

はしがき

長方形角柱を一樣気流中に長辺と直角方向に振動できるようにね支持した時、ある風速域で渦励振が発生する。長辺が気流と平行な場合、渦励振の発生風速域は、カルマン渦との共振風速とはほとんど無関係である^{1,2)}。主な振動発生要因は、角柱の運動に伴ない発生する前縁剥離渦の作用によるものと考えられる³⁾。この振動は、フラッタと同様の自励的な振動、いわば自励渦励振であると言える。

角柱が十分な迎角を持つ場合、前縁を周って上流側に傾斜した側面を過ぎる流れは剥離しない。また、下流側に傾斜した側面を過ぎる流れは、前縁から剥離して側面付近に大きな後流域を形成する。このような状況では、側面上に、前述のような、角柱の運動に伴ない前縁剥離渦の形成はなされなくなてくる。そのため前縁剥離渦に起因する渦励振は生じにくくなると推察される。しかし、このときもカルマン渦は存在するので、それが原因となるカルマン渦励振は発生し得る。

本報告は、上のことを確かめるため、迎角比 $1/2$ 、 $1/3$ の角柱を用いて応答実験を行なったものである。

風洞実験

実験条件は次の通りである。

風洞：吹出口高さ 1 m × 幅 0.7 m

気流：風速 $V = 0.6 \sim 4\text{ m/s}$ 、一樣流

角柱：高さ $D = 50$ 、幅 $B = 100$ 、長さ $L = 688\text{ mm}$

$D = 50$ 、 $B = 150$ 、 $L = 688\text{ mm}$

アクリライト製、重量 $W \approx 1.3\text{ kg}$

ばね支持：長辺に直角方向にばね支持

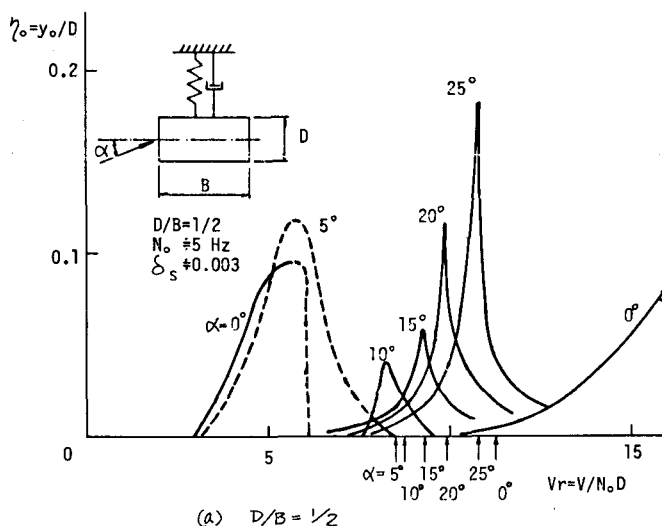
固有振動数 $N_0 \approx 5\text{ Hz}$

対数減衰率 $\delta_s \approx 0.003$

(振幅 $y_0 = 2\text{ mm}$ のときの値)

迎角： $\alpha = 0 \sim 25^\circ$ 、 5° おき

(α は長辺と気流とのなす角)

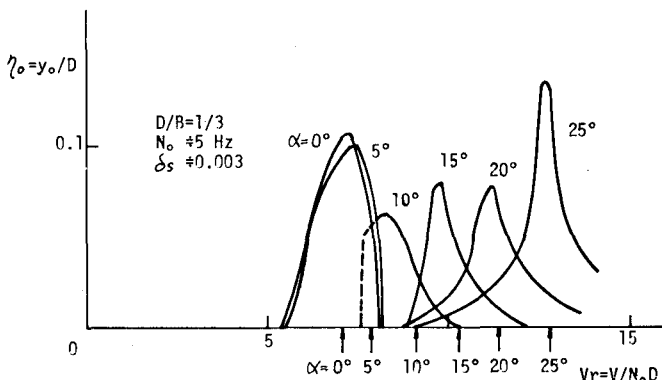


(a) $D/B = 1/2$

実験結果

設定した各迎角のときの応答振幅・風速曲線を図-1に示す。応答曲線のうち、破線部分は、角柱を静止させたままの時は長時間にわたり振動が発生せず、大振幅を与えた時のみ定常的な振幅の振動が発生した時の振幅を示す。横軸の下に付けた矢印は静止角柱の後流変動から求めたカルマン渦の発生周波数に対応する共振風速 $V_{r,cr}$ を示す。

$D/B = 1/2$ の角柱の場合、迎角の小さい時の渦励振は自励的な応答(破線部)を含む。



(b) $D/B = 1/3$

図-1 応答曲線

共振風速はその渦励振発生領域に含まれてない。迎角が大きくなると応答曲線の形状は、鋭いピークを有するものとなり、自励的な応答現象は認められなくなる。迎角 $\alpha=15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ の場合、共振風速は、ちょうど応答の最大値を与える風速に一致している。

