

II-76

振動流実験におけるスリット壁の抗力係数及び質量係数について

苫小牧工業高等専門学校 正員 浦島三朗
室蘭工業大学 正員 近藤俣郎

1. まえがき

透水性の壁を有する消波構造物を設計する際にその透水壁の抗力係数及び質量係数を知ることは、波力及び消波効果の推定に非常に重要である¹⁾。著者等は、これまで波動実験において、これらの係数を測定波力から推定し、Reynolds数やKeulgan-Carpenter数で整理してきた²⁾。波動実験においては、実験の制約上広範囲のReynolds数やKeulgan-Carpenter数で測定することができないため抗力係数については定常流実験を行った³⁾。しかし質量係数においては適当な実験方法がなく狭い範囲の実験条件で整理してきた。また、これらの係数の推定においては、物体の周りの水粒子速度及び加速度を正確に知る事が重要である。しかし透水壁を設置した波動場においては部分重複波となり、水粒子速度及び加速度を正確に推定することは難しい。この事もこれらの係数の精度に影響しているものと考えられる。

そこで本研究では、振動流実験装置を用い、透水壁に働く波力を測定し、この実測波力から透水壁の抗力係数及び質量係数を求めた。透水壁には、単一のスリット壁を使用した。ここでは、振動流実験によるこれらの係数を波動実験によるものと比較し、特性、精度の面から検討したものである。

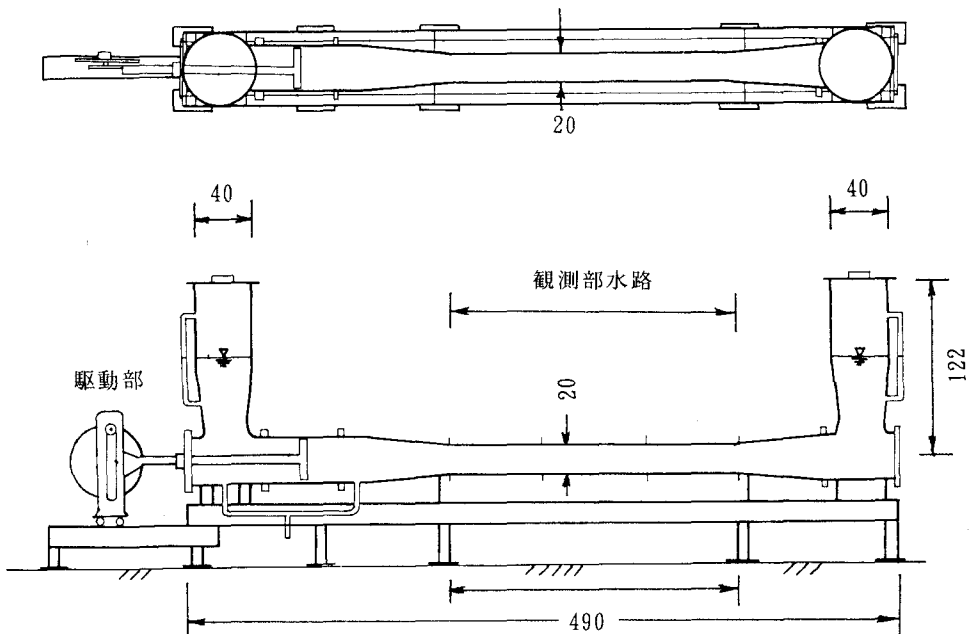


図-1 振動流実験装置概要図 (単位: cm)

2. 実験方法及び解析方法

振動流実験は図-1に示す長さ200cm, 幅20cm, 高さ20cmの観測部水路をもつ, 実験装置を用いて行った。観測部水路の中央に図-2に示す波力検出装置を設置した。この装置は三分力計の上にスリット壁を固定し全体として下部固定の片持梁構造となっている。水位は両側の塔に容量式波高計を設置して求めた。スリット壁は, 幅 $b=3\text{cm}$, 厚さ $d_w=2\text{m}$, 高さ20cmの角柱を空隙率 $\lambda=40\%$, スリット幅 $s=20\text{cm}$ で配置したものを用いている。実験条件は, ストロークの振幅を7.12cm, 周期 $T=\text{約}1.4\sim 4.0\text{sec}$ の範囲で行った。

