

II-274 波動場の円柱の抗力係数の変化特性

金沢大学工学部 正 員○石田 啓 田村賢一

石川県 西道正浩 日本ピーエスコンクリート㈱ 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なわれて来たが、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、後流剥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0～8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)の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解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換え、このときの抗力係数を C_{DP1} と書くと、これは式(1)のようになる。

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

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。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、この効果を加えた効力係数 $C_{DP2+\tau}$ を算定することができる。さらに運動量理論から、境界層が発達する際に抗力が発生することが見出されるが、これに基づく抗力係数 C_{DB} は、境界層厚の増加速度を $\dot{\delta} = C_B \sqrt{\nu T / \pi} / (T/2)$ と表すと、比例定数 C_B に応じて算出することができる。

(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の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。

$$C_D \Gamma = \{ \rho \sum_{k=1}^n \Gamma_k (v_k - v_{ki}) + \rho (\partial \Gamma_n / \partial t) (y_n - y_{ni}) \} / (1/2 \rho D U^2) \quad (2)$$

ここで、 Γ_k および $\partial \Gamma_n / \partial t$ 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_n は渦糸の移動速度および位置である。また、添字 i は鏡像渦糸に関するものであることを意味する。

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。用いた波は、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1は剥離点 θ_s の位相変化の一例であり、 $t/T=0.25$ および 0.75 が波峰および波谷を表す。波動場の剥離点は、 t/T の変化に伴い急激に変化するため、循環の時間変化は境界層外縁の流速 U_B を用い、 $\partial \Gamma_n / \partial t = 1/2 U_B^2 + U_B \cdot \partial \theta_s / \partial t$ で与えなければならない。

図2は、各位相において剥離点から放出された渦糸が、 $t/T=0.23$ の位相において、どの位置に存在するかを示したものであり、後流渦の形成状況を知ることができる。ただし、渦糸1から8は、時間ステップを $\Delta t/T=0.01$ とし、 $t/T=0.16$ から順次発生した渦糸を意味している。

図3(a)~(f)に、K.C.数の変化に伴う C_D の変化を示すが、図中の●は峰の位相で求めた C_D の実験値であり、計算値は破線が C_{DP1} 、点線が C_{DP2} 、一点鎖線が $C_{DP2+\tau}$ 、実線が C_{DB} および折線が $C_D \Gamma$ である。

図より、 $K.C. < 3 \sim 4$ の (A) 領域では、実験値の C_D は $C_B = 20 \sim 40$ とした理論値の C_{DB} と良く一致しており、 $K.C.$ 数の減少に伴い抗力係数が増大することを示している。 $4 < K.C. < 8$ の (B) 領域では、図(d)~(f) の $C_{D\Gamma}$ は実験値とほぼ一致しており、剥離点の移動効果を考慮した循環の値を用いるならば、後流渦による抗力係数は式(2)を用いて妥当に算出されることを示している。なお、本研究を行なうに際し、助力を賜った福井高専の広部英一助教授および金沢大学大学院生の北山 真君と藤井昌彦君に厚く謝意を表する。

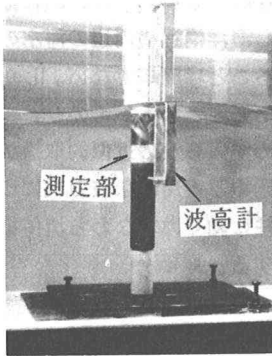


写真1. 実験装置

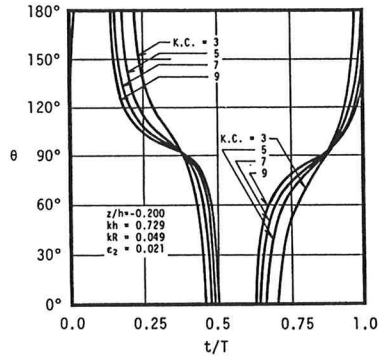


図1. 剥離点の位相変化

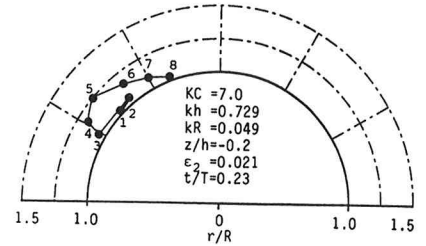
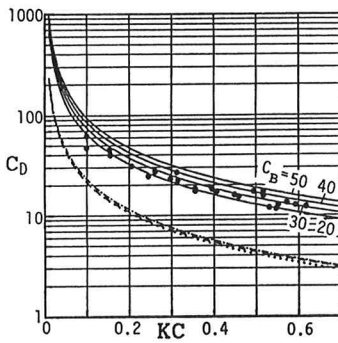
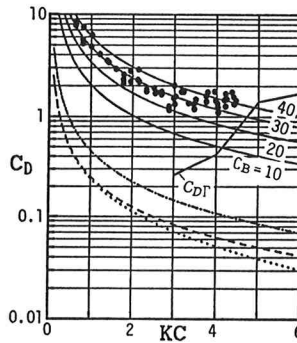


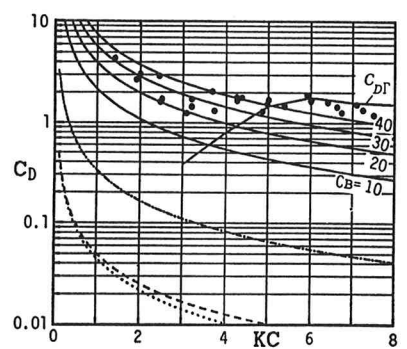
図2. 剥離渦



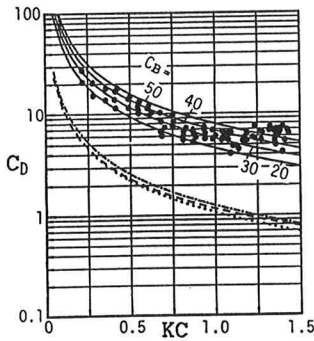
(a) $T=0.57\text{sec}$



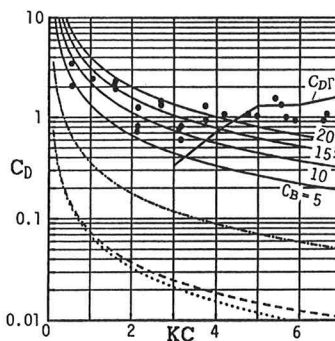
(c) $T=1.0\text{sec}$



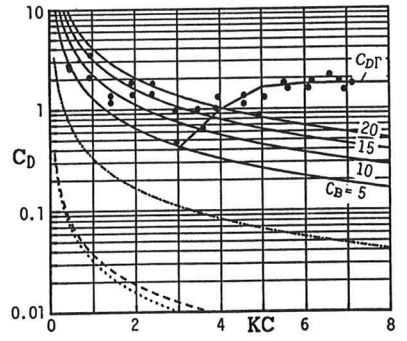
(e) $T=1.75\text{sec}$



(b) $T=0.67\text{sec}$



(d) $T=1.5\text{sec}$



(f) $T=2.0\text{sec}$

図3. $K.C.$ 数による抗力係数 C_D の変化