

1. はじめに

底質に直接作用する力は境界層内の流体力であるので、この問題を解決するためには境界層の内部機構を把握しなければならない。浪による層流境界層については古くから多くの研究がなされてきたが、乱流境界層についてはまだそれほど多くない。自然界において、波動によって底面近くで発達する境界層は大部分乱流である。乱流境界層に関する従来の理論においては渦動粘性係数をいかに合理的に求めるかが問題となってきた。本研究は水素気泡法を用いて底面近くの流速を測定し従来の理論的研究とを比較検討を試みようとするものである。

2. 提議の理論的研究

提議は浅海表の場合の底面境界層について理論モデルを提案した。その基本的な考え方は一周期の乱れの平均的な状態を考え、定常乱流に対する渦動粘性に類似した渦動粘性を仮定することであった。境界層が3層から成ると仮定し、下から順に内層、中間層および外層があり、内層上縁の高さを D_L 、中間層上縁の高さを d とし、それぞれに対して、渦動粘性係数 K_z をつぎのように仮定した。すなわち、

$$K_z = \begin{cases} \nu & 0 \leq z \leq D_L \text{ 内層} \\ k \hat{u}_*^2 z & D_L < z \leq d \text{ 中間層} \\ K_d (= k \hat{u}_*^2 d) & d < z \text{ 外層} \end{cases}$$

$$\hat{u}_*^2 D_L / \nu = N \quad K_d = K \hat{U} \delta^*$$

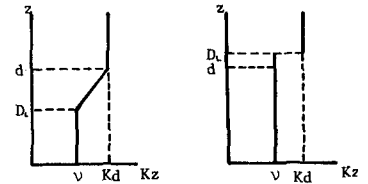


図-1

であり、ここに z :底面を原点とした鉛直軸、 ν :水の動粘性係数、 $\hat{u}_*$:底面の摩擦速度の振幅および k 、 N :定数である。 δ^* は排除厚であり、

$$\hat{U} \delta^* = A_{mp} \int_0^\delta (U - u) dz$$

である。図-1は K_z の模式図であり高さ D_L と d で K_z は連続的に変化していきなりことわかる。

一方、境界層の運動方程式は境界層内の水平方向流速を u 、境界層外縁($z = \delta$)におけるそれを U 、時間を t および水の密度を ρ とすれば、

$$\frac{\partial}{\partial t} (u - U) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x}$$

となり

$$K_z \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau}{\rho}$$

と連立させて、境界条件

$$u = 0 \quad (z = 0)$$

$$\tau = 0 \quad (z \rightarrow \delta)$$

と、 u およびせん断力 τ が $z = D_L$ および $z = d$ で連続であるという条件で解くことができる。この解は流速分布に関する4つの定数 D_L 、 K 、 k および N を含む。著者はこれらの定数が流速分布に与える影響を調べるために、 D_L と K を独立に変化させて流速分布を求めた。図-2はこのようにして求めた水平方向流速の鉛直分布の一例であり、流速分布の急変点の高さがほぼ D_L に等しいことがわかる。また K は中間層上縁の高さ d に関する定数である。図-3は一定値 D_L に対して K の値を変化させたときの $u_{max}/\hat{U}$ の変化を示し、図-4は一定値 K に対して D_L の値を変化させたときの $u_{max}/\hat{U}$ の変化を示している。 D_L の値が大きく K の値が小さいとき、 $u_{max}/\hat{U}$ は小さく、 D_L の値が小さく K の値が大ききとき

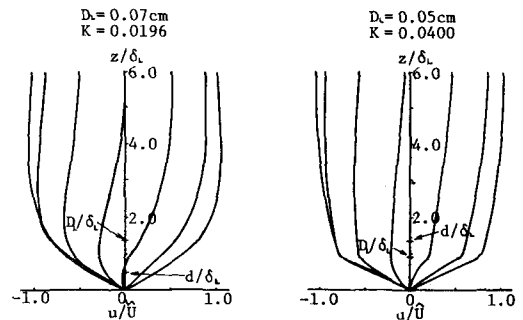


図-2

$u_{max}/\bar{u}$ は小さいことがわかる。なお、図中の破線は $D_L = d$ を示し、これより上の領域では $D_L \geq d$ となり、中間層は存在しない。

3. 実験値と理論の比較

実験は長さ25m幅0.6m高さ1.4mの片面一部ガラス張り鋼製波動水槽で行なった。一端に設置された無段変速フラッター式造波機により造波し、水槽中央部で水素気泡法を用いて底面近くの流速を測定した。水素気泡発生用の白金線は流れをなるべく乱さないようにするため、アクリル製の底面に直接取り付けた。水素気泡発生装置の

