

水平円柱の作用流体力に及ぼす底面効果について

セントラルコンサルタント(株) 正会員 ○ 喜田 昌裕
鳥取大学工学部 正会員 松見 吉晴

1. はじめに 魚礁の作用流体力は、一般に設計計算上の簡便性からモリソン式により評価され、抗力係数および慣性力係数には魚礁を構成する部材の形状特性に対応した従来明らかにされている単一柱状物体の値がそのまま準用されている。しかし、魚礁の作用流体力は、魚礁部材間の干渉効果並びに群魚礁の場合の魚礁相互の干渉効果の影響、さらには海底に設置されることから底面境界の影響を受けることが予測される。従って、作用流体力をモリソン式により計算するとき、抗力係数および慣性力係数にどのような値を用いるか問題となる。本研究は、魚礁の作用流体力を解明するための基礎資料を得ることを目的として、構造形状が単純な水平円柱の作用流体力に関する水理実験により、水平円柱の抗力係数 C_D および慣性力係数 C_M について検討を加え、ついで作用流体力に及ぼす底面境界の影響についてポテンシャル理論により定量的に明らかにしようとするものである。

2. 実験方法および解析方法 流体力測定装置は、端固定の片持梁形式で、造波板より10mの位置に設置された。本研究では、円柱に作用する水平および鉛直方向力が同時に測定できるように片持梁の部材として正方形断面を用い、2組の4歪ゲージ回路を設定している。実験に用いた波の条件を表-1に示し、また座標系を図-1に示す。水深は50cm一定とした。抗力係数 C_D および慣性力係数 C_M の解析には、記録されたデータをゼロダウンスロス法で1波毎に区分し、その1波毎に最小二乗法を用いて行っている。なお、A/D変換のサンプリング周波数は100Hzで行っている。

表-1 実験条件

水深 h (cm)	50			
円柱の設置位置 s (cm)	6	14	22	
周期 T (s)	0.8	1.2	1.6	2.0
波高 H (cm)	1.0	-	12.0	

3. 波力係数について (1) 実験結果: 図-2は、前述した方法によって解析した、抗力係数 C_D と $K-C$ 数との関係を示したもので、図中 Re はレイノルズ数である。水平円柱の抗力係数 C_D は、 $K-C$ 数の増加と共に減少し、 $K-C$ 数が10以上で一定値に収束する傾向が認められる。また、 C_D の値は、後述する C_M の値と比較してかなりばらつく傾向がある。特に、 $K-C$ 数の値が小さい領域で C_D の値がばらつく原因としては、この領域においては抗力よりも慣性力がかなり卓越しており、水平方向波力に占める抗力の割合がかなり小さいためと思われる。一方、図-3は、慣性力係数 C_M と $K-C$ 数との関係を示したものである。慣性力係数は、 $K-C$ 数の増大に伴い減少する傾向が認められる。また、円柱の設置高さ毎に C_M の値を比較すると、底面から水平円柱までの距離 s の減少、すなわち水平円柱が底面に近づくほど C_M の値が増大しており、その値も理論値 $C_M=2$ を越える場合があることが確認できる。このことより、底面近傍に設置された構造物の作用波力に対してモリソン式を用いるとき、従来の流体力係数をそのまま適用したならば、実際の波力を過小評価する恐れが十分に予測できる。この原因としては、従来から指摘されている底面効果 (Proximity Effect) の影響が考えられる。次に、この底面効果についてポテンシャル理論より検討を加えることにする。

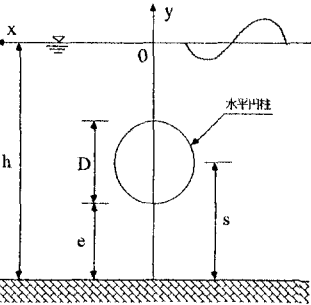


図-1 座標系

(2) ポテンシャル解析: 図-1に示すような波の進行方向に直行して、水平に置かれた円柱に作用する波力を考える。半径 a の円柱の周りの流れを与える複素速度ポテンシャル W は、次式ようになる。

$$W = f(z) + \bar{f}\left(\frac{a^2}{z}\right) \tag{1}$$

ここに、 $a=D/2$, $z=x+iy$, $\bar{f}(z)=f(\bar{z})$, $i=\sqrt{-1}$ である。底面効果の影響を考慮し、底面付近に置かれた円柱に鏡像の原理を適用すれば、静水中を振動する円柱周辺の流れは、次式で与えられている。

$$W = -iva^2 \sum_{j=0}^{\infty} m_j \left[\frac{1}{z-i(s-aq_j)} - \frac{1}{z+i(s-aq_j)} \right] \tag{2}$$

ここに、 v : 円柱の振動速度、 s : 円柱の中心から底面までの距離、

$$q_n = \frac{1}{2s/a - q_{n-1}}, \quad q_0 = 0$$

$$m_n = q_1^2 \cdot q_2^2 \cdot q_3^2 \cdots q_n^2, \quad m_0 = 1 \quad n; \text{正の整数}$$

