

九大 工学部 正員 橋 東一郎
 九大 " " 小松 利光
 九大 大学院学生員 植田 薫
 九大 " " 才田 進

1 まえがき

2層流の境界面に発達する内部波の波高や乱れのスペクトルについて、最近種々の形が提示されているが、現在のところ、十分は実験的確認を受けにものではない。本文は長さ12m、幅30cmの水路において、静止塩水上に淡水を流し、両者の密度差 $\varepsilon = \Delta\rho/\rho$ の値を、0.005, 0.01, 0.02, 0.04の4通りに変化させ、境界面に発生する内部波の波高、境界面における流速、乱れおよび下層からの塩水の Entrainment 現象などについて考察したものである。

2 有義波高、有義周期

塩水と淡水の境界面において発生したスケールの大きい擾乱は、2.3m下流ではほぼ消滅し、内部波の波形は図-1(a)のように長周期の波の上に碎波状態に近い短周期の波が重なった形になる。さらに河口に近づくとき上層流速の増加に伴って短周期の波も若干発達するが、長周期波の発達が目立ち、図-1(b)に示すような波形になる。ここでは長周期波を分離して、短周期の波に注目し、zero up cross法で有義波高 H_g 、周期 T_g を求め、風波に類推をとって、 egT_g/U 、 egH_g/U^2 (U は上層淡水の平均流速) と Keulegan の不安定パラメータ $\Psi = U/\sqrt{g\varepsilon}$ との関係と塩水楔境界面上の内部波の資料とともに示したものが図-2である。この程度の資料では明確なことは言いえないが、両者とも Ψ の増加とともに減少する傾向がある。このことは境界面の抵抗係数が Ψ とともに減少する現象に関係するものと思われる。

3 波高と境界面における乱れのスペクトル

sampling 間隔 1/30 秒、 $N=4096$ の資料から FFT 法によって両者のスペクトルを求め、例として、図-3に示す。波高スペクトルにみられる周波数 $f=(0.04)S^{-1}$ 、 $f=(0.35)S^{-1}$ の二つのピークは、それぞれ長周期、短周期の卓越波に対応するものであって、卓越周波数 f を無次元表示した結果が図-4である。大略の値として長周期波の eg/U^2 の値は、短周期波の値である3.6の約10倍の値である。また短周期波の $eg/U^2 = 3.6$ は有義波の平均である $eg/U^2 = 4.3$ より若干高周波側にあるが、両者はほぼ一致している。図-3には、境界面で測定された乱れのスペクトルも示されているが、二つの卓越波の領域に波による運動エネルギーが集中している。また、短周期波の卓越周波数 f より高周波側にかけては、エネルギーが急減する、いわゆる平衡領域が存在する。この部分のスペクトル関数形 $S_w(f)$ 、 $S_v(f)$ を規定する物理量として、 eg 、

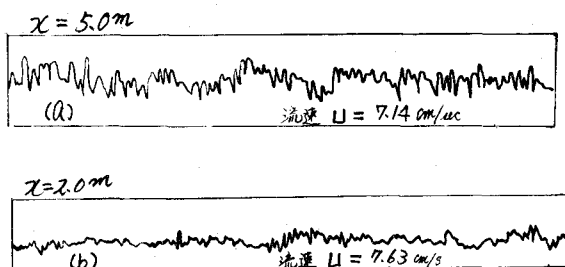


図-1 内部波の波形

x : 河口からの距離

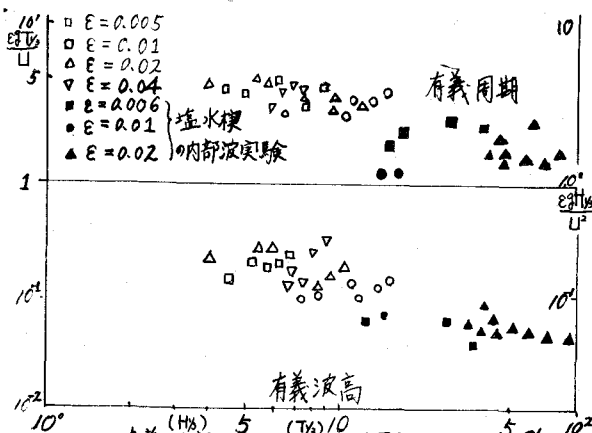


図-2 有義波高と有義周期 (2)

上層流速 U 、周波数 f とすると、次元的に可能な関数形としては、次のようなものがある。

$$S_m(f) = a(eg)^2 f^{-5} \quad \text{--- (1)} \quad S_r(f) = b(eg)^2 f^{-3} \quad \text{--- (2)}$$

$$\propto eg \cdot U f^{-4} \quad \propto (eg) U f^{-2}$$

$$\propto U^2 f^{-3}$$

式(1)は、風波における Phillips のスペクトルに類推的のものであるが、得られた $S_m(f)$ 、 $S_r(f)$ は慣性領域において、それぞれ(1-5)乗、(1-3)乗に従うので、それぞれのスペクトル式(1)、式(2)において、係数 a 、 b を求め、不安定パラメータ ψ に対してプロットすると、図5、6に示すように。

$$a = \alpha \cdot \psi^{-n} = 1.75 \times 10^{-11} \psi^{-2}, \quad b = \beta \cdot \psi^{-m} = 1.11 \times 10^{-12} \psi^{-3} \quad \text{--- (3)}$$

