

九州大学応用力学研究所 正員 中村泰治

深町信孝

航空宇宙技術研究所

上村平八郎

一様流中の構造物のうず励振における最大応答 $\eta_{\max}$ の簡単な推定式として次式を提案する。

$$\eta_{\max} = \frac{\bar{V}_{cr}^2 C_L}{4\pi k_0} \quad (1)$$

ただし、 $\bar{V}_{cr}$ = 無次元共振風速、 C_L = 静止構造物に対するうず揚力係数、 $k_0 = (2m/\rho R^2)\delta_0$ = 質量-減衰パラメータ。提案式は在来式¹⁾と同一であるが、筆者の知る限り、その理論的実験的検証、議論は余り見受けられず。上記推定式と矩形断面柱について検討すると、比較的小振幅の範囲で(振幅比約5%以下)、かつ、 C_L を正確に見積もれば公式は妥当であり、実用上有用であることがわかった。

1. 風洞と模型

使用した風洞の測定部断面は高さ×幅 = 4m×2m。模型は深さ/高さ = $d/R = 0.3, 0.4, 0.6, 0.8$ および1.0の5種のうち2次元木製矩形断面柱を用いた。 $R = 15\text{cm}$ であり、 d の寸法をみた。風路外で平行板はねと補助コイルはねで模型を支持し、 $f_0 = 4.0\text{Hz}$ 、 $2m/\rho R^2 = 395$ 。板状オイルダンパーを使用し、糸の対数減衰率 δ_0 をかえた。平行板はねにストレンゲージを貼り、これにより模型の振動変位を検出した。また、同一模型を使用し、平行板はねと厚い板はねにかえ、静止時のうず揚力係数 C_L の測定を行った。

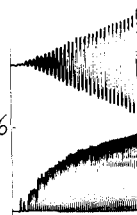
2. 強制振動とこのうず励振

うず励振は強制振動に似ているけれども、これが自励振動であることは今日疑いの余地がない。うず振動数 f_u は風速に比例して増大するが、うず励振における振動数は物体固有振動数 f_0 に一致する。もし、強制振動であれば、 $f = f_0$ の応答が得られる筈であるから、上記実験事実、うず励振が自励振動であることは単純に物語られているわけである。その他、励振が自励振動であることと示す実験事実も数多い。一方、励振は共振風速付近で生ずるものであるから、うず励振は共振特性が強く反映されることも疑いがない。とくに、 $\bar{V} = \bar{V}_{cr}$ に限ると、 $f_u = f_0$ であるから、応答に共振特性が強く現われるであろう。このことはつぎの考察より明らかである。1例として、 $d/R = 0.4$ の矩形断面柱を取上げる。その共振風速は $\bar{V}_{cr} = 6.94$ である。図1、図2にうず励振の応答波形を示す。糸の減衰は小さく、 $k_0 = 2.57$ である。図1は $\bar{V} = 5.13$ の応答例であって、原波形とそれと対数変換した波形を示す。発散は明らかに $e^{\lambda t}$ 型 ($\lambda = \text{一定}$) であり、事柄が線型であり、励振が負減衰空気力による自励振動であることが示されよう。他方、風速が共振風速に近づく図2をみると、波形は明らかに $e^{\lambda t}$ 型である。一見、振動は非線型のようなことがあるが実はそうであり、発散は過渡線型共振と暗示して、 $A \sin \omega t$ 型の発散である。事実、図2に示す発散波形は理論的に予想される $\eta(t) = \frac{1}{4\pi} \bar{V}_{cr}^2 \left(\frac{\rho R^2}{2m} \right) \times C_L f_0 t \sin 2\pi f_0 t$ によく適合する。以上の理由で、構造物の運動方程式において、 $\bar{V} = \bar{V}_{cr}$ 、 $f = f_0$ 、 $C_L(t) = C_L \sin 2\pi f_0 t$ 、 $y = y_0 \sin(2\pi f_0 t + \phi)$ 、 $\phi = 90^\circ$ であり、励振振幅 $\eta = y_0/R$ を求めると、(1)式が得られる。

