

波動場の円柱の抗力係数の変化特性

金沢大学工学部 正会員 石田 啓 ○田村賢一

西道正浩 一力信雄

1. 緒 言 波動場に設置された円柱に働く波力については、従来より多数の研究が行われて来たが、モリソン公式を用いた場合の抗力係数 C_D の変化特性については、今なお不明確な点が残されている。たとえば、後流渦離が発生しないと考えられる低 K.C. 数領域 (A) の C_D は、K.C. 数の減少と共に増大する場合およびゼロに減少する場合の両者の結果が報告されている。また対称渦対の発生が見られる $K.C. < 8$ の領域 (B) の C_D は、実験値は $C_D = 0.5 \sim 2.5$ の範囲に分散しており、この特性を説明し得る理論値なども、ほとんど提示されていない。このような現状を考慮して、本研究では、K.C. 数が 0 ~ 10 程度の範囲内の C_D の変化特性を理論と実験の両面から考究し、従来の問題点の解明を目指す。

2. 理 論 (A) 領域は慣性力の卓越する領域であり、波動場に垂直に設置された円柱に働く波力は回折理論から算定される。この波力をモリソン公式の形に書き変えると式 (1) のようになる。これを C_{DP1} と書くが、さらにオイラーの運動方程式を用いて、 C_{DP1} に速度水頭の効果を加えた C_{DP2} を求めることができる。また、表面摩擦力は、層流境界層理論から求めた水粒子速度 u を用いて $\tau = \mu \partial u / \partial y$ より求めることができるため、この効果を加えた抗力係数 $C_{DP2, \tau}$ を算定することができる。

$$C_{DP1} = \{4\sigma/k^2 R u\} J_1'(kR) / \{J_1'(kR)^2 + Y_1'(kR)^2\} \quad (1)$$

ここで、 σ は角振動数、 k は波数、 R は円柱半径であり、 J_1 および Y_1 は 1 次のベッセル関数およびノイマン関数のそれぞれの導関数である。

(B) 領域では、剥離渦による抗力が重要となるため、渦糸群の発生・流下モデルを用いて抗力係数を算定する。すなわち、各時間ステップごとに発生させる渦糸の循環は、各剥離点での渦度フラックス量で与えることとし、抗力は非定常流に拡張されたブラジウス公式を用いて求めると、後流渦による抗力係数は式 (2) のようになる。

$$C_{Dr} = \{ \rho \sum \Gamma_k (v_k - u_k) + \rho \partial \Gamma_k / \partial t (y_k - y_k) \} / (1/2 \rho D U^2) \quad (2)$$

ここで、 Γ_k および $\partial \Gamma_k / \partial t$ は発生する渦糸の循環およびその時間微分であり、 v_k および y_k は渦糸の移動速度および位置である。

3. 実 験 写真 1 に示すように、直径 $D=6\text{cm}$ の円柱を長さ 24m の造波水槽内に垂直に設置し、上部円柱から板バネでつり下げられた長さ 4cm のセグメントの中心点は静水面下 9cm とした。作用させた波は、周期 $T = 0.5 \sim 2.5\text{sec}$ であり、各周期ごとに波高を順次変化させることにより K.C. 数を変化させた。抗力係数 C_D は、波の峰の位相における値を算定した。

4. 結果および考察 図中の ● は峰の位相で求めた C_D の実験値であり、計算値は点線が C_{DP1} 、破線が C_{DP2} 、実線が $C_{DP2, \tau}$ および C_{Dr} である。図 1 は周期 $T = 1.0\text{sec}$ の場合であり、K.C. 数が小さい領域においては、実験値は理論値より相当大きく両者は一致してないが、K.C. 数の減少と共に C_D の値が増加するという傾向を認めることができる。図 2 および図 3 は、それぞれ周期 $T = 2.0\text{sec}$ および 2.5sec の場合であり、 C_D の実験値は剥離が発生しない (A) 領域では、K.C. 数の増加と共に減少して行くが、

