

東北大学工学部 正員 岩崎敏夫
 東北大学大学院 学生員 ○田中博通
 東北大学大学院 学生員 江原昌彦

1. まえがき

火力・原子力発電所からの温排水と類似した内部フルード数を有す温水ジェットを静止冷水上に水平放流し、その界面現象に着目して、放出口から直ちに渦動拡散となる臨界レイノルズ数と流速・密度(温度)に関する形成領域の長さ、ならびに代表的なパターンにおける温度変動スペクトルについて実験的研究を行った。

2. 実験方法

(1) 臨界レイノルズ数 実験は長さ380cm、深さ30cm、幅15cmの水平水路を用い、下層水深(h_2)10.5cmの静止冷水上に温水を水平放流し、下流端堰より越流させた。流量調節バルブで上層水深(h_1)と流速(u_1)を調節し、放出口より直ちに渦動拡散となる場合、内部波は発生するが碎波する場合(弱安定)と越流堰まで碎波しない場合(強安定)を作った。可視しやすいようにトレーサーとしてKMnO₄を用いた。

(2) 形成領域の長さ 本来、形成領域はポテンシャル・コアが存在し、乱れが水面まで到達しない領域として定義される。本研究においては、内部波が碎波し、渦となって水面に到達するまでをも形成領域とした。このため、広頂堰上にトレーサーを注入し、それが水面に到達した長さを X_{e1} (図-1)とし、また水面に直径1cm程度の発泡スチロールの小片を流しス

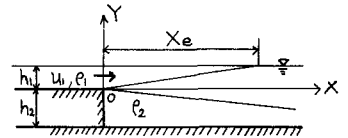


図-1

トロボ撮影して、スライドより流速を読み取り水面において流速が変化する所までの長さを X_{e2} とした。

(3) 温度変動スペクトル 内部フルード数(Fi)が $Fi' = 1.68 \sim 1.72$, $Fi' = 2.54 \sim 2.92$, $Fi' = 3.53 \sim 4.06$ の3つのケースについて流程方向と水深方向の各点で測定した。温度変動測定にはサーミスタ温度計を用いAD変換器によりテープに穿孔し解析した。なお、サンプリング間隔0.193sec、データ総数800個である。

3. 結果および考察

(1) 臨界レイノルズ数 レイノルズ数(Re)と ψ 値との関係は図-2のようになる。式(1-1)、(1-2)は直ちに渦動拡散になる場合と弱安定の場合の実験式である。

$$\psi = 3.70 \times 10^2 Re^{1.80} \quad (1-1)$$

$$\psi = 6.58 \times 10^{-4} Re^{2.40} \quad (1-2)$$

ここで、 $\psi = Re \cdot (Fi')^2$

この2式の交点が内部波の発生限界と考えられる Re の値となる。この臨界レイノルズ数は828となり、このときの内部フルード数は2.83、 ψ 値は6630となった。また、強安定の場合の実験値は式(1-2)とよく一致し、従って内部波が発生する場合は式(1-2)で表わすことができる。

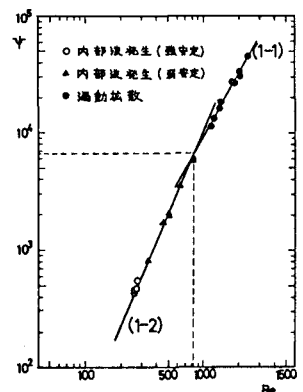


図-2 Re と ψ の関係

(2) 形成領域の長さ 図-1に示されるように代表的物理量として、 u_1 , h_1 , ρ_1 , ρ_2 , μ_1 , μ_2 , X_e , $\Delta\theta$ を選び粘性を無視すると $X_{e0}/h_1 = f(Fi')$ となる。流速と温度について Fi' と X_{e0}/h_1 との関係は図-3のようになる。両方とも

F_i が増加するにつれて減少する。それぞれ実験式は次のようになった。

$$\frac{X_{e1}}{h_i} = 1.27 (F_i)^{-1.87} \quad (2-1)$$

$$\frac{X_{e2}}{h_i} = 10.2 (F_i)^{-1.64} \quad (2-2)$$

G. Abraham¹⁾によれば、上方噴流の場合、濃度は運動量よりも急に拡がるため、 X_e (濃度)は X_e (流速)よりも小さいがほぼ同程度であるとしている。本実験の場合 X_{e1} を X_e (濃度)と考えると同様なことが言えるようであるが確かでない。 F_i に対して、 X_{e1}/h_i は両方ともほぼ等しく、 $F_i > 2.59$ においては X_{e1}/h_i は X_{e2}/h_i よりも小さくなった。

$F_i < 2.59$ においては前述したように内部波が発生しており、碎波するまで界面を通り、顕著に混合が行なわれないため X_{e1}/h_i は X_{e2}/h_i よりも大きくなる。

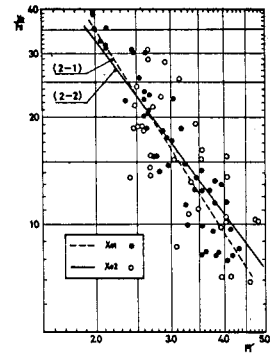


図-3 F_i と X_e/h_i の関係

(3) 温度変動スペクトル 図-4は温度変動ス

ペクトルである。(a), (b), (c)の3つのケースにおいて流程方向に10cm, 30cm, 50cm、水深方向に ± 1 cmの範囲で測定した。(a)はやや不安定な

