

II-231

二成層場からの二次元選択取水

東京電機大学 建設工学科 正会員 有田正光

東京電機大学 建設工学科 学生員 及川秀明

(1) 緒論 選択取水の問題は基本的かつ重要な問題であり古くから検討がなされて来ているが、従来の研究は粘性の効果を無視した、いわゆる完全流体の仮定をした理論とそれに基づく実験結果の検討がほとんどであった。本報においては選択取水に伴う流れの密度界面形状予測モデルについて検討するが、予測モデルの検討に当たっては、取水地点遠方においては粘性の効果は無視しえないと考え、また取水地点近傍においては粘性の効果は無視しうると考えてその確立にあたる。

(2) 考える流れの場 図1に示すような上層は温水で、下層は冷水で二成層化した鉛直二次元の貯水池の上層から下流端に設置されたダムの上端を通して上層の温水のみを分離選択取水する場合について考察する。この場合の特徴は限界取水条件において、取水地点における上層平均密度フルード数： $F_s = F_s \gg 1$ となる点にある。

粘性の効果を簡便に理論中に考慮するために、選択取水に伴う流れの領域をダムの近傍の取水の効果を直接受けて

粘性の効果が小さい「吸込流領域」と取水口より離れた地点で粘性の効果に基づいて形成される密度楔からなる「密度楔領域」に分割できるものと考えて考察を進める。なお両領域の分割は F_1 (上層密度フルード数) $=1$ で行ない $F_1 \leq 1$ の領域を密度楔領域、 $F_1 > 1$ の領域を吸込流領域と考える事とする。この領域分割は密度流諸量が $F_1 \leq 1$ では粘性の効果を強く受けるのに対して $F_1 > 1$ では粘性の効果が小さくなるというArita-Jirka¹⁾の理論的検討結果に裏付けられているものである。なお、次章においては工学的に重要な限界取水条件における密度界面形状予測モデルについて検討する。

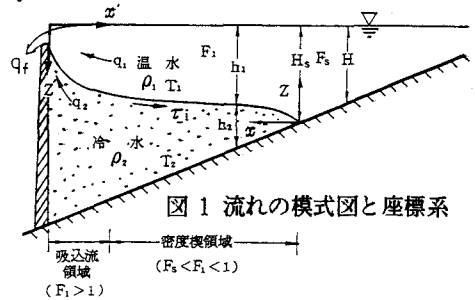


図1 流れの模式図と座標系

(4) 密度界面形状の予測モデル

(a) 密度楔領域 ($F_1 \leq 1$): 密度楔領域は漸変流の流れであるので密度界面形状予測理論の基礎方程式は二次元漸変流の仮定をした x 方向の運動方程式であり、次式で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta_s}{\partial x} - \frac{g}{\rho_a} \frac{\partial}{\partial x} \int_x^{\eta_s} \Delta \rho dz + \frac{1}{\rho_a} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \frac{1}{\rho_a} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \quad (1)$$

理論的検討の第一段階として、①下層静止の条件、②上層の流速・温度分布および下層の温度分布は一様分布で近似できる、③密度界面付近に形成される混合層は薄い、④密度界面での連行現象は無視しうる、——の実験結果より容認できる仮定の基に式(1)の基礎方程式を上下層について断面内積分し、整理すると底面勾配： S_b が無い場合($S_b=0$)の密度界面形状を表わす式として次式を得る。

$$\frac{d\eta_r}{dx_r} = \lambda_i \frac{F_s^2}{(F_s^2 - \eta_r^3)(1 - \eta_r)} + \frac{2\lambda_{w1}}{F_s^2 - \eta_r^3} \frac{\eta_r^4}{B_r} \quad (2)$$

ここに、 $\eta_r = h_1/H_s$ 、 $x_r = x/H_s$ 、 F_s =密度楔始点における上層平均密度フルード数、 λ_i =密度界面抵抗係数、 λ_{w1} =壁面抵抗係数 $=0.0225/Re_1^{1/4}$ (ブラジウスの式の準用)、 H_s =貯水池の水深、 B_r =無次元水路幅 $=B/H_s$ (B =水路幅)、 Re_1 =上層レイノルズ数——である。なお、モデル計算においては λ_i にはArita-Jirka¹⁾によって提案されている理論式を使用する。

(b) 吸込流領域 ($F_1 > 1$): 吸込流領域においては漸変流の仮定が成立せず精度の高い理論的な取り扱いが難しい。従って本報ではこの領域においては F_1 の値が大きいの粘性の効果が無視しうると考えて、密度界面形状の相似性が成立するとの仮説を立て実験結果の整理をする事とした。図2は吸込流領域

