

有風時モードを用いた多自由度連成非定常空気力測定に関する研究

横浜国立大学大学院 正員 中島 州一

横浜国立大学 正員 宮田 利雄

横浜国立大学 正員 山田 均

背景と目的 明石海峡大橋に代表される、吊り形式橋梁の超長大化にともない、空力振動の中でも複雑な応答状況を示す連成フラッター検証の必要性が増加し、風洞実験で測定された非定常空気力を用いた解析的な検討も併せ、行われるようになってきている。非定常空気力の測定については、最近パラメータ同定法を適用する試みがなされているが必ずしも好結果を得てはいない。本研究では、風洞での観測応答履歴を用い、パラメータ同定手法を一部使用しながら、多自由度空気力測定に関し新たに開発した手法を提案する。

モード情報を用いた連成非定常空気力の推定法 まず、2次元部分模型振動実験で見られるような、構造側では連成はなく、非定常空気力側で連成がある調和的な多自由度（連成）振動の場合を想定する。ここでは翼の非定常空気力表現に倣い、また、鉛直変位 y を桁幅 B で無次元化し、次のように無次元化された定係数を持つ形で定式化する。ここでは、2自由度の場合を示すが、より多自由度の場合も単純に拡張できる。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = [f_R]\{u\} + [f_I]\{\dot{u}\} = [F]\{\ddot{u}\} \quad (1)$$

ここで

$$[M] = \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & I \end{bmatrix}, [C] = [M]^{-1} \begin{bmatrix} 2\xi_y \omega_y & 0 \\ 0 & 2\xi_\theta \omega_\theta \end{bmatrix}, [K] = [M]^{-1} \begin{bmatrix} \omega_y^2 & 0 \\ 0 & \omega_\theta^2 \end{bmatrix}, [P] = \begin{bmatrix} \pi \rho B^2 \omega^2 & 0 \\ 0 & \pi \rho B^4 \omega^2 \end{bmatrix}$$

$$[f_R] = [P] \begin{bmatrix} L_{yR} & L_{\theta R} \\ M_{yR} & M_{\theta R} \end{bmatrix}, [f_I] = [P] \begin{bmatrix} L_{yI} & L_{\theta I} \\ M_{yI} & M_{\theta I} \end{bmatrix}, [F] = -\frac{1}{\omega^2} [f_R] - \frac{i}{\omega} [f_I], \{u\} = -\frac{1}{\omega^2} \{\ddot{u}\}, \{\dot{u}\} = -\frac{i}{\omega} \{\ddot{u}\}$$

式1の総ての解が何らかの方法で得られたとすると、減衰と振動数で表現できる複素固有振動数 Ω と振幅比と位相差情報となる複素固有ベクトル Φ を用いて、非定常空気力マトリクスが推定できる。

$$[F] = [M] + [C] \left\{ \begin{bmatrix} \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 1/\Omega_i & 0 \\ 0 & 0 & \cdot \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} \cdot & \Phi_i \end{bmatrix} \right\}^T + [K] \left\{ \begin{bmatrix} \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 1/\Omega_i & 0 \\ 0 & 0 & \cdot \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} \cdot & \Phi_i \end{bmatrix} \right\}^T \right. \quad (2)$$

実験手順 式1の非定常空気力は換算風速で定式化されているため、観測が行われる風速と観測される振動数を用いて変換が必要になる。以下の2ステップを辿ることにより、実験を実施した。

STEP1 適当な風速での複素固有振動数と複素モード形の測定：十分に密な風速のピッチで減衰マトリクスと剛性マトリクスを密な実行列とした状態方程式を想定し、EKWGI法を適用し、振動モードが明確に現れるように、対応する加振を行いその応答履歴を用いてパラメータ同定を実施した。つぎに、複素振動数および複素固有モード形は同定した運動方程式を複素固有値解析することで求め、卓越モードに対応するもののみを次のステップでの解析対象とした。

