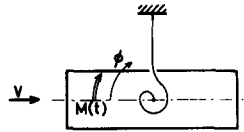


鹿島建設技術研究所 正員 ○森光康夫  
 東京大学工学部 同 伊藤 学  
 同 同 宮田利雄

1. まえがき

風による建造物の自励振動を問題とするさい、振動応答特性から判断して、作用空気力は振動振幅に対して非線形性を持つとするのが妥当である。特に、流れの剥離を伴う bluff な断面では、平板状断面に比較してその非線形性ははるかに強いと考えられる。非定常空気力を振動振幅に対して非線形であると1. 1時の空気力と応答との関連は既に発表<sup>1), 2)</sup>したが、本研究はこの理論を箱型断面(高さ/幅=0.3)の回転振動に適用し、風洞での自由振動実験結果と比較検討したものである。なおここで計算に用いた空気力は強制振動法によって求めたものである。



2. 非定常空気力と応答との関係

Fig. 1 に示されるような全幅 B の回転振動系が、密度  $\rho$ 、流速  $V$  の一様空気流中で、Fig. 1 Model of Torsional Oscillation  $\phi = \phi_0 e^{i\omega t}$  の振動をしている時に作用するモーメントを、単位長あたり

$$M = \frac{1}{2} \rho V^2 B^2 (C_{AR} + i C_{AI}) e^{i\omega t} \quad (1)$$

とすれば、 $C_{AR}$ 、 $C_{AI}$  (添字 A は回転振動中のモーメントを意味する) は、振幅  $\phi_0$ 、無次元化風速  $V_r = 2\pi V / \omega B$  の関数と考えられる。さらに、 $\gamma = \omega \phi_0 / \omega_n$  ( $\omega_n$ : 系の固有円振動数) とし、無次元化時間  $\tau = \omega_n t$  を導入すれば、定常振動振幅とその時の振動数は式 (2) で、その振動解の安定・不安定の判別は式 (3) で、また遷移状態における振動の時間的変化は式 (4) で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \gamma^2 - 1 &= \frac{V_\phi}{\Theta} \cdot \left(\frac{V_r}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{C_{AR}(\phi_0, V_r)}{\phi_0} \\ 2\alpha_\phi \gamma \phi &= \frac{V_\phi}{\Theta} \cdot \left(\frac{V_r}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{C_{AI}(\phi_0, V_r)}{\phi_0} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial \phi_0} \left[ \frac{C_{AI}(\phi_0, V_r)}{\phi_0} \right] \begin{cases} < 0 : \text{安定} \\ > 0 : \text{不安定} \end{cases} \quad (3)$$

$$\tau = \int_{\phi_0}^{\phi_2} 2d\phi_0 / \left[ \frac{V_\phi}{\Theta} \cdot \left(\frac{V_r}{2\pi}\right)^2 \cdot C_{AI} - 2\alpha_\phi \gamma \phi_0 \right] \quad (4)$$

ここに、 $\Theta$  は回転軸まわりの極慣性モーメント、 $\alpha_\phi$  は構造減衰定数、 $V_\phi = \frac{1}{2} \rho B^2$  である。

3. 非定常空気力についての若干の考察

強制振動法によって求めた空気力係数  $C_{AR}$ 、 $C_{AI}$  のグラフ (Fig. 2) から次のような事の考察される。(i)  $C_{AI}$  は  $V_r = 3 \sim 4$  に一つのピークを持ち、その付近ではデータのバラツキも大きい。代表長として断面

L (length)	H (height)	B (width)	$\Theta$ (moment of inertia)	$\alpha_\phi$ (damping ratio)
660 mm	90 mm	300 mm	13.04 g <sup>2</sup>	1.70 %
				2.51 %

Table 1

$\alpha_\phi$	1.70 %
$V_r' = \frac{2\pi V}{\omega_\phi B}$	10.57
$V_\phi = \frac{\omega_\phi}{\omega}$	1.06

Table 2

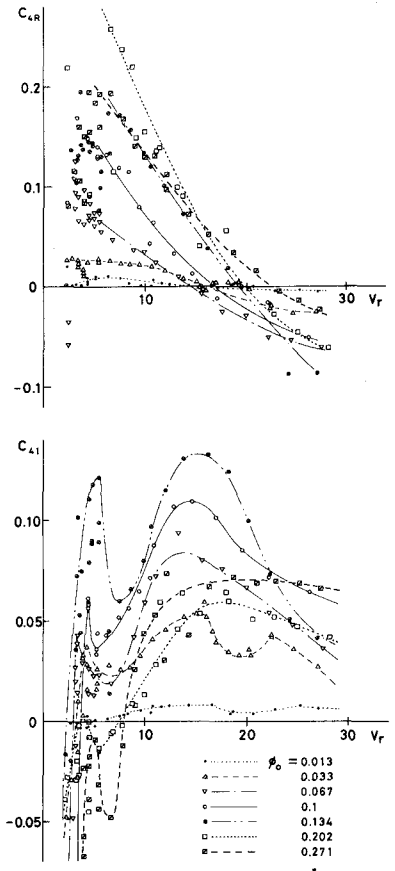


Fig. 2 Aerodynamic Force of Rectangular Section (H/B=0.3)

