

鳥取大学工学部 正会員 野田英明

鳥取大学工学部 正会員 松原雄平

鳥取大学工学部 学生員 ○大島祐二

1. はじめに：今日、海洋構造物を設計する際の波力の算定式としてモリソン式が広く採用されている。このモリソン式中の抗力係数 C_d 、慣性力係数 C_m は従来より波の 1 周期で一定値をとるとされてきたが、必ずしも一定ではなく時間的に変化するようである。本研究は静水中で係留円柱を自由振動させることにより波力算定係数 C_d , C_m について従来と異なる方法で評価しようとするものである。

2. 係留円柱の減衰振動方程式：図-1 に示すように長さ l の支持棒で静水中に 1 点係留された直径 D 、長さ l_a の円柱浮体について考える。この円柱浮体の振動方程式は次式に示すように円柱浮体に対してモリソンの波力表示法を用いた角運動方程式から導かれる。

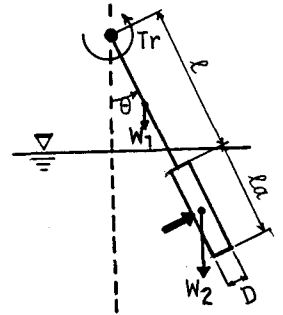


図-1 浮体模式図

$$A\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\sin\theta = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} A = \rho V (l^2 + l l_a + l_a^2/3) C_a + I \\ B = \rho \{ (l + l_a)^4 - l^4 \} D/8 \cdot C_d + Tr \dots \\ C = W_2 (l + l_a/2) + W_1 l/2 \end{array} \right.$$

ここに、 ρ ：水の密度、 C_d ：円柱の抗力係数、 C_a ：付加質量係数、 I ：点 O に関する慣性モーメント、 W_1, W_2 ：支持棒の重量および円柱の水中重量、 V ：円柱の体積、 Tr ：回転軸の摩擦による減衰定数である。

3. C_d, C_a の算定方法：本研究では次の 3 つの手法で C_d, C_a の算定を行った。

3-1. C_d, C_a が 1 周期内で一定であると仮定し、角速度 $\dot{\theta}$ と角加速度 $\ddot{\theta}$ の位相差を利用して、 C_d, C_a をそれぞれ算定する方法。すなわち振動方程式 (2-1) に $\ddot{\theta} = 0$ あるいは $\dot{\theta} = 0$ を代入すると次式のようになる。

$$C_d = \left(-\frac{C \cdot \sin\theta}{\dot{\theta}|\dot{\theta}|} - Tr \right) \cdot \frac{1}{B_1} \quad C_a = \left(-\frac{C \cdot \sin\theta}{\ddot{\theta}} - I \right) \cdot \frac{1}{A_1}$$

$$A_1 = \rho V (l^2 + l \cdot l_a + l_a^2/3) \quad B_1 = \rho \{ (l + l_a)^4 - l^4 \} \cdot D/8$$

3-2. C_d, C_a は時間的に変化するが微小時間間隔 Δt では一定とする方法。 Δt 離れた 2 時点における $\theta, \dot{\theta}$ を方程式 (2-1) に代入すれば連立方程式の解として C_d, C_a は次のように算定される。

$$C_d = \frac{1}{B_1} \cdot \frac{C \cdot (\sin\theta_{z+1} \cdot \dot{\theta}_z - \sin\theta_z \cdot \dot{\theta}_{z+1})}{(\dot{\theta}_z |\dot{\theta}_z| \cdot \dot{\theta}_{z+1} - \dot{\theta}_{z+1} |\dot{\theta}_{z+1}| \cdot \dot{\theta}_z)} - \frac{Tr}{B_1} \quad C_a = \frac{1}{A_1} \cdot \frac{C \cdot (\sin\theta_{z+1} |\dot{\theta}_z| \cdot \dot{\theta}_z - \sin\theta_z |\dot{\theta}_{z+1}| \cdot \dot{\theta}_{z+1})}{\dot{\theta}_z |\dot{\theta}_{z+1}| \cdot \dot{\theta}_{z+1} - \dot{\theta}_{z+1} |\dot{\theta}_z| \cdot \dot{\theta}_z} - \frac{I}{A_1}$$

3-3. 位相面上での算定法。図-2 は横軸に角変位 θ 、縦軸に角速度 $\dot{\theta}$ をとり実験値をプロットしたものである。この θ と $\dot{\theta}$ を用いる位相面解析で方程式 (2-1) を $\omega = \dot{\theta}$ について解くと

$$\omega^2 = \frac{S}{T^2 + 1} \{ \cos\theta - T \cdot \sin\theta - (\cos\theta_0 - T \cdot \sin\theta_0) e^{T(\theta - \theta_0)} \} \quad (\omega > 0)$$

$$\omega^2 = \frac{S}{T^2 + 1} \{ \cos\theta + T \cdot \sin\theta - (\cos\theta_0 + T \cdot \sin\theta_0) e^{T(\theta - \theta_0)} \} \quad (\omega < 0)$$

となる。ここに $T = 2 \cdot B/A$, $S = 2 \cdot C/A$ であり θ_0 は初期変位である。したがって上式を 3-2 と同様に C_d, C_a が Δt の間で一定として解くと

$$C_d = \frac{1}{B_1} \left(\frac{C \cdot T}{S} - Tr \right) \quad C_a = \frac{1}{A_1} \left(\frac{2C}{S} - I \right)$$

