

2層密度成層における内部波動場に関する実験的研究

東京理科大学大学院

学生員 橋本 彰博

東京理科大学理工学部土木工学科

正会員 大西 外明

1. 研究の背景と目的

湾や湖沼貯水池といった閉鎖水域では、水温、濁度等による密度の差より水深方向に密度の急変する境界、内部境界面が形成される。このような水域では、水質の交換があまりなされず、富栄養化等による水質の悪化が深刻な問題となっている。自然界における閉鎖水域の水質混合・輸送のメカニズムについて知っておくことは、閉鎖水域の水質環境上重要なことである。その現象の1つとして、内部境界面に発生する波動、内部波による界面付近の移動及び砕波による混合が考えられている。このことに関連して、昨年度は特に混合のメカニズムについて内部波の砕波に注目して実験を行った結果を報告した。これに引き続いて本年度は、内部波動場における界面近傍に生じる移動流速に関する実験を行った。

2. 実験内容

実験水槽は図1に示すような長さ6m、幅0.2m、高さ0.3mの亚克力製の長方形水路で、その一端に内部波造波装置を備えている。造波装置は水圧式となっておりピストンタイプ造波装置の往復運動を下層部に伝達することにより内部境界面に波動を発生させる。水槽内には上層と下層で互いに密度を異にする二層密度成層を作り、界面を明確にするため、下層をフロレッセンスソーダで着色した。また実験は、ウォータブルームを用いた染料系を鉛直に形成させ、その折曲点をビデオで撮影し、一定時間毎に折曲点を追従する方法により界面近傍の粒子の移動状況を観察した。なお、流体の密度差は塩分濃度差によって作った。実験条件を表1に示す。実験は周期を5種類、振幅・密度比をそれぞれ3種類変化させた。実験の手順としては、成層形成後、まず導電率計により密度分布を測定する。造波後、波の諸元を内部波高計で測定し、位相速度は目視観測を用いた。また、染料系の折曲点の移動状況をビデオで撮影し、パソコンに取り込み、画像処理を行うことで移動速度を算出した。

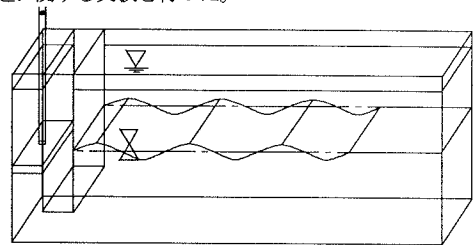


図1：実験装置

表1：実験条件

case	$T(sec)$	ϵ	$h_1(cm)$	$h_2(cm)$
1	12.0	0.01450	8.0	12.0
2	13.0			
3	14.0	0.02175		
4	15.0			
5	18.0	0.02925		

3. 移動位置に関する解析及び考察

まず、移動流速の発生する場所を調べるため、密度分布及び折曲点の位置を観測した。その結果を図2に示す。この図から、移動流速が現れる位置は密度の急変する場所、混合層内で起こっていることがわかった。また、実験では界面を水面から8cmの位置に設置していることから、比較的密度の大きいところ、下層に近い部分である

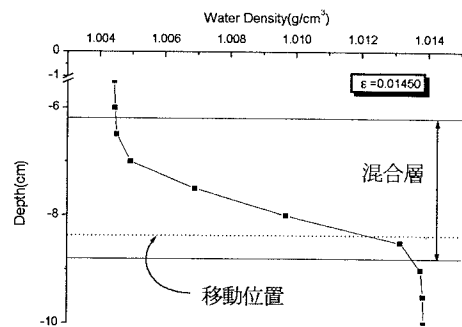


図2：移動速度の発生位置

キーワード 内部波動場 移動速度

連絡先 〒278-0022 千葉県野田市山崎2641

(0471)24-1501内線4055

ことが分かった。

4. 移動流速に関する解析及び考察

密度比が変化することによって界面の安定性の違いを再現し、それが移動流速にどのような影響を及ぼすかを移動速度 u_s と波形勾配 H/L 、周期に関する無次元量 h/gt^2 の関係に注目して解析を行うことにした。

まず、移動速度と波形勾配の関係を図3に示す。密度比の条件等に関係なく、どのケースも移動速度は波形勾配に対して右上がりの関係になっていることが分かる。波形勾配が大きくなるほど界面の振動は激しいことになるので、界面付近の水粒子の運動が活発になるのは予想通りの結果である。

次に密度比で比較を行う。密度比が小さい(安定性・弱)と波形勾配に対する移動速度の増加率が大きくなる。同じ周期・振幅条件の内部波を発生させても密度比が大きくなる(安定性・強)と波速が大きくなり、波長も大きくなり波形勾配は小さくなる。このことから分かるように、密度比が小さい(安定性・小)時ほど界面付近の水粒子は影響を受けやすい。逆に言えば、密度比が大きい(安定性・大)と界面付近の水粒子は運動が穏やかに保たれるのである。

以上から界面付近の水粒子の移動は、波形勾配・密度比による流動性をみる指標にもなり得るのではないかと考えられる。

次に移動速度と周期の関係について解析を行った。その結果を図4に示す。図4から、移動速度は周期の二乗分の一($1/t^2$)におよそ比例する形をとることが分かる。どのケースにおいても右上がりの関係になっていることから、入力振幅が一定の場合、周期が短いほど内部波動は激しくなり、水粒子の運動も併せて大きくなると考えられる。まず密度比で比較すると、密度比が小さいケースの直線の傾きが大きくなっていることから、移動速度は安定性が増すほど小さくなることが分かる。

これから、波の条件(周期・振幅)が同一である場合は移動速度が大きいほど密度比が小さいことが判明する。

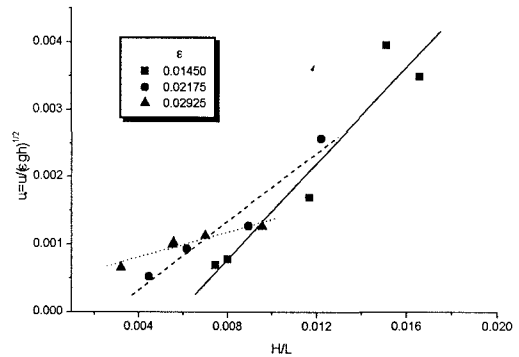


図3：移動速度と波形勾配の関係

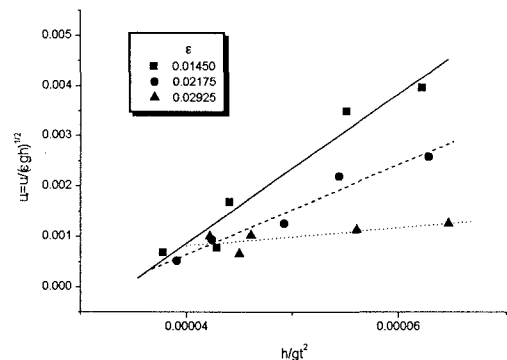


図4：移動速度と周期の関係

5. 結論

界面近傍の水粒子の運動と内部波の構造には、相関関係があることがわかった。また、最も沖側へドリフトする水粒子の位置は密度の大きく変化する混合層内にあること、この水粒子の運動には内部波以外に、上下層の密度比も大きく関係することが明らかとなった。更に水粒子の移動が大きくなる条件として、密度比・内部波の周期が小さく、波形勾配が大きいことがあげられる。

参考文献： 橋本 彰博：斜面上の内部波の伝播特性に関する実験

第52回年次学術講演会概要集

乃万 俊文，神山 保：内部界面波中の微粒子の運動軌跡

第31回水理講演会論文集