

内部重力波の特性について

大阪大学工学部 正 員 室田 明
大阪大学工学部 正 員 平田健正
大阪大学大学院 学生員 道奥康治

1. はじめに；成層化した密度界面に生ずる内部波は種々の形状・スケールを持つことが多くの実験，或いは実験結果において報告されている。しかしながら統計的な内部波の集団特性等については従来多くの研究があるものの，発生・変形・発達，さらには内部波の砕波による混合のメカニズムについてミクロ的に取扱った研究は数少ない。そこで本研究では，これらの内部波による混合機構の第一段階としてまずWave Generator を使って二層界面へ正弦波動という非常にsimpleな強制外力を与え，内部重力波を生起させ，その基本的特性を明らかにすべく実験・解析を行なった。

2. 実験装置および方法；実験水路は有効長340cm，幅20cm，高さ30cmで，側壁透明の塩化ビニル製である。本実験は，淡水の二成層で，上下層ともに静止とし，水路上流端に設置したWave Generatorの詳細は図-1に示す。Wave Generatorの動力源には1HP三相交流モーターを用い，無段変速機を有する同軸上のDisk(a)によって回転運動をピストン(b)の往復運動に変換する。生起させる内部重力波の周期Tは変速機により， $T=3.0 \sim 15.0$ (sec)の範囲で連続的に変化させることができ，振幅はピストンのストロークを変えることにより調節可能である。ピストンによる往復運動は長さ70cmの助走区間を介して下層塩水側に伝達される。また，消波工として磁気テープくずを装入したかづを使用し，水路下流端に設置した。内部波波形はサーボ式水位計によりレクテグラフ上に記録し，密度分布は電導度計で計測した。実験は相対密度差 $\epsilon=0.0178, 0.0210, 0.0254$ の3ケースで，いずれの場合も淡水深 $h_1=11$ cm，塩水深 $h_2=17$ cmである。

3. 内部波波形および波速；図-2にサーボ式水位計により得られた内部重力波の時間波形(実線)を示す。図中に同振幅同周期の正弦波形(破線)を併記しているが，図のごとく内部波波形に関しては正弦波形と満足すべき一致が得られた。図-3は実験より求めた内部波波速 C_i と周期Tの関係を相対密度差 ϵ と別にプロットしたものである。実線，破線，および一点鎖線はそれぞれ次式であらわされる微小振幅浅海波理論によって各々毎に求めた理論波速 C_i と周期Tの関係を表わす。

$$C_i = \sqrt{\frac{g\epsilon}{k \{ \coth kh_1 + \coth kh_2 \}}} \quad (1)$$

ここに， $k=2\pi/L$ ；波数， h_1 ；上層水深， h_2 ；下層水深 である。

(1)式における ϵ は電導度計より得られた密度分布より上下各

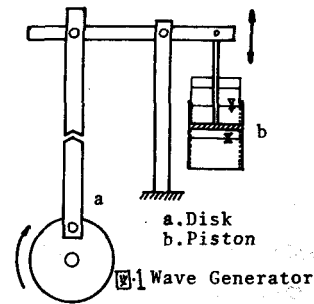
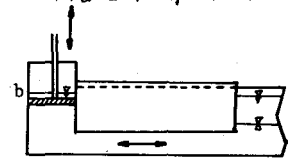


図-1 Wave Generator

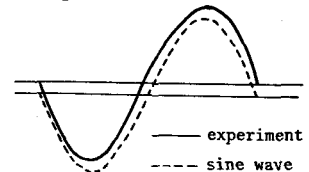


図-2 内部波形

層の平均密度 $\bar{\rho}_1, \bar{\rho}_2$ を算出し、その相対密度差 $\varepsilon = (\bar{\rho}_2 - \bar{\rho}_1) / \bar{\rho}_1$ をもって定義した。図に示す様に、実験値は理論値より若干小さいが比較的よく一致している。このことから波速に関しては本実験の条件下で得られた内部重力波は浅海波領域に属すると考えられる。

