

渦励振の数学的モデル(第2報)

九州産業大学工学部 正員 吉村 健

学生員 小川富士夫, 石水重幸

①まえがき 非振動物体から剥離したせん断層が前縁剥離渦やカルマン渦に巻き込む現象は、流体系における自励振動現象と見なすことができる。そこで、前報¹⁾では、渦励振における流体系を多自由度自励振動系に置換した数学モデルを考案し、渦励振発生の説明を試みた。本報では、扁平H型断面の非定常揚力を決定し、その決定値と中村ら^{2),3)}の研究結果を参照して、この数学的モデルに考察を加える。

②中村らの研究^{2),3)} 図-1²⁾は1:4H型断面の渦励振特性であり、写真-1³⁾の(a)と(b)は、それぞれ、図-1の第1と第2の発振開始流速付近における断面まわりの流れを示す。図-1に見るように、スプリッター板の有無に依らず、応答特性に大きい変化がないことから、図の励振はカルマン渦に起因するものではない。第1と第2の発振は、それぞれ、弦長 d を2枚長($n=1$)および1枚長($n=2$)とする前縁剥離渦(写真-1(a)と(b)の断面の上・下面)に起因するものであって、非振動時でも見られる同種の渦が“励振発生の種”であると中村は述べている。この剥離渦との共鳴で発する音は、エッジトーンとして広く知られている。

なお、スプリッター板と模型との隙間 γ_h の大小によって、第2の発振の後半における応答特性がいくぶん異なることも図の結果は示している。予備的実験によれば、 $\gamma_h=0.5$ の場合、模型の振動の有無に依らず、この隙間から流入する2次流れ(振動流)が認められ、この時、写真-1bにも見られる後縁2次渦が観察された。白石・松本⁴⁾が指摘しているように、図に見るこの特性の差異は、2次流れもしくは2次渦と関連があるといえる。

③非定常揚力特性 1:3と1:4のH型断面について水槽実験を行い、渦励振発生流速域における非定常揚力を決定した。いずれの断面の特性もほぼ同様であったので、1:4断面の結果のみを図-2に示す。ただし、 $\eta = \eta \sin(2\pi f t)$ ($\eta=7\%$)で模型を強制加振した時、模型に作用する非定常揚力を

$L = \frac{1}{2} \rho V^2 d l C_L \sin(2\pi f t + \phi)$ と表わし、 η - L 図の位相差 ϕ 、 L の無次元振幅 C_L および励振力 $C_L \sin \phi$ として図示している。図中横軸は無次元流速 $V = V/fd$ であり、○、■、▲の各印は図-1の3つのケースと対応している。

いずれのケースとも、 $n=1$ の渦との共振流速 V_{cr} 付近で、 ϕ が 30° 以上急変するのが認められ、扁平矩形断面と同じ特性を示している。ただし、スプリッター板なしと $\gamma_h=0.5$ の場合、 ϕ がなめらかに変化するのに対し、 $\gamma_h=0.025$ では跳躍的变化を示している。また、図-1bの C_L についても、 $\gamma_h=0.025$ の特性は、スプリッター板なしのそれと大きく異なっている。これらの差異が励振力に及ぼす影響は図-3に見るとおりである。 $\eta=7\%$ のように比較的大きい振幅では、2次流れの影響は無視し得ないものとなっており、励振域が狭くなるという点で、図-1の応答特性と対応する。

④数学モデル 以上の事実を踏まえ、図-3の数学モデルについて考察する。図中 $n=1$ あるいは $n=2$ の渦励振系の中で、下方と上方の振動系は、それぞれ、 $n=1$ あるいは $n=2$ の前縁剥離渦系と2次振動流系を表わす。 C_2 と C_2' はレーリー型の変形型ダッシュポットであり、非振動時でも渦放出と2次振動流が見られることと対応させている。また、2次振動流の振動数は前縁剥離渦の放出振動数と等しいので、 $K_1 M_1 = K_2 M_2$ 、 $K_1' M_1' = K_2' M_2'$ とした。かつ、 $M_1 \gg M_2$ 、 $M_1' \gg M_2'$ のようにして、 $n=1$ 系と $n=2$ 系のそれぞれの系における2つの固有振動数比を1に近いものとした。なお、図のモデルは下面の流体系のみを表わしており、図中左の上方にこれと対称な流体系がある。

このモデルでは、物体振動系によって前縁剥離渦系が $F\eta$ 、 $\eta + F\eta$ で加振され(上面の流体系はこれと逆位相で加振)、非定常揚力 C_L と C_L' を生じる。これらの揚力が物体振動系を励振するのであるが、2次振動流系は揚力の発生に間接的に関与するものとした。また、 $\gamma_h=0.025$ のように、隙間を小さくして2次流

