

芝浦工業大学 正員 管 和利
 東京大学工学部 正員 玉井 信行
 芝浦工業大学大学院 藤井 良治

1. はじめに

温水くさびを成層流として、見掛けの分散項まで含んで解析する場合には、流速分布、密度分布の決定が必要である。従来の取り扱いとしては、地表に近い領域を対象としたMorimobukhovの相似理論を温水くさび上層での安定成層乱流域に適用しlog-linear則の流速分布を導いた日野¹⁾の研究、界面での混合距離を考慮し、貯水池内での流速分布を導いた江頭²⁾の研究等がある。しかし、これらの成果を温水くさびでの流速分布に適用するには、界面の取り方、分布則の適用範囲の決定、浮力効果の考慮のし方等において不明な点を含んでいる。本研究では温水くさびを対象として実用的な流速分布について実験的に検討を行った。

2. 実験装置及び方法

長さ15m、深さ0.6m、幅0.1m、勾配1/50の前面ガラス張り水路を用い、定常温水くさびを形成し、導電率計により密度分布を測定した。流速分布の測定には水素気泡法及び染料による可視化手法を併用し、界面近傍での分布を正確に測定した。又、下層については可視化のみによる。

3. 実験結果及び考察

3-1 流速分布則 上下層界面での流質の混合により密度分布には遷移層が形成され、このような場合に著者は2つの界面を密度分布より定義している。³⁾本研究では密度が $\rho_s + (\rho_b - \rho_s) \times 0.9$ の第2界面を $z=0$ とし鉛直上向きに z 軸を取る(図-1(a))。上層の流速分布を界面から順に遷移層Ⅰ、安定成層域Ⅱ、完全乱流域Ⅲの3つの領域に分けて取り扱う(図-1(b))。又それぞれの領域の境界の z 座標を z_c とし、密度分布の混合層の厚さ(第1、第2界面の距離)を l とする。長さスケールとして $M.O\ length$ を採用して L_* を定義する。

$$L_* = L We / U_* = U_*^2 \rho / K \Delta \rho \quad (1)$$

K はカルマン定数、 U_* は摩擦速度である。この L_* は層平均リチャードソン数に相当する長さスケールである。

i) 領域Ⅰの分布則

界面近くでは粘性が卓越するので流速分布は直線分布が予測される。又Turner, Long, 小杉らによっても直線分布を呈することが示されており、この領域では式2の分布形を考える。 U_i は界面での速度である。

$$U/U_* = \alpha z / KL_* + U_i \quad 0 \leq z \leq z_c \quad (2)$$

ii) 領域Ⅱの分布則

安定成層ではない領域でlog-lawが成立することが示されているので、浮力効果を考慮したlog則を次式のように考える。

$$U/U_* = (1+\beta)/K \log z/z_0 \quad 0 \leq z \leq z_c \quad (3)$$

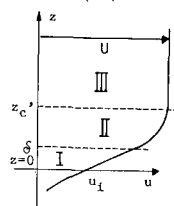
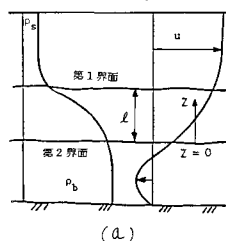
K はカルマン定数で0.4とし、成層の程度による混合距離の減少はパラメータ β で考慮する。又、 z_0 は対数則を考える時の仮想的な原点である。

iii) 領域Ⅲは乱流域で流速は一様と考える。

$$U = \text{const} \quad z_c \leq z \leq h_1 \quad (4)$$

式2, 3の分布則の適用範囲 z_c 及びパラメータ β , z_0 , α の値を平均的な物理量で記述することを実験データより検討する。本研究では U_* は次式で示される経験的な算定式より見積った。

$$U_* = \sqrt{0.2 (Re Fi^2)^{-\frac{1}{2}} (U_1 - U_2)^2 / 2}$$



(5) 図-1 成層場の模式図 (b)

3-2 $(1+\beta)/K$, δ , Z_0 , l , Z_0' について

流速分布測定と同じ地点で測定した密度分布より第2界面を定め、この位置を $Z=0$ として、実測の流速分布を片対数紙にプロットし、 $\log$ 則の成立する範囲、及びこの傾き等を定め、 $(1+\beta)/K$, δ , Z_0' , Z_0 , l の各値を算定した。これらの値を L_* で無次元化し、成層の程度、界面安定の程度を示すパラメータの1つである岩崎数 $ReFi^2$ に対してプロットし、検討を行った。