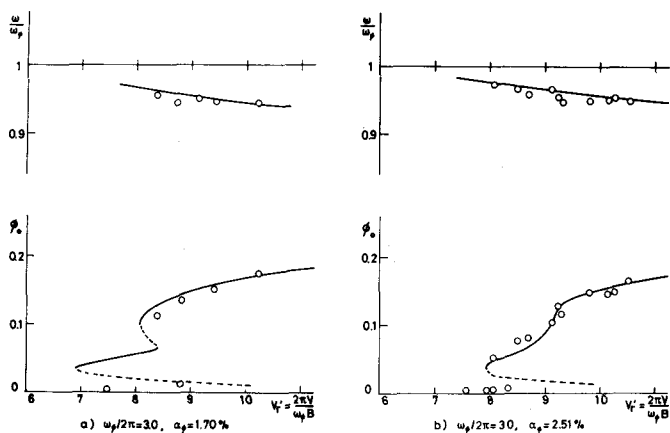


Fig. 3 Response Curves

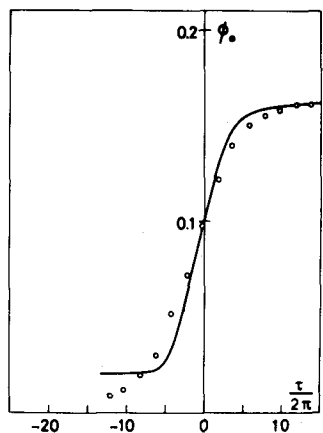


Fig. 4  $\phi$ . vs.  $\tau$

の高さをとった時のストローハル数が  $S = \frac{H}{V_r} \approx 0.1 \sim 0.8$  であることから考えると、 $V_r = 3 \sim 4$  の領域は、後流渦の発生と物体の振動が同期している領域であると推察される。(ii)  $C_{d1}$  は  $\phi \leq 0.134$  では、振動振幅とともに増大しているが、 $\phi \geq 0.2$  では再び減少するという非線形性を呈している。(iii)  $C_{dR}$  は  $V_r$  の増加とともに単調減少し、 $V_r = 15 \sim 23$  で正から負に転じている。

4. 定常振動振幅および振動数

Table 1 に示される振動系について、Fig. 2 の空気力に理論を適用して求めた計算結果と、同じ系について風洞で行なった自由振動実験結果とを Fig. 3 に示す。図中、曲線が計算結果で、実線部分が安定な振動解を破線部分が不安定な振動解を表す。また、○印が実験結果である。実験点が少ないのは残念であるが、同図から次のことが考察されよう。

- (i) 計算値と実験値は比較的良好に一致している。このことは、先に示した非線形空気力を前提とした理論解析が妥当なものである事とともに、空気力測定精度がかなり高いものであることを意味している。
- (ii) 計算では  $\phi < 0.02$  に不安定な振動解(図中の破線)が存在するが、実験では  $\phi < 0.01$  において安定な振動が観察されている。この領域では空気力測定を行っていないので、振動を予測できないのは当然であるが耐風安定性の面から言えばこの微小振動もまた重要である。

5. 振幅の時間的変化

式(4)において  $V_r = 2\pi\omega/B$  が時間  $\tau$  に関して一定とみなされる場合には、右辺は測定空気力を用いて容易に数値積分ができる。Fig. 4 は、Table 2 に示されるケースについて計算結果と実験結果を図示したもので、横軸は波数に相当し、振幅  $\phi$  が 0.1 となる時点を便宜上原点にとっている。同図で、実験が計算値を、○印が実験値を示したものであるが、両者はきわめてよく一致していると考えよう。このことは、緩慢な遷移状態におけるある瞬間の空気力が、その時点での一時的振幅で仮に定常振動させた時に作用する空気力によって表わし得ることを意味する。

6. 今後の問題点

以上示したように、空気力の非線形性を前提とした理論は基本的には妥当なものと言えよう。一方、残された問題も少なくないが、特に微小振幅の振動は耐風安定性の上から重要であり、今後この微小振幅での空気力を精度よく求める方法の開発が望まれる。

参考文献 1) 森光康夫, 伊藤 学, '箱型断面に作用する非定常空気力の非線形性について', 土木学会第24回年次学術講演概要集, 1972  
 2) 森光康夫, '非定常空気力の非線形性についての考察', 構造物の耐風性に関する第2回シンポジウム論文集, 1972, 12