

九州産業大学工学部

正員 吉村 健, 学生員 小川 高士夫

川田工業株式会社

正員 坂田正二

有明工業高等専門学校

三宅昭春

1 まえかき

偏平な矩形やH型等の断面柱は、低風速域で前縁剝離渦励振を生じる。この種の励振は、断面の上下面の前縁剝離渦に起因するフラッタであり、カルマン渦に起因するものと区別される。

カルマン渦励振については、流体系を1自由度の自励振動系に置換し、この流体系と構体振動系とを連成フラッタとして励振の発生を説明する研究が行われている。本研究では、前縁剝離渦励振の流体系を2自由度自励振動系に置換し、これと構体系とを連成フラッタとして励振の発生を説明することを試みる。

2 矩形柱の渦励振特性^{1)~3)}

図1の実線の曲線は、種々の断面比 $d/2$ の矩形柱について図1から求めたストローハル数 $Se(x) = f \cdot d / V$ を、 $Se(d)$ に変換して図示したものである¹⁾。ここに、 d は弦長、 f は高さ、 f は渦放出振動数、 V は風速。図の結果も、中村らのH型柱の結果とほぼ同様の特性を示し、図中Kármánと記されるカルマン渦の分枝と、 $m=1$ と記される弦長1波長とする前縁剝離渦の分枝が見られる。

図2の(a)と(b)は、それぞれ1:2と1:4の矩形柱に関する中村・溝田のフラッタ実験結果である²⁾。第1の励振の発生風速域の逆数 $(1/\bar{v}_0 \cdot d/k, \bar{v}_0 = V/f_0)$ と第2の励振の共振風速の逆数 $(1/\bar{v}_{cr} \cdot d/k)$ を図より求め、それぞれ図1にI印と■印で示す。図より次のことがわかる。① 1:2断面の第2の励振はカルマン渦励振。② 1:2断面の第1の励振と1:4断面の第2の励振は、 $m=1$ の前縁剝離渦励振。③ 1:4断面の第1の励振は、弦長2波長とする $m=2$ の前縁剝離渦励振。

図3の(a)と(b)の△印等は、それぞれ1:2と1:4の矩形柱の変位に対する非定常揚力の位相差 ϕ である³⁾。2種の渦励振の発生風速付近において、いずれも ϕ が急変するが、その変化量の差異に注目したい。すなわち、カルマン渦励振では ϕ が約180°急変するのに対し、前縁剝離渦励振の場合、約360°急変している。

3 2自由度系の強制振動の位相差特性

前記カルマン渦励振の数学的モデルによれば、限定的応答特性や、 ϕ の約180°急変現象等がうまく説明される⁴⁾。すなわち、 ϕ が約360°も急変する前縁剝離渦励振の場合、流体系はいかなるモデルに置換されるのであろうか？

このことを調べるために、図4に示す2自由度系の強制振動の応答を考えてみる。図5(a)は、 $P_0 \cos \omega t$ で加振した場合の、質点 m_1 の応答 $X_1 \cos(\omega t + \phi)$ の位相差 ϕ を示したものである。図中 ω_n は、1次の共振振動数であり、実線、破線、点線の順に ϕ の減衰は大きい。減衰の小さい場合、1次と2次の共振間で、 ϕ が π から 2π へ約180°急変する。いま、1次と2次の共振振動数をほぼ等しくすると、 ϕ の変化は図5(b)のようになる。減衰の小さい系では、共振点において ϕ の約360°急変現象が認められ、前縁剝離渦励振における流体系が、共振振動数のほぼ等しい2自由度系に置換されることを図の結果は示唆している。

4 前縁剝離渦励振の数学的モデル

まず、1:2断面では、カルマン渦励振と前縁剝離渦励振が発生するので、その流体系を図6(a)のモデルに置換した。カルマン渦励振の数学的モデルについては、文献(4)を参照したい。図のモデルでは、流体系は構体系から速度 U で加振される。その結果、図中Kármánで示されるカルマン渦系の応答 L_1 と、図中 $m=1$ (点式) で示される前縁剝離渦系の応答 L_2 を生じ、これらが構体系に外力として作用するものとした。

$$L_2^* + a L_2^* + b [1 + c(d\%)^e] [1 - f(2L_1)^2] L_1^* + k_2^* L_2 - k L_1 = 0 \quad (1)$$

$$L_3^* + i [1 + c(d\%)^e] [1 - f(2L_1)^2] L_1^* + k_3^* L_2 - k_2^* L_1 + (C_0 + C_1) \rho d U^2 = 0 \quad (2)$$

ここに、 $a, b, \dots, C_0$ 等の各係数は実験パラメータ⁵⁾、 $L_1 = L_2 - L_1$ 、この γ のパラメータを適当に定め、上式の定常周期解 L_2 と L_1 のこれらの線型和 $dL_1 + \beta L_2 = L \sin(\omega t + \phi)$ を求めた。得られた ϕ を図3(a)に太い実線で示す。

実験はラメーの物理的意味が不明瞭な点に問題があるが、本モデルの応答値と実験値とが比較的良好に一致している。なお、高風速域における両者の不一致は、式(2)の右辺に準定常空気が用いたために生じたものであり、流場の非定常性を加味すれば、両者は一致してくるものと思われる。