STEP2 換算風速での整理と非定常空気力係数の推定：ステップ1で得られた複素振動数および複素固有

有モード形を観測した風速および複素振動数から得られる振動数を用いて換算風速を求め、鉛直まげ卓越振動モードおよびねじれ卓越振動モードで同じ換算風速になるペアを、十分広い範囲をカバーするように数多くの換算風速で整理し集める。整理された振動モードのセットを、換算風速毎に式（2）ないし（6）に代入することにより、対応する換算風速での非定常空気力係数を求めた。

実験結果 図1および2に2自由度および3自由度のある長大吊橋補剛桁の観測された非定常空気力係数の一部を示す。3自由度実験では流れ方向にも振動を許す系を用い、構造側でこの場合も連成が起きないように、弾性中心に重心を調節した。図中で、添字 y 、 z 、 q は鉛直、水平、ねじれを示す。解析結果を見る限り、非定常空気力係数の推定結果は一部を除き良好であり、安定性も良く、強制振動法で測定した値との整合もよいようである。本方法の有効性を示しているといえる。

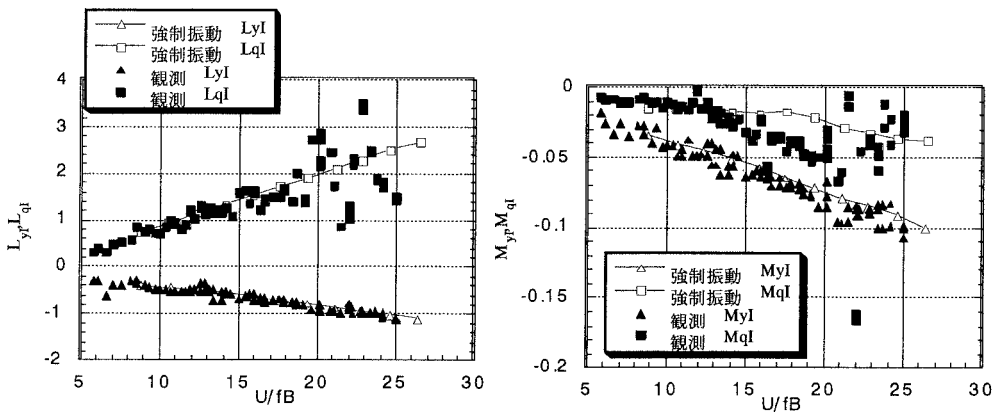


図1 トラス補剛桁の2自由度非定常空気力係数の虚部

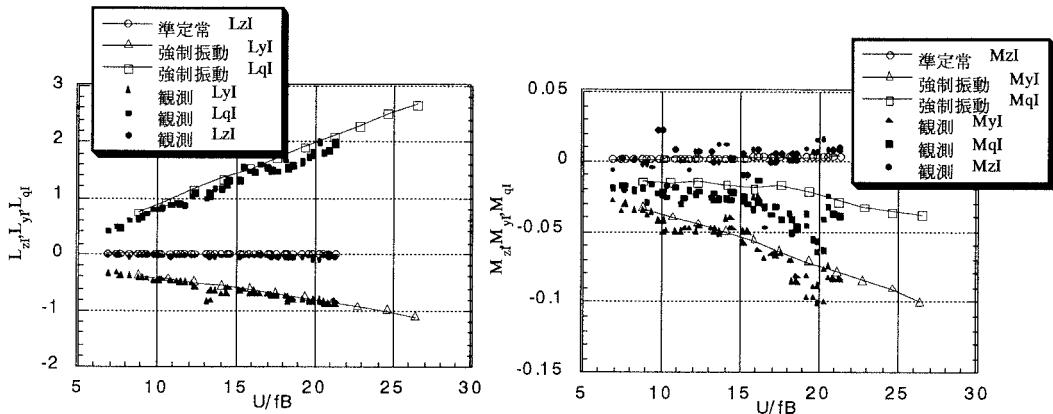


図2 トラス補剛桁の3自由度非定常空気力係数の虚部