スリット壁に作用する全波力 $F_T(t)$ は, 揚力が働かないものとするMorisonが提案した構造物背後の渦によって生ずる抗力 $F_D(t)$ と圧力勾配によって生ずる力ならびに構造物の存在による構造物周囲の流体が加速されるために生ずる力の慣性力 $F_I(t)$ の線形和として式(1), (2)で表される。水路内の水粒子の軌跡 x , 水粒子速度 u 及び加速度 $\dot{u}$ が各場所で行くとすると時間 t の関数として式(3)で定義される。

$$F_T(t) = F_D(t) + F_I(t) = C_D \cdot f_D(t) + C_M \cdot f_I(t) \quad \text{--- (1)}$$

$$f_D(t) = \rho \frac{u|u|}{2} A, \quad f_I(t) = \rho \dot{u} V \quad \text{--- (2)}$$

$$x = R \sin \sigma t, \quad u = R \sigma \cos \sigma t, \quad \dot{u} = -R \sigma^2 \sin \sigma t \quad \text{--- (3)}$$

ここで ρ は水の密度, σ は角周波数, A はスリット壁の投影面積, V は体積, R は観測水路部の水粒子の移動半径である。抗力係数及び質量係数を時間の関数として $C_D(t)$, $C_M(t)$ をAl-Kazilyの手法を模して誘導すると式(4), (5)となる。

$$C_D(t + \frac{\Delta t}{2}) = \frac{F_T(t + \Delta t) \cdot f_I(t) - F_T(t) \cdot f_I(t + \Delta t)}{f_D(t + \Delta t) \cdot f_I(t) - f_D(t) \cdot f_I(t + \Delta t)} \quad \text{--- (4)}$$

$$C_M(t + \frac{\Delta t}{2}) = \frac{F_T(t + \Delta t) \cdot f_D(t) - F_T(t) \cdot f_D(t + \Delta t)}{f_D(t + \Delta t) \cdot f_I(t) - f_D(t) \cdot f_I(t + \Delta t)} \quad \text{--- (5)}$$

また抗力係数及び質量係数を一定として考え, 実測波力と理論波力の差が最小になるように C_D , C_M を求める最小自乗法による方法を用いると式(6), (7)となる。

$$C_D = \frac{\begin{vmatrix} \sum F_T(t) \cdot f_D(t) & \sum f_D(t) \cdot f_I(t) \\ \sum F_T(t) \cdot f_I(t) & \sum f_I(t)^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum f_D(t)^2 & \sum f_D(t) \cdot f_I(t) \\ \sum f_D(t) \cdot f_I(t) & \sum f_I(t)^2 \end{vmatrix}} \quad \text{--- (6)}$$

$$C_M = \frac{\begin{vmatrix} \sum f_D(t)^2 & \sum F_T(t) \cdot f_D(t) \\ \sum f_D(t) \cdot f_I(t) & \sum f_I(t)^2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum f_D(t)^2 & \sum f_D(t) \cdot f_I(t) \\ \sum f_D(t) \cdot f_I(t) & \sum f_I(t)^2 \end{vmatrix}} \quad \text{--- (7)}$$

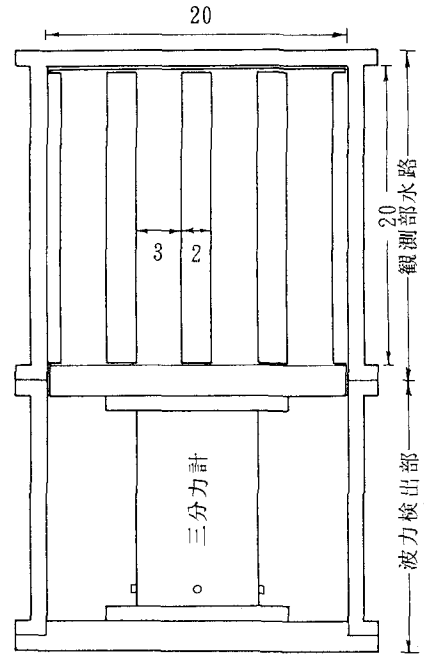


図-2 波力検出装置

時刻 t の算定は水位の記録から水粒子が右から左へ移動する際の静水面と交わった時刻を $t=0$ と定めた。また Reynolds 数や Keulgan-Carpenter 数は式 (8) で表され、水粒子速度は最大水粒子速度 u_{max} で定義した。

$$RE = \frac{U_{max} \cdot S}{\nu} \qquad KC = \frac{U_{max} \cdot T}{dw} \qquad \text{--- (8)}$$

