

II-39 風波に対する密度成層の安定性(2)

電力中央研究所 正会員 和田 明 ○片野尚明

1. はじめに：前回は造波機によって発生させた波による水温躍層の混合について報告したが、今回は風波による水温躍層の挙動特性について、スペクトル解析をまじえて報告する。

2. 実験方法および基礎的検討：波高および水温の測定には、それぞれ抵抗式波高計、サーミスター型水温計を用いた。これらの測定量はデュータロガーおよびペン書記録計で記録させた。実験ケースは風速 $V_w = 2.5 \sim 7.5 \text{ m/s}$ 、2層間の温度差 $\Delta T = 5 \sim 15^\circ\text{C}$ および躍層水深 $h_{w0} = 15 \sim 30 \text{ cm}$ の組み合わせから定めた。図-1は実験の一例であって、風を与え始めからの鉛直方向の水温変化の様相を示す。これらの躍層水深の降下に対する物理的解釈は風の擾乱による下層への表層水の Penetative Convection (あるいは下層の欠損) とこれに抗する表層水の浮力効果の平衡位置と解することができる。

図-2は風の継続時間と躍層水深の増大との関係を示す一例で、初期と終りを除いて躍層はほぼ一定速度で降下していることがうかがえる。風波による躍層の混合現象は造波機による波のみの混合と比べて著しく強く、急激である。本実験における風速および継続時間から実験現象を想定してみれば、実験範囲はかなり大きい擾乱を取り扱ったものと考ええる。

3. 安定度パラメータによる水温躍層の挙動特性：前回と同様に安定度パラメータとして、 $\alpha = \Delta T \cdot h_{w0} / T_0$ およびリチャードソン数 $Ri = \frac{g \Delta T h_{w0}}{U_z^2}$ で躍層の降下量および降下速度を整理してみた。まず、 α を横軸にとった関係では風速をパラメータにした右下りの曲線群が得られる。一定の α に対して、降下速度がほぼ風速に比例する。Phillips は連続密度分布を有する完全乱流場において、降下速度は摩擦速度 u_* に比例する関係を求めていることから、本実験においても同様な傾向が見られたことは興味深い。つぎに、躍層の降下量および降下速度とリチャードソン数との関係をもみても、 Ri の増加に伴って降下量、降下速度とも急激に減少することが確認されている。

風の作用を受けている密度成層を有する海域を考える

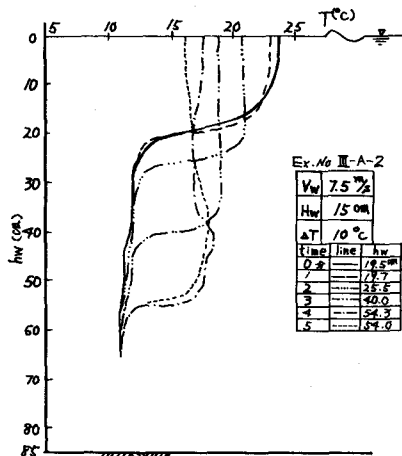


図-1 水温鉛直分布図

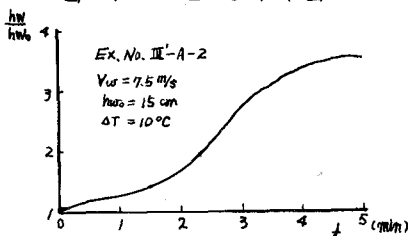


図-2 風の継続時間と躍層水深の関係

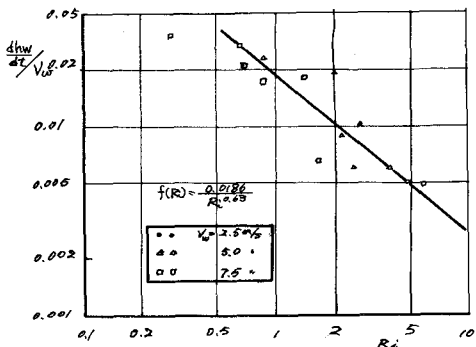


図-3 Ri 数と $\frac{dh_w}{dt} / V_w$ の関係

と、躍層降下速度は摩擦速度 u_* とリネードソン数 Ri との関数であることが想定でき、次式で示される。

$$dh/dt \approx u_* f(Ri) \quad (1)$$

ここで、 $f(Ri)$ は実験的に決めねばならぬ関数である。上式の関係を $u_* \propto V_w$ と考えて実験結果に適用してみると、つぎの関係が求められる(図-3 参照)。

