

山梨大学工学部 正員 村 幸雄
 山梨大学工学部 正員 荻原能男
 山梨大学工学部 正員 砂田 龍彦

1. はじめに. 温排水の放流については、これまでに多くの研究がある。その主なものは河口または排水口より海域表層への放流モデル、またこの他には水中への各種の噴流の検討などが挙げられる。これらはそれぞれ、排水噴射点における渦動性のまき込みおよび噴流の浮揚に要約される。本報告では周囲水の渦動による拡散を考えた。図-1 にそのモデルを示すが、温排水が海域に至る前段の水路での混合希釈を考えている。このモデルは様々な過程が重なり、一般的に混合をもたらす。即ち、浮力束が大きき密度分布などの仮定が困難であり、流下する周囲水の条件は拡散に直接関係する。従来この問題を抱った研究は殆どないと思われる。筆者らは上層、下層混水逆転の効果、拡散混合度などについて実験的に検討してみた。

2. 支配物理量

i) 次元解析. 図-1 のような水路で x における混合状態と支配する変数は、 H : 全水深, h_2 : 下層水深, u_1, u_2 : 上層および下層の流速, $\Delta\rho g$: 比重量差, ρ_1, ρ_2 : 上層および下層流体の密度, μ_1, μ_2 : 上層および下層流体の粘性係数。が考えられる。π定理により、 h_2, u_2, ρ_2 を一次量に述べ、次の様な無次元量が得られる。

$$\varphi(h_2/h_1, \rho_2/\rho_1, u_2/u_1, \mu_2/\mu_1, \mu_2/\rho_2 h_2, \rho_2/\rho_1, h_2 u_2 \beta/\mu_1, h_2 u_2/\mu_2) = 0$$

ii) 単純モデル. 混合の基準をその領域にとり、その幅と支配する要因と個別に考之れば、伝導(分子拡散), 対流(浮力), 乱流拡散および分散、さらに連続の条件などに要約される。このうち、分子拡散は小さいとして無視する。

(a) 浮力による効果は図-2 を参照して、運動方程式 $\frac{dV}{dt} = \Delta\rho g \rho_2$

(V : y 方向流速) より、 $x = \frac{1}{2}(u_1 + u_2)t$ とおいて、 $x = l_0$ で次式を得る。

$$\beta = \frac{g \Delta\rho l_0}{\rho_2 (u_1 + u_2)^2} \quad (1) \quad \text{これは変形された Richardson 数である。}$$

(b) 乱流拡散効果は図-3 を参照して、一様流の場合 Schlichting k より簡単に、 $b = \frac{3}{2} \lambda^2 (u_1 - u_2) t$ (λ : 定数), 前段と同様に $x = \frac{1}{2}(u_1 + u_2) t$ から、

$$\beta = \frac{b}{x} = 3 \lambda^2 \frac{u_1 - u_2}{u_1 + u_2} = C \frac{u_1 - u_2}{u_1 + u_2} \quad (2) \quad (C: \text{定数}) \text{ を得る。一方、乱流拡散による混合領域の幅 } b \text{ と}$$

乱流境界層に相似させ得るとすれば、 β は Re 数にも支配されて次式で示される。 $\beta = f(1/Re) \quad (3)$

(c) 連続の条件の場合は、図-4 を参照して、混合の結果流速は一様分布 u になると仮定し、領域中心の移動量 l_{ST} を用いて、断面①~④間で条件として次式を得る。

$u_1 h_1 = u(h_1 - l_{ST}), u_2 h_2 = u(h_2 + l_{ST})$ 。これより、 l_0 固における l_{ST} の平均変化率 β_2 として次式が示される。

$$\beta_2 = \frac{-(u_1 - u_2) h_1 h_2}{(u_1 h_1 - u_2 h_2) l_0} \quad (4) \quad h_1 = h_2 = h \text{ のとき}$$

は簡単に

$$\beta_2 = -\frac{h}{l_0} \frac{(u_1 - u_2)}{(u_1 + u_2)} \quad (5) \quad \text{となる。}$$

3. 実験装置と実験. 実験装置の概略は図-5 に示す通りである。混合水路は透明アクリル樹脂製、長さ 250 cm、幅 10 cm、高さ 38 cm である。上流に冷水・温水の供給交

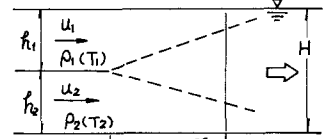


図-1 混合状態

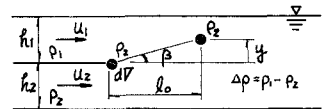


図-2

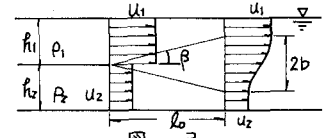


図-3

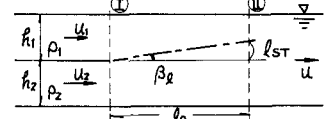


図-4

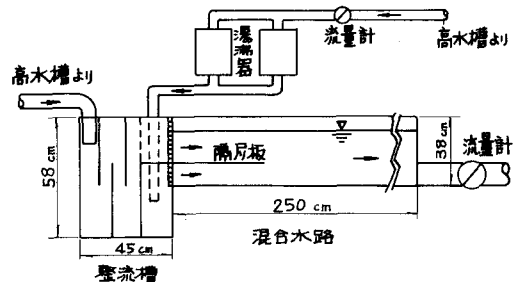


図-5 実験装置

換が可能な整流槽と備えている。混合水路の始点から50cmを隔層板とし1mmの塩ビ平板と密着した。温水は、ガス瞬間湯沸器(36,100 kcal/h)と2台並列使用して供給した。温度測定にはサーミスタ型温度計を用い、水路中心にわけて、始点より10cm, 20cm, 30cm地点で鉛直温度分布を測定した。流速測定には木素気泡を用いて写真観測したが、周期の長い乱れが生じており精度は低く流速分布の大略の様子と見るにとどめた。

