta - \frac{b \omega}{2} \phi \right) \right\}$$

3. 実験概要

断面辺長比 $B/D=20, 10$ (B :断面幅員、 D :断面高さ)の矩形断面を用いて、1自由度(非連成)および2自由度(連成)の強制振動実験を行い、模型表面の圧力を測定し、その圧力を模型表面にわたって積分することにより、各矩形断面に作用する非定常空気力(揚力 L 、ピッチングモーメント M)を求めた。実験条件は、両断面ともバネ支持実験で連成フラッターが発生した際の値を、全ての風速に対して適用した。これらを表-1に示す。得られた非定常空気力と振動変位、速度から、等価Theodorsen関数を同定し、8個の非定常空気力係数 $H_i^*, A_i^*(i=1\sim4)$ を求めた。

表-1 実験条件

断面比	振幅比	位相差
20	0.0637	24.1°
10	0.1408	23.1°

注) 振幅比は m/rad 。
 位相差はたわみに対する
 ねじれの遅れを正とする

4. 解析結果

同定された8個の非定常空気力係数を図1に示す。なお、図中にTheodorsen関数から求まる平板の理論値も

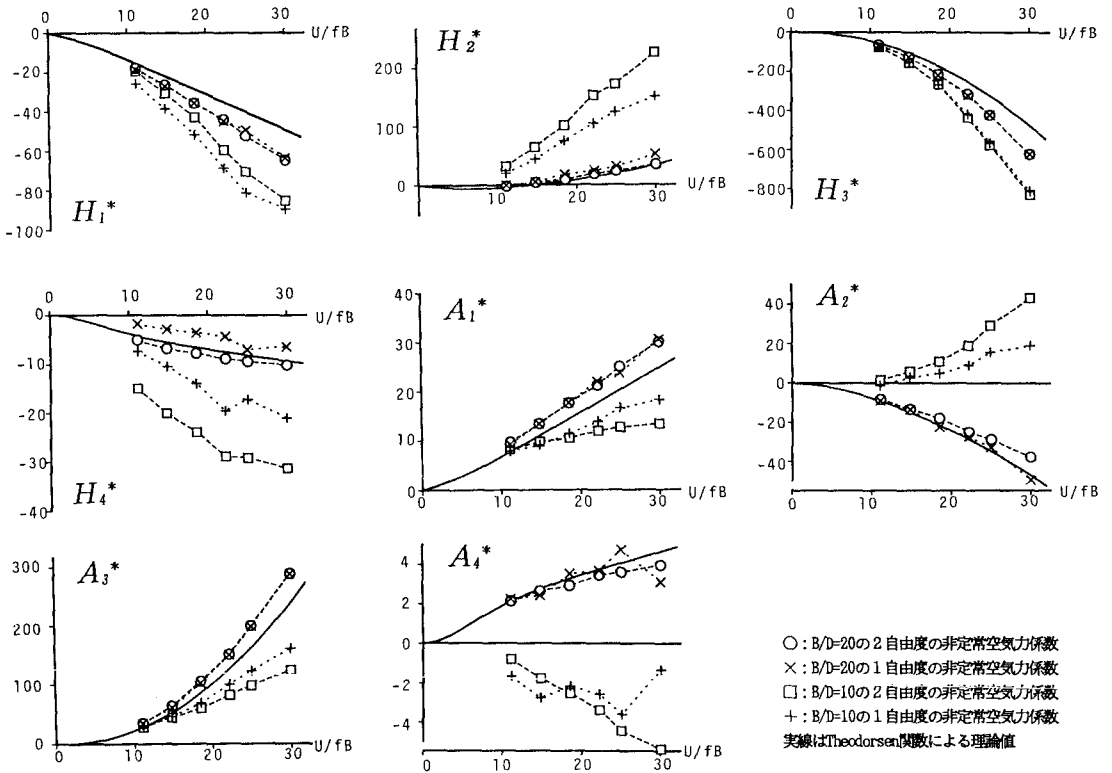


図1 等価Theodorsen関数を用いて求めたB/D=20, 10の矩形断面の非定常空気力係数

実線で合わせて示す。B/D=20の矩形断面では1自由度振動から得られた非定常空気力係数と、2自由度振動から得られた非定常空気力係数が8個ともよく一致していることから、たわみ及びねじれ1自由度の空気力とたわみとねじれが連成する2自由度の空気力の重ね合わせができるものと思われる。また、これらの非定常空気力係数がTheodorsenの翼理論における値とも比較的よく一致していることから、B/D=20の矩形断面の空力特性は平板翼に近く、連成フラッターが発生するものと考えられる。これに対してB/D=10の矩形断面では、バネ支持実験では連成フラッターが発生したものの、同定された結果は A_2^* が正の値になっており、ねじれ1自由度のフラッターが発生する可能性を示している。また、1自由度と2自由度の非定常空気力係数の値が、 H_2^* 、 H_4^* 、 A_2^* 等ではかなり異なっていることから、振動モードに応じた空気力の重ね合わせは、非定常空気力係数の種類によってはできないものと考えられる。このように振動モードによって流体力が変化する場合には、空気力の重ね合わせが困難であり、このような構造断面を持つ橋梁全体系のフラッター特性の評価については、今後更なる検討が必要であると思われる。

5. 結論

- ・等価Theodorsen関数を用いることにより、未知数と条件の数を一致させることができ、非定常空気力係数を同定することが可能であることが示された。
- ・B/D=20の矩形断面では、振動モードに応じた非定常空気力係数の重ね合わせが可能であると考えられるのに対して、B/D=10の矩形断面では、重ね合わせのできない非定常空気力係数が存在する。

(参考文献)

- 1) 松本, 白石 他: 曲げねじれ連成振動状態における構造基本断面の非定常空気力に関する研究, 土木学会第46回年次学術講演会概要集
- 2) 山田, 宮田 他: 同定手法による平板状角柱の動的空気力推定問題に関する研究, 土木学会第46回年次学術講演会概要集
- 3) 藤野, 伊藤 他: 自由振動波形を用いた桁に作用する動的空気力の同定, 土木学会第46回年次学術講演会概要集
- 4) T.Theodorsen: General Theory of Aerodynamic Instability and the Mechanism of Flutter, NACA TR No. 496, 1935