II−67　　風浪および波に対する密度成層の安定性

電力中央研究所　正員　和田　明
同　　上　　正員 ○片野尚明

1，まえがき

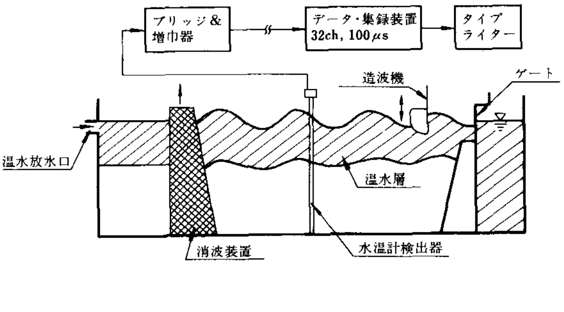
冷却水を直接外海に放出せしめたとき，風浪の作用があって乱れが非常に発達している海域での温水塊の挙動を知ることは再循還や海域の環境変化の予知にとって重要な課題である。本報告は風浪のエネルギースペクトル特性と表層混合層における密度鉛直分布を一義的に決定できるとの仮説のもとに，オ1段階として波のみによる密度成層の安定性を水理実験によって検討したものである。

2，風浪による混合過程

風浪の作用による表層での混合過程には二つのものが考えられる。その一つは密度成層がほとんど無視できる場合である。次元解析によればこの場合の速度スケールは摩擦速度 $u_* = \sqrt{\tau/\rho}$ であり，混合層の下降速度は u_* に正比例する。躍層下端の前進速度つまり Entrainment 速度は $u_e \sim (\nu \varepsilon_0)^{1/4}$ …… (1) となる。こゝに，ν：動粘性係数，ε_0：単位質量当りのエネルギー逸散率。一方，密度躍層が十分に発達しているときは $g\Delta\rho/\rho >> \varepsilon^{3/4}\nu^{1/4}$（$\Delta\rho$：上下2層間の密度差）……(2) の条件が成立しており，躍層で小スケールの乱れは抑制され，輸送は大きな渦によって影響を受ける[1]。こゝで，u は energy-contunity eddies の速度スケール（$u=(\overline{u^2})^{1/2}$），l はそれに対応する長さのスケールとする。この場合の Entrainment 速度は $u_e \sim Re^{-\frac{1}{2}} u$ ……(3) となる。こゝに，$Re = ul/\nu$。$\varepsilon_0 \sim (\overline{u^2})^{3/2}/l$ であることからして[2]，式(1)は密度成層があるときの式(3)よりも $Re^{1/4} >> 1$ 倍だけ大きくなっている。密度躍層の降下現象は表層低密度水の下層への erosion によって起る。すなわち，躍層から下方に向う流体要素は下層の静水領域に入りこみ，浮力の作用を受けて再び上方へ向い表層の乱流領域へ侵入する。この領域内では致るところで変形作用を受け急速に混合する。このように混合（または一種の entrainment）現象は One way process であり，表層は下層の欠損により厚くなる。

3，実験装置および実験方法

実験装置（図−1参照）は長さ 23m，高さ 1m，巾 20cm の水槽と，温水放水口・プランジャー型造波機・消波装置より構成される。温度躍層は放水口より静かに放出せしめた着色温水流によって形成させた。波高，波長の測定は目視と写真観測から求めた。水温の測定は図−1に示すごとくパイプにサーミスター素子を10個埋めこんだ水温検出部から，



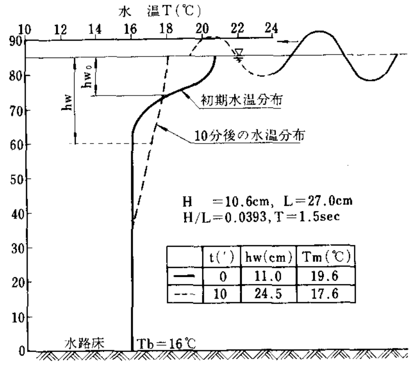
図−1　実験装置概略

ブリッジおよび増巾器を介して電圧に変換し，実験室内約70mの距離をシールドキャブタイヤケーブルでデータ集録装置に接続して，ディジタル量に変換後タイプアウトさせた。

