

I-205

曲げ振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

京都大学大学院 学生員 重高浩一
 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
 J R 東 海 伊藤裕一
 京都大学大学院 学生員 新原雄二

1. まえがき 土木構造物に発生する様々な空力振動のうち、フラッター振動は、風速の増大と共に振動振幅が急激に増大するきわめて危険な現象といえよう。本研究では、各種フラッターのうち、特に連成フラッターを取り上げる。Theodorsen¹⁾は、流れの剝離がみられない平板周囲の流れに、ポテンシャル流理論を適用し、解析的に振動平板に作用する非定常空気力を求めている。これにより、フラッター発現風速等を理論的に求めることが可能である。これに対し、一般の構造断面においては、流れの剝離が生じるため、ポテンシャル流理論の適用は困難であると思われ、構造断面に作用する非定常空気力特性を知ることが重要な課題となっている。そこで、Scanlan²⁾は、曲げ振れ連成振動系に対し、自由振動実験から求める非定常空気力係数(H_i^* , A_i^* , $i=1, 2, 3, 4$)を定義した。非定常空気力係数を求める際に、1自由度振動系の自由振動実験から得られた非連成項の非定常空気力係数を用いて、連成振動系の自由振動実験によって残りの連成項の非定常空気力係数を決定した。本研究では、2-D矩形断面模型を強制加振し、表面圧力分布から模型に作用する空気力を求めることを試みた。さらに、Scanlanの方法と同様に1自由度強制加振実験から得られた非連成項の非定常空気力係数を用いて、連成振動系の強制加振実験によって残りの連成項の非定常空気力係数を決定した。1自由度強制加振実験では、連成項の非定常空気力係数も直接求めるので、連成振動系から求めた非定常空気力係数との比較を行った。

2. 実験概要 実験に用いた模型は、断面辺長比 $B/D=20$ (B :幅員, D :桁高)の2-D矩形断面模型で、38個の表面圧力測定用圧力孔が設けてある。模型は支持アームを介して2自由度強制加振機に固定した。この加振機は曲げと振れの位相差や振幅比を固定して、様々な連成振動状態が再現出来る。今回は、後述の自由振動実験より得られた連成振動状態での振幅比と位相差を用いて曲げ振れ2自由度加振を行った。また、曲げ1自由度、振れ1自由度の場合についてもこの加振機で加振し表面圧力を測定した。但し、圧力伝達系が長い(約2.0m)、チューブによる圧力変動の位相遅れの補正を行った。更に、圧力分布を積分することにより、模型に作用する揚力 L (下向き正)と断面中心に関するモーメント M (気流に対して頭上げ正)を計算した。

自由振動実験は、模型を左右各4本合計8本のコイルスプリングにより風洞内に水平に支持し、コイルスプリング基部に挿入されたコの字型ピックアップ部にある歪ゲージにより電氣的に変位を検出した。曲げ振れ2自由度の実験からは、前述の強制加振実験に用いる振幅比と位相差を求めた。曲げ1自由度、振れ1自由度の実験からは、Scanlanの自由振動法により、非連成項の非定常空気力係数を計算した。

3. 非定常空気力係数の推定結果 各瞬間の圧力分布³⁾を積分することにより非定常空気力(揚力 L とモーメント M)を求めた後、次式を満たす非定常空気力係数(H_i^* , A_i^* , $i=1, 2, 3, 4$)をカルマンフィルターを用いて推定した。

$$L = 1/2 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot (2b) \{ kH_1^* \cdot \eta / U + kH_2^* \cdot b \phi / U + k^2 H_3^* \cdot \phi + k^2 H_4^* \cdot \eta / b \}$$

$$M = 1/2 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot (2b^2) \{ kA_1^* \cdot \eta / U + kA_2^* \cdot b \phi / U + k^2 A_3^* \cdot \phi + k^2 A_4^* \cdot \eta / b \}$$

但し、 ρ :空気密度, U :風速, b :半弦長($=B/2$), k :換算振動数($=b\omega/U$), η :曲げ変位, ϕ :振れ変位

曲げ振れ2自由度強制加振時の非定常空気力係数は、Scanlanが自由振動実験から非定常空気力係数を求めた時と同様に、1自由度強制加振時の非連成項の非定常空気力係数を用いて、残りの連成項の非定常空気力係数を求めた。しかる後に、1自由度強制加振実験から直接求められる連成項の非定常空気力係数との比

