

連続成層密度場における内部重力波の特性

大阪大学工学部 正 員 室田 明
 国立公害研究所 正 員 平田 健正
 大阪大学大学院 学生員 ○吉田 延雄

1はじめに：強混合状態の河口部や河口流出を伴う海域では密度が鉛直方向に連続的に変化しており、そこに生起する内部波動も当然密度分布の影響を受けることになる。例えば、連続密度場に生起する内部波は水平方向のみならず鉛直方向にも波数成分をもち、二次元的な振舞いをするのが際立った特徴として挙げられよう¹⁾。加えて、連続密度場は波動エネルギーの伝達媒体としての役割だけではなく、波動に対する選択効果も有するため、不均質な波動場の特性を調べる上でも好都合である。以上のような観点から、本研究は連続密度場に注目し、局所的に内部重力波を生起させて、その挙動特性を実験的に検討したものである。

2実験の概要：実験に用いた水路は、長さ300cm、深さ50cm、幅15cmのアクリル樹脂製二次元開水路である。本実験では密度分布は図-1に示すように密度勾配一定の直線分布とし、密度の小さいものから順に供給して密度場を作成するが、その際透明な塩水と染料で着色した塩水を交互に入れて密度場を可視化した。すべての実験を通して全水深は47cmと一定にし、自由表面下5cmの位置にフラップタイプの造波板を設置して内部波動を生起させる。また、波動の規模を変化させるために造波板長 L_0 が20cm, 30cm, 40cmの3種類を用いた。実験は、密度場および造波板を同一にして周期を種々変化させて行ない、等密度変位の可視化像をビデオシステムで撮影記録した。なお、水粒子運動はトレーサー（ノーマルヘキササン+モノクロールベンゼン）を注入して可視化している。

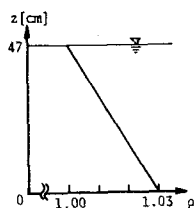


図-1 密度分布

3実験結果とその検討：密度勾配が一定の場合には、ブルント・バイサラ振動数 $N (= \sqrt{g \Delta \rho / \rho \Delta z})$ は近似的に一定値と見なせる。この時、 $N \gg \sigma$ であれば、内部波動は二次元運動することが線形化された波動方程式より導かれる。ここに、 σ は内部波動の振動数である。写真-1(a)は $N=0.806 \text{ sec}^{-1}$ の密度場に内部波を生起させたものであるが、波動は斜め下方に伝播し、二次元的な振舞いをしていることが視覚的に理解できる。写真中に見られる波線の方向、すなわち矢印の方向は、エネルギー伝播の方向を示しており、このことはトレーサー追跡による水粒子軌道がこの方向に一致していることから確認された。また、位相伝播方向はエネルギー伝播方向と 90° をなしており、同写真では位相は斜め

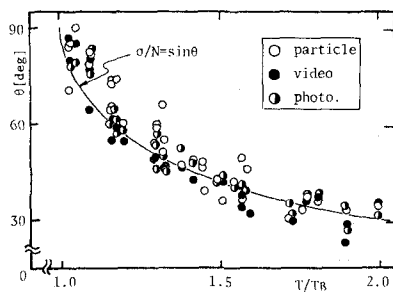


図-2 エネルギー伝播方向の周期による変化

AKIRA MUROTA, TATEMASA HIRATA, NOBUO YOSHIDA

上方に伝播している。このエネルギー伝播方向と水平方向とのなす角度 θ は次のように表される²⁾。

$$\sigma/N = \sin \theta \quad \text{----- (1)} \quad \text{あるいは} \quad \sigma/N = \{k^2/(k+K)^2\}^{1/2} = \{1/1+(K/k)^2\}^{1/2} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 k は水平方向波数、 K は鉛直方向波数を表す。実験値と(1)式とを図-2に比較しており、縦軸は角度 θ 、横軸は周期 T を限界周期 $T_B (=2\pi/N)$ で除した無次元周期 T/T_B である。実験値は35mm写真解析、ビデオ再生画像および水粒子の軌道から得られた値を区別して載せているが、これらに大きな差違は見られない。実験値にはばらつきはあるものの理論値を支持するようである。また、内部波周期が限界周期付近まで減少すると、角度 θ は 90° に近づき、水粒子運動が鉛直平面内に限られることもわかる。

つぎに、(2)式は分散関係を示しているが、表面波のように周波数 σ が波数の関数とはならず、水平方向波数と鉛直方向波数との比 K/k の関数になっている。したがって、内部波動の規模は周期(あるいは波長)によって一義的に決定されず、ただ、波動の伝播方向が規定されるにすぎないことになる。写真-1(a)(b)(c)は、造波板長 L_0 を20cm, 30cm, 40cmとそれぞれ変化させた実験結果を示している。これらの実験ではブルントバイサウ振動数 N と周期 T はほぼ同一の値としているため、エネルギー伝播方向はほとんど変化しない。しかし見して水平方向波長が異なることが認められる。そこで、造波板長と内部波波長の関係調べるため、横軸に無次元周期 T/T_B 、縦軸に水平方向波長 L_h をとって実験値をプロットしたのが図-3である。同図より周期を一定とした時、 L_0 が長くなれば L_h も著しく増加するのに対し、 L_0 を一定とした場合には周期の変化にかかわらず L_h はほぼ一定値と見なしてよさそうである。ただ L_0 がそのまま L_h と等しくなることはなく、 L_h は造波板の大きさによっても変化しているが、 L_0 の約3/4になっている。以上のように、連続密度場では波数の比 K/k が(2)式を満たしてさえいれば、波動を生起させる外力の規模によって任意規模の内部波動が発生しうると考えられる。

最後に、本研究を遂行するに際し、実験・データ解析等に助力願った戸田建設・山田博文君に謝意を表す。

参考文献：1) 富永政英(1976) 海洋波動、共立出版 pp.528-569
2) Phillips, O. M. (1966) The Dynamics of the Upper Ocean, Cambridge University Press.

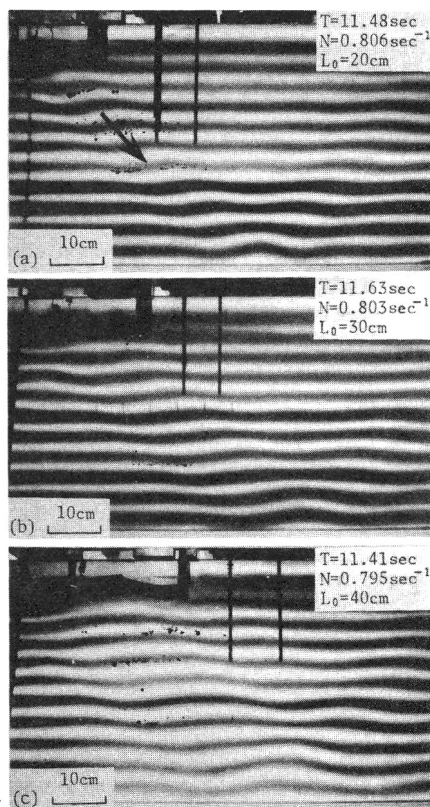


写真-1 波動の伝播形態

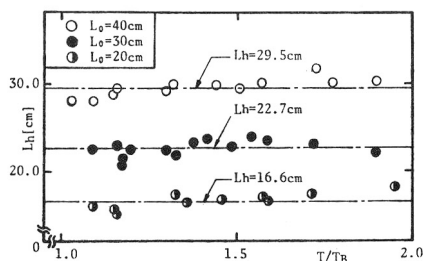


図-3 造波板長による内部波波長の差違