

波力に関するモリソン公式の抗力係数および質量係数
の位相変化について

京都大学工学部 正員 岩垣雄一, 正員 酒井哲郎

鹿島建設 正員 今田哲雄, 京都大学大学院 学生員 津田俊雄

1. まえがき 従来, 構造物に作用する波力の算定式としては, 抗力と慣性力の和として表わすモリソン公式がもっともよく用いられてきたが, このモリソン公式における水粒子速度および加速度は, 水面変動りから各種波動理論を用いて計算によって求める場合が多い。しかし実際の波動運動における水粒子速度および加速度は理論的に求めたものとは若干の違いがあると思われる。本研究においては, 超音波流速計を用いて波力の測定と同時に水粒子速度を測定し, この測定した水粒子速度, 測定した速度から求めた加速度および実測波力を用いて抗力係数 C_D および質量係数 C_M の波の一周期にわたる位相変化を求めるとともに, 水面変動りから Reid の提案した線型フィルタ理論を用いて算定した水粒子速度, 加速度および実測波力を用いて C_D および C_M の波の一周期にわたる位相変化を求めた。

2. 実験装置および方法 実験は, 京都大学工学部土木工学科地下実験室に設置された幅50cm高さ70cm長さ27mの実験水槽を用いた。水槽の一端には不規則波発生機が設置されており, この造波機の前方6mの位置に波力測定用の構造物(直径6.05cmの円柱を三分割して真中の長さ4cmの部分を上部円柱に板ばねで固定し, 板ばねに貼りつけたストレーンゲージの歪みを出力としてとり出して波力を測定する), 超音波流速計および波高計を設置し, 他端に勾配1%の消波工を設けた。実験には0.3Hz~2.0Hzの範囲で0.1Hzずつ周波数を変化させた規則波を用い, 水深は終始45cmとし, 波力の測定点は静水面下10cm, 15cmおよび20cmとした。これらの記録はすべてデータレコーダーによって記録し, AD変換機を用いて0.02sec間隔でデジタル化した。

3. 解析方法 任意時刻(t)における波力, 水粒子速度および加速度の記録を $F(t)$, $u(t)$ および $\dot{u}(t)$ とすると, モリソン公式は次のように表わされる。

$$F(t) = C_M V \rho \dot{u}(t) + \frac{1}{2} C_D A \rho u(t) |u(t)| \quad (1)$$

$$F(t+1) = C_M V \rho \dot{u}(t+1) + \frac{1}{2} C_D A \rho u(t+1) |u(t+1)| \quad (2)$$

(1)式および(2)式において C_D および C_M は定数とみなし, (1)式および(2)式を連立方程式'としてとくと, $C_D(t) = \frac{2 \{ F(t+1) u(t) - F(t) u(t+1) \}}{\rho A X}$ (3)

$$C_M(t) = \frac{\{ F(t) u(t+1) |u(t+1)| - F(t+1) u(t) |u(t)| \}}{\rho V X} \quad (4)$$

$$X = \dot{u}(t) u(t+1) |u(t+1)| - \dot{u}(t+1) u(t) |u(t)| \quad (5)$$

ここに, V :円柱の体積, A :波の進行方向に対する円柱の投影面積, ρ :水の密度
 u および $\dot{u}$ を実測したものをを用いた場合の C_D および C_M を C_{D1} および C_{M1} とし, Reidの提案した線型フィルタを用いて水面変動りから求めたものをを用いた場合 C_{D2} および C_{M2} とする。

4. 実験結果 解析したケースのうち代表的な2ケースを例にとり図-1および図-2に示す。これらの図において図番号の最後の数字が1のものは実測の水粒子速度 u_1 、実測水粒子速度から求めた加速度 UD_1 、実測抵抗力 F 、これからReidの提案した楕型フィルター理論を用いて求めた水粒子速度 u_2 および加速度 UD_2 の規則波の一周期にわたる位相変化を示し、2は CD_1 および CM_1 の位相変化を示し、3は CD_2 および CM_2 の位相変化を示している。

