

波動場にある路床近傍の円柱に作用する流体力

福井高専 正会員 ○前島 正彦
名城大学 正会員 伊藤 政博
大同工大 正会員 久保田 稔

1. はじめに

本研究の目的は、没水水平円柱が路床近傍にあって波動を受ける場合について、円柱と壁面の受ける流体力の特性が、路床と円柱下面との距離 e と、円柱直径 D との比（ギャップ比）によってどのように変化するかを離散渦法による数値計算結果によって明らかにしようとするものである。

2. 路床近傍にある円柱周りの波動場に対する複素ポテンシャル波動場として、次式で流れポテンシャルが与えられる微小振幅表面波を考える。

$$\phi = -\frac{ag \cosh ky}{kc \cosh kh} \cos k(x - ct)$$

微小振幅表面波に対して、路床と円柱表面で流れ関数の値が一定という境界条件を満足する複素ポテンシャルは、

$$\Phi = \Phi_o + \sum \Phi_{Vm} + \sum \Phi_{dn}$$

ここで、ポテンシャル Φ_o は、微小振幅表面波のポテンシャルを円柱表面の境界条件を満足するように Milne-Thomson の円定理によって修正したもので、

$$\Phi_o = -\frac{U}{k} \left\{ \cos k(z - z_o) + \cos k\left(\frac{r^2}{z} - \bar{z}_o\right) \right\}.$$

ただし、座標原点は円柱中心に移動してあり、

$$U = \frac{ag}{c \cosh k(r+e)}, \quad k = 2\phi/L, \quad z_o = ct - i(r+e)$$

ここで、 a は微小振幅表面波の振幅、 g は重力加速度、 U は円柱中心の水深での微小振幅表面波としての最大流速、 L は波長、 r は円柱の半径、 c は波速、 $i = \sqrt{-1}$ は虚数単位である。

ポテンシャル Φ_{Vm} は、離散渦を表すもので、円柱外の点 W_m に中心を持つ単一渦ポテンシャルと、円柱内部 W_{ma} に渦中心を持ち大きさが同じで回転方向が逆の別の単一渦ポテンシャルとを組み合わせたものである。

$$\Phi_{Vm} = -iK_m \{ \ln(z - W_m) - \ln(z - W_{ma}) \}.$$

ただし、 $W_m \bar{W}_{ma} = r^2$ であり、 K_m は渦の強さである、

ポテンシャル Φ_{dn} は路床の境界条件を満足させるためのポテンシャルであり、円柱表面の境界条件を満足するように双極ポテンシャルを二つ組み合わせたものである。

$$\Phi_{dn} = M_n \left(\frac{1}{z - Z_n} - \frac{E_n}{z - Z_{na}} \right).$$

$$Z_n \bar{Z}_{na} = r^2, \quad E_n = -\frac{r^2}{Z_n}.$$

ただし、 Z_n は路床壁面内部に置いた任意の点で、 Z_{na} は、上式で表されるような円柱内部の点である。また、係数 M_n はこの双極ポテンシャルの強さで、路床上の選点で流れ関数の値が一定となるように決定する。

離散渦は円柱表面上に 10 度おきに 36 点を選び、それらの点の速度が零になるように 36 個の渦の強さを決定し、それらの点から $0.01r$ 離れた位置で

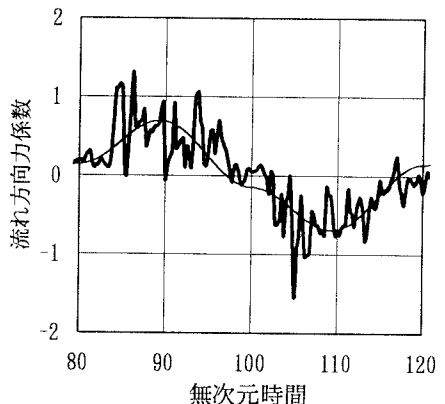


図1 流れ方向力係数の時間変化

発生させた。発生時間間隔については一様流速の場合と同様にした。

3. 計算結果及び考察

$\beta = Re/K = 1000$ を固定し、水深 $d/D = 200$ 、波高 $H/D = 10$ と水深 $d/D = 20$ 、波高 $H/D = 1$ の2種類、無次元壁面距離 e/D を2.0, 1.0, 0.5, 0.2の4種類、KC数を40, 30, 20, 10の4種類変えて、その組み合わせ32ケースについて計算を行っている。また、水深 $d/D = 200$ 、波高 $H/D = 10$ 、 $e/D = 2.0$ 、 $KC = 40$ を固定し、 $\beta = Re/K$ を変えて計算を行った。