となり、スペクトルはそれぞれ次式のように表示される。

波高 $S_m(f) = a \cdot \psi^n (eg)^2 f^{-5} \quad \text{--- (4)}$
 $= 1.75 \times 10^{-11} \psi^{-2} U^2 f^{-5}$

乱れ $S_r(f) = b \cdot \psi^m (eg)^2 f^{-3} \quad \text{--- (5)}$
 $= 1.11 \times 10^{-12} \psi^{-3} (eg)^2 U^2 f^{-3}$

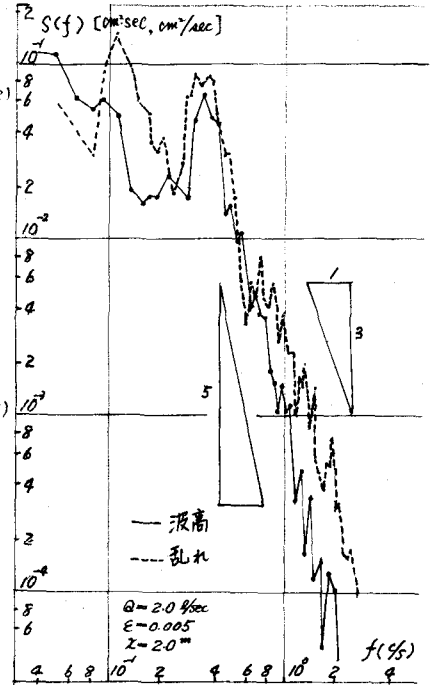


図3 < 波高・乱れのスペクトル >

4 連行現象との関係

内部波の砕波による下層塩水の連行量(濃度フラックス UC 、 U : 流速、 C : 濃度)を測定して、式(6)により求めた連行係数 E と不安定パラメータ ψ との関係を図7に示す。

$$E = \frac{1}{U} \cdot \frac{d}{dx} \left(\int_0^h u c dy \right)$$

U : 上層平均流速 h : 上層水深

この図は ψ が増加するに従い、連行量が増加する傾向を示している。 ψ は粘性を考慮した内部波の安定限界を示すパラメータである。図8より明らかなように、 ψ が大きくなるに従い、波高勾配 (H/L) が大きくなる。したがって、限界状態に達しやすくなり、連行量が増大するものと思われる。なお、本実験と理論において、文部技官、柴田、藤田両氏、並びに

学生、山崎、小倉両君より多大の援助を受けたことを記し、厚く感謝します。

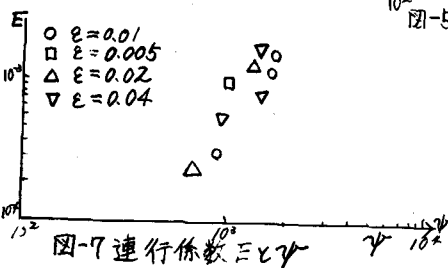


図7 連行係数 E と ψ

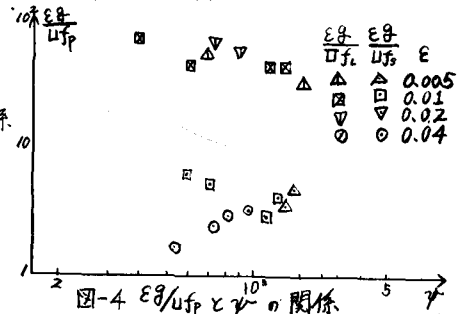


図4 eg/U_{fp} と ψ の関係

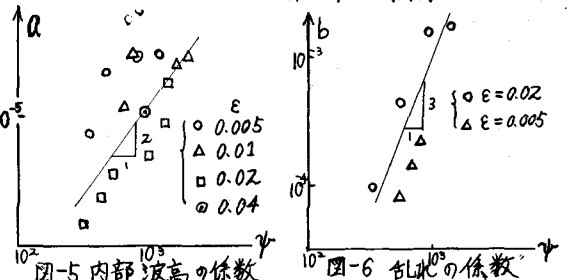


図5 内部波高の係数

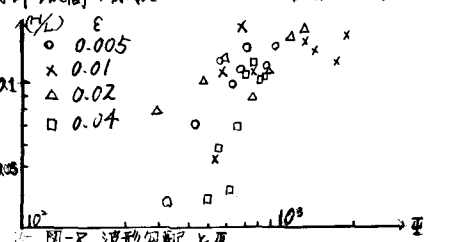


図6 乱れの係数