図1

 $\bar{V} = 5.13$ 

図2

 $\bar{V} = 6.66$ 

さて、一般にうす励振の応答をみると(図3)、1) 励振は共振風速付近で生ずるが、最大振幅 η_{max} は共振風速以外の風速(普通 $\bar{V}_{cr}$ より大)で生ずる。2) しかし、系が減衰係数 C_{Lo} を増すと、 η_{max} は減少し、 η_{max} を与える風速は $\bar{V}_{cr}$ に近づく。これが今日知られている。よって、充分大きい C_{Lo} に対しては、最大振幅の推定に(1)式を利用することが考えられるのである。

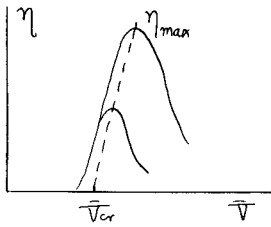


図 3

3. 推定式の検証

図4a～図4e に最大振幅 η_{max} の実験結果と(1)式による推定を示す。小振幅における推定値と実験値の一致は良好である。振幅が大きくなれば、自励振動としての特性が応答に反映するので、(1)式は当然適用出来

ない。比較的厚い断面柱 $d/h = 0.8$ および 1.0 では、振幅が大きくなると推定値の方が実験値より大きい。さらに深さを増して再び着型に近づくとき、うす励振の応答はきわめて特異なものになるが²⁾、上記結果はこの特異性と無縁ではあるまい。以上の考察より、推定振幅 5% 以下であれば、(1)式は充分有用になるといえる。

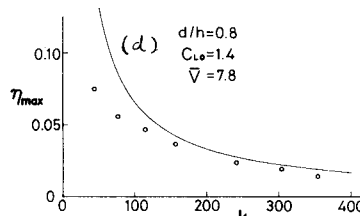
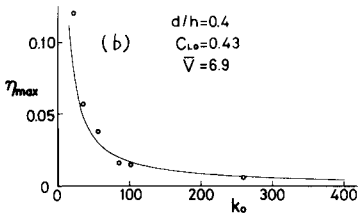
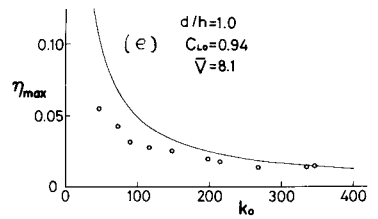
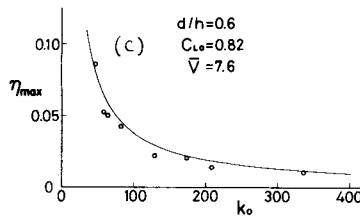
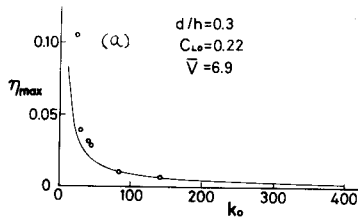


図 4a ～ 図 4e

4. 静止時のうす揚力係数 C_{Lo}

(1)式を適用するにあたり注意すべきことは C_{Lo} の推定である。一般に、2次元物体と見做しても、うすの放出はスローン方向に同時に生じ得ない。こゝでは早く Vickers³⁾ の測定を示すことができる。円柱のみならず、はく雑実の固定した矩形断面柱でも同様であることは注目される。図5は熱線流速計による速度変動の空間相関係数の測定結果であって、スローン方向距離が増すに1ながり、相関係数は急激に悪化する。この結果、静止時のうす揚力係数は、2次元物体と見做せば縦横比に依存し、縦横比が増せば C_{Lo} が単調に減少する。その実験結果については紙面の都合上、省略する。

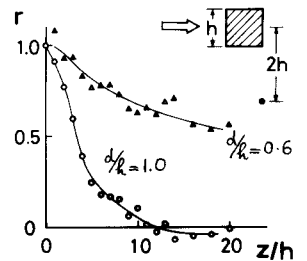


図 5

5. 結論

うす励振の最大振幅は、小振幅の範囲で、線型共振として比較的精度よく推定できる。ただし、縦横比の影響を考慮した静止時のうす揚力係数 C_{Lo} の正確な推定が必要である。

文献

- 1) 伊藤, 岡内, 宮田; 耐風構造, p. 259
- 2) Nakamura, Y. & Mizota, T.; J. EM, ASCE, Vol. 101, No. EM6, (1975), pp. 855-871.
- 3) 文献1), p. 158