

九州大学応用力学研究所 正員 中村泰治, 工学部 学生員 ○藤本 聡
九州産業大学工学部 正員 吉村 健

1. まえがき

一般に, bluff body は, 種々のはく離フラッターを呈する。これらの現象の発生メカニズム解明の研究は、これまで数多く為されてきたが、同時にそのリミットサイクル等の推定手法についても昨今、為されるようになってきた。ギャロッピングは、準定常理論で、かなりの範囲、推定が可能であるが、渦励振は、その発生メカニズムも複雑で、リミットサイクル等の推定手法には、単純化された数学モデルが提案されてきた。また、昨今、渦励振は、物体系-流体系の連成フラッターとして説明されており、その数学モデルも、物体系-流体系の連成微分方程式となる。円形断面の場合、ギャロッピングは、みられぬので、渦励振のみに着目して、モデルを作成できればよいが、矩形断面の場合、構造減衰が小さいと、ギャロッピングと渦励振とが混在し、両者も同時に考慮に入れなければならない。本研究は、両現象を含めた数学モデルの作成を試みたものである。

2. 数学モデル

強制振動法は、空力不安定現象を解明するのに有効な手法である。そこで、流体系モデルが、この実験結果にマッチしなければならないのは、いうまでもないことである。1:1 矩形断面を強制振動せると¹⁾ 共振点付近で、揚力の定常振幅は、ピークを有し、変位との位相差は、ほぼ -90° から $+90^\circ$ に急変する。しかし、注目しなければならないのは、位相差の非線形性である。すなわち、位相差の急変が、図1-(b)のように、強制振動振幅が増加につれ、高風速側に移動することである。この事実とは、(2)のような物体応答に対応する。高風速にいくにつれ、応答が大きくなるのである。そこで、流体系モデルは、強制振幅とともに、共振点がずれると解釈し、復元力の項に、強制振幅の関数を導入し、Skop & Griffin のモデル²⁾ を手直し、

$$C_L'' - R_S G [C_{L0}^2 - \frac{4}{3} (\frac{C_L}{R_S})^2] C_L + R_S^2 [1 - R \gamma_0^2] C_L = F[\gamma, \gamma] \quad (1)$$

と置く。この式では、すべて9量を無次元化しており、 C_L, γ, γ_0 は、揚力係数、物体の無次元変位、無次元振幅、 R_S, C_{L0}, G, R は、実験より求めるべきパラメーターである。ところが、 R_S, C_{L0} は、それぞれ、流体系の無次元同期/自励振幅であり、両者は、物体を静止させたときの測定結果から得られるので、求めるべきパラメーターは、 G, R の2つになる。(1)式では、揚力の物体変位に対する位相差中は、

$$\phi = \tan^{-1} \left\{ \frac{-R_S^2 + R_S^2 - R_S^2 R \gamma_0^2}{R_S G C_{L0} R_S - \frac{4}{3} R_S^2 C_L^2} \right\} \quad (2)$$

で与えられる。ここで、 R_S は、物体無次元振動数である。さて、右辺の $F[\gamma, \gamma]$ は、どのような形にすればよいであろうか。 $\bar{V}$ よりかなり高い風速域では、 $R_S \rightarrow 1$ となり、復元力が卓越し、 $R_S^2 C_L \sim F[\gamma, \gamma]$ とすべき。また、強制振動実験によると¹⁾ 位相急変の後、位相は、流れの遅れの影響で、約 40° から 90° へと徐々に増加し、 $\bar{V} = 60$ 付近で 90° に達する。そこで右辺は、準定常空気力のみならず、流れの遅れ(履歴特性)をも加味した形にすればよいであろう。³⁾ 線形流体系を仮定すると、物体変位 $\gamma(t)$ に対する周波数伝達関数 $Z_L(i\omega)$ は

$$Z_L(i\omega) = i\omega \int_0^\infty \frac{d\phi_L(\tau)}{d\tau} e^{-i\omega\tau} d\tau \quad (3)$$

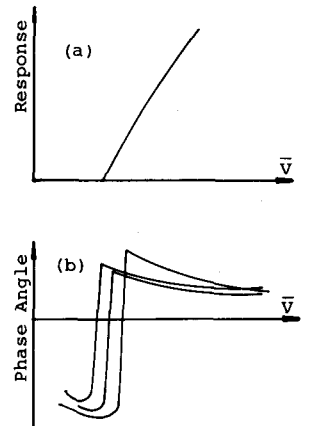


図1. 位相差特性と応答の関係

となる。ここで、 $\Phi_L(\omega)$ は、インディシャル場力応答を表わす、

$$\Phi_L(\omega) = K_0 + \sum_{j=1}^n K_j e^{-\eta_j \omega} \quad (4)$$

で近似すると、

$$C_L(\omega) = Z_L(i\omega) \gamma(\omega) = -B_m^2 \sum K_j \frac{\gamma_j}{\delta_j^2 + \omega^2} \gamma(\omega) + \left\{ B_m^2 \sum K_j \frac{1}{\delta_j^2 + \omega^2} + \Phi_L(\omega) \right\} \gamma(\omega) \quad (5)$$