である。式(3)および非常数ブラジウスの式より、慣性力係数 CM は次式で与えられることになる。

$$C_M = 1 + 2 \sum_{j=0}^{\infty} (m_j)^2 \quad (3)$$

(3) 底面効果の影響について：図-4は、 CM の値と e/D 底面と円柱の間隔 e と円柱径 D との比)の関係を $K-C$ 数をパラメータとして示したものである。なお、図中の大きな白丸印は、各 e/D における CM の平均値で、図中の実線は、前述した底面の影響を取り入れたポテンシャル理論により算定された CM の e/D による変化である。この図より、 CM の値は e/D が小さくなるにしたがって増大する傾向が確認され、 e/D が小さい領域($e/D=0.7$)では、円柱における慣性力係数の理論値 $CM=2$ を越える CM の値が出現する。この傾向は、円柱が底面に近づくほど顕著である。底面付近での CM の値は、ポテンシャル理論による算定結果とよく一致していることから、底面効果が考慮された慣性力係数はポテンシャル理論により十分に評価されるものと推測できる。

4. おわりに 本研究より慣性力係数に関しては、ポテンシャル理論より評価できることが明らかになったので、今後は魚礁のような複雑な構造物の慣性力係数の評価に対して拡張させると共に、抗力係数についてはさらに $K-C$ 数の大きな領域の実験より検討を進める予定である。

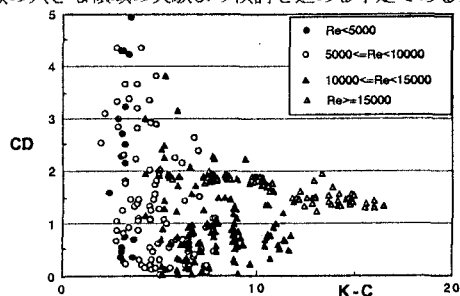


図-2 (a) CD と $K-C$ 数との関係 ($e/D=0.7$)

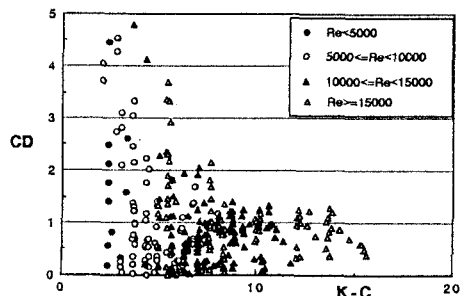


図-2 (b) CD と $K-C$ 数との関係 ($e/D=2.3$)

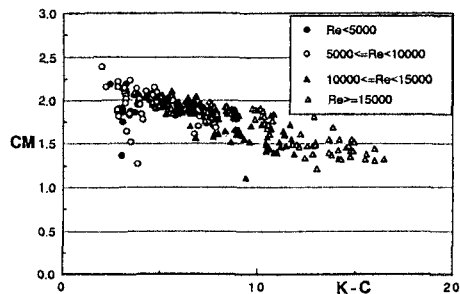


図-3 (a) CM と $K-C$ 数との関係 ($e/D=0.7$)

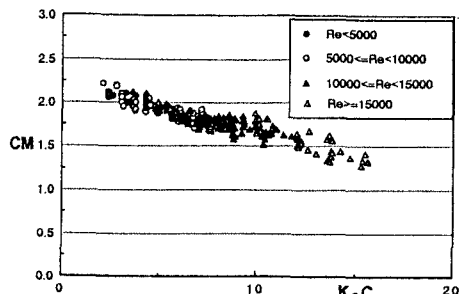


図-3 (b) CM と $K-C$ 数との関係 ($e/D=2.3$)

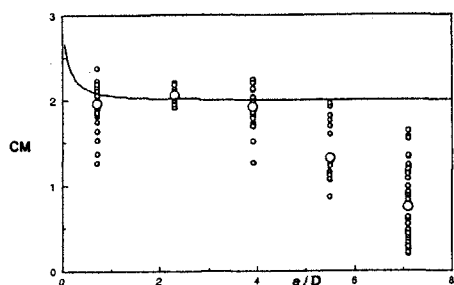


図-4 (a) CM の値と e/D の関係 ($0 < K-C < 4$)

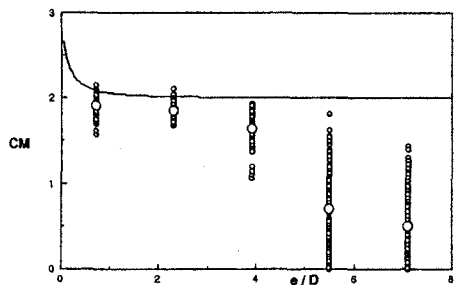


図-4 (b) CM の値と e/D の関係 ($4 \leq K-C < 8$)