1) $(1+\beta)/K$ の値について

式3が上層全域にわたって成立するとして平均流速を求め、 U_{*s} として式5を用いると近似的に次式が得られる。

$$h_1/Z_0 = \exp[(ReFi^2)^{1/4} \sqrt{10} \quad K/(1+\beta) + 1] \quad (6)$$

実測の $K/(1+\beta)$ の値より式6を用いて計算した h_1/Z_0 と実測の h_1/Z_0 の値とをプロットしたのが図-2である。両者は良い一致を示しており、 Z_0 が未知れば式6より成層効果のパラメータ β を算定することかできる。

2) δ について

開水路の境界層同様に $U_{*s}/\rho = \text{const}$ が考えられ、 $ReFi^2$ に対してプロットした図-3より、多少のバラツキはあるが $U_{*s}/\rho = 22$ と決めることかできる。

3) Z_0 , Z_0' , l について

長さスケール L_* で無次元化し、 $ReFi^2$ に対してプロットしたのが図-4である。多少のバラツキはあるが、 l , Z_0' については $ReFi^2$ の関数として表わされている。界面の安定な範囲 $ReFi^2 < 200 \sim 300$ では l/L_* , Z_0'/L_* は $ReFi^2$ と共に減少し、 $ReFi^2 > 400$ では一定値、 $l/L_* = 30$, $Z_0'/L_* = 160$ となる。 Z_0 についてはバラツキが大きく定めることかできないが、他のパラメータが全て定まり、又流量 Q が既知である場合には、計算により定めることか可能である。

4) α は $ReFi^2$ によらず一定値 $\alpha = 0.0078$ となる。

5) U_i 及び下層の流速分布は、嶋、椎貝、玉井⁴⁾の層流解を $-h_2 \leq Z \leq Z_0'$ の領域に適用することにより決定できる。この下層の分布は実測と良い一致が得られた。

4. 結論

1) 第2界面を原点とした、混合層厚さ l , $\log$ 則の適用範囲 δ , Z_0' の諸量は、平均水理量による L_* , $ReFi^2$ の関数となる。 2) 遷移層での流速分布の傾き α 及び U_{*s}/ρ

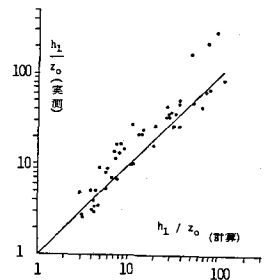


図-2 式(6)の検証

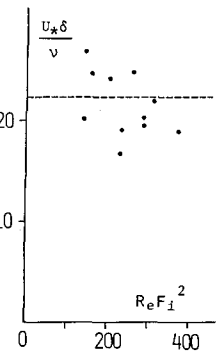
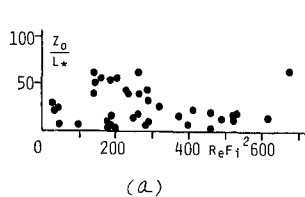
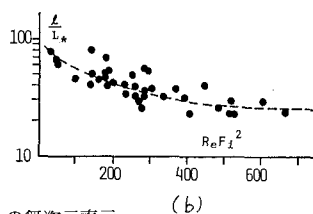


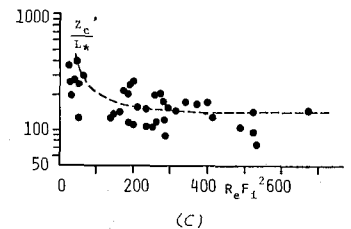
図-3 遷移層の厚さ



(a)



(b)



(c)

図-4 Z_0 , Z_0' , l の無次元表示

の値はそれぞれ一定値 0.0078, 22 となる。 3) $-h_2 \leq Z \leq Z_0'$ の領域に層流解を適用し、 U_i 及び下層流速分布が得られる。以上の結果より、平均水理量を知らば、塩水くさび全層にわたって流速分布を決定することかできる。

<参考文献> 1) 日野幹雄: 第23回水理講演会論文集, 1979. 2) 江頭進治, 芦田和男: 京大防災研究所年報, 22号B-2, 1979. 3) 玉井信行, 曾和利: 第26回水理講演会論文集, 1982. 4) 嶋 祐之, 椎貝博美, 玉井信行: 第19回年次學術講演会, 1964. 5) 須賀亮三: 土木研究所資料, 1537号, 1979.

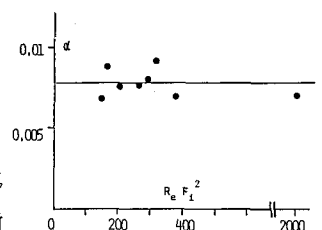


図-5 直線分布の傾き