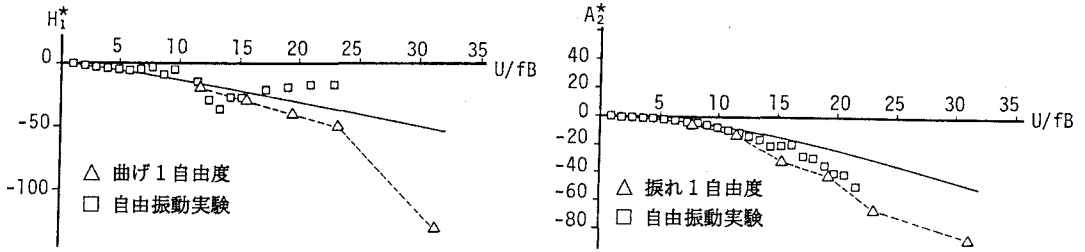


図1 非連成項の非定常空気力係数（曲線はTheodorsen関数より求めた値）

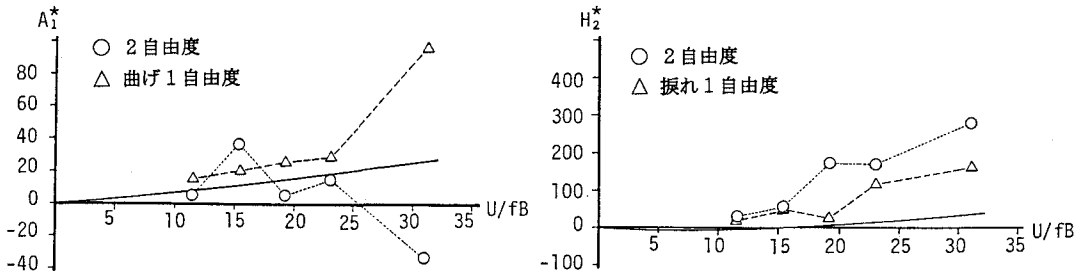


図2 連成項の非定常空気力係数（曲線はTheodorsen関数より求めた値）

較を行った。なお、Theodorsen関数から求められる平板翼に関する非定常空気力係数も図中に併せて示す。

1自由度強制加振時の非連成項の非定常空気力係数の中から、減衰に関する項(変位速度の項)を図1に示す。 A_2^* については、強制加振実験の結果と自由振動実験結果は非常によく一致している。このことは、表面圧力を積分して非定常空気力を求める方法でも、圧力孔を密に設け、位相差補正を行って測定をすれば、正確に非定常空気力が求まることを意味している。また、平板翼に関する非定常空気力係数とは若干値が異なっていることから、断面辺長比 $B/D=20$ の矩形断面においても、ポテンシャル流理論の適用はやや困難であると思われる。 H_1^* については、自由振動実験での高風速域では減衰が非常に速いため測定誤差が大きく、強制加振実験の結果とずれが生じたものと思われる。

曲げ振れ2自由度強制加振時の連成項の非定常空気力係数の中から同じく減衰に関する項を図2に示す。 H_2^* (振れ速度の項)については、2自由度と1自由度の結果は似通っているものの、 A_1^* (曲げ速度の項)については、特に高風速域で大きく異なっている。このことから、曲げ振れ連成状態の模型に作用する非定常空気力は、曲げ1自由度振動状態よりも振れ1自由度振動状態に作用する空気力に近いものと思われる。また曲げ振れ連成状態における空気力係数と1自由度での空気力係数が一致しなかったことは、断面辺長比 $B/D=20$ の矩形断面においても、空気力の単純な重ね合わせは困難であることを示しているものと思われる。

4. まとめ 曲げ振れ2自由度強制加振を行い、表面圧力分布から非定常空気力を計算した結果、曲げ振れ連成振動中の構造断面に作用する空気力は、曲げ振動よりも振れ振動の影響をより多く受けているものと思われる。また、断面辺長比 $B/D=20$ という偏平な矩形断面においても、1自由度振動中に作用する空気力の単純な重ね合わせによって、連成振動中の空気力を求めることは困難であると思われる。今後、さらに多くの断面を用いて、様々な振幅や連成状態で振動中の断面に働く非定常空気力の詳しい比較検討が望まれる。

参考文献

- 1) T.Theodorsen : General Theory of Aerodynamic Instability and the Mechanism of Flutter, N.A.C.A. Tech. Report No.496, Washington D.C., 1935
- 2) R.H.Scanlan,A.Sabzevari : Suspension Bridge Flutter Revisited ,A.S.C.E. Struc. Eng. Conf. Washington D.C., 1967
- 3) 松本勝他 : 曲げねじれ連成状態における構造基本断面の非定常圧力・空気力に関する研究 , 日本風工学会誌 第47号 , 1991