

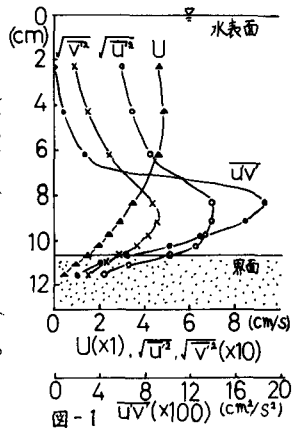
九州大学工学部 正員 〇小松 利光
九州大学工学部 正員 橋 東一郎
九州大学大学院 学生員 下田 五郎

1. まえがき

塩水楔や2層流の密度界面に発生・発達する内部波は界面抵抗や連行現象に密接に関連している。かつて著者は内部波を測定し、波速の小さい長周期の波(L.P波)の上に波速の大きい短周期の波が重畳した形を持つことに着目し、両卓越波の特性と統計的な性質について考察した。しかし、従来の実験は内部波形の測定のみにとどまり内部波の特性を調べるには十分でなかったが、今回、波高、濃度、流速の同一点、同時測定を行ない、内部波と乱れの関連、周波数スペクトルについて考察を加えたものである。

2. 実験及び結果

実験は長さ5.5 m, 幅26 cm, 高さ30 cmの両面アクリル製の水平水路を用いた。下層の塩水上を淡水を流下させて二層流をつくり、水路下端での内部波の反射を防ぐため、排水スリットを用いて排水している。測定はV型hot film流速計、塩分濃度計、内部波高計を用いて、 u , v 2方向の流速、密度、内部波高をほぼ同一点同時測定している。実験条件は表-1に示すとおりである。実験Ⅱで測定された平均流速 \bar{U} 、乱れ強度 $\sqrt{u^2}$, $\sqrt{v^2}$, Reynolds力 $-\overline{uv}$ の代表的な分布を図-1に示す。乱れの分布に関しては開水路等流と同じように界面の近くに最大値をもち水表面に近づくにつれて減少している。Reynolds力も乱れの最大値付近に集中している。平均界面は濃度が下層塩水原液の50%となる水深で定義している。



3. 内部波高と流速変動

図-2は、界面付近で同時に測定された流速変動 u' , v' , Reynolds力 $-\overline{uv}$, および内部波高 H の記録の一部を示したものである。内部波が平均界面より上がったときには、水平方向 u' , 垂直方向 v' の流速変動は平均流より減少する傾向が、波が下がったときには増加する傾向が見られる(ただし、 u は流下方向に正、 v は下向きに正である)。また、内部波が平均界面より下がったときに、水平方向の流速変動が増加、垂直方向の流速変動が減少になっているところは、L.P波の影響を受けているものと考えられることができる。次に波高と流速変動との関係をより見やすくするために、実験Ⅱの測定において波高の変位に対し、その変位が生ずる時の流速変動の平均値を計算し、波の変位とそのときのその点の流速変動の平均値をプロットしたのが図-3である。便宜上、測定区間内の波高の最大値で波高変位を割って無次元化して波形をsine curveで表わし、流速変動の平均値はベクトルで示してある。波が平均界面よ

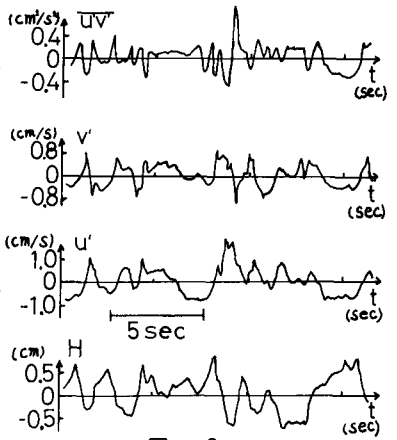


図-2

表 - 1

RUN	密度差 ϵ	上層平均流速 \bar{U} (cm/s)	上層平均水深 h_1 (cm)	水温 ($^{\circ}\text{C}$)
I	0.0065	5.05	10.38	12.4
II	0.0120	6.30	11.35	12.9
III	0.0120	4.71	9.77	12.9

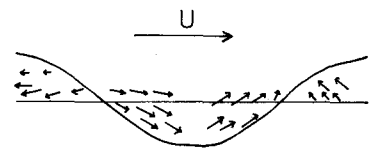


図 - 3

り下にあるとき変動は波形にそうように平均流の方向に加速し、平均界面より上にあるときには逆に減速している。このことは波の谷の部分では上層の速い流速をもった淡水が入り込んで来るため平均流速よりも流速が速くなり、逆に山の部分では流速の遅い下層の塩水が突出する為、負の流速変動をもつようになる解釈できる。