$D/B=1/3$ の角柱の場合、応答現象の特徴は次の通りである。迎角 $\alpha=0^\circ$ と $\alpha=5^\circ$ の応答曲線は、共振風速がそれぞれ異なっているにもかかわらず、非常に良く似かよっている。 $\alpha=25^\circ$ の場合、 $D/B=1/2$ の角柱の大迎角の場合と同様に、応答曲線は鋭いピークを持ち、ピークの生ずる風速は共振風速に一致している。

考察

図-2に $D/B=1/2$, $\alpha=25^\circ$ のときの角柱の定常振動時の振幅(●印)および振動数(○印)をプロットした。

角柱にカルマン渦の放出に伴なう調和的な揚力が作用するときの運動方程式は、慣用の記号を用いて次式で表わされる。

$$\frac{W}{g} \ddot{y} + C \dot{y} + ky = \frac{1}{2} \rho V^2 D L C_L \cos(2\pi f_v t) \dots (1)$$

カルマン渦の発生周波数 f_v はストローハル数 St を用いて、 $f_v = (St/D) V = (St/N_o) V_r$ 。このことから、 V_r を横軸として式(1)の共振曲線を描くことができる。簡単のため、 C_L は風速、振幅によらず一定と仮定し、 $C_L=2.0$ 、 $\delta=0.02$ (共振風速付近の δ の実測値)として共振曲線を求め、図-2に描いた。

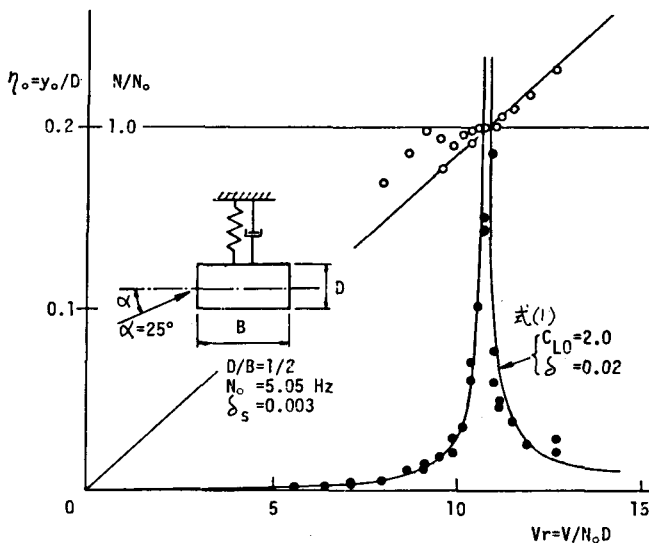


図-2 $D/B=1/2$, $\alpha=25^\circ$ の角柱の応答振幅と振動数

この図に見られるように、応答の実測値は、カルマン渦による強制振動応答の計算結果と良く一致している。また、応答振動数の実測値もほぼカルマン渦の発生周波数に一致している。このことから、この渦励振はカルマン渦を主たる原因とする振動であると言える。 $D/B=1/2$, $\alpha=15^\circ, 20^\circ$ および $D/B=1/3$, $\alpha=25^\circ$ の渦励振も同様にカルマン渦励振と考えられる。

これに対し、それぞれの角柱の $\alpha=0^\circ, 5^\circ$ の応答は、角柱の振動に伴ない発生する前縁剥離渦を主たる原因とする渦励振であると考えられる。

$D/B=1/3$, $\alpha=0^\circ$ の場合、振幅が最大となる風速と共振風速はほぼ一致している。しかし、応答曲線の形状が共振曲線と異なる事、応答振動数はほぼ固有振動数となる事、前縁剥離渦による励振機構でうまく説明できる事から、カルマン渦よりも角柱の振動に伴ない前縁剥離渦の影響がはるかに強い振動であると考えらる。

$D/B=1/2$, $\alpha=10^\circ$ および $D/B=1/3$, $\alpha=10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ の場合、上述の両方の現象が混在していると考えらる。

結論

迎風比 $D/B=1/2$, $1/3$ の角柱の長辺と直角方向の渦励振は、応答現象からみて、次の2種に区別して考えらる事ができる。

- (1) 角柱の振動に伴ない発生する前縁剥離渦に起因する剥離渦励振(自励渦励振)
- (2) カルマン渦の放出に起因するカルマン渦励振(強制渦励振)

参考文献

- 1) Komatsu, S. and Kobayashi, H.: Vortex Induced Oscillations of Bluff Cylinders, J. Wind Eng. & Ind. Aerodyn. 6(1980)
- 2) 中村・藤本: 矩形断面柱の低風速共振と渦励振について, 第35回土木学会年次総会