内部波が発生している状態、(b)は不安定な内部波が発生している状態、(c)は渦動拡散の状態に

相当する。全体的に従来の研究ではみられなかったいくつかのピークが現われた。 F_i と流程が増すにつれてエネルギーレベルは増加から減少する傾向があり、混合の程度と一致する。また、自由表面に近づくほど低周波側のエネルギーレベルが小さくなる。 $X=30$ cm, 50cmにおけるスペクトル形は低周波側で -3 乗、高周波側で $-5/3$ 乗となり温度変動スペクトルも慣性小領域における乱れのスペクトルと同一形をなすという結果と一致する。

(a)の $X=10$ cmにおけるスペクトル形によって、ここでは強い周期性の変動があることが示され、これは形成領域内のスペクトル形の特徴と考えられる。これは周期0.5secから1.5secの範囲にあり、自由表面に近づくにつれ短周期の方へ移り、流程が増すにつれ各水深でのその周期が一致してくる傾向がある。また、混合が激しくなるにつれこのピークも消えてくる。

(b)の $X=30$ cm, 50cmにおけるスペクトル形は低周波側で -3 乗、高周波側で $-5/3$ 乗となり温度変動スペクトルも慣性小領域における乱れのスペクトルと同一形をなすという結果と一致する。

(c)の $X=10$ cmにおけるスペクトル形によって、ここでは強い周期性の変動があることが示され、これは形成領域内のスペクトル形の特徴と考えられる。これは周期0.5secから1.5secの範囲にあり、自由表面に近づくにつれ短周期の方へ移り、流程が増すにつれ各水深でのその周期が一致してくる傾向がある。また、混合が激しくなるにつれこのピークも消えてくる。

(a)の $X=10$ cmにおけるスペクトル形によって、ここでは強い周期性の変動があることが示され、これは形成領域内のスペクトル形の特徴と考えられる。これは周期0.5secから1.5secの範囲にあり、自由表面に近づくにつれ短周期の方へ移り、流程が増すにつれ各水深でのその周期が一致してくる傾向がある。また、混合が激しくなるにつれこのピークも消えてくる。

(b)の $X=30$ cm, 50cmにおけるスペクトル形は低周波側で -3 乗、高周波側で $-5/3$ 乗となり温度変動スペクトルも慣性小領域における乱れのスペクトルと同一形をなすという結果と一致する。

(c)の $X=10$ cmにおけるスペクトル形によって、ここでは強い周期性の変動があることが示され、これは形成領域内のスペクトル形の特徴と考えられる。これは周期0.5secから1.5secの範囲にあり、自由表面に近づくにつれ短周期の方へ移り、流程が増すにつれ各水深でのその周期が一致してくる傾向がある。また、混合が激しくなるにつれこのピークも消えてくる。

最後に、実験に協力された伊藤雅文君(現 日本テトラポットK.K.)に謝意を表します。

参考文献

- 1) G. Abraham: Jet Diffusion in Stagnant Ambient Fluid, Delft Hydraulics Laboratory, Pub. No. 29 (1963)
- 2) 岩崎敏夫・阿部至雄: 浸塩境界面付近の乱れ測定 第16回 海岸工学講演会講演集 (1969)
- 3) 和田 明・片野尚明: 風波に対する水温成層の混合過程に関する研究 電研報告: 71007 (1972年1月)

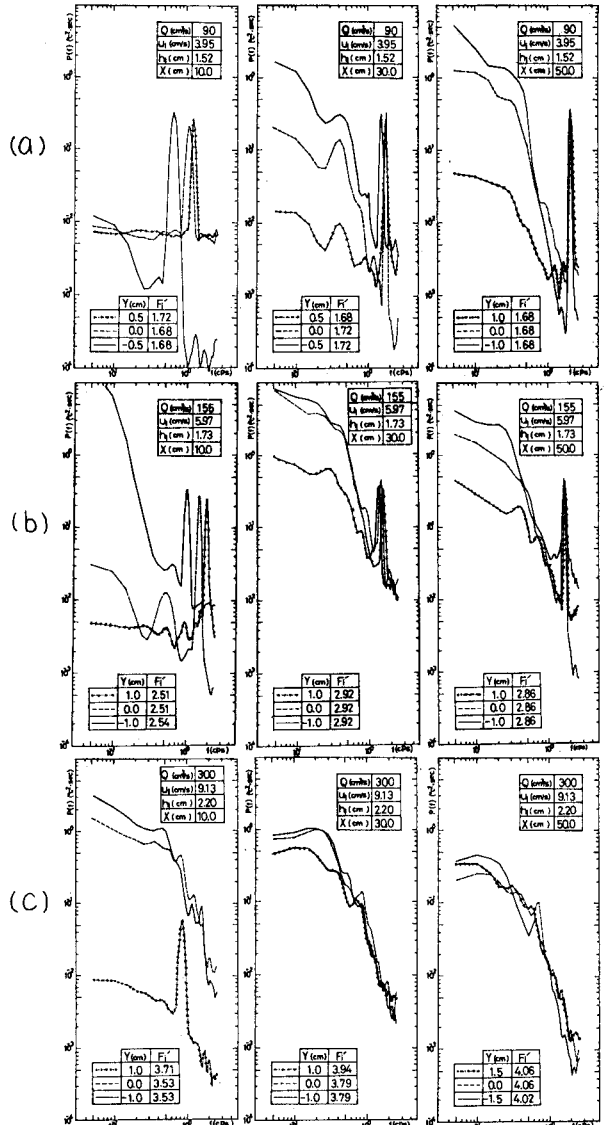


図-4 温度変動スペクトル