ここで ν は動粘性係数である。

3. 実験結果

実験結果を時系列で表したいくつかの例を図-3～図-6に示す。水粒子の動きを塔の水位計より推定すると図-6のようなものも一部見られるが、全体的に正弦波の動きと比較的に良く一致している。

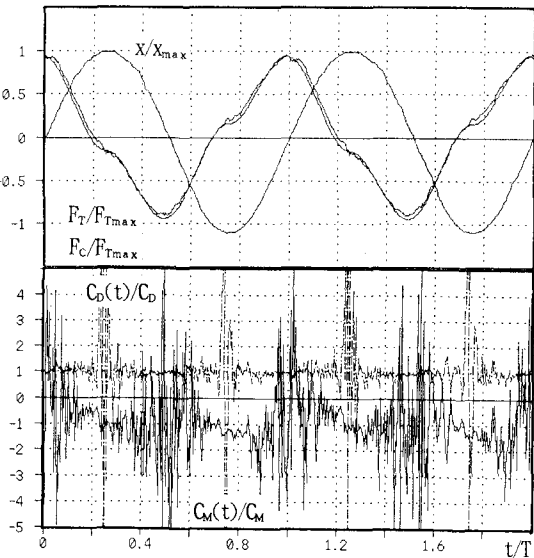


図-3

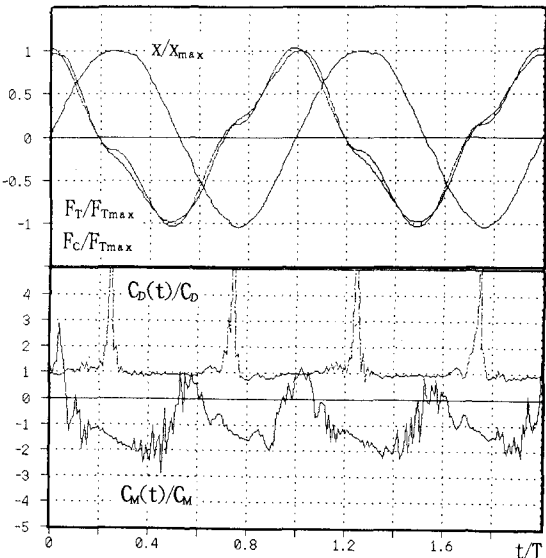


図-4

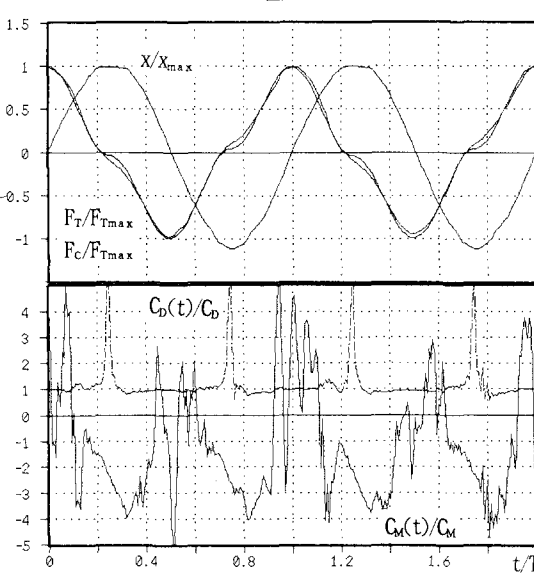


図-5

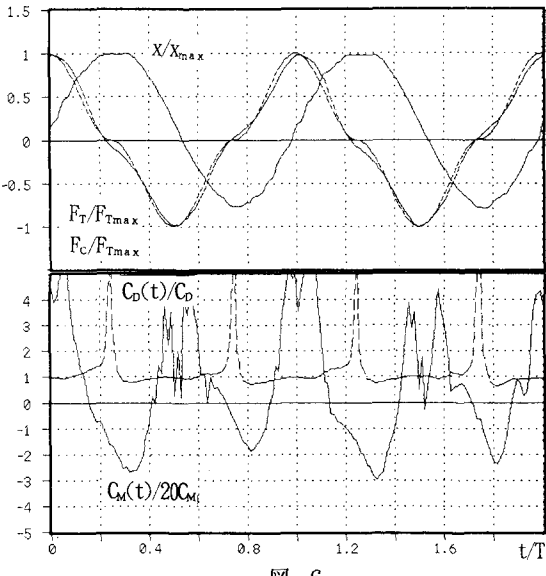


図-6

また実測波力も正負の方向で対称的な大きさ及び形を示している。最小自乗法で求めた抗力係数及び質量係数を使用して求めた理論波力と実測波力は非常に良く各実験条件において一致している。波動実験においては、算定する水粒子速度及び加速度が正負対称なのに対して、実測波力は正負対称とはならず、理論波力とに誤差を生じていた。Al-Kazilyの方法で求めた抗力係数及び質量係数を最小自乗法で求めた値を各図に示している。抗力係数は波動実験と同じように、水粒子速度が0になる付近で大きな変動を示す。しかしそれ以外のところでは一定となっており、最小自乗法で求めた値とほぼ一致している。質量係数については波動実験では水粒子加速度がもっとも大きいところで最小自乗法で求めた値と近い値で一致していた。しかし今回の振動流実験では加速度が0になる静水面付近で特に変動が大きいが、全体的にみると正負で周期的な変化を示しているようである。また最小自乗法との間の関係は特に見られなかった。

