

波動場にある路床近傍の円柱の受ける流体力

福井高専 正 ○前島 正彦
大同工大 正 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

波動場として微小振幅表面波を考える。

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、 $\Phi = \Phi_o + \Sigma \Phi_{vm} + \Sigma \Phi_{dn}$ である。ここで、 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修正したもので、 $\Phi_o = \frac{U}{k} \{ \cos k(z - z_o) + \cos k(r^2 / z - \bar{z}_o) \}$ である。ただし、座標

原点は円柱中心にあり、 $U = ag / (c \cosh k(r + e))$, $k = 2\pi / L$, $z_o = ct - i(r + e)$ である。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 は虚数単位である。ポテンシャル Φ_{vm} は、離散渦群を表すもので、円柱外の点 W_m に中心を持つ渦ポテンシャルと、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渦ポテンシャルとを組み合わせたものである。つまり、 $\Phi_{vm} = iK_m \{ \ln(z - W_m) - \ln(z - W_{ma}) \}$ 。ただし、

$W_m \bar{W}_{ma} = r^2$ であり、 K_m は渦の強さである。 Φ_{dn} は路床の境界条件を満足させるために、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。つまり、

$\Phi_{dn} = M_n \{ 1 / (z - Z_n) - E_n / (z - Z_{na}) \}$ であり、 $Z_n = r^2 / \bar{Z}_{na}$, $E_n = (r / \bar{Z})^2$ である。ただし、 Z_n は路床壁面内部に置いた任意の点である。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。

3. 計算方法

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の 0.025 無次元時間とした。渦群の追跡には単純

Euler 法を用いた。

4. 結果と考察

現在までに、に固定して、無次元壁面距離 e/D を 2, 1, 0.5, 0.25 の 4 種類、 K 数を 40, 30, 20, 15, 10, 5 の 6 種類の組み合わせ 24 ケースを 1 セットして、水深 h/D 、波高 H/D 、 β 数 Re/K を変化させて計算を行っている。図 1 に円柱に作用する流体力の時間変動の 1 例として、 $e/D=0.5$, $K=40$, $Re/K=1000$ の場合を示す。

この流れ方向力の変化に Morison 式、

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

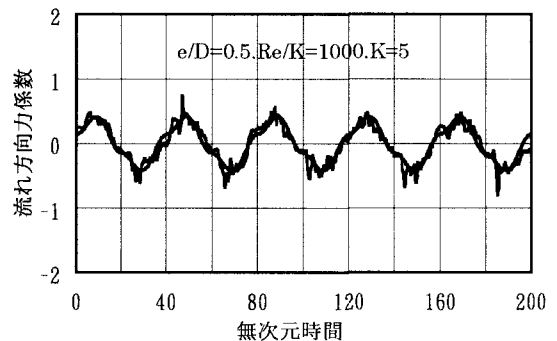


図1 K数と流れ方向力
 $e/D=e/De/D=Re/K=1000$,

を適用し、最小自乗法で慣性力係数 C_M と抗力係数 C_D を決定した。 K 数と慣性力係数、抗力係数の関係を図2から5に示す。図2, 3はShankar 等の実験結果と著者等の計算結果の比較を示すもので、Shankar 等の実験結果は、 Re/K を一定にして h/D を変化させたもの、著者等の計算結果は、 h/D を一定にして Re/K を変化させている。著者等の計算結果は、抗力係数・慣性力係数ともShankar 等の $h/D=9$ の結果と良い一致を示している。図4, 5は著者等の計算結果による、 e/D に対する K 数と抗力係数、慣性力係数である。抗力係数は、 e/D が小さいほど小さいが、 $e/D=0.25$ が他とは異なって、単純な右上がりの傾向を示している。慣性力係数については、全般に右下がりの傾向を示すが、 $e/D=0.5$ の $K=30$ で極小値をとり、 $e/D=0.25$ の場合も含めて、慣性力係数の K 数の増加による減少の傾向は小さい。一般に波動の周期が長いほど、円柱後流にKarman 渦列が形成されやすいことと、一様流の場合 $e/D=0.5$ 以下では、Karman 渦列が形成されないことなどが影響していると考えられる。

参考文献

- 1) J.Fredso 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, Heft3, pp.200-213, 1929.
- 3) 日本機械学会編, 流れの数値シュミレーション, コロナ社, 1989.
- 4) N.J.Shankar, H.F.Cheong and K.Subbiah; Forces on a Smooth Submarine Pipeline in Random Waves—A Comparative Study, Coastal Engneering 11, pp189-218, 1987.

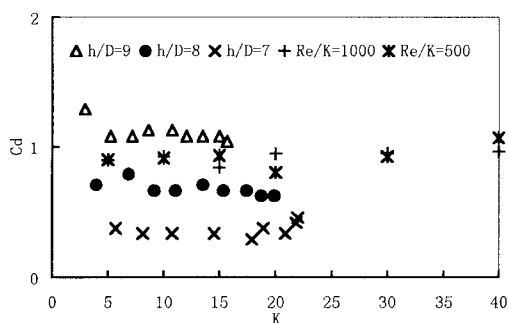


図2 Variation of C_d with K for $e/D=1.0$
(Shankar: $Re/K=1400$, Author: $h/D=10$)

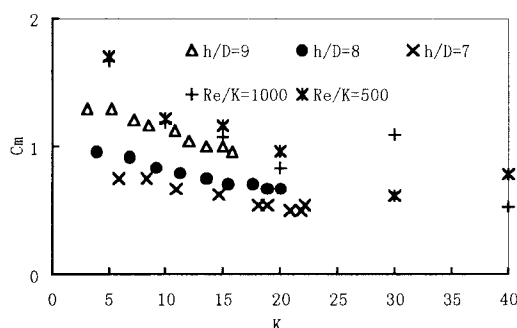


図3 Variation of C_m with K for $e/D=1.0$
(Shankar: $Re/K=1400$, Author: $h/D=10$)

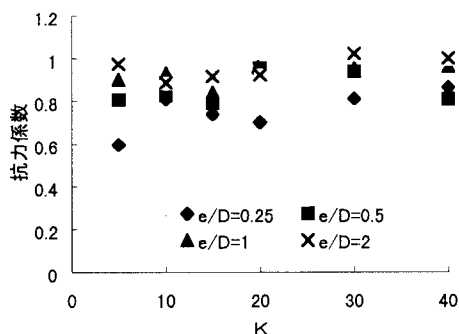


図4 各ギャップ比に対する K 数と抗力

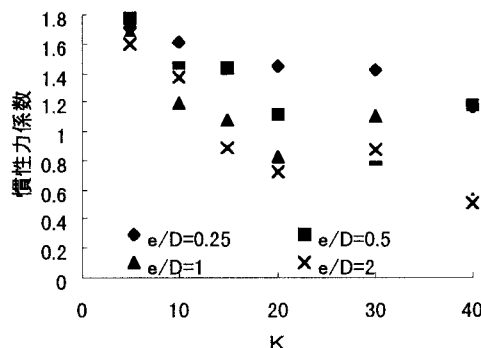


図5 各ギャップ比に対する K 数と慣性力