

円柱からの初生渦の供給について

大同工業大学 正員 ○久保田 稔
 中部地建 正員 九津見 生哲
 大同工大院 学生員 中山 貴士

1. はじめに 近年数値解析の一手法として、せん断層を多数の渦点の配列によって近似する離散渦法が、円柱周りの流れ場の近似解放として注目され、境界壁の無い場合の円柱周りの流れ場が数多く解析されている。ところが、この手法を用いる際に必要な、円柱からの渦の供給、輸送及び消滅過程に関してはまだ充分な解明がなされていない。

そこで著者らは、離散渦法を路床近くの円柱周りの流れ場へ有効に活用する知見を得る一助として、路床に発生する剥離点位置と e/D との関係及び円柱から発生する初生渦が結集してカルマン渦になる際の渦の結集率に検討を加えている。

2. 路床上の剥離点 路床付近の渦度が零になる所までを境界層と考え、運動量厚が最大値になる位置を剥離点とした。図-1は、各 e/D での円柱中心からの剥離点であり、 $e/D=0$ の場合の剥離点は三角印で示してある。同図中には、乱流境界層での Ink-dot 法で剥離点を決定した檜和田らのデータも示してある。同図より、 $e/D \geq 0.5$ での著者らの円柱後方の剥離点位置は檜和田らの値よりも大きく目であるが、 e/D が小さくなるにつれ、剥離点が円柱に接近する傾向は同じである。なお、円柱前方にも剥離点が存在しており、この剥離点位置は e/D にかかわらずほぼ一定である。ところで、 $e/D=0$ での円柱前・後方の剥離点は檜和田らのデータと良い一致を示しているが、檜和田らの剥離点位置は $0 < e/D < 0.5$ の間で複雑に変化しており、 e/D が小さい値での剥離点位置については、更に詳細な実験が必要であると考えている。

3. カルマン渦の循環と渦の結集率

以下にまず、円柱後方のカルマン渦の循環について検討する。

渦の循環 Γ_N は等渦度線間で囲まれた面積を ΔA_i その渦度を ω_i とすると、

$$\Gamma_N = \sum_{i=1}^N \omega_i \Delta A_i \quad \dots (1)$$

と近似的に表現される。ここで、循環 Γ_N の分布形を粘性渦糸まわりの循環に対応させた以下の実験式で表示する。

$$\Gamma_{N*} = \Gamma_{\infty*} [1 - \exp(-\beta \cdot a_N/D^2)] \dots (2)$$

ここに、 Γ_{N*} は循環の無次元量 ($=\Gamma_N/U_0 D$)、 $\Gamma_{\infty*}$ は $a_N \rightarrow \infty$ での循環の無次元量であり、ここでは無次元終局循環量と名付ける、 β は定数、 a_N は $a_N = \sum \Delta A_i$ である。

図-2は、 $e/D=0.5$ のU画面でのカルマン渦の循環と無次元面積 a_{N*} ($=a_N/D^2$) であり、この循環を求める際には同じ渦度で囲まれた複数個の循環を1つの循環に合成している。同図より、各カルマン渦の循環は良く式(2)で表現されている。

さて、円柱から離脱する初生渦の循環とカルマン渦との関係について検討を加えよう。

渦の形成過程に対して本質的な意味を持つと考えられる無次元渦度流束 K_* ($=K/U_s^2$) は、

$$K_* = \frac{1}{U_s^2} \int_0^\delta \omega u dy = \left[\frac{U_0}{U_s} \right]^2 \frac{d\Gamma_{0*}}{dt_*} \dots (3)$$

と定義されている。ここに、 U_s は境界層外縁の速度、 δ は境界層厚さ、 ω は渦度、 u は境界層内の速度、 y は境界面に垂直方向の距離、 Γ_{0*} ($=\Gamma_0/U_0 D$) は初生渦の無次元循環量及び t_*

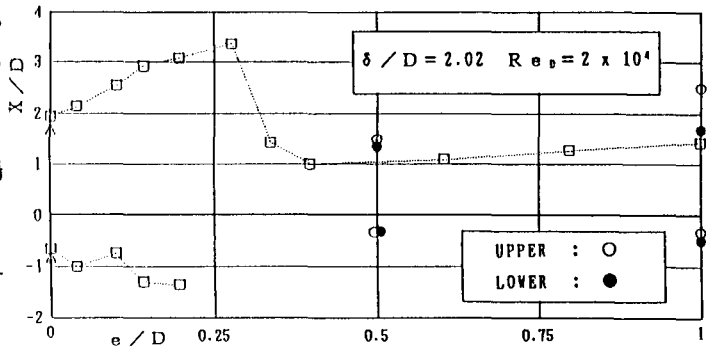


図-1 路床上の剥離点位置

$(=tU_0/D)$ は無次元時間である。

式 (3) より、初生渦の放出時間間隔を ΔT とすると、初生渦の循環は無次元形で

$$\Gamma_{0*} = K_* \left[\frac{u_s}{U_0} \right]^2 \Delta T_* \dots (4)$$

と表現される。ここに、 $\Delta T_* (=U_0 \Delta T/D)$ は無次元放出時間間隔である。ここで、カルマン渦の発生時間間隔 T の間に初生渦によって発生した全循環量の一部が、カルマン渦の循環 Γ_K に等しくなると考え、 ϵ を渦の結集率とすると、

