

偏平H型断面柱の曲げの渦励振について

九州産業大学 正員 吉村 健

同 学生員 石水 重幸, 屋嘉 克則

新構造技術株式会社 正員 小川 富士夫

① まえがき 円柱や正方形角柱ではカルマン渦励振を生じ、一方偏平構造断面柱では、柱体の上・下面に生じるエッジトーンの渦に起因する励振が発生する。これらは別種の渦による励振ではあるが、渦との共振風速付近で柱体変位に対する非定常揚力の位相角が急変する現象が共通に認められ、共に通常の共振とよく似た振動現象であるといえる。ただし、偏平断面柱では、円柱等よりもはるかに位相角変化量の大きいことが特性の差異の一つとしてあげられる。

本研究では、断面比が1:3と1:4の偏平H型断面模型(d は弦長、 b はフラツジ幅)を用いた水槽実験を実施し、非定常揚力の測定と柱体まわりの非定常流れの観察を行った。その目的は、上記非定常揚力の位相角急変現象がいかなる流れによってもたらされるのか、更に、この種の励振がカルマン渦励振と同様に、数値モデルの上で流体振動系と物体振動系との連成フラッタとして説明され得るのかといったことを調べることにある。²⁾

② 非定常揚力特性 本実験では、曳航台車に片持式にはね支持された模型を電磁式小型加振器で強制加振した。非定常揚力は、板ばねのひずみを半導体ひずみゲージで検出することにより測定した。模型の慣性力と水の付加質量は引算回路で消去した。水中における系の固有振動数は加振振動数と比べて十分に高く、板ばねのひずみの直線性も良好であった。

図-1,2は、それぞれ1:3断面の非定常揚力 L の無次元変位 $\eta = \frac{y}{d}$ (y は実変位)に対する位相角 ϕ と無次元振幅 C_L であり、無次元流速 $\bar{V} = \frac{V}{f d}$ (V は流速、 f は加振振動数)を横軸に取りプロットしたものである。但し、 $\eta = \eta_0 \sin(Rt)$ 、 $L = \frac{1}{2} \rho V^2 d L_0 C_L \sin(Rt - \phi)$ で定義した。ここに、 $R = \frac{2\pi f d}{V}$ と $\tau = \frac{V}{f d}$ はそれぞれ無次元の振動数と時間、 l はスパンである。図中の共振流速 $\bar{V}_R = 1/St$ は、ストローハル数 St の測定値から得たものであるが、 $\bar{V}_R$ 付近における ϕ の270°以上の急変と C_L の凹みで L 特性は特徴づけられる。 L の η と同相成分 $C_L \sin \phi$ が正、すなわち $0^\circ < \phi < 180^\circ$ の場合に励振を生じるのであるから、 ϕ の急変する流速域付近が

励振発生域である。図のような特性は、図-3,4に示す1:4断面でも同様に認められる。1:4断面では、スプリット板を模型の後方に挿入した場合の結果も記しているが、 ϕ の急変と C_L の凹みの傾向は、スプリット板のない場合より一層顕著に認められる。以上に見た ϕ の大きい変化と C_L の凹みの特性は、カルマン渦励振の特性と異なっている。

図-5は、図-1,2から得た $C_L \sin \phi$ と、これより推算した流速・変位応答リミットサイクル振幅である。 $C_L \sin \phi$ が正のある流速において、大きい η に対する $C_L \sin \phi$ の値が小さい η のそれより小さい場合、時間の経過に伴う振動振幅の増加を経て、 $C_L \sin \phi = 0$ の η (一定振幅の定常振動)に達することになる。つまり、この流速では安定なリミットサイクルが存在する。その逆の場合、不安定なリミットサイクルが存在する。図の結果によれば、 $1.8 < \bar{V} < 2$ では前者に、 $2 < \bar{V} < 2.6$ では後者にそれぞれ相当する。よって、系の減衰がゼロと仮定してリミットサイクルを推算すると、図中に●印(安定)と○印(不安定)で示すようになる。図中点線は参考線である。図の推算値は、励振発現の開始流速と終止流速の付近で、それぞれソフトフラッタとハードフラッタが発生することを示しているが、この推算結果は、中村ら¹⁾のフラッタ実験結果と対応している。

③ 柱体まわりの非定常流れの特性 図-6は、図-1に示した揚力と変位($\eta = 0.07$)の位相差をベクトル表示したものであり、揚力が最大となる時($\phi = 90^\circ$)の変位ベクトルを各無次元流速毎にプロットしている。図示する各 $\bar{V}$ について水素気泡法による流れの可視化実験を行い、得られた結果のうち、図の ϕ における観察写真の代表例を写真-1に示す。 $\bar{V} = 1.3$ では、弦長を1弦長とする $\eta = 1$ の渦より短弦長の渦が柱体の上・下面に形成されている(写真(a))。 ϕ が急変する流速域 $\bar{V} = 1.5 \sim 2.1$ では、 $\eta = 1$ の渦に近い弦長の渦が形成されていて、その渦の配列パターンは流速に依らずほとんど同じである(写真(b)~(d))。そして、 $\bar{V} > 2.2$ にすると流れのパターンが変化し、柱体の上・下面には上記と同じ渦は見られなくなる(写真(e)~(g))。流速を

