

立命館大学 理工学部
大阪大学 工学部

小林 敏士
小松 定夫

〔はしがき〕

長方形角柱は一樣流により流れと直角方向の限定振動を発生する例のある事が認められる。この限定振動の特徴的な現象は、(1)一般にカルマン渦との共振風速 $V_{r,cr}$ を含む風速域で振動が発生する。(2)しかし $V_{r,cr}$ を含まない風速域で振動が発生する事もある。(3)最大応答を与える風速は、 $V_{r,cr}$ とは異なる風速となる例が多い。(4)静止状態からは振動が発生せず、適当な初期振幅を与えて始めて振動が発生する事がある等である。これらの現象のうち、(1)はカルマン渦との共振現象として容易に理解されよう。しかし、(2)~(4)の現象は単にカルマン渦との共振現象のみでは説明できない。そのため、様々な見方による現象の理解が試みられている。

振動中の角柱表面の圧力測定¹⁾および角柱周囲の流れの可視化²⁾から、角柱の振動に同期して前縁付近に渦が発生し、上下側面に沿って流下する事が側面における変動圧力の主要因となる事が認められた。これらの実験を基に、筆者らは、角柱の限定振動に対し、角柱の振動に同期して前縁から発生する渦が重要な要因の1つとなるものと考えた³⁾。このような推察に対し理論的な検討をする事が本論文の目的である。

高レイノルズ数におけるくびい物体周りのはく離流を理論的に解析する手法として渦系近似法が有効である事が知られている⁴⁾。ここでは、一樣流中で流れと直角方向に並進振動中の長方形角柱周りのはく離流を渦系近似法により解析し、あわせて角柱表面の圧力特性、流体力についても調べ、長方形角柱の限定振動の発生要因について検討する。

〔数値計算〕

2面における長方形を式(1)に示す写像関数により入面の円に変換して解析を行なう。原点に中心を有する半径1の円の外部 λ_{jk} 点に強度 Γ_{jk} の渦系がある時、流れの複素ポテンシャル $W\lambda$ は式(2)で表わされる。ここに流速 U は λ の実軸方向、 $\bar{\lambda}$ は λ の共役、 Z_0 は2面における長方形の振動変位である。2面における流速 $u-v$ は式(3)により求められるので角柱周りの渦系の動きを追跡できる。角柱表面の圧力 P は式(4)の圧力方程式で、流体力 $X-iY$ は式(5)の非定常 Blasius の式で計算できる。ここに ρ は流れ密度、 μ は流体粘度である。

数値計算に際して、渦系ははく離点近傍においてある一定時間ごとく発生するものとする。そして Δt 時間おきに式(2)、(3)を用いて渦系の移動を計算する。渦系の導入方法(発生点位置および強度の与え方)が計算結果を左右する重要なパラメータとなる。これらの値を定めるため、それぞれ Kutta の条件、Shear layer 速度 U_s による算定法が使用される事が多い。

本論文においては、渦系の発生点は長方形の前縁角部から $x/D = -0.04$, $y/D = 0$ だけ離れた点に固定し、後縁からの渦系の発生は無いと仮定した。ここに D は角柱の高さ。渦系の強度 Γ は、 U_s の他に角柱の振動速度 $\dot{y}_0$ の項も考慮した式(6)を用い、 $\alpha = 4.35$ とした。計算の時間きざみは $\Delta t = 0.053 D/U$, 渦系は $2\Delta t$ に1回発生させた。角柱の表面に近づいた渦系はランキン渦に置き換え、相互に接近した渦は合体させた。高さ対幅の比が $D/B = 1/3$ の角柱の長辺を流れと平行(x 軸方向)とし、 y 軸方向に振幅 $y_0 = 0.067D$, 振動数 N で振動させた。

$$Z = f(\lambda) = a_1\lambda + a_0 + \frac{a_1}{\lambda} + \frac{a_2}{\lambda^2} + \dots \quad (1)$$

$$W\lambda = U\left(\lambda + \frac{1}{\lambda}\right) + i\sum_{jk} \frac{\Gamma_{jk}}{2\pi} \log \frac{\lambda - \lambda_{jk}}{\lambda - \bar{\lambda}_{jk}} - \bar{a}_1 \frac{Z_0}{\lambda} + \frac{Z_0}{2} (f(\lambda) - a_1\lambda) \quad (2)$$

$$u - iv = \frac{dW\lambda}{d\lambda} \frac{d\lambda}{dz} \quad (3)$$

$$P = -\rho \frac{d\Phi}{dt} - \frac{\rho}{2} (u^2 + v^2) \quad (4)$$

$$X - iY = \frac{i\rho}{2} \oint_C (u - iv)^2 dz - i\rho \frac{d}{dt} \oint_C Z d\Phi \quad (5)$$

$$\frac{d\Gamma}{dt} = \frac{1}{2} U_s^2 + \alpha U \dot{y}_0 \quad (6)$$

[計算結果と考察]