4. 波高および波高減衰：波形記録から読みとった波高 H と周期 T との関係を図-4に示す。図に示すごとく $T = 5.0 \sim 5.5 \text{ sec}$ 付近で波高は極値を持つ傾向がある。この周期付近で自由表面に基本モードのセイシュを生じ、ピストンと共振するためそれに伴う界面変位がかなり激しく、同時に混合が生じるため、波形を正確に検出することが困難であった。そのため密度分布は実験の前後ではその形状が大きく変化し、密度勾配 $(-d\rho/dz)$ は減少した。本実験の場合、基本モードの周期は 5.07 sec となり、ほぼ共振周期と一致する。共振周期より長周期側では周期の増加とともに波高は減少する。これは同じピストンのストロークに対し、一周あたりのエネルギーが周期の増加とともに減少していくためである。共振周期より短周期側においてはそれとは逆に周期の減少とともに波高が急激に減少している。これは、つぎに述べるように波数の増加に伴い内部波のエネルギー減衰が著しく、最初の波高観測点 ($x = 40 \text{ cm}$) に達するまでに内部波高が減衰するためと考えられる。

内部波のもつエネルギーが如何に減衰するかを調べるために、本実験では水路の長手方向4点において波高を記録し、

$$H = H_0 \cdot \exp[-\gamma t] \quad (2)$$

で与えられる波高の時間減衰率 γ を回帰分析によって算出し、 γ と波数 $k (= 2\pi/L)$ との関係を図-5に示した。このことから

γ は波数 k が大きい、すなわち短周期内部波ほど減衰が激しいことがわかる。同図には粘性減衰率、壁面・底部摩擦による減衰率、および界面境界層による減衰率の理論曲線を比較のため比較のため併記した。内部重力波のエネルギー減衰が如何なる要素によって減衰するのか明確ではないが、内部粘性の寄与はほとんどなく、むしろ界面での拘束、境界摩擦等、主として界面近傍の境界のなす仕事は支配的であると考えられる。

最後に、本研究を行なうにあたり、実験・解析等に助けて頂いた本学院生鈴木卓君に心から謝意を表します。

参考文献

- 1) J.E. Lewis; J. Fluid Mech. vol. 63, 1974 2) 嶋祐之; 水工学シリーズ 65-11

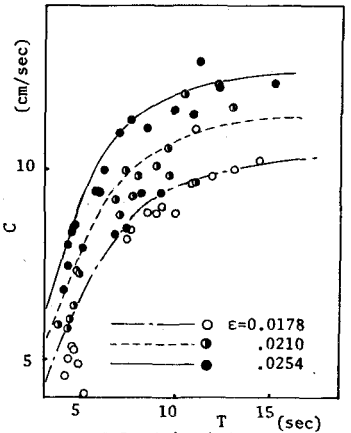


図3 内部波速

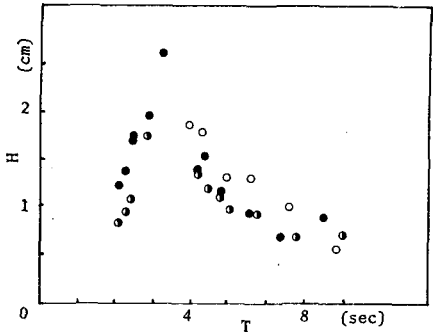


図4 内部波高と周期

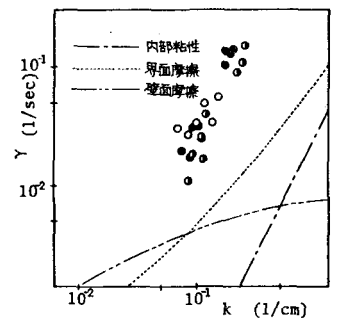


図5 波高減衰率