4. 内部波と流速変動のスペクトル

図-4は実験Ⅲにおける、自由表面付近(界面上8.25cm)、界面付近(界面上1.25cm)、これらの中点(界面上5.25cm)および界面の流速変動 u' 、 v' の周波数スペクトルと、それぞれの変動測定と同時に測定した内部波の周波数スペクトル表示している。スペクトルの計算にはFFT法を用い、サンプリング間隔 $1/37.5 \text{ sec}$ 、データ数4096個である。流速変動のスペクトルに関しては、高周波側において開水路乱流や自由噴流で通常みられる慣性域の $-5/3$ 乗則、粘性域の $-13/3$ 乗則が成立しており、内部波の影響はみられない。むしろ、内部波スペクトルの方が流速変動スペクトルに非常に良く似た分布形表示している。このことはここに示していないが他の断面のスペクトルについても同様であった。このことから高周波の内部波成分は上層流の乱れによって生じられた界面動揺とみることができよう。一方、低周波側は流速変動、特に v' の変動に対する内部波の影響が顕著にみられる。すなわち、 v' のスペクトルは界面付近で波高分布とほぼ同じ分布を示し両者の間の強い相関を示しているが界面から離れるに従い v' 本来の形へと近づいていく。このことは波の特性を有する低周波の内部波が流速変動を引き起こしていることを示しており、高周波の内部波変動とは大きく異なっている。また、当然ながら u' の変動に対して内部波は同様に影響を与えているはずであるが、 u' の変動は平均流からの乱れエネルギーの変換やcascade downなど独自のプロセスを有するため、顕著な形では表われにくいものと思われる。

以上まとめると、界面波には卓越波としてK,H波であるS,P波とL,P波が存在するが更に高周波側の成分は上層の流速変動や破波によって引き起こされた界面動揺が界面近傍の平均流速によって流下する為に検出されるもので波としての性質は持たない。このことは流速の測定からも裏づけられている。したがって高周波側の内部波スペクトルは流速変動スペクトルに強く依存し $-13/3$ 乗則が成立する。一方、L,P波について詳しく検討するため $\Delta t = 1/3.75 \text{ sec}$ 、 $N = 8192$ 個、測定時間 $T = 37$ 分間の連続データからスペクトルを求めたL,P波、S,P波の卓越周波数に相当する周波数帯にそれぞれpeakが見られたが、そのスペクトル形は実験条件や測定位置によって異なり、低周波領域でのスペクトル形を決定するまでには至っていない。最後に本論文作製にあたり、データ解析及び整理に協力願った柴田敏彦氏、米田寛氏(前田建設)に感謝の意を表します。

参考文献 小松、今酒、椿：二層流界面における内部波の統計的性質、九大工学集報第52巻第1号、1979

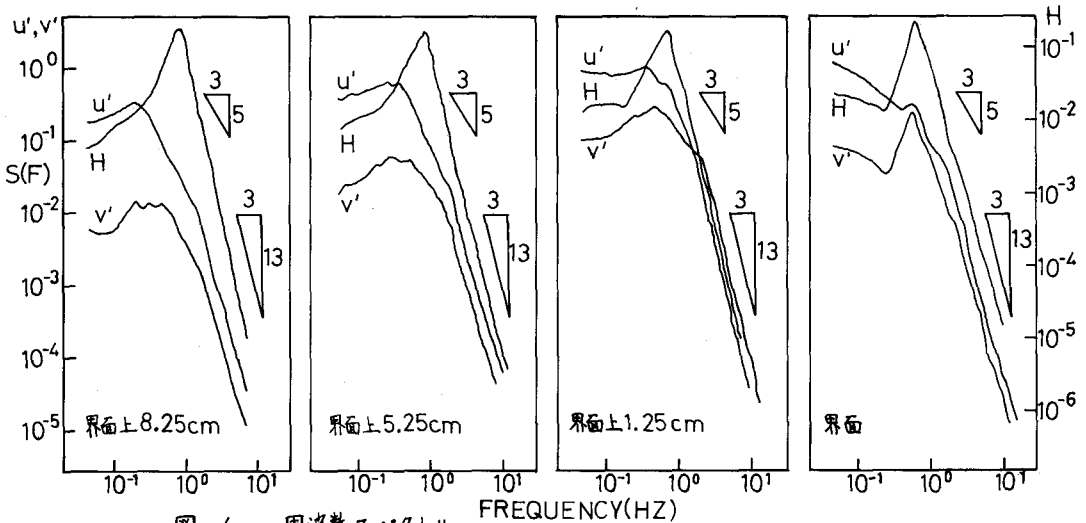


図-4 周波数スペクトル