

II-183 二層境界面における内部波の統計的性質について

九州大学 大学院 学生員 ○松尾 真治
工学部 正 員 椿 東一郎
" " 小松 利光

1. まえがき

二層境界面に発達する内部波の性質やスペクトルについて、最近種々の研究が発表されているが、現在までのところ、十分な実験的確認を受けたものではない。今回我々は、長さ13.6m、幅14.5cm、高さ30cm、底勾配 1.5×10^{-3} の両面アクリル製の水路を表-1の実験条件で塩水楔を作り、その境界面に発生する内部波の波高、流速、塩分濃度等を測定し、若干の考察を行った。

2. 有義波高、有義周期

内部波の表形 $\eta(t)$ の測定結果の一部を図-1に示す。かなりランダム性に富んでいるが、うねりとも言うべき長周期の波の上に短周期の波が重畳したものである事から移動平均を行って、長周期の波と短周期の波を分離して取り扱った。zero-up-cross法により短周期の波の有義波高 H_g 、有義周期 T_g を求め、両者の関係を無次元化してプロットしたのが図-2である。勾配はほぼ $1/2$ をとり、 U_1 を上層平均流速として次式が得られる

$$\frac{egH_g}{U_1^2} = B \left(\frac{egT_g}{U_1} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

表-1

実験 NO.	記号	ϵ 度差	q (流量) cm ² /sec	Re	L(楔) m	H_1 (河口) cm	h_2 (堰水路) cm
A	▼	0.0025	59	4870	8.55	23.4	9.6~1.10
B	▽	"	67	5580	5.50	23.5	8.8~1.35
C	●	0.005	83	7240	9.73	25.4	10.2~1.35
D	○	"	104	8880	5.98	23.55	9.5~1.05
E	◇	"	94	7860	6.00	23.55	8.4~2.8
F	◆	0.01	114	9785	7.13	23.65	7.5~0.5
G	●	0.02	126	10880	8.65	23.65	5.8~1.1
H	⊖	"	140	11770	5.95	23.70	4.7~1.55
I	□	0.04	210	17340	5.80	23.85	4.9~1.55

これは鳥羽(1972)が風浪において得た U_1 乗則に近い関係があり上層流より内部波へのエネルギーの伝達の機構が風浪の場合と類似している事が考えられる。また egH_g/U_1^2 、 egT_g/U_1 をそれぞれKeuleganの不安定 $paramete \psi = U_1^3 / \nu eg$ に対して(著者ら以前行なった二層流の実験データも併せて)プロットしたのが図-3、図-4である。両者とも ψ の増加と共に減少する傾向がある。この事は境界面の抵抗係数が ψ と共に減少する現象に関係するものと思われる。一方、長周期の波に関しては明確な傾向はみられなかった。

3. 内部波のスペクトル

sampling 間隔 $\Delta t = 1/5(sec)$ 、 $N=2048$ 個のデータからFFT法により内部波の周波数スペクトルを求めた。スペクトル $E_T(f)$ および周波数 f を無次元化して図-5に示す。短周期波の卓越周波数 f_p より高周波数側にかけて、エネルギーは急減するいわゆる平衡領域が存在し、種々の条件下で

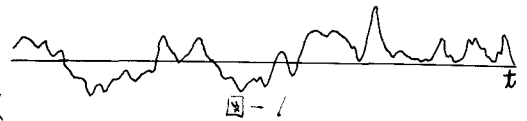


図-1

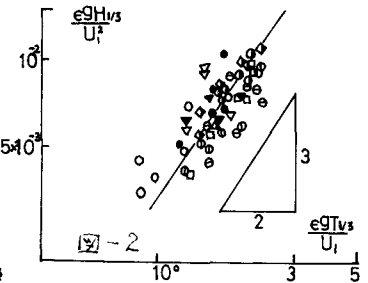


図-2

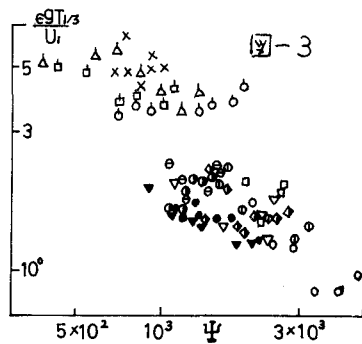


図-3

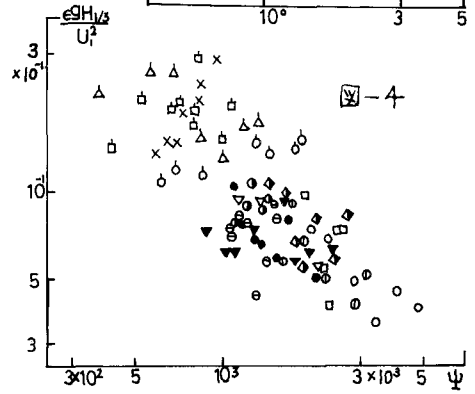


図-4

の多数のスペクトルが良い一致を示している。更に高周波数側のエネルギーは碎波して上層水中に巻き上げられ塩水を内部波高計が内部波の変動として検出するために得られるものである。平衡領域におけるスペクトル関数形を規定する物理量として eg と f を考えると、次元解析より次の形が得られる。 $E_p(f) = \alpha (eg)^2 f^{-5}$ (2)

式(2)は風波におけるPhillipsの5乗則に類似したものである。

式(2)の成立性を確かめるため、各々のスペクトルより一組の f と $E_p(f)$ の値を読み取り $E_p(f)$ を求めて eg に対してプロットしたのが図-6である。ほぼ勾配2の直線を示しており、図-5と共に式(2)の成立性を良く示している。ただ eg が大きくなるとやや勾配が緩やかになってくる。これは α が universal const. ではなく、他の物理量に規定されている事による。 $\alpha = E_p(f) f^5 / (eg)^2$ と $Ri = eg k_1 / U_*^2$ の関係を図-7に示す。両者の関係として次式 $\alpha = \beta \left(\frac{eg k_1}{U_*^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$ $\beta = 1.2 \times 10^{-3}$ (3)

が得られる。したがって内部波のスペクトル $E_p(f)$ は

$$E_p(f) = \beta \left(\frac{eg k_1}{U_*^2} \right)^{-\frac{1}{2}} (eg)^2 f^{-5} \quad (4)$$

となる。

4. 流速変動スペクトルおよび密度変動スペクトル

sampling 間隔 1/60 sec, $N=4096$ 個のデータから流速変動および密度変動のスペクトルを求めた。図-8に代表例を示す。流速のスペクトルでは慣性域の -5/3 乗則が認められるが、内部境界面に近くなる程 energy peak が明確となり、energy level も大きくなる事から、流速変動は乱流としての流れと内部境界面の波動によって引き起こされた速度変動の重ね合わさったものである事がわかる。一方密度変動のスペクトルでは peak が生じる周波数が内部波の peak の周波数と一致している。また内部波の高周波数 peak よりも更に高周波数側には peak が見られるが、これは碎波した波による塩分混合を示していると思われる。境界面から離れると、高周波数側の peak は不明瞭になるが、低周波数側の peak は依然として明確に認められる。この事により低周波数の波による内部境界面の昇降運動が高周波の波の碎波混合に大きく寄与している事が認められる。なお、実験及びデータ整理に積極的に取り組んでくれた文田進、柴田敏彦両氏に深甚なる謝意を表します。