増して行くと、柱体変位に対して位相のずれを伴いながら、同じパターンの流れが形成される写真の(b)~(d)の様子は通常の共振を連想させる。

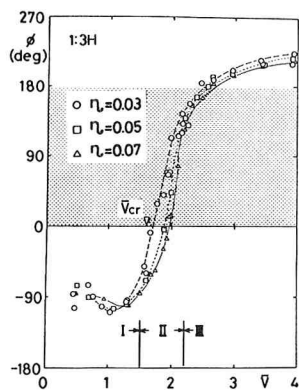
さて、 $\eta=1$ の渦と関係のある $\bar{V}=1.5 \sim 2.1$ なる流速域は図-1のIIの範囲であり、この範囲における ϕ の変化量は、約 180° であることが図よりわかる。 $\bar{V} > 2.2$ (図中IIの範囲)でも、 ϕ は約 90° 緩慢に増加するが、この現象は、 $\eta=1$ の渦と異なる長波長の渦によりもたらされたものである。ここで、このIIIの流速域ではハードフラッタを生じることをご想像されたい。ハードフラッタとは、不安定なリミットサイクルより大きい初期振幅を与えて始めてフラッタを生じる現象である。その時の柱体まわりには、 $\eta=1$ と関係のある渦は存在しないことが重要である。このことは、柱体自身の振動で形成された長波長の渦によってフラッタが発生することを意味している。換言すれば、IIの流速域における励振は、 $\eta=1$ の渦が励振発生種の(タ本)となって生じる渦励振であるが、IIIの流速域の励振は、種なしフラッタ、すなわち純粋なフラッタであると言えないだろうか。

結局、偏平H型断面柱の渦励振では、 $\bar{V}_{cr}$ 付近において ϕ が 270° 以上急変するが、このうち、渦励振に関する変化量は約 180° であることが示された。

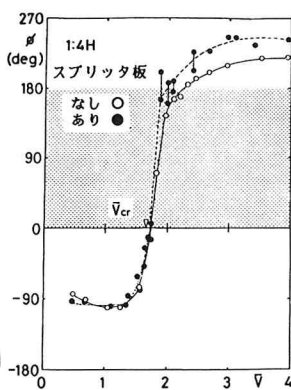
[4] むすび 偏平H型断面柱の渦励振発生流速域では、ソフトフラッタとハードフラッタを生じる。これらは、それぞれ渦励振と純粋なフラッタと思われ、前者における非定常揚力の位相角変化量は約 180° であること等が明らかにされた。おわりに、本研究を行なうにあたり、九重大学の亀井頼隆氏と院生・卒研生諸君の援助を受けたことを記し謝意を表します。

参考文献 1) Y. Nakamura & M. Nakashima : J.F.M., to be published.

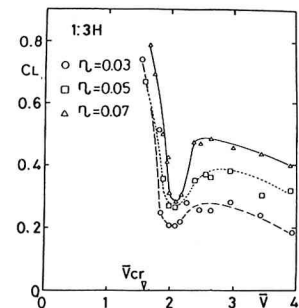
2) 吉村 他 : 昭和59年度土木学会西部支部研究発表会講義集, 1985.



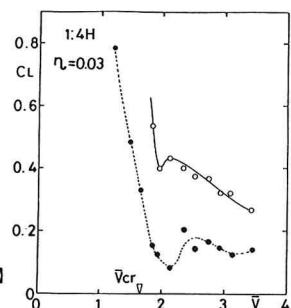
【図1】



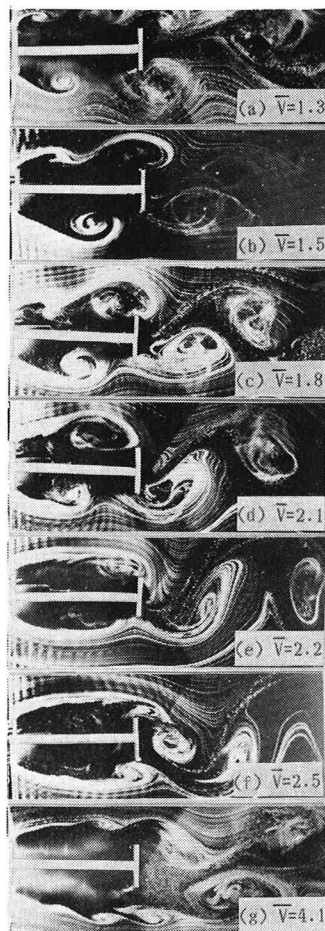
【図3】



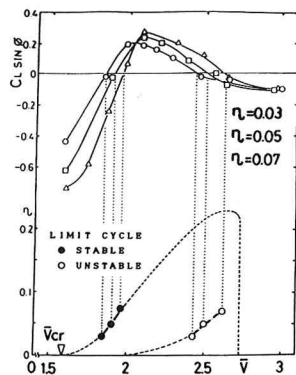
【図2】



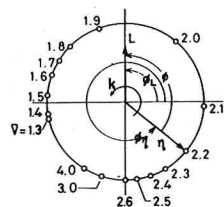
【図4】



【写真1】



【図5】



【図6】