$$\epsilon \frac{T}{\Delta T} \Gamma_0 = \Gamma_K \dots (5)$$

である。式 (4) と式 (5) より、渦の結集率 ϵ は、

$$\epsilon = \left[\frac{U_0}{u_s} \right]^2 \frac{\Gamma_K}{K_*} S t$$

で与えられる。ここに、 $S t$ はストローハル数 $(=D/U_0 T)$ である。

ϵ を求める際に、 Γ_K としてはカルマン渦の無次元終局循環量 Γ_{∞} を、ストローハル数 $S t$ は Bearman¹⁾ のデータと良い一致を示した著者らの測定値を採用している。また、無次元渦度流束 K_* については、円柱前方よどみ点から $\pm 90^\circ$ の位置において、渦度が零になる高さを境界層厚さ δ として、式 (3) より求めている。

図-3 は、 U 、 D 画面から各2個づつ求めた著者らの渦の結集率である。同図中には、境界壁の無い場合 ($e/D \rightarrow \infty$) の ϵ として、円柱を強制振動させた Griffin²⁾ の実験結果、永田³⁾ の突然出発する円柱背後の渦の循環と渦度流束の可視化計測より求めた値 ($U_0 t/D=3.5$ のとき) 及び今市⁴⁾ によって誘導された境界壁の無い場合の渦の結集率と後流圧力係数 C_{pb} との関係式、 $\epsilon = -C_{pb} / (1 - C_{pb})$ 、に著者らによる各 e/D での円柱周りの圧力分布より後方よどみ点 ($\theta=180^\circ$) での圧力係数を用いた ϵ が、カルマン渦の放出が停止する $e/D=0.3$ まで、示されている。同図より、著者らの渦の結集率は境界壁の無い場合の値より相当に小さく、また今市らの式も境界壁を考慮していないので、 e/D の変化による C_{pb} の変化が ϵ に現れているだけであ

参考文献 1) P.W.Bearman and M.M.Zdravkovich, J.F.M., Vol.89, 1978. 2) Owen M. Griffin, J.F.M., vol.85, 1978. 3) 永田拓, その他, 日機論, 463号, 1985. 4) 今市憲作, その他, 日機論, 471号, 1985.

る。すなわち同図の結果より、円柱が路床に接近した場合の渦の結集率は、ほぼ0.35程度の値と見なしでも良いと考えられる。

4. 結論 1) 渦度について、路床上に渦度が負の境界層が発生しており、円柱後方でこの境界層の剥離点位置は、 e/D が小さくなるにつれ、円柱に接近する傾向を示した。なお、円柱前方での路床上の剥離点位置は e/D にかかわらずほぼ一定であった。

2) カルマン渦は粘性渦糸周りの循環に対応させた実験式で良く表現された。

3) 渦の結集率は、境界壁の無い場合での値より小さく、 e/D にかかわらず、ほぼ0.35程度の値であった。

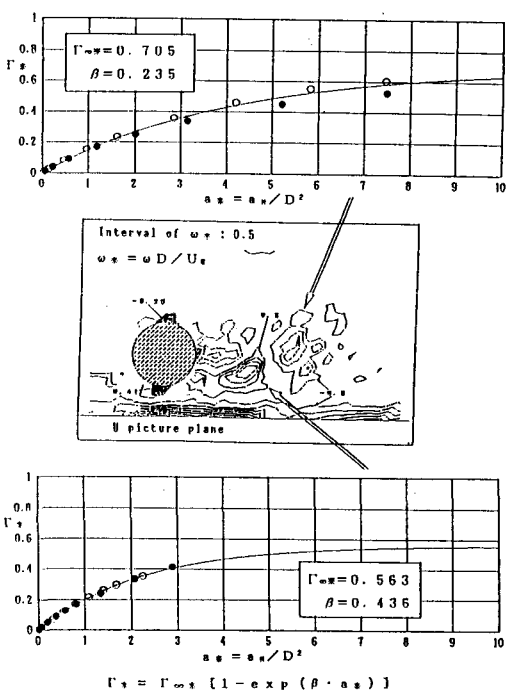


図-2 カルマン渦の循環

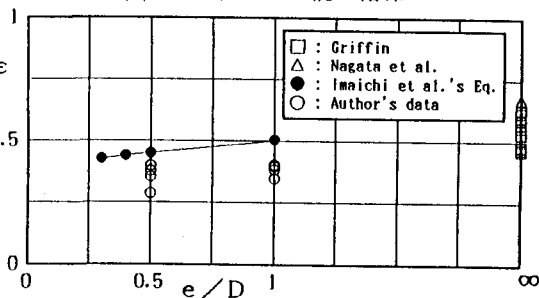


図-3 渦の結集率