

京都大学工学部 正量 岩佐 義朗

京都大学工学部 正量 井上 和也

1. まえがき

静止した塩水に炭水が流下するような二成層流において、上層流の Froude 数が大きい場合境界面における混合現象は entrainment として取り扱われ、密度分布形の不連続性は比較的緩和される。しかし、Froude 数が小さいとき境界面に内部波が発生し、これの破波にもなって混合が生ずるが、境界面における密度分布の不連続性はかなり顕著に保たれる。本報は、こうした流れにおける内部波の統計的な特性について、とくに流下距離による変化を実験的に考察しようとしたものである。

実験装置および測定方法は既報¹⁾のものと同様であるので省略する。

2. 内部波高の発達

図-1 は、内部波の記録から Zero-up Crossing 法により求められた最大 1/2 波高 $H_{1/2}$ の発達状況を示すものである。ここで、 U_1 : 上層の平均流速、 $\varepsilon = (\rho_1 - \rho_2) / \rho_2$ であり、 ψ は Keulegan 数 ($U_1^3 / \varepsilon g h_1$) である。この図より内部波は観波と異なり、流下距離の増加とともに増加するのではないことが見られる。ここで、 $\varepsilon g H_{1/2} / U_1^2 \sim (\varepsilon g x / U_1^2)^p$ と表わし、 p と ψ の関係を示すと図-2 のようになる。この図より、 ψ が小さいときすなわち境界面の安定性が高いときには内部波は流下することにも減衰し、逆の場合に発達することが明らかである。内部波の発達過程を考える場合、内部波のエネルギーを減衰させる要素として

$\frac{\varepsilon g H_{1/2}}{U_1^2}$
粘性による消散および境界面における上、下二流体の混合が挙げられるが、以上のことはこれらが、内部波を発達させる因子(促進力など)にくらべ ψ の増加とともに減弱することを意味し、 ψ が内

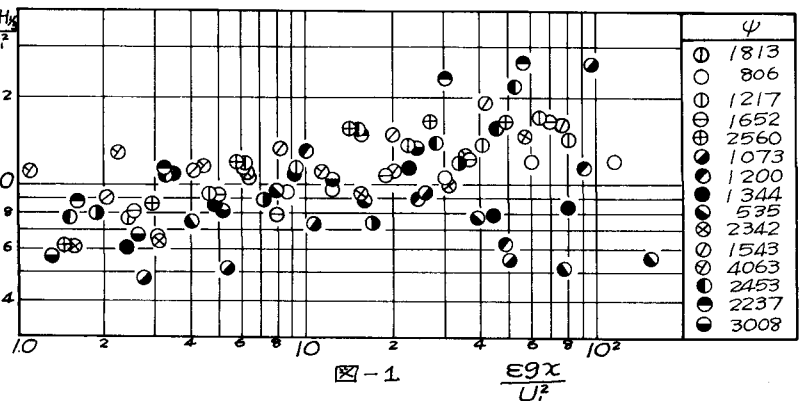


図-1

部波の発達あるいは減衰を支配する重要な指標であることを示している。

3. 内部波のスペクトル特性

図-3 は、次式で定義されるスペクトル幅 E_s と ψ の関係を示したものである。

$$E_s = 1 - (1 - r)^2$$

ここに、 $r = \frac{\text{波動記録の極大値のうち最大のものの数}}{\text{極大値の総数}}$

極大値の総数

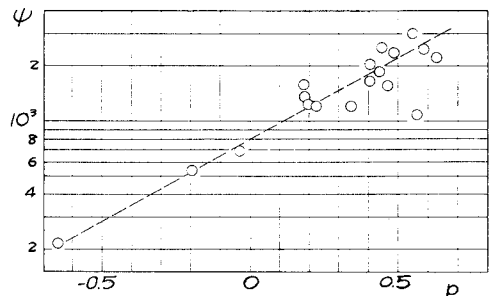


図-2

ϵ_0 は ψ とともに増加することが認められる。

つまり、安定性が低いほど内部波はより不規則的になることを意味する。

さて、観測の場合、そのスペクトル密度は高周波数領域において、周波数 f の -5 乗あるいは -6 乗に比例することが認められている。

図-4 は、内部波のスペクトル密度 $S(f)$ を高周波数領域において

$$S(f) \sim f^{-n}$$

と表わしたときの n と $\epsilon_0 x / U^2$ の関係を示したものである。個々の実験条件により、 n はかなり変動するが、流下距離の増加とともに減少する傾向が見られよう。このことは、内部波の高周波数成分ほど不安定であるから、この成分比を表わすと境界面における混合量とは密接な関係を有すると考えられる。したがって、上に述べたことは、混合現象が流下距離によって変化することを示すものであるといえる。

図-5 は、境界面の安定性のパラメーター ψ

と n の関係を示したものである。この図より n は ψ の増加とともに減少することが見られる。図-4、5 より、 n は $\epsilon_0 x / U^2$ と ψ に関係すると考えることができる。

Phillips³⁾ は、密度が連続分布をなしている Thermocline での内部波の研究において、そのスペクトルが高周波数領域において f^{-3} に比例することを導いている。これらのことから、流下距離が小さいかあるいは安定性が高いとき、境界面での混合量は小さく流れは不連続な密度分布を有し、内部波のスペクトルは観測のそれと類似するが、逆の場合、連続的な密度分布に近付き Phillips の -3 乗則に漸近するものであると考えることができる。

二成層流の境界面に発生する内部波は、観測と類似な現象と考えられすが、多くの新たな問題を含み、とくに以上に述べたように境界面の安定性とこれに反発する上層流の影響が考慮されなければならないであろう。

参考文献 1) 岩佐義朗, 井上和也, 竹林征三, "成層密度流における内部波の特性について", 日本土木学会年次学術講演会講演概要 (1968). 2) Phillips, O.M., "The Dynamics of the Upper Ocean", Camb. (1966).

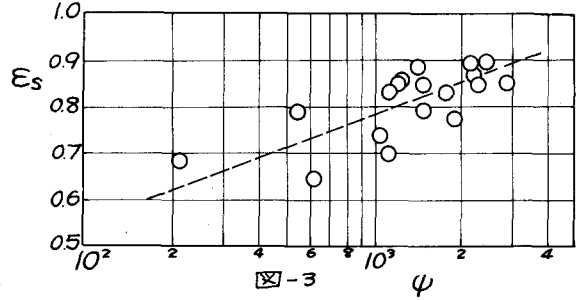


図-3

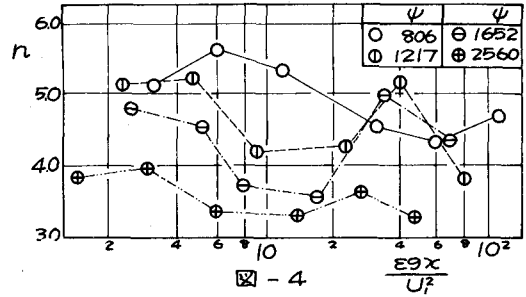


図-4

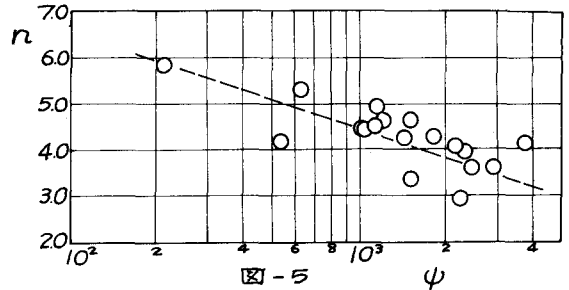


図-5