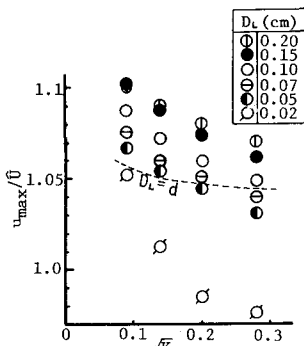


図-3

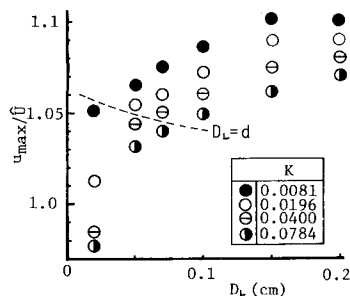


図-4

電源は500V, 50Hzのパルス発生させることができる。このパルスが容量式波高計に影響を与えることを利用して、流速と波の位相を対応づけた。理論の理論は境界層外縁の水平方向流速 u が正弦的に変化するとしているので、実験値を調和分析し、その基本周波数成分と理論値を比較するのが妥当と思われる。図-5は $|u/\bar{u}|$ $\chi/\pi=0$ (波の峰における値) および $|u/\bar{u}|_{\chi/\pi=0.5}$ の鉛直分布を示すものであり、図中の実験値、破線および一点鎖線は各定数の値を変えて計算した理論分布である。この図でも $\chi/\pi=0$ の振幅が $\chi/\pi=0.5$ のそれよりも大きいのは、峰がとがり、谷が平らになっていることに関係していると思われる。 $|u/\bar{u}|_{\chi/\pi=0}$ に注目するとNo.15を除けば実験値は $2.0 \leq z/\delta_L$ では $D_L = 0.1 \text{ cm}$, $K = 0.0196$ の理論曲線によく合っている。しかし、 $z/\delta_L < 2.0$ では一致しない。 $\chi/\pi = 0.5$ における振幅はどの理論曲線とも一致しないが、分布形状のみは比較的 $D_L = 0.02 \text{ cm}$, $K = 0.0196$ の理論曲線に合っている。位相のずれの関係で $u_{max}/\bar{u}$ と $|u/\bar{u}|_{\chi/\pi=0}$ は必ずしも一致しない。図-6は $(u_{max} - u_{min})/\bar{u}$ の鉛直分布を示すものであり、小さい z の値に対してよく合っている理論曲線は大きい z の値に対しては一致しない。また、その逆も言えようである。前に述べたように流速分布の急変部の高さかほぼ D_L に等しいことから $D_L = 0.02 \text{ cm}$ 程度が適当と考えられるが、その場合、 $z > D_L$ の部分が一致しなくなる。全体的に考えると、 $D_L = 0.05 \text{ cm}$ および $K = 0.0784$ がかなりより一致を示している。流速の時間的変化を調べてみると位相のずれは理論よりも少し大きかった。

- No. 8 $H = 8.0 \text{ cm}$
 $h = 40.0 \text{ cm}$
 $T = 1.50 \text{ sec}$
- No. 9 $H = 10.1 \text{ cm}$
 $h = 40.0 \text{ cm}$
 $T = 1.50 \text{ sec}$
- No. 15 $H = 6.9 \text{ cm}$
 $h = 30.0 \text{ cm}$
 $T = 1.50 \text{ sec}$

- $D_L = 0.10 \text{ cm}$
 $K = 0.0196$
- - - $D_L = 0.05 \text{ cm}$
 $K = 0.0784$
- · - $D_L = 0.02 \text{ cm}$
 $K = 0.0196$

4. おわりに

理論値は水深 h 、周期 T および波高 H を用いて無次元化されているので、微小振幅波の範囲内ではどのような h , T および H の組み合わせに対しても適用されるはずである。実験値は確かに完全な微小振幅波のものではなかったけれども、 $(u_{max} - u_{min})/\bar{u}$ については波形の影響だけでそのすべてを論ずることは危険であると思われる。

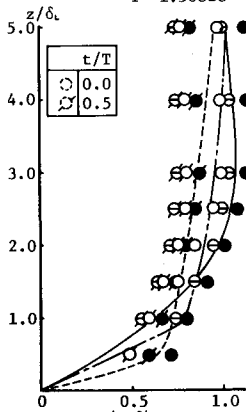


図-6

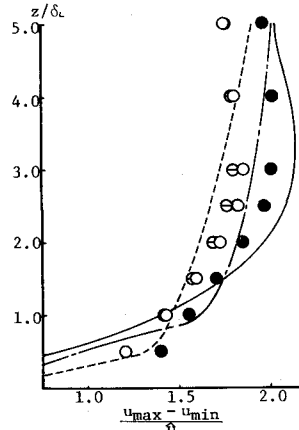


図-5