の密度界面形状に関する実験結果を整理して示すものである。ダム地点よりの距離： x' と上層厚： h_1 は $F_1 = 1$ となる断面における上層水深

（限界上層水深）： h_{1c} で無次元化してある。いずれのデータも限界取水条件に近い水理条件の基に採集されたものである。同図より密度界面形状の相似性が認められる。また、吸込流領域の長さは図中に示すデータの平均値より、 $x'/h_{1c} \approx 2.8$ である。従って、吸込流領域の密度界面形状の予測は吸込流領域の長さ： $\lambda = 2.8h_{1c}$ としたうえで、図2中の破線で示されるデータ群の Best-Fit Line を使用することにより行なう事とする。

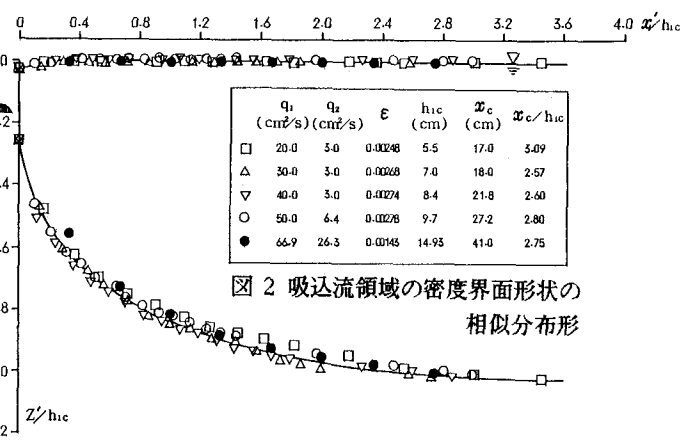


図2 吸込流領域の密度界面形状の相似分布形

【(3) 予測結果と実験結果の比較】
領域については式(2)の数値積分により、吸込流領域については図2に示した密度界面形状の相似性を使用して定める。図3はこのようにして求められた密度界面形状の予測結果と実験結果との比較を示すものである。図中の●もしくは○で示される実験データは下層水温よりの温度上昇の半値で定義される密度界面の位置を表わしている。理論とデータの一致の度合いは良好である。

結局、選択取水に伴う流れの全領域の密度界面形状の予測は密度楔

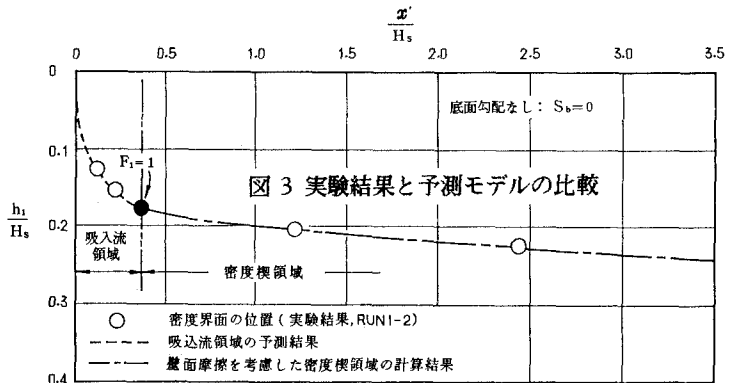


図3 実験結果と予測モデルの比較

ところで本研究において導入した概念である密度楔領域の特徴は界面勾配の変化率は小さいが、その長さが極めて長いことにある。ちなみに図3に示す実験条件における密度楔領域の全長、つまり密度楔の始点が一様水深水路の底面と一致するようなケースについて理論計算を行なうと密度楔領域の全長は338mとなる。従って長さの長い貯水池の場合は同領域の存在を念頭におくことは極めて重要な事となる。また、長さが比較的短い貯水池においても密度楔領域の終点付近においては密度フルード数が1の近傍の値となり、そこでは式(2)より分かるように密度界面の変化率が大きくなるので、密度楔領域を無視することはできない。

【(7) 総括】 本報で示したように、「選択取水に伴う流れは、密度楔領域と吸込流領域に二分割して考える」とする概念は妥当であることが実験結果との比較により示された。そして、密度楔領域の密度界面形状は、従来塩水楔の問題を解いてきたのと同様な手法で、また、吸込流領域においては、粘性の影響が無視しうる為に密度界面の界面形状の相似性が成立し、これに基づいてその長さおよび形状の予測が可能であることを示した。また、著者等が導入した密度楔領域と吸込流領域の概念を使用すれば、従来の粘性を無視した理論と実験データとのずれ²⁾の定性的傾向が良く説明される。この点については紙面の関係で割愛する。

【参考文献】 (1) Arita, M. and G.H. Jirka, Jour. Hy. Div., ASCE, Vol. 113, 1987. (2) Harleman, D. R.F., R.S. Gooch and A.T. Ippen, Jour. Hy. Div., ASCE, Vol. 84, HY2, 1958.