図-1に1サイクル中の各位相における渦糸の配置を示す。・, + はそれぞれ上下前縁から発生した渦糸である。また○は合体した渦糸を示す。図から、前縁から発生した渦糸が前縁付近で渦を形成し、時間と共に発達しながら側面に沿って流下する様子が認められる(A, B, C, D)。このような渦の発生、発達、流下の様子は可視化実験結果と良く一致している²⁾。図-2はそれぞれ図-1と同時に上側面上の圧力係数の変動分の分布を求めたものである。A, Bは上側面の前縁、後縁を示す。図-1と比較すると、渦位置において圧力の負の向きのピークが生じている事および渦の流下につれてそのピークも時間と共に下流側へ移動している事がわかる。計算値は、同図に小さい図で示した実験結果と良く一致している。

図-2において $V_r = 7.3$ の場合、側面のほぼ中央部を境とし、上流側の変動圧力は角柱の振動に対し負の仕事をし、下流側の変動圧力は正の仕事をしている。そして後流側の変動圧力の振幅は上流側のそれよりやや大きめである。従って、この圧力により角柱が励振され得ると考えられる。この風速における流体力の計算結果によれば、流体力の変位に対する位相は約 $\pi/4$ 進んでおり、角柱は励振される事を示した。

$D/b = 1/3$ の辺長比を有する角柱の風洞実験によれば、この角柱の $V_{r,cr}$ は 6.7 で、限定振動の発生風速域は構造減衰の十分小さい時は $6.5 < V_r < 8.0$ である。そしてこの間角柱の振動数は変らず固有振動数に一致している。上述の計算結果は、この風洞実験結果に認められる自励的な振動現象が、角柱の振動に同期して前縁から発生する渦の作用と強い関連性を有するものである事を良く説明している。

[あとがき]

渦糸近似法による計算結果は実験結果と良く一致した。長方形角柱の限定振動に対し、角柱の動きに同期して前縁付近から発生する渦と側面との相互作用が重要な因子となる事が数値的に示された。今後、異なる辺長比の角柱についても上述の推論を確かめたい。

参考文献

- 1) 小松・小林, 土木学会論文報告集 No. 2708
- 2) 小林・小松, 土木学会第33回年次学術講演会
- 3) 小林・小松, 土木学会第32回年次学術講演会
- 4) 溝田, 新形構造物の耐風性に関するシミュレーション

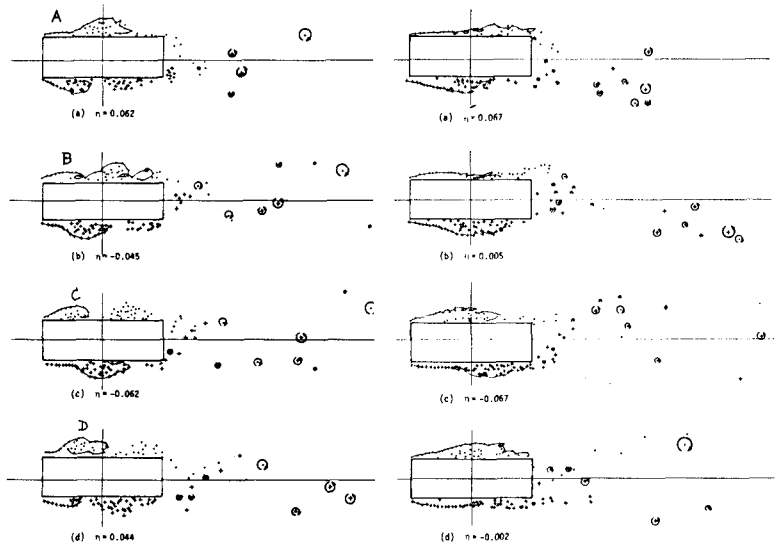


図-1 振動中の角柱周りの渦糸の配置

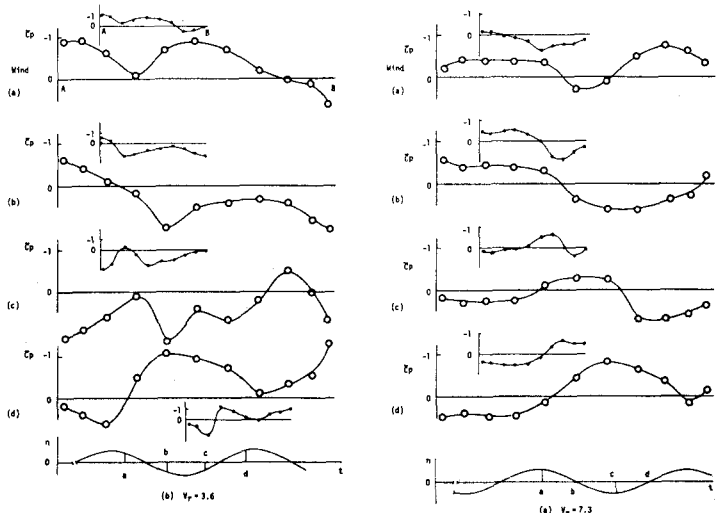


図-2 上側面の圧力係数の変動分の分布