最小自乗法で求めた抗力係数及び質量係数をReynolds数で整理したものを図-7に示す。抗力係数はこの範囲のReynolds数ではほぼ一定の値を示している。しかしKeulgan-Carpenter数によって変化しており、孤立構造物と同じような傾向を示すことが考えられる⁴⁾。質量係数については多少のバラツキはあるが、ほぼ一定の値を示している。

4. あとがき

以上の実験結果から、振動流実験による抗力係数は波動実験によるものと時系列では同じような傾向を示す。最小自乗法で求めた結果も、非常に良くまとまっておりReynolds数やKeulgan-Carpenter数で整理することが可能である。質量係数は抗力係数に比較すると多少ばらついている。全体的には、波動実験に比してバラツキを小さくすることが出来、理論波力と実測波力も非常に良く一致する。しかし、実験データが少なくReynolds数やKeulgan-Carpenter数の範囲が狭いので、今後さらに実験を行って検討していく予定である。

<参考文献>

- 1) 近藤倣郎・竹田英章：消波構造物，森北出版，pp.279，1983.
- 2) 浦島三朗・石塚耕一・近藤倣郎：縦スリット壁に作用する波力に関する基礎的研究，海岸工学講演会論文集，第30回，pp.337～341，1983.
- 3) 浦島三朗・近藤倣郎：スリット壁の波力係数に関する基礎的研究，土木学会北海道支部論文報告集，第44号，pp.221～214，1988.
- 4) Sarpkaya, T. and M. Isaacson : Mechanics of Wave Forces on Offshore Structures, Van Nostrand Reinhold, 1981.

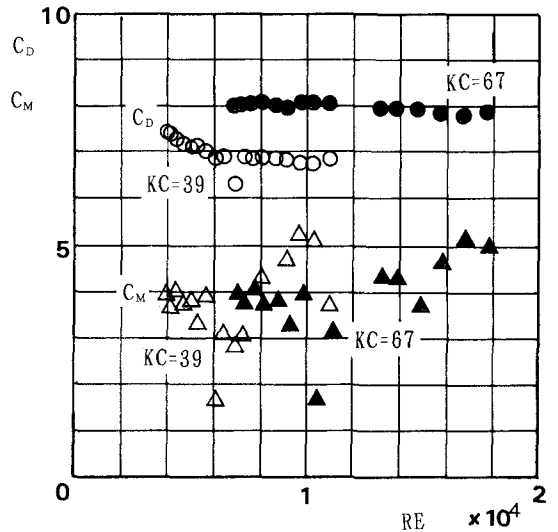


図-7