

II-40 離散渦法による振動流中の円柱まわりの流れの解析

東北大学大学院 学生員○ 南 誠信
東北大学工学部 正 員 沢本 正樹

1. はじめに

波動場に鉛直に置かれた円柱まわりの渦は、円柱に作用する抗力、揚力の流体力および移動床では底面付近の洗掘現象に関係していると考えられている。本研究では、循環が時間的に減衰し、円周上の接線方向の流速を考慮した渦点を発生させ、KC数の増加により渦の形態と流況を調べるために2次元の数値シミュレーションを行った。

2. 計算方法

計算では、渦の核半径 $r = 2\sqrt{\nu t_n}$ (ν : 動粘性係数, t_n : 渦が生成されてからの時間) が実像や鏡像などの渦点同志の距離より大きい小さいかにより、渦点あるいは粘性渦を用いた。円柱表面での法線方向の境界条件を満たすように、円柱表面に関して渦点あるいは粘性渦の鏡像をおいた。粘性渦には次式を用いた。

$$v_\theta = \frac{\Gamma_n}{r} \left[1 - \exp \left(-\frac{r^2}{4\nu t_n} \right) \right]$$

ここで、 v_θ : 周速度, Γ_n : 各渦点の循環, r : 渦点の中心からの距離

また、各ステップ毎に Stokes 層の厚さ $\delta = \sqrt{2\nu/\omega}$ (ω : 各周波数) より近傍の円柱表面で渦を発生させた。次に渦の個数が無限に増えていくとエネルギー的に問題が生じるので、本モデルでは各渦点の循環 Γ_n が時間的に減衰するとした。具体的には

$$\frac{d\Gamma}{dt} = \int_0^\delta \left[\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right] u dy - k_2 \Gamma = k_1 (U_0 \sin \omega t)^2 - k_2 \Gamma$$

ここで、 Γ : 円柱まわりの渦点の全循環, U_0 : 振動流の振幅, $k_1 = 0.5$, $k_2 = 0.4 \text{ (s}^{-1}\text{)}$

上式の右辺第1項は生産項, 第2項は減衰項を表す

最初は渦なしの流れであるから、初期条件は $\Gamma(0) = 0$ となる。

$$\Gamma(t) = \frac{k_1 U_0^2}{2k_2} [1 - \exp(-k_2 t)] - \frac{k_1 U_0^2}{2(k_2^2 + 4\omega^2)} [k_2 \cos 2\omega t + 2\omega \sin 2\omega t - k_2 \exp(-k_2 t)]$$

各循環 Γ_n は、時刻 $t_n = n \Delta t$ (Δt : 時間 step) に放出された渦点の循環と考えて、

$$\Gamma_{n0} = \Gamma(t_n)$$

次に、生成された渦点の循環 Γ_{n0} は、減衰係数を $k_3 (= 0.1)$ とし次式のように減衰すると仮定した。

$$\Gamma_n(t) = \Gamma_{n0} \exp[-k_3(t - t_n)]$$

また、上式の U_0 は円柱表面での接線方向の流速であるから、振動流の振幅を改めて $U_{\max}$ と書くと、 $U_0 = 2U_{\max} \sin \theta$ (θ : 反時計まわりに正) となる。結局、各渦点の循環 $\Gamma_n(\theta, t)$ は

$$\Gamma_n(\theta, t) = \left[\frac{k_1 (2U_{\max} \sin \theta)^2}{2k_2} [1 - \exp(-k_2 t_n)] - \frac{k_1 (2U_{\max} \sin \theta)^2}{2(k_2^2 + 4\omega^2)} [k_2 \cos 2\omega t_n + 2\omega \sin 2\omega t_n - k_2 \exp(-k_2 t_n)] \right] \exp[-k_3(t - t_n)]$$

以下の図中において位相 $\omega t = 0, \pi$ において流速は0である。

3. 計算結果および考察

可視化実験結果と計算結果を比較する。KC数=3.3, 位相 $\omega t = \pi/6$ では, 渦の発生は認められない。KC数=6.4, 位相 $\omega t = \pi/6$ から $\pi/3$ では渦の発生が認めらる。

渦点の分布についてKC数=3.3とKC数=6.4とを比較するとstep毎に放出される同符号の循環が大きくなると渦点は拡散する傾向があることがわかる。

流速分布についてはKC数=3.3においてはほぼ対称的であるが, KC数=6.4は半径方向に離れた所で非対称な成分を持つことがわかる。

渦度分布についてKC数=3.3では, ほぼ対称的であるがKC数=6.4ではかなり非対称になっている。

4. おわりに

本計算において, k_1, k_2 は一様流の場合から類推して $k_1 = 0.5, k_2 = 0.4$ とすることは適当と考えられる。しかし k_3 をわずかに変えるだけで流況はかなり違ったものとなる。これは, k_3 を大きくすると循環 Γ_0 が減少するため, 実像や鏡像からの誘起速度が極度に減少し, 渦なし流れに近づくからである。

今後の課題は, より大きいKC数の場合にこの方法がどこまで適用できるかである。

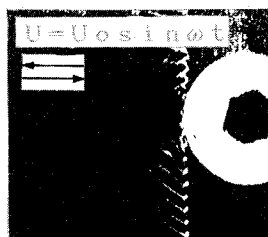


図-1 実験結果

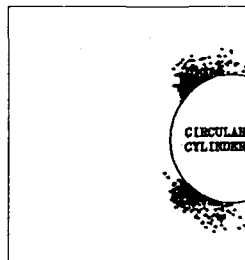


図-2 渦点分布

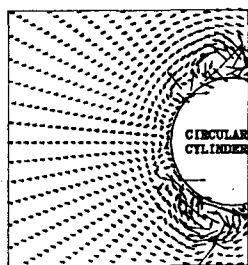


図-3 速度ベクトル図

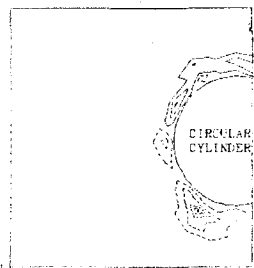


図-4 渦度分布

KC数=3.3, 位相 $\omega t = \pi/6$

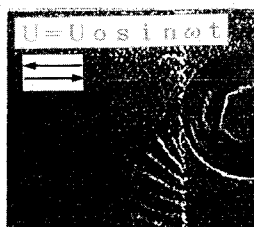


図-5 実験結果

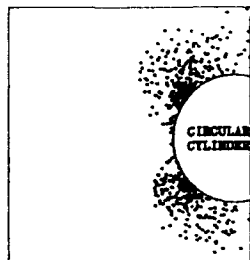


図-6 渦点分布

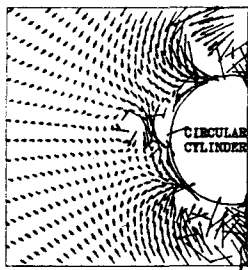


図-7 速度ベクトル図

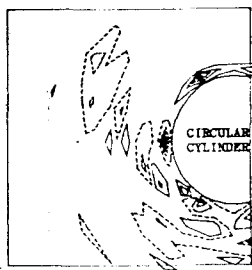


図-8 渦度分布

KC数=6.4, 位相 $\omega t = \pi/6$