

波による底面摩擦の遷移領域付近における実験

京都大学防災研究所 正会員 岩垣雄一・陳 活雄

1. 緒言 浅海における波の変形機構を解明することは、波浪予知および海岸構造物の設計等を決定するという工学的観点から、きわめて重要な課題である。そのためには波動による海底付近の流束の特性、とくに境界層の発達とその挙動および摩擦過程を明らかにする必要がある、このことはまた底質の移動や浮遊などの現象を明らかにするのに役立つものと考えられる。著者らは、ここ数年、海底摩擦による波高減衰に関する基礎的研究を行ってきたが、その結果、層流境界層の場合に底面摩擦の測定値と理論値とはよく一致することがわかった。その場合、実験における波の Reynolds 数 Re_θ はせいぜい 5×10^4 までであって、境界層の層流から乱流への遷移に関する Collins の限界条件 $Re_\theta = 8.04 \times 10^4$ にくらべてかなり小さく、境界層の遷移については明らかでなかった。この研究は、これまでよりさらに大きな Re_θ の領域を対象として実験を行い、遷移領域付近における波による底面摩擦の機構を明らかにしようとしたものである。

2. 実験装置と実験方法

実験は、一端にピストン型造波機、他端に消波装置を設置した長さ 65m、幅 50cm、深さ 65cm の鉄製水槽のほぼ中央の観測窓のある部分で行った。底面摩擦力の測定装置の詳細については著者らの他の論文を参照されたい。ただ今回は支柱を 12cm 程度長くしたので、あらかじめ装置の動的特性を調べてみた。その結果、支柱を長くした二つによる強制振動の振幅および位相におよぼす影響はほとんど無視できることがわかった。実験に用いた波の周期は 1.2, 1.6, 2.0 sec、波高が 2.75~14.0 cm の範囲のもので、水深は 30 cm と 40 cm の二種類に変えた。底面摩擦力の測定は、周期あるいは水深を一定とし、種々の波高について行った。波高は Shear plate と同位置において、電気抵抗式水位計を用いてペン書きオシロに記録させ、それを読みとった。

3. 実験結果

Shear plate に働く外力は摩擦力と圧力勾配によって plate の両側面に作用する力および仮想質量力の三つの力の和に等しいと考えられるが、Shear plate の下の空隙での水の運動は水銀をとおいてとめられているので、ここではいちおう摩擦力以外の力として圧力勾配の存在にもとづく力の影響を考慮することとし、線型理論の結果で実験値を検討する。さて、実際に測定される Shear plate の単位面積当りに働く水平力の最大値 F_{max} と、求めようとする摩擦応力の最大値 τ_{0max} との関係は、次のようになる。

$$\tau_{0max} = \left[\frac{2}{1 + \{1 + 2\beta d\}^2} \right]^{\frac{1}{2}} F_{max} \quad (1)$$

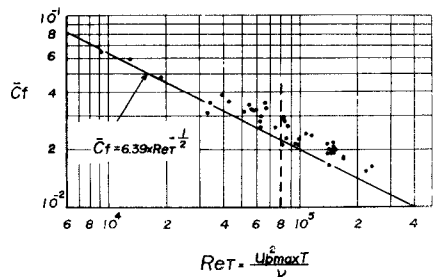


図-1 底面の摩擦係数 $\bar{C}_f$ と波のレイノルズ数 Re_θ との関係 (滑面)

ここに、 $\beta = (\pi/\nu T)^{1/2}$ 、 T : 波の周期、 ν : 水の動粘性係数、 d は Shear plate の厚さである。この場合 0.2 mm である。つまり、底面の摩擦係数 $\bar{C}_f$ を $\bar{C}_f = 2\bar{\tau}_0/\rho U_b^2$ で定義すると、層流境界層の場合、次式の関係がえられる。

$$\bar{C}_f = 6.39 \text{Re}_\tau^{-1/2} \quad (2)$$

ここに、 $\text{Re}_\tau = U_b^2 \max T/\nu = \pi(\beta H/\sinh kh)^2$ 、 H : 波高、 $k = 2\pi/L$ 、 L : 波長、 h : 水深。

図-1 は (1) 式を用いて、実際に測定した $F_{\max}$ の値から圧力勾配による力を差し引いて補正し、 $\bar{C}_f$ を求め、理論結果と実験値とを比較したものである。図中には参考のため Collins の遷移限界を点線で示してあり、この付近が一応遷移領域と考えられる。この結果によると、 Re_τ の値がほぼ 4×10^4 より大きいところでは、全般的に実験値の方が理論値よりも大きく、それ以下では実験値が少ないが両者はよく一致している。一般に境界層が完全に乱れた状態では、 Re_τ のある値に対し $\bar{C}_f$ の値が層流理論の結果より大きくなるはずであるから、この実験値が遷移領域付近をあらわすものであることは確かである。図-2 は Shear plate の直前と直後に径の同じ真鍮の丸棒 (Rod) をおいて、一種の粗度とし、境界層内の流れを人工的に乱して測定した摩擦応力を Rod の径をパラメーターにして、図-1 と同様な関係で図示したものである。

実験値は全体的にみて層流の場合にくらべて小さく、かなり散らばっていて Rod の径による明瞭な差異は見られない。この場合、Rod のまわりには後流が生じ、かつ Rod 内の水粒子の運動が阻がれて Rod による一種の遮蔽効果が卓越しているのかもしれない。そこで Rod と Shear plate の間隔をいろいろ変えて $\bar{C}_f$ と $\bar{\tau}_{\max}$ の変化を検討してみた。その一例が図-3 であって、この軸は Shear plate の両端から Rod までの距離をあらわしている。 $l=0$ における値は Rod を置かない場合の結果である。この結果から $\bar{\tau}_{\max}$ および $\bar{C}_f$ のいずれについても、 l が非常に小さい、すなわち Shear plate の直前、直後に Rod を置いた場合の実験値は、Rod を置かない場合にくらべて小さくなっていることがわかる。

以上、遷移領域付近における波による底面摩擦の機構について実験を試み、若干の興味ある結果をえた。今後より精度の高い詳細な実験を行いたいと考えている。最後に、本実験に当り熱心に協力していただいた上島英機君(研究生)に謝意を表す。

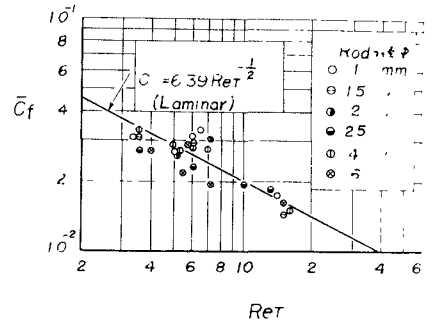


図-2 底面の摩擦係数 $\bar{C}_f$ と波のレイノルズ数 Re_τ との関係 (Rod を Shear plate の直前、直後においたことによる影響)

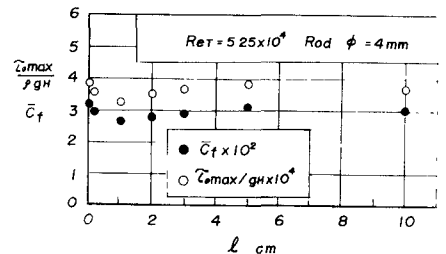


図-3 底面摩擦応力および摩擦係数におよぼす Rod の位置の影響