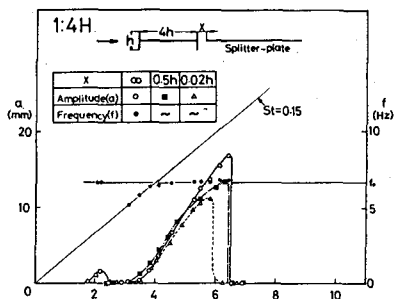


図-1 1:4H型断面の渦励振(文献2)

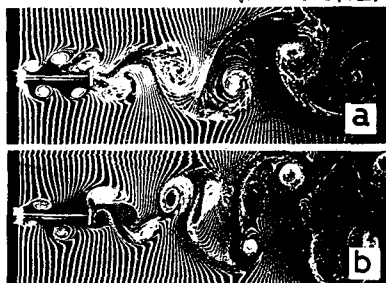


写真-1 渦励振における流れ(文献3)

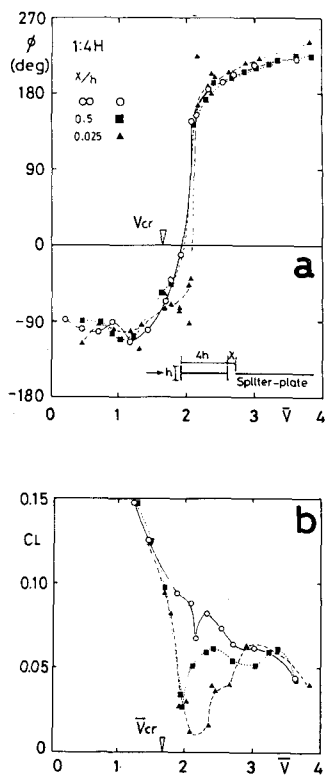


図-2 1:4H型断面の非定常揚力の実験値(α)位相差(b)絶対値(c)虚部

れを抑制するケースについては、減衰 G と G' を増すことで実験値と対応するかどうか調べることにした。

モデルに含まれる各種パラメータを定めるにあたり、次の実験値と条件を用いた。①非振動時の実験値：ストローハル数と揚力振幅。②前縁角係数と2次振動系の振動数は等しい。③ $n=1$ 系と $n=2$ 系のそれぞれの系における2つの固有振動数比はほぼ1。④非定常揚力の実験値。

このモデルを用いて応答を計算した結果のうち、位相差のみを図4に実線と破線で示す。実験値との間に比較的良好な一致が認められる。なお、 CL 特性についても実験値と定性的に一致したが、現在、定量的検討を進めているところである。

⑤むすび 偏平構造断面の渦励振の数学モデルについて考察したが、なお検討の余地が多く残されている。最後に、本研究を行なうにあたり、九産大工学部の亀井頼隆氏と卒業生の支援を受けた。また、本研究の一部は文部省科研費の援助により、行なわれた。ここに記して謝意を表したい。

〈参考文献〉

- 1) 古村他：土木学会第39回年次学術講演会 講演概要集，1984。
- 2) 中村他：九州大学応用工学研究所所報，第59号，1983。

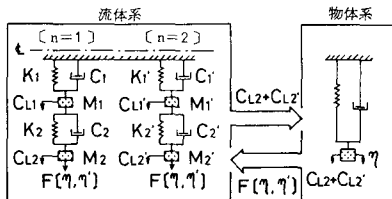


図-3 渦励振の数学モデル

- 3) 中村他：九州大学応用工学研究所所報，第60号，1984。
- 4) 白石・松本：土木学会 論文報告集，第322号，1982。

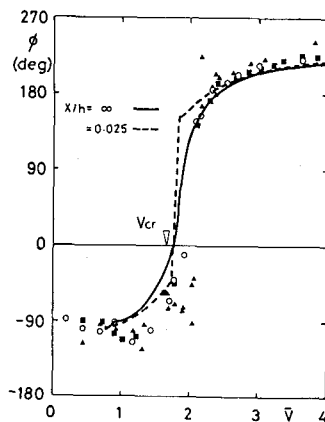
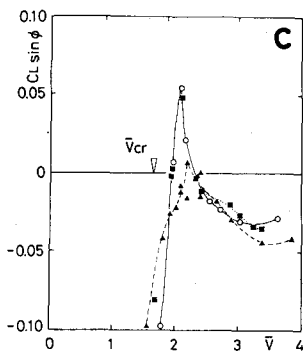


図-4 数学モデルの応答