$$dh/dt = 0.0186 V_w / Ri^{0.86} \quad (2)$$

4. 風波および水温変動のスペクトル解析: 図-4 は風波のエネルギー・スペクトルを示したものである。図から、 $V_w = 10\%$ の風波において吹送距離が増すとスペクトルは発達し、かつそのピークは低周波側へ移行し、高周波側のエネルギー減衰が著しいことが認められる。

Phillips は高周波側の減衰の形が f^{-5} になることを指摘しているが、本実験では図中に示すごとく f^{-6} あるいはそれ以上の直線と適合し、実験室での風波のスペクトルは海洋に比較してよりエネルギー集中が著しいことがわかる。

水温の変動は大きな基準変動 α に小さな周期の水温変動が重ね合わされている。これらの変動成分のうち混合に寄与する成分はほとんど短周期のものと考えられるから、長周期の成分を原変動から除去しなければならない。これは移動平均を施すことによって達成された。

図-5 は風速 5% 、躍層水深 30cm 、水温差 15°C における水温のスペクトル解析結果を示す。図より測点4が躍層に位置しているために、他の測点より大きなエネルギーの値を示している。さらに、スペクトルのピークは表面より水深の増加するにつれて低周波側へ移行し、その値も $0.03 \sim 0.04\text{c/s}$ にあるところから風波より緩慢な運動の波であることがわかる。また、水温のスペクトルの高周波側の減衰特性は -3 乗則が全体的に成り立っているようである。これに関して、Phillips および椿らが連続密度場の普遍平衡領域において -3 乗則の成立を示唆しているところから、本実験においても同様の傾向が見られたことは興味ある事実である。

今回の報告は、単に風波の作用による水温の乱れ現象についての実験結果を統計解析するにとどまったが、今後は実験法の精度の向上と相まって、風速のエネルギー・スペクトルと混合量および混合深さとの関係を見出していきたい。なお、実験の結果、とくにスペクトル解析に関する詳細は講演の際に報告したい。

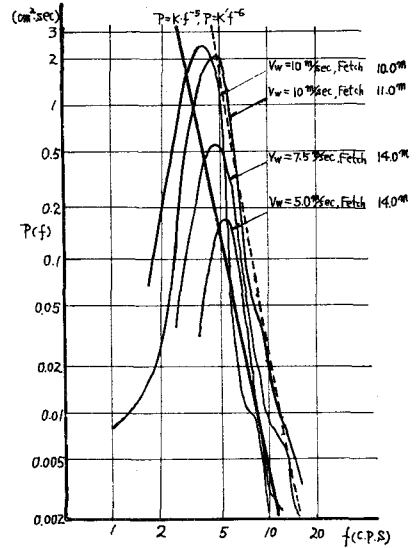


図-4 風波のエネルギー・スペクトル

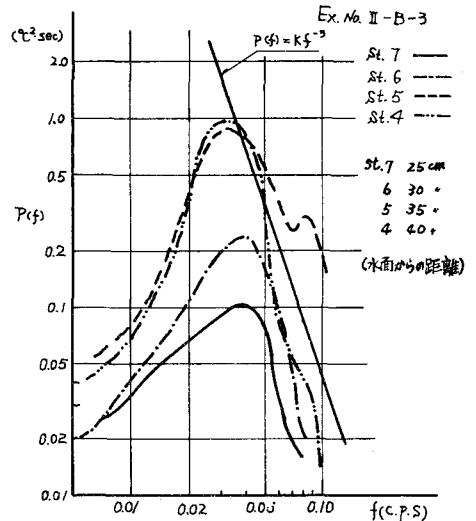


図-5 水温変動のエネルギー・スペクトル