

## I - 342

## 非定常空気力係数推定に関するシステム同定法の適用

横浜国立大学工学部 正員 宮田 利雄

横浜国立大学工学部 正員 山田 均

前横浜国立大学大学院 正員 岡本 好弘

1. まえがき 非定常空気力を測定する方法には、風洞での自由振動試験、強制振動試験による、自由振動法と強制振動法が用いられてきた。さらに、自由振動試験をベースにして、システム同定手法による推定が試みられてきている。本研究では、2自由度自由振動状態で連成非定常空気力を推定することを目的としており、システム同定には、拡張カルマンフィルターの重みつきグローバルな繰り返し法(EK-WGI法)を当てはめることとし、翼断面模型の自由振動風洞試験を行い、直接非定常空気力係数と状態方程式に組み込む方法(直接推定法と呼ぶ)と、振動の状況をシステム同定法で推定した後、その状況を用いて非定常空気力係数を推定する方法(固有モード法と呼ぶ)の2推定方法を用い比較検討を行う。

2. 解析方法 非定常空気力を含む運動方程式は、2次元平板翼理論にならい、一般に以下の式を用いる。

$$\begin{bmatrix} \ddot{z}/B \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_z^2 & 0 \\ 0 & \omega_\theta^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z/B \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{z1} & L_{\theta1} \\ M_{z1} & M_{\theta1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} mm \omega^2 (\dot{z}/\omega B) \\ \Pi \omega^2 (\dot{\theta}/\omega) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{zR} & L_{\theta R} \\ M_{zR} & M_{\theta R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} mm \omega^2 (z/B) \\ \Pi \omega^2 \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$mm = \pi \rho B^2/m, \quad \Pi = \pi \rho B^4/I$$

ここで、 $m$ 、 $I$ は単位長さ当たりの質量と極慣性モーメントで、代表幅 $B$ は全幅を用いている。 $\omega_z$ 、 $\omega_\theta$ はそれぞれ曲げと振れの固有円振動数で、 $\omega$ は連成円振動数である。このとき、非定常空気力係数は換算風速の関数になるが、非定常空気力としては振動加速度比例の形で書き直し、換算風速のみの関数とする事ができる。

$$\begin{bmatrix} \ddot{z}/B \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \omega_z^2 & 0 \\ 0 & \omega_\theta^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z/B \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_z & L_\theta \\ M_z & M_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{z}/B \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = [F] \begin{bmatrix} \ddot{z}/B \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$L_z = -mm(L_{zR} + iL_{z1}), \quad L_\theta = -mm(L_{\theta R} + iL_{\theta1})$$

$$M_z = -\Pi(M_{zR} + iM_{z1}), \quad M_\theta = -\Pi(M_{\theta R} + iM_{\theta1})$$

フラッター解析では式(2)を解き、2自由度計の場合、固有振動数が異なる計2組の解が得られることになるが、実際は曲げと振れが十分に連成した状態で観測できるのは、その内の負減衰を持つもののみになる。したがって、式(1)を状態表現に用いる直接法では起こり得る2種類のモードの内の1種類だけに着目していることになる。

一方、2自由度振動では、2組の解の存在が一般的であって、それらが混在している振動状態を考えるのは自然である。しかし、風洞試験で観測される風速一定下で異なる振動数の振動状況は、式(1)の示す1組の非定常空気力係数の換算風速一定の振動状態に対応していない。そこで、2自由度形の運動方程式をある風速での観測波形から同定することにより得られるそれぞれ2組ずつの固有モードを整理しなおし、換算振動数が等しくなる組みを選出する(Aモード、Bモードと呼び、添え字で表す)。さらに、式3の表記を用いて、固有値の関係を考慮すると、式4のように $L_{zR}$ 、 $L_{z1}$ 、 $L_{\theta R}$ 、 $L_{\theta1}$ 、 $M_{zR}$ 、 $M_{z1}$ 、 $M_{\theta R}$ 、 $M_{\theta1}$ の各非定常空気力係数を求めることができる。

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} \phi_{zA} & \phi_{zB} \\ \phi_{\theta A} & \phi_{\theta B} \end{bmatrix}, [e] = \begin{bmatrix} e^{i\omega_A t} & 0 \\ 0 & e^{i\omega_B t} \end{bmatrix}, [K] = \begin{bmatrix} \omega_z^2 & 0 \\ 0 & \omega_\theta^2 \end{bmatrix}, [M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, [\omega^2] = \begin{bmatrix} \omega_A^2 & 0 \\ 0 & \omega_B^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[F] = [M] - [K][\Phi][\omega^2]^{-1}[\Phi]^{-1} \quad (4)$$

ここで、添え字A、Bの付いた $\omega$ 、 $\phi$ はそれぞれ、2組の複素振動数と複素モードベクトルである。つまり、固有モード法では任意の換算風速で2組の固有モードを見ながら非定常空気力係数を決めていくことに

なる。

3. 推定結果 NACA0012翼を用いた部分模型風洞試験による観測応答に基づく推定結果を示す。直接推定法の結果を○、固有モード法の結果を▲、いわゆる自由振動法で求めたものを■でしめす。図中の実線は平板空気力理論値である。直接推定法は入力データの規格化等による推定安定化の効果はあるが、比較的ばらつきが多い一方で、固有モード法では同じデータを元にした比較の上では安定は良好のように見える。安定した推定が行われている箇所では、いわゆる自由振動法による結果と非常に整合が良好である。

謝辞 本研究の一部は本州四国連絡橋公団から援助を受けている。ここに謝意を示す。