となる。 $\Phi_L(\omega) \gamma(\omega)$ は、準定常空気に相対するものである。この準定常空気に非線形要素を付加すると、

Parkinsonにしたがって⁴⁾ γ 関式で近似することが出来る。以上より、左図の形は、

$$F[\gamma, \gamma] = B_m^2 \left[-B_m^2 \sum K_j \frac{\gamma_j}{\delta_j^2 + \omega^2} \gamma(\omega) + B_m^2 \sum K_j \frac{1}{\delta_j^2 + \omega^2} \gamma'(\omega) + A\gamma'(\omega) - B\gamma'(\omega) + C\gamma'(\omega) - D\gamma'(\omega) \right] \quad (6)$$

とすればよいであろう。

3. 数値計算結果

1:1 矩形断面についておこなった結果を以下に述べる。準定常空気のみをインプットした結果が、図-2であり、履歴特性の効果も入れた結果が図-3である。図-2(a)は、準定常空気のみをインプットした際の場力の定常振幅である、準定常空気のみでは、位相差は、急変を境にして

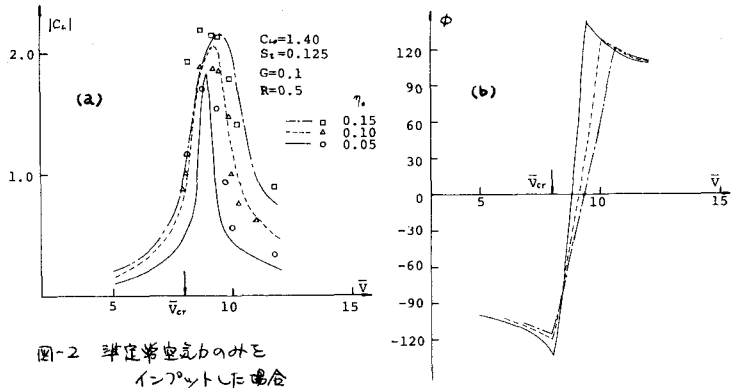


図-2 準定常空気のみをインプットした場合

$\pm 90^\circ$ に近く接近すると、ところが、実験結果によると、急変後の位相差は、 40° 付近から徐々に 90° に接近しており、この差違が、流れの遅れに帰因するであろうことは、容易に推察できる。そこで、流れの遅れ効果を付加すると(図-3)、

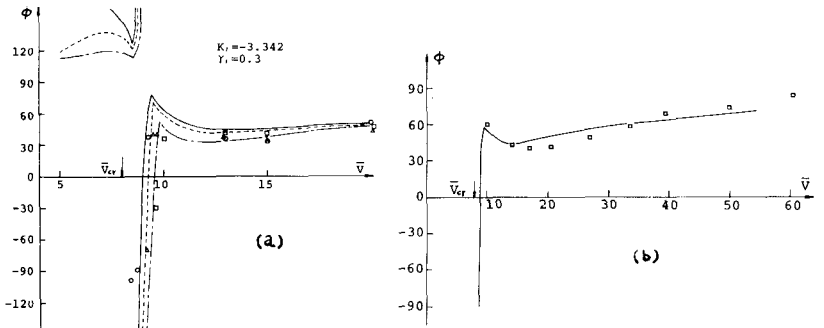


図-3 履歴特性をも加味した場合

急変後の値は、うまく実験結果と一致する、図-3-

(b)は、高風速域での位相差である。定性的には、うまく一致しており、定量的にも、だいたい一致している。しかし、定量的には、まだ改善の余地があり、今からの課題の一つである。また、急変前の値は、実験結果と大きく異なっており、この区域は、違った見地からアプローチが必要であろう。

以上、物性変位と場力とを兼ね合せて非線形項を導入することにより、物性応答に大きく左右する位相差急変のパターンをうまくとらえることができた。同時に、渦励振とギャロッピングとを結びつために、準定常空気と履歴効果とを組み合わせたモデルをも考えてみた。今後は、物体系の運動方程式と合わせ、応答を求めたいつもりである。

参考文献

- 1) Y. Nakamura & T. Mizota; Jnl. E.M. Div. ASCE, 101, EM6, (1975)
- 2) R.A. Skop & O.M. Griffin; Jnl. of Sound & Vibration, 1973, 27(2)
- 3) 吉村, 中村; 構造物の耐風性に関するシンポジウム (1978) on building and Structures, 1963
- 4) Parkinson; Proc. Int. Conf. Wind effects