

九州大学 学生員 今西 誠
 “ 正員 椿 東一郎
 “ 正員 小松 利光

1 まえがき

二層境界面よりの連行現象のうち内部波の破波による連行に着目した種々の研究が発表されているが、現在までのところその混合機構は明らかではない。内部波の破波による連行量の測定には従来境界面の時間的低下から求める方法や、流れの2点で得られた流速分布と濃度fluxの差を求める方法などがとられているが、前者については水路の先端、末端部での攪乱の影響、後者については濃度fluxの差が微小にもかかわらず、境界面付近の測定の精度が極端に悪い事など多くの問題点が残されている。

今回我々は、Keuleganの方法を拡張した精密な実験を行って連行量を求めており、連行係数の表示式を呈示するとともに、二層流内部波の波高スペクトルを塩水楔のものと一緒に示している。

2 実験装置および方法

実験は長さ6m、幅26cm、高さ30cmの両面アクリル製水路で行い、上層淡水を循環させて二層流を作っている(図-1)。水路両端での乱れによる塩水の混入を防ぐため、上流端では境界面に徐々にせん断力がかかるように金網を設け、一方下流端では上層に引きずられてせきを越える塩水を排水した。それで下層水深が変化しないように塩水を補給している。

実験条件は、密度差 $\Delta\rho=0.004\sim$

0.046 、淡水流量 $Q=2.1\text{ l/s}\sim$

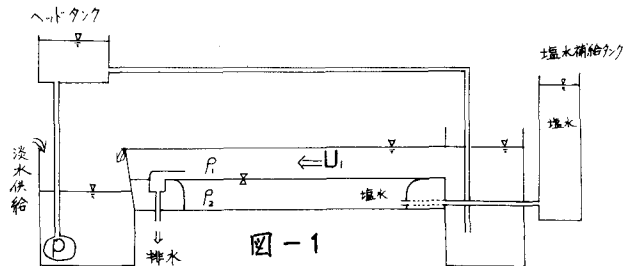
0.5 l/s 、上層水深 $h_1=5.9\text{ cm}\sim$

11.2 cm であり、測定量としては、

循環水の塩分濃度の時間的变化、

上層流量、排水量、排水の塩分濃

度、および波高計による内部波高などである。



3 連行係数

連行速度は、上層の質量保存を考えると次式で評価できる。

$$W_e = (\frac{\partial}{\partial t} V + C\delta) / A \quad (1)$$

ここに W_e : 連行速度 $[L T^{-1}]$ C : 上層水塩分濃度 V : 上層水全体積 $[L^3]$ δ : 上層水排水体積 $[L^3 T^{-1}]$
 A : 境界面面積 $[L^2]$

この連行速度を上下層の相対速度 U で無次元化して連行係数として表わし、内部フルード数 $F_r = U / \sqrt{g h_1}$ との関係を示したのが図-2である。勾配はほぼ4を示しており、実験式として次式が得られる。

$$E = W_e / U = 5.0 \times 10^{-4} F_r^4 \quad (2)$$

内部波が生じるフルード数 $F_r \approx 0.2 \sim 1$ の範囲では、データのまとまりもよく (2) 式が連行係数を十分正しく評価しているものと思われる。従来報告されている須賀、高橋の実験値と比較すると、今回の著者らの結果はかなり小さめである。これは破波以外の塩水の混入を防ぎ得たためであると思われる。また連行係数と内部波の有義波高との関係が図-3に示されている。

有義波高が大きくなるほど連行係数も大きくなっていくことから、波高の大きさが破波と密接に関係していることがわかる。

4 内部波の有義波高、有義周期

内部波の波形 (a) はうねりともいうべき長周期の波に短周期の波の重畳したものであり、移動平均により長周期の波と短周期の波を分離してとり扱っている。Zero-up Cross 法により短周期の波の有義波高 $H_{1/2}$ 、有義周期 $T_{1/2}$ を求め両者の関係を無次元化して塩水楔のデータと併せて示したのが図-4である。これより

$$\epsilon g H_{1/2} / U^2 = B (\epsilon g T_{1/2} / U)^{3/2}, \quad \beta = 3.15 \times 10^{-2} \quad (3)$$

が得られ、風波と同様 $3/2$ 乗則が成立する。

5 内部波のスペクトル

Sampling 間隔 $\Delta t = 1/30 \text{ sec}$, $N = 4096$ 個のデータから F.F.T 法により内部波の周波数スペクトルを求めた。

(前回、塩水楔の実験から得られた波高スペクトルと併せて) スペクトル $E_f(f)$ および周波数 f を無次元化して図-5に示す。卓越周波数より高周波数側のいわゆる平衡領域で次式の -5 乗則が成立していることがわかる。

$$E_f(f) = \alpha (\epsilon g)^2 f^{-5} \quad (4)$$

α の性質を調べるための $\alpha = E_f(f) T^5 / (\epsilon g)^2$ と $R_i = \epsilon g h / U^2$ の関係を図-6に示す。両者の関係として次式

$$\alpha = \beta (\epsilon g h / U^2)^{-3/2}, \quad \beta = 1.2 \times 10^{-3} \quad (5)$$

が得られる。(3), (4) 式より内部波スペクトル $E_f(f)$ は

$$E_f(f) = \beta (\epsilon g h / U^2)^{-3/2} (\epsilon g)^2 f^{-5} \quad (6)$$

となる。

最後に本研究にあたり、実験およびデータ整理に御協力願った、宮野光広君、菅原念君、柴田敏彦氏に心よりの謝意を表します。