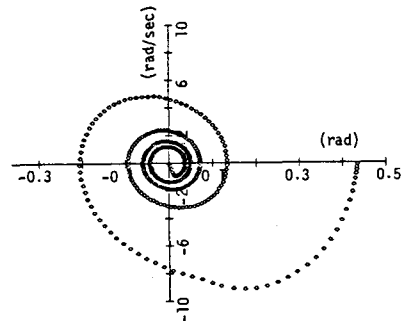


図-2 トラジェクトリ

4. 実験装置および方法：実験は鋼製水槽上部に支持台を設置して行った。この台上には回転軸、軸受け、ポテンシオメータが設置されている。円柱は直径1.2cmの支持棒を介して連結されている。実験方法はこの円柱が常に水中で運動するように円柱に初期変位を与え自由振動をさせ、回転軸に連結されたポテンシオメータによって係留円柱の減衰振動の変位を測定した。

5. 実験結果の検討および考察：

5-1. C_d , C_a とKC数の関係：図-3及び図-4はそれぞれ3-1の方法で算定された C_d , C_a とKC数の関係をレイノルズ数 Re を媒介変数にとり示したものである。KC数と Re 数の算定にあたっては円柱の重心位置における速度の2乗和の平方根をとる $rms \cdot KC$ 数, $rms \cdot Re$ 数として算定した。図-3より、 C_d の値はKC数が増加するにつれてばらつきが小さくなり $C_d=1$ 前後の値になること、 Re 数の増加とともに C_d の値が減少することがわかる。また同図の実線はSarpkayaがU字管を用いて行った結果を、破線はChakrabartiが波動場で行った実験結果を示している。これより本研究の測定値は相対的に小さな値を示していることがわかる。また C_a とKC数の関係はKC数の増大とともに C_a の値は減少していることがわかり、Chakrabartiの算定結果に近い値を示していることもわかる。以上より本研究の算定結果は従来の研究の算定値とほぼ同様の結果となることがわかる。

5-2. C_d , C_a の時間変化に関する検討：図5および図6はそれぞれ C_d , C_a の時間変化を3-2, 3-3の方法で算定した結果を示したものである。3-3の方法は θ と $\dot{\theta}$ のみで C_d , C_a を算定するため $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ を用いて算定する3-2の方法より精度良く求まる。しかし、この方法は変位が極値をとる付近では解を持たないという欠点があるためさらに検討する必要がある。以上のことを考慮して両図をみると、両図について共通にいえることは、 C_d の値は変位の極値付近を除いて1周期内で大きな変動はなく、 $C_d=1 \sim 2$ の間にあり時間とともに微増すること、また C_a の値は比較的規則的な変動を示し、減衰振動1周期で2度のピークをとる周期的変化がみられることである。以上のことより C_d , C_a は必ずしも時間的に一定値をとるのではなく時間的な変化をするものと考えられる。本研究では、さらに円柱に対する C_d , C_a の基準値としてそれぞれ1.17および1.0を設定し、振動の半周期毎に実測値の分散度を調べた。その結果 C_d の分散度はKC数に関わりないこと、 C_a はKC数の増大とともにその分散が大きくなることがわかった。この結果については講演時に述べる。

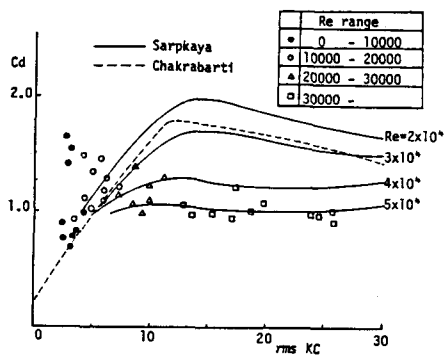


図-3 C_d とKC数の関係

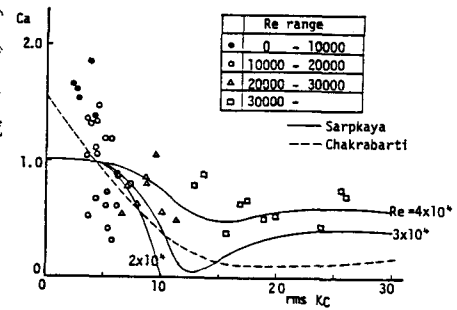


図-4 C_a とKC数の関係

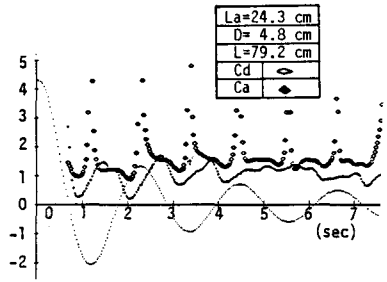


図-5 C_d , C_a の時間的変化(1)

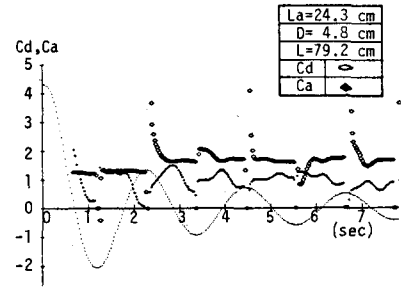


図-6 C_d , C_a の時間的変化(2)