次に、1:4断面の場合、 $n=1$ と $n=2$ の渦励振が生じるので、その流体系を図6(b)のモデルに置換した。得られた結果を図3(b)にたい実験値で示す。第2の共振における ϕ の変化率については、実験値との間に差異はあるが、両者の間に定性的な一致が認められる。

5 おわりに

前線分離渦励振の数学的モデルを考案し、1:2と1:4の矩形柱に適用したところ、励振域における非定常揚力の位相差特性はある程度よく説明できることが示された。

謝辞

本研究を行なうにあたり、水たふ力研の中村泰治教授に貴重な助言をいただいたことを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 岡島: 日本風工学会誌, 17号, 558.
- 2) 中村, 中島, 渡辺: 九州大学応用力学研究所報, 59号, 358.
- 3) Nakamura & Higata: Proc. ASCE, Vol. 101, No. EM6, 1975.
- 4) 中村, 藤本, 吉村: 第34回土木学会年次学術講演会講演概要集I, 554.

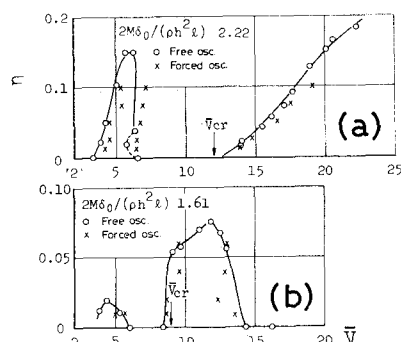


図2 矩形柱のフロー特性(文献:3)
(a) 1:2 断面, (b) 1:4 断面

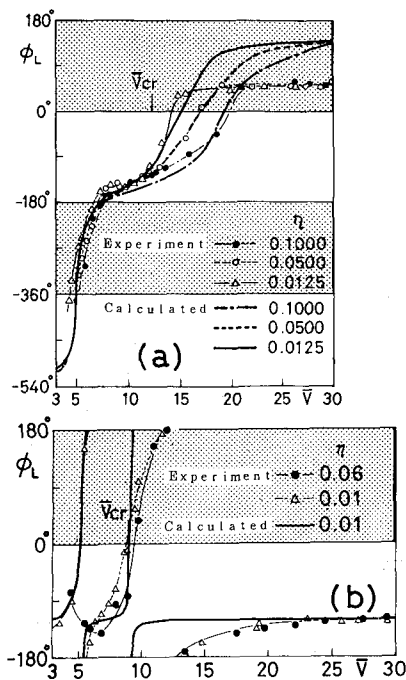


図3 矩形柱の非定常揚力の位相差特性
(a) 1:2 断面, (b) 1:4 断面 (文献:3)

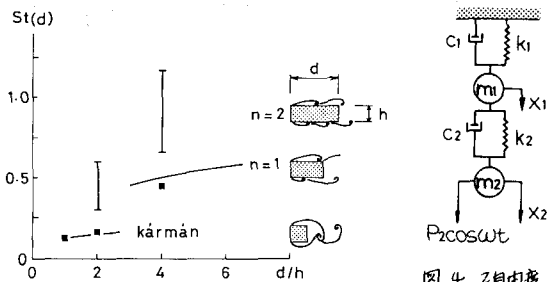


図4 矩形柱の2自由度系モデル(文献:1)

図4 2自由度系の強制振動

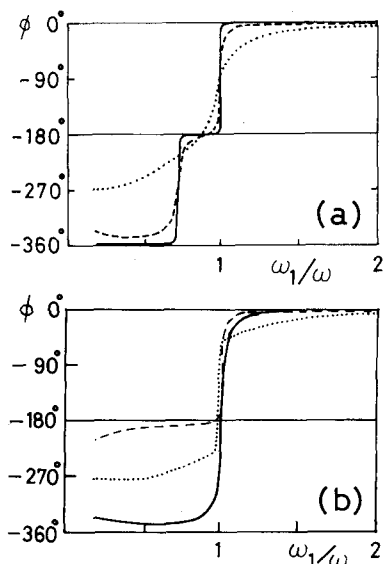


図5 2自由度系の位相差特性

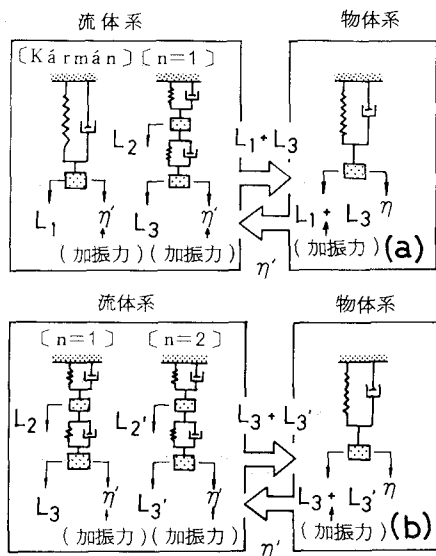


図6 矩形柱の渦励振モデル
(a) 1:2 断面, (b) 1:4 断面