4，実験結果

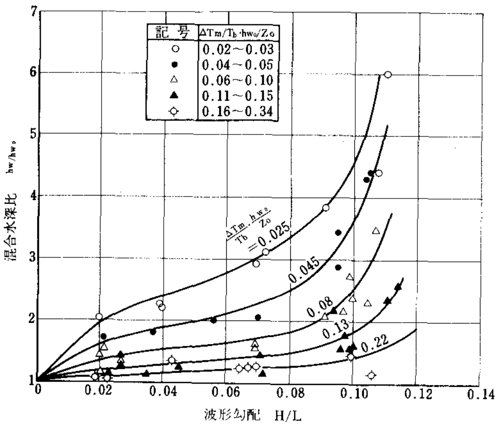
実験条件としては，上下2層間の温度差 2〜10℃（$\Delta\rho = 0.0005 \sim 0.0023$），躍層の厚さ 10〜50cm および波形勾配 0.02〜0.11 の範囲にわたって行なった。温度測定は初期状態，波を当てた状態での5分および10分の3回ずつ行なった。その結果の一例を図−2に示す。実験パラメータとして，密度成層の安定度，波高および周期であり，実験結果を安定度（$\Delta T_m/T_b \cdot h_{w0}/z_0$），混合水深比（$h_w/h_{w0}$），波形勾配（$H/L$）

によって整理すれば，三者は有意義な関係を有していることが明かとなった（図－3参照）。こゝに，h_{wo}は初期躍層水深であり最大密度勾配の位置を与え，h_wは混合水深と名付けh_{wo}の占める熱量に等しい水深であると定義する。波形勾配H/Lは定常時の5～6波の平均波高Hと波長Lの比を用いた。また，安定度は初期躍層水深の平均温度T_mから下層水温T_bを引いたΔT_mとT_bの比に，波のエネルギーが混合におよぼす指標としてのh_{wo}をとり，それと水深Z_oの比を掛けたものとして示す。この結果はあくまで前記の定義と模型実験の制約（波の継続時間，水深，水槽の長さ等）から得られた値であるため安定性（または混合の度合）を直ちに判定することに困難があるが，この実験結果から推して混合水深比が2倍以上ときにはかなりの不安定性を生ずる傾向が見える。

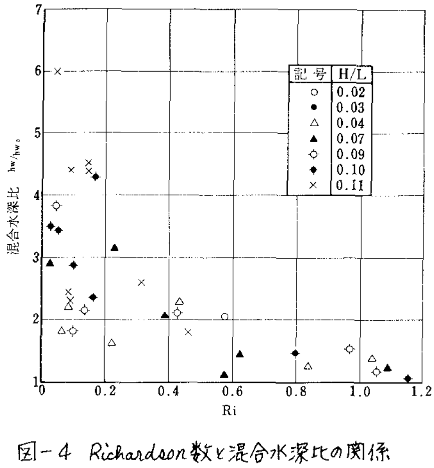


図－2　実験における水温分布の一例

つぎに安定度のかわりに一般的なリチャードソン数(R_i)の導入を試みよう。すなわちリチャードソン数の導入により波形勾配の影響が含まれ，R_iと混合水深比の間に一義的な関係が期待される。ここに，$R_i = g(d\rho/dz)/\rho(du/dz)^2$で表わされ，$du/dz$は波の水平方向の最大軌道流速を用いた。密度勾配を有する軌道運動に関する研究はLamb[3]や椎貝等[4]が示されてるように密度成層の影響を受けるが，この実験範囲の密度成層においては微少振巾波理論による軌道流速に理論的，実験的にもほゞ一致することが確かめられた。したがってdu/dzは理論式より求めた値を採用し，$d\rho/dz$は実験値を採用した。また，質量輸送はわずかながら認められたが軌道流速の数十分の1の大きさである。この結果を図－4に示す。実験値はかなりのバラツキを見せるがR_iの増加によって混合水深比が減少する傾向が見られる。



図－3　波形勾配と混合水深比の関係



図－4　Richardson数と混合水深比の関係

5，あとがき

今回は波のみの報告で終るが，今後の課題は風波のエネルギースペクトルムと混合量，混合深さとの関係を見出すことである。このようにして求められた混合度合は風の強さ，吹送距離および吹送時間に関係したものになる。

○参考文献　1) O.M. Phillips, 1966, 2) Batchelor, 1953, 3) Lamb; Hydrodynamics,
4) 椎貝・沢本：「密度勾配を持つ流体中の波について」，第23回年次学術講演会