後流渦が発生する $K.C. > 3$ の (B) 領域では、ほぼ一定の値となる。計算値の C_{Df} は、 $K.C.$ 数の増加に伴い増加し、 $K.C. = 5$ 程度からはほぼ一定の値 $C_{Df} = 1.7 \sim 1.8$ となる。実験値と計算値とは定性的には良く一致するが、定量的には、全般的に計算値の方が実験値よりやや大きい。この原因のひとつとして、実験値の C_D を求める際の水粒子速度の算定方法が必ずしも妥当でなかったことが考えられる。すなわち、波峰側と波谷側の波形の非対称性を補正するため、流速の算定に際し、波峰側の振幅の2倍の値を波高 H とみなしたが、この方法では実際の流速より過大な値を与えることになり、 C_D が過小に評価されていることが考えられる。以上、回折理論、境界層理論および渦糸群の発生・流下モデルを用いて、 $K.C.$ 数 0～10 程度の範囲内での抗力係数 C_D の変化について考察したが、対称渦対が発生する領域での C_D の変化特性は、渦糸群の発生・流下モデルを用いてはほぼ表現できることが解った。しかし、剥離が発生しないと思われる低 $K.C.$ 数領域での C_D の変化特性については、実験値が理論値よりもはるかに大きな値となる理由について、さらに検討する必要がある。また、後流渦が非対称となる領域での C_D の変化特性についても検討して行く予定である。

最後に、本研究を行うに際し、助力を賜った高瀬信忠教授（金沢大）、広部英一助教授（福井高専）および北山 真君（金沢大院）に厚く謝意を表する。

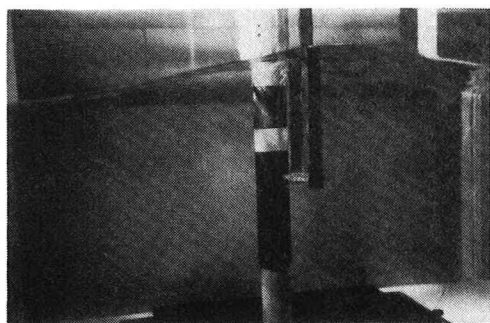


写真1 実験状況

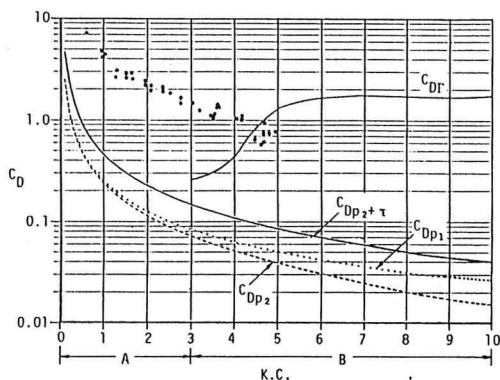


図1 $T = 1.0\text{sec}$ の場合

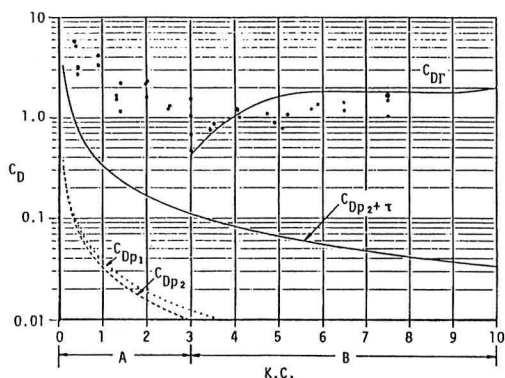


図2 $T = 2.0\text{sec}$ の場合

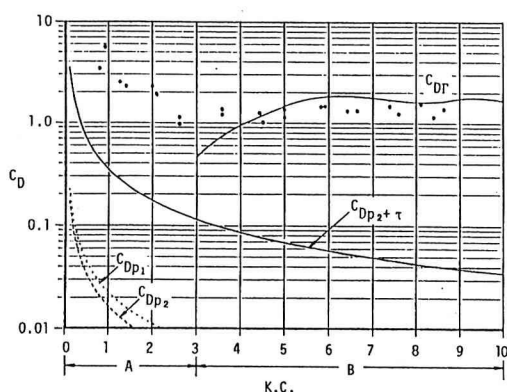


図3 $T = 2.5\text{sec}$ の場合