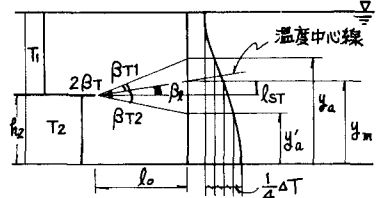


図-6 混合係数

4. 混合係数 混合領域の幅は図-6を参照して次の様に定めた。先ず l_{ST} を温度中心の変化とする。bは本来混合変化の端点まで考えるべきであるが、精度上混合過程の相似性を仮定して温度差(ΔT)の1/4を加減し、 $bT = \frac{1}{2}(y_a - y_b)$, $bT1 = y_a - y_m$, $bT2 = y_m - y_b$ とした。 h_2 を用いて $bS1 = \frac{h_2}{2} \cdot bT$, $bS2 = h_2 \cdot y_a$ が考えられるがこのでは省略して結局、混合係数に $\beta T = bT / l$, $\beta T1 = bT1 / l_0$, $\beta T2 = bT2 / l_0$, $\beta l = l_{ST} / l_0$ と定めてこれらを検討した。

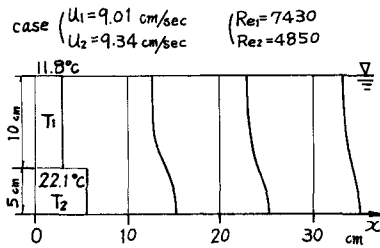


図-7 温度分布

5. 結果と考察 図-7は温度分布の一例である。下層水深5cmで温水と配した場合を基準として、 $x=10cm$ の位置での混合の状態を以下の図に示す。相対速度について調べたのが図-8, 9である。下層温水の場合、温度差を考慮して整理した。

βT は $\frac{u_1 - u_2}{u_1 + u_2}$ に関係するがそれ程顕著ではない。それは一様流の仮定に問題があることを示している。上層の場合に比較して下層温水の βT は確かに大である。図-10, 11は βl について調べている。連続の条件から示される $\frac{u_1 - u_2}{u_1 + u_2}$ との関係は、明らかな比例関係にあり、相対速度は βl に対して支配的な物理量となり得る。一方図-11では、浮力の効果が速度差によ、て相殺されないように注意したが、その傾向も掴むのは難かしい。また、浮力効果と混合幅について、相対速度の影響の大きさを考えて示せば図-12のようになる。 $\frac{h_1}{h_2} = \frac{15}{5}cm$ の場合 βT が大きいのは実験値の下層の Re 数が小さいためと考えられる。

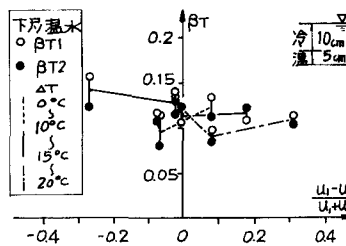


図-8

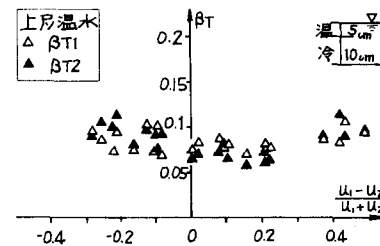


図-9

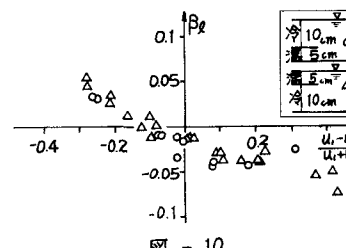


図-10

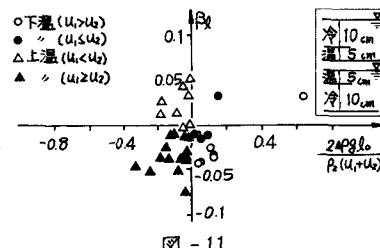


図-11

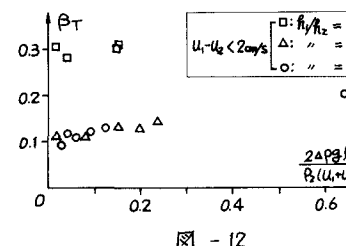


図-12

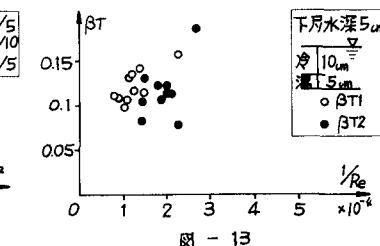


図-13

混合幅と層別にとった Re 数との関係は図-13のようになる。単純な仮定ではあるが傾向が判り、結果は興味あるものとなっている。今回の実験の範囲では、混合の中心が主として速度差に支配されること、その上で浮力効果は補助的に混合を促し、それはまた Re 数にも関係していることなどが判った。最後に、実験に協力された大野徳幸、金沢和信の両氏に文 1) Re と β は Ellison & Turner: Turbulent entrainment in stratified flows, J. Fluid Mech, Vol. 6, 1959 献 2) " Abraham: Horizontal jets in stagnant fluid of other density, ASCE, HY4, 1965 謝意を表します。 3) パーカー・フレンケル編) 清水・石川訳) 熱と流体の処理技術, ラティス, 1973