5. 考察 G_0 の位相変化をみると流速が零になる位相($\theta=0, \pi, 2\pi$)付近で大きく発散しており、これはKeulegan-Carpenterの実験結果と同様の結果である。この理由は G_0 を求める式 $G_0 = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho U^2 A}$ において分母にかかる U が零に近くなるためである。また $0 < \theta < \pi$ における G_0 の値の方が $\pi < \theta < 2\pi$ における G_0 の値よりも全体的に大きくなっているがこれは波が有限振幅中波になっていて波の峯側の位相

($\pi < \theta < 2\pi$)における流速が波の谷側の位相($0 < \theta < \pi$)における流速よりも絶対値をとると大きくなり G_0 を求める式の分母の U が大きくなるためと思われる。次に G_1 の位相変化をみると $0 < \theta < \pi$ で振幅の大きな一周期の変動を $G_1=2$ 付近で行ない、 $\pi < \theta < 2\pi$ で振幅の小さな一周期の変動を

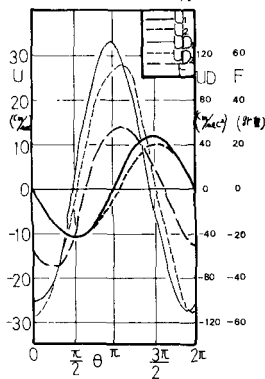


図 1-1 ($T=0.59 \text{ sec}$, $K.C.=1.25$)

$G_1=2$ 付近で行なう。 CM_1 および CM_2 ともに加速度の最大値および最小値の生じる位相($\theta=0, \pi, 2\pi$)付近では2に近い値をとり、その他の位相では G_1 は2から離れた値をとっている。

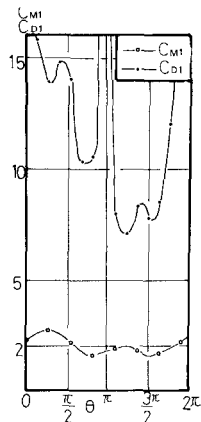


図 1-2

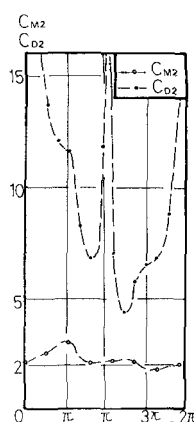


図 1-3

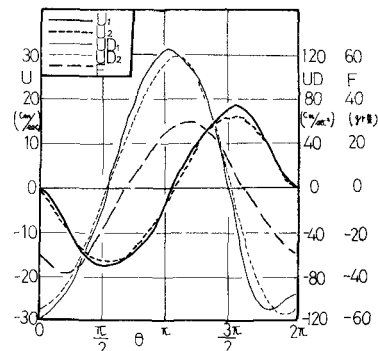


図 2-1 ($T=0.91 \text{ sec}$, $K.C.=2.32$)

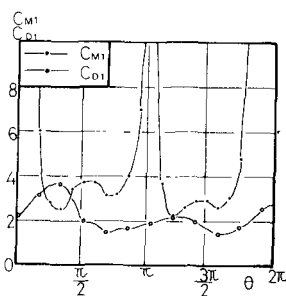


図 2-2

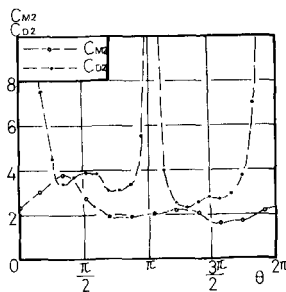


図 2-3

(参考文献)

Keulegan, G.H. and L.H. Carpenter: Forces on Cylinders and plates in an Oscillating Fluid, J. Res. National Bur. Standards, 60, 5, 1958