図1に $e/D = 2$ 、 $K = 40$ の場合の無次元時間80から120の間の流れ方向力の変化を示す。太実線が離散渦法による計算値、細実線がその計算値に Morison 式

$$F = \rho \left\{ C_M \frac{\phi D^2}{4} \ddot{u} + \frac{1}{2} C_D u |u| \right\}.$$

を適用し、最小自乗法で求めた慣性力係数 C_M と抗力係数 C_D から計算した流れ方向流体力係数の時間変動である。図2はその2つの計算値の差である。K数と慣性力係数、抗力係数の関係を図3, 4に示す。また、図5に β と流体力係数の関係を示す。

参考文献

- 1) J. Fredsøe and E. A. Hansen; Lift Forces on Pipelines in Steady Flow, Journal of Water, Port, coastal and Ocean Engineering, Vol. 113, No. 2, pp. 139-155, 1987.
- 2) Von Müller, W.; Systeme von Doppelquellen in der ebenen Stromung, Zeitschrift f. angew. Math. and Mech., 9, Heft 3, pp. 200-213, 1929.
- 3) 日本機械学会編; 流れの数値シミュレーション, コロナ社, 1989.
- 4) Milne-Thomson, L. H.; Theoretical Hydrodynamics, 4th ed., MacMillan, New York, 1968.

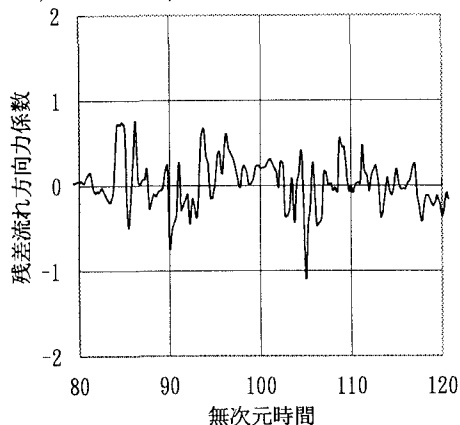


図2 流れ方向力係数の残差

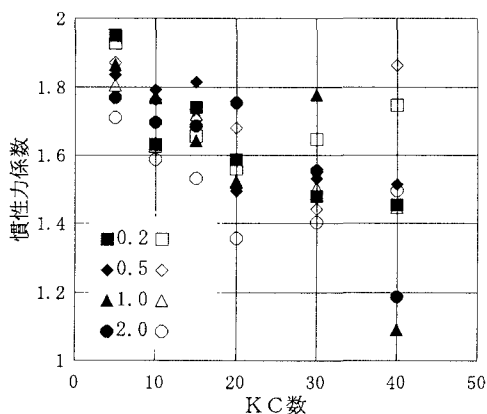


図3 KC数と慣性力係数

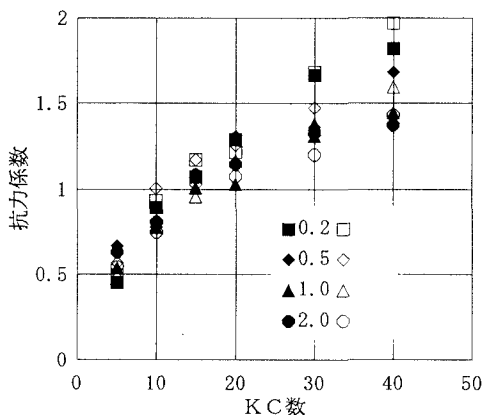


図4 KC数と抗力係数

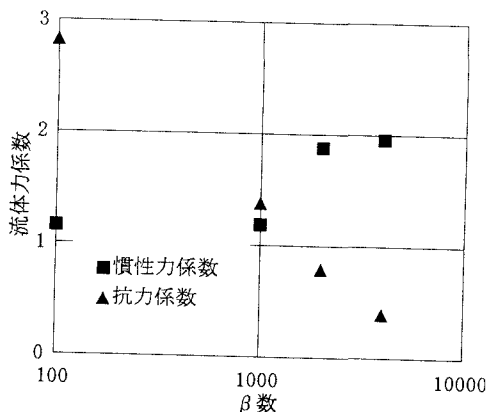


図5 β 数と流体力係数